

21160

涵洞工程

趙建衡 編著

正中書局印行



定價
11500元

涵洞工程

趙建衡編著

正中書局印行



版權所有
翻印必究

中華民國三十二年七月
中華民國三十七年一月滬一版

涵洞工程

全一册 定價

(外埠酌加運費匯費)

編	著	者	趙	建	衡
發	行	人	吳	秉	常
刷	所	正	中	書	局

序

涵洞爲鐵路公路所必需，其他工程亦常用之，其應用範圍甚廣。但以其工程不大，且普通鐵路公路機關均作有標準圖，無須一一設計，故普通工程書籍，皆略而不詳，討論涵洞之專書，尤爲少見，然涵洞之形狀雖小，構造亦繁，包括管形、框形、梁、拱四種構造。涵洞之建築費雖廉，如建築不良，設計不周，則所蒙之損失，將數十百倍於建築之需。小者如涵洞之破壞，洪水之冲刷路堤，因而暫時停車，影響交通。大者如火車失事，危及客貨安全，民國七年平綏鐵路懷來車站附近涵洞之破壞，是其一例。且涵洞每個之建築費雖廉，而涵洞之數量甚多，積少成多，亦未可以輕視。是以涵洞之建築，不可以物小而忽視之；此本篇之所由作也。

本篇以短促之時間，取各書之敘述，略者集之以爲詳，零者拾之以爲整。倉卒寫成，遺漏謬誤，恐所難免，尙望海內明達有以正之。是爲序。

民國二十九年十二月

編者識

目 次

第一章 總論	1—16
1.1 定義	1
1.2 種類	1
1.3 涵洞之用途	3
1.4 涵洞之大小	4
1.5 確定水道面積之大小	5
1.6 涵洞計畫之影響	9
1.7 各種涵洞所用之範圍	10
1.8 涵洞之坡度	11
1.9 端壁或翼壁之設置	12
1.10 載重標準	13
第二章 基礎	17—34
2.1 基礎之重要	17
2.2 基礎之查驗	17
2.3 泥土安全承载力	18
2.4 基礎加強法	19
2.5 擴大基腳本身法	20
2.6 石及混凝土基礎	20
2.7 廢鋼基礎	20

	目	次	3
	3.15 藍京系原理	...	54
	3.16 庫倫系原理	...	56
第四章	管涵洞	...	57—130
4.1	管涵洞概說	...	57
4.2	自由支承之管涵洞應力	...	62
4.3	固定支承之管形應力	...	68
4.4	管之自重應力	...	75
4.5	受水壓力管, 因水壓力所生之力	...	77
4.6	管涵洞之種類	...	78
4.7	陶管之應用及其特點	...	78
4.8	陶管設計之理論公式	...	82
4.9	陶管之經驗公式	...	86
4.10	陶管之實地試驗法	...	87
4.11	混凝土管涵洞之應用及其特點	...	88
4.12	混凝土管及陶管之檢定	...	89
4.13	鑄鐵管之應用及其特點	...	92
4.14	高級鑄鐵管	...	94
4.15	鋼殼管涵洞	...	94
4.16	鋼管鑄鐵管之油漆	...	96
4.17	皺紋管涵洞之應用及其特點	...	96
4.18	鋼筋混凝土管之應用	...	100
4.19	鋼筋混凝土管之鋼筋配置法	...	102
4.20	非圓形管涵洞之利用	...	106

5.9	梁涵洞之橋台	145
5.10	結論	143
第六章	拱涵洞	155—185
6.1	概說	155
6.2	拱之各部名稱	155
6.3	拱之破壞	155
6.4	拱之種類	156
6.5	拱環畫法	156
6.6	拱之厚度經驗公式	158
6.7	拱之力學考查	161
6.8	推力線原理	161
6.9	混凝土拱涵洞	164
6.10	石拱涵洞	174
6.11	磚拱涵洞	174
6.12	拱之彈性原理	175
6.13	求 $S/I = \text{常數}$ 之圖解法	177
6.14	鋼筋混凝土拱涵洞	177
6.15	拱涵洞之模型	184
6.16	皺紋鐵拱涵洞	185
6.17	結論	185
第七章	框形涵洞	186—213
7.1	概說	186
7.2	框形涵洞之力學	187

第一章 總 論

1.1 定義 涵洞者經過道路、鐵道、水渠等物下面之橫溝或水道也 (a traverse drain or waterway under a road, railroad, canal, etc.)。在我國公路上交通部公路總管理處最近復有明白之規定：

(1) 凡跨越小水或溪流之建築物，位於路面之下，而其橫過路基之長度超過路幅之寬度時，不論其單孔跨徑或多孔總長度超過三公尺與否，均稱涵洞。

(2) 除(1)項之規定外，凡單孔之跨徑或多孔之長度(包括橋墩在內，橋台在外)，不超過三公尺時概稱涵洞。

至方溝一項即併入箱式涵洞，其名稱應予廢止。至水管名稱，仍應存在。

1.2 種類 涵洞之種類其分類法可分四種：

a. 以涵洞頂有無泥土載重分類：

(1) 明渠式(或稱開渠) 凡涵洞上不填土者屬之，即前節公路總管理處第(2)項所定之種類。

(2) 暗渠式 凡涵洞之埋在土中者屬之，即前節第(1)項所定之種類。

b. 以材料分類：

(1) 永久式 包括陶管、磚石、混凝土、鑄鐵、鋼鐵、皺紋鐵或鋼

筋混凝土等材料建築者

(2) 半永久式 除用木面外,其他部分均用磚石建築者。

(3) 臨時式 木涵洞屬焉。

c. 以有否受水壓分類:

(1) 不受水壓涵洞

(2) 受水壓涵洞 受水壓涵洞,多于特殊情形時用之,茲舉數種情形如下:

甲. 路堤低者 遇路堤甚低時,涵洞之建築多較深,而往往水面高於涵洞 此時則涵洞受水壓力,其洩水量亦甚大。大約高于涵洞四呎之水位較高於涵洞一呎之水位,其洩水量可增加一倍。故遇此情形 須建特別堅固之涵洞。而涵洞之端壁建築尤須特加注意。

乙. 倒虹吸管 如引水流流經路坑,兩邊之水均高於路面時。惟管之出口較入口略低,水因位能(potential energy)之關係,從入口下降流過路坑下面,再上升由出口流出。此在鐵道上用之尤多。

丙. 漫水路堤涵洞 河流有在普通時期,水流甚小或無水,但在洪流時期,則需排洩多量之水。此種情形,為經濟計,常建漫水堤路(overflow embankment)。堤路路面為石砌或水密性之混凝土層,枯水時期水由堤路下之涵洞通過,洪流時期水則漫過路堤。在公路上因土工之經濟,路堤過此水坑時,坡度常係下降,但不可超過 50/100。1.1 圖為美國之一種標準圖,我國公路上此種堤路亦常見之。他如碼頭之下坡道伸入河中者,亦常於下坡道下建小涵洞,以備枯水時期洩水之用。

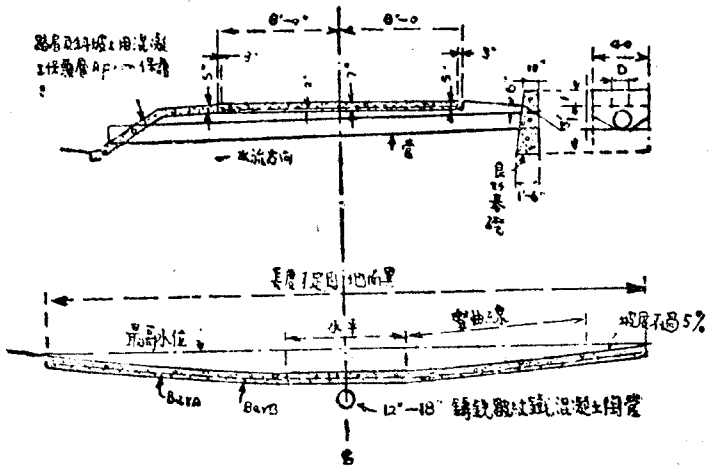
d. 以構造原理分類:

- (1) 管涵洞 (pipe culverts);
- (2) 梁涵洞 (beam culverts);
- (3) 拱涵洞 (arch culverts);
- (4) 框形涵洞 (rigid frame culverts).

以下各篇之敘述，因設計之便利，故依構造學之分類。

1.3 涵洞之用途 涵洞之用途最普通者有二：

a. 雨雪之水降於地面後可分為三部：一則蒸發而上升；一則滲透而入地；一則為大部之水流卸於地面，集於地之低處而成水坑。此



	混凝土			鋼筋 30#			
	比例	CuYd per lin. ft.	Total CuYd	Bols	根	長	直徑
側面	1:2:3	0.296	11.8	A	13	39'-9"	2x8
底面	1:2:3	0.144	6.0	B	33	18'-6"	2x6
頂面	1:2:3	0.173	0.7				43#
口沙管	28 Linear Feet						

註：表中所列之
長度為40呎

U.S. OFFICE OF PUBLIC ROADS
TYPICAL CONCRETE DIP

1.1 圖 攔路涵洞

水坑常與路堤交叉，故建築公路鐵道之時不得不於路堤下建設水道，使水得以自由宣洩，以免流水侵入路堤，損及路身安全。

b. 涵洞同時亦用於小溪流上以代橋梁之用，故涵洞之名稱得應用於水坑或小溪流之通過路堤而其跨徑在三公尺以下者。由此點觀之，涵洞之功用與橋梁無異。僅跨徑小者曰涵洞，大者曰橋梁。而二者之間，實無一定之界限。

他如給水、灌溉、水力發電等各工程之送水、配水，河道工程經過堤上之涵洞，海港船塢吸水、放水之涵洞，亦皆為涵洞之功用也。

1.4 涵洞之大小 涵洞之用途，既如前節所述。而涵洞之計畫，必須注意水流之方向，與乎水流之總量。欲求水流之總量，必須作實地精密之考察，以為設計之根據。方向在普通情形，固須與水流一致，與路堤直交者，可減短渠長不少，然若與水流斜交，易起衝刷，故可能時即更改前後水路以使過堤處成為直交者亦有之。有經驗之工程師，固當與地質經濟綜合比較而判斷之，不可一概而論也。方向流量既知之後，乃定涵洞之大小。如涵洞過大，則建築費之耗費非鮮；如涵洞太小，則生下列各弊：

1. 沖洗路堤；
2. 衝毀涵洞；
3. 阻礙交通；
4. 修理之費用甚大。

故涵洞建築之先，必先確定水道面積之大小。欲確定面積之大小，下列各點須加以注意焉：

- a. 雨量 暴風雨最烈時候，其間所求得之雨量，即為最之雨量。

此須由每年測定之紀錄，以爲設計之標準。

b. 流域之面積 流域面積大者，則所排之水多；如流域面積小，則所排之水少。普通流域之面積多於預測時包括於預測圖以內。如流域面積過大時，非預測所能包括者，則須設法求其近似值，或特別測之，以求準確之統計。

c. 流域之地勢 如流域長而狹，坡度甚緩，則水由遠處流至涵洞，需時甚長，其流量必較一律。若流域之遠處坡度甚陡，水流甚急，結果各部洪流一擁而至，如是則水道面積必增大。

d. 土質與地面狀況 凡地質粗鬆而草木繁生者，水之滲透既易，含蓄亦多。故雖大雨驟至，亦不至氾濫。如巖石顯露不毛之地，下降雨水，無從吸收，更無可含蓄。霖雨一降，奔流而下，立成洪流，所需水道必大。

1.5 確定水道面積之方法 確定水道面積之方法有三，茲分述如下：

a. 用經驗公式法 經驗公式，近來學者所提出者甚多，但以此種公式均就大概之值而言。因無論何種公式，如果非有確切之統計以爲根據，其結果必難圓滿。故用各種公式設計同一問題，其結果常相差天壤，其原因不外兩點：

(1) 因其所估計之條件，難免有錯誤之處；

(2) 因推定公式，往往有適宜於甲地而不適宜於乙地。

例如，公式之推定於天氣乾燥之地與潮溼多雨之地，所得結果一定不同。故適用於潮溼地帶之公式，必不適用於天氣乾燥之地。乃爲必然之事。

但無論如何，此經驗之公式，乃集合多數工程師之經驗而得者，當未可抹殺之。梅爾及得爾鮑特二氏公式為用至遍。我國公路鐵道上亦常用之。

梅爾公式(Myer's Formula)為 1887 年提出，其式如下：

$$A = c\sqrt{a} \quad (1.1)$$

A 為水道面積(英制以平方呎為單位，公制以平方公尺為單位)；

a 為流域面積(英制以畝為單位，公制以公頃為單位)；

c 為係數，其值因地勢而異，大略如下表：

1.1 表 梅爾公式 c 值表

地 勢 情 形	英制 c 值	公制 c 值	附 註
微有起伏之大平原	1	0.15	
丘陵之地	1.5	0.22	
山嶽崎嶇不平之地	4	0.58	

於流域不大之區，此公式結果似乎太大，例如按此公式 $c=1$ ，則一方呎之涵洞僅宜洩由一畝之水；實際上水道面積之增加，似又比流域面積之方根較速，所以此公式用於小流域嫌過大，用於大流域嫌過小。

得爾鮑特公式(Talbot's Formula)發表於公元 1888 年，其式為：

$$A = c^4\sqrt{a^3} \quad (1.2)$$

A 為水道面積(英制以平方呎為單位，公制以平方公尺為單位)

a 為流域面積(英制以畝為單位，公制以公頃為單位)

c 為係數;其值大略如下表:

1.2 表 得爾鮑特公式 c 值表

地 勢 情 形	英制 c 值	公制 c 值	附 註
峻峭巖石之地	$\frac{2}{3} - 1$	0.12 - 0.18	
在有起伏之孳殖地受雪溶解之洪流而其谷長三四倍於其寬者	$\frac{1}{3}$	0.06	如溪流愈長則 C 之值更可減少
與積雪無關之地而其谷長為寬之數倍	$\frac{1}{5} - \frac{1}{6}$	0.030 - 0.035	

此公式之最大缺點,在 c 之值甚難確定,且變更甚大。例如流域一百畝則水道面積應為 $c \times 31.8$,此 c 之值因地形而變更,乃自 5 以至 32 平方呎。此估計之值完全因係數而定,局部雨量之變化弗顧也。

但此公式 A 與 a 成 $\frac{3}{4}$ 方根之比例增加,似較梅爾式為準確。提倡此公式者,嘗根據試驗涵洞及都市中小橋梁與微有起伏之鄉村道路涵洞,以求得其十五年至二十年間之紀錄,結果大致不差,且知以此公式所求之各水道,平均每四年或五年將遇較大之洪流一次。在日本內務省直轄之百餘河流之考察,與此公式之結果亦近。如 1.2 圖所示,上游急流部 c 之值約等於公制 0.06,下游緩部 c 約與 0.03—0.036 相一致,故此公式可謂經驗公式中之較適用者。1.3 表乃按此公式計算之結果。

b. 用直接觀察法 欲求涵洞水道之面積大小適當,必須由直接觀察以得其有價值之紀錄,以補經驗公式之不足。其方法有四:

(1) 觀察同一溪流其他橋涵面積之大小。

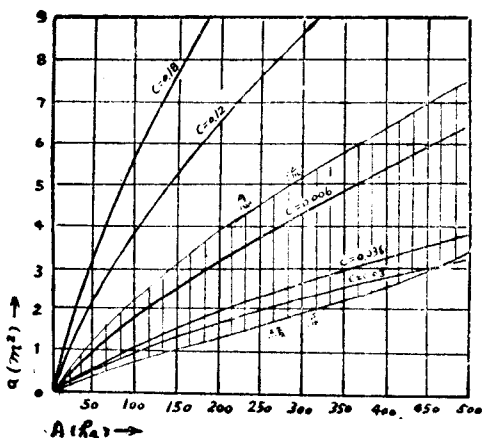


圖 4 公制確定涵洞水道圖表

1.3 表 得爾鮑特公式計算表

面積 (廠)	水道面積			面積 (廠)	水道面積			面積 (方哩)	水道面積		
	$c=1$	$c=1/3$	$c=1/5$		$c=1$	$c=1/3$	$c=1/5$		$c=1$	$c=1/3$	$c=1/5$
1	1.0	0.3	0.2	30	12.8	4.3	2.6	1/2	75	25	15
2	1.7	0.6	0.3	40	16.9	5.3	3.2	3/4	103	34	21
3	2.3	0.8	0.5	60	21.6	7.2	4.3	1	127	42	25
4	2.8	0.9	0.6	80	26.8	8.9	5.4	2	214	71	43
5	3.3	1.1	0.7	100	31.6	10.5	6.3	3	290	97	58
10	5.6	1.9	1.1	120	35.0	12.0	7.0	4	353	119	71
15	7.6	2.5	1.5	160	45.0	15.0	9.0	6	488	163	98
20	9.5	3.2	1.9	24	61.0	21.0	12.0	10	715	238	143

(2) 選擇高水位時，於溪流之狹處測其橫斷面。

(3) 考據以前洪水時代海物遺跡以定最高水位之所在。

(4) 如有人烟之地，詢之當地老年人民，當可知其多年高水位之紀錄。此法普通最常用之。

c. 根據雨量計量法 此法為根據實測之結果並乘以各種係數而得流卸之流量。而後按涵洞之形狀、材料、坡度等而定其需要面積。此在普通工程書籍均詳載之，且在我國稍為邊僻之地，雨量紀錄即不易得，故不多贅。

1.6 涵洞計量之影響 涵洞宣洩效力之大小，常視計量之精密與否為定，應注意者有下列各點：

a. 涵洞上下二端之裝置適當與否；

b. 涵洞本身之性質與裝置。其關係如下：

(1) 涵洞長者水之宣洩不易，涵洞短者易於排水。

(2) 涵洞之坡度急則宣洩易，坡度緩則難。但坡度急者，如下端不易暢達，亦屬無用，或衝刷過甚，危及洞身。

(3) 涵洞斷面之形式，以水力半徑(Hydraulic Radius)大者易於宣洩。

(4) 涵洞接水面粗糙之關係，粗則摩擦力大，滑則摩擦力小易於宣洩，此數點可依卻隨公式(Chezy's Formula)計算之。(根據雨量計算法，計算而得之 Q ，可用此公式求 A)

$$Q = Av \quad (1.3a)$$

$$v = C \sqrt{R_s} \quad (1.3b)$$

Q 為流卸量；

A 爲溼斷面;

v 爲流速;

R 爲水力半徑 = $\frac{\text{溼斷面}}{\text{溼周}}$;

S 爲坡度;

C 爲係數, 依接水面之粗滑而定。

c. 除路堤爲水密性者外, 絕不容水在涵洞上端積聚, 升高水頭, 使涵洞受水壓力。

1.7 各種涵洞所用之範圍 以水道面積言, 水道面積小者, 當用管涵。水道在十二方呎左右者, 可用無筋及有筋混凝土拱涵洞、框涵洞、梁涵洞、鋼筋混凝土管涵洞。其在十二方呎以上者, 則用各種梁涵洞拱涵洞。近來框形涵洞, 在鐵道上用之尤多。以跨徑言, 則二三呎以下者多用管涵洞。二三呎至四五呎荷重大者用鋼筋混凝土管爲最宜。六呎以上則用梁、拱、框各涵洞。交通部公路總管理處各種涵洞應用之範圍規定如下:

甲. 管式

瓦管	10 公分至 30 公分
混凝土管	15 公分至 45 公分
鋼筋混凝土管	45 公分至 120 公分
皺紋鐵管	60 公分至 300 公分

乙. 箱式 (包括梁涵洞及框形涵洞)

磚石牆石蓋板	30 公分至 100 公分
磚石牆鋼筋混凝土蓋板	100 公分至 300 公分

鋼筋混凝土箱式	100 公分至 300 公分
丙. 拱式	
磚拱或石拱	100 公分至 300 公分
混凝土拱	100 公分至 300 公分
皺紋鐵拱	100 公分至 300 公分

1.8 涵洞之坡度

a. 縱坡度 涵洞必須有坡度，以利洩水，前已述之，而材料粗糙者為尤甚。然各種材料，應有適當之流速限制，以免衝刷，故縱坡度不可過大，亦不可過小。在普通情形，

1.4 表 溪流最大流速表

涵洞常須有百分之一至百分之三之坡度，但須視實地地勢地質情形而決定之（1.4 表示流速與底部地質之關係）。因涵洞之有坡度，故涵洞與翼牆之相交處在入口與出口兩端稍有不同。建築涵洞及計算體積之時，必須求其長度。1.3 圖示一涵洞之斷面，自路堤中線至底面與翼牆相交處之長度 Y

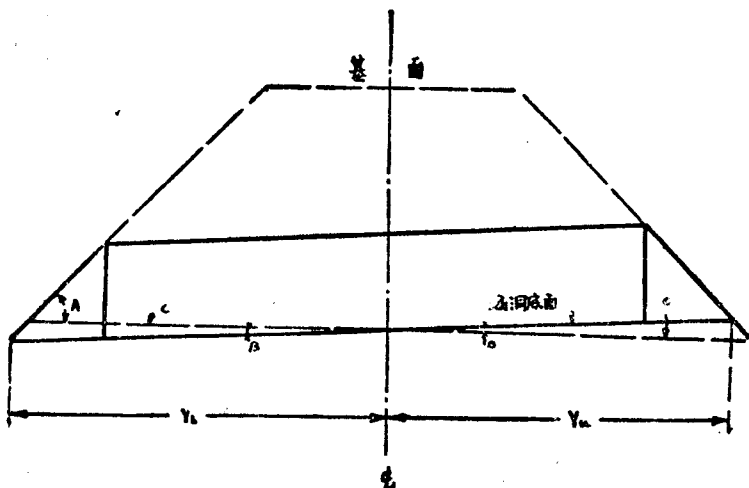
底部狀態	呎/秒	公尺/秒
飽和水分土壤	0.4	0.13
黏土	0.6	0.2
砂粒	1.2	0.4
砂石	2.4	0.8
石塊	4.0	1.3
鬆巖石	6.0	2.0
堅巖石	12.0	4.0

$$\text{在入口處} \quad Y_u = \frac{c \tan A}{\tan A + \tan \beta} \quad (1.4)$$

$$\text{在出口處} \quad Y_L = \frac{c \tan A}{\tan A - \tan \beta} \quad (1.5)$$

b. 橫坡度 涵洞因排水之關係，不使水滲於洞頂，縱坡度之外必須有橫坡度。管涵洞、拱涵洞天然已有坡度，固勿論矣。梁涵洞、框

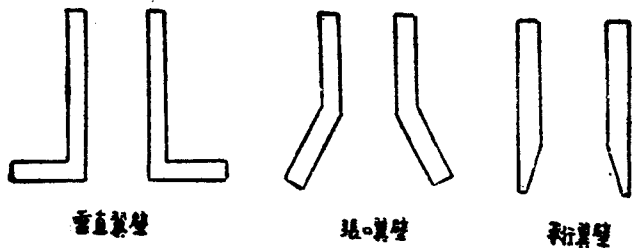
形涵洞之頂板，往往必須有 $1/20$ 至 $1/40$ 之傾斜，使排水便利，有時表面且敷以防水層。



1.3 圖 涵洞之縱向坡度與長度

1.9 端壁或翼壁之設置 端壁或翼壁之設置，目的為保護路堤，使流水易於通過涵洞。翼壁共分三種：

a. 平行翼壁 翼壁與涵洞之縱向成直線，惟稍向外張開，減薄洞壁以便流水。



1.4 圖 涵洞翼壁種類

b. 張口翼壁 翼部與涵洞成若干角度而張開，普通多為 30° 及 45° 。

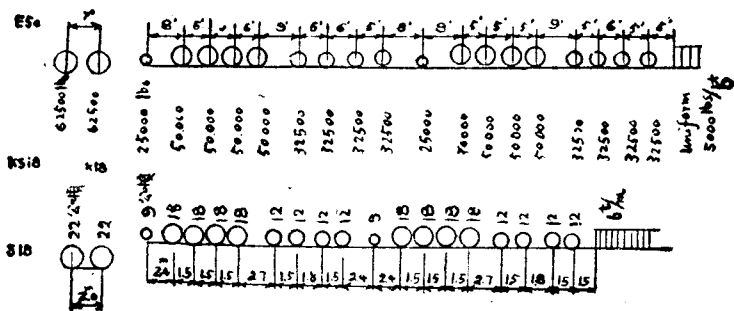
c. 垂直翼壁 翼部與涵洞之縱向成垂直。

如浮游物甚多之時，則翼部直向外伸，且成階級狀，以便截留雜物，以免淤塞水道。如涵洞流速大者，其底部固需有石砌或混凝土之鋪砌，即翼壁附近之出口處亦需有此等設施。

1.10 載重標準

a. 活重 火車標準用古柏氏(Cooper)載重標準，有英制公制兩種，我國前用英制，近數年來始改公制，幹路所用者為「中華二十」，支路所用者為「中華十六」。如 1.5 圖中 $E50$ 為英制 K_18 為公制之二例。各種不同之載重茲列成 1.5 表於下，其各種輪間之重量比例皆相同，其距離則不變。

汽車之載重我國標準，見附錄一公路總管理處橋梁涵洞工程設計暫行準則第十條之規定。



1.5 圖 古柏氏載重

1.5 表 古柏氏載重

荷重種類	導 輪	機 車	煤水車	卡 車	短橋載重
E50	25,000磅	50,000磅	32,500磅	5,000 磅/呎	62,500磅
E45	22,500	45,000	29,250	4,500	56,250
E30	15,000	30,000	19,500	3,000	37,500
K ₂₀ (中華二十)	10,000 公斤	20,000 公斤	13,200 公斤	6,700 公斤/公尺	24,400 公斤
K ₁₈	9,000	18,000	12,000	6,000	22,000
K ₁₆	8,000	16,000	10,600	5,300	19,500
K ₁₅	7,500	15,000	10,000	5,000	18,300
K ₁₂	6,000	12,000	8,000	4,000	14,500
K ₁₀	5,000	10,000	6,600	3,300	12,200

b. 死重 各種材料之單位重量如表 1.6:

c. 衝擊載重

1. 鐵道活重之衝擊力

普通多用 100%

斯尼德氏 (Schneider) 公式
$$I = \frac{300}{300 + L}$$

(L 為載重長度, 以呎計) (1.6)

日本鐵道官房研究所公式(在土中者)

$$I = \frac{0.75}{1 + h}$$

(h 為枕木下深度, 以公尺計) (1.6a)

公制

1.6 表 各種材料單位重量

材料	英制(磅/呎 ³)	公制(公斤/公尺 ³)
泥土	100	1,600
混凝土	140	2,250
鋼筋混凝土	150	2,400
鋼鐵	480	7,850
鑄鐵	450	7,200
玻璃化磚	140	2,250
普通磚	125	2,000
花崗巖石灰巖汚工	165	2,600
沙巖	140	2,250
沙築	105	1,700
沙	105	1,700
碎石	105	1,700
松縱等	42	670
櫟及黃松等	48	770
阿幾蘇油處理之木材	60	960
煤屑	60	960
柏油路面	150	2,400
大方塊石路面	160	2,600
碎石路面	150	2,400
混凝土路面	150	2,400
鐵道零件(單位長)	400 磅/呎	660 公斤/公尺

$$\text{無道碴者} \quad I = \frac{45}{L+45} \quad (L \text{ 以公尺計}) \quad (1.6b)$$

$$\text{有道碴者} \quad I = \frac{45}{L+45} \times \frac{1}{2} \quad (1.6c)$$

$$\text{在土中者} \quad I = \frac{45}{L+45} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{1+h} \quad (h \text{ 以公尺計}) \quad (1.6d)$$

2. 道路活重之衝擊力

普通採 30% 且最大不過 30%

$$\text{英制} \quad I = \frac{100}{300+L} \quad (L \text{ 以呎計}) \quad (1.7)$$

$$\text{公制} \quad I = \frac{20}{60+L} \quad (L \text{ 以公尺計}) \quad (1.7a)$$

我國公路總管理處規定

甲. 木橋 衝擊力按活重百分之二十計算。

乙. 磚石混凝土及鋼鐵橋 設 I 為衝擊力係數 L 為載重長度 (公尺)

$$\text{則} \quad I = \frac{15}{L+38} \quad (1.7b)$$

d. 等量均布載重 常因設計之便利, 將活重集中載重化為等量之均布載重, 此在涵洞之設計尤多見之。

第二章 基 礎

2.1 基礎之重要 基礎爲一構造物之重要部分，如基礎不良，則構造物無論如何堅固，其效力皆將等於零；如梁涵洞之基礎不良，則橋臺崩陷，梁亦隨之破壞。拱涵洞、框形涵洞、管涵洞因下沈而龜裂，以至破壞，不特影響構造物之壽命，且妨礙交通之安全。計算涵洞之應力，涵洞之設計，亦因基礎情形而大異。管涵洞之裝固基礎與自由基礎所生應力固已不同，而管涵洞之置於堅固巖石上，四圍爲甚鬆之泥土者，基礎雖堅，而管反因而受集中反力，易於破壞。管涵洞之置於粗鬆基礎者，任意下沈，受力不均，則涵洞之破壞尤速。詳細之討論於第四章管涵洞述之。

2.2 基礎之查驗 涵洞之基礎每不能一一作重力或打樁之試驗。多視泥土之種類，加以經驗上之判斷，以定載重之能力。施工時擇其重要者再作實地之試驗，察其結果，是否與假定者相符。如二者相差過巨，自應加寬基礎或加打樁木；如相差極微，則毋需變更。蓋泥土之載重能力，極難得一確數，雖實際試驗之結果，亦僅近似值而已。惟泥土之性質與載重能力，不特因地而異，即一地有相隔數丈數尺而大不同者，或基礎中含有獨一之巨石，而其左右則極粗鬆者。探擦基礎者不可不慎也，普通基礎查驗法有四：

a. 鑿孔法 (poving) 用小鐵管以人力或木槌插入土中，以帶出泥土，而定其載重能力。

b. 鑽鑿法 (boring) 此法所用器械比較複雜，普通地土較硬，鑽鑿較深者用之。亦以挖出之泥土而定載重能力。

c. 試驗坑 (test pit) 普通涵洞基礎均不甚深，且掘試驗坑可得較大面積，此種方法雖以泥土性質定載重能力，但以其所掘面積較大，可得準確之結果。此雖掘土過多，似乎不甚經濟，但在我國人工甚廉，可無問題，且所用器械極為簡單。

d. 打樁或重力試驗 以打樁或重力實驗其結果，並用公式推算其載重能力。結果亦準確，惟較麻煩耳。

2.3 泥土安全載重力 泥土單位面積之安全承載力可參閱下列二表：

2.1 表 泥土安全承載力(公制)

地 土 種 類	安全載重能力(公噸/公尺 ²)
厚層青石及花崗巖	2000
厚層沙石	250
軟石	80
厚層硬土	60
鬆土	10
粗砂硬土	40
細砂土	10
流砂土	5
結實卵石與粗砂	100
結實粗砂	40
鬆砂	20

註：本表根據粵漢鐵路參照段標準

2.2 表 泥土安全承载力(英制)

地 土 種 類	安全承载力(噸/呎 ²)
堅硬石層	200 以上
等於石坊工之石	25—30
等於磚坊工之石	15—20
等於劣磚坊工之石	5—10
乾厚層泥土	4—6
半乾厚層泥土	2—4
軟泥土	1—2
結實卵石與粗沙	8—10
結實之沙	4—6
乾淨之細沙	2—4
流砂中積土等	0.5—1

2.4 基礎加強法

基礎不良者有上述各弊，則非將基礎加工以求安全不可，其方法甚多；分列如下：

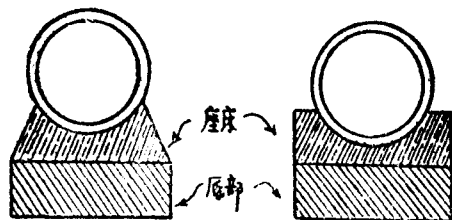
- a. 擴大基腳本身；
- b. 石及混凝土基礎；
- c. 廢鋼基礎；
- d. 打樁基礎；
- e. 洗床基礎；
- f. 鑄鐵管中心加高；
- g. 改換河流。

h. 涵洞縱方向補強法。

2.5 擴大基腳本身法 即將構造物之基腳部分擴大之，使全涵洞所受之力分布較大。此法多施於承载力較弱之基礎。如梁涵洞、拱涵洞之橋台基腳擴大，框形箱涵洞之底板加寬等屬之。在建築施工上言非常簡易，在建築經濟上言亦極節省。

2.6 石及混凝土基礎 普通基礎鬆軟者，除基腳本身擴大外，復適應原有地質之情形，加以加強。例如普通基礎原為粗鬆卵石者，可加沙打實。或地質鬆軟者，在基礎另加碎石及沙打實，或加砌乾砌或灰砌碎石或 1:3:6 以下之混凝土一層。管形涵洞常以碎石或混凝土造成半圓或缺圓槽以承之。如 2.1 圖。上部為座床 (cradle)，下部為底部 (base)。

座床之功用有二，一為固定涵洞之位置，一為增加涵洞之強度，此部分於管



2.1 圖 管之基礎

涵洞章詳述之。底部之功用，則可防縱撓曲力矩之發生。

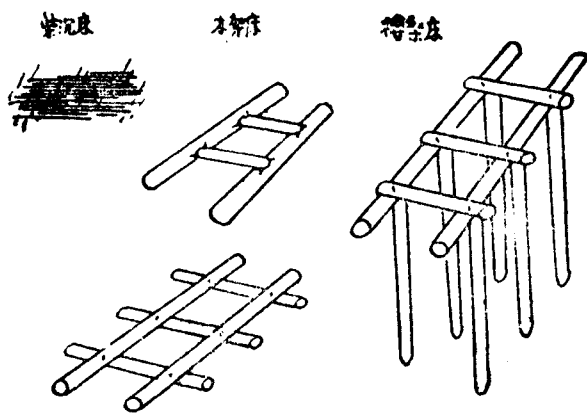
2.7 廢鋼基礎 在整個地質薄弱之地，以鐵軌或其他壓延鋼鋪成基礎層，在鐵道上常用之。因抽換之鐵軌，已失其價值，正宜廢物利用也。或與混凝土結成廢鋼混凝土則結果尤佳。在梁涵洞上可用以擴大基礎，管涵洞等可用以抵抗縱力矩。

2.8 打樁基礎 打樁基礎為最普遍之加強基礎辦法。以中外過去實例觀之，亦採用最多。其優點在：(1) 不易為水所衝毀；(2) 載重能力較為可靠；(3) 不僅基樁本身可以載重，且粗鬆泥土經打

樁擠實後，其載重力亦見增加；(4)基礎之面積體積均可因而減小，節省費用。惟打樁之時，監工者非有豐富之經驗，極易造成太淺或太深之弊。太淺未近巖層或摩擦樁未達規定，承载力不足。太深者有時將樁斷折於土中而不知，則有樁等於無樁，不可不加以注意焉。

打樁方法或用機械或用人力，但小規模之涵洞以用人力為多。基樁 布置普通多縱橫用同一之間隔，此在橋臺之下當多如是。但框形箱涵洞在邊牆之下有時特密。箱涵洞、管涵洞縱方向言，則中心有時特密，因其載重大也。橋臺用打樁基礎時多採 U 形。

2.9 沈床基礎 在將基軟弱之地，荷重不甚大，而打樁不可能時，得用 2.2 圖之各種沈床支承管涵洞。但此為暫時式及不得已之情形下用之。載重較大者則不可用之。



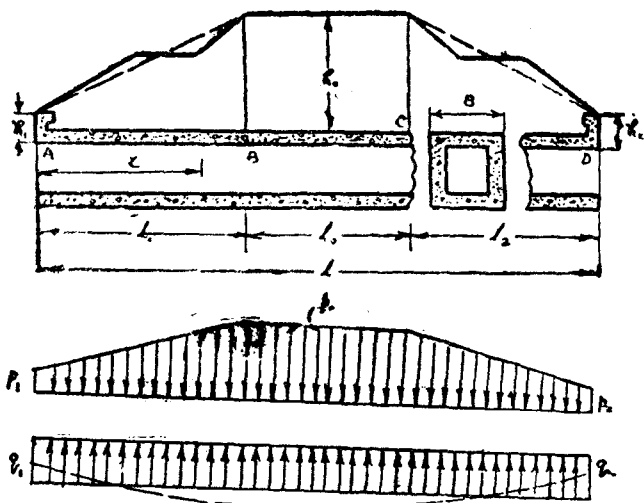
2.2 圖 沈床基礎

2.10 改換河流位置 因地土之性質隔數尺或數丈而大異者有之，如在河之兩岸地質不良，不能安置涵洞，而離此不遠之地地質

優良，在此情形可改變小河流位置。此於改變河道之經費，廉於加強基礎，或加強基礎非常困難者用之，以得到穩定可靠之基礎。

2.11 鑄鐵管中心加高 因鑄鐵不能受拉力，如受載重下沈，則管如梁之作用而生撓曲。故用鑄鐵管時，中心略為加高，則不至兩邊生兩支點，使管受拉而破壞。

2.12 鋼筋混凝土涵洞縱方向補強法 涵洞因地質不良，而逐漸下沈；若長度較長，適成一梁之作用，受縱向撓曲以至破壞。補救之法，一方面固需注意於地基本身之改良，另一方面則為鋼筋混凝土之縱方向補強法。路堤之斷面最複雜者如 2.3 圖之形狀，惟簡單可作梯形視之。



2.3 圖 涵洞基礎縱方向受力圖

設 g 爲涵洞單位長之本身載重，

w 爲土之單位重，

B 爲涵洞之寬，

$$p_1 = w\beta h_1 + g,$$

$$p_0 = w\beta h_0 + g,$$

$$p_2 = w\beta h_2 + g.$$

地盤反力照理論上實爲一高次拋物線，假定其最危險之情形爲 q_1 與 q_2 成一直線。

a. 地基反力 因荷重中心與反力中心一致，故

$$(q_1 + q_2)l = p l_1 + p_0(l + l_1) + p l_2,$$

$$(2q_1 + q_2)l^2 = p l_1(l_1 - l_1) + p_0[3l_0(l + l_2) + (l_1 + l) l_1 + 2l_2] + p l_2^2$$

設對稱時若 $p_1 = p_2, l_1 = l$ ，

$$q_1 = q_2 = \frac{p l_1}{l} + \frac{p_0(l_1 + l_0)}{l} \quad (2.1)$$

地基之單位反力可以 $q_1/B, q_2/B$ 表之

b. 撓曲力矩求法

AB 段， $0 \leq x \leq l_1$ ， 假設 x 長度爲懸梁，

$$M = -\frac{x^2}{2} (p_1 - q_1) - \frac{x^3}{6} \left[\frac{p_0 - p_1}{l_1} - \frac{q_2 - q_1}{l} \right] \quad (2.2)$$

在 A 點

$$M_A = 0$$

在 B 點

$$M_B = -\frac{l_1^2}{2} (p_1 - q_1) - \frac{l_1^3}{6} \left[\frac{p_0 - p_1}{l_1} - \frac{q_2 - q_1}{l} \right] \quad (2.2a)$$

BC 段, $l_1 \leq x \leq (l_1 + l_2)$,

$$M = -\frac{(p_0 - p_1)l_1^2}{6} + \frac{(p_0 - p_1)l_1x}{2} - \frac{(p_0 - q_1)x^2}{2} + \frac{(q_1 - q_2)x^3}{6l} \quad (2.3)$$

設 $p_1 = 0$, 且兩邊對稱, 則在堤之中點力矩為最大。茲證明如下:

$$q_1 = \frac{p_0(l - 2l_1) + p_0l_1}{l} = p_0 \frac{(l - l_1)}{l}$$

$$q_1 = q_2$$

$$M = C + \frac{p_0l_1x}{2} - \frac{(p_0 - q_1)x^2}{2}$$

$$\frac{dM}{dx} = -x(p_0 - q_1) + \frac{p_0l_1}{2}$$

$$= -x \frac{p_0l_1}{l} + \frac{p_0l_1}{2} = 0$$

$$x = \frac{l}{2}$$

代入 M ,

$$M = -\frac{p_0l_1^2}{6} + \frac{p_0l_1l}{4} - \frac{(p_0 - p_0 + p_0l_1)l}{8} = -\frac{p_0l_1}{24} (4l_1 - 2l) \quad (2.4)$$

$$p_0 = wH'B$$

H' 為當量高度

$$M = -\frac{wH'Bl_1}{24}(4l_1-3l) \quad (2.4a)$$

此為最常用之公式

設堤為不對稱時，則由 $\frac{dM}{dx}$ 求 M 之最大值如下式：

$$A = \frac{q_2 - q_1}{l}$$

$$B = -p_0 - q_1$$

$$G = (p_0 - q_1)^2 - \frac{l_1}{l}(q_2 - q_1)(p_0 - p_1)$$

$$H = -\frac{3l_1}{l}(q_2 - q_1)(p_0 - p_1)(p_0 - q_1) + 2(p_0 - q_1)^3 \\ + \frac{l_1^3}{l^3}(q_2 - q_1)^2(p_0 - p_1)$$

$$x_{max} = -\frac{B \pm \sqrt{G}}{A} \quad (2.5)$$

$$M_{max} = \frac{1}{6} \left[\frac{-H \mp 2G^{\frac{3}{2}}}{A^2} \right] \quad (2.6)$$

CD 段, $(l_1 + l_2) \leq x \leq l$,

$$M = -\frac{(l-x)^2}{2}(p_1 - q_2) - \frac{(l-x)^3}{6} \left[\frac{p_1 - p_2}{l_2} - \frac{q_1 - q_2}{l} \right] \quad (2.7)$$

$$\text{在 } C \text{ 點} \quad M_C = -\frac{l_2^2}{2}(p_1 - q_2) - \frac{l_2^3}{6} \left[\frac{p_1 - p_2}{l_2} - \frac{q_1 - q_2}{l} \right] \quad (2.7a)$$

$$\text{在 } D \text{ 點} \quad M_D = 0$$

c. 剪力求法

在 AB 之間 $0 \leq x \leq l_1$

$$S = -x \left[(p_1 - q_1) - \frac{x}{2} \left(\frac{p_0 - p_1}{l_1} - \frac{q_2 - q_1}{l} \right) \right] \quad (2.8)$$

在 A 點 $S_A = 0$

$$\text{在 } B \text{ 點 } S_B = -(p_1 - q_1)l_1 - \frac{l_1^2}{2} \left[\frac{p_0 - p_1}{l_1} - \frac{q_2 - q_1}{l} \right] \quad (2.8a)$$

在 BO 之間 $l_1 \leq x \leq l_1 + l$

$$S = \frac{(p_0 - p_1)l_1}{2} - (p_0 - q_1)x + \frac{(q_2 - q_1)x^2}{2l} \quad (2.9)$$

在 CD 之間 $(l_1 + l) \leq x \leq l$

$$S = (p_2 - q_2)(l - x) + \frac{(l - x)^2}{2} \left[\frac{p_0 - p_2}{l_2} - \frac{q_1 - q_2}{l} \right] \quad (2.10)$$

在 C 點

$$S_C = (p_2 - q_2)l + \frac{l_2^2}{2} \left[\frac{p_0 - p_2}{l_2} - \frac{q_1 - q_2}{l} \right] \quad (2.10a)$$

在 D 點 $S_D = 0$

此種應力之計算，可應用於中空之框形涵洞、混凝土底板之熔瓦管、混凝土管及其他管渠與混凝土拱渠基礎等。鋼筋之應力分配，以縱方向中部分配最多，兩端逐漸減少。

2.13 縱方向涵洞下沉與補強之實例考察 在日本最近數年來鐵道上所用之涵洞，常用此種補強法，茲舉日本數地地質較弱地點所建之涵洞實例考察之。計算沈下之標準為沈下率 k 以公斤/公分 / 公分計。可分三類討論之。

a. 無縱鋼筋之布置，同時涵洞亦不分段建築，結果必生龜裂，如 2.4 圖(c)之有明線石松涵渠，雖有 180 公分厚之砂土基礎，而沈下率亦並不大，但終不免於龜裂，如 2.4 圖(d) 福知山線之涵洞，雖涵洞縱長方向中心之截面甚大，結果亦生龜裂。

b. 無鋼筋補強而分段建築者，結果亦不佳，如 2.4 圖(a) 西紀勢線第二尾崎涵渠沈下至各段不相聯絡。如 2.4 圖(b) 三吳線第五小倉涵渠結果亦不佳。

c. 配置縱鋼筋者，如 2.4 圖(c) 三吳線之涵渠除渠底以 20 公厘之縱鋼筋加強外，更用 0.18 公尺 \times 6.4 公尺之樁以固基礎。該涵洞完成於昭和八年四月，經兩年之時間再測之，雖有 16.2 公分之下沈，但各部為均等的下沈，可算為得到成功之結果。如 2.4 圖(f)亦 三吳線之一涵洞，結果雖不及前者之完滿，但仍較無縱鋼筋補強者為愈也。

2.14 縱方向補強設計公式

(1) 活重之分布與衝擊率 設用 $Ks15$ ，用 日本鐵道官房研究所所制定之公式(參看 3.12)。

(2) 容許應力

鋼筋 1,200 公斤/公分²

混凝土壓力 50 公斤/公分²

混凝土剪力 4.5 公斤/公分²

鋼筋混凝土附着力 5.5 公斤/公分²

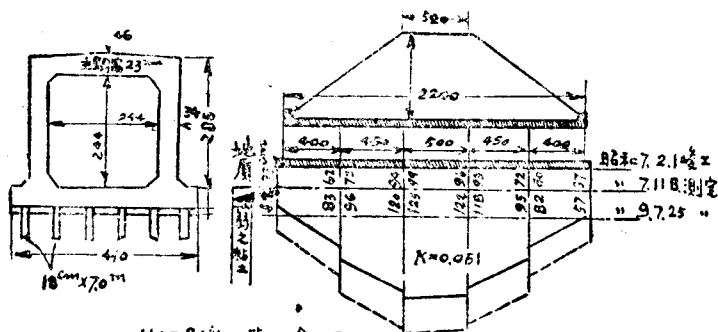
(3) 最大撓曲力矩公式 用 2.4a 式 (假設為對稱式以中點為最大)。

I 類縱筋之配置例

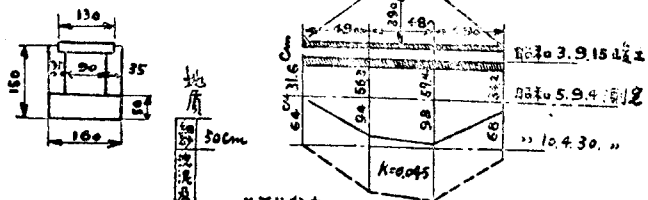
i 有分段之透流

K 沈下率 (kg/cm^2)

(a) 面地勢線等=尾崎涵渠

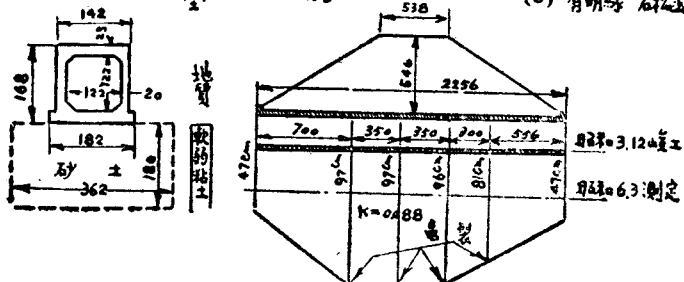


(b) 三吳線 第五小倉涵渠



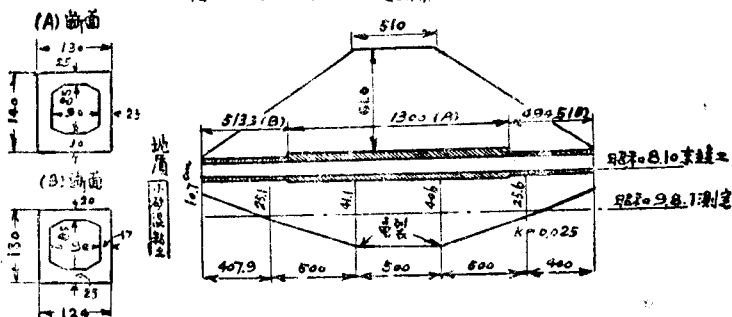
ii 不分段者

(c) 有明線 石和涵渠



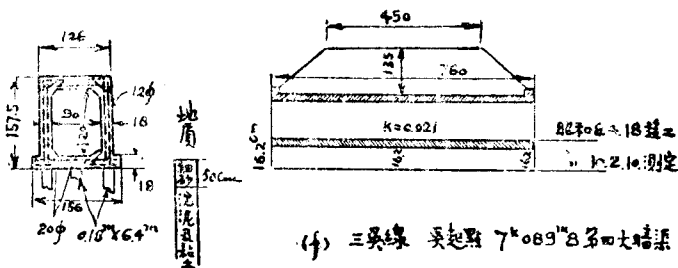
2.4 圖 a 日本涵洞下沉實例

(d) 福知山線 700mm 桁下基礎

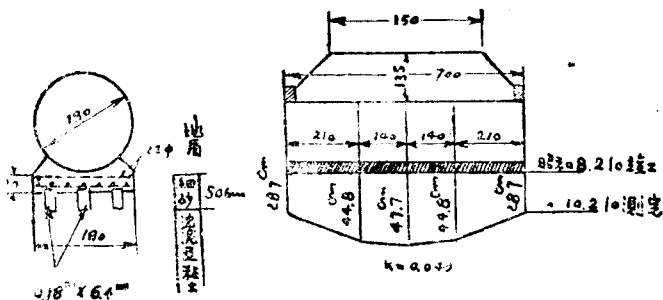


II 有縱鋼筋之配置例

(e) 三吳線 吳起點 7' 59" 4 涵渠



(f) 三吳線 吳起點 7' 08" 8 第四大橋梁



5. 圖 日 涵洞下沈實例

$$M = - \frac{wH'Bl_1}{24} (4l_1 - 3l)$$

H' = 土之當量高度,

M 最大撓曲力矩 (單位 2.4a 式多用公噸公尺, 在 2.11 式時則用斤公分),

B = 涵洞之最大寬度(公尺),

l_1 = 斜坡面之水平距離(公尺),

l = 涵洞之長度(公尺),

w = 土之單位體積重量(1.6 公噸/公尺³).

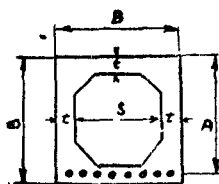
(4) 求縱方向鋼筋量

$$A_s = \frac{M}{f_{s_d} \left(D - \frac{t}{2} \right)} \quad (2.11)$$

D = 涵洞底板鋼筋中心至上板頂高(公分),

t = 涵洞頂板厚(公分),

A_s = 所需鋼筋之總斷面積(平方公分)。



S	B	t	D
1.0 ^m	1.3 ^m	15 ^{cm}	125
1.5	1.9	20	185
2.0	2.5	25	245
2.5	3.1	3.0	305
3.0	3.7	3.5	365

2.5 圖 本設計各圖表適用之涵洞

(5) 所求鋼筋根數公式

$$N = \frac{A_s}{a} \quad (2.12)$$

N 為根數

a 為每根之斷面積(公分²)。

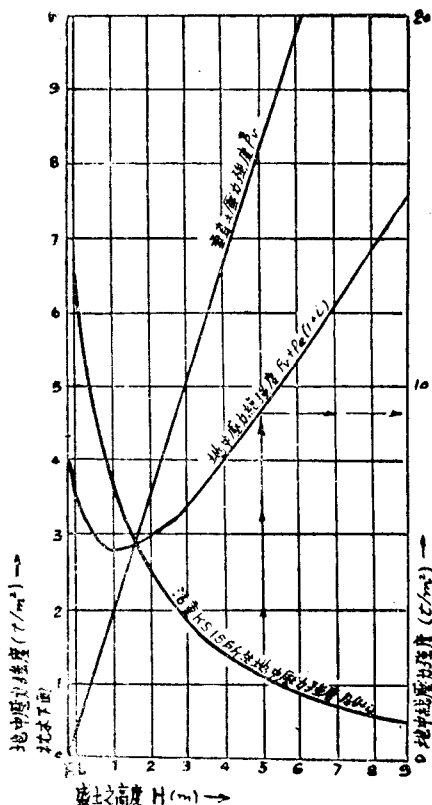
(6) 設計圖表 由以上公式製成圖表如下,其適用之範圍為 2.5 圖所列之標準涵洞。

甲. 地中壓力強度

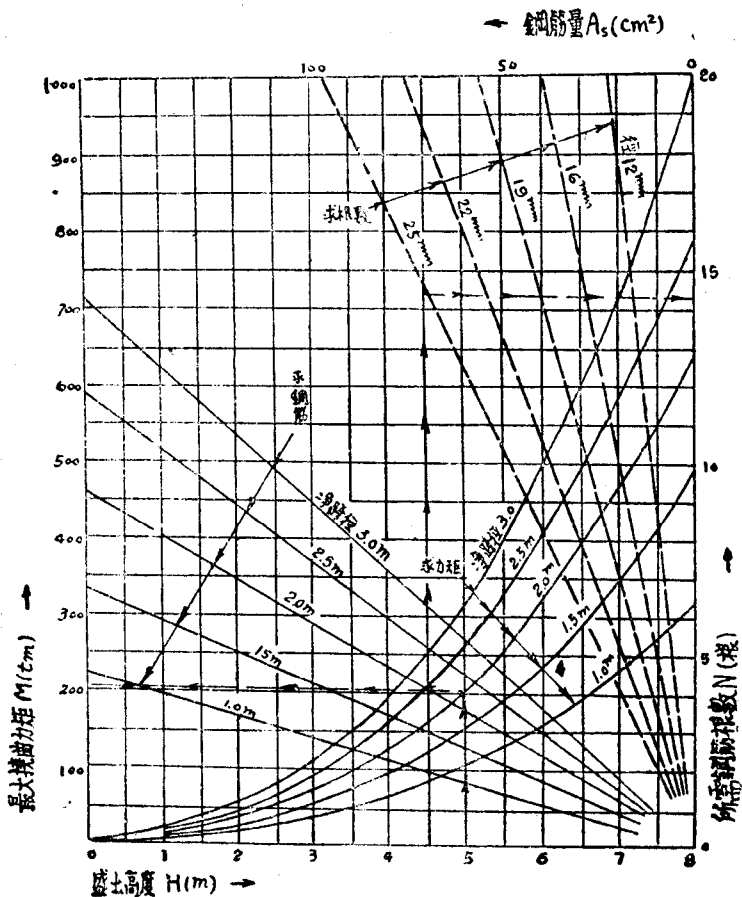
2.6 圖為地中總壓力強度表,橫座標為盛土高度 H ,直座標為地中壓力強度。

乙. 縱鋼筋補強設計

2.7 圖為縱鋼筋補強設計圖表, (1) 公式 (2.4a) 之圖線橫座標為盛土高度 H (公尺), 直座標為撓曲力矩 (公噸公尺)。(2) 公式 (2.11) 之圖線直座標為上述之 M 時, 求橫座標之 A_s 。(3) 公式 (2.12) 之圖



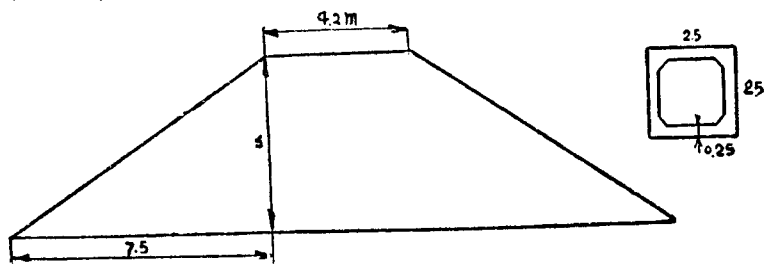
2.6 圖 地中壓力強度計算表



2.7 圖 縱鋼筋補強設計計算表

線，橫座標為上述之 A ，時求直座標之 N 。

2.15 設計例題 設有一上述標準之 2.00 公尺跨徑涵洞，其活重為 K_{15} ，死重為 5 公尺土深，施工基面寬 4.2 公尺，兩旁坡度為 1:1.5，求縱鋼筋之布置。



2.8圖 涵洞及路堤

a. 圖表解法 用公式 2.4a 圖線求 $H=5.0$ ，跨徑=2 公尺之最大力矩為 204 公噸公尺，用公式(2.11)圖線求 $M=204$ 公噸公尺時 $A_s=70$ 公分²，用公式(2.12)圖線求用 25 公厘直徑者需要 14.3 根，即 15 根。

b. 計算解法 由 2.6 圖得 5 公尺深地中壓力強度為 9.3 公噸/公尺³。

$$wH' = 9.3 \text{ 公噸/公尺}^3$$

$$B = 2.5 \text{ 公尺}$$

$$l_1 = 7.5 \text{ 公尺}$$

$$l = 19.2 \text{ 公尺}$$

用 2.4a 公式

$$M = \frac{-9.3 \times 2.5 \times 7.5}{24} (4 \times 7.5 - 3 \times 19.2)$$

$$= 200 \text{ 公噸公尺} = 20,000,000 \text{ 公斤公分}$$

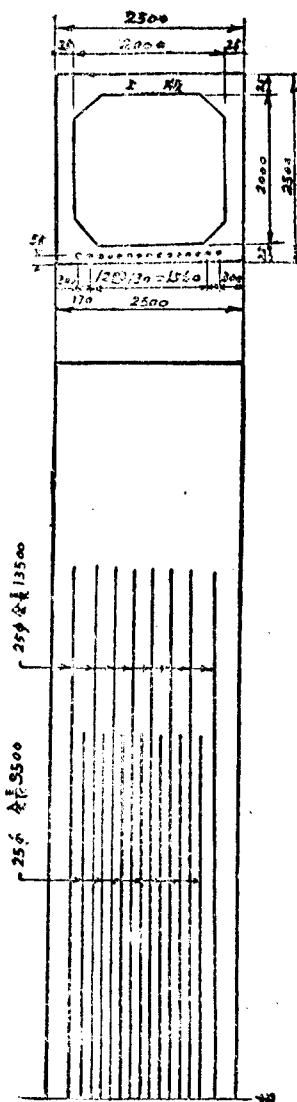
用 2.11 式

$$A_s = \frac{20,000,000}{1,200 \times (245 - 12.5)} = 71 \text{ 公分}^2$$

用 2.12 式

$$N = \frac{71}{4.909} = 14.5$$

此結果與圖解法求者相差無幾。可
用 15 根鋼筋，其配置如 2.9 圖。



2.9 圖 2 公尺涵洞縱鋼筋配置

第三章 土之壓力及活重之傳布

3.1 喬森公式 (Jaussen's formula)

$$p = \frac{1}{k \tan \psi'} \left(\frac{B}{2} w - f \right) \left(1 - \frac{1}{\frac{2k \tan \psi' \cdot d}{e} \cdot \frac{1}{B}} \right) \quad (3.1)$$

p = 垂直等均布載重 (公斤 / 公尺²)

$$k = \frac{1 - \sin \psi}{1 + \sin \psi}$$

d = 土之深度,

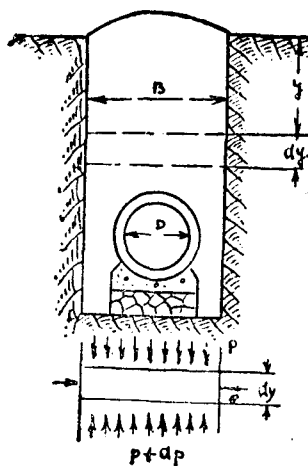
ψ = 土砂之靜止角,

ψ' = 填土與溝旁之摩擦角,

w = 土之單位重,

B = 管頂之溝寬,

f = 土砂粘着力 (公斤 / 公尺²)。



3.1 圖 溝受力圖

此式較近於理論，其證法如次：

因下向之力為 $pB + wBdy$

上向之力為 $(p + dp)B + Kp \tan \psi' \cdot 2dy + f \cdot 2dy$

$$\therefore pB + wBdy - (p + dp)B - k p \tan \psi' \cdot 2dy - f \cdot 2dy = 0$$

$$\therefore dy = \frac{1}{w - \frac{2k p \tan \psi'}{B} - \frac{2f}{B}}$$

$$\therefore -\frac{2k \tan \psi' y}{B} + c = \log \left(w - \frac{2k p \tan \psi'}{B} - \frac{2}{B} f \right)$$

決定 c 之值，設 $y=0, p=0$ 。則

$$c = \log \left(w - \frac{2}{B} f \right)$$

$$-\frac{2k \tan \psi' y}{B} = \log \frac{\left(w - \frac{2k p \tan \psi'}{B} - \frac{2}{B} f \right)}{\left(w - \frac{2}{B} f \right)}$$

$$\therefore \frac{w - \frac{2k p \tan \psi'}{B} - \frac{2}{B} f}{w - \frac{2}{B} f} = e^{-\frac{2k \tan \psi' y}{B}}$$

$$1 - \frac{2k p \tan \psi'}{B \left(w - \frac{2}{B} f \right)} = e^{-\frac{2k \tan \psi' y}{B}}$$

$$\therefore p = \frac{B \left(w - \frac{2}{B} f \right)}{2k \tan \psi'} \left(1 - e^{-\frac{2k \tan \psi' y}{B}} \right)$$

設土之深度為 d ，

$$p = \frac{1}{k \tan \psi'} \left(\frac{B}{2} w - f \right) \left(1 - \frac{1}{e^{-\frac{2k \tan \psi' d}{B}}} \right)$$

普通情形，

$$\psi = \psi' = 40^\circ, \quad f = 0, \quad w = 2,000 \text{ 公斤/公尺}^3.$$

$$k = \frac{1 - \sin\psi}{1 + \sin\psi} = \frac{1 - 0.6428}{1 + 0.6428} = 0.2174$$

$$k \tan\psi' = 0.2174 \times 0.8391 = 0.1824$$

$$p = \frac{1,000}{0.1824} \left(1 - \frac{1}{e^{0.1824 \times 2 \times \frac{d}{B}}} \right) B = 5480 \left(1 - \frac{1}{e^{0.365 \frac{d}{B}}} \right) B \quad (3.1a)$$

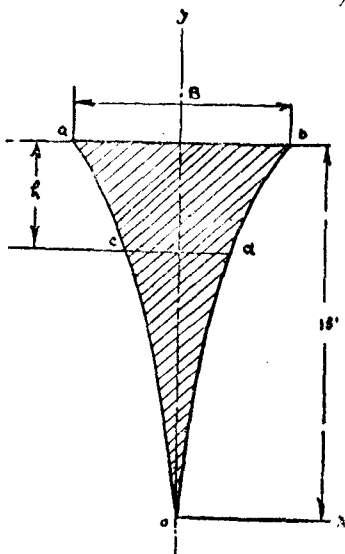
3.2 福綠林公式 福綠林 (Frühling) 假定土壤為潤溼者，土之壓力由地面至地下繼續增加，但不為直線之增加，其增加率可以 3.2 圖之兩個拋物線所包圍之面積表示之。例如，寬度 B ，高度 h 則其單位長度之土壓力等於 $abcd$ 所包含之面積。如此增加至十五呎之時則不再增加矣。今設以 O 為原點 Ox, Oy 為方形座標之軸。則

$$x = ay^2$$

今以 y 為 15 呎， B 為 $\frac{1}{2}x$ 代入

求得
$$a = \frac{B}{2 \times 15^2}$$

故
$$y = 15 - h$$



3.2 圖 福綠林氏土壓變更圖

$$x = \frac{B}{2 \times 15^2} (15-h)^2$$

$$cd = 2x = \frac{B(15-h)^2}{15^2}$$

$$\begin{aligned} abcd &= 2 \int x dy = 2 \int \frac{B}{2 \times 15^2} y^2 dy \\ &= \frac{B}{15^2} \int_{15-h}^{15} y^2 dy = \frac{B}{3} \left[15 - \frac{(15-h)^3}{15^2} \right] \end{aligned}$$

再乘以土之單位重 w

$$p_1 = w \times \frac{B}{3} \left[15 - \frac{(15-h)^3}{15^2} \right] \quad (3.2)$$

$B=1$ 呎時不同 h 之 p 之值如下(設 $w=120$ 磅/呎²):

h (呎)	1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10,	15, 及以上
p (磅/呎 ²)	11,	210,	298,	363,	422,	470,	509,	539,	62,	578,	600,

公制之福氏公式 假定壓力在五公尺以下不再增加。其公式如下:

$$p_1 = wB \left[\frac{5}{3} - \frac{(5-h)^3}{75} \right] \quad (3.3)$$

w 以公斤/公尺³ 計, B 以公尺計。

3.3 克齊公式 克齊公式 (Ketchum's Formula) 亦較近於理論, 其詳論見克氏所著之 "Design of wall Bins and Grain Elevators" 其式如下:

$$p = \frac{wb}{k(\mu + \mu')} \left(1 + \sqrt{\frac{2h}{b} \frac{\sqrt{1 + \mu\mu'}}{(\mu + \mu') + 1 - \mu\mu'}} \right) \quad (3.4)$$

若 $\mu = \mu'$

$$p = \frac{wb}{2k\mu} \left(1 - \sqrt{\frac{1 + \mu^2}{1 + \mu^2 + \frac{4h\mu}{b}}} \right) \quad (3.4a)$$

$$q = pk$$

k 為常數 (k 之值: 乾砂 0.2, 乾泥 0.3, 溼潤之泥 0.6)

q = 每平方呎之旁壓力,

p = 每平方呎之垂直壓力,

w = 土之單位體積重,

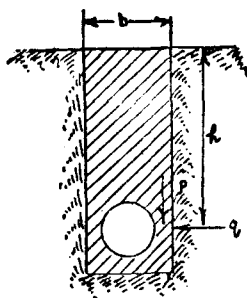
b = 墊土溝闊,

h = 溝土深度,

ψ = 泥土靜止角,

ψ' = 墊土與溝旁之摩擦角,

$\mu = \tan \psi, \quad \mu' = \tan \psi',$



3.3 溝受力圖

(用乾燥之沙: $\psi = \psi' = 45^\circ$ 乾燥之溝加乾燥之泥: $\psi = \psi' = 30^\circ$
 潤溼之泥: $\psi = \psi' = 15'$ 潤溼之泥: $\psi = \psi' = 15^\circ$.)

3.4 藍京公式 藍京公式 (Rankine's formula) 係假定土壤完全潤溼, 不生一切摩擦等作用。此在潤溼非常之土壤可以適合, 在普通則有過大之嫌。其式如下:

$$p = wh$$

3.5 馬師頓公式 馬師頓公式 (Marston's formula) 原引用於排水管及污水管, 然以之應用於涵洞上其理一也。其理論之大意謂

當管頂受最大荷重時，其重量一部為管所受，一部則為溝旁之摩擦力負擔之。除沙及卵石無黏性之土壤外，此部分之承载力頗大，可減少溝所受力之一部。普通土壤因水分充滿，可以減少此種摩擦力或粘着力，故溝中承受之最大載重，多發生於第一次水溢溝上之時，因土既因而沈實，此種承载力又因而減少也。或於溝中水分完全飽和而溝上載重甚大時，溝受最大之載重。或在其他特殊情形下，溝之承受最大載重發生於布設水管之數年後者亦有之。普通溝中管之最大載重安全值，可由下式決定之。

$$W = cwB^2 \quad (3.6)$$

W = 溝中管之載重，以磅/呎計，

c = 載重係數(其值可由 3.1 表檢知)，

w = 土之單位體積重量，以磅/呎³計，

B = 管頂之溝闊，

H = 管頂以上高度。

3.2 表示按 3.6 式計算各種泥土之 w 值，故可直接一望而知矣。

若一涵洞，非掘溝而後埋入，為墊堤之建築，或木架臨時木涵洞改為墊土之涵洞，則上表之值無法適用。但厄格(Agg)在其所著道路工程(Construction of Roads and Pavements)一書曾謂實用上可以下列之假定利用該表；凡深度至 20 呎止，可以管之外徑為 B ，於 3.2 表求出 w 之值再乘以 1.5。

3.1 表 3.6 式中係數 c 之值

H/B	浮表土及 乾溼沙	飽和表土	溼黃黏土	飽和 黃黏土
0.5	0.46	0.47	0.47	0.48
1.0	0.85	0.86	0.88	0.90
1.5	1.18	1.21	1.25	1.27
2.0	1.47	1.51	1.56	1.62
2.5	1.70	1.77	1.83	1.91
3.0	1.90	1.99	2.08	2.19
3.5	2.08	2.18	2.28	2.43
4.0	2.22	2.35	2.47	2.65
4.5	2.34	2.49	2.63	2.85
5.0	2.45	2.61	2.78	3.02
5.5	2.54	2.72	2.90	3.18
6.0	2.61	2.81	3.01	3.32
6.5	2.68	2.89	3.11	3.44
7.0	2.73	2.95	3.19	3.55
7.5	2.78	3.01	3.27	3.65
8.0	2.82	3.06	3.33	3.74
8.5	2.85	3.10	3.39	3.84
9.0	2.88	3.14	3.44	3.89
9.5	2.90	3.18	3.48	3.98
10.0	2.92	3.20	3.52	4.01
11.0	2.95	3.25	3.58	4.11
12.0	2.97	3.28	3.63	4.19
13.0	2.99	3.31	3.67	4.25
14.0	3.00	3.33	3.70	4.30
15.0	3.01	3.34	3.72	4.34
∞	3.03	3.38	3.79	4.50

3.2 表 普通各種泥土之最大載重表

管頂以 上高度 1	管頂之澆闊 (呎)					管頂之澆闊 (呎)					
	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
稍實之溼表土 90 磅/呎 ³						飽和之溼表土 110 磅/呎 ³					
(2呎) 130	310	490	670	830		170	380	600	820	1,020	
4 200	580	880	1,230	1,580		260	670	1,090	1,510	1,950	
6 230	690	1,190	1,700	2,230		310	870	1,500	2,140	2,780	
8 250	800	1,430	2,120	2,790		340	1,030	1,830	2,660	3,510	
10 260	980	1,640	2,450	3,290		350	1,150	2,100	3,120	4,150	
乾沙 160 磅/呎 ³						飽和溼沙 120 磅/呎 ³					
2呎 150	340	550	740	930		180	410	650	890	1,110	
4 220	590	970	1,360	1,750		270	710	1,170	1,640	2,100	
6 260	760	1,320	1,890	2,480		310	910	1,560	2,270	2,970	
8 280	890	1,590	2,350	3,100		340	1,070	1,910	2,820	3,720	
10 290	980	1,820	2,720	3,650		350	1,180	2,180	3,260	4,380	
12 300	1,040	2,000	3,050	4,150		360	1,250	2,400	3,650	4,980	
14 300	1,090	2,140	3,320	4,580		360	1,310	2,570	3,990	5,490	
16 300	1,130	2,260	3,550	4,950		360	1,350	2,710	4,260	5,940	
18 300	1,150	2,350	3,740	5,280		360	1,380	2,820	4,490	6,350	
20 300	1,170	2,420	3,920	5,650		360	1,400	2,910	4,700	6,660	
22 300	1,180	2,480	4,030	5,800		360	1,420	2,980	4,880	6,930	
24 300	1,190	2,540	4,180	6,030		350	1,430	3,050	5,010	7,230	
26 300	1,200	2,570	4,290	6,210		360	1,440	3,090	5,150	7,460	
28 300	1,200	2,600	4,370	6,390		360	1,440	3,120	5,240	7,670	
30 300	1,200	2,630	4,450	6,530		360	1,440	3,150	5,340	7,830	
∞ 300	1,210	2,730	4,850	7,580		360	1,450	3,270	5,820	9,090	
稍實之溼黃黏土 100 磅/呎 ³						飽和之溼黃黏土 130 磅/呎 ³					
2呎 160	350	550	750	930		210	470	720	1,000	1,240	
4 250	620	1,010	1,400	1,800		340	840	1,330	1,870	2,370	
6 300	830	1,400	1,990	2,580		430	1,140	1,900	2,630	3,410	
8 330	990	1,720	2,500	3,250		490	1,380	2,360	3,360	4,400	
10 350	1,110	2,000	2,920	3,880		520	1,570	2,760	3,980	5,270	
12 360	1,200	2,220	3,320	4,450		540	1,730	3,100	4,560	6,050	
14 370	1,280	2,410	3,650	4,950		560	1,850	3,410	5,050	6,760	
16 370	1,320	2,570	3,950	5,400		570	1,940	3,660	5,510	7,440	
18 380	1,380	2,710	4,210	5,810		570	2,020	3,880	5,930	8,060	
20 380	1,410	2,830	4,450	6,180		580	2,090	4,070	6,280	8,610	
22 380	1,430	2,920	4,640	6,500		580	2,140	4,240	6,610	9,130	
24 380	1,450	3,000	4,820	6,800		580	2,180	4,350	6,910	9,590	
26 380	1,470	3,060	4,980	7,080		580	2,210	4,500	7,160	10,010	
28 380	1,480	3,120	5,130	7,310		580	2,240	4,610	7,380	10,450	
30 380	1,490	3,170	5,230	7,530		580	2,260	4,700	7,590	10,480	
∞ 380	1,520	3,410	6,050	9,480		580	2,340	5,270	9,350	14,620	

由上表之計算，可知 B 之關係全在管頂部之溝闊，管頂以上之溝闊與載重無關，管徑之大小與載重亦無關，凡管頂闊相同，深度相同者，載重皆相等。如泥土堅實則載重可以減小，凡施工之時，必將泥土夯實。且於建築時每在管頂上數吋突將溝寬減小，既利施工，復無害於載重能力。上表管之載重大約隨深度而增加，但待深度為 B 之十倍時將不見其增加矣。

管之載重與泥土之比重成正比，茲將其重量列下：

3.3 表 管之載重與泥土比重表

填土狀況	單位體積重	旁壓力與 垂直壓力比	對於溝之 摩擦係數
稍實之溼表土	902磅/呎 ³ (1500公斤/公尺 ³)	0.33	0.50
飽和之溼表土	110 (1,800)	0.37	0.40
稍實之溼黃黏土	100 (1,600)	0.33	0.40
飽和之溼黃黏土	130 (2,100)	0.37	0.30
乾 砂	100 (1,600)	0.33	0.50
溼 砂	120 (2,000)	0.33	0.50

3.6 俾魯馬伊魯公式 (Breslau-Mueller's formula)

$$p = wh \left\{ \begin{array}{l} h \tan^2 \left(45 - \frac{\psi}{2} \right) \tan \psi \\ b + 2 \tan \left(45 - \frac{\psi}{2} \right) \end{array} \right\}$$

w = 土之單位重，

b = 拱、梁、管等寬，

ψ = 土之靜止角。

$$\text{水平土壓} \quad q = p \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\psi}{2} \right) \quad (3.8)$$

3.7 各種死重公式之比較 3.4 圖為藍京式、馬師頓式、福綠林式之比較。此圖表中之馬師頓式以 B 代 $D+2T$ ，實際上用管頂闊 B ，多大於 $D+2T$ 故此表較實際略小。按此表之結果，知用藍京式所算出者為最大，馬師頓式則因 B 而不同。 B 大者載重大， B 小者載重小，而福綠林式則與 B 無關。其曲線與馬師頓式之 $B=0.5$ 公尺者相似。

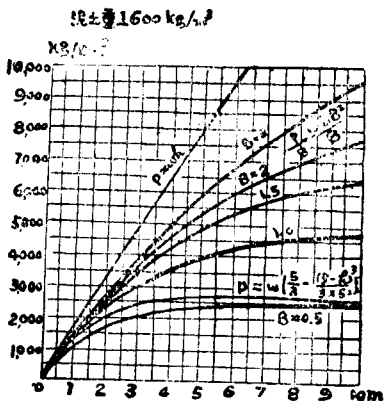


圖 三種公式比較

下列各表，係假定普通泥土重量 $w=2,000$ 公斤/公尺³ $\psi=40^\circ$ ，

$k = \frac{1 - \sin \psi}{1 + \sin \psi}$ ，計算各種公式所得之值以資比較。

3.4 表 喬森公式計算表

管徑 (公分)	溝幅 (公尺)	土載 1 公尺	2 公尺	3 公尺	5 公尺	8 公尺
30	0.76	1590	2570	3180	3790	4070
38	0.85	1630	2680	3370	4110	4510
45	0.94	1657	2782	3545	4412	4921
52	1.02	1681	2857	3679	4656	5270
60	1.12	1706	2939	3829	4925	5685
70	1.24	1731	3025	3986	5236	6150
80	1.33	1755	3097	4121	5506	6582
90	1.47	1772	3153	4231	5728	6950
100	1.58	1786	3203	4329	5920	7294
110	1.69	1799	3247	4418	6116	7616
120	1.80	1812	3288	4497	6286	7917
130	1.92	1818	3330	4574	6455	8223
140	2.04	1832	3360	4642	6609	8566
150	2.16	1839	3394	4706	6752	8775

3.5 表 克青公式計算表

管徑 (公分)	溝幅 (公尺)	土載 1 公尺	2 公尺	3 公尺	5 公尺	8 公尺
30	0.76	1660	2400	2680	2990	3240
38	0.85	1700	2540	2910	3280	3580
45	0.94	1710	2700	3120	3560	3900
52	1.02	1720	2805	3300	3800	4190
60	1.12	1710*	2930	3490	4090	4500
70	1.24	1665*	3100	3740	4400	4900
80	1.36	1600*	3150	3910	4700	5260
90	1.47	1510*	3290	4120	4970	5600
100	1.58	1390*	3350	4260	5230	5920
110	1.69	1500*	3400	4430	5450	6230
120	1.80	1085*	3430	4500	5680	6550
130	1.92	900*	3460	4570	5940	6850
140	2.04	600*	3470	4800	6200	7200
150	2.16	510*	3460	4900	6420	7600

有*者不能用

3.6 表 馬師頓公式計算表

管徑 (公分)	溝幅 (公尺)	土載 1 公尺	2 公尺	3 公尺	5 公尺	8 公尺
30	0.76	2840	4710	5870	7240	7900
38	0.85	2640	4450	5700	7060	7920
45	0.94	2580	4470	5840	7560	8820
52	1.03	2430	4310	5660	7440	8720
60	1.12	2240	4180	5590	7480	8470
70	1.24	2280	4130	5580	7620	9260
80	1.30	2200	4080	5550	7670	9560
90	1.47	2180	3960	5450	7620	9610
100	1.58	2090	3910	5490	7620	9740
110	1.69	2090	3840	5350	7650	9850
120	1.80	2100	3800	5290	7650	10000
130	1.92	2100	3800	5340	7740	10300
140	2.04	2060	3760	5330	7800	10400
150	2.16	2070	3800	5300	7820	10550

3.7 表 藍京公式計算表

h	1 公尺	2 公尺	3 公尺	5 公尺	8 公尺
p	2000	4000	6090	10000	16000

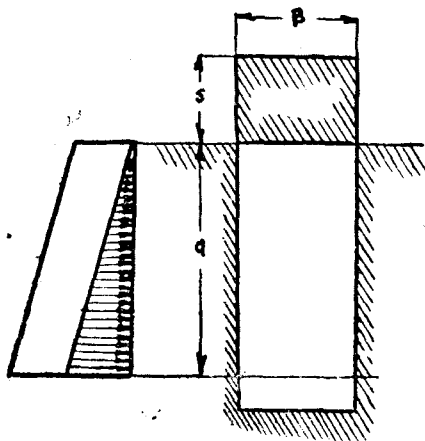
3.8 表 福綠林公式計算表

h	1 公尺	2 公尺	3 公尺	5 公尺	8 公尺
p	1620	2610	3120	3330	3330

由以上諸計算表之結果，各公式之值均相去不遠。如喬森式與克青式所計算出者，極為相似。馬師頓式因 $(D+2T)$ 與 B 相差過大，故所得數值有反大於藍京公式所計算者。如依厄格所著道路工程一書所述，則 B 之值最大者當不過 $1.5(D+2T)$ 。故比較言之，藍京公式當為各式中之最大者，克青、馬師頓、喬森、福綠林諸式之結果均相去不遠。但前三者因 B 之大小而異，更覺合理。福綠林式則與此三式 B 之較小者相若。喬森及克青兩式過於複雜；馬師頓公式，亦尚可用；但普通以福綠林式最為常用。至於俾魯馬伊魯式結果亦近。亦因 B 而異，公式尚簡單，日本採為鐵道上計算之標準公式。

3.8 喬森活重公式

$$\begin{aligned}
 p_2 &= Bws - kw \tan \psi' \times 2d \div B \\
 &= ws \left(1 - \frac{2k \tan \psi' \cdot d}{B} \right) \quad (3.9)
 \end{aligned}$$



3.8 圖 喬森活重公式圖

3.9 活重角度分布法 由實驗而知，集中載重傳達於泥土中，其分布之範圍較載重之範圍為廣。其分布範圍大約於泥土之一面積內為垂直方向靜止角所包圍，其壓力以在中心為最高，在四邊為最小。

普通假設活重之傳達方向為 $1:\frac{1}{2}$ (即垂直一水平 $\frac{1}{2}$) 或其他之比例傳達於一水平面，而為均布的載重。

3.10 馬師頓活重分布法 如溝頂堆土沙之類，其自身有摩擦力之作用者，可用前兩表，即將荷重之 H 增加， B 與前同。無摩擦力之載重，可分為長載重與短載重之分：長載重為一種在管之縱方向有相當延長之載重者，如磚木材類之堆集，羣衆之荷重等是。短載重即載重之延長與溝之深度與闊之比較等是；如車輪等之載重。

長載重之公式如下：

$$W = C_1 L_1 \quad (3.10)$$

L_1 為實際重量磅/呎，

C_1 為係數，其值如 3.9 表。

短載重之公式如下：

$$W = C_2 L_s \quad (3.11)$$

W' 為管所受之每尺載重，

L_s 為實際之載重，沿溝之縱長為 A ，

C_2 為其係數，其值如 3.10 表，

K 為旁壓力與直壓力之比，

K_0 為縱方向壓力與直壓力之比 ($K_0 = 0$ 者為長載重)。

3.9 表 馬師頓活重分布係數 C_1 值

$\frac{H}{B}$	砂及溼表土	飽和表土	溼黃黏土	飽和黃黏土
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00
0.5	0.85	0.88	0.88	0.89
1.0	0.72	0.75	0.77	0.80
1.5	0.61	0.64	0.67	0.72
2.0	0.52	0.55	0.59	0.64
2.5	0.44	0.48	0.52	0.57
3.0	0.37	0.41	0.43	0.51
4.0	0.27	0.31	0.35	0.41
5.0	0.19	0.23	0.27	0.33
6.0	0.14	0.17	0.20	0.26
8.0	0.07	0.09	0.12	0.17
10.0	0.04	0.05	0.07	0.11

例題 1 設有堆鋪道磚高 6 呎，排列於 24 吋之管上，管頂溝闊為 3 呎，溝中墊土為黃粘土深 6 呎，求管每呎之增加載重？

【解】 鋪道磚之比重每立方呎為 125 磅，

故 $L_1 = 125 \times 6 \times 3 = 2,250$ 磅/呎

設此土無飽和水分之危險

$$\frac{H}{B} = \frac{6}{3} = 2$$

$$W = 0.59 \times 2,250 = 1,300 \text{ 磅/呎}$$

例題 2 有一蒸汽路滾輪寬為 22 吋，其重為 8,000 磅，橫過街道。其下所埋管之直徑為 18 吋，溝之深為 $7\frac{1}{2}$ 吋，中盛已結實之黃粘土，管頂溝闊 24 吋。求管所受之載重。

3.10 表 短載重係數Cs表

$\frac{H}{B}$	砂及濕表土		飽和水分表土		濕黃黏土		飽和黃黏土	
	$Ka=\frac{1}{2}K$	$Ka=K$	$Ka=\frac{1}{2}K$	$Ka=K$	$Ka=\frac{1}{2}K$	$Ka=K$	$Ka=\frac{1}{2}K$	$Ka=K$
	A=	A=	A=	A=	A=	A=	A=	A=
	$\frac{B}{10}$	$\frac{B}{10}$	$\frac{B}{10}$	$\frac{B}{10}$	$\frac{B}{10}$	$\frac{B}{10}$	$\frac{B}{10}$	$\frac{B}{10}$
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.5	0.77	0.32	0.78	0.33	0.79	0.34	0.72	0.31
1.0	0.59	0.11	0.61	0.11	0.63	0.11	0.52	0.12
1.5	0.46	0.01	0.48	0.01	0.51	0.04	0.38	0.04
2.0	0.35		0.38	0.01	0.40	0.01	0.27	0.01
2.5	0.27	0.17	0.29		0.32		0.20	0.35
3.0	0.21	0.12	0.23		0.25		0.14	0.29
4.0	0.12	0.06	0.14		0.16		0.03	0.19
5.0	0.17	0.03	0.09		0.10		0.04	0.13
6.0	0.04	0.01	0.05		0.06		0.02	0.08
8.0	0.02		0.02		0.03		0.01	0.04
10.0	0.01		0.01		0.01			0.02

【解】 在此情形

$$A = \frac{22}{30} B = 0.73B$$

$$\frac{H}{B} = \frac{7.5}{2.5} = 3.0$$

假設長方向壓力為旁壓力之 $\frac{1}{2}$,

由短載重表插算之 $A = B$ $C_s = 0.25$

$$A = \frac{B}{10} \quad C_s = 0$$

$$A = 0.73B \quad C_s = 0.18$$

$$w^1 = 0.18 \times \frac{8,000}{1.83} = 800 \text{ 磅/呎}$$

馬師頓氏短載重表因 K_a 值之變動影響甚大: 如

$$K_a = 0 \quad C_s = 0.45$$

$$K_a = \frac{1}{2}K \quad C_s = 0.18$$

$$K_a = K \quad C_s = 0.10$$

故此表可以供參考, 甚難施諸實用。

溝中之管之破壞, 常因夯實泥土過重, 或土蓋泥土過薄。各管泥土用槌槌實對於管之壓力可以下式計之(並參閱 3-10 表)。

$$T_s = \frac{2TF}{f} \quad (3-12)$$

T_s 為每槌一打擊所生之最大壓力,

T 為用於槌實之槌重,

H 爲槌降落之高度,

f 爲 槌實最後一槌所受泥土壓實之深度,

例題 3 用 40 磅之槌, 其土高 6 吋可使管發生裂痕, 如易以 30 磅槌, 土高 12 吋則否, 槌爲 8 吋方, 墊土爲壘粘土, 槌高爲 0.5 呎, 前者打至壓實 0.1 呎而止, 後者爲 0.015 呎, 求其傳於管之力?

【解】

$$\text{前者} \quad T_s = \frac{2 \times 40 \times 0.50}{0.01} = 4,000 \text{ 磅}$$

查 3.10 表當: $\frac{H}{B} = \frac{0.5}{8/12} = 0.75$, $K_a = K$, $A = B$, 時任溼黃粘土 C_s 爲 62%,

$$\frac{62}{100} \times 4,000 = 2,500 \text{ 磅}$$

傳於 8 吋方之槌下, 故其打擊力在乎 2,500—4,000 磅之間。

$$\text{後者} \quad T_s = \frac{2 \times 30 \times 0.5}{0.015} = 2,000$$

查表當: $\frac{H}{B} = \frac{1}{8/12} = 1.5$, $K_a = K$, $A = B$ 時 C_s 爲 33%,

$$0.33 \times 2000 = 800 \text{ 較前者減少甚多。}$$

3.11 福綠林活重公式

$$\text{公制} \quad p_2 = w \left(\frac{5-h}{5} \right)^2 \quad (3.13)$$

$$\text{英制} \quad p = w \left(\frac{15-h}{15} \right)^2 \quad (3.14)$$

福氏公式尚規定，如泥土在相當壓實後，死重活重之和可採 $\frac{2}{3}p_1 + p_2$ 已足。

3.12 日本鐵道官房研究所公式

$$p_0 = \frac{1}{h \left[(h+a)(h+b) + \frac{h^2}{3} \right]} \left[h p_1 + h p_1' + (p_1 + p_1')(h + \frac{a}{2} - d) + (p_2 + p_2')(h + \frac{a}{2} - 2d) + \dots + (p_n + p_n')(h + \frac{a}{2} - nd) \right] \quad (3.15)$$

p_0 爲因活重所生之地中壓力強度 (公噸/公尺²),

h 爲離枕木下面之深度,

a 爲枕木之寬 (普通 0.20 公尺),

b 爲枕木長度 (普通 2.13 公尺),

$p_0 \dots p_n, p_0' \dots p_n'$ 爲枕木一根所受之活重 (公噸),

d 爲枕木間隔 (普通 0.75 公尺),

$$n = \frac{h + \frac{a}{2}}{d} \text{ 整數位,}$$

$i = \frac{0.75}{1+h}$ (枕木下不滿 50 公分者用工務局所定道床擊盤衝擊公式),

$i = \frac{0.60}{100} v$, (v 爲列車之最大速度, 可取 80 公里/小時)。

3.13 各種活重公式之比較 喬森公式普通以其過於複雜，恆鮮用之。馬師頓公式，長載重者尚稱適用，但在涵洞上，以受短載重之情形為多，故亦少用。普通角度分布法及福緣林式均極簡單而適用。但為慎重計，採用福緣林式時亦可不用 $\frac{1}{2}p_1 + p_2$ 而用 $p_1 + p_2$ 。日本官房研究所公式則為日本鐵道之標準公式。

3.14 水平壓力與防土牆 防土牆為一種建築物，用以支持泥土之旁壓力(或其他粒狀物而具有摩擦力者)。此種水平旁壓力視所支持之物質溫度狀況，上面有無載重而不同。在涵洞工程上，梁、拱、涵洞之橋臺，框形涵洞之垂直壁，管涵洞之旁壓力，拱涵洞之水平壓力，均屬此種水平力之作用。

計算防土牆之原理甚多。大約可分兩派：一曰藍京(Rankine)系，一曰庫倫(Coulomb)系。茲分述於下：

3.15 藍京系原理 藍京公式所謂共軛應力原理，其基本之假定如下：

1. 泥土甚難壓縮，且無粘着力之等質粒狀物；
2. 土因各分子間之摩擦力保持平衡；
3. 地表面平面廣至無限制；
4. 土壓力之方向，與地表面平行。

a. 背面垂直之情形 3.6 圖示防土牆背面之各種受力情形，圖(a)為背面垂直者，則其土壓之公式如次：

$$p = \frac{1}{2}wh^2 \cos\delta \frac{\cos\delta - \sqrt{\cos^2\delta - \cos^2\psi}}{\cos\delta + \sqrt{\cos^2\delta - \cos^2\psi}} \quad (3.16)$$

式中 ψ 為土之靜止角。如 $\delta = 0$ ，即地表面為水平時上式變為

$$p = \frac{1}{2}wh^2 \frac{1 - \sin\psi}{1 + \sin\psi} \quad (3.17)$$

此式最為常用，且此種情形與庫倫公式完全相同。

b. 背面傾斜之情形 見 3.6 圖(b)，則土壓之公式為：

$$p = \frac{1}{2}wh^2 k$$

$$k = \frac{\sin(\theta + \delta)}{\sin^2\theta \cos\delta} \times \sqrt{\left[\cos^2\theta + 2\cos\theta \sin\delta \sin(\theta + \delta) \frac{\cos\delta - \sqrt{\cos^2\delta - \cos^2\psi}}{\cos\delta - \sqrt{\cos^2\delta - \cos^2\psi}} \right.}$$

$$\left. + \sin^2(\theta + \delta) \left(\frac{\cos\delta - \sqrt{\cos^2\delta - \cos^2\psi}}{\cos\delta + \sqrt{\cos^2\delta - \cos^2\psi}} \right) \right]} \quad (3.18)$$

p 與水平面所成之角度如下式

$$\tan z = \tan\delta + \frac{\cos\theta}{\sin(\theta + \delta) \cos\delta} \frac{\cos\delta - \sqrt{\cos^2\delta - \cos^2\psi}}{\cos\delta + \sqrt{\cos^2\delta - \cos^2\psi}} \quad (3.19)$$

c. 上面有均布載重 如 3.6 圖(c) 在上之上向受有均布載重，此種情形，土壓之計算可用下式：

$$p = \frac{1}{2}w[h + h_1]^2 - h_1^2 \times k - \frac{1}{2}wh(h + 2h_1)K \quad (3.20)$$

p 與水平面所成角度亦如(3.19)式

着力點距底之高為

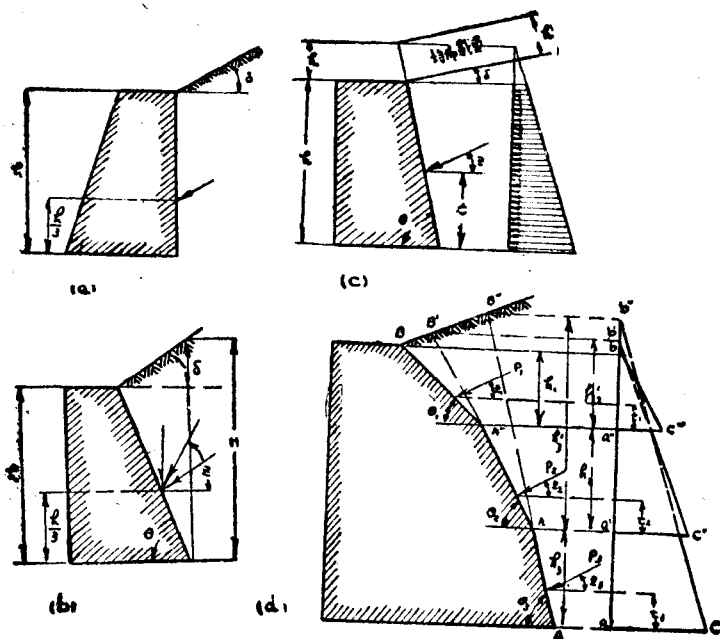
$$t = \frac{h}{3} \left(1 + \frac{h_1}{h + 2h_1} \right) \quad (3.21)$$

d. 背面非平面者 如 3.6 圖(d), 第一面 $A'B$ 面之壓力求法同上得 p_1 , 次求 $A'B'$ 面得 p_2' , 求 $A''B'$ 得 p_2'' 。

$$P_2 = p_2' - p_2'' \quad (3.22)$$

3.16 庫倫系原理 即所謂土楔活動原理, 其基本假定為:

1. 滑動面為一平面;
 2. 防土牆背面與滑動面圍成之土楔向背面滑動面施壓力;
 3. 防土牆之背面泥土無粘性且不能壓縮之等質粒狀物。
- 其詳細公式及理論不詳述之。

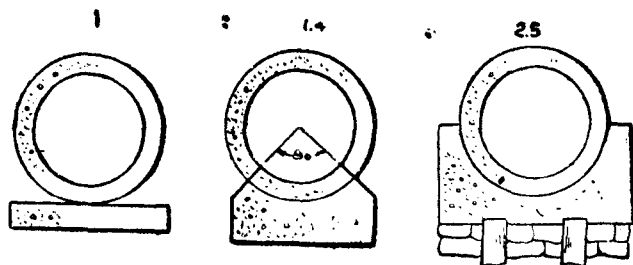


3.6 圖 防土牆受力圖

第四章 管涵洞

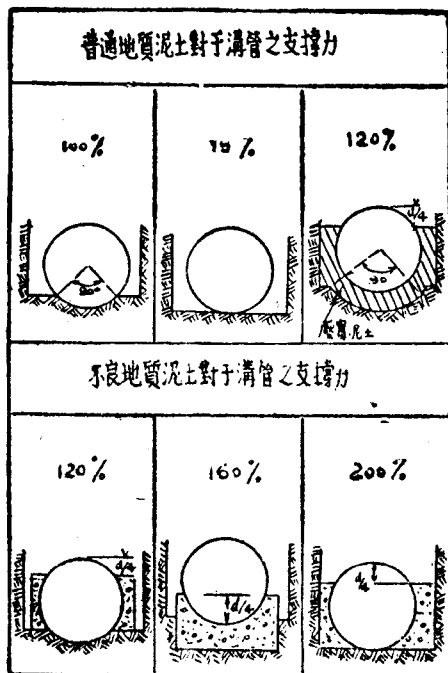
4.1 管涵洞概說 管涵洞其形爲管，或似圓桶，常設置於水道面積不大之處。此種涵洞頗爲經久，且以其表面之光滑，排水之効力亦大。就面積言，以圓形截面爲最經濟。此種管涵洞因價格甚廉，易於置得；且布設迅速，利於趕工；對於路床亦無損害；故爲用至廣。

管涵洞埋設於路基之下，上受甚大之壓力，傳達於基礎，基礎之良否，影響及管涵洞之應力甚大，在第二章討論時曾已提及。過去學者對此問題有甚多之實驗報告，茲姑舉一二例以明之。如4.1圖三種相同之管，因基礎設置之不同，其強度成爲1與1.4與2.5之比，又如4.2圖亦然，據得爾鮑特教授(Prof. A. N. Talbot)之討論，謂一管置於極優良極堅固之石層基礎上如4.3圖(a)，而外圍無堅實之泥土包圍之，則結果因管僅有一點與石層相切，則管僅受一種應力，因集中載重使管受最大之力矩以至破壞。故須如b圖將堅石層作成圓



4.1 圖 管之基礎與強度之關係

槽，而後放入圓管，則結果應力為均佈的，故結果較佳。若地面為粗鬆泥層，圓管放置其上，雖不致如 a 圖之受集中應力，但結果圓管因自身之重量及所受之壓力而任意下沉，如圖 (c)，結果受直壓力及旁壓力非常不均，必至於破壞。次如圖 (e)，涵洞周圍壓實，結果當可滿意。其次關於溝闊與涵洞之受力關係，當以 B 愈小為愈佳。但 B 所小之範圍，以不妨礙施工為原則，但涵洞 B 與力之關係僅限於涵洞管頂附近之溝闊，故施工時，可如圖 (f) 至涵洞管頂高數吋而後縮小溝闊。得氏更謂管之裝設寧可增加些少之加強費用，可得數倍之強度（普通之經驗加強 20—30% 之經費可增 1—2 倍之強度），以增構造物之穩固與安全。若敷設得宜，亦可用較經濟載重較輕之構造物，而代替價值較貴載重較重者之用。如 4.4 圖，同為均佈載重，因應力均布範圍之大小其力矩自 $0.25qr^2$ 以至 $0.693qr^2$ 相差約三倍，而固定支承與自由支承亦相差甚遠。故上述之



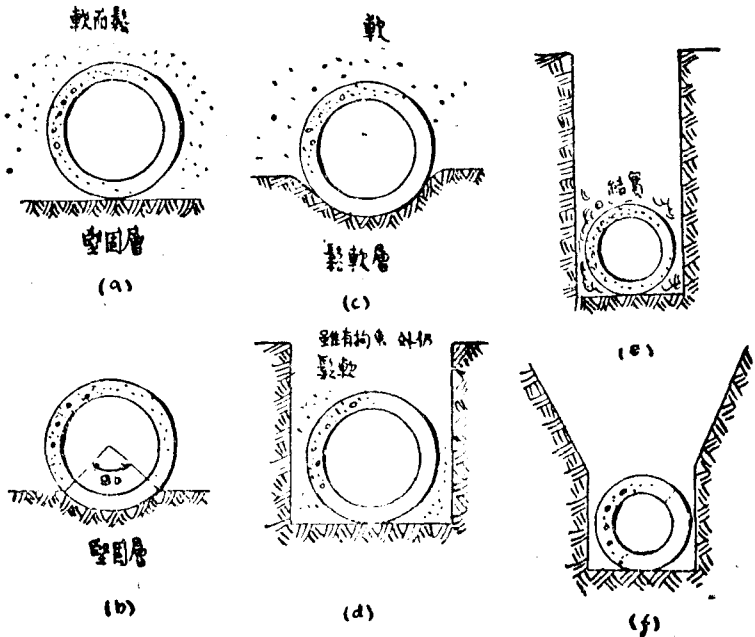
4.2 圖 溝中泥土對於溝管之支撐力

實驗與理論實極相似。

綜上觀之：管涵洞之基礎與應力之關係既如是之巨，此固一部與設計有關，而施工之時，尤不可忽視也。茲錄我國杭江鐵路工程局所定之水管工程挖溝及墊土施工細則如下，以供參考：

1. 挖溝之第一步手續先在地上掘成一定之坡度，即在其內設置水管，此溝之寬應較所用水管之直徑約大十二吋。

2. 溝之底面應做成光滑而圓、與水管形相似。將所有大石塊移去，使水管底面之載重力平均。





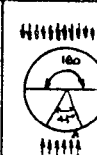



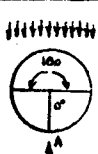
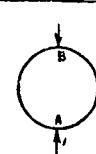




4.9圖 涵洞各種裝設

3. 水管應裝設於堅實基礎之上，故挖溝時不宜超過應挖之數量，蓋孔穴被墊泥土，往往受縮而與水管離開，使成罅隙，實減少載重之效率。

4. 挖出之土應堆積於溝之一面，使其他一面有清潔之空地以置水管。如 4.5 圖 (a)。

5. 開成之溝若泥土甚鬆，應在其底面鋪六吋至十二吋之卵石，使成堅實之基礎，其上應鋪勻堅沙土，使之受力均勻。

6. 當水管已置於溝旁，再用繩索放入溝內，其接筭之合縫處，

自由支承			固定支承		
 $M_A = M_B = M_{max} = 0.25 q r^2$	 $M_A = M_{max} = 0.368 q r^2$	 $M_A = M_{max} = 0.500 q r^2$	 $M_A = M_{max} = 0.107 q r^2$	 $M_A = M_{max} = 0.231 q r^2$	 $M_A = M_{max} = 0.303 q r^2$
 $M_A = M_{max} = 0.603 q r^2$	 $M_A = M_B = M_{max} = 0.318 P r$	 $M_A = M_B = M_{max} = 0.259 P r$	 $M_A = M_{max} = 0.587 q r^2$	 $M_A = M_{max} = 0.152 P r$	 $M_A = M_{max} = 0.235 P r$

 表示校園

P 為集中載重 q 為均佈載重

4.4 圖 管 之 受 力 圖

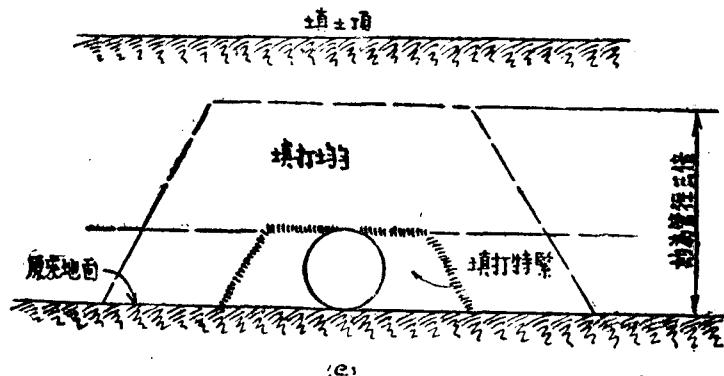
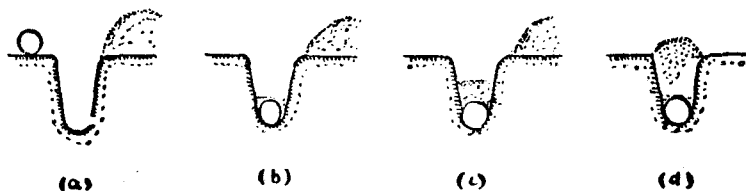
應用 1:3 洋灰漿封好。

7. 水管已置于溝內，再選勻淨細潔之土或泥漿謹慎填入，輕輕搗緊，使無孔穴與罅隙遺留其下或兩旁。填塞之高度約等于水管之高。圖(b)。

8. 填塞之後再行鋪蓋泥土，高出水管頂端約等于水管直徑，務使堅密且無較大之石塊。圖(c)。

9. 當水管已鋪蓋完結之後，即用鐵鏟移入已挖之土，將溝填滿。

10. 由水管頂端填土之高度決不能小于規定之數。



4.5 圖 管 之 敷 設

$$M_{\psi} = M_B - \frac{P}{2} \left(x - \frac{a}{4} \right) \quad (4.2)$$

DA間各點力矩

$$M_{\psi} = M_B - \frac{P}{2} \left(x - \frac{a}{4} \right) - \frac{P}{b} \frac{\left(\frac{b}{2} - x \right)^2}{2} \quad (4.3)$$

M_B 可用卡斯底格利安諾氏 (Castigliano) 最小工作原理求之

$$w = \int \frac{M^2 \psi}{2EI} ds$$

$$\frac{\partial w}{\partial M_B} = 0$$

$$\therefore \int \frac{M_{\psi}}{EI} \cdot \frac{\partial M_{\psi}}{\partial M_B} \cdot ds = 0$$

$$\text{若} \quad \frac{\partial M_{\psi}}{\partial M_B} = 1$$

$$\text{則} \quad \int M_{\psi} ds = 0$$

$$\therefore \int_0^{\alpha} \left(M_B - \frac{Px^2}{2a} \right) ds + \int_{\alpha}^{\pi-\beta} \left[M_B - \frac{P}{2} \left(x - \frac{a}{4} \right) \right] ds$$

$$+ \int_{\pi-\beta}^{\pi} \left[M_B - \frac{P}{2} \left(x - \frac{a}{4} \right) - \frac{P}{b} \frac{\left(\frac{b}{2} - x \right)^2}{2} \right] ds = 0$$

$$\text{因 } x = r \sin \psi, \quad a = 2r \sin \alpha, \quad b = 2r \sin \beta, \quad ds = r d\psi$$

$$\begin{aligned} \therefore M_B \int_0^\pi d\psi - \frac{pr}{4\sin\alpha} \int_0^\alpha \sin\psi d\psi - \frac{pr}{2} \int_\alpha^\pi \sin\psi d\psi \\ + \frac{pr\sin\alpha}{4} \cdot \int_\alpha^\pi d\psi - \frac{pr}{4\sin\beta} \int_{\pi-\beta}^\pi (\sin\beta - \sin\psi)^2 d\psi = 0 \end{aligned}$$

但
$$\int_0^\pi d\psi = \pi \quad \int_\alpha^\pi d\psi = (\pi - \alpha)$$

$$\int_0^\alpha \sin^2\psi d\psi = \left[-\frac{\sin 2\psi}{4} + \frac{1}{2}\psi \right]_0^\alpha = -\frac{\sin\alpha\cos\alpha}{2} + \frac{1}{2}\alpha$$

$$\int_\alpha^\pi \sin\psi d\psi = \left[-\cos\psi \right]_\alpha^\pi = (1 + \cos\alpha)$$

$$\int_{\pi-\beta}^\pi (\sin\beta - \sin\psi)^2 d\psi = \sin^2\beta \cdot \beta - 2\sin\beta(1 - \cos\beta)$$

$$+ \left[\frac{\pi}{2} - \frac{\pi-\beta}{2} - \frac{\sin\beta\cos\beta}{2} \right]$$

$$\begin{aligned} \therefore M_B \pi = \frac{pr}{2} \left[-\frac{\cos\alpha}{4} + \frac{\alpha}{4\sin\alpha} + 1 + \cos\alpha - \frac{\sin\alpha}{2}(\pi - \alpha) \right. \\ \left. + \frac{\sin\beta \cdot \beta}{2} - 1 + \cos\beta + \frac{\beta}{4\sin\beta} - \frac{\cos\beta}{4} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B = \frac{pr}{2\pi} \left[\frac{3}{4}(\cos\alpha + \cos\beta) + \frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{\sin\alpha} + \frac{\beta}{\sin\beta} \right) - \frac{\sin\alpha}{2}(\pi - \alpha) \right. \\ \left. + \frac{\sin\beta}{2} \cdot \beta \right] \quad (4.4) \end{aligned}$$

(a) 載重為集中載重，反力亦為集中載重之情形

則

$$\alpha = 0 \quad \beta = 0$$

$$M_A = M_B = \frac{pr}{2\pi} \left(\frac{3}{2} + \frac{1}{2} \right) = 0.318pr$$

$$\alpha \rightarrow 0 \quad \frac{\sin \alpha}{\alpha} \rightarrow 1$$

$$\begin{aligned} M_C &= M_B - \frac{P}{2} \left(x - \frac{a}{4} \right) \\ &= 0.318pr - 0.5pr = -0.182pr \end{aligned}$$

$$M_\psi = M_B - \frac{P}{2} x \quad (4.5)$$

$$N_A = 0 \quad N_C = -\frac{P}{2} \quad N = -\frac{P}{2} \sin \psi$$

$$T_A = \frac{P}{2} \quad T_C = 0 \quad T = \frac{P}{2} \cos \psi \quad (4.6)$$

N 爲垂直力, T 爲剪力

(b) 載重爲全部均布載重, 反力亦爲全部載重,

$$\text{則} \quad \alpha = \frac{\pi}{2}, \quad \beta = \frac{\pi}{2}$$

$$\begin{aligned} M_A = M_B &= \frac{pr}{2\pi} \left[\frac{1}{4} \pi - \frac{1}{4} \pi + \frac{1}{4} \pi \right] = 0.125pr \\ &= +0.250qr^2 \quad (q \text{ 爲單位長均布載重, } p \text{ 爲總重}) \end{aligned}$$

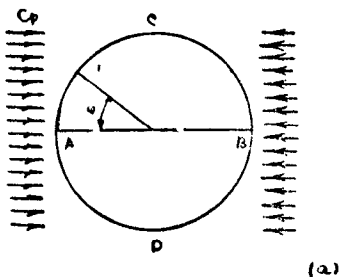
$$M_C = M_B - \frac{P}{2} \left(x - \frac{a}{4} \right) = M_B - \frac{P}{2} \left(r - \frac{r}{2} \right) = -0.250qr^2$$

$$M_\psi = M_B - \frac{Pr}{2} \sin \psi \quad (4.7)$$

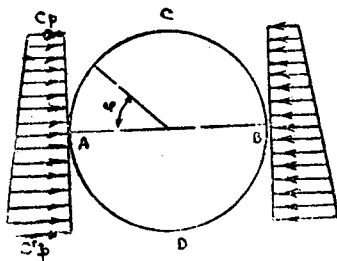
$$\begin{aligned}
 N_A &= 0 & N_C &= -pr & N &= -pr \sin^2 \psi \\
 T_A &= 0 & T_D &= 0 & T &= pr \sin \psi \cos \psi
 \end{aligned}
 \quad (4.8)$$

水平力亦得應用此原理

$$\begin{aligned}
 M_A &= \frac{Cpr^2}{4} \\
 M_C &= -\frac{Cpr^2}{4} \\
 M_\psi &= M_A - \frac{Cpr^2}{2} \sin^2 \psi \quad (4.7a)
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 N_A &= 0 & N_C &= -Cpr \\
 N &= -Cpr \sin^2 \psi \\
 T_A &= 0 & T_D &= 0 \\
 T &= Cpr \sin \psi \cos \psi \quad (4.8a)
 \end{aligned}$$



如 4.7 圖(b) 水平等變荷重之時，
則

4.7 圖 水平載重情形

$$\begin{aligned}
 M_C &= -(0.104C' + 0.146C)pr^2 \\
 M_D &= -(0.146C' + 0.104C)pr^2 \\
 M_A &= 0.125(C' + C)pr^2 \\
 M_\psi &= M_A - 0.063(C' - C)\sin \psi pr^2 \\
 &\quad - \frac{1}{12} [3(C' + C) - (C - C)\sin \psi] \sin^2 \psi pr^2
 \end{aligned}
 \quad (4.9)$$

$$N_C = -(0.313C' + 0.687C)pr$$

$$N_D = -(0.687C' + 0.313C)pr$$

$$N_A = N_B = 0$$

$$N_\psi = -(C' - C) \{ 0.063 + 0.250 \sin\psi \} \sin\psi pr \\ - 0.250 [C' + 3C - (C' - C) \sin\psi] \sin^2\psi pr$$

$$T_C = T_D = 0$$

$$T_A = -0.063(C' - C)pr$$

$$T = (C' - C) \{ 0.063 + 0.250 \sin\psi \} \cos\psi pr \\ + 0.250 [C' + 3C - (C' - C) \sin\psi] \sin\psi \cos\psi pr \quad (4.10)$$

此公式頗為複雜，故普通多用(4.7a)及(4.8a)式計算之，其值亦頗相近。

c. 直載重力為全部均布，反力僅均布于中心角 90° 度之範圍則

$$\beta = \frac{\pi}{2} \quad \alpha = \frac{\pi}{4}$$

$$M_B = \frac{pr}{2\pi} \left[\frac{3}{4} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{\pi}{1 + \frac{\pi}{\sqrt{2}}} \right) - \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{3}{4} \pi + \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{2} \right] \\ = \frac{pr}{2\pi} [0.707 + 0.6704 - 0.8329 + 0.7854] \\ = 0.184pr = 0.368qr^2$$

$$M_A = 0.184pr + \frac{pr \sin\alpha}{4} - \frac{pr^2 \sin^2\beta}{4r \sin\beta} = +0.222qr^2$$

$$M_C = 0.368qr^2 - qr \left(1 - \frac{\sin\alpha}{2} \right) = 0.278qr^2 \quad (4.11)$$

d. 載重為全部均布而反力為集中

$$\text{則 } \beta = \frac{\pi}{2} \quad \alpha = 0$$

$$M_B = \frac{pr}{2\pi} \left[\frac{3}{4}(1) + \frac{1}{4} \left(1 + \frac{\pi}{2} \right) + \frac{\pi}{4} \right]$$

$$= \frac{pr}{2\pi} (0.750 + 0.250 + 1.178) = 0.347pr = 0.693qr^2$$

$$M_A = 0.347pr - \frac{p}{2r} \cdot \frac{r^2}{2} = 0.347pr - 0.250pr$$

$$= 0.097pr = 0.194qr^2$$

$$M_C = 0.3407pr - \frac{p}{2}r = -0.153pr = -0.306qr^2 \quad (4.12)$$

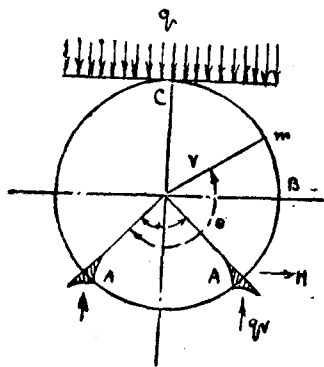
4.3 固定支承之管形應力 普通管之設置，如混凝土基礎等有屬半固定狀態者，但普通多用自由支承設計，以策安全。茲證明若干固定支承之應力，以明固定支承所生各種力均較自由支承為小。

AB 間 $\left(\alpha < \theta < \frac{\pi}{2} \right)$

$$M_{ab} = M_A + Hr(\cos\alpha - \cos\theta) + qr^2(\sin\alpha - \sin\theta)$$

$$N_{ab} = H\cos\theta + qr\sin\theta$$

$$T_{ab} = H\sin\theta - qr\cos\theta \quad (4.13)$$



4.8圖 管之固定支承

BC 間 ($\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$)

$$\begin{aligned} M_{bc} &= M_A + H_r(\cos\alpha - \cos\theta) \\ &\quad + qr(\sin\alpha - \sin\theta) - \frac{1}{2}qr^2(1 - \sin\theta)^2 \\ N_{bc} &= H\cos\theta + qr\sin\theta - qr(1 - \sin\theta)\sin\theta \\ T_{bc} &= H\sin\theta - qr\cos\theta + qr(1 - \sin\theta)\cos\theta \end{aligned} \quad (4.14)$$

亦用最小工作原理, 設不計 T 力之影響。

$$\frac{\partial w}{\partial M_A} = 0 \quad \frac{\partial w}{\partial H} = 0$$

$$w = \int \left(\frac{M^2}{2EI} + \frac{N^2}{EA} \right) ds$$

$$\frac{\partial w}{\partial M_A} = \int \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial M_A} ds + \int \frac{N}{EA} \frac{\partial N}{\partial M_A} ds = 0$$

$$ds = rd\psi$$

$$\frac{\partial w}{\partial H} = \int \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial H} ds + \int \frac{N}{EA} \frac{\partial N}{\partial H} ds = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial M_A} &= \int_{\alpha}^{\pi} \frac{M_{ab}}{EI} \cdot \frac{\partial M_{ab}}{\partial M_A} r d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{M_{bc}}{EI} \cdot \frac{\partial M_{bc}}{\partial M_A} r d\theta \\ &\quad + \int_{\alpha}^{\pi} \frac{N_{ab}}{EA} \cdot \frac{\partial N_{ab}}{\partial M_A} \cdot r d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{N_{bc}}{EA} \cdot \frac{\partial N_{bc}}{\partial M_A} r d\theta = 0 \quad (A) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial H} = & \int_{\alpha}^{\pi} \frac{M_{ab}}{EI} \cdot \frac{\partial M_{ab}}{\partial H} \cdot r d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{M_{bc}}{EI} \cdot \frac{\partial M_{bc}}{\partial H} \cdot r d\theta \\ & + \int_{\alpha}^{\pi} \frac{N_{ab}}{EA} \cdot \frac{\partial N_{ab}}{\partial H} \cdot r d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{N_{bc}}{EA} \cdot \frac{\partial N_{bc}}{\partial H} \cdot r d\theta = 0 \end{aligned} \quad (B)$$

然 $\frac{\partial M_{ab}}{\partial M_A} = 1, \quad \frac{\partial N_{ab}}{\partial M_A} = 0, \quad \frac{\partial M_{ab}}{\partial H} = r(\cos\psi - \cos\theta),$

$$\frac{\partial N_{ab}}{\partial H} = \cos\theta, \quad \frac{\partial M_{bc}}{\partial M_A} = 1, \quad \frac{\partial N_{bc}}{\partial M_A} = 0,$$

$$\frac{\partial M_{bc}}{\partial H} = r(\cos\alpha - \cos\theta), \quad \frac{\partial N_{bc}}{\partial H} = \cos\theta,$$

E, I, r 爲常數, $\rho = \sqrt{\frac{I}{A}}$.

$$\int_{\alpha}^{\pi} M_{ab} d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M_{bc} d\theta = 0 \quad (C)$$

$$\begin{aligned} \int_{\alpha}^{\pi} M_{ab}(\cos\alpha - \cos\theta) d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M_{bc}(\cos\alpha - \cos\theta) d\theta \\ + \int_{\alpha}^{\pi} \frac{\rho^2}{r} N_{ab} \cos\theta d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{\rho^2}{r} N_{bc} \cos\theta d\theta = 0 \end{aligned} \quad (D)$$

代入 M_{ab} , 及 M_{bc} , N_{ab} 及 N_{bc}

$$\begin{aligned} \int_{\alpha}^{\pi} \left[M_A + Hr(\cos\alpha - \cos\theta) + qr(\sin\alpha - \sin\theta) \right] d\theta \\ - \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{1}{2} qr^2(1 - \sin\theta)^2 d\theta = 0 \end{aligned} \quad (E)$$

$$\begin{aligned}
& \int_{\alpha}^{\pi} \left[M_A + Hr(\cos\alpha - \cos\theta) + qr^2(\sin\alpha - \sin\theta)(\cos\alpha - \cos\theta) \right] d\theta \\
& - \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{1}{2} qr^2(1 - \sin\theta)^2(\cos\alpha - \cos\theta) d\theta \\
& + \int_{\alpha}^{\pi} \frac{\rho^2}{r} \left[H\cos\theta + qr\sin\theta \right] \cos\theta d\theta \\
& + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{\rho^2}{r} \left[H\cos\theta + qr\sin\theta - qr(1 - \sin\theta)\sin\theta \right] \cos\theta d\theta = 0 \quad (F)
\end{aligned}$$

上式 $\frac{\rho}{r}$ 甚為微細可忽略之。則 E 式變成

$$\begin{aligned}
M_A(\pi - \alpha) + Hr \left[\cos\alpha(\pi - \alpha) + \sin\alpha \right] \\
+ qr^2 \left[\sin\alpha(\pi - \alpha) - \cos\alpha - \frac{3}{8}\pi \right] = 0
\end{aligned}$$

F 式變為

$$\begin{aligned}
M_A \left[\cos\alpha(\pi - \alpha) + \sin\alpha \right] + Hr \left[(\pi - \alpha)(\cos\alpha + \frac{1}{2}) \right. \\
\left. + \frac{3}{2}\sin\alpha\cos\alpha \right] + qr^2 \left[\sin\alpha\cos\alpha(\pi - \alpha) \right. \\
\left. - \frac{3}{2}\cos\alpha(\cos\alpha + \frac{\pi}{4}) + \frac{1}{3} \right] = 0 \quad (4.16)
\end{aligned}$$

今 α 之值各取其為 0, 為 $\frac{\pi}{4}$, 為 $\frac{\pi}{2}$, 為 $\frac{\pi}{2}$, 則各項之值如下表:

4.1 表

係數	$\alpha=0$	$\alpha=\frac{\pi}{4}$	$\alpha=\frac{\pi}{3}$	$\alpha=\frac{\pi}{4}$
$(\pi-\alpha)$	π	0.75π	0.697π	0.5
$(\cos\alpha(\pi-\alpha)+\sin\alpha)$	π	2.373	1.913	1.000
$(\sin\alpha(\pi-\alpha)-\cos\alpha-\frac{3}{8}\pi)$	-2.178	-0.219	$.135$	0.333
$(\pi-\alpha)(\cos 2\alpha+\frac{1}{2})+\frac{3}{2}\cos\alpha\sin\alpha$	1.5π	3.105	2.221	0.25π
$(\sin\alpha\cos\alpha(\pi-\alpha)-\frac{3}{2}\cos\alpha(\cos\alpha+\frac{\pi}{4})+\frac{1}{9})$	-2.345	-0.071	$.277$	0.353

a. $\alpha=0$

$$\pi M_A + \pi Hr - 2.178qr^2 = 0$$

$$\pi M_A + 1.5\pi Hr - 2.345qr = 0$$

$$H = 0.106qr$$

$$+_{max} M_A = 0.587qr^2 \quad (\theta = \alpha)$$

$$-_{max} M = 0.313qr^2 \quad (\theta = \frac{7}{15}\pi)$$

$$M_C = 0.299qr \quad (\theta = \pi)$$

$$M_0 = 0.00 \quad (\theta = 37^{\circ}35')$$

$$M_0 = 0.000 \quad (\theta = 133^{\circ}10') \quad (4.17)$$

b. $\alpha = \frac{\pi}{4}$

$$0.75\pi M_A + 2.373Hr - 0.219qr^2 = 0$$

$$2.373M_A + 3.106Hr - 0.071qr^2 = 0$$

$$H = -0.209qr$$

$$+_{max}M_A = +0.303qr^2 \quad (\theta = \alpha)$$

$$-_{max}M = -0.159qr^2 \quad (\theta = \frac{13}{30}\pi)$$

$$M_C = +0.153qr^2 \quad (\theta = \pi)$$

$$M_0 = 0.000 \quad (\theta = 69^\circ 20' \text{ 或 } 140^\circ 40') \quad (4.18)$$

c. $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$0.5\pi M_A + Hr + 0.398qr^2 = 0$$

$$M_A + 0.25\pi Hr + 0.333qr = 0$$

$$H = -0.560qr$$

$$+_{max}M_A = +0.107qr^2 \quad (\theta = \alpha)$$

$$-_{max}M = -0.050qr^2 \quad (\theta = \frac{14}{45}\pi)$$

$$M_C = +0.047qr^2 \quad (\theta = \pi)$$

$$M_0 = 0.000 \quad (\theta = 104^\circ 10' \text{ 或 } 151^\circ 10') \quad (4.19)$$

d. $\alpha = \frac{\pi}{3}$

$$0.667\pi M_A + 1.913Hr + 0.135qr^2 = 0$$

$$1.913M_A + 2.221Hr + 0.277qr^2 = 0$$

$$\therefore H = -0.324qr$$

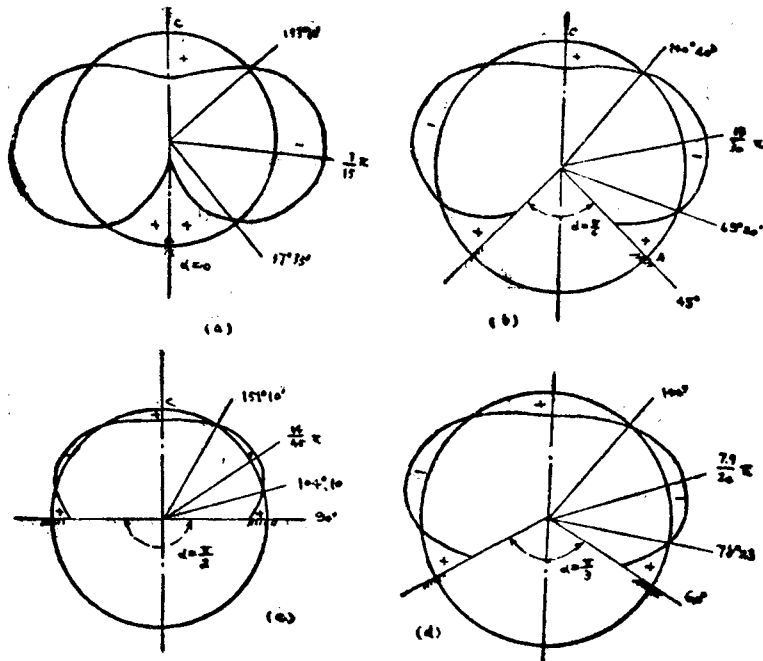
$$+_{max}M_A = +0.231qr^2 \quad (\theta = \alpha)$$

$$-_{max}M = -0.118qr^2 \quad (\theta = \frac{79}{20}\pi)$$

$$M_O = +0.111qr^2 \quad (\theta = \pi)$$

$$M_0 = 0.000 \quad (\theta = 78^{\circ}25' \text{ 或 } 144^{\circ}) \quad (4.20)$$

4.9 圖即示此等裝固支承管之力矩圖



4.9 圖 裝固支承管力矩圖

4.4 管之自重應力 管形涵洞不特外受壓力而生力矩，即管之本身載重，亦影響非鮮。普通小型之管有不計管之自重者，或為簡單計，加入於均布載重計之。下為管應力計算之正確公式：

a. 支承為集中反力者。

設 w = 弧之單位長自重，

$$W = 2\pi r w = \text{管之自重。}$$

$$M_A = 0.500wr^2$$

$$M_B = 1.500wr^2$$

$$M_C = 0.5708wr^2$$

$$M = -\frac{wr^2}{2}(2\psi\sin\psi$$

$$+ \cos\psi - 2) \quad (4.21)$$

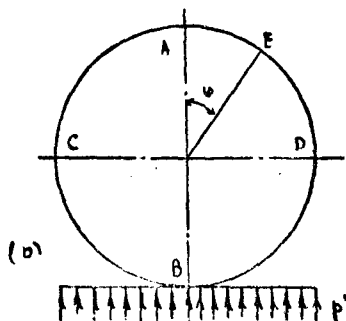
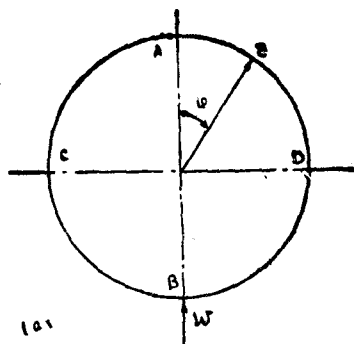
$$N_A = -\frac{wr}{2}$$

$$N_B = +\frac{wr}{2}$$

$$N_C = -\frac{w\pi r}{2}$$

$$N = -\frac{wr}{2}(2\psi\sin\psi$$

$$+ \cos\psi) \quad (4.22)$$



4.1 圖 管之自重應力

$$T_A = 0 \quad T_B = -w\pi r$$

$$T_C = -\frac{wr}{2}$$

$$T = \frac{wr}{2} (2\psi \cos\psi - \sin\psi) \quad (4.23)$$

b. 支承爲均布反力者

$$W = 2p'r$$

$$p' = w\pi$$

$$M_A = 0.345wr^2$$

$$M_B = 0.441wr^2$$

$$M_C = -0.393wr^2$$

$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$$

$$M = wr^2 \left[\frac{3\pi}{8} - \psi \sin\psi - \frac{5}{6} \cos\psi \right]$$

$$\frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \pi$$

$$M = wr \left[\frac{3\pi}{8} - \psi \sin\psi - \frac{5}{6} \cos\psi - \frac{\pi}{2} (1 - \sin\psi)^2 \right] \quad (4.24)$$

$$N_A = -\frac{wr}{6}$$

$$N_B = +\frac{wr}{6}$$

$$N_C = -\frac{w\pi r^2}{2}$$

$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$$

$$N = -\frac{wr}{6} [6\psi \sin\psi + \cos\psi]$$

$$\frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \pi$$

$$N = -\frac{wr}{6} [6[\psi - \pi(1 - \sin\psi)] \sin\psi + \cos\psi] \quad (4.25)$$

$$T_A = T_B = 0$$

$$T_C = -\frac{wr}{2}$$

$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$$

$$T = \frac{wr}{6} [6\psi \cos\psi - \sin\psi]$$

$$\frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \pi$$

$$T = \frac{wr}{6} [6[\psi - \pi(1 - \sin\psi)] \cos\psi - \sin\psi] \quad (4.26)$$

4.5 受水壓力管，因水壓力所生之力，因水由管中心向管壁垂直施壓力，使管壁受一種拉力，此種拉力有將管拉至破裂之趨向，此拉力之強度如下：

$$N = pr \quad (4.27)$$

p 為水之單位壓力，

r 爲管之半徑。

4.6 管涵洞之種類 管涵洞之種類以構成材料之種類分之，有下列各種：

- (1) 陶管，
- (2) 混凝土管，
- (3) 鑄鐵管，
- (4) 鋼鐵管，
- (5) 皺紋鐵管，
- (6) 鋼筋混凝土管。

茲分節詳述之。

4.7 陶管之應用及其特性 陶管普通分二種：一爲普通陶管，爲普通製磚粘土所製成者，強度較弱，在涵洞工程上鮮用之；一爲玻璃化陶管，用較優之粘土，或研成粉末之泥板岩和普通粘土製成，燒至玻璃化溫度，且加鹽釉。此種陶管，空隙甚少，可免冰凍破裂以及漏水之虞。

陶管之應用，在道路工程上應用甚廣，在鐵路上亦有用者，其特點如下：

- (1) 化學性安定，任何基地不受影響；
- (2) 價至廉；
- (3) 安置容易；
- (4) 轉運容易；
- (5) 我國國產甚多，毋須仰給外貨
- (6) 良質者強度亦強；

(7) 內面光滑耐磨腐, 水之速度, 可以較高;

(8) 無空隙, 不易漏水。

其缺點則以管短較大者抵抗力弱, 在 50 公尺以上製造非常困難。但涵洞最怕淤塞, 故 15 公尺以下, 亦少用之。

陶管之應用於涵洞, 施工時須注意下列各點:

(1) 管之坡度不得少于 $1/100$ 。

(2) 管之接合須封密勿使漏水, 普通用者有下列數種:

(a) 管之接合部用 1:3 沙漿填密;

(b) 栓部(spigot)用已浸柏油之麻繩徑約六七公厘者捆紮數周, 而後加沙漿縫接;

(c) 潮濕之地, 以瀝青代沙漿更優。

(3) 溝須掘成半圓形之槽, 或其他加強基礎。

(4) 涵洞末端宜用木材、磚石、混凝土的岸壁以保護之。

(5) 埋設涵洞時, 洞身須留相當之填土高度, 使活重得以分布, 不至受集中載重之重壓而破壞。

茲錄美國公路局之陶管表如下:

4.2 表

內 徑(吋) 12	15	18	24	30	30
厚 (吋) 1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$
管 高 深(吋) 3	3	3	4	4	5
長 (吋) $2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	3	3
每尺重量(磅) 50	70	100	180	200	300

4.3 表 陶管最小深度表

內徑(吋)	12	15	18	24	30	36
c (吋)	18	18	18	24	30	36
s (吋)	12	12	12 </td <td>12</td> <td>1</td> <td>12</td>	12	1	12



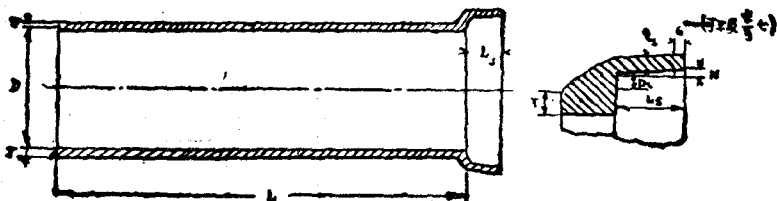
(U. S. Bureau Public Roads)

4.11 圖 道路涵洞上蓋泥土最小深度

其上蓋泥土，如 4.11 圖 c 及 s 之最小深度如 4.3 表，此絕不容有車輪之載重接近管頂之距離，小於管之內徑。普通汽車載重大于八噸或十噸者，則應加半呎左右之深度，若填土中多黏土、硬肥土或粉沙則應再加四吋。

近來汽車載重日增，我國標準亦皆採用十二噸或十五噸，則泥土深度自當較上表為增。

公制之陶管，則如日本之標準，厚管及特厚管兩種常用於涵洞。其形式如 4.12 圖



4.12 圖 公制管標準

4.4 表 日本陶管標準表

管之種類	稱呼	內徑 (公分)	有效長 (公分)	重量 (公斤)	最小管厚 (公厘)	承口之最小深度 (公厘)	隙 (公厘)	承口斜度 (公厘)	試驗荷重 (公斤)
厚管	10公分	10	50	5.70	14	50	9	5	680
厚管	15公分	15	66	16.00	18	60	11	6	1,100
厚管	20公分	23	66	28.00	23	65	14	7	1,200
厚管	30公分	30	66	46.00	27	70	16	7	1,300
厚管	38公分	38	66	64.00	33	75	20	8	1,400
厚管	45公分	45	66	90.00	33	80	22	8	1,500
厚管	60公分	60	66	130.00	45	90	27	9	1,600
特厚管	11公分	15	66	23.00	25	60	11	6	1,600
特厚管	25公分	23	66	36.00	28	65	14	7	1,700
特厚管	30公分	30	66	63.00	35	70	16	7	1,800
特厚管	45公分	45	66	117.00	44	80	22	8	2,000
特厚管	6公分	60	66	190.00	50	90	27	9	2,200

承口厚度除最末端6公厘外不得少過管厚1/4

4.5 表 日本市場常有之瓦管

圓 形 厚 管			鐵 道 用 圓 形 管		
內徑(公厘)	厚(公厘)	重量(公斤)	內徑(公厘)	厚(公厘)	重量(公斤)
152	21	16.9	152	26	22.5
212	26	28.1	227	30	33.8
303	30	46.9	303	36	60.0
379	35	67.5			
455	36	86.3	455	45	112.5
606	45	142.5	606	55	18.75

公制陶管之覆土深度普通規定。

重載之公路

$$H > 60 \text{ 公分} > D$$

鐵路

$$H > 90 \text{ 公分} > 1.5D$$

H 為管頂離路面(或施工基面)之高度,

D 為內徑。

茲舉我國湖南省公路局陶管涵洞標準圖(4.13 圖)以供參考。

4.8 陶管設計之理論公式 此公式為日本茂庭博士所發表。

得應用于陶管及淨混凝土管之設計。

設 f_c = 陶管或混凝土管所受之單位壓應力,

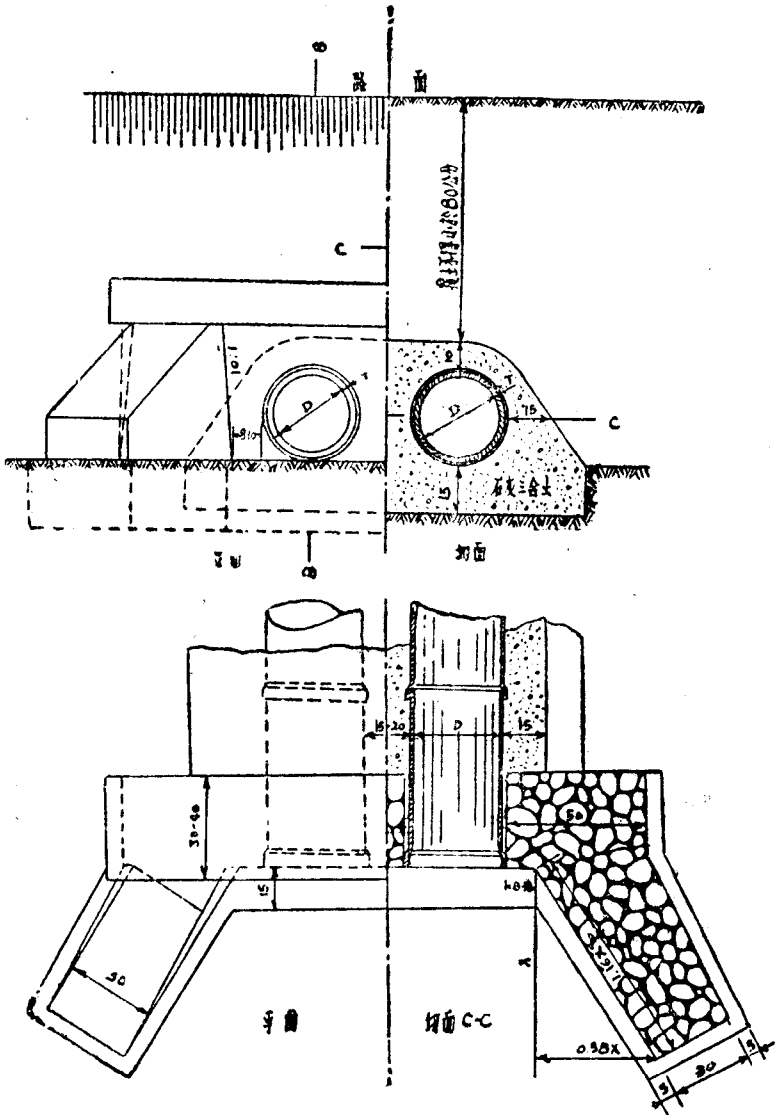
f_t = 陶管或混凝土管所受之單位拉應力,

E_c = 陶管或混凝土管壓縮之彈性係數,

E_t = 陶管或混凝土管受拉之彈性係數,

b = 管長。

據實際之結果知應力之變化, 類似一拋物線之變化, 全斷面之應力



4.15 圖 a 湖南公路局管式涵洞標準圖

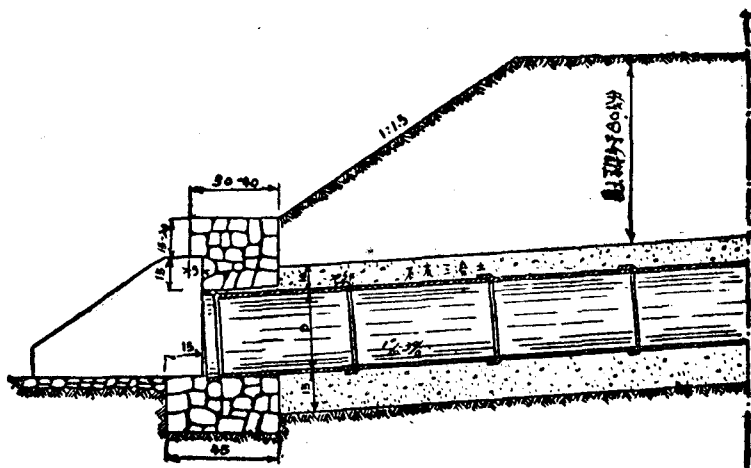


圖 4

- 1. 涵管長度 4.0m 管節長 2.0m 管口 25cm × 25cm
- 2. 涵管埋深 1.5m
- 3. 涵管坡度 1:3 涵管不可有積水
- 4. 涵管三合土必須堅實不可有縫隙且涵管與管節間應加木楔或木片並用灰土填塞其縫隙
- 5. 涵管基礎應埋入地層中其埋入深度應根據地質情況而定
- 6. 涵管兩端一字牆及翼牆如當地無石料可用土或灰土填築
- 7. 涵管長度及埋深應根據當地地形而定

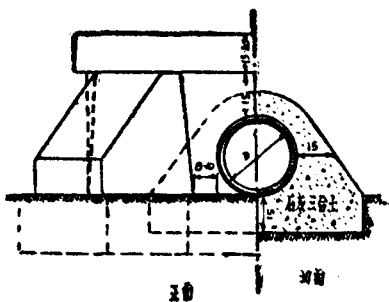


圖 4b

4.13 圖 b 湖南公路局管式涵洞標準圖

總和等於零，故得

$$\frac{2}{3}f_c b x - \frac{2}{3}f_t b (h-x) = 0$$

$$f_c x = f_t (h-x)$$

各應力對於中立軸之力矩為：

$$M = \frac{5}{12} f_c b x^2 + \frac{5}{12} f_t b (h-x)^2$$

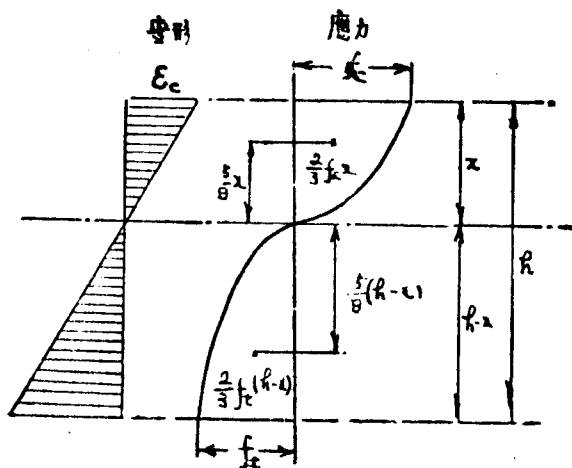
假定其應拉應壓之 性係數相等，

$$\frac{E_c}{E_t} = 1 \quad \frac{f_t}{f_c} = n$$

$$x = n(h-x)$$

∴

$$x = \frac{n}{1+n} h$$



4.14 圖 陶管受力圖

$$f_c = \frac{M}{12 b \left[x^2 + n(h-x)^2 \right]} \quad (4.28)$$

若依茂庭氏之假定

$$n = \frac{1}{7} \quad x = \frac{1}{8} h$$

$$f_c = 19.2 \frac{M}{bh^2} \quad (4.28a)$$

若

$$n = \frac{1}{10} \quad x = \frac{1}{11} h$$

$$f_c = 26.4 \frac{M}{bh^2} \quad (4.28b)$$

4.9 陶管之經驗公式 陶管之計算，除理論公式外，普通尚有甚多之經驗公式。其適用與否，雖不敢言，但發表者，均積多年之經驗而後造成，自有其相當之價值，茲錄之如下以供參考：

代表符號

t = 陶管之厚度，

W = 陶管之外壓等布荷重(公斤/公尺)，

Q = 陶管之外壓集中荷重(公斤)，

w = 陶管之自重(公斤/公尺³)，

d = 陶管之內徑(公分)，

f = 陶管之應力(公斤/公分²)，

f_c = 陶管之壓應力(公斤/公分²)，

f_t = 陶管之拉應力(公斤/公分²)，

表者	公式	
<u>得爾鮑特</u>	$t = 0.612 \sqrt{\frac{Qd}{f}}$	(4.29)
<u>爾鮑特</u>	$t = 0.087 \sqrt{\frac{GWd}{f}}$	(4.30)
<u>馬師頓</u>	$t = \sqrt{\frac{0.06Wd}{f}}$	(4.31)
<u>茂庭忠次郎</u>	$t = 1.65 \sqrt{\frac{Wd}{c}}$	(4.32)

此式中 c 之值如下： 管頂底受集中載重 $c=13.8$

管面受均布載重 $c=34.9$

埋設完全 $c=24.4$

茂庭忠次郎 $Q = 1,220 \frac{t^{1.5}}{d}$ (4.33)

殿谷良作 $W = 10,200 \frac{t^{1.5}}{d}$ (4.34)

殿谷良作 $f_s = \frac{24.3W(t+d) \pm 0.09wt(t+d)^2}{10t^2}$ (4.35)

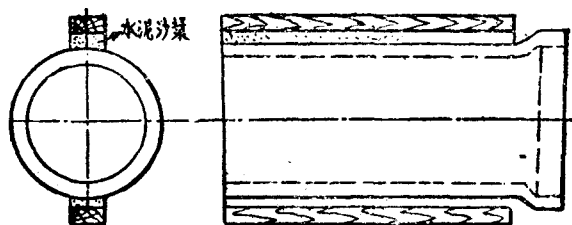
中山岩藏 $f = 120 \frac{1}{t^{0.5}}$ (4.36)

水谷鏘 $W = 559f_t \frac{t^2}{d+t}$ (4.37)

4.10 陶管之實地試驗法 陶管之理論公式或經驗公式，計算均頗繁雜，且難期準確，故不如實際求管之耐壓力，而定標準。使若

于厚度若干口徑之陶管，必須有若干之耐壓力。而設計之時 則視涵洞之重要性而定安全率為 2、3 或 4。其試驗之方法述之如下：

陶管之試驗普通於百管之中取其一，擇其可以代表百管者為試樣。頂底各以 5 公分之木片表之，木片與管頂之間，填以水泥沙漿待沙漿固結之後，而後施以均布載重，視其能否達到一定之耐壓力（管徑在 23 公分內徑以內，木片可改用 2.5 公分寬）。



4.11 圖 陶管試驗圖

4.11 混凝土管涵洞之應用及其特點 混凝土管涵洞其形狀與陶管相同，其設計方法亦與陶管略同。普通混凝土管涵洞多為 1:2:4 混凝土所製成，投入模型中，俟其強度稍充足後方可使用，其優劣之點如下：

優點

- (1) 安置容易；
- (2) 安設一年或兩年以後，其強度逐漸增加，修理亦甚易；
- (3) 可得良好之管狀，其接洽處之摩擦亦少；
- (4) 富于耐久性；
- (5) 材料豐富，國產水泥亦多，可就地製成，轉運上不生困難。

劣點

- (1) 混凝土化學性不安定，故在地基土壤地質不良之處應避免用之；
- (2) 如施工不良，不甚緻密，則易漏水；
- (3) 製模時亦有相當困難。

但上述之困難，均不難解決。故混凝土管之應用，為量至多。普通公路上常用者，長度為 60 公分至 1 公尺（2 至 3 呎），內徑為 30 公分至 60 公分（12 吋至 24 吋），管厚 3 公分至 7 公分（1½ 吋至 3 吋）。

4·16 圖為我國浙江省公路局混凝土管之標準圖。

鐵道上所用之混凝土管其厚度較公路所用者尤大，而基礎之加強，尤為重視，4·17 圖為粵漢路株韶段之一涵洞。

4·12 混凝土管及陶管之檢定

a. 化學性檢定 陶管之化學性甚為安定，而混凝土則否，尤以地質及水流之為強酸或強鹼基者。苛性鈣、硫化鐵及其他礦物之細粒存在，常可使混凝土崩解。普通混凝土最懼者為鹼基性鹽。其損壞最大處，當為濕狀態之鹼基性鹽之集中之化學作用；或一乾一濕之結晶膨脹之物理作用。故對於混凝土之抵抗力及水流泥土之性質發生疑問時，以採用緻密之陶管或其他管為宜。

b. 物理試驗

(1) 強度試驗 耐壓力之試驗已如 4·10 節所述。

(2) 吸水試驗 即用以決定管之密度，密度大者其抵抗凍結鹼基酸之力均大。蓋渠水由渠外向內滲透，受壓力渠則水向外滲透。至水之滲透途徑有二：一為管之粗鬆部分，一為接合部分，如水在此小途徑中可通行無阻，即無其他鹼基性質，亦能將水泥中之氫氧化石

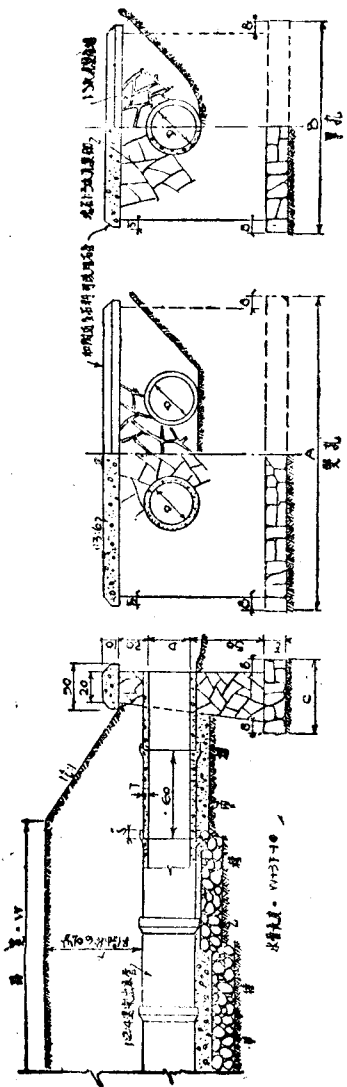


圖 四

此項工程之設計及施工均係由本局工程處負責
 辦理其一切經費均由本局撥付其一切材料均由
 本局採購其一切工程均由本局派員監督其一切
 工程均須按圖施工不得有誤此佈

D	T	S	B	A	C	G	F
22	21	5	50	47	55	5	
30	3	5	120	100	20	42	15
45	5	5	180	240	55	70	20
60	7 1/2	25	240	300	65	50	20

416 卷 浙江省立公路局工程處

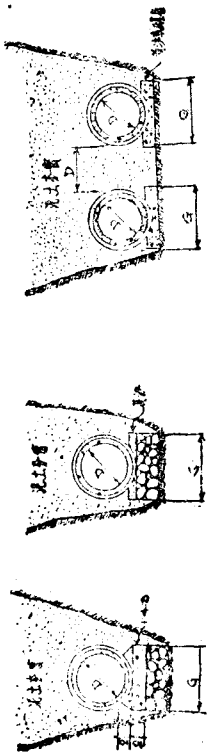


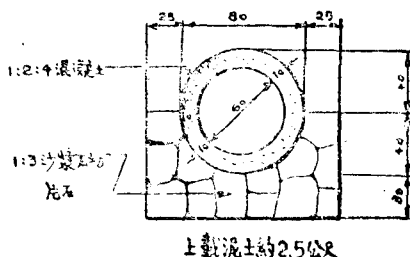
圖 五

單孔

圖 六

圖 七

灰溶解，使管渠崩潰。據紐約水道局之試驗內徑 11 尺，厚 8 吋，在水壓 40 磅/吋²時水之滲透為 11 公分³/公里/小時，故水壓稍大之倒虹吸管，寧可用鋼鐵管或極緻密之鋼筋混凝土管，而防水



4-17 圖 粵漢路管涵洞(KM+2+920)

之方法，最常用者多於拌和混凝土時，加以特種材料，如防濕粉，粘土……之屬，以增密度。或用明礬與肥皂水，或淨水泥汁洗刷混凝土之表面，藉以填塞管中空隙。如可用石臘敷布於管之裏壁，則其收效更大。普通吸水率之限定約以管乾時重量為標準，其限定在百分十以下。

(c)直接觀察 須注意下列各點：

- (1) 品質堅緻勻和；陶管則火力充分，顏色均勻，發鏗鏘之聲；混凝土則樁打結實；
- (2) 全管無定隙缺口裂痕；
- (3) 兩端接口光滑而不變形；
- (4) 截面圓形直而不曲；
- (5) 管內光滑。

其最大之變動，管徑不得過規定之 $\frac{3}{100}$ 左右，及管壁厚度之 $\frac{65}{100}$ 。

長度即管之變動，不得過 $\frac{3}{100}$ 。管外之突出物、塊狀附着物、碎片等而無害于管之性質且為數不多者，其容許厚度為管壁厚 $\frac{15}{100}$ ，

附着物之直徑為內徑之10/100。

以上三種檢定以直接觀察為最簡單且最需要。

4.13 鑄鐵管之應用及其特點 通常設大水道，陶管不能勝任者可以鑄鐵之代替之。其口徑可自12至48吋 每段之長自3呎，（呎，8呎，以至12呎。美國密失西比河 (Mississippi river) 流域全部鐵道均曾用之。鑄鐵管之每呎重量輕重不同，茲列普通常用者二種如4.6表一為較輕者，一為較重者。

4.6 表 鑄鐵管尺寸表

種 類	內徑(吋)	水道面積(呎 ²)	厚度(吋)	每呎重(磅)	十二呎重
重	12	0.8	0.52	75	900
	18	1.8	0.73	167	2,000
	24	3.1	1.00	250	3,000
	30	4.9	1.66	334	4,000
	36	7.1	1.12	470	5,600
者	42	9.3	1.38	600	7,200
	48	12.6	1.44	725	8,700
輕	12	0.8	0.54	72.5	870
	14	1.1	0.57	89.3	1,075
	16	1.4	0.60	108.3	1,300
	18	1.8	0.64	129.2	1,550
	24	3.1	0.78	204.2	2,450
	30	4.9	0.88	291.7	3,500
	36	7.1	0.99	391.7	4,700
	者	42	9.3	1.10	512.5
48		12.3	1.26	666.7	8,000

鑄鐵管有下列之優點：

(1) 鑄鐵管埋于土中之深度，可比陶管或混凝土管減少，其 4.11 圖之 c 及 s 之值之規定如 4.7 表(所用鑄鐵管為較輕之一種)。鑄鐵管之上車輪載重不容違與管頂相近在半管徑以內。不堅固之泥土如黏土、軟肥土、粉沙等尚須增加四吋。如汽車載重超過十噸或八噸時，其厚度尚須略增。

4.7 表 鑄鐵管埋設最小深度

內徑(吋)12	14	16	18	24	30	36	42	48
c (吋)12	12	12	12	12	15	18	21	24
s (吋) 8	8	8	8	8	8	8	8	8

(2) 鑄鐵管不受凍結膨脹之虞。

(3) 酸鹽基均不易侵蝕

鑄鐵管雖有上述之優點，但鑄鐵管涵洞，在近代工程中逐漸少用，蓋以其有下列之劣點：

(1) 鑄鐵管直徑較大者，常常受壓力，即易裂開；

(2) 鑄鐵管之建築費較混凝土管涵洞貴；

(3) 厚者重量甚大，搬運困難；

(4) 鑄鐵管多有空隙瑕疵之虞；

(5) 縱方向極易折斷

茲將建築鑄鐵管涵洞，應特加注意之點列下：

(1) 管之安設，宜稍為斜傾，則管不為兩端所支持，且不致如橫梁之折斷。

(2)使泥土貼合于管底，管旁泥土亦需夯實，則管底所受之壓力平均，且可普遍傳達于管底及兩端，使管有堅強之縱支力。

(3)因管所受之力，大概中部較兩端為大，故管底中部之建築，較兩端為高。通常建築鑄鐵管涵洞，如能安置特別適當，土亦夯實，則尋常路堤壓力之下，其堅強可足支持。但往往載重不大之路堤，亦常發生裂痕，則完全因安設之未加注意與土未能夯實。

鑄鐵管之接合方法甚多，有用加環法，有用釘接。有用栓窩接。填縫材料亦不外麻繩、鉛等，但以其用途甚小，不詳述之。

4·14 高級鑄鐵管 過去因鑄鐵管之抗拉強度過弱，管之載重與厚度同增，不特不安全，且不經濟。普通于鑄鐵管外加鋼環等亦難得甚良結果。據近年來學者之研究，于鑄鐵管中加以10—20%之鋼，其質將更緻密，抗拉強度亦因而大增（昔日僅為12公斤/公厘²，今已增至20—30公斤/公厘²）。此高級鑄鐵管之風行與否，仍有待于試用之成績若何而定。

4·15 鋼殼管涵洞 前述三種涵洞均不能受大拉力，僅能受壓。在大載重之時，管之頂底兩方內部與管之左右之外部常受較大之拉力。近來交通進步，鐵路道路載重無一不在增加中，能受拉力之各種管涵洞，遂有迫切之需要。鋼殼管即為其一種。鋼殼管涵洞，即由鋼殼用釘釘成圓形之管。普通計算用釘釘成之鋼管，其接合及釘重常佔重量百分之十至百分之十五。故電弧焊接及瓦斯焊接如能用於鋼板管則可較為經濟，此種應用亦正在改良研究與推行之間。

鋼殼管之優點：

(1)可受較大之壓力，震動衝擊之抵抗力均大。

- (2) 較之鑄鐵管，運輸輕便甚多；
- (3) 基礎即不甚堅固，亦不易破裂；
- (4) 比之鑄鐵管因可得較長之長度，可省接合；
- (5) 無鑄鐵管空隙等弊；
- (6) 性質安定不受侵蝕。

但其缺點如下

- (1) 我國國產鋼料甚少，故須仰用外貨；
- (2) 價昂；
- (3) 管之厚度甚小，如受腐蝕，其影響甚大。

普通之尺寸，厚度不得少過 $\frac{3}{16}$ 吋 其直徑 4 呎附近或以上者得用 $\frac{3}{8}$ 吋。普通所用者，如 4.8 表所列：

4.8 表 鋼殼管尺寸

內徑(吋)	水道面積(呎 ²)	管殼厚度(吋)	釘		每尺重(磅)
			最小直徑(吋)	最大螺旋距(吋)	
18	1.8	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{2}$	4	40
24	3.1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	5	70
30	4.9	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	5	85
36	7.1	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{8}$	6	130

建築鋼管涵洞應注意下述各點：

(1) 鋼管之受拉受壓強度相若，可應用力學計算之。據美國公路局之規定，4.11 圖之限制如 4.9 表，鋼管之頂不容有車輪載重與管頂相近在半管徑以內。不堅實之泥土如粘土、頓肥土、粉沙等，

須加厚四吋。若汽車載重，超過八噸或十噸以上者，尚須略加其深度。

4.9 表 鋼殼管埋設覆土最小深度表

內徑(吋)	12	15	18	24	30	36
c(吋)	18	18	18	24	30	33
s(吋)	8	8	8	8	8	8

(2) 施工之時，基礎須夯實。

(3) 首尾兩端須設置端壁。

(4) 基礎甚弱時，尚需加強。

4.16 鋼管鑄鐵管之油漆 鋼管及鑄鐵管為防生銹，均須加以油漆。法將管中預先洗淨清潔，熱至 150°C 而後塗以同溫防銹材料，而後于空中乾燥之。

4.17 皺紋管涵洞之應用及其特點 皺紋管即淨鐵皺紋管之簡稱。此種皺紋管涵洞，在國外近來用之頗廣，且為涵洞工程中最上等之排水管，凡屬運輸困難地方險阻之區，均宜採用此種淨鐵皺紋管。此種涵洞有以下之優點：

(1) 重量甚輕，運輸便利，在國外雜誌討論各種涵洞之經濟時，常見皺紋管因運輸費之低廉而佔優勢；

(2) 耐久堅固，蓋其原料為淨鐵，外鍍白鋁，鐵質純淨，100 分中含 100 分之 99 以上成分之鐵，或含有些少之銅，雜質去盡，自不易於生銹

(3) 能容多量之水流通無阻。

(4) 因皺紋之故，有極大之抗壓力。

(5) 土地新闢基礎未固時有沉下之現象，裝置皺紋鐵管，因剛性甚強，不生破裂。

其最大缺點厥為我國國產無此出品，故少用之耳。

皺紋管為純鐵管，含鐵在 99% 以上，前已述之。但其含銅亦不得少過 0.2%。所有材料均鍍以均勻之淨鋅，每方呎皺紋管兩面所塗之白鋅不得少過 $1\frac{1}{2}$ 噸或多過 $2\frac{1}{2}$ 噸。所有皺紋管均刻有製造公司名稱種類號數等。釘之材料亦同，亦鍍以白鋅，其距離不得大過管徑之二倍。釘時須洽釘，勿壞及形狀。波狀之中心距離在 $2\frac{1}{2}$ 吋與 3 吋之間， $2\frac{1}{2}$ 吋者其深度 $\frac{1}{2}$ 吋；3 吋者其深度為 $\frac{5}{8}$ 吋。管之接合多為疊接 (lap joint)，另一種皺紋管為半圓形者，運至裝置地點用釘接之，在搬運上非常便利，美國 近來常用之，日本 北海道之鐵路亦採用之。4.10 表為 美國公路局 所用之尺寸，4.11 表為 日本 常用之尺寸。

4.10 表 美國公路局 所用皺紋管尺寸 (英制)

內徑 (吋)	號數	度厚 (吋)	每呎重 (磅)
12	16	$0.0625 = \frac{1}{16}$	10
15	16	$\frac{1}{16}$	$12\frac{1}{4}$
18	16	$\frac{1}{16}$	$16\frac{1}{2}$
24	14	$0.078 = \frac{5}{64}$	24
30	14	$\frac{5}{64}$	30
36	13	$0.1094 = \frac{7}{64}$	36

4.11 表 日本常用之皺紋管尺寸(公制)

徑(公分)	號數	厚度(公厘)	每公尺重(公斤)
20	16	1.6	13.2
25	16	1.6	15.6
30	16	1.6	17.6
38	16	1.6	21.4
46	16	1.6	25.0
50	16	1.6	26.7
60	14	2.0	40.0
76	14	2.0	50.0
90	14	2.0	53.0
106	12	2.8	93.0
120	12	2.8	104.0
152	10	3.6	165.0
183	8	3.6	198.0

4.18 圖係我國浙江省公路局標準圖之一例。

建築皺紋管涵洞應注意之事項如下：

(1) 皺紋管埋於土中所受壓力，按實際之結果，其強度如 4.12 表。在此範圍中若去其荷重即能恢復原狀。

在美國公路局所規定 4.11 圖， c 及 s 之值如 4.13 表，皺紋管之頂上不容有車輪載重接近在管徑以內。不堅實之泥土如粘土、軟肥土、粉沙等須再加厚 4 吋。如前之汽車載重超過 8 或 10 公噸時，其厚度尚需增加。

(2) 挖溝之寬度應比直徑大約 80 公分。溝底須掘成半圓形，如

4.12 表 皺紋管強度

內徑(公分)	號數	耐壓力(公噸)	梳曲度(公分)
30	16	19	0.10
60	14	108	0.33
90	12	75	1.50
120	12	56	1.70

4.13 表 皺紋鐵管埋設覆土最小深度

號 數	16	16	16	14	14	12
內 徑(吋)	12	15	8	24	30	36
c (吋)	8	18	18	24	30	36
s (吋)	2	12	12	12	12	12

溝內有稍大石塊必須挑出。

(3) 在涵洞業已置于堅實基礎之後，其兩旁空隙之處可以好土填塞之。惟填到水管半徑時，即須詳細察看水管有無沉陷及歪斜等現象，如有之即須擺正。

(4) 水管之下半部兩旁填實後，上半部之兩旁即可繼續填塞，每填數吋，即須夯實，隨填隨夯，迨達路面為止。

4.18 鋼筋混凝土管之應用 鋼筋混凝土管涵洞在近代涵洞工程中，用之至夥，但據粵漢鐵路硃韶段之比較，口徑在一公尺以內者，建築費最廉，最為適用。如口徑過大時，反較箱涵洞為昂，建築亦煩，故比較少用。其優點甚多，列舉如下。

- (1) 安置容易;
- (2) 運輸極為便利,石及沙均可就地取材,就地製成;
- (3) 除鋼筋多用外貨外,餘多用國貨;
- (4) 經久耐用,無修養費;
- (5) 基礎土質疏鬆載重能力薄弱者適用之;
- (6) 比之皺紋管、鋼殼管、鑄鐵管等均廉。

鋼筋混凝土管,有現成者,有臨時設計者,4.14 表為美國公路局所定之尺寸及鋼筋數量,茲錄之以資參考。管每段長4呎,表內之重量不包括接合材料之重量。此種混凝土涵洞埋在地下其管頂之覆土最小深度據美國公路局之規定其4.11 圖之C及S值如4.15 表。洞頂之土絕不容有車輪載重與管徑相近在半管徑以內。不堅實之泥土如

4.14 表美國公路局所定鋼筋混凝土管之尺寸

內徑(吋)	管厚(吋)	鋼筋 每方呎需要重	舉例 A. S. & W. Co.'st 1	每尺重(磅)
12	2	0.1 磅一層	NO 3 = 0.44 磅 呎	85
15	2 $\frac{1}{4}$	0.5 磅一層	NO 2 = 0.51	120
18	2 $\frac{1}{2}$	0.6 磅一層	NO 5 = 0.63	160
24	3	0.8 磅二層	NO 4 = 0.80	260
30	3 $\frac{1}{2}$	1.6 磅二層	NO 25 = 1.01	365
36	4	3.2 磅二層	NO 42 = 1.20	500

粘土、輕肥土、粉沙等須另加 4 吋，如汽車載重，超過 8 或 10 公噸者，其深度尚須增加。

4.15 表 鋼筋混凝土埋設覆土最小深度

內 徑(吋)	12	16	18	24	30	36
c (吋)	12	12	12	12	15	18
s (吋)	8	8	8	8	8	8

鋼筋混凝土管，普通多為人工所製成，但特殊者用機械之離心力造成。置混凝土于鋼模之中，模即開始作 260. r. p. m. (revolution per min.) 之迴轉，逐漸增加至 1,300 r. p. m.。混凝土在模內作等厚之均布，同時內部空氣，過剩水分，均被排出而造成密緻優良之機製混凝土管。用機製之管其厚度可比人工製造者為薄，譬如人工製造者 50 公分之直徑須厚 7—8 公分，而機製者，僅須 5 公分左右，其最高之壓力，可達 12 公斤/公分²。其接合方法惟有加環法之一種。4.16 表係日本出品之機製管尺寸。

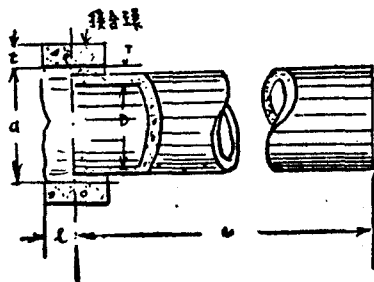
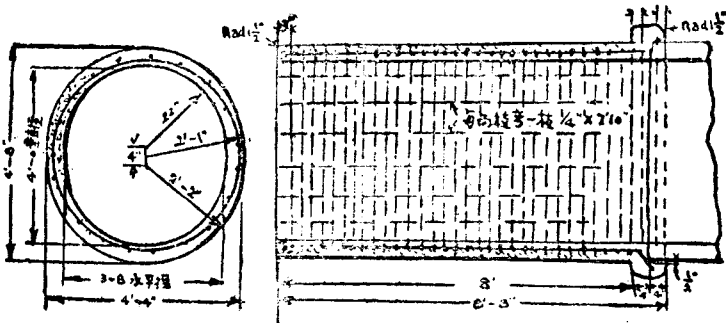


圖 機製鋼筋混凝土管

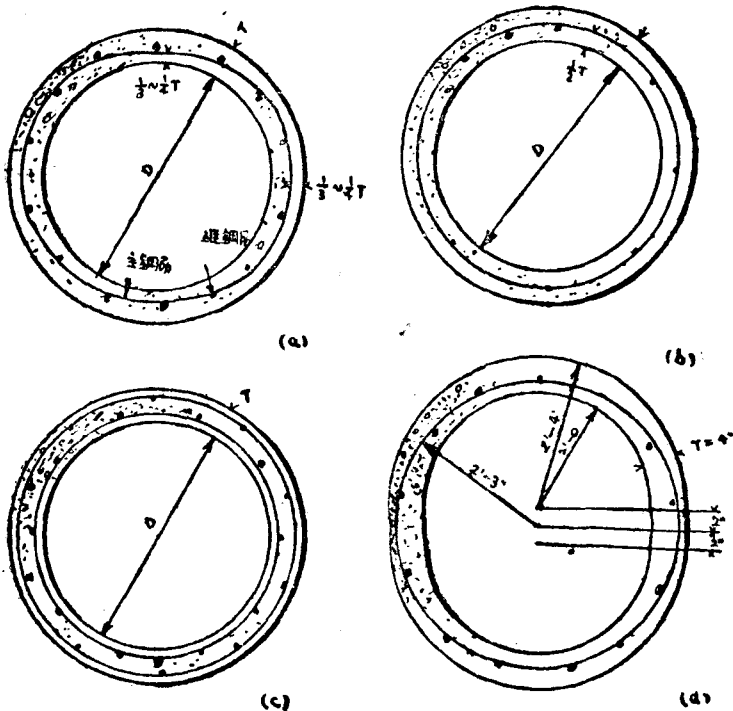
4.19 鋼筋混凝土管之鋼筋配置法 管受重壓時最大之破裂為圓環之破裂，故圓環方向之環鋼筋，為鋼筋混凝土管之主鋼筋。在管應力之理論，管之頂底內部受拉，管之兩旁外部亦受拉；而鋼筋專為抗拉之用，為適應此理論，主鋼筋之排列，遂有下列之四種形

4.16 表 日本機製鋼筋混凝土管尺寸

內徑 D (公厘)	厚 T (公厘)	長 L (公尺)	重 (公斤)	內徑 D (公厘)	厚 T (公厘)	長 L (公尺)	重 (公斤)
102	25	1.82	45	533	38	2.43	403
107	25	1.82	54	610	38	2.43	463
153	25	1.82	64	683	45	2.43	611
203	25	1.82	81	762	48	2.43	726
229	25	1.82	93	838	51	2.43	849
254	25	1.82	99	914	51	2.43	924
305	29	1.82	134	1067	62	2.43	1310
381	32	1.82	185	1290	76	2.43	1838
438	32	2.43	245	1372	76	2.43	2050
457	38	2.43	355	1524	76	2.43	2269



4.20 圖 鋼筋混凝土涵洞



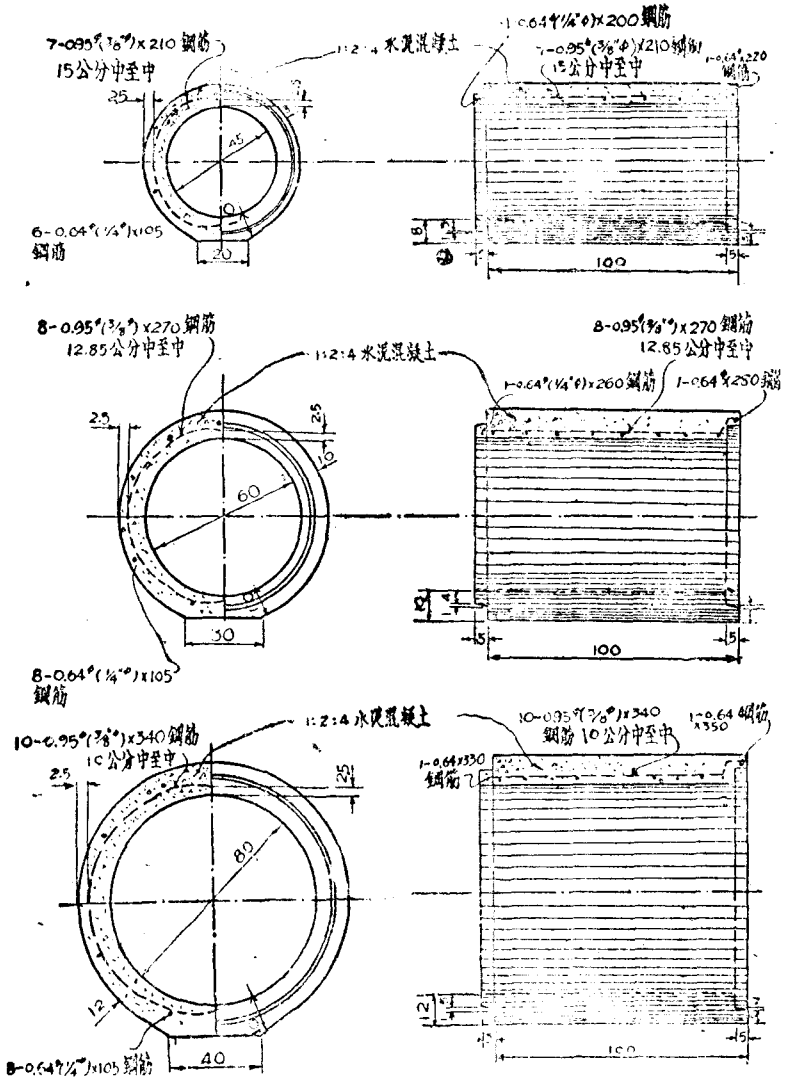
4.21 圖 鋼 筋 配 置 圖

式：

(a) 鋼筋為橢圓形，在管之頂底與管之內緣及在管之兩旁與管之外緣之距離普通為管厚之 $\frac{1}{3}$ ，若管厚大者得採 $\frac{1}{2}$ 。4.22 圖之我國滇緬鐵路標準圖即屬此例。

(b) 鋼筋為圓形，單圈者，適居管厚之中間，此為小管時用之。

(c) 為雙圈管，此種施工既易，耐壓亦強，大管常用之。4.36 圖所述 Iowa Highway Commission 之標準圖即其一例。



註: 本圖設計由重慶CNR

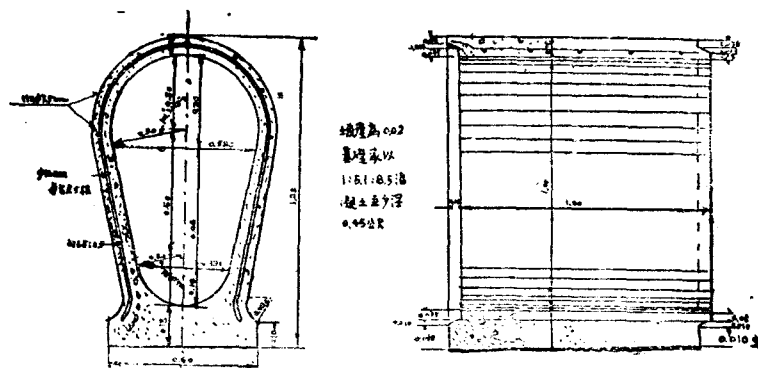
4.22 圖 瀝細鐵路鋼筋混凝土小管標準圖

(d)爲圓環鋼筋配以橢圓鋼筋混凝土管，4.20 圖爲 C. H. Cartlidge 氏所設計者。此環狀之主鋼筋，或爲單圈者，或爲螺旋者，螺旋者結果較佳，但施工困難耳。

主鋼筋之外爲縱鋼筋，縱鋼筋之配置目的有二，一爲繫留主鋼筋，使其位置適當，且混凝土之聯絡密切，不易生裂。一爲抵抗縱力矩，使管不至生縱向之破壞。

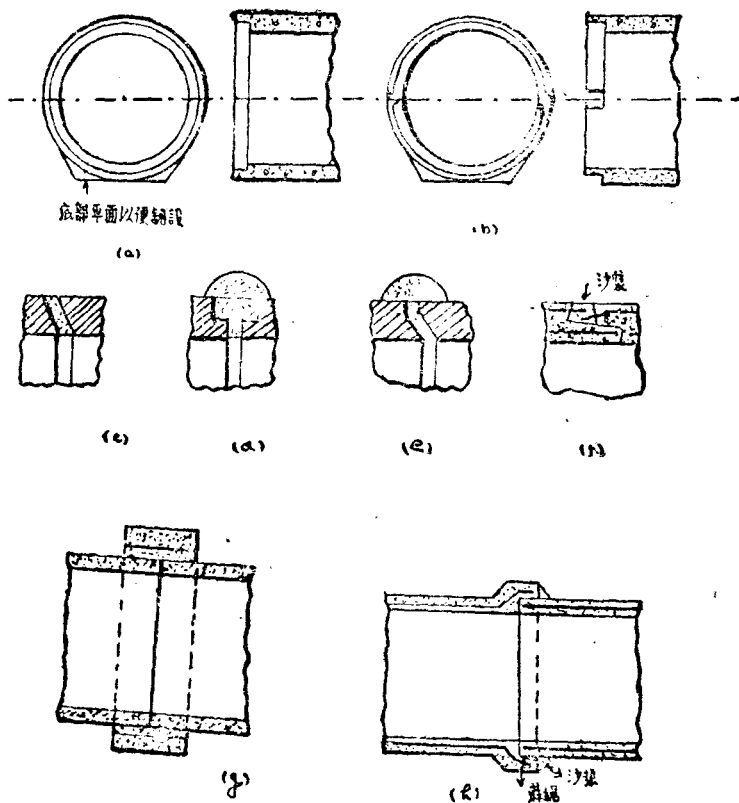
4.20 非圓形管涵洞之應用 非圓形之管涵洞，每在特殊情形用之，以其形狀之特異，施工上多感困難。茲舉一我國隴海鐵路西寶段所用之蛋形管爲例，蓋因該段冬季冰凍，而第二三分段又於是時開工，故特製此鋼筋混凝土蛋形管，底平而管空如蛋形。可逐節排列于基脚之上，祇須用灰漿將管節接筍處填縫，便可填土其上。在凍期內安設不生困難，4.23 圖卽爲該段之六公寸蛋形涵洞標準圖。其設計原理見拱涵洞章。

4.21 鋼筋混凝土管及混凝土管之接合 如 4.24 圖 (a) (b)



4.23 圖 隴海路六公寸蛋形涵洞

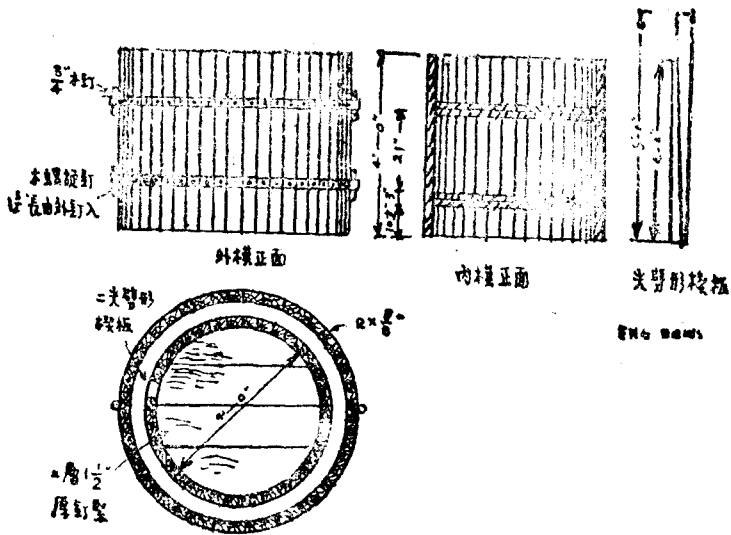
(c)(d)(e)(f) 六種均為厚管之接合，(g)種加環法為薄管之接合，又機製鋼筋混凝土管，亦用此種接合。(h)種為栓窩接合，亦用于薄管為多。此外有齒形接合，在接合部分作相對之齒形，接合之施工甚確，尚有耐大壓力如倒虹吸管等接合，有用鑄鐵環等作成耐大水壓之接合部，但不常用之。



4.24 圖 鋼筋混凝土及泥管之接合

4.22 混凝土及鋼筋混凝土管之模型 模型之種類甚多，茲略舉數種如下：

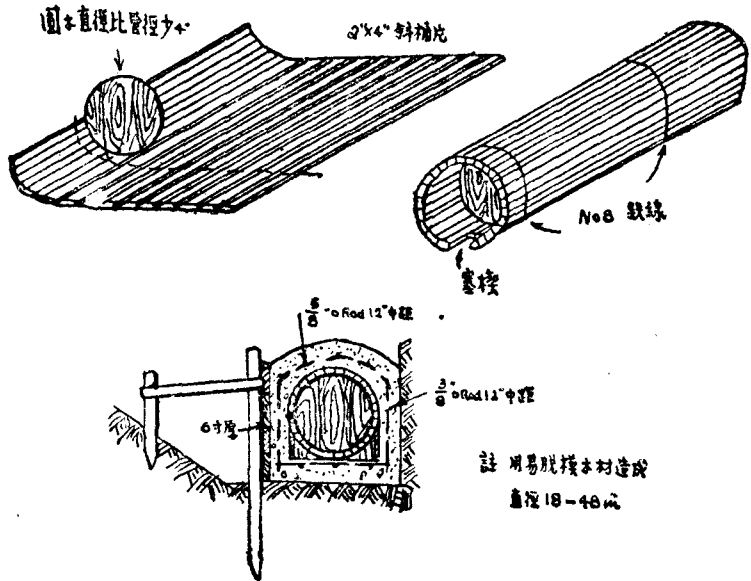
- a. 鐵模 鐵造成之管模型，可用之多次，故普通小型管用之最多。
- b. 木模 木模為多數桶板所製成，如 4.25 圖所示者是其一種。
- c. 就地工作之木模 如 4.26 圖，用易脫模易造成之木材造成涵洞模型。此模用 2吋 × 4吋斜桶片所組成，用鐵線連串之，此桶片之數目依管渠之大小而異，此模因中間之圓木而圍成圓環，再塞入塞楔 (opposite wedge) 使桶中之位置緊塞。待混凝土凝結後乃取去其楔，其模遂脫。此種模板可用數次，極為經濟。此模于當地製成，圓管



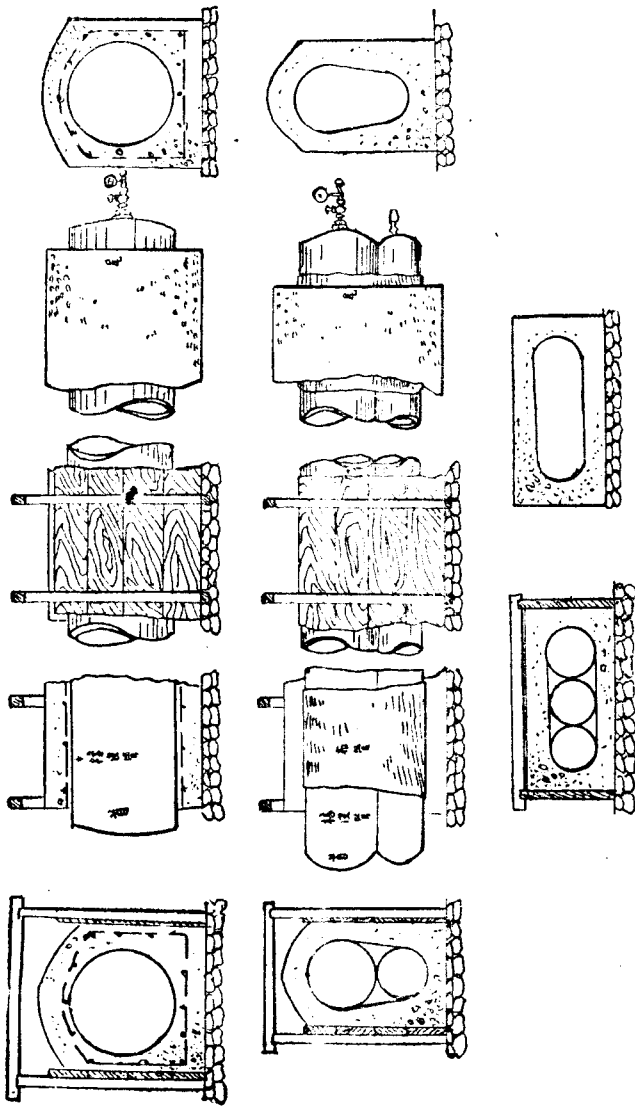
4.25 圖 管 涵 洞 木 模

及其補強部分爲一氣呵成，故此種涵洞，雖名之曰管涵洞。實與箱形涵洞亦無一定之界別。

d. 壓水壓製模法 此種方法爲日本野瀬浩一氏所發明，模以布管(hose)或橡皮管(gum)所造成。此種管模不止具前者之優點，前者用木桶板造成圓管形，或尙較易，若比較複雜之管形，曲線部分必感困難，此種模管伸縮自如，極爲便利。其法如 4.27 圖所示 用橡皮管或布管，可造成多種管形。管中實以 0.14 公斤/公分² 以上之水壓或氣壓，於管之周圍配以鋼筋。模管之直徑可自 5 公分至 240 公分，其長度直徑小者 18 公尺大者 10 公尺，在管之直方向言，曲管、S 形管、虹吸管均能造到，而無須接合。



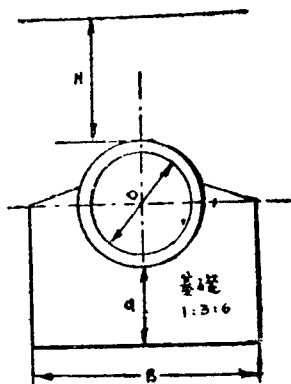
4.26 圖 就地工作之管模



4.27 圖 氣 壓 水 壓 管 橋

4.23 沙漿管及鋼筋沙漿管 鋼筋混凝土管直徑小者厚度亦小，混凝土不能用粗粒料，而用細粒料，故稱曰鋼筋沙漿管，惟甚少用之。淨沙管漿亦限于小徑用，但陶管足以代替之，故用途甚少。

4.24 不受水壓力之鋼筋混凝土管之設計例題 茲設有下述情形，作鋼筋混凝土管之設計。



4.8 圖 鋼筋混凝土管之補強

設 泥重 100 磅 呎³，橫壓力 30 磅 呎² (包含活重之外加載重 surcharge)。活重為 E50，填土高 9 呎，受雨流域 50 畝，

$$\text{并設 } C = \frac{2}{3}。$$

設計 求所需水道面積

$$a = \frac{2}{3} \sqrt[4]{50^3} = 12.6$$

$$d = 4 \text{ 呎}$$

今設管厚為 9 吋，則外徑

$$d' = 5 \text{ 呎 } 6 \text{ 吋}$$

死重用藍京公式

$$P = \frac{100 \times ABCD}{BC} = \frac{100 \times (11.75 \times 2.75 - \frac{\pi}{4} \times 2.75^2)}{2.75} = 900 \text{ 磅}$$

$$A \text{ 點反力} = 960 \times 2.75 = 2,640 \text{ 磅}$$

$$M_A = -\frac{pr^2}{4} = -960 \times \frac{2.75^2}{4} = -1,810 \text{ 磅呎}$$

$$M_D = +\frac{pr^2}{4} = +1,810 \text{ 磅呎}$$

橫壓力

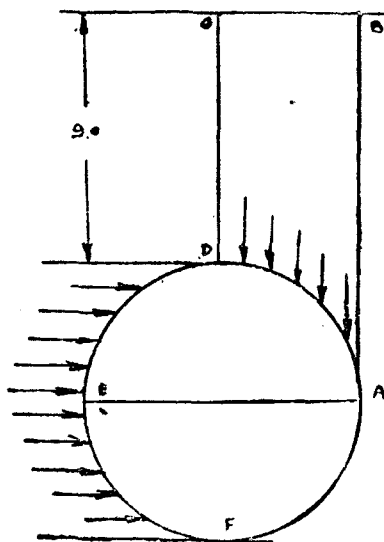
$$(2.75 + 9) \times 30 = 352.5 \text{ 磅}$$

$$M'_A = -M'_D = 667 \text{ 磅呎}$$

$$D \text{ 點之反力} = 352.5 \times 2.75 = 970 \text{ 磅}$$

單位長管之重量之半為

$$\frac{150(2.75^2\pi - 2^2\pi)}{2} = 820 \text{ 磅}$$



4.29 圖 管受土壓圖

假定此重量分布于 ADE 上。則

$$M_A'' = -\frac{1}{4} \frac{820}{5.5} \times 2.75^2 = -276 \text{ 磅呎}$$

$$A \text{ 剖面之垂直反力} = \frac{820}{2} = 410.5$$

活重所生之應力計算 用角度分布法，設其分布之範圍為 $w + \frac{1}{2}d$ ，枕木長 8 呎，道碴厚 1 呎（設其在道碴之分布為 45° 角度）。則活重由枕木傳至施工基面之寬度為 $w = 8 + 2 = 10$ 呎。古柏氏重量 50,000 磅輪之距離間隔為 5 呎，設其前後均布於 5 呎間

$$(w + \frac{1}{2}d) \times 5 = \left[(8 + 2) + \frac{1}{2} \cdot 11.75 \right] \times 5 = 79.3 \text{ 呎}^2$$

$$\frac{50,000}{79.3} = 630 \text{ 磅/呎}^2$$

$$-A \text{ 剖面之垂直反力} = 630 \times 275 = 1,735 \text{ 磅}$$

$$-M_A''' = M_D''' = 1,200 \text{ 磅呎}$$

活重之衝擊率在鐵道為 $\frac{100}{100}$ ，設在土中者減半，則

$$\text{反力} = \frac{1,735}{2} = 867.5 \text{ 磅}$$

$$-M_A'''' = +M_D'''' = 600 \text{ 磅呎}$$

茲列總表于下：

7.17 表

	A 點力矩	A 點反力	D 點力矩	D 點反力
直土壓	-1,810	2,640	1,810	
橫土壓	+667		-667	970
本身重	-276	410	276	
活 重	-1,200	1,735	1,200	
衝擊重	-600	867.5	600	
總 和	-3,219	5,762.5	3,219	970

$$\text{離心 } e = 3,219 \times 12 \div 5,762.5 = 6.7 \text{ 吋}$$

今設 $f_c = 650$ 磅/吋² $f_s = 16,000$ 磅/吋² $n = 15$

先設 D 點全受力矩, 不計反力

$$\rho = \frac{1}{2} \left/ \frac{f_s}{f_c} \left(\frac{f_s}{f_c} + 1 \right) \right. = 0.0077$$

$$K = \frac{nf_c}{f + nf_c} = 0.379$$

$$j = 1 - \frac{K}{3} = 0.874$$

$$R = 0.0077 \times 16,000 \times 0.874 = 107.7$$

$$d = \sqrt{\frac{M}{bR}} = \sqrt{\frac{38,700}{12 \times 107.7}} = 1.85 \text{ 吋}$$

d 之需要為 6 吋, 設取 d 為管之 $\frac{2}{3}$ 厚, 則與預定管厚 9 吋適等, 此較

為安全, (但管若是之厚, d 可採等于管厚之 $\frac{3}{4}$, 故實際如用 8 吋亦

可。)

A 及 E 之主鋼筋配于管壁外邊 $\frac{1}{3}$ 或 $\frac{1}{4}$ 處, D 點及 F 點配於內邊之 $\frac{1}{3}$ 或 $\frac{1}{4}$ 處。

$$A_s = \rho b h = 0.0077 \times 12 \times 5.85 = 0.542 \text{ 吋}^2$$

用 $\frac{1}{2}$ " ϕ 4 吋中距得 0.588 吋^2 。

以上為設計 D 點。如設計 A 及 E 點, 因受有 N 反力, 須用直接受壓力及撓曲力矩剖面設計之, 其方法如下: (由其結果知加計直接壓力者, 其結果更為安全。故上述設計 D 點不計 N 力, 乃屬于安全向。)

(a) 用計算法

$$e = 6.7 \text{ 吋}$$

$$M_s = \text{對於鋼筋之力矩} = 5,762 \times 8.2 = 47,200 \text{ 磅呎}$$

$$K = 1.5 - \sqrt{2.25 - \frac{M_s}{bd^2 f_c}} = 0.38$$

f_c 遠容許應力時之中立軸比為

$$x = 0.38 \times d = 2.28$$

$$f_s = 15 \times 650 \times \frac{6 - 2.28}{2.28} = 15,900 \text{ 磅/吋}^2$$

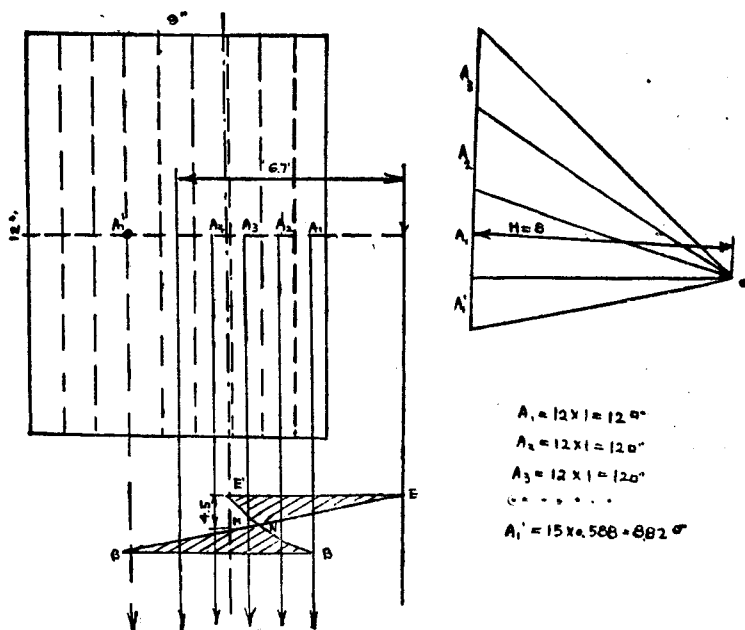
$$A_s = \frac{\frac{12 \times 2.28}{2} \times 650 - 5,762}{15,900} = 0.198 \text{ 吋}^2 = < 0.588 \text{ 吋}^2$$

(b) 用 mohr 圖解法求之 在一水平線 BB' 上從 B' 點起畫 A_1 、 A_2 、 A_3 力之索狀多角形，從 B 點起畫 A_1 之索狀多角形，遇前多角形於 N ，遇垂直力直線於 E ，令 $EE'N$ 面積 = $BB'N$ 面積，得 $x = 3.2$ 。

$$f_0 = \frac{3.2 \times 5,760}{8 \times 4.5} = 485 \text{ 磅/吋}^2 < 650 \text{ 磅/吋}^2$$

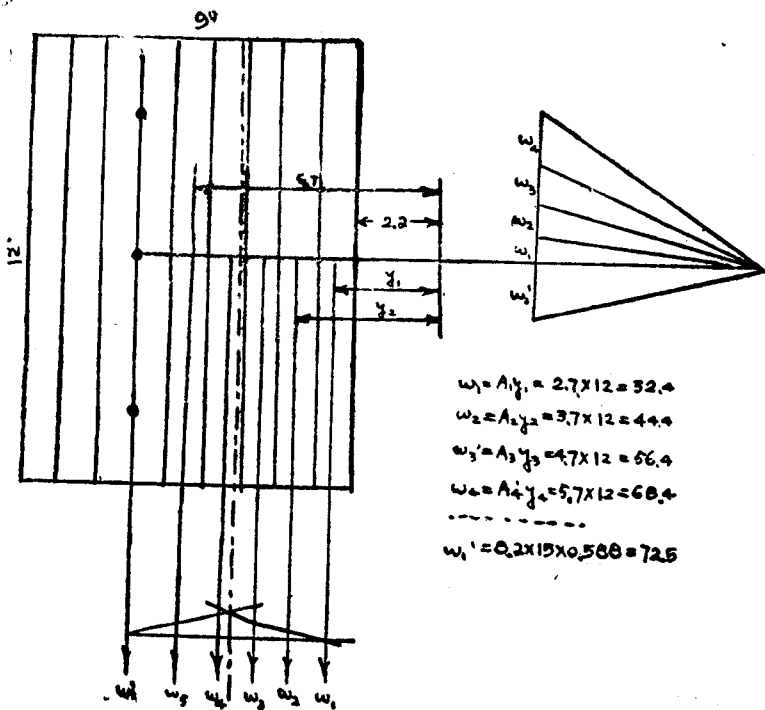
$$f_s = 15 \times \frac{2.8}{3.2} \times 485 = 6,400 \text{ 磅/吋}$$

(c) 用 spangenberg 圖解法 此法在計算上比較複雜，但其優



4.30 圖 Mohr 氏圖解

點在求中立軸之位置爲用兩直線相交，比之 mohr 用面積相等之法爲妙。在 mohr 法雖力矩 H_y 可於圖中讀出，爲其利便之點，但難得準確之結果。故實際之設計用 mohr 法時，力矩亦有從計算法求之，此法求中立軸之位置如 4.31 圖即將 $w_1, w_2, w_3, w_4 \dots$ 之索狀多角形與 w'_1 之索狀多角形相交即得，所得之結果 $x=3.2$ 吋。



4.31 圖 Spangenberg 圖解法

$$f_c = \frac{xN}{\frac{x^3}{2} \times b - nA_s(d-x)} = \frac{5762 \times 3.2}{\frac{3.2^3}{2} \times 12 - 15 \times 0.588 \times 2.8}$$

$$= 495 \text{ 磅/吋}^2$$

$$f_s = 495 \times 15 \times \frac{2.8}{3.2} = 6,550 \text{ 磅/吋}^2$$

(d) 用 spangenberg 圖解法核 D 點 D 點力矩大而 N 力小, 則其離心甚大, 如用 mohr 圖解法, 則非常困難 如用 Spungenberg 圖解法可以不畫出 N 力之位置, 用同樣方法求得 $x=2.5$,

$$f_c = 515 \text{ 磅/吋}^2$$

$$f_s = \frac{3.5}{2.5} \times 15 \times 515 = 10,800 \text{ 磅/吋}^2$$

故上面之設計實綽有餘裕。縱方向則另加 10 條 $\frac{3}{8}$ " ϕ 之縱鋼筋。

4.25 受水壓之鋼筋混凝土管設計例題 設有高壓虹吸管, 內徑 5 呎, 活重 E50, 水管中心受 60 呎水壓, 填土深 3 呎。設計鋼筋混凝土管。

設計 設混凝土厚度 = 6 吋,

平均水壓 $60 \times 62.4 = 3,744 \text{ 磅/吋}^2$,

水管截面每呎長所受拉力

$$N = pr = 3,744 \times 2.5 = 9,360 \text{ 磅}$$

故所需鋼筋面積等於

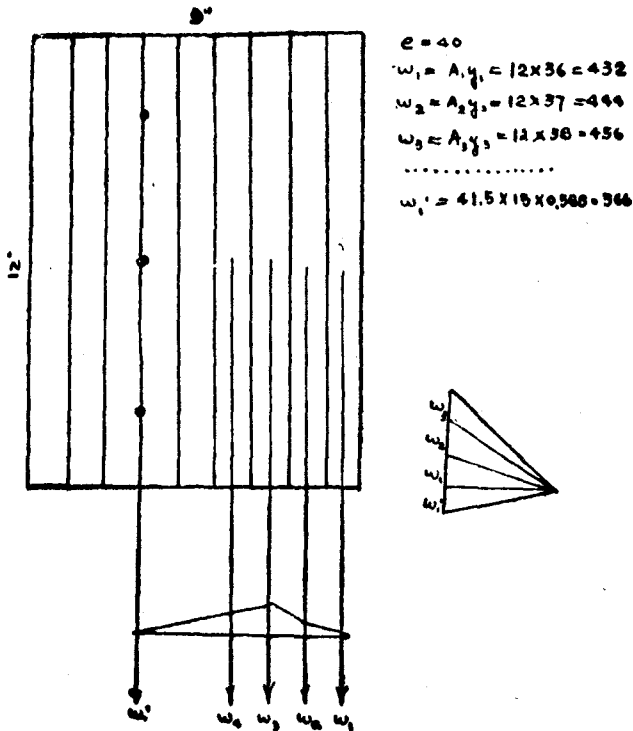
$$A_s = \frac{9,360}{14,000} = 0.67 \text{ 吋}^2$$

假設土平均深度 4 呎, 用福綠林公式

$$p_1 = w \frac{B}{3} \left[15 - \frac{(15-h)^2}{15^2} \right] = 363 \text{ 磅}$$

橫寬度 = 8 + 2 = 10, 直分布 5 呎, 全上例

$$\frac{50,000}{50} = 1,000 \text{ 磅/呎}^2$$



4.32 圖 Spangenberg 圖解法

設鐵道之衝擊率採 $\frac{100}{100}$ ，埋于土中者減半為 50%。則

$$15 \times 1,000 \times \frac{(15-4)^2}{15} = 810$$

$$M = \frac{810 + 363 \left(\frac{5.5}{2}\right)^2}{4} = 26,400,$$

$$f_c = 600 \text{ 磅/吋}^2 \quad f_s = 14,000 \text{ 磅/吋}^2$$

$$\rho = 0.0084$$

(此僅用單鋼筋梁設計，若用對稱複鋼筋之設計則更為經濟。)

$$d = 4.75 \text{ 吋}$$

保護層留 1.25 吋，

$$f_c = \frac{2 \times 26,400}{0.870 \times 0.391 \times 12 \times 4.75^2} = 580 < 600 \text{ 磅/吋}^2$$

$$A_s = 4.75 \times 12 \times 0.0084 = 0.475 \text{ 吋}^2$$

$$\frac{0.67}{2} + 0.475 = 0.81 \text{ 吋}^2$$

用 $\frac{3}{4}$ 直徑圓鋼筋(0.88 方吋)，每 6 吋配一條，

直向者用 $\frac{1}{2}$ " ϕ 10 條，均雙環複鋼筋。

4.26 各種管涵洞之比較 陶管鑄鐵管等不能受拉之管涵洞在今日載重逐漸增加中已漸見少用。但陶管在我國以價廉易得，仍佔重要之位置。混凝土管因其有種種之優點，故小型之管涵洞，大約一呎或三公寸以下者，極多用之。鋼鐵管價昂而重，其用途遠不及鐵

紋鐵管之廣，但我國以需仰給外貨，即皺紋鐵管亦不多用。目前鋼筋混凝土日見發達，水泥一項，國產既富，而載重能力、應拉能力亦均可應付裕如。是以大至三、四呎（一公尺）小至一呎（30公分）之管涵洞均以採用鋼筋混凝土管為多。

4.27 管涵洞之端壁 管涵洞之端壁，目的在防路堤土之傾卸與水流之衝刷，故實際言之，端壁完全為防土牆之一種。普通端壁亦多用標準圖，不用一一加以計算。普通端壁多設一二排水孔以排水。

4.28 垂直端壁之一例 此種端壁為最經濟，尤其在小 型涵洞用之為多。4.18 為混凝土所造者之尺寸表，如用磚石則尺寸需略加大。

4.18 表 垂直端壁各部尺寸($B = E - 8''$)

D (吋)	洞口面積 (平方呎)	端 壁		基 礎			體 積 (立方呎)		總 計	
		C	H	B	E	F	端壁	基礎	立方呎	立方碼
12	0.8	4'-0"	2'-0"	1'-2"	1'-10"	1'-0"	7.2	7.3	14.5	0.45
15	1.2	5'-0"	2'-3"	1'-2"	1'-10"	1'-2"	9.9	10.7	20.6	0.76
18	1.8	6'-0"	2'-6"	1'-3"	1'-11"	1'-3"	13.6	14.4	28.0	1.04
24	3.1	8'-0"	3'-0"	1'-4"	2'-0"	1'-4"	22.3	21.3	43.6	1.26
30	4.9	10'-0"	3'-6"	1'-6"	2'-2"	1'-6"	34.7	32.5	67.2	2.49
36	7.1	12'-0"	4'-0"	1'-8"	2'-4"	1'-8"	50.5	46.7	97.2	3.60
42	9.6	14'-0"	4'-6"	1'-10"	2'-6"	2'-0"	70.3	70.0	140.3	5.20
48	12.6	16'-0"	5'-0"	2'-1"	2'-9"	2'-0"	96.9	88.0	184.6	6.85

4.19 表 U形端壁各部尺寸

管口 直径 D (吋)	尺		寸		基 礎		鋼 筋		體 積 (一端壁)		結 筋
	H	K	P	J	3:6 混凝土 基礎 (平方呎)	鋼 筋 (立方呎)	共 總 (立方呎)	共 總 (立方呎)	速 鋼		
12	0.8	3'-8"	2'-0"	1'-0"	1'-3"	2'-2"	6.6	7.3	13.9	0.52	無
15	1.2	3'-11"	2'-3"	1'-5"	1'-3"	2'-7"	8.3	9.1	17.4	0.64	無
18	1.8	4'-2"	2'-6"	1'-5"	1'-5"	2'-11"	9.9	10.7	20.6	0.76	無
24	3.1	4'-8"	3'-0"	2'-6"	1'-6"	3'-8"	8.9	15.5	29.4	1.09	$3\frac{3}{4}$ " ϕ 2 呎長
30	4.9	5'-2"	3'-6"	3'-3"	1'-6"	4'-5"	18.7	20.0	38.7	1.43	$2\frac{3}{4}$ " ϕ 2 呎長
36	7.1	5'-8"	4'-0"	4'-0"	1'-9"	5'-2"	24.2	26.2	50.4	1.87	$2\frac{3}{4}$ " ϕ 2 $\frac{1}{2}$ 呎長
42	9.6	6'-2"	4'-6"	4'-9"	2'-0"	5'-11"	30.3	33.2	63.5	2.35	$2\frac{3}{4}$ " ϕ 2 $\frac{1}{2}$ 呎長
48	12.6	6'-8"	5'-0"	5'-6"	2'-0"	6'-8"	37.3	39.6	76.9	2.85	$3\frac{3}{4}$ " ϕ 3 呎長

4-20 表 45°張口翼壁各部尺寸

管口 D (呎)	管口 面積 (平方呎)	尺				寸				總 積 (一端壁)	連 鋼 筋	結 筋
		H	C	L	M	F	牆 (立方呎)	基 礎 (立方呎)	1:3:6 混凝土 總 共 (立方呎)			
18	1.8	2'-6"	3'-1"	1'-2"	1'-7"	1'-3"	9.8	10.7	20.0	0.74	無	無
24	3.1	3'-0"	4'-4"	1'-5"	2'-1"	1'-4"	13.1	14.4	27.5	1.02	2φ ³ / ₄	2呎長
30	4.3	3'-0"	4'-10"	1'-9"	2'-5"	1'-6"	17.4	18.8	36.2	1.34	2φ ³ / ₄	2呎長
36	7.1	4'-0"	5'-4"	2'-0"	2'-11"	1'-8"	23.6	24.6	47.2	1.75	2φ ⁵ / ₄	3呎長
42	9.5	4'-6"	5'-11"	2'-3"	3'-6"	2'-0"	29.1	34.6	63.7	2.36	2φ ³ / ₄	3呎長
48	12.6	5'-0"	6'-4"	2'-6"	4'-0"	2'-0"	35.9	39.1	75.0	2.78	2φ ³ / ₄	3呎長

磅

密

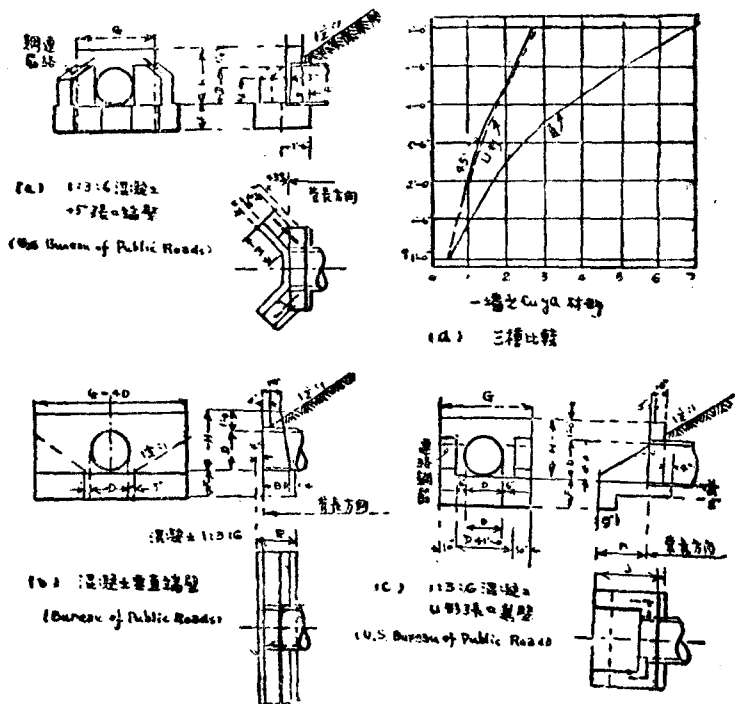
密

4.29 U形張口端壁之一例 U形張口端壁在美國公路局所定標準圖,其尺寸如4.19表。

4.30 45°張口翼壁之一例 45°張口翼壁各部尺寸如4.20表所例。

以上三種端壁所用材料之比較如4.33圖。

4.31 鑄鐵管涵洞端壁 鑄鐵管之涵洞因鑄鐵管之一節長度較長,故其長度須依路堤之寬狹而定。其最適當者,如路堤底寬為40



4.33 圖 各種端壁材料比較

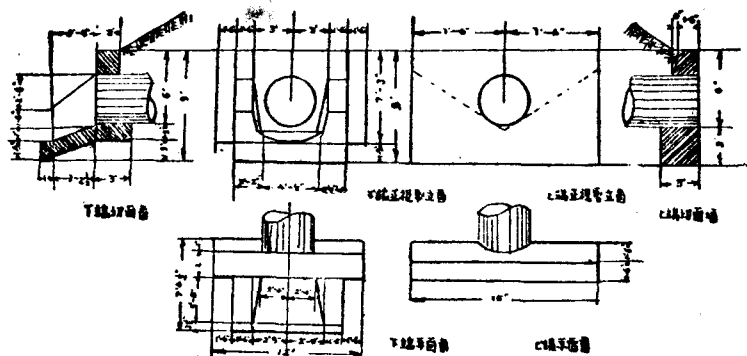
呎，則涵洞可用 12 呎長者三段，所需端壁近于隄脚，需料較少。若路隄寬為 32 呎，則涵洞用 12 呎之管二段，如是則端壁須從路隄脚後退，而增加其高度，則所需材料亦必加多。小號之鑄鐵管尋常所製者為長 12 呎，然為適應路寬起見，稍大之管多數有 6 呎長者。4.21 表為鑄鐵管涵洞端壁各部尺寸，其管長度為 6 呎之倍數。管之安置中部特高，縱斜坡為每五呎高一吋。

尚有一種特殊之端壁，乃用鑄鐵造成者，如 4.38 圖所示。

4.32 鋼筋混凝土端壁 鋼筋混凝土端壁之設計與鋼筋混凝土防土牆相同，4.36 圖為 Iowa Highway Commission 之一例。

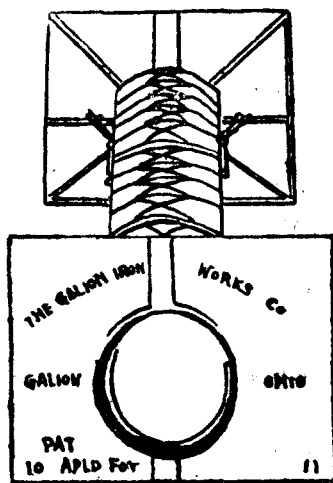
4.21 表 鑄鐵管端壁各部尺寸

名 目	管 之 內 徑					
	8''	24''	30''	36''	42''	48''
端壁						
長	6'-3''	8'-0''	9'-9''	11'-6''	13'-3''	15'-0''
上端底厚	2'-0	2'-0''	2'-3''	2'-6''	2'-9''	3'-0''
下端底厚	2'-6''	2'-6''	3'-0''	3'-0''	3'-0''	3'-0''
頂厚	1'-6''	1'-6''	2'-0''	2'-0''	2'-0''	2'-0''
高	6'-3''	6'-9''	7'-6''	8'-0''	8'-6''	9'-0''
防衝壁						
長	5'-0''	3'-0''	3'-6''	3'-6''	4'-0''	4'-4''
寬	5'-4''	6'-8''	6'-9''	7'-6''	8'-0''	9'-0''
翼壁						
長	2'-7''	2'-7''	3'-0''	3'-0''	3'-4''	3'-9''
外端高	0'-6''	1'-0''	1'-0''	1'-6''	1'-6''	1'-
內端高	2'-3''	2'-9''	3'-0''	3'-6''	3'-9''	4'-0''
上端壁容積(立方碼)	2.75	3.50	5.50	7.00	9.00	11.25
下端壁容積(立方碼)	3.00	3.50	5.25	6.75	7.50	9.25



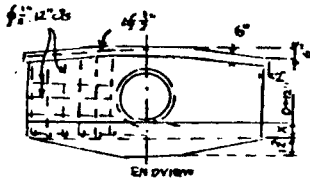
4.34 圖 鑄鐵管涵洞安置圖

4.33 虹吸管涵洞 當水路經過路坑之時，施工基面之高度甚低，不能架設天渠排水，或不經濟者，得設虹吸管。虹吸管之原理即利用入水口之水之位能，使水由出口流出，虹吸管普通可分三部：一為入水部分；一為出水部分；一為中間通路。所用材料普通以鋼筋混凝土管為多，如用陶管時外間須包以混凝土始不漏水。鋼管亦常用之。前述之日本機製混凝土管可耐 6 公尺高之水壓，但用此管時，彎曲點須混用鑄

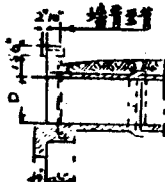


4.35 圖 鑄鐵端管

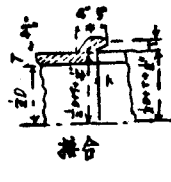
鐵管，是其缺點。如深度不大者，可用入水井與出水井，中連以直線管，4.37 圖即為粵漢鐵路株韶段之標準圖。如深度甚大時，則其配置可如 4.38 圖。



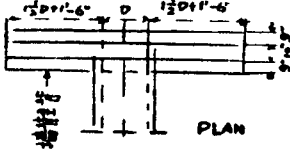
END VIEW



橫剖面

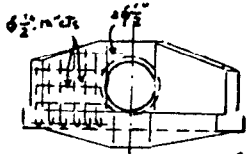


接合

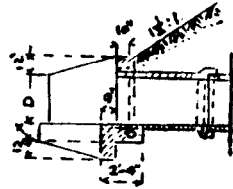


PLAN

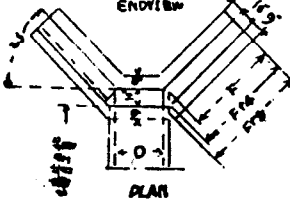
徑 30" 以下 $X=7"$
 30" - 36" $X=9"$
 37" - 42" $X=12"$



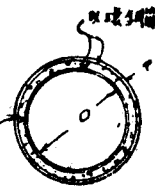
END VIEW



縱剖面



PLAN



鋼筋照 A.3
 L.W. Co. a Mesh 4x2 表

徑 18" $F=4'-0"$
 24" $F=4'-6"$
 30" $F=5'-0"$
 42" $F=5'-6"$

管之尺寸

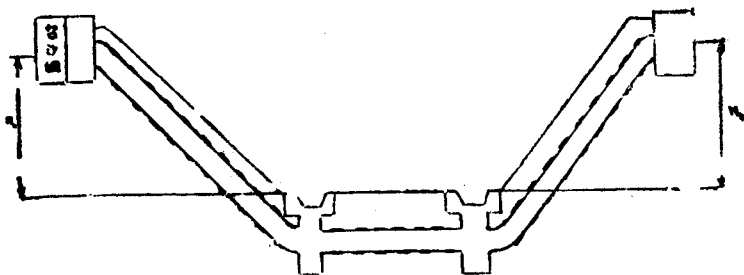
直徑	長度	重	厚度	每 12' 長所需鋼筋
15"	5'-0"	0.32 噸	2.25"	0.058 磅/呎
18"	5'-0"	0.42 噸	2.50"	0.077
24"	5'-0"	1.17 噸	3.00"	0.02
30"	5'-0"	1.75 噸	3.50"	0.151
36"	5'-0"	2.9 噸	4.00"	0.170
42"	5'-0"	4.50 噸	4.50"	0.225

Iowa Highway Commission

4.36 圖 鋼筋混凝土涵洞及端壁

4.34 虹吸管之設計 虹吸管之設計須計算兩種情形，一為有水情形，一為無水情形。虹吸管為防沈澱起見，須有下列之注意：

- (1) 流速不可小過 1.5—20 公尺/秒。
- (2) 入口設流沙槽以截留砂礫。
- (3) 井需除塵鐵閘以除雜物。



4.38 圖 虹 吸 涵 洞

落差之計算可用下列公式：

$$H = h_f + h_e + h_o + h_b + \frac{v_3^2 - v_1^2}{2g} \quad (4.39)$$

H 為總落差，

v_1 為流入前速度，

v_2 為中間流速，

v_3 為流出後流速，

h_e 為入口損失 $= 0.5 \frac{v_1^2}{2g}$ ，

h_o 為出口損失與入口相近。

$$h_b = mv_2^2 Q \quad (4.40)$$

Q 為彎曲角之度數，

4.22 表 m 係數值

$\frac{d}{2r}$	m
0.1	0.0000118
0.2	0.0000118
0.3	0.0000136
0.4	0.0000177
0.5	0.0000254
0.6	0.0000379
0.7	0.0000570
0.8	0.0000693
0.9	0.0001190
1.0	0.0001700

r 爲彎曲半徑，

d 爲管之內徑，

m 爲係數，其值見 4.22 表。

虹吸管流量之計算可應用達氏公式(Darcy Formula)

$$\frac{1}{4}DJ = \left(\alpha + \frac{\beta}{D}\right)v^2 \quad (4.41)$$

$$Q = \frac{\pi D^3}{4} \times v \quad (4.42)$$

D 爲管徑，

J 爲每公尺落差，

Q 爲秒流量，

v 爲秒流速，

$\alpha = 0.000507$ (一種係數)，

$\beta = 0.0000429$ (一種係數)。

設 $\alpha + \frac{\beta}{D} = b$ ，則 4.41 式變爲

$$\frac{1}{4}DJ = bv^2 \quad (4.41a)$$

以 4.42 式 v 之值代入，

$$v = \frac{4Q}{\pi D^3}$$

$$\frac{1}{4}DJ = b \frac{16Q^2}{\pi^2 D^6}$$

$$\frac{J}{Q^2} = \frac{64b}{\pi^2 D^5} \quad (4.43)$$

4.23 表 知 J/Q^2 求 D 之值

D	b	J/Q^2	D	b	J/Q^2	D	b	J/Q^2
0.0	0.00334	116,780,000	0.22	0.000575	7,1092	0.44	0.00058	0.2.076
0.02	0.001154	2,338,500	0.23	0.000599	5,6722	0.45	0.000585	0.18861
0.027	0.000956	445,600	0.24	0.000600	4,5640	0.46	0.00055	0.16844
0.03	0.000918	250,340	0.25	0.000558	3,052	0.47	0.00054	0.15009
0.04	0.000820	52,564	0.26	0.000556	3.045	0.48	0.000533	0.12565
0.05	0.000765	15,874	0.27	0.000554	2,5036	0.49	0.000532	0.12235
0.06	0.000722	6020	0.28	0.000553	2,0856	0.50	0.000532	0.11031
0.07	0.000691	2,666.1	0.29	0.000551	1,7420	0.55	0.000530	0.058238
0.08	0.000663	1,821.9	0.30	0.000550	1,477	0.60	0.000523	0.044031
0.09	0.000650	718.81	0.31	0.000548	.242	0.65	0.000523	0.02.377
0.10	0.0.066	412.42	0.32	0.000547	1.6751	0.70	0.000525	0.020237
0.11	0.000624	251.63	0.33	0.000546	0.90370	0.75	0.000524	0.01439
0.12	0.000614	160.04	0.34	0.000545	0.77283	0.80	0.000523	0.010350
0.13	0.000606	108.81	0.35	0.000543	0.67042	0.85	0.000522	0.0076.89
0.14	0.000599	72.222	0.36	0.000542	0.58123	0.90	0.000521	0.0072.6
0.15	0.000594	50.639	0.37	0.000541	0.50891	0.95	0.000520	0.0034815
0.16	0.000587	36.301	0.38	0.000540	0.44275	1.00	0.000519	0.0033.55
0.17	0.000583	26.621	0.39	0.000540	0.38811	1.10	0.000518	0.0020400
0.18	0.000578	19.835	0.40	0.000539	0.34.34	1.20	0.000517	0.00.3500
0.19	0.000575	13.059	0.41	0.000538	0.30112			
0.20	0.000571	11.371	0.42	0.000537	0.26545			
0.21	0.000566	9.0185	0.43	0.000537	0.23637			

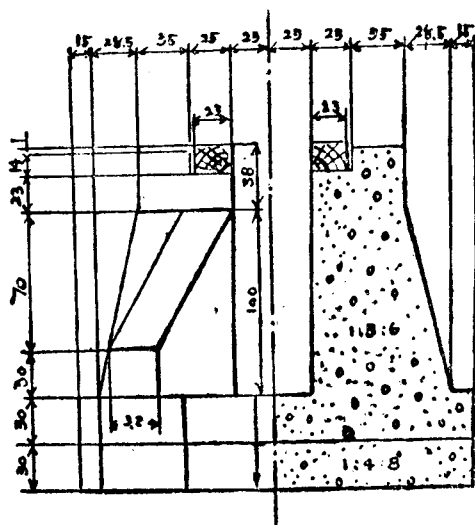
第五章 梁涵洞

5.1 概說 梁涵洞指涵洞之構造爲連續梁或簡單梁放置于橋台之上者，其構造材料甚多，普通鐵路以用鋼軌、鋼梁、鋼筋混凝土梁、木梁、樑、石等，公路則多爲鋼筋混凝土、木、石等；或則梁爲一種材料，而橋墩又爲一種材料。跨徑甚短之短橋所謂明渠，亦梁涵洞之一種，每於水坑不深時用之。

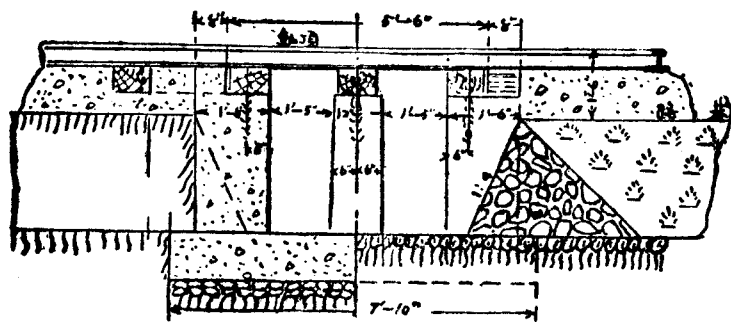
5.2 梁涵洞原理 此種橋台之設計與橋梁之橋台完全相同。木梁鋼筋混凝土梁均與小橋梁之設計同，且與小橋梁實無一定之界別。汽車載重，則照普通方法計算，或用等量均布載重以代其中載重。在鐵道上用短橋載重僅有二輪者，或用等重均布載重。

5.3 枕木涵洞 此種涵洞爲最經濟，而且簡單，在水坑甚淺之時，用以代替管涵洞之用；即置枕木于橋墩，直接鋪軌于其上，5.1圖爲二枕木之例，爲粵漢鐵路所用者。5.2圖爲三枕木之例，爲平綏鐵路所用者。5.3圖爲多枕木之例，爲粵漢鐵路所用者。

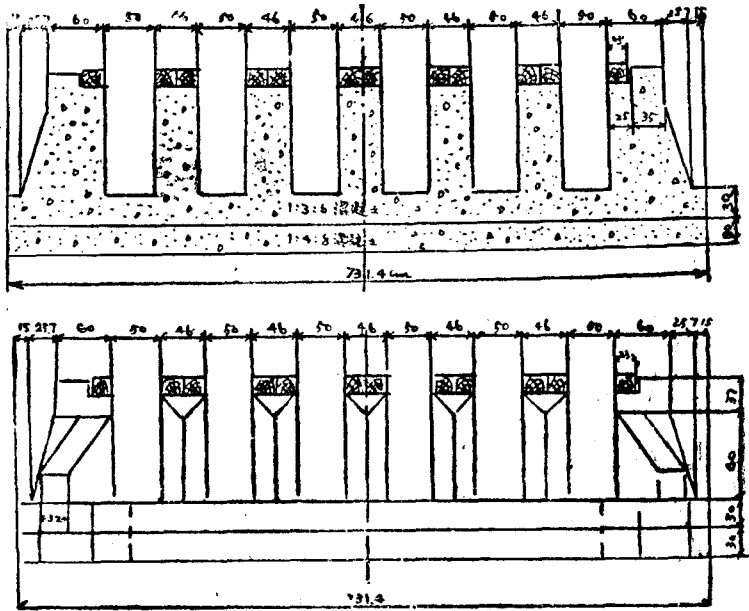
5.4 木梁涵洞 木梁者爲短小跨徑以木爲梁之小橋也。在公路上半永久式之木明渠，石墩木面者用之甚多，臨時式之木涵爲用亦不少。惟暗渠用半永久式者，以其土梁易壞，故結果常欠佳。鐵路所用者則在梁上橫置枕木，枕木上置鋼軌。此種涵洞壽命甚短，故雖價廉亦未必經濟。如杭江鐵路以其爲輕軌者，故用此涵洞不少。5.4圖



5.1 圖 粵漢路株韶段第四總段第三分段 50 公分明渠



5.2 圖 平綫路木枕明涵圖



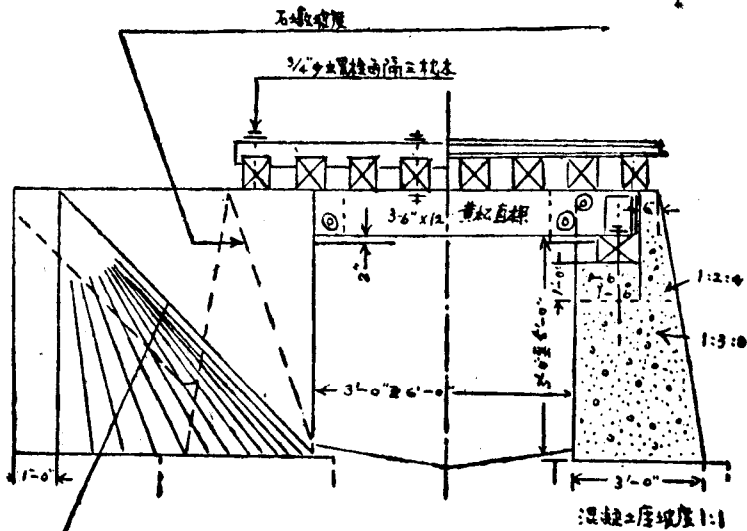
5.3 圖 粵漢路株韶段 6 呎 5 吋明涵洞

即為杭江鐵路之標準圖。

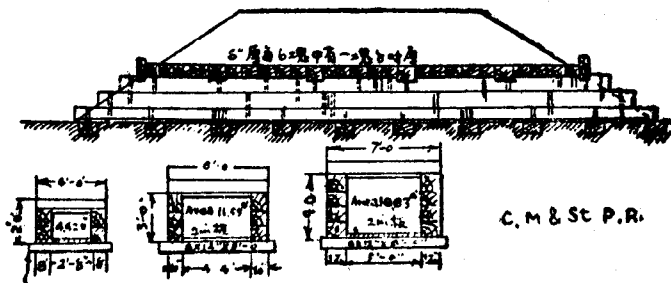
次如趕築之路，路基未實即行通車時，常用木疊橋台木梁涵洞之臨時涵洞。

所謂木箱涵洞者，涵洞之週圍全為木造，實亦梁涵洞之一種，惟其基礎部分，亦為木造耳。如 5.5 圖則為美國某鐵路之一標準圖。至公路所用之小型木涵洞，則以 5.6 圖所示之兩種最為普遍。我國公路上臨時涵洞亦用之至多。

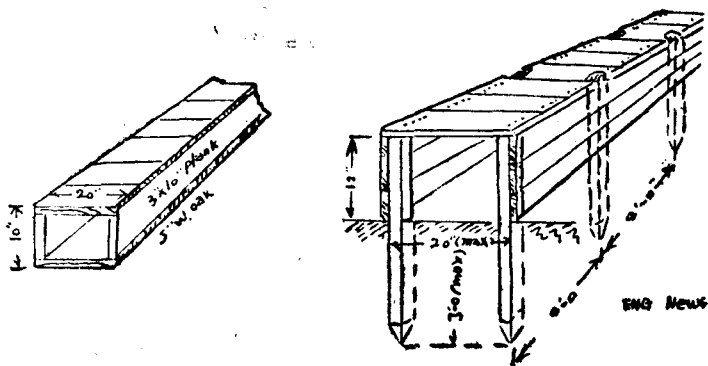
5.6 鋼軌涵洞 此涵洞亦於水坑淺者適用之。蓋水坑淺而水



5.4 圖 杭江路木梁明涵洞之標準設計



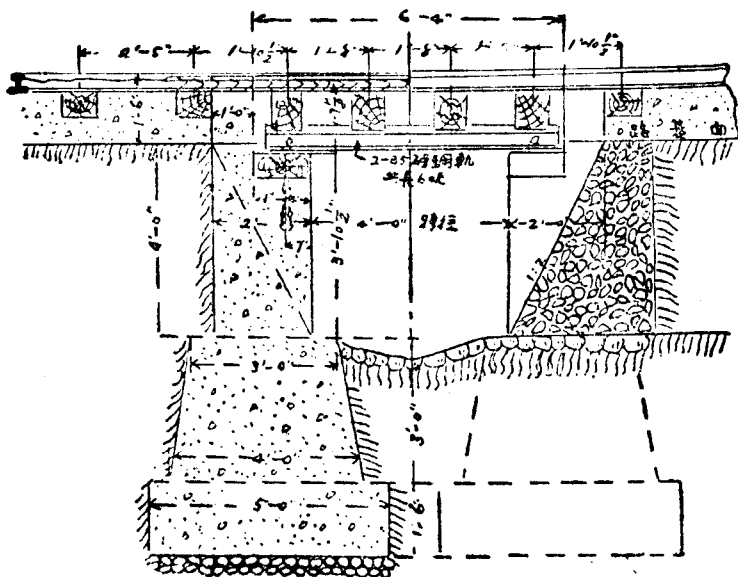
5.5 圖 木箱標準涵洞



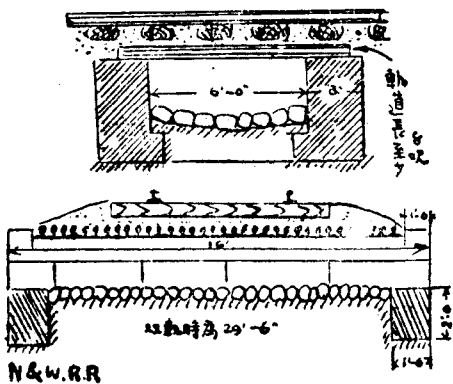
5.6 圖 小型公路木涵洞

道面積大者，不能設置大管，如用小管，依水平位置排列過多，且其覆土深度亦薄，結果必不佳。5.7 圖為我國平綏鐵路所用之軌梁涵洞。5.8 圖為美國某鐵路所用之廢軌涵洞。用已廢用之軌，長約8-9呎，跨過6呎之孔，或用長鋼條釘入軌之腰部(wells)使聯成一氣。若載重大時可再鋪一層側軌，覆于上述之軌上，或僅枕木下部分，或鋼軌正下面各鋪以側軌若干均可。

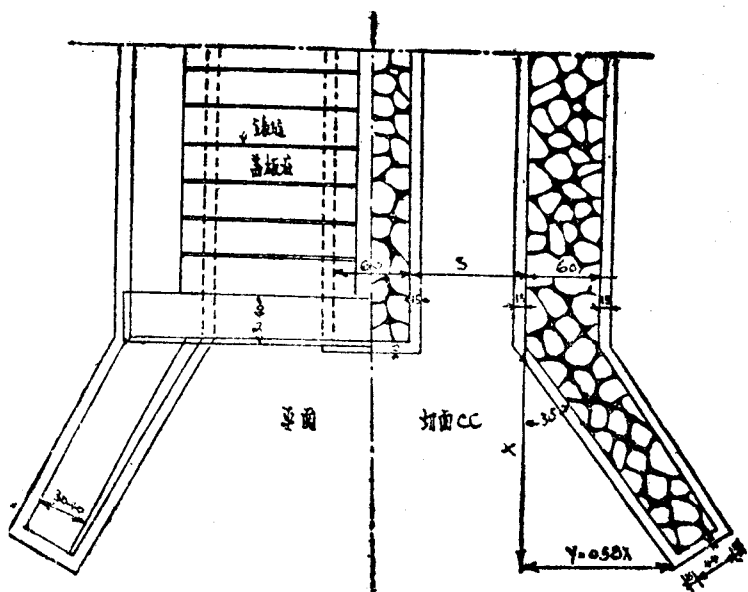
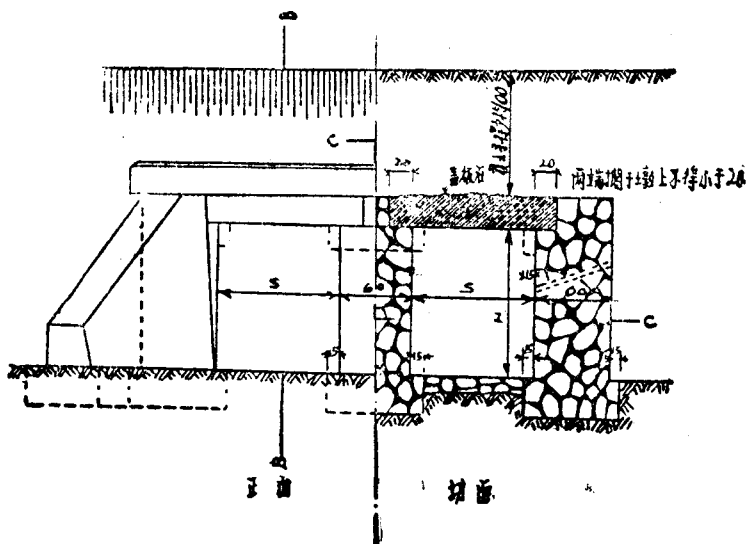
5.6 石梁涵洞 石為不能受大拉力之材料，故用石作之梁涵洞，在略位稍大者，必須甚厚之厚度。故跨徑略大者橋台可用石，梁則以用鋼筋混凝土為經濟而適用。但切石砌成涵洞工作之簡單非常，在石料出產豐富之地，尤以跨徑在一公尺以下者用之最宜，此在我國公路上亦為用至遍，5.9 圖為我國湖南省公路局之標準圖，至鐵道上所用者其厚度當較公路為尤厚。在我國滇緬鐵路所用之範圍，跨徑由4公寸至8公寸，其4-6公寸者厚度25公分，8公寸者厚



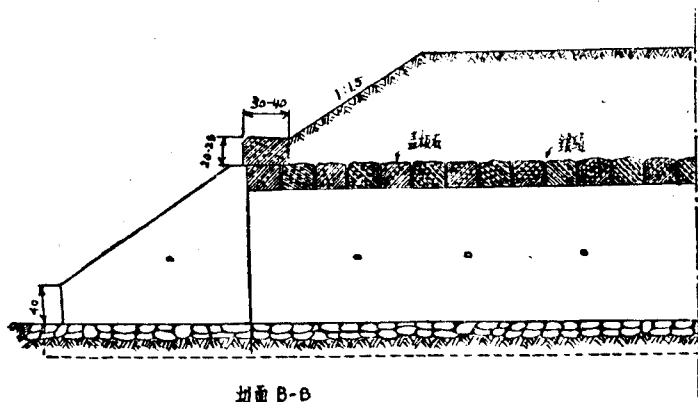
5-7 圖 平按路之軌梁涵洞



5-8 圖 標準磚軌涵洞



5.9 圖 a 湖南公路局箱式洞洞標準圖



蓋板石厚度表

S	30	40	50	60	70	80	90	100
T	15	15	20	20	25	30	35	40

說 明

1. 蓋板用毛石砌成，背面要用麻絮或草泥填實，如背者方可採用又鋪鋪在兩角無礙者。
2. 蓋板石間之縫隙不用灰砂，以便通水。
3. 蓋板石不得小於表內規定厚度，如難採得相當石料時，可採用塊石若條石，塊石一級或二級。
4. 基礎深度視當地地質情形決定之，如地層不良，須加打木樁或木樁石，須堅固。
5. 蓋板厚度及坡度視當地情形酌加增減之。

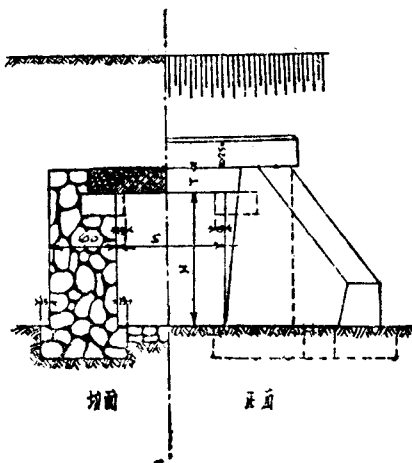
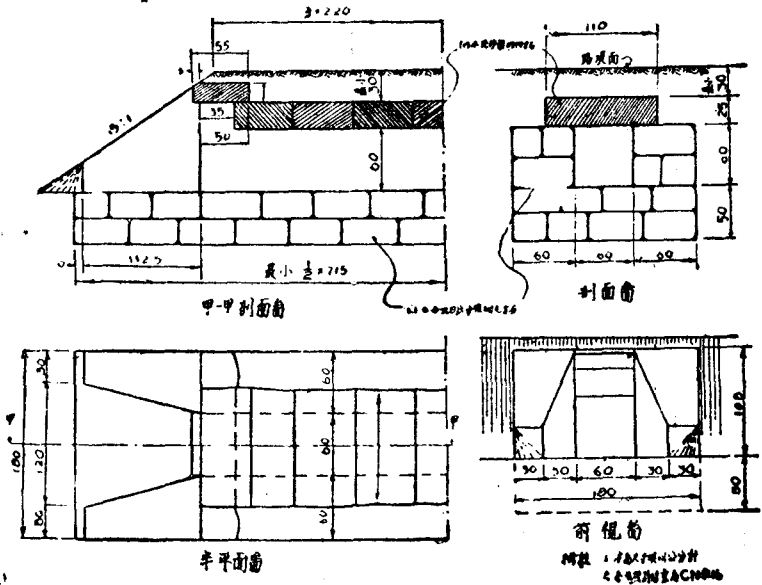


圖 5.9

5.9 圖 b 湖南公路局箱式涵洞標準圖

度 30 公分。5.10 圖即其標準圖之一。



5.7 鋼梁涵洞 鋼工字梁涵洞在鐵路上最多用之，梁用工字形軋成鋼，中以鋼管將梁兩兩相連。枕木即可直接排列其上，梁端用有鈎錨釘固定於橋台，此明渠適宜於水坑甚淺之處，若水坑深度大於1.8公尺者，依粵漢路株韶段之估價，以用暗渠為經濟。此種鋼梁其優劣之點如下：

優點

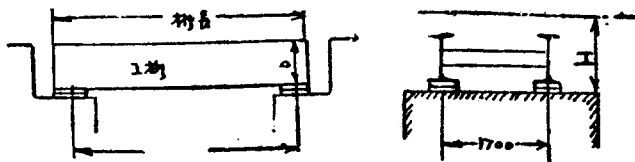
1. 架設簡單；
2. 可承大載重且耐久；

3. 適宜于甚淺之水坑。

劣點

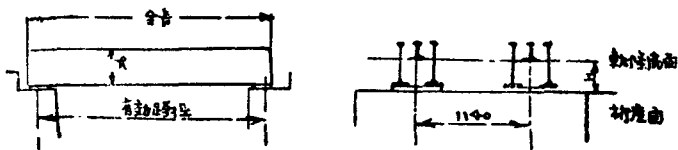
1. 價昂，尤以跨徑稍大者為然；
2. 修養費亦昂；
3. 因橋台過高極不經濟，故不適宜于水坑深者。

5.11 圖為粵漢鐵路株韶段之標準圖。5.12 圖日本為公制標準之鐵路鋼梁標準圖。若施工基面施水面無充分之高度時，得用 5.13 圖布置法。



桁高 (mm)	全板 (cm)	Ks 12 (10)			Ks 15			Ks 18		
		H mm	重量噸	油漆噸	H	重量	油漆噸	H	重量	油漆噸
1300	1600	549	0.469	7.6	549	0.469	7.6	599	0.518	7.5
1600	1900	549	0.497	8.3	599	0.553	8.2	649	0.615	9.4
1900	2100	599	0.599	8.9	649	0.658	9.9	649	0.658	9.9
2200	2500	599	0.639	10.3	649	0.716	11.1	699	0.852	12.8
2900	3200	599	0.905	11.7	699	0.982	15.1	749	1.121	16.3
3550	3850	699	1.164	19.2	749	1.329	20.7	749	1.329	20.7
4150	4450	749	1.489	23.3	849	1.704	25.7	849	1.704	26.7
5050	5350	849	1.953	29.1	849	2.409	29.1	849	2.809	29.1
6000	6300	849	2.848	32.0	858	3.207	34.5	861	3.203	35.0
6700	7000	858	3.261	37.0	861	3.525	38.0			

5.12 圖 日本滿梁明桁澗標準圖



軌厚 mm	全長 mm	K512				K615				K518			
		R(mm)	H(mm)	自重 (kg)	容積 (m ³)	R(mm)	H(mm)	自重 (kg)	容積 (m ³)	R	H	自重 (kg)	容積 (m ³)
1300	1600	300	210	0.856	11.7	300	210	0.856	11.7	300	210	0.856	11.7
1600	1900	300	210	0.972	13.6	300	210	0.972	13.6	300	210	0.972	13.6
1900	2200	300	210	1.032	15.0	300	210	1.030	15.0	300	210	1.030	15.0
2200	2500	300	210	1.149	16.9	300	210	1.145	16.9	300	210	1.145	16.9
2900	3200	300	210	1.345	20.9	300	210	1.345	20.9	350	260	1.515	22.6
3550	3850	300	210	1.551	24.9	350	260	1.760	27.0	350	260	2.205	27.0
4450	4450	360	260	2.482	31.1	350	260	2.482	31.1	400	310	2.643	32.9
5050	5250	360	260	2.877	36.8	400	310	3.022	39.1	450	360	3.968	44.7
6000	6200	360	360	3.635	52.7	450	360	4.214	52.7	500	410	5.020	56.8
6700	7000	360	360	4.661	57.9	500	410	5.558	62.9	600	510	5.297	69.4

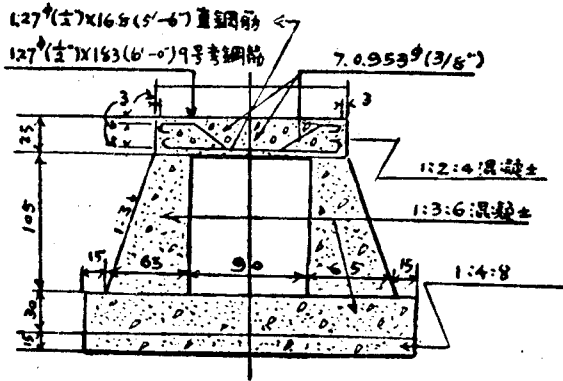
5-13 圖 日本公制涵洞標準圖

5-8 鋼筋混凝土梁涵洞 鋼筋混凝土梁涵洞之應用頗廣，明渠可用，暗渠亦可用。在石料充足之地，可以石料為橋台，或以淨混凝土為橋台均極便利。普通混凝土涵洞，即按計算梁板之方法計算之，但為排水之便利，梁頂多設橫坡度，普通情形以中間突高，兩端斜下。在隴海鐵路曾用兩旁較高，而中斜下，於中間設一排水孔以排出之。多數涵洞梁頂均敷防水層一層。因設防水層及橫坡度之厚度均須於計算後另行加入。鋼筋混凝土之外尚有鋼軌混凝土及工字梁混凝土等涵洞，其構造原理皆同，茲舉我國鐵路所用之數例如下：

5-14 圖為京滬鐵路所用者。

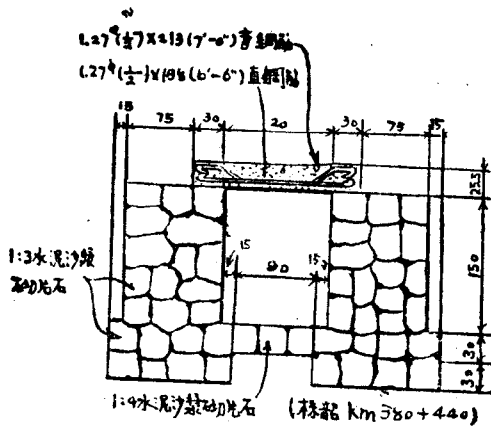
5.15 圖為粵漢鐵路株韶段暗渠之一例。

5.16 圖為粵漢鐵路株韶段石砌橋台鋼筋混凝土涵洞之一例。

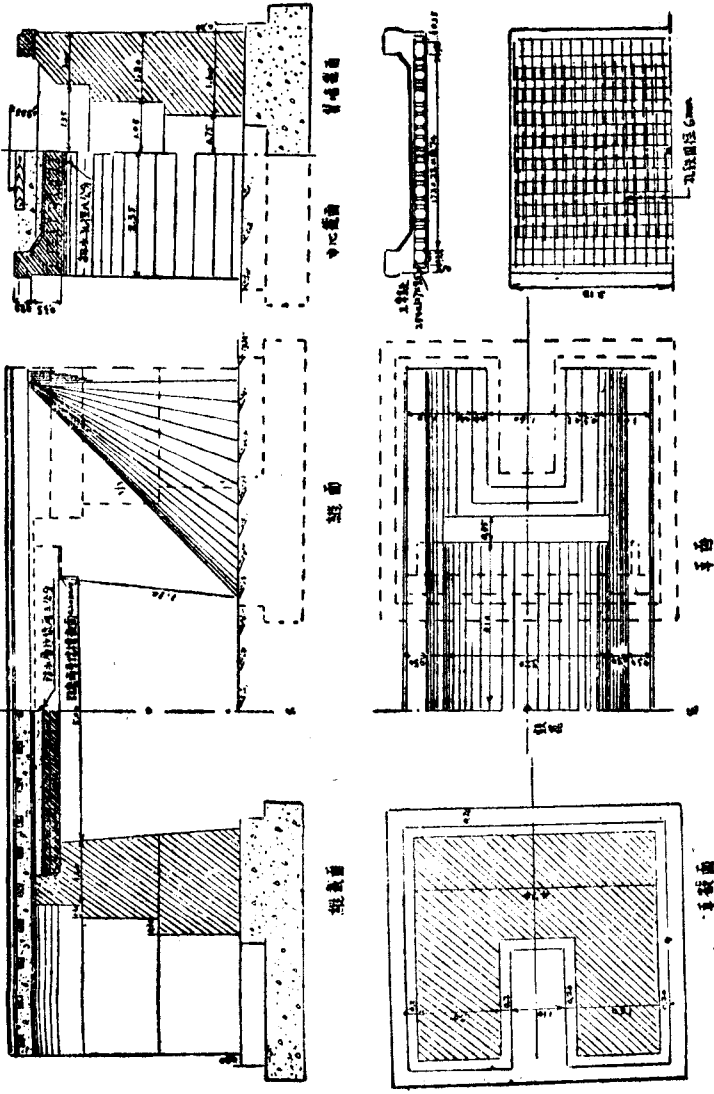


上製:泥土約三公尺

5.15 圖 粵漢路株韶段鋼筋混凝土涵洞



5.16 圖 石砌橋台鋼筋混凝土梁涵洞



5. 8 圖 離港路 6 公尺 I 字樣包澆混凝土涵洞

平面

橫斷面

縱斷面

頂部配筋

5.17 圖爲粵漢鐵路株韶段 2.5 公尺明渠之標準圖（其設計載重爲 $E50$ 并謂如 H 高過 2.4 公尺者以用暗渠爲宜。）

5.18 圖爲隴海鐵路西寶段之丁字梁包混凝土涵洞，其排水之方法即如前所述者。

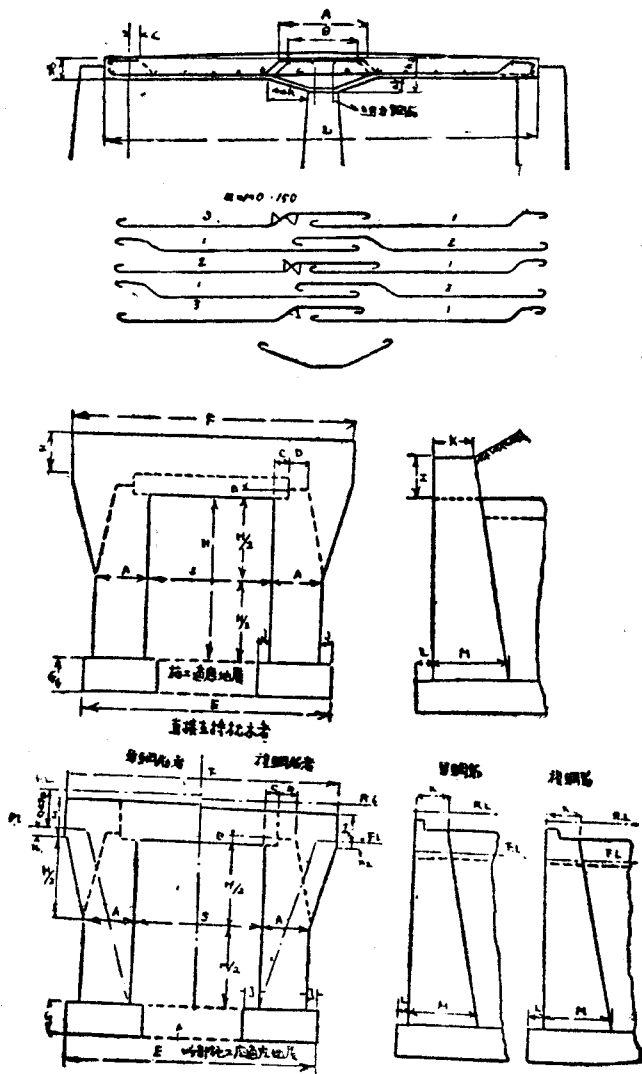
此種涵洞優點甚多，茲述之如下：

1. 材料中石可就地取材，水泥國貨出產較多；
2. 無需修養費；
3. 建築容易；
4. 建築費低廉；
5. 無拱涵洞等沈下生裂之危險；
6. 明渠暗渠均可應用。

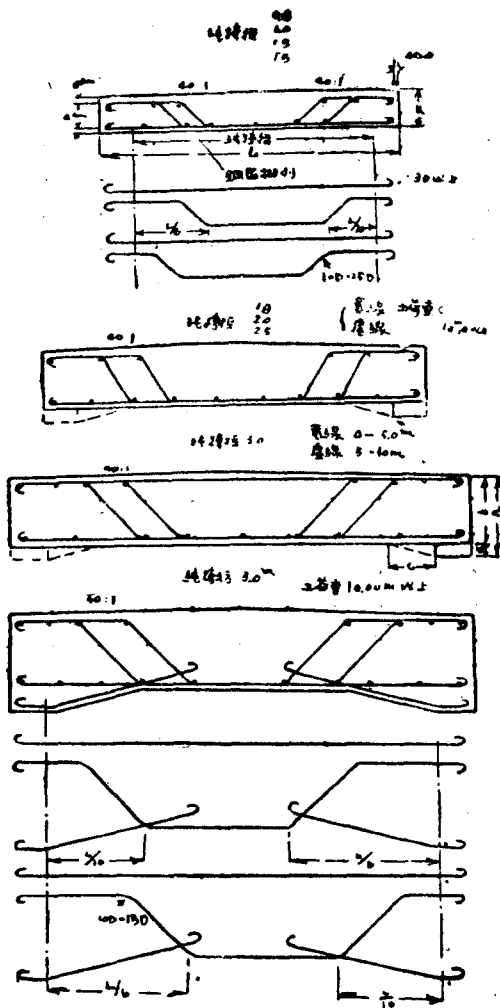
茲錄日本鐵路鋼筋混凝土梁涵洞之標準設計於下，以供參考其設計標準如下：

1. 計算活重用 $k_s 15$ ，土壓在 5 公尺以上者用俾魯馬伊魯公式，
2. 鋼筋之容許應力 1,200 公斤/公分²，混凝土壓應力 50 公斤/公分² 剪應力 4.5 公斤/公分。
3. 混凝土爲 1:2:4 之配合，應壓強度在 150 公斤/公分² 以上。
4. 表中之()表示用市上常有之鋼筋以代替其旁設計所需之鋼筋尺寸。

5.9 梁涵洞之橋台 普通涵洞所用橋台爲重力橋台，材料多爲石、磚、混凝土等抗拉料而抗壓強之材料。重力橋台因形式之不同可分三種：涵洞之有垂在翼壁者爲 U 形橋台，打樁基礎多用之。涵洞之



5-19圖 a 鋼筋混凝土梁橋墩標準圖



5-19 圖： 鋼筋混凝土梁洞標準圖

S	H	A	B	C&D	E	F	G	I	J	K	L	M
0.8	1.20	0.40	0.10	0.15	1.80	2.10	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.50
1.0	1.50	0.50	0.10	0.20	2.20	2.0	0.30	0.40	0.10	0.30	0.15	0.07
1.3	1.80	0.50	0.10	0.20	2.50	3.00	0.40	0.40	0.15	0.40	0.15	0.80
1.5	2.00	0.60	0.10	0.20	3.00	3.40	0.40	0.50	0.15	0.50	0.20	0.50
1.8	2.00	0.60	0.15	0.20	3.30	3.70	0.40	0.50	0.15	0.0	0.20	0.90
2.0	2.50	0.80	0.20	0.20	3.90	4.40	0.50	0.50	0.15	0.50	0.0	1.00
2.5	3.00	1.00	0.20	0.25	4.90	5.80	0.60	0.60	0.20	0.50	0.20	1.0
3.0	3.50	1.20	0.20	0.30	5.80	6.60	0.60	0.60	0.20	0.50	0.20	1.20

S	H	A	B	C-D	E	F	I ₁	I ₂	J	K	L	M	n ₁	n ₂
0.9	1.20	0.40	0.10	0.15	1.90	0.30	0.45	0.38	0.10	0.30	0.10	0.50	0.092	0.022
1.2	1.50	0.50	0.10	0.20	2.50	0.40	0.45	0.40	0.15	0.40	0.50	0.0092	0.042	
1.5	2.00	0.60	0.10	0.20	3.00	0.40	0.47	0.42	0.15	0.40	0.20	0.80	0.112	0.052
1.8	2.50	0.80	0.15	0.20	3.70	0.50	0.50	0.44	0.15	0.50	0.20	0.90	0.142	0.080
2.5	3.50	1.00	0.20	0.25	4.90	0.60	0.54	0.48	0.20	0.50	0.20	1.10	0.180	0.22
3.2	4.00	1.20	0.20	0.30	6.00	0.50	0.57	0.50	0.20	0.50	0.20	1.20	0.212	0.42

梁上土		純跨徑 0.8 公尺 (有效跨徑 1.0 公尺)									
深(公尺)	h (公分)	L (公尺)	主 鋼 筋		縱 鋼 筋		鋼筋與梁 面之最小 空 間 隔		鋼筋間 之最小 間 隔		
			徑	間隔	徑	間隔					
0-0.5	15	1.10	2(12)	125	6(6)	25		34		113	
0.5-2.0	13	1.10	2(12)	40	6(6)	25		34		123	
2.0-3.0	14	1.0	2(12)	140	()	25		34		123	
3.0-4.0	15	1.10	2(12)	125	6()	25		34		113	
4.0-5.0	16	1.10	2(12)	110	6(6)	25		34		98	
5.0以上	13	1.10	1(12)	165	6(6)	25		34		153	

梁 橋 洞

梁上土 深(公尺)	h (公分)	L (公尺)	純跨徑1.0公尺(有效跨徑1.20公尺)					
			主鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	縱鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	鋼筋與梁 面之最小 空間隔	鋼筋間 之最小 間隔
0-0.5	17	1.40	12(12)	110	6(6)	25	34	98
0.5-2.0	15	1.40	12(12)	125	7(6)	25	34	113
2.0-3.0	16	1.40	12(12)	100	6(6)	26	34	98
3.0-4.0	18	1.40	14(16)	140	8(8)	25	33	126
4.0-5.0	19	1.40	14(16)	125	8(8)	25	33	111
5.0以上	15	1.40	12(12)	25	6.6	25	34	113

梁上土 深(公尺)	h (公分)	L (公尺)	純跨徑1.3公尺(有效跨徑1.5公尺)					
			主鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	縱鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	鋼筋與梁 面之最小 空間隔	鋼筋間 之最小 間隔
0-0.5	21	1.70	14(16)	100	8(8)	25	33	96
0.5-2.0	13	1.70	14(16)	125	8(3)	25	33	111
2.0-3.0	19	1.70	14(16)	125	8(8)	25	33	111
3.0-4.0	21	1.70	14(16)	110	8(8)	25	33	96
4.0-5.0	23	1.70	14(16)	110	8(3)	26	33	96
5.0以上	20	1.70	14(16)	110	8(3)	25	33	96

梁上土 深(公尺)	h (公分)	L (公尺)	純跨徑1.5公尺(有效跨徑1.7公尺)					
			主鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	縱鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	鋼筋與梁 面之最小 空間隔	鋼筋間 之最小 間隔
0-0.5	22	1.9	14(16)	100	8(5)	25	33	86
0.5-2.0	20	1.9	14(16)	125	8(8)	25	33	111
2.0-3.0	21	1.9	14(16)	110	8(5)	25	33	93
3.0-4.0	23	1.9	14(16)	100	8(8)	25	33	86
4.0-5.0	25	1.9	16(16)	110	8(3)	25	32	94
5.0以上	13	1.9	16(16)	125	8(3)	25	32	109

梁上土 深(公尺)	h (公分)	L (公尺)	純跨徑 1.8 公尺 (有效跨徑 2.0 公尺)					
			主鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔 mm	縱鋼筋 徑 mm	縱鋼筋 間隔 mm	鋼筋與梁 面之最小 空間隔	鋼筋間 之最小 間隔
0-0.5	25	2.20	16(16)	110	8(8)	25	32	94
0.5-2.0	23	2.20	16(16)	125	8(8)	25	32	109
2.0-3.0	24	2.20	16(16)	110	8(8)	25	32	94
3.0-4.0	26	2.20	16(16)	110	8(8)	25	32	94
4.0以上	29	2.20	16(16)	100	8(8)	25	32	84

梁上土 深(公尺)	h (公分)	L (公尺)	純跨徑 2.0 公尺 (有效跨徑 2.2 公尺)					
			主鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	縱鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	鋼筋與梁 面之最小 空間隔	鋼筋間 之最小 間隔
0-0.5	28	2.4	16(16)	100	8(8)	25	32	84
0.5-2.0	25	2.4	16(16)	110	8(8)	25	32	94
2.0-3.0	27	2.4	16(16)	100	8(8)	25	32	84
3.0-4.0	30	2.4	18(19)	110	10(9)	25	31	92
4.0-5.0	33	2.4	18(19)	110	10(9)	25	31	92
5.0-10.0	35	2.4	1 (19)	100	10(9)	25	31	82
10.-以上	36	2.4	18(19)	110	10(9)	25	31	92

梁上土 深(公尺)	h (公分)	L (公尺)	純跨徑 2.5 公尺 (有效跨徑 2.75 公尺)						a (公分)	b (公分)	c (公分)
			主鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	縱鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	鋼筋與梁 面之最小 空間隔	鋼筋間 之最小 間隔			
0-0.5	33	3.00	18(19)	100	10(9)	25	3	82			
0.5-2.0	30	3.00	18(19)	110	10(9)	25	31	92			
2.0-3.0	33	3.00	18(19)	110	10(9)	25	31	92			
3.0-4.0	36	3.00	18(19)	100	10(9)	25	31	82			
4.0-5.0	40	3.00	20(22)	110	10(9)	25	30	96			
5.0-10.0	47	3.00	20(22)	110	10(9)	25	30	90			
10.0以上	54	3.00	22(22)	110	10(9)	25	29	88	10	44 40	

梁上土深(公尺)	h (公分)	L (公尺)	純跨徑 3.0 公尺(有效跨徑 3.30 公尺)					a (公分)	b (公分)	c (公分)
			主鋼筋 徑	主鋼筋 間隔	縱鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	鋼梁與鋼筋面之最小間隔			
0-0.5	40	1.60	20(2)	100	10(1)	25	30	80		
0.5-2.0	35	3.60	20(22)	125	10(9)	25	30	105		
2.0-3.0	39	3.60	20(22)	110	10(1)	25	30	90		
3.0-4.0	42	3.60	20(22)	100	10(1)	25	30	80		
4.0-5.0	45	3.60	22(22)	125	10(9)	25	20	103		
5.0-10.0	62	3.60	22(22)	100	10()	25	29	63	10	53 40
10.0以上	74	3.60	22(2)	83	10()	25	20	61	17	5 68

連續梁標準涵洞之尺寸 (設計標準全上)

梁上土深 L ₁ (公尺)	h ₁ (公尺)	h ₂ (公分)	Δh (公分)	A B C			斜 坡	主鋼筋 徑	主鋼筋 間隔	縱鋼筋 徑	縱鋼筋 間隔	模板與鋼筋間之最小間隔	鋼筋間之最小間隔	
				A	B	C								
0-0.5	3.65	17	25	8	80	60	8	1/40	12	101	6	300	34	88
0.5-2.0	3.65	16	22	6	80	60	8	1/40	12	111	6	300	34	99
2.0-3.0	3.65	17	26	9	80	60	8	1/40	12	111	6	300	34	8
3.0-4.0	3.65	18	29	11	80	60	8	1/40	12	100	6	300	34	88
4.0-5.0	3.65	20	31	12	80	60	8	1/40	14(16)	125	8	300	33	111
5.0-10.0	3.65	22	34	12	80	60	8	1/40	14(16)	111	8	300	33	97
10.0以上	3.65	24	37	13	80	60	8	1/40	14(16)	111	8	300	33	97

註：以上各表中之鋼筋徑及間隔之單位概以公厘計

有張口翼壁者為翼形橋台。涵洞之有平行翼壁者為 T 形橋台與直壁橋台。

橋台之受力如下：

1. 梁上靜重之支點壓力；

2. 梁上之活重支點壓力;
 3. 活荷重之衝擊力;
 4. 橋台自重;
 - (以上爲垂直力)
 5. 橋台背面之土壓;
 6. 列車通過之牽引;
 7. 橋爲曲線部分所生之離心力;
 8. 風力;
 9. 地震及其他意外之力 (1, 2, 4 三種力均因地震影響而增大).
- 橋台之安定計算(5.23圖)

1. 迴轉安定

$$Qa - wb < pc \quad (5.1)$$

R 必須在底面三分之一以內

$$\therefore \frac{1}{3}lv \leq vx (= Qa + wb - pc) \leq \frac{2}{3}lv \quad (5.2)$$

Q = 梁施於橋台之載力,

a = Q 力與橋台趾之距離,

w = 橋台自身重力,

b = w 力與橋台之距離,

p = 台背土壓,

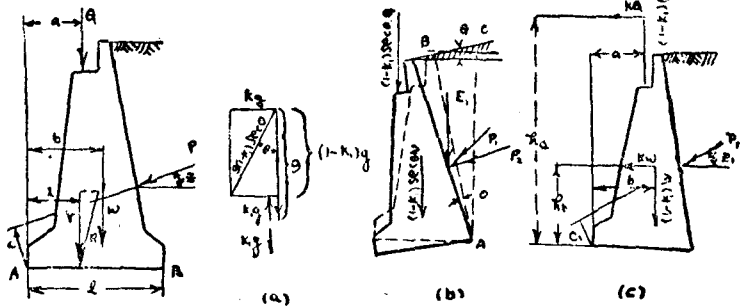
c = p 力與橋台趾之距離,

Z = p 力與水平所成之角度,

l = 台底厚度,

v = Q 與 w 之合力,

R = v 與 p 之合力。



5.23 圖 橋台之安定

2. 滑動安定 設摩擦係數為 μ

$$p \sin z + \mu w > p \cos z \quad (5.3)$$

3. 洗下安定

$$p_1 = \frac{v}{b} \left(1 + \frac{6e}{b}\right) \quad p_2 = \frac{v}{b} \left(1 - \frac{6e}{b}\right) \quad (5.4)$$

b 為橋台寬,

e 為離心。

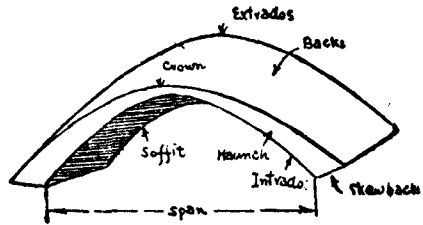
5.10 結論 梁涵洞以構造之簡單, 採用材料之普遍, 故用者至多。尤其是明涵洞須用梁涵洞。在鐵路上, 鋼梁及鋼筋混凝土為最適用, 其他材料亦有用之, 公路則木石之用亦多, 尤以一公尺以下之

小涵洞，在產石之地以用石箱涵洞為最適宜。跨徑稍大者鋼筋混凝土板、木均其良好材料。但暗渠之用梁者，以其腐爛之易，抽換之難，故非不得已時不用之。

第六章 拱涵洞

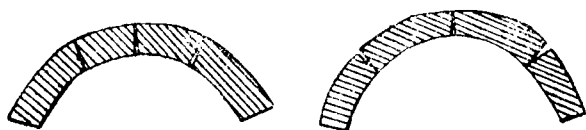
6.1 概說 拱涵洞爲按拱之原理所造成之涵洞。拱涵洞之拱爲各種曲線所成。以受壓不能受拉之材料爲宜，故普通皆爲磚石混凝土造成。跨度稍大者，亦用鋼筋混凝土。拱涵洞能受高壓力，故覆土甚厚時用之最宜，如拱頂之土過薄時，不能用拱涵洞，因受活重之影響過大，易使拱環受拉力，故普通在公路上最小須有2呎或60公分之覆土；在鐵路上其上覆土須有3呎或90公分。

6.2 拱之各部名稱 拱之內面曰內拱面 (soffit)。拱之外面曰外拱面 (back)。拱之端面曰起拱面 (skewback)。內拱面與拱橋台接觸線曰起拱線 (springing line)。兩起拱線之水平距離曰跨徑 (span)。內拱面與垂直面之交線曰內拱線 (intrados)。外拱面與垂直面之交線曰外拱線 (extrados)。拱之最高點曰拱頂 (crown)。內拱線拱頂離起拱線之高度曰拱矢 (rise)。拱頂與起拱線中間之部分曰拱腰 (haunch)。拱之外拱面以外部分曰拱腹 (spandral)。



6.1 圖 拱之各部名稱

6.3 拱之破壞 拱之破壞原因有三：



拱面破裂



拱球滑動

6.2圖 拱之破壞

1. 因迴轉 結果，內拱面或外拱面之破裂；
2. 拱之某部分脫離拱環；
3. 拱之構成材料過弱，結果因壓縮而生破損。

第一種之破壞為拱受拉力所生；第二種之破壞為拱受剪力過大所生；第三種之破壞，為拱受壓力過大所生。

6.4 拱之種類 拱以材料分，有石拱、磚拱、混凝土拱、鋼筋混凝土拱、半圓皺紋鐵拱、鋼拱等，但鋼拱不用於涵洞。以拱環形狀分，有半圓拱、分圓拱、尖頂拱、拋物線拱、橢圓拱、三心拱、五心拱等，涵洞所用者以圓拱為多，凡築堤高者則拱形較尖，凡築堤低者則拱平低。以鉸結分，有無鉸拱，單鉸拱，雙鉸拱，三鉸拱等，普通涵洞用者為無鉸拱。

6.5 拱環畫法 拱環之為圓形拋物線形者畫法自極簡單，其

此點在最初選擇 E 點為中心時，使其所畫之圓弧與拱形相合。

c. 五心藍柄漸近法 第一步聯 AC ，第二步作 BO 垂直 AC ，以 O 為中心，畫 CK 弧至 K 點不與橢圓符合為止，作 $GK=AE$ ，連 GE ，作 GE 之垂直等分線交 OK 於 H, H', E', O, H, E ，是為其五心。

6.6 拱之厚度經驗公式 拱之設計順序，必按工程師之經驗視土載重及活重之若何而定軸線 大約提高拱尖，堤低時拱平坦，定軸線後再定拱之厚度，而後依力學原理計算其安全與否。此種假定多賴工程師之個人經驗，與過去學者所給與之經驗公式。各種實驗公式之導成，多因材料載重而不同，故甲國之公式，未必適用於乙國，此時之公式，未必適用於他時，茲略舉數種可適於涵洞者於下以供參考。

代表符號

t_0 = 拱頂厚度，

t_s = 起拱線厚，

r = 拱腹線半徑，

S = 跨徑，

R = 拱矢，

H = 土厚。

發表者

公 式

應用範圍

脫羅撫穎 $t_0 = 1.57 \sqrt{r + \frac{s}{2}} + 6$

(Trautwine) $t_0 = 1.8 \sqrt{r + \frac{s}{2}} + 8$

石拱

(6.2)

磚拱

藍京 (Rinkine) $t_0 = \sqrt{3} \cdot Cr$

$$t_0 = \sqrt{5} \cdot 1r$$

(6.3) 圓及橢圓單拱
圓及橢圓複拱

苦魯亞脫德斯 $t_c = 1.5 + 1.5\sqrt{2r}$

諾爾斯 (Croizette-Desnoyers) $t_s = 2t_c$

ers) (法國常用) $t_0 = 20 + 1.7\sqrt{2r}$

用) $t_0 = 15 + 1.5\sqrt{2r}$ $t_s = 1.8t_c$

$$t_0 = 15 + 1.4\sqrt{2r} \quad t_s = 1.4t_c$$

$$t_0 = 15 + 1.3\sqrt{2r} \quad t_s = 1.25t_c$$

$$t_0 = 15 + 1.2\sqrt{2r} \quad t_s = 1.15t_c$$

$$t_0 = 15 + 1.1\sqrt{2r} \quad t_s = 1.1t_c$$

$$t_0 = 20 + 1.7\sqrt{2r} \quad t_s = 1.80t_c$$

$$t_0 = 20 + 1.6\sqrt{2r} \quad t_s = 1.4t_c$$

$$t_0 = 20 + 1.5\sqrt{2r} \quad t_s = 1.25t_c$$

$$t_0 = 20 + 1.4\sqrt{2r} \quad t_s = 1.15t_c$$

$$t_0 = 20 + 1.3\sqrt{2r} \quad t_s = 1.10t_c$$

$$t_0 = 15 + 1.5\sqrt{2r} \quad t_c = 1.8t_c$$

$$t_0 = 15 + 1.5\sqrt{2r} \quad t_s = 1.6t_c$$

公路用半圓拱
鐵路用半圓拱

公路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{4}$

公路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{6}$

公路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{8}$

公路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{10}$

公路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{12}$

(6.4) 鐵路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{4}$

鐵路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{6}$

鐵路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{8}$

鐵路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{10}$

鐵路分圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{12}$

公路橢圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{3}$

公路橢圓 $\frac{R}{S} = \frac{1}{4}$

$$\begin{array}{l}
 t_s = 1.4t_c \\
 t_s = 20 + 1.7\sqrt{2r} \quad t_s = 1.8t_c \\
 t_s = 1.6t_c \\
 t_s = 1.4t_c
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l}
 \text{公路橢圓} \quad \frac{R}{S} = \frac{1}{5} \\
 \text{鐵路橢圓} \quad \frac{R}{S} = \frac{1}{3} \\
 \text{鐵路橢圓} \quad \frac{R}{S} = \frac{1}{4} \\
 \text{鐵路橢圓} \quad \frac{R}{S} = \frac{1}{6}
 \end{array} \right\}$$

德國實用 $t_c = 30 + 0.0335 + 0.02H$ (6.5)

$$\begin{array}{l}
 \text{西子禮 (De M)} \quad t_c = 15(1 + 0.1\sqrt{S'}) \\
 \text{Sejourne)} \quad t_c = 18(1 + 0.1\sqrt{S}) \\
 t_c'' = t_c m' \\
 m' = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{R}{S} + \frac{R^2}{S^2}\right) \\
 t_c' = t_c m \\
 m = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{20}{3} + \frac{R^2}{3S^2}\right)
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l}
 \text{公路半圓} \\
 \text{鐵路半圓} \\
 \text{缺圓} \\
 \text{橢圓}
 \end{array} \right\} (6.6)$$

普通小拱 $t_c = t_s$ ，大拱則因推力與 $\sec\theta$ 約成比例，故

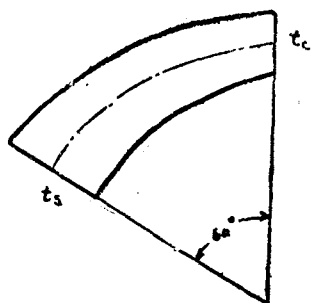
$$t_s = t_c \sec\theta \quad (6.7)$$

橋台之厚度如 6.6 圖脫羅撫額氏之製法，

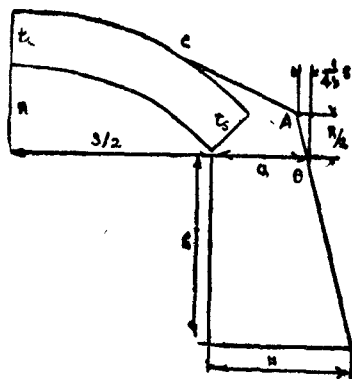
$$a = 0.2r + 0.1R + 60 \quad (6.8)$$

a 決定後由 B 點內面 $\frac{1}{48}S$ 距離作鉛直線與 B 點上面 $\frac{R}{2}$ 距離所作之水平線交於 A 點，延長 AB 即為橋台背之坡度，惟所得 b 須 $\geq \frac{2}{3}h$ 。

藍京則謂 a 之值多為拱頂內拱線半徑 $\frac{1}{3} - \frac{1}{5}$ 。



6.5 圖 拱頂厚度



6.6 圖 橋台厚度

6.7 拱之力學考查 討論拱之力學考查方法有二：一曰推力線原理，可用較簡單之方法解決之。普通磚、石拱、混凝土拱、鋼筋混凝土拱之初步計算均可用之。一曰彈性原理，則較為複雜，但準確合理，茲分述之如下：

6.8 推力線原理 此原理即外力對於半拱為平衡狀態，即拱載重力與拱頂之橫推力及起拱點之反力的垂直分力之總和，水平分力之總和，力矩之總和皆等於零，依此原理，遂生下述之考查方法：

推力線原理之安定條件有三：

a. 迴轉之安定 設推力線落於拱任意斷面之中三分之一以內，則斷面不生拉力，不至裂損。

b. 剪力之安定 普通塊砌拱之接合線，多與曲度中心放射線相符，故即考查此處抵抗剪力之安全與否。抵抗剪力在整塊拱當非常充分，在塊狀拱則完全靠其摩擦力。普通石與石，石與磚或混凝土之摩擦係數均等於 0.6—0.7 故推力線與断面之方面成 55° — 59° 以

上時則可較安全。

c. 壓碎之安定

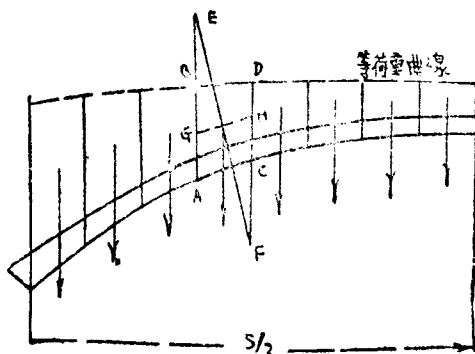
$$\text{容許應壓力} \quad f_c = \frac{N}{A} \left(1 + \frac{\delta e}{t} \right) \quad (6.9)$$

以上三種情形須使在各部均能安全。安定條件之檢查步驟如下：

a. 將拱環依水平之方向每半拱分為 5-10 等分。

b. 將各區分之拱材料重及其上重活載重一併計算之。其計算方法須將各土重活重等均化為拱材料荷重之等價重。例如路面之活重為 150 磅/呎，混凝土每立方呎重 150 磅。則 $\frac{150}{150} = 1$ 呎即等價重為

混凝土一呎厚。若土為 120 磅/呎，則一呎厚之土 $\frac{120}{150} = 0.8$ 呎，故其等價重僅為（拱材料之）0.8 呎。各區分等荷重頂面之連線，曰等



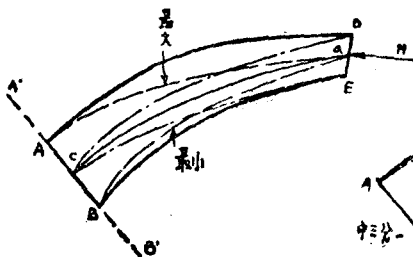
6.7 圖 等荷重曲線

荷重曲線 (reduced load contour)。此高度已為拱材料之高度，故應乘以拱料重量而得總重，各部力之作用線必經過梯形重心。梯形之重心求法，可如 6.7 圖所示。

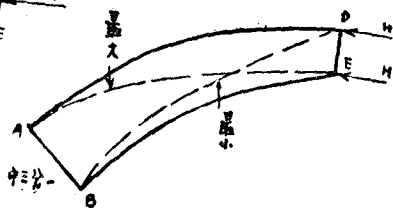
$$\begin{aligned} \text{令} \quad DC &= BE \quad AB = CF \\ AQ &= GB \quad CH = DH \end{aligned}$$

即求得梯形之重心。

c. 拱頂及起拱點推力作用之假定。普通在拱頂推力的着力點取中三分之一之上端，在起拱線取其下端，是為最小頂推力之假說。在拱全部受活重時，必使推力線經過拱頂及起拱線之中點。遇跨徑之一半受活重其他半不受活重時，則在拱頂處，經過其中央。起拱線無載重之端取中三分之一之上端，有載重之端取中三分之一之下端，此為普通計算之基本原則。



6.8 圖 拱抵抗線之變異



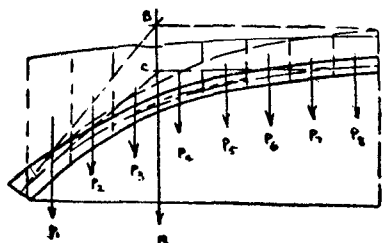
6.9 圖 抵抗線之極限

d. 求拱頂推力之大小。拱頂推力之大小、方向及作用點之變化，可使拱生無數之抵抗線。如 6.8 圖。a 為拱頂之任意點，推力為 H 時抵抗線為 ac ，若推力增大則其形近於 aA ，若推力減小則漸近 aB 為其最小限度，過此則拱不安定。同時如以 C 點為定點而定， H 減

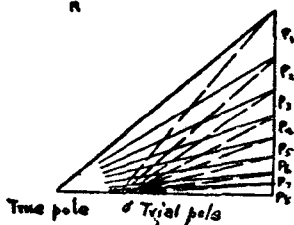
小則漸近 CD , H 增大則漸近 CE 。概括言之：拱之推力增加時抵抗線平坦，減小時則尖銳。兩者之極限如 6.9 圖。

普通拱之垂直載重使拱頂推力作用線上昇，水平載重使拱之推力作用線降低。故普通水平力不大時可僅計垂直力。

推力及推力線之圖解法如 1.10 圖所示，各垂直力之畫法，已如



上所述，如計及旁壓力，則力多角形之力為斜向的，其計算方法相同。先以任意極點作推力線經過起拱線中心，結果交中線於一點，不一定可交於拱頂中心。作合力線，而後移此壓力線經過起拱線及拱頂中心，另換一新極點而後視此壓力與拱軸相符合否。如不相同，則拱軸須重新更換。



6.10 圖 推力線圖解法

如用計算法則可用次式求

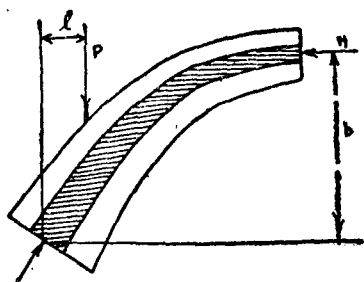
之：

$$H = \frac{\sum Pl}{b} \quad (1.10)$$

(即 H 最小時 b 為最大)

研究拱載重之可能情形，普通大拱須研究多種之情形，但在涵洞工程上，研究全部載活重及半拱載活重兩種可矣。

6.9 混凝土拱涵洞 設計混凝土拱涵洞可用推力線原理為



6.1 圖 求推力

之，施工時最要注意者，以混凝土拱涵洞多不甚大，故須於一次造成。灌注混凝土時須兩旁同時灌注，至拱頂而合為一。不設接縫為最佳，萬不得已，接縫方法及位置須十分慎重，且為對稱的，否則裂紋易生，極易破壞。茲述其優劣之點如下：

優點

1. 在基礎堅實處，可受填土之高壓力；
2. 能排多量之水；
3. 沙、石、水泥均為國貨；
4. 材料多就近取材，水泥之運輸亦不感困難；
5. 無修養費，且能經久；
6. 施工時頗便利。

劣點

1. 不宜於土質薄弱者；
2. 因基礎沉陷易生破裂；
3. 如遇意外損壞，或施工不良，則修理甚難。

茲述一混凝土涵洞標準圖及其設計以資參考。其設計標準如下：

活載重計入衝擊其等量均布載重以上之 5 呎 (1.5 公尺) 高度換算。

6.1 表 混凝土拱涵洞各部尺寸

第一種徑間 S= 拱矢 (載重高時)	徑間 S	拱頂厚度 t ₁	起拱線厚度 t ₂	R ₁	R ₂	r ₁	r ₂	r ₃
6'-0" (1830)	9" (230)	2'-6" (760)	4'-3" (1300)	8'-6"	(2580)	1'-6" $\frac{1}{2}$ (530)	3'-6" $\frac{1}{2}$ (1080)	6'-0" (1830)
8'-0" (2440)	10" (250)	3'-0" (910)	5'-5" (1650)	10'-10"	(3338)	2'-4" $\frac{1}{2}$ (1250)	4'-0" $\frac{1}{2}$ (1460)	8'-0" (2440)
10'-0" (3050)	1'-0" (310)	3'-6" (1070)	6'- $\frac{1}{2}$ (2020)	13'- $\frac{1}{2}$ (3980)	2'-11" (3350)	6'-0	(1360)	10'-0" (3050)
12'-0" (3660)	1'-3" (380)	4'-0" (1200)	7'-9" (2360)	15'-3"	(4700)	3'-6" $\frac{1}{2}$ (1018)	7'-2" (2180)	12'-0" (3660)
15'-0" (4570)	1'-6" (460)	4'-9" (1450)	9'- $\frac{3}{4}$ (890)	8'-11" $\frac{1}{2}$ (578)	4'-4" $\frac{3}{4}$ (236)	3'-0" (2740)	15'-0" (4570)	
18'-0" (5490)	1'-9" (580)	5'-6" (1680)	11'-2" $\frac{1}{2}$ (3420)	2'-5" $\frac{1}{2}$ (640)	5'-4" $\frac{1}{2}$ (1850)	3'-8" (3250)	8'-0" (2440)	
20'-0" (6100)	2'-0" (610)	6'-0" (1830)	12'-4" $\frac{1}{2}$ (3770)	24'-9"	(7640)	5'-11" (830)	14'-11" (4680)	20'-0" (6100)

() 內為公制, 為相似之設計以公厘計。

第二種半圓徑(載重臨時)

S=2r ₁	拱頂厚度t ₁	a	b	橋台底寬t ₂	r ₁	r ₂	γ
6'-0"(1830)	10''(250)	1'-0''(310)	2'-0''(610)	3'-0''(910)	3'-0''(910)	4'-2''(1270)	1'-8 ¹ / ₈ ''(510)
8'-0''(2440)	10''(250)	1'-3''(380)	2'-9''(840)	3'-9''(1140)	4'-0''(1220)	5'-9 ¹ / ₂ ''(1770)	2'-1 ⁷ / ₈ ''(660)
10'-0''(3050)	1-0''(310)	1'-6''(460)	3'-3''(990)	4'-6''(1370)	5'-0''(1520)	7'-5 ⁵ / ₈ ''(2180)	2'-8 ¹ / ₈ ''(830)
12'-0(3660)	1-8''(380)	2'-0 (610)	3-9''(1140)	5'-5''(1590)	6'-0''(1890)	9- ¹ / ₈ ''(2350)	3'-6 ¹ / ₄ ''(1070)
15'-0''(4570)	1'-6''(460)	2'-6''(760)	4'-7 ¹ / ₂ ''(1410)	6'-6''(1980)	7'-6''(2390)	11'-4 ¹ / ₂ ''(3470)	4'-4 ¹ / ₈ ''(1360)
18'-0''(5490)	1-9''(530)	3'-0''(910)	5'-6''(1480)	7'-9''(2360)	9'-6''(740)	13'-8 ⁷ / ₈ ''(4190)	5'-3 ¹ / ₈ ''(1600)
20'-0(6100)	2-0''(610)	3-6''(1070)	6'-0 (1650)	8'-3''(2490)	10'-0''(3050)	15-7 ³ / ₄ ''(4770)	6-5 ¹ / ₈ ''(1830)

軌道重量每方呎 200 磅(975 公斤/公尺²),

土之重量每立方呎 100 磅(1,600 公斤/公尺³),

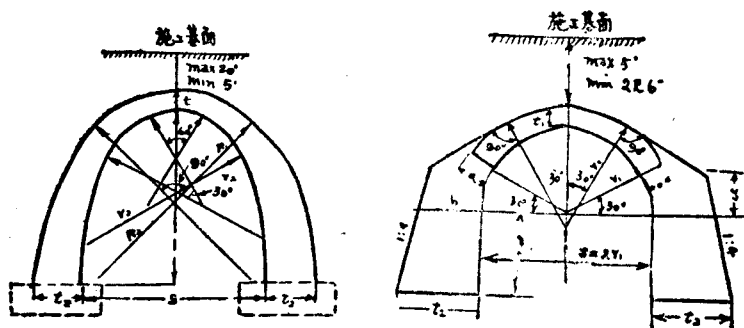
混凝土重每立方呎 140 磅(2,240 公斤/公尺³),

土之靜止角 $\psi = 30^\circ$ 時水平土壓等於垂直土壓之 $\frac{1}{3}$ 。

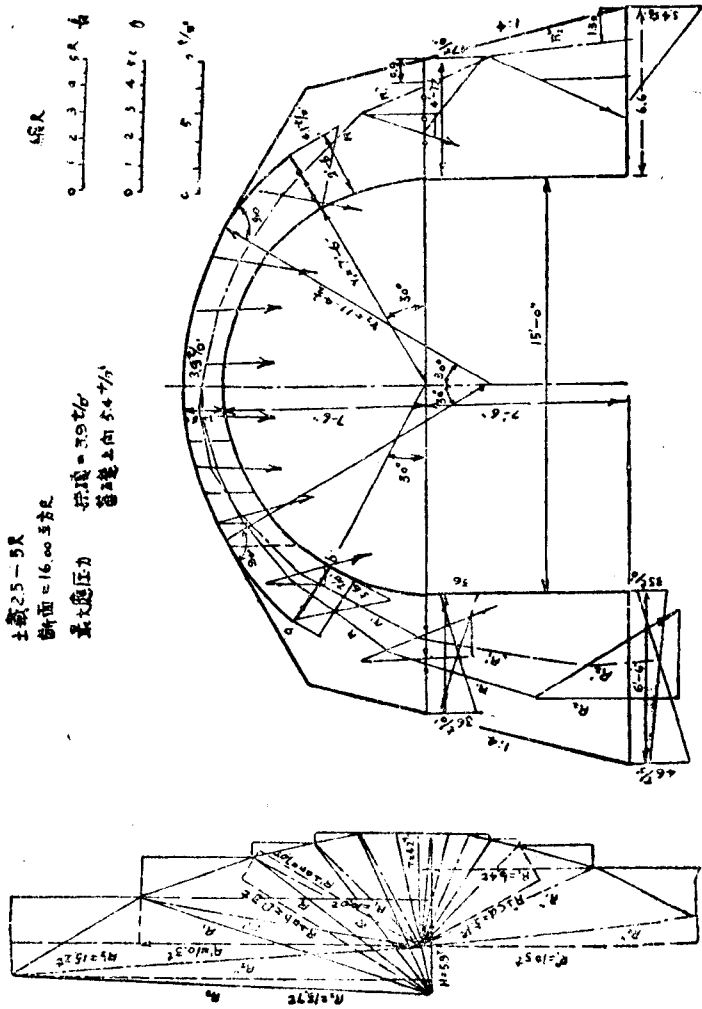
垂直土壓與水平土壓用俾魯馬伊魯公式。

其各部之尺寸如 6.1 表。

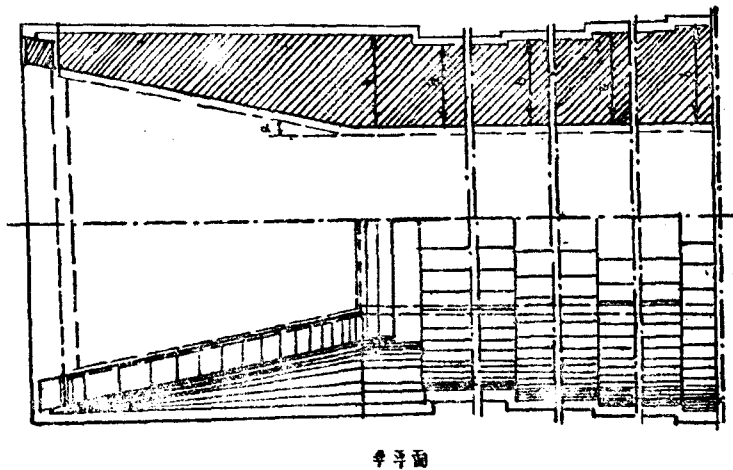
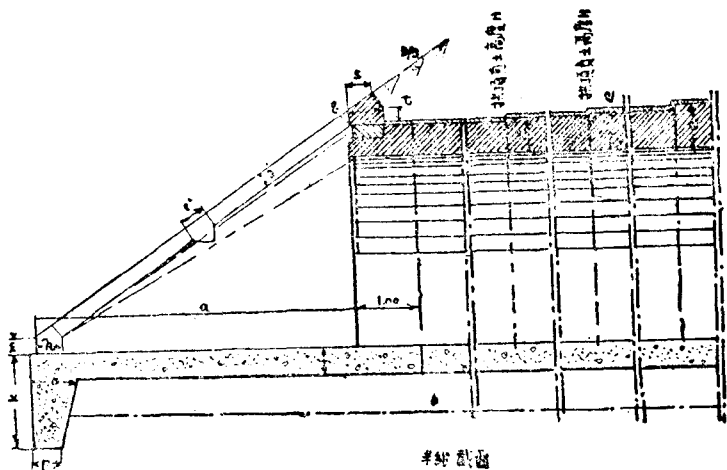
此標準涵洞之設計實例(跨徑為 15 呎者)如 6.13 a 圖及 6.13 b 圖其計算之情形有二: 一為活重分佈全跨徑時, 壓力線經過起拱線及拱頂之中心, 一為活重分佈於半跨徑時, 壓力線經過拱頂之中央, 起拱線則各在其中三分之一一邊。土載重 2.5-5 呎者見 6.13 圖, 土載重 5-20 呎者見 6.14 圖。



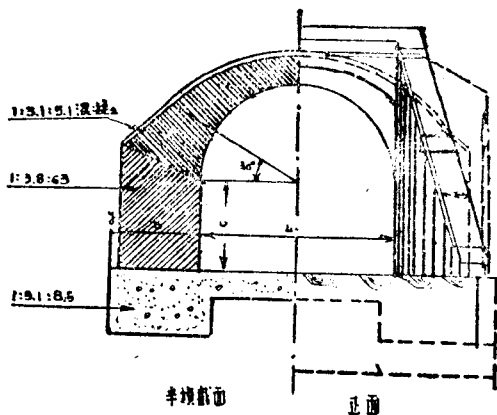
6.12 圖 標準拱涵洞



·618 圖 拱 涵 洞 設 計

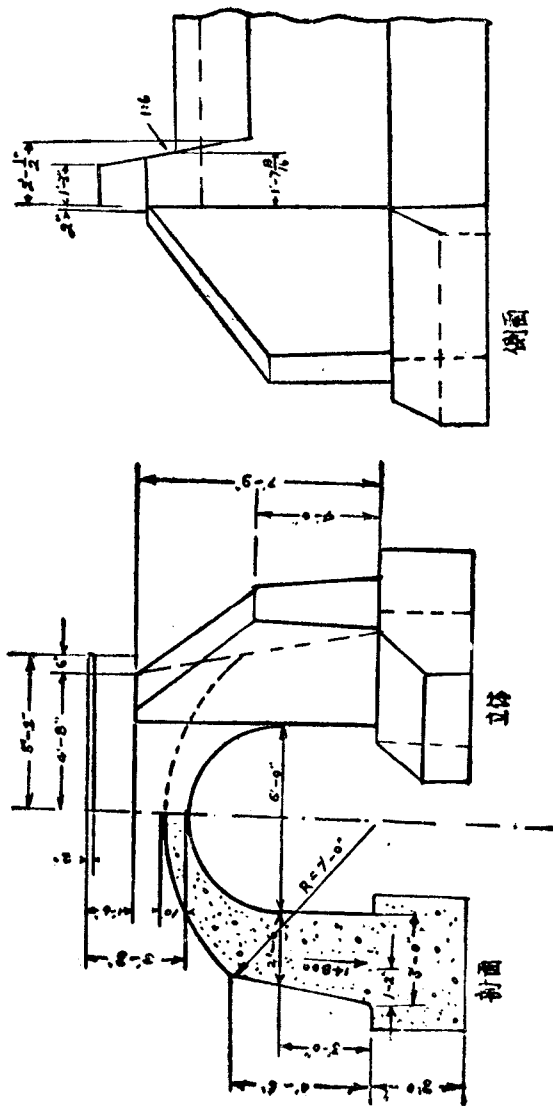


6.15 圖 a 龍海鐵路西貢段 1-5 公尺拱橋洞標準圖



l	d	a	e	d	f	g	i	j	k	m	n	o	p	q	s	t	u	v	y	h	e	b
2.0	1.00	5% ¹	1.50	1.00	2.525	0.50	0.200	0.30	0.150	1.00	0.20	0.40	0.60	0.40	0.300	0.15	0.15	0.30	0.10	≤6.00	0.45	1.00
										1.50										4.9.00	0.50	1.05
																				412.00	0.55	1.10
2.00	1.1 ¹ 5	1.40	1.00	3.820	0.40	0.203	0.30	0.150	1.00	0.20	0.45	0.75	0.50	0.55	0.300	0.20	0.15	0.35	0.10	≤3.00	0.50	1.10
									1.50											≤6.00	0.55	1.15
																				≤9.00	0.60	1.20
																				≤17.00	0.65	1.25
3.00	1.1 ¹ 5	1.45	1.50	3.570	0.40	0.230	0.42	0.200	1.50	0.25	0.50	0.75	0.50	0.55	0.300	0.22	0.15	0.40	0.15	≤3.00	0.55	1.25
																				≤6.00	0.60	1.35
																				≤9.00	0.70	1.40
																				≤12.00	0.75	1.50
3.00	1.1 ¹ 5	1.50	1.50	3.020	0.50	0.200	0.42	0.200	1.50	0.30	0.50	0.90	0.50	0.55	0.300	0.22	0.25	0.45	0.20	≤3.00	0.70	1.70
									2.00											≤6.00	0.80	1.90
																				≤9.00	0.85	2.00
																				≤12.00	0.90	2.05

6.15 圖 5 離海鐵路西寶段 1—5 公尺拱涵洞標準圖

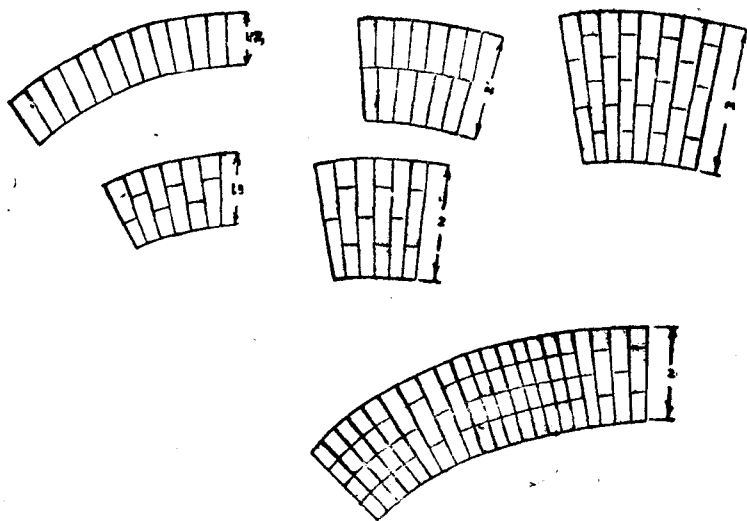


6.6圖 杭江鐵路拱涵洞

6.10 石拱涵洞 石砌涵洞之設計方法，與混凝土者相同，僅因為塊砌式，故需充分抵抗其剪力，優劣之點與混凝土者略同，惟在產石之處用石砌拱較之混凝土價廉得多，為其最大優點，故其應用之範圍極多。茲舉粵漢鐵路株韶段之石拱涵洞(6.17圖)及浙江省公路局標準圖(6.18圖)。以示其設計之一般。

6.11 磚拱涵洞 磚拱厚度比石拱應加 $\frac{1}{4} - \frac{1}{8}$ ，普通因煉磚之形狀與硬度之一律極為難得，且磚塊較石塊為小，接縫特多，是其弱點。故除不產石之區，甚少用之。

拱磚之砌法如 6.19 圖所示。6.20 圖為美國所用磚拱涵洞之一例。



6.19圖 磚 拱 涵 洞

6.12 拱之彈性原理 拱涵洞所用之拱，因跨徑甚小，皆為無鉸拱，茲述其彈性原理如下：

設 Δs 為一段拱環之長，

n_h 為半環之分段數，

C_a 為拱環平均壓力，（橫壓力所給與者。）

t_e 為溫度膨脹係數，

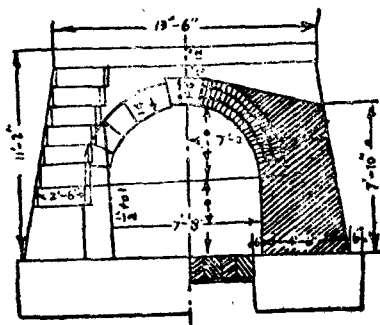
t_D 為溫度膨脹度數，

H_c, v_c, M_c, R_c 各為拱頂之水平力、垂直力、力矩、水平垂直合力，

N, v, R 各為任意剖面之橫推力、剪力、及合力，

M_L, M_R 為左右各點力矩，

m_L, m_R 為左右外力力矩，



6.20 圖 鐵道用標準磚石橋涵

$$\Delta x = \sum M_y \frac{ds}{EI}$$

$$\Delta y = \sum M_x \frac{ds}{EI} \quad (6.11)$$

$$\Delta \phi = \sum M \frac{ds}{EI}$$

若 $\frac{S}{I}$ 相同則

$$\sum M_L y = -\sum M_R y$$

$$\sum M_L x = -\sum M_R x$$

$$\sum M_L = -\sum M_R$$

$$M_L = M_c + H_o y + V_o x - m_L \quad (6.12)$$

$$M_R = M_c + H_o y - V_o x - m_R$$

代入上三式加減消去之，

$$2M_o \Sigma y + 2H_o \Sigma y^2 - \Sigma m_L y - \Sigma M_R y = 0$$

$$2V_o \Sigma x - \Sigma m_L x + \Sigma m_R x = 0$$

$$2n_n M_o + 2H_o \Sigma y - \Sigma m_L - \Sigma M_R = 0$$

$$H_o = \frac{n_n \Sigma (m_L + m_R) y - \Sigma (m_L + m_R) \Sigma y}{2[n_n (\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2]} \quad (6.13)$$

$$V_o = \frac{\Sigma (m_L - m_R) x}{2 \Sigma x^2} \quad (6.14)$$

M_o 正者 H_o 在上，負者 H_o 在下， V_o 在左向上為正。

因溫度所生之影響，在載重輕者頗為重要，在鐵道上則影響較微。如在土載重甚高時，可以不計之。在跨徑小如涵洞則更為輕微。其式如下：

$$V_o = 0$$

$$H_o = \frac{I}{S} \cdot \frac{t_o t_D l n_n E_o}{2[n_n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}$$

$$M_o = - \frac{H_o \Sigma y}{n_n}$$

$$M = M_o + H_y \quad (6.15)$$

(其升高降低範圍為華氏 $\pm 30^\circ$ 。混凝土之膨脹係數(華氏)

$t_o = 0.000006$; $E_o = 2,000,000$ (磅/呎²)

因推力所生之影響普通甚小，惟在偏平之拱則較大，其符號與溫度減少相同。

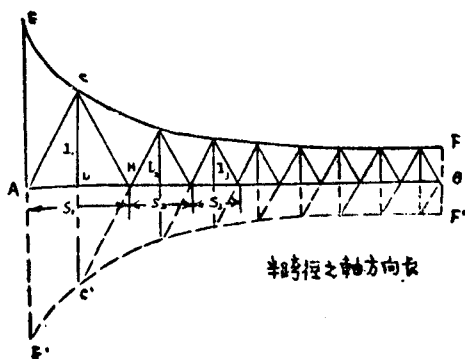
$$H_c = -\frac{I}{S} \cdot 2 \left[n_h \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 \right] \frac{C_a n_h}{n_h}$$

$$M_c = -\frac{H_c \Sigma y}{n_h}$$

$$M = M_c + H_c y \quad (6.16)$$

6.13 求 $S/I = \text{常數}$ 之圖解法 任取 AH 長 作垂直等分線 LC ，作 CA 及 CH 繼續作三四次之試驗，即可適將全長分竣。結果如 6.21 圖得各相似之三角形。

$$\frac{S_1}{I_1} = \frac{S}{I_2} = \frac{S_3}{I_3}$$



6.21 圖 求 $\frac{S}{I} = \text{常數}$ 圖解法

6.14 鋼筋混凝土拱涵洞 鋼筋混凝土拱涵洞為拱涵洞中之最優者，具備各種拱涵洞之優點，同時因其有鋼筋之連繫，故雖有些微之不平均陷落，亦不至即生破裂 惟以其鋼筋之存在，施工上略見

困難耳。

鋼筋混凝土拱涵洞設計步驟如下：

1. 以經驗公式及參考其他已有成例，定拱頂厚及起拱面厚，畫內外拱線。

茲舉適用於鋼筋混凝土威爾第(F. F. Weld)及道格拉斯(W. J. Douglas)之經驗公式如下：

威爾第公式
$$t_o = \sqrt{S} + \frac{S}{10} + \frac{w}{200} + \frac{w'}{400} \quad (6.17)$$

道格拉斯公式

$$t_o = 0.03(6 + S) \quad (\text{公路 } 20 \text{ 尺以下}) \quad (6.18)$$

$$t_o = 1.25 \times 0.03(6 + S) \quad (\text{鐵路 } 20 \text{ 尺以下})$$

$$t_s = 1.25 - 2.5h$$

t_o = 頂厚(吋)，

t_s = 起拱線厚(吋)，

S = 跨徑(呎)，

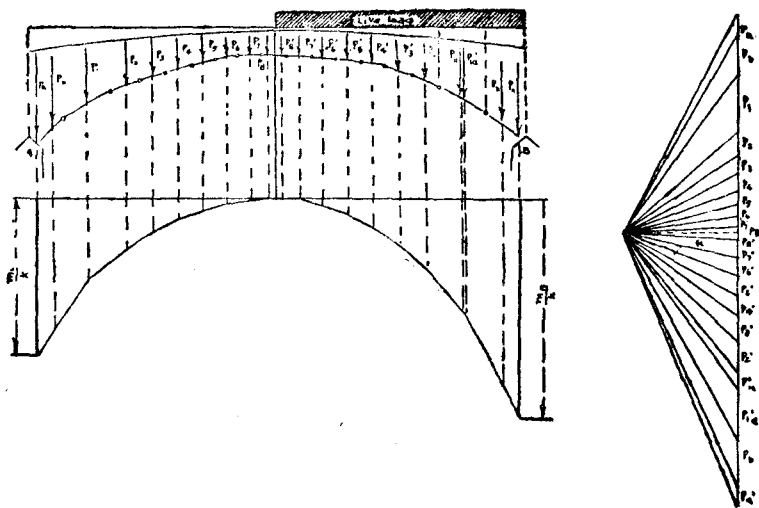
w = 活重(磅/呎²)，

w' = 死重(磅/呎²)。

2. 畫軸線。

3. 分 $\Delta S/l$ 為常數。

4. 用計算法或圖解法求懸梁力矩 (Cantiliver moments)。圖解法即分左右兩懸梁，以懸梁法解之 (6.22 圖) 以後按公式計各種情形之 H 、 V 及 M 。在涵洞工程一般求全載重及一半跨徑載重兩種情形可矣。



6.22 圖 求左右力矩圖解法

5. 畫力多角形及壓力線。
6. 求各 $\Delta S/I$ 之離心 e ，及 H, V ，與 M ，
7. 必要時計及溫度及縮短之影響。
8. 用離心壓力及力矩核鋼筋混凝土足以抵抗壓力否？(普通鋼筋混凝土涵洞雖足以抵抗拉力，但鮮用之。) 如不足時，再加鋼筋數量及改變拱形以求適合為止。

鋼筋之設計公式如下：

設 e 為離心,

$$M = Ne,$$

t 為厚度,

ρ 為鋼筋比,

$$I = I_c + nI_s,$$

$$A = A_c + nA_s,$$

r 為鋼筋至中心線距離,

複鋼筋全剖面受壓力者,

$$f_c = \frac{N}{bt} \left(\frac{1}{1+n\rho} + \frac{6et}{t^2 + 12n\rho r^2} \right) \quad (6.19)$$

複鋼筋全剖面不受全壓力有一面受拉力者,

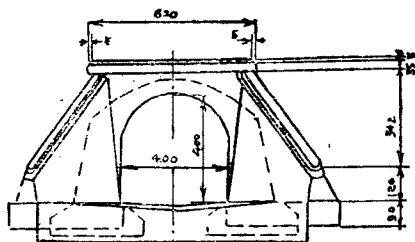
$$k^3 - 3\left(\frac{1}{2} - \frac{e}{t}\right)k^2 + (n\rho k \frac{e}{t} - 3n\rho) \left(\frac{c}{t} + 2\frac{r^2}{t^2} \right) = 0 \quad (6.20)$$

$$L = \left[\frac{n\rho r}{kt^2} + \frac{k}{12} (3 - 2k) \right] \quad (6.21)$$

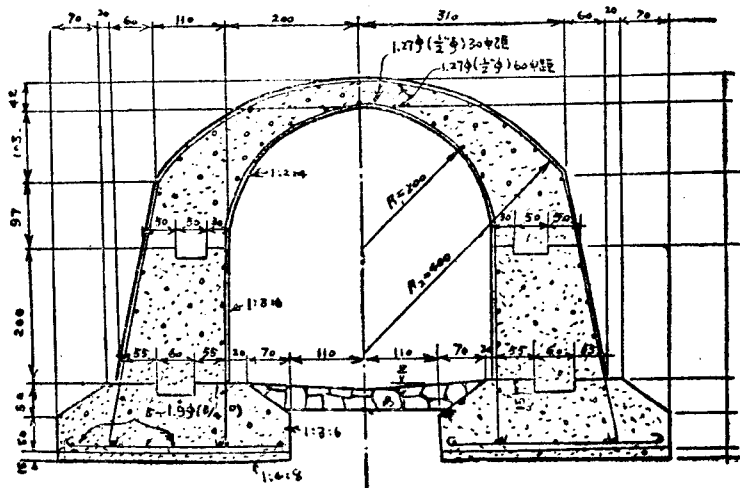
$$f_c = \frac{M}{Lbt} \quad (6.22)$$

$$f_s = n f_c \left(\frac{d}{k_t} - 1 \right) \quad (6.23)$$

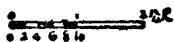
茲舉一公路用之鋼筋混凝土涵洞實例如 6.23 圖。6.24 圖為
粵漢鐵路株韶段之一鋼筋混凝土涵洞。



下游算高立面

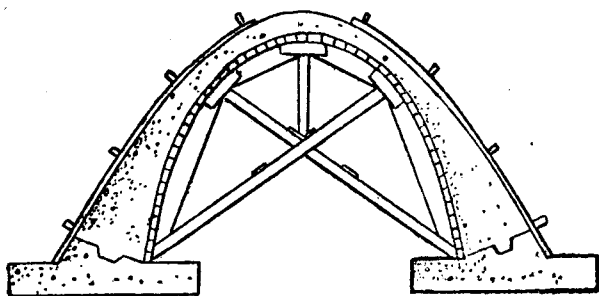


乙-乙剖面图



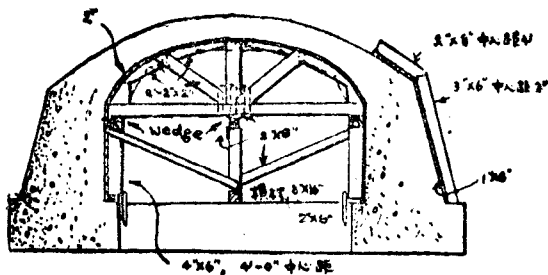
6.24 图 b 粤澳路株湖段钢筋混凝土拱涵洞

6.15 拱涵洞之模型 茲舉兩例如 6.25 圖及 6.26 圖

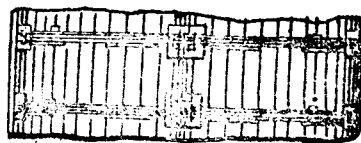
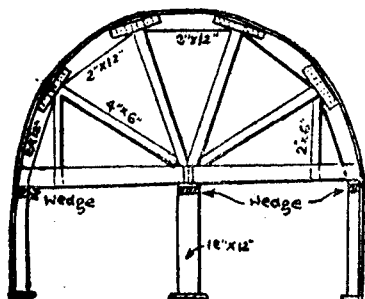


每中距 4'-0" 一吋

6.25 圖 拱涵洞木模



C. M. & St. P. Ry.



Bottom View

6.26 圖 拱涵洞模

6·16 皺紋鐵拱涵洞 皺紋鐵拱涵洞性質與皺紋鐵管略同，但其跨徑稍大，且為半圓形。以其價值之奇昂，且須採用外貨，故在我國不適用之。

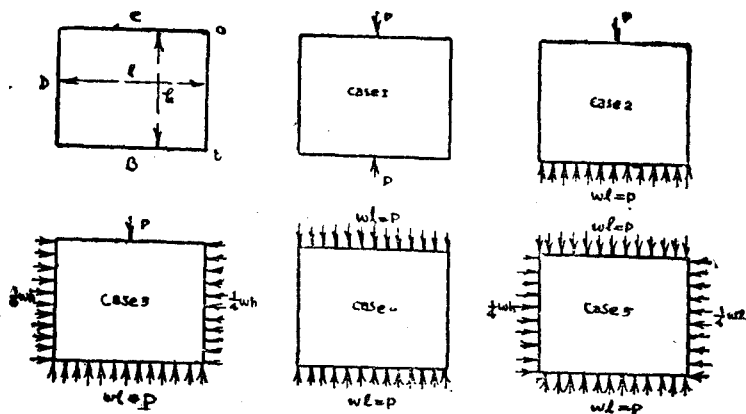
6·17 結論 拱涵洞極適宜于土載重大者，可利用不能受拉力之材料，尤以石材為最經濟適用。我國石拱遍滿全國，頗多舊拱，尚可適用於今日重載之新路上，惟拱之施工較為麻煩，且多一拱模之構造。在地質不良之地，則不宜採用之。

第七章 框形涵洞

7.1 概說 框形涵洞為具有連續性之一種構造。此種構造隨鋼筋混凝土之發達而益暢行，乃用鋼筋混凝土造成一種箱形或門形之整塊的涵洞。因其連續性之存在，遂使頂板所受之力矩減少，所用之材料，可較梁涵洞為經濟，且因其為整塊式構造，故甚微之下沉不至發生分裂，茲略述此種涵洞之優劣如下：

優點

1. 洞身非常堅固(甚高時當以拱為宜)，
2. 填土較高可用之，
3. 無修養費，



7.1 圖 箱形涵洞受力情形

4. 些微之下沉不生分裂,
5. 壽命長久,
6. 材料除鋼筋外皆為國貨。

劣點

1. 建築較為困難,
2. 須模型等費用。

7.2 框形涵洞之力學 框形涵洞普通多用箱形。其力學方程式可照 6.12 節無鉸拱彈性方法之相似證法得:

$$H_c = \frac{\sum my \frac{\Delta S}{I} \sum \frac{\Delta S}{I} - \sum m \frac{\Delta S}{I} \sum y \frac{\Delta S}{I}}{\sum y^2 \frac{\Delta S}{I} \sum \frac{\Delta S}{I} - \left(\sum y \frac{\Delta S}{I} \right)^2} \quad (7.1)$$

$$M_c = \frac{\sum m \frac{\Delta S}{I} - H_c \sum y \frac{\Delta S}{I}}{\sum \frac{\Delta S}{I}} \quad (7.2)$$

m 為中剖面點至中點為止之外力力矩,

Σ 符號以半涵洞為限,

h 為頂底板間高度,

I_c 為頂板慣性力矩,

I_D 為旁牆慣性力矩,

M_L 為中心力矩,

M_D 為牆中心力矩,

M_a 及 M_b 為二角點力矩,

H_c 爲頂板中心橫推力，

$$R = \frac{l}{h},$$

$$S = \frac{I_c}{I_D},$$

$$k = \frac{S}{R} = \frac{I_c}{I_D} \cdot \frac{h}{l},$$

M_L, M_R 各爲 c 點左右各點之力矩，

V_c 爲 c 點直剪力。

$$M_L = M_c + H_c y + V_c x - m \quad (7.3)$$

$$M_R = M_c + H_c y - V_c x - m$$

第一種情形 在 7.1 圖各種受力情形下各部之撓曲力矩如下：

$$H_c = 0$$

$$M_c = M_B = \frac{pl}{8} \cdot \frac{R+2S}{R+S} = \frac{pl}{8} \cdot \frac{1+2k}{1+k}$$

$$M_D = M_a = M_b = M_c - \frac{1}{4} pl \quad (7.4)$$

在正方形狀態，

$$M_c = \frac{3}{16} pl$$

$$M_D = -\frac{3}{16} pl \quad (7.4a)$$

若在正方形上下左右受同樣之集中力，則

$$M_c = M_D = \frac{1}{8} pl$$

$$M_a = M_b = -\frac{1}{8} pl$$

是與裝固梁相同

第二種情形

$$H_c = \frac{1}{8} p \frac{R^2}{3R+S} = \frac{l}{h(3+k)} \cdot \frac{p}{8}$$

$$M_c = \frac{pl}{24} \left[\frac{6k^2 + 20k + 9}{(1+3k)(1+k)} \right]$$

$$M_D = M_c + H_c h - \frac{wl^2}{8} = M_b + \frac{pl}{8}$$

$$M_a = M_c - \frac{pl}{4}$$

$$M_b = M_c + H_c h - \frac{pl}{4} = M_a + H_c h \quad (7.5)$$

第三種情形

$$H_c = (\text{第二種情形之 } H_c) + \frac{1}{8} wh$$

$$M_c = (\text{第二種情形之 } M_c) - \frac{wh^2}{48} \left(\frac{k}{1+k} \right)$$

$$M_D = M_c - \frac{1}{8} w(l^2 + h^2) + H_c h$$

$$M_a = M_c = \frac{pl}{4}$$

$$M_D = M_a - \frac{1}{32}wh^2 + \frac{H_c h}{2}$$

$$M_b = M_a - \frac{1}{8}wh^2 + H_c h \quad (7.6)$$

第四種情形

$$H_c = 0$$

$$M_c = M_B = \frac{wl^2}{24} \left(\frac{1+3k}{1+k} \right)$$

$$M_D = M_a = M_b = M_c - \frac{1}{8}wl^2 = -\frac{wl^2}{12} \left(\frac{k}{1+k} \right) \quad (7.7)$$

在正方形狀態

$$M_c = \frac{1}{12}wl^2$$

$$M_D = -\frac{1}{24}wl^2 \quad (7.7a)$$

若在正方形上下左右受同樣之均布力，則

$$M_c = M_D = \frac{1}{24}wl^2$$

$$M_a = M_b = -\frac{1}{12}wl^2$$

與裝固梁相同。

第五種情形

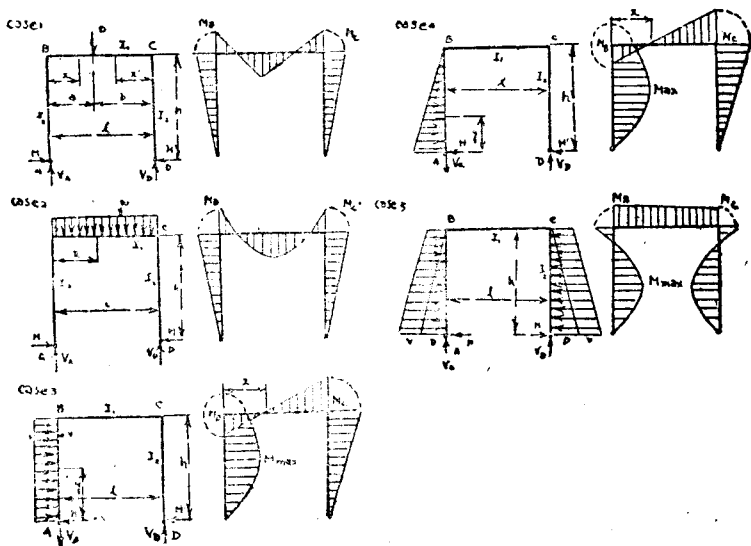
$$H_c = \frac{1}{8} wh$$

$$M_c = M_B = (\text{第三種情形之 } M_c) - \frac{wh^2}{48} \left(\frac{k}{1+k} \right)$$

$$M_a = M_b = M_c - \frac{1}{3} wl$$

$$M_D = M_a + \frac{1}{32} wh^2 \quad (7.8)$$

7.2 圖示鉸結門形梁各種受力情形，其力之公式如下：



7.2 圖 鉸結門形梁受力情形及其力矩圖

第一種情形

$$H = \frac{3pab}{2hl(2k+3)}$$

$$\left(k = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{h}{l}\right)$$

$$V_A = \frac{pb}{l} \quad V_D = \frac{px}{l}$$

$$M_B = M_c = -Hh$$

$$M_x = \frac{pb}{l}x + M_B$$

$$M'_x = \frac{px}{l}x' + M_c$$

$$M_{max} = \frac{4k+3}{2k+3} \cdot \frac{pab}{2l} \quad (7.9)$$

第二種情形

$$H = \frac{wl^3}{4h(2k+3)}$$

$$V_A = V_D = \frac{wl}{2}$$

$$M_B = M_c = -Hh$$

$$M_x = \frac{wlc}{2} - \frac{wx^2}{2} + M_B$$

$$M_{max} = \frac{2k+1}{2k+3} \cdot \frac{wl^3}{8} \quad (7.10)$$

第三種情形

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{11k+18}{2k+3} \cdot \frac{rh}{8} \\
 H' &= rh - H \quad V_A = -V_D = \frac{rh^2}{2l} \\
 M_y &= H_y - \frac{ry^2}{2} \\
 M_{max} &= \frac{r}{8} \left(h \cdot \frac{11k+18}{2k+3} \right)^2 \\
 M_B &= \frac{3rh^2}{8} \cdot \frac{k+2}{2k+3} \\
 M_c &= -\frac{rh^2}{8} \cdot \frac{5k+6}{2k+3} \\
 X &= \frac{3l}{4} \cdot \frac{k+2}{2k+3} \quad Y = \frac{h}{8} \cdot \frac{11k+18}{2k+3} \quad (7.11)
 \end{aligned}$$

第四種情形

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{ph}{40} \cdot \frac{31k+50}{2k+3} \\
 H' &= \frac{ph}{2} - H = \frac{ph}{40} \cdot \frac{9k+10}{2k+3} \\
 V_A &= -V_D = \frac{p^2}{6l} \\
 M_y &= H_y - \frac{p}{6h} y^2 (3h - y) \quad (7.12) \\
 M_B &= \frac{ph^2}{120} \cdot \frac{13k+30}{2k+3}
 \end{aligned}$$

$$M_c = -\frac{ph^2}{40} \cdot \frac{9k+10}{2k+3}$$

$$X = \frac{l}{2J} \cdot \frac{11k+30}{2k+3}$$

第五種情形

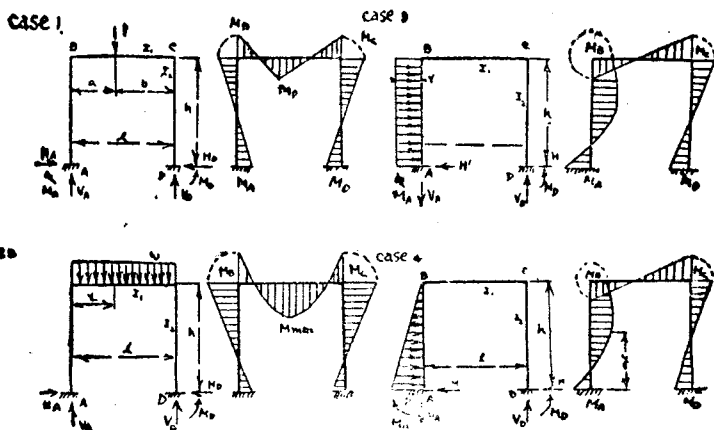
$$H = \frac{3rh}{4} \cdot \frac{k+2}{2k+3} + \frac{ph}{20} \cdot \frac{11k+20}{2k+3}$$

$$V_A = V_D = 0$$

$$M_B = M_c = -\frac{rh^2}{4} \cdot \frac{k}{2k+3} - \frac{ph^2}{60} \cdot \frac{7k}{2k+3}$$

$$M_{max} = -\frac{rh^2}{4} \cdot \frac{k}{2k+3} - \frac{ph^2}{60} \cdot \frac{7k}{2k+3} \quad (7.13)$$

固定門形梁其邊牆兩端為固定的，固定端生力矩。如 7.3 圖各種受力情形下，力之公式如下：



7.3 圖 固定門形梁受力情形及其力矩圖

第一種情形

$$V_A = \frac{pb}{l} \cdot \frac{1+S-2S^2+6k}{1+6k}$$

$$\left(k = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{h}{l} \quad S = \frac{a}{l} \right)$$

$$V_D = \frac{pa}{l} \cdot \frac{3S-2S^2+6k}{1+6k}$$

$$H_A = H_D = \frac{3pa^2}{2hl(2+k)}$$

$$M_A = \frac{3bp}{2l} \cdot \frac{5k-1+2S(2+k)}{(2+k)(1+6k)}$$

$$M_D = \frac{abp}{2l} \cdot \frac{3+7k-2S(2+k)}{(2+k)(1+6k)}$$

$$M_B = M_A - H_A h$$

$$M_C = M_D - H_D h$$

$$M_P = M_A - H_A h + V_A a$$

(7.14)

第二種情形

$$V_A = V_D = \frac{wl}{2}$$

$$H_A = H_D = \frac{wl^2}{4h(2+k)}$$

$$M_A = M_D = \frac{wl^3}{12(2+k)}$$

$$M_C = M_B = -\frac{wl^3}{6(2+k)}$$

$$M_x = \frac{wx}{2} (l-x) - \frac{wl^3}{6(2+k)}$$

$$M_{max} = \frac{wl^3}{24} \cdot \frac{2+3k}{2+k}$$

(7.15)

策三種情形

$$\begin{aligned}
 V_A &= -V_D = \frac{rh^2k}{l(1+6k)} \\
 H &= \frac{rh}{8} \cdot \frac{3+2k}{2+k} \quad H' = rh - H \\
 M_A &= -\frac{rh^2}{24} \left(12 - \frac{9+5k}{2+k} - \frac{12k}{1+6k} \right) \\
 M_D &= \frac{rh^2}{24} \left(\frac{9+5k}{2+k} - \frac{12k}{1+6k} \right) \\
 M_B &= M_A - Hh + \frac{rh^2}{2} \\
 M_C &= M_D - Hh \\
 M_Y &= M_A + (rh - H)y - \frac{ry^2}{2}
 \end{aligned} \tag{7.16}$$

第四種情形

$$\begin{aligned}
 V_A &= -V_D = \frac{pkh^2}{4l(1+6k)} \\
 H &= \frac{ph}{40} \cdot \frac{4+3k}{2+k} \\
 H' &= \frac{ph}{2} - H \\
 M_A &= -\frac{ph^2}{20} \left(20 - \frac{12+7k}{2+k} - \frac{15k}{1+6k} \right) \\
 M_C &= M_D - Hh \\
 M_D &= \frac{ph^2}{120} \left(\frac{12+7k}{2+k} - \frac{15k}{1+6k} \right) \\
 M_B &= M_A - Hh + \frac{ph^2}{6} \\
 M_Y &= M_A + \left(\frac{ph}{2} - H \right) y - \frac{py^2}{h} (2h - y)
 \end{aligned} \tag{7.17}$$

7.3 框形涵洞之近似解法 框形涵洞如跨徑不甚大時，可用近似之靜力學解法，但材料不甚經濟耳。頂板之正負力矩皆取

$$M = \pm \frac{1}{10} ql$$

q 為均布載重包括活重土重衝擊以及頂板重等。

底板之正負力矩皆取

$$M = \pm \frac{1}{10} q_0 l$$

q_0 為均布的板底反力減去底板重量，如不減去底板重量亦可，因其在安全向也。在邊牆上下兩端支點負力矩設等於頂板之力矩。

7.4 鋼筋混凝土框形涵洞設計 設計鋼筋混凝土框形涵洞應注意下述各點：

1. 在涵洞工程可忽視溫度及硬化收縮之變化，但防裂鋼筋等須酌量加入。

2. 断面之慣性力矩，就理論上應計壓力側之混凝土，及鋼筋 n 倍之慣性力矩，但在事實為便利起見，初算時可不計鋼筋，僅計及混凝土之全部面積對於中心之慣性力矩。

3. 若邊牆受壓力大，則先酌定若干鋼筋量，加計混凝土及鋼筋之慣性力矩。

4. 構造角部時，凸部鋼筋彎曲須極圓滑，凹部鋼筋以用直線之交錯為宜，並須伸入相當長度。

5. 地質不良時，基礎可較為增大。

6. 四角補強之三角形之兩垂直邊約等于高或寬之 $\frac{1}{10}$ 。

7. 頂面須設橫坡度以排水，並加敷防水層。

7.5 道路框形涵洞設計例題 設有一 8 呎跨徑之箱形涵洞，其頂距離地面為 2 呎。假定其頂上所承受路面及填土之均布載重為 200 磅/呎²，邊牆受泥土之旁壓力，其壓力在路面時等于零，每增加一呎為 28 磅。此涵洞頂離路面為 2 呎，故等于 $2 \times 28 = 56$ 磅。在底之壓力為 $11 \frac{1}{2} \times 28 = 522$ 磅。其集中載重設為後輪重 6 噸，分布于 6 呎寬，則每單位寬所受者為 1 噸 (= 2000 磅)。

由頂板移入底板之載重設為 3,400 磅(不計邊牆重亦不除底本身重)，設底之反力定為 300 磅/呎² 則 $3400 \div 300 = 11.33 = 11$ 呎 4 吋。即底板加寬至十一呎四吋。

設計 將半涵洞分為 13 個相等部分如 7.4 圖(b)，

$$\text{活重} = \frac{p}{2} = 1,000 \text{ 磅,}$$

$$\text{均布死重} = 200 \text{ 磅/呎}^2,$$

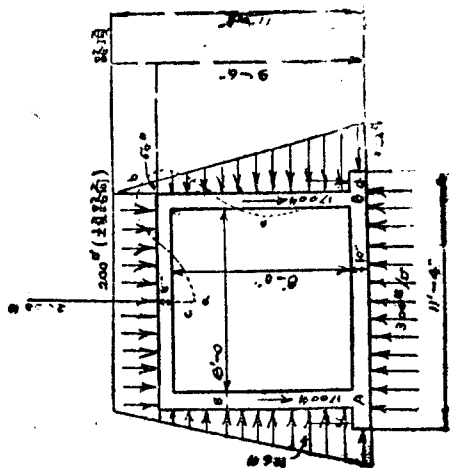
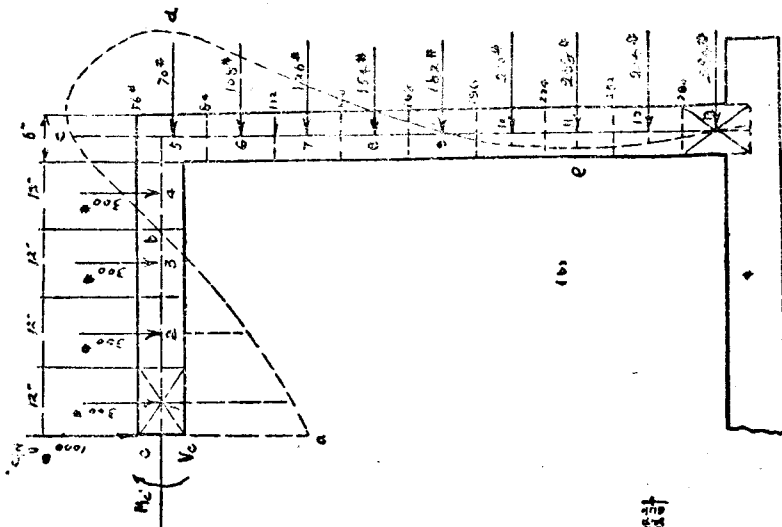
$$\text{材料重} \quad 150 \times \frac{8 \times 12 \times 12}{12 \times 12 \times 12} = 100 \text{ 磅}$$

$$100 + 200 = 300 \text{ 磅}$$

$$8 \times 300 = 2,400 \text{ 磅}$$

$$2,400 + 1,000 = 3,400 \text{ 磅}$$

因 $\frac{\Delta S}{I}$ 為常數故 7.1 式與 7.2 式變為



24 畫 黃 鐵 框 形 洞 洞 設 計

張 尙 斌

$$M_o = \frac{\sum m - H_o \sum y}{n}$$

$$H_o = \frac{n \sum my - \sum m \sum y}{n \sum y^2 - (\sum y)^2}$$

m 爲外力力矩, 例如第 3 點

$$m = -[(1000 \times 2.5) + (300 \times 2) + (300 \times 1)]$$

第 6 點

$$m = -[1000 \times 4.33 + (300 \times 4) \times 2.33 + (70 \times 1)]$$

計算如 7.1 表

7.1 表

點	x	y	y^2	m	my	M (吋磅)	A_z (平方吋)
c	0	0	0	0	0	48,768	0.50
1	0.5	0	0	500	0	42,768	0.44
2	1.5	0	0	1,800	0	27,168	
3	2.5	0	0	3,400	0	7,968	
4	3.5	0	0	5,300	0	-14,832	
5	4.33	0.17	0.03	7,126	1,211	-34,740	0.35
6	4.33	1.17	1.37	7,193	8,419	-24,996	
7	4.33	2.17	4.71	7,374	16,000	-16,548	
8	4.33	3.17	10.05	7,678	24,539	-6,012	
9	4.33	4.17	17.39	8,136	33,927	+276	
10	4.33	5.17	26.73	8,776	45,371	+4,380	
11	4.33	6.17	38.07	9,626	59,392	+5,934	0.061
12	4.33	7.17	51.41	10,714	76,819	+4,692	
13	4.33	8.17	66.75	12,068	98,595	+228	
Σ		37.53	215.51	89,994	3341,75		

應用表中 3, 4, 5, 6, 行之值代入公式,

$$H_c = \frac{13 \times 364,175 - 89,094 \times 37.53}{(13 \times 215.51) - (37.53)^2} = \frac{1,968,000}{1,393} = 982 \text{ 磅}$$

$$M_c = \frac{89094 - (982 \times 37.53)}{13} = 4,064 \text{ 呎磅}$$

其他各點力矩 H_c 及 M_c 求出之後可迎刃而解矣。

因 $V_c = 0$

故 $M = M_c - m + H_c y$

各點 M 之計算如下(表中第七行):

c. $M_c = 4,064 \times 12 = 48,768 \text{ 吋磅}$

1. $M = (M_c - 1,000 \times 0.5) \times 12 = (4,064 - 500) \times 12 = 42,768 \text{ 吋磅}$

2. $M = (M_c - 1,800) \times 12 = (4,064 - 1,800) \times 12 = 2,7168 \text{ 吋磅}$

3. $M = (M_c - 3,400) \times 12 = (4,064 - 3,400) \times 12 = 7,968 \text{ 吋磅}$

4. $M = (M_c - 5,300) \times 12 = (4,064 - 5,300) \times 12 = -14,832 \text{ 吋磅}$

5. $M = (M_c - 7,126 + H_c y) \times 12 = (4,064 - 7,126 + 982 \times 0.17) \times 12 = -34,740 \text{ 吋磅}$

6. $M = (M_c - 7,196 + H_c \times 1.17) \times 12 = -24,996 \text{ 吋磅}$

7. $M = (M_c - 7,374 + H_c \times 2.17) \times 12 = -16,548 \text{ 吋磅}$

8. $M = (M_c - 7,678 + H_c \times 3.17) \times 12 = -6,012 \text{ 吋磅}$

9. $M = (M_c - 8136 + H_c \times 4.17) \times 12 = 276 \text{ 吋磅}$

$$10. \quad M = (M_e - 8,776 + H_c \times 5.17) \times 12 = 4,380 \text{ 吋磅}$$

$$11. \quad M = (M_e - 9,626 + H_c \times 6.17) \times 12 = 5,964 \text{ 吋磅}$$

$$12. \quad M = (M_e - 10,714 + H_c \times 7.17) \times 12 = 4,692 \text{ 吋磅}$$

$$13. \quad M = (M_e - 12,068 + H_c \times 8.17) \times 12 = 228 \text{ 吋磅}$$

將此 M 畫于 b 圖上得力矩線 $abcde$ ，而後設計各點需要之鋼筋量

頂板之厚度為 8 吋，設其有效厚度 $d = 7$ 吋，（假定大約用 $\frac{1}{2}$ 吋之鋼筋，因其埋于土中，保護層可較薄。）

$$f_s = 16,000 \text{ 磅/吋}^2 \quad f_c = 650 \text{ 磅/吋}^2 \quad j = 0.87 \quad k = 0.38$$

$$F = \frac{48,768}{7 \times 0.87} = 8,007 \text{ 磅}$$

$$A_s = \frac{8,007}{16,000} = 0.50 \text{ 吋}^2$$

為單位長涵洞頂板底所應加之鋼筋面積。

$$f_c = \frac{8,007 \times 2}{7 \times 0.38 \times 12} = 501 \text{ 磅/吋}^2 < 650 \text{ 磅/吋}^2$$

1 點

$$F = \frac{42,768}{7 \times 0.87} = 7,022 \text{ 磅}$$

$$A_s = \frac{7,022}{16,000} = 0.44 \text{ 吋}^2$$

為頂板底所應加之鋼筋面積。

5 點

$$F = \frac{34,740}{7 \times 0.87} = 5,540 \text{ 磅}$$

$$A_s = \frac{5,540}{16,000} = 0.36 \text{ 吋}^2$$

框 形 涵 洞

此為頂板頂及邊牆外邊所應加之鋼筋面積。

$$f_c = \frac{5540 \times 2}{7 \times 0.38 \times 12} = 347 \text{ 磅/吋}^2$$

由上之計算知 f_c 均在許可應力 650 磅/吋² 以內，似乎洞牆與頂板之厚度均可減小，但若 c 點減少一點，則 c 點之 f_c 將為 682 磅/吋²，故板厚必居 7—8 吋之間。但剪力影響于厚度亦應加以考慮，圖中死重所生剪力為 12,000 磅，今若一集中載重 12,000 磅之輪重適居于垂直牆之裏邊，而 12,000 磅力之分布為 3 呎，則單位長之力為 4,000 磅，每呎涵洞之最大剪力遂為

$$1,200 + 4,000 = 5,200 \text{ 磅}$$

若合計抵抗剪力之面積(假定板為 8 吋厚，同時計入 $n \times$ 鋼筋面積)，則

$$A_s = 8 \times 12 + (0.35 + 0.50) \times 15 = 108.75 \text{ 吋}^2$$

$$S = \frac{5,200}{108.75} = 47.8 \text{ 磅/吋}^2$$

無腹鋼筋(without web reinforcing)之許可剪應力為 60 磅/吋²。

邊牆之研究 5 點已于計算頂板時計算之，邊牆以 5 點為最大負號，正號力矩則以 11 點為最大。

$$F = \frac{5964}{7 \times 0.87} = 979 \text{ 磅}$$

$$A_s = \frac{979}{16000} = 0.061 \text{ 方吋}$$

$$f_c = \frac{979 \times 2}{0.38 \times 7 \times 12} = 61.3 \text{ 磅/吋}^2$$

此為因撓曲力矩而生之壓力，此外尙有其自身壓力，計移動集中載重為 4,000 磅，11 點以上之邊牆自身重量為 $6.5 \times \frac{2}{3} \times 150$ 磅，填土及板垂三者為 300×4 磅，

$$4 \times 300 + 6.5 \times 100 + 4,000 = 5,850 \text{ 磅}$$

$$f_c = \frac{5,850}{8 \times 12} = 60.9 \text{ 磅/吋}^2$$

二者相加得

$$60.9 + 61.3 = 122.2 \text{ 磅/吋}^2$$

與許可應力仍相差甚遠。此種計算為簡單之計算法，詳細之計算法當用受壓力及力矩剖面積法計算之。

底板之研究 底板如依完全裝固式計算，均布載重每呎為 300 磅，則正力矩為

$$\frac{1}{24} \times 300 \times 8^2 \times 12 = 9,600 \text{ 吋磅}$$

負力矩為其兩倍，即 19,200 吋磅。

因其面層須準備水所沖刷，有時且受泥沙石子之摩擦，故須較理論為厚，茲定其厚度為 10 吋，

$$d = 10 - 2 = 8 \text{ 吋} \quad j = 0.87 \quad k = 0.38$$

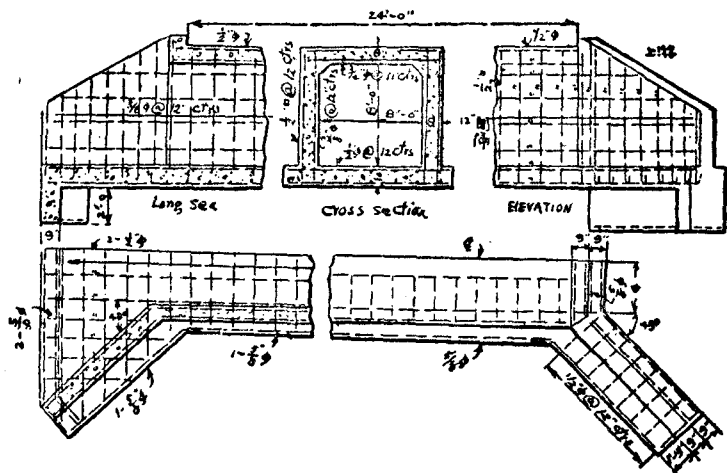
$$F = \frac{19,200}{8 \times 0.87} = 2,759 \text{ 磅}$$

在直立邊牆底附近之底板底鋼筋

$$A_s = \frac{2,759}{16,000} = 0.17 \text{ 吋}^2$$

底板之頂僅需其半數已足。但為防凍起見，可增至與底用同種鋼筋。

7.5 圖即為此設計之詳圖。



7.5 圖 鋼筋混凝土框形涵洞設計圖

7.6 鐵道上所用鋼筋混凝土框形涵洞例 茲錄日本之標準設計如下：

a. 單跨徑涵洞設計如 7.6 圖及 7.2 表其設計標準如下：

1. 設計活載重用 $k_1 15$ 。
2. 土壓用俾魯馬伊魯公式， $\psi = 20$ 。
3. 容許應力：鋼筋 1200 公斤/公分² 混凝土 50 公斤/公分²
4. 混凝土之配合標準為 1:2:4，其四週間之應壓強度須 7150 公斤/公分²。
5. 鋼筋之被覆為 4 公分。
6. 基礎之支持力為 20 公噸/公尺² 以下時，底板之縱鋼筋需有

適當之增加以防撓曲。

7. 主鋼筋之直徑及間隔。

土載重可分別為 5 公尺 以下及 5 公尺 至 10 公尺 兩種。

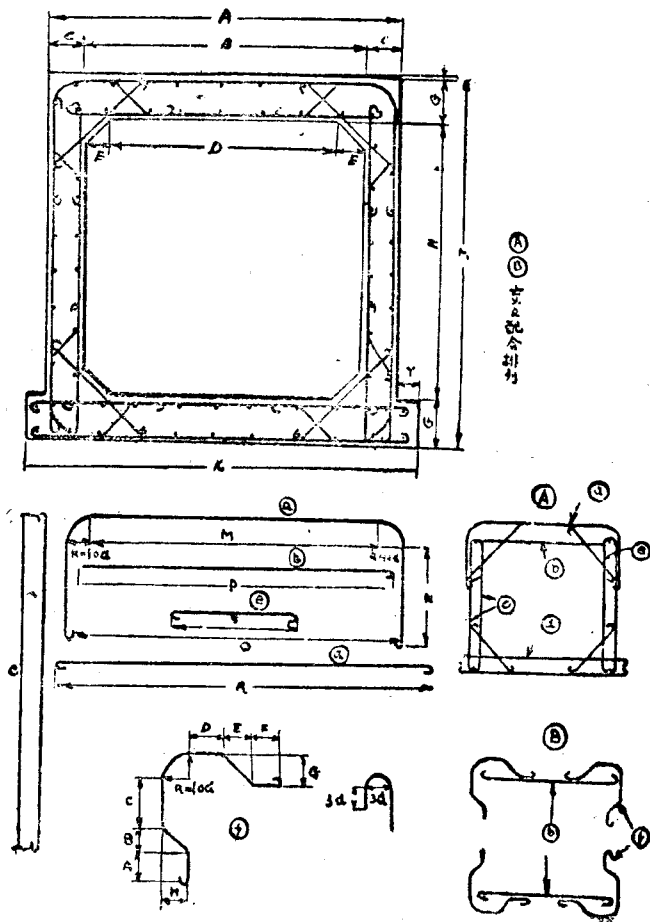


FIG 10 圖 單孔矩形 橋梁 圖

7.2 表

涵 洞 各 部 尺 寸(以公分計)												
跨徑 A (公尺)	B	C	D	E	F	G	I	J	K	混凝土 断面 (公尺 ²)	單位長鋼筋重 (公斤)	
											土載重 <^ (公尺)	土載重 5-10 公尺
1.0	130	100	15	70	15	2	15	132	10	150	0.78	593.4
1.2	150	120	15	90	15	2	17	155	10	170	0.97	109.0
1.5	180	150	18	120	15	2	23	198	10	206	1.51	204.5 232.2
2.0	250	200	25	160	20	3	31	265	15	280	2.77	340.5 443.5
2.5	314	250	32	210	20	3	41	335	15	344	4.43	523.8 689.0

鋼筋尺寸表 (以公分計)																		
跨徑 (公尺)	a			b			c			d			e			f		
	M	N	O	P	Q	R	S	A	B	C	D	E	F	G	H			
1.0	98	34	122	118	123	142	44	10	7	17	12	7	10	7	7			
1.2	113	33	142	138	145	162	46	12	7	17	13	9	13	9	7			
1.5	146	53	178	170	181	198	60	15	10	28	18	15	15	15	10			
2.0	206	72	242	226	240	272	88	20	17	35	23	23	20	23	17			
2.5	283	95	303	274	300	326	108	25	24	46	28	33	25	33	24			

跨徑 (公尺)	主鋼筋長度(公分)						主鋼筋 (土載重 < 公尺)		主鋼筋(土載重 5-10 公尺)		縱鋼筋	
	a	b	c	d	e	f	徑	A.B.間隔	徑	A.B.間隔	徑	根數
1.0	219	133	158	157	59	103	12	15	12	15	10	43
1.2	243	153	160	177	61	111	12	15	12	15	10	52
1.5	322	190	211	218	8	155	16	15	16	14	10	64
2.0	420	248	260	274	110	206	18	15	20	14	10	70
2.5	544	299	325	351	133	231	20	15	22	13	10	112

b. 連續二跨徑框形涵洞設計如 7.7 圖及 7.3 表。其設計標準如下：

1. 2. 3. 4. 5. 6. 各點均與單跨徑之設計同。

7. 涵渠上鋪瀝青以防水。

8. 鋼筋與模板至少距 3 公分，本身間隔 11 公分。

9. 邊牆之高度可容許在 $\frac{1}{6}$ 以內之尺寸變更，但鋼筋依標準圖作適當之更改排列。

7.8 圖為我國杭江鐵路所用之框形涵洞

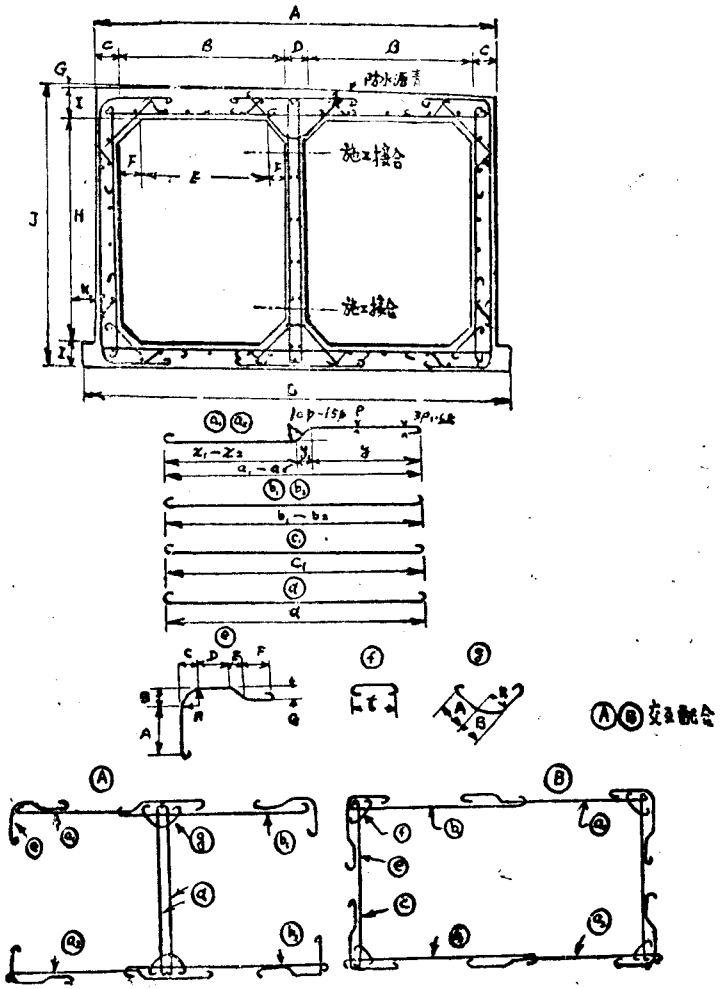
7.7 混凝土箱形涵洞 淨混凝土箱形涵洞在載重不大而水道面積甚小之處用之。雖不若鋼筋混凝土者之堅固，若工質良好跨徑甚小時，亦極耐久適用。

7.8 箱形涵洞之模 木材之製成混凝土模板，在箱形涵洞中須注意使其容易脫模，此種問題在涵洞愈小則愈難，因工人甚難入洞中。

7.9 圖(a)示 2 呎跨徑小箱形涵洞之模，中用四塊托板，2' × 4' 者三，2' × 6' 者一，其 2' × 6' 者置于頂部不用釘實，以備乾時脫模之用，如泥土搗成堅實，則可省外模，直接灌注混凝土於溝中。

7.9 圖(b)為另一公路用之涵洞木模，至稍大涵洞之模則與梁板及牆所用者並無二致，茲舉美國著名鐵路之兩個涵洞模如 7.10 圖。

7.9 結論 框形涵洞因構造重量甚輕，下沉時可作整體之抵抗，即基礎不佳時，用第二章所述之加強法，亦最為便利，跨徑略大者，用之更為經濟。故今日框形涵洞已隨鋼筋混凝土而發達。



7 圖 雙孔框形洞標準圖

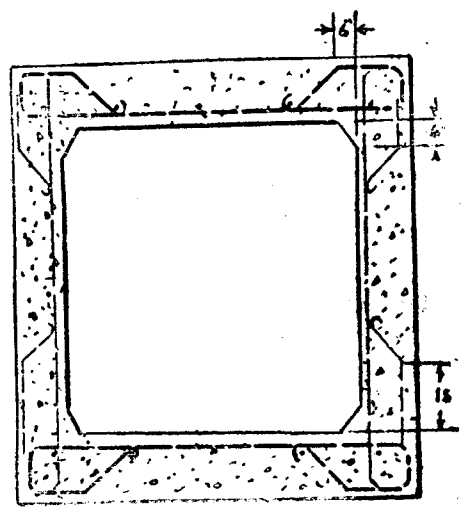
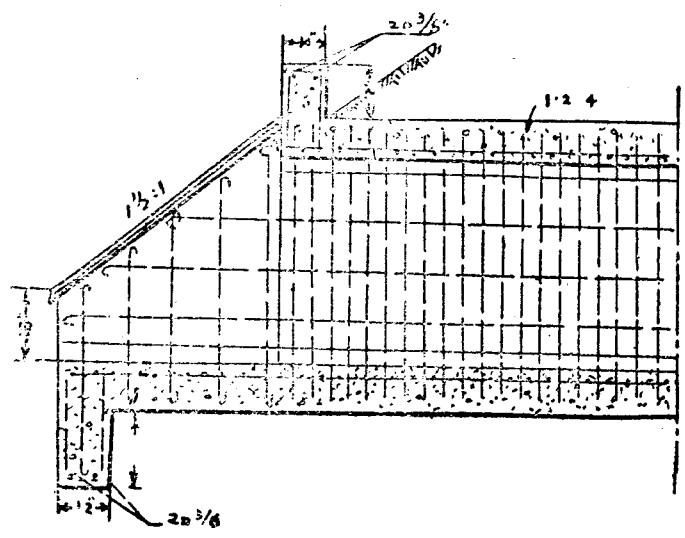
7.3表

涵 洞 各 部 尺 寸 (以公分計)													混凝土 斷面 (公尺 ²)	單位長鋼筋重 (公 斤)	
跨徑 (公尺)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		土載重 5公尺 以下	土載重 5-10 公尺
1.2	291	120	18	15	20	15	3	160	18	109	10	311	2.03	182.6	288.4
1.5	364	150	23	18	20	15	4	200	23	150	10	384	3.16	277.8	344.2
2.0	485	200	30	25	160	20	5	270	30	335	15	515	5.78	431.4	640.5
2.2	518	220	24	30	170	25	6	300	24	275	20	378	7.12	487.1	727.8

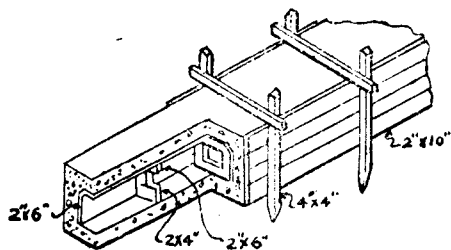
跨徑 (公尺)	主鋼筋一根長度 (a ₁ , a ₂ 為直線部分長)									縱 鋼 筋	
	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	c	d	e	f	g	徑	根數
1.2	203	221	200	218	203	203	123	65	77	10(11)	78
1.5	251	265	246	260	246	254	150	47	83	10(11)	90
2.0	324	344	329	349	329	341	175	61	100	10(11)	102
2.2	364	394	365	395	359	379	215	67	132	10(11)	102

跨徑 (公尺)	土載 < 5公尺		土載 5-10公尺		a ₁	a ₂	x ₁	x ₂	y	y ₃	y ₂	b ₂	b ₁	c	d
	徑	A.B. 間隔 (公厘)	徑	A.B. 間隔 (公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)	(公厘)
1.2	12(12)	14	16(16)	14	185	203	100	118	75	10	203	185	185	185	188
1.5	14(12)	14	16(16)	14	230	244	130	144	85	15	244	230	230	230	238
2.0	16(16)	14	20(21)	14	297	317	180	200	95	22	310	310	310	310	322
2.2	16(16)	13	20(21)	13	336	366	190	220	120	26	346	346	346	346	360

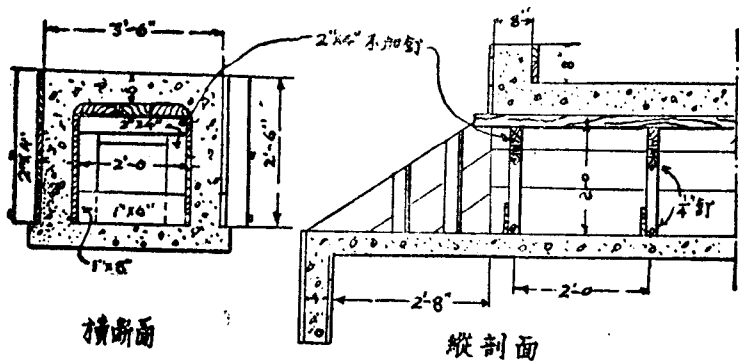
A	f								g		
	B	C	D	E	F	G	R	A	B	R	
35	10p	10p	21	10	20	10	10p	30	20	10p	10p
45	10p	10p	23	15	20	15	10p	31	22	10p	10p
50	10p	10p	24	20	20	22	10p	42	24	10p	10p
70	10p	10p	24	20	25	26	10p	48	40	10p	10p



7.8 圖 杭江路單孔箱形涵洞標準圖

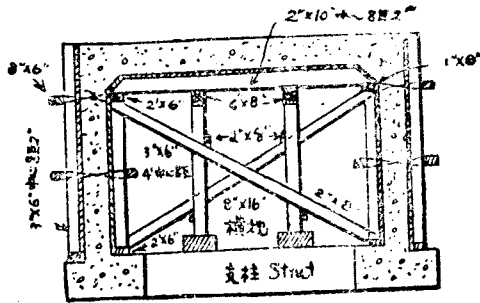


(a) Forms for 2ft box culvert.

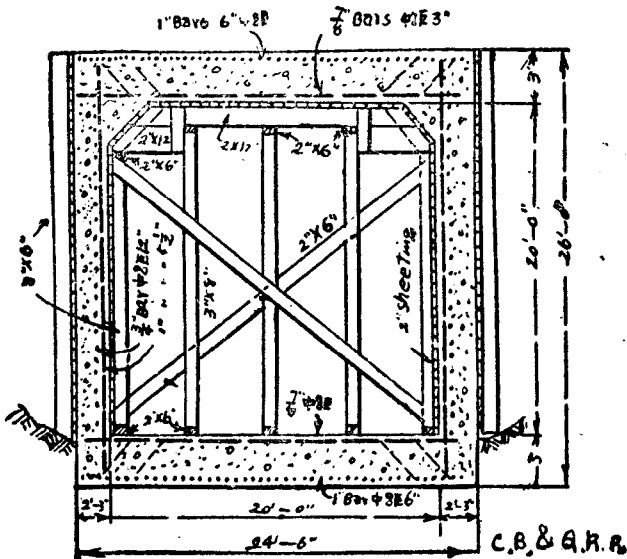


(b) Forms for Small box Culverts. Iowa Highway Commission

7.9 圖 小箱形涵洞模



C.H. & ST. P. Ry.



C.B. & A.R.R.

7-10 圖 框形涵洞模

第八章 涵洞之估價

8.1 全路或某段之概算 涵洞在新路工程或改善工程上，其工程費頗佔重要之位置。蓋每個之工程費雖屬有限，而數量甚多，用費亦不少。普通在整個概算中，涵洞之估計多以公尺或座計，而將各種涵洞估計一公尺或一座之平均單價而得總數，如 8.1 表。

8.2 每個涵洞之預算 欲求涵洞之準確預算，必須每個涵洞之尺寸種類決定後，而後按圖計算其所需各種工料之精確數量，分

8.1 表

某某路某某段涵洞工程概算(自××至××計××公里)

第一頁共一頁

工程名稱	尺寸及說明	數量	單位	單價	總價	備考
水管		6000	公尺	20.00	120,000.00	
石砌箱涵洞	1公尺以下	500	座	500.00	250,000.00	
二孔箱涵洞	1至2公尺	500	座	1,000.00	500,000.00	
石拱涵洞	2至3公尺	50	座	2,000.00	100,000.00	
小計					970,000.00	
預備費 5%					48,500.00	
總計					1,018,500.00	

別乘以單價即得，茲舉例如 8.1 表。

6.22 圖之大拱涵洞其跨徑為 19 呎，土載土厚為 4 呎，則其長度為

$$27 + (4 - 3) \times 3 = 30 \text{ 呎}$$

其鋼筋重量計

$$2688 + (30 - 27) \times 81.3 = 2931.9 \text{ 磅}$$

1:2:4 混凝土

$$5.2 + 4.9 \times 30 = 199 \text{ 立方碼}$$

8.2 表

某某路某某段某某分段工程處

25' + 075 鋼筋混凝土涵洞預算

民國二十年七月十八日

第一頁共一頁

材料名稱	尺寸及說明	數量	單位	單價	總價	備考
挖脚		—	座	300.00	300.00	
1:2:4 混凝土		199	立方碼	30.0	5970.00	
鋼筋		2931.0	磅	0.15	459.79	
模板		—	座	600.00	600.00	
小計					7,309.79	
預備費	5%				365.49	
合 計					7675.28	

8-3 表 石灰洋灰沙漿成分配合表

成 分	每 方 公 沙 漿		沙(公方)		洋灰(桶)		製成 灰漿		洋灰(桶)		製成 沙漿							
	洋灰 桶	石灰 公斤	洋灰 桶	石灰 公斤	洋灰 擔	石灰 公斤	洋灰 擔	石灰 公斤	洋灰 擔	石灰 公斤	洋灰 擔	石灰 公斤						
洋 灰 1:2	4.19	720	0.90	4.65	80	1.11	0.22	0.24	0.22	0.24	0.22	0.24						
洋 灰 1:3	3.10	583	1.00	3.10	533	1.00	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32						
洋 灰 1:4	2.40	413	1.05	2.36	400	0.95	0.43	0.41	0.43	0.41	0.43	0.41						
洋 灰 1:5	2.10	346	1.08	1.86	320	0.95	0.54	0.51	0.54	0.51	0.54	0.51						
洋 灰 1:6	1.74	299	1.12	1.55	267	0.89	0.65	0.58	0.65	0.58	0.65	0.58						
洋 灰 1:7	1.52	261	1.14	1.33	229	0.88	0.75	0.66	0.75	0.66	0.75	0.66						
洋 灰 1:8	1.34	230	1.15	1.16	200	0.87	0.88	0.75	0.88	0.75	0.88	0.75						
石 灰 1:1:6	1.55	267	59.3	0.93	1.00	1.55	267	59.3	0.93	1.00	38.8	0.64	0.65	2.61	4.88	1.68	1.68	
石 灰 1:2:9	1.03	178	79.2	1.31	1.00	1.03	178	79.2	1.31	1.00	77.0	1.27	0.97	1.0	2.2	1.0	1.6	
石 灰 1:2			160.3	2.65	0.80			178	2.94	1.11							0.56	0.62
石 灰 1:3			118.7	1.96	1.00			118.7	1.96	1.00							0.84	0.84
石 灰 1:4			93.5	1.54	1.06			89.0	1.47	0.95							1.12	1.03

1 公方=35.3144 英方
 1 英方=2.823 公方
 一擔=60.00 公斤=100 舊斤=131.57 磅
 一立方洋灰漿用 856.2 公斤石灰
 100 公斤石灰和水可做成 0.2 公方石灰漿

餘見 8.2 表, 此涵洞為特大之涵洞, 其跨徑超過 10 呎。依我國公路總管理處之規定, 亦稱涵洞。

8.3、8.4 及 8.5 各表為計算各項材料分量, 用之甚為便利。

8.3 涵洞之經濟 涵洞在公路鐵路工程上既佔工程費之一重要部分, 則經濟問題, 於採用之時, 應隨時加以注意焉。

涵洞之材料, 以採用國產為原則, 既免漏卮, 又較節省。同以國貨而論, 石材較混凝土為經濟, 木材又較石材為經濟, 故產石之地性質優者以採石造為上策。

涵洞之形狀, 單孔涵洞與多孔涵洞及各種形狀均具有優劣之點。但除特別情形外, 普通單孔涵洞較同出水面積之多孔涵洞為經濟。圓形者較方形為經濟, 方形又較長方形為經濟。惟因填土之關

8.4 表 灰漿砌石料成分配合表

成 分	砌每立方公尺塊石所用材料					砌每立方公尺條石所用材料					
	洋灰	石灰	沙	洋灰	石灰	沙	洋灰	石灰	沙		
	桶	公斤	公斤	擔	公方	桶	公斤	公斤	擔	公方	
洋 灰	1:2	1.26	216		0.27	1.05	180			0.23	
	1:3	0.93	160		0.30	0.78	133			0.25	
沙	1:4	0.72	124		0.32	0.60	103			0.26	
	1:5	0.63	104		0.32	0.53	86.5			0.27	
漿	1:6	0.52	90		0.34	0.44	75			0.28	
	1:7	0.46	78		0.34	0.38	65			0.29	
石 洋 灰 漿	1:8	0.40	69		0.35	0.34	58			0.29	
	1:1:6	0.47	80	17.8	0.29	0.30	0.39	67	14.8	0.25	0.25
石 灰 漿	1:2:9	0.31	53	23.8	0.39	0.30	0.26	45	19.8	0.33	0.25
	1:2			48.1	0.80	0.27			40	0.66	0.23
石 灰 漿	1:3			35.6	0.59	0.30			22.7	0.49	0.25
	1:4			28.1	0.46	0.32			23.4	0.8)	0.27

洋灰漿勾縫每 80 平方公尺需洋灰一桶。

8.5 表 洋灰混凝土成分配合表

成 分	一 公 方 混 凝 土		一 公 方 石 子		一 公 方 沙		每 桶 灰		
	洋 灰 桶	沙 公 方	洋 灰 桶	砂 公 方	洋 灰 桶	石 混 凝 土 公 方	沙 公 方	石 混 凝 土 公 方	
1:2:4	2.09	360 0.45	2.33	400 0.50	1.11	4.65	800 2.22	0.22 0.48	
1:2½:5	1.71	294 0.46	1.83	320 0.50	1.10	3.72	640 2.20	0.27 0.54	
1:3:6	1.42	245 0.45	1.55	237 0.50	1.08	3.10	533 2.00	0.32 0.64	
1:3½:7	1.25	215 0.47	1.33	223 0.50	1.05	2.66	457 2.00	0.38 0.76	
1:4:6	1.30	224 0.56	0.8	1.56 263	0.67	1.19 2.33	400 1.50	1.79 0.43	0.64 0.77
1:4:8	1.12	192 0.48	0.96	1.16 200	0.50	1.01 2.33	400 2.00	2.08 0.43	0.86 0.89
1:5:10	0.90	154 0.48	0.93	160 0.50	1.01	1.86	320 2.00	2.03 0.54	1.08 1.12

一桶洋灰=172 公斤=0.1075 公方=3.8 呎³=370 磅=2.90 市尺³=344 市斤
 一公方洋灰=14.73 擔=19³/₄ 磅=890 公斤
 一公方洋灰=9.5 桶=1600 公斤=327 磅
 一公方乾砂=22.24 擔=2224 舊斤=11.48 公方
 一公方石灰和水可造成 2.5 公方洋石灰漿
 一擔石灰和水可造成 0.17 公方淨石灰漿

係，實地之需要，捨單孔而用多孔，捨圓形、正方形而用長方形者亦常見之。

若就翼牆而論之，翼牆當以平行為最經濟，次則垂直翼壁，但二者均易使水流起漩渦，是其缺點。張口者價最昂，惟水流暢快，可增洞之效力。涵洞翼壁之高低，與涵洞之長短，亦有直接之關係。如略堤坡度 1.5 : 1，則端牆增高一呎，涵洞每端可減少 1.5 呎。就涵洞本身言，則洞身愈短愈經濟，就翼牆言則牆愈低愈經濟。而每座涵洞為達到最經濟之地步，則以翼牆與洞身建築費之和最少。欲得此種地步，必須使加高每單位高度所增加翼牆之建築費適等於減省涵洞之建築費為度。大約管渠及小箱渠以翼牆愈低為愈經濟，大箱涵渠及拱涵洞則可酌量增加翼牆高度使洞身縮短。梁旭東氏曾就粵漢路之涵洞作一比較：120×120 之箱涵洞，如翼部之高度自 155 加至 205 公分，其價值增加十七元五角；如 250×250 公分之箱涵洞翼牆高由 297 增至 397，可省七十五元二角五分；若加至 447 公分僅可減少五角二分，其比較列如 8.6 表。其計算時各材料之單價如下：

1:2:4 鋼筋混凝土每方 53 元，

1:2:4 水泥混凝土每方 30 元，

1:3:6 水泥混凝土每方 23 元，

1:4:8 水泥混凝土每方 18 元，

1:3 水泥沙漿片石每方 11 元。

表中十號為增價，一號為減價。

以上所述，僅大概情形而已，而每路建築之始，涵洞形式之選擇，與乎當地出產之材料，運輸之情形，均須作一詳細之比較。

8.6表 加高翼牆材料增減

澆洞 種類	翼牆高 原高	增 加		材 料		澆 洞		減 少		材 料		價格 增減				
		1:2:4 混凝土	價 (元)	1:3: 混凝土	價 (元)	1:3水 泥漿片石	價 (元)	減少 長度	1:2:4鋼 筋混凝土	價 (元)	1:3:6 混凝土		價 (元)	1:4:8 混凝土	價 (元)	
120×120 箱梁	1.5	206	0.40	18.8	1.40	32.	8.45	37.97	75	0.62	-32.86	1-28	-29.14	0.33	-5.94	+15.71
230×250 箱梁	3.07	0.94	28.2	8.76	85.48	18.40	102.4	150	6.91	-166.23				1.45	-26.1	-75.23
	4.17	1.21	36.2	6.38	146.74	16.78	404.18	225	10.36	-549.08				2.17	-39.06	-0.52

第九章 總 結 論

9.1 各種涵洞之比較 涵洞之各種構造法已如以前各章所述，茲將各種涵洞依其各種分類法，一一比較之。

a. 明渠與暗渠之比較 明渠為適用於水坑較淺不能作暗渠之處。在鐵路如水道不大能用枕木涵洞者最為經濟。如採用半永久式石墩木面之梁涵洞時，因木梁在土中易腐爛且抽換甚難，則以採用明渠為佳。普通明渠之高度過2公尺時，則橋台之體積甚大，以用暗渠為宜。

b. 各種材料之比較

1. 臨時式木材涵洞 不論其用於木箱、木梁其價值均廉，惟壽命甚短，是其缺點，但或謀緊急通車，或限於財力，或水道面積若干未能作正確之決定，或載重有待於日後之增加及其他特殊情形，得用之為臨時式涵洞。

2. 熔瓦涵洞，國貨至多，在公路上因載重較輕，用之尤宜，如基礎及補強部分建築良好，亦經久而耐用。

3. 磚石涵洞，因磚石我國產地甚多，既經濟，又簡單，且耐用，尤以一公尺以下之石梁涵洞，三公尺以下之石拱涵洞為用至遍。

4. 混凝土為目前製造涵洞之良好材料，我國出產甚多，如唐山之啓新、上海南京之水泥廠、大冶之華記、廣州之西村士敏土廠、重

慶之四川水泥廠皆其著者。他如山東、太原等，全國計已有十餘廠，而廣西等廠，又已開工籌備，他日建國完成，水泥工業當大有可觀。惟混凝土易生裂縫，故無鋼筋者只限于小跨徑，在產石之地用之極為經濟。

5. 鑄鐵管涵洞 因重量之笨重，抵抗拉力之薄弱，已漸見淘汰之勢。高級鑄鐵管則尚有待其試用之結果而定。

6. 鋼鐵涵洞 鋼鐵固為良好之材料，但在外國已謂其價昂，我國產鋼鐵之廠目前幾已全部停工，如採用鋼鐵，皆須仰給外貨，故鋼鐵管絕鮮用之。惟鐵路上之明渠，以鋼 I 字梁之採用非常便利，仍有用之。

7. 鍍紋管固為管涵洞中性質之最良者，但我國以國產無之，故不多用。

8. 鋼筋混凝土涵洞，不論其為管、為梁、為拱、為框形凡跨徑略大者，用之最為適宜，茲述其優點如下：

甲. 除些微之鋼筋外皆國貨材料；

乙. 在產石之地用之特廉；

丙. 工作簡單；

丁. 搬運容易，皆當地造成；

戊. 費用甚廉；

己. 不論何種構造何種形式均可造成；

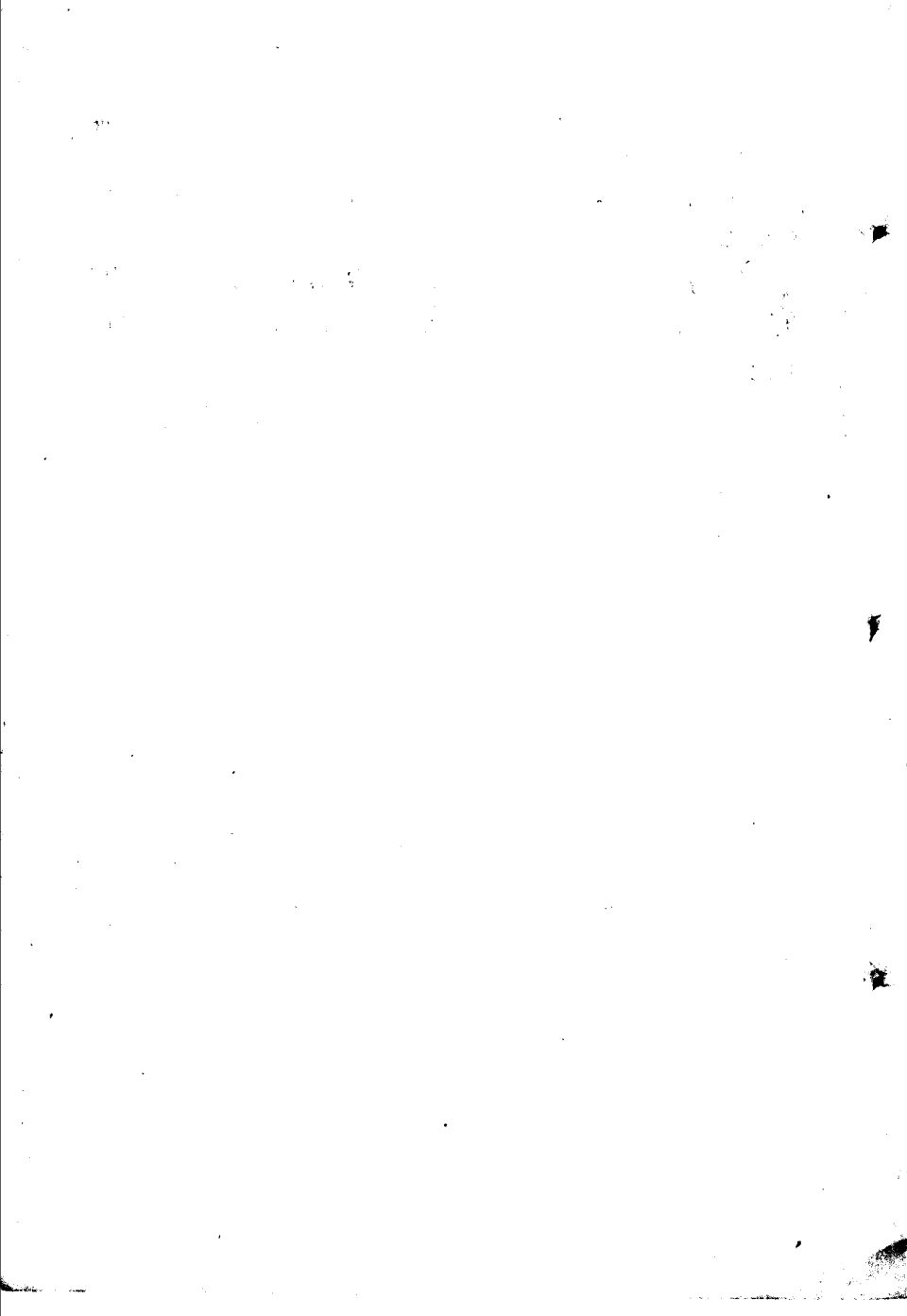
庚. 能耐壓力復可耐拉力；

辛. 經久耐用；

壬. 無須養護，愈用愈堅。

c. 受水壓與不受水壓涵洞之比較 涵洞之受水壓均於不得已時用之。通常以不受水壓爲宜。

d. 各種構造之比較 各種構造之優劣，有關於跨徑之大小與覆土載重之若何，基礎之情形如何，均於各章分別述及，可擇其適宜者用之。



附錄一 交通部公路總管理處公路橋梁涵洞工程設計暫行準則

第一章 總則

第一條 橋涵分類 橋涵以其建築耐久之程度分爲永久性、半永久性、臨時性三類，如下：

(一) 橋梁

(甲) 永久性 橋面、橋座、橋墩均用磚石混凝土或鋼料等建築者。

(乙) 半永久性 橋面用木料，橋座橋墩均用磚石混凝土或鋼料等建築者。

(丙) 臨時性 橋面橋座橋墩均用木料建築者。

(二) 涵洞

(甲) 永久性 全部均用磚石混凝土或鋼料等建築者。

(乙) 半永久性 除用木面外，其餘部分均用磚石等建築者。

(丙) 臨時性 全部用木料建築者。

第二條 橋梁跨徑 橋梁跨徑範圍酌定如下：

(甲) 木橋

橋梁	3 公尺至 8 公尺
桁構橋	8 公尺至 25 公尺

(乙) 磚石及混凝土橋

鋼筋混凝土板橋	3 公尺至 6 公尺
鋼筋混凝土梁橋	6 公尺至 15 公尺
鋼筋混凝土拱橋	10 公尺以上
鋼筋混凝土固結框構橋	8 公尺至 25 公尺
磚拱石拱或混凝土拱橋	3 公尺至 10 公尺

(丙) 鋼橋

鋼梁橋	5 公尺至 15 公尺
鋼板橋	10 公尺至 30 公尺
鋼桁構橋	20 公尺以上

第三條 涵洞跨徑 涵洞跨徑範圍酌定如下：

(甲) 管式

瓦管	10 公分至 30 公分
混凝土管	15 公分至 45 公分
鋼筋混凝土管	45 公分至 120 公分
皺紋鐵管	60 公分至 300 公分

(乙) 箱式

磚石牆石蓋板	30 公分至 100 公分
磚石牆鋼筋混凝土蓋板	100 公分至 300 公分
鋼筋混凝土箱式	100 公分至 300 公分

(丙) 拱式

磚拱或石拱	100 公分至 300 公分
混凝土拱	100 公分至 300 公分

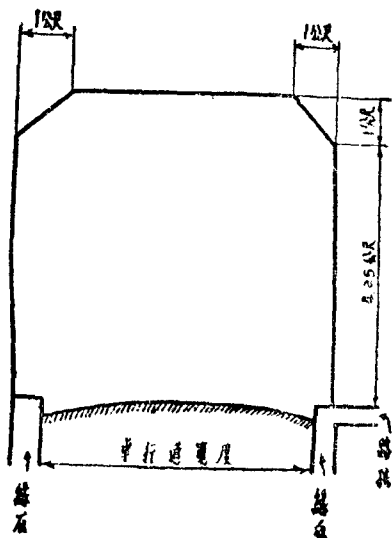
皺紋鐵拱

100 公分至 300 公分

第四條 車行道寬度 橋面車行道寬度，應為兩側護木或緣石間之垂直淨距，其最小寬度規定為 5.5 公尺；但因特殊情形得酌減為 4 公尺。

第五條 人行道寬度 凡在城市近郊之橋梁應視實地情形酌設人行道，其寬度最少為 1 公尺。

第六條 淨高度及淨寬度 橋面上空之最小淨高度及最小淨寬度規定如下圖：



第二章 載重

第七條 載重及受力 橋梁各部分之計算，應以下列各項載重及受力之能同時發生所合之最大應力為根據：

(甲)淨重,

(乙)活重,

(丙)活重之衝擊力,

(丁)側面力如風力等,

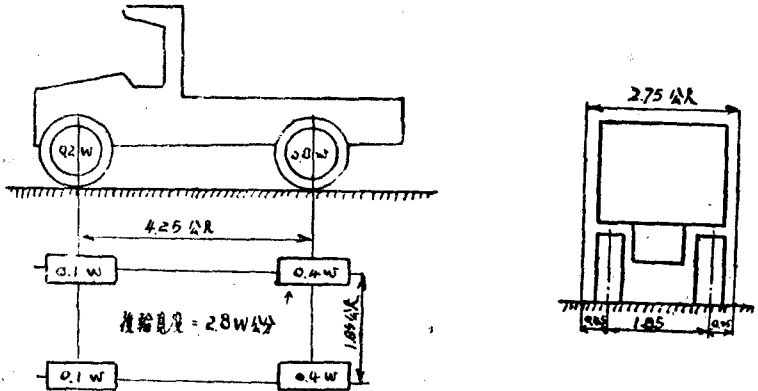
(戊)其他受力如縱向力、溫度、伸縮力及離心力等。

第八條 靜重 靜重包括建築物本身之重量,及所有路面人行道水管電纜等固定設備之重量,其物料單位重量列表如下:

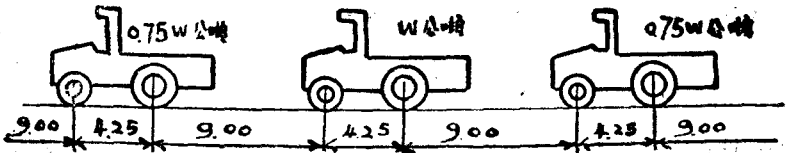
料 別	每立方公尺以公斤計	每立方呎以磅計
鋼	7,850	490
鑄 鐵	7,210	450
鋼 筋 混 凝 土	2,400	150
混 凝 土	2,240	140
壓實碎石或卵石	2,080	130
整 石	2,560	160
磚	1,020	120
砂 或 土	1,600	100
或 杉	800	50

第九條 活重 活重包括橋上車輛、行人等之重量,車行道活重應根據標準貨車載重計算之。

第十條 標準貨車 標準貨車之輪間距離,及重量分布規定如下圖。每一貨車所佔橋面寬度(以下簡稱車道寬度)定為 3.76 公尺。



凡橋梁用標準貨車設計時，其載重應以連續通過之貨車為準。貨車之排列如下圖：



圖示 w 為設計貨車之重量，每車道排列情形應以設計貨車一輛為主車，其餘各車排列於前後，其重量均為主車重量之百分之七十五。例如 w 為 12 公噸，假定列車以三輛計，其排列得如下列三式之一：

$$12-9-9, \text{ 或 } 9-12-9, \text{ 或 } 9-9-12.$$

設計橋梁時對於橋上并行之貨車應假定為同向行駛。

第十一條 貨車重量 凡在主要幹線之永久性橋梁，其設計貨車重量不得小於 15 公噸。

第十二條 人行道 人行道活重規定，為每平方公尺 490 公斤（每平方呎 100 磅）衝擊力不計。

第十三條 衝擊力 活重發生之衝擊力規定如下，但設計橋座橋墩時毋須計算衝擊力。

(甲)木橋 衝擊力按活重百分之二十計算。

(乙)磚石混凝土及鋼鐵橋 設 I 為衝擊力係數， L 為載重長度（公尺）則 $I = \frac{15}{L+38}$

第十四條 風力 設計橋梁時，風力應假定為每平方公尺 150 公斤（每平方呎 30 磅），其施力方向為水平向，其施力面積假定為橋身迎風正面面積之一倍半，風力施於橋上貨車之側面者，應假定為每公尺 300 公斤（每呎 200 磅），其施力點在橋面路冠以上 1.8 公尺。

第十五條 縱向力 貨車在橋上突然停止時，所發生之縱方向力應按活重百分之十計算，其施力點在橋面路冠以上 1.2 公尺。

第十六條 溫度伸縮力等 溫度伸縮力及離心力等視實地情形酌定之。

第三章 載重之分佈

第十七條 直接承載橋面之縱橫梁 凡計算縱橫梁之梁端剪力與反應力時，其所載輪重均假定無縱向或橫向之分佈。但計算彎轉量時，其載重在縱梁僅有橫向之分佈，在橫梁僅有縱方之分佈。茲將縱橫梁分任載重之計算方法規定如下：

(甲)內縱梁 計算內縱梁彎轉量時 應照下表求得之，其分任載重，如梁之中距超過表列最大限度時，

其所任載重應假定梁間之橋面板為簡支梁，而由其所載輪重之反應力求得之。

橋面種類	單車道		雙車道	
	e	s'	e	s'
木橋面	$\frac{s}{1.20}$	1.20	$\frac{s}{1.10}$	1.50
混凝土橋面	$\frac{s}{1.80}$	1.80	$\frac{s}{1.40}$	3.00

上表中

e = 內縱梁分任載重之係數，

s = 內縱梁之中距(公尺)，

s' = 內縱梁中距之最大限度(公尺)。

(乙)外縱梁 計算外縱梁之彎轉量時，其所任載重應假定外梁與隣梁上之橋面板為簡支梁而由其所載輪重之反應力求得之。

(丙)橫梁 如橫梁上攔有縱梁，則計算橫梁彎轉量時，其所任載重應假定縱梁為簡支梁，而由其橫梁上之反應力求得之。若橫梁上即為橋面板而無縱梁，則計算彎轉量，應照下表求得其縱向之分任載重。

橋面種類	e	s'
木橋面	$\frac{s}{1.82}$	1.20
混凝土橋面	$\frac{s}{1.80}$	1.80

上表中

e = 橫梁分任載重之係數，

a = 橫梁之中距(公尺)，

a' = 橫梁中距之最大限度。

第十八條 鋼筋混凝土橋面板 凡計算鋼筋混凝土橋面板，因受輪重發生之彎轉量時，其與跨徑平行之方向，不計輪重之分佈，至與跨徑垂直之方向，其輪重平均分佈於橋面板相當寬度，此項寬度(E)稱為“有效任重寬度”應照下列各式計算之，其中

S = 橋面板之跨徑(公尺)，

W = 車輪之寬度(公尺)，

D = 自車輪中線至最近支點中線之距離(公尺)，

E = 有效任重(指一輪)寬度(公尺)。

(甲)主要鋼筋與車輛進行方向平行者

$E = 0.7S + w$ (E 不得超過 2.10 公尺)。

如二車輪平行排列其有效任重寬度一部份重疊時，則每輪之有效任重寬度應為 $\frac{1}{2}(E + C)$ ，其中 E 為自上式求得之值 C 為二輪之中距。

(乙)主要鋼筋與車輛進行方向垂直者

$E = 0.7(2D + w)$ 。

第十九條 鋼筋混凝土橋面板之剪力 凡照上列各條規定計算彎轉量而設計之鋼筋混凝土橋面板可毋須再加剪力鋼筋。

第二十條 風力之分佈 在桁構橋應假定其應受風力之三分之一

施於不載重弦，其餘三分之二施於載重弦。（橋面可假定不分負風力，但在混凝土橋，橋面則應假定分負風力之半。）

第二十一條 填土之傳重 凡集中載重經過填土時，應假定其傳佈於一矩形面積，其縱向長度為填土深度之一倍半，其橫向長度為填土深度之一倍半，另加車輪寬度。

(甲)凡填土在 80 公分以下者應計算活重及其衝擊力。

(乙)凡填土在 80 公分以上者可不計算衝擊力。

(丙)凡橋涵填土深度大於一公尺半並超過其跨徑，或多孔橋涵填土深度超過總跨徑者均不計算活重。

第四章 資用應力

第二十二條 才料 普通木料之資用應力規定如下表：

種 類	本 每平方公分 以公斤計	松 每平方吋 以磅計	美 每平方公分 以公斤計	松 每平方吋 以磅計
壓應力 順木紋	50	700	105	1,500
壓應力 跨木紋	13	180	21	300
拉 應 力	70	1,000	105	1,500
剪應力(順木紋)	7	100	11	150
剪 應 力	70	1,000	105	1,500

附註一 凡木柱長度大於最小寬度十倍以上者其資用應力應照下式計算之

$$C = \frac{4}{3} C_1 \left(1 - \frac{1}{40} \cdot \frac{L}{D} \right)$$

上式中

C = 木柱單位壓應力但不得大於 C_0 ,

C_0 = 上表所列之順木紋單位應壓力 (公斤/平方公分),

L = 木柱未支撐部份之長度(公尺),

D = 木柱最小直徑或寬度(公尺)。

附註二 計算木梁平剪力應以距梁之支點相當距離處所發生之最大剪力為準,前項距離等於木梁深度之三倍或木梁跨度之四分之一,而擇其較小者用之。

第二十三條 鋼筋混凝土 鋼筋及混凝土之容用應力規定如下表:惟混凝土之容用應力係按人工拌和法及 1:2:4 配合規定,如用儀器拌和或較優成分配合者則各種應力得予酌加。

種	類	每平方公分以 公斤計	每平方吋 以磅計
鋼筋	拉應力	1,260	18,000
鋼筋	壓應力	15 倍混凝土	15 倍混凝土
混凝土	柱用	$42 \left(1 - \frac{1}{45} \frac{L}{D}\right)$	$600 \left(1 - 40 \frac{L}{D}\right)^*$
	梁用	42	600
混凝土	拉應力	0	0
	無剪力鋼筋及彎鉤者	2.8	4.0
混凝土	剪應力	4.2	6.0
	無剪力鋼筋有彎鉤者	8.4	12.0
	有剪力鋼筋及彎鉤者	4.2	6.0
混凝土及鋼筋	粘結力	7.0	10.0
	無彎鉤者		
	有彎鉤者		

* 不得大於每平方公尺 32 公斤或每平方吋 15 磅

第二十四條 鋼料之費用應力規定如下表：

種	類	每平方公分以公斤計	每平方吋以磅計	附	註
拉 應 力	桿料之軸向淨斷面	1,260	18,000		
	螺絲帽之螺絲桿處斷面	700	10,000		
	計算鋼梁構架及鋼板梁等抗彎轉量用以淨斷面計	1,260	18,000		
壓 應 力	料端用鋼釘之軸向全斷面	$1,500 - \frac{1}{57} \left(\frac{L}{r}\right)^2$ 但不得大於 700	$15,000 - \frac{1}{4} \left(\frac{L}{r}\right)^2$ 但不得大於 10,000		L=材料之長度 r=材料之最小半徑
	料端用之鋼軸之全斷面	$1,050 - \frac{1}{38} \left(\frac{L}{r}\right)^2$ 但不得大於 600	$15,000 - \frac{1}{9} \left(\frac{L}{r}\right)^2$ 但不得大於 8,000		全 上
力	拼接料全斷面	1,260	18,000		
	計算鋼梁構架及鋼板梁等抗彎轉量用以全斷面計	$1,260 - 0.85 \left(\frac{L}{b}\right)^2$	$18,000 - 5 \left(\frac{L}{b}\right)^2$		L=梁挑邊不支撐部份長度 b=梁挑邊寬度
斜拉應力 (同時受最大剪力及彎轉量連之鋼梁及鋼板(全斷面))					
剪 應 力	鋼板梁幹部之全斷面	1,260	18,000		
	鋼軸及殼作鋼釘	770	11,000		
	工地機器鋼釘及螺絲帽	950	13,500		
	工地人工鋼釘及粗製螺絲帽	770	11,000		
	工地人工鋼釘及粗製螺絲帽	(8)	9,000		
承 力	鋼軸殼作鋼釘及螺絲帽	1,900	27,000		
	工地機器鋼釘及螺絲帽	1,580	22,500		
	工地人工鋼釘及粗製螺絲帽	1,260	18,000		
	伸 縮 滾 承	110D	600D		每長一吋以磅計 D=滾承之直徑以吋計

第二十五條 磚石 磚石之資用應力規定如下表:

種 類	每平方公分以公斤計	每平方吋以磅計	
機製磚	1:3 水泥膠漿砌	8.0	110
	1:3 石灰膠漿砌	3.2	45
土密磚	1:3 水泥膠漿砌	5.0	70
	1:3 石灰膠漿砌	2.8	40
條 石 *	1:3 水泥膠漿砌	20—40	3.0—600
塊 石	1:3 水泥膠漿砌	5.0	70
	1:3 石灰膠漿砌	4.0	55

* 條石之資用壓力視石料品質而定

第二十六條 土石之資用承重能力 普通土石之資用承重能力規定如下表:

種 類	每平方公尺以公噸計	每平方呎以噸計
沖 積 土	5—10	1/2—1
泥 土	10—40	1—4
砂	10—40	1—4
卵 石	20—100	2—10
卵石沙堅隔	50—100	5—10
石	50—1000	5—10

附註 本準則度量衡單位以公制為主,但為適合市售材料度量衡起見,仍將其等量英制約數并列,以資參考。

附錄二 交通部公路總管理處公路橋梁涵洞施工細則草案(三十年一月公布)

第一章 總則

- 第一條 總綱 本部直接實施及督造公路橋梁涵洞工程之施工方法悉依本細則辦理。
- 第二條 勘定部位 橋涵方向墩座部位與高度等統由工程司詳細勘定，訂立樁樑為準。各部工程非經工程司覆勘無誤，並經認可後，不得開始工作。
- 第三條 試探工作 工程司得視實地情形，交由承包人辦理各種簡易試探工作，如地質試探、打樁試驗、滲漏試驗、流速測量等工作，作為施工之參考。
- 第四條 訂立樁樑 橋梁涵洞之位置方向及高度應由工程司於施工前訂立中樁、界線，並標明高度尺寸，交由承包人妥為保存，遵照圖樣施工，不得遺失。

第二章 基礎工

第一節 圍水

- 第五條 圍水方法 圍水方法分土壩、麻袋土壩、板樁及汽箱等，由工程司視察河水深淺、地質種類，選定某種方法，指示承包人辦理之。
- 第六條 粘土壩 靜水或流速遲緩，水深在一公尺以下之河流，可

用粘土築壩圍水。土壩頂寬不得少于一公尺，內外斜坡應爲一比二，粘土須純淨不使含有樹根草莖等雜物。

第七條 麻袋土壩 麻袋土壩圍水法分單層、雙層兩種，袋內裝入粉碎之純淨粘土，約爲麻袋容量百分之九十五，分層依次沉於水中。單層麻袋土壩外面及雙層麻袋中間須傾填粘土分層夯實，以防漏水。

第八條 木板樁法 木板樁圍水法分單層板樁、雙層板樁兩種，以厚約五公分至十公分，寬約二十公分至三十公分之乾燥而無傷裂之松杉木板爲宜。板樁下端須偏向一邊削尖，板與板間須做凹凸接縫，單層板樁外，及雙層板樁中間須用粘土填築以防漏水。板樁中間必要時須加設木撐及拉鐵，一切設置均由工程司就地指示辦理。

第九條 鋼板樁及沉箱 鋼板樁及沉箱等圍水工作，須視當地情形計畫之。

第十條 圍水面積 各種圍壩所圍面積，應視當時形勢，按地腳所佔面積四周各加寬至少一公尺，以便工作。如需作第二道防水壩時應預先計畫其位置及寬度。

第十一條 圍壩高度 各種圍壩之頂，必須較預定施工期內最高水位高出六十公分至一公尺。

第二節 挖腳

第十二條 基礎深度 關於橋涵基腳深度，工程司得於施工時詳細考察地質實際情形，估計構造物所增之重量與地基承重能力，並調查河流冲刷可能之深度，隨時變更圖樣之規

定。

第十三條 趕工與防範 基礎工作應趕枯水期內日夜施工，萬一不能完成時得令承攬人於發水前準備一切防水工具。

第十四條 基腳抽水 抽水設備須在施工之前準備齊全，工作尤貴敏捷，基礎開挖後務使坑內保持無水狀態，直至台墩砌出水面為止，惟混凝土工程澆灌時及澆灌後 24 小時內以不抽水為原則，如有抽水必要，應先由工程司許可及檢驗，務使水泥漿不致滲出方可。

第十五條 土石堆放 基礎坑內挖出之土石承攬人應遵照工程司指示地點堆積，不得堆壓坑邊，以免坑坡崩塌，防礙工作進行。

第十六條 地質控探 基礎坑內之土石常隨地層變遷，承攬人應隨時報請工程司鑑別量記，以憑計算各種土石數量。

第十七條 土石鑑定 關於基礎坑內挖出各種土石之鑑定，概依路基工程規定辦理。

第三節 打樁

第十八條 準備工作與樁錘重量 打樁時承攬人應先將工具、樁木、鐵件預備齊全，樁架樁錘等應先由工程司檢驗合格，方可應用。樁錘重量打木樁用不得小於五百公斤，打混凝土樁時不得小於一千公斤。

第十九條 木樁打入深度 在硬土地基內打樁，樁身入土深度不得少於三公尺，或樁身長度三分之一。在軟土地基內不得小於五公尺。

- 第二〇條 木樁規定 木樁須用上等木料，以能承受錘擊不易裂破或劈開，並應挺直無彎曲者為合格。不得有蛀孔，大節、破裂等疵點，如有年節其直徑不得超過八公分，亦不得超過該節所在樁柱四分之一。若有孔洞直徑不得超過四公分，其深度不得超過該洞所在處樁徑八分之一。如有緩彎則在任何部分之彎度與連繫兩端中線之距離應不出該處樁徑之四分之一。
- 第二一條 鋼筋混凝土樁 鋼筋混凝土樁之斷面積不得小於九百平方公分，所用鋼筋之斷面積不得小於總面積百分之一，製就後須經四星期方可取用。
- 第二二條 樁位排列 打樁時承包人應照基礎圖樣分別排列，並將樁木樁位同時編列號次，報請工程司檢驗。
- 第二三條 入土紀錄 打樁時承包人應照樁位依次打下，經工程司蒞場監視，分別記載各樁打入深度以及入土情形，以資參考。
- 第二四條 樁箍樁尖 木樁樁頭須先鋸平，配載鐵箍，以免樁頭受擊破裂。如遇堅土，樁尾又須配套鐵尖。
- 第二五條 樁之取捨 打下之樁如有歪斜折斷等情，工程司得隨時指令承包人糾正或拔出更換。
- 第二六條 反撥現象 打樁入土如中途發生樁錘在樁頭上反撥回躍或樁木不再下降時，須將樁錘落下高度減低繼續再打，若仍有此種現象，應停止錘擊，請示工程司辦理。
- 第二七條 落錘高度 用錘擊方法打樁時其錘擊之高度除經工程

司特許外，打木樁時不得超過三公尺，打混凝土樁時不得超過一·五公尺。

第二八條 接樁 如木樁須接長時，可將兩樁接頭鋸平，各於圓心鑽一約五公分直徑之圓孔，深約二十公分，插木為樁，四周並用一公尺長，十公分寬，七公分厚木板箍緊，若屬混凝土樁須接長時，應將樁頭混凝土鑿去半公尺，使樁內鋼筋露出，與上部鋼筋接搭，然後裝模再傾注上部混凝土。

第二九條 樁之支持力 用錘擊打樁其支持力可按下式計算之：

$$p = \frac{wh}{6(s+254)}$$

式中 p 為每樁之安全支持力(以公噸計)， w 為錘之重量(以公噸計)， h 為錘落下高度(以公分計)， s 為最後五錘樁身入地平均深度(以公分計)。

上引公式係按樁錘自由落下而得之結果，最後五錘落下情形及樁身入土深度須特別注意，並記載之。

上式計算之結果只能認為近似數值，必要時應再用荷重試驗決定之。

第三〇條 汽力錘及射水法 凡重要工程之基樁應採用汽力錘打樁，必要時得視地質之情形採用射水法(water jet)，使樁木易於入土，其施工方法另行訂定之。

第三一條 鋸平樁形 打樁全部完竣後應將打毛或打破及高出之樁一律鋸平至規定高度。

第四節 混凝土基礎

第三二條 乾基澆灌法 基礎坑內傾注混凝土之前應先將積水抽乾，樁頭洗淨，並掃除木屑等物，或將坑內污土碎石清除，然後再分層傾注築實至規定高度，並將面層做平，混凝土之成份須照施工圖內載明之比例配合之。

第三三條 水中澆灌法 如基礎坑內滲水甚大，難於抽乾，必需水中灌漿時，應先得工程司許可及指示，特別審慎工作。其灌注方法，先將有底門之箱或鐵喇叭管下端堵塞納入水中，再將已拌好之混凝土裝滿，然後打開徐徐上提，使下端混凝土流下，並須連續灌注，首自基底之一隅起漸及他隅，直至全部基底填遍達相當厚度為止，水中灌注圍壩應緊密，以免水流入，水流用量應約予加多。

第三四條 存置時間 混凝土基礎做好須經一星期後方得開砌上部工程。

第三章 水管及石板涵

第三五條 水管分類 水管計分瓦管及混凝土管兩種，瓦管須火色均勻，敲一聲音響亮如金石者，方為合格。混凝土之成分比用一：二：四。

第三六條 安置與接縫 水管安置於基礎上須一一平直，不得稍有起伏或曲折，瓦管用一：一水泥石灰沙漿接縫，混凝土管用一：三水泥沙漿接縫。管之下水坡度不得大於百分之三。

第三七條 排列限制 水管安置每處至多以三排為限，不可再多不得重疊

第三八條 瓦管加強 安置瓦管時如遇土質不良可將管之周圍用一：一：三石灰三合土包護之，其厚度與尺寸由工程司隨時指定之。

第三九條 石板涵洞 用毛條石作蓋板之涵洞用條石其質料須堅硬無裂紋，並須合乎規定厚度。除底面須鑿平外，其他各面任其自然，毋須鑿平，兩石之間更無須用膠漿填實。

第四章 木橋

第四〇條 木料質地 建造木橋所需之木料，以乾燥、正直、少節、無腐蝕傷裂者為合格，施工時承包人須先準備齊全，經工程司檢驗品質及尺寸合格後方准使用。

第四一條 鑽孔尺寸 凡用鐵釘、梢釘及螺栓等栓擊之木材應先鑽孔，然後納入。釘栓鑽孔之大小應照下列規定辦理，圓釘與圓梢釘之孔徑，須較本身直徑小0.一五公分，方釘與方梢釘之孔徑須與本身最小邊寬相等，螺栓之孔徑須與本身直徑相等，鋼桿之孔徑，須較本身直徑大0.一五公分。

第四二條 鋸截與接榫 木料長度須照圖樣鋸截正確，一切接榫之尺寸須十分正確，務使接縫完全吻合。

第四三條 打樁架 打樁之先由工程司設立中樁，測定各孔橋位，設立引樁，先自岸之一邊或兩岸同時施工。水深之處，用船隻鑲成作場，以便設立打樁架，並隨時檢查樁位有無偏差，樁木有無歪斜，至樁木之入土深度亦由工程司視地質情形決定之。

第四四條 木橋台 木橋台擋土板須自河底釘至梁頂，如板背靠河

一面底處未堆砌亂石，則板之最低一塊應埋入土中。離橋台背面約三四公尺處須打若干矮樁，用粗鉛絲將台柱繫繫於矮樁上，以增禦土壓力。

第四五條 木梁 木梁除規定外，得就圓木頂面及支承之兩端砍平，安放時須將有節疤之一方向上。如木梁支承面積太小時除外梁可用平接外，其餘須交錯接桁。

第四六條 護木與欄杆 護木與欄杆須妥慎裝置，使線條平直，且符合橋身之拱度。護木只須二面刨光，欄杆則須四面刨光。

第四七條 桁構 桁構做成後須無曲扭之弊，上下弦須平直，並具適宜之拱度。各部接榫須絕對吻合。

第四八條 橋面板 橋面板鋪設時須將心材向下，各塊間須離縫一公分至二公分鋪裝，其與木梁相交處之縫中須安釘嵌鍵木片。

第四九條 油漆 全橋除欄杆塗灰漆外其餘各部均塗刷熟柏油或桐油二度，俟第一度乾後再塗第二度。木料之鑽孔挖割及接合處應預先塗刷之，但未經乾燥之木料除鑽孔挖割及接搭處先塗油外，其餘各部須俟木料乾燥時塗刷為要。

第五章 磚石工程

第一節 磚石工

第五〇條 煉磚質地 橋涵用煉磚經重壓機製，或火色透勻，各面平整無裂，撞聲響亮，且適合下列之規定者為合格：

(甲) 尺寸不得少於二十三公分，寬不得少於十二公分，厚不得小於六公分。

(乙)重量完全乾燥之煉磚每塊重量須在三.二公斤以上。

(丙)吸水量不得逾百分之二十。

第五一條 砌前處理 煉磚須先浸入水中約五至八分鐘之久，吸收相當水分，方可使用，如用水泥漿砌時應將磚面泥土洗淨。

第五二條 砌磚之法 磚之砌法宜交差排列，或橫砌一層又直砌一層，並以灰漿填實接縫，使結成整體，橫直連接之縫隙不得超過一公分，磚拱開砌時應先從拱之兩邊砌起，至拱頂會合，並用鐵片拴緊（如破鋼鐵片等），磚拱砌完後，外拱全面應鋪一：一：六灰漿一層。

第二節 石工

第五三條 石料質地 橋涵用之石料計分塊石、毛方石、細方石及橫石四類。石質宜堅韌耐久，石紋宜細緻，顏色均勻，不風化無裂紋者為合格。

第五四條 塊石 塊石採自炸鑿石料不經鑿琢者，惟須四面大致方正，每邊不小於二十五公分或重量不得小於三十公斤者。

第五五條 漿砌塊石法 塊石採用膠漿砌縫者，每層石料須先鋪砌大致平整，橫縫不得大於二公分半，縱縫須互相交錯，上下二縫之間隔不得小於十五公分，轉角處及牆面應檢用較方正之石料，每層須用較長之毛條石相雜鋪砌，橫貫牆內，使互相連搭。塊石間之空隙應用小石子及膠漿填實。

第五六條 乾砌塊石法 乾砌塊石之法與漿砌塊石同，惟不用膠漿

作填縫料，上下二石之鋪接須注意平整，最低限度須有三點相吻合。

第五七條 毛方石 毛方石之厚度，不得小於二十五公分，走石 (strecher) 寬度至少須與厚度相等，長度不得小於厚度之二倍，又不得大於一公尺，丁石 (header) 寬度至少與厚度相等，長度不得少於厚度二倍半，毛方石齒面部分除四面琢光二公分寬之框線外，可不必鑿琢，但石面突出部分，不得大於八公分。上下左右之砌面，須鑿琢平光。

第五八條 細方石 細方石之寬厚長度應照圖樣規定，除背面外均須琢光，其表面琢線不得大於一公分。

第五九條 砌毛方石細方石法 毛方石與細方石之砌法須用走石與丁石橫直間砌，丁石與其填襯材料搭連厚度不得小於三十公分，如建築物厚度在一公尺以下時則丁石可貫通二邊，各層石砌之直縫應上下互相間錯（即上下層兩石之接縫不得同在一直線上），且直縫不得在丁石上接頭，毛方石之砌縫不得大於一·五公分，細方石之砌縫不得大於八公厘，縫中須用膠漿平均填實。

第六〇條 填襯材料 砌方石時牆內填襯材料應同時並進，為填襯用石料時應選擇方正之塊石，上下兩面須大致鑿平，使砌縫不超過二公分為度。填砌時每層與外圈須大致等高，上下左右接縫亦應互相間錯，石縫空隙處須用碎石膠漿填實。

第六一條 拱石尺寸 拱石各部尺寸應照圖樣規定 施工前承包人

須先做大樣板，經工程司檢驗後方准動工。

第六二條 拱石琢斲 拱石表面須用細鑿琢光，其他各面則用條挫鑿平，背面可留毛不琢。

第六三條 拱石砌法 石拱開砌時應先從拱之兩端同時施工，直至拱頂會合，接縫不得大於八公厘，縫中填實灰漿，用鐵撐緊密，使連成整體。石拱砌完後拱背頂面應鋪一：三：六灰漿一層。

第六四條 漿砌石料之注意 塊石、方石、拱石及填襯石料如用水泥膠漿砌築時，須先將清水濕潤與洗淨，砌後不得衝擊琢鑿，如須搬運改砌，應將原有灰漿刮去洗淨，再用新灰漿砌築。

第六五條 勾縫 石砌工程表面接縫如加勾縫時應先將砌縫間之膠漿在未凝固前刮去二公分，待石工完竣膠泥凝固後先用水浸濕刷塗縫中雜質，再行勾縫，在勾縫完畢三天內，應常洒水，使保持濕潤狀態，至勾縫灰漿之種類及成分由工程司決定之。

第六六條 溫度限制 溫度在攝氏四度（華氏四十度）以下時非有特別急要不得砌築石工，如必要砌築時須得工程司許可，並應除去冰雪霜塊，膠漿所用水並須烘熱。

第三節 膠漿

第六七條 成分及拌和法 膠漿用石灰或水泥與砂子等按體積比例加水混合而成，其拌和之法規如下：

(甲)石灰砂漿之拌和：用定量之灰膏加水，使成稀漿，然

後與適量之沙子同置不透水之灰盤上，拌和至顏色
勻淨稀稠適度方可使用。

(乙)水泥沙漿之拌和 以定量之水泥與適量之沙子置
不透水之灰盤上拌攪勻淨後，加水再拌至顏色勻淨
稀稠適度方可使用。

(丙)水泥石灰沙漿之拌和以定量之水泥與適量之沙子
拌和勻淨，另用灰膏加水成稀漿，混入拌和，至顏色
勻淨稀稠適度方可使用。

第六八條 石灰膏 石灰膏製法用石灰加水發透置於一邊留有缺
口之木盆內用清水淘洗，使灰漿與渣滓分離，經過缺口
處之鐵絲網流入地坑內，沉澱半月，方可使用。

第六九條 砂 調和灰漿用之砂子宜篩去泥土化石等物，必要時須
經水洗。其顆粒之粗細約為半公厘至二公厘為合用，粉
沙不得採用。

第七〇條 水泥沙漿限制 水泥沙漿須隨和隨用，一經配合後應在
半小時內用完，不得遠留或滲入新和灰漿使用。

第六章 鋼筋混凝土工程

第一節 鋼筋

第七一條 鋼筋質地 鋼筋須用上等竹節鋼，無鐵銹可冷彎至一百
八十度而不呈破裂者為合格，應用前須將鱗銹、泥漿、油
漆等刷除淨盡，並須校直，然後應用。

第七二條 彎曲與搭接 鋼筋彎曲，祇准冷彎，不得加熱彎曲之半
徑及兩端彎曲之尺度應遵照圖樣及工程司之指示辦理。

凡長度不足必須接長時不得用火打接銲，必須兩根互相搭接，其搭接長度應為鋼筋直徑四十倍以上，搭接位置應互相間錯，不得集於一點，搭接處必須用十八號鉛絲緊束，不使稍鬆。

第七三條 鋼筋編紮 鋼筋照圖截成需要長度並彎成規定式樣，裝於模型之內，另用十八號鉛絲在每交接處分別紮緊，底墊預製之混凝土塊，必要時並加臨時邊撐，使其位置保持正確，不致因填注混凝土時而生變動。

第七四條 檢驗 鋼筋裝好後應將模型內存留之木屑泥草等物掃除淨盡，並經工程司檢驗鋼筋部位、距離與圖樣相符後，方能填注混凝土。

第二節 混凝土

第七五條 成分 混凝土所用水泥 砂子、碎石之成分配合時皆用木盒過量，以體積為準。

第七六條 水泥 水泥應選用國內可靠公司之出品，運至工場之後須儲藏於嚴蔽風雨之屋內，下面應加鋪地板，以防潮濕，若已發生凝塊粗粒者概不得取用。

第七七條 砂 砂子以粒粗帶稜角而不含雜質者為合格，使用前須將有機物及細土篩去，必要時並用清水洗淨。

第七八條 碎石 碎石以質料堅硬而有稜角者為合格。使用前篩洗潔淨並除去一切泥土灰屑等物。

第七九條 碎石之最大直徑 普通混凝土中碎石之大小，用於一四成分者其直徑不得大於二·五公分，或鋼筋與鋼筋間

之距離，模板與最外側鋼筋間之最小淨距三分之二，或混凝土材最小厚度或寬度四分之一；用於一三六成分者其直徑不得大於三、五公分。用於一四八成分者其直徑不得大於五公分。

第八〇條 水 調和混凝土用之水分須不含鹼類油類等之清潔淡水。

第八一條 用人工拌和法 人工拌和混凝土時先將規定成分之水泥沙子量置於光平密縫之木製台板或混板上，乾拌三次以上，至顏色均勻後，堆積台板一端，同時將規定份量之碎石置於台版之中鋪開，再將已拌勻之乾灰沙分佈於碎石之上，徐徐灑水，開始翻拌至四次以上，使混合均勻濃淡適宜為度。每次拌混凝土之體積不得超過〇、三立方公尺(或十立方呎)。

第八二條 機送拌和法 用機器拌和混凝土時應先清除機內雜物，將量準之水泥淨沙及石子逐一傾入機內乾拌勻淨，然後加以適量之水分繼續拌和，務使全部稠度一致，方可使用。每次拌和之數量，不得超過設機製造廠家指定之數。

第八三條 灌注 混凝土一經拌勻後應即輸送模型之內，分層傾注，以木槌鐵杵築實插勻，每層傾注厚度不得大於三十公分。倘自高處傾入，其下落高度不得逾一公尺，以免石子與水泥沙漿分離。

第八四條 工作接合縫 凡混凝土施工時承包人須將一切應需材料、工人預備完備充足，每一工程務期一次完成，如為不

得已須分日工作者，其接口處應請工程司決定，下次繼續填築時應將接口鑿成粗齒洗淨，加敷一：二水泥漿，然後再傾注新混凝土。

第八五條 溫度限制 溫度在攝氏四度以下時不准拌填混凝土，如有特殊原因，必須傾注時，應得工程司之許可，並將水燒熱，或在水中略加食鹽。

第八六條 濕法 混凝土灌注完畢後兩星期內每日應在表面澆水數次，使保持相當之濕潤，遇必要時並須以蘆蓆麻袋等遮蓋，以免日光蒸晒及雨水浸蝕。如在冬季天寒時，應用稻草妥慎覆蓋，以免冰凍。

第八七條 表面修補 混凝土脫模後，如表面有不光之處，須用1:2水泥沙漿修補。

第八八條 例禁 混凝土施工時工程人員應蒞場監視，未到以前不准配合。又上次殘留之混凝土絕對不准加入新混凝土內和用。

第七章 模架工

第八九條 模架木料 模架用木料以品質乾燥、平直、少節而無裂痕之松杉板為合格，其厚度不得小於四公分。

第九〇條 模架尺寸 模架須照圖樣尺寸施工。凡與磚石混凝土接觸之一面應使十分平整，接縫務宜密合。

第九一條 模架細部 模板支架及撐柱須十分堅固，撐柱應立於堅實之地，使確能於承受載重之時不致有沉陷之虞。

第九二條 模架裝設 模架裝設後應請工程司檢查其尺寸位置是

否正確，經檢驗滿意，方得安紮鋼筋與傾注混凝土，並於適宜處多設固定標準點，以便開砌拱圈或傾注混凝土時隨時察看有無變態。

第九三條 灌注前之準備 模內未灌注混凝土之前應先用水洗淨，次用純石灰漿填實縫隙，如欲使脫模後之混凝土表面平滑，可用桐油或肥皂水塗於與混凝土接觸之模型板內。

第九四條 模架拆卸期限 模型之拆卸期限須依工程部分之重要性及氣候而定，氣溫在攝氏四度（華氏四十度）以上其拆卸日期，可照下列之規定辦理：

- | | |
|-----------------------|---------|
| (甲) 拱橋模架及鋼筋混凝土梁底模板及支柱 | 二十八天 |
| (乙) 鋼筋混凝土橋板 | 十四至二十八天 |
| (丙) 混凝土牆及橋墩等 | 七天 |
| (丁) 鋼筋混凝土柱 | 十天 |
| (戊) 鋼筋混凝土梁之側板及其他不重要部分 | 七天 |

第八章 鋼工

第一節 材料

第九五條 鋼料之質地 建築用鋼料質地暫照 美國公路員司協會 規定之標準辦理。

第九六條 鋼料之運儲 裝運時所有易致受損各部應設法保護，一切鋼件之起卸須特別小心，不得拋擲，以致損傷，運到橋址後，須妥慎存儲於廠屋內以防鏽蝕，其儲存時應按照將來裝配需要先後情形次序排列，不得任意堆置。

第二節 組合

- 第九七條 總說 關於鋼架組合次序與支架建置等一切設備及方法必要時得由工程司繪具圖樣說明交承包人照辦。
- 第九八條 組合螺栓 鋼架於組合前須將各接觸面泥鏽擦淨，塗刷紅丹油然後照圖樣組合，用螺栓聯結各點，每聯結點所用螺栓之數至少應為所需鉚釘之半，組合時不得施用過重之錘擊。
- 第九九條 組合檢查 鋼架組合後須經工程司檢驗無誤方准鉚釘。

第二節 鉚合

- 第一〇〇條 鉚合方法 各部鉚釘之鉚合須用汽壓鉚釘機，不得已時經工程司之許可得用人工鉚合。
- 第一〇一條 鉚釘毛長 鉚合開始前工程司須查明應鉚各部分鋼板厚度，決定所用鉚釘之毛長，並列表指示工人遵照施工。
- 第一〇二條 鉚合順序 鋼橋鉚合之程序應以抗拉桿及肢桿各接合點居先，俟鉚合竣事，然後再行鉚合抗壓桿與肢桿諸接合點，其他各部鉚合之程序由工程司規定之。
- 第一〇三條 人工鉚合 人工鉚合四人一組，傍置火爐將鉚釘全部燒呈淡櫻紅色時缺出，敲去銹皮，立即插入釘孔，錘鉚工人技術劣者不准參加工作。
- 第一〇四條 機器鉚合 汽壓機鉚合三人一組，除手錘改用汽錘外，其他手續與人工鉚合法同。
- 第一〇五條 鉚合規定 鋼板釘孔恆比鉚釘直徑為大，故鉚合之釘

應完全充實，釘孔釘頭才須圓正與圓板完全密貼，錫合之後將其旁邊殘留鐵渣削去。

第一〇六條 不合規定之處理 既錫之釘如有釘頭過高周圍起邊，不與鋼板密貼者應將此等鬆釘更換重錫，換釘時須防搖動鄰釘，或傷及附近鋼料，必要時得鑽去之。

第一〇七條 錫釘檢驗 檢驗錫釘鬆動與否可由手指知覺而得，即先錘擊釘帽左右兩邊數次，經以姆指接觸帽之左邊。再用錘擊帽之右邊即知。

第四節 油漆

第一〇八條 防鏽油漆 鋼橋俟合完畢後須將鋼料各面擦淨，塗刷防鏽油漆二度，俟第一度乾後再塗第二度。

第一〇九條 油漆顧忌 溫度在攝氏四度（華氏四十度）以下攝氏三十五度（華氏九十五度）以上及潮濕雨天均不得油漆

第九章 填土工

第一一〇條 背面填石 橋台或護牆背面應填半公尺寬之卵石，高與牆齊，以利洩水。此種工作須與填土同時進行，如石料困難之處則洩水孔四周填卵石外其餘得改用土填築。

第一一一條 填土順序 橋台填土須俟石工完竣灰漿凝結後方准施工，乾砌翼牆護坡之填土得與石工同時進行。

第一一二條 管涵填土 水管及拱式橋涵之拱土應先自管或拱之兩邊填起至平頂，再填頂上以達路面為止。

第一一三條 分層填土 填土需用乾燥之黏土，除去雜物，並應分層

用水澆濕，夯築緊實。每層厚度不得大於三十公分。

第十章 附則

第一一四條 設計圖樣與施工細則之效力 本施工細則與設計圖樣具有同等效力，如兩者互起差異或兩者均未載明之各點得由主管工程司隨時決定補充之。

第一一五條 施行日期 本細則自頒布之日起施行

附錄三 交通部滇緬鐵路西段工程處橋涵工程 規範書

第一章 通則

一、範圍 橋涵工程之範圍，包括一切基礎工程之挖鑿，建造木橋之架設，水管、明渠、涵洞、橋墩、橋座之妥砌，墩拱之支撐砌築，鋼橋之架組鑄合，及其他一切附屬工作。

二、單價及總價之規定 凡發包工程之單價，總價及其付款，開工，竣工各條款均在合同中規定之。

三、簡稱 滇緬鐵路西段工程處以下簡稱本處。本處委出之工程人員及其助手負責監理本工程者，以下簡稱主管工程司。承築本工程之一部或全部之承建人或公司之全權代表人，以下簡稱 承 包 人。

四、合同與附件 本規範書、補充規範書、圖樣、承包所作標單、材料規範書，以及本處頒發與本工程有關之各項圖、表、書，則經在合同規定者，均為合同之附件，其效力與合同相等。凡工程之發包方法不論用投標或承攬均適用之。合同與附件，或附件與附件如有抵觸或不明瞭時，由主管工程司依照普通建築習慣解釋之。如有爭議時，由主管工程司呈請本處處長，副處長決定之，一經決定 承 包 人 即須遵守，不得異議。如合同及附件均未備載，為本工程所必需者，承 包 人 須依照主管工程司之指示辦理，不得藉口要求增加單價或延長

工作期限。

五、樁標及圖樣 橋涵之位置及方向，以中樁為準，水平高度以水平標點為準，是項樁標，由主管工程司訂立後，承包人應將本處新發之各種圖樣與之對照，並切實認識之。開工之後，不得提何異議。如有防礙工程進行之鋼標，應預請主管工程司移置。其他應訂畫之樁概灰線，均由承包人按照圖樣訂畫，請主管工程司核對後，方准施工。所有一切挖標，承包人須妥為維護，倘有遺失損壞或位置變更因此發生之錯誤，其損失統由承包人負責賠償。

六、尺度及量衡 尺度及量衡採用公制。土石方計至立方公尺；木工以立方公尺計至小數二位為止；增工依照標單規定單位計至小數三位為止；鋼橋工程以公噸計至小數三位為止；施工尺寸除鋼件尺寸及橋座橋墩標高計至公厘外，其餘應計至公分為止。

七、施工標準 橋涵工程之一切施工標準，應遵照本規範書及附圖與主管工程司之指示辦理。必要時主管工程司得以書面通知變更之，承包人不得因之有所要求。

八、施工方法 所有挖、鑿、支撐、砌築、架設、鋼合、工場布置、材料運送、土石廢置等施工程序及方法，承包人須切實遵照主管工程司之指示辦理。主管工程司於施工之際，並得加以變更，承包人不得因之有所要求。倘承包人不遵照主管工程司之指示辦理，因此而發生錯誤，其損失概由承包人負擔。

九、抽水防水 建築基礎之防水設備及施工方法，主管工程司認為必要時得飭令承包人在開工前繪具圖說，呈請主管工程司核定後，方始進行工作。承包人須於淺水期內趕做工作，發水之前須充分

準備防水，倘因疏於防範，致工人或工具材料或已成工程受有傷害損毀時，承包人須負責賠償。

十、安全設備 一切安全設備，承包人務須注意妥為辦理。倘發生危險或意外情事，須由承包人負責賠償。

十一、改移河道 遇必要時承包人須遵照工程司之指示，改移河道，但須改移完竣，方可堵塞原有水道。

十二、部分量收 未竣工前部分量收之數量，由主管工程司核實估算之，承包人不得異言。

十三、竣工驗收 竣工驗收時，橋涵之各部，須與主管工程司所採用之標準圖樣，或主管工程司之特別規定相符合；木橋之防腐塗油須已乾透；圻工各部未曾發現裂痕；鋼橋油漆業已照規定塗施；基礎土方之回填業已夯至堅實，及還復原有地形，或主管工程司指示形狀，方得驗收。

十四、保固期內之修理 橋涵工程以竣工一年內為保固期限；在此期內 圻工各部如有開裂崩塌情事，或鋼橋發現鬆動，鉚釘及油漆剝落，或木橋發現裂縫及螺部鬆脫，應由承包人自費修補。

十五、保固檢驗 保固檢驗時橋涵之各部須與主管工程司所採之標準圖樣或主管工程司之特別規定相符合；木橋各部不得發現裂縫；鋼橋不得發現鉚釘鬆動及油漆剝落；基礎前後不得暴露。

十六、補充規定 本規範書如有未盡之處，本處得另編補充規範書解釋及補充之，交承包人遵照施行，補充規範書之效力，與本規範書相同。

第二章 工具及材料

十七、工具 所有一切工具除有特別規定者外，概由承攬人自備，是項自備工具，承攬人應遵照工程司之指示其給齊全，不得託詞延宕。

十八、處發材料 石灰、洋灰、鋼鐵、皺紋管、鋼鐵桿件及鋼橋木橋所需鋼釘、螺絲、墊板由本處供給，在指定地點交承攬人運送妥存備用。如因保護不週致石灰或洋灰受潮濕，鋼鐵銹蝕，或其他損失；或因使用浪費，工作不慎，致超軼規定數量，承攬人須照價加倍加運費賠償之。

十九、承攬人自備之材料 除本處發給及本處價售之材料外，其他一切工程材料概由承攬人自備。承攬人所備材料須於事先繳呈樣品，注明產地及大約產量，送請主管工程司鑒核。凡經主管工程司鑒定之材料，承攬人必須按照樣品之標準供給，不得以品質劣者混充；否則主管工程司得令承攬人將該項材料之全部停止使用，必要時並得責令承攬人折改已經完成之部，所有一切損失概由承攬人負責。

二十、木料

(天)木橋木料

甲、品質 木橋木料須堅實、乾燥、平直、無鬆節、蛀孔、大油疤、朽腐等疵病；並經主管工程司檢驗合格後方可使用。

乙、缺裂之限制 厚度十五公分，寬度二十公分以上之木料如每端有一裂縫，其長度不得超過木料之寬度；倘兩端均有裂縫，其長度之和，不得大於木料之寬度；二十五公分見方以上木料如缺一角，其弦長不及四公分，或缺數角其弦和不及此數，而缺角長度不超過木

料長度四分之一者准予收用。

(地) 支架木料 支架木料，須乾燥平直、無鬆節、爛節、蛀孔、火油疤、朽腐等疵病，並經主管工程司檢驗合格者，方得使用。

(亥) 模壳木料 模壳木料須乾燥、平直、無枯節及裂縫，並經主管工程司檢驗合格者，方得使用。除特別規定者外，模壳板之厚度不得少於四公分。

(黃) 樁木

甲、品質 樁木須用上等堅實木料，以能承受錘擊不易破裂或劈散者為合格。不得有蛀孔、叢節、破裂等疵點。若有牢節，其直徑不得超過八公分，亦不得超過該節所在處樁徑四分之一。若有孔洞，其直徑不得超過四公分，其深度不得超過該洞所在處樁徑八分之一。

乙、採伐 樁木之採伐應於冬令行之。砍伐點視每樹情形而定；惟須距地面六公寸至一公尺，勿使近根特粗之部截之。樹皮及樹枝須隨之剝去。

丙、曲度限制 樁木應挺直而無彎曲；若有緩彎不超過下列之規定者准予收用：在凹彎之一邊用小繩線或小鐵絲緊貼在兩頭邊緣，並將小繩線牽直，此線距木樁任何一部不得超過該處木樁直徑四分之一。惟急劇之彎曲雖不出上列之規定亦不予收用。

丁、長度及粗度規定 樁木之長度以鋸去兩端不平整部分之淨長度計算。粗度以淨長度之梢徑(尖頭)計算。根徑至梢徑之間其縮小尺寸須與長度距離成正比例，不得忽然變小，否則不予收用。

廿二、鐵件

甲、熟鐵 本橋支架模壳及樁木上之鐵件均須尺寸準確，質料

堅實，無裂縫鏽損等缺點，並經主管工程司檢定者方准使用。

乙、鑄鐵模壳 鑄鐵模壳須尺寸準確，砂模於鑄前須先行烤乾。鑄成之件如有氣孔裂縫及缺角，均不予收用。

二二、石料

(天)質料選擇 石料須選擇上等質料，堅韌緻密，不受風化，而無裂縫孔隙等缺點之花崗岩、石灰岩或砂岩。

(地)開採地點 石料開採地點經主管工程司指定者，承包人不得以他處之石料混充

(亥)石料分類 石料以其開成塊積之大小與面緣之修整分為下列各類：

甲、片石 凡用炸藥轟炸所開出之石塊，或用其他方法開出之石塊，形體不拘，但每塊體重在三十公分以上。

乙、墊石 又名毛方石，石塊六面大致方正，略加修整，每面凹凸之差不得過二公分，每片石之尖頭銳角。厚度在二十公分以上，寬度在二十五公分以上，長度至少為厚度之二倍。又墊石至少有一半與面石同樣大小。拱背墊石須依照圖樣尺寸辦理。除環背一面與塗蓋相連處可留天然粗石紋外，其餘五面須修琢平整，每五分鑿鑽一條。垂直於拱環軸心之兩面，其凸凹之差不得超過一公分，其餘三面凸凹之差均不得超過一公分半。

丙、粗方石 又名粗砌皮石，石塊六面方正，上下底板修整平整，其凸凹之差不得過一公分，外表可留天然粗石紋，但週圍邊緣寬度二公分須略為修整平整，其凹凸相差不得超過一公分，其餘每面每相隔三分公須鑿鑽一條，凹凸之差不得超過一公分半。石塊厚度

二十五公分至三十公分，砌在上面影層或用一公尺以下之小涵洞水管明渠，其厚度可用二十公分，寬度與厚度之比須大五公分以上，長度至少為厚度之二倍。丁頭石長度至少五十公分，如牆厚在五十公分以下者，丁頭石長度與牆之厚度相同。角石須依照圖樣尺寸辦理。用於高橋墩柱上之排頭石及連接層均為粗方石，又名板條石，惟寬度三十五公分以上長度一公尺以上者厚從圖。

丁、整方石 又名整砌皮石，石塊六面方正，上下底板修琢至十分平整密合，凹凸之差不得過六公厘。露出一面四圍須鑿成細紋，整邊寬度二公分半，邊面仍留原狀或全面琢平，其餘三面至少每隔二公分須鑿鑿一條，凹凸之差不得過一公分。每塊厚度二十五公分至三十公分，寬度至少三十五公分，長度至少為厚度之二倍。角石及大橋墩座須依照圖樣尺寸辦理。方渠蓋板石又名粗面板石，均為整方石，石面六面方正，其凸凹差率不得過二公分，長度及厚度從圖，寬度與厚度之比，最少為一：一五。

戊、細方石 又名半細鑿石，石塊六面整齊，其凹凸差率不得過六公厘，其形狀及尺寸須依照圖樣辦理。拱石及冠石均用細方石。

(黃)石料之用途 上列各種石料，按其施工於橋工各部及砌築時所用之灰漿分列如下，惟仍以圖樣所規定者為準。

甲、明渠 所用灰漿均為庚種（一、一、一、石灰紅土砂子）或辛種（一、一、〇、七石灰紅土砂子）以砌築下列石料：

基礎 用墊石。

渠身 外壁用粗方石，外壁頂石用細方石，內壁用墊石。

翼牆 外壁用粗方石，內壁用片石。

乙、方涵 所用灰漿均爲庚種（一、一、一、石灰、紅土、砂子）或辛種（一、一、〇、七石灰紅土砂子）以砌築下列石料：

基礎 用墊石。

渠身 外壁用粗方石，內壁用墊石，蓋板用整方石（蓋板石），欄牆冠石用細方石。

翼牆 外壁用粗方石，內壁用片石。

丙、拱涵或跨度六公尺以下拱橋 所用灰漿均爲庚種（一、一、一、石灰、紅土、砂子）或辛種（一、一、〇、七石灰紅土砂子）以砌築下列石料。

基礎 用墊石。

渠身 外壁用粗方石，內壁用墊石。

拱環 拱面用細方石（拱石），拱背用墊石，塗蓋用辛種灰漿，欄牆用細方石（冠石）。

翼牆 外壁用粗方石，內壁用片石，壁頂用細方石及冠石。

丁、拱橋（跨度六公尺以上） 所用灰漿均爲庚種（一、一、一、石灰、紅土、砂子）或辛種（一、一、〇、七石灰紅土砂子）以砌築下列石料：

基礎 用墊石，濕地最下層加用辛種或庚種石灰三合土。

橋身 外壁用整方石，內壁用墊石。

拱環 拱面用細方石，拱背用墊石，塗蓋用辛種灰漿，欄牆用細方石

翼牆 外壁用整方石，內壁用墊石，壁頂用細方石（冠石）。

丙、桁梁墩或座

基礎 用一：三：六洋灰混凝土。

墩或座身 外壁用整方石及乙種灰漿（一、三、洋灰、砂子），內壁用墊石及丙種灰漿（一：二：五洋灰、石灰、砂子），壁頂用一：二：四洋灰混凝土及鋼筋。

橋座翼壁 用片石，其基礎及頂部用庚種灰漿（一、一、一、石灰、紅土、砂子），其餘乾砌。

二三、石灰 甲、質地選擇 所用石灰須為品質純粹優良之石灰石所燒成之塊灰，燒煉時火力須勻透，不得含有未燒透之生石或過分燒煉之硬塊。淋泡後化為粉末，調之如糊，所餘雜質渣滓，不得超過原重量百分之四。

乙、灰膏泡製 灰膏預先泡製，不得臨時林化。泡製之法，將灰塊置於泡灰池內，隨注清水，水量約為石灰膏之二倍半至三倍，用時用鏟攪動，俟石灰完全溶化乃開放開口，使溶液流入儲灰池，然後鏟去泡灰池中所留渣滓，以便繼續泡製。儲灰池內積存灰膏，經數日後須用淨沙及水淹蓋，以便隨時取用。

二四、紅土之燒煉 所有紅土須選擇有黏性之泥土，不得夾雜砂粒、塵灰、鹼質有機物、沃土及其他有害物質，挖妥泥土後先將大塊者打碎，每塊體積約十五公分見方，厚度十公分，曬乾後，同劈柴分層堆置土窰內，用柴火修煉，燃料須準備充分，並須以熟練工員監督。燃燒時火力須勻透，不得中斷，煉至焦脆為止。燒後須經一次之選擇，將未燒之生土挑出後，將合格之煉土錘至粉碎備用。遇必要時，主管工程司得用篩析法以決取捨，其篩析法詳細試驗如下：重一百公分之紅土置於每平方公分 67×67 孔之篩上，孔大 $\text{O} \cdot \text{O}$ 八九公

厘，連續篩動約十五分鐘後篩上所餘以重量計，不得多於百分之十。

二五、砂子

(天)質料選擇 所用沙子應為天然產砂或石屑或其他同性質之上等材料，其質料須堅硬耐久，顆粒尖銳潔淨，不得含有塵灰、結塊軟片、泥化石、鹼質有機物、沃土及其他有害物質。

(地)顆粒大小 沙子之顆粒應粗細兼有，遇必要時主管工程司得用篩析法以決取捨，其篩析之規定如下：

甲、通過孔邊五公厘之篩者，其重量當在百分之九十五以上。

乙、通過孔邊 ϕ 、三公厘之篩者，當在百分之十五至百分之三十。

丙、通過孔邊 ϕ 、一五公厘之篩者，須少於百分之六。

(玄)含泥量之限制 取沙子加水拌洗充分攪和，再將水傾入另一容器內，積存之沉澱物，不得多於全部沙樣百分之三。

二六、碎石

(天)質料選擇 碎石應為上等質料之碎石或卵石，或其他同性質之上等材料，經主管工程司認可者。其質料須堅韌、潔淨，具有耐久性，無軟脆薄片、細長片層、鹼質有機物、塵土及其他有害物質。光圓之卵石應先行打碎方可使用。

(地)碎石大小 碎石應大小兼有，其最大尺寸用於一、一、二或一、二、四混凝土者不得大於四十公厘；用於一、三、六或一、四、八者，不得大於七十五公厘；惟均不得大於混凝土截面最小邊之四分之一，或鋼筋間或鋼筋與模壳間最小淨空之三分之二。遇必要時主管工程司得用篩析法以決取捨，其篩析之規定如下：

甲、通過孔邊與碎石規定尺寸相同之篩者其重量不得少於百分之九十五。

乙、通過孔邊等於碎石規定最大尺寸一半之篩者當在百分之四十至七十五。

丙、通過孔邊等於碎石規定最大尺寸四分之一之篩者當在百分之二十至三十。

丁、通過孔邊五公厘之篩者不得過百分之六。

(玄) 混凝土內攪片石 片石之最小面大於一二五公厘，最大面小於四百公厘，而其質料符本條天節之規定者得用以攪入於大塊混凝土內(mass concrete)(此項片石兩塊間或模壳與片石間之距離不得少於一五〇公厘)。

二七、水 拌製灰漿及混凝土之水質須清潔，毫無油、酸、鹼及有機物或其他有害物質。

二八、油漆及其他 油漆、油氈，及其他工程材料 須經主管工程司檢驗合格者方得使用。鋼梁之油漆，在廠內應以紅鉛粉三公劬對純蘇子油一立方公寸，調勻塗敷之。裝後塗敷之油漆 應以黑鉛粉漆三公劬，對純蘇子油一立方公寸調勻塗敷之，其顏色之深淺，塗敷之度數，由主管工程司決定之。

第三章 基礎挖鑿

二九、挖鑿範圍 基礎之挖鑿範圍，應遵照圖樣之規定，及主管工程司之指示辦理。倘承包人挖鑿超軼規定限度，致工程蒙受損失時，承包人須負責賠償。在傾斜石層建築之基礎，須將地基鑿成級形，地基鑿就後，須除去粹屑，用水沖洗，然後開始建造。

三〇、挖鑿類別

甲、堅石 凡連成一片之岩層，成爲一立方公尺以上之石塊，所堆積或凝結而成之石疊，其最經濟之開鑿方法，必須施用炸藥轟開者爲堅石。

乙、鬆石 凡連成一片之岩層，或爲三十立方公尺以上，一立方公尺以下之石塊所堆積或凝結而成之石疊，可用尖鎬撬損開鑿者爲鬆石。此項鬆石爲促進工作而用炸藥轟炸時，不作堅石論。

丙、土質 凡各種堅鬆土沙，及土中含有碎石、磚、瓦、卵石，可用土鎬或四指扒開挖，及其他不屬於堅石或鬆石者均作爲土論。如土中藏有堅鬆石塊，其每塊體積不過三十立方公尺者仍作土質論。

三一、地質鑑定 地質挖鑿土石地質之區別，承包人應隨時稟請主管工程司鑑定，將地質分界，繪明於橫斷面圖上，分計土質及鬆石堅石數量以爲核算工款之根據。是項分界，經主管工程司測繪於圖上呈處核准，用書面通知承包人後，如承包人於十日內不提出書面異議，以後概不得爭執。其有三十立方公尺以上之石塊夾雜土中者，承包人須隨時報請主管工程司量驗，主管工程司認爲必要時，承包人應將是項石塊堆集，以便量估。堆集之石塊，無論堅石鬆石，每一公方作〇.六公方給價。

三二、土石處置 基礎挖鑿所出之土石，應遵照主管工程司之指示堆放於指定地點。

三三、變更基礎設計 遇實地情形與原設計有出入時，主管工程司得變更原設計，承包人不得有所要求。

第四章 基礎打樁

三四、打樁方法及設備 打樁方法及其機具須經主管工程司認可後方准施工。所有一切設備須遵主管工程司之指示事先籌備齊全。

三五、樁木附件之配置 樁頭須截鋸平整，圍戴樁箍。遇必要時，承包人須遵照主管工程司之指示或圖件之規定，於樁腳裝置鋼片或鑄鐵護尖，樁頂須與樁身在同一直線上，所用樁箍樁尖均依照本處第 S 6102 標準圖尺寸辦理。

三六、錘擊規定及施工監督 打樁進行期間，必須請主管工程司或其代理人蒞場監視；若則主管工程司認為有疑問時，得令承包人拔出重打。用落錘方法打樁時，其錘擊之高度除經主管工程司當場或臨時特許及規定者外，概以不超過三公尺為度。

三七、試樁 遇必要時，主管工程司得令承包人先行試樁，以研究地質情形，並得令作荷重試驗，以測樁木之荷承力。

三八、荷重公式 每樁荷重之公式依照本處第 S 6101 標準圖辦理。

三九、樁位布置 樁木之位置，須照基礎平面圖之規定審慎安置。非經主管工程司之指示，不得變更位置。

四〇、樁腳遇阻礙物 遇樁木錘擊不下，或樁錘發生回跳情形時，承包人須將錘擊高度減低至不復回跳為止，或暫停止錘擊，應聽主管工程司之指示辦理。

四一、接樁 凡樁已打達規定深度，而荷力仍不足時，承包人須遵照主管工程司之指示接樁續打。接樁時須用繩將木樁繫于樁架企柱之上，以求正直，並將絞車反絞以求樁錘隨之放下。切勿高舉錘

擊，以免接合點劈裂，或其他損傷。接樁用料及尺寸，依照本處第 S 6102 號標準圖辦理。

四二、鋸樁 凡樁木未打達規定深度，而荷力已足時，承包人得請示主管工程司先行量度紀錄，然後截鋸餘段。

四三、拔樁及重打 樁頭劈裂或位置移動時，主管工程司得責令承包人拔除原樁，換新重打，所有一切損失須由承包人負擔。

四四、樁頭鋸除 打樁完畢後應遵照主管工程司之指示將樁頭一律鋸齊。

第五章 木橋工程

四五、木料截鋸 所有一切木料，須遵照圖樣之尺寸準確截鋸。

1、梁木寬度之不足，不得過十公厘，高度之不足，不得過四公厘。

2、帽木柱木每邊尺寸之不足，不得過六公厘。

3、其他木料在二十公分以上者，每邊尺寸之不足，不得過六公厘。二十公分至三十公分以下者不得過三公厘。

四六、栓釘組合 木料用螺栓聯絡者，應用與螺栓同大小之木鑽孔。其用粗釘 (drift bolt) 釘合者，應用較粗釘小三公釐之木鑽孔。所有各螺栓均須加用鋼片墊圈，其尺寸及厚度應遵照圖樣之規定或主管工程司之指示辦理。

四七、支承及接洽 木料支承及接洽之接觸面，須緊貼切合，梁木與帽木間，如有空隙時，應將帽木修整少許，不得將梁木挖鑿，組合梁每塊之接搭點，須與其他多塊之接搭點間錯。

四八、防腐塗油 木樁之下列各部須遵照主管工程司之指示或

圖樣之規定敷塗木油。塗敷之先，應清除黏土。

甲、最高水位與最低水位之間。

乙、帽木、梁木、橫梁、斜撐接合之部。

丙、鐵件及其接貼之部，與鑽孔孔內。

丁、地下水位以上 (ground water level) 木料與泥土接觸之部，倘護木油須塗敷數度時，應該前度乾透後，方可塗敷次度。

第六章 污工橋涵工程

第一 石工橋涵工程

四九、模壳裝置 模架裝置，須照主管工程司之指示辦理，其立置必須準確，不得有高低參差之處。

五〇、灰漿

(天)種類 灰漿之分類以其所用石灰膏及鬆散之洋灰與砂子之體積比例表示之，所有各種材料均須用斗量準。通常所用之灰漿計有下列數種：一：二及一：三兩種洋灰沙漿，一：一：五洋灰石灰沙漿，一：二與一：三兩種石灰沙漿，一：一：五及一：一：一暨一：一：〇、七石灰紅土沙漿 一：一五石灰紅土漿，每一公方灰漿需用材料數量詳列在本處第 S 6005 號標準圖內。

(地)調拌方法

甲、石灰沙漿或石灰紅土砂漿或石灰紅土漿之調拌 以定量之灰膏加水使成稀漿，然後以比量之沙子或比量之紅土及砂子，或比量之紅土，置於不透水之灰盤上拌和之，至顏色勻淨，稠稀適度，即可施用。

乙、洋灰沙漿之調拌 以定量之洋灰與比量砂子，置於不透水

之灰盤上拌攪勻淨後，加水拌合，至顏色勻淨，稠稀適度，即可施用。

丙、洋灰石灰沙漿之調拌 以定量洋灰與比量沙子拌和勻淨後，再取比量灰膏製成稀漿加入拌和之，至顏色勻淨，稠稀適度，即可施用。

丁、各種灰漿應用之水量 各項灰漿應用之水量由主管工程司試驗決定。

(玄)捨棄開始凝結之灰漿 灰漿調拌勻和後，須立即使用，遞送時須以不漏水漿之灰斗盛之，其有洋灰成分之灰漿若已經開始凝固，應即捨棄，不准使用，亦不得加水重拌，或撥入新製灰漿之內。此項捨棄灰漿所用之洋灰，應由承包人照第十八條規定賠償之。

五一、砌石施工通則

甲、選料 石料選擇須根據材料規範書及本規範書第二章關於石料、石灰、紅土，各條施行之。其品質，形狀，尺寸須經主管工程司查驗合格，方准使用。又所有各種方石開除後須順天然層次修琢平整。

乙、溫度限制 溫度在攝氏四度(華氏四十度)以下時非有特別規定不得砌築石工。如必須砌築時須得主管工程司之書面許可，並須除去冰雪霜塊灰漿所用之灰水並須烘熱。

丙、事前準備 石塊未砌築之先，須除去泥土灰塵及其他污穢用水，刷淨安砌之際，須灑水使石塊濕透，同時分工混合灰漿。

丁、砌築排列 砌築時石塊須互相啣接，壓縫所有企壁露面方石，除特別規定者外，其排列方法須橫砌兩石(two stretcher)縱砌一石(one header)，其餘拱石連接層方石，角石冠石均依照圖樣辦理。又所有石工須分層砌築，每層砌妥方准砌築上層。

戊、石塊之移動方法 砌築時石塊須小心安放，其位置須準確，不得零落，或拖溜於牆上，以免震動。已戎之石塊每層砌妥之後不得施以重大錘擊。每石塊用灰漿砌完，如有鬆動須將石塊抬高移去，重加灰漿，再安砌穩固。又移動時不得拖溜於底層上。

己、薄牆之砌築 明渠水管涵洞之牆壁其厚度在五十公分以下者，其丁頭石長度須直貫全牆。大小橋座之雉牆或其他部分，若牆之厚度為一公尺或小於一公尺者，其丁頭石直貫全牆。牆內部分均用方石，不用墊石。

庚、勾縫 灰漿未凝結之前，須將露面灰縫排除二公分許。俟砌築完畢，先將灰縫用水濕透，再將規定之灰漿壓滿，其露出外面之縫帶面闊約三分，厚度約半公分，俟稍乾即以直尺間條畫出縫紋，潤飾平滑。

五二、乾砌片石 砌築時須將石塊之寬面與外壁砌成垂直。石塊間之空隙以小石填塞，使之穩固。又每層須分層砌築，聯鎖緊固，其表面大致平整。又砌築護坡時，並須將接近之土夯打堅實。

五三、漿砌片石 每石塊未砌築之先，須將石塊試行安放，以測驗塊間空隙，然後滿佈規定之灰漿。其較大之空隙，須用片石藏在灰漿之內，然後將石塊安放穩固，仍有小孔隙，則以較稀之灰漿，灌注充滿。又每層須分層砌築，聯鎖緊固，不得聚在一處安砌。砌築完妥後，外壁表面須大致平整。又砌築護坡時，並須將接近之土夯打堅實。

五四、漿砌墊石 砌築時須將石塊寬面放平，妥慎鋪砌於灰泊中，灰縫厚度不得大於二公分，所有空隙，須用規定灰漿填滿，其大

空隙並須用小石塞實之，仍有小孔隙則以較稀之灰漿灌注完滿。又每層與露面方石同層砌築，並須與露面方石及墊石之間聯鎖堅固。牆背面須有五分之一以上丁頭。如係拱背墊石，須用大料石塊削就與拱石相配，依拱圈位線，逐層為翻身狀排砌之。所有砌縫其厚度不得過二十公厘。

五五、漿砌粗方石 各石塊之底面及接縫處 均須滿布規定之灰漿，所有水平砌縫及外壁砌縫厚度不得大於十五公厘，牆內之直砌縫 不得大於二十公厘，所有一切砌縫必須間錯，其分層聯鎖方法，依照前條砌石施工通則、圖樣及主管工程司之指示辦理。

五六、漿砌整方石 各石塊之底面及接縫處，均須滿布規定之灰漿。所有水平砌縫及外壁砌縫厚度不得大於一公分，牆內之直砌縫厚度不得大於一公分半，所有一切砌縫，必須間錯，其分層聯鎖方法，依照前條砌石施工通則圖樣及主管工程司之指示辦理。

五七、漿砌細方石 石塊接縫處 必須滿布規定之灰漿，石塊間之砌縫不得大於八公厘，其分層聯鎖方法依照圖樣及主管工程司之指示辦理。外壁表面凹凸之差，最大不得超過六公厘。

五八、砌拱程序 拱涵或拱橋其洞身長度在十二公尺以上者須依照主管工程司之規定，分為數節建築。每節長度約四至六公尺，中節之中心，須在路基中線以內，其餘各節，在可能範圍須與路基中線左右相稱。各節(由基礎底至拱頂)須完全隔斷，不與鄰節相聯鎖，其端面須與拱涵或拱橋軸心垂直，並用炭種灰漿塗蓋厚度二公分，塗蓋完妥，方准繼續砌築鄰拱環。石塊之砌築程序由下而上，兩邊同時砌築，每上層拱石未砌築之先，須試行安放，以測驗石縫密度，如連接

之面，尙未十分平整，須再行修琢及試放，如此往復修琢，至兩石接縫十分平整緊貼，然後將拱石翻開，再將接縫面滿布灰漿，灰漿之分布以勻薄爲主，祇將石面小凹凸處填至平正，切勿多用灰漿，至減低拱環力量，灰漿佈妥，即將拱石安砌，用木槌輕施衝撞，至接面全部密合爲度。每節砌築之時間，愈短愈佳。每砌妥一節，即行將拱模下之楔木放鬆，使拱環石塊之重量，將未凝結石灰漿壓實。拱背墊石之砌築方法與拱環石相同，砌妥後須與拱環石密合。

第二節 混凝土及鋼筋混凝土橋涵工程

五九、模壳裝置 模壳板須接緊密，其與混凝土接觸之面，必需刨製光平。模壳安放時須照圖樣將尺寸量準，不得有差異，並須妥慎支架，以保持其位置之固定與形態之齊整，必要時所有模壳支架應由主管工程司設計，交承包人遵辦。每次灌注混凝土之前，模壳板內面須用清水灑濕，必要時並須用膜子塗過，其尺寸位置須經主管工程司檢驗無誤方准灌注。

六〇、鋼筋彎置

(甲)打直及去鏽 彎曲鋼筋時，須將鐵鏽、鱗片及油漆等刷除淨盡，並須錘直，然後施工。

乙、彎曲規定 彎曲鋼筋應用冷彎，不得加熱。彎曲之半徑及兩端彎鉤之尺度，不得少於其直徑之四倍。仍須遵照圖樣及主管工程司之指示辦理。

丙、安紮及接疊 鋼筋之位置，除依照圖樣安置外，並須以二十號至二十四號之鉛絲或鐵絲紮牢，所有間距應使之準確，必要時應以預製之洋灰漿墊塊分隔之。鋼筋長度不足時，不准用火接駁，祇

准將兩根疊置，以鐵絲牢繫之，其疊置長度，如係滑面鋼筋不得少於其直徑之五十倍，如係竹節鋼筋不得少於直徑之四十倍，方鋼筋則以邊寬代徑，接疊點之位置應互相間錯，不得集於一點。必要時主管工程司得規定彎鐵分配表 (bending schedule) 及截鐵分配表 (cuttingschedule) 交承包人遵照辦理。承包人未得主管工程司之書面許可不得擅自更改。

丁、校核 鋼筋紮就後，於灌注混凝土前，應經主管工程司校核無誤，方准進行灌注工作。

六一、混凝土配合標準 洋釘混凝土之分類以其所用洋釘砂子碎石之鬆散體種表示之。所有各種材料，均須用木方斗量準，其木方斗之尺寸須經主管工程司檢驗合格，方准使用。其有石灰成分之混凝土灰石之比重應以石灰膏之體積為準，通常所用者計有下列數種：一：一：二及一：二：四暨一：三：六與一：四：八洋灰混凝土，一：二：五：十及一：三：六：十二洋灰石灰混凝土。每一公方混凝土，需用材料數量詳列在本處 S 6005 號標準圖內。

六二、石灰四合土配合標準 石灰四合土之分類，以其所用之石灰膏，紅土，砂子及碎石之鬆散體積表示之。所有各種材料均須用斗量準。其石灰之比量以灰膏之體積為準。通常所用者計有下列數種：一：一：一：四.五及一：一：〇.七：四石灰紅土沙子碎石四合土。每立公方四合土需用材料數量，詳列在 S 6005 號標準圖內。

六三、施工監督 混凝土調拌灌注時，必須請主管工程司蒞場監視，始准工作，否則主管工程司認為有疑問時，得令承包人折除重做，承包人不得違背。此項損失，並應由承包人全部負責。

六四、調拌方法 調拌混凝土或用人工或用機器，應由工程司視實地情形規定之。人工調拌之程序如下：先用木製不漏水之平盤一個或數個將洋灰及沙子用斗量度後，放入平盤乾拌，至少三次，再將已量度之碎石加入乾拌，至少三次，然後用灑水壺隨之加水反覆濕拌至少三次，至全部顏色勻透，碎石外面全蓋灰漿為止。

六五、水量規定 調拌混凝土所用之水量由主管工程司規定。

六六、捨棄開始凝結之混凝土 混凝土須隨拌隨用，如延時過久，洋灰開始凝結，即應捨棄不得使用，亦不得加水重拌，或攪入新製混凝土之內。此項捨棄混凝土所用之洋灰，應由承包人照第十八條之規定賠償。

六七、灌注混凝土 灌注混凝土前，應將模壳內木屑等物消除淨盡，若有積水，應預先抽乾，輸送混凝土方法應由主管工程司規定，灌注後，須搗固插勻，以免發現蜂窩。遇有須於水下灌注混凝土時，其灌注方法，由主管工程司規定。在混凝土未充分凝固以前，不可使水流動。

六八、灌注混凝土濕度之限制 除特別規定者外，濕度在攝氏四度（華氏四十度）以下時不得灌注混凝土。如因特殊原因必需灌注時，須得主管工程司書面許可，並須設法使灌注之混凝土，自灌注至灌注後七十二小時內，繼續保持攝氏四度以下之溫度。

六九、接槓之規定 接槓之位置由主管工程司規定。每次工作截止之處所用混凝土必須較乾，並削刮粗糙。繼續灌注時，須先將接合面用水洗淨，加敷一：三洋灰沙漿，然後繼續灌注新混凝土。

七〇、錨銼孔 墩座與鋼梁如係分開發包時，墩座上所留之錨

棧孔位置須十分準確，其建造之法係用二公分厚木板釘成箱形，六面均緊密，留在墩座上部其木料不準拆卸，其面如有孔隙，用一：二灰沙漿塗蓋，至雨水不能滲入爲度。以上工作歸墩承包人辦理。安置洋鋼梁時須先將錨栓孔之木料拆去，所有灰塵木屑等物均需清除淨盡，再用清水洗淨。其孔內灌注灰沙漿等工作，均由鋼梁包商辦理，其工料費包在安置鋼梁單價以內，不另補給。

七一、灌注後之掩護 混凝土灌注完畢後兩星期內，每日須澆水三次，使混凝土常以保持潤濕。遇必要時並須以蘆蓆麻袋等遮蓋，以免日光蒸曬及雨水侵蝕。如在冬季天冷時應用稻草妥慎蓋覆，以免冰凍。

七二、拆除模壳期限 拆除模壳之期限不得少過二十八天。其期限及程序應由主管工程司規定之。

七三、裝飾修補 混凝土折去模壳板後不得塗飾沙漿。所有一切修補工作須經主管工程司檢驗後方得施工，遇有施行表面修飾之必要時須先得主管工程司之准許。

七四、水管之製造及安裝 皺紋鐵水管之安裝應遵照圖樣之規定及主管工程司之指示辦理。鋼筋混凝土水管之製造應參照本規範書關於鋼筋及洋灰混凝土各條之規定辦理。水管內徑之差，不得過百分之二，其厚薄之差，不得過百分之五。凡因施工不慎所損壞之水管及洋灰承包人應照第十八條之規定賠償。安置水管之法應照圖樣及主管工程司之指示施行。水管之節縫，須極準確，並須用一：二之洋灰填塞堅實。

第三節 防水層及洩水管

七五、防水層之部位 防水層之部位須按照圖樣及主管工程司之規定辦理。

七六、洋灰沙漿防水層 溫度在攝氏四度（華氏 40 度）以下時不准塗施洋灰沙漿防水層。凡應塗施規定之洋灰沙漿一層，並用淨洋灰漿將表面修平，在塗施防水層後二星期內，每日須澆水三次並以蘆蓆或蓆袋蓋覆之。

七七、油氈防水層 溫度在攝氏十度（華氏 50 度）以下時不准塗刷油氈防水層。敷設油氈防水層以前須將混凝土表面洗刷淨盡。若係石工，須預塗一：三洋灰沙漿一層，厚約三公分，俟沙漿凝固，然後敷施。敷施度數及方法應照圖樣及主管工程司之指示辦理。

七八、洩水管 洩水管之位置及構造均須遵照圖樣之規定及主管工程司之指示辦理。

第七章 鋼橋工程

第一節 鋼橋工程之範圍

七九、鋼橋工程概要 所有一切鋼件配製，均按照部定規範在國內或國外製造。本工程之範圍包括自昆明起運，就地裝置鑄合，或在昆明鑄合，送達橋址安裝及附帶之油漆工作。

第二節 裝運

八〇、裝運及起卸 裝運時所有易致變損各部應設法保護，一切鋼件之起卸須特別小心，不得拋擲，致受損傷，若有損壞，須由承包人賠償新件，或按第十八條之規定賠償。

八一、支架建置 支架建置應遵主管工程司之指示辦理。必要時本處得令承包人繪支架圖樣及應力計算書，呈請主管工程司核准

後方准施工。

八二、架組方法 鋼橋架組方法及一切設備，均須得主管工程司之同意後方准施工。

八三、起重規定 鋼件起吊及放置須特別小心，不得使其因撓曲而受損壞。

八四、鋼橋架組 鋼橋於架組前，將所有各接觸面外刮刮潔淨，然後依照本規範書第四八條之規定塗以紅丹油，再按照圖樣準確聯結。每聯結點所用螺層之數至少應為所需鋼釘之半。組合後不得施用過重錘擊，除由懸臂法架組者外，應以木塊將底梁支托，使獲得規定之拱度(camber)。

八五、鋼橋鋼合 鋼橋架組完竣後，須經主管工程司檢驗無誤方准鋼合。

甲、鋼合方法及工作規定 鋼橋之鋼合，應用氣壓鋼合機，不得已時經主管工程司之許可得用人工鋼合。燒鋼釘時，應以鋼釘全部燒呈淡櫻紅色為度，不得過度或不及，然後敲去鱗片，立即遞送。所有各鋼釘工人須技術優良，動作嫺熟，主管工程司得隨時責令撤換劣等工匠，承包人須即遵辦。

乙、鋼合程序 鋼合之程序，應以接梁及肢桿之接合點居先，俟此項接合點鋼合竣事，然後將各支墊木塊除去，僅留兩端支墊，再行接合壓梁之接合點，其他各部鋼合之程序，由主管工程司規定。

八六、鬆動鋼釘之拆除 鋼就之鋼釘，如有鬆動，或其他缺點，應即拆除重鋼，拆除鬆動鋼釘時應格外小心勿使傷及鄰近鋼件，或搖動完好鋼釘。遇必要時應以鑽孔器鑽去之。

橋座橋墩不平 裝置鋼梁時，橋座橋墩有不平之處須將該不平之處整平，不得加塗薄漿，或變更鋼梁一部尺寸。

第四節 油漆

八七、油漆時氣候之限制 溫度在攝氏四度(華氏四十度)以下或空氣十分潮濕，或天將下雨時，均不得油漆。溫度在攝氏三十五度(華氏九十五度)以上時亦不許油漆。

八八、油漆工作 鋼橋綁合完竣後須將鋼料各面刮潔淨，然後遵照本規範書第二八條之規定及主管工程司之指示，塗刷油漆，油漆之度數，照圖件之規定辦理。塗油時應均勻刷布，第一度乾透之後，然後再塗次度，每度塗完後，須經主管工程司之檢查，如主管工程司認為未完善時須刮去重油。

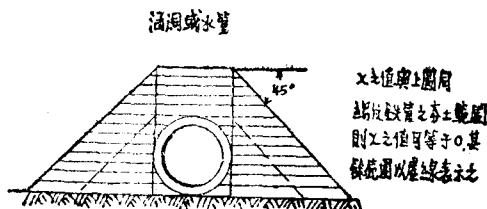
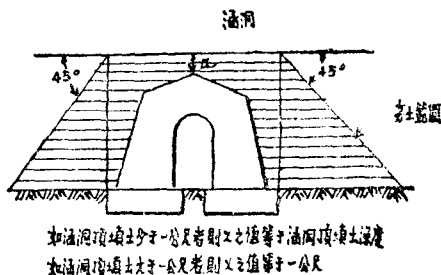
第八章 回填路堤填土及拱頂填石

八九、回填 石工砌築工作須砌築二十八天後灰漿凝結及經主管工程司之書面許可方准作基礎前後之回填。所填之土必須夯實，但漿砌石工因回填不慎致有鬆動應立即拆除，用新灰漿重砌，所有一切損失均由承包人負擔。回填之範圍以還復原有地形或主管工程司指定之形狀為度。此項回填工作由橋涵承包人負責辦理，並不另與給價。

九〇、路堤填高 橋台填土及涵洞與水管頂面路堤之填方通常應由土石方承包人承造，惟主管工程司認為必要時得提出一或全部交由橋涵工程承包人築造。

(天)水管涵洞附近與頂面之填土。

甲、填築範圍 填築範圍如下圖：



乙、填築方法 涵洞及拱橋週圍及頂部填土須俟全部工程完竣後最少二十八天，及俟培工凝固，並得主管工程司之許可，方准開始填築。填築時須用有黏性之土，惟所用土石仍須先由主管工程司鑑定，施工時須先將大塊之土打碎，然後分層填築，每層厚三公寸，用水澆濕勻透層層亦打堅實，涵洞須俟兩側同時填築至拱高三分之二，始可填築頂部，其夯土範圍依照右圖辦理，其餘可不用夯實。

(地)橋台填土

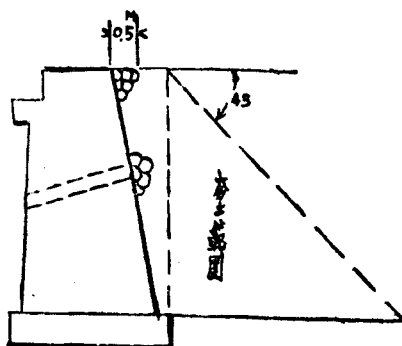
甲、普通工程 橋台填土須俟全部工程完竣後，最少二十八天，及俟培工凝固，並得主管工程司之許可，方准開始填築，乾砌翼牆後之填土得與石工同時進行。

乙、橋台之碎石洩水層 橋台製磗牆後面半公尺內，須由土石

方承包人用碎石填築堅實，高至與牆頂相齊 以利洩水，此項填石工作，應與填土同時進行。

丙、橋台填土之方法及範圍 橋台填土須用有黏性之土，惟所用土石仍須先由主管工程司鑑定，施工時須先將大塊之土打碎，然後分層填築，每層厚三公寸，用水澆水濕勻透，層層夯打堅實。此項堅實填土之範圍，除主管工程司另有規定者外，應照下圖辦理，其餘土石方可不用夯實。

九一、拱頂填石（拱頂填築石片，須分層鋪砌，不得任意填放。接近拱背十五公分內應以小卵石或砂子碎石鋪蓋一層，然後砌片石。



明渠填土範圍與橋座同

第九章 估價及計算

九二、基礎挖鑿之給價數量

甲、涵洞基礎挖鑿 涵洞基礎挖土，以涵洞基礎外邊起計，外加一比一斜坡，基礎寬度、坡頂原有地面線與實施挖土深度合成一橫

斷面，挖土容積係用平均斷面積乘長度計算（average end area method）。在地形變更之處均測一橫斷面以便計算容積。

乙、橋梁基礎挖鑿 大小橋座或橋墩基礎挖工係用基礎平面之長寬度各加一公尺以求挖土面積，此面積乘實施挖土平均深度即得給價容積，其餘多挖部分，概不給價。大小橋梁之橋座或橋墩基礎鑿石，以基礎平均面積乘實施挖鑿平均深度計算。大小地基如用板樁或沉箱法施工者，其挖鑿容積應按板樁或沉箱內之最大平面積乘實施挖鑿平均深度計算。

九三、基礎挖鑿單價之計算 基礎挖鑿之給價數量依照主管工程司實測之結果分為土質、鬆石、堅石，均按基礎挖土、鑿鬆石、鑿堅石單價分別計算之。

九四、板樁及沉箱之給價 木板樁或鋼鐵樁之給價按照承包人所 用木料實用體積，及鐵件實有重量或鋼板樁之圖樣重量計算給價；沉箱之給價按照圖樣所用木料容積鐵件重量或混凝土之圖樣體積分別計算給價。

九五、基礎打樁之給價 基礎打樁之給價，按照實施打妥之樁木，經主管工程司認為合格者計算給價。其計算方法係以每樁入土總深度六長四銷，計至公寸為止，其給價辦法，係根據單價表內最近單價比例計算。又樁及配件由本處供給，其往返運費，均包在單價內；惟運輸路程每次以十五公里為限，如超過此數，則每百公斤每公里補給運費六分。樁架依照單價給價，由承 包人代造，用畢仍歸本處所有。絞車由本處供給，如因故不能辦到，則承 包人須行設法替代，不補給料費。如須接樁，則打樁工價，係以接駁完妥後，木樁入土總

深度計算。惟接樁工值不另補給，接樁材料，樁尖樁、箍及樁頂架之滑車由承攬人備價向本處購用。

九六、木橋工程之給價 木橋工程之給價，按照已完成橋梁、橋梁上實用木料之體積計算給價。工值則依照單價表，分為每座橋座及每公尺木梁分別比例計算給價。鐵件由本處發給。

九七、圬工之給價

甲、乾砌片石、漿砌片石、漿砌礮石以砌築完妥後，按竣工圖實立方公尺計算。

乙、漿砌粗方石或整方石或細方石以砌築完妥後按竣工圖實立方公尺計算。

丙、其面用漿砌粗方石或整方石或細方石，而內部用漿砌礮石或片石者，方石體積係用三公寸半，水平面之平均厚度，乘垂直高度計算，其餘犬牙相錯部分，均作為漿砌礮石或漿砌片石，按竣工圖實立方計算。

丁、欄牆冠石及翼牆冠石之橫斷面作長方形計算，為美觀而鑿去之缺角面積概不扣除。惟翼牆冠石之梭坡石，其橫斷面作為與冠石相等，凸出部分仍作為相連部分之漿砌粗方石，按竣工圖實立方計算。

戊、混凝土 鋼筋混凝土及石灰四合土，以建築完妥後，按竣工圖實立方計算。

九八、避人台之給價 按照圖樣所用木料及圬工之體積或鋼料之重量計算給價。

九九、防水層之給價 防水層之給價依照圖樣分為洋灰沙漿防

水層及油氈防水層，各以所佔面積，按照規定之單價計算之。

一〇〇、鋼橋材料之給價 鋼橋材料之給價數量，應按鋼橋鑄合後之圖樣重量公噸數計算。

一〇一、鋼橋工值之給價 包括裝卸架組鑄合及油漆以鑄合後每噸圖樣重量公噸數計算。

一〇二、混凝土水管及皺紋鋼管工程之給價，應以水層之長短大小，各按規定單價計算給價。

一〇三、抽水築壩之給價 凡用板樁及沉箱方法施工之基礎，應以全部橋工為單位。規定抽水之總價，如用其他方法施工時，應視工程之需要，以全部橋工為單位，規定抽水築壩之總價。又除抽水機由本處供給外，所有一切因抽水防水而使用之工料用費均包括在內。

一〇四、路堤填土之給價 水管涵洞附近及頂面之特別填土與橋台填土按照特別填土之單價，計算給價。洩水層之填土工作，除另有規定者外，亦按特別填土單價給價。

一〇五、不給價之工作 除上列規定各項給價之工作數量外，所有增添樁概，運送堆放土石橋基，回填搬運材料，裝拆模壳支架，試樁及木樁之荷重試驗，防腐塗油、勾縫、設置滲水孔及洩水管，防止結冰，保持溫度，保固期內之修理，及其他一切附帶工作，均包括在有關各項單價內，不另給價。

一〇六、移置砂石及工程材料 基礎挖鑿所開出之石塊、砂子及其他工程材料，工程司認為有用時，得令承包人運至指定地點堆存，是項運程如超過一百公尺，得由主管工程司呈請本處發給遠運費。

一〇七、移用砂石之計價 前條規定之工程材料，及路基挖鑿

所得之石塊等材料，主管工程司認為必要時，或承包人商得主管工程司之許可後，得移為承包人工程材料之用，其單價除另有規定者外應參照投標單價分別扣除。

中英名詞對照表

Ahutment	橋台	Corrugated iron	綫紋鐵
Acres	畝	Cradle	座床
Area of waterway	水道面積	Crown	拱頂
Angle of friction	摩擦角	Cross-section	橫斷面
Angle of repose	靜止角	Culvert	涵洞
Arch	拱	Dead load	死重
Back(arch)	外拱面	Discharge	流卸量
Ballast	道渣	Drainage arer	流域面積
Beam	梁	Earth work	土工
Bending moment	撓曲方矩	Elastic theory	彈性原理
Boring	鑽鑿	Electric arc welding	電弧焊接
Brick	磚	Embankment	路堤
Cantiliver	懸梁	Equilibrium	平衡狀態
Cast iron	鑄鐵	Equivalent load	等價重
Cement	水泥	Extrados	外拱總
Centemeter	公分	Five centered basket handle arch	
Clay	黏土		五心籃柄拱
Coefficient	係數	Fixed arch	無鉸拱
Cohesion	粘着力	Foot	呎
Concentrated load	集中載重	Footing	基脚
Concrete	混凝土	Foundation	基礎
Covered type culvert	暗渠	Formula	公式

Friction	摩擦力	Open type culvert	開渠·明渠
Funicular polygon	索狀多角形	Opposite wedge	塞楔
Gas welding	瓦斯焊接	Out let	出口
Granite	花崗石	O erflowing embankment	漫水路堤
Haunch	拱腰	Parabola	拋物線
Head wall	端壁	Pile	樁
Hectare	公頃	Pressure	壓力
Highway	公路	Poring	鑿孔
Hose	布管	Potential energy	位能
Hydraulic radius	水力半徑	Pound	磅
Impact	衝擊力	Radius	半徑
Inch	吋	Railway	鐵道
Interpolation	插算	Rainforced concrete	鋼筋混凝土
Intrados	內拱線	Reaction	反力
Kilogram	公斤	Reduced load countour	等荷重曲線
Lap joint	疊接	Rectangular coordinate	方形座標
Lime stone	石灰石	Rise	拱矢
Line of r sistance	抵抗線	Roller	踏滾
Line of thrusts	推力線	Run-off	流量
Live load	活重	Shear'	剪力
Load	荷重·載重	Silt	粉沙
Meter	公尺	Sipgot	栓部
Moment	力矩	Siphon	虹吸管
Mortar	沙漿	Skewback	起拱面
Mud	泥	Slate	泥板巖
Oak	櫟	Slop	坡度

Soft lam	腰肥土		三心籃柄拱
Span	跨徑	Three hinged arch	三鉸拱
Spondral	拱腹	Tile pipe	陶管
Springing line	起拱線	Two hinged arch	兩鉸拱
Stability	安定	Uniform load	均佈載重
Steel	鋼鐵	Web	腰部
Stress	應力	Wetted perimeter	濕周
Surcharge	外加載重	Wetted section	濕斷面
Tension	拉力	Wing wall	翼墻
Test pit	試驗坑	Yellow pin	黃松
Three centered basket-handle arch			

參考資料索引

- Hool: Reinforced Concrete Construction Vol. III.
- Ketchum: The Design of Highway Bridges of Steel, Timber, and Concrete.
- Agg: Construction of Roads and Pavements.
- Webb: Railroad Construction.
- Kirkham: Highway Bridge.
- Waddell: Bridge Engineering.
- Williams: The Design of Masonry Structures and Foundations.
- Blauchard and Drowne: Highway Engineering.
- 趙福靈: 鋼筋混凝土理論
- 夏堅白, 陳永齡: 養路工程學
- 楊哲明: 橋梁工程學
- 杭江鐵路局: 杭江鐵路工程紀錄
- 隴海路西寶段工程局: 隴海路西寶段工程紀錄
- 粵漢路株韶段工程局: 工程紀載彙刊
- 永田年: 鋼筋混凝土設計法 (日文)
- 平山復 即磯崎: 土木施工法 (日文)
- 日本工學手冊編纂會: 土木工學手冊
- 國內各鐵路及公路設計標準圖