公路月刊

1

本片卷

自 1940 年 1 卷 1 期

至 1942 年 合订本

年

第 1 卷

第 1—4 期

公路月刊

公路工程研究刊物

第一卷 第一期　　民國四九年二月出版

目　　錄

交通部～清華大學
公路研究實驗室
昆明白象路運輸會館

創刊辭

我國公路事業之演進，屆至目前，可分為三期。自民國初年以至十五年間，可謂之為創始期。十五年至廿七年抗戰軍興，可謂之為發軔期。抗戰以後，屆至目前，可謂之為急進期。在創始期中，中心工作，注重工程之實施及路線之計劃。各省公路局，逐漸而成立，公路事業，初得基礎。但在此時，無運輸之可言，每一路線，每日行車，不過十餘輛，惟省與省間，各自為政，不能劃一而至統籌之効。在發軔時期，由於總理建國大綱之遺教，公路事業，乃日趨積極，兼以社會人士，對於全國公路，已有相當之認識，故公路行政，乃得擴大，中央設立全國公路處，對於全國公路之實施，并有統籌之進行，而各省各省市，亦設有路車輛，每一路線，每日行車，已增至幾十輛，此時不僅路線計劃，得以統一，工程實施，陸漸改進，而行車管理及運輸規章，亦漸一一納之於軌道之中，迨至抗戰軍興，陣線內移，全國車輛，集中後方，加之新購，為數已多，而後方公路幹線，不過萬餘公里，軍運民運，完全集中於公路之上，於是運輸頻度，西南各幹路，每日在路上行駛者，[illegible]三百輛，[illegible]千餘輛，遂發嚴重，必皆每日進出為一百輛[illegible]，各省[illegible]之公路，實完成於戰前，而改[illegible]於戰後，完成於戰前者，其施工原則，皆根據少數行車之需要，今日[illegible]，[illegible]難持，戰後因成本有工程之不足以應數，只[illegible]以[illegible]以時[illegible]成會議，施工計劃，又[illegible]，[illegible]不能達到目的中需要之目的。由於此種原因，目前公路[illegible]，[illegible]未免[illegible]其功用。

目前公路運輸之發展，[illegible]中[illegible]，亦不在汽油之困難，更不在配件之不足，其惟一之病根，乃車輛壽命之短促，汽油之虛費，及修理之頻繁，若能加長車輛壽命，節省汽油，并減少修理次數，則目前所有之車輛，可能運入之汽油，及所有之配

[illegible]

公路之[illegible]，[illegible]（[illegible]）[illegible]

[illegible]之[illegible]，[illegible]公路[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]研究會檢查[illegible]十[illegible]度工作計劃

[illegible]

[illegible]之研究

[illegible]之試驗

[illegible]之研究

[illegible]之試驗及研究

(1) [illegible]

試驗[illegible]

[illegible]

(三) [illegible]之設計 (甲)各種土壤之分類 (乙)穩定材料之選擇 (丙)[illegible]之設計 (丁)穩定路面厚度之[illegible] (戊)穩定路面施築之方法 (己)養護方法之研究

(四) 中心試驗室之研究

(甲)各種路面穩定方法之比較 (乙)石灰[illegible]之試驗及研究 (丙)石灰[illegible]級配石子路面之研究為研究之目標

(一) 石灰[illegible]之試驗及研究

(甲) 目的 [illegible]物石灰[illegible]之化學分析[illegible]

(二) 試驗計劃 (甲)石灰及[illegible]之化學分析 (乙)石灰及[illegible]之分析及[illegible]之物理性質 (丙)[illegible]試驗 (丁)石灰[illegible]之配合試驗 (戊)[illegible]之應力試驗 (己)[illegible]試驗 (庚)[illegible]試驗

(三) [illegible]之設計 (甲)材料[illegible]之選擇 (乙)選擇方法之研究 (丙)[illegible]之設計 (丁)路面厚度之研究 (戊)養護方法之研究

(四) [illegible]之試驗及研究

(甲) [illegible]

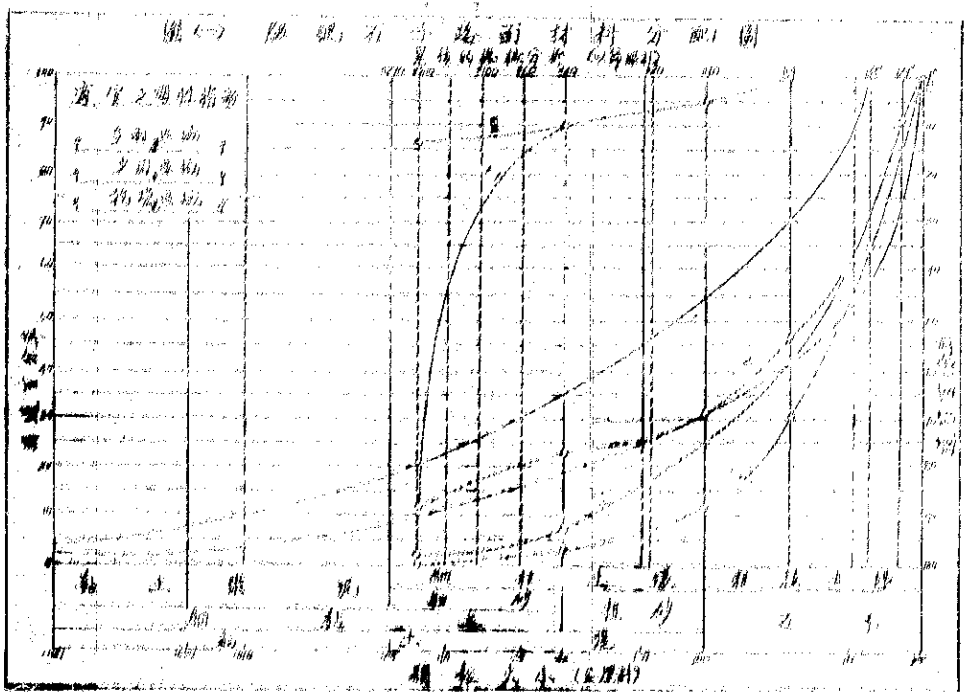
(二) [illegible] (甲)石灰及[illegible]之化學分析 (乙)石灰及[illegible]之分析 (丙)[illegible]試驗 (丁)石灰[illegible]試驗 (戊)[illegible]之應力試驗 (己)[illegible]試驗

(三) [illegible]之設計 (甲)材料[illegible]之選擇 (乙)選擇方法之研究 (丙)[illegible]之設計 (丁)路面厚度之研究 (戊)養護方法之研究

[illegible]

[illegible]

[illegible]



[illegible]

[illegible]								
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible]

量(以克計)

C為第一二兩種混合物透過四十號篩孔之百分率

D為第三種土壤透過四十號篩孔之百分率

於是：—

$$P=\frac{A}{B}\times\frac{C}{D}$$

$$=\frac{35}{65}\times\frac{17}{90}$$

$$=10\%$$

由上法算出第三種土壤，須摻合10%，則第一第二及第三種土壤整個混合物體之分析，可計算如下列表(三)

表(三)

土壤材料	通過篩孔百分率(以重量計)						
	1"	3/4"	1/2"	4號	10號	40號	200號
第一種85%	85	77	54	26	10	4	0
第二種15%	15	15	15	15	14	13	2
第三種10%	10	10	10	10	10	9	9
共110%	110	102	79	51	34	26	11
三種土壤混合	100	92	71	46	30	23	10

表(三)內容，為三種土壤混合物體之分析曲線，在圖(一)中以曲線(V)示之，其位置完全在理想區域之內，故所得結果，尚屬滿意。換而言之，即取第一種土壤77%，第二種土壤14%，及第三種土壤9%，混而合之。至混合體之塑性指數已知為七。是以密度之加強及塑性指數之配合，均能適宜於需求也。

〔二〕 塑性指數及貫氏試驗敍述：

土壤遇水漸行鬆軟，繼其甚無剪力抵抗之時，則成為流體之狀態。所謂流體限度(Liquid Limit)者，乃使土壤變成此種流

體時應含最少之水量百分率也。由各種土壤之液體限度，可以知各種土壤流動時應含之水份，更可知土壤顆粒之粗細與夫土壤內部空隙(Voids)之大小，而定土質之成份。倘若逐漸蒸發其水份，則土質漸變，俟其起始發生黏性之時，此之謂塑性限度(Plastic Limit)，亦即土壤開始發生黏性時，所含水份之百分率也。液體限度減去塑性限度之差值，謂之為塑性指數(Plasticity Index)。

道氏試驗法(Proctor's Compaction Test)乃利用水份加入土壤之中，使其顆粒互相滑潤，然後將其夯實，必能得到土壤最大之密度。但水量需要若干，必須由試驗求之，蓋每種土壤只有一種水份，可使夯打至最大之密度，此種水量，名之曰最好水量(Optimum Moisture Content)，此道氏試驗法之大意也。

(VI) 結論：級配石子路面，在我國尚未採用。在美國各地，實行已歷經多時，成績甚佳。且更有用氯化鈣 $CaCl_2$ 鋪灑面層，以吸收空氣中之水份，而使路面潮濕適宜，以免灰砂之飛揚。惟我國情形，尚難做効，僅用級配方法，即足為用。考級配石子路面，如配製得法，其密度頗大，空隙極小，固有砂石之內摩擦力及泥土之黏結力，路面本身，實較馬克當碎石路面為堅強。普通馬克當碎石路面，係以大石子鋪於下層，較小石子鋪於中層，最小石子及沙土則鋪於上層。此種路面，經行車之後，其上層材料必被摩擦，漸成塵土飛揚而去，石塊乃漸漸暴露於外，此時若不添補路面上層繼行，必因重而且快之車輛，其從輪與路面之間，發生真空現象，其力可將石塊吸起，隨車拋浮於路面之上。日久則路面中之石子，均翻出路面，故馬克當碎石路面，經重量之行車，其損壞極速，而養路工作，實極繁重，至相當程度，雖養而不勝養，路面遂成凹凸粗糙之狀態。若級配石子路面，係級配材料之混合體，在身內之密度，內外上下，均為一律，且因石沙互咬及泥土黏結，其力較強，車輪吸力，影響較小，而養路工作簡單，維持路面之常態，昭覺容易也。

燒紅土及石灰混合物黏結力試驗報告

I. 緒言：馬克當碎石路面有水結(Water-Bound)，柏油結，水泥結及車壓(Tar-Bound)數種，最美採用，但時日久，成為合乎所用之碎石路面，在原則上，為馬克當式，但實際上則一無所似。在普通所謂之碎石路面，在東南各省，亦為所謂馬克當碎石路面；在西南各省，則為泥結碎石路面。故泥結馬克當碎石路面，在歐美各國，幾無所聞，泥結碎石路面，則更無論者。然此二種路面，在學理上各有根據，亦為專人加以研究，其結果亦各不相同者，蓋一則全路僅賴不膠，毫無重心，足以維持，二則建築費不昂，泥漿翻車，任何人皆能修建。惟就我以來，分路運輸，若於首法，車輛載重，為碎路面，用碎製法，以目前各省養路情形論，所謂西南各路如廣西路或，其養路費每公里每月約需四百餘元，其他各路約需二百餘元，由此可見普通公路路面，已不能維持行車之需要，而路面之改善，乃為當務之急。本室有見及此，曾加研究，本篇之結論，完全試驗燒紅土為馬克當碎石路面，在學理上，有所憑藉，同時試驗燒紅土混合物及之黏結力，而有結果。但採取土料，乃當每年二月上旬經過之處者，其質較之其他地方者，當為適宜。蓋用紅土料，產量豐富，而且就地取材，經濟之道，莫此為甚，為解決問題，本室為學術上之研討，又可為實際方面之利用。至於未曾之紅土及各種之泥土，亦當逐一加以試驗而報告之，以為整個問題之解決。

II. 試驗目的：一試驗燒紅土及其石灰混合物之黏結力(Cementing Value)以求得馬克當碎石路面及泥結碎石路(Bonded Aggregates Surfacing)之適當配合料，碎料的重量減輕，工作之事宜。

[illegible]材料：

(1) 紅土（Red Clay）

(a) 產地地點：　[illegible]

(b) 燒結溫度：　約[illegible]°C

(c) 物理性分析：

液體限度　42.24 %

塑性限度　[illegible] %

塑性指數　[illegible] %

(d) 化學分析：

SiO_2　[illegible] %

Fe_2O_3　[illegible] %

Al_2O_3　[illegible] %

MgO 及其他　[illegible] %

(2) 石英

產地地點：　[illegible]

II 試驗結果：

(1) 液體限度（Liquid Limit）

土樣經十次敲打後開始流動時的含水量重量與乾土淨重之百分比（參考法）

(2) 塑性限度（Plastic Limit）

當土樣之表面開始一直線裂紋時的含水量重量與乾土淨重之百分比

(3) 塑性指數（Plasticity Index）

液體限度與塑性限度之差值

(4) 最佳含水量（Optimum Moisture Content）

土壤機械壓實之最高乾密度時的含水量與乾土淨重之百分比

(5) 黏結力（Cementing Value）

[illegible]

(6) 機械分析 (Mechanical Analysis)

上粒粗細之分析

(7) 乾濕試驗 (Wetting & Drying)

[illegible]模擬四度 (4 Cycles) 浸濕及烘乾程序

[illegible]之[illegible]土壤重、

二、所需儀器:—

(1) 液體限度試驗

蒸發碟 (口徑約 4.5 吋)	1
白磁碟	6
軟刀 (Flexible Spetula 3x3/4")	1
No 40 篩	1
劃溝器 (Grooving tool)	1
天秤	1
電爐 (Electric drying Oven)	1

(2) 塑性限度試驗

蒸發碟	1
白磁碟	6
No 40 篩	1
天秤	1
電爐	1

(3) 最佳水分試驗

製模機 (Briquette Making Machine)	1
天秤	1
蒸發碟	1
軟刀	1
No 40 篩	1

(4) 黏結力試驗

製模機	1

天秤 1
闊口玻璃瓶 (250 c.c.) 1
抹刀 1
白鐵皮 (10"×12") 1
小鏟 1
№40 篩 1
電爐 1
乾燥器 (Decicator) 1
粘度機 (Impact Machine for Cometation Test) 1

(5) 機械分析

搖篩機 (Sand Sifter) 1
篩 (№10, 20, 40, 60, 100, 及 200) 1全
天秤

(6) 乾濕試驗

蒸發碟 1
抹刀 1
天秤 1
製模機 1
№40 篩 1
電爐 1
水盂 1

II. 試驗步驟:—

(1) 液體限度試驗

將通過 №40 篩網之泥和水後置於蒸發碟內用抹刀刮平頂部使其中心厚度適為 1cm. 然後用劃溝器劃分為二半一手持碟一手依溝之垂直方向輕拍之若經十次拍擊後二半合併處適有半吋長時將中部土壤挖出一部份置於罐中立即量得其重量然後置於電爐中以 110°C 之常溫烘乾之再稱其重量

(2) 塑性限度試驗

將通過 No.40 篩網之泥和水後塑成小圓再滾成線狀反復為之直至直徑恰為 $\frac{1}{8}$ 吋即行碎斷時將其置於鐘內立即稱其重量然後置於電爐中以 110°C 之常溫烘乾之再稱其重量

(3) 最好水份試驗

將泥和水後置於製模機內以 132 Kg/cm² 之壓力壓成泥柱量取一定長度之泥柱置於鐘內稱其重量烘乾後再稱其重量加不同水份作試驗直至浮泥之重量達至最高點復至下降趨勢時為止將結果繪成曲線(以含水量與乾土重百分比數為橫度標乾土淨重為縱度標)相當於曲線上最高點之含水量百分數(簡稱濕份)即為所求之最好水份

通常試驗土壤之最好水份係用葡氏儀器(Proctor Compaction test Apparatus)其試驗步驟為將通過 No.10 篩網之土分數層於圓筒(4" 直徑 4½" 深度)內用柱形椎子($5\frac{1}{2}$ 磅重末端斷面積為 2 平方吋)自離土面一呎高之處自由下擊 25 次將筒頂之土沿頂邊刮去稱筒中土重取一小部份烘乾之以求其濕份更更水份再作試驗直至濕土重量復至下降趨勢時止加前描繪曲線(以用密度 $\frac{\text{磅}}{\text{立方呎}}$ 為縱坐標)以求最好水份

(4) 黏結力試驗

將通過 No.40 篩網之土烘乾後加最好水份均勻混和之封置濕口玻璃瓶內稱出一小部份用製模機壓成試模(壓力為 132 公斤/平方糎)量其高度不足 25 mm 則增加超過 25 mm 則減少求得適宜以壓成 25 mm 高之試模所需之土重製成 6 個以上而高度恰為 25 mm 之試模晾乾 20 小時後置於電爐中以 110°C 之恒溫烘 4 小時取出試模立即置於乾燥器(Decicator)

內冷卻20分鐘然後用張度試驗機試驗其黏結力
(即試模開始發生裂縫時就壓打次數)

(5) 機械分析

權出100克土樣本置No.10篩網上其下順次為No.20 No.40, No.60, No.100, 及No.200篩網用搖篩機搖篩後再通過各篩網及遺留於各篩網上之重量.

(6) 乾濕試驗

一如黏土試驗之手續製成試模權得其烘乾後之重量再依下列手續重複為之

(a) 將試模於室溫下浸入水中16小時

(b) 取出試模以300°F左右之溫度就電爐中烘8小時

(c) 取出試模使其在空氣中冷卻

(d) 用硬毛刷輕輕刷之

(e) 權其重量

原來乾土重與最後量得之乾土重之差值即為試驗之結果.

VII. 試驗結果:—

試驗結果可參閱表(I)至表(VII)及圖(I)至圖(IX)

表(I)

機械分析 (Mechanical Analysis)

通過	遺留	百分數
— — —	№10 篩網	1.00
№10 篩網	〃 20 〃 〃	8.38
〃 20 〃 〃	〃 40 〃 〃	37.53
〃 40 〃 〃	〃 60 〃 〃	35.89
〃 60 〃 〃	〃 100 〃 〃	11.05
〃 100 〃 〃	〃 200 〃 〃	3.30
〃 200 〃 〃	— — —	2.85

總和 = 100.00

粒徑 (粍)	較粗者 (百分數)	較細者 (百分數)
2.00	1.00	99.00
0.48	9.38	90.62
0.42	46.91	53.09
0.25	82.80	17.20
0.149	93.85	6.15
0.074	97.15	2.85

註：樣品總重 = 100.00克

表(Ⅲ)

液體限度 (Liquid Limit)

樣品	罐及濕土重量	罐及乾土重量	罐重	乾土淨重	水份重量	水份百分率
燒紅土	162.21	155.78	145.45	10.33	6.43	62.24
加2%石灰	32.50	30.05	26.20	3.85	2.45	63.80
加4%石灰	31.80	29.80	26.90	2.90	2.00	68.50
加6%石灰	30.90	28.80	25.80	3.00	2.10	70.00
加8%石灰	31.40	29.00	25.80	3.20	2.40	74.90
加10%石灰	33.45	29.80	26.80	3.00	2.30	76.70

表(Ⅳ)

塑性指數 (Plasticity Index)

樣品	液體限度(%)	塑性限度(%)	塑性指數(%)
燒紅土	62.24	58.25	3.99
加2%石灰	63.80	45.07	18.73
加4%石灰	68.50	47.07	21.43
加6%石灰	70.00	49.11	20.89
加8%石灰	74.90	51.14	23.76
加10%石灰	76.70	54.60	22.10

表(Ⅲ)

塑性限度(Plastic Limit)

樣品	碟重	罐及濕土重量	罐及乾土重量	乾土重	水份重量	水份百分率
燒紅土	115.10	127.76	123.10	8.00	4.66	58.25
燒紅土加2%石灰	25.75	28.07	27.35	1.60	0.72	45.00
	43.60	46.60	45.68	2.08	0.92	44.30
	45.04	48.76	47.60	2.56	1.16	45.30
	44.36	46.90	46.11	1.73	0.79	45.70
					平均	45.07
燒紅土加4%石灰	26.45	29.75	28.74	2.29	1.01	44.15
	26.00	28.10	27.40	1.40	0.70	50.00
					平均	47.07
燒紅土加6%石灰	26.00	28.16	27.32	1.32	0.84	63.63
	26.00	27.70	27.20	1.20	0.50	41.70
	26.20	28.90	28.13	1.83	0.87	47.50
	26.00	29.53	28.45	2.45	1.08	44.10
	25.75	29.20	28.07	2.32	1.13	48.70
					平均	49.11
燒紅土加8%石灰	26.45	29.41	28.37	1.92	1.04	54.16
	26.60	28.00	27.55	0.95	0.45	47.40
	26.30	29.63	28.70	1.80	0.93	51.70
	26.45	29.58	28.49	2.04	1.09	53.30
					平均	51.14
燒紅土加10%石灰	26.30	27.60	27.10	0.80	0.50	62.50
	26.80	29.26	28.47	1.67	0.79	47.30
	26.60	30.16	28.86	2.36	1.20	54.00
					平均	54.60

表(V)

純土之最好水份

混和水份 (%)	土之容積 (C.C.)	鐵盒重 (克)	濕土及鐵盒重 (克)	濕土重 (克)	乾土及鐵盒重 (克)	乾土重 (克)	水份重量 (克)	濕份 (%)
5	21.14	43.65	70.57	26.92	66.72	23.07	3.85	16.68
10	〃	43.50	72.00	28.50	67.30	23.80	4.70	19.74
12	〃	45.14	73.25	28.11	68.25	23.11	5.00	21.63
14	〃	44.35	73.50	29.15	67.65	25.50	5.65	24.04
16	〃	46.20	74.85	28.65	68.97	22.77	7.88	34.60
18	〃	49.90	79.80	29.90	73.35	23.45	6.45	27.50
20	〃	49.30	79.50	30.20	72.53	23.23	6.97	30.00
25	〃	48.10	81.65	33.75	72.80	24.70	9.05	36.60
30	〃	44.60	80.20	35.60	69.90	25.30	10.30	40.70
35	〃	45.14	84.50	39.36	71.95	26.81	12.55	46.81
40	〃	26.00	66.70	40.70	53.40	27.40	13.30	48.54
45	〃	48.10	88.70	40.60	74.55	26.45	13.15	49.72

表(Ⅵ) 加2%石灰後之最好水份

混和水份(%)	土之体積(cc)	罐重(克)	濕土及罐重量(克)	濕土重(克)	乾土及罐重量(克)	乾土重(克)	水份重量(克)	濕份(%)
20	21.14	26.30	53.15	26.85	46.95	20.65	6.20	30.01
25	〃	26.80	56.26	29.46	48.37	21.57	7.89	36.56
30	〃	25.80	56.80	31.00	47.50	21.70	9.30	42.86
35	〃	26.00	62.80	36.80	50.95	24.95	11.85	47.50
40	〃	26.60	65.10	38.50	53.14	26.54	11.96	45.07
45	〃	26.20	66.35	40.15	52.95	26.75	13.40	50.10
50	〃	48.10	85.45	37.35	71.06	23.86	13.49	56.34

表(Ⅶ) 加4%石灰後之最好水份

混和水份(%)	土之体積(cc)	罐重(克)	濕土及罐重量(克)	濕土重(克)	乾土及罐重量(克)	乾土重(克)	水份重量(克)	濕份(%)
20	21.14	44.60	74.40	29.80	67.46	22.86	6.94	30.36
25	〃	49.90	84.75	34.85	75.55	25.65	9.20	35.97
30	〃	43.65	78.95	35.30	68.40	24.75	10.55	42.62
35	〃	46.20	86.55	40.35	73.64	27.44	12.91	43.77
40	〃	44.45	84.10	39.65	71.55	27.10	12.55	46.31
45	〃	49.30	88.60	39.30	75.10	25.80	13.50	52.33

表(VIII) 加6%石灰後之最好水份

混和水份(%)	土之體積(c.c.)	罐重(克)	濕土及罐重(克)	濕土重(克)	乾土及罐重(克)	乾土重(克)	水份重量(克)	濕份(%)
20	21.14	25.75	57.03	31.28	49.65	23.90	7.38	30.89
25	"	26.80	57.62	30.82	49.40	22.60	8.22	36.38
30	"	26.00	59.37	33.37	49.55	23.55	9.82	41.70
35	"	26.30	65.00	38.70	52.40	26.10	12.60	48.28
40	"	26.20	65.60	39.40	52.17	25.97	13.43	51.33
45	"	25.80	65.55	39.75	51.37	25.57	14.18	55.45
50	"	26.60	65.30	38.70	51.00	24.40	14.30	58.61

表(IX) 加8%石灰後之最好水份

混和水份(%)	土之體積(c.c.)	罐重(克)	濕土及罐重(克)	濕土重(克)	乾土及罐重(克)	乾土重(克)	水份重量(克)	濕份(%)
25	21.14	44.38	74.91	30.53	66.71	22.31	8.21	36.80
30	"	26.00	63.98	37.98	52.78	26.78	11.20	41.82
35	"	26.90	64.80	37.90	52.57	25.67	12.23	47.69
40	"	26.24	65.53	39.29	52.35	26.11	13.18	50.49
45	"	43.50	82.76	39.26	68.89	25.39	13.87	54.63
50	"	44.98	84.08	38.97	70.28	25.30	13.80	54.93
55	"	45.14	83.10	37.96	68.48	23.34	14.62	62.64

表(X) 加10%石灰後之最好水份

設定水份(%)	土之體積(c.c.)	罐重(克)	濕土及罐重(克)	濕土重(克)	乾土及罐重(克)	乾土重(克)	水份重量(克)	濕份(%)
25	21.14	26.00	56.45	30.45	48.12	22.12	8.33	37.65
30	"	48.10	87.05	38.95	74.80	26.70	12.25	45.88
35	"	49.30	86.01	36.71	74.50	25.20	11.51	46.68
40	"	44.60	84.55	39.95	71.00	26.40	13.55	51.33
45	"	46.20	85.36	39.16	71.53	25.33	13.83	54.59
50	"	44.45	83.25	38.80	68.02	24.47	14.33	58.56
55	"	43.65	81.35	37.70	67.21	23.56	14.14	60.02

表(XI) 最好水份(O.M.C.)

	燒紅土	加2%石灰	加4%石灰	加6%石灰	加8%石灰	加10%石灰
最好水份(%)	48.1	48.5	48.0	51.0	50.9	52.2

表 (XII)

黏結力 (Cementing Value)

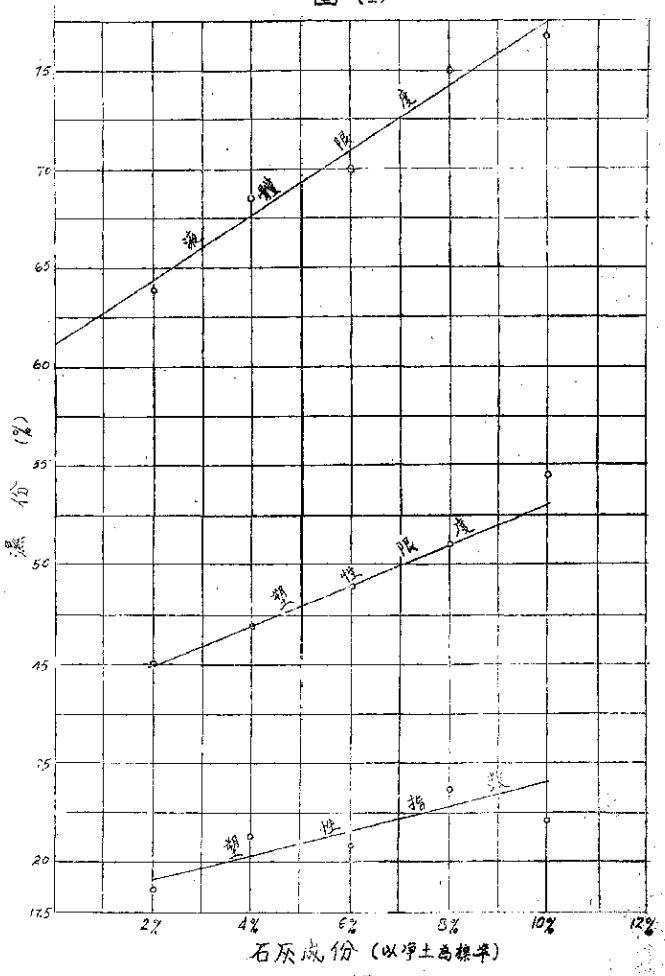
	實驗組	0%石灰	2%石灰	4%石灰	6%石灰	8%石灰	10%石灰
黏結力	1	98	100	90	212	210	387
	2	112	119	128	232	362	402
	3	74	127	131	234	385	416
	4	69	97	108	190	376	·····
	5	115	·····	·····	·····	·····	·····
	6	76	·····	·····	·····	·····	·····
	平均	91	111	114	217	288	402

表 (XIII)

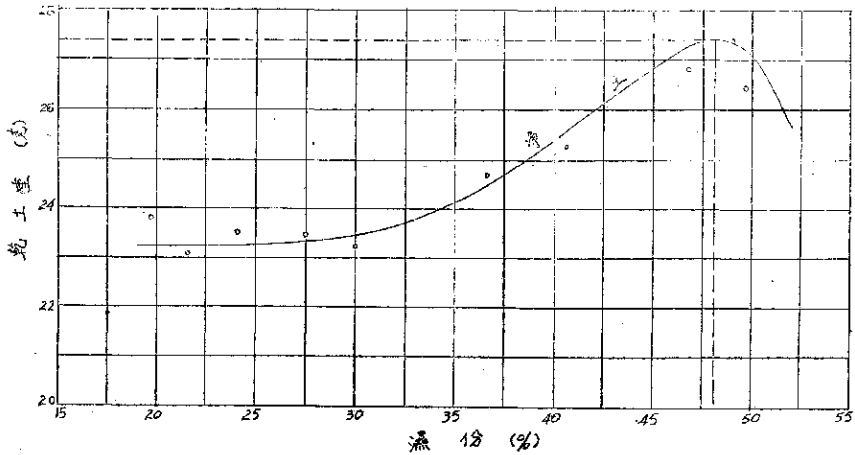
乾濕試驗 (Wetting and Drying)

樣品	原來乾土淨重	乾濕循環 I			乾濕循環 II			乾濕循環 III			乾濕循環 IV		
		乾土重	損失土重	重量%	乾土重	損失土重	重量%	乾土重	損失土重	重量%	乾土重	損失土重	重量%
0%石灰	16.96	16.80	0.16	0.94	16.72	0.24	1.41	16.61	0.35	2.06	16.50	0.46	2.71
2%石灰	17.78	17.69	0.09	0.51	17.55	0.23	1.30	17.50	0.28	1.59	17.40	0.38	2.13
4%石灰	16.95	16.90	0.05	0.29	16.80	0.15	0.89	16.66	0.29	1.70	16.61	0.34	2.01
6%石灰	16.99	16.85	0.04	0.28	16.66	0.23	1.36	16.60	0.29	1.70	16.57	0.32	1.91
8%石灰	17.20	17.10	0.10	0.59	16.98	0.22	1.28	16.92	0.28	1.63	16.90	0.30	1.74
10%石灰	16.87	16.81	0.07	0.41	16.75	0.12	0.71	16.71	0.16	0.94	16.69	0.18	1.07

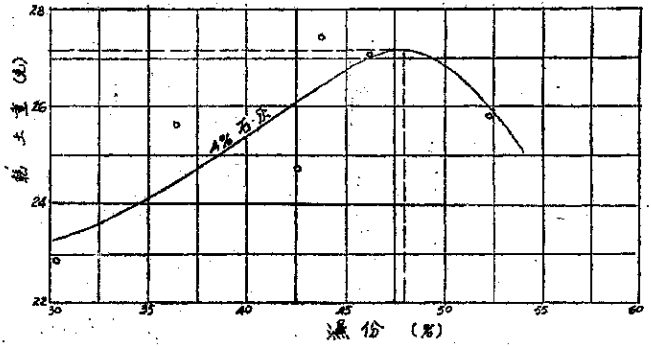
图 (I)


强度
塑性限度
塑性指数
含水量 (%)
75
70
65
60
55
50
45
35
20
17.5
2%
4%
6%
8%
10%
12%
石灰成份（以净土为标准）

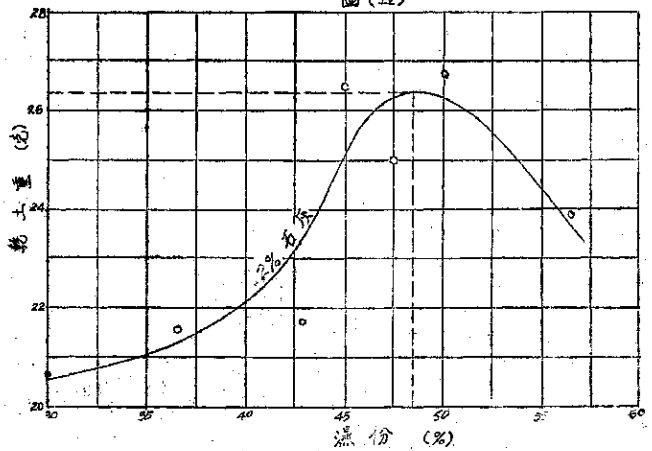
圖(1)



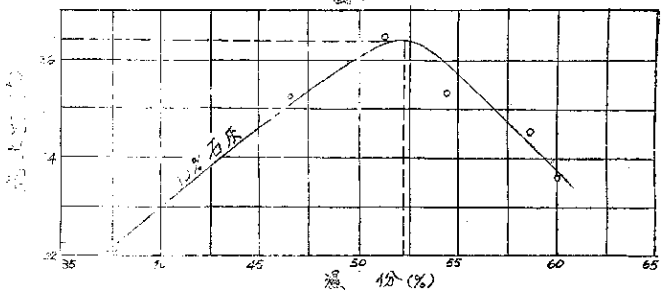
图(Ⅲ)


28
26
24
22
30
35
40
45
50
55
60
A%方法
湿份 (%)

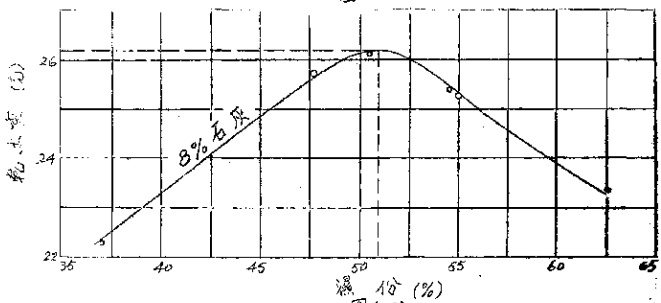
图(Ⅳ)


28
26
24
22
20
30
35
40
45
50
55
60
湿份 (%)

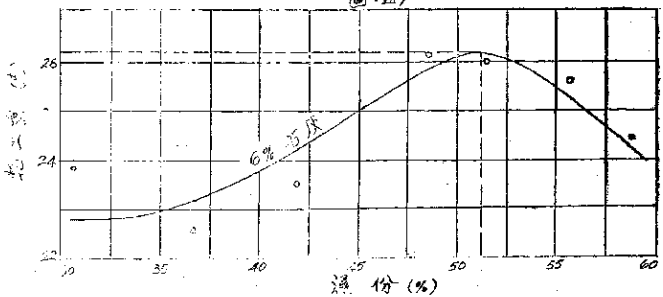
图(V)


10%石灰
35
40
45
50
55
60
65
溶 份(%)

图(VI)


8%石灰
26
24
22
35
40
45
50
55
60
65
溶 份(%)

图(VII)


6%石灰
26
24
22
30
35
40
45
50
55
60
溶 份(%)

圖(五四)

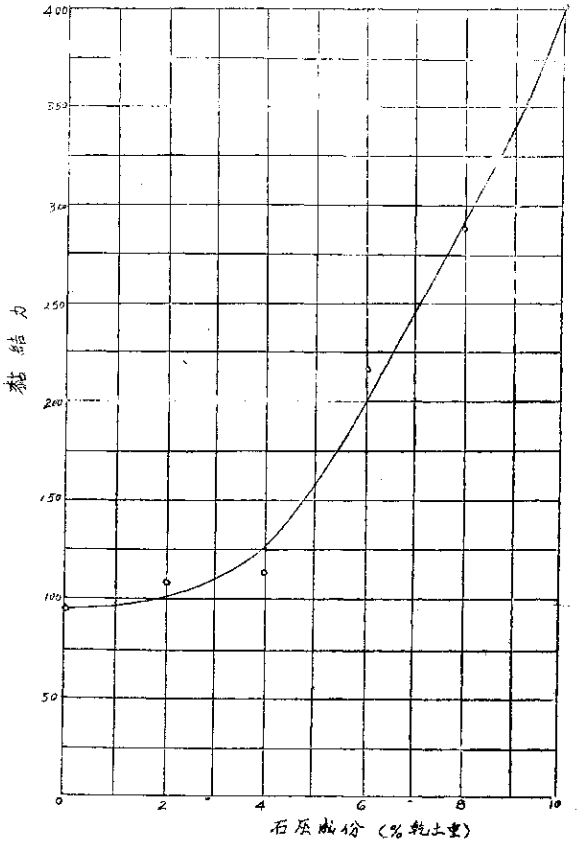
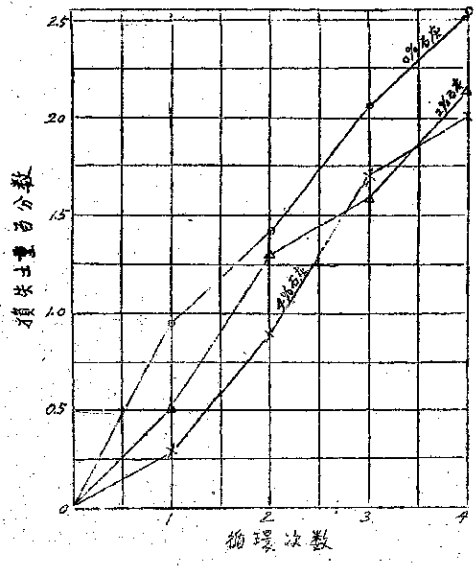
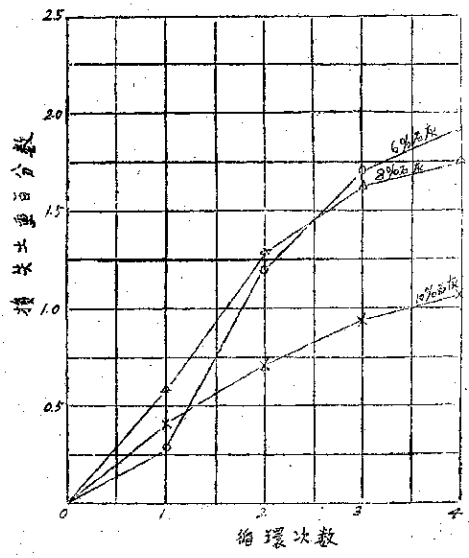


圖 (IV)


2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
1
2
3
4
0%石灰
2%石灰
4%石灰
損失土重百分數
循環次數


2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
1
2
3
4
6%石灰
2%石灰
10%石灰
損失土重百分數
循環次數

Ⅷ. 討論事項:—

(1) 液体限度. 如圖所示石灰成份增加則液体限度亦增其關係為一直綫

(2) 塑性限度 其結果與液體限度相似

(3) 塑性指數 結果亦然

(4) 最好水份 本試驗未照規定標準而以製模機代替葡氏儀器因壓程度不同結果自異用葡氏儀器作試驗時其規定壓程度為5磅之推於高度一吋處自由下墜25次其與土之接觸面積為2平方吋而本實驗所用之壓力則為 132 Kg/cm²

推子下墜之能量 = 5.5×1×12 = 66 吋磅

土壤受面積為2平方吋

如不計受力面積下之土與其他部份之土間之磨擦力並假定應力為 p 磅/平方吋, 收縮為 δl 吋; 則

$$2p \times \delta l = 66$$

設試模所受之應力為 $132\ Kg/cm^2 = 132 \times 2.2 \times (2.54)^2 = 1365.56\ \#/in^2$

則 $\delta l = \frac{66}{2 \times 1365.56} = 0.0241''$

故在推子第25次下墜時土壤下縮為 0.0241 吋此時之壓程度始相當於壓力 132 Kg/cm². 但本試驗所施應力不同故與葡氏試驗大同而小異

因泥柱之体積太小僅 21.14 c.c. 故差誤畧大以此種試驗結果描成之各點乃不能在一平滑曲綫上此必然之事實也

(5) 黏度試驗 本試驗之主要目的為求適當之石灰量其與燒紅土混合後須具有足夠之黏結碎石或礫石之能力以修築泥碎石之路面. 依 A.B.S.H.O. 之標準用作水結碎石路 (Water-Bound Macadam) 之碎石研磨為石粉後其黏結力至少須在 25 以上方可適用 惟黏結力與壓

程度而異；即同樣材料，緊密程度愈大，其黏結力亦愈大。普通建築水結碎石路所用之汽輾係重10—15噸，而吾國修築泥結碎石路所用之汽輾最重者亦不及10噸，為適合此種情形，則碎石路面黏合料之黏結力最少必須50才能利用而無虞，由本試驗之結果知燒紅土本身即具有足夠之黏結力。

(6) 乾濕試驗。通常泥結路面及土路受天氣之影响甚大，本試驗之目的即為求燒紅土本身及其加石灰後之穩定性(Stability)，換言之，即抵抗天氣變更之能力。試驗之步驟係依據一九三六年美國公路研究學會年刊(Higway Research Board, 1936)第322頁麥尔士(W. H. Mills)之"以浮灰穩定土路試驗結果报告"。惟乾濕循環(Wetting and Drying Cycle)之次數，決定由15減為4，蓋因泥結碎石路面之土料，僅用作黏料而非鋪料，無需試驗15次之多也。

由本試驗之結果就穩定性而言燒紅土已適宜于修築泥結碎石路面之用，惟加石灰後則更呈穩定。加8%及10%石灰後其穩定性尤為明顯。(參閱圖IV) 故試驗之結果尚合理論脗合。

(7) 結論　我國以泥土結合碎石路面，行之已久，本室試驗，尚係初次，以此次經驗所知，泥結石卒石路面建築之方法，在理論上，尚屬可行。但各地土質不同，其黏性自亦各異，以各種不同之泥土，黏結碎石，若無試驗，似非妥當。本試驗以紅土為根據，僅可限制於西南產生紅土区域之中，若他種土質，自應一一加以研究，以切實際。惟可斷言者，此種泥土黏結料，必須具有兩種重要性，一為黏結性，一為水化性(Slaking)。蓋黏結材料，有黏力而無水化作用者，方足為路面建築之材料。普通石灰材料混入泥土之中，可以抵抗水化，為用極多。至未燒過之紅土試驗當於下期月刊發表，以供研究。

公路月刊

公路工程研究刊物

第一卷 第二期　　民國廿八年三月出版

目　　錄

公路研究實驗室
昆明拓東路迤西會館

富勒氏理想曲綫簡述(Fuller's Ideal Curve)

(一)富勒氏理想曲綫(Fuller's Ideal Curve)

土壤顆粒分析，與其密度之關係，異常重要，蓋顆粒大小與其數量，影響土壤之空隙極大。土壤大小顆粒之數量應如何分配，始可得其最大之密度之問題，在公路工程方面，乃為一最堪注意之研究。美國富勒氏，經極久之探討與試驗，得一極有價值之定論。據彼所云：『級配曲綫(Gradation Curve)愈近拋物綫時，則其密度愈大。』故以拋物綫為其理想中最佳之級配曲綫。此種曲綫定名曰富勒氏理想曲綫。

茲假設有某類土壤一種(名之為甲種)，其機械分析(Mechanical Analysis)用下列各種鋼線篩：

$\frac{3}{4}''$，$\frac{3}{8}''$，4號，8號，14號，28號，49號，100號，及 200號；其最大篩孔為18·85mm，通過$\frac{3}{4}''$篩之顆粒為100%，於是：

設 Y＝通過各種鋼篩之顆粒百分率

X＝每種篩孔之大小以mm計

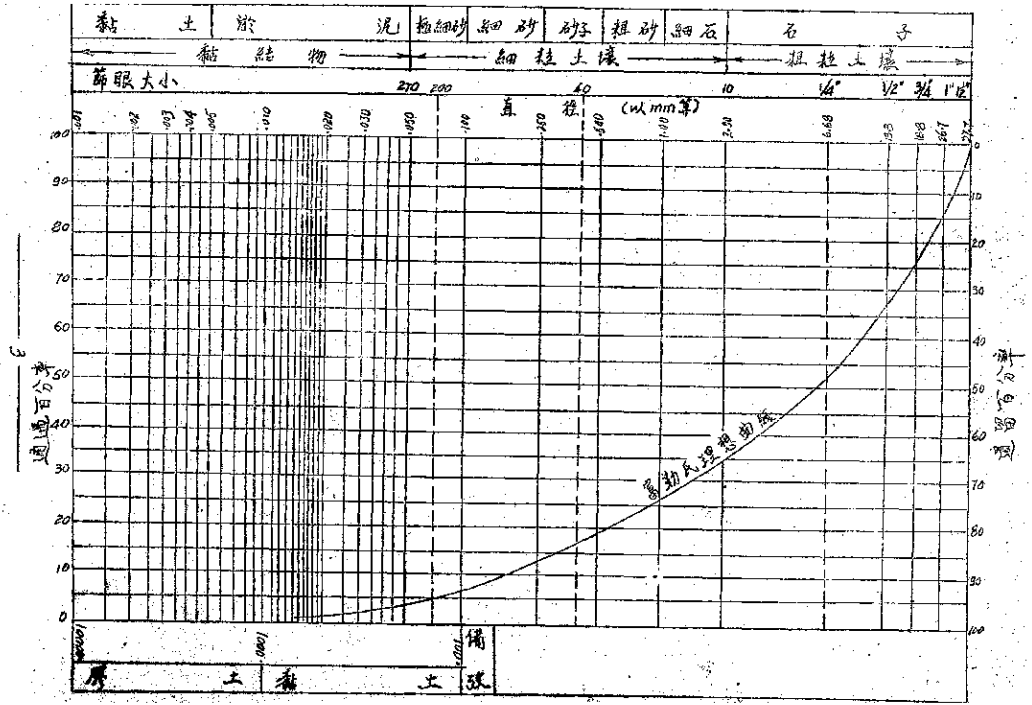
拋物綫之公式為 $Y^2=PX$ (P為係數)

在$\frac{3}{4}''$篩上通過之顆粒為100%，其篩孔為18·85mm.

$$\therefore \quad P=\frac{100\times100}{18\cdot85}=52\cdot7$$

$$\therefore \quad Y^2=52\cdot7X$$

故由上式得該種土壤理想曲綫之公式，根據此種公式，計算其級配之分析如下表：


黏土
淤泥
極細砂
細砂
砂子
粗砂
細石
石子
黏結物
細粒土壤
粗粒土壤
篩眼大小
210 200
40
10
1/4"
1/2"
3/4"
1"
直徑
(以mm算)
粒子之百分數
粒子之百分數
黏土
黏土
說明

富勒氏理想曲綫數值表(專指此甲種土壤而言)

鋼篩號數	通過百分率	遺留百分率	遺留每篩上百分率
3/4"	100.0	0.0	0.0
3/8"	70.8	29.2	29.2
4號	49.8	50.2	21.0
8號	35.2	64.8	14.6
14號	24.8	75.2	10.4
28號	17.7	82.3	7.1
48號	12.4	87.6	5.3
100號	8.8	91.2	3.6
200號	6.2	93.8	2.6

由上表中各數值，可用對數格紙畫一曲綫，此曲綫即為該種土壤之理想曲綫，如附圖.

目前公路路面工程，其路層及面層之設計，多數利用此種理論，以為設計之張本. 自蘭氏試驗 (Proto's Compaction Test) 發明，及羊蹄路滾 (Sheep's-Foot Roller) 問世以後，富勒氏理想曲線，用途尤多，而韋毛氏理論(Weymouth's Theory)更能就理論之推算，以演證之. 茲簡述於此，以為公路工程界之介紹焉.

公路豎曲線之設計

在二坡度線交接處，為避免方向突然變更，以求行車安適及縱面美觀起見，通常凡公路坡度變更代數差值大於百分之二者，宜有豎曲線之設置。公路豎曲線之形式，普通為拋物線式；因其垂距計算及設置實施，均較圓曲線為簡易，故多採用。豎曲線形式，多為對稱，但偶亦有因地勢情形，欲使豎曲線與地形配合，以減少土方或坡度，而改用不對稱形式。

豎曲線性質，與平行曲線迥然不同，茲列舉如下：

1. 豎曲線距離，均係按水平施測；換言之，豎曲線長度及切線距離，雖較在水平線上者為長，但通常坡角不大，故皆假定與在水平線上者相等，此層與平曲線測距不同。

2. 在理論上，拋物線縱距，宜由切線垂直量至拋物曲線，因相差甚微，又為施測便利便起見，故實際上，拋物線縱距(切線支距)，皆按垂直水平線距離計算。

3. 對稱拋物曲線，將P.I.至長弦中點(M)縱距等分為二(e)，等這各點縱距皆相等矣。

4. 在凸形豎曲線，曲線高度為切線高度與縱距之差；在凹形豎曲線，曲線高度為切線高度與縱距之和。

5. 計算各點縱距公式：

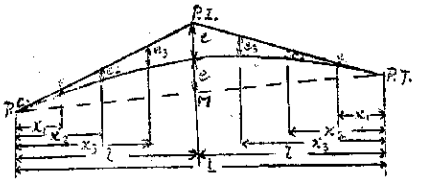
$$\text{縱距} = \left(\frac{x}{l}\right)^2 e$$

e = 最大縱距(公尺)

x = P.C.或P.T.至樁號距離(公尺)

l = 切線距離(公尺) = $\frac{1}{2}L$

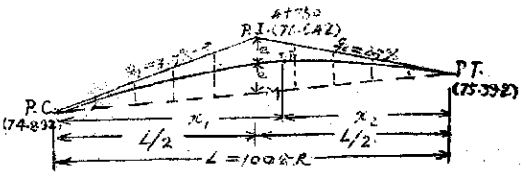
L = 豎曲線長度(公尺)



設計豎曲線步驟，最先宜在中心線縱面圖上(地面線)，作各種假定之坡度線，以求最經濟之挖填。但遇複雜地形，則各橫斷面非平準面，不能由中心線判斷挖填之平衡，故需重覆修改，始可得一經濟之土方。選擇各豎曲線交點(P.I)，最好使在整站或半站上，俟全部坡度線確定後，再個別計算。由坡度之代數差值及規定視距標準，以求各豎曲線之長度，然後分為若干相等部份，計算各樁號距及最低或最高點樁號及高度。

1. 對稱豎曲線

(a) 公式



$G = g_1 - g_2 =$ 兩坡度代數差值(%) (上坡為正下坡為負)

$L =$ 豎曲線長度(公尺)

$P.I.$ 高度 $= P.C.$ 高度 $+ g_1 \frac{L}{2}$

$P.T.$ 高度 $= P.C.$ 高度 $+ g_1 \frac{L}{2} + g_2 \frac{L}{2} = P.C.$ 高度 $+ \frac{L}{2}(g_1 + g_2)$

M 高度 $= \frac{P.C.\text{高度} + P.T.\text{高度}}{2} = P.C.\text{高度} + \frac{L}{4}(g_1 + g_2)$

$e = \frac{1}{2}(P.I.\text{高度} - M\text{高度}) = \frac{1}{2}\left[P.C.\text{高度} + g_1\frac{L}{2} - P.C.\text{高度} - \frac{L}{4}(g_1 - g_2)\right] = \frac{1}{2}\left(g_1\frac{L}{2} - g_1\frac{L}{4} - g_2\frac{L}{4}\right) = \frac{L}{8}(g_1 - g_2)$

$= \frac{GL}{8}$

$T.P.$ = 轉點(豎曲線上最高或最低點)

$T.P.$ 高度 $= g_1 x_1 - \left(\frac{x_1}{l}\right)^2 e \qquad l = l_1 = l_2 = \frac{L}{2}$

$\frac{d(T.P.\text{高度})}{dx} = 0 \qquad g_1 - \frac{2x_1 e}{l^2} = 0$

$x_1 = \frac{g_1 l^2}{2e} = \frac{g_1\left(\frac{L}{2}\right)^2}{2\frac{GL}{8}} = \frac{g_1 L}{G} \qquad x_2 = \frac{g_2 L}{G}$

$T.P.$ 高度 $= g_1 \frac{g_1 L}{G} - \frac{\left(\frac{g_1 L}{G}\right)^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} \frac{GL}{8} = \frac{g_1^2 L}{G} - \frac{g_1^2 L}{2G}$

$= \frac{g_1^2 L}{2G}$ 或 $\frac{g_2^2 L}{2G}$

(b) 例題

$P.I. = 4+750.000 \qquad P.I.$ 高度 $= 75.542$

$g_1 = +3.5\% \qquad g_2 = -2.5\%$

$L = 100$ 公尺 $\qquad P.C. = 4+700.000$

$P.T. = 4+800.000$

$e = \frac{GL}{8} = \frac{0.06 \times 100}{8} = 0.75$ 公尺

轉點： $X_2 = \frac{g_2 L}{G} = \frac{0.025 \times 100}{0.06} = 41.667$ 公尺

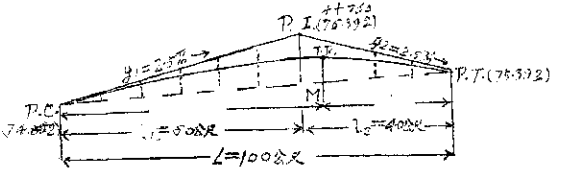
樁號 $= 4 + 758.333$

高度 $= \frac{g_2^2 L}{2G} = \frac{0.025^2 \times 100}{2 \times 0.06} = 0.521$

樁號	說明	切線高度	曲線高度 (坡度高度)	$\frac{x}{L}$	$\left(\frac{x}{L}\right)^2$	$\left(\frac{x}{L}\right)^2 h_c$ (−)
4+700.000	P.C.	74.892	74.892	0	0	0
4+710.000		75.242	75.212	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{25}$	0.030
4+720.000	+3.5%	75.592	75.472	$\frac{2}{5}$	$\frac{4}{25}$	0.120
4+730.000		75.942	75.672	$\frac{3}{5}$	$\frac{9}{25}$	0.270
4+740.000		76.292	75.812	$\frac{4}{5}$	$\frac{16}{25}$	0.480
4+750.000	P.I.	76.642	75.892	1	1	0.750
4+758.333	T.P.	76.434	75.913			0.521
4+760.000		76.392	75.912	$\frac{4}{5}$	$\frac{16}{25}$	0.480
4+770.000		76.142	75.872	$\frac{3}{5}$	$\frac{9}{25}$	0.270
4+780.000	−2.5%	75.892	75.772	$\frac{2}{5}$	$\frac{4}{25}$	0.120
4+790.000		75.642	75.612	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{25}$	0.030
4+800.000	P.T.	75.392	75.392	0	0	0

2、不對稱豎曲線

(a) 公式



P.I.高度 = P.C.高度 + $g_1 l_1$

P.T.高度 = P.I.高度 + $g_2 l_2$ = P.C.高度 + $g_1 l_1 + g_2 l_2$

M高度 = P.C.高度 + $\frac{l_1}{l_1+l_2}$(P.T.高度 − P.C.高度) =

P.C.高度 + $\frac{l_1}{l_1+l_2}(g_1 l_1 + g_2 l_2)$

$e = \frac{1}{2}$(P.I.高度 − M高度) = $\frac{1}{2}\Big[$P.C.高度 + $g_1 l_1$ − P.C.高度

$- \frac{l_1}{l_1+l_2}(g_1 l_1 + g_2 l_2)\Big] = \frac{l_1 l_2}{2(l_1+l_2)} G = \frac{l_1 l_2}{2L} G$

T.P. = 轉點

T.P.高度 = $g_1 x_1 - \left(\frac{x_1}{l_1}\right)^2 e$ $\qquad \frac{d(\text{T.P.高度})}{dx} = 0$

$g_1 - \frac{2x_1 e}{l_1^2} = 0 \qquad x_1 = \frac{g_1 l_1^2}{2e} \qquad x_2 = \frac{g_2 l_2^2}{2e}$

T.P.高度 = $g_1 \frac{g_1 l_1^2}{2e} - \left(\frac{\frac{g_1 l_1^2}{2e}}{l_1}\right)^2 e = \frac{g_1^2 l_1^2}{2e} - \frac{g_1^2 l_1^2}{4e}$

$= \frac{g_1^2 l_1^2}{4e}$ 或 $\frac{g_2^2 l_2^2}{4e}$

(b) 例題

l_1 = 60公尺 $\qquad l_2$ = 40公尺

P.I. = 4+760.000 $\qquad$ P.I.高度 = 76.392

$g_1 = +2.5\%$　　$g_2 = -2.5\%$

$$c = \frac{g_1 - g_2}{2L} G = \frac{5.0 \times 40}{2 \times 100} \times 0.05 = 0.5 \text{公尺}$$

轉點，　$y_3 = \frac{g_1 L^2}{2c} = \frac{0.025 \times 40^2}{2 \times 0.5} = 33.333$公尺

轉點 $= 4+755.667$

$$\text{高度} = \frac{g_1^2 L^2}{4c} = \frac{0.025^2 \times 40^2}{4 \times 0.5} = 0.417 \text{公尺}$$

樁號	說明	切線高度	曲線高度（坡度高度）	$\frac{x}{L}$	$\left(\frac{x}{L}\right)^2$	$\left(\frac{x}{L}\right)^2 c$ (−)
4+700.000	P.C.	74.591	74.893	0	0	0
4+710.000		75.092	75.109	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	0.017
4+720.000	+2.5%	75.593	75.526	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0.067
4+730.000		76.092	75.892	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{16}$	0.150
4+740.000		75.893	75.625	$\frac{4}{4}$	$\frac{4}{4}$	0.267
4+750.000		76.142	75.725	$\frac{5}{4}$	$\frac{25}{16}$	0.417
4+760.000	P.I.	75.392	75.792	1	1	0.400
4+755.667	T.P.	75.225	75.808			0.417
4+770.000		75.142	75.892	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{16}$	0.338
4+780.000	−2.5%	75.892	75.742	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{4}$	0.150
4+790.000		75.642	75.604	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	0.038
4+800.000	P.T.	75.392	75.392	0	0	0

韋毛氏水泥混凝土設計之檢討

(一)引言

近十年來，土壤研究，漸露頭角，工程上各種理論之改進，日漸其多。例如水泥混凝土之設計，自一九三三年韋毛氏理論(Weymouth's Theory)宣讀之後，研究不乏其人。按設計水泥混凝土，原有三項重要條件，一為力量問題(Strength of Concrete)，二為澆築工作性問題(Placing and Workability of Concrete)，三為經濟問題(Economy)。關於第一項，則有水灰比率原理(Water-Cement Ratio Theory)以求其力量之大小，關於第二項，則有堆泥值(Slump)試驗，以求工作性之便利。關於第三項，如拌合洋灰數量愈少，則其造價亦愈廉。韋毛氏理論者，乃設計沙石大小數量，而求其最宜之成份，以得其最佳之工作性，更能使水泥及沙石有密切之結合也。本篇提出研究之用意有三如下：

(甲)證明韋毛氏理論是否有改良水泥混凝土之可能

(乙)利用韋毛氏理論可否減輕水泥成份而仍得相同之力量

(丙)尋求韋毛氏理論與水灰比率理論，在設計方面，有否不同之点

按照上述三点加以研究，非實際試驗，不足以言究竟，而試驗工作又非三五日所可完成，茲謹先將韋氏論文介紹于此，以供公開之研究。

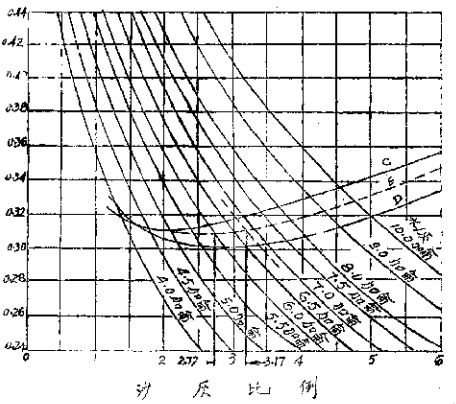
(二)韋毛氏設計洋灰混凝土實施之錄述(Engineering News Record Dec. 29 1938)

美國加利佛尼亞省落杉磯城聯合車站之建築，所有水泥工程，完全由韋毛氏代為設計，其澆築之混凝土，共計為五萬立方碼，包括樑柱板牆(Beams, Columns, Slabs, and Walls)等項。所用之水泥與沙石之比率，有1:4½ 1:6.6 1:12 及 1:16 諸種。除沙石成份，須經特別設計及分配之外，其拌合澆築之方法以及材料之種類，均無大異。惟水泥及其水份之數量，得以減低，澆築工作性(Degree of Workability of Concrete)可以增強。所用石子，共有三種，一為四號石子(No. 4 Pea Gravels)其大小

在四号篩及$\frac{3}{8}$吋篩之间。二為三号石子(No.3 Gravels)，其大小在$\frac{3}{8}$吋及1吋篩之间。三為二号石子(No.2 Gravels)，其大小在1吋及$1\frac{1}{2}$吋篩之间。三種石子之外尚有沙料，曰D C E三種。D種為大小顆粒成份級配適宜者(Good Grading)。E種為C種摻拌細沙而配合者，其設計之步驟，共分数步如下：

(甲)沙灰漿比率(Sand-Cement Ratio)之設計

在沙灰比率設計之前，在規定水泥混凝土之堆沈值(Slump)，據韋毛氏所述，在修築柱模之時，一二吋微覺略小，為易於澆築起見，在增高至六吋為宜。由於此種之規定，韋毛氏經試驗结果繪製漿隙曲線圖(Mortar-Voids Curve)如下。



上述之漿隙圖，乃用D C E三種沙料及六吋堆沈值并經試驗後所繪製者。如沙料改变，則此圖亦必隨之而改易。例如修築公路路面之時，堆沈值以四吋者為宜，此圖自不可用。

韋毛氏設計聯合車站之各種水泥建築物，即用上圖，以求沙灰之比率。例如規定堆沈值(Slump)為六吋，沙料為E種，每袋水泥加水6加倫，於是由其漿隙圖中，得沙灰比率值為2.72，按照每袋水泥之絕對容積(absolute Volume)為0.48立方呎，故沙料之絕對容積應為1.306立方呎(0.48×2.72=1.306)每六加倫水折合0.803立方呎，是以每袋水泥，可以築成砂灰漿二立方九立方呎，其分配如下：

水泥	0.480立方呎
沙	1.306立方呎
水	0.803立方呎
總共	2.589立方呎

(乙)石子數量成份之設計

石子數量成份之設計，即為韋毛氏理論之推行，其主要理論，即大石子間之空隙，專為次小石子所填塞，其所餘之空隙，則又為再小石子所填塞，但填塞之石子之直徑，不得大於其空隙之距離，否則大小石子，必生衝突之現像，是謂之為顆粒衝突(Particle Interference)，為避免此種衝突起見，韋毛氏利用下列之公式，以求分配大小石子適宜數量之根據：

$$t=\left[\left(\frac{d_0}{d_2}\right)^{\frac{1}{3}}-1\right]$$

在上式中，t為空隙之距離，d_0為大石子絕對容積之成份(The percentage of the total Volume occupied by the Solids)，d_2為次小石子絕對容積之成份，D為大石子之平均直徑。

若大石子及小石子直徑之比例為一与二，則由上式可以演化為下式：

$$d_2=0.296\ d_0$$

韋毛氏在設計聯合車站工程時，其石子之d_0值，平均為0.615，故由上式得d_2值，為0.296×0.615=0.182，所謂d_2值者，即次小石子與其較大石子配合成份之限制也。

章毛氏在設計時所用之石子，為No.3及No.4兩種。其顆粒分析之結果，列入表(一)之上部，其絕對容積，則列於下部。

表(一)各種石子容積計算表

石子尺寸	No.8－No.4	No.4－$\frac{3}{8}''$	$\frac{3}{8}''$－$\frac{3}{4}''$	$\frac{3}{4}''$－1″
石子種類	顆粒成份 (Grading) %			
No. 3	2.6	11.6	53.7	32.1
No. 4	16.0	81.0	3.0	------
E種沙	11.0	3.9	------	------
絕對容積 (Absolute Volumes)				
No3 $b^3=300$ ($73\frac{1}{2}$%)	.008	.035	.161	.096
No4 $b^4=108$ ($26\frac{1}{2}$%)	.018	.087	.003	------
E種沙 (假設0.300)	.033	.012	------	------

上述兩種石子，及E種沙料，其顆粒成份已如上述，在設計之時，其惟一目的，在求得各種材料混合後之最大密度，如欲得其最大之密度，則次小石子數量成份，不得超出0.182之限制。例如No.3石子中最粗粒子成份為32.1%，假定No.3石子可採用30%，於是以30%乘32.1%得0.096，築成後之水泥混凝土之容積設為一單位，則除去最粗石子所佔之地位外，其中所餘之空隙，應為0.904。(1－0.096＝0.904)。以0.182乘0.904得0.164，即為次小石子(在$\frac{3}{8}''$和$\frac{3}{4}''$之間者)應佔之容積。若仍按30%乘以53.7%，則得0.161，按與0.164相差無幾，故假定30%之No.3石子，與理論無大謬也。No.3石子中，除$\frac{3}{4}''$－1″及$\frac{3}{8}''$－$\frac{3}{4}''$兩種成份已規定外其最小石子，即No.4－$\frac{3}{8}''$者，其顆粒成份，在表(一)中，列為11.6若以30%乘之，得0.035。E種沙之最粗粒亦即No.4－$\frac{3}{8}''$者，實列3.9%，若亦假定採用30%，則得0.012。故兩種共為0.035＋0.012＝0.047，此乃實際之情形也。若按理論而講，則No.4－$\frac{3}{8}''$顆粒可以填塞之空隙，為0.740(1－0.096－0.164＝0.740)，現在No.4－$\frac{3}{8}''$之

No.3石子，及E種沙，共得0.047而其能以填塞之空隙為0.134(0.74×0.182＝0.134)，故尚餘空隙甚多(0.134－0.047＝0.087)，可以No.4石子以補充之，而No.4石子中，No.4－$\frac{3}{8}''$顆粒成份，在表(一)中列81.0%，如欲得0.087之數量，No.4石子應採用若干，可以計算而得。例如0.087÷0.81＝0.108，此0.108之系數，即No.4石子應採用之成份。現在既已決定No.3石子採取30%，No.4石子採取10.8%故共為40.8%也。

(丙) 沙灰漿與石料配合之設計

在前述之兩步驟中，灰砂漿(Cement Mortar)及石子之成份，均已規定。故現在可將兩種合而併之，將石子應佔容積之成份為0.408，故灰沙漿應佔0.592。但在(甲)節中所計算之灰沙漿，乃每袋水泥得漿2.589立方呎，故每袋水泥需石子若干，計算如下：

$$X : 2.589 = 0.408 : 0.592$$

$$\therefore X = 1.785$$

石子之數量既知，每袋水泥所需各種材料之數量，乃可計算，其計算結果列之如表(二)

表(二)每袋洋灰应需材料表(以量為大加倍)

材料種類	絕對容積(每單位容積)	絕對容積(以每袋洋灰為單位)	重量(以每袋洋灰為單位)
水泥	0.110	0.480立方尺	94磅
沙	0.298	1.306 〃	210 〃
水	0.184	0.803 〃	50 〃
沙灰漿	0.592	2.589 〃	334 〃
No.4石子	0.108	0.474 〃	78 〃
No.3石子	0.300	1.311 〃	215 〃
水泥混凝土	1.000	4.374立方尺	647磅

(三) 重毛氏混凝土設計之檢討

在第(二)節中重毛氏設計洋灰混凝土之方法，可以注意者有下列

數點

(1)推用韋毛氏之理論以設計混凝土

(2)就地石料利用之方便

(3)無論灰石比率之小其澆築工作性均甚優良(Advantage of Workability)

就三近三點而觀，韋毛氏認為第(3)點對於房屋構樑之工作最為適宜，是其特殊之貢獻。按韋毛氏理論之研究，可以使水泥混凝土之石沙配合得宜，空隙減少，水泥成份似可減低，此點雖未證明，但頗有研究之價值。惟水泥成份在相同之情形下，似有一最低及最高之限制，最低之限制，即每顆沙石粒之面層，均須被水泥所塗勻。其最高之限制，乃沙石空隙之間，均須為水泥所塞滿，如水泥過少之時，沙石顆粒，不能黏合，而過多之時，水泥材料等於虛費。惟顆粒愈細，其面層面積(Surface Area)愈大，面層面積愈大則需要水泥愈多。若從另一方面言之，則細粒材料愈少之時，則空隙之成份(Percentage of Voids)愈大，空隙成份愈大，則所需之水泥亦愈多。此種尋求最小空隙，或最小面層面積之出路，完全可由韋毛氏理論之推解，以達到其目的。

在目前設計及建築水泥混凝土工程，似有兩種可疑之點(一)水泥成份是否恰足其用(二)石沙之配合，是否適宜。由於此兩種原因，普通之水泥工作，容有虛費之嫌，而沙石配合，似有大意之處，若能利用韋毛氏理論，則水泥成份，或可以細沙代替而略減，如能得有結果，則在經濟立場上，必有相當之價值。

(四)按照韋毛氏設計之水泥混凝土理論上之比較

韋毛氏設計之混凝土報告，未將所有抗壓力(Compressive Strength)列出，無從審查其力量之影响。例如灰水比率(Water-Cement Ratio)，堆沉值(Slump)，及其灰石比率(Mix)之互相關係，均未能加以詳審之說明。茲先將韋氏設計之混凝土，按照水灰比率原理之方法，分析如下：

(I)所用材料

(甲)水泥　　Portland Cement　性質未詳

(乙) 砂　　未詳

(丙) 石子

篩號	百分率
通過1"遺留 3/4"	16.0
〃 3/4" 〃 3/8"	28.4
〃 3/8" 〃 No.4	46.3
〃 No.4 〃 No.8	9.3

(五) 材料混合率　　材料之混合率如下表

材料	絕對容積比率	重量比率
水泥	0.040	1
砂	0.281	4.4
石子	0.461	3.0
水	0.168	0.6

(四) 韋氏混凝土性質分析

(甲) $\frac{W}{C}$ 比率(以容積計) = 0.90

(乙) 混合率(以重量計) = 1比7.4

(丙) Fineness Modulus：石子 = 6.51
砂 = 2.50
共為 4.95

(丁) 堆沉值 = 6 英寸

按照上述之分析，以所定石子及砂料之成份，而欲得六吋之堆沉值，由水灰比率理論方法之設計，採用六、八加倫，是否可能未敢懸斷，端屬可能，則所主可得優良之工作性一語，允足可貴。按韋氏所用之砂石，由水灰比率之規定，欲得六吋堆沉值，每袋水泥需水十加倫，其水灰比率為1.2，但韋氏所用者為0.9，換而言之，即韋氏能以較少之水份而得同樣之堆沉值。根據水灰比率所知，其壓應力如下表：

水灰比率	年　齡	壓應力，磅/平方吋
0.9	七天	約 2300
	廿八天	約 3000
1.2	七天	約 1200
	廿八天	約 1800

觀乎上表所列，棠氏設計之水泥渦凝土，不僅工作性可以優良，而壓應力，亦可增大。此乃應加研究試驗價值之所在。不可不嚴密注意者也。

生紅土及石灰混合物黏結力試驗報告

I. 試驗目的：—— 試驗未燒過之紅土及其石灰混合物之黏結力 (Cementing Value)，以求得馬克當碎石路及級配碎石路(Graded Aggregates Surfacing)之適宜黏合料，而與燒紅土之試驗結果作約略之比較。

II. 試驗材料：—— (1) 生紅土 (Raw Red Clay)

出產地点： 雲南省 昆明市

物理性分析：液体限度 60.37%

塑性限度 33.97%

塑性指數 26.40%

黏土成份 97.00%

(2) 石灰 出產地点：雲南省

III. 所用儀器：——(1) 液体限度試驗

蒸發碟 (口徑約 4½ 吋)	1
白鐵罐	5
軟 刀 (Flexible Spetula)	1
No. 40 篩	1
劃溝器 (Grooving Tool)	1
天 秤	1
電 爐 (Electric Drying Oven)	1

(2) 塑性限度試驗

蒸發碟	1
白鐵罐	5
No. 40 篩	1
天 秤	1
電 爐	1

(3) 最好水份試驗

製模機(Briquette Making Machine) 1
天 秤 1
蒸發碟 1
軟 刀 1
No. 40篩 1

(4) 黏結力試驗
製模機 1
天 秤 1
濶口玻璃瓶(容量250C.C.) 1
軟 刀 1
白鐵皮 (10"x12") 1
小 鏟 1
No. 40 篩 1
電 爐 1
乾燥器 (Desiccator) 1
黏度機 (Impact Machine for Cementing Value Test) 1

(5) 機械分析
搖篩機 (Sand Sifter) 1
篩 (No. 10, 20, 40, 60, 100, 200) 1套
天 秤 1

(6) 乾濕試驗
蒸發碟 1
軟 刀 1
天 秤 1
製模機 1
No. 40 篩 1

電爐 1

水盂 1

Ⅳ. 試驗步驟：—— 本試驗之步驟與燒紅土者相同，液体限度之試驗仍用手擊法，最好水份試驗，仍以製模机代替蒙氏儀器(Proctor Compaction test Apparatus)，壓製試模所用之壓力，仍為 132 kg/cm² 乾濕試驗循環次數仍採用4次(參閱本室第一期月刊)

Ⅴ. 試驗結果：—— 試驗結果可參閱表(Ⅰ)至表Ⅲ及圖(1)至圖(四)

表 (I)

機械分析 (Machanical Analysis)

通過	遺留	百分數
--------	No. 10 篩	3.6
No. 10 篩	20	35.4
20	40	36.6
40	60	8.7
60	100	3.6
100	200	4.1
200	------	8.0

總和 100.0

粒徑 (粍)	較粗者 (%)	較細者 (%)
2.00	3.6	96.4
0.84	39.0	61.0
0.42	75.6	24.4
0.25	84.3	15.7
0.149	87.9	12.1
0.074	92.[illegible]	8.0

註: 樣品總重 = 100.0 克

表 (II)

液体限度(Liquid Limit)

樣品	罐及濕土重量	罐及乾土重量	罐重	乾土淨重	水份重量	水份百分率
生紅土	38.99	34.10	26.00	8.10	4.84	60.37
加2.5%石灰	39.70	34.42	25.75	8.67	5.28	60.90
加5.0%石灰	41.29	35.61	26.32	9.29	5.68	61.14
加7.5%石灰	32.91	30.40	26.32	4.08	2.51	61.52
10.0%石灰	37.22	33.26	26.92	6.34	3.96	62.46

表 (III)

塑性限度 (Plastic Limit)

樣品	罐及濕土重量	罐及乾土重量	罐重	乾土淨重	水份重量	水份百分率
生紅土	28.97	27.54	25.98	1.56	0.53	33.97
加2.5%石灰	29.51	28.66	26.20	2.46	0.85	34.88
加5.0%石灰	31.20	30.02	26.80	3.22	1.18	36.64
加7.5%石灰	30.08	29.22	26.92	2.32	0.86	37.04
加10.0%石灰	30.45	29.21	26.00	3.21	1.24	38.63

表(IV) 塑性指數 (Plasticity Index)

樣品	生紅土	2.5%石灰	5.0%石灰	7.5%石灰	10.0石灰
液体限度	60.37	60.90	61.14	61.52	62.46
塑性限度	33.97	34.88	36.64	37.04	38.63
塑性指數	26.40	26.02	24.50	24.48	23.83

表(V) 生紅土之最好水份

混和水份(%)	土之体積(C.C.)	罐重(克)	濕土及罐重量(克)	濕土重(克)	乾土及罐重量(克)	乾土重(克)	水份重量(克)	濕份(%)
10	21.14	26.00	61.90	35.90	55.67	29.67	6.23	20.00
8	"	26.70	61.20	34.50	55.60	28.90	5.63	19.38
12	"	26.20	66.10	39.90	58.56	32.36	7.54	23.30
15	"	26.32	69.20	42.88	58.52	32.20	10.38	31.94
18	"	26.45	68.35	41.90	57.02	30.57	11.33	37.06
20	"	26.80	62.14	35.34	52.10	25.30	10.04	39.69

表(Ⅵ) 加2.5%石灰後之最好水份

混和水份	土之体積	罐重	濕土及罐重	濕土重	乾土及罐重	乾土重	水份重量	濕份
5	21.14 c.c.	46.20	82.32	36.12	77.37	31.17	4.93	15.81
10	"	25.98	64.80	38.82	57.94	31.96	6.86	21.46
14	"	26.00	67.23	41.23	59.20	33.20	8.03	24.19
16	"	43.45	87.65	44.20	78.30	34.85	9.35	26.83
20	"	48.30	93.10	44.80	82.29	33.99	10.81	31.80
25	"	49.70	92.81	43.11	81.20	32.90	11.61	35.29

表(Ⅶ) 加3.0%石灰後之最好水份

混和水份	土之体積	罐重	濕土及罐重	濕土重	乾土及罐重	乾土重	水份重量	濕份
6	21.14	26.70	65.70	39.00	58.61	31.91	8.09	24.41
10	"	26.90	70.86	43.96	61.30	34.40	9.56	27.80
12	"	26.20	70.27	44.07	60.50	34.30	9.77	28.42
16	"	25.75	69.07	43.32	58.50	32.75	10.57	32.02
20	"	26.00	68.87	42.87	57.79	31.79	11.08	34.85

表(VII) 加 7.5% 石灰後之最好水份

混和水份	土之体積	罐重	濕土及罐重	濕土重	乾土及罐重	乾土重	水份重量	濕份
15	21.14	49.90	87.90	38.00	80.40	30.50	7.50	24.59
18	〃	26.45	68.51	42.06	59.11	32.66	9.40	28.78
20	〃	44.45	87.93	43.48	77.65	33.20	10.28	30.96
22	〃	26.80	70.60	43.82	60.00	33.20	10.60	31.93
25	〃	25.80	68.76	42.96	57.34	31.54	11.42	36.21
28	〃	26.20	69.06	42.86	57.48	31.28	11.58	37.02

表 IX 加 10% 石灰後之最好水份

混和水份	土之体積	罐重	濕土及罐重	濕土重	乾土及罐重	乾土重	水份重量	濕份
5	21.14	26.00	61.70	35.70	56.20	30.20	5.50	18.21
10	〃	26.80	64.94	38.14	57.56	30.76	7.38	23.99
15	〃	26.45	69.84	43.39	59.50	33.05	10.34	31.28
20	〃	26.20	69.00	42.80	57.97	31.77	11.03	34.71
25	〃	25.80	68.40	42.60	56.97	31.17	11.43	36.69

表(X) 最好水份 (Opt. M. C.)

	生紅土	加2.5%石灰	加5.0%石灰	加7.5%石灰	加10.0%石灰
最好水份(%)	27.3	28.5	27.7	31.5	30.7

表(XI) 黏結力 (Cementing Value)

	實驗號	0%石灰	2.5%石灰	5.0%石灰	7.5%石灰	10%石灰
黏結力	1	390	784	1362	5042	6000以上
	2	736	697	1110	4979	6000以上
	3	619	805	662	5138	------
	4	348	539	1062	-----	-----
	5	413	745	1608	-----	-----
	6	425	488	1105	-----	-----
	平均	489	676	1152	5053	6000以上

表(XII) 乾濕試驗 (Wetting and Drying)

樣品	原來乾土淨重	乾濕循環											
		I			II			III			IV		
		乾土重	損失土重 (克)	損失土重 %	乾土重	損失土重 (克)	損失土重 %	乾土重	損失土重 (克)	損失土重 %	乾土重	損失土重 (克)	損失土重 %
0%石灰	20.62			100									
2.5%石灰	20.35			100									
5.0%石灰	19.51			100									
7.5%石灰	19.82	19.76	0.06	0.30	19.42	0.39	1.97	19.35	0.47	2.38	18.52	1.30	6.61
10.0%石灰	20.35	20.28	0.07	0.34	20.01	0.34	1.67	20.00	0.35	1.71	19.10	1.25	6.12

圖（I）

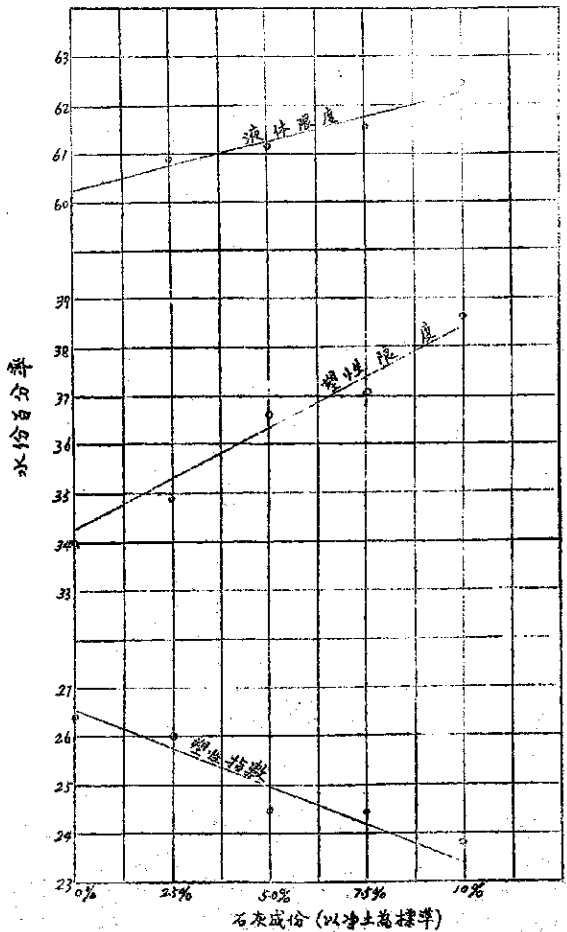

63
62
61
60
39
38
37
36
35
34
33
27
26
25
24
23
液性限度
塑性限度
塑性指數
水份百分率
0%
25%
50%
75%
100%
石灰成份（以淨土為標準）

圖 (II)

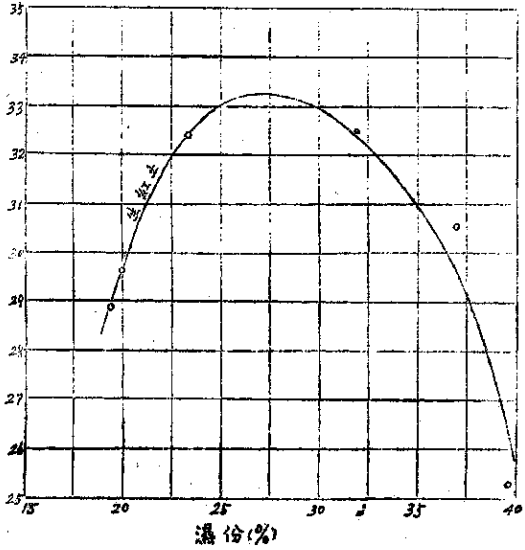
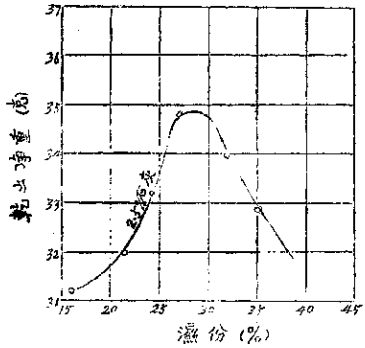
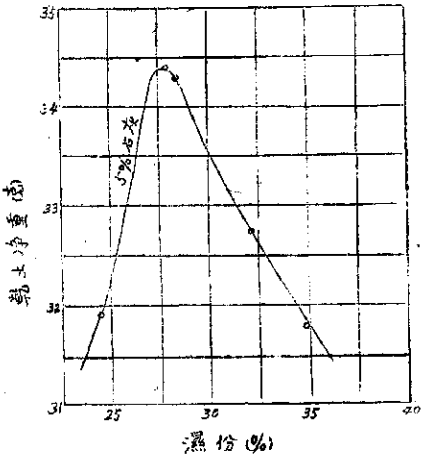
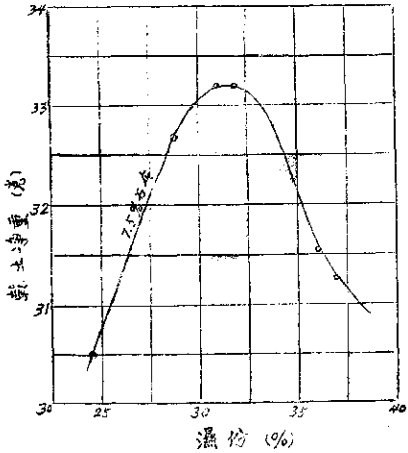

35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
15
20
25
30
35
40
濕份(%)

圖 (III)

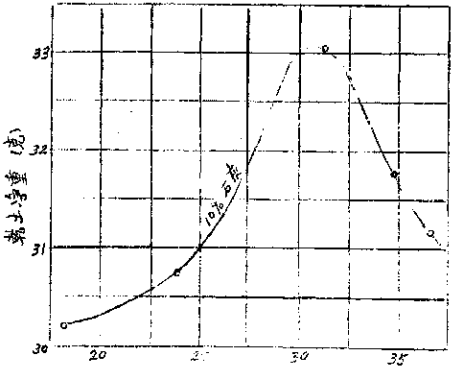

37
36
35
34
33
32
31
15
20
25
30
35
40
45
濕份 (%)


35
34
33
32
31
25
30
35
40
5% 石灰
濕土淨重(克)
濕份(%)

圖(四)

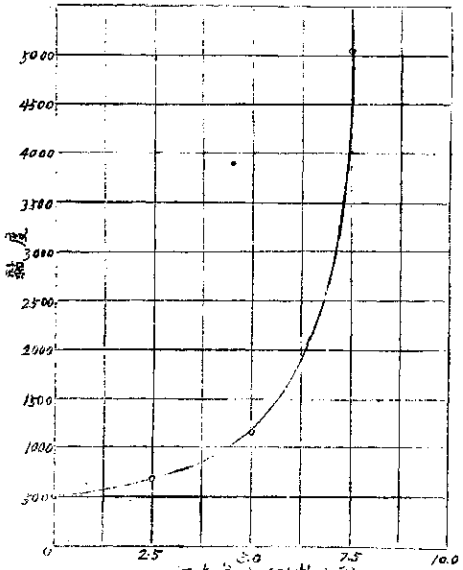

34
33
32
31
30
25
30
35
40
7.5% 石灰
濕土淨重(克)
濕份(%)

圖(五)



濕份 (%)

圖 (VI)



石灰成份 (%乾土重)

圖 (VII)

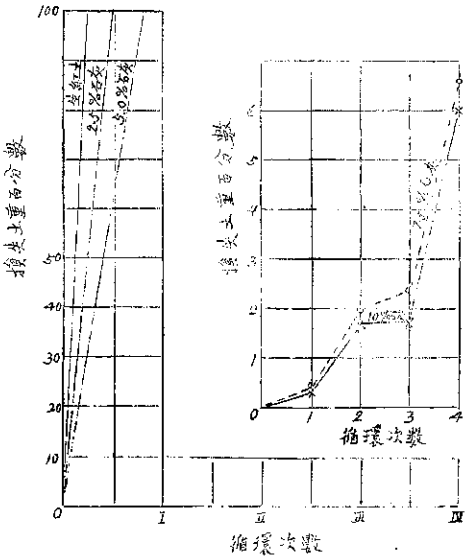


圖 (四)

四. 討論：——生紅土之液体限度為60.37而燒紅土者則為62.24(參閱本堂第一期月刊)所差無幾，生紅土加石灰後，液体限度雖逐漸增加，惟不若燒紅土之急遽上漲。生紅土之塑性限度較燒紅土少24.28%故塑性指數較燒紅土大30.37%，且加石灰後反呈下降趨勢，究其原因不外加石灰後其塑性限度增加之程度較液体限度為大而已。普通泥土之塑性指數與其穩定性(Stability)有密切之關係，塑性指數愈大，其穩定性愈小。故生紅土之穩定性，遠不及燒紅土之為佳；惟加石灰後則漸呈穩定狀態本报告中之乾濕試驗結果即其明証

就理論而言，燒紅土之吸水性應較生紅土為大，故在同一壓力之下，生紅土之最好水份較燒紅土為小(20%左右)

生紅土之黏結力頗大，圖(四)所示，加7.5%以上之石灰後，其黏度用黏度試驗机，已感不足；蓋因黏度試驗机擊打試模之椎重僅為1公斤，下降之距離不過1公糎；如下擊力量在試模強度範圍之內，則試模雖被擊至無限次數亦不致發生裂縫也。

由乾濕試驗之結果，生紅土加7.5%石灰後如呈穩定，其未加石灰之試模一經置入水中，不及一二分鐘即完全水化；加5%石灰者，浸入水中未及16小時，亦皆碎裂。

就黏結力而言，生紅土較燒紅土為佳。就穩定性而言，則生紅土遠不如燒紅土。惟泥土黏結料，須具有足夠之黏結力及穩定性，方適于路面之建築。故燒紅土無需滲以石灰即可應用，而生紅土，則至少須滲入7.5%以上之石灰方可採用。吾國公路所用之黏結料，均係生土；就黏性言尚無不合，惟就穩定性而言，是否適宜，實為疑問。

由本試驗所得之結果，普通泥結碎石路面，其泥土黏結料雖有一時之黏結力，但一經雨水滲濕，即失其效用，故每逢雨季，此種路面頗易損壞，而養路倍感困難。改良之法，惟有加石灰使其具有穩定性。石灰數量自以愈多愈佳，而10%(以重量計)似為其最低之限度。惟各地土質不同，其石灰混合率亦自異，不能一概而論。

由理論與試驗，可知石灰混合率與泥土之塑性指數，有密切之關係，其塑性指數愈大者，所需石灰混合率愈大，例如燒紅土之塑性指數為3.99(參閱本刊第一卷第一期)，生紅土之塑性指數為26.40，故前者不需石灰，而後者則需石灰。至於塑性指數與石灰混合率之數字關係，容試驗得有結果，當在本刊報告讀者諸君也。

交通部～清華大學
公路研究實驗室
職員一覽

主　任　趙祖康(交通部公路總管理處處長兼任)

副主任　陳本端(交通部公路總管理處技正兼任并代理室務)

副主任　李謨熾(國立清華大學公路教授兼任)

研究員　陳本端(兼任)

研究員　李謨熾(兼任)

試驗員　王耀華

試驗員　涂漢廷

試驗員　———

繕寫員　楊競舒

繕寫員　王　姍

地　址：　昆明拓東路邁西會館內

成立日期：　二十八年十二月

公路月刊

公路工程研究刊物

第一卷 第三期　　民國十九年四月出版

目　錄

交通部○清華大學
公路研究實驗室
昆明拓東路巡西會館

公路工程界應有之認識

目前公路運輸，在工程上，感覺最不滿意者有三，一為坡度過陡，二為曲線過急，三為路面過劣。此三種不良之現象，一部份由於財力不足之所致，另一部份，可謂由於工程技術之不能儘善。抗戰之後，因公路需用之急切，其建築往往僅限二五月必須完成，故除上述兩種因素之外，又發生時間短促之問題，以致工程進行，困難殊多。由於財力之有限，時間之短促，及工程技術之未克儘其事，如此欲得一精良之公路而而歐美如美，其為乎可。

吾服務公路工程界之人員，在過去之時間，已盡最大之能力，例如偉大之工程，居然能於最短期間，而以有限之財力，如限完成，不誤應用。此雖足以自豪，然亦因此，遭受其累。蓋工程進行，以時期及經濟之關係，在技術上，不無簡陋。因工程之簡陋，遂不免受人惡意之批評。由於此種批評之演進，公路工程師之技術地位，遂迫而居於他人之下，特遇乃次人一等。以苦幹之精神，得如斯之結果，自非原始意料之所及。

雖然，人必自辱而人辱之，我公路工程界在抗戰時間，雖能努力以報國家，但在技術上，未盡其事。在人才上，未及培植。在組織上，未立基礎。由於技術人才及組織之未能健全，事業之進行，乃缺乏系統，工作成績，乃缺乏實效。欲得社會之美評而提高自身之地位，顧屬不可能者也。

在工程技術上，可分為兩步而論，一為工程技術之實施，二為工程技術之研究。按工程技術之實施，約有數端，曰測量，曰路基工程，曰橋涵工程，曰路面工程。其與鐵路相異不同者，不過最末項、公路為路面，而鐵路為舖軌而已。測量工作，公路與鐵路，大同而小異。蓋以火車與汽車本身之性質不同，升降轉彎，各有特殊之点，是以鐵

路路綫并不適於公路之建築，而公路路綫更難合乎鐵路之條件。測量公路之有經驗者，使其担任鐵路測量，顧屬不可，而測量鐵路之有經驗者使其担任公路測量，亦非所宜。若路基面橋涵工程，則公路與鐵路，無甚差別，鐵路與公路之人員，可以互換而用。惟路面工程與鋪軌工程，迥然不同，無庸諱言。而公路與鐵路之基本差別，即在於此。但鐵路工程，數十年來，已有一定之標準，工程進行，無庸不苟，按規循矩，步驟井然。惟公路工程，乃新興事業，工程標準，尚未厘定，工程進行，伸縮至大。每值一路之成，只求路綫之打通，不計工程之良劣，工程良劣，既無輕重，施工人員，自不必有優劣之分。故由技術本身而論，公路與鐵路，實無高低，但鐵路基礎已定，一切均有規矩，公路則在幼稚之期，一切均無次序。我置身於公路工程界之人員，應如何改善以往施工之習慣，而立我公路工程事業之基礎，此應羣策羣力，努力以赴者也。至於工程技術之研究，鐵路因基礎已定，研究事項，不甚積重。但公路事屬新興，一切均在演進，例如公路運輸經濟之条件，汽車機動之原理，土壤力學之推論，路面建築之方法，路基建築之步驟，以及排水之設計，無一不在研究與實驗之中，若不隨演進，則我國公路工程，永無豎立基礎之一日。是以公路工程師，其職則不僅担任實地工程之建築，對於工程之研究，尤須具有勇往直前之精神也。

在人才方面而論，實感缺乏。目前服務公路工程界者，人數頗為不少，其中真正感覺公路事業之有興趣者，固大有人在，然能透澈明瞭公路事業而感興趣者，究屬不多，各工科大學中，土木系之課程，關於公路者，仍嫌過輕，求能造就公路專門之人才，已屬顯然之事。但實際之上，各校每年之土木系畢業生，就業於公路

者，已不以於鐵路，而此一撥之畢業生中，其專習鐵路，水利構造，或繪圖者，而使之從務公路，一則興趣不能貫一，二則工作難期進展，均屬學未致用。為今之計，欲謀公路事業將來之發展，不可不先就公路專門人才之培植，以立其堅定之基礎。昔時交通大學唐山工學院，乃為專門造就鐵路人才之學府，鐵路工程界，百分之九十為其畢業生。苟能效法唐山，專設公路工程之大學，以訓練各種公路之人才，則公路事業，在人的方面，基礎乃得而立。而公路工程技術之實施及研究，當能因人才之集中，而進展無疑也。

在組織方面，應集中力量，以發展公路事業之前程。目前公路組織法規，尚未完備。機構仍有不能策動整個事業之憾。中央與各省如能作成輻軸關係，自可避免各自為政之弊。但其基本原則，不外中央應居於領導指揮及督促之地位，各省則任實施執行之職務。惟中央與各省，原屬一体，一体之內，血脈貴乎流通。如何方能使其流通無阻，乃為最關緊要之圖。此外如學術團体，對於公路事業，貢獻亦多，推動力量，非可輕視，欲聯繫此種團体而與政府打成一片，則惟有創立學会或協会之組織，以作互相聯繫之媒介。如是朝野併進，公路前途，當可邁進。

目前社会，對於公路工程之界說，似尚未透澈明瞭，公路工程一科，不僅包括土木工程一項，而實際上應有盡有。例如公路運輸，交通管理，公路財政及公路管理，皆在其範圍之中。惟汽車機械以及燃料提煉等乙，應由他種專業負其全責。乃尤有言者，公路事業與鐵路事業，畧有不同，蓋前者為公

用專業，後者乃專營事業。在鐵路之上，有軌道之限制，惟火車可以行駛，而火車之行駛，須有一定之班次，管理可以統一而易於指揮。若在公路之上，汽車行駛，原無規定，任何人之車輛，可以行駛，任何時間，可以行駛。甲路之車，可以行駛於乙路，乙路之車，可以行駛於丙路。故公路運輸，其伸縮性極大，欲以鐵路管理之方法，施之於公路，實有張冠李戴之嫌。是以在公路事業之上，應分為兩種機構，一為公路運輸機構，一為公路管理機構，分工合作兩事實方能相合。所謂運輸機構，應包括運輸管理及車輛修理兩類。所謂公路管理機構，應包括工程之施行，交通之管理，以及公路財政之籌劃。前者可以國營，亦可民營，而以民營，最易發展。後者為政府之全責，實為推動扶植力量之所在。此外尚有一最為重要之事項，即整個公路所有各種事業研究之工作，允足為整個公路靈魂上之主動力也。

路面加寬面積之計算

1. 加寬之原因及公式：

曲綫上之公路，路面部份，宜酌與以加寬。其原因係汽車在曲綫上行駛時，後軸沿半徑前進，因車身之不能彎曲，車身與半徑成一垂直方向，而前軸一部，必在車道線之外。故欲在曲綫上，維持與直線上同樣之淨寬，則勢必將路面加寬。除此種因車身固定結構而需之機械加寬外，在曲綫上駕駛人判斷淨寬能力，較在直線上為差，故尚需酌加心理上之加寬。

曲綫加寬，有按半徑任意規定者，亦有根據公式計算者。加寬公式，當以佛魯爾氏者為最普遍，其推演如下：

w = 路面總加寬（公尺）

w_o = 外道機械加寬（公尺）

w_i = 內道機械加寬（公尺）

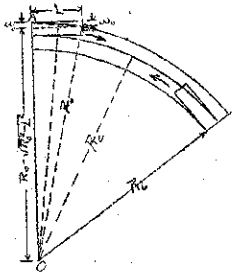
R_c = 平曲綫中線半徑（公尺）

R_o = 平曲綫外線半徑（公尺）

R_i = 平曲綫內線半徑（公尺）

L = 軸距（由後軸至車前係險桿）
普通可用六公尺

S = 行車速度（公里/時）



$\omega_o = R_o - \sqrt{R_o^2 - L^2}$

$\omega_i = R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2}$

$\omega_o + \omega_i = 2\left[R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2}\right]$
(機械加寬)

心理加寬 $= 0.104\dfrac{S}{\sqrt{R_c}}$

ω = 機械加寬 + 心理加寬

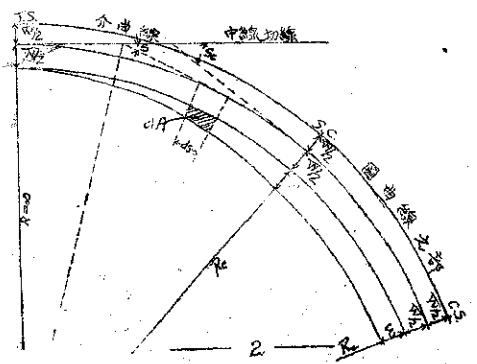
$\omega = 2\left[R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2}\right] + 0.104\dfrac{S}{\sqrt{R_c}}$

因上述公式計算之較繁，通常可用近似公式代之：

$\dfrac{\omega_o}{L} = \dfrac{AB/2}{R_o}$ $\quad AB = L$ (近似值) $\quad \omega_o = \dfrac{L^2}{2R_o}$ $\quad \omega_i = \dfrac{L^2}{2R_c}$

$\omega_o + \omega_i = \dfrac{L^2}{R_c}$ $\qquad \omega = \dfrac{L^2}{R_c} + 0.104\dfrac{S}{\sqrt{R_c}}$

2. 加寬面積公式：



l = 介曲線上任何點長度

S = 介曲線上任何點介曲線角

l_c = 介曲線中線長度

S_c = 介曲線中線介曲線角（弧度） S_c°（度數）

W = 路面寬度（公尺）

w = 加寬（公尺）

R = 路面介曲線中線曲數半徑

R_i = 未加寬路面介曲線內線曲數半徑 $= R - W/2$

R_i' = 加寬路面介曲線內線曲數半徑 $= R - W/2 - \frac{l}{l_c} w$

l_i = 加寬路面介曲線內線長度（T.S.—S.C. 或 C.S.—S.T.）

l_o = 加寬路面介曲線外線長度（T.S.—S.C. 或 C.S.—S.T.）

A_s = 介曲線部附加面積（平方公尺）

A_c = 圓曲線部附加面積（平方公尺）

a_c = 每公尺圓曲線附加面積（平方公尺）

介曲線內外線長度

$$dl = R_i' ds = \left(R - \frac{W}{2} - \frac{l}{l_c} w\right) ds \qquad \frac{l}{l_c} = \left(\frac{S}{S_c}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\int_0^{l_c} dl = \int_0^{S_c} \left[R - \frac{W}{2} - \left(\frac{S}{S_c}\right)^{\frac{1}{2}} w\right] ds$$

$$l_i = R_c S_c - \frac{W}{2} S_c - \frac{2}{3} w S_c = l_c - \left(\frac{W}{2} + \frac{2}{3} w\right) S_c =$$

$$l_c - \left(\frac{W}{2} + \frac{2}{3} w\right) \frac{\pi}{180} S_c^\circ$$

$$l_o = \left(R_c + \frac{W}{2}\right) S_c = l_c + \frac{W}{2} S_c = l_c + \frac{\pi W}{360} S_c^\circ$$

介曲線部附加面積

$$dA = \frac{1}{2}R_i^2 ds - \frac{1}{2}R_i'^2 ds = \frac{1}{2}(R_i + R_i')(R_i - R_i')ds = \frac{1}{2}\left(2R - W - \frac{1}{l_c}w\right)\left(\frac{1}{l_c}w\right)ds = \left[R\left(\frac{1}{l_c}\right)w - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{l_c}\right)wW - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{l_c}\right)^2 w^2\right]ds$$

$$\because \quad \frac{1}{l_c} = \left(\frac{s}{s_c}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad R_c = R\frac{1}{l_c} = \frac{l_c}{2s_c} \qquad s_c = \frac{l_c}{2R_c}$$

$$A_s = \int_0^{s_c}\left[\frac{l_c}{2s_c}w - \frac{1}{2}wW\left(\frac{s}{s_c}\right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}w^2\left(\frac{s}{s_c}\right)\right]ds = \frac{l_c w}{2s_c}s - \frac{1}{3}wW\frac{s^{3/2}}{s_c^{1/2}} - \frac{1}{4}w^2\frac{s^2}{s_c}\Big|_0^{s_c} = \frac{1}{2}l_c w - \left(\frac{1}{3}wW + \frac{1}{4}w^2\right)s_c = \frac{1}{2}l_c w - \left(\frac{1}{3}wW + \frac{1}{4}w^2\right)\frac{\pi}{180}s_c^\circ$$

圓曲線部附加面積

$$A_c = (\text{平均弧長})w = \left(R_i - \frac{w}{2}\right)(I - 2s_c)w = \left(R_c - \frac{W}{2} - \frac{w}{2}\right)(I - 2s_c)w = (2R_c w - Ww - w^2)\left(\frac{I - 2s_c}{2}\right) = L_c w - \left(\frac{I - 2s_c}{2}\right)(Ww - w^2)$$

$$L_c = D_c(I - 2s_c)$$

$$a_c = w - \frac{I - 2s_c}{2L_c}(Ww - w^2) = w - \frac{1}{2R_c}(Ww - w^2)$$

總面積 = 原有面積 + 附加面積

原有面積 = $2l_c W + L_c W$

附加面積 = $2A_s + A_c$

3. 例題

假定：路面寬度＝6公尺　$D_c=10°00'$

$I=64°00'$　$l_c=45$公尺　$S=60$公里/時

解算：

(1) 加寬　$w=2(R_c-\sqrt{R_c^2-L^2})+0.104\frac{S}{\sqrt{R_c}}=2(1146-\sqrt{1146^2-6^2})+0.104\times\frac{60}{\sqrt{1146}}=0.314+0.586=\underline{0.90}$公尺

或 $w=\frac{L^2}{R_c}+0.104\frac{S}{\sqrt{R_c}}=\frac{6^2}{1146}+0.104\times\frac{60}{\sqrt{1146}}=0.314+0.586=\underline{0.90}$ 公尺

(2) 有曲線內外線長度

$S_c=\frac{l_c D_c}{40}=\frac{45\times 10}{40}=11.25°$　$11°15'$

$l_i=l_c-\left(\frac{W}{2}+\frac{2}{3}w\right)\frac{\pi}{180}S_c°=45-\left(\frac{6}{2}+\frac{2}{3}\times 0.9\right)\frac{\pi}{180}\times 11.25=\underline{44.293}$ 公尺

$L_o=l_c+\frac{\pi W}{360}S_c°=45+\frac{\pi\times 6}{360}\times 11.25=\underline{45.588}$公尺

(3) 附加面積

$A_s=\frac{1}{2}l_c w-\left(\frac{1}{3}wW+\frac{1}{4}w^2\right)\frac{\pi}{180}S_c°=\frac{1}{2}\times 45\times 0.9-\left(\frac{1}{3}\times 0.9\times 6-\frac{1}{4}\times 0.9^2\right)\frac{\pi}{180}\times 11.25=\underline{19.86}$平方公尺

$A_c=L_c\left[w-\frac{1}{2R_c}(Ww-w^2)\right]=83\left[0.9-\frac{1}{2\times 1146}(6\times 0.9-0.9^2)\right]=\underline{73.1}$ 平方公尺

$L_c=\frac{R_c(I-2S_c)}{57.3}=\frac{1146(64-2\times 11.25)}{57.3}=\underline{83}$ 公尺

或 $L_c=\frac{I-2S_c}{D_c}\times 20=83$公尺

附加面積＝$2\times 19.86+73.1=\underline{112.8}$ 平方公尺

原有面積＝$2\times 45\times 6+83\times 6=\underline{1038}$ 平方公尺

總面積＝$1038+112.8=\underline{1150.8}$ 平方公尺

公路測量定線比較法

(一) 引言

公路測量，在初測之後，須利用其所得結果，選定最後路綫數條，以資比較。但選定之時，必須有一定之考慮，第一為路綫之起始点及沿綫必須經過之地点，此種地点，謂之控制点，(Ruling Point)。所有控制点，須以最近最捷及最經濟之路綫，以聯絡之。故路線之基本工程原則，為直捷簡短及平順三項。此三項如何分配，工程司須有決斷之能力，惟須特別注意者，不外(一)避過山嶺以最低之地位為宜，(二)路綫須高出水漲平面，(三)土工填挖，須互相均等，即有不等，亦不可多，(四)如工程不受影响，經費不致加多，則路綫所經以不侵佔私產為宜。

經過山嶺，以繞行為佳，勿以繞山之路，曲折過多，路線必長，須如直越山嶺之路綫，亦多直立曲綫也。若有沿溪路綫之設立，仍須由繞山之路線，加以詳細之攻慮，故實地測量之結果，必須有詳實之比較，方能妥善也。

(二) 路線之比較

在初測完畢，必有相宜路線數条，以資擇用，此種選擇，往往以其工程之節費為其惟一之目標，殊屬大謬。公路路綫之適宜与否，關乎交通上及經濟上，影响頗巨。是以不可不以整個问題之立場，以研究之。整個之研究，包括下列數項：

(1) 路線之長度坡度及其升降率

(2) 沿線土壤性質之比較

(3) 路線洩水情形之比較

(4) 土石工數量之比較

(5) 橋涵數量之比較

上述五項之中，第(1)項關乎行車經濟问題，影响最大，茲專述之。

(三) 無効上升(Ineffective Rise)及過度下降(Excessive Fall)

公路路線，自低点而至高点之時，沿路升降雖仍，勢難避免。但升降之総值，必為上升無疑，而此上升之值，必等於高低兩点之高度差也。若以理論而言，則自下而上，中途不應再有下降之坡度，自上而下時，亦不應再有上升之坡度。如兩者均備，自於經濟原則，有所不合。不過地形起伏不常，升降並無定律，故無論自上而下，抑由下而上之路線中，難免不無相反而虛用之坡度。此種坡度中之上升，名之曰無效上升(Ineffective Rise)

降坡道路：因路面種類不同，其滑行情狀乃各異。故每種路面，必有其各自不同之浮坡(Floating Grade)。在浮坡之上，下行車輛，不需馬力之推動，而仍能繼續原有之速度，不加殺車，而駛行其上。如坡度超過浮滑情形，則速度加快，車行恐將不穩，故必施以殺車，減低其速度而行。此種超過浮滑情形之下坡道，名之曰過度下降(Excessive Fall)。過度下降之計算，以距離表示之，其值等於坡道之橫長(Horizontal Distance)及過度坡率之積數。例如浮坡為4%，而實際之坡度為6%，坡道橫長八百呎，則其過度下降值，应為800×(0.06-0.04)=16十六呎也。

在任何公路之中，坡度為最要之項目，良以坡度纔陡，影响於速度及載重者綦大。故在公路計劃建築之時，如以經濟着想，則路綫之中，应避免或減少無效上升及過度下降為宜。如為經費所限，或以行車經濟不甚重要之時，自屬例外也。

(四) 抵抗長度 (Resisting Length)

抵抗長度之意義，乃車行之路線距離，与其生降距離之和數也。如此解釋，恐尚不能明瞭，茲申論之如下。

路線對於行車，是否適宜，可以比較行車在各路線上所作之工作多寡，而資決定。工作愈少，則愈經濟。譬如路面摩擦系数為C，車重為W，路線平面距離為l，車行所作之工作為U，如此則：

$$U = WCl$$

倘路線自下而上，其上升及下降值為 h，則畢行所作之工作，共為：

$$U = Wc\,l + W\,h = Wc\left(l + \frac{h}{c}\right)$$

故由上式之推論，其抵抗長度(Resisting Length)应為

$$l_0 = l + f_0 h$$

在上式中，l_0 為抵抗長度，l 為路線平面距離，f_0 為路面磨擦系數之倒數，h 為垂效上升及過度下降之和數，在普通路面之中，f_0 值之估計如下。

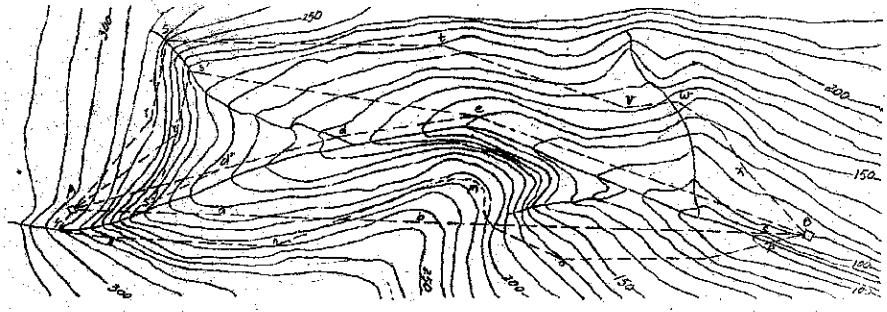
土路	21
馬克雷碎石路	32
柏油石子路	35
木塊路	40
浮灰路	44

(五) 路線比較舉例

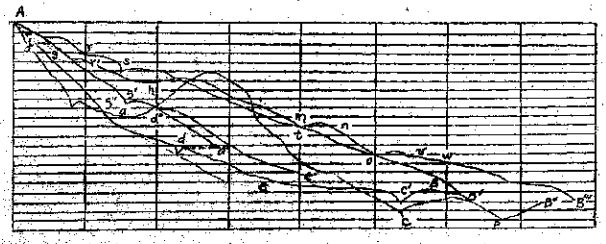
選擇路線，其比較之方法，可以下舉之例，以明瞭之假設興建某一公路，起迄点為AB，路面定為水泥混凝土式，載重以重量貨車為標準，浮坡定為 $2\frac{1}{2}$%，請參閱附圖。

由附圖中之等高線，可以看出地形之起伏，路線中途并無規定必須經過之處，其最捷路線，為AabcB，其長度為 $1\frac{1}{8}$ 哩。但以地勢而觀，d e 兩点，似以經過為宜，此線在表面上，雖覺適宜，然為選擇起見，尚測有其他路線，俾資比較，各線之縱斷面圖，亦詳於附圖之中。茲將各線所測各線加以比較如下。

最捷徑之路綫為AabcB，其平面距離為六千呎，但自A起，以至於B，其间自a至b處，其升值(Rise)為43呎，自c至B间，為190呎，總計共有垂效上升62呎，在自A以至第一次跨河之處，其距離為625呎，降坡值(Fall)為75呎，故其坡度為 $\frac{75}{625}\times 100 = 12\%$，但所定之浮坡為 $2\frac{1}{2}$%，是以此段之過度下降為 $\frac{625}{100}(12-2.5)=59.4$ 呎。路線過b点後，二千二百呎之路程中，其降值約為150呎，故其坡度為 $\frac{150}{2200}\times 100 = 6.8\%$，故此段之過度下降為 94.6 呎 $\left(\frac{2200}{100}\times(6.8-2.5)\right)$，



(a)



(b)

是以根據抵抗長度公式，則此条路線之抵抗長度应為 $l_0 = 6000+44(62+59.4+94.6) = 15500$ 呎，所有坡度最高達12%，不可謂不陡也。

第二条路線，為AdeB，乃沿溪路綫，在山嶺地区，沿溪路線，恆為最宜之路線。故宜先考慮之。此条路線，在縱断面圖中，以AdeB'示之。其平面距離，為6250呎，由C'至B-段，其無效上升為5呎，但自A点以後之一千二百呎一段中，其降值約為95呎，其坡度应為8%，故其過度下降為 $12(8-2.5)=66$ 呎，是以此線之抵抗長度，應為 $l_0 = 6250+44(5+66) = 9370$ 呎。

為減少AdeB綫之坡度起見，再試Ar'S'e及Ar'S'd兩段，以求沿溪路線之適宜。在縱断面圖中，此兩段以Ar's'd'及Ar's'e'兩縱線以示之。在r'S'段中，最高坡度為5%但用Ar's'd段，則沿溪路線距離增加以千呎，若用Ar's'e段則增加六百呎。自A至d'，其平面距離為3000呎，其降值為127呎，其坡度應為4.2%，故其沿As'd B線之過度下降，為 $30\times(4.2-2.5)=51$ 呎，是以其抵抗長度為 $6250+700+44(5+51)$ 或9410呎。自A至e'，其平面距離為4100呎，其降值為154呎，其坡度應為3.8%，故其過度下降為 $41\times(3.8-2.5)$ 或53呎。是以其抵抗長度應為 $6250+600+44\times(5+53)$ 或9400呎。

第五條路線，為Afghmnopb，在其對谷之高處，於縱断面圖中，以Ahnb'示之。其平面距離為7060呎，最高坡度在np之間，為5%。np長度，約為二千呎，故其過度下降為 $2(5-2.5)$ 或五十呎。在pB之間，有無效上升一段，其值為廿二呎，是以此線之抵抗長度，應為10230呎也。$7060+44(22+50)=10230$

第六条路線，為Arstvwx B，此線之選擇，乃使其所有坡度，無超過2½%者。在縱断面圖中，以Arstvwx B"以示之。其平面距離，為7550呎。全線各段，均無過度下降，亦無無效上升，是以其抵抗長度即為7550呎也。

此六条路線之抵抗長度及最大之坡度列於下表

路線	路線經過点	平面距離	抵抗長度	最大坡度
第一条	AbcB	6000呎	15500呎	12.0%
第二条	AdeB	6250呎	9370呎	8.0%
第三条	As'dB	6950呎	9410呎	5.0%
第四条	As'eB	6850呎	9400呎	5.0%
第五条	AmoB	7060呎	10230呎	5.0%
第六条	AswB	7550呎	7550呎	2.5%

上表所列，可與路線平面圖及縱斷面圖同時加以研究，以定路線之取舍。取舍之決定，可考慮各線之平面距離抵抗長度及其最大坡度而加以審查。例如第二四六三条路線，較為適宜，倘其最大坡度，可以規定至8%，且連續分佈於一千二百呎路段之中而不成問題，則第二線為最佳。蓋以其路線長度，較四六兩線，均畧短也。第四条与第二条，不相上下，不過其最大坡度，減為5%，但其長度，則增加七百呎也。第六条路線，長度最大，但坡度最適宜，注重坡度者，最應採用之。倘路線必須經過d e兩点，同時其坡度不可超過5%之時，則必須採用第三条路線。如坡度不可大於5%時，同時可以不必經過d e兩点，則可採用第四条。總之，須依據需要以及環境而定之，方能得宜也。

生紅土及石灰混合料流率試驗報告

(1) 緒言：

生紅土與石灰混合料之黏結力試驗，已於本刊第一卷第二期發表，其結論如下：

(甲) 生紅土本身之黏結力極大，但水化性頗高

(乙) 生紅土混合石灰後，其黏結力增高，水化性減低

(丙) 馬克當及級配碎石路面，其黏結料，淨用生紅土，缺乏穩定性

(丁) 生紅土混合石灰，可以作為馬克當或級配碎石路面之黏結料

(戊) 用作馬克當或級配碎石路面之黏結料，生紅土與石灰配合之成份，以重量計，石灰不得少於紅土重之10%

由於上述之結論，我國向所採用之泥結碎石路面，其穩定性極低，換而言之，此種路面，一經雨水，其黏結料，即易水化，黏結料為水所溶化，其黏結力，即行消失。於是碎石鬆動，經車行後，路面乃不能平整。此種現象，自抗戰以來，後方公路，多犯此弊。不僅影响運輸，而養路費用之徒增，其損失，不可謂不大。故碎石路黏結料之研究與試驗，對於目前所有碎石路面之改良，可以貢獻些微之幫助也。

本篇報告，為生紅土與石灰混合後，參合水量問題之研究。按泥結碎石路面修築之時，乃先將碎石鋪於土基之上而滾壓之，然後用泥漿，灌於石縫之中。但泥漿之稠稀，必須有精密之試驗，太稠之時，泥漿不能完全灌入石縫中，太稀則水份蒸發之後，泥料不足。均不能滿足黏結料之需要條件。本篇之試驗，完全根據石塊之大小，石縫之多寡，而規定泥漿之稀稠，由泥漿之

稀稠，而定水份之多寡，俾实際修築碎石路面之人，可得一準繩，而免盲目毫無根據之弊也。

(2) 試驗材料：

(甲) 生紅土：

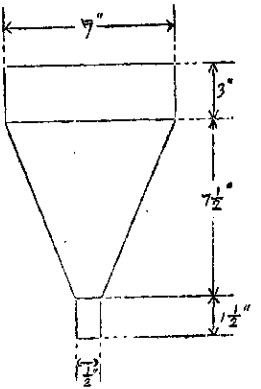
液体限度	60.37%
塑性限度	33.97%
塑性指數	26.40
黏土成份	97.00%

(乙) 石灰 —

滇省出產未加試驗

(3) 應用儀器

(甲) 鉛鉄漏斗一隻，其形狀如下圖



(乙) 天秤一具

(丙) 量水杯一隻 (1000 C.C.)

(丁) 秒動錶一隻 (Stop-watch)

(戊) 其他

(4) 試驗步驟：

取生紅土3500克，曝於日光之下，使其晒乾。然後將土打碎成粉狀，量其重量，另取石灰約土重之10%，乾拌均勻，再量其總重若干，記錄之。然後將混合料傾置於鉄桶內，按照混合料重量之70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 80, 90, 100及110%，分次混入水份。每次加水後，須攪拌均勻，傾入錐鉄漏斗內。漏斗之下端，有鉄帽可以自由取下，泥漿灌滿之後，取下鉄帽，同時開動制動錶，以記時刻。俟泥漿流完，停止制動錶，記錄其時刻。如是損作三次而取其平均值。

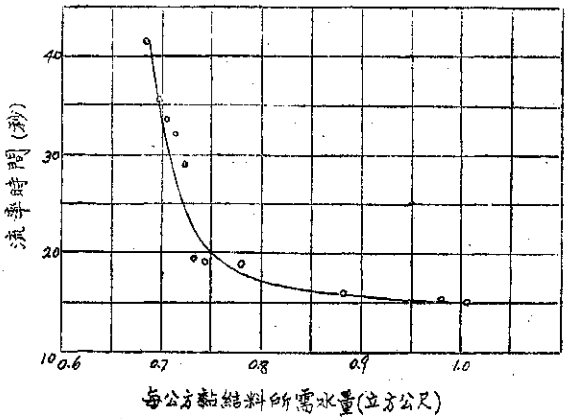
第一種水份試驗完畢後，如法繼續作第二種，第三種，以至最後之一種。

(5) 試驗結果：

試驗結果列之如下表

黏結料	混合水量				流率 秒	
	重量，克	%以重量計	体積，立方公厘	立方公尺/立方公尺		
(1)生紅土 90% (2)石灰……10% (以重量計)100% (3)生紅土性質： 液体限度 60.37 塑性限度 33.97 塑性指數 26.40 黏土成份 97.0% (4)生紅土試驗樣品所取重 297克 石灰 33克 共用 3300克	2310	70	2310	0.686	①44.0 ②42.0 ③41.0	平均41.33
	2343	71	2343	0.696	①35.20 ②36.00 ③33.60	〃 33.60
	2376	72	2376	0.706	①33.40 ②33.80 ③33.60	〃 33.60
	2409	73	2409	0.716	①32.10 ②31.80 ③32.10	〃 32.00
	2442	74	2442	0.726	①29.50 ②29.30 ③28.20	〃 29.00
	2475	75	2475	0.736	①19.30 ②19.40 ③19.40	〃 19.43
	2508	76	2508	0.746	①18.90 ②19.20 ③19.40	〃 19.23
	2640	80	2640	0.784	①19.00 ②18.70 ③19.25	〃 18.88
	2970	90	2970	0.882	①15.60 ②16.05 ③16.25	〃 15.97
	3300	100	3300	0.980	①15.10 ②15.50 ③15.30	〃 15.30
	3630	110	3630	1.078	①14.90 ②14.90 ③14.90	〃 14.90

上表試驗之結果，繪成曲線圖如下：



(6) 流率時間之規定：

流率之規定，須以石縫大小為根據。石縫之大小，則視石塊及其級配以為定。茲將各種石子層灌縫泥漿應需之流率時間，述之如下：

碎石直徑(英寸)	需要流率時間(秒)
$2\frac{1}{2}''$ 至 $3\frac{1}{2}''$	23 至 25
$2''$ 至 $3''$	23 至 25
$1\frac{1}{2}''$ 至 $2\frac{1}{2}''$	21 至 23
$1''$ 至 $2''$	20 至 22
$3/4''$ 至 $1\frac{1}{2}''$	19 至 21

(7) 結論：

本試驗之報告，其宗旨在說明泥結碎石路面在建築之時，其泥漿須有一定之流率，泥漿能否灌入石縫之中，關係路面甚巨，往昔之時，向無研究與試驗，建築之時，不過僅憑眼力以為斷定，但眼力有無標準，既無把握，而實際究竟需要如何，亦無準繩。本篇刊露之後，希望能引起公路工程師之注意，而糾正以往之工作習慣法。乃尤有言者，本試驗之結果，僅限於所取之紅土而言，他種土質，當有不同之處，例如同係一種紅土，其黏土成份之多寡及塑性指數之高低，對於流率，均有影响，若混而不察，自難正確。但在施工之時，若能鑒定黏土成份，自製一流率試驗漏斗，當地試驗，當非難事。黏土成份，似不能少過60%，否則其黏結力必有不足之處，此不可不加注意者也。

交通部～清華大學

公路研究實驗室

職員一覽

主　任　趙祖康(交通部公路總管理處處長兼任)

副主任　陳本端(交通部公路總管理處技正兼任并代理室務)

副主任　李謨熾(國立清華大學公路教授兼任)

研究員　陳本端(兼任)

研究員　李謨熾(兼任)

試驗員　王耀華

試驗員　涂漢廷

試驗員　———

繕寫員　楊競舒

繕寫員　王　姍

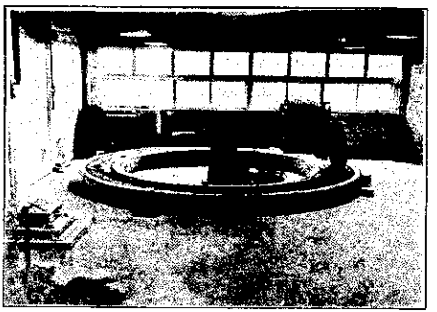
地　址：昆明拓東路迤西會館內

成立日期：二十八年十二月

公路月刊

公路工程研究刊物

第一卷　第四期　　民國廿九年五月出版



交通部∽清華大學
公路研究實驗室
昆明拓東路迤西會館

目　　錄

採集公路砂石材料樣品之標準方法

引言

邇年以來，公路建築，對於所用材料，極少驗定，科學方法之分析，更屬寥寥。例如路面所需之石砂材料，漫無標準，風化石有之，軟石有之，硬石亦有之，故路面之堅強與否，端以就地材料之良劣為依歸，有如聽天命而不盡人事之概。本篇所述，乃劃一採集石砂材料之方法，以為試驗及鑒定之張本。嗣後公路建築，倘能依照正當途徑，如此進行，自必須以材料選擇為其第一步之要覈，如是，則本篇之目的，庶能如願以償。茲謹將砂石樣品採集方法，分述於下。

採集砂石樣品方法

公路材料樣品，凡用作試驗，而為材料之驗收或拒絕之根據者，必須由工程師或其委託之代表採取之；如作檢查或作初步試驗者，則可由產主或業主採送之。

1. 地方礦脈石料樣品之採集：(Stone from local deposits)

甲 宜詳細檢查鑛脈或開採石面，以判定各層之變化，並宜同時注及不同之顏色及結構；在必要時，得採集由各層碎裂未經風化之塊石，以作樣品。

2. 標準石料試驗，須自每一顏色或結構不同之鑛層中，各採集未經風化之樣品，至少15公斤。如所採集者非一整塊，其中至少有二塊石料之尺寸不得小於12X15X10公分，其層面需標示明白，且完整而無裂縫；其他各塊尺寸，皆不得小於5公分。

3. 用於混凝土試驗之樣品，則視試驗種類及所需試樣數目而定。

4. 除樣品附有普通說明外，凡採自非商業來源之地方礦脈者，宜註明下列各項：

(a) 礦主姓名

(b) 產額概值——如產額極鉅，可註明為無窮

(c) 覆土層性質與厚度

(d) 運程——由產區至公路上最近用石料處之距離

(e) 搬運情形——搬運工具，經過道路情形之記錄

(f) 每一材料樣品產區及位置之詳細記錄

除上述者外，并須繪一簡單平面及縱面圖，詳細標明各礦層之厚度及位置。

II 商礦石料樣品之採集：(Stone from Commercial Quarries)

1. 在可能範圍之內，商礦樣品，宜自礦脈或開採石面採集，其步驟與地方礦脈相同。

2. 石廠工作情形，影响碎石尺寸之因數，如節孔大小及形式，篩節長度，傾斜角度，旋轉速率，及傾石速率等，皆須加一普遍之視察及記錄。樣品最好從石料由石堆或石倉裝入舟車時採集，每次裝運，均須分別採集之。如樣品必需取自石堆或石倉，則由石堆各層或石倉頂部及側槽部採取單獨樣品，均勻混合後為一体，然後用四分法，分成試驗之樣品。

3. 如不能親臨石廠視察，可俟起節時，自舟車頂中底三部採集大小及性質不同之樣品，均勻混合，用四分法，分成試驗樣品。採集碎石性質試驗之結果，雖不能與試驗室中敲碎之碎石結果比較，但能確認石料之普通性質，以為各地石料認實之判定。在

此情形之下，性質與大小之試驗，可用同一樣品。

4. 如僅作大小試驗，可用小套石篩，輕便天秤，或容積器在工地試驗，俾便迅速決定石料之用途。在試驗室中，可作校驗試驗，以証實工地試驗之準確程度。

5. 机械分析，試驗碎石樣品所需重量，最少為最大塊碎石重量之50倍。

6. 用於混凝土試驗之樣品，則視試驗種類及所需試模數目而定，無論何時，僅一磨耗試驗所需樣品，不得少於30公斤。

III. 野石及大圓石樣品之採集(Field Stone and Bowlders)

1. 野石及大圓石之產量如何，在產區宜實地詳細調查清楚，并記錄石料種類及各產區之儲量情形。

2. 由節理狀況及薄片程度，憑視力觀察，認為可用作修路材料者，然後可分別採集各種石料樣品。

3. 除普通之說明外，野石及大圓石之記錄，宜包括下列各項：

(a) 產地位置——最好將野石及大圓石產區繪於地形圖之上。

(b) 產額概值——依計石料堆置之可靠方法，探量其堆積面及步測其寬度，以計算之。

(c) 各種石料採集之成份，憑眼力觀察後，其應擯棄之成份及運送後而始廢棄之成份，皆需詳為註明。

IV. 非商區砂礫樣品之採集(Sand and Gravel from Non-Commercial Deposits)

1. 非商區材料包括一切未經開採砂礫產區及已開採而未經篩洗者。

2. 天然砂礫之產區，難有均勻一致之情形，故逢每一樣品採集時，此樣品之產量，必需分別作一大概準確之估計。

3. 在可能範圍之內，砂料樣品之採集，宜在其潮濕狀況時為之。

4. 如開採砂礫方法，為挖岸或掘坑，則宜在其露面上掘槽以採集樣品，俾便先憑目力觀察，以資判定，同時避免誤取了頂面之覆土或浮土雜質。在小產區處，並須挖掘試坑，以測定產區之範圍，試坑數目及深度，視開採數量為定。在岸面及試坑分別採取之材料，須先均勻混合，使為一体，然後用四分法，分成試驗之樣品。

5. 若無露面產區，則需挖掘試坑採集樣品，試坑數目及深度，視地方情形及開採數量為定。每一試坑，須個別採集樣品，如由視力觀察，其粒徑，顏色等無顯明分別者，可先均勻混合之，然後用四分法，配成試驗樣品，否則必須單獨個別試驗之。

6. 有機物質成份，可用量色儀試驗之。

7. 除砂礫樣品須附有普通說明外，其他細目，與地方礦脈石料樣品同，茲不復贅。

V. 商廠砂礫樣品之採集(Sand and Gravel from Commercial Plants)

1. 經過篩洗之砂礫樣品，宜由貯料倉或貯料堆中採集之，最好在裝運時為之，砂料及礫料，宜分別採取運送。至由倉堆中採集樣品畧覺困難，遇必要時，宜注意下述之步驟：在貯料堆之各部，宜分別採集樣品，並注意勿誤取底部粗粒材料之分離面積。貯料倉中頂部及滑槽，需分別採集樣品，自滑槽取樣時，先俟去立方公尺以上材料流出後，再事採取。各部樣品採得後，均勻混合之，使為一体，然後用四分法，配成試驗之樣品。

2. 影响砂礫大小之因數與碎石相同，故須作同類之視察。此外篩分用水量，亦宜計算在內。採集砂礫大小試驗樣品，無論在石廠或運送時，其手續與碎石同。

3. 如不能親臨石廠視察，可俟起卸時，自舟車頂中底三部採集大小及性質不同之樣品，先須均勻混合，使為一体，然後用四分法，配成試驗之樣品。

Ⅵ 砂礫樣品之數量

1. 岸砂礫含併樣品，如礫石成份在50%或以上者，最少必須採集50公斤。如礫石成份較少，則樣品數量，可按比例增加；例如礫石成份佔25%，則樣品應為100公斤。

2. 砂料樣品，最少需在10公斤以上。

3. 礫石樣品，最少需在25公斤以上。

4. 用於混凝土試驗樣品，視試驗種類及試模數目而定。

Ⅶ 石塊樣品之採取 (Stone Block)

1. 石塊樣品，無論採自石廠或舟車，皆宜由工程師指導之。採集石塊，須能適合預定之用途，凡眼力觀察，認為不適用者，皆在擯棄之列。

2. 採集樣品，至少在六塊以上，其中至少有兩塊，須標明層面。

Ⅷ 運送及標記樣品之說明

1. 礦脈石，碎石，及溶渣樣品應裝堅固箱匣之中，或裝袋運送。

2. 石塊樣品，須妥慎裝箱。

3. 岸礫，砂屑及其他細料樣品須用緊密箱匣或密織

布袋裝運，以免中途漏失。

4. 每一樣品需附一卡片，最好置於匣內，載明下列各項：

(a) 採樣人姓名職務及機關

(b) 收樣人姓名及機關

(c) 樣品來源

(d) 材料建議之用途

(e) 礦每日產量

(f) 產區位置

(g) 運送設備及運費價目——鉄路，運河，水道或其他運輸工具等之名称

(h) 材料價目

路基排水之重要

(1) 引言

公路建築，水之為患，最為惡劣。例如路面破裂，路基下陷以及边坡坍方等等，均係水在其中，醞釀而成。往往工程之進行，對於路基排水，未能注意，一至雨期濕季，種種劣痕，皆呈目前。影响交通，至為嚴重。公路工程師，每以路基排水，用費巨鉅，難以施行。不過全路之路線，若每公里均須設施，其費用自屬可觀，但實際之上，并非如此。蓋路基排水，因地制宜，乃局部之性質，并非整個路線之必需。每公里之路線，其中或有數處，需要排水，或數十公里之路線，完全不需。惟須尋求水之所在，以定其為害之有無，然後始知其預防之法，如此，則所需費用，并不驚人，而較之每年翻修路面或整理坍方之所費，或有不及。然則我公路工程師，於建築公路之時，其欲一勞永逸乎，抑願於每年雨季之時，驚惶不知所措乎。本篇之所述，其或能挽救於萬一。

(2) 路基排水之原因

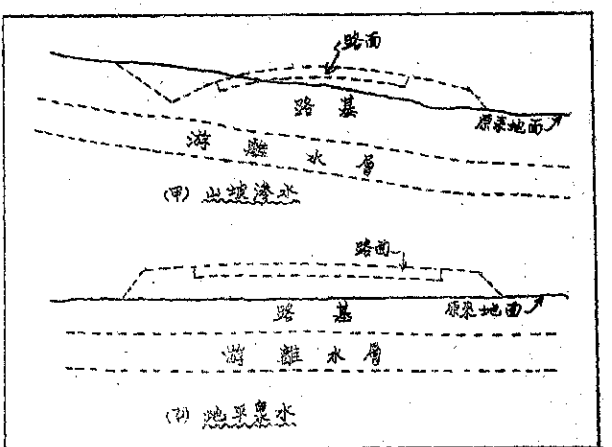
俗云房屋貴乎有不漏水之屋頂及乾燥之地窖，以之寓意公路，何嘗不然。目前我國公路建築，對於屋頂，尚能注意，例如路拱，边溝，留地水溝(Berm Ditch)等等，皆有設施，惟對於地窖，則毫無顧慮，所謂顧頭而不顧脚，顧上而不顧下也。

按路基內之水份，可分為兩種。一為土壤毛細管所吸含於其內者，名之曰毛細管水(Capillary Water)，二為介於透水層及不透水層之間而可自由流動者，名之曰游離水(Free Water)。普通毛細管水，皆以游離水為其來源。游離水位低而土質之毛細管作用大者則路基永不得堅實，無論何種路面，皆不能修

築於其上。挽救之方，只有兩法，一為排洩游離水，或設法使其水位降至土質毛細管吸力不能達到之地位。二為改善路基土質，以減少其毛細管之作用。由此而觀，游離水之位置深度，以及路基土壤之性質，均須事前探查清楚，方能着手計劃，否則只憑眼力以猜度之，不僅於事無濟，而反虛費工夫也。

普通探查游離水之位置及路基土壤之性質，皆用土鑽(Soil Auger)以鑽探之。鑽探工作，以雨期過後之時，最為相宜，蓋乾季之際，游離水位，自然降低，在雨季之間，其水位自然升高，若在乾季進行鑽探，自不能得其為害之實據，此点最為重要，不可不加以注意。

在公路建築，游離水之排洩，至關重要。此種地下水份，其呈露現象，大概分為兩種，一曰山坡滲水(Side Hill Seepage)，一曰地平泉水(Level Water Table)，如第一圖。



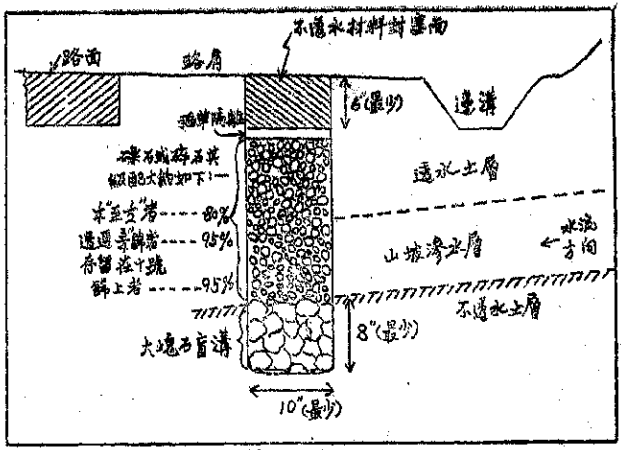
第一圖

第一種之山坡滲水，普通在丘陵區及山嶺區之路線，常常發現。此種游離水層，其方向恆與原來之地面平行，由高而下，而受水頭之壓力，故露出地面之後，滲力頗強，恆在邊溝或路肩一帶，聚水成塘，為害路面。第二種之地平泉水，普通在平原區之路線，最易發現。此種游離水，無水頭之壓力，流動性極少，但其水位，在乾季之時，可以降低，在雨季之時，可以升高。無論山坡滲水或地平泉水，均為路基中毛細管水之來源，而路基種々困難之發生，皆由於此。

毛細管吸力高度(Effective Capillary Rise)，與土壤性質，有密切之關係，但究竟其關係如何，目前土壤研究，尚無確切之結論，可資遵循。惟普通之土壤，若其游離水層，距離路面五六英尺，則其毛細管作用，當無影响。否則必須設法以避免之。在山坡滲水情形之下，可以用截水溝(Intercepting Ditch)截其水流而引導於路基之外，俾使路基可以乾燥，若在地平泉水情形之下，如欲引流其水而外出者，倘遇較深之處，每感不易。

(3) 地下排水之設施

目前排洩地下水流，均用水管，雖覺妥適，然以我國經濟之情形，仍有難於負担之感。惟排洩路基水份，對於路身路面之健全，關係至巨，顧不可因噎廢食，更不可因陋而就簡。盲溝(Blind Drain)方法，在用已久，實乃兩全之道，如有瓦管可資利用尤佳。惟以目前狀況而論，盲溝最易實行，易担不覺太昂，頗值提倡而推行。但排洩地下水流，須確知地下水流之狀況，第二圖所示，乃為最妥最佳之設計：



第二圖

由第二圖之設計,其中有三項,頗足注意,茲述之於下:—

(甲) 滲水盲溝須在山坡滲水層之下而深入不透水土層之中.

(乙) 盲溝之上,須用較小之級配石子填塞之.

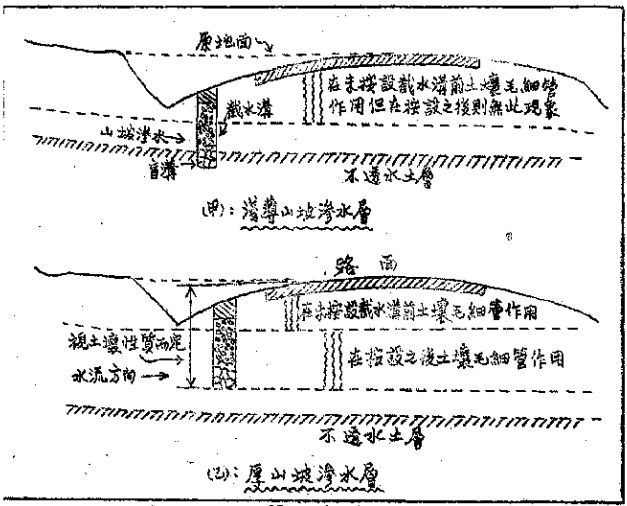
(丙) 淺水溝上端須有封塞層.

此種滲水溝如第二圖者,名之曰截水溝(Intercepting Drain). 所謂截水之意,乃截留山坡滲下之水,導之他去而不使之滲入路面之下也。至地下水流之方向,完全循其阻力最小之途徑而行,故水能集中於盲溝之中而引入於路外。盲溝之存水,實在橫流而他去,其上之碎石或礫石層中滲入之水份,實在利用重力而下流,是以截水溝中,上層石塊之空隙,應較盲溝石塊為小,故盲溝中之石塊,大小須能均勻,而上層石塊,大小須能級配。盲溝必須位於不透水土層之中,否則水份必因重力關係,深而下滲,勢難橫流引導,其級配碎石層必須

但於透水土層之中，使山坡滲入之水，下降而入盲溝之中。溝頂封面層，亦屬重要，蓋路面排水，有其各自之設備，決不可使路面水流，滲入截水溝中，以增加其負担，而影响其本身之能力。至植草稱離層，乃防封塞材料，塞入碎石層中，而阻塞其孔隙。倘封塞層之材料，無此可能，則免用亦無不可，是在工程師就地之判定也。

(4) 截水溝之位置及其深度：

普通地下水流，以山坡滲水情形最為常見。但其所異者，乃其水層距離路面之高低，及其水層之厚薄，各有不同。因而設計之時，遂亦有別。例如第三圖之所示，甲種情形，山坡滲水層距路面約三四呎，其厚度不及一呎，乙種則距路面六七呎，其厚度約三四呎。

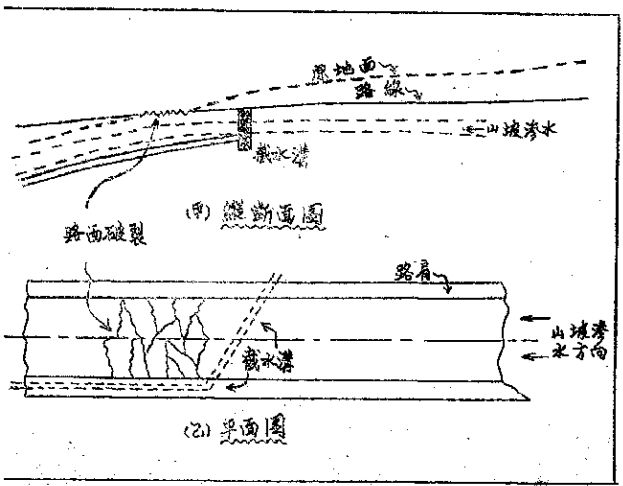


第三圖

觀乎第三圖甲乙兩種之情形，其排水設備之設計，完全視其路基土壤性質如何為根據。蓋其毛細管之作用，最足為害土基而影响路面之安全。故路基排水，是否需要，必須察知毛細管之吸力高度，是否及於路面之下而為定。例如第三圖之乙種情形，與甲種等無差異，但在乙種情形之下，其山坡滲水層底端，距路面約為七呎，其厚度約為三四呎。為防止毛細管吸水高度影响路面起見，截水溝深度之設計，必須知土壤之毛細管性質，而後始能決定之。但普通土壤，如能使山坡滲水層頂端降下而距路面能有五六呎，必可無虞也。

(5) 縱坡滲水層

山坡滲水，亦有縱向之情形，如第四圖。圖中甲部為其縱斷面，乙部為其平面。

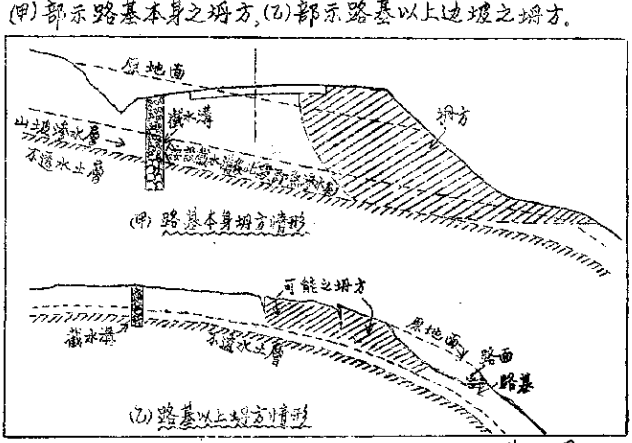


第四圖

在第四圖中，路基因水浸而路面破裂之情形，已足顯示一切。此種縱坡滲水(Longitudinal Seepage)，較之邊坡滲水，其為害程度，實有過之而無不及，往往徹底路面，因此而破裂者，比比皆是。尤以在填挖土方交接之處，最易使地下之游離水層，曝露於上，在雨季之際，路基為水浸軟，路面無堅固基礎，經車輾壓，自易破裂。挽救之方，非按設截水溝，不足以渲洩，而截水溝又必導引而使之流出於路外，方能為用也。

(6) 坍方

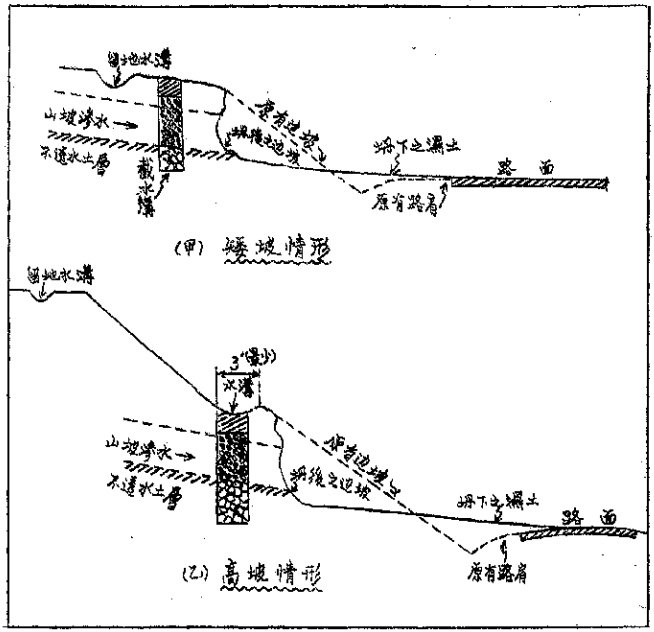
土基坍方，在工程上最感麻煩。往往處理不得其宜，無時不受其擾。但普通見解，均由兩方面，加以解釋，一方面則謂，土質不佳，易於下坍。另一方面則謂，邊坡不足，易於下坍。此兩種說法，均無錯誤。惟須加以補充者，則無論土質之佳劣，抑或邊坡之足與不足，其先決條件，必須使土壤之內，不受水之浸滲而生滑性(Lubricating Effect)，然後方可論其土質與邊坡也。例如第五圖中，(甲)部示路基本身之坍方，(乙)部示路基以上邊坡之坍方。



第五圖

由第五圖所示情形，坍方問題，水之關係，佔其要部。無論土質如何之優良，或边坡如何之緩穩，但遇水份滲入其中，則土壤顆粒與顆粒之間，必因水潤而發生滑性，而遇水塌部不遇水土層之間，亦必發生滑潤之平面(Lubricated plane or Slip plane)。例如第五圖甲部，在原來地面狀況之下，未必有發生坍方之可能，但在路基完成之後，路基外部土壤之重要，必須少於或等於其本身之磨擦力，始無坍方之慮。若遇水浸之後，土壤磨擦力減小，倘土重超過其磨擦力之時，坍方自然發生。避免此種現象之發生，必須按設截水溝，以截留其水份，而免浸入路基之中，如第五圖甲部所示者然。至第五圖乙部所示，乃路基上部边坡坍方之情形，要亦為水浸之所致。但在原地面狀況之下，路基附近之土壤，未曾挖去，上部土壤之重量，有所承托。土質之中，偶有水份在內，其承托力雖受滑潤而減少，然仍能維持其均等之勢，而不下坍。惟路基修竣，一遇雨淋，此等均勢，即被破壞，坍方乃不可免。挽救之方，只有在相當地位，按設截水之溝，以截山坡滲入之水流，但須注意者，土質已被鬆動之處，決不可設，否則不僅不能避免坍方，而反能加速其實現也。

除上述兩種坍方情形之外，尚有挖方路基边坡本身坍落之現象。此種現象，似難謂之為坍方，如第六圖所示甲乙兩種，即為其例。



第六圖

由第六圖所示，此種边坡坍落，完全因滲水層高於路基之所致。無論為甲乙兩種，其挽救之方，惟有按設截水溝，不足以預防其坍落。不過在乙種情形之下，高坡之上下兩端，如能按設留地水溝，以排洩雨水，亦可帮助保護其边坡之冲刷也。

(7) 地平泉水之處理

在上述數節之中，僅限於山坡滲水之情形。若地平泉水

砂土路面材料試驗報告

I. 引言

砂土路面,為低級路面之一種,亦為路面中之最簡單者,惟以其太簡單,一般人往往置不經心,但究其理論,頗有足述之處,此其一,更以公路路面之選擇及利用,實與整個公路經濟問題,有切膚之關係,柏油水泥路面,固為最佳之路面,然能切合經濟條件而又可應付運輸裕如者,方稱最宜之路面,此其二,有此二端,足見事無大小,均有其各自之立場及各自之價值也.

砂土路面之原理,早有定理,研究素著者,有 Dr. Strahan, 但其所述僅為路上實際試驗之所得,理論尚少,溯自土壤力學演進以來,其中可資引用於砂土路者,約有數端,例如 Theory of Internal Friction, Theory of Cohesion, Plasticity Index, Fuller's Ideal Curve, Weymouth's Theory, Proctor's Compaction 等等,均足根據以為研究之張本,同時築路機械,與日俱進,為助亦多,如羊蹄路滾(Sheep's-foot Roller)倘能與 Proctor's Compaction Test 相提併用,同時砂土配合適宜,則其結果,必能有意想不到之成績也.

II. 試驗步驟

本試驗乃以各種不同大小之砂粒與不同成份之土壤分別配合,加以試驗,以供理論之確定.今將砂粒大小,暫分為三種如下:

(一)一種尺寸之砂粒(One-sized sand)

(二)兩種尺寸之砂粒(Two-sized sand)

(三)級配砂粒(Graded sand)

(8) 結論

由於上列之節所述之一切，欲求路面之安全，路基之穩定，開篇第一要義，毫無疑問為排水設備之週全。目前我國交通工程如鐵路及公路之建築，極少注意於此種之研究。每遇困難發生，均歸罪於土質之不良，未免過甚其辭，例如西南各省雨量較多，每逢雨際之時，山坡滲水及地平泉水，均高漲於地面之下，為害路基，事實皆有證明。去歲滇緬及川滇兩公路，發現大量而廣遍之坍方，究其本源，皆係未能盡力設法排洩路基水份之所致。工程技術人員，每以路基排水，隱於地下，往往忽而略之，一俟困難發生，措手不及，遲誤交通，不言而喻。又有謂地下排水，用費過巨，難以舉辦。茲此種估計，過嫌籠統，蓋路基排水，并非每公里皆須設置，用費不能以全路為標準，只可於地下水流情形影响於路基路面部份，加以計算，如此則所費不貲，較之每年用於補救者，實有未及。詳究此種議論與其思想，不外一種原因。即對於路基排水設計工作前後之步驟，未能澈底而明瞭。例如路線測量，向無土壤測量(Soil Survey)工作附於其中，故對於地下水流，無詳確之認識。若欲事後從事路基排水之設計，自無可靠之根據。今後公路建築，倘以工程完全為前提，此種步驟，極應提倡而施行，不獨公路為然，鐵路建築，何嘗不然，願我國交通工程界，深切注意之。

砂土路面材料試驗報告

I. 引言

砂土路面，為低級路面之一種，亦為路面中之最簡單者，惟以其太簡單，一般人往往畧不經心，但究其理論，頗有足述之處，此其一，更以公路路面之選擇及利用，實與整個公路經濟問題，有切膚之關係，如柏油水泥路面，固為最佳之路面，然能切合經濟條件而又可應付運輸裕如者，方稱最宜之路面，此其二，有此二端，足見事無大小，均有其各自之立場及各自之價值也。

砂土路面之原理，早有定理，研究素著者，有 Dr. Strahan，但其所述僅為路上實際試驗之所得，理論尚少，溯自土壤力學演進以來，其中可資引用於砂土路者，約有數端，例如 Theory of Internal Friction, Theory of Cohesion, Plasticity Index, Fuller's Ideal Curve, Weymouth's Theory, Proctor's Compaction 等等，均足根據以為研究之張本，同時築路機械，與日俱進，為助亦多，如羊蹄路滾(Sheep's-foot Roller)倘能與 Proctor's Compaction Test 相提併用，同時砂土配合適宜，則其結果，必能有意想不到之成績也。

II. 試驗步驟

本試驗乃以各種不同大小之砂粒與不同成份之土壤分別配合，加以試驗，以供理論之確定。今將砂粒大小，暫分為三種如下：

(一)一種尺寸之砂粒(One-sized sand)

(二)兩種尺寸之砂粒(Two-sized sand)

(三)級配砂粒(Graded sand)

以各種不同之砂料，分別與泥土配合成為各種不同之砂土混合物(Sand-clay mixture)而試驗比較之，茲將三種砂粒成份之設計，列舉於下：

(一)一種尺寸之砂粒(One-sized sand)——作為一種最粗之砂粒，以經過第20號篩而留存在第40號篩者為標準。

(二)兩種尺寸之砂粒(Two-sized sand)——以兩種粗細不同之砂粒配合而成，其大小暫定為較粗者以透過第20號篩，留存在第40號篩之砂粒，較細者則以透過第40號篩，留存在第60號篩之砂粒，配合之成份，乃根據韋毛氏定理(Weymonth's theory)作標準之設計，今將計算公式等詳列於下：

設 D_1=較粗砂粒直徑 (m.m.)

D=較細砂粒直徑 (m.m.)

d_o=較粗砂粒之百份率(%)

d_a=較細砂粒之百份率(%)

韋毛氏定理之基本公式

$$\frac{D}{D_1}=\left(\frac{d_o}{d_a}\right)^{\frac{1}{3}}-1$$

按現所用各號篩孔直徑為：

第20號篩直徑＝0.84 m.m.

第40號篩直徑＝0.42 m.m.

第60號篩直徑＝0.25 m.m.

已知，

$$D_1=(0.84+0.42)\frac{1}{2}=0.63^{m.m.}$$

$$D=(0.42+0.25)\frac{1}{2}=0.34^{m.m.}$$

假定，　$d_o=65\%$，　$d_a=X$，

以各值代入公式，

$$\frac{0.34}{0.63}=\left(\frac{65}{X}\right)^{\frac{1}{3}}-1$$

$$\frac{65}{X}=\left(\frac{0.34+0.63}{0.63}\right)^3$$

$$\frac{65}{X}=(1.54)^3=3.65$$

$$\therefore\quad X=17.8\longrightarrow 用\ 20\%$$

即　$d=X=20\%$

今　$d_o+d_a=65+20=85$

欲使　$d_o+d_a=100$

乃求得，

$$d_o=\frac{65}{85}\times 100=76\%$$

$$d_a=\frac{20}{85}\times 100=24\%$$

為便利試驗計算起見，可使兩值調整為

較粗砂粒之百份率 $=d_o=70\%$

較細砂粒之百份率 $=d_a=30\%$

(三) 級配砂粒(Graded sand)——根據富勒氏曲綫(Fuller's Ideal Curve)之原則，暫定砂粒之最粗者以通過第10號篩

起，按公式分別計算，以求級配砂粒之成份，其法如下：—

級配砂粒設計：

設　　x＝每種篩孔之直徑(m.m.)

　　y＝透過各種鋼篩砂粒之百份率(%)

　　p＝係數

拋物綫公式，

$$y^2 = px$$

在第10號篩上透過之砂粒為100%，

而第10號篩孔之直徑＝2.00 m.m.

$$\therefore \quad p = 100 \times 100 \times \frac{1}{2.00} = 5000$$

故砂粒大小之級配成份乃根據下列公式求之：—

$$y^2 = 5000x$$

各種鋼篩篩孔之直徑列之於下表：—

鋼篩號數	篩孔直徑(m.m.)
10	2.000
20	0.840
40	0.420
60	0.250
100	0.149
200	0.074

以各篩孔不同之數值代入上列公式，計算所得結果如下表：—

鋼篩號數	透過百份率	留存各篩上百份率	調整後留存各篩上砂率
10	100	0	0
20	65	35	44
40	45	20	25
60	35	10	12
100	27	8	10
200	20	7	9
200號以下	——	20	——
合計		100	100

本試驗所用之紅土，以能透過第100号鋼篩者為標準。砂土混合物之試驗，常因土質含有淤土(Silt)而所得之結果各殊，故砂土之配合，對於土質方面，亦須事先詳細加以分析。

液体限度，塑性限度，機械分析，及最好水份等各試驗之手續已詳載本刊第一卷第一期之試驗報告中，毋容再贅。但砂土混合物中各種不同成份配合之砂土性質應事先按步詳加試驗其原來之性質，藉以確定試驗材料之標準作為根據，砂土之種類甚繁，雖取於一地區者，亦常因地層上下而異殊，本試驗所用之紅土，經分析其本身含有淤土(Silt) 3%，是以對於與砂粒混合，所用之各種不同成份，實無絕大影响，其後，因此種紅土材料不足分配應用各項試驗，在穩定性試驗(Stability)中，乃另取別一種紅土，經分析其中含有淤土18%，恐砂土混合物中之土質成份與規定者不符，如須用10%土配合90%砂時，乃用至12%土來配合，雖不十分正確，但亦不致大謬也。

Ⅲ、試驗結果

先將三種粗細不同之砂粒，及紅土等分別試驗之，但本試驗所定之(一)一種尺寸之砂粒(One-sized Sand)及(二)兩種尺寸之砂粒(Two-sized Sand)，前者粒徑在第40号鋼篩以上，後者其在第40号鋼篩以下之粒徑，僅佔30%，(三)級配砂粒(Graded Sand)按級配之成份，而在第40号鋼篩以下者，亦僅在三份之二以內，普通試驗液体限度及塑性限度，其粒顆須透過第40号鋼篩以下者，今所用之三種砂粒實無從試驗其液体限度，塑性限度及塑性指數等，而試驗紅土所得之各項結果可參看附表(I)(II)(III)

表(I) 液體限度(Liquid Limit)

類別	罐及濕土重量 (gr.)	罐及乾土重量 (gr.)	罐重 (gr.)	乾土淨重 (gr.)	水份重量 (gr.)	水份百分率 (%)
第一種紅土	35.86	32.40	26.70	5.70	3.46	60.70
第二種紅土	39.35	34.20	25.75	8.45	5.15	60.95

表(II) 塑性限度(Plastic Limit)

類別	罐及濕土重量 (gr.)	罐及乾土重量 (gr.)	罐重 (gr.)	乾土淨重 (gr.)	水份重量 (gr.)	水份百分率 (%)
第一種紅土	29.75	28.84	26.10	2.74	0.91	33.20
第二種紅土	30.10	28.80	25.80	3.00	1.30	43.33

表(III) 塑性指數 (Plasticity Index)

類別	液体限度	塑性限度	塑性指數
第一種紅土	60.70	33.20	27.50
第二種紅土	60.95	43.33	17.62

應用公式：

$$液体限度 = \frac{水份重量}{乾土重量} \times 100,\ 塑性限度 = \frac{水份重量}{乾土重量} \times 100,$$

塑性指數＝液体限度－塑性限度.

(一) 一種尺寸之砂粒 (One-sized sand)

以此種砂粒為標準，與各種不同成份之紅土與砂粒配合要超過三比一之成份才可試驗得有結果。故表(V)中前列兩種所得結果為零.

表 IV 液體限度

類別	缸罐及濕土重量(gr)	缸罐及乾土重量(gr)	缸罐重(gr)	乾土重量(gr)	水份重量(gr)	水份百分率(%)
10%土 90%砂	38.65	36.85	26.63	10.22	1.80	17.61
20%土 80%砂	39.80	37.05	25.85	11.20	2.75	24.55
30%土 70%砂	64.90	59.99	43.56	16.42	4.91	29.88
40%土 60%砂	41.16	37.25	26.16	11.09	3.91	35.25
50%土 50%砂	41.66	37.16	25.76	11.40	4.50	39.47

表(V) 塑性限度

類別	罐及濕土重量(gr.)	罐及乾土重量(gr.)	罐重(gr.)	乾土重量(gr.)	水份重量(gr.)	水份百分率(%)
10%土 90%砂	—	—	—	—	—	0
20%土 80%砂	—	—	—	—	—	0
30%土 70%砂	49.44	48.59	43.50	5.09	0.85	16.69
40%土 60%砂	31.51	30.64	26.16	4.48	0.87	19.42
50%土 50%砂	31.95	30.87	26.56	4.31	0.08	25.06

表(VI) 塑性指數(Plasticity Index)

類別	液体限度	塑性限度	塑性指數
10%土 90%砂	17.61	0	0
20%土 80%砂	24.55	0	0
30%土 70%砂	29.88	16.69	13.19
40%土 60%砂	35.25	19.42	15.83
50%土 50%砂	39.47	25.06	14.41

表 Ⅲ、機械分析 (Mechanical Analysis)

類別	鋼篩孔數	透過百分率	存留每篩百分率	存留百分率	類別	鋼篩孔數	透過百分率	存留每篩百分率	存留百分率
10%土 90%砂	20	100	0	0	40%土 60%砂	20	100	0	0
	40	10	90	90		40	40	60	60
	60	10	0	90		60	40	0	60
	100	10	0	90		100	40	0	60
	200	7.2	2.8	92.0		200	28.8	11.2	71.2
20%土 80%砂	20	100	0	0	50%土 50%砂	20	100	0	0
	40	20	80	80		40	50	50	50
	60	20	0	80		60	50	0	50
	100	20	0	80		100	50	0	50
	200	14.4	5.6	85.6		200	36	14	64
30%土 70%砂	20	100	0	0		附註:			
	40	30	70	70					
	60	30	0	70					
	100	30	0	70					
	200	21.6	8.4	78.4					

表 VIII、最好水份 (O.M.C.)

類別	混和水份 (%)	罐重 (gr.)	罐及濕土重量(gr.)	罐及乾土重量(gr.)	乾土重量 (gr.)	水份重量 (gr.)	濕份 (%)
10%土 90%砂	18	43.45	87.95	80.35	36.90	7.60	20.51
	20	48.28	93.00	85.29	37.01	7.71	20.83
	25	46.20	92.11	83.59	37.39	8.52	20.78
	30	43.47	87.93	79.60	36.13	8.33	23.05
20%土 80%砂	15	25.70	71.50	64.40	38.70	7.10	18.35
	20	26.41	73.48	65.48	39.07	8.00	20.48
	25	26.15	74.01	65.83	39.68	8.18	20.86
	30	26.54	73.00	64.75	38.21	8.25	21.59
30%土 70%砂	20	25.97	73.56	65.67	39.70	7.89	18.10
	25	25.74	73.34	65.70	39.96	7.64	19.12
	30	26.00	73.83	65.90	39.90	7.93	19.87
	35	43.81	91.20	82.69	38.88	8.51	21.89
40%土 60%砂	20	26.75	74.00	66.00	39.25	8.00	20.28
	25	26.19	75.30	66.80	40.61	8.50	20.93
	30	26.15	75.15	66.60	40.45	8.55	21.11
	35	27.00	74.25	65.45	38.45	8.80	22.89
50%土 50%砂	18	26.90	73.10	63.85	36.95	9.25	25.03
	20	26.25	73.20	63.35	37.10	9.85	26.55
	25	26.45	71.40	61.30	34.85	10.10	28.98
	30	25.75	69.95	60.01	34.26	9.94	29.01

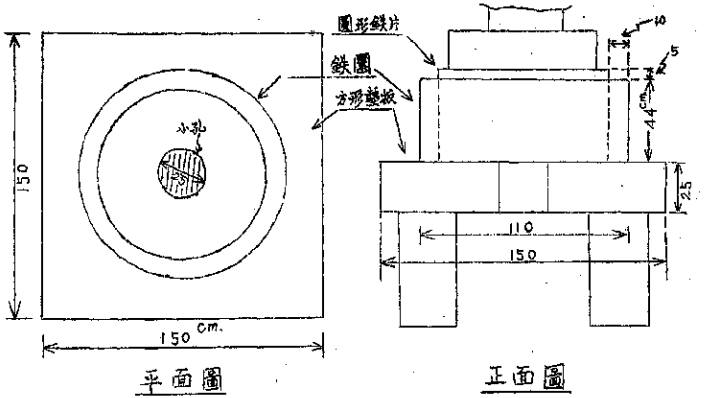
註：以上各試模皆用同一之体積，便利計算各個濕份，試模直徑為 2.5 cm. 高度 4.3 cm. 体積為 21.07 cm^3 受 132 kg/cm^2 壓力而成圓柱形.

按表Ⅲ所列之結果，描成曲線，在圖上求得各種之最好水份（Optimum Moisture Content）及密度（Density）。參看圖Ⅰ—Ⅴ以表Ⅸ所列之最好水份為標準，作穩定性（Stability）之試驗。

表Ⅸ 最好水份及密度(由圖上曲線求得者)

類別	最好水份 (%)	密度 (gr/cm³)
10%土，90%砂	21.70	1.79
20%土，80%砂	20.00	1.88
30%土，70%砂	19.40	1.89
40%土，60%砂	21.40	1.93
50%土，50%砂	25.90	1.76

穩定性試驗（Stability）乃用一圓鐵圈（直徑11.0cm.，深度4.4cm.）墊一鐵片於其下。鐵片中心穿一圓孔（直徑2.5cm.），上鋪薄紙以免混合物漏出，鐵圈中滿盛配好之混合物，上鋪一圓形鐵片，使所受之壓力平均。經壓力機在鐵片上壓至混合物由鐵圈下墊之鐵片小孔上衝出，同時記錄所受之壓力，以試樣之面積除之，乃求得其每平方公分所能承受若干公斤壓力之穩定性，此試驗所用之鐵圈等，可參看附圖。



表五. 穩定性 (Stability)

類別	最好水份 (%)	混合物面積 (sq.in)	壓力 (lb.)	穩定性 (lb./sq.in.)
10%土, 90%砂	21.7	14.85	30000	2020.20
20%土, 80%砂	20.0	〃	44000	2962.96
30%土, 70%砂	19.4	〃	47000	3164.98
40%土, 60%砂	21.4	〃	17500	1179.12
50%土, 50%砂	25.9	〃	——	——

圖I中各直綫,乃根據試驗所得由表四,五及四,之結果,用最近之值繪畫而成。各種限度及指數之趨向,從圖中觀察証明含土量愈多,其數值愈大。

在圖II至四中之各曲線,証明凡砂土混合物之最好水份(O.M.C),其所混合之濕份過多或過小時,其密度之遞降成同樣之趨向,亦即濕份與密度成正比例達至一定之限度時,以後則為反比例之趨向。

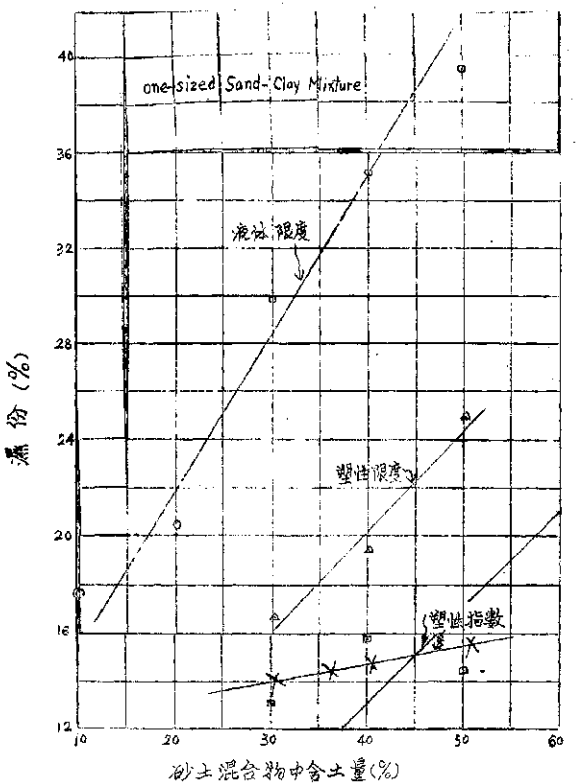
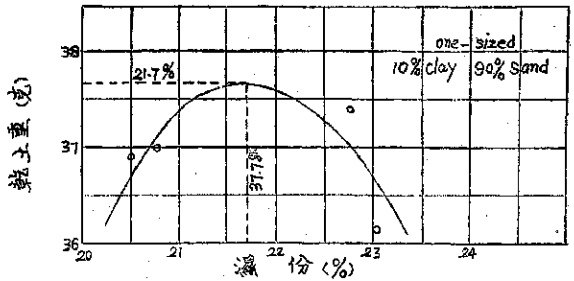
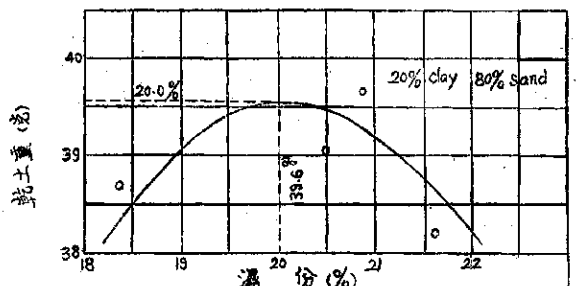


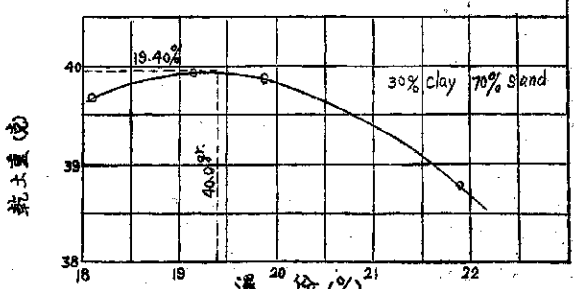
圖 I、砂土成份不同配合所得之各限度及指數之趨向



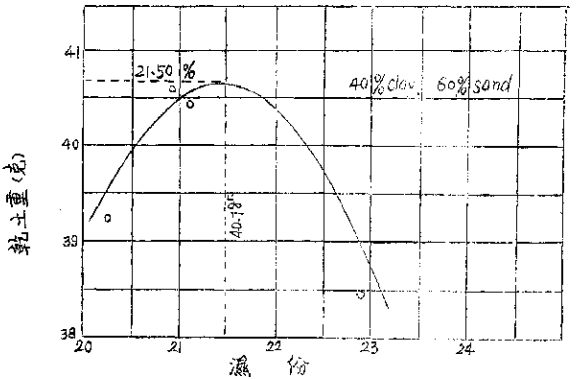
圖II、10%土，90%砂之最好水份(O.M.C)



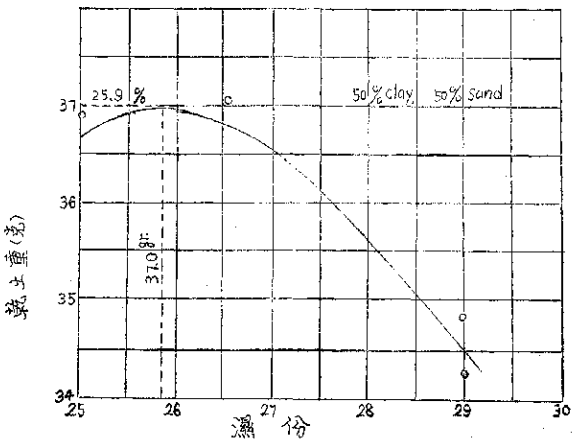
圖III 20%土，80%砂之最好水份(OM C)



圖IV. 30%土，70%砂之最好水份(O.M.C)



圖V. 40%土, 60%砂之最好水份(O.M.C.)



圖VI. 50%土, 50砂之最好水份(O.M.C.)

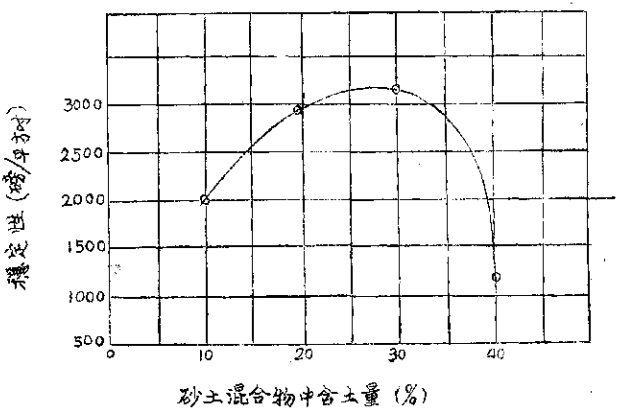


圖 四、砂土混合物中含土量各異所成之穩定性曲綫

(二) 兩種尺寸之砂粒(Two-sized sand)

從表VI與表IV比較,証明在混合物中較細之粒顆所佔之成份多寡,而液体限度及塑性限度亦隨之成正比例。

表VI 液体限度

類別	罐及濕土重量(gr.)	罐及乾土重量(gr.)	罐重(gr.)	乾土重量(gr.)	水份重量(gr.)	水份百分率(%)
10%土, 90%砂	37.76	35.70	26.44	9.26	2.06	22.25
20%土, 80%砂	40.80	37.90	26.00	11.90	2.90	24.37
30%土, 70%砂	61.13	57.30	44.60	12.70	3.83	30.16
40%土, 60%砂	59.82	55.50	43.63	11.87	4.32	36.39
50%土, 50%砂	66.88	61.48	48.12	13.36	5.40	40.42

表VII 塑性限度

類別	罐及濕土重量(gr.)	罐及乾土重量(gr.)	罐重(gr.)	乾土重量(gr.)	水份重量(gr.)	水份百分率(%)
10%土, 90%砂	——	——	——	——	——	0
20%土, 80%砂	——	——	——	——	——	0
30%土, 70%砂	54.20	53.45	49.00	4.45	0.75	16.85
40%土, 60%砂	50.70	49.56	44.38	5.18	1.14	22.01
50%土, 50%砂	53.28	52.00	46.30	5.70	1.20	22.46

表XIII　塑性指數

類　別	液体限度	塑性限度	塑性指數
10%土, 90%砂	22.25	0	0
20%土, 80%砂	24.37	0	0
30%土, 70%砂	30.16	16.85	13.31
40%土, 60%砂	36.39	22.01	14.38
50%土, 50%砂	40.42	22.46	17.96

表XIV　機械分析

類別	篩號	透過百分率	存留每篩百分率	存留百分率	類別	篩號	透過百分率	存留每篩百分率	存留百分率
10%土 90%砂	20	100	0	0	40%土 60%砂	20	100	0	0
	40	37	63	63		40	58	42	42
	60	10	27	90		60	40	18	60
	100	10	0	90		100	40	0	60
	200	72	28	92.8		200	28.8	[illegible]	71.2
20%土 80%砂	20	100	0	0	50%土 50%砂	20	100	0	0
	40	44	56	56		40	65	35	35
	60	20	24	80		60	50	15	50
	100	20	0	80		100	50	0	50
	200	14.4	5.6	85.6		200	36	14	64
30%土 70%砂	20	100	0	0	附註：—				
	40	51	49	49					
	60	30	21	70					
	100	30	0	70					
	200	21.6	8.4	78.4					

表 XV 最好水份

類別	混和水份 (%)	試模体積 (cm^3)	罐重 (gr)	罐及濕土重量(gr)	罐及乾土重量(gr)	乾土重量 (gr)	水份重量 (gr)	濕份 (%)
10%土 90%砂	18	21.07	26.48	70.00	62.50	36.02	7.50	20.82
	20	〃	26.13	71.50	63.50	37.37	8.00	21.14
	25	〃	26.00	70.60	62.60	36.60	8.00	21.86
	30	〃	25.80	71.00	61.90	36.10	9.10	25.21
20%土 80%砂	20	〃	26.05	73.36	64.80	38.75	8.56	22.09
	25	〃	26.70	74.54	65.82	39.12	8.72	22.29
	30	〃	25.90	73.20	64.70	38.80	8.50	21.91
	35	〃	48.24	96.25	88.15	38.91	8.10	20.82
30%土 70%砂	10	〃	44.40	90.28	84.28	39.88	6.00	15.05
	14	〃	44.38	92.50	84.82	40.44	7.68	18.99
	16	〃	44.35	92.80	85.40	41.05	7.40	18.03
	18	〃	45.00	93.30	85.20	40.20	8.10	20.15
	20	〃	43.42	90.90	82.30	38.88	8.60	22.12
	25	〃	44.60	92.50	84.25	39.65	8.25	20.81
	30	〃	44.38	91.97	83.46	39.08	8.51	21.78
40%土 60%砂	14	〃	46.24	92.72	86.24	40.00	6.48	16.20
	18	〃	45.01	92.10	83.40	38.39	8.70	22.66
	20	〃	44.39	93.44	85.99	41.60	7.45	17.90
	30	〃	43.59	92.65	84.40	40.81	8.25	22.16
50%土 50%砂	8	〃	43.45	87.53	82.10	38.65	3.03	14.05
	12	〃	26.60	74.16	66.61	40.01	7.55	18.87
	16	〃	46.29	93.30	84.61	38.32	8.69	22.68
	18	〃	26.60	72.30	62.27	35.67	10.03	28.12
	20	〃	26.05	71.77	61.50	35.45	10.27	28.97

表 XVI 最好水份及密度(由圖上曲綫求得者)

類　別	最好水份 (%)	密　度 (g/cm²)
10%土，90%砂	22.70	1.81
20%土，80%砂	22.00	1.85
30%土，70%砂	18.00	1.94
40%土，60%砂	18.60	1.95
50%土，50%砂	18.00	1.89

表 XVII 穩定性

類　別	最好水份 (%)	混合物面積 (sq.in.)	壓　力 (lb.)	穩定性 (lb/sq.in.)
10%土，90%砂	22.70	14.85	35000	2356.90
20%土，80%砂	22.00	〃	39000	2626.26
30%土，70%砂	18.00	〃	35000	2356.90
40%土，60%砂	18.60	〃	21000	1414.14
50%土，50%砂	18.00	〃	——	——

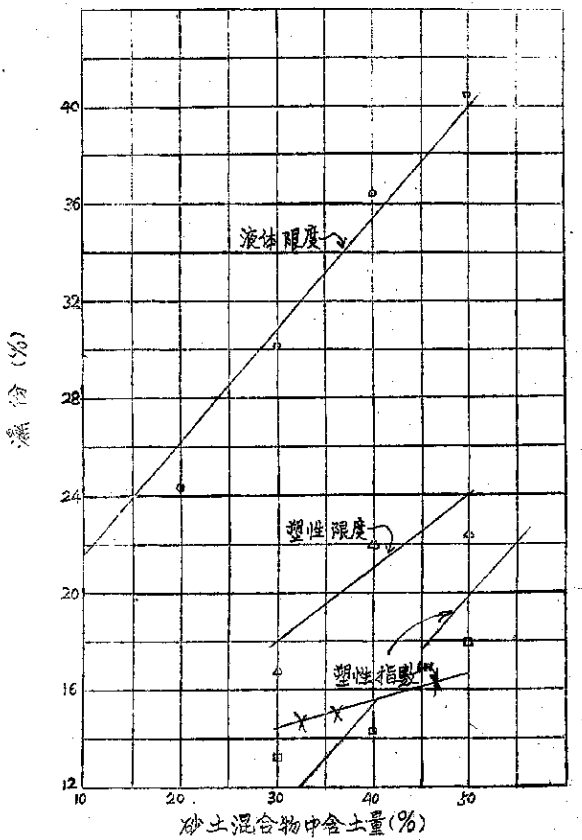


圖 VIII. 砂土成份不同配合所得之各限度及指數之趨向

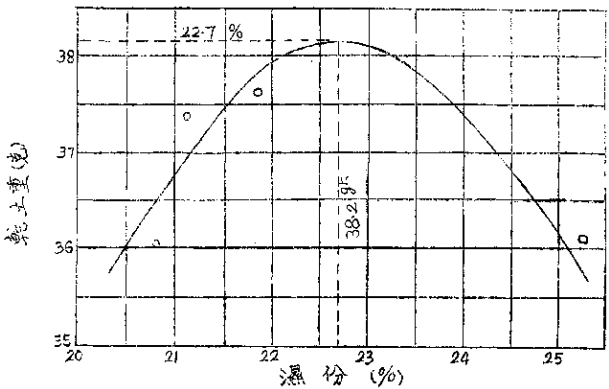


圖 IX、10%土，90%砂之最好水份

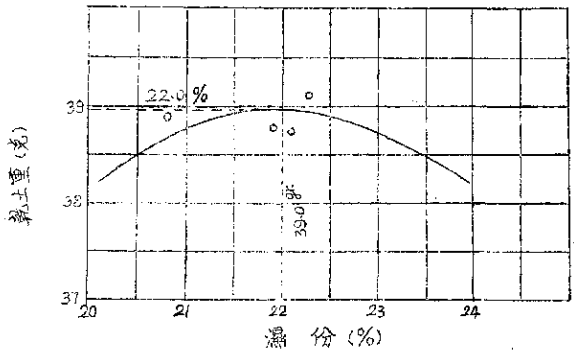


圖 X、20%土，80%砂之最好水份

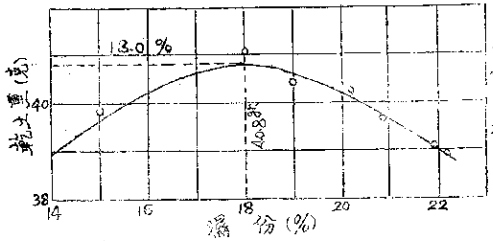


圖 XI、30%土, 70%砂之最好水份

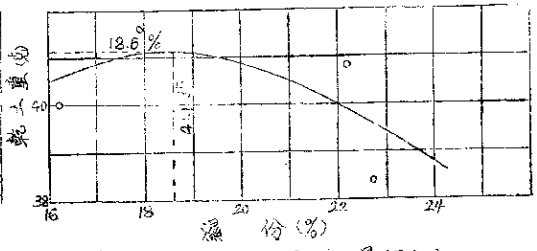


圖 XII、 40%土, 60%砂之最好水份

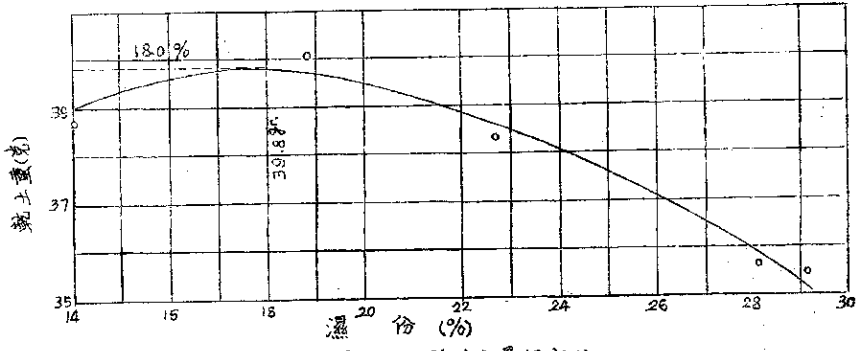


圖 XIII 50%土, 50%砂之最好水份

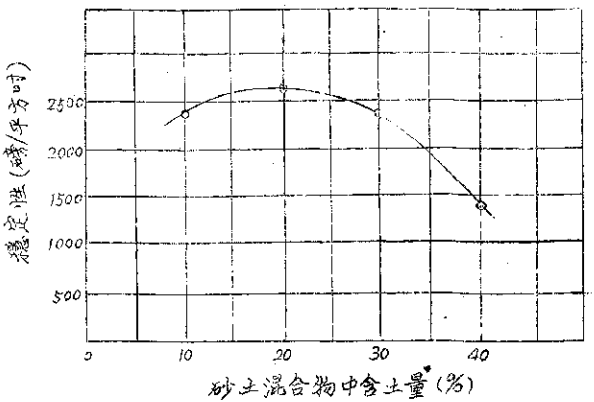


圖 XIV 砂土混合物中含土量各異所成之穩定性曲綫

(三) 級配砂粒 (Graded Sand)

欲求級配砂粒之塑性指數,每一不同成份之砂土混合物,用其通過第40号鋼篩者,作液体限度及塑性限度之試驗,其他試驗仍照計算規定配合成份之標準試驗之.

表 XVIII 液体限度 (用通過第40号鋼篩以下者)

類別	罐及濕土重量(gr)	罐及乾土重量(gr)	罐重(gr)	乾土重量(gr)	水份重量(gr)	水份百分率(%)
10%土,90%砂	68.38	64.88	48.11	16.77	4.50	26.83
20%土,80%砂	60.70	56.79	44.40	12.39	4.00	32.29
30%土,70%砂	67.02	61.20	46.29	14.91	5.82	39.03
40%土,60%砂	68.30	61.00	44.38	16.62	7.30	43.92
50%土,50%砂	42.99	37.63	26.70	10.93	5.36	49.04

表 XIX 塑性限度 (用通過第40号鋼篩以下者)

類別	罐及濕土重量(gr)	罐及乾土重量(gr)	罐重(gr)	乾土重量(gr)	水份重量(gr)	水份百分率(%)
10%土,90%砂	47.11	46.59	44.41	2.18	0.52	23.85
20%土,80%砂	49.60	48.35	43.42	4.93	1.25	25.35
30%土,70%砂	47.58	46.51	43.25	3.26	1.07	32.82
40%土,60%砂	50.54	48.95	43.75	5.20	1.59	30.58
50%土,50%砂	49.71	48.43	44.80	3.63	1.28	35.26

表 XX、塑性指數

類別	液体限度	塑性限度	塑性指數
10%土, 90%砂	26.83	23.85	2.98
20%土, 80%砂	32.29	25.35	6.94
30%土, 70%砂	39.03	32.82	6.21
40%土, 60%砂	43.92	30.58	13.34
50%土, 50%砂	49.04	35.26	13.78

表 XXI 機械分析

類別	鋼篩号數	透過百分率	存留每篩百分率	存留百分率	類別	鋼篩号數	透過百分率	存留每篩百分率	存留百分率
10%土 90%砂	20	60.4	39.6	39.6	40%土 60%砂	20	73.6	26.4	26.4
	40	37.9	22.5	62.1		40	58.6	15.0	41.4
	60	27.1	10.8	72.9		60	51.4	7.2	48.6
	100	18.1	9.0	81.9		100	45.4	6.0	54.6
	200	7.2	10.9	92.8		200	28.8	16.6	71.2
20%土 80%砂	20	64.8	35.2	35.2	50%土 50%砂	20	78.0	22.0	22.0
	40	44.8	20.0	55.2		40	65.5	12.5	34.5
	60	35.2	9.6	64.8		60	59.5	6.0	40.5
	100	27.2	8.0	72.8		100	54.5	5.0	45.5
	200	14.4	12.8	85.6		200	36.0	18.5	64.0
30%土 70%砂	20	69.2	30.8	30.8	附註:—				
	40	51.7	17.5	48.3					
	60	43.3	8.4	56.7					
	100	36.3	7.0	63.7					
	200	21.6	14.7	78.4					

表XXII. 最好水份

類別	混和水份 (%)	試模体積 (Cm³)	罐重 (gr)	罐及濕土重量(gr)	罐及乾土重量(gr)	乾土重量 (gr)	水份重量 (gr)	濕份 (%)
10%土 90%砂	14	21.07	26.60	72.01	65.33	38.73	6.68	17.25
	16	»	25.78	72.68	65.45	39.67	7.23	18.23
	18	»	26.70	71.70	64.20	37.50	7.50	20.00
	20	»	26.47	72.50	65.25	38.78	7.25	18.70
	25	»	26.01	71.38	63.70	37.69	7.68	20.38
20%土 80%砂	8	»	45.41	90.00	85.11	40.10	4.89	12.19
	12	»	43.45	90.90	84.25	41.80	6.65	15.91
	14	»	49.18	97.70	90.35	41.17	7.35	17.85
	16	»	44.40	92.80	85.00	40.60	7.80	19.21
	18	»	44.92	92.50	84.05	39.43	8.23	20.87
	20	»	43.45	91.21	82.90	39.45	8.30	21.04
30%土 70%砂	10	»	46.29	93.91	87.59	41.34	6.32	15.29
	12	»	25.78	74.46	67.45	41.67	7.01	16.82
	14	»	45.01	94.61	87.50	42.49	7.11	16.73
	16	»	46.29	95.21	87.49	41.20	7.72	18.74
	18	»	49.18	96.35	88.01	38.83	8.34	21.48
40%土 60%砂	10	»	44.40	91.90	85.45	41.05	6.45	15.71
	12	»	26.01	74.54	67.20	41.19	7.34	17.82
	14	»	26.47	75.58	67.70	41.23	7.88	19.11
	16	»	26.70	74.50	65.80	39.10	8.70	22.25
	18	»	26.01	73.03	63.81	37.80	9.22	24.39
50%土 50%砂	8	»	26.47	71.40	65.81	39.34	5.59	14.21
	10	»	26.70	73.81	67.19	40.49	6.62	16.35
	12	»	48.11	96.30	88.55	40.44	7.75	19.16
	14	»	49.99	98.05	89.66	39.67	8.39	21.15
	16	»	43.80	91.34	82.40	38.60	8.94	23.16
	18	»	43.60	90.10	80.63	37.03	9.47	25.57

表 XXIII 最好水份及密度(由圖上曲線求得者)

類　別	最好水份 (%)	密度 (gr/cm²)
10% 土, 90%砂	18.00	1.89
20% 土, 80%砂	16.00	1.97
30% 土, 70%砂	17.00	2.00
40% 土, 60%砂	17.80	1.97
50% 土, 50%砂	17.80	1.92

表 XXIV 穩定性

類　別	最好水份 (%)	混合物面積 (sq.in)	壓　力 (lb.)	穩定性 (lb/sq.in)
10%土, 90%砂	18.0	14.85	47000	3164.98
20%土, 80%砂	16.0	〃	40000	2693.60
30%土, 70%砂	17.0	〃	20000	1346.80
40%土, 60%砂	17.8	〃	15000	1010.10
50%土, 50%砂	17.8	〃	——	——

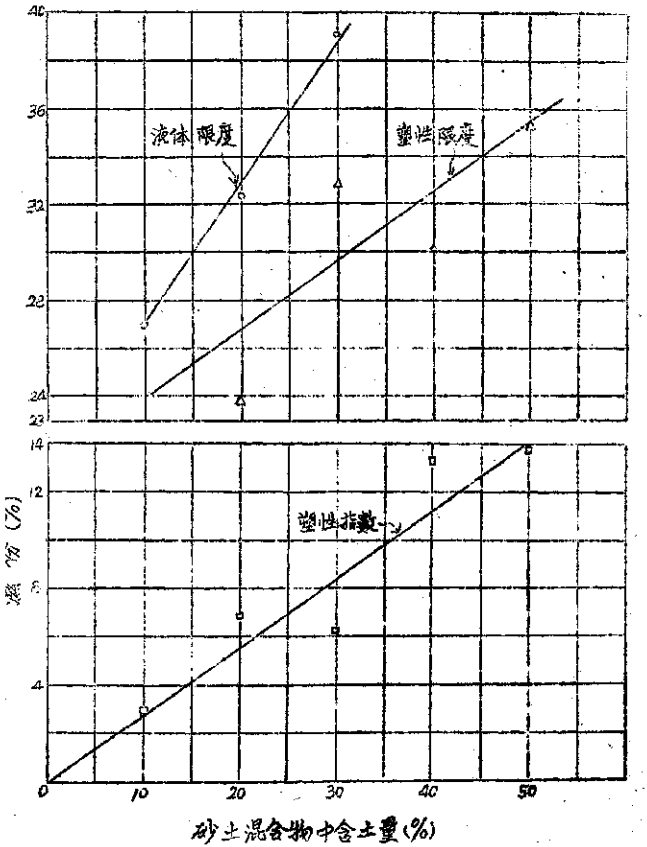


圖 XV、砂土成份不同配合所得之各限度及指數之趨向

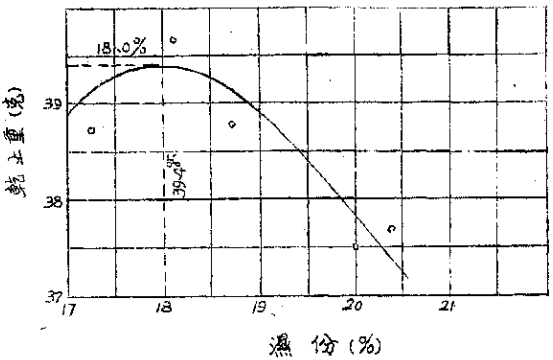


圖 XVI、10%土，90%砂之最好水份

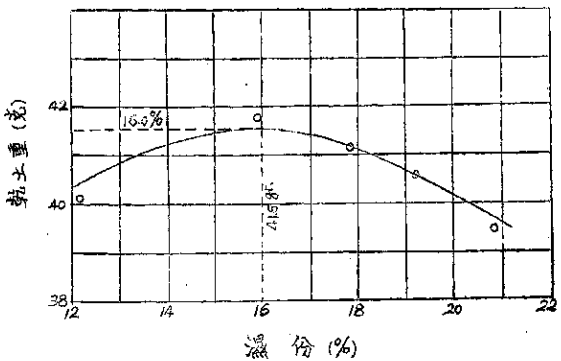


圖 XVII、20%土，80%砂之最好水份

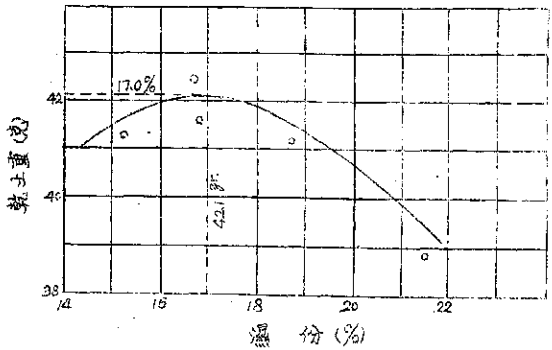


圖 XVII. 30%土，70%砂之最好水份

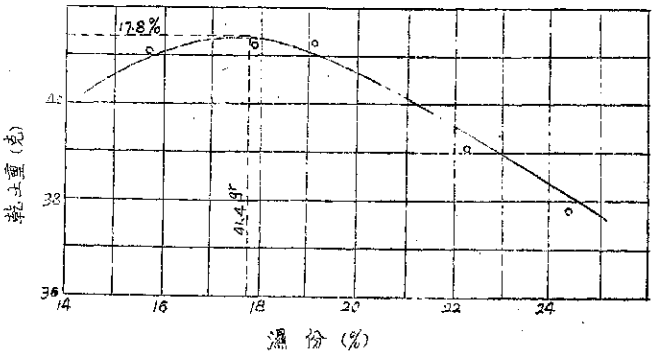


圖 XIX. 40%土，60%砂之最好水份

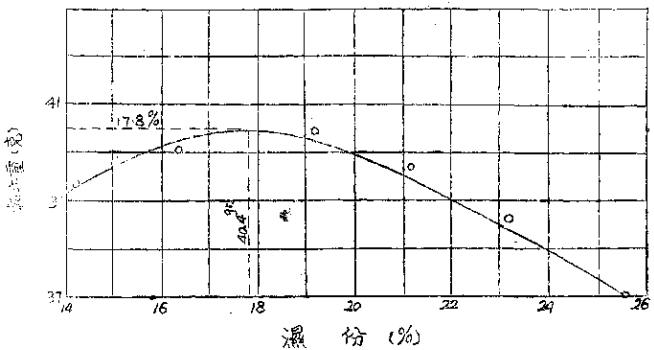


圖 XX、50%土,50%砂之最好水份

砂土混合物中,砂粒之粗細及所佔之成份多寡,影响其密度之大小甚重,蓋砂粒太粗,或土壤顆粒太細,混合之後,因顆粒太小之懸殊,其中空隙得不到適當粗細之顆粒填充之,如級配砂粒乃有適當粗細之顆粒配合,故與土壤混合後,其密度甚為優良,參看圖XXI中,三種曲線之比較,可以証明,同時,各種砂粒與不同成份之土壤混合,其密度亦各異,根據圖上之三種曲線,証明砂土混合物中,含土量過多或太小均不適宜,大概在20%至40%間之含土量,為最適合。其含土量若干,與各種砂料配合後,所得之最大重量如何,亦可在圖上同時檢查得其差異之比較。

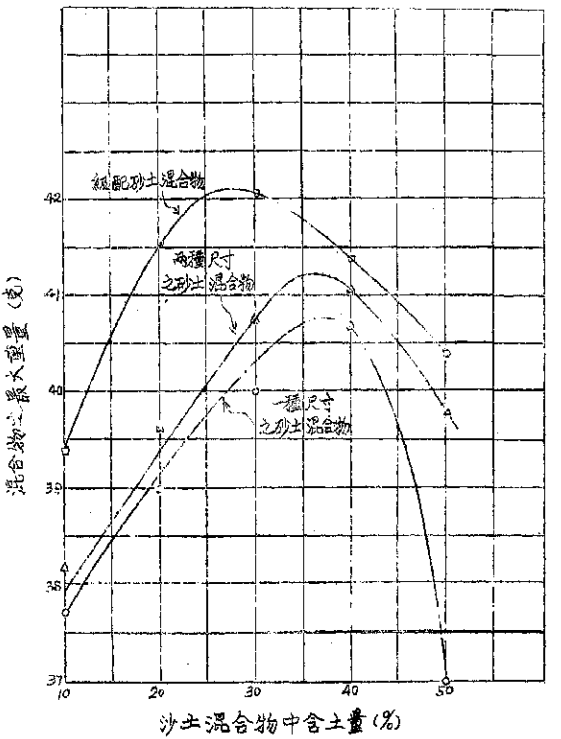


圖 XXI (1)(2)(3) 種砂粒與不同成份之土壤配合,所得各異之最大密度比較曲綫

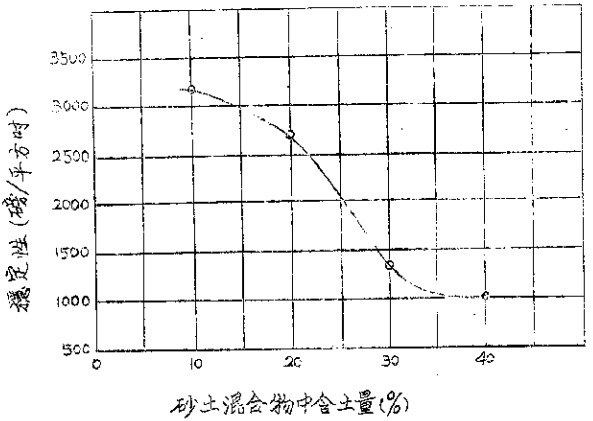


圖 XVII 砂土混合物中含土量各異之穩定性曲綫

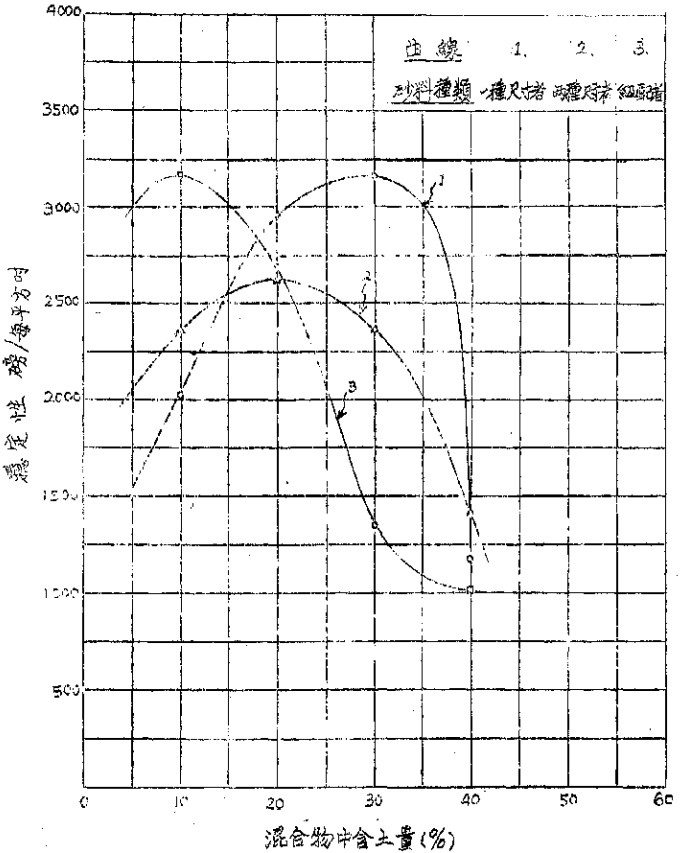

曲線 1. 2. 3.
砂料種類 一種尺寸者 兩種尺寸者 細砂者
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
10
20
30
40
50
60
1
2
3
體定性 磅/每平方吋
混合物中含土量(%)

圖 XXIII

(四)計論部項：

(一)塑性指數：

本試驗結果而觀，所有三種砂料，其塑性指數均為零數，可見一種尺寸之砂料(One-sized Sand)，加拌泥土至20%，仍難得到其指數，如表(VI)所示者然，如至30%之時，指數得12.19，40%時得15.83，50%時得14.41，此種趨向，在圖(I)中，可以看出，雖有不合之點，將其所繪之曲線，加至20%泥土，其指數當在17左右，兩種尺寸之砂料(Two-Sized Sand)，亦有相同之現象，參閱表(XIII)及圖(VIII)，其指數確值，在加拌30%泥土，其指數約為12，40%時約為15，50%時約為18左右，至級配砂料(Graded Sand)之塑性指數，雖亦為零，但加泥土之後，有顯著不同之點，由表(XV)所示，加拌10%泥土，其指數為2.88，20%泥土時，則為6.9，30%泥土時，則為8.2，40%泥土時則為13.3，50%泥土時，則為13.8，茲繪成合理之曲線，其指數亦略有應加改正之處，茲列之於下：—

表(XV)各種砂料加拌泥土後塑性指數更正表

砂料 / 泥土百分比	一種尺寸砂料	兩種尺寸砂料	級配砂料
10%	——	——	2.8
20%	——	——	5.6
30%	12	11	8.4
40%	16	16	10.2
50%	17	18	14.1

由表227,51列,可以知砂料中所含顆粒之尺寸,對於加拌泥土後所得之塑性指數,有密切之關係。其尺寸種類愈多,雖泥土成份相同,但其指數乃愈小。例如在某地方,修築砂土路面,有砂料三種,一為一種尺寸者,一為兩種尺寸者,一為級配尺寸者,倘此三種砂料,均加拌30%之泥土修築而成,在多雨之季,第一種當最為泥濘,第二種次之,第三種必更次之。故由塑性指數之立場而觀,砂料之選擇,當以有級配者為最佳,而在多雨之區尤為重要,若一種尺寸或兩種尺寸而無級配之砂料,在少雨或乾燥區域,雖勉強應用,惟稍具級配之性,成績尚較優良。

(二)最大密度:

各種不同性質之土壤,各有其不同之最大密度,欲得其各自不同之最大密度,必須求出其各自不同之最好水份。砂土混合物之最好水份,由本試驗所知,當在16%至25%之間(請參閱最好水份之各種圖表),其所得最大之密度列之於下:

(甲)一種尺寸砂料(約40%泥土) ---------- 1.93克/立方公分(合122磅/立方呎)

(乙)兩種尺寸砂料(約40%泥土) ---------- 1.95克/立方公分(合124磅/立方呎)

(丙)級配砂料加(約30%泥土) ---------- 2.00克/立方公分(合127磅/立方呎)

由上列而觀,可以證明,砂土混合物中之顆粒種類愈多,則其所得之密度為愈大,富勒氏及韋毛氏之理論,至為確實。

(三)含土量:

砂料摻拌泥土,若以最大密度為目標,其含土量頗有重要性。由本試驗之結果而觀之,每種混合物,有其各自之最佳含土量(Optimum Clay

(Voids)，自圖(XXII)上加以檢查，可得下列各結果：

(甲)一種尺寸砂料之最佳含土量 ---------- 33%

(乙)兩種尺寸砂料之最佳含土量 ---------- 39%

(丙)級配砂料之最佳含土量 ---------- 27%

由上列各種砂料之最佳含土量，可以看出，砂料顆粒粗細之配合與含土量之多寡，有密切之關係，換而言之，砂土混合物，其級配程度與含土量為反比例，級配愈佳，則最佳含土量愈小，級配愈劣，則其最佳之含土量應當增加。砂土混合物之配合設計，最佳含土量，雖甚重要，然仍須有穩定之能力(Stability)，方足以應付車輛之作動，而保路面之安全。

(四)穩定性(Stability)：

每種砂土混合物，得到最大穩定性之時，其含土量較之密度最大密度時尤為例。在第(XXIII)圖中，可以看出，一種尺寸砂料最大穩定性時之含土量約為10%，兩種尺寸砂料最大穩定性時之含土量約為20%，級配砂料最大穩定性時之含土量約為30%，由此可見，欲求最大之穩定性，砂料級配愈佳，則所需含土量愈高，故設計砂土路面材料之配合，其含土量之多寡，必須能夠適合密度及穩定性之條件也。

(3) Dr. Strahan所定砂土混合成份之比較：

Dr. Strahan為美國研究砂土路面之有成績者，茲按照彼所定之成份，加以實驗而資比較，但其所定砂料顆粒在第六十號篩以上者，有一適當等級之配合而含土量亦有一定之成份，茲錄列於下：—

材料	硬性者	中性者	軟性者
泥土，%	10至15	10至25	15至25
淤土，%	5至15	5至20	5至20
共有沙料，%	70至80	60至80	55至80
特留六十号篩上砂料%	45至60	30至60	20至60

由上表而觀，其所分之硬性，中性及軟性三種，猶如塑性指數之規定。硬性者粗砂多而泥土少，其指數必低，是適於多雨之區域，中性者細砂及泥土均較多，其指數亦必較高，是適於少雨區域，軟性者粗砂最少而含土量最大，其塑性指數為最高，是適宜於乾燥區域。Dr. Strahan雖未能確論三種含土量不同之原因，但其用意，當不外乎以雨量為根據，而砂料顆粒之分配，亦係按照密度為張本，但未能作論最大密度之原理，以定其成份。至砂土混合物之穩定性，則毫未提及，內磨擦理論（Theory of Internal Friction）亦未引用，似為最大之缺点也。

(V) 結論：

本篇報告之試驗，自始至終，所用時間，約三月有餘，因研究時間之短促，一切不免有簡陋疏忽之處。但就砂土路面材料配合之理論，已能有所根據，而定其大致之規則。總之，砂土路面，雖為路面中最簡單之一種，但一切原理與高級路面，并無差別。其最要之因素，不外下列數種：—

(甲) 最大之密度

(乙) 適宜之塑性指數

(丙) 適宜之含土量

(丁) 最好之水份

(戊) 最佳之穩定性

但砂料之成份,各地不同,利用當地材料,實係經濟之上策,倘能製成級配之程度,固屬至佳,否則因地制宜,就而採用,亦無不可,但須合乎上述五種之條件,方能經持路面之健全。本試驗之結果,雖未能所據以而下斷語,但就各種結果之情形,亦可得一臨時之定論,惟是否確實,尚須有待實地試驗之證明,茲先將大概情形,繪到下表,聊供研究而已。

區域與季節	砂料性質	塑性指數	最小穩定性 磅	最小密度 磅/立方呎	最好水份 %	流土成份 %	砂料成份 %
冬雨	一種尺寸者	0至3	20,000	100	21±	10至20	90至80
	兩種尺寸者	〃	〃	110	20±	10至20	90至80
	級配者	〃	〃	120	19±	5至15	95至85
冬雨	一種尺寸者	3至9	〃	100	20±	20至30	80至70
	兩種尺寸者	〃	〃	110	19±	20至30	80至70
雨	級配者	〃	〃	120	18±	10至25	90至75
乾燥	一種尺寸者	9至15	〃	100	20±	30至40	70至60
	兩種尺寸者	〃	〃	110	18±	30至40	70至60
	級配者	〃	〃	120	17±	20至30	80至70

上表所列,係就本試驗所用材料而言,其中泥土,關係最巨,泥土性質各異,其結果自然不同。本試驗採用之泥土,其塑性指數為27.5,大約指數在30左右者,該無大差,若較黏之泥土,其指數往往有大至六七十者,則泥土成份,勢須減低,此無庸諱言者也。是以砂土路面材料之配合,尚須加以進一步之試驗,俟有結果,當續在本刊發表,以供研究。

公路新聞一則

美國本薛文尼亞省稅路(Turnpike)行將完成

(節譯 Civil Engineering 第十卷第二期1940)

美國本薛文尼亞省性一最長之稅路,將於本年六月中修築完成,該路計長一百六十哩,接連皮茲堡及哈利絲堡兩地,為美國全國最長之稅路(Toll Road),車輛速度,不加限制,沿途不受阻擾,全路工程,自一九三八年十月開始,本年六月完成,為時約一年有餘,成績優良,允足驚人。全路最大坡度為3%,最大曲度為6°,路基寬度為七十八呎,路肩十呎,水泥路面寬四十八呎,中間隔以草地,分成來往車道四條。稅率共有數項,計小包車全程一次納稅一元五角,其餘貨車客車半拖車之類,則自三元至十元不等,每年收入,平均約為美金四百餘萬元,全部建築費約為美金二千六百餘萬元,每英里建築費,則為十六萬元云。

本刊第一卷共四期總目錄

交通部～清華大學

公路研究實驗室出版

昆明拓東路迤西會館

成立日期: 民國廿八年十二月

交通部～清華大學

公路研究實驗室

職員一覽

主　任　趙祖康(交通部公路總管理處處長兼任)

副主任　陳本端(交通部公路總管理處技正兼任并代理室務)

副主任　李謨熾(國立清華大學公路教授兼任)

研究員　陳本端(兼任)

研究員　李謨熾(兼任)

試驗員　王耀華

試驗員　涂漢廷

試驗員　———

繕寫員　楊競舒

繕寫員　王　姍

地　址：昆明拓東路迤西會館內

成立日期：二十八年十二月

年

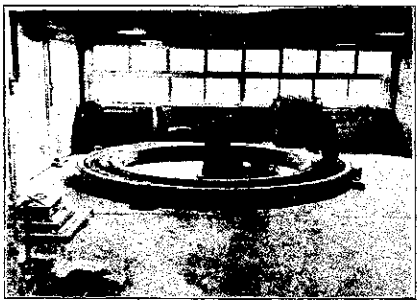
第 2 卷

第 1—4 期

公路月刊

公路工程研究刊物

第二卷　第一期　民國廿九年六月出版



交通部∞清華大學
公路研究實驗室
昆明拓東路迤西會館

目　錄

公路平曲線最短半徑之設計

公路平曲線最短半徑或最大曲度，普通多係任意規定，鮮有根據指定速度而設計者。本文範圍，乃想最短半徑設計原則及方式，分別述明。任意規定實例甚多，茲揮數處，列舉如下：

1. 美國州道人員協會（A.A.S.H.O.）

公路級別	甲級	Z級	丙級	丁級	戊級	己級	庚級
每日車輛	4,000以上	750-4000	300-750	200-300	100-200	50-100	100以下
最大曲度(弧制)	2°30′	4°	5°	8°	10°	20°	28°
最短半徑(公尺)	700	438	350	219	175	87	62

2. 美國築路家協會（A.R.B.A.）

公路級別		一級	二級	三級
每日車輛		3,000以上	1,000-3,000	1,000以下
地形	沿海及平原	6°(291公尺)	10°(175公尺)	20°(87公尺)
	起伏及小山	10°(175公尺)	15°(117公尺)	20°(87公尺)
	山麓及高山	30°(58公尺)	50°(35公尺)	60°(29公尺)

3. 德國汽車專用公路（Autobahnen）

公路區域	低地	山地
最短半徑(公尺)	2,000	400

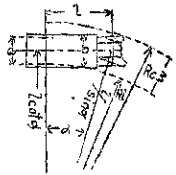
4. 中國交通部公路總管理處(二十九年一月擬訂)

公路級別		甲等	乙等	丙等
最小曲線半徑	平原區	150	60	30
	丘陵區	100	50	25
	山嶺區	50	25	15

平曲線半徑，如機上或實例任意規定，固屬可以，但如根據實際情形設計，則更屬合理。平曲線半徑之設計，視公路級別，地勢情形，及指定設計速度而定，其中尤以速度為支配因數。蓋設計速度之指定，又視公路級別及地勢情形等而轉移，故設計時速度之選擇，為首先需決定之條件也。據作者意見，平曲線半徑之設計，可分為三方面論及之。

1. 最短車行半徑之設計

最短車行半徑，係在低齒輪最低速度情形之下，車身能轉向行駛之半徑，同時路面必需特別加寬。小於此時，勢非後退，車身不易轉過。此種半徑，除在特殊困難地勢情形之下，絕對不宜採用。其設計方式如下：



設: l = 軸距 = 5 公尺

a = 輪距 = 1.7 公尺

b = 車身寬度 = 2.1 公尺

α = 駕駛角度 = 30°–45°

W = 路面寬度 (公尺) (單車道)

R_i = 平曲線內線半徑 (公尺)

R_c = 平曲線中線半徑 (公尺)

$$R_i = l\cot\alpha - \frac{a}{2} \qquad R_c = \frac{l}{\sin\alpha} + \frac{b}{2} \qquad W = R_c - R_i$$

$\alpha = 30°$

$$R_i = 5\cot 30° - \frac{1.7}{2} = 7.80 \text{ 公尺}$$

$$R_c = \frac{5}{\sin 30°} + \frac{2.1}{2} = 11.05 \text{ 公尺}$$

$$W = 11.05 - 7.80 = 3.25 \text{ 公尺}$$

$\alpha = 45°$

$$R_i = 5\cot 45° - \frac{1.7}{2} = 4.15 \text{ 公尺}$$

$$R_c = \frac{5}{\sin 45°} + \frac{2.1}{2} = 8.12 \text{ 公尺}$$

$$W = 8.12 - 4.15 = 3.97 \text{ 公尺}$$

2. 最短安全半徑之設計

最短安全半徑，係在指定設計速度之下，汽車能安全轉向行駛之半徑。公路平曲線最短半徑，除在困難地

勢情形外，通常皆宜以此為準繩，以期行車之安全及速度之維持。安全半徑之設計，須根據路面旁滑原則。冰凍結路面之旁滑係數，普通為0.104，故超高度每公尺不得大於0.104公尺；在不易凍結及不滑之路面，每公尺超高度可至0.125公尺而無覆車之虞。據實驗結果，每小時48至96公里之速度，安全旁滑係數為0.16；每小時104公里之速度，係數為0.15；每小時112公里之速度，係數則為0.14。

設：
S = 設計速度 = 30公里/時
V = 設計速度（公尺/秒）
W = 車輛總重（公噸）
g = 地心引力（9.8公尺/秒/秒）
E = 超高度（公尺/公尺）
F = 旁滑係數
C = 離心力

$$C = \frac{WV^2}{gR} = \left(\frac{1000}{3600}\right)^2 \frac{WS^2}{9.8R} = 0.00787\,\frac{S^2W}{R}$$

$$\frac{C}{W} = \text{離心比率} = 0.00787\,\frac{S^2}{R} = E + F$$

$$0.00787\,\frac{S^2}{R} = 0.104 + 0.16 \qquad R = 0.03\,S^2$$

$$R = 0.03 \times 30^2 = 27 \text{ 公尺}$$

3. 最短安適半徑之設計

最短安適半徑，係在指定速度之下，轉向行駛時，

多數乘車者感覺安適之半徑。在鄉道公路，在可能範圍之內，宜儘量採用此為標準。根據在十四個不同半徑曲線行駛實際觀察結果，安適半徑之公式如下：

$$R=\frac{S^3}{6380(e+0.2)}$$

設：S = 設計速度 = 50公里/時

e = 超高度 = 0.10 公尺/公尺

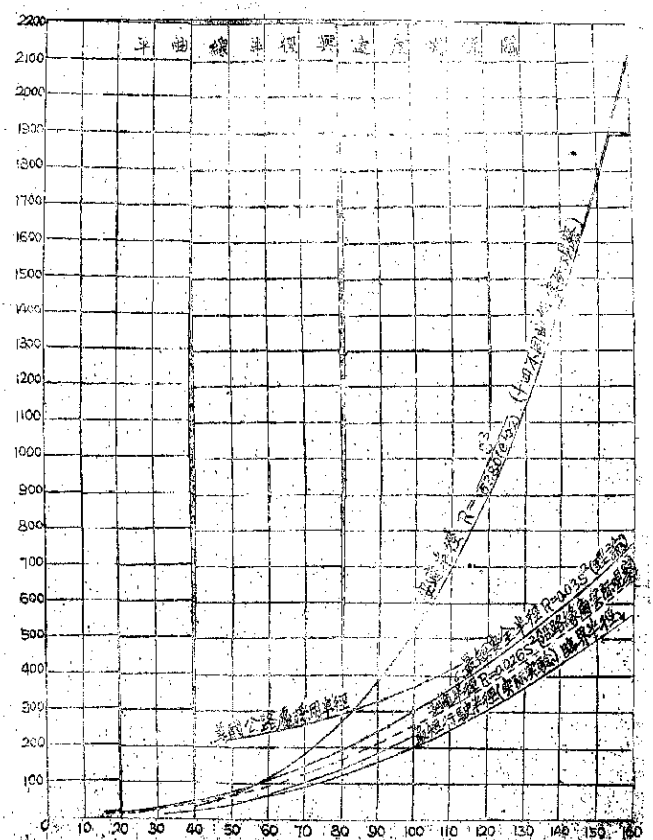
$$R=\frac{50^3}{6380(0.1+0.2)}=65.3\text{ 公尺}$$

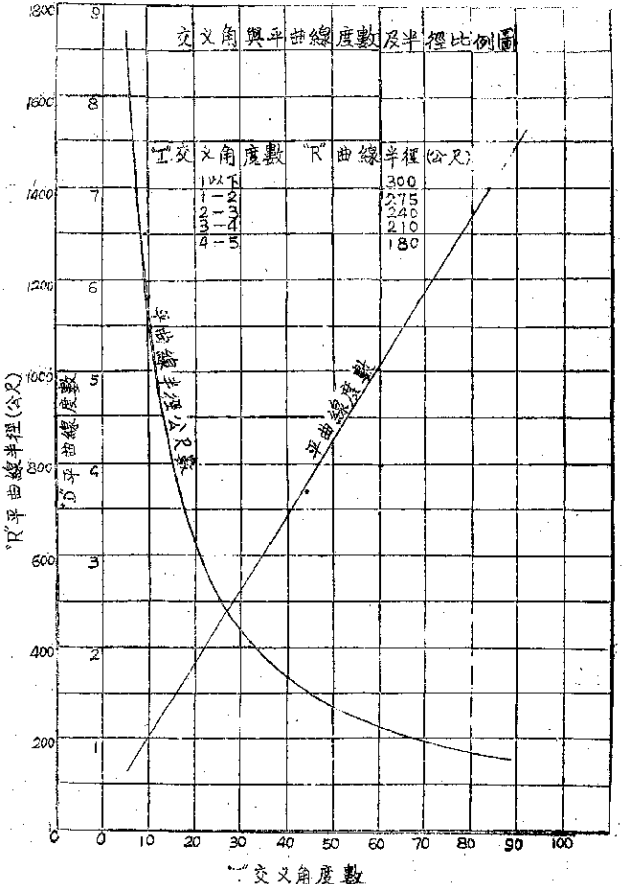
S' = 超高設計速度 = 75%S = 0.75×50 = 37.5公里/時

$$e=0.00787\times\frac{37.5^2}{65}=0.17 \qquad \text{用 } e=0.10\text{公尺/公尺}$$

此外平曲線半徑與中心角(交叉角)度數，亦互有關係。在交叉角度甚小處，宜避免用短半徑之曲線。美國公路處(U.S.B.P.R.)規定，當交叉角為5°時，曲線半徑不得小於150公尺，每小一度時，曲線半徑至少加長30公尺，其關係見附圖。

由是觀之，可知公路平曲線最短半徑之規定，並非似一班想像之簡易，如能根據公路級別之需要，由指定設計速度計算，再視實際情形，酌定標準，則最短半徑之規定，似較為合理也。


平曲線半徑與速度關係圖
2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
速度（每時公里數）


交叉角與平曲線度數及半徑比例圖
"T"交叉角度數 "R"曲線半徑(公尺)
1以下 300
1—2 275
2—3 240
3—4 210
4—5 180
平曲線半徑(公尺)
平曲線度數
"R"平曲線半徑(公尺)
"T"平曲線度數
"T"交叉角度數
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800
1 2 3 4 5 6 7 8 9

土壤水泥路面試驗報告

本篇係公路總管理處陳學華工程師所編著
寄來昆明，用特載於本刊以供公開之研究

緣起

水泥穩定土壤法，始自摩飛博士(Late Dr. C. H Moorefield)。摩氏於一九三二年，在美國南加利安那州公路局實驗中，以水泥混合土壤，加水壓實之，以觀其凝結後之結果。其後更作多次試驗路，均有相當結果。一九三五年波得蘭(Portland)水泥公司，開始對此種路面，加以研究，經三四年來不斷之努力，土壤水泥路面，在原則上，業已確定。截至一九三八年，美國已成之土壤水泥路面，已有三百餘公里。其中有加表面處治者(Surface Treatment)，有未加處治者。其所用水泥成份，因土質不同而各異，大致約5%至18%，其所用之土壤，自A—2至A—8不等，其實驗之結果，雖不一律而大致情形，均稱良好。

實驗理論

水泥土壤路面，不可與混凝土路面，混為一談。水泥土壤路面，係以水泥穩定土壤，而混凝土路面則為結晶作用。水泥土壤路面主要原理，為最大密度，務使土壤之空隙完全被水泥充滿，同時使每粒土壤質点之周圍，均包有水泥，然後加適當之水量，使能得到最佳之壓實度，此即應用葡拉脫氏(Proctors)之壓實法也。水泥穩定土壤原理，除最大密度外，尚有化學物理作用，如氫原子之集中作用，其說明需藉高深之化學研究，暫從略。

土壤選擇

何種土壤可用為水泥土壤路面，應用水泥若干，均無一定之規定。普通土壤自A—2至A—8組，均可為水泥土壤路面，惟其物理性應符合下列規定：

(一)液體限度(Liquid Limit)應在五十以下

(二)塑性指數(Plasticity Index)應在二十五以下

(三)黏土成份(Clay Content)應在三十五以下

(四)最大密度時固體成份(Percent of Solid)應在六十以上

(五)土壤應具有正規之密度水份曲線(Density Moisture Curve)

實驗室實驗

水泥土壤路面實驗室實驗，最主要者，為決定最經濟之水泥數量，與最適宜之加水數量，更應作乾濕實驗，以模仿路面受晴雨之影响。凍解實驗，以模仿路面受冬季地凍之影响。若實驗室樣品能經過此項實驗，不致破壞，則用之為路面，亦可無問題。

西蘭路實驗

我國對於此項實驗路之舖築，始於一九三七年，在西蘭公路舖築此項路面，所用土壤為A—4組，水泥量為土重百分之五，用水量為土重百分之十八至十九，路面厚為十五公分。此項路面共計舖成二十公里，其結果未能滿意。路面於舖成後，即呈裂紋，並生孔穴。考其失敗原因有三，(一)此種路面，只能承載膠皮輪車輛，而實際上在該段行駛之車輛，鐵輪大車居多。(二)壓實時因機器壓路機，故用二噸重滾筒滾壓，壓實度不足，不能得到最大密度。(三)在實驗室中百分之五水泥，固足以穩定該種土壤，然實地上水泥損失甚多，故實際上土壤中水泥成份，不足百分之五。

上清寺實驗路

研究以往之失敗原因，並確定改進辦法，始決定在上清寺重作水泥土壤實驗路。此次實驗與以前不同者，有(一)用水泥成份提高，(二)改用十公噸機器壓路機，(三)此段公路無鐵輪大車行駛，(四)於路面完成後加塗桐油一層，以增加其磨擦強

度。

土壤性質

此次實驗中所用土壤為風化紅色沙土，此種土壤係屬於A—3組，其篩分析結果如下：

經過第十號篩	百分之九十八
經過第四十號篩	百分之六十八
經過第一百號篩	百分之二十八
經過第二百號篩	百分之十二

由上可知，該土壤係沙土，含粗沙百分之三十，細沙百分之五十八，粉沙及黏土百分之十二，其中黏土成份當在百分之八左右，因未分析，未能確定。此種土壤應加水泥量大約在土重百分之十至百分之十六之間，應加水量大約在土重百分之十二左右，因未能作實驗室實驗，故暫先用水泥百分之十七，做實驗路一小段，以觀其效果。

施工程序

(一)開挖路槽　將原有碎石路面，按應有厚度寬度，挖成路槽，並除去槽中所有雜物。

(二)取土篩土　取附近紅沙土，篩於孔徑一公分半之篩上，凡留於篩上之土壤，均棄去不用。

(三)水泥　水泥係堆置于路旁，每隔二公尺一桶，以便取用。

(四)堆土　開工時，將篩過土壤平攤于路基上，其厚度為壓實厚度加百分之二十五。

(五)加水泥　加水泥時，將全路分段，每段長八公尺，由二人持篩將預計之水泥，洒于土壤之上，務使均勻。

(六)乾拌　每段中以六人持鐵鏟，三人持鐵耙，將土壤水泥混合料，一面拌和，一面翻向路之一旁，共拌和四次至完全均勻為止。

(七)加水　用噴水壺將預計之用水量，平均洒于混合料中。

(八)濕拌　繼續以六人持鐵鏟，二人持鐵耙，將已澆濕之混合料，反覆拌合如前。共拌合四次，至完全均勻為止。

(九)打夯　用鐵耙鋪平混合料於路槽之中，然後用長木條將表面修整，再以鐵夯四个，將混合料大致夯實。

(十)滾壓　用十公噸汽輾滾壓路面，使之堅實平坦。

(十一)塗桐油　于路面完成後三日至五日，在路面上塗桐油一度，用桐油量為每平方公尺半磅。

(十二)通車　於路面完成後，七日即可通車。

(十三)造價　此次實驗，計完成路面204平方公尺，計用工料如下：—

水泥	32桶	@ 18·50	＝592·00
人工	109工	@ 1·00	＝109·00
工具雜項			＝169·00(包括壓路機用煤)
			870·00(包括壓路機用煤)

以上共計工料費870元，平均每平方公尺需4·26元。

桐油　68磅　@ 0·80＝54·4　平均每平方公尺需0·57元

惟此次實驗，事係創辦，故一切均未能經濟，若大量舖築，則其造價可減，若路面厚度為五公分，用水泥量為17%，則每平方公尺造價如下：—

水泥	0·08桶	@ 18·5	＝ 1·48
人工	0·5	@ 1·0	＝0·5
工具			＝0·2(約估)

桐油　0·5磅　@0·8＝0·4

2·58

每平方公尺造價最多不致超過三元。

實驗紀錄

段別		1	2	3	4	5	6	7	8	9	總計
開工日期		2/15	〃	〃	〃	〃	2/24	〃	〃	〃	
通車日期		3/23	〃	〃	〃	〃	3/1	〃	〃	〃	
路面尺寸	厚度(公分)	10	10	10	10	10	12	10	10	4	
	寬度(公尺)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	長度(公尺)	8	8	8	8	4	8	8	8	8	6·8
用土數量(公方)		3·2	〃	〃	〃	1·6	3·3	3·2	3·2	1·2	25·3
用水總量	百分數	17·5	17·5	17·5	17·5	17·5	14·7	17·5	17·5	22·0	
	桶數	4	4	4	4	2	4	4	4	2	32
用水量	百分數	14	15·4	16	12	11	14	12·7	11·5	12	
	桶數	21	23	24	18	8	21	19	17	8·5	
塗桐油量(磅)		0	0	0	0	0	21	21	13	13	68
工數	挑土工數	8	8	8	8	4	8	8	8	3	63
	篩土工數	3	3	3	3	1·5	3	3	3	1	23·5
	濕拌	1·5	1·5	1·5	1·5	·8	1·5	1·5	1·5	·7	6·0
	乾拌	1·5	1·5	1·5	1·5	·8					
	挑水	·2	·2	·2	·2	·1	·2	·2	·2	·1	1·6
	其他	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	9·0
	總計	15·2	15·2	15·2	15·2	8·2	15·2	15·2	15·2	5·5	109·1
備考											

觀察結果

(一)用水　第一二三段，因用水稍多，而用壓路機又過重，以致土壤黏附於壓路機輪上，雖用乾水泥洒於輪上，減少其黏附，路面仍無法壓平。第四至第九段用水較少，路面亦較前三段為平，實驗結果，認為最適當之用水量，為百分之十二。壓路機過重，無法使路面壓平，應用較輕壓路機，以用六噸左右為最宜。

(二)拌和　第一二三四各段，因工人未能熟練，工作遲鈍，故拌和不甚得法，而費時間亦較多，至作四至九各段時，工人已較熟練，拌和亦較均勻。

(三)裂紋　通車後路面大致情形良好，無收縮裂紋，惟路邊與舊碎石路接啣處，因受邊壓力(Corner Load)，更因路面未乾前，已有車輛行駛，故畧有裂紋，但不影响及路面全體。第八段與第九段接啣處，因兩段厚度不同，收縮量不同，致有裂縫一道。

(四)孔穴(Pot-hole)　通車後三星期，路面尚無顯著之孔穴，惟第一二段因滾壓不得法，拌和不均勻，發現弱脆，將來或可成為孔穴。

(五)乾濕情形　路面在晴日呈灰白色，車輛行駛時並無顯著磨蝕。在雨時，雨水完全不能透入，而後立即乾燥，復呈灰白色。惟路面滾壓不足，雨時於凹處有存水。

(六)塗桐油　第六七八九各段於通車後四日，塗於桐油，桐油僅有少部透入路面，每平方公尺用桐油0.六磅，似屬過多，可減為0.四至0.五磅。塗桐油地点較不塗之路面光潤，雨後立即乾燥。並可防止裂紋孔穴。

(七)厚度　第九段實驗路厚度，僅四公分，經三星期之試驗，較之他段路面，並無分別，是知碎石路基燒堅固，無沈陷之虞，則路面厚度減薄，可不成問題。

繼續實驗計劃

由已成之六十八公尺實驗路面結果，尚未能確定應有路面厚度及應用水泥成份。故擬更作實驗路125公尺，分別用不同之水泥成份及不同之厚度如下表所列：—

土壤水泥實驗路設計

（路面寬度為五公尺）

級別	路面壓實厚度（公分）	未壓實前厚度（公分）	用料量（公方）	用水泥量（石桶）	用水泥量	用水桶數	長度（公尺）	共用水泥數量（桶）	備考
1	5·0	6·5	12·5	17	2·5	40	10		用水泥量係指壓實土重之百分數
2	10·0	13·0	19·0	14	1·5	30	20		
3	10·0	13·0	12·5	17	1·25	20	16		
4	7·5	9·5	9·5	10	2·8	20	7		
5	10·0	13·0	9·5	10	2·1	15	7		
共計			63·0			125	66		

計劃比次試驗與前次不同者，有(一)減輕壓路機重量至八公噸(二)於舖築後第二日試塗桐油，使桐油能滲透入路面中。

西南公路管理處平昆段工程處

委托

改善路面設計

(1)引言

[illegible]年四月初間，西南公路管理處平昆段工程處主任胡奎工程司來室商討改良該段路面工程計劃，據謂該段交通每日有車輛三百餘輛，[illegible]路面，雖以[illegible]之勞力，以事修養，[illegible]養隨壞，[illegible]當地材料代為計劃，並送來碎石、泥土及礫石各若干，以備試驗。本室嘗以路面設計，原為本年度工作之計劃，遂允以先就[illegible]以來實驗之所得，代為設計。該段對於工作之熱心，而能使室地兩理論，併而檢討，[illegible]本室之實驗得在實際有研究之機會，[illegible]深入之意義，[illegible]表示感謝[illegible]。

(2)設計之[illegible]

本室接受委托之後，即積極代為實驗，[illegible]以該段交通，至為繁重，[illegible]泥結碎石路面，自難維持。若欲改善，[illegible]已採用柏油處治之[illegible]在此[illegible]情形之下，勢難採效，[illegible]就當地砂石泥土材料，[illegible]不能[illegible]，然處治得宜，養路得法，似亦[illegible]目前之交通，本室認為最有[illegible]之方法，莫過於級配石子之路面。[illegible]維持[illegible]材料，惟為試驗[illegible]，[illegible]路[illegible]舊有路[illegible]未能完全[illegible]，[illegible]以石灰泥[illegible]

以為磨擦之面，其意乃在隔離車輪與碎石直接之接觸，而避免鬆動而層之害，此種面層，經車輛行駛之後，雖難免有消蝕之弊，但能隨時修養，使其永供磨擦之用，似亦可減輕養路之工作。故擬拼命加以試驗。

(四) 級配石子路面之設計：

平昆段送來之礫石及泥土，極合級配石子路面之用。計有礫石一種，為當地河中所取出，地點在 [illegible] 公里處，其中雖含有卵石，粗砂，細砂，淤土及泥土諸類，惟細料過少，級配不足，須篩細礫，方能合用。細礫拟即由原有礫石，用四號篩(篩孔 4.7 m m)篩出而加以利用，此兩種材料配合之後，再加以相當數量之泥土及石灰，用水拌勻，加以滾壓，必可成一較佳之路面，茲將各種材料之機械分析，述之於下：—

表(I)　原產礫石分析實驗(名之曰粗礫)

篩號	1½"	1"	¼"	No.4	No.10	No.40	No.200	塑性指數
透過百分率	100	100	58.7	36.8	22.2	3.6	0.3	0

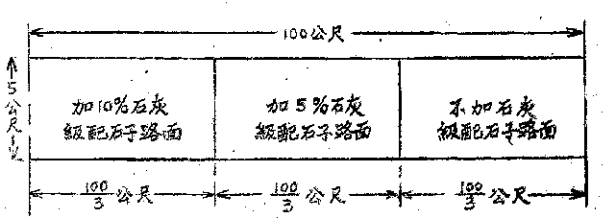
表(II)　篩後礫石分析實驗(名之曰細礫)

篩號	1½"	1"	¼"	No.4	No.10	No.40	No.200	塑性指數
透過百分率	100	100	100	94.5	68.5	22.6	0.6	0

表(III)　　泥土分析實驗

篩號	1½"	1"	¼"	No.4	No.10	No.40	No.200	塑性指數
通過百分率	100	100	100	100	100	94.5	59.3	31.9

觀乎上列三表之分析，必須利用此三種材料，方能為級配石子路面之用，此三種材料之混合，完全依據最大密度，最大剪力及最適塑性指數，以為設計之張本。欲求最大之密度，其分析實驗之結果，須能近乎富勒氏理想之曲線，最大之剪力須配合適宜之礫砂及適宜之黏土以築成健全路面之構造。塑性指數之選擇，對於天氣最為重要。雲南雨量雖多，但每年平均，仍不能視為多雨之區，故採用塑性指數自以中等為宜，經研究之後，其塑性指數，以在三至九之間者，較為適合。此次擬加試驗之路面，雖用為級配石子，但為精確起見，再細分為三種，第一種為級配石子路面加石灰百分之十，第二種加石灰百分之五，第三種為不加石灰者，此三種路面，均厚十公分，各寬五公尺如下圖：



上列三種級配石子路面,其材料之配合,大同而小異,但其設計之理論,均須合乎級配之標準,而使其有最大之密度。更須使其有適宜之塑性指數,以應付當地之氣候。惟以泥土雖富極大之黏結力,然水化性亦復不弱,倘車輛較多之地,深恐雨季水浸路面,頗易減低其穩定之性,是以加拌石灰,乃以抵抗水之為害,而保護路身之健全。西於本室四月來試驗之結果,百分之十之石灰,似為最適當之成份,但石灰市價,每百斤自六元至八元不等,負担亦復不輕,若能減至百分之五,則造價可以減低不少,然平昆段每日交通,有三百餘輛之多,能否應付,必須實地試驗,方能決定,故建築三種不同之級配石子路面,是為事實之需要,茲分別設計如下:—

(甲)加百分之十石灰之級配石子路面:

利用表(I)至表(III)各種材料,加以配合,以成級配之程度,而適宜百分之十之石灰量,其設計結果,列之於表(IV)

表(IV)　第一種路面材料級配成份表

材料＼篩號	1½"	1"	¼"	No.4	No.10	No.40	No.200	塑性指數
粗礫50%	50	50	29.3	18.4	11.1	1.8	0.15	0
細礫50%	50	50	50	47.3	34.2	11.3	0.30	0
泥土15%	15	15	15	15	15	14.2	8.85	31.9
共115%	115	115	94.3	80.7	60.3	27.3	9.3	——
拌合100%	100	100	82.0	70.1	52.4	23.7	8.1	10.6

由上表之設計，證之理論，已合級配之標準，惟塑性指數，仍嫌略大，調整之法，雖可拌入較多之砂料，其指數自可減小，但為顧全維持多量交通起見，可以利用石灰，以減小其指數，并可增強泥土之黏結力，如此雖使費用增加，但結果必能優良，採用百分之十(10%)之石灰穩定之後，其塑性指數，經實驗後，得6.9強，已合規定之數值。

(乙)加百分之五石灰之級配石子路面：

利用同樣材料，加以配合，以成級配之程度，而適宜百分之五之石灰量，其設計結果，列之於表(V)

表(V)　第二種路面材料級配成分表

篩號 / 材料	1½"	1"	¼"	No.4	No.10	No.40	No.200	塑性指數
粗礫40%	40	40	23.5	14.7	8.2	1.4	0.1	0
細礫60%	60	60	60	56.8	41.[illegible]	13.6	0.4	0
泥土10%	10	10	10	10	10	9.4	5.0	31.9
共	110%	110	93.5	81.5	60.0	24.4	6.5	——
折合100%	100	100	85	74	54.5	22.1	5.9	11.7

按照上表之設計，其塑性指數為11.7，加5%石灰，其指數為7.7.

(丙) 不加石灰之級配石子路面：

利用同樣材料，不加石灰，而成級配之程度，并得適當之塑性指數，其設計結果，列之於表(VI)

表(VI) 第三種路面材料級配成份表

材料 篩號	1½"	1"	¼"	No.4	No.10	No.40	No.200	塑性指數
粗礫20%	30	30	17.6	11.0	8.7	[illegible]	[illegible]	
細礫70%	70	70	70	66.2	47.9	15.8	0.4	[illegible]
泥土 5%	5	5	5	5	5	4.7	3.9	21.2
共 105 %	105	105	92.6	82.2	59.6	21.6	3.5	——
合計 100%	100	100	84.0	78.2	56.7	20.5	3.3	[illegible]

上述(甲)(乙)(丙)三種級配石子之成份，既已決定，其次問題，為求各種路面材料之最好水份(Optimum Moisture Content)，俾適合滾壓而得最大之密度。茲將結果列於表(VII)至表(IX)如下：

表(VII) 最好水份試驗結果（甲種路面）

水量 c.c.	濕土及鐵盒之重量 g.	鐵筒重量 g.	鐵筒中濕土之重量 g.	鐵盒及濕土之重量 g.	鐵盒重量 g.	鐵盒及乾土之重量 g.	水份重量 g.	乾土重量 g.	水份之百分率 %	每立方吋乾土重量 lbs.
100	7.15	1.25	5.90	258.09	44.41	234.55	23.54	190.14	12.38	116
100	7.35	"	6.10	228.50	44.43	204.80	21.70	160.37	13.54	119
100	7.58	"	6.30	249.60	49.40	226.50	23.10	177.10	13.62	123
100	7.00	"	6.35	243.76	43.25	216.10	27.66	172.85	16.00	122
100	7.55	"	6.30	258.40	43.75	226.00	32.40	182.25	17.75	119

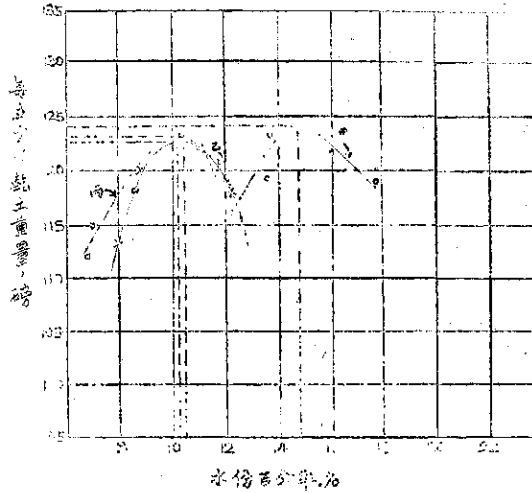
表 (VII) 最好水份試驗結果(乙種路面)

水量 C.	濕土及鐵筒之重量 kg.	鐵筒重量 kg.	鐵筒中濕土之重量 kg.	鐵盒及濕土之重量 g.	鐵盒重量 g.	鐵盒及乾土之重量 g.	水份重量 g.	乾土重量 g.	水份之百分率 %	每立方呎乾土重量 lbs.
50	6.8	1.25	5.55	238.73	45.02	224.23	14.50	179.21	8.1	118
00	7.2	"	5.95	205.20	43.42	192.75	13.45	149.33	9.0	120
50	7.3	"	6.05	159.40	48.35	147.35	12.05	99.00	12.1	119
20	7.3	"	6.05	219.50	46.30	200.37	19.13	154.07	12.4	118

表 (IX) 最好水份試驗結果(兩種路面)

水量 C.	濕土及鐵筒之重量 kg.	鐵筒重量 kg.	鐵筒中濕土之重量 kg.	鐵盒及濕土之重量 g.	鐵盒重量 g.	鐵盒及乾土之重量 g.	水份重量 g.	乾土重量 g.	水份之百分率 %	每立方呎乾土重量 lbs
0	6.70	1.25	5.45	186.00	48.35	177.15	8.85	128.80	6.9	112
0	6.85	"	5.60	184.05	43.42	174.50	9.45	131.08	7.2	115
0	7.10	"	5.85	174.20	45.02	163.88	10.32	118.86	8.7	118
0	7.45	"	6.20	149.30	46.30	139.47	9.83	93.17	10.6	123
0	7.40	"	6.15	187.55	44.80	173.35	14.2	128.55	11.2	122

由表(四)至表(二)，所得之結果繪成曲線如下圖：



(四) 黏土成份之密實試驗：

各種材料配合之成份，應密實的密度，以重量為代表，但在施工之時，大量體積，則以容量為較便，故在實驗時，用容量之後，須由重量換算容量出之，按前節所述之法，計算重量每立方公尺一百一十二磅，細碎每立方公尺重九十磅，黏土每立方公尺重八十五磅，水每立方公尺重四十磅，根據此種數量，按照前節三種路面材料之成份，計算結果如下：—

(甲)第一種路面材料配合成份：

第一種路面材料成份，以重量計，為粗礫50%，細礫50%泥土15%及石灰10%（石灰成份係以透過四十號篩之細料為根據）若以容量換算，其比率為1比2比3，即一份泥土，兩份粗礫，及三份細礫，另加石灰0.5份也。

（乙）第二種路面材料成份：

第二種路面材料成份，以重量計，為粗礫40%，細礫60，泥土10%及石灰5%。若以容量換算，其比率為1比2比4，即一份泥土，兩份粗礫，四份細礫，另加石灰½份也。

（丙）第三種路面材料配合成份：

第三種路面材料成份，以重量計，為粗礫30%，細礫70%，泥土10%及石灰5%。若以重量換算，其比率為1比3比9，即一份泥土，三份粗礫及九份細礫也。

（V）級配石子路面施工之簡述：—

建築之步驟，須先在路基之上，挖槽深十五公分，槽底須具路拱形狀。路拱須採A－字式，不用拋物線式，其比率為一比二十，路槽既已築成，然後將配合材料量於其中，用人工拌合均勻，再按照規定灑以水份，拌而合之，俟水份適合及拌調均勻後，分佈於路槽之中，其鬆厚約為十五公分，但厚度須均勻一律，然後利用工人以腳踏實鬆料，替代羊蹄路滾（Sheep's - foot Roller），踏實之後，再用運貨卡車裝滿碎石，利用輪重，以壓實之，俟路面不顯較深之輪跡（約十吋），然後再用五噸路滾（該段現只有五噸者一具）滾壓平整，俟壓實厚

壓為十公分，即告完竣。完工之後，路面之上，用水澆灑，至少三日，始可開放交通。

(四) 舊碎石路添鋪級配材料磨擦層設計：

平昌段工程處對於級配石子路面，甚感興趣，惟以所轄路線總長，翻築十公分級配石子路面，雖屬可能，但倘能在舊有碎石路上，設法加鋪稍佳材料一薄層，維持交通，而使養路工作，較目前略為減少，亦屬經濟，而值採用，據該工程處第三分段段長夏若孫工程師告，目前該段養路工作，異常繁重，每月翻修路面上層材料，灌漿滾壓後，只能維持一月之時間，即完全損壞，倘能設計新佳材料一薄層，鋪於舊路之上，而能維持稍久之時間，則不僅在費用方面可節省，即負責養路之工程人員，在工作方面，亦可有從容之環境，視此情形，目前各公路養路工程司對於工作之煩，可見一般矣。本室根據此種理由，擬代設計級配材料磨擦層，鋪於舊路之上，約厚2.5公分，以資試驗。倘能結果滿意，則該段養路工作之煩擾，可以減輕。此種磨擦層之材料，仍取之於礫石，但須有粗礫，須經過兩種篩析，然後加以配合而成，級配之材料，兩種篩析，一用四號篩出細礫，一用十六目篩，篩出中礫，利用此中礫及細礫，再加相當之泥土，和水壓實於舊路之上，以應付車輛之行駛。但此種辦法，專屬初創，能否滿意，頗不敢必，但可以斷言者，如能隨時加以養護，或能較目前之路面為佳。茲為試驗起見，此種磨擦層，亦分為三種，一為加10%石灰者，一為加5%石灰者，一為不加石灰

者，茲將各種之設計，列表如下：—

表（Ⅴ）中礫及細礫顆粒大小分析表

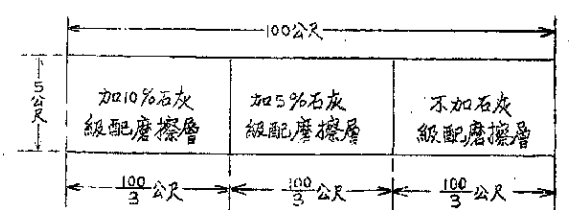
材料＼篩號	1½"	1"	¼"	No.4	No.10	No.40	No.200
中礫	100	100	100	47.7	25.9	5.1	0.6
細礫	100	100	100	94.6	68.5	22.6	0.3

根據上表之所列，配成磨擦層材料之成份如表（Ⅵ）：—

表（Ⅵ）磨擦層材料級配設計表

材料＼篩號	1½"	1"	¼"	No.4	No.10	No.40	No.200	塑性指數
中礫 30%	30	30	30	14.3	7.8	1.6	0.2	0
細礫 70%	70	70	70	66.2	47.9	15.8	0.4	0
泥土 10%	10	10	10	10	10	9.4	3.0	31.9
共 110%	110	110	110	90.5	65.7	26.8	6.6	—
折合 100%	100	100	100	82.2	59.7	24.3	6.0	6.2

上表所列材料之混合体，其塑性指數為6.2，若加10%石灰，則為5.5，若加5%石灰，則為6.5，茲將修築計劃，列於下圖：—



表(XI)所列材料,均以重量計算,若以容量換算,其比率為1比3比4,即一份混土,三份中礫及四份細礫。加10%石灰者,其容量比率為0.6份,加5%石灰者,為0.3份。

建築之時,須先將原來路面,掃除乾淨,使其呈粗毛之狀態,不可有浮料在於其上,然後用水灑之,使其潤濕,俟水份滲入路面之中,即將磨擦層材料,鋪於其上,其鬆厚約3.5公分,然後用人工以足踏平,再用卡車來往滾壓,俟其輪跡無深過4吋時,再用五噸路滾壓平之,過三五日後,即可開放交通。惟路拱設計,頗關重要,如原來舊路無路拱者,則磨擦層須具備路拱,於鋪築之時,路心厚度加大,使成A字式之路拱,比率為1比20,即足應用矣。

(VII)附言:

本室此次受西南公路管理處平昆段之委托,代為設計改良路面事宜,尚係首創之舉,自願儘力協助。本篇設計之報告,不過本理論之根據,詳為計劃,惟須声明而請注意者,約有下列數端:—

(1)級配石子路面,美國採用已有相當時期,其理論早已成立。而其效用遠勝於馬克當碎石路面,則早有明証,勿庸懷疑。

(2)級配石子路面,仍係利用砂石混土之配合,所成之路面,較之馬克當碎石路面,雖勝一籌,但不可與柏油路或水泥路混為一談,幸勿誤会。

(3)此次設計之級配石子路面,其厚度為壓實十公分,為此種路面厚度最低之限度.蓋以利用舊路大石塊為其路基。

(4)塑性指數之規定,必須詳悉實地情形,始易適合.此次各種路面材料設計之指數,大約為之,究竟實地是否適用,必須俟試驗路修築完成後若干時期,始能明瞭。

(5)舊路磨耗之厚度及其塑性指數,均由揣測而擬定,是否適合,亦須待實地試驗之証明.

總之,此次設計及施工,純係試驗之性質,實地試驗之後,當能有可靠之根據,如再事計劃,自能合乎實地之情形,故此次試驗之結果,或未能十分滿足,自在意中.但為試驗起見,惟願乎其不能美滿,而後方可尋求其究竟.希關心公路工程者,加以密切之注意,而於技術方面,多所批評.俟試驗路面修築完竣,得有結果,當再報告讀者諸君可也.

公路新聞一則

德國汽車專用公路

德國汽車專用公路又名奧托邦(Autobahn)公路之建築,始於1933年,路線網長計七千二百餘公里,縱橫全國,以柏林為中心,南北幹道凡二,東西幹道凡四。路面寬四車道,計14.4公尺;中部尚留有寬3.3至4.8公尺之草地帶,或加種矮樹,其功用有二:一為遮擋路面,頗有防空保護作用,二為避免對方車燈之眩目。定線標準甚高,不多利用舊有路線。最小半徑在低地區域為2000公尺,山地區域為400公尺;最大坡度在低地區域為4%,山地區域為8%。路面種類皆屬高級,百分之九十為鋼筋混凝土,其餘百分之十則為石塊及瀝青碎石,鋼筋混凝土路面厚度,普通為20公分,但在劣質土壤或填土甚高處,則加厚至25公分。修築方式,分双層及單層二法:双層法上層用碎石為混合料,居總厚三分之二,約13至15公分;下層用碎石為混合料,居總厚三分之一,約5至7公分;單層法則純用碎石為混合料,加混凝土前預鋪道底油紙,每平方公尺需150至200克。路面平坦標準,每一公尺高低不得相差一公厘。建築費用,雖無準確統計,但每公里單價,平均總在一萬五千至二萬英鎊之譜(現約折合國幣一百五十萬至二百萬元)。在此種汽車專用公路上,其中無論公路或鐵路交叉,皆避免平交,行駛亦無速度限制。每小時每一方向可運送軍隊七萬人,百萬大軍,朝發夕至。觀乎德國進攻波蘭,不半月而解決,及最近西線進攻比荷英法之閃電戰爭,軍隊調遣之神速,使全世為之震驚,机械化部隊之行動,實多有賴於公路也。公路與近代戰爭之關係,由是又可得一事實之証明矣。

交通部～清華大學

公路研究實驗室

職員一覽

主　任	趙祖康(交通部公路總管理處處長兼任)
副主任	陳本端(交通部公路總管理處技正兼任并代理室務)
副主任	李謨燦(國立清華大學公路教授兼任)
研究員	陳本端(兼任)
研究員	李謨燦(兼任)
試驗員	王耀華
試驗員	涂漢廷
試驗員	———
繕寫員	楊競舒
繕寫員	王　姍

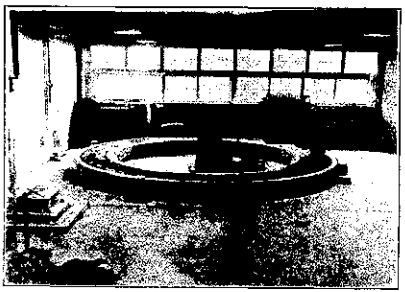
地　址：　昆明拓東路邇西會館內

成立日期：　二十八年十二月

公路月刊

公路工程研究刊物

第二卷　第二期　民國廿九年七月出版



交通部 co 清華大學
公路研究實驗室
昆明拓東路迤西會館

目　　錄

公路事業之剖面觀

本篇係陳本端君近著商務印書館大學叢書公路工程學中的自序,論我國公路事業進行應具的方針;茲轉錄於此,以供研究.

引言

現在有一般人,對於公路運輸,抱住很懷疑的態度,他們的意見,是公路運輸,在量與質的方面,均有很大的缺點。用普通的眼光來看一看,我國目前公路的情形,亦難怪他們發生這種不幸的見解,的確可以令人抱住懷疑的態度.但是要詳細考察一下歐美公路運輸的情形,就可以馬上知道,公路事業毫無懷疑之可能,并不是公路本身的效能不足,只是我們自己的公路,辦得與修得不够標準,所以不免發揮牠宏大的效率。現在拿美國來講,他們的公路,目前一共有三百萬英里,其中大部分是鋪有路面的,全國的各城市,沒有一處不是聯通的,只要你有一輛汽車,那你可以到任何地方,而不必亦不願坐火車.路面到處是平坦的,路線到處是順直的.以速度論,公路上的車輛,可以開到每小時八十五英里,最少亦有五十英里之多,所以平均總在六十五或七十英里之間,自東部的紐約市到西部的舊金山,距離有三千多英里,可是貨運只需三日半,因為速度快,而且日夜開駛不停,所以能得到這時間的經濟.若用火車來運,反需四日有餘,由此可見,在運輸時間的問題上,已能超過鐵路能力之上了.若在運量上來講,一般人一定很堅決的說,火車容量大,汽車容量小,這個見解,是不平等的比較.換句話講,

就是用一列火車的容量與一輛汽車的容量作比較當然汽車的容量,比不過火車.假使亦用一列汽車與一列火車來比較,其相差恐怕是微乎其微了.所以由這個問題的演進,美國公路運輸,近來已有列車之設置,每列計有四輛貨車,第一輛前半是機車,後半是貨車,其餘三輛,完全是貨車,每車載重十五噸,所以這一列車,可以運貨五十噸,若同時開行四列,則每次可運二百噸,這是貨運的情形.客車雖無列車之設置,但是每輛車可容四十人左右,而且坐位極其舒適,若是每次開駛十輛,則每次的運量,亦可容四五百人之多,所以在量及質的兩方面公路運輸,并不低下,只要你辦得好,設備好,就能成功.

公路工程應有的認識

談起公路的工程來,更有許多的話要說,現在從頭講,在起初的時候,就是在一九〇二年以前,汽車尚未通行之際,公路是完全為馬車之行駛,那時候鐵路亦未發明,所以公路不過等於普通的大路,與水運並駕齊驅,當時的路大多數是土路,以後因為雨季的泥濘,纔有木板卵石等樣的路面,後來英人發明馬克當石子路,問題纔得到了解決.到了鐵路發明,公路運輸,纔日見衰落,一直到本世紀的初葉,內燃機發明,汽車出而問世,纔得復興的機會,以後慢慢的演進,以至現在的情形,在這個演進之中,有一個大變化,值得我們注意的,就是以前的公路是慢速度的路,現在是快速度的.由這個變化,在工程設施上,亦造成了他不同的趨向,最顯明的例子,是馬克當路面,乃慢行車輛適宜的路面,現在快速度的車輛,已不適宜了.由這個緣故,可以看出近二十年來歐美的公路,完全在

洋灰柏油兩方面，加緊努力，所成的路，當是洋灰或柏油的路面，但是到最近的五六年間，又出了一個变化來，就是說洋灰與柏油路面的造價還高，對於運輸的經濟問題，發生很大的疑問，換句話講，是投資過多，得不償失，所以目前公路工程的問題，不僅是工程本身的問題，還得研究經濟之道，他整個的目標，是要減低工程造價，同時仍要得到行車之適宜條件，他的辦法，是在土壤上想方法，由土質的本身，努力研究他的能力，現在已居然成功了，所以現在歐美的公路還精，不僅是快穩適，造價還要很便宜，談到我們自己的公路，雖然要發生很大的感想，但是看看外人的演進，反可指示我們一條迎頭趕上的捷徑來，第一件事要說的，是我們的公路，未受標準，每公里造價的概算，抗戰前平均大半是以三四千元，抗戰後大半是一二萬元，土石方橋涵，統在其內，以這樣少的錢，能造出什么好路來，我最不解的，是鐵路每公里預算要十萬或廿萬元，以三四千元或一二萬元的公路，供其比較，還說公路種種不好的批評，真是不公平，所以目前最要的，是要提高公路的造價，第二件事，是工程的設計，其中如路線的選擇，應以高速度為目標，坡度與曲線，均須切合實際的需要，其次是路面的問題，要得交通的效力，必定要修路面，但是要修那一種路面，這個答覆，可以說是要從土壤及油類方面研究與試驗，方可得到經濟或耐用的方法，第三件事是研究學術的提倡，無論那一種事業，決不會停止不進的，樣樣事全須隨時研究改良與進步，所以關於公路工程方面，須鼓勵與扶植研究的人才，

公路的財政問題

說到公路財政,最要的是收入.收入部分包括運輸的收益,及捐稅的收入.在未討論這個問題之前,我們可以先看一看美國公路的財政情形,他們的收入大宗,是從捐稅來的,例如汽油機油稅營業稅所得稅等等,其中一部分繳交中央,一部分收為省用,每年的數額,頗有可觀,所以各省公路的事業費,每年平均必有三四百萬元,足敷本省之用,如遇國道之建築,則酌量情形,另由中央津貼若干.但是這些收入,并不是由他處挪用,依然是由交通事業本身所得來的,例如購買汽車或零件須付稅,購用汽油机油須付稅,經營公路運輸事業須付稅,這全是公路收入的泉源,亦是取之於民,而用之於民的正當辦法.我國公路事業,自興辦以至于今,最感困難的,就是經費,因為經濟的問題,所以公路是因陋而就簡,愈簡陋事業愈衰敗,事業愈衰敗,收入愈減少,以致弄得毫無進展的辦法.為今之計,應當劃定公路收入的來源,財政部應該規定,交通事業的收入,必須劃歸交通事業費用的條文,如汽油机油汽車購買及汽車營業的稅收,統應用之於公路事業之上,其中若干應歸省用,若干交中央,條例分明,經費有着,無疑的,公路事業,必能發展了.

公路的管理問題

大凡事業之發展,均由組織的健全,組織健全,事業的進行,纔能順利.公路管理的問題,亦無例外,現在最重要的是,中央須集權,各省要合作,所以對於組織一方面非注意不可.中央方面要設立

總樞的機關,其內應分總務工程設計運輸及研究五部,總務司理各項不關工程的事項,如會計庶務以及人事等等,工程司理建築國防道路以及督察各省工程的責任,設計司理各種工程之設計及統一全國公路工程之標準,運輸司理全國公路交通管理事項,研究則司理材料的試驗以及研究各種工程的改良,至於各省,則應設立省公路机關,下置總務工程交通管理及材料試驗各部,以理各省之公路事宜,凡設計研究事項統由中央辦理,以免重複,至於人員的選用,主管人才應由各省呈薦而由中央同意任用,或由中央直接選派,亦無不可,佐治人才則由各省分別委用,但均須甄別及格,以便受僱者學得所用,政府方面,事得其才,其他如獎勵以及工作或保障,均須有一定之條例,雖有條例,一定要去實施,過去未曾實施的好條例,要實施出來,未經成立的,馬上要成立,

公路的運輸問題

公路運輸的事業,可分為二種,一為國營,一為商營,亦有官商合辦者,無論那一種,只要辦得好,對於社會國家,都是有利益,不過國家的資力有限,人民的財力無窮,所以要去鼓勵商辦,而由國家加以監督,要提倡人民集資,去興辦公用事業,纔能有大規模的發展,不過運輸的管理與設備,必須健全,規模要有一定的標準,不是買一兩輛舊車改造一下,就可營業的,一定要符合國家規定的一切條例,如資本的規定,設備之規定等等,方能發揮公路運輸的宏力,否則一定会变成野雞式的營業,這是毫無疑問的,公路上若有大量民用

汽車行駛,則不獨工程設備要週密完全,而汽車之規章,更屬急要之圖,所以交通管理,可說是不容或緩之舉了.

我國公路目前的兩個嚴重問題

我國專門公路以及熱心公路事業的人們,最怕遇見兩種問題提出來,一是汽油提煉,一是汽車製造.這兩個問題,的確是公路事業的血脈,我國因為這兩個問題,尚未解決,所以處處碰到困難,有人說:我國多造一尺路,就是給外國多開一尺市場,理由充足得很.說來亦極動人,不過我們多給外國造一尺的市場,同時我們自己得到多少利益,這個比較,到無人曾經談論過,我相信的是,如果我們的路造得好,則我們所得的利益,必定比較大,換句話說,用了點錢買外國貨來開發我們的內地,改進我們的社會,增加我們的生產,雖然暫時破費一點,仍然是值得作的事.但是不容否認的,現在是過渡的時期,而在這過渡的時期內,我們應當積極的籌備汽油汽車的製造,以謀解決我們根本的問題.所以目前無妨仍然多修点路,但是要修得够標準,纔能够發揮路的效力,纔能得到他真正的利益.同時不可忘的,是要籌設汽油汽車的製造廠,這不僅是國家應注意提倡的,亦是人民應該努力去辦的事.

結語

公路事業,在一個近代國家之內,其作用可以說是有双關的意義,一方面是運輸交通的問題,另一方面是國防的問題.兩方面是同屬重要,但是作風各有不同.運輸交通的立場,是以民用為前提,國

防交通的立場,是以軍用為前提.若在承平時代,辦理公路之方策,不能不寓軍用於民用,而在戰爭時代,則不可不寓民用於軍用.無論以民用或軍用為立場,公路的修築,必須澈底的完備,以能達到理想中的功效為目的.軍用目的之達到,須以任何代價去完成他的任務,不過是有時代性的分別,時代性的不同,可說是戰時與平時兩種的區別,但是工程的進行,需要時間的充足,所以公路建築,仍然是要平時的努力,而平時的努力,更需有一定的計劃,一定的辦法,一定的目標.由此看来,公路的策略,仍仍以寓軍用於民用,較為妥當,而民用的意義,他唯一的立場,是公用事業的一種,而這種公用的性質,又與鐵路,有所不同,鐵路可以專營,公路則不可,亦不可能,最要的一個條件,是政府須盡力供給路的設備,民間要廣泛的,大規模的,去利用這種設備.換句話講,路是國有的,車輛要由人民去供給的.再向深嚴講,是政府負責修路養路維持交通,人民自己去辦理運輸,利用這種廣大的事業,去發展經濟的泉源.一旦國家有事,民用即刻可以改為軍用,軍事完畢軍用立刻即可改回民用.現在轉錄美國汽車協会(American Automobile Association),解釋公路事業的一句話,来作本篇的結語:—

"Highways were not built as a profit-making enterprise. The government should not attempt to make money out of them. They are designed to provide the government with revenue but not as investments. They are actually an example of action by the people, through the instrumentality of the government, to provide themselves with transportation facilities of minimum cost."

柏油穩定土壤實驗報告

本篇係交通部派在美國公路總管理處實驗室實習學生之工作報告,原為英文,茲由本室譯為中文刊登於此,以供公閱之研究.

(I) 引言

穩定(Stabilization)之界說,及土壤或土壤與石子混合物之處治,在任何氣候之下,使其有穩定之結構,而成堅強之路基或路面也。由根本而言,欲得土壤之穩定性或土壤之承重力,水份之適宜及体積收縮之減低,為其唯一之要素。此種因素,與土壤之黏結力(Cohesion)及內摩擦力(Internal Friction)均有直接之關係.

穩定性之基本原則,一為黏結力,一為內摩擦力.在一有黏性之土壤與水之混合物中,水份愈多,則其穩定性乃愈低.所有土壤之穩定性曲線,至其接近塑性限度之各点,皆作迅速下降之趨勢.俟至液体限度之時,其穩定性幾等於零.故處治土壤,如能使其所含水份,低於其塑性限度,或設法改變土性,提高其塑性限度,對於穩定之功用,均能有顯著之帮助.

穩定性之要求,乃配合土壤中之顆粒材料(Granular Material)及黏結材料(Cohesive Material),使其成一穩定之混合体.若細粒過多,或級配不足,其唯一補救之道,必須避免水之浸襲.欲防水之為害,必須加配富於防水之材料,例如瀝青及柏油均為至上之品.

利用桐油之原理,乃使桐油分佈於土壤材料之中,使每一土壤顆粒,均為油料所包圍,俟桐油乾後,每一顆粒皆為油膜所黏結,而成一堅固之物体,以防水份之侵入,故用桐油穩定土壤,頗具可能之性也.

(II) 試驗之材料

1. 桐油

普通桐油樹,可分為二種,一曰桐油樹,一曰木油樹.桐油樹盛產於華中及華西而此連長江流域一帶.木油樹則產於華南,尤以在西江一帶為最多.但中國外銷之大量桐油,十分之九屬於桐油樹.桐油之為用,在製造上等漆料,為最需要之基本原料,此外并可作木料及其他物品之防水劑.中國交通部公路總管理處,最近兩年來亦曾提倡利用桐油以為修路之用,處意雖佳,但尚未十分成功,仍須積極研究.

2. 土壤

此次試驗採用之土壤,共有數種如下:—

(a) 紐約街土(New York Avenue Clay)——淡紅褐色,為尖角形細顆粒而富於黏性之土壤.遇水則成為黏膠狀,但乾後極為脆弱.

(b) 本薛文尼亞沃土(Penn. Loam)——深褐色,帶砂質之細粒土壤.遇水則微呈膠黏狀,乾後極堅實.

(c) 波土麥克砂(Potomac Sand)及紐約街土之混合物.

上列三種土壤之機械分析,列之於附表1,至其分類,可分為三種如下:—

1. 紐約街泥土(New York Avenue clay)------A-7
2. 本薛文尼亞沃土(Penn Loam)----------A-4
3. 砂土混合物(Sand and Clay mixture)------A-6

III. 試驗方法

1. 壓实試驗(Compaction Test)

本試驗所用之儀器為:

(a) 二吋直徑五吋高之金屬圓柱模筒一個,圓柱模筒底面,用兩鉄栓插入,底栓為二吋高,面栓為六吋高.

(b) 水壓試驗機器一具.

(c) 4.5公斤之天秤一個,灵敏度達0.2公分者.

(d) 200克之天秤一個,灵敏度達0.1公分者.

(e) 自動通氣及調整溫度烤箱一個.

(f) 粗瓷碗,大瓷碟,瓷匙,量筒等.

取通過第10号銅篩之晒乾土壤約100公克,置瓷碟上称之,其差誤不能超過0.2公分,預備此種試料8至10份.

每種材料混和適宜之水量,由最乾至最濕之程度,分别用不同之水量混和之.

每種材料混和後,置於圓柱模之兩鉄栓間,施以適當之壓力,使

須使其密度相當於葡氏(Proctor)密度,其壓力程度,大概施於紐約街泥土及紐約街泥土與波土麥克砂混合物(混合比率為70%及30%)者,為每平方吋300磅,施於本薛文尼亞沃土者,則為每平方吋500磅.

施於試模之壓力,須維持有2分鐘之久.試模在取出圓柱模之前,以千分儀量其高度,準確程度在1/1000吋.既知高度及二吋直徑,其体積乃真得之.試模由圓柱模取出後,秤其重量,如是土壤之濕密度可自下式求其每立方呎為若干磅:—

$$土壤之濕密度 = 試模重量(克) \times \frac{3.8092}{3.1416 \times 試模高度(吋)}$$

置試模於烤箱,時常保持140°F溫度而烤乾之,其含水量可計算如下式:

$$含水量(\%) = \frac{濕土重量 - 烤乾土重量}{烤乾土重量}$$

於是土壤之乾密度可計算如下:

$$乾密度 = \frac{濕密度(磅/立方呎)}{含水量(\%) + 100} \times 100$$

壓實試驗之結果,可用曲綫表示之,以每立方呎乾土重(磅)與其各自所得之濕份而定出各点,聯合各点而繪成一順滑曲綫,曲綫之最高点,即為壓實方法應具最大之密度.在實際建築之時,用羊蹄路滾或卡車膠輪所滾壓者,均能如合.

用各種不同之桐油成份,施於每種之土壤,照上述方法,作同樣

之試驗、

所用桐油之百分率(以乾土重為標準)分列如下：

用於紐約街泥土者 - - - - - - - - - - 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 %

用於本薛文尼亞沃土者 - - - - - - - - - 0, 2, 4, 6, 8, %

用於沙土混合物者 - - - - - - - - - - - 0, 2, 4, 6, 8, 10 %

此試驗之結果，可參看表二，及圖 a—1，a—2，及 a—3 (曲綫 1, 2, 及 3)

2. 穩定性及吸水性試驗(Stability and Absorption tests)

Hubbard-Field 穩定性試驗機之構造簡述如下：—

(a) 一圓柱形之重鋼模，約高 5 吋，內徑 2 1/6 吋，模底墊以鋼片，中穿一圓孔，孔徑為 1 3/8 吋，由截沈漸向外放大，用 2 吋徑鋼栓在上施用压力

(b) 一压力機，以每分鐘 23 吋之压速，施於鋼栓，使之下向。

(c) 一吸水性方形箱，箱內置一吋深之鋼盤一個，其大小適與箱內面積符合，盤中滿盛標準砂粒(Ottawa sand)，上鋪以特厚之棉織法蘭絨，盤中由一自動供給之水掣，使盤內水量得時常保持 1/8 吋之深度，此種吸水性之方法，倣道路面由潮濕路基所接觸之情形，尚能如合。

以每種土壤及每種成份之桐油共製試模十一個，其最好水份，則由压實試驗之曲綫而求得。

在未取出試模之前，每個試模之体積須先量得之，其重量亦

隨之而求出。

試模製成後，即以三個用作 Hubbard-Field 穩定性之試驗。

將試模放在試驗圓筒內，圓筒況下，則試模底面開始與塞子及底片之小孔接觸，然後鋼栓压入圓筒內，直接由压力機压至超過其剪力而失敗為止。

記錄每試模所施之最大压力，取三者之平均值而記錄之。

其餘一半之試模（即9個）置於烤箱，以140°F溫度烤至常衡之重量，其餘一半，則放在試驗室內，涼乾七天，然後分作三份，第一份即刻試驗，第二份放在吸水性方形箱內七天，第三份則浸在水內七天。

經過上述之處治後，將試模用 Hubbard-Field 試驗机試驗之。

所得結果，詳於表3，及圖b-1，b-2（曲綫4及5）

每種處治完竣之後，即用水銀排量法求其平均体積，并稱其每種試模平均之重量。

密度記錄詳於表4，

体積記錄詳於表5，

吸水量百分率記錄詳於表6，及圖c-1，c-2。

IV 試驗結果

壓实試驗結果，詳示如圖a-1，a-2及a-3，其含水量與密度，則與桐油百分率成比例。

當桐油百分率增加之時，其最大之含水量則遞降，此種遞降实為意中之事，蓋桐油為液体，可以佔據相當之地位，以代替水量也。所

有水與密度之關係可在表2查得之.

穩定性之結果,記錄詳於表3,紐約街泥土,經過處治之後,除有少數加入14%桐油之試模外,其餘均被水溶散不全,以30%波土麥克河砂加入土內,其試料混以8%桐油時,經吸水性及浸透性作用後,能漸趨穩定,(僅有一試模為水溶散者).

本薛文尼亞沃土試模含有2%或以上之桐油成份,則無一試模為水所溶散

圖b-1及b-2指示試模在不同之桐油成份所得之穩定性,其桐油百分率增加,則穩定性亦遞增,但桐油百分率之遞增,必有一最宜之限度(Optimum Content),以後雖再增加,亦難得到其最大之效果.

至於密度之記錄,則詳於表4.

試模放在潮濕墊上及完全浸透水內所得之情形及結果列在表5.吸水性與桐油百分率之關係,如圖c-1及c-2.

若比較圖b-1,b-2,c-1及c-2,用桐油而成之穩定性及吸水性之效果,可得下列之斷論:

(a)當桐油百分率增加,則吸水性遞降.

(b)當吸水性遞降,則穩定性增加.

体積变遷記錄列在表6,此項記錄,實難確實,蓋体積之变遷,僅能取其完整之試模而量得之,如能得到各個試模之量度而求較為確實之記錄,則土壤與桐油混合物之体積变遷

試驗須另行妥為籌劃之。

V. 建議

根據穩定性，吸水性及体積变遷各曲綫，可以6%及10%之桐油分別選用於本薛文尼沃土及砂土混合物之中，蓋以此種成份之配合，其吸水性及体積之变遷可達最低之限度，而經處治之後，其穩定性且有遞增之趨向。

按試驗所得之結果，所用桐油之成份，施於本薛文尼亞沃土者不能少過2%，施於砂土混合物者，不能少過8%，而施於紐約街泥土者，不能少過14%。其不及此種成份之試模，經過七天之吸水或浸透作用後，定必澎漲為水所溶散。

穩定性曲綫不論其經過或未經過處治者，在未受吸水或浸透作用之前，實不能代表野外之情形，所以選定桐油之百分率，須以經過處治後，并以其比較低下之吸水性，微弱之体積变遷及較高之穩定性，為其決定之目標，方為穩妥。

普通土壤含有透過第200号篩之物質，佔50%者，須加適當砂料或同樣之物質，以改善之。蓋土壤中含有少數砂料，加入桐油時，宜於混合而易趨於穩定，此不独對於土壤可以增加其內磨擦力，且能減少桐油之需用量也。

VI 結論

在实地試驗之結果與实驗室試驗之結果未能互證以前，实未敢即下定論，但就目前所得，略有數点，可資參考：—

(1) 桐油與土壤混合後,決能帮助土壤以防水浸之害.

(2) 桐油配合成份增加,則土壤之吸水性可以減少,而穩定性可以增强.

(3) 由試驗結果可以証明桐油与瀝青稍油材料施於土壤之中有同樣作用.

(4) 土壤中含有多量土質者,需用桐油較多,以減輕其吸水性,砂質土壤則反之.

表 1.

機械分析							
試模號數	大过20mm之粒顆	小過2M.M.之粒顆(百分率,以重量計)					
		粗砂 2.00至0.25m.m.	細砂 0.25至0.05m.m.	淤土 0.05至0.005m.m.	黏土 小过0.005 M.M.	膠土 小过0.001 M.M.	透过第40号篩
S-12398	0	1	6	30	63	40	99
S-13195	0	31	39	18	12	8	86
砂土混合物	0	36	6	16	52	35	82

透過第40号以下之物理性質						
試模號數	液体限度	塑性指數	縮性		濕度當量	
			限度	比率	離心	野外
S-12398	64	39	12	1.9	38	27
S-13195	28	11	19	1.7	15	20
砂土混合物	50	36	10	2.0	21	32

附註:

S-12398 — New York Avenue土,華盛頓京城 — A-7

S-13195 — Penn Loam — A-4

砂土混合物 — 70%之S-12398土加30%之Potomac河沙 — A-6

表 2. 壓實試驗 (Compaction Test)

土壤號數	桐油的分率(以乾重量計) %	壓力 磅/平方吋	最好水份 %	最大乾密度 磅/立方呎	最大濕密度 磅/立方呎
S-12398	0	300	18.5	109.8	130.0
	2	〃	14.3	114.2	130.4
	4	〃	12.5	114.0	129.5
	6	〃	10.0	115.2	128.1
	8	〃	8.5	117.4	127.8
	10	〃	6.4	119.5	125.5
	12	〃	5.2	120.6	127.3
	14	〃	3.8	121.5	126.4
S-13195	0	500	14.2	110.5	126.1
	2	〃	13.0	114.1	129.0
	4	〃	12.5	116.4	130.9
	6	〃	9.8	118.0	129.5
	8	〃	6.7	120.0	128.0
	10	〃	5.0	121.1	127.1
砂土混合物	0	300	14.7	119.4	137.8
	2	〃	11.9	121.2	135.6
	4	〃	10.0	122.6	135.0
	6	〃	8.5	124.1	134.7
	8	〃	6.5	125.5	133.6
	10	〃	4.1	128.0	133.1

表 3. Hubbard—Field 穩定性

瀝青油百分率(以瀝青重量計)%	結合压力 磅/吋	處治	穩定性			
			製成時磅	存放之後 磅	吸水性浸水 磅	吸水性浸透水中 磅
土壤號數 S-12398						
0	300	a*	330	6,770	***	***
	〃	b*	—	10,850	***	***
10**	〃	a	580	10,000	***	***
	〃	b	—	10,000	***	***
12	〃	a	500	10,000	***	***
	〃	b	—	10,000	***	***
14	〃	a	450	10,000	480	***
	〃	b	—	10,000	***	1,150
土壤號數 S-12135						
0	500	a	450	4,710	***	***
	〃	b	—	6,580	***	***
2	〃	a	450	10,830	1,870	1,400
	〃	b	—	16,170	1,610	1,690
4	〃	a	400	12,770	2,740	1,630
	〃	b	—	20,320	2,060	2,050
6	〃	a	450	11,600	3,730	2,040
	〃	b	—	16,200	2,380	2,390
8	〃	a	480	12,180	4,260	2,710
	〃	b	—	17,300	2,800	2,830
土壤號數 砂土混合物						
0	300	a	470	8,670	***	***
	〃	b	—	11,570	***	***
2	〃	a	400	7,950	***	***
	〃	b	—	19,770	***	***
4	〃	a	490	10,900	***	***
	〃	b	—	21,600	***	***
6	〃	a	420	12,800	***	***
	〃	b	—	28,020	***	***
8	〃	a	430	12,570	210	220
	〃	b	—	31,750	600	690
10	〃	a	470	13,580	410	440
	〃	b	—	33,700	1,150	1,260

附註：每結果以三次試驗所得之平均值為根據.

* a —— 在試驗室內涼乾七天.

b —— 以 140°F 溫度烤至衡重.

** 所有試模經吸水性及浸透性作用後除加10%之上之柏油外其餘皆清晰

*** 試模澎漲溶散.

表4. [illegible]

桐油百分率(以乾土重量計)%	結合瓦力磅/平方吋	處治	密度 製成即刻測 磅	密度 存放之後 磅	密度 浸入清水中七天 磅	密度 浸入清水中七天後 磅
土壤號數 S—12398						
0	300	a*	132.6	127.4	***	***
	〃	b*	132.1	125.8	***	***
10**	〃	a	124.8	123.7	***	***
	〃	b	124.2	122.6	***	***
12	〃	a	126.9	125.5	***	***
	〃	b	125.4	125.1	***	***
14	〃	a	129.3	127.7	121.7	***
	〃	b	128.3	128.5	***	119.9
土壤號數 S—13195						
0	500	a	126.2	112.9	***	***
	〃	b	125.9	113.1	***	***
2	〃	a	129.3	116.7	124.1	128.0
	〃	b	129.4	117.4	131.3	132.1
4	〃	a	131.7	119.7	120.3	128.1
	〃	b	131.8	119.6	130.2	130.3
6	〃	a	128.7	119.7	121.2	124.4
	〃	b	129.0	120.1	128.5	128.9
8	〃	a	127.6	127.5	120.2	124.8
	〃	b	127.3	127.3	128.4	128.1
土壤號數 砂土混合物						
0	300	a	137.5	128.1	***	***
	〃	b	137.8	128.6	***	***
2	〃	a	134.4	125.7	***	***
	〃	b	133.8	124.5	***	***
4	〃	a	129.6	123.7	***	***
	〃	b	129.8	122.4	***	***
6	〃	a	129.8	125.2	***	***
	〃	b	130.3	123.8	***	***
8	〃	a	130.2	128.3	117.8	116.8
	〃	b	130.2	128.4	121.7	121.6
10	〃	a	129.4	128.3	118.8	118.2
	〃	b	128.7	129.9	122.1	122.0

附註：每結果以三次試驗所得之平均值為根據。

* a——在試驗室內涼乾七天。

b——以140°F溫度烤至常重。

** 所有由0至10%之試模當放入塗塞吸水及清潔水時，即行崩潰。

*** 試模澎漲溶散。

表 5. 處治後之 Hubbard-Field 吸水性

土壤號數	瀝青油百分率(以乾重計)	結合压力 磅/平方吋	處治	以天然壓吸水 磅	以天浸透水中 磅
S-12398	0	300	a*	***	***
		↓	b*	***	***
	10**	↓	a	***	***
		↓	b	***	***
	12	↓	a	***	***
		↓	b	***	***
	14	↓	a	5.5	***
		↓	b	***	13.9
S-13195	0	300	a	***	***
		↓	b	***	***
	2	↓	a	8.5	12.2
		↓	b	14.9	15.3
	4	↓	a	3.0	11.2
		↓	b	12.9	12.7
	6	↓	a	1.7	7.9
		↓	b	12.2	11.9
	8	↓	a	1.4	7.4
		↓	b	10.4	10.1
砂土混合物	0	300	a	***	***
		↓	b	***	***
	2	↓	a	***	***
		↓	b	***	***
	4	↓	a	***	***
		↓	b	***	***
	6	↓	a	***	***
		↓	b	***	***
	8	↓	a	16.9	15.4
		↓	b	16.8	16.4
	10	↓	a	13.8	12.9
		↓	b	14.3	14.8

附注：每結果以三次試驗所得之平均值為根據

* a　在試驗室內空乾七天.

b　以 140°F 溫度烤至常重.

** 所有由0至10%之試模當放入墊塞吸水及浸透水時，即行溶散.

*** 試模滲漏溶散.

表6. Hubbard-Field 体積变迁(以處治後体積計)

桐油百分率(以瀝青重計)%	結合压力 磅/平方吋	處治	体積变迁 製成即刻後 磅	存放之後 磅	以天塑塞吸水 磅	以天浸透水中 磅
土壤號數 S-12398						
0	300	a*	111.0	100	***	***
	〃	b*	111.8	〃	***	***
10**	〃	a	102.1	〃	***	***
	〃	b	103.5	〃	***	***
12	〃	a	101.1	〃	***	***
	〃	b	103.3	〃	***	***
14	〃	a	99.2	〃	113.9	***
	〃	b	102.9	〃	***	122.2
土壤號數 S-13195						
0	500	a	101.0	100	***	***
	〃	b	101.8	〃	***	***
2	〃	a	101.0	〃	102.1	102.5
	〃	b	103.2	〃	102.4	102.4
4	〃	a	101.0	〃	102.5	101.0
	〃	b	101.2	〃	103.3	103.2
6	〃	a	101.3	〃	100.9	103.6
	〃	b	101.5	〃	104.2	103.6
8	〃	a	100.9	〃	103.4	105.5
	〃	b	100.9	〃	104.1	104.2
土壤號數 砂土混合物						
0	300	a	104.6	100	***	***
	〃	b	106.0	〃	***	***
2	〃	a	102.4	〃	***	***
	〃	b	104.0	〃	***	***
4	〃	a	102.3	〃	***	***
	〃	b	102.4	〃	***	***
6	〃	a	102.2	〃	***	***
	〃	b	101.6	〃	***	***
8	〃	a	101.8	〃	127.0	126.3
	〃	b	103.3	〃	122.5	122.4
10	〃	a	100.6	〃	122.6	122.3
	〃	b	103.5	〃	121.0	120.8

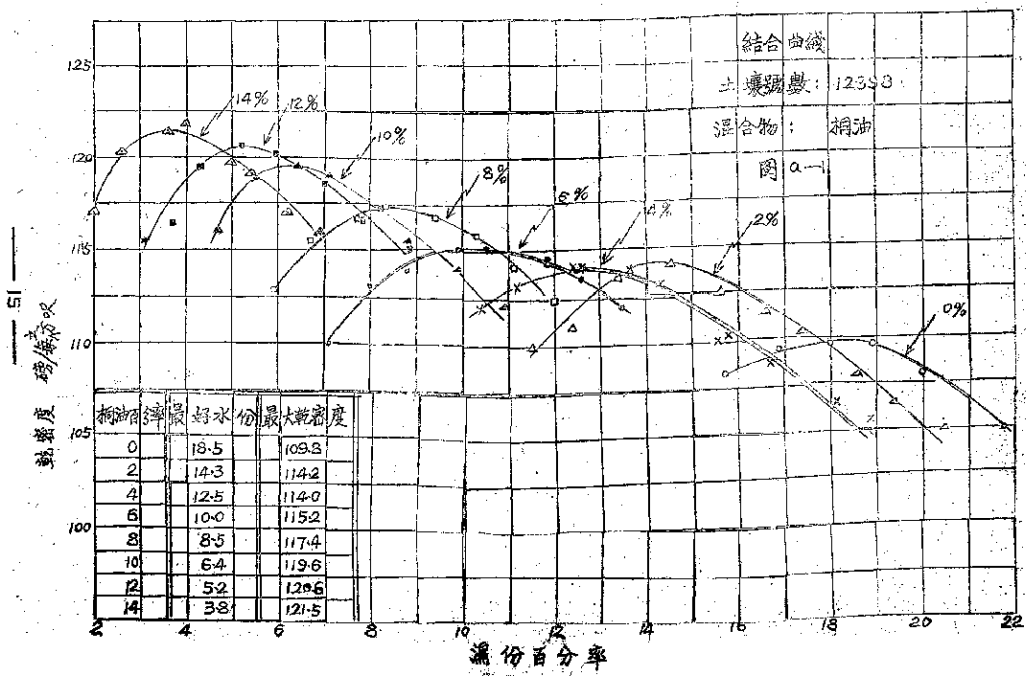
附註：每結果以三次試驗所得之平均值為根據.

* a —— 在試驗室內涼乾七天.

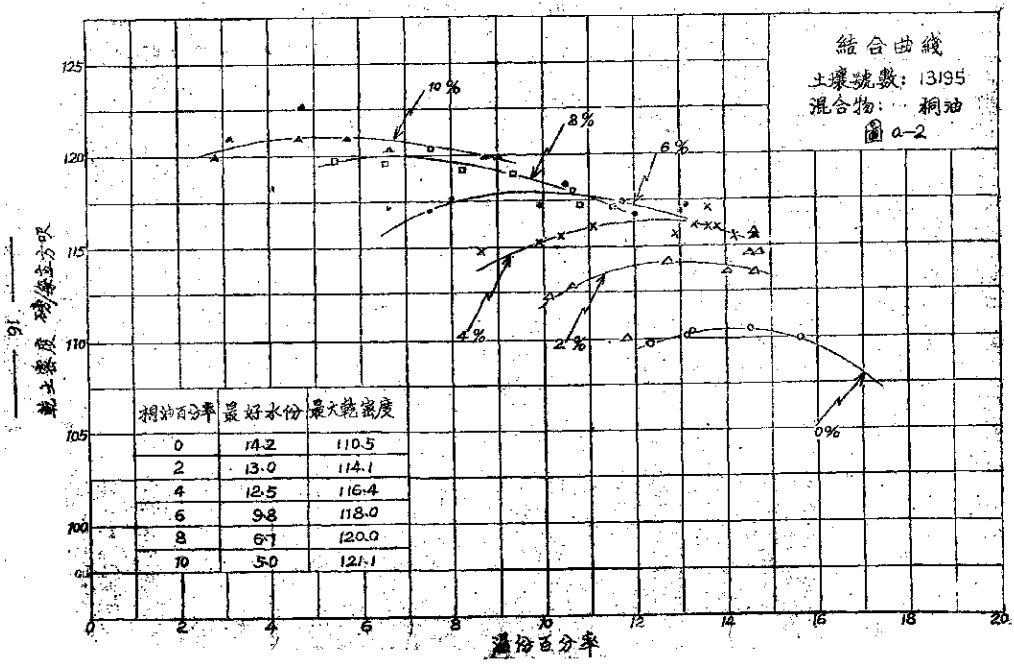
b —— 以140°F溫度烤至常重.

** 所有由0至10%之試模当放入塑塞吸水及浸透水時，即行溶散.

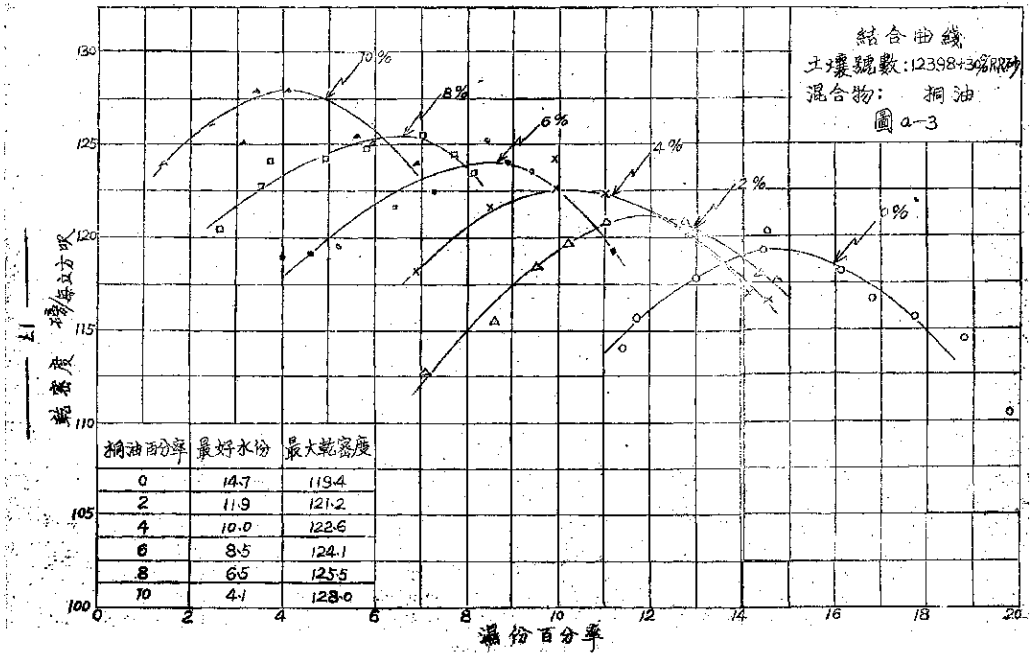
*** 試模溶散.



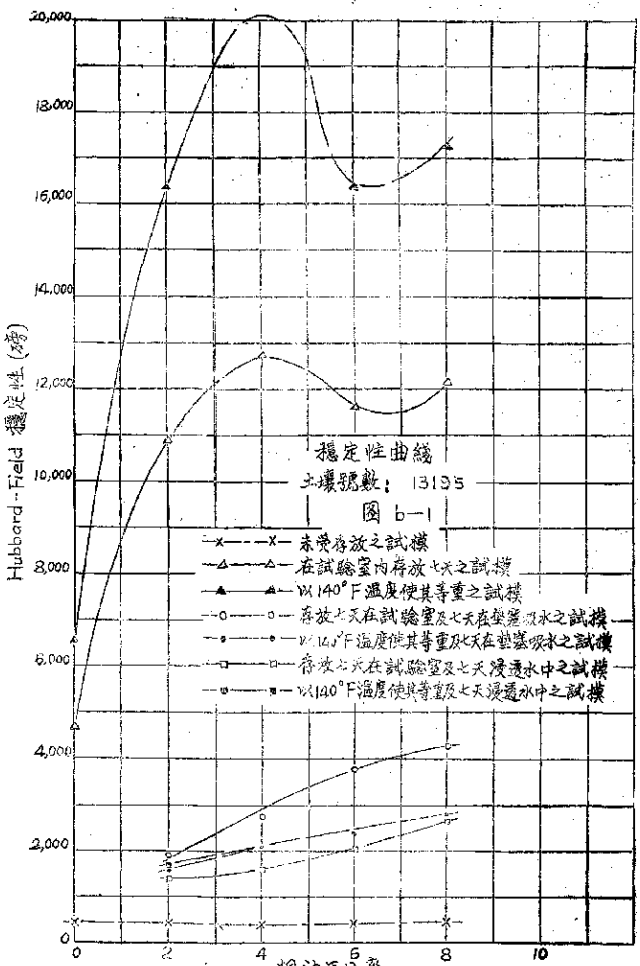
桐油百分率	最好水份	最大乾密度
0	18.5	109.8
2	14.3	114.2
4	12.5	114.0
6	10.0	115.2
8	8.5	117.4
10	6.4	119.6
12	5.2	120.6
14	3.8	121.5

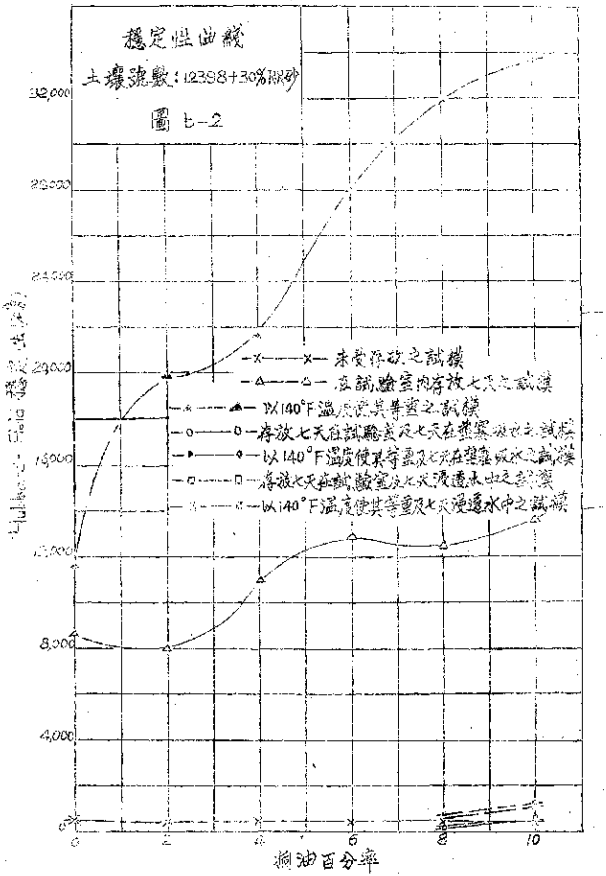


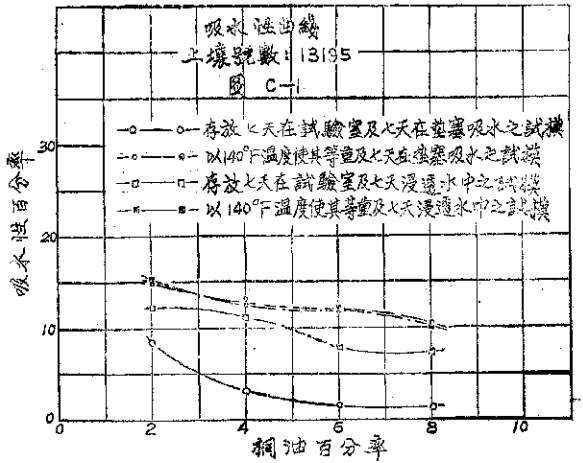
桐油百分率	最好水份	最大乾密度
0	14.2	110.5
2	13.0	114.1
4	12.5	116.4
6	9.8	118.0
8	6.7	120.0
10	5.0	121.1

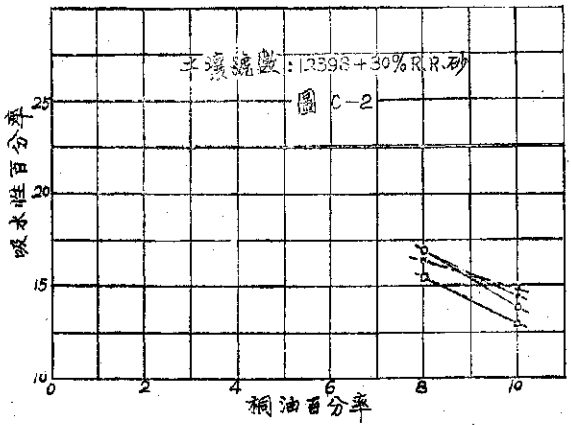


桐油百分率	最好水份	最大乾密度
0	14.7	119.4
2	11.9	121.2
4	10.0	122.6
6	8.5	124.1
8	6.5	125.5
10	4.1	128.0


Hubbard - Field 穩定性 (磅)
20,000
18,000
16,000
14,000
12,000
10,000
8,000
6,000
4,000
2,000
0
0
2
4
6
8
10
瀝青百分率
穩定性曲綫
土壤號數：13195
圖 b—1
赤熱存放之試模
在試驗室內存放七天之試模
以140°F溫度使其等重之試模
存放七天在試驗室及七天在塑膠吸水之試模
以140°F溫度使其等重及七天在塑膠吸水之試模
存放七天在試驗室及七天浸透水中之試模
以140°F溫度使其等重及七天浸透水中之試模


穩定性曲線
土壤號數：12398+30%瀝青
圖 6-2
32,000
28,000
24,000
20,000
16,000
12,000
8,000
4,000
0
0
2
4
6
8
10
瀝青百分率
未受浸蝕之試樣
在試驗室內存放七天之試樣
以140°F溫度使其等重之試樣
存放七天在試驗室及七天在蒸餾水之試樣
以140°F溫度使其等重及七天在蒸餾水之試樣
存放七天在試驗室及七天浸透水中之試樣
以140°F溫度使其等重及七天浸透水中之試樣


吸水性曲線
土壤號數：13195
圖 C-1
存放七天在試驗室及七天在塑塞吸水之試模
以140°F溫度使其等重及七天在塑塞吸水之試模
存放七天在試驗室及七天浸透水中之試模
以140°F溫度使其等重及七天浸透水中之試模
吸水性百分率
30
20
10
0
0
2
4
6
8
10
桐油百分率


土壤號數：12398+30%R.R.砂
圖 C-2
吸水性百分率
25
20
15
10
0
2
4
6
8
10
桐油百分率

代柏油品試驗報告

(1) 總言：

抗戰興興，內地建設，如雨後春筍，尤以公路為最甚。然公路建築，在初期之際，簡而易為，良以運輸輕淡，車輛稀少，工程設備，自不必精密而改究，但運輸日繁，車輛日多之時，則整個公路問題，如工程之改良，運輸之經濟，管理之得法，均油然而興。茲先就工程改良一端而言，除公路之路綫路寬及排水設備，勉能改善之外，至於路面改良問題，始終皆無正當之辦法。蓋路面建築，原以交通簡繁為根據，而分為高中低三種之等級。例如車輛不多之處，沙土路面已足為用，是謂之為低級。倘車輛增多，低級路面，不能維持，則碎石路面，乃不可少，是謂之為中級。若車輛益多，每日超出五六百輛，則碎石路面，亦難維持，於是柏油或水泥混凝土路，實為當然之需要。由此而觀，公路路面之改善，如以經濟適用為原則，必須依據車輛之多少，而定其種類之高低。若倒施而逆行，雖一時不致阻碍運輸之進行，然於整個公路經濟問題上，究屬不合，此不待言者也。故目前內地各省公路之交通，簡繁不一，其每日之行車，自十餘輛以至數百輛不等，故高中低各級之路面，均所需要，而路面之研究，自亦不可有輕重之別。

高級路面建築之問題，在我國情形之下，困難頗多。第一為材料問題，第二為經濟問題。例如柏油及地瀝青材料，均為舶來之品，水泥雖能自製，但產量不足。故材料一項，可謂完全不能自給。在軍興之前，公路運輸，向居次要地位，普通每日能有十餘輛行車之交通，已覺不少，故

當時公路之建築,設備簡單而費用低廉.今之公路運輸,一躍而居首位,故設備必需精良,而費用自然昂貴,但一般思想受昔日觀念之影响,仍以為公路之修築,需缺徧而完成速,遂造成目前公路車多路壞之現象.

高級路面之建築,既不可免,其所需材料之研究,實屬當務之急.水泥製造,若能大量出產,自可修築水泥路面,柏油瀝青,若能自行提鍊,當可修築柏油路面.但在兩者均未實現之前,倘能尋得柏油之代替品,亦可解決目前之困難.民國廿七年夏,本部公路總管理處技正陳君本端即創始利用桐油及松香混合品,以代替柏油,廿八年一月,成都市政府,因改善市內路面,曾被約往成都,代為設計,四川公路局亦拟試辦,後以經濟及設備問題,未能舉辦.廿八年五月初,西南公路管理局渝筑段工程處,拟在重慶海棠溪,試築各種桐油松香路面,籌備甫行就緒,適值轟炸,無形停頓.同年十月間四川公路局駐渝辦事處派工在重慶上清寺牛角沱該處門前,修築桐油松香混沙路面數十公尺,由交通部公路總管理處補助一千餘元,但以化油爐,炒砂鍋,容量太小,每次混合料鋪路寬度不及一英尺,以致不能用汽路機加以滾压,僅用鐵夯以人力為之,未克压實,而所用油量,亦感不足.且因此油爐終日加热燒油,油性似已焦脆,故結果不佳,所成路面,不久即呈破裂之現象,可見工之不善其事者,必難得優良之結果,茲為進一步研究起見,特按照柏油材料試驗之方法,一一加以試驗,并

將試驗結果，披露於此，以證明桐油松香混合物，與柏油瀝青，在築路立場上，并無二致，不過一為植物產，一為礦產而已。

(2) 原料之展望：

原料方面，一為桐油，一為松香。桐油為我國之特產，產量極富，如川桂湘黔諸省，均有大量之生產，其目前之出路，雖可為國內漆業製造之用，但外銷國外，實居大宗。其價值最低時，曾至每担國幣十五元左右，每斤祇合一角五分上下，屬至目前，因統制外銷及外滙之關係，其價值每担達一百五十元左右，每斤合國幣一元五六角，是以桐油市價之高低，完全視有無銷路為轉移，至於松香一項，其情形則微有不同，蓋其用途不廣，銷路不宏，故產量較桐油為少，但川省之涪陵，以及桂省北部一帶，亦大量生產，其市價最低時，每斤僅售一角左右，現在每斤約在七八角。以桐油松香化合之後，其混合之價值，亦能加以計算，例如以目前原料市價為標準，每斤混合物約國幣一元三角左右，但美國柏油在是明市價，每斤約國幣一元五角上下，若以抗戰前市價為標準，桐油每斤假定為國幣二角，松香每斤假定為一角，則製成之混合体，每斤約需國幣一角五分上下，若修築路面，以每平方公尺需油六斤計算，則目前每平方公尺約需國幣九元，戰後恢復常態之後，僅需九角。昔時柏油在港滬每噸約售銀八、九十元，加之內地運費，恐每噸約需國幣二百元上下，亦必在二角左右。由此而觀，在商業上，與舶來品，在內地各處，必能爭衡，但桐油銷路，必因國外之種植，日漸減少，而國內必因外銷

有利，而廣事種植，將來之趨勢，必國內產量驟增，國外銷路驟減，乃不能不形成桐油出路之衰落。若以之為築路材料，當能為挽救頹勢之一法。如此則市價必低，桐油松香混合物，每斤必能低至國幣一角以下而無疑。倘能一面建廠大量製鍊，一面鼓勵各方採用，則舶來品之柏油，必能退避於我國之市場，而我國公路事業，亦可因之競競而日上也。

(3) 製煉法之展望：

按地瀝青或柏油，可分為三大種類，一為地瀝青膠泥(Asphalt Cement)，二為輕製地瀝青(Cut-Back Asphalt)，三為地瀝青乳膠(Asphaltic Emulsions)。因三種材料之不同，修築路面之方法，亦有熱拌及冷拌之別。普通熱拌方法，須用器械，較冷拌略多，故在城市之中，鋪築馬路，工作集中，熱拌方法，并不感覺煩難，若修築公路，里程較長，工作分散，熱拌方法，終嫌不宜。由此而觀，我國城市以及公路鋪修路面之高級材料，除水泥之外，似可以此種柏油代替品為最宜。而此種柏油代替品，又可煉成膠泥，輕製，及乳膠三種，以適合熱拌冷拌之方法。熱拌所需之油料為膠泥，可以其油性而分其類別，例如針入度(Penetration)，軟化点(Softening Point)，及延度(Ductility)，均可分配製煉，而成一單獨種類之油料，其單獨之性質，必能適合某一地方某一類路面建築之用。工程師定出油性細則，製油廠即能如法煉製，以供給之。至於冷拌所需之油料為輕製(Cut-Back)或乳膠(Emulsions)

其分類之方法,亦可以其油性為根據.例如輕製油料,可以速凝(Rapid Curing),介凝(Medium Curing),及慢凝(Slow Curing)三種性質.以區別其種類.乳膠油料,則可以速解(Rapid Breaking),介解(Medium Breaking)及慢解三種,以區別其種類.故冷拌方法所用之油料,亦可由桐油松香混合物以代替外貨.由此可以推斷此種柏油瀝青代替品,無論何種,皆可以倣製.而成效同一,并無分別.至其化學成份,雖未試驗,但在CS_2(Carbon Disulphide)之中,可以完全溶解,在汽油及火油之中,亦可溶化,是可證明此種桐油松香混合物,大部份為氫(Hydrocarbons),與柏油或地瀝青,似無區別也.

(4) 試驗法之簡述:

此種桐油松香混合物,可以凍成膠泥(Asphalt Cement),輕製(Cut-Back)及乳膠(Emulsions),已知如道.同時并知在CS_2(Carbon Disulphide)汽油或火油之中,皆可溶化,兼以形狀又極似柏油,於是採擷種々之改質,可以斷定此種混合物試驗之方法,完全採用柏油試驗,必能適合.經實施後,果然不謬.

經決定採用柏油試驗之方法後,試驗工作,乃告開始.工作計劃,分為三種,一為桐油松香膠泥之試驗,二為桐油松香輕制油之試驗,三為桐油松香乳膠之試驗.其屬於第一種試驗之節目如下:

(一) 普通性質(General Characteristics)

(二) 比重,25°/25°C.(Specific Gravity, 25°/25°C.)

(三)針入度;25°C., 100克, 5秒(Penetration, 25°C., 100g., 5 sec.)

(四)軟化点(Softening Point)

(五)延度25°C.公分(Ductility, 25°C., cm.)

(六)引火点(Flash Point)

(七)燒後損失163°C., 50克, 5小時(Loss on Heating)

(八)溶解於CS_2瀝青量(Total Bitumen Soluble in CS_2)

其屬於輕製油(Cut-Back)之試驗節目,列之如下:—

(一)普通性質(General Characteristics)

(二)比重(Specific Gravity)

(三)水渣(Water and Sediment)

(四)引火点(Flash Point)

(五)黏度(孚羅夫)50°C.秒(Viscosity Saybolt Furol, 50°C. sec.)

(六)蒸溜試驗(Distillation Tests)

1. 0°— 190°C.
2. 0°— 225°C.
3. 0°— 315.5°C.
4. 0°— 360°C.

(七)蒸溜渣試驗(Tests on Distillation Residue)

針入度25°C., 100克, 5秒(Penetration)

延度25°C., 公分(Ductility)

溶解於CS_2瀝青量%(Bitumen Soluble in CS_2, %)

浮標試驗, 50°C. 秒 (Float Test, 50°C., sec.)

其屬於乳膠(Emulsions)之試驗節目, 列之如下:—

(一)普通性質(General Characteristics)

(二)比重 25°/25°C. (Specific Gravity)

(三)黏度, (孚羅夫) 25°C. 秒 (Viscosity, Saybolt Furol, 25°C., sec.)

(四)蒸溜至 500°F. (260°C.) (Distillation to 500°F.)

蒸溜液 (Total Distillate), %

油液 (Oil Distillate), %

(五)沈澱五日, % (Settlement, 5 days, %)

(六)乳化油成份, % (Demulsibity)

(七)蒸溜渣試驗 (Tests on Distillation Residue)

針入度, 25°C. 100克, 5秒 (Penetration)

延度 25°C. 公分 (Ductility)

溶解於 CS_2 瀝青量, % (Solubility in CS_2, %)

上述三種試驗之方法, 均為柏油瀝青之標準試驗. 一切步驟, 皆採取美國材料標準試驗 (A.S.T.M. Standard) 之步驟. 抗戰軍興之後, 各校試驗設備, 頗多遺失, 幸西南联合大學校清華大學, 預先由北平運出, 所有各種材料試驗儀器, 陸續運抵滇地, 因之桐油松香混合物之試驗工作, 得以開始, 并能順利進行. 此當表示感謝者也.

(5) 膠泥, 蛭製及乳膠三種之比較:

利用桐油松香混合料, 可以製成膠泥 (Asphalt Cement), 蛭製

(Cut-Back)及乳膠(Emulsion),以代替舶來品,而適合熱拌及冷拌之方法,已如上述。惟此二種料品之中,雖各具其長,但以國產材料,代替舶來之品,自以竭力避免外貨為最宜。例如膠泥一類,完全以桐油松香化合而成,乳膠則以膠泥加水乳化而得,若輕製者,則必須利用汽油或火油以溶化膠泥。由此而觀,輕製一種,尚須利賴外貨,始能製煉。若欲完全國產,則膠泥及乳膠兩類,殊為相宜。蓋熱拌可用前者,冷拌可用後者。目前研究之最望,自宜以兩種為目標,但乳膠一種,係自注水而化合,需要機械(Colloid Mill)之帮助,始能製造。現在此類機械,尚付闕如,未能進行。本篇之報告,僅限於膠泥一種而已。

(6)桐油松香膠泥試驗步驟簡述及其試驗之結果:—

利用桐油及松香,以製膠泥,欲得其種種不同之性質,以適合各種高級路面之建築,可按照其成份之變化及製煉溫度之高低,而加以處治。本試驗之步驟,即根據混合比率及製煉溫度,按步試驗,其試驗之結果,列之於表(I),各種結果互相之關係列之於圖1至圖18如下:—

表(I)　桐油松香膠泥試驗結果

試驗項目	混合比率 \ 溫度	200°	250°	300°	350°
比重 25°/25°C.	1:1	—	—	1.052	—
	1:1½	—	—	1.052	—
	1:2	—	1.050	1.050	—
	1:2½	1.053	1.051	1.049	1.048
	1:3	1.051	1.049	1.047	1.043
針入度 五秒鐘 100克	1:1	—	—	402.2*	—
	1:1½	—	—	255.0	—
	1:2	—	153.3*	131.4	—
	1:2½	193.7	129.8	74.5	16.3
	1:3	156.1	130.8	30.0	13.8
延度 公分	1:1	—	—	—	—
	1:1½	—	—	71.10	—
	1:2	—	60.50	47.50	—
	1:2½	51.50	60.75	56.00	47.30
	1:3	55.15	51.00	42.50	51.20
軟化點 攝氏溫度 環球法	1:1	—	—	—	—
	1:1½	—	—	31.1	—
	1:2	—	27.9	37.7	—
	1:2½	32.0	37.4	42.4	52.0
	1:3	37.5	39.0	45.5	56.0
燒後損失 %	1:1	—	—	0.656	—
	1:1½	—	—	0.167	—
	1:2	—	0.820	0.602	—
	1:2½	0.771	0.780	0.504	0.638
	1:3	0.690	0.616	0.478	0.842

*針入度，50g.－1sec.

續表(I)　桐油松香膠泥試驗結果

試驗項目	混合比例 \ 溫度	200°	250°	300°	350°
引火点溫度華氏	1:1	—	—	414.5	—
	1:1½	—	—	387.0	—
	1:2	—	381.0	387.0	—
	1:2½	382.0	388.0	388.5	417.8
	1:3	396.5	378.0	395.0	405.5
發火点溫華氏	1:1	—	—	490.5	—
	1:1½	—	—	462.8	—
	1:2	—	479.0	463.0	—
	1:2½	420.0	477.0	464.5	507.5
	1:3	467.0	469.0	467.5	459.5
瀝青量 CS_2	1:1	—	—	98.811	—
	1:1½	—	—	98.668	—
	1:2	—	98.701	98.862	—
	1:2½	98.063	98.910	98.778	98.672
	1:3	98.759	99.100	98.985	98.410
灰份 %	1:1	—	—	0.790	—
	1:1½	—	—	0.750	—
	1:2	—	0.798	0.620	—
	1:2½	0.698	0.542	0.755	0.603
	1:3	0.760	0.500	0.560	0.890

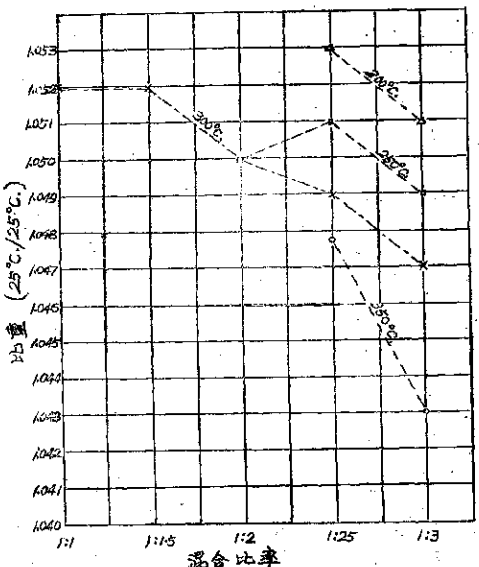


圖 1. 比重及混合比率關係曲線

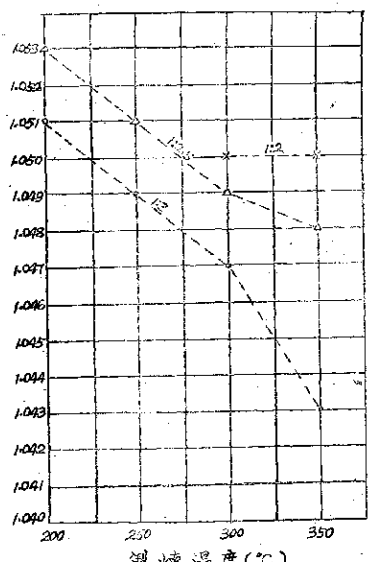


圖 2. 比重及製煉溫度關係曲線

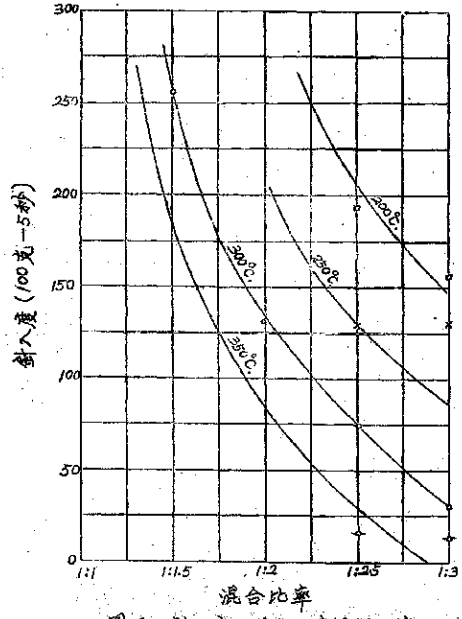


圖 3. 針入度及混合比率關係曲線

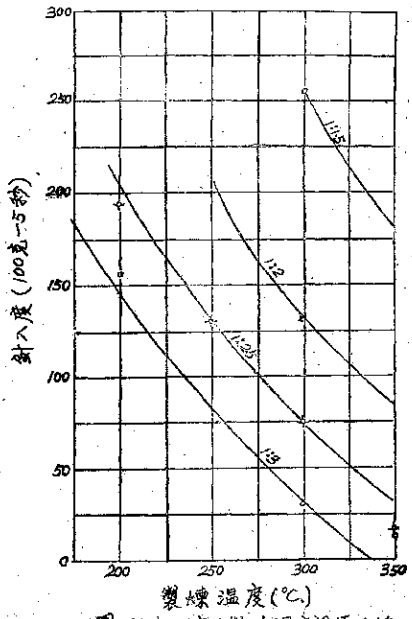


圖 4 針入度及製煉溫度關係曲線

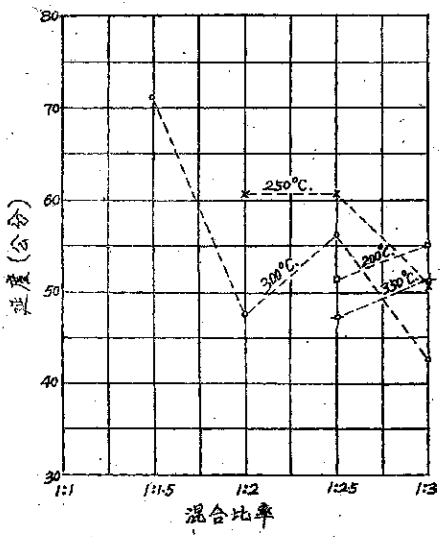


圖5. 延度及混合比率關係曲線

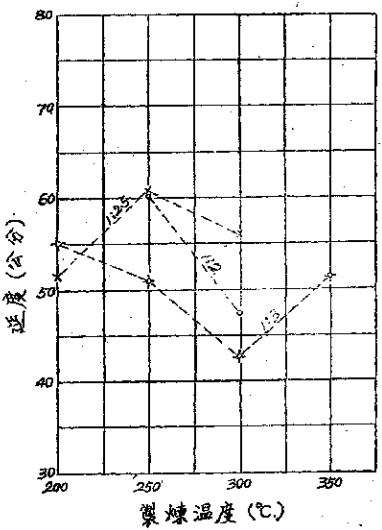


圖6. 延度及製煉溫度關係曲線

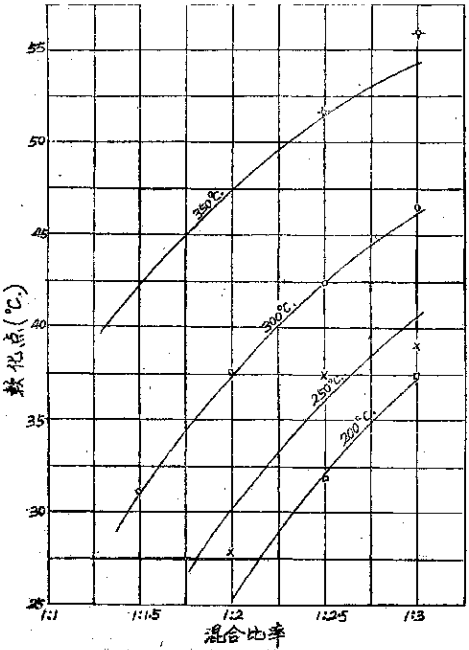


圖7. 軟化点及混合比率関係曲線

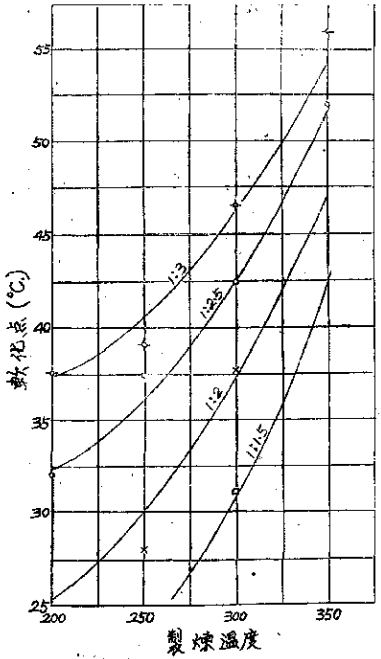


圖8. 軟化点及製煉温度関係曲線

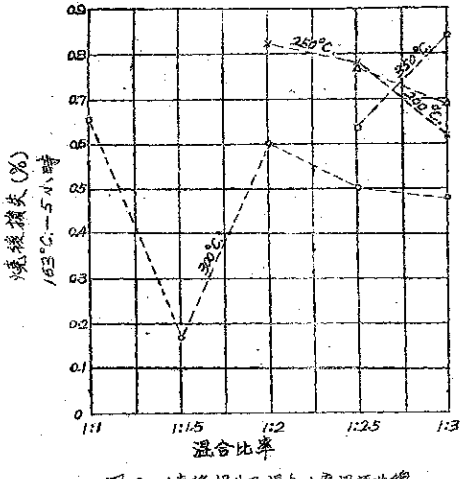


圖 9. 燒後損失及混合比率關係曲線

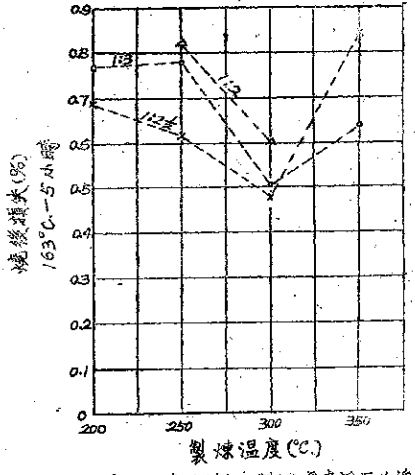


圖 10. 燒後損失及製煉溫度關係曲線

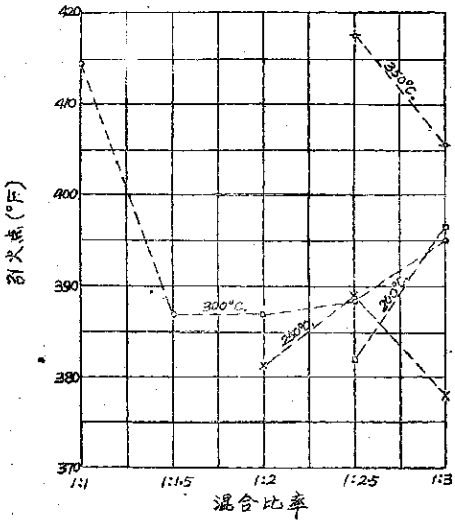


圖 11. 引火点及混合比率関係曲線

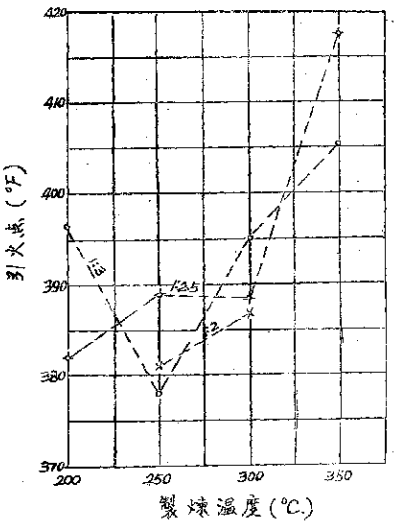


圖 12. 引火点及製煉溫度関係曲線

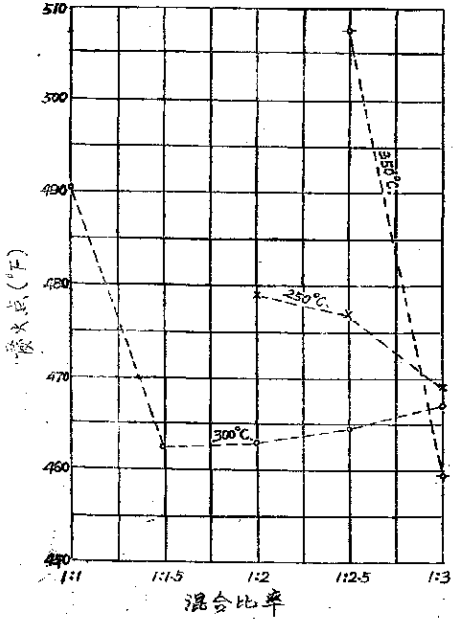


圖13. 發火点及混合比率關係曲線

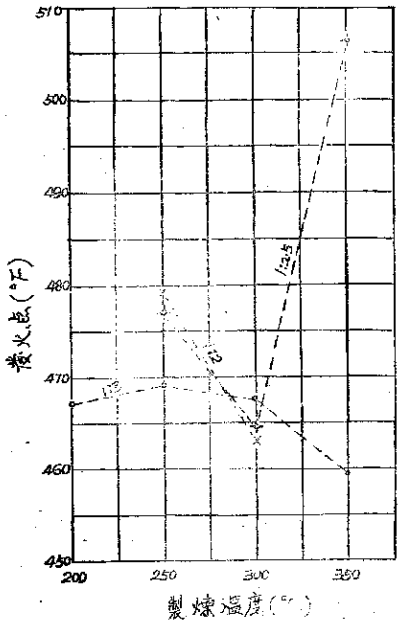


圖14. 發火点及製煉溫度關係曲線

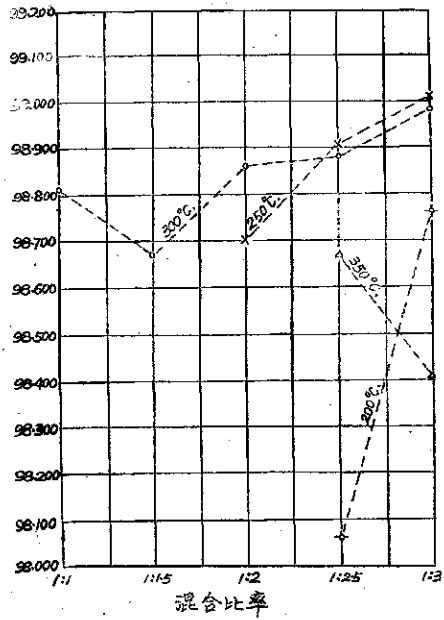


圖 15. 濾青量及混合比率關係曲線

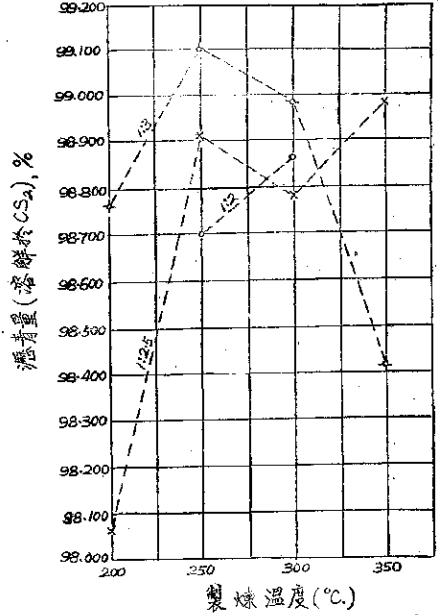


圖 16. 濾青量及製煉溫度關係曲線

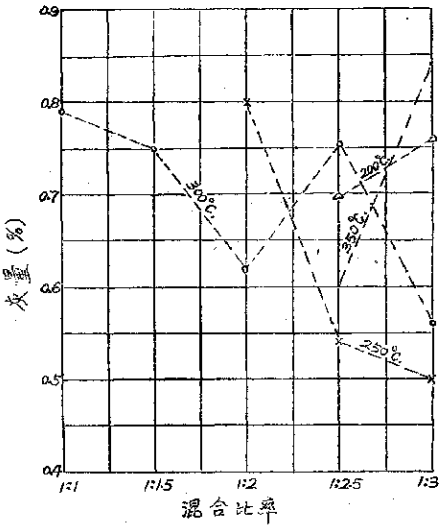


圖17. 灰量及混合比率關係曲線

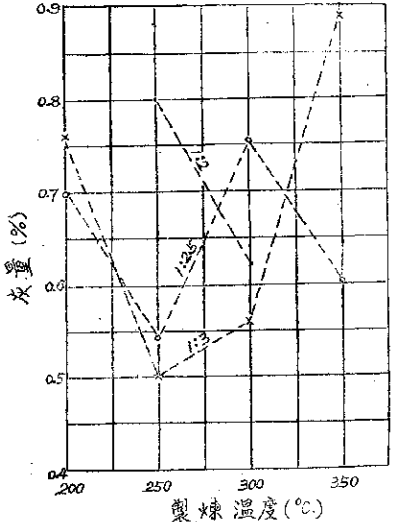
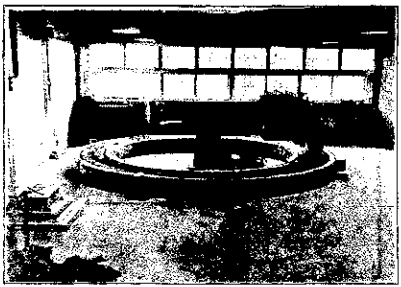


圖18. 灰量及製煉溫度關係曲線

公路月刊

公路工程研究刊物

第二卷　第三期　民國廿九年六月出版



交通部 co 清華大學
公路研究實驗室
昆明拓東路迤西會館

石灰及水泥
穩定A—4類土壤試驗報告

I. 引 言

土壤穩定(Soil Stabilization)之意義，即利用天然之土壤，經過人工之處治，使其中土粒所形成之結構物，能維持其原有之工程能力；雖受行車滾壓，雨水侵蝕，烈日灼晒，以及水份凍解(freezing and thawing)之影响，而不致發生任何足以危及路身安全之變動也。

土壤之穩定性乃基於兩大因素；一為內摩擦力(Internal Friction)，一為黏結力(Cohesion)。內摩擦力之發生，由于土壤中之砂礫，碎石等稜狀物体；而黏結力之發生，則因各種土壤含土量之不同而各異。例如水結馬克當碎石層之結合，由于石粉及濕膜(film moisture)；細壤(Light-textured soil)之結合，由于膠狀黏土(Colloidal clay)及濕膜；水泥混合物，由于水泥中之結晶化學法(Crystalline Chemical formations)；柏油或瀝青混合体，則由于所含之瀝青質(Bitumen)，皆其明証。稜狀物体在土壤中之作用，一如兩張砂紙之糙面相接觸時相同；壓力愈大，則其摩擦力愈強，惟其本身則毫無黏結力，極易使之分離。黏結料(Binder)在土壤中之作用，則與二張捕蠅紙黏結後相似；其內摩擦力微乎其

微，但其黏結力則較大。

按穩定土壤之方法，經實驗有效者，有下列數種：

(1) 利用土壤本身配成級配之材料(Graded Materials)；

(2) 摻入摻合物(Admixtures)，如水泥，石灰，氯化鈣，氯化錳，氯化鈉，糖漿，瀝青材料等；

(3) 電化處治(Electro-Chemical Treatment)；

(4) 燒燻(Application of Heat)。

至於採用何法，必須視土質及當地情形而定。土壤共有八大類，而本實驗之範圍，則僅限于A-4類。此類土壤其成份大部為細砂及淤泥，黏土成份極少，故黏結力頗感缺乏。其穩定之法當以加摻合物為最宜。摻合物之功效，雖因其性質而各異，惟不出下列數端：

(1) 混合適量之黏土共設法自空氣中吸收水份，或減低土壤水份之蒸發，以保持土壤適宜之濕度。

(2) 摻合物之電化作用(Electro-Chemical Action)，以增加混合物之密度及其穩度。

(3) 由于化學作用，增強土粒間之聯繫，并減低甚或消除水化性。

(4) 加強土壤中原有之黏結料，以消除黏土之吸水性。

在上述各種摻合物中，採用石灰及水泥，最宜穩定細壤之土質。吾國西北土壤大部份屬於A—4類，故本實驗所得之結果，對于西北公路修築上，或不無小補也。

II. 試驗目的

研究以洋灰或石灰以穩定A—4類土壤之效果，以求必須之洋灰量或石灰量。

III. 試驗方法

A—4類土壤之成份，大部為細砂(Fine Sand)及淤泥(Silt)，其本身雖具有內磨擦力，惟因缺乏黏結力，除偶含適宜水份之際，能暫呈穩定外，其他時間，幾無穩定性之可言。故必須摻入黏土以增加其黏力。本實驗之初步工作，為分析土樣之成份，然後按下表將A—4類土壤，與紅土摻合，使具有不同份量之黏土。表(I)中所列百分數，係以乾土重為標準。

表(I)

混合物名稱	A	B	C	D	E
A—4土重(%)	90	80	70	60	50
紅土重(%)	10	20	30	40	50
總重	100	100	100	100	100

將各混合物加3, 6, 9, 12, 15%之水泥或石灰後，作最好水份試驗，压力試驗(Compression Test)，及乾濕試驗(Wetting and

Drying)，以求其所具之性質。

(一) 土樣之機械分析

本實驗所用之機械分析方法，係依據1938年，A.A.S.H.O "Standard Specifications for Materials and Methods of Sampling and Testings." 之方法(T-88-38)。土粒通過200号篩者以比重計(Hydrometer)分析之；其遺留於200号篩上者則以篩分析之。茲簡述其分析試驗之手續如下：

所用儀器： 天秤，特別攪拌器附可更換之攪動葉(Replaceable stirring paddle)及分散杯(Dispersed cup)；比重計，刻度為每公升之懸掛土粒量(Soil particles in suspension)，(以克計)。大量筒一，直徑2½吋，高18吋；溫度計；20, 40, 60, 100, 200号篩各一。

試驗步驟： 試驗之樣品重量，紅土為65克A-4土壤為115克。

(1) 以15克重之土樣作含水量試驗。

(2) 將剩餘之土樣加水攪和後再加解凝劑(Deflocculating agent)：土壤之塑性指數小于20者，用20 cc. $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$；塑性指數大于20者，則改用100 cc.之6%三氧化氫(Hydrogen Peroxide)溶液。

(3) 將混合物傾入分散杯內，用特別攪拌器攪動一分鐘。

(4) 將混合物傾入大量筒內，加水至總体積等於1000 cc.時為止。

(5) 將量筒口蓋以手掌，并搖動一分鐘。

(6) 記錄沉澱開始後 1, 2, 5, 15, 30, 60, 250 及 1140 分鐘之比重計示度，同時須記錄水溫。

(7) 最末示度讀得後，將沉澱物於 200 号篩內冲洗。其遺留部份，待烘乾後用篩分析之。

(8) 另取一小部份土樣試驗其比重。

說明　用比重計試驗所得之結果其計算方法，係依據 Stokes 公式如下：—

$$d = \sqrt{\frac{30\eta L}{980(G-G_1)T}} \text{ ---------- (1)}$$

式中　d = 最大粒徑 (mm.)

η — 間介物之滯性係数 (Coef. of viscosity)

L — 定時內土粒下沉之距離 (cm)

T — 沉澱時間 (分鐘)

G = 土粒之比重

G_1 = 間介物之比重

本實驗所用之間介物為水，故 $G_1 \doteqdot 1$

最大粒徑等于 d 者之百分数，可由下式求得之：—

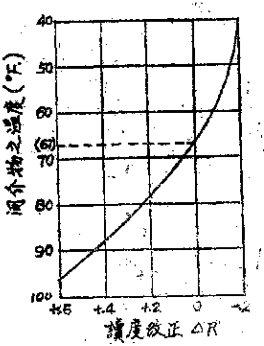
$$P = \frac{Ra}{W} \times 100 \text{ ---------- (2)}$$

式中 P = 土壤懸掛部份(Portion of soil in suspension)之百分數.

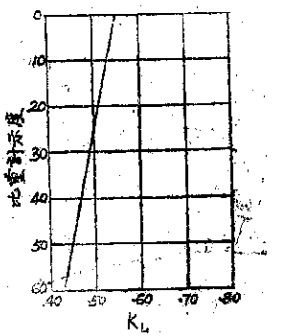
R = 比重計示度之改正值(其改正可由附圖1查得)

$$a = \frac{2.65-0.9984}{2.65} \cdot \frac{G}{G-0.9984}$$

W = 乾土重(克/公斜)



附圖 1



附圖 2

假定 L = 32.5 cm

η = 0.0102 (67°F. 水之滯性係數)

G = 2.65

利由(1)式計算而得下表(II):

表(II)

沉澱時間 (分鐘)	最大粒徑 d_1 (mm)
1	0.078
2	0.055
5	0.035
15	0.020
30	0.014
60	0.010
250	0.005
1,140	0.002

惟事实上，L—比重浮心至水面之距離，因比重計之示度而異，故上表之d_1值須乘以改正係数 K_L.

$$K_L = \sqrt{\frac{\text{实际下沉距離}}{32.5}}$$

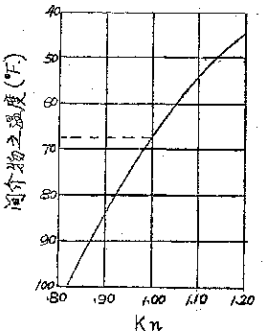
水之滯性係数n因溫度而变，并非恆数，G值亦因土而異，非一定等于2.65，故d_1仍須乘以改正係数K_n及K_G：

$$K_n = \sqrt{\frac{\text{某溫度下水之滯性係数}}{0.0102}},$$

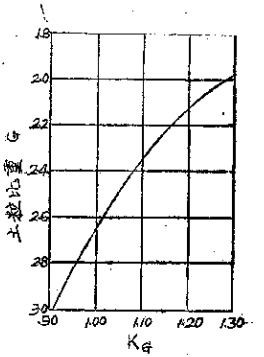
$$K_G = \sqrt{\frac{1.65}{G-1}}$$

$$\therefore \quad d = d_1 \times K_L \times K_n \times K_G$$

K_L, K_n, 及K_G之数值可自附圖2,3,及4中之曲線分別查得之.



附圖 3



附圖 4

原來土樣之机械分析

比重 = 2.33

濕土及罐重 ---------- 44.57 (克)

乾土及罐重 ---------- 42.30

水份重量 ---------- 2.27

罐重 ---------- 26.00

乾土重 ---------- 16.30

水份(%乾土重) ---------- 13.90

試驗樣品重量 ---------- 100.0

樣品含水重 ---------- 12.2

乾樣品重量 ---------- 87.8

$$a = \frac{2.65 - .9984}{2.65} \cdot \frac{2.33}{2.33 - .9984} = 1.09$$

$$P = \frac{1.09R}{87.8} \times 100 = 1.24R$$

表(III)

沉澱時間 (min)	最大粒徑 (mm)	比重計讀度	水溫 (°F)	溫度改正值 (ΔR)	比重計讀度改正值 (R)	土粒重百分數 (P)	K_L	K_G	K_n	最大粒徑改正值 (mm)
1	.078	47.0	71.1	-.6	38.6	53.3	.47	1.13	.98	.041
2	.055	38.3	71.4	-.6	29.9	46.3	.48	〃	〃	.029
5	.035	27.2	71.8	-.7	20.9	33.7	.49	〃	.97	.019
15	.020	15.1	71.8	-.7	8.8	18.7	.52	〃	〃	.011
30	.014	6.2	71.8	-.7	1.9	7.7	.53	〃	〃	.008
60	.010	0	71.8	-.7	-.7	-.9	.55	〃	〃	.006

表(IV)

過通	----	No.10	No.20	No.40	No.60	No.100
過留	No.10	No.20	No.40	No.60	No.100	No.200
重量(克)	0	1.5	3.5	6.4	9.4	11.3
%	0	1.7	4.0	7.3	10.7	12.9

紅土之机械分析

比重 —— 2.39

濕土及罐重 ———————————— 55.42 (克)

乾土及罐重 ———————————— 52.50

水份重量 ———————————— 2.92

罐重 ———————————— 26.00

乾土重 ———————————— 26.50

水份 (%乾土重) ———————————— 11.00

試驗樣品重量 ———————————— 50.0

樣品含吸水份重 ———————————— 5.0

乾樣品重重 ———————————— 45.0

$$a = \frac{2.65 - .9984}{2.65} - \frac{2.39}{2.39 - .9984} = 1.07$$

$$P = \frac{R \times 1.07}{45.0} \times 100 = 2.38R$$

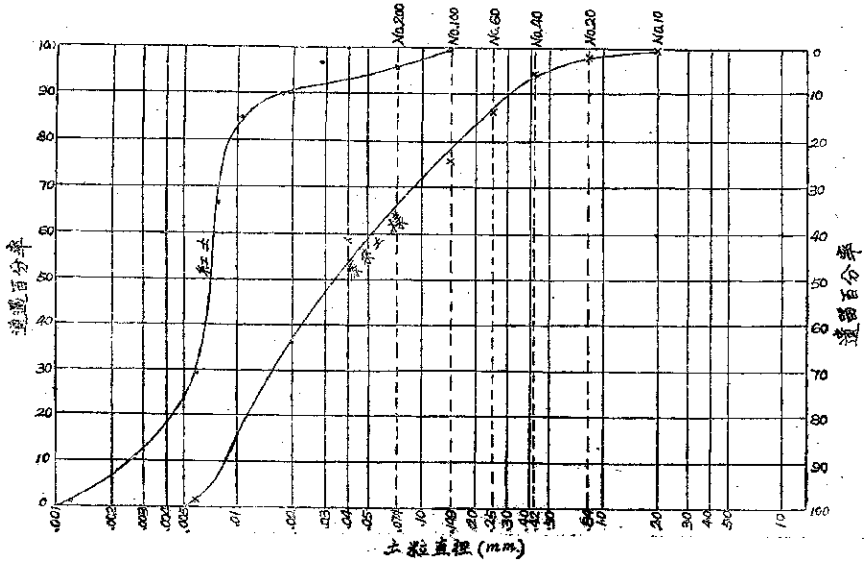
表(V)

沈澱時間 (min)	最大粒徑 (mm)	比重計讀度	水溫 (°F)	讀度校正 (ΔR)	比重計讀度校正值 (R)	土粒直百分數 (P)	K_L	K_G	K_n	最大粒徑理論值 (mm)
1	.078	42.2	65.3	-.2	42.0	100	.46	1.08	1.02	.039
2	.055	41.2	65.3	-.2	41.0	97.4	.46	〃	〃	.028
5	.035	39.0	65.3	-.2	38.8	89.9	.47	〃	〃	.018
15	.020	36.0	65.0	-.2	35.8	85.2	.48	〃	〃	.0106
30	.014	28.3	65.0	-.2	28.1	66.8	.49	〃	〃	.0076
60	.010	12.5	64.8	-.2	12.4	29.5	.52	〃	〃	.0057
250	.005	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.140	.002	0.3	64.0	-.2	0.1	.238	.55	〃	1.03	.0012

通過No. 100篩選留于NO. 200篩上者重21克 ——— 4.6%

遺留于NO. 100篩上者 ——— 0%

圖 1. 土樣之累積曲線

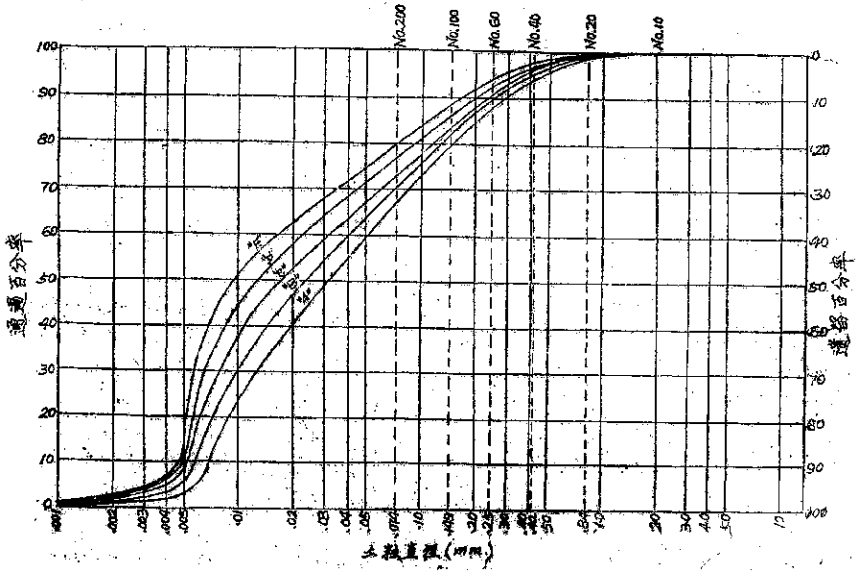


表(四)

機械分析結果

類別		土粒直徑小於下列數值(以mm計)者之百分數								
		2.0	0.84	0.42	0.25	0.149	0.074	0.04	.005	.001
原來土樣		100	98.3	94.3	87.0	76.3	63.4	51.0	0	0
紅土		100	100	100	100	100	95.4	93.0	24.0	0
"A"	原來土樣90%	90	88.5	84.8	78.2	68.7	57.0	45.9	0	0
	紅土10%	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.5	9.3	2.4	0
	混合物	100	98.5	94.8	88.2	78.7	66.5	55.2	2.4	0
"B"	原來土樣80%	80.0	78.6	75.5	69.6	61.0	50.7	40.8	0	0
	紅土20%	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.1	18.6	4.8	0
	混合物	100	98.6	95.5	89.6	81.0	69.8	59.4	4.8	0
"C"	原來土樣70%	70	68.8	66.0	60.9	54.2	44.4	35.7	0	0
	紅土30%	30	30.0	30.0	30.0	30.0	28.7	27.9	7.2	0
	混合物	100	98.8	96.0	90.9	84.2	73.1	63.6	7.2	0
"D"	原來土樣60%	60	59.0	56.6	52.2	45.8	38.1	30.6	0	0
	紅土40%	40	40.0	40.0	40.0	40.0	38.2	37.2	9.6	0
	混合物	100	99.0	96.6	92.2	85.8	76.3	67.8	9.6	0
"E"	原來土樣50%	50	49.2	47.2	43.5	38.2	31.7	25.5	0	0
	紅土50%	50	50.0	50.0	50.0	50.0	47.7	46.5	12.0	0
	混合物	100	99.2	97.2	93.5	88.2	79.4	72.0	12.0	0

圖 2、混合物之量積曲線



茲將分析所得之結果列於表(四)如下：—

表(四)

成份＼類別	原來土壤	紅土	A	B	C	D	E
粒徑>2mm,%	0	0	0	0	0	0	0
粗砂(2.0—0.25mm)"	13	0	11.8	10.4	9.1	7.8	6.5
細砂(.25—.05mm)"	31	6	30.2	25.6	23.8	20.2	18.5
淤泥(.05—.005mm)	56	70	55.6	59.2	59.8	61.4	63
黏土,<.005mm,%	0	24	2.4	4.8	7.2	9.6	12
膠土<.001mm,%	0	0	0	0	0	0	0

(二) 塑性指數

土壤之塑性指數，可以代表其性質之一部。黏結力大者，其塑性指數亦大，此紅土是；反之，此黏結力小者，其塑性指數亦小，如砂之塑性指數等于零。穩定土壤時，土壤之塑性指數不可忽略不計。因塑性指數太大，則土壤吸水性大，而在潮濕情形下，土壤中之黏土將起物理变化而失去其黏結力。換言之，即土壤失去穩定性矣。此塑性指數太小，則土壤在潮濕狀態下，雖能暫時依靠毛細管捆力(Capillary Bond)維持其穩定性，惟在乾燥情況下，因毛細管現象而生之濕膜蒸發後，土壤即失去黏結力，而不能穩定。塑性指數之選擇，雖須視當地天氣情形而定，惟據歐美人士研究及实驗所得，以4至12間者為宜。塑性指數之

公式如下：—

塑性指数＝液体限度－塑性限度

茲將各種土樣之塑性指数試驗結果列於表(VIII)如下：—

表(VIII)

土類	L.L. 或 P.L.	罐重(克)	罐及濕土總重(克)	罐及乾土總重(克)	乾土淨重(克)	水份 重量	水份 %	塑性指数
原來土樣	L.L.	48.35	63.79	60.39	12.04	3.40	28.35	4.98
	P.L.	49.90	63.55	60.96	11.06	2.59	23.37	
A	L.L.	49.40	67.11	62.83	13.43	4.28	31.90	6.13
	P.L.	46.29	62.19	58.98	12.69	3.21	25.27	
B	L.L.	43.80	60.56	56.34	12.54	4.22	33.61	8.34
	P.L.	48.47	61.84	59.14	10.67	2.70	25.27	
C	L.L.	44.13	63.70	58.55	14.42	5.15	35.67	9.76
	P.L.	43.45	57.00	54.21	10.76	2.79	25.91	
D	L.L.	48.35	67.46	62.08	13.73	5.38	39.20	12.55
	P.L.	49.90	64.52	61.44	11.54	3.08	26.65	
E	L.L.	49.40	66.37	61.38	11.98	4.99	41.64	14.17
	P.L.	43.80	60.41	56.83	13.03	3.58	27.47	
紅土	L.L.	46.29	65.95	58.94	12.65	7.01	55.4	28.38
	P.L.	44.13	59.16	55.60	11.47	3.56	31.06	

表中之L.L.為液体限度，P.L.為塑性限度，

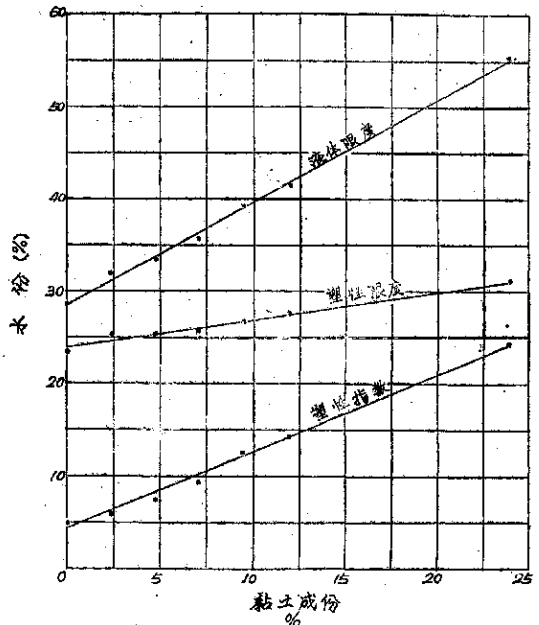


圖 3

A-4類土壤之液体限度範圍為20-40；其塑性指数之範圍為5-16；砂之成份須小於55%.（參閱C.A. Hogenhogler: "Engineering Properties of Soil"）故由表Ⅲ及表Ⅲ可知原来土樣與紅土之各種混合物，均屬於A-4類土壤.

圖3所示，土壤中之黏土成份增多，則其塑性指数增高，而者

之關係為一直線，因黏土成份增多可以增加土壤之黏結力也。惟作液体限度及塑性限度試驗，係用試驗樣品中之細壤(Soil Fines)，(即通過40号篩之土粒)；細壤之成份因之而異，故黏土成份應以細壤重量之百分率為表標，始足以確切表明其與塑性指數之關係。

由表(VI)計算所得下表(IX)：—

表(IX)

類別	土壤中細壤成份(%)	土壤中之黏土成份(%)	細壤中之黏土成份(%細壤重)
原素土樣	94.3	0	0
A	94.8	2.4	2.53
B	95.5	4.8	5.00
C	96.0	7.2	7.50
D	96.6	9.6	9.93
E	97.2	12.0	12.34
紅土	100.0	24.0	24.00

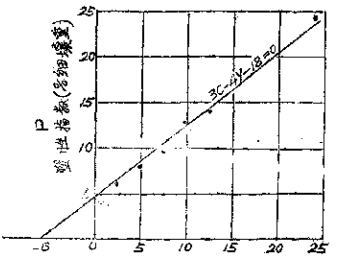


圖 4

令 P ＝塑性指數，

C ＝黏土成份(%細壤質)

由上圖，P與C之關係可以下式表之：

$$\frac{C}{-6}+\frac{P}{4.5}=1$$

$$4.5C-6P=(-5)(4.5)=27$$

$$\therefore\ 3C-4P=-18 \quad 或 \quad 3C-4P+18=0;$$

$$C=\frac{4P-18}{3};$$

$$P=\frac{3C+18}{4}.$$

同理，細壤中砂或淤泥之成份與塑性指數之關係，亦可以實驗所得之方程式表示之。故塑性指數亦具有表明土壤中土粒大小及其成份之功用，實無疑義。至若塑性指數與黏土成份或與砂之成份，或與淤泥成份之關係，其精確之經驗公式(Empirical formula)，則尚待詳細之實驗與研究，上述之一式，不過其一例耳。

(五)最好水份試驗

最好水份，為一壤被壓至規定緊度，而其密度最大時，其含水量與乾土淨重之百分比。本實驗仍以製模机代替葡氏儀器(Rotor Compaction-test Apparatus)；壓力為132 kg/cm^2。試驗手續，係將土壤與不同水份混和後，以製模机壓成泥柱，然後切碎

等長之泥柱，比較其烘乾後之重量及所含水份，描畫曲綫，以求其最好水份，(參閱本室第一期月刊)。

本室試驗之目的在求作乾濕試驗或压力試驗時，土壤濕和水量之標準，蓋因任何土壤在一定压力之下，如加最好水份壓緊，則土粒間之空隙減少，換言之，即土粒間之距離縮短；根據萬有引力公式，$F=\frac{mM}{r^2}$，則土粒之結合力亦增大而形成最佳之結構，而試驗土壤時，应以其在最佳結構下所得之結果作為研究之根據也。

試驗之記錄及結果如下：——

表(X) 原來土樣之最好水份

混和水份%	土之体積(C.C.)	鋼缸重量(克)	鋼缸及濕土重(克)	濕土重(克)	鋼缸及乾土重(克)	乾土重(克)	水份 重量(克)	水份 百分數	乾土密度(磅/立方呎)
12	21.56	49.40	94.40	45.00	88.82	38.62	5.58	14.5	112.2
13	〃	48.35	93.71	45.36	87.75	39.40	5.96	15.1	114.4
14	〃	46.30	92.56	46.26	86.05	39.75	6.51	16.4	115.4
15	〃	48.47	93.98	45.51	87.30	38.84	6.67	17.2	112.8
16	〃	49.10	93.51	44.41	86.81	37.71	6.70	17.8	109.5

表(XI) 土"A"之最好水份

14	〃	43.80	89.69	45.89	83.56	39.76	6.13	15.4	115.5
15	〃	49.90	96.76	46.86	90.15	40.25	6.61	16.4	116.8
16	〃	46.29	93.45	47.16	86.49	40.20	6.96	17.3	116.6
18	〃	48.35	94.90	46.55	87.48	49.13	7.42	19.0	113.5

表(XII) 土"B"之最好水份

濕和水份 %	土之体積 (c.c.)	鉄鉄重量 (克)	鉄鉄及濕土總重 (克)	濕土淨重 (克)	鉄又及乾土總重 (克)	乾土淨重 (克)	水份 重量	水份 %	乾土密度 (磅/立方呎)
12	21·56	43·45	90·09	46·64	83·87	40·42	6·22	15·4	117·1
14	21·56	46·50	95·20	48·40	88·31	41·51	6·89	16·6	120·5
16	〃	48·47	97·41	48·94	90·05	41·57	7·36	17·7	120·7
18	〃	49·90	98·02	48·12	90·23	40·33	7·79	19·3	117·0

表(XIII) 土"C"之最好水份

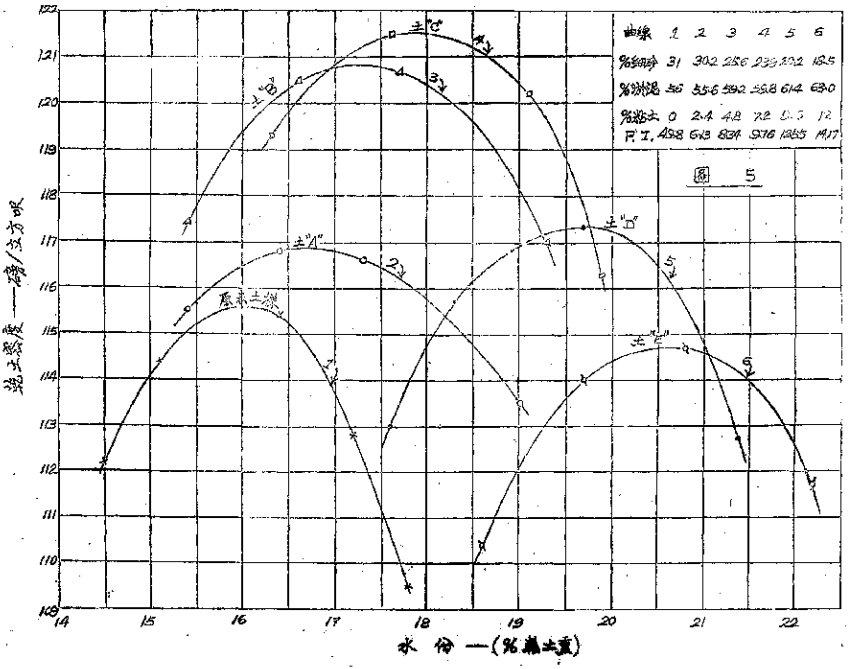
13	〃	46·29	94·09	47·80	87·39	41·10	6·70	16·3	119·3
15	〃	44·41	93·60	45·19	86·25	41·84	7·35	17·6	121·5
17	〃	46·80	96·14	49·34	88·22	41·42	7·92	19·1	120·2
18	〃	49·40	97·40	48·01	89·45	40·05	7·96	198	116·3

表(XIV) 土"D"之最好水份

混和水份 %	土之体積(c.c.)	鐵鈸重(克)	鐵鈸及濕土總重(克)	濕土淨重(克)	鐵鈸及乾土總重(克)	乾土淨重(克)	水份 重量(克)	水份 %	乾土密度(克/立方吋)
15	21·56	48·35	94·10	45·75	[illegible]	[illegible]	6·84	17·6	113·0
16	〃	46·30	93·50	47·20	86·[illegible]	39·[illegible]	7·30	18·3	115·7
18	〃	48·47	96·88	48·41	85·91	[illegible]	7·37	19·7	117·3
20	〃	49·10	96·24	47·14	87·93	38·[illegible]	[illegible]	21·4	112·7

表(XV) 土"E"之最好水份

16	〃	43·80	88·87	45·07	81·80	38·00	7·07	18·6	110·4
18	〃	48·90	96·80	46·90	89·04	39·24	7·76	19·7	114·0
20	〃	46·29	94·04	47·75	85·82	39·53	8·22	20·8	114·7
21	〃	44·41	91·46	47·05	82·91	38·50	8·55	22·2	111·7


曲線 1 2 3 4 5 6
%粘土 31 30.2 25.6 23.3 20.2 18.5
%淤泥 56 55.6 59.2 59.8 61.4 63.0
%砂土 0 2.4 4.8 7.2 9.3 12
P.I. 4.98 6.13 8.34 9.76 12.65 14.17
圖 5
土"B"
土"A"
原来土壤
土"D"
土"E"
土"C"
1
2
3
4
5
6
乾土密度——磅/立方呎
水份——(%乾土重)
123
122
121
120
119
118
117
116
115
114
113
112
111
110
108
14
15
16
17
18
19
20
21
22

表(XVI) 土"C"加3%石灰後之最好水份

混和水份(%)	土之体積(C.C.)	缺銀重(克)	缺銀及濕土總重(克)	濕土淨重(克)	缺銀及乾土總重(克)	乾土淨重(克)	水份 重量(克)	水份 %	乾土密度(磅/立方呎)
14	21·56	44·41	89·52	45·21	83·12	38·71	6·50	16·8	112·3
16	〃	48·35	95·19	46·84	88·05	39·70	7·14	18·0	115·3
18	〃	49·90	97·56	47·66	89·88	39·98	7·68	19·2	116·0
20	〃	46·80	93·93	47·13	85·71	38·91	8·22	21·1	113·0

表(XVII)土"C"加6%石灰後之最好水份

15	〃	49·40	92·29	42·89	85·71	38·50	6·58	17·1	111·6
17	〃	43·75	90·77	47·02	83·27	39·52	7·52	19·0	114·7
19	〃	46·30	93·56	47·26	85·55	39·25	8·01	20·4	113·8
20	〃	48·47	94·43	45·96	86·30	37·83	8·13	21·5	109·9

表 (XIII)

土"C"加9%石灰後之最好水份

混和水份 (%)	土之体積 (C.C.)	鐵鈸重 (克)	鐵鈸及濕土總重 (克)	濕土淨重 (克)	鐵鈸及乾土總重 (克)	乾土淨重 (克)	水份 重量(克)	水份 %	乾土密度 (磅/立方呎)
14	21.56	49.40	92.68	43.28	86.30	38.24	6.38	16.7	111.0
16	"	43.80	89.71	45.91	82.61	38.81	7.10	18.3	112.6
18	"	48.35	95.32	46.97	87.52	39.17	7.80	19.9	113.7
20	"	46.29	92.53	46.24	84.29	38.00	8.24	21.7	110.0

表 (XIX)

土"C"加12%石灰後之最好水份

16	"	49.[illegible]	92.78	43.68	86.31	37.21	6.47	17.4	108.0
18	"	49.90	95.99	46.09	88.47	38.57	7.52	19.5	112.0
20	"	46.80	93.46	46.66	85.3[illegible]	38.16	8.10	21.0	111.9
21	"	48.47	94.51	46.04	[illegible]	37.66	8.38	22.3	109.4

表(XX)

土"C"加15%石灰後之最好水份

混和水份(%)	土之体積(C.C.)	鐵鉢重(克)	鐵鉢及濕土總重(克)	濕土淨重(克)	鐵鉢及乾土總重(克)	乾土淨重(克)	水份 重量(克)	水份 %	乾土密度(克/立方吋)
16	21·56	44·41	88·59	44·18	81·65	37·24	6·94	18·4	108·2
18	〃	48·35	94·61	46·26	86·88	38·53	7·73	20·1	111·7
20	〃	49·40	96·38	46·98	88·00	38·60	8·38	21·7	112·0
22	〃	43·75	89·40	45·65	80·87	37·12	8·53	23·0	107·6

表(XXI)

土"C"加3%洋灰後之最好水份

14	21·56	49·40	96·47	47·07	89·91	40·51	6·56	16·2	117·5
16	〃	48·35	97·53	49·18	90·04	41·69	7·49	18·0	121·0
18	〃	46·30	95·82	49·52	87·74	41·44	8·08	19·5	120·3
19	〃	48·47	97·73	49·26	89·23	40·76	8·50	20·8	118·4

表 (XXII)

土"C"加6%洋灰後之最好水份

混和水份 %	土之体積 (C.C.)	鉄鈸重 (克)	鉄鈸及濕土總重 (克)	濕土淨重 (克)	鉄鈸及乾土總重 (克)	乾土淨重 (克)	水份 重量(克)	水份 %	乾土密度 (磅/立方呎)
15	21·56	43·80	91·52	47·72	84·58	40·78	6·94	17·0	118·5
16	〃	49·90	99·39	49·49	91·70	41·80	7·69	18·4	121·4
18	〃	46·29	96·04	49·75	87·92	41·63	8·12	19·5	120·7
19	〃	48·35	97·33	48·98	88·92	40·57	8·42	20·7	117·8

表 (XXIII)

土"C"加9%洋灰後之最好水份

14	〃	44·13	90·91	46·78	84·25	40·12	6·66	16·6	116·4
16	〃	46·30	95·44	49·14	87·80	41·50	7·64	18·4	120·5
18	〃	43·45	93·38	49·93	85·13	41·68	8·25	19·8	121·0
19	〃	46·29	96·09	47·51	87·51	41·22	8·58	20·8	119·5

表(XXIV)

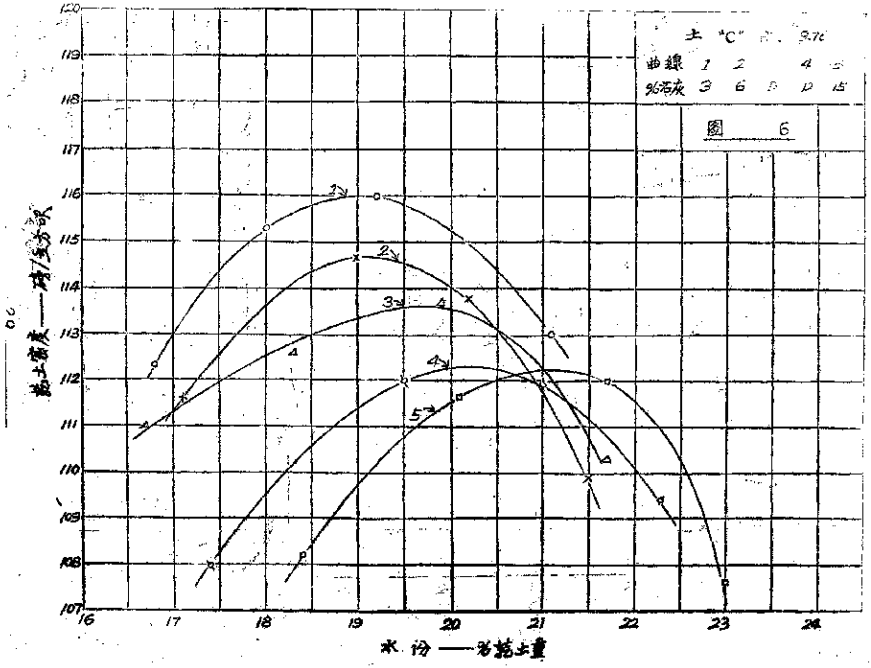
土"C"加12%洋灰後之最好水份

混和水份(%)	土之体積(C.C.)	鐵缸重(克)	鐵缸及濕土總重(克)	濕土淨重(克)	鐵缸及乾土總重(克)	乾土淨重(克)	水份 重量(克)	水份 %	乾土密度(磅/立方吋)
15	2136	48·35	95·57	47·22	88·69	40·34	6·88	17·1	117·0
16	〃	49·90	98·83	48·93	91·19	41·29	7·64	18·5	119·9
18	〃	44·41	94·10	49·69	85·82	41·41	8·28	20·0	120·1
20	〃	43·75	93·25	49·50	84·51	40·76	8·74	21·4	118·5

表(XXV)

土"C"加15%洋灰後之最好水份

15	〃	49·40	96·86	47·46	89·72	40·32	7·14	17·7	117·0
17	〃	46·29	95·16	48·87	87·29	41·00	7·87	19·2	119·0
19	〃	43·80	93·06	49·26	84·44	40·64	8·62	21·2	118·0
20	〃	48·47	97·24	48·77	88·34	39·87	8·90	22·3	115·7


土 "C" 9.7%
曲線 1 2 4
%活灰 3 6 10 15
圖 6
乾土密度——磅/立方呎
水份——%乾土重
120
119
118
117
116
115
114
113
112
111
110
109
108
107
16
17
18
19
20
21
22
23
24

表(XXVI)最好水份與最大密度

類別	最好水份 (%乾土重)	最大密度 (磅/立方呎)
原來土樣	16·0	115·6
土 "A"	16·7	116·9
土 "B"	17·2	120·9
土 "C"	17·9	121·5
土 "D"	19·7	117·3
土 "E"	20·6	114·7
土"C"加石灰或洋灰後		
3% 石灰	19·0	116·00
6% 〃 〃	19·1	114·70
9% 〃 〃	19·7	113·65
12% 〃 〃	20·2	112·32
15% 〃 〃	21·1	112·27
3% 洋灰	18·4	121·14
6% 〃 〃	18·6	121·40
9% 〃 〃	19·3	121·20
12% 〃 〃	19·3	120·34
15% 〃 〃	19·7	119·20

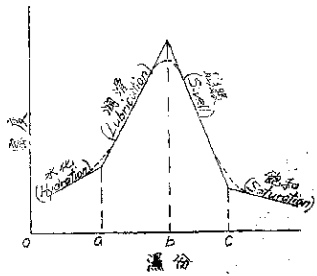
註:石灰或洋灰之百分數係按%乾土計算

表(XXVI)最好水份與最大密度

類別	最好水份 (%乾土重)	最大密度 (磅/立方呎)
原來土樣	16·0	115·6
土 "A"	16·7	116·9
土 "B"	17·2	120·9
土 "C"	17·9	121·5
土 "D"	19·7	117·3
土 "E"	20·6	114·7
土"C"加石灰或洋灰後		
3% 石灰	19·0	116·00
6% 〃 〃	19·1	114·70
9% 〃 〃	19·7	113·65
12% 〃 〃	20·2	112·32
15% 〃 〃	21·1	112·27
3% 洋灰	18·4	121·14
6% 〃 〃	18·6	121·40
9% 〃 〃	19·3	121·20
12% 〃 〃	19·3	120·34
15% 〃 〃	19·7	119·20

註:石灰或洋灰之百分數係按%乾土計算

土壤密度與其濕份之關係為一波形曲線(圖5,6,7)其原理如下：



土壤之濕份未達到a点時,水份一部被土粒所吸收,一部則在土粒表面形成一層濕膜.濕份由a增至b之過程中,一部份之水被土粒用作潤滑劑(Lubricant)俾易於改变其原有之位置,其該土粒起物理变化,闭始膨脹,土壤之密度因而下降,至濕份等於c後,空氣在土壤中所佔有之位置完全被水便據,形成飽和狀態.惟a,b,c之數值究应如何,則全視土壤之性質而定.

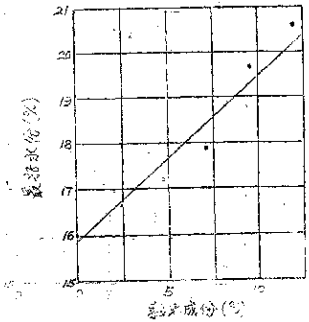


圖 8

最好水份与黏土成份成正比例;此可由圖8知之,就理論而言,土壤吸水性之大小及其中濕膜之厚薄,全視其化學成份中矽石与鐵及鋁之氧化物之比數高低而定.此比數通常以 $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ 表示之,簡稱為Silica - Sesquioxide ratio.

黏土之矽石成份較多，故 $\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ 之值大而其吸水性亦大；且黏土之膠粒小，故其成份增加後土粒之表面積之總和增加，而形成於土粒表面之濕膜所需之水份，因而增加。故實驗所得之結果尚無錯誤。

圖9所示，土壤摻以石灰或洋灰後其最好水份亦隨摻合物之成份而增，惟石灰之吸水性較洋灰為大。

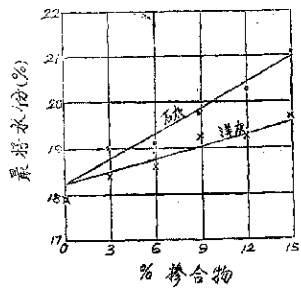


圖 9

在一定壓力之下，土壤之最大密度，因所含之黏土成份而不同，密度最大時之黏土成份，或簡稱為最好黏土成份 (Optimum Clay Content)，雖因土類而異，惟就A—4類土壤而言，則約為6.25%(圖10)

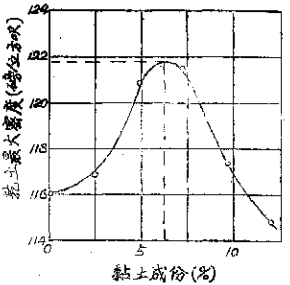


圖 10

圖 11 所示，土壤摻入石灰或洋灰後，其最大密度反而減小；石灰或洋灰之成份愈多，其密度愈小，惟洋灰之影响較石灰為小，究其原因，似不外由于化學作用之不同。至若其实在情形究竟如何，則目前尚無所得。

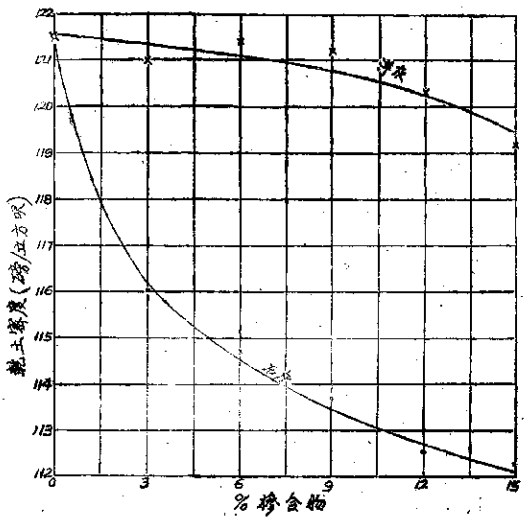


圖 11

四 压力試驗

压力試驗之目的，在明瞭A-4類土壤中之黏土成份，對于其抗压力有何影响；及摻入不同成份之石灰或焙灰後，其抗压力，有何变動。試模仍用製模机以132 kg/cm² 之压力压成，混和水份係以最好水份為標準。各種試模压成後，以压力試驗機，試驗其在下列三種情形下之抗压力：—

(1) 晾乾24小時後，置電烤炉中，於110°C. 之溫度下烘4小時，然後取出立即試驗。

(2) 於試驗室中放置七天；

(3) 於試驗室中放置廿八天。

所有結果如下：—

表(XXVIII) 压力試驗 (Compression Test)

(烘乾4小時後立即試驗)

溫度 110°C.土

類別		未加石灰或洋灰		加15%洋灰		加15%石灰	
		總压力 (Kg.)	压力 (Kg/cm²)	總压力 (Kg)	压力 (Kg/cm²)	總压力 (Kg.)	压力 (Kg/cm²)
土 "A"	1	150.0		160.0	32.6	220.0	44.8
	2	155.0		----	----	----	----
	平均	152.5	31.1	----	----	----	----
土 "B"	1	205.0		165.0	33.6	250.0	50.8
	2	195.0		----	----	----	----
	平均	200.0	40.7	----	----	----	----
土 "D"	1	305.0		350.0	71.2	325.0	66.2
	2	285.0		----	----	----	----
	平均	295.0	60.0	----	----	----	----
土 "E"	1	315.0		335.0	68.2	285.0	58.0
	2	350.0		----	----	----	----
	平均	332.5	67.7	----	----	----	----
原土樣 100%		100.0	20.4	----	----	----	----
原土樣 10% 紅土 90%		305.0	62.2	----	----	----	----
原土樣 30% 紅土 70%		325.0	66.2	----	----	----	----
紅土	1	250.0		----	----	----	----
	2	250.0		----	----	----	----
	平均	250.0	50.8	----	----	----	----

*註:試樣之受力面積=4.92cm2

表(XXVIII) 压力試驗 (Compression Test)

(晾乾7天)

類別		未加石灰或洋灰		加13%洋灰		加15%石灰	
		總压力 (Kg.)	压力 (Kg/cm²)	總压力 (Kg)	压力 (Kg/cm²)	總压力 (Kg.)	压力 (Kg/cm²)
土 "A"	1	190.0		210.0	42.7	270.0	55.0
	2	170.0					
	平均	180.0	36.7				
土 "B"	1	250.0		210.0	42.7	290.0	59.1
	2	210.0					
	平均	230.0	46.8				
土 "D"	1	330.0		420.0	85.5	400.0	81.5
	2	310.0					
	平均	320.0	65.2				
土 "E"	1	330.0		430.0	87.6	490.0	99.8
	2	370.0					
	平均	350.0	71.3				
原來土樣	1	62.0					
	2	90.0					
	平均	76.0	15.5				
紅土	1	295.0					
	2	290.0					
	平均	293.0	59.7				

表(XXIX) 圧力試驗 (Compression Test)

晾乾 28天

類別		未加石灰式洋灰		加15%洋灰		加15%石灰	
		總壓力 (Kg)	壓力 (kg/cm²)	總壓力 (Kg)	壓力 (Kg/cm²)	總壓力 (Kg)	壓力 (Kg/cm²)
土 "A"	1	157.0		213.0	43.4	213.0	
	2	145.0				233.0	
	平均	150.0	30.6			223.0	45.4
土 "B"	1	208.0		290.0	59.1	312.0	63.6
	2	221.0					
	平均	214.5	43.7				
土 "C"	1	283.0		434.0		410.0	
	2	272.0		477.0		398.0	
	平均	277.5	56.6	455.5	92.8	404.0	82.4
土 "E"	1	348.0		412.0		534.0	108.7
	2	349.0		406.0			
	平均	348.5	71.1	409.0	83.3		
原來土樣	1	85.0					
	2	81.0					
	平均	83.0	16.9				
經土	1	301.0					
	2	297.0					
	平均	299.0	60.8				

表(XXX) 压力試驗(Compression Test)

土 "C"

洋灰成份 (%)		洪4小時		晾乾7天		晾乾28天	
		總压力 (Kg)	压力 (Kg/cm²)	總压力 (Kg)	压力 (Kg/cm²)	總压力 (Kg)	压力 (Kg/cm²)
0	1	250.0		273.0		293.0	
	2	290.0		270.0		301.0	
	平均	270.0	54.9	272.5	55.4	297.0	60.4
3	1	270.0		274.0		282.0	
	2	320.0		297.0		277.0	
	平均	295.0	60.1	286.0	58.2	279.5	56.9
6	1	260.0		322.0		292.0	
	2	315.0		293.0		339.0	
	平均	287.5	58.6	309.0	62.8	315.5	64.2
9	1	280.0		305.0		317.0	
	2	290.0		334.0		333.0	
	平均	285.0	58.0	320.0	65.1	325.0	66.2
12	1	250.0		316.0		369.0	
	2	250.0		328.0		347.0	
	平均	250.0	50.8	322.0	65.6	358.0	72.8
15	1	280.0		310.0		328.0	
	2	265.0		302.0		356.0	
	平均	272.5	55.4	306.0	62.2	342.0	69.6

表(XXXI)压力試驗(Compression Test)

土 "C"

石灰成份 (%)		烘4小時 總压力 (Kg)	烘4小時 压力 (Kg/cm²)	晾乾7天 總压力 (Kg)	晾乾7天 压力 (Kg/cm²)	晾乾28天 總压力 (Kg)	晾乾28天 压力 (Kg/cm²)
0	1	250·0	— — —	275·0	— — —	293·0	— — —
	2	290·0	— — —	270·0	— — —	301·0	— — —
	平均	270·0	54·9	272·5	55·4	297·0	60·4
3	1	249·0		235·0		195·0	
	2	231·0		200·0		192·0	
	平均	240·0	48·8	217·0	44·2	193·5	39·4
6	1	247·0		285·0		250·0	
	2	259·0		285·0		255·0	
	平均	253·0	51·5	285·0	58·0	252·5	51·4
9	1	295·0		324·0		332·0	
	2	240·0		300·0		333·0	
	平均	267·5	54·4	312·0	63·5	332·5	67·6
12	1	275·0		352·0		368·0	
	2	225·0		382·0		382·0	
	平均	250·0	50·8	367·0	74·8	375·0	76·3
15	1	250·0		312·0		357·0	
	2	290·0		350·0		387·0	
	平均	270·0	54·9	331·0	67·3	372·0	75·7

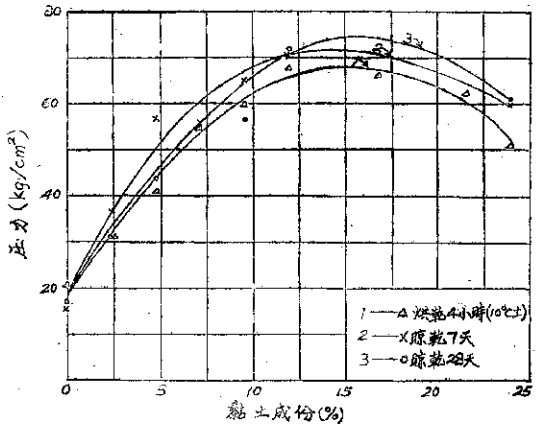
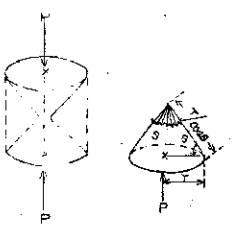


圖 12

本試驗所有之試模，一經試驗後，即行碎裂而成二圓錐体，此乃因試模之受力面平滑，故試模受力平均而在抗剪阻力(Shearing resistance)不足之情況下而毀壞也。



左圖所示，抗剪力發生之面積

為 $\frac{1}{2}\cdot\frac{r}{\cos\theta}(2\pi r)=\frac{\pi r^2}{\cos\theta}$

假定 S = 剪應力 (Shearing stress)

總剪力 $S=\frac{\pi r^2}{\cos\theta}\cdot S$

$\Sigma V=0,\ \therefore\ S\sin\theta=P.$

$\frac{\pi r^2}{\cos\theta}\cdot S\cdot \sin\theta = P$, $S = \frac{P}{\pi r^2 \tan\theta}$;

假定 C = 压应力(Compressive stress)

則 $C = \frac{P}{\pi r^2}$,

故 $C = S\cdot\tan\theta$, 或 $S = \frac{C}{\tan\theta}$.

θ之数值因土質而異 本試驗結果為自45°至60°之間.

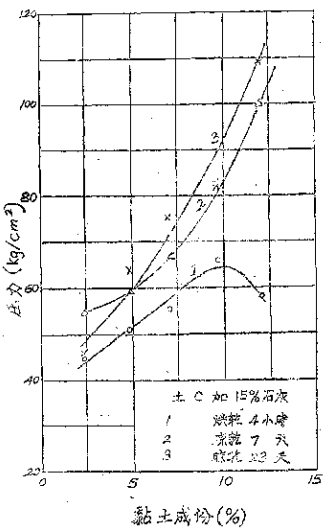


圖 13

抗剪力為黏結力與內摩擦力所合成,故黏土成份太少,則土壤缺乏黏結力;太多則黏土吸水後有潤滑之作用,反足以減少土壤之內摩擦力,故穩定之土壤,必須含有適宜之黏土成份,此圖12,13,及14各曲線之所以上昇後復呈下降也.

就大体而言,土壤不論其已加摻合物或未加摻合物,其抵抗力以經過28天除置者最佳,烘乾4小時後次即試驗者最劣.究其原因,不外

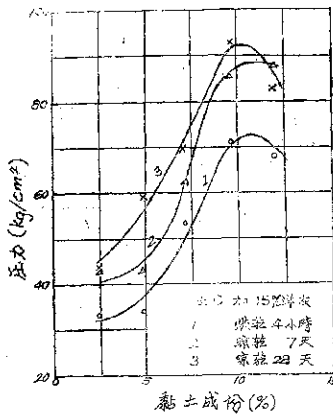


圖 14

石灰及洋灰皆需相當之水份以促進其穩定土壤之作用，而此作用則必需相當時日，始克完全，且適宜之水份，亦為穩定土壤另一因素，土壤經28天窖置後，其中之自由水份(Free water)幾已完全蒸發，土粒表面則被濕膜包圍，而此等濕膜在幾不受更之環境下，亦呈穩定也。

由本試驗所得之結果，石灰及洋灰均有增加土壤抗壓力之功用，惟石灰或洋灰成份與土壤抗壓力之関係，在烘乾4小時後，立即試驗之情形下，頗不明顯；在其他兩種情況下，則成量增加，土壤之抗壓力雖亦增加(参閱圖15及16)，惟增加之數量不多，而其趨勢，抑為一直線，或為一曲線，因無確切之根據，尚难遽下斷語也。

以摻合物穩定土壤之目的，在維持土壤原有之抵抗力，証諸本試驗之結果，洋灰與石灰，最低限度，不致減低土壤原有之抗壓力或抗剪力，实無疑義。

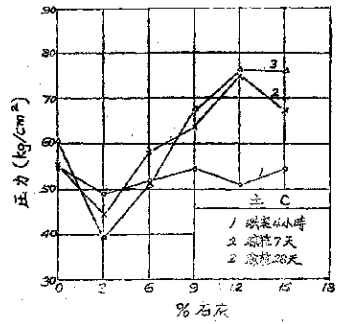

90
80
70
60
50
40
30
0
3
6
9
12
15
18
压力 (kg/cm²)
% 石灰
土 C
1 烘干4小時
2 潮濕7天
3 潮濕28天
1
2
3

图 15

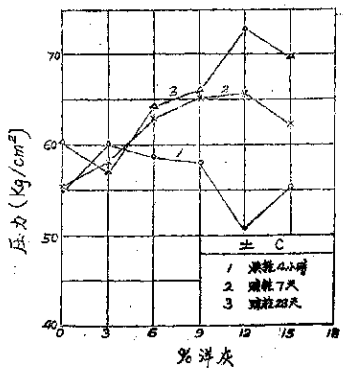

70
60
50
40
0
3
6
9
12
15
18
压力 (Kg/cm²)
% 洋灰
土 C
1 烘干4小時
2 潮濕7天
3 潮濕28天
1
2
3

图 16

(五)乾濕試驗

本試驗所用之試模，係以壓模機以132 kg/cm²之壓力壓成，混和水份以最好水份為標準，試模除置24小時後，置電烤爐中，烤至常溫，而損失土要之百分數，即以此時之土重為標準。試驗之步驟如下：

1. 將試模於室溫下浸入水中16小時，
2. 取出試模以300°F左右之溫度就電爐中烘8小時，
3. 取出試模使其在空氣中冷卻，
4. 用硬毛刷輕刷之，
5. 權其重量。

自1至5為一度乾濕循環(Cycle)。乾濕試驗之目的，為使土壤在類似晴雨情形下，試驗其抵抗天氣之能力。惟各地氣候不同，故試驗之次數因地而異。依據1936年美國公路研究學會年刊(Highway Research Board, 1936)試驗之次數為15，本試驗中所採之次數則為8，蓋因西北氣候乾燥，雨量甚少也。

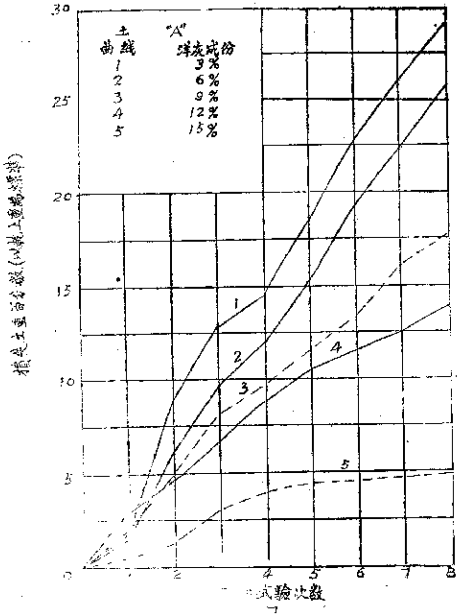
試驗結果，可參閱表XXXII至XXXVII及圖17至28

表(XXXII)乾濕試驗

(土 "A")

混料成份%	原來土重(克)	試驗次數 1			2			3			4			5			6			7			8		
		土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %
0	25.98	0	25.98	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6C	28.96	28.31	.45	1.55	27.16	1.80	6.2	26.13	2.83	9.77	25.46	3.50	12.10	24.33	4.43	15.30	23.32	5.64	19.45	22.43	6.53	22.50	21.48	7.48	25.81
3C	29.13	28.61	.52	1.78	26.33	2.60	8.94	25.40	3.73	12.80	24.88	4.25	14.60	23.67	5.46	18.73	22.44	6.69	22.90	21.53	7.60	26.10	20.58	8.54	29.33
9C	32.12	31.51	.61	1.89	30.50	1.62	5.04	29.47	2.65	8.25	28.95	3.17	9.88	28.36	3.76	11.70	27.80	4.32	13.44	26.90	5.22	16.25	26.44	5.68	17.72
12C	31.04	30.14	.90	2.89	29.60	1.44	4.63	28.24	2.10	6.77	28.27	2.77	8.92	27.74	3.30	10.63	27.42	3.62	11.65	27.16	3.88	12.50	26.69	4.35	13.98
15C	29.39	25.45	.14	.55	25.26	.33	1.29	24.80	.79	3.08	24.56	1.03	4.02	24.44	1.15	4.49	24.40	1.19	4.65	24.36	1.23	4.81	24.32	1.27	4.97
3L	26.75	24.37	2.38	8.89	20.70	6.05	22.33	18.94	7.81	29.10	17.78	8.97	33.45	13.31	13.44	50.20	8.50	18.25	68.20	0	26.75	100	---	---	---
6L	27.49	25.13	2.36	8.58	24.20	3.29	11.96	23.03	4.46	16.20	21.57	5.92	21.50	20.73	6.76	24.52	19.50	7.99	29.00	17.72	9.77	35.50	16.47	11.02	40.00
9L	26.36	25.94	.42	1.59	25.13	1.23	4.67	24.73	1.63	6.18	24.30	2.06	7.82	23.98	2.38	9.03	23.55	2.81	10.65	23.07	3.29	12.50	22.80	3.56	13.50
12L	28.26	28.00	.26	.93	27.76	.50	1.78	27.61	.65	2.31	27.54	.72	2.56	27.38	.88	3.11	27.22	1.04	3.68	27.13	1.13	4.00	27.01	1.25	4.43
15L	25.32	25.24	.08	.32	25.22	.10	.39	25.21	.11	.43	25.21	.11	.43	25.20	.12	.47	25.19	.13	.51	25.19	.13	.51	25.19	.13	.51

註: 3C即3%洋灰(Cement); 3L即3%石灰(Lime), 餘類推.


土 "A"
曲线 洋灰成份
1 3%
2 6%
3 9%
4 12%
5 15%
損失土重百分數(以乾土重為準)
乾濕試驗次數

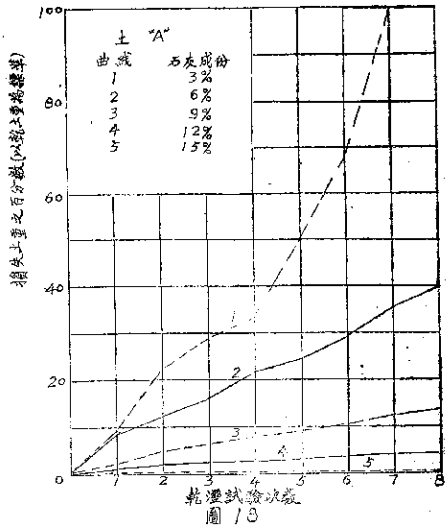

土 "A"
曲线 石灰成份
1 3%
2 6%
3 9%
4 12%
5 15%
損失土重之百分數(以乾土重為準)
乾濕試驗次數

圖 18

表(XXXIII) 乾濕試驗
(土 "B")

混料成份%	原來土重(克)	試驗次數 1 土重(克)	1 損失土重 克	1 損失土重 %	2 土重(克)	2 損失土重 克	2 損失土重 %	3 土重(克)	3 損失土重 克	3 損失土重 %	4 土重(克)	4 損失土重 克	4 損失土重 %	5 土重(克)	5 損失土重 克	5 損失土重 %	6 土重(克)	6 損失土重 克	6 損失土重 %	7 土重(克)	7 損失土重 克	7 損失土重 %	8 土重(克)	8 損失土重 克	8 損失土重 %
0	26·46	0	26·46	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3C	28·64	28·30	·34	1·18	[illegible]	·54	2·24	27·73	·91	3·17	27·53	1·05	3·91	27·37	1·27	4·43	27·12	1·52	5·31	26·95	2·21	7·65	25·98	2·66	9·27
6C	29·37	28·85	·52	1·77	28·85	[illegible]	1·83	28·57	·80	2·72	28·35	1·02	3·47	28·24	1·13	3·85	28·10	1·27	4·32	27·56	1·81	6·15	27·15	2·22	7·54
9C	29·55	29·20	·35	1·18	29·00	·55	1·85	28·47	1·08	3·67	28·42	1·13	3·82	28·25	1·30	4·41	28·00	1·55	5·24	27·98	1·57	5·30	27·69	1·86	6·28
12C	29·53	27·18	·35	1·27	27·05	·47	1·71	26·83	·70	2·54	26·67	·86	3·12	26·59	·94	3·41	26·57	1·02	3·71	26·46	1·07	3·90	26·41	1·12	4·09
15C	26·89	26·87	·02	·07	26·83	·06	·22	26·82	·07	·26	26·80	·09	·33	26·73	·16	·60	26·69	·20	·74	26·67	·22	·80	26·66	·23	·84
3L	27·92	26·89	1·03	3·69	25·18	[illegible]	[illegible]	23·17	4·75	17·00	21·55	6·37	22·79	19·04	8·88	31·80	15·56	11·96	42·85	14·62	13·3	47·5	11·12	16·8	60·00
6L	26·67	26·00	·67	2·50	23·20	·77	5·25	22·41	1·26	4·72	24·90	1·77	6·63	24·16	2·51	9·41	23·46	3·21	12·00	22·41	4·23	15·83	21·48	5·19	19·42
9L	26·42	26·37	·03	·19	26·11	·31	1·17	25·99	·43	1·63	25·90	·52	1·97	25·73	·64	2·42	25·73	·59	2·01	25·18	1·24	4·70	24·91	1·51	5·71
12L	27·20	27·08	·12	·44	26·90	·22	·81	26·87	·33	1·21	26·74	·46	1·69	26·63	·57	2·09	25·51	·63	2·31	26·39	·81	3·00	26·36	·84	3·10
15L	26·09	26·08	·01	·04	26·06	·03	·12	26·05	·04	·15	26·05	·04	·15	26·04	·05	·19	26·04	·05	·19	26·04	·05	·19	26·03	·06	·23

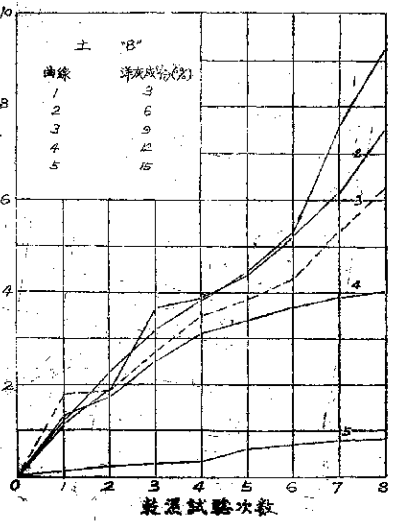

土 "B"
曲線 洋灰成份(%)
1 3
2 6
3 9
4 12
5 15
損失土重百分數(以乾土重為標準)
乾濕試驗次數

圖 19

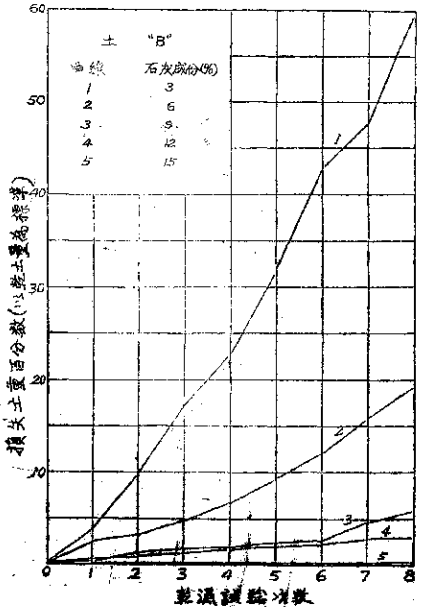

土 "B"
曲線 石灰成份(%)
1 3
2 6
3 9
4 12
5 15
損失土重百分數(以乾土重為標準)
乾濕試驗次數

圖 20

表(XXXIV) 乾燥試驗

(土 "C")

濕精成份(%)	原來土重(克)	試驗次數 1			2			3			4			5			6			7			8		
		土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %
0	25·65	0	25·65	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3 C.	26·00	25·72	·28	1·08	25·6[illegible]	·33	[illegible]	[illegible]	[illegible]	·50	25·55	·45	1·73	25·52	·48	1·84	25·49	·51	1·96	25·37	·63	242	25·3[illegible]	·30	[illegible]
6 C.	25·74	25·54	·20	·78	25·47	·27	1·05	[illegible]	[illegible]	[illegible]	25·30	·44	1·71	25·26	·48	1·86	25·23	·51	1·98	25·20	·54	2·10	25·17	·57	[illegible]
9 C.	26·68	26·50	·18	·67	26·43	·25	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	·35	1·31	26·32	·36	1·35	26·31	·37	1·38	26·24	·44	1·65	26·22	·46	[illegible]
12 C.	26·03	25·92	·13	·50	25·87	·18	·69	25·[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	·31	1·19	25·73	·32	1·23	25·72	·33	1·27	25·71	·34	1·31	25·71	·34	·31
15 C.	25·93	25·78	·15	·58	25·73	·20	·77	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	·23	·89	25·70	·23	·89	25·70	·23	·89	25·70	·23	·89	25·70	·23	[illegible]
3 L.	25·50	25·27	·23	·90	25·21	·29	1·14	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	·63	2·47	24·78	·72	2·82	24·64	·86	3·37	24·47	1·03	4·04	24·35	1·15	4·52
6 L.	24·80	24·63	·17	·68	24·59	·21	·85	24·43	·37	1·49	[illegible]	·44	1·77	24·29	·51	2·05	24·28	·52	2·10	24·19	·61	2·46	24·10	·70	2·82
9 L.	25·00	24·87	·13	·56	24·86	·14	·57	24·84	·16	·64	24·80	·20	·80	24·79	·21	·84	24·78	·22	·88	24·77	·23	·92	24·74	·26	1·04
12 L.	23·85	23·73	·12	·50	23·72	·13	·56	23·71	·14	·60	23·70	·15	·63	23·65	·20	·84	23·63	·22	·92	23·62	·23	·96	23·62	·23	·96
15 L.	24·75	24·65	·10	·40	24·64	·11	·46	24·64	·11	·46	24·64	·11	·46	24·63	·12	·51	24·62	·13	·55	24·62	·13	·55	24·62	·13	·55

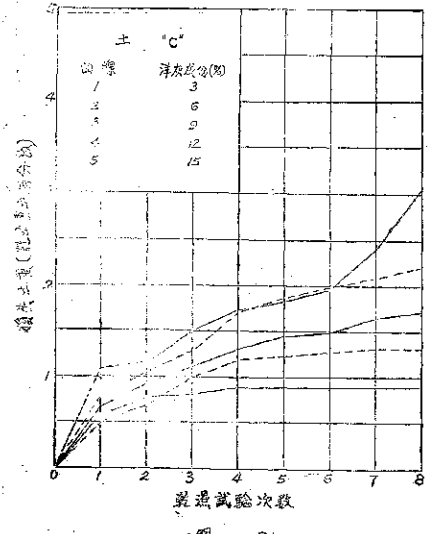

土 "C"
曲線 洋灰成分(%)
1 3
2 6
3 9
4 12
5 15
損失土量(混土重之百分數)
濕濕試驗次數

图 21

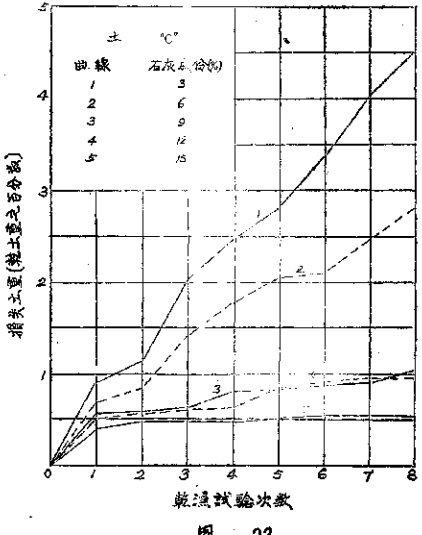

土 "C"
曲線 石灰成分(%)
1 3
2 6
3 9
4 12
5 15
損失土量(混土重之百分數)
乾濕試驗次數

图 22

表(XXIV) 乾濕試驗

(土 "D")

濕料成份 (%)	原來土重 (克)	試驗次數 1 土重 (克)	1 損失土重 克	1 損失土重 %	2 土重 (克)	2 損失土重 克	2 損失土重 %	3 土重 (克)	3 損失土重 克	3 損失土重 %	4 土重 (克)	4 損失土重 克	4 損失土重 %	5 土重 (克)	5 損失土重 克	5 損失土重 %	6 土重 (克)	6 損失土重 克	6 損失土重 %	7 土重 (克)	7 損失土重 (克)	7 損失土重 %	8 土重 (克)	8 損失土重 克	8 損失土重 %
0	24·73	0	24·73	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6C.	29·80	29·73	·05	·17	[illegible]	·08	·27	29·71	·09	·30	29·70	·10	·34	29·69	·11	·37	29·67	·13	·44	29·66	·14	·47	29·65	·15	·49
3C.	27·39	27·38	·01	·04	27·37	·02	·07	27·36	·03	·11	27·35	·04	·15	27·27	·12	·43	27·17	·22	·80	27·13	·26	·94	27·09	·30	1·20
15C.	29·85	29·85	0	0	29·84	·01	·03	29·83	·02	·07	29·83	·02	·07	29·82	·03	·10	29·80	·05	·17	29·79	·06	·20	29·78	·07	·23
9C.	31·25	31·29	·05	·16	31·17	·08	·26	31·17	·08	·26	31·16	·09	·29	31·15	·10	·32	31·13	·12	·38	31·12	·13	·41	31·12	·13	·42
12C.	24·99	24·97	·02	·08	[illegible]	·03	·12	24·94	·05	·20	24·93	·06	·24	24·93	·06	24	24·92	·07	·28	24·92	·07	·28	24·92	·07	·28
3L.	25·94	25·76	·18	·69	25·66	·26	1·00	25·07	·87	3·35	24·85	1·09	4·20	24·13	1·81	6·98	23·95	1·99	7·65	23·32	2·42	9·30	23·27	2·37	9·50
6L.	26·04	26·03	·01	·04	26·02	·02	·08	26·01	·03	·12	26·00	·04	·15	25·94	·10	·39	25·87	·17	·66	25·74	·30	1·16	25·67	·37	1·42
9L.	27·87	27·85	·02	·07	27·84	·03	·11	27·83	·04	·14	27·82	·05	·18	27·76	·09	·32	27·72	·15	·54	27·66	·21	·76	27·64	·23	·83
12L.	27·84	27·83	·01	·04	27·82	·02	·08	27·81	·03	·11	27·80	·04	·14	27·75	·09	·32	27·68	·16	·57	27·67	·17	·61	27·65	·19	·67
15L.	24·09	24·07	·02	·08	24·06	·03	·12	24·05	·04	·17	24·04	·05	·21	24·04	·05	·21	24·04	·05	·21	24·04	·05	·21	24·04	·05	·21

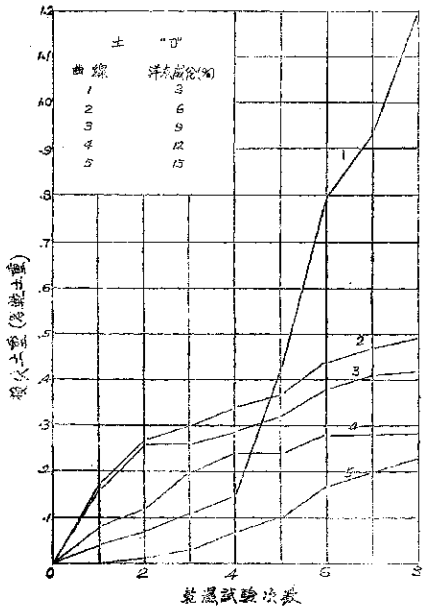

土 "D"
曲線 洋灰成份(%)
1 3
2 6
3 9
4 12
5 15
損失土重(%濕土重)
乾濕試驗次數

圖 23

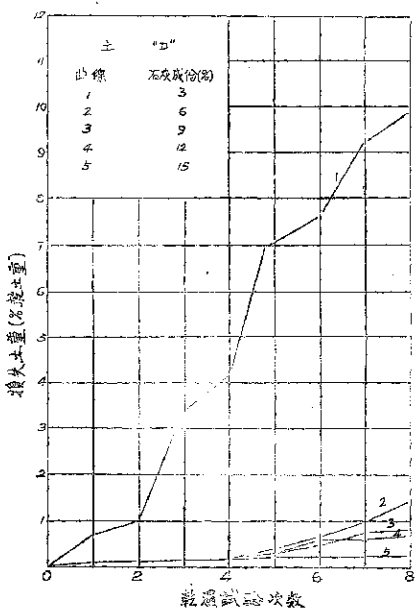

土 "D"
曲線 石灰成份(%)
1 3
2 6
3 9
4 12
5 15
損失土重(%濕土重)
乾濕試驗次數

圖 24

表(XXXVII) 乾濕試驗

(土 "E")

濕料成份(%)	原來土重	試驗次數 1			2			3			4			5			6			7			8		
		土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %	土重(克)	損失土重 克	損失土重 %
0	25.34	0	25.34	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3C	29.81	29.76	.05	.17	29.70	.11	.37	29.67	.14	.47	29.65	.16	.54	29.44	.37	1.24	29.4	.57	1.93	28.59	1.22	2.72	28.35	1.26	4.21
6C	26.50	26.48	.02	.08	26.47	.03	.11	26.46	.04	.15	26.46	.04	.15	26.40	.10	.38	26.35	.15	.57	26.25	.25	.96	26.22	.28	1.55
9C	30.14	30.13	.01	.03	30.12	.02	.07	30.11	.03	.10	30.11	.03	.10	30.10	.04	.13	30.09	.05	.17	30.06	.08	.28	29.77	.13	.43
12C	24.89	24.86	.03	.12	24.85	.04	.16	24.83	.06	.24	24.82	.07	.28	24.82	.07	.28	24.82	.07	.28	24.82	.07	.28	24.81	.08	.32
15C	30.82	30.81	.01	.03	30.80	.02	.06	30.80	.02	.06	30.79	.03	.09	30.75	.03	.09	30.79	.03	.09	30.76	.04	.12	30.75	.04	.12
3L	28.08	28.00	.08	.28	27.95	.13	.46	24.96	3.12	11.11	22.85	5.23	18.5	0	28.08	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6L	25.62	25.61	.01	.03	25.60	.02	.06	25.53	.09	.35	25.49	.13	.51	25.33	.29	1.13	25.12	.50	1.95	24.73	.89	3.48	24.49	1.13	4.64
9L	26.52	26.51	.01	.04	26.50	.02	.08	26.50	.02	.08	26.49	.03	.11	26.49	.03	.11	26.48	.04	.14	26.48	.04	.14	26.48	.04	.15
12L	25.60	25.59	.01	.04	25.58	.02	.08	25.58	.02	.08	25.57	.03	.12	25.56	.04	.16	25.56	.04	.16	25.56	.04	.17	25.55	.05	.19
9L	24.16	24.13	.03	.12	24.12	.04	.16	24.12	.04	.16	24.12	.04	.16	24.11	.05	.21	24.11	.05	.21	24.11	.05	.21	24.10	.06	.25

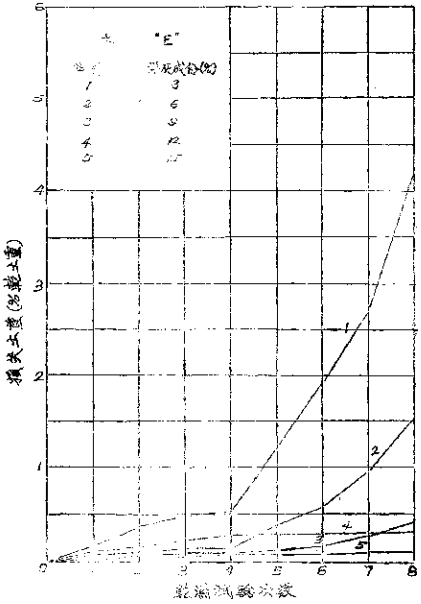

土 "E"
曲線 石灰成份(%)
1 3
2 6
3 9
4 12
5 15
損失土重(%乾土重)
乾濕試驗次數

圖 25

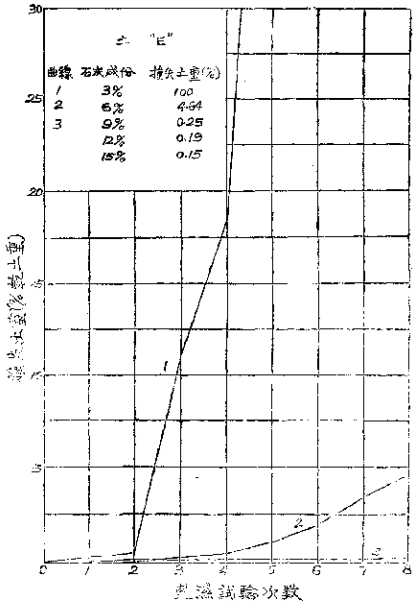

土 "E"
曲線 石灰成份 損失土重(%)
1 3% 100
2 6% 4.64
3 9% 0.25
12% 0.19
15% 0.15
損失土重(%乾土重)
乾濕試驗次數

圖 26

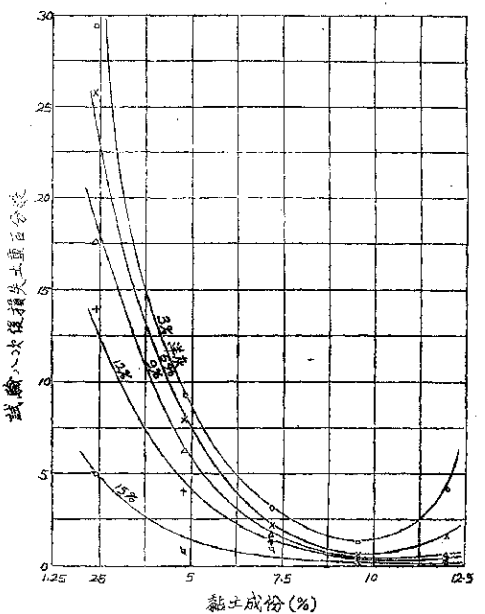


圖 27

未加摻合物之土壤，浸入水中，數分鐘後即行消散，加摻合物後則視土壤中黏土成份之何而定，黏土成份太多或不足均不能使土壤穩定。

圖27所示，土壤加泽戈後，不論其黏土成份多寡，其損失土重皆隨泽戈量之增加而減少；而在任何泽戈成份之下，黏土成份

與損失土重之關係則為一拋物線，惟為拋物線之頂点，因洋灰量之增加而右移，非在一直線之上；且在一定損失土重之下，黏土成份之範圍，因洋灰量之增加而擴大。土壤加石灰後，結果與加洋灰者相似，惟因試驗結果不足，故所得之曲線（圖28）不若加洋灰者明顯而已。

表（XXXVII）

	經八次試驗後損失土重百分數									
膠合物成份	3%		6%		9%		12%		15%	
膠合物種類	石灰	洋灰	石灰	洋灰	石灰	洋灰	石灰	洋灰	石灰	洋灰
A	100.0	29.35	40.00	25.81	13.50	17.72	4.43	13.98	.51	4.97
B	60.0	9.27	19.42	7.34	5.71	6.28	3.10	4.06	.23	0.84
C	4.52	3.07	2.82	2.21	1.04	1.73	0.96	1.31	.55	0.89
D	9.80	1.20	1.42	0.49	0.83	0.42	0.67	.28	0.15	.23
E	100	4.21	4.64	1.55	.25	0.43	.19	.32	.15	.12

由上表，膠合物成份在6%以下，則洋灰之功效遠較石灰者為佳；其在9%時，則兩者之功效因土質而異；其在12%以上時反以石灰者為佳。惟加石灰後，損失土重最大者亦不過29.35%，而加石灰者則為100%。故洋灰之功效實大于石灰也。

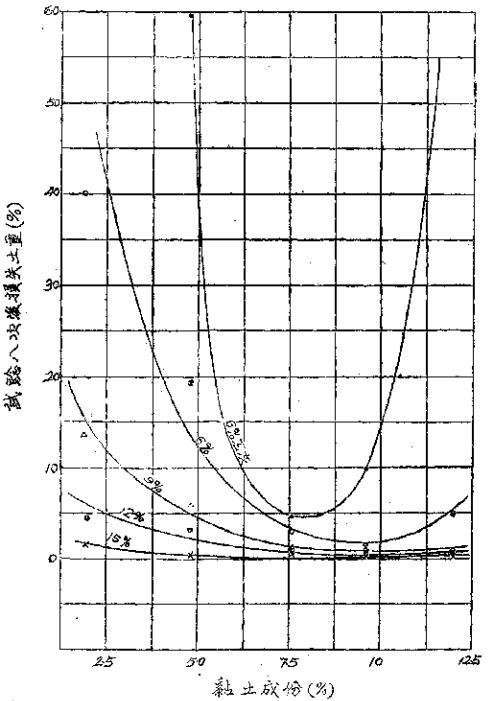


圖 28

(六) 抵抗磨耗硬度实驗

本試驗所用之儀器為多爾利硬度機(Dorry Hardness Machine)試模之压製以前,惟試驗之材料僅備D類土壤,因其黏土成份較佳也。試模照置28天後其实驗之結果如下:

表(XXX VIII)

石灰成份 %	硬度係数	洋灰成份 %	硬度係数
3	<0	3	<0
6	<0	6	<0
9	<0	9	<0
12	<0	12	<0
15	0.4	15	3.35

$$硬度係数 = 20 - \frac{兩端平均磨耗(克)}{3}$$

硬度最低之石料其試驗之結果,兩端平均磨耗為60克即硬度係数等于零,故土D加15%以上之石灰或洋灰後其硬度較石料最低硬度為大,石灰或洋灰成份在12%以下者,其磨耗於未達实驗之標準(1000轉)時已等于60克,故不能引用上式,而其硬度係数以<0表示之,意謂其硬度較石料之最低硬度為小也。

結 論

1. 塑性指數與黏土成份成正比例，兩者之關係可以方程式表示之：

$$C = \frac{4P-18}{3},$$

或 $$P = \frac{3C+18}{4};$$

式中 C＝黏土成份(%細壤重)

P＝塑性指數

2. 最好水份與黏土成份成正比例，黏土成份等于零時，其最好水份約16%乾土重，黏土成份增加10%，則最好水份約增高3.5%。

3. 最好水份與石灰成份或洋灰成份成正比例，加15%洋灰後最好水份約增高2.7%；加石灰者倍之。

4. A-4類土壤，其密度最大時之黏土成份約為6.25%乾土重。

5. 洋灰或石灰成份增加則土壤之密度隨之減小。

6. 抗压力最大時之黏土成份為14.5—15.5%(圖12)

7. 由4及6可知，密度最大時，土壤不一定能獲得最大之抗压力。

8. 土壤加洋灰或石灰後，其抗压力最大時之黏土成份，較未加石灰或洋灰者少。如圖13及14所示，加15%膠合物後抗压力最大時之黏土成份為10—11%蓋因膠合物有代替原有黏結料之功用也。

9. 石灰及洋灰均有維持或增加土壤抗压力之功用；惟洋灰之

徐之曝乾指能獲得最好之結果，曝置時间，普通以28天為標準。

10. 石灰及洋灰均能減低甚或消除氯酸鹽對土壤之影响。

11. 由乾濕試驗結果，土壤加洋灰或石灰後，其損失土重百分数，隨灰量增加而減少。（參閱表 XXXVII）

12. 在任何洋灰或石灰成份之下，黏土成份與損失土重百分数之関係為一拋物線。

13. 在一定損失土重百分数之下，黏土成份之範圍，因石灰或洋灰量之增加而擴大。如圖27所示，例如損失土重不得超過2%，則3%洋灰者其黏土成份須在8.2%及10.9%之間；加6.9%洋灰者其黏土成份之範圍順序為7.4－11.8，7.0－14%左右。加石灰者其結果類此（可參閱圖28）

14. 穩定土壤時，洋灰量或石灰量之選擇，因土壤之黏土成份而異；惟須先規定損失土重之百分数，然後由圖27或28求得之，例如，規定損失土重不得超過5%而土壤之黏土成份為5%，則由圖27求得定点在9%及12%兩曲線之中，故应加之洋灰量不得少于10.5%；同理，由圖28可求得应加之石灰量不得少于9%。

交通部∽清華大學

公路研究實驗室

職員一覽

主任	趙祖康(交通部公路總管理處處長兼任)
副主任	陳本端(交通部公路總管理處技正兼任并代理室務)
副主任	李謨熾(國立清華大學公路教授兼任)
研究員	陳本端(兼任)
研究員	李謨熾(兼任)
試驗員	王耀華
試驗員	涂漢廷
試驗員	———
繕寫員	楊競舒
繕寫員	王 姍

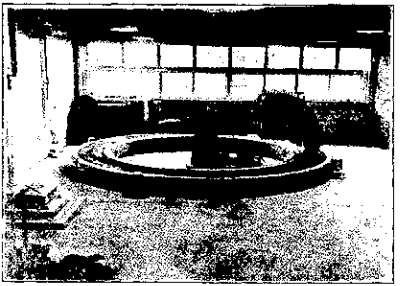
地　址：　昆明拓東路迤西會館內

成立日期：　二十八年十二月

公路月刊

公路工程研究刊物

第二卷　第四期　民國廿九年六月出版



交通部西南運輸大學
公路研究實驗室
昆明拓東路迤西會館

目　錄

改善我國公路路面方策應有之認識

本篇係交通部西北公路工程處工程司陳學華君所著，茲特介紹於此，以供公開討論，并希讀者賜予批評

(1) 緒言

公路建築，可劃分為三個階段，第一階段為路基之建築，亦即土路通車之時期。此時車輛，往往極為稀少，迨車輛漸增，土路不能勝任之時，則有鋪築低級路面之必要，此為第二階段。至車輛數目激增，低級路面不能勝任之時，則更進至第三階段，即鋪築高級路面時期。至於應在何時改鋪何種路面，其決定之因素最重要者，為經濟上之立点。美國常例，凡公路每日車輛在一百輛以上者，即可鋪築低級路面。每日車輛在七百五十輛以上者，始改鋪高級路面。故美國全國四百萬公里公路之中，有路面者，不过佔百分之三十。其中有高級路面者，僅佔百分之五。我國公路在抗战前，因運輸量甚低，路面問題並不嚴重。抗战以後，運輸量激增，更因車事運輸需要迅速及安全，路面問題，在目前遂形成公路之中心問題。然一般人士，雖認為路面必須改善，但究竟改善路面，對於經濟，對於安全，對於時間，以及對於行旅之舒適上，有何價值，則殊少研究。本文關於路面費在全部工程費內所佔成分之地位，路面對於行車費之關係，目前應採用路面之種類，路面材料之調查方法，及路面實

驗之重要，畧為申論，深望能引起各界對於路面之注意與正當之認識，庶幾我國公路前途，有莫大之希望。

(2)路面費在全部工程費內所佔成分之地位

路面費可分為兩項，即路面建築費，及路面養護費。以往我國公路，大都只求可以通車，工款亦甚拮据，故路面建築費一項，佔全部工程費內之成份極小。抗戰以來，國原有公路有待改善者極多，故一面闢築新路，一面改善舊路。改善費中，則路面費佔大部份，計廿六年七月至廿八年十月改善工程費佔全部工程費百分之三十七，約為二千八百餘萬元，其中路面費約佔百分之六十(事實上當不止此數)即為一千六百餘萬元，廿九年度預算中，路面費益見增加，茲擇其重要者，列表如下：—

路名	全年預算(元)	路面預算(元)	路面佔全年預算%
甘新	500,000	136,000	27·0
甘川	4,500,000	200,000	4·5
漢白	500,000	50,000	10·0
川陝	1,000,000	39,000	3·9
漢渝	1,500,000	130,000	8·7
樂西	4,000,000	0	0
川滇	2,500,000	240,000	9·6
河田	646,000	46,000	7·1
桂滇	600,000	0	0
滇緬	12,000,000	7,000,000	59·5
滇越	4,500,000	1,740,000	36·6
西蘭	1,906,000	1,566,000	82·0
甘青	2,500,000	[illegible]	34·0
合計	36,000,000	11,997,000	33

以上數字雖未能包括二十九年度全國所有之公路，且其中有僅列改善費者，有未列路面費者，故未能代表路面費實際上佔全部工程費之百分數。但其數目之巨，已可觀見。廿九年度預算養路費約計八百八十萬元，連同路面費約共二千萬元，已佔全部預算百分之十五以上。由此可知路面費在全部工程費內所佔之地位，僅次于路基。我國現有路面，大都為碎石路面，若將來路面等級提高，則路面費佔全部工程費之百分數當更大矣。

(3) 路面對行車費之關係

路面不良，影响於行車費至巨。歐美各國，對於路面經濟之研究，莫不極為重視。尤為不產汽油之國家如德國者，對於汽油消耗計算之精密，務使每一加侖汽油，均能達到最大效用。欲知路面對於行車費之關係，首應有精確可靠之統計，然後始能有準確之數字。我國絕少此種統計材料，可資參考。由上歐美各國所有數之數字，不難推測其大概情形，以資參考。

路面之影响於行車費，主要者不外汽油、机油、輪胎、修理及机件等數項。

按美國阿格氏及文夫累氏之調查，行車消耗與各級路面之關係如下：

阿格氏調查

	高級路面	中級路面	低級路面
汽　油	1·00	1·20	1·40
機　油	1·00	1·00	1·00
輪　胎	1·00	2·22	2·90
配件及修理	1·00	1·[illegible]	1·47
折舊及損傷	1·00	1·10	1·24
其　他	1·00	1·00	1·00
總比值	1·00	1·18	1·38

文夫累氏調查

	混凝土路	未處治礫石路	土　路
汽　油	1·00	1·13	1·08
机　油	1·00	1·36	1·91
輪　胎	1·00	1·44	1·26
配件及修理	1·00	1·47	1·70
總比值	1·00	1·31	1·49

上列之調查，以文夫累氏最近之調查較為準確。所指未處治礫石路，係表面鬆動凸凹不平之路面，汽車經過時，礫石飛揚，對於汽油及輪胎消耗特大，以較我國之混結碎石路，當有過而無不及。惟文夫累氏試驗中所用以行駛於混凝土路之車輛，較用以行駛於礫石路及土路者為新，故其修理及配件之值相差甚巨。

若根據阿格氏及文夫暴氏兩表，並參照我國公路情形，可擬表如下：—

	高級路面	碎石路	土路
汽油	1·00	1·13	1·39
机油	1·00	1·36	1·91
輪胎	1·00	1·44	1·26
配件及修理	1·00	1·14	1·24
總比值	1·00	1·26	1·45

「接李謨熾教授」改善我國公路之經濟分析「我國每公里之行車費約估如下：—

(一)汽油：每加侖行駛十公里，每加侖汽油值十二元，每公里為一元二角。

(二)机油：每加侖机油行駛三百公里，每加侖机油價值二十元，每公里為六分七厘。

(三)輪胎：輪胎壽命一萬五千公里，每對胎值一千二百元，每公里為二角四分。

(四)配件及修理：配件每一百公里為十六元，修理每一百公里為二元，合計每公里為一角八分。

根據以上數字，可得各級路面與行車費之關係如下：—

	高級路面(元)	碎石路(元)	土路(元)
汽油	1·060	1·200	1·480
机油	0·049	0·067	0·094
輪胎	0·166	0·240	0·210
配件及修理	0·164	0·180	0·203
合計	1·439	1·687	1·987

我國後方現有重要公路的一萬公里，其每日車輛平均數目，在西北方面有統計，在西南者略有統計，茲列表如下：—

路名	長度(公里)	每日車輛
甘新	1·174	
甘青	230	
西蘭	700	
華双	442	
川陝	1·296	
漢白	530	
湘黔	1·088	50—100
黔桂	655	160—200
川黔	485	130—200
黔滇	662	100—160
滇緬	972	60—100
川滇	698	
川滇東路	722	
合計	9·555	

西北部份,計四,一七二公里,假定每日車輛平均以五〇輛計算,西南部份,計五,一八三公里,每日車輛平均一二〇輛。

今設將上述各主要公路之路面,加以改善,雖不必改善至高級路面,但若能改善至較碎石路更進一步之路面,則每輛汽車之消耗,可以大減。觀前表即知,若由碎石路面,改為高級路面,每輛汽車,每公里可節省費用二角五分。若只改善現有碎石路,至較佳之路面,每公里亦可節省費用二角,則每年於主要公路中,可節省消耗量數字如下:—

5183×0·20×120×365＝43,403,080

4172×0·20× 50×365＝15,595,800

60,998,880(即六千一百萬元)

若以上路面之有效時期,僅為一年,每公里仍可用六千四百元改善之。且鋪築路面之工料,除少數外,均為國產,而行車費如汽車机油輪胎配件等,無一非外滙也。

現全國共有通車土路六一,六七〇公里(淪陷區域未計在內),每日平均車輛以五輛計,由土路改鋪低級路面,每車每公里可節省行車費三角,每年可節省:—

61,670×0.30×5×365＝33,533,490元 即每公里可用五百五十元鋪築路面

由上可知,若能將全國路面澈底改善,則每年可省外

滙一萬萬元之巨。以上不過僅指變動行車費而言，至於改善路面，對於時間之經濟，車輛之壽命，駕駛之安全，養路之節省，以及行旅之舒適等，尚未計及。然則改善路面由經濟觀点上考慮之，誠不可一日稍緩也。

(4)目前應採取之路面種類

上節論我國路面，應加澈底改善之重要，其無路面者，應立即加鋪低級路面，其有路面者，應改善至較碎石路更進一步之路面。但究竟我國路面應以何者為主體，實為目前急于解決之問題。查路面種類，在十年前，不過分為二大類，即高級路面與低級路面。高級包括一切磚塊、石塊、木塊、混凝土、瀝青等路面，低級包括碎石、碎石及砂混等路面。近十年來，公路研究，突飛猛晉，尤以美國公路學者，認為低級路面有深切研究之必要。因之有級配石子及穩定土路路面之發明，此項發明仍稱為低級路面，但事實上穩定路面，係介於高級與低級間之一種路面，[illegible]之為中級路面。我國公路，因每日車輛數目不多，未能鋪築高級路面，且鋪築高級路面之材料，如混凝土路之鋼筋，土瀝青路之油料，木塊路之臭油，均須用外滙購買，故目前我國尚無力及此，吾人應立即採用者，為低級路面及中級路面兩種，茲分述之如下：—

(甲)低級路面

低級路面最重要者有二，即碎石路面及礫石路面。(一)碎石路面：碎石路面之發明，遠在百年以前，其建築方法不一，我國所用者，為泥結碎石路，按泥結碎石路，若鋪築養護得法，未始不能為良好之低級路面。惟我國鋪築碎石路方法，往往未能合乎規則，例如石子必須壓碎[illegible]，其硬度應合於實驗室之規定。[illegible]時，因求打碎之省事，[illegible]風化，遂即失去路面之效用。[illegible]未有規定，而普通打碎石子時，[illegible]尺寸，多者[illegible]合，難提之時，黏土之成分，或多或少，均未合於預定之標準。碎石路面，本非優等路面，而鋪築時，又漫不經意，以致我國路面情形日趨惡劣。欲求鋪築良好碎石路面，必須嚴厲執行施工規範，尤須注意養路方法，始能有良好結果。(二)礫石路面：礫石路面，在我國採用者尚少，本省國則此種路面佔全部低級路面百分之七十以上。礫石路面，在車輛稀少之公路，極為適用，其造價亦廉，惟必用石子，無須打碎，在沿河路線，採取材料，極為方便，鋪築方法亦為簡單，我國應大量採用之。

我國有六萬二千餘公里土路，若完全鋪築碎石路面，是為經濟所不許。最經濟之辦法，為[illegible]（Stage Construction Methos），[illegible]路，每日車輛稀少

者，均可採用此法。階級鋪築法，不外隨時於路面之上，加鋪石子，可責令當地官吏，或養路道班，於土路泥濘處，隨時加以小石子，石子大小不得超過五公分，如此不斷努力，則二三年後，全路不難變成極佳之礫石路。美國一百餘萬公里之長途公路，均係用此法鋪築，俟運輸量增加之時，[illegible]路上，加以表面處治，或鋪其他路面，均極經濟。

[illegible]

中級路[illegible]，約分四部，一部為級配石子路面，瀝青處治穩定土壤路面，水泥結碎石路面等，皆無須再加研究，即可採用。一部為食鹽處治級配石子路面，桐油處治級配石子路面，[illegible]土壤路面，石灰黏土結碎石路面等七種。茲分述如下：

(一)級配石子路面：　級配石子路面，其原理及建築方法，已屢次論及，茲不復贅。此種路面，在吾界各國，尤其[illegible]已大量鋪築。但在我國鋪築者尚少。西北華天双路，曾鋪築有百餘公里，其造價較碎石路為低，而車輛行駛其上，反覺較碎石路為優，是此種路面選于碎石路面，實無疑問。湖南公路，素稱全國[illegible]者，若細查其成功之原因，則知湖南省所鋪之路面，事實上並非碎石路，而為類似此種路面之結構，其鋪築之時所用沙及石子，均具有級配，養路之時，復注意用有級配之沙拌和少量黏土[illegible]，而非碎石路本來面目矣。[illegible]學者，往往認為

級配石子路面之鋪築，必須假手机械及精密之篩析，其實猶有經驗之工程司，皆能辨定一種混合料，是否接近級配，不必加以實驗。即使鋪築之時，沙子黏土成份不合，事後不難補救。例如混合料中黏土成份過少，在晴天之時，表面沙子鬆動，則可將表面鬆動部份掃去，更加黏土拌和而滾壓之，故若養路得法，此種路面可以永久保持良好狀況，非若碎石路面每隔二三年，石子露出後之必須翻修也。

(二)瀝青覆治級配石子路面：　級配石子路面，抵抗車輛磨蝕力不強，故車輛每日若超過三百輛時，表面應加覆治。在美國覆治路面材料，大多數利用瀝青。如土瀝青，柏油，乳化劑 Cut back 等均可應用，而用數量，每平方碼不過半加侖。我國雖不產瀝青，但將來工業發展，柏油為製焦之副產品，必可[illegible]，以前石炭經所產之稀柏油，即可用為覆治路面之用。即使此項瀝青漸漸自外國，而用量尚少，較之鋪築瀝青路經濟實多。

(三)水泥結碎石路面：　水泥碎石路，在歐美用者頗多，在英法及澳州用者尤多。此種路面，雖未必合于經濟原則，但在水泥產量較多之區，可以推行。

(四)食鹽覆治級配石子路面：　食鹽與氯化鈣均有保持路面水份作用，氯化鈣在我國價格過高，不能採用，而食鹽在川中各縣，及沿海區域，價格甚廉，可以試用。食鹽覆治之級配石子路面，表面堅固，不致被雨水一以軟化，為中級路面中最有希望之一種。

(五)桐油處治級配石子路面：　實際上各种植物油，如大豆油、棉子油等均可用為處治級配石子路面之用。但桐油較他种油為濃，亦較易乾，故用為處治路面，較其他油類為佳。惟此法須經過精密之試驗後，始能知其效果如何；果能成功，則西南各省，於公路兩旁，可廣植桐樹，既增風景，復可供給材料。

(六)水泥土壤路面：　水泥土壤，係用水泥穩定土壤，不可與普通混凝土混為一談。美國波特蘭水泥公司，經數年之試驗，已有相當成效，現正在推行。水泥土壤路之鋪築法，及其原理，已見另文，茲不復贅。

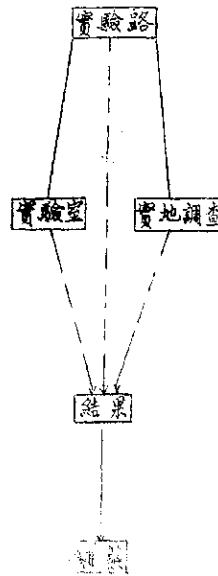
(七)石灰黏土黏碎石路：　石灰加黏土，可增加其黏力，及減低其氧化力，為改良碎石路之一种重要方法，但仍須有實地之試驗，方可推行。

總觀以上各种中級路面种類，其最重要者，為級配石子路面。吾人一須對於此种路面，廣為推行，並多加研究。果能認明此种路面，雖碎石料已為佳，而路面問題，可以隨時解決。此種道有碎石路面破壞之地，即可於其上鋪以厚度（八公分至十公分）之級配材料，迨至車輛更增，路面破壞之，加以表面處治，逐步改良，不難漸成改進全國路面矣。

(5)路面實驗

前節所述各种路面，其鋪築方法、材料成分，全賴實驗。實驗之

方法有三，即实驗室之实驗，實驗路之实驗，及实地調查。三者缺一，則实驗工作，不能完成，其關係如下圖：—



實驗室、實驗路、實地調查工作，一貫成一个机構，一个主管之下，有一个有系統的通盤計劃，若三者各自為政，不求連絡，則失去整个实驗意義，結果必難圓滿。实驗室與实驗路，應設于一處，

[illegible]相隔不遠之處，如此，則實驗路上一有問題，立刻可以請實驗室解決，實驗室一有新得，立刻可以請實驗路作實驗。同時實地調查；實驗路實驗室資料與樣品，使實地情形與實驗室打成一片，然後實驗路事業始能進展。茲將實驗室，實驗路與實地調查分述如下：—

甲、實驗室：路面實驗室內容，可分為兩大部份，一部分為普通實驗，包括所有土壤物理性實驗，如土壤比重、塑性指數之測定，質點量之測定，含水量之測定，野外吸水當量之測定，離心吸水當量之測定，收縮因數及最佳水份等項。此外更包括石料實驗，如衝擊實驗、硬度實驗、黏結力實驗各項。每种土壤樣品到達實驗室後，必須經過此种實驗，而從此種實驗者，了必對土壤有特別之研究，聰敏細心人員，均可担任，其他一部工作，為特別問題之研究試驗，包括一[illegible]四方樣間隔[illegible]之結合試驗，膨脹實驗，水化期實驗，凍解實驗[illegible]實驗[illegible]作特別研究實驗時，首應說明實驗之目的，[illegible]并所實驗之步驟，最後則為分析實驗之結果。茲分述如下：—

(一)實驗目的：前節已詳述我國目前急需一种戟碎石路更進一步之[illegible]時碎石路面之補築，亦應加以研究，認明此点後，則吾人實[illegible]四：—

(甲)碎石路面之研究

(乙)瀝青碎石路面之研究

(丙)瀝青碎石路面表面處治之研究

(IV)其他穩定土壤路面之研究

此四种路面為吾人目前应即着手研究者，其次可採其中一种作為中心試驗之工作，認清目的後，一切始能逐步推進，不然路面問題，有待于实驗室解决者，以千百計，將無從措手矣。

(二)实驗步驟：在未实驗之先，应先確定实驗之步驟，例如桐油處治級配石子路面試驗之步驟，其程序如下：—

(I)穩定土壤之基本物理性实驗(普通实驗)

(II)桐油之主要物理性，如比重濃度等实驗(普通实驗)

(III)桐油處治後對土壤穩定性之關係(Stability Test)(特別实驗)

(IV)桐油處治後對土壤黏聚之關係(Cohesion Test)(特別实驗)

(V)桐油處治後對土壤水化之關係(Soaking Test)(特別实驗)

在(III)(IV)(V)实驗中，尺可為雖的实驗(A)用不同之桐油成份，(B)用不同之稀釋劑稀釋，逐次試驗，若尚嫌不足時，更補充以其他試驗，現代土壤之实驗，不应僅就一种土壤，作实驗之根據，蓋各地土壤之性質，相差甚遠，若僅就一种土壤，而得結果，往往不能代表大部分土壤。然土壤之种類甚多，當然不能一一試驗，但在可能內应將A—1，A—2，A—3，A—5，A—6等五种土壤，加以試驗，最低限度，亦应試驗砂土質，淤泥土質，黏土質等三种土壤，庶不致有誤會之結果。

(三)实驗結果：於实驗告一段落之後，应將实驗結果，加以分析。

由分析中，推斷一个或數个結論。例如蔴或桐油需治級配石子路面，由試驗可推斷加桐油是否對路面有益，加桐油之最適宜成份如何，桐油數用後，需幾日始能達到最強力量等等，由此結論，可以斷定作實驗路時，應採之方式，如不能得結論，應如何更加實驗。

總觀以上，實驗室主管人員，應先確定實驗目的，及實驗步驟，然後對於重要實驗，親自着手實驗，俟有頭緒後，再委諸試驗員繼續實驗，同時注意實驗之逐日情形，遇有錯誤之處，隨時糾正之，庶能始能有正確實用之結果。

(乙)實驗路：實驗路與實驗室有連帶不可分離之關係，已如上述。實驗路之性質，完全與實驗室相同。不過其規模較大，性質較為實際。作實驗路時，應注意者為實驗目的，實驗組織，及實驗結果三項，茲分述之如下：—

(一)實驗目的：實驗路之所以異於實驗室者，以室中一切，如室內溫度，氣候變遷等，均可嚴密控制，而實驗路，如氣候施工等，則不能完全控制。一般社會人士，對於實驗路之態度，往往不善正確，於實驗稍有失敗時，則認為此种實驗之原則，不能成立，或實驗者精力疲憊，非能如意難，吾人應知實驗路之目的，在求得最經濟最優良之設計，而此种因素，得之于屢次之教學，屢次改進之結果，或之得于迅速成功之結果，尤有價值，故每次失敗，即使能明指示改進之方法，並以作實驗路時，應不顧社會上之批評，而繼續自標準方不斷，一次失

敗，更作第二次，只要原則確定，未有不成功者。

（二）實驗組織：舖築實驗路，應有固定之組織，及熟練之工人，臨時購買工具，此不但不合經濟原則，管理方面亦多困難，實驗結果，自難如意以償。故於實驗路應有專人負責，有固定之組織，有固定之監工與工人，有常備之工具，遇特別情形時，始得增購工具，僱用臨時人工，負責實驗路者，于確定全年預算後，即可選擇實驗路地點，按照預定計劃進行，除有特別事故外，絕不變更其計劃，然後實驗工作，始能望有成績。

（三）實驗結果：往往于實驗路鋪成後，主其事者，即將離開此種實驗路之職掌，遂無人過問。此與失去實驗之目的，一種路面之是否成功，完全視其將來使用之結果而定，就養路時間，以觀其車輛，方可決定其是否[illegible]此外並應注意[illegible]之[illegible]設計之時，車輛[illegible]載重，而實際上[illegible]載重為多，在此種情形之下，如路面失敗，則不能歸[illegible]如路面發生變形，則[illegible]發生之由來是否由[illegible]路基[illegible]，則此種變形是否[illegible]逐年推求，不斷加[illegible]實驗路[illegible]一次[illegible]之精神與毅力，對實驗[illegible]之事，不足道也。

(丙)實地調查：主持實地調查者，對于實驗室與實驗路工作，必須見全概況，而明瞭，然後方可調查之設備，給予實驗室或實驗路之需要，否則[illegible]自為政，實地情形，與實驗需要，不能融洽，自難治今。實地調查主要目的有四，即路面調查，土壤調查，材料調查，營路調查，汽車流量調查。

(一)路面調查：調查現有路面情況，如碎石路之結合料是否能結合路面石子，使之不致走動，路面上孔隙情形如何，路面上積沙料厚度若干，路面石子有無露底，汽車時情況如何，正常經過如何，以及行車速度等項，由調查之結果，可知某段路面，不能適用瀝青鋪設，某段路面，所用材料不良，某段路面雖佳，但不堪重[illegible]，然後可以決定其應改鋪他種路面，[illegible]其他設備如何等等，對於不適解決之問題，自可由實驗室代為研究。

(二)土壤調查：土壤調查，包括單純土壤調查，與公路土壤二方面，大概每二十公里選取一樣本，並主要調查所得之土壤調查圖，以為設計資料，其圖公路經過之時，當村土壤的詳細調查，組織之內，尚不能作此種工作之工具，但在公路土壤有關者之化驗，土質特別不良，或別有特殊處，採取樣本，以備試驗，路線以外，如遇見特別土壤，即以附帶調查，路面材料，亦應採取。

(三)材料調查：此項工作，應在[illegible]路基之前，[illegible]，[illegible]，但在已有路面，[illegible]上，[illegible]

[illegible]路面之材料，如[illegible]、桐油、植物油、石油、食[illegible]材料、人料[illegible]等等，[illegible]一調查，其產量及價格，以備鋪[illegible]之參考。

(四)養路調查 有時路面本身設計並無問題，而因養路不良，以致[illegible]路影響交通，故應[illegible]調查當地所採用養路是否得法，例如碎石路之養路，應多用沙土，少用黏土，[illegible]但養路者或因沙土採取困難，故迄用路旁黏土填補，[illegible]時[illegible]，調查者應注意此種情形，對其養路辦法[illegible]

(五)汽車[illegible]路面影響行車費，[illegible]對此[illegible]有詳細[illegible]主理[illegible]用[illegible]以協助，[illegible]所規定。

[illegible]路面[illegible]

[illegible]

[illegible]路面之種類，一般對之，[illegible]對[illegible]車[illegible]費上[illegible]最重[illegible]

須知欲有完善路面設計，對于路面種類之選擇，材料運距，及材料分佈均須有切實之研究，茲分述如下：—

(甲)路面材料之選擇：第二[illegible]路面，主要者有碎石路面，碎石路面[illegible]種，[illegible]可用為鋪築碎石路面之用。[illegible]則可用為鋪築級配碎石路面之用。[illegible]則可用為鋪築碎石路面之用，總之，就地取材[illegible]分種類及其優劣，本節設計路面種類時應注意之事項，[illegible]鋪築碎石路面，而石料運距較遠，運輸困難，或沿河流有石料，然[illegible]路之[illegible]者，[illegible]鋪築碎石路，則可選[illegible]

(乙)材料運距[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

桐油塔坡穩定土壤試驗報告

1. 引言

桐油穩定土壤之試驗，已於本刊第二卷第二期發表，所得結論如下：——

(1) 桐油與土壤混合後，決能帶動土壤以防水得之質，

(2) 桐油配合成份增加，則土壤之吸水性可以減少，而耐久性可以增強，

(3) 由試驗結果，可以証明桐油與膠[illegible]能將土壤中增固膠作用，

(4) 土壤中含有[illegible]者用桐油穩定，以減低其吸收性，砂質土壤則反之，

(5) 所用桐油成份，無論砂土混合物[illegible]不得少於8%，

[illegible]各種混合料表現極其滿意[illegible]，所用混合料穩定後，遂將低級路[illegible]中華[illegible]。

[illegible]所發之現象，用作穩定土壤，[illegible]桐油與[illegible]，桐油[illegible]可以替代桐油，桐油[illegible]決定[illegible]，[illegible]，可隨意可作為桐油[illegible]，用作一種防水混合料，如用桐油之價格，自然較為貴，

— 1 —

II. 試驗材料

(一) 柯油殘渣

所用之柯油以其比重為標準，本試驗所用之柯油其比重為0.955。

柯油殘渣之提鍊，每次提鍊係取約100克重之柯油，置於蒸餾瓶(*Distillation flask*)內，以每分鐘升3°C之溫度徐徐加熱，直至溫度175°C時，乃開始有蒸餾液，同時，所加溫度繼續調整為每分鐘升2°C，以不超過300°C，蒸餾瓶內之殘餘物即為殘渣為止，所餘者則為柯油殘渣，於此繼續提鍊，其殘渣可得68度瀝青的佔52%，柯油殘渣繼續詳細試驗其瀝青性質，其所定之浮環試驗(*Float test*)在溫度52°C時，為1分425秒鐘。

其比重試驗乃按下列公式求得之，

設 [illegible]瓶重量 = [illegible]克

[illegible]瓶與殘渣之重量 = 55.020克

[illegible]瓶與瀝青之重量 = 48.040克

[illegible]瓶與水之重量 = 85.565克

按公式求得其比重為：

$$比重 = \frac{C-a}{(b-a)-(b-C)} = \frac{48.040-20.000}{(85.565-20.000)-(55.020-48.040)}$$

$$= \frac{28.040}{68.515} = 0.407$$

柳油或汽油之粘性較大，不易高度之燃燒，故以四氯化碳(kerosene)混合之，此種燃燒混合物[illegible]溫度溫度，即下溫之沸騰趨勢，此種在常溫溫度之下，永不能使其完全燃燒者。

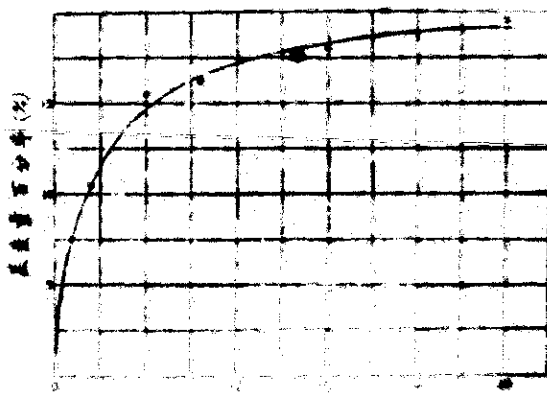


圖 [illegible] 表

(1)[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]
[illegible]	—	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]				[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]					[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

(二) 壓縮試驗(Compression Test)

混凝土之強度不僅與水泥漿強度，所受壓力之大小有關，並與混凝土之組合物中，水泥漿與其他成份之強度，又與混凝土內部孔隙之多寡有關。水泥漿與骨料之強度，固隨之增高，此方法增強和合物之組合物，使混凝土之強度亦隨之增高。此方法增強和合物之組合物，使混凝土之強度亦隨之增高。其所以混凝土之強度，主要決定於水泥漿中之膠流物質與骨料，其抗壓力之強度，主要決定於膠流物質與骨料成反比例遞減下去。

表 壓縮試驗 (W=[illegible] 混凝土之壓縮試驗)

強度 (日數)	負荷 (公斤)	平均負荷 (公斤)	平均強度 (公斤/公分²)
1	302 310	306	51.2
3	276 276	276	50.5
5	284 284	284	53.2
10	470 500	455.0	82.96
12	424 423	423.5	86.45
14	479 440	459.5	93.78
16	570 576	573.0	116.94
18	348 332	340.0	171.45

表　压缩试验（曝晒七天之后治）

硫黄百分率	压力（公斤）	压力平均值（公斤）	压力[illegible]
0	163 / 175	169.0	34.49
5	99 / 97	98.0	20.00
8	78 / 75	76.5	15.61
10	43 / 36	39.5	8.06
12	58 / 54	56.0	11.43
14	58 / 50	54.0	11.02
16	51 / 45	48.0	9.80
18	45 / 44	44.5	9.08

表　压缩试验（曝晒十八天之后治）

硫黄百分率	压力（公斤）	压力平均值（公斤）	压力[illegible]
0	[illegible] / [illegible]	215.5	[illegible]
5	114 / [illegible]	155.5	31.73
8	112 / 119	115.5	23.57
10	122 / 115	118.5	24.14
12	90 / 85	87.5	17.92
14	88 / 84	86.0	17.55
16	65 / 72	68.5	13.98
18	43 / 47	45.0	9.18

(五) 耐久性試驗(Wetting and Drying)

本試驗所得結果，証明混合殘液愈多，其耐久性愈增，就桑國Ⅱ，大概土壤中加入桐油殘液少量[illegible]者，經第一次之乾濕循環，即行溶散，然[illegible]重損失甚微者，所加之桐油殘液，[illegible]15%以上[illegible]。

			桐油殘液百分率							
			0	2	4	10	12	14	16	18
乾濕循環	原來乾土淨度		24.16	24.37	24.63	24.90	25.35	25.75	26.25	26.65
	Ⅰ	乾土重	—	—	—	—	25.20	25.53	25.15	26.45
		乾土重量	—	—	—	—	0.15	0.19	0.14	0.20
		重量百分率	—	—	—	—	0.59	0.39	0.58	0.75
	Ⅱ	乾土重					25.15	25.60	26.06	26.36
		乾土重量					0.05	0.05	0.10	0.10
		重量百分率					0.20	0.19	0.38	0.38
	Ⅲ	乾土重					25.80	25.51	26.00	26.32
		乾土重量					1.35	0.09	0.05	0.03
		重量百分率					5.35	0.35	0.19	0.11
	Ⅳ	乾土重					—	25.50	26.00	26.30
		乾土重量					—	0.01	0	0.02
		重量百分率					—	0.04	0	0.08
	Ⅴ	乾土重						25.50	25.95	26.28
		乾土重量						0	0.05	0.05
		重量百分率						0	0.19	0.19
	Ⅵ	乾土重						25.50	25.94	26.24
		乾土重量						0.20	0.01	0.01
		重量百分率						0.78	0.04	0.04
	Ⅶ	乾土重						25.70	25.90	26.24
		乾土重量						0.50	0.04	0
		重量百分率						1.57	0.15	0
	Ⅷ	乾土重						1.50	25.50	26.24
		乾土重量						0.20	0	0
		重量百分率						0.81	0	0

附註：—— 表示未曾加入試驗。

(四) Hubert-Filon 之土壤實驗

[illegible]，其壓縮性必增加，壓縮百分率[illegible]，必有一最重之限度[illegible]，可謂最大之效果，因且指示試驗[illegible]各由端之[illegible]，[illegible]未完全飽[illegible]，[illegible]之土壤之試驗，[illegible]分量之[illegible]。

表 [illegible] Hubert-Filon 之試驗

壓力	壓縮後之厚度 (公分)	壓縮百分率	壓力	壓縮後之厚度 (公分)	壓縮百分率
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0	9.42
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2	12.72
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	4	17.81
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	6	22.05
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	26.85
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	10	22.61
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	12	15.07
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	14	14.60
[illegible]	[illegible]	[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]			
[illegible]	[illegible]	[illegible]			

附註：

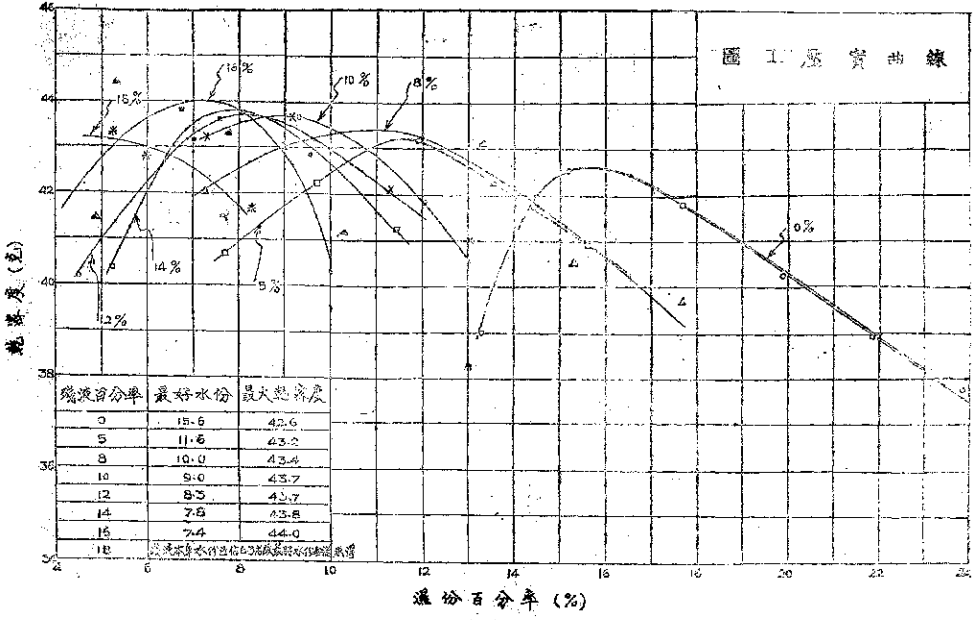
V. 總結

本試驗所得之各項結果，証明桐油殘渣用於護土壤時，其性質與桐油穩定土壤之效果，大致相同，但其中有幾点與桐油稍異，茲列舉如下：

(一) 殘渣較桐油為凝固，須摻加50%殘渣，方能與土壤混合；

(二) 殘渣與土壤混合後，亦能增強其穩定性及輔助土壤以防水浸之害，但先決之條件，須使殘渣與土壤混合全部乾透為准，其有效果，但殘渣較桐油難於硬乾，故應用殘渣，須加以何可以使混合物迅速乾結，此為重要問題之一。

(三) 所用桐油殘渣之成份，至少為12%，少於此時，在圖III中耐久性試驗，可証明必膨脹而為水所溶散也。



濾渡百分率	最好水份	最大乾密度
3	15.6	42.6
5	11.6	43.2
8	10.0	43.4
10	9.0	43.7
12	8.5	43.7
14	7.8	43.8
16	7.4	44.0
18	[illegible]	[illegible]

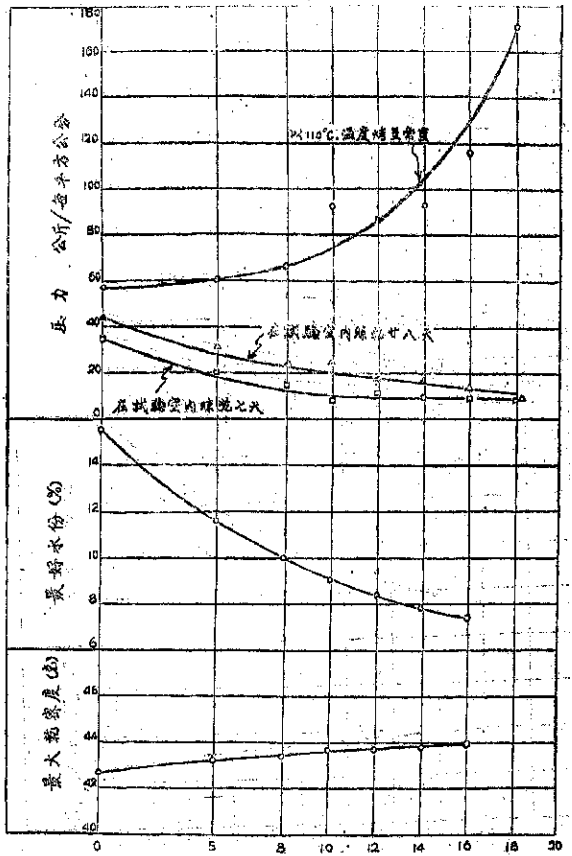

180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
14
12
10
8
6
46
44
42
40
0
5
8
10
12
14
16
18
20
在110°C.溫度燒至乾燥
在試驗室內陳放廿八天
在試驗室內陳放七天
桐油殘液百分率 (%)

圖 11.

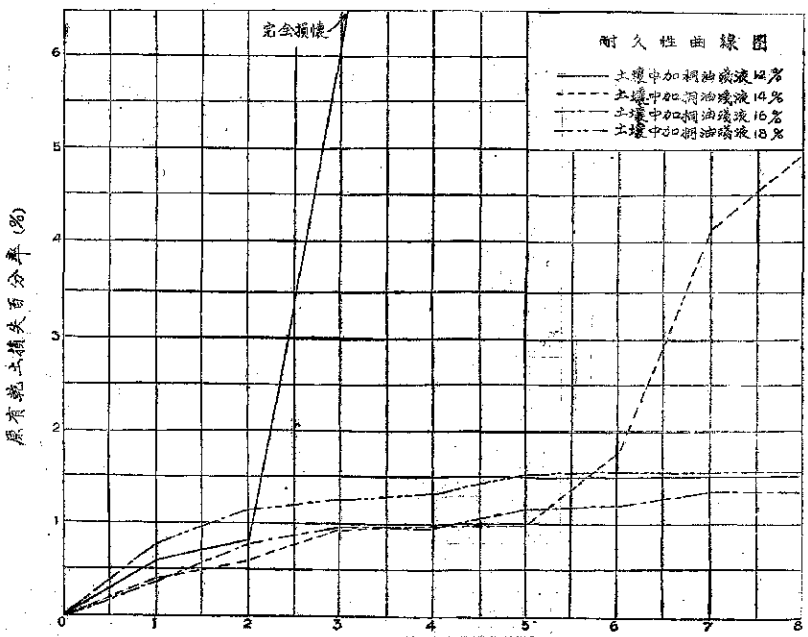


图 III.

乾濕循環之次數

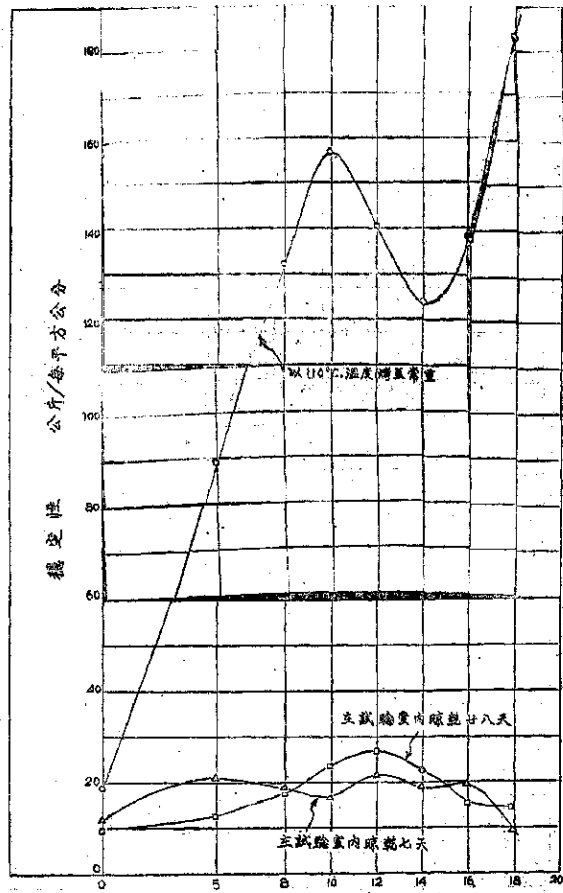

180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
5
8
10
12
14
16
18
20
黏度 公斤/每平方公分
以110°C.溫度增量需重
五試驗室內環境廿八天
三試驗室內環境廿七天
黏油殘液百分率(%)

图 五.

交通部∞清華大學

公路研究實驗室

職員一覽

主　任　趙祖康(交通部公路總管理處處長兼任)

副主任　陳本端(交通部公路總管理處技正兼任

并代理室務)

副主任　李謨熾(國立清華大學公路教授兼任)

研究員　陳本端(兼任)

研究員　李謨熾(兼任)

試驗員　王耀華

試驗員　涂漢廷

試驗員　———

繪圖員　楊繞群

繪圖員　王　姍

地　　址：　昆明拓東路迤西會館內

成立日期：　二十八年十二月

年

第 3 卷

第 3 期

公路月刊

公路工程研究刊物

第三卷　第三期　民國三十年五月出版

交通部公路研究實驗室
昆明拓東路西南運輸會館

目　　錄

路面水份維持劑試驗報告

引　言

養護治之碎石路面，雖易發生鬆散，解體，窪穴等現象，不能行車費用增加，抑且增補不易，增加養路之費用，其發生之原因，雖頗複雜，但基主要者，不外乎陳結合料，因路面不易維持所需之水份，以致黏結力大減，易為車輛滾壓而鬆動，或為車行時所發生之真空所吸引，或為風力所吹揚，日積月累，細料減少，碎石凸露，路面乃極粗糙，假若路面之結合細料，能常維持潤濕，則路面狀況，必較良好，不獨行車及養路費用皆可減低，而乘車者，亦可不感塵土之苦。

路面之水份維持方式，最簡捷者為全潑水，此法效能雖大，但管理困難，亦不經济，在長千百里之公路上，实不易施行，用此法者，僅限於城市街道，以其水源容易路線不長。北平市水結砼石路面，在夏季則潑水於上，以減少其灰塵，有人主洗掃及電車洒水三方法。公路路面水份維持方法，在歐美多用油類敷面，使不滲水，或利用氯化鈣或食鹽，以吸收空氣中之水份，常使路面潤濕。吾國財力不裕，一切当力求經济，水份維持剂之使用，一時或尚不能談到，但如價值不昂，在運輸較繁密之地方，或可应用，本室特造擇數种加以試驗，將來如有应用机會，或可有以資參攷也。

試驗材料性質之分析

試驗所用樣品，应採用等路級配不全之材料，摻入各種水份維持剂，利用環形軌道，在室內試驗，以决定其水份維持之效能，俾可类实际情形符合，在本室每此項環形軌道之設備，故只能尽可能作一簡單比較之試驗，所用樣品，亦僅以生紅土一种為限，此种生紅土，係採自雲南省沙朗公路（在昆明城外黃土坡附近）在未摻入水份維持剂以前，土壤性質，宜加以下列之分析：

1. 篩網分析：

通過 10号遺留 20号者 = 137.00克 = 27.40%

〃 〃 20 〃 〃 〃 40 〃 〃 = 141.00 〃 = 28.20%

〃 〃 40 〃 〃 〃 60 〃 〃 = 66.50 〃 = 13.30%

〃 〃 60 〃 〃 〃 100 〃 〃 = 22.00 〃 = 4.40%

〃 〃 100 〃 〃 〃 200 〃 〃 = 48.50 〃 = 9.70%

〃 〃 200 〃 者 = 44.00 〃 = 8.80%

2. 液体限度試驗：

濕土及鋁坡璃重量 = 30.72克

乾 〃 〃 〃 〃 〃 〃 = 31.36 〃

〃 〃 〃 〃 〃 〃 = 25.96 〃

水份 〃 〃 = 4.52 〃

乾土 〃 〃 = 5.92 〃

液体限度 = $\frac{\text{水份重量}}{\text{乾土重量}} \times 100 = 72.44$

3. 塑性限度試驗：

濕土及鋁坡璃重量 = 30.47克

乾 〃 〃 〃 〃 〃 〃 = 29.19 〃

〃 〃 〃 〃 〃 〃 = 25.56 〃

水份 〃 〃 = 1.28 〃

乾土 〃 〃 = 3.59 〃

塑性限度 = $\frac{\text{水份重量}}{\text{乾土重量}} \times 100 = 42.77$

塑性指數 = 液体限度 - 塑性限度 = 29.65

4. 縮性試驗：

此試驗包括下列各項：

a. 縮性限度——在某一限度時，增加泥土中之水份，其体積亦隨之而增加，若減少其中之水份，其体積並不因之減少，此時之水份含量與泥土重量之百分比，即為該泥土之縮性限度。

b. 縮性比——一定乾泥土体積之變迁與其在縮性限度時相当之水份變化之比，普通縮性比適與泥土之似比重相合。

c. 容積變迁——泥土中所含水份自規定水份含量降至縮性限度時之容積之變迁，以乾体積之百分比表之，此規定水份含量，平常即為其野外濕度含量。

d. 線縮——由泥土中所含水份，自野外濕度含量降至縮性限度時，其体積之減少對于其原体積之百分比。

e. 似比重——炉烘泥土之重，以其体積除之，即為泥土之似比重。

試驗次數	1	2	平均
濕土與碟之重	147.472克	139.285克	———
乾 " " " "	134.830克	126.445克	———
濕土重	34.142克	33.190克	———
乾土重	21.500克	20.350克	———
濕土塊中所含水份	58.80%	63.09%	———
濕土塊之体積	20.50立方公分	20.252立方公分	———
乾土塊之体積	13.25立方公分	12.100立方公分	———
縮性限度	24.85%	23.04%	23.945%
縮性比	1.662	1.683	1.6525
由野外濕度當量而得之容積變遷	———	———	55.755
線縮	———	———	13.74
砂比重	———	———	2.730

試驗步驟

1. 試模之預備：

試驗之時，須將樣品製成模形，其法以一定重量之樣品，加入製模机中，压成圓柱形，試模之大小，影响蒸發面積而所受之压力，則有關其吸水能力。本試驗所模形，皆為2.5公分高，2.5公分直徑之小圓柱，所受压力。

則為132公斤/平方公分，以木到一兩資比較。

2. 水份維持劑之滲加方法。

水份維持劑之种類頗多，有適宜于預拌混合者，有適于澆到者，亦有二者均可者，今試驗尽可能多作比較，以求完備。其于混合成份，滲劑之時間，間隔，溫度，次數，滲劑之滯稠等，尤為注意。惟本試驗所用之煤樣品為本地產之生紅土，其水化性太大（平均為60秒），除烟類外，其他各种之溶液，不論稀稠，一經浸入，即行散化，故須用特种試驗方法，方能查劑，本試驗暫不包括在內。

3. 試驗目的

水份維持劑之優劣，当以其維持水份之久暫及吸收水份之能力以為標準，今試驗計分氣乾及炉乾兩种，求在全一溫度，全一時間，全一濕度情形之下各种水份維持劑之效能。

4. 水份維持劑之种類。

本試驗所用水份維持劑，有下列四种，其他矽酸化鈉（水玻璃），地瀝青及柏油等則未試驗

1）氯化鈉 2）石蠟 3）石灰 4）桐油

試驗結果

氯化鈣混合氣乾，

試驗日期：四月一日至四月四日

平均室溫：23.5°C.

純土	24小時	48小時	72小時	損失量	百分比	平均
26.000	24.710	24.015	23.330	2.670	10.28	10.25%
26.000	24.980	24.270	23.410	2.500	10.22	
加 0.2% 氯化鈣						
26.060	24.980	24.400	23.680	2.380	9.14	9.02%
26.050	24.850	24.310	23.720	2.330	8.94	
加 0.4% 氯化鈣						
26.100	25.025	24.470	23.815	2.285	8.75	8.40%
26.100	25.150	24.580	24.000	2.100	8.05	
加 0.6% 氯化鈣						
26.155	25.180	24.650	24.145	2.010	7.68	7.79%
26.150	25.140	24.610	24.130	2.020	7.72	
加 0.8% 氯化鈣						
26.210	25.160	24.670	24.285	1.925	7.35	7.43%
26.210	25.200	24.720	24.240	1.970	7.50	
加 1.0% 氯化鈣						
26.260	25.250	24.780	24.370	1.890	7.20	7.20%
26.260	25.250	24.770	24.370	1.890	7.20	
加 1.2% 氯化鈣						
26.310	25.435	24.880	24.425	1.885	7.17	7.17%
26.310	25.440	24.860	24.425	1.885	7.17	
加 1.4% 氯化鈣						
26.365	25.485	24.900	24.500	1.865	7.08	7.10%
26.360	25.485	24.890	24.485	1.875	7.12	
加 1.6% 氯化鈣						
26.470	25.605	25.070	24.545	1.870	7.08	7.01%
26.470	25.610	25.090	24.575	1.840	6.95	

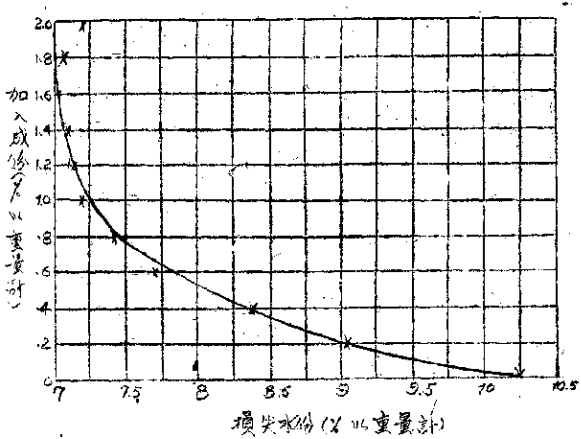
加 1.8% 氯化鈣

1) 26.470	25.605	25.070	24.755	1.715	6.49	7.03%
2) 26.490	25.610	25.090	24.440	2.020	7.64	

加 2.0% 氯化鈣

1) 26.320	25.820	25.180	24.685	1.835	6.92	7.22%
2) 26.520	25.810	25.170	24.530	1.900	7.52	

水份維持劑效能曲線（氯化鈣）
（混合劑）



2. 氯化鈣混合炉乾。

試驗日期、四月七日至四月八日

電炉溫度 110°C、

絕乾	燕乾坩堝之重	損失水重	百分比	平均
1) 26.010	21.320	4.690	18.00	18.00%
2) 26.000	21.320	4.680	18.00	
加 0.2% 氯化鈣				
1) 26.060	21.410	4.650	17.84	17.84%
2) 26.055	21.410	4.645	17.84	
加 0.4% 氯化鈣				
1) 26.100	21.450	4.650	17.80	17.80%
2) 26.100	21.455	4.645	17.80	
加 0.6% 氯化鈣				
1) 26.155	21.410	4.645	17.76	17.77%
2) 26.160	21.410	4.650	17.78	
加 0.8% 氯化鈣				
1) 26.210	21.580	4.630	17.65	17.66%
2) 26.210	21.580	4.630	17.66	
加 1.0% 氯化鈣				
1) 26.260	21.660	4.600	17.52	17.53%
2) 26.265	21.655	4.610	17.54	
加 1.2% 氯化鈣				
1) 26.310	21.710	4.600	17.50	17.50%
2) 26.315	21.710	4.605	17.50	
加 1.4% 氯化鈣				
1) 26.365	21.755	4.610	17.47	17.49%
2) 26.360	21.755	4.605	17.47	

加 1.6% 氯化鈣

1) 26.415	21.808	4.607	17.44	17.44%
2) 26.415	21.807	4.608	17.44	

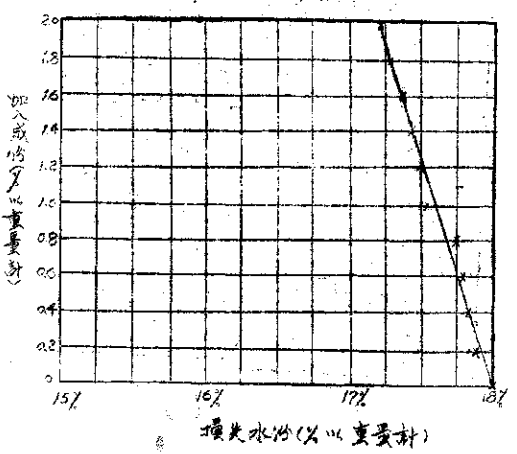
加 1.8% 氯化鈣

1) 26.470	21.880	4.590	17.35	17.35%
2) 26.470	21.880	4.590	17.35	

加 2.0% 氯化鈣

1) 26.520	21.940	4.580	17.26	17.26%
2) 26.520	21.940	4.580	17.26	

水份維持劑效能曲線(氯化鈣)
(混合功能)



3. 石盐混合氯乾：

試驗日期：四月九日至四月十二日

平均室溫：23°C.

純土	室溫氣壓24小時	48小時	72小時	損失水重	百分比	平均
1) 26.010	24.385	23.925	23.410	2.600	10.00	10.02%
2) 26.005	24.325	23.930	23.395	2.610	10.04	
加 0.4% 石盐						
1) 26.095	24.400	24.330	24.255	1.840	7.05	7.01%
2) 26.100	24.395	24.330	24.280	1.820	6.97	
加 0.6% 石盐						
1) 26.155	24.870	24.690	24.615	1.540	6.26	6.27%
2) 26.150	24.880	24.695	24.515	1.635	6.27	
加 0.8% 石盐						
1) 26.200	24.985	24.805	24.600	1.600	6.11	6.12%
2) 26.210	24.980	24.795	24.625	1.585	6.13	
加 1.0% 石盐						
1) 26.270	25.120	25.025	24.905	1.365	5.20	5.26%
2) 26.260	25.135	25.010	24.860	1.400	5.32	
加 1.2% 石盐						
1) 26.310	25.340	25.105	24.970	1.340	5.10	5.10%
2) 26.310	25.335	25.120	24.970	1.340	5.10	
加 1.4% 石盐						
1) 26.360	25.560	25.310	25.110	1.250	4.61	4.61%
2) 26.365	25.570	25.320	25.060	1.305	6.62	

加1.6%石鹽

1)	26.420	25.765	25.500	25.240	1.180	4.45
2)	26.415	25.780	25.520	25.240	1.175	4.45

4.45%

加1.8%石鹽

1)	26.460	25.900	25.605	25.310	1.150	4.35
2)	26.470	25.915	25.615	25.320	1.150	4.32

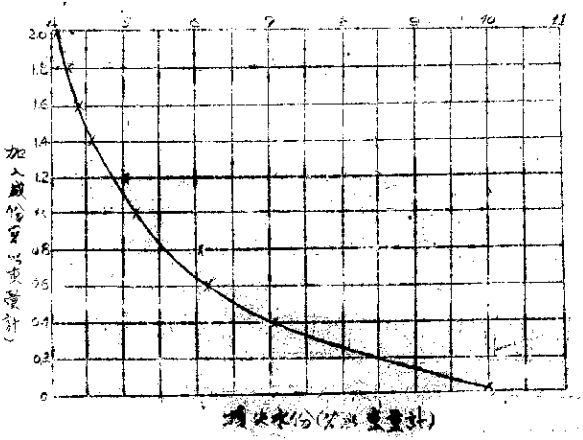
4.34%

加2.0%石鹽

1)	25.870	26.095	25.785	25.400	1.110	4.19
2)	25.870	26.100	25.790	25.400	1.120	4.19

4.18%

水份離特劑之效能曲線（石鹽）
（混合劑）



4. 石蜡混合炉渣.

試驗日期：四月十四日至四月十五日

電炉溫度：110°C.

絕大	炉乾8小時	損失水重	百分比	平均
1) 26.090	21.345	4.695	18.00	18.00%
2) 26.020	21.335	4.685	18.00	
加 0.4% 石蜡				
1) 26.090	21.540	4.550	17.40	17.40%
2) 26.100	21.550	4.540	17.41	
加 0.6% 石蜡				
1) 26.190	21.650	4.500	17.20	17.20%
2) 26.160	21.660	4.500	17.20	
加 0.8% 石蜡				
1) 26.200	21.710	4.490	17.13	17.12%
2) 26.215	21.720	4.495	17.12	
加 1.0% 石蜡				
1) 26.270	21.820	4.450	16.95	16.95%
2) 26.250	21.800	4.450	16.95	
加 1.2% 石蜡				
1) 26.310	21.945	4.365	16.59	16.50%
2) 26.305	21.940	4.365	16.60	
加 1.4% 石蜡				
1) 26.360	22.035	4.325	16.41	16.41%
2) 26.365	22.040	4.325	16.42	
加 1.6% 石蜡				
1) 26.415	22.165	4.250	16.08	16.04%
2) 26.425	22.170	4.250	16.09	

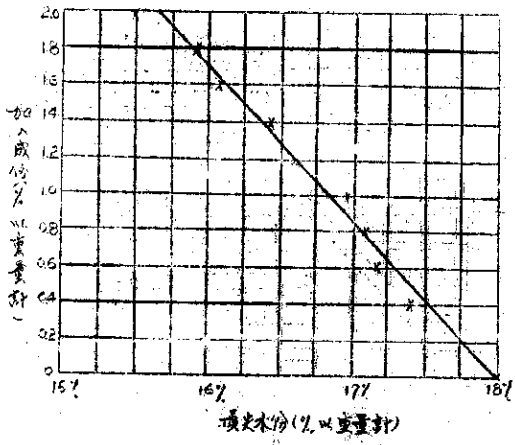
2% 1.8% 冷盐

1.	26.410	22.255	4.215	15.92	15.91%
3	26.455	22.250	4.215	15.91	

3% 2.6% 冷盐

2	26.360	22.410	4.110	15.50	15.50%
4	26.520	22.405	4.115	15.51	

水份维持剂之效用曲线(冷盐)
(混合产品)



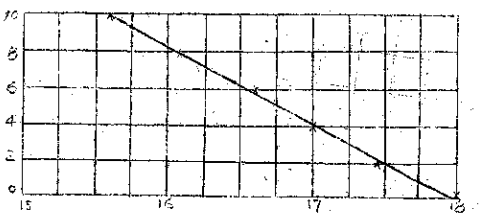
5 石灰混合炉乾：

試驗日期，四月十八日至十九日

窰炉溫度：710°C.

	純土	炉乾8小時	損失水重	百分比	平均
1)	23.995	21.515	4.650	18.01	18.00%
2)	26.030	21.540	4.650	18.00	
	加 2% 石灰				
1)	26.005	21.465	4.540	17.46	17.48%
2)	25.010	21.450	4.470	17.50	
	加 4% 石灰				
1)	26.000	21.580	4.420	17.00	17.00%
2)	25.020	21.590	4.430	17.01	
	加 6% 石灰				
1)	26.005	21.675	4.340	16.69	16.65%
2)	26.020	21.675	4.345	16.60	
	加 8% 石灰				
1)	26.000	21.770	4.230	16.28	16.26%
2)	26.005	21.775	4.230	16.28	
	加 10% 石灰				
1)	26.010	21.940	4.070	15.65	15.63%
2)	26.015	21.940	4.075	15.63	

水的維持效能與量(石灰)
(混合炉土)



石灰混合氣乾

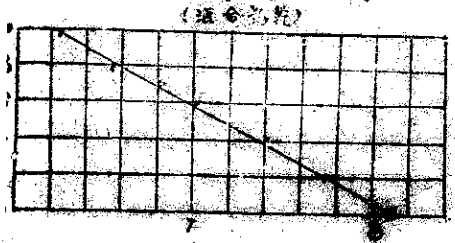
試驗日期 四月十一日至十四日

平均室溫 23°C

龍土	澆後24小時	48小時	72小時	縮水率	吸水比	平均
26.000	25.670	24.120	23.890	2.110	[illegible]	[illegible]
26.000	25.660	24.110	23.900	2.100	[illegible]	[illegible]
加2%石灰						
26.015	25.710	24.320	23.990	2.025	7.77	7.74%
26.005	25.730	[illegible]	24.[illegible]	2.005	7.71	
加4%石灰						
26.020	25.770	24.540	24.110	1.910	7.33	7.40%
26.015	25.780	24.635	24.175	1.840	7.46	
加6%石灰						
26.025	25.800	24.690	24.205	1.820	7.00	7.00%
26.020	25.798	24.720	24.200	1.820	7.00	
加8%石灰						
26.000	25.820	24.800	24.300	1.700	6.[illegible]	6.54%
26.005	25.825	24.760	24.300	1.705	6.[illegible]	
加10%石灰						
26.010	[illegible]	24.910	24.390	1.620	6.24	6.28%
26.000	25.850	24.890	24.360	1.640	6.31	

水份與抗制率曲線圖(石灰)

(混合氣乾)



7 桐油處置：炉乾

試驗日期　四月廿五日至廿六日

電炉溫度　110°C.

純土	8小時	損失水重	百分比	平均
1) 26.000	21.520	4.680	18.00	18.00%
2) 26.000	21.315	4.685	18.00	
浸入 1 分鐘				
3) 26.000	22.110	3.890	14.96	
4) 26.000	22.100	3.900	15.00	14.98%
5) 26.000	22.120	3.880	14.92	
6) 26.000	22.140	3.860	14.82	
浸入 5 分鐘				
7) 26.000	22.100	3.900	15.01	
8) 26.000	22.110	3.890	14.96	14.99%
9) 26.000	22.120	3.880	14.92	
10) 26.000	22.090	3.910	15.04	

8 桐油處置　乾乾

試驗日期　四月廿八日至五月一日

平均室溫　25°C.

純土	24小時	48小時	72小時	損失水重	百分比	平均
1) 26.000	25.150	22.580	22.155	3.845	14.61	14.65%
2) 26.000	25.140	22.560	22.155	3.845	14.64	
浸入 1 分鐘						
3) 26.000	24.400	23.140	22.655	3.345	12.86	
4) 26.000	24.305	23.135	22.665	3.335	12.84	12.85%
5) 26.000	24.405	23.150	22.660	3.340	12.85	
6) 26.000	24.400	23.150	22.660	3.340	12.85	
浸入 5 分鐘						
7) 26.000	24.150	22.650	22.165	3.835	12.99	
8) 26.000	24.300	23.080	22.660	3.340	12.85	12.86%
9) 26.000	24.305	23.075	22.660	3.340	12.85	
10) 26.000	24.295	23.045	22.660	3.340	12.85	

結　　論

在路面上滲入或鋪灑水份維持劑之後，在氣候乾燥之時，可使路面保持濕潤，方塵不揚，結合料損失減少，不易發生蜂穴、皺紋及解體等現象。但水份維持劑之效力，有時因滲透或冲洗而減低，除应于適当時期酌予添加外，其他足以影响水份蒸發之原因，皆宜注意，蓋本空氣所含濕度頗低，水份維持劑之吸收能力有限，故应酌量当地情形，以增減維持劑之用量。最好能在公路沿線，廣植樹木，利用樹蔭，以減少水份之蒸發。潮南者公路多植有桐樹，不僅可以增加公路之收入，且增益風景更見美麗，於遮蔽之冲洗，亦可預防。美國州公路局多有風景委員會專司負責修整道路，雖以風景為主要目標，但於养路方面，同時注意，務使公路美观行旅安適，於去歷之研究，尤不遺餘力。

水份維持劑如氯化鈣、石鹽等因潮解能力頗大，在雨亦時，路面或含水份太多，可于路面上鋪砂一層，以維持劑液之吸收力，或調整路坡及排水設備，以減除多餘之水份。

在理論上，氯化鈣之水份維持能力，應為各劑之冠，但因其吸水能力太大，不易永久保持，一經空氣接觸，即行水化。氯化鈣為製造蘇打所得之副產品，目前吾國尚無大量出產，故多仰給于外洋。昆明市上化學原料奇乏，購買氯化鈣為一難事，經多方探覓，僅獲少許不甚純粹者（因存時太久，其中已含有一部份水份）用作試驗，其結果反不如石鹽（產自在一主港製鹽廠出品）。事實上氯化鈣後盡用公路上之使用，目前機會甚微，日後工業進步，大量出產，一部公路或可採用之。

在本試驗紅土樣品中，摻入石鹽2%（以重量計）可以減少水份蒸發量至百分之二，海鹽溴鮮能力更大，效力自較內地出產之井鹽更佳，產量既豐，价格亦廉，最以上述百分數，每平方公尺路面，每公分厚度，約須0.2公斤。

此類水化能力極大，平均在兩月以上，對于土壤之穩定能力，可以大量增加，除可以維持相當水份，增加細料之粘結力，減少鋪路材料之損失外，尚可使路面在四季時不致龜裂，或產生流塵等弊

桐油性不透水，木份纖維能力自大，如在路面塗刷桐油一層，不但能減少水份之蒸發，且可增加路面車輛磨耗之抵抗，每平方公尺須用油量視路面狀況及所須保護程度而定，在吾國情形普通每一平方公尺，能塗桐油一公斤即可應用，在相當時間，經車輛磨耗之後，尚須加塗，因塗油應繼續保養步驟，非一勞久方法。瀝青及乳化地瀝青油，桐油等，亦為不透水養護路面之良好材料，惟因吾國出產甚微，故目前尚不能應用，本文暫作闕如。

公路道底土壤調查及採取樣品之標準方法

引　言

公路土壤之調查，在新路為選擇路線及設計路面之根據，舊路則為研究路面失敗之原因及其補救或[illegible]方法。近代公路之修築，漸多注意及之，以其簡而[illegible]，收效又大。往往某一公路，如能有一詳細之土壤調查，則在路成之前，可以知所預防；既成之後，可以[illegible]改善之方。故土壤調查，實為修築近代公路不[illegible]之一步驟。調查之方法，及需須之工具，皆極簡單，[illegible]政美正在倡行，在我國則尚屬罕見。土壤調查不[illegible]之用，使我國主要公路，能有一詳細土壤調查，則[illegible]

計及改善，實有所根據。本室特將土壤調查經驗方法，介紹於此，以供國內人士之一參證。

土壤調查之目的及綱要

土壤調查之目的，在使公路工程司，能澈底明瞭下列諸事項之真相，以為選擇路線及設計公路之根據：

(1) 公路平面及豎面位置之最適選定

(2) 適合填土材料之選擇

(3) 公路橫斷面之設計

(4) 邊溝，涵洞及地下排水管之設計及其位置

(5) 道底處治之需要及處治方式之選擇

(6) 路面种類之選擇及其設計

土壤調查之綱要，包括下列三部份：

(1) 土壤縱斷面之測定

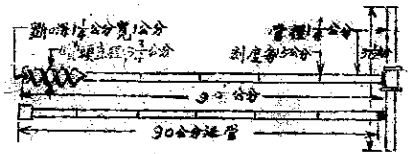
(2) 縱斷面土壤標品材料之採取，以便試驗其物理性質

(3) 土壤縱斷面圖之繪製，以為設計時之根據

土壤調查之工具

土壤調查所須工具，頗為簡便，列如下表：

工具名稱	數量
(1) 土壤探鑽及延長管(每 30公分)	1 套



(2) 小管螺旋鉗　　2個

(3) 小鎬　　1把

(4) 鏟　　1把

(5) 小帆布袋(盛試料樣品之用)　　多隻

(6) 標籤(標明試料樣品之用)　　多張

(7) 繩索　　1捲

(8) 工程用水準儀　　1個

(9) 手準儀　　1個

(10) 三節水準尺(長3.6公尺)　　1根

(11) 鋼尺(長30公尺)　　1根

(12) 硬卡片(30×37½公分)　　1張

(13) 方格紙(寬50公分,每公分10格)　　1捲

(14) 紀錄簿　　1本

(15) 小木樁(5×5×10公分)　　多根

(16) 照相机　　1 個

(17) 膠樣　　多樣

(18) 硬色筆　　多支

土壤縱斷面之測定

土壤縱斷面之測定，宜以实際觀察天然土壤之情形為根據。此种觀察地點兩種，最好在挖土之處，否則以用土壤螺鑽鑽探試孔方法為最普通。試孔之間距，須在20公尺左右，試孔之深度，須在1.5公尺左右，以便能透入均勻不同之土層。土壤之觀察，須按系統進行，尤宜注意下列各項：

(1) 構造　不同結構之各層，或粗細不同之材料，皆須詳加觀察，觀察之深度，最少在1.6公尺左右，每層之構造及其厚度，皆宜分別說明。

(2) 顏色　凡顏色不同之各層，皆須分別註明，並說明各層之情形及其厚度。

(3) 結構　凡結構不同之各層，皆須慎為觀察，所謂結構者，係指土壤顆粒种類及大小而言，並須按照下述結構分類，特別註明各層之状況。

(a) 細粒結構　如極小的鳥槍彈丸之大小，或更小者。

(b)粗粒結構　粒徑大或大於1/4公分者，通常形狀多帶尖角而不齊整。

(c)層狀或板狀結構　類似薄片形狀，多與地層相混乱。

(d)粗鬆彈式結構　乾時裂成多角之碎片，含已变成份甚多之重質黏土，常有此种現象。

(e)單顆結構　顆粒分離，似粉或砂之形狀。

(4)稠度　稠度不同之各層，應証明其粘黏性，脆性，或塑性及各層之厚度。

(5)压实度　各層之比較压实程度，可以葡氏压土針試驗而確定之。

(6)黏結性　压土針貫入之抵抗力，須判定是否因有黏結層之存在而影响，果爾則須証实可能黏結之材料。(顏色之深浅，浅色或紅色及黏結力之强弱)

(7)化學成份　土壤縱斷面各部之化学成份，雖不能在工地試驗，但至少可判定某种特性。工地之查驗，可知某層是否含有有机物質或鹽質鹼類之積聚，所謂有机物質者，係指土壤本身所含有而非浮在土上者，此處有兩点足以注意：

(a)面層土壤之有机物質，多帶黑色，有机物質成份之多寡，視黑色之深淺而定，故在寒帶地帶，黑色土層之厚度，亦為重要之一因數。

(b)通常在冷濕地帶，某种土壤，在深15至30公分以上處，有厚15至20公分棕色或咖啡棕色之有机物質一層。

在順利環境情形之下，鹼性鹽類聚積土內，因此种工作廣泛，而調查土壤之性質，分佈区域廣，故除石灰炭酸鹽以外，其他鹽類，皆可從略。通常含有鹼質易溶解之鹽類，產區面積甚小，可以從略，或僅以鹼質土壤稱之。石灰炭酸鹽之積聚層，易於認識，在每年雨量少於43至46公分之寒冷氣候地帶，及每年75公分雨量之溫熱氣候地帶，皆宜特別注意。在任何乾燥，潮濕或半潮濕之地域內，土壤下層未經風化之材料，可能含有鹽鹵之石灰炭酸鹽成份，但多以此种材料，誤認為純石灰炭酸鹽之積聚層。

在順利環境情形之下，三二氧化物(Sesquioxide)亦能聚積土內，因氧化鋁之積聚，不易為普通工地試驗方法認出，故可不加考慮。吾人可專注意於氧化鐵

之積聚。氧化鉄之產生，有二种方式：

(a)第一方式為極細分或膠質之氧化鉄集合体。積聚之大概程度，可由紅色之深淺而判定之。在土壤縱斷面如有此种紅色層存在時，必須加以注意，雖為量甚少，亦須採取樣品試驗。

(b)第二方式為氧化鉄凝塊之集合体，通常含孔或似溶渣之形狀，此种凝塊，並非指在原本地質層到處可以發現之含鉄石板或砂石層而言。在熱帶地方，凝塊集合体，常為含孔似溶渣塊形之氧化鉄，其深度由90公分以至4½公尺以上，有時成碎片形狀，分散於地面之上層。

土壤樣品之選擇

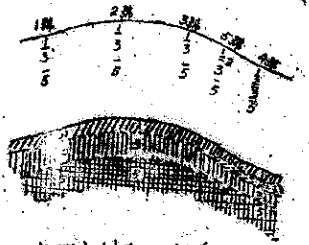
用鋤或鏟在迎坡或試孔中，每層取出土壤樣品2½公斤，分盛帆布袋內，紮緊標明，妥送至實驗室，每層必須取出適當數目之樣品，以確定同一層中試驗結果之範圍。

土壤縱斷面圖之繪製

土壤縱斷面圖細目之繪製，應按照下列方法為之：

(1) 土壤剖面，作隔相近距離，加以觀察，並按上述方法，分為層數。

(2) 各層範圍，繪如下圖，數字表示層數，如同在一排試孔，層數以1，3，5等單數表示，以便在剖面範圍之內，可加入其他層數。在四號試孔，第四層將於第一第三之間，因之在第三及第四試孔之間，須填第一個與第二試孔，(如第三試孔) 以表第二層與第一第三層範圍。如將各層範圍繪出，連線，則可繪一土壤剖面詳圖：



水平比例尺 1:600

垂直比例尺 1:60

舊路道底土壤之調查

選定某段之後，調查工作進行之程序如下：

(1) 將全段釘置測樁，充分利用原有築路之水樁，如不能利用時，可以任意規定樁號施測。

(2) 沿中心線每隔10至20公尺，應施測一橫斷面。每邊測量範圍約為45公尺，中心線及斜坡線縱斷面之高度，須以水準儀量測，準確讀至公分，附近地形則可以手準儀測之。水準基点可假定任何某一高度。

(3) 公路平面圖比例尺為1:600，圖上表示鋪路種類，失敗方式，在舊路上鋪築新路之部份，及其他特殊建築之情形。

(4) 橫斷面之紀載，以同一比例尺繪於平面圖上，並由此繪製等線。

(5) 斜坡線比例尺垂直距離為1:50，水平距離為1:600，繪於方格紙上。中心線之縱斷面，及原有公路之坡度线，即繪於此上。

(6) 土壤縱斷面之繪製，亦須按照上述之程序繪製，其他須紀載者，列舉如下：

(a) 先将边坡括去，使原有未動之材料暴露，以便在摸備縱斷面紙上，繪製各層範圍。土壤縱斷面鑽孔深度，最少須在中心線地度螺90公分至1.50公尺以下，視土壤層及斷斷均勻性質而定。同時縱斷面土壤各層鑽孔水份之不同，亦須特為註明。暴露邊坡各層高度範圍，以手準儀量測，以中心線之高度為其水準點。

(b) 在另一紀錄手冊，詳細說明各層情形，如上所述之構造，顏色，結構，稠度，压实度，及化學成份，並紀錄各層之比較不透水或含孔程度。

(c) 每隔10至20公尺，調查土壤縱斷面各層之範圍，試孔隔距，視縱斷面之均勻性質而定。

(d) 將各土層之範圍，繪於平面圖上，在土質均勻之挖土處，其範圍可由斜坡或之縱斷面。繪成橫斷面圖。如在填土或土質不勻之挖土處，其範圍可以土壤螺鑽經過所鑽孔而判定之。

(e)用鋤或鏟在边坡或試孔中，每層取出樣品2公斤，分盛於帆布袋內，緊紮標明，送至實驗室，每層必須取出適當數目之樣品，以確定同一層中試驗結果之範圍。

(f)路面，道底，边坡，边溝及土層之狀況，在必要時，須用照相表示。

(g)上述收集之資料，須加以分析，與試驗室之結果，推演下述諸問題：

(1)路面情形，土壤實際特點與試驗室中求得物理性質之關係。

(2)失敗可能之原因。

(3)在調查情形之下，可能之補救方法。

(4)將來能應用之預防方法。

新路道底之土壤調查

在調查土壤之前，應將都近土壤种類已有結果，加以研究；如有任何可用之土壤圖，亦須詳加研究；各种土壤之範圍，及其性質，皆須註明。尋常注意者，此种土壤圖所指示之細目，不一定與調查所須要者相適合，但至少可為各种可能變化之

一指示。如無此种資料，在與此路平行之舊路線一平測，調查挖土處土壤改变之情形，詳細說明每种土質，其价值為在地形相同之處，土壤狀況或相類似。凡种初步調查工作完畢之後，詳細調查須按下列方法進行：

(1) 地面線及計劃坡度线之縱斷面應繪於與前述舊路土壤調查之同式紙上。

(2) 在相近之隔距，以土壤探鑽鑽孔並將土壤按前述"土壤縱斷面之測定"所說明者分層。

鑽孔之隔距 ——— 鑽孔之隔距，視縱斷面土質均勻程度及地形而定，此隔距開始可假定為40公尺，此假定之隔距，須按下列情形而改变之：

(a) 如縱斷面土質均勻，隔距可以酌加。

(b) 如縱斷面土質变化不定，中間尚須酌增鑽孔，並要有变化密鑽繪出為止。

(c) 在起伏地形之下，挖填改变甚多，僅在挖土之處，須要鑽孔。

(d) 如原有地面或路面，並以填土材料，除判定其土壤承重能力外，其他無須調查。如填土取

自沿路之借土坑，則須观察至借土坑之全部深度。

鑽孔之深度——鑽孔之深度，通常最少在坡度线下90公分以上，並視下列情形而改变之：

(a)如路基在土壤縱斷面均匀土質層範圍之內，鑽孔深度須至边溝下不透水之第一層，或通過一透水層。

(b)如填土来源取自沿路之边溝，鑽孔最少應至估計之借土深度。

(c)研究霜結作用時，鑽孔深度須至富於霜結集中及地下水面甚高土壤之平均霜結深度。

假定計劃路线在舊路面之上，則可由挖土暴露之處，观察土壤而繪成圖；此种工作，亦須借鑽孔帮助之。

(d)計劃路面表面排水之方向，亦須註明。

(5)由鑽孔探視所得之資料，須繪於所預備之縱斷面紙上，在此圖上，並須標明各种及各層土壤之範圍，深度不同之比較，水份及涵洞及暗渠之位置。

(6)在另一手冊上，將每層土壤之实際性質，按構造、

顏色、結構、稠度、壓實、黏結性及化學成份七項說明，每層之比較不透水及含孔程度，亦須註明。

(7) 按前述採取樣品之方法，採取適量樣品，以作試驗。

(8) 根據類似土壤，氣候及地形情形之已知路面行為，擬路面設計之方式。

(9) 道底合度完成之後，再在梳整之處，作最後一次土壤之檢正。

實例

下例一為新路道底土壤之調查，一為舊路道底土壤之調查：

在新路道底土壤調查圖內土壤形類分為四層：第一層為棕紅色粘質沃土，乾時易脆，濕時易成稠漿。第三層為棕灰色或白斑黑灰色及銹棕色之粘質粘性沃土，或相當緊實之粘質黏土，其壓實度與深度俱增，乾時易脆，濕時塑性頗高，但此層之壓實性質似並不能減少其滲透性。第四層與第五層頗相類似，但含有大量0.6至2.5公分之礫石，大多成份，在2與3公分之間。礫石之存在，似不影响顆粒之結構或其性質，

乾時發生收縮裂縫現象，以致土塊與礫石分離，此層並含有棕色或棕灰色之緊實黏土，介於第三層及第五層土質之間，乾時收縮性甚強。第五層為有斑點藍灰色及銹棕色，堅而黏著之土，含有濕處表面之尖角顆粒。形狀不整齊而易於碎裂，搓捏時成一油灰似之稠度。在上層90公分處則甚濕，逐漸混合成一稠密易塑塊狀結構之藍灰色黏土。因水易透入顯明之裂面，故此層能使水向下流之動向遲緩，但仍不能全部阻塞之。全層到處皆可發現白色凝塊及黑色銹棕色及血紅色斑點。此層材料並含有多量石灰，收縮性甚大；乾時裂成寬縫，經曬霽後，大塊則分化裂為小塊。

新路道底土壤性質試驗之結果如下表：

机械分析							
號數	層	顆粒小於下列粒徑之百分數					
		2公厘	0.5公厘	0.25公厘	0.05公厘	0.005公厘	0.001公厘
16	1	100	100	98	90	28	19
17	3	100	98	96	85	19	14
18	4	53	49	44	42	19	13
19	5	100	98	96	89	70	50

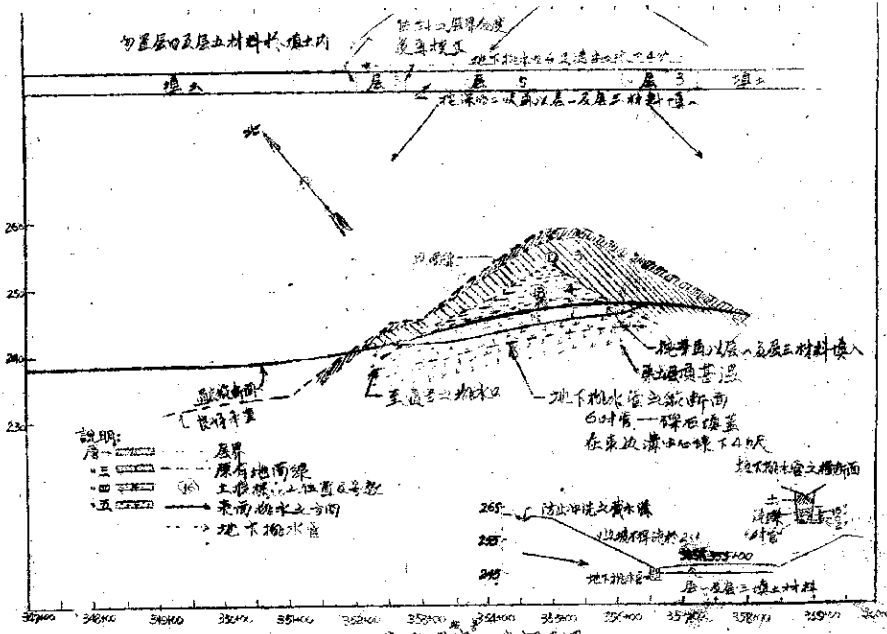
通過0·5公厘篩網之物理性質試驗

號數	層	篩網通過	篩網留存	收縮 限度	收縮 比	濕度當量 離心	濕度當量 野外	級屬
15	1	38	16	23	1·7	29	31	A-4
17	3	27	18	18	1·7	35	22	A-4
18	4	53	34	1[illegible]	2·0	53*	33	A-7
19	5	101	71	1[illegible]	1·9	93*	58	A-7

* 水漫

第四層十八號樣品含有紅礫

由上述試驗之結果，得知第一層及第三層土質，皆為良好填土之材料，凡遇第四層及第五層時，則須[illegible]之後，再以第一層第三層之材料填入。如新路路底之修築根據此点，則將未踏兩層之路，不致有任何因道底之不良而失敗之情形，此為新路道底土壤調查預防失敗之一實例。


填土
層 1
層 5
層 3
填土
說明:
層界
原有地面線
土樣號碼及位置編號
東面排水之方向
地下排水管
地下排水管之橫斷面
防止沖洗之護木牆
地下排水管
層一及層二填土材料
265
260
255
250
245
340+00
345+00
350+00
355+00
360+00
365+00
370+00
375+00
380+00
385+00
390+00
395+00
400+00

新路道底土壤調查圖

(2) 舊路道底土壤之調查：

舊路路面寬度為18呎(5.5公尺)，路拱2吋(5公分)，混凝土混合為1:2:3，粗混料為碎石，二十八日之壓力每平方英吋為3,230磅(227公斤/平方公分)，濕治方法，拌和2%氯化鈣。每邊路肩寬4呎(1.2公尺)，路面种類為混凝土鋪路。自站號97+00至108+88，混凝土路面中厚6吋(15公分)，邊厚7吋($17\frac{1}{2}$公分)，膨脹縫寬$\frac{1}{2}$吋($\frac{1}{4}$公分)，隔距約30呎(9公尺)，附有鋼條連繫，並在路面下2吋(5公分)佈有網式鋼筋。自站號108+88至112+50，混凝土路面中厚6吋(15公分)，邊厚9吋($22\frac{1}{2}$公分)，中線縫為鋼板槽式，膨脹縫寬$\frac{1}{2}$吋($\frac{1}{4}$公分)，隔距約50呎(15公尺)，附有鋼條連繫，但無鋼筋之佈置。

舊路之情形既如上述，調查此段土壤之目的為：(1)此段混凝土路面歪曲之成因，是否與道底土壤之性質有関，及(2)將來鋪築路面於類似道底之上，何种預防方法，可以避免此种同樣失敗發生。

根據試驗調查結果，縱斷面可分為1，3，5，6及7層：第一層平均厚度約18吋(45公分)，為淺棕色以至紅

色或灰棕色之柔軟淤質沃土，細丹結構，並含有黑色及棕色鐵質凝結塊。乾時易脆，濕時易成稠漿，其性質類似A－4土壤。在此層下部10吋(25公分)處，灰棕色之土質更為顯著，其性質約與第三層類似。第三層土壤，並部10吋(25公分)處，與第一層土質類似，但遠較密結固實，亦含有大量深棕色及黑色鐵質之凝結塊，此層土質，大部為棕色及灰色帶有斑点之淤質黏性沃土或淤質黏土，乾時易脆，濕時塑性甚高，其性質較第一層更與A－4土壤類似。此層之固實程度，隨其深度而增加，但無論压实程度如何，其滲透性仍然存在，直至約5½吋(14公分)處，所含水份較高，可引入第五層之尖角結構，第五層為棕灰色帶有斑点之重質塑性黏土，顆粒有尖角之結構，表面濕而光潤，直徑約等於或大於⅛吋(0.3公分)。此層甚濕，滲水迅速，一部帶有紅色斑点，其性質大部屬於A－6類土壤，但如含有適量之鈣化合物，則類似A－7類土壤。第六層為藍灰色帶棕色斑点而極黏著之黏土，屬於A－7類土壤，其深度約在地面下9呎(2.7公尺)。在挽土處其結構亦多尖角，土

塊最長者可至$\frac{1}{4}$至2吋(0·6至5公分)，密結而有纖維之結構，類似油灰稠度，易於裂碎。此層之透水速率遠較第五層為低。第七層之深度，約在地面下10呎或11呎(3公尺或3·3公尺)，為藍灰色而黏着密結之頁土，含有黑色及褐色斑點。在掘土處，類似層六，土塊之結構呈纖維狀，易於碎裂。此層滲透性低，吸水性強，乾時收縮甚大而易於水化，屬於A－7類土壤。

由此五層採取樣品十种，其試驗之結果，列如下表：

土壤之机械分析

號數	層數	小於下列粒徑之百分數					
		2公厘	0·5公厘	0·25公厘	0·05公厘	0·005公厘	0·001公厘
1------	1	100	98	97	86	23	12
2------	3	100	97	95	93	27	15
3------	5	98	92	89	89	36	16
4------	6	100	100	99	81	43	17
5------	1	100	100	97	93	72	47
7------	5	100	100	99	98	74	(1)
8------	(2)5,6,7	100	100	99	92	(1)	--------
9------	(2)5,6,7	100	99	97	91	(1)	--------
10------	(2)5,6,7	100	98	97	90	(1)	--------

1. 凝結　　2. 填土

土壤之物理性質

（通過1/4公厘篩網）

號數	層數	液體限度	塑性指數	收縮		濕度當量		級別
				限度	比	離心	野外	
1	1	39	17	20	1.8	31	31	A-4
2	3	45	22	22	1.7	37	35	A-4
3	5	50	33	12	2.0	(1)50	34	A-6
4	6	85	51	12	2.0	(1)98	52	A-7
5	7	112	77	11	2.0	(1)125	71	A-7
7	5	98	64	12	2.0	(1)98	59	A-7
8	(1)5,6,7	102	67	12	1.9	(1)101	70	A-7
9	(2)5,6,7	104	72	13	2.0	(1)92	60	A-7
10	(2)5,6,7	76	44	12	1.9	(1)95	59	A-7

1. 未濕　　2. 填土

此段公路之情形甚壞，在經過第五，六及七土層地帶，路肩濕軟，平滑有深至混凝土路面下部4吋(10公分)者。边坡被冲洗，電杆多，兩後泥土下滑，阻塞边溝。下表(1)所指縱向歪曲之定義，為路肩至曲度後混凝土板面端平均高度與路中心線中点高度之差值。下表(2)所指橫向歪曲之定義，為原有2吋路拱與在橫向接縫處現有路拱之差值。無論橫歪或縱歪，凡小於0.03吋者，皆不在圖上表示，亦不列入下表計算其平

均值，下表(3)為縱向及橫向裂縫之分析：

(1) 中心線之縱歪

層數	長度(呎)	總歪(呎)	最大歪(呎)	混凝土板數	歪板數量	歪板百分數	每板平均歪值 根據歪板數(呎)	每板平均歪值 根據總數(呎)
5,6,7----	497	1.50	0.18	16	12	81	0.12	0.09
5.6,7填土	664	.97	.10	21	16	76	.06	.05
3(中段斷面)--	311	.04	.04	6	1	17	.04	.01

(2) 自中心線之橫歪

層數	縫數	總歪(呎)	最大歪值(呎)	平均歪值(呎)
5,6,7----------	15	3.03	0.23	0.19
5,6,7填土----------	23	2.78	.15	.12
3(中段斷面)----------	5	.64	.13	.13

(3) 縱向及橫向裂縫

層數	長度(呎)	縱數	橫向 數目	橫向 長度(呎)	橫向 每板寬度(呎)	橫向 平均板長(呎)	縱向 長度(呎)	縱向 百分數	縱向 每板長度(呎)
5.6,7----	497	16	8	147	9	21	225	45	14
5,6,7填土--	650	21	5	89	4	25	269	41	13
3(中段斷面)--	311	6	9	162	27	21	------	------	------
3(中段斷面)--	81	1	3	58	58	13	------	------	------

根據土壤調查所得結果，可摘要列述如下：

(1) 寬18呎長30呎混凝土板，縱向及橫向最大之歪曲多在第五，六及七層挖土之處。在兩樣土層接土之處，其歪曲則較較小。

(2) 在第一及第三土層有中心縱縫及長50呎混凝土板之歪曲程度，遠較在第五，六及七土層寬18呎長30呎混凝土板者為少。

(3) 寬30呎長30呎混凝土板，如不直接鋪築於第五，六及七土層之上，而中隔以數呎之良好天然砂土，其歪曲可以減低。

(4) 縱向裂縫之發生，僅在無中心縱縫之混凝土板，或由膨脹縫開始之短裂口，或竟延長至混凝土板之全部長度。無論何種情形，此種縱向裂縫，大多在橫向接縫鋼條之上。有時一部在接縫一邊鋼條之上，一部在接縫其他一邊第二鋼條之上。

(5) 長50呎混凝土板之橫向裂縫較長70呎者為多，縱橫裂縫發生最多地方，皆在鋪設於第七層或者五，六及七層挖土處無中心縱縫之混凝土板。(站號104+50至106+50)

(6) 在混凝土板垂曲最多之處，縱向裂縫並不重要，雖有數處接縫，寬至2吋，但在鋼條之上，並無任何裂縫發生。

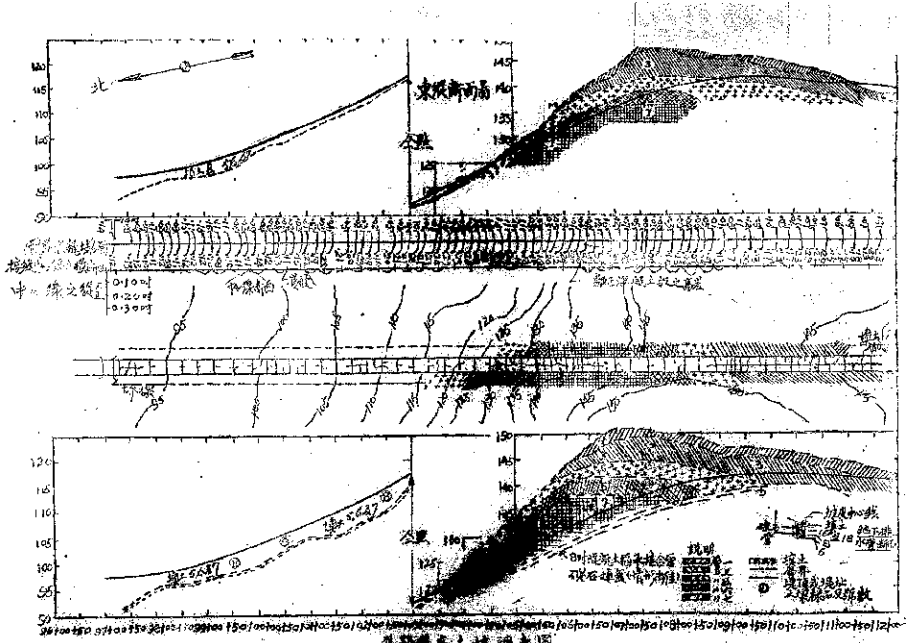
(7) 縱向或橫向裂縫皆不甚寬，其原因係鋼線鋼筋能預防裂縫分離之故。

(8) 道底土壤甚為軟濕，如自膨脹縫將填縫料取出之時，則道底土壤所含水份，升至路面頗速。

(9) 設置之地下排水管，雖能將雨後大量雨水排減，但仍不能避免混凝土板之移動或預防道底之潮濕。

(10) 在第五，六及七層挖土之處，塌方問題頗為嚴重。其一鐵路公司，曾在此區細察五十年之紀錄，其結論為除將道坡改為1與百之比例外，如用此三層土壤填土時，其結果必不良好。

下圖表示長1650呎此段舊路道底土壤調查之詳細情形，除土壤縱斷面外，混凝土板之垂曲及縱橫裂縫，皆繪於上，為一良好之實例。


北
東坡衝刷面
公路
中心線之鉛直
0.100吋
0.200吋
0.300吋
公里
現時
現石堆積(清水河)
土
石
現有
現有鉛直線位
之坡線之及坡數

進路橋處之地質剖面圖

公路研究新聞

(三)

英國之公路研究

英國科學及工業研究所公路研究委員會於一九四〇年一月二十二日發表一文，綜述公路研究實驗室之內容及工作情形頗詳，茲擇要綜述如下：

在此期內，試驗室所佔面積擴充至十六英畝，因此可以進行達第二十呎長之特殊滑軌，應用此種滑軌可以研究路面之抗滑係數，數諸在普通公路上研究者，更為便易，並可以校驗路面研究儀器，並可以校驗運輸部及各地應用之瀝青機械。

實驗試驗——該委員會对於室內試驗之結果深加注意，並隨即依照進行實驗，例如室內試驗利用酸以減少混凝土路面之滑性，現已實際進而作實驗之試驗，其結果且已証明實驗試驗方法之適用及經濟。

用化學物以防治凍結之混凝土路面，目的在使其中冰塊溶解而不傷及混凝土之不良，早已在試驗室內得有相當成効，今且作實驗試驗，更証明成功。

關於瀝青粘結料之耐久性，早已在室內試驗，今

且实地試驗之於野外路面上，以期與室內試驗結果互相比較。

試驗室內還計划用樹油橡皮混合物，以為路面表層或保護層之粘結料，現已進行实型試驗。

並用地瀝青以為各种片式或板式路面之粘結料，於柯尔恩布濱克小路上实地試驗，目的在求地瀝青之物理性質对於路面耐久性之関係。

应用簡单室內試驗原理，以設計瀝青混合物之方法，現已感覺必須搞大实型試驗，此項試驗之初步設備已與運輸部合作办理。

該委員會又與木材青展委員會進行合作实地試驗之作，目的在改善木塊路面之抗滑力。

其他室內研究與实型試驗之作，尚包括生鉄路面設計法之改良，蓋此种路面可使兩壓擦阻力係數由0.25增至0.45。

總之，室內之研究，現已逐漸發展至实型之試驗，此足以証明研究之作現已由純試驗階段，發展光大而與人民接觸之实地表演階段。該項实型試驗

之質與量，將來必須工作上之指導而更加增進。

土壤之調查——在修築試驗路之前，要實含曾與運輸部合作先引導施行路床土壤之調查，數年來之經驗，足以證明該項調查之價值。因此運輸部決定，以後在其修築各新路線之前，決先大量實施路床土壤之調查及研究。过去一年間有七條新路已有此項調查之實施，將來路床土壤調查之價值，必為沿路土壤情況之調查，全部路線，

填土洗滌問題，亦正繼續研究中。但研究時間相當过短，故不能得一精確之結論。此本問題有連帶密切之關係者，厥為試驗機械方法以压實土壤之效率問題。本問題多在試驗室內研究之。此种机械压实方法，僅能挑除土壤中空隙之空氣，而不能挑除其中之水份。因此实施压实之程度，遂極有限制。而压实填土所应用各种机械方法之价值之比較，遂為重要問題之一。

標準試驗師——試驗混料級配須用標準師一套，各師孔徑之可許誤差，亦經[illegible]

加以研究，曾經採集数种商產混料樣品分析之結果証明：如增加標準篩之篩号数目其結果或不較爲準確，因此現行应用之試驗篩正合適用，不必使之更加複雜化，此意見已由英國標準研究所採納。

試驗室对於測驗混料之形狀，亦曾研究出適当之方法以試驗之，研究所且已採用之矣。至編号混料之級配，試驗室曾經研究用兩個同樣常規表示之，此对於燥期燥石及石屑之級配，尤有貢献，蓋利用各級不公尺寸之燥石與一定号尺寸差異之全樣限度，以標明之。

瀝青路面材料——試驗室对於瀝青路面材料之設計，亦加以研究，結果得出数种試驗路面性質之基本原理，一年來在杭州思佰濟路小試場上已設有各項試驗之初步設備，目的在校对設計原理之是否適当，故本問題已由室內研究進展至实地应用之重要階段。

關於柏油路面之耐久性，对於柏油路面耐久性之關係，委員會曾與英國道路研究

員會合作研究之，為此用的，且曾選用多數不合方法製成之柏油，其中包括柏油之摻加少量瀝青物者，以之供給國內各地應用而現案試驗之關於瀝青料之分級問題，委員會商共地瀝青道路委員會合作研究之，並曾摻選紙常材料以為試驗，其結果更可得出：影响普通瀝青材料性質之因素數种，混合物之机械性質，亦曾並以試驗，結果研究出影响此混合物性質之主要因素為單位應力下之形變速率，塑流指數（與流速及應力有關係），形變之溫度係數，及伸縮性。

氯化橡皮柏油混合物——關於氯化橡皮柏油混合物之實測試驗，委員會已與英國橡皮工業研究委員會及運輸部的机關合作進行實施。前期報告中已述及之。此种實驗試驗結果與室內試驗研究結果相互証明：此种材料之應用須要特殊之技術，蓋氯化橡皮及柏油混合物之製造方法对於產品之性質大有關係。例如：先加氯化橡皮於柏油中混合之，再加鹽剂，以得到滑膩

之勻度，其產品之性質，與先將氯化橡皮加入鹽酸劑後，再與粉細混合者，大有不合，蓋前者之彈性較後者小甚多也。

滑性試驗——路面與高速車輛下所生滑性之試驗委員會於本年內當已設計一種儀器試驗之，試驗時逐漸增加車輛之速度，直至每小時二英哩之最大速度為止，結果發現其速度增加，則向前力係數要漸減低，又溫度之影响於輪胎之硬度，及溫度之影响於路膠之滑性，亦至為重要，現正與某某之消化試驗結果，希望能與小型滑性試驗儀試驗結果有所區別，此區別為何，即表明小型滑性試驗儀之結果，不能代表公路上之實际情形也。委員會與運輸及交通簡廣場兩机關通力合作之研究工作，对於公路安全問題，亦有研究焉，蓋其目的在求保障倫敦街道之路面情形（向前力係數）與意外事變記錄之關係

<u>約翰霍普金斯</u>公路車輛及氣候之統計資料亦正繼續研究中，結果得出小路（路基寬度30呎）

1942年

合订本

公路月刊

合訂本

公路工程研究刊物

公路研究實驗室編印

公路月刊合訂本目錄

譯著：

介紹：

序　言

公路工程總處與國立交通大學合組公路研究實驗室，自創辦迄今，已逾兩載，其研究實驗成績，彙作叢文不時，陸續印刷發刊，供國人之參證利用。因篇幅無多，不足以涵括各方之案閱。故精選加深編，當時制刊，主其事者率發表議論，闡明原委，亦從事公路事業廿餘年，測驗報告，又何敢以不文辭。

交通建設，關係國防經濟文化，其性質之重要，至使時人將鐵路公路系統，比擬為人體之血管。抗戰以前，　領袖以「軍事第一，鐵路第一」之旨，號召國人，而縣凡物質之流通分配，人員之發集補充，悉屬軍事勝利所需，莫不交通便捷是賴。是以西南西北各省，在過去四年中，公路之修築，進展特速，迄於今日，雖方興未艾。蓋以時間及代價經濟前，公路實為目前交通所最關要之建設也。

惟是公路工程學術，屬於實用技藝之範圍，其進步及發展，實有賴於實際之探索。而一公路之造價，動輒千萬元，關於所用材料之是否適當？建築之是否得法？須歷經年累月，始克獲得比較確定之結論，當此抗戰緊張期頃，豈容從容坐待。公路工程總處有鑒於斯，特與國立交通大學，合組實驗室，從事有關公路之各項試驗，期以最短之時間，花最低之代價，獲得與施工有直接關係之寶貴經驗，庶得隨時利用。本篇及續，僅係年來所得成績之一部，其結論尚待研究，雖經自審，或嘗請內外專家加以指正，倘能引起各方對於公路試驗之普遍興趣，使公路工程學術之獲大進步，則光所應垂以預者矣。是為序。

中華民國三十一年元月公路工程總處處長（兼公路試驗所所長）錢江勛謹識

引　言

抗戰軍興以來，我國公路，交通運量驟增，地位日趨重要。昔日之公路，質量兩方面，均感不能維持，因之改善公路之呼聲，甚囂塵上。八年抗建期中，公路所負使命之重要，事實昭著，已爲吾人所公認。如何改善公路，使能發揮其固有更大之效能，以期在軍事運輸上，表現更偉大之貢獻，實爲從事公路事業者更重大同盟負之責任。改善之方式，實根據科學之精神，由研究正途而進行。隨美各國，公路之研究學風甚盛，倡導先力，以期理論，奈國四十八州之中，設有公路研究實驗室者凡四十三州，集專家及技術試驗人員千餘，專心致力於公路研究與實驗之工作，其外各公路實施機構多能與著名工科大學密切合作，互通聲氣，互相聯系，使學術與技術連成一片，以收事半功倍之效。而「知」與「行」，如能獲得密切連繫，不致有「知者不行」及「行者不知」之現象。美國公路事業之發展，能有今日如是之成績，研究風氣之普遍，實有以致之。（請參閱本刊內"國防應用科學公路研究之介紹"，"美國公路研究機構概況"，及"美國大學應當研究概況"三文。）

本室成立於民國二十八年之冬，爲交通部公路總管理處及國立清華大學工學院合辦，設備是明，名爲公路研究實驗室。至三十一年七月，公路改組，公路總管理處改隸運輸統制局，公路工程處隸交通部，本室工作繼續進行，未當一日中輟。在我國學術與實施機構合作研究公路技術問題，當以本室首得其率。當茲抗戰期中，充分利用國家原有之設備，實爲比較經濟及有效之一舉決。三載以來，本室承公路總管理處及工程處，公路工務總段廣東廣西兩分處及清華大學工學院施齊良教授與指導之下，研究工作，得以順利推進。研究及實驗之結果，曾分期印發本室出版之刊物公路叢刊上冊及公路月刊十九期。倘以各方要求本室刊物之迫切需要，原印數量，不敷分配，後覺根據印發公路叢刊及公路月刊合訂本南疆，公路叢刊合訂本業於三十一年六月出版，當茲公路月刊合訂本出版之日，正值公路返歸交部之時，爰爲引言，藉以自勉，並盼我國公路界先進，多予指正，則幸甚矣。

李謙敏

國立清華大學公路教授

公路研究實驗室主任

抗戰中我國公路應有之政策

李謨熾

自廣州武漢陷落後，抗戰轉入一長期戰，等一之學說，鐵路交通生命線，被敵人截斷者甚多。吾輩生意以爲今後軍事接濟，發生困難，除不如靠後國家，乃由地轍及廣泛游擊運動戰。當江南淪陷，學校及工廠遷西南，西北及內陸一帶地勢，山嶺迤伏，重兵器不易施展，由運輸及游擊之以輕兵器爲主，重兵器次之，輕兵器之運輸，公路是能勝任。西南各省鐵路網雖未完成，然經陸年來之努力，公路建設，尚稱發達。國際路線，西北有西陽中蘇公路；西南有桂滇、滇緬公路；各省聯絡幹道，有粵鄂、贛滇、川桂、閩桂、湘桂、川滇、川湘、粵贛、湘鄂、桂滇、川鄂；陝甘等公路貫通。今後軍運，除利用少數水道航運外，將大部軍公路是依。雖公路運輸成本遠較鐵路及水路爲高，當此非常時期，經濟與否，不遑計及車。公路之使命，既如是重要，故今後政策，宜特別加以注意，並分爲財政，工程，及運輸三方面討論之。

財政方面

以桂公路論說，其經費所限，故多因陋就簡，不能早極發展，其財源亦頗困難，主要者分爲中央，省庫，地方，及借借款及營業淨利五種：中央方面：除中央撥借外，有軍政之補助，全國運輸委員會之貸借；省庫方面，有各項稅收之附加，如田賦及鹽稅等；地方則由各種或附徵捐工款，地方費助，及徵工錢料等；公債借款則有建設公債，鐵行借款，汽車公司借款，抵押借款等。在抗戰期中，國家財政艱云窘困，然公路之整理與建設，爲急不可緩之事業，其重要不亞於軍火之接濟。若無良好公路，軍事運輸將有陷於停頓之虞。運輸與給養，亦有關係，而且英屬法作戰，其影響戰局甚遠。戰時人民財力日低，如由抽出稅款當劃，而得信用，又當時日，敵日窮公路財源，個個由中央或省府直撥巨款，間接由英美貸款中運用，如經濟公路，以期達成。好在建築公路材料，大都取諸本地，公路用費，不致發生困難問題云。

工程方面

（一）若要西南及西北各省公路里程量不甚多，然除道路已大致成就，今後急需問題，不在公路里程之增加，而在改良與整理已有之公路。蓋以桂修築公路，固於財力，限於人才，多係徵集民工或軍工及舉義成，未遵建設各種工程之標準，故路線之設計，多未完善，車行危險，在所難免。路面寬度亦多不及六公尺，不能容載重汽車來往通過，經過山嶺多用「之」字彎轉過，等用度道。如三塘經常發現中之小圖路線，用長約一公里之字線繞過，坡度達百分之九。五，最小半徑爲一五公尺。雖經規用全國經濟委員會公路勘工程準則，然仍未遵照百號，並未遵照準之規定，本應過低：「最小平曲線半徑，平地爲五十公尺，山嶺地爲二十五公尺；最短視距，平地爲一百公尺，山嶺地爲六十公尺；最大坡度爲百分之六，但遇特殊情形，得增至百分之八，惟其長度不得過二百公尺。」即使全國公路，均有技術規定如此，亦不能成任大量之軍運，遑論知今後行駛公路上者，非如昔日縣浙閩公路每日平均三十四輛之二噸左右乘人汽車，乃有輛以至數百輛之三噸以至十噸載重

汽車。故首先問題，應將要有路線積極改善整理，減低坡度，增加寬度，牛徑與轉彎，增闢隧道，取直路線，在某一段如有需全部路線改定之必要者，亦應實施。建築路線，不宜密集一面山坡，但短距離之惡劣，宜依山勢遷就，盡量減少回頭彎道與上下坡度，增加曲線半徑，以增進行車之安全與速度。軍運人馬輜重，亦不致密集一處，減少交戰時遭炸及掃射之損失。凡危險山道，寬道及堤上高於一公尺半者，均宜添設護欄。據民二十一及二十二兩年度江西省公路行車里程統計，平均每日駛入溝渠者共計八十八次，為行車發生翻覆總數百分之三十五。據民二十四年全年蘇浙皖贛區運輸七省市汽車里程翻覆因，因於道路者一百零三次，佔總數百分之十七。苟定線方面不能改善，將來軍運繁重，因誤車翻車傾火及給養之損失，恐難戰局，實無法估計也。

（二）路面： 戰前吾國公路上路里程，約佔百分之八十，其餘百分之二十雖稱具路面，不過砂礫，卵石，碎石，或煤屑而已，踏壓過薄，鋪者路面有僅厚九公分者，一遇重車輾壓，便成粉碎。取材既不講，配合又不佳。至於高中級路面，僅在極少數城市中偶見之。目前急需全部公路鋪設路面，使成四季暢達之路，無論晴雨，皆可通車。路面種類，自以瀝青，石塊，混凝土及各式運河路為最佳，吾國財力有限，又為時間所迫，欲將全部公路改成高中級路面，勢非所能。除一部份產石區域可採石塊或石板鋪路外，宜極力研究改良土，砂，礫，碎石路石法，特別注及土壤固定，調配，配合，取料，築路及養路方法諸方面，加以研究，往往同等路面，其結果懸殊。例如砂土路，本為砂，淤泥，及黏土之混合物，如配合不當，級配不佳，混合不勻，則失其固有之良好性質，類似此者甚多。總負責公路工程者，急謀有以改良之。

（三）養路： 大凡路面建築費愈低，所需養路費愈高。混凝土路與瀝青石路建築費為四與一之比，而養路費則為一與七之比。戰前吾國公路建築費低廉，砂礫路面每平方公尺不過八角，寬六公尺之公路，每公里不過三千六百元之譜。對於養路工作過於疏忽，既缺乏技術人才專司其責，老練工人為之，所費無幾。以公路運輸較繁之蘇浙二省，據民國二十三年統計，江蘇省平均每年每公里養路費為九十元，浙九百三十公里長公路上，養路工人共計不過三百九十七名；在完成路面公路，每一工人需養一公里至一公里半，每年每公里費用自一百三十二元至二百二十八元；至土路各線，每一常工需修養五公里至十九公里之長，每年每公里費用僅十元左右耳。民國二十二年度浙江省養路平均費用為每年每公里二百四十八元。湖南二十六年度預算每公里養路費用一百五十五元，以建築費低廉之低級路面，而又不注重養路工作，欲求其勝任重與之軍運，決非可能。無怪乎車輛深陷，顛馬不平，路況不能維持，排水不易，車自顛簸，既損車輛，又有毀車之虞。雨後泥濘，無法通行，軍運停頓，影響實鉅。自各路設有運成或市養路工程處，指定專門人才，專司其責，增加養路經費，充分利用近代化養路工具，訓練大量技術人員，此為急不容緩者也。

（四）橋樑： 各省建築橋樑，以經費有限，輒自無適多造小橋，少造大橋，遇與道較寬時則採用渡船。大部份橋樑為鋼骨木橋，因橋式不同，故其設計之載重亦異，甚至同一路線，而橋樑載重有五噸七噸半與十噸之分者。故對於行車安全及軍運，發生嚴重問題。雖經各省分期改造，然未免遲慢。當蘇軍運繁重時期，應將全部橋樑改為永久及半永久

二式。看尚未完多整工之前，未足發揮戰鬥力，應將每種數目明白標示，以策安全。再各省河渡，亦宜一律改建橋樑，蓋河渡之存公路，如疏之存頸，公路交通容易，勢必為少數河渡所支配，往往一車渡河需一二小時者。按湖北全省汽車渡河地點計二十二處，約每一百四十公里有河渡一處。而浙贛線計不過三十七處，約每一百三十公里有河渡一處。廣西全省公路車渡共計三十處，渡船共計四十四隻，約每一百三十公里有河渡一處。在平時交通稀少，及時間無關緊要情形之下，尚不發生嚴重影響，但在軍運「救民如救火」時期，前線或發退，其補救情形，不堪設想。再軍隊輕重車輛自組浮橋渡河，不能時間不經濟，尤易為敵機攻擊目標。現在應不惜巨資、、以運輸重要河渡首先建橋樑，以期早日完成。

運輸方面

（一）運輸機關：吾國各省公路組織機關各有不同，有屬單純設置者，如江蘇，湖北，河南是也，有獨立成局或處者，如湖南，安徽，雲南，江西，廣西等是也。名稱各立，組織互異，不惟平時感受行政上之不統一，在戰時若無統一最高機關，指揮調度，難收整個運輸之效用。故宜組織強有力總管機關，將全國公路網，劃分若干管理區域。不僅組織統一，權力集中，整頓工作。易於進行，尊觀念及舊和組織，亦可化除，調度靈運，皆稱便利。中央有鑒於此，故在戰事發生後，將各國經營委員會公路處歸併交通部，改稱公路總管理處專司監督工程及計劃之責，其他尚有交通部西南運輸管理局滇緬公路運輸管理局及軍事委員會西南運輸之成立及原有之西北國營公路管理局之擴充，最近又有行政院水陸運輸聯合委員會之成立。

（二）車輛統制：吾國公路交通工具，素感缺乏，戰前全國汽車總計不過四萬五千輛，而集中於城市者，約佔百分之五十五，即上海一市佔全數百分之三十七。故實際能行駛於公路上者甚數無幾。戰事發生後，軍運及疏散需大批車輛，故交通工具尤感異常缺乏，雖各方面雖盡尚美美購買汽車數千輛，仍不敷用。最近英美借款成功，一部份款項，係專作購買汽車之用，今後當組織購買汽車委員會，以期運輸車身情況與零件，務使標準化，以便修理及配件之補給及支配之劃一。實在英美經濟資源中選擇一種耐久價廉而能經受顛簸及操縱之三噸以至七噸載重汽車為標準，萬不可因其美觀與流線式。蓋行駛於我國公路者，以機械簡單易於修理之舊式車輛為宜也。吾國素用汽車，廣州，寧波，蘭溪，蕪湖，萬國牌，大衆天，福特等牌號為多。究以何種為最適宜，應有詳細研究，且較以往或續而決定之。在抗戰期中，應將全國交通工具總動員。汽車方面：除大批購置外，應將私人汽車徵用或勸其捐助與政府，或給價組織，公用車輛禁私人利用。此外並發運我國固有之人力獸力，最近馱運管理所之成立，即此故也。

（三）燃料統制：汽油燃料，全係美英輸來品，因沿海被封鎖關係，輸入不易，至於輸送至內地及前方，尤感困難。應本「一滴油一滴血」之格言，嚴格統制，節省耗費。不許假公濟私及私人購買，不得擅自耗費。油料之貯藏，亦急宜解決。需求供給運輸迅速，及免發汽車本身損耗汽油之不經濟，宜在汽車運輸公路沿線，約每隔五十至一百公里，於車站附近各處地帶，建築地下堅固油庫，妥為保護。在平時除積儲汽油用桶稱輸送儲藏，以策安全及便利。

公路在軍事運輸上之價值

李 謙 穀

公路建設在平時於國家政治，經濟，文化及社會都有莫大之輔助。政治方面：可以統一國家權力，鞏固政治，改革弊端；普令夕行，交通便地，無遠弗屆及之若。經濟方面；可以開闢富源，發展農礦工商諸業；調節供求，解決產銷；利低入超，奠固國家經濟基礎。文化方面：可以普及教育，統一語言；交換智識，促進文化。社會方面：可以增加健康，愉快身心，改進人民生活；康保盛世，鞏持治安，增進社會福祉。次在戰時，公路建設，在紙時於軍事運輸之用，貢獻尤大，縱觀古今，莫不若然。古代之修築道路唯一目的，即在求軍事上運輸之便利。歷史上最著者：莫若羅馬帝國，其擁路規模之偉大，爲歷史上任何國家所不及。蓋道路修築羅馬帝國政策之一，路工多利用戰時俘虜。有時動員最時代，羅馬帝國領土，包括有意大利，大不列顛，高盧，西班牙之西部，小亞細亞，阿拉伯之一部，非洲北部以及地中海諸島。道路里程計長七萬八千公里，由國都之道路凡二十九條。有是道路系統，使羅馬帝國全部領土，纖悉密切聯絡，與統轄及軍事上享大便利。

吾國古代，道路雖不甚發達，然由歷史上觀察，蓋者國興，不蓋者國衰。吾國驛道，在周時已設涂徹，凡國野之道，十里有廬，廬有飲食，三十里有宿，宿有路室，以衛旅莊遠，定其等級。以遺人合方，司其歲修。至於戰國，輒以道弗不治，爲亡國之徵。秦秦嶢起，乃治馳道，以爲御驛，直道千里，以行征伐。漢代糧之，更闢廣開。修築棧道，綿綿千里，起亭列戍，以通西域，武侯南征，復自邛雅經鹽邑會川，以渡金沙江，而入姚安，開一川滇交通大道。自晉而後，唐宋遼金，代有驛政。元有站赤及急遞鋪法之制，明有會同館及水馬驛之遞，清有館遞驛遞之分，類皆戰鬬艦戰馳於國道驛道者也。凡此各朝以其注重驛道，故能統一寰宇，施行遠陬而能熱鬬充於書史也。

近民國成立二年，湘督譚延闓曾著手修築長沙至湘潭一段軍路，計程五十八公里，爲我中國修築軍用汽車路之始。在內戰軍閥時期，彼此發生，無發展。迨民十六年國民政府成立後，努力建設，國防公路突然猛進，蓋用剿匪及通達軍需，該三省公路之修築，實與軍事上直接有關。近年西南及西北公路網之次第完成，更除公路之貫通，皆與國防及抗戰有莫大貢獻焉。

九一八事變後，日人在東北論略區域，即擬定五年公路建設計劃。分爲開發資源，平時軍備及戰時軍備及戰時軍需用三種路線，既完成者，已達一萬五千公里。平時既可作爲開發資源及維持治安之用，戰時復可爲軍事運輸之用。其利用公路深度，無意之深達及發揮到之到毒，由是可見。一二八之役，十九路軍之選兵宣言中有「我無運輸之汽車運輸，助成殺敵之誓願。」語言沉痛，至今思之，充有餘感。目前抗戰，兵及五萬，公路運輸，在軍事上之偉值，事實上業已證明，不可諱言。蓋公路有軍隊遷，轉運前線。軍隊之補給與集中，指揮之統一與敏捷，糧食軍火之接濟與補充，攻守建悉之自如，皆賴於此。近代戰爭，非盡賴人力而已，機械化部隊，苟無機械運輸工具及道路，則無從發揮運用。兵貴神速，攻守皆然。若專恃人力及騾馬馱運及崎嶇小道，不能迅速運送，即接濟補給亦感困難，

故欲求戰事順利，無論前方後方，皆應有大規模之現代運輸工具及達標也。

公路在軍事運輸上之價值，既如上述，茲將其特殊優點列舉如下：

1.公路可以補助鐵路及航路運輸之所不及，或成平行路線，以增加運輸量；或為支線，以及鐵路及航路所不能直達之處。

2.公路最利於短距離之運輸，并能直達前方或後方之起卸終點。裝卸便利，轉運簡捷。

3.在公路上僅充分利用汽車以外之其他交通工具，如騾馬，挑担，人力及獸力車輛等，皆可行駛於公路上。

4.就地取料，修築運輸費用低廉。倉庫工作完竣後，即可通行車輛，與軍運原則相符。土路建築費及鐵路約十五分之一，而建築速率約快六倍。

5.公路運輸彈伸縮性甚大，交通工具之多寡可視軍運之需要及軍事之狀況而轉移。各路車輛，皆可隨時調撥，以應急需。運輸範圍亦廣，能隨作戰目標，施行專別運輸，無鐵路為軌道限制及水運為航道限制之困難。

6.各公路間連接較易，調遣軍隊時可統一指揮，而取得互相聯絡之便利。

7.公路除少數橋樑外，如被轟炸破壞，築路材料，隨地易得，可立時修補，恢復交通。在必要時，可築臨時便道提行。

8.公路運輸工具車身微小，不若列車及船舶之龐大暴露。汽車易於隱藏，不易為敵機轟炸或擊射命中。即偶一被毀，其單位價值之損失，遠不如機車，列車及輪船之鉅。

9.任何車輛在中途損壞，不能繼續行駛時，與其他車輛毫無阻礙。且修理簡易，若設備周密，隨時隨地皆可舉行。且作戰火車船舶不能深入敵軍腹地，公路交通工具如裝甲汽車，機關砲車等，在公路上，隨時隨地，均能發揮其作戰特殊性能。

凡事有其利必有其弊，公路在軍事運輸亦有其特殊弱點，可分為六方面，述之如下：

1.運輸量方面……公路運輸工具單位載小，除有大量汽車，運輸是決難與鐵路比擬。據美人米却爾（Mitchell）氏估計：如有充分汽車雙線鋪砌公路，每日每向運輸量可達3000噸。德人白倫（Blum）氏在大戰中所獲經驗，結論公路汽車運輸量每日為2000公噸。下列二表可知鐵路與公路運輸量概略之比較：

公路與鐵路每日平均運輸量（米却爾）

運輸方法	每日運輸量（噸）
鋪砌雙線公路（汽車運輸）	3,000
雨季泥路	無
晴季泥路（牲畜運輸）	1,000
單線窄軌鐵路	1,000
單線標準軌距鐵路	11,000
雙線標準軌距鐵路	33,000

單線標準軌距鐵路運輸量，係按每日24小時，每時開行500噸列車一次，除工程材料車二列外，計11,000噸。

公路與鐵路每日運輸量概數（白倫）

運輸方法		每日運輸量（公噸）
公路汽車		2,000
輕便鐵路	600 公厘軌距	2,000
	750 公厘軌距	4,000
	1000公厘軌距	5,000
標準軌距鐵路		15,000

由是可知公路運輸功效，雖有充分汽車及良好舖闢路面，僅能與輕便鐵路相等，若與標準軌距鐵路比較，仍遠遜也。

2.載重方面……重兵器如大砲戰車等，在公路上無法運送。蓋戰車輕級者重13½噸，中級者20至25噸，重者達55噸以上。八吋榴彈砲重12噸，十六吋者重至150噸。載重汽車最大載重量，不過15噸，大多數皆在三噸左右，而吾國公路橋樑大多數載重在十噸以下。故重兵器之運輸，勢必異常困難或竟至不可能。至於人力或獸運，則更不必言矣。

3.速度方面……公路運輸工具速度較低，人力或獸運，速度，每日不過能行40至50公里之行程，遠遜鐵路。但載重汽車在良好公路上，每小時速度可達40至60公里，在坎坷不平蜿曲公路，則僅能維持每小時20至25公里之速度。若將沿途停息時間計算在內，平均旅行速率，每小時不過6公里左右。至於鐵路貨物列車速度，在吾國實際上并不如想像之高。二十四年度全國十三條鐵路貨物列車平均速度（中途各站停留時間在內），每小時僅為18.2公里，其中以京漢路之22.7公里為最高，平漢路之13.5公里為最低。在戰時雖可提高效率，然軍運情況，若車輛不敷，管理不良，平均速度未必能有增加。日本普通軍用列車速度計算，在狹軌每小時為20公里，寬軌為25至30公里。

4.燃料方面……我國汽油燃料，仰賴外洋，以美國及東印度羣島佔最多數，居二十五年汽油進口百分之九十三。不僅價值奇昂，漏卮甚鉅，若一旦來源斷絕，汽車運輸即有停頓之虞。雖有一部木炭及酒精汽車，然終難解決此最嚴重問題也。

5.運輸成本方面……公路運輸成本，無論汽車運輸或人力獸運，皆較鐵路及船舶遠高。由下表比較可見一斑：

運輸工具	每公噸公里運費
公路	
汽車	$0.24—$0.56
駱運	$0.10—$0.25
獸电車輛	$0.05—$0.47
人力車輛	$0.10—$0.35
肩挑	$0.14—$0.50
鐵路	$0.01—$0.06
船舶	$0.02—$0.15

上表為抗戰前之數字，抗戰以來，因各地生活，程度高漲不一，汽油來源困難，價目亦極不一致，陝滇及黑市之風甚熾。故運輸費用，甚難作一準確之分析。惟吾人仍可斷言者，即公路運輸成本，仍遠較鐵路及水路運輸者為高，其比例約在五與一至十與一左右。

6.管理及統制方面……公路運輸，因交通工具各自成一單位，故在管理及統制方面；極感困難，不若鐵路及航路之自成一總機構，管轄及統制之便利。迺來雖汽車檢查站之林立，統制法規之嚴格，然私運及犯禁之風，未嘗稍減，管理司機尤感困難，此爲不可諱言之事實，從事於公路運輸者，知之尤稔。

公路在軍事運輸上之價值及其利弊，既如上述，吾人應如何善爲利用公路，使在抗戰期中，發揮其最大效能。以往公路運輸事業，成績雖佳，然錯誤之處，不免仍多，無論運輸及管理上，或在工程上，今後應如何積極改善，以期在軍事運輸上，表現更偉大之貢獻，是爲值得研究之一中心問題。

公路工程界應有之認識

陳本端

目前公路運輸在工程上，感覺最不滿意者有三：一爲坡度過陡，二爲曲線過急，三爲路面過劣。此三種不良之現象，一部份由於財力不足之所致，另一部份，可謂由於工程技術之不能盡善盡美之後，因公路需用之急切，其建築往往僅限三五月必須完成，故除上述兩種因素之外，又與生產間接促成之問題，以致工程進行，困難殊多，由於財力之有限，時間之短促，及工程技術之未充盡其事，如此欲得一精良之公路而臻歐美境界，其爲乎可。

吾服務公路工程界之人員，在過去之時期，已盡最大之能力，例如偷大之工程，居然能於最短期間，而以有限之財力，如限完成，不誤應用。此雖足以自豪，然亦因此，遂受其累。蓋工程進行，以時期及經濟之關係，在技術上，不無簡陋。因工程之簡陋，遂不免受人惡意之批評。由於此種批評之演進，公路工程師之技術地位，遂迫而居於他人之下，待遇乃次人一等。以蓋幹之精神，得如斯之結果，自非偶然之所及。

雖然，人必自辱而後人辱之。我公路工程界在抗戰時間，雖能努力以報國家，但在技術上，未盡其事；在人才上，未及培植；在組織上，未立基礎。由於技術人才及組織之未能健全，事業之進行，乃缺乏系統，工作成績，乃缺乏實效。欲得社會之美譽，而提高自身之地位，顯屬不可能者也。

在工程技術上，可分爲兩步而論。一爲工程技術之實施，二爲工程技術之研究。按工程技術之實施，約有數端，曰測量，曰路基工程，曰橋涵工程，曰路面工程。其與鐵路相異不同者，不過最末一項，於路爲路面，而鐵路爲鐵軌而已。測量工作，公路與鐵路，大同而小異。蓋以火車與汽車本身之性質不同，升降轉彎，各有特殊之點，是以鐵路路線并不適於公路之建築，而公路路線更難合乎鐵路之條件。測量公路之有經驗者，使其担任鐵路測量，雖屬不可，而測量鐵路之有經驗者使其担任公路測量，亦非所宜。至路基與橋涵工程，則公路與鐵路，雖甚相別，鐵路與公路之人員，可以互換而用。惟路面工程與鋪軌工程，迥然不同，無庸論者。而公路與鐵路之基本差別，即在於此。但鐵路工程，數十年來，已有一定之標準，工程進行，絲毫不苟，按規循矩，步驟井然。惟公路工程，乃新興事業，工程標準，尚未固定，工程進行，伸縮至大。每值一路之成，只求路線之打通，不計工程之良劣。工程良劣，僅無輕重，施工人員，自不必有優劣之分。故由技術本身而論，公路與鐵路，管理高低，但鐵路基礎已定，一切均有規矩，公路則在研究之期，一切均無成所。我國身於公路工程界之人員，應如何改善以往施工之習慣，而立我公路工程事業之基礎，此需幹練之力，努力以赴者也。至於工程技術之研究，鐵路因基礎已定，研究事項，不甚繁複。但公路事屬新興，一切均在演進。例如公路建築經濟之條件，汽車機動之原理，土壤力學之經驗，路面建築之方法，路基建築之步驟，以及排水之設計，無一不在研究與實驗之中，若不過隨演進，則我國公路工程，永無豎立基礎之一日。是以公路工程師，其職則不僅担任實地工程之建築，對於工程之研究，尤須具有勇往直前之精神也。

在人才方面而論，實感缺乏。目前服務公路工程界者，人數頗爲不少，其中眞正成爲公路專業之有興趣者，固大有人在，然能透徹明瞭公路專業而感興趣者，究屬不多。各工科大學中，土木系之課程，關於公路者，仍嫌過輕，未能要就公路專門之人才，已屬顯然之事。但實際之上，各校每年之土木系畢業生，就業於公路者，已不亞於鐵路。而此一般之畢業生中，其專習鐵路，水利構造，或衛生者，使之服務公路，一則興趣不能貫一，二則工作難期進展，均要學未致用。爲今之計，欲謀公路專業將來之發展，不可不先就公路專門人才之培植，以立其堅定之基礎。昔時交通大學唐山工學院，乃爲專門造就鐵路人才之學府，鐵路工程界，百分之九十，爲其畢業生。苟能效法唐山，專設公路工程之大學，以訓練各種公路之人才，則公路事業，在人的方面，基礎乃得而立。而公路工程技術之實施及研究，當能因人才之集中，而進展無疑也。

在組織方面，應集中力量，以發展公路事業之前程，目前公路組織法規。尚未完備。機構仍有不能策動整個事業之感。中央與各省如能作成輻輳關係，自可避免各自爲政之弊。但其基本原則，不外中央應居於領導指揮及督促之地位，各省則任實施執行之職務。惟中央與各省，原屬一體，一體之內，血脈貫乎流通。如何方能使其流通無阻，乃爲最關緊要之課。此外如學術團體，對於公路事業，貢獻亦多，推動力量，非可輕視，欲聯繫此種團體而與政府打成一片，則惟創立學會或協會之組織，以作互相聯繫之媒介。如是朝野併進，公路前途，當可邁進。

目前就會，對於公路工程之籌設，似尚未透徹明瞭，公路工程一科，不僅包括土木工程一項，而實際上應有盡有。例如公路運輸，交通管理，公路財政及公路管理，皆在其範圍之中。惟汽車機械以及燃料潤煉等等，應由他機事業負其全責，乃此有言者，公路事業與鐵路事業，略有不同，蓋前者爲公用事業，後者乃專業事業。在鐵路之上，有軌道之限制，惟火車可以行駛，而火車之行駛，須有一定之班次，管理可以統一而易於指揮，若在公路之上，汽車行駛，原無規定。任何人之車輛，可以行駛，任何時間，可以行駛。甲路之車，可以行駛於乙路，乙路之車，可以行駛於內路。故公路運輸，其伸縮性極大，欲以鐵路管理之方法，施之於公路，實有張冠李戴之嫌。是以在公路事業之上，應分爲兩種機構，一爲公路運輸機構，一爲公路管理機構，分工合作，與事實方能符合。所謂運輸機構，應包括運輸管理及車輛修理兩類，所謂公路管理機構，應包括工程之施行，交通之管理，以及公路財政之籌劃。前者可以國營，亦可民營，而以民營，最易發展。後者爲政府之全責，實爲推動扶植力量之所在。此外尚有一最爲重要之事項，即整個公路所有各種事業研究之工作，允是爲整個公路靈魂上之主動力也。

改善我國公路路面方策應有之認識

陳 予 華

（一）緒言

公路建築，可劃分爲三個階段，第一階段爲路基之建築，亦即土路通車之時期。此時車輛，往往極爲稀少，造車輛漸增，土路不能勝任之時，則有鋪築低級路面之必要，此爲第二階段。至車輛數目激增，低級路面不能勝任之時，則更進至第三階段，即鋪築高級路面時期。至於應在何時改鋪何種路面，其決定之因素最重要者，爲經濟上之立點。美國常例，凡公路每日車輛在一百輛以上者，即可鋪築低級路面。每日車輛在七百五十輛以上者，始改鋪高級路面。故美國全國四百萬公里公路之中，有路面者，不過佔百分之三十。其中有高級路面者，僅佔百分之五。我國公路在抗戰前，因運輸量甚低，路面問題並不嚴重。抗戰以後，運輸量激增，更因軍事運輸需要迅速及安全，路面問題，在目前達形成公路之中心問題。然一般人士，雖認爲路面必須改善，但究竟改善路面，對於經濟，對於安全，對於時間，以及對於行旅之舒適上，有何價值，則殊少研究。本文關於路面費在全部工程費內所佔成分之地位，路面對於行車費之關係，目前應採用路面之種類，路面材料之調查方法，及路面實驗之重要，略爲申論，深望能引起各界對於路面之注意與正當之觀識，無疑我國公路前途，有莫大之希望。

（二）路面費在全部工程費內所佔成分之地位

路面費可分爲兩項，即路面建築費，及路面養護費。以往我國公路，大部只求可以通車，工款亦甚拮据。故路面建築費一項，佔全部工程費內之成份極小。抗戰以來，因應有公路有待改善者極多，故一面闢築新路，一面改善舊路。改善費中，則路面費佔大部份，計廿六年七月至廿八年十月改善工程費佔全部工程費百分之三十七，約爲二千八百餘萬元，其中路面費約佔百分之六十（事實上當不止此數）即爲一千六百餘萬元，廿九年度預算中，路面費益見增加，茲釋其重要者，列表如下：

路名	全年預算（元）	路面預算（元）	路面佔全年預算%
甘新	500,000	136,000	27.0
甘川	4,500,000	200,000	4.5
漢白	500,000	50,000	10.0
川陝	1,000,000	39,000	3.9
渝滇	1,500,000	130,000	8.7
樂西	4,000,000	0	0
川滇	2,500,000	240,000	9.6
河田	646,000	46,000	7.1
桂滇	600,000	0	0

滇緬	12,000,000	7,000,000	59.5
滇越	4,500,000	1,740,000	36.6
西蘭	1,906,000	1,566,000	82.0
甘青	2,500,000	850,000	34.0
合計	36,000,000	11,997,000	33

以上數字雖未能包括二十九年度全國所有之公路，且其中有僅列改善費者，有未列路面費者，故未能代表路面費實際上佔全部工程費之百分數。但其數目之巨，已可概見。廿九年度預算，養路費約計八百八十萬元，連同路面費約共二千萬元，已佔全部預算百分之二十五以上，由此可知路面費在全部工程費內所佔之地位，僅次于路基。我國現有路面，大都為碎石路面，若將來路面等級提高，則路面費佔全部工程費之百分數當更大矣。

（三）路面對行車費之關係

路面不良，影響於行車費至巨。歐美各國，對於路面經濟之研究，莫不極為重視。尤為不產汽油之工業國家如德國者，對於汽油消耗計算之精密，務使每一加侖汽油，均能達到最大效用。欲知路面對於行車費之關係，當應有精密可靠之統計，然後始能有準確之數字。我國絕少此種統計材料，可資參考，但由歐美各國所有數之數字，不難推測其大概情形，以資參考。

路面之影響於行車費，主要者不外汽油機油，輪胎，修理及機件等數項。

按美國阿格氏及文夫罕氏之調查，行車消耗與各種路面之關係如下：

阿格氏調查

	高級路面	中級路面	低級路面
汽油	1.00	1.20	1.47
機油	1.00	1.00	1.00
輪胎	1.00	2.22	2.90
配件及修理	1.00	1.20	1.47
機件及損傷	1.00	1.10	1.24
其他	1.00	1.00	1.00
總比值	1.00	1.18	1.38

文夫罕氏調查

	混凝土路	未處治碎石路	土路
汽油	1.00	1.13	1.08
機油	1.00	1.36	1.91
輪胎	1.00	1.41	1.26
配件及修理	1.00	1.47	1.70
總比值	1.00	1.31	1.49

上列之調查，以文夫累氏最近之調查較爲準確。所指未盡浩礫石路，係表面整動凸凹不平之路面，汽車經過時，礫石飛揚，對於汽油及輪胎消耗特大，以較我國之混結碎石路，雖有過而無不及。惟文夫累氏試驗中，所用以行駛於混凝土路之車輛，較用以行駛於礫石路及土路者爲新，故其修理及配件之值相差甚巨。

若根據阿格氏及文夫累氏兩表，並參照我國公路情形，可擬表如下：

	高級路面	碎石路	土路
汽油	1.00	1.13	1.29
機油	1.00	1.36	1.91
輪胎	1.00	1.44	1.26
配件及修理	1.00	1.14	1.24
總比值	1.00	1.26	1.45

按李讀燊教授「改善我國公路之經濟分析」我國每公里之行車費約估如下：

（一）汽油：每加侖行駛十公里，每加侖汽油值十二元，每公里爲一元二角。

（二）機油：每加侖機油行駛三百公里，每加侖機油價值二十元，每公里爲六分七厘。

（三）輪胎：輪胎壽命一萬五千公里，每對價值一千二百元，每公里爲二角四分。

（四）配件及修理：配件每一百公里爲十六元，修理每一百公里爲二元，合計每公里爲一角八分。

根據以上數字，可得各級路面與行車費之關係如下：

	高級路面（元）	碎石路（元）	土路（元）
汽油	1.060	1.200	1.480
機油	0.049	0.067	0.094
輪胎	0.166	0.240	0.210
配件及修理	0.164	0.180	0.203
合計	1.439	1.687	1.987

我國後方現有重要公路約一萬公里，其每日車輛平均數目，在西北者未有統計，在西南者略有統計，茲列表如下：

路名	長度（公里）	每日車輛
甘新	1,174	
甘青	230	
西藏	700	
滇緬	442	
川陝	1,296	

漢白	530	
湖黔	1,008	50—100
黔桂	633	160—200
川黔	488	130—200
黔滇	662	100—160
滇緬	972	50—100
川湘	698	
川滇東路	722	
合計	9,555	

西北部份計四一七二公里，假定每日車輛平均以五〇輛計算，西南部份，計五一八三公里，每日車輛平均一二〇輛。

今設將上述各主要公路之路面，加以改善，雖不必改善至高級路面，但若能改善至較碎石路更進一步之路面，則每輛汽車之消耗，可以大減，觀前表即知，若由碎石路面，改爲高級路面，每輛汽車，每公里可節省費用二角五分。若只改善現有碎石路，至較佳之路面，每公里亦可節省費用二角，則每年於主要公路中，可節省消耗量數字如下：

5184×0.20×120×365=45,403,080

4172×0.20× 50×365=15,595,800

60,998,880（即六千一百萬元）

若以上路面之有效時期，僅爲一年，每公里仍可用六千四百元改善之。且鋪築路面之工料，除少數外，均爲國產，而行車費如汽車機油輪胎配件等，無一非外購也。

現全國共有運車土路六一六七〇公里（滿洲國或未計在內），每日平均車輛以五輛計，由土路改鋪低級路面，每車每公里可節省行車費三角，每年可節省：

61,670×0.30×5×365=33,553,490元，即每公里可用五百五十元鋪築路面

由上可知，若能將全國路面敵底改善，則每年可省外滙一萬萬元之巨。以上不過僅指變動行車費而言，至於改善路面，對於時間之經濟，車輛之壽命，駕駛之安全，養路之節省，以及行旅之舒適等，尚未計及。然則改善路面由經濟觀點上考慮之，誠不可一日稍緩也。

（四）目前應採取之路面種類

上節論我國路面，應加徹底改善之重要，其無路面者，應即加鋪低級路面，其有路面者，應改善至較碎石路更進一步之路面。但究竟我國路面應以何者爲主體，實爲目前急于解決之問題。查路面種類，在十年前，不過分爲二大類，即高級路面與低級路面。高級包括一切瀝青，石塊，木塊，混凝土，瀝青等路面，低級包括礫石，碎石及砂泥等路面。近十年來，公路研究，突飛猛晉，尤以美國公路學者，認爲低級路面有深切研究之必要。因之有級配石子及穩定土壤路面之發明，此項發明使稱爲低級路面，但事實上，穩定路面，係介於高級與低級間之一種路面，吾人可稱之爲中級路面。我國公路，因每日車輛數目不

多，未能鋪築高級路面。且鋪築高級路面之材料，如混凝土路之鋼筋，土瀝青路之油料，木塊路之臭油，均須用外國購買，故目前我國尚無力及此。吾人應立即採用者，爲低級路面及中級路面兩種，茲分述之如下：

（甲）低級路面

低級路面最重要者有二，即碎石路面及礫石路面（一）碎石路面：碎石路面之發明，遠在百年以前，其建築方法不一，我國所用者爲泥結碎石路，按泥結碎石路，若鋪築適當得法，未始不能爲良好之低級路面。惟我國鋪築碎石路方法，往往多未能合乎規則，例如石子必須整齊，不風化者爲合格，其硬度應合於實驗室之規定，而一般築路選擇石子時，因求打碎之省事，往往採用軟石，以致車輛行駛數月後，石子風化，遂即失去路面之效用，又如碎石之大小，亦有規定，須普通打碎石子時，對於尺寸，多未能嚴格符合，鋪築之時，黏土之成分，或多或少，均未合於預定之標準。碎石各面，本具優等路面，而鋪築時，又漫不經意，以致我國路面情形日趨惡劣。欲求鋪築良好碎石路面，必須嚴厲執行施工規範，尤須注意養路方法，始能有良好結果。（二）礫石路面：礫石路面，在我國採用者尚少，在美國則此種路面，佔全部低級路面百分之七十以上，礫石路面，在車輛稀少之公路極爲適用，其造價尚廉，蓋所用石子，無須打碎，在沿河路線，採取材料，極爲方便，鋪築方法，更爲簡單，我國應大量採用之。

我國有六萬二千餘公里土路，若完全鋪築碎石路面，是爲經濟所不許。最省錢之辦法，莫採取「階級鋪築法」，凡不重要之公路，每日車輛稀少者，均可採用此法。階級鋪築法，不外隨時於路面之上，加鋪石子，可責令當地官吏，成養路道班，於土路泥濘處，隨時加以小石子，石子大小不得超過五公分，如此不斷努力，則二三年後，全路不難變成極佳之礫石路。美國一百餘萬公里之農村公路，均係用此法鋪築，俟運輸量增加之時，然後再在此礫石路上，加以表面處治，或鋪其他路面，爲極經濟。

（乙）中級路面

中級路面種類甚多，約分兩種：一部爲級配石子路面，源青處治穩定土壤路面，水泥結碎石路面等，皆無須再加研究，即可採用，一部爲食鹽處治級配石子路面，桐油處治級配石子路面，水泥土壤路面，石灰黏土結碎石路面等七種。茲分述如下：

（一）級配石子路面：　級配石子路面，其原理及建築方法已屢次論及，茲不復贅。此種路面，在世界各國，尤其美國業已大量鋪築。但在我國鋪築者尚少。西北新天雙路，曾鋪築百餘公里，其造價較碎石路爲低，而車輛行駛其上，反覺較碎石路爲優。是此種路面優于碎石路面，實無疑問。湖南省公路，素稱全國之最佳者，若細查其成功之原因，則知湖省所鋪之路面，事實上並非碎石路，而爲類似此種路面之結構，其鋪築之時所用沙及石子，均具有級配，養路之時，復注意用有級配之沙拌和少量黏土所築成，而非碎石路不來面目矣。公路學者，往往認爲級配石子路面之鋪築，必須嚴手機械及精密之儀器，其實稍有經驗之工程司，皆能斷定一種混合料，是否接近級配，不必加以實驗。即使鋪築之時，沙子黏土成份不合，事後不難補救。例如混合料中黏土成份過少，在晴天之時，

表面沙子鬆動，則可將表面鬆動部份扫去，更加黏土捲和面流鄉之，故若養路得法，此種路面可以永久保持良好狀況，非若碎石路面每隔二三年，石子露出後之必須翻修也。

（二）瀝青處治級配石子路面： 級配石子路面，抵抗車輪磨蝕力不强，故車輛每日若超過三百輛時，表面應加處治。在美國處治路面材料，大多歡利用瀝青。如上瀝青，柏油，乳化劑Cut back等均可應用，所用數量 每平方碼不過半加侖。我國雖不產瀝青，但將來工業發展，柏油為製焦之副產品，必可大量出產。以前石家莊所產之稀柏油，即可用為處治路面之用。即使此種瀝青，須購自外國，而用量尚少，較之舖築瀝青瀝青實實多。

（三）水泥結碎石路面： 水泥碎石路，在歐美用者頗多，在英法及澳州用者尤多。此種路面，雖未必合于經濟原則，但在水泥產量較多之區，可以推行。

（四）食鹽處治級配石子路面： 食鹽與氯化鈣均有保持路面水份作用，氯化鈣在我國價格過高，不能採用，而食鹽在川中各縣，及沿海區域，價格甚廉，可以試用。食鹽處治之級配石子路面，表面堅固，不致被雨水所軟化，為中級路面中，最有希望之一種。

（五）桐油處治級配石子路面： 實際上各種植物油，如大豆油，棉子油等均可用為處治級配石子路面之用。但桐油較他種油為濃，亦較易乾，故用為處治路面，較其他油類為佳。惟此法須經過精密之試驗後，始能知其效果如何，果能成功，則西南各省，於公路兩旁，可廣植桐樹，既增風景，復可供給付料。

（六）水泥土壤路面： 水泥土壤，係用水泥穩定土壤，不可與普通混凝土混為一談。美國「波得蘭」水泥公司，經數年之試驗，已有相當成效，現正在推行。水泥土壤路之舖築法，及其應用，已見另文，茲不復贅。

（七）石灰黏土結碎石路： 石灰加黏土，可增加其黏力，及減低其水化力，為改良碎石路之一種重要方法，但仍須有實地之試驗，方可推行。

總觀以上各種中級路面種類，其最重要者，為級配石子路面。吾人必須對於此種路面，廣為推行，並多加研究。果能認明此種路面，較碎石路面為佳，則目前路面問題，可以將告解決。此後遇有碎石路面破壞之時，即可於其上鋪以厚層（八至十公分）之級配材料，迨至車輛更增，可再於其上，加以表面處治，逐步改良，不難重要改為全國將來也。

（五）路面實驗

前節所述各種路面，其舖築方法，材料成份，全賴實驗。實驗之方法有三：即實驗室之實驗，實驗路之實驗，及實地調查。三者缺一，則實驗工作，不能完成。

實驗室，實驗路及實地調查工作，必須在一個機關，一個主管之下，作一個有系統的通盤計劃，若三者各自為政，不求連絡，即失去整個實驗意義，結果必難配備。實驗室與實驗路，應設于一處，或相隔不遠之處，則實驗路上一有問題，立刻可以請實驗室解決。實驗室一有新得，立刻可以試實驗路作實驗。同時實地調查，供給實驗室實地資料與樣品，使實地情形與實驗室打成一片，然後實驗路事業，始能進展。茲將實驗室，實驗路與實地調查分述如下：

（甲）實驗室： 路面實驗室內容，可分為兩大部份，一部為普通實驗，包括所有土

壤物理性實驗，如土質比重，塑性指數之測定，黏點量之測定，含水量之測定，野外吸水當量之測定，離心吸水當量之測定，收縮因數及最佳水份等項。此外更包括石灰實驗，如衝擊實驗，硬度實驗，黏結力實驗各項，每種土壤樣品到達實驗室後，必須經過此種實驗，而作此種實驗者，不必對土壤有特別之研究，應徵細心人員均可担任。其他一部工作，爲特別問題之研究試驗，包括一切路面特殊問題，如土壤之穩定實驗，膨脹實驗，水化凝實驗，凍解實驗，乾濕實驗，衝擊實驗等項。作特別研究實驗時，首應說明實驗之目的，次應計劃實驗之步驟，最後則爲分析實驗之結果。茲分述如下：

（一）實驗目的：前節已詳述我國目前急需一種較薄石路更進一步之路面，同時碎石路面之鋪築，亦應加以研究，總明此點後，則吾人實驗目的有四：

（1）碎石路面之研究　　（2）級配石子路面之研究

（3）級配石子路面表面處治之研究　　（4）其他穩定土壤路面之研究

此四種路面爲吾人目前應即着手研究者，其次可採其中一種，作爲中心試驗之工作，認清目的後，一切始能逐步推進，不然路面問題，有待于實驗室解決者，以千百計，將無從措手矣。

（二）實驗步驟：在未實驗之先，應先確定實驗之步驟，例如桐油處治級配石子路面試驗之步驟，其程序如下：

（1）穩定土壤之基本物理性實驗（普通實驗）

（2）桐油之主要物理性，如比重濃度等實驗（普通實驗）

（3）桐油處治後對土壤穩定性之關係（特別實驗）

（4）桐油處治後對土壤膠般之關係（特別實驗）

（5）桐油處治後對土壤水化之關係（特別實驗）

在（3）（4）（5）實驗中，又可爲縱的實驗：（A）用不同之桐油成份，（B）用不同之乾燥時間，逐步試驗，若時間不足時，更補充以其他試驗。關於土壤之實驗，不應僅就一種土壤，作實驗之根據，蓋各地土壤之性質，相差甚遠，若僅就一種土壤，所得結果，往往不能代表大部分土壤。然土壤之種類甚多，當然不能一一試驗，但在可能內，應將A—1，A—2，A—3，A—5，A—6等五種土壤，加以試驗，最低限度，亦應試驗砂土質，淤土質，黏土質等三種土壤，庶不致有誤會之結果。

（三）實驗結果：於實驗告一段落之後，應將實驗結果，加以分析。由分析中，推斷一個或數個結論。例如前述桐油處治級配石子路，由試驗可推斷加桐油是否對路面有益，加桐油之最適宜成份如何，桐油乾用後，需幾日始能達到最強力最等等，由此結論，可以斷定作實驗路時，應採之方式，如不能得結論，應如何更加實驗。

總觀以上實驗室主管人員，應先確定實驗目的，及實驗步驟，然後對於重要實驗，親自負手實驗，俟有頭緒後，再委諸試驗員繼續實驗。同時注意實驗之逐日過屬情形行，遇有錯誤之處，隨時糾正之，然後始能有正確實用之結果。

（乙）實驗路：實驗路與實驗室有連帶不可分離之關係，已如上述。實驗路之性質，完全與實驗室相同。不過其規模較大，性質較爲實際。作實驗路時，應注意者，爲實驗目的，實驗組織，及實驗結果三項，茲分述之如下：

（一）實驗目的：實驗路之所以於展實驗室者，以室中一切，如室內溫度，樣品製造等，均可精密控制，而實驗路，如氣候施工等，則不能完全控制。一般社會人士，對於實驗路之態度，往往不甚正確，於實驗路失敗時，則認爲是種實驗之原則，不能成立，或實驗者稍有疏忽，則輕加責難。吾人應知實驗路之目的，在求得最經濟最優良之設計，而此種因素，得之于隱或失敗，從次改良之結果，較之得于迅速成功之結果，尤有價值。故此次失敗，即係顯明指示改進之方法；是以作實驗路時，應不顧社會上之指摘，而要清目標，努力不斷，一次失敗，更作第二次，只要原則確定，未有不成功者。

（二）實驗組織：舖築實驗路，應有固定之組織，及熟練之工人，若每次作一種實驗，須臨時借調，或雇用工人，臨時購買工具，是不但不自經濟原則，管理方面亦多困難，實驗，結果，自難如意以資。故作實驗路，應有專人負責，有固定之組織，有固定之監工與工人，有常備之工具，遇特別情形時，始得增購工具，僱用臨時人工。負責實驗路者，于確定各年預算後，即可選擇實驗路地點，按照預定計劃進行，除有特別事故外，絕不變更其計劃，然後實驗工作，始能獲有成績。

（三）實驗結果：往往于實驗路舖成後，主其事者，即時離開，此後實驗路之結果，證無人過問。此種失去實驗之目的。一種路面之是否成功，完全視車輛行駛後之情形而定。觀察時間，少則半年，多則數年，其結果之優劣，初非一二星期之觀察所能斷定也。此外並應注意車輛之密度，車輛之種類。例如某種路面視計之時，專爲承載膠皮輪車，而實際上鐵輪車之數量較膠皮輪車爲多。在此種情形之下，如路面失敗，則不能歸咎于設計之不良。又如路面發生裂紋，則應研究此裂紋之由來，是否由於路面本身，或由於路基之沉陷。如係由于路面本身，則應研究其是否由於施工不善之所致，或由于材料成分之不合，如此逐步推求，不難知其癥結所在。美國波得蘭水泥公司，試驗水泥土壤路面時，經過若干次之失敗，若干次之改進，始能證到今日推廣大量舖築之時代。若以一次或數次之不成功，實驗者，即失去自信心或因受他人之指摘而灰心，則實驗路工作，斷難有優良之結果。即使有成，亦不過爲偶然之事，不足恃也。

（丙）實地調查：主持實地調查者，對于實驗室與實驗路工作，必須完全熟悉而明瞭，然後其所調查之範圍，始能合于實驗室或實驗路之需要。否則彼此各自爲政，實地情形，與實驗需要，不能融洽，自難洽合。實地調查主要目的有四，即路面調查，土壤調查，材料調查，養路調查，汽車消耗調查。

（一）路面調查：調查現有路面情況，如碎石路之結合料，是否能結合路面石子，使之不致鬆動。路面上孔穴情形如何，路面上層沙料厚度若干，路面石子是否露出，行車時情形如何，壓實程度如何，以及行車速度等項，由調查之結果，可知其段路面，不能應付目前車輛載重，某段路面，所用材料不良，某段路面舖築時，過于草率，然後可以決定某段應改舖他種路面，某段應翻修，某段應加強養路工作。對於不能解決之問題，則可由實驗室代爲解決。

（二）土壤調查：土壤調查，在美國專設有土壤測量隊，沿公路上每二十公尺至四十公尺採取一樣本，並由調查結果繪製土壤鑲嵌面圖，以爲設計資料。我國公路建築之時，對於土壤向無調查，短期之內，自不能作此繁瑣之工作，但應在公路土壤有顯著變化處，

土質特別惡劣處，或坍方特多處，採取樣本，以備試驗。路線以外，如發見林別土壤，可以利用爲路面材料者，亦應採取。

（三）材料調查：此項工作應在鋪築路面之前，詳細調查。其方式詳於下節。但在已有路面之公路上，亦應對材料加以注意。例如沿線之出產，有否能利用爲路面之材料，如石灰石，桐油，植物油，石油，食鹽，白垩土，竹料，木料，洋灰等等，皆應一一調查，其產量及價格，以備設計路面之考。

（四）養路調查：有時路面本身設計，毫無問題，而因養路不良，以致不能暢行交通。關於此點，調查者，應加注意養路是否得法。例如碎石路之養路，應多用沙土，少用黏土，而一般養路者或因沙土採取困難，就近用路旁土壤敷衍了事，結果必致雨時泥濘不堪。調查者應注意此種情形，規定養路辦法，與應用材料，以資改良。

（五）汽車消耗調查：第二節所述之路面影響于行車費，吾人對此必須有精密之統計，然後根據統計結果，斷定每公里在經濟上，可用改善費若干。關於此項統計調查，應請各汽車站各公路機關予以協助，並發給調查表格，隨時填報，則此項調查工作，可逐漸樹立。

（六）路面材料調查

第一節論路面費，在全部工程費內，佔第二位，除路基外，用于路面費用最大。然一般對于路面設計是否有嚴密考慮，此爲值得注意之問題，所謂路面設計，並非僅就路面橫斷面而言，主要者係縱斷面材料分佈是否得當，運距是否經濟。工程司者知僅值任數百元以上之橋樑，在設計時，必須精細，且圖一橋樑，往往作二三個不同設計，以資比較。然價值數百萬，至千餘萬元之路面工程，一般對之，則毫不關心，對於設計方面，往往草率從事，因之浪費工款，其數至巨。欲知欲有完善路面設計，對于路面種類之選擇，材料運距，及材料分佈，必應有切實之研究。茲分述如下：

（甲）路面種類之選擇：第三節所述各人目前可採用之路面，主要者有碎石路面，礫石路面及級配石子路面三種，鋪築之時，應採用何種，完全視附近材料情形而定。點線如係沿河，則河中小石，可利用爲鋪築礫石路之用。如河中出產砂礫，則可利用爲鋪築級配石子路面之用。又如越嶺線，如遇石方，即可利用開山石爲鋪築碎石路之用。總之「就地取材」，爲選擇路面種類最大之因素，亦即設計路面時，首應注意之事項。倘不顧當地情形，完全鋪築碎石路面，而石料運距極遠，運輸困難，或沿河雖有石料，然係河光石打碎不易，凡此種種，均爲鋪築碎石路之障礙。若改鋪築石路，則可採取河中礫石，既免遠運，又免打碎，建築費節省，何止倍蓰。

（乙）材料運距：材料運距，關係于路面建築費至巨。試觀每公里碎石路建築費最大者，往往因運費，打碎工次之。鋪築工又次之。設若沙石運距之對於不外料調查，以資計劃。工程處調查材料，往往委于監工員，監工員又往往不肯親自跑其地，多用口頭詢問當地人民，至多不過沿路線大略察看。工程處即據監工員報告之運距設計之資料，以此不可靠之資料爲根據，其結果自難經濟。故工程處欲求最經濟之路面設計，應多費時間詳細調查，並飭各分段主管人員，親自督率監工員，實地調查。有歐美對於礫石層之探求，多用電阻力儀器，我國目前雖未能採用此法，若礫石層蘊藏不深，于表面上不難見有爆露

，稍加採試，即可確定。或憑當地未經近涉石料之報告，重實之下，必有應者。隱夫調查結果，不翻納材料運距減至最低之程度

（丙）材料分佈：路面種類及材料來源樣決定後第二步工作，爲材料之支配，亦即路面材料之設計，注意何處材料運至何處鋪用，其評定是否適當。更應注意路線縱斷面，務使載重車能行駛下坡道，而空車回頭則利用上坡。凡長鏈種，可製成路面材料示意圖，俾易觀察。

路面材料調查，若能依照上述設計程序進行，可節省費用三分之一，或二分之一。故于公路鋪築路面之先，應呈送路面材料示意圖，詳細加以檢討。如有設計不當之處，應再修正。路面完成後，驗收者更應覆驗與示意圖上所列運距，是否相符，以示慎重。以數百加萬元路面費之巨款，則應有精密之設計也。

（七）結　論

路面之良窳，影響行車甚已如上述，我國現時，每年由國外輸入之汽油達十餘萬噸，每加侖以十二元計，值國幣四萬萬元左右。果能改善全國路面，每年可節省一萬萬元，目前最有效之改善辦法，即爲推廣級配石子路面之鋪築，同時澈底研究碎石路之改良鋪築法。至高級路面，目前雖尚未不談到，然亦不可不有準備。國人以往爲于輕視公路工程，以爲此項工程，無其深奧之技巧。抗戰以來，公路地位，一躍爲全國交通最重要之工具，吾人應利用此種時機，對于公路事業，予以嚴密運籌之干正前之中。同時并用科學方法，解決一切公路之問題，而實驗工作，尤應積極進行。或以爲抗戰時期，此種非迫切需要之實驗工作，國家自無暇顧及，殊不知一種試驗之成功，即可爲國家節省幾千百萬之費用。以每年公路建築費一萬萬元計，若能抽出其中二百分之一，即可成立一完整之實驗機構，誠不可不加熟慮也。鋪築路面材料之設計，亦爲目前應立時實行之急務，現每年所用路面費，不下千餘萬元。著者體度若能稍加注意之材料運距，及路面種類之選擇，不難節省四分之一或三分之一以上。當在抗戰期間，　　總裁訓示：「吾人每一文錢，應作兩文錢用，」現此關係國家幾用數萬萬元之路面問題，安得不加以嚴切之注意。著者調查無交，詞不盡意，抛磚引玉，求文法病，深盼讀者對此問題，更加探討，並予指正。

國防應用科學公路研究之介紹

李　謨　熾

引　言

抗戰軍興以來，國際間之交通，國內各地之聯絡，大都皆藉公里長途，公路運輸，遂一躍而居交通首席之地位。五載以來，增闢之新路及改善之舊路，已達五餘公里。西南山岳地帶；有滇緬、西祥、川康、樂西、桂穗等新路之興築，西南及川康公路之改善。西北高原地帶；有西蘭、甘青、甘川、陝白、老白、川湘等新路之修築；川陝、華風、寶平等路之改善。其工程之艱巨，時間之迫促，而能有如此之成績，使千百萬噸之軍商物資之輸運，暢達各地，前方輔助抗戰，後方增加生產，實爲我國自力更生精神及抗建之一種表現。惟是以時間，人員，及經費之所限，公路運輸，迄未能達到最圓滿之地步。沿途車輛損壞者之多，肇禍者之衆，便一般商旅，視公路爲畏途，此爲不必諱言之事實。推源其故，

從事於路之低級員工，對於公路學術，領受過少，因而缺乏研究改善之精神。一般看法，認爲輒需將土石鋪平，使汽車能在其上行駛，則公路工程之能事已盡。不求甚解，故步自封，實爲科學進展之障。幸我國公路當局，對於公路學術研究，逐漸注意。以遠大之目光，從事於公路研究之工作，由科學技術着手，以謀改善之方。並培植低級幹部人才，固本清源，今後公路工程之日漸改善，定可預卜。然而我國青年，從事有關於建之公路工程者，人數實緣過少，其能從事於研究改善者，更不多覯。以致各公路實施機構，維致人才，極感困難。今茲科學運動之際，謹將介紹近年來公路學術研究之趨勢及研究之基本精神，藉以自勉自勉。願我當青年，多加努力，以符國父「迎頭趕上」之期望。

美國公路研究概況

公路事業，自以美國爲最發達，其公路里程之長，達五百萬公里，爲全球之冠。全長可沿赤道繞地球一百二十五週，設自地球能達月球，亦可往返六次有餘，平均每四人可分得汽車一輛。公路及汽車事業之發達，遠在我國之上，然而美國青年不以此驕自足，仍努力埋首繼續研究。故美國築路技術之精益求精，及汽車式樣之日新月異，良有以也。研究機關林立，不勝其數，綜觀之可分爲三類：

（一）各公路機關附設之公路研究實驗室　如美國公路總管理處之公路試驗所，全國研究委員會之公路研究委員會，及各州公路局之公路研究實驗室等等。

（二）各工科大學附設之公路研究所　如愛俄瓦大學，伊利那大學，俄海俄州立大學，普渡大學，華盛頓大學，麻因乙科大學，泰克薩斯大學，科羅拉多大學　耶魯大學，及哈佛大學等，皆設有研究所，研究各種公路問題。

（三）研究公路學會及會議　如美國州道人員協會，美國築路家協會，運輸工程師協會，全國公路協會，全國公路交通會議，全國公路使用者協會，全國交通協會，全國公路安全會議，公路教育會，瀝青鋪築專家協會等等，皆爲研究公路學術之會社。

美國全國四十八州中，有公路研究實驗室者達四十三州。任實驗室內工作者，有專家六十九人，技術試驗人員二百六十三人，技工三十人。在室外實驗工作者，有專家四百二十九人，技術試驗人員一百四十七人，技工一百三十三人。總計每年有數千人員，專門從事於公路土壤研究及試驗之工作。除此以外，尚有專門研究柏油之實驗室，有專門研究混凝土之實驗室，有專門用心理學方法研究行車準繩之機構，有專門研究行車安全及運輸經濟之學會，不勝枚舉。研究成績，出版月報，年報或特刊，總計有關公路學術之期刊，不下五十餘種。美國公路事業之能有今日之成績，研究風氣之普遍，實有以致之。

研究應用科學應具之精神

科學研究之所以能成功，公路事業之所以能進步，必在於從事研究工作者，具有下述五點精神：

（一）不論收穫如何耕耘　最近美國公路各種問題，無論巨細，均在研究之列。範圍大者，如「國防公路之計劃」，「運輸統制之研究」，「行車經濟之研究」，「土壤穩定之研究」，「柏油路面之研究」，及「行車安全之研究」等等。範圍小者，如「維他命A對於可機學關之影響」，「公路兩旁廣告之管理」，「返光路線之設計」，「路牌之形式及配色」，及「司機駕駛技術之試驗」等等。可謂無大不包，無微不至，不以小而不屑

研究，不以頻而不肯思考。研究實驗，往往有費時數載而未得結果者。不論敗績，但問耕耘，實爲研究科學之基本精神。

（二）學問求專而精　學問無涯，人力有限，故研究對象，不可過泛。一人僅能專精於某一種學問，其少能同時作數種專家。例如美國專門研究土壤者，有前根任克勃，卡蒂格朗德，及張塞爾等氏；專門研究柏油材料及路面者，有檢聖斯，哈巴德，保羅，路易斯，及開利等氏；專利松及文夫聖等氏，專門研究運輸及經濟；哥爾特培刻及布拉德柏利等氏，爲鋼筋混凝土路面設計研究之較著者。凡是這是美人專門求專而精，各人造詣尚深，但不能將一切公路問題，同時包括。不在研究範圍之內者，不肯妄加論斷，知之爲知之，不知爲不知，斯學問之能進步。

（三）百折不撓之精神　研究工作，非一朝一夕之功，需具有恆心及百折不撓之精神，否則往往易於失望而半途中止。愛迪生之所以能成功，其天才自超人一等，然日夜不斷在實驗室埋首苦幹，實爲其成功之秘訣。愛氏曾謂改良發明，天才不過佔十分之一，勤奮實佔十分之九。美國麥克多那爾氏，任職美國公路總管理處處長二十餘年，主持研究事業，堅苦不倦，尤屬難得可貴，實爲吾青年對研究學問之當針也。

（四）互相切磋之精神　研究學術，貴在切磋。一人之思慮，容或有不周，多數人之集思廣益，以不同之角度，向一共同目標進攻，則其成效，自較優良。美國各著名學會，每當論文發表之後，以一年爲討論時期，凡對此問題有研究心得者，均可參加討論，並地者多用通訊方式。討論之精神，在以學術爲重，原著之優劣及正誤，悉經指出，不必顧慮人事問題。此種風氣，在我國最爲缺乏，任何論文發表之後，鮮人就題評論，即使論文甚多，亦不過如昙花一現，不能提倡研究某一問題之趨向，故研究討論風氣，在我國實有積極提倡之要。

（五）密切聯繫與合作之精神　應用科學，所以致用也。研究之結果，應立即付諸實施，以觀察其成效。然後根據實際情形，繼續加以研究，以期逐步改善，必如此學術與技術始能達成一片。且室內任研究實驗工作者，始能對實際情形，有所貢獻，而「知」與「行」始能獲得聯繫，不致有「知者不行」及「行者不知」之現象。職是之故，美國各公路實施機構，不但皆有完備研究實驗之設置，而且多與鄰近之著名工科大學密切合作，就近研究該路之一切問題。研究結果及實際情形之報告，分寄各機關團體，以便討論。同時亦採取其他機關之研究結果，付諸實施。使全國之研究機構，互通聲息，互相觀摩。就吾建實驗室所在地區之不同，各有特殊之研究工作，以符分工合作之旨，使全國工程，均成研究之對象。此種技術實施機構與學術研究機構密切聯繫與充分合作之精神，互相推進，以求改善，吾人急宜效法。

尾　論

公路工程爲國防應用科學。在抗建期中，其所負使命之重要，已爲吾人所公認。綜觀歐美各國公路事業之發達。一日千里，吾人能不努力乎？吾人今後對於公路，應有一番新的認識與了解，公路之改善，必以科學眼光，由研究正途着手而謀改善之方，如是則我國公路問題，庶可一舉迎刃而解。然後急起直追，再經十餘年之努力，則我國不惟公路，即一切科學，均可驅能與歐美各國並駕齊驅也。

公路事業之剖面觀

陳本端

引言

現在有一般人，對於公路運輸，抱着懷疑的態度，他們的意見，是公路運輸，在量與質的方面，均有很大的缺點。用普通的眼光來看一看，我國目前公路的情形，亦難怪他們發生這種不幸的見解，的確可以令人抱持懷疑的態度，但是要詳細考察一下歐美公路運輸的情形，就可以馬上知道，公路事業是無懷疑之可能，并不是公路本身的效能不足，只是我們自己的公路，辦得與修得不夠標準，所以不克發揮偉大的效率。現在拿美國來講，他們的公路，目前一共有三百萬英里，其中大部分是鋪有瀝面的，全國的各城，沒有一處不是聯通的，只要你有一輛汽車，那你可以到任何地方，而不必亦不願坐火車，路面到處是平坦的，路線到處是順直的。以運度論，公路上的車輛，可以開到每小時八十五英里，最少亦有五十英里之多，所以平均總有六十五或七十英之里間。自東部的紐約市到西部的舊金山，距離有三千多英里，可是貨運只需三日半，因爲運度快，而且日夜開駛不停，所以能得到這時間的經濟。若用火車來運，反需四日有餘，由此可見。在這輸時間的問題上，已能超過鐵路能力之上了，若在運費上來講，一般人一定很堅決的說，火車容量大，汽車容量小，這個見解，是不平等的比較。換句話講，就是用一列火車的容量與一輛汽車的容量作比較，當然汽車的容量，比不過火車，假使亦用一列汽車與一列火車來比較，其相差悬殊是微乎其微了。所以由這個問題的演進，美國公路運貨車，近來已有列車之設備，每列計有四輛貨車，第一輛乃是機車，後半是貨車，其餘三輛，完全是貨車，每車載重十噸，所以這一列車，可以運貨五十噸，若同時開行四列，則每次可運二百噸，這是貨運的情形。客車雖無列車之設置，但是每輛車可容四十人左右，而且坐位極其舒適，若是每次開駛十輛，則每次至運量，亦可容四五百人之多。所以在貨及費的方面，公路運輸，并不低下，只要你辦得好，設備好，就能成功。

公路工程應有的認識

談起公路的工程來，更有許多的話要說，現在從頭講，在起初的時候，就是在一九〇二年以前，汽車尚未通行之際，公路是完全爲馬車之行駛，那時鐵路亦未發明，所以公路不過等於普通的大路。與水運並駕齊驅，當時的路大多數是土路。以後因爲雨季的泥濘，纔有本板卵石等樣的路面，後來英人發明馬克當石子路，問題纔得到了解決。到了蒸路發明，公路運輸，幾日見衰落，一直到本世紀的初葉，內燃機發明，汽車出而問世，纔得復興的機會，以後慢慢的演進，以至現在的情形。在這個演進之中，有一個大變化，值得我們注意的，就是以前的公路是慢速度的路，現在是快速度的。由這個變化，在工程設施上，亦造成了他不同的趨向，最顯明的例子，是馬克當路面，乃與行車最適宜的路面，現在快速度的車輛，已不適宜了，由這個緣故，可以看出近二十年來歐美的公路，完全在洋灰柏油層方面，加緊努力所成的路，盡是洋灰或柏油的路面。但是到最近的五六年間，又

出了一個耀花來，就是說洋灰柏油路面的過價過高，對於運輸的經濟問題，發生很大的疑問。換句話講，是投資價過多，得不償失，所以目前公路工程的問題，不僅是工程本身的問題，還得研究經濟之道，他整個的目標，是要減低工程造價，同時仍要得到行車之適宜條件。他的辦法，最在土壤上想方法，由土質的本身，努力研究他的能力，現在已居然成功了。所以現在歐美的公路運輸，不僅是快經濟，造價還要很便宜；談到我們自己的公路，雖然要發生很大的感想，但是看看別人的前進，反可指示我們一條迎頭趕上的捷徑來。第一件事要說的，是我們的公路，未足標準，每公里造價的概算，抗戰前平均大率是以三四千元，抗戰後大半是一二萬元，土石方稍為增加，就有其內，以這樣少的錢，能造出什麼好路來。我看不動的，這錢既有多少百萬元要十萬或十萬元，以三四千元或一二萬元的公路，供其比較，還說公路種類不同的批評，顯是本末不平，所以目前最要的，是要提高公路的造價。第二件事：是工程的設計，其中如路線的選擇，應以最速度為目標，坡度與曲線，均要切合實際的需要。其次是路面保護問題，要得妥適的效力，必宜要修路面，但是要修那一種路面，這個答覆，可以說是要從土壤及油類方面研究與試驗，方可得到經濟或耐用的方法。第三件事是研究學術的提倡，無論那一種事業，決不會停止不進的，樣樣事業須隨時研究最良與進步，所以關於公路工程方面，亦要增與技術研究的人才。

公路的財政問題

談到公路財政，最要的是收入，收入部分包括運輸的收益；及捐稅的收入。在未討論這個問題之前，我們可以先看一看美國公路的財政情形。他們的收入大宗，是從捐稅來的，例如汽油機油稅營業稅所得稅等等，其中一部分撥交中央，一部分收為省用。每年的數額，頗有可觀。所以各省公路的事業費，每年平均必有三四百萬元，足夠本省之用，如遇國道之建築，則酌量情形，另由中央津貼若干，但是這些收入，並不是由此處發生，仍然是由交通事業本身所得來的。例如購買汽車或者件增付稅，購買汽油機油重付稅，經營公路運輸事業須付稅，這些是公路收入的泉源，亦是取之於民，而用之於民的正當辦法。我國公路事業，自興辦以至于今，最感困難的，就是經費，因為經費的問題，所以公路是因陋而就簡，愈舉愈敗，事業愈衰敗，收入愈減少，以致弄得走無進展的辦法。為今之計，應當制定公路收入的來源，財政部應該規定，交通事業的收入，仍須撥歸交通事業費用的條文，如汽油機油汽車購買及汽車營業的稅收，統應用之於公路事業之上。其中若干應歸省用，若干交中央，條例分明，經費有着，無疑的，公路事業，必能發展了。

公路的管理問題

大凡事業之發展，均由組織的健全。組織健全，事業的進行，機能順利，公路管理的問題，亦無例外。現在最重要的是，中央須統權，各省要合作，所以對於組織一方面非注意不可，中央方面要設立總管的機關，其為應分總務工程費計運輸及研究五部。總務司掌各項不屬工程的事項，如會計庶務以及人事等等，工程司掌建築國防運路以及督察各省工程的責任，設計司掌各種工程之設計及統一全國公路工程之標準，運輸司掌各國公路交通管理事項，研究則司掌材料的試驗以及研究各種工程的改進。至於各省，則應設立省公路

機關，下設總務工程交通管理及材料試驗各部，以理各省之公路事宜，凡設計研究事項統由中央辦理，以免殖重。至於人員的運用，主管人才應由各省呈薦而由中央同意任用，或由中央直接選派，亦無不可，佐治人才，則由各省分別委用，但均須聽別及格，以便受僱者事得所用，政府方面，事得其才。其他如獎罰以及工作的保障，均須有一定之條例，雖有條例，一定要去實施，過去未曾實施的好條例，要實施出來，未曾成立的，馬上要成立。

公路的運輸問題

公路運輸的事業，可分爲二種，一爲國營，一爲商營，亦有官商合辦者無論那一種，只要辦得好，對於就會國家，都是有利益。不過國家的資力有限，人民的財力無窮，所以要去鼓勵商辦，而由國家加以監督。要提倡人民集資，去興辦公用事業，纔能有大規模的發展。不過運輸的管理與設備，必須建立，規定要有一定的標準，不是買一兩輛舊車改造一下，就可營業的，一定要符合國家規定的一切條例，如資本的規定，設備之規定等等，方能發揮公路運輸的效力，否則一定會變成野雞式的營業，這是毫無疑問的。公路上若有大量民用汽車行駛，則不獨工程設備要週密完全，而行車之規章，更屬急要之圖，所以交通管理，可說是不容或緩之舉了。

我國公路目前的兩個嚴重問題

我國專門公路以及熱心公路事業的人們，最怕遇見兩種問題提出來，一是汽油提煉，一是汽車製造。這兩個問題，的確是公路事業的血脈。我國因爲這兩個問題，倘未解決，所以處處碰到困難。有人說：我國多造一尺路，就是給外國多闢一尺市場，理由完足得很，說來亦極動人，不過我們多給外國造一尺的市場，同時我們自己得到多少利益，這個比較，到無人曾經談論過。我相信的是，如果我們的路造得好，則我們所得的利益，必定比較大，換句話說，用了點錢買外國貨來開發我們的內地，改進我們的社會，增加我國的生產，雖然暫時破費一點，仍然是值得作的事。但是不容否認的，現在是過渡的時期。而在這過渡的時期內，我們應當積極的籌備汽油汽車的製造，以謀解決我們根本的問題，所以目前無妨仍然多修點路，但是要修得鞏固堅牢，纔能鞏發揮路的效力，纔能得到他真正的利益。同時不可忘的，是要設設汽油汽車的製造廠，這不僅是國家應注意提倡的，亦是人民應該努力去辦的事，

結　語

公路事業，在一個近代國家之內，其作用可以說是有雙關的意義，一方面是運輸交通的問題，另一方面是國防的問題，兩方面是同屬重要，但是作風各有不同。運輸交通的立場，是以民用爲前提，國防交通的立場，是以軍用爲前提。若在承平時代，辦理公路之方策，不能不寓軍用於民用，而在戰爭時代，則不可不寓民用於軍用。無論以民用或軍用爲立場，公路的修築，必須澈底的完備，以能達到理想中的功效爲目的。軍用目的之達到，須以任何代價去完成他的任務，不過是有時代性的分別，時代性的不同，可說是戰時與平

時兩種的區別，但是工程的推行，需要時間的充足，所以公路建築，仍然是逐年時的努力。而平時的努力，更需有一定的計劃，一定的辦法，一定的目標。由此看來，公路的策略，似仍以寓軍用於民用，較爲妥當。而民用的意義，他唯一的立場是公用事業的一種，而這種公用的性質，又與鐵路，有那不同。鐵路可以專營，公路則不可，亦不可能，最要的一個條件，是政府親盡力供給路的設備，民間要廣泛的，大規模的，去利用這種設備。換句話講，路是國有的，車輛要由人民去供給的。由前探處講，是政府負責修路養路維持交通，人民自已去經理運輸，利用這種廣大的事業，去發展無窮的泉源。一旦國家有事，民用即刻可以改爲軍用，軍事完畢，軍用立刻即可改回民用。現有韓錄美國汽車協會解釋公路事業的一句話，來作本篇的結語：

Highways were not built as a profit-making enterprise. The government should not attempt to make money out of them. They are designed to provide thegovernment with revenue but not as investments. They are actually aexample of action by the people, through the instrumentality of the government, to provide themselves with transportation facilities of minimum cost.

公路技術人員訓練課程之擬訂

李謨機

自抗戰三載以來，公路交通，日趨重要，在西南及西北諸鐵路未完成前，有此過渡時期，無論軍運、客運及貨運，除利用少數水道外，幾大都惟公路是賴。西南西北之開發建設，人民自貨物之西移，尚足使昔日之公路，不能勝任。蓋輕重緩急以及中都，皆有鐵路及水路交通，而西南及西北諸省，又不如今日之重要，故公路交通，始終居於次要地位。觀乎昔日公路經費之拮据，工程之因陋就簡，技術人才之缺乏，可知其梗概焉。以交通繁密之浙皖京滬一帶而論，據民二十三年七月交通調查結果，每日交通量，平均係三十四輛一晝夜左右之公共及乘人小汽車，而今日行駛於贛道者，乃百輛以至數百輛三晝夜左右之載重汽車。欲求公路勝此重任勢非謀改善整理不可，否則運輸滯阻，於抗戰及建設，均有莫大影響也。

公路知識，日新月異，土壤之穩定，鋪配混合劑及各式低級路面之建築，皆爲公路之新近發展。鐵路方面，除自動號誌設備外，大都當舊，無甚變遷。公路與鐵路類似之處，僅測量步驟及土石方工程，大致相同。其他如建築材料，建築方法，養路方法，以及運輸管理，則迥然各異。苟認爲從事鐵路者，可謂輕就熟而能主持公路，則此種觀念，未免錯誤。蓋鐵路專家，未必能盡量利用公路新知識，以改善適合大可能程度耳。今日公路技術人才之缺乏，皆由於昔日輕視公路之成因。試查展屆留英庚款及留美考試，各科皆有，惟公路工程一項，概付闕如，亦從未開有公路工程科目考試之舉。愛以爲修築公路，不過開挖土石，堵高填低而已，人人皆能爲之，有何研究之必要。今日之事實，可使昔日輕視公路者，另眼相看矣。訓練公路技術人員，爲改善整理舊路及興修新路必要之準備。最近交通部公路技術人員訓練所，中央軍校特別訓練班交通隊公路建築科，西南運輸處運輸人員訓練所，雲南公路總局訓練班等之成立，皆本是意。訓練方式，一方面宜將現今服務公路

人員，分批調來訓練。此種訓練，爲時較短，無需補修未習課程，視程度之差別，普通約需半年至一年時期。他方面則招收高中以上畢業生，體格健全及成績優異者，受二年嚴格公路訓練，俾成爲都公路人員。訓練課程，將期統一，茲按部見擬就課程表如下：

第一學年第一學期	講演	實習 次數	實習 每時數	實習 次數	學分
(1)平面測量	2	2	3	4	20
(2)工程數學	3			3	
(3)靜動力學	4			4	
(4)工程地質學	2			2	
(5)環境衛生	2			2	
(6)公路製圖		3	3	3	
(7)工程英文(上)	2			2	
第一學年第二學期					
(8)公路曲線及土工	3	1	3	4	20
(9)汽車學	3			3	
(10)材料力學	4			4	
(11)工程材料學	2			2	
(12)材料實驗		1	3	1	
(13)都市計劃	2			2	
(14)工程估計及契約	2			2	
(15)工程英文(中)	2			2	
暑期實習					
(16)公路定線實習(時期一月)				5	
(17)公路實習(派赴各路段時期一月)				5	
第二學年第一學期					
(18)公路建築與養護(上)	3			3	20
(19)公路房屋建築	2			2	
(20)公路坊工建築	3			3	
(21)公路土壤	3			3	
(22)公路材料實驗(上)	1	1	3	2	
(23)橋梁學	3			3	
(24)隧道工程	2			2	
(25)工程英文(下)	2			2	

第二學年	第二學期				
(26)公路建築與養護(下)	3			3	
(27)公路橋梁及設計	1	2	3	3	
(28)公路設計	1	1	3	2	
(29)公路運輸	2			2	
(30)公路經濟	2			2	20
(31)公路經財與管理	2			2	
(32)公路材料實驗(下)	1	1	3	2	
(33)公路運輸調查		1	3	1	
(34)公路論文				3	

關於各主要公路課程教本(第8,18,19,20,21,22,26,27,28,29,30,31,32,及33等項)內容務求充實，理論與實際並重。值急組織公路課程編輯委員會，延聘專家多人，從事工作，或能迅速完成，以應急需。除此類專為訓練公路人員而設之機關外，並宜興設備完美及成績卓異之國立大學工學院合作，專專訓練高級公路技術人員。按公路材料實驗，分為三部：(一)砂石設備約美金三千五百元；(二)瀝青材料設備，約美金一千五百元；(三)土壤設備，初步約美金五百元，高級約美金二千元；故一公路材料實驗室全部設備費，價值約需美金七千五百元。普通材料實驗設備，測量儀器，及圖書設備，尚不在內。合計總在美金三萬元左右。在抗戰時期，舉辦殊非易事，最好與原有此項設備之大學合作，再加以擴充，使人力財力集中，成為中國最完備之公路材料實驗室，公路圖書室，及公路工程學系。既可訓練高級公路技術人員，負改善整理舊路及修築新路之責，同時又可利用從事研究目前急需解決各種公路技術問題，如路面，場方，土壤穩定，安全等諸問題。如是則公路前途，無可限量，於抗戰必勝及建國必成，皆有莫大關係。以極少數之人力及財力，收獲最良好之效果，尚望負責公路工程及運輸事業者，參考焉之。

泥結碎石路面結合料穩定試驗報告

（一）燒紅土及石灰

李謨熾　涂漢廷

(1) 緒言：馬克當碎石路面，有水結式，瀝青結式，水泥結式，燒瓦結式，及車壓結式等數種，歐美採用，歷時已久。我國公路所用之碎石路面，在原則上，爲馬克當式，但實際上，則無所似。蓋普通所能之碎石路面，皆爲所謂泥結碎石路面。考泥結碎石路面，在歐美各國，向無前例，更無稽考。此種路面，在學理上有無根據，亦向無人加以研究。其能採用多年而不廢者，蓋一則公路運輸不繁，行車量少，足以維持；二則建築費不昂，修築簡易，任何工人皆能修建。惟抗戰以來，公路運輸，隨居首位，車輛既多，原有路面，乃破裂遂現，養路費用，日見增加，養不勝養，無法維持。如何改善此種路面，乃爲當務之急。本室自見及此，愛加研究，本篇之報告，完全試驗泥結碎石路面，在學理上，有無價值，同時並試驗泥土與石灰混合結合料之黏結力，可否利用。但採取土料，乃選南之紅土而經燒煉者，其質較未燒過者，當屬優良。蓋因此種土料，產銷減省，而目前後方邊際路線，叢集此方，倘能得有結果，不僅能爲學術上之探討，又可爲實際方面之利用。至於未燒紅土及普通泥土，亦當逐一加以試驗而探討之，以爲整個問題之解決。

(2) 試驗目的：試驗燒紅土及其石灰混合物之結結力，以求得碎石路面及級配碎石路面適宜結合料，俾利行車而減輕養路工作之負担。

(3) 試驗材料化學分析：

(1) 燒紅土

(a) 出產地點：　雲南嶍縣

(b) 燒煉溫度：　約300°C.

(c) 物理性分析：

液體限度	62.24%
塑性限度	58.25%
塑性指數	3.99

(d) 化學分析：

SiO_2	55%
FeO	12%
Al_2O_3	23%
MGO及其他	10%

(2) 石灰　出產地點：　雲南昆明

(4) 試驗界說：

(1) 液體限度　土壤經十次敲打後，開始流動時所含水份重量與乾土淨重之百分比（手擊法）

(2) 塑性限度　使土壤搓成 3公厘直徑開始碎斷時所需之最低水份與乾土淨重之百分比

(3) 塑性指數　液體限度與塑性限度之差值

(4) 最好水份　在不同水份下土壤壓至最大密度時，所含水份與乾土淨重之百分比

(5) 黏結力　濕土黏結碎石或礫石之能力

(6) 機械分析　土粒粗細之分析

(7) 乾澤試驗　試驗試樣經四度浸漬及烘乾後所損失之乾土淨重

(5) 試驗儀器：

(1) 液體限度試驗

40號篩	1
蒸發碟	1
白鐵罐	6
軟　刀	1
劃槽器	1
天　秤	1
電　爐	1

(2) 塑性限度試驗

40號篩	1
蒸發碟	1
白鐵罐	6
天　秤	1
電　爐	1

(3) 吸濕水份試驗

蒸發碟	1
軟　刀	1
40號篩	1
天　秤	1
製模機	1

(4) 黏結力試驗

40號篩	1
製模機	1
天　秤	1
電口玻璃瓶	1
軟　刀	1
白鐵盤	1
小　鏟	1

電　爐	1
乾燥器	1
黏度機	1

(5) 機械分析

篩機	
篩(10,20,40,60,100,200號)	1套
天　秤	1

(6) 乾澤試驗

40號篩	1
蒸發碟	1
軟　刀	1
天　秤	1
製模機	1
電　爐	1
水　盂	1

(6) 試驗步驟：

(1) 液體限度試驗

將通過40號篩網泥土加水混合後，置於蒸發碟內，用軟刀刮平頂部，使其中心厚度適為1公分。然後用劃槽器分為二半，一手持碟，使槽垂直方向向其他一手掌部輕拍之。若經十次拍擊之後，兩半合攏處適有1/4公分長時，將中部土壤取出一小部，置於罐內，立即權其重量。然後置於電爐內烘110°C，之常溫烘乾之，再權其重量。

(2) 塑性限度試驗

將通過40號篩網之泥土和水後，揉成小團，再搓成成線條，反覆為之，直至直徑為3公厘而碎斷時，將其置於罐內，立即權其重量。然後置於電爐中以110°C，之常溫烘乾之，再權其重量。

(3) 最好水份試驗

將泥土和水後，置於製模機內，以每平方公分132公斤之壓力壓成筒模。取一定長度，置於罐內，權其重量。烘乾後，再權其重量。加不同水份試驗，直至濕泥之重量達至最高點，與呈下降趨勢時為止，將結果繪成曲線。（含水量與乾土塊百分比數為橫座標，乾土淨量為縱座標）。曲線上最高點之含水量百分數，（隨稱濕份）即為所求之最好水份。

通常試驗土壤之最好水份，係用葡氏瓶筒，其試驗步驟為將通過4號篩網之土分三層置於圓筒內，每層以重 $2\frac{1}{2}$ 公斤圓柱形鋼舂，自高30公分之處，下擊25次。

幾箇鐘之久，將水滴除去，稱其重量。取出一小部烘乾之，求其濕份。並加不同水份試驗，直至濕土重量復呈下降趨勢時為止。如前繪成曲線，即求最好水份。霍氏最好水份標準試驗，所需時間，較機械者為多，但所得之結果，遠為準確。因當時本室作此試驗時，本室自製霍氏圓筒，正在製造中，尚未完成；故暫採用此簡便方法代之。

(4) 黏結力試驗

將通過40號篩細泥土，烘乾後按照最好水份，均勻混合，放置密口瓶內。權出一小部份，用硬度機壓成 $2\frac{1}{2}$ 公分高之試驗六個，每平方公分壓力為 132公斤。在空氣中壓放24小時後，移於濕櫃內，以110°C. 之蒸汽烘 4小時。取出試塊，置於乾燥器內冷卻20分鐘。然後以黏度機試驗其黏結力。（黏結力為試塊開始破裂時破斷壓力之次數。）

(5) 機械分析

權出100克重之樣品置10號篩網上，其下順序為20,40,60,100，及200號篩網。用搖篩機過篩後，求通過及遺留各篩網之重量。

(6) 乾濕試驗

一如黏度試驗之手續，製成試模，權得其烘乾後之重量，再依下列步驟循環四次，重復為之：

(a) 將試模於室溫下浸入水中16小時。

(b) 取出試模，以160°C. 左右之溫度，在電爐中烘烤8小時。

(c) 取出試模，在空氣中冷却。

(d) 用硬毛刷輕刷之。

(e) 權其重量。

乾土原重與並土最終重量之差值，即為在濕乾環四次之損失。

(7) 試驗結果： 試驗結果可參閱表一至表二及圖一至圖五

表一 機械分析

通過	遺留	百分數	粒徑（毫米）	遺留量（百分數）	通過量（百分數）
.....	10號篩網	1.00	2.00	1.00	99.00
10號篩網	20號篩網	8.38	0.84	9.38	90.62
20號篩網	40號篩網	37.53	0.42	46.91	53.09
40號篩網	60號篩網	35.80	0.25	82.81	17.20
60號篩網	100號篩網	11.65	0.149	93.85	6.15
100號篩網	200號篩網	3.35	0.074	97.15	2.85
200號篩網	.....	2.85	注：樣品總重=100.00克		

表二：液體限度

樣品	罐及濕土重量（克）	罐及乾土重量（克）	罐重(克)	乾土淨重(克)	水份重量(克)	水份百分率
燒紅土	162.21	155.78	145.45	10.33	6.43	62.24
加2%石灰	32.50	30.05	26.20	3.85	2.45	63.80
加4%石灰	31.80	29.80	26.90	2.90	2.00	68.50
加6%石灰	30.90	28.80	25.80	3.00	2.10	70.00
加8%石灰	31.04	29.00	25.80	3.20	2.40	74.90
加10%石灰	33.45	29.80	26.80	3.00	2.31	76.70

表三：塑性限度

樣品	罐重（克）	罐及濕土重量(克)	罐及乾土重量(克)	乾土重(克)	水份重量(克)	水份百分率
燒紅土	115.10	127.76	123.10	8.00	4.66	58.25
燒紅土加2%石灰	25.75	28.07	27.35	1.60	0.72	45.00
	43.60	45.60	45.68	2.08	0.92	44.30
	45.64	48.76	47.60	2.56	1.16	45.30
	44.38	46.90	45.11	1.73	0.79	45.70
	平均					45.07
燒紅土加4%石灰	26.45	29.75	28.74	2.29	1.01	44.16
	26.50	28.10	27.40	1.40	0.70	50.00
	平均					47.07
燒紅土加6%石灰	26.00	28.16	27.32	1.28	0.84	65.63
	26.00	27.70	27.20	1.20	0.50	41.70
	26.30	28.90	28.03	1.83	0.87	47.50
	26.00	29.53	28.45	2.45	1.08	44.10
	25.75	29.20	28.07	2.32	1.13	48.70
	平均					49.11
燒紅土加8%石灰	26.45	29.41	28.37	1.92	1.04	54.16
	26.60	28.00	27.55	0.95	0.45	47.40
	26.90	29.63	28.70	1.80	0.93	51.70
	26.45	29.58	28.29	2.04	1.09	53.30
	平均					51.14
燒紅土加10%石灰	26.30	27.60	27.10	0.80	0.50	62.50
	26.39	29.26	28.47	1.07	0.79	47.30
	26.60	30.16	28.96	2.33	1.29	54.00
	平均					54.60

表四：最好水份

石灰成份	混合水份（%）	土之體積（c.c）	鑽重（克）	濕土及鑽重（克）	濕土重（克）	乾土及鑽重量（克）	乾土重（克）	水份重量（克）	濕份（%）
純土	5	21.14	43.65	70.57	26.92	66.72	23.07	3.85	16.69
	10	,,	43.60	72.00	28.30	67.30	23.80	4.70	19.74
	12	,,	45.14	73.25	28.11	68.25	23.11	5.00	21.63
	14	,,	44.35	73.50	29.15	67.85	23.50	5.65	24.04
	16	,,	46.20	74.85	28.65	68.97	22.77	7.88	34.60
	18	,,	49.90	79.80	29.90	73.35	23.45	6.45	27.50
	20	,,	49.30	79.50	30.20	72.53	23.23	6.97	30.00
	25	,,	43.40	81.65	33.75	72.80	24.70	9.05	36.60
	30	,,	44.60	80.20	35.60	69.30	25.3	10.30	40.70
	35	,,	45.14	84.50	39.36	71.95	26.81	12.55	43.81
	40	,,	26.00	66.70	40.70	63.40	27.40	13.30	48.54
	45	,,	48.10	83.70	40.60	71.55	26.45	13.15	49.72
加2%石灰	20	,,	26.30	53.15	26.85	46.65	20.65	6.20	30.01
	25	,,	26.89	56.26	29.45	48.37	21.67	7.89	36.26
	30	,,	25.80	56.85	31.00	47.50	21.70	9.30	42.86
	35	,,	26.00	62.80	36.80	50.95	24.95	11.85	47.50
	40	,,	26.10	65.10	38.90	53.14	26.04	11.96	45.07
	45	,,	26.20	66.35	40.15	52.9	26.75	13.40	50.10
	50	,,	48.10	85.45	37.35	71.96	23.86	13.43	56.34
加4%石灰	20	,,	44.60	74.40	29.80	67.46	22.86	6.94	30.36
	25	,,	49.90	84.75	34.85	75.55	25.65	9.20	35.97
	30	,,	43.65	78.95	35.30	62.40	24.7	10.55	42.62
	35	,,	46.20	85.55	40.35	73.61	27.44	12.91	43.77
	40	,,	41.45	84.10	39.65	71.55	27.10	12.55	46.31
	45	,,	49.30	88.60	39.30	75.10	25.80	13.50	52.33
加6%石灰	20	,,	25.75	57.05	31.30	49.65	23.90	7.38	30.89
	25	,,	26.80	57.62	30.82	49.40	22.60	8.22	36.38
	30	,,	26.00	59.87	33.87	49.55	23.55	9.82	41.70
	35	,,	26.30	65.00	38.70	52.43	26.10	12.60	48.28
	40	,,	26.20	65.60	39.40	52.17	25.97	13.43	51.33
	45	,,	25.80	65.55	39.75	51.37	25.57	14.18	55.45
	50	,,	26.60	65.30	38.70	51.00	24.40	14.30	58.61
加8%石灰	25	,,	44.38	74.91	30.53	66.71	22.31	8.21	36.80
	30	,,	26.00	68.58	37.93	52.78	26.78	11.20	41.82
	35	,,	26.90	64.80	37.90	52.57	25.67	12.23	47.69
	40	,,	26.24	65.53	39.29	52.35	26.11	13.18	50.49
	45	,,	43.50	82.76	39.26	68.83	25.30	13.87	54.83
	50	,,	44.98	84.03	38.97	70.28	25.30	13.80	54.93
	55	,,	45.14	83.10	37.96	68.48	23.34	14.62	62.64
加10%石灰	25	,,	26.00	53.45	30.45	43.12	22.12	8.33	37.65
	30	,,	48.10	87.05	33.95	74.80	26.70	12.25	45.87
	35	,,	49.30	86.01	36.71	74.50	25.20	11.51	46.63
	40	,,	41.60	84.55	39.95	71.00	26.40	13.55	51.33
	45	,,	46.20	85.56	39.16	71.53	25.33	13.83	54.59
	50	,,	41.45	83.25	38.80	68.92	24.47	14.33	58.56
	55	,,	43.65	81.85	37.70	67.21	23.56	14.14	60.02

表五：黏結力試驗

黏結力	試驗次數	0%石灰	2%石灰	4%石灰	6%石灰	8%石灰	10%石灰
	1	98	100	90	212	210	387
	2	112	119	128	252	362	402
	3	74	127	131	234	385	416
	4	69	97	108	190	276	……
	5	115	……	……	……	……	……
	6	76	……	……	……	……	……
	平均	91	111	114	217	288	402

表六：乾濕試驗

樣品	原來乾土淨重	乾濕循環 I				II				III				IV			
		乾土重	損失土重			乾土重	損失土重			乾土重	損失土重			乾土重	損失土重		
			重量	%			重量	%			重量	%			重量	%	
0%石灰	16.96	16.80	0.16	0.95		16.72	0.24	1.41		16.61	0.35	2.06		16.50	0.46	2.73	
2%石灰	17.78	17.69	0.09	0.51		17.55	0.23	1.30		17.50	0.28	1.59		17.40	0.38	2.13	
4%石灰	16.95	16.91	0.05	0.29		16.83	0.15	0.89		16.66	0.29	1.70		16.61	0.34	2.01	
6%石灰	16.89	16.85	0.04	0.28		16.66	0.23	1.36		16.63	0.29	1.70		16.57	0.32	1.91	
8%石灰	17.20	17.19	0.10	0.59		16.98	0.22	1.28		16.92	0.28	1.63		16.90	0.30	1.74	
10%石灰	16.87	16.81	0.07	0.41		16.75	0.12	0.71		16.71	0.16	0.94		16.69	0.18	1.07	

表七：試驗總結果

	液體限度	塑性限度	塑性指數	最好水份	黏結力	乾濕損失
純土	62.24%	58.25%	3.99%	48.1%	91	2.53%
加2%石灰	63.81%	45.07%	18.73%	48.5%	111	2.13%
加4%石灰	68.50%	47.07%	21.43%	48.0%	114	2.01%
加6%石灰	70.00%	49.11%	20.89%	51.0%	217	1.91%
加8%石灰	74.91%	51.14%	23.76%	56.9%	288	1.74%
加10%石灰	76.70%	54.60%	22.10%	52.2%	402	1.07%

(8) 討論事項：

(1) 液體限度，如圖一所示，隨和石灰成份及液體限度成正比例，其關係為一直線。

(2) 塑性限度與塑性指數，其結果與液體限度相同。

(3) 最好水份。本試驗未照規定標準，而以製造機代替福氏儀器，因製壓程度不同，結果自異。用福氏儀器作試驗時，其規定敲擊次數，為 $2\frac{1}{2}$ 公斤錘，於高度30.5分糎自由下墜25次，其與土之接觸面積直徑為5公分。而本實驗所用之壓力，則為每平公分 132公斤。

錘下壓縮量=2.5×30.75公分公斤

土壤受力面積$=\frac{\pi\times5^2}{4}=19.64$平方公分

如不計受力面積下之上與其鄰部份之土間之摩擦力，並假定壓力爲P公斤1平方公分，收縮爲dl公分；則$19.64\times P\times dl=75$

試模所受之壓力=132公斤/平方公分

$dl=\frac{75}{19.64\times132}=0.03$公分

故在錘下壓第25次時，土質下縮爲0.03公分。此時之緊厚程度，始相當於132公斤/平方公分之壓力。但本試驗所施壓力不同，故與衛氏試驗大同而小異。

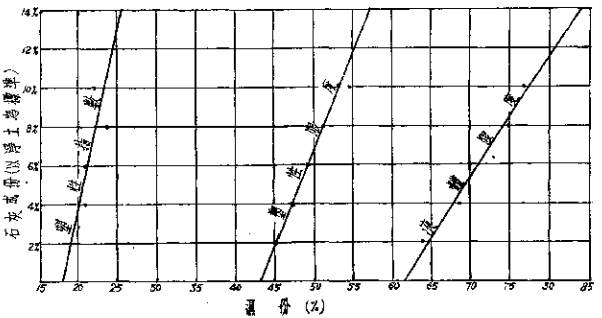
因衛模之體積，遠較衛氏圓筒爲小，約爲四十五分之一，故誤差較大。是此種試驗結果僅或之各點，不能在一光滑曲線上，乃必然之事實也。

(5) 黏結力試驗，本試驗之主要目的，爲求適當石灰與燒紅土混合後，須具有黏結碎石或礫石之能力，以修築泥結碎石路面。普通水結碎石路面標準，石粉之結結力至少須在25以上，方可適用。惟黏結力因緊厚程度而異，同樣材料，緊厚程度愈大者，其黏結力愈大。修築水結碎石路所用之汽輾，至少規定在 10 噸以上。而我國修築泥結碎石路面，往往以二三噸之人力輾代替，即用汽輾，最重者亦不及10噸。爲適合實際情形，泥結碎石路面結合料之黏結力，最好在 100以上，方能利用而無疵。由本試驗之結果，可知燒紅土本身，即具有適當之黏結力。

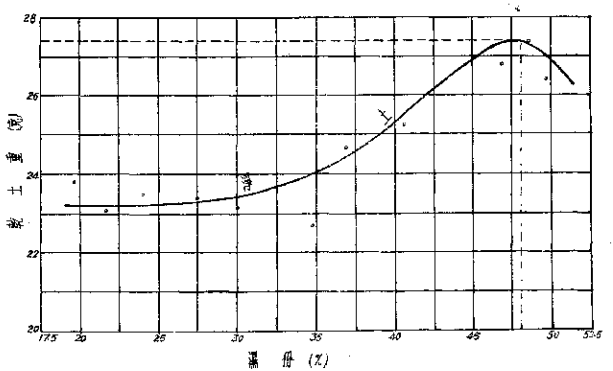
(6) 乾濕試驗，通常泥結碎石路面及土路受天氣之影響甚大。本試驗之目的，即爲求燒紅土本身及其加石灰後之之穩定性，換言之，即抵抗氣候變遷之能力。試驗之步驟，係依據一九三六年美國公路研究學會年刊第 322頁密爾斯(W.H.Mills) 之水泥穩定土壤試驗結果報告。惟乾濕循環之次數，決定由15次減爲 4次。蓋因泥結碎石路面之泥土，僅用作結合料，故無需試驗15次之多也。

由本試驗之結果，就穩定性而言，燒紅土已適宜于修築泥結碎石路面之用，惟加石灰後，則更益穩定。加 8 %及10 %石灰後，其穩定性尤爲明顯，(圖五)，故試驗之結果，頗與理論吻合。

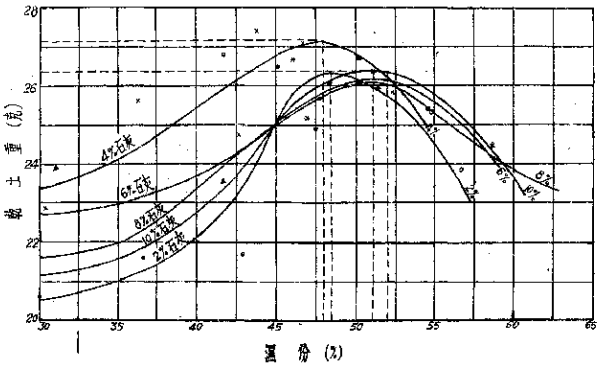
(7) 結論　我國以泥土結合碎石路面，行之已久，本室試驗，尚係初次。以此次經驗所知，泥結碎石路面建築之方法，在理論上，尚屬可行，但各地土質不同，其黏結性自亦各異，以各種不同之泥土，黏結碎石，若無試驗，似非妥當。本試驗以紅土爲根據，僅可限制於西南產生紅土區域之內，若他種土質，自應一一加以研究，以切實際。惟可斷言者，此種泥土結合料，必須具有兩種條件：一爲黏結力，一爲水化性。蓋結合材料，黏結力强而水化性低者，方可爲路面建築之材料。普通石灰材料摻和泥土之中，可以抵抗水化，爲用頗多。至未燒過之紅土試驗，當於下次試驗，以供研究參攷。


14%
12%
10%
8%
6%
4%
2%
石灰高岭(以黏土為標準)
黏土
黏土
黏土
黏土
黏土
黏土
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
黏 含 (%)

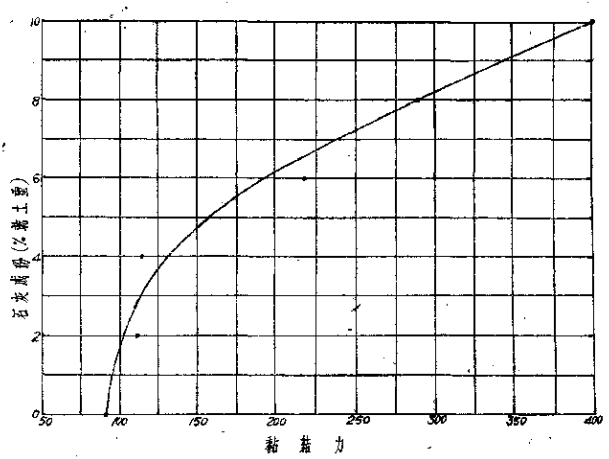
圖一


28
26
24
22
20
乾土重(克)
17.5
20
25
30
35
40
45
50
53.5
黏 含 (%)

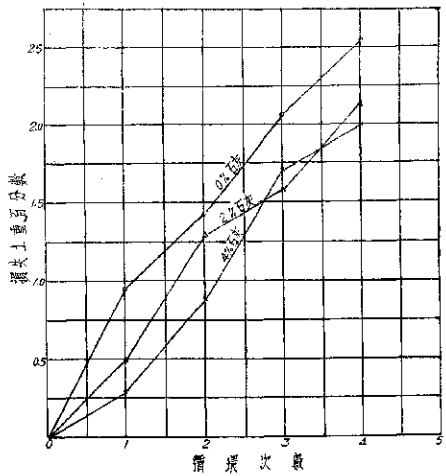
圖二

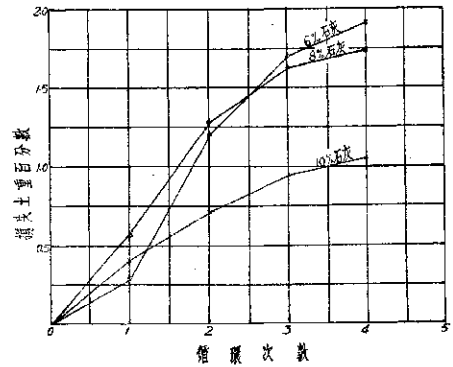

乾土重(克)
28
26
24
22
20
30
35
40
45
50
55
60
65
4%石灰
6.5%石灰
8%石灰
10%石灰
12%石灰
2%
4%
6%
8%
10%
12%
圓份(%)

圖三


石灰成份(%乾土重)
10
8
6
4
2
0
50
100
150
200
250
300
350
400
粘結力

圖四


2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
1
2
3
4
5
0%石灰
2%石灰
4%石灰
潮濕土重百分數
循環次數


2.0
1.5
1.0
0.5
0
1
2
3
4
5
6%石灰
8%石灰
10%石灰
潮濕土重百分數
循環次數

圖五

泥結碎石路面結合料穩定試驗報告

（二）生紅土及石灰

李謨熾　涂漢廷

(1) 試驗目的：——試驗未燒紅土及與石灰混合物之黏結力，以求得泥結碎石路面及級配碎石路面之適宜結合料，而與燒紅土之試驗結果一作比較。

(2) 試驗材料：——(1) 生紅土

出產地點：　雲南昆明

物理性分析：　液體限度　60.37%　　塑性限度　33.97%

塑性指數　26.4)%　　黏土成份　97.00%

(2) 石灰　出產地點：　雲南昆明

(3) 試驗儀器：——與燒紅土及石灰試驗報告同。

(4) 試驗步驟：——本試驗之步驟與燒紅土者相同，液體限度之試驗，仍用手搖法。最好水份試驗，仍以製模機代替衞氏儀器，壓製試模所用之壓力，仍爲132公斤／平方公分。乾濕試驗循環次數，仍採用 4次。（參閱燒紅土及石灰試驗報告）

(5) 試驗結果：——試驗結果可參閱表一至表六及圖一至圖四。

表一：機械分析

通過	遺留	百分數	粒徑（糎）	較粗者(%)	較細者(%)
……	10號篩	3.6	2.00	3.6	96.4
10號篩	20號篩	35.4	0.84	39.0	61.0
20號篩	40號篩	36.6	0.42	75.6	24.4
40號篩	60號篩	8.7	0.25	84.3	15.7
60號篩	100號篩	3.6	0.149	87.9	12.1
100號篩	200號篩	4.1	0.074	92.0	8.0
200號篩	……	8.0	註：樣品總重=100.0克		

總和100.0

表二：液體限度及塑性限度

	樣品	罐及濕土重量(克)	罐及乾土重量(克)	罐重(克)	乾土淨重(克)	水份重量(克)	水份百分率
液體限度	生紅土	38.99	34.10	26.00	8.10	4.89	60.37
	加2.5%石灰	39.70	34.42	25.75	8.67	5.28	60.90
	加5.0%石灰	41.29	35.61	26.32	9.29	5.68	61.14
	加7.5%石灰	32.91	30.40	26.32	4.08	2.51	61.52
	加10.0%石灰	37.22	33.26	26.92	6.34	3.96	62.46
塑性限度	生紅土	28.07	27.54	25.98	1.56	0.53	33.97
	加2.5%石灰	29.51	28.66	26.20	2.46	0.85	34.88
	加5.0%石灰	31.20	30.02	26.80	3.22	1.18	36.64
	加7.5%石灰	30.08	29.22	26.92	2.32	0.86	37.04
	加10.0%石灰	30.45	29.21	26.00	3.21	1.24	38.63

表三：生紅土之最好水份

石灰成份(%)	混和水份(%)	土之體積(c.c.)	瓶重(克)	濕土及瓶重量(克)	濕土重(克)	乾土及瓶重量(克)	乾土重(克)	水份重量(克)	濕份(%)
0.0% 生紅土	8	21.14	26.70	61.20	34.50	55.60	28.97	5.63	19.38
	10	,,	26.00	61.90	35.90	55.67	29.60	6.23	20.00
	12	,,	26.20	66.10	39.90	58.56	32.36	7.54	23.30
	15	,,	26.32	69.20	42.88	58.52	32.50	10.28	31.94
	18	,,	26.45	68.35	41.90	57.02	30.57	11.33	37.06
	20	,,	26.80	62.14	35.34	52.10	25.30	10.04	39.69
加2.5%石灰	5	,,	46.20	82.32	36.12	77.37	31.17	4.93	15.81
	10	,,	25.98	64.80	38.82	57.94	31.96	6.86	21.46
	14	,,	26.00	67.23	41.23	59.29	33.20	8.03	24.19
	16	,,	43.45	87.65	44.20	78.30	34.85	9.35	26.83
	20	,,	48.30	93.10	44.80	82.29	33.99	10.81	31.80
	25	,,	49.70	92.81	43.11	81.20	32.90	11.61	35.29
加5.0%石灰	6	,,	26.70	65.70	39.00	58.61	31.91	8.09	24.41
	10	,,	26.90	70.86	43.96	61.30	34.40	9.56	27.80
	12	,,	26.20	70.27	44.07	60.50	34.30	9.77	28.42
	16	,,	25.75	69.07	43.32	58.50	32.75	10.57	32.02
	20	,,	26.00	68.87	42.87	57.79	31.79	11.08	34.85
加7.5%石灰	15	,,	49.90	87.90	38.00	80.40	30.50	7.50	24.59
	18	,,	26.45	68.51	42.06	59.11	32.66	9.40	28.78
	20	,,	44.45	87.93	43.48	77.65	33.20	10.28	30.96
	22	,,	26.80	70.60	43.82	60.00	33.20	10.60	31.93
	25	,,	25.80	68.76	42.96	57.34	31.54	11.42	36.21
	28	,,	26.20	69.06	42.86	57.48	31.28	11.58	37.02
加10%石灰	5	,,	26.00	61.70	35.70	56.20	30.20	5.50	18.21
	10	,,	26.80	61.94	38.14	57.56	30.76	7.38	23.99
	15	,,	26.45	69.81	43.39	59.50	33.05	10.34	31.28
	20	,,	26.20	69.06	42.80	57.97	31.77	11.03	34.71
	25	,,	25.80	68.40	42.60	56.97	31.17	11.43	36.69

表四：黏結力試驗

	實驗次數	0%石灰	2.5%石灰	5.0%石灰	7.5%石灰	10%石灰
黏結力	1	893	784	1362	5042	6000以上
	2	736	697	1110	4979	6000以上
	3	619	855	662	5138	……
	4	348	539	1062	……	……
	5	418	745	1648	……	……
	6	425	488	1105	……	……
	平均	489	676	1152	5053	6000以上

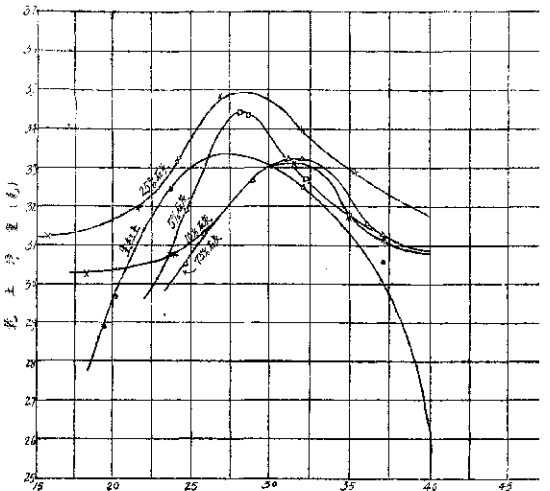


圖 III

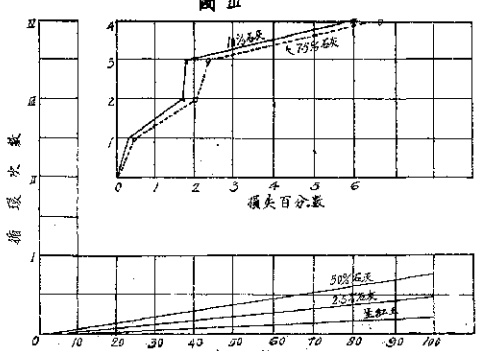


圖 IV

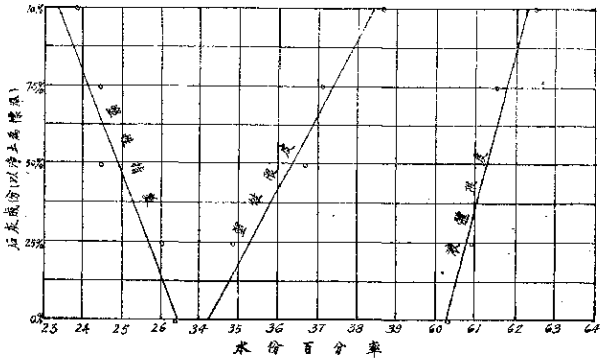

10%
7.5%
5.0%
2.5%
0%
23
24
25
26
34
35
36
37
38
39
60
61
62
63
64
水份百分率

圖 (I)

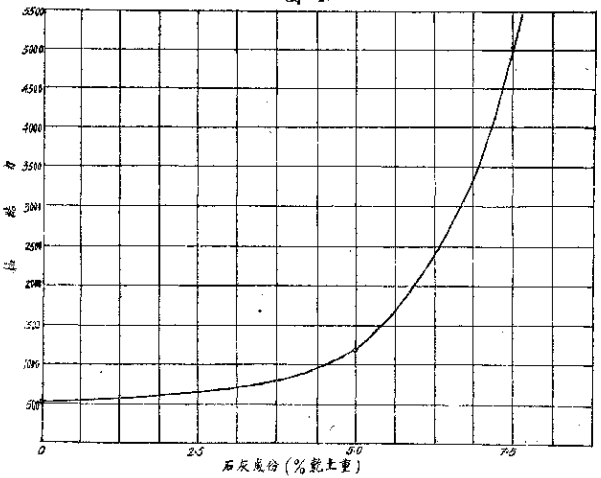

5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
2.5
5.0
7.5
石灰成份 (%乾土重)

圖 (II)

表五：乾濕試驗

樣品	原來乾土淨重	乾濕循環 I		II		III		IV	
		乾土重	損失土重（克） %	乾土重	損失土重（克） %	乾土重	損失土重（克） %	乾土重	損失土重（克） %
0%石灰	20.62		1.30						
2.5%石灰	20.35		1.00						
5.0%石灰	19.61		1.00						
7.5%石灰	19.82	19.76	1.06 0.31	19.43	0.39	1.97	19.35	0.472.38	18.52	1.30 6.61
10.0%石灰	20.35	20.28	1.07 0.34	20.01	0.34	1.67	20.00	0.351.71	19.10	1.23 6.12

表六：試驗總結果

	液體限度	塑性限度	塑性指數	最好水份	黏結力	乾濕損失
生紅土	60.37%	33.97%	26.40%	27.3%	489	100%
加2.5%石灰	63.91%	34.88%	26.02%	28.5%	676	100%
加5.0%石灰	61.14%	36.61%	24.59%	27.7%	1152	100%
加7.5%石灰	61.52%	37.01%	24.48%	31.5%	5053	6.61%
加10.0%石灰	62.46%	38.63%	23.83%	30.7%	6700以上	6.12%

(6) 討論：——生紅土之液體限度為60.37，而燒紅土不到為62.24，（參閱燒紅土及石灰試驗報告）相差無幾。但生紅土加石灰後，液體限度逐漸增加，惟不著燒紅土之急遽上漲。生紅土之塑性限度較燒紅土少24.28，故塑性指數燒燒紅土大30.37%，且加石灰後，反呈下降趨勢。究其原因，不外加石灰後，其塑性限度增加之程度，較液體限度為大而已。普通泥土之塑性指數與其穩定性，有密切之關係，塑性指數愈大者，其穩定性愈小。故生紅土之穩定性，遠不及燒紅土之為佳；惟加石灰後則漸呈穩定狀態。本報告中之乾濕試驗結果，即其明証。

就理論而言，燒紅土之吸水性，應較生紅土為大，故在同一壓力之下，生紅土之最好水份，較燒紅土約少20%左右。

生紅土之黏結力頗大，論二所示，加7.5%以上之石灰後，其黏度用黏度試驗機，已成不足；蓋因黏度試驗機僅打試模之鐘重，僅為1公斤，下降之距離不過1公分。如下黏力遠在試模發現範圍之內，則試驗難要達至無限次數，亦不致發生裂縫也。

由乾濕試驗之結果，生紅土加7.5%石灰後，方呈穩定。其餘加石灰之試模，一經浸入水中，不及一二分鐘，即全部水化，加5%石灰者，浸入水中，未及16小時，亦告散化。

就黏結力而言，生紅土較燒紅土為佳。但就穩定性而言，則生紅土遠不如燒紅土。惟泥土結合料，須具有適當之黏結力及穩定性，方適于路面之建築。故燒紅土雖需摻加石灰，即可應用，而生紅土，則至少須摻入7.5%以上之石灰，方可採用。吾國公路所用之結合料雖不盡為紅土，然皆保生土。就其結力而言，尚無不合，惟就穩定性而言，是否適宜，實為疑問。

由本試驗所得之結果，普通泥結薄石路面，其泥土結合料雖有一時之黏結力，但一遇雨水潮濕，即失其效用。故每逢雨季，此種路面之易損壞，而養路費倍感困難。必良之法，惟有摻加石灰，使其具有穩定性。石灰數量自以愈多愈佳，而10%（以重量計），似為其最低之限度。惟各地土質不同，其石灰混合率亦自異，不能一概而論。

由理論與試驗，可知石灰混合率與泥土之塑性指數，有密切之關係，其塑性指數愈大者，所需石灰混合率亦大。例如燒紅土之塑性指數為3.99，生紅土之塑性指數為26.40，故前者不需石灰，而或需明礬石灰。至於塑性指數與石灰混合率之數字關係，及燒土穩定生土等，容日後當再加以試驗也。

泥結碎石路面石灰泥漿流率試驗報告

李讀熾　涂漢廷

(1) 緒言：

生紅土與石灰混合物之黏結力試驗，見前報告，其結論如下：

(甲)生紅土本身之黏結力極大，但易於水化。

(乙)生紅土與石灰混合後，不僅黏結力增强，水化性亦可減低。

(丙)泥結碎石路面之結合料，如純用生土，則缺之穩定性。

(丁)生紅土與石灰混合後，可以作爲泥結碎石路面良好之結合料。

(戊)用作泥結碎石路面之結合料，生紅土與石灰配合之成份，以重量計，石灰不得少於紅土重量百分之十。

由上述之結論，我國向所採用之泥結碎石路面，其穩定性極低。換言之，此種路面，一經雨水，其結合料，即易水化，結合料爲水解化後，其黏結力，亦即行喪失，於是碎石鬆動，車行其上，路面乃不能平整。此種現象，自抗戰以來，後方各路，多犯此弊。不僅影響運輸，而行車及養路費用之陡增，其損失不可謂爲不大。故此種碎石路面結合料之研究與試驗，對於目前所有碎石路面之改良，或可以貢獻些微之幫助也。

本篇報告，爲生紅土與石灰混合後，摻合水泥問題之研究。按泥結碎石路面修築之時，乃先將碎石鋪於土基之上面滾壓之，然後用泥漿，灌於石縫之中。但泥漿之稠稀，必須有精密之試驗，太稠之時，泥漿不能完全灌入碎石空隙之中　太稀則水份蒸發之後，泥料不足，均不能滿足結合料之需要條件。本篇之試驗，完全根據碎石之大小，空隙之多少，而規定泥漿之稀稠，由泥漿之稀稠，而定水份之多少。俾實際修築碎石路面之人，可得一準繩，而免盲目是無根據之弊。

(2) 試驗材料：

(甲)生紅土：　　(乙)石灰

液體限度	60.37%	塑性限度	33.97%	見現出產
塑性指數	26.40	黏土成份	97.00%	

(3) 試驗儀器：

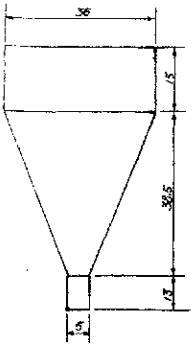
鉛鐵流率漏斗一個(本室自製)其形狀如圖一。

天秤一具　量杯一個(1000c.c.)　制動錶一個　登架一個　鐵桶一個

(4) 試驗步驟：

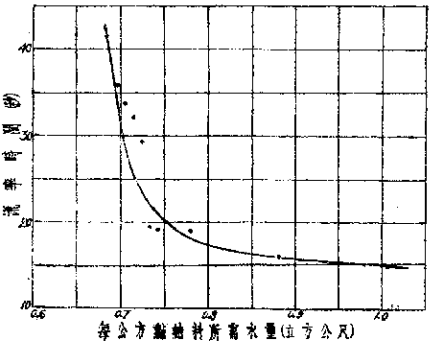
取生紅土350克，曝於日光之下，使其靈乾，然後搗碎成粉，量其重量。另取石灰約爲土重百分之十，乾拌均勻，再量其總重若干。然後將先混合料傾置於鐵桶內，按照混合料重量之70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,90,100,及110%，分次加入水份。每次加水後，須攪拌均勻，傾入鉛鐵漏斗內。漏斗之下端，有鉄閘可以自由取下，泥漿灌滿之後，取下鉄閘，記泥漿流量所須之時間。如是作三次試驗，而求其平均值。

(5) 試驗結果：(如下表及圖二)



試驗儀器圖

圖一



試驗結果圖

圖二

結合料	混合水量 重量（克）	混合水量 %以重量計	混合水量 體積（立方公厘）	混合水量 公方/公吉	流率（秒）			平均
(1) 生紅土 90% (2) 石灰……10% (以重量計)100%	2310	70	2310	0.683	(1)41.00	(2)42.00	(3)41.00	41.33
	2343	71	2343	0.696	(1)35.20	(2)36.00	(3)35.60	35.60
(3) 生紅土性質：	2376	72	2376	0.706	(1)33.40	(2)33.80	(3)33.60	33.60
液體限度60.37	2409	73	2409	0.716	(1)32.10	(2)31.80	(3)32.10	32.00
塑性限度33.97	2442	74	2442	0.726	(1)29.50	(2)29.30	(3)28.20	29.00
塑性指數26.40	2475	75	2475	0.736	(1)19.50	(2)19.40	(3)19.40	19.43
黏土成份97.0%	2508	76	2508	0.746	(1)18.90	(2)19.20	(3)19.40	19.23
(4) 生紅土試驗樣品	2640	80	2640	0.784	(1)19.00	(2)18.40	(3)19.26	18.88
所取重量	2970	90	2970	0.883	(1)16.60	(2)16.05	(3)16.26	16.97
石灰 2970克	3300	100	3300	0.981	(1)15.10	(2)15.50	(3)15.30	15.30
330克	3630	110	3630	1.078	(1)14.90	(2)14.90	(3)14.90	14.90
實用 3300克								

(6) 流率時間之規定：

流率之規定，須以碎石間空隙為根據，空隙之多少，則視碎石大小及其級配以為定。茲將各種碎石尺寸流漿應需之流率時間，述之如下：

碎石大小(英吋)	$2\frac{1}{2}-3\frac{1}{2}$	$2-3$	$1\frac{1}{2}-2\frac{1}{2}$	$1-2$	$\frac{3}{4}-1\frac{1}{2}$
流率時間(秒)	23—25	23—25	21—23	20—22	19—21

(7) 結論：

本試驗之報告，其宗旨在說明泥結碎石路面在建築之時，其泥漿須有一定之流率，泥漿能否流入石隙之中，關係路面甚巨。往昔之時，向無研究與試驗，建築之時，不過憑憑眼力以為斷定。但眼力有無標準，既無把握，而實際究竟需要如何，亦無準繩。本篇刊露之後，希望能引起公路工程司之注意，而檢正以往之工作習慣。乃尤有言者，本試驗之結果，僅限於所取之紅土而言，他種土質，當有不同之處。例如同係一種紅土，其黏土成份之多寡及塑性指數之高低，對於流率，均有影響，若混而不察，自難正確。但在施工之時，若能鑒定黏土成份，自製一流率漏斗，當地試驗，自非難事。黏土成份，似不能少過60%，否則其黏結力必有不足之處，此亦不可不加注意者也。

水泥穩定土壤路面實驗報告

陳　孚　華

(一)緣　起

水泥穩定土壤法，始自摩爾博士(Prof. Dr. C. H. Moore field)。摩氏於一九三二年，在美國南加利安那州公路局實驗中，以水泥混合土壤，加水壓緊之，以觀其凝結後之結果。其後更作多次試驗路，均有相當結果。一九三五年被得爾來泥公司，開始對此種路面，加以研究，經數年來不懈之努力，上述水泥路面，在原則上，業已確定。截至一九三八年，美國已成之土壤水泥路面，已有三百餘公里。其中有加表面處治者，有未加處治者。其所用水泥成份，因土質不同而各異，大致保6%至18%，其所用之土壤，自A—2至A—8不等，其實驗之結果，雖不一律，而大致情形，均屬良好。

(二)實　驗　理　論

水泥土壤路面，不可與混凝土路面，混淆一談。水泥土壤路面，係以水泥穩定土壤，而混凝土路面，則為結晶作用。水泥土壤路面主要原理，為最大密度，務使土壤之空隙完全被水泥充滿，同時使每粒土壤質點之周圍，均包有水泥，然後加適當之水量，使能得到最佳之原實度，此即應用葛氏之原理決也。水泥穩定土壤原理，除最大密度外，尚有化學物團作用，如氫原子之鍵中作用，其詳明在精高深之化學研究，暫從略。

(三)土　壤　選　擇

何種土壤可用為水泥土壤路面，應用水泥若干，均無一定之規定。普通土壤自A—2至A—8組，均可用為水泥土壤路面，惟其物理性應符合下列規定：

(一)液體限度應在五十以下

(二)塑性指數應在二十五以下

(三)黏土成份應在三十五以下

(四)最大密度時用體成份應在六十以上

(五)土壤應具有正規之密度水份曲線

(四)實驗室實驗

水泥土壤路面實驗室實驗，最主要者，為決定最經濟之水泥數量，與最適宜之加水數量。更應作乾濕實驗，以模仿路面受雨之影響，及凍解實驗，以模仿路面受冬季地凍之影響。若實驗室樣品能經過此項實驗，不致破壞，則用之為路面，亦可無問題。

(五)西蘭路實驗

我國對於此項實驗路面鋪築，始於一九三七年，在西蘭公路鋪築此項路面，所用土壤為A—4組。水泥量為土重百分之五，用水量為土重百分之十八至十九，路面厚為十五公分。此項路面共計鋪成二十公里，其結果未能滿意。路面於鋪成後，即呈裂紋，並生孔穴。考其失敗原因有三：(一)此種路面，只能承載膠皮輪車輛，而實際上在該段行駛之車

輒，鐵輪大車居多。（二）除實時因無機器壓路機，故用二噸重滾筒滾壓，壓實度不足，不能得到最大密度；（三）在實驗室中百分之五水泥，固足以穩定該種土壤，然實地上水泥損失甚多，故實際上土壤中水泥成份，不足百分之五。

（六）上清寺實驗路

研究以往之失敗原因，並確定改進辦法，特選定在上清寺重作水泥土壤實驗路。此次實驗與以前不同者，有（一）用水泥成份提高，（二）改用十公噸機器壓路機，（三）此段公路無鐵輪大車行駛，（四）於路面完成後，加塗桐油一層，以增加其防蝕彈度。

（七）土 壤 性 質

此次實驗中，所用土壤為風化紅色沙土，此種土壤係圖於 A—3組，其篩分析結果如下：

通過十號篩	93%	通過一百號篩	28%
通過四十號篩	68%	通過二百號篩	12%

由上可知，該土壤係砂土質，含粗沙百分之三十，細砂百分之五十八，粉砂及黏土百分之十二，其中黏土成份當在百分之八左右，經來分析，未能篩定。此種土壤應加水泥量，大約在土重百分之十至百分之十六之間，應加水量大約在土重百分之十二左右。因未能作實驗室實驗，故暫先用水泥百分之十七，做實驗路一小段，以觀其效果。

（八）施 工 程 序

（一）開挖路槽　將原有碎石路面，按應有厚度及寬度，挖成路槽，並除去槽中所有雜物。

（二）取土篩土　取附近紅沙土，篩於孔徑一公分半之篩上，凡留於篩上之土塊，均棄去不用。

（三）水泥　水泥係堆置于路旁，每隔二公尺一桶，以便取用。

（四）堆土　開工時，將篩過土壤平攤于路基上，其厚度為應有厚度加百分之二十五。

（五）加水泥　加水泥時，將全路分段，每段長八公尺，由二人持篩將預計之水泥，灑于土壤之上，務使均勻。

（六）乾拌　每段中以六人持鐵鍬，三人持鐵耙，將土壤水泥混合料，一面拌和，一面翻向路之一旁，共拌和四次，至完全均勻為止。

（七）加水　用噴水壺將預計之用水量，平均灑於混合料中。

（八）濕拌　繼續以六人持鐵鍬，二人持鐵耙，將已灑濕之混合料，反覆拌合如前，共拌合四次，至完全均勻為止。

（九）打夯　用鐵耙鏟平混合料於路槽之中，然後用長木條將表面修整，再以鐵夯四個，將混合料大致夯實。

（十）滾壓　用十公噸汽機滾壓路面，使之壓實平坦。

（十一）塗桐油　於路面完成後三日至五日，在路面上塗桐油一度，用桐油量每公

平方公尺半磅。

（十二）通車　　於路面完成後，七日即可通車。

（十三）造價　　此次實驗，計完成路面204平方公尺，計用工料如下：

水泥　32桶　@18.50=592.00
人工　109工　@ 1.00=109.00
工具雜項　=169.00(包括壓路機用費)
} 870.00元

以上共計工料費870元，平均每平方公尺需4.26元。

桐油　68磅　@0.80=54.4平均每平方公尺需0.57元。

倘此次實驗，事係創辦，故一切均未能經濟，若大量施築，則其造價可減。若路面厚度為五公分，用水泥量為17%，則每平方公尺造價如下：

水泥　0.08桶　@18.5=1.48
人工　0.5　@ 1.0=0.5
工具　=0.2(約估)
} 2.58元
桐油　0.5磅　@0.8 =0.4

每平方公尺造價，最多不致超過三元

實驗紀錄

段別		1	2	3	4	5	6	7	8	9	總計
開工日期		2/15	,,	,,	,,	,,	2/24	,,	,,	,,	
通車日期		2/23	,,	,,	,,	,,	3/1	,,	,,	,,	
路面尺寸	厚度(公分)	10	10	10	10	10	12	10	10	4	
	寬度(公尺)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	長度(公尺)	8	8	8	8	4	8	8	8	8	68
用土數量(公方)		3.2	,,	,,	,,	1.6	3.3	3.2	3.2	1.2	25.3
用水泥量	百分數	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	14.7	17.5	17.5	22.0	32
	桶數	4	4	4	4	2	4	4	4	2	
用水量	百分數	14	15.4	16	12	11	14	12.7	11.5	12	
	桶數	21	23	24	18	8	21	19	17	8.5	
塗桐油量(磅)		0	0	0	0	0	21	21	13	13	68
工數	挑土工數	8	8	8	8	4	8	8	8	3	68
	篩土工數	3	3	3	3	1.5	3	3	3	1	23.5
	濕拌	1.5	1.5	1.5	1.5	.8	1.5	1.5	1.5	.7	6.0
	乾拌	1.5	1.5	1.5	1.5	.8					
	挑水	.2	.2	.2	.2	.1	.2	.2	.2	.1	1.6
	其他	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	9.0
	總計	15.2	15.2	15.2	15.2	8.2	15.2	15.2	15.2	5.5	109.1

（九）觀察結果

（一）用水　第一、二、三段，因用水稍多，所用壓路機又過重，以致土壤黏附於壓路機輪上，雖用乾水泥灑於輪上，減少其黏附，路面仍無法壓平。第四至第九段用水較少，路面亦較前三段爲平，實驗結果，認爲最適當之用水量，爲百分之十二。壓路機過重，無法使路面壓平，應用較輕壓路機，以用六噸左右爲最宜。

（二）拌和　第一、二、三、四各段，因工人未能熟練，工作遲鈍，故拌和不甚得法，所費時間亦較多，至作四至九各段時，工人已較熟練，拌和亦較均勻。

（三）裂紋　通車後路面大致情形良好，無敗縮裂紋，惟路邊與舊碎石路接觸處，因受邊壓力，更因路面未乾前，已有車輛行駛，故略有裂紋，但不影響及路面全體。第八段與第九段接觸處，因兩段厚度不同，收縮量不同，致有裂縫一道。

（四）孔穴　通車後三星期，路面尚無顯著之孔穴，惟第一、二段因壓不得法，拌和不均勻，發現鬆脆，將來或可成爲孔穴。

（五）乾濕情形　路面在晴日呈灰白色，車輛行駛時，並無顯著增塵。在雨時，雨水完全不能透入，雨後立即乾燥，復呈灰白色。惟路面壓實不足，雨時於凹處有存水。

（六）塗桐油　第六、七、八、九各段於通車後四日，塗以桐油，桐油僅有少部透入路面，每平方公尺用桐油〇．六磅，似屬過多，可減爲〇．四至〇．五磅。塗桐油地點較不塗之路面光潤，雨後立即乾燥。並可防止裂紋孔穴。

（七）厚度　第九段實驗路厚度，僅四公分，經三星期之行駛，較之他段路面，並無分別，如是碎石路基礎堅固，無沉陷之處，則路面厚度減薄，可不成問題。

（十）繼續實驗計劃

由已成之六十八公尺實驗路面結果，尚未能確定應有路面厚度及應用水泥成份。故擬更作實驗路 125 公尺，分別用不同之水泥成份及不同之厚度如下表所列：

土壤水泥實驗之設計（路面寬度爲五公尺）

段別	路面壓實厚度（公分）	未壓實前厚度（公分）	用土數量（立方）	用水泥量（百分數）	用水桶／泥量公尺	長度（公尺）	共用水泥數量（桶）	備考
1	5.0	6.5	12.5	17	2.5	40	16	用水泥量係指壓實土重之百分數
2	10.0	13.0	19.0	14	1.5	30	20	
3	10.0	13.0	12.5	17	1.25	20	16	
4	7.5	9.5	9.5	10	2.8	20	7	
5	10.0	13.0	9.5	10	2.1	15	7	
共計			63.0			125	66	

計劃此次試驗與前次不同者，有（一）減輕壓路機重量至八公噸，（二）於鋪築後第二日即塗桐油，使桐油能滲透入路面中。

石灰及水泥穩定A—4類土壤試驗報告

陳本端　徐漢廷

1. 引　言

土壤穩定之意義，即利用天然之土壤，經過人工之處治，使其中土粒所形成之結構物，能維持其原有之工程能力；雖受行車壓碾，雨水侵蝕，溫度變遷，以及水份凍解之影響，而不致發生任何足以危及路身安全之變動也。

土壤之穩定性乃基於兩大因素：一為內磨擦力，一為黏結力。內磨擦力之發生由於土壤中之砂粒，碎石等顆粒物質；而黏結力之發生，則因各種土壤含土量之不同而各異。例如水結馬克碎石粉之結合，由於石粉及濕膜，細壤之結合，由於膠狀黏土及濕膜，水泥混合物，由於水泥中之結晶化學體，柏油或瀝青混合物，則由於所含之瀝青質，皆其明證。膠狀物體在土壤中之作用，一如兩張砂紙之縫面相接觸時相同，壓力愈大，則其磨擦力愈強，惟其本身則毫無黏結力　極易使之分離。黏結料在土壤中之作用，則與二張捕蠅紙黏結後相似，其內磨擦力微呼其微，惟其黏結力則頗大。

按穩定土壤之方法，經實驗有成效者，有下列數種：

(1) 利用土壤本身配成級配之材料，

(2) 摻入摻合物，如水泥，石灰，氯化鈣，氯化鎂，氯化鈉，糖漿，瀝青材料等。

(4) 電化處治

(4) 焙燒

至於採用何法，必須視土質及當地情形而定，土壤共有八大類，而本實驗之範圍，則僅限於 A—4 類。此類土壤其成份大都為細砂及淤泥，黏土成份極少，故黏結力頗感缺乏。其穩定之法，當以加摻合物為最宜，摻合料之功效，雖因其性質而各異，惟不出下列數端：

(1) 混合適量之黏土，并設法自空氣中吸收水份，或減低土壤水份之蒸發，以保持土壤適宜之濕度。

(2) 摻合物之電化作用，以增加混合物之密度及其穩度。

(3) 由於化學作用，增強土粒間之聯繫，并減低甚或消除水化性。

(4) 加強土壤中原有之黏結料，以消除黏土之吸水性，

在上述各種摻合物中，採用石灰及水泥，最宜穩定細壤之土質。晉冀西北土壤，大部份屬於 A—4 類，故本實驗所得之結果，對於西北公路修築上，或不無小補也。

2. 試驗目的

研究以洋灰或石灰以穩定 A—4 類土壤之效果，以求必須之洋灰量或石灰量。

3. 試驗方法

A—4 類土壤之成份，大部為細砂及淤泥，其本身雖具有內磨擦力，惟因缺乏黏結力，除偶含適宜水份之際，能暫呈穩定外，其他時間，換無穩定性之可言，故必須摻入黏土以

增加其黏力。本實驗之初步工作，為分析土樣之成份，然後按下表將A—4類土壤，與紅土總合，使具有不同份量之黏土。表一中所列百分數，係以乾土重為標準。

表一

混合物名稱	A	B	C	D	E
A—4土重(%)	90	80	70	60	50
紅土重(%)	10	20	30	40	50
總重	100	100	100	100	100

將各混合物加3,6,9,12,15%之水泥或石灰後，作最好水份試驗，壓力試驗，及浸濕試驗，以求其所具之性質。

(一)土樣之機械分析

本實驗所用之機械分析方法，係依據1938年，A.A.S.H.O標準方法(T—88—38)。土粒通過200號篩者，以比重計分析之；其遺留於200號篩上者，則以篩分析之。茲簡述其分析試驗之手續如下：

所用儀器： 天秤，特別攪拌器附可更換之攪動槳及分散杯，比重計，刻度為每為等分之懸掛土粒量，(以克計)，大試筒一，直徑 2½吋；溫度計，20,40,60,100,200號篩各一。

試驗步驟： 試驗之樣品重量：紅土為65克，A—4土壤為115克。

(1)以15克重之土樣作含水量試驗。

(2)將剩餘之土樣加水攪和後再加解凝劑：土壤之塑性指數小於20者，用20c.c.$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$；塑性指數大于20者，則改用100c.c.之6%三氧化物(Hydrogen Peroxide)溶液。

(3)將混合物傾入分散杯內，用特別攪拌器攪動一分鐘，

(4)將混合物傾入大量筒內，加水至總體量等於1000c.c.時為止。

(5)將量筒口蓋以手掌，并搖動一分鐘。

(6)記錄沉澱開始後1,2,5,15,30,60,250,及1140分鐘之比重計示度，同時須記錄水溫。

(7)最末示度讀得後，將沉澱物於200號篩內沖洗，其遺留部份，待烘乾後用篩分析之。

(8)另取一小部份土樣試驗其比重G.

說明 用比重計試驗所得之結果其計算方法，係依據Stokes公式：$d=\sqrt{\frac{30nL}{980(G-G_1)T}}$ ……(1)

式中 d＝最大粒徑(公厘) n＝間介物之滯性係數

L＝定時內土粒下沉之距離(公分) T＝沉澱時間(分鐘)

G＝土粒之比重 G_1＝間介物之比重

本實驗所用之間介物為水 故$G_1=1$

最大粒徑等于d者之百分數，可由此式求得之：$P=\frac{R_a}{W}\times100$ ……(2)

式中　P＝土塊懸浮部份之百分數。

R＝比重計示度之改正值（其改正可由圖一查得）

$$a=\frac{2.65-0.9984}{2.65}\cdot\frac{G}{G-0.9984}$$

W＝乾土重（克／公升）

假定　L＝32.公分　n＝0.0102(67°F·水之溫性係數)　G＝2.65

則由(1)式計算而得表二：

表二

沉澱時間（分鐘）	最大粒徑 d_1（公釐）
1	0.078
2	0.055
5	0.035
15	0.020
30	0.014
60	0.010
250	0.005
1,140	0.002

惟事實上，L＝比重浮心至水面之距離，因比重計之示度而異，故上表之d_1值，須乘以改正係數K_L.　$K_L=\sqrt{\frac{實際下沉距離}{32.5}}$

水之黏性係數n因溫度而變，并非恆數，G值亦因土而異，非一定等于265.故d_1仍須乘以改正係數K_n及K_G.

$$K_n=\sqrt{\frac{是溫度下水之黏性係數}{0.0102}}\qquad K_G=\sqrt{\frac{1.65}{G-1}}$$

$$\therefore\quad d=d_1\times K_L\times K_n\times K_G$$

K_L，K_n，及K_G之數值，可自附圖二三及四中之曲線分別查得之。

原來土樣之機械分析

比重＝2.33

濕土及罐重……44.67(克)

乾土及罐重……42.30

水份重量……2.27

罐重……26.00

乾土重……16.30

水份（％乾土重）……13.90

試驗樣品重量……100.0

樣品含水重……12.2

乾樣品重量……87.8

$$a=\frac{2.65-.9984}{2.65}-\frac{2.33}{2.33-.9984}=1.09$$

$$P=\frac{1.09\,3}{87.8}\times 100=1.24\,R$$

表　三

沉澱時間（分）	最大粒徑（公厘）	比重計讀度	水溫（°F）	讀度改正（△R）	比重計讀度改正值（R）	上粒重百分數（P）	K_L	K_G	K_n	最大粒徑改正值（公厘）
1	.078	47.0	71.1	.6	38.6	58.3	.47	1.11	.98	.041
2	.055	38.3	71.4	.6	29.9	46 3	.48	,,	,,	.029
5	.035	27.2	71.8	.7	20.9	33.7	.49	,,	.97	.019
15	.020	15.1	71.8	.7	8.8	13.7	.52	,,	,,	.011
30	.014	6.2	71.8	.7	1.9	7.7	.53	,,	,,	.008
60	.010	0	71.8	.7	.7	.9	.55	,,	,,	.006

表　四

通過	.....	No. 10	No. 20	No. 40	No. 60	No. 100
遺留	No. 10	No. 20	No. 40	No. 60	No. 100	No. 200
重量（克）	0	1.5	3.5	6.4	9.4	11.3
%	0	1.7	4.0	7.3	10.7	12.9

紅土之機械分析

比重＝2.39

濕土及罐重……55.42（克）

乾土及罐重……52.50

水份重量……2.92

罐重……26.00

乾土重……26.50

水份（％乾土重）……11.00

試驗樣品重量……50.0

樣品含吸水份重……5.0

乾樣品重量……45.0

$$a=\frac{2.65-.9984}{2.65}-\frac{2.39}{2.39-.9984}=1.07$$

$$P=\frac{R\times 1.07}{45.0}\times 100=2.38R$$

表　五

沉澱時間（分）	最大粒徑（公厘）	比重計讀度	水溫（°F）	讀度改正（△R）	比重計讀度改正值（R）	土粒重百分數（P）	K_L	K_G	K_n	最大粒徑改正值（公厘）
1	.078	42.2	65.3	—.2	42.0	100	.46	1.08	1.02	.039
2	.055	41.2	65.3	—.2	41.0	97.4	.46	,,	,,	.028
5	.035	39.0	65.3	—.2	38.8	89.9	.47	,,	,,	.018
15	.020	36.0	65.0	—.2	35.8	85.2	.48	,,	,,	.0106
30	.014	28.3	65.0	—.2	28.1	66.8	.49	,,	,,	.0076
60	.010	12.6	64.8	—.2	12.4	29.5	.52	,,	,,	.0057
250	.005									
1,140	.002	0.3	64.0	—.2	0.1	.238	.55	,,	1.03	.0012

通過No.100篩遺留于No.200篩上者重2.1克 ———————— 4.6%

遺留于No.100篩上者 ———————— 0%

表六：機械分析

類別		土粒直徑小於下列數值（以公厘計）者之百分數								
		2	0.84	0.42	0.25	0.149	0.074	0.04	.005	.001
原來土樣		100	98.3	94.3	87.0	76.3	63.4	51.0	0	0
紅土		100	100	100	100	100	95.4	93.0	24.0	0
"A"	原來土樣90%	90	88.5	81.8	78.2	68.7	57.0	45.9	0	0
	紅土10%	10	10.0	10.0	10.0	10.0	9.5	9.3	2.4	0
	混合物	100	98.5	91.8	88.2	78.7	66.5	55.2	2.4	0
"B"	原來土樣80%	80	78.6	75.5	69.6	61.0	50.7	40.8	0	0
	紅土10%	20	20.0	20.0	20.0	20.0	19.1	18.6	4.8	0
	混合物	100	98.6	95.5	89.6	81.0	69.8	59.4	4.8	0
"C"	原來土樣70%	70	68.8	66.0	60.9	54.2	44.4	35.7	0	0
	紅土30%	30	30.0	30.0	30.0	30.0	28.7	27.9	7.2	0
	混合物	100	98.8	96.0	90.9	84.2	73.1	63.6	7.2	0
"D"	原來土樣60%	60	59.0	56.6	52.2	45.8	38.1	30.6	0	0
	紅土40%	40	40.0	40.0	40.0	40.0	38.2	37.4	9.6	0
	混合物	100	99.0	96.6	92.2	85.8	76.3	67.8	9.6	0
"E"	原來土樣50%	50	49.2	47.2	43.5	38.2	31.7	25.5	0	0
	紅土50%	50	50.0	50.0	50.0	50.0	47.7	46.5	12.0	0
	混合物	100	99.2	97.2	93.5	88.2	79.4	72.0	12.0	0

茲將分析所得之結果列於表七如下：

表　七

成份 \ 類別	原來土	選紅土	A	B	C	D	E
粗砂＞2公厘，%	0	0	0	0	0	0	0
粗砂(2.0-.25公厘)%	13	0	11.8	10.4	9.1	7.8	6.5
細砂(.25—.05公厘)%	31	6	30.2	25.6	24.9	20.2	18.5
淤泥(.05—.005公厘)	56	70	55.6	59.2	59.8	61.4	63
黏土＜.005公厘　%	0	2.4	2.4	4.8	7.2	9.6	1.2
膠土＜.001公厘　%	0	0	0	0	0	0	0

（二）塑性指數

土壤之塑性指數，可以代表其性質之一部。黏結力大者，其塑性指數亦大，如紅土是；反之，如黏結力小者，其塑性指數亦小，如砂之塑性指數等于零。穩定土壤時，土壤之塑性指數，不可忽略不計，因塑性指數太大，則土壤脹水性大，而在濕濕情形下，土壤中之黏土將趨物理變化而失去其黏結力。換言之，即土壤失去穩定性矣。如塑性指數太小，則土壤在潮濕狀態下，雖能暫時依靠毛細管拖力，都持其穩定性，惟在乾燥情況下，因毛細管現象而生之濕漿蒸發後，土壤即失去黏結力，而不能穩定。塑性指數之選擇，雖須視當地天氣情形而定，惟據歐美土研究及氣候所得，以4至12間者爲宜。

茲將各種土樣之塑性指數試驗結果列於表八如下：

表　八

土類	L. L. 或 P. L.	濕重（克）	濕及濕土總重（克）	濕及乾土總重（克）	乾土淨重（克）	水份 重量	水份 %	塑性指數
原來土樣	L. L.	48.35	63.79	60.39	12.04	3.40	28.35	
	P. L.	49.90	63.55	60.96	11.06	2.59	23.37	4.98
A	L. L.	49.40	67.11	62.83	13.43	4.28	31.90	
	P. L.	46.29	62.19	58.98	12.69	3.21	25.27	6.13
B	L. L.	43.80	60.56	56.34	12.54	4.22	33.61	
	P. L.	48.47	61.84	59.14	10.67	2.70	25.27	8.34
C	L. L.	44.13	63.70	58.55	14.42	5.15	35.67	
	P. L.	43.45	57.00	54.21	10.76	2.79	25.91	9.76
D	L. L.	48.35	67.46	62.08	13.73	5.38	39.20	
	P. L.	49.90	64.52	61.44	11.54	3.08	26.65	12.55
E	L. L.	49.40	66.37	61.38	11.98	4.99	41.64	
	P. L.	43.80	60.41	56.83	13.03	3.58	27.47	14.17
紅土	L. L.	46.29	65.95	58.94	12.65	7.01	55.44	
	P. L.	44.13	59.16	55.60	11.47	3.56	31.06	24.38

表中之L.L.爲液體限度；P.L.爲塑性限度。

A—4黏土壤之液體限度範圍爲26—40；其塑性指數之範圍爲5—16；砂之成份須小於55%.(參閱C.A.Hogentogler:"Engineering Properties of Soil")故由表七及表八可知原來土樣與紅土之各種混合物，均屬於A—4類土壤。

圖七所示，土壤中之黏土成份增多，則其塑性指數增高，兩者之關係總一直線，因黏土成份增多可以增加土壤之黏結力也。惟作液體限度及塑性限度試驗，係用試驗樣品中之細壤（即通過40號篩之土粒）；細壤之成份因土而異，故黏土成份應以細壤重量之百分率爲標準，始足以確切表明其與塑性指數之關係。

由表六計算而得下表九：

表　九

類　　別	土壤中細壤成份（%）	土壤中之黏土成份（%）	細壤中之黏土成份（%細壤重）
原來土樣	94.3	0	0
A	94.8	2.4	2.53
B	95.5	4.8	5.00
C	96.0	7.2	7.50
D	96.6	9.6	9.93
E	97.2	12.0	12.34
紅　土	100.0	24.0	24.00

令P=塑性指數，C=黏土成份（%細壤重），由上圖，P與C之關係可以下式表之：

$$\frac{C}{-6}-\frac{P}{4.5}=1 \qquad 4.5C-6P=(-6)(4.5)=27$$

$$\therefore\ 3C-4P=-18 \quad 或 \quad 3C-4P+18=0; \qquad C=\frac{4P-18}{3}; \quad P=\frac{3C+18}{4}$$

同理，細壤中砂或淤泥之成份與塑性指數之關係，亦可以實驗所得之程式表示之，故塑性指數亦具有表明土壤中土粒大小及其成份之功用，實無異義。至若塑性指數與黏土成份或與砂之成份，或與淤泥成份之關係，其精確之經驗公式，則尚待詳細之實驗與研究。上證之一式，不過其一例耳。

最好水份，爲土壤被壓至規定密度，而其密度最大時，其含水量與乾土淨重之百分比。本實驗仍以製模機代替葡氏儀器；壓力爲132公斤／平方公分。試驗手續，係將土壤與不同水份混和後，以製模機壓成泥柱，然後切取等長之泥柱，比較其烘乾後之重量及所含水份，藉資曲綫，以求其最好水份。

本室試驗之目的、在求作乾濕試驗或壓力試驗時，土壤混和水量之標準。蓋因任何土壤在一定壓力之下，如加最好水份壓實，則土粒間之空隙減少；換言之，即土粒間之距離縮短。根據萬有引力公式，$F=\frac{mM}{r^2}$，則土粒之結合力亦增大而形成最佳之結構；而試驗土壤時，應以其在最佳結構下所得之結果作爲研究之根據也。

試驗之記錄及結果如下：

表十：最好水份試驗

土壤種類	混合水份(%)	土之體積(c.c.)	鐵罐重量(克)	鐵罐及濕土重(克)	濕土重(克)	鐵罐及乾土重(克)	乾土重(克)	水份 重量(克)	水份 百分數	乾土密度(磅/立方尺)
原來土壤	12	21.56	49.40	94.40	45.00	88.82	83.62	5.58	14.5	112.2
	13	,,	48.35	93.71	45.36	87.75	39.49	5.96	15.1	114.4
	14	,,	46.30	92.56	43.26	86.05	39.75	6.51	16.4	115.4
	15	,,	48.47	93.98	45.51	87.31	38.84	6.67	17.2	112.8
	16	,,	49.10	93.51	44.41	86.81	37.71	6.70	17.8	109.5
A土	14	,,	43.80	89.69	45.89	83 58	39.76	6.13	15.4	115.5
	15	,,	49.90	96.76	46.86	90.15	40.25	6.61	16.4	116.8
	16	,,	46.29	93.45	47.16	86.49	40.20	6.96	17.3	116.6
	18	,,	48.35	94.90	46.55	87.48	39.13	7.43	19.0	113.5
B土	12	,,	43.45	90.09	46.64	83.87	40.42	6.22	15.4	117.4
	14	,,	46.80	95.20	48.40	88.31	41.51	6.89	16.6	120.5
	16	,,	48.47	97.41	48.94	90.05	41.57	7.36	17.7	120.7
	18	,,	49.90	98.02	48.12	90.23	40.33	7.79	19.3	117.0
C土	13	,,	46.29	94.09	47.80	87.29	41.10	6.70	16 3	119.3
	15	,,	44.41	93.60	49.19	86.25	41.84	7.35	17 6	121.5
	17	,,	46.80	96.14	49.34	88.22	41.42	7.92	19.1	120.2
	18	,,	49.40	97.41	48.01	89.45	40.05	7.96	19.9	116.3
D土	15	,,	48.35	94.10	45.75	87.26	38.91	6.81	17.6	113.0
	16	,,	46.30	93.50	47.20	86.20	39.90	7.30	18.3	115.7
	18	,,	48.47	96.88	48.41	88.91	40.44	7.97	19.7	117.5
	20	,,	49.10	96.24	47.14	87.93	38.83	8.31	21.4	112.7
E土	16	,,	43.80	88.87	45.07	81.80	38.00	7.07	18.6	110.4
	18	,,	49.90	96.80	46.90	89.04	39.24	7.76	19.7	114.0
	20	,,	46.29	94.04	47.75	85.82	39.53	8.22	20.8	114.7
	21	,,	44.41	91.46	47.05	82.91	38.50	8.55	22.2	111.7

表十一：土"C"加石灰後之最好水份

石灰成份	混合水份(%)	土之體積(c.c.)	鐵罐重(克)	鐵罐及濕土總重(克)	濕土淨重(克)	鐵罐及乾土總重(克)	乾土淨重(克)	水份 重量(克)	水份 %	乾土密度(磅/立方尺)
3%	14	21.56	44.41	89.62	45.21	83.12	38.71	6.50	16.8	112.3
	16	,,	48.35	95.19	46.84	88.05	39.70	7.14	18.0	115.3
	18	,,	49.90	97.56	47.66	89.88	39.98	7.68	19.2	116.0
	20	,,	46.80	93.98	47.13	85.71	38 91	8.22	21.1	113.0
6%	15	,,	49.40	92.29	42.89	85.71	38.50	6.58	17.1	111.6
	17	,,	43.75	90.77	47.02	83.27	39.52	7.50	19.0	114.7
	19	,,	46.30	93.56	47.26	85.55	39.25	8.01	20.4	113.8
	20	,,	48.47	94.43	45.96	86.30	37.83	8.13	21.5	109.9

9%	14	,,	49.40	92.68	43.28	86.30	38.24	6.38	16.7	111.0
	16	,,	43.80	89.71	45.91	82.61	38.81	7.10	18.3	112.6
	18	,,	48.35	93.32	46.97	87.52	39.17	7.80	19.9	113.7
	20	,,	46.29	92.53	46.24	84.29	38.00	8.24	21.7	110.0
12%	16	,,	49.10	92.73	43.63	85.31	37.21	6.47	17.4	108.0
	18	,,	49.90	95.99	46.09	88.47	38.57	7.52	19.5	112.0
	20	,,	46.80	93.46	46.66	86.35	38.56	8.10	21.0	111.9
	21	,,	48.47	94.51	46.04	86.13	37.66	8.38	22.3	109.4
15%	16	,,	44.41	88.59	44.18	81.65	37.24	6.94	18.4	108.2
	18	,,	48.35	94.61	46.26	86.88	38.53	7.73	20.1	111.7
	20	,,	49.40	96.38	46.98	88.00	38.61	8.38	21.7	112.0
	22	,,	43.75	89.40	45.65	80.87	37.12	8.53	23.0	107.6

表十二：土"C"加洋灰後之最好水份

洋灰成份	混合水份(%)	土之體積(c.c.)	鐵罐重(克)	鐵罐及濕土總重(克)	濕土淨重(克)	鐵罐及乾土總重(克)	乾土淨重(克)	水份 重量(克)	水份 %	乾土密度(磅/立方尺)
3%	14	21.56	49.40	96.47	47.07	89.91	40.51	6.56	16.2	117.5
	16	,,	48.35	97.53	49.18	90.04	41.69	7.49	18.0	121.0
	18	,,	46.30	95.82	49.52	87.74	41.44	8.08	19.5	120.3
	19	,,	48.47	97.73	49.26	89.23	40.76	8.50	20.8	118.4
6%	15	,,	43.80	91.52	47.72	84.53	40.78	6.94	17.0	118.5
	16	,,	49.90	99.39	49.49	91.70	41.80	7.69	18.4	121.4
	18	,,	46.29	96.04	49.75	87.92	41.63	8.12	19.5	120.7
	19	,,	48.35	97.33	48.98	88.92	40.57	8.41	20.7	117.8
9%	14	,,	44.13	90.91	46.78	84.25	40.12	6.66	16.6	116.4
	16	,,	46.30	95.44	49.14	87.89	41.50	7.64	18.4	120.5
	18	,,	48.45	98.38	49.93	85.13	41.68	8.25	19.8	121.0
	19	,,	46.29	96.09	47.51	87.51	41.22	8.58	20.8	119.5
12%	15	,,	48.53	95.57	47.22	88.69	40.34	6.88	17.1	117.0
	16	,,	49.90	98.83	48.93	91.19	41.29	7.64	18.5	119.9
	18	,,	44.41	94.10	49.69	85.82	41.41	8.28	20.0	120.1
	20	,,	43.75	93.25	49.50	84.51	40.76	8.74	21.4	118.5
15%	15	,,	49.40	96.86	47.46	89.72	40.32	7.14	17.7	117.0
	17	,,	46.29	95.16	48.87	87.29	41.00	7.87	19.2	119.0
	19	,,	43.80	93.06	49.26	84.44	40.64	8.62	21.2	118.0
	20	,,	48.47	97.24	48.77	88.31	39.87	8.90	22.3	115.7

表十三：最好水份與最大密度

類別	最好水份（%乾土重）	最大密度（磅/立方呎）
原來土樣	16.0	115.6
土 ”A”	16.7	116.9
土 ”B”	17.2	120.9
土 ”C”	17.9	121.5
土 ”D”	19.7	117.3
土 ”E”	20.6	114.7
土”C”加石灰或洋灰後		
3 % 石灰	19.0	116.00
6 % ,, ,,	19.1	114.70
9 % ,, ,,	19.7	113.65
12 % ,, ,,	20.2	112.32
15 % ,, ,,	21.1	112.27
3 % 洋灰	18.4	121.14
6 % ,, ,,	18.6	121.40
9 % ,, ,,	19.3	121.20
12 % ,, ,,	19.3	120.34
15 % ,, ,,	19.7	119.20

註：石灰或洋灰之百分數，係按%乾土重計算。

土壤之密度與其濕份之關係為一波形曲線（圖九，十，十一）其原理為土壤之濕份未達到a點時。水份一部被土粒所吸收，一部則在土粒表面形成一層薄膜。濕份由a增至b之過程中，一部份之水被土粒用作潤滑，俾易於改變其原有之位置。其後土粒愈物理壓化，間始膨脹，土壤之密度因而下降，至濕份等於c後，空氣在土壤中，所佔有之位置完全被水浸據，形成飽和狀態。惟a,b,c之數值究應如何，則全視土壤之性質而定。（參閱圖十二）最好水份與黏土成份成正比例；此可由圖十三知之。就理論而言，土壤吸水性之大小及其中濕膜之厚薄，全視其化學成份中矽石與鐵及鋁之氧化物之比數高低而定。此比數通常以 $\frac{Sio_2}{R_2O_3}$ 表示之，簡稱為Silica-Sesquioxide ratio，黏土之矽石成份較多，故 $\frac{Sio_2}{R_2O_3}$ 之值大，而其吸水性亦大；且黏土之顆粒小，故其成份增加後，土粒之表面積之總和增加，而形成于土粒表面之濕膜所需之水份，因而增加。故實驗所得之結果，尚無錯誤。

圖（十四）所示，土壤摻以石灰或洋灰後，其最好水份亦隨摻合物之成份而增，惟石灰之吸水性較洋灰為大。

在一定壓力之下，土壤之最大密度，因所含之黏土成份而不同。密度最大時之黏土成份，或簡稱為最好黏土成份，雖因土類而異，惟就A—4類土壤而言，則約為6.25%（圖十五）。

圖十六所示，土壤摻入石灰或洋灰後，其最大密度反而減小，石灰或洋灰之成份愈多，其密度愈小，惟洋灰之影響較石灰為小，究其原因，似不外乎於化學作用之不同。至若其實在情形究竟如何，則目前尚無所得。

四 壓力試驗

壓力試驗之目的，在明瞭A—4類土壤中之黏土成份，對於其抗壓力有何影響，及摻

入不同成份之石灰或洋灰後，其抗壓力，有何變動。試模仍用製模機以 132公斤／平方公分之壓壓成，濕和水份係以最好水份爲標準。各種試模壓成後，以壓力試驗機，試驗其在下列三種情形下之抗壓力：

(1) 晾乾24小時後，置電烘爐中，於110°C.之溫度下烘 4小時，然後取出立即試驗；

(2) 於試驗室中放置七天

(3) 於試驗室中放置廿八天

所有結果如下：

表十四：壓力試驗（烘乾4小時後立即試驗）溫度110 °C.

類別		未加石灰或洋灰		加15%洋灰		加15%石灰	
		總壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分	總壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分	總壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分
土 ,, ,, A	1	151.0		160.0	32.6	220.0	44.8
	2	155.0					
	平均	152.5	31.1				
土 ,, ,, B	1	205.0		165.0	33.6	250.0	50.8
	2	195.0					
	平均	200.0	40.7				
土 ,, ,, D	1	305.0		350.0	71.2	325.0	66.2
	2	285.0					
	平均	295.0	60.0				
土 ,, ,, E	1	315.0		335.0	68.2	285.0	58.0
	2	350.0					
	平均	332.5	67.7				
原來土樣100%		100.0	20.4				
原來土樣 10% 紅土 90%		305.0	62.2				
原來土樣 30% 紅土 70%		325.0	66.2				
紅土	1	250.0					
	2	250.0					
	平均	250.0	50.8				

註：試模之受力面積二4.92平方公分

表十五：壓力試驗（晾乾7天）

類別	未加石灰或洋灰		加15%洋灰		加15%石灰	
	總壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分	總壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分	總壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分

土 ,, ,, A	1	190.0		210.0	42.7	270.0	55.0
	2	170.0					
	平均	180.0	36.7				
土 ,, ,, B	1	250.0		210.0	42.7	290.0	59.1
	2	210.0					
	平均	230.0	46.8				
土 ,, ,, D	1	330.0		420.0	85.5	400.0	81.5
	2	310.0					
	平均	320.0	65.2				
土 ,, ,, E	1	330.0		430.0	87.6	490.0	99.8
	2	370.0					
	平均	350.0	71.3				
原來土樣	1	62.0					
	2	90.0					
	平均	76.0	15.5				
紅土	1	295.0					
	2	290.0					
	平均	293.0	59.7				

表十六：壓力試驗（晾乾28天）

類別		未加石灰或洋灰		加15%洋灰		加15%石灰	
		總壓力（公斤）	壓力 公斤/平方公分	總壓力（公斤）	壓力 公斤/平方公分	總壓力（公斤）	壓力 公斤/平方公分
土 ,, ,, A	1	157.0		213.0	43.4	213.0	
	2	143.0				233.0	
	平均	150.0	30.6			223.0	45.4
土 ,, ,, B	1	208.0		290.0	59.1	312.0	63.6
	2	221.0					
	平均	214.5	43.7				
土 ,, ,, D	1	283.0		454.0		410.0	
	2	272.0		477.0		398.0	
	平均	277.5	56.6	455.5	92.8	404.0	82.4
土 ,, ,, E	1	348.0	71.1	412.0		534.0	108.7
	2	349.0		406.0			
	平均	348.5		409.0	83.3		
原來土樣	1	85.0					
	2	81.0					
	平均	83.0	16.9				
紅土	1	301.0					
	2	297.0					
	平均	299.0	60.8				

表十七：壓力試驗（土 "C"）

洋灰成份 (%)		烘4小時 總壓力（公斤）	烘4小時 壓力 公斤/平方公分	晾乾7天 總壓力（公斤）	晾乾7天 壓力 公斤/平方公分	晾乾28天 總壓力（公斤）	晾乾28天 壓力 公斤/平方公分
0	1	250.0		275.0		293.0	
	2	290.0		270.0		301.0	
	平均	270.0	54.9	272.5	55.4	297.0	60.4
3	1	270.0		274.0		282.0	
	2	320.0		297.0		277.0	
	平均	295.0	60.1	286.0	58.2	279.5	56.9
6	1	260.0		322.0		292.0	
	2	315.0		295.0		339.0	
	平均	287.5	58.6	309.0	62.8	315.5	64.2
9	1	280.0		305.0		317.0	
	2	290.0		334.0		333.0	
	平均	285.0	58.0	320.0	65.1	325.0	66.2
12	1	250.0		316.0		369.0	
	2	260.0		328.0		347.0	
	平均	250.0	50.8	322.0	65.6	358.0	72.8
15	1	280.0		310.0		323.0	
	2	265.0		302.0		356.0	
	平均	272.5	55.4	306.0	62.2	342.0	69.6

表十八：壓力試驗（土 "C"）

石灰成份 (%)		烘4小時 總壓力（公斤）	烘4小時 壓力 公斤/平方公分	晾乾7天 總壓力（公斤）	晾乾7天 壓力 公斤/平方公分	晾乾28天 總壓力（公斤）	晾乾28天 壓力 公斤/平方公分
0	1	250.0		275.0		293.0	
	2	290.0		270.0		301.0	
	平均	270.0	54.9	272.5	55.4	297.0	60.4
3	1	249.0		235.0		195.0	
	2	231.0		200.0		192.0	
	平均	240.0	48.8	217.0	44.2	193.5	39.4
6	1	247.0		285.0		250.0	
	2	259.0		285.0		255.0	
	平均	253.0	51.5	285.0	5[illegible].0	252.5	51.4
9	1	295.0		324.0		332.0	
	2	240.0		300.0		333.0	
	平均	267.5	54.4	312.0	63.5	332.5	67.6

12	1	275.0		352.0		368.0	
	2	225.0		382.0		382.0	
	平均	250.0	50.8	367.0	74.8	375.0	76.3
15	1	250.0		312.0		357.0	
	2	290.0		340.0		387.0	
	平均	270.0	54.9	331.0	67.3	372.0	75.7

本試驗所有之試模，一經試驗後，即行碎裂而成二個鐵體，此乃因試模之受力面平滑，故試模受力平均面在抗剪阻力不足之情況下而製壞也。

圖十八所示，抗剪力發生之面爲 $\frac{1}{2}\ \frac{r}{\cos\theta}\ (2r\pi) = \frac{\pi r^2}{\cos\theta}$

假定　S=剪應力　總剪力 $S = \frac{\pi r^2}{\cos\theta} \cdot S$　$\Sigma V = 0$

$\therefore S\sin\theta = P$　$\frac{\pi r^2}{\cos\theta} \cdot S \cdot \sin\theta = P$　$S = \frac{P}{\pi r^2 \cot\theta}$

假定　C=壓應力則　$C = \frac{P}{\pi r^2}$，

故　$C = S\tan\theta$，或　$S = \frac{C}{\tan\theta}$　θ之數值因土質而異，本試驗結果爲自45°至60°之間

抗剪力爲黏結力與內磨擦力所合成，故黏土或粉土太少，則土壤缺乏黏結力，太多則黏土與水後有潤滑之作用，反足以減少土壤之內磨擦力，故穩定土壤必須含有適宜之黏土或粉，此圖十七，十九，及二十各曲線之所以上升後復呈下降也。

就大體而言，土壤不論其已加摻合物或未加摻合物，其抵抗力以經過28天暴露者最佳，烘乾四小時後立即試驗者最劣。究其原因，不外石灰及洋灰將需相當之水份以促進其穩定上壤之作用，而此用則必需相當時日，始克完全，且適宜之水份，亦爲穩定土壤另一因素。土壤經28天暴露後，其中之自由水份幾已完全蒸發，土粒表面更被濕膜包圍，而此等濕膜在幾不變更之環境下，亦呈穩定也。

由本試驗所得之結果，石灰及洋灰均有增加土壤抗壓力之功用，惟石灰或洋灰成份與土壤抗壓力之關係，在烘乾四小時後立即試驗之情形下，顯不明顯。在其他兩種情況下，則灰量增加，土壤之抗壓力雖亦增加（參閱圖二十一及二十二），惟增加之數量不多，而其趨勢，仍爲一曲線，或爲一曲線，因無確切之根據，尚勉強證之。

以摻合物穩定土壤之目的，在維持土壤原有之抵抗力，故諸本試驗之結果，洋灰與石灰，幾低限度，不致減低土壤原有之抗壓力或抗剪力，實無疑義。

（五）乾濕試驗

本試驗所用之試模，係用製模機以 132公斤／平方公分之壓力壓成，混和水份以最好水份爲標準，試模暴露24小時後，置電烘爐中烘乘常溫，而損失土重之百分數，即以此時之土重爲標準。試驗之步驟如下：

1. 將試模於室溫下浸入水中16小時。
2. 取出試模以 300°F. 左右之溫度，就電爐中烘 8小時。
3. 取出試模使其在空氣中冷卻。
4. 用硬毛刷輕刷之。
5. 權其重量。

自1至5爲一度乾濕循環。乾濕試驗之目的，爲使土壤在類似晴雨情形下，試驗其抵抗天氣之能力。惟各地氣候不同，故試驗之次數因地而異。依據1935年美國公路研究委員會年刊，試驗之次數爲15，本試驗中所採用之次數則爲 8。蓋因西北氣候乾燥，雨量甚少也。

試驗結果，可參閱表十九至二十四及圖二十三至三十四

表十九：乾濕

混料成份 %	原來土重（克）	試驗 1 土重（克）	1 損失土重 克	1 損失土重 %	2 土重（克）	2 損失土重 克	2 損失土重 %	3 土重（克）	3 損失土重 克	3 損失土重 %	4 土重（克）	4 損失土重 克	4 損失土重 %
0	25.98	0	25.98	100									
6C	28.96	28.51	.45	1.55	27.16	1.80	6.2	26.13	2.83	9.77	25.46	3.50	12.10
3C	29.13	28.61	.52	1.78	26.53	2.60	8.94	25.40	3.73	12.80	24.88	4.25	14.60
9C	32.12	31.51	.61	1.89	30.50	1.62	5.04	29.47	2.65	8.25	28.95	3.17	9.88
12C	31.04	30.14	.90	2.89	29.60	1.44	4.63	28.94	2.10	6.77	28.27	2.77	8.92
15C	25.59	25.45	.14	.55	25.26	.33	1.29	24.80	.79	3.08	24.56	1.03	4.02
3L	26.75	24.37	2.38	8.89	20.70	6.05	22.55	18.94	7.81	29.10	17.78	8.97	33.45
6L	27.49	25.13	2.36	8.58	24.20	3.29	11.90	23.03	4.46	16.20	21.57	5.92	21.50
9L	26.36	25.94	.42	1.59	25.13	1.23	4.67	24.73	1.63	6.18	24.30	2.06	7.82
12L	28.26	28.00	.26	.93	27.76	.50	1.78	27.61	.65	2.31	27.54	.72	2.56
15L	25.32	25.24	.08	.32	25.22	.10	.39	25.21	.11	.43	25.21	.11	.43

註： 3C即3%洋灰(Cement)；

表二十：乾濕

混料成份 %	原來土重（克）	試驗 1 土重（克）	1 損失土重 克	1 損失土重 %	2 土重（克）	2 損失土重 克	2 損失土重 %	3 土重（克）	3 損失土重 克	3 損失土重 %	4 土重（克）	4 損失土重 克	4 損失土重 %
0	26.46	0	26.46	100									
3C	28.64	28.30	.34	1.18	28.00	.64	2.24	27.73	.91	3.17	27.55	1.09	3.81
6C	29.37	28.85	.52	1.77	28.83	.54	1.83	28.57	.80	2.72	28.35	1.02	3.47
9C	29.55	29.20	.35	1.18	29.00	.55	1.85	28.47	1.08	3.67	28.42	1.13	3.82
12C	27.53	27.18	.35	1.27	27.06	.47	1.71	26.83	.70	2.54	26.67	.86	3.12
15C	26.89	26.87	.02	.07	26.83	.06	.22	26.82	.07	.26	26.80	.09	.33
3L	27.92	26.89	1.03	3.69	25.18	2.74	9.82	23.17	4.75	17.00	21.55	6.37	22.79
6L	26.67	26.00	.67	2.50	25.80	.87	3.25	25.41	1.26	4.72	24.90	1.77	6.63
9L	26.42	26.37	.05	.19	26.11	.31	1.17	25.99	.43	1.63	25.90	.52	1.97
12L	27.20	27.08	.12	.44	26.98	.22	.81	26.87	.33	1.21	26.74	.46	1.69
15L	26.09	26.08	.01	.04	26.06	.03	.12	26.05	.04	.15	26.05	.04	.15

試驗(上 "A")

次數										
5			6			7			8		
土重(克)	損失土重		土重(克)	損失土重		土重(克)	損失土重		土重(克)	損失土重	
	克	%		克	%		克	%		克	%
24.53	4.43	15.30	23.32	5.64	19.45	22.43	6.53	22.50	21.48	7.48	25.81
23.67	5.46	18.73	22.44	6.69	22.90	21.53	7.60	26.10	20.59	8.54	29.35
28.36	3.76	11.70	27.80	4.32	13.44	26.90	5.22	16.25	26.44	5.68	17.72
27.74	3.30	10.36	27.42	3.52	11.65	27.16	3.88	12.50	36.69	4.35	13 98
24.44	1.15	4.49	24.40	1.19	4.65	24.36	1.23	4.81	24.32	1.27	4.97
13.31	13.44	50.20	8.50	18.25	68.20	0	26.75	1.00			
20.78	6.76	24.52	19.50	7.99	29.00	17.72	9.77	35.50	16.47	11.02	40.00
23.98	2.38	9.03	23.55	2.81	10.66	23.07	3.29	12.50	22.80	3.56	13.50
27.38	.88	3.11	27.22	1.04	3.68	27.13	1.13	4.00	27.01	1.25	4.43
25.20	.12	.47	25.19	.13	.51	25.19	.13	.51	25.19	.13	.51

3L即3%石灰(Lime)，餘類推。

試驗(土 "B")

次數										
5			6			7			8		
土重(克)	損失土重		土重(克)	損失土重		土重(克)	損失土重		土重(克)	損失土重	
	克	%		克	%		克	%		克	%
27.37	1.27	4.43	27.12	1.52	5.31	26.43	2.21	7.63	25.98	2.66	9.27
28.24	1.13	3.85	28.10	1.27	4.32	27.56	1.81	6.15	27.15	2.22	7.54
28.25	1.30	4.41	28.00	1.55	5.24	27.98	1.57	5.30	27.69	1.86	6.28
26.59	.94	3.41	26.51	1.02	3.71	26.46	1.07	3.90	26.41	1.12	4.09
26.73	.16	.60	26.69	.20	.74	26.67	.22	.81	26.66	.23	.84
19.04	8.88	31.80	15.96	11.96	42.85	14 63	13.3	47.54	11.12	16.8	60.00
24.16	2.51	9.41	23.46	3.21	12.00	22.44	4.23	15.83	21.43	5.19	19.42
25.78	.64	2.42	25.73	.69	2.61	25.18	1.24	4 70	24.91	1.51	5.71
26.53	.87	2.09	26.57	.63	2 31	26.39	.81	3.00	26.36	.84	3.10
26.04	.05	.19	26.04	.05	.19	26.04	.05	.19	26.03	.06	.23

表二十一：乾濕

混料成份	原來土重	試驗 1			試驗 2			試驗 3			試驗 4		
		土重	損失土重		土重	損失土重		土重	損失土重		土重	損失土重	
%	(克)	(克)	克	%	(克)	克	%	(克)	克	%	(克)	克	%
0	25.65	0	25.65	100									
3C	26.00	25.72	.28	1.08	25.67	.33	1.15	25.61	.39	1.50	25.55	.45	1.73
6C	25.74	25.54	.20	.78	25.47	.27	1.05	25.41	.33	1.28	25.30	.44	1.71
9C	26.62	26.50	.18	.67	26.43	.25	.94	26.38	.30	1.12	26.33	.35	1.31
12C	26.06	25.92	.13	.50	25.87	.18	.69	25.79	.26	1.00	25.74	.31	1.19
15C	25.99	25.78	.15	.58	25.73	.20	.77	25.72	.21	.81	25.70	.23	.89
3L	25.50	25.27	.23	.90	25.21	.29	1.14	24.98	.52	2.04	24.87	.63	2.47
6L	24.80	24.63	.17	.68	24.59	.21	.85	24.45	.35	1.41	24.36	.44	1.77
9L	25.00	24.87	.13	.56	24.86	.14	.57	24.84	.16	.64	24.80	.20	.80
12L	23.85	23.73	.12	.50	23.72	.13	.55	23.71	.14	.60	23.70	.15	.63
15L	24.75	24.65	.10	.40	24.64	.11	.45	24.64	.11	.46	24.64	.11	.46

表二十二：乾濕

混料成份	原來土重	試驗 1			試驗 2			試驗 3			試驗 4		
		土重	損失土重		土重	損失土重		土重	損失土重		土重	損失土重	
%	(克)	(克)	克	%	(克)	克	%	(克)	克	%	(克)	克	%
0	24.75	0	24.75	100									
6C	29.80	29.75	.05	.17	29.72	.06	.27	29.71	.09	.30	29.70	.10	.34
3C	27.39	27.38	.01	.04	27.37	.02	.07	27.36	.03	.11	27.35	.04	.15
15C	29.85	29.85	0	0	29.84	.01	.03	29.83	.02	.07	29.83	.02	.07
9C	31.25	31.20	.05	.16	31.17	.08	.26	31.17	.08	.26	31.16	.09	.29
12C	24.99	24.97	.02	.08	24.96	.03	.12	24.94	.05	.20	24.93	.06	.24
3L	25.94	25.76	.18	.69	25.68	.26	1.00	25.07	.87	3.35	24.85	1.09	4.20
6L	26.04	26.03	.01	.04	26.02	.02	.08	26.01	.03	.12	26.00	.04	.15
9L	27.87	27.85	.02	.07	27.84	.03	.11	27.83	.04	.14	27.82	.05	.18
12L	27.84	27.83	.01	.04	27.82	.02	.08	27.81	.03	.11	27.80	.04	.14
15L	24.09	24.07	.02	.08	24.06	.03	.12	24.05	.04	.17	24.04	.05	.21

試驗（土 "C"）

次數										
5			6			7			8		
土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重	
	克	%		克	%		克	%		克	%
25.52	.48	1.84	25.49	.51	1.95	25.37	.63	2.42	25.20	.80	3.07
25.26	.43	1.86	25.23	.51	1.98	25.20	.54	2.10	25.17	.57	2.21
26.32	.36	1.35	26.31	.37	1.38	26.24	.44	1.65	26.22	.46	1.73
25.73	.32	1.23	25.72	.33	1.27	25.71	.34	1.31	25.71	.34	1.31
25.70	.23	.89	25.70	.23	.89	25.70	.23	.89	25.70	.23	.89
24.78	.72	2.32	24.64	.86	3.37	24.47	1.03	4.04	24.35	1.15	4.52
24.29	.51	2.05	24.28	.52	2.10	24.19	.61	2.46	24.10	.70	2.82
24.79	.21	.84	24.78	.22	.88	24.77	.23	.92	24.74	.26	1.04
23.65	.20	.84	23.63	.22	.92	23.62	.23	.96	23.62	.23	.96
24.83	.12	.51	24.62	.13	.55	24.62	.13	.55	24.62	.13	.55

試驗（土 "D"）

次數										
5			6			7			8		
土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重	
	克	%		克	%		克	%		克	%
29.69	.11	.37	29.67	.13	.44	29.66	.14	.47	29.65	.15	.49
27.27	.12	.43	27.17	.22	.80	27.13	.26	.94	27.09	.30	1.20
29.82	.03	.10	29.80	.05	.17	29.79	.06	.20	29.78	.07	.23
31.15	.10	.32	31.13	.12	.38	31.12	.13	.41	31.12	.13	.42
24.93	.06	.24	24.92	.07	.28	24.92	.07	.28	24.92	.07	.28
24.13	1.81	6.98	23.95	1.99	7.65	23.52	2.42	9.30	22.97	2.57	9.90
25.94	.10	.39	25.87	.17	.66	25.74	.30	1.16	25.67	.37	1.42
27.78	.09	.32	27.72	.15	.54	27.68	.21	.76	27.64	.23	.83
27.75	.09	.32	27.68	.16	.57	27.67	.17	.61	27.65	.19	.67
24.04	.05	.21	24.04	.05	.21	24.04	.05	.21	24.04	.05	.21

表二十三：乾濕

混料成份 %	原來土重 (克)	試驗 1 土重 (克)	1 損失土重 克	1 損失土重 %	2 土重 (克)	2 損失土重 克	2 損失土重 %	3 土重 (克)	3 損失土重 克	3 損失土重 %	4 土重 (克)	4 損失土重 克	4 損失土重 %
0	25.34	0	25.34	100									
3C	29.81	29.76	.05	.17	29.70	.11	.37	29.67	.14	.47	29.65	.16	.54
6C	26.50	26.48	.02	.08	26.47	.03	.11	26.46	.04	.15	26.46	.04	.15
9C	30.14	30.13	.01	.03	30.12	.02	.07	30.11	.03	.10	30.11	.03	.10
12C	24.89	24.86	.03	.12	24.85	.04	.16	24.83	.06	.24	24.82	.07	.28
15C	30.82	30.81	.01	.03	30.80	.02	.06	30.80	.02	.06	30.79	.03	.09
3L	28.08	28.00	.08	.28	27.95	.13	.46	24.96	3.12	11.10	22.85	5.23	18.5
6L	25.62	25.61	.01	.03	25.60	.02	.06	25.53	.09	.25	25.49	.13	.51
9L	26.52	26.51	.01	.04	26.50	.02	.08	26.50	.02	.08	26.49	.03	.11
12L	25.60	25.59	.01	.04	25.58	.02	.08	25.58	.02	.08	25.57	.03	.12
15L	24.16	24.13	.03	.12	24.12	.04	.16	24.12	.04	.16	24.12	.04	.16

未加摻合物之土壤，浸入水中，數分鐘後即行消散，加摻合物後則團土壤中黏土成份如何而定，黏土成份太多或不足，均不能使土壤穩定。

圖27所示，土壤加洋灰後，不論其黏土成份多寡，其損失土重，皆隨洋灰量之增加而減少；而在任何洋灰成份之下，黏土成份與損失土重之關係，則為一拋物線。惟各拋物線之頂點，因洋灰量之增加而右移，非在一直線之上。且在一定損失土重之下，黏土成份之範圍，因洋灰量之增加而擴大。土壤加石灰後，結果與加洋灰者相似，惟因試驗結果不足，故所得之曲線（圖三十四）不若加洋灰者明顯而已。

表二十四

摻合物成份	經八次試驗後損失土重百分數 3%		6%		9%		12%		15%	
摻合物種類	石灰	洋灰	石灰	洋灰	石灰	洋灰	石灰	洋灰	石灰	洋灰
A	100.0	29.35	40.00	25.81	13.50	17.72	4.43	13.98	0.51	4.97
B	60.0	9.27	19.42	7.54	5.71	6.28	3.10	4.09	0.23	0.84
C	4.52	3.07	2.32	2.21	1.04	1.73	0.96	1.31	0.55	0.89
D	9.90	1.20	1.42	0.49	0.83	0.42	0.67	0.28	0.21	0.23
E	100	4.21	4.64	1.55	0.25	0.43	0.19	0.32	0.15	0.12

試驗（土 "E"）

次數											
5			6			7			8		
土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重		土重（克）	損失土重	
	克	%		克	%		克	%		克	%
29·44	·37	1·24	29·24	·57	1·93	28·59	1·22	2·72	28·55	1·26	4·21
26·40	·10	·38	26·35	.15	·57	26·25	·25	·96	26·22	·28	1·55
30·10	·04	·13	30·09	·05	·17	30·06	·08	·28	29·71	·13	·43
24·82	·07	·28	24·82	·07	·28	24·82	·07	·29	24·81	·08	·32
30·79	·03	·09	30·79	·03	·09	30·78	·04	·12	30·78	·04	·12
0	28·08	100									
25·33	·29	1·12	25·12	·50	1·95	24·73	·89	3 42	24·43	1·19	4·64
26·49	·03	·11	26·48	·04	·14	26·48	·04	·14	26·48	·04	·15
25·56	·04	·16	25·56	·04	·16	25·56	·04	·17	25·55	·05	·19
24·11	·05	·21	24·11	·05	·21	24·11	·05	·21	24·10	·06	·25

由上表，摻合物成份在6%以下，則洋灰之功效遠較石灰者爲佳，其在9%時，則兩者之功效因土質而異，其在12%以上時，反以石灰者爲佳。惟加石灰後，損失土重最大者，亦不過29.35%，而加石灰者則爲100%，故洋灰之功效實大於石灰也。

（六）抵抗磨耗硬度實驗

本試驗所用之儀器爲多爾科硬度機，試模之壓製如前，惟試驗之材料係爲D類土壤，因其黏土成份較佳也。 試樣陰濕28天後，其實驗之結果如表二十五。

表二十五

石灰成份 %	硬度係數	洋灰成份 %	硬度係數
3	<0	3	<0
6	<0	6	<0
9	<0	9	<0
12	<0	12	<0
15	0·4	15	3·35

$$硬度係數=20-\frac{兩端平均磨耗(克)}{3}$$

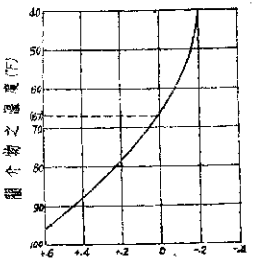
硬度最低之石料其研磨之結果，甚難平均原相差60度，則研度係數等於零，故＋D加15％以上之石灰或洋灰後，其硬度較石料最低度為大。石灰或份在12％以下者，其磨耗於未達實驗之標準（1000轉）時，已等於60度，故不能引用上式，而其硬度係數以＜0表示之，意謂其硬度較石料之最低硬度為小也。

結　　論

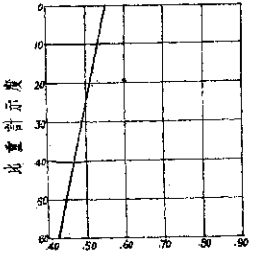
1. 塑性指數與黏土成份成正比例，兩者之關係，可以方程式表示之：

$$C=\frac{4P-18}{3}\text{，或 }P=\frac{3C+18}{4}\text{；式中 }C=\text{黏土成份（\％都壤爾），}P=\text{塑性指數}$$

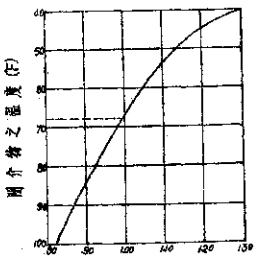
2. 最好水份與黏土成份成正比例，黏土成份等於零時，其最好水份約16％乾土重，黏土成份增加10％，則最好水份約增高3.5％
3. 最好水份與石灰成份或洋灰成份成正比例，加15％洋灰後，最好水份約增高 2.7％，加石灰者倍之。
4. A—4類土壤，其密度最大留之黏土成份，約至6.25％黏土重，
5. 洋灰或石灰成份增加，則土壤之密度隨之減小，
6. 抗壓力最大時之黏土成份，為14.5—15.5％（圖12）
7. 由4至6可知，密度最大時，土壤不一定能獲得最大之抗壓力。
8. 土壤加洋灰或石灰後，其抗壓力最大時之黏土成份，較未加石灰或洋灰者少，如圖13及14所示。加15％摻合後，抗壓力最大時之黏土成份為10—11％，蓋因摻合物有代替原有黏結料之功用也。
9. 石灰及洋灰均有維持或增加土壤抗壓力之功用，惟須使之徐徐晾乾，始能獲得最好之結果，晾乾時間，普通以28天為標準。
10. 石灰及洋灰均能減低甚或消除氣候對土壤之影響。
11. 由乾濕試驗結果，土壤加洋灰或石灰者，其損失土重百分數，隨灰量增加而減少。（參閱表二十四）
12. 在任何洋灰或石灰成份之下，黏土成份與損失土重百分數之關係，為一橫物線。
13. 在一定損失土重百分數之下，黏土成份之範圍，因石灰或洋灰量之增加而擴大，如圖27所示。假定損失土重超過2％，則加3％洋灰者，其黏土成份約在8.2％及10.9％之間，加6.9％洋灰者，其黏土成份之範圍排序為7.4—11.8，7.0—14％左右，加石灰者，其結果類此，（可參閱圖二十四）
14. 穩定土壤時，洋灰量或石灰量之選擇，因土壤之黏土成份而異，惟須先規定損失土重之百分數，然後由圖27或28求得之。例如規定損失土重不得超過5％，而土壤之黏土成份為5％，則由圖27求得交點在9％及12％兩曲線之中，故應加之洋灰量，不得少於10.5％，同理，由圖28可求得應加之石灰量，不得少於9％。



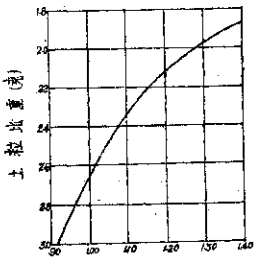
圖一



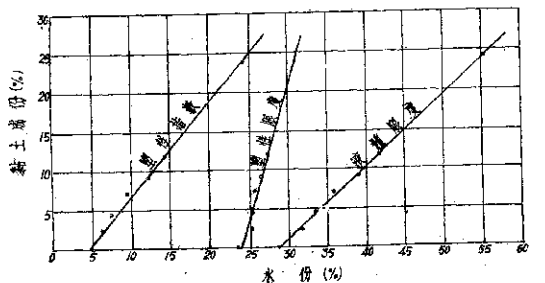
圖二



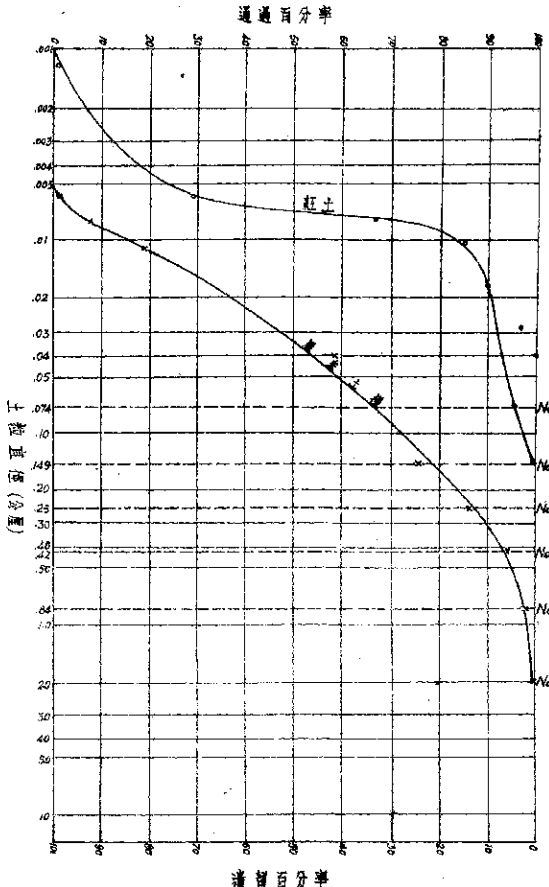
圖三



圖四



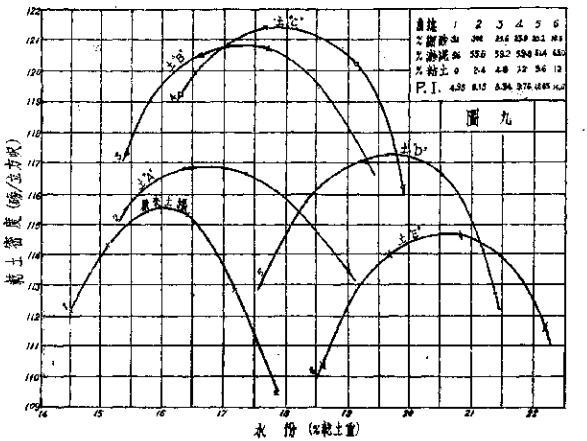
圖七

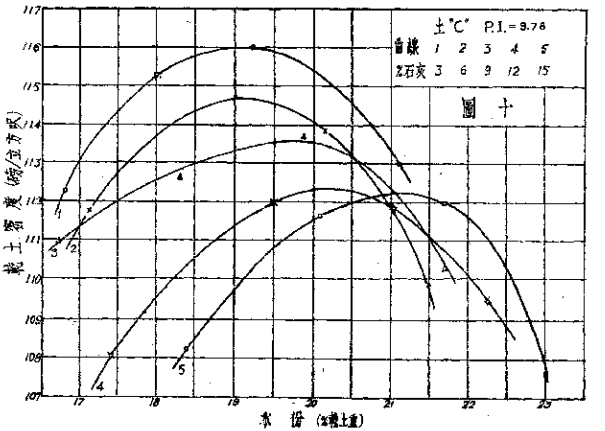


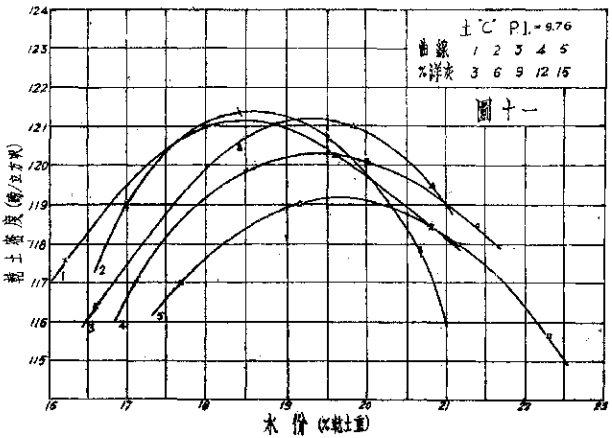
圖五 土粒之粒度曲線

圖十八 篩分析之結果曲線

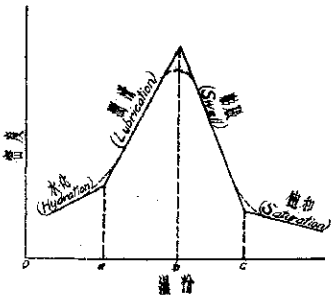
圖八


圖九
曲線 1 2 3 4 5 6
% 細砂 34 25.6 25.0 20.1 18.8
% 淤泥 66 55.6 58.2 59.8 51.4 63.0
% 粘土 0 2.4 4.8 12 26 12
P.I. 4.35 8.15 8.34 9.76 13.65 16.0
土"a"
土"b"
土"c"
黃泥土樣
乾土密度(磅/立方呎)
水份(%乾土重)

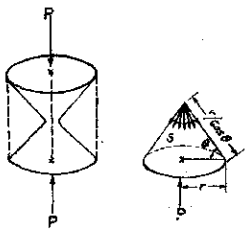

圖十
土"C" P.I.=9.76
曲線 1 2 3 4 5
%石灰 3 6 9 12 15
乾土密度(磅/立方呎)
水份(%乾土重)


土 C' P.I. = 9.76
曲線 1 2 3 4 5
%詳%% 3 6 9 12 15
黏土密度(磅/立方呎)
124
123
122
121
120
119
118
117
116
115
16
17
18
19
20
21
22
23
水 份 (%黏土重)

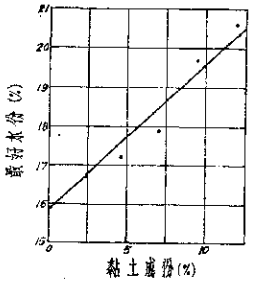
圖十一


密度
水化
(Hydration)
潤滑
(Lubrication)
膨脹
(Swell)
飽和
(Saturation)
D
a
b
c
濕份

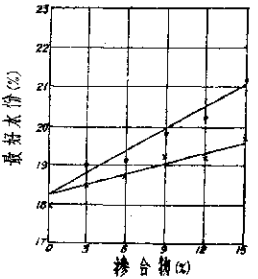
圖十二


P
P
S
θ
r
D

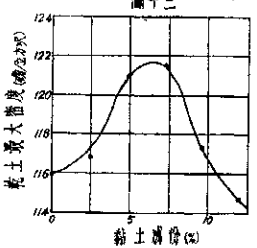
圖十八



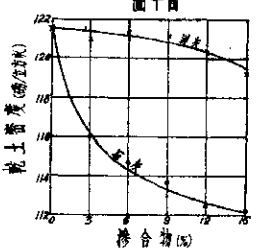
圖十三



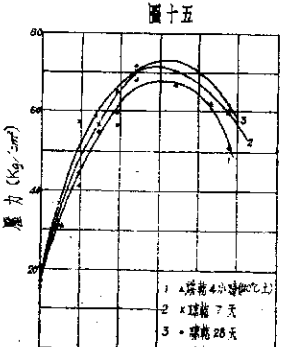
圖十四



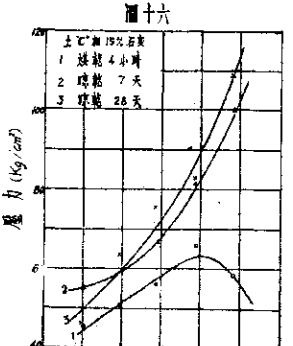
圖十五



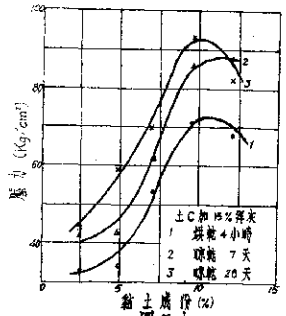
圖十六



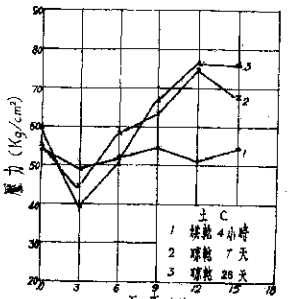
圖十七



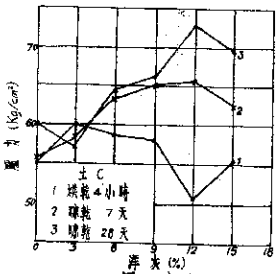
圖十八



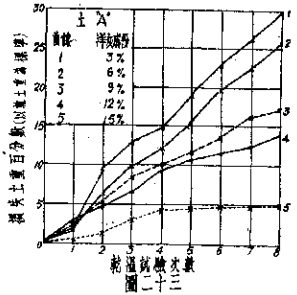
圖二十



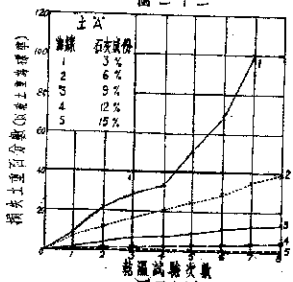
圖二十一



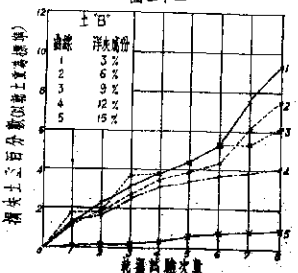
圖二十二



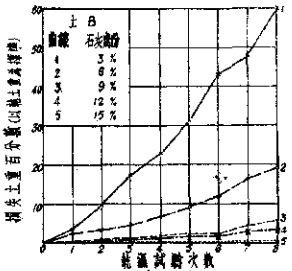
圖二十三



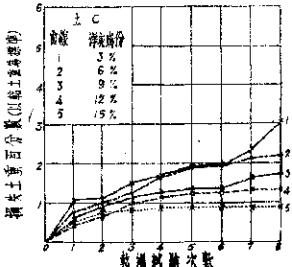
圖二十四



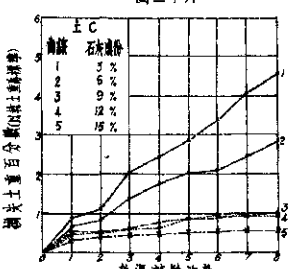
圖二十五



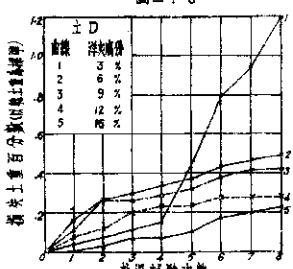
圖二十六



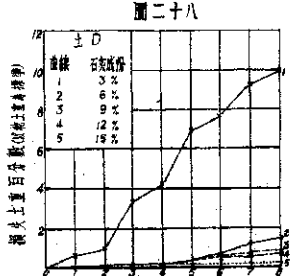
圖二十七



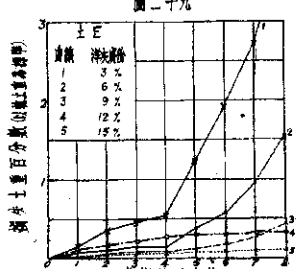
圖二十八



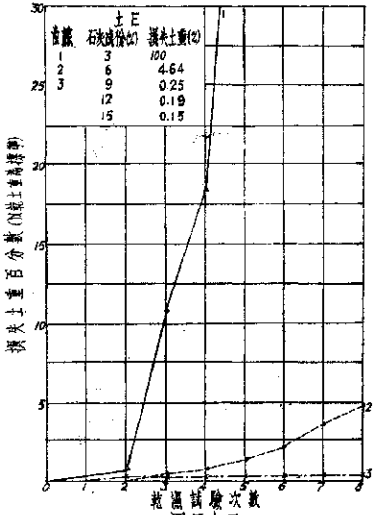
圖二十九



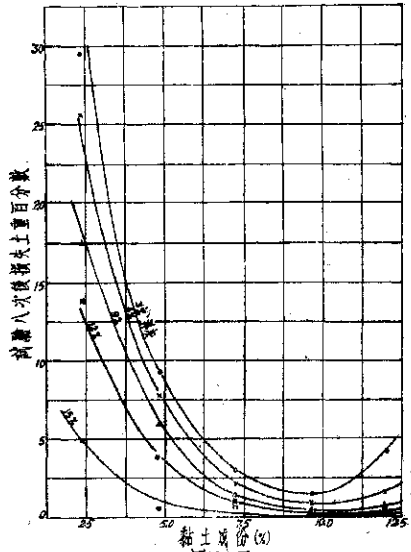
圖三十



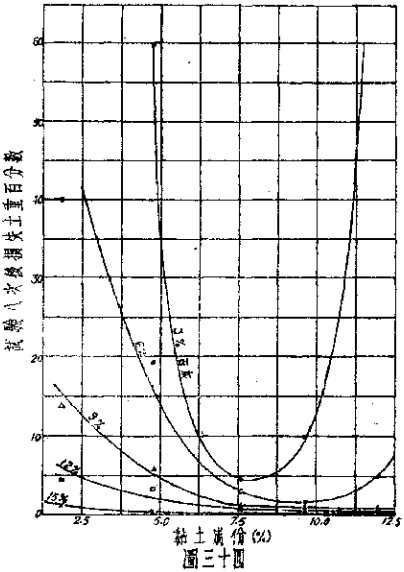
圖三十一


土E
曲線 石灰試驗(%) 損失土重(%)
1 3 100
2 6 4.64
3 9 0.25
12 0.19
15 0.15
損失土重百分數(%)(乾土重為標準)
乾溫試驗次數

圖三十二


試驗八次後損失土重百分數
黏土成份(%)

圖三十三



圖三十四

桐油穩定土壤試驗報告

交通部公路總管理處實習生

（一） 引言

穩定之界說，乃土壤或土壤與石子混合體之處治，在任何氣候之下，使其有穩定之結構，而成健强之路基或路面也。由根本而言，欲得土壤之穩定性或土壤之承重力，水份之適宜及體積收縮之減低，爲其唯一之要素。此種因素，與土壤之黏結力及內磨擦力，均有直接之關係。

穩定性之基本原則，一爲黏結力。一爲內磨擦力。在一有黏性之土壤與水之混合物中，水份愈多，則其穩定性乃愈低。所有土壤之穩定性曲線，至其接近塑性限度之各點，皆作迅速下降之趨勢，後至液體限度之時，其穩定性幾等於零。故處治土壤，如能使其所含水份，低於其塑性限度。或設法改變土性，提高其塑性限度，對於穩定之功用，均能有顯著之帮助。

穩定性之要求，乃配合土壤中之顆粒材料及黏結材料，使其成一穩定之混合體，若細粒過多，或級配不足，其嚴一種救之道，必須避免水之浸透。欲防水之爲害，必須加配富於防水之材料，列如瀝青及桐油，均爲至上之品。

利用桐油之原理，乃使桐油分佈於土壤材料之中，使每一土壤顆粒，均爲油料所包圍。後桐油乾後，每一顆粒皆爲黏膠所黏結，而成一堅固之物體，以防水份之侵入。故用桐油穩定土壤，頗具可能之性也。

（二） 試驗之材料

1. 桐油

普通桐油樹，可分爲二種，一曰桐油樹，一曰木油樹。桐油樹產於華中及華西而能達長江流域一帶，木油屬則產於華南，尤以在西江一帶爲最多。但本國外銷之大量桐油，十分之九屬於桐油樹。桐油之爲用，在製造上等漆料，爲最需要之基本原料，此外并可作木料及其他物品之防水劑。中國交通部公路總管理處，最近幾年來亦曾試驗利用桐油，以爲修路之用，雖意雖佳，但尚未十分成功，仍須繼續研究。

2. 土壤

此次試驗採用之土壤，共有數種如下：——

(a) 紐約街土(New York Avenue Clay)——淡紅褐色，爲尖角形細顆粒而富於黏性之土壤。遇水則成爲膠黏狀；但乾後極爲脆弱。

(b) 本薛文尼亞沃土(Penn. Loam)——深褐色，帶砂質之細粒土壤，遇水則微呈膠黏狀，乾後極堅實。

(C) 波士麥克砂(Potomac Sand)及紐約街土之混合物。

上列三種土壤之機械分析，列之於附表 1，至其分類，可分爲三種如下：——

1. 紐約泥街土(New York Avenue Clay)……A-7
2. 本薛文尼亞沃土(Penn. Loam)……A-4
3. 砂土混合物(Sand and Clay mixture)……A-6

(三) 試驗方法

1. 壓實試驗(Compaction Test)

本試驗所用之儀器爲：

(a) 二吋直徑五吋高之金屬圓柱模筒一個，圓柱模筒底面，用兩鐵栓插入，底栓爲二吋高，面栓爲六吋高。

(b) 水壓試驗機器一具。

(c) 4.5公斤之天秤一個，靈敏度讀0.2公分者。

(d) 200克之天秤一個，靈敏度0.1公分者。

(e) 自動通氣及調整溫度烤箱一個。

(f) 雜項設備，如瓷碟，敲刀，量筒等。

取通過第10號篩篩之陰乾土壤約100公克，置瓷碟上稀之，其差誤不能超過0.2公分，預備此種試料3至10份。

每種材料混和適宜之水量，由最乾至最濕之程度，分別用不同之水量混和之。

每種材料混和後，置於試模之兩鐵栓間，施以適當之壓力，惟須使其密度相當於爾氏(Proctor)密度。其壓力程度，大概施於紐約街泥土及紐約街泥土與波士麥克砂混合物(混合比率爲70%及30%)者，爲每平方吋300磅，施於本薛文尼亞沃土者，則爲每平方吋500磅。

施於試模之壓力，須維持有二分鐘之久。試模在取出圓柱模之前，以千分儀量其高度，準確程度在1/1000吋，既知高度及二吋直徑，其體積乃算得之。試模由圓柱模取出後，秤其重量，如是土壤之濕密度，可自下式求其每立方呎爲若干磅：——

$$\text{土壤之濕密度}=\frac{\text{試模重量(克)}\times 3.8092}{3.1416\times\text{試模高度(吋)}}$$

置試模於烤箱，時常保持140°F.溫度而烤乾之，其含水量可計算如下式：

$$\text{含水量}(\%)=\frac{\text{濕土重量}-\text{烤乾土重量}}{\text{烤乾土重量}}$$

於是土壤之乾密度可計算如下：

$$\text{乾密度}=\frac{\text{濕密度(磅/立方呎)}}{\text{含水量}(\%)+100}\times 100$$

壓實試驗之結果，可用曲綫表示之，以每立方呎乾土重(磅)與其各自所得之濕份而定出各點，聯合各點而繪成一順滑曲綫，綫之最高點，即爲壓實方法應具最大之密度。在實際建築之時，用羊蹄路滾或卡車壓輪所滾壓者，均能切合。

用各種不同之桐油成份，施於每種之土壤，照上述方法，作同樣之試驗。

所用桐油之百分率(以乾土重爲標準)，分列如下：

用於輕約街泥土者……0,2,4,6,8,10,12,14,%

用於本薛文尼亞沃士者……0,2,4,6,8%

用於沙土混合物者……0,2,4,6,8,10%

此試驗之結果，可參看表二，及圖a—1，a—2，a—3(曲綫1，2，及3)

2.穩定性及吸水性試驗 Hubbard-Field 穩定性試驗機之構造簡述如下：——

(a)一圓柱形之重鋼模，約高5吋，內徑 $2\frac{1}{16}$ 吋，模底嵌以鋼片，中穿一圓孔，孔徑爲 $1\frac{3}{4}$ 吋，由模邊漸向外放大，用2吋鋼鉸在上施用壓力。

(b)一壓力機，以每分鐘2.3吋之速率，施於鋼鉸，使之下向。

(c)一吸水性方形箱，箱內置一吋深之銅盤一個，其大小適與箱內面積符合。盤中滿盛標準砂粒 (Ottawa Sand)，上鋪以特厚之棉線法蘭絨，盤中由一自動供給之水製，使盤內水量得時常保持1/8吋之深度。此種吸水性之方法，做造路面與潤濕路基所接觸之情形，尚能切合。

以每種土壤及每種成份之桐油，共製試模廿一個，其最好水份，則由壓實試驗之曲綫而求得。

在本取出試模之前，每個試模之體積須先行量得之，其重量亦稱之而求出。

試模製成後，即以三個用作Hubbard-Field穩定性之試驗。

將試模放在試驗圓筒內，區筒沉下，則試模底面開始與塞子及底片之小孔接觸，然後鋼鉸壓入圓筒內，直至由壓力機壓至超過其剪力而失敗爲止。

記錄每試模所施之最大壓力，取三者之平均值而記錄之。

其餘一半之試模(即9個)置於烤箱，以140°F溫度烤至常衡之重量，其餘一半，則放在試驗室內，烘乾七天，然後分作三份。第一份即測試驗，第二份放在吸水性方形箱內七天，第三份則浸在水內七天。

經過上述之處治後，將試模用Hubbard-Field試驗機試驗之。

所得結果，詳於表3，及圖b—1，b—2(曲綫4及5)。

每種處治完畢之後，即用水銀排量法求其平均體積，并秤其每種試模平均之重量。

密度記錄詳於表4，

體積記錄詳於表5，

吸水量百分率記錄詳於表6，及圖c—1，c—2。

(四) 試驗結果

壓實試驗結果，詳示如圖a—1，a—2，及a—3。其含水量與密度，則與桐油百分率成比例。

當桐油百分率增加之時，其最大含水量則遞降，此種遞降實爲意中之事。蓋桐油爲液體，可以佔據相當之地位，以代替水量也。所有水與密度之關係，可在表2查得之。

穩定性之結果，記錄詳於表3，統約街泥土，經過處治之後，除有少數加入 14% 桐油之試模外，其餘均被水溶散不全。以 30% 波士麥克河砂加入土內，其試料混以8%桐油等

，經吸水性及浸透性作用後，能更趨穩定，（僅有一試模爲水所腐者）。

本薛文尼亞沃土試模含有2%或以上之桐油成份，則無一試模爲水所溶散。

圖b—1及b—2指示試模在不同之桐油成份所得之穩定性，其桐油百分率增加，則穩定性亦遞增。但桐油百分率之遞增，必有一最高之限度，以後雖再增加，亦難得到其最大之效果。

至於密度之記錄，則載於表4。

試模放在潮濕墊上及完全浸透水內所得之情形及結果，列在表 5。吸水性與桐油百分率之關係，如圖c—1及c—2。

若比較圖b—1，b—2，c—1及c—2，用桐油而成之穩定性及吸水性之效果，可得下列之斷論：

(a)當桐油百分率增加，則吸水性遞降。

(b)當吸水性遞降，則穩定性增加。

體積變遷記錄列在表6，此項記錄，實難確實。蓋體積之變遷，僅能取其完整之試模而量得之。如能得到各個試模之密度而求膨脹爲確實之記錄，則土壤與桐油混合物之體積變遷試驗，頗另行妥善設計之。

（五） 建　議

根據穩定性，吸水性，及體積變遷各曲線，可以6%及10%之桐油分別選用於本薛文尼亞沃土及砂土混合物之中。蓋以此種成份之配合，其吸水性及體積之變遷可達最低之限度，而經處治之後，其穩定性且有顯增之趨向。

按試驗所得之結果，所用桐油之成份，施於本薛文尼亞沃土者不能少過 2%，施於砂土混合物者，不能少過 8%，而施於鈣約街泥土者，不能少過 14%。其不及此種成份之試模，經過七天之吸水或浸透作用後，定必膨脹爲水所溶散。穩定性曲線不論其經過或未經過處治者，在未受吸水或浸透作用之前，實不能代表野外之情形，所以選定桐油之百分率，須以經過處治後，并以其比較低下之吸水性，微弱之體積變遷及較高之穩定性，爲其決定之目標，方爲穩妥。

普通土壤含有通過200號篩之物質，佔50%者，須加適當砂料或同樣之物質，以改善之。蓋土壤中含有少數砂料，加入桐油 ，宜於混合而易趨於穩定，此不銷對於土壤可以增加其內磨擦力，且能減少桐油之需用量也。

（六） 結　論

在實地試驗之結果與實驗室試驗之結果未能互證以前，實未敢即下定論，但就目前所得，略有數點，可資參考：——

（1）桐油與土壤混合後，決能有助土壤以防水浸之害。

（5）桐油配合成份增加，則土壤之吸水性可減少，而穩定性可以增强。

（3）由試驗結果，可並用桐油與瀝青相油材料施於土壤之中，有同樣作用。

（4）土壤中含有多量土質者，需用桐油較多，以減輕其吸水性，砂質土壤則反之。

表　一.

機械分析							
試樣號數	小過2公厘之粒類(百分率，以重量計)						
	大過2.0公厘之粒類	粗砂 2.00至0.25公厘	細砂 0.25至0.05公厘	淤泥 0.05至0.005公厘	黏土 小過0.005公厘	膠土 小過0.001公厘	通過第40號篩
S—12398	0	1	6	30	63	40	99
S—13195	0	31	39	18	12	8	85
砂土混合物	0	26	6	16	52	35	82

通過第40號篩以下之物理性質						
試樣號數	液體限度	塑性指數	縮性 限度	縮性 比率	濕度當量 離心	濕度當量 野外
S—12398	64	39	12	1.9	38	27
S—13195	28	11	19	1.7	15	20
砂土混合物	50	36	10	2.0	21	32

附註：

S—12398——New York Avenue土，華盛頓高城——A—7

S—13195 ——Penn Loam——A—4

砂土混合物——70%之S—12398土加30%之Potomac河沙——A—6

表二. 壓實試驗

土壤號數	桐油百分率(以乾重量計) %	壓力 磅/平方吋	最好水份 %	最大乾密度 磅/立方呎	最大濕密度 磅/立方呎
S—12398	0	300	18.5	109.8	130.0
	2	,,	14.3	114.2	130.4
	4	,,	12.5	114.0	129.5
	6	,,	10.0	115.2	128.1
	8	,,	8.5	117.4	127.8
	10	,,	6.4	119.6	125.5
	12	,,	5.2	120.6	127.3
	14	,,	3.8	121.5	126.4
S—13195	0	500	14.2	110.5	126.1
	2	,,	13.0	114.1	129.0
	4	,,	12.5	116.4	130.9
	6	,,	9.8	118.0	129.5
	8	,,	6.7	120.0	128.0
	10	,,	5.0	121.1	127.1
砂土混合物	0	300	14.7	119.4	137.0
	2	,,	11.9	121.2	135.6
	4	,,	10.0	122.6	135.0
	6	,,	8.5	124.1	134.7
	8	,,	6.5	125.5	133.6
	10	,,	4.1	128.0	133.1

表三　Hubbard—Field穩定性

桐油百分率(以乾重量計)%	結合壓力 磅／平方吋	處治	穩定性 製成即刻後 磅	存放之後 磅	七天整塊吸水 磅	七天浸透水中 磅
土壤號數 S—12298						
0	300	a*	330	6,770	*	*
	,,	b*	—	10,850	***	***
10**	,,	a	580	10,000	***	***
	,,	b	—	10,000	***	***
12	,,	a	500	10,000	***	***
	,,	b	—	10,000	***	***
14	,,	a	410	10,000	480	"
	,,	b	—	10,000	***	1,150
土壤號數 S—13195						
0	500	a	450	4,710	***	***
	,,	b	—	6,530	***	***
2	,,	a	450	10,830	1,870	1,400
	,,	b	—	16,170	1,610	1,690
4	,,	a	400	12,770	2,740	1,630
	,,	b	—	20,320	2,060	2,050
6	,,	a	450	11,600	3,730	2,040
	,,	b	—	16,200	2,380	2,390
8	,,	a	480	12,130	4,260	2,710
	,,	b	—	17,300	2,800	2,830
土壤號數　砂土混合物						
0	300	a	470	8,670	***	***
	,,	b	—	11,570	***	***
2	,,	a	400	7,950	***	***
	,,	b	—	19,770	***	***
4	,,	a	490	10,900	***	***
	,,	b	—	21,600	***	***
6	,,	a	420	12,800	***	***
	,,	b	—	28,020	***	***
8	,,	a	430	12,570	210	220
	,,	b	—	31,750	690	690

10	,, a ,, b	470 ——	13,580 33,700	410 1,150	440 1,260

附註：每結果以三次試驗所得之平均值爲根據。

* a ——— 在試驗室內流乾七天。

b ——— 以140°F 溫度烤至溶頂。

** 所有試模經吸水性及浸透性作用後，除加10%以上之柳油外，其餘皆溶散。

*** 試模全部溶散。

表 四　Hubbard—Field 密度

柳油百分率(以乾重量計)%	結合壓力 磅/平方吋	處治	密度 製成即刻後 磅	密度 存放之後 磅	密度 七天鹽漿吸水 磅	密度 七天浸透水中 磅
土壤號數 S—12398						
0	300 ,,	a* b*	132.6 132.1	127 4 125.8	*** ***	*** ***
** 10	,, ,,	a b	124.8 124.2	123·7 122.6	*** ***	*** ***
12	,, ,,	a b	126.9 125.4	125.6 125.1	*** ***	*** ***
14	,, ,,	a b	129.3 128 3	127.7 128.5	121.7 ***	*** 119.9
土壤號數 S—13195						
0	500 ,,	a b	126.2 125.9	112.9 123.1	*** ***	*** ***
2	,, ,,	a b	129.3 129 4	116 7 117.4	124.1 131.3	128.6 132.1
4	,, ,,	a b	131.7 131.8	119.7 119.6	120.3 130.2	128.1 130.3
6	,, ,,	a b	128.7 129.0	119.7 120.1	121.2 123.5	124.4 128.9
8	,, ,,	a b	127.6 127.3	127.5 127.3	120-2 123.4	124.8 128.1
土壤號數 砂土混合物						
0	300 ,,	a b	137.5 137.3	128.1 128.6	*** ***	*** ***

2	,, ,,	a b	134·4 133·8	125·7 124·5	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
4	,, ,,	a b	129·6 129·8	123·7 122·4	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
6	,, ,,	a b	129·8 130·3	125·2 123·8	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
8	,, ,,	a b	130·2 130·2	128·3 128·4	117·8 121·7	116·8 121·6
10	,, ,,	a b	129·4 128·7	128·3 129·9	118·8 122·1	118·2 122·0

附註：每結果以三次試驗所得之平均值爲根據。

＊a 在試驗室內凉乾七天。
b.——以140°F溫度烤重常重。

＊＊所有由 0至10％之試樣當放入塾塞吸水浸透水時，即行溶散。

＊＊＊試樣膨脹溶散。

表五　鏈治後之Hubbard—Field吸水性

土壤號數	桐油百分率（以乾重量計）	結合壓力 磅／平方吋	處治	七天塾塞吸水 磅	七天浸透水中 磅
S—12398	0	300 ,,	a＊ b＊	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
	10＊＊	,, ,,	a b	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
	12	,, ,,	a b	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
	14	,, ,,	a b	8·6 ＊＊＊	＊＊＊ 13·9
S—13195	0	500 ,,	a b	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
	2	,, ,,	a b	8·5 14·9	12·2 15·3
	4	,, ,,	a b	3·0 12·9	11·2 12·7
	6	,, ,,	a b	1·7 12·2	7·9 11·9
	8	,, ,,	a b	1·4 10·4	7·4 10·1

砂土混合物	0	300 ,,	a b	*** ***	*** ***
	2	,, ,,	a b	*** ***	*** ***
	4	,, ,,	a b	*** ***	*** ***
	6	,, ,,	a b	*** ***	*** ***
	8	,, ,,	a b	16·9 16·8	15 4 16·4
	10	,, ,,	a b	13·8 14·5	12·9 14 8

附註：每結果以三次試驗所得之平均值爲根據。

*a　在試驗室內源乾七天。

b　以140°F 溫度烤至常重。

**所有由0至10%之試模，當放入墊塊吸水及浸透水時，即行溶散。

***試模遇濕溶散

表六　Hubbard—Field體積變遷（以處治後體積計）

瀝青百分率（以乾重量計）%	結合壓力 磅／平方吋	處治	體積變遷 製成即刻後 磅	存放之後 磅	七天乾塊吸水 磅	七天浸透水中 磅
土壤號數　S—12398						
0	300 ,,	a* b*	111·0 111·8	100 ,,	*** ***	*** ***
10 **	,, ,,	a b	102·1 103·5	,, ,,	*** ***	*** ***
12	,, ,,	a b	101·1 103·3	,, ,,	*** ***	*** ***
14	,, ,,	a b	99·2 102·9	,, ,,	113·9 ***	*** 122·2
土壤號數　S—13195						
0	500 ,,	a b	101·0 101·8	100 ,,	*** ***	*** ***
2	,, ,,	a b	101·0 103·2	,, ,,	102·1 102·4	102·5 102·4

4	,, ,,	a b	101·0 101·2	,, ,,	102·5 103·3	101·0 103·2
6	,, ,,	a b	101·3 101·5	,, ,,	100·9 104·2	103·6 103·6
8	,, ,,	a b	100·9 100·9	,, ,,	103·4 104·1	105·5 104·2
土壤號數	砂土混合物					
0	300 ,,	a b	104·6 106·0	100 ,,	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
2	,, ,,	a b	102·4 104·0	,, ,,	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
4	,, ,,	a b	102·3 103·4	,, ,,	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
6	,, ,,	a b	102·2 101·6	,, ,,	＊＊＊ ＊＊＊	＊＊＊ ＊＊＊
8	,, ,,	a b	101·8 103·3	,, ,,	127·0 122·5	126·3 122·4
10	,, ,,	a b	100·6 103·5	,, ,,	122·6 121·0	122·3 120·8

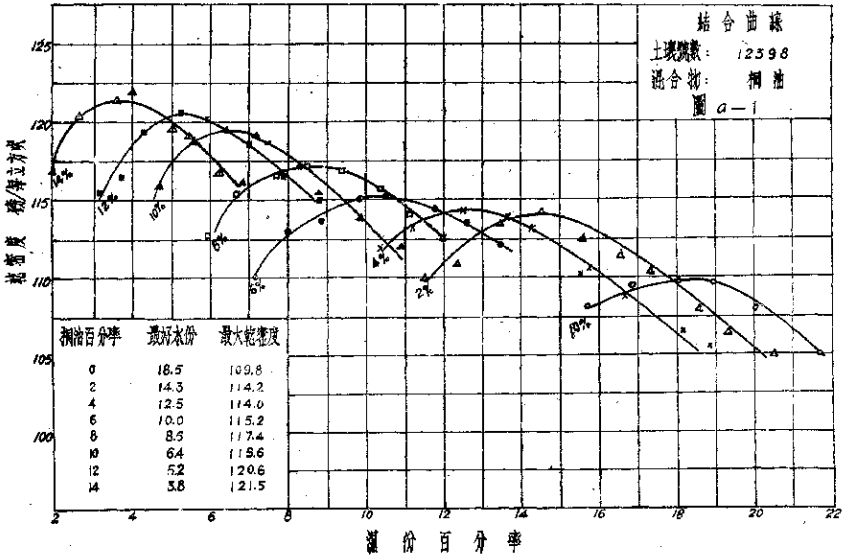
附註：每結果以三次試驗所得之平均值爲根據。

＊a……在試驗室內涼乾七天。

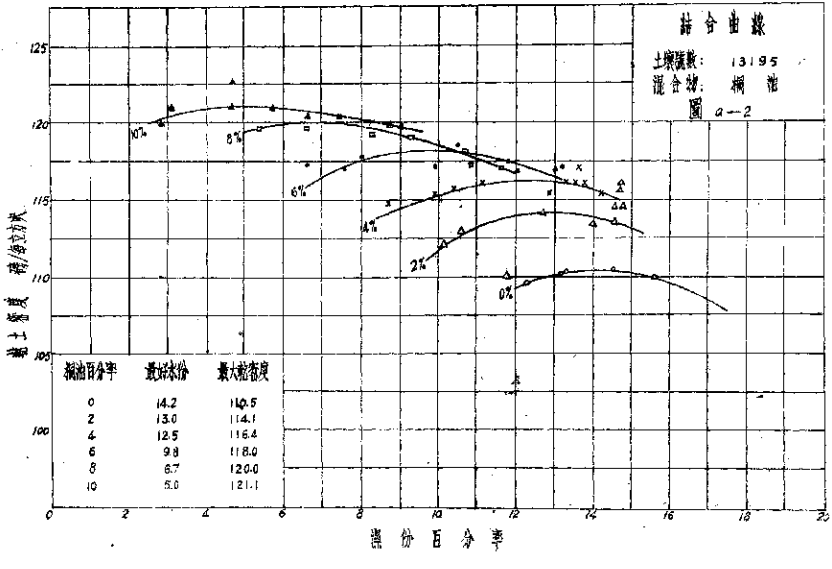
b……以140°F溫度烤至常重。

＊＊所有由0至10％之試樣，當放入蒸鍋吸水及浸透水時，即行溶散。

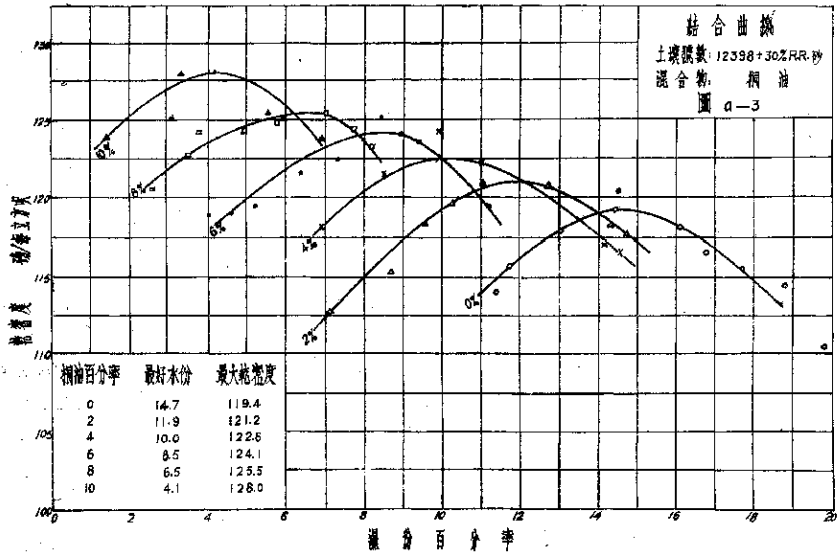
＊＊＊試樣澎脹溶散。



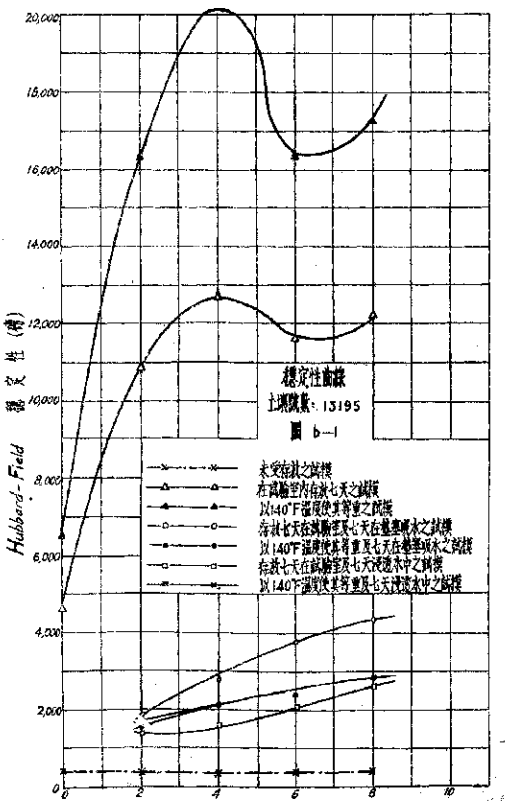
桐油百分率	最好水份	最大乾密度
0	18.5	109.8
2	14.3	114.2
4	12.5	114.0
6	10.0	115.2
8	8.5	117.4
10	6.4	119.6
12	5.2	120.6
14	3.8	121.5

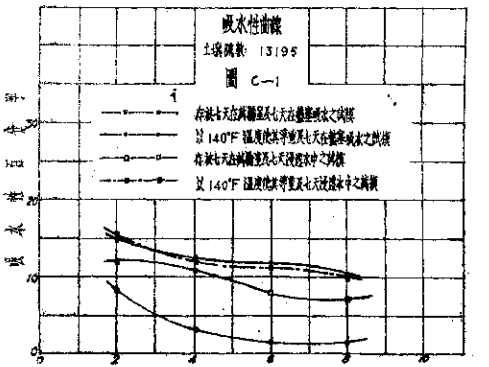


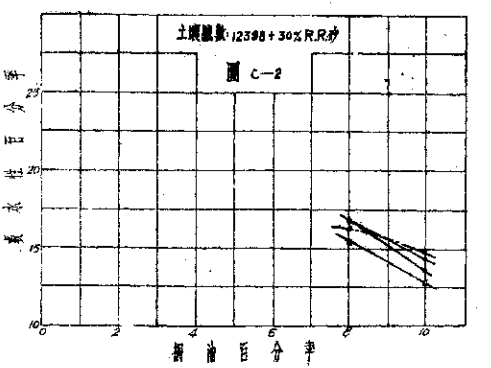
柳油百分率	最佳含水份	最大乾密度
0	14.2	110.5
2	13.0	114.1
4	12.5	116.4
6	9.8	118.0
8	6.7	120.0
10	5.0	121.1

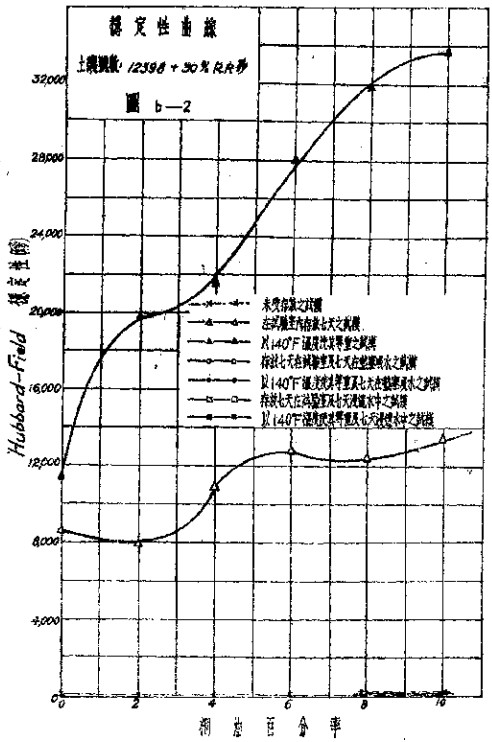


柳油百分率	最好水份	最大乾密度
0	14.7	119.4
2	11.9	121.2
4	10.0	122.6
6	8.5	124.1
8	6.5	125.5
10	4.1	128.0


20,000
18,000
16,000
14,000
12,000
10,000
8,000
6,000
4,000
2,000
0
Hubbard-Field 穩定性（磅）
0
2
4
6
8
10
瀝青百分率
穩定性曲線
土瓶號數：13195
圖 b—1
未受浸試之試樣
在試驗室內存放七天之試樣
以140°F溫度使其等重之試樣
存放七天在試驗室及七天在蒸餾水之試樣
以140°F溫度使其等重及七天在蒸餾水之試樣
存放七天在試驗室及七天浸透水中之試樣
以140°F溫度使其等重及七天浸透水中之試樣


吸水性曲線
土壤號數: 13195
圖 C—1
在冰七天后將瀝青及七天在鹽酸吸水之試樣
以 140°F 溫度烘乾浮青及七天在鹽酸吸水之試樣
在冰七天后將瀝青及七天浸透水中之試樣
以 140°F 溫度烘乾浮青及七天浸透水中之試樣
吸水性百分率
瀝青百分率


土壤號數: 12398 + 30% R.R.沙
圖 C—2
吸水性百分率
瀝青百分率


穩定性曲線
土樣號數: 12398 + 30% 瓦克勒
圖 b—2
32,000
28,000
24,000
20,000
16,000
12,000
8,000
4,000
0
Hubbard-Field 穩定性(磅)
0
2
4
6
8
10
瀝青百分率
未受防潮之試體
在防潮室內存放七天之試體
以140°F溫度浸泡瀝青之試體
存放七天在潮濕室及七天在蒸餾水之試體
以140°F溫度浸泡瀝青及七天在蒸餾水之試體
存放七天在潮濕室及七天浸泡於蒸餾水中之試體
以140°F溫度浸泡瀝青及七天浸泡蒸餾水中之試體

桐油殘液穩定土壤試驗報告

陳本端　王耀華

1.引言

桐油穩定土壤之試驗，已於本刊第二卷第二期登載，所得結論如下：—

(1)桐油與土壤混合後，決能幫助土壤以防水侵之害。

(2)桐油配合成份增加，則土壤之吸水性可以減少，而穩定性可以增强。

(3)由試驗結果，可以證明桐油與瀝青柏油材料施於土壤中，有同樣作用。

(4)土壤中含有多量土質者，需用桐油較多，以減輕其吸水性，砂質土壤則反之。

(5)所用桐油成份，施於砂土混合物者，不得少於8%。

觀察上述之結論，土壤之穩定性雖低，但可用各種混合料來增强其穩定性。故土壤路面，經用混合料穩定後，堪稱低級路面中最完滿之一種也。

本篇報告，係用桐油蒸提鍊後，所餘之殘液，用作穩定土壤，雖以比較其是否與桐油穩定土壤所得之結果相同。若桐油殘液對於穩定土壤是有同等作用，可以之替代桐油，倘桐油蒸溜液更能作其他原料用者，誠屬一舉兩得，而殘液可作為桐油提鍊剩餘之副產物，用作土壤路面之混合料，比用桐油之價格，更較低廉矣。

2.試驗材料

(一)桐油殘液

所用之桐油以其比重為標準，本試驗所用之桐油，其比重為0.935。

桐油殘液之提鍊，每次提鍊係取約100克重之桐油，置於蒸溜瓶內，以每分鐘升3°C.之溫度徐徐加熱，直至溫度175°C.時，乃開始有蒸溜液。同時，所加溫度須調整為每分鐘升2°C.以不超過300°C.熱至瓶內之凝結物完全溶解為止，所餘者則為桐油殘液。按此規定提鍊，其殘液可得68%，蒸溜液約佔32%。桐油殘液須經詳細試驗其本身性質，其所受之浮標試驗在溫度32°C.時，為1分42.5秒鐘。其比重試驗乃按下列公式求得之。

設　a =比重瓶重=29.385克

b =比重瓶及滿盛蒸溜水之重量=55.620克

c =比重瓶及殘液之重量=48.040克

d =比重瓶及殘液和水之重量=55.565克

按公式求得其比重為：

$$比重=\frac{c-a}{(b-a)-(d-c)}=\frac{48.040-29.385}{(55.620-29.385)-(55.565-48.040)}$$

$$=\frac{18.655}{18.710}=0.997$$

桐油殘液之黏性較大，不容易與土壤混和，須加煤油50%混合之。此種殘液混合物之蒸發程度，按圖一之曲線趨勢，證明在普通溫度之下，永不能使其完全乾透者。

)二)砂土混合物

本試驗所用之砂土混合物，其砂土之成份以美國公路土基編號之第 A—6 類爲標準，其配合成份，列如下表：

通過篩號	遺留篩號	砂粒 %	土粒 %	砂土混合物 %
第 10 號	第 40 號	5	0	5
第 40 號	第 60 號	21	0	21
第 60 號	第 200 號	6	0	6
第 200 號	——	16	52	68
合計				100

塑性指數

	罐重（克）	罐及濕土重（克）	罐及乾土重（克）	乾土重（克）	水份重量（克）	水份百分率（%）
液體限度	44.50	59.80	55.20	10.70	4.60	42.99
塑性限度	49.35	53.00	52.30	2.95	0.70	23.73
塑性指數						19.26

3.試驗方法

(一)壓力試驗

以製模機用每平方公分132公斤之壓力，製成25公分直徑， 約25公分高之圓柱形，經規定之處治後，置於壓力試驗機試驗之。

(二)穩定試驗

(甲)乾濕試驗——其方法已詳載石灰穩定燒紅土試驗報告。

(乙)穩定性試驗——以一圓柱形之重鋼模，約高 $5\frac{3}{4}$ 公分，內徑 $5\frac{1}{4}$ 公分，模底墊以鋼片，中穿一圓孔，孔徑爲 $4\frac{1}{2}$ 公分，由截邊漸向外放大，用5公分徑鋼墊在上施用壓力，其詳細構造見圖二。

先用圓柱鋼模，施以每平方公分132公斤之壓力，製成約3公分高之試模。經規定之處治後，再放圓圓柱鋼模內，下端墊以有孔之墊板，施以壓力徐徐壓下，直至試模開始破壞，向墊板小孔突出爲止，同時記錄壓力機所指之壓力。

4.試驗結果

(一)壓實試驗

其結果詳示圖三及圖四，其含水量與密度，是與桐油殘液百分率成比例。當桐油百分率增加時，其最大之含水量則遞降，此種遞降實爲意中事。蓋桐油殘液爲液體，可以佔據相當之地位，以代替水量也。大概加12%之桐油殘液後，可不必再加水量混和之。蓋桐油殘液以50%之煤油混合後，此混合液之本身，已含有35%之含水量也。

桐油殘液百分率增加，則混合物之密度亦遞增，但桐油殘液百分率之遞增，必有一最宜之限度，以後雖再增加，亦難得到其最大之效果也。

圖三所刻之最好水份，係連同混合液之本身含水量一并在內。故減去混合液之本身含水量，實加入極少量之水份，乃得最大之密度也。

表一：最好水份

桐油發液（%）	混和水份（%）	鄉重（克）	鄉及濕土重量（克）	鄉及乾土重量（克）	乾土重量（克）	水份重量（克）	濕份（%）
0	8	43.40	88.60	83.30	39.90	5.30	13.23
	10	44.50	93.45	87.00	42.50	6.45	15.18
	12	49.40	98.56	91.20	41.80	7.36	17.68
	14	49.85	98.10	90.10	40.25	8.00	19.88
	16	44.80	92.22	83.70	38.92	8.50	21.84
	18	44.41	91.20	82.20	37.79	9.00	23.32
5	2	49.85	93.68	90.55	40.70	3.13	7.69
	4	44.41	90.70	89.60	42.19	4.10	9.71
	6	44.80	93.10	87.95	43.15	5.15	11.94
	8	49.40	97.30	91.60	42.20	5.70	13.51
	10	44.50	91.80	85.40	40.90	6.40	15.65
8	0	44.80	89.90	86.85	42.05	3.05	7.25
	2	49.40	96.25	92.40	43.00	3.85	8.95
	4	49.85	97.70	92.95	43.10	5.75	13.34
	8	44.50	91.20	85.60	40.50	5.20	15.31
	10	44.41	90.83	84.06	39.65	6.77	17.71
10	0	44.50	90.85	87.70	43.20	3.15	7.29
	2	49.40	97.00	93.02	43.62	3.98	9.12
	4	44.80	91.65	86.90	42.10	4.75	11.28
	6	49.85	96.20	90.85	41.00	5.35	13.05
12	2	49.40	96.25	62.95	43.55	3.30	7.58
	4	44.80	91.50	87.44	43.64	4.06	9.30
	6	44.80	91.70	87.60	42.80	4.10	9.58
	8	43.40	90.24	85.20	41.80	5.04	12.06
	10	49.85	91.30	90.00	40.15	1.80	4.41
14	0	44.41	86.90	84.80	40.39	2.10	5.20
	2	49.40	96.14	93.20	43.80	2.94	6.71
	4	49.85	96.90	93.01	43.16	3.89	9.01
	6	44.50	90.40	85.70	41.20	4.70	11.41
16	0	44.50	88.00	85.98	41.48	2.02	4.87
	2	49.85	96.60	94.25	44.40	2.35	5.29
	4	49.40	96.00	92.65	43.25	3.35	7.75
	6	44.41	89.81	85.58	41.17	4.23	10.28
18	0	43.40	88.75	86.50	43.10	2.25	5.22
	2	48.35	93.65	91.10	42.75	2.55	5.97
	4	44.80	89.90	86.45	41.65	3.45	2.28

(二)壓縮試驗

觀察圖五各種不同處治後，所受壓力之曲綫，證明桐油殘液加於砂土混合物中，亦能增强其抵受壓力之程度。大概殘液百分率遞增，其抵抗壓力程度，亦隨之遞增，此乃指殘液加入砂土混合物後，殘液處治至完全乾透而言。若砂土混合物中之殘液尚未乾透時，其抵抗壓力之程度，反而按殘液百分率成反比例遞減下去。

表二：壓縮試驗

殘液百分率	以110°C常溫稍至常重 壓力(公斤)	壓力平均值(公斤)	壓力(公斤)/平方公分	晾乾七天 壓力(公斤)	壓力平均值(公斤)	壓力(公斤)/平方公分	晾乾廿八天 壓力(公斤)	壓力平均值(公斤)	壓力(公斤)/平方公分
0	301 / 260	280.5	57.24	168.0 / 175.0	169.0	34.49	217 / 214	215.5	43.98
5	288 / 305	296.5	60.51	99 / 97	98.0	20.00	144 / 167	155.5	31.73
8	364 / 284	324.0	66.12	78 / 75	76.5	15.61	112 / 119	55.11	23.57
10	410 / 500	455.0	92.86	43 / 36	39.5	8.06	122 / 115	11.85	24.18
12	423 / 424	423.5	86.43	58 / 54	56.0	11.41	90 / 85	87.5	17.92
14	479 / 440	459.5	93.78	58 / 50	54.0	11.02	83 / 84	86.0	17.55
16	570 / 576	573.0	116.94	51 / 45	48.0	9.80	63 / 74	68.5	13.98
18	848 / 832	840.0	171.43	45 / 44	44.5	9.08	43 / 47	45.0	9.18

(三)耐久性試驗

本試驗所得結結，證明混合殘液愈多，其耐久性愈增。觀察圖三大概土壤中加入桐油殘液少過12%者，經過一次之乾濕循環，即行溶散。能受八次乾濕循環，而其重量損失甚微者，所加之桐油殘液量，須在16%以上，才發生效力。

表三	樣品中加入桐油殘液百分率							
	0	5	8	10	12	14	16	18

乾濕循環	原來乾土靜重		24.18	24.37	24.63	24.90	25.35	25.75	26.25	26.65
	1	乾土重	——	——	——	——	25.20	25.66	26.15	26.45
		乾土重量	——	——	——	——	0.15	0.10	0.10	0.20
		乾土重量分百率	——	——	——	——	0.59	0.39	0.38	0.75
	2	乾土重					25.15	25.60	26.05	26.35
		乾土重量					0.05	0.05	0.10	0.10
		乾土重量分百率					0.20	0.19	0.38	0.38
	3	乾土重					23.80	25.51	26.00	26.32
		乾土重量					1.35	0.09	0.05	0.03
		乾土重量百分率					5.33	0.35	0.19	0.11
	4	乾土重					——	25.50	26.00	26.30
		乾土重量					——	0.01	0	0.02
		乾土重量百分率					——	0.04	0	0.08
	5	乾土重						25.50	25.95	26.25
		乾土重量						0	0.05	0.05
		乾土重量百分率						0	0.19	0.19
	6	乾土重						25.30	25.94	26.24
		乾土重量						0.20	0.01	0.01
		乾土重量百分率						0.78	0.04	0.04
	7	乾土重						24.70	25.90	26.24
		乾土重量						0.60	0.04	0
		乾土重量百分率						2.37	0.15	0
	8	乾土重						24.50	25.90	26.24
		乾土重量						0.20	0	0
		乾土重量百分率						0.81	0	0

附註：——放入水中，不久即行溶散，

(四)穩定性試驗

土壤中若加入桐油後，其穩定性必增加，殘液百分率遞增，則穩定性亦遞增。但殘液百分率之遞增，多有一最高之限度，以後雖再增加，亦難得到其最大之效果。圖四指示試驗三種不同之處治後，其穩定性亦各有不同，故比較各曲綫之變遷，證明土壤若加入桐油殘液後，若殘液尚未完全乾透時，其穩定性之遞增甚微。故用桐油殘液穩定土壤之法，須俟殘液充全乾透，才有相當效果。

表四：處治後之穩定性

以110°C常溫烘烤			在室內晾乾七天		在室內晾乾廿八天	
桐油殘液百分率	壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分	壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分	壓力（公斤）	壓力 公斤／平方公分
0	400	18.84	200	9.42	250	11.78
5	1890	89.03	270	12.72	440	20.73
8	2850	131.89	380	17.81	398	18.75
10	3330	156.85	500	23.55	355	16.72
12	2980	140.37	570	26.85	462	21.76
14	2620	123.40	480	22.61	407	19.17
16	2930	138.01	420	15.07	420	19.78
18	3930	185.12	310	14.60	200	9.42

5.結論

本試驗所得之各項結果，證明桐油殘液用於穩定土壤時，其性質與桐油穩定土壤之效果，大致相同。但其中有數點與桐油稍異，茲列舉如下：

(一)殘液較桐油爲凝固，須預加50%煤油，方能與土壤混合。

(二)殘液與土壤混合後，亦能增强其穩定性及幫助土壤以防水浸之害，但先決之條件，須使殘液與土壤混合全部乾透後，才有效果。但殘液較桐油難於晾乾，故應用殘液，須顧及如何可以使混合物迅速乾結，此爲重要問題之一。

(三)所用桐油殘液之成份，至少爲12%。少於此時，在圖五中耐久試驗，可證明必浸漬而爲水所溶散也。

圖三 壓實試驗

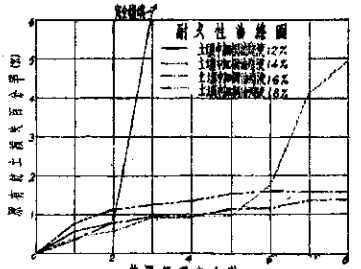
瀝青百分率	最好水份	最大乾密度
0	15.6	42.6
6	11.6	43.2
8	10.0	43.4
10	9.0	43.7
12	8.3	43.7
14	7.8	43.8
16	7.4	44.0
18	瀝青水泥水份已佔25% 故混合物太潤滑效果劣	

瀝青百分率 (%)

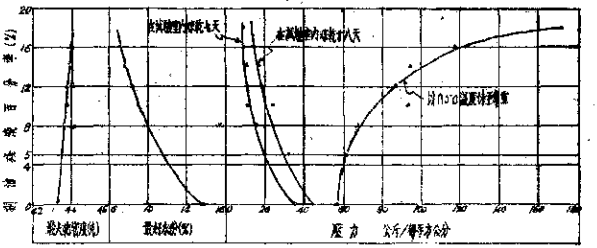
蒸發量百分率 (%)

圖四

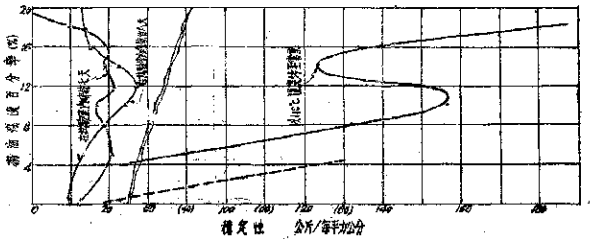
圖五



圖五



圖四



圖六

公路土壤毛細管現象理論及實驗之研究

李謨熾　袁隨善

一　引言

一.1.排水工程　公路工程最重要之問題，端在如何維持路基之穩定及路面之平整。使能在各種季節，均可暢通車輛。而路基之所以不穩定，路面之所以夏季泥濘，冬季霜凍者，端由排水不良所致。是以排水問題，常爲工程進行時，不可忽略之先決問題。其重要性已在本刊公路排水之重要（一）一文中申論之。

排水工程之目的：一在排除或導引地面水，一在排除或隔離地下水。前者採用路拱，邊溝，截水溝，橫，涵，渗水井管等設施，far 數露出地面，易于養護改善。至于排水量大小之設計，可由地形，氣候估測之。後水採用暗渠，溝管，埋於地下，距離不易養護改善，即排水量之大小，安置溝管之深度與鄰率然估計。必先知地下水位之高度及影響，方能作經濟合用之地下排水系統之設計。

二.2.地下水位　地下水位之高程，隨處不同。如精細量測，可測成等水位高度圖，一如地形等高線圖。此種高度變化，一視地質，植物氣候等情形而定。惟因土壤種類及性質之不同。地下水份上升之勢力範圍，遂有顯著之差異，亦響土壤之穩定者實巨。蓋土壤爲大小不同之顆粒所組成，顆粒間恆有空隙，形成不規則之毛細管，地下水潛流經過土壤，因水之黏滯力作用量生表面張力，而有毛細管現象，提高地下水位。

地下水位與高影響路基穩定者，約有二端。

1.發生軟弱及坍方：　土壤之力學性質與其所含水份有顯著之關係。每顆土粒之水份可分爲二類：一類爲吸附水，一類爲游離水。吸附水使土壤，因膨包富滿膨，增加顆粒間之吸引力；而游離水使顆粒間之距離增大，減少其間之吸引力。是以土壤水分多少，直接決定其物理性質。設游離水份，超過塑性限度，則土壤可以更改形狀，抗壓及抗切強度均減。如水份更多，超過液體限度時，土壤變成流體，抗切強度幾等於零。路基水份如過多時，則不能承受車輛載荷。土壤水分與載荷之關係可由圖一之例（2）中參考之。車輛駛過，路基下陷形成坍分。兩旁土壤向上隆起是爲軟坍。而路邊遂成因切強度之減少及單位土重之增加向下滑動。

2.發生霜結作用：　如在溫度零冷地區，地下水入路基後，測次因毛細管作用上升，愈近地面，溫度變遷愈大，熱熱亦愈快，漸次成冰粒，漸大成冰塊，體積膨漲，推動路面，使車輛不能行駛。

地下水位提高，先影響路基，因而損壞路面。路基軟坍，機性路面，遂間凸不平，形成多數之水坑。使車輛顛簸跳動，不惟損害車身，減少舒適；即且限止車輛軟速行進，即減少交通量。剛性路面，則因失去平均路基之承力。發生裂痕，甚至破碎。

吾人必先知地水之上升高度，方可設計最經濟有效之地下排水系統。地水位上升高度，可由實驗定之。

三.3.毛細管試驗：研究土壤毛細管作用，其功用有下數端：

1.作設計邊溝之資料：　路旁邊溝雖爲排除地面水之用，但如地下水位之勢力範圍過高，則邊溝旁坡將有水滲出，增加邊溝流量及流速，冲刷溝底。雖知地水位升高影響，則作邊溝設計時，可決定邊溝深度容積，使不受地下水影響。

2.作設計地下排水管深度之根據：　地下排水管及管孔位置，均視地水位高度而定。如不考慮土地實際情形，而盲定標準深度，則常不能得十分滿意之結果。

3.作規定路基配合之參考：路基工程，於公路建築工役中所佔成分頗大。如用毛細管高度較低之土壤充路基，則排水設備費用可以減低，最經濟之情形，使路基及排水工程總費最少，而養護費亦最少。比較各種土壤之毛細管高度，可作路基配合時之參考。

4.研究防止霜脹作用：霜脹作用既由毛細管作用及溫度變化而生，普通預防方法不外二種，一種為設法減少毛細管作用，一種為減少溫度之變化。前者有排干排水，後者則多用稻草，稻葉等物分層鋪築。兩種方法，均需知毛細管高度，始能經濟實惠適用。

毛細管之理論方面，國內利物浦誌，甚少介紹。茲將其理論略述于第二章。並將土壤樣品配成合乎美國公路工程協會之A1至A8八種標準，加以昆明附近之紅土，棕土，灰土，作毛細管高度及吸水量試驗，關于標準土壤之配製及性質，亦略加陳述，以供參考。試驗樣品及紀錄分見錄三、四章。

毛細管試驗所用之儀器，種類頗多，見三、3。船東儀器，固較精確。但一方面因運輸困難，一方面因外匯損失，自以自造簡單儀器，需切合實際。故本管驗所用儀器，全由本室自製。自科學眼光看來，似覺簡陋，但簡便易携，在工地可作試驗，為其優點。而如試驗時處處細心，則所得結果亦可相當精確，足供設計參考之用。敬希工程先進惠賜卓見，予以改良。

二　毛細管現象理論

二.1.毛細管現象：　液體于靜止時，恆成平面，但與固體或其他液體接觸時，其接觸部之自由表面，恆成升起或降低之曲面。此種現象，於極細管插入液體中時，最為顯著，故稱毛細管現象。液體在毛細管中較管外液體水位差，即毛細管高度。土壤為大小不同之顆粒所組成。顆粒排列，其間必有空隙，形成多數不規則之彎曲毛細管。與液體接觸時，發生毛細管作用。因此，土壤潮濕之高度，常在地下水位之上。

毛細管作用之解釋，如下圖所述。普通，在之，土壤顆粒愈小，則毛細管愈細，水分升高度愈大，因水之粘滯性，使上升速度較慢。顆粒粗大者，水分升高度小，但作用快。至于某種土壤，究能吸起水量若干，則視土壤之毛細管粗細及空隙不勻而異，又顆粒之層次亦足以影響毛細管現象。

地下水含有礦質，或微小之懸浮物或乳狀溶液，此種雜質，影響毛細管高度者至巨，試用二細玻管，分別插入蒸溜水及有雜質之水中，則可見液體上升高度之顯著差異。

毛細管中之液體升高或降低至一定高度，即行停止，在停止狀態，吾人可認為保液體與其上之氣體或平衡，是以氣體之壓力，相對濕度，溫度，均與毛細管之高度有關，詳二6節。

二.2.表面張力　任何物體中各分子有互相吸引之力，此種引力，在分子距離最小之固體中最強，在分子距離較遠之液體氣體中極小。普通水力學，則假定水無粘着力（Cohesive Force）如進一步分析之，液體分子之間，既有吸引力，則定有粘着力。惟因分子間距離較遠，吸引力其有下列四種特徵：

1.液體中之相互吸引力，在極小限之距離ε內，其強度極大，在ε外，吸力強度減少甚速。故吸引力之範圍極小。

2.液體分子間之吸引力範圍∈雖小，但仍較分子間之距離爲大。故液體仍可認爲係連續體。

3.在距表面距離大於∈之一點，其吸引力範圍，爲以此點爲心，以∈爲半徑之球。凡受此點吸引力影響之分子，均在此球內。此點被其他分子所吸引之力，均匀分佈而成平衡如圖2。

4.在距表面距離小於∈之一點B，球形內未全充滿，如仍能維持平衡，則液體表面上必有表面能。表面曲度半徑較∈爲甚大，故凡半徑爲∈之球截表面成圓形，即表面能之大小與表面積成正比。

因液體表面旣有表面能，爲便于解釋起見，物理學家遂假定液體表面罩有極薄之膜。任何一片如三角形ABC。在靜平衡狀態下，作用于AB邊之拉力，與AB垂直，其强度與AB邊長成正比；即單位長度之張力强度相同。此種拉力强度曰表面張力(Surface Tension)以T表之，單位爲達因／公分。表面張力爲物理常數，其數值視物體之性質及溫度而定。

設AB邊長爲ds，則表面張力T垂直于dS因T作用使AB邊沿力之方向發生變位V，而移至AB，則因T而作之功

$W=\Sigma(T\delta s.v)=T.\Sigma(v\delta s)=T.\delta S$式中dS爲表面積之變化，故因T而作之功=(表面張力)(表面積之增大)。反之，凡面積爲S之薄膜，在常溫下收縮時，能作功=TS。故表面張力亦即在某溫度下，單位面積之表面能。無外力作用之水滴，必成球狀，球之表面積最小，與能量最小律符合。

二.3.表面壓力差：設毛細管中之液體，較管外液面爲高，則根據靜水力學原理。

點(1)與點(2)之壓力相同。　點(3)之壓力$P_3 = P_2 - wh, < P_1$

$$P_1 = P_2$$

在液體表面薄膜兩端之壓力必不相等。

茲就球形曲面，筒形曲面及任何曲面之壓力差關係。分別討論於下：

1.球面薄膜：圓筒形玻管插入液體中，如管半徑恰與毛細管曲面半徑r_1相等，則薄膜成半球面。假定球面內部之壓力爲P_1，外部壓力爲P_2

$$P_1 > P_2 \qquad\qquad P_1 - P_2 = P_0$$

半球壓力差之合力等於$(P_1 - P_2)\pi r^2$或$P_0\pi r^2$沿直徑平面，等分球體。

如膜重不計，則此壓力差全由膜間之拉力維持其平衡。

$$P_0\ \pi r^2 = T.2\pi r$$

$$\therefore\quad P_0 = \frac{2T}{r_1} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

2.筒面薄膜

兩塊平板平行豎立於液體中，如板間淨距，恆等于毛細管曲面半徑r_1，則薄膜成圓筒狀。

壓力合力$= P_0' \, 2r_1 = 2T$

$$P_0 = \frac{T}{r_1} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

3.曲面通式：假定薄膜曲面有二種不同之半徑 r_1 及 r_2，內面為液體，外面為氣體。

令垂直于ABCD膜之液體靜壓力為P_n，沿膜平面之切力為P_T.

根據應力變化學，在薄膜外面A'B'C'D'之正壓力為$P_N + \frac{dp_n}{dh} dh$

薄膜厚度相同 $P_3 = P_4$, $\quad P_5 = P_6$

沿Y軸投影 $\quad P_3' = P_4' = P_3 \sin\frac{\alpha}{2} \approx P_3 \frac{\alpha}{2}$

（因α極小）

$$P_5' = P_6' = P_5 \sin\frac{\beta}{2} \approx P_5 \frac{\beta}{2}$$

$$P_1 = r_1 \alpha r_2 \beta P_N \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (a)$$

$$P_2 = (r_1 + dh)\alpha (r_2 + dh)\beta \left(P_N + \frac{dp_n}{dh} dh \right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (b)$$

$$P_3' + P_4' = 2r_2 \beta \, dh \frac{\alpha}{2} P_T = \alpha \beta r_2 dh P_T \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (c)$$

$$P_5' + P_6' = 2r_1 \alpha \, dh \frac{\beta}{2} P_T = \alpha \beta r_1 dh P_T \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (d)$$

$$\Sigma F_Y = 0 \quad P_1 - P_2 + (P_3' + P_4') + (P_5' + P_6') = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (e)$$

消去α，β，並略去$(dh)^2$ $(dh)^3$等高次項。

$$r_1 r_2 P_N - r_1 r_2 P_N - r dh P_n - r_1 r_2 dh \frac{dp_n}{dh} + r_2 dh P_t + r_1 dh P_t = 0$$

以$r_1 \; r_2 \; dh$遍除各項。

$$P_T \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) = P_N \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) + \frac{dp_n}{dh}$$

$$\frac{dp_n}{dh} = \left(P_T - P_N \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\int_1^2 dp_n = - \int_1^2 \left(P_N - P_T \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) dh \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

(4)式左端$\int_1^2 dP_N$表示薄膜內外壓力之差$= P_1 - P_2 = P_0$右端有$P_N - P_T$項，據巴氏(Pascal)定理，液體內各部分所受之壓力相等。即$P_N = P_T$，但在表面上$P_N = P_T$，平

衡狀態由薄膜之勢能綜得。單位面積之勢能，即爲表面張力T。

故 $\int_1^2 P_N - P_T = T$

於是（4）式寫作

$$P_1 - P_2 = -P_0 = -T\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

$$P_0 = -T\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

P_0 方向與T相反，（5）式爲任何形狀表面張力與壓力關係之通式。

二.4.毛細管高度：毛細管中液體較管外液面爲升高抑或降低，視液體薄膜與固體之交角α爲銳角或鈍角而定。某種液體與固體之交角α在相同情形下恆有一定值。

令液體與氣體之表面能爲T_{LG}，

液體與固體之表面能爲T_{LS}，

固體與氣體之表面能爲T_{SG}。

設液體與固體交角爲α如圖（八）如液體向下縮一部分如實線所示，細短部分之長度爲dS，則在與紙面垂直之單位寬度內G與S之接觸面積增加dS，L與S之接觸面積減少dS，而L與G之接觸面積減少$dS\cos\alpha$。

表面能之變化

$$T_{SG}dS - T_{LS}dS - T_{LG}dS\cos\alpha$$

在平衡狀態下，表面能應爲一常數，其變化等于零

$$\text{故}\cos\alpha = \frac{T_{SG} - T_{LS}}{T_{LG}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

（6）式中右端均爲常數。接觸角α之值可由試驗求之。令P爲液體密度，r爲毛細管之半徑，Z爲毛細管高度。

$\Sigma Fz = 0$ 毛細管中之水重＝沿圓周表面張力之垂分力

$$g\pi r^2 wZ = 2\pi r T\cos\alpha$$

$$Z = \frac{2T\cos\alpha}{gwr} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

二.5.能量方程式：上節（7）式，亦可由能量方程式推演之。毛細管現象之能包括二部分：一部分爲使液體逆反地心吸力方向而升高之能。一部分爲消耗于粘滯力，而變爲熱之能。假使液體無粘滯性，則液體入細管，將上下振蕩不已，不復停止。惟其液體有粘滯性，此種振蕩始能逐漸消失。動能變爲熱能，終至于一定高度。

升高液柱之勢能$= \frac{g\pi r^2 wZ^2}{2}$

黏滯力$F=g\pi r^2 P(Z-X)$如圖(7)

克服F所需之能$=\int_0^Z F dx = g\pi r^2 w \int_0^Z (Z-X) = \frac{g\pi r^2 wz^2}{2}$

此部分能量變爲熱能。

毛細管內液體升至固定高度時，所需之能=升高次社之能十克服F所需之能$=g\pi r^2 wz^2$

液體未入毛細管時，管壁與氣體接觸，固體與氣之相觸之表面能爲T_{SG}。液體在毛細管中升高h，管壁與液體之表面積爲$2\pi rz$，氣體與固體接觸之表面能爲T_{LS}。因液體之進入毛細管而生之表面能之變化爲$2\pi rZ(T_{SG}-T_{LS})$

據(二.4)節與(6)式，上式可寫作$2\pi rT_{LG}\cos\alpha$

$$g\pi r^2 wZ^2 = 2\pi rZT\cos\alpha \qquad Z=\frac{2T\cos\alpha}{gwr} \text{ 同(7)式}$$

二·6.薄膜曲線：薄膜曲面，佔有三度空間，只有彎面薄膜，可用平面應標表示之，假定：(一)表面薄膜之曲率半徑R<<毛細管高度Z，(二)彎面薄膜之軸爲水平，XY軸與筒軸垂直，如圖(十)。

表面張力沿X軸之合力$=T\cos\phi_2 - T\cos\phi_1$ 設薄膜每面張力強度爲wY，則沿X軸之張力差$=\int wY\sin\phi\, dx = w\int y dy = \frac{w}{2}(Y_2^2 - Y_1^2)$

於平衡狀態下：

$$T\cos\phi + \frac{1}{2}wY^2 = \text{常數} \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

$$Y^2 = C - \frac{2T}{w}\cos\phi$$

設$b^2=\frac{T}{w}$ $\qquad Y^2=C-2b^2\cos\phi \cdots\cdots\cdots\cdots(9)$

微分(8)以S爲變數。$2Y\frac{dy}{ds} = +2b^2\sin\phi\frac{d\phi}{ds}$

但$\frac{dy}{ds}=\sin\phi$ 故$Y\sin\phi=b^2\sin\phi\frac{d\phi}{ds}$

$$\frac{ds}{d\phi}Y=b^2 \quad \text{或} R\cdot Y=b^2 \cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

(10)式中 $\frac{ds}{d\phi}$爲薄膜之曲率半徑R，此式之形狀與研究長柱之穩定性時，柱之彈性曲線相同，至于(9)式之形狀，則視常數值C值而異。

A，液面大部分仍爲平面，曲線以X軸爲漸近軸。壓力平板距離較遠時，毛細管薄膜曲線屬于此類。

$$Y^2=C-2b^2\cos\phi \cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

邊際情形 $Y=0$時 $\varphi=0$ $C=2b^2=\frac{2T}{W}$ ……（11）

故 $Y^2=2b^2(1-\cos\varphi)=4b^2\sin^2\frac{\varphi}{2}$ $Y=\pm 2b\sin 2\frac{\phi}{2}$ ……（12）

求X與φ之關係，用+號如圖（9）。

$$\frac{dx}{d\varphi}=\frac{dx}{ds}\frac{ds}{d\varphi}=(\cos\varphi)(R)\text{ 但自（10）式}R=\frac{b^2}{Y}$$

$$\text{故}\frac{dx}{d\phi}=\frac{b2}{Y}\cos\phi=\frac{b2\cos\phi}{2b\sin\frac{\phi}{2}}=\frac{b}{2}\csc\frac{\phi}{2}-b\sin\frac{\phi}{2}$$

$$X=\int dx=\frac{b}{2}\int\csc\frac{\phi}{2}d\phi-b\int\sin\frac{\phi}{2}d\phi$$

$$X=b\log_e\tan\frac{\phi}{2}+2b\cos\frac{\phi}{2}$$ X之原點，相當於$\phi=\pi$時

$$\text{如令}\tan\frac{\phi}{4}=e^{-u}\qquad\frac{X}{2b}=\frac{1}{2}\log_e\tan\frac{\phi}{2}+\cos\frac{\phi}{2}$$

$$\frac{X}{2b}=\frac{1}{2}\log_e\left(\frac{2e^u}{e^{2u}-1}\right)+\frac{1-e^{-2u}}{1+e^{-2u}}$$

$$\begin{cases}\dfrac{X}{2b}=-\dfrac{u}{2}+\tanh u\\[2ex]\dfrac{Y}{2b}=\operatorname{sech}u\end{cases}$$

（14）式之曲線如圖(11)作線交此曲線於α則該線即可代表圓錐平面，曲線即為液體與固體相交時之形狀。於豎立平板：

$$\phi=\frac{\pi}{2}-\alpha\text{ 則}Y=2b\sin\left(\frac{\phi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)。$$

B，設豎立平板離開A情形者為近，導脈曲線無直線部分。曲線之曲度又不平均時。

Y恆為正數。 $C>2b^2$

（9）式可寫作 $Y^2=\frac{4b^2}{k^2}(1-k^2\sin^2 2\phi)$ ……（15）

式中 $\varphi=\frac{\pi}{2}+\frac{\phi}{2}$ $k<1$ ……（16）

則 $\frac{dx}{d\varphi}=\frac{dx}{dy}\frac{dy}{d\varphi}=-\cot 2\varphi\frac{2kb\sin\phi\cos\phi}{\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}}$ 令 $\triangle(k,\varphi)=\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}$

$$\frac{dx}{d\varphi}=-\cot 2\varphi\frac{2kb\sin\phi\cos\phi}{\triangle(k\varphi)}=\frac{2b}{k}\left(\frac{1-\frac{1}{2}k^2}{\triangle(k,\varphi)}-\triangle(k,\varphi)\right)\text{利用橢圓積分}$$

$$\frac{x}{b}=\left(\frac{2}{k}-k\right)\int_0^{\phi}\frac{d\phi}{\triangle(k,\varphi)}-\frac{2}{k}\int_0^{\phi}\triangle(k,\varphi)d\phi,$$

$$\begin{cases} \dfrac{x}{b}=\left(\dfrac{2}{k}-k\right)F(k,\phi)-\dfrac{2}{k}E(k,\phi) \\ \qquad\qquad \text{第一種橢圓積分} \qquad \text{第二種橢圓積分} \\ \dfrac{y}{b}=\dfrac{2}{k}\triangle(k,\varphi) \end{cases} \tag{17}$$

(17)式之曲線如圖(12)，$F(k,\varphi)$，$E(k,\varphi)$之值可自積分表查得。如φ值自$-\frac{\pi}{2}$增至0據(16)式，$\varphi=\frac{\pi}{4}-\frac{\pi}{2}=\frac{\pi}{4}$，$X$增$\frac{d}{2}$，代入(17)式，得d與k之關係。

$$\frac{d}{2b}=\left(\frac{2}{k}-k\right)\left(F\left(k,\frac{\pi}{2}\right)-F\left(k,\frac{\pi}{4}\right)\right)-\frac{2}{k}\left(E\left(k,\frac{\pi}{2}\right)-E\left(k,\frac{\pi}{4}\right)\right)$$

(18)d與k約成正比。二板中間之液體高度$Y=\frac{2b}{k}\triangle\left(k,\frac{\pi}{2}\right)$

K值愈小，曲線愈近圓弧。於小K值情形下：

$$E(K,\varphi)\doteq\varphi-\frac{1}{4}k^2(\varphi-\sin\varphi\cos\varphi)$$

$$F(K,\varphi)\doteq\varphi+\frac{1}{4}k^2(\varphi-\sin\varphi\cos\varphi)$$

代入(18)式得 $K=\frac{d}{b}$ $\quad Y=\frac{2b^2}{d}=\frac{2T}{wd}=\frac{T}{wr}$與(7a)式在$\alpha=0$時相同，設更求準確$\frac{d}{b}=K\left(1+\left(\frac{1}{4}+\frac{1}{16}\pi\right)\frac{d^2}{b^2}\right)$ $\quad Y=\frac{2T}{pd}=\left(\frac{1}{2}-\frac{\pi}{8}\right)d$ (19)

C,設用二種不同圓體，平有插液體中。液體與圓體之交角一鈍一銳，則圓體間之液體一邊上升，一邊下降，Y有等於0之時，$C<2b^2$。

(9)式寫作$Y^2=2b^2(\cos\beta-\cos\varphi)$ $\quad=4b^2\left(\cos^2\frac{\beta}{2}-\cos^2\frac{\varphi}{2}\right)$

令 $\cos\frac{\varphi}{2}=\cos\frac{\beta}{2}\sin\varphi$ ……(20)

則 $Y=2b\cos\frac{\beta}{2}\cos\varphi$ ……(21)

$$\sin\frac{\varphi}{2}=\triangle(k,\varphi)\qquad\left(k=\cos\frac{\beta}{2}\right)$$

$$\frac{dx}{d\varphi}=\frac{dx}{dy}\cdot\frac{dy}{d\varphi}=-\cot\varphi\,2b\cos\frac{\beta}{2}\sin\varphi\cdot\frac{b\cos\varphi}{\sin\frac{\varphi}{2}}$$

$$=b\left(2\triangle(K,\varphi)-\frac{1}{\triangle(k,\varphi)}\right)\cdots\cdots(22)$$

故 $X=2bE(K,\varphi)-bF(K,\varphi)$ $\quad Y=2kb\cos\varphi$……(23)

X之原點相當於$\varphi=0$，(23)式如圖(13)

二,7.表面壓力差與氣壓溫度之關係；筒面薄膜之表面壓力差Po與懸面距離d之關係，已見(3)式。(3)式可寫作$Pod=2T=$常數，表示Po與d之曲線爲等壓變曲線。

毛細管液面與空氣接觸，下靜止狀態，必總持平衡，毛細管壓力與空氣壓力相等，而

空氣壓力及與溫度，濕度有關。故絕壓空氣一氣壓，相對濕度，濕度均應記錄，以便改正。

氣壓與溫度之關係，據蓋呂薩克定律：$VP = V_0 P_0 (1+\alpha\theta) = V_0 P_0 \left(\frac{\theta}{273.2}\right)$

式中 V_0，P_0爲0—0°C時之容積及壓力；V，P爲θ°C時容，壓；S，S_0及S爲在θ°C時及0°C時之比重。

$$V_0 S_0 = VS = \text{常數} \quad \frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0} = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{(1+\alpha\theta)} \quad C = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{(1+\alpha\theta)} = CP \cdots\cdots (24)$$

(24)式中 $C = \frac{S_0}{P_0(1+\alpha\theta)}$。

緯度45°地區一立方公尺之乾空氣在 0°C，及760mm水銀壓力時之重量 $S_0 = 1.293 \times 10^{-6}$（公斤／公分^3） $P_0 = 1.0$ 公斤／公分^2 $C = \frac{1.293 \times 10^{-6}}{1.0(1+\alpha\theta)}$

氣壓與高度之關係，取一柱氣體，截面爲A，如圖(14)

$dG = (P - \Delta P) A - PA = -dh.A.S$

$-dp = dG = cpdh \qquad -\frac{dp}{p} = cdh \qquad -\log_e p = ch + C_1$

$h=0, \quad p=p_G - \log_e p_G = C_1 \qquad \log_e p_G - \log_e p = h \qquad \log_e \frac{p_G}{p} = Ch$ (25)

空氣相對濕度 $\varphi = \frac{f}{f_{max}}$ f爲1立方公尺內之水份；fmax爲最多之水份；水汽壓力與水分成正比，$\varphi = \frac{Vd}{V_{max}} \qquad \frac{p}{P} = \frac{Vd}{V_{max}} = \frac{1}{\varphi} \cdots\cdots$ (26)

代(26)式入(25)式 $h = \frac{1}{C} \log_e \frac{1}{\varphi} \cdot \frac{(1+\alpha\theta)}{1.293 \times 10^{-6}} \log_e \frac{1}{\varphi} \cdots\cdots$ (27)

(27)式表示h，與θ，φ之關係，空氣中恆有水蒸汽存在，濕空比重S較乾燥空氣之比重S爲低。設以伦敦市情形爲例，其海拔海約1868公尺，水之沸點爲93°C，氣壓約爲590公厘汞柱高。假定空氣中相對濕度爲30%，試問當室溫度22°C，與濕空氣之密度S，如下式：

$$S = \left(\frac{Mair}{Vair}\right)\left(\frac{To}{T}\right)\left(\frac{Pair}{Paimo}\right) - \left(\frac{Mh20}{Vh20}\right)\left(\frac{To}{T}\right)\left(\frac{Ph20}{Paimo}\right) \cdots (28)$$

Mair=空氣之原子重量29　　Vair=空氣之原子容積22.4

Mh20=水之原子重量18　　Vh20=水汽之原子容積22.4

To=絕對絕對溫度。-于0°C(To=273°C　　Paimo=空氣壓

T=試驗時之絕對溫度　　Ph20=水蒸汽壓力

Pair乾燥空氣壓=Paimo−P_{H20}

查Hadgman之化學物理手冊，得22°C時，飽和水汽壓力=19.827公厘汞柱

相對濕度=30%=$\frac{P_{H20}}{Psat,_{H20}} = \frac{P_{H20}}{19.827}$

故 $P_{1120}=5.95$公厘水銀柱高 $P_{atm}=590$公厘

$P_{air}=590-5.95=584.05$公厘代入（27）公式

$$S'=\left(\frac{23}{22.4}\right)\left(\frac{273}{295}\right)\left(\frac{584.05}{760}\right)+\left(\frac{18}{22.4}\right)\left(\frac{273}{295}\right)\left(\frac{5.95}{760}\right)\times10^{-3}\text{克}/\text{公分}^2$$

$$=0.9258\times10^{-3}\text{克}/\text{公分}^3 \qquad \alpha=\frac{0.9258\times10^{-6}}{1+\alpha\theta}=\phi$$

（27）式 $h=\frac{1}{C}\log_e\frac{1}{\phi}=\frac{1+\alpha\theta}{0.9258\times10^{-6}}\log_e\frac{1}{\phi}$ （27a）

毛細管壓力常數 $=\frac{P_0}{W}$， W爲液體比重 $=1$公斤／1000公分$^3=1\times10^{-3}$公斤／公分^3

在氣液體交界處毛細管壓力與空氣壓力相等：

$$\frac{P_0}{1\times10^{-3}}=\frac{(1+\alpha\phi)}{0.9258\times10^{-6}}\log_e\frac{1}{\phi}$$

假定 $\theta=22°C$ $1+\alpha\theta=1+\frac{22}{273}=1.0805$

$$P_0=\frac{1.0805\times1000}{0.9258}\log_e\frac{1}{\phi}=1166\log_e\frac{1}{\phi} \qquad (29)$$

取互相垂直之三線爲座標軸， $X=d$（細管毛孔直徑）$Y=P_0$

毛細管表面壓力差） $Z=\phi$（相對濕度）如圖（18）

在XP平面上有等腰雙曲線 $P_0d=2T$

在YZ平面上有對數曲線 $P_0d=1166\log_e\frac{1}{\phi}$

如將此二曲線視作投影，求得空間曲線方程

$$P_0=\frac{2T}{d}=1166\log_e\frac{1}{\phi} \qquad (30)$$

（30）式只限于假定情形下方有效。

氣候對 P_0 值之影響頗大，茲舉例如下：

1. 大陸 氣候 空氣乾燥 相對濕度 $\phi=20\%$（小）$P_0=1830$公斤／公分2 甚大
2. 平原 氣候 空氣較濕潤中 $\phi=60\%$（中）$P_0=595$公斤／公分2（中）
3. 海面 氣候 空氣潮濕 $\phi=95\%$（大）$P_0=57$公斤／公分2（小）

三 土壤毛細管現象試驗

三.1.土壤毛細管試驗之各種方法： 土壤毛細管試驗之目的，在求土壤之吸水量，高度及速率，試驗方法各國各實驗室均有不同，簡繁悉隨需要，大體分類，約有下列三種：

A.空管法。此法最爲簡單，以兩端無底之玻管裝滿土壤，插入水中如圖(16)，觀水分上升高度。並可隨時衡管全重得管中水重。荷蘭Delft土壤力學實驗室Huiginga氏，曾採用此法。本室所採室外法，亦屬此類。除毛細管水分外，尚有因滲透(Permeability)而存在之水分。此種方法，致管插入水中時，管底深度不易維持不變。

爲使滲透水頭固定起見，本室試驗另加一儲注以水之小玻管，倒置水面。

B.吸力水頭法：土壤因有毛細管作用能納水分吸上。反之如土壤中飽和以水，用眞空吸之減土壤能承受若干吸力，方能將水分吸出，吸力水頭之大小，亦可以表示土壤毛細管吸力之大小。最度吸力水頭普通用水管壓力計。或汞壓力計。美國胡穆(Housel)氏採用方法如圖(17)將土壤試樣置漏斗內灌水潮濕之，漏斗直管底部插入汞中，觀察汞柱因毛細管吸力而上升之高度，可比較各種不同土壤之毛細管吸力。

本室所用毛細管計如圖(18)，採用孔窗磁漏斗及尺度滴管。漏管漸向下移，因土壤毛細管吸力作用，管中水位遂較土壤高程爲低。使橡皮管中，有一段眞空長度，以最度毛細管吸力，如滴管不能再加下移時亦可將滴斗升高。假使升降運動全用齒輪則此裝置與Berkow毛細管儀器幾完全相同。

C.壓氣法：放置土壤試樣與水面接觸加氣壓土壤上，使水不能因毛細管作用而上升，最度氣壓大小，以比較毛細管作用。此法需用壓氣表，及壓氣裝置，儀器構造較A，B，二法繁。

三.2.標準上壤分類及性質：美國公路局將路基土壤分爲八種均質標準土壤以A1至A8表之，三種不均質土壤以B1至B3表之。八種土壤之性質級配及試驗常數列表如下：

八類上壤性質表

類別	性質	級配	液限	塑度指	塑性數	最心濕度	最外濕度	最大密度	收縮限度	收縮比
A1	級配甚佳細料者有非含有良好結合料。內摩擦力及黏性皆高。不拘濕度情形穩定性高。收縮膨脹，毛細管及彈性細料皆甚微。線縮在5%以下。	黏土5—10% 淤泥10—20% 砂 70—85% 粗砂45—60% 粗料 10% 有效尺寸0.01公厘 均勻係數>15	14—25	15或以下	15或以下	14—23	15—22	1.7—1.9		
							(不重要)			
A2	不如A1級配之佳結合料質量亦不同較A1者。時時塵土不平，微濕時頗穩定，過濕度時。在則軟化適量濕度時內摩擦力及黏性，亦高。膨脹收縮，毛細管及彈性則偶有之。線縮在5小%以下。	黏土21—40% 砂 60—79% 粗砂21—53%	14—35	15或以下	25或以下	14—23	15—22	1.65—1.9		
						(不重要)		(不重要)		

A3	規保純砂而無結合料，時時承重易於流動，故穩度低。不受濕度影響爲細路良好路基。內磨擦力高而乏黏性膠脹收縮毛細管及彈性皆甚微。	黏土	2—8%	0—35	0	12或以下	16—30	0	(不重要)
		淤泥		圓砂0—14					
		砂	92—98%	尖砂14—35					
		粗砂	2)—74%						
		有效尺寸>0.1公厘							
A4	填土在第一年內沉陷甚多過此則趨穩固，填時宜於晴季爲之，否則長期泥濘。主要成份爲淤泥粗料或黏土皆甚少。內擦磨力小黏性甚微。吸水迅速，易失穩度，霜脹甚多，晴時或能穩定，但濕時則化，彈性無，但有收縮及毛細管之現象。	黏土	52—93%	20—40	0—15	12以上	22—30	22—28	1.5—20
		淤泥		(國液體限增加)		(大於塑度面增加)	(通常在25		
		砂	7—48%				心濕度當	以下)	
		粗砂	0—14%				甚爲膠		
							脹土壤)		
		有效尺寸0.01—0.1公厘							
		均勻係數<15							
A5	主要成份爲淤泥，類似A4，但含有雲母或藻土。彈性甚高，時時亦然，不能保持膠質密度。不宜爲礫石及碎石路基。	黏土	60—99%	30—100	0—42	12以上	28—100	26—100	0.7-1.5
		淤泥		(通常在35以上)	(浸飽甚少)		(通常在80以下爲良好結合料，80以上爲不佳)	(通常在30以上過50，含雲母或藻土之彈性土壤。)	
		砂	1—40%						
		粗砂	0—6%						
A6	主要成份爲30%以上膠質黏土其中46%尺寸小於0.032公厘無粗料。吸水遲緩，但混合時則可迅速。內磨擦力低，濕度低時黏性	黏土	40-94%	30—100	31—100	12以上	28—36	11—18	1.7—2.0
		淤泥		(通常在35以上)	(在40以上或浸飽)		(通常少於80)	(通常在20以下)	
		砂	1—60%						
		粗砂	0—28%						
		有效尺寸<0.002公厘							

	亦爲，收縮及膨脹均高，惟無彈性，故能壓實至永久密度，不宜爲碎石路結合料。擴土需一年以上，方能沉陷完畢。							
A7	主要成份爲黏土類似A 6 但彈性高。因含有空隙多之有機物質或細粒素砂，故滲透性大，容變形極大，使鋪路斷裂不宜爲碎石或混凝土路基。	黏土 85—96% 淤泥 4—15% 砂 0—2%	45—100 (通常在35以上)	20—82	12以上 (在90以上或浸透	27—61	9—31 (20以上表示膨脹)	1.7—1.0
A8	含有大量泥炭或污泥體似海綿永重力低，易於沉落穩度極低內摩擦力及黏性皆低。彈性及毛細管皆高		60—100 (通常在45以上	0—26	12以上	47—100 (與A5類似)	31—160	0.3—1.4

八種土壤之性質亦可用圖（18）表示之。

至如不均質土壤路基土壤本身性質並無任何轉異，特別由成分不均各種不同土壤不規則堆積，物理性質既不相同，加荷載或遇水後變化情形遂有差異，本試驗不包括之。

三.3.試料之配製本試驗所用試料列表於下：

A.標準八種土壤

成份	黏土及淤泥		砂				
類別	直徑 < 0.05 毫	對全樣%	60號篩以上%	4號—10號	10號—20號	20號—40號	40號—60號
A_1	20	80	60	10	10	20	20
A_2	30	70	45		15	15	15
A_3	5	95	50		16.7	16.7	16.7
A_4	70	30	6		2	2	2
A_5	80	20	3		1	1	1
A_6	70	30	15		5	5	5
A_7	90	10	1		0.33	0.33	0.33
A_8	95	5	0				

A 1 至 A 2 之配合成份均按照三.2節所述標準例，如A1之有效尺寸爲0.01厘，直徑

此種土壤中於0.01公厘之顆粒佔全重之10%，大於0.01公厘者，佔全重90%均勻係數 = 粒於60%之顆粒直徑 / 有效尺寸 例如A1之有效尺寸為0.01公厘而60%之試樣通過60號篩(0.25公厘)

則均勻係數 = $\frac{0.25}{0.01}$ = .25

砂料
- 粗砂通過10號篩留20號33%
- 通過20號篩留30號33%
- 通過30號篩留40號33%
- 細砂通過60號篩留200號篩　砂為紅色產自昆明湖

C.土：紅土　昆明西門外紅山

灰土　昆明北門外公路旁

棕土　昆明南門外公路旁

三.4.試驗步驟A.一室內法：量土壤微管吸力

試驗儀器：Buchner Funnel孔底漏斗　一隻

刻度漏管　一個

橡皮管　至少3.50公尺長　一個

濾紙　一張

公尺　一隻

膠布　一條

試驗方法：裝置儀器如圖（17），電膠布將橡皮管兩端固特，使不透氣，加水至漏斗水深達一公分左右。加水時，用手搖動橡皮管，使管中及漏斗孔底之下，無空氣泡存在。放平濾紙。加土壤試樣，用針攪平。俟水靜止。讀漏管水位高度，安置漏管指標，使正指公尺之某整數刻度。試驗起始，試驗時每次將刻度漏管位置下移一公分或數公分漏斗中水位下降，漏管水位上升，水位上升時水面還有少許跳動，俟水位靜止讀管位及水位。直至漏斗土壤試樣品上無水分存在，試樣表面呈燥裂之反光面時，漏管再下降，水位不再上表示土壤有吸力，即上升功極少，此時漏斗孔底之橡皮管中產生一段真空，繼續降下漏管中，水位又大量提高時停止。

紀錄表理　紀錄格式如下：

三4.B.室外法用毛細管溫度室內法量度較準，但設備較繁，在工地工作時，似覺不便，本室採用更簡單設備，以便室外工作之用。

試驗儀器：常溫電爐（110°C）可用小紫爐代之，闊口玻管，內徑2.54公分，長20.32公分一端用橡皮圈紮有透水而不漏樣品之紗布，闊口玻管，內徑1.27公分長12.7公分，壺玻天平　可用秤代之。

試驗步驟：將土壤樣品放至常溫電爐內在110°C時烘乾，至重量不變時取出，冷却後倒入闊口玻管中，高度約10公分，包紮紗布，使土壤不漏出，衡其重。直立水盆中，另外以一端閉口小玻管灌充以水，倒插水盆中如圖（20）每隔24小時，將闊口管取下，衡重一次，在本試驗室內衡重儀器，係採用靈敏天秤，在工地可用駱子代秤，繼續至讀管重量不變時為

止。

設 a=開口玻管重

b=橡皮圈及布之乾重

b'=橡皮圈及布之濕重

A=a+b+乾樣品重

A'=a+b'+濕樣品重

$$\text{微管濕度百分率}=\frac{\text{土壤中水分}}{\text{乾樣品重}}\times100=\frac{(\text{濕樣品重})-(\text{乾樣品重})}{\text{乾樣品重}}\times100$$

$$=\frac{(A'-b')-(A-b)}{A-(a+b)}=\frac{(A'-A)-(b'-b)}{A-(a+b)}$$

三.5.試驗紀錄：

A,室內法：

土壤試樣	滴管高程	水位讀數	滴管每下降一公分水位升高度數		
A1	40	48.35	1	0.925	
			2	0.925	
厚5公厘試			3	0.925	
驗日期三十	44	44.65	4	0.925	
			5	0.875	
一年一月二			6	0.875	
	48	41.15	7	0.875	
十四日			8	0.875	
			9	0.975	
			10	0.975	
			11	0.975	
	52	37.25	12	0.975	
			13	0.600	
			14	0.600	
	55	35.45	15	0.600	
			16	0.175	
	57	35.10	17	0.175	5公分水頭吸力
			18	0.134	
			19	0.133	
	60	34.70	20	0.133	
			21	0.400	
			22	0.400	
	63	33.10	23	0.400	
			24	1.034	
			25	1.033	
	66		26	1.033	
A2	100	47.4	1	0.725	
			2	0.725	
厚5試公厘			3	0.725	
驗日期三十	96	44.5	4	0.725	
一年一月十			5	0.700	
四日	94	43.1	6	0.700	

			7	0.500	
			8	0.400	
	92	42.2	9	0.150	
			10	0.150	
	90	41.9	11	0.150	
			12	0.150	
			13	0.150	
			14	0.150	
	86	41.30	15	0.150	
			16	0.150	
			17	0.150	18公分水頭發力
	92	40.70	18	0.150	
			19	0.175	
			20	0.175	
			21	0.175	
	78	40.00	22	0.175	
			23	0.123	
	76	39.75	24	0.122	
			25	0.100	
	74	39.55	26	0.100	
			27	0.230	
	72	39.09	28	0.230	
			29	0.295	
	72	38.50	30	0.295	
			31	0.975	
	68	36.55	32	0.975	
			33	1.000	
	63	34.55	34	1.000	
			35	0.975	
			36	0.975	
			37	0.975	
	62	30.65	38	0.975	
			39	0.925	
	60	28.80	40	0.925	
			41	1.225	
	58	26.35	42	1.225	
			43	0.775	
	65	24.20	44	0.775	
			45	0.900	
	54	23.00	46	0.900	
			47	0.875	
			48	0.675	
			49	0.875	
	50	20.70	50	0.875	
			51	0.500	
			52	0.500	
			53	0.500	
	46	18.70	54	0.500	
			55	0.325	
			56	0.325	
			57	0.325	
	42	17.40	58	0.325	
			59	0.675	

			60	0.675	
			61	0.675	
	38	14.70	62	0.675	
			63	0.600	
			64	0.600	
			65	0.700	
	34	12.30	66	0.600	
			67	0.812	
			68	0.812	
			69	0.813	
	30	9.05	70	0.813	
A3	89	48.60	1		
厚5公厘三	88	47.70	2	0.90	
	87	46.92	3	0.78	
十一年一月	86	46.10	4	0.82	
	85	45.30	5	0.89	
二十日	84	44.35	6	0.95	
	83	43.40	7	0.95	
	82	43.00	8	0.40	
	81	42.90	9	0.10	
	80	42.80	10	0.10	
	79	42.70	11	0.10	
	78	42.60	12	0.10	
	77	42.50	13	0.10	
	76	42.45	14	0.05	12公分水頭壓力
	75	42.40	15	0.05	
	74	42.25	16	0.15	
	73	42.20	17	0.05	
	72	42.10	18	0.10	
	71	42.10	19	0.00	
	70	42.02	20	0.08	
	69	41.75	21	0.27	
	68	41.00	22	0.75	
	67	40.00	23	1.00	
	66	39.10	24	0.90	
	65	37.50	25	1.60	
	64	37.10	26	0.40	
	63	36.30	27	0.80	
	62	35.20	28	1.10	
	61	34.15	29	1.05	
	60	33.60	30	0.55	
A4	100	48.70	1	0.400	
厚5公厘試	98	47.90	2	0.400	
			3	0.350	
驗日期三十	96	47.20	4	0.350	
			5	0.100	
一年一月十	94	47.00	6	0.100	
		〃	7	0.050	
三日	92	46.90	8	0.050	
			9	0.100	
	09	4.670	10	0.100	

		46.70	11	0.140	
	86	46.15	12	0.140	
			13	0.140	
			14	0.130	
			15	0.125	
	84	45.90	16	0.125	
			17	0.125	
	82	45.65	18	0.125	
			19	0.125	
	80	45.40	20	0.125	
			21	0.125	40公分水頭壓力
	78	45.15	22	0.125	
			23	0.125	
	76	44.90	24	0.125	
			25	0.125	
	74	44 65	26	0.125	
			27	0.125	
	72	44.40	28	0.125	
			29	0.125	
	70	44.15	30	0.125	
			31	0.110	
			32	0.110	
			33	0.110	
			34	0.110	
	65	43.70	35	0.110	
			36	0.120	
			37	0.120	
			38	0.120	
			39	0.120	
	60	42.90	40	0.130	
			41	0.150	
			42	0.150	
			43	0.150	
	56	42.30	44	0.150	
			45	0.825	
	54	41.65	46	0.825	
			47	0.825	
	52	39.00	48	0.825	
			49	0.400	
	50	38.20	50	0.400	
			51	1.350	
	48	35.50	52	1.350	
			53	0.700	
	46	34.10	54	0.700	
			55	0.650	
	44	32.80	56	0.650	
A5	75	39.00			
厚5公厘試驗日期三十年十二月二十九日	74	37.95	1	1.050	
	73	37.00	2	0.950	
	72	36.25	3	0.750	
	71	35.20	4	1.050	
	70	34.30	5	0.900	

			6	0.500
	68	33.30	7	0.500
			8	0.100
	66	31.10	9	0.100
			10	0.100
	64	33.00	11	0.100
			12	0.125
	62	32.75	13	0.125
			14	0.125
	60	32.50	15	0.125
			16	0.125
	58	32.25	17	0.125
			18	0.125
	56	32.00	19	0.125
			20	0.125
			21	0.110
			22	0.110
			23	0.110
	51	31.45	24	0.110
			25	0.110
			26	0.100
			27	0.100
			28	0.100
	46	30.95	29	0.100
			30	0.100
			31	0.125
			32	0.125
	42	30.45	33	0.125
			34	0.125
			35	0.135
			36	0.135
	38	29.91	37	0.135
			38	0.135
	36	29.60	39	0.155
			40	0.155
	34	29.30	41	0.150
			42	0.150
	32	29.00	43	0.150
			44	0.150
	30	28.70	45	0.150
			46	0.150
	28	28.90	47	0.150
			48	0.150
			49	0.150
	26	28.10	50	0.150
			51	0.175
	24	27.75	52	0.175
			53	0.850
	22	26.05	54	0.850
			54	0.750
	20	24.55	55	0.750

叠分水頭
吸力

A6	100	50.00	0		
厚5 公厘試			1	0.950	
			2	0.950	
驗日期三十			3	0.948	
	96	46.25	4	0.947	
一年一月二			5	1.000	
	94	44.25	6	1.000	
十日			7	0.620	
	92	43.00	8	0.630	
			9	0.500	
	90	42.00	10	0.500	
			11	0.250	
	88	41.50	12	0.250	
			13	0.100	
	86	41.30	14	0.100	
			15	0.100	
	84	41.10	16	0.100	
			17	0.100	
	82	40.90	18	0.100	
			19	0.050	
			20	0.050	
			21	0.050	
	78	40.70	22	0.050	
			23	0.075	
			24	0.075	
			25	0.075	
	74	40.40	26	0.075	
			27	0.100	
			28	0.100	
			29	0.100	
	70	40.00	30	0.100	
			31	0.075	
			32	0.075	
			33	0.075	
	66	39.70	34	0.075	
			35	0.085	
			36	0.085	
			37	0.085	
	62	39.52	38	0.085	
			39	0.105	
			40	0.105	
			41	0.105	水頭吸力高度
	58	39.40	42	0.105	
			43	0.100	
			44	0.100	
			45	0.100	
	54	39.00	46	0.100	
			47	0.050	
			48	0.050	
			49	0.050	
	50	38.80	50	0.050	
			51	0.075	
			52	0.075	

		53	0.075
46	38.50	54	0.075
		55	0.100
		56	0.100
		57	0.100
42	38.10	58	0.100
		59	0.112
		60	0.112
		61	0.113
38	37.65	62	0.113
		63	0.100
		64	0.100
		65	0.100
34	37.25	66	0.100
		67	0.088
		68	0.088
		69	0.087
30	36.90	70	0.087
		71	0.100
		72	0.100
		73	0.100
26	36.50	74	0.125
		75	0.125
		76	0.125
		77	0.125
22	36.00	78	0.100
		79	0.100
		80	0.000
		81	0.000
18	35.60	82	0.075
		83	0.075
		84	0.075
		85	0.075
14	35.30	86	0.075
		87	0.075
		88	0.075
		89	0.075
10	35.00	90	0.075
		91	0.100
		92	0.100
		94	0.100
6	34.60	94	0.100
5	34.50	95	0.100

至此調管不能再下降，故將漏斗升高，漏斗原高55公分。

漏斗高度	水位高度	漏斗每上升一公分水位升高數	
55	34.50	96	0.100
		97	0.100
		98	0.100
		99	0.100

	60	34.00	100	0.100	
			101	0.080	
			102	0.080	
			103	0.080	
			104	0.080	
	65	33.60	105	0.080	
			106	0.120	
			107	0.120	
			108	0.120	
			109	0.120	
	70	33.00	110	0.120	
			111	0.140	
			112	0.140	
			113	0.140	
			114	0.140	
	75	32.30	115	0.140	
			116	0.120	
			117	0.120	
			118	0.120	
			119	0.120	
	80	31.70	120	0.120	
			121	0.100	
			122	0.100	
			123	0.100	
			124	0.100	
	85	31.20	125	0.100	
			126	0.140	
			127	0.140	
			128	0.140	
			129	0.140	
	90	30.50	130	0.140	
			131	0.100	
			132	0.100	
			133	0.100	吸力水頭共長159公分
			134	0.100	
	95	30.00	135	0.100	
			136	0.120	
			137	0.120	
			138	0.120	
			139	0.120	
	100	29.40	140	0.120	
			141	0.133	
（將尺度升高）－ >			142	0.133	
	103	29.00	143	0.134	
			144	0.150	
	105	28.70	145	0.150	
			146	0.100	
			147	0.100	
	108	24.40	148	0.100	
			149	0.125	
	110	28.15	150	0.126	
			151	0.075	
	112	28.00	152	0.075	

			153	0.125
	114	28.75	154	0.135
	116		155	0.125
		28.50	156	0.125
			157	0.100
	118	28.30	158	0.100
			159	0.100
	120	28.10	160	0.100
			161	0.125
			162	0.125
			163	0.125
	124	27.60	164	0.125
			165	0.100
			166	0.100
			167	0.100
	128	27.20	168	0.100
			169	0.150
	130	26.90	170	0.150
	131	26.70	171	0.200
	132	26.00	172	0.700
	133	25.00	173	1.000
			174	1.250
	135	22 50	175	1.250
土壤試樣	滴管高度	水位高度	滴管每下降一公分水位升高數	
A7	100	49.70	1	1.050
			2	1.050
			3	1.050
	96	45.50	4	1.050
			5	0.850
	94	43.80	6	0.850
			7	0.700
	92	42.40	8	0.700
	91	41.00	9	0.400
	90	40.80	10	0.200
	89	40.70	11	0.100
			12	0.100
	87	40.50	13	0.100
			14	0.100
	85	40.30	15	0.100
			16	0.100
	83	40.10	17	0.100
			18	0.067
			19	0.077
	80	39.90	20	0.066
			21	0.080
			22	0.080
			23	0.080
			24	0.080
	75	39.50	25	0.080
			26	0.100

			27	0.100	
			28	0.100	
			29	0.100	
	70	39.00	30	0.100	
			31	0.120	
			32	0.120	
			33	0.120	
			34	0.120	
	65	38.40	35	0.120	
			36	0.080	
			37	0.080	
			38	0.080	
			39	0.080	
	60	38.00	40	0.080	
			41	0.090	
			42	0.090	
			43	0.090	
			44	0.090	
	55	37.55	45	0.090	
			46	0.110	
			47	0.110	
			48	0.110	
			49	0.110	
	50	37.00	50	0.110	吸力水頭高度
			51	0.100	
			52	0.100	
			53	0.100	
			54	0.100	
	45	36.50	55	0.100	
			56	0.080	
			57	0.080	
			58	0.080	
			59	0.080	
	40	35.10	60	0.080	
			61	0.100	
			62	0.100	
			63	0.100	
			64	0.100	
	35	35.60	65	0.100	
			66	0.120	
			67	0.120	
			68	0.120	
			69	0.120	
	30	35.00	70	0.120	
			71	0.090	
			72	0.090	
			73	0.090	
			74	0.090	
	25	34.55	75	0.090	
			76	0.110	
			77	0.110	
			78	0.110	
			79	0.110	

	20	34.00	80	0.110	
			81	0.060	
			82	0.060	
			83	0.060	
			84	0.060	
	15	33.70	85	0.060	
			86	0.100	
			87	0.100	
			88	0.100	
			89	0.100	
	10	33.20	90	0.100	
			91	0.060	
			92	0.060	
			93	0.060	
			94	0.060	
	5漏斗高55	32.90	95	0.060	
	漏斗高度	水位高度	漏斗上升一公分水位升高度數		
			96	0.130	
			97	0.130	
			98	0.130	
			99	0.130	
	漏斗高60	32.25	100	0.130	吸力水頭高度
			101	0.100	
			102	0.100	
			103	0.100	
			104	0.100	
	65	31.75	105	0.100	
			106	0.130	
			107	0.130	
			108	0.130	
			109	0.130	
	70	31.10	110	0.130	
			111	0.120	
			112	0.120	
			113	0.120	
			114	0.120	
	75	30.50	115	0.120	
			116	0.100	
			117	0.100	
			118	0.100	
			119	0.100	
	80	30.00	120	0.100	
			121	0.080	
			122	0.080	
			123	0.080	
			124	0.080	
	85	29.60	125	0.080	
			126	0.110	
			127	0.110	
			128	0.110	

			129	0.110	
	90	29.05	130	0.110	
			131	0.110	
			132	0.110	
			133	0.110	
			134	0.110	
	95	28.60	135	0.110	
			136	0.120	
			137	0.120	
			138	0.120	
			139	0.120	
	100	28.00	140	0.120	
			141	0.090	
			142	0.090	
			143	0.090	
			144	0.090	
	105	27.55	145	0.090	
			146	0.110	
			147	0.110	
			148	0.110	
			149	0.110	
	110	27.00	150	0.110	
			151	0.120	
			152	0.120	
			153	0.120	吸力水頭高度
			154	0.120	
	105	26.40	155	0.120	
			156	0.120	
			157	0.120	
			158	0.120	
			159	0.120	
	110	25.80	160	0.120	
			161	0.100	
			162	0.100	
			163	0.100	
			164	0.100	
	115	25.30	165	0.100	
			166	0.080	
			167	0.080	
			168	0.080	
			169	0.080	
	120	24.90	170	0.080	
			171	0.090	
			172	0.090	
			173	0.090	
			174	0.090	
	125	24.45	175	0.090	
			176	0.130	
			177	0.130	
			178	0.130	
			179	0.130	
	130	23.80	180	0.130	
			181	0.130	
			182	0.133	

	133	23.40	183	0.134
			184	0.175
	135	23.05	185	0.175
	試驗至此，橡皮管已抗壓遮頭，不能再作，但結果可知A7之毛細管吸力水頭高度大於176公分。			

土壤試樣	滴管高度	水位高度	滴管每上升一公分水位升高數
A8	100	48.2	0
厚度5 公厘			1 0.700
試驗日期三			2 0.700
			3 0.700
十年一月十			4 0.700
	95	44.7	5 0.700
三日			6 0.600
	93	43.5	7 0.600
			8 0.200
	91	43.1	9 0.200
			10 0.140
	83	22.7	11 0.130
			12 0.130
			13 0.125
			14 0.125
			15 0.125
	81	42.2	16 0.125
			17 0.100
			18 0.100
			19 0.100
	80	41.8	20 0.100
			21 0.140
			22 0.140
			23 0.110
			24 0.140
	75	41.10	25 0.140
			26 0.110
			27 0.110
			28 0.110
			29 0.110
	70	40.55	30 0.110
			31 0.130
			32 0.130
			33 0.130
			34 0.130
	65	39.90	35 0.130
			36 0.100
			37 0.100
			38 0.100
			39 0.100
	60	39.40	40 0.100
			41 0.140
			42 0.140

A8(粉)			43	0.140	
			44	0.140	
	55	38.70	45	0.140	
			46	0.120	
			47	0.120	
			48	0.120	
			49	0.120	
	50	38.10	50	0.120	
			51	0.160	
			52	0.160	
			53	0.160	
			54	0.160	
	45	37.30	55	0.160	
			56	0.120	
			57	0.120	
			58	0.120	
			59	0.120	
	40	36.70	60	0.120	
			61	0.140	
			62	0.140	
			63	0.140	
			64	0.140	
	35	36.00	65	0.140	
			66	0.100	
			67	0.100	吸力水頭高度
			68	0.100	
			69	0.100	
	30	35.50	70	0.100	
			71	0.110	
			72	0.110	
			73	0.110	
			74	0.110	
	25	34.95	75	0.110	
			76	0.090	
			77	0.090	
			78	0.090	
			79	0.090	
	20	34.50	80	0.190	
			81	0.020	
			82	0.120	
			83	0.120	
			84	0.120	
	15	33.90	85	0.120	
			86	0.130	
			87	0.130	
			88	0.130	
			89	0.130	
	10	33.25	90	0.130	
			91	0.100	
			92	0.100	
			93	0.100	
			94	0.100	
	5	32.75	95	0.100	

A8(續)

至此漏管不能下降，改用漏斗上升。漏斗頂原高52公分

漏斗高度	水位高度	漏斗每上升一公分水位上升高度		
52		95		
		96	0.117	
		97	0.117	
55	32.40	98	0.116	
		99	0.110	
		100	0.110	
		101	0.110	
		102	0.110	
60	31.85	103	0.110	
		104	0.130	
		105	0.130	
		106	0.130	
		107	0.130	
65	31.20	108	0.130	
		109	0.100	
		100	0.100	
		101	0.100	
		112	0.100	吸力水頭高度
70	30.90	113	0.100	
		114	0.110	
		115	0.110	
		116	0.110	
		117	0.110	
75	50.35	118	0.110	
		119	0.160	
		120	0.160	
		121	0.160	
		122	0.160	
80	29.55	123	0.160	
		124	0.130	
		125	0.130	
		126	0.130	
		127	0.130	
85	28.90	128	0.130	
		129	0.130	
		130	0.130	
		131	0.130	
		132	0.130	
90	28.25	133	0.130	
		134	0.180	
		135	0.180	
		136	0.180	
		137	0.180	
95	27.35	138	0.180	
		139	0.170	
		140	0.170	
		141	0.170	
		142	0.170	

A8（續）	100	26.50	143	0.170
			144	0.175
			145	0.175
			146	0.175
	104	25.80	147	0.175
			148	0.175
			149	0.175
			150	0.175
	108	25.10	151	0.175
			152	0.200
			153	0.200
			154	0.200
	112	24.30	155	0.200
			156	0.188
			157	0.188
			158	0.187
	116	23.55	159	0.187
			160	0.163
			161	0.163
			162	0.162
	120	22.90	163	0.162
			164	0.163
			165	0.163
			166	0.163
	124	22.25	167	0.162
			168	0.188
			169	0.188
			170	0.187
	128	21.50	171	0.187
			172	0.200
			173	0.200
			174	0.200
	132	20.70	175	0.200
			176	0.200
			177	0.200
			178	0.200
	136	19.90	179	0.200
			180	0.200
	138	19.50	181	0.200
			182	0.175
	140	19.15	183	0.167
	管之長度不敷再作，A8毛細管吸力水度高度>176公分			

土壤試驗	滴管高程	水位高度	滴管每下降一公分水位升高度	
A1.a 厚度10公厘 上升極慢三十一年一月二十四日	40	47.3	0	
			1	0.634
			2	0.633
	43	45.4	3	0.633
			4	0.600

A1.a（續）			5	0.600	
			6	0.6 0	
	47	43.0	7	0.600	
			8	0.660	
			9	0.660	
			10	0.660	
			11	0.660	
	52	39.7	12	0.660	
			13	0.600	
	54	38.5	14	0.600	
			15	0.400	
			16	0.400	
	57	37.3	17	0.400	
			18	0.084	
			19	0.083	
	60	37.05	20	0.083	
			21	0.100	
			22	0.100	
	63	36.75	23	0.100	
			24	0.100	
			25	0.100	
	66	36.45	26	0.100	
			27	0.117	
			28	0.117	
	69	36.10	29	0.116	
			30	0.075	
	71	35.95	31	0.075	
			32	0.125	
	73	35.70	33	0.125	
			34	0.000	
	75	35.70	35	0.000	
			36	0.075	
			37	0.075	吸力水頭
			38	0.075	
	79	35.40	39	0.075	
			40	0.050	
	81	35.30	41	0.050	
			43	0.050	
	83	35.20	42	0.050	
			44	0.025	
	85	35.15	45	0.025	

漏管下能再下降，尺度放正，改用漏斗上升

漏斗高程	水位高度	漏斗每上升一公分水位升高度	
96		45	
		46	0.100
		47	0.100
92	34·85	48	0.100
		49	0.100
90	34·65	50	0.100

A1.a（續）			51	0.125	
			52	0.125	
			53	0.125	
	86	34.15	54	0.125	
			55	0.100	
			56	0.100	
			57	0.100	
	82	33.75	58	0.100	
			59	0.175	
	80	33.40	60	0.175	
			61	0.100	
			62	0.100	
			63	0.100	
	76	33.00	64	0.100	
			65	0.100	
			66	0.100	
	72	32.60	67	0.100	
			68	0.100	
			69	0.100	
			70	0.100	
			71	0.100	
	68	32.20	72	0.100	
			73	0.125	
			74	0.125	
			75	0.125	
	64	31.70	76	0.125	吸力水頭高度
			77	0.113	
			78	0.113	
			79	0.113	
	60	31.25	80	0.112	
			81	0.125	
			82	0.125	
			83	0.125	
	56	30.75	84	0.125	
			85	0.125	
			86	0.125	
			87	0.125	
	52	30.25	88	0.125	
			89	0.113	
			90	0.113	
			91	0.112	
	48	29.80	92	0.112	
			93	0.113	
			94	0.113	
			95	0.112	
	44	29.35	96	0.112	
			97	0.137	
			98	0.138	
			99	0.138	
	40	28.80	100	0.137	
			101	0.125	
			102	0.125	
			103	0.125	

A1.a（續）	36	28.30	104	0.125	吸力水頭高度
			105	0.125	
			106	0.125	
			107	0.125	
	32	27.80	108	0.125	
			109	0.125	
			100	0.125	
			111	0.125	
	28	27.30	112	0.125	
			113	0.125	
			114	0.125	
			115	0.125	
	24	26.80	116	0.125	
			117	0.138	
			118	0.138	
			119	0.137	
	20	26.25	120	0.137	
			121	0.113	
			122	0.113	
			123	0.112	
	16	25.80	124	0.112	
			125	0.125	
			126	0.125	
			127	0.125	
	12	25.30	128	0.125	
			129	0.125	
	10	25.05	130	0.125	
	又改用滴管，放長捲尺				
	滴管高程	水位高度	滴管每下降一公分水位升高度		
	85		130		
			131	0.150	
			132	0.150	
			133	0.150	吸力水頭146公分
	89	24.45	134	0.150	
	90	24.30	135	0.150	
			136	0.175	
			137	0.175	
			138	0.175	
	94	23.60	139	0.175	
			140	0.100	
			141	0.100	
			142	0.100	
	98	23.20	143	0.100	
			144	0.100	
			145	0.100	
			146	0.100	
	102	22.80	147	0.100	
			148	0.150	
			149	0.150	

			150	0.150	
	106	22.20	151	0.150	
			152	0.175	
			153	0.175	
			154	0.175	
	110	21.50	155	0.175	
			156	0.200	
			157	0.200	
			158	0.200	
	114	20.70	159	0.200	
			160	0.200	
			161	0.200	
			162	0.200	
	118	19.90	163	0.200	
			164	0.225	
	120	19.45	165	0.225	
			166	0.225	
	122	19.00	167	0.225	
土壤試驗	滴管高程	水位讀數	滴管每下降一公分水位升高度數		
粗砂	40	43.50	0		
10—20號			1	0.830	
三等分			2	0.830	
20—40號			3	0.830	
40—60號			4	0.830	
三十一年一	45	44.35	5	0.830	
月二十五日			6	0.925	
			7	0.925	
			8	0.925	
	49	40.65	9	0.925	
			10	0.725	
	51	39.20	11	0.725	
			12	0.325	
	53	38.55	13	0.325	
			14	0.134	
			15	0.133	
	56	38.15	16	0.133	吸力水頭高度 7公分
			17	0.125	
	58	37.90	18	0.125	
			19	0.150	
	60	37.60	20	0.150	
			21	0.225	
	62	37.15	22	0.225	
			23	0.225	
	64	36.70	24	0.225	
			25	0.250	
	66	36.20	26	0.250	
			27	0.300	
			28	0.300	
	69	35.30	29	0.300	
			30	0.267	

	72	31.50	31	0.267
			32	0.266
			33	0.317
			34	0.317
	75	33.55	35	0.316
			36	0.317
			37	0.317
	78	32.60	38	0.316

土壤試驗	滿管高程	水位讀數	滿管每下降一公分水位升高度數	
粗砂		48.15	0	
20—40號	0		1	0.634
三十一年一			2	0.633
月十七日	3	46.25	3	0.633
			4	0.702
			5	0.702
	6	44.41	6	0.701
			7	0.200
	8	43.7	8	0.200
			9	0.150
	10	43.4	10	0.150
			11	0.150
	12	43.1	12	0.150
			13	0.100
	14	42.9	14	0.100
			15	0.150
	16	42.6	16	0.150
			17	0.150
	18	44.3	18	0.150
			19	0.200
	20	41.9	20	0.200
			21	0.250
	22	41.1	22	0.250
			23	0.250
	24	40.90	24	0.250
			25	0.250
	26	40.40	26	0.250
			27	0.500
	28	39.40	28	0.500
			29	0.500
	30	30.50	30	0.450
細砂	30	47.5	0	
No. 60—			1	0.800
200 二十一			2	0.800
			3	0.800
年一月二十			4	0.800
	35	43.5	5	0.800
六日			6	0.805
			7	0.805
			8	0.805
			9	0.805

壓力水頭 20公分

細砂	40	39.25	10	0.305	
60—100號			11	0.225	
（續）	42	33.30	12	0.225	
			13	0.100	
	44	33.60	14	0.100	
			15	0.150	
	46	38.30	16	0.150	
			17	0.075	
	48	33.15	18	0.073	
			19	0.085	
			20	0.034	
	51	37.90	21	0.083	毀力水頭高度38公分
			22	0.084	
			23	0.083	
	54	37.65	24	0.083	
			25	0.084	
			26	0.088	
	57	37.40	27	0.083	
			28	0.100	
			29	0.100	
	60	37.10	30	0.100	
			31	0.100	
			32	0.100	
	63	36.30	33	0.100	
			34	0.084	
			35	0.083	
	66	36.55	36	0.083	
			37	0.084	
			38	0.083	
	69	36.30	39	0.083	
			40	0.100	
			41	0.100	
	72	36.00	42	0.100	
			43	0.134	
			44	0.133	
	75	35.60	45	0.133	
			46	0.100	
			47	0.100	
	78	35.30	48	0.100	
			49	4.100	水位突降
			50	4.150	
	81	22.90	51	4.150	
			52	0.134	
			53	0.133	
	84	22.50	54	0.133	毀力水頭高度9公分
			55	0.100	
			56	0.100	
	97	22.20	57	0.100	
			58	1.100	
			59	1.100	
	90	21.70	60	1.100	
			61	0.900	
			62	0.900	水位突降

細砂	98	16.20	63	0.900	吸力水頭高度10公分
60—100號			64	0.000	
（續）			65	0.000	
	76	15.90	66	0.100	
			67	0.100	
			68	0.100	
	99	15.60	69	0.100	
			70	0.125	
			71	0.125	
			72	0.125	
	103	15.10	73	0.125	
			74	0.550	
			75	1.550	
			76	1.550	
	107	8.90	77	1.550	
			78	1.100	
			79	0.100	
	110	8.50	80	0.100	
			81	0.125	
			82	0.125	
			83	0.125	
			84	0.125	
	115	2.25	85	0.125	

土壤試驗	滴管高程	水位讀數	滴管每下降一公分水位升高度數		
生紅土			0		
試驗日期三十一年一月二十三日	40	48.9	1	0.775	
			2	0.775	
	44	45.8	3	0.775	
			4	0.885	
			5	0.775	
			6	0.875	
			7	0.875	
	48	42.3	8	0.875	
			9	0.875	
			10	0.875	
			11	0.875	
	52	38.8	12	0.875	
			13	0.225	
			14	0.225	
			15	0.225	
	56	37.9	16	0.225	
			17	0.100	
	58	37.6	18	0.100	吸力水頭高度
			19	0.100	
			20	0.100	
	61	37.3	21	0.100	
			22	0.100	
			23	0.100	
	64	37.0	24	0.100	
			25	0.100	
			26	0.100	

田號試樣：	生紅土 續（一）				
漏斗高程	水位讀數	漏斗每下降一公分水位升高數			
67	36.70	27	0.100		
		28	0.117		
		29	0.117	（升高漏斗）	
70	36.35	30	0.116		
		31	0.117		
		32	0.117		
73	36.00	33	0.116		
		34	0.100		
		35	0.100		
76	35.70	36	0.100	吸力水頭高度	
		37	0.100		
		38	0.100		
79	35.40	39	0.100		
		40	0.100		
		41	0.100		
82	35.10	42	0.100		
		43	0.100		
		44	0.100		
85	34.80	45	0.100		
漏管		46	0.100		
97—		47	0.100		
91	34.50	48	0.100	（降落漏管）	
		49	0.100		
		50	0.100		
91	34.20	51	0.100		
		52	0.100		
		53	0.100		
88	33.90	54	0.100		
		55	0.100		
		56	0.100	吸力水頭高度	
85	33.60	57	0.100		
		58	0.100		
		59	0.100		
82	33.30	60	0.100		
		61	0.134		
		62	0.134		
79	32.90	63	0.133		
		64	0.100		
		65	0.100		
76	32.60	66	0.100		
		67	0.134		
		68	0.134		
73	32.00	69	0.133		
		70	0.100		
		71	0.100		
70	31.90	72	0.100		
		73	0.100		
		74	0.100		
67	31.60	75	0.100		
		76	0.100		
		77	0.100		
64	31.30	78	0.100		

田號試樣：	生紅土 續（二）				
漏斗高程	水位讀數	漏斗每下降一公分水位升高數			
		79	0.134	（降落漏管）	
		80	0.134		
61	30.90	81	0.133		
		82	0.117		
		83	0.117		
58	30.55	84	0.116		
漏斗		85	0.117		
85—		86	0.117	（升高漏斗）	
88	30.20	87	0.116		
		88	0.134		
		89	0.134		
91	29.80	90	0.133		
		91	0.100		
		92	0.100		
94	29.50	93	0.100	吸力水頭高度	
		94	0.134		
		95	0.134		
97	29.10	96	0.133		
		97	0.100		
		98	0.100		
100	28.40	99	0.100		
漏管		100	0.134		
58—		101	0.133		
55	28.40	102	0.134	（降落漏管）	
		103	0.150		
		104	0.150		
52	27.95	105	0.150		
		106	0.150		
		107	0.150		
49	27.50	108	0.150		
		109	0.100		
		110	0.100	吸力水頭高度	
46	27.20	111	0.100		
		112	0.117		
		113	0.117		
43	26.85	114	0.116		
		115	0.117		
		116	0.117		
40	26.50	117	0.116		
		118	0.114		
		119	0.114		
37	26.10	120	0.113		
		121	0.167		
		122	0.167		
34	25.60	123	0.166		
		124	0.134		
		125	0.134		
21	25.20	126	0.133		
		127	0.117		
		128	0.117		
28	24.85	129	0.116		

土壤試樣：　生紅土　續（三）

漏斗高程	水位讀數	漏斗	每下降一公分水位升高數	
		130	0·117	（降落漏管）吸力水頭高度一七九公分
		131	0·117	
25	24.40	132	0.116	
		133	0.134	
		134	0.134	
22	24.00	135	0.133	
		136	0.134	
		137	0.134	
19	23.60	138	0.133	
		139	0.167	
		140	0.167	
16	23.10	141	0.166	
		142	0·100	
		143	0.100	
13	22.80	144	0.100	
漏斗100		145	0.200	（升高漏斗）吸力水頭高度一七九公分
		146	0.200	
		147	0.200	
104	22.00	148	0.200	
		149	0.150	
		150	0.150	
		151	0.150	
		152	0.150	
		153	0.150	
110	21.10	154	0.150	
		155	0·160	
		156	0.160	
		157	0.160	
		158	0·160	
115	20.30	159	0.160	
		160	01.60	
		161	0·160	
		162	0.160	
		163	0.160	
120	19.50	164	0.160	
		165	0.200	
		166	0.900	
		167	0.200	
		168	0.200	
125	18.50	169	0.200	
		170	0.180	
		171	0.180	
		172	0.180	
		173	0.180	
130	17.60	174	0 180	
		175	0·180	
		176	0.180	
		177	0.180	
		178	0.180	
135	16·70	179	0.180	

土壤試樣：　生紅土　續（四）

漏斗高程	水位讀數	漏斗	每上升一公分水位升高數	
		180	0.180	吸力水頭高度一七九公分
		181	0.180	
		182	0.180	
		183	0.180	
140	15·80	184	0.180	
		185	0.200	
		186	0.200	
		187	0.200	
		188	0.200	
145	14.80	189	0.200	
		190	0·200	
		191	0.200	
		192	0.200	
		193	0.200	
150	13.80	194	0·220	
		195	0·220	
		196	0.220	
		197	0·220	
		198	0.220	
155	12.70	199	0.220	
		200	0.267	
		201	0.267	
158	11.90	202	0.266	
		203	0.267	
		204	0.267	
161	11·10	205	0.266	
		206	0.234	
		207	0.233	
164	10.40	208	0.233	
		209	0·225	
		210	0.225	
		211	0·225	
168	9.50	212	0.225	

土壤試樣：　生灰土　三十一年一月十四日

漏管高程	水位讀數	漏管	每下降一公分水位升高數
100	47.10	0	
		1	0.500
		2	0.500
97	45.60	3	0.500
		4	0.540
		5	0.540
		6	0.540
		7	0·540
92	42·90	8	0.540
		9	0·600
		10	0.600
		01	0.600
88	40.50	12	0.600

土壤試樣：　生炭土續（一）

滿管高程	水位讀數	滿管	每下降一公分	水位升高數	分
		13		0.400	（滿管下降）吸力水頭高度
		14		0.400	
		15		0.400	
84	38.90	16		0.400	
		17		0.625	
82	37.65	18		0.625	
		19		0.325	
80	37.00	20		0.325	
		21		0.250	
78	36.50	22		0.250	
		23		0.200	
76	36.10	24		0.200	
		25		0.150	
74	35.80	26		0.150	
		27		0.200	
72	35.40	28		0.200	
		29		0.175	
70	35.05	30		0.175	
		31		0.175	
68	34.70	32		0.175	
		33		0.167	
		34		0.167	
65	34.20	35		0.166	
		36		0.150	
		37		0.150	
		38		0.150	
61	33.60	39		0.150*	
		40		0.225*	
		41		0.225*	
		42		0.225*	
57	32.70	43		0.225	
		44		0.175	
		45		0.175	
		46		0.175	
53	32.00	47		0.175	
		48		0.150	
		49		0.150	
50	31.70	50		0.150	
		51		0.150	
		52		0.150	
		53		0.150	
46	31.10	54		0.150	
		55		0.075	
		56		0.175	
		57		0.175	
		58		0.175	
		59		0.175	
40	30.05	60		0.175	
		61		0.167	
		62		0.167	
37	29.55	63		0.166	
		64		0.150	

* 皮管漏動，數值不能。

土壤試樣：　產炭土續（二）

滿管高程	水位讀數	滿管	每下降一公分	水位升高數	分
		65		0.150	（滿斗上升）吸力水頭高度九十八公分
34	29.10	66		0.150	
		67		0.150	
32	23.80	68		0.150	
滿斗45—		69		0.134	
		70		0.133	
48	28.40	71		0.133	
		72		0.000	
		73		0.000	
51	28.40	74		0.000	
		75		0.004	
		76		0.003	
54	28.30	77		0.003	
		78		0.000	
		79		0.000	
		80		0.000	
58	28.30	81		0.000	
		82		0.050	
		83		0.050	
		84		0.050	
62	28.10	85		0.050	
		86		0.134	
		87		0.133	
65	27.70	88		0.133	
		89		0.150	
		90		0.150	
68	27.25	91		0.150	
		92		0.150	
		93		0.150	
71	26.80	94		0.150	
		95		0.134	
		96		0.133	
74	26.40	97		0.133	
		98		0.125	
		99		0.125	
		100		0.125	
78	25.90	101		0.125	
		102		0.200	
80	25.50	103		0.200	
81	25.45	104		0.050	
滿管230		105		0.125	
	25.20	106		0.125	
		107		0.150	
		108		0.150	
27	24.75	109		0.150	
		110		0.150	
		111		0.150	
24	24.30	112		0.159	
		113		0.134	
		114		0.133	
21	23.90	115		0.133	
		116		0.175	
19	23.55	117		0.175	

土壤試樣： 生成土箱（三）

滴管高程	水位讀數	滴管	每下降一公分水位升高數
		118	0.150
		119	0.150
16	23.10	120	0.150
		121	9.900
		122	9.900
13	46.60	123	9.900

土壤試樣： 生樣上 三十二年一月十九日

漏斗高程	水位讀數	漏斗	每上升一公分水位升高數	
0	48.40	0		
		1	0.400	
		2	0.400	
3	47.20	3	0.400	
		4	0.267	
		5	0.267	
6	46.40	6	0.266	
		7	0.334	
		8	0.333	
9	45.40	9	0.333	
		10	0.331	
		11	0.333	
12	44.40	12	0.333	
		13	0.325	
14	43.75	14	0.325	吸力水頭高度
		15	0.200	
16	43.35	16	0.200	
		17	0.175	
18	43.00	18	0.175	
		19	0.150	
20	42.70	20	0.150	
		21	0.150	
22	42.40	22	0.150	
		23	0.117	
		24	5.117	
25	42.05	25	0.116	
		26	0.150	
		27	0.150	
28	41.60	28	0.150	
		29	0.138	
		30	0.138	
		31	0.137	
32	41.05	32	0.137	
		33	0.067	
		34	0.067	
35	40.85	35	0.066	
		36	0.117	
		37	0.117	
38	40.50	38	0.116	
		39	0.134	
		40	0.133	
41	40.10	41	0.133	

土壤試樣： 生樣上組（一）

漏斗高程	水位讀數	漏斗	每上升一公分水位升高數	
		42	0.134	（漏斗上升）吸力水頭高度
		43	0.133	
44	39.70	44	0.133	
		45	0.100	
		46	0.100	
47	39.40	47	0.100	
		48	0.100	
		49	0.100	
50	39.10	50	0.100	
		51	0.100	
		52	0.100	
53	38.80	53	0.100	
滴管		54	0.200	（滴管下降）吸力水頭高度一百七十八公分
57		55	0.200	
54	38.20	56	0.200	
		57	0.100	
		58	0.100	
51	37.90	59	0.100	
		60	0.100	
		61	0.100	
48	37.60	62	0.100	
		63	0.117	
		64	0.117	
45	37.25	65	0.116	
		66	0.117	
		67	0.117	
42	36.90	68	0.116	
		69	0.134	
		70	0.133	
39	36.50	71	0.133	
		72	0.167	
		73	0.167	
36	36.00	74	0.166	
		75	0.100	
		76	0.100	
33	35.70	77	0.100	
		78	0.100	
		79	0.100	
30	35.40	80	0.100	
		81	0.134	
		82	0.133	
27	35.00	83	0.133	
		84	0.134	
		85	0.133	
24	34.60	86	0.133	
		87	0.134	
		88	0.133	
21	34.20	89	0.133	
漏斗		90	0.134	
53		91	0.133	
56	33.80	92	0.133	

土壤試樣： 生稑土樣（二）

漏斗高度	水位讀數	漏斗	每上升一水位	公度	分數
		93	0.134		
		94	0.133		
59	33.40	95	0.133		（升高漏斗）
		96	0.134		
		97	0.133		
62	33.00	98	0.133		
		99	0.130		
		100	0.130		
		101	0.130		
66	32.48	102	0.130		
		103	0.127		吸力水頭高度
		104	0.127		
69	32.10	105	0.126		
		106	0.200		
		107	0.200		
72	31.60	108	0.200		
		109	0.116		
		110	0.117		
75	31.15	111	0.117		
		112	0.134		
		113	0.133		
78	30.75	114	0.133		
		115	0.150		
		116	0.150		
81	30.30	117	0.150		
		118	0.134		
		119	0.133		
84	29.90	120	0.133		
漏管21—		121	0.167		
		122	0.167		
18	29.40	123	0.166		（降落漏管）
		124	0.134		
		125	0.133		
15	29.00	126	0.133		
		127	0.134		
		128	0.133		
12	28.60	129	0.133		
		13	0.150		
		131	0.150		吸力水頭高度
9	27.15	132	0.150		
		133	0.134		
		134	0.187		
6	27.60	135	0.133		
		136	0.200		
		137	0.200		
3	27.00	138	0.200		
		139	0.134		
		140	0.133		
0	26.60	141	0.133		
		142	0.150		
		143	0.150		

土壤試樣： 生稑土樣（二）

漏管高度	水位讀數	漏管	每下降一水位	公度	分數
−3	26.15	144	0.151		
		145	0.150		
		146	0.150		
−6	25.70	147	0.150		
		148	0.167		
		149	0.167		
−9	24.20	150	0.166		
		151	0.167		
		152	0.167		
−12	24.70	153	0.166		
		154	0.167		
		155	0.167		
−15	24.20	156	0.166		吸力水頭高度一七八公分
		157	0.167		
		158	0.167		
−18	23.70	159	0.164		
		160	0.200		
		161	0.200		
−21	23.10	162	0.200		
		163	0.200		
		164	0.200		
		165	0.200		
−25	22.30	166	0.200		
		167	0.167		
		168	0.167		
−28	21.80	169	0.166		
		170	0.167		
		171	0.166		
−31	21.30	172	0.166		
		173	0.200		
		174	0.200		
−34	20.70	175	0.200		
		176	0.200		
		177	0.200		
		178	0.200		
−38	19.50	179	0.200		
		180	0.225		水管顫動
		181	0.225		
		182	0.225		
−42	19.00	183	0.225		
		184	0.500		
		185	0.200		
−45	18.40	186	0.200		
		187	0.200		
		188	0.200		
−48	17.80	189	0.200		
		190	0.200		
		191	0.200		
−51	17.20	192	0.200		
		193	0.267		
		194	0.267		
−54	16.40	195	0.266		

三 5. B.室外法；

樣品標類		日試期始（開始）	玻璃管淨重（克）	圈乾重及橡皮（克）	玻璃管布樣皮圈及樣品之總乾重（克）	乾樣品淨重（克）	玻璃管布樣皮圈及樣品之總濕重（克）經過時間（小時）24	48	72	96	120	144	168	192	216	最後布及皮圈之濕重（克）	樣品淨重（克）	最含濕水總重（克）	毛度百分溫率（%）
土壤八大類	A1	30年9月33日下午三時卅分	49.52	1.10	124.20	73.53	142.67	143.37	143.55	143.50						3.44	90.59	17.01	23.48
	A2	9月30日下午四時十五分	51.40	0.89	119.39	67.10	133.67	133.77	137.85	137.55						3.29	81.08	16.98	25.31
	A3	10月6日下午三時卅分	49.52	0.81	119.72	69.39	139.68	141.74	140.82	140.60	140.42					2.23	89.07	19.68	28.86
	A4		51.40	0.63	100.47	48.44	124.13	124.73	125.11	124.30	124.28					2.16	71.55	23.11	47.71
	A5	10月13日下午四時卅分	49.52	0.75	95.76	45.49	118.95	119.44	119.18	119.22	119.00					2.39	67.53	22.01	48.45
	A6	10月18日下午三時四十五分	51.40	0.75	98.74	46.59	122.01	122.37	122.49	121.55	121.20					2.03	68.46	21.87	46.94
	A7	10月22日下午三時卅分	51.40	0.78	94.63	42.50	119.10	120.03	120.02	119.62						2.69	5 91	2.42	55.11
	A8		49.52	0.78	87.99	37.69	112.28	111.97	110.20	109.46						2.68	60.03	22.39	59.41
生紅土		9月2日下午四時卅分	49.52	1.45	109.32	58.35	13.85	134.00	134.00	134.00						4.79	79.61	21.32	36.54
生灰土			51.40	1.18	122.75	70.17	137.66	138.22	138.73	138.73	138.73	138.73				4.29	83.04	12.87	18.34
生棕土		9月8日下午三時四十分	49.52	1.49	108.75	57.74	133.90	134.22	134.57	134.95	135.45	135.55	135.62	135.62	135.62	4.80	81.33	23.56	40.30

三.6.試驗結果

A.毛細管高度試驗　測管下降長度與毛細管水位高度變化之關係如圖（21），圖中以毛細管水位變位爲橫標，測管下降或漏斗上升長度爲縱標，凡後坡在 0.200以內之曲線，可認爲吸力水頭範圍，大於0.200之線坡，即測管每下降1公分時，水位上升高度大於0.200度時，認爲不在吸力水頭範圍之內。上項假設原無根據，特就曲線性質研究，凡線坡大於 0.200者曲線線坡驟化遂大。

B.毛細管濕度試驗　各層土壤之毛細管濕度之比較如圖22、23及24

C.各種土壤樣品毛細管高度及濕度比較如下：

土壤種類	毛細管高度公分水頭	毛細管濕度%
A_1	5	21.65
A_2	18	25.31
A_3	12	28.36
A_4	40	47.71
A_5	44	48.45
A_6	159	46.91
A_7	176	55.11
A_8	176	59.41
粗砂（10—20號、20—40號、40—60號）三等分	7	
粗砂20—40號	20	
細砂60—200號	36	
生紅土	179	36.54
生灰土	93	18.34
生棕土	178	40.80
A_1加倍厚度	146	

四、討論：根據三.6試驗結果A.圖21至23，吾人可知：

(1)凡土壤顆粒愈小者，其毛細管吸力水頭愈長，如A_7，A_8，生紅土生棕土之顆粒，大部分屬於黏土及淤土範圍，毛細管吸力水頭均大於178公分，而小於200號顆粒僅佔20%以下之A_1，A_3，其毛細管吸力水頭高度小於12公分，由此可證明二.4節理論之無誤。

(2)凡土壤顆粒分配愈均勻者，其毛細管吸力水頭愈短，A_1 A_2 A_3 土壤顆粒大小均佈，其毛細管吸力甚小，粗砂之由10號至20號，20號至40號，40號至60號三種顆粒等分組成者，較僅有20號至40號者毛細管吸力水頭之比約爲1:3由此可知，級配路基當較顆粒分配不勻者，不易受地下水之影響。

(3)土壤顆粒大小之影響，對於毛細管作用亦有影響。例如A1在試驗前後達五次之多，三.5節錄者，僅爲其中之一次記錄，A1成分含10.之10篩餘以上，四號篩以下之粗大砂粒，此種大顆砂粒，位置在試樣下面和混在中部及放置上部者其結果有相當之差異，是以爲精確起見，試驗土壤樣品，應採自然狀態未經擾動者。

(4)試驗土壤樣品之厚度與毛細管吸力大小亦有關係。厚度愈大，水位上升速度愈小，例如A1厚度爲5公厘時，毛細管吸力水頭爲5公分；厚度爲6公厘時，水頭爲10公分；厚

度爲10公厘時，毛細管吸力水頭竟達147公分，且水位上升甚緩。橡厚度與毛細管吸力水頭及水位上升速度之關係尚未求出，有待以後之研究。

(5)本試驗前後共作若干次，所用儀器逐漸改善，作此種試驗時，首先應注意者爲橡皮管及兩端接頭，必須絕對不透氣，否則毛細管吸力水頭高度必大爲減小，又端斗下端不可留存些許小氣泡，否則結果可相差一倍以上。

根據三.6試驗結果B之圖(24)可知：

(6)毛細管濕度試驗間接可量度土壤孔隙百分率，而土壤顆粒愈小者，孔隙百分率愈大，毛細管濕度亦愈大，自A_1至A_5顆粒漸次細小，濕度漸次增加。

(7)毛細管濕度受密和濕度及氣壓性質特大，因管係開口，一端吸水，一端即行蒸發，每一次溫度結果，爲吸水速度與蒸發速度之差，故不能認爲準確。

(8)毛細管濕度試驗與吸力高度試驗大致相合，惟數值上不減正比，其原因在厚度試樣，吸力大者，吸水自多，但吸水重，之多少，則視空隙百分率之大小而定，濕度試驗等於最空隙飽和水重，與吸力高度無直接關係，是以A_2, A_5, A_6, 結果尚有不相一致之處。

(9)如三.3節所述，室外法用試管插入水中，頂有一部份水壓力存在，爲使此部分水壓力不變起見，加用一固定高度之水頭，因而本試驗土壤中之水份，不一定全部由毛細管作用而上升，至少有一部份受滲透影響。

本試驗犯錯之缺點有二：一爲試驗室中無氣壓及相對濕度表之設備，以致三.6節與，論未能應用，予試驗結果以改正。一爲試驗採用之橡皮管長度有限，長期市中無法購得更長之皮管，以致A_7, A_8, 二種試樣未能得到最後結果，僅知其毛細管吸力高度大於176公分而已。

本試驗雖未臻滿意地步，然吾人因此對於級配路基之優點，及各種土壤之毛細管性質可得一概念，美國公路局規定八種土壤專用時，僅略述及其毛細管性質，未用試驗方法，予以數字上之規定，採用本試驗之方法，似可在三.1節八種標準土壤性質表中增加毛細管吸力水頭高度之數字範圍。

五、參考書目：

(1)陳本端： 「路基排水之重要」 公路月刊第一卷第四期

(2)Armco. culvert. Manufacturers Association: Handbook of Culvert and Drainage practice 1933 p.309

(3)Lamb: Statics

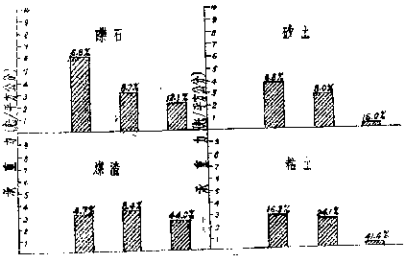
(4)W. Gehler " Hypothesen und Grundlagen fur das Schwinden und Kriecken des Betons " Die Bautechnik Jahrgang 16 Haft 10 11 Marz 1938

(5)R. C. Brown: "Note on the Energy Associated with Capillary Rise" The Proc. of the Physical Society No. 297 Vol. 53 Part 3 London May 1961

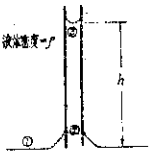
(6)Hadgman: Handbook of Chemistry and Physics.

(7)Indian Roads: No. xv April 1939

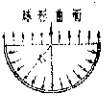
(8)Bateman: Highwey Engineering 1939



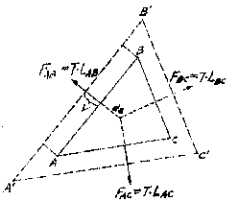
圖一：土壤水分與有效量之關係 (Harger)



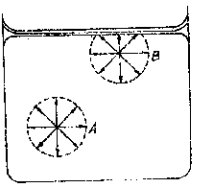
圖四



圖五

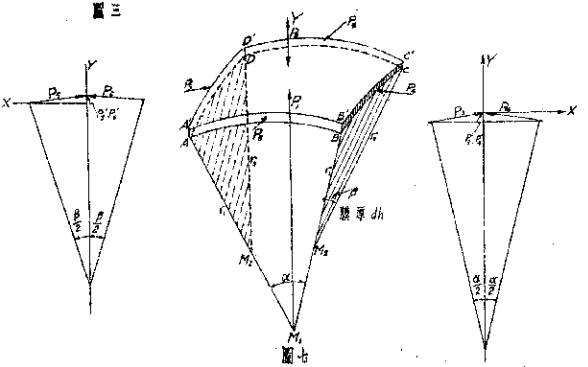


圖三

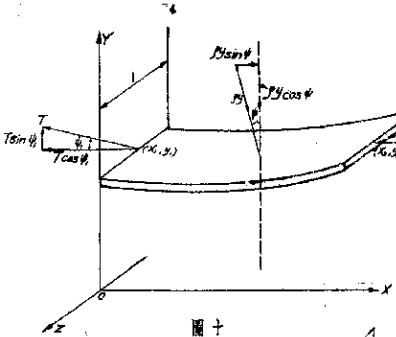


圖二

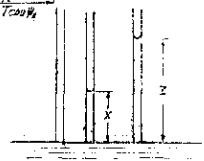
圖六



圖七



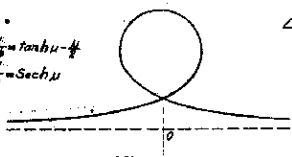
圖十



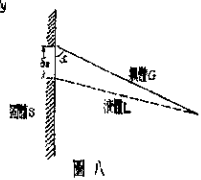
圖九

圖十一

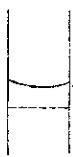
$$\begin{cases} \frac{x}{2b} = \tanh\mu - \frac{\mu}{4} \\ \frac{y}{2b} = \operatorname{Sech}\mu \end{cases}$$



圖十二



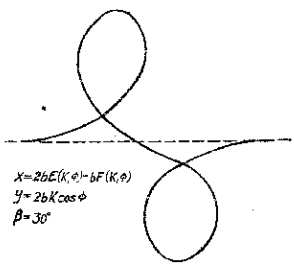
圖八



$K = \sin 75^\circ$

$$\begin{cases} \frac{x}{b} = \left(\frac{2}{K} - K\right)\int_0^\phi \frac{d\phi}{\Delta(K,\phi)} - \frac{2}{K}\int_0^\phi \Delta(K,\phi)\,d\phi \\ \frac{y}{b} = \frac{2}{K}\Delta(K,\phi) \end{cases}$$

圖十三

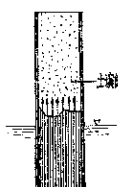


$X = 2bE(K,\phi) - bF(K,\phi)$

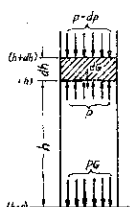
$y = 2bK\cos\phi$

$\beta = 30^\circ$

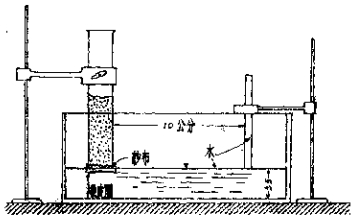
圖十四



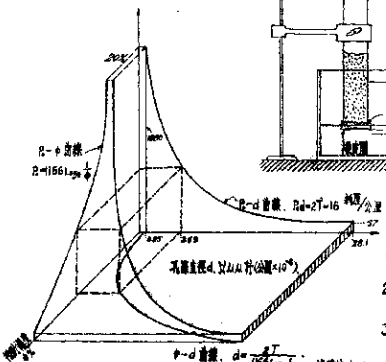
圖十七



圖十五



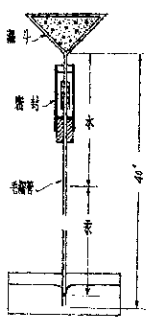
圖二十一



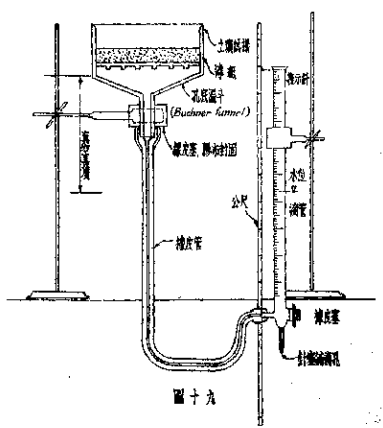
1. 大陸板岩 ($\phi=20\%$, $R_2=1880$ 噸/公里)
2. 平原黏土 ($\phi=60\%$, $R_2=595$ 噸/公里)
3. 海洋黏土 ($\phi=95\%$, $R_2=57$ 噸/公里)

理想情形 $\phi=1$, $d=\infty$, $R_2=0$.

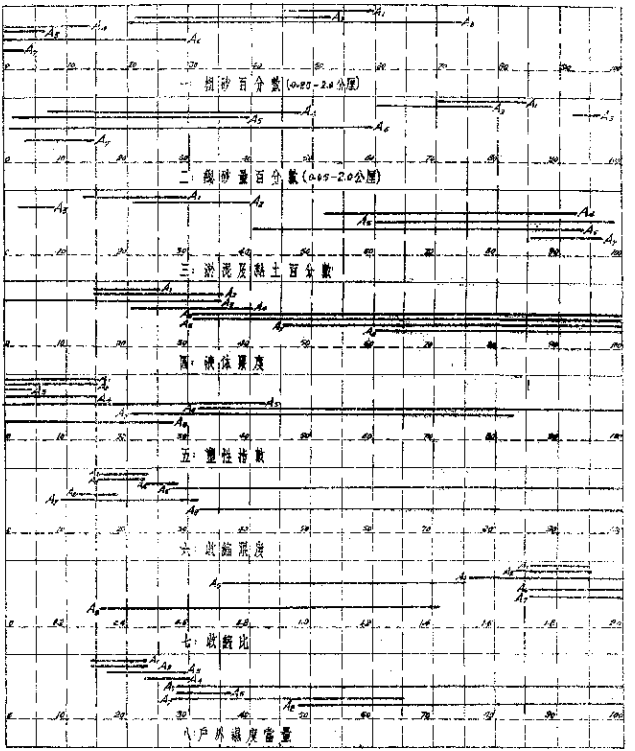
圖十六 容許張力率 R_2 (噸/公里)



圖十八



圖十九


一：粗砂百分數(0.25-2.0公厘)
二：細砂量百分數(0.05-2.0公厘)
三：淤泥及黏土百分數
四：濕條厚度
五：塑性指數
六：液體限度
七：收縮比
八：戶外濕度當量

圖二十：八類土壤性質圖

圖二十二 水母的發育

圖二十三 蝦蟹類的毛細管溫度百分率

砂土路面材料試驗報告

陳本端　王耀華

1. 引言

砂土路面，為低級路面之一種，亦為路面中之最簡單者，惟以其太簡單，一般人往往略不深心，但究其理論，頗有足述之處，此其一。更以公路路面之選擇及利用，實與整個公路經濟問題，有切膚之關係。柏油水泥路面，固為最佳之公路面，然能切合經濟條件而又可隨材料輸搭如者，方稱最宜之路面，此其二。有此二端，足見事無大小，均有其各自之立場及各自之價值也。

砂土路面之原理，早有定理，研究素者，有Dr. Strahan. 但其所述係為路上實際試驗之所得，理論尚少。溯自土壤力學演繹以來，其中可資引用於砂土路者，約有數端，例如內磨擦力理論，內聚力理論，塑性理論，富勒氏級配曲線，韋毛氏理論，衛氏密度理論等等，均是根據以為研究之張本。同時築路機械與日俱進，實助亦多，如羊蹄路輾倘能與相應併用，同時砂土配合適宜，則其結果，必能有意想不到之成績也。

2. 試驗步驟

本試驗乃以各種不同大小之砂粒與不同成份之土壤分別配合，加以試驗，以供評論之確定。今將砂粒大小，暫分為三種如下：

(一)一種尺寸之砂粒

(二)兩種尺寸之砂粒

(三)級配砂粒

以各種不同之砂料，分別與泥土配合成為各種不同之砂土混合物而試驗比較之，茲將三種砂粒成份之設計，列舉於下：

(一)一種尺寸之砂粒——作為一種最粗之砂粒，以通過20號篩而遺留40號篩者為標準。

(二)兩種尺寸之砂粒——以兩種粗細不同之砂粒配合而成，其大小暫定為較粗者以通過20號篩，遺留40號篩之砂粒，較細者則以通過40號篩，遺留在60號篩之砂粒。配合之成份，乃根據韋毛氏定理作標準之設計，今將計算公式等詳列於下：

設　D_1 =較粗砂粒直徑（公厘）　D =較細砂粒直徑（公厘）

d_0 =較粗砂粒之百份率(%)　d_a =較細砂粒之百份率(%)

韋毛氏定理之基本公式：　$\frac{D}{D_1}=\left(\frac{d_0}{d_a}\right)^{\frac{1}{3}}-1$

按現所用各號篩孔直徑為：20號篩直徑=0.84公厘，40號篩直徑=0.42公厘，60號篩直徑=0.25公厘

已知　$D_1=(0.84+0.42)\cdot\frac{1}{2}=0.63$公厘，$D=(0.42+0.25)\cdot\frac{1}{2}=0.34$公厘

假定　$d_o = 65\%$，　$d_a = X$

以各值代入公式：

$$\frac{0.34}{0.63} = \left(\frac{65}{X}\right)^{-\frac{1}{3}} \qquad \frac{65}{X} = \left(\frac{0.34+0.63}{0.63}\right)^{3} = (1.54)^{3} = 3.65 \qquad \therefore\ X = 17.8 \text{用} 20\%$$

即　$d = X = 20\%$

今　$d_o + d_a = 65 + 20 = 85$　　欲使　$d_o + d_a = 100$

乃求得　$d_o = \frac{65}{85} \times 100 = 76\%$，　$d_a = \frac{20}{85} \times 100 = 24\%$

為便利試驗計算起見，可使兩值調整為

較粗砂粒之百份率$= d_o = 70\%$，　較細砂粒之百份率$= d_a = 30\%$

)三級配砂粒——根據富勒氏曲綫之原則，暫定砂粒之最粗者以通過10號篩起，按公式分別計算，以求級配砂粒之成份，其法如下：—

級配砂粒設計：

設　X＝每種篩孔之直徑（公厘）　Y＝通過各種篩網砂粒之百份率（%）

p＝係數

拋物綫公式：　$Y^2 = pX$

若10號篩上通過之砂粒為100%，　而10號篩孔之直徑＝2.00公厘

$$\therefore\ 1 = 100 \times 100 \times \frac{1}{2.00} = 5000$$

故砂粒大小之級配成份，乃根據下列公式求之：　$Y^2 = 5000X$

以各篩孔不同之直徑數值代入上列公式，計算所得結果如下表：—

表一：砂粒級配

直徑(公厘)	篩網號數	通過百份率	遺留各篩上百份率	調整後遺留各篩上百份率
2.000	10	100	0	0
0.840	20	65	35	44
0.420	40	45	20	25
0.250	60	35	10	12
0.149	100	27	8	10
0.074	200	20	7	9
	200號以下	——	20	——
	合計		100	100

本試驗所用之紅土，以能通過100號篩者爲標準。砂土混合物之試驗，常因土質含有淤泥而所得之結果各殊。故砂土之配合，對於土質方面，亦須事先詳細加以分析。

液體限度，塑性限度，機械分析，及最好水份等各試驗之手續，已詳載本刊第一卷第一期之試驗報告中，毋容再贅。但砂土混合物中各種不同成份配合之砂土性質，應事先按步詳加試驗其原來之性質，藉以確定試驗材料之標準作爲根據。砂土之種類甚繁，雖取於一地區者，亦常因地層上下而異殊。本試驗所用之紅土，經分析其本身含有淤泥3%，是以對於與砂粒混合，所用之各種不同成份，毫無絕大影響。其後因此種紅土材料不足分配應用各項試驗，在穩定性試驗中，乃另取別一種紅土，經分析其中含有淤泥18%。惟砂土混合物中之土質成份與規定者不符，如須用10%土配合90%砂時，乃用至12%上來配合，雖不十分正確，但亦不致大謬也。

3.試驗結果

先將三種粗細不同之砂粒，及紅土等分別試驗之。但本試驗所定之（一）一種尺寸之砂粒及（二）兩種尺寸之砂粒，前者粒徑在40號篩以上，後者有40號篩以下之粒徑，佔30%；（三）級配砂粒，按級配之成份，而有40號篩以下者，亦僅佔三份之二以內。普通試驗液體限度及塑性限度，其粒徑須通過40號篩以下者，今所用之三種砂粒實無從試驗其液體限度，塑性限度及塑性指數等。其試驗紅土所得之各項結果，可參閱下表二及表三。

表二：液體限度及塑性限度

	類別	罐及濕土重量（克）	罐及乾土重量（克）	罐重（克）	淨土乾重（克）	水份重量（克）	水份百分率（%）
液體限度	第一種紅土	35.86	32.40	26.70	5.70	3.46	60.70
	第二種紅土	39.85	34.20	25.75	8.45	5.15	60.95
塑性限度	第一種紅土	29.75	28.84	26.10	2.74	0.91	33.20
	第二種紅土	30.10	28.80	25.80	3.00	1.30	43.33

表三：塑性指數

類別	液體限度	塑性限度	塑性指數
第一種紅土	60.70	33.20	27.50
第二種紅土	60.95	43.33	17.62

（一）一種尺寸之砂粒

以此種砂粒爲標準，與各種不同成份之紅土與砂粒配合，要超過二比一之成份，才可試驗得有結果。故表四下前列兩種所得結果爲零。

表四：液體限度及塑性限度

	類別	罐及濕土重量（克）	罐及乾土重量（克）	罐重（克）	乾土重量（克）	水份重量（克）	水份百分率（%）
液體限度	10%土 90%砂	38.65	36.85	26.63	10.22	1.80	17.61
	20%土 80%砂	39.80	37.05	25.85	11.20	2.75	24.55
	30%土 70%砂	64.90	59.99	43.56	16.42	4.91	29.88
	40%土 60%砂	41.16	37.25	26.16	11.09	3.91	35.25
	50%土 50%砂	41.66	37.16	25.76	11.40	4.50	39.47
塑性限度	10%土 90%砂	—	—	—	—	—	—
	20%土 80%砂	—	—	—	—	—	—
	30%土 70%砂	49.44	48.59	43.50	5.09	0.85	16.69
	40%土 60%砂	31.51	30.64	26.16	4.48	0.87	19.42
	50%土 50%砂	31.95	30.87	26.56	4.31	1.08	25.06

表五：塑性指數

類別	液體限度	塑性限度	塑性指數
10%土 90%砂	17.61	0	0
20%土 80%砂	24.55	0	0
30%土 70%砂	29.88	16.69	13.19
40%土 60%砂	35.25	19.42	15.83
50%土 50%砂	39.47	25.06	14.41

表六：機械分析

類別	10%土 90%砂		20%土 80%砂		30%土 70%砂		40%土 60%砂		50%土 50%砂	
篩號	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率
20	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
40	10	90	20	80	30	70	40	60	50	50
60	10	0	20	0	30	0	40	0	50	0
100	10	0	20	0	30	0	40	0	50	0
200	7.2	2.8	11.4	5.6	21.6	8.4	28.8	11.2	36	14

表七：最好水份

類別	混和水份(%)	鐵重(克)	鐵及濕土重量(克)	鐵及乾土重量(克)	乾土重量(克)	水份重量(克)	濕份(%)
10%土 90%砂	18	43.45	87.95	80.35	36.90	7.60	20.51
	20	48.28	93.00	85.29	37.01	7.71	20.83
	25	46.20	92.11	83.59	37.39	8.52	20.78
	30	43.47	87.93	79.60	36.13	8.33	23.05
20%土 80%砂	15	25.70	71.50	64.40	38.70	7.10	18.35
	20	26.41	75.48	65.48	39.07	8.00	20.48
	25	26.15	74.01	65.83	39.68	8.18	20.86
	30	26.54	70.00	64.75	38.21	8.25	21.59
30%土 70%砂	20	25.97	73.56	65.67	39.70	7.89	18.10
	25	25.74	73.34	65.70	39.96	7.64	19.12
	30	26.00	73.83	65.90	39.90	7.93	19.87
	35	43.81	91.20	82.69	38.88	8.51	21.89
40%土 60%砂	20	26.75	74.00	66.00	39.25	8.00	20.28
	25	26.19	75.30	66.80	40.61	8.50	20.93
	30	26.16	75.16	66.60	40.46	8.55	21.11
	35	27.00	74.25	65.45	38.45	8.80	22.89
50%土 50%砂	18	26.90	73.10	63.85	36.95	9.25	25.03
	20	26.25	73.20	63.35	37.10	9.85	26.55
	25	26.45	71.40	61.30	34.85	10.10	28.98
	30	25.75	69.95	60.01	34.26	9.94	29.01

註：以上各試模皆用同一之體積，便利計算各個濕份，試模直徑為2.5公分，高度4.8公分，體積為21.07立方公分，受132公斤／平方公分壓力而成圓柱形。

按表六所測之結果，描成曲線，在圖上求得各種之最好水份及密度。參看圖三至圖六以表七所測之最好水份為標準，作穩定性之試驗。

表八：穩定性及密度

類別	最好水份(%)	混合物面積(平方英寸)	壓力(磅)	穩定性(磅／平方英寸)	密度(克／立方公分)(由圖上曲線求得)
10%土，90%砂	21.7	14.85	30000	2020.20	1.79
20%土，80%砂	20.0	,,	44000	2962.96	1.88
30%土，70%砂	19.4	,,	47000	3164.98	1.89
40%土，60%砂	21.4	,,	17500	1179.12	1.93
50%土，50%砂	25.9	,,	——	——	1.76

穩定性試驗乃用一圓鐵圈（直徑11.0公分，深度4.4公分）墊一鐵片在其下。鐵片中心穿一圓孔（直徑2.5公分），上舖薄紙以免混合物漏出。鐵圈中滿盛配好之混合物，上舖一圓形鐵片，使所受之壓力平均。經壓力機自鐵片上壓至混合物由鐵圈下墊之鐵片小孔上衝出，同時記錄所受之壓力。以試模之面積除之，乃求得其每平方公分所能承受若干公斤

壓力之穩定性。此試驗所用之儀器等，可參看圖一。

圖一中各直線，乃根據試驗所得由表五之結果，用最相近似之值繪畫而成。各種限度及指數之趨向，從圖中觀察得明含土量愈多，其數值愈大。

在圖二至三中之各曲線說明，凡砂土混合物之最好水份，其所混合之濕份過多或過小時，其密度之遞降或同樣之趨向，亦自濕份與密度成正比例達至一定之限度時，以後則爲反比例之趨向。

（二）兩種尺寸之砂粒

從表九與表四比較，證明在混合物中較細之粒類所佔之成份多寡，而液體限度及塑性限度亦隨之成正比例。

表九：液體限度及塑性限度

類別		罐及濕土重量（克）	罐及乾土重量（克）	罐重（克）	乾土重量（克）	水份重量（克）	水份百分率（%）
液體限度	10%土，90%砂	37.76	35.70	26.44	9.26	2.06	22.25
	20%土，80%砂	40.80	37.90	26.00	11.90	2.90	24.37
	30%土，70%砂	51.13	47.30	34.60	12.70	3.83	30.16
	40%土，60%砂	59.82	55.50	43.63	11.87	4.32	36.39
	50%土，50%砂	66.88	61.48	48.12	13.36	5.40	40.42
塑性限度	10%土，90%砂	——	——	——	——	——	0
	20%土，80%砂	——	——	——	——	——	0
	30%土，70%砂	54.20	53.45	49.00	4.45	0.75	16.85
	40%土，60%砂	50.70	49.56	44.38	5.18	1.14	22.01
	50%土，50%砂	53.28	52.00	46.30	5.70	1.28	22.46

表十：塑性指數

類別	液體限度	塑性限度	塑性指數
10%土，90%砂	22.25	0	0
20%土，80%砂	24.37	0	0
30%土，70%砂	30.16	16.85	13.31
40%土，60%砂	36.39	22.01	14.38
50%土，50%砂	40.42	22.46	17.96

表十一：機械分析

類別	10%土 90%砂		20%土 80%砂		30%土 70%砂		40%土 60%砂		50%土 50%砂	
篩號	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率
20	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
40	37	63	44	56	51	49	58	42	65	35
60	10	27	20	24	30	21	40	18	50	15
100	10	0	20	0	30	0	40	0	50	0
200	7.2	2.8	14.4	5.6	21.6	8.4	28.8	11.2	36	14

表十二：最好水份

類別	混和水份（%）	試模體積（立方公分）	罐重（克）	罐及濕土重量（克）	罐及乾土重量（克）	乾土重量（克）	水份重量（克）	濕份（%）
10%土 90%砂	18	21.07	26.48	70.00	62.50	36.02	7.50	20.82
	20	,,	26.13	71.50	63.50	37.37	8.00	21.14
	25	,,	26.00	70.60	62.60	36.61	8.00	21.86
	30	,,	25.81	71.00	61.90	36.10	9.10	25.21
20%土 80%砂	20	,,	26.05	73.36	64.80	38.75	8.56	22.09
	25	,,	26.70	74.54	65.82	39.12	8.72	22.29
	30	,,	25.90	73.20	64.70	38.80	8.50	21.91
	35	,,	49.24	96.25	88.15	38.91	8.10	20.82
30%土 70%砂	10	,,	44.40	80.28	84.28	39.88	6.00	15.05
	14	,,	44.38	92.50	84.82	40.44	7.68	18.99
	16	,,	44.35	92.80	85.40	41.05	7.40	18.03
	18	,,	45.00	93.30	85.20	40.20	8.10	20.15
	20	,,	43.42	90.90	82.30	38.88	8.60	22.12
	25	,,	44.60	92.50	84.25	39.65	8.25	20.81
	30	,,	44.38	91.97	83.46	39.08	8.51	21.78
40%土 60%砂	14	,,	46.24	92.72	86.24	40.00	6.48	16.20
	18	,,	45.61	92.10	83.40	38.39	8.70	22.66
	20	,,	44.39	93.44	85.99	41.60	7.45	17.90
	30	,,	43.59	92.65	84.40	40.81	8.25	22.16
50%土 50%砂	8	,,	43.45	87.53	82.10	38.75	3.43	14.05
	12	,,	26.80	74.16	66.61	40.01	7.55	18.87
	16	,,	46.29	93.30	84.61	38.32	8.69	22.68
	18	,,	26.60	72.30	62.27	35.67	10.03	28.12
	20	,,	26.05	71.77	61.50	35.45	10.27	28.97

表十三：穩定性及密度

類別	最好水份（%）	混合物面積（平方英寸）	壓力（磅）	穩定性（磅／平方英寸）	密度（克／平方英寸）（由圖十曲線查得）
10%土，90%砂	22.70	14.85	25000	2356.90	1.81
20%土，80%砂	22.00	,,	39000	2626.26	1.85
30%土，70%砂	18.00	,,	36000	2356.90	1.94
40%土，60%砂	18.60	,,	21000	1414.14	1.95
50%土，50%砂	18.00	,,	——	——	1.89

（三）級配砂粒

欲求級配砂粒之塑性指數，每一不同成份之砂土混合物，用其通過40號篩者，作液體限度及塑性限度之試驗，其他試驗仍照計算規定配合成份之標準試驗之。

表十四：液體限度及塑性限度

類別		罐及濕土重量（克）	罐及乾土重量（克）	罐重（克）	乾土重量（克）	水份重量（克）	水份百分率（%）
液體限度	10%土，90%砂	69.38	64.88	48.11	16.77	4.50	26.83
	20%土，80%砂	60.70	56.79	44.40	12.39	4.00	32.29
	30%土，70%砂	67.02	61.20	46.29	14.91	5.82	39.03
	40%土，60%砂	68.30	61.00	44.38	16.62	7.30	43.92
	50%土，50%砂	42.99	37.63	26 70	10.93	5.36	49.04
塑性限度	10%土，90%砂	47.11	46.59	44.41	2.18	0.52	23.85
	20%土，80%砂	49.60	48.35	43.42	4.93	1.25	25.36
	30%土，70%砂	47.58	46.51	43.25	3.26	1.07	32.82
	40%土，60%砂	50.54	48.95	43.75	5.20	1 59	30.58
	50%土，50%砂	49.71	48.43	44.80	3.63	1.28	35.26

表十五：塑性指數

類別	液體限度	塑性限度	塑性指數
10%土，90%砂	26.83	23.85	2 98
20%土，80%砂	32.29	25.35	6.94
30%土，70%砂	39.03	32.82	6.21
40%土，60%砂	43.92	30.58	13.34
50%土，50%砂	49.04	35.26	13.78

表十六：機械分析

類別	10%土 90%砂		20%土 80%砂		30%土 70%砂		40%土 60%砂		50%土 50%砂	
篩號	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率	通過百分率	遺留每篩百分率
20	60.4	39.6	64.8	35.2	69.2	30.8	73.6	26.4	78.0	22.0
40	37.9	22.5	44.8	20.0	51.7	17.5	58 6	15.0	65.5	12.5
60	27.1	10.8	35.2	9.6	43.3	8.4	51.4	7.0	59.5	6.0
100	18.1	9.0	27.2	8.0	36.3	7.0	45.4	6.0	54.5	5.0
200	7.2	10.9	14.4	12.8	21.6	14.7	28.8	16.6	36.0	18.5

表十七：最好水份

類別	混和水份（%）	試模體積（立方公分）	罐重（克）	罐及濕土重量（克）	罐及乾土重量（克）	乾土重量（克）	水份重量（克）	濕份（%）
10%土 90%砂	14	21.07	26.60	72.01	65.33	38.73	6.68	17.25
	16	,,	25.78	72.68	65.45	39.67	7.23	18.23
	18	,,	26.70	71.70	64.20	37.50	7.50	20.00
	20	,,	26.47	72.50	65.25	38.78	7.25	18.70
	25	,,	26.01	71.38	63.70	37.69	7.68	20.38

20%土 80%砂	8	,,	45.01	90.00	85.11	40.10	4.89	12.19
	12	,,	43.45	90.90	84.25	41.80	6.65	15.91
	14	,,	49.18	97.70	90.35	41.17	7.35	17.85
	16	,,	44.40	92.80	85.00	40.60	7.80	19.21
	18	,,	44.92	92.50	84.35	39.43	8.23	20.87
	20	,,	43.45	91.21	82.90	39.45	8.30	21.04
30%土 70%砂	10	,,	46.29	93.91	87.59	41.34	6.32	15.29
	12	,,	25.78	74.46	67.45	41.67	7.01	16.82
	14	,,	45.01	94.61	87.50	42.49	7.11	16.73
	16	,,	46.29	95.21	87.49	41.20	7.72	18.74
	18	,,	49.18	96.35	88.01	38.83	8.34	21.48
40%土 60%砂	10	,,	44.40	91.90	85.45	41.05	6.45	15.71
	12	,,	26.01	74.54	67.20	41.19	7.34	17.82
	14	,,	26.47	75.58	67.70	41.23	7.88	19.11
	16	,,	26.70	74.50	65.80	39.10	8.70	22.25
	18	,,	26.01	73.03	63.81	37.80	9.22	24.39
50%土 50%砂	8	,,	26.47	71.40	65.81	39.34	5.59	14.21
	10	,,	26.70	73.81	67.19	40.49	6.62	16.35
	12	,,	48.11	93.30	88.55	40.24	7.75	19.16
	14	,,	49.99	98.05	89.66	39.67	8.39	21.15
	16	,,	43.80	91.34	82.40	38.60	8.94	23.16
	18	,,	43.50	90.10	80.63	37.03	9.47	25.57

表十八：穩定性及密度

類別	最好水份（%）	混合物面積（平方英吋）	耶力（磅）	穩定性（磅／平方英吋）	密度（克／平方公分）（由圖上曲線求得）
10%土，90%砂	18.0	14.85	47000	3164.98	1.89
20%土，80%砂	16.0	,,	40000	2693.60	1.97
30%土，70%砂	17.0	,,	20000	1346.80	2.00
40%土，60%砂	17.8	,,	15000	1010.10	1.97
50%土，50%砂	17.8	,,	----	—	1.92

砂土混合物中，砂粒之粗細及所佔之成份多寡，影響其密度之大小甚重。蓋砂粒太粗，或土壤顆粒太細，混合之後，因顆粒大小之懸殊，其中空隙得不到適當細細之顆粒填充之。如級配砂粒乃有適當粗細之顆粒配合，故與土壤混合後，其密度甚爲優良，參看圖二十一中，三種曲線之比較，可以證明。同時各種砂粒與不同成份之土壤混合，其密度亦各異。根據圖上之三種曲線，證明砂土混合物中，含土量過多或太小均不適宜，大概在20%至40%間之含土量，爲最適合。其含土量甚干，與各種砂料配合後，所得之最大重量如何，亦可在圖上同時檢查得其差異之比較。

4. 討論事項

（一）塑性指數：

由本試驗結果而觀，所有三種砂料，其塑性指數均爲零數，可見砂料毫無粘性。一種

尺寸之砂料加拌泥土至20%，仍難得到其指數，如表五所示者然。加至30%之時，指數得13.19，40%時得15.83，50%時得14.41，此種趨向，在圖一中，可以看出，證有不合之點。按其所繪之曲線，加30%泥土，其指數當在17左右也。兩種尺寸之砂料，亦有相同之現象，參閱表十及圖八，其指數當值，在加拌30%泥土，其指數約爲13，40%時約爲14，50%時約爲18左右。至級配砂料之塑性指數，雖亦爲零，但加泥土之後，有顯著不同之點。由表十五所示，加拌10%泥土，其指數爲2.98，30%泥土時，則爲6.2，40%泥土時則爲13.3，50泥土時，則爲13.8。然繪成合理之曲線，其指數亦略有應加改正之處，茲列之於下：—

表十九：各種砂料加拌泥土後塑性指數更正表

砂料 / 泥土成份	一種尺寸砂料	兩種尺寸砂料	級配砂料
10%	——	——	2.8
20%	——	——	5.6
30%	12	11	8.4
40%	14	16	11.2
50%	17	19	14.1

由表十九所列，可以知砂料中所含顆粒之尺寸，對於加拌泥土後所得之塑性指數，有密切之關係。其尺寸種類愈多，雖泥土成份相同，但其指數乃愈小。例如有某某地方，修築砂土路面，有砂料三種，一爲一種尺寸者，一爲兩種尺寸者，一爲配級尺寸者。倘此三種砂料，均加拌30%之泥土修築而成，在多雨之季，第一種當最爲泥濘，第二種次之，第三種必又次之。故由塑性指數之立場正觀，砂料之選擇，當以有級配者爲最佳，而在多雨之區尤爲重要。若一種尺寸或兩種尺寸而無級配之砂料，在少雨或乾燥風城，雖勉強應用，惟稍具級配之性，或稍突破優良。

（二）最大密度：

各種不同性質之土壤，各有其不同之最大密度，欲得其各自不同之最大密度，必須求出其各自不同之最好水份。砂土混合物之最好水份，由本試驗所知，當在16%至25%之間（請參閱最好水份之各種圖表），其所得最大之密度，列之於下：

（甲）一種尺寸砂料（約40%泥土）……1.93克／立方公分（合122磅／立方尺）

（乙）兩種尺寸砂料（約40%泥土）……1.95克／立方公分（合124磅／立方尺）

（丙）級配砂料（約30%泥土）……2.00克／立方公分（合127磅／立方尺）

由上列而觀，可以證明：砂土混合物中之顆粒種類愈多，則其所得之密度爲愈大，富勒氏及韋毛氏之理論，至爲確實。

（三）含土量：

砂料摻拌泥土，若以最大密度爲目標，其含土量頗有重要性。由本試驗之結果而觀之，每種混合物，有其各自之最佳含土量。自圖二十一上加以檢查，可得下列之結果：

（甲）一種尺寸砂料之最佳含土量……38%

（乙）兩種尺寸砂料之最佳含土量……38%

（丙）級配砂料之最佳含土量……27%

由上列各種砂料之最佳含土量，可以看出，砂料顆粒細之配合，與含土量之多寡，有密切之關係。換而言之，砂土混合物，其級配程度與含土量成反比例，級配愈佳，則最佳含土量愈小，級配愈劣，則其最佳之含土量愈高。但砂土混合物之配合設計，最佳含土量，雖其重要，然仍須有穩定之能力，方足以應付車輛之行駛，而保路面之安全。

（四）穩定性：

每種砂土混合物，得到最大穩定性之時，其含土量較之在最大密度時略低。在第二十三圖中，可以看出，一種尺寸砂料最大穩定性時之含土量約爲10%，兩種尺寸砂料最大穩定性時之含土量約爲20%，級配砂料最大穩定性時之含土量約爲30%。由此可見，欲求最大之穩定性，砂料級配愈佳，則所需含土量愈高。故設計砂土路面材料之配合，其含土量之多寡，必須能夠適合密度及穩定性之條件也。

（五）Dr. Strahan所定砂土混合成份之比較：

Dr. Strahan爲美國研究砂土路面之有成績者，茲按照彼所定之成份，加以實驗而資比較。但其所定砂料顆粒在第六十號篩以上者，有一適當等級之配合，而含土量亦有一定之成份，茲錄列於下：—

材料	硬性者	中性者	軟性者
泥土%	10至15	10至25	10至25
淤泥%	5至15	5至20	5至20
其有砂料%	70至80	60至80	55至80
遺留六十號篩上砂料%	45至60	30至60	20至60

由上表而觀，其所分之硬性，中性及軟性三種，猶如塑性指數之規定。硬性者輝砂多而泥土少，其指數必低，是適於多雨之區域。中性者鎮砂及泥土差較多，其指數亦必略高，是適於少雨區域。軟性者粗砂最少而含土量最大，其塑性指數爲最高，是適宜於乾燥區域。Dr. Strahan雖未能確論三種含土量不同之原因，但其用意，當不外乎以雨量爲根據。而砂料顆粒之分配，亦係按照密度爲張本，但未能伸論最大密度之原理，以定其成份。至砂土混合體之穩定性，則毫未提及，內摩擦力理論亦未引用，似爲最大之缺點也。

（六）結論：

本篇報告之試驗，自始至終，所用時間，約三月有餘，因研究時間之短促，一切不免有簡陋疏忽之處。但就砂土路面材料配合之理論，已能有所根據，而定其大致之規則。總之，砂土路面，雖爲路面中最簡單之一種，但一切原理與高級路面，幷無差別。其最要之因素，不外下列數種：—

（甲）最大之密度

（乙）適宜之塑性指數

（丙）適宜之含土量

（丁）最好之水份

（戊）最佳之穩定性

但砂料之成份，各地不同，利用當地材料，實係經濟之上策。倘能製成級配之程度，固屬至佳，否則因地制宜，就而採用，亦無不可，但須合乎上述五種之條件，方能維持路面之穩妥。本試驗之結果，雖未能即據以而下斷語，但就各種結果之情形，亦可得一端焉之定論，惟是否適當，尚須有待實地試驗之證明；茲先將大概情形，暫列下表，聊供研究而已。

區域性質	砂料性質	塑性指數 磅	最小穩定性	最小密度 磅／立方尺	最好水份 %	泥土成份 %	砂料成份 %
多雨	一種尺寸者	0至3	20,000	100	21±	10至20	90至80
	兩種尺寸者	,,	,,	110	20±	10至20	90至80
	級配者	,,	,,	120	19±	5至15	95至85
少雨	一種尺寸者	3至9	,,	100	20±	20至30	80至70
	兩種尺寸者	,,	,,	110	19±	20至30	80至70
	級配者	,,	,,	120	18±	10至25	90至75
乾燥	一種尺寸者	9至15	,,	100	20±	30至40	70至60
	兩種尺寸者	,,	,,	110	18±	30至40	70至60
	級配者	,,	,,	120	17±	20至30	80至70

上表所列，係就本試驗所用材料而言，其中泥土，關係最巨，泥土性質各異，其結果自然不同。本試驗採用之泥土，其塑性指數僅27.5，大約指數在30左右者，該無大差。若較粘之泥土，其指數往往有大至六七十者，則泥土成份，勢須減低，此無庸諱言者也。是以砂土路面材料之配合，尚須加以進一步之試驗，俟有結果，當續在本刊發表，以供研究。

西南公路改良路面設計報告

陳 本 端

（一）引言：

本年四月初間，西南公路管理處第平昆段工程處毛石砌築工程司來室商討改良該段路面工程計劃。據謂該段交通每日有車輛三百餘輛，普有碎石路面，難以維持，雖曾盡最大之努力，以事修養，然隨養隨壞，情況憂慮，嚴重缺乏材料，代爲計劃，并送來碎石，泥土及礫石各若干，以備試驗。本室當以路面設計，原爲本年度工作之計劃，遂允以先就四月以來實驗之所得，代爲設計。該段對於工作之熱心，而能使實地與理論，併而檢討，允爲本室最所歡迎，不但本室之實驗，得有實際研究之機會，尤有重大之意義，此當表示感謝者也。

（二）設計之張本

本室接受委托之後，即積極代爲實驗，當以該段交通，至爲繁重，普通之泥結碎石路面，自難維持。若在歐美，必當早已採用柏油處治之方法，但自我經濟情形之下，勢難採效。若僅就當地砂石泥土材料，進行設計，其結果雖不能與柏油相比擬，然處治得宜，養路得法，似亦不難維持目前之交通。本室認爲最有可能之方法，莫過於級配石子之路面。但究竟能否維持此三百餘輛之交通，尚難預料。惟爲試驗起見，乃決定採用此種路面之建築法，以應平昆段工程處之委托。此外普有路面，雖未能完全鋪設，亦擬設計一級配之砂石面層，拌以石灰及泥土，以資磨擦之面，其意乃自除離車輪與碎石面接之接觸，而避免震動石層之害，此種面層，經車輛行駛之後，雖難免有消蝕之弊，但僅隨時修養，使其永供磨擦之用，似亦可減輕養路工作。故擬分而加以試驗。

（三）級配石子路面之設計：

平昆段送來之礫石及泥土，極合級配石子路面之用，計有礫石一種，爲當地河中所取出，離點在641公里處，其中雜含有卵石，粗砂，細砂，淤土及土泥諸類，惟細料過少，級配不足，須摻細礫，方能合用，紅礫既即山原產礫石，用四號篩（篩孔4.7公厘）篩出而加以利用，此兩種材料配合之後，再加以相當數量之泥土及石灰，用水拌勻，加以壓緊，必可成一較佳之路面，茲將各種材料之機械分析，列如表一。

觀乎表一之分析，必須利用此三種材料，方能爲級配石子路面之用，此三種材料之混合，完全依據最大密度，最大剪力及最適塑性指數，均爲設計之張本。欲求最大之密度，其分析實驗之結果，須能近乎富勒氏理想之曲線，最大之剪力須配合適宜之礫砂及適宜之黏土以雜成堅全路面之情適。塑性指數之選擇，對於天氣最爲重要。雲南雨量頗多，但每年平均，仍不能視爲多雨之區，故深用塑性指數自以中等爲宜，經研究之後，其塑性指數，以在三至九之間者，較爲適合，此次擬加試驗之路面，雖僅爲級配石子，但爲精確起見，再區分爲三種，第一種爲級配石子路面加石灰百分之十，第二種加石灰百分之五，第三種爲不加石灰者，此三種路面，均厚十公分，各寬五公尺，總長100公尺。

上列三種級配石子路面，其材料之配合，大同而小異，但其設計之理，均須合乎級配

之標準，而使其有最大之密度。更須使其有適宜之塑性指數，以應付海地之氣候。惟以泥土雖富稀天之黏結力，然亦化性亦復不易，倘車輛較多之地，深恐輾壓水浸路面，頗易減低其穩定之性，故以加拌石灰，乃以抵抗水之為害，而保護路身之健全。由昨本年四月來試驗之結果，百分之十之石灰，似為最適當之成份，但石灰市價，每百斤自六元至八元不等，負担亦復不輕，若能減至百分之五，則雖價可以減低不少，然平見發每日交通，有三百餘輛之多，能否應付，必須實地試驗，方能決定，故建築三種不同之級配石子路面，是為事實之需要，茲分別設計如下：—

（甲）加百分之十石灰之級配石子路面：

利用表一各種材料，加以配合，以成級配之程度，而適宜百分之十之石灰量，其設計結果，列入表二。

由上表之設計，證諸理論，已合級配之標準，惟塑性指數，仍稍嫌大，調整之法，雖可拌入較多之泥料，其指數自可減小。但為顧及維持之量交通起見，可以利用石灰，以減小其指數，非可增強泥土之黏結力，如此雖便費用增加，但結果必能優良，採用百分之十（10%）之石灰穩定之後，其塑性指數，經實驗後，得6.9 强，已合規定之數值。

（乙）加百分之五石灰之級配石子路面：

利用同樣材料，加以配合，以成級配之程度，而適宜百分之五之石灰量，其設計結果，列入表二。

按照上表之設計，其塑性指數為11.7，加5%石灰，其指數為7.7。

（丙）不加石灰之級配石子路面：

利用同樣材料，不加石灰，而成級配之程度，并得適宜之塑性指數，其設計結果，列入表二。

上述（甲）（乙）（丙）三種級配石子之成份，既已決定，其次問題，為求各種路成材料之最好水份，俾適合運壓而得最大之密度。茲將結果列於表三，由表三之結果，繪而曲線圖。

表一：礫石及泥土機械分析試驗表

樣品	篩號	1½"	3"	1/4"	4號	10號	40號	200號	塑性指數
原礫石料	透過百分率	100	100	58.7	36.8	22.2	8.6	0.3	0
篩後細礫	透過百分率	100	100	100	94.6	68.5	22.6	0.6	0
泥土	透過百分率	100	100	100	100	100	94.5	59.3	31.9

表二：路面材料級配成份表

種類	篩號 / 材料	1½"	1"	1/4"	4號	10號	40號	200號	塑性指數
第一	粗礫50%	50	50	29.3	18.4	11.1	1.8	0.15	0
	細礫50%	50	50	50	47.3	34.2	11.3	0.30	0
	泥土15%	15	15	10	15	15	14.2	8.86	36.9

種									
	共 115%	115	115	94.3	80.7	60.3	27.3	9.3	——
	折合100%	100	100	82.0	70.1	52.4	23.7	8.1	10.6
第二種	粗礫40%	40	40	23.5	14.7	8.9	1.4	0.1	0
	細礫50%	50	60	60	56.8	41.1	13.6	0.4	0
	泥土10%	10	10	10	10	10	9.1	6.0	31.9
	共 110%	110	110	93.5	81.5	60.0	24.1	6.5	——
	折合100%	100	100	85	74	54.5	22.1	5.9	11.7
第三種	粗礫30%	30	30	17.6	11.0	6.7	1.1	0.1	0
	細礫70%	70	70	70	66.2	47.9	15.8	0.4	0
	泥土5%	5	5	5	5	5	4.7	3.0	31.9
	共 105%	105	105	92.6	82.2	59.6	21.6	3.5	——
	折合100%	100	100	84.0	78.2	56.7	20.5	3.3	8.4

表三：最好水份試驗表

種類	加入水量 (c.c.)	濕土及鐵筒之重量(公斤)	鐵筒重量(公斤)	鐵筒中濕土之重量(公斤)	殘盒及濕土之重量(克)	殘盒重量(克)	殘盒及乾土之重量(克)	水份重量(克)	乾土重量(克)	水份之百分率%	每立方尺乾土重量lbs
第一種路面	600	7.15	1.25	5.90	258.09	44.41	234.55	23.54	190.14	12.36	116
	800	7.35	,,	6.10	225.50	44.43	204.8	21.70	160.37	13.54	119
	900	7.55	,,	6.30	249.60	49.40	226.50	23.10	177.10	13.62	123
	1000	7.60	,,	6.35	243.75	43.25	216.10	27.64	172.85	16.00	122
	1100	7.55	,,	6.30	258.40	43.75	226.00	32.40	182.25	17.75	119
第二種路面	450	6.8	,,	5.55	238.73	45.02	224.23	14.50	179.21	8.1	113
	600	7.2	,,	5.95	206.20	43.42	192.75	13.45	149.33	9.0	120
	750	7.3	,,	6.05	159.43	48.35	147.35	12.05	99.00	12.1	119
	900	7.3	,,	6.05	219.50	48.30	200.37	19.13	154.07	12.4	118
第三種路面	200	6.70	,,	5.45	186.00	48.35	177.15	8.85	128.80	6.9	112
	300	6.85	,,	5.60	184.05	43.42	174.50	9.45	131.08	7.2	115
	400	7.10	,,	5.85	174.20	45.02	163.88	10.32	118.86	8.7	118
	500	7.45	,,	6.20	149.30	46.30	139.47	9.83	93.17	10.6	123
	600	7.40	,,	6.15	187.55	44.80	173.35	14.2	128.55	11.2	122

（四）材料成份之容量換算：—

各種材料配合之成份，在實驗室中，均以重量為根據。但在施工之時，大量配合，則以容量為較便。依在實驗得有結果之後，須由重量換算容量也。按前述所述之細礫容量每立方呎重一百一十二磅，細礫每立方呎重九十七磅，泥土每立方呎重七十三磅，石灰每立方呎重四十磅，根據此種重量，按照前第三種路面材料之成份，計算結果如下：—

（甲）第一種路面材料配合成份：

第一種路面材料成份，以重量計，為粗礫50%，細礫50%泥土15%及石灰10%（石灰成份係以透過四十號篩之細料為根據）。若以容量換算，其比率為1比2比3，即一份泥土，兩份粗礫，及三份細礫，另加石灰 0.5份也。

（乙）第二種路面材料成份：

第二種路面材料成份，以重量計，爲粗礫40％，細礫60，泥土10％及石灰 5％。若以容量換算，其比率爲 1比2比4，卽一份泥土，兩份粗礫，四份細礫，另加石灰 $\frac{1}{8}$ 份也。

（丙）第三種路面材料配合成份：

第三種路面材料成份，以重量計，爲粗礫80％，細礫70％，泥土10％及石灰 5％。若以重量換算，其比率爲 1比3比9，卽一份泥土，三份粗礫及九份細礫也。

（五）級配石子路面施工之簡述：—

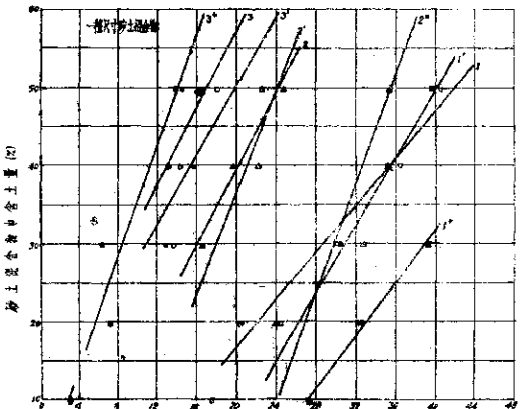
建築之步驟，須先在路基之上，挖槽深十五公分，槽底和具路拱形狀。路拱和採A一字式，不用拋物線式，其比率爲一比二十，路槽既已挖成，然後將配合材料置於其中，用人工拌合均勻，再按照規定灑以水份，拌而合之，俟水份調合及拌勻均勻後，分佈於路槽之中。其穩厚約爲十五公分，但厚度須均勻一樣，然後利用工人以脚踏質鬆料，轉代平踏路穩，路實之後，再用運貨卡車裝碎石，和用輪壓，以壓實之，俟路面不顯鬆深之輪跡（約 $\frac{1}{4}$ 時），然後再用五噸路滾（該段現只有三噸者一具）滾壓平整，俟壓實厚度十公分，卽告完成。完工之後，路面之上，用水噴濕，至少三日，始可開放交通。

（六）舊碎石路鋪築級配材料磨擦層設計：

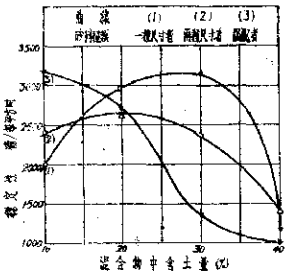
本見段工程處對於級配石子路面，其感興趣，惟以所轄路線縱長，粗礫十公分級配石子路面，雖屬可能，但倘能在舊有碎石路上，設法加鋪耐久材料一層層，維持交通，而使養路工作，較目前略爲減少，亦屬經濟，而值採用，據該工程處第三分段段長夏君孫丁見告，目前該段養路工作，異常繁重，每月翻修路面上原材料，灌漿接壓後，只能維持一月之時間，卽完全相等，倘能設計較佳材料一層層，鋪於舊路之上，面能維持稍長之時間，則不僅在費用方面可節省，卽負責養路之工程人員，在工作方面，亦可有從容之環境。觀此情形，目前各公路養路工程司，對於工作之憂煩，可見一般矣，本室根據此種動由，擬代設計級配材料礫擦層，鋪於舊路之上，約厚 2.5公分，以資試驗。倘能結果滿意，則該段養路工作之煩擾，可以減輕。其種磨擦層之材料，仍取之於碎石，但須有粗礫，須經過兩種篩析，然後加以配合而成一級配之材料。兩種篩析，一用四號篩出細礫 一用 $\frac{1}{4}$ 時篩，篩出中礫，利用此中礫及細礫，再加相當之泥土，和水壓實於舊路之上，以應付車輛之行駛。但此種辦法，事屬初創，能否滿意，還不敢必，但可以斷言者，如能適時加以養護，或能較目前之路面爲佳。茲爲試驗起見，此種磨擦層，亦分爲三種，一爲加10％石灰者，一爲加 5％石灰者，一爲不加石灰者，茲將各種之設計，列如下：—

表四：中礫及細礫顆粒大小分析表

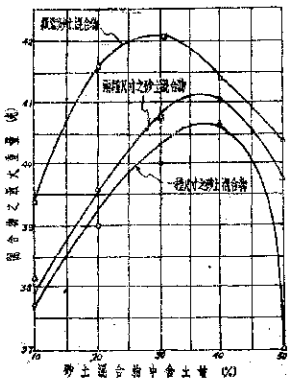
篩 / 材料 / 號	1 1/2"	1"	1/4"	4號	10號	40號	200號
中礫	100	100	100	47.7	25.9	5.1	0.6
細礫	100	100	100	94.6	68.5	22.6	0.6



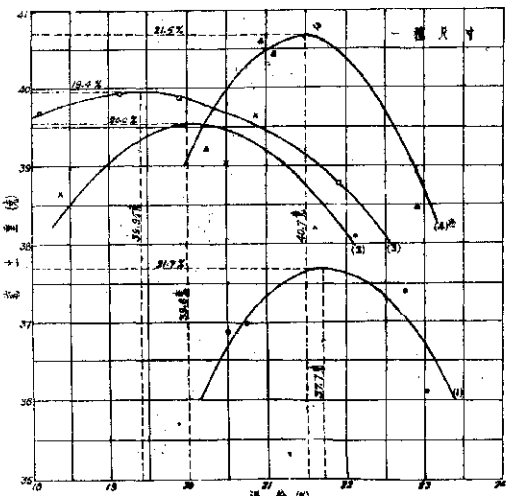
圖十五 (1)(2)(3) 砂土混合物不同含水量之各種試驗及計算之結果



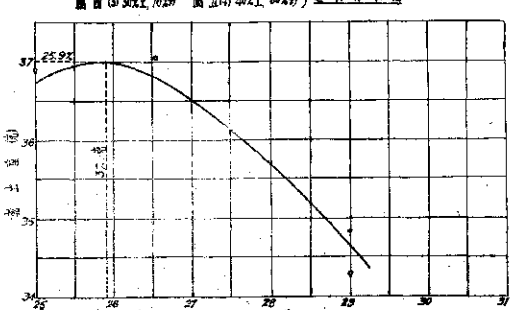
圖七(1) 圖十四(2) 圖二十二(3)



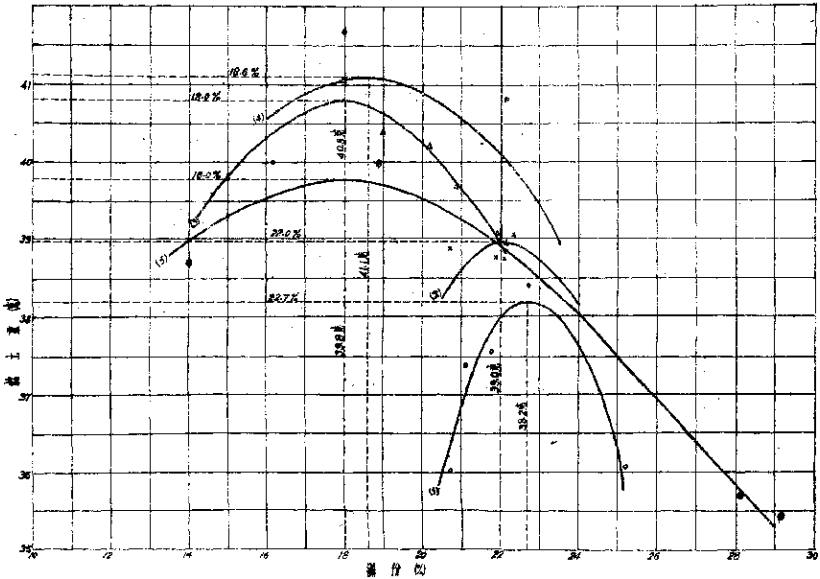
圖二十一：90260種砂粒所不同組合之土壤混合，所得合量之最大密度比較曲線



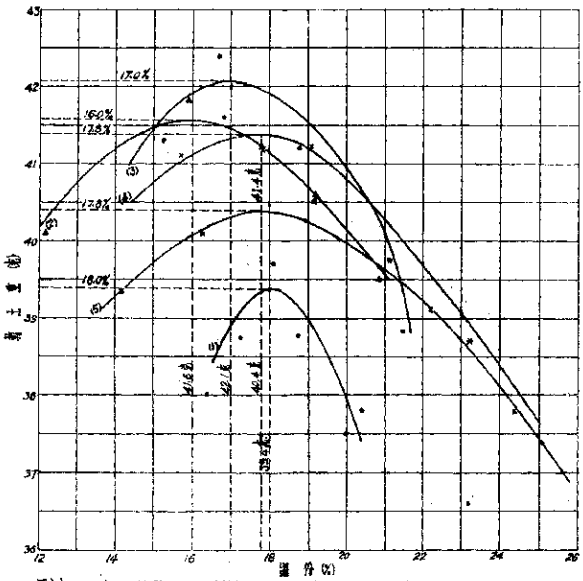
圖二 (1) 10%土, 90%砂　圖三 (2) 20%土, 80%砂
圖四 (3) 30%土, 70%砂　圖五 (4) 40%土, 60%砂　之最好水份



圖六　50%土, 50%砂之最好水份



圖九(3) 60%土 90%砂之最佳水份　圖十(2) 50%土 80%砂之最佳水份　圖十一(1) 30%土 70%砂之最佳水份
圖十二(4) 40%土 60%砂之最佳水份　圖十三(5) 50%土 50%砂之最佳水份



圖十六 (1) 10%上 90%砂之最佳水份　　圖十七 (2) 20%上 80%砂之最佳水份　　圖十八 (3) 30%上 70%砂之最佳水份

圖十九 (4) 40%上 60%砂之最佳水份　　圖二十 (5) 50%上 50%砂之最佳水份

根據上表之所列，配成磨擦層材料之成份如表五：—

表五：磨擦層材料級配設計表

篩號 / 材料	1½"	1"	¼"	4號	10號	40號	200號	塑性指數
中級30	30	30	30	14.3	7.8	1.6	0.2	0
粗級70	70	70	70	66.2	47.9	15.8	0.4	0
泥土10	10	10	10	10	19	9.4	6.0	31.9
共 110%	110	110	110	90.5	65.7	26.8	6.6	-
折合100	100	100	100	82.2	59.7	24.3	6.0	8.2

上表所列材料之混合體，其塑性指數為 8.2，若加10%石灰，則為 5.5%石灰，則為 6.6 。

表五所列材料，均以重量計算，若以容積換算，其比率為 1比3比4，即一份泥土，加 5%石灰者，為0.3份。

建築之時，須先將原來路面，掃除乾淨，使其呈粗毛之狀態，不可有浮料存於其上，隨後用水澆之，使其潤濕，俟水份滲入路面之中，即將磨擦層材料，鋪於其上，其厚約 3.5 公分，然後用人工以足踏平，再用壓路機壓緊，俟其輪跡無深過 $\frac{1}{4}$ 吋時，再用五噸路滾壓緊平之，過三五日後，即可開放交通。惟路機設計，雖屬重要，如原來舊路無路機者，則磨擦層須具備路機，最鋪築之時，路心厚度加大，使成A字式之路機，比率為 1比20，即足應用矣。

（七）附言：

本室此次受西南公路管理處不見侵之委托，代為設計，改良路面事宜，固係首創之舉，自願儘力協助。本篇之計之報告，不過本理論之根據，詳為計劃，惟須澤明而補注意者，約有下列數端：—

（一）級配石子路面，美國採用已有相當時期，其理論早已成立，而其效用遠勝於馬克雷碎石路面，則早有明證，勿庸懷疑。

（二）級配石子路面，仍係利用砂石泥土之配合，所成之路面，較之馬克雷碎石路面，雖一線，但不可與稻瀝路或水泥路混為一談，毫勿誤會。

（三）此次設計之級配石子路面，其厚度為 [illegible] 公分，為此種路面厚度最低之限度，蓋以利用舊路大石塊為其路基。

（四）塑性指數之規定，必須詳悉實地情形，始易適合，此次各種路面材料設計之指數，大約為七，若發實地是否適用，必須俟試驗路修築完成後若干時期，始能明瞭。

（五）若磨擦層之厚度及其塑性指數，均由補測而修定，是否適合，亦須待實地試驗之證明。

總之，此次設計及施工，純係試驗之性質，實地試驗之後，當能有可靠之根據，如再事計劃，自能合乎實地之情形，故此次試驗之結果，或未能十分滿足，自在意中。但為試驗起見，惟願乎其不能美滿，而後方可尋求其完竟。希關心公路工程者，加以密切之注意，而於技術方面，多所批評。一俟試驗路面修建築完竣，得有結果，當再報告讀者諸君可也。

石灰材料築路性質試驗報告

李謨鑑　雷嘉駿

引　　言

今日我吾國公路工程者，僉認路面爲最緊重，最迫切及最不易解決之問題，考其原因，不外有二，一爲修築路面技術人才之缺乏，一爲修築路面器材之缺乏，前者之補救，可藉極認眞訓練技術人才，俾能足敷修築路面之技術水準，以應需要；後者則非人力所能易爲而解決之。蓋我中級路面材料，在吾國異常缺乏。以地瀝青材料而言，則非吾國出產。以柏油材料而言，戰前吾國較大之河北省井陘礦務局焦廠，每月柏油產額僅二十噸，目前內地尚無大規模科學化之焦廠，故無柏油運輸品之供給。以水泥材料而言，內地各省，雖設有水泥廠數處，但以產額不豐，價值又昂，不能大量利用修築路面。以鈣質材料而言，出品極爲有限，且其性質多不能合乎築路鋪路之標準。以上材料者依賴外洋，則又非吾國財力所能及，在種種困難情形之下，吾人築路材料途上，砂、石等而外，能大量利用者，厥爲燒土及石灰等事而已，燒土性質，去歲不妨台加以初步之試驗與研究，目後當繼續進一步而研究之。本文範圍，乃先將石灰材料之築路性質，個別試驗，報告於此，以供參考。

用　　途

石灰材料效能，雖遠不如水泥，然以有灰石產區，可以就地取材，灰窰規模不大，成本價值較廉。故石灰材料在公路上用途之可能性較大，其較著之用途有五：（一）爲灰結碎石路面之結合料（二）爲灰泥結碎石路面之結合料（三）爲土壤穩定劑（四）爲路面水份維持劑（五）爲瀝青面之膠漿。

吾國築路壞機，異常缺乏，如必需之機器，在公路上不多見，故路面之結合料，必須顆粒微細以減少緊實工作至最低限度。通常吾國公路所用之結合料，皆爲泥土，因之吾國路面，有泥結碎石路面之稱。泥土易受氣候影響，雨時泥濘難途，晴時灰塵揚起，皆由於此。石灰抗水化性極强，黏結力亦不弱，如能在路面需摻石灰，則路面狀況，必較良好，此石灰能利用爲築路材料可能性之一。

土壤穩定劑，有油料，氯化鈣，矽酸鈉，水泥及石灰等。石灰材料穩定效能如何，本室已曾加以研究，結果頗佳。此石灰能利用爲築路材料可能性二。

石灰是否能有維持水份之效能，現正在研究中，試驗根據結果，可於下期月刊發表。此爲石灰能利用爲築路材料可能性之三。至於石灰利用爲橋面之膠漿，習用已久，惟尚無

科學試驗之法道，再凝結時期，是否可以減短，本室最近期內，亦擬加以研究，俾畢儀器，現正在自製之中，將來或能將結果報告也。

試驗種類

石灰材料之有關築路性質，現本室可以試驗者，有下列十三項：

1.機械分析試驗
2.比重試驗
3.空隙百分率試驗
4.表面水份百分率試驗
5.液體限度試驗
6.塑性限度試驗
7.野外濕度當量試驗
8.縮性限度試驗
9.吸水試驗
10.水化性試驗
11.乾濕試驗
12.結結力試驗
13.流率試驗

試驗儀器

1.機械分析試驗：篩號（20,40,60,80,100,2000）一套
　　篩秤　一座　搖篩機　一座
2.比重試驗：韋普曼瓶　一個　靈敏天秤　一座
3.空隙百分率試驗：儀器全上，
4.表面水份百分率試驗：儀器全上，
5.液體限度試驗：液體限度儀　一個　劃溝器　一個
　　40號篩　一個　軟刀　一把
　　小鉄盤　二個　靈敏天秤　一座
　　電爐　一個　玻璃杯　一只
6.塑性限度試驗：蒸發碟　一個　40號篩　一個
　　靈敏天秤　一座　小鉄盤　二個
　　電爐　一個　玻璃杯　一只
7.野外濕度當量試驗：蒸發碟　一個　軟刀　一把
　　小鉄盤　三個　滴管　一個
　　電爐　一個
8.縮性限度試驗：平底直邊小銅杯　二個
　　（直徑＝ $4\frac{1}{2}$ 公分，深度＝ $1\frac{3}{10}$ 公分）

平底直邊大銅蒸杯　　一個

（直徑＝ $6\frac{1}{10}$ 公分，深度＝ $2\frac{1}{2}$ 公分）

蒸發碟　一個　軟刀　一把　直鋼尺　一支　天秤　一座

水彙　二磅　玻璃片　一塊　40號篩　一個　銅片（帶三尖針）一塊

9.吸水試驗：　靈敏天秤　一座　小鼓罐　二個

10.水化性試驗：　製模器　一座　立方體模子　二個

（ $1\frac{1}{4}$ 立方）

40號篩　一個　電爐　一個　水盆　一只　靈敏天秤　一座

11.乾濕試驗：　製模機　一座　40號篩　一個

水盆　一只　軟刀　一把　電爐　一個　蒸發碟　一個

乾燥器　一個　硬毛刷　一把　靈敏天秤　一座

12.結結力試驗：　製模機　一座　靈敏天秤　一座

水盆　一只　軟刀　一把　40號篩　一個　電爐　一個

乾燥器　一個　蒸發碟　一個

李氏輕便衝擊機一個

（李氏輕便衝擊機爲本室李副主任熾所設計製造，便於携帶，可在工地試驗石料之韌度及結合料之結結力）

13.流率試驗：　水桶　一只

插秤　一座　碼表　一隻　鐵棒　一根

流率圓錐　一個

試驗方法簡述

1.機械分析試驗：

取一定量之石灰（通常爲115克），用10,20,40,60,80,100及200號七篩網，置於搖篩機上，來過留各篩號重量百分比。

2.比重試驗：

先在盒普曼瓶內放200C.C.定量之水，再取 500克室乾石灰，徐徐注入瓶內，以攪桿攪拌，直至石灰旋內無空氣泡時爲止。滿瓶上刻度，用下法求之：

$$比重=\frac{定量石灰量(克)}{加石灰後之體積(C.C.)-定量水積(C.C.)}=\frac{500}{V-200}$$

3.空隙百分率試驗：

先在盒普曼瓶內放約100C.C.之水，再取室乾石灰徐徐注入瓶內，直至400C.C.時爲止，全時 加水使石灰與水全在一400C.C.水平面，然後稱其重量，用下列公式求之：

$$空隙百分率=\frac{石灰與水在全一平面時之體積\times比重-石灰與水重}{石灰與水在全一平面時之體積\times(比重-1)}\times100$$

$$=\frac{400\ S.G.-W}{400(S.G.-1)}\times 100$$

4.表面水份百分率試驗：

先在盛膏量瓶內盛200c.c.之水，再取500克石灰徐徐注入瓶內，用桿攪拌至無氣泡時為止，讀瓶上刻度，用下法求之：

$$含水百分率=\frac{水與石灰之總體積(C.C.)-\frac{定量石灰重}{比重}-定量水之體積}{定量水+定量石灰重-水與石灰之總體積}\times 100$$

$$=\frac{V-\frac{500}{S.G.}-200}{200+500-V}\times 100$$

5.液體限度試驗：

取通過40號篩網之石灰約80克，與水混合均勻，置于液體限度儀之銅碟內，用軟刀刮平頂部，使其中心厚度適為一公分。然後用劃溝器分為二半，再以每秒鐘二次之速度搖動經二十五次（碟底升降高度為一公分）槽經開始合併 $1\frac{1}{4}$ 公分長度之時，將中部濕灰取出一部分，置于小鐵罐內，立刻權其重量。然後放電爐中，在 110°C. 常溫之下烘烤四小時再權其重量。用下列公式求之：

$$液體限度=\frac{含水重量}{乾灰重量}\times 100$$

6.塑性限度試驗：

取通過40號篩網之石灰約15克，與水混合均勻，搓成小球，再滾成圓條形狀，繼續直至其直徑約為 $\frac{1}{8}$ 公分而裂斷時為止。即置于小鐵罐內權其重量。然後置于電爐內在110°C. 常溫之下烘烤四小時，再權其重量，用下列公式求之：

$$塑性限度=\frac{含水重量}{乾灰重量}\times 100$$

7.野外濕度當量試驗：

取通過40號篩石灰約50克，加水混合均勻置于蒸發碟中，用軟刀刮平，然後在上以滴管加水，直至最後一滴在表面上三十秒以內，不復吸收為止。此時取出濕灰少許權其重量，置于電爐內，在110°C. 通常濕度下烘烤4小時，再權其重量。

$$野外濕度當量=\frac{水份重}{乾灰重}\times 100$$

8.膨脹限度試驗：

取通過40號篩之石灰約80克，加以液體濕度所須之水份和勻置于小碟銅內，務使周圍均無空隙，用刀刮平齊整，權其重量，置于電爐內在攝氏110度常溫之下烘烤4小時，再權其重量。然後將石灰乾塊置于滿盛水銀之大銅碟中（碟內是否滿盛水銀，可用玻璃片壓于銅碟之上，以觀水銀與玻璃片面是否緊觸）用三尖針之銅片，將石灰塊壓下，至石灰塊完全沉入水銀中及銅片與銅碟口緊相連接為止。求由銅碟中溢出水銀之重量，以13.6除之，

即爲乾石灰塊之體積。再用下列各式求其他常數：

$$\text{縮性限度}=\text{石灰濕塊含水百分數}-\frac{\text{石灰濕塊體積(立方公分)}-\text{石灰乾塊體積}}{\text{石灰乾塊重量(克)}}$$

$$\frac{\text{(立方公分)}}{\text{}}\times 100 \qquad \text{縮性比}=\frac{\text{石灰乾塊重量(克)}}{\text{石灰乾塊體積(立方公分)}}$$

$$\text{比縮近似值}=\frac{1}{\dfrac{1}{\text{縮性比}}-\dfrac{\text{縮性限度}}{100}}$$

$$\text{野外濕度當量時之體積變遷}=(\text{野外濕度當量}-\text{縮性限度})\text{縮性比} \qquad \text{線形收縮}=100$$

$$\left(1-\sqrt[3]{\frac{100}{\text{野外濕度當量時之體積變遷}+100}}\right)\text{體積變遷}=(\text{水份百分率}-\text{縮性限度})\text{縮性比}$$

$$=\frac{\text{濕灰體積}-\text{乾灰體積}}{\text{乾灰體積}}=\frac{V-V_0}{V_0}$$

9.吸水試驗：

將未化石灰，先權其重量，然後置于室溫空氣中，每隔24小時權其重量，直至其重量不改變時爲止，每日量室內平均溫度。

10.水化性試驗：

將通過40號篩網之石灰約100 克，加水18%（以乾灰爲準）混合均勻，封于寬口玻璃瓶內，取一部份用製模機，製成直徑 $2\frac{1}{2}$ 公分，高 $2\frac{1}{2}$ 公分之圓柱體三個（製模壓力爲66公斤／平方公分）此外再製成 $1\frac{1}{4}$ 立方公分之立方體三個。在室溫晾乾20小時後，置于電爐內，在110°C. 常溫之下烘乾4小時，取出試模，置于乾燥器內20分鐘，然後浸入室溫水內，以觀其須經多少時日，方開始在水內解化。

11.濕乾試驗：

取通過40號篩石灰約60克，加水18%（以乾石灰爲準）在製模機作成試模三個（製模壓力爲132公斤／平方公分），烘乾後權其重量。再按下列程序重複浸濕烘乾，求其損失重量（循環爲十五次）。

a,將試模浸入室溫水中16小時；

b,取出試模以300°F.，之溫度，在電爐中烘烤8小時；

c,在乾燥器中冷却。

d,用硬毛刷輕刷之。

e,復權其重。

乾土原重，與最後重量差值，即爲濕乾損失之結果。

12.黏結力試驗：

取通過40號篩網之石灰約120克，加水18%（以乾石灰爲準）混合均勻，用製模機作

成直徑 $2\frac{1}{2}$ 公分，高 $2-\frac{1}{2}$ 公分之試模6個（壓模即力為132公斤／平方公分）。石膏漿中凝乾20小時後，置于放濕器內20分鐘，再在李氏輕便衝擊機（此機為本室李主任設計製造）試驗其黏結力，（黏結力為開始破裂之衝擊次數）。

13.流率試驗：

用3400克之石灰末，加水混合均勻，注滿于流率圓筒內，使灰漿自 $1-\frac{1}{2}$ 公分管口流出，記流盡之時間，此試驗須試求各種水份之流率。

試驗結果

1.機械分析：（見圖一）

通過篩號	遺留篩號	重量（克）
20號	40號	14.42
40號	60號	22.65
60號	80號	18.80
80號	100號	13.98
100號	200號	29.95
200號		19.68
		樣品總重=119.48

通過篩號	重量（克）	通過百分率%	遺留百分率%
20號	119.48	100	0
40號	105.06	87.93	12.07
60號	82.41	69.23	30.77
80號	63.61	53.24	46.76
100號	49.63	41.54	58.46
200號	19.68	16.71	83.29

2.比重：

本試驗因石灰膠水性太大，故用水加至375C.C.，石灰減至50克，混合後其總體積為395C.C.

$$比重=\frac{50}{395-375}=\frac{50}{20}=2.5$$

3.空隙百分率：

本試驗石灰與水在全一平面時之總體積為397C.C.，其總重為882.97克

$$空隙百分率=\frac{397(2.5)-882.97}{397(2.5-1)}\times100=18.39\%$$

4.表面水份百分率：

本試驗用水375C.C.，石灰50克，混合體積為397C.C.

$$水份百分率=\frac{397-\frac{50}{2.5}-375}{375+50-397}\times100=7.14\%$$

5.液體限度：

試驗次數	罐及濕石灰重（克）	罐及乾石灰重（克）	罐重（克）	水份重（克）	乾石灰淨重（克）	水份百分率（%）
1	30.70	29.08	26.30	1.62	2.78	58.27
2	33.20	30.68	26.55	2.52	4.13	61.02
平均						59.65

6.塑性限度：

試驗次數	罐及濕石灰重（克）	罐及乾石灰重（克）	罐重（克）	水份重（克）	乾石灰淨重（克）	水份百分率（%）
1	36.00	33.08	25.70	2.92	7.38	39.57
2	33.15	30.95	25.60	2.28	5.35	42.62
平均						41.10

塑性指數

液體限度	塑性限度	塑性指數
59.65%	41.10%	18.55%

7.野外濕度當量：

試驗次數	濕石灰及罐重（克）	乾石灰及罐重（克）	罐重（克）	乾石灰淨重（克）	含水重（克）	水份百分率（%）
1	28.72	27.31	25.20	2.11	1.41	66.83
2	34.81	31.685	26.815	4.87	3.125	64.17
3	30.38	28.76	26.25	2.51	1.620	64.54
平均						65.18

8.縮性限度：

試驗次數	濕石灰及碟重（克）	乾石灰及碟重（克）	碟重（克）	含水重量（克）	乾石重量（克）	濕石灰水份（克）	濕石灰體積（立方公分）	乾石灰體積（立方公分）	縮性限度（%）	縮性比	比重近似值	體積變遷（%）
1	126.80	125.40	106.30	11.40	19.10	59.68	20.16	18.81	52.61	1.02	2.174	7.18
2	133.65	132.25	108.85	11.43	18.40	62.12	20.26	19.07	55.65	0.97	2.108	6.24
平均						60.90			54.13	0.995	2.141	6.71

註：野外濕度當量時體積之變遷（65.18％—54.13％）.995=109.9％，體積變遷=（60.90％—54.13％）.995=6.74％（此數與$\frac{V-V_0}{V_0}$—所求之值近似）線形收縮=100（1—$\sqrt[3]{\frac{100}{10.99+100}}$）=3％

9.浸水試驗；（見圖二）

經過時間（時）	重量（克）	種類 濕度（室溫）		未經烘乾樣品 平均為13.5°C. 石灰原重=43.75克	烘乾樣品 平均為13.5°C. 石灰原重=65.73克
24	石灰重（克）			49.500	66.210
	增加水份重量	重量（克）		0.750	0.480
		％		1.540	0.730
48	石灰重（克）			50.605	66.530
	增加水份重量	重量（克）		1.855	0.800
		％		3.010	1.220
72	石灰重（克）			51.780	67.390
	增加水份重量	重量（克）		3.080	1.660
		克		6.420	2.530
96	石灰重（克）			52.920	67.640
	增加水份重量	重量（克）		4.170	1.910
		％		8.550	2.910
120	石灰重（克）			53.935	68.330
	增加水份重量	重量（克）		5.185	2.600
		％		10.640	3.960
144	石灰重（克）			54.895	69.220
	增加水份重量	重量（克）		6.145	3.490
		％		12.610	5.310
168	石灰重（克）			55.840	69.900
	增加水份重量	重量（克）		7.065	4.170
		％		14.470	6.380
192	石灰重（克）			56.610	70.720
	增加水份重量	重量（克）		7.869	4.990
		％		16.120	7.590
216	石灰重（克）			57.285	71.660
	增加水份重量	重量（克）		8.535	5.930
		％		17.510	9.020
240	石灰重（克）			57.935	72.340
	增加水份重量	重量（克）		9.185	6.610
		％		18.830	10.060
260	石灰重（克）			58.265	73.075
	增加水份重量	重量（克）		9.515	7.345
		％		19.520	11.170
288	石灰重（克）			58.700	73.665
	增加水份重量	重量（克）		9.955	7.935
		％		20.410	12.070
312	石灰重（克）			59.035	74.380
	增加水份重量	重量（克）		10.285	8.650
		％		21.100	13.160

	石灰重(克)		59.235	75.110
336	增加水份重量	重量(克)	10.495	9.380
		%	21.510	14.270
	石灰重(克)		59.450	75.750
360	增加水份重量	重量(克)	10.700	10.020
		%	21.950	15.240
	石灰重(克)		59.625	76.220
384	增加水份重量	重量(克)	10.875	10.490
		%	22.310	15.960
	石灰重(克)		59.825	76.470
408	增加水份重量	重量(克)	11.075	10.740
		%	22.720	16.340
	石灰重(克)		60.175	76.600
432	增加水份重量	重量(克)	11.420	10.870
		%	23.440	16.540
	石灰重(克)		60.465	76.800
456	增加水份重量	重量(克)	11.705	11.070
		%	24.010	16.840
	石灰重(克)		60.755	76.950
480	增加水份重量	重量(克)	12.005	11.220
		%	24.630	17.100
	石灰重(克)		60.965	76.990
504	增加水份重量	重量(克)	12.215	11.260
		%	25.060	17.130
	石灰重(克)		61.155	77.330
528	增加水份重量	重量(克)	12.405	11.600
		%	25.450	17.800
	石灰重(克)		61.405	77.515
552	增加水份重量	重量(克)	12.755	11.785
		%	26.160	17.930
	石灰重(克)		61.555	77.670
576	增加水份重量	重量(克)	12.855	11.940
		%	26.270	18.170
	石灰重(克)		61.766	77.980
600	增加水份重量	重量(克)	13.016	12.250
		%	26.700	18.650
	石灰重(克)		62.050	78.060
624	增加水份重量	重量(克)	13.300	12.330
		%	27.280	18.760
	石灰重(克)		62.285	78.235
648	增加水份重量	重量(克)	13.535	12.505
		%	27.760	19.020
	石灰重(克)		62.465	78.290
672	增加水份重量	重量(克)	13.715	12.670
		%	28.130	19.270
	石灰重(克)		62.770	78.370
696	增加水份重量	重量(克)	14.020	12.750
		%	28.760	19.400
	石灰重(克)		62.855	78.540
720	增加水份重量	重量(克)	14.105	12.920
		%	28.930	19.660
	石灰重(克)		63.020	78.810
744	增加水份重量	重量(克)	14.270	13.080
		%	29.230	19.900

768	石灰重(克)		63.187	78.830
	增加水份重量	重量(克)	14.487	18.100
		%	29.610	19.930
792	石灰重(克)		63.207	78.930
	增加水份重量	重量(克)	14.457	13.200
		%	29.660	21.080
816	石灰重(克)		63.327	79.080
	增加水份重量	重量(克)	14.577	13.350
		%	29.900	20.810
840	石灰重(克)		63.420	79.750
	增加水份重量	重量(克)	14.670	13.420
		%	30.090	20.420
864	石灰重(克)		63.425	79.340
	增加水份重量	重量(克)	14.675	13.610
		%	30.100	20.710
888	石灰重(克)		63.515	79.500
	增加水份重量	重量(克)	14.765	13.770
		%	30.296	20.950
912	石灰重(克)		63.595	79.570
	增加水份重量	重量(克)	14.845	13.840
		%	30.450	21.060
936	石灰重(克)		63.760	79.700
	增加水份重量	重量(克)	14.910	13.970
		%	30.680	21.250
960	石灰重(克)		63.810	79.870
	增加水份重量	重量(克)	15.060	14.140
		%	30.890	21.510
984	石灰重(克)		63.915	80.020
	增加水份重量	重量(克)	15.105	14.290
		%	30.980	21.740
1008	石灰重(克)		63.975	80.050
	增加水份重量	重量(克)	15.165	14.320
		%	31.180	21.790
1032	石灰重(克)		64.105	80.050
	增加水份重量	重量(克)	15.295	14.320
		%	31.370	21.790
1056	石灰重(克)		64.235	80.050
	增加水份重量	重量(克)	15.425	14.320
		%	31.640	21.790
1080	石灰重(克)		64.335	
	增加水份重量	重量(克)	15.525	
		%	31.840	
1104	石灰重(克)		64.375	
	增加水份重量	重量(克)	15.565	
		%	31.930	

此後至1128,1152時之結果，與1104時之結果相仝。

10. 水化性試驗：

樣品種類	溫度（水中）試驗次數	平均爲11.5°C 水化時間
圓柱體： 直徑=2 1/2公分 高 =2 1/2公分 含水 18% 壓力=66公斤／平方公分	1 2 3	一個月以上 一個月以上 一個月以上
	平均	一個月以上
立方體： 體積= $1\frac{1}{4}$立方公分 含水 40% 不用壓力	1 2 3	一個月以上 一個月以上 一個月以上
	平均	一個月以上

11、乾濕試驗：（見圖三）

試驗次數			1	2	3	平均
水中溫度			11.5°C.	11.5°C.	11.5°C.	11.5°C.
輕石灰原重(克)			16.955	17.095	16.790	
乾濕循環	1	石灰乾重(克)	16.840	16.975	16.680	
		損失重量 克	0.115	0.120	0.111	
		%	0.68	0.70	0.66	0.68%
	2	石灰乾重(克)	16.72	16.850	16.550	
		損失重量 克	0.235	0.245	0.240	
		%	1.39	1.43	1.43	1.42%
	3	石灰乾重(克)	16.590	16.700	16.440	
		損失重量 克	0.365	0.395	0.350	
		%	2.15	2.31	2.08	2.18%
	4	石灰乾重(克)	16.530	16.630	16.380	
		損失重量 克	0.425	0.465	0.410	
		%	2.51	2.72	2.44	2.56%
	5	石灰乾重(克)	16.315	16.410	16.170	
		損失重量 克	0.640	0.685	0.620	
		%	3.76	4.01	3.69	3.82%
	6	石灰乾重(克)	16.275	16.370	16.100	
		損失重量 克	0.680	0.725	0.690	
		%	4.01	4.24	4.11	4.12%
	7	石灰乾重(克)	16.265	16.365	16.098	
		損失重量 克	0.690	0.730	0.692	
		%	4.07	4.27	4.12	4.15%
	8	石灰乾重(克)	16.320	16.440	16.160	
		損失重量 克	0.635	0.655	0.630	
		%	3.75	3.83	3.75	3.78%
	9	石灰乾重(克)	16.325	16.450	16.165	
		損失重量 克	0.63	0.635	0.625	
		%	3.72	3.71	3.72	3.72%

次數	10	石灰乾重(克)		16.330	15.490	16.200	
		損失重量	克	0.625	0.605	0.590	
			%	3.68	3.54	3.51	3.58%
	11	石灰乾重(克)		16.350	16.500	16.210	
		損失重量	克	0.605	0.595	0.580	
			%	3.57	5.48	3.45	3.50%
	12	石灰乾重(克)		16.365	16.515	16.220	
		損失重量	克	0.590	0.580	0.57	
			%	3.48	3.39	3.39	3.42%
	13	石灰乾重(克)		16.355	16.495	16.210	
		損失重量	克	0.600	0.600	0.585	
			%	3.54	3.51	3.48	3.51%
	14	石灰乾重(克)		16.340	16.470	16.200	
		損失重量	克	0.615	0.625	0.590	
			%	3.63	3.65	3.51	3.60%
	15	石灰乾重(克)		16.370	16.500	16.230	
		損失重量	克	0.575	0.595	0.550	
			%	3.38	3.48	3.34	3.40%

12. 黏結力試驗：

試驗次數	錘重	撞擊高度	衝擊次數
1	1公斤	2½公分	17
2	,,,,,,,	,,,,,,,	17
3	,,,,,,,	,,,,,,,	16
4	,,,,,,,	,,,,,,,	18
5	,,,,,,,	,,,,,,,	18
6	,,,,,,,	,,,,,,,	16
平均	,,,,,,,	,,,,,,,	17

13. 流率試驗：（見圖四）

樣品	加水量 重量(克)	加水量 %以重量計	加水量 體積 立方公尺/(立方公尺)(公分)	流率（秒）							
石灰 3400克	3400	100	3400	2.50	1.51	2.	51.5	3.	52	平均	51.50
	3463	102	3468	2.55	1.40.5	2.	40	3.	39	,,	39.83
液體限度： 59.65%	3536	104	3536	2.60	1.31.2	2.	31	3.	31	,,	31.07
	3604	106	3604	2.65	1.25.3	2.	26	3.	25.5	,,	25.60
	3672	108	3672	2.70	1.23	2.	23.5	3.	22.2	,,	22.90
塑性限度： 41.10%	3740	110	3740	2.75	1.21.5	2.	22	3.	21.5	,,	21.67
	3808	112	3808	2.80	1.19.5	2.	20	3.	20	,,	19.83
	3876	114	3876	2.85	1.18.5	2.	18	3.	19	,,	18.50
	3944	116	3944	2.90	1.17.5	2.	17	3.	17.4	,,	17.30
塑性指數： 18.55%	4012	118	4012	2.95	1.17	2.	17	3.	17.2	,,	17.07
	4080	120	4082	3.00	1.16	2.	16.5	3.	16	,,	16.17
比重： 2.5	4148	122	4148	3.05	1.16	2.	16	3.	15.5	,,	15.83
	4216	124	4216	3.10	1.15	2.	15	3.	15	,,	15.00

試驗總結果表

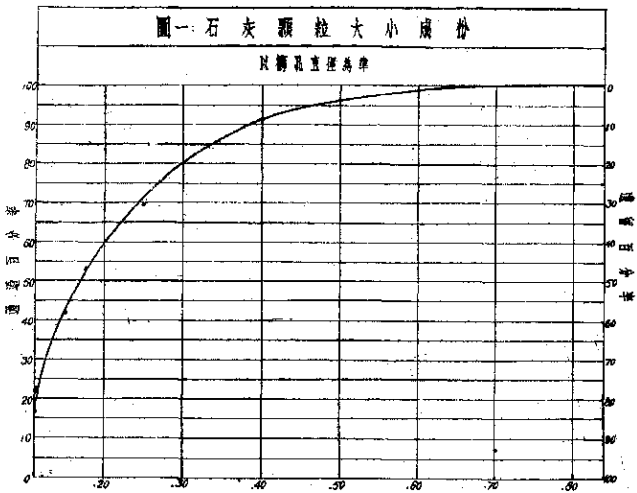
機械分析	通過40號篩87.93%（因大都試驗樣品，皆以通過40號篩爲準）
比重	2.5
容隙百分率	18.39%
表面含水百分率	7.14%
液體限度	59.65%
塑性限度	41.10%
塑性指數	18.55
野外濕度當量（%）	平均爲65.18%
縮性因數：	
縮性比率	0.995
縮性限度	54.13%
野外濕度當量時體積之縮遲	10.99%
體積變遷	6.74%
線形收縮	3%
吸水性	未經烘乾的 $\frac{1104}{1008}$ 小時後，共吸水 $\frac{31.93}{21.79}$%（以重量計），以後不再吸收。
水化性	圓柱形（高與直徑均爲 $2\frac{1}{2}$ 公分用65公斤／平方公分壓力壓成）約一月以上 立方體（體積 $1\frac{1}{4}$ 公分不用壓力）約一月以上
黏結力	平均爲17次（以李氏輕便衝擊機爲準錘重 1公斤高度 2吋公分）
濕乾循環	經15次後平均損失3.4%（以重量計）

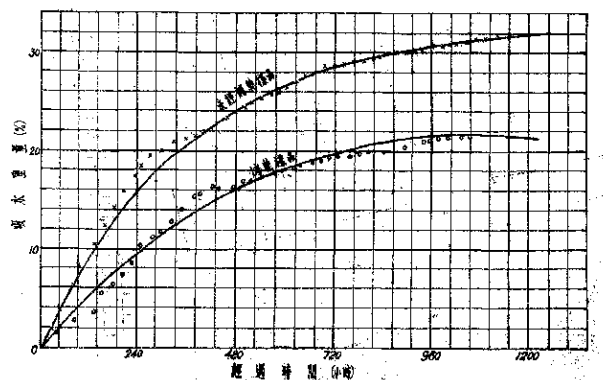
流率	所加水份（以一計）	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124
	時間（以秒計）	51.5	39.83	31.07	25.6	22.9	21.67	19.83	18.5	17.3	17.07	16.17	15.83	15

討論

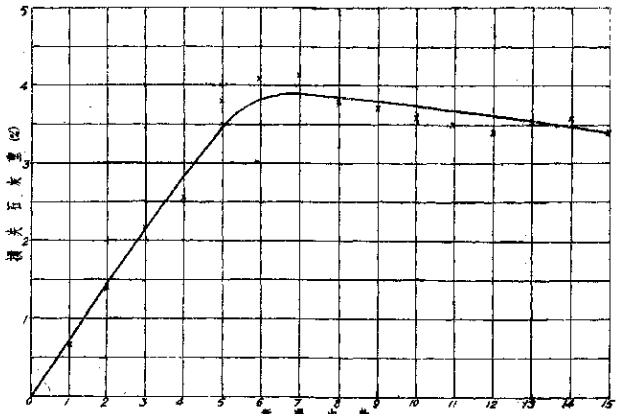
修築低級路面材料，不外有三；一爲粘混合料，通常爲碎石或礫石；二爲細混合料，通常爲砂；三爲結合料，通常爲土。因土質隨地而異，易受氣候影響，故往往低級路面，石砂固爲佳質；但因土質不良，以致結果懸殊。善結合料之基本條件有二：一爲黏結力强，能將粗細混合料膠結成一團體，不易爲車輛衝擊力所能移動；二爲水化性低，雨時不致泥濘，體積不變，能維持堅硬狀況。故低級路面之改善，結合料實爲一重要因數。水結碎石路面之優於泥結碎石者，以石粉性質優於泥土；水泥或瀝青結碎石優於水結碎石者，以水泥及瀝青材料性質皆優於石粉。前者因吾國機輕之產乏，後者因水泥及瀝青材料之缺乏，皆不易找否適所採用。石灰性質雖不如水泥及瀝青材料之優良，但自較優於純土，而不亞於石粉，石灰價格低廉，節省銀工，故純石灰結之碎石路面或石灰及泥土混合物結之碎石路面，其結果皆必優於純泥土結之碎石路面也。石灰之用途既如是，特將其重要有關築路性質，一加以試驗，今撰其要者討論如下：

1. 黏結力　石灰黏結力試驗，因標準黏結力試驗機撞次數過多，故改用李氏輕便

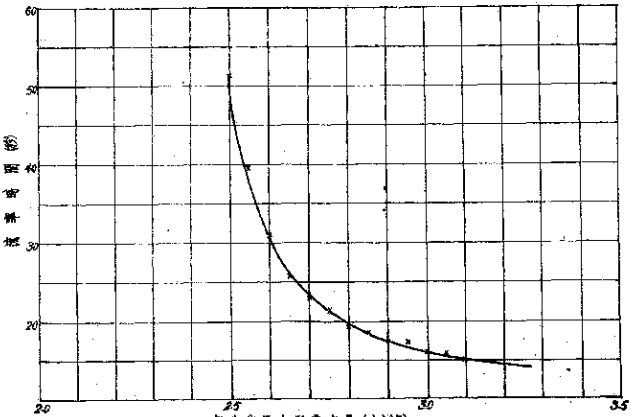

圖一：石灰顆粒大小成份
以篩孔直徑為準
累計百分數
篩孔直徑
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
.20
.30
.40
.50
.60
.70
.80


成水量(%)
經過時間(小時)
0
10
20
30
240
480
720
960
1200

圖二：石灰成水量



圖三：石灰乾燥前後之損失



圖四：石灰淨率時間

衝擊試驗機，其結果爲十七次，始發生破裂現象，生紅土黏結力之結果僅爲二次。同一生紅土，在標準黏結力試驗機，打擊次數爲420，而燒紅土爲91。燒紅土之黏結力，不如生紅土，生紅土之黏結力，又遠不如石灰，故石灰之黏結力，較材料上習爲優。

2.水化性　試驗結果，知石灰吸收指數爲18.55%，與以前本室生紅土試驗之指數6.4%，結果相差7.84%。土壤之吸收指數與穩定性有密切之關係，吸收指數大者，通常其穩定性弱。因此可知石灰之穩定性較生紅土爲強。再在乾濕試驗結果，生紅土試模，水化時間，不過一二分鐘，而石灰試模，雖經十五次乾濕循環，但損失不過3.4%，在水中經一月之長期時間，亦不易水化，故石灰之穩定性，實遠在生紅土及燒紅土二者之上。

如以石灰灌漿碎石路面，其流率性爲一重要因數，在水泥黏碎石路面，水泥砂漿流率與碎石尺寸之關係，流率視碎石之大小而異，下表爲水泥黏碎石路面水泥砂漿流率與碎石尺寸之關係：

碎石直徑（公厘）	所須流率時間（秒數）
63.5——88.9	23——25
50.8——76.2	23——25
38.1——63.5	21——23
25.4——50.8	20——22
19.1——38.1	19——21

石灰流率試驗結果，水量由106%逐漸增至114%，流率時間則由25.6秒逐漸減至18.5秒，與理想相合，前本室試驗生紅土加石灰之流率試驗，水份由74%加至80%，流率時間則由29.0忽減至18.88秒，在水份74%與75%之間，水份相差不過1%，而流率時間差至10%秒，但石灰在適用之流率內，即無此種現象。

本試驗自始至終，費時約二月之久，各項結果，尚稍滿意。惟因氣候，溫度及濕度之時有變化，故於各種試驗結果，不無稍有參差，如吸水性試驗，雖理想每隔相當時間，吸水量逐漸減少，但本試驗之結果，則有時忽增，其原因或由濕度變化之故。又乾濕試驗應依循次數之多少而減少其重量，但本試驗在第八次循環重量反加，至第十三次時又趨下落，考其原因，亦或因濕度不全之影響。因此二者增減之重量皆極微，故易受此種影響。在試驗室中，長期時間維持溫度不變，非一易事；率影響不多，與石灰性質試驗本身，無大妨礙也。

由本試驗各種結果，可以確定石灰之性質，實較泥土爲優，故其用途可由穩定土壤而推至流漿碎石。本試驗所用石灰，產於昆明附近，吾國製造石灰窰，各地不全，故性質亦隨地而異。將來公路界如採用石灰，必須根據工地材料，而判斷其性質。本室試驗，不過用一種石灰，將其大概性質試驗作一報告，以供參考。

煤渣及煤渣紅土混合物築路性質試驗報告

李謨熾　雷嘉驗

引　言

煤渣爲築路良好材料之一，猶憶五年前，作者在滬華大學曾試行鋪築煤渣路面一段，當時自閘門至洪橋之公路，係由該方自修，原爲半水結式碎石路面，凹凸不平，養護極感困難，常年翻修，所費頗大，在冬季路面凍結之時，翻修更難，人力搬運不能翻動，而壓路機必須向市廛就商借用。因種種困難，作者遂假鐵在原有碎石路面加鋪煤渣路面一層，煤渣材料係由清華及撫順兩校發電廠供給，不取分文。此段煤渣路面築畢之後，甚爲平坦，晴時灰塵較水結碎石路面爲少，排水極易，即在久雨之後，亦無泥濘現象，養護工作，輒須常用人力石鎚往返走順，則一切車轍窪穴皆可修整平坦。由洪橋至西直門及西山公路，當時曾已改鋪柏油路面。乘車由柏油路面轉至煤渣路面時，並不感覺顯著區別，但一至將近閘門之一段水結碎石路面，則感覺顛簸不堪。唯一缺點，行人有以煤渣，易入鞋內之苦而埋怨者。在煤渣產量豐富而運費不繁之地方，此種路面，頗有採用之可能。作者特將關於煤渣材料之築路性質，加以詳細試驗，以供採用此種路面時之一參考。

試驗種類

此試驗所用材料，係取於昆明見湖電廠，聞該廠產量每月約爲二百噸，每噸售價不過六元，同時紡紗廠及各機器工廠各有相當煤渣產量，堆集如山，廢而不用，實爲可惜。煤渣築路性質之鑒別，可由下列六種試驗而判定之：

1. 比重試驗
2. 空隙百分率試驗
3. 表面水份百分率試驗
4. 機械分析試驗
   (a) 研磨前
   (b) 研磨後
5. 磨耗率試驗
6. 吸水試驗
   (a) 水內
   (b) 空氣內

除上述純煤渣之六種試驗外，本類並試驗煤渣與紅土混合物之水化性及黏結力。煤渣見水輒易散化，但因係顆粒材料，不致發生泥濘現象，故其水化性之試驗，並不似純土之重要。

試驗方法及儀器簡述

(1) 比重試驗

方法：先在查普曼瓶內盛約20 c.c. 定量之水，再取篩碎之窰乾煤渣500克，徐徐傾入瓶內，以搖晃攪勻，直至瓶內無空氣泡時爲止，讀瓶上之刻度，用下列公式求之：

$$比重=\frac{500克}{V-200c.c.}\qquad V=瓶上刻度(c.c.)$$

儀器：查普曼瓶　一個　靈敏天秤　一座　搖晃　一機

(2) 空隙百分率試驗：

方法：先在李普曼瓶內盛約100c.c.之水，再取磨碎之室乾樣品，徐徐傾入瓶內，同時加水直至水與樣達同在400c.c.之劃度為止，然後稱其重量，用下列公式求之：

$$空隙百分率=\frac{400\times比重-W}{400(比重-1)}$$

W＝重量(克)

儀器：與比重試驗相同。

(3) 表面水份百分率試驗：

方法：與比重試驗同，惟所用樣品不須室乾者。

儀器：與比重試驗同。

(4) 機械分析試驗：

方法：取一定量樣品，用各篩篩右搖篩機上篩分，求通過各篩號重量之百分數。

儀器：篩 (a)研磨前樣品用$1\frac{1}{2}''$，$\frac{3}{4}''$ $\frac{3}{8}''$ 及 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200號等十篩。

(b)研磨後樣品用10, 20, 40, 60, 100, 200 號等六篩。

搖篩機 一座 研磨機 一座 扭秤 一座

(5) 磨耗率試驗：(本室自訂方法)

方法：依規定尺寸($\frac{1''}{4}$ —— 10號者20%，10——20號者20%，20——30號者25%，30——40號者20%，40——50號者15%)配重500克之樣品，置於得發爾磨耗機內，同時放置$\frac{3}{4}''$之鋼球十八個，然後磨轉2000次，取出過50號篩，凡通過該號者，作為損失磨耗率。

儀器：得發爾磨耗機 一座，$\frac{3}{4}''$重徑鋼球 十八個，$\frac{1}{4}''$,10,20,30,40,及50號篩各一個，扭秤 一座，

(6) 吸水試驗

方法：取樣品二塊烘乾，稱其重量，然後分置清水及空氣中，每日權其吸水重量，直至重量為一常數而不變更時為止。

儀器：靈敏天秤 一座，玻璃杯 一隻，小木架 一個，絲線 二根，烘箱 一個，

(7) 水化性試驗：

方法：將規定尺寸(本試驗分二種尺寸，一為研磨後原有尺寸，一為通過40號篩者)之樣品樣品，加不同重量之紅土與水混勻勻，密封瓶口放置瓶內。然後用製模機製成高$2\frac{1}{2}$公分，直徑$2\frac{1}{2}$公分圓柱體模子各三個，(製模壓力132 Kg/Cm^2)在室溫涼乾20小時後，置於電爐內在110°C. 之常溫下烘烤4小時，取出試模，置於乾燥器內冷却20分鐘。然後浸入室溫水內，試驗其在水內，解化所須之時間。

儀器：40號篩 一個，製模機 一座，靈敏天秤 一座，

水　盂　一個，　蒸發碟　一個，　軟　刀　一把，
制動器　一個，

(8) 黏結力試驗：

方法：用上述手續，製成各種成份試筏各三個，在結度機上衝擊，以求其黏結力（黏結力即開始破裂之所須衝擊次數）

儀器：　製模機　一座，　黏度機　一座，　感敏天秤　一座，
40號篩　一個，　水　盂　一個，　蒸發碟　一個，
軟　刀　一把，

試驗結果

1. 比重　　$比重=\frac{500克}{416c.c.-200c.c.}=\frac{500}{216}=2.32$

2. 空隙百分率　　$空隙百分率=\frac{400\times2.32-735.76}{400(2.32-1)}=\frac{928-735.76}{528}=\frac{192.24}{528}$

$=0.3641=36.41\%$

3. 表面水份百分率　　$表面水份百分率=\frac{422-\frac{810}{2.32}-200}{200+50+422}\times100=\frac{422-216-200}{700-422}$

$\times100=\frac{6}{278}\times100=2.16\%$

4. 機械分析

a. 研磨後（在研磨機內磨5000轉）

通過篩號	遺留篩號	重量（克）
4 號	10 號	0.33
10 ,,	20 ,,	66.45
20 ,,	40 ,,	94.00
40 ,,	60 ,,	13.63
60 ,,	100 ,,	158.95
100 ,,	200 ,,	61.00
200 ,,		53.14

總重=507.50克

通過篩號	重量（克）	通過百分率(%)	遺留百分率(%)
4 號	507.50	100	0
10 ,,	507.17	99.93	0.07
20 ,,	440.72	87.26	12.74
40 ,,	346.72	68.32	31.68
60 ,,	273.09	53.81	46.19
100 ,,	114.14	22.49	77.51
200 ,,	53.14	10.47	89.53

b.研磨前（原有尺寸）

通過篩號	遺留篩號	重量（克）
$1\frac{1}{2}''$	$\frac{3}{4}''$	125.15
$\frac{3}{4}''$	$\frac{3}{8}''$	77.00
$\frac{3}{8}''$	4 號	56.50
4 號	10 ,,	77.65
10 ,,	20 ,,	68.20
20 ,,	40 ,,	40.90
40 ,,	60 ,,	16.50
60 ,,	100 ,,	14.90
100 ,,	200 ,,	11.90
200 ,,		3.80
		總重=492.50(克)

通過篩號	重量（克）	通過百分率(%)	遺留百分率(%)
$1\frac{1}{2}''$	492.50	100	0
$\frac{3}{4}''$	367.35	74.59	25.41
$\frac{3}{8}''$	290.35	58.95	41.05
4 號	233.85	47.48	52.52
10 ,,	156.20	31.72	68.28
20 ,,	88.00	17.87	82.13
40 ,,	47.10	9.56	90.44
60 ,,	30.60	6.21	93.79
100 ,,	15.70	3.19	96.81
200 ,,	3.80	0.77	99.23

(5) 磨耗率

樣品之規定配合			在得發爾磨耗機內（內有$\frac{3}{4}''$直徑小鋼球十八個）磨轉二千次後。			（磨耗率%）
尺寸	重量(克)	%	尺寸	重量(克)	%	以通過#50篩者爲損失，所損失之重與原有總重之比，即爲磨耗率
$\frac{1}{4}''$ —— #10	100	20	$\frac{1}{4}''$ —— #10	55.0	11.00	損失率(克)/總重(克)=%
#10 —— #20	100	20	#10 —— #20	58.5	11.70	
#20 —— #30	125	25	#20 —— #30	104.5	20.90	
#30 —— #40	100	20	#30 —— #40	85.2	17.04	
#40 —— #50	75	15	#40 —— #50	40.2	8.04	
總量	500	100	#50以下	156.6	31.32	磨耗率爲31.32%

(6) 吸水

經過時間(時)	種類 / 重量(克)		水中	空氣中
	溫度(攝氏)		水溫平均爲 20°c	空氣溫度平均爲 20°c.
			煤渣原重(烤乾)=5.76克	煤渣原重(烤乾)=6.34克
4	煤渣重(克)		7.57克	6.34克
	增加水份重量(較原重)	重量(克)	1.81克	0 克
		%	31.42%	0 %
8	煤渣重(克)		7.70克	6.34克
	增加水份重量(較原重)	重量(克)	1.94克	0 克
		%	33.68%	0 %
12	煤渣重(克)		7.75克	6.34克
	增加水份重量(較原重)	重量(克)	1.99克	0 克
		%	34.56%	0 %
24	煤渣重(克)		7.75克	6.34克
	增加水份重量(較原重)	重量(克)	1.99克	0 克
		%	34.56克	0 %
48	煤渣重(克)		7.75克	6.34克
	增加水份重量(較原重)	重量(克)	1.99克	0 克
		%	34.56%	0 %
72	煤渣重(克)		7.75克	6.34克
	增加水份重量(較原重)	重量(克)	1.99克	0 克
		%	34.56%	0 %
96	煤渣重(克)		7.75克	6.34克
	增加水份重量(較原重)	重量(克)	1.99克	0 克
		%	34.56%	0 %

(7) 水化性

樣品種類			水化時間 1	2	3	平均
粗煤渣	磨碎後之原有尺寸	加水 15%	1分 38.2秒	1分 33.3秒	1分 50 秒	1分 40.5秒
	通過四十號篩	加水 10%	56.5秒	55.6秒	53.8秒	55.3秒
		加水 15%	2分 1秒	1分 55.0秒	1分 49.6秒	1分 56.2秒
煤渣紅土混合物	煤渣及紅土皆通過四十號篩	煤渣 100% 紅土 2%	1分 11.3秒	1分 13.6秒	1分 0秒	1分 8.3秒
		煤渣 100% 紅土 4%	1分 9.8秒	1分 15 秒	1分 15.7秒	1分 13.5秒
		煤渣 100% 紅土 6%	3分 25 秒	3分 39 秒	3分 33 秒	3分 32.3秒
		煤渣 100% 紅土 10%	4分 21 秒	4分 17 秒	4分 27 秒	4分 21.7秒
		煤渣 100% 紅土 15%	7分 43 秒	7分 35 秒	7分 50 秒	7分 42.7秒
		煤渣 100% 紅土 20%	9分 56 秒	10分 7 秒	11分 59 秒	10分 40.7秒
		煤渣 100% 紅土 30%	6分 26 秒	7分 34 秒	7分 43 秒	7分 14.3秒

		煤渣 100% 紅土 40%	8分 1 秒	9分 23 秒	7分 49 秒	8分 24.3秒
		煤渣 100% 紅土 50%	10分 32 秒	9分 3 秒	9分 17 秒	9分 37.3秒
		煤渣 100% 紅土 70%	10分 34 秒	10分 49 秒	10分 33 秒	10分 38.7秒
		煤渣 100% 紅土 100%	41分 15 秒	43分 35 秒	42分 45 秒	42分 31.7秒

(8) 黏結力

樣品種類			黏結力			
			1	2	3	平均
純煤渣	將碎後之原有尺寸	加水 15%	2	2	2	2
	通過四十號篩	加水 10% 加水 15%	2 2	2 2	2 2	2 2
煤渣紅土混合物	煤渣及紅土皆通四十號篩加水15%	煤渣 100% 紅土 2%	2	2	2	2
		煤渣 100% 紅土 4%	2	2	2	2
		煤渣 100% 紅土 6%	3	3	3	3
		煤渣 100% 紅土 10%	3	3	3	3
		煤渣 100% 紅土 15%	4	4	4	4
		煤渣 100% 紅土 20%	5	5	5	5
		煤渣 100% 紅土 30%	20	21	22	21
		煤渣 100% 紅土 40%	25	28	25	26
		煤渣 100% 紅土 50%	54	50	55	53
		煤渣 100% 紅土 70%	100	112	97	103
		煤渣 100% 紅土 100%	185	180	175	180

結　　論

在工廠林立之區，煤渣產量爲數頗多，在交通不繁至工廠支綫公路，如能利用煤渣鋪築路面，實爲一最經濟而合理之辦法。是以本室將煤渣築路性質作一綜納試備，以供應用時之參考，試驗結果已如上述，現再擇其要者，申說如下：

(1)磨耗率．煤渣磨耗率經試驗結果，知爲 31.82%，試驗方法，全係根據砂料磨耗率試驗方法，與同一級配之砂料比較如下：

磨耗率			
煤渣	砂		
	昆明砂		美國砂
（昆明瀾發電廠）	白砂	紅砂	
21.32%	32.8%	15%	10.9%

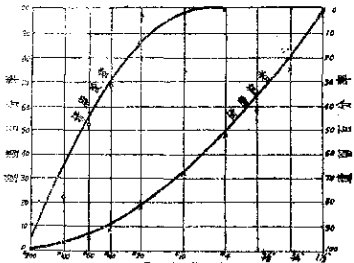
由上表可知煤渣之抗磨力，雖不及上等砂料，然與次級砂料相較，其結果不相上下，故知其抗磨力不能謂爲太低。

(2)吸水性：由上結果知在水中12小時後，已達 34.55%而不再吸水，可見吸水之速。但在雨後乾燥亦極迅速，此種性質，頗與砂路路面相似。

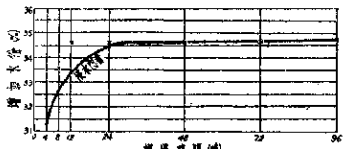
(3)水化性：水化時間由加土或份之多少而增減，即在加土 100%時，水化時間僅四十餘分鐘。但在水化以後，顆粒仍能維持原狀，不似黏土經水化後，易成泥漿，而承動量全失此種現象，亦與砂質類似。

(4)黏結力：煤渣材料，本身無黏結力可言，黏結力之强弱，視所加黏土或份多寡而定，摻加土料至50時，黏結力爲50，適合黏結力之標準。但如加土過少，則煤渣鬆料請時易於吹散，加土過多，則雨時易於發生泥濘現象。加土之多寡，視氣候情形而轉移，最好能在加土之外，再加石灰 5%——10%以穩定之。

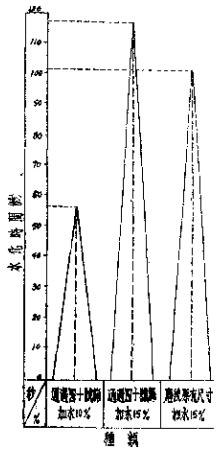
由上述結論，煤渣路面性質與沙土路面者頗相類似，砂土路面，雖爲一低級路面。但如修築得法，養護有方，則下層之運輸量，亦可應付裕如。故煤渣路面，亦可期有同等之結果。本題試驗所用之煤渣，係取自一處，至於燃燒之溫度及時間，皆能影響煤渣之性質。本試驗之結果，或可供修築是種路面之一參考。



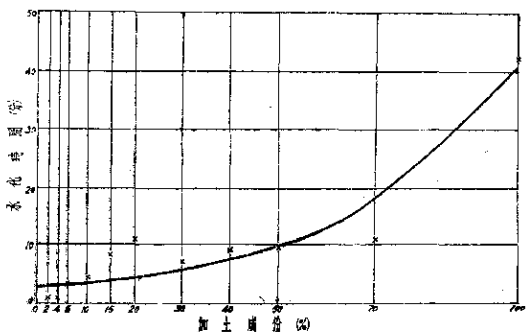
煤塵顆粒大小與粉圖



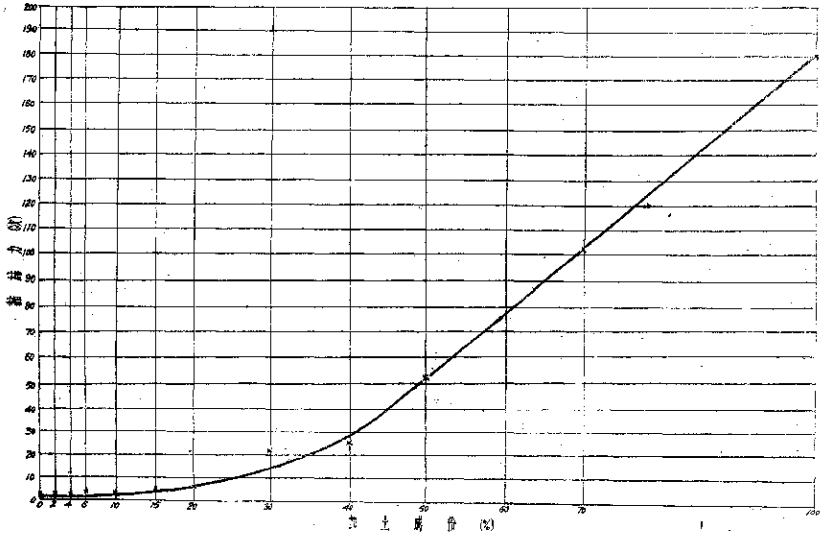
吸水性曲線圖



純煤塵吸水比性比較圖



水化性(加粘土者)


抗壓強度 (公斤/平方公分)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
0
2
4
6
10
15
20
30
40
50
60
70
100
加土量 (%)

強度 (加紅土後)

低級路面水份維持劑試驗報告

李謨熾　李廉錕

引　　言

凡未處治之碎石路面，極易發生龜紋，解旋，蜂穴等現象，不維行車費用增加，抑且修補不易，增加養路之費用。其發生之原因，雖頗簡單，但其主要者，不外塵土結合劑料，因路面不易維持所需之水份，以致結結力大減，易為車輛衝擊而搖動，或為車行時所發生之真空所吸引，或為風力所吹揚，日積月累，細料減少，碎石凸露，路面乃變粗糙。假若能將路面之結合劑料，永久維持潤濕，則路面之狀況，必較良好。不獨行車及養路費用皆可減低，而乘車者，亦可不感灰塵揚起之痛苦。

路面水份維持之方式，最直接者為灑水，此法効能雖大，但管理困難，亦不經濟，在長千百公里之公路上，實不易施行。採用此法者，大都限於城市街道，以其水源容易，路綫不長。北平市水結碎石路面，在夏季澆水於上，以減少其灰塵，有人工，汽車及電車灑水三種方法。公路路面水份維持方法，在歐美多利用油類敷面，使不透水，或利用鹽化鈣或食鹽，以吸收空氣中的水份，常使路面潤濕。吾國財力不裕，一切力求經濟，水份維持劑之使用，一時或尚不能談到。但如價值低不昂，在運輸較繁密之地帶或可應用，本室特選擇數種加以試驗，將來如有應用機會，或可有以資參考也。

試驗材料性質之分析

試驗所用樣品，應採用築路後配不同之材料，摻入各種水份維持劑，利用環形軌道，在室內試驗，以決定其水份維持之効能，俾可與實際情形符合。在本室無此環形軌道之設備，故只能盡可能作一簡單比較之試驗，所用樣品，亦僅以生紅土一種為限。此種生紅土，係採自裏南省沙鄭公路（在昆明城外黃土坡附近），在本摻入水份維持劑以前，土壤性質，宜加以下列之分析：

1. 篩析分析：

通過 10 號留 20 號者＝137·00克＝27.40%
,, ,, 20 ,, ,, ,, 40 ,, ,,＝141.00,,＝28.20%
,, ,, 40 ,, ,, ,, 60 ,, ,,＝ 66.50,,＝13.30%
,, ,, 60 ,, ,, ,,100 ,, ,,＝ 22.00,,＝ 4.40%
,, ,,100 ,, ,, ,,200 ,, ,,＝ 48.50,,＝ 9.70%
,, ,,200 ,, 者　　＝ 44.00,,＝ 8.80%

2. 液體限度試驗：

濕土及玻璃重量=36.52克

乾 ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,,= 31.90,,

,, ,, ,, ,, ,, ,,=25.95,,

水份 ,, ,,= 4.52,,

乾土 ,, ,,= 5.92,,

$$液體限度=\frac{水份重量}{乾土重量}\times100=72.44$$

3. 塑性限度試驗：

濕土及玻璃重量=30.47克

乾 ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,,=28.59,,

,, ,, ,, ,, ,, ,,=25.00,,

水份 ,, ,,= 1.88,,

乾土 ,, ,,= 3.59,,

$$塑性限度=\frac{水份重量}{乾土重量}\times100=42.77$$

塑性指數=液體限度−塑性限度=29.65

4. 縮性試驗：

此試驗包括下列各項：

a. 縮性限度——在某一限度時，增加泥土中之水份，其體積亦隨之而增加，若減少其中之水份，其體積並不因之減少，此時之水份含量與泥土重量之百分比，即爲該泥土之縮性限度。

b. 縮性比——一定乾泥土體積之變遷與在縮性限度時相當之水份變化之比，普通縮性比適與泥土之假比重相同。

c. 容積變遷——泥土中所含水份，自規定水份含量降至縮性限度時，其容積之變遷，以乾體積之百分比表之，此規定水份含量，平常即爲其野外濕度當量。

d. 線縮——當泥土中所含水份，自野外濕度當量降至縮性限度時，其體積之減少對于其原體積之百分比。

e. 假比重——烘乾泥土之重，以其體積除之，即爲泥土之假比重。

試驗次數	1	2	平均
濕土與碟之重	=147.472克	139.285克	
乾 ,, ,, ,, ,, ,,	=134.830克	126.445克	
碟重	=113.330克	106.095克	
濕土重	= 34.142克	33.190克	
乾土重	= 21.500克	20.350克	
濕土塊中所含水份	= 58.80%	63.09%	
濕土塊之體積	= 20.50立方公分	20.25立方公分	
乾土塊之體積	= 13.25立方公分	12.10立方公分	

縮性限度= 24.85%	23.04%	23.995%
縮性比= 1.662	1.683	1.6725
由呼外濕度當量而得之容積變遷=		55.755
線縮=		13.74
似比重=		2.788

試驗步驟

1.試模之預備：

試驗之時，須將樣品製成模形，其法以一定重量之樣品，加入製模機中，壓成圓柱形。試模之大小，影響蒸發面積，而所受之壓力，則有關其吸水能力。本試驗所製模形，皆爲2.5公分高2.5公分直徑之小圓柱，所受壓力，則爲 132公斤／平方公分，以示劃一，而資比較。

2.水份維持劑之摻加方法：

水份維持劑之種類頗多，有適宜於預摻混合者，有適於後刷者，亦有二者均可者。本試驗盡可能多作比較，以求完備，其於混合之成份，塗刷之時間，壓力，溫度，次數，溶劑之稀稠等，尤爲注意。惟本試驗所用土壤樣品，爲本地產之生紅土，其水化性太大（平均爲60秒）除油類外，其他各劑之溶液，不論稀稠，一經浸入，即行散化。故須用特種試驗方法，方能塗刷，本試驗暫時不包括在內。

3.試驗目的：

水份維持劑之優劣，當以其維持水份之久暫及吸收水份之能力以爲標準。本試驗計分氣乾及爐乾兩種，求在同一溫度，同一時間，同一濕度情形之下，各種水份維持劑之效能。

4.水份維持劑之種類：

本試驗所用水份維持劑有下列四種，其他如矽化鈉（水玻璃），地瀝青及柏油等，則未試驗。

1.氯化鈣　2.食鹽　3.石灰　4.桐油

試驗結果

1.氯化鈣混合氣乾：

試驗日期：　四月一日至四月四日

平均室溫：　23.5°C.

純土	24小時	48小時	72小時	損失水重	百分比	平均
1, 26.000	24.710	24.015	23.330	2.670	10.28	10.25%
2, 26.000	24.930	24.270	23.410	2.590	10.22	
加0.2%氯化鈣						
1, 26.050	24.980	24.400	23.680	2.380	9.14	9.02%
2, 26.050	24.850	24.310	23.720	2.330	8.94	

加0.4%氯化鈣

1, 26.100	25.025	24.470	23.815	2.285	8.75	8.40%
2, 26.100	25.130	24.530	24.000	2.100	8.05	

加0.6%氯化鈣

1, 26.155	25.180	24.650	24.145	2.010	7.68	7.70%
2, 26.150	25.140	24.610	24.130	2.020	7.72	

加0.8%氯化鈣

1, 26.210	25.160	24.670	24.285	1.925	7.35	7.43%
2, 26.210	25.200	24.720	24.240	1.970	7.50	

加1.0%氯化鈣

1, 26.260	25.250	24.780	24.370	1.890	7.20	7.20%
2, 26.260	25.250	24.770	24.370	1.890	7.20	

加1.2%氯化鈣

1, 26.310	25.435	24.880	24.425	1.885	7.17	7.17%
2, 26.310	25.440	24.860	24.425	1.885	7.17	

加1.4%氯化鈣

1, 26.365	25.485	24.900	24.500	1.865	7.08	7.10%
2, 26.360	25.485	24.890	24.485	1.875	7.12	

加1.6%氯化鈣

1, 26.415	25.570	24.980	24.545	1.870	7.08	7.01%
2, 26.415	25.570	25.090	24.575	1.840	6.96	

加1.8%氯化鈣

1, 26.470	25.605	25.070	24.755	1.715	6.47	7.03%
2, 26.470	25.610	25.090	24.450	2.020	7.60	

加2.0%氯化鈣

1, 26.520	25.820	25.180	24.685	1.835	6.72	7.22%
2, 26.520	25.810	25.170	24.530	1.990	7.62	

2、氯化鈣混合爐乾：

試驗日期： 四月七日至四月八日

電爐溫度： 110°C.

純土	爐乾8小時之重	損失水重	百分比	平均
1, 26.010	21.320	4.690	18.00	18.00%
2, 26.000	21.320	4.680	18.00	

加0.2%氯化鈣

1, 26.060	21.410	4.650	17.84	17.84%
2, 26.055	21.410	4.645	17.84	

加0.4%氯化鈣

1,	26.100	21.450	4.650	17.80	1.780%
2,	26.105	21.455	4.645	17.80	
加0.6%氯化鈣					
1,	26.155	21.410	4.645	17.76	17.77%
2,	26.160	21.410	4.650	17.78	
加0.8%氯化鈣					
1,	26.210	21.580	4.630	17.66	17.66%
2,	26.210	21.580	4.630	17.66	
加1.0%氯化鈣					
1,	26.260	21.660	4.610	17.52	17.53%
2,	26.265	21.655	4.610	17.54	
加1.2%氯化鈣					
1,	26.310	21.710	4.600	17.50	17.50%
2,	26.315	21.710	4.605	17.50	
加1.4%氯化鈣					
1,	26.365	21.755	4.610	17.47	17.47%
2,	26.360	21.755	4.605	17.47	
加1.6%氯化鈣					
1,	26.415	21.808	4.607	17.44	17.44%
2,	26.415	21.807	4.608	17.44	
加1.8%氯化鈣					
1,	26.470	21.880	4.590	17.35	17.35%
2,	26.470	21.880	4.590	17.35	
加2.0%氯化鈣					
1,	26.520	21.940	4.580	17.26	17.26%
2,	26.520	21.940	4.580	17.26	

3. 食鹽混合氣乾：

試驗日期： 四月九日至四月十二日

平均室溫： 23°C.

	純土	室溫氣乾24小時	48小時	72小時	損失水重	百分比	平均
1,	26.010	24.335	23.925	23.410	2.600	10.00	10.02%
2,	26.005	24.325	23.930	23.395	2.610	10.04	
加0.4%食鹽							
1,	26.095	24.400	24.330	24.255	1.840	7.05	7.01%
2,	26.100	24.395	24.330	24.280	1.820	6.97	
加0.6%食鹽							

1, 26.155	24.870	24.690	24.515	1.640	6.26	6.27%
2, 26.150	24.880	24.695	24.515	1.635	6.27	
加0.8%食鹽						
1, 26.200	24.985	24.805	24.600	1.600	6.11	6.12%
2, 26.210	24.980	24.795	24.625	1.585	6.13	
加1.0%食鹽						
1, 26.270	25.120	25.025	24.905	1.365	5.20	5.26%
2, 26.260	25.135	25.010	24.860	1.400	5.32	
加1.2%食鹽						
1, 26.310	25.340	25.105	24.970	1.340	5.10	5.10%
2, 26.310	25.335	25.120	24.970	1.340	5.10	
加1.4%食鹽						
1, 26.360	25.560	25.310	25.110	1.250	4.61	4.61%
2, 26.365	25.570	25.320	25.060	1.305	4.62	
加1.6%食鹽						
1, 26.420	25.765	25.500	25.240	1.180	4.45	4.45%
2, 26.415	25.780	25.520	25.240	1.175	4.45	
加1.8%食鹽						
1, 26.460	25.900	25.605	25.310	1.150	4.35	4.34%
2, 26.470	25.915	25.615	25.320	1.150	4.32	
加2.0%食鹽						
1, 26.510	26.095	25.785	25.400	1.110	4.18	4.18%
2, 26.520	26.100	25.790	25.400	1.120	4.19	

4. 石鹽法在爐乾：

試驗日期： 四月十四日至四月十五日

電爐溫度： 110°C.

純土	爐乾8小時	損失水重	百分比	平均
1, 26.030	21.345	4.685	18.00	18.00%
2, 26.020	21.335	4.685	18.00	
加0.4%食鹽				
1, 26.090	21.540	4.550	17.40	17.40%
2, 26.100	21.550	4.550	17.41	
加0.6%食鹽				
1, 26.150	21.650	4.500	17.20	17.20%
2, 26.160	21.660	4.500	17.20	
加0.8%食鹽				

1, 26.200	21.710	4.490	17.13	17.12%
2, 26.215	21.720	4.495	17.12	
加1.0%食鹽				
1, 26.270	21.820	4.450	16 95	10.95%
2, 26.250	21.800	4.450	16.95	
加1.2%食鹽				
1, 26.310	21.945	4.365	16.59	16.59%
26.305	21.940	4.365	16.60	
加1.4%食鹽				
1. 26.360	22 035	4.325	16.41	16.41%
2. 26.365	22.040	4.325	16.42	
加1.6%食鹽				
1, 26.415	22.165	4.250	16.08	16.08%
2, 26.420	22.170	4.250	16.09	
加1.8%食鹽				
1, 26.470	22.255	4.215	15.92	15.91%
2, 26.465	22.250	4.215	15.91	
加2.0%食鹽				
1, 26.520	22.410	4.110	15.50	15.50%
2, 26.520	22.405	4.115	15.51	

5.石灰混合爐乾:

試驗日期: 四月十八日至十九日

電爐溫度: 110°C.

純土	爐乾8小時	損失水重	百分比	平均
1, 25.995	21.315	4.680	18.01	18.00%
2, 26.030	21.340	4.690	18.00	
加2%石灰				
1, 26.005	21.465	4.540	17.45	17.48%
2, 26.010	21.460	4.550	17.50	
加4%石灰				
1, 26.000	21.580	4.420	17.00	17.00%
2, 26.020	21.590	4.430	17.01	
加6%石灰				
1, 26.015	21.675	4.340	16.65	16.65%
2, 26.020	21.675	4.345	16.66	

加8%石灰

1,	26.000	21.770	4.230	16.28	16.28%
2,	26.005	21.775	4.230	16 28	

加10%石灰

1,	26.010	21.940	4.070	15.63	15.63%
2,	26.015	21.949	4.075	15.63	

6.石灰混合氣乾:

試驗日期: 四月廿一日至廿四日

平均室氣: 23°C.

	純土	浸溢24小時	48小時	72小時	損失水重	百分比	平均
1,	26.000	25.670	24.120	23.890	2.110	8.12	8.10%
2,	26.000	25.650	24.110	23.900	2.100	8.09	
加2%石灰							
1,	26.015	25.710	24.320	23.990	2.025	7.77	7.74%
2,	26.005	25.730	24.345	24.000	2.005	7.71	
加4%石灰							
1,	26.020	25.770	24.540	24.070	1.910	7.33	7.40%
2,	26.015	25.785	24.535	24.075	1.940	7.46	
加6%石灰							
1、	26.025	25.800	24.590	24.205	1.820	7.00	7.00%
2,	26.020	25.795	24.720	24.200	1.820	7.00	
加8%石灰							
1,	26.000	25.820	24.800	24.300	1.700	6.53	6.54%
2,	26.005	25.825	24.780	24.300	1.705	6.55	
加10%石灰							
1,	26.010	25.835	24.910	24.390	1.620	6.24	6.28%
2,	26.000	25.850	24.890	24.360	1.640	6.31	

7.桐油處置爐乾:

試驗日期: 四月廿五日至廿六日

電爐溫度: 110°C.

	純土	8小時	損失水重	百分比	平均
1,	26.000	21.320	4.680	18.00	18.00%
2,	26.000	21.315	4.685	18.00	
浸入1分鐘					
3,	26.000	22.110	3.890	14.98	14.93%
4,	26.000	22.100	3.900	15.00	
5,	26.000	22.120	3.880	14.92	
6,	26.000	22.140	3.860	14.82	

浸入5分鐘					
7,	26.000	22.100	3.900	15.01	14.99%
8,	26.000	22.110	3.890	14.98	
9,	26.000	22.120	3.880	14.92	
10,	26.000	22.190	3.810	15.04	

8. 桐油處理氧乾:

試驗日期: 四月廿八日至五月一日

平均室溫: 23°C。

純土	24小時	48小時	72小時	損失水重	百分比	平均
1, 26.000	23.150	22.580	22.190	3.810	14.66	14.65%
2, 26.000	23.140	22.560	22.195	3.805	14.64	
浸入1分鐘						
3, 26.000	24.490	23.140	22.655	3.345	12.86	12.85%
4, 26.000	24.505	23.155	22.665	3.335	12.84	
5, 26.000	24.495	23.150	22.660	3.340	12.85	
6, 26.000	24.480	23.130	22.660	3.340	12.85	
浸入5分鐘						
7, 26.000	24.890	23.650	22.645	3.355	12.90	12.90%
8, 26.000	24.900	22.680	22.650	3.350	12.88	
9, 26.000	24.905	23.675	22.650	3.350	12.88	
10, 26.000	24.895	23.645	22.640	3.360	12.93	

討　　論

在路面上擦入或鋪撒水份維持劑之後，在氣候乾燥之時，可使路面保持濕潤，灰塵不揚，結合料損失減少，不易發生龜穴，龜紋及解塌等現象。但水份維持劑之効力，有時因滲透或冲洗而減低，除應於適當時期酌爲添加外，其他足以影響水份蒸發之原因，皆宜注意。晴季空氣所含濕度頗低，水份維持劑之吸收能力有限，故應酌量增減份量，以增減維持劑之用量。最好能在公路沿綫，廣植樹木，利用樹蔭，以減少水份之蒸發。湖南省公路多植有樹蔭，不僅可以增加公路之收入，且沿途風景更見美麗，於暴雨之冲洗，亦可預防。美國州公路局多有風景委員會，專司負責修整道路，雖以風景爲主要目標，但於養路方面，同時注意，務使公路美觀，行旅安適；於去塵之研究，尤不遺餘力。

水份維持劑，如氯化鈣，食鹽等，因潮解能力頗大，在雨季時，路面或患水份太多，可於路面上鋪砂一層，以維持所須之磨擦力，或調整路拱，及排水設備，以減除多餘之水份。

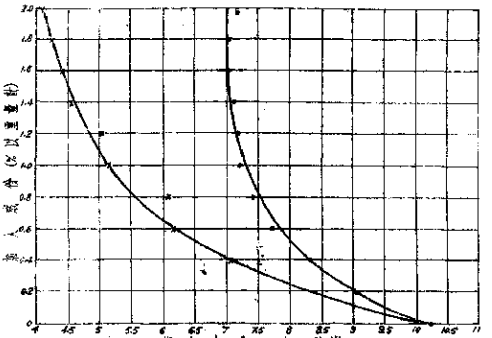
在理論上，氯化鈣之水份維持能力，應爲各劑之冠，但因其吸水能力太大，不易永久保持，一經空氣接觸，即行水化。氯化鈣爲製造蘇打所得之副產品，目前春國尚無大量出產，故多仰給於外洋。昆明市上化學藥料奇乏，購買氯化鈣，爲一難事，經多方始覓得少許不甚純粹者（因存時太久，其中已含有一部份水份）用作試驗，其結果反不如食鹽（雲

南省一年浪製鹽鹽出品）。專對上氯化鈣在吾國公路上之使用，目前機會甚微，日後工業進步，大量出產，一部公路或可採用也。

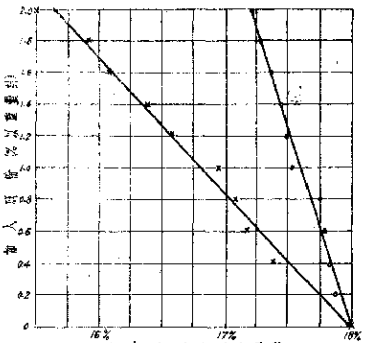
在本試驗紅土樣品中，摻入食鹽2%（以重量計），可以減少水份蒸發量至百分之二。海鹽溶解能力更大，効力自較內地出產之井鹽及石鹽更佳，產量既豐，價格亦廉，若以上述百分數，每平方公尺路面，每公分厚度，約增0.2公斤。

石灰水化能力極大，平均在兩月以上，對於土壤之穩定能力，可以大量增加，除可以維持相當水份，增加細料之黏結力，減少鋪路材料之損失外，尚可使路面在雨季時不致龜裂，或發生泥濘等患。

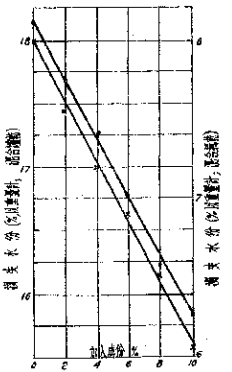
桐油性不透水，水份維持能力自大，如在路面塗刷桐油一層，不但能減少水份之蒸發，且可增加路面車輛磨耗之抵抗。每平方公尺須用油量，視路面狀況及所須保護程度而定。在吾國情形，普通每一平方公尺，惟塗桐油一公斤即可應用，在相當時間，經車輛磨耗之後，尚須加塗。因塗油處治係一養路步驟，非一永久方法，此種方式，耐久程度如何，尚屬疑問。瀝青及乳化地瀝青油，柏油等，均為不透水養護路面之較佳材料，惟因吾國出產甚微，故目前尚不能應用，本文暫付闕如。



水份維持測之效能曲線



水份維持測之效能曲線



水份維持測效能曲線

代柏油品試驗報告

陳本端　　涂漢廷

（一）緒　　言

抗戰軍興，內地建設，如雨後春筍，尤以公路為最甚。然公路建築，在初期之際，簡而易為，良以運輸輕淡，車輛稀少，工程設備，自不必精密而考究。但運輸日繁，車輛日多之時，則整個公路問題，如工程之改良，運輸之經濟，管理之得法，均油然而興。茲先就工程改良一端而言，除公路之路線路寬及排水設備，勉能改善之外，亟於路面改良問題，始終苦無正當之辦法。蓋路面建築，原以交通簡繁為根據，而分為高中低三種之等級。例如車輛不多之處，沙土路面已足為用，是謂之為低級。倘車輛增多，低級路面，不能維持，則碎石路面，乃不可少，是謂之為中級。若車輛益多，每日超出五六百輛，則碎石路面亦難維持，於是柏油或水泥混凝土路，實為當然之需要。由此而觀，公路路面之改善，如以經濟適用為原則，必須依據車輛之多少，而定其種類之高低，若問施而違行，雖一時不致阻礙運輸之進行，然於整個公路經濟問題上，究屬不合，此不待言者也。考目前內地各省公路之交通，簡繁不一，其每日之行車，自十餘輛以致數百輛不等，故高中低各級之路面，均所需要，而路面之研究，自亦不可有輕重之別。

高級路面建築之問題，在我國情形之下，困難頗多，第一為材料問題，第二為經濟問題。例如柏油及地瀝青材料，均為舶來之品，水泥雖能自製，但產量不足，故材料一項，可謂完全不能自給。在軍興之前，公路運輸，向居次要地位，普通每日能有十餘輛行車之交通，已覺不少。故當時公路之建築，設備簡單而費用低廉。今之公路運輸，一躍而居首位，故設備必需精良，而費用自然昂貴。但一般思想，受昔日觀念之影響，仍以為公路之修築，需款低而完成速，造成目前公路車多路壞之現象。

高級路面之建築，既不可免，其所需材料之研究，實屬當務之急。水泥製造，若能大量出產，自可修築水泥路面，柏油瀝青，若能自行提鍊，當可修築柏油路面。但在兩者均未實現之前，倘能尋得柏油之代替品，亦可解決目前之困難。民國廿七年夏，本部公路總管理處技正陳君本端即創始利用桐油及松香混合品，以代替柏油，廿八年一月，成都市政府，因改善市內路面，曾被約往成都，代為設計，四川公路局亦擬試辦，後以經費及設備問題，未能舉辦。廿八年五月初，西南公路管理局瀘筑設工程處，擬在金釐海業溪，試築各種桐油松香路面，籌備甫行就緒，適值轟炸，無形停頓。同年十月間四川公路局駐瀘辦事處派工在重慶上清寺牛角沱該處門前，修築桐油松香混沙路面數十公尺，由交通部公路總管理處補助一千餘元。但以化油爐，炒砂鍋，容量太小，每次混合料鋪路寬度不及一英尺，以致不能用壓路機加以滾壓，僅用鐵夯以人力為之，未克深實，而所用油量，亦感不足。且因化油爐終日加熱燒油，油性似已焦脆，故結果不佳，所成路面，不久即呈破裂之現象，可見工之不善其器者，必難得優良之結果。茲為進一步研究起見，特按照柏油材料試驗之方法，一一加以試驗，并將試驗結果，披露於此，以證明桐油松香混合物，與柏油瀝青，在築路立場上，并無二致，不過一為植物產，一為礦產而已。

（二）原料之展望

原料方面，一爲桐油，一爲松香，桐油爲我國之特產，產量極富，如川、桂、湘、黔諸省，均有大量之生產。其目前之出路，雖可爲國內漆業製造之用，但外銷國外，實屬大宗。其價值最低時，曾至每担國幣十五元左右，每斤只合一角五分上下。屆臺目前，因統銷外銷及外匯之關係，其價值每担還一百五十元左右，每斤合國幣一元五六角，是以桐油市價之高低，完全視有無銷路爲轉移。至於松香一項，其情形則彼有不同，蓋其用途不廣，銷路不宏，故產量較桐油爲少。但川省之涪陵，以及桂省北部一帶，亦大量生產，其市價最低時，每斤僅賣一角左右，現在每斤約在七八角。以桐油松香化合之後，其混合之價值，亦能加以計算。例如以目前原料市價爲標準，每斤混合物約國幣一元三角左右，但要國柏油在民間市價，每斤約國幣一元五角上下。若以抗戰前市價爲標準，桐油每斤假定爲國幣二角，松香假定爲一角，則製成之混合品，每斤約需國幣一角五分上下，若修築路面，以每平方公尺需油六斤計算，則目前每平方公尺需國幣九元，戰後恢復常態之後，僅需九角。昔時柏油在港滬每噸約售八九十元，加之內地運費，恐每噸約需國幣二百元上下，亦必在二角左右。由此而觀，在商業上，美舶來品，在內地各處，必能爭衡。但桐油銷路，必因國外之種植，日漸減少，而國內必因外銷有利，而廣事種植，將來之趨勢，必國內產量驟增，國外銷路驟減，乃不能不形成桐油出路之衰落。若以之爲築路材料，當能爲挽救頹勢之一法，如此則市價必低，桐油松香混合物，每斤必能低至國幣一角以下而無疑。倘能一面建廠大量製煉，一面設廠各方採用，則舶來品之柏油，必能退避於我國之市場，而我國公路事業，亦可因之蓬蓬而日上也。

（三）製煉法之展望

按地瀝青或柏油，可分三大種類，一爲地瀝青膠泥，二爲輕製地瀝青，三爲地瀝青乳膠。因三種材料之不同，修築路面之方法，亦有熱拌及冷拌之別。普通熱拌方法，須用器械，較冷拌略多，故在城市之中，鋪築馬路，工作集中，熱拌方法，并不感覺困難。若修築公路，里程較長，工作分散，熱拌方法，終嫌不貪。由此而觀，我國城市以及公路鋪修路面之高級材料，除水泥之外，似可以此種柏油代替品爲最宜。而此種柏油代替品，又可煉成膠泥，輕製，及乳膠三種，以適合熱拌冷拌之方法。熱拌所需之油料爲膠泥，可以其油性而分其類別，例如針入度，軟化點，及延度均可分配製煉，而成一單獨種類之油料。其單獨之種類，必能適合某一地方某一築路面建築之用，工程師定出油性細則，製油廠即能如法煉製，以供給之。至於冷拌所需之油料爲輕製或乳膠，其分類之方法，亦可以其油性爲根據。例如輕製油料，可以速凝介凝及慢凝三種性質，以區別其種類。乳膠油料，則可以速凝介解及慢解三種，以區別其種類。故冷拌方法所用之油料，亦可由桐油松香混合物以代替外貨。由此可以推斷此種柏油瀝青代替品，無論何種，皆可以做製，而成効同一，并無分別。至其化學成份，雖未試驗，但在二硫化炭之中，可以完全溶解，在汽油或火油之中，亦可溶化，是可證明此種桐油松香混合物，大部份爲氫，與柏油或地瀝青，似無區別也。

（四）試驗法之簡述

此種桐油松香混合物，可以燒成膠泥，輕製及乳膠，已如上述。固膠料如在二硫化碳，汽油或火油之中，皆可溶化，雖以形狀及極似柏油，於是根據種種之考查，可以斷定此種混合物試驗之方法，完全採用柏油試驗，必能適合，經實施後，果然不錯。

經決定採用柏油試驗之方法後，試驗工作，乃告開始。工作計劃，分為三種，一為桐油松香膠泥之試驗，二為桐油松香輕製油之試驗，三為桐油松香乳膠之試驗，關於各種試驗之項目，列表如下。

表一：桐油松香與膠泥輕製油及乳膠各種試驗項目

膠　　泥	輕　製　油	乳　　膠
1.普通性質 2.比重 25°/25°C. 3.針入度25°C.100克,5秒. 4.軟化點 5.延度25°C.公分。 6.引火點 7.蒸餾損失163°C.,50克,5小時 8.溶解於二硫化炭,瀝青量	1.普通性質 2.比重 3.水淸 4.引火點 5.塞普爾特 否羅爾黏度 50°C.,秒. 6.蒸溜試驗： 0° —— 190°C. 0° —— 225°C. 0° —— 315.5°C. 0° —— 360°C. 7.蒸溜殘試驗： 針入度25°C.,100克,5秒 延度25°C.公分 溶解於二硫化炭瀝青量% 浮標試驗50°C.秒	1.普通性質 2.比重25°/25°C. 3.塞普爾特 否羅爾黏度 25°C.,秒. 4.蒸溜至500°F(260°C.) 蒸餾液% 油殘% 5.沉澱5日% 6.乳化油灰份% 7.蒸溜殘試驗： 針入度,25°C.,100克,5秒 延度25°C.公分 溶解於二硫化炭瀝青量%

上述三種試驗之方法，均為柏油瀝青之標準試驗，一切步驟，皆採取美國材料標準試驗之步驟，抗戰軍興之後，各校試驗設備，頗多遺失。在西南聯合大學校清華大學，預先由北平遷出，所有各種材料試驗儀器，隨機遷抵滇境。因之桐油松香混合物之試驗工作，得以開始，并能順利進行，此當表示感謝者也。

（五）膠泥輕製及乳膠三種之比較

利用桐油松香混合料，可以製成膠泥，輕製及乳膠，以代替舶來品，而適合熱拌及冷拌之方法，已如上述。惟此三種料品之中，雖各具其長，但以國產材料，代替舶來品，自以竭力避免外貨為最宜。例如膠泥一類，完全以桐油松香化合而成，乳膠則以膠泥加水乳化而得。若輕製者，則必須利用汽油或火油以溶化膠泥，由此而觀，輕製一種，尚須利賴外貨，始能製煉。若欲完全國產，則膠泥及乳膠兩種，最為相宜。蒸熱拌可用前者，冷拌可用後者。

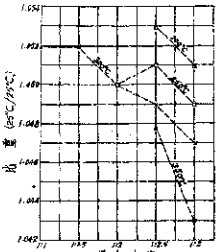
目前研究之展望，自宜以兩種爲目標。但乳膠一種，係自油水而化合，需要製膠機械之幫助，始能製造，現在此類機械，尚付闕如，未能進行。本篇之報告，僅限於膠泥一種而已。

（六）桐油松香膠泥試驗步驟簡述及其試驗之結果

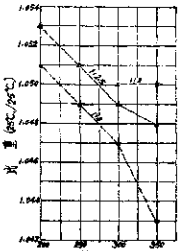
利用桐油及松香，以製膠泥，欲得其種種不同之性質，以適合各種高級路面之建築，可按照其成份之變化及製煉溫度之高低，而加以應治，本試驗之步驟，即根據混合比率及製煉溫度，按步試驗，其試驗之結果，列之於表二。各種結果互相之關係繪成圖一至圖十八

表二：桐油松香膠泥試驗結果

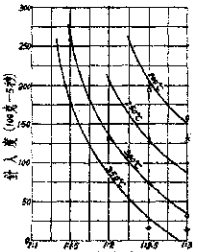
試驗項目	溫度 C. / 混合比率	200°	250°	300°	350°
比重 25°/25°C.	1:1			1.052	
	1:1 1/2			1.052	
	1:2		1.050	1.050	
	1:2 1/2	1.053	1.051	1.049	1.048
	1:3	1.051	1.049	1.047	1.043
針入度五秒鐘克	1:1			402.2	
	1:1 1/2			255.0	
	1:2		153.3	181.4	
	1:2 1/2	193.7	129.8	74.5	16.3
	1:3	156.1	130.8	30.0	13.8
延度公分	1:1				
	1:1 1/2			71.10	
	1:2		60.50	47.50	
	1:2 1/2	51.50	60.75	56.00	47.30
	1:3	55.15	51.00	42.50	51.20
軟化點環球氏法 擬溫度	1:1				
	1:1 1/2			31.10	
	1:2		27.9	37.70	
	1:2 1/2	32.00	37.4	42.40	52.00
	1:3	37.50	39.0	46.50	56.00
燒損失%	1:1			0.656	
	1:1 1/2			0.167	
	1:2		0.820	0.502	
	1:2 1/2	0.771	0.780	0.504	0.638
	1:3	0.690	0.516	0.478	0.842



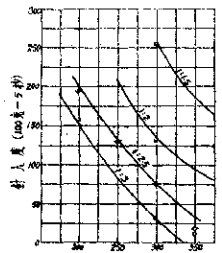
圖一：比重與混合比率關係曲線



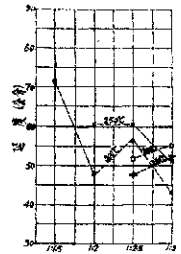
圖二：比重與製造溫度關係曲線



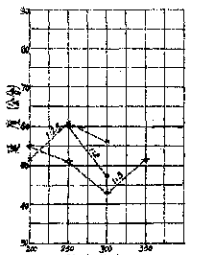
圖三：針入度與混合比率關係曲線



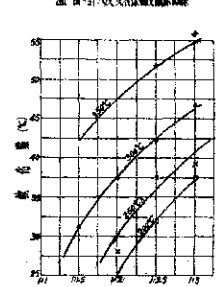
圖四：針入度與製造溫度關係曲線



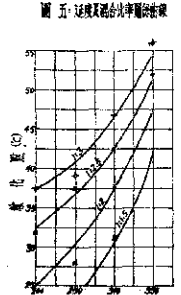
圖五：延度與混合比率關係曲線



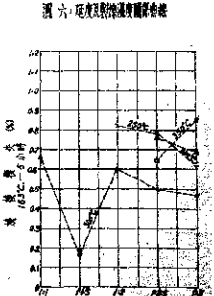
圖六：延度與製造溫度關係曲線



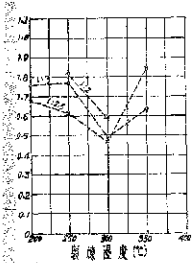
圖七：軟化點與混合比率關係曲線



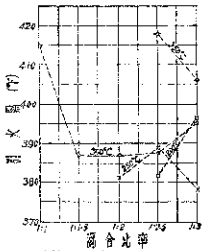
圖八：軟化點與製造溫度關係曲線



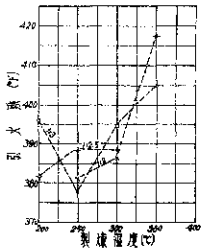
圖九：溶解度與混合比率關係曲線



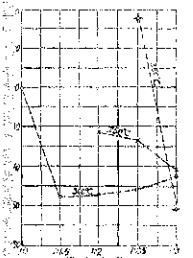
圖十：煤焦粉及黏結劑裂解溫度關係曲線



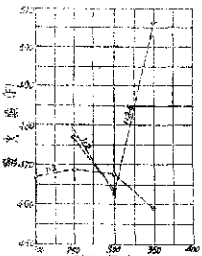
圖十一：引火點及混合比率關係曲線



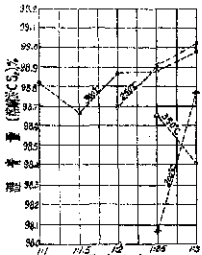
圖十二：引火點及裂煤溫度關係曲線



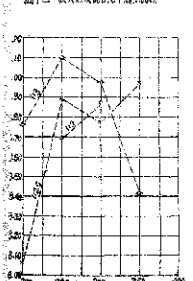
圖十三：發火點及混合比率關係曲線



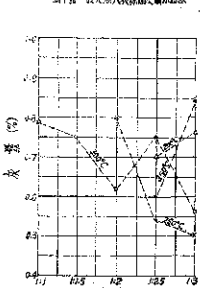
圖十四：發火點及裂煤溫度關係曲線



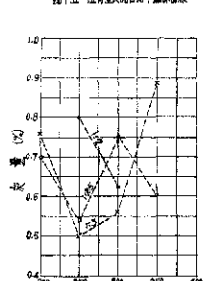
圖十五：總收率及混合比率關係曲線



圖十六：總收率及裂煤溫度關係曲線



圖十七：灰分及混合比率關係曲線



圖十八：灰分及裂煤溫度關係曲線

引火點	1:1			414.5	
	1:2½			387.0	
	1:2		381.0	387.0	
溫度華氏	1:2½	328.0	389.0	388.5	417.8
	1:3	396.5	378.0	395.0	495.5
發火點	1:1			490.5	
	1:1½			462.8	
	1:2		479.0	463.0	
溫度華氏	1:2½	420.0	477.0	464.5	507.5
	1:3	467.0	469.0	467.5	495.5
瀝青量 CS_2	1:1			98.811	
	1:1½			98.668	
	1:2		98.701	98.862	
	1:2½	98.063	98.910	98.778	98.672
	1:3	98.759	99.100	98.985	98.410
灰份%	1:1			0.790	
	1:1½			0.750	
	1:2		0.798	0.620	
	1:2½	0.698	0.542	0.755	0.603
	1:3	0.760	0.500	0.560	0.890

(七)結　論

由桐油松香膠泥試驗結果而觀，以之替代瀝青膠泥，在理論上，雖已成立，實際採用，似無猶疑之必要。凡用瀝青膠泥修築之路面，以桐油松香膠化替，當能有同樣之効果。惟普通所謂柏油路面，原係高級路面之一種，修築之時，貴乎精密，對於應需之器械，務必完備，對於油料性質，務必認眞，對於當地之氣候，尤須加以特別之考慮。蓋路面愈佳者，其修築步驟，愈爲複雜，當其事者，不可不儆愼處之，方能得到美滿之結果，勿以爲高級路面簡而易行也。

目前試驗之結果，僅限以膠泥之一種，熱拌方法，勢所難免，公路建築，路線綿長，置備器械，或有困難。惟城市之中，就近採購原料，價值較廉，修建馬路，事半而功倍，負責市政者，可資參考。

膠泥須加熱拌，手續略嫌複雜，他日能有乳膠出品，冷拌當可施行。本室倘有餘力，必能設法使之實現，尙望海內賢達，有以教之。

國產柏油研究及實驗報告

李謨熾

引　　言

抗戰之前，我國較高級路面之鋪築，大都限於城市之街道。所採用者，不外兩種，一為瀝青路面（俗稱柏油路面），一為混凝土路面，尤以前者為最普遍。我國較大都市，如上海，南京，北平，廣州，漢口，青島，重慶，長沙等，皆有柏油路面之街道。惟所採柏油材料，皆購自外洋。究其原因，實為我國柏油工業之不發達，天然材料產量既微，人工製造工業又不提倡。猶憶一九三七年，作者曾赴井陘煤礦煉焦廠考察製造柏油情形，當時該廠每月產量不過二十噸左右，是以北平市鋪築西郊及市內柏油路面之材料，除曾嘗胡同曾採用三十噸井陘煤柏油外，全部所用一千噸柏油，皆為英商亞細亞煤油公司之 Shell 地瀝青。至於我國公路之修築，則更無法大量利用。抗戰之前，公路運輸不繁，低級路面，尚可勉強維持。抗戰以來，公路運量，日漸繁重，原有路面，不復勝任，故良路面之呼聲，甚囂塵上，無論在經濟上及事實上，皆有改良較高一級路面之必要。鋪築公路，為我國西南大後方唯一國際交通要道，軍民物資之輸送，大部集中於斯。根據最近五月（三十年七月至十一月）調查統計，全線每日平均運量約三百四十輛，最高運量，可達五百三十輛，實為我國運輸最繁密之公路。　　中樞有鑒於此，為求運輸經濟及增加運量起見，除將滇緬公路路線逐漸加以改善外，并決定將該路全線加鋪柏油路面。我國公路如是大規模之鋪築柏油路面，此次為空前之創舉。採用柏油材料，為美國美孚公司產品 Socofix 牌號速凝輕製液體地瀝青之一種。惟自抑光失陷，柏油材料，來源斷絕，驟入更加困難。柏油路面現完成者，約居七分之一，而滇緬公路將來擬修之中印公路路線首尾兩接，是此路之重要，將與抗戰而增加。如仍仰賴舶來品之供給，不惟時間上及經濟上皆不許可，且運輸情形日趨，運距增加，有限噸位，當讓軍運。故今後如何以國產柏油代替舶來品，以完成鋪築全線之計劃，實為一急不容緩而亟需解決之問題。滇緬公路雖尚有噸於公量，為求兩端經起見，特委託本室代為研究國產柏油，以期在必要時，可以採用。本室決定先由滇省境內規模較大之柏油工廠着手研究，以便將來事實上，可以大量供給。先後收到各處柏油樣品多種，先予以詳細之分析，再研究配製及建議如何改進，務求適合滇境內築路之標準。惟查本

文完成之日，正值緬北吃緊之時。此中印公路暫時將告停止，是滇緬公路之重要，亦隨之而暫失其重要性。無論在任何情形之下，我國公路事業，如謀其發展，第一必需有良好四季通行之路面，以應付適當之運輸量，而修築路面之材料，尤賴柏油。柏油路面，公認爲良好高級路面之一種，無論在公路上或在城市內，皆有採用之可能。我國內地，城市街道，如有國產柏油供給，尤要宜着手改修此種路面，整理市容，使每一市民得享受日常「行」之樂，而市內各種交通工具，得以順利暢行。本文範圍，先將二月來國產柏油研究及試驗結果，編寫報告，并擬輔證加以研究，以供國內公路界人士之一參考。將來無論應用於公路或城市之街道，或舊有其價值。如不能實際採用，則種作一學術之研究，亦無不可。

試驗方法簡述

柏油試驗方法，以前本室各報告中，若未述及，爲讀者便利起見，茲將試驗方法，簡略述之如下：

1.比重試驗　本室比重試驗儀器，有比重瓶，比重計，及代水量儀三種，本文試驗係採用哈巴德比重瓶法。除蒸餾液溫度爲攝氏三十八度外，皆用攝氏二十五度。液體柏油比重$=\frac{c-a}{b-a}$，固體柏油比重$=\frac{c-a}{(b-a)-(d-c)}$

a=比重瓶空重

b=比重瓶及滿盛水重量

c=比重瓶及滿盛液體柏油重量或比重瓶及盛約一半固體柏油重量

d=比重瓶盛約一半固體柏油及再注滿水之重量

2.浮標試驗　浮標試驗，爲測定固體柏油之稠度。浮標度單位，爲在指定溫度之下，攝氏32度或50度，標準浮標由浮游水面時起，至水將標準領套油塑軟化，由露浮標面上爲止，所需時間之秒數。

3.英格勒比滯度試驗　比滯度試驗爲測定液體柏油之稠度，英格勒比滯度爲50c.c.油量，在指定溫度之下，攝氏40度或50度，流過標準小孔所需時間，與50c.c.水量在攝氏25度下，流過同一小孔所需時間之比例。

4.蒸餾試驗　蒸餾試驗爲測定液體及半固體柏油所含各種揮發油之成份，蒸餾計算概以重量計。試驗溫度，分爲0°—170°C.，0°—235°C.，0°—270°C.，及0°—300°C.四部。試驗步驟，與普通蒸溜方法相同，惟需用A.S.T.M.標準蒸溜曲頸瓶及標準凝結管之設備。

5.軟化點試驗　本室軟化點試驗方法，採用普通用之環及球法，以測定蒸溜後殘渣之軟化程度。環及球法，爲在標準油環上置標準鋼球，在每分鐘加熱上升攝氏五度情形之下，油塑下墮2½公分時之溫度。

6.瀝青量試驗　瀝青量試驗乃測定溶解於二硫化碳之純粹瀝青成份。試驗方法，與普通揩過瀝青法相同。

7.感應指數試驗　感應指數試驗，爲試驗在各種溫度之下，柏油材料對於溫度變遷之感應程度。地瀝青材料，可在三種不同溫度之下，試驗其針入度，感應指數爲$(P_3-P_1)/P_2$。P_1爲0°C.，200克，60秒之針入度，P_2爲25°C.，100克，5秒之針入度，P_3爲

46°C.，50克，5秒之針入度。柏油材料，液體者，可在二種不同溫度之下，試驗其比濃度，固體者尚無標準方法。本室試驗方法，暫時採用針入度法及浮標度法，作一比較，至於何種適宜，容日後當繼續研究之。

8. 附着力試驗　附着力試驗，為試驗柏油材料附着石砂混料之結結力，惟此試驗尚未標準化。本室附着力試驗方法，係採用 5×2×2公分小長方石塊三塊，上塗樣品，在二十四小時後，試驗其剪力若干。

標準之厘定

柏油材料，標準分類，可分為十四等級。適用於我國修築柏油路面處治方式者，不過數種，其中分冷澆及熱澆二種。冷澆者之利，為可以省却加熱之手續，但所含揮發輕油成份較多，不如熱澆半固體者耐久。柏油路面處治第一層首塗油，因需較強之流入力，自以用液體者為宜，第二層澆油，則以半固體者為經濟。本室所推薦之柏油標準，共有四種，路面處治首塗層用 A級冷澆液體柏油，以後各層皆可用 B級熱澆半固體柏油，石塊填縫料用 C級半固體柏油，補路用 D級液體柏油。茲將厘定之標準列表如下：

等級	A	B	C	D
體式	液　體	半固體	半固體	液　體
比重25°C./25°C.	>1.10	>1.14	>1.16	>1.09
水份(以容量計)	<1 $\frac{1}{2}$%	0%	0%	< 1%
英格勒比濃度，40°C.				
50°C.	25—40			25—40
浮標度，32°C.		100—200		
50°C.			100—200	
瀝青量	>85%	>80%	>75%	>80%
蒸餾試驗(以重量計)				
至170°C.	< 5%	< 1%	< 1%	2— 8%
至200°C.				> 5%
至235°C.				8— 8%
至270°C.	<25%	<15%	<10%	
至300°C.	<35%	<25%	<20%	<35%
燒流收化點	35°—65°C.	35°—65°C.	40°—70°C.	40°—70°C.
感應指數	中	低	低	低
附着力	强	强	强	强
澆油溫度	80°—150°F.	150°—225°F.	175°—250°F.	60°—120°F.
相等標準柏油	RT 6	RT8,9	RT11,12	RTCB5,6
用途	首塗層	路面處治	填縫料	補路

配製之研究

柏油材料標準，雖已厘定如上所述。第二步即為原有樣品之分析，驗其是否與規定之

標準相符合。通常情形，初次送來樣品，因原無所根據，大都與標準有剛出入。柏油製造工廠，因儘量挖掘各種有用價昂化學藥品，故所剩餘柏油副產品之稠度，未免懸殊。改善方式，即為如同在工廠製造時調節溫度及控制所含各類揮發油之成份，使其稠度適合鋪路澆廢或拌合之標準，然後再判定油質之優劣。為減低柏油成本起見，必需將各級輕中級油盡量提出，則需研究如何配製，使不適用之柏油，化成為有用之柏油。配製方式，必需摻和一種液種油質重複經製。此摻和之油，其質必需較提出者為濃，輕製油質十種製成，提煉油質，否則不必多此一番手續。本室研究結果，決定採用目前不易出口之桐油為輕製油質，並加調節劑若干，以改善柏油易呈脆裂之弱性，而適於澆路之用。（按此種配製方法，為本室專利之一方法）

配製試驗結果

配製柏油樣品，特取光華牛固體柏油甲乙兩種，配製試驗，用浮標度方法試驗比稠度。B級標準攝氏32度之浮標度，應為100至200秒，C級標準，攝氏50度之浮標度，應為100至200秒。根據B C兩級標準，進行配製試驗，其結果如下圖表：

光華甲種牛固體柏油與桐油配合試驗結果

光華甲種柏油	100%	90%	80%	75%	70%	65%	50%
桐油	0%	10%	20%	25%	30%	35%	50%
溫度	50°C32°C	50C32°C	50°C 32°C	50°C32°C	50°C32°C	50°C32°C	50°C32°C
浮標度	287 秒	110 秒 454 秒	70 秒 143 秒	65 秒	131 秒	115 秒	15 秒 60 秒

光華乙種牛固體柏油與桐油配合試驗結果

光華乙種柏油	100%	90%	85%	80%	70%	60%	75%	65%
桐油	0%	10%	15%	20%	30%	40%	25%	35%
溫度	50C 32C	50C 32C	50C 32C	50C 32C	50C 32C	50C 32C	50C 32C	50C 32C
浮標度	975 秒	198 秒	167 秒	138 秒 500 秒	50 秒 70 秒	不溫結	582 秒	83 秒

光華乙種牛固體柏油與光華液體柏油配合試驗結果

光華乙種柏油	90%	80%	70%	65%	60%	75%
光華液體柏油	10%	20%	30%	35%	40%	25%
溫度	50°C 32°C	50°C 32°C	50°C 32°C	50C 32C	50C 32C	50°C 32°C
浮標度	205 秒	145 秒	118 秒 395 秒	213 秒	55 秒 148 秒	647 秒

由一，二，三圖得知80%光華甲種牛固體柏油與30%桐油配合，可得攝氏32度100秒之浮標

度，68%光華乙種半固體柏油與32%桐油，或60%光華乙種柏油與40%光華液體柏油配合，亦皆可得攝氏32度150秒之浮標度，此三者之桐度，皆與（）級標準相符合。82%光華乙種半固體柏油與18%桐油或80%光華乙種半固體柏油與20%光華液體柏油摻合，可得攝氏50度150秒之浮標度，與D級規定稠度相符合。

配製與未配製柏油分析結果之比較

茲取光華甲種半固體柏油爲例，將其配製分析之結果，作一比較，以判定本室配製方法之效果如何。根據配製試驗，80%甲種光華半固體柏油與20%桐油配製之後，可得攝氏32度 150秒之浮標度，其詳細分析結果之比較如下：

1.光華甲種半固體柏油分析結果：

體式……半固體

比重試驗

a=29.410克　　b=55.660克　　c=41.110克　　d=57.300克

$$比重25°C./25°C.=\frac{c-a}{(b-a)-(d-c)}=\frac{41.110-29.410}{(55.660-29.410)-(57.300-41.110)}=$$

$$=\frac{11.700}{10.06}=1.165$$

浮標度試驗

	32 C.	50°C.
1	5406秒	285秒
2	7090秒	312秒
3	6012秒	328秒
平均	6169秒	308秒

瀝青量試驗　瀝青量成份=82%

蒸溜試驗

柏油重量=100.000克

至170°C.	0克	0%
至235°C.	0克	0
至270°C.	0.5克	0.5%
至300°C.	6.88克	6.88%

殘渣軟化點（環及球法）

1 54.0°C.　2 54.0°C.　3 54.5°C.　4 54.5°C.　平均 54.3°C

蒸溜液比重

a=29.410克　　b=55.530克　　c=50.840克　　d=55.420克

$$比重38°C./38°C=\frac{55.420-50.840}{(55.530-29.410)-(50.840-29.410)}=\frac{4.580}{4.69}=0.976$$

2.本室配製柏油分析結果

配製比例：光華甲種半固體柏油=80%　桐油=20%

體式…半固體

浮標度試驗32°C.　　1　165秒　　2　155秒　　平均160秒

瀝青量試驗

坩堝重量=13.980克　柏油重量=1.000克　坩堝十瀝重=14.036克　瀝青重量=1—0.036=0.944克　瀝青量成份=94.4%　坩堝十灰重=14.010克，灰重=0.03克，灰分=3%

蒸餾試驗

油油重量	100.000克	
至170°C.	0克	0%
至235°C.	0克	0%
至270°C.	1.3克	1.3%
至300°C.	8.8克	8.8%

殘渣軟化點（環及球法）

1　35.0°C.　2　35.0°C.　3　35.0°C.　4　35.0°C.　平均　35.0°C.

蒸溜液比重

a=28.095克　b=53.156克　c=33.695克　d=52.984克

$$比重38°C./38°C.=\frac{33.695-28.095}{(53.156-28.095)-(52.984-33.695)}=\frac{5.6}{6.772}=0.970$$

廠製液體柏油分析

本室研究國產柏油進行方式，除自行研究配製外，并與廠方取得聯繫，共同研究改善產品，務期質量兩方面，都能合乎鋪路之標準。下爲光華液體柏油經研究改善後分析之結果：

比重試驗　　a=28.084克　　b=53.153克　　c=55.530克

$$比重25°C./25°C.=\frac{c-a}{b-a}=\frac{55.530-28.084}{53.153-28.084}=\frac{27.446}{25.069}=1.095$$

英格勒比滯度

水	油(40°C.)	油(50°C.)
1.　11.4秒	1.　544秒	1.　232秒
2.　11.2秒	2.　540秒	2.　238秒
3.　11.2秒		
平均 11.3秒	平均 542秒	平均 235秒

$$英格勒比滯度40°C.=\frac{542}{11.3}=48 \qquad 英格勒比滯度50°C.=\frac{235}{11.3}=21$$

瀝青量

坩堝重量=14.002克，柏油重量=1克，坩堝十柏油=14.061克，瀝青量=0.062克，瀝青成份=93.8%　坩堝十灰重=14.030克，灰重=0.028克，灰份=2.8%

蒸餾試驗

柏油重量=100.000克

至170°C.	0.940克	0.94%
至235°C.	4.540克	4.54%
至270°C.	15.540克	15.54%
至300°C.	27.490克	27.49%

殘渣軟化點

1. 41.0°C. 2. 41.5°C. 3. 42.0°C. 4. 42.0°C. 平均 41.6°C.

蒸餾液比重

a=28.084克 b=53.153克 c=37.345克 d=52.576克

$$比重38°C./38°C.=\frac{c-a}{(b-a)-(d-c)}=\frac{37.345-28.084}{(53.153-28.084)-(52.576-37.345)}$$

$$=\frac{9.261}{9.833}=0.942$$

由上分析結果，可知光華液體柏油，經改善後，與本室擬定A級標準，頗相符合，可爲柏油路面第一層處治之用。

品質鑒定試驗

柏油品質鑒定。可由兩方面試驗之。一爲感應指數試驗，二爲附着力試驗。前者本室採用針入度及浮標度感應指數方法，後者本室擬採用附着剪力方法。茲將各種樣品試驗結果，列表如下：

1.浮標度感應指數試驗結果：

		F_3=70°C.	F_2=60°C.	F_1=50°C.	感應指數 $(F_1-F_3)/F_2$
光華甲種半固體柏油	1	69秒	107秒	208秒	
	2	68秒	107秒	211秒	
	平均	69秒	107秒	210秒	1.32
光華乙種半固體柏油	1	117秒	238秒	886秒	
	2	118秒	225秒	900秒	
	平均	118秒	227秒	893秒	3.41
本室配製甲種柏油 光華甲種半固體柏油=80% 桐油=20%	1	26秒	35秒	55秒	
	2	26秒	33秒	52秒	
	平均	26秒	34秒	54秒	0.82
本室配製乙種柏油 光華乙種半固體柏油=82% 桐油=18%	1	55秒	89秒	152秒	
	2	55秒	87秒	157秒	
	平均	55秒	88秒	155秒	1.14

西南細質甲種半	1	40秒	69秒	93秒		
固體柏油	2	40秒	70秒	92秒		
	平均	40秒	70秒	93秒		0.76
西南細質乙種半	1	162秒	451秒	3456秒		
固體柏油	2	164秒	453秒	3462秒		
	平均	163秒	452秒	3459秒		7.29
西南粗質半固體柏油	1	243秒	732秒	4291秒		
	2	242秒	730秒			
	平均	242秒	731秒	4291秒		5.51

2.針入度感應指數試驗結果

P_1=0°C.200克 P_2=25°C.100克 P_3=46°C.50克 感應指數

		5秒	5秒	1秒	5秒	$\frac{P_2}{P_1}$	$\frac{P_3-P_1}{P_2}$
光華甲種半固體柏油	1	27	203				
	2	27	203				
	平均	27	203			7.5	
光華乙種半固體油油	1	8.5	65	185			
	2	8.5	63	191			
	平均	8.5	64	188	328	7.5	5.0
本室配製甲種柏油							
光華甲種半固體柏油=80%							
桐油=20%							
本室配製乙種柏油	1	115					
光華乙種半固體柏油=82%	2	116					
桐油=18%	平均	116					
西南細質甲種半固體柏油	1	130					
	2	132					
	平均	131					
西南細質乙種半固體柏油	1	1.0	13.0	90			
	2	1.5	13.0	90			
	平均	1.3	13.0	90	196	10.0	15.0
西南粗質半固體柏油	1	1.5	28	95			
	2	2.5	26	95			
	平均	2.0	27	95	195	13.5	7.2

針入度與時間之關係，根據巴柏柏油公司試驗結果，列入下表：

50克針入度　　100克針入度

時間(秒)	針入度	每秒增加度數	時間(秒)	針入度	每秒增加度數
45			35	14	
60	47	1.13	45	13	1.30
90	27	0.90	55	12	1.20
120	23	0.77	65	10	1.00
180	36	0.60	85	18	0.90
240	31	0.52	105	16	0.80
300	26	0.43	125	14	0.70
			145	14	0.70
			165	12	0.60
			185	12	0.60
			205	11	0.55

200克針入度

時間(秒)	針入度	每秒增加度數
10		
20	13	1.30
30	9	0.90
45	11	0.73
60	8	0.53
90	13	0.43
120	10	0.33
180	14	0.23
300	21	0.18
600	29	0.10

由上表結果，可知每秒增加針入度數，隨時間之增長而逐漸減低，而非一絕對常數。惟在極短時間內，針入度之增加可以假定無甚變化。本室以光華乙種半固體柏油及西南細質乙種半固體柏油兩種爲代表樣品，試驗其針入度與時間之關係，結果如下表：

46°C. 50克 針入度

光華乙種半固體柏油

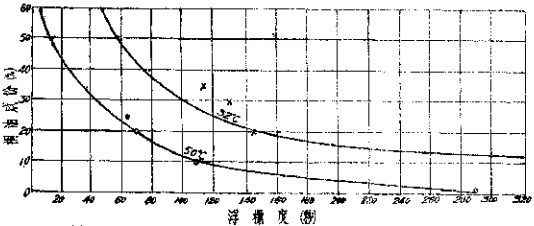
	1秒	2秒	3秒
1	185	223	267
2	191	223	250
平均	188	223	263
每秒增加度數	35	40	

46°C. 50克 針入度

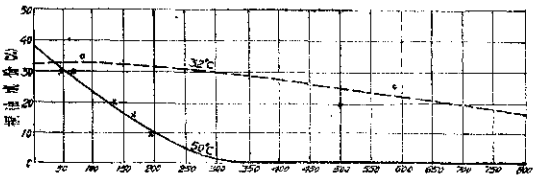
西南細質乙種半固體柏油

	1秒	2秒	3秒	4秒	5秒
1	83	124	150	171	197
2	90	123	149	169	196
3	90	124	143	169	194
平均	88	124	147	170	196
每秒增加度數	36	23	23	26	

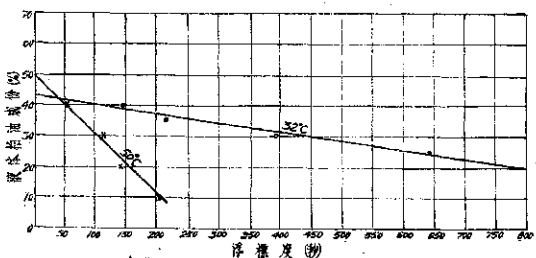
本室此次因送來樣品數量之過少，至此試驗時，已剩餘無幾，故不能多作試驗證明。而多數樣品，因質體甚軟，無法作攝氏46度50克5秒之試驗。如以上表平均每秒增加35及25度



圖一：光華甲種半固体柏油與桐油配合試驗結果圖



圖二：光華乙種半固体柏油與桐油配合試驗結果圖



圖三：光華乙種半固体柏油與光華液体柏油配合試驗

計，則可將一秒之結果生成五秒之結果，而表針入度之感應指數，即根據此而求得者。

結　　論

我國鋪築路面柏油材料，以往素仰賴於舶來品之供給。抗戰以來，對外交通，日感困難，輸入匪易，而公路運輸，且益繁重，故善路面之呼聲，甚囂塵上。如何能在國內自製柏油，大量供給鋪築路面材料，以適合公路建設經濟之條件，爲一急宜着手研究之一問題。本室特將光華化學公司煤柏油以及西南工業社柏油產品，加以詳細之研究，在如何改製方面，尤加注意。務期品質方面，能適合鋪路之標準。惟西南煤品數量遂來過少，不敢應用試驗，未能詳加分析。在初步研究試驗成功之後，急應試鋪一段，作實際上之實驗，以觀察其成效，是否仍有改善之處。如是按步進行，則國產柏油，可以改善至最大可能之程度。而是種工業之成功，可以代替舶來品，實有提倡之必要。一方面防止國家資金之漏卮，一方面可以解決我國一部公路或城市最嚴重之路面問題。來年都張都是在三年抗戰十節紀念講演，曾提及德國在厭戰時，時政部長的全副精神，不在平衡政府對於國內的歲入歲出，而注意在調節國家對外的出超入超，所以「要現金購買的外國貨，雖價值不過一毫一厘，都要鄭重斟酌，能省則省。凡是一事業，可以完全利用國內勞力及原料的，雖然萬萬，都要儘量放胆做去，」雖然他們鬧得一會沒有雞蛋，一會沒有牛油，凡是五千萬造的煉油廠，七萬萬造的鐵道，都凡覺得稀鬆平常。深望我國公路界人士，根據此種政策之原則，再將國產柏油，加以實際上之實驗，特別注及出產品質，必需於每批貨源，皆有認質鑒定試驗，以期貨色一律。如是質量兩方面，皆能合乎規定之標準，而不逊色於舶來品，則未嘗不可大量採用。本室惜非一實施機構，無法進行此步試驗路面之工作，僅能從旁襄助，仍賴我國公路實施機構，共同趕而研究之。

參考資料索引

1. 張公權　紀念暨十面要刻苦實踐復興國家生命　抗戰與交通半月刊第七、八期
2. 李謙孟　鋪路瀝青材料標準及分析之研究　昆明公路研究實驗室叢刊第八種
3. Tyaxler & Moffatt: Flow in Asphalts
   Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition, Vol. 10, No. 4, April 15, 1938, pp. 188—191
4. H. Abraham: Asphalt and Allied Substances 1933
5. Lewis & Welborn: A Study of Road Tars
   Public Roads Vol. 17, No. 5, July 1936, pp. 89—109

公路測量定線比較法

陳 木 端

(一)引 言

公路測量，在初測之後，須利用其所得結果，選定最後路線數條，以資比較，但選定之時，必須有一定之考慮，第一為路線之起訖點及沿線必須經過之地點，此種地點，謂之控制點。所有控制點，須以最近最捷及最經濟之路線，以聯絡之。故路線之基本工程原則，為直捷簡短及平順三項，此三項如何分配，工程司須有決斷之能力。惟須特別注意者，不外(一)超過山嶺以最低之垂位為宜，(二)路線須高出水源平面，(三)土工填挖，須互相均等，即有不等，亦不可多，(四)如工程不受影響，經費不致加多，則路線所經以不侵佔私產為宜。

經過山嶺，以穩行為佳，勿以繞山之路，曲折過多，路線必長，須知直越山嶺之路線，亦多直立曲線也。若有沿溪路線之設立，仍須與繞山之路線，加以詳細之考慮。故實地測量之結果，必須有詳密之比較，方能妥當也。

(二)路線之比較

在初測完畢，必有相當路線數條，以資擇用，此種選擇往往以其工程之費，為其惟一之目標，殊屬大誤。公路路線之適當與否，關乎交通上及經濟上，影響頗巨。是以不可不以整個問題之立場，以研究之。整個之研究，包括下列數項：

(1)路線之長度坡度及其升降率

(2)沿線土壤性質之比較

(3)路線洩水情形之比較

(4)土石工數量之比較

(5)橋涵數量之比較

上述五項之中，第一項關乎行車經濟問題，影響最大，茲專述之。

(三)無效上升及過度下降

公路路線，自低點而至高點之時，沿路升降頻仍，勢難避免。但升降之總值，必為上升無疑，而此上升之值，必等於高低兩點之高度差也。若以理論而言，則自下而上，中途不應再有下降之坡度，自上而下時，亦不應再有上升之坡度。如兩者均備，自於經濟原則，有所不合。不過地形起伏不常，升降並無定律，故無論自上而下，抑由下而上之路線中，難免不無相反而協用之坡度。此種坡度中之上升，名之曰無效上升。

降坡道路，因路面種類不同，其滑行情狀乃各異。故每經路面，必有其各自不同之浮坡。自浮坡之上，下行車輛，不需馬力之推動，而仍能繼續原有之速度，不加發車，而駛行其上。如坡度超過浮滑情形，則速度加快，車行恐難不穩，故必施以發車，減低其速度而行。此超過浮滑情形之下坡道，名之曰過度下降。過度下降之計算，以距離表示之，其

值等於坡道之橫長及過度坡率之積數。例如浮坡爲4%，而實際之坡度爲6%，坡道橫長八百呎，則其過度下降值，應爲800×(0.06－0.04)＝16，十六呎也。

在任何公路之中，坡度爲最要之項目，良以坡度緩陡，影響於速度及載重者殊大。故在公路計劃建築之時，如以經濟著想，則路線之中，應避免或減少無效上升，及過度下降爲宜。如爲經濟所限，或以行車經濟不甚重要之時，自屬例外也。

（四）抵抗長度

抵抗長度之意義，乃車行之路線距離，與其升降距離之和數也。如此解釋，恐尚不能明瞭，茲申論之如下。

路線對於行車，是否適宜，可以比較行在各路線上所作之工作多寡，而資決定。工作愈少，則愈經濟。譬如路面摩擦係數爲C，車重爲W，路線平面距離爲l，車行所作之工作爲U，如此則：　　U＝WCl

倘路線自下而上，其上升及下降值爲h，則車行所作之工作，其爲：

$$U=WCl+Wh=WC\left(l+\frac{h}{C}\right)$$

故由上式之推論，其抗長度應爲$l_0=l+kh$

在上式中，l_0爲抵抗長度，b爲路線平面距離，k爲路曲摩擦係數之倒數，h爲無效上升及過度下降之和數。在普通路面之中，k值之估計，土路21，馬克當碎石路32，柏油石子路35，木塊路40，洋灰路44。

（五）路線比較舉例

選擇路線，其比較之方法，可以下舉之例，以明瞭之。假設擬建築一公路，起迄點爲AB，路面定爲水泥混凝土式，載重以重量貨車爲標準，浮坡定爲$2\frac{1}{2}$%，請參閱附圖。

由附圖中之等高線，可以看出地形之起伏，路線中並非無規定必須經過之處。其最捷路線，爲AabcB，其長度爲$1\frac{1}{8}$哩。但以地勢而觀，de兩點，但以經過爲宜，此線在表面上，雖覺適宜，然爲還塹起見，尚測有其他路線，俾資比較。各線之縱斷面圖，亦詳於附圖之中，茲除續繪所測各線圖以比較如下。

最捷路之路線爲AabcB，其平面距離爲六千呎，但自A起，以至於B，其間自a至b處，其升值爲43呎，自c至B間，爲190呎，總計共有無效上升62呎。自A以至第一大跨河之處，其距離爲625呎，降坡值爲75呎，故其坡度爲$\frac{75}{625}\times100=12\%$，但所定之浮坡爲$2\frac{1}{2}$%，是以此段之過度下降爲$\frac{675}{100}(12-2.5)=59.4$。路線過b點後，二千二百呎之路程中，其降值爲150呎，故其坡度爲$\frac{150}{2200}\times100=6.8$%故此段之過度下降爲$\frac{2200}{100}\times(6.8-2.5)$是以根據抵抗長度公式，即此路線之抵抗長度，應爲$l_0=6000+44(62+59.4+94.6)=15500$呎，所有坡度最高達12%，不可謂不陡也。

第二條路線，爲Adcb，乃沿溪路綫。在山嶺地區，沿溪路線，恒爲最宜之路線，故實先考慮之。此條路線，縱斷面圖中，以AdeB示之。其平面距離，爲6250呎，由C'至B一段

，其無效上升爲5呎，但自A點以後之一千二百呎一段中，其降值約爲95呎，其坡度應爲8%，故其過度下降爲12（8—2.5）=66呎。是以此綫之抵抗長度。應爲l_0=6250+44(5+66)=9370呎。

爲減少AdeB綫之坡度起見，再試Ar'o'e及Ar'o'd兩段，以求沿溪路綫之適宜。在縱斷面圖中，此兩段以Ar'o'd及Ar'o'e兩縱線以示之。在Ar'o'段中，最高坡度爲5%，但用Ars'd段，則沿溪路線距離增加七千呎。若用Ar'se段則增加六百呎。自A至d'其平面距離爲3300呎，其降值爲127呎，其坡度應爲4.2%，故其沿As'dB線之過度下降，爲30×(4.2—2.5)=51呎。是以其抵抗長度爲6250+700+44(5+51)或9410呎。自A至e，其平面距離爲4100呎，其降值爲154呎，其坡度應爲3.8%，故其過度下降爲41×（3.8—2.5）或53呎，是以其抵抗長度，應爲6250+600+44×（5+53）或9400呎。

第五條路綫，爲Afghmnop B，在其對谷之高處，於縱斷面圖中，以AhnB'示之。其平面距離爲7060呎，最高坡度，在np之間，爲5%。np長度，約爲二千呎，故其過度下降爲20（5—25）或五十呎，在pB之間，有無效上升一段，其值爲廿二呎。是以此綫之抵抗長度，應爲10230呎也。7060+44（22+50）=10230。

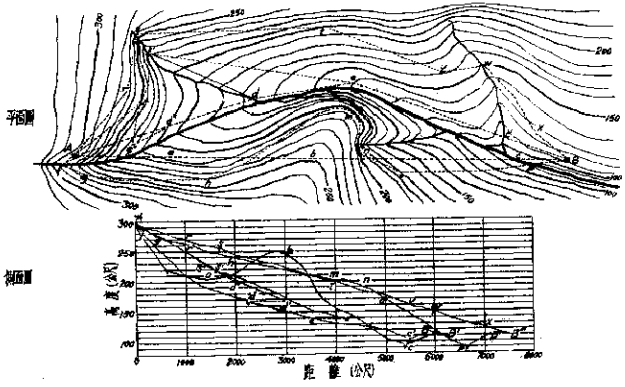
第六條路綫，爲ArstvwxB，此綫之選擇，乃使其所有坡度，無超過$2\frac{1}{2}$%者。在縱斷面圖中，以ArstvwxB以示之，其平面距離，爲7550呎。全綫各段，均無過度下降，亦無無效上升，是以其抵抗長度即爲7550呎也。

此六條路綫之抵抗長度及其最大之坡度列於下表

路線	路線經過點	平面距離	抵抗長度	最大坡度
第一條	Abc B	6000呎	15500呎	12.0%
第二條	Ade B	6250呎	9370呎	8.0%
第三條	As' dB	6950呎	9410呎	5.0%
第四條	As' eB	6850呎	9400呎	5.0%
第五條	Amo B	7060呎	10230呎	5.0%
第六條	Asw B	7550呎	7550呎	2.5%

上表所列，可與路線平面圖及縱斷面圖同時加以研究，以定路線之取捨。取捨之決定，可考慮各綫之平面距離抵抗長度及其最大坡度而加以審查。例如第二、四、六、三條路綫，較爲適宜。倘其最大坡度可以規定至8%，且連續分佈於一千二百呎路段之中而不成問題，則第二綫爲最佳。蓋以其路線長度，較四六兩線，均略短也。第四條與第二條，不相上下，不過其最大坡度，減爲5%，但其長度則增加七百呎也。第六條路線，長度最大，但坡度最適宜，注重坡度者，最應採用之。倘路線必須經過de兩點，同時其坡度不可超過5%之時，則必須採用第三條路線。如坡度不可大於5%時，同時可以不必經過dc兩點，則可採用第四條。總之，須衡量需要以及環境而定之，方能得宜也。

公路測量定線比較法


平面圖
剖面圖
高度(公尺)
距離(公尺)
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
100
150
200
250
300
350

公路平曲線最短半徑之設計

李 謨 熾

公路平曲線最短半徑或最大曲度，普通多係任意規定，鮮有根據指定速度而設計者。本文簡闡，乃將最短半徑設計原則及方式，分別述明。任意規定實例甚多，茲擇要數處，列舉如下：

1. 美國州道人員協會（A.A.S.H.O.）

公路級別	甲級	乙級	丙級	丁級	戊級	己級	庚級
每日車輛	4,000以上	750-4,000	300-750	200-300	100-200	50-100	100以下
最大曲度（英制）	2°30'	4°	5°	8°	10°	20°	28°
最短半徑（公尺）	700	428	350	219	175	87	62

2. 美國築路家協會（A.R.B.A.）

公路級別		一級	二級	三級
每日車輛		3,000以上	1,000—3,000	1,000以下
最大曲度（英制）	沿海及平原	6°（291公尺）	10°（175公尺）	20°（87公尺）
	起伏及小山	10°(175公尺)	15°（117公尺）	20°（87公尺）
	山麓及高山	30°（58公尺）	50°（35公尺）	60°（29公尺）

3. 德國汽車專用公路（Autobahnen）

公路區域	低地	山地
最短半徑（公尺）	2,000	400

4. 中國交通部公路總管理處（三十年六月）

公路級別		甲等	乙等	丙等
最短半徑（公尺）	平原區	170	130	100
	丘陵區	100	60	45
	山嶺區	45	25	15

平曲線半徑：如按上述實例任意規定，固屬可以；但如根據實際情形設計，則更屬合理。平曲線半徑之設計，視公路級別，地勢情形，及指定設計速度而定，其中直以速度爲支配因數。蓋設計速度之指定，又視公路級別及地勢情形等而轉移，故設計時速度之選擇，爲首先需決定之條件也。按作者意見，平曲線半徑之設計，可分爲三方面論及之。

（一）最短車行半徑之設計

最短車行半徑，係在低齒輪最低速度情形之下，車身能轉向行駛之半徑，同時路面必需特別加寬。小於此時，勢須後退，車身不易轉過。此種半徑，除在特殊困難地勢情形之下，經劃不宜採用。其設計方式如下：

設：l＝軸距＝5公尺　a＝輪距＝1.7公尺　b＝車身寬度＝2.1公尺

α＝駕駛角度＝30°—45°　W＝路面寬度（公尺）（單車道）

Ri＝平曲線內綫半徑（公尺）　Rc＝平曲綫中綫半徑（公尺）

$$Ri=\frac{a}{2}\cot\alpha \qquad Rc=\frac{l}{\sin\alpha}+\frac{b}{2} \qquad W=Rc-Ri$$

$\alpha=30°$

$$Ri=5\cot30°-\frac{1.7}{2}=7.80\text{公尺}$$

$$Rc=\frac{5}{\sin30°}+\frac{2.1}{2}=11.05\text{公尺}$$

$$W=11.05-7.80=3.25\text{公尺}$$

$\alpha=45°$

$$Ri=5\cot45°-\frac{1.7}{2}=4.15\text{公尺}$$

$$Rc=\frac{5}{\sin45°}+\frac{2.1}{2}=8.12\text{公尺}$$

$$W=8.12-4.15=3.97\text{公尺}$$

（二）最短安全半徑之設計

最短安全半徑，係在指定設計速度之下，汽車能安全轉向行駛之半徑。公路平曲綫最短半徑，除在困難地勢情形外，通常皆宜以此爲準繩，以期行車之安全及速度之維持。安全半徑之設計，係根據路面旁滑原則。冰凍結路面之旁滑係數，普通爲0.104，故超高度每公尺不得大於0.104公尺；在不易凍結及不滑之路面，則每公尺超高度可至0.125公尺而無覆車之虞。根據實驗結果，每小時48至96公里之速度，安全旁滑係數爲0.16；每小時104公里之速度，係數爲0.15；每小時112公里之速度，係數則爲0.14。

設：S＝設計速度＝30公里／時　　V＝設計速率（公尺／秒）

W＝車輛總重（公噸）　　g＝地心引力（9.8公尺／秒／秒）

e＝超高度（公尺／公尺）　　f＝旁滑係數

C＝離心力

$$C=\frac{WV^2}{gR}=\left(\frac{1000}{3600}\right)^2\frac{WS^2}{9.8R}=0.00787\frac{S^2W}{R}\qquad \frac{C}{W}=\text{離心比率}=0.00787\frac{S^2}{R}=e+f$$

$$f\sqrt{0.00787\frac{S^2}{R}}=0.104+0.16 \qquad R=0.03S^2 \qquad R=0.03\times30^2=27\text{公尺}$$

（三）最短安適半徑之設計

最短安適半徑，係在指定速度之下，轉向行駛時，多數乘車者感覺安適之半徑。在幹道公路，在可能範圍之內，宜儘量採用此數爲標準。根據在十四個不同半徑曲綫行駛實際觀察結果，安適半徑之公式如下：

$$R=\frac{S^3}{6380(e+0.2)}$$

設：S＝設計速度＝50公里／時　　e＝超高度＝0.10公尺／公尺

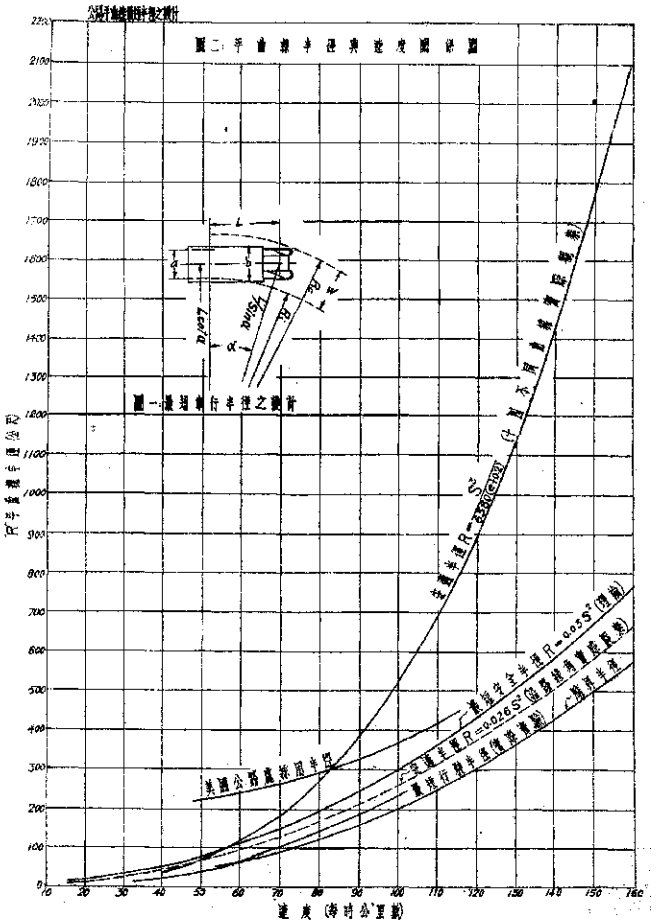
$$R=\frac{50^3}{6380(0.1+0.2)}=65.3\text{公尺}$$

S'＝超高設計速度＝75%S＝0.75×50＝37.5公里／時

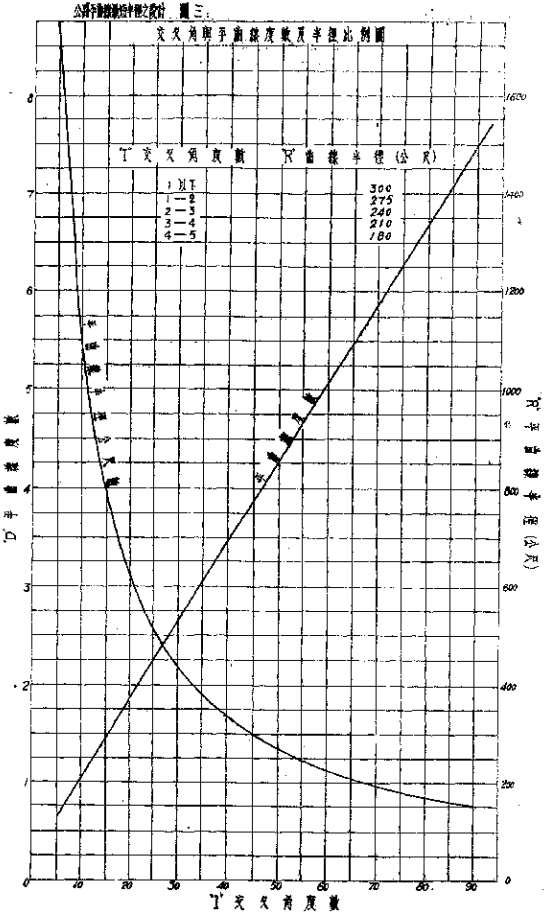
$$e=0.00787\times\frac{37.5^2}{65}=0.17 \qquad \text{用}e=0.10\text{公尺／公尺}$$

此外平曲綫半徑與中心角（交叉角）度數，亦互有關係。在交叉角度甚小處，宜避免用短半徑之曲綫。美國公路處（U.S.B.P.R.）規定，當交叉角爲5°時，曲綫半徑不得小於150公尺，每小一度時，曲綫半徑至少加長30公尺，其關係見附圖。

由是觀之，可知公路平曲綫最短半徑之規定，並非似一班想象之簡易；如能根據公路級別之需要，由指定設計速度計算，再視實際情形，酌定標準，則最短半徑之規定，似較爲合理也。


圖二 平面線半徑與速度關係圖
圖一 最短車行半徑之設計
R 半徑 (公尺)
速度 (每小時公里數)
美國公路最短半徑
最短半徑 R=0.026S²(理論)
最短行駛半徑(理論)
最短半徑 R=0.025S²(理論)
最短半徑(實際)
最短半徑 R=2.330(C+0.02)S²(理論)
最短半徑(實際)

公路平曲線最小半徑之設計　圖三



公路豎曲線之設計

李 謨 熾

在二坡度接交接之處，為避免方向突然變更，以求行車安適及縱面美觀起見，通常凡公路坡度變更代數差值大於百分之二者，宜有豎曲線之設置。公路豎曲線之形式，普通為拋物線式，因其建距計算及設置實施，均較圓曲線為簡易，故多採用。豎曲線形式，多為對稱，但偶亦有因地勢情形，欲使豎曲線與地形配合，以減少土石方或坡度，而改用不對稱形式。

豎曲線之性質，與平行曲線迥然不同，茲列舉如下：

1. 豎曲線距離，均係按水平施測；換言之，豎曲線長度及切線距離，雖較在水平線上者為長，但通常坡角不大，故皆假定與在水平線上相等，此用與平曲線測距不同，

2. 在理論上，拋物線縱距，宜由切線豎直量至拋物曲線。因相差甚微，又為施測測標簡便起見，故實際上，拋物線縱距（切線支距），皆按豎直水平線距離計算。

3. 對稱拋物曲線，將P·I·至長弦中點(M)縱距，等分為二(e)；每邊各點縱距皆相等稱。

4. 在凹形豎曲線，曲線高度為切線高度與縱距之差；在凸形豎曲線，曲線高度為切線高度與縱距之和。

5. 計算各點縱距公式：（圖一）

$$\text{縱距}=\left(\frac{X^2}{l}\right)e$$

e ===最大縱距(公尺)　　X ===P·C·或P·T·至樁號距離(公尺)

l ===切線距離(公尺)$=\frac{1}{2}\cdot L$　　L ===豎曲線長度(公尺)

設計豎曲線步驟，最先宜在中心線縱面圖上（地面線），作各種假定之坡度線，以求最經濟之控填。但遇複雜地形，則各橫斷面非一平準面，不能由中心線判斷挖坑之平衡，故需作覆修改，始可得一經濟之土方。選擇各豎曲線交點(P·I·)，最好使在整站或半站上，俟全部坡度線確定後，再個別計算。由坡度之代數差值及規定視距標準，以求各豎曲線之長度，然後分為若干相等部份，計算各樁縱距及最低或最高豎樁號及高度。

1. 對稱豎曲線（圖二）

(a)公式

$G=g_1-g_2$=兩坡度代數差值(%)（上坡為正，下坡為負）

L =豎曲線長度(公尺)

$$P.I.\text{高度}=P.C.\text{高度}+g_1\frac{L}{2}$$

$$P.T.\text{高度}=P.C.\text{高度}+g_1\frac{L}{2}+g_2\frac{L}{2}=P.C.\text{高度}+\frac{L}{2}(g_1+g_2)$$

$$M\text{高度}=\frac{P.C.\text{高度}+P.T.\text{高度}}{2}=P.C.\text{高度}+\frac{L}{4}(g_1+g_2)$$

$$e=\frac{1}{2}(P.I.\text{高度}-M\text{高度})=\frac{1}{2}\left(P.C.\text{高度}+g_1\frac{L}{2}-P.C.\text{高度}-\frac{L}{4}(g_1+g_2)\right)$$

$$=\frac{1}{2}\left(g_1\frac{L}{2}-g_1\frac{L}{4}-g_2\frac{L}{4}\right)=\frac{L}{8}(g_1-g_2)=\frac{GL}{8}$$

T.P.=轉點(豎曲終上最高或最低點)

$$T.P.\text{高度}=g_1X_1-\left(\frac{X_1}{l}\right)^2e \qquad l=l_1=l_2=\frac{L}{2}$$

$$\frac{d(T.P.\text{高度})}{dx}=0 \qquad g_1-\frac{2X_1e}{l^2}=0$$

$$X_1=\frac{g_1l^2}{2e}=\frac{g_1\left(\frac{L}{2}\right)^2}{2\frac{GL}{8}}=\frac{g_1L}{G} \qquad X_2=\frac{g_2L}{G}$$

$$T.P.\text{高度}=g_1\frac{g_1L}{G}-\frac{\left(\frac{g_1L}{G}\right)^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2}\frac{GL}{8}=\frac{g_1^2L}{G}-\frac{g_1^2L}{2G}$$

$$=\frac{g_1^2L}{2G} \quad \text{或} \quad \frac{g_2^2L}{2G}$$

(b) 例題

P.I.=4+750.000　　P.I.高度=75.642

$g_1=+3.5\%$　　$g_2=-2.5\%$

L=100公尺　　P.C.=4+700.000　　PT=4+800.000

$$e=\frac{GL}{8}=\frac{0.06\times100}{8}=0.75\text{公尺}$$

轉點：　$X_2=\frac{g_2L}{G}=\frac{0.025\times100}{0.06}=41.667\text{公尺}$

樁號=4+758.333

$$\text{高度}=\frac{g_2^2L}{2G}=\frac{0.025^2\times100}{2\times0.06}=0.521$$

樁號	說明	切線高度	曲線高度 (坡度高度)	$\frac{X}{l}$	$\left(\frac{X}{l}\right)^2$	$\left(\frac{X}{l}\right)^2e$ (一)
4+700.000	P.C.	74.892	74.892	0	0	0
4+710.000		75.242	75.212	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{25}$	0.030
4+720.000		75.592	75.472	$\frac{2}{5}$	$\frac{4}{25}$	0.120

4+730·000	+3·5%	75·942	75·672	$\frac{3}{5}$	$\frac{9}{25}$	0·270
4+740·000		76·292	75·812	$\frac{4}{5}$	$\frac{16}{25}$	0.480
4+750·000	P·I·	76·642	75·892	1	1	0·750
4+758·333	T·P·	76·434	75·913			0·521
4+760·000		76·392	75·912	$\frac{4}{5}$	$\frac{16}{25}$	0·480
4+770.000	−2·5%	76·142	75·872	$\frac{3}{5}$	$\frac{9}{25}$	0·270
4+780·000		75·892	75·772	$\frac{2}{5}$	$\frac{4}{25}$	0·120
4+790·000		75·642	75·612	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{25}$	0.030
4+800·030	P·T·	75·392	75·392	0	0	0

2· 不對稱豎曲線（圖三）

（a）公式

P·I·高度=P.C.高度+$g_1 l_1$

P·T·高度=P·I·高度+$g_2 l_2$ =P·C·高度+$g_1 l_1 + g_2 l_2$

$$M\text{高度}=P\cdot C\cdot\text{高度}+\frac{l_1}{l_1+l_2}(P\cdot T\cdot\text{高度}-P\cdot C\cdot\text{高度})=P\cdot C\cdot\text{高度}+\frac{l_1}{l_1+l_2}(g_1 l_1+g_2 l_2)$$

$$e=\frac{1}{2}(P\cdot I\cdot\text{高度}-M\text{高度})=\frac{1}{2}\left(P\cdot C\cdot\text{高度}+g_1 l_1-P\cdot C\cdot\text{高度}-\frac{l_1}{l_1+l_2}(g_1 l_1+g_2 l_2)\right)=\frac{l_1 l_2}{(l_1+l_2)}G=\frac{l_1 l_2}{2L}G$$

T·P·=轉點

$$T\cdot P\cdot\text{高度}=g_1 x_1-\left(\frac{x_1}{l_1}\right)^2 e \qquad \frac{d(TP\text{高度})}{dx}=0$$

$$g_1-\frac{2x_1 e}{l_1^2}=0 \qquad X_1=\frac{g_1 l_1^2}{2e} \qquad X_2=\frac{g_2 l_2^2}{2e}$$

$$T\cdot P\cdot\text{高度}=g_1\frac{g_1 l_1^2}{2e}-\left(\frac{g_1 l_1^2}{\frac{2e}{l_1}}\right)^2 e=\frac{g_1^2 l_1^2}{2e}-\frac{g_1^2 l_1^2}{4e}=\frac{g_1^2 l_1^2}{4e}$$

或 $\frac{g_2^2 l_2^2}{4e}$

(b)例題

l_1=60公尺　　l_2=40公尺

P·I·=4+760·000　　P·I·高度=76.392

g_1=+2·5%　　g_2=−2·5%

$$e=\frac{l_1 l_2}{2L}G=\frac{60\times40}{2\times100}\times0\cdot05=0\cdot6\text{公尺}$$

轉點：$X_2=\frac{g_2 l_2^2}{2e}=\frac{0\cdot025\times40^2}{2\times0\cdot6}=33.333$公尺

樁號=4+766.667

$$\text{高度}=\frac{g_2^2 l_2^2}{4e}=\frac{0\cdot025^2\times40^2}{4\times0\cdot6}=0\cdot417\text{公尺}$$

樁號	說明	切綫高度	曲綫高度（坡度高度）	$\frac{X}{l}$	$\left(\frac{X}{l}\right)^2$	$\left(\frac{X}{l}\right)^2 e$（一）
4+700·000	P·C·	74·392	74·392	0	0	0
4+710·000		75·142	75·125	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{36}$	0·017
4+720·000	+2·5%	75·392	75·325	$\frac{2}{6}$	$\frac{1}{9}$	0·067
4+730·000		75·642	75·492	$\frac{3}{6}$	$\frac{1}{4}$	0·150
4+740·000		75·892	75·625	$\frac{4}{6}$	$\frac{4}{9}$	0·267
4+750·000		76·142	75·725	$\frac{5}{6}$	$\frac{25}{36}$	0·417
4+760·000	P·I·	76·392	75·792	1	1	0·600
4+766·667	T·P·	76·225	75·808			0·417
4+770·000		76·142	75·804	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{16}$	0·338
4+780·000	−2.5%	75·892	75·742	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{4}$	0·150
4+790·000		75·642	75·604	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	0·038
4+800·000	P·T·	75·392	75·392	0	0	0

公路路面加寬面積之計算

李　謨　熾

1. 路面加寬原因及公式
2. 路面加寬面積公式
3. 例題
4. 路面加寬附加面積表

1. 路面加寬原因及公式：

曲線上之公路，路面部份，宜酌與以加寬。其原因係汽車在曲線上行駛時，後軸沿半徑前進，因車身之不能彎曲，車身與半徑成一垂直方向，而前軸一部，必在車道線之外。故欲在曲綫上，維持與直綫上同樣之淨寬，則勢必將路面加寬。除此種因車身固定結構所需之機械加寬外，在曲綫上駕駛人判斷淨寬能力，較在直綫上為差，故尚需酌加心理上之加寬。

曲綫加寬，有按半徑任意規定者，亦有根據公式計算者。加寬公式，當以佛倉開氏者為最普遍，其推演如下：

W ＝路面總加寬（公尺）

Wo＝外道機械加寬（公尺）

Wi＝內道機械加寬（公尺）

Rc＝平曲綫中線半徑（公尺）

Ro＝平曲綫外線半徑（公尺）

Ri＝平曲綫內綫半徑（公尺）

L ＝軸距（由後軸至車前保險桿，普通可用六公尺）

S ＝行車速度（公里／時）

$$Wo = Ro - \sqrt{Ro^2 - L^2} \qquad Wi = Rc - \sqrt{Rc^2 - L^2}$$

$$Wo + Wi = 2\left(Rc - \sqrt{Rc^2 - L^2}\right) \qquad \text{（機械加寬）}$$

$$\text{心理加寬} = 0.104\frac{S}{\sqrt{Rc}}$$

$$w = \text{機械加寬} + \text{心理加寬}$$

$$w = 2\left(Rc - \sqrt{Rc^2 - L^2}\right) + 0.104\frac{S}{\sqrt{Rc}}$$

因上述公式計算之繁雜，通常可用近似公式代之：

$$\frac{Wo}{L} = \frac{AB/2}{Rc} \qquad AB = L \text{（近似值）} \qquad Wo = \frac{L^2}{2Rc} \qquad Wi = \frac{L^2}{2Rc}$$

$$Wo + Wi = \frac{L^2}{Rc} \qquad w = \frac{L^2}{Rc} + 0.104\frac{S}{\sqrt{Rc}}$$

2. 路面加寬面積公式：

L=介曲線上任何點長度

S =介曲線上任何點介曲線角

Lc=介曲線中綫長度

Sc=介曲線中線介曲綫角（弧度） Sc^{0}（度數）

L'c=直曲綫中綫長度

W=路面寬度（公尺）

w =加寬（公尺）

R =路面介曲綫中綫變數半徑

Ri=未加寬路面介曲綫內線變數半徑$=R-\frac{W}{2}$

R'i= 加寬路面介曲線內線變數半徑$=R-\frac{W}{2}-\frac{L}{Lc}w$

Li=加寬路面介曲線內線長度(T.S.—S.C.或C.S.—S.T.)

Lo=加寬路面介曲線外線長度(T.S.—S.C.或C.S.—S.T.)

As=介曲線部附加面積(平方公尺)

Ac=直曲線部附加面積(平方公尺)

ac=每公尺圓曲線附加面積(平方公尺)

介曲綫內外線長度 $dL=R_i'\,dS=\left(R-\frac{W}{2}-\frac{L}{Lc}w\right)dS$ $\frac{L}{Lc}=\left(\frac{S}{Sc}\right)^{\frac{1}{2}}$

$$\int_0^{Li}dL=\int_0^{Sc}\left(R-\frac{W}{2}-\left(\frac{S}{Sc}\right)^{\frac{1}{2}}w\right)dS$$

$$Li=Rc\,Sc-\frac{W}{2}Sc-\frac{2}{3}w\,Sc=Lc-\left(\frac{W}{2}+\frac{2}{3}w\right)Sc=Lc-\left(\frac{W}{2}+\frac{2}{3}w\right)\frac{\pi}{180}Sc^{0}$$

$$Lo=\left(Rc+\frac{W}{2}\right)Sc=Lc+\frac{W}{2}Sc=Lc+\frac{\pi W}{360}Sc^{0}$$

介曲線部附加面積

$$dA=\frac{1}{2}Ri^{2}\,dS-\frac{1}{2}Ri'^{2}dS=\frac{1}{2}\left(Ri+Ri'\right)\left(Ri-Ri'\right)dS=\frac{1}{2}\left(2R-W-\frac{L}{Lc}w\right)\left(\frac{L}{Lc}w\right)dS=\left\{R\left(\frac{L}{Lc}\right)w-\frac{1}{2}\left(\frac{L}{Lc}\right)wW-\frac{1}{2}\left(\frac{L}{Lc}\right)^{2}w^{2}\right\}dS$$

$$\because\ \frac{L}{Lc}=\left(\frac{S}{Sc}\right)^{\frac{1}{2}}\qquad Rc=R-\frac{L}{Lc}=\frac{Lc}{2Sc}\qquad Sc=\frac{Lc}{2Rc}$$

$$As=\int_0^{Sc}\left(\frac{Lc}{2Sc}w-\frac{1}{2}wW\left(\frac{S}{Sc}\right)^{\frac{1}{2}}-\frac{1}{2}w^{2}\left(\frac{S}{Sc}\right)\right)dS=\frac{Lc\,w}{2Sc}S-\frac{1}{3}$$

$$wW\frac{S^2}{Rc}\int_0^{Sc}=\frac{1}{2}Lc\,w-\left(\frac{1}{3}wW+\frac{1}{4}w^2\right)Sc=\frac{1}{2}\cdot Lc\,w-\left(\frac{1}{3}wW+\frac{1}{4}w^2\right)\frac{\pi}{180}Sc^0$$

曲曲線部附加面積

$$Ac=\left(\text{平均弧長}\right)w=\left(Rc-\frac{w}{2}\right)\left(l-2Sc\right)w=\left(Rc-\frac{W}{2}-\frac{w}{2}\right)\left(l-2Sc\right)w=\left(2Lcw-Ww-w^2\right)\left(\frac{l-2Sc}{2}\right)=Lcw-\left(\frac{l-2Sc}{2}\right)\left(Ww-w^2\right)$$

$$L'c=Dc\left(l-2Sc\right)$$

$$Ac=w-\frac{l-2Sc}{2L'c}\left(Ww-w^2\right)=w-\frac{1}{2Rc}\left(Ww-w^2\right)$$

總面積＝原有面積＋附加面積

原有面積＝$2LcW+L'cW$

附加面積＝$2Ac+Ac$

3. 例題　　路面寬度＝5公尺　　$Dc=10^0\,00'$

$l=64^\circ\,00'$　　$Lc=45$公尺　　$S=60$公里/時

（1）加寬　$w=2\left(Rc-\sqrt{Rc^2-L^2}\right)+0.104\frac{S^2}{Rc}=2\left(114.6-\sqrt{114.6^2-6^2}\right)+0.104\times\frac{60^2}{114.6}=0.314+0.586=0.90$公尺

或　$w=\frac{L^2}{Rc}+0.104\frac{S^2}{Rc}=\frac{6^2}{114.6}+0.104\times\frac{60^2}{114.6}=0.314+0.586=0.90$公尺

（2）全曲線內外線長度　$Sc=\frac{LcDc}{40}=\frac{45\times10}{40}=11.25^\circ$　　$11^\circ\,15'$

$Li=Lc-\left(\frac{W}{2}+\frac{2}{3}w\right)\frac{\pi}{180}Sc^0=45-\left(\frac{6}{2}+\frac{2}{3}\times0.9\right)\frac{\pi}{180}\times11.25=44.293$公尺

$Lo=Lc+\frac{\pi W}{360}Sc^0=45+\frac{\pi\times6}{360}\times11.25=45.588$公尺

（3）附加面積　$As=\frac{1}{2}\cdot Lc\,w-\left(\frac{1}{3}wW+\frac{1}{4}w^2\right)\frac{\pi}{180}Sc^0=\frac{1}{2}\times45\times0.9-\left(\frac{1}{3}\times0.9\times6+\frac{1}{4}\times0.9^2\right)\frac{\pi}{180}\times11.25=19.86$平方公尺

$$A_c = L_c\left(w - \frac{1}{2R_c}\left(W\,w - w^2\right)\right) = 83\left(0.9 - \frac{1}{2\times 114.6}\left(6\times 0.9 - 0.9^2\right)\right)$$

$= 73.1$ 平方公尺

$$L'_c = \frac{R_c(1-2S_c)}{57.3} = \frac{114.6(64-2\times 11.25)}{57.3} = 83 \text{ 公尺}$$

或 $L'_c = \frac{1-2S_c}{D_c}\times 20 = 83$ 公尺

附加面積 $= 2\times 19.86 + 73.1 = 112.8$ 平方公尺

原有面積 $= Z\times 45\times 6 + 83\times 6 = 1038$ 平方公尺

總面積 $= 1038 + 112.8 = 1150.8$ 平方公尺

路面加寬附加面積表

兩端介曲線部

$$2A_s = L_c\,w - \left(\frac{2}{3}w\,W + \frac{1}{2}w^2\right)\frac{\pi}{180}S_c^{\circ}$$

L_c = 介曲綫長度(公尺)

w = 加寬(公尺)

W = 路面寬度(公尺)

S°_c = 介曲線角(度數)

$2A_s$ = 兩端介曲線附加面積(平方公尺)

表一： $W = 5$ 公尺

S_c°	w(公尺)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5°	0.156	0.335	0.535	0.756	1.000	1.266
10°	0.312	0.670	1.070	1.512	2.000	2.530
15°	0.463	1.005	1.605	2.268	3.000	3.795
20°	0.624	1.340	2.140	3.024	4.000	5.060
25°	0.780	1.675	2.675	3.780	5.000	6.325
30°	0.936	2.010	3.210	4.536	6.000	7.590
35°	1.092	2.345	3.745	5.292	7.000	8.855
40°	1.248	2.683	4.280	6.048	8.000	10.120

表二：$W = 5.5$ 公尺

S_c°	w(公尺)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5°	0.171	0.364	0.578	0.815	1.073	1.353
10°	0.342	0.728	1.156	1.630	2.146	2.706
15°	0.513	1.092	1.734	2.445	3.219	4.059
20°	0.684	1.456	2.312	3.260	4.292	5.412
25°	0.855	1.820	2.890	4.075	5.365	6.765
30°	1.026	2.184	3.468	4.890	6.438	8.118
35°	1.197	2.548	4.046	5.705	7.511	9.471
40°	1.368	2.912	4.624	6.520	8.584	10.824

表三：W=6公尺

Sc°	w（公尺）					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5°	0.185	0.393	0.622	0.873	1.145	1.440
10°	0.370	0.786	1.244	1.746	2.290	2.880
15°	0.555	1.179	1.866	2.619	3.435	4.320
20°	0.740	1.572	2.488	3.492	4.580	5.760
25°	0.925	1.965	3.110	4.365	5.725	7.200
30°	1.110	2.358	3.732	5.238	6.870	8.640
35°	1.295	2.751	4.354	6.111	8.015	10.080
40°	1.480	3.144	4.976	6.984	9.160	11.520

圓曲綫部

ac=每公尺長度曲綫附加面積（平方公尺）　$ac = \frac{1}{2r_c}\left(W\,w+w^2\right)$

表四：　W=5公尺

曲綫度數	w（公尺）					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1	0.499	0.997	1.496	1.994	2.492	2.990
2	0.493	0.995	1.491	1.988	2.484	2.979
3	0.496	0.992	1.487	1.982	2.475	2.969
4	0.495	0.990	1.483	1.976	2.467	2.958
5	0.494	0.987	1.479	1.969	2.459	2.948
6	0.493	0.984	1.474	1.963	2.451	2.937
7	0.492	0.982	1.470	1.957	2.443	2.927
8	0.490	0.979	1.466	1.951	2.435	2.916
9	0.489	0.976	1.462	1.945	2.426	2.906
10	0.488	0.974	1.458	1.939	2.418	2.895
11	0.487	0.971	1.453	1.933	2.410	2.885
12	0.486	0.969	1.449	1.927	2.402	2.875
13	0.484	0.966	1.445	1.921	2.394	2.864
14	0.483	0.963	1.441	1.915	2.386	2.854
15	0.482	0.961	1.436	1.909	2.378	2.843
16	0.481	0.958	1.432	1.903	2.370	2.833
17	0.480	0.956	1.428	1.897	2.361	2.823
18	0.478	0.953	1.424	1.890	2.353	2.812
19	0.477	0.950	1.420	1.884	2.345	2.802
20	0.476	0.948	1.415	1.878	2.337	2.792
25	0.470	0.935	1.394	1.849	2.297	2.740
30	0.464	0.922	1.374	1.819	2.257	2.689
35	0.459	0.910	1.353	1.790	2.218	2.639
40	0.453	0.897	1.333	1.761	2.179	2.590

表五：　W=5.5公尺

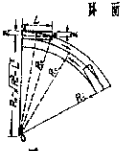
曲綫度數	w（公尺）					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0

1	0.499	0.997	1.495	1.994	2.491	2.989
2	0.497	0.994	1.491	1.987	2.483	2.978
3	0.496	0.991	1.486	1.980	2.474	2.967
4	0.495	0.989	1.482	1.974	2.465	2.956
5	0.493	0.986	1.477	1.967	2.456	2.944
6	0.492	0.983	1.473	1.961	2.448	2.933
7	0.491	0.980	1.468	1.954	2.439	2.922
8	0.490	0.977	1.463	1.948	2.430	2.911
9	0.488	0.974	1.459	1.941	2.422	2.900
10	0.487	0.972	1.454	1.935	2.413	2.889
11	0.486	0.969	1.450	1.928	2.404	2.878
12	0.484	0.966	1.445	1.922	2.395	2.867
13	0.483	0.963	1.441	1.915	2.387	2.856
14	0.482	0.960	1.436	1.909	2.378	2.845
15	0.480	0.958	1.431	1.902	2.369	2.834
16	0.479	0.955	1.427	1.896	2.361	2.823
17	0.478	0.952	1.422	1.889	2.352	2.812
18	0.477	0.949	1.418	1.883	2.344	2.801
19	0.475	0.946	1.413	1.876	2.335	2.790
20	0.474	0.944	1.409	1.870	2.326	2.779
25	0.468	0.930	1.385	1.838	2.284	2.724
30	0.461	0.916	1.364	1.806	2.241	2.670
35	0.455	0.902	1.342	1.774	2.199	2.617
40	0.449	0.889	1.320	1.743	2.158	2.564

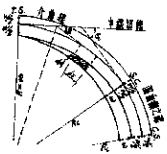
表六： W＝6 公尺

曲線度數	w（公尺）					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1	0.499	0.997	1.495	1.993	2.491	2.988
2	0.497	0.994	1.490	1.986	2.481	2.976
3	0.496	0.991	1.485	1.979	2.472	2.965
4	0.494	0.988	1.480	1.972	2.463	2.953
5	0.493	0.985	1.475	1.965	2.454	2.941
6	0.491	0.982	1.471	1.958	2.444	2.929
7	0.490	0.979	1.466	1.951	2.435	2.917
8	0.489	0.976	1.461	1.944	2.426	2.906
9	0.487	0.973	1.456	1.937	2.417	2.894
10	0.486	0.969	1.451	1.930	2.407	2.882
11	0.484	0.966	1.446	1.923	2.398	2.871
12	0.483	0.963	1.441	1.916	2.389	2.859
13	0.482	0.960	1.436	1.909	2.380	2.847
14	0.480	0.957	1.431	1.903	2.371	2.835
15	0.479	0.954	1.427	1.896	2.361	2.824
16	0.477	0.951	1.422	1.889	2.352	2.812
17	0.476	0.948	1.417	1.882	2.343	2.800
18	0.475	0.945	1.412	1.875	2.334	2.789
19	0.473	0.942	1.407	1.868	2.325	2.777
20	0.472	0.939	1.403	1.861	2.315	2.766
25	0.465	0.924	1.378	1.827	2.270	2.708
30	0.458	0.909	1.354	1.793	2.225	2.651
35	0.451	0.895	1.331	1.759	2.181	2.594
40	0.444	0.880	1.308	1.726	2.137	2.538

环面加寬面積之計算

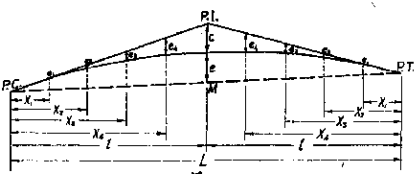


圖一

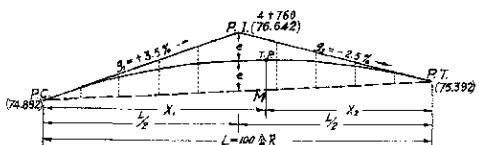


圖二

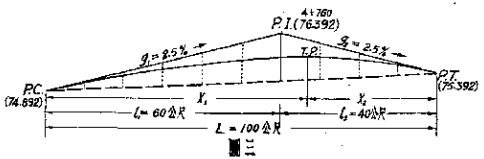
尖路堤面積之設計



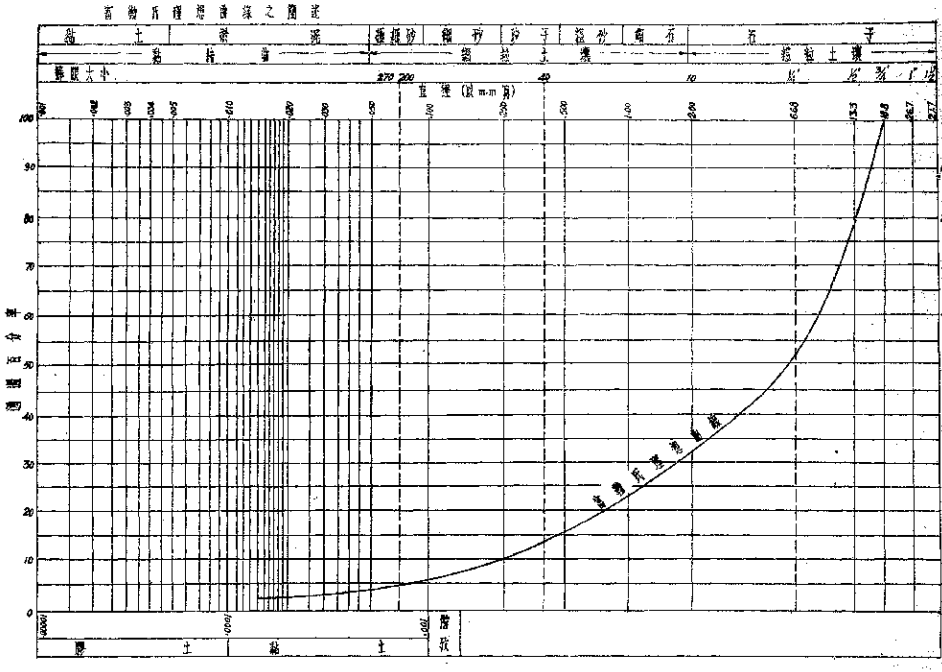
圖一



圖二



圖三


百分比
粒徑大小
直徑(以m.m為)
粘土
粉土
細砂
粗砂
砂子
細砂
粗石
石子
粘土
粉土
細砂
粗砂
砂子
細砂
粗石
石子
270
200
40
10
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

富勒氏理想曲綫簡述

陳本端

土壤顆粒分析，與其密度之關係，異常重要，蓋顆粒大小與其數量，影響土壤之空隙極大。土壤大小顆粒之數量應如何分配，始可得其最大之密度之問題，在公路工程方面，乃爲一最堪注意之研究。美國富勒氏。經極久之探討與試驗，得一極有價值之定論。據彼所云：（級配曲線愈近拋物綫時，則其密度愈大。）故以拋物綫爲其理想中最佳之級配曲綫。此種曲線，定名曰富勒氏理想曲線。

茲假設有某類土壤一種（名之爲甲種），其機械分析，用下列各種鋼絲篩：

$\frac{3''}{4}$，$\frac{3''}{8}$， 4號， 8號， 14號， 28號， 48號， 100號， 及200號；其最大篩孔爲18.85公厘，通過 $\frac{3''}{4}$ 篩之顆粒爲100%，於是：

設 Y=通過各種篩網之顆粒百分率　　X=每種篩孔之大小（以公厘計）

拋物線之公式爲　$Y^2=PX$　（P爲係數）

在$\frac{3''}{4}$篩上通過之顆粒爲100%，其篩孔爲18.85公厘

$\therefore\ P=\frac{100\times100}{18.85}=52.7$　　$\therefore\ Y^2=52.7X$

故由上式得該種土壤理想曲線之公式。根據此種公式，計算其級配之分析如下表：

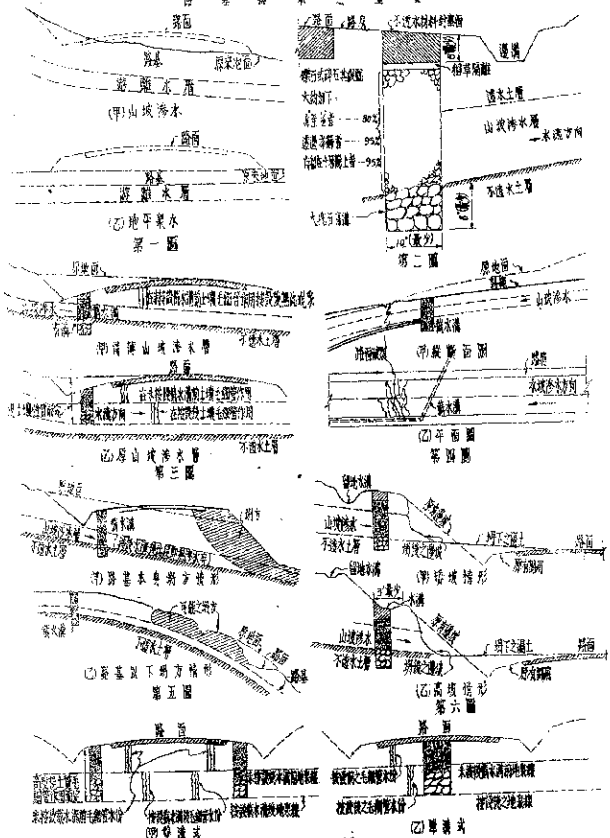
富勒氏理想曲綫數值表（專指此甲種土壤而言）

鋼篩號數	通過百分率	遺留百分率	遺留每篩上百分率
$\frac{3''}{4}$	100.0	0.0	0.0
$\frac{3''}{8}$	70.8	29.2	29.2
4號	49.8	50.2	21.0
8號	35.2	64.8	14.6
14號	24.8	75.2	10.4
28號	17.7	82.3	7.1
48號	12.4	87.6	5.3
100號	8.8	91.2	3.6
200號	6.2	93.8	2.6

由上表中各數值，可用對數格紙畫一曲線，此曲線即爲該種土壤之理想曲線，如附圖

目前公路路面工程，其底層及面層之設計，多數利用此種理論，以爲設計之張本。自葛氏試驗發明，及羊腸路演問世以後，富勒氏理想曲線，用途尤多，而拿毛氏理論更能試理論之推算，以演證之。茲簡述於此，以爲公路工程界之介紹焉。

路基排水之重要


路面
路基
原采地面
地下水層
(甲)山坡滲水
(乙)地平集水
第一圖
路面
路基
透水土層
山坡滲水層
不透水土層
第二圖
(甲)背面山坡滲水層
(乙)厚山坡滲水層
第三圖
(甲)路基本身橫方坡形
(乙)路基與下橫方坡形
第五圖
(甲)橫溝式
(乙)單溝式
第七圖
(甲)斜面溝
(乙)縱斜面溝
(乙)平面圖
第四圖
(甲)坡城排形
(乙)高坡坡形
第六圖

72。按照每袋水泥之絕對容積爲0.48立方呎，故沙料之絕對容積，應爲1.306立方呎，(0.48×2.72=1.306)。每六加侖水折合0.803立方呎，是以每袋水泥，可以築成砂灰漿2.589立方呎，其分配爲：水泥 0.480 立方呎，砂1.306立方呎，水0.803立方呎。

（乙）石子數量成份之設計

石子數量成份之設計，即爲韋毛氏理論之推行，其主要理論，即大石子間之空隙，專爲次小石子所填塞。其所餘之空隙，則又爲再小石子所填塞。但填塞之石子之直徑，不得大於其空隙之距離。否則大小石子，必生衝突之現象，是謂之爲顆粒衝突。爲避免此種衝突起見，韋毛氏利用下列之公式，以求分配大小石子適宜數量之根據： $t=\left(\left(\frac{do}{da}\right)^{\frac{1}{3}}-1\right)D$

在上式中，t 爲空隙之距離，do爲大石子絕對容積之成份，da 爲次小石子絕對容積之成份，D爲大石子之平均直徑。

若大石子及小石子直徑之比例爲一與二，則由上式可以演化爲此式：da=0.296 do。

韋毛氏在設計聯合車站工程時，其石子之do值，平均爲0.615，故由上式得da值，爲0.296×0.615=0.182。所謂da值者，即次小石子與其較大石子配合成份之限制也。

韋毛氏在設計時所用之石子，爲3號及4號兩種。其顆粒分析之結果，列入表(一)之上部，其絕對容積，則列於下部。

表（一）各種石子容積計算表

石子尺寸	8號 — 4號	4號 — 3''/8	3''/8 — 3''/4	3''/4 — 1''
石子種類	顆粒級配成份		%	
No. 3	2.6	11.6	53.7	32.1
No. 4	16.0	81.0	3.0	--------
E 種砂	11.0	3.9	--------	--------
	絕對容積			
3號 b^3= 300 $\left(73\frac{1}{2}\%\right)$	.008	.035	.161	.096
4號 b^4= .108 $\left(26\frac{1}{2}\%\right)$	.018	.087	.003	--------
E 種 砂（假設0.300）	.033	.012	--------	--------

上述兩種石子，及E種砂料，其顆粒成份已如上述，在設計之時，其惟一目的，在求得各種材料混合後之最大密度。如欲得其最大之密度，則次小石子數量成份，不得超出0.182 之限制。例如3號石子中最粗粒子成份爲32.1%，假定3號石子可採用30%，於是以30%乘32.1% 得0.096。築成後之水泥混凝土之容積設爲一單位，則除去最粗石子所佔之地位外，其中所餘之空隙，應爲0.904。（1—0.096=0.904）。以0.182乘0.904 得0.164，

即爲次小石子（在 $\frac{3''}{8}$ 與 $\frac{3''}{4}$ 之間者）應佔之容積。若仍按30%乘以53.7%，則得0.161，核與0.164相差無幾，故假定30%之3號石子，與理論無大謬也。3號石子中，除 $\frac{3''}{8}$ —1'' 及 $\frac{3''}{8}$ — $\frac{3''}{4}$ 兩種成份已規定外，其最小石子，即4號 — $\frac{3''}{4}$ 者，其顆粒成份，在表（一）中，列爲11.6，若以30%乘之，得0.035，E種砂之最細粒亦即4號 — $\frac{3''}{8}$ 者，雪列3.9%，若亦假定採用30%，則得0.012。故兩種共爲0.035+0.012=0.047，此乃實際之情形也。若按理論而講，則 4號 — $\frac{3''}{8}$ 顆粒可以塡塞之空隙，爲0.740(1—0.096—0.164=0.740)。現在4號 — $\frac{3''}{8}$ 之3號石子，及E種沙，共得0.047而其能以塡塞之空隙爲0.134（0.74×0.182=0.134），故尚餘空隙甚多（0.134—0.047=0.087），可以4號石子以補充之。而4號石子中，4號 — $\frac{3''}{8}$ 顆粒成份，在表(一)中列81.0%，如欲得0.087之數量，4號石子應採用若干，可以計算而得。例如0.087÷0.81=0.108，此0.108之系數，即4號石子應採用之成份。現在既已決定3號石子採取30%，4號石子採取10.8%，故共爲40.8%也。

（丙）砂灰漿與石料配合之設計

在前述之兩步驟中，灰砂漿及石子之成份，均已規定，故現在可將兩種合而併之。按石子應佔容積之成份爲0.408，故灰砂漿應佔0.592。但在(甲)節中，所計算之灰沙漿，乃每袋水泥得漿2.589立方呎，故每袋水泥需石子若干，計算如下：

$x : 2.589 = 0.408 : 0.592 \therefore \quad x = 1.785$

石子之數量既知，每袋水泥所需各種材料之數量，乃可計算，其計算結果列之如表（二）

表[二]每袋洋灰應需材料表（水量爲六加侖）

材料種類	絕對容積（每單位容積）	絕對容積（以每袋洋灰爲單位）	重量（以每袋洋灰爲單位）
水泥	0.110	0.480方立呎	94 磅
砂	0.298	1.305 ,,	210 ,,
水	0.184	0.808 ,,	50 ,,
砂灰漿	0.592	2.589 ,,	354 ,,
4號石子	0.108	0.474 ,,	78 ,,
3號石子	0.300	1.311 ,,	215 ,,
水泥混凝土	1.000	4.374立方呎	647 磅

（三）韋毛氏混凝土設計之檢討

在第(二)節中，韋毛氏設計洋灰混凝土之方法，可以注意者，有下列數點：

（1）推用韋毛氏之理論以設計混凝土

（2）就地石料利用之方便

（3）無論灰石比率大小其澆築工作性均甚優良

就上述三點而觀，韋毛氏認爲第（3）點對於房屋橋樑之工作最爲適宜，是其特殊之貢獻。

按韋毛氏理論之研究，可以使水泥混凝土之石沙配合得宜，空隙減少，水泥成份便可減低，此點雖未證明，但頗有研究之價值。蓋水泥成份在和同之情形下，假有一最低及最高之限制。最低之限制，即每顆沙石粒之面層，均須被水泥所塗勻。其最高之限制，乃沙石空隙之間，均須爲水泥所塡滿。如水泥過少之時，沙石顆粒，不能黏合，而過多之時，水泥材料等於虛費。惟顆粒愈細，其面層面積愈大，面層面積愈大，則需要水泥愈多。若從另一方面言之，即細粒材料愈少之時，則空隙之成份愈大，空隙成份愈大，則所需之水泥亦愈多。此種尋求最小空隙，或最小面層面積之出路，完全可由韋毛氏理論之推解，以達到其目的。

在目前設計及建築水泥混凝土工程，似有兩種可疑之點：(一)水泥成份是否恰足其用，(二)石沙之配合，是否適宜。由於此兩種原因，普通之水泥工作，浪有虛費之嫌，而砂石配合，似有大意之處。若能利用韋毛氏理論，則水泥成份，或可以細砂代替而略減，如能得有結果。則在經濟立場上，必有相當之價值。

(四)按照韋毛氏設計之水泥混凝土理論上之比較

韋毛氏設計之混凝土報告，未能所有壓應力測出，無從審查其力量之影響。例如灰水比率，堆沉值，及其灰石比率之互相關係，均未能加以詳密之說明。茲先將韋氏設計之混凝土，按照水灰比率原理之方法，分析如下：

(一)所用材料

(甲)水泥　性質未詳　(乙)砂　未詳　(丙)石子

篩號	百分率
過 1" 留 3/4"	16.0
,, ,, 3/4" ,, ,, 3/8"	28.4
,, ,, 3/8" ,, ,, No.4	46.3
,, ,, No4 ,, ,, No.8	9.3

(二)材料混合率　材料之混合率如下表

材料	絕對容積比率	重量比率
水泥	0.090	1
砂	0.281	4.4
石子	0.461	3.0
水	0.168	0.6

(三)韋氏混凝土性質分析

(甲) $\frac{W}{C}$ 比率(以容積計) = 0.90(乙)混合率(以重量計)，=1比7.4

(丙)細度係數：石子=6.51　砂=2.50　共爲 4.95　(丁)堆沉值=6吋

按照上述之分析，以所定石子及砂料之成份，而欲得六吋之堆沉值。由水灰比率理論方法之設計，僅用6.8 加倫，是否可能，未敢臆斷。倘謂可能，則所云可得優良之工作性一語，允足可貴。按韋氏所用之砂石，由水灰比率之規定，欲得六吋堆沉值，每袋水泥需水十加倫，其水灰比率爲1.2，但韋氏所用者爲0.9。換而言之，即韋氏能以較少之水份而

得同樣之堆沉值。根據水灰比率所知，其壓應力如下表：

水灰比率	年齡	壓應力，磅/平方吋
0.9	七天	約 2800
	廿八天	約 3000
1.2	七天	約 1200
	廿八天	約 1800

觀乎上表所列，韋氏設計之水泥混凝土，不僅工作性可以優良，而壓應力，亦可增大。此乃應加研究試驗價值之所在，不可不嚴密注意者也。

混凝土路面厚度之設計

李讀熾

引言

混凝土路面，列爲高級路面之一種，適用於公路及城市街道，其在道路上之價值及地位，不亞於各種瀝青路面。鋼筋混凝土路面之優點，爲甚平坦而不易滑，無灰塵且易於清潔，牽引阻力甚低，普通平均每公噸車重僅爲二十公斤；顏色鮮明，光利夜間行車；受熱力亦小。年久路面毀壞，折舊價值較其他任何路面爲高，因可利用爲各種高級路面良好之路基。其唯一缺點乃彈力太低，如遇路面不平坦時，車行其上，震動甚大，乘車者感不安適。

混凝土路面之設計及修築，皆較其他路面爲難，因是多有畏難而不敢採用此種路面者。歷來吉園各大城市高級路面，大都採用瀝青路面，尤以瀝青處治方式爲甚；如上海，南京，北平，漢口，廣州，青岛，長沙等市是也。蓋瀝青材料及路面種類甚多，修築方法亦日新月異，固爲甚優良之路面，但瀝青材料國內出產甚少，幾全部仰賴舶來品，尤以美英者爲最多。例如北平文物整理計劃所修築之西郊公路及市內路面所用瀝青材料，皆購自英商亞細亞公司。猶憶民國廿四年，譚炳訓長北平市工務局時，作者曾代該局試驗投標各公

司之濫青，當時根據作者報告試驗結果，許定貨質及價格，以英商亞細亞之殼牌地瀝青"Shell asphalt"得標，當時每公噸爲七十二元六角四分，爲北平市有歷史以來最低之價格。

混凝土路面之主要材料爲水泥，礫石或碎石，及砂，全屬國產材料。抗戰前國產水泥公司頗多，較著者有唐山之啓新洋灰公司，龍潭之中國水泥公司，廣州之士敏土廠，湖南之水泥公司，濟南之水泥公司，無錫之太湖水泥公司等。抗戰以來，國家重心西移，昔日水泥廠址所在，皆已淪陷，以致水泥產量銳減。然經四年來之努力經營，川滇黔諸省皆設有水泥製造廠。鋼筋混凝土路面本身條件費，雖較瀝青碎石路面爲昂，在水泥工業發達之區，可以充分利用地方材料。金錢既免外溢，而路面之優良較瀝青碎石路面尚遠不及，故頗有提倡之必要。

混凝土路面之設計及修築，如欲討論全題，可成巨帙。此文範圍，僅限於路面厚度之設計，其他如伸縮縫之設計，鋼筋之佈置及修築之方法等，容日後當再爲文論及之。

混凝土路面橫斷面及厚度標準

昔時混凝土路面之橫斷面，多爲等厚式，亦有中厚邊薄者。中厚邊薄之觀念，或係爲當時碎石路之盛行，由建築碎石或礫石路面採用裝面方法，分佈材料時中厚邊薄所得之影響。昔日混凝土路面之設計，皆假設路板爲一兩端支持之橫梁，中間力矩最大，故宜最厚。但同時對於兩端道底之承重力，不敢確定是否可靠，爲安全起見，故多採用等厚形式。

自美國參加第一次歐戰後，各公路上因軍運繁密，車重驟增。舉凡邊邊之混凝土路面，兩邊裂全破裂，至是凡結知以前假設之錯誤。嗣後雖各地建築試驗路面，詳細研究，證明厚邊斷面之真實。按1932年美國全國有混凝土路面四十五州之統計，（其他三州，讀俄明，蒙塔那，及尼發達，因混凝土路面太少，故不包括在內。）其中有三十九州（87%）規定採用厚邊斷面，其餘六州則用等厚斷面，此六州皆在美國之東北部。

路面厚度依道底及車輛情形而改變者，凡十三州，其他三十二州規定一定標準厚度，而不顧及道底及車輛之情形。厚邊斷面最普通者，爲9—6—9，9—6½—9，及9—7—9（皆以英吋計）三種，四十五州中有三十一州，採取此三種斷面爲規定標準之一。加厚寬度，爲自二至四呎之傾斜或拋物線。等厚斷面以7，8，9吋三者爲較普通。故普通平均斷面，爲9—6½—9吋，（23—16½—23公分）90公分傾斜加厚寬度如圖一之斷面：

2 1935年美國全國公路總管理處，研究混凝土路橫斷面之結果。承重壓力完全平衡之斷面，其邊厚度等於1.66中厚，其加寬厚度爲60公分之傾斜，如圖二。

我國混凝土路面建築尚甚幼稚，茲將各地採用混凝土斷面之形式，例舉如下：

全國經濟委員會公路處第一試驗路（民國二十一年）

等厚斷面　18公分　　厚邊斷面　18—13—18公分（60公分傾斜）

漢口市　第一號：厚邊及中厚斷面17—12—17—12—17公分（80公分傾斜）

第二號：厚邊斷面17—12—17公分（80公分傾斜）

北平市　混凝土試驗路（在護國寺街）等厚斷面　10公分

天津市　等厚斷面　19公分

廣州市　邊厚斷面：邊厚＝1.5中厚（80公分傾斜）

俄爾德厚度設計公式

[3] 1920至1921年，美國依利那州總工程師俄爾德（Older）氏，由該州所築培茲試驗路面之結果，推演下列公式。因其簡單，混凝土路厚度之設計，多採用之。

推演公式假設之條件：（圖四）

1. 伸縮縫與路邊際相交之角隅處，為最關緊要之臨界斷面。
2. 因夜間道底溫度較路面溫度為高，路邊向上彎曲，成凹形狀。假定混凝土路面為一無支持之懸樑，則路邊之道底土壤不能承重。但實際上，除夜間路面與道底溫度相差甚多有此種情形外，大多時間，路邊皆能有一部份土壤之承重力量。
3. 車輛重量，假定在角隅極端處C，但實際上情形，車輛外輪輾有緣路邊而行者。普通載重汽車外輪離路邊平均約半公尺，小汽車外輪離路邊平均約$\frac{3}{4}$公尺。即使車輪在路邊極端處，因輪胎之寬度，其重量中心亦離路邊少許，距離至少為輪胎寬度之半。
4. 計算公式中車輪承重為靜時之承重，汽車在行動時撞擊路面應加之衝擊量，未計在內。
5. 其破裂斷面，假設為垂直角隅等分之AB斷面，斷面內縱應力均為一律，因此斷面之面積最小，故抵抗力矩亦最小。但實際上因邊際之張應力較角隅處者為大，故開始破裂時，應先行橫裂少許。
6. 各部車輪承重，假設集中於一點上。但實際上車輪與路面有一接觸面積，分配承載重量。此面積之多少，視後輪單雙及輪胎膨脹壓力之大小而不同。

w＝車輪最大承重　　S＝混凝土容許抗曲應力　　t＝路板厚度　　彎曲矩＝wx

$$\text{抵抗矩}=\frac{SI}{C}=\frac{S\frac{1}{12}2xt^3}{t/2}=\frac{1}{3}xt^2S \qquad wx=\frac{1}{3}xt^2S \qquad t=\sqrt{\frac{3wx}{S}}$$

如伸縮縫及中心縫均用鋼條，鋼條之功用，除能維持接縫兩邊路面等平不使上下及左右活動外，尚能傳遞重量。假設利用鋼條切力可傳遞重量之一半，則在路邊承重亦可減半，在路中心承重僅為四分之一。

t_e＝路邊厚度　　t_c＝路中心厚度　　$t_e=\sqrt{\frac{1.5W}{S}}$　　$t_c=\sqrt{\frac{0.75W}{S}}$

韋斯特卡德厚度設計公式

[4] 1925年美國依利那大學理論及應用力學教授韋斯特卡德氏。依彈性原理，推演公式，所假設之條件如下：

1. 混凝土路面為一平衡情形之下，同質等向性（isotrpoic）及富有彈性之固體。
2. 道底亦有彈性，載重分配在此有彈性承重面一定面積之上。
3. 道底之反應僅為垂直方向，與路面之撓度成正比例。
4. 道底之反應力等於道底反應係數與撓度之乘積。$K=kL$

5.路面角隅及中部載重，均勻分配於圓形接觸之面積，路面邊緣載重，均勻分配於半圓形接觸之面積。此面積之圓心，在邊緣上，此面積之圓周，與路面兩邊邊緣相切。

5 1933年臺斯特卡德氏著公式之k及L合而爲K，命之爲道底硬性係數。將舊有公式重新排列。下列公式乃爲1933年新編之公式：

公式符號說明：

k＝道底反應係數（爲每單位偏轉每單位面積之反應力，其單位爲公斤／公分^2／公分，或公斤／公分^3，普通k爲1.5至6.0公斤／公分^3。k值改變，於彎曲應力影響甚小，故設計時，在一種道底及承重情形之下，k值可假設爲一常數。）

L＝相對硬性之半徑（即混凝土路面與道底硬性之比例，單位爲公分，普通約爲90公分。）

$$L=\sqrt[4]{\frac{Et^3}{12(1-u^2)k}}$$　　K＝kL＝道底硬性係數（單位爲公斤／公分^2）

u＝蘇松比（即橫脹與縱縮之比例，普通爲0.15）

E＝混凝土彈性係數（普通爲210,000至280,000公斤／公分^2.）

6a＝承重分配之半徑（承重分配半徑於計算公式時影響甚大，下爲1934年美國布拉達柏利氏研究之結果）

凡車輪承重在1360公斤以下者，應用高壓氣力單後輪胎。

凡車輪承重由1360至3600公斤者，應用高壓氣力雙後輪胎。

凡車輪承重在3600公斤以上者，應用大氣力雙後輪胎。

$a=0.956\sqrt[3]{W}$　　$a_e=0.60W^{0.42}$　　$a_e=0.275\sqrt{W}$　　雙後輪胎

b＝相對半徑（依內代氏（Nadai）壓力相等分配圓錐體之分析）

a	b 值
小於 1.724t	$\sqrt{1.6a^2+t^2}-0.675t$
大於 1.724t	a

$$S=\frac{3W}{t^2}\left[1-\left(\frac{12(1-u^2)K}{Et^2}\right)^{0.2}(a\sqrt{2})^{0.6}\right]$$

$$S_e=2.117(1+0.54u)\frac{W}{t_e^2}\left[\log_{10}\left(\frac{t_e}{b}\right)+\frac{1}{3}\log_{10}\left(\frac{E}{K}\right)-0.2666\right]$$

$$S_c=1.1(1+u)\frac{W}{t_c^2}\left[\log_{10}\left(\frac{t_c}{b}\right)+\frac{1}{3}\log_{10}\left(\frac{E}{K}\right)-0.089\right]$$

理論厚度設計公式

假定條件如下：（圖四）

1.當路面因承輪重而偏轉時，其偏轉之面積及總長，可發生相當抵抗力，以承載輪重。

2.臨界斷面在角隅處，其裂痕爲一不整齊之弧形。

3.土壤之抗抵壓應力爲一圓錐體形，最大抗抵力爲錐體高度h，在輪重重心下處。錐體

徑 r，爲最大偏轉均勻減少至無偏轉處之距離。

偏轉面積$=\frac{\pi r^2}{4}$　　$W=\frac{1}{2}\ \frac{\pi r^2}{4}\ h=\frac{\pi r^2}{12}\ h$　　$h=\frac{12W}{\pi r^2}$

取一單位弧扇形(圖五)　　外力力矩＝(輪動矩)－(道底應力總力矩)

面積$=\frac{\pi r^2}{2\pi r}=\frac{r}{2}$　　混凝土抵抗力矩＝外力力矩

角度$=\frac{2\pi}{2\pi r}=\frac{1}{r}$　　h＝在A處之單位應力　$\frac{h}{r}$＝離x—x單位距離之單位應力

$\frac{h}{r}y$＝離x—x距離y之單位應力　　$\frac{h}{r}yxdy$＝微分面積之應力

$\frac{h}{r}y^2xdy$＝微分面積之力矩

M_t＝單位弧扇形道底應力之力矩$=\frac{h}{r}\int y^2xdy$

$\frac{x}{l}=\frac{r-y}{r}$　　$x=l-\frac{y}{r}$

$M_s=\frac{h}{r}\int_0^r\left(l-\frac{y}{r}\right)y^2dy=\frac{hr^2}{12}$

ΣM_s＝在偏轉面積道底應力之總力矩$=\frac{hr^2}{12}\times\frac{\frac{\pi r^2}{4}}{\frac{r}{2}}=\frac{h\pi r3}{24}$

$h=\frac{12W}{\pi r^2}$　　$\Sigma M_s=\frac{Wr}{2}$

輪重力矩＝Wr　　外力力矩＝$Wr-\frac{Wr}{2}=\frac{Wr}{2}$

混凝土抵抗力矩$=\frac{Sl}{c}=\frac{S\frac{\pi rt3}{24}}{\frac{t}{2}}=\frac{S\pi rt^2}{12}$

單位弧扇形慣矩$=\frac{1}{12}\times1\times t^3$　　總慣矩$=\frac{t^3}{12}\times\frac{\frac{\pi r^2}{4}}{\frac{r}{2}}=\frac{\pi rt3}{24}$

$\frac{Wr}{2}=\frac{S\pi rt^2}{12}$　　$t^2=\frac{6W}{\pi S}$　　$t=\sqrt{\frac{1.92W}{S}}$

如縱橫鋼絲均用鋼條，則　$t_c=\sqrt{\frac{0.96W}{S}}$　　$t_c=\sqrt{\frac{0.48W}{S}}$

希治厚度設計公式

[7]1934年美國波特蘭水泥協會顯問工程師希治氏(Sheets)將彼爾德公式略爲變更，推演爲下列經驗公式，假設鋼條可減少應力20%。

	實　腔	氣　腔
無鋼條	$t=\sqrt{\frac{3WC}{S}}$	$t=\sqrt{\frac{2.4WC}{S}}$
有鋼條	$t=\sqrt{\frac{2.4WC}{S}}$	$t=\sqrt{\frac{1.92WC}{S}}$

C 爲一係數，視道底及應係數而不同，如圖六。

t 爲等厚斷面路面之厚度，如採用厚邊斷面，t 爲厚邊有效之厚度。除加厚寬度先爲等距30或60公分而後隔斜60公分或60公分以上者，用垂直等分角隅75公分距離斷面之平均厚度計算外。其他厚邊斷面，凡加厚寬度爲60至120公分之傾斜或爲拋物線式者，皆用垂直等分角隅60公分距離斷面之平均厚度計算。

實　例　計　算

假定：最重載重汽車總重=10公噸

假設後軸承載全車重量四分之三：車輪最大承重$=\frac{1}{2}\left(\frac{3}{4}\times10\times1000\right)=3750$公斤

混凝土彎折係數=35公斤／公分^2　　混凝土疲態安全率=2（參閱圖六）

混凝土容許切曲應力$=\frac{1}{2}\times35=17.5$公斤／公分^2　　混凝土彈性係數=210,000公斤／公分^2

俄爾德公式

$$t=\sqrt{\frac{3W}{S}}=\sqrt{\frac{3\times3750}{17.5}}=25.4\text{用}26\text{公分}\quad S=16.7\text{公斤／公分}^2$$

$$te=\sqrt{\frac{1.5W}{S}}=\sqrt{\frac{1.5\times3750}{17.5}}=17.92\text{用}18\text{公分}\quad S=17.4\text{公斤／公分}^2$$

$$tc=\sqrt{\frac{0.75W}{S}}=\sqrt{\frac{0.75\times3750}{17.5}}=12.7\text{用}13\text{公分}\quad S=16.7\text{公斤／公分}^2$$

用 18—13—18公分斷面

韋斯德卡德公式

$$S=\frac{3W}{t^2}\left[1-\left(\frac{12(1-u^2)K}{E(a\sqrt{2})^{0.6}}\right)^{0.2}\right]$$

$$a=0.956\sqrt[3]{W}=0.956\sqrt[3]{3750}=14.85$$

假設 t=20公分　　$K=\sqrt[4]{\frac{210,000\times1.5^3\times20^3}{12(1-0.15^2)}}=148.2$

$$S=\frac{3\times3750}{20^2}\left[1-\left(\frac{21(1-0.15^2)148.2}{210,000\times20^2}\right)^{0.2}\left(\frac{14.85}{\sqrt{2}}\right)^{0.6}\right]=7.9\text{公斤／公分}^2$$

$$Se=2.117(1+0.54u)\frac{W}{t^2}e\left[\log_{10}\left(\frac{te}{b}\right)+\frac{1}{3}\log_{10}\left(\frac{E}{K}\right)-0.2666\right]$$

假設te=21公分　　$K=\sqrt[4]{\frac{210,000\times1.5^3\times21^3}{12(1-0.15^2)}}=153.8$

$$ae=0.60W^{0.42}=0.6\times3750^{0.42}=19.1\text{公分}$$

$$b=\sqrt{1.6\times a^2+t^2}-0.675\ t=\sqrt{1.6\times19.1^2+21^2}-0.675\times21=17.8$$

$$Se=2.117(1+0.54\times0.15)\frac{3750}{21^2}\left[\log_{10}\left(\frac{21}{17.8}\right)+\frac{1}{3}\log_{10}\left(\frac{210,000}{153.8}\right)-0.2666\right]$$

$$=19.45(0.072+1.045-0.2666)=16.5\quad\text{公斤／公分}^2$$

$$S_c = 1.1(1+u)\frac{W}{t_c^2}\left\{\log_{10}\left(\frac{tc}{b}\right)+\frac{1}{3}\log_{10}\left(\frac{E}{K}\right)-0.089\right.$$

假設tc=17公分

$ac=0.275\sqrt{W}=0.275\sqrt{3750}=16.8$公分

$b=\sqrt{1.6\times16.8^2+17^2}-0.675\times17=15.7$

$$K=4\sqrt{\frac{210,000\times1.5^3\times17^3}{12(1-0.15^2)}}=131.2$$

$$Sc=1.1(1+0.15)\frac{3750}{17^2}\left\{\log_{10}\left(\frac{17}{15.7}\right)+\frac{1}{3}\log_{10}\left(\frac{210,000}{131.2}\right)-0.089\right.$$

$=16.42(0.034+1.068-0.089)=16.6$公斤／公分^2

用21—17—21公分斷面

理論公式

$$t=\sqrt{\frac{1.92W}{S}}=\sqrt{\frac{1.92\times3750}{17.5}}=20.3\quad 用21公分\qquad S=16.2公斤/公分^2$$

$$te=\sqrt{\frac{0.96W}{S}}=\sqrt{\frac{0.96\times3750}{17.5}}=14.35\quad 用15公分\qquad S=16.0公斤/公分^2$$

$$tc=\sqrt{\frac{0.48W}{S}}=\sqrt{\frac{0.48\times3750}{17.5}}=10.2\quad 用11公分\qquad S=14.9公斤/公分^2$$

用15—11—15公分斷面

希治公式

$$t=\sqrt{\frac{192GW}{S}}=\sqrt{\frac{1.92\times1.096\times3750}{17.5}}=21.2公分$$

$t=0.353\ te+0.647\ tc$

$te=1.275t=1.275\times21.2=27.0$公分

$tc=\frac{2}{3}te=\frac{2}{3}\times27=18$公分

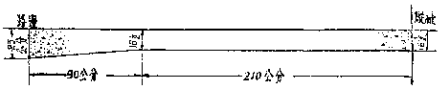
$t=0.353\times27+0.647\times18=21.2$公分

用27—18—27公分斷面

	t	te	tc	tc/te
俄爾德公式	26	18	13	1.39
章斯特卡德公式	20	21	17	1.24
理論公式	21	15	11	1.36
希治公式	21	27	18	1.50

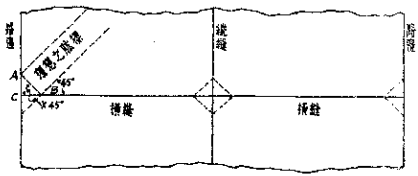
結　論

總觀以上公式，俄爾德公式爲公式中之最老者，因其簡單，亦爲路工程師所最普用者。但因其中假設太多，而又不盡符事實，故近來公路工程專家對之有所批評，如希治氏將俄爾德公式改變爲希治氏之經驗公式，即一例也。章斯特卡德以彈性理論推演之公式，未免失之過繁，故實際上仍不便用。希治氏推演之經驗公式，甚爲保守，所得厚度結果較

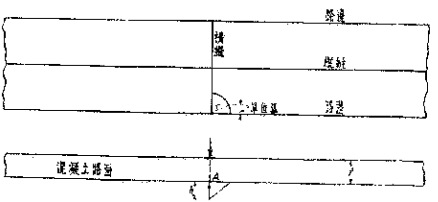


圖一

圖二

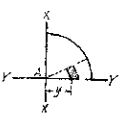


圖三



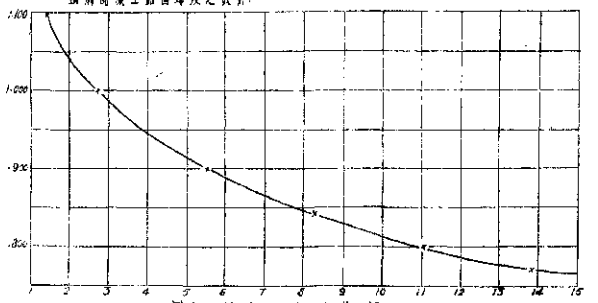
圖四

鋼筋混凝土路面厚度設計



圖五

鋼筋混凝土路面厚度之設計



圖六：路底反應係數 $\frac{公斤}{公分^3}$

(1) 加厚寬 60-120 公分之鋼斜

(a) 加厚寬度 = 60 公分鋼斜

$$t = \frac{\frac{t_a + t_c}{2} \times 60 + 25 t_c}{85} = 0.353 t_a + 0.647 t_c$$

$$t_c = \frac{2}{3} t_a = 0.85 t$$

$$t = 0.353 t_a + 0.647 \times 0.85 t = 0.353 t_a + 0.550 t$$

$$0.45 t = 0.353 t_a \qquad t_a = 1.275 t$$

(b) 加厚寬度 = 90 公分鋼斜

$$t = \frac{\frac{[t_c + \frac{5}{85}(t_a - t_c)] + t_a}{2} \times 85}{85}$$

$$= 0.528 t_a + 0.472 t_c$$

$$t_c = 0.85 t$$

$$t = 0.528 t_a + 0.472 \times 0.85 t = 0.528 t_a + 0.401 t$$

$$0.599 t = 0.528 t_a \qquad t_a = 1.134 t$$

(c) 加厚寬度 120 公分鋼斜

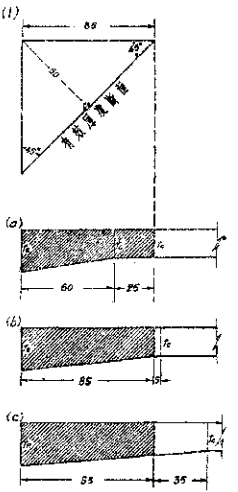
$$t = \frac{\frac{[t_c + \frac{35}{120}(t_a - t_c)] + t_a}{2} \times 120}{120}$$

$$= 0.646 t_a + 0.354 t_c$$

$$t_c = 0.85 t$$

$$t = 0.646 t_a + 0.354 \times 0.85 t = 0.646 t_a + 0.310 t$$

$$0.690 t = 0.646 t_a \qquad t_a = 1.082 t$$



(2)

(a) 寬度30公分傾斜60公分

$$f' = \frac{30f_c + \frac{f_c + f_t}{2} \times 60 + 16f_t}{106} = 0.565f_c + 0.435f_t$$

$f_t = 0.85f$

$f' = 0.565f_c + 0.435 \times 0.85f = 0.566f_c + 0.370f$

$0.63f = 0.565f_c$ $\qquad f_c = 1.115f$

(b) 寬度60公分傾斜60公分

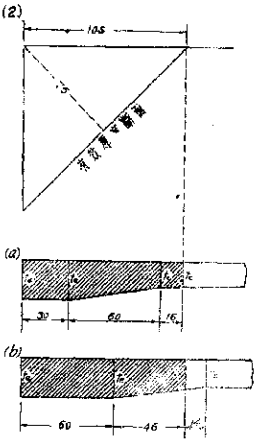
$$f' = \frac{60f_c + \left[\frac{\frac{4}{3}(f_c - f_t) + f_c + f_t}{2}\right] \times 46}{106}$$

$= 0.833f_c + 0.167f_t$

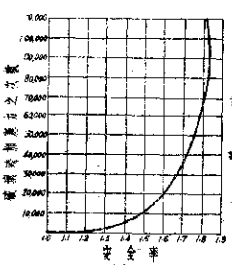
$f_t = 0.85f$

$f' = 0.833f_c + 0.167 \times 0.85f = 0.833f_c + 0.142f$

$0.858f = 0.833f_c$ $\qquad f_c = 1.030f$

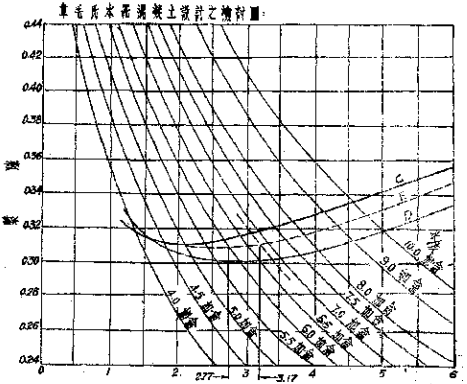


鋼筋混凝土許留厚度設計圖.

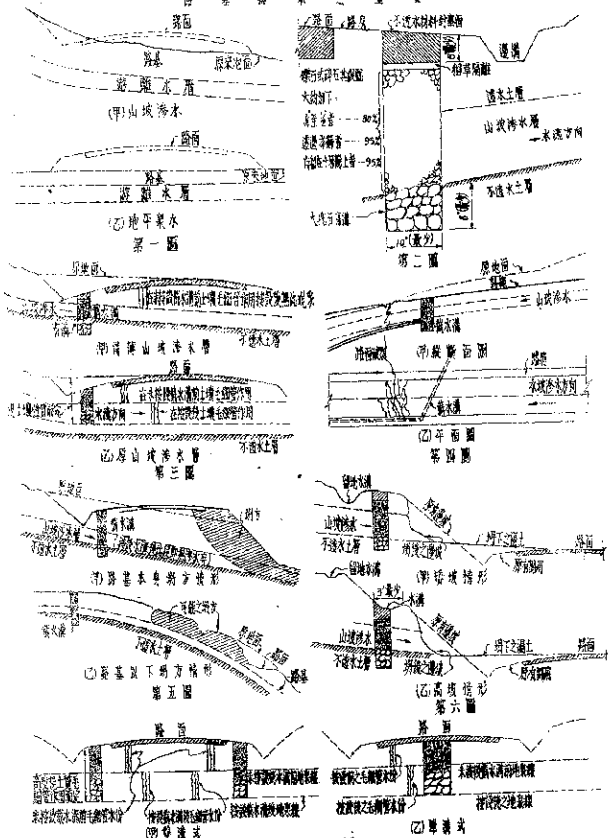


圖七

車毛斯本混凝土設計之檢討圖:



路基排水之重要


路面
路基
原采地面
地下水層
(甲)山坡滲水
(乙)地平集水
第一圖
路面
路基
透水土層
山坡滲水層
不透水土層
第二圖
(甲)背面山坡滲水層
(乙)厚山坡滲水層
第三圖
(甲)路基本身橫方坡形
(乙)路基與下橫方坡形
第五圖
(甲)橫溝式
(乙)單溝式
第七圖
(甲)斜面溝
(乙)縱斜面溝
(乙)平面圖
第四圖
(甲)坡城排形
(乙)高坡坡形
第六圖

大。至於理論公式不過依理論而推演，去事實尚遠，其結果未免過小，安全率不足，亦不適用。總之以上公式，尚未十全十美。混凝土路面厚度之設計，除可用公式爲參考外，尚須就實際上道底及氣候情形而斟酌也。

參考資料索引

1. American Road Builders' Association Proceeding 1932, pp. 3-47
2. Public Roads Vol. 16, No. 10, Dec. 1935, pp 201-231
3. A. S. C. E. Trans. Vol. 87, No. 1546, 1924, pp. 1180-1224
4. Highway Research Board Part 1, 1925 pp. 90-112
5. Public Roads Vol. 14, No. 10 Dec. 1933, pp. 185-188
6. Highway Research Board Part 1, 1934, pp. 225-254
7. F. T. Sheets: Concrete Road Design Simplified and Correlated With Traffic June 1934

路基排水之重要

陳本端

(1)引　言

公路建築，水之爲患，最爲嚴苛。例如路面破裂，路基下陷以及邊坡崩方等等，均係水在其中，酿成而成。往往工程之進行，對於路基排水，未能注意，一至雨期濕季，種種劣狀，皆呈目前。影響交通，至爲嚴重。公路工程師，每以路基排水，用費至鉅，難以施行。不過全路之路綫，若每公里均須設施，其費用自屬可觀，但實際之上，並非如此。蓋路基排水，因地制宜，乃屬土性之性質，并非整個路綫之必需。每公里之路綫，其中或有數處，需要排水，或數十公里之路綫，完全不需。僅須尋求水之所在，以定其爲害之有無，然後始知其預防之法。如此，則所需費用，并不繁人，而較之每年補修路面或整理坍方之所費，或有不及。然則我公路工程師，於建築公路之時，其欲一勞永逸乎，抑願於每年雨季之時，驚慌不知所措乎。本篇之所述，其或能挽救於萬一。

(2)路基排水之原因

俗云『房屋貴乎有不漏水之屋頂及乾燥之地窖』，以之爲意公路，何嘗不然。目前我國公路建築，對於屋頂，尚能注意，例如路橋，邊溝，暗地水溝等等，皆有設施。惟對於地窖，則毫無顧慮，所謂顧頭而不顧脚，顧上而不顧下也。

按路基內之水份，可分爲兩種。一爲土壤毛細管所吸含於其內者，名之曰毛細管水，二爲介於透水層及不透水層之間而可自由流動者，名之曰游離水。普通毛細管水，皆以游離水爲其來源。游離水位低而土質之毛細管作用大者，則路基永不得摩實，無論何種路面，皆不能修築於其上。挽救之方，只有兩法，一爲排洩游離水，或設法使其水位降至土質

毛細管吸力不能達到之地位。二爲改善路基土質，以減少其毛細管之作用。由此而觀，游離水之位置深度，以及路基土壤之性質，均須事前探查清楚，方能看手計劃。否則只憑眼力以猜度之，不惟於事無濟，而反虛費工款也。

普通探查游離水之位置及路基土壤之性質，皆用土鑽以鑽探之。鑽探工作，以雨期濕季之時，最爲相宜。蓋乾季之際，游離水位，自然降低，在雨季之間，其水位自然升高。若在乾季進行鑽探，自不能得其爲害之實據，此點最爲重要，不可不加以注意。

在公路建築，游離水之排洩，密關重要。此種地下水份，其呈露現象，大概分爲兩種：一曰山坡潛水，一曰地平泉水，如第一圖。

第一種之山坡潛水，普通在丘陵區及山嶺區之路線，常常發現。此種游離水層，其方向恆與原來之地面平行。由高而下，而受水頭之壓力，故露出地面之後，湧力頗强，恆在邊溝或路肩一帶，聚水成塘，爲害路面。第二種之地平泉水，普通在平原區之路線，最易發現。此種游離水，無水頭之壓力，流動性極少，但其水位，在乾季之時，可以降低，在雨季之時，可以升高。無論山坡滲水或地平泉水，均爲路基中毛細管水之來源，而路基種種困難之發生，皆由於此。

毛細管有強吸力高度，與土壤性質，有密切之關係。但究竟其關係如何，目前土壤研究，尚無確切之結論，可資進留。惟普通之土壤，若其游離水層，距離路面五六英尺，則其毛細管作用，當無影響。否則必須設法以避免之。在山坡滲水情形之下，可以用截水溝，截其水流而引導於路基之外，俾使路基可以乾燥。若在地平泉水情形之下，如欲引流其水而外出者，倘遇較深之處，每感不易。

(3) 地下排水之設施

目前排洩地下水流，均用水管，雖覺妥適，然以我國經濟之情形，仍有難於負担之感。惟排洩路基水份，對於路身路面之健全，關係至巨，固不可因噎廢食，更不可因顧面就簡。盲溝方法，延用已久，實乃兩全之道，如有瓦管可資利用尤佳。惟以目前狀況而論，盲溝最易實行，負担不覺太昂，頗值提倡而推行。但排洩地下水流，須瞭知地下水流之狀況，第二圖所示，乃爲最妥最佳之設計。

由第二圖之設計，其中有三項，頗足注意，茲述於下：

(甲)洩水盲溝築在山坡滲水層之下，而深入不透水土層之中。

(乙)盲溝之上，須用較小之級配石子塡塞之。

(丙)洩水溝上端須有封塞層。

此種洩水溝如第二圖者，名之曰截水溝，所謂截水之意，乃截留山坡滲下之水，將之他去而不使之滲入路面之下也。至地下水流之方向，完全循其阻力最小之途徑而行，故水能截中於盲溝之中而引入於路外。盲溝之存水，貴在橫流而他去，其上之碎石或礫石層中滲入之水份，貴在利用重力而下流。是以截水溝中，上層石塊之空隙，應較盲溝石塊爲小。故盲溝中之石塊，大小須能均勻，而上層石塊，大小須能級配。盲溝必須位於不透水土層之中，否則水份必因重力關係，深而下滲，勢難橫流引導。其級配碎石層必須位於透水土層之中，使山坡滲入之水，下降而入盲溝之中。溝頂封面層，亦屬重要。蓋路面排水，

有其各自之設備，決不可使路面水滲，滲入截水溝中，以增加其負担，而影響其本身之能力。至稻草隔離層，乃防封塞材料，無入碎石層中，而阻塞其孔隙。倘封塞層之材料，無此可能，則免用亦無不可，是在工程師就地之判定也。

（4）截水溝之位置及其深度

普通地下水流，以山坡滲水情形最為常見。但其所異者，乃其水層與路面之高低，及其水層之厚薄，各有不同。因而設計之時，整亦有別。例如第三圖之所示，甲種情形，山坡滲水層距路面約三四呎，其厚度不及一呎，乙種則距路面六七呎，其厚度約三四呎。

觀乎第三圖甲乙兩種之情形，其排水設備之設計，完全視其路基土壤性質如何為根據。蓋其毛細管之作用，最足為害土基而影響路面之安全。故路基排水，是否需要，必須察知毛細管之吸力高度，是否及於路面之下面為定。例如第三圖之乙種情形，與甲種并無必要，但在乙種情形之下，其山坡滲水層底端，距路面約為七呎，其厚度約為三四呎。為防止毛細管吸水高度影響路面起見，截水溝深度之設計，必須知土壤之毛細管性質，而後始能決定之。但普通土壤，如能使山坡滲水層頂端降下而距路面能有五六呎，必可無虞也。

（5）縱坡滲水層

山坡滲水，亦有縱向之情形，如第四圖。圖中甲部為其縱斷面，乙部為其平面。

在第四圖中，路基因水浸而路面破裂之情形，已是顯示一切。此種縱坡滲水，較之橫坡滲水，其為害程度，實有過之而無不及，往往健壯路面，因此而破裂者，比比皆是。尤以在填挖土方交接之處，最易使地下之滲離水層，暴露於上，在雨季之際，路基露水浸軟，路面無堅固基礎，經車輾壓，自易破裂。換言之，非接設縱水溝，不足以宣洩，而截水溝又必藉引而便之流出於路外，方能為用也。

（6）坍方

土基坍方，在工程上最感麻煩。往往處理不得其宜，無時不受其擾。但普通見解，均由兩方面，加以解釋：一方面則謂土質不佳，易於下坍；另一方面則謂邊坡不足，易於下坍。此兩種設法，均無錯誤。惟須加以補充者，則無論土質之佳劣，抑或邊坡之足與不足，其先決條件，必須使土壤之內，不受水之浸透而生潤滑性，然後方可論其土質與邊坡也。例如第五圖中，（甲）部示路基本身之坍方，（乙）部示路基以上邊坡之坍方。

由第五圖所示情形，坍方問題，水之關係，佔其要部。無論土質如何之優良，或邊坡如何之穩妥，倘遇水份滲入其中，則土壤顆粒與顆粒之間，必因水潤而發生滑性，而透水土層與不透水土層之間，亦必發生滑潤之平面。例如第五圖甲部。在原來地面狀況之下，本必有發生坍方之可能，但在路基完成之後，路基外部土壤之重要，必須少於或等於其本身之抵抗力，始無坍方之虞。若遇水浸之後，土壤抵抗力減小，倘土重超過其抵抗力之時，坍方自然發生。避免此種現象之發生，必須按設截水溝，以截留其水份，而免浸入路基之中，如第五圖甲部所示者然。至第五圖乙部所示，乃路基上部邊坡坍方之情形，要亦為水浸之所致。但在原地面狀況之下，路基附近之土壤，未曾挖去，上部土壤之重量，有所

或托。土質之中，偶有水份在內，其承托力雖受消蝕而減少，然仍能維持其均等之勢，而不下坍。惟路基修竣，一遇雨際，此等均勢，即被破壞，坍方乃不可免。挽救之方，只有在相當地位，設置截水之溝，以截山坡滲入之水流。但須注意者，土質已被擾動之處，決不可設，否則不僅不能避免坍方，而反能加速其實現也。

除上述兩種坍方情形之外，尚有絕方路基邊坡本身坍落之現象。此種現象，似難謂之爲坍方，如第六圖所示甲乙兩種，即爲其例。

由第六圖所示，此種邊坡坍落，完全因滲水居高於路基之所致。無論爲甲乙兩種，其挽救之方，惟有按設截水溝，不足以預防其坍落。不過在乙種情形之下，高坡之上下兩端，如能按設留地水溝，以排洩雨水，亦可幫助保護其邊坡之冲刷也。

(7) 地平泉水之處理

在上述數節之中，僅限於山坡滲水之情形。若地平泉水之處治，其原理亦大同而小異。此種地平泉水，爲害路面，頗爲嚴重。處治方法，較之山坡滲水尤爲難。蓋往往地泉深入地下，牽引路外，頗難得一適宜之出路。惟以路基之穩定與否，須視地泉深度及土質毛細管作用之大小以爲定。例如地泉深在地下，路基土質雖有毛細管作用，但其吸水高度，並不影響路面之安全，則此種地泉，並無爲害之處。若地泉雖深在地下，但土質毛細管吸水高度可以影響於路面之安全者，則必須降低地泉之位置，而使其毛細管作用不生影響，方足無虞。由此而觀，處治地平泉水，路基土質，關係最大。倘地泉過低，如再降低其位置，困難必多，如此而欲求路面之安全，則只有改善路基土質一法而已矣。第七圖之所示，乃降低地泉位置之方法，甲部爲雙溝法，乙部爲單溝法，讀者可參閱之。

(8) 結論

由於上列七節所述之一切，欲求路面之安全，路基之穩定，固篇第一要義，毫無疑問爲排水設備之週全。目前我國交通工程如鐵路及公路之建築，極少注意於此種之研究。每遇困難發生，均歸罪於土質之不良，未免過甚其辭。例如西南各省雨量較多，每逢雨際之時，山坡滲水及地平泉水，均高服於地面之下，爲害路基，事實皆有證明。去歲廣西及川滇兩公路，發現大量而廣遍之坍方，究其本源，皆係未能盡力設法排洩路基水份之所致。工程技術人員，每以路基排水，隱於地下，往往忽而略之，一俟困難發生，措手不及，貽誤交通，不言而喻。又有謂地下排水，用費過巨，難以舉辦，然此種估計，過嫌籠統。蓋路基排水，并非每公里皆須設置，用費不能以全路爲標準，只可於地下水流情形影響於路基路面部份，加以計算，如此則所費工款，較之事年用於補救者，實有未及。詳究此種議論其思想，不外一種原因。即將於路基排水設計工作前後之步驟，未能澈底而明瞭。例如路綫測量，向無土壤調查工作附於其中，故對於地下水流，無詳節之認識。若欲事後從事路基排水之設計，自無可辦之供據。今後公路建築，倘以工程健全爲前提，此種步驟，極應提倡而施行，不獨公路爲然，鐵路建築，何嘗不然，願我國交通工程界，深切注意之。

採集公路石砂材料樣品之標準方法

李 讀 熾

引 言

邇年以來，公路建築，對於所用材料，極少嚴密，科學方法之分析，更屬寥寥。例如路面所需之石砂材料，漫無標準，風化石有之，軟石有之，硬石亦有之。故路面之堅强與否，統以就地材料之良劣爲依歸，有如聽天命而不盡人事之慨。本篇所述，乃劃一採集石砂材料之方法，以期試驗及鑑定之張本。嗣後公路建築，倘能依照正當途徑，加以遵行，自必須以材料選擇爲其第一步之要圖。如是則本篇之目的，庶能如願以償。茲特將碎石樣品採集方法，分述於下。

採集砂石樣品方法

公路材料樣品，凡用作試驗，而爲材料之驗收或拒絕之根據者，必須由工程師或其委託之代表採取之；如作檢查或作初步試驗者，則可由承主或業主採送之。

I. 地方礦脈石料樣品之採集：（Stone from Local Ledges）

1.重詳細檢查礦脈或與採石面，以判定各層之變化，並宜同時注及不同之顏色及結構；在必要時，得採集由各層碎裂未經風化之塊石，以作樣品。

2.標準石料試驗，須自每一顏色或結構不同之礦層中，各採集本標風化之樣品，至少15公斤。如所採集者非一整塊，其中至少有二塊石料之尺寸，不得小於12×15×10公分。其層面需標示明白，且完整而無裂縫；其他各塊尺寸，皆不得小於5公分。

3.用於混凝土試驗之樣品，則視試驗種類及所需試樣數目而定。

4.除樣品附有普通說明外，凡採自非商業來源之地方礦脈者，宜註明下列各項：

（a）礦主姓名

（b）產額概值——如產額微鉅，可註明爲無窮。

（c）覆土層之性質與厚度

（d）運程——由產區至公路上最近用石料處之距離

（e）搬運情形——搬運工具，經過道路情形之紀錄

（f）每一材料樣品產區及位置之詳細紀錄

除上述者外，并須繪一簡略平面及縱面圖，詳細標明各礦層之厚度及位置。

II. 商礦石料樣品之採集：（Stone from Commercial Quarries）

1.在可能範圍之內，商礦樣品，宜自礦脈或與採石面採集，其步驟與地方礦脈相同。

2.石廠工作情形，影響碎石尺寸之因數，如篩孔大小及形式，篩節長度、傾斜角度，旋轉速率，及碾石速率等，皆需作一普遍之觀察及紀錄。樣品最好係石料由石堆或石倉裝入舟車時採集，每次裝運，均須分別採集之。如樣品必需取自石堆或石倉，則由石堆各層或石倉頂部及溜槽部採取單獨樣品，均勻混合使爲一體，後用四分法，分成試驗之樣品。

3. 如不能親歷石廠觀察，可依起卸時，自舟車面中底三部採集大小及性質不同之樣品，均勻混合，用四分法，分成試驗樣品。採集碎石性質試驗之結果，雖不能與試驗室中敲碎之碎石結果比較，但能確認石料之普通性質，以爲各批石料認貨之判定。在此情形之下，性質與大小之試驗，可用同一樣品。

4. 如僅作大小試驗　可用小套石篩，輕便天秤，或容易帶在工地試驗，俾便迅速決定石料之用途。在試驗室中，可作校驗試驗，以證實工地試驗之準確程度。

5. 機械分析試驗碎石樣品所需重量，最少爲最大塊碎石重量之50倍。

6. 用於混凝土試驗之樣品，則視試驗種類及別需試校數目而定。無論何時，僅一磨耗試驗所需樣品，不得少於30公斤。

III. 野石及大圓石樣品之採集（Field Stone and Bowlders）

1. 野石及大圓石之產量如何，在產區宜實地詳細調察清楚，并記錄石料種類及各產區之藏量情形。

2. 由貯藏狀況及選片程度，憑視力觀察，認爲可用作修路材料者，然後可分別採集各種石料樣品。

3. 除普通之說明外，野石及大圓石之記錄，宜包括下列各項：

（a）產地位置——最好將野石及大圓石產區繪於地形圖之上。

（b）產額概值——估計石料產量之可靠方法，係量其橫斷面及步測其長度，以計算之。

（c）各種石料採集之成份，憑眼力觀察後，其應採集之成份及運送後而始廢棄之成份，皆宜詳爲註明。

IV. 非商區砂礫樣品之採集（Sand and Gravel from Non-Commercial Deposits）

1. 非商區材料，包括一切未經開採砂礫產區及已開採而未經篩洗者。

2. 天然砂礫之產區，雖有均勻一致之情形。故遇每一樣品採集時，此樣品之產量，必需分別作一大概準確之估計。

3. 在可能範圍之內，砂料樣品之採集，宜在其顯露狀況時爲之。

4. 如開採砂礫方法，爲挖岸或掘坑，則宜在其露面上掘槽以採集樣品，俾便先憑目力觀察，以資判定，同時避免誤取頂面之覆土或浮土雜質。在小產區處，並須挖掘試坑，以測定產區之範圍，試坑數目及深度，視開採數量爲定。在岸面及試坑分別採取之材料，須先均勻混合，使爲一體，然後用四分法，分成試驗之樣品。

5. 若無露面產區，則需挖掘試坑採集樣品。試坑數目及深度，視地方情形及開採數量爲定。每一試坑，須個別採集樣品。如由視力觀察，其粒徑，顏色等無顯明分別者，可先均勻混合之，然後用四分法，配成試驗樣品，否則必須單獨個別試驗之。

6. 有機物質成份，可用量色儀試驗之。

7. 除砂礫樣品須附有普通說明外，其他細目，與地方礫脈石料樣品同，茲不復贅。

V. 商廠砂礫樣品之採集（Sand and Gravel from Commercial Plants）

1. 經過篩洗之砂礫樣品，宜由貯料倉或貯料堆中採集，最好在裝運時爲之。砂料及

礫料，宜分別採取為適。至由倉堆中採集樣品，則略感困難，遇必要時，宜注意下述之步驟：自貯料堆之各部，宜分別採集樣品，並注意勿誤取底部未經材料之分離面積。貯料倉中頂部及滑槽，需分別採集樣品，自滑槽取樣時，先使豎立方公尺以上材料流出後，再事採取。各部樣品採得後，均勻混合之，使為一體，然後用四分法，配成試驗之樣品。

2.影響砂礫大小之因數與碎石相同，故須作同樣之觀察。此外篩分用水量，亦宜計算在內。採集砂礫大小試驗樣品，無論作石源或運送時，其手續與碎石同。

3.如不能親臨石廠視察，可俟起卸時，自舟車頂中底三部採集大小及性質不同之樣品，先須均勻混合，使為一體，然後用四分法，配成試驗之樣品。

VI. 砂礫樣品之數量

1.岸砂礫各群樣品 如礫石成份在50%或以上者，最少必須採集50公斤 如礫石成份較少，則樣品數量，可按比例增加。例如礫石成份佔25%，則樣品應為100公斤。

2.砂料樣品，最少需在10公斤以上。

3.礫石樣品，最少需在25公斤以上。

4.用於混凝土試驗樣品，視試驗種類及試模數目而定。

VII. 石塊樣品之採取（Stone Block）

1.石塊樣品，無論採自石廠或舟車，皆宜由工程師指導之。採集石塊，須能適合預定之用途。凡限力觀察，懸為不適用者，者在摘棄之列。

2.採集樣品，至少需在六塊以上，其中至少有兩塊，須標明其層面。

VIII 運送及標記樣品之說明

1.礦脈石，碎石，及溶渣樣品，皆應裝於堅固箱匣之中，或裝袋運送。

2.石塊樣品，須妥慎裝箱。

3.岸礫，砂層及其他細料樣品，須用緊密箱匣或密織布袋裝運，以免中途漏失。

4.每一樣品需附一卡片，最好置於匣內，並註明下列各項：

（a）採樣人之姓名職務及機關

（b）收樣人之姓名及機關

（c）樣品來源

（d）材料應識之用途

（e）商礦每日產量

（f）產區位置

（g）運送設備及運費價目——鐵路，運河，水道或其他運輸工具等之名稱

（h）材料價目

IX. 試驗種類

石料試驗		砂料試驗	
1.磨耗率	6.壓力	1.磨耗率	6.篩分
2.韌度	7.比重	2.耐久性	7.比重
3.硬度	8.吸水性	3.砂漿強度	8.吸水
4.黏結力	9.篩分	4.深度	9.空隙
5.耐久性	10結構	5.有機物質	10濕份

X. 採樣人之資格 採集石砂材料樣品之人，必需富有經驗及透澈明瞭採集樣品之標準方法，並最好能了解各種試驗之步驟及其重要性。

公路道底土壤調查及採集樣品之標準方法

李 謨 熾

引 言

公路土壤之調查，在新路為選擇路綫及設計路面之根據，舊路則為研究路面失敗之原因及其補救或預防方法。近代公路之修築，漸多注意及之，以其簡而易舉，收效又大。往往某一公路，如能有一詳細之土壤調查，則在路成之前，可以知所預防，既成之後，可以謀補救改善之方，故土壤調查，實為修築近代公路不可缺少之一步驟。調查之方法，及所須之工具，皆頗簡便，在歐美正在倡行，在我國則尚屬罕見。如能推廣而能實際應用，使我國主要公路，皆能有一續密土壤調查，則於定綫，設計及改善，皆有所根據。本室特將公路土壤調查標準方法，介紹於此，以供國內人士之一參考。

土壤調查之目的及綱要

土壤調查之目的，在使公路工程師，能澈底明瞭下列諸事項之眞相，以為選擇路綫及設計公路之根據：

（1）公路平面及豎面位置之最後選定

（2）適合填土材料之選擇

（3）公路橫斷面之設計

（4）邊溝，涵洞及地下排水管之設計及其位置

（5）道底處治之需要及處治方式之選擇

（6）路面種類之選擇及其設計

土壤調查之綱要，包括有下列三部份：

（1）土壤縱斷面之測定

（2）縱斷面土壤樣品材料之採集，以便試驗其物理性質

（3）土壤縱斷面圖之繪製，以為設計時之根據。

土壤調查之工具

土壤調查所須工具，雖為簡便，茲列如下表：

工具名稱	數量	工具名稱	數量
(1)土壤螺鑽及延長管（各長90公分） 鑽口深$1\frac{1}{4}$公分寬公分鑽頭直徑$3\frac{3}{4}$公分 管徑$1\frac{1}{4}$公分管徑$37\frac{1}{2}$公分鑽度每15公分	一套	(9)干準儀	一個
		(10)三節水準尺（長3.6公尺）	一根
		(11)鋼尺（長30公尺）	一根
(2)小笆螺鑽鋪	二個	(12)硬卡片（30×37½公分）	一張
(3)小鍋	一把	(13)方格紙（寬50公分，每公分10格）	一捲
(4)鏟	一把	(14)紀錄簿	一本
(5)小帆布袋（盛試料樣品之用）	若干	(15)小木樁（5×5×10公分）	多個
(6)標籤（標明試料樣品之用）	多根	(16)黑粗機	一架
(7)繩索	一捲	(17)鉛筆	多捲
(8)工程師水準儀	一架	(18)硬色筆	多支

土壤縱斷面之測定

土壤縱斷面之測定，宜以實際觀察天然土壤之情形為根據。此種觀察地點所在，最好在挖土之處，否則以用土壤螺鑽鑽探試孔方法為最普通。試孔之間距，須在20公尺左右，試孔之深度，須自1.5公尺左右，以便能透入均勻不同之土層。土壤之觀察，須按一定系統進行，尤宜注意下列各項：

（1）構造　凡不同結構之各層，或組織不同之材料，皆須詳加觀察。觀察之深度，最少在1.6公尺左右，每層之構造及其厚度，皆宜分別說明。

（2）顏色　凡顏色不同之各層，皆須分別註明，並說明各層之情形及其厚度。

（3）結構　凡結構不同之各層，皆須詳為觀察。所謂結構者，係指土壤顆粒種類及大小而言，並須按照下述結構分類，特別說明各層之狀況：

（a）細粒結構　粒徑約為槍彈丸之大小，或更小者。

（b）粗粒結構　粒徑至少大於$1\frac{1}{2}$公分者，通常形狀多帶尖角而不齊整。

（c）層狀或板狀結構　類似薄片形狀，切勿與地層相混亂。

（d）角鉛彈式結構　乾時裂成多角之碎片，凡含有石灰成份甚多之重質黏土，皆有此種現象。

（e）單顆結構　顆粒分離，似粉或砂之形狀。

（4）硬度　硬度不同之各層，應註明其附黏性，脆性，或壓性以及各層之厚度。

（5）壓實度　各層之比較壓實程度，可以簡易壓土針試驗而確定之。

（6）黏結性　壓土針貫入之抵抗力，須判定是否因有黏結層之存在而滲礫，果爾則須詳實可能黏結之材料。（顏色之深淺，淺色或紅色及黏結力之强弱）

（7）化學成份　土壤縱斷面之各部化學成份，雖不能在工地試驗，但至少可判定某種特性。工地之查驗，可知某層是否含有有機物質或鐵質應續之積聚。所謂有機物質者，係指土壤本身所含有而非浮在土上者，此處有兩點足以注意。

（a）面層土壤之有機物質，多帶黑色，有機物質成份之多寡，視黑色之深淺而定。故在未經墾殖之地帶，黑色土層之厚度，亦爲重要之一因數。

（b）通常在冷濕地帶，某種土壤，在深15至30公分以上處，有厚15至20公分棕色或咖啡棕色之有機物質一層。

在順利發育情形之下，鹼性鹽類聚積土內。因此種工作甚迅，而調查土壤之性質，分佈區域又廣，故除石灰炭酸鹽以外，其他鹽類，皆可從略。通常含有鹼質，易溶解之鹽類，亦區區極微，可以從略，或僅以鹼質土壤稱之。石灰炭酸鹽之積聚層，易於辨識，在每年雨量少於43至46公分之寒冷氣候地帶，及每年75公分雨量之溫熱氣候地帶，皆宜特別注及。在任何乾燥，潮濕或半潮濕之地域內，土壤下附未經風化之材料，可能含有甚高之石灰炭酸鹽成份。但勿以此種材料，誤認爲純石灰炭酸鹽之積聚層。

在順利發育情形之下，三二氧化物（Sequioxide）亦能聚積土內。因氧化鋁之積聚，不易爲普通工地試驗方法發出，故可不加考慮，但吾人可尊注意於氧化鐵之積聚。氧化鐵之產生，有二種方式：

（a）第一方式爲極細分或膠質之氧化鐵集合體。積聚之大概程度，可由紅色之深淺而判定之。在土壤縱斷面如有此種紅色層存在時，必須加以注意，雖爲量甚少，亦須採取樣品試驗。

（b）第二方式爲氧化鐵凝塊之集合體，通常含孔或似溶渣之形狀。此種凝塊，並非指任原本地質層隱處可以發現之含鐵石板或砂石層而言。在熱帶地方，凝塊集合體，常爲含孔似溶渣塊形之氧化鐵，其深度由90公分以至 $4\frac{1}{2}$ 公尺以上；有時成碎片形狀，分散於地面之上層。

土壤樣品之選擇

用鍬或鏟在邊坡或試孔中，每層取出土壤樣品 $2\frac{1}{2}$ 公斤，分盛帆布袋內，紮緊標明，送送至實驗室。每層必須取出適當數目之樣品，以確定同一層中試驗結果之範圍。

土壤縱斷面圖之繪製

土壤縱斷面圖細目之繪製，應按照下列方式爲之：

（1）土壤豎面。應隔相近距離，加以觀察，並按上述方法，分爲層數。

（2）各層範圍繪成一圖，以數字表示層數，如同在一號試孔，層數以1，3，5等單數表示，以便在縱斷面範圍之內，可加入其他層數。在四號試孔，第二層繪於第一第三層之間，因之在第三及第四試孔之間，另須觀察一個或多數試孔，（如第五試孔）以判定第二層之水平方面範圍。如將表示各層範圍之各點連接，則可繪一土壤縱斷面之詳圖：

舊路道底土壤之調查

選定某段之後，調查工作進行之程序如下：

（1）將全段釘樁測繪，充分利用原有築路之木樁；如不能利用時，可以任意規定樁號施測。

（2）沿中心綫每隔10至20公尺，應施測一橫斷面，每邊測量範圍約爲45公尺。中心綫及斜坡綫縱斷面之高度，須以水準儀量測，準確讀至公分，附近地形，則可以手準儀測之。水準基點，可假定任何某一高度。

（3）公路平面圖比例尺爲1:600，圖上表示鋪路種類，毀壞形式，在舊路上鋪築新路之部份，及其他特殊建築之情形。

（4）橫斷面之紀載，以同一比例尺繪於平面圖上，並由此繪製等高綫。

（5）斜坡綫比例尺垂直距離爲1:60，水平距離爲1:600，繪於方格紙上。中心綫之縱斷面，及原有公路之坡度綫，皆應繪於此圖上。

（6）土壤縱斷面之繪製，亦須按照上述之程序繪製。其他所須紀載者，列舉如下：

（a）先將邊坡剖削，使原有未動之材料暴露，以便在預備縱斷面紙上，繪製各層範圍。土壤縱斷面鑽孔深度，最少須在中心綫坡度綫90公分至150公分以下，視土壤層及材料均勻性質而定。同時縱斷面土壤各層所含水份之不同，亦須轉寫註明。暴露邊坡各層高度範圍，以手準儀量測，以中心綫之高度爲其水準基點。

（b）在另一紀錄手冊，詳細說明每層情形，如上所述之構造，顏色，結構，稠度，壓實度，黏結性及化學成份，並紀錄各層之比較不透水或含孔程度。

（c）每隔10至20公尺，調查土壤縱斷面各層之範圍，試孔隔距，應縱斷面之均勻性質而定。

（d）將各土層之範圍，繪於平面圖上。在土質均勻之挖土處，其範圍可由斜坡綫之縱斷面，繪成橫斷面圖。如在填土或土質不勻之挖土處，其範圍可以土壤螺鑽在道肩鑽孔而判定之。

（e）用鑽或鏟在邊坡或試孔中，每層取出樣品 $2\frac{1}{2}$ 公斤，分盛於帆布袋內，繫號標明，送至實驗室。每層必須取出適當數量之樣品，以確定同一層中試驗結果之範圍。

（f）路面，道底，邊坡，邊溝及土層之狀況，在必要時，須用照相表示之。

（g）上述收集之資料，須加以分析，與試驗室之結果，推論下述諸問題：

（1）路面情形，土壤實際特點與試驗室中求得物理性質之關係。

（2）毀壞可能之原因

（3）在調查情形之下，可能之補救方法。

（4）將來准應用之預防方法。

新路道底之土壤調查

在調查土壤之前，應將鄰近土壤種類已有結果，加以研究。如有任何可以利用之土壤圖表，亦須詳加研究。各種土壤之範圍，及其性質，皆須註明。所須注意者，此種土壤圖所指示之細目，不一定能與道底調查所須要者相適合，但至少可爲各種可能變化之一指示。如無此種資料，可在與此路平行之舊路施一草測，調查挖土處土壤敞露之情形，詳細說明每種土質。其原因爲在地形相同之處，土壤狀況或相類似。此種初步調查工作完畢之後，詳細調查，須按下列方法而進行：

（1）地面綫及計劃坡度綫之縱跡面，應繪於與前述路基土壤調查之同式紙上。

（2）在相近之隔距，以上壤螺鑽鑽孔，並藉土壤技術通"土壤縱斷面之測定"所說明者分層。

鑽孔之隔距——鑽孔之隔距，視縱斷面土質均勻程度及地形而定。此隔距開始時可假定爲40公尺，然後可按下列情形而改變之：

（a）如縱斷面土質均勻，隔距可以酌加。

（b）如縱斷面土質變化不定，中其間須酌添鑽孔，至所有變化皆能繪出爲止。

（c）在起伏地形之下，挖壕改變甚多，惟在挖土之處，須要鑽孔。

（d）如置有地面或路面，蓋以壤土材料，除判定其土壤承重能力外，其他無須調查。如壤土取自沿路之借土坑，則須觀察至借土坑之全部深度。

鑽孔之深度——鑽孔之深度，通常最少需自坡度綫下90公分以上，並視下列情形而改變之：

（a）如路基在土壤縱斷面均勻土質所範圍之內，鑽孔之深度，須至邊溝下不透水之第一層，或通過一透水層。

（b）如壤土來源取自沿路之邊溝，鑽孔最少應至估計之借土深度。

（c）研究霜結作用時，鑽孔深度須至高於霜結集中及地下水面甚高土壤之平均霜結深度。

假定計劃路綫在舊路面之上，則可由挖土暴露之處，觀察土壤而檢成圖。此種工作，亦須借鑽孔幫助之。

（4）計劃路面表面排水之方向，須加以註明。

（5）由鑽孔探察所得之資料，須繪於所預備之縱斷面紙上。在此圖上，並須標明各種及各層土壤之範圍，深度不同之比較水份及顏色以及暗渠之位置。

（6）在另一手簿上，業每層土壤之物理性質，按構造，顏色，結構，稠度，吸質，黏結性及化學成份七項說明。每層之比較不透水及含孔程度，亦須註明。

（7）按前述採集樣品之方法，採集適量樣品，以作試驗。

（8）根據類似土壤，氣候及地勢情形之已知路面之行爲，擬一路面設計之方式。

（9）道底合度完成之後，再在挖壕之處，作最後一次土壤之檢正。

實　例

下例一爲新路道底土壤之調查，一爲舊路道底土壤之調查：

（1）新路道底土壤之調查：

在新路道底土壤調查區內，土壤種類分爲四層：第一層爲棕紅色滲質沃土，乾時易碎，濕時易成稠漿。第三層爲棕灰色或白斑點灰色及銹棕色之滲質黏性沃土，或相當緊質之滲質黏土，其緊質度與深度俱增。乾時易脆，濕時黏性頗高。但此層之壓實性質。似並不能減少其滲透性。第四層與第五頗相類似，但含有大量0.6至2.5公分之礫石，大多成份，在2與$8\frac{5}{4}$公分之間。礫石之存在，似不影響顆粒之結構或其性質。乾時發生收縮裂縫現象，以致土粒與礫石易於分離。此層並含有棕色或棕灰色之緊質黏土，介於第三層及第五層土質之間，乾時收縮性甚強。第五層爲有斑點藍灰色及銹棕色，黏性強而黏着之土，含

有濕而光澤者面之突出點錄。形狀不甚整齊而易於碎裂，捏塑時則成一定次似之硬度。在上層90公分處甚濕，逐漸混合成一側密易塑塊狀結構之藍灰色黏土。因水易透入顯明之裂面，故此層能使水下流之動向遲緩，但仍不能杂都阻塞之。余所到處皆可發現白色凝塊及黑色鐵銹色以及血紅色斑點。此層材料，並含有多量石灰，收縮性甚大；乾時裂成寬縫，經雨露之後，大塊多化裂而露小塊。

新路道底土壤性質試驗之結果如下表：

機械分析							
號數	層	顆粒小於下列粒徑之百分數					
		2公厘	0.5公厘	0.25公厘	0.05公厘	0.005公厘	0.001公厘
16	1	100	100	98	90	28	19
17	3	100	98	96	85	19	14
18	4	53	49	.41	42	19	13
19	5	100	98	96	89	73	50

通過0.5公厘篩網之物理性質試驗								
號數	層	液體限度	塑性限度	收縮		濕度當量		級別
				限度	比	離心	野外	
16	1	38	16	23	1.7	29	31	A-4
17	3	27	18	18	1.7	36	22	A-4
18	4	53	34	11	2.0	53*	33	A-7
19	5	101	71	14	1.9	93*	58	A-7

*水浸

第四層十八號樣品含有粗礫

由上述試驗之結果，得知第一層及第三層土質，皆為良好填土之材料。凡過第四層及第五層時，則須挖掘約至60公分之深度，廢棄之後，再以第一層第三層之材料填入。如新路道底之修築根據此點，則將來路面鋪設之後，不致有任何因道底之不良而毀壞之情形，此為新路道底土壤調查預防失敗之一實例。

（2）舊路道底土壤之調查：

舊路路面寬度為18呎（5.5公尺），路拱2吋（5公分）。混凝土混合為1:2:3 粗混料為碎石，二十八日之壓力，每平方英吋為3,230磅(227公斤／平方公分)，濕治方法，摻和2%氯化鈣。每邊路肩寬4呎（1.2公尺），路面建築為混凝土鋪路。自站號97+00至108+88，混凝土路面中厚6吋（15公分），邊厚7吋（$17\frac{1}{2}$公分）。膨脹縫寬$\frac{1}{2}$吋（$1\frac{1}{4}$公分），隔離約30呎（9公尺），附有銅條連繫，並在路面下2吋（5公分），佈有網式鋼筋。自站號108+88至112+50，混凝土路面中厚6吋（15公分），邊厚9吋（$22\frac{1}{2}$公分）。中

縫縫爲鋼板香橋式，膨脹縫寬$\frac{1}{2}$吋（1$\frac{1}{4}$公分），隔離約50呎（15公尺），附有鋼條連緊，但無鋼筋之佈置。

舊路之情形既如上述，調查此段土壤之目的爲：（1）此段說凝土路面歪曲之成因，是否與道底土壤之性質有關；及（2）將來鋪築路面於類似道底之上，何種預防方法，可以避免此種同樣失敗發生。

根據土壤調查結果，縱斷面可分爲1,3,5,6及7五層，第一層平均厚度約18吋（45公分），爲淺棕色以至紅色或灰綠色之柔軟淤質沃土，細片結構，並含有黑色及棕色鐵質之凝結塊。乾時易脆，濕時易成糊漿，其性質類似A—4土壤。在此層之下部10吋（2.5公分）之處，灰棕色之土質更爲顯著，其性質約與第三層類似。第三層土壤，上部10吋（25公分）處，與第一層土質類似，但遠較密結固實，亦含有大量深棕色及黑色鐵質之凝結塊。此層土質，大部爲棕色及灰色帶有斑點之淤質黏性沃土或淤質黏土，乾時易脆，濕時塑性甚高，其性質較第一層更與A—4土壤類似。此層之固實程度，隨其深度而增加。但無論層實程度如何，其滲透性仍然存在，直至約5$\frac{1}{2}$吋（14公分）處，所含水份較高，可列入第五層之尖角結構。第五層爲棕灰色帶有斑點之重質塑性黏土，顆粒有尖角之結構，表面濕而光潤，直徑約等於或大於$\frac{1}{8}$吋（0.3公分）。此層甚濕，滲水亦迅速，一部帶有紅色斑點，其性質大都屬於A—6類土壤。但如含有適量之鈣化合物，則又類似A—7類土壤。第六層爲灰色帶棕色斑點而極黏着之黏土，屬於A—7類土壤，其深度約在地面下9呎（2.7公尺）。在挖土處其結構亦多尖角，土塊最長者可至$\frac{1}{4}$以至2吋（0.6至5公分）。密結而有纖維之結構，類似油灰刻度，易於碎裂。此層之透水速率遠較第五層爲低。第七層之深度，約在地面下10呎或11呎（3公尺或3.3公尺），爲較灰色而黏着密結之硬土，含有黑色及棕色斑點。在挖土處，類似層六，土塊之結構呈纖維狀，易於碎裂。此層滲透性低，吸水性強，乾時收縮甚大而易於水化，屬於A—7類土壤。

由此五層採集樣品十種，其試驗之結果，列如下表：

土壤之機械分析

號數	層數	小於下列粒徑之百分數					
		2公厘	0.5公厘	0.25公厘	0.05公厘	0.005公厘	0.001公厘
1	1	100	98	97	86	23	12
2	3	100	97	95	93	27	15
3	5	98	92	89	89	36	16
4	6	100	100	99	81	43	17
5	7	100	100	97	93	72	47
7	5	100	100	99	98	74	(1)
8	(2)5,6,7	100	100	99	92	(1)	……
9	(2)5,6,7	100	98	97	91	(1)	……
10	(2)5,6,7	100	98	97	90	(1)	……

1.凝結　　2.壤土

土壤之物理性質

（通過0.5公厘篩網）

數號	層數	液體限度	塑性指數	收縮		濕度當量		級別
				限度	比	離心	野外	
1	1	39	17	20	1.8	31	31	A—4
2	3	45	22	22	1.7	37	35	A—4
3	5	50	33	12	2.0	(1) 50	34	A—6
4	6	85	51	12	2.0	(1) 98	52	A—7
5	7	112	77	11	2.0	(1)125	71	A—7
7	5	98	64	12	2.0	(1) 98	59	A—7
8	(2)5,6,7	102	67	12	1.9	(1)101	70	A—7
9	(2)5,6,7	104	72	13	2.0	(1) 92	60	A—7
10	(2)5,6,7	76	44	12	1.9	(1) 95	59	A—7

1.水浸　　2.填土

此段公路之情形甚壞，在經過第五，六及七土層堆帶，路肩濕軟，車輛有深至混凝土路面下部4吋（10公分）者。邊坡被沖洗處亦多，兩後混土下滑，阻塞邊溝。下表（1）所指縱向歪曲之定義，爲以量曲度機，混凝土板兩端平均高度與沿中心縫中點高度之差值。下表（2）所指橫向歪曲之定義，爲原有2吋路拱與在橫向接縫處現有路拱之差值。無論橫歪或縱歪，凡小於0.03呎者，皆不在圖上表示，亦不列入下表計算其平均值。下表（3）爲縱向及橫向裂縫之分析：

（1）中心縫之縱歪

號數	長度（呎）	總歪（呎）	最大歪（呎）	混凝土板數	歪板數量	歪板百分數	每板平均歪值	
							根據歪板數（呎）	根據總板數（呎）
5,6,7 ……	497	1.59	0.18	16	13	81	0.12	0.09
5,6,7壞土 …	664	.97	.10	21	16	76	.06	.05
3(中縫斷面)	311	.04	.04	6	1	17	.04	.01

（2）自中心縫之橫歪

層數	縫數	總歪（呎）	最大歪值（呎）	平均歪值（呎）
5,6,7……	16	3.03	0.23	0.19
5,6,7壞土……	23	2.78	.15	.12
3（中縫斷面）……	5	.64	.13	.13

（3）縱向及橫向裂縫

號數	長度(呎)	縱縫數	橫向縱向						
			數目	長度(呎)	母板長度(呎)	平均板長(呎)	長度(呎)	百分數	母板長度(呎)
5,6,7 ……	497	16	8	147	3	21	225	45	14
5,6,7 填土	650	21	5	89	4	25	269	41	13
3(中縫斷面)	311	6	9	162	27	21	……	……	……
5(中縫斷面)	51	1	3	78	58	13	……	……	……

根據土壤調查所得結果，可摘要列述如下：

（1）寬18呎長30呎混凝土板，縱向及橫向最大之歪曲，多在第五，六及七層挖土之處。在同樣土層填土之處，其歪曲則略較小。

（2）在第一及第三土層有中心縱縫及長50 混凝土板之歪曲程度，遠較在第五，六及七土層寬18呎長30呎混凝土板者爲少。

（3）寬30呎長30呎混凝土板，如不直接鋪築於第五，六及七土層之上，而中隔以數呎之良好天然砂土，其歪曲可以減低。

（4）縱向裂縫之發生，惟在無中心縱縫之混凝土板，或由膨脹縫開始之短裂口，或直延長板至混凝土之全部長度。無論何種情形，此種縱向裂縫，大多皆在橫向接縫鋼條之上，有時一部在縱縫一邊鋼條之上，一部在接縫其他一邊第二鋼條之上。

（5）長50呎混凝土板之橫向裂縫較長30呎者中爲多。縱橫裂縫發生最多地方，皆出鋪設於第七層或第五，六及七層挖土處無中心線縫之混凝土板。（站號104+50至106+50）。

（6）在混凝土板歪曲最多之處，縱向裂縫並不重要。雖有數處接縫歪至2時，但在鋼條之上，並無任何裂縫發生。

（7）縱向或橫向裂縫皆不甚寬，其原因係鋼線鋼筋能預防裂塊分離之故。

（8）道底土壤甚爲軟濕，如自膨脹縫將填塞料取出之時，則道底土壤所含水份，升至路面頗爲迅速。

（9）埋置之地下排水管，雖能將雨後大量雨水排洩，但仍不能避免混凝土板之移動或預防道底之潮濕。

（10）在第五，六及七層挖土之處，塌方問題頗爲嚴重。某一鐵路公司，曾在此區細察五十年之紀錄。其結論爲除將邊坡改爲1與5之比例外，如用此三層土壤填土時，其結果必不良好。

附圖表示長1650呎一段舊路道底土壤調查之詳細情形。除土壤縱斷面外，混凝土板之歪曲及縱橫裂縫，皆繪於其上，爲一良好之實例。

礫石路面之研討

李謨熾

引　言

天然礫石材料，散佈各地，甚爲普遍，山坑河岸，幾隨時隨地，皆可發現此種材料。我國公路，間以充分利用地方材料爲原則，所謂地方材料者，不外碎石，礫石，及砂土等而已。在舊式碎石之路面，雖大都皆所謂泥結碎石，但在出產礫石區域內，礫石路面，亦復不少。蓋天然山礫，含有大小不同之材料，稍經人工配合，即可以之修築路面。不甚費石之事先需用煅燒煉成塊石，加以破碎，方能成爲鋪面之碎石。如能利用礫石修築路面，其費用自較碎石者爲低廉，而其效果，如修築得法，養護有方，並不在泥結碎石路面之下。當抗戰時期，因高發築路材料之奇乏，故礫石路面，仍不失爲廉價低級路面之一種。本文範圍，僅將關於礫石路面之原理，修築及養護方法，加以研討，先期報告，俟日再當根據試驗而進一步研究之。

礫石路面之原理

礫石路面含有礫石，砂，及結土三種材料，各有其功用，其原理與砂土路面相同，不過除砂土外，尚有礫石。砂及礫石二者，富有內磨擦力及堅強度，能承載車重及抵抗輪胎之磨耗與搗碎作用。結土爲礫石路面最適用之結合料，富有結性，能將砂礫緊密結合，惟用量必宜適當。過多則砂礫不能緊密接觸，失其原有之內磨擦力，抵抗壓力及磨耗能力因之大減。雨時過度膨漲，將聯結之砂礫分散，易於軟化。過少則結力不足，晴時過分收縮，以致分裂，使土揚起。良好礫石之路面，除此三種材料，具有適當性質及配合外，路面尚須壓實緊密，並維持適量水分。

礫石之類別及性質

礫石爲天然圓石或卵石材料，尺寸由7½公分以下至0.6公分。礫石種類頗多，用以修築路面者，以山礫（岸礫或坑礫）爲較適宜，豆礫爲養路之良好材料。礫石分類可按含質成份，產地形狀，及人工預備方法而區別之。

1.按含質成份而分類者：

含土礫石——含有類似黏土之天然結合料。此種礫石路面，易生塵火，可在路面上加潔淨細礫一層以穩定之。

含砂礫石——所含結性結合料甚微，但含砂量頗高。此種礫石路面難於壓實，易成波形，可加不易水化之結合料，如溶渣，灰石屑，及火山殘渣等以穩定之。

2.按產地形狀而分類者：

河　礫——因受水流冲洗之磨耗，故形多爲卵圓。表面光滑不含泥土，修築時不易壓實。

岸礫或坑礫——凡天然沉積礫石，普爲岸礫，通常帶尖角形，含有砂土產化物等雜質。因各級成份之不同，故有含土礫石，含砂礫石，含礫黏土及含礫砂土之別。岸礫適於築路，壓實甚易。

3.按人工預備方法而分類者：

篩　礫——由砂礫土混合物將礫石篩分，是爲篩礫。經篩分後，任何大小均可。若專用篩礫而無結合料，不能用爲良好路面之材料。篩礫有用作鐵路道碴者，但其主要用途，則爲混凝土之粗混合料。

洗　礫——在預備時，用水洗淨，篩洗工作，通常同時進行。

碎　礫——將天然沉積物中之較小圓石壓碎，使粗料至少在10%以上。

混凝土混合——將礫中之一部份砂篩去，砂礫配合成份不一，甚難準確。但爲經濟着想，可以用作小機械混凝土工作之混合料。

豆　礫——篩礫大小，介於0.6與1.3或 2公分之間者。預備方法，可用篩分，但通常爲礫石廠之副產品。其用途甚廣，可爲混凝土混合料，礫石路敷面料，瀝青路面處治蓋面料，及房屋蓋頂料。

礫石材料需健全，堅韌而耐久，方足抵抗風雨之侵蝕，車輪之磨耗。其主要性質有五：

1.耐久性——抵抗風雨之侵蝕。

2.強　度：硬度——抵抗車輪之磨耗；韌度——抵抗車輪之衝擊。

3.級　配——良好之級配，使空隙減少至最低限度，不僅能使所需結合料減少，其効力亦可增加，路面機械穩定度因之加强。

4.銳　度——尖銳帶角之礫石，抵抗修覆力之連鎖性較强。

5.最大尺寸——礫石大小雖有限度，通常規定，最大尺寸，不得超過 2½公分，亦有大至4公分及小至2公分者。蓋因礫石過大，不僅修築及養護不易，路面亦難壓實緊密平坦。

礫石之標準及配合

礫石材料標準，各地規定，雖不一致，然最大尺寸，通常不得超過 2½公分。由下列五例，可見一斑：

1.普通規定　　2.密喜干與公路局　　底層　　面層

通過38公厘（1吋）篩	100%	通過38公厘（1吋）篩	100%
通過6公厘（$\frac{1}{4}$吋）篩	<60%	通過19公厘（$\frac{3}{4}$吋）篩	50-75% 100%
通過10號網	30-55	通過13公厘（$\frac{1}{2}$吋）篩	60-90%
通過200號網	5-16%	通過10號網	20-30% 35-50%

3. 加利福尼亞公路局

通過 2½公分（1吋）篩	100	通過32公厘（$1\frac{1}{4}$吋）篩	95-100%
遺留 3號網	50-70%	遺留 6公厘（$\frac{1}{4}$吋）篩	10-40%
通過200號網	8-20	遺留10號網	35-70%

4. 南達科塔公路局

5. 愛俄瓦州公路局

	甲 級	乙 級
最大尺寸	2½公分（1吋）	2½公分（1吋）
最多黏土及泥漿等	8%	12%
通過 8號網	<50%	65%

附圖爲礫石配合結構之情形，在影線面積範圍之內，材料之配合，普通宜於修築礫石路面。

結合料之性質

結合料爲礫石路面不可缺少之材料，分爲不水化及水化者二種。不水化結合料，有氧化鉄，瀝青，砂石，石屑，及石粉等；水化結合料爲黏土。通常所用者，大都爲黏土結合料。因結合料影響路面之穩定，故其性質必須優良。理想之結合料，必具有下列性質：

1. 黏力及附着力強　2. 穩定性強　3. 塑性指數適宜　4. 毛細管作用低微
5. 彈性低　6. 收縮性小　7. 水化性小

結合料用量，視氣候情形，道底種類，礫石種類，級配及結合料性質而異。用量宜適當，否則過多雨時泥濘，礫石鬆動；過少則路面鬆散，不易膠結。通常最多限度爲10%至15%。在氣候乾燥地帶，結合料用量，宜較氣候潮濕者爲多；薄質道底，宜較黏土道底爲多；級礫宜較多碎爲多；級配欠佳之礫石，宜較級配均勻者爲多。

礫石路面建築程序

礫石路面之建築，無論爲何種方式，其程序可分爲八步：

1. 道底之預備　2. 礫石之搬運　3. 礫石之傾卸　4. 礫石之散佈
5. 礫石之混合　6. 路面之整理　7. 路面之壓實　8. 路面之修葺

礫石路面建築方式

選擇建築方式，視道底土壤性質，礫石性質及路面厚度而定，通常有下列二種方式：

1. 溝式

（1）適於壓實沃質之土壤

（2）適於篩礫及單獨結合料——在拌加結合料之時期，如有溝槽，則難持礫石之位置較易。

2.羽式或薄邊式

（1）適於輕質含砂及重質黏性之土壤

（2）適於機械鋪設薄層礫石之分期建築法

（3）適於含有黏土成份能將礫石結合之情礫

3.綜合法：　底層採用溝式而面層採用羽式建築者，謂之綜合法。

溝式建築方法

合度工作完畢之後，在擬鋪礫石部份，挖掘規定深度之溝槽，通常寬5至6公尺，深15至20公分。將挖掘溝中泥土，堆在兩邊路肩，或用木板及石塊邊緣，作成槽形。木板及石塊，雖稍昂貴，但較土堆者為穩固。為預防傾築時溝中集水起見，可築粗礫填滿之橫溝明溝或暗渠，俟礫石壓實後，則不復需要。如礫石路面多孔，則更應有暗渠或瓦管之設置，暗渠易為泥土阻塞，以瓦管為佳。在未加礫石之前，應將道底首先整理一遍，除去一切車轍及凸凹不平之處，使成一光滑合平路拱形之橫斷面。匹礫石鋪設後，改正道底，則極困難，最好能在鋪石之前，重將道底整理一次。

道底預備之後，次步工作即為礫石之搬運。傾入溝槽方法，或由傾卸卡車尾端控制門，或由播石卡車均勻散佈，或傾卸成堆，再以人力耙鋪或機器散佈。如直接堆集道底之上，而不立即散佈，則道底將成波形。預防方法，有沿路肩堆集者，有以鋼板承卸者。傾卸分佈之後，應用一重大齒耙或部路機撥底均勻耙鬆，再以刮路機，平路機，或人工擊理成形，然後俟車輛通行壓實。在此壓實時期，隨時整理改正，務使路面光滑而無車轍。壓實工作，如用普通路機，反不如車輛及刮刃之揉捏作用，而能撥底壓實也。

鋪設礫石一層之厚薄，最多不得超過15公分。蓋石可壓實25至33%，故15公分之厚薄，可壓至實厚10公分。因單層建築不易壓實，礫石路面，通常分雙層以至多層建築。如能利用 8至10噸之路輾，則俟首層鋪設耙鬆之後，再以路輾壓壓，次層鋪設如前，壓壓成形，再以路輾輾全部路面（包括道肩在內）接壓。每一路輾每日約能壓 6公尺寬240至300公尺長之面積，如礫石易於壓實者，以此法為適宜。雙層建築，亦有不用路輾者，其法乃先挖掘溝槽約一半深度，將泥土暫置邊溝，鋪設礫石，一如建築半厚之路面。俟此層經車輛壓實之後，再將邊溝泥土築成兩旁路肩，以為此層之溝槽，鋪壓礫石方法，一如首層。

優點：

1.因鋪面礫石有一定寬厚，不致浪費材料，故適宜於易壓實而昂貴之礫石。

2.因全部路面厚度均勻，故路邊強度不致減少。

3.因路面厚度均勻，故礫石較固，不易鬆動。

4.同等結果，溝式建築所需礫石材料較羽式者為少。

劣點：

1.因預備溝槽，故建築較為昂貴及困難。

2.路面寬度有一定限制，不如羽式者之寬。

3.在建築時，如排水設備不良，遇雨易於集水，使道底軟化。

4.以刷路機養護時，易將道肩泥土帶至路面。

羽式建築方法

顧名思義，羽式或羽狀式建築，爲在道底上不挖掘溝槽而鋪置礫石，厚度向兩邊逐漸減薄，成羽毛形狀。路中最厚，至路邊則僅厚 $2\frac{1}{2}$ 至 5公分。在普通交通情形之下，爲維持適當厚度，鋪不部份較淺式來爲寬，雖所需礫石材料稍多，但建築較易。道底之頂部，一如土路。在鋪石部份，道底如係砂質，則可平坦而無路拱；如係土質，路拱不得超過 1:100。路肩斜坡爲1:10至1:20。礫石之鋪設，可分一次或多次。傾卸，散佈，平散，壓輕，壓實，及修整等工作，與溝式建築法相同。分層鋪設，首次虛厚爲 $7\frac{1}{2}$ 公分，以後每次遞加 $2\frac{1}{2}$ 至 5公分，每層逐層壓實，直至所需之厚度方止。分層建築之優點，爲礫石易於散佈，壓實亦較徹底，而在壓實時期，路面狀況其佳。礫石之壓實，通常雖多利用車輛，但如常以刷路機或平路機輕刮之，亦有相當幫助。有時壓實雖有借用路輾，然一般常見，僅以爲其結果，多得不償失。

優點：

1.費用較廉，建築亦較簡易。

2.鋪石路面較寬，但厚度則逐漸減少。

3.與車輛情形頗相符合，在路中車輛最多之處，所需厚度最大，路邊車輛較少，厚度逐漸減少。

4.因所需預備工作最少，故特別適宜於原有土路之加鋪礫石面層。

劣點：

1.在壓實時期，所需養護工作較多。

2.沿邊礫石遇雨，易爲車輛壓入道底之內。

3.在普通車輛情形之下，壽命未免過淺。

礫石路面建築要點

1.由底向上壓實——由底向上壓實者，即分層建築及分層壓實之謂也。俟道底固結光滑後，將預堆路旁路肩之礫石鋪設，每層厚五公分，俟適當時期經車輛壓實，繼續鋪設。因每層必需徹底壓實之後，方加鋪石，故路面建料厚度，任何時期最多不過一層，於車輛之行駛，妨礙甚少。此種分層建築方法，用於不易壓實之河礫及黏土甚少之礫石，尤爲適宜。溝式及羽式建築，通常最大缺點，爲通車之後，路面鬆料，需經長久時期，方始固結，有至數月者，甚有至數年者。迅速補救之方法，爲用特種路輾，如旁式或多圓板式等。此種路輾功用，與普通路輾不同，能將新鋪鬆石，迅速均勻壓實。

2.路面覆蓋層——礫石路面應永久維持覆蓋鬆料一層。最好材料，爲堅硬耐久土質甚少之卵石，大小介於2公分及2公厘之間，厚度不得超高 2公分。此覆蓋層之功用如下：

(I)預防壓實礫石之磨耗。

(2)防止污水之滲用。

(3)使路面磨損較爲均勻。

(4)防止窪穴之產生。

(5)供給塡平車轍，窪穴，及皺紋等之材料。

3.新石路面——新設礫石路面，應略加寬，其優點如下：

(1)以刮路機或平路機養護時，較爲容易。

(2)車輛承重分配，較爲均勻。

(3)解除或車轍產生之趨勢較少。

(4)路肩砂土材料與路面礫石混合之機會較少。

4.其他——在建築時，其他各點應加以注意者如下：

(1)在壓實前，混合必需徹底均勻。

(2)在壓實時期，宜充分加水，或利用天然雨水，或以人工澆播。

(3)排水之設備，必需完美。

(4)路拱不宜過高，通常在1：30至1：50之間。

礫石路面之養護

礫石路面之養護，一如其他低級路面之重要。蓋路面本屬低級，其養護工作益需有效，否則經車輛之摧毀，風雨氣候之侵蝕，其狀況不堪設想。故欲維持礫石路面良好狀況，第一必需補充材料之損失。礫石之損失，視車輛之多寡，氣候之情形及礫石之形質而異。通常在每日平均運量500輛情形之下，每年礫石路面厚度，約減少1½公分。若與500 車輛，多爲重載卡車，則礫石之損失，尚不止此數。故一寬 6公尺之路面，每一公里每年約需增加新料一百公方以上，方能維持原有之厚度。

礫石路面，除修補及加料等日常養護工作以外，在相當時期之內，尚需翻修。礫石路面最普遍之現象，即爲皺紋之產生。其成因頗爲複雜。當路面受濕時，由一凸出礫石或窪凹小穴，可逐漸擴大而產生皺紋。皺紋爲橫直波形，深度可達10公分，其隔距可自45至90公分不等。此種皺紋，僅在車輛緊密情形之下產生。其成因雖未能知，但波浪狀雖與通常運及下汽車彈簧及輪胎之和諧動作頗相符合。皺紋之成因，或即由是，至少此種和諧動作，能使皺紋加深也。其他成因，不外下列各項：

1.柔軟潮濕之道底。

2.礫石級配不佳，所用礫石過大或含砂甚多。

3.結合料之性質不良。

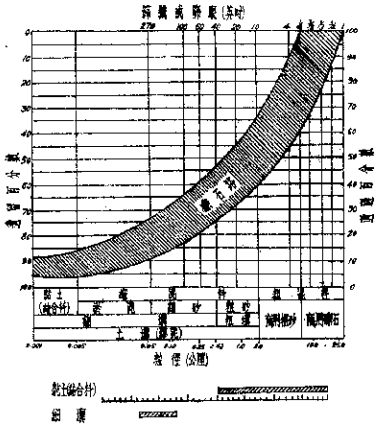
4.結合料之用量不適當。

5.路拱過高。

6.養路工具之不良——因不良平路機或刮路機刮刀之振動而生凸凹皺紋現象，或因輕平路機滾切，致加深凸凹不平之處。故路面漸成皺紋方向，常與路刀所切之角度，頗相符合。

礫石路面皺紋，最好在未成熟以前，加以各種預防方法，以減少此種現象。皺紋成因

碎石路面材料結構圖



故如上述，故預防方法，亦宜以此為根據。預防方法，本外有五：（一）選用之礫石，級配必佳，以增加路面之穩度。（二）路面養護有恆，需常修理耗平及加鋪瀝青層一層。（三）養路工具，必備齊備適應用。（四）道底預備工作，務求固結平坦。（五）結合料品質之選擇，及用量之適當。

建築及養護礫石路面時，如不注及上述各點，則壟紋日積月深，故一況表面平狀，車行其上，顛簸不堪。此時除必需根本加以翻修外，無法補救。翻修之程序，首步為將舊全部礫石，加以整理，然後以路緣壓實，其方法一如修築新路無異。

級配石子路面

陳本端

（1）引言：　公路路面之種類雖多，以性質而論，可分為兩種：一曰剛性路面，一曰撓性路面。屬於前者，如水泥混凝土及瀝青混凝土等是；屬於後者，如砂土，礫石，碎石及柏油路面等是。若以等級而論，可分為三級：一曰高級，一曰中級，一曰低級。屬於高級路面者，如水泥混凝土及各種柏油路面是；屬於中級路面者，如各種碎石路面是；屬於低級路面者，如砂土等類路面是。我國公路，多中級路面，尤以馬克當式為最多。但修築方法，往往未能盡合規矩，故成効極為低落。雖前運輸不繁，車輛稀少，勉可維持。今則公路運輸，屆於首位，全國車輛，集於樣方，路面乃有不堪維持之現象。目前改良無為事實之不可免，但籌劃設計，不可以不慎重，研究試用，不可以不精密。考慮事項，應追索何日前之路面，不能維持目前之交通。研究事項，應探討維持目前交通之適宜路面，究為何種。決定事項，應知目前公路路面，究有若干種類。綜合此三大事項，必能尋求一滿意而適宜之結果。本篇所述之級配石子路面，為美國最近十年來研究之所得，遍用各地，成績頗佳，較比馬克當碎石路面，在準確及質量上，為具優良之證明。我國公路，進展雖速，在研究上，尚落後摩，此種路面，知者既少，採用尚無其人。茲評介紹於此，以為公路界之參考。

（2）級配石子路面之原理：　級配石子路面，乃集碎石或礫石以及粗砂，細砂，泥土數種料品所組成。其構造之方法，需根據下列四種原則以設計之：

（1）使所有料品混合體之密度，增強至其最大之限度。

（2）使混合體有充份之內磨擦力。

（3）使混合體有充份之黏結力。

（4）使混合體之透水性減至最低之程度。

欲使料品混合體之密度，增強至其最大之程度，可以利用富勒氏理想曲線，以定各種材料分配之數量。然後再用御氏試驗法以求其最好之水量加以分壓，以至最大之密度。欲得混合體內之磨擦力，則須有充份之石子及砂粒。欲得混合體內之黏結力，則當於黏性之泥土，乃不可缺少之材料。欲得混合體透水性至其最低之限度，可以混合體之土壤物理性，為其設計之根據。凡此諸端，均為級配石子路面內部應具之條件。不僅利於行車，對於天氣之變化，亦能適合。不僅行旅舒適，即且減少養路費用及車輛消耗之消耗不少也。

（3）級配石子面路之建築法：　此種級配石子之路面，其建築法，應以當地砂石材料情

形面規定。礫卵石之性質，須堅牢耐磨，其直徑最大者，不可過一英寸，尤需大小均具，分級配合。至於砂粒，亦須有粗細之分，其餘如淤泥在內亦佳。黏土則須富於黏性者爲宜。凡此材料，並非一定分揀而混合之，遇有路上土壤之中，混有各種不同之材料，卽可取其少數，攙與分析。視其含有石子若干，砂料若干，泥土若干，再按照富勒氏曲線之分配，視其缺少何種材料，或何種材料，數量不足。於是摻合而配備之，卽能應用。往往路上某處土壤，其中砂質較多，另一處之土壤含泥土較多，則可合此兩種之土壤而成一適合級配之路面材料。倘能一一分揀石子沙料及泥土，而級配混合之，亦無不可也。材料既如此配合完畢，然後可在路基之上，挖槽深六吋，而將路面材料，置於其中，乾拌均勻。再取少許，以作霜氏試驗，而得其最好水量。此種水量既知，乃依此澆水於混合材料之中。俟混合均勻，乃用羊蹄路滾，以滾壓之，以至相當之程度爲止。所謂相當之程度，可以懸土針隨時試探之。例如每方吋須有六百磅之針入度，則經羊蹄路滾滾壓之後不夠此數之時，則仍須繼續滾壓，以至達到目的而後止。羊蹄路滾滾壓之後，面層並不平整，此時可用人工把平路面，再用十噸路滾滾壓平之，卽可開放交通，行駛車輛。

（4）級配材料配製設計法：　凡適宜之級配材料，其成份須有粗土壤45至70%，細土壤20至35%及黏土10至20%。欲適合此種成份，必須利用兩種或多種之當地土壤材料而加以配合。配合後之混合體，又需視當地天氣情形而定塑性指數之優劣。例如在乾燥區域，其值可自九至十五，少雨區域，可自三至九，多雨區域，可自零至三。是以設計之時，須先將路上可以利用之土壤，採取若干種，以便配合。第一步須設計各種土壤之混合比率，第二須設計混合體之塑性指數。茲舉一例，俾易明瞭：

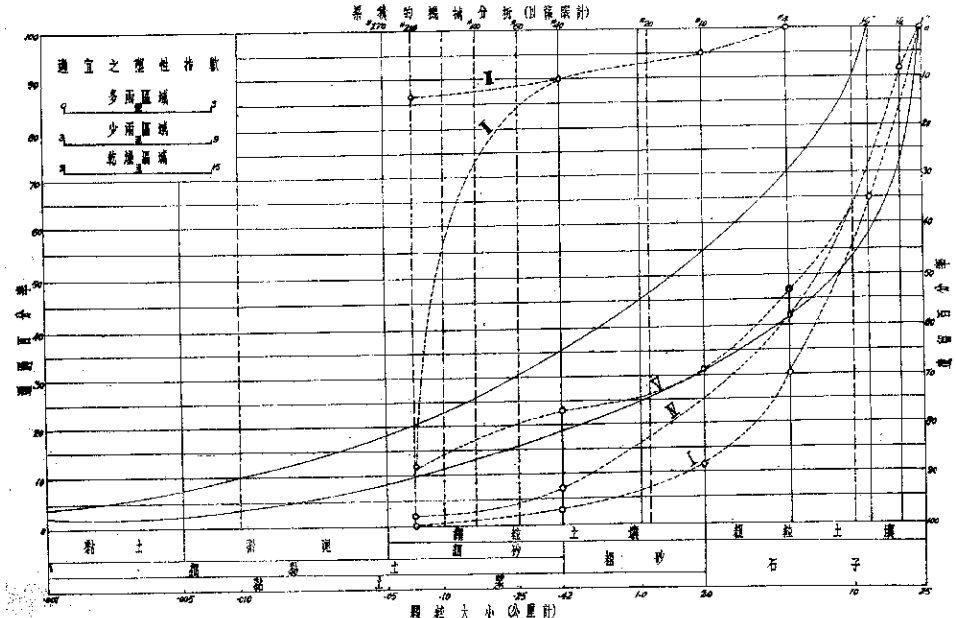
茲假設有土壤三種，可資配合，第一種含粗粒較多，第二種含細粒較多，第三種含泥土較多，每種之分析如下列表（一）

表（一）

土壤種類	通過篩孔百分率（以重量計）							
	1"	3/4"	1/2"	4號	10號	40號	200號	塑性指數
第一種	100	90	64	30	12	5	0	0
第二種	100	100	100	100	95	90	11	0
第三種	100	100	100	100	95	90	86	24

由表（一）所列三種土壤之分析，可得其各自之曲線如附圖中之（1）（2）（3）曲線

在附圖之中，兩黑線代表富勒氏理想曲線之界限。凡土壤分析曲線落在此兩曲線所包括之區域中，則該種土壤，卽能合宜而用作級配材料之用。試將第一二及三各種土壤分析曲線，均未在該區域之中，故單獨的均不合用。是以第一部工作，乃需將第一及第二兩種土壤混面合之，使其混合物之分析曲線，能落在理想曲線之內爲宜。茲試取第一種土壤85%及第二種土壤15%混合之，則其混合體之分析如表（二）：



系統的機械分析(以篩孔計)

實驗石子路面材料分配圖

表（二）

通過篩孔百分率（以重量計）							
土壤材料	1"	3/"/4	1/"/2	4號	10號	40號	200號
第一種85%	85	77	54	26	28	4	0
第二種15%	15	15	15	15	14	13	2
混合物體	100	92	69	41	42	7	2

表（二）內所列混合物體之分析曲線，在附圖內以曲綫（4）示之。曲綫（4）之上部，落於理想區域之內，但下部則在其外。由此可知細粒土壤如細沙及粘土之類，倘屬缺少，故第二步工作即再將第三種土壤摻併其中。但摻合第三種土壤之時，須注意兩事，一爲密度之加强（即領曲線（4）下部之提高），二爲塑性指數之配合。例如塑性指數須自四至十二之間，則第三種土壤應摻合若干，只能試驗爲之。茲假設取第三種土壤35克，取第一二兩種混合土壤中之細料65克，混而合之。以此種混合物作塑性指數試驗，其結果爲七，於是乃在四與十二之間，可以採用。至第三種土壤摻合之百分率，可照下法以計算之。

設使 P爲第三種土壤應摻合之百分率

A爲第三種土壤於試驗塑性指數時用之數量（以克計）

B爲第一二兩種混合物體於試驗塑性指數時所用之數量（以克計）

C爲第一二兩種混合物體通過四十號篩孔之百分率

D爲第三種土壤通過四十號篩孔之百分率

於是： $P=\frac{A}{B}\times\frac{C}{D}=\frac{35}{65}\times\frac{17}{91}=10\%$

由上法算出第三種土壤，須摻合10%，則第一第二及第三種土壤整個混合物體之分析，可計算如下列表（三）：

表（三）

通過篩孔百分率（以重量計）							
土壤材料	1"	3/"/4	1/"/2	4號	10號	40號	200號
第一種 85 %	85	77	54	26	10	4	0
第二種 15 %	15	15	15	15	14	13	2
第三種 10 %	10	10	10	10	10	9	9
共 110 %	110	102	79	51	34	26	11
三種土壤混合體	100	92	71	46	30	23	10

表（三）內所列三種土壤混合體之分析曲綫，在附圖中以曲線（5）示之，其位置完全在理想區域之內，故所得結果，尚屬滿意。換而言之，即取第一種土壤77%，第二種土壤14%，及第三種土壤9%，混而合之。至混合體之塑性指數已知爲七，是以密度之加强

及塑性指數之配合，均能適宜於需求也。

(5)塑性指數及葡氏試驗略述：

土壤受水漸行浸軟，後其毫無剪力抵抗之時，則成爲流體之狀態。所謂液體限度者，乃使土壤變成此種流體時應含最少之水量百分率也。由各種土壤之液體限度，可以知各種土壤發動時應含之水份，更可知土壤顆粒之粗細與夫土壤內部空隙之大小，而定土質之成份。倘若逐漸蒸發其水份，則土質漸變，後其始發生黏性之時，此之謂塑性限度，亦即土壤開始發生黏性時，所含水份之百分率也。液體限度減去塑性限度之差值，謂之爲塑性指數。

葡氏試驗法，乃利用水份加入土壤之中，使其顆粒互相潤潤，然後將其夯實，必能得潤土壤最大之密度。但水量需要若干，必須由試驗求之，蓋每種土壤只有一種水份，可使夯打至最大之密度。此種水量，名之曰最好水量，此葡氏試驗法之大意也。

(6)結論：　級配石子路面，在我國尚未採用。在美國各地，實行已歷經多時，成績甚佳。且更有用氯化鈣鋪灑面層，以便收空氣中之水份，而使路面潮潤適宜，以免灰砂之飛揚。惟我國情形，尚難做効，僅用級配方法，即足爲用。考級配石子路面，如配製得法，其密度頗大，空隙極小。因有砂石之內摩擦力及泥土之黏結力，路面本身，實較馬克當碎石路面爲堅强。普通馬克當碎石路面，係以大石子鋪於下層，較小石子鋪於中層，最小石子及沙土則鋪於上層。此種路面，經行車之後，其上層材料必被磨擦，漸成塵土飛揚而去，石塊乃漸漸顯露於外。此時若不續鋪路面上層細料，必因重而且快之車輛，其後輪與路面之間，發生真空現象，其力可將石塊吸起，隨車拋浮於路面之上；日久即路面中之石子，均顯出路面。故馬克當碎石路面，應多量之行車，其損壞極速，而養路工作，實極繁重，至相當程度，難養而不勝養，路面遂成凸凹粗糙之狀態。若級配石子路面，係級配材料之混合體，本身內之密度，內外上下，均爲一律。且因石沙互咬及泥土黏結，其力較强，車輪吸力，影響較小，而養路工作簡單，維持路面之常態，略覺容易也。

波蘭華沙市街道所採用瀝青路面之一種

方福森

引　言

按混凝武瀝青路面材料，係用碎石沙子塡縫料及瀝青材料配合而成，大別之可分爲下列三種：

一、片土瀝青：　此項路面所含混料最細，大約全部能通過十號篩之篩眼。混料中空隙度最大，所含塡縫料成分最多；瀝青成分亦最多；且瀝青質須較硬，因須幫助碎石抵抗車輪所施之剪力也。其材料具有甚大之塑性及可工性。

二、浮漫土瀝青 (Floated Asphalt)　此項路面所含混料較粗，大約全部能通過 $1/4$ 吋之篩眼，混料中空隙度較小；所含瀝青成分略較片土瀝青爲少；且瀝青質須較軟；塡

縫料成分最多，因拌合後須虛膠凝易於澆模也，材料具有載次之塑性。

三。土瀝青混凝土　此項路面所含碎石最粗者，由12糎至30糎不等。混料中空隙度最小；所含填縫料成分最少；瀝青量亦最少；瀝青質最軟，因須增加材料之彈性也。材料之塑性最次，但極堅固。

土瀝青混凝土路面，按其所含混料之粗細，又可分爲粗，中，細三種。茲將上列各種路面材料區別，列如下表；

種　　類	碎石之最大尺寸　糎	混料中空隙度　%	填縫料成分　%	土瀝青成分　%	土瀝青軟化點 Kramer Sarnow法
片土瀝青	2.00	19——25	19——22	9——12	38——50
浮受土瀝青	6.35	17——19	28——32	8——12	38——45
土瀝青混凝土細	12.00	5——19	7——11	7——9	38——50
土瀝青混凝土中	25.00	6——18	6——10	6——8	36——50
土瀝青混凝土粗	30.00	5——17	4——10	5——8	35——50

土瀝青混凝土路面所含碎石尺寸較大。經繁重奇頻車輛行駛後，則碎石往往被衝擊及壓軋而破裂成縫。雨水滲入後，於路面損害殊甚。又當天氣炎熱之時，路面往往被日光晒軟，瀝青料逐被擠出而損失，漸呈玫坑不平狀態。但片土瀝青路面則無此弊，二者鋪築時皆須用路滾輾壓堅實。浮受土瀝青路面鋪築時，不須路滾輾壓，只須澆灑後用鐵夯舂打平實即可，故適宜於養路工作。

波蘭華沙市各重要街道，採用一種混合式路面，係以片土瀝青材料爲面層，令其與車馬接觸，以土瀝青混凝土材料爲基層，以堅固基礎也。但面層與基層之分界不宜急驟，宜爲漸進，目的在得一均勻舒適之路面。至各層厚度，隨當地車馬之繁簡輕重爲轉移。普通中等繁重之車馬，面層一公分；基層四公分，即可得滿意之結果。此種路面兼有土瀝青混凝土之堅固性，及片土瀝青之塑性。

材料品質之規定

華沙路工試驗所，經年累之經驗，規定各種材料之品質如下；

A．碎石　須堅硬不易風化；形狀須爲多面體，針形或板形之碎石，不應大於20%。所含石粉或其他雜物，不應大於 1%，其與瀝青料之膠結係數須小于0.38。（按石料與瀝青料之粘結力，在波蘭尚以"膠結係數"表示之。此係數究竟如何求得，作者當另文以爲介紹也。）

B．砂子　河沙或山沙之堅硬，不易風化者。所含粘土及有機物不應大于 3%。其穀配分析，須約如下表所示；

	粒徑　　糎	重量百分率
通過 10 號篩眼者	0.840——2.000	5
,,,, 20 ,,,,,,,,	0.590——0.840	8 } 23
,,,, 30 ,,,,,,,,	0.420——0.590	10

,,,, 40 ,,,,,,,,,	0.293——0.420	13	43
,,,, 50 ,,,,,,,,	0.177——0.293	30	
,,,, 80 ,,,,,,,,	0.149——0.177	17	84
,,,,100 ,,,,,,,,	0.074——0.149	17	
,,,,200 ,,,,,,,,	0 ——0.074	0	
總和		100	

C．填縫料　須具有下列之級配：

（1）通過200號篩孔(0.074糎)成分，應超過80%；

（2）通過60號篩孔(0.250糎)成分，應超過100%；

（3）遺留於80號篩孔(0.177糎)成分，不應超過5%。

如填縫料爲石灰岩所磨成者，其所含CaC之成分，應大於95%。

D．土瀝青　可爲一種或數種土瀝青之混合者，應具有下列之性質：

（1）圓球法軟化點　面層48°—62°，基層40°—62°；

（2）Kr. Sarnow法之軟化點　面層38°—50°，基層30°—50°；

（3）針入度（在25°溫度時）　面層35°—75°，基層30°—120°；

（4）引伸度（在25°溫度時）　大於60公分。

但在重要建築（如戲場公園等）門前，常停有多數車馬，故路面須較他處路面爲堅硬，面層材料須選用針入度較低之土瀝青。

E．面層所含混料之級配，須合乎圖一之級配曲線

F．基層所含混料之級配，須合乎圖二之級配曲線

路面設計原理

A．面層　由標準砂子級配分析表，知欲尋一天然砂石能適合於表內所列之級配，所須符合之因子共有七項之多，甚屬困難。故只好降落將此七項因子，併爲三項如下：

1.通過10號遺留於40號篩眼者，稱爲粗砂；須占全體沙料23%，以重量計；

2.通過40號遺留於80號篩眼者，稱爲中砂；須占全體沙料43%，以重量計；

3.通過80篩眼者，稱爲細砂；須占全體沙料34%，以重量計。

如在工地附近覓求天然砂子，其級分析雖如上列者，不易尋得，則可選擇配不同之砂子二種或三種混合之，使成爲一混合砂，其級配與上述者相同或近似。至於混合之比例應如何求得，茲述之於下：（參閱圖三）

先於三項坐標圖格內，將上述標準砂級配分析，按三項因子繪入得點C。如覓得一種砂石A′，遺篩分析之，將結果寄繪入此圖格內如點A′，則所得之點與標點相距極近，則知此砂與標準砂之級配極相似，無須與他砂混合即可用矣。今如有二種砂子B及A，遺篩分析後，將其結果繪入此圖格內，得點B及A，皆距標準點甚遠，連BA線，由C作CD垂直於BA，交BA於D。如D點與C點距離極近，則量BD及DA之長，將B砂與A砂按DA：BD之比例混合之。則所得混合砂之級配，必與標準砂相符合或近似矣。今如有三種砂石A，G，及H，遺篩分析後，將結果繪入三項坐標圖內，得點A，G，及H，皆距標準點甚遠，連三

點中任何二點如AG，再連HC延長之交AC於K，量AK，KG，CH及CK諸線長。先按AK：GK比例，將砂G與A混合之，則此混合砂之級配，若給於頗格內，則必與K點相近或吻合。再將此混合砂與H砂按HC：KC之比例混合之，則所得混合砂之級配，必與標準砂相符合或相近似矣。

砂子級配合乎規定後，即可與填縫料相混合，使填縫料填砂子中之空隙縫，或一最小空隙度成最大密度之混料。至於砂子與填縫料混合，應按何種比例方能得最小之空隙度，仍需按各種比例混合後，依次試驗繪具曲線，求其在何種混合比例下空隙度爲最小。然後即以此最小空隙體積，作爲所應加土瀝青料之體積，則理想之面層路面即得矣。

B．基層　基層混料中石子尺寸，頗不一律，最大者可達30糎，故應按何種混合比例始能得最小空隙度，頗不易決定。普通方法：將砂石按其大小分爲四部：

1.徑 0— 2糎之砂子與填縫料之混合物；

2.徑 2— 5糎之碎石；

3.徑 5—15糎之碎石；

4.徑15—30糎之碎石；

第一部徑0—2糎之砂子與填縫料混合，其最小空隙度時，砂與填縫料之混合比例，已在面層設計內求出；今者將此四部石砂子混合，求其最小空隙度時之混合比例，可先將徑15—30糎與徑 5—15糎之碎石，按各種比例混合，求其在如何混合比例下，空隙度始爲最小。再以按此種比例混合好之碎石，按各種比例，與徑2—5糎之碎石混合，亦求其在何種比例下，空隙度始爲最小。再以按此種比例混合好之碎石、按各種比例與第一項內徑0—2糎之材料混合之，亦求其在何種比例下，空隙度始爲最小。然後以土瀝青填此最小之空隙體積，則可得理想中最堅實之基層路面。

材　　料

A．碎石　花崗石產於波蘭京都克雷疏夫（Klesow）城附近，經碎石機壓碎而成。其性質列表如下：

比重	密度	空隙度 %	吸水量 %	抗壓力 Kg/cm²	抗衝力 Page（試驗機）	磨耗硬度試驗 Bohme法	磨耗硬度試驗 Deval法	與土瀝青之黏結係數	針形及板形碎石之成分
2.67	2.62	2 00	0.30	3436	26	0.10糎	2.26%	0.335	18 %

B．砂子　河沙產於維斯杜拉（Wisła）及布格（Bug）兩河；山砂產於華沙市南部小山之旁，所含粘土及有機物皆不超過 2%。茲將各種砂子及設計好之混合沙之級配分析列於下列二表：

	粒徑（糎）	A砂 %（產於華沙市附近小丘頂）	B砂 %（產於布格河）	26.2% A砂與73.8B砂所混合成之砂
通過 10 號篩眼者	0.840——2.000	0.56	2.18	4.83
通過 20 號篩眼者	0.590——0.840	1.26 2.92	19.00 32.26	10.40 22.81
通過 30 號篩眼者	0.420——0.590	1.10	11.08	7.58

通過 40 號篩眼者	0.293——0.420	4.05	27.43	22.00	46.24	17.35	43.97
通過 50 號篩眼者	0.177——0.293	23.38		24.24		26.12	
通過 80 號篩眼者	0.149——0.177	37.15	69.65	18.46	21.50	17.50	38.22
通過100 號篩眼者	0.074——0.149	32.50		8.04		15.72	
總　計		100.00		100.00		100.00	

	粒徑（糎）	A砂 % 產於華沙市附近小丘頂		G砂 % 產於華沙市附近小丘麓		H砂 % 產於維斯杜拉河		33.6%A砂 41.8%G砂 24.6%H砂 混成之混合砂	
通過 10 號篩眼者	0.840—2.000	0.56	2.92	1.08	19.28	8.24	57.18	2.36	23.59
通過 20 號篩眼者	0.590—0.840	1.26		7.38		32.60		10.40	
通過 30 號篩眼者	0.420—0.590	1.10		10.82		21.34		10.83	
通過 40 號篩眼者	0.293—0.420	4.05	27.43	26.12	57.17	30.22	41.20	19.48	43.30
通過 50 號篩眼者	0.177—0.293	23.38		31.05		10.98		23.82	
通過 80 號篩眼者	0.149—0.177	37.15	69.65	17.93	23.55	1.30	1.62	17.18	33.11
通過100 號篩眼者	0.074—0.149	32.50		5.62		0.32		15.96	
總　計		100.00		100.00		100.00		100.00	

C．塡縫料　石灰石產于波蘭西南部克密密維切，(Kvzesnowlen)經碎石機壓軋而成粉。其性質如下：

通過200號篩孔（0·074糎）成分—33.6%；

通過60號篩孔（0.250糎）成分—100.0%；

遺留於80號篩孔（0·177糎）成分—3.8%；

與土瀝青之膠結係數爲0.350；

所含CaC之成分爲97.5%。

D．土瀝青爲落夫(Lwow)市之Gasy Ziemne工廠及Drohobycz城Galicja工廠所煉之人工土瀝青名 Bitupol，其性質如下表：

層　別	引伸度 (25°C.時)	針入度 (100克,5秒,25°C.時)	軟化點 (Kramer Sarnow法)
面　層	40　公分	52	50
低　層	＞115公分	70	59

E．面層　混料以A,B二砂之混合砂與塡縫料按各種比例混合之。得最小空隙度時，混合砂與塡縫料之混合比例應爲8：20，其時之最小空隙度爲19.1%。（參閱圖四）

F．基層混料　以徑15—25糎與徑 5—15糎碎石按各種比例混合之，得最小空隙度時徑15—25糎與徑 5—15糎碎石之混合比例爲 3：1.75。今卽以按此種比例混合好之碎石，再其與徑2—5糎之石屑，按各種比例混合之；得最小空隙度時徑 5—25糎與徑2—5糎碎石之混合比例爲4·75：1。今再兼按此種比例混合好之碎石與 A,G,H.三砂之混合砂混合之，得最小空隙度時徑 2—25糎碎石與徑 0—2 糎混合砂之混合比例爲5.75：4.25。

其時最小之空隙度爲14.42%。

各層路面所含混料內各級砂石之正常比例，可列如下表：

材料	徑15—25糎碎石 %	徑 5—15糎碎石 %	徑 2—5 糎石屑 %	徑 0—2 糎砂子 %	塡縫料%	最小空隙度 %
面層	——	——	——	80.0	20.0	19 1
基層	30.0	17.5	10.0	34.0	8.5	14.42

原碎石料與設計後混料之級配分析，可列如下表：

		原碎石料			混料		
	規格 糎	徑15—25糎碎石	徑 5—15糎碎石	徑 2—5糎碎石	基層	面層	
通過 1 吋篩眼者	19.050—25.400	13			4.2		
通過 3/4 吋篩眼者	12.700—19.05	76	19		26.1	30.3	
通過 1/2 吋篩眼者	6.350—12.700	10	78	6	17.3		
通過 1/4 吋篩眼者	3.180— 6.350		3	87	9.2	10.2	
通過 1/8 吋篩眼者	2.000— 3.180			6	1.0		
通過 10 號篩眼者	0.840— 2.000			1	0.4	1.6	
通過 20 號篩眼者	0.590— 0 840				3.6	6.7	14.3
通過 30 號篩眼者	0.420— 0.590				2.0	6.0	
通過 40 號篩眼者	0.293— 0.420				4.9	11.0	37.1
通過 50 號篩眼者	0.177— 0.293				11.6	26.1	
通過 80 號篩眼者	0.149— 0.177				2.6	5.9	
通過100 號篩眼者	0.074— 0.149				8.6	19.9	25.8
通過200 號篩眼者	0— 0.074				8.5	22.8	
總和		100	100	100	100	100	

將設計後混料之級配分析，以虛線繪入面基層標準級配曲線圖內，則大都皆落于曲線之內，尚合規定也。

以土瀝青塡縫混料中之最小空隙，並計算各級碎石及土瀝青所占之成分，以重量計，其結果列表如下：

材料	徑15—25糎碎石 %	徑 5—15糎碎石 %	徑 2—5 糎石屑 %	徑 0—2 糎砂子 %	塡縫料%	土瀝青%
面層	——	——	——	72.4	18.1	9.5
基層	28.2	16.4	9.4	32.0	8.0	6.0

材料之製造

華沙市華威（Trwale Drogi）路面材料廠共有拌合機二架，皆爲波蘭自製。機之原動力用蒸氣機，每機每小時可產20噸材料，如每日工作十六小時，則每日可產 320噸材料，所用工人約四十名。每機之運用，可分爲下列諸部：

A．冷混料加熱部：

1. 冷混料上升梯——冷石砂混料運到梯下一小上坑內，由一旋轉不已之鋼鏈，鏈上掛有小鋼斗，將料運至高架箱內。
2. 吸塵器——冷混料表面附着有不潔之塵，且輕砂爐內有塵灰渣滓，故在其未入乾炒爐前，須設吸塵器將塵灰吸出。
3. 乾炒爐——冷混料自高架箱見罰流出，而入乾炒爐內。爐係一鋼製之橫圓筒，內有螺旋鋼齒數列。當筒旋轉時，混料在內滾轉，而所受之溫度及火力極均勻；筒軸稍傾針向下，使混料燒盡後，自動由爐尾流出。火力係由一抽油機將汽油抽上，自四條鋼管由爐之尾端射入爐內燃燒；其溫度之調節，係控制煮油射入爐內之速度。溫度隨射入油量之快慢而增減。火力之調節，係改變爐筒之傾斜度，以控制混料在爐內拘留之時間。火力隨爐軸傾斜度之大小而減增也。

B．熱混料過篩部：

1. 熱混料上升機——熱混料由乾炒爐流出後，即由一旋轉不已之鋼鏈，鏈上掛有小鋼斗，將熱混料運至高架之篩石機內。此機係用鉄板包圍，以防熱混料中途喪失熱度。
2. 篩石機（參閱附圖）——熱混料入篩石機上部之圓筒篩後，即被一孔徑 5之篩分爲二部：徑小于5 糎之料過篩而流至孔徑2 糎之篩上，又被其分爲二部：徑2—5糎之石屑均留於篩上，而流入A室內；徑0— 2糎砂子通過篩而流入B室內。至徑大于 5糎之碎石，復前鏈主一孔徑25糎之篩，又被分爲二部：徑大于25糎之碎石過留于篩上，而由尾口流出並廢。徑小于25糎碎石通過篩而流至一孔徑15糎之篩上，又被分爲二部：徑 15—25 糎碎石留留篩上而流入D室內，徑5 —15糎碎石通過篩而流入C室內。

   篩石機係製造低層材料時，姑完全利用，至製造面層材料，祇須加徑0—2糎之砂子，餘完全流入B室內，無庸過其他諸篩也。

C．土瀝青熱溶部：

1. 熱溶爐　土瀝青桶上下兩底打開後，即直接傾入爐中，俟其完全溶解後，再取出鐵桶。爐係用製鍋圓筒式，僅有二層，爲防溫度之喪失，而呈不均勻之現象。火力係用煤炭，直接由爐之底部燃燒之。
2. 抽土瀝青機　熱溶之土瀝青，係用一抽油機抽至磅秤斗內。機管有內外二層，內管通土瀝青，內外管間通以燒燃之蒸氣，以防土瀝青中途喪失熱度。內管徑10糎，外管徑50徑。

D．材料拌合部：

1. 混料磅秤機　篩石機之四室有四尾口，每尾口有一閘蓋，磅秤記重臂有五，每一臂記一級之石砂重。工人篩時開各尾口之閘蓋，將各室之石料，按設計重

量放入磅斗內，並在此處試驗石子之溫度。普通溫度：基層以100°C.至180°C.爲宜；面層以150°C.至180°C.爲宜。填縫料則由工人按設計重量直接傾入磅秤斗內。

2.土瀝青磅秤斗　工人按設計重量開閘，將土瀝青放入磅秤斗內；面過剩之土瀝青，仍由一反回管送回熱溶罐內，此時土瀝青之溫度不應超過180°C.。

3.拌合箱　係雙橫軸式，軸上飾有拌合爪，每一分鐘可拌妥一箱材料，約500公斤重。拌好材料之溫度，不得大過180°C。材料均勻，每一顆粒須有土瀝青完全包圍，並不應有膠結成一團，或未包圍完全之顆粒。箱底有閘門，將材料放出垂大卡車上，運往工地應用。運輸時車上須加罩蓋，俟運至工地時，仍可保持所需之溫度。

材料之經常試驗

石砂料如由一地採來者，其工程性質，如抗壓力；抗衝力等，當不致有何不規則現象；但其級配如不時常校正之，恐與標準砂石有甚大出入。又熱石砂經過拌合機後，工人手藝方面，每不嚴格遵照正當方法拌合之，其級配遂呈顯著之差異。爲防避此種弊端起見，材料廠須專設試驗室，時常試驗校正之。試驗之樣類，及樣品之採集，可分述如下：

1.冷石砂之級配分析　冷石砂料運來後，應於每一堆之各方，取少許混合之，晒乾後，作其級配分析。

2.熱石砂之級配分析　樣品自高架篩石箱各室尾閥，放出于鐵碗內，俟冷後作分析。

3.各層混料之級配分析　樣品由混料放入拌合箱後，未如入土瀝青前，取出于鐵碗內，俟冷後分析。

4.土瀝青之硬度試驗　爲簡便起見，只須試驗其針入度及軟化點。樣品自抽油機管末磅秤斗旁，取出試驗之。

路面之施工

路基　此項路面，多用舊有街道故舊之用，故可利用舊路面加以修理後，爲新路面之路基，可分述於下：

1.舊混凝土路：厚20公分，成分1:2:4，水與水泥比約爲1。上加新製混凝土一層；厚10—12公分，成分1:2:3，水與水泥比約爲0.8；每隔12—16公尺，有橫伸縮縫一條。

2.舊石塊路：石塊尺寸約10—15公分。

3.舊碎石路：厚約15—20公分。

4.新瀝青碾式路基。

5.新碎石路基：10—15厚公分。

爲要因路面及增加其彈性起見，在路面與路基間另加一結合層，或稱黑色路基。用樣斯杜拉河卵石，細砂及土瀝青拌合而成，厚度約30糎。至混料成分，亦須用混凝土式瀝青材料原理設計之。

茲將結合層材料拌合成分，列於下表：

徑15—30糎之卵石 %	徑 5—15糎之卵石 %	徑 2—5 糎之卵石 %	徑 0—2 糎之砂子 %	、土青瀝（針入度爲45者）%
43.0	21.5	4.8	26.3	4.4

鋪築法：先於路基上用硬毛刷將塵土不潔之物掃去，再鋪結合層。其溫度約爲250°F.。用鐵耙平，使合于相當厚度，並用樣板校正路撰。用一13公噸重，輪寬1.20公尺之三輪汽輾，按路之縱方向輾壓平實。

基層　先將路基用硬毛刷將不潔之塵掃去。材料運來溫度約100°C—150°C.，由工人鋪在路基上，用燒熱之鐵耙及鐵叉，耙平均勻，使合于相當厚度，並用樣板校正路撰。用一150 公斤重，輪寬80公分之小手輾，按路之橫方向滾壓一二次，輾壓時空氣之溫度，不應小于十5C.。鋪築輾壓材料，不應在天雨時爲定之。如遇驟雨而又不能停止工作時，須加多次輾壓，並應在工作簿上，記明此段係在天雨時築。因基層與面層之分界，不宜急驟，宜爲漸進，故厰須用較輕之路輾輾壓，使基層不致被壓過緊，而失去與面層結插之能力。如遇上下水道之出入口，及閘門之處，須在鋪料之前，先用土瀝青抹刷。

面層　材料運來先卸至一二公尺見方之鐵板上，溫度須約爲125°C.至160C.，用木耙耙平，使合于相當厚度。後用一13公噸重，輪寬1.20公尺之三輪汽輾，按路之縱方向壓平之。並用樣板校正路撰，且用直尺試驗路面之平整。俟材料冷至30°C.時，再用一7公噸重，輪寬1.00公尺之雙輪汽輾，按街道之橫方向或斜方向滾壓平實。其上再洒水泥或石灰石粉，壓一二次，蓋爲求固路面，使不致被車輪或馬蹄將材料粘着而帶走。如遇上下水道出入口，或閘門處，須加厚路面，約高出他處路面半公分。

路面試驗及樣品之採集

樣品之採集　路面經數年應用後，應於每隔一公里處及街道交叉處，採取一樣品。如遇某處路面之外表及性質與其他處有異者，應格外取一樣品。樣品爲四方形，邊長30至40公分，用刀割取，但不應傷其內部之構造，厚度須割取至路基。在特殊情形下，樣品亦可分層採集，採集後須註明以下各項：

1.修築該路面之公司名；

2.採取樣品之地點；

3.採取樣品日期；

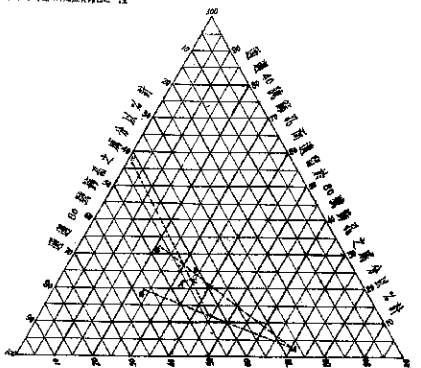
4.採取樣品人員；

5.路面層數，及每一層之厚度；

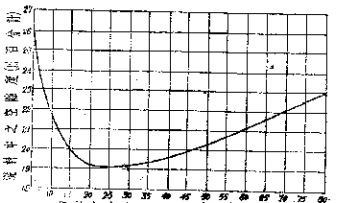
6.修築路面日期；

7.路面之環境　如路基之種類及厚度，路床土壤之種類，及排水情形；路基與路面之相互情形及其鋪築法。

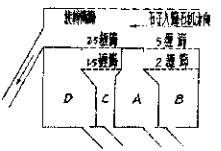
8.鋪築路面時空氣之溫度及雨量；



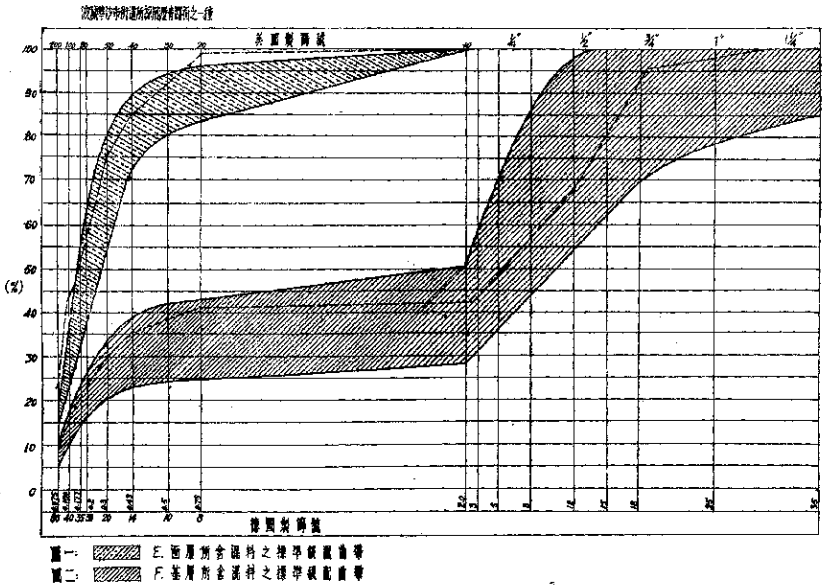
圖三



圖四



圖五：篩在機頭



圖一：E. 面層所含混料之標準級配曲線

圖二：F. 基層所含混料之標準級配曲線

9.行駛車輛之種類及繁簡程度。

路面試驗包括下列諸項：

1.路面外表形狀，及損壞情形之觀察。

2.所含土瀝青能溶于CS2中者之成分，華沙路工試驗所規定：面層須爲9—13%，低層須爲5—8%，以重量計。且面層之量，應等于混料中之空隙度；基層之量，應大于混料中空隙度約3%。

3.路面之比重及密度；

4.路面之空隙度。

5.路面之吸水量。華沙路工試驗所規定：面層不應大於3%，基層不應大於5%。

6.路面之工程性質：

(1)針入度　在22.5°C.溫度時，52.5公斤重量下，直徑一公分圓桿，5小時內之針入度；

(2)撓曲度；

(3)磨耗損失度；

(4)透水度；

7.土瀝青之性質：

軟化點
針入度
引伸度
} 必較原性質爲小，其差不應大於原性質之40%。

8.混料之性質：

(1)混料中石砂之種類；

(2)混料之級配分析；

(3)混料之比重及密度；

(4)混料之空隙度。按華沙路工試驗所規定：面層不應大於24%，基層不應大於16%。

結　　論

該項路面甚爲堅固，愉快，美觀，可稱爲高級路面之一種，車馬繁盛之區域宜用之。惟就吾國城市街道而言，土瀝青材料完全係舶來品，其價值爲昂貴，且車馬多未達于繁重程度，如不爲美觀及愉快起見，此項路面一時似尚無選擇應用之必要。但於中外觀瞻美觀較重要之城市，則又當別論也。

如何利用雙車道增加運輸量

袁隨善

引言

我國西南各省公路之主要幹綫，及國際聯路之修築，多在抗戰開始後一二年內。當時軍商貨運，大路分由專運，演趨統路輸入，公路運輸量不大。爲節省修築費用，各路路面寬度多採用6公尺，路肩寬度最大者，僅合乙等路標準，（1.5公尺）多數公路，不特無路肩設備，路面寬度尚有不及6公尺者，而況路旁樹樹，日益增大，公路行車遇對向來車時，不得不減低速度，以避免擦撞危險。抗戰迄今，已入第五年，鐵路交通，先後停止，公路運輸益與日俱增，例如滇緬公路自開至安寧一線，二十九年度每日運輸量最高紀錄（1）曾達1127輛，三十年度尚未滿期，不能準與定論，惟以三十年二月份運輸量與二十九年同月份者比較，可見其增加之速。此段公路按照規定，已晉至甲等路，而最近期來，大部分公路均將列爲甲等。按照三十年七月之全國公路設計準則，（2）路面應增至三綫車道，中綫爲最建車道，除非視距甚長最易堵塞，工程方面，約增50%，而運輸量之增加，根據實驗結果（3）不過25%，是以三綫單道，應否採用，久爲工程師所爭執之問題，茲不贅論。惟以目前情形而論，尚能設法使雙綫車道充分利用，假定無行車干擾搶運，則每綫每時可通車200—500輛，（3）設採用較低數字，每日通車時間自上午六時至下午六時，每日可通車2×200×12=4800輛。

現狀

查每日行車須準，因時而變，以現在情形而論，每日通車量尚不及4800輛之1/6，即

發生滯塞現象其原因有二：

（一）管理方面：我國公路站檢查機關甚多，手續極爲繁雜，蓋以商車而論，在邊境內，所有檢查牌照，車輛，司機執照，證照，貨物等手續，均集中一處，而我國境內檢查機關常分處各地，完成手續需時較多，相形之下，實覺不便。入境車輛，而至國境，即因辦手續，而停車至日。是無異減少行車速度1/6。又檢查機關辦公時間，向有規定，上午八時以前，運貨車輛不能開出，使每日運輸全量集中於上午八時至下午五時九小時之間，故每日運輸量雖不大，而每時運輸量增加，是使行車擁塞。

（二）工程方面：路幅寬度，常因地形及經費所限，無充分之路肩，致使雙綫公路，不能利用雙綫，至爲不合經濟原則，蓋分條論之：

（1）轉車時間之損失：路幅寬度，不足以使卡車作 U 形迴轉，轉車方法只可倒車數次，每次倒車，須變換變速齒輪，佔去相當時間，設每次轉車時間如以三分鐘計，則每有一次轉車，阻礙3分鐘之交通。按照目前情形，每日行車最高紀錄1127輛，每日駛行九小時計，每分鐘來回 $\frac{1127}{9\times60}$ 2.1輛，3分鐘可阻止車輛6輛半，轉車以後，已停車輛逐輛開動。設第一車立即開動，第二車半分鐘之後開，第三車一分鐘之後開，則因路阻而停車之數目，爲 $2.1\times1.0=2$ 輛，見圖（一）故每次轉車，影響八輛汽車，共耗費車分爲 $2\left(3-\frac{1}{1.05}\right)+(3-\frac{2}{1.05})+1+\frac{1}{2}\Big)=10.28$ 分。

（2）車道上停車之損失：公路汽車行駛，常因貨物裝卸，補油加水，或機件發生故障而停止，佔去車道一條，使後來車輛，不得不走反向輛道以超越之。設視距長度，不合標準，或司機精神不貫注時，最易與對開車輛衝撞，如對開車輛相距不遠，只得在原車道上等候，此種情況，數見不鮮。公路爲連絡之運輸管脈，牽涉一車時間，即影響全路運輸之通暢。

（3）密要疏散之阻滯：抗戰期間，敵機時常來襲我後方城市及交通要站，每有空襲報，城中車輛，接踵而出，車間淨距，爲可能停車距離，雙綫公路常區時用作單向雙綫行駛，而滿載車輛，途中得知消息，以對向車輛過多，無法轉車疏散，只得沿途停止。出城雙行車輛，迅停駛之車輛佔去一綫，行駛於右綫者漸漸轉入左綫。因之時常發生車輛擁擠現象，不但增加行車發禍之機會，抑且予敵機以轟炸之目標，與疏散原意，適得其反。

改　善　芻　議

改善方法，原無定則，惟以在現狀下、以最簡捷者費者爲最適宜。茲就管見所及，愛擬改善辦法數則如下：

（一）管理方面：根據手續簡單，運時增長，減少損失，以最有效之辦法全力改善之，茲分論如下。

（1）簡化手續：各地檢查機關，爲避免敵機來襲起見，自以分散爲宜。惟各機關可派員集中於檢查站，如昆明東站西站之辦法，聯席辦公，使手續簡化，同時在辦公室之外，應有專員到實發車檢查。

（2）增長運時：在搶運物資之今日，每日行車時間，設能增長，則每時運量分配較

勻，運量可以大增。行車時間增長辦法，有下數端：

（甲）檢查機關輪班辦公：如自上午五時至十二時爲一班，十二時至七時爲一班，則辦公時間，每日可達十四小時，設將來夜間通車，設備充實之後，則可採用電報局三班工作制度，工作通夜不斷。藉諸史乘、歐西各國鐵路軍運，多在夜間。交通機關，原不日夜不息工作。雖任用員司數額增加二倍，然苟能多量搭運物資，抗戰前途之收穫，當不止千萬倍於增用之區區辦公費用也。

（乙）公路沿幾增站站：行車時加長，則汽車不能在規有之站站休息，設在現有站間，增設新站。則快速車輛可越過舊站，至新站休息。

（丙）汽車司機輪班駕駛：責任關係因，大半由於司機之疏忽，行車時間加長，則司機精神不能貫注。爲改善司機生活計，爲避免發生損失計，司機應採用輪班駕駛制，每班可定爲4小時，每人每日可值間隔二班。

（3）減少損失：（甲）拋錨車輛之救濟，按照現行辦法，商車運輸，每四趟中，軍運公運佔二趟至三趟，是以商車損失，亦即抗建間接之損失。過去公路上，政府機關有救濟車，專備救濟該機關拋錨車輛之用，遇車機件發生障礙時，無人救濟。三十年九月（4）規定救濟車輛拖商車辦法，每公里定價十六元，實爲減少損失之有效辦法。

（乙）警報時交通之管理：又沿綫各交通機關負責，公路管理機關，應與當地防空司令部有密切連絡，隨時公布情報，並協助管理車輛之疏散及隱蔽。

（二）工程方面：

（1）增設轉車台：爲補救上述轉車停車之不便起見，可在公路沿綫每隔相當距離，將路幅加寬，以供U形轉車之用，其優點有五：

a.轉車時可採U形迴轉，車身橫過公路幾時甚暫，不致影響交通。

b.停車時可在邊車旁，使雙綫車道，可自由通車。

c.速度較小之車輛，可在轉車台上慢行，以讓避後面快速車輛。

d.當銀河關門城車輛，可在轉車台稍候，使出城疏散車輛佔雙綫行駛，相機迴轉。

e.使雙綫車道充分利用，有三綫車道之利，而無其弊，且費用只及三綫車道之$\frac{1}{10}$至$\frac{1}{8}$

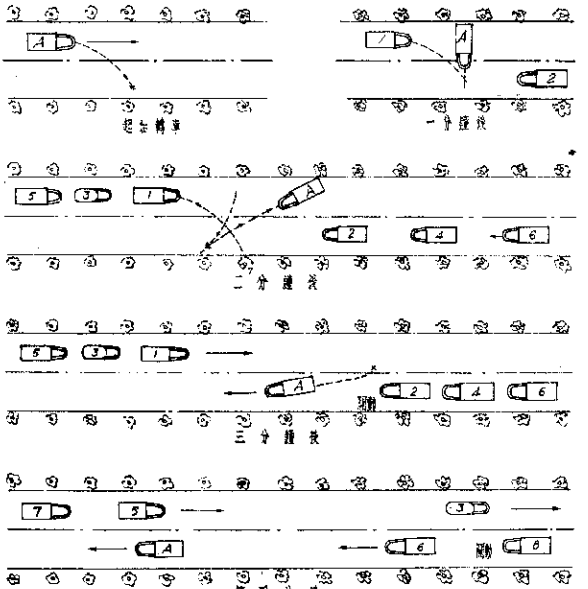
甲、轉車台之距離：距城區較近之路段，每隔一公里設一轉車台，距城區較遠之處，或在市鎮區域，則每1.5—2.0公里，應設一處，惟應避免弃彎道附近。

乙、轉車台之形式：轉車台形式，以能使車輛作U形迴轉爲原則，並無一定標準。我國公路最多車輛爲2.$\frac{1}{2}$噸至3.$\frac{1}{2}$噸之卡車。轉車台最小尺，寸應容該項卡車，在最低速率轉向行駛時，車身外輪所掃之圓周（5）。

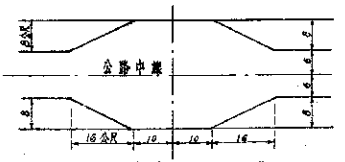
設 l＝軸距＝5m　　a＝輪距＝1.7m　　b＝車寬＝2.1m

α＝迴駛角度＝30。　　$R_0=l\csc\alpha+\frac{b}{2}$　　$R_1=l\cot\alpha-\frac{a}{2}$

$R_1=5\cot30-\frac{1.7}{2}=7.82$公尺　　R_0＝車身外輪所轉圓周　R_i＝車身內輪所轉圓周



圖一



圖二 轉車台之形式

$$Ro=5csc30^{\circ}+\frac{2.1}{2}=11.05\text{公尺}$$

通常應駛所需半徑，常較11.05公尺爲稍大，但不致超過14公尺，茲擬一轉車台形式如圖（二）。

丙、轉車台之標誌：在轉車台之兩端，應設立木牌標誌，表示前面有轉車台，喚起司機注意。以免與轉回車輛互相衝撞。木牌距轉車台出入口之距離，應較停車距離D爲稍長。D值可用下式計算之（6）。

$$D=\frac{0.0405S^2}{a+0.098G}+0.278ts$$

式中D＝停車距離（公尺）　　S＝行車速度（每小時公里數）

a＝減速率，四輪制動器汽車，約等於4.5公尺／秒^2

G＝坡度百分數（上坡時爲正，下坡時爲負。）

t＝司機反應時間，通常爲0.78－0.87秒，茲安全計，用$1\frac{1}{2}$秒

設在平地G=0，速率每小時70公里，則$D=\frac{0.0405(70)^2}{4.5}+0.2.78(1.5)(70)=44.1+29.2=73.3$公尺。標誌距轉車台通出口15公尺。

（2）改善視距，增設護欄：凡平曲綫及豎曲綫之處，應檢驗視距長度是否合乎規範，在凹豎曲綫之處，淫白晝視綫無礙，應注意夜間汽車頭燈照明距離是否大於其停車距離，轉灣之處，設置護欄，塗以白粉，以便夜間行車安全。

結　論

建設公路之目的，厥在增加運輸量，故研究如何以最少經費，增大運輸量，實爲公路建設之基本問題。茲就管見所及，檢討過去之缺點因而建議改善之辦法，以供管理運輸及工程機關參考，本文觀察疏或有不詳實之處，惟願公路先進，不吝賜教，庶達拋磚引玉之願，而獲改進我國公路之有效計劃，則幸甚矣。

參　考　書　目

（1）交通部公路總管理處，公路運量觀察報告：西南西北重要公路汽車運量觀察報告，二十九年六月份，十二月份。三十年一月份，二月份。

（2）交通部公路總管理處：公路設計暫行準則，三十年七月。

（3）Bateman: Highway Engineering, 1934。

（4）星南日報九月七日（三十年）

（5）李讀熾：公路平曲綫最短半徑之設計。

（6）李讀熾：公路視距之研究。

公路參考書籍及刊物之介紹

李 謨 熾

引 言

年來因公路在我國地位之漸趨重要，故關心公路同志，似較以往爲衆，時有以何種公路參考書籍及刊物宜閱讀者爲問。此類書籍及刊物，，在我國雖尚不多見，但在歐美公路發達國家，實不勝其枚舉。美國公路發展之程度，爲全球冠，故關於此類參考資料，尤爲豐富。本文僅將作者曾閱讀者列舉，並按書籍雜誌及刊物三項分類。根據作者意見在旁注有符號，以比較各書及刊物之價值。凡有＊＊符號者爲上選，爲研究公路者必需閱讀者；＊符號者爲中選，如有餘暇，亦值瀏覽；無符號者爲下選，至於閱讀與否，則無關緊要。其他如有關於公路之各種報告，小冊及短篇論文等，不下數千種，容日再當陸續擇要分類介紹，以供熱心研究公路者之一參考焉。

公 路 參 考 書 籍

1. Highway Engineering (in General):

＊＊T. R. Agg: The Construction of Roads and Pavements 1941

＊＊J. H. Bateman: Introduction to Highway Engineering 1939

＊Blanchard & Morrison: Elements of Highway Engineering 1928

＊＊A. G. Bruce: Highway Design and Construction 1937

＊Collings & Hart: Principles of Road Engineering 1937

＊H. E. Goldsmith: Practical Road Engineering 1935

＊＊R. H. Knight: Modern Road Construction 1938

＊E. L. Leeming: Road Engineering 1933

＊E. Neumann: Der Neuzeitliche Strassenbau 1932

T. Salkield: Road Making and Using 1927

＊H. G. Whyatt: Streets, Roads and Pavements 1934

＊＊C. C. Wiley: Principles of Highway Engineering 1935

2. Road Surfaces and Pavements:

F. S. Resson: City Pavements 1923

＊＊Brown & Conner: Low Cost Roads and Bridges 1933

＊R. D. Bradbury: Reinforced Concrete Pavements 1938

＊Ebberts & Johnstone: Bituminous Pavements: An Introduction to the Art 1936

W. G. Harger: Rural Highway Pavements, Maintenance and Reconstruction 1927

J. L. Harrison: Management and Methods in Concrete Highway Construction 1927

**Hughes, Adam & China: Tar Roads 1938

**Military Engineering: Vol. 5 Roads 1935

W. A. Mitchell: Army Engineering (Roads)

*J. Singleton-Green: Reinforced Concrete Roads 1930

**R. A. B. Smith: Design and Construction of Concrete Roads 1934

*Spielmann & Hughes: Asphalt Roads

3. Highway Materials:

**A. A. S. H. O.: Standard Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing 1938

**H. Abraham: Asphalt and Allied Substances 1938

*A. S. T. M.: Standards 1939

Part 1: Metals

Part 2: Nonmetallic Materials--Constructional

Part 3: Nonmetallic Materials--General

*A. S. T. M.: Standards on Cement 1938

*A. S. T. M.: Symposium on the Place of Materials in Automobile Roads and Rides 1935

Barton & Doane: Sampling and Testing of Highway Materials 1923

**E. E. Bauer: Highway Materials 1932

E. E. Bauer: Plain Concrete 1936

*D. C. Broome: The Testing of Bituminous Mixtures (A Laboratory Handbook) 1934

H. E. Desch: Timber, Its Structure and Properties 1938

Garner, Gabriel & Prentice: Modern Road Emulsion 1933

*B. H. Knight: Road Aggregate: Their Uses and Testing 1935

*R. K. Meade: Portland Cement 1938

P. C. Spielmann: Bituminous Substances

J. Watson: Sand, Gravel and Other Aggregates: Methods of Testing 1938

Wilkinson & Forty: Bituminous Emulsions for Use in Road Works 1932

United States Bureau of Reclamation: Concrete Manual 1941

4. Highway Soil and Soil Mechanics:

Q. C. Aynes: Soil Erosion and Its Control 1936

Boston Society of Civil Engineers: Contributions to Soil Mechanics

1925-40 1941

**V. J. Brown: Soil Stabilization 1939

P. Emerson: Principles of Soil Technology 1930

**C. A. Hogentogler: Engineering Properties of Soil 1937

*K. Keil: Der Dammbau Neuzeitlicher Verkehrsstrassen Auto-Und-Eisenbahnen 1938

**International Soil Conference Proceedings 1936

**D. Krynine: Soil Mechanics 1941

A. Mayer: Sols et Fondations 1939

E. F. Preece: Low Dams

*F. L. Plummer: Notes on Soil Mechanics and Foundation 1939

Plummer & Dore: Soil Mechanics and Foundation 1939

Veroffentlichungen des Instituts der Deutschen Forschungsgesellschaft fur Schule Burlin 1939

*Woods & Litehiser: Soil Mechanics Applied to Highway Engineering in Ohio 1938

5. Highway Location:

**J. Barett: Transition Curves for Highways 1939

**H. Criswell: Highway Spirals, Banking and Vertical Curves 1937

**W. W. Crowsby: Highway Location and Surveying 1929

*F. G. Royal Dawson: Motorways, Flyovers and Mountainous Roads 1938

J. H. Fletcher: Widening and Superelevation of Roadway Curves: A Field Book for Highway Engineers 1928

**T. F. Hickerson: Highway Surveying and Planning 1936

*H. C. Ives: Highway Curves 1931

Paul & Bennett: Methods and Plans for Excavations and Embankment 1927

*Pickols & Wiley: Route Surveyig 1939

H. Rubey: Route Surveying 1938

6. Highway Economics, Administration and Finance:

*Agg & Brindly : Highway Administration and Finance 1927

**S. Johannesson: Highway Economics 1930

*Spielmann & Elford: Road Making and Administration 1934

J. W. Gregory: The Story of the Road from the Beginning to the Present Day 1939

7. Highway Traffic and Transportation:

G. R. Chatburn: Highways and Highway Transportation 1923

**F. K. Edwards: Principles of Moter Transport 1938

*Federal Coordinator of Transportation: Public Aids to Transportation

Vol. 4: Motor Vehicle Transportation 1940

*J. E. Holmstrom: Railways and Roads in Pioneer Development Overseas 1934

F. Malcher: Steadyflow Traffic System 1935

**M. McClintock: Street Traffic Control 1925

**B. Mulligan: Collisions in Street and Highway Transportation 1936

N. H. U. C.: Highway Transportation 1935

Nolting & Oppermann: The Parking Problem in Central Business Districts 1939

*H. E. Stocker: Motor Traffic Management 1938

**H. A. Tripp: Road Traffic and Its Control 1938

**P. White: Motor Transportation of Merchandise and Passengers 1923

8. Highway Costs:

* Breed, Older & Downs: Highway Costs 1930

*C. B. Breed: Highway Costs and Motor Vehicle Payments in Massachusetts, Connecticut, Rhode Island 1939

H. P. Gillette: Construction, Cost Keeping and Management 1922

H. P. Gillette: Earthwork and Its Cost: A Handbook of Earth Excavation 1920

H. P. Gillette: Handbook of Construction Costs 1922

F. L. Conner: Labor Costs of Construction 1928

**Road and Street Construction Methods and Costs 1941

*R. E. Royall: Highway Jobs 1939

G. Underwood: Estimating Construction Costs 1930

9. Highway Bridges:

*A. A. S. H. O.: Standard Specifications for Highway Bridges 1940

*J. E. Ketchum: Design of Highway Bridges 1933

J. E. Kirkham: Highway Bridges, Design and Cost 1932

*C. B. McCullough: Economics of Highway Bridge Types

H. Fugl-Meyer: Chinese Bridges 1937

Tayler, Thompson & Smulski: Reinforced Concrete Bridges 1939

10. Highway Handbook:

*A. P. W. A.: Public Works Engineers' Yearbook 1939

A. C. I., P. C. A., C. R. S. I., R. S. B. A.: Reinforced Concrete Design Handbook 1939

Blasters' Handbook 1934

G. S. Brady: Materials Handbook 1937

*Brown & Runner: Engineering Terminology 1939
**Harger & Bonney: Handbook for Highway Engineers 1927
Highway Education Board: Highways Handbook 1929
P. Hubbard: Highway Inspectors' Handbook 1929
*Pit and Quarry Yearbook
*Power's Catalogue and Data Book 1939
**Public Works: The Manual of Street and Highway Equipment and Materials 1937
*Roads and Road Construction Year Book and Directory
R. T. Dann: Handbook of Construction Equipment: Its Cost and Use 1926
11. City Streets:
*A. P. W. A.: Municipal Snow Removal and the Treatment of Ice Pavements 1938
*Committee on Street Cleaning of the American Public Works Association: Street Cleaning Practice 1938
*G. Conklin: All About Subways 1938
*Harrison, Haas & Reid: Street Lighting Practice
12. Miscellaneous:
**Reagel & Crum: Highway Research, 1920-1940 1941
N. B. Geddles: Magic Motorways 1940
J. L. Grubbels: American Highways and Roadside 1938
Frank & Lanks: The Pan-American Highway 1939
*Richardson & Mayo: Practical Tunnel Driving 1940
Massey: Engineering of Excavation 1923

公 路 考 參 雜 誌

*American City
*American Concrete Institute Journal
*American Highways
Automobile Daily News
Automobile Digest
Automotive Abstracts
Automotive Industries
*Better Roads
**Bus Transportation
*California Highways and Public Works
California Safety News
*Canadian Engineer
Chemical Abstracts
**Civil Engineering
**Commercial Car Journal
Commonwealth Engineering
*Concrete
*Concrete Highways and Public

Improvement
Construction Methods
Contractors and Enigneers Monthly
*Dependable Highways
*Die Betonstrasse
Engineering
Engineering and Contract Record
Engineering and Contracting
**Engineering News Record
Explosive Engineering
*Georgia Highways
*Good Roads
*Highway Builder
*Highway Engineers and Contractor
**Highway Research Abstracts
**Highways and Bridges
*Improved Highways
*Indian Roads
Industrial Standardization
*Journal Institute Transport
Journal of Research of the National Bureau of Standards
Low Bidder
*Michigan Roads and Construction
Modern Roads and Airdromes
Modern Transport
Motor Land
*Motor Transport
National Safety News
Nation's Traffic
*Nevada Highways and Parks
*New Mexico Highway Journal
Ohio Motorist
*Pacific Road Builder and Engineering Review
*Pacific Street and Road Biulder
Pennsylvania Engineer
*Pennsylvania Road Builder
*Pit and Quarry
**Public Roads
Public Safety
*Public Works
*Power Wagon
**Quarry and Roadmaking
**Roads and Road Construction
**Roads and Streets
*Roadsids Bulletin
S. A. E. Journal
Scientific American
*Soil Science
**South Dakoda Highway Magazine
**Strassenbau
Surveyor and Municipal and County Engineer
The Contract Journal
**The Crushed Stone Journal
*The Earth Mover
*The Engineer
*The Highway Magazine
The Oil and Gas Journal
The Surveyor
*Traffic Digest
**Traffic Engineering
*Verkehrstechnik
Western Construction News

公路參考年刊

All Ohio Safety Congress Proceedings
**American Concrete Institute Proceedings

**American Road Builders' Association Proceedings

**American Society of Civil Engineers Proceedings

**American Society of Civil Engineers Transactions
**American Society of Testing Materials Proceedings
**Annual Asphalt Paving Conference Proceedings

*Annual Conference of the Highway Engineers Association of Scotland
Annual Pacific Coast Safety Conference Proceedings
*Association of Highway Officials of North Atlantic States Proceedings
*Canadian Good Roads Association Proceedings

**Highway Research Board Proceedings
*Institute of Traffic Engineers Proceedings
**International Association of Road Congress Proceedings
*Kansas Highway Conference Proceedings
**Michigan Highway Conference Proceedings
*Missisippi Valley Conference of State Highway Departments Proceedings
Montana National Bituminous Conference Proceedings
Pacific Coast Safety Congress Proceedings
Pan American Congress of Highway Proceedings

**Permanent International Association Road Congress Proceedings
*Purdue Road School Proceedings
Texas Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Proceedings

**University of Illinois Highway Conference Proceedings
University of Oklahoma Highway and Streets Conference Proceedings

*Western Association of State Highway Officials Reports
Western Satety Conference Proceedings
*Wisconsin Rood School Proceedings

中文公路參攷書籍及刊物

（未加符號不便批評）

1.參考書籍：：

黃汝誠：	近世道路工程學
何維華：	道路工程學
吳國炳：	道路工程
洪觀濤：	道路工程
陸丹林 蔣雲生 劉雲樓	道路全書
黃雲楨：	道路通論
陳樹棠：	道路建築學
黃有西：	汽車運輸管理
李雲芝：	戰時公路交通
李謨熾：	公路辭彙
李謨熾：	公路工程講義卷一 公路工程講義卷二 公路工程講義卷三

2.參考刊物：

公路	工程週報
道路月刊	工程雜誌
工程	交通雜誌
	中國建設
	抗戰與交通
	交通公報
	交通建設
	交通文摘
	西南公路
	江西公路
	四川公路月刊
	廣東公路月刊
	桂建公路
	川滇公路
	樂西公路
	路面
	公路技術
	新工程
	公路月刊（昆明公路研究實驗室）
	公路叢刊（昆明公路研究實驗室）

美國公路研究機構概況

李 謨 熾

美國公路研究事業，發達最速，故其公路之發展，亦為全球之冠。在美國各州公路局，皆普遍有公路材料研究試驗室之設。美國中央政府在農業部下，設有全國公路總管理處，內分八科：(一)設計科，(二)監理科，(三)情報科，(四)試驗科，(五)建築科，(六)法律契約科，(七)公路運輸科，及(八)總務科。此外設有督察區十四處(阿拉斯卡在內)每區督察州數，由二州以至八州不等。總處月出研究刊物一期，名為公路，專載該處研究報告及論文，為美國公路刊物中最有價值者之一種。一九二〇年成立後開始出版，現已出至第二十三卷第九期(每卷計十二期)，因此刊物純係研究性質，故定價極低。

美國研究公路學會機構之最著者，有全國研究委員會下設之公路研究會，內分七部：(一)公路財政，(二)公路運輸及經濟，(三)公路設計，(四)公路材料及建築(五)，公路養護，(六)公路交通及安全，及(七)公路土壤研究。各部聘請各方面公路專家，集中人才，分別担任小組委員會，每年約有年終舉行年會一次；出版年刊一冊，登載各部之研究論文，其價值與公路總管理處所出之"公路"不相上下。刊物由一九二〇年開始出版，現已出至第二十卷(每年一卷)。

美國各大學，對於公路研究，亦極注意，設有工學研究實驗所者頗多，公路研究為工作中之一重要部份，較著者有愛俄瓦大學，伊利那大學，俄海俄州立大學，普渡大學，華盛頓州立大學，福因工科大學及泰克薩斯大學等等。州內政府公路機關，亦多在該州內設立之著名大學，每年舉行公路會議一次，研討各種公路問題，較著者有密苏干大學，俄克拉荷馬大學及利雷拉多大學等等。普渡大學及威斯康辛大學並附設有道路等門學校，專司訓練本州內公路技術人員，流輸公路新知識。各大學亦有獨自設辦公路研究機構者，如哈佛大學之街道交通研究所及耶魯大學之街道交通研究所等等是也。

美國公路研究之學風甚盛，因之各種有關公路研究學會之組織，不勝枚舉，僅據作者所知者而列舉之。其中較著者有美國州道人員協會，美國築路家協會，新英格蘭築路家協會，北大西洋州道人員協會，運輸工程師會社，全國公路協會，全國公路交通協會，全國公路使用者會議，全國街道及公路安全會議，全國安全會議，全國交通協會，公路教育會，地瀝青鋪築專家學會，地瀝青會社，美國混凝土會社，波特蘭水泥協會，鋼筋會社，全國碎石會社，全國砂礫協會，全國密洛協會，美國材料試驗學會，美國土木工程師學會及美國工務協會等等。

除公路研究學會外，各有關公路機關及運輸事業亦多有公會之組織，其中不乏為研究目的而設立者，例如：美國混凝土包工公會，美國鑑木業公會，美國混凝土管協會，美國石油會社，美國普通包工聯合公會，橡皮製造業公會，全國車輪胎業公會，全國標準配件公會，美國運輸公會，美國汽車製造業公會，全國運貨汽車業公會，全國公共汽車處理公會，美國乘汽車者公會，全國營業小汽車業主公會，全國汽車商公會，全國私有卡車業主公會，美國汽車管理人公會，美國汽車協會，美國交通聯合公會，特准汽車製造業公會等等。

此外各築路機器公司，築路材料公司，及汽車公司等等，多有研究部之設，以改進技

術。因在美國，此種競爭甚烈，苟某一公司技術落伍，勢必迫被淘汰，而不能存在。故每一公司除營業競爭外，對於研究，亦事相努力，鉤心鬬角。美國公路事業發展之主要成因，實因於研究基礎之深，技術之精，此為我國所急需效仿者，吾人能不猛省乎？

英國之公路研究

方福森

英國科學及工業研究所公路研究委員會，於一九四〇年一月二十二日發表一文，綜述公路研究實驗室之內容及工作情形頗詳，茲擇要綜述如下：

在此期內，試驗室所佔面積擴充至十六英畝，因此可以進行建築二千呎長之特殊滑軌，應用此種滑軌可以研究路面之抗滑係數，較諸自普通公路上研究者，更為便易。並可以校驗研究路面組織應用之各種儀器，及校驗運輸部在各地應用之邊車機械。

實型試驗——該委員會對於室內試驗之結果，深加注意，並驗節依照進行實型試驗。例如室內試驗利用酸以減少混凝土路面之滑性，現已實際施而作實型之試驗矣，其結果且已證明實型試驗方法之適用及經濟。

用化學物以防治凍結之混凝土路面，目的在使其中冰塊溶解而不傷及混凝土之本身，早已在試驗室內得有相當成効，今且作實型試驗，更證明成功。

關於瀝青結料之耐久性，早已在室內試驗之。今且實地試驗之於野外路面上，以期與室內試驗結果互相比較。

試驗室內設計利用柏油橡皮混合物，以為路面磨擦層或保護層之結結料，現已進行實型試驗。

應用地瀝青以為各種片式或板式路面之結結料，已於柯爾恩布魯克小路上實地試驗，目的在求地瀝青之物理性質對於路面耐久性之關係。

應用簡單室內試驗原理，以設計瀝青混合物之方法，現已感覺必須擴大實型試驗，此項試驗之初步設備，已與運輸部合作辦理。

該委員會又與木塊發展委員會通行合作實地試驗工作，目的在改善木塊路面之抗滑力。

其他室內研究與實型試驗工作，尚包括生鐵路面設計法之改良，蓋此種路面可使兩旁摩阻力係數由0.25增至0.45，

總之，室內之研究，現已逐漸發展至實型試驗。此足以證明研究工作，現已由純試驗階段，發揚光大而進入工程司之實地表演階段。該項實型實型試驗之實與盛，將來必因工作上之需要而更加增進。

土壤之調查——在修築試驗路之前，委員會曾與運輸部合作先行實施路床土壤調查之價值。因此運輸部決定，以後在興修各新路幹道之前，決先大量實施路床土壤之調查及研究。過去二年內有七條新路，已有此項調查之實施，將來路床土壤調查之價值，必與沿路土壤情況之調查，同時增進。

填土沈陷問題，亦正繼續研究中，但研究時間相繼過短，故不能得一精確之結論。與本問題有連帶密切之關係者，厥為應用機械方法以壓實土壤之効率問題，本問題多在試驗

室內研究之。此種機械壓實方法，僅能排除土壤中過鬆之空氣。而不能排除其中之水份。因此實地壓實之程度，遂極有限制。而壓實填土所應用各種機械方法價值之比較，遂爲重要問題之一。

標準試驗篩——試驗混料級配須用標準篩一套，各篩孔徑之可許誤差，亦經委員會加以研究，曾釋採驗數種商業混料標品分析之結果證明。如增加標準篩之篩號數目，其結果並不較爲準確。因此現行應用之試驗篩，正合適用，不必使之更加複雜化，此意見已由英國標準研究所所採納。

試驗室對於測驗混料之形狀，亦曾研究出適當之方法以試驗之。研究所且已採用之矣。至編號混料之級配，試驗室曾經研究用兩個簡單常數表示之，此對於標明碎石及石屑之級配，大有貢獻。蓋利用各級不同尺寸之碎石與一定號尺寸產異之固結限度，以標明之。

瀝青路面材料——試驗室對於瀝青路面材料之設計，亦加以研究，結果得出數種試驗路面性質之基本原理。一年來在柯爾思布谷窪小路上，已設有各項試驗之初步設備，目的在按對設計原理之是否適當，故本問題已由室內研究進展至實地應用之重要階段。

關於柏油路面之耐久性，對於柏油本身耐久性之關係，委員會曾與英國道路柏油委員會合作研究之。爲此目的，且曾選明多數不同方法製成之柏油，其中包括柏油之摻加少量瀝青物者，以之供給國內各地應用而觀察試驗之。關於瀝青料之分級問題，委員會商與地瀝青道路委員會合作研究之，並曾採選非常材料以爲試驗。其結果更可得出：影響普通瀝青料性質之因素數種。混合物之機械性質，亦曾加以試驗，結果研究出影響此混合物性質之主要因素，爲單位壓力下之形變速率，殘流指數（與流速及應力有關係），形變之溫度係數，及伸縮性。

氯化橡皮柏油混合物——關於氯化橡皮柏油混合物之實型試驗，委員會已與英國橡皮工業研究委員會及運輸部兩機關合作進行實施，前期報告中已已述及之。此種實型試驗結果，與室內試驗研究結果相互證明，此種材料之應用，須要特殊之技術。蓋氯化橡皮及柏油混合物之製造方法，對於產品之性質大有關係，例如：先加氯化橡皮於柏油中混合之，再加路料，以得到需要之勻度，其產品之性質，與先將氯化橡皮加入路料後，再與柏油混合者，大有不同，蓋前者之彈性較後者小甚多也。

滑性試驗——路面在高速車輛下所生滑性之試驗，委員會於本年內曾已設計一種儀器試驗之。試驗時逐漸增加車輛之速度，直至每小時70英哩之最大速度爲止。結果證明如速度增加，則向旁力係數遞漸減低。又溫度之影響於輪胎之硬度，及溫度之影響於水膜之滑性，亦至爲重要。現正與梁之滑軌試驗結果，希望能與小型滑性試驗儀試驗結果有所區別，此區別如何，即應用小型滑性試驗儀之結果，不能代表公路上之實際情形也。委員會與運輸部及蘇格蘭廣場兩機關開始合作之統計研究工作，對於公路安全問題，亦有所啓示。蓋其目的，在求標準倫敦街道之路面情形（向旁力係數）與意外事變記錄之關係。

柯爾思布谷克小路車輛及氣候之統計資料，亦正繼續研究中，結果得出小路（路寬度 30 尺）上車輛最繁重之區域，約在距離邊緣九至十尺處，適在車道標綫之內，在此處之車輛密度，約爲全路平均車輛密度之2½倍。

關於路面在車輛行駛下所生應力之問題，現已開始應用陰極放射綫振動波曲綫圖研究

之。剪應力及垂直壓力皆已記錄下來，結果得出一極有興趣之結果，即在充氣輪胎下之水平應力為壓應力，而在質心輪胎下之水平應力，則為拉應力。

混凝土路面之應力——關於混凝土路面因靜荷載及他種荷載而發生之應力，委員會亦曾加以研究，並發明一種計算應力之方法。按路面表面及底面之間溫度變遷，普通多為一直綫，路面因此種溫度變遷而挽曲所生之應力，可應用此方法計算之。至於他種產生應力之因素，亦正在試驗研究中，希望能由此試驗結果，可以將各種不同之發生應力之因素，連合起作一總清算。此外之研究工作，尚包括應用機械以壓實並壓平混凝土路面之方法，此問題試驗結論之摘要，已於一特種報告中刊登矣。

印度公路土壤之研究

李讀熾

印度年來因專注土之需要，對於公路研究事業，竭力提倡。並將將該國最近自一九三七年六月廿日起至目前止公路研究之工作，摘要報告於此，以為吾人之一警惕。

印度為一殖民地國家，經濟狀況不如英美。土路佔一重要位置，其能力又不能改造為高中級以上之路面，故其研究，多專注於土壤性質與其築路之價值。下列項目，曾加以嚴密之研究：

(1)修築土路之材料及其程序

(2)溶解鹽質對於土壤性質之影響

(3)土壤水份之重要性

(4)土壤穩定劑質移動之控制

(5)交換鹽基及吸濕水份對於土壤黏着力之影響

(6)冲洗及其預防

(7)熱力對於土壤膠體性質之毀壞及其在土壤力學之重要性

(8)土壤之級配及固結

(9)土壤機械性質與道路行為之關係

(10)特種試驗方法之應用及儀器之製造

印度土壤種類較普通者有黑土，鐵質紅土及冲積土壤等。為簡便起見，土壤之機械成份，擬以一常數值表示之。此重要之常數，即為各種土壤所含之黏土成份。印度氣候適宜於更迭毀敗及蒸發水份，此種情形，使鹽質積聚於路面上層，極易損傷土路。故鹽質在土壤內之移動，為一特殊重要問題。在各種土壤及不同水份情形之下，交換鹽基對於土壤黏着力之影響；各種穩定劑，如水泥，氯化鈉，氯化鈣，新沉澱之矽酸鈣及鋁鹽預防土路土壤冲洗之効能；加熱對於土壤性質之影響；及礦土在穩定土壤之價值；皆曾加以嚴密之研究。土壤級配基本試驗之儀器，亦多能制作自製。

土壤機械性質與築路材料行為之關係，在印度國內指定三十八條公路觀察之。結果表內記載土壤顆粒，黏土成份，黏着力及總區體，物質成份與道路狀況之都要記錄。此種觀察結果，在以土壤混合物之試驗。其試驗方式，為用一寬九十公分，直徑十二公尺之環形軌道

。環道之上，面充滿糖漿六英，以鋼帶連接於旋轉架上。其他自製儀器有黏著力試驗儀，變相布林納爾硬度試驗機，冲洗測驗儀，及密敏錄式比重計，爲試驗土壤壓縮密度之用。

印度地處熱帶，出產甘蔗甚多，故利用糖漿爲土壤穩定劑，亦曾加以研究與試驗。所用糖漿爲甘蔗製糖廠之廢物產品。其原料爲由甘蔗原料榨汁煮沸後，曝露於空氣時，能吸收一部水份，而使表面潮濕，故能利用以穩定土路。糖漿穩定試驗將，在海得拉巴德至密柏克哈斯公路一段，長十公里，原有路面爲一土路，自糖廠至工地距離一百六十公里，糖漿者由火車運送，運費每公噸廿一盧比。

施築方法，先將路面整理平坦，再以輕壓壓穩。每平方公尺均勻撒播糖漿與水1：5之混合物（糖漿二公斤加水十公斤）路面浸透後，按其至密濕程度，以機械滾壓之，即可通車，但須隨時灑水及以刮路機修整路面。加糖漿之層數，可由二層至四層以上，每平方公尺用量，由3／4公斤以至3公斤不等，視土壤所含砂份而定。如含砂過多，最好在加糖漿之前，在原有路面，先鋪薄厚5公分至10公分黏土一層，再澆水少許。每平方公尺路面修築之費價如下：

（一）用糖漿2公斤（工地費價，每公噸21盧比）價0.042盧比、

（二）攪和及撒播等工資0.013盧比。

共計0.055盧比，寬4.8公尺每公里建築費約須費260盧比。此路試驗之結果尚佳，可資證明糖漿實爲一良好之土路穩定劑。

瑞典改裝煤汽車之研究

李謨熾

當一九三九年九月歐戰發及瑞典之時，瑞典國內共有汽車二十八萬輛。因汽油來源之缺乏，以致多數車輛不得不中止行駛。爲補救燃料起見，改裝煤汽車，在瑞典國內，當時極爲風行。瑞典位於北歐，森林出產豐富。木炭煤汽車所用原料，爲常綠或落葉乾燥木材，但因求過於供，不久木炭之乾木原料，消耗殆盡，不易購得，不得不採取生木代替。直接用木材爲煤汽車之燃料，實爲一顯看繁人之要期。每公斤木炭發熱力爲7000公斤卡路里，而每公斤木材發熱力爲2800公斤卡路里，等於木炭發熱力百分之四十。木材可切成約5公分之立方體形狀，雖燃燒速率不易控制，但其功用則一。同時彎曲折歪之木材，亦皆可使用。截至一九四〇年末，已有三萬五千輛汽車，改裝有煤汽之設備。

煤汽車之設備，主要裝置爲一形似洗澡式之煤汽爐，安置於掛車之上，爐頂有蓋，爲添加燃料之用。爐底有旋通空氣管。爐內燃燒後，煤汽及煤烟，被吸經濾管而至發動機。煤汽爲一氧化炭，氫氣，烴氣，（主要爲沼氣），二氧化炭及氮氣成份不同之混合物，前三者皆爲可燃燒之氣體。煤氣燃料之效率，視此三者之成份如何而定。二氧化炭及氧氣，不過爲冲淡氣體，降低熱溫並減少煤汽之發熱力。

以木材爲燃料時，沼气甚少。其主要目的，使能發出最多量之一氧化炭，及最少量之二氧化炭。裝置裝飾不同之處，爲一改變之汽化器，煤气爐須常加以清潔。

在一九四〇年夏季，瑞典某工程師作一木炭汽車之試驗旅行，汽車爲一六缸雙門小客車，載有三人一犬，全程計1868公里。燃料之總消耗，爲2400公斤，或約67瑞式耳之木炭

。木炭之價值，每百公斤爲瑞典幣五元，合美金一元三角五分，每公里平均合美金一分五厘。（合國幣三角）如用汽油，則須增加費用百分之二十六。全程旅行所用滑潤油極少，气瓶共洗滌二次。最好結果爲將爐內燃料常時加滿，每次加炭一百至三百公斤，計加炭13次。不平下坡車道，可以幫助木炭燃燒，增加發動機之有効馬力。全程平均速度，每小時爲306公里。將來各種可燃料之材料，如蘆葦，木柴，甚至乾草，或皆有利用爲汽車燃料之可能，此則更待進一步之研究也。

美國汽車事業概況

李謨熾

引　　言

美國汽車事業之發達，在全世界上首屈一指，事實昭著，世人公認。本文特將該國汽車事業最近概況，予以介紹，以爲吾人之參觀。我國邇年來公路雖逐漸發達，尤以抗戰以來最爲顯著，但汽車之供給，仍類歉乏。試觀我國通用之汽油汽車牌號，如福特，雪佛蘭，道奇，愷特，奇姆西，司蒂倍克，萬國，大衆天，索尼克羅夫特，及培德爾等，百分之九十以上來自美國，其餘來自英國；柴油汽車，則自德法輸入。公路與汽車事業，二者必須並肩而進，缺一不可。我國因不能自製汽車，故於公路之發展，阻礙實大，交通工具奇乏，形成有路無車之現象，役古譯運之推行，亦係一不得已之辦法。汽車重工業，非一朝一夕所能成功，製造汽車原料工業，必先創辦。深望我國官商人士，急起直追，則數十年之後，我國汽車事業，或能與美國並駕齊驅也。

美國汽車事業之歷史，並不悠長。在一八九五年，全國僅有汽車四輛，翌年始增至十六輛。一九〇〇年，共有汽車八千輛，一九〇四年美國之汽車輛數，與我國抗戰前之汽車輛數約聲相等。繼三十餘年之努力經營，最近美國全國汽車登記，已達三千一百萬輛之最高峯記錄。一九三八年登記29,485,690輛，居全世界汽車總數43,297,587輛百分之六十八，是年出產額爲 2,489,085輛，佔全世界產額百分之六十二。下表爲一九三八年十二月三十一日各國汽車登記數輛之情形：

國名	小汽車	公共汽車	運貨汽車	柴油汽車
美國	25,151,311	132,002	4,202,367	
法國	1,745,000	38,500	450,000	17,300
英國	1,587,386	71,768	417,715	
德國	1,416,000	12,690	325,000	62,600
加拿大	1,155,632	2,368	216,827	256

澳洲	578,000		221,750	
俄國	85,418		587,534	
義國	345,000	9,900	114,500	
日本	106,000	29,800	45,000	100
中國	24,170	7,497	30,829	1,001
總數	35,133,704	455,738	7,602,104	106,041

國名	總數	人口	每輛汽車人數
美國	29,485,680	130,085,000	4
法國	2,251,300	41,935,168	18
英國	2,076,869	38,173,950	18
德國	1,816,200	77,028,433	42
加拿大	1,375,133	11,120,000	8
澳洲	799,750	6,806,752	9
俄國	672,952	170,200,000	252
義國	469,400	43,691,000	93
日本	180,900	70,258,200	389
中國	63,497	456,727,900	7,193
總數	43,297,587	2,089,856,744	48

一九三八年，在美國汽車及配件工廠工作之人數，已達三十萬零六千人，是年工資總額爲四萬萬五千五百萬元。汽車製造廠之工人，每年每人可得進款一千五百三十三元。較之普通人每年平均七百二十二元之進款，多一倍有奇。全國汽車廠行計四萬一千七百家，分佈各地。直接及間接服務於公路運輸事業者，總計六千三百八十萬人，其分配情形如下：

	人數	百分率
汽車配件及輪胎製造及汽油提煉	713,611	11.2%
汽車商	1,163,886	18.3%
國道及州道公路員工	267,734	4.2%
運貨汽車司機	3,544,956	55.5%
公共汽車司機	177,905	2.8%
其他（營業汽車及私人汽車司機，汽車保險公司人員及原料工人等）	511,908	8.0%
共　計	6,380,000	100%

汽車製造工業所需原料頗多，如欲求一國汽車事業發達，則其他原料工業，必需隨之而發展。下列各項原料，在美國以用於汽車工業爲最多，其中以汽油，鋼鐵，橡皮及玻璃等，尤爲顯著。試問我國此類原料工業，發達如何，吾人能不努力？

原料名稱	汽車工業消耗百分數	原料名稱	汽車工業消耗百分數

汽油	90%	片麻	41%
橡皮	80%	羊毛布	40%
板玻璃	69%	鉛	35%
合金鋼	54%	錫	34%
鍛鐵	53%	鎳	29%
條鋼	51%	各種鋼	17%

美國每年需用橡皮原料五十七萬噸，其中百分之八十用於汽車工業。因美國本土不產橡皮，故橡皮之供給，多仰自荷屬東印度羣島。美國有鑒於此，極謀自給，現在每年出產人造橡皮五千噸，重製舊橡皮約十九萬噸。目前雖不敷用，然將來美國橡皮工業之發達，自在預期之中，凡事皆在人爲也。

小汽車事業概況

美國因公路之發達，公路幾網，縱橫滿佈全國。通車路綫里程，將近五百萬公里，有路面者二百萬公里。而一班民衆，又多富有，加之廉價汽車，充滿市上。一車之值，平均批發售價，僅爲七百六十六元，（每四馬力約值九元）批發價在七百五十元以下者，佔87.1%，批發價在一千元以下者，佔97.7%。舊車之價更廉，有賤至數十元一輛者。因之普通民衆，多能自備汽車。一九三八年美國共有小汽車25,151,311輛，平均每四人得有汽車一輛，其普遍性爲全球冠，較之我國約每七千人始能分得一車者，不可同日而語也。吾人能不努力歟。

小汽車之式樣，美國人民多喜用雙門及四門轎車。汽缸數目，以六缸及八缸者居多，佔93.2%，四缸者僅佔0.8%，十二及十六缸者僅佔1%。一九三八年小汽車產額爲2,124,746輛，價值計1,331,593,129元，平均每輛價值六百二十五元，其式樣種類分配之情形如下：

汽車式樣	輛數	百分數	汽車式樣	輛數	百分數
四門轎車	964,462	45.39%	活頂轎車	7,765	0.37%
雙門轎車	759,135	35.72%	其他門車	4,480	0.21%
轎式跑車	314,675	14.81%	遊覽車	1,260	0.06%
底盤	42,361	1.99%	跑車	591	0.03%
活頂轎式跑車	30,017	1.42%	共計	2,124,746	100%

根據美國全國公路調查四十五州各作初步運輸調查之結果：每一小汽車，每年平均行駛一萬四千二百六十公里，在此行程之中，行駛於市街者爲30.3%，行駛於次要公路者爲3.4%，行駛於普通公路者爲56.3%。旅行距離，百分之九十一在四十八公里以下。旅行性質，因營業者居62%，因娛樂及社交者居38%。行駛里程與汽車齡成一反比例，舊車行程較新車行程爲少，下表爲一至十五年汽車年齡每年平均行駛之里程：

汽車年齡	每年行駛里程（公里）	汽車年齡	每年行駛里程（公里）
1	20,900	9	8,700
2	19,000	10	7,600
3	17,100	11	6,600
4	15,400	12	5,800
5	14,000	13	5,000
6	12,500	14	4,300
7	11,100	15	3,900
8	9,800		平均 14,260

一九三八年，每車平均消耗汽油六百六十加侖。每加侖價值一角四分一厘，加各州及中央汽油稅五分四厘，總計每一汽車每年汽油消耗費爲一百二十八元七角，此外每年尚須

繳納特別稅三十八元八角。

運貨汽車事業概況

一九三九年全世界運貨汽車總數爲 7,902,000輛，美國有 4,320,829輛，居全世界總數54.7%。同年產量計710,496輛，價值四萬萬六千五百五十萬元，輸出國外者佔 21.3%，計151,466輛，價值七千一百四十餘萬元。美國運貨汽車之載重量，無論屬於登記或出產者，大多數皆在二噸以下，平均約爲一噸半。登記車輛二噸以下者，居92.5%，出產車並二噸以下者，居87.7%，可參閱下表：

載重噸數	登記車輛		出產車輛	
	輛數	百分數	輛數	百分數
3/4 以下	1,641,166	38.2%	289,128	38.2%
1 及1½以下	84,974	2.0%	34,347	4.5%
½及 2 以下	2,247,219	52.3%	339,634	45.0%
22 及2½以下	132,935	3.1%	29,569	3.9%
½及3½以下	108,490	2.5%	20,781	2.7%
3½及 5 以下	44,188	1.0%	7,865	1.0%
5 及 5 以上	40,078	0.9%	7,379	1.0%
特種			28,143	3.7%
共計	4,299,000	100%	756,846	100%

運貨汽車汽缸數目，以六缸及八缸者居多，六缸者佔67.0%，八缸者佔32.1%，四缸者僅佔 0.9%。運貨汽車平均售價，爲六百四十六元。

一九三八年，服務於運貨汽車事業之人員，達四百萬以上，佔全國工作人員十分之一，其分配情形如下：

	人數	百分率
運貨汽車，配件，及出產製造	83,000	2.3%
石油出產及提煉	20,960	0.5%
推銷及服務	246,964	6.0%
運貨汽車司機	3,664,956	89.8%
其他（包括原料等）	60,900	1.4%
	4,076,780	100%

全世界運貨汽車出產數額，自以美國居首，下表爲一九三八年運貨汽車產額之情形，美國出產佔百分之五十一。

國別	輛數	百分率	國別	輛數	百分率
美國	483,100	51.1%	日本	15,600	1.6%
德國	183,756	19.2%	義國	11,175	1.2%
英國	105,171	11.0%	瑞典	4,914	0.5%

德國	75,777	7.9%	其他	4,257	0.5%
加拿大	42,325	4.4%	中國	0	0%
法國	25,298	2.6%	共計	956,373	100%

運貨汽車行駛里程，根據一九三九年美國十五年初步調查之結果，每車每年平均行駛一萬七千二百六十公里。農用運貨汽車輛數爲 997,033，約居四分之一。據一九三五年紐約五十二縣屬之調查，每一農用運貨汽車，每年平均行駛九千一百五十公里。運貨汽車旅行里程，據一九三九年調查，百分之八十在三十二公里以下。

運貨汽車在美國之用途，甚爲廣遠，茲分列於下。

(1) 農村————全國997,033輛

農產品名	地方	汽車運輸之數量	汽車運輸百分數
牛油	四城市	87,500公噸	27%
鷄蛋	四城市	5,422,000 箱	39%
家禽	一城市	4,995,000 車	65%
菜蔬	十二城市	236,112,000 車	40%
牛	六十八市場	8,587,000 頭	62%
小牛	,, ,,	8,977,000 頭	61%
豬	,, ,,	19,095,000 頭	68%
羊及羔	,, ,,	6,939,000 匹	29%
馬及騾	,, ,,	143,000 匹	50%
家畜總數		38,741,000 頭	53%

(2) 鐵路————全國79,332輛

用途	輛數
各點轉運	10,314
在間聯運	6,400
店戶運送	48,804
鐵路捷運公司	13,814
	79,332

(3) 政府機關————全國 230,374輛

(4) 據一九三〇年統計，全國有市鎮村落 122,473處，其中有48,492處，佔39.6%，不臨鐵路，全賴運貨汽車運送貨物。是年人口統計124,329,000，其中7,844,509人，佔6.8%，全賴汽車運輸維持一切。

(5) 一百二十七家大公司（每家擁有百輛汽車以上），共有運貨汽車145,600輛，拖車5651輛，掛車8,341輛及小汽車57,487輛，以運送公司貨物。

(6) 一九三七年，運貨汽車由煤鐵運輸廣煤計三千四百三十餘萬公噸，居出產總額8.5%。

(7) 美國有二十四城市，其牛奶之輸送，全以運貨汽車爲之。

(8) 其他各業，共用運貨汽車七十二萬餘輛如下：

業別	輛數	業別	輛數

麵包，糖菓及花商	61,601	煤商及礦物	19,202
酒瓶及釀造	18,367	運輸	162,095
包工及建築	49,180	麵粉，穀及飼材	4,243
牛奶及冰結淋	63,107	魚肉	21,057
百貨公司及傢俱	12,087	汽油，機油及重油	91,631
冰商	14,191	公會事業及綫路	74,248
洗染	34,967	菜蔬	39,815
旅館	5,125	其他	12,288
油漆，藥材及化學藥品	4,397	共計	723,928
煉鋼	11,527		

公共汽車事業概況

美國公共汽車事業之發達，不亞於運貨汽車事業。一九三九年，全國公共汽車總數爲138,250輛，價值六萬萬二千五百萬元，每車平均約值四千五百二十元，車站及修車廠之設備，值價二萬萬二千五百萬元。其中營業公共汽車公司凡三千七百六十二家，備有公共汽車51,550輛，行駛於市區者有20,142輛，佔39%；行駛於市郊者有10,193輛，佔20%；用於聯絡城市間者有18,614輛，佔36%；用於遊覽及租賃者有2,601輛，佔5%。行駛路綫里程，達577,400公里，市郊45,400公里，佔8%；市區532,000公里，佔92%。是年行駛車里總數，達3,673,319,000車公里，載客4,824,068,000人，服務人員十二萬人，修車廠房一萬二千所，車站及憩站一萬處，其運輸規模之宏大，可想而知。

此外尚有學校及機關共四萬三千所，備有公共汽車八萬六千七百輛，屬於學校者有八萬五千七百輛，佔99%；屬於其他機關者有一千輛，約佔1%。是年行駛路綫里程，計2,067,000公里，載人759,000,000。

一九三〇至一九三九年之中，美國製造公共汽車總數，爲 120,556輛，每年平均產額12,060輛，每車平均座數爲 27.64。一九三九年產額爲14,430輛，座數爲三十。茲將十年來各式公共汽車出產式樣及輛數，列表如下：

式樣	輛數	座數	
市區式	31,977	923,206	
市間式	18,552	473,145	
遊覽式	620	17,451	
共計	51,149	1,413,802	平均座數=27.64
學校式	69,407		
總計	120,556		

尾言

美國汽車運輸事業，無論爲客運或貨運，民運，商運或公運，其發達之程度，實爲全球之冠，即將全世界其他各國合而爲一，亦不能與之比較，上述數字，誠足驚人。我國汽

車數輛，如能得其百分之一，則於目前抗戰交通，自可迎刃而解。茲將我國汽車事業概況，約略述之，以窺水文之尾言，並供吾人之反省及自勵。

我國汽車入口，始於一九〇二年，當時上海僅有汽車二輛進口，與美國一八九五年時情形相同，曾幾何時，美國之飛躍直進，而至今日之地位。嗣後我國汽車雖逐漸增加，然每年進口僅在六千輛左右，價值一千五百萬元，汽油約四千萬加侖，價值二千萬元，汽車配件約值二百萬元，是當時每年國資外溢數額，約爲三千七百萬元。至一九三五年四月之統計，全國汽車數輛，已達44,802，其車輛種類情形如下：

	輛數	百分數
小汽車	24,542	55%
運貨汽車	9,362	21%
公共汽車	8,234	18%
其他	2,664	6%
	44,802	100%

在此數中，小汽車佔多數，同時汽車集中於主要城市。上海一隅，即有汽車16,686輛，居37%，其他如廣州，南京，北平，天津及青島五市，亦共有汽車7,738輛，居18%。故實際能行駛於公路上者，爲數極微。無怪乎一九三四年七月蘇浙皖京滬五省市互通公路運輸調查之結果，每日平均運輸量僅有35.7公噸。若長此以往，我國公路發達，實有無窮阻礙。

七七事變忽起，抗戰軍興，國家重心，逐漸西移，公路交通運輸驟增，日趨重要。爲應事實上之需要；汽車不得不大批購置，公路不得不大規模興築。抗戰五年來公路進步之程度，至少相等平時之一倍。在一九三七年戰事方起之時，全國車輛，已增至64,635輛，其中小汽車36,148輛，運貨汽車17,655輛，公共汽車10,837輛。抗戰五載，除一部車輛，在淪陷市區外，多數報廢，已達報命，不復能使用。但年來補購車輛，爲數不少，恒大都爲運貨汽車。在理論上，抗戰之後，小汽車總數應不許進口，但實際上仍有相當數目輸入，是一迷惘。蓋小汽車一項，在長途公路上行駛，毫無運輸價值可言，在短途市區郊行駛，又可用其他工具代替。目前我國汽車總數，有××××××輛，其中運貨汽車××××××輛。小汽車××××輛，公共汽車××××輛。深望在最近期內，我國汽車數量，能增至六位數字。則於我國公路交通工具問題，得迎刃而解。而我國公路事業，亦必隨之而發展。此六位數字之汽車數輛，最好非由國外輸入，而求其能在國內自製，是作者日夜所切禱者也。

德國汽車專用公路

李謨熾

德國汽車專用公路，又名奧托邦（Autobahn）。其建築始於1933年，路綫總計長七千二百餘公里，縱橫全國；以柏林爲中心，南北幹道凡二，東西幹道凡四。路面寬爲四車道，計14.4公尺；中部留有寬3.3至4.8公尺之種草地帶，或加種小樹，其功用有二：一爲遮掩路面，帶有防空保護之作用；二爲避免對方車燈之眩目。公路定綫標準甚高，不多利用舊有路綫，最小半徑在低地區域爲2,000公尺，山地區域爲400公尺；最大坡度在低地區域爲4%，山地區域爲8%。路面種類當屬高級，百分之九十，爲鋼筋混凝土，其餘百分之十則爲石

塊及瀝青碎石。鋼筋混凝土面路厚度，普通爲20公分，但在劣質土壤或塡土甚高之處，則加厚至25公分。修築方式，分雙層及單層二法：雙層法上層用礫石爲混合料，底層厚三分之二，約爲13至15公分；下層用碎石爲混合料，居總厚三分之一，約爲5至7公分；單層法則純用碎石爲混合料。加混凝土面預鋪道底油紙，每平方公尺需150至200克。路面平坦標準，每一公尺高低不得相差一公厘。建築費用，雖無準確統計，但每公里單價，平均總在一萬五千至二萬英鎊之譜。（現約折合國幣一百二十萬至一百六十萬元）在此種汽車專用公路上，其中無論公路或鐵路交叉，皆設免平交，行駛亦無速度限制。每小時每一方向可運送軍隊七萬人，百萬大軍，朝發夕至。戰爭德國進攻波蘭，不半月而解決，及最近西綫進攻比荷英法之閃電戰爭，軍隊調遣之神速，使全世界之震驚，蓋機械化部隊之行動，實多有賴於公路也。公路與近代戰爭之關係，由是又可得一事實之證明矣。

美國大學瀝青材料研究概況

李 謨 熾

一九一九年，美國地瀝青會社成立。當時鋪築路面所用瀝青材料，約爲五十萬噸。迨一九三七年，已達四百二十萬噸，其中不過十八年，增加八倍，可見瀝青材料在鋪築路面之地位，逐趨重要。年來美國對於瀝青材料及鋪築各種瀝青路面，研究尤力，日新月異，精益求精。蓋瀝青材料及瀝青路面之類式繁多，地瀝青及柏油材料種類，由液體以至固體不下數十種；面修築方式由低級如薄層路面處治，至高級如井地瀝青以及各種專利方法，亦不下數十種。在各種運輸量，氣候情形及經濟範圍之下，宜擇其最適宜者而採用之，以期收獲最大可能之効果。在美國各瀝青材料製造公司及公路實驗機構，大多皆有完美瀝青材料研究實驗室之設備。此外各大學亦鑒於瀝青材料在鋪築路面之價值，利用其瀝青材料實驗室之設備，興起研究。各大學有獨立進行研究者，有與公路實驗機關合作進行而研究者。本文特將最近美國各大學對於瀝青材料研究範圍概況，予以介紹，以爲吾人研究之一倡導。

據一九三九年美國愛達荷大學工學院院長布卡南氏調查之八十八大學，有完美瀝青材料實驗室設備者，三十七大學，居百分之六十五，進行瀝青材料研究工作者二十六學，居百分之二十三。茲將此二十六學瀝青材料研究工作，列舉如下：

大學名稱	合作機構	研究工作
布魯克林工業大學		地瀝青路面拌合料低溫物理性質之研究
加利福尼亞大學		地瀝青材料穩定土壤之研究
科羅拉多礦科大學		地瀝青氧化瀝青之研究
哥倫比亞大學		未製中性石油地瀝青構造之研究
愛達荷大學	愛達荷州公路局	1.乳化地瀝青穩定路基土地及實驗室之研究 2.各種脫落試驗之研究
伊利那大學	公路研究委員會	1.混凝土路面地瀝青塡縫料潛看方法之研究 2.鈉鹽及鋪塊路面塡縫料之研究 3.地瀝青及橡皮混合物之研究

		4.地瀝青及柏油混合物之究究
		5.鋪磚路面乳化地瀝青混合物填縫料之研究
		6.鋪磚及鋪塊路面輕製地瀝青及砂料混合物鋪厝之研究
愛俄荷大學		輪重分配試驗撓性路面厚度設計理論之推演
康薩斯大學		1.各期瀝青路面材料變化情形之分析
		2.地瀝青材料顯微分析與氣候變遷關係之研究
		3.各種情形下之地瀝青材料在有機溶劑內溶解程度之研究
		4.地瀝青材料穩定地方土壤可能性及試驗室配合分析改進之研究
		5.路面封縫層各種地瀝青材料及混合料比較價值之研究
		6.特種硬質及軟質輕製地瀝青比較價值之研究
緬因大學		粗砂，淤泥及黏土對於地瀝青混合物強度，剪力及壓力影響之研究
馬利蘭大學	全國砂礫研究基金委員會	
明尼蘇達大學	公路總管理處，及明尼蘇達州公路局	鋪路地瀝青材料實際行爲試驗改進之研究
尼布拉斯卡大學	尼布拉斯卡公路及運輸局	1.地瀝青油材料改善及區定標準之研究
		2.土壤穩定劑効率比較之研究（慢凝及中凝輕製地瀝青，乳化地瀝青，柏油及各種化學劑）
		3.工地實驗
俄海海州立大學	全國鋪磚協會研究基金	鋪磚路面地瀝青填縫料試驗室及工地之試驗
普渡大學	印第安納州公路局	1、瀝青被附着混合料之研究
		2.瀝青材料黏結力之研究
		3.瀝青混凝土混合物穩定試驗
		4.砂石岩地瀝青提出瀝青性質之試驗
		5.瀝青材料穩定道底之研究
		6.瀝青材料穩定路基之研究
		7.年齡，溫度，及氣候情形對於瀝青路面處治影響之研究
華盛頓大學		撓性路面地瀝青結合料（慢凝，中凝，及乳化地瀝青）強度關係之研究
威斯康星大學	威斯康星州公路局及威斯康星母校研究基金董事會	慢凝地瀝青成份及性質之研究（瀝青質松脂及油分）
其他四大學		進行研究，惟計劃尚未公佈。

公路月刊合訂本

歡迎轉載

編輯者　公路研究實驗室

二十八年十二月至三十年六月　交通部公路總管理處 國立清華大學工學院 合辦

三十年七月至三十一年十二月　運輸統制局公路工務總處 國立清華大學工學院 合辦

校閱者：　公路研究實驗室

發行者：　公路研究實驗室　（見明拓東路迤西會館）

印刷者：　雲南印刷局　（見明報國街報國巷十四號）

出版日期：　民國三十一年十二月

本室其他出版刊物：

公路叢刊合訂本目錄（民國三十一年六月出版）

公路月刊

1

本片卷

自 1940 年 1 卷 1 期

至 1942 年 合订本