

楊哲明著

橋樑工程學

于彥



中華全國道路建設協會

十週年紀念

出版叢書第二種

橋樑工程學

---



中華民國十九年七月印行

---

## 道路協會十週年紀念出版叢書旨趣

陸丹林

“總理所定主義與方略，不在託諸空言，而在形諸事實，不僅施諸國家之法律政令，而尤見諸民間之實際生活，故吾黨同志與全國國民，今後必當以孜孜不舍之精神，萃全力於地方自治之工作，俾三民主義，得以從人民之社會生活中茁發滋長，庶於革命救國之義，乃有實際。蓋以今日社會之衰敗，人民生計之窘枯，舍以全黨同志投身於民間之實際社會事業外，莫由拯救脆弱困苦之人民，而實際社會事業之振興，舍扶植地方自治外，無入手之途徑。”此為三中全會宣言對於地方社會事業所着眼之要點也。回思民十年夏，本會成立之初，即誓以犧牲服務之精神，堅苦艱勉之決心，追隨先知先覺，相與努力於全國道路之建設，市政積極改善為職志。十載以還，規模備具，雖乏偉大之成績，實有相當之貢獻。凡所設施，悉遵總理民生主義中民行要政，促進其事實上之進步，而與三中全會宣言諄諄告誡策勉者相吻合也。

破壞告終，亟待建設，我總理遺著之建國方略，建國大綱，對於程序節目，早有詳明之規定。而國道路線網，市政法規，亦經主管機關制定，先後公布。只須全體一致，分工合作，即不難建設三民主義之國家，以竟革命之全功，而立憲政之基礎。茲值本會十週年紀念慶典，吾人因念締造之艱辛，閱歷之險阻，深感使命之倍加重大，事業之推廣益多；自當淬勵精神，緊張工作，從事實際的業務。蓋修治道路，以利民行，推進自治，整理市政，原為訓政時期躋進憲政時期必經之階段。數年以來，藉文字

之宣傳，與事實之表現，當為社會所深識，無容過事鋪張。惟繼今以往，實際事工之推進，與夫職責之艱鉅，殆百倍於昔所運動。譬之征途千里，甫發其軛，既不能矜功自伐，尤不可中道懈弛。我總理有言：“革命尙未成功，同志仍須努力！”責深望切，銘心書紳。故今後於諸種切要業務，尤應充量擴大推行，而不容稍緩者矣。苟此不圖，則吾人能促成時代思潮以前，而不能繼續實際事工以後，則宣傳成績，付之東流；苟吾人不能以充分之業務，供應時勢之需要，不能以切實之工作，圖謀效率之銳增，而過去所犧牲之光陰金錢腦力，成為重擲！會中同人，有鑒於此，謀所以誌慶祝而垂紀念者，爰有路市圖書館之創設，道路月刊特出端號，復出版路市叢書多種，堪為更切實際建設之優良途徑，而供實施研究者之階梯。蓋各書著者，悉屬識驗均優之土木市政專家，經長時間之審慎著述，精密校訂，始付排比，非率爾操觚者，所可比擬。吾人深信必使陸上交通普遍完成之後，市政事業，得呈活潑充實之生機，三民主義，成為實際之社會組織與國家建築，然後人民始有樂利之幸福，吾黨方克盡其職責之時。今者孳孳矻矻，勞瘁何辭，發刊伊始，謹布旨趣 建設同志，幸錫教焉！

十九年北平民衆革命紀念日撰

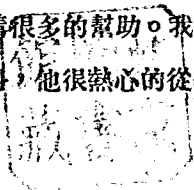
## 自序

中華全國道路建設協會的當局，很早就囑我草一本關於橋樑工程方面的書籍，在當時因為事情太忙，而且這種事務太重大，很想替道路協會的當局，另行物色一位經驗豐富的專家來擔任這個重大的任務。但是他們在本年的三月初，就將“橋樑工程學”的廣告在刊物上露布，這一來，反而使我不得不勉力從事了。

在前年，自從接受了道路協會當局的囑咐，在稍暇的時候，就開始搜集參考書，徵求材料，到現在這一本書，總算是草草的完成，但是很慚愧，恐怕讀者們對於這本書，總有些失望。

草這本書的時候，就決定了一個偏重於道路橋樑的主張，因為道路的建設，比較容易，而且進步也比較快一點。於是便決定這樣去從事於工作。所以書中橋樑的計畫，關於道路橋樑，比鐵路橋樑要多幾倍。則這一本書在道路協會十週紀念的期中發行，可以說兩方面都能顧慮得到。原來的名稱，預備稱為道路橋樑學的，後來與道路協會當局商量，才決定了用現在的名稱。

書中關於磚石弧橋計畫，是根據 Beker 所著的 masonry Construction 中譯述而成，徐煥章先生也譯了，從徐先生的譯作中，得着很多的幫助。我的同學吳華甫君，他知道我向他索取參考的材料，他很熱心的從美國 wisconsin 寄了很多的參考材給我。



此外徐琳徐以枋兩君，他們也給了我很多的材料。汪自省君從浙省公路局方面，也爲我幫忙不少。並承劉鬱櫻先生替我繪圖，本書的完成，對於上列各位的幫助，應當在此竭誠感謝。

關於鋼骨凝土樑的計畫，係根據 Hool 所著的 Reinforced Concrete Construction 草成的，關於鋼骨凝土橋樑計畫，是根據 Ketchum 所著的 Design of Highway Bridges 草成的。其餘的種種，有些是自己數年前的作品，有些是從專書中譯述而來。不過因爲時間的匆匆，和工作的草率，書中所有的譯名和材料，恐怕不免有不妥當不完備的地方，希望海內學者及專家，隨時指教，當竭誠領受，以備在再版的時候修正。

本書所引用的重要參考書的書名，寫在下面：

- ( 1 ) Baker : masonry Construction
  - ( 2 ) Hool : Reinforced Concrete Construction Vol I and Vol III
  - ( 3 ) Ketchum : Design of Highway Bridges
  - ( 4 ) Hool & Johnson : Concrete Engineers Handbook
  - ( 5 ) Bonney & Harger : Handbook for Highway Engineers
- 楊哲明 一九，五，一，上海。

# 橋樑工程學

## 目 錄：

### 第一章 概論

- (1) 上古時期的橋樑
- (2) 中古時期的橋樑
- (3) 近代的橋樑

### 第二章 橋樑之種類

- (1) 總論
- (2) 石橋
- (3) 鋼骨混凝土橋
- (4) 鐵橋及混凝土橋

### 第三章 涵洞及石壩工程

- (1) 總論
- (2) 確定水道的方法
- (3) 端壁及涵洞
- (4) 箱涵洞及弧涵洞
- (5) 鋼骨混凝土涵洞計畫
- (6) 石壩工程概要



## 第四章 橋樑的靜載重及集中重

- (1) 靜載重的意義
- (2) 靜載重的分佈
- (3) 靜載重的分配
- (4) 木料
- (5) 混凝土的重量
- (6) 礫石
- (7) 鋼鐵
- (8) 泥土
- (9) 雪及水
- (10) 各種規例的比較
- (11) 吊橋的鋼索
- (12) 集中重的最大動量

## 第五章 橋樑設計

- (1) 道路橋樑設計概要
- (2) 橋樑位置的檢定
- (3) 經濟計畫的原理
- (4) 橋樑的外觀
- (5) 橋樑構造的形式

( I ) 工字鐵樑

( II ) 版桁

( III ) 鋼架橋

## 第六章 橋樑應力的計算

( 1 ) 最大活載重剪力

( 2 ) 下幅點的最大運動量

( 3 ) 求勃蘭特式架橋的應力

( 4 ) 對角桁上的靜載重應力

( 5 ) 直桁上的靜載重應力

( 7 ) 弦的靜載重應力

( 8 ) 弦應力

( 9 ) 計算勃蘭特式架橋的各種應力

## 第七章 鐵路橋樑計畫

( 1 ) 緒言

( 2 ) 橋床的計畫

( 3 ) 動量與剪力

( 4 ) 桁腹與橫緣

( 5 ) 桁腹結合

( 6 ) 止振及蓋版的

- ( 7 ) 釘心距
- ( 8 ) 斜軸承及交叉構架
- ( 9 ) 構架及軸承版

## 第八章 桁橋的計畫

- ( 1 ) 概要
- ( 2 ) 枕木的計畫
- ( 3 ) 桁上應力的計畫
- ( 4 ) Proportioning Parts
- ( 5 ) 覆版長度的計畫
- ( 6 ) 橫緣上的釘距
- ( 7 ) 覆版上的釘距
- ( 8 ) 端結合的計畫
- ( 9 ) 中部結合的計畫
- ( 10 ) 腳底及磚石版的計畫
- ( 11 ) 橋腳的結構
- ( 12 ) 側軸承的計畫
- ( 13 ) Cross-Frame
- ( 14 ) 伸漲

## 第九章 道路橋樑計畫

- ( 1 ) 緒言
- ( 2 ) 載重的計算
- ( 3 ) 地版
- ( 4 ) 縱桁
- ( 5 ) 地版樑
- ( 6 ) 桁架
- ( 7 ) 橋架各部的計畫
- ( 8 ) 橋樑腹點的紐 Braces
- ( 9 ) 橋脚 Shce
- ( 10 ) 上弦接纜
- ( 11 ) 上弦連接
- ( 12 ) 下弦接纜
- ( 13 ) 側軸承
- ( 14 ) 伸漲與錨狀釘
- ( 15 ) 橋樑各部份計畫所用的材料呎吋表

## 第十章 磚石弧橋計畫

- ( 1 ) 弧橋的種類
- ( 2 ) 弧橋各部的名稱
- ( 3 ) 經濟式的原則

- (4) 鞏固的原理
- (5) 抵力線
- (6) 弧橋的失敗原因
- (7) 旋轉的鞏固
- (8) 破碎的鞏固
- (9) 單位壓力
- (10) 開口縫
- (11) 滑溜的鞏固
- (12) 外力
- (13) 水壓力
- (14) 磚石的壓力
- (15) 土的壓力
- (16) 冠推力的假定原理
- (17) 冠推力的求得
- (18) 破裂縫
- (19) 破裂縫求法之實例
- (20) 求破裂縫不精確的方法
- (21) 弧橋定理
- (22) 普通解法

- ( a ) 旋轉的鞏固
- ( b ) 滑溜的鞏固
- (23) 特別解法
  - ( a ) 不對稱載重
  - ( b ) 化學線之求法
  - ( c ) 抵力線求法
  - ( d ) 規範
- (24) 司奇佛勒氏定理
- (25) 來金氏定理
- (26) 橋墩的鞏固
- (27) 弧橋之經驗公式
- (28) 起線處的厚度
- (29) 橋墩的厚度

## 第十一章 鋼骨混凝土樑的計畫

- ( 1 ) 定義及原理
- ( 2 ) 鋼骨混凝土橋的計畫

## 第十二章 鋼骨混凝土版橋計畫

- ( 1 ) 緒言
- ( 2 ) 載重的計算

- ( 3 ) 版橋各部份的大小
- ( 4 ) 橋版的計畫
- ( 5 ) 鋼骨混凝土版橋計畫詳圖

### 第十三章 鋼骨混凝土T形橋樑計畫

- ( 1 ) 緒言
- ( 2 ) 載重的計算
- ( 3 ) 鋼骨混凝土橋版的計畫
- ( 4 ) 中部樑的計畫
- ( 5 ) 外邊樑的計畫
- ( 6 ) 鋼骨混凝土T形橋樑計畫詳圖

### 第十四章 鋼骨混凝土桁橋計畫

- ( 1 ) 緒言
- ( 2 ) 載重的計算
- ( 3 ) 橋版的計畫
- ( 4 ) 橋桁的計畫
- ( 5 ) 鋼骨凝桁橋計畫詳圖

### 附錄(一)

道路橋樑暨基礎之工程條例 General Specifications For Concrete Highway Bridges and Foundations 彭禹謨譯

# 橋樑工程學

楊哲明譯著

## 第一章 概論

道路及鐵路的功用，為發展實業及便利交通，這是大家所承認的事實，而且是絕對的事實，所以道路及鐵路為近代交通之利器。但是道路及鐵路的路線，一遇河流當前，勢不能飛渡，於是不得借重於橋樑。橋樑的功用很大，橋樑的種類亦很多，茲先將橋樑的歷史，擇要述之。

生民之初，製作簡陋，踐土成蹊以為路，架木橫水以為橋，故橋樑兩字皆從木，其後建築之方法，亦漸漸精巧，於是乃有石橋，鐵橋，到了近代，則盛行鐵骨混凝土橋樑。考橋樑發達的經過，可以分為三個時期——上古時期，中古時期，近代，特分別說明之。

### (一) 上古時期的橋樑

考歷來最古的橋樑，為近代橋樑工程學家所深知者，則為巴比倫跨過敖汝來河的固定橋。此橋之建築時期，約在紀元前六〇〇年，為來博克耐慈 Nebnkadneczar 所造。建築之材料為杉木幹木等作樑，支架於石墩之上。



用石版以建築橋樑，在埃及，希臘等國，曾有希臘人遇跨度較大之橋，常將跟座上端的石層，逐漸向內伸出，最上面的一層，則用較長的石條鎖口，略成拱形。此種石質拱形的橋樑，在中國內地尚多。

跨度較大的石橋，其建築工程，發現於拱形石橋建築以後；此種跨度較大的石橋，係鮑西道氏 Posidonius 所發明，鮑氏的發明，係根據德謨克利烏氏 Demokritos。德氏為希臘之算學家及哲學家，為希臘之阿不代拉人，生於紀元前四六〇年至三六〇年之間。

石造的拱形橋樑，古代羅馬人及維多利亞建築者頗多；皆按照拱形構造的法式，作成種種河橋，谷橋，及引水橋等等。在羅馬者，如跨過啼悲而河之佛普利濟斯橋，及安琪兒橋，與敖格特氏 Augustus 所建築之利比利橋，到現在仍然依然的健在，足供致力於橋樑歷史者的考證。

上面所述的各種石橋，其石拱均為半圓弧式，Semicircle Arch與中國從前的石質拱橋相似。橋墩迎流逆流的兩面，均為尖形；橋墩的橫斷面作梭形。此種橋墩的建築方式最佳，可以減輕冲刷及淤塞之弊。近代的橋樑工程學家，曾經幾度的實驗，卒認此種橋墩建築之方式為最佳；其構造方式之發明，則遠在數千年

以前的羅馬。羅馬，誠不愧稱爲文明的古國了。

木橋工程的興築，從歷史上考察，以羅馬爲最早；工程之偉大，亦以羅馬爲最著。木橋工程，在歷史最有名的，有三種：

- (1) 啼悲而河的木椿墩橋—當羅馬共和國才成立的時候，維多利亞王鮑孫納 Porsenna 對羅馬大興問罪之師。羅馬不能敵，乃大敗。當鮑軍乘勝追逐，欲將羅馬的兵士逼過啼悲而河木椿墩橋，羅馬士卒恐軍追擊，乃將橋樑拆毀。
- (2) 來因河的木架墩橋—此橋爲羅馬皇帝凱薩所建築，爲運軍隊渡來因河之用。
- (3) 多瑙河之木造拱橋—此橋爲羅馬皇梯羅查所建築，建築之時期，是紀元前一〇四年，爲木造拱橋的創始者，其構造之煩雜離奇，頗有研究之價值，其詳細的式樣，刻在梯羅查的紀功坊上，到現在還可以考證。

自從東羅馬滅亡之後，對於工程上有價值之橋樑建築，幾如鳳毛麟角之不可多見，自此以後，橋樑工程的事業，已漸入於頹敗的景象了。十字軍戰爭起後，橋樑的功用，與軍事上的策略有關，於是橋樑工程的事業，已漸漸興起；而橋樑的發展程序，已近於中古時期了。

## (二) 中古時期的橋樑

中古時期的初葉，法，德，英，意等國所造的石橋，亦係半圓拱弧形。橋面的坡度 Grade 頗大，橋拱短促而笨厚。每擇河流的狹窄處，拋塊石於其間，以作橋樑的墩基，於墩基之上，即建築橋墩。以後為力求美觀起見，乃將拱體改為略略平坦的橋面。如列淪泊迎的佛蘭世橋，其矢高與橋孔之比例，而過為一與八之比；且拱體很薄，墩柱頗細，已合於近代新式拱橋的趨勢。

中古時期的石造拱橋，日漸發達，於工程上有研究之價值，而年齡歷歷可考者，如雷根堡之多瑙河大橋，建築於一四一六年；德斯登之左哀而白河橋，倫敦之泰晤士河橋，建築於一二〇九年；愛威瑞之勞耐橋，建築於一一八八年；佛勞倫斯之梯林尼斯橋，建築於一二五一年；維尼帶之利亞爾陶橋，建築於一五八七年至一五九一年等是。

中古時期內，木橋之構造，亦略有進步，最通行的方式，仍為構架式，及懸架式兩種。

至於懸橋，及吊橋等，中國及印度早已有之，其發現時期，雖不可考，但可以斷定其在希臘羅馬極盛之前。

鐵索橋發明於中國，這是從中國的歷史上可以知道的。

### (三) 近代的橋樑

從鐵橋發明以後，在橋樑的歷史上，可以說是開了一個新紀

元。做鐵橋工程，在近代日形發達。鐵橋的建築最敏捷，易於修換，又易於修改，此為鐵橋優點。

鐵橋每有顯明的彈性變狀，因之各結構處，受強力的摩擦，易生鬆脫的現象，此為鐵橋的缺點。

英，美，法，德等國，對於鐵橋工程上之貢獻實多，礙難枚舉，試看中國的黃河鐵橋，就可以代表一斑了。

近代橋樑工程最發達者，除鐵橋以外，則為鋼骨混凝土橋。混凝土只能負強大之壓力，而不能擔負相當的引力，故以鋼骨補其不足，使混凝土與鋼骨各盡其能，互相為用，工程上既可以收鞏固的效用，又可以節省建築之經費，此為鋼骨混凝土橋，在近代橋樑工程上所以盛行的原因。

## 第二章 橋樑之種類

### (一) 總論

橋樑的簡史，在上列的一章中，已有簡單的敘述。本章所敘述者，為橋樑之種類及其建築上之情形。橋樑之種類，不外木橋，石橋，鐵索橋，鐵橋，混合土橋，以及鋼骨混凝土橋數種。木橋在今日，已成過渡時代的一種建築成績品，但間亦有用之鐵路工程上，不過跨度最小；其跨度較大者，僅僅用之於鐵路之支線上，用以通行慢車。木橋所受之衝擊力弱而又易於朽壞。故近代橋樑

工程上，用之者甚少。石橋則發達於上古，極盛於中古，其壽命之長，與所受衝擊力之大，遠非木橋所能及，故近代橋樑工程上亦間有用之者；不過其固有之重量既大，則興工時須有偉大之支柱與廣大之橋基。鐵索橋，則以兩條鐵索平行，中鋪木板，此不過用之於崇山峻嶺之間，以濟道路之窮而已。中國雲南四川等處皆有之。鐵橋之在近代，橋樑工程上用之者極廣，以其便於建築，且易於修換，建築工程所需之時期可以減少，工費又省，鐵橋盛行於近代的原因即在此。然亦有不可不注意之點，因其彈力 Expansion 過大，則各部結構處因之時受一種強力之摩擦，易於發生鬆脫的現象，兼之風雨侵蝕，寒暑推變，減少其所受之衝擊力，在所不免，此為鐵橋之弱點，不可不加以注意。混凝土橋，用之者亦廣，其價亦較石橋為廉；其壽命之長，與石橋不相上下。如建築斜橋或跨度較大之橋，以混凝土建築之最為適宜。混凝土所用之建築材料，為水泥，砂，碎石或鵝卵石，水泥以人造水泥 Portland Cement 為佳，砂以清潔粒粗者為佳，碎石則用其大小不等者。至於配合之量，則以水泥一份，砂二份，碎石或鵝卵石四份。鋼骨混凝土橋，在今日橋樑工程上用之者最廣，以其價廉工省，而所受之衝擊力遠過於石橋，鐵橋，混凝土橋等等，又可以垂之久遠。此種鋼骨混凝土橋，可分為兩種：

(1) 版橋 Slab Bridge ;

(2) 拱橋 Arch Bridge 。

版橋之最大跨度，爲四〇英尺左右；拱橋之跨度，則較版橋爲大。其各種形式，可以隨心所欲，於是橋樑工程師，對於此種鋼骨混凝土橋之設計，鉤心鬥角，花樣翻新，故能外觀極其美麗，內部亦極其堅固。至其壽命，則可謂無窮期。鋼骨混凝土橋在近代所以極形發達的原因就在此。

上述各種橋樑，爲就其大概而言，茲特將石橋之發達經過，鐵橋之建築情形，以及鋼骨混凝土橋之利弊，於下列各節中，分別說明之。

## (二) 石橋

中古時期之石橋，多取材於巨端之琢石，於兩石之間接處，塗以少許之膠泥，使其粘合。自人造水泥發明以後，其粘合力極爲強大，但取尋常之稜石，粘以適宜之人造水泥，其堅固力初不遜於天然石，遇跨度甚大之橋，以及距離產石較遠之區，一切人工與運輸工程之困難，均可以避免。

石橋在建築的時候，爲求其所用之拱架，不致受橋之壓力而變其原狀，每將橋拱自身，分爲數個環拱，依次建築，俟第一環拱工程完畢以後，塗以膠泥，再於其上建築第一環拱。如此則原

有之載重平均，不致變換其原有之狀況。當第一環拱完畢以後，其第二環拱之重量，即可由第一環承受之，無須再用拱架，則計算時，拱架可以省去三分之一，約佔全橋之價額百分之四左右。但此法如用於跨度較大之石橋，則不甚合用。因為當建築的時候，各環拱歷次所受之載重不同，頗難得精確之計算，所以近代設計時，已不用此種分環之方法了。

石橋之建築工程，在興工時為求在建築時免去一切別種壓力起見，常將橋拱分為若干段以建築之。如慕爾貝克那 Morbegno 之愛達橋，就是用這種方法建築的。愛達橋之淨寬為七〇公尺，此種建築，必須令拱架所受之載重，各部份平均，然後才可以保持其原有之狀態。如蒲勞恩 Planen 之許拉谷橋，為稜石所建築。此橋當建築時，將全拱橋所用之材料，均散置於拱架之上，隨時取用，使拱架之載重平均，始終如一，橋拱共留一隙，使拱架於建築時得以隨時糾正其態度。俟建築工程完畢時，再依次連合之。

橋拱用混凝土磚建築者甚少。因混凝土磚之價格，及建築時所需之人工與時間，均不及用混凝土為經濟，故用混凝土磚建築橋拱者實不多見。其著名者，有瑞士古谷爾斯灣 Guggersbach 之神仙橋。此橋之淨寬度為五〇・七公尺；維也納之街橋，其最

大橋拱之淨寬度，爲五五公尺。此二橋之拱，均用分環的建築法。神仙橋分爲二環，維也納街橋，係分爲三環。

石橋，無論在經濟方面，實用方面，美觀方面，均較鐵橋爲優。其所以不能與鐵橋並駕齊驅者，其原因在近代所配合之混凝土，其固力率尙小，遇過大之跨度時，力尙不足支持。近代之石橋中，跨度距離最大者，仍推啼悲而河橋。此橋之淨寬度爲一〇〇公尺；北美洲密西西比河 Mississipi 的佛蘭克林橋，Franklin 此橋之淨寬度爲一二一·九二公尺；魯野 Ronen 之桑卜爾都發來橋，此橋之淨寬度爲一三〇公尺。此二橋的淨寬度，均較大於啼悲爾橋。此外尙有一九一四年擬建之白爾蘭特谷橋，此橋之淨寬度，爲一七〇公尺，特經大戰之後，未能興工；其有計畫而未建築者，則有斯托克霍爾門跨亞爾斯他灣之鐵道橋，其淨寬度爲一七〇公尺；以及紐約跨哈雷門河 Harlemfluss 之亨利胡地孫橋，其淨寬度爲二一六·四一公尺。

與啼悲爾橋相伯仲者，則有郎各維爾賽橋。此橋之淨寬度爲九六米突；奧克蘭之喀拉夫頓橋，此橋之淨寬度爲九七·五四公尺；以及菲雪內菲之羅特橋，此橋之淨寬度爲九八公尺。

在遠距離之石橋工程中，除橋拱之自身以外，最重要者爲橋之基礎。矢高較小之橋，其基礎之建築，較之矢高大者爲難，因



矢高小則橋基所受之橫推力愈大。此外各溫度變遷，橋拱依之而漲縮，地基之結合力不強，橋基有時移動，故計畫時不可不注意及之。

橋基之建築於巖石上者，較他處為堅固。因橋拱可直置於巖石上，所用之橋基甚小，能承受跟座之壓力已足。如遇不堅固之地基，則不得不另求他種方法，使橋基得以穩固。如啼悲爾橋之建築，其矢高與橋孔為一與一〇之比。橋基用井的工作法，填以水泥及礫石，使地基得以堅固。

石橋之跨度，最大者已可達二一六公尺。再大則不可能。據研究之結果，則惟有以鋼骨混凝土橋，可以達最大之跨度。茲將石橋之跨度在八〇公尺以上者，列表於左。

跨度八〇公尺以上的石橋表

橋名	運輸道	建築時間	跨度(公尺)	建築材料	附註
佩特魯思谷橋	街道	一九〇〇—一〇三	八四·六五	稜石共三環	二橋拱距離為六公尺
叙那谷橋	街道	一九〇三—一〇五	九〇·〇〇	稜石一環	
衣孫著橋	鐵道	一九〇四—一〇五	八五·〇〇	硬灰石三環	

### (三) 鋼骨混凝土橋

鐵骨混凝土橋 Reinforced Concrete Bridge，為近代橋樑工程

上之新成績。茲將其利弊述之。

鐵骨混凝土橋之利益，在於極短之時間以內，可以完成其工作；更可以極短之時期以內，將此項工程所用之材料配成。水泥與鋼條，隨處可以採辦；石子及細砂，亦所在皆有。故鋼骨混凝土橋之興工，可以免除消耗時間與昂貴之運輸。其唯一的消耗時間之處，即在模型架之構造。此種模型架完成以後，便可立刻開工。

鋼骨混凝土橋，對於氣候之變化，水火之侵蝕，均不感受影響。除更換道路之鋪砌以外，並無別種修理費用，更無檢查之必要。

鋼骨混凝土橋之壽命很長久。更奇者，其堅固之程度愈久愈顯著。

鋼骨混凝土平橋，自身之重量，常較鐵橋為大，於此可以想見其收得靜力的效用亦多，藉此亦可以減少其震動，這就是因為自身重量愈大則活動的重量與不活動的重量之比愈少的原故。

鋼骨混凝土平橋之跨度，最大不得過四〇公尺。超過此種跨度者，則以桁橋為適宜。如此，則鋼骨混凝土橋之建築，則其支柱所占之地位甚小，支柱間之距離因之甚大。對於橋下之交通，不至於感受困難（指橋下行船而言）。故此種平橋，對於都市中之河流，更為相宜。

鋼骨混凝土斜橋，其兩邊行人道之建築亦甚易，如此橋以石為

建築之材料，則適得其反，因其接縫處很不容易使其完密故也。

鋼骨混凝土橋，不能因外力而發生震動與響聲，因其構成一體，故其內部之團結甚堅固，且較易分佈重力於橫方。

鋼骨混凝土橋之支力極大，其結果可使橫樑中間因外力而生之灣度常較鐵橋為小。計畫鋼骨混凝土橋時，如以等大河漲力計算，則鋼骨混凝土橋樑灣度的數量，將較鐵橋為便宜。鋼骨混凝土橋之橋面路，及其向外伸出之行人道，均可以用極簡單之方法造成，其原因即在於鋼骨混凝土橋，可以聽工程師之自由設計。此外橋面全為一體，故極易於砥柱銜接。因此，砥柱常得一較小之度量。

鋼骨混凝土橋之建築費用低廉，建築之時期亦短。

以上所舉之鋼骨混凝土橋之各種利益，最著者為行人橋，市街橋，以及工廠用橋等等，均以鋼骨混凝土為建築之材料為最佳。至於鐵路橋樑之用鋼骨混凝土建築者，近來亦有之。因近來設計橋樑時，嘗思連續活動之載物重量，常較橋身之重量為大，且載物重量之位置，常常移動，故最高之漲力，亦因之而變動，於是每恐橋身發生極大之震動，以致鋼骨與混凝土，漸漸鬆離，而細小之裂縫，遂致發生。但鋼骨混凝土負重之最高程度，究屬幾何，到現在還沒有確切的規定。所以有許多鋼骨混凝土之建築物，到現在仍依然健在。

在鋼骨凝土之建築中，嘗有和其他新工藝相同的錯誤與惡果發生，其原因則完全由於經驗的缺少。工程之經濟與否，雖與材料之計算有關，而與工人之有無經驗，亦發生莫大之影響。如欲得良好之建築工程，須注意下列兩種事項：

(1) 設計時須詳細的計算；

(2) 興工時須實地的監督。

此外所用之工人，不但須曾受相當的教育，且須有相當的經驗。建築材料之混合比例，須求其適當。在鋼骨凝土工程開始時，鋼骨各部之裝置，頗為重要。

鋼骨凝土橋之劣點，即在橋已完工，而因運輸力之增加，欲再增加橋身之強度，則實為不可能之事。（鐵橋則不然）如遇有他種關係，須將橋拆去時，不但其舊有之材料皆不能用，即經濟方面，亦將受極大之影響。鐵橋在重修的時候，可以在最短之期間內，將鐵橋拆去，以新橋代之，曾經用過之材料，並不損壞。鐵橋之拆修既易，則在交通上，不生任何重大之關係。鋼骨凝土橋在拆毀時，既有殘碎之材料堆積，又須費長久之時間，交通上當受影響。

鋼骨凝土橋所負之重量，有時或較所應負之重略高。因此種鋼骨凝土橋，歷時愈久則愈堅固，當建築工程未曾開始以前，

為將來所負重量增加起見，可以預先將增加之數量列入設計時計算，而經濟上，並不受若何之影響。這一點，也是他種橋樑所不能及的。

欲求鋼骨混凝土拱橋能受極大之壓力，惟一的方法，祇有將鋼骨混凝土之鋼骨量加強。跨度很大之橋，其橋拱所用之鋼骨量，不過為百分之·〇三；而用弧樑式之橋拱，鋼骨之量，則已用至百分之·〇八。

欲使鋼骨所受之壓力率加大，可用極強之平行鋼骨，懸以彎曲鐵，而將支柱之鋼骨紐以鐵絲及鑄鐵條，鑄鐵之壓力率極高，纏繞時可以失去固有之脆性。此種試驗之方法為欲知中心載重及偏心載重時，最為重要。茲特將跨度較大之鋼骨混凝土橋拱中拱頂所用鋼骨量的比例，列表於下：

(甲) 橋拱

橋 名	建築時間	跨度(公尺)	橋拱寬度(生 的米突)	拱頂厚 度(生 的米突)	拱頂所 用鋼骨 量
意薩橋	一九〇三-〇四	七〇·〇〇	八〇〇	七五	〇·一八
克明德爾橋	一九〇七-〇八	七九·〇〇	六五〇	一二〇	〇·二二
哈雪橋	一九一一-一三	八七·一五	六五〇	一一五	〇·一〇
思苦魯橋	一九一四-一五	七二·〇〇	六七〇	一〇五	〇·一一

亞爾橋	一九一四	八二·〇〇	六〇〇	一二〇	〇·二〇
奧爾河橋	一九一七—一九	九〇·〇九	五一二	一三〇	〇·二九

## (乙) 雙拱樑

橋名	建築時間	跨度(公尺)	橋拱寬度(公尺)	拱頂寬度(公尺)	拱頂所用鋼骨量
克拉夫頓橋	一九〇七—一〇	九七·五四	一二二	一六八	〇·二五
拉里美爾橋	一九一一—一二	九一·五七	一四〇	一九八	〇·七四
郎克維思谷橋	一九一二—一四	九六·〇〇	一〇〇	二一〇	〇·八〇

註：表中係指一樑而言

## (四) 鐵橋及混凝土橋

石橋及鋼骨混凝土橋之大概情形，以及工程上優點，在上述之各節中，已盡其大要。茲乃將混凝土橋及鐵橋述之。

## (1) 混凝土橋

混凝土橋之功用，與石橋不相上下。建築時須注意下列各點：

- (a) 材料之選擇—如水泥之選擇，砂及碎石之挑選等等；
- (b) 設計之注意—設計時須注意橋身所受之靜載重及動載重。靜載重，即為混凝土橋本身之重量；動載重，為通行橋面車馬及行人的重量。

混凝土橋，如在材料缺乏之處，則較為便宜。此外如斜橋或跨度較大時，則混凝土橋，亦佔優勢之地位。

## (2) 鐵橋

鐵橋之優點，在前節中已略略述及。近代橋樑工程上，用之者極廣。如工業發達的國家，鐵橋之建築工程必更形發達。歐美各國。橋樑工程之成績，除鋼骨混凝土橋以外，當首推鐵橋，因鐵橋有下列各種優點，茲列舉之：

- (1) 建築鐵橋之費用經濟；
- (2) 能達較大的跨度，而有比較小量的固重；
- (3) 建築敏捷，且輕妙美觀；
- (4) 易於修換，且不費時間；
- (5) 裝置迅速。

鐵橋有上列的五種優點，其所以能夠和鋼骨混凝土橋並行的原因，也就是因為上列的幾種優點。至於缺點，則為結構處因彈性的作品而發生摩擦；氣候之變遷，風雨之侵蝕，亦足以使鐵橋減少其負重之能力，而發生鬆脫之現象。故鐵橋所需之修理費頗大。至於鋼骨混凝土橋則無須修理費。

## 第三章 涵洞及石壩工程

### (一) 緒論

涵洞之功用，在排洩路面下之水。降雨於地面，雖有一小部分之水滲入地內，然大部分之水，則仍留於面上流動，入於地面最低之處，則成水坑。此種水坑，在天稍晴時往往水即被蒸發而乾涸，常與路身相交叉，故建築道路時，勢不得不於路隄（Em bankments）之下，建設水道，使水流得以自由宣洩，以防止流水侵入路隄，有損於路隄之健康。此種所建築之水道，即謂之涵洞。

涵洞亦常用於小溪流上，以代橋樑之用。故涵洞之名稱，將應用於水坑或小溪流之通過路隄時，其跨度之寬，不過為一五英尺或二〇英尺。建築之方法，則視水道面積之大小，以依普通工程上之設計以建築之。涵洞之功用，實與橋樑相同。故在工程上遇水面跨度較小者，則建築涵洞；遇水面之跨度較大，則建築橋樑。

計畫涵洞時，第一須注意水流之方向，及確定水流之總量。欲求水流總量之確定，必須實地作精密的考察，覓得詳細的統計以為計畫之根據。故涵洞之大小，雖難以確實測定，但必須求一精巧之方法以決定之。如涵洞太小，則有下列的弊害：

- ( a ) 沖洗路隄；
- ( b ) 衝毀涵洞；



- (c) 影響於路身之健康；
- (d) 阻礙交通；
- (e) 修理之費用大。

涵洞太小，已有上列的弊端。然涵洞如太大，雖可以減去上列的弊端；而建築之經費，亦因之而加大，在工程經濟上頗不相宜。故建築涵洞，必須先行確定水道面積之大小。確定水道面積之大小，有下各點，可作根據，特一一說明之：

### (1) 雨量

暴風雨最烈的時候，其間所求得之雨量，即為最大之雨量。計畫涵洞時，須以最大之雨量為標準。

### (2) 流域之面積

水道面積之大小，與流域之面積有密切之關係。故計畫涵洞，須先求流域面積之大小。如流域面積甚小，則於預測時即可包括於預測圖之內；如流域之面積過大時，則非預測圖所能包括。則可設法以求得相近之值，或特別測之以求較確之統計。

### (3) 流域之地勢

如流域甚長而狹，坡度甚緩，則水由遠處流至涵洞，費時必久，其流量將較為有律。然如流域最遠之部分，坡度十分崎斜，水流甚急，其結果大概與該流域各部分之洪流並駕而至。如是則

水道面積必增大。

#### (4) 土質與草木

雨水自空中降於地面，由地面匯流於水道，其流速之大小緩急，與土質草木有關係。凡地之土質粗鬆，表面起伏，草木葱蘢者，則水之滲透既易，含蓄必多。故雖霖雨驟至，能使水遲遲下流，不致釀成洪流；且其大水量，不論何時，可得較小之總計數目。如巖石顯露，土質堅密，草木稀少之地，則水之滲透既難，含蓄亦不易，驟雨一至，立即奔流而下，瞬息之間，成爲洪流，水道必增大。

#### (5) 水坑之情形

水流之緩急，與水坑之情形，亦有關係。凡水坑闊而淺，曲折多險，坡度小則水流必緩；緩則水之達於涵洞之時間必長久，流量可得較少。如水坑狹隘，坡度傾急，灣曲甚少，無有障礙，則水流必急，急則水之達於涵洞之時間必短促，流量亦必因之而突然大增。

#### (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爲定。應注意者有下列各點：

##### (1) 涵洞上下二端裝置之適當與否；

(2) 涵洞本身之性質與裝置，其關係如下：

- (一) 涵洞愈長，則水的宣洩不易；涵洞較短，則易於排水；
- (二) 涵洞之坡度愈急，宣洩愈易；坡度愈緩，則愈不易洩。涵洞之下端，須暢達而無阻礙。不然，坡度雖急亦等於無用；
- (三) 涵洞切面之形式，以其水徑大者易於宣洩，小者則不易於宣洩；
- (四) 涵洞接水面粗滑之關係。粗則摩阻力大，宣洩不易，滑則摩阻力小，易於宣洩。
- (5) 受水位壓力之宣洩

遇路隄甚低時，則建設涵洞必較深，往往可使水上漲高於涵洞之上。如是則水之宣洩必位水位之壓力，故其洩量必增大。大約高於涵洞四英尺之水位，較高於涵洞一尺之水位，其洩量可增加一倍。如遇此種情形，則須建築特別堅固之涵洞，路隄宜密封不易漏水，然後可保安全。

## (二) 確定水道之方法

確定水道所需面積之方法有二：

- (a) 用經驗公式法；

(b) 用直接觀察法。

茲特將此兩種之方法，一一述之。

(1) 經驗公式

經驗公式，近來工程家所提議的很多。但此種公式，不過就其大概之值而言。因無論何種公式，如果不得確切的統計以為根據，則結果必不圓滿。故用各種公式，設計同一的問題，其所得之水道面積的結果，必不一致，其原因則有下列兩種：

(a) 因其所估計之各種條件，難免有錯誤之處；

(b) 因推定公式，其結果依各地的情形不同而大異。

例如公式之推定於天氣乾燥之地，與潮濕多雨之地所得之結果，一定不同。故適用於潮濕地帶之涵洞計算公式，必不適用於天氣乾燥之地。公式之推定於鄉曲農林之區域，必不適用都會之區域，這是必然的。

然此近似之公式，集合多數。工程師之經驗所得者，亦有時可以應用。

經驗公式，可分為兩類：

(1) 表示宣洩每單位流域面積之水量；

(2) 表示於該水道屬地面積疆界內，所排之水道面積。

前者嘗稱之為流去公式 Run-off Formular，此式表水之總

量。假設達於涵洞，而涵洞之面積坡度形式等等，必須斟酌之，使水之總量得以通行無礙而後可。但以不可靠之記載，而欲決定其任何定式之涵洞瀉量，實為事實上所難能。故第一類公式之用處，既難以求確實之考証，更加以繁雜，故無討論之必要。

第二類公式，即直接表其屬地面積疆界內所排之水道面積。普通所用者，為梅爾氏 Myer's 與陶爾波脫氏 Talbots 兩公式。設  $A$  為水道面積，其單位為方尺。  $A$  為流域面積，其單位為英畝。

梅爾氏 公式，為一八八七年梅爾氏 E. T. D. Myers' 所提倡，其公式如下：

$$A = C\sqrt{A}$$

此式中之  $C$ ，乃指一變更係數。

在微有起伏之大平原，嘗以一代之；

在丘陵之地，以一又二分之一代之；

在巖石山嶽之地，以四代之。

於流域面積不大之區，則此公式所得結果似乎太大。例如按此公式，則一方尺水道之涵洞，將僅負荷由一英畝來之水。且如此公式確證明為過量時，則水量之由固定面積而來以達於涵洞。以此公式所求之水道面積增加，將比流域面積之方根更速。所以此公式用於流域面積不大之區，則所得水道面積必嫌過大；用於流域甚廣大之地域，則所得水道面積必嫌過小。

陶爾脫波氏公式，爲一八八八年，陶爾脫波所提倡，其公式如下：
$$A = C^4 \sqrt{A^3}$$

此公式中之  $C$  爲由一分至六分之一之變更係數。

由各處之記載所得， $C$  之值如下：

在峻峭與巖石之地，則  $C$  爲由三分之二至一；

在起伏墾植之鄉下，受雪解之洪流，而其谷之長三倍或四倍於其闊者，則  $C$  之值在三分之一左右。如以其面積爲比例，則溪流愈長者，可以減少  $C$  之值；

在與積雪無關之地，而其谷之長數倍於其闊時，則五分之一或六分之一，可以代  $C$  之值；

如谷之上部，特別有比在涵洞之水坑更大之瀑布時，則  $C$  之值應因峻峭邊斜坡而加大之。

以上所述，爲公式中  $C$  值之變遷，茲更舉例以證明之。如流域面積爲一〇〇英畝，則水道面積應爲  $C \times 31.8$ ，於是此面積應按鄉土特性之不同，而異其由五方尺至三方尺之值。從此可知以前所估計之值，乃依係數之選擇，而不注意於局部雨量之變化。

提倡此公式者，曾根據試驗涵洞及都市中的小橋樑，與微有起伏的鄉村道路的涵洞，以求得其一五年至二〇年間之經驗，所

得的結果，亦大致相同。在以上的各種試驗中，以此公式所求之各水道，平均每四年或五年之間，大約將受微小的洪流一次。

在上述的兩種公式中，應以其變更係數，視為水道面積的大小所由出，所以這兩種公式用為確實計算的法式，不如用為指揮判斷為適當。

此外則有以係數 C 之值為定數者，其公式又有下列三種：

(1) 佛林氏公式

佛林氏公式，為 J.T. Fanning 所著，

$$A = 0.230 \sqrt{A^5}$$

此公式於各種情形變化有影響於水流之處，不能應用。

(2) 麥思氏公式

麥思氏公式，為 R. mc math 所著，

$$A = 0.59085 \sqrt{A^4}$$

此公式最初僅用以計畫暗溝，現在通用之。與佛林氏公式相同，不許用於各種情形有變化之處。

(3) C.B. and Q 公式

$$A = \frac{0.46876A}{340.079A}$$

此公式與佛林氏公式頗相同，與陶爾波脫氏式中，C 為平均値時，亦大致相似。但陶爾波脫氏公式，有伸縮之便利。

## (4) 直接觀察

欲求各種涵洞之大小適當，必須由直接觀察，以得其有價值之記錄而確定之。此種有價值之記錄，可得之如下：

- (1) 觀察同一溪流水面之大小；
- (2) 選擇高水位時，當溪流狹處，測其橫斷面；
- (3) 考據以前洪水時浮物遺跡，與當地居民經驗之確證，以定水位之高低。

關於確定水道之方法，已如上所述，茲將歐美各國之最大雨量表列左，以供參考。

## (一) 歐洲最大雨量表

地名	每秒每英畝之水量 (立方呎)
巴黎	一·七七
維也納	一·〇七
漢堡	一·一一
柏林	〇·八八
倫敦	一·〇〇
英國各市	一·〇〇

## (二) 美國最大雨量表

地名	五分時間雨量	十分時間雨量	六〇分時間雨量
----	--------	--------	---------



華盛頓	七·五〇 (立方呎)	五·一〇 (立方呎)	一·七八 (立方呎)
紐約	七·二〇	四·九二	一·六〇
波士頓	六·七二	四·九八	一·六八
芝加哥	六·六〇	五·九二	一·六〇
麻省	四·八〇	三·八四	二·二五

根據上列的最大雨量表，可以運用計算水路面積的公式：

$$Q = Cr^4 \sqrt{\frac{R}{S}}$$

Q = 達其排水渠之口每秒鐘每英畝之水量 (立方呎)；

C = 係數，因路面性質之不同，在31—75之間平均則用62；

R = 每秒每英畝下降平均雨量 (立方呎)；

S = 每1000呎平均之勻配；

A = 排水面積。

註：1 英畝 = 43560 平方呎 = 4840 平方碼。

### (三) 端壁及涵洞

涵洞有兩種不相同的部份：一部分為涵洞的本身 (軀幹)；一部份為涵洞兩端的護壁翼壁。因此，涵洞的計畫，亦可以分兩部份討論：

- (1) 涵洞之軀幹 Trunk of Culvert, 或空桶切面的大小;
- (2) 端壁 Head-Walls 或翼壁 Swing walls 之設置, 以爲保護路隄及使流水通過涵洞。

涵洞軀幹因其形勢之不同, 大別之可分爲三種:

#### (一) 管涵洞

管涵洞 Pipe Culvert 其形如管或如圓桶, 常設置於水道面積甚小之處。

#### (二) 箱涵洞

箱涵洞 Box Culvert, 其形爲四方或長方, 如箱形相似, 但兩端相通。此種箱涵洞, 不論水道之大小, 均甚適宜。

#### (三) 弧涵洞

弧涵洞 Arch Culvert 其涵洞之上部形如弓弧, 或如小拱橋。此種涵洞, 常建築於水道面積大於一〇平方呎之處。

箱涵洞及弧涵洞, 當於下列各節述之, 本節則專論管涵洞。

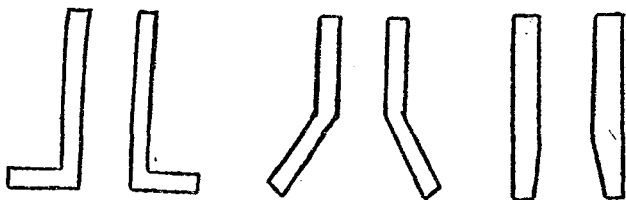
#### (一) 陶管涵洞

涵洞二端之計畫, 不論其爲箱涵洞或弧涵洞, 其二端完工之法, 可分爲下列三種說明:

- (1) 垂直翼壁 翼壁與涵洞之軸成直角。(第一圖)
- (2) 張口翼壁 翼壁與涵洞之軸成三〇度之角度。(第二

圖)

(3) 平行翼壁 建築與涵洞之軸平行，其涵洞之塊 Abutment 與翼壁之背成直線，惟稍擴開或向外張開其兩外端，以減薄其壁。(第三圖)



第一圖

第二圖

第三圖

以上三種翼壁之建築材料，以第三圖中所示之平行翼壁較為經濟。以第一圖中所示之垂直翼壁為最多。至於第二圖中所示之張口翼壁，其最經濟之角度，為與涵洞之軸成三〇度的角度。

從前最簡單之管涵洞有三種：(1) 陶土管，(2) 鑄鐵管，(3) 混凝土管。近來則用鋼骨混凝土管，及綫紋管，鐵殼管等等。

管涵洞能經久，且以其表面之光滑計之，其關於水力的效力亦大，其價格亦較廉，且易於置得其所而不易損害路床。

陶管應用於路隄之下，以代小涵洞之用者頗廣。不過陶管之直徑為三〇英寸以內者，至少須有一八英寸泥土覆蓋於其上。如

路面普通之活動載量在八噸或一〇噸時，則至少須有二四英寸之土覆蓋其上。

陶管涵洞施工時，須注意下列各點：

- (1) 管之坡度，不得少於五〇分之一、或百分之二；
- (2) 管與管之結合，宜以人造水泥及絮塞之，便勿漏水；
- (3) 管端之末部後面，以石或有孔性物質填之；
- (4) 設置陶管時，須將路床做成半圓形的槽，以便安設；
- (5) 涵洞的末端，宜用木材的，磚石的，或混凝土的岸壁以保護之。

陶管涵洞之內徑，通常所用為二四呎以內。超過於此種限度者，須使用大管。使用大管，不可不保其抗壓之強度。然二四吋以下之陶管，強度充足，工費亦廉，用為道路之排水渠，最為適宜。但其接合處須注意者，為路面之砂塵，流入管內，使管內淤塞。故六吋以下之陶管，在涵洞工程上多不用之。茲將美國陶業會社所規定之陶管表及東京市所用之陶管表列下，以供參考。

(一) 美國陶業會社陶管表

管長(呎)	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3	3
內徑(吋)	6	8	9	10	12	15	18	20	24
厚(普通)	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	1	1 $\frac{1}{8}$	1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{3}{8}$	1 $\frac{1}{2}$

厚(特別)

1½ 1½ 1½ 1½ 2

(二) 日本東京市使用陶管表

管長(尺)	2	2	2	2	2
內徑(尺)	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0
厚(寸)	0.8	1.0	1.2	1.3	1.6

檢定陶管，須選其品質堅緻，火度充分，圓度均勻，無龜裂的痕跡，無沙眼之瑕點，擊之則發鏗鏘之聲，即為良好之陶管。

## (三) 鑄鐵管涵洞

陶管涵洞之建築大概，已如上所述，茲乃述鑄鐵管涵洞。鑄鐵管涵洞，在涵洞工程上亦多之，但常用於水道之大而非陶管所能勝任之地。鑄鐵管作為涵洞，其口徑可由一二英寸至四八英寸，每段之常為六英尺八英寸，或一二英尺。美國之密西西比流域全部鐵道曾用之。近年道路工程所用者，皆比尋常之水管為重，其大小亦視各路之情形而異，通常所用者，詳於下列之表中。

## 鑄鐵管涵洞之大小

直 徑	每呎之重量	厚 度	每方呎面積 每呎之重量
吋	磅	吋	磅
12	75	0.52	96
18	167	0.73	94

24	250	1.00	80
30	334	1.06	63
36	450	1.12	64
42	600	1.38	62
48	725	1.44	57

但鑄鐵管涵洞，在近代工程上用之者甚少。其原因有下列兩種：

- (1) 鑄鐵管涵洞直徑較大者，常常受壓力即易於裂開；
- (2) 混凝土管涵洞之建築，其價值較鑄鐵管涵洞為廉。

不過混凝土缺乏之處，用鑄鐵涵洞亦可。

建築鑄鐵管涵洞時，應注意下列數點：

- (1) 管之安設，宜稍稍傾斜，則管不為兩端所支持，且不致如橫樑的折斷；
- (2) 使泥土貼合於管底。則管底所受之壓力平均，且可普傳於全底及兩側；
- (3) 因管所受之力，大概中部較兩端為大。故管底之中部之建築，應較兩端為高；
- (4) 管之下及沿管之邊，夯土需堅實，使管有堅強之縱支力；

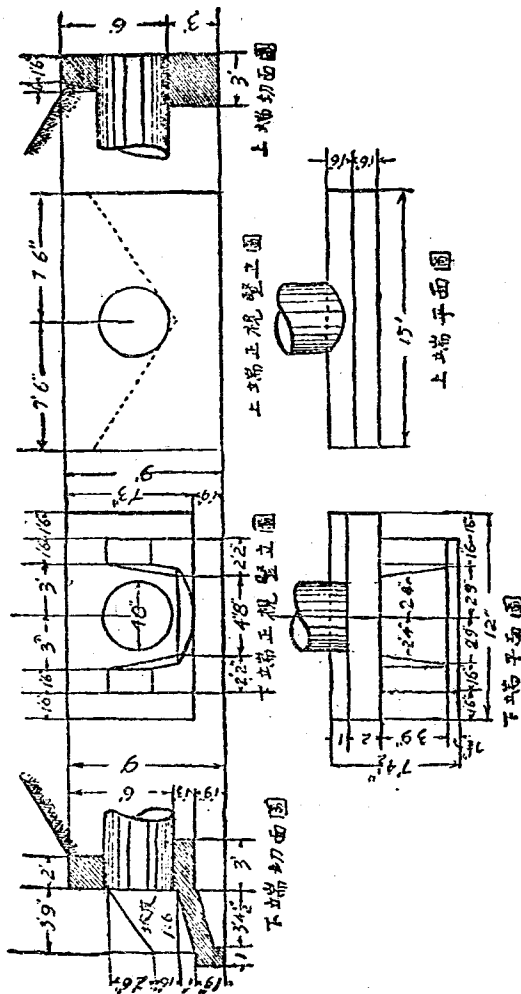
- (5) 兩端須建築合宜之端壁以保護之；
- (6) 管之下端之下部，須填砌亂石，或建築防衝床，以防跌水的衝刷。

通常建築鑄鐵管涵洞，如能按置特別適當，且對邊之土通偏夯實之，則凡在尋常路隄壓力之下，其堅強實足以支持。然有時往往發現開裂，其原因實在於安設時未曾注意適當之安設，及土未能夯實。

端壁所需水泥磚石之總數，則依據路隄之寬狹，及管之段數多少為斷。如路隄之底寬為四〇呎，則涵洞可用一二呎長之管三段。所設端壁近於路隄之脚，需料可較少。但如路隄之寬度為三二呎，則涵洞可用一二長呎之管二段。如此則端壁須從路隄之脚後退，而增加其高度，則所需之材料亦必加多。小號之鑄鐵管尋常所製者為長一二呎。然有時亦有少數之管長，規定為六呎者。因斟酌涵洞之長短，以求適合於路隄之寬度適合。普通大號之管，其長度均規定為六呎。

第四圖所示，為鑄鐵管涵洞安置之方法。下表中所列，即為各號鑄鐵管涵洞所需端壁之大小。管之長以定六呎為倍數。如圖中所示，其管乃安放成為垂直之灣曲，當中有從管之底每五呎高一吋縱斜度之頂冠。

第四圖



鑄鐵管涵洞安置圖



鑄鐵管涵洞表

名目	管之內徑					
	18吋	24吋	30吋	36吋	42吋	48吋
頭壁,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
防衝床,長	3'0	3'0	3'6	3'6	4'0	4'4 $\frac{1}{2}$
寬	5'4	6'8	6'9	7'6	8'0	9'0
翼壁,長	2'7 $\frac{1}{2}$	2'7 $\frac{1}{2}$	3'0	3'0	3'4 $\frac{1}{2}$	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
容積,上端壁,立方碼	2.75	3.50	5.50	7.00	9.00	11.25
下端壁,立方碼	3.00	3.50	5.25	6.75	7.50	9.25

## (三) 水泥管涵洞

水泥管涵洞，其形狀與陶管相同。普通水泥管涵洞製造之成分，為水泥一份，砂三份混合，投入模型中，俟其強度充足，即可使用。道路工程上所用之水泥管涵洞，長度為二呎至三呎，內徑為一二吋至二四吋，管厚為一又八分之一吋至一又四分之三吋。因其結果美滿，故用之者頗多，其特點可述之如下：

- (1) 安置便宜；
  - (2) 安設一年或二年以後，其強度益增；修理亦甚為便宜；
  - (3) 各得良好之管狀，其接合處之摩擦亦少；
  - (4) 富於耐久性。
- (四) 綑紋管涵洞

綑紋管，為淨鐵綑紋管之簡稱。此稱綑紋管涵洞，近來用之者頗廣。且為涵洞工程中最上等之排水管。凡屬運輸艱難，地方險阻之區，均宜採用此種淨鐵綑紋管。

綑紋管的重量既輕，搬運亦易。此種管涵洞堅固耐久，因其原料為淨鐵，外鍍白鉛，鐵質純淨，一〇〇〇〇分中含有九九八四成分之淨鐵，雜質去盡，自不易於生銹，其特點如下：

- (1) 能容多量之水，流通無阻；
- (2) 因綑紋之故，有極大之抵壓力；
- (3) 土地新闢，基礎不固，時有沉下的現象；裝置綑紋水管，有剛素之性質，不至於破裂；
- (4) 運輸便利。

建築綑紋管涵洞，所應注意之事項，說明之如下：

- (1) 埋在地下之綑紋管涵洞，與路面之距離，至少須等於

四〇公分。

(2) 挖溝之寬度，應比此水管直徑大三〇公分，溝底須掘成半圓形；如溝內有稍大石塊，必須挑出。

(3) 在涵洞業經置於堅實之基礎之後，其兩旁空隙之處，可以好土填塞之，惟填到水管半徑時，即應詳細察看水管有無沉陷及歪斜等現象，如有之，即須擺正。

(4) 水管之下部兩旁填實後，上半部之兩旁，即可繼續填塞；每填數寸，即須夯實，隨填隨夯，迨至路面為止。

淨 鐵 綑 紋 水 管 表

直徑(吋)	面積 英(方呎)	每呎重量(磅)			
		16號	14號	12號	10號
8	.349	8.5	12.3		
10	.545	10.2	14.3		
12	.785	11.8	17.3		
15	1.227	14.5	20.7	28.1	
18	1.767	16.8	23.3	31.6	
20	2.405	19.1	26.4	36.5	45.5
24	3.142	21.6	32.1	43.8	55.4

30	4,909		38.0	52.0	65.9
36	7,968		44.0	60.2	76.4
42	9,625		51.6	69.7	88.6
48	12,566		63.8	86.2	109.5
60	19,630			104.3	130.5
72	28,274			121.0	151.5
84	38,484				

## (四) 箱涵洞及弧涵洞

## (一) 箱涵洞

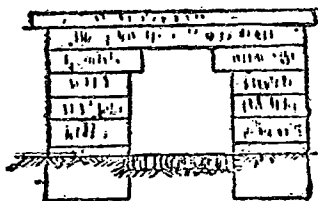
箱涵洞，爲石造之方形渠，用切石築成。建築之方法最簡

## 石造方形涵洞表

面積	洞口之大	側壁	蓋石的厚度	蓋石的長度
平方呎	平方呎	呎	吋	呎
4	2 × 2	2 × 2	12	5
9	3 × 3	3 × 2 $\frac{1}{3}$	16	6
10	4 × 4	4 × 3	20	7
25	5 × 5	5 × 3 $\frac{1}{2}$	22	8
36	6 × 6	6 × 4	24	6

罩，有兩側護岸，與蓋石相合而成，以膠泥接合縫目，如第五圖所示。此種箱形涵洞，多因於道路橫斷面及出水較多之處。

石造箱形涵洞圖



第 五 圖

(二) 弧涵洞

弧涵洞，即拱形之涵洞。種類頗多，大別之有下列數種：

- (a) 半圓形；
- (b) 橢圓形；
- (c) 拋物線形。

在上列之三種形式中，以半圓形式用之者最廣。

此種弧涵洞，建築最為簡單，如第六圖所示。如徑間過大，則其拱度亦高，故用拋物線形及橢圓形之涵洞，則較為適宜。拱石 Key Stone 之厚度，因拱形之大小，以及石之性質而計算之。茲將通常所用之公式述之如下：

$$T = \frac{\sqrt{R + \frac{1}{4}B}}{4} + 0.2 \text{ (呎)}$$

T = 拱石 (Key Stone) 之厚度，

R = 拱之半徑 (呎)

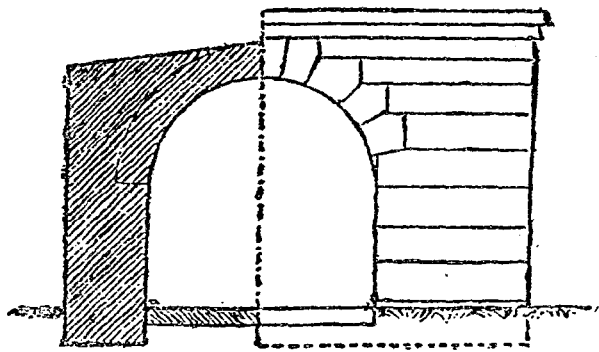
B = 徑間之大 (呎)

註：粗石，則增加八分之一的厚度；

煉磚，則增加三分之一的厚度。

(係指用公式求得之拱石厚度以後，再加以八分之一及三分之一而言。)

石造拱形涵洞圖



第 六 圖

弧形涵洞拱石之厚度，準上述之公式，即可以決定。至於座

台 Abutment 之建築，亦須計算石工之厚度，計算座台之公式頗多，如拱頂之厚在三呎以內，計算座台最小之厚度，可用下列之公式：

$$T = \sqrt{6R + \left(\frac{3R}{2H}\right)^2} - \frac{3R}{2H}$$

H = 由座台底以至拱石之高度(呎)；

R = 拱頂之半徑(呎)；

T = 座台之厚度(呎)。

弧涵洞各部份的大小，在 Handbook For Highway Engineers 書中，有一實用之表可供參考，特錄之於後。

弧 涵 洞 各 部 的 大 小 表

S Span 跨 度	Thickness at Springing Line		Thickness of Ring		Height of Haunch	
	T (混凝土)	K (磚 石)	C (混凝土)	R (磚 石)	J (混凝土)	V (磚 石)
6	2'-6"	2'-6"	10"	10"	1'-9"	2'-0"
8	2'-6"	2'-6"	11"	12"	2'-6"	2'-6"
10	3'-0"	3'-0"	12"	12"	3'-0"	3'-0"
12	3'-6"	3'-6"	14"	15"	3'-6"	3'-9"
14	3'-9"	3'-9"	15"	15"	4'-0"	4'-6"
16	4'-0"	4'-0"	16"	15"	4'-8"	5'-0"
18	4'-6"	4'-6"	18"	18"	5'-0"	5'-6"
20	5'-0"	5'-0"	18"	18"	5'-6"	6'-0"

## (五) 鋼骨混凝土涵洞之計畫

鋼骨混凝土涵洞，在近代涵洞工程上用之者頗廣。用鋼骨混凝土涵洞，在計畫時可以隨心所欲，較之石版涵洞之建築，有下列的優點：

- (1) 可於缺乏石版之區，建築鋼骨混凝土涵洞；
- (2) 建築時之時間迅速，祇須將木模造好，就可以開始工作；
- (3) 費用較廉；
- (4) 經久耐用。

有上述的各種優點，則鋼骨混凝土涵洞工程，在近代已有特殊的地位。茲特將實際計畫時之工作述之。

實例：

計畫一鋼骨混凝土涵洞 (A flat Slab reinforced Concrete Culvert)，寬度為14呎 (A Span 14 feet)，涵洞上面須載重6呎的碎石路面，車輛的重量為6噸。

長的決定 (Determine the length)：

每邊填土一呎，自填土處到涵洞頂的坡度 slope 為  $\frac{1}{4} : 1$ ，

$$\therefore 5 \left( \text{兩車輪中心點的距離 } c-c + 1 + 6 \times \frac{1}{4} \right) 2 \\ = 5 + \left( 1 + \frac{6}{4} \right) 2 = 10'$$

闊的決定 (Determine the width)



$$8 \text{ (填土的厚度)} + 2 = 10'$$

活載重動量(Live load moment) :

$$M = \left( \frac{w}{4} l - \frac{wl_1}{8} \right) l^2$$

$$\therefore W = \frac{30 \times 2000}{10} = 6000$$

$$\therefore M = \left( \frac{6000 \times 14}{4} - \frac{6000 \times 10}{8} \right) l^2$$

$$= (21,000 - 7,500) l^2 = 13,500 \times 12 = 162,000 \text{ in}\# \text{ (吋磅)}$$

加35%的衝擊力(impact load)

$$\text{衝擊力} = 162,000 \times .35 = 56,700 \text{ in}\# \text{ (吋磅)}$$

$$\therefore M = 162,000 + 56,700 = 218,700 \text{ in}\# \text{ (吋磅)}$$

靜載重動量(Dead load moment) ;

設定 Slab 的厚度為 24", 則

$$2 \times 1 \times 14 \times 150 = 4,200 \# \text{ (wt. of Slab 1' for width 平版}$$

一呎寬的重量)

$$6 \times 1 \times 14 \times 100 = 8,400 \# \text{ (wt. of 6' earth fill 填土六呎}$$

的重量)

$$1 \times 1 \times 14 \times 125 = 1,850 \# \text{ (wt. of macadam 碎石一呎的重}$$

量)

$$\text{共計爲 } 4,200 + 8,400 + 1,850 = 14,450 \#$$

靜載重動量 Dead load moment :

$$M = \frac{14450}{8} \times 14 \times 12 = 304500 \text{ in} \cdot \text{lb} \text{ (吋磅)}$$

$$M = 95bd^2$$

共計(靜重) = 304,500 + 218,700 = 523,200 in·lb (吋磅)

$$M = 95bd^2 = 523200, \quad b = 12$$

$$\therefore d^2 = \frac{523200}{12 \times 95} = 46$$

$$d^2 = 46$$

$$\therefore d = \sqrt{46} = 21.4 \text{ in}^2 \text{ (平方吋)}$$

加  $2\frac{1}{2}$ " 混凝土鋼骨下面使  $d = 24$ " ,

鋼骨的面積 (Area of Steel) 爲

$$0.00675 \times 12 \times 21.4 = 1.70 \text{ in}^2 \text{ (平方吋)}$$

用  $\frac{7}{8}$ " 直徑的圓鋼骨(round steel r ds) , 距離爲 4" c-c.

校正剪力 Check for shear

$$V = \frac{V}{bjd} = \frac{6000 + 14500}{12 \times .87 \times 21.4} = 47 \text{ 大於 } 40,$$

$\therefore$  The web reinforcement is needed.

結合力(Bond stress) :

$$U = \frac{V}{E_o j d} = \frac{20500}{3 \times 2.75 \times .87 \times 21.4} = 95 \text{ # / ft}^2 \text{ 大於 } 80$$

在涵洞兩邊的橫壓力 (horizontal Pressure) , 被所填之土引

法。翼壁上部的中心爲 9.5'

下部的中心爲 14.5' 在路面之下。

$$\text{在上部 } P = \frac{wh}{3} = \frac{100 \times 9.5}{3} = 318 \# / \text{ft.}^2$$

$$\text{在下部 } P = \frac{wh}{3} = \frac{100 \times 14.5}{3} = 485 \# / \text{ft.}^2$$

$$\text{平均壓力} = (318 + 485) \div 2 \div 400 \# / \text{ft.}^2$$

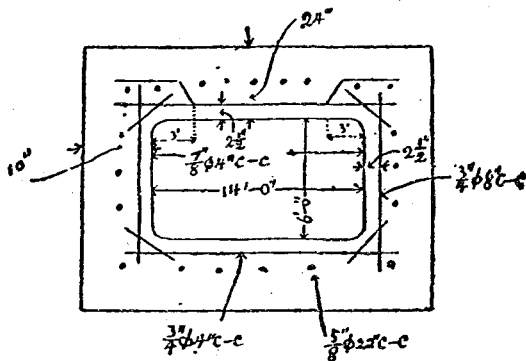
$$\text{動載重爲 } 6000 \div 10 = 600 \# / \text{ft.}^2$$

$$6000 \div 3 = 200 \# / \text{ft.}^2$$

靜載重共計爲  $209 + 600 = 800 \# / \text{ft.}^2$

$$M = \frac{600 \times 6^2 \times 12}{8} = \frac{600 \times 36 \times 12}{8} = 318,000 \text{ in}^2 \#$$

鋼骨混凝土涵洞計畫圖



第七圖

$$95bd^2 = 318,000 \quad b = 12,$$

$$d = 21.4$$

∴用15

平版 Slab 的厚度，10' 已足應用，邊牆 sidewalls 的高度為 10'。茲將鋼骨的大小及排列法，作圖說明如上（第七圖）

#### （六）石壩工程概要

壩 Dam，為阻止水流之建築物。因之，在防水工程中佔重要之地位。與涵洞及橋樑之功用不相上下。不過涵洞為排水之建築工程，橋樑為跨水之建築工程，而壩工之興築，其最大之目的，則在遏水。然其功用故不僅是遏水而已，其作用在蓄水以利用農田的灌溉，或蓄水以便航行，或蓄水以供電力事業之用。壩之功用，既如此之大；壩之種類亦很多。通常工程上所建築者，大別之有下列數種：

- （1）重心壩；
- （2）空心壩；
- （3）弧線壩；
- （4）土壩及堆石壩；
- （5）木壩；
- （6）鋼壩及活動壩。

統觀上列六端塌工，其功用亦各因其建築之形勢不同而異其效力。茲特將上述各種之塌工，分別述其概要。

### (1) 重心塌

重心塌之壽命最長久，建築時所需之費用亦極經濟，實為其他各種塌工所不能及。如塌之基礎不能勝任高壓，或上壓力過大，或挖土之工作難以實施，則此種重心塌即不能適用。

空心塌與重心塌建築費用之比較，究以何者為經濟，何者為不經濟，實一時難以取決。重心塌所需之模板，及澆混凝土之費用，均較之空心塌為廉；空心塌則需要鋼骨，重心塌則不需要。但空心塌可以節省混凝土。所以兩者各有利弊，各有優劣。總之，在偏僻之處，建築材料之價值昂貴之區，則以建築空心塌為較好。在地近石坑，交通便利之區，則以建築重心塌較為適宜。

木塌雖較重心塌之建築經費為廉，但最完固之木塌，在建築時須用圍堰，費用亦很大。

### (2) 空心塌

空心塌所需之混凝土較少，建築時所需之時間亦較短。因其為空心，故塌上之機械物件，可以置於塌中，不必另行營造。空心塌之牆頗狹仄，故上壓力不大，設計時可以不必計算。空心塌

之外坡，可以傾斜之度數頗大，水之縱壓力，可以增助壩身的安定。不過此種優點，在實際之亦無甚利益。空心壩可將壩底擴大，以支持壩之重量。空心壩本身之重量頗輕，故壩基之不能勝任高壓力，建築空心壩為最相宜。

### (3) 弧線壩

弧線壩之建築工程，較之重心壩，可以節省百分之三三混凝土。弧線壩有下列兩種缺點：

(a) 上游水壓力全由弧線傳至兩岸，非有堅固之石質河岸，不能應用。

(b) 壩上滾水，因下游壩坡直立，直衝河底，河底無堅固之石質，亦不能應用。

重心弧線壩，在弧線壩之長度不合時，用之最為適當。計畫此種重心弧線時，仍按照重心壩的原理，因壩作弧形，故較重心壩為安定。

### (4) 土壩及堆石壩

河岸附近，如土及堆石頗多，則應用土壩或堆石壩，建築之經費，亦頗低廉。惟此種土壩及堆石壩，須有完美之滾水壩，宣洩潮汐。如潮汐直接自壩頭上流過，則危險立見。故較為完美之滾水壩，為其付要品。如滾水壩所需之長度過大，即不能應用。

### (5) 木壩

木壩不能持久，雖計畫建築及修養完善之木壩，其壽命最長亦不過為十五年。其修理費，較之其他各種壩為貴，故用之者頗少。

### (6) 鋼壩及活動壩

鋼壩及活動壩，近代築壩工程上，亦曾有之。但此種壩皆為特別之建築物，或由於工程師之好奇心為之，通常在壩工上，此種鋼壩及活動壩，用之者實不多見。

## 第四章 橋樑的靜載重及集中重

### (1) 靜載重的意義

靜載重，就是橋樑本身的重量。靜載重 Dead load 譯為死重者，有之，譯為死儀者亦有之。如車輛行駛橋上，即生動載重 Live load (亦有譯活重或活儀者)，及衝擊 Impact 力。此種車輛行經橋上時所發生之力量，與橋樑之靜重不同。

靜載重為橋所固有，歷久長存。如建築橋樑之材料為桁架鋼橋則其靜載重有下列三種：

- (1) 鋼的重量——垂直桁架，橋頂橋底橫架 Top and bottom Lateral Systems, 地板梁 floor beams, 門上架 Portals 止動幹 waybracing 等等；

(2) 托軌梁 Joists;

(3) 路鋪面。

上列三種，為鋼桁架橋的靜載重，此外得稱為靜載重，亦有  
下列數種：

(1) 雪的壓力，多雪之區，計畫橋樑時，尤須注意；

(2) 雜物的重量，橋上一切穢物，泥土，以及水等的共同  
重量；

(3) 自來水管的重量，氣管之架橋上而過者，管內之物的  
重量，亦在其內；

(4) 地板加厚的重量；

(5) 路鋪將來須加重的重量。

但直接架於橋墩 Piers 之上者，不計入靜載重，如橋端地板  
梁 end floor beams，上軌式 Deck 橋端的 beams 如其邊柱 end  
posts 係垂直者，則其門架上的重量不計。

## (2) 靜載重的分佈

在計畫橋樑時，通常均將橋樑的靜載重，作為均佈載重 uni-  
form loading 計算。桁架的上下幹 Chords，在橋的中部較重，在  
橋的兩端較輕。而腹部諸幹 web 則兩端較重，中部較輕。故如  
上下幹平行的桁架，靜載重頗近乎均佈式。



橋樑跨度 Span 如較長，則上幹多成多角形式，腹部諸幹，在其中部者，重量與其在兩端相同，與上幹平行的架不同。但上下幹之重，則各部分相等。橫架則漸橋端則漸漸加重。所以均佈載重的計算方法，於事實及理論兩方面，均無甚錯誤，足資實際上的應用。

惟垂背橋 Cantilevers, 拱橋 Arches, 長旋動橋 Long Swing-Spans, 跳橋 Bascule Bridges, 以及其他各種式樣不同的橋，靜載重即非係均佈於全橋，依通常的計算方法，則相差甚大。其靜載重的估計，至少須數幾次之嘗試，然後才可以確定。

### (3) 靜載重的分配

在計畫橋樑時，靜載重通常以橋每呎長估計，以每段幅 panel 之長度乘之，即得該段幅的靜載重。每一段點上 panel point, 其相鄰的兩段幅，各以一半之重臨於該段點。故一段點上，有一段幅之重力。然上幹下幹各有一段點，則該重力又將如何分配於此二段點？此實為一重要之問題，通常以常識測驗之，下段點當負較多的重力。關於這一點，在各種工程條件 Specifications 所規定者，頗有不同之處。

不相同規定的條件	上 段 點	下 段 點
一 個	0	1

二	個	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$
三	個	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$

上軌式橋樑，其上下段點適相反，故有改稱為載重點 Loaded points 及不載重點 Unloaded points。

下軌式 through 橋樑，在上者為不載重點，即上段點；在下者為載重點，即下段點。上軌式橋樑則與此相反。但規例紛繁，實難一一提及，應注意者，有下列各點，特列舉之：

- (1) 普通的橋，可以  $\frac{1}{3}$  與  $\frac{2}{3}$  分配之。
- (2) 如該路地板之鋪面，特別加重，則以  $\frac{1}{4}$  與  $\frac{3}{4}$  分配之。
- (3) 跨度甚長的橋樑，則以 60% 及 40% 分配之。

靜載重的分配，事實上與大體無關。因為其變遷，僅為垂直柱，而此柱之剖面，通常均超過規定之所需，故雖微有出入，此無甚關係。

#### (4) 木料

木 料 名 稱	一木方重
油煎過的木料 Creasoted Timber	$4\frac{1}{2}$ 磅

橡樹及其他硬性的木料 Oak 紐西蘭 newzealand 與 <u>澳大利亞</u> Austria 所產之木料不在內	4 $\frac{1}{4}$ 磅
<u>澳大利亞</u> 的木料	6 磅
黃松 yellow pine	3 $\frac{1}{4}$ 磅
白松 white pine 及他種軟性木料	2 磅

每一個木方 board weasre, 爲一呎平方一吋厚的木料。此字現尙缺乏相當的譯名, 故暫用(木方)兩字代之。

Ketchum克其門氏所規定的條例, 較爲簡便切於實用, 特列舉之如下:

橡樹及其他硬性的木料 1 木方之重爲 4  $\frac{1}{2}$  磅

松樹及其軟性木料 1 木方之重爲 3  $\frac{1}{2}$  磅

美國鐵路工程學會Americau Railroad Engineering Association 所規定, 則較爲粗陋:

凡爲木料, 每一木方的重量, 均以 4  $\frac{1}{2}$  磅計算, 則未免太過於粗略。

#### 軌條及其附屬物

軌條 Rails 及其附屬物 fosteing 每車每長一呎, 其普通重

量，有下列各種的規定：

Ketcham <u>克其門氏</u>	100磅；
waddell <u>華德爾氏</u>	70磅；
美國鐵路工程學會	150磅。

近來列車加重，軌條亦日漸加重，華德爾氏的數字，似覺太少。

#### (5) 混凝土的重量

混凝土每立方呎的重量為 140 磅至 160 磅，總以材料的性質而異。如鋼骨混凝土 Reinforcement，每立方呎的重量，則須加 5 磅，計 190 磅至 210 磅。美國鐵路工程學會所規定者，為 150 磅。克其門氏所規定，亦為 150 磅（鋼骨混凝土每立方呎的重量）。

#### 路面鋪砌

土瀝青 Asphalt 鋪砌之路，每立方呎的重量，為 120 磅，結合子 binder 重量在內。克其門氏的規定，為 120 磅。

磚石鋪砌之路，每立方呎的重量，為 140 磅。克其門氏的規定，為 150 磅。

#### (6) 礫石

碎石，礫石，每立方呎的重量，為 100 磅；

美國鐵路工程學會之規定，為 120 磅。

## (7) 鋼鐵

每立方呎的重量為490磅。

## (8) 泥土

拱式的建築常以泥土填其空處 Spandrel, 每立方呎100重量為100磅。

## (9) 雪及水

壓緊之雪, 每立方呎100重量為50磅。

水每立方呎的重量為62.5磅。自來水管通過時, 水的重量亦當計入。

## (10) 各種規例的比較

各種規例的名稱	重量(以磅為單位)				
	木料	碎石	鋼骨 凝土	軌條及 附屬物	地板之總共重
A. F. d S. F. R. R.	$4\frac{1}{2}$				木料為碴底上 軌式1,400
B. d O. R. R.	$4\frac{1}{2}$		130	100	
B. d M. R. R.	$4\frac{1}{2}$	100	150	150	
CM. d st. P. Ry	$4\frac{1}{2}$	100	150	150	
Cownon Standard					500
Cooper	$4\frac{1}{2}$	110			400(至少量)

K. C. P. O. R. R.	5 (油煎)				400
eight Volby R. R.	$4\frac{1}{2}$		150	170	500
N. Y. Centrol R. L.	$4\frac{1}{2}$	120	150	150	600
H. Y. N. H. R. R.	$4\frac{1}{2}$	100	150	150	
Penna, w. of Pittsburgh					400
nat L. of woxies	4	100			
Deht. of R. R. of onad	4				600

至於我國，對於各種材料的重量，至今尚無規定。故計畫橋樑工程時，不得不採取他那的成法。

### (11) 吊橋的鋼索

吊橋的靜載重，須另加鋼索 Steel Cables 的重量。但鋼索直徑的大小各不相同，茲將其重量，列表如下：

鋼索直徑 (以吋計)	每呎重量 (以磅計)
1"	1.70
$1\frac{1}{4}$ "	2.65
$1\frac{1}{2}$ "	3.82
$1\frac{3}{4}$ "	5.20

2"	6.80
$2\frac{1}{4}$ "	8.60
$2\frac{1}{2}$ "	10.62
$2\frac{3}{4}$ "	12.85
3"	15.30

如其直徑在上述數字之間者，則可由較大較小的重量比例推算，或用下列的公式算出。

$$W = 1.7D^2$$

W = 鋼索每呎長的重量以磅計；

D = 鋼索的直徑。

如有數鋼索合併，(m, n 為鋼索之數，d 為每索的直徑，D 合併索的直徑) 則  $n = 0.77\left(\frac{D}{d}\right)^2$

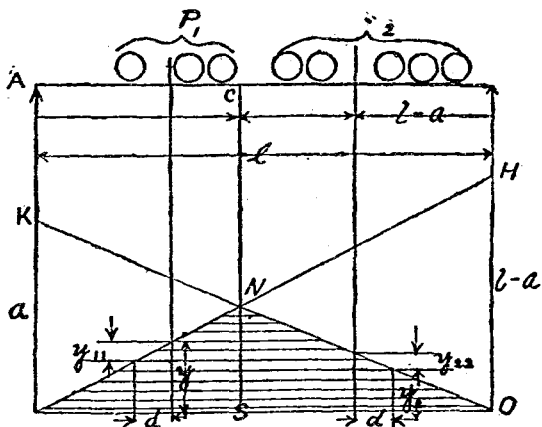
設以 w 為一鋼索的每呎重量，w 為合併索的每呎重量則

$$W = nw = 0.77w\left(\frac{D}{d}\right)^2$$

(12) 集中重的最大動量

集中重的最大動量，係指集中重所生的最大動量 max. moment with Concentrated loads 而言。茲特將集中重所生的最大動量，擇要述之。

連續集中重，在任何一點，其所生的最大動量，可用下列的方法求之。



第 八 圖

如第八圖，有重量在一橫樑AB的c點，此橫樑之長度為L。設其在每段經各重心的重的和，等於在c點的動量，故在c點的動量為

$$Mc = P_1 Y_1 + P_2 Y_2 \dots \dots \dots (1)$$

如任各載重向左移動一距離d，其原來的 $y_2$ 增至 $y_{22}$ ； $y_1$ 減至 $y_{11}$ ，如第一圖所示。所以在c點的動量改變，其方程式如下：

$$\Delta Mc = P_2 y_{22} - P_1 y_{11} \dots \dots \dots (2)$$

因為 $y_{11} : d = L - a : L$ ；或 $y_{11} = \frac{d}{L}(L - a)$ ；



而且  $y_{22} : d = a : L$ ; 或  $y_{22} = \frac{d}{L}a$ 。

將以上  $y_{11}$  與  $y_{22}$  之值代入第二方程式，則得

$$\Delta M = P_2 y_{22} - P_1 y_{11}$$

$$\Delta M = P_2 \times \frac{d}{L} a - P_1 \times \frac{d}{L} (L-a)$$

如動量因載重移動一距離  $d$  而增加，則此動量之改變，必為正量。假使  $\Delta M_c$  為正量，Positive Quantity，則

$$P_2 \frac{d}{L} a > P_1 \frac{d}{L} (L-a), \text{ 或}$$

$$P_2 a > P_1 (L-a)$$

假使  $P_2 a$  小於  $P_1 (L-a)$ ，其在  $c$  點動量的改變，將必為負量，而動量亦減少。

從上面的觀察，可知如能配置其載重為  $P_2 a > P_1 (L-a)$ ，而使其移動至  $P_2 a = P_1 (L-a)$  則得動量的最大值。換言之，即得最大的動量。

$$\text{當 } P_2 a = P_1 (L-a),$$

$$P_2 a + Ra = P_1 L;$$

設  $P$  為載重的和，則  $P = P_1 + P_2$ ，則上式改變為

$$Pa = P_1 L, \text{ 或 } P_1 = P \frac{a}{L},$$

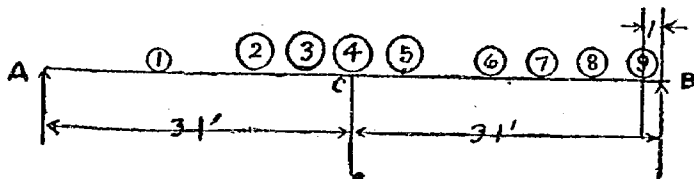
根據上列的方程式可得求量大動量的標準法 Criterion，述之如下：

『即以左段的長，除左段的載重，等於全樑之長，除全樑的載重。』 The load on the left segment divided by The length of the segment equals The total load on The span divided by The span length。換言之，即每段的平均載重，等於全段的平均載重。

設集中重在  $c$  點，則  $\frac{a}{L}P >$  或  $< P_1$ ，在  $\frac{a}{L}P$  大於  $P_1$  時；或  $\frac{a}{L}P$  小於  $P_1$  時，其間必有一最大的動量，故用此式，可以求得其最大動量。

有連續集中載重，在樑的中點，求其最大動量。設樑的全長為  $62'-0''$ ，載重為 Cooper E40 但全樑之重，當各載重向左移運，其在  $c$  點的動量，繼續增加，直至 AC 間載重之和，小於全樑載重之和的二分之一，變為大於全樑載重之和的二分之一為止。

試以第四輪 (4) 置於  $C$  點 (如第九圖)：



第 九 圖

$$2 \frac{142}{2} = \text{全樑載重的和,}$$

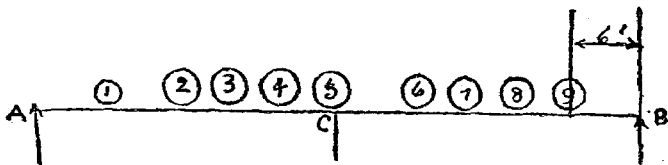
71.0 = 全樑載重的二分之一，

50 = 當第四輪 (4) 在 c 點時，AC 間的載重，

70 = 當第四輪 (4) 過 c 點時，AC 間的載重。

71  $\left\{ \begin{array}{l} > 50 \\ > 70 \end{array} \right.$  無論第四輪 (4) 恰在 c 點，或經過 c 點，均小於全樑載重和的二分之一，故動量繼續增加，所以各載重再向左移動。

試以第五輪 (5) 置於 C 點 (如第十圖)



第 十 圖

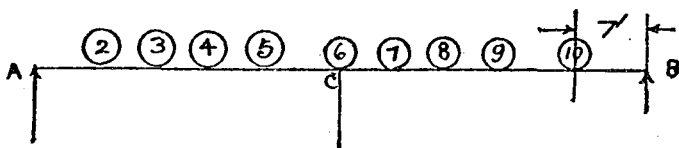
2 | 142

71 < 70 當第五輪 (5) 在 C 點時，動量增加，

> 90 當第五輪 (5) 過 C 點時，動量減少。

根據上列的計算，可知第五輪 (5) 在 c 點或經過 c 點時，則動量增加或減少，AC 間載重的和小于或大於全樑載重和的二分之一，其間必有一最大動量。

試以第六輪 (6) 置於 C 點 (第十一圖)



第十圖

$$2 \mid 142$$

71 < 80 動量繼續減

< 93 動量繼續減

觀第六輪在 (6) c 點，或經過 c 點，動量均繼續減少，則可以斷定其間沒有最大動量產生，但可將第四(4)，第五(5)第六(6)各輪在 c 點之時而計其動量。

第四輪(4)在 c 點時

求全樑載重的動量，可從動量表 (moment table) 尋全載重在全樑上關於第九輪(9)的動量。其法在動量表中從第一直行第九輪(9)向左橫看，在橫行的第一輪(1)下讀得 3496，此數再加在樑上自第一輪(1)至第九輪(9)載重之和乘 1 呎，因第九輪(9)距 B 點為 1 呎。

$$\begin{array}{r} 3496 \\ 142 \times 1 = 142 \\ \hline 3638 = \text{樑上全載重關於 B 點的動量} \end{array}$$

$$R_A = \frac{3638}{62}$$

求在 c 點的動量頗容易，將在 c 點右段的各動量相抵即得。

$$+ R_A \cdot 31 = \frac{3638}{62} \times 31 = \dots\dots\dots 1819$$

從動量表中求第(1)(2)(3)關於 C 點的動量為 480

在 c 點的撓動量 Bending moment = 1339

第五輪(5)在 c 點時

$$\begin{array}{r} 3496 \quad \text{關於第九輪(9)的動量 (見前)} \\ 142 \times 6 = 852 \\ \hline 4348 \quad \text{關於 B 點的動量} \\ 4348 \\ \hline 62 = 312 \quad 2174 \end{array}$$

在 c 點的撓動量 = 1344

第六輪(6)在 c 點時

從動量表中尋出關於第十輪(10)的動量，第一輪(1)不在樑上，從動量橫行第二輪(2)下，讀得 4072。

$$\begin{array}{r} 4072 \\ 142 \times 7 = 994 \\ \hline 2) \quad 5066 \\ \quad 2533 \\ \quad \hline \quad 1320 \end{array}$$

1213 在 c 點的撓動量

將以上所求得各動量，列表如下以比較之。

在C點的輪	動量 (moment)	情形 (Function)
(4)	1339	動量繼增
(5)	1344	動量最大
(6)	1213	動量繼減

## 第五章 橋樑設計

### (1) 道路橋樑設計概要

橋樑之種類，不外鐵橋 Steel Bridge, 木橋 Timber bridge, 石橋 Stone Bridge, 混合土橋 Concrete Bridge, 鋼骨凝土橋 Reinforced Concrete Bridge 等數種。

上述各種橋樑之概況，已於“橋樑之種類”章，述其大要。茲乃將橋樑之設計述之。

鐵橋負重多而價值昂貴，除鐵路上用之。用之於道路則不甚經濟。至於道路上所用者，似以木橋為最經濟。但木橋負重少而易於朽壞，早已不適於用。石橋則非拱形 Arch 者不能載重。然材料費而工作困難，以今日之工程上情形觀之，亦不見適用。混凝土橋，雖能負重而所需之材料亦多，在經濟的立場而言，則混凝土橋亦不甚經濟。鋼骨凝土橋，既能負重，又極經濟，故此種橋樑上在今日橋樑工程上已佔極重要之地位，其進步之神速，

實足以驚人。

鋼骨混凝土橋，其跨度 Span 如在20呎以內者，則以版橋 Slab Bridge 爲宜；

跨度在35呎以內者，則以桁橋 Girder Bridge 爲宜。

但版橋之跨度，有增至25呎者，桁橋則有增加至50呎至60呎或70呎者。不過此種跨度較大之橋樑，在計畫時所需之工作較多，其他亦無特別困難之處。

跨度在60呎或70呎以上者，則以弧橋 Arch Bridge 爲宜。

鋼骨混凝土弧橋 Reinforced Concrete Arch Bridge，計畫特繁；而工作亦不易。此種橋樑，非富於經驗之工程師，不敢貿然從事。故此種弧橋，通常均改爲連續桁橋 Continuous Girder Bridge 以建築之，可以免去工程上之困難問題。

在道路上所困之橋樑，有兩種主要的度量；

(1) 高度；

(2) 寬度。

其次則爲橋之跨度 Span。設計橋樑，形式與價值有密切之關係。如跨度增長，則上部結構之價值亦因之而增加（如橋面桁樑等等）。故以經濟的觀察，不如增多孔數，以減少跨度爲宜。否則，自另一方面言之，孔數多則中墩 Pier 加，而下部結構）如

橋基)之建築經費亦因之而增加。

鋼骨混凝土橋面，最好宜覆蓋數吋厚的土瀝青 Asphalt 或一二呎的土 Earth，此種辦法，有下列的兩種利益：

- (1) 直接的利益—可以保護橋版；
- (2) 間接的利益—可以減少衝擊力。

如橋面暴露於外，且夕受車輛之摩擦，風雨之摧殘，不久即現出裂痕，或皮層碎蝕，此為其最大之弱點，足以影響橋身的壽命。

橋面上所加的土瀝青或土，其靜載重 Doad Load 必須列入計算以內，以免危險。

橋樑之寬度，應與路面相同。但如遇特別情形（或路面太寬），為經濟起見，為交通起見，有時亦可以增減，兩旁則建設橋欄杆以保障之。

活載重 Live load 之假定，能過於 5 噸之輾機已足夠應用。

衝擊力 Impact，在弧形橋弧圈 Arch Ring 計畫，可以不計。但在橋版 Bridge Floor 設計中，最為重要。

在道路橋樑計畫中，衝擊重量加活載重 25% 已夠應用。

## (2.) 橋樑位置之檢定

檢定橋樑之位置，為橋樑建築工程上之重大問題，不可不詳



加研究。如遇有特別關係，限定一種地點，此時則宜選擇其過渡之便利與路線之方向，能否相當，以定其最適當的地點。

如橋樑之位置不良，其結果必致防礙交通，這是必然的現象。檢定橋樑位置的方法，最重要有下列數端，特列舉之：

- (1) 河底之土質良好，建築橋台基礎，務求穩固而能垂之久遠；
- (2) 兩岸之隄防，必須鞏固，而流水能集中者；
- (3) 橋樑之軸，必須與河流之方向相對成直角；
- (4) 河流之曲處，因不可避免，而橋樑之上流，則必以直線為佳。

以上四端，均為檢定橋樑位置時最應注意之點，不可輕忽視之。

### (3) 經濟計畫的原理

橋樑工程，欲得最經濟之計畫，必先考察各種計畫之事項。橋場附近之街道等圖形，河身的橫斷面圖，以決定高，中，下之三種水位與河床之土質。橫斷面圖，當展出二岸以外，以計畫相當之橋高，橋身，橋墩，橋腳等等的位置，當繪於平面圖上，橋面，橋頂，橋基等等，當繪在橫斷面圖上。橋架之數，在一以上者，橋脚之數與位置，當有一定，以得最小之經費。

橋墩，橋脚之設置，最好須避免斜橋，有時須連兩岸之街道，或經過流急的河流，不得已而用斜橋，亦當使其斜角為最小，且使兩端之斜角相等。橋面之高，則由橋下的水路與兩端的路高而定。或用下軌式橋一稱穿徑橋 Through Bridge，或由上軌式橋，一稱上徑橋 Deck Briegs，或一部份用穿徑橋，一部份用上徑橋，其決定之方法，亦以橋下的水路與兩端的路高為標準。

河流高下水之流速，漂物之量數與時數，均為經濟計畫的因素。橋場與輸物場之距離，亦當指示明白，以為估計運費的根據。橋之載重，兩架之純距，車頂與穿徑橋頂的純距，橋面 Floor 的種類，以及路邊之闊度，均當詳細指出，以為工程師計畫橋樑的藍本。

橋樑之建築，最重要之問題，則為架數當為幾何。此種問題的解決，常根據於橋上下部建築費為最小之一條定理。橋距最短小者，中間無須橋脚，但有時設立橋脚，所需之費反較小，則用之為宜。故橋架橋脚之相關經費，乃解決架數脚數之要件，以使建築之經費節省。

橋樑經濟上最古的定律為

『欲求全橋之建築費用為最經濟，當使橋上部的建築費，與下部的建築相等。』

至各橋樑之跨度稍有長短，而一橋台之建築費無變化者，則用下列之公式：

$$P=T$$

在上式中，

$P$  = 橋台之建築費；

$T$  = 孔所需之主桁或主構等。

工料之計算，以元為單位，或用其他相當之單位表式之。

如河床堅實，水深距河底不深，跨度雖稍有增減，然一橋樑之費用無甚變化，此種河流架橋，如橋台一座之費用，與一孔之主桁或主構之費用相等時，最為經濟。但所說之主桁或主構，係指其重要之部份而言，橋床及橫桁等等，均不在內。主桁主構，通常為一條，亦有用二條以上者，係指全部而言。

如橋樑之建築費用與跨度同時變化者，則用下列之公式：

$$S=0.7T$$

在上式中，

$S$  = 上部全體建築之費用；

$T$  = 下部全體建築之費用。

如橋墩橋台等全部工料費，與上部全體建築之費用，成 0.7 與 1 之比時，最為經濟。

## (4) 橋樑的外觀

關於橋樑之經濟計畫原理及重要之公式，已如上所述。茲乃進而作橋樑的外觀 Artistic Consideration 的討論。橋樑的唯一目的，即為交通。欲求橋樑的外觀，不可不注意下列各點：

(1) 橋樑之建築經費，宜竭力求其經濟，故求橋樑的外觀，不得增加建築之經費。

(2) 橋樑的外觀，就是指橋樑的美而言。此種橋樑美的條件，亦須有一定的範圍（指各部份的結構而言）。

因此，則所謂橋樑的外觀，實即指求橋樑桁構上配佈的美而言。如在此範圍以內，不涉及經費問題者，亦應加以詳細的探詢。橋樑與普通的建築物不同，普通建築物的支持為一平面；橋樑的支持，則不過兩點。故橋樑的安定與否最為重要。此外，普通之建築物為靜止的，而橋樑則不然。故欲求橋樑的美觀，不可忽略下列的各種條件：

(1) 安定；

(2) 簡雅；

(3) 對稱；

(4) 材料的適當；

(5) 周圍的和諧；

- (6) 色彩的調和；
- (7) 欄杆布置的穩固及均勻；
- (8) 上部結構的整齊及堅固；
- (9) 視線的瞭闊；
- (10) 美觀。

### (5) 橋樑構造的形式

橋樑的美觀，已如上述，茲乃述橋樑構造的形式。此處所討論者，為樑及構的形式 Types of main Girders and Trusses, 特分別述之。

#### (I) 工字鐵樑(I-Beam)

重車輛車道及軌道…… $L < 35'$  高  $> \frac{L}{20}$  …… (1)

輕車輛車道及步道…… $L < 40'$  高  $> \frac{L}{25}$  …… (2)

鋪版橋床…… $b = 2' - 5'' - 3' - 0''$  …… (3)

固定橋床…… $\left\{ \begin{array}{l} \text{車道} - b = 3' - 0'' - 4'5'' \dots (4) \\ \text{步道} - b = 3' - 0'' - 5' - 6'' \dots (5) \end{array} \right.$

如道路上的橋樑，用工字鐵樑時，(1)所式，在汽車道或電車道，其跨度以 30' 呎為限，工字鐵樑的高度，須為跨度  $\frac{1}{20}$  以上。上式中所示， $L =$  跨度， $b =$  工字鐵橋的間隔。

如較輕車輛所經過之橋樑，或步道，跨度在 40 呎以內者，可

採用工字鐵樑，其高度不得小於跨度 $\frac{1}{25}$ ，如（1）所示。

至於橋床 Floor 則如（3）（4）（5）各式中所示。如以木版為橋床，則工字樑間之間隔為 $2'-6''$ 至 $3'-0''$ 。如為固定體一鋼骨混凝土版，車道用工字鐵樑間之間隔為 $3'-0''$ 至 $4'-6''$ 。步道用工字鐵樑間之間隔，則為 $3'-0''$ 至 $5'-0''$ 。

## （II）版桁 Plate Guder

以鐵版所組之桁，即謂之版桁。版桁橋樑，在道路橋樑工程用之者頗多，其所具之條件，可述之如下：

汽車路及軌道橋，  $L = 25' - 90'$       高 =  $\frac{L}{10} - \frac{L}{12}$ ；

輕車輛車道及步道，  $L = 30' - 100'$       高 =  $\frac{L}{10} - \frac{L}{16}$ ；

橋床如直接裝置於版桁上，  $b < 4'$        $L < 80'$

橋床用橫小桁時       $b < 10'$        $L = 40' - 80'$

橋床用縱橫小桁時       $b = \frac{L}{4} - \frac{L}{6}$        $L = 60'$

接構點 Panel length =  $8' - 20'$

汽車道及電車道所用之橋樑，如用版桁時，其跨度之範圍，為25呎至90呎。超出此種規定之範圍者，則不甚經濟。至桁版橋樑之高度，在理論方面，則以跨度的十分之一至十二分之一為最適當。實際上則較此標準所規定者稍低。對於較輕車輛通過的橋樑，或步道橋樑，說跨度為30呎至100呎為宜。至其高度，則為

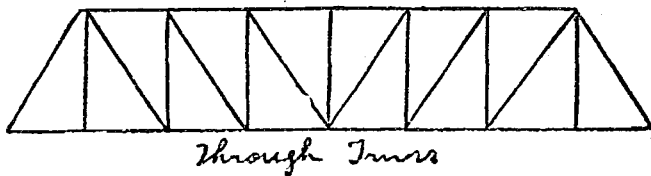
其跨十分之一至十五分之一。如於版桁上直接鋪橋床，其版桁之間隔，以四呎六吋為最大的限度，其跨度不得超過50呎。不然，則極不經濟。如用橫小桁 cross-beam 其跨度普通以10呎至80呎為限，版桁之間隔，以10呎為限。此外，則為正式之橋床構造，使用橫桁 Cross-beam or Floor beam 及縱桁 Stringer Joist 時，其跨度至少須 60 呎。其版桁之間隔，為跨度四分之一至五分之一。如僅用橫小桁時，其間隔為 3 呎至 5 呎。橫桁及縱桁並用時，橫桁之間隔，普通為 8 呎至20呎。

### (III) 鋼架橋 Steel Truss

鋼架橋樑，最適用者，有下列數種，特分別略述之。

#### (1) 勃蘭特式架 Pratt Truss

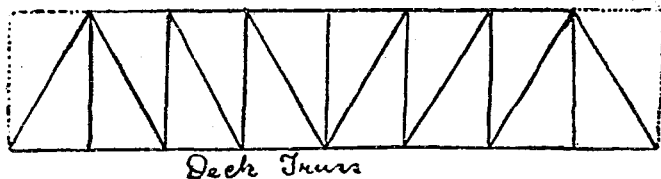
勃蘭特式架橋之上下弦平行，設合其跨度為  $L$  時，則



第 十 二 圖

(第十二圖) 下軌式橋樑 Through Truss

$$L = 80' - 180'$$



## 第十 三 圖

(第十三圖) 上軌式橋樑 Deck Truss

$$L = 80' - 200'$$

斜材傾度 Inclination of Diagonal =  $45^\circ$

從上列的規定中，可知勃蘭特式架橋如為下軌式橋樑，則其跨度為80呎至180呎。如為上軌式橋樑，則跨度為80呎至200呎其斜材傾度，約與平行桁作45度的斜傾。如第十二圖為下軌式橋樑，第十三為上軌式橋樑。

## (2) 華倫式架 warren Truss

華倫式架橋，有單型及複型兩種。單型華倫式架橋，Single warren Truss



## 第十 四 圖



$$L = 80' - 120'$$

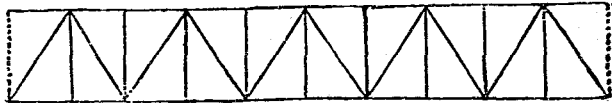
如第十四圖所示，為單型華倫式架橋，橋架為三角形所構成。如用此種橋樑，其跨度以80呎至120呎為限。超過此限者則不適用。

### (3) 複式華倫式架橋

複式華倫式架橋 Double warren Truss，有上軌式及下軌式兩種：



第 十 五 圖



第 十 六 圖

如第十五圖所示為下軌式華倫式架橋；如第十六圖所示，為上軌式華倫式架橋。

上軌式華倫氏架橋

$$L = 80' - 240'$$

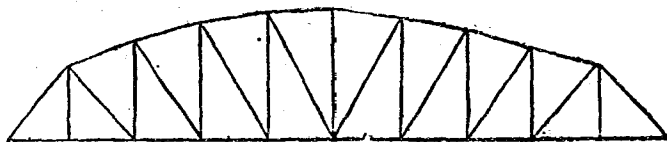
下軌式華倫氏架橋

$$L = 80' - 200'$$

如第十五圖的跨度，為80呎至200呎；

第十六圖的跨度，為80呎至240呎。

(4) 曲弦式架橋 Corved Chord Truss

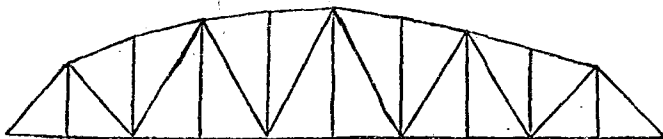


第十七圖



第十八圖

如第十七圖所示，為勃蘭特之上弦或下弦弧形架橋。無論下  
路橋或無頂上路橋 Pong, 其跨度  $L=100'$ — $280'$



第十九圖



第二十圖

如第十九圖所示，連構之上弦為曲線形，無論其為下軌式或無頂下軌式橋，其跨度  $L=150'-300'$

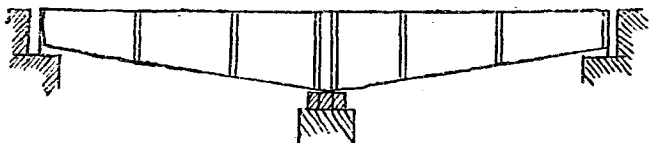
如橋孔之數，在一個以上者，則其組織之方法，如第十八圖及第二十圖所示。

#### (IV) 活動橋樑 movable Bridge

活動橋樑之建築，以在河道交通繁盛一之處為宜。此種橋樑，可以使其位置活動，以便高大之船隻通行。因其構造方法之不同，故活動橋樑，可以分為下列數種，特略述之。

##### (1) 平轉橋 Swing Bridge

平轉橋的構造，有二個以上的桁或構支於中間，橋台的兩側，可以通行船隻。其構造之形式，如第二十一圖所示。

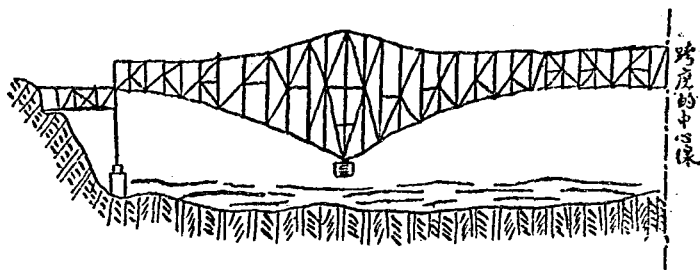


第 二 十 一 圖

##### (2) 跳開橋 Bascule Bridge

跳開橋之桁或構支於一端，他端用鋼索連絡，通過鐵架上之滑車，因鋼索他端所繫之平衡重 Counter weight 而起落其桁構之橋樑。

## (V) 懸臂橋 Cantilever Bridge



## 第 二 十 二 圖

懸臂橋之構造，其桁或構固定於一端，另一端則虛懸。通常所用之懸臂橋，於四個支點上，架三種的構，在兩岸上各架一固定臂 Anchor arm，於兩懸臂之間，支持一懸樑 Suspended Span。如第二十二圖所示，為懸臂橋之一種。

## (VI) 弧橋 Arch bridge

弧橋之建築材料，規定可分為四種；

- (1) 石弧橋 Stone Arch Bridge；
- (2) 磚弧橋 Brick Arch Bridge；
- (3) 混凝土弧橋 Concrete Arch Bridge；
- (4) 鋼骨混凝土弧橋 Reinforced Concrete Arch Bridge。

弧橋之形勢頗多，最通用者為半圓弧，橢圓弧以及拋物線形

弧等等。

弧橋因結構的不同，又可分為有鉸紐及無鉸紐兩種。在有鉸紐中，又有一鉸紐 One hinged, 二鉸紐 Two hinged, 三鉸紐 Three hinged 以至多鉸紐等等。

## 第六章 橋樑應力的計畫

### (1) 最大活載重剪力

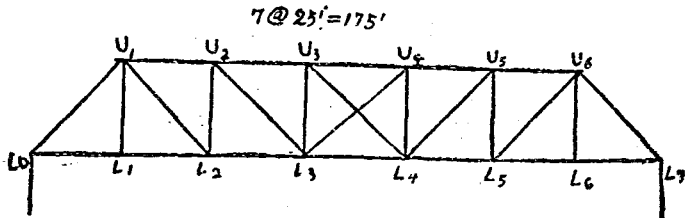
橋樑之計畫，以計算其應力 Stress 為最重要。故本章特將橋樑應力之計算方法及應力之種類述之。

I. 輪重位置的決定 Determine The position of the wheel loads

根據 Co per E 40

第二十三圖為勃蘭特式架橋，跨度為 175 呎，共分為七幅，每幅長 25 呎。

在下列的勃蘭特式橋上，欲計算者為在橋幅 Panel 上的最大的正活載重剪力 max. Positive live load shear



第 二 十 三 圖

橋點 Panel Point	點上的輪重 Wheel at pt	G	$w \div m$	P	G+p	Q	Q	備註
L <sub>1</sub>	(2)	10	$384 \div 7 = 54.85$	20	30	+	+	
L <sub>1</sub>	(3)	30	$404 \div 7 = 57.71$	20	50	+	+	
L <sub>1</sub>	(4)	50	$404 \div 7 = 57.71$	20	70	+	-	Gives a max
L <sub>1</sub>	(5)	70	$424 \div 7 = 60.57$	20	90	-	-	
L <sub>2</sub>	(2)	10	$344 \div 7 = 49.14$	20	30	+	+	
L <sub>2</sub>	(3)	30	$344 \div 7 = 49.14$	20	50	+	-	Gives a max
L <sub>2</sub>	(4)	50	$364 \div 7 = 52.00$	20	70	+	-	„ „ „
L <sub>2</sub>	(5)	70	$384 \div 7 = 54.85$	20	90	-	-	
L <sub>3</sub>	(2)	40	$284 \div 7 = 40.57$	20	30	+	+	
L <sub>3</sub>	(3)	30	$304 \div 7 = 43.42$	20	50	+	-	Gives a max
L <sub>3</sub>	(4)	50	$304 \div 7 = 43.42$	20	70	-	-	
L <sub>4</sub>	(2)	10	$232 \div 7 = 31.71$	20	30	+	+	
L <sub>4</sub>	(3)	30	$232 \div 7 = 31.72$	20	50	+	-	Gives a max
L <sub>4</sub>	(4)	50	$245 \div 7 = 35.00$	20	70	-	-	
L <sub>5</sub>	(1)	0	$142 \div 7 = 20.28$	10	10	+	+	
L <sub>5</sub>	(2)	10	$152 \div 7 = 21.71$	20	30	+	-	Gives a max

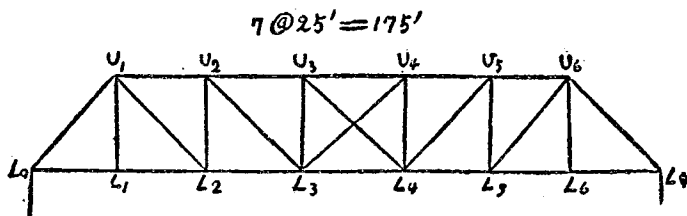
$L_5$	(3)	30	$152 \div 7 = 21.71$	20	60	--	--
$L_6$	(1)	0	$90 \div 7 = 12.85$	10	10	++	
$L_6$	(2)	10	$103 \div 7 = 14.71$	20	30	+-	Gives a max
$L_6$	(3)	30	$116 \div 7 = 16.57$	20	50	--	--

## (2) 下幅點的最大運動量

II. 輪重位置的決定 Determine the position of the wheel loads 根據 Cooper E 40

第二十四圖為勃蘭特式架橋，跨度為 175 呎，共分七幅，每幅長 25 呎。

在下列的勃蘭特式架橋上，欲計算者，為下幅點上的最大運動量 max moment at lower panel points.



第 二 十 四 圖

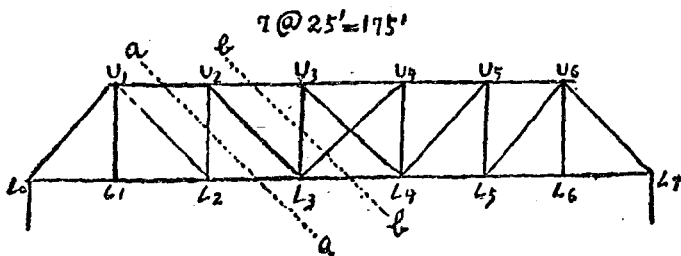
幅點 Panel point	點上的輪重 Wheel at pt	L	$wn \div m$	P	L+P	K	k	備註
L <sub>1</sub>	(2)	10	$383 \div 7 = 54.85$	20	30	+	+	
L <sub>1</sub>	(3)	30	$392 \div 7 = 56.00$	20	50	+	+	
L <sup>1</sup>	(4)	50	$502 \div 7 = 57.42$	20	20	+	-	Gives a max.
L <sub>1</sub>	(5)	70	$412 \div 7 = 38.85$	20	90	-	-	
L <sub>2</sub>	(5)	70	$(362 \div 7)2 = 103.4$	20	90	+	+	
L <sub>2</sub>	(6)	90	$(380 \div 7)2 = 108.5$	13	103	+	+	
L <sub>2</sub>	(7)	103	$(490 \div 7)2 = 101.4$	13	16	+	-	Gives a max.
L <sub>2</sub>	(8)	16	$(402 \div 7)2 = 114.8$	12	129	-	-	
L <sub>3</sub>	(8)	116	$(352 \div 7)3 = 150.8$	13	129	+	+	
L <sub>3</sub>	(9)	129	$(362 \div 7)3 = 155.8$	13	142	+	+	
L <sub>3</sub>	(10)	142	$(378 \div 7)3 = 162.0$	10	152	+	+	
L <sub>3</sub>	(11)	152	$(394 \div 7)3 = 168.8$	20	172	+	-	Gives a max.
L <sub>3</sub>	(12)	172	$(404 \div 7)3 = 173.0$	20	192	+	-	
L <sub>3</sub>	(13)	192	$(414 \div 7)3 = 177.8$	20	212	-	-	
L <sub>4</sub>	(12)	172	$(354 \div 7)4 = 202.0$	20	192	+	+	
L <sub>4</sub>	(13)	192	$(364 \div 7)4 = 208.0$	20	212	+	-	Gives a max.



L <sub>4</sub>	(14)	212	$474 \div 7)4 = 213.8$	20	232	+	-	” ” ”
L <sub>4</sub>	(15)	232	$(392 \div 7)4 = 224.0$	20	245	-	-	
L <sub>5</sub>	(13)	192	$(341 \div 7)5 = 243.5$	20	21	+	+	
L <sub>5</sub>	(14)	212	$(324 \div 7)5 = 231.0$	20	232	+	-	G ves a max.
L <sub>5</sub>	(15)	232	$(342 \div 7)5 = 244.0$	13	354	+	-	” ” ”
L <sub>5</sub>	(16)	245	$(352 \div 7)5 = 261.1$	13	258	+	-	” ” ”
L <sub>5</sub>	(17)	258	$(374 \div 7)5 = 267.0$	13	271	+	-	” ” ”

(3) 求勃蘭特式架橋的應力 stresses

根據 Cooper E40



第 二 十 五 圖

設第四輪(4)在L<sub>4</sub>,則

$$R = (39324 + 364 \times 19 + \frac{2 \times 19^2}{2}) \div 175 = 209$$

重力傳於  $L_0$ , 爲  $\frac{480}{25} = 19.2$

$$\therefore V_1 = 209 - 19.2 = 189.8 \#$$

設第三輪 (3) 在  $L_2$ , 則

$$R = (22444 + 324 \times 9 + \frac{2 \times 9^2}{2}) \div 175 = 145.5$$

重力傳於  $L_1$ , 爲  $\frac{230}{25} = 9.2$

$$\therefore V_2 = 145 - 9.2 = 136.3 \#$$

設第三輪 (3) 在  $L_3$ , 則

$$R = (16364 + 284 \times 4 + \frac{2 \times 4^2}{2}) \div 175 = 100$$

重力傳於  $L_2$ , 爲  $\frac{230}{25} = 9.2$

$$\therefore V_3 = 100 - 9.2 = 90.8 \#$$

設第三輪 (3) 在  $L_4$ , 第四輪 (4) 到右支持點 Support, 則

$$R = 108.6 \div 175 = 61.8$$

重力傳於  $L_3$ , 爲  $\frac{230}{25} = 9.2$

$$\therefore V_4 = 61.8 - 9.2 = 52.6 \#$$

設第二輪 (2) 在  $L_5$ , 則

$$R = (4332 + 2 \times 152) \div 175 = 28.2$$

重力傳於  $L_4$ , 爲  $\frac{80}{25} = 3.2$

$$\therefore V_5 = 28.2 - 3.2 = 25 \#$$

設第二輪 (2) 在  $L_6$ , 則

$$R = (1640 + 103 \times 1) \div 175 = 10$$

重力傳於  $L_5$ , 為  $\frac{80}{25} = 3.2$

$$\therefore V_6 = 10 - 3.2 = 6.8 \#$$

設靜幅載重 = 20,000#, 假定靜幅載重的三分之一在上弦

(Jop Chord) 上。則所有各種的應力, 可以決算之如下:

靜載重 V	+活載重 V	-活載重 V
Dead load V	+Live load V	-Live load V
$V_1 = +60.0$	+189.8	- 0
$V_2 = +40.0$	+136.3	- 6.8
$V_3 = +20$	+ 90.8	- 25.0
$V_4 = 0$	+ 52.6	- 52.6
$V_5 = -20.0$	+ 25.0	- 90.8
$V_6 = -40.0$	+ 6.8	-136.3
$V_7 = -60.0$	0	-189.8

設在第四幅上, 需要 Counter, 則 Counter 上的應力, 為  $U_4 L_3 = V_3 L_4 = 52.6 \times 15.2 = +74$

從上列的計算中, 可知正剪力在  $L_4 U_1$  則為擠壓應力 Compressive stress, 在對角桁構上的牽引力與其正剪力, 即為擠壓

應力。故橋樑左邊的一半必須注意。桁腹 web 的應力 (Dead load and live load) 可以決定，但無須計算，只須決定其符號 sign

(4) 對角桁上的靜載重應力 Dead load  
stresses in Diagonals

$$L_0 U_1 = -1.42 \times 60 = -85.2$$

$$U_1 L_2 = +1.42 \times 40 = +56.8$$

$$U_2 L_3 = +1.62 \times 20 = 128.4$$

(5) 直桁上的靜載重應力 Dead  
Stresses in Vertical

爲  $U_2 L_2$ ，經過斷面 a-a

$$V_{a-a} = 60 - 2 \times 13.3 - 6.7 = +26.7$$

$$\therefore U_2 L_2 = -26.7\#$$

爲  $U_3 L_3$ ，經過斷面 b-b

$$V_{b-b} = 60 - 3 \times 13.3 - 2 \times 6.7 = 6.7$$

$$\therefore U_3 L_3 = -6.7\#$$

因爲  $U_1 L_3$  沒有應力，則  $U_1 L_1 = 13.3\#$

(6) 弦的靜載重應力 Dead load  
Stresses in the Chord

$$\tan \alpha = \frac{25}{25} = 1$$

∴根據正切的定理，可以決定弦的靜載重應力，特計算之如下：

$$L_0 L_1 = L_1 L_2 = 1 \times 60 = +60.0$$

$$U_1 U_2 = -(60 \div 40) \times 1 = -100.0$$

$$U_2 U_3 = -(60 + 40 + 20) \times 1 = -120.0$$

$$U_3 U_4 = -(60 + 20 + 40) \times 1 = -120.0$$

$$L_2 L_3 = -U_1 U_2 = -(60 + 40) \times 1 = +100.0$$

$$L_3 L_4 = -U_2 U_3 = -(60 + 40 + 20) \times 1 = +120.0$$

(7) 對角桁上的活載重應力 Live load stresses in Diagonals

$$L_0 U_1 = -1.42 \times 189.8 = -269.5 (\max) \quad (\min) 0$$

$$U_1 L_2 = +1.42 \times 136.3 = +193.5 ( \quad ) \quad (\min) 1.42 \times -6.8 = -9.656$$

$$U_2 L_3 = +1.42 \times 90.8 = +128.9 ( \quad ) \quad (\min) 0$$

(8) 直桁上的活載重應力 live load stresses in Verticals

$U_1 L_1$  的最大應力，當一較大之重力在  $L_1$  處，則在第一幅的載重，適與全載重在第一幅與第二幅的一半。此種載重，可以

用微分的方法計算。

茲先求在  $U_1L_1$  處的最大應力  $\max$  Stress。

置第二輪 (2) 或第三輪 (3) 在  $L_1$  ; 則

$$480 \div 25 = 19.2$$

$$529 \div 25 = 21.2$$

在兩幅上的載重之和，傳達於  $L_1$  為  $116 - (21.2 + 19.2) = 7$

5.6

$$\therefore U_1L_1 = +75.6$$

求  $U_2L_2$  的最大應力，經過斷面  $a-a'$

則  $V_{a-a} = +90.8$

$$\therefore U_2L_2 = -90.8 \#$$

求  $U_3L_3$  的最大應力，經過斷面  $b-b'$

則  $V_{b-b} = +52.6$

$$\therefore U_3L_3 = 53.6$$

註：靜載重  $-6.7$  可以加於此  $-52.6$  應力上計算。

(9) 弦的活載重應力 Live load

Stresses in the Chord

各幅點上的最大運動量前面業至求得。以架構的長度 length of the truss 除之，即得弦應力 Chord Stesses。

當第四輪(4)在  $L_1$  時，

$$R = (33064 + 384 \times 9 + [(9^2 \times 2) \div 2]) \div 175 = 208$$

$$M_1 = 208 \times 25 - 480 = 4,630\#$$

當第七輪(7)在  $L_2$  時，

$$R = (33064 + 384 \times 3 + 22 \times 3^2 + \frac{2 \times 3^3}{2}) \div 175 = 196$$

$$M_2 = 196 \times 50 - 2155 = 7615\#$$

當第十一輪(11)在  $L_3$  時，

$$R = (33064 + 384 \times 5 + 22 \times 5^2 + \frac{2 \times 5^3}{2}) \div 175 = 200$$

$$M_3 = 200 \times 75 - 5848 = 9,152\#$$

當第十三輪(13)在  $L_4$  時，

$$R = (29342 \div 175) = 168$$

$$M_4 = 168 \times 100 - 7668 = 9,132\#$$

當第十七輪(17)在  $L_5$  時，

$$R_1 = (29342 \div 175) = 168$$

$$M_5 = 168 \times 125 - 13589 = 7,400\#$$

當第十八輪(18)在  $L_6$  時，

$$R = (19304 \div 175) = 1,104$$

$$M_6 = 110.4 \times 150 - 13089 = 2,971\#$$

$$\therefore M_1 = 4,630$$

$$M_2 = 7.644$$

$$M_3 = 9.152$$

$$M_4 = 9.132$$

$$M_5 = 7.400$$

$$M_6 = 2.971$$

## (10) 弦應力 The Chord Stresses

$$L_0L_1 = L_1L_2 = +(4.620 \div 25)$$

$$= +18.5,$$

$$U_1U_2 = (-7.645 \div 25) = -$$

$$306,$$

$$U_2U_3 = (-9.152 \div 25) = -$$

$$366,$$

$$U_3U_4 = (-9.072 \div 25) = -$$

$$363,$$

$$L_2L_3 = +306 = -U_1U_2,$$

$$L_3L_4 = +366 = -U_2U_3,$$

茲特勃蘭特式架橋上的各種應力，各靜載重，活載重，以及最大運動量等，列表如下：

應力的種類 Kinds of Stress	Ene Post		Verticals			Dragonals			upper Chord		Lower Chord	
	L <sub>0</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>1</sub> L <sub>1</sub>	U <sub>2</sub> L <sub>2</sub>	U <sub>3</sub> L <sub>3</sub>	U <sub>1</sub> L <sub>1</sub>	U <sub>1</sub> L <sub>2</sub>	U <sub>1</sub> L <sub>3</sub>	U <sub>1</sub> U <sub>2</sub>	U <sub>2</sub> U <sub>3</sub>	L <sub>0</sub> L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> L <sub>3</sub>
靜載重 Dead load	-85.2		+43.7	-26.7	-6.7	-85.2	+56.8	+28.4	-100.0	-120.0	+60.0	+100.0
活載重 Live load	+30.6		+94.8	-90.8	-32.6	-2695	+2029	+1289	-306	-366	+185	+306
最大 max	-391.2		+1385	-1175	-97.5	-3545	+2617	+1573	+4060	+486.0	+245.0	406.0

勃蘭特式架橋上的各種應力表



活載重 Live load :

$$L_0L_1 = L_1L_2 \parallel +875 \times 2.08 = +182.0$$

$$L_2L_3 = +150.0 \times 2.08 = +312.0$$

$$L_3L_4 = +187.5 \times 2.08 = +390.0$$

$$U_1U_2 = -150.0 \times 2.08 = -312.0$$

$$U_2U_3 = -188.5 \times 2.08 = -390.0$$

$$U_3U_4 = -200 \times 2.68 = -416.0$$

活載重弦應力 Live load Chord Stresses 與靜載重弦應力成比例。

如勃蘭式橋所得的最大應力於  $L_0U_1$ ，故等於靜載重，以上述之比乘之（活載重弦應力與靜載重弦應力成比例）；或

$$L_0U_1 = -136.7 \times 2.08 = -284.20$$

$$+U_1L_1 - 62.4 = 0$$

$$\therefore U_1L_1 = +62.4$$

為  $U_1L_1$ ，經過 a-a 斷面， $L_2$  自右則荷重。

$$+V_2 = + \frac{62.4}{8}(1+2+3+4+5+6) = +163.8$$

則應力方程式 Stress Equation 為

$$+163.8 - U_1L_2 \times .7685 = 0 \quad \therefore U_1L_2 = +213.2$$

為  $U_2L_3$ ，經過 b-b 斷面

$$+V_3 = + \frac{62.4}{8}(1+2+3+4+5) = +117.0$$

$$+117.0 - U_2 L_3 \times .7685 = 0 \quad \therefore U_2 L_3 = 152.4$$

爲  $U_3 L_4$ , 經過 c-c 斷面

$$+V_4 = + \frac{62.4}{8}(4+3+4) = +78.0$$

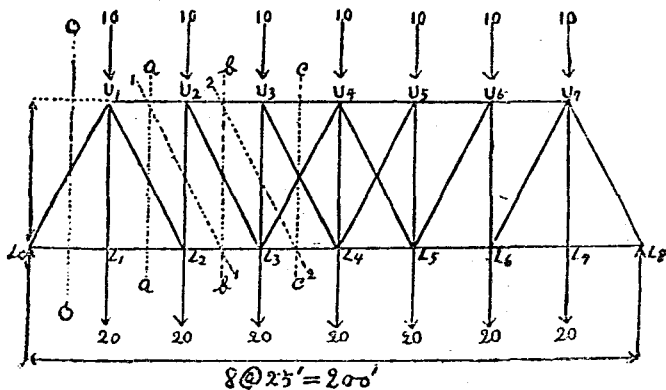
$$+117.0 - U_2 L_3 \times .7685 = 0 \quad \therefore U_2 E_3 = 152.4$$

爲  $U_3 L_4$ , 經過 c-c 斷面

$$+V_4 = + \frac{62.4}{8}(1+2+3+4) = +78.0$$

$$+78.0 - U_3 L_4 \times .7685 = 0 \quad \therefore U_3 L_4 = 101.0$$

(11) 計算勃蘭特式架橋的各種應力



第二十六圖 勃蘭特式架橋

計算勃蘭特式架橋的各種應力，橋樑的跨度為 200 呎，共分 8 幅，每幅長 25<sup>1</sup>，單車道 Single Track 橋架度為 30 呎。幅靜載重 Dead Panel load 為 30,000#。幅活載重 Live Panel load 為 60,400#。正割 secant 為  $\frac{\sqrt{25^2 + 30^2}}{30} = 1.302$  餘弦 Cosine 為  $\frac{30}{39.06} = .7685$ 。

計算橋樑的應力，常假定各種應力在各結連點上以計算之。

靜載重反動力 Dead load reaction 為  $3\frac{1}{2} \times 30,0 = 105,0$

靜載重剪力 Dead Load Shears 在

$$V_1 = +105,0$$

$$V_2 = +75,0$$

$$V_3 = 45,0$$

$$V_4 = +15,0$$

$$V_5 = -15,0$$

靜載重應力 Dead load Stresses 決算之如下：

應力方程式 Stress equation 是

$$+U_2L_2 + 55,0 = 0 \quad \therefore U_2L_2 = -55,0$$

$$+U_3L_3 + 25,0 = 0 \quad \therefore U_3L_3 = -25,0$$

弦應力 Chord Stresses, 為

$$\frac{624 \cdot 00}{30 \cdot 000} = 2.08$$

在縱斷面上的最大應力 max Stress，如經過 1-1, 2-2, 3-3, 等等，每斷面上，幅點向右，則剪力 Shear 爲

$$V_{1-1} = \frac{62.4}{8}(1+2+3+4+5) = +117.0$$

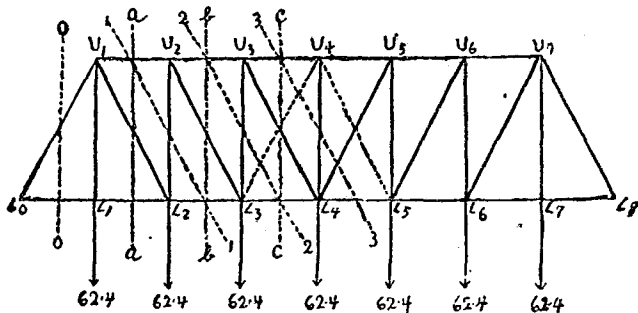
$$V_{2-2} = \frac{62.4}{8}(1+2+3+4) = +78.0$$

$$V_{3-3} = \frac{62.4}{8}(1+2+3) = +46.8$$

爲  $U_2L_2 + U_3L_3$

$$+117.0 + U_2L_2 = 0 \quad \therefore U_2L_2 = -117.0$$

$$+78.0 + U_3L_3 = 0 \quad \therefore U_3L_3 = -78.0$$



第二十七圖 勃蘭特式架橋

Counters 的計畫

$$\ast V_7 = \frac{62.4}{8}(1+2+3+4+5+6+7) = +218.4$$

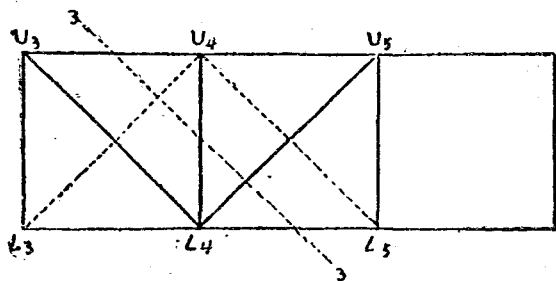
靜載重 Dead load	+活載重 Live load	-活載重 Live load
$V_1 + 105.0$	$+218.4$ *	$0 = \frac{62.4}{8} \times 0$
$V_2 + 75.0$	$+163.8$	$-7.8 = \frac{62.4}{8} \times 1$
$V_3 + 45.0$	$+117.0$	$-23.4 = \frac{62.4}{8} \times (1+2)$
$V_4 + 15.0$	$+78.0$	$-46.8 = \frac{62.4}{8} (1+2+3)$

根據規則 ( 1 ) ,

在橋樑的第四幅上, 需用 Counter。

根據規則 ( 2 ) ,

在 Counter 上的最大應力為  $(-45.8 + 15.0) \times 1.302$  (secant) =  $+41.4$  (In tension as their slope to opposite way from the min member)



第 二 十 八 圖

在  $U_5L_4$  處的剪力為零，在 3—3 斷面上。

$$\therefore +46.8 + U_4L_4 = 0 \quad \therefore U_4L_4 = -46.8$$

靜載重為 -10，當  $U_3L_3$  與  $L_4U_5$  負荷重量時。

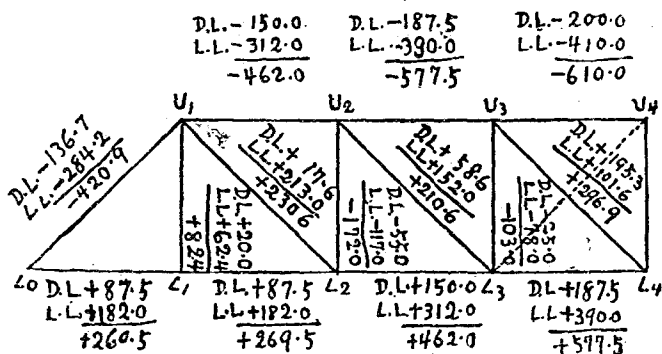
靜載重應力，與活載重 -46.8 成爲連立負荷，爲在  $U_4L_4$  的靜載重，當  $U_3L_4 + U_4L_5$  負荷重量時。

在 2—3 斷面的靜載重，其方向向左，載重即在  $U_1, U_2, U_3, L_1, L_2, L_3$  各聯接點上。

$$V_{3-3} = +105.0 - 3 \times 10 - 4 \times 20 = -5.0$$

$$-5.0 + U_4L_4 = 0 \quad \therefore U_4L_4 = +5.0$$

在  $U_4L_4$  的應力之和，爲  $-46.8 + 5.0 = -41.8$



member	Section	Center of moment	Stress Equation	Stress
$L_0L_1 = L_1L_2$	a-a	$U_1$	$105.0 \times 25 - 30 \times L_1L_2 = 0$	+87.5
$L_2L_3$	b-b	$U_2$	$105.0 \times 50 - 30 \times 25 - 30 \times L_2L_3 = 0$	+150.0
$L_3L_4$	c-c	$U_3$	$105.0 \times 70 - 30 \times 55 - 30 \times L_3L_4 = 0$	+187.5
$U_1U_2$	a-a	$L_2$	$105.0 \times 50 - 30 \times 25 + U_1U_2 \times 30 = 0$	-150.0
$U_2U_3$	b-b	$L_3$	$105.0 \times 75 - 30(25 + 50) + 30 \times U_2U_3 = 0$	-187.5
$U_3U_4$	c-c	$L_4$	$105.0 \times 100 - 30(25 + 50 + 75) + 30 \times U_3U_4 = 0$	-200.0

對角桁上的靜載重

member	Section	Center of Section	Stress Equation	Stress
$L_0U_1$	a-a	+150.0	$+150.0 + L_0U_1 \times .7685 = 0$	-136.70
$U_1L_2$	a-a	+75.0	$+75.0 - U_1L_2 \times .7685 = 0$	+97.60
$U_2L_3$	b-b	+45.0	$+45.0 - U_2L_3 \times .7685 = 0$	+58.60
$U_3L_4$	c-c	+15.0	$+15.0 - U_3L_4 \times .7685 = 0$	+19.53

計算直桁 Verticals 的應力，須注意下列的條件：

- (1) 用上弦 Upper Chord 幅點的靜載重的三分之一 (= 10.0)，
  - (2) 用下弦 lower Chord 幅點的靜載重的三分之二 (= 20.0)，
- $U_1L_1$  應力的決定，以經過  $L_2$  的圓的斷面為根據，

$$-20.0 + U_1 L_1 = 0 \quad \therefore U_1 L_1 = +20.0$$

$$-10.0 + U_4 L_4 = 0 \quad \therefore U_4 L_4 = +10.0$$

其餘各直桁應力的決定，可於斷面 1—1, 2—2 等求之。剪力亦可依斷面 1—1, 2—2 等求得。

$$V_{1-1} = +105.0 - 2 \times 20 - 1 \times 10 = +55.0$$

$$V_{2-2} = 105.0 - 3 \times 20 - 2 \times 10 = +25.0$$

## 第七章 鐵路橋樑計畫

### (1) 緒言

計畫一跨度 62'-0" 上軌式鐵路鋼架桁橋 Plate Girder Bridge 活載重 (Cooper's E60) 計畫之部份如下：

- (1) 橋床 Wooden floor
- (2) 動量與剪力 moment and Shear
- (3) 桁腹與橫緣 Web and Flange
- (4) 桁腹結合 Web Splice
- (5) 止振及蓋版的長 Stiffener and Length of Cover-plate
- (6) 釘心距 Rivets-pitch
- (7) 軸承及交叉構架 Lateral bracing and Cross frame
- (8) 軸承版 Bearing plate

#### I. 橋床的計畫



12,000# 的交互載重 alternative load 分佈於兩對的中心距離 6' 的車輪。每車輪的重量假定為 30,000# 分佈於 Three cross-ties

每軌每枕木的活載重 = 10000#

假定衝擊力為 100% = 10000#

每車軌上所載的重 =  $450 \div 2 \times 14 \div 12 = 260\#$

兩枕木中心的距離為 14", 車重為 450# Per linear foot

共計 =  $10000 + 10000 + 260 = 20,260\#$ 。

兩軌間的距離 =  $4' - 11"$ 。

兩桁間的距離 (c-c)  $6' - 6"$

枕木的長 The length of tie = 10' (詳後圖)

the cross-tie then acts as a beam, 支間的距離, 為 78'

載兩個相等及對稱的集中重 Concentrated load 距離為 59"。  
集中重量為 20,260#

軌條下的撓曲動量 bending moment 為  $20,260 \times (78 + 59) \div 2 = 192,470$  呎磅

用白松為枕木 White oak for cross-ties

白松的定限纖維質應力 Allowable fiber stress 為 1500 每呎  
用 bending moment 的公式計畫, 則

$$M = sbd^2 \div 6$$

或  $bd^2 \div 6 = M \div S$ ;

於是  $bd^2 \div 6 = M \div S = 192470 \div 1500 = 128$ ,

$$bd^2 = 768$$
;

假定  $b = 8'' d^2 = 96$ , 或  $d = 9.8''$

掘去  $\frac{1}{2}''$  爲合於桁之用, 則用  $8'' \times 11''$

軌基約 6' 廣則 bearing 面積爲  $6 \times 8 = 48''$

垂直於桁的擠壓力 Compression perpendicular to The Girder 爲  $20260 \div 48 = 422 \frac{2}{3}$  磅, 小於白松的定限應力 allowable Stress

### (3) 重量與剪力 moment and Shear

#### (1) 剪力 Shear

靜載重 Dead load

假定車輛的重量 The weight of Track = 450# /ft

鐵橋的重量 The weight of Steel bridge = 1065# /ft

靜載重 =  $(450 + 1065) \div 2 = 757.5$  # /ft per rail

端的剪力 =  $757.5 \times 62 \div 2 = 23482.5$  kips

四分之一處的剪力 =  $757.5 \times 62 \div 2 - 757.5 \times 62 \div 4 = 1174$

1.25 kips

中間的剪力 = 0

活載重 Live load,

端處的剪力 Shear at end 一端的最大剪力，將第二輪 (2) 置於左端，(詳見後圖) 則第二輪 (2) 至第一 (1) 二 (2) 輪已完全在橋上。

右邊支柱的動量 moment about right support 為

$$(7522.5 + 7522.5 \times 20 \div 100) + (227.5 + 227.5 \times 20 \div 100) \\ \times 1 = 9300 \text{ 呎磅}$$

一端的剪力二左支柱上的反動力 =  $9300 \div 52 = 1500 \text{ kips}$

在四分之一點處的剪力，

$$G \div L = P \div b$$

設第一輪 (1) 置於四分之一點處，則

$$G = 193.5, L = \text{Span} = 62, P_1 = 15, b = 8$$

$$\therefore G \div L = 193.5 \div 62 = 3.12;$$

$$P_1 \div b = 15 \div 8 = 1.87 \text{ 較 } G \div L \text{ 的結果小。}$$

$\therefore$  第二輪 (2) 經過，必得最大剪力。(詳後圖)

第九輪 (9) 為目右支柱的  $6\frac{1}{2}$ ，

右支柱上的動量 moment about right support

$$= 5244 \div 213 \times 6.5 = 6628.5 \text{ kip.ft.}$$

在四分之一點上的剪力 =  $6628.5 \div 62 - 15 = 91.91 \text{ kips}$

在中點上的剪力，設將第一輪 (1) 置於中點，則

$$G = 135, L = 62, P_1 = 15, b = 8$$

$$\therefore G \div L = 135 \div 62 = 2.1$$

$$P_1 \div b = 15 \div 8 = 1.8 \text{ 較 } G \div L \text{ 的結果小。}$$

$\therefore$  最大剪力，第二輪 (2) 必在中點。第一輪 (1) 至七輪 (7) 則在橋上，第七輪 (7) 則距右支柱 2' (詳見後圖)。

左邊支柱上的動量  $\text{moment at right support} = 3232.5 + 174 \times 2 = 3580.5$  呎磅

$$\text{中點的剪力} = 3580.5 \div 62 - 15 = 42.75 \text{ kips.}$$

$$\text{衝擊剪力，用公式，則 } S \times 300 \div (300 + L)$$

$$\text{一端的剪力， } L = 62, \quad S = 150,000$$

$$\therefore \text{衝擊力} = 1500 \times 300 \div (300 + 62) = 124,310 \text{ kips}$$

$$\text{在四分之一點處的剪力， } L = 54.5, \quad S = 01,91$$

$$\therefore \text{衝擊力} = 91.91 \times 300 \div (300 \div 54.5) = 77.78 \text{ kips}$$

$$\text{在中間的剪力， } L = 39 \quad S = 42.75$$

$$\therefore \text{衝擊力} = 42.75 \times 300 \div (300 \div 39) = 37.83 \text{ kips}$$

(2) 動量 moment

計算最大運動量的公式，為

$$G_1 \div a = G \div L$$

$G_1$  = 右斷面的重量 The weight of left section, 爲自斷面至左支柱間的距離。

設第二輪(2) (見後圖) 第一次置於四分之一點處 Quarter section.

$$G \div L = 212.9 \div 62 = 3.4$$

則  $G \div a = 45 \div 15.5 = 2.90$  較  $G \div L$  的結果。

$\therefore$  第十輪(10)的所在點, 距右支柱 3.5。

此處,  $G \div L = 218 \div 62 = 3.5$

$$G_1 \div a = 45 \div 15.5 = 2.9$$

$$G_1 \div a = 75 \div 15.5 = 4.8 \text{ which satisfies for criterion}$$

右邊支柱上的動量 moment about right support

$$= 6948 + 228 \times 3.5 = 7746 \text{ 呎磅}$$

$$\text{反動力} = 7746 \div 62 = 124.94 \text{ kips}$$

在四分之一點處的撓動量 Bending moment at quarter

$$= 124.94 \times 15.5 - 345 = 1591.57 \text{ 呎磅}$$

在中點處的撓動量 Bending moment at middle, 將第十三輪(13)置於中點, 則第十八輪(18)的所在點, 距支柱左邊<sup>1'</sup> (詳見後圖) 求車輪在橋上的重心。

以第十八輪(18)爲動量 moment about wheel r.o. 18, 則

$$M = 5244 + 19.50 \times 56 = 6336 \text{ 呎磅}$$

$$d = \text{距離} = 6336 \div 232.5 = 27.25 \text{ (爲自第十八輪的距離)}$$

重心點即在 2.75' (第十三輪的右邊) (詳見後圖)

$$G \div L = 232.5 \div 62 = 3.75$$

$$G_1 \div a^1 = 124.5 \div 29.63 = 4.18$$

$$\text{或 } 94.5 \div 29.63 = 3.18$$

$$\therefore M = 5244 + 213 \times 2.37 + 19.5 \times 58.37 = 6887.125 \text{ kipsft}$$

$$\text{反動力 Reaction} = 6887.125 \div 62 = 111.08$$

$$M = 111.08 \times 29.63 - 720 - 195 \times 62 = 2064.3 \text{ kipft}$$

在中點的動量 moment at middle = 0

moment due to 靜載重，

在一端 = 0

$$\begin{aligned} \text{在四分之一點處 at quarter point} &= wL \div 8 \times L \div 4 - wL \div \\ &4 \times L \div 8 \end{aligned}$$

$$= wL^2 \div 8 - wL^2 \div 32$$

$$= 3wL^2 \div 32 = 3 \times 757.$$

$$5 \times 62 \times 62 \div 32$$

$$= 272.984 \text{ kipft.}$$

$$\text{在中點的} = wL^2 \div 8$$

$$= 757.5 \times 62 \times 62 \div 8 = 363,980 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

衝擊動量 Impact moment, 用公式  $M \times 300 \div (300 + L)$

L = 重長 loaded length

$$\therefore \text{衝擊力} = 2064.3 \times 300 \div (300 + 58.37) = 1728.03 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

在四分之一點的衝擊力 =  $1591.57 \times 300 \div (300 + 59.5)$

$$= 1328.16 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

剪力表 Shear Table (both in kips)

	at end	at quarter	at middle
D. L. 靜載重	23,480	11,740	0
D. L. 靜載重	150,000	91,910	42,750
衝擊力	124,310	77,780	37,830
共 計	297,790	181,430	80,58

運動量 moment Table

	at end	at quartr	at middle
D. L. 靜載重	0	272,980	363,980
D. L. 靜載重	0	1591,570	2064,300
衝擊力	0	1328,160	1728,030
共 計	0	3192,710	4156,310

## (4) 桁腹與橫緣 Web and Flange

計畫桁腹，用最大的剪力。

單位力應剪 (The unit shearing stress for gross section of The web) 爲 10,000 磅，

在一端的最大剪力 = 23,480 + 150,000 + 124,310 = 297,790 kip。The gross section 的面積 = 297,790 ÷ 10,000 = 29.78 呎<sup>2</sup>

使桁腹之高爲 6' - 6" = 72"，

桁腹最大的厚度爲  $\frac{7"}{16}$ ，

則桁腹的面積 = 72 ×  $\frac{7}{16}$  = 31.5 呎<sup>2</sup>

計算撓曲的基本公式 The fundamental formula for flexion 爲

$$S = MC \div I$$

$$\text{或 } I = MC \div S$$

計算桁的公式，爲

$$I = I_{t,f} + I_{b,f} + I_w = 2(I_y - y + Ax^2) + \frac{th^3}{12} = 2A(h_1 \div 2)^2 + th^3 \div 12$$

此處， $h_1$  = 效用高度 effective depth (詳見後圖)

$$MC \div S = I = 2A(h_1 \div 2)^2 + th^3 \div 12$$

$$A_2 = (MC \div S - th^3 \div 12) (2 \div h_1^2)$$



$$= (Mh \div 2S - th^3 \div 12)(2 \div h_1^2)$$

$$[C = h \div 2]$$

但  $h \div h_1^2$  大約等於  $1 \div h$ ,  $h^3 \div h_1^2 = h$

$\therefore A = (M \div Eh - th \div 6)$  在此方程式中,  $th \div 6$  是桁腹淨面積的  $\frac{1}{6}$ , 淨面積的  $\frac{1}{6}$ , 約等 gross area 的  $\frac{1}{8}$  (指桁腹而言)

$$A = M \div Sh - th \div 8$$

作上下的突緣, 計畫下橫緣,

單位牽引力 unit tensile stress = 16,000  $\frac{\text{lb}}{\text{sq. in.}}$

桁的高度 The depth of girder = 72" +  $\frac{1}{2}$ " = 72  $\frac{1}{2}$ " (爲角版的背至背的長)

假定有效高度 A: some The effective depth  $h = 72 \frac{1}{2}$ "  
- 2" = 70  $\frac{1}{2}$ "

$$\therefore M = 2064,300 + 1723,030 + 393,980 = 4,156,310 \text{ kip.ft.}$$

$$\therefore A = 4,156,310 \div 16000 \times 70 \frac{1}{2} - (72 \times 7 \div 16) \div 8 = 44,228 - 3.94 = 40,284 \text{ sq. in.}$$

$$2 - \text{區} \text{ 的面積} = 8 \times 8 \times 3 \div 4 = 2(11.44 - 2 \times 1 \times 3 \div 4) = 19.88 \text{ sq. in.}$$

$$2 - \text{區} \text{ 的面積} = 18 \times 11 \div 16 = 2(18 \times 11 \div 16 - 2 \times 11 \div 16) = 22 \text{ sq. in.}$$

$$2-15 \text{ 與 } 2-16 \text{ 面積之和} = 19.88 + 22 = 41.88 \text{ 呎}^2$$

$$\text{角版的動量 The moment of angle} = 11.44 \times 2 \times 2.28 = 52.1664 \text{ 呎磅}$$

1664 呎磅

鐵版的動量 The moment of plate

$$= 52.1664 - 18 \times 11 \div 16 \times 2 \times 11 \div 16 = 52.1664 - 17.0156$$

$$= 35.1508$$

$$\text{角版與版的 gross 面積} = 11.44 \times 2 + 18 \times \frac{11}{16} \times 2 = 22.88 + 24.75 = 47.63 \text{ 呎}^2$$

$$\therefore X = 35.1508 \div 47.63 = .738$$

$$\text{有效高度} = 72 \times \frac{1}{2} - 2 \times .738 = 71.62 \text{ 呎}$$

$$S = M \div (A + th \div 8) h_1 = 4156310 \times 12 \div (41.88 + 3.94)$$

$$\times 71.02 = 1.533 \text{ 呎}^3$$

### (5) 桁腹接合 web splice

72 × 7 吋的剪力版，長僅為 50' 足為構造桁橋所必須的兩個接合，全橋之跨度為 62'。

鐵釘在接合處位置的佈置，詳見後圖。

桁腹 gross 面積的抵抗量 Resisting moment

$$= \frac{1}{6} \times \frac{7}{16} \times 72 \times 1600 \times 72 = 6048000 \text{ 吋磅}$$

其下半部份為

$$6,048,000 \div 2 = 3,024,000 \text{ 吋磅}$$

求桁腹的淨斷面的抵抗動量，須假定鐵釘眼的直徑，

假定鐵釘眼的直徑 = 1" The deduction of tensile stress in the web for a rivet-hole at the distance from neutral surface = That of the outer fiber of the web is  $16000 \times \frac{7}{16} \times 1 = 7000$

一釘自 y 的距離，為  $7000y \div 36$

∴ 在中心軸的動量為  $7000y^2 \div 36$

釘眼的動量的和在 m n，為  $7000y^2 \div 36$

$$E y^2 = 4^2 + 8^2 + 12^2 + 16^2 + 19\frac{1}{2}^2 + 23^2 + 26.5^2 + 30.25^2 = 3006.56$$

006.56

$$\therefore 7000 \times 3006.56 \div 36 = 584610 \text{ 磅吋}$$

桁腹下半部的抵抗動量 =  $3024000 - 584610 = 2439360$  吋磅

以單位應力的 24000 磅，為釘邊 (side of rivets) 的軸承 bearing

—  $\frac{7}{8}$ "  $\phi$  釘在  $\frac{7}{16}$ " 桁腹版的正當軸承，為

$$24000 \times (7 \div 8) (7 \div 16) = 9190 \text{ 磅}$$

釘是 12000 磅的雙剪力及單位剪力

$$— \frac{7}{8}" \phi \text{ 釘的雙剪力為 } 2 \times (7 \div 8) \times (7 \div 4) \times 12000 = 14430 \text{ 磅}$$

釘的佈置，詳見後圖。

在  $y$  處的距離，軸承的值為

$$9190y \div 33\frac{1}{4}, \text{ 軸承運動量爲 } 9190y^2 \div 33\frac{1}{4}$$

兩行所有的釘子，其軸承運動量的和，突緣不在內，為

$$2 \times 9190Ey^2 \div 33\frac{1}{4} = 1156143 \text{ 吋磅}$$

設為兩塊結合版， $7 \times \frac{3''}{8}$  置於橫緣角 Vertical legs of the flange angles 的直股

則桁腹部份將載最大的單位應力。欲使抵抗動量的平衡，須使各釘子經過直垂的結合版，為

$$2439390 - 1156143 = 128327 \text{ 吋磅}$$

$$Ey^2 = 128327 \div 9190 = 4642.9$$

$$\therefore 0\frac{1}{4} \cdot 33\frac{1}{4} \text{ 的平方，爲 } 915.06 \text{ 及 } 1105.56$$

則每行須三隻釘子，則每邊的接合須用釘子六個。

$$\therefore Ey^2 \div (915.06 + 1105.56) = .3$$

#### (6) 止振及蓋版的長 Stiffener and Length of cover-plate

欲求端處的止振，從桁腹取直剪力，此直剪力為軸承版 (Bearing plate) 所負荷，因為在止振 (Stiffener) 版處的重量，漸漸的增加。

使支柱的長度等於桁的長度的一半。

則直剪力 Vertical Shear = 297,790#

用兩對角版  $7 \times 3\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$  為一端止振之用，使角版的長股稍稍向外。

旋回的半徑 The radius of gyration 在桁腹版上為 3.555"

單位應力 unit Stress =  $16000 - 70 \frac{L}{r} = 16000 - 70 \times \frac{36 \cdot 25}{3.555}$   
 = 15285#

一時止振所需的面積 Area required one pair of Stiffener

$$= (297790 \div 2) \div 15285 = 9.74 \text{ 吋}^2$$

兩角版的面積  $2 \times 7 \times 3\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = 10.00 \text{ 吋}^2$

交互載重 alternative load = 30000

衝擊力 Impact 100% = 30000

共計  $30000 + 30000 = 60000$

試用一對  $6 \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$  的角版，用 6" 的角版股伸出。

不支着的長度 Unsupported length =  $36\frac{1}{4}$ ，

旋回半徑，在軸處與桁腹版平行 = 2.975"

$S_c = 16000 - 7 \frac{L}{r} = 16000 - 7 \times 36.25 \div 2.975 = 15147\#$ ，

兩角版的面積  $6 \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8} = 6.84 \text{ 吋}^2$

∴實用的面積 =  $60000 \div 15147 = 3.96$  呎<sup>2</sup>

用圖解法，可以求得蓋版的長度。詳見後圖。

當橫緣的兩角版及版成立之時，則

$$\begin{aligned}\bar{x} &= (22.88 \times 2.88 - 12.375 \times .34) \div (22.88 + 12.375) \\ &= 47.9589 \div 33.251 = 1.36\end{aligned}$$

$$h'_2 = 72 \frac{1}{2} - 2 \times 1.36 = 69.78$$

$$\begin{aligned}\text{抵抗動量} &= (A_2 + th \div 8) \times 16000h'_2 \\ &= (30.88 + .437 \times 72.5 \div 8) \times 16000 \times 69.78 \\ &= 38,875,830 \text{ 吋磅} \\ &= 3,239,680 \text{ 呎磅}\end{aligned}$$

如甲兩角版時，則

$$\bar{x} = 2.88;$$

$$\begin{aligned}\text{有效的高度 Effective depth } h'_2 &= 72 \frac{1}{2} - 2 \times 2.88 = 72 \frac{1}{2} - 2 \times 2.88 \\ &= 167.94\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{抵抗動量} &= (A_2 + th \div 8) \times 160000 \times h'_2 \\ &= (19.88 + 3.94) \times 16000 \times 67.94 \\ &= 25,893,290 \text{ 吋磅} \\ &= 2,157,770 \text{ 呎磅}.\end{aligned}$$

(7) 釘心距 Rivet Pitch

釘為結合桁橋各部鐵版的重要機件，但連接桁腹版 web plate 到橫緣處時。第一步將力橫緣傳達於兩桁腹。故欲求釘的鞏固及能保持桁橋的鞏固，則須注意於所需用釘的數目，及釘眼的面積和自釘處傳出的直力及橫力。

用下列的公式，可以求得各種不同的動量 Difference of moment

$dM \div dx =$  每單位不同的運動量，

$dM \div h_1 dx =$  橫緣應力每單位時的增加量，

但  $dM \div dx = V =$  直剪力 Vertical Shear

$\therefore$  橫緣應力每單位時的增加量  $= V \div h_1$

因為桁腹撓曲的部份  $M$ ,  $V \div h_1$ , 必須乘以橫緣角的面積，及蓋版與橫緣總面積的比。

假定機關車在桁橋上的衝擊力，共分佈於三個枕木，或42"，茲特將計算的結果列舉如下。

Table for Colucation

	at end	at quaster poin'	at middle
Vertical Sheor	29779.0#	181,430#	80,580#

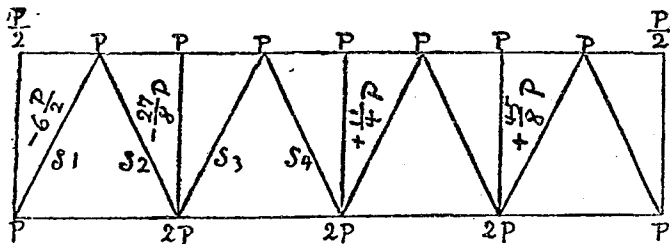
Element of flange	$2-\overline{IS}8'' \times 8'' \times \frac{9''}{4}$	$1-\overline{R}-18'' \times \frac{11''}{16}$ and $2-\overline{IS}-8'' \times 8'' \times \frac{9''}{4}$	$2-\overline{R}-18'' \times \frac{11''}{16}$ and $2-\overline{IS}-8'' \times 8'' \times \frac{9''}{4}$
Equivalent of flange area of web B.	3.94 口''	3.94 口''	3.94 口''
Total flange area $(A_1 + B) = A_2$	23.82 口''	34.82 口''	45.82 口''
Effective depth	67.94''	69.78''	71.02''
Increment of flange Stress per line ar in $(V \div h_1)$	4383#	2600#	1134#
Increment of flange Stress resisted by flange all $\text{ong} \left( \frac{V}{h_1} \times \frac{A_1}{A_2} = S_1 \right)$	3658#	2306#	1036#
Heaviest wheel (w)	30000#	30000#	30000#
Impact (I)	24840#	25380#	26550#
Vertical load per linear in $(W + I) \div 42 = S_2$	1305.7#	1319#	1346#
Resultant $(\sqrt{S_1^2 + S_2^2})$	3884#	2461#	1698#
Rivet pitch = $9190 \div (\sqrt{S_1^2 \times S_2^2})$	2.37''	3.73''	5.41''
net area of flange $(A_1)$	19.88 口''	30.88 口''	41.88 口''



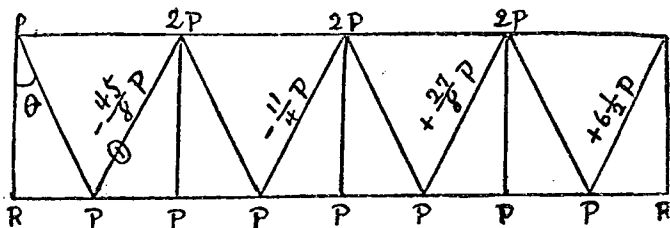
(8) 斜軸承及交叉構架 Lateral bracing and Cross frame

第二十九圖，三十圖所示，為軸承及交叉構架的平面——上軌式桁橋——，因桁橋的跨度在70以內則下部無設軸承的必要。

計畫桁橋的運動重量 moving load，可以 200+10% 為同量的輕，分佈於桁橋的兩邊



第三十圖



第三十一圖

$$\text{每呎每桁所載風的重量} = \frac{1}{2}(200 + 600) = 400\#$$

風幅重 Wind panel load =  $7.75 \times 400 = 3100 \#$

當風在 (1),  $R = \frac{1}{8} (2p \times 2 + 2p \times 4 + 2p \times 6) + \frac{p}{8} (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7) = 6 \frac{1}{2} p$  用同樣的理, 可以求得各部份的應力。

對角線的長度 The length of diagonal =  $\sqrt{78^2 + 93^2} = 121.4'$

$$\sec \theta = 121.4 \div 78 = 1.5564$$

於是  $S_1 = (6p \div 2) \times \sec \theta = 6 \frac{1}{2} \times 3100 \times 1.5564 = 30,350 \#$

$$S_2 = \frac{45}{8} \times p \times \sec \theta = \frac{45}{8} \times 3100 \times 1.5564 = 26,264 \#$$

$$S_3 = \frac{27}{8} \times p \times \sec \theta = \frac{27}{8} \times 3100 \times 1.5564 = 15,758 \#$$

$$S_4 = \frac{11}{4} \times p \times \sec \theta = \frac{11}{4} \times 3100 \times 1.5564 = 12,840 \#$$

對角桁的長度 The length of diagonal = 121.4

不支持的對角桁的長度 =  $121.4 - 24 = 97.4$  或 97.

不支持對角桁的長度與旋回的半徑之比, 有一定的限度 (12

0)

最小旋回半徑為  $97 \div 120 = .81$

用  $6'' \times 6'' \times \frac{1}{2}''$ ; 面積 = 5.75;  $r = 1.18$ ;  $c = 1.68$ ;  $I = 19.91$

for lateral bracing A,

$$\begin{aligned} S &= 16000 - 70 \times \frac{97}{1.18} = 16000 - 70 \frac{L}{r} \\ &= 16000 - 5754 = 10246 \# \end{aligned}$$

$$\text{實用的面積} = 30650 \div 10246 = 2.96''$$

A. 在柱上的單位應力，

$$S_1 = \frac{F}{A} + 70 \frac{L}{r} = 30350 \div 5.77 + 70 \times \frac{97}{1.18} = 5278 + 5754 = 11$$

032#

B. 單位應力在外纖維 out fiber 向結合處，

$$S_1'' = \frac{Mc}{I \left( 1 - \frac{x}{B} \cdot \frac{PL^2}{EI} \right)} = \frac{Pc^2}{I - \frac{x}{B} \times \frac{PL^2}{I}};$$

$$\frac{x}{B} = \frac{1}{9.6}; E = 30,000,000$$

$$\therefore S_1'' = \frac{30330 \times 1.68 \times 1.68}{19.91 - \frac{1}{9.6} \times \frac{3035 \times 97 \times 97}{30,000,000}} = \frac{85660}{19.91 - 99} = 4527\#$$

用  $6'' \times 4'' \times \frac{3}{8}$ ; 面積 = 3.61;  $r = .88$ ;  $c = .94$ ;  $I = 4.9$  For lateral bracing c.

$$\text{實用面積} = 15785 \div 8284 = 1.9''$$

$$S_1 = 16000 - 70 \frac{L}{r} = 16000 - 70 \times \frac{97}{.88} = 8284\#$$

A. 在柱上的單位應力

$$S_3 = \frac{F}{A} + 70 \frac{L}{r} = 15758 \div 3.61 + 70 \times \frac{97}{.88} = 4368 + 7716 = 12081\#$$

B. 單位應力在外邊纖維 out fiber 結合處，

$$S_3'' = \frac{15758 \times .94 \times .94}{4.9 - \frac{1}{9.6} \times \frac{15758 \times 97 \times 97}{30,000,000}} = \frac{13924}{4.9 - .51} = \frac{13924}{4.39} = 3172\#$$

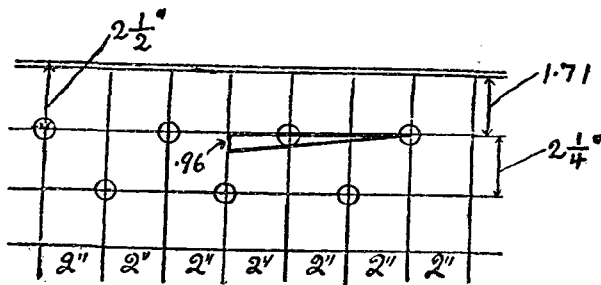
因連結釘為單剪力，Single Shear，則足敷支配。

Field 釘的剪力為  $10000\%$ ，則一個 Field 釘的剪力，為

$$(7 \div 8)^2 \times (\pi \div 4) \times 10000 = 6010\#$$

測面所釘的數目，為  $a = 30350 \div 6010 = 5.05$ 。

但實二處釘七個，如第三十二圖所示。



第三十二圖

每釘的縱剪力 Longitudinal Shear

$$= 30350 \div 7 = 4335\#$$

釘的剪力面積的重心為

$$.96 + 2.5 = 3.46 \text{ (自角版背的距離)}$$

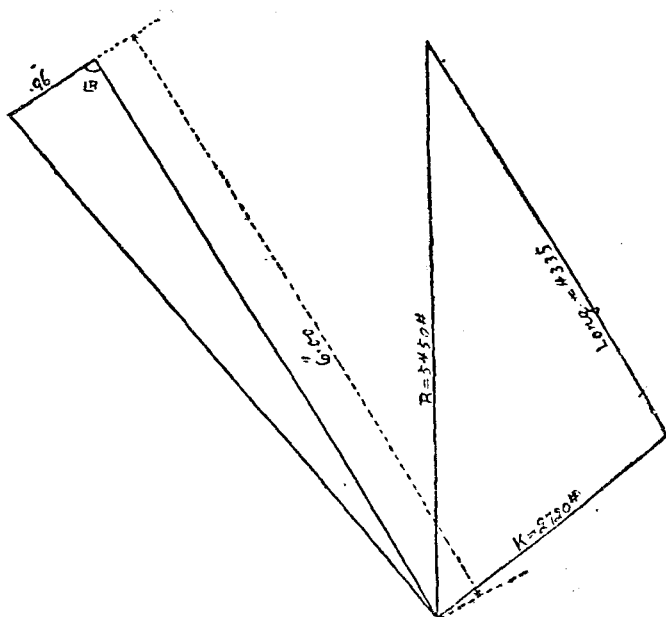
$$3.46 - 1.68 = 1.78 \text{ (eccentricity)}$$

在剪力平面的運動量，為角版所支持者，為

$$3035 \times 1.78 = 54023 \#$$

設  $K$  = remotest 釘的剪力的值，則所有各釘上的剪力，為

$$K \times 6.08 \times 2 + (K \times \overline{4.2^2} \times 2) \div 6.08 + (K \times \overline{2.22^2} \times 2) \div 6.08 + (K \times \overline{1.29^2}) \div 6.08 = 54023$$



第三十三圖

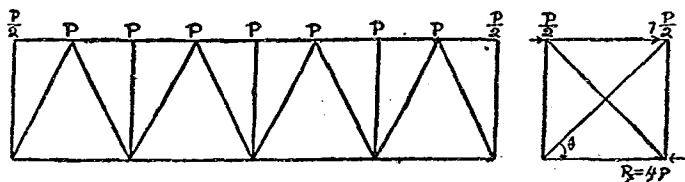
$$\therefore K = 54023 \div 19.85 = 2720\#$$

剪力的方向，垂直於 lever arm 力臂，則剪力 4335 垂直於角版的軸。

$$\text{Scale } 1'' = 1000\#$$

合力 Resultant 可用(第三十三圖)圖解法求得 (5450#) 較 6010# 小。

(9) 構架及軸承版 Cross frame and Bearing Plate



第三十四圖

第三十四圖所示，為構架及軸承版的力的方向。

$$\text{反動力 } 8p = 8 \times 3100 = 24000\#$$

設反動力的一半，傳佈於對每一對角線，則此對角線所受之力為牽引力 Tension 及擠壓力 Compression

$$\text{對角線的長度} = \sqrt{78^2 + 72.5^2} = 106.5 = L_1$$

$$\text{對角線的 unsupported length} = L_1 - 20 = 106.5 - 20 = 86.5 = L_2$$

$$\text{則對角線的應力} = \pm 4P \times \frac{L_1}{78} = 4 \times 3100 \times 106.5 \div 78 = 169$$

17=8

對角線最小旋回半徑，為

$$\frac{L_0}{120} = \frac{86.5}{120} = .72$$

因此在袖珍本 (hand-book) 中，可以尋得應用的角版

用一塊板  $1-L-6 \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$  最小旋回半徑為 .77單位應力 =  $16000 - 70 \frac{L^2}{2} = 16000 - 70 \times 86.5 \div .77 = 8136\#$ 實用的面積 =  $16917 \div 8136 = 2.08''$ 用  $4 \times 4 \times \frac{3}{8}$  L<sub>3</sub> for Struts.在對角線上，用  $L-4 \times 4 \times \frac{3}{8}$ 在 Struts 上，用  $L-3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{5}{8}$ 

此桁橋的兩端，須用磚石 masonry 建築橋墩 abutment 混凝土的 Allowable 軸承應力每方寸為 400#

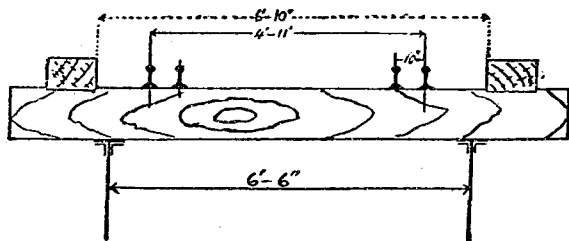
兩端剪力 = 297,790#

則軸承的面積，為  $297,790 \div 400 = 744.5''$ 用  $28 \times 28 = 784$  的鐵版

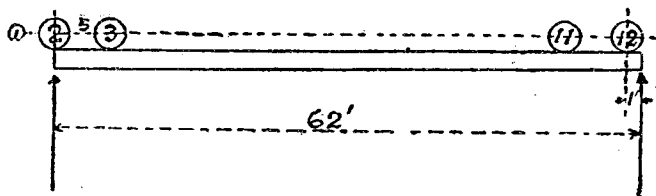
設樑的闊為 1''

$$L = 5 \frac{25}{32} = 5.78$$

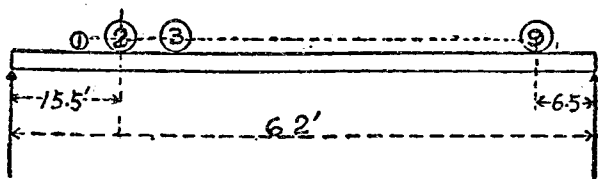
$$M = \frac{WL^3}{2} = \frac{400 \times 5.78 \times 5.78}{2} = 6690 \text{ 吋磅}$$



第 三 十 五 圖

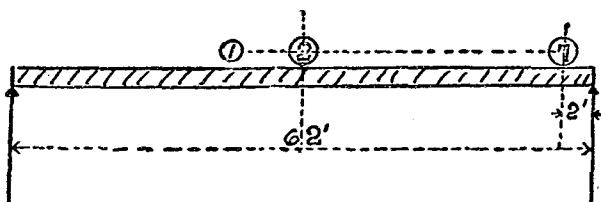


第 三 十 六 圖

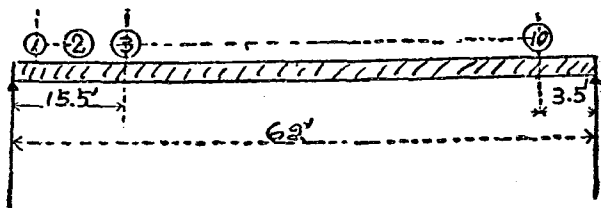


第 三 十 七 圖

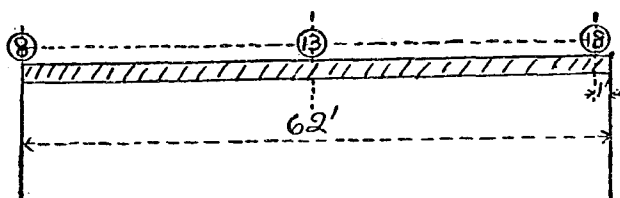




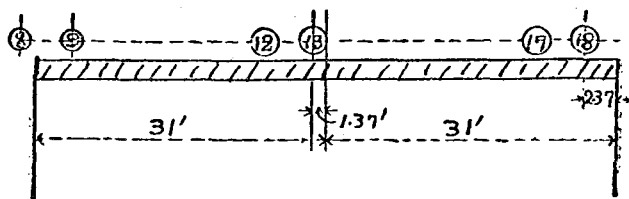
第三十八圖



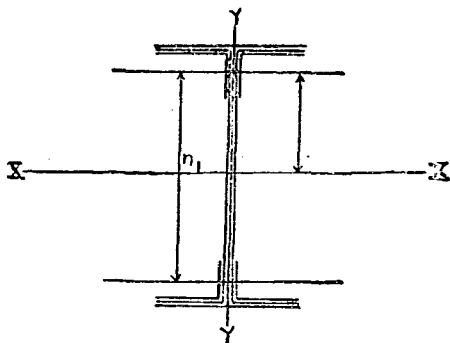
第三十九圖



第四十圖



第四十一圖



第四十二圖

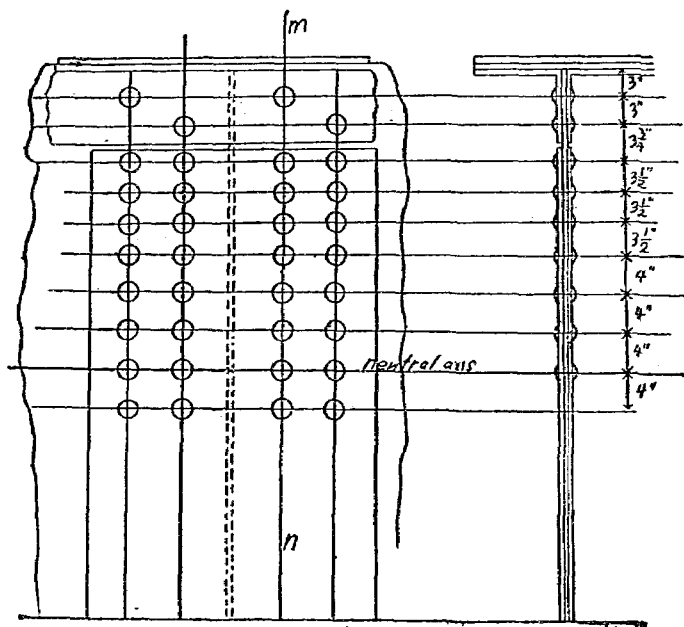
∴有兩塊鐵版，每塊版取其動量的二分之一，

$$bd^2 \div 6 = M \div S = 3345 \div 16000 = 2.09$$

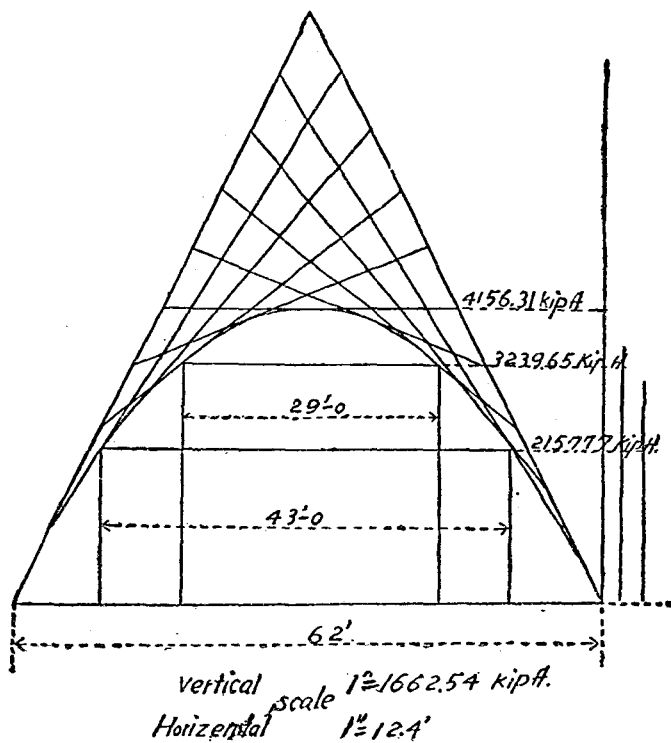
$$\text{設 } b = 1'' \quad d^2 = 3345 \times 6 \div 16000 = 1.26$$

$$\therefore d = 1.12, \text{ 或 } 1\frac{1}{8}''$$

在上列各節中，已將桁橋各部份一一計畫。茲特將桁橋上的各重要部份的圖，列繪說明（第三十五，三十六，三十七，三十八，三十九，四十，四十一，四十二，四十三，四十四圖）：



第 四 十 三 圖



## 第 四 十 四 圖

## 第八章 桁橋的計畫

## (1) 概要

鐵路上的小橋樑，最經濟的辦法，則用桁橋 Plate Girder

Bridge。根據經驗所得的結果，兩桁間中心的間隔為  $6\frac{1}{2}$  或  $7'$ 。每桁之高度為自跨度的  $\frac{1}{8}$  至  $\frac{1}{12}$ 。

釘子的直徑，在鐵路桁橋上所常用者為  $\frac{7}{8}$ "

茲先行計畫桁橋本身的重量，枕木，軌條等等 (track material) 的重量，加活動載重 (即車輛通行橋上的重量)。

單位應力 Unit Stresses，在此桁橋計畫上所應用者，如下：

牽引力 Tension = 16000%,, (For steel)

擠壓力 Compression =  $(16000 - 70\frac{L}{R})\%$ ,,

$L$  = Unsupported length of member in inches

$R$  = least radius of gyration in inches

鋼的外部纖維質應力 = 16000%,,

木的外部纖維質應力 = 1,500%,,

場內釘子的旋回力 = 20,000%,,

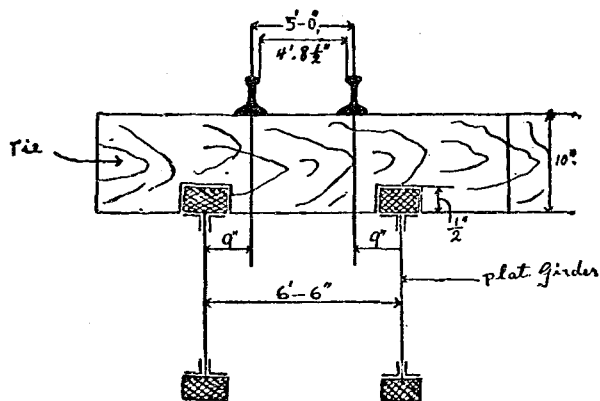
場外釘子的旋回力 = 15,000%,,

場內釘子的剪力 = 10,000%,,

場外釘子的剪力 = 7,500%,,

桁腹上的剪力 = 10,000%,, of gross section

磚石橋台 abutment 旋回力 = 400%,,



第四十五圖

## (2) 枕木的計畫

根據 Cooper E50，每軌條上的最大輪重為 25,000# / 計畫枕木須加 100% 為衝擊力，因為機關車經過軌條上的重力及枕木上所受之衝擊力頗大。據經驗所得，鐵軌上所荷車輪的重力，傳達於軌條下面所墊的三條枕木。則軌條上的活載重傳達於每條枕木為  $25000\# \div 3 + (25000\# \div 3 \text{ 為衝擊力})$ 。

茲比較衝擊力，活載重，以及靜載重（橋床或地版）等等，以枕木所荷負者甚小，故可以不計。

桁上枕木的活載重反動力 =  $25,000\# / 3$

故兩軌中心間的最大運動量為（見第四十五圖）

活載重運動量 Live load moment =  $\frac{25000}{3} \times 9'' = 75,000$  吋磅

衝擊運動量 Impact moment =  $\frac{25000}{3} \times 9'' = 75,000$  吋磅

共計 (靜載重不在內) = 150,000 吋磅

用樑的公式 Formula of Beams 計算，則

$$\frac{M}{S} = \frac{bd^2}{6} \dots \dots \dots (A)$$

$$\left[ \begin{array}{l} \text{從材強學書中, } M = \frac{SI}{c} \therefore \frac{M}{S} = \frac{I}{C}, \frac{M}{S^2} = \frac{bd^3}{12} \bigg/ \frac{d}{2} = \frac{bd^2}{6} \\ I = \frac{bd^3}{12}, C = \frac{d}{2} \end{array} \right]$$

$M$  = 撓動量 Bending moment

$S$  = 定限外纖維質應力 Allowable extreme fiber Stress

$b$  = 枕木的闊，以吋計

$d$  = 枕木的高，以吋計

將上列的已知數代入公式(A)，

$$\therefore \frac{bd^2}{6} = \frac{15000}{1500} = 100$$

枕木的闊，用 8'' 或  $b = 8''$

$$\therefore \frac{8d^2}{6} = 100 \quad d^2 = \frac{600}{8} = 75$$

$$\therefore d = 8.66'' \quad b = 8.00''$$

所以 8'' × 10'' 的標準枕木，實已夠應用而有餘。

枕木上的剪力之和 = 活載重剪力 + 衝擊重剪力

$$= \frac{25000}{3} + \frac{25000}{3} = \frac{50000}{3} \#$$

因安置枕木於桁上，須割去  $\frac{1}{2}$ "，則枕木斷面的淨面積 net area 的抵抗剪力 resisting Sh or 為

$$b \times d^1 = 8 \times \left(10 - \frac{1}{2}\right) = 8 \times 9\frac{1}{2} = 76 \text{ 方吋}$$

$$\therefore \text{Unit Shearing Stress} = \frac{\text{Total Shear Stress}}{\text{net resisting area}} = \frac{50000}{3 \times 76} \\ = 219 \#$$

此值甚小，故此標準枕木 8" × 10" 足以支持剪力。

### (3) 桁上應力的計畫

計畫鐵桁橋樑，須注意其剪力及運動量。故靜載重，活載重，衝擊力等等，均須一一計算。

假定橋樑靜載重 450# /ft 為橋床系 for Floor System 55 0# /per lineavr ft. 為鐵工 (for the steel work)

活載重，根據 Cooper E50

在此處須注意者，為剪力及運動量之在桁的一端，在四分之一處，及在桁的中心等處，特述之如下：

#### (1) 剪力的計算

##### (a) 依靜載重 Due to Dead load :

假定總靜載重 total dead load = 450 + 500 = 1000# /linear ft. of bridge



∴每桁上的總靜載重 = 500# / linear ft.

$$\text{一端處靜載重的反動力, } R = \frac{S \text{Pan}}{2} \times 500 = 18 \times 500 = 9000$$

# = 9 kips

∴ 1. 剪力在一端 = R = ..... 9,000#

2. 剪力在四分之一處 = R - 9 × 500 = 9000 - 4500 =  
4,500#

3. 剪力在中心點處 = 9000 - 18 × 500 = 9000 - 9000 = 0

(b) 依活載重 Due to live load :

因第二輪(2)在斷面處，則剪力最大，使第二輪(2)在左邊支持點上，則用運動量的圖解法求之。

$$\begin{aligned} 1. \text{ 端剪力} = R (\text{活載重}) &= \frac{(3563.75 + 16'.25 \times 1) - 12.5 \times 44}{36} \\ &= \frac{3725 - 550}{36} = \frac{3715}{36} = 88.19 \text{ kips} \end{aligned}$$

使第二輪(2)在四分之一點處

$$\begin{aligned} 2. \text{ 四分之一點處剪力} = R - 12.5 &= \frac{2050 + 128.75 \times 3}{36} - \\ 12.5 &= 67.67 - 12.5 = 55.77 \text{ kips} \end{aligned}$$

使第二輪(2)在中心處

$$\begin{aligned} 3. \text{ 中心點處剪力} = R - 12.5 &= \frac{1037.5 + 112.5 \times 3}{36} - 12.5 = \\ \frac{1375}{36} - 12.5 &= 25.69 \text{ kips} \end{aligned}$$

(c) 依衝擊力 Due to Impact :

$$\text{用衝擊力的公式 } I = S \frac{300}{L+300}$$

S = 對稱活載重剪力

L = 橋樑載重長 load length (以呎計)，為自重力的位置，產生此活載重應力。

此處則注意其自外左邊跨度載重，至跨度右端的距離。

$$1. \text{ 在端處的衝擊剪力: } I_{\text{end}} = 88.19 \times \frac{300}{36+300} = \frac{26457}{336} = 78.74 \text{ kips}$$

$$2. \text{ 在四分之一點處的衝擊剪力: } I_{\text{q.pt.}} = 55.17 \times \frac{300}{35+300} = \frac{16551}{335} = 49.41 \text{ kips}$$

$$3. \text{ 在中心點處的衝擊剪力: } I_{\text{center}} = 25.69 \times \frac{300}{26+300} = \frac{7707}{326} = 23.64 \text{ kips}$$

在下列的表中，示總剪力，連合靜載重，活載重，衝擊力的關係。

剪力 (in kips)

Sheras Points	S dead	S live	S Impact	Total Shear
(1) at end	9.00	88.19	78.74	175.93
(2) at Quarter pt	4.50	55.17	49.41	109.08
(3) at Center	0	25.69	23.64	49.33

## (2) 動量的計算

(a) 依靜載重 Due to dead load :

靜載重為 500# / linear foot 或  $\frac{1}{2}$ kipper foot for each girder故各反動力 =  $36 \times \frac{1}{2}$  kips  $\div 2 = 9.00$  kips

1. 在端處運動量 = 0

2. 在四分之一點處運動量 =  $R \times \frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} \times \frac{L}{4}\right) \times \frac{L}{8} = 9 \times 9 - \frac{1}{2} \times 9 \times 4.5 = 81 - 20.25 = 60.75$  kips3. 在中心點處運動量 =  $9 \times 18 - \frac{1}{2} 18 \times 9 = 162 - 81.00$  kips

(b) 依活載重 Due to live load :

動量的規則為：

The max moment at any section occur when The unit load to the left of that section equals the unit load on the whole Span.

使第一，二，三，四各輪(1)，(2)，(3)，(4)，等依次置於四分之一點及中心點處，求輪重之適合於上列的規則，並決定其最大動量。

決定最大動量的方法，上面業已說過，詳於下列的表中。

1. 在端處運動量 moment at end = 0

2. 在四分之一點處的運動量 moment at quarter Point ;  
在四分之一點處活載重運動量的考查

where at section	k		n	load left of section $\frac{1}{4}$ spat	load left of section + the Wheel	m	Satisfy Criterion	Left reaction	Criterion $n < k < m$	
	Total load on Bridge	Total load Span							load left of sect.or the wheel $\frac{1}{4}$ sp n	m ment (at the wheel Considered
(2)	128.75	$\frac{128.75}{36} = 3.58$	$\frac{12.50}{9} = 1.39$	12.50 9 =	37.50	$\frac{375}{9} = 4.17$	yes	moment a right end wh: r qu. pt. is under (2) 67.67	67.67 x 9 - 8 x 12. 5 = 509.03	<u>532.18</u> or <u>532.2</u> ft-kips
(3)	145-12. 5 = 132.50	3.68	2.78	25.00	50.00	5.56	"	73.02	73.02 x 9 - 5 x 25 = 532.18	
(4)	128.75	3.44	2.78	25.00	50.00	5.56	"	66.69	66.69 x 9 - 25 x 5 = 475.21	

(5)	115.00	3.19	25.00	2.78	50.00	5.56	"	59.03	$59.03 \times 9$ $-25 \times 5 =$ 406.27
(6)	102.50	2.85	25.00	2.78	$25 + 16.2$ 5 = 41.25	4.58	"	60.35	$60.35 \times 9$ $-25 \times 9 =$ 318.15

(all loads in Kips) 1 kip = 1000#

從上列的表中，可知(4)，(5)，(6)的重量，均漸漸降低，故(7)，(8)，(9)，等輪的最大運動量，可以不必計算。

在下列的表中，可以檢查在中心點處的最大運動量。

在橋樑中心點或近乎中心點處最大運動量的位置的考查

Cr ter. 0 : c. of 9 ought to be right of the wheel Considered										681.8 ft. kips	
Left Section	Wheel Weights	Bridge	Position of 9 of all wheels on bridge from The last wheel	c. of 9 at right of what wheel ?	Satisfy Criterion ?	Revised Position of Loading	Left Reaction R.	moment about wheel	Considered	max moment at Center	
(2)	(1)-(5)		$1037.5 \div 112.5 = 9.22$ from (5)	.78' right of (3)	No	$.78/2 = .39$ Center of span at (1037.5 + 0.39' r. right of (3)	$112.5 \times 8.39 \div 36 = 55.04$	$1037.5 + 17.61 - 25 \times 5 = 882.5$ $882.5 \times 13 = 11472.5$ $11472.5 \div 166 = 69.11$ $69.11 \times 10 = 691.1$			
(3)	(1)-(5)		$9.22$ from (5)	.78' right of (3)	yes						
(4)	(1)-(6)		$2050 \div 128.7 = 15.92$ from (6)	3.08' right of (3)	No						

(5)	(2)-(7)	$\frac{(2693.75 - 12.5 \times 37)}{5} = 16.82$ from (7)	2.18' right of (4)	No					1897 01
(6)	(4)-(9)	$\frac{(4370 - 25(40 + 35) - 12.5 \times 48)}{115} = 16.47$ from (9)	8.53' right of (5)	No					

在橋樑中心點或近乎中心點處最大運動量的位置的考查

Put wheel at section		wheels within Bridge	Position of c.o.c. of 9, at 9 of all wheels on bridge from the last wheel ?	Satisfy Criterion ?	Left reaction R.	oment about wheel Considered	max. moment at Center

Criterion c. of 9 ought to be the wheel considered

(c) 動量依衝擊力 moment Due to Impact

1. 在端處的  $M_I = 0$ 

$$2. \text{ 在四分之一點處的 } M_I = M_L \frac{300}{L+300} = \frac{532.18 \times 300}{32+300}$$

$$= \frac{159654}{332} = 480.89 \text{ ft-kips}$$

$$3. \text{ 在中心點處的 } M_I = \frac{681.75 \times 300}{31.39+300} = \frac{204,525}{331.39} = 617.15$$

ft-kips

(Where  $L=31.39$  when center of span is at  $.39'$  right of (3))

重 量 表

點 \ 動量	M dead	M Live	M impact	Total moment
(1) 在 端 處	0	0	0	0
(2) 在四分之一點處	60.75	532.18	480.89	1073.82
(3) 在中心點處	81.00	681.75	617.15	1379.90



## 最大動量與最大剪力

點 剪力與動量	在端處		在四分之一點處		在中心點處	
	S dead	9000	總 175,900	4500	總 109,100	0
S live	88190	55170		025690		
S impact	78740	49410		23640		
M dead	0	總 0	60750	總 1,073,800	81000	總 1,379,900
M live	0		532180		681750	
M impact	0		480890		617150	

S=剪力以磅計， M=動量，以呎磅計。

## (4) Proportioning Parts

## (a) 桁腹版 Web Plate:

桁的高度，通常為跨度的八分之一 $\left(\frac{L}{8}\right)$ 至十八分之一 $\left(\frac{L}{12}\right)$ ，或為自 54" 至 36"；此處可用 50 $\frac{1}{2}$ " 的突緣角版 flange angles (back to back)，或桁腹版的高度，為  $d=50$ "

此處桁腹，可假定能負荷所有的剪力。定限應力為 10,000%。

∴ 實需 Gross 斷面 Gross section required =

$$\frac{\text{Total Shear 總剪力}}{\text{unit stress 單位應力}} = \frac{175,900}{10,000} = 17.6 \text{ 方吋。}$$

或  $bd = 17.6$   $b = \frac{17.6}{50} = 0.35''$  桁腹版的厚度

故一塊  $50 \times \frac{3}{8}$  大小的版，有 18.5 方吋，足夠應力

(b) 橫緣 Flanges :

最大動量 (在中心點) = 1,379,900 呎磅  $\times 12 = 16,558,800$

吋磅。

假定 effectiol 高度為 49'' 自實在高度 (取 1 或 2%  $50 \frac{1}{2}''$ )

總橫緣應力 =  $\frac{16,558,800}{49} = 337,934$  或 337900 磅

實需橫緣面積 =  $\frac{337,900}{16,000} = 21.12$  方吋。

求牽引力橫緣的淨面積，從兩塊覆版 Cover plate 上，及每塊角版上扣除兩個釘眼，釘眼的直徑為  $\frac{15}{16}$

(c) 假定橫緣的斷面

$$\frac{1}{8} \text{ web} = \frac{1}{8} \times 18.5 = \dots\dots\dots 2.31 \text{ 方吋}$$

$$2 \text{ Ls } 6 \times 6 \times \frac{1}{2} = 2 \times 5.75 = 11.5 \text{ — 釘眼面積} = 11.5 - 4 \times 1 \times$$

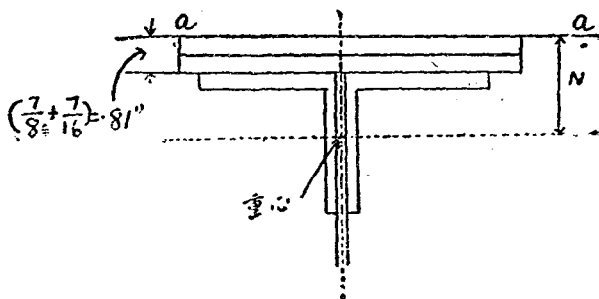
$$\frac{1}{2} = \dots\dots\dots 9.50 \text{ 方吋}$$

$$1 \text{ Cov. Pt. } 14 \times \frac{7}{16} = 6.12 - 2 \times 1 \times \frac{7}{16} = \dots\dots\dots 5.25 \text{ 方吋}$$

$$1 \text{ Cov. Pt. } 14 \times \frac{3}{8} = 5.25 - .75 = \dots\dots\dots 4.50 \text{ 方吋}$$

---

總計 = 21.56 方吋



## 第四十六圖

此處須決定橫緣的實用高度 Effective depth。真正的實用高度，為自下橫緣重心至上橫緣重心間的距離。

兩塊角版的面積 = 11.5 呎<sup>2</sup>

自重心的中心至 a-a 線(第四十六圖) = 1.68 + 0.81 = 2.49'.

註：1.68 係自 Handbook 中尋出。

覆版的面積為 11.37，自重心至 a-a 線的距離 =  $\frac{1}{2}(0.81)$  = 0.41'.

2IS 及 2 Cov. pt. 的總面積 = 22.87 呎<sup>2</sup>

$$\therefore 22.87 \times 2 = 11.37 \times .41 + 11.5 \times 2.49 = 4.66 + 28.64 = 33.30$$

$$\therefore E = 1.456 \text{ 或 } E = 1.46'$$

所以真正的實用高度 = 50.5 + 2 × .81 - 2 × 1.46 = 52.12 -

$$2.92 = 49.2''$$

$$\text{Actual 橫緣應力} = \frac{16,558,800}{49.2} = 336,560 \#$$

$$\text{實需的橫緣面積} = \frac{336,560}{16,000} = 21.04 \text{ 方吋}$$

從此可知上面所假定的斷面，已足夠應用。

### (5) 覆版長度的計畫

計畫覆版，以求其省材料為唯一的目的。

設  $L$  = 覆版的長，以呎計；

$Y_1$  = 外面覆版的長度；

$Y_2$  = 第二塊覆版的長度；

$A$  = 總淨橫緣面積；

$a_1$  = 外面覆版的淨面積；

$a_2$  = 第二塊覆版的淨面積。

用  $y_1 = L \sqrt{\frac{a_1}{A}}$  公式，

$$\text{則 } y_1 = 36 \sqrt{\frac{4.5}{21.56}} = 36 \times .456 = 16.4'$$

$$y_2 = L \sqrt{\frac{a_1 + a_2}{A}} = 36 \sqrt{\frac{9.75}{21.56}} = 36 \times .672 = 24.2'$$

在習慣上，為求安全計，通常均加二呎至覆版的理想長度。

故現在在上下突緣所需覆版為16'與26'。在上突緣，外面的覆蓋版的長為18'，其餘一塊，桁的全長，連結於突緣角版及桁腹版。

## (6) 橫緣上的釘距 Rivet Pitch in Flange

計畫釘子，須使直載重 Vestical load 集中重 = Concentrated (One driver of 25,000#) + 100% 衝擊力及靜載重 (較小，故可以不計)，總集中重 total Concentrated load 50,000#，傳達於三枕木，為 42' 的距離。

故直載重 Vertical load per horizontal inch of girder is than  $\frac{50000}{42} = 1.190\#$  加於直載重，則釘子仍為平行力，等於橫緣增加的應力，或平行剪力，此每吋，係等於每呎的直剪力，

$$\left( \frac{\text{總剪力}}{\text{實用高度}} = \frac{\text{Total shear}}{\text{Effective depth}} \right)$$

故每吋增加的應力為橫緣所負荷，為

$$(1) \text{ 在端處 } \frac{175,900}{49} \times \frac{9.5}{11.81} = 3590 \times 805 = 2,880\#$$

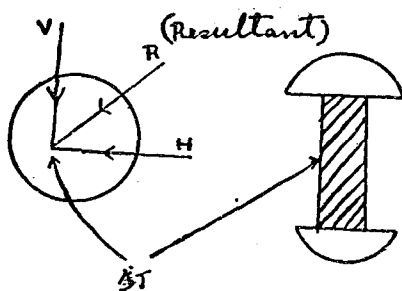
$$(2) \text{ 在四分之一點處 } \frac{109,100}{49} \times \frac{19.25}{21.56} = 2228 \times .895 = 2,000\#$$

$$(3) \text{ 在中心處 } \frac{49,300}{49} \times \frac{19.25}{21.56} = 1,006 \times 0.895 = 900\#$$

此  $\frac{9.5}{11.81}$  與  $\frac{19.25}{21.56}$  的比，為在斷面處的橫緣的面積，注意其

斷面處的總橫緣面積，包括桁腹面積的  $\frac{1}{8}$ 。

此總應力在釘子上的任何斷面，(第四十七圖)為斷面上的縱橫兩力的合力。



第四十七圖

故合力為

$$\begin{aligned}
 (1) \text{在端處 } R &= \sqrt{1,190^2 + 2880^2} \\
 &= \sqrt{1,416,100 + 8,330,000} \\
 &= \sqrt{9,746,100} \\
 &= 3,120\# / \text{ per linear in.}
 \end{aligned}$$

(2) 在四分之一點處

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{1190^2 + 2,000^2} = \sqrt{1,416,100 + 4,000,000} \\
 &= \sqrt{5,416,100} = 2,320\# / \text{ per linear in.}
 \end{aligned}$$

(3) 在中心點處

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{1190^2 + 900^2} = \sqrt{1,416,100 + 810,000} \\
 &= \sqrt{2,226,100} = 1,490\# / \text{ per linear in.}
 \end{aligned}$$

一釘的剪力之值 =  $3,1416 \times \left(\frac{7}{16}\right)^2 \times 10,000 = 6013\#$  (單剪力)

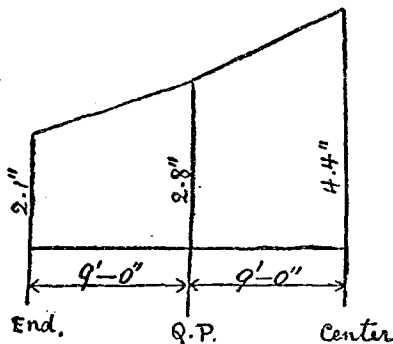
如為複剪力，則 =  $6013 \times 2 = 12026\#$

但一場內釘子的 safe bearing value  $\left(\frac{7}{8}\phi\right) = \frac{7}{8} \times \frac{3}{8} \times 20,000 = 65,63$  此值較 12026 為小，故可以應用。

∴ (1) 在端處的釘距為  $\frac{6,563}{3,120} = 2.1''$  或為 2''

(2) 在四分之一點處的釘距為  $\frac{6563}{2320} = 2.8''$  或用  $2\frac{1}{2}''$

(3) 在中心點處的釘距為  $\frac{6563}{1490} = 4.4''$  用 4''

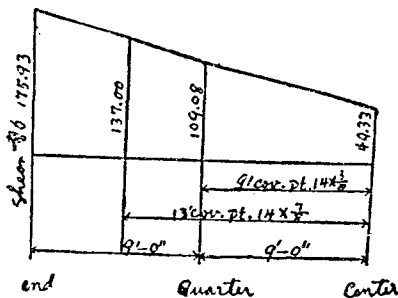


第四十八圖

在左列的第四十八圖中，可以決定在任何一點的釘距  $c$

(7) 覆版上的釘距 Rivet Pitch in Cover Plates

覆版上的釘子，不能管屬直載重 Vertical load，但僅增加突緣的應力。覆版兩端的直剪力，可以求得其近似之值，從剪力圖中，作剪力線，假定剪力在兩斷面間為直線。



第四十九圖

從上列的第四十九圖中，在端處的第一塊覆版的剪力約為 137,000#，在端處的第二塊覆版的剪力約為 109,08#，適等於在四分之一點處的剪力。

故橫緣應力的增加，為

$$(1) \text{ 第一塊覆版 First Cover Plate, } \left| \frac{5.25}{21.56} \times \frac{137,000}{49} = 0.31 \times 2800 = 860\# \right.$$

$$(2) \text{ 第二塊覆版 Second cover plate, } \left| \frac{9.75}{21.56} \times \frac{109,100}{49} = .453 \times 2143 = 970\# \right.$$

釘上所傳的應力為單剪力，釘有兩行，每雙釘子為  $2 \times 6,013$



≈ 12026#

$$(1) \text{ 第一塊覆版端處釘距爲 } \frac{12026}{860} = 14.0''$$

$$(2) \text{ 第二塊覆版端處釘距爲 } \frac{12026}{970} = 12.4'' \text{ 或 } 12''$$

最大釘距爲 6''，因此 6'' 釘距，已超過定限，此釘距除去在覆版的端處，其餘概可以應用。

在習慣上，通常在覆版的一端及他端，均用較多的釘子。

$$14 \times \frac{7}{16} \text{ 版的淨面積爲 } 5.25 \text{ 呎}^2, \text{ 應力在 } 16,000 \text{ 呎}^2, \text{ 爲 } (5.25 \times 16,000) = 84000$$

一釘的值爲 6,013

故至少在第一塊覆版的一端，與第二塊覆版的一端，須用釘子 14 隻。

#### (8) 端結合 End Stiffeners 的計畫

假定  $L = \frac{1}{2}$  的桁的高度，或  $L = \frac{50.5}{2} = 25.3''$ 。此處用兩對端結合，每對所受的力，等於每端剪力的一半。

$$\text{在每對端結合處的重爲 } P = \frac{175930}{2} = 87,970 \#$$

假定兩塊  $5 \times 3 \frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$  的角版，角版兩背間的距離爲  $1 \frac{3}{8}''$ ，角的長股垂直置桁腹，旋轉半徑 radius of gyration 可以求出，爲 2.8''。

用柱的公式 apply the column for mula

$$\begin{aligned} \text{定限單位應力} &= \frac{P}{A} = 16,000 - 70 \frac{L}{R} = 16,000 - \frac{70 \times 25.3}{2.8} \\ &= 16000 - 633 = 15370 \# \end{aligned}$$

$$\therefore \text{實需面積} = \frac{P}{15370} = \frac{87970}{15370} = 5.75 \text{ 吋}^2$$

假設兩塊角版的面積為 6.1 吋<sup>2</sup> (足夠應用)

釘上的剪力為複剪力，用 6563# 的數目，可以決定所需釘子的數目。

端結合每對所需釘子的數目為

$$\frac{87970}{6563} = 14$$

### (9) 中部結合 Intermediate Stiffeners 的計畫

在此種桁橋，中部結合 Intermediate Stiffeners

$3 \frac{1}{2}'' \times 3 \frac{1}{2}'' \times \frac{3}{8}''$  大小的角版，可以應用。(除去在 cross-fram 連接處)，可用  $5'' \times 3 \frac{1}{2}'' \times \frac{3}{8}''$  角版。

此處所需釘子的數目，與上節相同 (14 隻)。

如所用桁橋的材料，其材料的長度桁相等，則 splice the web 角版 angles，或覆版等，可以不必需要。

### (10) 脚版及磚石版 (Sole Plate and masonry Plate) 的計畫

(1) 磚石版旋回的實需面積為

$$\text{area} = \frac{\text{Total end Sheor}}{\text{bearing Power of Plat}} = \frac{175930}{400} = 400 \text{ 吋}^2$$

∴ 20" × 22" 版，為 440 吋<sup>2</sup> (可用)

但為安全計，則用較大之版為 20" × 24"。

(2) 磚石版厚度的決定，可用下列的方法。

此處所說的磚石版，其作用適與臂樑相似，其規律載重 uniform load 等於磚石上每方吋的定限旋回力，或為 400%，

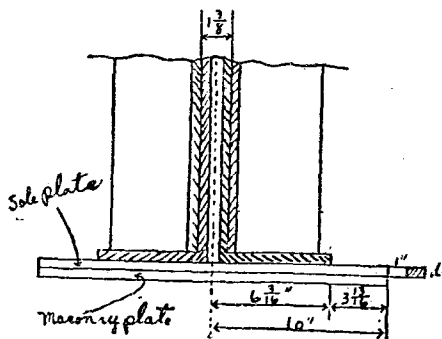
此臂樑可以假定為 1" 寬，在 1" 的載重版長可以應用。則

$$\text{總載重} = 3 \frac{13}{16} \times 400$$

moment linear inch 為

$$3 \frac{13}{16} \times 400 \times \frac{1}{2} \times 3 \frac{13}{16} = 2900 \text{ 吋磅}$$

$S = 16,000$  但此處有兩塊版，則每塊上的重量，為 2900 的二分之一。∴  $M = 2900 \div 2 = 1450$  吋磅。  $b = 1"$ 。



第 五 十 圖

$$\text{用公式 } \frac{M}{S} = \frac{bd^2}{6}$$

$$1 \times d^2 = \frac{6 \times 1450}{16000}$$

$$\therefore d = 0.74"$$

版的厚度用  $\frac{3}{4}$ " (第五十圖)。

(11) 橋腳的結構 Arrangement at Abutment

第五十一圖中所示，為橋腳的結構，其各部份的大小，均一

註明。

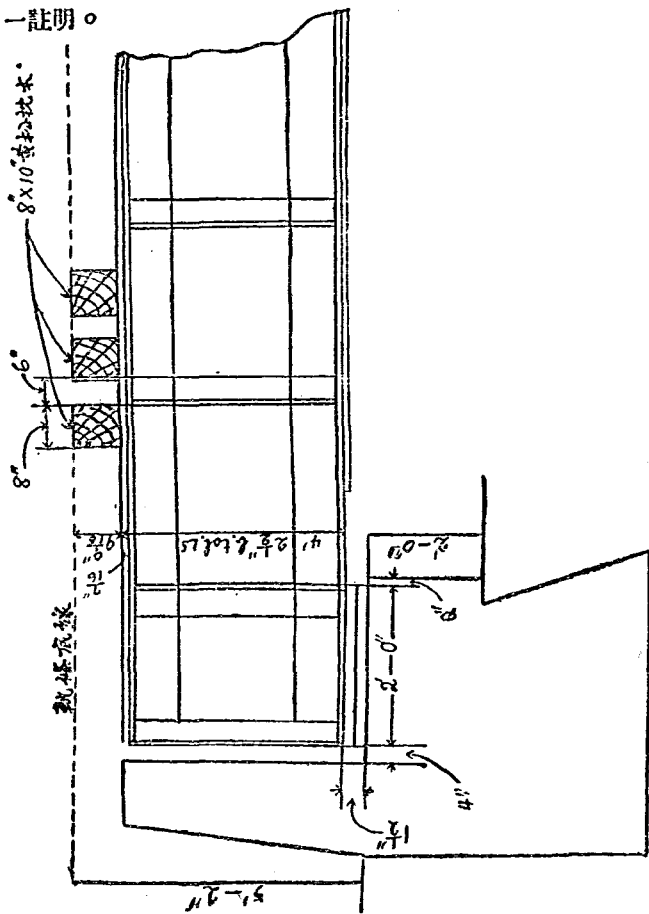


圖 橋 樑 結 的 脚 橋 圖 一 第 五 十



在此種跨度很小的桁橋上，沒有下面於側墊。每端用一 cross frame，跨度中心處，亦用一 cross frame。

計畫側墊 lateral bracing，以 200# 的活動重量，加百分之十車輛的規律重量，為 5000#

風力為  $200 + 500 = 700\#$  per foot of bridge，或每桁為 350#。

端幅載重 = load foot  $\times$  distance from the end of the bridge to the center of the adjacent panel

(1) 最大應力在 a-b，各種載重均集於橋上，

$$\begin{aligned}\therefore R_1 &= \text{總載重的 } \frac{1}{2} = 3970 + \frac{1}{2}(3970) + 2980 + 1690 + 2680 \\ &= 13,310\#\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{在 a-b 的剪力, } V &= R_1 - (1690 + 2680) = 13310 - 4370 \\ &= 8940\#\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{在 a-b 的應力} &= V \sec \theta = 8940 \times \frac{8.63}{6.5} = 8940 \times 1.33 = 11900\#\end{aligned}$$

(2) 最大應力在 b-c 幅點向右，包括 C。

設 d = 一幅長度 one panel length

$$\begin{aligned}\text{在 b-c 的剪力, } V &= R_1 = \frac{3970 \times (2+3+4) + 2980}{6} \\ &= \frac{38710}{6} = 6452\#\end{aligned}$$

$$\text{在 b-c 應力} = V \sec \theta = 6452 \times 1.33 = 8580\#$$

(3) 在 c-d 點處的應力，向右，包括 d，

$$c-d \text{ 剪力, } V = R_1 = \frac{3970(2+3) + 2980}{6} = \frac{22830}{6} = 3805\#$$

$$\therefore c-d \text{ 應力} = V \sec \theta = 3805 \times 1.33 = 5060\#$$

(a) 側構的長度，unsupport length，小於理想的長度 theoretical length，理想的長度為 8.63' 或 103.6"。故 supported length，用  $L = 103.6 - 24 = 79.6"$ 。

根據  $\frac{L}{R}$  的比為限度 (150)，則 R 至少必須為  $\frac{79.6}{150} = 0.53$

假定一塊  $3\frac{1}{2}'' \times 3\frac{1}{2}'' \times \frac{3}{8}''$  角版，其最小的 R 為 0.69，其定限單位應力為  $16000 - 70 \times \frac{79.6}{.69} = 16000 - 8076 = 7926\%$

$$\text{實需面積} = \frac{11900}{7920} = 1.5''$$

b-c 及 c-d 上的應力，小於 a-b 上的應力，則同樣大小的角版，已各部已足夠應用的有餘。

(b) 在 Lateral a-b 至側版 Lateral plate 上的釘子，為場外釘子 field rivets，其所有的剪力為單簡力。墊版 Bearing 的厚為  $\frac{3}{8}''$ 。

在  $\frac{7}{8}''$  場外釘上的剪力，其值為  $3.1416 \times \left(\frac{7}{16}\right)^2 \times 7500\# = 4510\#$ ，可用，因 bearing value 為  $\frac{7}{8} \times \left(\frac{3}{8} + \frac{3}{8}\right) \times 15,000 = 9850\#$  此值大於 4510#

$$(1) \text{釘子數目} \frac{11900}{4510} = 2.65 \text{ 或 } 3.$$

在 b-c 及 c-d 處所需的釘子數目，為

$$\frac{8580}{4510} = 2 \text{ (大約)}, \text{ 及 } \frac{5060}{4510} = 1 + , \text{ 均小於 } 3, \text{ 但在此兩部}$$

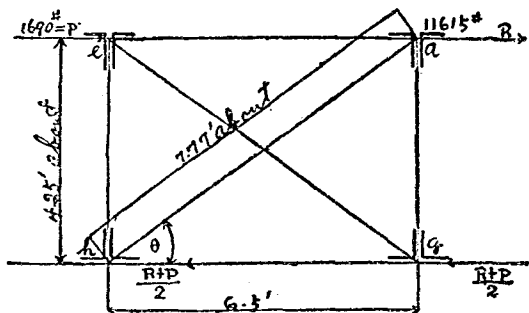
份，據實際經驗的結果，b-c 及 c-d 處所需的釘子數目在鐵路橋樑上至少不得少於三隻。故在 b-c 及 c-d 處，需用釘子三隻。

### (13) Cross-Frame

在端處 Cross-Frame 的計畫，與一間隔相似。端處 Cross-Frame 傳風的反動力平行於蘭倫式架橋 Warren truss 達於磚石版

則在磚石上的兩桁的平行反動力，依靠風力的，常假定其相等，每桁上等於在平行架構的總重的二分之一， $\frac{R+P}{2}$  詳見下圖

(第五十三圖)



第 五 十 三 圖

假定 h-g 處沒有應力。



(1) 在 h-a 或 e-g 的應力為

$$\frac{R+P}{2} \times \sec \theta = \frac{11615+1690}{2} \times \frac{7.77}{6.5} = 6653 \times 1.2 = \pm 7960\#$$

960#

(2) 在 c-a 的應力為

$$\frac{R+P}{2} - P = \frac{R-P}{2} = \pm \frac{11615-1690}{2} = \frac{9925}{2} = \pm 4960\#$$

(1) e-a 的 unsupported length 約為 78"-18"=60"

旋轉半徑等於  $\frac{60}{150} = .4$ .

一塊  $3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$  大小的角版，其最小的 R 為 0.69

定限單位應力 =  $16000 - 70 \frac{60}{.69} = 16000 - 6090 = 9,910\%$ ,

$\therefore$  實際面積 =  $\frac{4960}{9910} = 0.5$ .

故假定的角版面積 2.84，已足夠應用  $3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$  在此桁橋上為最適當的角版。

(2) h-a unsupported length 約為 94"-20"=74" (附着版上為 20") 則最小的 R 將等於或大於  $\frac{74}{150} = 0.49$ .

試  $3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$  大小的角版，軸上旋轉半徑平行角版的背為 1.07。

故此旋轉半徑 1.07 可用。

$$\text{定限單位應力} = 16000 - 70 \frac{74}{1.07} = 16000 - 4850 = 11,150 \frac{\text{磅}}{\text{吋}^2}$$

$$\therefore \text{實需面積爲} \frac{7,960}{11,150} = 0.71 \text{ 吋}^2$$

則假定的角版面積 (2.48) 可以夠用。

$$\text{對角架場內釘子的數目，爲} \frac{7960}{6013} = 2$$

$$\text{橫行架場內釘子的數目，爲} \frac{4960}{6013} = 1$$

內每處均須用釘子三隻。

$$\text{附着版及側版的厚度爲} \frac{3}{8} \text{ 吋。}$$

#### (14) 伸漲 Expansion

$$\text{溫度在華氏表 } 150^\circ \text{ 時，桁橋的端處的動量爲 } 36 \times 12 \times .0000065 \times 150 = 0.421 \text{ 吋或 } \frac{1}{2} \text{ 吋}$$

故此處須選用  $1 \frac{1}{4}$  吋直徑的錨狀釘。

$$\therefore \text{錨狀釘經過橢圓版的最小長度爲 } 1 \frac{1}{4} \text{ 吋} + \frac{1}{2} \text{ 吋} = 1 \frac{3}{4} \text{ 吋}$$

$$\text{Slat 的大小，長爲 } 2 \frac{1}{2} \text{ 吋，闊爲 } 1 \frac{1}{2} \text{ 吋。}$$

## 第九章 道路橋樑計畫

### (1) 緒言

鐵路橋樑之計畫，已於前章中，舉一實際計畫的各種手續，本章則進而作道路橋樑計畫的介紹。

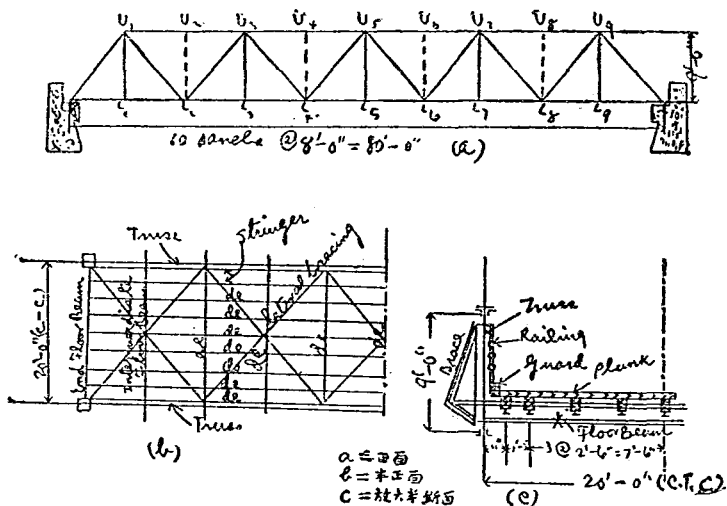
計畫一鄉村道路的橋樑。

橋樑的式樣為 Pony warren Truss；

橋樑的跨度為 80 呎；

橋幅 Panel 的長度為 8 呎；

橋架的高度為 9 呎



第 五 十 四 圖

第五十四圖所示，為橋樑的正面elevation, 半平面 half Plan, 及 Pony warren Highway Bridge 的斷面。

此種道路橋樑，應用者頗廣，在跨度較小，及載重不大（即

交通不頻繁)的道路上,用此 Pony warren 或橋樑,最為相宜,茲將其各部份的計畫分別述之如下。

### (2) 載重的計算

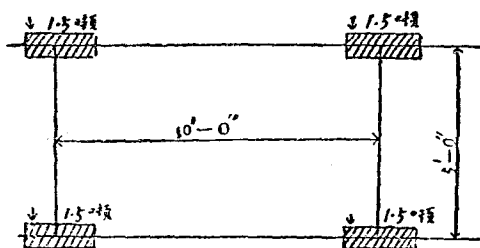
載重 Load 單位應力 unit Stresses, 以及其他……等等的計畫。

此種 Pony warren 式道路橋樑的計畫,須注意下列的各種活載重 Live loads。

#### (a) Floor System :

兩輪軸間的距離為  $10'(c-c)$ , 載重為 6 噸, 注意此重量集中於四點, 輪在每軸的距離為  $5'(c-c)$ 。

上面所述的載重, 變換為 100%, 規律活載重 uniform live load, 取其較大者用之。



第 五 十 五 圖

#### (b) Trusses :

每方呎 100 磅的規律活載重。

(c) 衝擊力 Impact :

橋樑各部份的衝擊力，均以活載重的 25% 計算。

(d) 靜重載 Dead load :

下列各種的靜載重，在計畫，均須應用。

(1) 每呎桁 Truss 的重量，(Floor system 不在內)，

假定為 100#。

(2) Floor system 的大約重量，須先決定。

(3) 每木方版的重量，假定其為  $4\frac{1}{2}$  #

(e) 軸承 Bracing

側軸承以活動的規律載重計畫，為全橋的 300# /linear ft.

(f) 單位應力 unit stresses

Extreme fiber Stress for banding

木 Timber — 1,500%

鐵 Steel — 16,000%

牽力 Tension — 16,000% (of net area)

擠壓力 Compression —  $16000 - 70\frac{L}{R}$

桁腹上的剪力 Shear on web — 10,000% (of cross section)

場內釘上的剪力 Shear on Shop rivess — 10,000%

場外釘上的剪力 Shear on Field rivets——7,000%,,

場內釘上的旋回力 on shop rivets——20,000%,,

場外釘上的旋回力 Bearing on Field rivets——15,000%,,

磚石上的旋回力 Bearing on masonry——400%,,

$\frac{L}{R}$  之值，在主要的擠壓力部份，不得超過 120。

$\frac{L}{R}$  之值，在側面的擠壓力部份，不得超過 150。

(g) 釘 Rivets

橋樑上所用的釘子，其直徑為  $\frac{3}{4}$ "

(h) 內附版 Gussset Plates

橋樑上所用的內附版，其厚度為  $\frac{1}{2}$ "

(3) 地版 Floor Plank

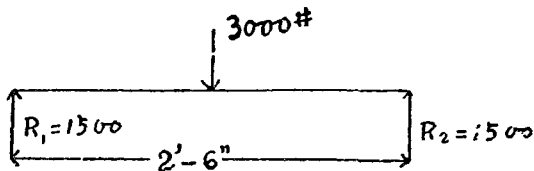
計畫地版 Floor Plank, 假定 12 吋的地版，在其中心點支持 3,000# 的集中載 Concentrated load (即四分之一噸)，則地版的用途，與單樑 Simple beam 的 Span 相同，等於縱桁 Stringers 中心的距離 2'-6" 地版的靜載重很小，計畫時可以不必注意。

(a) 地版的跨度 Span of plank = 2  $\frac{1}{2}$ ' (第五十六圖)

∴ 最大活重動量 max. live load moment, 為

$$M = 1500 \times 1 \frac{1}{4}' \times 12'' = 22,500 \text{ 吋磅}$$

衝擊動量 Impact moment = 22,500 × 25% = 5,625 吋磅



## 第 五 十 六 圖

共計  $22,500 + 5,625 = 28,125$  吋磅

設  $b$  = 地版的闊—12" the width of the plank,

$d$  = 地版的實在厚度, the required thickness

$M$  = 最大動量 = 28,125 吋磅, the max. moment

$S$  = 纖維質的定限單位應用 The allowable unit fiber

stress = 1500 #/sq. in.

$$\therefore \frac{I}{c} = \frac{M}{S} = \frac{bd^2}{6} \quad \frac{28125}{1500} = \frac{12d^2}{6}$$

$$d^2 = \frac{28125}{3000} = 9.375$$

$$d = \sqrt{9.375} = 3.06 \text{ 吋}$$

在此處三吋厚的蓋版可以應用。

(b) 地版上的單位剪應力 shearing unit stress 為

$$\frac{3000 \times 1.25}{12 \times 3} = 104 \text{ #/sq. in.}$$

## ( 4 ) 縱桁 Stringers

縱桁的跨度為 8'

蓋地版的重量 weight of the Plank floor 為

$$3 \times 4 \frac{1}{2} = 13 \frac{1}{2} \text{ 呎}^2 \text{ (floor)}$$

縱桁的重量約 weight of the stringer will be about  $6 \frac{1}{2}$  呎  
(floor)

$$\text{共計 } 13 \frac{1}{2} + 6 \frac{1}{2} = 20 \text{ 呎}^2 \text{ (floor)}$$

( 1 ) 靜載重動量 Dead load moment

$$M_D = \frac{1}{8} w l^2 = \frac{1}{8} \times 20 \times 2 \frac{1}{2} \times 8 \times 8 = 400 \text{ 呎磅}$$

( 2 ) 活載重動量 Live load moment

【第一】：兩軸中心間 10' 所載 6 噸的集中重 Concentrated load.

以集中重處的動量為最大，則 3000 磅的重量，便在縱桁的中心。

在中心的動量 The moment at center 為  $1500 \times 4.0 = 6000$  呎磅

【第二】：規律活載重為每方呎 100 磅

在中心的最大動量 max. moment at the center 為

$$\frac{1}{8} \times 100 \times 2.5 \times 8 \times 8 = 2000 \text{ 呎磅}$$



因爲【第一】的動量超過於【第二】，故在計畫中，可用【第一】所得的結果。

衝擊動量 Impact moment =  $6000 \times .25 = 1,500$  呎磅

則  $400 + 6000 + 1500 = 7,900$  呎磅 =  $94,800$  吋磅

用公式  $\frac{I}{C} = \frac{M}{S}$

$\frac{I}{C} =$  剖面係數 (或譯爲撓率) The Section modulus

$$\frac{I}{C} = \frac{94,800}{16,000} = 5.93$$

則 6" I-12.5# 爲 7.3 的剖面係數可以應用。

最大靜載重剪力 max. dead load shear

$$R_1 = 20 \times 2 \frac{1}{2} \times 4 = 200 \#$$

最大活載重剪力 max. live load shear

一輪的重爲 3000#，

最大衝擊剪力 max. Impast shear =  $\frac{1}{4} \times 3000 = 750 \#$

則剪力的和爲  $200 + 3000 + 750 = 3,950 \#$

從最大剪力的和中，可知單位剪應力 Shearing unit stress 很小，可以不必注意。

### (5) 地板樑 Floor Beams

(1) 依靜載重 Due to D ad load

地板樑的跨度 The Span of floor beam, 須用與兩桁 Tr-

usses 中心的距離相等的長度 20'—0"

假定地板梁的重量為地板面積的每方呎 5 磅

則靜載重可假定其均集中於縱桁連結處，每重為

$$8 \times 2 \frac{1}{2} \times 25 = 500 \text{ 磅}$$

地板樑中心處的靜載重動量，為  $[M^D = R_1 \times \frac{L}{2} - w(L_1 + L_2 + L_3 \dots \dots \dots)]$

$$3 \frac{1}{2} \times 500 \times 10 - 500 (7.5 + 5 + 2.5) = 17500 - 7500 = 10,000 \text{ 呎磅}$$

此動量與上面中心處得的最大運動量相同，則此運動量可作為規律載重 uniform load

(2) 依活載重 Live load

(A)〔第一〕——集中重——6 噸在兩軸中心間

集中重所生的最大動量，在地板樑的中心，當一部份的重量為 3000# (6 噸的  $\frac{1}{4}$ ) 在地板樑的中心，其餘一部份的重量在同一軸上中心的右邊 5'。

$$\text{最大動量} = R_1 \times 10 = \frac{3000 \times 6.25 + 3000 \times 11.25}{20} \times 10 = 26,250 \text{ 呎磅}$$

(B)〔第二〕——100 磅的規律載重，

在此處，可注意活載重為  $(2.5 \times 8 \times 100) = 2000\#$  集中於縱

桁的連結處。

最大動量 max. moment 為

$$3\frac{1}{2} \times 2000 \times 10 - 2000(7.5 + 5 + 2.5) = 70000 - 30000 = 40$$

000呎磅

(3) 衝擊動量 Impact moment =  $\frac{1}{4} \times 40000 = 10,000$  呎磅

共計動量的和 =  $10,000 + 40,000 + 10,000 = 60,000$  呎磅

$$= 60,000 \times 12 = 720,000 \text{ 吋磅}$$

剖面係數 Section modulus 為  $\frac{M}{S} = \frac{720000}{16000} = 45.0$

則 12" - I - 50.0# 50.3 的剖面係數可以應用。

(4) 剪力 Shear:

最大靜載重剪力 max. dead-load Shear =  $4 \times 500 = 2,000$

0#

最大活載重剪力 max. live-load Shear =  $4 \times 2000 = 8,000$

00#

最大衝擊重剪力 max. Impact Shear =  $\frac{1}{4} \times 800 = 2,000$ #

---

共計，剪力的和 =  $12,000$ #

從上面計算的結果，可知單位剪應力很小，可以不必注意。

(5) 釘 Rivets

桁的連結處。

最大動量 max. moment 為

$$3\frac{1}{2} \times 2000 \times 10 - 2000(7.5 + 5 + 2.5) = 70000 - 30000 = 40$$

000呎磅

(3) 衝擊動量 Impact moment =  $\frac{1}{4} \times 40000 = 10,000$  呎磅

共計動量的和 =  $10,000 + 40,000 + 10,000 = 60,000$  呎磅

$$= 60,000 \times 12 = 720,000 \text{ 吋磅}$$

剖面係數 Section modulus 為  $\frac{M}{S} = \frac{720000}{16000} = 45.0$

則 12" - I - 50.0# 50.3 的剖面係數可以應用。

(4) 剪力 Shear:

最大靜載重剪力 max. dead-load Shear =  $4 \times 500 = 2,000$

0#

最大活載重剪力 max. live-load Shear =  $4 \times 2000 = 8,000$

00#

最大衝擊重剪力 max. Impact Shear =  $\frac{1}{4} \times 800 = 2,000$ #

---

共計，剪力的和 =  $12,000$ #

從上面計算的結果，可知單位剪應力很小，可以不必注意。

(5) 釘 Rivets

幅靜載重的和 Total dead panel load = 2800#

(b) 幅活載重 Live panel load =  $8 \times 100 = 8000\#$

(2) 桁架各部的應力 Stresses in Truss Members:

假定所有的重量均在下弦 lower Chord 因為靜載重的應力，所有各幅點 Panel points 均載荷，因為最大活載重弦應力 Chord Stresses，所有各幅點 Panel points 均載荷；因為最大活載重桁腹應力 Web Stresses，所有各幅點在幅的右方者，則載荷須有問題。

(A) 弦應力 Chord Stresses

(a) 依靜載重 Due to Dead Load

$$\text{用 } S = \frac{M}{n} = \frac{pd^2}{2h} (\text{mm}^2)$$

$P$  = 桁架每呎的重量 Weight of truss per linear foot ;

$d$  = 幅長 Panel length ;

所以  $Pd$  = 幅載重 = 2800# ;

$h = 9'$  ;  $d = 8'$  ;

$m$  = 幅的各部份左邊的各點須注意者 ;

$m'$  = 幅的各部份右邊的各點須注意者 ;

$$\therefore S = \frac{2800 \times 8}{2 \times 9} \times \text{mm}^2 = \frac{11200}{9} \text{mm}^2$$

應力在

$$L_0L_1 \text{ 與 } L_1L_2 = \frac{11200}{9} \times 1 \times 9 = 11,200\#$$

$$L_2L_3 \text{ 與 } L_3L_4 = \frac{11200}{9} \times 3 \times 7 = 26,130\#$$

$$L_4L_5 \text{ 與 } L_5L_6 = \frac{11200}{9} \times 5 \times 5 = 31,110\#$$

$$U_1U_2 \text{ 與 } U_2U_3 = \frac{11200}{9} \times 2 \times 8 = 19,910\#$$

$$U_3U_4 \text{ 與 } U_4U_5 = \frac{11200}{9} \times 4 \times 6 = 29,870\#$$

(b) 依活載重 Due to Live Load

因為活載重，此幅載重 = 8,000#

$$\therefore S = \frac{8000 \times 8}{2 \times 9} \text{ mm}^2 = \frac{32000}{9} \text{ mm}^2$$

$$L_0L_1 \text{ 與 } L_1L_2 = \frac{32,000}{9} \times 1 \times 9 = 32,000\#$$

$$L_2L_3 \text{ 與 } L_3L_4 = \frac{32,000}{9} \times 3 \times 7 = 74,670\#$$

$$L_4L_5 \text{ 與 } L_5L_6 = \frac{32,000}{9} \times 5 \times 5 = 88,890\#$$

$$U_1U_2 \text{ 與 } U_2U_3 = \frac{32,000}{9} \times 2 \times 8 = 56,890\#$$

$$U_3U_4 \text{ 與 } U_4U_5 = \frac{32,000}{9} \times 4 \times 6 = 85,300\#$$

(c) 依衝擊力 Due to Impact:

$$S_I = .25 L_s L_s$$

$$L_0L_1 \text{ 與 } L_1L_2 = .25 \times 32,000 = 8,000\#$$

$$L_2L_3 \text{ 與 } L_3L_4 = .25 \times 74,670 = 18,670\#$$

$$L_4L_5 \text{ 與 } L_5L_6 = .25 \times 88,890 = 22,220\#$$

$$U_1U_2 \text{ 與 } U_2U_3 = .25 \times 56,890 = 14,220\#$$

$$U_3U_4 \text{ 與 } U_4U_5 = .25 \times 85,330 = 21,330\#$$

(B) 桁腹應力 W. b S resses :

1. 對角線應力 Diagonal Stresses

(a) 依靜載重 Due to Dead Load :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{8}{9} = 0.889 \quad \theta = 41^\circ 40' \quad \therefore \sec \theta = 1.34$$

$$\text{用公式 } S = V \sec \theta = 1.34V$$

$\therefore$  對角線應力，在

$$L_0U_1 = 1.34V = 1.34 \times 4.5 \times 2800 = 16,900\#$$

$$U_1U_2 = 1.34 \times (4.5-1) \times 2800 = 13,120\#$$

$$L_2U_3 = 1.34 \times (4.5-2) \times 2800 = 9,370\#$$

$$U_3L_4 = 1.34 \times (4.5-3) \times 2800 = 5,630\#$$

$$L_4U_5 = 1.34 \times (4.5-4) \times 2800 = 1,880\#$$

(b) 依活載重 Due to Live Load:

$$\text{用公式 } S = V \sec \theta = R \sec \theta = \left[ \frac{P d}{n} (1+2+3+4+\dots$$

$$(n-m) \right] \sec \theta$$

$$= \frac{8000 \times 1.34}{10} (1+2+3+4+(10-m)) = 800 \times 1.3$$

$$4(1+2+3+4+(10-m))$$

$$= 1072(1+2+3+4+(10-m)) \quad n = \text{幅的總數} = 10$$

$$L_0 U_1 = 1072 \times (1+2+3+4+5+6+7+8+(10-1)) =$$

$$1072 \times 45 = 48,200 \#$$

$$U_1 L_2 = 1072 \times (1+2+3+4+5+6+7+8) \dots\dots\dots =$$

$$1072 \times 36 = 38,600 \#$$

$$L_2 U_3 = 1072 \times (1+2+3+4+5+6+7) \dots\dots\dots =$$

$$1072 \times 28 = 30,000 \#$$

$$U_3 L_4 = 1072 \times (1+2+3+4+5+6) \dots\dots\dots =$$

$$1072 \times 21 = 22,500 \#$$

$$L_4 U_5 = 1072 \times (1+2+3+4+5) \dots\dots\dots =$$

$$1072 \times 15 = 16,070 \#$$

$$U_5 L_7 = 1072 \times (1+2+3+4) \dots\dots\dots =$$

$$1072 \times 10 = 10,720 \#$$

$$L_6 U_7 = 1072 \times (1+2+3) \dots\dots\dots =$$

$$1072 \times 6 = 6,430 \#$$

$$U_7 L_8 = 1072 \times (1+2) \dots\dots\dots =$$

$$1072 \times 3 = 3,220 \#$$

$$L_8 U_9 = 1072 \times 1 = 1,072$$



(c) 依衝擊力 Due to Impact: —

$$L_0U_1 = .25 \times 48,200 = 12,050\#$$

$$U_1L_2 = .25 \times 38,600 = 9,650\#$$

$$L_2U_3 = .25 \times 30,000 = 7,500\#$$

$$U_3L_4 = .25 \times 22,500 = 5,630\#$$

$$L_4U_5 = .25 \times 16,070 = 4,020\#$$

$$U_5L_6 = .25 \times 10,720 = 2,680\#$$

$$L_6U_7 = .25 \times 6,430 = 1,610\#$$

$$U_7L_8 = .25 \times 3,220 = 810\#$$

$$L_8U_9 = .25 \times 1,072 = 270\#$$

(c) 對頂處的應力 Stresses in Vertical

(a) 依靜載重 Due to Dead Load

$$S = \text{幅載重 Panel load} = Fd$$

$$U_1L_1 = U_3L_3 = U_5L_5 = 2,800\# \quad \text{只取每接連處計算}$$

(b) 向活載重者 Due to Live Load:

$$U_1L_1 = U_3L_3 = U_5L_5 = 8,000\#$$

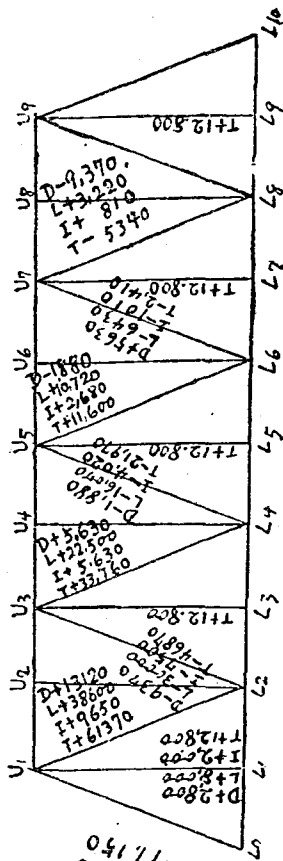
(c) 依衝擊力 Due to Impact:

$$U_1L_1 = U_3L_3 = U_5L_5 = .25 \times 8,000 = 2,000\#$$

(D) 應力表 sketch of stresses:

D-19,910  
L-56,890  
I-14,220  
T-91,020

D-29,870  
L-85,330  
I-21,330  
T-136,530



D-16900  
L-48500  
I-12050  
T-77150

D+11,200  
L+32,000  
I+8,000  
T+51,200

D+26,130  
L+74,670  
I+18,670  
T+119,470

D+31,110  
L+88,890  
I+22,220  
T+142,220

上面第五十七圖中所示，為桁橋各部份所載的應力：

+ = 牽引力 Tension ; D = 靜載重 Dead load ;

I = 衝擊力 Impact ; - = 擠壓力 Compression ;

L = 活載重 Live load ; T = Total or max.

(7) 橋架各部份的計畫 Design of Truss members

(1) 端桿 End Post  $L_0L_1$  (擠壓力 Compression)

端桿之長 The unsupported length of  $L_0L_1 = 1.34 \times 9 \times 1$

$$= 144.7''$$

最大應力 max. stress = -77,150#

試用兩塊  $6 \times 4 \times \frac{7}{16}$  大小的角版，兩個 6 吋的股之和並可用

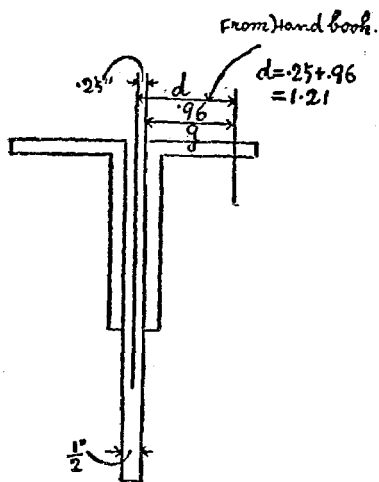
$\frac{1}{2}$  吋厚的附着版 gusset plate。

從克其門所著的道路橋樑計畫學中的旋回半徑表中 (From Table of Radius of Gyration in Ketchum's Design of Highway Bridge Text Book)，尋得最小的  $R = 1.68$ 。

或者可以用下列的方法求出  $R$  之值，

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{I}{A} = \frac{I_0 + Ad^2}{A} = \frac{5.6 + 4.18 \times 1.21^2}{4.18} \\ &= \frac{5.6 \times 4.18 + 1.46}{4.18} = \frac{5.6 + 6.1}{4.18} = \frac{11.7}{4.18} = 2.8 \end{aligned}$$

$$R^2 = 2.8 \therefore R = \sqrt{2.8} = 1.68$$



第五十八圖

定限單位應力 Allowable

Unit stress 爲

$$16,000 - 70 \times \frac{144.7}{1.68} =$$

$$16,000 - 70 \times 86.2 =$$

$$16,000 - 6,030 = 9,970 \frac{\#}{sq. in.}$$

實需的面積 Required area

$$= \frac{77,150}{9,970} = 7.74 \frac{\#}{sq. in.}$$

兩塊角版的面積 Area of

$$\text{the 2 angles } 6 \times 4 \times \frac{7}{16} = 8.36$$

平方英寸可以應用。

釘連結橋桁架及附着版爲複剪力 double shear 旋回力在  $\frac{1}{2}$  英寸的鋼版上。

場內釘的複剪力的值 Value of double shear of shop rivets

$$= 2 \times 10,000 \times \frac{3.14}{4} \times \frac{9}{16} = 8,850 \#$$

旋回的值在  $\frac{1}{2}$  英寸鋼版上者 Value of bearing on  $\frac{1}{2}$ -inch metal

$$= 20000 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{60000}{8} = 7,500 \#$$

用旋回力的值，可以決定用釘子數目的多少。

$$\frac{77150}{7500} = 11 \text{ (釘子)}$$

(2) 頂弦 Top Chord  $U_1-U_2$  與  $U_2-U_3$  (擠壓力 Compression) 長度 The unsupported length =  $8 \times 12 = 96''$

最大應力 max. stress =  $-91,020 \#$

試用兩塊  $6 \times 4 \times \frac{7}{16}$  的角版，兩個 6" 股相合，中間為  $\frac{1}{2}''$  With 6 "legs together and  $\frac{1}{2}''$  between them  $R = 1.68$

限定單位應力 Allowable unit stress =  $16000 - 70 \frac{96}{100} = 16000 - 4000 = 12,000 \#$

實需的面積 requiree area =  $\frac{91020}{12000} = 7.6 \text{ 吋}^2$

則  $6 \times 4 \times \frac{7}{16} = 8.30 \text{ 吋}^2$  的角版可以應用。

在  $U_1$  處的連結及附着版與桁架上所用釘子的數目，為

$$\frac{9100}{7500} = 13 \text{ (釘子數目)}$$

(3) 頂弦 Tap Chords  $U_3-U_4$  與  $U_4-U_5$  (擠壓力 Compression) unsupported length =  $96''$

最大應力 =  $-136,530 \#$

試用兩塊  $6 \times 4 \times \frac{11}{16}$  的角版，兩個 6" 股相合，中間為  $\frac{1}{2}''$  26" legs together with  $\frac{1}{2}''$  between them.

$R = 1.73$  (從克其爾氏的道路橋樑計畫中尋得)

$$\begin{aligned} \text{定限單位應力 allowable unit stress} &= 16000 - 70 \frac{96}{1.73} \\ &= 16000 - 3890 = 12,110 \text{ 磅} \end{aligned}$$

$$\text{實需的面積 Required area} = \frac{136530}{12,110} = 11.3 \text{ 吋}^2$$

$$\text{兩塊 } 6 \times 4 \times \frac{11}{16} = 12.8 \text{ 吋} \text{ 的角版可以應用。}$$

(4) 對角線 Diagonal  $L_2-U_3$  (擠壓力 Compression)

$$\text{The unsupported length} = 144.7''$$

$$\text{最大應力 max. Stress} = -46,870 \text{ 磅}$$

$$\text{最小應力 max. Stress} = -5,340 \text{ 磅}$$

試用兩塊  $4 \times 3 \times \frac{1}{2}$  的角版，以 4'' 兩股相合，隔開  $\frac{1}{2}$ ''

$$R = 1.25 \text{ (}\because 1.25 \text{ 是小於 } 1.38 \text{ 約在 } Y-Y \text{ 軸上)}$$

$$\begin{aligned} \text{定限單位剪力 allowable unit stress} &= 16,000 - 70 \frac{144.7}{1.25} \\ &= 16,000 - 8,100 = 7,900 \text{ 磅} \end{aligned}$$

$$\text{實需的面積} = \frac{46,870}{7900} = 5.93 \text{ 吋}^2$$

$$\text{則 } 4 \times 3 \times \frac{1}{2} = 6.5 \text{ 吋}^2 \text{ 的角版可以應用。}$$

$$\frac{L}{R} \text{ 的值} = \frac{144.7}{1.25} = 1.6 \text{ 不超過 } 1.20 \text{，故可以應用。}$$

每端所需的釘子的數目為

$$\frac{46,870}{7500} = 7 \text{ (釘子數目)}$$

(5) 對角線 Diagonal  $U_3-L_4$  (牽引力或擠壓力 Tension)

nor Conapression)

The unsupported length = 144.7"

最大應力 max. stress = +33,760#

最小應力 min. stress = -2,410#

此對角線  $U_3-L_4$  上的應力，在計畫，常計算其應力的和，等於最大應力，加最小應力的百分之 50 (50% of min.)，同時須使  $\frac{L}{R}$  之值，不得超過 120，換言之，即以 120 為限度。

最大應力 + 最小應力的百分之 50 為  $33,760 + 1210 = 34,970\#$

最小的環動半徑 Least radius of gyration 必為  $\frac{144.7}{120}$   
 $= 1.21$

試用兩塊  $4 \times 3 \times \frac{5}{16} = 4.18$  吋的角版 ( $R = 1.27$  大於 1.21, 故可用) 以兩個 4 吋的股相合，隔開  $\frac{1}{2}$  吋

定限單位應力 (for tension) = 16,000 磅

實需面積 Required area =  $\frac{34,970}{16,000} = 2.19$  吋<sup>2</sup>

兩塊角版的 net 面積  $4 \times 3 \times \frac{5}{16} = 4.18 - 2 \times \frac{7}{8} \times \frac{5}{16} = 4.18 - .55 = 3.63$  吋<sup>2</sup>

故此試用之角版，可以應用。

兩端所需釘子的數目 Required number of rivets in la ch end,

$$\frac{34970}{7500} = 5 \text{ (釘子的數目)}$$

(6) 對角線 Diagonal L<sub>4</sub>U<sub>5</sub> (牽引力或擠壓力 Tension or Compression)

$$\text{tensupported length} = 144.7''$$

$$\text{最大應力 max. stress} = -21,970\#$$

$$\text{最小應力 min. stress} = +11,600\#$$

$$\text{最大應力最小應力的 } +50\% = 21970 + 5800 = 27,770\#$$

試用兩塊  $4 \times 3 \times \frac{5}{16}$  的角版，以 4'' 的兩股相合，隔開  $\frac{1}{2}$ ''

$$R = 1.27$$

$$\text{定限單位應力 allowable unit stress} = 16000 - 70 \frac{144.7}{1.27} =$$

$$16000 - 8000 = 8000\%$$

$$\text{實需面積 R quired area} = \frac{27770}{8000} = 3.47''$$

$$\text{兩塊 } 4 \times 3 \times \frac{5}{16} \text{ 角版的淨 net 面積} = 4.18 - 2 \times \frac{7}{8} \times \frac{5}{16} = 4.18 - .55 = 3.63'' \text{ (已夠用)}$$

$$\text{實需釘子的數目，爲 } \frac{27770}{7500} = 4$$

(7) 對角線 Diagonal U<sub>1</sub>-L<sub>2</sub>, (牽引力 Tension)

$$\text{最大應力 max. Stress} = +61,370\#$$

$$\text{定限單位應力 allowable unit stress} = 16000\%$$

$$\text{實需面積 Required area} = \frac{61,370}{16000} = 3.84''$$

試用兩塊  $4 \times 3 \times \frac{7}{16}$  的角版，以 4'' 的兩股相合，隔開  $\frac{1}{2}$ ''



從每塊角版，扣除二釘眼，則得淨斷面(net section)

$$\text{兩塊角版 } 4 \times 3 \times \frac{7}{16} \text{ 的 net 面積} = 5.74 - 4 \times \frac{7}{8} \times \frac{7}{16} = 4.21 \text{ 吋}^2$$

(已夠用)

$$\text{兩端所需釘子的數目} = \frac{61370}{7500} = 9 \text{ (釘子數目)}$$

(8) 下弦 Bottom Chord  $L_0L_1$  與  $L_1L_2$  (one continuous member)

牽引力 (Tension)

$$\text{最大應力 max. stress} = +51,200 \#$$

$$\text{定限單位應力 allowable unit stress} = 16,000 \%,$$

$$\text{實需 net 面積} = \frac{51,200}{16,000} = 3.2 \text{ 吋}^2$$

從每塊角版，扣除二釘眼則得淨斷面 (net section)

$$4 \times 3 \times \frac{3}{8} = 4.96 - 4 \times \frac{7}{8} \times \frac{3}{8} = 4.96 - 1.31 = 3.65 \text{ 吋}^2$$

$$\text{兩端所需的釘子的數目} = \frac{51,200}{7,500} = 7$$

(9) 下弦 Bottom Chord  $L_2L_3$  與  $L_3L_4$  (one continuous member)

$$\text{最大應力 max. stress} = +119,470 \#$$

$$\text{定限單位應力 allowable unit stress} = 16,000 \%,$$

從每塊角版，扣除二釘眼，則得淨斷面 net section

$$\text{實需面積 Required area} = \frac{119,470}{16,000} = 7.47 \text{ 呎}^2$$

$$\text{兩塊 } 6 \times 4 \times \frac{1}{2} \text{ 吋的 net 面積} = 9.5 - 4 \times \frac{7}{8} \times \frac{1}{2} = 9.5 - 1.75 \\ = 7.75 \text{ 呎}^2$$

實需釘子的數目，見 Bottom Chord Splice”

(10) 下弦 Bottom Chord  $L_1L_5$  與  $L_5L_6$  (one continuous member)

$$\text{最大應力 max. stress} = +142,220 \#$$

$$\text{定限單位應力 allowable unit stress} = 16,000$$

從每塊角版，扣除二釘眼，則得淨斷面 net section

$$\text{實需淨面積} = \frac{142,220}{16,000} = 8.9 \text{ 呎}^2$$

$$\text{兩塊 } 6 \times 4 \times \frac{5}{8} \text{ 角版的淨面積} = 11.72 - 4 \times \frac{7}{8} \times \frac{5}{8} = 11.72 - \\ 2.2 = 9.52 \text{ 呎}^2 \text{ (已夠用)}$$

實需釘子的數目見 “Bottom Chord Splice”

(11) 豎直掛軸 Vertical hangers  $L_1U_1L_3U$  與  $L_3L_5U_5$

$$\text{最大應力 max. stress} = +12,800 \#$$

$$\text{定限單位應力 allowable unit stress} = 16,000 \%$$

從每塊角版扣除二釘眼，則得淨斷面 net section

$$\text{實需面積 Required area} = \frac{12800}{16000} = 0.8 \text{ 呎}^2$$

此種 Pony Warren 式橋樑，所用的角版，不應當小於  $3'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$ 。

兩塊  $3 \times 3 \times \frac{5}{16}$  角版的淨面積 net area =  $3.56 - 4 \times \frac{7}{8} \times \frac{5}{16} = 3.50 - 11 = 2.46$  呎<sup>2</sup> (此角版已夠用)。

實需釘子的數目 Required number of rivts 爲  $\frac{12800}{7500} = 2$  (或 3)

(12) 豎直掛軸 Vertical hangers  $L_2-U_2$  與  $L_4-U_4$  (as stiffeners)

$L_2U_2$  與  $L_4U_4$  不負荷應力，故可用兩塊  $3'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$  的角版。

#### (8) 橋樑幅點的紐 Braces at Panel Points

all members of the brace at Panel point will consist of two angles  $3'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$ 。

#### (9) 橋脚 Shoes

Dead-load end reaction of the truss =  $5 \times 2800 = 14,000$  #

Live load end reaction of the truss =  $5 \times 8000 = 40,000$  #

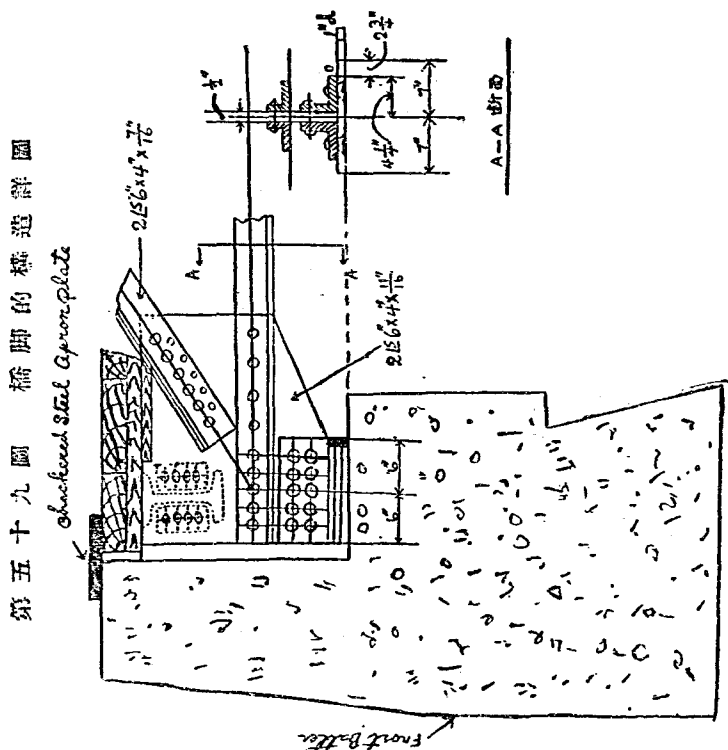
Impact end reaction of the truss =  $.25 \times 40,000 = 10,000$  #

---

Total = 64,000 #

(1) 實需磚石版的面積 Required area of masonry Plate  
 $= \frac{64,000}{400} = 160$  呎<sup>2</sup>

磚石版可用  $12'' \times 14'' = 168 \text{ 吋}^2$ 。



橋脚的構造，在第五十九圖中已示其概況。

在底角版  $6'' \times 4'' \times \frac{11}{16}$  釘子穿過附着版 Gussset Plate 時，其反動力為 6,4000#

實需釘子的數目 =  $\frac{64000}{7500} = 9$  (用10個)

(2) 橋脚版的厚度 Thickness of Sole Plate

在第五十九圖中，A—A 處，脚版的厚度在角版外面者為  $2\frac{3}{4}$ " (如臂樑 as a Cantilever beam)。上部的壓力為  $\frac{64000}{168} = 382$  磅，

版的厚度，以一時計算，在 0 點的運動量為

$$382 \times 2\frac{3}{4} \times \left(\frac{1}{2} \times 2\frac{3}{4}\right) = 382 \times \frac{11}{4} \times \frac{11}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{11,555.5}{8} =$$

1,450 吋磅

1450 吋磅，為兩塊版的運動量，如一塊的運動量，則為 730 吋磅。

用公式  $\frac{bd^2}{6} = \frac{M}{S}$  ( $b=1$ )

$$\therefore \frac{d^2}{6} = \frac{730}{16000} \quad d^2 = \frac{4380}{16000} = 0.274$$

$$\therefore d = 0.53" \text{ approx}$$

版的厚度用  $\frac{5}{8}$ "

(10) 上弦接纜 Top Chord Splice 在  $U_3$

接連處須受磨擦。在較小的角版  $U_2U_3$ ,  $6" \times 4" \times \frac{7}{16}$ ,

有  $\frac{4}{10}$  的應力在橫股上， $\frac{6}{10}$  的應力在直股上。

在橫股上的應力 Stress in horizontal legs =  $\frac{4}{10} \times 91020 =$

36,410#

在直股上的應力  $\text{Stress in Vertical legs} = \frac{6}{10} \times 91020 = 54,$

610#

在橫股上的應力，將傳達於連接處，故須用  $\frac{1}{2}$ " 橫接鐵版，釘上的剪力為單剪力 Single shear，旋回力在  $\frac{1}{2}$ " metal

從克其門氏道路橋樑計畫書表中，尋出單剪力為4420# 可以應用，旋回力在  $\frac{1}{2}$ " metal 為 7500

實需釘子的數目為  $\frac{36410}{4420} = 8.2$  (用10個)

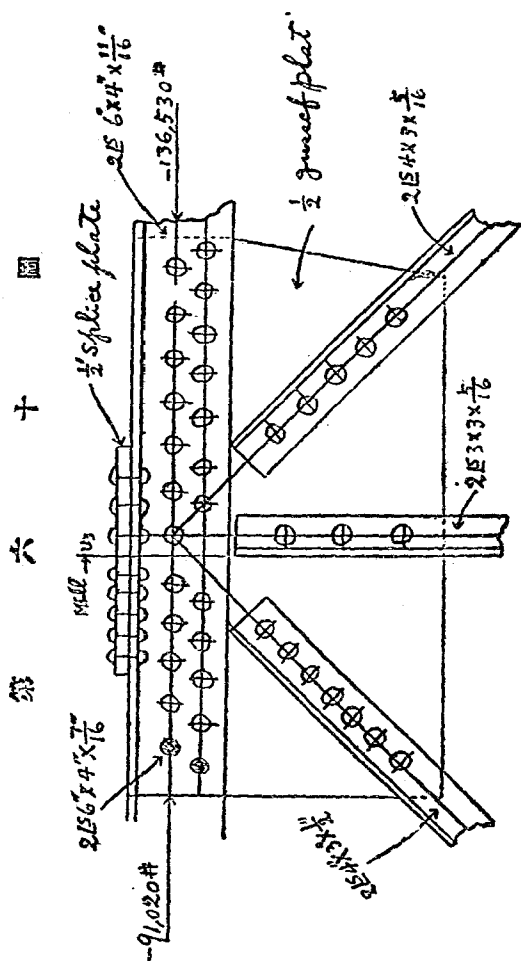
每股上用五個釘子。

直股上的應力，將傳達於附着版上。此處所有釘上的剪力為複剪力 double Shear，旋回力在  $\frac{1}{2}$ " metal；用旋回力的值7500#，以計算所需釘子的數目，

實需釘子的數目為  $\frac{54610}{7500} = 8$

在橫版上的應力為36,410，可與較大弦角版上  $6" \times 4" \times \frac{11}{16}$  平衡，以  $(136,530 - 36,410) = 100,120\#$  傳達於附着版，則實需釘子的數目，為  $\frac{100,120}{7500} = 14$ 。

釘子的排列法，可於第六十圖中表之。



(11) 上弦連接 Top Chord Joint, 在  $U_5$ 

在  $U_5$  處，弦角版  $6 \times 4 \times \frac{1'}{16}$  將使其連續，不必用接纜，釘子穿過此角版時，在此處的附着版上的應力，與在  $U_4U_5$  與  $U_5U_6$  處，相差很大，如依靜載重，則無甚差異，但在不對稱處的活載重，則有差異，此種差異是很大的，當幅點向右包括  $U_5$  時，其載重則為活載重。

設  $Pd$  = 活載幅點 Live panel load = 8000 #

$$R_1 = \frac{Pd \times (5 + 4 \times 3 + 2 + 1)}{10} = 1.5Pd \quad (\text{見第五十四圖})$$

以  $L_4$  處為運動量，則得在  $U_4U_5$  的應力，為

$$S_1 = \frac{1.5 \times Pd \times 4d}{h} = \frac{6Pd^2}{h}$$

以  $L_6$  處為運動量，則得在  $U_5U_6$  的應力，為

$$S_2 = \frac{1.5Pd \times 6d - Pd \times d}{h} = \frac{9Pd^2 - Pd^2}{h} = \frac{8Pd^2}{h}$$

$$\begin{aligned} \text{最大差} &= S_2 - S_1 = \frac{8Pd^2}{h} - \frac{6Pd^2}{h} = \frac{2Pd^2}{h} = \frac{2 \times 8 \times Pd}{9} = 1.8Pd \\ &= 1.8 \times 8000 = 14,400 \# \end{aligned}$$

衝擊力為  $.25 \times 14,400 = 3600 \#$ ，共計為 18,000 #

實需釘子的數目為  $\frac{18000}{7500} = 3$  (用 4 個)。

## (12) 下弦接纜 Bottom Chord Splices

(1) 在  $L_2$  的接纜：一計畫在  $L_2$  或  $L_4$  的接纜的方法，與在



$U_3$  處完全相同。

橫接纜版 Horizontal Splice plate, 可使其厚度為  $\frac{3}{8}$ "

在較小的角版  $4 \times 3 \times \frac{3}{8}$ , 應力的  $\frac{3}{7}$  在橫股 horizontal legs 上,  $\frac{4}{7}$  在直股 Vertical legs 上。

$$\text{在橫股上的應力 Stress in horizontal legs} = \frac{3}{7} \times 51,200 = \frac{3 \times 51200}{7} = \frac{153600}{7} = 21,940\#$$

$$\text{在直股上的應力 Stress in Vertical legs} = \frac{4}{7} \times 5,1200 = 29,260\#$$

在橫接纜版的釘子, 為單剪力, 旋回力是在  $\frac{3}{8}$ " metal, 用 44 20 以決定所需釘子的數目, 為  $\frac{21940}{4420} = 5$ , 每股上用釘 3 隻

此 29,260# 的應力, 被釘子傳達於附着版, 釘上為複剪力 double shear,

旋回力是在  $\frac{1}{2}$ " 吋在附着版上。

$$\text{實需釘子的數目為} \frac{97530}{7500} = 13$$

(2) 在  $L_4$  的接纜: 一橫接纜版, 可使其厚度為  $\frac{1}{2}$ "。

在較小的角版  $6 \times 4 \times \frac{1}{2}$ , 應力的  $\frac{4}{10}$  在橫股上,  $\frac{6}{10}$  在直股上。

$$\text{在橫股上的應力} = \frac{4}{10} \times 119,470 = 47790\#$$

$$\text{在直股上的應力} = \frac{6}{10} \times 119,470 = 71680\#$$

在橫接纜版上釘子為單剪力，旋回力在  $\frac{1}{2}$  in. 版上，用 4420#，可以決定所需釘子的數目，為  $\frac{47790}{4420} = 11$ ，每股上用釘六隻。此 71,680# 的應力，被釘子傳達於附着版，釘上為複剪力，旋回力在  $\frac{1}{2}$  in. 附着版上。

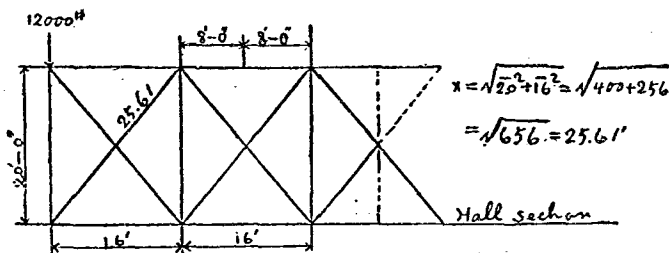
實需釘子的數目，為  $\frac{71680}{7500} = 10$ 。

橫接纜版傳達 47,790# 的應力於較大的角版  $6 \times 4 \times \frac{5}{8}$ ，經過連接處，以  $(14,220 - 47,790) = 94,430\#$  傳達於附着版。

實需釘子的數目，為  $\frac{94,430}{7500} = 13$

### (13) 側軸承 Lateral Bracing

側軸承計劃時，可作橋上 Horizontal truss 設計，其運動重量每方呎 300 磅。



第 六 十 一 圖

軸承極輕，計劃時，可僅計算其逆牽引力 resist tension：

一種是在對角線的系統上，風力自橋的一邊吹來；其餘的系統上，風力的方向則相對。橋端橫 truss 上的最大反動力，為  $40' \times 300 = 12000\#$

橋端的最大剪力，常小於  $12,000\#$  末對角線 end diagonal 的應力，小於  $12000 \times \frac{25,61}{20} = 15,370\#$

(25,61' 為理想末對角線的長度)

淨面積小於  $\frac{15370}{16000} = 0,96 \square$ ”

一塊角版的淨面積  $3 \times 3 \times \frac{5}{16} = 1,78 - \frac{7}{8} \times \frac{5}{16} = 1,78 - 0,27 = 1,51 \square$ ”

此種角版能負荷最大的應力，故橋樑的對角結構上，均可應用。

一塊  $3 \times 3 \times \frac{5}{16}$  的角版，在側面支托的四面均可應用。

連接實需，小於  $\frac{15,370}{3313} = 5$

(14) 伸漲與錨狀釘 Expansion and Anchor Bolts.

氣候變遷，能使橋架的一端因氣候過熱而移動，在溫度 150 度時，其移動的數為

$$150 \times 80 \times 12 \times ,0000065 = ,94 \text{吋}$$

錨狀釘，可用  $\frac{3}{4}$ ”  $\varnothing$ ，橋脚平版的闊為 1” 長為 2”

(15) 橋樑各部份計畫所用材料的呎吋表 List of  
Dimensions of members designed for this bridge

1. 地版 Floor Plank—3"
2. Stringers 6" I—50.0# ,
3. 地版樑 Floor beam 12" I—50.0# , 用釘子四隻。
4. 橋架各部份 Truss members :

( a ) 橋弦部份

$L_0L_1$  與  $L_1L_2$ —2IS4" × 3" ×  $\frac{3}{8}$ " 用釘子七隻。

$L_2L_3$  與  $L_3L_4$ —2IS6" × 4" ×  $\frac{1}{2}$ " (見下弦接纜所用的釘子數目)

$L_4L_5$  與  $L_5L_6$ —2IS6" × 4" ×  $\frac{5}{8}$ " (見下弦接纜所用的釘子數目)

$U_1U_2$  與  $U_2U_3$ —2IS6" × 4" ×  $\frac{7}{16}$ " 用釘子十三隻。

$U_3U_4$  與  $U_4U_5$ —2IS6" × 4" ×  $\frac{11}{16}$ " (見上弦接纜所用的釘子數目)

( b ) 對角結構 Diagonals

$L_0U_1$ —2IS6" × 4" ×  $\frac{7}{16}$ " 用釘子十一隻。

$U_1L_2$ —— $2IS4'' \times 3'' \times \frac{7}{16}$  用釘子九隻。

$L_2U_3$ —— $2IS4'' \times 3'' \times \frac{1}{2}$  用釘子七隻。

$U_3L_4$ —— $2IS4'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$  用釘子五隻。

$L_4U_5$ —— $2IS4'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$  用釘子四隻。

(c) 豎直掛軸 Vertical hangers

$L_1U_1L_3U_3$  與  $L_5U_5$ —— $2IS3'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$  用釘子兩隻或三隻

$L_2U_2$  與  $L_4U_4$  (as stiffeners)—— $2IS3'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$  用釘子兩隻

5. 幅點處支托 Braces at Panel Points—— $2IS3'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$

6. 橋脚 shoes

(a) 磚石版的大小，用  $12'' \times 14''$

(b) 磚石版的厚度，用  $\frac{5}{8}$  Plate

(c) 底角版 Base angles  $2IS6'' \times 4'' \times \frac{11}{16}$  用釘子十隻。

7. 側軸承 Lateral Bracing—— $1\angle 3'' \times 3'' \times \frac{5}{16}$  用釘子五隻。

8. 附着版 Gusset Plate—— $\frac{1}{2}$ "厚。

9. 弦接纜 Chord Splices :

(A) 上弦接纜——在  $U_3$

(a) 接纜版—— $\frac{1}{2}$ "厚，在此版共用釘子十隻，每股五隻。

(b) 在此較小的角版，直股上用釘子八隻， $6 \times 4 \times \frac{7}{16}$  for  $U_2U_3$ 。

(c) 在此較大的角版，直股上用釘子十四隻， $6 \times 4 \times \frac{11}{16}$  for  $U_3U_4$ 。

(B) 下弦接纜 Bottom Chord splices :

1. 在  $L_2$  處——

(a) 橫接纜版 Horizontal splice plate—— $\frac{3}{8}$ "厚，用釘子六隻，每股三隻。

(b) 在較小的角版上，直股上用釘子四隻， $4'' \times 3'' \times \frac{3}{8}$  for  $L_1L_2$ 。

(c) 在較大的角版上，直股上用釘子十三隻， $6'' \times 4'' \times \frac{1}{2}$  for  $L_2L_3$ 。

2. 在  $L_4$  處——

(a) 橫接纜版—— $\frac{1}{2}$ "厚，用釘子十二隻，每股六隻。

(b) 在較小的角版上，直股上用釘子十隻， $6'' \times 4'' \times \frac{1}{2}''$  for  $L_4 L_5$ 。

(c) 在較大的角版上，直股上用釘子十三隻， $6'' \times 4'' \times \frac{5}{8}''$  for  $L_4 L_5$ 。

(C) 上弦接連處 Top Chord Joint at  $U_6$ ——

沒有接縫，但有  $\frac{1}{2}''$  厚的附着版，用釘子四隻。

## 第十章 磚石弧橋計畫

### (1) 弧橋之種類 Classification of arches

弧橋，為施橫推之力於二橋墩的建築物。弧橋的種類頗多，要視其建築之材料而異：以磚石為建築之材料者，則謂之磚石弧橋 Voussoir Arches；以混凝土為建築之材料者，則謂之混凝土弧橋 Concrete Arches；以鋼骨混凝土為建築之材料者，則謂之鋼骨混凝土弧橋 Reinforced Concrete Arches。本章所專論者，則以磚石弧橋之範圍。

磚石弧橋之種類，大別之有兩種：

(1) 結塊弧橋；

(2) 鑄實弧橋。

結塊弧橋，為多數之磚石塊建築而成；

鑄實弧橋，為結實之混凝土建築而成。

多塊磚石，可鑿天然之石或鑄混凝土而成。

弧橋又可分為兩種：

- (1) 活動弧橋 Hinged arches ;
- (2) 靜止弧橋 Hingeless arches

活動弧橋，有鈕接成；

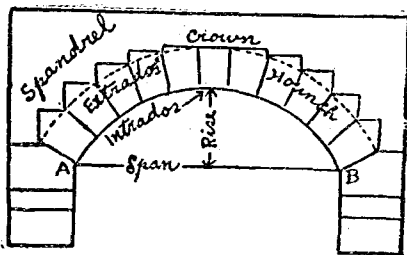
靜止弧橋，則固繫於兩端。

活動弧橋冠 Crown 上及墩 abutment 上各有鈕 Hinge，或僅為冠上有鈕，或僅為墩上有鈕。但活動弧橋，通常有二鈕或三鈕。

結塊鑄實弧橋之建築，可有鈕，亦可以無鈕。但大弧橋則多用鈕。鈕之利益最著者，則為可得精確力量之分析，並可以節省建築之材料。其害處則為鈕之建築費過昂，而活動弧橋，亦不如靜止弧橋鞏固耐久。活動弧橋，通行於歐洲各國，至於美國橋樑工程上，則不多見。

(2) 弧橋各部的名稱 Definitions P.rts of an arch (第六十二圖)

弧橋之種類，已如上述。茲乃將弧橋各部分的名稱一定義一分別述之。



第六十二圖



- (1) 墩 Abutment : 橋頭及其支持之磚石。
- (2) 肚 arch sheeting : 弧石之在內部者，謂之肚。
- (3) 陪背 Backing : 陪背爲在弧石以外的石，常成平行接縫 horizontal joints。
- (4) 冠 Crown : 弧石之最高部分，謂之冠。
- (5) 直縫 Cousing joint : 直縫，爲接縫之與直程派石平行者，自弧身之一端，連續以至他一端。
- (6) 背線 Extrados : 弧石上端之橫縫，謂之背線。
- (7) 腰 Haunch : 腰爲間於橋頭及橋冠之不定部分 indefinite Part.
- (8) 橫縫 Heading Joint : 接縫之在垂直於橋軸之面上者，謂之橫縫。此種橫縫不連續。
- (9) 腹線 Intrados : 直面與腹面相交之線，謂之腹線。
- (10) 環石 Ring stone : 在弧身兩邊之弧石，謂之環石。
- (11) 環程 Ring Course : 在二接縫間之弧石，謂之環程。
- (12) 直距 Rise : 爲最高腹面與連二起線面間之直距。
- (13) 冠石 Keystone : 在弧線中間的石塊，謂之冠石。
- (14) 斜背 Skewback : 弧身與墩相交之斜面，謂之斜背。
- (15) 腹面 Soffit : 弧身下面之凹面，謂之腹面。

(16) 起石 Springer : 弧石之最低者，謂之起石。

(17) 起線 Springing line : 斜面之內端，謂之起線。

(18) 橋背 Spandrel : 背線與路面間之不定位置 The indefinite space between The extrados and The roadway, 謂之橋背。橋背兩端之牆，謂之橋背之牆 spandrel wall，牆與背面間之土石，謂之實背 spandrel filling。

(19) 直程 String Course : 自弧身一邊至他一邊之石程，謂之直程。

(20) 弧石 Voussoir : 構成弧身之尖劈形石，謂之弧石。在弧身的兩邊者，謂之環石 Ring Stones ; 在內部者，謂之肚石 arch sheeting。

#### 弧橋之式樣 Forms of arches

依腹線之形式，而定其式樣。線可分為四種：

- (1) 圓形 Circular ;
- (2) 橢圓形 Elliptical ;
- (3) 籃環形 basket-handle ;
- (4) 尖形 Pointed。

腹線為半圓形者，謂之半圓弧橋 semicircular arch, 或滿心弧橋 Full-centered arch。

腹線爲弓形者，謂之弓形弧橋 Segmental arch。

籃環弧橋 Basket-handle arch，爲腹線由數圓弧相切而成之弧橋。

尖形弧橋 Pointed arch，爲腹線由二圓弧相交於冠點之弧橋。

依二邊之牆垂直於橋軸與否，弧橋又可分爲二種：

( 1 ) 直弧橋 Right arch；

( 2 ) 斜弧橋 Skew arch。

直弧橋，弧身之牆面，垂直於橋軸 axis；

斜弧橋，弧身之牆面，斜交於橋軸。

斜弧橋，因工程上之構造困難，故不常用。

### ( 3 ) 經濟式的原則

不論其直距如何，橋距在100"以下者，土實背橋爲最經濟。如橋基之費用頗經濟者，則無論橋距如何，以三鈕活動橋爲最經濟。如橋基爲中等者，則以鋼骨凝土弧橋爲最佳。如直距甚大，而橋距在100"以上，則弧橋之具弧式或直柱式弧背者爲最經濟。如橋闊甚大者，則每呎之持土牆不甚糜費，當先作各種比較之計劃，以選其最經濟者用之。三鈕橋因鈕架等之添費昂貴，故不甚經濟。鋼骨凝土弧橋之具柱弧背者，較弧式弧背爲經濟。

## (a) 弧橋之經費

弧橋經費之計算，最為重要。下列的方程式，可以供計算弧橋經費之用（以元為單位）。

混凝土弧橋（包括混凝土橋及鋼骨混凝土橋兩種）：

$$c = .8bLd$$

## (b) 磚石弧橋：

$$c = 1.4bLd$$

c = 為元數；

b = 為橋闊（以呎計）；

L = 為橋長（以呎計）；

d = 為平均河床至路面之距離（以呎計）。

如橋基之費用甚貴者，則上面的兩種計算經費的公式，即不能適用。

## (4) 鞏固的原理 Theory of stability

石弧橋之鞏固原理有兩種：

(1) 推力線原理 The line of Thrust Theories；

(2) 彈性變形原理 The elastic deformation Theories。

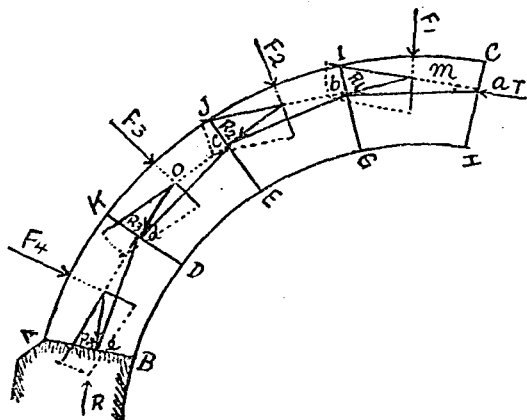
推力線原理，則弧橋持石與石間之摩擦力及反動力以鞏固橋身。彈性變形原理，乃論弧身為一彈性之梁，待其間變形所發生

之力，以鞏固橋身。

以上的兩種鞏固原理，結塊弧橋及鑄實弧橋，均可適用。但推力原理，多用於磚石弧橋。彈性變形原理，多用於鑄實弧橋。二者本無甚差異，彈性變形原理，則較為精確，且較為繁雜。

### (5) 抵力線 Line of Resistance Defined

抵力線之研究，於結塊弧橋最為重要。相鄰之二弧石，一施壓力，一施反動力，以相平衡。如各以相當之單獨力代之，則各直縫均有一推力線交縫面於一點，稱之為施力點，施力點以線連之，則得抵力線。



第 六 十 三 圖

第六十三圖，為半弧橋持水平推力 $T$ 以求平衡。 $T$ 為右半橋

之反動力 The reaction of the right-hand half of the arch , 施於直縫橋點。設多數弧石恰合連接，並無膠灰。  $F_1, F_2, F_3, F_4$ ，為施於各弧石之結果力 Resultants，包括弧石之重量。弧石 CIGH，恃  $T_1 F_1$  及弧石 IJEG 之反動力以平衡。故此三力必交於一點。弧石 CIGH 及弧石 IJEG 間之結果力為  $R_1$ ，其方向能以圖解法表示之（見六十三圖）。 $R_1$  之施力點為  $b_1$  即  $R_1$  與直縫 GI 之交點。弧石 IJEG 以  $R_1, F_1$ ，及  $R_2$  三力而平衡。 $R_2$  為弧石 JEGI 及 JEDK 間之結果反動力，其力量方向及施力點 C，亦能以圖解表之。

$a, b, c, d, e$  等點，謂之壓力之中點 (Centers of Pressure)，即各縫上結果力之施點。 $abcde$ ，謂之壓力線，或謂之各縫間抵抗力線之中點。前者謂之壓力線 (Line of Pressure)，後者謂之抵抗力線 (Line of resistance)。換言之，抵抗力線，即繼續之曲線，內切  $abcde$  之多邊形。直縫愈多，則愈相切近。多邊形  $mno p$ ，也是抵抗力線，外切此曲線，直縫愈多，則愈與之相切近。如接縫數為無窮，則以上三線合而為一。

設  $ab, bc, cd$ ，與  $de$  四線，置於相當的位置，如第六十三圖所示。且受  $T, F_1, F_2, F_3, F_4$ ，及  $R$  諸力之壓施，則此四線必平衡。故線  $abcde$  或過  $a, b, c, d, e$  的曲線，謂之線弧 Linear arch。

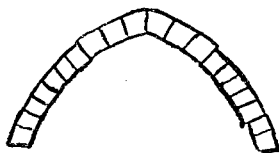
## (6) 弧石的失敗原因 method of Failure of arches

弧石失敗之方法有三種：

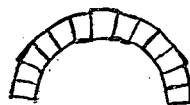
- (1) 弧石碎破 Crushing of the stone;
- (2) 一石滑溜越過他石 sliding of one voussoirs on another;
- (3) 據接縫的一邊以旋轉 rotation about an edge of some Joint.

1. 弧石所受之力，如大於碎石，則必破碎。

2. 第六十四圖，及第六十五圖所示，為第一種失敗法。第六十四圖所示，為橋腰滑溜上出，弧冠滑溜下沉。第六十五圖所示，則適相反。如直距較橋距為小，則弧石互相滑溜，弧冠常下沉。如直距較橋距為大，則弧腰下沉，弧冠上升。

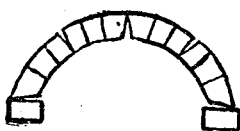


第六十四圖

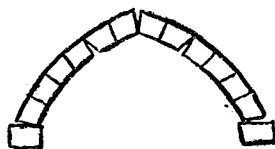


第六十五圖

3. 第六十六圖及第六十七圖所示，為弧橋據接縫而旋轉的二法。以常理而論，第六十六圖起於尖弧，第六十七圖起於平弧。



第六十六圖



第六十七圖

根據上述各節的結果，可知鞏固弧橋之方法，有下列三種：

1. 使抵力線之各部均在背線腰線之間，以免旋轉失敗。
2. 使抵力線與接縫相交之點，遠距接縫之邊，使其所受極大壓力小於碎破力，以免碎破失敗。
3. 使接縫面之垂直線與抵力線所成之角，小於阻力角 Angle of friction，即其角之正切小於阻力之係數 Coefficient of friction，以免滑溜失敗。

#### (7) 旋轉的鞏固 Stability against Rotation

如第六十三圖所示弧橋失敗，以抵力線交腹線於較低二點，交背線於此二點中之較高一點。旋轉安全數 factor of safety against rotation，略等於直線長的二分之一，以壓力中點與接縫中心之距離除之，則

$$\text{旋轉安全數} = \frac{\frac{1}{2}L}{d} \dots\dots\dots (1)$$



$L$  = 直縫之長

$d$  = 爲壓力中心與直縫中心之距離

例如設壓力中心在中三份 middle third 之端，則  $d = \frac{1}{2} \times \frac{L}{3}$   
 $= \frac{L}{6} = \frac{1}{6}L$ ，則安全數爲

$$\frac{1}{2}L \div \frac{1}{6}L = 3。$$

如壓力中心與接縫中心之距離  $\frac{1}{4}L$ ，則安全數爲 2。

尋常抵力線須在弧環中份以內，則安全數當於三倍。

#### (8) 碎破之鞏固 Stability Against Crushing

設弧石垂直於接縫之總壓力爲  $W$ ， $P$  爲每單位面積之最大壓力， $M$  爲  $W$  接縫中之能率，本力學原理，可得一方程式如下：

$$P = \frac{W}{L} + \frac{6Wd}{L^2} \dots\dots\dots (2)$$

設磚石能持引力，上列的公式，甚爲合用。

如  $d$  不大於  $\frac{1}{6}L$ ，則雖磚石不能持引力者，亦可以通用。

如磚石不能持引力，則  $W$  接縫之  $P$  壓爲一三角形，ANKR 爲結果力的施點，故在三角形 ANL 之重心。

$$\therefore AR = \left(\frac{L}{2} - d\right) = \frac{1}{3}AN,$$

$$\therefore AN = 3\left(\frac{L}{2} - d\right), \quad \therefore P = \frac{2W}{AN},$$

$$\therefore P = \frac{2W}{3\left(\frac{1}{2}L - d\right)} \dots\dots\dots (3)$$

如弧身之抵力線已有，則其最大之壓力可以求之如下：

1. 分解結果力垂直於接縫與平行於接縫。
2. 量距離  $d$ 。
3. 以上之值視  $d$  之距離如何，代入相當之公式，以求  $P$ ，此  $P$  之值，當不大於磚石之安全壓力 The safe Compressive Strength。

#### (9) 單位壓力 Unit Pressure

以現在之知識，尚不能求安全與不過度之實用壓力，平常單位不致過度者，有下列數種：

1. 磚石碎破力小於由組成之原質，磚或石之碎破力。但現在之知識，尚不能求得各種天然石之碎破力，祇能求人工石之碎破力。

2. 祇能求垂直於壓面的碎破，不能求其傾斜平行於壓面分力的影響，此種平行於壓面之力與垂直於壓面之壓力，於弧石鞏固，實有同等之效力。

其他如論可增實用壓力之安全者，則為

1. 實用壓力常取立方標本所試得者，但實際上磚石之厚，常小於長闊，故較立方為鞏固。接縫外部膠灰常溜出，故刮去之，因之接縫總壓面減小，而單位壓力增加。自他方面而論，外

邊雖不受壓力，但可為內部之橫支持，故能增加其阻力。以上二種相關之影響如何，尙無決定之方法，故對於刮去邊灰效果，實無理論方法以決定之。

2. 以上最大壓力之公式(2)與(3)，均不計磚石之彈性，故其實際壓力，必較小於公式所得之結果。其較小之數，亦無法求得。

壓力中心與接縫中心之距離增加，而磚石不致碎破者，則視其最大碎破力與接縫平均壓力之比例為如何。如平均壓力與最大碎破力略近，則壓力中心與接縫中心之距離稍增，磚石必碎破。

如平均壓力甚小，則雖壓力中心遠距接縫中心，磚石亦不致碎破。此理可由公式(2)明證之。

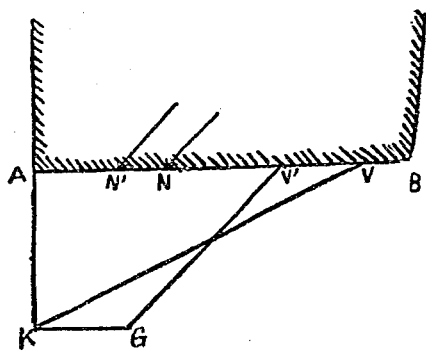
設 $P$ 與 $W \div L$ 均大，

$d$ 必須小；

但設 $P$ 大而 $W \div L$ 小，則 $d$ 必大。

上理可亦可用公式(3)求得。

抵抗力線可近接縫之邊，以致磚石碎破，而



第 六 十 八 圖

弧橋亦不一定有危險者，如第六十八圖所示，A B 爲一無彈性之壓縫，N 爲壓力中心。則壓力盡施於 AV 面上。

$$AN = \frac{1}{3}AV$$

A 處之壓力，以 A K 表之。而總壓力則爲三角形 AKV。如 A K 爲極限碎破力 Ultimate Crushing Strength 壓力中心移至 N'，則總壓力盡施於 AV' 面上。AKGV' 爲總壓力，其中心在經 N' 之垂直線上，故設壓力中心甚近，A 則壓面碎破甚多，幾至全面損壞，弧橋傾倒。

#### (10) 開口縫 Open Joints

抵力線如經中三份，則壓縫遠距壓力中心之端，不致開裂。如抵力線出中三份 (middle third)，則壓縫遠距壓力中心之端，必在引力之下。如縫用膠灰，則可持引力，不致開裂。

如抵力線出中三份，且膠灰無引可持，則壓縫遠距壓力中心之點必裂開。如第六十八圖，N 爲壓力中心，則壓面之一部 AV = 3AN 爲受壓力者。VB 則不受壓力。故 AV 既失敗，則壓縫必在 B 處開裂。當壓力中心近至 A 時，此開裂必增加，當 A 處磚石碎破時，則增加必迅速。

如弧橋之裂縫有開裂，則各縫之抵力線不能均在中三份，又可注意者，弧橋接縫開裂，並非指示弧橋有傾倒的危險。大約各

種開裂常無甚重要關係，在腹面尤甚。

背線開裂，因水流入縫內結冰，稍有危險。欲免除此害，或橋外面常鋪以溫土，或他種不透水之外衣。

#### (11) 滑溜的鞏固 Stability Against Sliding

如膠灰影響不計，則當抵力線與垂直壓面線間之角少於阻力角時，則弧石對於滑溜可以鞏固無憂。阻力係數在膠灰潮濕最不利時，約為 0.50，則與  $27^{\circ}$  之阻力角 angle of friction 相當。故如抵力線與垂直壓面線間之角大於  $27^{\circ}$  時，則一弧石可以滑溜他弧石。免除之法，則可移壓縫稍垂直抵力線。

膠灰在凝結以前，必不能載完全負重，故必須使阻力角大於  $27^{\circ}$ 。平常抵力線常垂直於壓縫，故滑溜鞏固可無依阻力或膠灰的粘力。

根據上述的各種理論，可知旋轉安全與碎破安全乃互相依類。而滑溜安全，則為獨立與其他安全無關，僅恃壓縫之方向。理論完美之計劃，當使三種安全之數略為相等。且全橋各縫均為一律。但實際弧橋旋轉安全數常為 3，或較 3 稍大。

碎破安全則 10 或 40，而滑溜安全則為  $\frac{1}{2}$  至 2。

欲求全橋鞏固之率，須知抵力線位置或其方向之限界；欲求抵力線，則必先知各種外力及冠推力 Crown thrust。

## (12) 外力 The External Force

欲求弧石之力量，及決定弧石之大小，必須先知其載重。換句話說，就是弧石之強固，全賴抵力線的位置。欲知抵力線，必須先知弧石之外力：

(1) 旋力點 The point of application ;

(2) 方向 The direction ;

(3) 各弧石所受之力量 The intensity of the forces acting upon each voussoir.

但上述之各種外力，所不能滿意者，則為不能求得精確之數目。

## (13) 水壓力 Pressure of Water

如弧橋所載之外力為液體，則其壓力常垂直於背線，易於求得。將垂直於背線之壓力與弧石之重合併之，即為弧橋之各種外力，但實際上，此例則甚少。

## (14) 磚石的壓力 Pressure of masonry

如弧橋裏載磚石（此為實際上所常有），背牆對於弧橋鞏固之影響如何，往往不能得精確之決定，通常假定腹面以上磚石之全重，垂直壓迫於弧線，但實際上決不是如此的。因乾燥之磚石牆，其一部自能支持其重量。

設磚石每立方呎之重量為 144 磅，則弧橋自支之重，可以下列之公式求之。

$$H S = \frac{S^2}{2R}$$

$H S$  = 自支磚石之高（以呎計）

$S$  = 開口之闊（以呎計）

$R$  = 磚石破碎係數（以磅呎計）

上列之公式，並不述及壓力之情形，故為用甚小。假定全部弧石均迫壓弧身之舛錯，固在安全之面，但如各種之已知條件，均僅得其近似之值，則可以不必用數學法以求其合力。此種不能決定壓力之現象，乃組成弧橋原理限制之一。

平常弧橋之外端，常假定為經於水平與垂直之平面（垂直之平面，常可為零）。磚石壓力，常為垂直方向，故無水平分力之言可。但弧橋外面，常為有律的曲線。故此面上之垂直壓力，當有水平分力，雖弧橋實背常分為垂直之縫，此理亦頗真確。即使當水平分力，弧橋之實背或背牆之阻力，於弧橋之鞏固，亦有相當的關係。

根據實驗之所得，當弧橋去中心時，弧冠常下沉，弧腰常上升。故弧橋之實背，常可保護弧橋之失敗。阻力之效果，常恃橋身之有變動與否。動度增加，則其效果亦增加。弧橋實背磚石之

水平分力，常無相當之方法，以決定之。

通常計算弧橋之合力 *Stresses in the arch*，常假定弧橋負完全之橋重，實則自腹線至背頂之磚石，常能支持一部分自身之重量。

### (15) 土的壓力 *Pressure of Earth*

設弧橋支持之泥土，則其壓力之大小與方向，均不能求得精確之結果。

於磚石弧橋之原理，土之壓力，均假定為垂直方向。實則水平平均方向，亦有其分力，詳察第六十三圖，可知如弧橋之直距等於橋距，或小於橋距二分之一者，其水平壓力，可以增加弧橋之鞏固。

以一定之冠推力 *Crown thrust* 及其位置，則假定外力為垂直時，其抵抗力較外力為斜方時，為趨近於線，阻力實可以增加弧橋之鞏固。

水平分力之量與方向，常不能精確求得。根據林肯氏 *Rankine* 之土壓原理，某點之水平分力，不能大於同點垂直壓力之  $\frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$  倍。亦不能小於垂直壓力之  $\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$  倍。

$\phi$  為泥土之安全角，設  $\phi = 30^\circ$ ，則上式可以他言表之。則水平壓力之三倍，亦不能小於其三分之一。



土之粘性愈大，與背實愈擊實，則水平力愈大。泥土如何放置，因不能預定。計劃時常假定水平壓力為垂直的三分之一，則

$$h = \frac{1}{3}edL$$

$e$  = 每單位泥土之重量（每立方呎等於 100 磅）；

$d$  = 土面至壓面中心的深度；

$L$  = 壓面之垂直邊。

有上列之假定，則弧石上之水平力量與方向，可以求得。

用內阻角 (angle of internal friction) 以代安全角，較為合理。

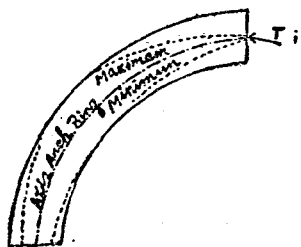
(16) 冠推力的假定原理 Hypotheses for the Crown thrust

自阻力線的原理，可知自阻力線之位置決不能求得。如欲求阻力線之位置，則必須先知冠推力之方向與已知施點。

不同的冠推力，有不同的抵力線。如第六十八圖，設冠推力  $T$  增加，則  $R_1$  與  $G_1$  縫交之點  $b$  必趨近  $I$  點。  $c, d, e$ , 諸點，必依次而趨近  $J, K, A$ , 各點。設  $T$  充分增加，則抵力線必過  $A$  或  $K$ （前者為多，此固視弧橋之廣大及  $F_1, F_2, F_3$ , 等之值與方向為定。）而弧橋亦將必據諸縫之一外而旋轉。

此  $T$  值必為據外邊旋轉鞏固  $a$  處最大推力；而相當之抵力線，亦必為  $a$  處推力最大之抵力線。

同理，如  $T$  值逐漸減小，則抵力線必趨近腹線，以至相交於



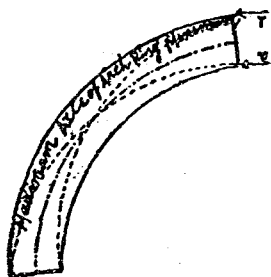
第六十九圖

腹線。此例丁之關於據內線旋轉鞏固之機能必為極小，a 處極大極小推力之抵力線，如左第六十九圖。

設丁之施力點漸次移下，且其值亦逐漸增加，則可得一抵力線與腹線有一公共之點，此為冠推力最大之抵力線。

同理，如將丁之施力點漸次移高，且其值逐漸減小，則可得一抵力線與背線有一公共之點，此為冠推最小之抵力線。

此種極大極小冠推力之抵力線，如右第七十圖。



第七十圖

同理，不同方向之丁，有不同之抵力線。簡括言之，則冠推力諸因數或其組合值，如有不同，則有不同位置之抵力線。故此問題即欲解決諸無窮中之抵力線，以何者為精確。但此種問題，實難解決。最大之原因，即為未知數，多於方程式之數。茲特各種假定的原理，以謀解決此種問題者，一一述之。

(1) 最小壓力的假定原理 Hypothesis of Least Pressure

近代橋樑工程學專家，常假定正真之抵力線，乃所以使諸纜得極小之絕對壓力  $S_m$  *least absolute pressure*。此種原理，實過於理想，故所得之結果，並不準確。在各種原假定的原理中，以此種為最不確實。故用之者實少。

### (2) 文克爾氏的假定原理 *Winkler's Hypothesis*

文克爾氏，為德國柏林大學教授，在 1879 年在 *Zeitschrift des Architekten und Ingenieur Verlags zu Hannover*, 199 頁上，著有下列的原理。此種原理，與抵力線有關係，述之如下：

“如弧環之斷面為一定，則正真之抵力線，如由最小二乘法所求得者略與弧環之軸相近合。”

此種原理之惟一證明，即為用此原理，可得石弧環之多種結論。此種結論，乃與鑄實及彈性弧橋的原理相同。證明者亦多特假定與近似，茲特分別述之。

- (a) 外力之方向假定為垂直，實際則斜方者居其多數。
- (b) 載重為平均散布全橋，實際則弧橋多受聚集之活重 *moving Concentrated loads*，且橋一邊之永久重 *Permanent load*，較大於另一邊者，有時亦有之。
- (c) 由石弧橋所得之各種結論，不過與彈性弧橋之原理大略相似。

(d) 石弧橋之弧斷面多不一律，如由上原理所須者，但自冠至起線漸次加大。

(e) 上述的“如由最小二乘方所求得者”一句話，係指正直之抵力線乃所以使垂直乖離 deviations 平方之和為極小。因各綫多略垂直於抵力線，故如乖離當垂直是線量之，如載重為平均散佈全橋，則抵力線常為有律曲線 Smooth curves。故設垂直乖離平方之和為極小，則垂直抵力線乖離方向之和，亦為極小。如載重為聚集，則此等關係，常不能立。

(f) 弧橋愈平坦者，則此問題之精度亦愈小。

用文克爾氏定理，則必須之條件如下：

1. 建畫抵力線 Construct a line of resistance ;
2. 量自軸至抵力線之乖離 measure its deviations from the axis of the arch ;
3. 計算各乖離之平方和。

各抵力線，均須有上述之三種手續，其乖離平方和之極小者，為正真之抵力線。

(3) 代替文克爾氏定理者，則有下列的定理：

“設有一抵力線，在弧環中三份以內者，則正真之抵力線，

亦在此界限以內，所以弧橋能夠鞏固”。

此種定理，亦爲文克爾氏所自引擬定者。他亦說此種原理亦不十分精確。一抵力線可在中三份以內，正真之抵力線，可不在中三份以內者，因正真抵力線之一部，可與弧環軸甚切近，而他部則相離甚大。但其乖離之和，仍屬很小。此種定理，與極小壓力原理頗相類似。

#### (4) 雷威氏定理 naviers principle

雷威氏定理，則爲“圓周上由垂直方向壓力而生之切線方向合力，常等於垂直方向之每單位面積上壓力，與半徑相乘之積”。

Rankine 便應用上理於石弧橋如下：

“無論何種形式的弧橋，設其點上之壓力爲垂直，則其情形與同半徑之圓周受同一的垂直壓力者相同”。

故有以下的定理。弧身受垂直壓力點上之推力，等於其弧身半徑與其點所受單位壓力相乘之積。

設  $c$  = 弧身之半徑。

$P$  = 腹線每單位長所受之壓力。

$T$  = 推力

則  $T = P S \dots\dots\dots (4)$

上列之公式，祇表示壓力之量與方向，並不告知施力之點。

Rankine 採用上推力以求抵力線之二點。且假定如抵力線均在弧環中之份以內，則弧橋可以鞏固。此定理之用處，僅求抵力線在界限以內。至於滑溜與碎破鞏固，則無法求得。所得旋轉鞏固之結果，亦僅在二繞。弧橋原理用此定理者，惟一 Rankine 原理。

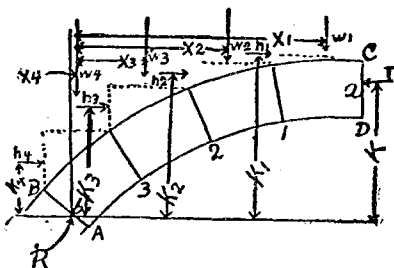
(5) 最小冠推力之假定原理 Hypothesis of Least Crown thrust:

此為各種定理中最後之一種。但石弧橋中用之者最多。根據此理正真之抵力線，當使冠推力之平衡機能為極少，此為假定冠推力為由外力而來的反響。當弧橋鞏固時，此力無須再增，故無平衡機能當為極少。僅此一理，不能限定抵力線的位置。但假使外力為已知，冠推力方向先假定，則此理可求抵力線與極小冠推力相當。

(17) 冠推力之求得 To Find The Crown Thrust

冠推力能符合上列各定理者，求之如下。第七十一圖所示，為弧橋之一部，因下各力而平衡者：

- (1) 垂直力  $w_1, w_2$  等；
- (2) 水平力  $h_1, h_2$  等；
- (3) 橋墩之反動力  $R$ ；
- (4) 冠推力  $T$ ，此處之反動力  $R$ ，無關緊要；



第七十一圖

設  $a$  與  $b$  爲  $T, R$  之施力點，實則此二點尚未決定。

$T$  = 冠推力 The Thrust at Crown ;

$X_1$  = 自  $b$  至  $w_1$  施力線的水平距離 The horizontal distance from  $b$  to the line of action of  $w_1$  ;

$X_2$  = 同上  $w_2$  等 The same for  $w_2$ ; et. ;

$Y$  = 自  $b$  至  $T$  施力線的垂直距離 The perpendicular distance from  $b$  to the line of action of  $T$  ;

$k_1$  = 自  $b$  至  $w_1$  施力線之垂直距離 The perpendicular distance from  $b$  to the line of action of  $w_1$  ;

$k_2$  = 同上  $w_2$  等 The same for  $w_2$  ; etc.

以  $b$  作能率，則

$$T_y = W_1 X_1 + W_2 X_2 + \text{etc} + h_1 k_1 + h_2 k_2 + \text{etc} ; \dots (5)$$

$$\therefore T = \frac{EWX}{Y} + \frac{Ehk}{Y} \dots\dots\dots (6)$$

(1) T 之值，恃乎  $Ehk$ ，即外力水平分力能率之和。應用與討論此理時， $Ehk$  之值，常常略去。尋常此值可增加鞏固之度，但亦不一定。略去水平分力之影響，乃使 T 值較一正真之值為小，且使抵力線於橋腰之處較實際上趨近於腹線。此種情形，乃使正真之抵力線於橋腰處趨近背線，而使弧橋危弱。

(2) 由公式 (6)，設他項均等，則 Y 愈大者，T 愈小。如 T 極小，a 當趨近 c 點，能使磚石不致碎破。

通常 a c 當假定為弧冠厚之三分之一，故平均壓力為實用壓力的二分之一。即 T 以弧冠厚除之，再以 2 乘之，則得弧冠上之極大壓力。

(3) 欲決定  $Y_1$  定先知 T 的方向。平常均假為水平，如弧橋為左右對稱，載重為平均散佈全橋，則此種假定，可為有理。如弧橋所載之活重較死重為大，則 T 之方向不能成水平，故不能直接求得。

(4) 如接縫 AB 為水平，則 b 當使近於 A，以與磚石碎破力對應，或在離 A 三分之一 AB 處，又當注意者，設 AB 為斜立，如平常所用者，移 b 近 A，則減小 X，同時增加 Y 及 k，故 b 之位置與極小 T 值對應者，當由湊而得。通常無理 AB 之斜度如何，



AB 常假定為 AB 的三分之一。

### (18) 破裂縫 Joint of Reptuse

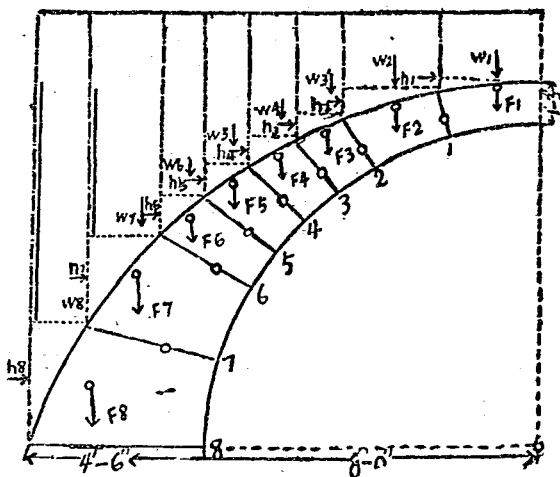
如第七十一圖所示，a 點及 b 點的選定，乃使  $T$  為可能的最小，現在所求的，則為  $T$  之值，以使此半弧橋平衡。設  $T$  為太小，則第七十一圖 1, 2, 3, 等縫將開裂於背線。設為太大，則諸縫將開裂於腹線。

以上均非適當之值，以使弧橋得相當之平衡。即使壓力中心均在中三份以內。設壓力中心均在中三份，則各部均在壓力之下，則背線或腹線均無開裂之縫。故所求者，則為  $T$  的相當值，以使壓力中心均在中三份。

設公式 (5) 中之支點 b，繼續取在中三份之下端，則  $T$  為相當之冠推力，以使背縫下無開裂的縫。在此種情形之下，求  $T$  的最大值，以阻止各縫背線開裂，則此  $T$  乃為定理所須之冠推力。因較此值為小者，各縫收在背線開裂較此值綫大為大者，則各縫將在腹線開裂。

縫之背線，開裂之機能最大者，謂之破裂縫。弧橋之破裂縫，猶桁樑之危弱節 dangerous section。尋常破碎縫均為弧橋之起線，此線以下之弧石，則為橋墩。故試驗弧身鞏固之第一步工作，即為求破裂縫。

(19) 破裂縫求法之實測 Example of the method of  
Determining the Joint of Rupture



第七十二圖

茲欲求一橋距 16 呎之弧橋 (第七十二圖) 之破裂縫, 此為美國芝加哥之一標準磚石涵洞。設弧冠上載厚 10 呎之泥土身。泥土之重量為每立方呎 100 磅, 磚石之重為每立方呎 160 磅。為便利起見, 僅取闊 1 呎, (垂直於圖紙方向) 分半弧及其上之泥土為八份。因期求精確之破裂縫, 故近該處之估想地位份, 常較小於他份。

(1) 直垂力 The Vertical Forces

以上弧身泥土各部份之重量, 如  $w_1, w_2, w_3$  等等, 求得之如

下第一表：每弧石之重心，可以圖解法求之，如泥土之重心，可假定爲在垂直中線上，因其外錯甚微。二者連合之重心，可用能率求之。各結果之位置如第七十二圖所示。各能率之臂，可由第七十二圖求得，列入表中（第一表）。

例如  $x_1$  項下之 1.00，乃  $w_1$  之臂，係根據第一縫中三份下端以求得者。同樣 3.07，乃  $w_1$  之臂，係根據第二縫中三份下端以求得者。在  $x_2$  項下之 0.70，乃  $w_2$  之臂，係根據第二縫能率的支點以求得者。

#### 水平力 The Horizontal Forces

泥土之水平力，可由前面所述的方法以求得之。 $h_1h_2$  等之泥土水平分力，如第七十二表所示。

$h_1h_2$  等力，乃施各弧石上下二端之垂直投影中點。 $h_1h_2$  等之能率臂，可由第七十二圖是定，以入於第一表。

例如  $k_1$  項下之 1.08，乃爲  $h_1$  之臂係根據第一縫能率之支點以求得者。1.76 乃爲  $h_1$  之臂，係根據第二縫能率之中點以求得者。

#### (2) $y$ 之值 The value of $y$

冠推力假定可施於冠縫中三份之上端。 $y$  臂爲自丁至各縫能率支點之距離。例如  $y$  項下之 0.76，乃爲自冠縫中三份上端至第一縫中三份下端之距離，其餘則可用同樣的方法以求之。

#### (3) 破裂縫 The Joint of Rapture 之求法

由公式 (6) 求得之冠推力如第一表。第五縫之冠推力較他縫爲大。故第五縫卽爲破碎縫。第五縫以下，卽爲橋墩。

第一表 破裂縫之求法

白話第一條之總數	垂直力(磅) Vertical Forces								水平力(磅) Horizontal Forces								$\frac{W^s}{E} \frac{y}{y}$	$\frac{hk}{E} \frac{y}{y}$	總推力 Total Crown Thrust				
	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	$W_8$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$h_7$	$h_8$				呎	磅	磅	磅
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$							
垂直力之臂(呎) arms of Vertical forces, feet								水平力之臂(呎) arms of Horizontal forces, feet															
1	1.00								1.08									0.76	3806	94	3060		
2	3.070	.70							1.761	.81								1.44	7744	303	8046		
3	4.061	.69	-0.06						2.321	.87	1.25							2.00	8488	424	8612		
4	4.972	.60	.81	-0.28					3.012	.56	1.94	1.33						2.69	8706	572	9278		
5	5.783	.41	.65	0.58	-0.52				3.803	.35	2.73	2.12	1.37					3.48	8631	738	9369		
6	6.514	.14	.2	.38	1.26	.21	-0.76		4.713	.26	3.64	3.09	2.28	1.41				4.39	8378	886	9259		
7	7.655	.28	.58	.2	.40	1.35	.38	-0.92	6.746	.29	5.67	5.06	4.31	3.44	1.82			6.42	7479	1407	7886		
8	8.805	.34	.17	.3	.05	.2	.00	1.30	-0.27	-1.55	6.158	.79	8.08	7.47	6.72	5.65	4.23	1.56	8.83	5809	1994	8803	

自冠至破碎縫之角距，謂之破碎角。如第七十二圖之破碎角  $46^{\circ}30'$ ，破碎角常在  $45^{\circ}$  與  $60^{\circ}$  之間。

各水平分力增加，則破碎角亦增加。如第一表，設由末項倒數之第二項之值如增加，則據第七縫之冠推力為最大。

土泥如打擊愈實，則水平分力可以增加。

所最當注意者，為以上所述之之破碎縫位置，均係平均有律之死重 uniform stationary load，聚會死重之破碎角則與上不同。所用之數學方法亦甚複雜，且不精確。

(20) 求破碎縫不精確的方法 Incorrect method of  
Finding Joint of Keptare

求破碎縫之方法，有下列的一種。此法在近代磚石弧橋計畫時常用之，但不甚精確，因略去泥土之水平分力，及二種數字上之錯誤。此法先假定冠推力等於公式(6)左邊之第一項，然後求破碎，其法如下：

設  $W$  = 一縫上之全重；

$\bar{X}$  = 此重之重心與各能率支點之水平距離；

$Y$  = 冠推力之臂。

則公式(6)即變為

$$T = \frac{W \bar{X}}{Y} \dots \dots \dots (7)$$

欲求極大值之情形，先假定  $W\bar{X}$  及  $Y$  為不相關係之變值。  
微分公式 (7)，且視  $T, Y,$  及  $W\bar{X}$  為不相關係之變值。則

$$\frac{dT}{dY} = \frac{1}{Y} \frac{d(W\bar{X})}{dY} - \frac{W\bar{X}}{Y^2};$$

但  $d(W\bar{X}) = WdX + dW \cdot \frac{1}{2} d\bar{X} = WdX$ ，則

$$\frac{dT}{dY} = \frac{W}{Y} \frac{dX}{dY} - \frac{W\bar{X}}{Y^2} \dots \dots \dots (8)$$

如冠推力為極大，上或須等於零，則

$$\frac{W}{Y} \frac{dX}{dY} - \frac{W\bar{X}}{Y^2} = 0$$

$$\therefore \frac{dX}{dY} = \frac{\bar{X}}{Y} \dots \dots \dots (9)$$

公式 (9) 之說明如下：

“破碎縫，為其縫上之腹線切點必過丁與其縫上之衆垂直力之結果力的交點。”

破碎縫可由上法求得，或由試湊而得。但此種方法，用之者甚少。

上法為略近似的方法，其原因如下：

1. 水平分力略去，The effect of the horizontal forces is omitted;
2.  $W\bar{X}Y$  實際上則相關，而假定其為不相關；
3. 公式(9)之說明“腹線切點”，應改為“抵力線切點”。

上法之應用，m. Petit 算有一表。此表以腹線半徑與背線半徑之比例表示破碎角。此表常例定第七十二圖之上 a 點在於背線，b 點在腹線，且假定腹線與背線平行。依此表“一平圓形之弧橋，其厚為一律，且等於橋距以 17 及二分之一倍除之者，乃為極薄及極輕之能成立弧橋；其厚小於此者，則不能成立。”

設抵抗力線在中三份內，則依此理能成立之最薄半圓形弧橋，其橋距為其厚之 17 及二分之一倍。但各處已成立弧橋，其厚多較其距之 17 分之一為小，亦能載負大重，即無危弱之表示，——詳後表——。

因各種略值，及腹線與背線平行之限制。故各破碎角之表，實際上無甚用處。求破碎角的唯一方法，只由公式 (6) 及破碎縫求法之例等等的說明，設法求得之。

依 m. Petit 計算所得之表，設橋厚為距之 14 分之 1，則破碎角為  $46^{\circ}12'$ ；設橋厚為距之 12 分之 1，則破碎角  $53^{\circ}15'$ ；10 分之 1，則為  $59^{\circ}41'$ 。

由上述各節，可知弧橋之中心角，如在  $90^{\circ}$  至  $120^{\circ}$  以上者，則不能成立。

#### (21) 弧橋定理 Theories of the arch

先後規定的弧橋原理，與根本的原理，均不甚相同，所不幸

者，以各種的假定，均不能明白表示。尋常的定理，均能使讀者信仰，以成各種專法，無不有一定者；且所得之結果，亦甚容易且精確。石弧橋的各種定理，實際上不過求其能相近似而已。蓋因外力的分布不詳，抵力線真正之位置不實在，膠灰與材料的影響略而不算，以及力量知識的幼稚。

此外，弧橋合力又不一定，因組成了弧橋弧石有震動的影響，石匠工作有完美與否，橋架構有牢固與否，橋墩時有展開之患，以及橋基時有沉動的危險。

在石弧橋上，此種現象，均不能一一避免，故永遠不能以數學的方法求得其最精美的結果。故各種定理，實際上不過求其近似之值而已。以上各因數如有變動時，則其影響略可以他因數之關係表示之。故計畫建築磚石弧橋，完美之理論，實不可缺少。茲將三種重要的定理，述之如下：

I. 在此須先行聲明者，即為以上各定理，不過為一種證明的方法。第一步先假定弧橋的大小，或使之與存在的弧橋相似，或與各由經驗而來的定理相符合。第二步試驗假定之弧橋，以定理求其抵力線。如抵力線不在中三份以內，則弧石之大小宜更改，計畫亦須變更。

II. Rational 定理。下面求抵力線的方法，係根據最小壓力



的假定原理。泥土水平之分力亦論及，其載重則有兩種：

- (a) 對稱載重 Symmetrical load；
- (b) 不對稱載重 Unsymmetrical load。

對稱載重：茲舉一例，以應用此對稱載重定理。第七十二圖所示為對稱載重。其解法有兩種：

- (1) 普通解法 a general solution；
- (2) 特別解法 a special solution。

如破碎縫能預先測定者，則用特別解法較可便利。茲將普通解法及特別解法，分別述之。

#### (22) 普通解法 A General solution

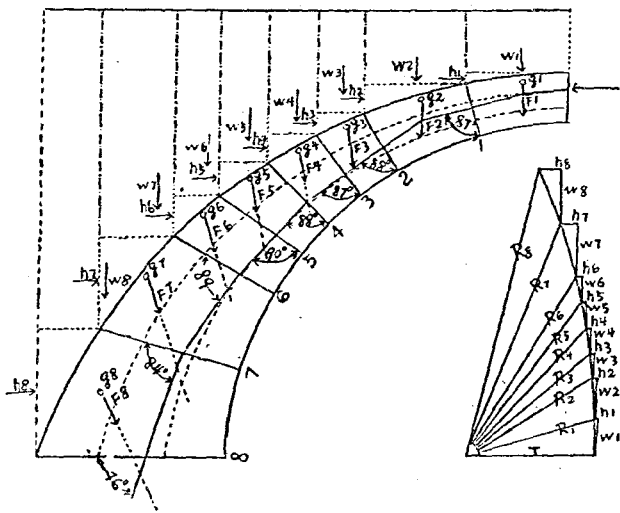
普通解法之第一步，即須求得抵力線。其極大冠推力，可由第一表求得之，力圖之作法，先量 $T$ 之值，以表示極大冠推力。如從第一表末項五行所求得者。自 $T$ 之右端向上垂直畫 $w_1$ ，自其端再向右畫 $h_1$ ，然後連 $h_1$ ，左端自 $w_1$ 下端之線，即表示 $F_1$ ，之值與方向，施於弧環之第一份； $R_1$ ，線即畫，且 $F_1$ 之上端，表示第一弧之結果力施於第二弧石。

同理，自 $h_1$ ，之左端垂直向上畫 $w_2$ ，且向左水平方向畫 $h_2$ ，則連 $w_2$ 下端與 $h_2$ 左端之 $F_2$ 力，乃表示各外力之總結果力，施於第二弧石， $F_2$ 連上端之 $R_2$ ，即表示第二弧石之結果力，施於

第二弧石。力圖則依此作成，畫各線以表示其他之  $w_1$   $h_1F$  等力，及其相當之反動力。

於弧橋圖上，施於弧石之水平力與垂直力相交諸點，以  $g_1$   $g_2$  表之。經過此點與  $F_1, F_2$  等平行者，即為表示施於弧石各力之結果方向。

抵力線之作法，先經冠石中三份之上端，畫一水平線與經過  $g_1$  斜線相交。再從此交點作一與  $R_1$  平行之線與經過  $g_2$  之斜線相交。依此進行，以至起線。



第七十三圖

平行  $R_1$  之線，與第一縫相交點，即為其縫上之壓力中心。  
 $R_2$  第二相交之點，即為第二縫上壓力之中心。用同樣的方法，  
 以求其餘各點。

與壓力中心相連之線，即為抵力線。但此抵力線，第七十三圖，並無表示。

所當注意者，欲求與  $R_1$  平行之線與縫 7 相交之點，此線必須自與經  $g_7$  的斜線相交之點，向後引長。此例務須特別注意，以免錯誤。此外所當注意者，則為抵力線須經破碎縫中三份之內端，此種關係，可呈有價值之校對，以增加抵力線之精確程度。

(a) 旋轉的鞏固 Stability against Overturning.

因抵力線均在中三份以內，且交於冠縫於中三份上端，起縫於中三份下端，其旋轉鞏固之安全數，……

其真正之安全數則不然，如第七十三圖 AR 為一縫上結果力，以 A 作能率，則自旋轉安全數之定義，得真正安全數。

$$f = \frac{Wag'}{Hy} \quad \text{但} \quad \frac{W}{H} = \frac{y}{rg'}$$

$$\therefore \frac{W}{Hy} = \frac{1}{1g'}$$

$$\therefore f = \frac{Ag'}{rg'}$$

應用此公式，必須先求縫上之  $g$  點，即為總垂直力與縫之交

點。其求法如下：

自其相當縫上之 F 與 R 交點作一垂線，與此縫垂，此線鑽過此縫之點，即為 g'。當注意者，則為 A 縫之一端，係在 r（總結果與縫之交點）的對面。由自求得之真正旋轉數，及其近似數如下：

#### 安全數 Factor of Safety

縫數 no. of Joint	真數 True value	近似數 approximate value
1	$60 \div 0.50 = 12$	$8.00 \div 2.62 = 3$
2	$9.87 \div 0.60 = 16$	$9.75 \div 0.75 = 13$
3	$12.87 \div 0.12 = 107$	$11.00 \div 2.00 = 5.5$
4	$15.87 \div 0 = X$	$12.5 \div 3.37 = 3.7$
5	$18.62 \div 0 = X$	$14.37 \div 4.12 = 3.5$

根據上列的結果，可知有數縫其真數與假數相差甚大。

破碎鞏固，因抵力線均在中三份以內，故無縫在引力之下，其單位壓力可由公式 (2) 求之。何縫合力為最大，常不能由考察而定，故當在多縫上求之。在此例其極大壓力可在冠縫，第五縫，及起縫等之縫上求之。

$$\text{在冠縫上 } d = \frac{1}{6}L, \quad \text{故 } P = 2W \div L;$$

$$\text{或因 } W = 9,369 \text{ 磅} \quad L = 1.25 \text{ 呎};$$

$$P = 14,990\% = 103\%,$$

在第五縫上

$$W = R_5\text{之垂直分力} = 13,990\text{磅};$$

$$L = 2.42\text{呎};$$

$$d = 0.40\text{呎};$$

$$\therefore P = \frac{13,900}{2.42} + \frac{6 \times 13,900 \times 0.40}{(2.42)^2} = 5,740 + 5,720 = 11,460$$

$$\text{則 } P = 11,460\% = 80\%,$$

同理，在起線上

$$W = 21,090\#$$

$$L = 4.5\text{呎}$$

$$d = 0.60$$

$$\therefore P = 5,680\% = 39\%,$$

除某種情形與一定質料之磚石外，破碎安全數，常不能討論，但於此例，則知名義之安全數已過度，而真正之安全數則更甚。

設極大壓力過於磚石之安全壓力，其弧石深厚度當增加，全法亦當改變。

所當注意者，每縫之總壓力，自冠向起線漸次增加，故弧石

之深度，亦當向相同的方向增加。

(b) 滑溜鞏固

欲求滑溜鞏固之安全度，須知縫上結果力與縫面所成之角較他縫為最小。故此縫之鞏固安全度，亦較他縫為小。名義之鞏固安全數，等於阻力之係數，以  $\tan(90^\circ - 76^\circ) = \tan 14^\circ$  除之。茲將阻力之係數，列表如下。

第二表 磚石阻力之係數

磚石之說明	阻力之係數
軟石灰與軟石灰石二者細平剝削	0.75
磚工與磚工結以稍濕膠灰	0.75
硬磚工與硬磚工結以稍濕膠灰	0.70
粗粒剝削花剛石與同類花剛石	0.70
粗粒剝削花剛石與細平剝削花剛石	0.65
平常磚石與平常磚石 /	0.65
平常磚石與硬石灰石	0.65
硬石灰石與硬石與石結的潮濕膠灰	0.65
混凝土塊與同類混凝土塊	0.65
剝削精平花剛石與壓實混凝土	0.65

光滑石灰石與同類石灰石	0.60
剝削細平花剛石與同類花剛石結以新膠灰	0.50
平常磚石與平常磚石結以濕膠灰	0.50
光滑大理石與平常磚	0.45
剝削粗粒石剛石與小石	0.60
剝削粗粒花剛石與乾燥粘土	0.50
剝削粗粒花剛石與細沙	0.40
剝削粗粒花剛石與濕細沙	0.33
剝削粗粒石灰石與豕鐵 Pig iron	0.50
剝削粒細平石灰石與豕鐵	0.25
石灰石與橡樹橫向	0.65
石灰石與橡樹直向	0.40

從上列之表中，可知當膠灰潮濕時，其阻力係數至小為0.50，故其名義安全數至小當為2，或大於2。而真正之安全數則更大。七縫之名義安全數，至小當為4.6，三縫之至小安全數當為6。

弧橋如對於旋轉與碎破既已鞏固，則對於滑溜沒有不鞏固的。如不鞏固，則縫之方向，可使改變以求其鞏固。

真正之接縫，當與抵力線垂直以使工作簡單及鞏固。圓形弧

橋，其接縫當成射放形。如第七十三圖所示，其接縫係與腹線成射放形。如與背線或與中間諸線成射放形，則其滑溜安全稍大。此種現象，在起縫處更甚。

### (23) 特別解法 Special Solution

特別解法之特色，則為求抵力線可以無須先作冠推力，且能作抵力線以經二已決點。此種方法之最大用處，則為求扇形弧橋之抵力線。此種扇形弧橋，其中心角較他橋為小，故其破碎縫一定在其起線之上。

如第七十三圖所示，為一圓形的弧橋。橋距為 50 呎，直距為 10 呎，弧石之深厚為 2.5 呎，冠上泥土之厚度為 10 呎冠至起線之角距為  $34^{\circ}45'$ ，因破碎角常大於  $45^{\circ}$ ，故破碎縫可假定在起線之上。此類即欲求得抵力線以經 U（冠縫中三份之上端）及 B（起線中三份下端）兩點。

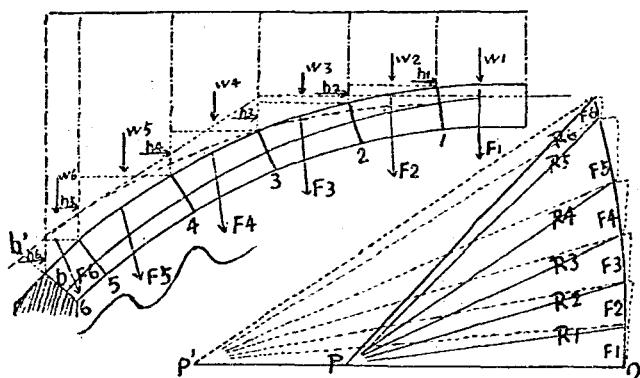
第一步；即為求各外力，如前所述之小壓力，磚石壓力，以及土壓力等等，

第二步，即可求載重線，如第七十三圖之力圖所示。先畫成  $w_1$  與  $h_1$ ， $w_2$  與  $h_2$  等等，再畫  $F_1, F_2$  等等。

冠推力既未得，故其極之位置不得而知，必假定一試湊之極，因載重為對稱，故冠推力可假定為水平方向。這一任意之點



$P'$  與  $U$  點水平相對。作自  $P'$  至  $F_1 F_2$  等端之線，以作一試湊之平衡圖。即作一線以經  $U$  點並與  $P'O$  平行，引長之與  $F_1$  相交。再從此點作線  $R$  與  $R_1$  平行，引長之與  $F_2$  相交。同法進行以至  $b'$  點，即在起線之引長線上。



第七十四圖

引平衡力圖經  $b'$  點之邊，以與冠推力  $T$  相交於  $g'$  由圖形力學 Graphical statics 的原理， $g$  點即為總外力  $F_1 F_2 F_3 F_4 F_5 F_6$  等之結果力點。此半弧身係恃冠推力  $T$ 。各外力之結果力及縫 6 之反動平衡力，又因前二者相交於  $g$  點，更因假設縫 6 之壓力中心為  $b$ ，即該縫中三份之下端。故  $g$  線即為表示縫 6 之反動力的方向。即  $R_6$  即經  $F_6$  之上端與  $bg$  平行，並與  $P'O$  相交之線， $P$  即為冠推力。與經  $Ub$  二點之知抵力線相當者，再於  $F_6$  之上端連  $F_1, T$

端之線，即為  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ ，諸力之結果力。

既知冠推力，則可畫  $R_1, R_2, R_3$ ，各線，以成真正之抵力線，如第七十四圖。真正抵力線與各縫相交之點，乃示其縫上壓力之中心線。弧橋鞏固之理，前已述過，茲不再重述。

( a ) 不對稱載重 *Umsymmetrical Load*

弧橋之計畫，對於前節動重靜重 *Live load and Dead load* 苟非完滿安全，則不能認其為完全之計畫。不對稱弧橋之抵力線，常不能直接求得。求對稱載重弧橋之抵力線，當先行假定下列各點：

- ( 1 ) 推力量 *The amount of thrust* ;
- ( 2 ) 其施力點 *Its point of application* ;
- ( 3 ) 其方向 *Its direction*。

如載重不對稱，則以上各項均為不知，亦無定理以求得。

不對稱載重之弧橋，其破碎縫之位置如何，無法決定。冠推力之方向非水平，其施力點又非在中三份上端。故以上諸法，均不能應用。

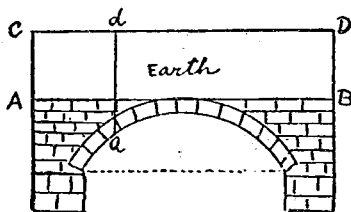
不對稱載重弧橋之抵力線，可用下法求之。但諸線之中，又不知何者為真正之抵力線。

如欲試一對稱載重之鞏固，其半橋載有平均散布之載重者。

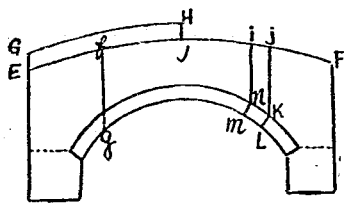
此問題可用決定外力的方法以解之。但因情形不同，及欲說明常用之決定垂直力法，及討論弧石之鞏固，乃有一不同之方法，以決定垂直力。

此法即先將弧石上之直重(包括弧環)化為相當有律之重弧環同密度者，此種設想載重之上端即為化重線 reduced-load Contour。

(b) 化重線之求法 To find the Reduced-Load Contour



第七十五圖



第七十六圖

為欲求第七十五圖弧橋靜載重之化重線。假定弧石之重每立方呎 160 磅，其實背亂石之重為每立方呎 140 磅，土之重為每立方呎 100 磅，a 處至化重線之從長為

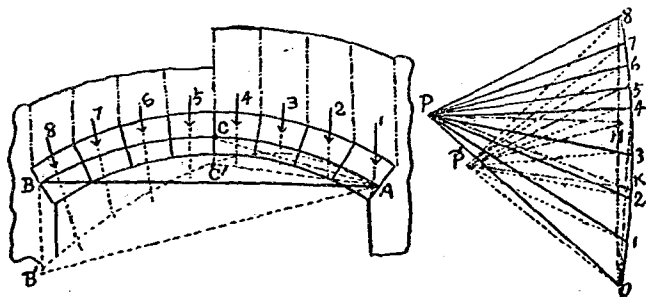
$$ab + bc \frac{140}{160} + cd \frac{100}{160},$$

即將 *gf* 線畫在第七十六圖上，其餘依同樣的方法以求之，則得 *EF* 線。(如第七十六圖) 此線即為第七十五圖之載重之化重線。化重線與腹線間之面積，與弧橋之死重成正比例。

同理，如火車等之活重，亦可化爲與磚石相當之重。於此例化重線即爲 GH，在 EJ 之上，並與 EJ 平行，且在火車所蓋之部份，其餘之部，則爲 JF 化重。

利用化重線，宜先以大比例呎於厚紙上繪成弧橋及化重線，復將弧環分成任意之弧石，自其上端畫垂直之線，以其面積器量每弧石及其載重之面積，如此，則弧石與其載重之重，便易於求得。用利刀將每載重圖割下，其每紙之重心如  $Ijklmn$  等，可用平衡法求之。再將重心轉畫於弧橋圖上。

(c) 抵力線之求法 To find the Line of Resistance



第七十七圖

如欲求第七十七圖之抵力線，其化重線如圖所示。假使其垂直力已由上法求得，再設水平力爲垂直力之三分之，如土壓力 Pressure of Earth 節所示相同。

平衡線圖，可任意經三點，可先假定此三點，以求試湊之平衡線圖。例如

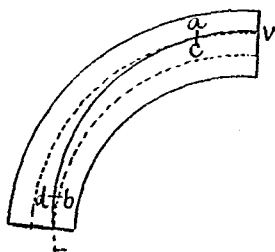
- (1) 橋墩A 縫中三份之下端 The lower limit of the middle third of the joint at the abutment ;
- (2) 冠縫之中點 C The middle, C of the Crown joint ;
- (3) B 縫中三份之上端 The upper limit of the middle third of the joint at B。

自 0 點如常法連續畫出外力以作力圖，選任意之極  $P'$ ，對於  $P'$  與各段力圖相連，作線自 0 至 8，則 0 8 為弧身之線結果力。然後從 A 點，（即三已知點之）作預備平衡圖  $AC'B'$  如普通解法所示，所連線  $AB'$ ，再於力圖上經  $P'$  畫  $HP'$  與  $AB'$  平行，則  $OH$  與  $H8$ ，為  $HB$  處之二反動力。

第二步，即為求得一極，使平衡圖過 C 與 B 以代替  $C'B'$ 。於力圖上，畫線自 0 至 4，此線即表示 C 以右之結果力。經 C 畫  $CC'$  與  $04$  平行，連 A 與 C 及 A 與  $C'$ ，故  $AC$  與  $AC'$  為 C 以右各力之平衡圖之二連線。過  $P'$  作分線與  $AC'$  平行，割  $04$  於 K 點，故  $OK$  與  $K4$  及表示 C 以右各力之反動力，施於 A 與  $C'$  者。H 乃為各外力各平衡圖之公共點，K 點為 C 以右各力各平衡圖之諸公共點。設平衡圖過 C 點，則  $AC$  為連線。故平衡圖之極必在經過 K 與  $AC$  平

行的線上。

同理，設平衡圖過B點，則A為連線，故其極必在經過H與A B平行的線上。設經過H與K二點作二線與AB及AC平行，其交點P，必經過A,B,C三點的平衡圖之極（第七十八圖）。



第七十八圖

如抵力線不在上述之限制以內，則弧環之厚當改變，以使抵力線在須要的限制以內。

(d) 規範 Criterion

如以上諸法所求抵力線不在中三份以內，則下面的方法，可以應用，以觀其能否在中三份以內。此法當僅論垂直力時，則頗精確，如論水平力，則為近似。但在各種方法，通常已足夠應用。

如第七十八圖之抵力線在 a,b 二點出中三份以外，然後畫抵力線經過 c 與 d 兩點，即 a,b 處之垂直線與中三份上下二界線相交之二點。欲求抵力線以經 c,d 兩點，須先求得冠推力之值，及其施力點。抵力線經過 c 點之情形如下：

推力與 d 間垂直距離（即丁與 c 及 c 與 d 間垂直距離之和）相乘之積，必等於縫上之力與 d 間之水平距離相乘之積。因據 C 處能率

亦爲零。有此兩種情形，可得二方程式以求二未知數。即推力及其與 $c$ 間之垂直距離。如此則抵抗力線可用以上各種方法畫成。

設新抵抗力線均在上述之限制內，則可作一抵抗力線。以在其中三份以內。設第二次抵抗力線不在中三份以內，則不一定能作抵抗力線，以在中三份之內。第三次之試湊能否在中三份以內，常不能決定，因此要以弧環之斷面爲根據。

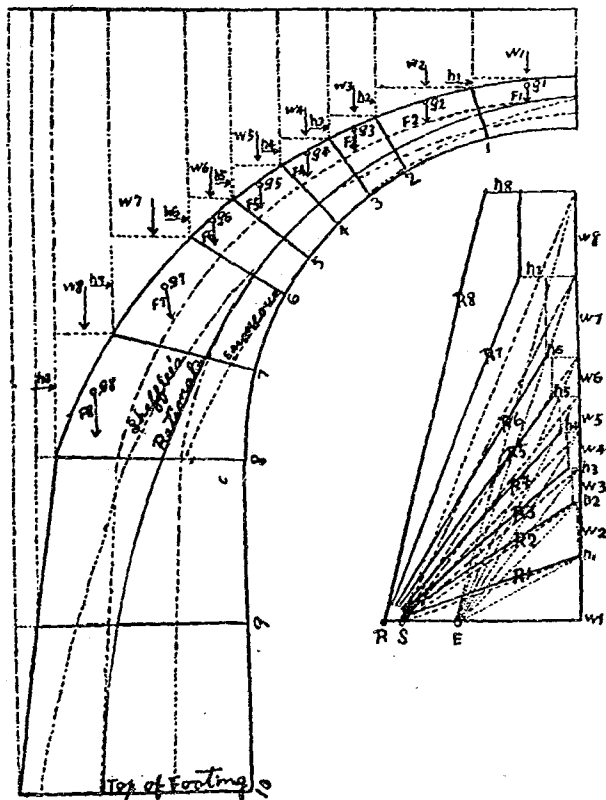
設經過 $U$ 與 $L$ 之抵抗力線在 $a$ 處背線出中三份，則第二次之抵抗力線當經過 $c$ 與 $L$ 。設在 $L$ 處出腹線中三份則當經過 $U$ 與 $d''$ 。

(24) 司奇佛勒氏定理 Schefflers Theory

此種定理，用之者頗多。係根據極小壓力之假定原理而來，且假定外力均可垂直。

在司奇佛勒的定理中，在破碎縫，由前面所述的 Rational Theory Symmetrical Load, General Solution Stability against Overturning Stability against Sliding Special Solution, Unsymmetrical Load, To find the Reduced-Load Contour To find the Line of Resistance, 以及 Criterion 各節所述的方法以求之。而極大冠推力則由第十八表自末項而數之第三項內求得。則司奇佛勒氏定理與定理相同。惟泥土之水平分力在司奇佛勒氏定理中則省去。故較平常所用之冠推力爲小，其破碎縫亦不同，如第七十九

圖之弧環，如用司奇佛勒氏的定理，則第四縫爲破碎縫。其推力爲8,706 磅，（見第一表）。



第七十九圖



抵力線之求法與 Rational theory 相同。不過重線則均用垂直，第七十九圖弧環之抵力線，由司奇佛勒與 Rational 的二法求得。如第七十九圖所示。在此特例二抵力線在破碎縫以上，無甚差異。但在此縫以下，則其相差對於起縫與橋墩之厚薄大有關係。

設用水平力與垂直力之極大比例，以求冠推力及抵力線，則抵力線與破碎縫之位置，相差一定很大。水平力之求法，雖不甚精詳，但各定如略專水平分力，則不準確。

#### Erroneous 應用

應用此法，並不完全略去破碎縫原理。這一句話，就是謂決定抵力線之冠推力，乃所以產生抵力線據起似乎不能固立。但多數之此種弧石橋均能成立，並能載極之火車而無危弱的表示。有各種解析法，能證明其為安全，且極為安全。此種解析法，實有可取之處，有許多的弧橋，多根據此法造成功的。

司奇佛勒氏定理的信託 Reliability of Scheffter's Theory 司奇佛勒氏即依據此理，以作抵力線，所成之弧橋，均極形穩固而無失敗之表示。失敗弧橋，因 Scheffters theory 以分析之，則為危弱；用 Rational Theory 以分析之，則多得鞏固之結果。因略似的定理，固可以造成笨重之弧橋，以得安全的結果。但事實上用 Scheffters Theory 則為危弱，用 Rational Theory 則

爲鞏固。後者似較爲精確。

(25) 來金氏Rakine 定理

Rakine 定理，論土泥有水平分力，在計算上，各物均包括在內。但未說明其計算之方法能用之實際工作上。Rakine 用 Navier 的定理，以求冠推力，用各方程式以求破碎縫的位置。實際上其各個變數之關係如何，亦並無數學之公式以表示之。

Rakine 並無實例演出。其決定弧橋之鞏固，乃假定破碎縫以上之圓心弧橋有三力相持，則冠推力弧橋之重及破碎縫之反動力，此實爲錯誤。

(a) 因外力之水平力略去 Because it neglects the horizontal Components of the external forces ;

(b) 因求一新冠推力之值，此值乃與求破碎縫所得之值不同 Because it finds a new value for the thrust at The Crown which, in general, will differ from that employed in finding the position of the joint of rupture.

Rakine 定理，不過求抵抗力線僅在二點在中三份以內，故於此等之點，及其他諸點，其旋轉滑溜破碎鞏固如何，實無法表示。此法雖成立很久，但實際上用之者不多。

(26) 橋墩的鞏固 Stability of Abutment

橋墩之鞏固如何，常不一定。內橋墩之鞏固如何，要視弧身抵力線之位置。如論橋墩為弧身之一部，則其鞏固易於求得，即延長重線以包括其上之力，並如普通的方法，以畫其反動力。

第七十九圖所示，表示橋墩之抵力線，係根據 Rational 及 Chaffler 二氏之定理。前節第七十九圖所用之公式，已將施於橋墩之水平力略去，蓋因橋墩可置一孔穴之內，而無何等侵壓周圍之泥土。因之施於橋墩的推力，可論為甚小。若將水平分力論及，則二定理所求抵力線之差則更大。此處所當注意者，若將水平分力論及，即用 Rational 定理，則所得橋墩較僅論有垂直力為輕小。

水平分力略去者，乃論弧橋分力均為橋墩支持。弧橋愈平坦者，則其推力愈大，而橋墩亦當較重大。通常的定理，橋墩當能支持弧橋之推力，阻其旋轉倒翻，及滑溜外離之失敗；並當有持土牆之能力，以支持橋頭泥土之推力，及其施墩向內推移之滑溜力，於大橋前者較為重要，但於小橋及橋頭甚高時，則後者較為重要。弧橋甚大及其橋頭支土甚輕時，則計畫橋墩，當使有持推力之能力。如弧橋甚小，且其橋頭支土甚高時，則墩之計畫，當使有持土牆之能力。

水平分力雖不能精確求得，但各種情形，決不能使水平分力略去。例如橋頭泥土甚高或填置甚實，則對於橋墩向外旋轉可期

安全。泥土壓力，如論為一種正力 active forces 則不甚相當。但常有一種反阻力 passive resistance。此種反力，實可增加橋墩之鞏固。

根據上述的結果，可知每一弧橋定理，均含有某種的假定。故最好的定理，亦不過求其近似。且實際每種定理，均不能將活重包括在內。故當活重比較死重大的時候，則此種理想的定理，實在不切於實用。石弧橋之鞏固率，亦不能以數學式以表之，不過為一種不能精決之數。石弧橋之合力，亦不能如鐵架橋之易於求得，但亦無甚妨礙。

實際上，計畫石弧橋，如以現存之鞏固弧橋為參考，則便利實多。應用定理，當以經驗為參考

為便利起見，特歷舉計畫弧橋之各種公式，實用的定理，以及各種實例，以供參考及應用。

### (27) 弧環之經驗公式 Empirical Formulas For The Proportions of Arches

各種由存在弧橋得來之經驗公式，在計畫石弧橋時多用之。此種公式，先用之以求弧環之大小，然後以真正之定理試驗之，則頗多切於實用。或由定理而來之結果可用此種公式以校之，以為參考。

此種公式之證明，則為其所附之表式常與存在之建築物符合。  
○證明時當注意者為

如以建築物乃係用待證明之公式計畫者，則無可證明之處；  
不過知其公式於實用上能安合而已。

各種由存在建築物而來的公式，最多不過能表明安全。但其安全之程度如何，則無法求得。此種公式，常用以表明弧橋各部之關係。但弧橋之鞏固，不能由弧環一樣以決定之。其他各項，亦有關係。例如載重之情形，（設為土，則以土之鬆實為標準；如為石，則以其齒牙交接或膠灰交接為標準。）材料之性質，以及工作之良否，與橋架之建築，橋墩之位置，基礎工程等，均有密切之關係。

弧橋失敗之原因，為一種最繁雜之功課，當詳細研究之，方能得其失敗原因之所在。因為弧橋失敗，不過為一種關於安全之極少鞏固之表示。

有幾種石弧橋甚為鞏固，故各種經驗之公式，多與存在之建築物相符合。但其互相之差異數可至300或400之多。

茲特將弧橋各部份重要之公式，列舉之如下，以供參考。

冠處弧環之厚 Thickness of the Arch at the Crown

計畫弧橋之弧環，第一步工作，即為求冠石之厚度。

設  $d$  = 冠石之厚度，以呎計；

$p$  = 腹線之半徑以呎計；

$r$  = 直距，以呎計；

$S$  = 橋距，以呎計；

美國的實例，弧橋為圓形或橢圓形，且屬於第一等車路橋則用 Trautvigne 公式，述之如下：

$$d = \frac{1}{4} \sqrt{P + \frac{1}{2} S} + 0,2 \dots \dots \dots (10)$$

如屬於第二等車路橋，則加八分之一，如為磚，則加三分之一。

英國的實例 Rankine's 公式，弧橋石冠之厚度如下：

$$d = \sqrt{0,12 P}; \dots \dots \dots (11)$$

如為連續弧橋，則

$$d = \sqrt{0,17 P} \dots \dots \dots (12)$$

如為隧道弧身，且地基鞏固者，則

$$d = \sqrt{0,12 \frac{r^2}{S}} \dots \dots \dots (13)$$

如地基軟滑，則當二倍之。如為扇形弧橋，則石冠之厚，當為其橋之  $\frac{1}{26}$  倍至  $\frac{1}{30}$  倍。

法國的實例，Perronet 之公式如下：

$$d + 1 + 0,035S \dots \dots \dots (14)$$

上列之各種公式，適用於半心圓扇形 Semicircular 橢圓形 Segmental elliptical 或籃環形 Basket —handled 等弧橋，及鐵道橋 Rail road Bridge 及弧橋之載重大者，Perrounet 對於定律並不十分注意。但值其橋較其律所應用者為較少。其他與上相同之公式，定數不相同者亦多。Perrounet 之計畫弧橋之弧環，依材料之力量，重量，以及縫和膠灰如何而定。故不同弧材料，有不同之公式，但由 Perrounet 之公式，可知弧橋冠厚值與直距有關，與橋距則無甚關係。

帝加廷氏公式 Dejaridus Formulas 在法國頗通用，述之如下：

$$\text{如 } \frac{r}{s} = \frac{1}{2}, \text{ 則 } d = 1 + 0.100P; \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{如 } \frac{r}{s} = \frac{1}{6}, \text{ 則 } d = 1 + 0.050P; \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{如 } \frac{r}{s} = \frac{1}{8}, \text{ 則 } d = 1 + 0.035P; \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{如 } \frac{r}{s} = \frac{1}{10}, \text{ 則 } d = 1 + 0.020P; \dots\dots\dots (18)$$

如為橢圓或籃形弧橋，則

$$\text{如 } \frac{r}{s} = \frac{1}{3}, \text{ 則 } d = 1 + 0.070P; \dots\dots\dots (19)$$

依帝加廷氏公式，如冠石之厚減小，則直距增加。反之，亦可以應用。

法人 Croizette—Desnoyers 公式如下：

$$\text{如 } \frac{r}{s} = \frac{1}{6}, \quad \text{則 } d = 0.50 + 0.28 \sqrt{2P} \dots\dots\dots(20)$$

$$\text{如 } \frac{r}{s} = \frac{1}{6}, \quad \text{則 } d = 0.50 + 0.26 \sqrt{2P} \dots\dots\dots(21)$$

$$\text{如 } \frac{r}{s} = \frac{1}{12}, \quad \text{則 } d = 0.50 + 0.20 \sqrt{2P} \dots\dots\dots(22)$$

但應注意者，以上之公式，與材料及載重均無關係。故計畫時，可以不必顧及材料及載重。

(28) 起線處的厚度 Thickness of The Arch at  
the springing

設載重為垂直，則弧環上之水平壓力為一定。故每縫之壓力均為一律。每縫之垂直投影為一定。其定理如下。

破碎縫與冠縫間每縫自心放射方向之長，當使其垂直投影等於冠石之厚。則

$$L = d \sec a \dots\dots\dots(23)$$

$L$  = 縫長 The length of The Joint ;

$d$  =  $T$  冠石之厚度 The depth at the crown ;

$a$  = 縫與垂直間之角 The angle the joint makes with the Vertical .

Trantwine 對於冠石及起石之厚，亦有公式。起線處之厚，



Stephensons, 常增加百分之二十, 至百分之三十。

(29) 橋墩的厚度 thickness of the abutment

計畫石弧橋橋墩之厚度, Trantaines 公式如下

$$t = 0.2p + 0.1r + 2.0 \dots \dots \dots (24)$$

t = 起線處之厚 Thickness of the abutment at the shringing;

p = 半徑 The radius ;

r = 直距 The rise .

以上各種均以呎計算。

上列之公式, 凡涵洞, 大橋之圓形, 橢圓形等等, 不論其橋距與直徑之比例如何, 橋墩之高度如何, 均可應用。

無論其實背制法如何, 或用實石以至路冠之水平頂, 或全用土泥均可。用此法所求得之墩厚, 當其無泥土填置時, 亦甚鞏固。即橋無活載重時, 亦可以支持其泥土之壓力, 橋墩亦單獨能安全。如為小橋, 則墩前尚有土泥填至路身之高, 此公式方可應用。如為第一類之鐵道小橋, 或大涵洞重大之震動者, 則上式所求之墩厚當加四分之一, 或二分之一, 以得鞏固之建築物。如橋墩為粗石所製, 則上式之墩厚, 當加六吋。

欲求墩底之厚度, 則作

on = 等於直距之半; 自 a 於水平方向作

第三表 世界各國著名的大碑石弧橋表

記 號	弧橋所在地點及用途	工 程 師	成功 日期	腹 線	冠 半 徑	跨 橋 度	直 徑	深 厚	
								呎	呎
1	Syra, Plauen, Saxony. Highway. (Hard Slate).	Leibold	3903	3C	344.5	295.3	59.3	4.9	11.2
2	Luxemburg, Germany. street. +	Sejourné	1903	C	173.8	277.7	107.7	4.7	7.2
3	Trezzo, Italy, Highway. (Granite)		1377	C	133.6	251	87.8	4.0	4.0
4	Morbegno, Italy, Railway. (Granite) +		1903	3C	246	229.8	32.8	4.9	7.2
5	Cabin John, Washington, D. C. Granite	meigs	1859	C	134.3	220	57.3	4.2	6.2
6	Pruth, Jaremeze, Austria. Railway (Sandstone).	muss	1893		126	213.2	59.0	6.9	10.2
7	Gatich, Neustadt-Donateschingen Railway, Germany (Sandstone) 卄		1901			210	52.5	6.6	9.2
8	Isar River, Bogenhausen. Bavaria. Highway. (Limestone)	Fischer	1902			209.9	21.4	3.4	4.2
9	Lavoir, France, Railway	Sejourne	1888			202	90	5.4	12.5
10	Grososnor, Chester, England. Highway, (Sandstone) 2 lead hinges	Hartley	1883	C	140	200	42	4.5	7.0
11	Gour noir, Uzarche, France, Railway. (Granite)	Diagrement	1888	C	118	196.8	52.8	5.6	13.8
12	Schwaedenholz, Coppe, Germany. Railway. (sandstone)		1901			187	55.8	5.9	8.5
13	Ballochmoyle, Scotland, Railway	millar	1884	C	90	180	20	4.5	6.0
14	Main Street, Wheeling, West Va. Railway. (soft stone)	Hog and White	1892	C	125.4	159	28.4	4.5	6.0
15	Jamma Bridge, Galicia, Austria Railway. +	Huss	1893			157	39.2	5.6	8.5
16	Gtointette, France	Sejourne				155.5	36	5.0	7.5
17	London Bridge over Thames, London, England. Street. (Granite)	Rennie	1830	E	162.0	152	37.7	4.8	10.0
18	Claix, Grearobe, France, Highway		1661	C	82.0	150.2	54.4	3.2	
19	East arch, Elyria, Ohio, Street. (Soft Sandstone)	Kinney	1886	C	208.7	150	27	3.8	4.5
20	Bellefield, Pittsburg, Pa. Street. (Sandstone) +	Rust	1897	C	95.0	150	36.6	4.0	6.0
21	Pont-du-Céret, Perpignan, France. Highway		1336	2C	73.8	147.6	73.8	4.6	13.1
22	Putney, England Highway. (Granite)	Bazalgette	1882		144.0	144	19.3	4.5	5.5
23	Pont-y-Prydd, newbridge, Wales. Highway, Sandstone.	Edwards	1755	C	88.0	140	35	1.5	1.5
24	Bellows, Falls, Vermont, Railway	Cheever	1899	C	132.6	140	20	4.0	4.0
25	Castalet arch, France					135	36	4.0	8.2
26	Waldi-Tobel, Bludenz, Austria. Railway	Huss	1884			134.5	42.6	5.6	10.2
27	First Worochta Bridge, Galicia, Austria. Railway. +	Huss	1893			131.2	32.8	4.6	7.2
28	North Ave, Baltimore, Md. Skew. Street and Electric R.R. (Brick)	Smith	1895	E		130	26	5.0	8.4
29	Echo Bridge, Newton Upper Falls, Mass. Aqueduct. (Granite)	Fitzgerald	1876		67.5	129	42.3	5.0	6.0
30	Maidenhead, England. Railway (brick in Cement)	Branel	1838	E	169.0	128	24.3	5.3	7.5
31	Barbontai, France, Railway. (Granite)	Vandray		C	255.7	124	6.9	2.7	3.6
32	Waterloo Bridge, London, England and Street. (Granite)	Rennie	1817	E		120	34.6	4.5	10.0
33	Fairmount Park, Philadelphia, Pa. Sewer Sandstone	Webster	1892			116	21.2	3.5	4.5
34	Second Worochta Bridge, Galicia Railway +	Huss	1893	2C		113.5	56.8	4.2	6.7
35	West arch, Elyria, Ohio, street (Soft sandstone)	Jackson and Bruce	1894			112	19.5	3.5	4.3
36	Nagold, Württemberg, Germany. Highway		1882			108.8	10.8	3.3	5.3
37	Morg, Biersbronn, Germany. Highway. 3 lead hinges	Leibbrand	1889			108.2	10.8	2.0	2.6
38	Wissahickon, Philadelphia, Pa. Highway Gneiss	Thayer	1897	C	118.1	105	11.0	3.0	4.5
39	Murr, marbach, Germany, Highway	Leibbrand	1887	C	140.2	105	10.2	3.9	4.9
40	Vo dau, Prague, Bohemia, Highway. (Granite)	Reiter	1878			105	16.2	4.0	5.3
41	Creuse, Pont-de Piles, France, Railway. (Sandstone)	Bayeux	1847	E	70.8	103.8	40.5	4.3	4.3
42	Rutherglen, Glasgow, Scotland. Highway	Crouchq Hong	1895	C	97.6	100	12.6	4.0	4.0
43	Wellington Leeds, England, Highway. (Sand stone)	Rennie	1819	C	90.8	100	15.0	4.0	7.0
44	Bishopcankland, England, Highway		1388	C		100	22.0	5.5	5.5
45	Etherow, England	Hackall		C		100	25.0	4.0	4.0
46	Marzherita, Rome, Italy, Highway	Vescovali	1891	5C		90	16.5	5.0	5.0
47	Saone, Charrey, France, Highway	mocuary	1888	C	104.5	98.4	12.3	3.8	4.9
48	Trinity, Florence, Italy. Highway. (marble)	Anmanati	1569	E		95.8	16.0	3.2	3.2
49	Enz, Hofen, Germany, Highway. Sandstone. Three lead hinges	Leibbrand	1885	C	119.4	91.9	9.2	3.3	4.9
50	Jena, Paris, France. Street. (Sandstone)	Lawande	1812	C	102.0	91.8	10.8	4.7	8.0
51	Cathedral of St. John the Dieine, New York city					86	55.0	18.5	14.0
52	Elkader, Iowa. Highway. (Limestone)	Jschirge	1888	C	45.5	84	27.9	3.0	4.0
53	Stols, albula Railroad, Eastern Switzerland			C	41.0	82	41	3.3	4.9
54	Crueize, marvejois, France. Railway			3C	41.0	82	41	4.2	8.2
55	Forbach, Biersbronn, Germany Highway. Three lead hinges	Leibbrand	1890			82	9.8	2.0	2.6
56	Schmykill Falls, Philadelphia, Pa. Railway	nichols	1890	C	43.8	80	26	3.0	3.0
57	Painsville, Ohio, Railway			2C	40	80	40	3.0	3.0
58	Conemangh, Viaduct Sta. Pa. Railway. (Sandstone)		1833	2C	40	80	40	3.0	3.5
59	Conewago, Pa. Railway	Brown	1892	2C	40	80	40	3.5	3.5
60	High Bridge, New York City N. Y. Aqueduct	Jervis	1842	2C	40	80	40	2.5	2.5
61	Hyde Park, Readville, Mass. Railway Three lead hinges. Skew			C		78	14.3	2.5	3.0

註： C = Circular ;

E = Elliptical ;

2C = 2Centered ;

3C = 3Centered ;

π = Three Concentric arches, each 1.83 feet ;

+ = Transverse spandrel arches ;

卄 = Spandrel arches

第四表 法國著名鐵道橋的橋墩表

記號	橋名	橋距	直距	冠石之厚	墩高	墩之平均厚
	Circular Arches	呎	呎	呎	呎	呎
1	De crochet, chemin ds fer de Paris a charters .....	13.2	.....	1.65	13.20	4.95
2	De Long-Sant, Chemin de fer de paris a charters .....	16.5	.....	1.81	9.90	5.90
3	D' Enghien, Chemin de fer de Nord.....	24.4	.....	1.95	6.60	6.93
4	De pautin, canal St, Martin.....	27.0	.....	2.47	11.85	10.55
5	De la Bastile, Canal St. Martin.....	36.3	.....	3.95	20.75	9.90
6	De Basses-Granges, Orleans a Tours Segmental Arches.	49.4	.....	3.95	6.60	12.50
7	Des Fruitier, Chem'n de fer due Nord.....	13.2	2.31	1.81	13.20	5.94
8	De Pai ia.....	16.5	2.64	1.72	6.60	5.61
9	De me y, Chemin de fer du Nord.....	25.2	2.97	2.14	14.20	11.71
10	De Couturets, at Arbois.....	42.9	6.13	2.97	6.60	17.16
11	Over the Salat	46.1	6.27	3.63	24.49	19.14
12	De la rue des abattoirs,at Paris, Chemin de fer de Strasboury.....	52.9	5.11	2.97	12.96	33.00
13	Over the Oise, chemin de fer du Nord ...	82.7	11.75	4.60	17.90	31.65
14	St maxence, over the oise .....	77.2	6.40	4.80	27.85	38.94
15	Over the Oise, chemin de fer du nord.....	82.7	11.75	4.60	17.90	31.65
16	De Dorlaston.....	87.0	13.50	3.50	16.55	32.20
	Elliptical or False-Elliptical Arches					
17	De Charolles	19.8	7.55	1.95	1.30	5.25
18	Der Cauai St Denis	39.5	14.85	2.95	10.20	12.35
19	De Chateau-Thierry	51.3	17.10	3.75	13.65	15.00
20	De Dole, over the Doubs	52.4	17.50	3.75	1.35	11.85
21	Wellesley, at Lim rich	70.0	17.50	2.00	12.00	16.50
22	D'orans, chemin de fer de Vierzon	79.5	26.30	3.95	2.85	18.40
23	De Trilport	80.7	27.80	4.45	6.40	19.30
24	De nantes, over the Seine	115.2	34.40	6.40	3.20	28.90
25	De neuilly, over the Seine	123.0	32.00	5.35	7.55	35.50

$$ab = \text{Shan 的 } \frac{1}{48} \circ$$

則所引長之bn線，爲橋墩之背，底闊爲sp，當不能小於三分之二os，實際上如直距不甚大，os常過以上之限制。如墩甚高，則上式所求之墩厚，不克載支持泥土之重。

欲求弧環各部之厚，則先由公式(10)，以求ce，過e畫曲線與腹線平行，自b作背線之切線，則bfe線爲弧環之頂，或先作一圓以過b，e，及b'各點。b'爲左邊的一點，與右邊的b相當，以代替上法。

與上相似之 Trantwine's 法，在計畫時亦常用之。

Rankine 常謂最好橋墩厚之例，當使其厚等於冠處半徑的三分之一或五分之一。

下列之公式爲德俄兩國所常用者，

$$t = 1 + 0.04(5s + 4h) \dots \dots \dots (25)$$

上式中的H=起線與基頂的距離 The distance between the Sprinzing line and the top of the foundation。

下列各表中所示，爲世界各國著名弧橋各部的大小，以及近代的建築物。足供計畫時之參考。至於橋墩之大小，據第四表所載，係示法國鐵路橋墩的代表。

## 第十一章 鋼筋混凝土樑的計畫

### (1) 定義及原理

(a) 定義 樑用混凝土造者，即用木架或木板鑲成樑形，於其外內週壁澆入混凝土，俟其乾硬，將木架拆去即成。又置鋼條 (Steel rod) 於混凝土 (Concrete) 內。此種結合體，是謂鋼骨混凝土 (Reinforced Concrete)。插入鋼條的目的，因混凝土富於擠壓力而缺少牽引力。鋼則牽引力甚強。故使此兩種物質合成一物。比僅用混凝土，得增進其建築物之強度及安全。比僅用營造鋼，得減少其建築物之費用。自 1895 年以來，此種結合構造，極為發達。鋼條之用途，亦因之推廣。從前只用柱及梁者。今則牆，壁，陰溝 (Sewage) 等等，均用為建築的材料。

(b) 混凝土及鋼之關係 (Relation between Concrete and Steel) 混凝土，通常採用者，係以水泥 (Cement) 及砂 (Sand) 與碎石 (Broking Stone) 三者製成，故又名三合土。此三者之成分，均有一定比例。最適宜的比例，為 1 : 2 : 4。即水泥一分，砂二分，碎石四分。其次等配合之比例為 1 : 3 : 6。一經結合後，質甚堅強。俗稱為人造石。其平均重量每立方呎約有 150<sup>#</sup>。與砂石的重量相似。

混凝土的強度，依其經歷之時期而漸增。波士頓 E. R. 公司

在 1899 年時，試驗之結果如下：

比例	七天	一月	三月	六月
1 : 2 · 4	1560%,,	2399%,,	2896%,,	3826%,,
1 : 3 : 6	1311%,,	2164%,,	2522%,,	3088%,,

上表所得結果僅為半年中壓力漸增加。至一年終的強度即達最高。且其最大擠壓力之強度，比最大牽引力之強度更高。取已經一年的混凝土試驗而得下列的結果，其單位以平方吋磅表之。

比 例	壓力強度	張力長度
1 : 2 ; 4 三合土	3 5 0 0	3 0 0
1 : 3 6 三合土	2 5 0 0	2 0 0

此類數值，係專指水泥所製之混凝土而言。（此外尚有石灰 (lime) 三合土者，不在此例。）其剪力之最大強度，每平方吋約在 800# 至 1000# 。

由上列最大強度之數值觀察，則知混凝土不宜於抵抗牽引力。(tension) 故其受牽引應力 (tensile stress) 之處故非插入鋼條，以增助其強度不可。

混凝土於施受一定單位應力時，其形態的變異，較鋼為甚。

如上兩種混凝土，其彈性係數 (Elastic modulus) 之均值，以平方吋磅表之。

$$1 : 2 : 4 \text{ 混凝土} \quad E = 3,000,000$$

$$1 : 3 : 6 \text{ 混凝土} \quad E = 2,000,000$$

鋼之E值比較混凝土為大，每平方吋約為 30000000 磅。可知混凝土與鋼，如各平方吋施受同樣應力。混凝土所受的彈性變形，當大於鋼的十倍或至十五倍。

混凝土彈性限度，雖無真確的制限，大約對於壓力取其最大強度六分之一，對於引力取其最大強度五分之一，其受壓力所認定之實用單位應力。通常約取其最大強度七分之一。即 1 : 2 : 4 混凝土，約為每平方吋 500<sup>#</sup> 1 : 3 : 6 三和土，約為 350<sup>#</sup>。

應力與彈性係數成正比例，若已知混凝土及鋼之彈性係數的比例數。即可求得其應力。

設  $F_S$  = 鋼的單位應力。

$F_C$  = 混凝土的單位應力。

$E_S$  = 鋼之彈性係數。

$E_C$  = 混凝土之彈性係數。

$$\text{因 } E_S = \frac{F_S}{S} \quad \text{又} \quad E_C = \frac{F_C}{S}$$

$$\text{故 } \frac{E_s}{E_c} = \frac{\frac{F_s}{S}}{\frac{F_c}{S}} = \frac{F_s}{F_c} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{但 } \frac{E_s}{E_c} = N \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{故 } F_s = N F_c \dots\dots\dots(3)$$

通常所用之混凝土為 1 : 2 : 4 時 N 為 150 有時用 N 為 12 者，因 N 之值不同。

(c) 結合桿(Compound Bar)桿之受純牽引力者，可用鋼條桿(Steel Bar)桿之受純壓力者，可用混凝土桿(Concrete Strnts)然此皆為單純材料所構成。其合兩種材料或多種材料結合而成者，則為結合桿。如上兩種支桿，結合為一，既可以任引力，又可以任壓力，故鋼骨混凝土之支桿 (Reinforced Concrete Bar) 卽一結合桿。又如鋼繩，外纏鋼絲，內藏藤心，亦為兩種材料結合所成之結合桿。

設如兩種材料結合之桿，其所受直引力為 P，則同時結合桿內兩種材料必生同樣之抵抗應力。假如  $A_1$  為其一種材料之斷面， $A_2$  為其他種材料之斷面。 $S_1$  為  $A_1$  面上之單位應力， $S_2$  為  $A_2$  面上之單位應力。則  $A_1 S_1$  與  $A_2 S_2$  之和，必為二斷面上之全應力。因抵抗應力必等於所施之引力。故得其方程式為



$$P = A_1 S_1 + A_2 S_2 \dots \dots \dots (1)$$

式中  $P$ ,  $A_1$  及  $A_2$  皆為已知數。  $S_1$  與  $S_2$  則用前之比例法，從其彈性係數內求出之。  $P = \frac{S_1}{S_2} = \frac{E_1'}{E_2} \dots \dots \dots (2)$

解此兩式，即可求出  $S_1$  及  $S_2$ 。

例(1)一設有木桿，其全長之相對之兩邊，以鍛鐵皮束緊。若木之  $E_1 = 1500000\%$  鍛鐵之  $E_2 = 25000000\%$  則  $\frac{E_1}{E_2} = 0.06$  又設  $A_1$  為木之斷面 =  $36 \square$   $A_2$  為鍛鐵之斷面 =  $4 \square$  載重  $P = 60000\#$ 。  $S_1$  為木之應力，  $S_2$  為鐵之應力。求得如下

$$\text{從(2)式 } \frac{E_1}{E_2} = \frac{S_1}{S_2} = .06 \div 31 = .06S_2$$

$$\text{從(1)式 } 60000 = 36 \times 0.06S_2 + 4 S_2$$

$$\text{由是 } S_2 = 9740\#, S_1 = 580\#$$

因此，可知鍛鐵所受之全應力為

$$4 \times 9740 = 39000\#$$

木料所受之全應力為

$$36 \times 580 = 21000\#$$

故鋼所負之載重較木為大，因其強度較大。

(4) 鋼及混凝土間的結合力 (Bond Stress between Concrete and steel) 鋼骨混凝土內鋼與混凝土之結合甚為堅牢，幾如一種材料。此種結合所生之內應力名曰結合力 (Bond stress) 此

種應力，各國學者試驗之結果不一。美國威斯康辛大學 (university of Wisconsin.) 試驗的結果如下。

用一 8" × 16" 之長混凝土樑，內插鋼條。二十八日以後，置於試驗機上，求得其結合力，大約為其壓力的百分之四倍。又此種應力可以方程式求得之。

設  $F_s$  = 鋼的單位應力。

$A_s$  = 鋼條的斷面。

$O$  = 鋼條斷面的週線。

$D$  = 鋼條斷面的半徑或邊長。

$U$  = 單位結合應力。

$L$  = 鋼條在混凝土內的長度。如用圓形樑。則

$$L O U = A_s F_s$$

$$\text{因 } A_s F_s = \frac{D d^2}{4} F_s$$

$$L O U = \frac{D d^2}{4} F_s \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{即 } U = \frac{D d^2}{L O} F_s \dots\dots\dots(2)$$

### (2) 鋼骨混凝土樑的計畫

(1) 同體樑的內應力 (inner forces in a homogeneous beam) 樑的內應力，不外引應力，壓應力及剪應力三種。此三

種應力，如在同體樑內，分論如次：

(A) 試將樑的任何部切斷，其斷面內必生若干內應力。此種內應力可分為兩分力 (Components)：一與斷面成垂直 (Normal)；一與斷面相切 (tangential)。與斷面成垂直者，即為引應力或壓應力。與斷面相切者，即抵抗剪力。

(B) 樑的任何斷面的剪力，視與此斷面相切的分力的大小而定。樑的任何斷面能率，視與此斷面垂立之引力或壓力之大小而定。

(C) 樑的中心軸 (Neutral axis) 必經過任何斷面之重心 (Center)。

(D) 斷面的各垂直分應力，皆與距中心軸之距離成正比例，故此應力之最大者，即為距中心軸極端之分應力。

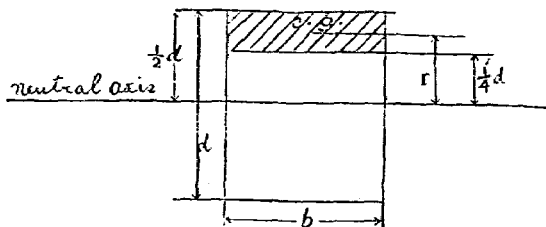
設  $F$  為樑的斷面的垂直應力， $Y$  為該應力距中心軸之距離。 $M$  為樑的斷面內之最大撓動量。 $T$  為樑的斷面內之慣性能率。則

$$F = \frac{MY}{I} \dots \dots \dots (1)$$

(E) 樑的任何斷面內的剪應力，亦可求得公式如下。設  $U$  為斷面內每平方吋之直剪力。 $V$  為該斷面內的總剪力。 $Q$  為該斷面內任何部分的面積總中心軸所生之靜動量。(Static moment) $T$  為該斷面內的慣性能率。 $B'$  為樑的寬度。則  $V = \frac{VQ}{T B'} \dots (2)$

由上公式而論，如  $V$  為一定之值則  $U \propto Q$  因  $\frac{V}{TB}$  皆為常數。  
故  $Q$  之值為最大，則  $U$  亦必為最大。

例如從第八十圖  $Q$  之最大值為



第 八 十 圖

$$b \times \frac{1}{2} d \times \frac{1}{4} d = \frac{bd^2}{8}$$

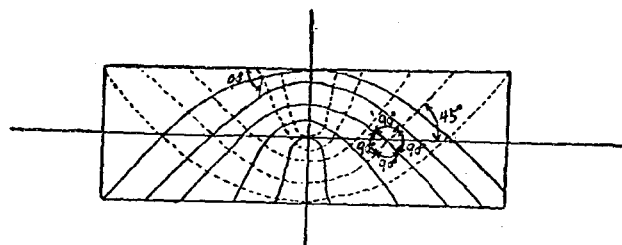
$$\text{故 } W = \frac{VQ}{TB} = \frac{\frac{Vbd^2}{8}}{\frac{bd^3}{12}} = \frac{3}{2} \frac{V}{bd}$$

(F) 樑因受剪力過大，則生斜應力，即斜引力。設  $F$  為平行之單位應力， $V$  為直立或平行之單位剪力。則任何斷面的最大斜應引力 (Diagonaltension) 的公式為

$$T = \frac{1}{2} F + \sqrt{\frac{1}{4} F^2 + V^2} \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{其偏斜之度為 } \tan 2k = \frac{2V}{F} \dots \dots \dots (4)$$

$K$  為樑之平行軸與該應力所夾之角，如圖 (第八十一圖)。



第 八 十 一 圖

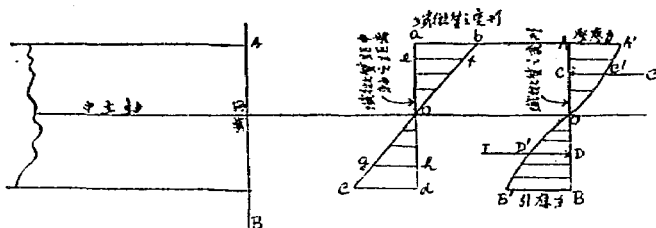
混凝土樑上常見有偏斜之裂痕，即為此種應力的作用。

(2) 樑的普通理論的假說 (Assumptions in Common Theory of Beam) 鋼骨混凝土樑的內應力，較尋常木 (Wood) 石 (Stone) 的樑為複雜，因其為兩種物質所結合，各有不同的內應力。普通計畫時必先明白下列的假說。

(1) 樑的斷面內單位纖維質之變形常與距中立面之距離成正比例。

(2) 樑的斷面內單位應力常與纖維質之變成正比例。

如圖 (第八十二圖) 解釋以上兩種假說之應用。譬如假說 (1) 設  $ab$  為單位縮短之纖維質。(見後圖) 距中立面為  $OA$ ，如單位縮短之纖維質為  $ef$  則距中立面為  $OL$ 。故纖維質之變形因  $OA$ ， $OL$  而異。依同理，設  $CD$  為單位伸長之纖維質，距中立面之距離為  $AD$ ，如纖維質之變形為  $gh$ ，則距中之軸只為  $oh$ 。



第 八 十 二 圖

又如假說(2),設  $A A'$  為單位壓應力,其纖維質之變形為  $O A$ ,如纖維質之變形為  $O C$  則壓應力必減少為  $CC'$  同理設  $BB'$  為單位張應力,其纖維質之變形為  $O B$  如纖維質之變形為  $O D$  時,則引力亦必減少為  $D D'$ 。故單位應力常與纖維質成正比例。

(7) 鋼骨混凝土梁的應用公式 (Flexure formulas for reinforced Concrete beam) 鋼骨混凝土梁的公式,大別為三種:(A) 梁的載重在實用載重以內 (Working load); (B) 梁的載重超過實用載重,而為極大載重 (Ultimate load); (C) 均勢鋼骨梁 (Doubly Reinforcement)。各種公式,極為複雜,式內各代表符號 (Notation) 之文字,詳列如次。

$F_c$  = 單位壓應力 (混凝土)。

$F_s$  = 鋼骨的單位引應力。

$AA'$  = 每單位長受  $F_s$  壓力後的變形。

$CC'$  = 每單位長受  $F_s$  引力後的變形。

$C$  = 樑的斷面內混凝土總壓應力。

$T$  = 樑之斷面鋼骨總引應力。

$E_c$  = 混凝土的彈性係數。

$F_s$  = 鋼骨的彈性係數。

$N = \frac{E_s}{E_c}$  混凝土與鋼骨的比例率。

$d$  = 從壓力面至鋼骨中心軸的距離。

$Kd$  = 從壓力面至樑的中心軸之比。

$A_s$  = 鋼骨或鋼條的斷面。

$b$  = 樑的寬度。

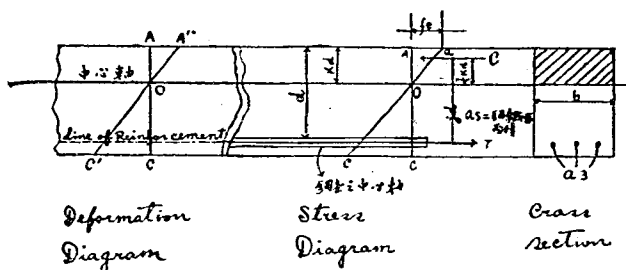
$P = \frac{A_s}{ba}$  之比值。

$M_c$  = 混凝土的抵抗動量。

$M_s$  = 鋼骨的抵抗動量。

$M$  = 樑的抵抗或撓動量。

(A) 樑在實用載重之內，其公式悉舉如次。惟此限於長方形斷面樑，見(第八十三圖)。各公式證明甚為複雜，以限於篇幅，故未詳述。見何氏鋼骨混凝土學 (Hool Reinforced Concrete Construction)。



第 八 十 三 圖

動量 (Moment)

$$P = \frac{A_s S}{b d} \dots \dots \dots (1)$$

$$P = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{F'_s}{F_s} \left( \frac{F_s}{N F'_C} + 1 \right)} \dots \dots \dots (2)$$

$$k = \sqrt{2PN + (PN)^2} - PN \dots \dots \dots (3)$$

$$J = I - \frac{1}{3} k \dots \dots \dots (4)$$

$$M_C = \frac{1}{2} F'_C k J d^2 \text{ 或 } b d^2 = \frac{2 M}{F_s k j} \text{ 或 } F_C = \frac{2 M}{k j b d^2} \dots \dots (5)$$

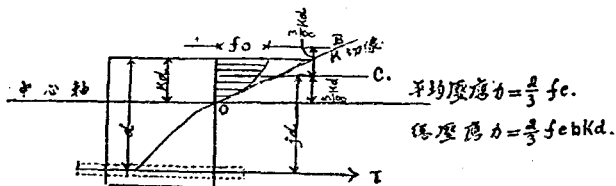
$$M_S = P F_s j^2 d^2, \text{ 或 } b d^2 = \frac{M}{P F_s j} \text{ 或 } F_s = \frac{M}{A_s J d} \dots \dots (6)$$

$$F_C = \frac{2 F_s P}{k} \dots \dots \dots (7)$$

(B) 樑的載重超過實用載重，為最大載重，其公式列舉如



下：樑因受極大載重後，其應力之變形不為直線，而成拋物線，故公式與前相差甚遠。



第 八 十 四 圖

$$P = \frac{A_s}{e d} \dots \dots \dots (1)$$

$$P = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{F_s}{F_c} \left( \frac{E_s}{2N F_c} + 1 \right)} \dots \dots \dots (2)$$

$$k = \sqrt{3PN + \left( \frac{3}{2} PN \right)^2} - \frac{3}{2} PN \dots \dots \dots (3)$$

$$j = 1 - \frac{3}{8} k \dots \dots \dots (4)$$

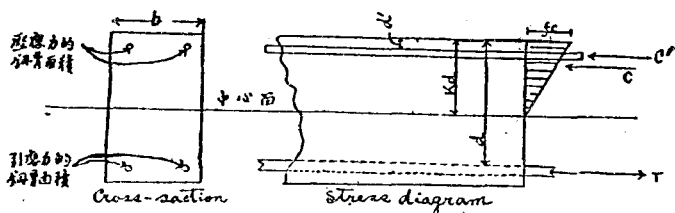
$$M_c = \frac{2}{3} F_c k j (b d^2), \text{ 或 } b d^2 = \frac{M}{2/3 F_c k j} \dots \dots \dots (5)$$

$$M_s = P F_s J (b d^2), \text{ 或 } b d^2 = \frac{M}{P F_s j} \dots \dots \dots (6)$$

$$F_c = \frac{3 F_s P}{2k} \dots \dots \dots (7)$$

(C) 均勢鋼骨樑 (Double Reinforcement) 即樑斷面上下皆用鋼骨以增加引應力。此種用法，多施於樑的支點處 (support)

因為有負動量發生的原故。



第 八 十 五 圖

設  $A_S$  = 壓應力鋼的斷面

$d^1$  = 壓應力面至壓應力鋼條之中心軸

$P^1 = \frac{A_S^1}{bA}$  的比例率

$F_S^1$  = 壓應力鋼骨的單位壓應力。

$$F_S = F_C N \frac{1-k}{k} \dots \dots \dots (1)$$

$$F_S^1 = F_C N \frac{k \frac{d^1}{d}}{k} \dots \dots \dots (2)$$

$$k = \sqrt{2N \left( P + P^1 \frac{d^1}{d} + N^2 (P + P^1)^2 - N(P + P^1) \right)} \dots \dots \dots (3)$$

$$M_C = b d^2 F_C L \text{ 及 } F_C = \frac{M}{b d^2 L} \dots \dots \dots (4)$$

$$L = \frac{k}{2} \left( 1 - \frac{k}{3} \right) + \frac{NP^1}{k} \left( k - \frac{d^1}{d} \right) \left( 1 - \frac{d^1}{d} \right) \dots \dots \dots (5)$$

$$M_S = b d^2 F_S k \text{ 及 } F_S = \frac{M}{b d^2 K} \dots\dots\dots (6)$$

$$K = P \left(1 - \frac{d^1}{a}\right) - \frac{k^2}{2N(1-k)} \left(\frac{k}{3} - \frac{d^1}{d}\right) \dots\dots\dots (7)$$

$$F_s^1 = \frac{M}{b d^2 L^1} \dots\dots\dots (8)$$

$$L^1 = P \frac{1-k}{k - \frac{d^1}{d}} \left(1 - \frac{k}{3}\right) + P' \left(\frac{k}{3} - \frac{d^1}{d}\right) \dots\dots\dots (9)$$

以上各類公式，情形不同，性質亦各別。應用時須按樑的位置。

(8) 鋼骨的安置法。(Method of bent reinforcement) 混凝土內具有斜應力 (Diagonal Stress) 。前面經述過。此種斜引應力 (Diagonal tension) 最大時，常使樑起裂痕。故須於混凝土內，別用一種鋼骨，以減少此項斜引力。安置的法有三種：(一) 斜放，(二) 直放，(三) 斜放或直放。鋼骨混凝土內的斜引力，小者除用鋼桿 (steel rod) 外，只須直放或斜放之鋼骨一種。若其斜引很大，則兩種鋼骨皆須同時安置。至於鋼骨之粗細，隨斜引的大小而變。其斷面之公式，為

$$A_s = \frac{2}{3} \frac{V S}{F_s j d} \text{ (直立的鋼骨)} \dots\dots\dots (1)$$

V = 剪力之和， $A_s$  = 鋼骨的斷面，

S = 鋼骨間的距離。  $F_s$  = 鋼骨斷面的內應力。

若斜放與平面成 $45^\circ$ 角者，則

$$A_s = \frac{2}{3} \frac{0.7(V_s)}{F_s j d} \text{ (斜放的鋼骨) } \dots\dots\dots (2)$$

又如 $K$ 為任何角度，則

$$A_s = \frac{2}{3} \frac{\sin K (V_s)}{F_s j d} \dots\dots\dots (3)$$

又從(1)式變之，亦可求出鋼骨間的距離，如

$$S = \frac{3}{2} \cdot \frac{A_s F_s j d}{V} \dots\dots\dots (4)$$

由上式而論，樑內所安置的鋼骨，與樑的剪力成正比例。故當樑內剪力極小的部份鋼骨可以不用。如樑的載重為等均載重，則從支點至樑的中心必有一部份不須用鋼骨。因樑的中部，其剪力為零。

設 $V$  = 單位剪力； $V^1$  單位實用剪力；

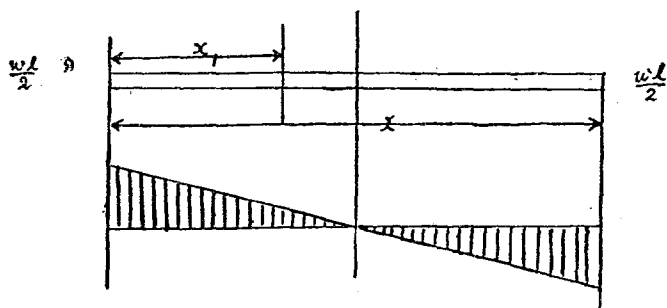
$X_1$  = 自支點至樑的不須用鋼骨之點的距離；

$L$  = 樑的長度（以呎計）；

$W$  = 每單位等均載重。

$$\text{其公式爲 } X_1 = \frac{L}{2} - \frac{V^1 b j d}{W} \dots\dots\dots (5)$$

例：設有10鋼骨三合土之橫樑( $b=10''$ 及 $d=20''$ )其等均載重為2900# 呎假定 $V^1=40\%$ ，及 $j d = \frac{7}{8} d'$  求  $X_1$ 。



第 八 十 六 圖

依題意代入(5)式，於是

$$x_1 = \frac{10}{2} \frac{(40)(10)(17.5)}{2900} = 2.59'$$

斜置或直置的鋼骨，其斷面的總量，前節已有公式可以求得。至於每一鋼骨之直徑大小，亦不能不注意。因此直徑小，則鋼骨需用之數目必多；其安置之位置必密。直徑大則需用鋼骨的數目小，安放的位置必稀，惟至寬不得過直徑之半。求得一定公式如下：

設  $i$  = 每一鋼骨的直徑：

$d$  = 樑之厚；

$A_s$  = 鋼骨的總斷面積。

$O$  = 鋼骨的圓週線

$n$  = 鋼骨每單位面積的結合力。

$$F_s A_s = 0.6 d n$$

$$\frac{A_s}{O} = 0.6 \frac{n}{F_s} d \quad \text{若鋼條爲圓形，則}$$

$$\frac{A_s}{O} = \frac{\frac{i^2}{4} \pi}{\pi i} = \frac{1}{4} i$$

$$\therefore i = \left( 2.4 \frac{n}{F_s} \right) d \dots \dots \dots (5)$$

由上公式， $i$  因  $n$  及  $F_s$  而變，若  $n$  及  $F_s$  之值不同，則  $i$  值亦異。茲特算得  $2.4 \frac{n}{F_s}$  之各值，列表如下：

每平方吋之實用結合力 ( $n$ )	直 立 桿 每平方吋的實用引力 ( $F_s$ )				
	12,000	14,000	15,000	16,000	20,000
80	0.016	0.014	0.013	0.012	0.010
100	0.020	0.017	0.016	0.015	0.012
120	0.024	0.020	0.019	0.018	0.014
150	0.030	0.020	0.024	0.022	0.018

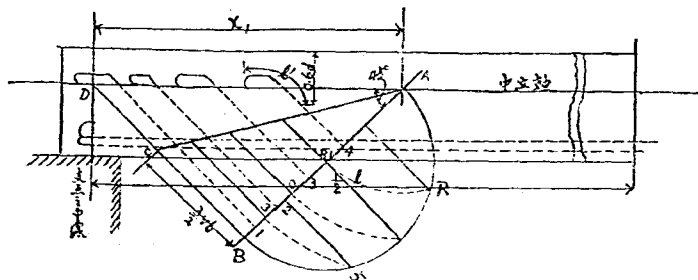
例：設有直放之鋼骨  $F_s = 16000 \text{ 磅/吋}^2$  及  $n = 80 \text{ 磅/吋}^2$ 。安置於一混凝土樑內，樑之高  $d$  爲 20”，則求得

$$i = 0.012 \times 20 = 0.24''$$

查“Hand book”，知須用  $\frac{1}{4}$ ”的鋼骨。

(9) 灣曲平置的鋼桿以代鋼骨 (Horizontal bars bent up for web Reinforcement) 上節所論，安置鋼骨於樑內，所以減少其斜張力。但樑的兩端，有時將其鋼桿向上灣曲以代斜放之鋼條。其功用大致與前相同。樑之載重大者，鋼桿之端，尤必作成勾形 (Hook) 為增加其結合力 (Bond stress) 至於鋼骨灣曲之法則有二。詳述如下。通常每次灣二根，其角度用  $45^\circ$ 。

(1) 繪畫法 (Graphical method)



第 八 十 七 圖

(如第八十七圖) 設樑為等均載重，其最大之剪力  $V$  發生於支點  $D$  處。此剪力三分之一為混凝土所支持。三分二部為灣曲的鋼桿所支持。(如圖  $ABC$  三角形所示) 由前公式 (5) 求得

$X_1$ ，即從樑的端支點至 A 處，必須安置鋼骨。此鋼骨所支持的剪力為  $\frac{2}{3}V$ ，以  $\triangle ABC$  表之。至於  $\triangle ABC$  的畫法，設 AB 線與樑的平行軸成  $45^\circ$  角。連接 DB 線必垂直於 AB 線。再設 DB 為表示每吋之最大剪力。取 BC 為二分之三 BD。故  $BC = \frac{2}{3}VB = \frac{2}{3}V \frac{V}{jd}$ 。如每一次彎曲二根鋼骨，各鋼骨所支持的內應力必相等。設須彎曲 8 根鋼桿，平分  $\triangle ABC$  為四等分，求出各分之重心，過各重心引直線使與樑的平行軸成  $45^\circ$  角。如 1, 2, 3, 4, 各桿，即表示鋼桿應彎曲之處。此外更有鋼條與彎曲桿并用者。但只限於 T 形的樑，因其載重較大。

(2) 計算法：鋼桿彎曲之點，亦有不用上法。而可因其能率之大小，而直接求出者。其公式如下：

$$X_2 = \text{或} < \frac{L}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{M_2}{M}} \right)$$

$M$  = 樑內鋼桿的數

$M_2$  = 樑內鋼桿應彎曲的數。

$L$  = 樑的支點的距離。

$X_2$  = 從支點至  $M_2$  鋼桿應彎曲處的距離。

又如圖上  $L'$  之值，亦須應用公式求得之。其公式為

$$L' u = \frac{F_s}{4}, \text{ 或 } L' = \frac{F_s}{4u} \times \text{鋼桿的直徑。式內 } E_s = \text{單位張應}$$



力， $u$  = 單位結合力。

(10) 實施計畫 (Illustrative Examples for Practical Design)

試計畫一鋼骨混凝土樑，其支距為10呎。每呎的等均的載重為600磅，樑之本身載重不包含於等均載重內。

此樑的本身均重必先假定，而後可按公式推算。

設此樑每呎之重為85#（計算不合時，則須另更，必求相合為止）則其總載重為685#。

$$\text{假定 } P = 0.0077$$

$$k = 0.378$$

$$j = 0.874$$

$$M = \frac{WL^2}{8} = \frac{(685)(10)(10)(12)}{8} = 103,000 \text{ 吋磅}$$

$$bd^2 = \frac{103000}{(0.0077)(6000)(0.874)} = 900$$

$$\text{假定 } b = 7'' \quad d^2 = \frac{990}{7} = 131, \text{ 或 } d = 11.7'' \text{ 如此可用}$$

$$b = 7'' \text{ 及 } d = 11 \frac{1}{2}''$$

於是求出單位剪力為

$$V_0 = \frac{V}{bd} = \frac{(685)(.5)}{(7)(11.5)} = 43\frac{1}{2}\%$$

因 $V_0$ 超過平均單位剪力35%故必用直立或斜置之鋼骨。若用直立之鋼骨，其斷面之總數求得如下：

$A_S = Pod = (7)(11.5)(0.0077) = 0.622$  查 “hand book”,  
知可用三根正方斷面鋼骨。其斷面  $= 3(.250) = 0.75$  吋<sup>2</sup>

又樑的本身均重，可以求出，與前假設立重量比較。若不符合時，則須另行假定。

取樑一呎求其本身等均重量為

$$\frac{(7) \times 13 \times 100}{12 \times 12} = 95 \#$$

此數與所設的值，亦頗相近，無須再算。故其每一呎之等均  
總載重  $= 600 + 96 = 695$ ，用此載重，求得以下之各值：

$$P = \frac{0.406}{(7)(11.5)} = 0.0093$$

$$k = 0.4.406$$

$$j = 0.865$$

$$F_s = \frac{(695)(10)(10)(12)}{(8)(6.75)(0.865)(11.5)} = 14,000\% \text{”}$$

$$F_s = \frac{(2)(14000)(0.0093)}{0.406} = 640\% \text{”}$$

皆與上之假定大致不差。

既須用直立之鋼骨，故必須求出其直徑之大小。

$$i = (0.012)(11.5) = 0.138 \text{”}$$

用U形之圓鋼骨，恰與上合。

再求得 X，即從支點至不次用鋼條之點為

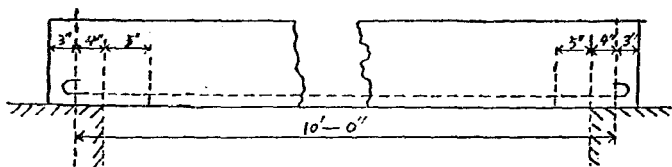
$$X_1 = \frac{10}{2} - \frac{(40)(7)(0.866)(11.5)}{690} =$$

$$= 5 - 4.0 = 1.0' = 12''$$

鋼骨間的最小距離，爲

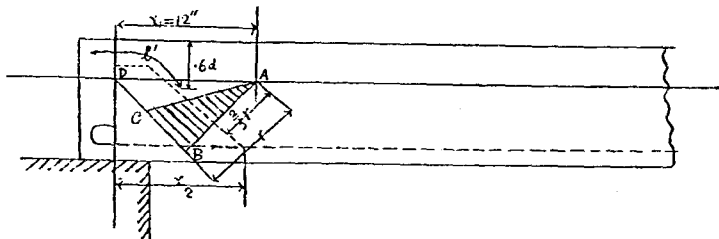
$$S = \frac{(3)(2)(0.049)(16,000)(0.866)(11.5)}{2 \times 5 \times 690} = 6.7''$$

近樑之中部直立鋼條，其距離可比 6.7'' 略大。如在樑的端部，其距離須比 6.7 小，因剪力較大，如第八十八圖。



第 八 十 八 圖

如此樑之剪力極大，又預灣曲平置的鋼桿以代斜置之鋼骨。用前節的繪法，述之如下：



第 八 十 九 圖

如第八十九圖，設  $\triangle ABC$  為灣曲桿所支持的應力。BC =  $\frac{2}{3}$

VB

$$\begin{aligned} \text{故 } BC &= 2/3vb = \frac{2V}{jv} \\ &= \frac{2}{3} \cdot \frac{(695)(5)}{(0.865)(11.5)} = 233\# \end{aligned}$$

V = (0.7)(12) = 8.4" 因此灣曲桿所支持之總應力，為

$$\frac{BC}{2} (V) = \frac{233}{2} (8.4) = 980\#$$

每一鋼桿斷面的引力，為

$$(6.25)(16000) = 4000\#$$

故須灣曲一根鋼桿，已經夠用而有餘。

再求其餘兩根不灣曲之鋼桿之結合力，為

$$u = \frac{(695)(5)}{(2)(4)(0.5)(7/8)(11.5)} = 86\% \text{,,}$$

此值亦夠用。

用計算法，算出  $X_2$  之值為

$$X_2 = \text{或} < \frac{10}{2} (1 - \sqrt{\frac{1}{10}}) (12) = 2.12'$$

鋼桿灣曲之長度  $E''$  由前公式求得如下。

設使鋼桿斷面的引應力 = 16000磅

$$L^1 = \frac{F_c}{4W} \times L \text{ (鋼桿的直徑)}$$

$$= \frac{16000}{4 \times 80} \times \frac{1}{2} = 25''$$

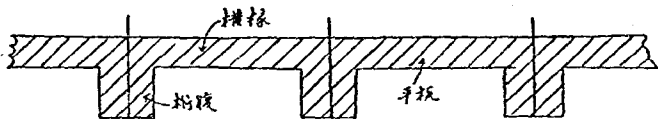
但該樑鋼桿斷面之張力大於16,000%”其值為

$$\frac{980}{0.25} = 39,20\%$$

$$L^1 = \frac{5920}{4 \times 80} \times 12 = 6 \frac{1}{4}''$$

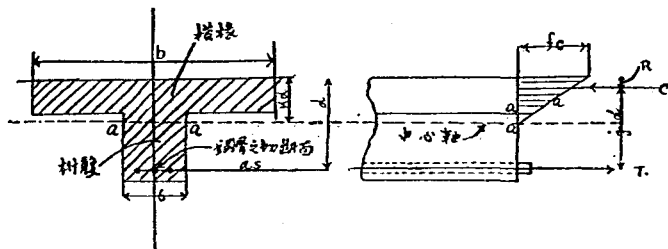
如此，則樑之全部計畫手續均完備。

(11) T形樑 (T-beam) 屋宇的樓地板 (Floor)，及橋樑之蓋面板 (Slab)，有時亦用鋼骨混凝土建築。即以用鋼骨混凝土的橫樑 (Beam) 或桁樑 (Yirder) 支於下。上覆凝骨土的平版 (Slab)，惟此種樑及版須同時構造，故雖表面上為二物，實際上則為一種樑。以其斷面形如T，因各為T形樑 (T-beam) 如第九十圖。



第 九 十 圖

此種樑的計畫方法，可分二種情形 (cases)：(1) 中心軸通過橫緣 (flange)；(2) 中心軸經過桁腹 (Web)。若在(1)情形之下，一切計算能率之公式，可用前節正方形樑 (Rectangular beam) 之公式。惟B為橫緣之寬，非桁腹之寬及P為 $\frac{A_s}{bd}$ 非 $\frac{A_s}{ba}$ 須注意，如第九十一圖。



第九十一圖

若在(2)種情形之下，其計算公式與前差異很大。列舉如下

$$K = \frac{1}{1 + \frac{F_c}{N F_S}} \dots \dots \dots (1)$$

$$kd = \frac{2NdA_s + ht^2}{2NA_s + 2bt} \dots \dots \dots (2)$$

$$k = \frac{PN + \frac{1}{2} \left( \frac{t}{d} \right)^2}{PN + \frac{t}{d}} \dots \dots \dots (3)$$

$$X = \frac{3kd - 2t}{2kd - t} \cdot \frac{t}{3} \dots \dots \dots (4)$$

$$jd = d - X \dots \dots \dots (5)$$

$$j = \frac{6 - 6\left(\frac{t}{d}\right) + 2\left(\frac{t}{d}\right)^2 + \left(\frac{t}{d}\right)^3 \times \left(\frac{1}{2PN}\right)}{6 - 3\frac{t}{d}} \dots \dots \dots (6)$$

$$M_C = F_C \left( 1 - \frac{t}{2kb} \right) bt_s jd \left. \vphantom{M_C} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

$$M_S = F_S A_S jd$$

$$\left. \begin{aligned} F_S &= \frac{M}{A_S jd} \\ F_C &= \frac{F_S k}{n(1-k)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

## 第十二章 鋼骨混凝土版橋計畫

### (1) 緒言

鋼骨混凝土樑的計畫，在上列的一章，已詳為敘述。本章則專論鋼骨混凝土橋樑的計畫 Design of Reinforced Concrete Bridge-

80

鋼骨混凝土橋樑，在近代橋樑工程上所通用者，大致可分為下列數種：

- (1) 版橋 Slab Bridge ;
- (2) T形橋 T-beam Bridge ;
- (3) 桁橋 Through Yirder Bridge ;

故此處特先舉版橋的計畫為例，於T形橋及桁橋等等的計畫實際，當於下列的兩章中，詳細討論。

計畫一跨度 13 ft. 的鋼骨版橋。此種版橋的橋床 Floor，為 Slab 支持於橋樑兩端的 abutments 上面。橋面每方呎負重 30#。

## (2) 載重的計算

## (a) 靜載重 Dead load :

版橋的靜載重爲每立方呎 150# 橋欄杆的載重，由欄杆的自身支持，故橋欄杆的載重，故計畫橋版，可以不必計畫。

## (b) 活載重 Live load :

此種版橋，計畫時可以  $D_1$  等級的載重計算，——見瓦其門氏道路計畫橋樑學 Design of Highway Bridges Class  $D_1$  (for Country roads heavy traffic) ——其集中重 Concentrator load 在兩 axles 爲 20 噸，相隔 12 呎；或以橋面的均等活載重每方呎 125# 計算。

## (c) 衝擊力 Impact :

此種版橋的計畫，衝擊力可以活載重應力的30%計算。

## (d) 風力 Wind load :

此種版橋，計畫時，風力可以不必注意。

## (3) 版橋各部份的大小 Dimensions

(a) 版橋跨度 15'—0" Center to Center of end bearingo ;

(b) 橋面寬度 20'—0"

(c) 橋欄杆寬度 10" ;

(d) 橋欄杆高度 4'—0" ;



## (4) 橋版的計畫 Design of The Slab

計畫版橋時可以注意一輪的載重分佈於一條線上，平行於橋脚 abutments，其長度  $length$  可以下列的公式計算：

$$e = \frac{2}{3} L + c$$

以六呎為最大， $e$  = 載重分佈的寬度，以呎計 effective width of distribution of load, in feet—

$L$  = 跨度，以呎計 Span in feet,

$C$  = 輪的寬度，以呎計，Width of wheel in feet。

因為  $L = 15$ ,  $e = \frac{2}{3} \times 15 + 1.67 = 11.67$  呎，故以六呎為最大。

$$P_R = 14,000 \div 6 = 2,330,$$

加 30 % 為衝擊力，則  $P_R = 2,330 \times 1.30 = 3,030^{\#}$

前面車輪每呎寬度的載重，為

$$P_F = 6000 \div 6 = 1000^{\#}$$

加 30 % 為衝擊力，則  $P_F = 1300^{\#}$ 。

車輪經過橋樑的中間時，則生最大活載重撓動量 The maximum live load bending moment。

$P_R$  在橋樑中間時寬度每呎的活載重動量 The live load moment, 為

$$M_L = \frac{1}{4} \times 3,030 \times 15 = 11,400 \text{ 呎磅。}$$

均等載重寬度每呎的活載重動量，為

$$M_L = \frac{1}{8} Wl^2 = \frac{1}{8} \times (1.30 \times 125) \times 15^2 = 4,570 \text{ 呎磅} \circ$$

第一種情形所得最大的

$$M_L = 11400 \text{ 呎磅} \circ$$

當  $P_R$  正經過右邊的支持處時，則生最大的活動重剪力 Max. live load Shear, 為

$$V_L = \frac{(P_D + P_L) \times 11.4}{15} = \frac{4,330 \times 11.4}{15} = 3,290 \# \circ$$

假定 15" 為 (Slab) 每呎靜載重的寬度，重 weight 為 188 磅，須注意其 Wearing surface 如下，

$$M_D = \frac{1}{8} \times 218 \times 15^2 = 6,140 \text{ 呎磅} \circ$$

假定 15" 為 Slab 每呎靜載重剪力的寬度，為

$$V_D = \frac{218 \times 15}{2} = 1,640 \# \circ$$

總撓動量 Total bending moment, 為

$$M = 11,400 + 6,140 = 17,540 \text{ 呎磅} = 211,000 \text{ 吋磅} \circ$$

總剪力 Total Shear, 為

$$V = 3,290 + 1,640 = 4930 \# \circ$$

單位應力，說明書 Specification 中，實需的高到鋼骨的中心，為

$$d = 0.0965 \sqrt{\frac{M}{d}} = 0.0965 \sqrt{\frac{211000}{12}} = 12.75 \text{ 吋}$$

在鋼骨中心下面，加  $1\frac{3}{4}$ "，則總厚度為

$$12.75 + 1.75 = 14.50"$$

故實用的總厚度為  $14\frac{1}{2}$ "。

使  $d = 12.75$

鋼的面積 Area of Steel，為

$$\left[ \begin{array}{l} A = 0.0077bd = 0.0077 \times 12 \times 12.75 = 1.18 \text{ 吋}^2, \\ \text{此處 } F_s = 16,000 \#, F_c = 650 \#, P = .0077, (\text{見前章})。 \\ \text{因為單位應力，已詳於說明書中。} \end{array} \right]$$

用  $\frac{3}{4}$  in 的方鋼骨，安置的位置，為 6 吋 (C—C)，面積為  $1.13 \text{ 吋}^2$  Per ft. width，

鋼骨垂直於橋脚，用  $\frac{1}{2}$ " 方鋼骨，兩根相隔為 12" (C—C) 平於橋脚。

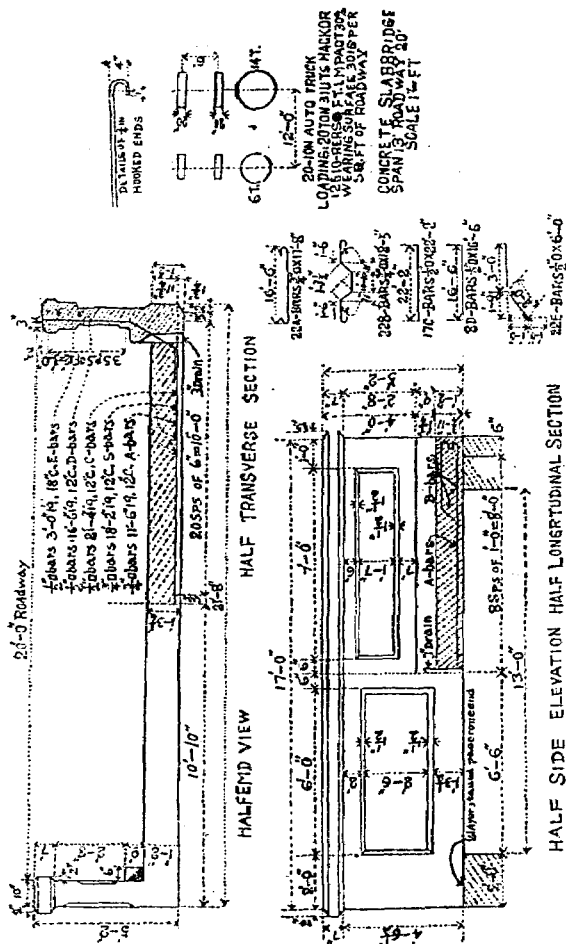
在上述的兩種鋼骨下面，用安放斜形  $\frac{3}{4}$ " 的方鋼骨，兩根中心的距離為 6 吋。

最大單位應力 max. unit stress 為

$$f_v = \frac{V}{bj_s} = 1.15 \frac{V}{bd} = 1.15 \times \frac{4930}{12 \times 12.75} = 37 \frac{1}{2} \text{ 磅/吋}^2$$

此處不用 shear reinforcement，但為求建築物的安全計，亦須顧及。

最大單位結應力 max. unit bond stress,



第九十二圖

$$f_U = \frac{V}{Eo_jd} = 1.15 \frac{V}{Eod} = 1.15 \times \frac{4930}{4.5 \times 12.75} = 99\%$$

至於鋼骨的排列及安放的情形，均載於下列詳細的圖中。

(5) 鋼骨混凝土版橋計畫詳圖。(第九十二圖)

### 第十三章 鋼骨混凝土T形橋樑計畫

#### (1) 緒言

鋼骨混凝土版橋計畫實例，已如前章所述。本章所計畫的範圍為鋼骨混凝土T形橋樑。

計畫鋼骨混凝土T形橋樑，跨度為 28—0”。

- (a) 跨度 Span, 28’—0”
- (b) 支柱的中心距離, 30’—0”
- (c) 橋面路寬, 16’—0”
- (d) 外邊樑中心距離 17’—0”

Three intermediate and two outside beams will be used making the spacing about 4’—3”

#### (2) 載重的計算

(I) 鋼骨混凝土橋的靜載重：

- (a) 鋼骨混凝土重，每立方呎 = 150# ；
- (b) Wearing Surface Weighing, 每立方呎 = 30#

(II) 活載重 Live load

此種鋼骨混凝土丁形橋樑的活載重，可以  $D_2$  等級的載重計畫——見克其門氏道路橋樑計畫學 Design of Highway Bridges, Class  $D_2$  (for Country roads light traffic)——其集中重在  $ax$  軸為 15 噸，相隔 10 呎，輪的位置為 6 呎 (c-c)，路面每方呎的均等載重為 100# 或 The width of rear tires 為 15"。

### (III) 衝擊力 Impact

此種丁形鋼骨混凝土橋版上及樑的衝擊力，可以活載重應力的 30% 計算。

### (3) 鋼骨混凝土橋版的計畫

在計畫中的鋼骨混凝土丁形橋，其版 slab 的上下兩部份假定其為 Continuous。版的實效寬度（為動量）為

$$e = \frac{2}{3}(l+e) = \frac{2}{3}(3.25+1.25) = 3.00\text{ft.}$$

$e$  = 載重分佈的實效寬度以呎計；

$l$  = span 以呎計 = 3.25' (淨寬為 3')；

$c$  = width of tire = 15" = 1.25'

版寬每呎的所載的輪重為

$$P = 1.30 \times 10,000 \div 3.00 = 4,330\#$$

因為 slab 的上下兩部份均為鋼骨混凝土，其撓動量可取動量的  $\frac{2}{3}$  計算。

版寬每呎活載重動量爲

$$M_L = \frac{2}{3} \left( \frac{1}{2} \times 4,330 \times \frac{1}{2} \times 3 - \frac{1}{2} \times 4330 \times \frac{1}{2} \times 0.625 \right) \\ = 1710 \text{ 呎磅}$$

假定一 5'  $\frac{1}{2}$ " 版，每方呎 3 0# 的 wearing surface，

版寬每呎的靜載重的動量爲

$$M_D = \frac{2}{3} \left( \frac{1}{8} w l^2 \right) = \frac{1}{12} (69 + 30) 3^2 = 74 \text{ 呎磅} \circ$$

經過樑 Beam 中心處的總撓動量 bending moment 爲

$$M = 1,710 + 74 = 1,784 \text{ 呎磅} = 21,408 \text{ 吋磅} \circ$$

單位應力，根據說明書 specification，實處的高度至鋼骨的中心，爲

$$d = \sqrt{\frac{M}{R_b}} = \sqrt{\frac{21,408}{107.5 \times 12}} = 4.06'' \circ$$

版的厚度，用 5'  $\frac{1}{4}$ "  $\circ$  上部及下部安放鋼骨的距離爲 1"，  
從版面上使  $d = 2.25''$ ，以備支持剪力。

鋼的面積爲

$$A = 0.0077bd = 0.0077 \times 12 \times 4.25 = 0.393 \text{ 吋}^2 \circ$$

單位應力，詳於說明書（又稱爲條件）中。

用  $\frac{1}{2}$ " 方鋼骨，安放鋼骨位置的距離爲 7'  $\frac{1}{2}$ " (c-c) 爲求結合應力的安全，須多備鋼骨的面積爲 0.40 吋<sup>2</sup>。

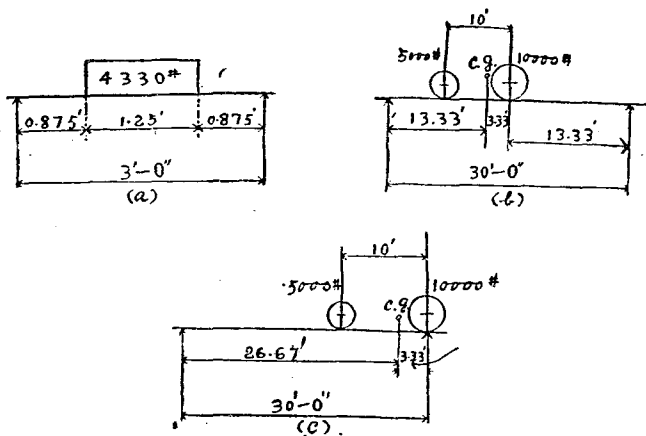
用  $\frac{3}{8}$ " 方鋼骨，安放鋼骨的位置約為 12" (c-c)。在版的上  
下兩部份，均須用  $\frac{3}{8}$ " 方鋼骨，與 Beam 平行。此鋼骨之安放，  
以備氣候變更，幫助應力的分佈。

剪力的實用寬度，，等於動量的實用寬度，最小為 30' 因為  
實效寬度 3'，則所有的單位剪力均為撞剪力 Punching shear

$$f_v = \frac{v}{bd} = \frac{\frac{1}{2} \times 4330 + 1.5 \times 99}{4.25 \times 12} = 45\% ,$$

定限應力為 120% ,

因為所有的剪力，均為撞剪力 Punching shear，則結合力  
bond stress 可以不算。



第 九 十 三 圖



## (4) 中部樑的計畫

中部樑的計畫 Design of intermediate beams. 一樑的撓動量，依活載重每方呎 100#，加 30% 衝擊力，則

$$M_L = \frac{1}{8} w l^2 = \frac{1}{8} (4.25 \times 130) 30^2 = 62,000 \text{ 呎磅}$$

樑端剪力依每方呎 100# 的活載重，加 30% 衝擊力，則

$$V_L = \frac{1}{2} w l = \frac{1}{2} (4.25 \times 130) 30 = 8,300 \#$$

一樑 (joist) 上所負荷的前後車輪的比例為  $4.25 \div 6 = 0.708$ 。

15 噸載重的，最大動量如第九十三圖 (b)；最小剪力，如第九十三圖 (c)。

一樑的撓動量，依車重及 30% 衝擊力，則

$$M_L = 1.30 \times 0.708 \frac{15,000 \times 13.33^2}{30} = 82,000 \text{ 呎磅。}$$

一樑的剪力，依車重及 30% 衝擊力，則

$$V_L = 1.30 \times 0.708 \frac{15000 \times 26.67}{30} = 12,270 \#$$

在樑的重量未求得之先，則不得決其靜載重剪力及動量。樑軸假定為 16" 寬，24" 高，其重量為  $16 \times 26 \times 150 \div 144 = 430 \#$ 。

一樑所負的靜載重為

$$\text{wearing surface, } 4.25 \times 30 = 130 \%,$$

$$\text{slab 版 } 4.25 \times 66 = 280 \%,$$

$$\text{Beam 樑} = 430\%_a,$$

$$\text{總計} = 840\%_a,$$

靜載重撓動量，為

$$M_D = \frac{1}{8} w l^2 = \frac{1}{8} \times 840 \times 30^2 = 94,500 \text{ 呎磅}$$

靜載重剪力，為

$$V_D = \frac{1}{2} W l = \frac{1}{2} \times 840 \times 30 = 12,600^*$$

總撓動量，為

$$M = M_L + M_D = 82,000 + 94,500 = 176,500 \text{ 呎磅} = 21,200 \text{ 吋磅}$$

總剪力，為

$$V = V_L + V_D = 12,270 + 12,600 = 24,870^*$$

鋼骨混凝土 T 形樑的版，其作用與橫椽 flange 相同。每邊的寬度，為  $4 \times 5.25 = 21''$ ，使其總寬為  $42 + 16 = 58''$ 。假定軸的寬度為  $16''$ 。此數 ( $16''$ ) 大於兩 T 形樑中間的距離，所以 T 形樑中心間的距離， $15''$  已夠用，因其不大於橋樑跨度的  $\frac{1}{4}$ ，或  $28 \div 4 = 7'' = 84''$ 。最小斷面為

$$b'd = \frac{V}{j f_v} = \frac{24,870}{0.90 \times 120} = 230 \text{ 吋}^2$$

假定  $j = 0.90$ 。用  $b' = 16''$ ， $d = 14.4''$ 。高度  $e_{pth}$  不能過

小於跨度的  $\frac{1}{2} = 30''$ 。則最經濟高度 most economical depth, 可用下列的公式計算：

$$d = \sqrt{\frac{rM}{f_s b'} + \frac{t}{2}}$$

$r =$  爲鋼骨的單的位價值與混凝土的單位價值的比，鋼骨及混凝土，須用同樣的單位。則  $r = 70$  可以應用

$$d = \sqrt{\frac{70 \times 2,120,000}{16,000 \times 16} + \frac{5.25}{2}} = 26.7''.$$

試以  $d = 28''$  則

$$R = \frac{M}{bd^2} = \frac{2,120,000}{61 \times 28^2} = 53$$

上列計畫的結果，已足夠應用。

$$s = \frac{t}{d} = \frac{5.25}{28} = 0.188$$

$$j = \frac{3(1-s) + (s)^2}{3 \left( 1 - \frac{s}{2} \right) - \frac{f_c}{4nR} (s)^3}$$

$$= \frac{3(1-0.188) + (0.188)^2}{3(1-0.94) - \frac{16,000 \times 0.188^3}{4 \times 15 \times 53}} = 0.92$$

實用鋼骨的面積，爲

$$A = \frac{M}{f_s j d} = \frac{2120000}{16000 \times 0.92 \times 28} = 5.15 \text{ 方吋}$$

十根  $\frac{3}{4}$  方鋼骨，其面積爲 5.63 方吋。設在十根鋼骨中，用六根向上海曲，爲桁腹鋼骨凝土之用。則十二根鋼骨，須八根向

上灣曲，（這是甚須的）。

八根  $\frac{5}{8}$ " 方鋼骨及四根  $\frac{3}{4}$ " 方鋼骨，其面積 5.33 呎<sup>2</sup>

在十二根鋼骨中，八根須向上灣曲。因為六根向上灣曲，則所佔的地位很大，最小限度，為  $\frac{3}{4} d = \frac{3}{4} \times 28 = 21$  呎。

混凝土的單位應力，必須計算，以視其是否超過於限度 65 0%。因此，則  $p$  與  $k$  的值須求出，代入下列的公式

$$f_c = \frac{f_s k}{n(1-k)}$$

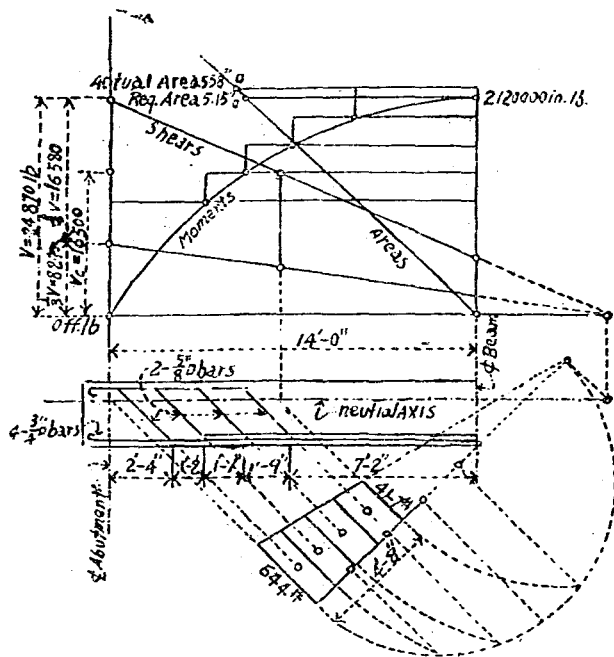
$$p = A \div bd = 5.38 \div 51 \times 28 = 0.0038 \quad (\text{設用十二根鋼骨})$$

$$k = \frac{pn + \frac{1}{2} \left( \frac{t}{d} \right)^2}{pn + \frac{t}{d}} = \frac{0.0038 \times 15 + 0.0177}{0.0038 \times 15 + 0.188} = 0.305$$

$$\text{或 } f_c = \frac{16000 \times 0.305}{15(1-0.305)} = 470 \text{ 呎}^2$$

故假定的斷面 Section 可以夠用。

鋼骨受牽引的部份，須向上灣曲以達桁腹。灣曲起點的決定，詳載於第九十四圖的剪力圖解中 Shear diagram，灣曲各點的向上，可從第九十四圖的動量圖解 moment diagram 中決定。向上灣曲的應力，可從第九十四圖中的對角線牽引力圖解 diagonal tension diagram 中決定。第九十四圖的構成原因，說明如下。



第九十四圖

剪力及動量圖解的構成，係根據在梁的各處已經求得的總剪及重量。將此在梁的各處求得的總剪力及動量的各值列入圖中，則將各點，以線連之，則得圖中的綫。

混凝土剪應力，可作不負荷桁腹鋼骨混凝土計算，則

$V_C = f_v \cdot b \cdot j \cdot d = 40 \times 16 \times 0.92 \times 28 = 16,50 \neq f_v$  的限度為

40%”。作一橫線，經過剪力圖線，如上第九十四圖，與剪力灣線相交。此交點處的右邊，沒有鋼骨凝土剪力，故實際上輕的直鋼骨可以夠用，安放的位置，不超過於 $\frac{3}{4}d$ 。在此交點的左邊，則桁腹鋼骨凝土，須注意。（負荷剪力的 $\frac{2}{3}$ ）

鋼骨向上灣曲的各點，依剪力，可以從動量圖解中決定，其決定的方法，即將每對鋼骨的面積按入圖解中，然後再從此動量圖解中，以定鋼骨的呎度。

決定呎度，即使鋼骨的實需面積，與最大的動量相等。

在代表動量及面積的交點處，鋼骨可以不必連結。

單位結合應力，依四根 $\frac{3}{4}$ 直鋼骨使八根 $\frac{5}{8}$ 鋼骨向上灣曲。則

$$f_U = \frac{v}{E_o j d} = \frac{24870}{4 \times 3 \times 0.92 \times 29} = 81\%$$

鋼骨灣端定限單位應力 = 120 %

### (5) 外邊樑的計畫

在鋼骨凝土丁形橋樑計畫中，其外邊樑的計畫 Design of outside beams, 與長方樑 rectangular beam 的計畫相同。外邊樑的上端凸出於版 slab 的上端，備作路緣 curb 之用。混凝土橋欄杆的重量假定為 280 #/ft

從說明書中的規定，可知計畫外邊樑時所用的動載重，與計畫中

部樑時所用的動載重相同。

$$\therefore M_L = 82,000 \text{ 呎磅}, \quad V_L = 12,270 \#$$

外邊樑所負荷的靜載重，為

$$\text{Wearing surface, } \frac{1}{2} 12 \times 4.25 \times 30 = 64 \# / \text{ft}$$

$$\text{Slab} \quad 1.40 \times 66 = 96 \quad "$$

$$\text{Beam (assume)} \quad = 720 \quad "$$

$$\text{橋欄杆 Railing} \quad = 280 \quad "$$

$$\text{總計} \quad = 1,160 \quad "$$

最大靜載重撓動量，為

$$M_D = \frac{1}{8} \times 1,160 \times 30^2 = 130,500 \text{ 呎磅。}$$

最大靜載重剪力為

$$V_D = \frac{1}{2} \times 1,160 \times 30 = 17,400 \#$$

總撓動量，為

$$M = M_L + M_D = 82,000 + 130,500 = 212,500 \text{ 呎磅} = 2,550,000$$

吋磅。

總剪力，為

$$V = V_L + V_D = 12,270 + 17,400 = 29,670 \#$$

樑的寬度，採用六吋，與中間樑的軸相同。最小的高度決定，以撓動量為根據，

$$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{2,550,000}{107.6 \times 16}} = 38.5''$$

路緣 curb 凸出 12'' 則 18 實需的高度 depth 為 28 + 12 = 40'' 用 40'' 的高度，已綽綽有餘。

$$\text{因 } b = 16d = 40$$

$$R = \frac{M}{bd^2} = \frac{2,550,000}{16 \times 40^2} = 99.6$$

從圖表中，可以尋出  $p = 0.0070j = .880$

$$A_s = pbd = 0.0090 \times 16 \times 40 = 4.48''$$

故須用八根  $\frac{3}{4}$  方鋼骨。

$$A_s = 8 \times 0.5625 = 4.50''$$

最大單位應力，為

$$f_v = \frac{V}{bjd} = \frac{29,670}{16 \times 0.880 \times 40} = 53\%$$

此  $f_v$  之值，已超過於定限應力 40%，故足夠應用。應力頗小，可以不必計算。

假定八根鋼骨，有四根向上灣曲，則端處的結合應力 Bond Stress，為

$$f_s = \frac{20.7V_s l}{3A_j d} = \frac{20.7 \times 29670 \times 30}{32 \times 0.5625 \times 40} = 9250\%$$

如不須用直鋼骨，則鋼骨之安放方法如計畫中部樑 into beams 所用之第九十四圖相同。





## 第十四章 鋼骨混凝土桁橋計畫

## (1) 緒言

鋼骨混凝土桁橋的構造，即以鋼骨混凝土的橋床 Floor Slab，架於直路邊上的。兩鋼骨混凝土的桁上。此種桁，亦作欄杆之用。路面須預備 30% wearing surface

鋼骨混凝土桁橋各部的大小如下：

- (a) 跨度 Span 35'-0" c-c of bearing ;
- (b) 路寬 width of roadway 16'-0" ;
- (c) 桁的位置 Spacing of girder, 約 18'-0" c-c.

## (2) 載重的計算

(a) 靜載重：版的靜載重須注意者為版的重量，及 wearing surface 重量桁的靜載重，須注意者為版的重量，wearing surface 及桁的重量。

鋼骨混凝土的重量，每立方呎 = 150\*。

(b) 活載重：計畫此種鋼骨混凝土的桁橋，以此橋為 D，等級的活載重計算 (Class D—, For Country roads with heavy traffic) 其集中重為 20 噸，或為橋床每方呎 150\* 的，均等載重。桁則為每方呎 125\*。

(c) 衝擊力：根據說明書，則衝擊力 30% 的為橋床，

$$\frac{100}{L+300} = \frac{100}{335} = 30\% \text{ 爲桁。}$$

(d) 風力在此種式樣的桁橋，風力重以石不計。

### (3) 橋版的計畫

計畫此種桁橋的橋版，其經過輪重的分佈超出於12' 使與 axle 平行。計算動量，則假 axle 重的  $\frac{1}{12}$  載重一呎寬；計畫剪力，則假定  $\frac{1}{6}$ 。橋版每呎寬的載重，依集中重，包括30%衝擊力，爲

$$\frac{1.30 \times 28000}{12} = 3,030^{\#}$$

均等分佈於12'。載重置於橋版的中間，則動量最大，如下第九十六圖(a)。

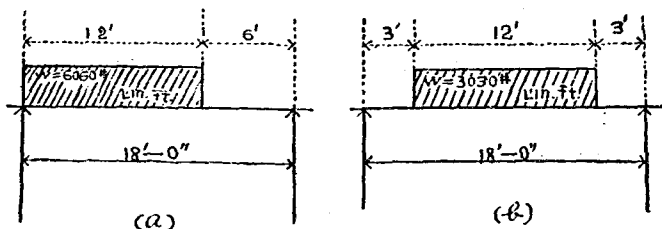
當作此版橋爲簡單支持 Simply supported, 其 Sp n 與桁間的中心距離相等。則在桁上，將有負動量發生，但在完全安定的兩端，或不至於有負動量，橋版每呎寬的最大活載重，依集中重爲

$$M_L = \frac{1}{2} \times 3,030 \times \frac{1}{2} \times 18 - \frac{1}{2} \times 3,030 \times \frac{1}{2} \times 6 = 9,090 \text{ 呎磅。}$$

橋版最大活載重依路面的每方呎125<sup>#</sup> 及包括30%衝擊力，爲

$$M_L = 1.30 \left[ \frac{1}{2} \times (125 \times 16) \times \frac{1}{2} \times 18 - \frac{1}{2} \times (125 \times 16) \times \frac{1}{2} \times 8 \right] = 6,500 \text{ 呎磅。}$$

6,500 呎磅，小於依集中重求得的結果，故可以不必注意。



第九十六圖

每呎寬的靜載重動量，假定一  $14\frac{1}{2}$  橋版，並以 30% 為 wearing surface，為

$$M_D = \frac{1}{2} \times 211 \times 18^2 = 8,540 \text{ 呎磅}$$

橋版每呎寬的總撓動量，為

$$M = 9,090 + 8,540 = 17,630 \text{ 呎磅} = 212,000 \text{ 吋磅}$$

根據說明書中的單位應力，則實需至鋼骨中心的厚度，為

$$d = 0.0965 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.0965 \sqrt{\frac{212000}{12}} = 12.80''$$

於鋼骨中心下面，加  $1\frac{3}{4}$ ，則橋版的總厚為 14.55"。故總厚

度可用  $14\frac{1}{2}$ 。  $d = 12.75''$

在此種橋版中所需每呎寬的鋼骨面積為

$$A = 0.0077bd = 0.0077 \times 12 \times 12.75 = 1.17 \text{ 呎}^2$$

因單位應力，詳於說明書中。  $\frac{3}{4}$  方鋼骨安放中心間隔的地

位爲 6", 預備每一呎寬的面積爲 1.13 呎<sup>2</sup>。使鋼骨垂直於橋桁。○  
 $\frac{1}{2}$ " 方鋼骨, 安放中心間隔的地位爲 12", 平行於橋桁, 以備氣候  
 變遷時分佈載重之用。

最大活載重的情形, 見第九十六圖 (b)

橋版每呎寬載重的剪力爲  $1.30 \times 28,000 \div 6 = 6,060 \#$

活載重剪力爲

$$V_L = \frac{6,060 \times 12}{18} = 4,040 \#$$

路面每方呎 125# 的均等重量, 最大活載重剪力, 爲

$$V_L = \frac{1}{2} (1.30 \times 125) \times 16 = 1,300 \#$$

1,300# 小於依重集中重所求得的结果, 故可以不計。

橋版每呎寬的總剪力, 爲

$$V = 4,040 + 1,900 = 5,940 \#$$

最大單位剪力, 在路緣 curb 處, 使  $d = 12"$ , 則

$$f_v = \frac{v}{b_j d} = 1.15 \frac{v}{b_o d} = 1.15 \frac{5,940}{12 \times 12} = 47\%,$$

使每三根鋼骨向上灣曲, 則最大結合力, 爲

$$f_{11} = \frac{v}{E_o j d} = 1.15 \frac{v}{E_o o d} = 1.15 \frac{5,940}{6 \times 12} = 95\%,$$

根據上列計畫的結果, 可知在橋版下面的鋼骨須向上灣曲。

在上端鋼骨的結合力爲  $\frac{3}{2} \times 15 = 142\%$ , 鋼骨灣曲於桁中的, 其結

合力則較此為低。其餘均詳於第九十七圖中。

#### (4) 橋桁的計畫

計畫橋桁，Design of Girders，須注意路面 125% 的活載重。以 30% 為衝擊力。桁的活載重，為  $1.30 \times 125 \times 8 = 1,300^{\#} / \text{lin ft}$ 。

桁的斷面 section，假定為 66"  $\times$  22"

計算靜載重應力，使桁的載重為 1,510<sup>#</sup> /ft。

橋版 Slab 及 wearing surface 的重量為 211<sup>#</sup> /ft。或為 211  $\times$  8 = 1,690<sup>#</sup> /Lin.ft,

總靜載重為 1,510 + 1,690 = 3,200<sup>#</sup> [per linear ft per girder

每桁的最大活載重撓動量，並包括 30% 衝擊力，為

$$M_L = \frac{1}{8} w l^2 = \frac{1}{8} \times 1,300 \times 35^2 = 199,600 \text{ 呎磅}$$

每桁的靜重撓動量，為

$$M_D = \frac{1}{8} w l^2 = \frac{1}{8} \times 3,200 \times 35^2 = 490,000 \text{ 呎磅}$$

每桁的總撓動量，為

$$M = 199,600 + 490,000 = 689,600 \text{ 呎磅} = 8,275,200 \text{ 呎磅}$$

$$d = 0.0965 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.0905 \sqrt{\frac{8,275,200}{22}} = 59.25''$$

使其總高度 total depth 為  $59 \frac{1}{2} + 2 + 3 = 64 \frac{1}{4}''$ 。如用鋼骨兩層，安放的間隔為 4" (c-c)，則從樑 beam 的下部 bottom 至下

層 lower layer 中心的距離為 3"。總高度則須用 65"。使至鋼骨中心的高度 depth 為  $d=60"$ 。此與上面所假定的斷面  $66 \times 22$  相差不遠，故  $d=60"$  可以應用。

此斷面所實需的鋼骨面積為

$$A = 0.0077bd = 0.0077 \times 22 \times 60 = 10.2 \text{ 吋}^2$$

至單位應力，載於說明書中。八根  $1 \frac{1}{8}$ " 方鋼骨，備一面積  $1.20 \text{ 吋}^2$ ，可以夠用，此八根鋼骨，安放兩層，中心的相隔為 4"，每鋼骨兩根的中心相隔，可使為 5"，並使  $8 \frac{1}{2}$ " 介乎外邊鋼骨的中心及樑邊之間。

端處的活載重剪力，為

$$V_L = \frac{1}{2}wl = \frac{1}{2} \times 1,350 \times 35 = 22750 \text{ 磅}$$

端處的靜載重剪力，為

$$V_D = \frac{1}{2}wl = \frac{1}{2} \times 3,200 \times 35 = 56,000 \text{ 磅}$$

端處最大單位剪力，為

$$f_v = \frac{v}{b_jd} = 1.15 \frac{v}{bd} = 1.15 \frac{78750}{22 \times 60} = 66 \frac{\text{磅}}{\text{吋}^2}$$

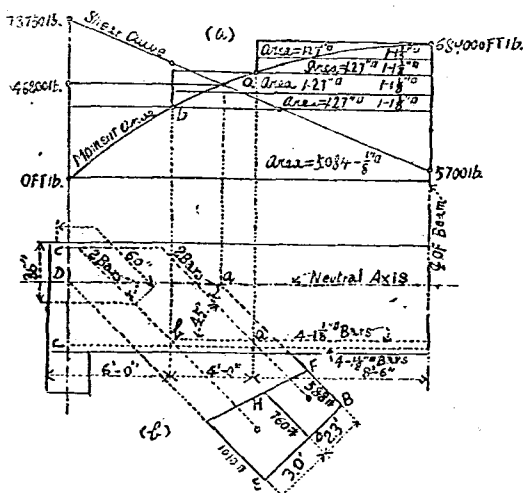
因此，則須用剪力鋼骨混凝土。計算時須在結合應力決定以後。

設上層 top layer 屬於牽引鋼骨混凝土須向上灣曲，以輔助其負荷剪力，則最大單位結合應力，為

$$f_U = \frac{v}{E \cdot jd} = 1.15 \frac{v}{Ecd} = 1.15 \frac{78.750}{18 \times 62} = 82\%$$

至鋼骨的下層的中心高度 depth 爲62", 鋼骨的端須灣曲, 以增加結合強度 Bond strength

至於決定鋼骨向上灣曲起點, 以及撓動量的圖解, 均詳於第九十七圖



第九十七圖

在任一點上依均等載重, 其撓動量的方程式, 爲

$$M_x = \frac{1}{2} wlx - \frac{1}{2} wx^2 = \frac{1}{2} w(lx - x^2)$$

$W$  = 長度每呎的載重 load per foot length



$X$  = 自支持 support 至所注意的一點開的距離，以呎計。  
每呎的總載重，為

$$W = 3,000 + 1,300 = 4500^*$$

設  $X = 5$ ,  $M_X = 2,250(35 \times 5 - 25) = 341,000$  呎磅，

設  $X = 10$ ,  $M_X = 2,250(35 \times 10 - 100) = 568,000$  呎磅，

設  $X = 17.5$ ,  $M_X = 2,250(35 \times 17.5 - 17.5^2) = 689,600$  呎磅，

計算桁腹鋼骨混凝土的應力，則須作一剪力如第九十七圖。在任何一點上最大剪力的方程式，為

$$V_X = \frac{W_L}{2l}(l-x) + \frac{W_D}{2}(l-2x)$$

$$W_L = 1,300; \quad W_D = 3,200; \quad l = 35'$$

$$X = 5, \quad V_X = \frac{1,300}{70} \times 30^2 + 1,600 \times 25 = 56,700^*$$

$$X = 10, \quad V_X = \frac{1300}{70} \times 25^2 + 1,600 \times 15 = 35,640^*$$

$$X = 17.5, \quad V_X = \frac{1300}{70} \times 17.5^2 + 1600 \times 0 = 5,700^*$$

混凝土可以負荷剪力，不超過於每方吋  $40^*$ ，則

$$V_C = f_v b j d = 40 \times 22 \times 0.875 \times 60 = 46200^*$$

桁腹需要鋼骨，自 A 點起（第九十八圖），用自 A 點至樑的總剪力的  $\frac{2}{3}$

鋼骨向上灣曲所有的應力從第九十八圖中，可以決定。從 C

$$CE = \frac{2}{3} f_v b = \frac{2}{3} \frac{V}{jd}$$

$$CE = \frac{2}{3} \frac{V}{jd} = \frac{2}{3} \times \frac{78750}{0.874 \times 60} = 1,010\#$$

$$BF = \frac{2}{3} \frac{V}{jd} = \frac{2}{3} \times \frac{46200}{0.874 \times 60} = 588\#$$

畫 EF 線。

從動量圖解中，可知在 a 處則兩根鋼骨向上灣曲；在 b 處則兩根或兩根以鋼骨向上灣曲。在 a b 兩點處；向鋼骨向上灣曲，可得一完美的分配。

在近端兩根鋼骨的應力，即為圖解中的 ECGH，為

$$\frac{1,010 + 760}{2} \times 3.0 \times 12 = 32000\#$$

或每根鋼骨為 16,000#，其所生的單位應力，為  $16000 \div 1.27 = 12600\%$ ，自鋼骨向端處。鋼骨應力向桁的中點，即為圖解中的 GHFB，為

$$\frac{760 + 588}{2} \times 2.3 \times 12 = 18,600\#$$

或每根鋼骨 9,300#，其所生的單位應力，為  $9,300 \div 1.27 = 7,300\%$

桁腹鋼骨的定限應力為 12,000%，所以一組 one set 鋼骨的應力，已過於每方吋 600#。故須用直鋼骨 Vertical Stirrups 以增加支持樑的強度。

$$l = \frac{f d}{4f_U} = \frac{12600 \times 1.125}{4 \times 80} = 45 \text{ (length of embedment)}$$

以 0.6 爲有效的高度 depth

以 0.6 爲樑的高度 depth (as effective in embed ng the bar)

則鋼骨埋入凝土中的實在高度 Actual length of embedment 爲 60"詳於第九十七圖。

至於鋼骨凝土桁橋各部的計畫，均詳於下列的第九十八圖中。



# 附 錄 一

## 道路混合土橋樑暨基礎之普通工程條例

(美國土木工程師會 Milo S. Ketchum氏著) 彭禹謨

### 第一章 設計概述

(一) 種類 道路橋樑。屬於混合土者。可分以下五種。

- A類 供城市交通。
- B類 供長途汽車路重大運輸。
- C類 供長途汽車路輕便運輸。
- D類 單供重大電車交通。
- E類 單供次等電車交通。

(二) 形式 混合土道路橋樑。依設計情形分以下七種。

- (1) 圈形或方形渠。(涵洞) Circular and Box Culverts
- (2) 板橋。Slab Bridges
- (3) 上行樑橋。Deck Beam Bridges
- (4) 下行桁橋。Through Girder Bridges
- (5) 拱橋。Arch Bridges
- (6) 旱橋。Viaducts

## (7) 架橋。Trestles

(三) 跨度 各種混合土橋樑之形式。可依跨度而選擇。如採用以下之限度而設計。頗屬相宜。

箱渠。(方渠)其跨度可至十四英尺。

板橋之跨度。自十四英尺至二十四英尺。

桁橋之跨度。自二十四英尺。至六十五英尺。

拱橋之跨度。自六英尺起算。

建築拱橋。除極短之跨度不計外。非有堅岩基礎。或結實地層。不易發生沉落者。不得採用該種形式。

板橋及桁橋。每跨度一英尺。須上拱 Combered 二十分之一英寸。

(四) 車路 車路之極小淨闊度。須照下面所定者為標準。

A 類橋樑 應交通之需要。普通不得小於三十英尺。

B 類橋樑 對於跨度十英尺或十英尺以內之橋渠。其車路定為二十四英尺。對於跨度十英尺至六十英尺之橋樑。其車路定為二十英尺。對於跨度超過六十英尺之橋樑。其車路定為十八英尺。

C 類橋樑 對於跨度十英尺或十英尺以內之橋渠。其車路定為二十英尺。對於跨度十英尺至六十英尺之橋樑。其車路定為十八英尺。對於跨度超過六十英尺之橋樑。其車路定為十六英尺。

承受填土之水渠。其長度使頂部闊度不得小於二十英尺。並伸過水平距一有二分之一比垂直距一之兩端斜坡始合。

## 第二章 載重

(五) 死重 死重須包括建築物全部重量。即鋪板以及其他鋪面之重量。亦一概在內。計算死重一項。下列各質單位重量。可採用之。

- 鋼……………一立方呎重四百九十磅。
- 純粹或鋼骨混合土……………一立方呎重一百五十磅。
- 填土……………一立方呎重一百磅。
- 石礫……………一立方呎重一百二十五磅。
- 石塊或石礫麥凱頓姆……………一立方呎重一百四十磅。
- 磚……………一立方呎重一百五十磅。
- 花崗石鋪面……………一立方呎重一百六十磅。
- 橡或其他硬質木料 (B, M,)……………一木磅呎重四磅半。(註一)
- 松或樅……………一木呎重三磅半。
- 已施防腐劑之松或樅……………一木呎重四磅半。

對於電氣鐵道所用之鐵規連接板及護木等。重量每平線呎 Lineal foot 長之假定。不得小於一百磅。

(註一) 護按一英寸厚。一英尺闊。一英尺長之板。其體

積稱爲一木呎。(1 Foot board measure 縮寫 1, Foot BM)

(六) 生重 各種不同之橋樑設計時。除計算死重外。尚須計算其行動載重。然後求得其極大應力。至其行動載重。是否平佈。或係集中。或二者兼備。均分述於下。

(七) A類 此即供市街交通之橋樑也。對於鋪板及其支樑之計算。在車路任何一部上。或每一市街車規上。須承受二十四噸之集中載重。該項載重。係由兩車軸任之。車軸之中心距爲十英尺。其規間爲五英尺。(惟計算時單線假定爲十二英尺闊雙線假定爲二十二英尺闊)。鋪板其餘部分。須承受每一平方英尺一百二十五磅之平佈載重。及B類摩托規道之集中載重。

步行道之設計。對於生重。假定每平方英尺一百磅。

桁之設計。在每一規道上。假定每平線英尺。一千八百磅。在其餘鋪板上。假定每平方英尺一百二十五磅之平佈載重。

(八) B類 此即供鄉村長途重大運輸之橋樑也。對於鋪板及其支物之計算。在鋪板上全部。須承受一每方英尺一百二十五磅之平佈載重。或一二十噸之汽車。該項載重。係由兩車軸任之。車軸之中心距爲十二英尺。車輪之中心距爲六英尺。十四噸係後面車軸承載。六噸係前面車軸承載。該項車道。計算時假定佔據十英尺闊。三十二英尺長之面積。其後輪之闊度爲二十英



寸桁之設計。假定每平方英尺一百二十五磅之平佈載重。

(九) C類 此即供鄉村長途輕便運輸之橋樑也。對於鋪板及支物之計算。在鋪板全部面上。須承受每一方英尺一百磅之平佈載重。或一十五噸汽車。該項載重。係由兩車軸任之。車軸之中心距。為十英尺。車輪之中心距。為六英尺。後面車軸承載十噸。前面車軸承載五噸。該項車輛規道。假定佔據十英尺闊。三十英尺長之面積。其後面車輪之闊度。為十五英寸。

桁設之計。假定每平方英尺一百平之磅佈載重。

(十) D類 此即單供重大電車交通之橋樑也。每一規道。包有兩對車輪之接續集中載重。每對車軸之中心距。為十五英尺。每一車軸承受四萬磅之載重。每車一輛共有十六萬磅之載重。或在每一車規上，每一平線英尺六千磅之平佈載重。惟限於五十英尺以內。如一百英尺或以上者。減至五千磅。中間跨長。可用比例求得之。

(十一) E類 此即單供中等電車交通之橋樑也。每一規道。包有兩對車軸之連續集中載重。每對車軸之中心距。為五英尺。內面車軸。中至中距離為十英尺。兩對車軸之中心距。為十五英尺。每一車軸承受二萬五千磅之載重。每車一輛。共載十萬磅。或跨度五十英尺以內。在每一車規上。每平線英尺三千五百

磅之平佈載重。如跨度至一百英尺。或以上者。減至三千磅。中間之跨長。可用比例求得之

(十二) 集中載重之分佈 混合土建築部。對於集中載重之分佈。須照下面之計算。

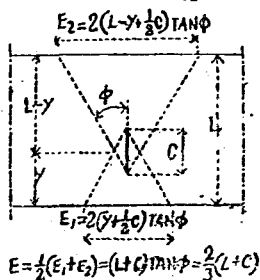
(甲) 由縱桁承托之鋼骨混合土板。對於彎曲力率集中車輪載重之分佈。須照下面範式計算之。

$$e = \frac{2}{3}(L+c)$$

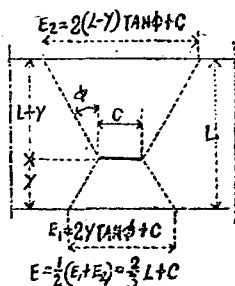
式中  $e$  代表有效闊度。Effective width (自板之中間向兩下及與支座 Supports 平行之線上設想載重平均分佈所佔之距離) 其極限為六英尺。

$L$  代表跨度以英尺計。  $c$  代表輪軸之闊度。以英尺計。(參看第一圖。)

圖一第



圖二第



(乙) 用橫桁之鋼骨混合土板。對於彎曲力率。集中車輪載重之分佈。須照下面範式計算之。

$$e = \frac{2}{3} L \times c \dots \dots \dots (2)$$

式中  $e$  代表有效闊度。其極限為六英尺。

$L$  代表跨度。 $c$  代表輪鐵闊度。其定義均與 (甲) 節相同。

(丙) 桁橋之板。對於彎曲力率。集中車輪載重之分佈。若橋之跨度。並不小於桁間中心距之闊度。對於跨度九英尺或以上者之計算。須照下面之範式。

$$e = \frac{2}{3} L \dots \dots \dots (3)$$

式中  $e$  代表有效闊度。其極限為十二英尺。

$L$  代表跨度。其定義均與 (甲) 節相同。

(丁) 樑之承載集中載重者。對於剪力之有效闊度。須照對於彎曲力率由範式 (1) 或 (2) 計得相同。惟其極小限度為三英尺。其極大限度為六英尺。

對於三英尺有效闊度之統共剪力。須設定為打孔 (純粹的) 剪力。Punching Shear 對於四英尺半。或以上之有效闊度之統共剪力。須設定為樑之剪力。Beam Shear (等于對角引力值) 對於三英尺至四英尺半。有效闊度間之統共剪力。須由打孔剪力。與樑之剪力間。照比例除之。樑之剪力。須用於粘結應力  $B$

-cdStrecs 之計算。及作為量對角引力之值。

(戊) 對於設計連合混合土地板之小樑。Joist ( 擱柵 ) 或縱樑。Stringer 一個縱樑所承載之集中載重之分數。Fraction 若其間距 Spacing 為六英尺或以內者。須等縱樑間距尺數。以六英尺除之。若連合之地板。係木板者。一個縱樑所承載之集中載重之分數。若其間距為四英尺。或以內者。須等於縱樑間距尺數。以四英尺除之。每種情形中之極大限度。即為充滿載重。Full load 外邊縱樑。其設計所用之載重。與內邊橫樑同。

(己) 對於連合混合土地板之橫切縱樑。或橫樑 Floor beams 之設計。一個橫樑所承載之集中載重之分數。若橫樑與橫樑間之距離為六英尺。或以內者。須等於橫樑間距尺數。以六英尺除之。若橫樑間之距離等於六英尺。或以上者。其全部支座力。Reactions 假定為一個橫樑承載。循軸樑重。Axle loads 假定分佈一十二英尺長之線上。

(十三) 風力 橋樑最大垂直投射面 Vertical Projection 上之風壓力。須假定每平方英尺三十磅。對於各種橋樑之極小風載重。每平線呎為三百磅。

承載電車之橋樑建築物最大垂直投射面上之風壓力。當承就

載重時。須假定每平方英尺三十磅。並每平線呎爲四百磅。該力假定爲行車載重。置於鋼規底部上面七英尺處。

架橋或旱橋之塔。亦須照橋樑所承載之風力而計算。每架橋或旱橋之架之垂直平線呎 Vertical Lineal foot 一呎。假定風壓力爲一百磅。

設計中。若風應力加入死生兩應力時。則生死兩法許單位應力。可增加百分之二十五。

(十四) 溫度應力 鋼骨混合拱弧支架。以及其他固着 Restrained 建築物之設計須顧及溫度華氏表八十度之變化。若溫度應力加入死生兩應力時。則生死兩法許單位應力。可增加百分之二十五。

(十五) 車之向心力 在灣道上之建築物。設計時須顧及置於軌頂之生重向心力。該力須照下面之範式而計算之。

$$(C=0.03W.D)$$

式中 C 代表向心力。以磅計。D 代表弧線度數。W 代表車之重量。以磅計。

(十六) 縱向力 Longitudinal Forces 一行動載重。忽欲停止時。所生之影響。須顧及之。車輪在規上所生之摩擦系數。the Coefficient of friction 須假定爲 0.2

### 第三章 單位應力暨各部比例

(十七) 單位應力 建築物各部。須有相當之比例。務使承就之極大應力。並不超過下節所載示者。

(十八) 擊撞力 (甲) 混合土拱弧有拱腹填土者。Spondrel Filling 或涵洞上部極小填土為一英尺者。不必計及擊撞力數目。

(乙) 混合土板橋與桁橋。及架橋與無拱腹填土之拱弧。須加百分之三十作為擊撞力。

(丙) 若為鋼橋。則下面所載作為擊撞力。

(一) 地板及包括地板縱樑橫樑吊鉤 Hanger 等之支物。須加百分之三十作為擊撞力。

(二) 除地板及其支物外。對於所有桁構肢類 Truss members 擊撞力之增加值。為

$$I = \frac{100}{(L+300)}$$

式中 L 代表簡單道路跨間中之跨長。(架橋之架塔。活動橋樑。拱弧及腕樑 Canfilaver 橋樑。以及承載電車之橋樑等等。L 之值須取自在肢內發生極大應力時。橋樑之載重長度。Loaded Length

擊撞力無須加入由縱向或向心或側向風力。或溫度應力等所

合發生之應力以內。

(十九) 應力之計算 下例假說。係計算應力之基礎。

(1) 計算須根據工作應力。Working Stress 及安全載重。

(2) 未經彎曲以前之平面。在已經彎曲以後。仍為一平面。

(3) 受壓力時之混合土。其彈性系數 Modulus of elasticity 不變。而樑內應力之分佈。係循直線式。

(4) 計算樑中抵抗力率 Moment of resistance 時。混合土中之引力。並不計及在內。

(5) 混合土與鋼骨間之結合力。Adhesion 假定完全兩種材料假定所受之應力。與兩種彈性系數成相當之比例。

(6) 鋼之彈性系數。比混合土之彈性系數之比率。採用十五。

(7) 由混合土縮短。鋼骨中所生之起初應力。Initial Stress 可不必計及。

(二十) 跨長 桁樑及簡單支放之板等跨長。須自支端中至中計算。但亦無須超過淨長加樑或板之深度之和。

連續或固着之樑。其跨長等于由支座之面中間所取之淨長。若托樑 Bracket 同樑桁一本建築者。支座之面。可由托樑與樑桁併合深度之大于跨度中間深度三分之一處點起算。

採用托樑時。關於桁樑跨長之減少。如一端有托樑。其減值不得大於跨長十分之一。如兩端有托樑。其減值不得大於跨長十分之二。

極大之負彎曲力率。假定存在跨間之端。該端之限定。仍照上說。計算應力時。混合土拱弧之跨間。須採用拱弧圈中立軸 Neutral Axis 之跨間。而拱弧之上拱距離。須等於從中立軸兩端相接之直線至中立軸頂點 crown 之距離。

拱弧之實在跨長。暨上拱距離。須由起拱線 Sprigging liens 中間起算。是為淨跨長。及由拱弧下 Intrados 起算。是為淨上拱距離。

(二十一) 彎曲力率 單樑 Simple beams 由外面載重所生之彎曲力率。須照尋常法則計算之。若樑為一部連續 Partially Continuous beam 者。近中部所生之極大正彎曲力率。及樑端所生之負極大彎曲力率。須等於在單樑所生之極大正彎曲力率十分之八。若樑為連續者。其中部或鄰近中部所生之極大正彎曲力率。及樑跨端所生之極大負彎曲力率。須等於在單樑所生之極大正彎曲力率十二分之八。

對於特別之跨間。或不相等之跨長。或承載極重之集中載重等情形相值時。須有更確實之計算。



(二十二) T 形樑 在建造樑蓋板之工程中。樑板二者接處。須備有切效之粘結強度始可。若板中主要鋼骨。與樑成平行者。須用橫向鋼骨。延佈樑上。並伸入板中始合。

若板與腹板 Web 間。備有滿足之粘結及剪力抵抗強度。則該板完全為樑之部分。但板之有效橋樑。須照下面規定採用。即

(甲) 不得超過樑之跨長四分之一。

(乙) 腹板任何一面之凸懸闊度。Overhanglog Width 不得超過板厚之六倍。

T形之採用。不僅藉以增加混合土壓力面積起見而已。其凸緣 Flange 之闊度不得超過其幹部 stem 之闊度之三倍。至凸緣之厚度。又不得小於樑之深度三分之一。

(二十三) 四面支撐之地板 四面支撐之地板。須連續在支柱上面經過。若板為正方形者。每一方向之鋼骨。須假定各承受一半之載重。若板為長方形。而板之長度並不大於其闊度一倍半者。橫向鋼骨所承就載重之比例。須假定

$$V = \frac{b}{s} - 0.5 \quad r = \frac{L}{b} - 0.5$$

式中 L 代表板之長度。b 代表板之闊度。其剩餘之載重。須歸縱向鋼骨承受之。若 L 之值。等於或大於 b 值之一倍半時。全部載重。須假定均歸橫向鋼骨承受之。

佈置鋼骨時須假定由前計算所得之彎曲力率之值之三分之二。歸板之中部一半承受之。其值之三分之一。歸兩旁四分之一部承受之。

(二十四) 粘結強度建築部分。均宜有充分之粘結強度。固着樑及腕樑中之鋼桿。須灣繫於支柱之內。使鋼桿有充足之引力存於其間。若建築部須備極大粘結強度者。可採用皺形鋼桿 Deformed bars 等以維持之。使或鋼桿之端。變成鈎形。亦可增加粘結強度。鋼桿之鈎形端。須變成一百八十度之圓圍始佳。

(二十五) 鋼骨之置距 Spacing 互相平行鋼骨之旁向置距。中至中不得小於鋼骨直徑之三倍。又自樑之邊緣至最近鋼骨之中心距離。亦不得小於鋼骨直徑之二倍。兩層間鋼骨之淨距離。不得小於一英寸。若所用之鋼骨。不至兩層者。鋼骨上灣處。及其附近處。均須用堅固接物。將各層連合繫住之。若所用之鋼骨。不止一層者。至少在下層之上。所有鋼骨。均宜上灣。並伸過支柱之邊而灣繫之。

(二十六) 剪力鋼骨 外部垂直剪力之三分之二。須歸腹版鋼骨承受。垂直或傾斜鐙條。Stirrup 須縛於水平鋼條之上。以防滑脫。Slip 鐙形鋼條。或對角線間之粘結抵抗力。須有充量供給。於樑之壓力面積中。直鐙形鋼骨之縱向置距離。不得超過

樑之深度二分之一。而傾斜之腹版肢條之置距。不得超過樑之深度四分之三。若水平鋼條。因承受腹版應力而上彎者。其彎折點之距離。不得超過樑之深度四分之三。固着之樑中。第一鑿形鋼條。或鋼桿。下彎之地位。距離支柱之面之處。不得超過樑之深度之二分之一。

若一平板。置於柱上。或一柱立於脚柱上。或一集中載重置於一短樑之近端。則板中剪力。須假定係打孔剪力。

(二十七) 柱 最好柱之長度。不大於其最小闊度之十五倍。柱內須用垂直鋼條。及連束物， Bands 其形式或為箍圈。 Hoops 或為螺線 Spirals 有時或用鋼材建築形式。 Structural ribs 構成一混合土之中心。 Core 箍圈柱。或建築形式柱之有效面積。須取周圍繞螺線之圓內。或圍繞建築形式之多角形內之面積始合。

柱之極小者。外緣至外緣之距離。不過十二英寸。

縱向鋼骨。須假定承受應力之比例分配值。箍圈或連束物不得算為有承受應力之責任。箍圈之淨置距。不得大於圍繞柱之直徑之六分之一。然而最好不得大於十分之一。無論若何。不得大於二英寸半。箍圈須成圓形。而連束物之兩端。須繫住之。方可增高強度。箍圈不得小於圍繞柱之百分之一。由離心載重。 Ec-

centric Loads 或由側力柱內所生之曲彎力率。須增加載重面積。俾極大應力。不超過法許值而止。

(二十八) 溫度應力 因溫度關係所用之鋼骨。不得小於柱之總面積 Gross Area 百分之一之三分之一。其形式須能增加極大之粘結力者為合。其地位須置在鄰近表面處。佈置尤宜完善。

(二十九) 伸縮搖子 Expansion Bockers 跨長四十英尺或以上之鋼骨混合土橋樑。須設置伸縮搖子於每孔之端。搖子須鑄自生鐵。並須遵照灰色鑄鐵材料試驗之條例。橋孔在四十五英尺以內者。所用之搖子。其厚度不得小於二英寸半。如橋孔在四十五英尺以上者。搖子厚度。不得小於三英寸。搖子之上下邊。須作圓弧形。該圓徑等於搖子高度之一半。在鋼墊 Bearing Plane 上搖子之支力。每方英寸。不得超過  $300d$  磅。(此間  $d$  代表搖子高度。)

(三十) 墊板 搖子須在光滑支面之鋼支板或墊板間旋動。設置伸縮搖子之溝縫。須從伸縮之方向。鋼墊板之支力。不得超過每方英寸一萬六千磅。墊板須設置於完全灰漿 Morter 之床上。並宜水平始可。

跨長在四十英尺以內者。無搖子之墊板。有時可設置於桁橋之一端。

(三十一) 搖子匣 *Rocker Pockets* 搖子匣須裝置於混合土內。其長較搖子長二英寸。搖子之頂。須高出混合土表面半英寸。搖子設置之位置。須與桁軸成正交。不得稍有偏斜高下。有時可用樺木做成之撐柱支住搖子。該柱之截面。不得大於一方英寸。在打入以前須飽受水分。此時搖子匣內。須滿注地瀝青。A *Sphalt* 頂部墊板。置放妥當。並以軟木柱撐住。使其水平。該木柱之截面。不得大於一方英寸。其位置在搖子之兩旁。並置於匣之底部。地瀝青氈墊。有時用以分隔上部混合土結構。脫離下部結構者。不得與鋼板襲接 *Over lap* 大於一英寸。不准混合土投入搖子匣內。所用之地瀝青。須遵照地瀝青防水 *Water proofing* 材料試驗之條例。地瀝青氈塊。須用片式。其厚度不得小於四分之一英寸。尋常之煤黑油紙。 *Tar paper* 或其他建築紙類。均不宜用。

(三十二) 混合土地板條例 混合土地板。須用 1—2—4 普蘭水泥混合土造建之。關於載重之分佈。須遵照第十二條之說明。所有混合土地板。如無地瀝青之磨損表面 *Wearing Surface* 覆蓋者。可用 1—1 灰漿做成半英寸厚之磨損表面。該灰漿蓋層。待板身混合土下入後。其面上已經重木質製泥鋸刮平滑後。須即行加上。

經過每一跨間時。地板之混合土。其下入工作。不得隔斷。跨間之間。及置於岸墩 Abutments 之地板之端。均須裝設伸縮縫 Expansion Joint 該縫內須注入煤黑油。或地瀝青或煤黑油氈。或地瀝青青氈。並須註明於圖則之中。在伸縮縫處。混合土之邊緣。須用銅版保護。該縫內須滿注煤黑油。或地瀝青氈。長度跨間地板。兩端下入混合土。混合土版須遮蔽之。以免日光之直接射入其表面。至少在一星期間。須恆保持潮濕態度。

(三十三) 油料地板覆層 Bituminous Floor Coating 煤黑油或地瀝青。照工程師之指揮。乘熱注於混合土上。每平方碼需三分之一加倫。在該覆層上。乘熱須篩以帶熱及清潔並能經過四分之一英寸篩之砂粒。其量須充足。然後用手輥機 Hand roller 滾壓之。所有接筭及角隅處。均須注滿地瀝青或煤黑油。所有將敷地瀝青覆層之混合土表面。須用鋼帚 Broom 及擦掃清潔之。

#### 第四章 工作應力

(三十四) 以下所述之工作應力。係對於靜止載重而言。並根據各項條件。即混合土組合之比例。為一分普爾水泥。二分砂或細混合物。四分石子。或粗混合物。照試驗室中情形。製成圓徑八英寸。長十六英寸之圓柱形。並貯藏於潮溼空氣之中二十八天。能得一最後壓強度。每平方英寸二千磅是也。各種不同混合

之混合土。其法許應力。照上述情形所得之最後壓強度由比例定之。

(三十五) 支座力 Bearing 當壓力置於混合土表面時。若其面積至少在載重面積二倍者。一每方英寸七百磅之應力。可加於實受載重面積上。

(三十六) 軸受壓力 Axil Compression 在一純混合土 Plain Concrete 中。Pier 若其長度未超過四個直徑者。法許之應力。每平方英寸為四百五十磅。

(三十七) 柱 鋼骨混合土柱之法許應力。分列於次。

(甲) 柱之縱向鋼骨。在百分之一以上。百分之四以下者。其旁向繫桿圓徑之大小。不小於四分之一英寸。其置距為十二英寸。並不超過縱向鋼骨圓徑之十五倍者。其法許應力。每平方英寸。為四百五十磅。

(乙) 柱之縱向鋼骨。在百分之一以上。百分之四以下者。所用之圓形箍圈。或螺旋形。不小於混合土體積百分之一。箍圈之置距。不大於圍繞柱之圓徑六分之一。或不大於二有二分之一英寸者。其法許應力。在混合土中。每平方英寸為七百磅。

(三十八) 極外纖維上壓力 Compression on Extrem Fiber 根據混合土不變彈性系數之假說。一樑之極外纖維上壓力。不得

超過每平方英寸六百五十磅。連續樑之相鄰支端。可加高百分之十五應力。

(三十九) 剪力暨對角引力 欲計算對角引力。可用下面之法許剪應力。

(甲) 樑之僅有水平鋼骨。而無腹版鋼骨者。每方英寸。四十磅之剪應力可用之。

(乙) 樑中有鏡形腹繫鋼骨。繫在引力面之縱向鋼骨上。其水平置距。不大於樑之深度一半者。或其縱向鋼骨上彎。與樑所成之角。不大於四十五度。或不小於二十度。其上彎之點。水平置距。不大於樑之深度四分之三者。每方英寸。九十磅之剪應力可用之。

(丙) 樑中兼有彎折鋼骨。及垂直鏡形鋼骨。繫於引力面之縱向鋼骨上。其水平置距。不大於樑之深度一半者每方英寸。一百磅之剪應力可用之。

(丁) 樑中有腹版鋼骨。(垂直或傾斜)繫於於引力面之縱向鋼骨上。務使該縱向鋼骨。不能自鏡形鋼骨上滑去。垂直鏡形鋼骨之置距。不大於樑之深度一半。傾斜鏡形鋼骨之置距。不大於樑之深度四分之三者。縱向鋼骨上彎。或否者。每方英寸。一百二十磅之剪應力可用之。



(戊) 對於打孔或純粹之剪應力。每方英寸。一百二十磅可用之。當計算腹版鋼骨之應力時。外面垂直剪力三分之二。須假定由鑊形鋼骨。或上稜鋼桿承受之。與彎折鋼骨連用之鑊形鋼骨中應力。可由彎折鋼桿之緣故。先求得其法許之總共剪應力。由總共外面垂直剪應力。減去該法許之總共剪應力。其餘值三分之二。即為鑊形鋼骨承受之剪應力。

(四十) 粘結應力 混合土與平光鋼骨間粘結應力。每方英寸。可假定八十磅。牽線 Drawn wire 間粘結應力。每方英寸。可假定為四十磅。變形桿 Deformed bar 間粘結應力。每方英寸。可假定為一百磅。兩端彎成一百八十度鉤形。其半徑為桿之兩個直徑者。其粘結應力。每方英寸。可假定為一百二十磅。

(四十一) 鋼骨中之應力 鋼骨中之引應力。或壓應力。每方英寸。不得超過一萬六千磅。鑊形鋼骨中之引應力。每方英寸。不得超過一萬二千磅。

## 第五章 混合土拱弧

(四十二) 配合 Proportions 鋼骨水泥拱弧之拱頂。Crown 厚度不得小於跨長六十分之一。其起拱線 Springing Line 處之厚度。亦不得小於拱頂處厚度之二倍。

(四十三) 鋼骨 拱弧所用之鋼骨。須雙倍及對稱排列者最

佳。每一截面。均須供給充量之鋼骨。根據混合土無引應力之假說。以承受所有之引力。其主要鋼桿。須用鑿形鋼骨繫牢之。所用鑿形鋼骨之大小。其圓徑不得小於八分之三英寸。置距不得小於起拱處弧圈之深度。並且圍繞主要鋼桿。用鐵線等繫住牢固。不得脫離一定位置。橫向鋼骨量。不得小於百分之三分之一。在弧圈之兩邊。其排列須相互對稱。所有鋼骨。在混合土下入以前。均須地位確定。繫縛堅固始合。並宜用混合土塞片。Blocks 或金屬枕 Metal Chais 塞於鋼桿之下。以脫離板模。Forms 拱頂中所用之鋼骨。面積不得小於百分之一。

(四十四) 應力之分析 拱須用彈性理論。對於下面至少各種生載重情形而分析之。

(甲) 覆蓋於跨間中部四分之一跨長之生載重。對於拱頂極大正彎曲力率。

(乙) 覆蓋於每端八分之五跨長。或總共四分之三跨長之生載重對於拱頂極大正彎曲力率。

(丙) 覆蓋於一端八分之五跨長之生載重。對於承受載重一邊起拱處之極大正彎曲力率。

(丁) 覆蓋於一端八分之五跨長之生載重。對於承受載重一邊起拱處之極大負彎曲力率。拱弧跨間不相互對稱或設計特別。

或載重非常者。須用指導線（或稱關係線）Influence Lines 研究之。

（四十五）設計拱弧部。Archribs 須預防兩旁在華氏表四十度溫度時之變化。

（四十六）由軸壓力拱圈所受短縮之影響。須顧及之。

（四十七）拱腹牆 Spandrel walls 須固住於拱圈內。並須增加橫向鋼骨。以防拱腹牆上之極大側面力。

（四十八）覆以泥土之拱圈。及拱腹牆頂部。須用水泥灰漿。做成一光滑之面。並須用純粹水泥漿或瀝青。敷成一防水表層。

（四十九）拱腹及柱。並手欄處。均須裝置伸縮縫。其極小數目。跨長在五十英尺以內者。須有伸縮縫三處。如在五十英尺以上者。須有伸縮縫五處。該項接筈。須採用凹凸式。Tongue and groove type 並須完全避水。

## 第六章 材料

（五十）普蘭水泥 水泥土採用上等鑑定之普蘭水泥。並須遵照材料試驗種種條例。每一水泥貨身之裝載。Car load 均須經過試驗手續。須有靈便之運輸。使其在用時十天以外。可得舉行試驗工作。尤宜妥為存放。以免潮濕水化。

(五十一) 混合土 混合所用水須清潔新鮮。不得含有油質酸性鹼性。或有機質等。

(五十二) 砂 砂或細混合物。須含有清潔之砂質。細粒。大小務宜均勻。由細至粗。乾燥時以能篩過孔徑四分之一英寸篩者為合。經過每平線英寸有五十眼之篩。不得有重量百分之二十。經過每平線英寸。有一百眼之篩。亦不得有重量百分之六。砂中不得含有確實乾燥重量百分之三之泥土。並須除去軟物質泥塊草根。或其他有機物質。

砂之質地之佳者。用一分重量之普蘭水泥。和三分重量之砂。做成膠泥。試塊能含有高引力強度。

(五十三) 碎石或石礫 粗混合物。須含有碎石或石礫。其大小留于孔徑四分之一英寸篩中。及經過以下四分之一英寸之篩者為合。

重大基礎所用之混合土。所有石子。須經過一二英寸半篩。至少百分五十。須留於一四分之三英寸篩中。

板柱拱壩。及相類建築所用之混合土。所有石子。須經過一一英寸半篩。至少有百分之五十。須留於一半英寸篩中。

極薄建築部所用之混合土。所有石子。須經過一一英寸篩。至少有百分之四十。須留於一半英寸篩中。

所有碎石。或石礫。均須包含清潔堅硬材料。並須由粗至細。分其等級。大小石子泥土。或灰塵附於上面。成爲簿皮者。須用水洗濯之。否則拋棄不用。任何材料。如含有細紋胞石。Shale 土塊。崩解或朽腐之大圓石。或超過重量百分之三之泥土等。均在拋棄之列。工程師可以准許取用經過砂與石礫比例關係之尋常試驗之未經篩過之石礫。如混合土之比例。指示明白者。砂與石礫或碎石。須分組配量

(五十四) 鋼骨 所有鋼骨。須由開爐法 Open-hearth Process 製成之。須合小條鋼之需要須遵照材料試驗之條例。除圖樣上特別指示外所用之鋼骨。均係平光 Plain 其形狀或圓或方。至變形桿 Deformed bars 採用之形式。須由工程師核准之。在本條例中。不採用扭形桿。所有鋼桿。均宜免去生鏽。或塵土。工作時。須塗以膠油。所有鋼骨。在混合土未經下入以前。均宜用鐵絲等繫住使不移動。

## 第七章 結構之細目

(五十五) 配合 材料須留意揀選。品質務宜均勻。配合尤宜得當。能使其有極大之密度者爲佳。故先將材料分其品級。評其粗細。然後將較細之物質。充填較大物質間之空罅。使混合物之空罅。減至極小之限度爲止。砂與碎石。須用鬆體量之含有淨

重九十四磅之一袋水泥。可假定等於一立方英尺之等積。

(五十六) 砂與碎石或石礫。所用之比例。以能得有極大之密度者為合。其分配法。須從密度試驗而定。粗混合物之等級。亦宜均勻鑒定。否則配合之結果。變成各種不同之大小矣。

(五十七) 鋼骨混合土板樑柱等。所用之比例。尋常用一分普蘭水泥。二分砂。四分石礫。或碎石純。混合土鋼骨混合土基礎所用之比例。尋常用一分普蘭水泥。二分半砂。五分碎石或石礫。薄層部分。或柱或肢 Member 之需用較強之混合土者。其比例。尋常用一分普蘭水泥。二分砂。三分碎石或石礫。

(五十八) 各部所用之比例。須根據結構部需要之強度。或別種之品質而定。工程中如混合土內。另含別種材料者。須有特別之試驗。

(五十九) 混合 各種成分之配合。須經確實之量法。混合土須在一能使所有材料均勻分佈於物體之混合器中。透澈混合。並宜在所有材料完全集合後。至少須接續一分或一分半之時間。若混合之容量。在二碼或多碼者。至少混合時間。為二分鐘。然混合之時間。能較上述之極短時間為長者。總覺適宜。混合器中須裝置自動開閉機關。節制放射。以免各種材料。在未經完全混合以前。不致即行瀉出。所用之水。須量其積。始注入混合器

內。混合器之裝置。須使鼓輪 Drum 每分鐘約有二百英尺之迴轉平速度。

(六十) 用手混合。須在一不漏水之平台上行之。待水加入。拌轉各種成分。使其集合。至少須有六次。並須特別注意。俟混合物體。色現均勻一致後始止。

(六十一) 各種材料之混合。須有適當之潮濕。能使所成之混合土。可以遲遲注入板模。圍繞鋼骨之固結度 Consistency 者為佳。同時混合器。注入板模時。內中粗混合物。不得有脫離灰膠之現象。水量乃製成極大強度及密度混合土之最大要素。過量之水。同太少之害相等。

(六十二) 灰膠或混合土。如局部已凝結者。不得再行混合。

(六十三) 混合土之處置 混合土須由混合器中迅速注入板模內。局部硬化之混合土。無論如何。不許應用。下混合土時。須用一直鏟 Shovel 或薄片工具。Slicing tool 上下移動。使各有成分。各有相當之位置。而全部有堅實之狀態後始止。對於稍帶白色膠狀質 Laitance (註一) 變化之防。除有特別之注意。如有此頂膠質之發現。即宜除去之。

(註一) 謾按混合土表面。承受水力之處。一部分水泥。

必被衝刷而去。則該衝刷一部之混合土。必因是而變弱。繼此而發生者。即有一部分之水泥。因是而腐爛。成一稍帶白色之膠狀質。名之曰 Laitarce 該質之成分。約與水泥相同。不過缺少硬化性質耳。如混合土之表面。或其鄰近有該質發現。則有損於新舊材料間之粘結力。實際上。在下新鮮混合土以前。必須除去該種膠質。

(六十四) 鋼骨須照計劃圖則留意排列。花混合土未經下入及結實以前。不得移動其位置。板模須堅固。須除去碎片木屑。須完全浸濕或敷油質。若混合土工作有停止時。在該混合土工作未經完全固結前。須備接筈。以爲將來接續工作。若混合土工作重行接續時。從前下入之混合土表面。須使粗糙。別種材料以及白色質膠。均須清潔除去。用水浸濕後再用 1—2 普蘭水泥灰膠塗滑之。未經凝結之混合土表面。須用物覆蓋。及用水浸灑一星期。以免早乾之弊。

(六十五) 混合土若用管流注者。其形式及設計。須能使該管實際上。成爲連續不斷之水槽。方有功效。至管與水平所成之角。須能使混合土流出時。各成分不互相分離者爲合通常與水平成二十七度之角。最屬實用。管中每次流出混合土。前後均須用水洗濯清潔。若流運時間。有停歇者。管之底。須備一漏斗。



Hopper 不斷之流運。用垂直管最爲適宜。若流運有停歇。而用垂直管者。須備阻板。Baffle Plates 以阻其流。

(六十六) 冰凍時期 除用特別預備。使材料不含冰塊。或冰結者外。混合土不宜在冰凍天氣舉行混合。及下佈。該項特別預備。混合土已經凝結。及有充足硬度以前。不得有冰結其建築部之影響發生。

當混合土混合及下佈時。空氣之溫度。在華氏表四十度以下者。所用之水。須用充分之熱量。務使混合土混合後。下入板模中。已至最後之位置時。其溫度不得在華氏表六十度之下。惟須留意所用之沸水。不得有損壞混合土之虞。並不准用鹽。以減低混合土冰點。

(六十七) 蠻石混合土 Rubble Concrete 如遇用大塊之混合土時。隨工程師之選擇。有時用清潔大塊之石。整齊分佈。均勻置放。四圍塗以水泥。以成蠻石混合土工程。

(六十八) 板模 板模須堅固。不撓。構造須符合。設計部之大小。及輪廓 Contours 結構。須防製灰膠之外溢。

重要之工程。所用之板片。其表面須飽光。其厚度與闊度。須均勻。其質須結實。無木節。橫部。須水平。及牢着於棟木 Stud 或直柱之上。建築部背面。及其他較粗之工程所用之板片。

其表面無需鉋光。有時正方角隅。須用物填塞。以成圓形。或弧線角隅。

重用之木板。須清潔之。有時其大小形狀。須重行配合。以符圖則中之計劃。

板模非經工程師之准許。不得拆卸。八英尺見方之涵洞。以及板樑拱弧橋樑等所用之板模。熱天拆卸時期。不得少於三箇星期。冷天則由工程師之意。隨實地情形而定之。

(六十九) 接筭 混合土建築物。最好全部一氣落成。如實際上有所未便時。須備接筭。惟不得太傷強度。或損壞美觀。

岸墩或橋台所用之混合土。其置放之層次。須均勻。其方向須橫越岸墩之全長。基址與岸墩牆間。須有充足之粘結力。地板之縱向完全截面。須連續不斷。在該方向內。如有接筭。殊屬不宜。每一桁之混合土。須一氣落成。每層混合土。須沿桁之長度一向下入之。

(七十) 拱圈之混合土。須一氣落成。若該圈全部不能在十小時內連續落成者。可將拱圈分成若干橫向弧形每一弧形部。Transverse segments 每一弧形部須一氣落成。

(七十一) 柱內之接筭。須與桁之下邊平接。樑及板中之接筭。須在跨間之中。或鄰近跨間之中。柱內之接筭。其方向須

與軸成正交。桁樑及地板內之接筭。其方向須與表面之平面成正交。

(七十二) 在置放混合於一新注混合土柱之頂部以前。至少須有兩小時之間隔。以待柱中混合土之下沈及收縮也。

(七十三) 大塊所成之擁壁。及橋台。其內若無部鋼骨者。每一間隔。須建築伸縮縫。該間距等於高之一倍有半。

(七十四) 補強或鋼骨 鋼骨搭接部 Lap 之長度。須根據安全粘結應力。鋼桿內部應力。接縫處混合土剪抵抗力等而定。或在鋼桿之門。備一完全之連接。Connection 俾有充分之強度。承受所生之應力。板橋中縱向引力。鋼桿須照圖則供給充足之長度。桁之跨長。中間半部。不准有製就或接就之縱向引力鋼桿之接縫。每桿不得有一個以上之接縫。相鄰之桿。其接連處。不得同在桁之一端。所有板中鋼骨。橫向與縱向。均須充足。所有桁橋。須用鑿形鋼骨。以承剪力。基礎之間。須用支板。Bearing Plates 以承鋼桿或鋼桿置放於基腳下面。充分之距離。因支面及粘着抵抗力作用。傳送鋼中應力於混合土中。

(七十五) 却水 Waterproofing 混合土混有適當之比例。實際上俾有充足之密度。有適當之混合。俾有相當之固結。則在尋常之壓力中。不致水有浸透之虞。直接與泥土相接着之薄層牆壁。

在貼近接直面處。須用水平及垂直鋼骨補強之。每一方向所用之鋼量百分之三分之一已足。牆之直接與泥土附着者。塗熱煤黑油一二層。再用溶解於精製排層油 Benz 1 中之煤黑油塗飾之。待其完全乾燥後。即得一優等之混合土表面。煤黑油漆之混合。係用十六分精製煤黑油。四分普蘭水泥。三分煤油而成。乃一優等之却水油漆也。

(七十六) 表面修飾 板模一經拆卸。所有粗糙面部。均須用混合土同一品類之水泥膠填補之。如須該項表面顏色均勻。光滑一致者。建築全部表面。須用炭化物。Carborundum 或其他磨削材料摩擦之。所有不平坦或不整齊之部。均須一一除去之。

## 第八章 下部結構暨基礎 (混合土岸墩中墩擁壁等)

(七十七) 形式 關於岸墩 Abutments 中墩 Piers 擁壁 Retaining Walls 等之設計。其形式或為混合土腕樑式。或為梁壁式 Counter fort' 或為重心式。以能抵禦泥土之轉覆動作。Ove turning Action 及冰塊浮物之衝撞者為合。在各種形式設計中。如遇有引力關係之部。必須採用鋼骨以補強之。

(七十八) 關於設計之根據件 壁上由填土所生之推力。須

根據靈根氏理論 *Rin Rankine's theory* 計算之。如填部係泥土者。制動角 *Angle of Repose* 用  $1\frac{9}{2} : 1$ ，如係砂粒者。用一比一。確實填土重量須用之。所用極小重量。每立方英尺爲一百磅。中礮與岸礮重量。其基礎材料浸透之部。須減去水之浮力。

水流迅暢之河道。一中礮上所受之壓力。可由下式得之。

四方形中礮。…………… $P = 1.24a \cdot v^2$  …… ( 1 )

圓形中礮。…………… $P = .62a \cdot v^2$  …… ( 2 )

長較闊爲三倍之中礮。…………… $B = 1.30a^2 \cdot v^2$  …… ( 3 )

長較闊爲五倍或六倍。並有分水部 *Cutwater* 之中礮。其面部係平面。並與分水部面成三十度之角者。……………

…………… $P = 0.46a \cdot v^2$  …… ( 4 )

式中  $P$  代表中礮上總共壓力。

$a$  代表與水流正交之浸溼表面。以平方英尺計算。

$v$  代表流速。以每秒鐘英尺計算。

(七十九) 法許應力 混合土之法許應力。與鋼骨水泥橋樑所用者相同。

(八十) 基礎上法許座力 各種土質上之安全座力。均須由實驗求得之。基礎上所受之載重。每方英尺。以噸計。不得超過下例所載之值。

尋常泥土。及與泥土混合之乾燥砂粒。·····	2
乾燥砂土。及乾燥泥土。·····	3
硬質泥土及堅質粗砂。·····	4
堅質粗砂。及石礫。·····	5
細紋脆岩。·····	8
硬質岩。·····	20

如比上列各種爲劣之土質。無論若何。每方英尺。不得超過一噸。

(八十一) 打樁 Piling 基礎須有充足之深度。俾水流無衝動之虞。建築物無下沈之弊。若無適當之基礎。可以選擇。則可採用打樁一法。

樁之排列。其中心距。須自二英尺六寸至三英尺。自樁心至基址邊緣之極小距離。須十五英寸。如用木樁。須採用白櫟。長葉松、杉、柏、栗、紅木等料。須採自強健之樹。其木理 Grain 宜密。其體質宜固。又須除去樹輪之割口。Ring Shakes 大且鬆動或衰弱之木節等損傷。以及有關強度堅性等害點。木樁須從離地處鋸去。自粗頭至細端。須有均勻之大小。短部彎曲。不得取用。由粗頭中心至細端中心。所繪之直線。須盡在樁身之內。除特別准許外。所有木段。宜在木汁下行時截下之。所有樁木。

須剝去外皮。如遇木節。須削平之。木樁之直徑。細端不得小於八英寸。粗端不得小於十英寸。除用防腐劑精製之木樁外。樁頂不得伸出河中低水面以上。

(八十二) 樁上之安全載重 如用打樁器 Drop hammer 打樁其上面所受之法許安全載重。可用下式計算之。

$$P = \frac{2wh}{s+1} \dots\dots\dots (5)$$

式中 P 代表安全載重。以磅計。

W 代表打樁器重量。以磅計。

H 代表由空中墜下之打樁器距離。以英尺計。

S 代表最後六次下打之平均透入。Penetration 以英寸計。

若木樁打入時。頭部有碎裂者。在試驗前。先須將該頂鋸去。直至堅硬之部始可。

如用蒸汽打鏈。則上式之分母中以十分之一代一。

伸入混合土內樁之極小限度。為十二英寸。

打入基礎中。樁之極小透入限度。為十英尺。

(八十三) 基址 基址除河床淺處。即有堅岩外。其極小距離。在河底下四英尺。在任何混合土注入基址以前。工程師須查驗基礎之深度。及其性質地位。

(八十四) 鋼骨 所有鋼骨。在混合土未經注入以前。均須

## 一一安放妥當。

(八十五) 混合土 用於鋼骨水泥岸墩。中墩。擁壁。翼牆等混合土。其成分。須為 1—2—4 普蘭水泥混合土。

如岸墩。中墩。擁壁。無有鋼骨者。1—2，5—5 普蘭水泥混合土可用之。

(八十六) 阻水壩 Coffor Dam 阻水壩之內部。須廣闊。俾基礎各部工作。可以進退裕如。混合土不宜注入於奔流中。在靜流中。可用適當之器械。及工程師之指揮。注入混合土。

(八十七) 岩石鉤 Rock Anchorage 如基礎係岩石者。基址至少有六英寸深入岩石之中。混合土須用鋼勾插入岩中。然後下入之。

(八十八) 碎冰構 Ice Breakers 有重大冰塊飄浮之河道。建築中墩時。須裝置碎冰構至小有 8"×8"× $\frac{1}{2}$ " 之角鐵。作為截邊。Cutting edge 並用螺釘埋入內部。

(八十九) 排水 Drainage 岸墩及擁壁背部。須有通暢之排水設置。

(九十) 墊板 Bed Plates 墊板須確實置放於一定地位。並埋入於 1—2 普蘭水泥膠中。該項墊板須在載重以前。四十八小時內置放之。



## 附 錄 二

第一表——圓鋼桿的面積，圓周，和重量。

鋼桿的直徑	鋼桿的面積	鋼桿的圓周	每呎的重量
$\frac{1}{4}$ "	0491"	.785"	.17#
$\frac{5}{16}$	.0767	.982	.26
$\frac{3}{2}$	.1104	1.178	.38
$\frac{7}{16}$	.1503	1.374	.51
$\frac{1}{2}$	.1963	1.571	.67
$\frac{6}{16}$	.2485	1.767	.85
$\frac{5}{8}$	.3068	1.964	1.04
$\frac{11}{16}$	.3712	2.160	1.26
$\frac{3}{4}$	.4418	2.336	1.50
$\frac{13}{16}$	.5185	2.553	1.76
$\frac{7}{8}$	.6013	2.748	2.04
$\frac{15}{16}$	.6903	2.945	2.35
1	.7854	3.142	2.67

第二表——設計矩形樑的論據。

(Data for Design of Rectangular Beams)

表之來歷：
$$P = \frac{1/2}{\frac{F_s}{F_c} \left( \frac{F_s}{F_c} + 1 \right)}, R = \sqrt{2Pn + (Pn)^2 - Pn},$$
  

$$j = 1 - 1/3k, K = Pf_s j, \text{ 或 } 1/2f_c k j o$$

工作應力 (Working Stress)		彈率之比 (Ratio of Moduli) n=15			
F <sub>s</sub>	F <sub>c</sub>	K	j	P	K
12000	500	0.384	.872	.0080	83.7
	550	0.407	.864	.0093	96.4
	600	0.428	.857	.0107	110.0
	650	0.448	.851	.0121	123.6
14000	500	0.348	.884	.0062	76.7
	550	0.372	.876	.0073	89.5
	600	0.391	.870	.0084	102.0
	650	0.410	.863	.0095	114.8
15000	500	0.334	.889	.0056	74.1
	550	0.355	.882	.0065	86.1
	600	0.373	.875	.0075	98.3
	650	0.393	.869	.0085	111.3
16000	500	0.319	.894	.0050	71.3
	550	0.329	.887	.0058	82.3
	600	0.358	.881	.0067	94.4
	650	0.376	.874	.0077	107.4

第三表——較對矩形樑的設計的論據。

(Data for Reinforcing Rectangular Beams)

表之來源： $K = \sqrt{2Pn + (Pn)^2 - Pn}$ ,  $j = 1 - \frac{1}{3} k$ ,  $F_c = \frac{2F_s P}{k}$ ,

$K = P f_s J$  或  $\frac{1}{2} f_c k j$

P	K	I	F <sub>c</sub> 每平方吋 = 6502		F <sub>s</sub> = 16000 磅 平方吋	
			F <sub>s</sub>	K	F <sub>c</sub>	K
			.0020	0.217	0.908	35800
.0022	0.226	0.915	33400	68.0	300	32.4
.0024	0.235	0.922	31800	70.4	330	33.8
.0026	0.243	0.919	30400	72.6	340	33.0
.0028	0.251	0.916	29000	74.6	360	41.4
.0030	0.258	0.914	28000	76.8	370	43.6
.0032	0.265	0.911	26900	78.5	390	47.1
.0034	0.273	0.909	26100	80.7	400	49.6
.0036	0.279	0.907	25000	81.1	410	51.9
.0038	0.285	0.905	24400	83.9	430	55.1
.0040	0.292	0.903	23700	85.6	440	58.2
.0042	0.298	0.901	23100	87.4	450	60.4
.0044	0.303	0.899	22400	88.6	465	63.3
.0046	0.309	0.897	21800	89.8	480	66.5
.0048	0.314	0.895	21100	90.6	490	68.8
.0050	0.320	0.893	20800	90.8	500	71.4
.0052	0.325	0.891	20300	94.6	510	73.9
.0054	0.330	0.891	19900	95.6	520	76.4
.0056	0.334	0.889	19400	96.6	540	80.1
.0058	0.339	0.887	19000	97.7	550	80.7
.0060	0.344	0.885	18600	98.8	560	85.2
.0062	0.348	0.884	18300	100.3	570	87.7
.0064	0.353	0.882	18000	101.6	580	90.6
.0066	0.357	0.881	17600	103.3	590	90.8
.0068	0.361	0.880	17300	103.5	600	95.3
.0070	0.365	0.878	16900	103.9	610	97.7
.0072	0.369	0.877	16700	105.4	675	101.2
.0074	0.373	0.876	16400	106.3	635	103.7
.0076	0.377	0.875	16100	107.4	645	106.4
.0078	0.381	0.873	15900	108.3	665	108.1
.0080	0.384	0.872	15600	108.8	670	111.2
.0082	0.388	0.871	15400	110.0	680	114.9
.0084	0.392	0.869	15200	110.9	690	117.5
.0086	0.395	0.868	15000	110.0	700	110.0
.0088	0.398	0.867	14700	110.2	710	117.5
.0090	0.402	0.866	14500	113.0	720	115.8
.0092	0.405	0.865	14300	113.8	725	117.0
.0094	0.403	0.864	14100	114.5	740	130.4
.0096	0.411	0.863	13900	115.5	750	133.0
.0098	0.415	0.862	13800	115.6	760	135.9
.0010	0.418	0.861	13600	117.1	770	138.6
.0012	0.446	0.851	12100	123.6	860	163.2
.0014	0.471	0.843	11000	129.8	950	188.6
.0016	0.493	0.836	10000	133.8	1040	224.3
.0018	0.513	0.829	90300	138.8	1110	238.1
.0020	0.531	0.823	8600	148.6	1210	264.4

第四表——用以設計 T 式樑。

$N=15, F_s =$  或 < 16000 磅 / 平方吋。  $F_c =$  或 < 650 磅 / 平方吋。

此表組織所必用之公式：
$$K = \frac{Pn + \frac{1}{2} \left( \frac{t}{d} \right)^2}{pn + \frac{t}{d}} \quad 1 = \frac{6 - 6 \frac{t}{d} + 2 \left( \frac{t}{d} \right)^2}{6 - 3 \frac{t}{d}}$$

$$2 + \left( \frac{t}{d} \right)^3 \left( \frac{1}{2pn} \right)$$

$$\frac{F_s}{F_c} = \frac{r(1-k)}{k}, M_s = a_s f_s j d = f_s j b d^2, \text{ or } \frac{M_s}{b d^2} = t_s p j, M_c = f_c$$

$$\left( 1 - \frac{t}{2kd} \right) dt j d \text{ 或 } \frac{M}{b d^2} = f_c \left( 1 - \frac{t}{2kd} \right) \frac{t}{d} i. M_R = \text{平安的阻}$$

力率 (Safe resisting moment) =  $M_s$  和  $M_c$  之較小數。

P = 0 . 0 0 4					
$\frac{t}{d}$	K	I	$F_c = 650$ 磅 (每平方吋) 時鋼之最大應力。 $F_s = 16000$ 磅 (每平方吋) 時三合土之最大應力。		$\frac{M_r}{b d^2}$
•10	0.306	0.954	14200	730	54.3
•11	0.388	0.918	15400	675	58.2
•12	0.373	0.944	16400	634	60.4
•13	0.360	0.940	17300	600	60.2
•14	0.349	0.936	18200	572	59.9
•15	0.339	0.932	19000	546	59.7
•16	0.331	0.928	19700	528	59.4
•17	0.323	0.925	20400	509	59.2
•18	0.327	0.921	21000	494	59.0
•19	0.312	0.918	21500	484	98.8
•20	0.308	0.915	21900	475	58.6
•21	0.301	0.914	22300	465	58.5
•22	0.300	0.912	22700	457	58.4
•23	0.298	0.909	22900	452	58.2
•24	0.296	0.907	23200	448	58.0
•25	0.294	0.906	23400	444	58.0
•26	0.293	0.904	23500	442	57.9
•27	0.292	0.903	23600	440	57.8
•28	0.291	0.903	23800	438	57.8
•29	0.291	0.603	23800	438	57.8

第五表——設計兩重鋼桿的矩形樑

(Use for Rectangular Beams of Double Reinforcement)

此表組織所必用之公式： $K = \sqrt{2n \left( \frac{d'}{p+p+d} \right) + n^2 (p+p')^2 - n(p+p')} n = 15 :$

$$K = p \left( 1 - \frac{d'}{d} \right) - \frac{2}{2n(1-k)} \left( \frac{k}{3} - \frac{d'}{d} \right) \quad L = \frac{K}{2} \left( 1 - \frac{K}{3} \right) + \frac{np'}{K} \left( K - \frac{d'}{d} \right) \left( 1 - \frac{d'}{d} \right)$$

$$P' = 0.25P$$

$$P' = 0.50P$$

P	P'	K	L	K	P'	P	K	L	K		
$\frac{d'}{d} = 0.05$	0.005	0.00125	0.307	0.153	0.0045	$\frac{d'}{d} = 0.05$	0.0025	0.005	0.296	0.163	0.0046
	0.01	0.0025	0.394	0.202	0.0088		0.005	0.01	0.373	0.225	0.0090
	0.015	0.00375	0.451	0.239	0.0130		0.0075	0.015	0.421	0.275	0.0134
	0.02	0.005	0.460	0.269	0.0172		0.01	0.02	0.454	0.320	0.0178
	0.025	0.00625	0.521	0.295	0.0214		0.0125	0.025	0.479	0.361	0.0222
	0.03	0.0075	0.546	0.321	0.0256		0.015	0.03	0.499	0.400	0.0266
$\frac{d'}{d} = 0.10$	0.005	0.00125	0.307	0.150	0.0045	$\frac{d'}{d} = 0.10$	0.0025	0.005	0.300	0.158	0.0044
	0.010	0.0025	0.398	0.198	0.0087		0.005	0.01	0.381	0.216	0.0088
	0.01	0.00375	0.454	0.232	0.0125		0.0075	0.015	0.428	0.26	0.0131
	0.025	0.005	0.495	0.20	0.0170		0.01	0.02	0.442	0.302	0.0174
	0.02	0.00625	0.525	0.235	0.0205		0.025	0.025	0.488	0.338	0.0215
	0.035	0.0075	0.551	0.308	0.0251		0.015	0.03	0.509	0.374	0.0258
$\frac{d'}{d} = 0.15$	0.005	0.00125	0.312	0.148	0.0044	$\frac{d'}{d} = 0.15$	0.0025	0.005	0.305	0.153	0.0044
	0.01	0.0025	0.402	0.194	0.0086		0.005	0.01	0.386	0.207	0.0087
	0.015	0.00375	0.458	0.226	0.0127		0.0075	0.015	0.436	0.249	0.0128
	0.02	0.005	0.499	0.253	0.0167		0.01	0.02	0.471	0.85	0.0169
	0.025	0.00625	0.530	0.275	0.0207		0.0125	0.025	0.498	0.319	0.0210
	0.03	0.0075	0.555	0.296	0.0247		0.015	0.03	0.518	0.350	0.021
$\frac{d'}{d} = 0.20$	0.005	0.00125	0.314	0.146	0.0044	$\frac{d'}{d} = 0.20$	0.0025	0.005	0.309	0.149	0.0044
	0.01	0.0025	0.404	0.190	0.0086		0.005	0.01	0.392	0.199	0.0086
	0.015	0.00375	0.462	0.221	0.0126		0.0075	0.015	0.442	0.238	0.0126
	0.02	0.005	0.503	0.245	0.0165		0.01	0.02	0.479	0.271	0.0166
	0.025	0.00625	0.534	0.266	0.0204		0.0125	0.025	0.506	0.301	0.0206
	0.06	0.0075	0.560	0.285	0.0243		0.015	0.03	0.527	0.329	0.0245
$\frac{d'}{d} = 0.25$	0.005	0.00125	0.316	0.144	0.0045	$\frac{d'}{d} = 0.25$	0.0025	0.005	0.314	0.146	0.0044
	0.01	0.0025	0.408	0.187	0.0086		0.005	0.01	0.398	0.194	0.0085
	0.015	0.00375	0.46	0.216	0.0125		0.0075	0.015	0.450	0.229	0.0125
	0.02	0.005	0.507	0.239	0.0164		0.01	0.02	0.48	0.258	0.0164
	0.025	0.00625	0.539	0.250	0.0200		0.0125	0.025	0.514	0.287	0.0202
	0.03	0.0075	0.565	0.275	0.0240		0.015	0.03	0.537	0.211	0.0240

此表之應用： $F_c = \frac{m}{bd2L}$ ， $F_s = \frac{m}{bd2K}$ 。

# 附 錄 三

## 動 量 表

1" =  $\frac{\text{Scale}}{10' 0''}$  Horizontal

Moment Table

1" = 50000# Vertical

2-142 Ton Engines followed by 4000# /ft Cooper's Class E-40

	284	274	254	234	214	194	181	168	155	142	132	112	92	72	52	39	26	13	
a	284	274	254	234	214	194	181	168	155	142	132	112	92	72	52	39	26	13	
b	10	30	50	70	90	130	116	129	142	152	172	192	212	232	245	258	271	284	
c	10	20	20	20	20	13	13	13	13	10	20	20	20	20	13	13	13	13	
∠(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	∠(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)		2000# Per Linear Foot
d	8'	5'	5'	5'	9'	5'	6'	5'	8'	5'	5'	5'	9'	5'	6'	5'	5'		
e	0	8	13	18	23	32	37	43	48	56	64	69	74	74	88	93	99	104	109
f	109	101	96	91	86	77	72	66	61	53	45	40	35	30	21	16	10	5	0
	16364	15274	13254	11334	9514	7794	6793	5857	4999	4206	3676	2776	1976	1276	676	203	195	65	
(18)	14944	13904	11984	10164	8444	6824	5888	5017	4224	3496	3016	2216	1516	916	416	208	65		
(17)	13598	12599	10779	9059	7439	5919	5048	4242	3514	2851	2421	1721	1121	621	221	78		65	
(16)	12941	11111	9411	7811	6311	4911	4118	3390	2740	2155	1785	1205	725	345	65		78	221	
(15)	10815	9936	8336	6836	5436	4136	3408	2745	2160	1640	1320	840	460	180		65	208	46	
(14)	8785	7938	6518	5193	3978	2858	2247	1701	1233	830	600	300	100		117	299	559	884	
(13)	7668	6928	5608	4388	3268	2248	1702	1221	818	480	300	100		100	282	529	854	1244	
(12)	6708	6018	4798	3678	2658	1738	1257	841	503	230	100		100	300	547	859	1249	1704	
(11)	5848	5208	4088	2068	2148	1328	912	561	288	80		100	300	600	912	1289	1744	2264	
(10)	4032	4072	3112	3252	1492	832	520	273	104		160	420	780	1240	1656	2137	2696	3320	
(9)	3496	3016	2216	1516	916	416	208	65		80	400	820	1340	1960	2480	3065	3728	4456	
(8)	2851	2421	1721	1121	621	221	78		65	195	613	1136	1755	2476	3060	3710	4438	5231	
(7)	2155	1785	1205	725	345	65		78	221	411	951	591	2331	3171	3834	4562	5368	6239	
(6)	1640	1320	840	460	180		65	208	416	656	1296	2036	2876	3816	4544	5337	6208	7144	
(5)	830	600	300	100		117	299	559	884	1214	2034	2954	3974	5094	5939	6849	7837	8890	
(4)	480	300	100		100	282	529	854	1244	1624	2544	3564	4984	5904	6814	7789	8842	9960	
(3)	230	100		100	300	547	859	1249	1704	2134	3154	4274	5494	6814	7789	8829	9947	11130	
(2)	80		100	300	600	912	1289	1744	2260	2744	3364	5084	6404	7824	8864	9969	11152	12400	
(1)		160	420	780	1240	1656	2137	2737	3320	3880	5160	6540	8020	9600	10744	11953	13240	14592	

M. ments in 1000ft# for one Truss

