

國立中央圖書館台灣分館



3 1111 003681754

國立臺灣圖書館典藏
由國家圖書館數位化

涵洞工程

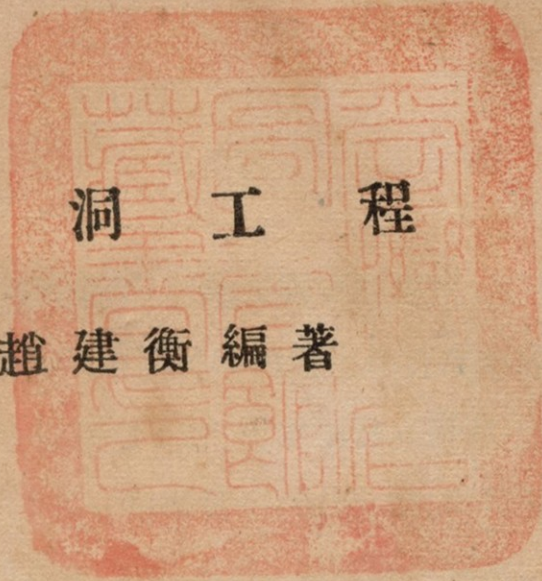
趙建衡 編著

正中書局印行

37

涵 洞 工 程

趙 建 衡 編 著



正 中 書 局 印 行

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

625-013
 (68)

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
3.15 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

4.21 鋼筋混凝土管及混凝土管之接合 106

4.22 混凝土及鋼筋混凝土管之模型 108

4.23 沙漿管及鋼筋沙漿管 111

4.24 不受水壓力之鋼筋混凝土管設計之例題 111

4.25 受水壓之鋼筋混凝土管設計例題 118

4.26 各種管涵洞之比較 120

4.27 管涵洞之端壁 121

4.28 垂直端壁之一例 121

4.29 U形張口端壁之一例 124

4.30 45°張口翼壁之一例 124

4.31 鑄鐵管之涵洞端壁 124

4.32 鋼筋混凝土端壁 125

4.33 虹吸管涵洞 126

4.34 虹吸管之設計 128

第五章 梁涵洞 131—154

5.1 概說 131

5.2 梁涵洞原理 131

5.3 枕木涵洞 131

5.4 木梁涵洞 131

5.5 鋼軌涵洞 133

5.6 石梁涵洞 135

5.7 鋼梁涵洞 139

5.8 鋼筋混凝土梁涵洞 141

7.3	框形涵洞之近似解法	...	...	...	...	...	...	...	197
7.4	鋼筋混凝土框形涵洞設計	...	...	...	...	...	...	...	197
7.5	道路框形涵洞設計例題	...	...	...	...	...	...	...	198
7.6	鐵道上所用鋼筋混凝土框形涵洞例	...	...	...	...	...	...	...	205
7.7	混凝土箱形涵洞	...	...	...	...	...	...	...	208
7.8	箱形涵洞之模	...	...	...	...	...	...	...	208
7.9	結論	...	...	...	...	...	...	...	208
第八章 涵洞之估價									214—220
8.1	全路或某段之概算	...	...	...	...	...	...	...	214
8.2	每個涵洞之預算	...	...	...	...	...	...	...	214
8.3	涵洞之經濟	...	...	...	...	...	...	...	217
第九章 總結論									221—223
9.1	各種涵洞之比較	...	...	...	...	...	...	...	221
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									226
附錄二 交通部公路總管理處公路橋梁涵洞施工細則草案									237
附錄三 交通部滇緬鐵路西段工程處橋涵工程規範書									256
中英名詞對照表									287
參考資料索引									290

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，多於特殊情形時用之，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，坡度當係下降，但不可超過 5‰。

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。

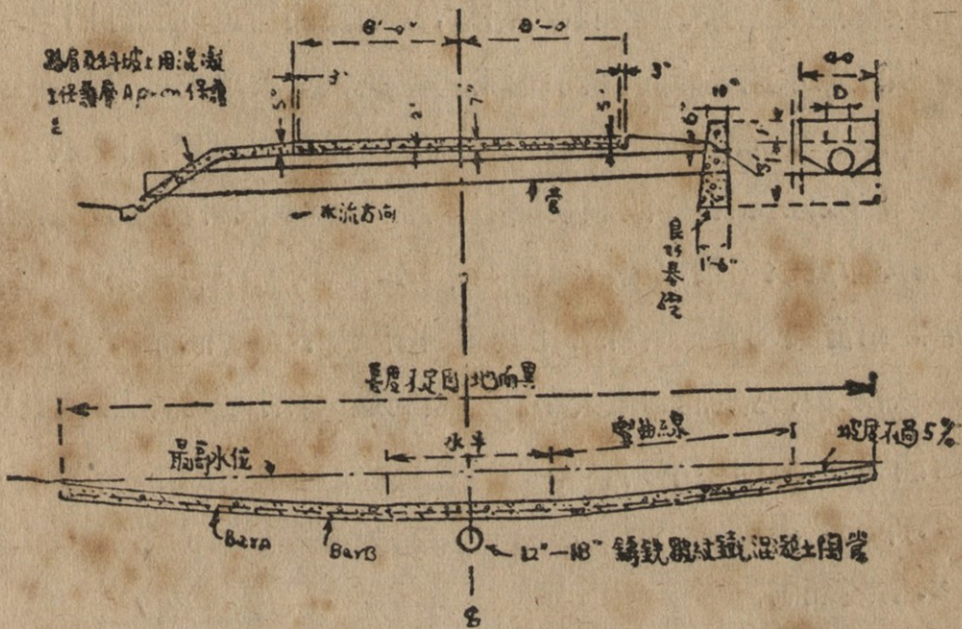
d. 以構造原理分類：

- (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 3/8"				
	比例	Cu Yd per lin R	Total Cu Yd	Bars	根	長	重lb
鋪面	1:2:3	0.296	11.8	A	13	39'-9"	248
保護層	1:2:3	0.144	6.0	B	33	15'-6"	246
土端	1:2:5	0.173	0.7	Total			494
口管	28 Linear Feet						

註：表中所列者
長度為40呎

U.S. OFFICE OF PUBLIC ROADS
TYPICAL CONCRETE DIP

1.1圖 堤路涵洞

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，河道工程經過堤土之涵洞，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，即為最大雨量。

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。霪雨一降，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 $c=1$ ，則一方呎之涵洞僅宣洩由一畝之水；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：

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

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 爲係數;其值大略如下表:

1.2 表 得爾鮑特公式 c 值表

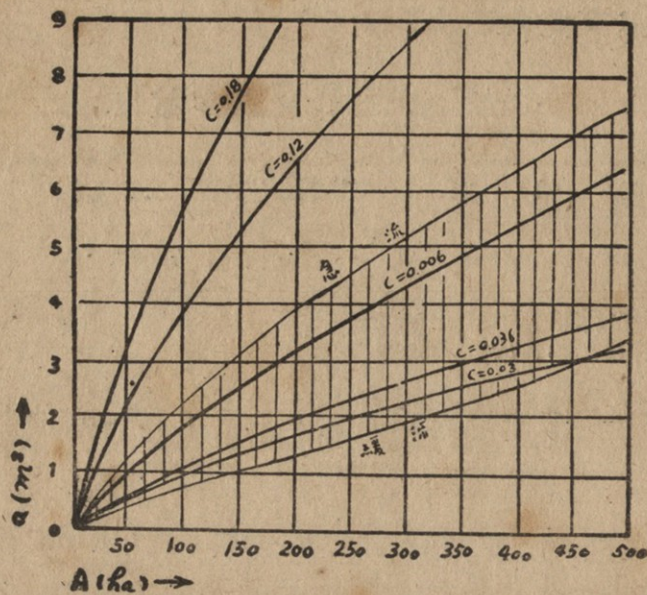
地 勢 情 形	英制 c 值	公制 c 值	附 註
峻峭巖石之地	$\frac{2}{3} - 1$	0.12 - 0.18	
在有起伏之繁殖地受雪溶解之洪流而其谷長三四倍於其寬者	$\frac{1}{3}$	0.06	如溪流愈長則 C 之值更可減少
與積雪無關之地而其谷長爲寬之數倍	$\frac{1}{5} - \frac{1}{6}$	0.030 - 0.033	

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爲 $c \times 31.8$,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,似較梅爾式爲準確。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 大小。



公制確定涵洞水道圖表

1.3 表 得爾鮑特 公式計算表

面積 (噸)	水道面積			面積 (噸)	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	15.9	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	33.0	12.00	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	240	61.0	20.0	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 涵洞計畫之影響 涵洞宣洩效力之大小，常視計畫之精密與否為定，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) 涵洞接水面粗滑之關係，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，依接水面之粗糙而定。

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，當用管洞涵。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

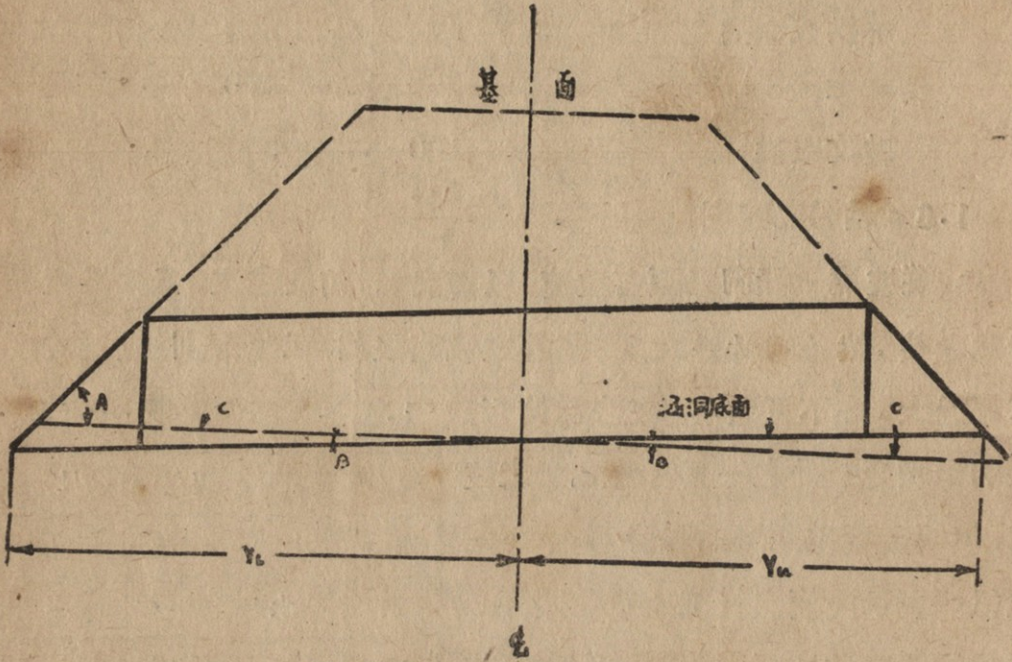
底部狀態	呎/秒	公尺/秒
飽和水分土壤	0.4	0.13
黏土	0.6	0.2
砂粒	1.2	0.4
砂石	2.4	0.8
石塊	4.0	1.3
鬆巖石	6.0	2.0
堅巖石	12.0	4.0

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

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

b. 橫坡度 涵洞因排水之關係，不使水集於洞頂，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

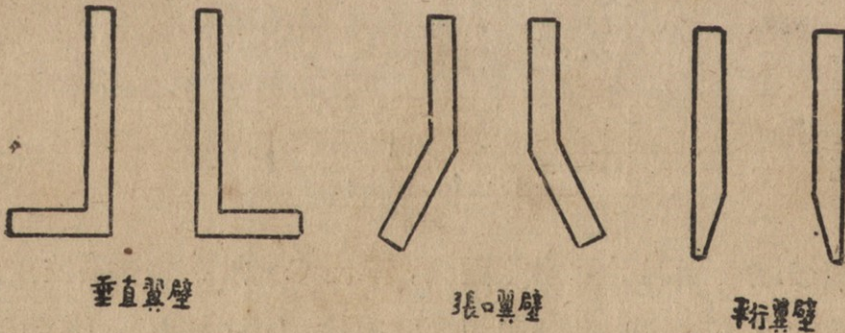
形涵洞之頂板，往往必須有 $1/20$ 至 $1/40$ 之傾斜，使排水便利，有時表面且敷以防水層。



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 K₁₈ 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。

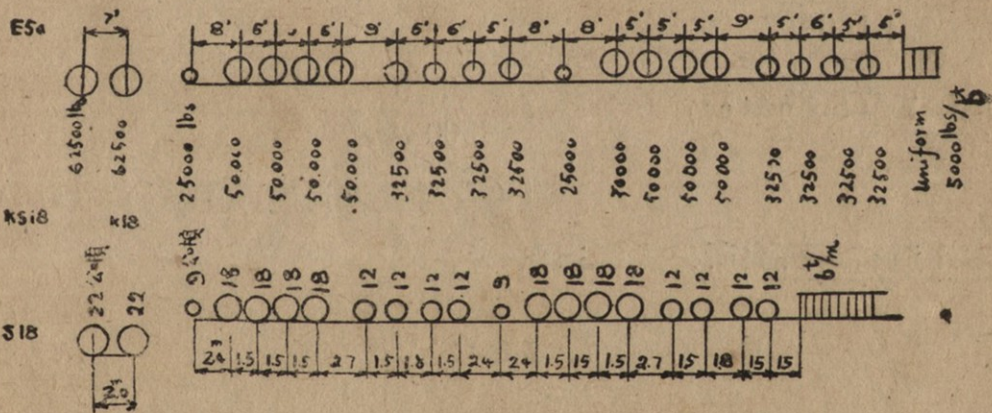


圖 古柏氏載重

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 _s 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 _s 18	9,000	18,000	12,000	6,000	22,000
K _s 16	8,000	16,000	10,600	5,300	19,500
K _s 15	7,500	15,000	10,000	5,000	18,300
K _s 12	6,000	12,000	8,000	4,000	14,500
K _s 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	2,40
鋼鐵	490	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	135	2,600
沙巖	140	2,250
沙漿	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	600 公斤/公尺

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

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

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

2. 道路活重之衝擊力

普通採 30% 且最大不過 30%

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

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

則
$$I = \frac{15}{L+38}$$
 (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。探察基礎者不可不慎也，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：本表根據粵漢鐵路標準

2.2 表 泥土安全承載力(英制)

地 土 種 類	安全載重能力(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
乾淨之鬆沙	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：

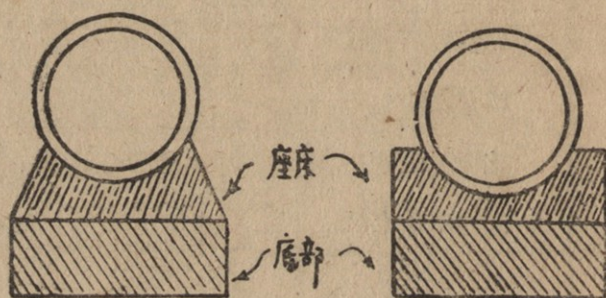
- a. 擴大基腳本身；
- b. 石及混凝土基礎；
- c. 廢鋼基礎；
- d. 打樁基礎；
- e. 沈床基礎；
- f. 鑄鐵管中心加高；
- g. 改換河流。

b. 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. 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。

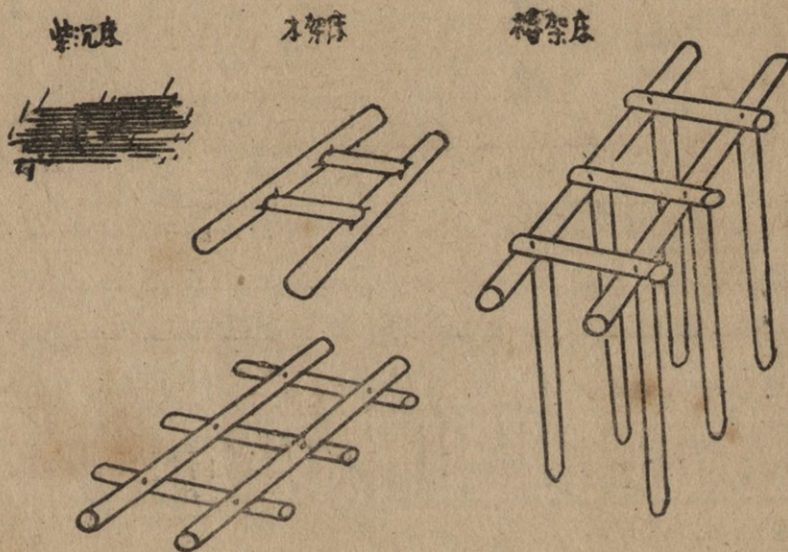
2.7 廢鋼基礎 在整個地質薄弱之地，以鐵軌或其他壓延鋼鋪成基礎層，在鐵道上常用之。因抽換之鐵軌，已失其價值，正宜廢物利用也。或與混凝土結成廢鋼混凝土則結果尤佳。在梁涵洞上可用以擴大基礎，管涵洞等可用以抵抗縱力矩。

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。基樁之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 在路基軟弱之地，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。



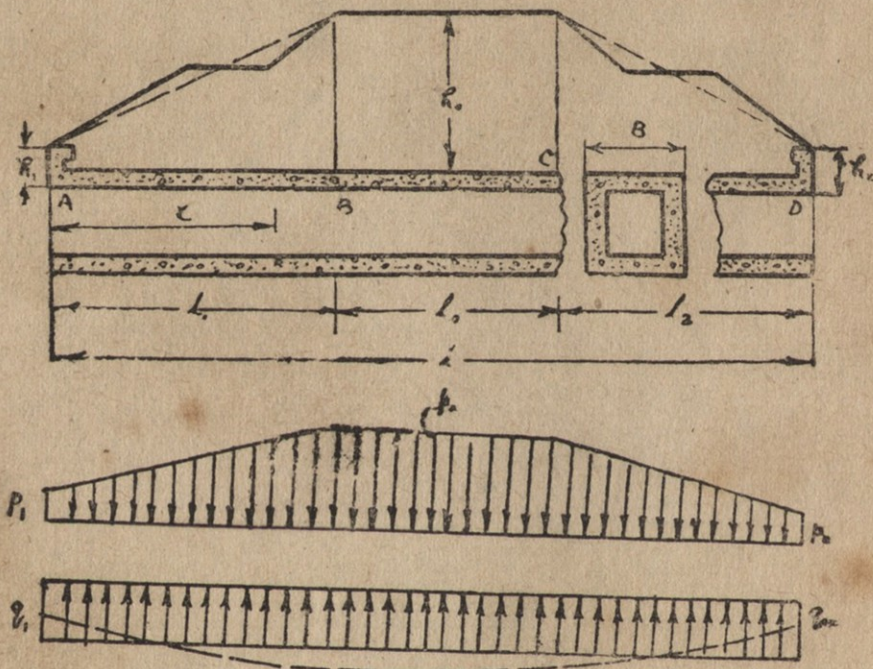
2.2 圖 沈床基礎

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

$$(q_1 + q_2)l = p_1 l_1 + p_0(l + l_0) + p_2 l_2.$$

$$(2q_1 + q_2)l^2 = p_1 l_1(2l - l_1) + p_0[3l_0(l + l_2) + (l_1 + l)(l_1 + 2l_2)] + p_2 l_2^2$$

設對稱時若 $p_1 = p_2, l_1 = l_2$,

$$q_1 = q_2 = \frac{p_1 l_1}{l} + \frac{p_0(l_1 + l_0)}{l} \quad (2.1)$$

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, $l_1 \leq x \leq (l_1 + l_0)$,

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

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 ,

$$\begin{aligned} M &= -\frac{p_0l_1^2}{6} + \frac{p_0l_1}{4} - \frac{(p_0 - p_0 + p_0l_1)l}{8} \\ &= -\frac{p_0l_1}{24} (4l_1 - 3l) \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$p_0 = wH'B$$

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：

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

$$B = - (p_0 - q_1)$$

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

$$H = -\frac{3l_1}{l}(q_2 - q_1)(p_0 - p_1)(p_0 - q_1) + 2(p_0 - q_1)^3 \\ + \frac{l_1^2}{l_2}(q_2 - q_1)^2(p_0 - p_1)$$

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

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

CD 段, $(l_1 + l_0) \leq x \leq l$,

$$M = -\frac{(l-x)^2}{2}(p_2 - q_2) - \frac{(l-x)^3}{6} \left[\frac{p_0 - p_2}{l_2} - \frac{q_1 - q_2}{l} \right] \quad (2.7)$$

$$\text{在 } C \text{ 點} \quad M_C = -\frac{l_2}{2}(p - q) - \frac{l_2^3}{6} \left[\frac{p_0 - p_2}{l_2} - \frac{q_1 - q}{l} \right] \quad (2.7a)$$

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

c. 剪力求法

在 AB 之間 $0 \leq x \leq l_1$

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

在 A 點 $S_A = 0$

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

在 BC 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

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

在 D 點 $S_D = 0$

此種應力之計算，可應用於中空之樞形涵洞、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

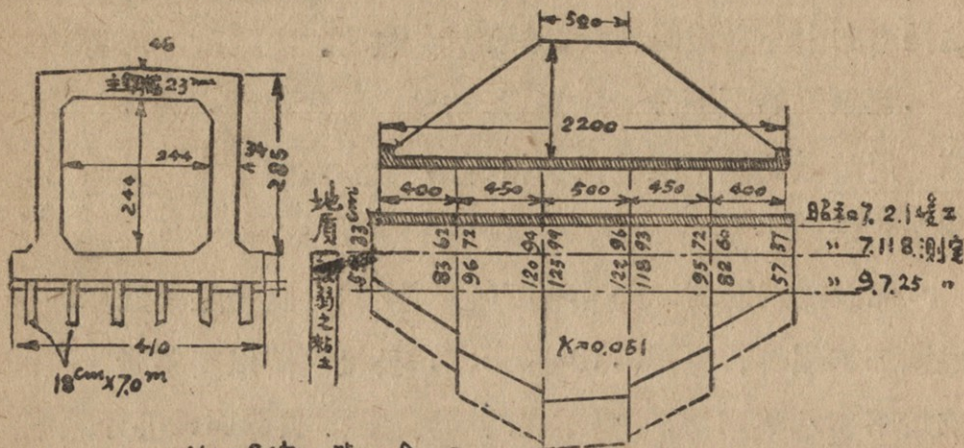
(3) 最大撓曲力矩公式 用 2.4a 式 (假設為對稱式以中點為最大)。

I 無縱筋之配置例

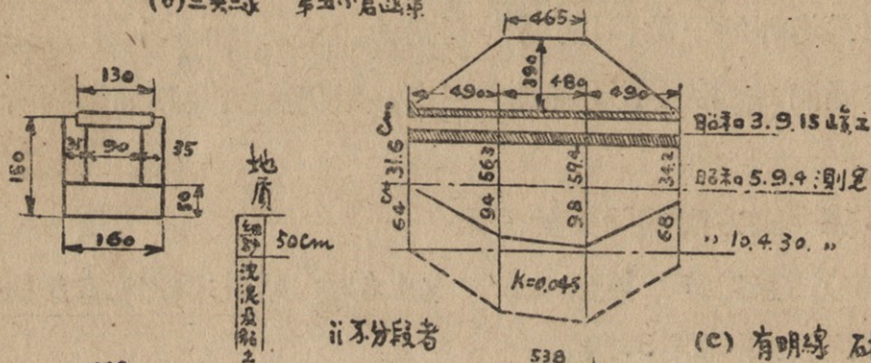
i 有分段之建築

K 沈下率 (kg/cm²km)

1a. 面此勢線等 = 尾崎涵渠

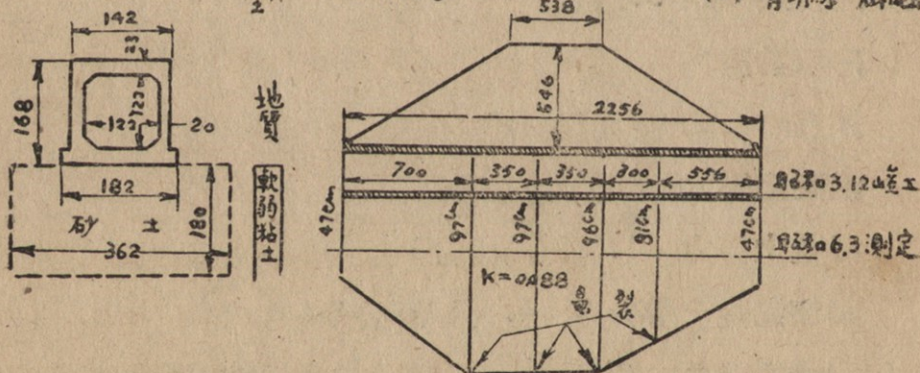


(b) 三吳線 第五小倉涵渠



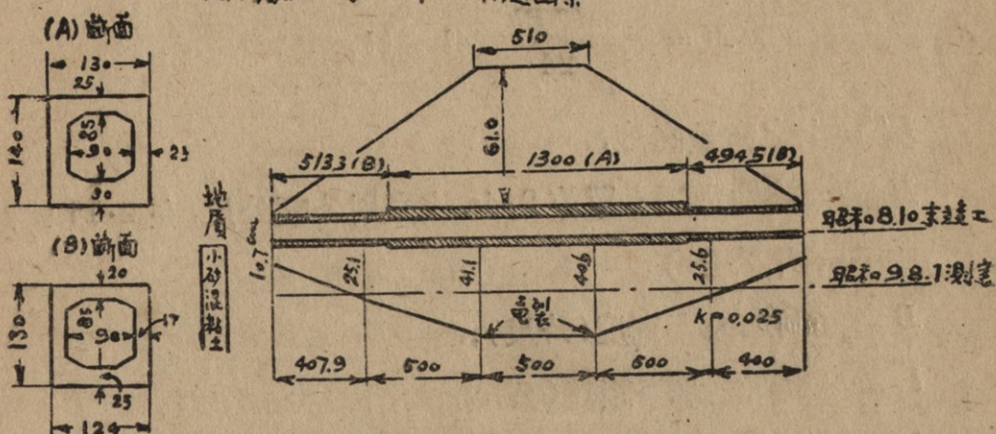
ii 不分段者

(c) 有明線 石松涵渠



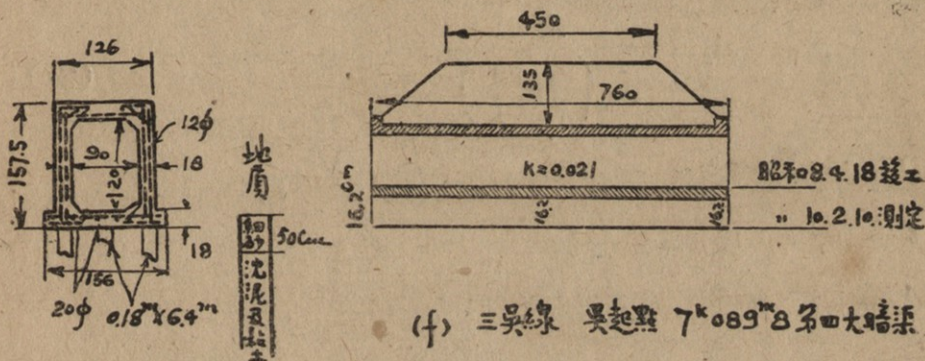
2.4 圖 a 日本涵洞下洗實例

(a) 福知山線 700m 附近函渠

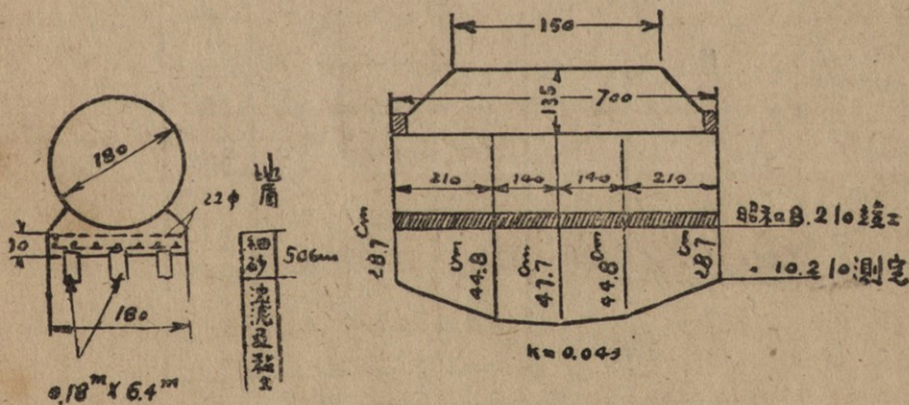


II 有縱鋼筋之配置例

(e) 三吳線 吳起點 7^k594^m4 函渠



(f) 三吳線 吳起點 7^k089^m8 第四大暗渠



2.4 圖 b 日本涵洞下洗實例

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

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).

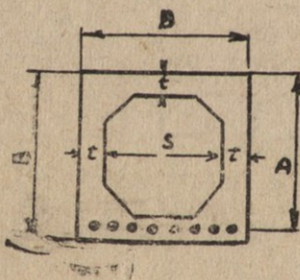
(4) 求縱方向鋼筋量

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

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	1.5 ^{cm}	1.25 ^m
1.5	1.9	20	1.85
2.0	2.5	25	2.45
2.5	3.1	3.0	3.05
3.0	3.7	3.5	3.65

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)。

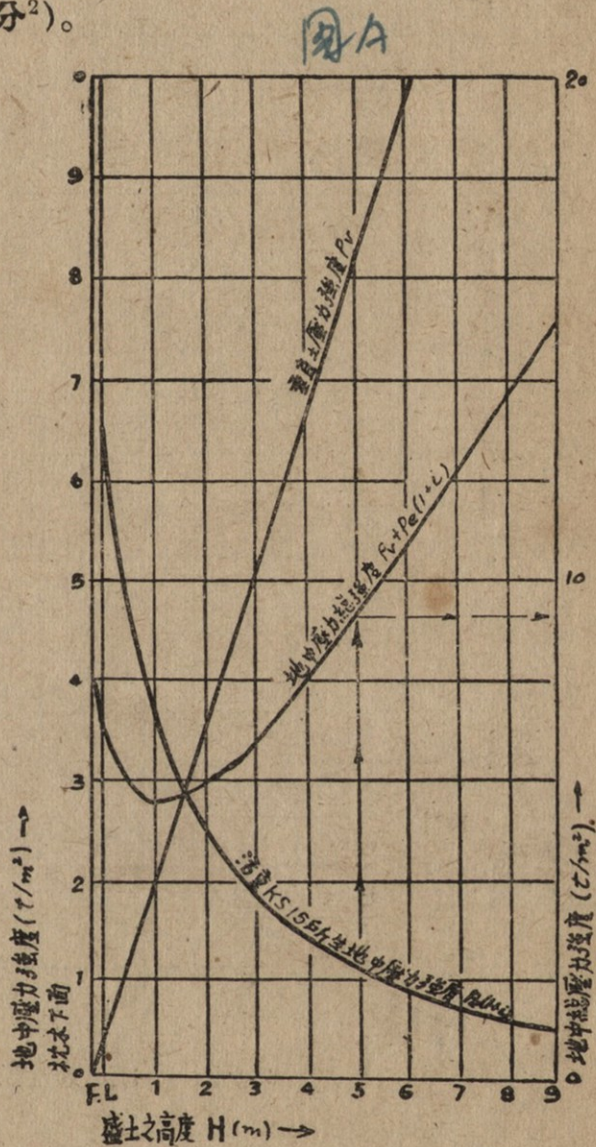
(6) 設計圖表 由以上公式製成圖表如下,其適用之範圍為 2.5 圖所列之標準涵洞。

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。

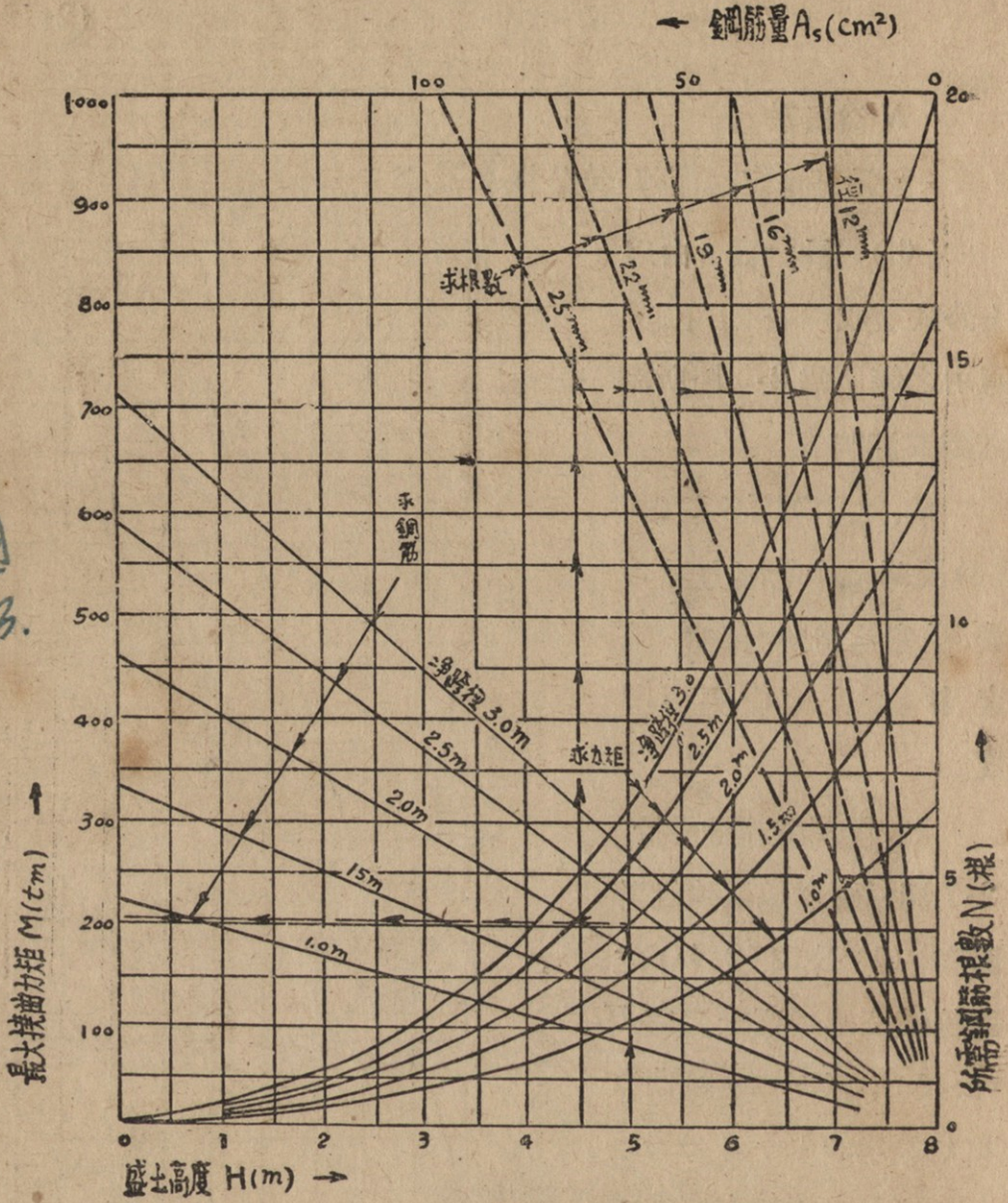
乙. 縱鋼筋補強設計

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

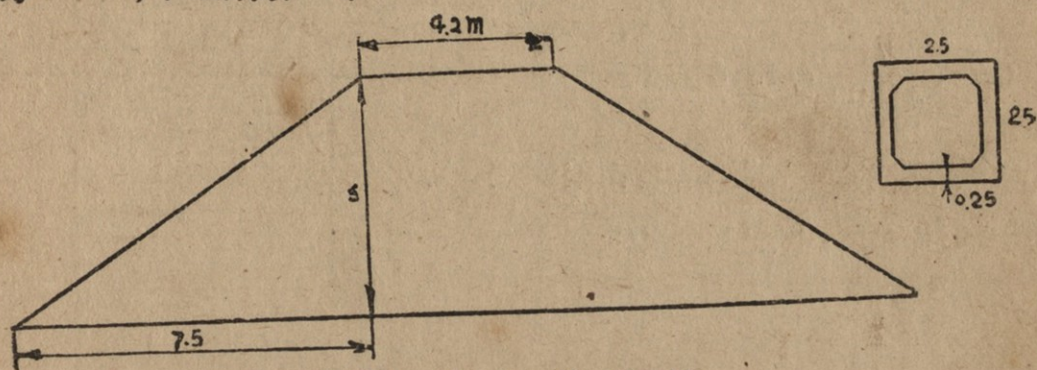
圖 3.



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 $K_0.15$ 。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

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

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

抄.

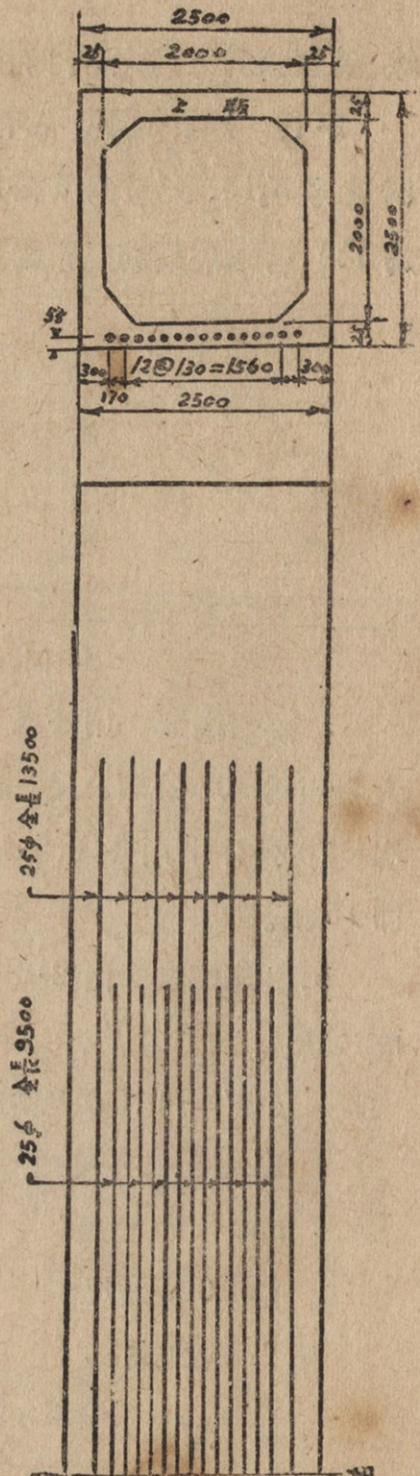
用 2.11 式

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

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)

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

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,

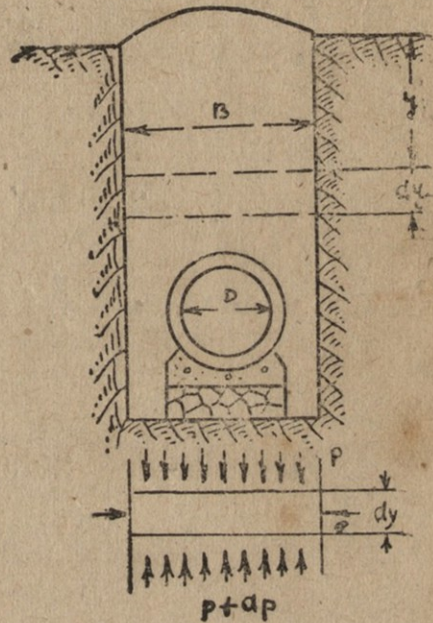
ψ = 土砂之靜止角,

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 $(p+dp)B + Kp \tan \psi' \cdot 2dy + f2dy$

$$\therefore pB + wBdy - (p+dp)B - k p \tan \psi' \cdot 2dy - f2dy = 0$$

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

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

決定 c 之值, 設 $y=0, p=0$ 。則

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

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

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

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

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

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 0 為原點 $0x, 0y$ 為方形座標之軸。則

$$x = ay^2$$

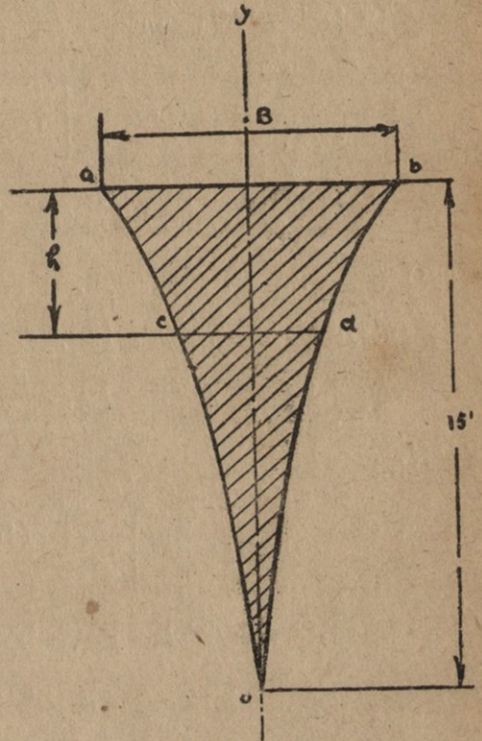
今以 y 為 15 呎, B 為 $\frac{1}{2}x$ 代入

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

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

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

$$abcd = 2 \int x dy = 2 \int \frac{B}{2 \times 15^2} y^2 dy$$

$$= \frac{B}{15^2} \int_{15-h}^{15} y^2 dy = \frac{B}{3} \left[15 - \frac{(15-h)^3}{15^2} \right]$$

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)	111,	210,	293,	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 克青公式 克青公式 (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:

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

若 $\mu = \mu'$

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

$$q = plb$$

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,

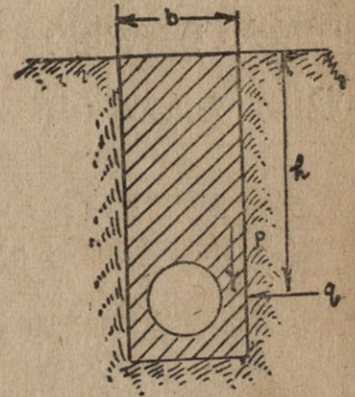
ψ = 泥土靜止角,

ψ' = 墊土與溝旁之摩擦角,

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

(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: $\psi = \psi' = 15^\circ$ 潤溼之泥: $\psi = \psi' = 15^\circ$.)



3.3 溝受力圖

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，其重量一部爲管所受，一部則爲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，爲墊堤之建築，或木架臨時木涵洞改爲墊土之涵洞，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，可以管之外徑爲 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

$\frac{H}{B}$	溼表土及 乾溼沙	飽和表土	溼黃黏土	飽和 黃黏土
0.5	0.43	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	3.93
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	管頂之溝闊 (呎)				管頂之溝闊 (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	530	850	1,230	260	670	1,090	1,510	1,950
6	230	690	1,190	1,700	310	870	1,500	2,140	2,780
8	250	800	1,430	2,120	340	1,030	1,830	2,660	3,510
10	260	980	1,640	2,450	350	1,150	2,100	3,120	4,150
乾沙 100 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	270	710	1,170	1,640	2,100
6	260	760	1,320	1,890	310	910	1,590	2,270	2,970
8	280	890	1,590	2,350	340	1,070	1,910	2,820	3,720
10	290	980	1,820	2,720	350	1,130	2,180	3,260	4,380
12	300	1,040	2,000	3,050	360	1,250	2,400	3,650	4,980
14	300	1,090	2,140	3,320	360	1,310	2,570	3,990	5,490
16	300	1,130	2,260	3,550	360	1,350	2,710	4,260	5,940
18	300	1,150	2,350	3,740	360	1,380	2,820	4,490	6,330
20	300	1,170	2,420	3,920	360	1,400	2,910	4,700	6,660
22	300	1,180	2,480	4,080	360	1,420	2,980	4,880	6,930
24	300	1,190	2,540	4,180	360	1,430	3,050	5,010	7,230
26	300	1,200	2,570	4,290	360	1,440	3,090	5,150	7,460
28	300	1,200	2,600	4,370	360	1,440	3,120	5,240	7,670
30	300	1,200	2,630	4,450	360	1,440	3,150	5,340	7,830
∞	300	1,210	2,730	4,550	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	340	840	1,330	1,870	2,370
6	300	830	1,400	1,990	430	1,140	1,900	2,630	3,410
8	330	990	1,720	2,500	490	1,380	2,360	3,360	4,400
10	350	1,110	2,000	2,920	520	1,570	2,760	3,980	5,270
12	360	1,200	2,220	3,320	540	1,730	3,100	4,560	6,050
14	370	1,280	2,410	3,750	560	1,850	3,410	5,050	6,760
16	370	1,330	2,570	3,950	570	1,940	3,660	5,510	7,440
18	380	1,380	2,710	4,210	570	2,020	3,880	5,930	8,060
20	380	1,410	2,830	4,410	580	2,090	4,070	6,280	8,610
22	380	1,430	2,920	4,640	580	2,140	4,240	6,610	9,130
24	380	1,450	3,000	4,820	580	2,160	4,330	6,910	9,590
26	380	1,470	3,060	4,980	580	2,210	4,500	7,180	10,010
28	380	1,480	3,120	5,100	530	2,240	4,610	7,380	10,430
30	380	1,490	3,170	5,230	580	2,260	4,700	7,590	10,480
∞	380	1,520	3,410	6,030	580	2,340	5,270	9,330	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 (1,500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)

$$p = wh \left\{ 1 - \frac{h \tan^2 \left(45 - \frac{\psi}{2} \right) \tan \psi}{b + 2 \tan \left(45 - \frac{\psi}{2} \right)} \right\} \quad (3.7)$$

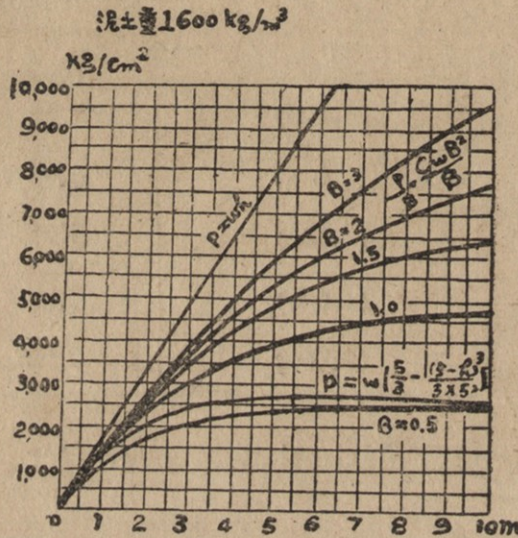
w = 土之單位重，

b = 拱、梁、管等寬，

$\psi =$ 土之靜止角。

水平土壓 $q = p \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\psi}{2} \right)$ (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，知用藍京公式所算出者為最大，馬師頓公式則因 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。



3.4 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	4935	5685
70	1.24	1731	3025	3986	5236	6150
80	1.36	1755	3097	4121	5506	6582
90	1.47	1772	3153	4231	5728	6950
100	1.58	1786	3203	4329	5930	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	8506
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	1200*	3400	4430	5450	6230
120	1.80	1085*	3440	4590	5680	6550
130	1.92	950*	3460	4670	5940	6850
140	2.04	690*	3470	4800	6200	7200
150	2.16	550*	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	1.02	2430	4310	5660	7440	8720
60	1.12	2240	4180	5590	7480	8470
70	1.24	2280	4130	5580	7620	9260
80	1.36	2260	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	7630	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	4009	6090	10000	16000

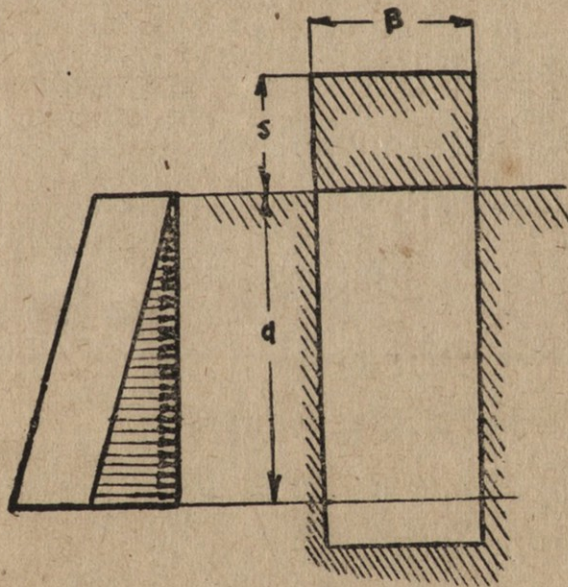
3.8 表 福綠林公式計算表

h	1 公尺	2 公尺	3 公尺	5 公尺	8 公尺
p	1620	2310	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

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



3.5 圖 喬森活重受力圖

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：

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

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：

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

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_s 為其係數，其值如 3.10 表，

K 為旁壓力與直壓力之比，

K_a 為縱方向壓力與直壓力之比 ($K_a = 0$ 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	0.86	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，中盛已結實之黃黏土，管頂溝闊 $2\frac{1}{2}$ 呎。求管所受之載重。

3.10 表 短 載 重 係 數 C_s 表

$\frac{H}{B}$	砂 及 溼 表 土		飽 和 水 分 表 土		溼 黃 黏 土		飽 和 黃 黏 土	
	$Ka=\frac{1}{2}K$	$Ka=K$	$Ka=\frac{1}{2}K$	$Ka=K$	$Ka=\frac{1}{2}K$	$Ka=K$	$Ka=\frac{1}{2}K$	$Ka=K$
	$A=$	$A=$	$A=$	$A=$	$A=$	$A=$	$A=$	$A=$
	$\frac{B}{10}$	B	$\frac{B}{10}$	B	$\frac{B}{10}$	B	$\frac{B}{10}$	B
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.5	0.77	0.70	0.78	0.71	0.79	0.73	0.74	0.74
1.0	0.59	0.49	0.61	0.51	0.63	0.52	0.66	0.55
1.5	0.46	0.34	0.48	0.36	0.51	0.40	0.54	0.40
2.0	0.35	0.24	0.38	0.26	0.40	0.27	0.44	0.30
2.5	0.27	0.17	0.29	0.18	0.32	0.20	0.35	0.22
3.0	0.21	0.12	0.23	0.13	0.25	0.14	0.29	0.10
4.0	0.12	0.06	0.14	0.07	0.16	0.08	0.19	0.09
5.0	0.17	0.03	0.09	0.03	0.10	0.04	0.13	0.05
6.0	0.04	0.01	0.05	0.02	0.06	0.02	0.08	0.03
8.0	0.02		0.02		0.03	0.01	0.04	0.01
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, 或上蓋泥土過薄。各管泥土用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,

F 爲槌降落之高度,

f 爲在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, 墊土爲溼粘土。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】

前者
$$T_0 = \frac{2 \times 40 \times 0.50}{0.01} = 4,000 \text{ 磅}$$

查 3.10 表當: $\frac{H}{B} = \frac{0.5}{8/12} = 0.75$, $K_a = K$, $A = B$, 時在溼黃粘土 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。

後者
$$T_0 = \frac{2 \times 30 \times 0.5}{0.015} = 2,000$$

查表當: $\frac{H}{B} = \frac{1}{8/12} = 1.5$, $K_a = K$, $A = B$ 時 C_s 爲 38%,

$$0.38 \times 2000 = 800 \text{ 較前者減少甚多。}$$

3.11 福綠林活重公式

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

英制
$$p_2 = w \left(\frac{15-h}{15} \right)^2 \quad (3.14)$$

福氏公式尙規定，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

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

p_e 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),

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

d 爲枕木間隔(普通 0.75 公尺),

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

$$i = \frac{0.75}{1+h} \text{ (枕木下不滿 50 公分者用工務局所定道床路盤衝}$$

擊公式),

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

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綠林式均極簡單而適用。但為慎重計，採用福綠林式時亦可不用 $\frac{2}{3}p_1 + p_2$ 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，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

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

此式最爲常用，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)，則土壓之公式爲：

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

$$k = \frac{\sin(\theta + \delta)}{\sin^2\theta \cos\delta}$$

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

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

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) 在土之上尚受有均布載重，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

着力點距底之高爲

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

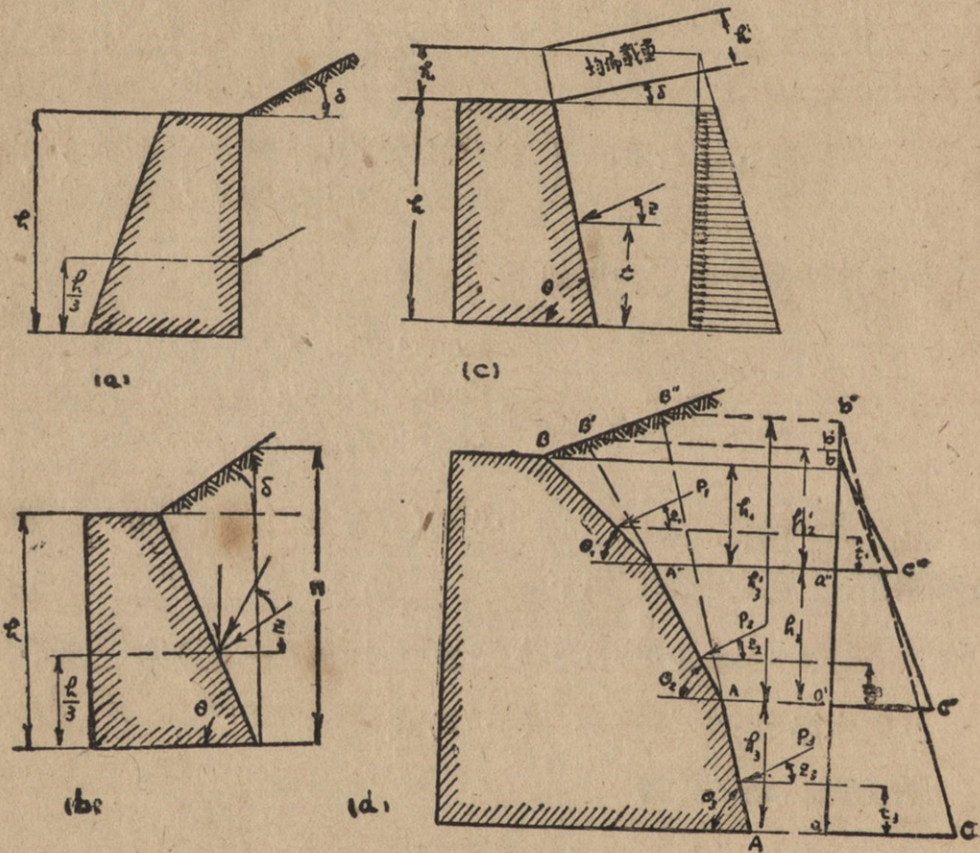
d. 背面非平面者 如 3.6 圖(d), 第一面 $A'B$ 面之壓力求法同上得 p_1 , 次求 $A'B'$ 面得 p_2' , 求 $A''B'$ 得 p_2'' 。

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

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。

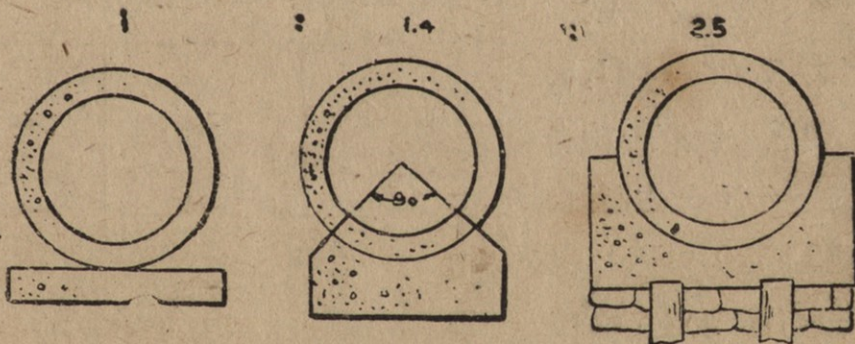


3.6 圖 防土牆受力圖

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。

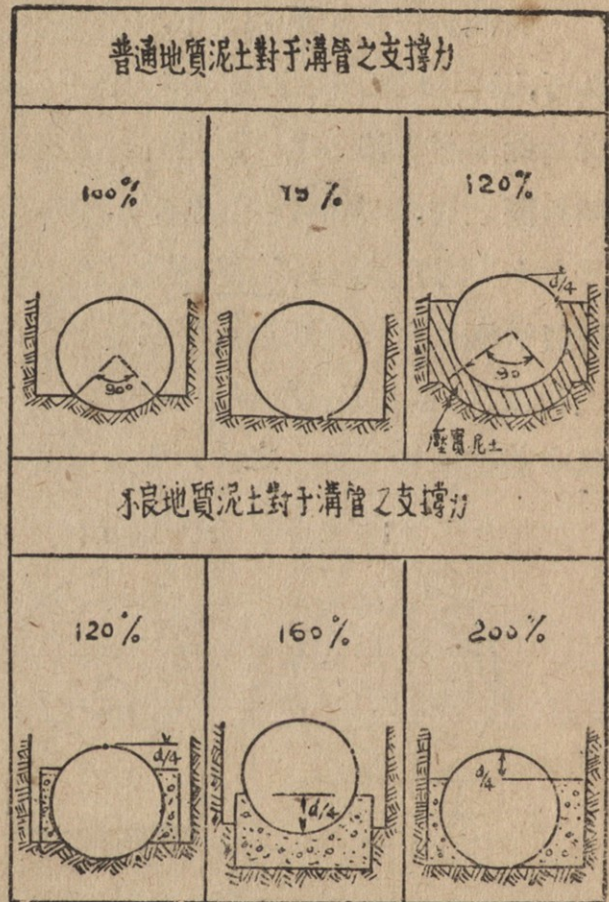
管涵洞埋設於路基之下，上受甚大之壓力，傳達於基礎，基礎之良否，影響及管涵洞之應力甚大，在第二章討論時曾已提及。過去學者對此問題有甚多之實驗報告，茲姑舉一二例以明之。如4.1圖三種相同之管，因基礎設置之不同，其強度成爲1與1.4與2.5之比，又如4.2圖亦然，據得爾鮑特教授(Prof. A. N. Talbot)之討論，謂一管置於極優良極堅固之石層基礎上如4.3圖(a)，而外圍無堅實之泥土包圍之，則結果因管僅有一點與石層相切，則管僅受一種應力，因集中載重使管受最大之力矩以至破壞。故須如b圖將堅石層作成圓



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沈，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，而固定支承則尤巨。固定支承與自由支承，相差甚遠。故上述之



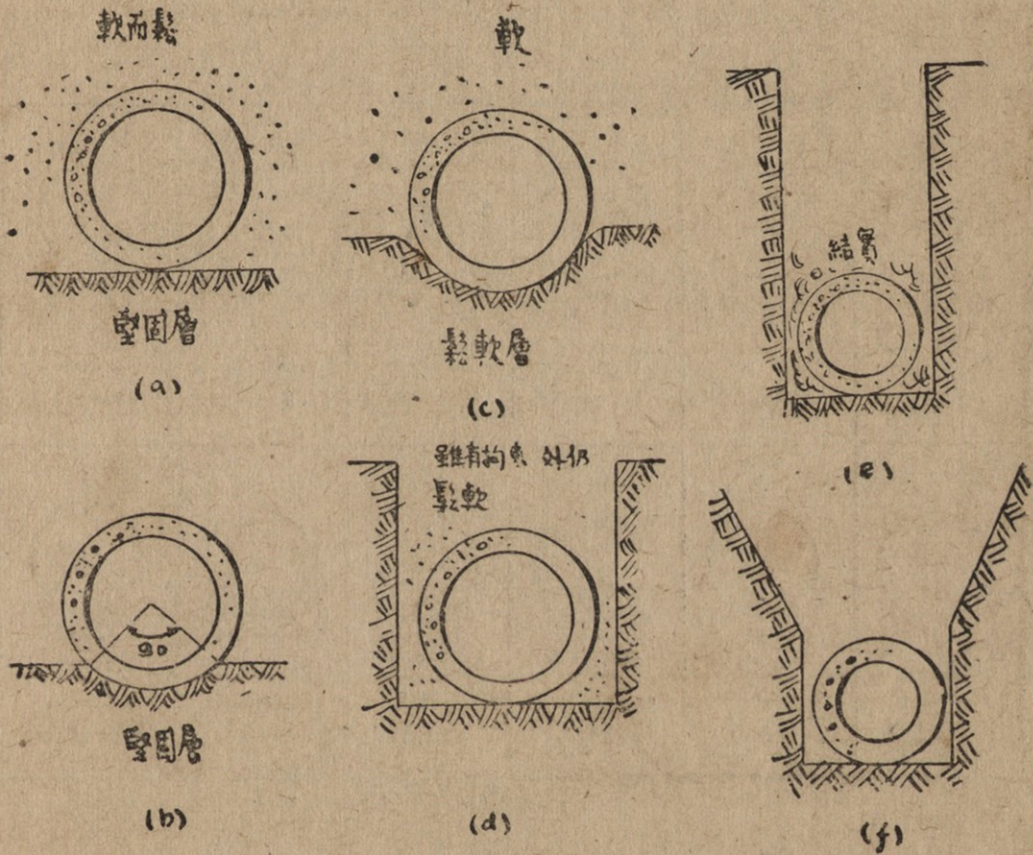
4.2 圖 溝中泥土對於溝管之支撐力

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。





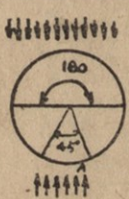









4.3圖 涵洞各種裝設

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		
 <p>$M_A = M_B = M_{max}$ $= 0.259qV^2$</p>	 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.368qV^2$</p>	 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.500qV^2$</p>	 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.107qV^2$</p>	 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.231qV^2$</p>	 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.303qV^2$</p>
 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.683qV^2$</p>	 <p>$M_A = M_B = M_{max}$ $= 0.318pV$</p>	 <p>$M_A = M_B = M_{max}$ $= 0.239qV^2$</p>	 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.587qV^2$</p>	 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.152pV$</p>	 <p>$M_A = M_{max}$ $= 0.235pV$</p>

▨ 表示校園

p 為集中載重 q 為均佈載重

4.4 圖 管 之 受 力 圖

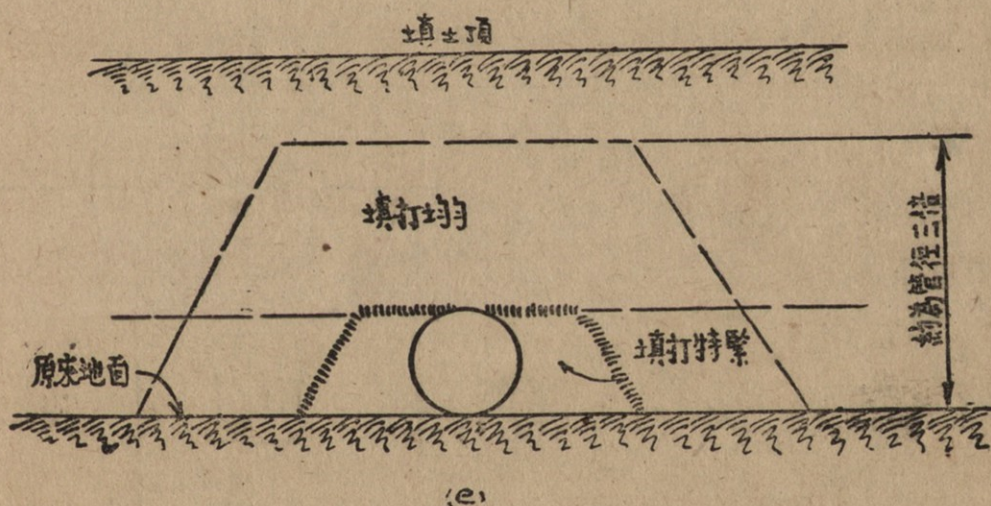
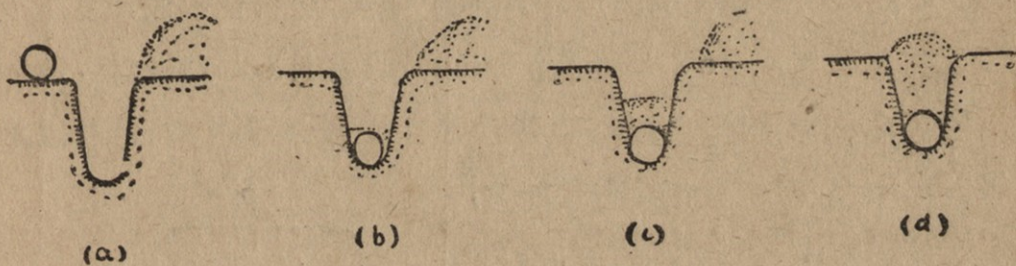
應用 1:3 洋灰漿封好。

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

11. 水管之堅固及其強度之大小因填土情形而不同，其直徑愈大者愈甚。填塞時務使泥土各得其位，緊密擠滿。若不如此，則水管受重壓時，其兩旁泥土即將被擠而出，使涵洞受重壓時，其兩旁泥土即將被擠而出，使水管發生扭歪之力量。故應注意者，由涵洞之底面至其頂端之填塞務須輕輕打緊，使其堅密牢固而後可。

水管工程之堤下裝置 堤下或填土內所裝置之水管，所受壓力較在溝內者為尤大。故對於水管高所填塞部分應有很適合之搗實，使無罅隙而且堅密。

水管既經鋪蓋之後，再行很平均的填土，不可一邊多填而他邊少填。如是填至三倍水管高度時，即可任意填上。圖(e)倘填塞之土過于壞劣如軟肥土(soft loam)、泥(mud)或黏土(clay)之類，則須採取堅密之泥土或卵石，以填水管之周圍。此層工作非常重要，因水管邊旁之填土，必須有相當載重能力，使水管可以應用其完全之強度。

管涵洞之坡度普通多與溝流之坡度相當，其範圍以1%至4%止。

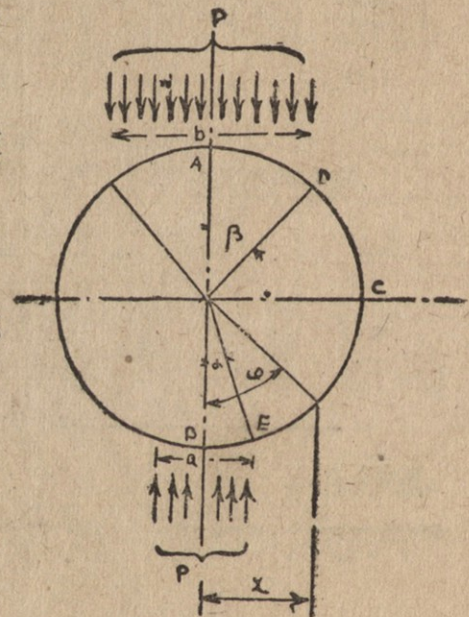
4.2 自由支承之管涵洞應力

設力矩以管內受拉力者為正號，各部之力矩如下：

BE間各點力矩

$$M_{\psi} = M_B - \frac{P}{a} \frac{x^2}{2} \quad (4.1)$$

ED間各點力矩



4.0 圖 管之自由支承

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(a) 載重為集中載重, 反力亦為集中載重之情形

則

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

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

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

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

$$= 0.318pr - 0.5pr = -0.182pr$$

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

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

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

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。

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

$$M_A = M_B = \frac{pr}{2\pi} \left[\frac{1}{4}\pi - \frac{1}{4}\pi + \frac{1}{4}\pi \right] = 0.125pr$$

$= +0.250qr^2$ (q 爲單位長均布載重, p 爲總重)

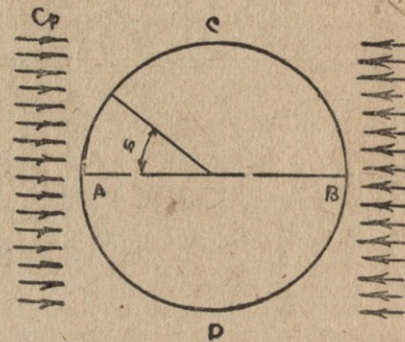
$$M_C = M_B - \frac{p}{2} \left(x - \frac{a}{4} \right) = M_B - \frac{p}{2} \left(r - \frac{r}{2} \right) = -0.250qr^2$$

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

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

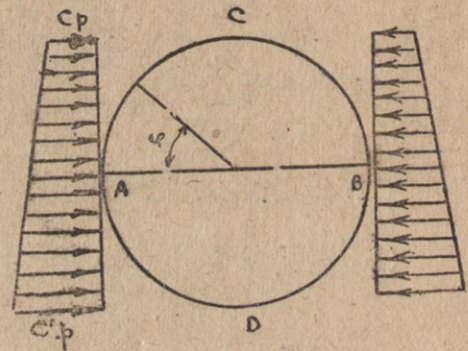
水平力亦得應用此原理

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



(a)

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



如 4.7 圖(b) 水平等變荷重之時,

則

4.7 圖 水平載重情形

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

$$\begin{aligned}
 N_C &= -(0.313C' + 0.687C)pr \\
 N_D &= -(0.687C' + 0.313C)pr \\
 N_A &= N_B = 0 \\
 N_\psi &= -(C' - C)(0.063 + 0.250\sin\psi)\sin\psi pr \\
 &\quad - 0.250[C' + 3C - (C' - C)\sin\psi]\sin^2\psi pr \\
 T_C &= T_D = 0 \\
 T_A &= -0.063(C' - C)pr \\
 T &= (C' - C)(0.063 + 0.250\sin\psi)\cos\psi r \\
 &\quad + 0.250[C' + 3C - (C' - C)\sin\psi]\sin\psi\cos\psi pr \quad (4.10)
 \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

d. 載重為全部均布而反力為集中

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

$$\begin{aligned} M_B &= \frac{pr}{2\pi} \left[\frac{3}{4}(1) + \frac{1}{4} \left(1 + \frac{\pi}{2} \right) + \frac{\pi}{4} \right] \\ &= \frac{pr}{2\pi} (0.750 + 0.250 + 1.178) = 0.347pr = 0.693qr^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_A &= 0.347pr - \frac{p}{2r} \cdot \frac{r^2}{2} = 0.347pr - 0.250pr \\ &= 0.097pr = 0.194qr^2 \end{aligned}$$

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

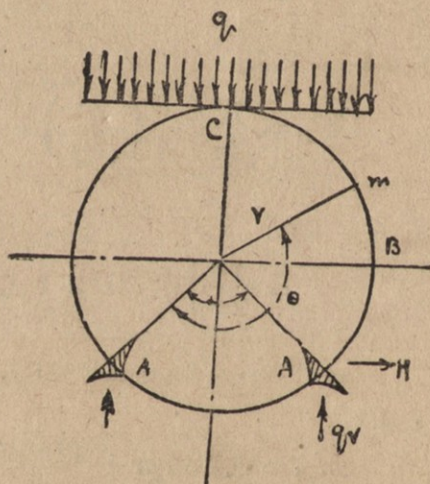
4.3 固定支承之管形應力 普通管之設置，如混凝土基礎等有屬半固定狀態者，但普通多用自由支承設計，以策安全。茲證明若干固定支承之應力，以明固定支承所生各種力均較自由支承為小。

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

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

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

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



4.8 圖 管之固定支承

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

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

亦用最小工作原理，設不計 T 力之影響。

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

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

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

$$ds = r d\psi$$

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

$$\frac{\partial w}{\partial M_A} = \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} \frac{M_{ab}}{EI} \cdot \frac{\partial M_{ab}}{\partial M_A} r d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{M_{bc}}{EI} \cdot \frac{\partial M_{bc}}{\partial M_A} r d\theta$$

$$+ \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} \frac{N_{ab}}{EA} \cdot \frac{\partial N_{ab}}{\partial M_A} \cdot r d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{N_{bc}}{EA} \cdot \frac{\partial N_{bc}}{\partial M_A} r d\theta = 0 \quad (A)$$

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

然

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_{ab}}{\partial M_A} = 1, \quad \frac{\partial N_{ab}}{\partial M_A} = 0, \quad \frac{\partial M_{ab}}{\partial H} = r(\cos\psi - \cos\theta), \\ \frac{\partial N_{ab}}{\partial H} = \cos\theta, \quad \frac{\partial M_{bc}}{\partial M_A} = 1, \quad \frac{\partial N_{bc}}{\partial M_A} = 0, \\ \frac{\partial M_{bc}}{\partial H} = r(\cos\alpha - \cos\theta), \quad \frac{\partial N_{bc}}{\partial H} = \cos\theta, \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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

上式中 $\frac{\rho}{r}$ 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

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

令 α 之值各取其為 0, 為 $\frac{\pi}{4}$, 為 $\frac{\pi}{3}$, 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	0.7π	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	0.135	0.333
$(\pi-\alpha)(\cos 2\alpha+\frac{1}{2})+\frac{3}{2}\cos\alpha\sin\alpha$	1.5π	3.106	2.221	0.25π
$(\sin\alpha\cos\alpha(\pi-\alpha)-\frac{3}{2}\cos\alpha(\cos\alpha+\frac{\pi}{4})+\frac{1}{3})$	-2.345	-0.071	0.277	0.353

a. $\alpha=0$

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

$$\pi M_A + 1.5\pi Hr - 2.345qr^2 = 0$$

$$\therefore H = 0.106qr$$

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

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

$$M_C = 0.299qr^2 \quad (\theta = \pi)$$

$$M_0 = 0.000 \quad (\theta = 37^{\circ}35')$$

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

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

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

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

$$H = -0.209qr$$

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

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

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

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

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

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

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

$$H = -0.560qr$$

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

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

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

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

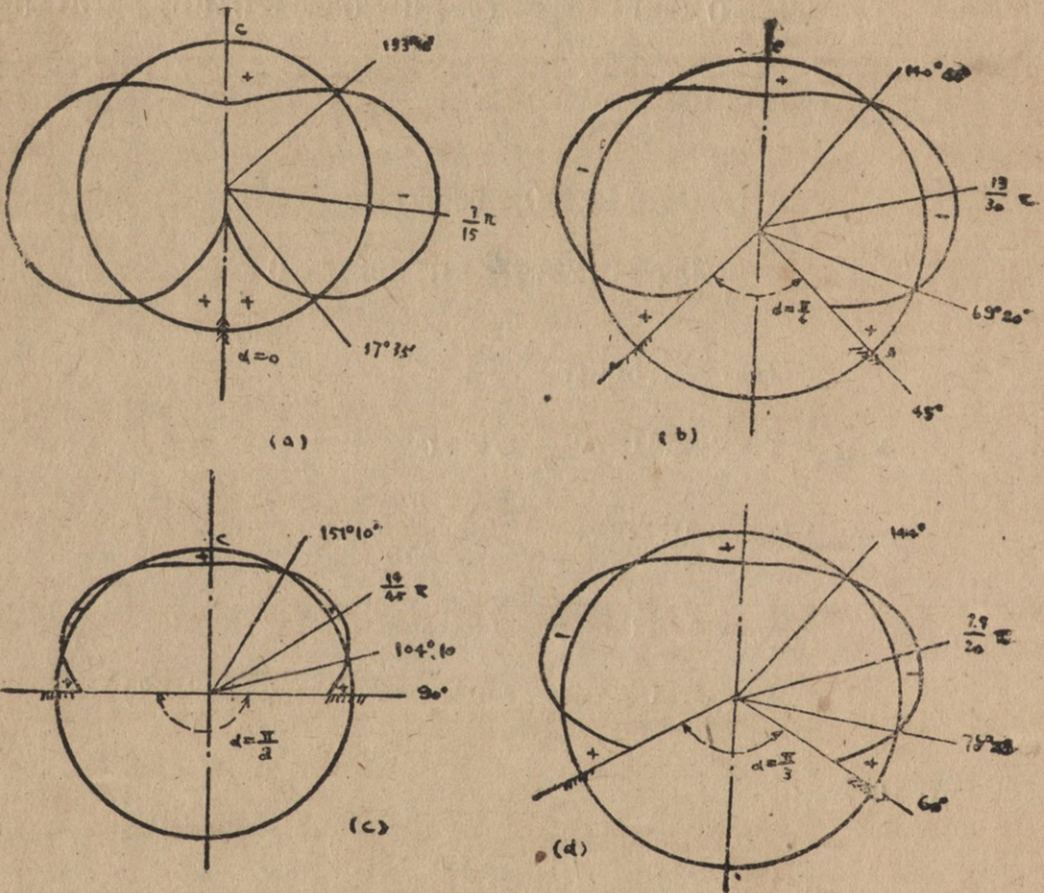
d. $\alpha = \frac{\pi}{3}$

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

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

$$\begin{aligned}
 \therefore H &= -0.524qr \\
 + \max M_A &= +0.231qr^2 \quad (\theta = \alpha) \\
 - \max M &= -0.118qr^2 \quad (\theta = \frac{79}{20}\pi) \\
 M_C &= +0.111qr^2 \quad (\theta = \pi) \\
 M_0 &= 0.000 \quad (\theta = 78^\circ 25' \text{ 或 } 144^\circ) \quad (4.20)
 \end{aligned}$$

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，

$$W = 2\pi r w = \text{管之自重。}$$

$$M_A = 0.500wr^2$$

$$M_B = 1.500wr^2$$

$$M_C = 0.5708wr^2$$

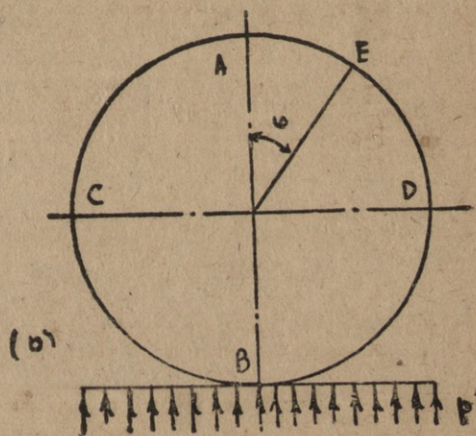
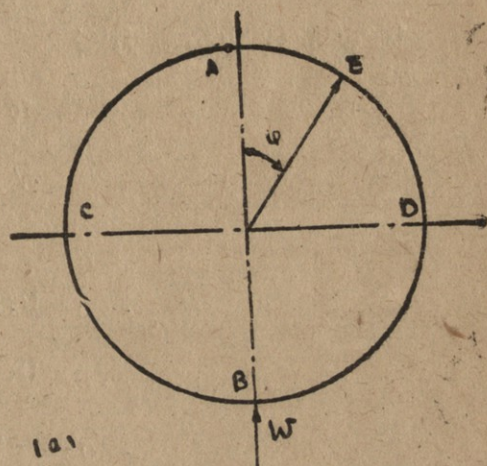
$$M = \frac{wr^2}{2} (2\psi \sin\psi + \cos\psi - 2) \quad (4.21)$$

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

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

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

$$N = -\frac{wr}{2} (2\psi \sin\psi + \cos\psi) \quad (4.22)$$



4.10 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. 支承為均布反力者

$$W = 2p'r$$

$$p' = w\pi$$

$$M_A = 0.345wr^2$$

$$M_B = 0.441wr^2$$

$$M_C = -0.393wr^2$$

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

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

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

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

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

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

$$N_0 = -\frac{w\pi r}{2}$$

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

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

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

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

$$T_A = T_B = 0$$

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

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

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

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

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

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	36
厚 (吋)	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$
管 窩 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	290	390

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	12	1	12



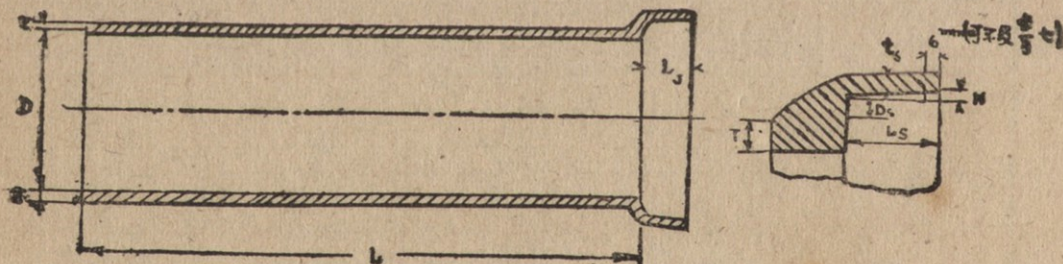
(U. S. Bureau, Public Roads)

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。普通汽車載重大於八噸或十噸者，則應加半呎左右之深度，若填土中多黏土、輭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	63	16.00	18	60	11	6	1,100
厚管	23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	15公分	15	66	23.00	25	60	11	6	1,600
特厚管	23公分	23	66	38.00	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	60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

磅

磅

磅

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	28	22.5
212	26	28.1	227	30	33.8
303	30	43.9	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。

得應用於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,

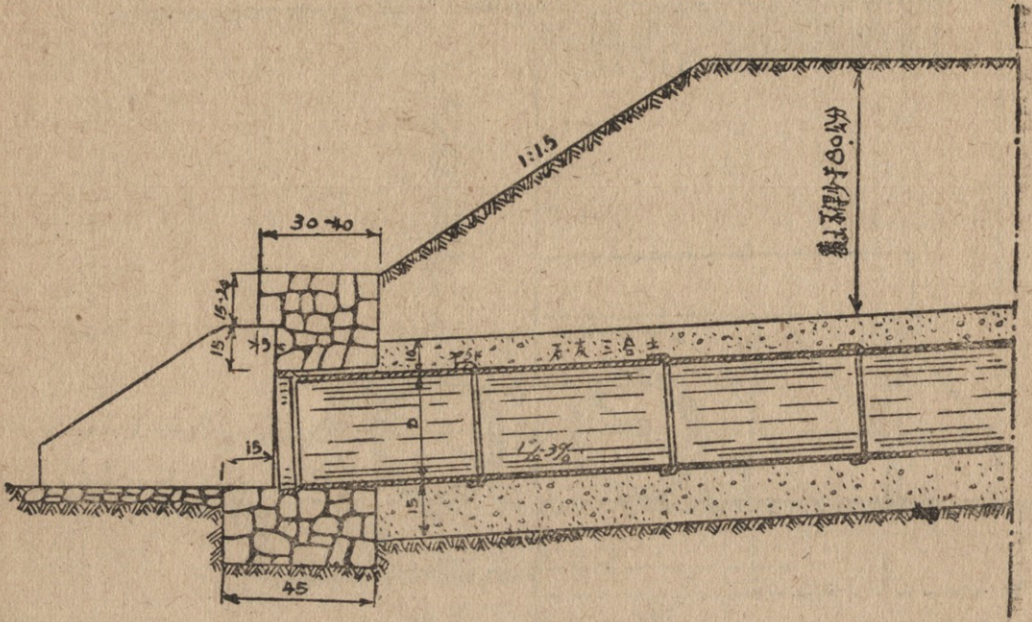
f_t = 陶管或混凝土管所受之單位拉應力,

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,

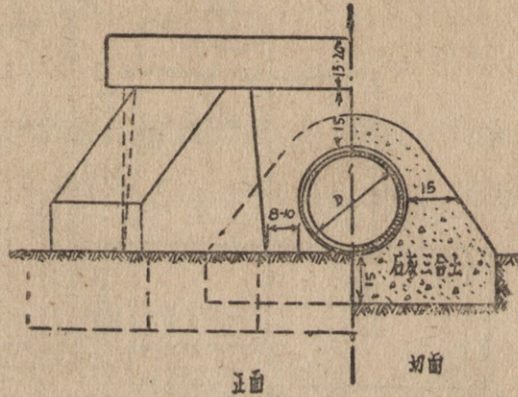
b = 管長。

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



說 明

- 1 瓦管每節長60公分管徑分20公分25公分30公分
三種管厚為1.25公分
- 2 涵管每處至有三通不可再引不可重疊
- 3 石灰三合土必須乾透方可覆土倘表面現出裂
痕必須加工粗製使其密合并不得乾裂或以
石子或石灰開雜混入窠
- 4 涵管基礎視當地地質情形而定浮鬆土
必須除去淨盡再填以黃土或卵石或石漿緊
地質不良管身須加打木樁
- 5 涵管兩端一字牆及翼牆如當地無石料
可用亦可改用磚或石
- 6 翼牆高度及坡度視當地情形得增減



單 位

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爲:

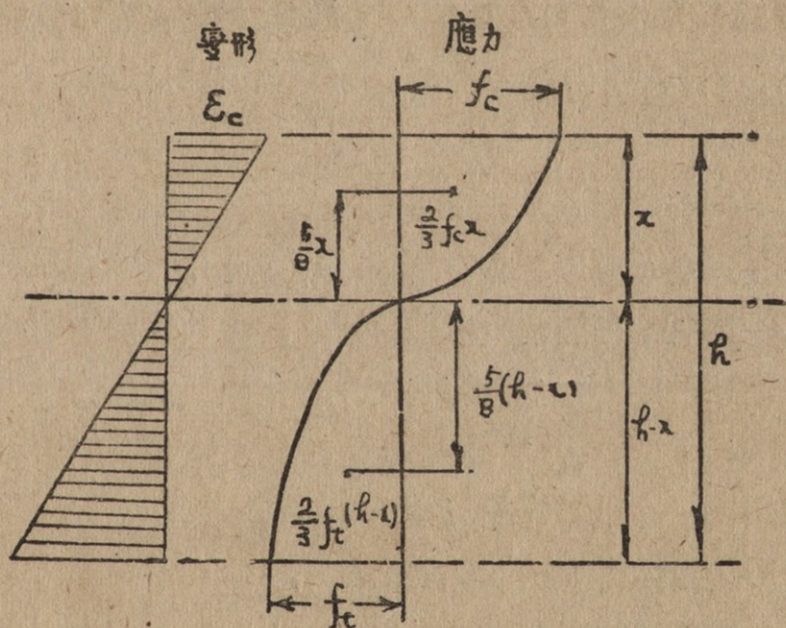
$$M = \frac{5}{12}f_c b x^2 + \frac{5}{12}f_t b (h-x)^2$$

假定其應拉應壓之彈性係數相等,

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

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

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



4.14 圖 陶管受力圖

$$f_c = \frac{M}{\frac{5}{12} h \left[x^2 + n(h-x)^2 \right]} \quad (4.28)$$

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)。

發表者

公式

得爾鮑特

$$t = 0.612 \sqrt{\frac{Qd}{f}} \quad (4.29)$$

得爾鮑特

$$t = 0.087 \sqrt{\frac{6Wd}{f}} \quad (4.30)$$

馬 師 頓

$$t = \sqrt{\frac{0.06Wd}{f}} \quad (4.31)$$

茂庭忠次郎

$$t = 1.65 \sqrt{\frac{Wd}{c}} \quad (4.32)$$

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

$$Q = 1,220 \frac{t^{2.5}}{d} \quad (4.33)$$

殿 谷 良 作

$$W = 10,200 \frac{t^{2.5}}{d} \quad (4.34)$$

殿 谷 良 作

$$f_c = \frac{24.3W(t+d) + 0.09wt(t+d)^2}{10t^2} \quad (4.35)$$

中 山 岩 藏

$$f = 120 \frac{1}{t^{0.5}} \quad (4.36)$$

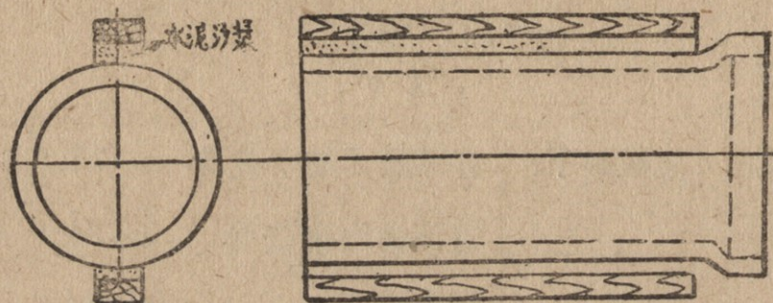
水 谷 鏘

$$W = 559f_t \frac{t^3}{d+t} \quad (4.37)$$

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

干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）。



4.15 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

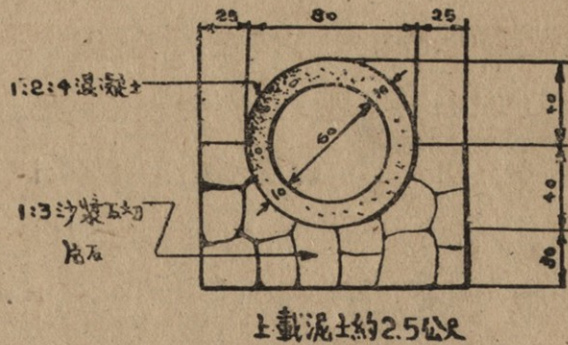
a. 化學性檢定 陶管之化學性甚為安定，而混凝土則否，尤以地質及水流之為強酸或強鹼基者。苛性鈣、硫化鐵及其他礦物之細粒存在，常可使混凝土崩解。普通混凝土最懼者為鹼基性鹽。其損壞最大處，當為濕狀態之鹼基性鹽之集中之化學作用；或一乾一濕之結晶膨脹之物理作用。故對於混凝土之抵抗力及水流泥土之性質發生疑問時，以採用緻密之陶管或其他管為宜。

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，即無其他鹼酸性質，亦能將水泥中之氫氧化石

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 時水之滲透為 11 公分³/公里/小時，故水壓稍大之倒虹吸管等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(KM382+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 $\frac{65}{100}$ 。

長度即管直之變動，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 $15/100$ 。

附着物之直徑爲內徑之 10/100,

以上三種檢定以直接觀察爲最簡單且最需要。

4.13 鑄鐵管之應用及其特點 通常較大水道,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, 6 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 表一爲較輕者,一爲較重者。

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 者	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	1.06	334	4,000
	36	7.1	1.12	450	5,400
	42	9.3	1.38	600	7,200
	48	12.6	1.44	725	8,700
輕 者	12	0.8	0.54	72.5	870
	14	1.1	0.57	89.6	1,075
	16	1.4	0.60	108.3	1,300
	18	1.8	0.64	129.2	1,550
	24	3.1	0.76	204.2	2,450
	30	4.9	0.88	291.7	3,500
	36	7.1	0.99	391.7	4,700
	42	9.6	1.10	512.5	6,150
48	12.6	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達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 最小直徑(吋)	最大螺旋距(吋)	每尺重 (磅)
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、軟肥土、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	36
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鋁，每方呎皺紋管兩面所塗之白鋁不得少過 $1\frac{1}{2}$ 兩或多過 $2\frac{1}{2}$ 兩，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，亦鍍以白鋁，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	$\frac{1}{16}$	$15\frac{1}{2}$
24	14	$0.0781 = \frac{5}{64}$	24
30	14	$\frac{5}{64}$	30
36	12	$0.1094 = \frac{7}{64}$	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
75	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	166.0
182	10	3.6	198.0

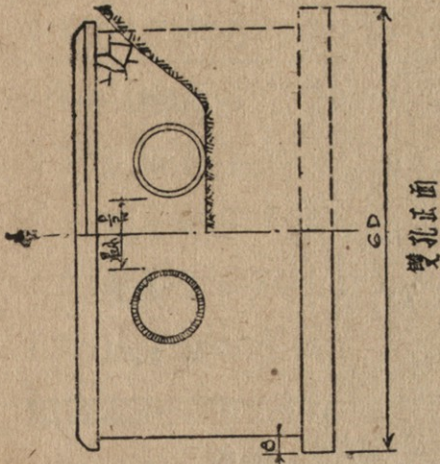
4.18 圖係我國浙江省公路局標準圖之一例。

建築皺紋管涵洞應注意之事項如下：

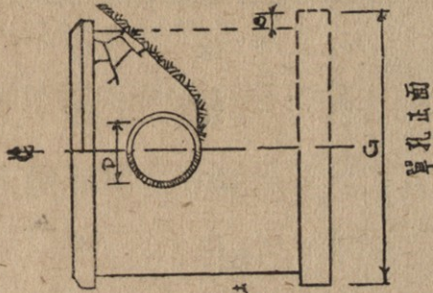
(1) 皺紋管埋於土中所受壓力，按實際之結果，其強度如 4.12 表。在此範圍中若去其荷重即能恢復原狀。

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，其厚度尙需增加。

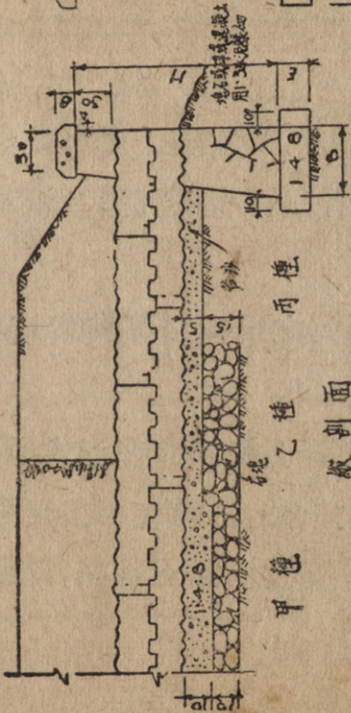
(2) 挖溝之寬度應比直徑大約 30 公分。溝底須掘成半圓形，如



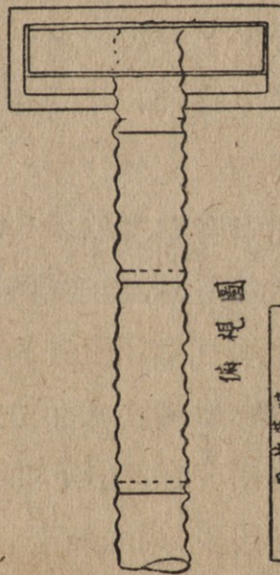
雙孔正面



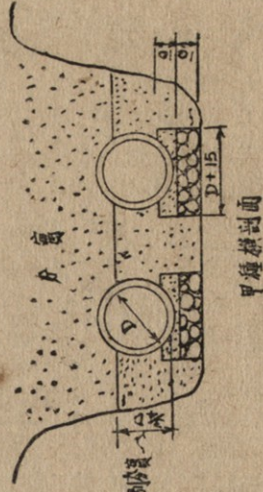
單孔正面



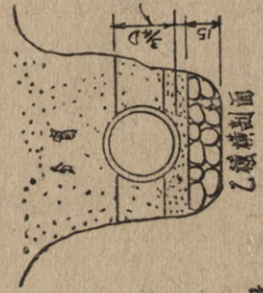
甲種 乙種 丙種
橫剖面



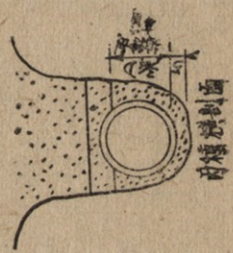
側視圖



甲種橫剖面



乙種橫剖面



丙種橫剖面

附註 (1) 甲種蓋(管)涵之頂面及外底面以上加以現成或新設之碎石
 層(10cm)之厚
 (2) 乙種蓋(管)涵之頂面及外底面用現成或新設之碎石打實
 (3) 丙種蓋(管)涵之頂面及外底面用現成或新設之碎石打實
 (4) 蓋(管)涵之頂面及外底面
 (5) 蓋(管)涵之頂面及外底面

兩首蓋牆					
D	G	H	B	E	
30	140	100	40	20	
45	150	105	40	25	
60	300	130	50	30	
90	390	150	55	35	
105	400	160	60	40	
120	480	180	70	45	
150	600	210	80	50	

單位公分 418面 浙江省公路局編製 管涵標準圖

4.12 表 皺紋管強度

內徑(公分)	號數	耐壓力(公噸)	撓曲度(公分)
30	16	119	0.40
60	14	108	0.36
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	18	24	30	36
c (吋)	18	18	18	24	30	36
s (吋)	12	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。但據粵漢鐵路株韶段之比較，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

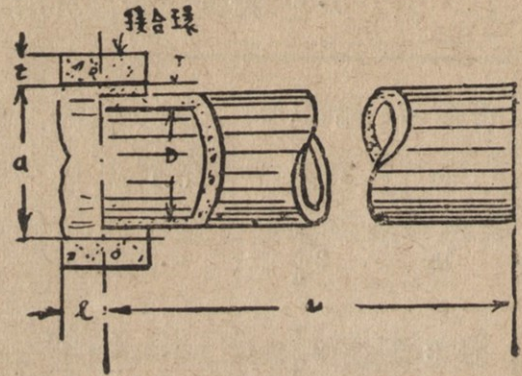
內徑(吋)	管厚(吋)	鋼 每方呎需要重	筋 舉例 A. S. & W. Co'styl ¹	每尺重(磅)
12	2	0.1 磅一層	NO 3 = 0.44 磅 呎	85
15	2 $\frac{1}{4}$	0.5 磅一層	NO 2 = 0.51	120
8	2 $\frac{1}{2}$	0.6 磅一層	NO 5 = 0.63	160
24	3	0.8 磅二層	NO 4 = 0.80	260
30	3 $\frac{1}{2}$	1.0 磅二層	NO 25 = 1.01	365
36	4	1.2 磅二層	NO 42 = 1.20	500

粘土、軟肥土、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	15	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。

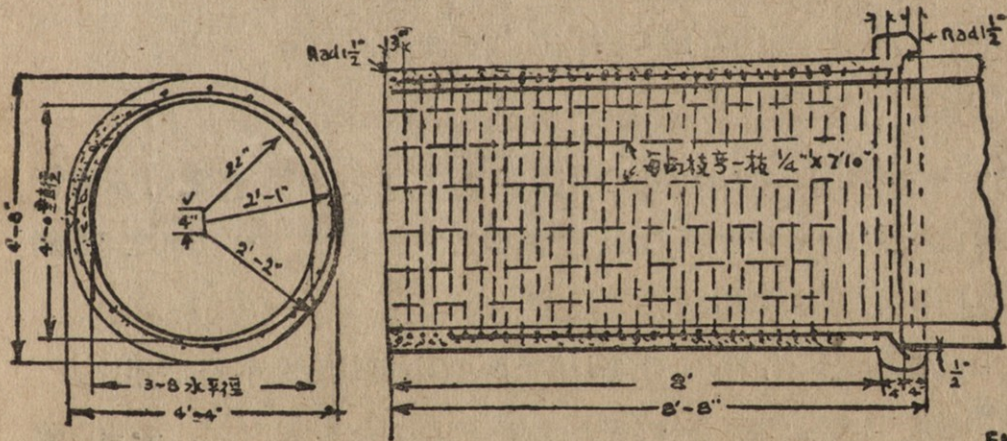


4.16 圖 機製鋼筋混凝土管

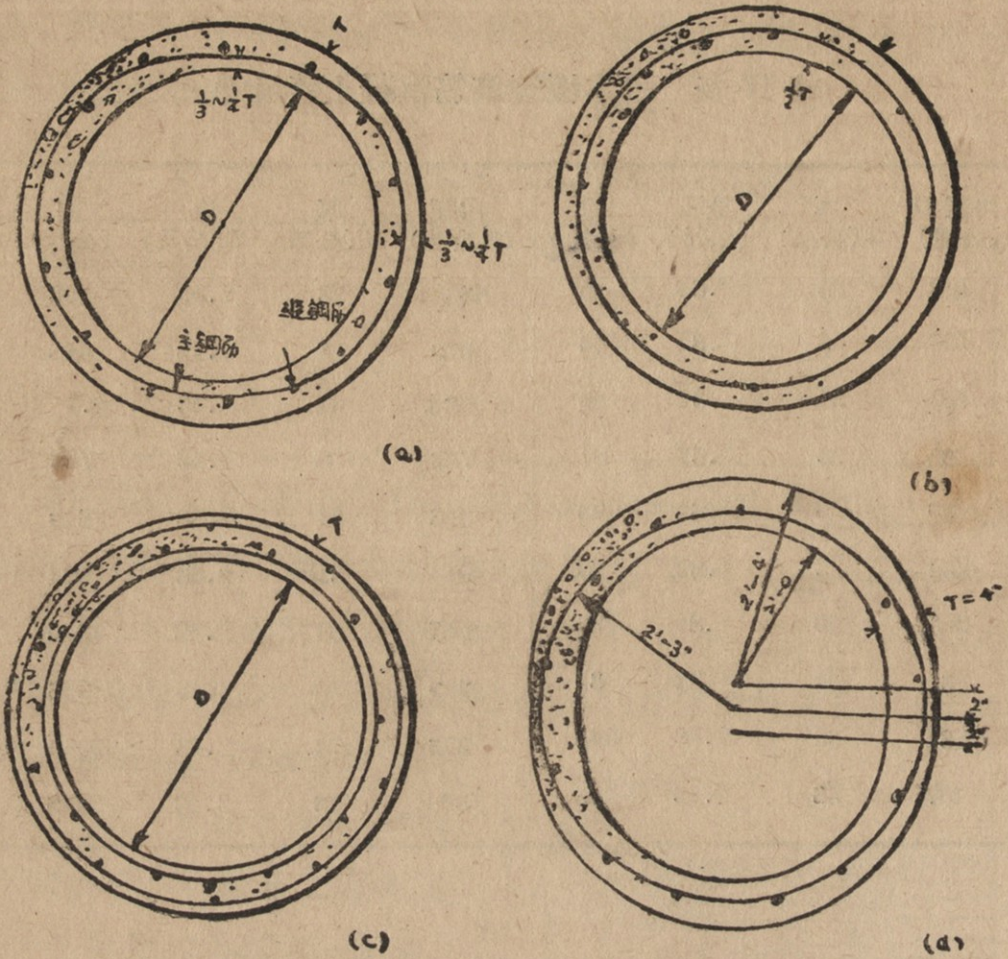
4.19 鋼筋混凝土管之鋼筋配置法 管受重壓時最大之破裂為圓環之破裂，故圓環方向之環鋼筋，為鋼筋混凝土管之主鋼筋。在管應力之理論，管之頂底內部受拉，管之兩旁外部亦受拉；而鋼筋專為抗拉之用，為適應此理論，主鋼筋之排列，遂有下列之四種形

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
152	25	1.82	84	683	45	2.43	611
202	25	1.82	81	762	48	2.43	726
229	35	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	1219	76	2.43	1838
381	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



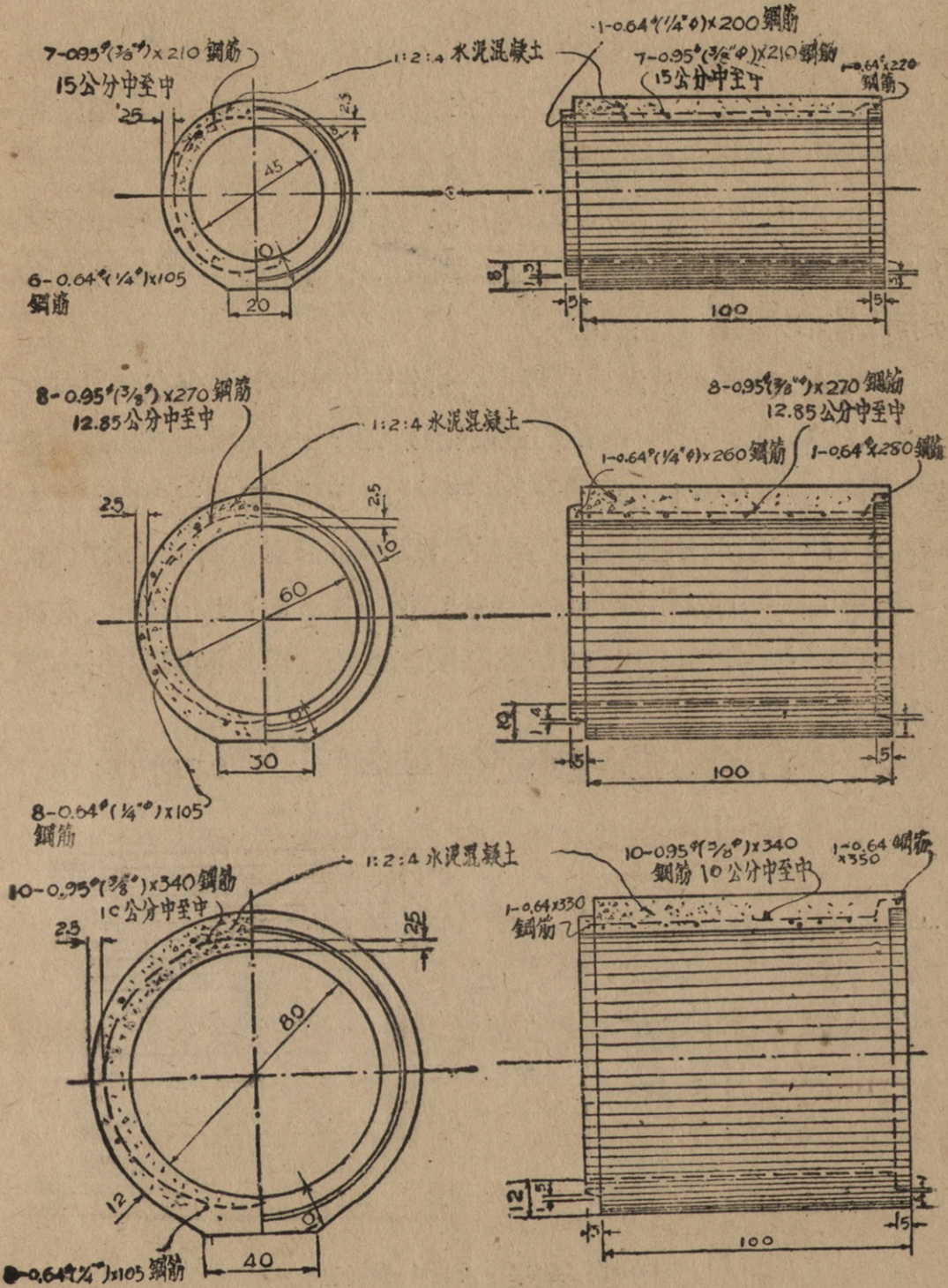
4.21 圖 鋼 筋 配 置 圖

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：本圖設計法重為CNR

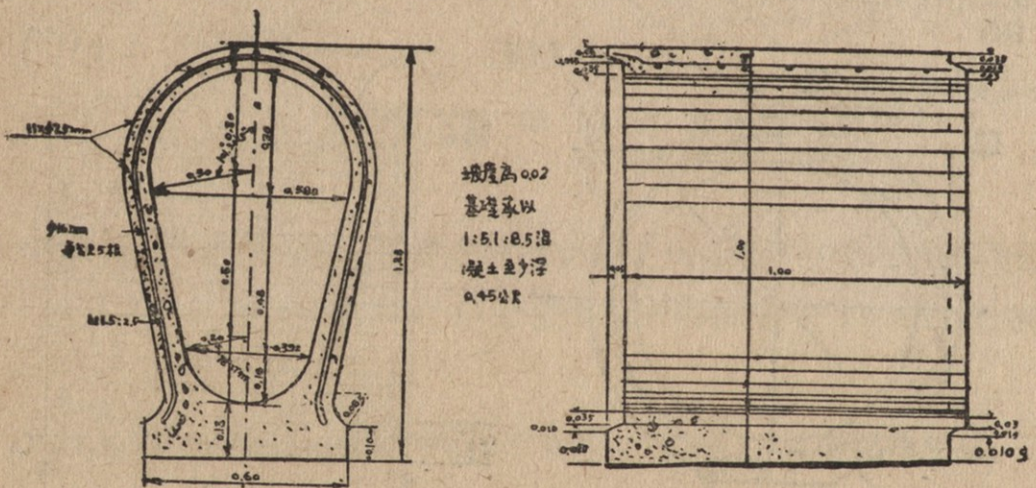
4.22 圖 滇緬鐵路鋼筋混凝土水管標準圖

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

主鋼筋之外為縱鋼筋，縱鋼筋之配置目的有二，一為繫留主鋼筋，使其位置適當，且混凝土之聯絡密切，不易生裂。一為抵抗縱力矩，使管不至生縱向之破壞。

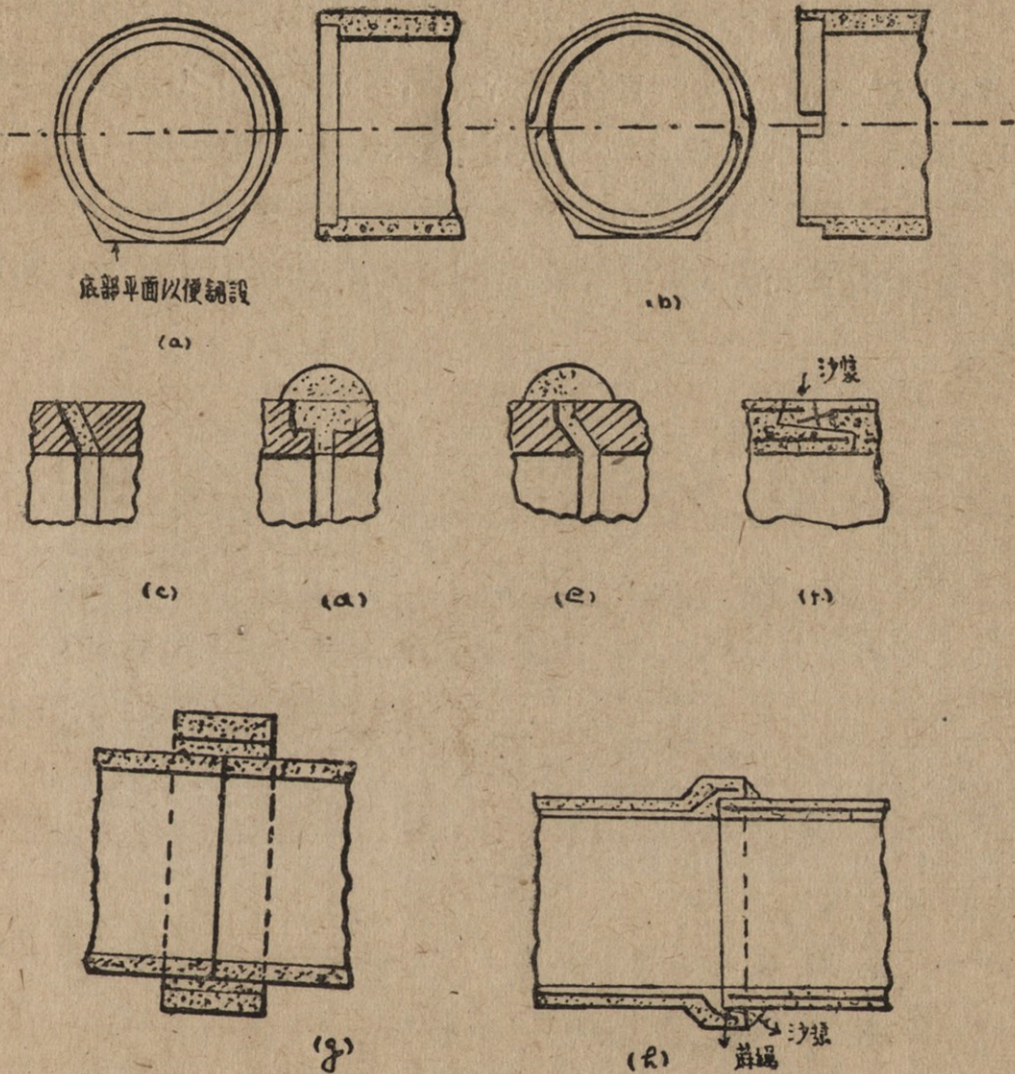
4.20 非圓形管涵洞之應用 非圓形之管涵洞，每在特殊情形用之，以其形狀之特異，施工上多感困難。茲舉一我國隴海鐵路西寶段所用之蛋形管為例，蓋因該段冬季冰凍，而第二第三分段又于是時開工，故特製此鋼筋混凝土蛋形管，底平而管空如蛋形。可逐節排列于基脚之上，祇須用灰漿將管節接筍處填縫，便可填土其上。在凍期內安設不生困難。4.23 圖即為該段之六公寸蛋形涵洞標準圖。其設計原理見拱涵洞章。

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。(b) 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。



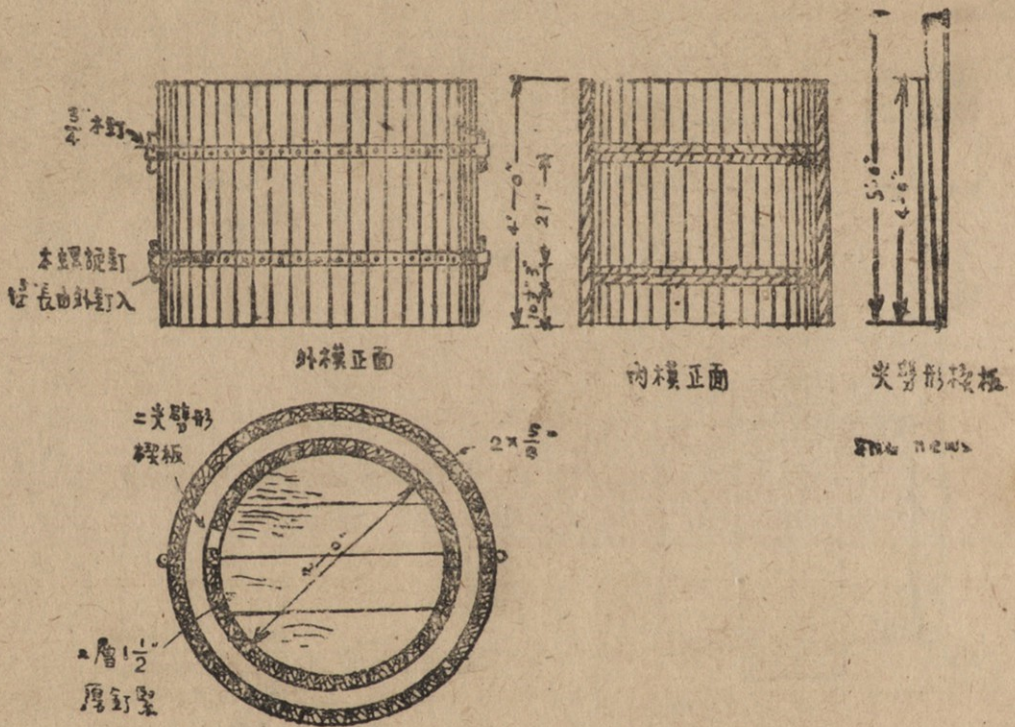
4.24 圖 鋼筋混凝土及混凝土管之接合

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。

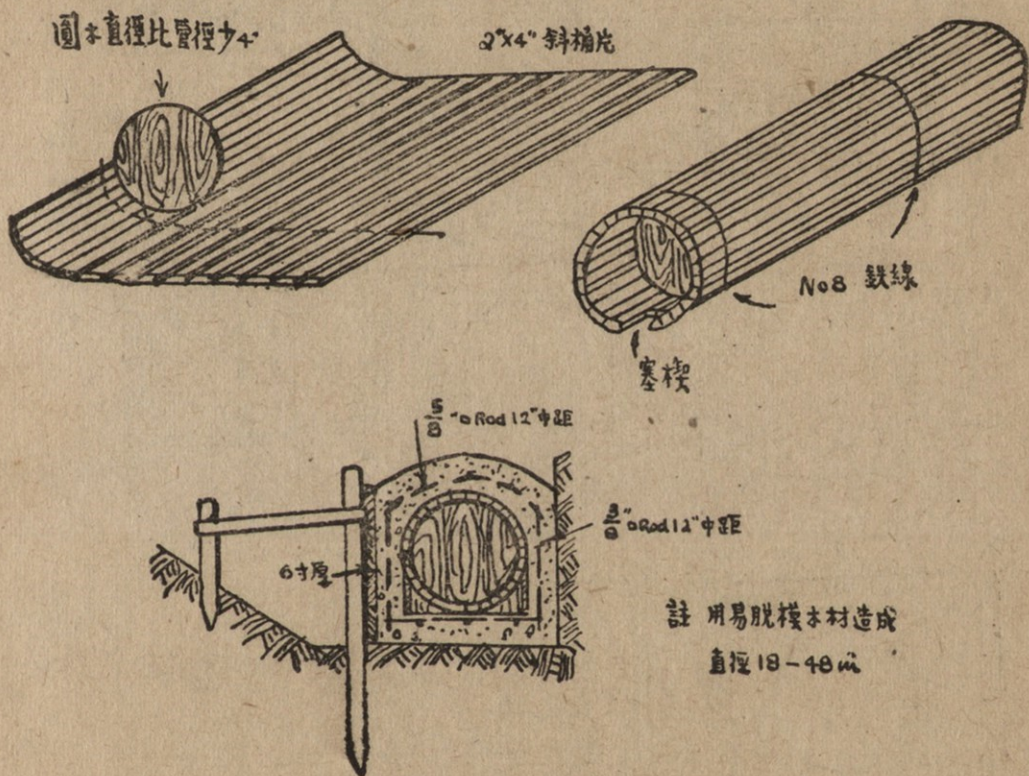
c. 就地工作之木模 如 4.26 圖，用易脫模易造成之木材造成涵洞模型，此模用 2 吋 × 4 吋斜桶片所組成，用鐵線連串之，此桶片之數目依管渠之大小而異，此模因中間之圓木而圍成圓環，再塞入塞楔 (opposite wedge) 使桶中之位置緊塞。待混凝土凝結後乃取去其楔，其模遂脫。此種模板可用數次，極為經濟。此模于當地製成，圓管



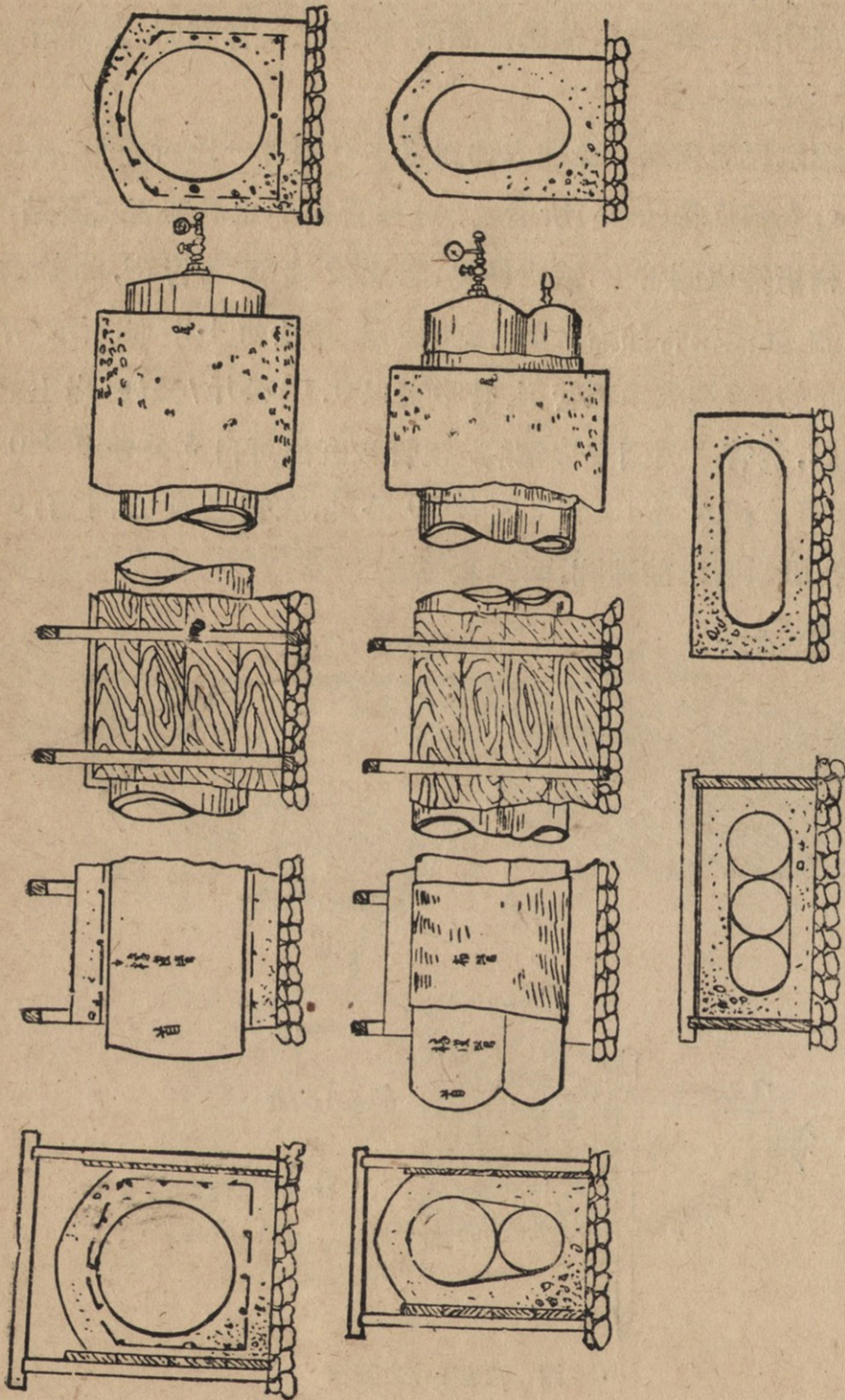
4.25 圖 管 涵 洞 木 模

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. 氣壓水壓製模法 此種方法爲日本野瀨當一氏所發明，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。



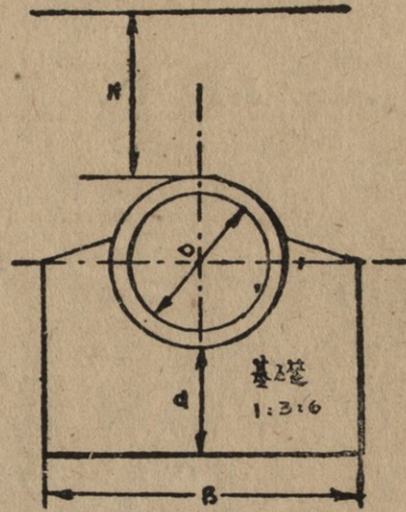
4.26 圖 就地工作之管模



4.2 圖 氣 壓 水 壓 管 橫

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。



4.28 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，

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

$$p = \frac{100 \times ABCD}{BC} = \frac{100 \times (11.75 \times 2.75 - \frac{\pi}{4} \times 2.75^2)}{2.7} = 960 \text{ 磅}$$

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

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

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

橫壓力

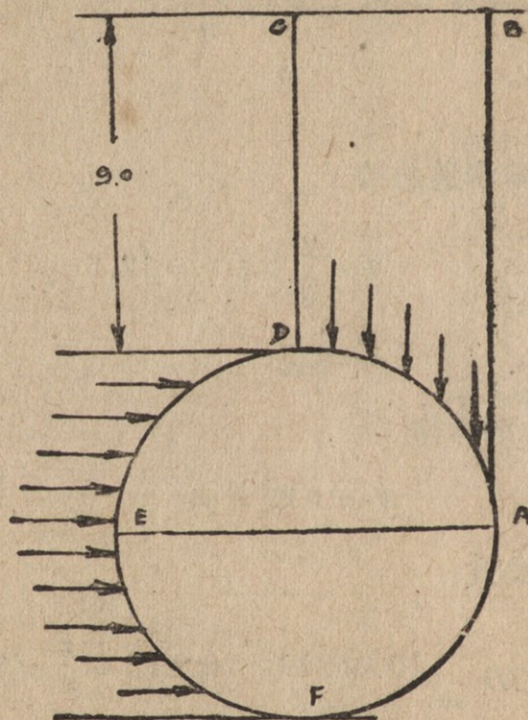
$$(2.75 + 9) \times 30 = 352.5 \text{ 磅}$$

$$M'_A = -M'_D = 667 \text{ 磅呎}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{今設 } f_s = 650 \text{ 磅/吋}^2 \quad f_c = 16,000 \text{ 磅/吋}^2 \quad n = 15$$

先設 D 點全受力矩, 不計反力

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

$$K = \frac{n f_c}{f + n f_c} = 0.379$$

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

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

$$d = \sqrt{\frac{M}{bR}} = \sqrt{\frac{38,700}{12 \times 107.7}} = .85 \text{ 吋}$$

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, 乃屬於安全向。)

(a) 用計算法

$$e = 6.7 \text{ 吋}$$

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

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

f_c 達容許應力時之中立軸比為

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

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

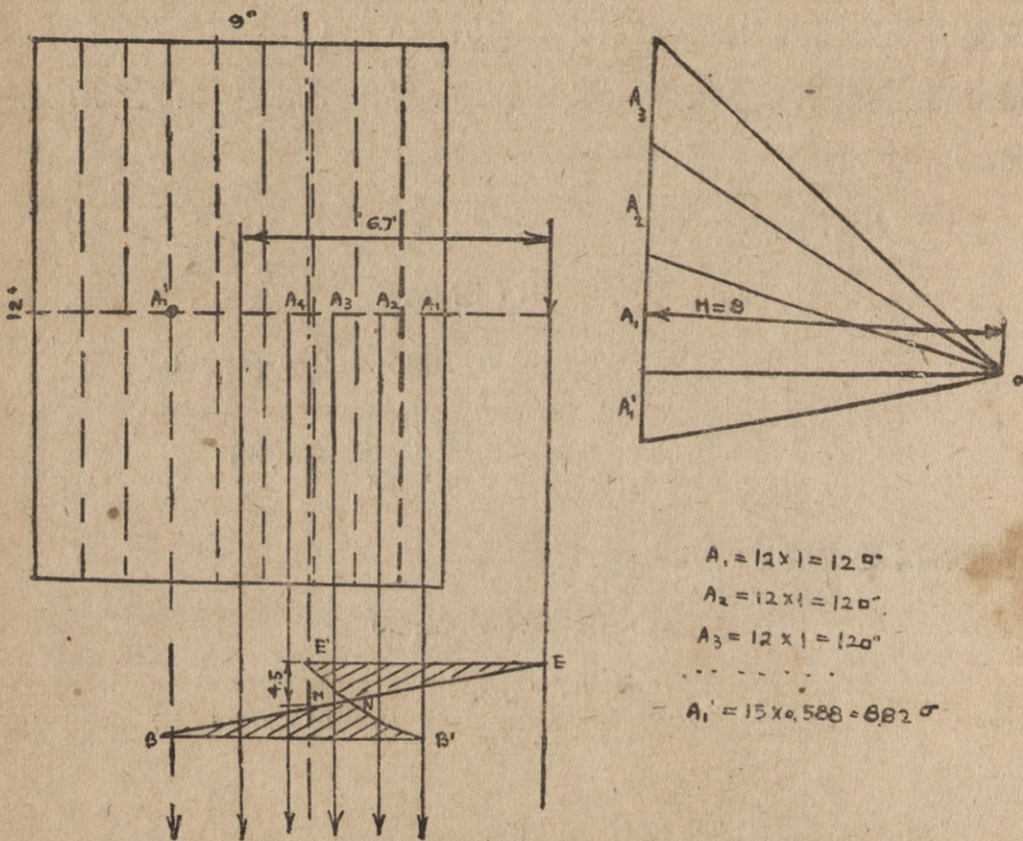
$$A_s = \frac{\frac{12 \times 2.28}{2} \times 650 - 5,762}{15,900} = 0.198 \text{ 吋}^2 = < 0.588 \text{ 吋}^2$$

(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 , 遇垂直力直線于 E , 令 $EE'N$ 面積 = $BB'N$ 面積, 得 $x = 3.2$ 。

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

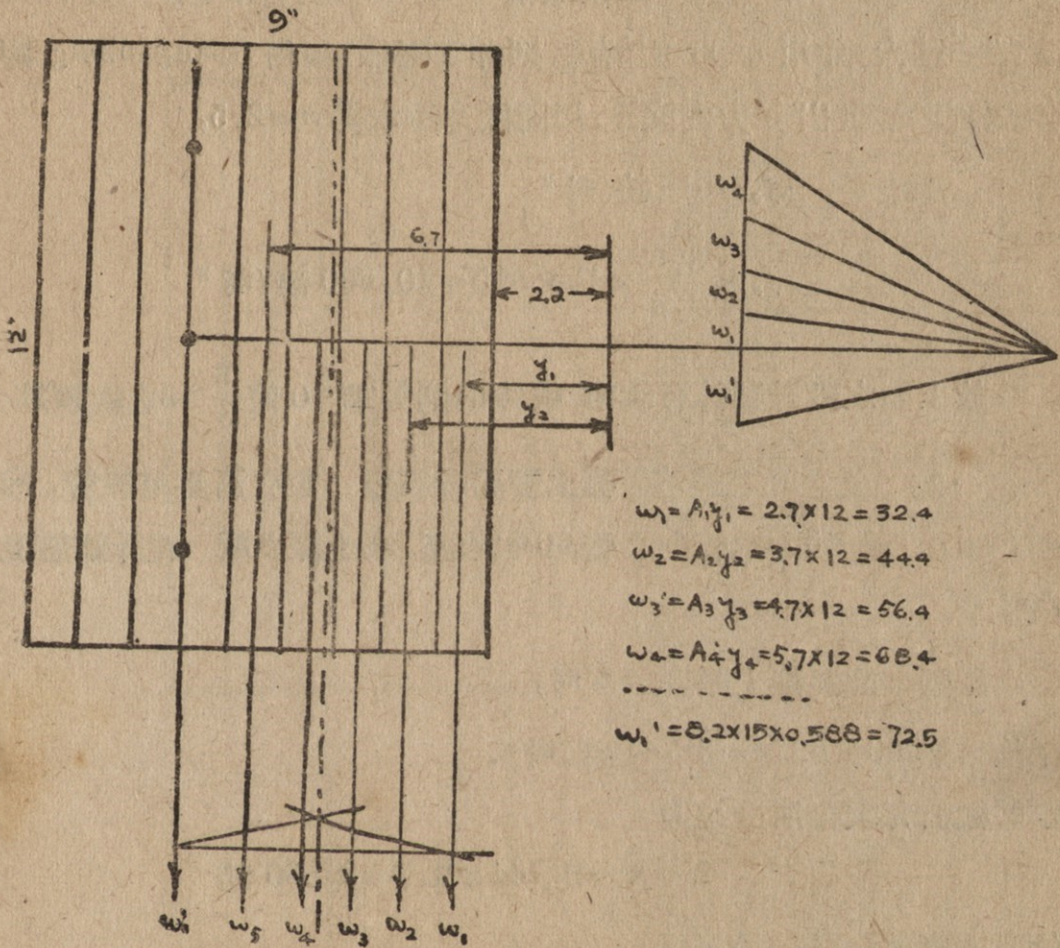
$$f_s = 15 \times \frac{2.8}{3.2} \times 485 = 6,400 \text{ 磅/吋}$$

(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為用兩直線相交，比之 mohr 用面積相等之法為高妙。在 mohr 法雖力矩 H_y 可於圖中讀出，為其利便之點，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

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

$$= 495 \text{ 磅/吋}^2$$

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

(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 Spangenberg 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 $60 \times 62.4 = 3,744$ 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

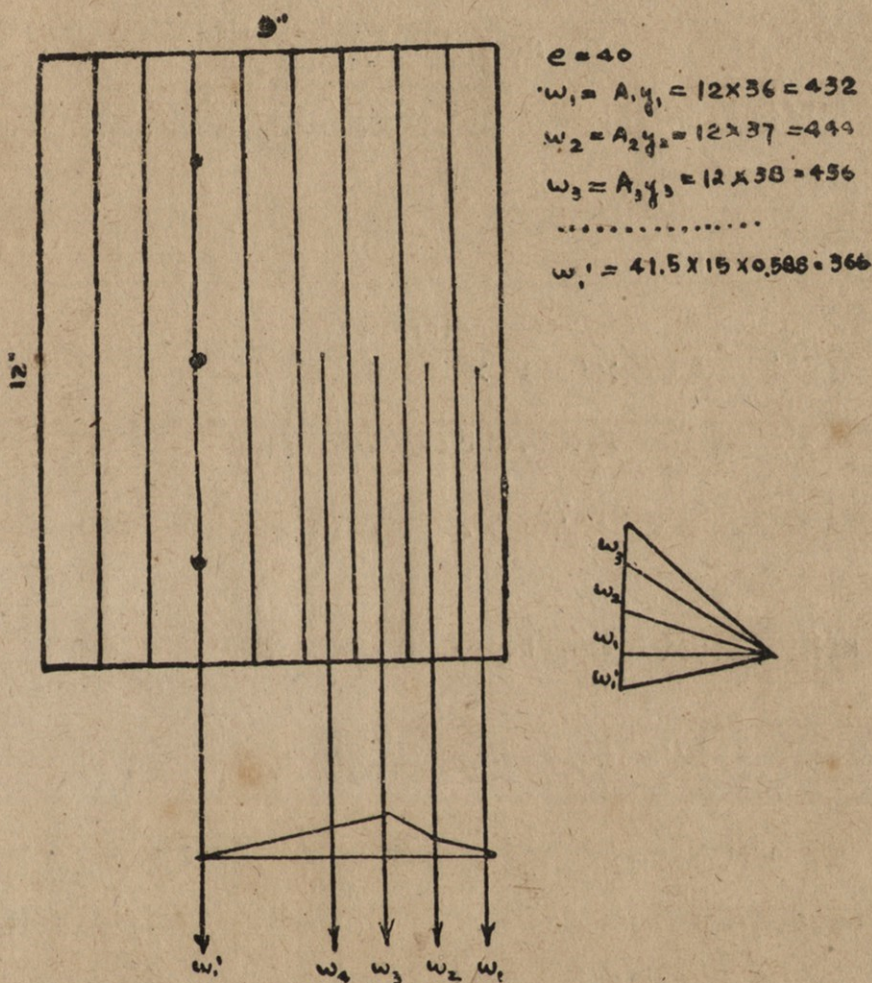
$$A_s = \frac{9,360}{14,000} = 0.67 \text{ 吋}^2$$

假設土平均深度 4 呎, 用福綠林公式

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

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

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

$$M = \frac{810 + 363}{4} \left(\frac{5.5}{2} \right)^2 = 26,410,$$

$$f_c = 60 \text{ 磅/吋}^2 \quad f_s = 14,000 \text{ 磅/吋}^2$$

$$\rho = 0.0084$$

(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(平 口)面 積(吋 ²)	端 牆		基 礎			體 積 (立方呎)		總 立 方 呎	計 立 方 碼
		C	H	B	E	F	端牆	基礎		
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 D (吋)	尺		寸				牆 H	基礎 K	P	J	牆 (平方呎)	體積(一端壁)		結 筋
	G	G	G	H	P	J						:3:6 基礎 (立方呎)	總 共 (立方碼)	
12	0.8	3'-8"	2'-0"	1'-0"	1'-3"	2'-2"	6.6	7.3	13.9	0.52	無	無	無	
15	1.2	3'-11"	2'-3"	1'-5"	1'-3"	2'-7"	8.3	9.1	17.4	0.64	無	無	無	
8	1.8	4'-2"	2'-6"	1'-5"	1'-3"	2'-11"	9.9	10.7	20.6	0.76	無	無	無	
24	3.1	4'-8"	3'-0"	2'-6"	1'-6"	3'-8"	13.9	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	$2\frac{2}{1}$ 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

管口面積 (平方呎)	尺	H	O	L	M	基礎 寸	F	牆 (立方呎)	1:3:6 混凝土 基礎 (立方呎)	總 (立方呎)	共 (立方呎)	體積(一端壁)	連鋼筋	結筋
18	1.8	2'-6"	3'-10"	1'-2'	1'-7"	1'-3"	9.3	10.7	20.0	0.74	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'-6"	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"	22.6	24.6	47.2	1.75	2φ ³ / ₄	3呎長		
42	9.6	4'-6"	5'-1'0"	2'-3"	3'-6"	2'-9"	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		

吋

齒

齒

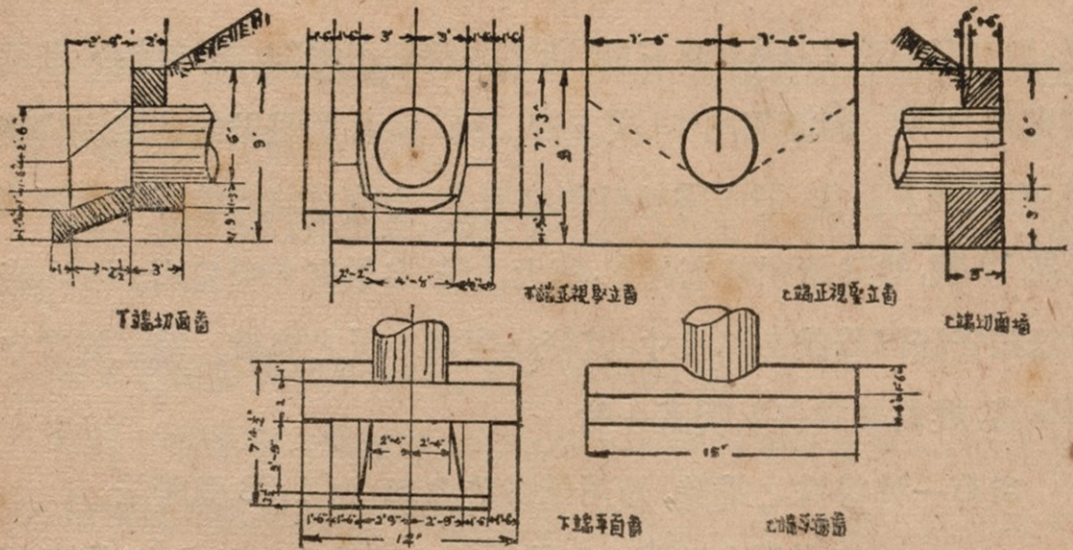
呎，則涵洞可用 12 呎長者三段 所需端壁近于隄脚，需料較少。若路隄寬為 32 呎，則涵洞用 12 呎之管二段，如是則端壁須從路隄脚後退，而增加其高度，則所需材料亦必加多。小號之鑄鐵管尋常所製者為長 12 呎，然為適應路寬起見，稍大之管 多數有 6 呎長者。4.21 表為鑄鐵管涵洞端壁各部尺寸，其管長度為 6 呎之倍數。管之安置中部特高，縱斜坡為每五呎高一吋。

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。

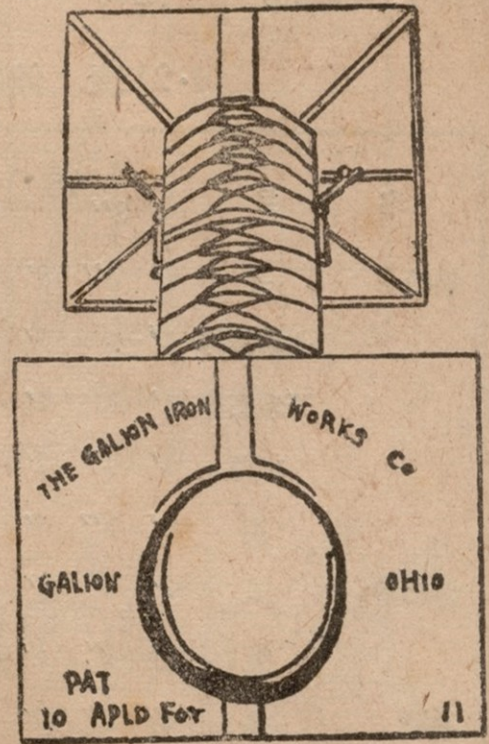
4.21 表 鑄鐵管端壁各部尺寸

名 目	管 之 內 徑						
	8''	2''	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	3'-0''	3'-0''	3'-6''	3'-6''	4'-0''	4'-4''
	寬	5'-4''	6'-8''	6'-9''	7'-6''	'-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'-6''
	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	.50	5.25	6.75	7.50	9.25



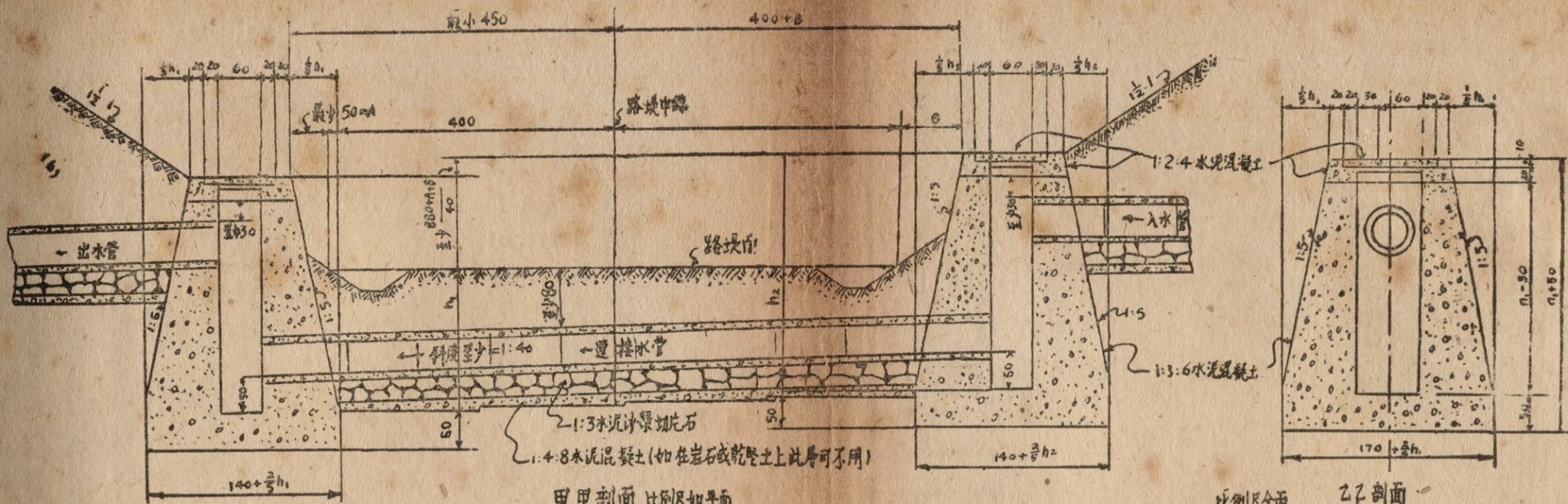
4.34 圖 鑄鐵管涵洞安置安圖

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。



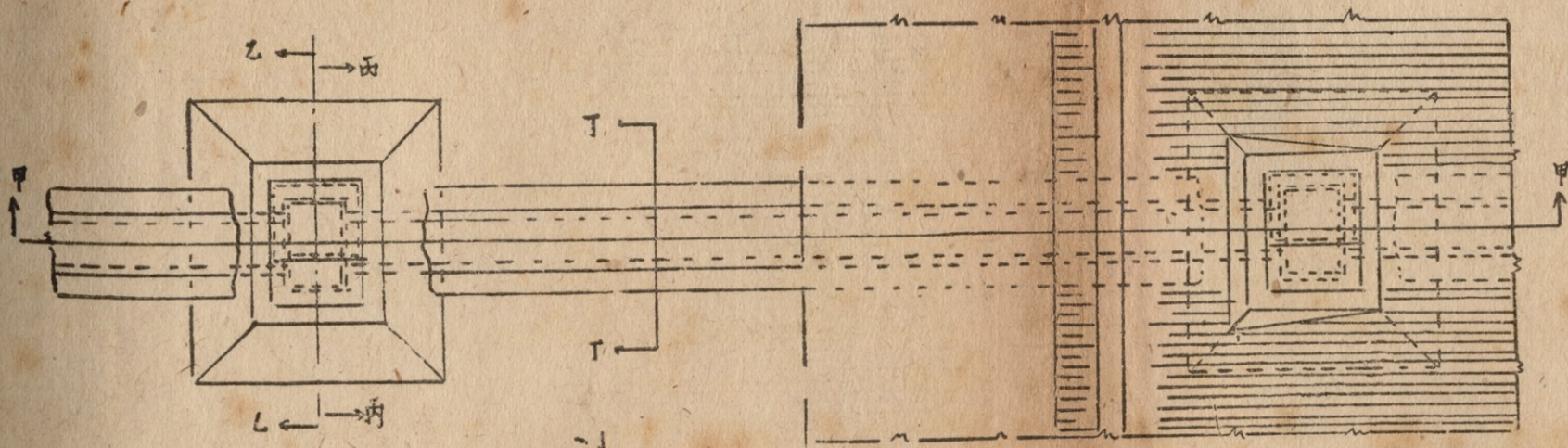
4.35 圖 鑄鐵端牆

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。

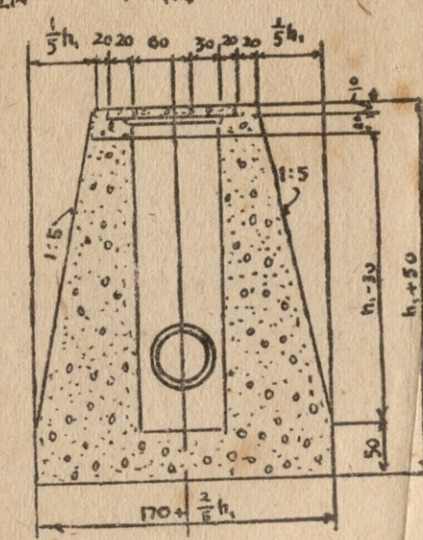
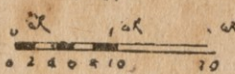


甲甲剖面 比例尺如平面

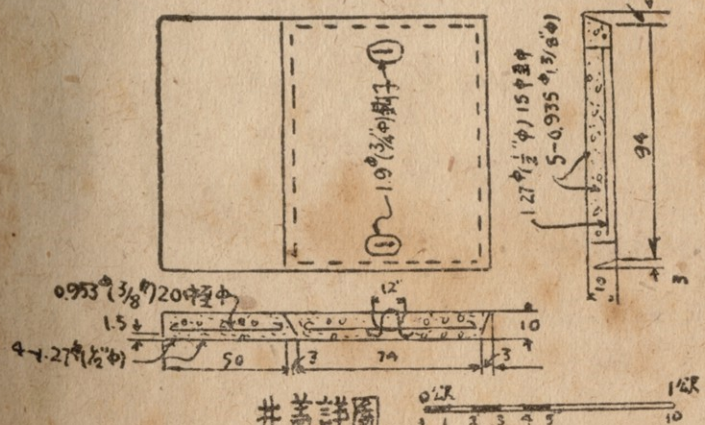
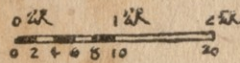
比例尺全丙 乙乙剖面



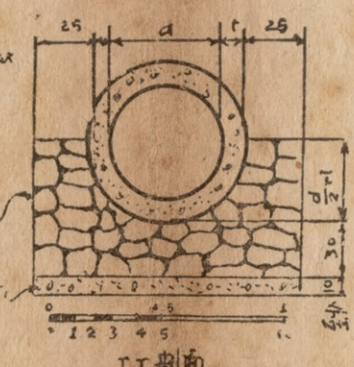
平面



丙丙剖面



井盖詳圖



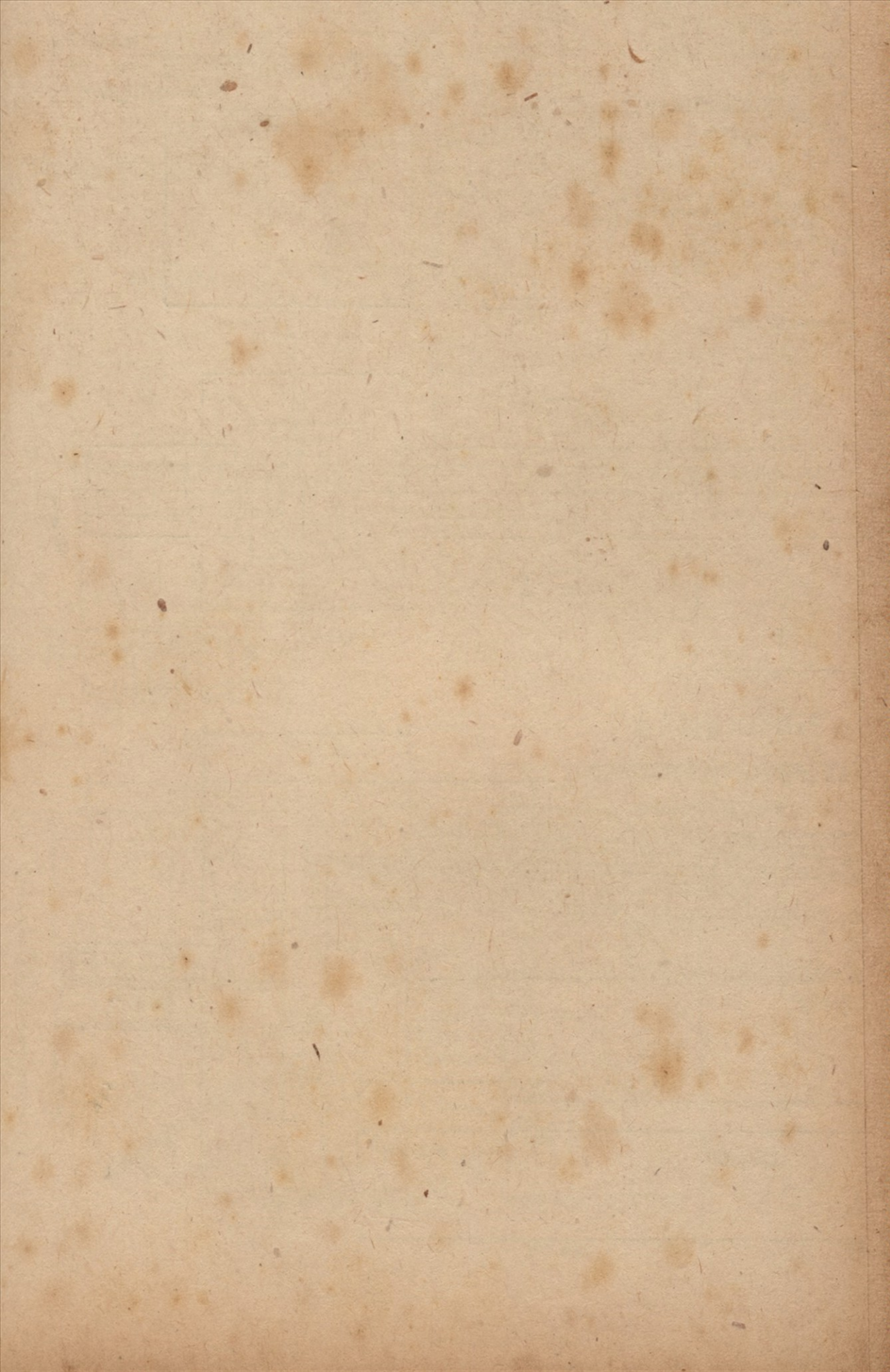
丁丁剖面

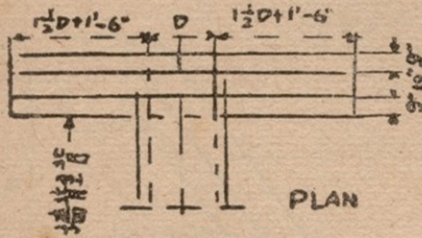
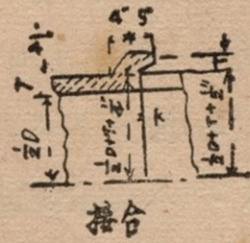
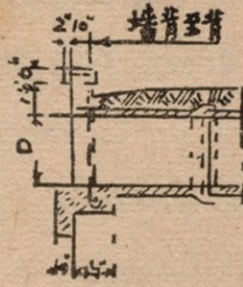
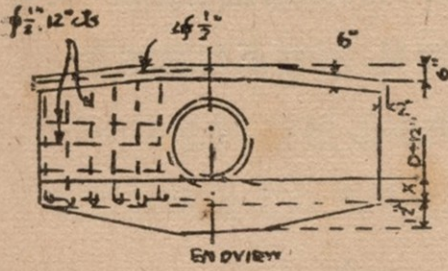
附註:

1. 本圖所用尺寸以公分計
2. 水管本身見B-11-1144
3. 井蓋之面須高出上游水源之面以免雨水溢沖沖路
4. 入水管出水管及連接水管之大小應由主管工程師視實地情形而定之並須一律大
5. 入水管高于出水管

林韶段
水泥混凝土倒虹吸涵洞標準圖
圖號 B-11-1288

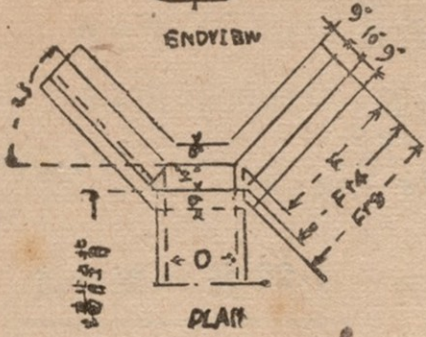
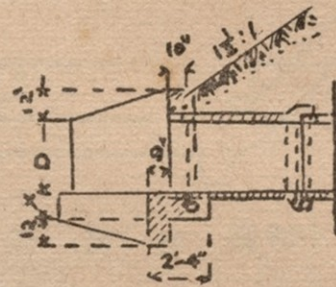
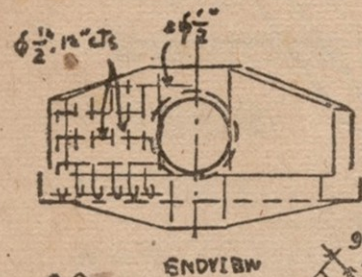
4.37 倒虹吸





縱剖面

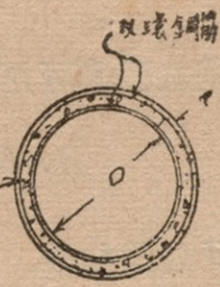
徑 30" 以下 X=7"
 30"-36" X=9"
 37"-42" X=12"



縱剖面

鋼筋照 A.S.
 & W Cos. a Mesh 如下表

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



管之尺寸

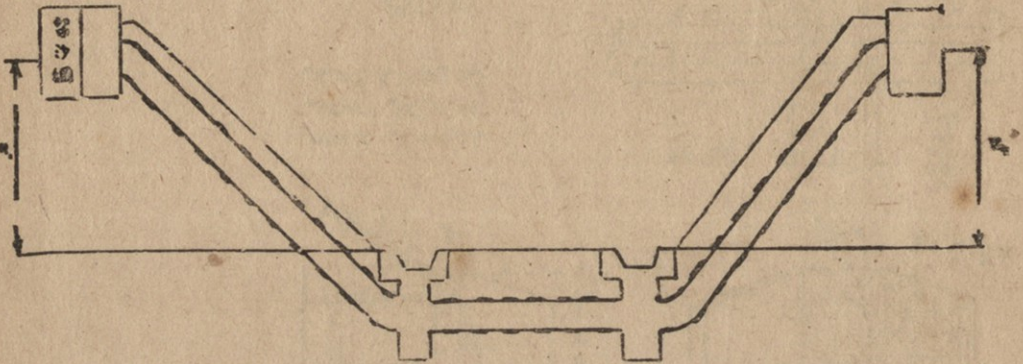
直徑	長度	重	厚度	每12'長所需鋼筋磅數
15"	9'-0"	032lb	2.25"	0.058 24 in
18"	9'-0"		2.50"	0.077
24"	9'-0"	1173lb	3.00"	0.02
30"	9'-0"		3.50"	0.151
36"	9'-0"		4.00"	0.170
42"	9'-0"	2051lb	4.50"	0.225

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) 并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。

$$h_b = m v_2 Q \quad (4.40)$$

Q 為彎曲角之度數，

4.22 表 m 係數值

$\frac{d}{2r}$	m
0.1	0.0000113
.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	0.00006 3
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)

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

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times v \quad (4.42)$$

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,

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

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

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

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
0.01	0.00304	116,790,000	0.22	0.000565	7.1092	0.44	0.00036	0.2076
0.02	0.001154	2,938,500	0.23	0.000563	5.6722	0.45	0.000535	0.18861
0.027	0.000386	445,600	0.24	0.000560	4.5640	0.46	0.000536	0.16844
0.03	0.000958	350,340	0.25	0.000558	3.7052	0.47	0.000534	0.15099
0.04	0.000830	52,564	0.26	0.000556	3.0345	0.48	0.000533	0.13565
0.05	0.000765	15,874	0.27	0.000554	2.5096	0.49	0.000532	0.12235
0.06	0.000722	6020	0.28	0.000553	2.0836	0.50	0.000532	0.11039
0.07	0.000691	2,666.1	0.29	0.000551	1.7420	0.55	0.000530	0.08238
0.08	0.000668	1,821.9	0.30	0.000550	1.4577	0.60	0.000523	0.044031
0.09	0.000650	713.81	0.31	0.000548	1.2412	0.65	0.000523	0.029397
0.10	0.000626	412.42	0.32	0.000547	1.0751	0.70	0.000525	0.020257
0.11	0.000624	251.53	0.33	0.000546	0.90470	0.75	0.000524	0.0143.9
0.12	0.000614	160.04	0.34	0.000545	0.77783	0.80	0.000523	0.010350
0.13	0.000606	103.84	0.35	0.000543	0.67042	0.85	0.000522	0.0076289
0.14	0.000599	72.222	0.36	0.000542	0.58126	0.90	0.000521	0.0057215
0.15	0.000594	50.339	0.37	0.000541	0.50591	0.95	0.000520	0.0034315
0.16	0.000587	36.301	0.38	0.000541	0.44275	1.00	0.000519	0.0033655
0.17	0.000583	26.621	0.39	0.000540	0.38811	1.10	0.000518	0.0020900
0.18	0.000578	19.836	0.40	0.000539	0.34134	1.20	0.000517	0.0013500
0.19	0.000575	13.059	0.41	0.000538	0.30112			
0.20	0.000571	11.371	0.42	0.000537	0.26645			
0.21	0.000565	9.0185	0.43	0.000537	0.23687			

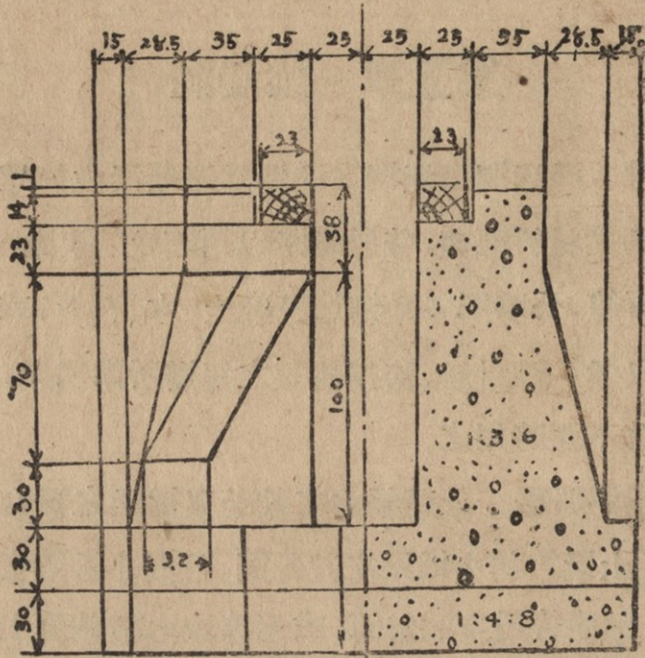
第五章 梁涵洞

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。

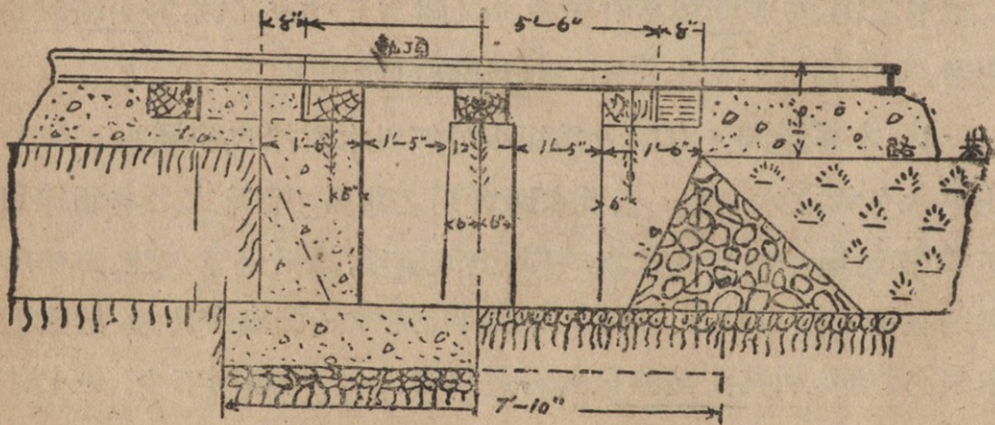
5.2 梁涵洞原理 此種橋台之設計與橋梁之橋台完全相同。木梁鋼筋混凝土梁均與小橋梁之設計同，且與小橋梁實無一定之界別。汽車載重，則照普通方法計算，或用等量均布載重以代其中載重。在鐵道上用短橋載重僅有二輪者，或用等重均布載重。

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。

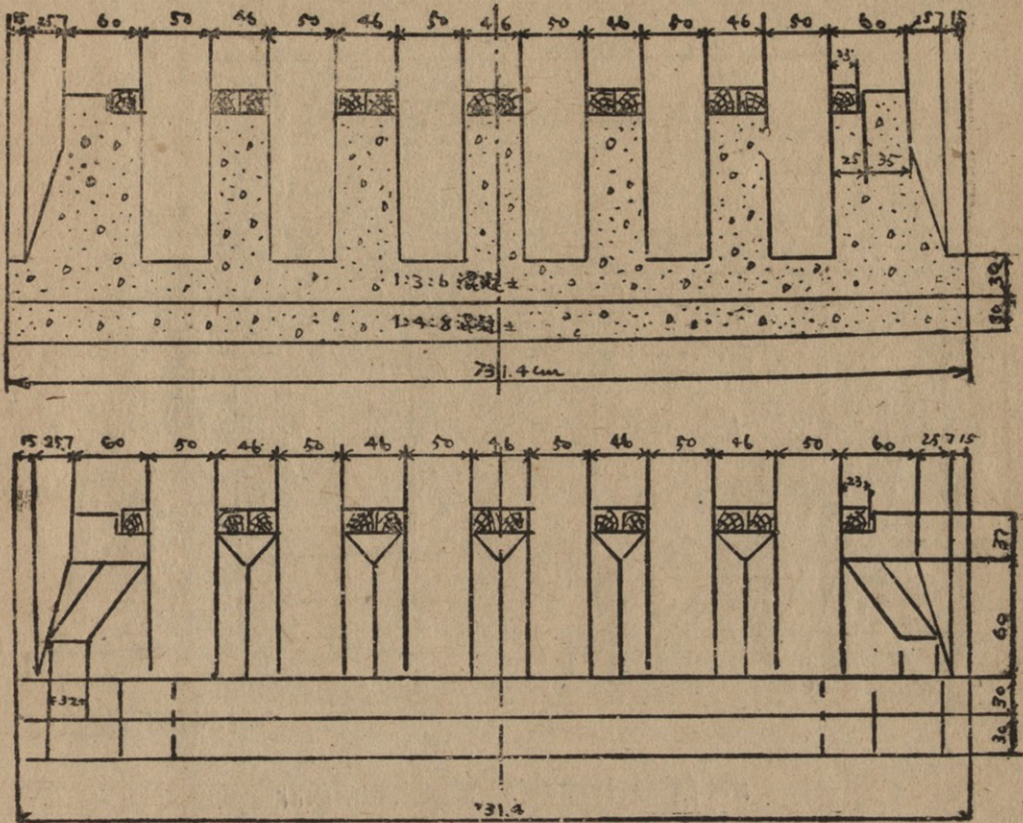
5.4 木梁涵洞 木梁者爲短小跨徑以木爲梁之小橋也。在公路上半永久式之木明渠，石墩木面者用之甚多，臨時式之木涵爲用亦不少。惟暗渠用半永久式者，以其土梁易壞，故結果常欠佳。鐵路所用者則在梁上橫置枕木，枕木上置鋼軌。此種涵洞壽命甚短，故雖價廉亦未必經濟。如杭江鐵路以其爲輕軌者，故用此涵洞不少。5.4 圖



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 平綏路木枕明涵洞



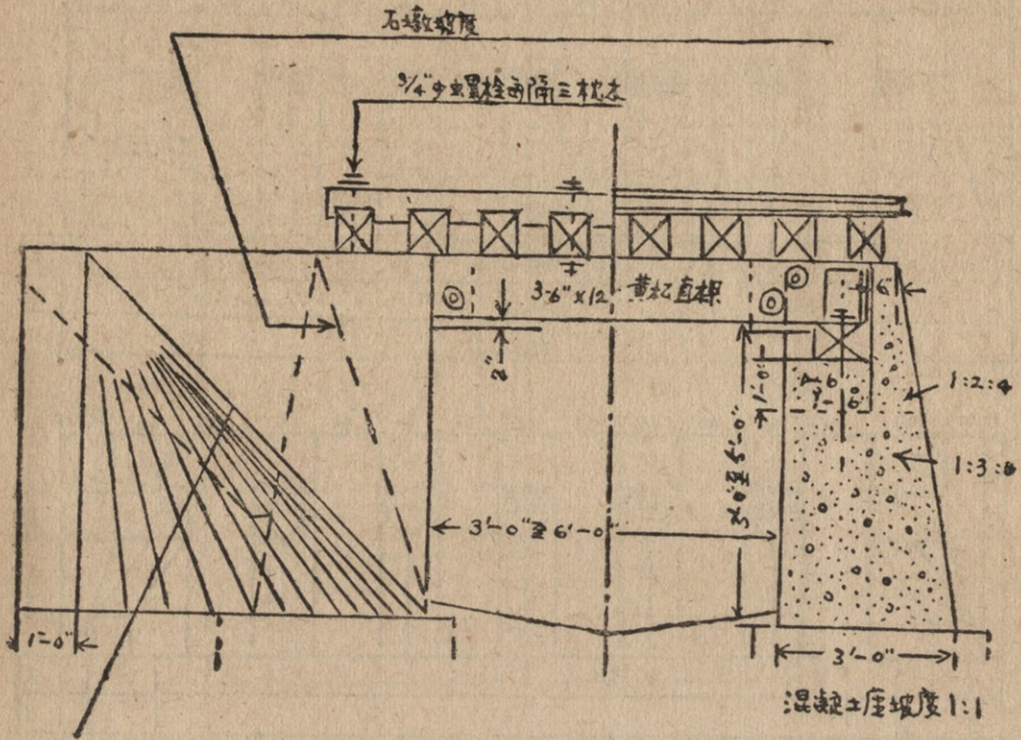
5.3 圖 粵漢路株韶段 6 呎 5 吋明涵洞

即為杭江鐵路之標準圖。

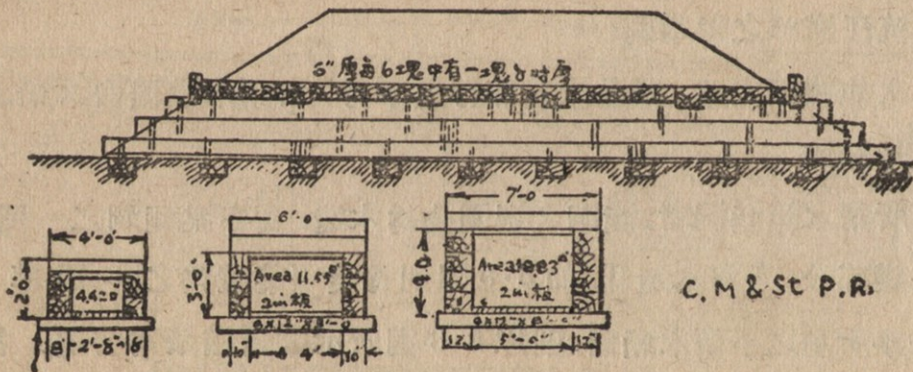
次如趕築之路，路基未實即行通車時，常用木疊橋台木梁涵洞之臨時涵洞。

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。

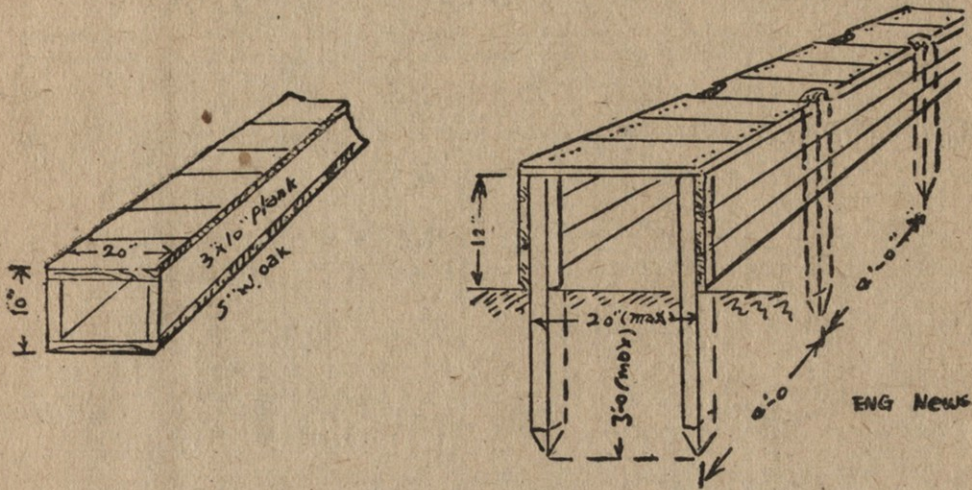
5.5 鋼軌涵洞 此涵洞亦於水坑淺者適用之。蓋水坑淺而水



5.4 圖 杭江路木梁明涵洞之標準設計



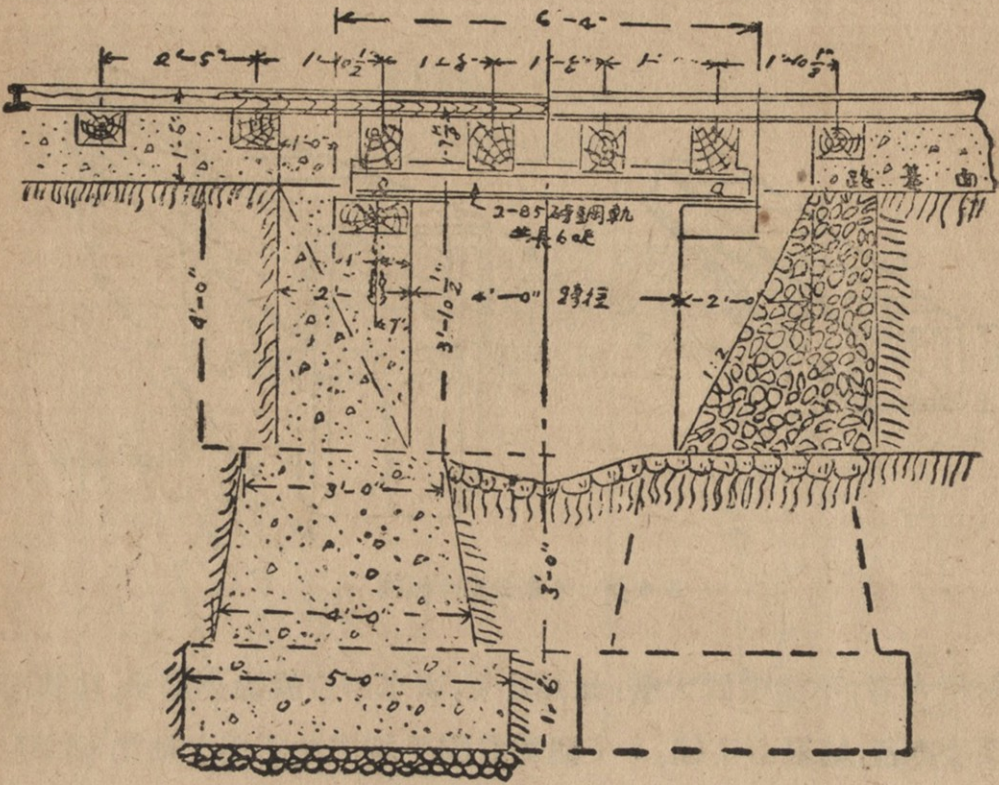
5.5 圖 木箱標準涵洞



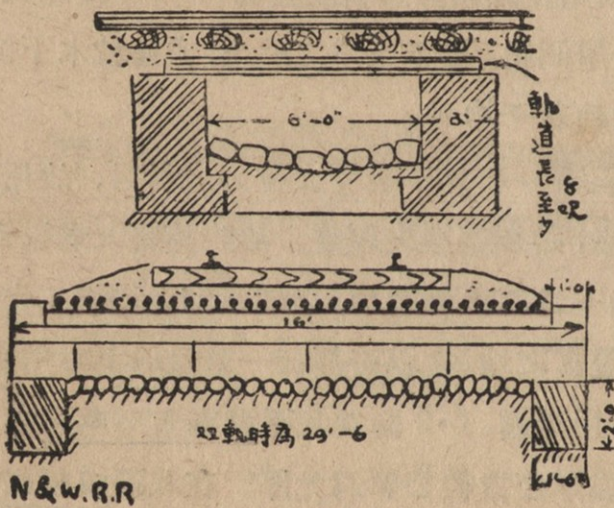
5.6 圖 小型公路木涵洞

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(webs)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。

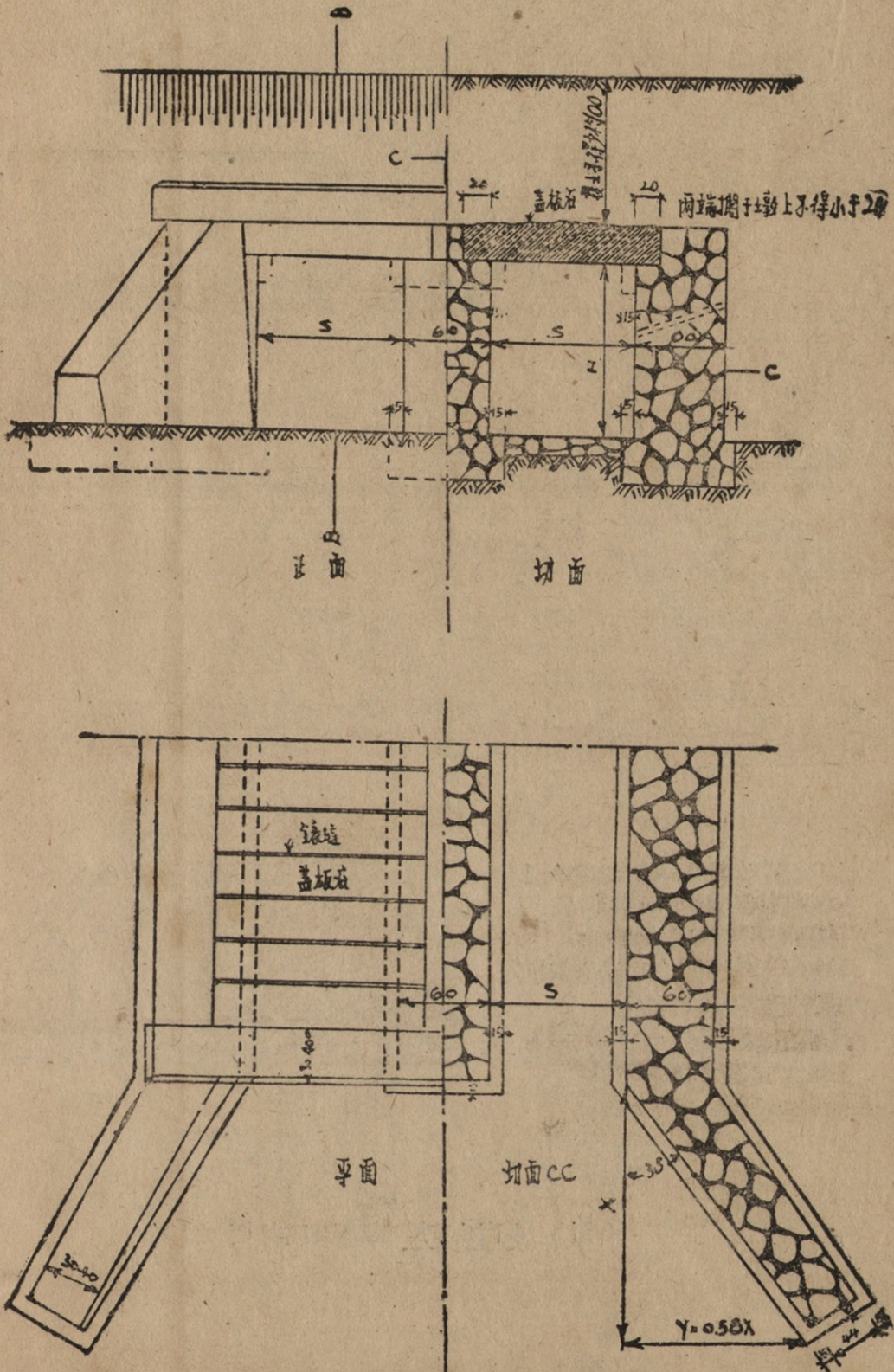
5.6 石梁涵洞 石為不能受大拉力之材料，故用石作之梁涵洞，在路位稍大者，必須甚厚之厚度。故跨徑略大者橋台可用石，梁則以用鋼筋混凝土為經濟而適用。但切石砌成涵洞工作之簡單非常，在石料出產豐富之地，尤以跨徑在一公尺以下者用之最宜，此在我國公路上亦為用至遍，5.9 圖為我國湖南省公路局之標準圖，至鐵道上所用者其厚度當較公路為尤厚。在我國滇緬鐵路所用之範圍，跨徑由4公寸至8公寸，其4—6公寸者厚度25公分，8公寸者厚



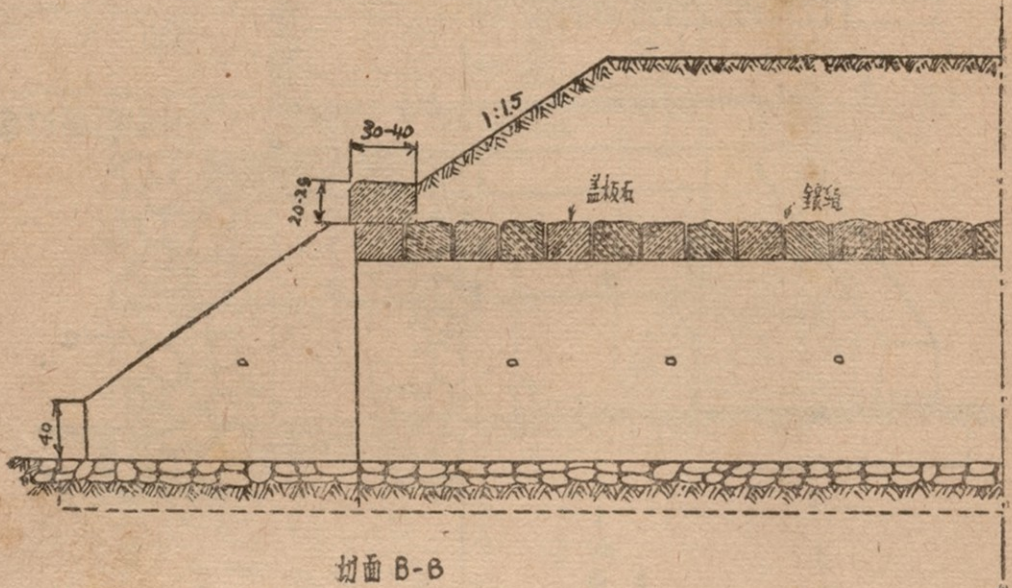
5.7 圖 平綫路之軌梁涵洞



5.8 圖 標準廢軌涵洞



5.9 圖 a 湖南公路局箱式涵洞標準圖



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 蓋板用毛條石切磨整光背面更切磨整平但石質頗堅實者方可採用又鐵繩亦應磨整齊
- 2 蓋板石間之鐵繩不用灰砂砌實以便洩水
- 3 蓋板石不得小於表內規定厚度如難獲得相當石料得照虛錢用毛條石拋出一級或二級
- 4 基礎深度視當地地質情形決定之如地質不良須加打木柱如地質堅硬則須整平再砌
- 5 翼牆高度及坡度視當地情形酌量增減之

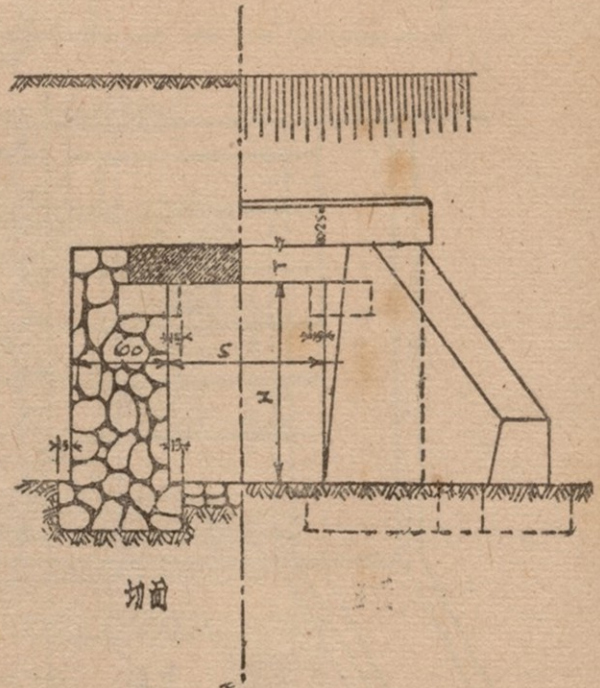
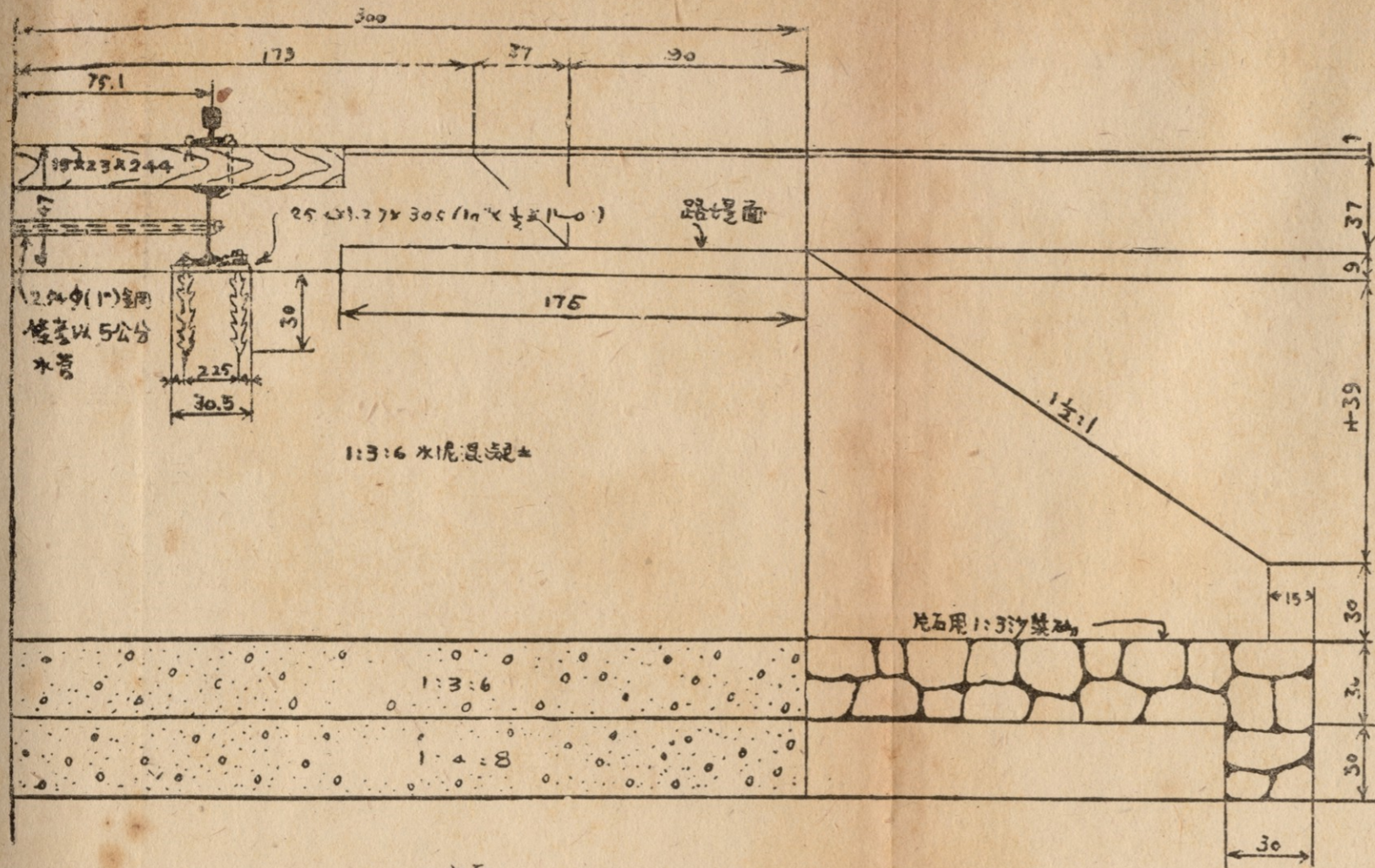
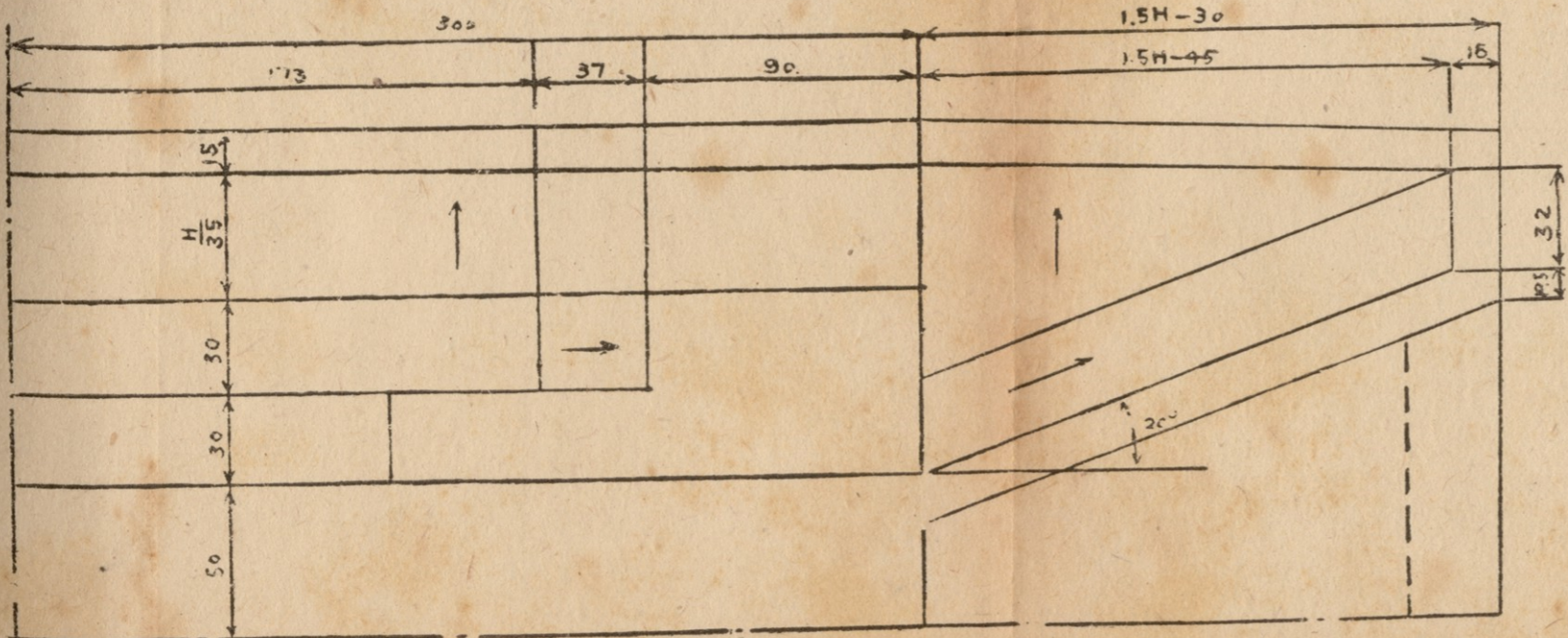


圖 公

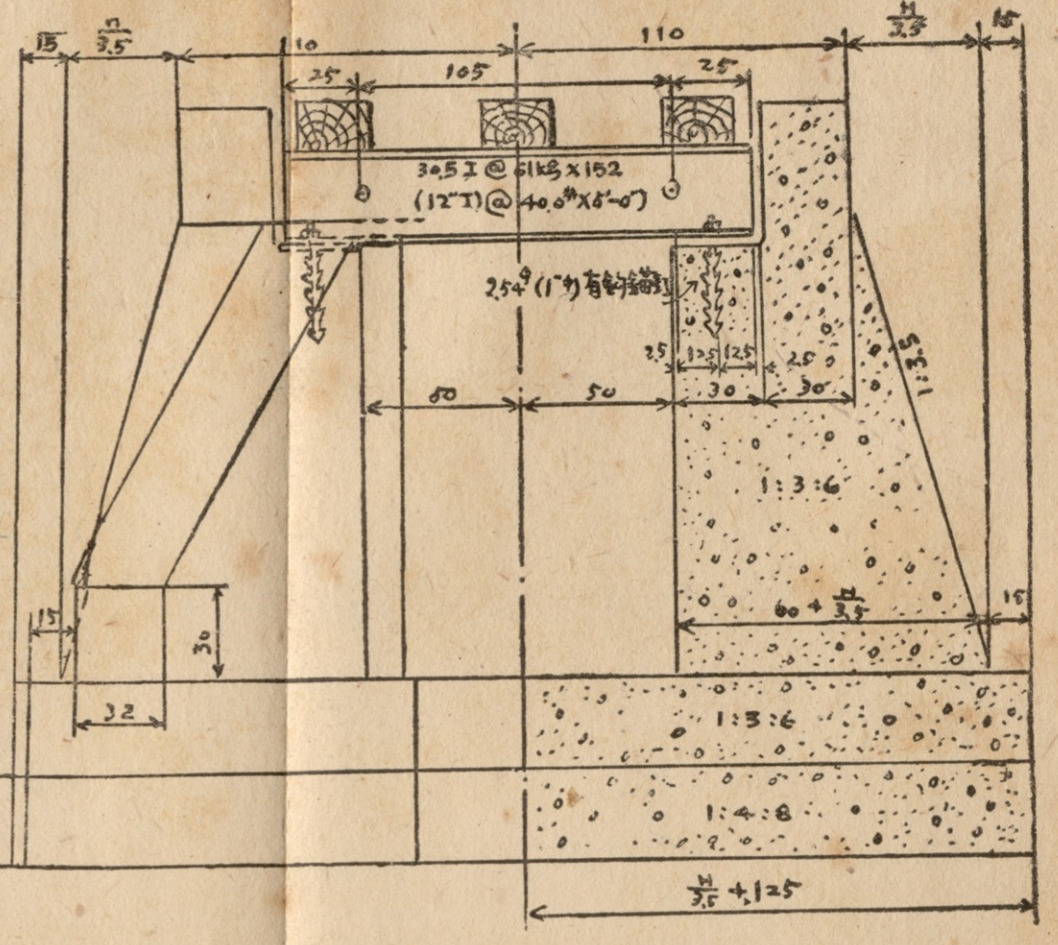
5.9 圖 b 湖南公路局箱式涵洞標準圖



立面



平面



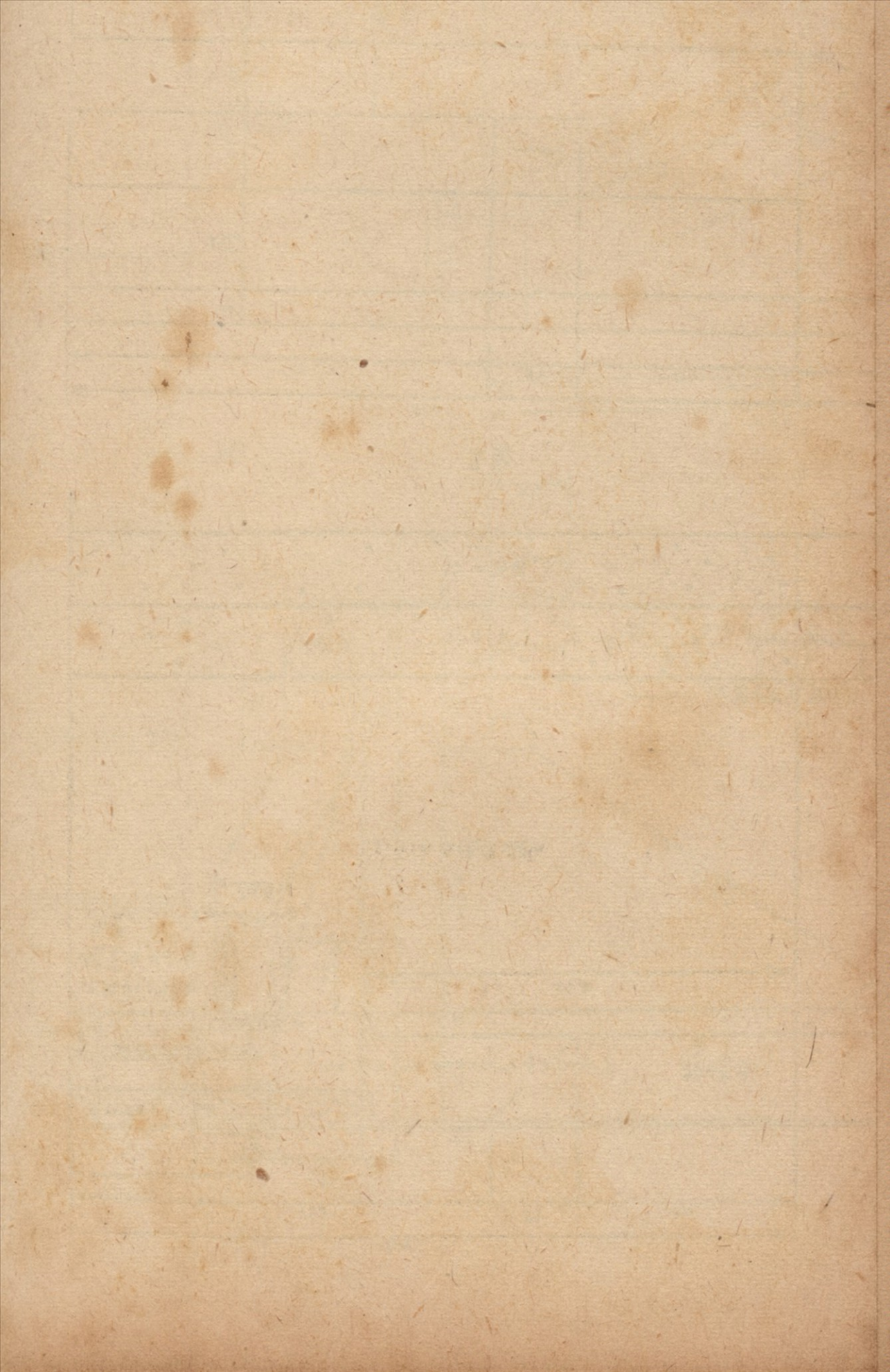
側面

剖面

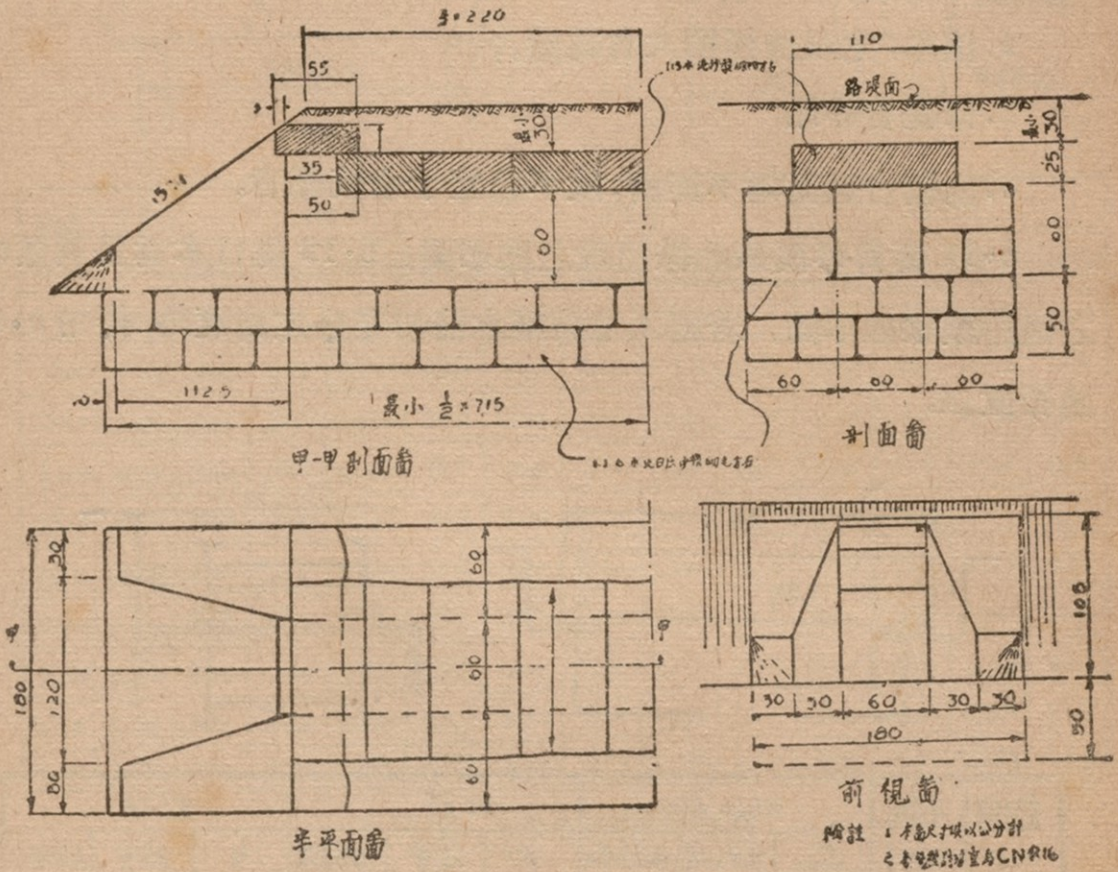
載重古柏氏E50
H以1.8公尺為限過
此則用暗渠

5.11 節

粵漢路一公尺鋼梁明涵洞標準



度 30 公分。5.10 圖即其標準圖之一。



5.10 圖 滇緬鐵路方形暗渠標準圖

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

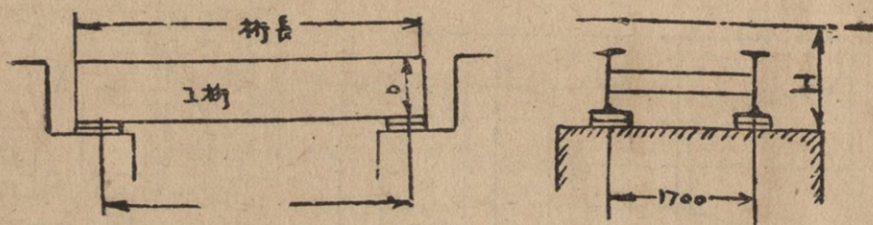
1. 架設簡單；
2. 可承大載重且耐久；

3. 適宜于甚淺之水坑。

劣點

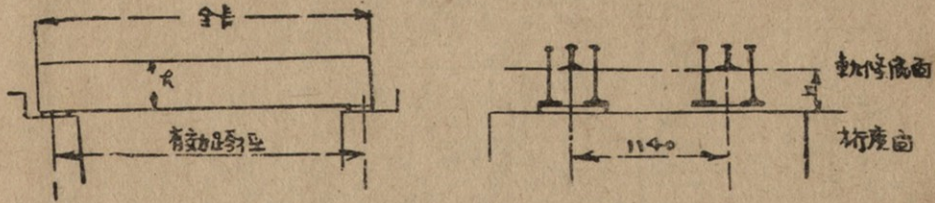
1. 價昂，尤以跨徑稍大者為然；
2. 修養費亦昂；
3. 因橋台過高極不經濟，故不適宜于水坑深者。

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。



橋跨徑 (mm)	全跨徑 (mm)	KS12 (10)			KS15			KS18		
		H mm	總重噸	油漆面積 ^m	H	總重	油漆面積	H	總重	油漆面積
1300	1600	549	0.469	7.6	549	0.469	7.6	599	0.516	7.5
1600	1900	549	0.497	8.3	599	0.553	8.2	649	0.615	9.4
1900	2100	599	0.589	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	25.7
5050	5350	849	1.953	29.1	849	2.409	29.1	849	2.409	29.1
6000	6300	849	2.848	34.0	888	3.007	34.5	861	3.203	35.0
6700	7000	858	3.261	37.0	861	3.525	38.0			

5.12 圖 日本鋼梁明涵洞標準圖

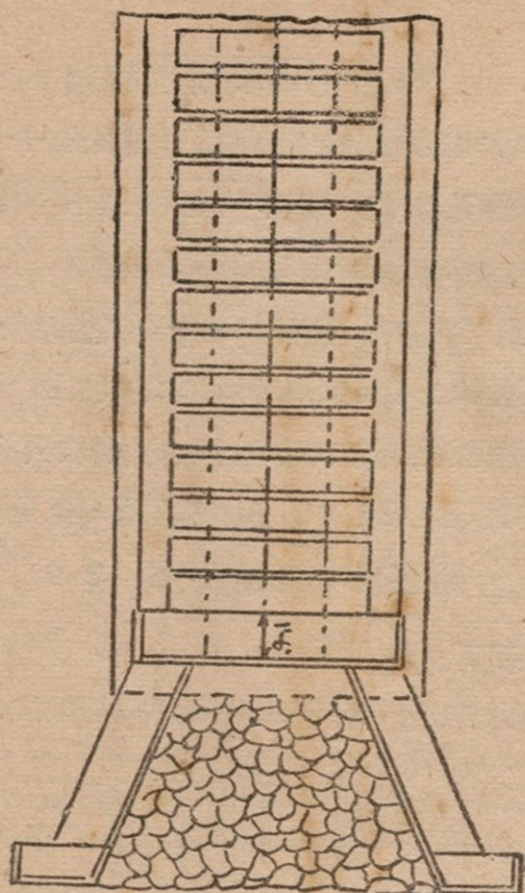
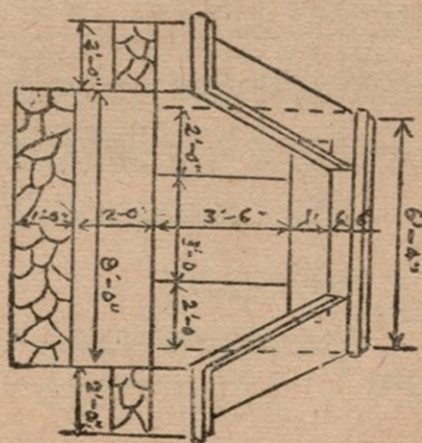
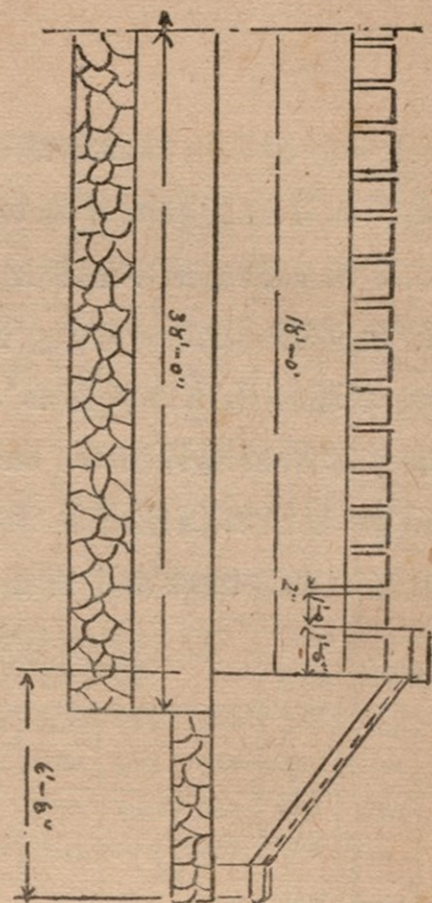


橋跨 底面	全長 mm	KS12					KC11				12518			
		R(mm)	H(mm)	自重 kg/m	油漆 面 m ²	油漆 面 m ²	R(mm)	H(mm)	自重 kg/m	油漆 面 m ²	R	H	自重 kg/m	油漆 面 m ²
1300	1600	300	210	0.856	11.7	300	210	0.856	11.7	300	210	0.856	11.7	
1600	1900	300	210	0.972	13.6	300	210	0.972	13.6	300	210	0.972	13.6	
1900	2200	300	210	1.032	15.0	300	210	1.030	15.0	300	210	1.030	15.0	
2200	2500	300	210	1.149	16.9	300	210	1.149	16.9	300	210	1.149	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	1.764	27.0	350	260	2.203	27.0	
4150	4450	360	260	2.482	31.1	350	260	2.482	31.1	400	310	2.643	32.9	
5050	5350	360	260	2.877	36.8	400	310	3.092	39.1	450	360	3.568	44.1	
6000	6300	360	360	3.635	52.7	450	360	4.214	52.7	500	410	5.024	56.8	
6700	7000	360	360	4.661	57.9	500	410	5.558	62.9	600	510	5.297	69.4	

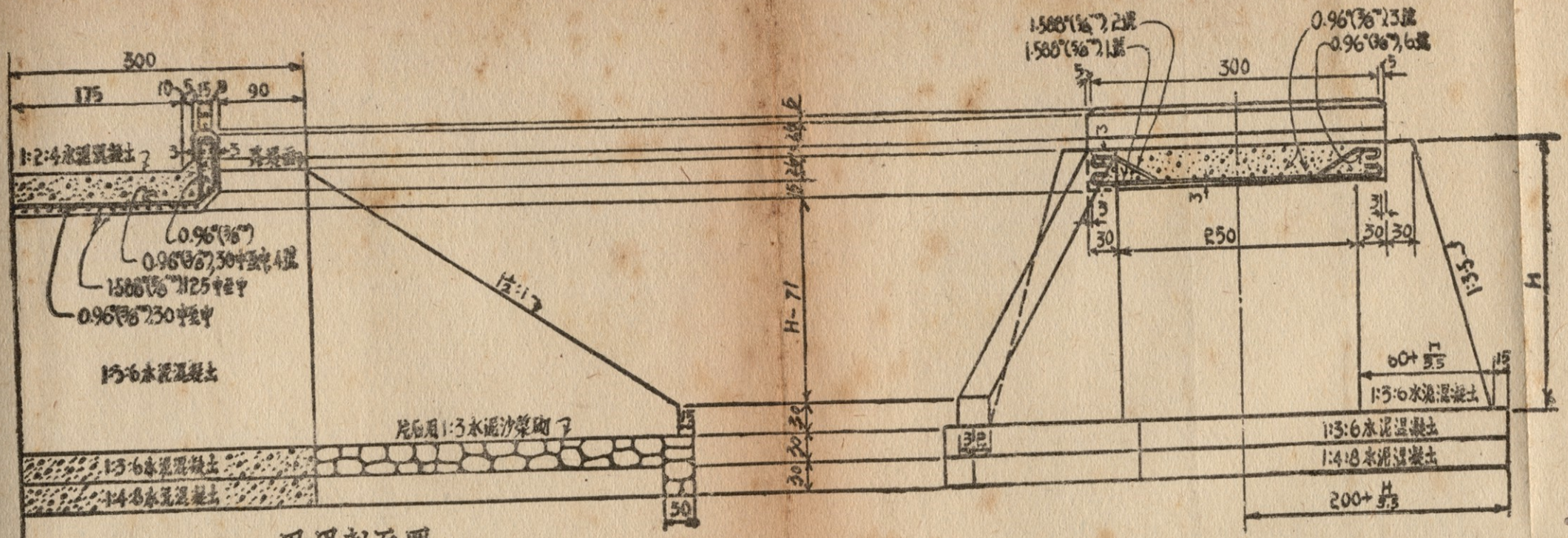
5.13 圖 日本公制涵洞標準圖

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。



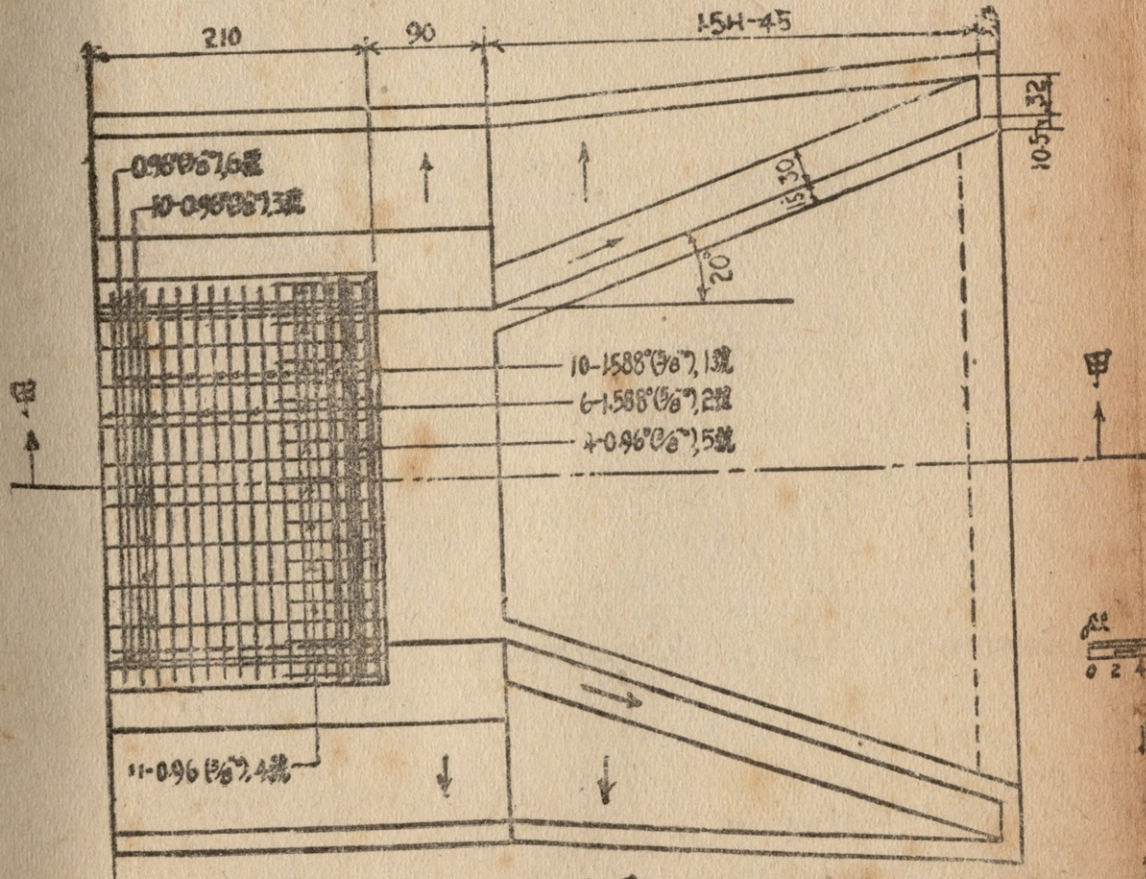
5.14 橋 京滬路橋樑設計 鋼筋混凝土 圖



甲-甲剖面圖

半側面圖

半剖面圖



半平面圖

鋼筋尺寸表

號	直徑	總長	甲	乙	丙	丁	戊	式	圖
1	20	1588	29	292	—	—	—	1	
2	11	1588	27	16	67	146	35	2	
3	10	0.96	762	—	—	—	—	3	
4	22	0.96	274	—	—	—	—	4	
5	8	0.96	304	—	—	—	—	—	—
6	2	0.96	414	—	—	—	—	—	—

附註：
 1. 本圖所用之尺寸均以公分計
 2. 圖上“H”之數最大不得過2.4公尺如超過此數可用略標
 3. 本圖設計時所用之活載重(Live Load)係古布由E-50 (Cooper's Class E-50)

5.17 號 標額段2.5公尺鋼筋混凝土

明滿洞標準

