

工學小叢書

工 坊

冊 上

著 雄 馮

商務印書館發行

工學小叢書

工

坊

上册

馮雄著



商務印書館發行

# 坊工

## 目次

緒論	一
第一章 坊工材料	二
第一節 石	二
第二節 磚	六
第三節 石灰	八
第四節 水泥	一〇
第五節 沙卵石及碎石	一三

441-29  
767  
:1

目次

一

第二章	石灰膠沙及水泥膠沙	一七
第一節	石灰膠沙	一七
第二節	水泥膠沙	二〇
第三章	無骨三和土	二五
第一節	原料	二五
第二節	配料法	二五
第三節	三和土之板型	二八
第四節	三和土之混和及放置	二九
第五節	三和土之強度	三五
第四章	鋼骨三和土	二九
第一節	鋼骨三和土梁	三九
第二節	鋼骨三和土柱	五三

第三節	鋼骨三和土構造法	五六
第五章	琢治石料法	五八
第一節	工具	五八
第二節	石面製作法	六三
第三節	石面修成法	六五
第六章	石工	七〇
第一節	總論	七〇
第二節	琢石工	七四
第三節	方石工	七九
第四節	未琢石工	八〇
第五節	石工之強度	八一
第七章	磚工	八四

第八章 普通基礎·····	九一
第一節 基礎之底·····	九二
第二節 基礎之計畫·····	九九
第三節 基礎底面之整理·····	一一三
第九章 樁基礎·····	一一五
第一節 樁·····	一一五
第二節 打樁法·····	一二〇
第三節 樁之支承力·····	一二四
第四節 基礎之布置·····	一三〇
第十章 水下基礎·····	一三五
第一節 圍堰法·····	一三六
第二節 敞口木箱法·····	一四四

第三節	井筒開掘法	一四八
第四節	氣力法	一四九
第十一章	坊工壩	一五七
第一節	重力壩之安定性	一五八
第二節	壩之計畫	一七八
第十二章	擋土牆	一八三
第一節	擋土牆安定性之理論	一八三
第二節	構造法	一九三
第十三章	橋臺	二一一
第一節	總論	二一一
第二節	直面橋臺	二一六
第三節	曲面橋臺	二一六

第四節	凹字式橋臺·····	二一七
第五節	凸字式橋臺·····	二二一
第十四章	橋柱·····	二二二
第十五章	涵洞·····	二二八
第一節	總論·····	二二八
第二節	管式涵洞·····	二三一
第三節	箱式涵洞·····	二三四
第四節	拱式涵洞·····	二三九
第十六章	分塊拱·····	二四三
第一節	總論·····	二四三
第二節	坊工拱安定性之學說·····	二四四
第三節	實驗規律·····	二四七



第四節	拱架·····	二五一
第五節	拱之施工法·····	二五七
第十七章	彈性拱·····	二六〇
第一節	兩端固定之無骨三和土拱·····	二六〇
第二節	鋼骨三和土無鉸鏈拱·····	二九五
第三節	有鉸鏈拱·····	三〇二

# 圻工

## 緒論

圻工 圻工者，用無機質非金屬材料作成之構造物，其各部分互相密合而爲一體者也。由此定義觀之，圻工包括頗廣，石工也，磚工也，三和土工也，悉入其範圍。圻工乃最能耐久之構造物。凡欲以構造物貽之後世，歷古常新者，獨有用圻工爲最宜。

欲明瞭圻工之構造法，求能設計與監工，則當知材料之性質與其備辦使用之法，及圻工基礎之造法，並就各種圻工構造物研究其特點。本書爲篇幅所限，祇能略言其綱領，不能纖悉具也。



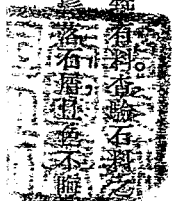
## 第一章 坊工材料

前言坊工所用材料爲無機質非金屬材料，蓋工程材料可分有機質與無機質兩大類，而無機質材料又有金屬者與非金屬者之別也。非金屬材料之用於坊工者，爲石、建築磚、石灰、水泥、沙、卵石、碎石等。萬有文庫工學小叢書內有拙著非金屬材料一書，述其性質。今僅敘其大略如後。

### 第一節 石

適用石料應具條件 適用於作建築材料之石，須價廉，耐用，強固，美麗。此四事視用途而權衡其輕重。

石料檢查 大概密實堅硬而質地整齊之石料，卽爲良好之建築用石。查驗石料之新鮮斷口，約略可以估定石料之適用與否。石料以斷口鮮明，清潔，稜角銳利，無鬆落石屑，且色不晦暗如土者



爲佳。凡石中有未經膠固之脈絡者不可用，以此乃他日破裂之起點也。

石料試驗 行試驗以定石料之合用與否，其法有四。一爲重量，二爲硬度及韌度，三爲強度，四爲耐用性。

重量 大概石料平均每立方英尺重量，花崗石爲一六七磅，石灰石爲一五八磅，大理石爲一七〇磅，沙石爲一三九磅，板石爲一七四磅。

硬度及韌度 石料顆粒粘合愈緊密者，其質當愈堅硬而耐用，其顆粒粘合力愈強者，其韌度當愈高。

強度 石料強度分爲四項：（一）擠壓強度，（二）橫撓強度，（三）剪割強度，（四）彈性。而通常單言其強度時，乃指擠壓強度言之。石料之擠壓強度，係加力於石柱樣品，俟其壓碎時，計算得之，其結果頗隨採取樣品形式與試驗情形而異，而其得數則可供比較各種石料質地之根據。倘石料用於窗上橫梁，或涵洞蓋板，或平橋橫梁，則須注重其橫撓強度。大概石料之橫撓強度，少則得其擠壓強度百分之八，多則亦不過百分之十七也。石料之剪割強度，於用作窗上橫梁等時，始覺重

要，惟以試驗不易，故實測結果頗罕。石料之彈性係數，於推測整石之受力變形時用之。石料之彈性係數，隨石料受力之大小而異，此須注意者也。

今將良好石料之強度，列表如下。此大都屬美國瓦得敦兵工廠試驗之結果也。

第一表 石料強度表

表中數值以平均每平方英寸之磅數計

石之種類	擠壓強度	橫撓強度	剪割強度	彈性係數
花崗石	二〇、二〇〇	一、六〇〇	二、三〇〇	七、五〇〇、〇〇〇
石灰石	九、〇〇〇	一、二〇〇	一、四〇〇	八、四〇〇、〇〇〇
大理石	一一、六〇〇	一、五〇〇	一、三〇〇	八、二〇〇、〇〇〇
沙石	一二、五〇〇	一、五〇〇	一、七〇〇	三、三〇〇、〇〇〇

耐用性 石料之耐用性，隨石質與環境而異。風、雨、冰、霜、烟、火、酸質、磨擦力等，皆足使石料蝕壞。

而石料對於蝕壞力之抵抗性，則視其成分之化學性質，礦物學性質，物理學性質，及其露出表面之情形與地位爲衡。大概砂石質石料較石灰質石料爲耐用。易於吸水之石料，最易因結冰與解凍而破裂，故石中之粘土成分頗爲有害。石料出坑後，放置時間較長，可較堅固。普通以爲石料愈硬者爲愈耐久，其實仍須石質不易吸水方佳也。決定石料之耐用性，倘能就當地舊有石造房屋，橋梁，碑碣，察其歷時長短與其完整蝕壞情形，以爲預測之根據，乃最佳之法。至於人工試驗石料耐用性方法，則有吸水性試驗，冰凍試驗，硫酸鈉液試驗，酸性試驗，淬火試驗，火燒試驗等，而最佳者則爲顯微鏡檢查法，即以顯微鏡觀察石料表面，或以石料磨成薄片而觀察之，驗其成分並其結構情形，而定石料之耐用性也。

建築石料種類 建築所用石料有下列各種。

(一)花崗石 花崗石在常用建築石料中，乃最堅強而耐久者。易於開成整齊形式，惟因其質地特爲堅韌，故欲琢成精細花樣時，則頗費事。凡房屋，橋梁，基礎，碼頭等多用之。

(二)大理石 大理石有全白色，斑白色，灰色，藍色，黑色，紅色，白色，及五彩各種，最爲美麗，大都

用於室內裝飾。

(三)石灰石 石灰石之成分，以碳酸鈣爲主。種類頗多，其色彩與成分以及適用於建築之程度至不一律。

(四)沙石 沙石乃石英顆粒經膠合而成。以膠合物質之不同，沙石之性質色彩等亦異。其由潔淨沙粒經氯化矽膠合而成者，質最耐久，與花崗石等，且難爲火燬，實最佳石料之一種也。

## 第二節 磚

磚乃粘土製造，爲最有用之建築材料。雖自水泥通用以來，三和土建築物有代替磚建築物之趨勢，然磚仍不失爲重要之建築材料，則以其價廉易得，且便於使用故也。

磚可依原料分爲兩種：一曰火磚；一曰普通磚，卽單稱曰磚者。

火磚 火磚在須抵抗高熱之處用之。係用純淨火泥造成，或用純淨火泥與清潔之沙混和造成。所含氯化鐵不可逾百分之六；鈣，鈉，鉀，鎂四者氯化物之總量不可逾百分之三；而硫化鐵之含量

尤應極少。良好火磚應大小一律，形式整齊，構造與成分，兩俱均勻，易於切斷，強固而難熔也。

普通磚 普通磚係由粘土製坯燒成。粘土之成分以矽酸鋁爲主，而雜有鈣、鎂、鐵三者之氯化物。氯化鐵能增加硬度及強度，故屬有益。我國舊時製磚，係用手工。近來上海嘉興一帶磚瓦廠，改用機器製造，入新式窯燒成，磚之質地遠較土磚爲佳，新式築建，多採用之。

磚依用途分類 磚又可依其形式及用途，分爲下列各種。(一)扇面磚，一邊較短，用於砌圓井等。(二)斧刃磚，一邊較薄，用於砌拱。(三)面磚，特製之磚，大小極整齊，色彩美麗，合於砌造牆面之用。(四)穢水管磚，質堅而表面光滑。(五)鋪路磚，質極堅。(六)強燒磚，磚坯燒至粘土將熔程度，緩緩降冷，增加韌性，極合於建築及工程之用。

磚之試驗 判定磚之品質，所作試驗，常有下列五項。(一)形式：良好磚表面應平，邊成平行，稜角方整，不應有凹凸及鑿斑等。(二)構造：磚以質地細緻構造整齊，中無孔穴裂紋，不雜石屑者爲佳。用錘擊之，發聲清脆者，乃強固耐久之磚也。(三)吸水性：舊時以爲磚之吸水性深淺，與其耐用性有關，歷經試驗，乃有以知其不然。(四)擠壓強度：擠壓強度，祇足爲比較數種磚之根據，而不



能顯出磚牆之強度，因磚牆之強度乃多視砌牆所用膠沙之強度而異故也。磚之擠壓強度，當平置時，自每平方英寸一千餘磅至二萬磅不等。(五)橫撓強度：磚雖不置於起直接撓曲應力之處，然因在磚柱破壞時，磚之橫撓強度對於其擠壓強度發生間接影響，故磚之橫撓強度，實足為判定磚質優劣之根據。其試驗甚易，而結果亦頗可靠也。

磚之尺度 磚之大小，隨產地而異，普通長八英寸餘，寬四英寸餘，厚二英寸餘。

### 第三節 石灰

生石灰與熟石灰 石灰係以石灰石置入窯中燒去碳酸氣後所餘之物質，即氯化鈣也。生石灰遇水，急速吸收之，發強熱與熱氣而分解，終成粉末，體積兩三倍於原來石灰塊，此即熟石灰，可用於和成石灰膠沙。

凝硬原理 石灰膠沙露置空氣中時，吸收碳酸氣，則氯化鈣復變成碳酸鈣，而膠沙乃凝硬。

富鈣石灰與含鎂石灰 製造石灰所用石灰石，如為近於純淨之碳酸鈣，則所得石灰，亦為近

於純淨之氯化鈣，是曰富鈣石灰。如石灰石多含碳酸鎂，則所得石灰，為氯化鈣與氯化鎂之混合物，是曰含鎂石灰。普通以含氯化鎂不及百分之十之石灰，為富鈣石灰。二者性質不同，蓋含鎂石灰凝硬甚緩，而所得強度，終較富鈣石灰為高也。

品質 試驗石灰，定其品質，要點有四：（一）石灰中須無煤灰與未燒透之石塊，而所含砂石礬土等雜質不可逾百分之十。（二）石灰應成硬塊而無多粉屑。（三）石灰應遇水即化，成為極細緻膩滑之漿而無渣滓。（四）石灰應在軟水中溶解。

石灰之貯藏 因生石灰能吸收空氣中水分而有一部分變成熟石灰，足以妨害以後使用時之水化，故貯藏時應與空氣隔開，倘不能時，亦當勿使受溼氣所侵。

生石灰已經和水而成熟石灰時，倘不使與空氣接觸以致消去水分則可長期保存，不至失性。故可將熟石灰置於淺槽中或堆於地面上，蓋以沙，使不通氣，至使用時，即可用此沙以製石灰膠沙也。

## 第四節 水泥

製法 水泥係以含碳酸鈣百分之七十五至八十與粘土百分之二十至二十三之混合物，燒至極高溫度，足使粘土中砂石及礬土與石灰石中氯化鈣相合者而成。須將原料碾成細粉，透徹混合，然後燒之，則粘土與石灰能完全化合也。

水泥之性質 使用水泥時，應加以試驗考察之性質，計有下列七項。

(一)顏色 水泥之顏色應均勻，此為原料整齊火候合度之證。水泥以灰色或灰色透綠者為佳。若發黃時，乃未燒透物質過量之象。

(二)比重 水泥之比重應不在三·一〇以下。但購買水泥，若驗得樣品之比重不及此量，應將樣品燒過，再行試驗。通常不行此種比重試驗，以其不一定有用故也。

(三)細度 水泥以愈細為愈佳，但不可過細致多增成本耳。測定水泥之細度，係用特製之篩。大概留在第二百號篩上之顆粒，應不逾全重百分之二十二。所謂第二百號篩者，其每英寸長度中

有銅絲一百八十至二百根，其絲之粗則 $0.0024$ 英寸也。

(四)健全性 水泥之健全性，指其能經過無限時期仍保存強度與形式之性質而言。水泥之不健全，大都緣含有雜質，如未化合之石灰，氯化鎂，硫質等，於水泥凝固後發生脹縮所致，或緣外方空氣，海水，極冷極熱等外力作用所致。測定水泥之健全性，可用淨水泥作成圓餅，直徑三英寸或四英寸，中心厚約半英寸，周圍成薄邊，置於玻璃片上。先存在溼空氣中經二十四小時，後置於蒸汽箱中經五小時，保持溫度為攝氏九十八度至一百度，然後取出水泥餅而察其形式。此餅應固着在玻璃片上而堅硬，無改變形式，與發現裂紋或破碎等事。

(五)化學分析 分析水泥，可以察出其是否攙有雜質，並決定所含過量氯化鎂及無水硫酸，是否有害。大概水泥之燃燒損失，應不逾百分之四，所含不溶解殘渣，不逾百分之 $0.85$ ；無水硫酸，不逾百分之 $2.00$ ；氯化鎂，不逾百分之 $5.00$ 。

(六)凝結時間 水泥和水後，其狀如糊，水泥與水發生化學作用，全部逐漸變成堅硬，此名曰凝結。水泥之凝結時間，長短不一。有時過速則不便於使用；有時又須採用速凝水泥。測定此凝結時

間，有用季爾摩氏針者，有用維卡氏儀器者。所用水泥餅須合於標準稠度。普通用季爾摩氏針時，開始凝結時間不可少於四十五分鐘；用維卡氏儀器時，不可少於六十分鐘。終止凝結時間，不可出十小時以外。

(七) 牽引強度 此為水泥之最要試驗。所以採此試驗以代擠壓強度試驗者，因此試驗較擠壓試驗為簡便而所得結果少有變化故也。水泥膠沙之擠壓強度，大約為其牽引強度之八倍至十倍。牽引試驗係以正則稠度之水泥膠沙，置入型中，作成橫剖面積為一平方英寸之樣品，依一定規則藏蓄後，置入牽引試驗機中，加力使其斷裂，即可決定此樣品之牽引強度。大概水泥之牽引強度，應在下表數值範圍之內。

第二表 水泥之牽引強度表

樣品種類	樣品製成後之時間	平均牽引強度
淨水泥	置在溼空氣中二十四小時	一五〇至二〇〇磅每平方英寸

淨水泥	置在溼空氣中一日浸在水中六日	四五〇至五五〇
淨水泥	置在溼空氣中一日浸在水中二日	五五〇至六五〇
一分水泥三分標準沙	置在溼空氣中一日浸在水中六日	一五〇至二〇〇
一分水泥三分標準沙	置在溼空氣中一日浸在水中二日	二〇〇至三〇〇

## 第五節 沙卵石及碎石

沙用以作膠沙。沙與卵石或碎石則用以製三和土。此種原料之品質，對於膠沙及三和土之強度大有關係。

### 第一項 沙

沙之品質 良好之沙應尖銳而潔淨，由各級粗細之顆粒組成，適合顆粒之間隙減至極小。大概湖海之沙，質地較冰川之沙為耐久，以其幾全為純淨石英，而不雜有易碎物質故也。但海

沙亦有由石灰石所成者，則不可用。

沙中混有壩母或有機質時，足以阻礙水泥之附着，而減小膠沙或三和土之強度，故沙須潔淨。可以沙少許置在掌心磨擦，倘將沙棄去後，掌心依然潔淨，是為沙質潔淨之明證。沙中決不可雜有草根、樹葉、紙屑、木片等。不潔之沙，可用水洗滌，係鋪沙於銅絲篩上，而以水管引水噴射，俾雜質除去，或以斜槽盛沙而引水洗之。

粗沙較細沙為佳，以其能作成強度較高之膠沙故也。

沙粒間隙之總量愈小則需用水泥愈少，而使用此種沙時愈為合算。

沙之試驗 各地產沙，品質不齊，遇有較大工程，應擇其質優價廉者用之。試驗之法，初步為用篩測定其顆粒粗細分配情形，並計量沙粒間隙百分率，藉以預測何種之沙最為合用；繼則以各種之沙與實際所用一種水泥和成膠沙，測定強度，而判斷何種沙為佳。時或因時間匆促，不及作完全試驗如上所述者，則可取各種乾沙之一定重量，與一定重量之水泥，調成稠度與實際相合之膠沙，其膠沙體積最小者最密實，即所用沙質最佳。既知沙質優劣，再察其價值高低，乃可決定採用何種。

究宜不惜運費從遠地購取較優之沙，抑應在本地購取質地較劣之沙，則為應行仔細衡量之問題也。

## 第二項 卵石

卵石 卵石及碎石與水泥膠沙相和而成三和土，三和土之品質，亦頗繫於卵石及碎石之品質也。

合於製造三和土之卵石，應為質地耐久之石。清潔而不含有害之雜質。石塊大小隨用途而異。普通以三英寸為限，鋼骨三和土所用者以一英寸為限。卵石以石塊大小配合得宜而其空隙百分率較小者為佳。在重要工程，應將所用卵石種類，加意選擇，測定其空隙量百分率，取最小者用之。倘所得結果不佳，則可將卵石篩分為大小數種，而另定比例配合，務以空隙量減至最小為度。

## 第三項 碎石

凡堅硬耐久之岩石，俱可軋碎而用於製造三和土。深暗岩，花剛岩，石灰岩，以及質地密實之沙岩皆可用，然如質地疎鬆之沙岩，頁岩，板岩則否。普通無骨三和土用碎石，大小以軋至能穿過二英



寸或二英寸半圓孔爲準；鋼骨三和土所用者，則以能穿過四分之三英寸或一英寸孔爲準。

## 第二章 石灰膠沙及水泥膠沙

### 第一節 石灰膠沙

石灰膠沙 以石灰和沙製成膠沙，廣用於磚工，一因石灰價廉，二因石灰調水後體積膨脹，甚為合算，三因石灰膠沙製法頗便也。

消解石灰法 消解石灰之法，在常人視之，或以為甚簡單，其實若加以研究，則可使製成石灰漿之量加多，足以減少石灰用量。消解石灰之法，普通所用者為灌水法。係將生石灰塊鋪於不漏水木槽上，亦可於製膠沙所用之沙上作成凹塘，逕鋪石灰塊，層厚六英寸至八英寸。以體積為石灰塊二倍半或三倍之水，澆灌於石灰塊上。倘加水之量恰當，則生石灰塊消解而成稠厚石灰漿。如加水過多，則石灰漿成為半流體，而大損其粘性。用富鈣石灰時，應將水一次澆灌。用含鎂石灰時，應先澆

水少量，其後逐漸加水，以不使混和物降冷爲度。石灰消解時，混和物溫度愈高，則消解作用愈速，亦愈完全。生石灰吸水，起化學作用，所發之熱，令水化成蒸汽，其力足使石灰塊迸裂，而石灰塊又有新斷面與水接觸。如於石灰起始消解後，加入冷水，則混凝物降冷，蒸汽不生，石灰塊不迸裂，消解作用不完全，而所成石灰漿不能足量矣。攪拌正在消解時之生石灰，一方面令石灰降冷，一方面又令其破碎，故有弊亦有利。要之，攪拌時以使石灰降冷程度愈淺愈妙。石灰塊騰出水面者，有消解不完全之弊，故應隨時推入水下也。

消解石灰所以務令透徹者，一因消解不全，甚不合算，往往僅得兩倍生石灰體積之石灰漿，若消解透徹則可得三倍或尙不止於此。一因未消解之生石灰顆粒，用於坊工或無害處，若用於粉壩牆面，則將來有起泡落屑之弊也。

沙之功用 石灰膠沙係石灰漿與沙調合而成。用沙之故有四。一爲石灰漿分成極多薄膜，質地疎鬆，易於吸收空氣中之碳酸氣，而石灰漿得以凝結。二爲石灰漿當其中水分蒸發時，體積收縮，有沙粒在石灰漿中，則石灰漿不致有過度之裂縫。三爲石灰膠沙抵抗壓力之強度較淨石灰漿爲

大。四爲用沙則在一定體積之石灰膠沙中之石灰用量減低，而價值亦降。

石灰漿用量 石灰漿倘非分成極薄之膜，則凝固甚緩，縱在空氣中亦復如是。故膠沙中石灰漿用量，以較塗於沙粒表面及填滿沙粒間隙所需者略多爲度。過多過少俱不合宜。過多則石灰漿不易凝固，而膠沙之擠壓強度降低。過少則石灰漿疎鬆虛弱。普通之沙，以體積一分之石灰漿與二分半至三分之沙相合爲適當比例。

石灰膠沙混和法 石灰消解以後，將沙均勻攤布於石灰漿上，而以錘混和，若石灰漿過硬，可略加水。混和務令透徹，直至膠沙已顯一色爲度。

石灰膠沙之用途 石灰與沙合成之石灰膠沙，不合於砌造厚牆之用，因牆厚則內部石灰膠沙難得空氣，須待經過多年始能凝固，且有竟不凝固者故也。是以石灰膠沙不宜用於水下圻工以及終年潮溼之處。石灰膠沙強度不高，故在須注重強度及受震動之構造物，亦不宜用之。

石灰膠沙之牽引強度 石灰膠沙之牽引強度，依用每邊一英寸之立方體樣品試驗結果，知隨石灰成分及製成歲月而異。富鈣石灰一比二膠沙，在製成後八星期時爲每平方英寸三十六磅。

在一年時，僅增加至四十五磅。含鏤石灰一比二膠沙，在八星期時為二十九磅，在一年時，則增加至九十三磅也。

## 第二節 水泥膠沙

水泥膠沙用途 磚工不常用水泥膠沙，以其不易用墾刀推動故也。石工則恆用之。

水泥與沙比量 水泥膠沙中水泥與沙比量，係以一比若干表示之，意即一分水泥與若干分沙混合之意。此項比量，有規定為重量之比者，最為正確。有規定為筒裝水泥體積與散沙體積之比者，又有規定為袋裝水泥體積與散沙體積之比者，則在實地工作上較為便利。普通工程規範書中所用比例為一比二及一比三兩種。常不將所根據者為重量或體積注明，以此每不免引起業主與包工者之爭執也。

混和法 用水泥膠沙之量不多時，可用手工混和，即取一次混和用沙之半，平攤於混和槽底，上加乾水泥，再加其餘一半之沙。用鏟鏟起沙與水泥而翻轉之，周而復始，少則兩回，多則四回，至混

和物變成一色爲度。繼用鏟送至槽之一端，而於他端加水。再用鏟調和，以成稠厚膠沙，至現出一色爲度。倘膠沙之稠度得宜，則當拔鏟出膠沙時，無有膠沙粘附鏟上。調製水泥膠沙時，寧可用水略多，不可過少。用水略多，則膠沙易於調和，不因水分蒸發而失性，且不因石塊吸水而有損。但膠沙質地不免變弱，且難阻其不溢出接縫以外也。用水泥膠沙之量稍多時，亦可以混和機混和之。

材料用量 製造一立方碼之一比二水泥膠沙，密實而有粘性者，依重量計，需水泥一〇八七磅，沙〇・八七立方碼。製造一立方碼之一比三水泥膠沙，則需水泥八一六磅，沙〇・九七立方碼。倘依筒裝水泥體積計算，則用水泥須略多，用沙須略少。倘依袋裝水泥體積計算，則用水泥須略少，而用沙須略多。

坊工構造物每一立方碼，需用水泥膠沙之量，如下表所示：

第三表 坊工構造物每一立方碼需用水泥膠沙之量

坊	工	種	類	
			最小(立方碼)	最大(立方碼)
			坊工每立方碼所需膠沙之量	

方石工	層厚十二英寸接縫厚四分之一英寸	○・二〇	○・二五
	層厚十八英寸接縫厚四分之一英寸	○・一二	○・一五
亂石坊工	用鏟粗琢之大石	○・二〇	○・三〇
	小石	○・三三	○・四〇
磚工（磚長八又四分之一英寸寬四英寸厚二又四分之一英寸）	接縫厚八分之五至二分之一英寸	○・三五	○・四〇
	接縫厚八分之三至四分之一英寸	○・二五	○・〇三五
	接縫厚八分之一英寸	○・一〇	○・一五
	石厚十三英寸接縫厚四分之一英寸	○・〇六	○・〇八
	石厚十八英寸接縫厚四分之一英寸	○・〇三	○・〇四
	石厚十八英寸接縫厚四分之一英寸	○・〇三	○・〇四

而異。而水泥膠沙所應注重之強度，則視坊工之種類及用途為定。如磚石之塊頗大，而構造物僅受水泥膠沙之強度，水泥膠沙之強度，隨水泥品質，沙之成分二者之比量，及其間之凝集力等

擠壓力，則膠沙祇須堅硬而能抵抗壓力已足。採用尖銳之沙與少量之水泥，即可應合此種需要。如磚石塊小且不整齊，則須使膠沙緊附於磚石表面，防其移動，是以應用多含良好水泥之膠沙，如圻工構造物有受斜力之機會，則膠沙應兼具附着力與凝集力也。

(一) 牽引強度 一比三水泥膠沙之牽引強度，依用美國標準沙時試驗所得，在七日時為每平方英寸一百二十四磅至二百九十磅，平均二百四十磅。在二十八日時為每平方英寸一百六十五磅至三百六十八磅，平均三百二十八磅。牽引強度蓋隨製成後時間長短而異，然過四星期後則增加甚微。

(二) 擠壓強度 水泥膠沙之擠壓強度雖關重要，然試驗者少。大概此項強度為相當牽引強度之八倍至十倍。

(三) 附着強度 水泥膠沙之附着強度，亦關重要，且亦未有衆多試驗，而試驗方法又無標準，故結果難以比較。

不透水膠沙 在圻工構造物，所用水泥膠沙須不漏水，此層甚為重要。法係採用空隙量小之



沙，而於調和膠沙時，務令透徹混合，不使膠沙過乾過溼。又有加入特種防溼材料於膠沙中者。

膠沙防凍 在冬季施行建築工程，若膠沙於凝結以前結凍，則妨礙凝結及硬化作用，且結冰之水有膨脹力，損害水泥之附着強度。減小膠沙結凍弊病之法有四：一為採用速凝水泥。二為採用含水較多之膠沙。三為製造膠沙時用最小量之水。四為防止結凍，有用稻草布幔等蓋於構造物上者，有將製膠沙原料先行加熱者，有以鹽和入製膠沙之水中者。欲使膠沙結凍之溫度降低華氏一度，則須加入食鹽，其重量為製膠沙用水之重量之五百分之一。

## 第三章 無骨三和土

### 第一節 原料。

三和土中不加鋼骨者，名曰無骨三和土，簡稱曰三和土。

原料 製三和土之原料爲水泥與粗細粒料。細粒料爲沙，粗粒料爲卵石或碎石，間有用碎磚作粗粒料者。此種原料之性質，前兩章已論及，今不贅述。

卵石與碎石之比較 以卵石與碎石相較，則碎石三和土強度較高，且碎石質地較清潔，不似卵石之常帶雜質，故用碎石者爲多。但卵石三和土則較爲密實沉重，且難於漏水。

### 第二節 配料法

配料法之重要 三和土成分之配合，甚關重要。以能使價值廉，强度高，而實度大為準。三和土之價值，大略與所用水泥分量成正比例。而三和土之強度及實度，則隨用沙及石之比量並沙粒石塊大小分配情形而異。

配料法原理 三和土配料法之原理不外兩項。一為用同種之沙並同種粗粒料時，以在單位體積中含水泥量百分率最大之三和土為最堅固。二為用同一百分率之水泥及同種之沙時，以實度最高之三和土為最堅固。

配料法種類 依據上述原理之三和土配料法有數種。萬有文庫工學小叢書收入拙著三和土，嘗鋪敘之。今因篇幅所限，不能詳述。願普通所用方法，則為視三和土用途而定配料比量之任意配料法。於沙及卵石碎石之粗細性質，並不注意。故極不合於科學方法。然因其最為簡便，是以最為通用。

計算分量標準 配製三和土時，計算分量，有全依重量者，有依體積者。依體積計量時，隨水泥之鬆實。又有不同。全依重量法，雖最準確，然費用加鉅，故罕用之。通用之法則為依體積計量而以密

實水泥爲準。

常用配料比量 實地施工慣用之三和土配料比量，約如下述：

(一) 道路硬面基礎 一比三比六

(二) 基礎及鐵路上較小構造物 一比三比五

(三) 重要橋梁隧道 一比三比四或一比三比五

(四) 鋼架基礎 一比一比二

(五) 鋼骨三和土構造物 一比二比四或一比二又二分之一比五

計算材料公式 製造三和土時所需各成分之分量，可依公式計算之。即假定。爲三和土含水泥之份數， $s$  爲沙之份數， $g$  爲卵石或碎石份數， $G$  爲製一立方碼三和土所需密實水泥之筒數（一筒水泥淨重三七六磅）， $S$  爲製一立方碼三和土所需沙之立方碼數， $G$  爲製一立方碼三和土所需石之立方碼數，則：

$$C = \frac{11}{s + s + g}$$

$$S = C \times a \times \frac{3.8}{27}$$

$$G = C \times b \times \frac{3.8}{27}$$

### 第二節 三和土之板型

板型之設計 新製之三和土，有流動性，故須按照構造物形式，作成板型，灌入三和土，俟其凝結硬化。板型係於構造物外形決定後設計，須注重裝卸之便利與材料時間之節省。

三和土板型普通係用木料製成。板型應堅固，足以支持溼潤之三和土，又須嚴密，勿使三和土之水漏去。板型內面應光滑。板型倘於灌注三和土後有破壞情事，每使構造物破壞難以補救，又往往傷害人命，故板型設計，極須審慎。普通板型歸包工者置備，故須容其於拆卸後仍可移作下次建築之用，藉以減省包工價值。通常所用板型木板為一英寸或二英寸板，幫條則為二英寸乘四英寸條，或四英寸乘六英寸條。

牆之板型，係以木板平排成牆面，加垂直幫條抵住，幫條間距離自二英尺至五英尺，隨木板厚薄而異。垂直幫條則以斜木撐條抵住，或於板型中間用鐵絲或鐵條以維繫之。

板型之拆卸 板型須俟三和土凝結硬化後方能拆卸。無論如何，不可在灌注三和土後四十八小時以內。冬季拆卸時期，應較天氣溫暖時為緩慢。

#### 第四節 三和土之混和及放置

三和土之稠度 製造三和土時，稠度究應如何，最當加意研究。大概較乾之三和土，如充分捶實，最為強固，然混和放置，所費亦巨。較溼之三和土，強度幾與較乾之三和土頡頏，混和較易，不須多費捶實之工。甚溼而能流動之三和土，強度大為降低，且須用毫不漏水之板型，然無需捶實之工。在三和土凝結後即應急速增加強度之處，宜用較乾之三和土，然須充分捶實，茲事往往非尋常工人所諳習。較溼之三和土，宜用於需用多量無骨三和土之處，然須注意使其表面充實。甚溼之三和土宜用於鋼骨三和土構造物，以水泥膠沙能自行流至鋼骨周圍而與之緊貼故也。

用水多寡 混和三和土時，用水多寡，隨三和土應有乾溼程度，三和土配料比例，及原料品質而異，難以估計。大約製造稍溼之普通三和土，每一立方英尺，需水八至十磅。如以水泥重量為準，在多用水泥之三和土，需水百分之三十至三十三，在少用水泥者，需水百分之三十三至五十，在用水泥甚少者，需水百分之五十至一百。

三和土之混和 三和土之混和務宜透徹整齊，須以和成一色，且不見有未沾水泥漿之沙石為準，三和土可用手工混和，而在大工程則須用機械混和。

(一) 手工混和法 手工混和三和土，係用木板作混和臺，須不透水者，取量準分量之沙攤布其上，再按照應用分量，鋪水泥於沙上，用鏟翻轉至二者透徹混和為止，大約以翻轉二次為準。次加石塊混和，再澆水混和，乃成三和土，翻轉四次或六次，總以使其透徹為要。

(二) 機械混和法 三和土混和機種種類頗多。通用者為間歇式，其混和室繞水平軸而旋轉。以一定量之水泥與相當之沙石並水加入混和室中，於其旋轉時，因室隔板之作用，得以混和，然後傾出。機械混和三和土，頗為透徹整齊，凡用三和土至一百五十立方碼以上時，即宜用之，因多量三

和土，所分攤之機械使用費，乃不及手工混和費之巨也。

三和土之放置 三和土和成後，或用手車移用，或用起重機吊斗移運，或用輕便鐵路車輛移運。放置時係分層灌注。在較乾三和土，層厚可六至八英寸。在較溼三和土，層厚可十二英寸至十六英寸。較乾之三和土，放置後應加捶實。較溼者應用鐵條插在其中上下移動，驅除空氣，並令過量之水上浮。

三和土灌注後之保護 三和土灌注後須勿受日曬，且在未硬化以前不可有人在其上走動。間或須用草掩蓋，並時時灑水。

新舊三和土之接合 新三和土加於舊三和土之上，如舊者尚未全硬化，祇須略加潤溼，即可加灌新者。如舊者已硬化，則須洗刷潔淨，或尚須塗刷一比一或一比二水泥膠沙一道，然後加灌新者。倘舊者已經歷長歲月，則可俟新三和土開始凝結後加水重行調和而用之，如此可免新三和土收縮，以致與舊三和土不能密合之弊。凡三和土水櫃等，務以一氣澆成爲佳，然若十分謹慎，亦可分段澆成，而不漏水也。



水底放置三和土 以三和土放置於水底時，最當注意者，爲勿使三和土於離水底頗高處落下，以致水泥漂散。通用放置之法有三種：一爲裝入布袋中，堆置水底，水泥滲出，自能令全部膠結。二爲安設直徑約一英尺之管，通至水底，而將三和土由管上漏斗裝入，繼續瀉下。三爲用活底斗或箱裝三和土，懸於起重機，挂至水底，而放置之。

結冰時放置三和土 嚴寒天氣有使水泥凝結遲緩之作用，而三和土結冰時，則有使水泥與沙石間失其凝聚力之慮，故在冬季結冰天氣，不宜進行三和土工程。倘不能避免時，應有相當防凍之法。一爲用較乾之三和土，俾凝結急速，然須十分捶實。二爲於所用水中加食鹽爲阻凍劑，欲使水之冰點降低華氏一度，可按水之重量，和入食鹽千分之二。欲降低多度時，食鹽用量依此增加。三爲將水及沙石加熱。四爲以帆布木板等保護構造物之外部，而於內部用熱汽管煤爐炭火等加熱。

三和土表面之整理 三和土拆去板型之後，表面常不美觀，此大都因板型不佳，或三和土混和放置不得法，或三和土表面發生白霜，或新舊三和土接縫處顏色不同所致。固可根據此等原因，預爲治本之法。然尚有種種方法，可以除去此種原因所生疵病，且使三和土增加美觀。如作成膠沙

面法，白漿粉刷法，水泥漿粉刷法，粉塹法，磨礮法，洗刷嫩三和土法，鹽酸洗刷法，琢鑿法，着色三和土法等。隨構造物性質，擇宜用之。

防止三和土漏水法 三和土構造物，有時須有禦水性，如房屋下層地窖之牆壁，隧道，水池，清水渠，穢水管是。清水渠，穢水管等不必毫不漏水，略有漏洩，尚屬無妨。地窖隧道，則不僅須不漏水，且須阻止溼氣內侵。在鋼骨三和土，尤不可漏水，因鋼遇水生鏽，三和土破壞，則更危險也。防止三和土漏水之法有四種。

(一)第一種防止三和土漏水法，為注意於沙石之選擇配合，務造成極密實之三和土，俾不漏水。用水泥宜多，石塊宜大，沙粒細者宜略多，三和土混和時應稍溼，且應透徹。全構造物宜一氣灌成，否則新舊三和土之聯接，須十分密合。在地窖水池等之底鋪一比一或一比二膠沙層，仔細塹平，實亦作成密實層之意也。

(二)第二種防止三和土漏水法，為使用防水材料，加入三和土，為其成分。防水材料有多種。有以石灰與三和土一齊混和者。在一比二比四三和土，所加石灰可等於水泥重量百分之八。在一比

三比五三和土，可增至百分之十六。有以粘土加入三和土中者，其量可多至百分之十至十五，然三和土防水性雖增，強度却減。有加明礬與肥皂於三和土成分者。最佳用量比例為明礬一分與硬肥皂二·二分，各自溶解於水而混和之，加入正在製造之三和土中。有合用石灰與肥皂者，以一分生石灰與十二分硬肥皂相合為準。此外尚有特別防水材料多種，今不贅述。

(三) 第三種防止三和土漏水法，為使用防水材料，塗於三和土表面。有用明礬與肥皂兩種溶液，替換塗刷者；有用水泥漿塗刷者；有用別種材料者；有用防水性之水泥膠沙塗搗者；其防水性係藉明礬肥皂等物之力。

(四) 第四種防止三和土漏水法，為用瀝青質材料作成油紙油氈，護於構造物之外，再造牆以保護之。油紙油氈倘係由若干張疊成者，則其縫須不在一處。倘油紙油氈用過後有裂痕，應設法除去，因倘有水由此滲過，則前功盡棄也。

三和土之收縮縫 三和土如在夏季澆灌，則至冬季時收縮過大，發生細裂痕。可於三和土構造物上作成收縮縫，以為之備。在普通樓板、地板、邊道、邊石等，其收縮縫相距，當不逾五英尺或六英尺。

尺。在普通擋土牆及橋墩，收縮縫垂直，相距約二十至五十英尺。在污水管及涵洞，可自六十至七十五英尺。垂直收縮縫之造法有三種。第一法為將構造物分段造成，即以收縮縫為段與段之分界，其處新舊三和土之聯合，不求緊密，則兩段之間，自然有薄弱之剖面，而成收縮縫。第二法為作成凹凸縫，即使先成段之末，中間凹進，而接造段之首，中間凸出，與之相銜，如是可免構造物中一段因受側面之力而傾側。第三法為於先成段之末，插入短鐵路鋼軌一段，於其突出處用油紙包裹，接造新段後，鋼軌足以防止兩段之側向參差，然仍無妨於縱向收縮也。

## 第五節 三和土之強度

三和土之強度 三和土之強度，隨其所用原料之性，其配合之比量，其用水之多寡，其製成之歲月，與製成後經過情形而異。在注重體積之無骨三和土，多祇須察其擠壓強度。在鋼骨三和土，則須並考其橫撓強度及剪割強度也。

三和土之擠壓強度 三和土之擠壓強度，隨種種事物而變化，如上所述，又隨受力之情形而

異。倘被擠壓之物品，其受力之處，僅限於其受力面積之一部分，而有集中之勢，則所得擠壓當較大。故實驗室之結果，每較實際上三和土之抵抗擠壓力為較高，而製成後三十日之一比二比四三和土，其極限擠壓強度，祇可假定為每方英寸二千磅，方無危險。至於一比二比四三和土之安全擠壓強度，即計畫三和土構造物時所用者，可以下列之數值為準。

第四表 製成後三十日一比二比四三和土之最大安全限度

加 力 之 情 形	每平方英寸之磅數
鋼面壓在三和土面加力面寬度不及三和土上面寬度之二分之一	一〇〇〇
橋座之受力面常有震動者	五〇〇
體積巨大三和土之受力面	七〇〇
鋼骨三和土梁之最大擠壓強度	六〇〇
無骨三和土薄牆及長度不逾直徑十二倍之三和土柱之直接擠壓力	四〇〇

上表所列係就工料製作俱良好之三和土論之。倘工料製作稍次，則所取之安全擠壓強度數值，尚須酌減。巨大體積三和土之尺度，每不依三和土之安全擠壓強度而定，例如三和土基礎之尺度，係按土地之載重力算出是也。又三和土基礎有時含水泥特多，遠多於載重所需，則緣須加重阻水性之故。在計畫鋼骨三和土房屋時，須注重擠壓強度，但仍以用含水泥較富之三和土為宜，不僅因其強度較高，且因其中鋼之附着強度可增高，而板型能早拆，又可掩蓋工料欠佳之弊也。

三和土之牽引強度 三和土不用以抵抗牽引力，故其牽引強度之研究，祇在求其與擠壓強度之關係，以供鋼骨三和土設計之用。大概牽引強度與擠壓強度之比例，約自一比六至一比十二也。

三和土之剪割強度 三和土之剪割強度，在計畫巨大體積三和土時，可不問之，然在計畫鋼骨三和土時，則須計及。在一比二比四二和土，其極限剪割強度，可用每平方英寸一千三百磅。

三和土之彈性係數 三和土之彈性係數，為其單位應力與單位變形之比率，乃計畫鋼骨三和土構造物時所最注重者。此係數之值隨三和土製成後歲月並三和土含水量而增加，但載重

增加，則此係數反減小。一比二比四三和土之彈性係數，可用每平方英寸二、五〇〇、〇〇〇磅之值。

三和土之重量 三和土之重量隨其原料及配製情形而異。大約每立方英尺在一百五十磅上下。

## 第四章 鋼骨三和土

鋼骨三和土之優點 鋼骨三和土係以鋼藏於三和土中，而令此兩種材料互相補助以支承構造物之應力者。兩種材料價值不同，各盡其用，故甚爲合算。不僅此也，鋼骨三和土頗有彈性，故發生稍巨變形，仍無危險。鋼骨三和土頗能禦火，而其造價較之別種禦火構造物實爲低廉。又鋼骨三和土在各種圻工構造物中，乃兼具充分之牽引強度與擠壓強度者。此皆鋼骨三和土之優點也。

鋼骨三和土構造物 鋼骨三和土構造物之組成，可分爲下列四項論之。(一)梁。(二)柱。(三)拱。(四)管。如房屋之屋頂及樓板地板，橋梁之面板，俱屬梁之一種，特薄而甚寬者耳。拱雖爲彎曲之梁，然其力學原理及構造法與簡單之梁大異，故當專論之。管之研究今姑從略。

### 第一節 鋼骨三和土梁



鋼骨三和土梁之公式 鋼骨三和土梁係以三和土抵抗因撓曲而起之擠壓力，以鋼骨抵抗因撓曲而起之剪割力。今就計算此種梁之公式述之。立公式時，假設三事。第一，三和土對於牽引之抵抗強度，忽略不計。第二，三和土之擠壓應力量圖，在三和土之安全擠壓強度範圍以內，乃一直線。第三，鋼及三和土中，俱無溫度應力或收縮應力。

公式中所用代語，有下列各項，即

$f_s$  爲鋼之單位纖維應力；

$f_c$  爲三和土在受擠壓面之單位纖維應力；

$e_s$  爲鋼因應力  $f_s$  而起之單位伸長量；

$e_c$  爲三和土因應力  $f_c$  而起之單位縮短量；

$E_s$  爲鋼之彈性係數；

$E_c$  爲三和土之擠壓彈性係數；

$n$  爲  $E_s$  與  $E_c$  之比率；

T 爲在梁中任何剖面處鋼之總牽引力；

O 爲在梁中任何剖面處鋼之總擠壓力；

$M_s$  爲依鋼決定之抵抗幾；

$M_c$  爲依三和土決定之抵抗幾；

M 爲梁之撓幾，亦即梁應有之抵抗幾；

b 爲矩形梁之寬度；

d 爲由梁受擠壓面至鋼骨平面之距離；

k 爲梁之中性軸在梁面下之深度與距離 d 之比率；

j 爲抵抗偶力臂與距離 d 之比率；

A 爲鋼骨之橫剖面積；

p 爲 A 與 bd 之比率；名曰鋼率。

今當先求出中性軸之地位。因梁之任何剖面在梁之受力撓曲前後，俱爲平面，故纖維之單位

變形與其對於中性軸之距離成正比例，是以：

$$\frac{e_s}{e_c} = \frac{d - k d}{k d}$$

但因  $e_s = f_s / E_s$  而  $e_c = f_c / E_c$  故

$$\frac{e_s}{e_c} = \frac{f_s}{E_s} \frac{E_c}{f_c} = \frac{f_s}{n f_c} = \frac{d - k d}{k d} = \frac{1 - k}{k} \dots\dots\dots (1)$$

在簡單撓曲時，總牽引力等於總擠壓力，故

$$f_s A = \frac{1}{2} f_c b k d \dots\dots\dots (11)$$

合併方程式 (一) 及 (二) 且以  $p = A + b d$  代入，解之，得：

$$k = \sqrt{2 p n + (p n)^2} = p n \dots\dots\dots (11)$$

由公式 (三) 知中性軸之位置，僅隨鋼率及兩彈性係數比率而異。當  $n$  之值為十五而  $p$  之值居百分之 0.75 至 1.0 之間時， $k$  之值自 0.38 至 0.42，通常係作為八分之三。

次求抵抗偶力臂  $j d$ 。按擠壓應力中心點對於梁頂之距離為  $\frac{1}{3} k d$ ，故偶力臂  $j d = d -$

$$\frac{1}{3} k d \text{ 即}$$

$$j = 1 - \frac{1}{3} k \dots\dots\dots (四)$$

$j$  之值不大隨  $p$  而變化。當  $n$  之值為十五而  $p$  之值居百分之 0.75 至 1.0 之間時， $j$  之平均價值約為八分之七。

復次，求抵抗幾。如鋼骨之量不足，以致不能完全利用三和土之擠壓強度時，抵抗幾係以鋼為準，而

$$M_g = T j d = f_s A j d = f_s p j b d^2 \dots\dots\dots (五)$$

如鋼骨之量有餘，則抵抗幾係以三和土為準，而

$$M_c = C j d = \frac{1}{2} f_c b k d j d = \frac{1}{2} f_c k j b d^2 \dots\dots\dots (六)$$

求梁之實在抵抗幾，須將此兩種抵抗幾求出，而取其較小者用之。

凡計畫三和土梁，如僅依撓幾為準，則所需之一切公式，不過上述各項。

例如梁受某撓幾  $M$ ，欲求其鋼骨之單位纖維應力，則可解公式（五），遂得

$$f_s = \frac{M}{A j d} = p j b d^2 \dots\dots\dots (七)$$

欲求此際三和土之單位纖維應力，則可解公式（六），遂得

$$f_c = \frac{2 M}{k j b d^2} \dots\dots\dots (八)$$

欲求  $f_c$  之值而依  $f_s$  計之，則可合併公式（七）及（八）而消去  $M$ ，遂得

$$f_c = \frac{2 f_s p}{k} \dots\dots\dots (九)$$

欲求需鋼之量，可解公式（一）及（九）而得

$$p = \frac{1}{2} \frac{f_s}{f_c} \left( \frac{f_s}{n f_c} + 1 \right) \dots\dots\dots (10)$$

由公式(一〇)可知常 $f_s$ 與 $f_c$ 比率及 $E_s$ 與 $E_c$ 比率二者之值不變時，鋼率亦不變不隨梁之大小而異。

欲求梁之面積，如採用 $p$ 之值較公式(一〇)所示者為小，則由公式(五)得

$$b d^2 = \frac{M}{f_s p j} \dots\dots\dots (11)$$

如採用 $p$ 之值較公式(一〇)所示者為大，則由公式(六)得

$$b d^2 = \frac{2 M}{f_c k j} \dots\dots\dots (11)$$

上述者為矩形梁之公式。但在造房屋之樓板地板並橋梁之面板時，係與板下之梁同時作成，合為一體，故在梁上兩旁之板之一部分，有抵抗擠壓之作用，而能與梁下部鋼骨之抵抗牽引部分成平衡。故在設計時，可視作丁字梁。丁字梁之計算較矩形梁為複雜，今姑從略。

三和土梁中，間有於上部置鋼條，以支持擠壓力者，係因梁之深度為地位所限，不能多用三和土以與下部鋼骨成平衡之故。其計算公式今亦從略。

三和土與鋼骨之能聯合一致，恃其間之有附着力。關於此項附着力之公式如下：

設  $B$  為鋼條每單位面積之附着力，

$m$  為鋼骨之數，

$s$  為鋼骨單位長度之面積，

$V$  為任何剖面之總垂直剪力，即由梁之末端反應力，減去末端與此剖面間之載重所得之數，

$j$  及  $d$  所表示者如前。則

$$Bms = \frac{V}{jd} \dots \dots \dots (1111)$$

公式 (1111) 係就水平鋼骨研究而得，然如鋼骨斜置，則此式仍可用。

梁中之剪力 在尋常計算梁之公式中，假定垂直剪力平均分布於梁之橫剖面上，故任何橫剖面之剪力，以此剖面之面積，除此剖面之總垂直剪力，即得之。此種普通公式，略去水平剪應力不計，故雖有錯誤，然偏於安全方面，實屬無妨。至於鋼骨三和土梁，其最大垂直剪應

力，則較假定剪割應力平均分布在梁面與鋼骨中心間面積上所算得者，增多七分之一之譜，看來似不可依此種假定計算。然鋼骨三和土梁中之最大單位剪割應力，依實際計算所得，乃遠較三和土之剪割強度為小，不過八分之一或十分之一，故鋼骨三和土梁罕有因不勝剪割力而破壞者。

梁中之斜向牽引力，鋼骨三和土梁，有時因發生過大之斜向牽引力而破壞。請具論之。在梁中任何點，不僅有垂直及水平兩種剪割應力，且有沿各種傾斜方向之牽引應力或擠壓應力。設  $z$  為梁中任何點之水平單位牽引應力， $v$  為垂直（或水平）單位剪割應力，而  $t$  為此點之最大牽引應力，則由材料力學，可知：

$$t = \frac{1}{2} (z + v) + \sqrt{\frac{1}{4} (z - v)^2 + v^2} \dots \dots \dots (14)$$

最大斜向應力之方向，與水平線所成之角，等於正切之值為  $z/v$  之角之二分之一。

在鋼骨三和土梁之斜向牽引應力大至與三和土之牽引強度相等時，此梁倘無適當腹部鋼骨，即有因不勝斜向牽引力而破壞之危險。斜向牽引力所致之破壞情形，自有特色，即在離梁之末端為梁長四分之一處，在梁之下面起，發生裂縫，而斜向梁之中心是也。在計算鋼骨三和土梁之最



大抵抗幾時，假設所有牽引力，俱由鋼骨任之，固屬正確，然在近梁之兩端處，撓幾不及在梁中心之大，則三和土或能抵抗一部分之斜向牽引力也。

今舉一例，以說明此種斜向應力之算法如下：

設在鋼骨三和土梁中鋼骨上某點之應力，為每平方英寸三〇〇〇磅；鋼之彈性係數為每平方英寸三〇，〇〇〇，〇〇〇磅；三和土之彈性係數，為每平方英寸一五，〇〇〇，〇〇〇磅；而在梁中同一剖面下部之單位剪割應力，為每平方英寸一〇〇磅。則三和土在鋼骨處之水平牽引力為：

$$3000 \times \frac{15,000,000}{30,000,000} = 150 \text{ 磅 / (平方英寸)}$$

由上列公式（一四）算得最大斜向牽引應力為：

$$t = \frac{1}{2} (150) + \sqrt{\frac{1}{4} (150)^2 + (100)^2} = 200 \text{ 磅 / (平方英寸)}$$

此每平方英寸二〇〇磅之應力，已與三和土之極限應力相近，故梁有因不勝斜向牽引而破壞之

危險。其斜向應力與水平線所成之角為二十六度半，即正切為  $\frac{1}{2}$  之角之半也。

梁因不勝斜向牽引力而破壞，僅在較短而深之梁，有此種情形。防止發生過量斜向牽引力之法，為使三和土中水平牽引應力  $\frac{1}{2}$  減小，或在剪割力大處，用面積較大之鋼骨，或使梁加深而減小單位垂直剪割應力  $\nabla$ 。梁之加用鋼骨以防斜向牽引力之法有二。一為將梁之末端之鋼骨拗彎，而成斜向；二為採用特式腹部鋼骨，或排成垂直方向，或排成斜向，擇便利者用之。

鋼骨 鋼骨之式樣有成圓條者，有成方條者，有平滑者，有表面作成突起以期增加附着力者。通用之竹節鋼即其一種。

作鋼骨所用之鋼，軟鋼，半硬鋼，及硬鋼俱可用。其性質如下：

第五表 鋼之性質

鋼之種類	彈限(每平方英寸之磅數)	極限強度(每平方英寸之磅數)
軟鋼	至三〇、〇〇〇	至五〇、〇〇〇
	三五、〇〇〇	六〇、〇〇〇

硬 鋼	半 硬 鋼
至六〇〇〇〇〇〇	至四〇〇〇〇〇〇
至一〇〇〇〇〇〇〇	至六〇〇〇〇〇〇

依鋼骨三和土梁之試驗結果，知決定鋼骨用鋼之安全強度，當以彈限為準，不須以極限強度為準。軟鋼與硬鋼用作鋼骨，各有優點，大概軟鋼較佳。

鋼骨三和土用鋼之比率，全視三和土與鋼之單位實用應力比率與三和土與鋼之彈性係數比率而異，前已述及。普通在鋼與三和土適相平衡之梁，其用鋼量，如屬軟鋼，約為鋼條上方三和土剖面積之百分之一至一·五，如屬硬鋼，約為百分之〇·七五至一。

鋼骨過粗則不便安置，過細則數目多而排列密，亦不便於灌注三和土。故其直徑在四分之一英寸至二英寸之間。鋼骨須挺直，緣彎曲者受力變直，與三和土分離故也。

梁之腹部鋼骨 前已述及，鋼骨三和土梁若無腹部鋼骨，每不免有因不勝斜向牽引力而破壞之危險。安置腹部鋼骨之法有數種。第一法為將梁底鋼骨於近梁之兩端處，彎折向上，而經過梁

之支點，因在此處不須抵抗撓曲力，但須抵抗斜向牽引力已足故也。惟因須有多數斜向鋼骨，故梁之中部水平鋼骨，數亦同增，而有排列過密，不便放置三和土之弊。第二法爲於梁之近兩端處，安置鋼骨，斜向上方，或垂直排列，下端與主要鋼骨相連，此法不甚便利，用者殊少。第三法爲用鋼條垂直排列，繞過主要鋼骨，而成箍環。在梁之末端，鋼箍相距較近，愈近梁之中央，相距愈遠。第四法則爲用特製之鋼骨架，式有數種。

樓地板之鋼骨 樓地板之鋼骨，有用鋼條者，有用鋼網者。其排列法有數種。第一種方法爲以小梁或大梁支持樓地板，則樓地板鋼骨可排成一律平行，或分縱橫兩向十字相交。第二種方法則不用小梁或大梁，而將樓地板鋼骨逕聯於諸柱，有係與柱之行列成平行分爲兩排而互成直角相交者，有係與柱間對角線成平行，分爲兩排而互成直角相交者，如是組織，正似竹篩底也。樓地板鋼骨之設計公式，當求之論鋼骨三和土之專書，今姑從略。

三和土之品質 鋼骨三和土梁及樓地板之三和土，應用一比二比四者，如不用腹部鋼骨，尙宜用含水量較多者，藉避免因不勝斜向牽引力而破壞。所用碎石或卵石，以四分之三英寸或一英

寸者爲最大限。三和土宜調和至稍溼。

鋼骨之強度 計畫鋼骨三和土時，所取鋼之安全牽引應力，應不逾每平方英寸一六，〇〇〇磅。鋼骨之安全附着強度，常用之值爲每平方英寸七五磅。在較短之梁，有時或不能使鋼骨盡量發揮其附着強度，則可將鋼骨末端攀成彎曲，與鋼骨主體成直角，以增加其附着力。

梁之強度 鋼骨三和土梁之表面纖維擠壓應力，可以每平方英寸六〇〇磅爲最大限。

鋼骨三和土梁如無腹部鋼骨，則安全垂直剪割應力，祇可以每平方英寸四〇磅爲最大限，以免發生斜向牽引力。如梁中有腹部鋼骨，則安全垂直剪割應力可依每平方英寸一〇〇磅計算。

三和土之彈性係數 計算鋼骨三和土梁時，常假定三和土之彈性係數爲每平方英寸二，〇〇〇，〇〇〇磅，即 $E_s$ 與 $E_c$ 之比率爲十五也。

鋼骨外之三和土 在鋼骨三和土梁之下方，常留三和土一英寸半至二英寸厚，在樓地板之下方，則留三和土二分之一英寸或一英寸厚。其用在保持鋼骨，使能傳應力於上方之三和土，且能禦火也。

## 第二節 鋼骨三和土柱

鋼骨三和土柱之公式 三和土柱，長度與最小寬度之比常不逾十五，故計算時可不計及柱之撓曲。倘載重係屬穿過柱之中心，則僅據擠壓力以計畫之可也。

三和土柱亦多有受偏心載重者，如附牆之柱，所受樓地板載重偏於一邊，是也。計畫此類之柱，須計及載重之偏側。其最大纖維應力，可依下列公式計算之。

設  $f_c$  為最大單位擠壓應力，

$P$  為總載重，

$A$  為總面積，

$M$  為由偏心載重而生之撓幾，等於  $P_e$ （ $e$  為偏心距離，）

$e$  為最遠纖維之距離，

$I$  為惰幾。則

$$f_c = \frac{P}{A} + \frac{M_c}{I} \dots\dots\dots (15)$$

鋼骨安置法 三和土柱中之鋼骨，有兩種安置法，一為縱向鋼骨法，長與柱相等。一為環繞鋼骨法，係擁護三和土，而增加其載重力者。縱向鋼骨有用平鋼條者，有用竹節鋼者，有用特製之鋼骨架者。如僅用鋼骨一支，係置在柱心，多則排列於柱心周圍，而相對稱，離柱面約二英寸。環繞鋼骨法係用鋼環，或螺旋鋼絲，或圓鋼條，或平鋼條，有時則用鋼絲網作成。環繞鋼骨係置在柱之主體之周圍，通常於其外置三和土或水泥膠沙二英寸，藉以禦火。有時合併兩法用之。即於縱向鋼骨外相隔適當尺寸，加用環繞鋼骨以維繫之，是也。

鋼骨三和土柱之強度 三和土柱如用縱向鋼骨，其強度之計算法如下：

設  $A$  為柱之總橫剖面積，

$A_s$  為鋼之橫剖面積，

$f_c$  為三和土之單位實用應力，

$n$  為鋼與三和土二者在應力為  $f_c$  時彈性係數之比率，

P 爲柱之總安全強度

P 爲鋼量與柱之總面積量二者之比率。則

$$P = A_t [1 + (n - 1)p] \dots\dots\dots (17)$$

三和土柱如用環繞鋼骨，其計算之法如下：

設  $u$  爲波亞森 (Poisson) 氏比率，卽此材料側向變形量與縱向變形量二者之比率，

$C$  爲縱向單位應力總量，以每平方英寸之磅數計之，

$c$  爲縱向應力多於側向單位擠壓應力之量，

$f_s$  爲鋼中單位牽引應力，以每平方英寸之磅數計之，

$p$  爲鋼之剖面積與柱之總剖面積之比率，

$n$  爲鋼之彈性係數與三和土彈性係數之比率。則

$$C = c \left[ 1 + \frac{u n p}{2 + 2 n p (1 - 2 u)} \dots\dots\dots (17) \right]$$



$$f_s = \frac{2un_0}{2+n_p(1-2u)} \dots\dots\dots (18)$$

兩種鋼骨優劣 取上列二公式研究之，可知環繞鋼骨不及縱向鋼骨效率之高，且在三和土應力未逾尋常實用應力範圍時，鋼之應力亦殊低微，未盡其用。環繞鋼骨於柱之極限強度則確能提高。但尙未可大爲利用耳。

實用強度 鋼骨三和土柱中三和土之實用單位應力，不可取值過高，大概一比二比四三和土，作柱用時，在製成後三十日，其實用單位擠壓強度，可定爲每平方英寸四百磅。三和土之彈性係數，則可作爲每平方英寸二，五〇〇，〇〇〇磅至三，〇〇〇，〇〇〇磅。

### 第二節 鋼骨三和土構造法

今因篇幅所限，祇略述鋼骨三和土構造法如次。

佈置版型 計畫鋼骨三和土構造物時，於板型之佈置，最當注意。緣板型價值，往往居工價之

大部分，故須使其能早時拆卸，以便再三使用，且須使其不易因拆卸而損壞。拆卸柱之板型時，應不擾動支持梁之板型之撐木。梁之板型之邊，可於三和土初凝以後，即行拆卸，但梁之板型之底，則須待三和土已自行生力後方能拆卸。故計畫梁之板型時，應使當拆除兩邊時，不擾動底板。

安置鋼骨 三和土樓地板及大小梁之鋼骨，往往不易安置適當。通常係以三和土塊作成之座或鋼板作成之座，置於板型之底，以支承鋼條，令不偏斜。

清理板型 在灌注三和土之前，須將板型中一切泥土木屑木片雜物等清除。三和土應稍溼，俾易於填嵌鋼骨之間。

拆除板型 三和土灌成以後，應逾若干日，始能拆除板型，視天氣與板型拆卸後三和土受力輕重而異。天氣愈冷，則拆除板型之日期愈長。三和土在拆除板型後所受力之大小，愈與其設計時規定受力之大小相近者，其板型拆卸時期應遲。

收縮縫 鋼骨三和土構造物中收縮縫，相距可自二十五英尺至五十英尺。

# 第五章 琢治石料法

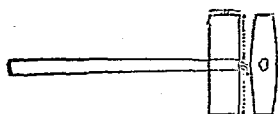
## 第一節 工具

工具 石工構造中所用石料，有種種琢治之法，其名稱往往隨所用琢治工具而定。故欲辨別

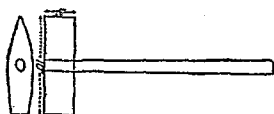
各種琢治之法，當先知工具之種類。工具大別為手工用具與機械工具兩類。分述如左：

手工用具 (一)雙面鎚 如第一圖所示，重二十磅至三十磅。由石坑採出之石，用此鎚粗加整理，敲去凸起不平之處，使略成方正。

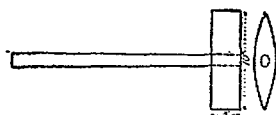
(二)單面鎚 如第二圖所示，較雙面鎚為輕，一端



雙面鎚 圖一第



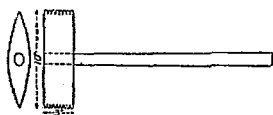
單面鎚 圖二第



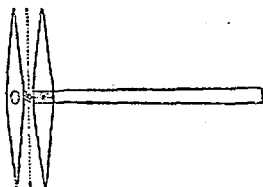
雙刃斧 圖五第



錐錐 圖三第



斧齒 圖六第



鶴嘴鑿 圖四第

為鈍頭，其用與雙面錐同。一端為尖頭，用以敲擊石面，使略成方正，以備再用較細工具琢治。

(三)錐錐 如第三圖所示，一端為鈍頭，一端為尖錐。重十五至二十磅。石坑工人用之，以敲擊石料，使略成方正，以便運出。

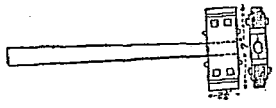
(四)鶴嘴鑿 如第四圖所示，用於粗琢石面。石灰石及沙石多用之。長自十五英寸至二十四英寸。在穿孔處厚約二英寸。

(五)雙刃斧 如第五圖所示，兩端有刃口。其用為於石料邊緣，鑿成邊緣，又用於鑿平石料表面。長約十英寸，其刃口長約三英寸。

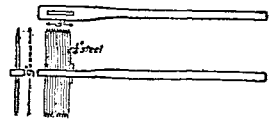
(六)齒斧 如第六圖所示，與雙刃斧相似，惟刃口有



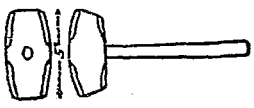
鏈點稜 圖七第



鏈利專 圖九第



鑿筧 圖八第



鏈手 圖十第

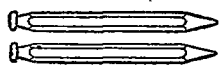
齒為不同。齒數多寡隨琢工精粗而異。花崗岩片麻岩之石料不適用之。

(七)稜點鏈 如第七圖所示，鏈面有稜點。鏈長自四英寸至八英寸，鏈面自二英寸至四英寸。稜點之多寡大小，隨琢工精粗而異。

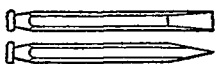
(八)筧鑿 如第八圖所示，鐵柄長二英尺，一端有長孔，插入四分之一英寸見方鋼條十支，用鏈約束。鐵條長九英寸。兩端尖銳。

(九)專利鏈 如第九圖所示，鏈之兩端係由寬而薄之鑿組成。每片之鑿厚自十二分之一英寸至六分之一英寸。專利鏈用於修削石料表面。

(十)手鏈 如第十圖所示，重二磅至五磅，在石料上



錐尖 圖三十第

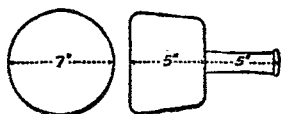


鑿 圖四十第

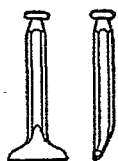
也。

(十三)尖錐 如第十三圖所示，係以四分之一英寸至一英寸直徑之圓鋼條或八角鋼條製成。長約十二英寸。一端尖銳，用以削除石面凸起之處。

(十四)鑿 如第十四圖所示，係以四分之一英寸至四分之三



錘大 圖一十第



鑿寬 圖二十第

鑿孔及鑿硬石時用之。

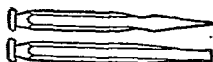
(十一)大錘 如第十一圖所示，鑿石灰石及沙石時用之。

(十二)寬鑿 如第十二圖所示，鑿柄為一又八分之一英寸直徑之鋼條，鑿之刃口寬二英寸半，厚八分之一英寸。此鑿用以鑿成石面之邊，使其甚

為平直。法於石邊劃線，執鑿令其刃口與線相齊，而以手錘在鑿柄之頭上敲擊，線外之石即被削落



鑿齒 圖五十第

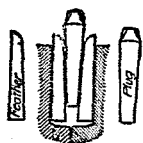


鑿劈 圖六十第

英寸直徑之圓鋼條製成。長約十英寸。鑿之刃口寬四分之一英寸至二英寸，用以在石面上作成圖樣或邊線。

(十五)齒鑿 如第十五圖所示，與鑿相似，惟其刃口分成齒。在琢治雲石及沙石時用之。

(十六)劈鑿 如第十六圖所示，在琢治軟石時用之。有時於花崗石上鑿成細花紋，亦用之。

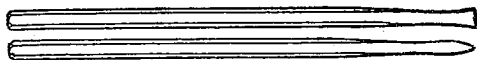


破石聯楔 圖七十第

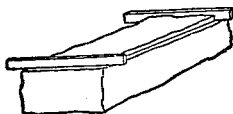
(十七)破石聯楔 如第十七圖所示，由心楔與邊楔組成。心楔為上粗下細之鋼條，邊楔為半圓形鐵條二枚。在分劈不成層岩石時用之。以第十八圖所示之鑽，於石上沿分劈之線鑽孔一列，於各孔中插入邊楔一對，再將心楔插入邊楔之間，然後用手鎚輕擊各心楔，至石塊分裂為止。

鋸石機，削石機，平石機，粗磨石機，及細磨石機等。機械工具 規模較大之石廠，往往用機械以琢治石料，所用機械有

受膠沙，惟凹度不可過大。終則以雙刃斧，或專利錘，或稜點錘，將石面修平。



鑽 圖 八 十 第



料石面平作製 圖九十第

## 第二節 石面製作法

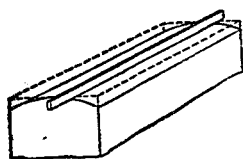
石工所用石料，常爲平面，圓柱面，及彎面，間亦有作螺旋面，錐面，球面，及不整齊面者。

平面 石匠琢治石料時，第一步爲於石料周圍側面，用黑鉛筆畫線，以表明所欲得平面之所在。次用錘及鑿石工具，將此線以上之多餘石料鑿去，使石面約略成平面。復次，用鑿在此面上周圍，鑿成平邊。欲知諸平邊是否同在一平面上，係用兩直線尺以驗之，如第十九圖所示。復次，以寬鑿或尖錘將石面上突起部分鑿去，至以直線尺置於石面上任何方向之際，俱恰觸及石面平邊及石面中部時爲止。石面常略內凹，以

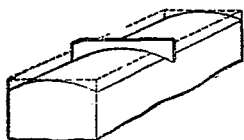


石匠作成石料上第一平面後，繼作第二平面，係於已成平面上畫線一道，為兩平面相交之處，又於石之兩端約略在所需平面上作一線。於是用雙刃斧或鑿，在石之兩端，各鑿成平邊，至將鐵方角尺置上時相合為止。乃再鑿兩平邊，與此兩邊成直角相連，又將石面中部凸出處鑿平。第二平面於是完成。其他各平面，亦依此法作之。

圓柱面 圓柱面或凹或凸。凹者圓拱中用之。作圓柱面時，係先將石料作成平行六面體，然後任採下述一法以成弧面。



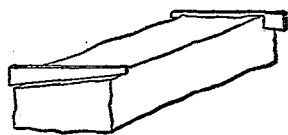
料石面柱圓作製 圖十二第



料石面柱圓作製 圖一十二第

第一法為於石料兩端，各鑿成曲線樣邊一條，後將樣邊外之多餘材料削去，以直線尺驗其直否。如第二十圖所示。

第二法為於弧面與平面相交之線，作一樣線，而用彎曲樣板置在與軸線成直角之方向上以驗之。如第二十一圖所示。



料石面彎作製 圖二十二第

錐面 作錐面法與上述作圓柱面之第一法相似。錐面用者頗少。

球面 球面在圓屋頂用之。作法大略與圓柱面作法相似。

彎面 彎面有數種，今僅就向左右等量扭揆者之作法述之。如第二十二圖所示，用扭揆尺二支，每支尺上下邊間之角，等於扭揆角之半。於石料兩端鑿成樣線，至安置扭揆尺於其上之際，兩尺之上邊，恰在一平面上為度。用鑿石工具將多餘石料削除。倘以直線尺置在石面，方向與石邊平行，恰觸及兩樣線及中間石面者，則為彎面已合度之證。

### 第三節 石面修成法

石工所用石料，倘依石面修成情形為準，可分為下列三類：(一)未琢石，(二)粗琢石，(三)細琢石是也。

未琢石 此為由石坑運出之石料，僅將突起過甚之處除去，而未另加琢治，即行使用者。

粗琢石 此為粗加琢治使成方正之石料。琢治所用工具，常為單面銼或雙刃斧。在質地較軟之石用齒銼。在片麻岩石則須用尖錐。此種石料與下述細琢石之分別，不過石縫之厚薄。倘石料接縫面之琢治未精，致接縫厚至半英寸以上者，俱歸入粗琢石類。粗琢石又可分為下列三種：

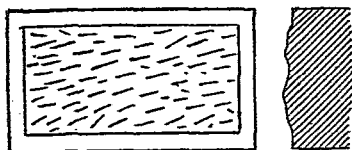
(一) 原面石 石塊表面仍留由坑中運出時原形，未加琢治。

(二) 鑿面石 石塊有明顯圭稜，在此線以外，用寬鑿將石料鑿去，故石塊邊緣，近於正直。

(三) 鑿邊石 石面周圍用鑿鑿成平邊，在邊內石面，仍未加細琢。

細琢石 凡石料之表面方正而接縫面整齊者，俱屬此類。細琢石例有平邊，而平邊間之石面，則琢治平滑。但在厚重之石工，則石料常留粗面，以增加厚重氣勢。建築師所用細琢石之種類頗多，但在工程上常見者則為下列數種：

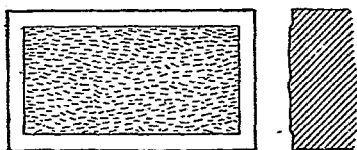
(一) 粗鑿石 琢治石塊時，如須削去石料一英寸以外，則先用鶴嘴



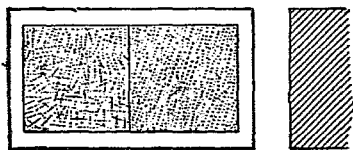
第 二 十 三 圖 粗 鑿 石

鑿或重尖錐，鑿去石料，至突起處厚半英寸至一英寸爲止。如是作成之石料，名粗鑿石，如第二十三圖所示。琢治石灰石及花崗石時，恆先如此行之。

(二) 細鑿石 如欲得較平滑之石面，則於粗鑿後，繼以細鑿。用細尖錐爲之。細鑿石如第二十四圖所示。



石鑿細 圖四十二第



石鑿鉗 圖五十二第

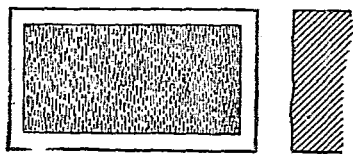
(三) 鉗鑿石 鉗鑿石係用鉗鑿以行細鑿者。鑿紋有一律平行者，有縱橫相交者。石面高低相差，不逾三分之一英寸。兩種鉗鑿石如第二十五圖所示。

(四) 雙刃斧琢石及專利鉗琢石 兩者之不同，僅在琢治程度之粗細。專利鉗中鑿片之數，每英寸自六片至十二片。此兩種石料表面之鑿紋，愈成平行愈佳。雙刃斧琢石如第二十六圖所

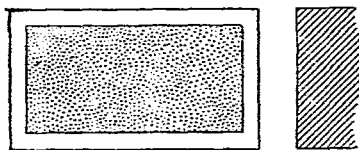
示。

(五)齒斧琢石 用齒斧琢治石面後，常再用稜點錘琢治，故祇須將石面削平已足。

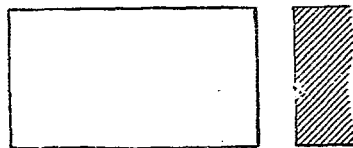
(六)稜點錘琢石 稜點錘將石面不平之處除去，如第二十七圖所示。沙石等質地較軟之石不宜用此種琢治法，因石面易於剝落故也。用此法琢治石灰石，恆先之以粗鑿法及齒斧琢法。



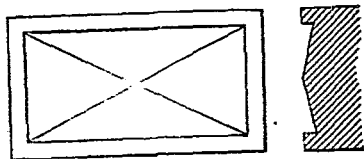
石琢斧刃雙 圖六十二第



石琢錘點稜 圖七十二第



石面磨 圖八十二第



石面錘 圖九十二第

(七)磨面石 琢治沙石及雲石時，常用鋸石機將石料鋸成平面。倘尚有凹凸之處，則以磨石或沙石磨礪之。故此種石料，例無邊框，如第二十八圖所示。

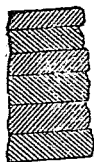
(八)錐面石、有時石塊表面在四邊之框線以內，下陷稍深，向中央逐漸凸起，至四斜面在中央相會而成一點爲止。此名曰下陷錐面石，如第二十九圖所示。又有一種錐面石，係自石面四邊之框線起，卽行向中央逐漸凸起，則名曰突起錐面石。

# 第六章 石工

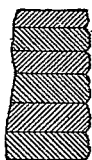
## 第一節 總論

石工之分類 石工之分類法有三種，述之如左。

(一) 依石面修琢之程度，石工可分為三種：



工石面原 圖十三第



工石面鑿 圖一十三第

(甲) 原面石工 石面保存由石坑採出時原狀。如第三十圖所示。

(乙) 鑿面石工 石面邊緣經過修鑿，在同一線上，如第三十一圖所示。

(丙) 琢石工 石面經過粗琢或細琢者。

(二)依橫層之連續情形，石工可分為三種：

(甲)長層石工 每橫層之石塊，厚度相同者，如第三十二圖所示。

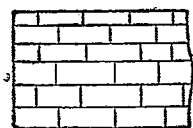
(乙)斷層石工 橫層或斷或續，非全部等厚者，如第三十三圖所示。

(丙)不分層石工 石塊排列，全不成橫層者，如第三十四圖所示。

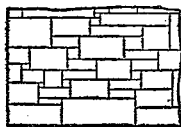
(三)依接縫之厚度，石工可分為四種：

(甲)琢石工 以粗琢石或細琢石為材料之石工，石塊間之縫隙，僅有半英寸或不逾半英寸者。

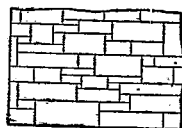
(乙)小琢石工 琢石工所用石料之厚不逾一英尺者，謂之小琢石工。



工石層長 圖二十三第

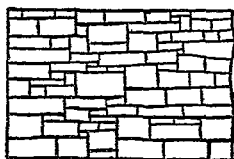


工石層分不 圖四十三第

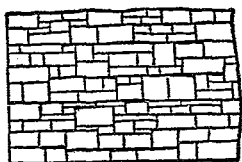


工石層斷 圖三十三第





工石琢未層不分 圖五十三第



工石琢未層分 圖六十三第

(丙)方石工 所用石料係粗加錘鑿，使成方正，且其與他石相貼之面曾經約略修整者。石塊間之縫隙，厚半英寸或半英寸以上。

(丁)未琢石工 所用石料係未琢石，又分二種。

(子)不分層未琢石工 由未琢石砌成，不分層次者，如第三十五圖。

(丑)分層未琢石工 由未琢石砌成，每砌至一定高度，則有一約略成水平之面，如第三十六圖。

上述各種石工，俱用膠沙為接縫材料。別有三種石工，則為不用膠沙者，總名曰乾石工。三種如下。

(一)斜坡石工 路隄，路坎，河岸等之斜坡上，鋪砌石塊一層，以免雨水波浪沖刷者，謂之斜坡石工。

(二)鋪石工 涵洞之底常用鋪石工，以免其被沖刷。石製方涵洞

亦常以鋪石工爲基礎。

(三)拋石工 在橋柱橋塊等之周圍，常用石塊拋下。在河岸旁亦常有拋石工，以防冲刷。石工構造原理 石工之種類雖多，如上所述，然各種石工，有通用構造原理，分論如次。

(一)最大之石塊，應用於基礎上，以求最大強度，而免有下陷不勻之危險。

(二)放置石塊，應以其最寬之面向下，以便填嵌石塊間縫隙。

(三)最大石塊，砌在下層，愈在上層，石塊愈小，石層愈薄，方爲美觀。

(四)用成層石時，應使其天然層理，恰與所受壓力成垂直，俾不損其強度，而耐用年數可多。

(五)石工之分層，應與所受壓力成垂直。

(六)爲使牆中石塊在縱向上有聯合力起見，任何一層中石塊，應踰越下層石塊，易言之，卽上下二層之接縫，方向與壓力平行者，不可近於在同一線上也。

(七)爲使牆中石塊在橫向上有聯合力起見，在薄牆應有多數露頭石，自牆之前面，伸至牆之後面，在厚牆應有多數露頭石，自牆面伸至牆之內部。

(八) 凡質地疏鬆之石塊，在砌置之前，應用水潤溼，以免石塊吸收膠沙中水分而使膠沙失效。

(九) 相鄰兩石塊背面之間隙，愈小愈妙。此與石塊間接縫，俱應用膠沙填嵌。

(十) 如已將石塊砌置於下層石面之膠沙上而尚須移動之時，須將其向上提起，再行放下安置。若將石塊推動，則有擾亂已經砌置之石塊，損其附着力，而令牆之強度降低之弊。

(十一) 新自石坑探出，未經乾透之石塊，不可砌入牆中，恐其在未乾以前，有結凍之弊也。

## 第二節 琢石工

琢石工之分類 琢石工之接縫，僅有半英寸，或不及半英寸厚。依石面之琢治情形，可分為鑿面石工、鑿邊石工及細琢石工數種。依石層之排列情形，可分為長層琢石工、斷層琢石工及不分層琢石工。

琢石工之用途 琢石工為石工之最佳者，重要之構造物用之。如橋柱、橋塊、橋拱、橋欄、水工建築、牆之隅石及線腳層，次等石牆及磚牆之牆帽，以及注重強固與安定之建築，多採取此種琢石工。

也。

琢石工之強度 琢石工之強度，隨石塊之大小，琢治之精粗，及砌牆石塊之結合法而異，今次第論之。

石塊大小 石塊大小，當視石料而異。如用沙石或石灰石等質地較弱之石，任何石塊之長度應不逾其深度之三倍，方免壓斷。較硬之石，長度可為深度之四倍至五倍。軟質之石，寬度可為深度之一倍半至二倍。硬質之石，寬度可為深度之三倍至四倍。

琢治情形 琢石工所用石料，底面及側面，應琢成平面，此層極為重要。倘石面不平，而有突出於框邊以上者，則突出處受過量之壓力，而接縫開張，乃使全部石工，失其安定性。反是，如石面中部鑿去過多，以致在邊框以下，則壓力集於框邊，而有使其迸裂之慮。此弊在石塊安砌以後，不能發覺，故在製備石料時，即宜檢查及之。

琢石工所用石塊之接縫，不可過於平滑，緣稍為粗糙，足以增加石塊對於滑動之抵抗性及膠沙之附着性也。惟石面之凸起處須要除去，俾壓力得以平均分布。石塊製成，先安置於其應有地位，

以驗其形式適合與否，倘有不合，即行琢鑿改正，然後方可用膠沙安置。

石塊底面之全部，應琢成平面，但如牆不過薄，則石塊兩側面不必全部修琢，而石塊之背面則可全不修琢。石料規範書中應將石塊側面應琢成平面部分自石之前面量起之距離，明白規定。

石塊砌置以後，不可加以琢鑿，致令與水泥膠沙分離。

琢石工接縫膠沙之厚度，最小者為八分之一英寸，用於最上等構造。普通為四分之一英寸及二分之一英寸。

石塊之結合 石塊之結合者，謂排列石塊，上下相掩，使牆之縱橫兩向俱有聯繫之力，而增其強度者也。每層石塊間接縫，決不可與下一層石塊間接縫相對。每層石塊，應掩過下層石塊，其伸出之距離可自層厚之一倍至一倍半，沿牆面方向，及自牆之前面至後面，俱應如此。每一石塊至少為下層二石塊所支承，而至少支承上層二石塊。於是壓力之分布，得因遞傳而趨於平均，而石塊間以有磨擦阻力之故，乃使牆身聯合為一體也。

最強固之結合法為在每一石層中，在牆面上有一露頭石與一露側石相間排列，各露頭石之

外端支於下層露側石之中部，而牆面之面積，屬於露頭石之末端者，乃逾三分之一。稍少亦可，但不可在四分之一以下。在薄牆中，露頭石可橫跨牆身全部，自正面直至背面。

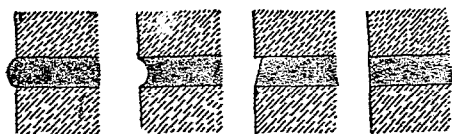
石匠每有作僞之法，用短石砌於牆面，以冒充露頭石，砌後無從發見，故監工者宜注意之。

有時在重要石工，須極力防止石塊之移動，如在橋柱之上部，在新舊石工相接之處，則可用鐵插銷貫入上下石塊之孔，而用水泥膠沙填嵌之。

琢石工常以未琢石工作背，兩者間之接合，應特別注意，琢石工中之露側石，不可以同樣寬度者兩塊上下相疊。作背之未琢石工中，所有露頭石之比量及長度，應與作正面之琢石工相同。琢石工之露頭石之尾部，即其伸入未琢石工中之部分，側面及末端，可留粗糙面，不加修琢。但其上下面仍須修琢，俾與全部石層齊平。作背之未琢石工應與正面琢石工一齊砌造。每造一層，須使二者之頂面齊平，作背之未琢石工之後面，仍應砌成適當之牆面。

補填接縫 無論何種石工，無論用石灰膠沙砌置，抑用水泥膠沙砌置，其接縫之顯露處，總稍欠硬實。此等處之膠沙最易於剝落，緣石工因氣候變化，而有漲縮，使石塊與膠沙分離，或令膠沙破

裂，遂容雨水進入，迨結冰膨脹，則石縫膠沙乃被壓向外故也。是以石塊安砌以後，常用特製嵌縫材料，將牆面接縫，重行填嵌，深入至少一英寸，此名曰補填接縫。所用嵌縫材料宜為淨水泥漿，有時亦



法一第 法二第 法三第 法四第  
圖 七 十 三 第  
法 整 修 縫 平 工 石 琢

用一比一水泥膠沙。在補填之前，須挖去石縫中原有膠沙。挖深至少一英寸。有時於砌石時，留近牆面處一定距離，不用膠沙，藉省以後挖工，其法亦佳。在底縫可留三英寸不用膠沙，迨安砌石塊則膠沙被壓向外，而離牆面一英寸或一英寸半處仍無膠沙。在豎縫，亦可於砌石時，用薄錫片或薄銅片置入石縫，然後填入膠沙，預留空隙，無論係於砌石後挖去石縫膠沙，抑係留有空縫，總須將空縫中散落物質掃淨，用水潤溼，然後置入補填材料，而用錘敲實。後將接縫磨平。

平縫修整 琢石工之平縫，有四種修整方法，如第三十七圖所示。如平縫用第一法或第二法時，豎縫之填嵌恆用第一法。如平縫用第三法或第四法時，豎縫亦可就兩法中任擇一法用之。

膠沙用量 琢石工所需膠沙之量，隨石塊大小並其修琢程度而異。如接縫厚八分之三英寸至二分之一英寸，而石層厚十二英寸至二十英寸，則每立方碼之石工，需膠沙二立方英尺。如石塊加大，接縫愈薄，則每立方碼之石工，需膠沙可少至一立方英尺。

### 第三節 方石工

方石工之分類 方石工之接縫，厚逾半英寸而不及一英寸。方石工依石面之修琢情形，可分為原面方石工及鑿面方石工。依石層之排列情形，可分為長層方石工，斷層方石工，及不分層方石工。

方石工之用途 方石工之平縫及豎縫較厚，故與琢石工有別。其砌置尚屬工整，故與未琢石工有別。公路橋之橋柱，橋墩，小拱，方涵洞，地窖牆等用之。

未琢石工作背 方石工亦可用未琢石工作背，與琢石工同。

補填接縫 方石工之接縫較琢石工為厚，故補填接縫，尤須謹慎。



膠沙用量 方石工需用膠沙之量，隨石塊大小及接縫厚薄而異。大約較琢石工所需者之兩倍餘。

#### 第四節 未琢石工

未琢石工之分類 未琢石工為石工之最劣者。分為分層未琢石工及不分層未琢石工兩種。未琢石工有時因石塊過大，不用膠沙而用三和土以充填石塊間隙，則名曰三和土未琢石工。

砌法 未琢石工所用石塊，祇砍去其薄弱之稜角，不用加意修琢。但在砌置之前，仍須洗去泥土，並用水潤溼。砌法係於下層石塊上，厚鋪良好膠沙，而以石塊安砌於上。豎縫須謹慎填嵌膠沙。大石塊間之空隙較大，可於膠沙中插入小石，以省材料。

石塊之結合 未琢石工之牆面，其面積之四分之一至五分之一，須為露頭石，藉求牆身縱橫兩向結合之合度。牆身轉角處宜用琢石砌成。

石塊之襯墊 未琢石工之弊病，在石塊之底面不平，自須用小石塊襯墊。倘石匠稍不留意，未

會襯墊穩實，則大石塊有搖動之慮，而牆身不能堅固。又墊石若未勻布，則上方重力，每將其壓碎，往往引起危險。故欲造成良好未琢石工，不僅工匠須十分謹慎，而監工者亦須十分留意也。

未琢石工之用途 未琢石工用於小公路橋之橋塊，小涵洞，不重要之擋土牆，房屋基礎，及琢石工並方石工之牆背等。

膠沙用量 未琢石工需用膠沙之量隨石塊大小及其整齊程度，並是否用小石塊填入石隙等事而異。如所用石塊不大，而形式不整齊，則需用膠沙之量，約為石工體積三分之一。如所用石塊較大而形式整齊，則其量可減至四分之一或五分之一。

大構造物 在石壩一類大構造物，有用巨大石塊排置，而以三和土代膠沙以填充石塊間隙者。壩之前面係用琢石工或方石工或未琢石工砌成，即以此作三和土之型也。

## 第五節 石工之強度

石工強度所受各種影響 以石料樣品，作強度試驗，所得結果，祇能藉以比較各種石料強度

之高低，而不足以考知石料砌成石工後之極限強度。石工之強度，蓋隨石料之強度，石塊之大小，修琢之粗細，露頭石與露側石之多寡比例，及膠沙之強度而異。任何一項有變化時，石工強度即大有變化。而膠沙對於石工之擠壓強度，關係甚大，尤常爲人所忽視。膠沙乃石塊之墊層，倘其強度不足，則被壓而向四方擠出，遂令石塊中生牽引應力。弱質膠沙，每使石塊因直接牽引應力或因由撓曲引起之牽引應力而破壞也。

依照石工構造物之實在受力情形，而試驗石工之強度，尙未有行之者，以未有強度充足之試驗機故也。但據試驗磚柱結果，知磚工之強度，僅有磚之強度之六分之一，倘增加磚之強度至百分之五十，磚工之強度仍未多增。但如改用較佳膠沙，則磚工之強度即大爲增加。當磚工受力破壞時，其原因乃在膠沙被擠，而磚塊中發生牽引應力。因膠沙爲磚工中最弱之材料，故用之愈少，則磚工愈強固。石工受力之情形，與磚工當屬相似，故石工之接縫愈薄而石塊愈大者，其強度當愈高，可推想而知之。

石工之最高安全擠壓強度 各種石工之最高安全擠壓強度，大概如下表所列。

第六表 各種石工之最高安全擠壓強度表

石工種類	每平方英尺之噸數	每平方英寸之磅數
未琢石工	一〇至一五	一四〇至二〇〇
方石工	一五至二〇	二〇〇至二八〇
石灰石琢石工	二〇至二五	二八〇至三五〇
花崗石琢石工	二五至三〇	三五〇至四〇〇
三和土	三〇至四〇	四〇〇至五五〇

## 第七章 磚工

磚工之重要 我國建築房屋，向用磚牆。近年新法製磚業興起，巨大建築，以三和土或鋼料作屋架者，仍多以磚砌牆，故磚工實甚重要。

磚工用膠沙 磚工所用膠沙，常用石灰膠沙，但在重要牆壁，以及穢水溝管，隧道貼壁，磚拱，橋柱，蓄水池牆等，則宜用水泥膠沙。

如牆壁所受之力，僅為直接擠壓力，膠沙強度多非極重要，緣尋常膠沙之極限擠壓強度常大於尋常牆壁所受壓力故也。但牆壁所受之力，實常非簡單擠壓力，如屋頂有推牆向外之力，風力亦有側向推力，而貨棧中靠牆堆貨，又有壓力加於牆壁，皆其例也。

接縫厚度 為防嵌縫膠沙因冬季結凍而與磚塊分離起見，膠沙接縫自不宜過厚，然接縫至少應有四分之一英寸至八分之三英寸，方便於砌造，且使磚塊有適當墊層，而壓力得以均勻分布。

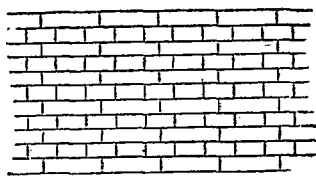
大概的房屋外牆，膠沙接縫之厚可自四分之一英寸至八分之三英寸。在房屋內牆，可自八分之三英寸至二分之一英寸。如用壓製磚，可自八分之一英寸至十六分之三英寸。在工程構造物，膠沙接縫之厚，隨磚之品質及構造物情形而異，大都較房屋牆壁之接縫為厚。

磚工之結合 磚工之結合，一方面在增加本身之強度，一方面則在增加美觀。普通磚工之結合法有三種，述之如下。

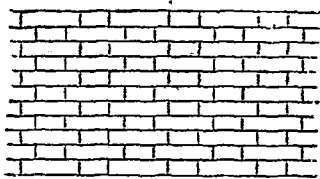
(一)普通結合 每四層至七層，全用露側磚，上加露頭磚一層，再加磚露側磚四層至七層。露頭磚與露側磚比量之多寡，視牆身之橫向強度與縱向強度之比較重要程度而異。如以露頭磚一層與露側磚二層相間，則牆之縱橫強度，當可相等。

如牆之寬不僅一磚，則在橫向上亦應有結合，與縱向相同。

(二)英吉利式結合 英吉利式結合 (English bond) 者，如第三十八圖所示，以露頭磚一層與露側磚一層相間之結合也。因露頭磚層中，豎



第三十八圖 英吉利式磚工結合



第三十九圖 法蘭德斯式磚工結合

縫之數爲露側磚層中豎縫之數之二倍，故在砌露頭磚層時，須注意勿使豎縫過厚，否則二露頭磚所佔地位大於一露側磚，而上下層間豎縫或不免有在一直線上之處也。

(三)法蘭德斯式結合 法蘭德斯式結合 (Flemish bond) 如第三十九圖所示。用此式結合時，每一層中，露頭磚與露側磚相間，而上層露頭磚恰置在下層露側磚之中心。每層中豎縫之數相同，故砌置較英吉利式結合爲易，然強度則較遜。

磚牆面背之結合 有時牆面係以牆面磚砌成，全用露側磚，而以普通磚作背。兩者間之結合法有數種：

- (一)用薄鐵長片平置在平縫中，而將其後端屈成與全部成直角，以插入牆背豎縫中。
- (二)以鍍鋅鐵片作成水紋式，平置在平縫中，使與膠沙聯合密切。
- (三)以鐵絲曲成S字狀，置於平縫中。

(四)將牆面露側磚之內角各鑿去三角形，而將普通磚斜向砌置，恰與露側磚開成之三角形地位契合。

**砌磚時應注意事項** 因磚有吸水之性，故砌磚時，應先用水將磚潤溼，以免膠沙中水被磚吸收，致凝固不合度。倘忽略此點，每使磚工破壞。在須作成極強固之磚工時，例如用磚砌造穢水管時，例須將磚浸在水中經過三分鐘至五分鐘時，然後用之。倘僅在磚堆上澆水，殊不濟事。

砌磚工時，不當祇將磚塊置於膠沙上，且須加以壓力，使膠沙嵌入磚之孔隙，而發生最大附着力。如用水泥膠沙，務宜採用此法。磚匠常用少量膠沙，於下層磚上，作成突起處兩條，而置上層之磚塊於上，如是則磚之中心，並無襯墊。監工者須留意防止之。

**填嵌接縫** 無論造內外牆壁，倘牆面顯露，不加粉刷者，須注意於接縫之填嵌。在砌置普通磚時，豎縫中膠沙係用墁刀之平面壓平。但對於平縫之補填，則有三種方法。

(一)用墁刀將膠沙壓平，剛與牆面相齊，如第四十圖甲所示。

(二)用墁刀使其下口抵於平縫下磚塊之邊，而沿平縫刮過，如是既令其縫平滑，又略將膠沙



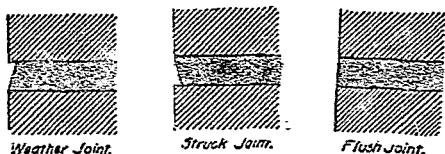


圖 十 四 第

壓實，如第四十圖乙所示。

(三)用墁刀上口將膠沙壓實，如第四十圖丙所示。此種平縫較上一種為耐用，緣雨水不至聚於縫內而滲入牆身故也。但頗不易作，費工較多。

補填接縫 磚工常用石灰膠沙或兼含石灰與水泥之膠沙。石灰使膠沙有粘性，故易於將接縫修整。如單用水泥膠沙，則因膠沙無粘性，而接縫上不能留有多量膠沙，故須行補填接縫法，與石工相似。

磚牆頂部之保護 磚牆之頂顯露於外者，應加覆蓋，以免雨水滲入牆身。可用石灰膠沙或水泥膠沙粉頂，或用普通瓦蓋頂，或用特製牆頭瓦蓋頂，或用石板蓋頂。

磚柱之極限擠壓強度 關於磚柱之極限擠壓強度，試驗頗多，其結果不僅表示磚工之強度，且可藉以推出數條定律，而應用於石工，如前章所述。

磚工之安全載重 依江蘇省各縣取締建築規則所規定，磚工之安全載重，如下表所列。

第七表 江蘇省各縣取締建築規則規定之磚工安全載重

磚之種類	接縫材料	每平方英寸之安全載重磅數
土 窰 磚	一比二石灰膠沙	四五磅
	一比三水泥膠沙	七〇磅
	一比二石灰膠沙	四五磅
機 器 磚	一比三水泥膠沙	一一五磅
	一比二石灰膠沙	四五磅

此表所取之值看似較低，然因尋常造牆時磚料既非經過仔細選擇，而砌工亦非有嚴厲監督，故規定安全載重之值不能提高也。

膠沙用量 磚工用膠沙之量，隨磚塊大小及接縫厚薄而異。如磚塊係長八又四分之一英寸，寬四英寸，厚二又四分之一英寸者，而接縫厚二分之一英寸至八分之五英寸，則每立方碼磚工需

膠沙〇・三五至〇・四〇立方碼；如接縫厚四分之一英寸至八分之三英寸，需膠沙〇・二五至〇・三〇立方碼；如接縫厚八分之一英寸，需〇・一〇至〇・一五立方碼。

不透水磚牆 有時建築磚牆，須求其不透水。法有三種：

(一) 以用煤膏塗製之紙或用瀝青塗製之氈，護於牆之周圍。

(二) 使磚工之本身不透水，係用不滲水之硬磚及不滲水之膠沙以砌牆。

(三) 於牆面塗不透水物料一層，有用不透水膠沙者，有用瀝青者，有用不透水藥品，如明礬、  
皂溶液者。

## 第八章 普通基礎

基礎之重要 基礎者，所以支承圻工構造物主體之佈置也。有以木料造成者，亦有爲圻工者。基礎實爲圻工構造物之重要部分，蓋圻工構造物之破壞，屬於構造物主體者較少，而屬於基礎不良者較多也。於軟弱地質上建築高屋長橋，深有賴於工程師顯其才能，以優良基礎，彌天然缺憾。

基礎之種類 就支承構造物之情形言之，土壤可分爲三種：一爲普通土壤，二爲可壓縮之土壤，三爲半液體土壤。而基礎之構造，亦可隨土壤之別而分爲三類：今請先言普通基礎，即普通土壤上之基礎。

普通基礎 所謂普通土壤者，乃原能支承圻工構造物載重，或設法整理即能支承載重之土壤。整理土壤增加其支承力之法，或爲築實土壤面層，或爲洩去土壤蓄水，或爲用圻工腳層，或圻工倒拱，或木材，鋼軌，鐵梁之腳層，以增加基礎之面積。陸上建築，如房屋，橋塊等之基礎，可用此種方法。

## 第一節 基礎之底

檢驗土壤之性質 計畫基礎時，首當研究者，為土壤之性質。在尋常構造物，於開掘基礎坑或基礎溝以後，祇須再打下鋼桿或用掘土鑽鑽孔，深三英尺至五英尺，以驗土質。在較重大構造物，則須考查深處之土質，其事亦較繁，有下列諸法：（一）打下空管，（二）用掘土鑽開孔，（三）用水洗刷成孔，（四）用撞擊鑽或旋轉鑽開孔諸法。

（一）打下空管法 在軟質土壤，可搭一鷹架，懸挂重錘，將鋼桿或煤氣管打入土中，深度可至二十英尺或三十英尺。由打下鋼桿或空管情形，可以推測土質。然須確有經驗之人，方能判斷不差。如結實之沙或卵石，往往被誤認為岩層。然如以錘擊桿或管之末端，則亦可辨別之。蓋岩石顯然有回力，而沙或卵石則否也。礮石亦易被誤認為岩層，但如多試驗數處，而辨明各處觸石之深度，即可決定其究屬岩層與否。

（二）用鑽開孔法 在普通粘土中開五十英尺至一百英尺深之孔，可用普通木鑽，由人執三

英尺或四英尺長槓桿以運轉之。用地鑽開孔，亦可。孔中所出土樣，可以辨明土質，但不能顯出土壤之密實程度。在疏鬆沙土中開孔，或須打下空管，以防泥土落入孔中。管內之沙，可用鑽移出。

(三) 用水洗孔 在軟土或粘土，可打下空管，內插細管，壓水入內管，則泥土及水，由兩管間地位向上流出。

(四) 用撞擊鑽等法 如土壤由數種地層組成，而有硬土層或岩石層者，須用撞擊鑽或金剛石鑽開孔。解釋所得結果時，極須加意判斷。用撞擊鑽時，不可將充分堅硬足為基礎底之地層忽略，如時時取土樣檢驗，即可知之。

測定土壤支承力 作構造物之基礎時，如一方面欲求基礎之能支承載重，一方面又欲避免基礎過於厚重，致多耗費，則可於開基礎溝後，用試驗載重，以測定土壤之支承力。測法可用見方一英尺之木柱，於土壤中開深三英尺之穴，而立柱於穴中。柱有繩索維繫之，使勿傾側。柱上有架，以懸重物。逐漸增加重物，至某量時，則穴口附近之土，有墳起之象，此即土壤支承力不足之時也。但較小面積在短時間所能支承之載重，可較較大面積所能永遠支承者為大，此層不可不知，故試驗之面

積，愈大愈佳。

各種土壤之支承力 就各種土壤論之，其支承力大不相同。

(一) 岩石 岩石之支承力，自最軟弱之石有每平方英尺十八噸起，至最強固之石有每平方英尺一百八十噸止。大概岩層如非破碎者，則總能支承任何坊工構造物也。

(二) 粘土 粘土之硬者則成板岩或頁岩，能支承坊工構造物之最大載重。其軟者則為融軟之溼泥，微受壓力，即被擠動者。粘土上基礎，應深入地下，至不受氣候影響之處。粘土質土壤之支承力，可憑洩去地水或防止滲水等法，而提高之。粘土中如雜有沙或卵石，則其支承力隨之加高。

(三) 沙土 沙質土壤自粗卵石以至細沙，種種不同。卵石層如頗厚實，是為優良基礎。細沙如含水飽滿，殆與液體無異。以乾沙作底，支承基礎，尚屬優良。溼沙如能阻其向側面移動，亦可作為基礎之底。

(四) 半液體土壤 半液體土壤，為爛泥、流沙等。造基礎時，方法有三種：(甲)完全除去之；(乙)打樁或造防水箱，穿過之至堅實地層；(丙)加泥土沙石等，使其堅實。半液體土壤，除非不得已時，不

可於其上造基礎。造法係利用其向上壓力，以支承構造物，猶水之載舟然。

各種土壤之支承力，大概如下表所列。

第八表 各種土壤之支承力

土 壤 種 類	每平方英尺之支承力噸數	
	最 小 量	最 大 量
岩石最硬者天成厚層	二〇〇	三〇
岩石等於最佳琢石工	二五	三〇
岩石等於最佳磚工	一五	二〇
岩石等於劣磚工	五	一〇
粘土厚層常乾燥者	六	八
粘土厚層尚乾燥者	四	六



粘土軟者	一	二
卵石及粗沙膠合密實	八	一〇
沙乾燥而膠合密實者	四	六
沙清潔而乾燥者	二	四
流沙	〇・五	一

有當注意者，即計畫基礎時，所用土壤支承力之數值，尙須視坊工構造物之性質，而增減之。例如高烟囪基礎之壓力，便應較火爐基礎之壓力爲低，因在烟囪若支承力稍有不勻，則基礎之下陷參差，烟囪或竟發生危險，而在火爐，縱支承力略有不足，亦無妨也。

計畫基礎時，不僅須安定土壤支承力而已，如爲建築房屋，且須注意於在房屋地盤外附近開掘時，有無容土壤移動之危險，倘或移動，即須設法防止之。在橋塊基礎，則須注意於橋塊周圍土壤含水飽滿時，當成何象，或橋塊附近土壤被水刷去時，當有何影響。故橋塊下防水洗刷之設備，每佔

構造物全價之大部分也。

增加土壤支承力之法。倘在擬造圻工構造物下之土壤，支承力薄弱，殊不足以應所需，則可採取下列方法，以增加其支承力。

(一)增加基礎之深度。此為最簡之法。掘土愈深，則土壤愈密實，故能多載重量。在粘土上造基礎，尤須深掘，因深則土壤以近地開掘而移動之危險減少，且深處粘土含水量變化之量亦微也。然土壤間有愈深愈溼者，則未便採用此法，不可不知。無論在何種土壤，基礎之底，須在結冰線下，否則水入基礎下而結冰，可有大害也。

(二)洩去土壤含水。造房屋基礎時，可於房屋周圍，在基礎之底以下，埋設洩水瓦管，則基礎之底，土壤含水減少，支承力自然提高。有時可於基礎之底上鋪卵石一層，既能分布底腳所受之力於廣大地域，又有改良土壤洩水狀況之效。

(三)使土壤變為密實。軟質土壤可採用下列方法，使其變為密實，藉以提高其支承力。

(甲)加沙。於基礎之底面上加沙或卵石，或碎石，並加春搗，則成較密實之地層，可加構造物

於上。惟此法之效力不甚宏，因舂搗之力不能深入地下，而構造物重量則影響較深故也。較爲有效之法，係開掘較構造物略大之地，而於基礎底面上，鋪沙或卵石。沙須分層鋪之。每層鋪後舂實，再鋪上層。沙層厚度，斟酌情形而定。

(乙)打木樁 如土壤極軟，可打木樁，深入地下，使土壤變爲密實。常用六英尺長六英寸直徑之木樁，樁間相離二英尺至四英尺。此法祇適用於粘土，在沙土則不合宜，因沙土不能壓縮故也。在沙土須打下長樁，使樁得支於沙下較硬實地層之上，藉此以支承構造物基礎，或並利用沙土之浮力，以支承基礎。然用長樁所費殊大，在建築房屋時罕用之，因不如增加基礎面積之省費也。

(丙)用沙樁 於基礎之底面，打下木樁，旋即抽出，而以清潔整齊之細沙，灌入穴中，加以搗實，則土壤被木樁擠壓，所得密實程度，可以保持。此種沙穴，名曰沙樁。

(丁)落錐法 此法爲用錐式鐵錘，由二十英尺至三十英尺高處落下，於土壤中作成深穴，而以三和土填滿，由此樹柱，以支承構造物。鐵錘之底大二英尺半至三英尺，重二噸。開穴之深有至五十英尺者。鐵錘將土壤向側面壓實，故增加其阻水性。穴中填滿三和土，加以舂搗，益令土壤堅實。所

需三和土之量常爲穴之原體積之三倍至四倍。

## 第二節 基礎之計畫

基礎之載重 計畫基礎時，首須決定其所支之載重。載重可分三部：（一）構造物本身；（二）樓地板之動載重及屋頂之雪載重；（三）由基礎之一部分，因風力而傳至別部分之載重。

構造物本身之重量 建築物本身之重量甚易計算，蓋既知各部分之體積及所用材料之單位體積重量，即可據以算出全部之重量也。如建築物重量非均勻分布者，則須辨明基礎各部分應支承之重量。但集中之壓力，經整實物體而下傳，並非沿施力線方向而全無變化，實逐漸將受力範圍擴大。故如在基礎與集中載重之施力點間，相隔較大，則基礎所受壓力，分布在其底面上，可以近於均勻也。各種圻工之重量如下表所列。

第九表 圻工之重量

坊 工 之 種 類	每立方英尺之重量磅數
磚工壓製磚薄接縫	一四五
磚工普通	一二五
三和土	一四〇
花崗石石工	較相當石灰石石工大百分之六
石灰石琢石工大石塊薄接縫	一六〇
石灰石琢石工層厚十二英寸至二十英寸接縫厚八分之三英寸至二分之一英寸	一五五
石灰石方石工	一五〇
石灰石未琢石工最優者	一四〇
石灰石未琢石工粗者	一三五
沙石石工	較相當石灰石石工少百分之十四

尋常板條及灰泥，每平方英尺重約十磅。住宅樓地板，每平方英尺重約十磅。公共房屋樓地板，每平方英尺重約二十五磅。貨棧樓地板，每平方英尺重約四十磅至五十磅。屋頂之重量，隨寬度及蓋料種類而異；大概木瓦屋頂每平方英尺重約十磅；石片或瓦紋鐵片屋頂，每平方英尺重約二十五磅。

樓地板之動載重 房屋樓地板所受之動載重，隨房屋之性質而異。如為住宅，每平方英尺不逾十磅。如為大公共房屋，常作為每平方英尺三十磅。如為戲院會堂等，常作為每平方英尺一百磅。如為貨棧工廠等，可作為每平方英尺自一百磅至四百磅。但此種動載重係用於決定樓地板之強度，而非用於計畫房屋之底腳，緣不至有樓地板處處同時支承最大載重之時也。計畫房屋底腳時，所取傳至底腳之動載重之分量，須審察情形而判斷之。在有壓縮性之土壤，估計傳至房屋底腳之動載重，不可過多，亦不可過少。蓋靜載重可以精密估計，而牆壁底腳所受載重，以靜載重為主，故此種底腳實際所受載重恆可與估計者相同。但屋內諸柱之底腳之最大載重，以動載重為主，如估計之值過高，則內柱底腳過大，而柱之下陷較牆為淺；反是，如內柱底腳所受動載重之值，如估計過低，

則柱之下陷較牆爲深，兩者俱不相宜也。

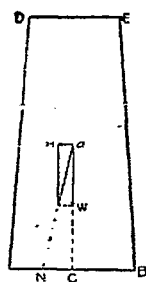
基礎應有面積 既決定土壤之支承力，又決定構造物各部應有之重量，則以前者除後者，便得基礎應有之面積。既知基礎之面積，則可作成坊工底脚或木料底脚，以將構造物之底部擴張，掩蓋此面積，而均勻分布壓力於其上。

壓力中心點及基礎底面中心點 在建築基礎時，目的尙不在求絕不下陷之底脚，却在求下陷極微而各部分下陷均勻之底脚。任何種土壤，受壓力時，總略有收縮，且卽坊工構造物本身，受上部重壓，亦微收縮。是以房屋各部分之壓力，應使相等，而在基礎上尤應使相等，如是下陷時方能均勻。欲求壓力之平均，則載重軸線（卽往過構造物重心之垂直線，須穿過基礎面積之中心。如載重軸線不與基礎底面之軸線相合，則土壤受壓力較大之一側下陷較多，基礎底面傾斜，構造物之下部隨之，而構造物乃有起裂縫之象，或竟發生破壞之危險也。爲防止此種危險起見，則應使一切基礎壓於土壤，有令土壤略向上凹之趨勢，而無向上凸之趨勢。蓋土壤向上凹時，構造物四周牆壁因有內部牆壁及樓地板橫梁之故，不至向內傾側，不似土壤向上凸時，牆壁向外傾側故也。

風力之影響 上所討論者，係基礎所受之總載重，今當進而研究風力之影響，蓋高屋高煙囪等所受風之壓力，使載重之施力點，移至基礎之一側，或足以影響到構造物之安定性也。

風之最大水平壓力，在與風向成垂直之平面上，常作為每平方英尺五十磅。在圓柱面上，常作為對於圓柱之投影面每平方英尺三十磅。風對於斜面如屋頂之壓力，常作為每傾斜一度（指斜面與水平線間之角度而言）每平方英尺一磅。例如屋面對於水平線成三十度傾斜者，風壓力為每平方英尺三十磅。

構造物被風吹時，其基礎受有壓力。計算壓力中心方法，可用第四十一圖以說明之。圖中 A B



第四十一圖 計算壓力中心

ED 為一高塔之垂直剖面。a 點在水平面上與受風壓力之面之中心相對，在垂直面上與高塔之重心相對。O 為無風時之壓力中心。N 為有風時之壓力中心。

設 P 為基礎單位面積上之最大壓力；

P 為單位面積上之風壓力；



H 爲顯露表面上風壓力總量；

W 爲在所研究一剖面（今爲 A B 面）以上之構造物部分重量；

S 爲水平橫剖面之面積；

I 爲此面積之惰幾；

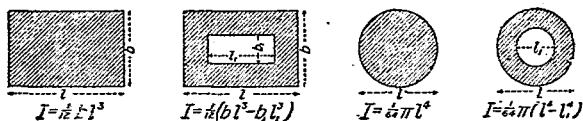
l 爲 A B 之距離；

h 爲 a O 之距離；

d 爲 N O 之距離；

M 爲風之力幾。

當無風時，A B 上之載重均勻分布；當風自右方吹來時，壓力在 A 處最大而向 B 處減小。欲知此壓力變化之情形，可視高塔爲一伸臂式梁。A 處之最大壓力，等於由高塔重量而生之壓力，加由撓曲而生之擠壓力；而 B 處之壓力，則等於由高塔重量而生之壓力，加由撓曲而生之牽引力（因壓力與牽引力方向相反，故係由壓力數值減去牽引力數值）。由高塔重量而生之均勻壓力爲



各種剖面之幾何 圖二十四第

$W/S$  在 A 處由撓曲而生之應力為  $M I / 2 I$  故 A 處之最大壓力為

$$P = \frac{W}{S} + \frac{M I}{2 I} \dots \dots \dots (19)$$

而 B 處之最小壓力為

$$P = \frac{W}{S} - \frac{M I}{2 I} \dots \dots \dots (110)$$

公式 (一九) 及 (二〇) 適用於任何對稱之垂直剖面及任何水平橫剖面，並適用於任何種水平力及垂直力。以後數章，求坊工壩，橋柱，及拱等之單位壓力時，亦用此兩公式。

上列兩公式中  $I$  之值，在普通所用剖面，如第四十二圖所示。圖中  $l$  為與風力方向成平行之邊長， $b$  為與風力方向成垂直之邊長。

如第四十二圖中 A B 剖面之面積為矩形，則  $S = l b$  而  $I = \frac{1}{12} b l^3$ 。以此值代入公式 (一九) 得

$$P = \frac{W}{1+b} + \frac{6M}{b^2} \dots\dots\dots (111)$$

因  $M = H \cdot h$  故

$$P = \frac{W}{1+b} + \frac{6H \cdot h}{b^2} \dots\dots\dots (112)$$

因  $H \cdot h = W \cdot d$  故

$$P = \frac{W}{1+b} + \frac{6Wd}{b^2} \dots\dots\dots (113)$$

此為便於應用之公式。

試究公式 (113)，知當  $d \parallel NO \parallel \frac{1}{6}l$  時，A 處之最大壓力為平均壓力之二倍，而 B 處之壓力為零。此即拱之學說中，所謂中央三分之一點之原理。凡壓力中心不出中央三分之一點時，最大壓力不逾平均壓力之兩倍，而在 B 處不至發生牽引力也。

A B 上之平均單位壓力，原不逾土壤之安全支承力，故如 A 處之最大壓力，不逾土壤之極限

支承力，則偶然由風力引起之最大壓力，當無大害。但如A處之最大壓力已極近土壤之極限支承力，或竟超過之，則必須擴大基礎底面矣。

**底脚** 所謂底脚乃所以擴大基礎底面之面積者，所用材料有圬工、木材、或鐵料，種種不一。無論土壤之性質如何，底脚應伸出牆面以外，藉以（一）增加構造物之安定性，並減小構造物傾斜之危險；（二）分配構造物重量於較大面積上，因之減小構造物由土壤被壓縮而下陷之程度。故底脚必須與牆身聯合堅實，又須有充分強度，以抵抗所受之橫撓力。在尋常建築物，分配重量遠較防止傾側為重要，故今單就分配重量一項論之。

**增加底脚寬度法** 增加底脚之寬度，普通所用方法有四種：（一）擴大牆底圬工層之寬度，愈下愈寬；（二）將牆或柱造在鋼骨三和土板上；（三）用木料或工字鋼梁一層或數層；（四）將構造物支承於圬工倒拱上。今分述如下。

**圬工底脚** 既決定基礎之面積，及其中心與載重中心之關係，則第二步為決定底脚每層之寬度，可較下一層小幾何。每層底脚伸出部分，可視作一端固定而有均布載重之伸臂梁，其載重為

下一層底脚上之壓力或下方土壤上之壓力，伸出部分之長度，隨壓力之量，材料之橫撓強度，及底脚層之厚度而定之。

設  $P$  為在所研究之底脚層底之壓力，以每平方英尺之噸數計；

$R$  為材料之撓斷係數，以每平方英寸之磅數計；

$o$  為底脚層能伸出之最大長度，以英寸計；

$t$  為底脚層之厚度，以英寸計；

$f$  為安全率。

則由材料強度學原理，得下列公式：

$$o = t \sqrt{\frac{R}{41.6 P f}} \dots\dots\dots (114)$$

或改作下列公式，以便計算，亦尚正確：

$$o = \frac{1}{6} t \sqrt{\frac{R}{P f}} \dots\dots\dots (115)$$

安全率之大小，隨計算載重，選擇材料，及實地施工之謹慎程度而異。倘一切謹慎，則安全率可小，否則須採用較大之值。在普通情形，可定安全率爲十。

嚴格論之，用上述方法以計算石工底脚，須石塊之厚與底脚分層之厚相等，石塊伸出之長度，不逾石塊長度之半，且石塊砌合工料俱佳，方稱正確。又石塊所受之壓力，應在膠沙之安全擠壓強度以下。未琢石工每層之伸出長度，應約在石工層與三和土層之伸出長度之間，如未琢石工之石塊頗大，且係用良好水泥膠沙砌合，則其每層伸出長度，可僅較石工層伸出長度略小。如未琢石工係由小石塊，用水泥膠沙砌合，則其每層伸出長度，僅可較三和土層伸出長度略大。底脚用小石塊時，不可用石灰膠沙砌合。無骨三和土底脚應上下一體造成，但上部外角，可作階級式，以節省材料。底脚之伸出長度既經決定後，尚須察其剪割強度是否充足。底脚承受重壓，故其剪割應力甚高，須謹慎計畫之。

鋼骨三和土底脚 計畫牆壁之鋼骨三和土底脚時，可視底脚伸出部分爲伸臂梁。先決定鋼之實用應力與三和土實用應力之比率。次假定梁之深度而計算鋼之百分率及中性軸地位上之

值，復次，計算梁之抵抗幾。如所得安全抵抗幾不與土壤壓力之力幾相合，可另行假定梁之深度而計算之。既決定底脚伸出長度後，可再試驗其剪割強度及附着強度是否充足。底脚之上部外角，可作成階級，以節省材料。

計畫柱之方底脚時，因四角斜向上之伸出長度，為四邊伸出長度之一・四倍，故底脚之厚度，應較牆之底脚對於土壤發生同大壓力者，多百分之四十。在底脚對角方向之單位剖面上，所有鋼料之量，應與底脚四邊成垂直之單位剖面上者，約略相等。

木料底脚 如土壤極軟而常溼者，可用木料作基礎底脚。有一種方法，係以一排重大木料置於土壤上，再以別一排木料置於此排木料上，與之縱橫相交。相交處或以長釘貫之。在木排之上，則鋪木板，以支承坊工。

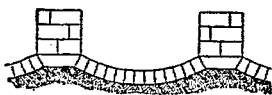
如下層木排係與上層木排平行相疊者，則下層木排能伸至上層以外之長度，依公式(二五)算出。用黃松時，公式中R之值為一〇〇〇，而t之值可取為一〇，則當底脚層所受壓力為每平方英尺〇・五噸時，安全伸出長度為層厚之七・五倍，當壓力為每平方英尺一噸時，安全伸出長度

爲層厚之五・三倍，當壓力爲每平方英尺二噸時，安全伸出長度爲層厚之三・七倍。此僅係上下層木排平行相疊者之計算法，不適用於上下層木排縱橫相交者。

**鋼梁底脚** 鋼梁底脚適宜於在有壓縮性土壤上高屋之基礎。係以工字鋼梁排列相並，而鋪置於多含水泥之三和土上，在此層上，鋪一層短鋼梁，與之縱橫相交，其上再鋪一層或兩層。此種底脚減小基礎之面積，減小底脚之重量，且增加地窖可以利用之地位，是其優點。

**倒拱** 倒拱常造在柱底之下及其中間，如第四十三圖所示。倒拱祇將壓力分布於較大面積上。然實不甚適宜，蓋一列柱中末端之柱，有被倒拱推向外方之趨勢，幾於不能防止，而基礎各部分之面積亦常不能與所支承之載重恰成比例故也。倒拱之優於圮工底脚處，僅基礎較淺而已。

**深基礎** 以上所述建築基礎方法，俱屬擴大底脚面積以於有壓縮性之土壤上支承構造物者。別有一法，則爲造深基礎法，即建築基礎深入軟性土壤之下，以抵硬質地層或岩層者是也。



第 四 十 三 圖 倒 拱



(一)打樁 在軟性土壤上建築基礎，最普通之方法為打樁，當於下章詳論之。

(二)三和土基柱 在軟性土壤上之構造物，如不擴充底腳面積，則可用三和土基柱，穿過軟土，直抵硬質地層，以支承之。如土壤含水甚多，係用後述水下基礎造法作成。如土壤係粘土，係開成直徑自三英尺至八英尺之深井，每掘深六英尺，用二英寸厚六英寸寬企口木板作成井壁，俟抵硬質地層後，用三和土填入井中，即成基柱。井底直徑可以擴大，以增加基柱之支承力。此種基柱，對於柱頂面積每平方英尺，可安然支承重量二十至二十五噸。

(三)水力開井筒法 高屋下之深基礎，亦可用水力開井筒法造成。係以鋼板作成之圓筒，下裝剖面為空三角形之鑄鐵切圈，圈之下邊，有小孔極多。切圈內部，有管與壓水唧機相通。鋼筒上用鑄鐵重壓。當壓水唧機開動後，水由切圈小孔噴出，沖刷土壤，而成圓溝，鋼筒隨即下沉。當其下沉至一筒之深時，以別一鋼筒接於其上。俟切圈已抵硬質地層時，乃停止壓水，且將鋼筒內之土壤除去。則成深井，可以填入三和土，作成基礎矣。此法之缺點為不便於檢驗井底，以整理基礎底面。

### 第三節 基礎底面之整理

基礎底面之整理法，隨土壤而異，分述如後。

岩石上基礎 在岩石上，建築基礎，祇須將岩石之破碎零落部分除去，鑿成平面，與壓力線成垂直。倘有裂縫，用三和土壤滿。

堅實土壤上基礎 在堅實土壤，如硬粘土，清潔乾燥卵石，清潔之沙等上建築基礎，祇須掘溝深至三英尺至六英尺，俾不受冰凍影響。但亦須設法使基礎底面便於洩水。

溼地基礎 在溼地建築基礎，難於排除積水，及防免半液體土壤，流入開掘之處，造此種基礎面，所用方法有三種：

(一)圍堰 如地不過溼，可打板樁，將應開掘之地包圍。板樁通用寬八至十二英寸而厚一英寸半或二英寸者。此為最簡單之圍堰。板樁下端斜向一面削尖，以有尖端一邊，貼近先打下之樁，則後樁自能緊貼前樁。板樁打法，詳見下章。倘有水漏入樁縫，可用唧機排除。堰內用橫木平置，抵住衆

板樁，再以撐木抵住對面橫木，以防板樁內傾。有時用鐵條以代撐木，鐵條有螺絲，藉以伸縮其長度。如一圈板樁之長度，尙不及應開掘之深度，則可再打下一圈，於上圈之內，總以得所需深度爲止。

(二)三和土 在溼地用三和土作基礎，亦常便利。如可除去地上之水，則應將三和土分層灌注。如不能除去積水，則可採用第五章第四節所述在水下放置三和土法，但結果總不如在空氣中灌注者之佳耳。

(三)樁 如地面之半液體土壤頗深，或不易除去，則建築基礎時，可打下木樁，而於樁頂鋪木板，或打下三和土樁，而於樁頂造三和土平臺。

## 第九章 樁基礎

### 第一節 樁

樁之分類 樁可依其用途，分爲支樁與板樁兩類。

支樁 支樁用以支承垂直載重。此乃普通之樁，單言樁時，卽指支樁。材料有木及三和土之別。

(一)木樁 在軟溼之土壤上，作成基礎，恆有賴於木樁。松杉皆可用。樁之直徑，在較細一端，應至少有六英寸，能至少有八英寸尤佳；在較粗一端，應至大不逾十八英寸，能不逾十四英寸尤佳。樁身應挺直，樹皮須除去。

打樁時爲防樁頭破裂之故，每用鐵箍將其箍住，以爲保護。箍厚自半英寸至一英寸，寬二英寸至三英寸。別有較佳之法，則爲於樁上加鑄鐵帽。帽之上下面俱有穴。樁頭削尖，將帽套上，另用硬木

墊裝於帽之上面，以受錐擊。樁帽不僅保護樁頭，且增加打樁之效力，又使樁頭之地位端正，恰便於受擊。尤有進者，不用樁帽，則在猛烈打樁時，每須將樁頭打鬆之段，鋸去數次，方能打至所需深度，耗費材料不少，而在購樁之初，即須預計及之，加長樁身。若用樁帽，則可無此種虛耗矣。

樁之下端常削尖，有用鐵套者，簡單者係以兩件V字形彎鐵條交叉裝在樁尖，用釘釘住；複雜者則有各種特製之式。然，工程家有謂樁之削尖或加鐵套均無益者。

如一樁之長不足，須接長者，普通方法係於第一樁打下後，鋸平樁頭，於其中心鑿二英寸直徑，十二英寸深之孔，而以二十三英寸長之橡木桿打入其中。取第二樁照樣鋸平開孔，套在橡木桿上，繼續打下。此種接法，樁之側向勁度不足，每有上樁被擊後跳脫偏於一側之弊。別有較佳接法，係將上下樁側面俱削平，以木條四支或多支加釘以聯接之，木條為二英寸或三英寸厚，四英寸或五英寸寬，四英尺至六英尺長。

(二)三和土樁 三和土樁式有兩種：一為用三和土製成樁後打入土中，一為就地用三和土製成。

(甲)製成備用之三和土樁 此式之樁恆爲鋼骨三和土樁，所用鋼骨與造柱者同。打樁可用落下之錘，亦可用水洗法。用前法時，樁頭須備樁帽，以免三和土被擊碎，樁之下端須有鑄鐵尖端。用後法時，可於三和土中裝一鐵管，以便送水，並可於樁側開縱槽，以便出水。造樁時板型有係平臥者，有係直立者。平臥者便於檢查，直立者則澆成之樁倘有分層，係與載重成垂直，可無弊病。

(乙)就地灌注之三和土樁 此種之樁，式有數種：

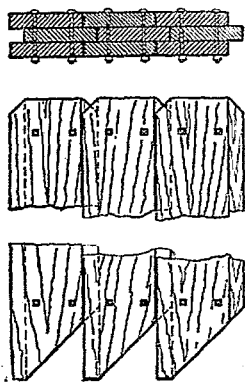
(子)新普勒克斯式三和土樁 新普勒克斯 (Simplex) 式樁之造法，係以十六英寸直徑鋼管，打入地中。管下有自動關閉之底。當鋼管打下時，管底關閉；當將鋼管提起時，則管底開啓。待打下至所需深度時，將管提起二英尺，取足以填滿管中三英尺之三和土，用圓筒斗灌入，用錘挂入管中，以錘實之。再將管提起，送入三和土，錘實如前。繼續行之，至管中填滿爲止。鋼骨可採用適當式樣者，插入管中，而安置之。

(丑)刺蒙德式三和土樁 刺蒙德 (Raymond) 式樁之造法，係以鐵片 (通常用第二十號鐵片) 作成上粗下細之樁殼，裝在可以收縮之鋼管以外，而以普通打樁機一齊打下。至所需深度

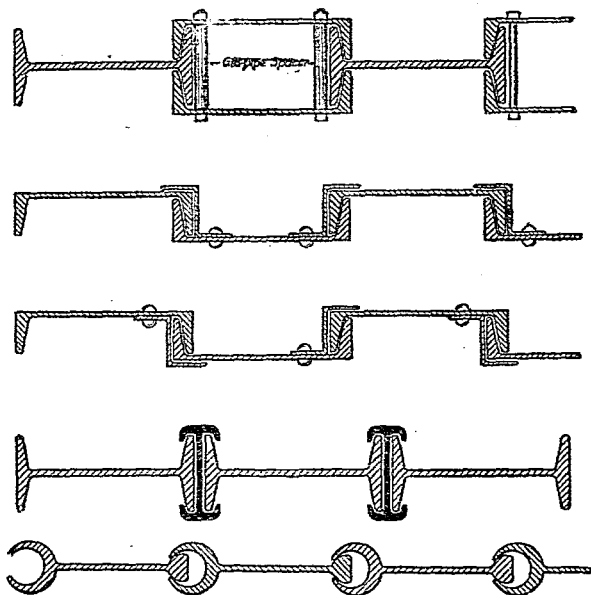
時，令鋼管收縮，將其拔出，而以三和土填入鐵殼中。此式樁長自二十英尺至四十英尺，細端直徑為六英寸至八英寸。粗端直徑為十八英寸至二十英寸。鋼骨可於紮成後裝入鐵殼內。

(寅) 搗實式三和土樁 此式樁之造法，係於圓筒鋼殼之內，裝入心桿，較圓筒殼加長約二英尺至三英尺。兩者一齊打入地中，迨至所需深度，將心桿拔出，以三和土填入圓筒殼底，長二英尺或三英尺，再插入心桿，而打擊之，使三和土密實，且被壓入圓筒殼底外部之土壤中。繼此提起鋼殼，又拔出心桿，灌入三和土二英尺或三英尺，插入心桿而打擊之。如是繼續為之，以至地面。樁頂直徑常為二英尺或三英尺。

當樁身露在空氣中，或在有嗜木蟲之海水中時，用三和土樁自較木樁為宜。三和土樁雖較木樁價昂，然一樁可作兩三樁之用。惟有時減少樁數而增加每樁所支承之載重，亦未必合宜耳。三和土樁不似木樁之須自低水位下鋸平，故坊工構造物之



德爾飛克威 圖四十四第 樁板木



第 四 十 五 圖 鋼 板 樁

底可較高也。

板樁 板樁為厚木板或鋼料，或三和土板蟬聯密排，垂直打入地下包圍一方面積，以防有外方泥土雜入其中，或有水滲入者。

(一) 木板樁 普通木板樁，係厚木板，下端斜削成銳角。當打下時，以長邊（即有銳角一邊）與先打下之樁相貼，俾兩樁擠緊，而接縫嚴密。有時在厚板樁之外，加打薄板樁，以掩



其接縫，有時則用厚板樁兩層。改良之木板樁爲威克飛爾德 (Wakefield) 式木板樁，如第四十四圖所示，強度較普通木板樁爲高。每塊木板寬十英寸至十二英寸，長十英尺至十六英尺。

(二) 鋼板樁 鋼板樁有二種：一爲由標準式樣構造鋼料構成者，一爲特製者。第四十五圖所示，爲其數式。鋼板樁之優點爲接縫嚴密，打樁便利，可以屢次使用。拔樁時係以穿鉤入樁頭孔中，而提起之，故亦不難。鋼板樁所需撐條，較木板樁爲少。

## 第二節 打樁法

打樁法可分爲三種：(一) 用落下之鎚者，(二) 用汽鎚者，(三) 利用水之沖刷力者。今分述如下：

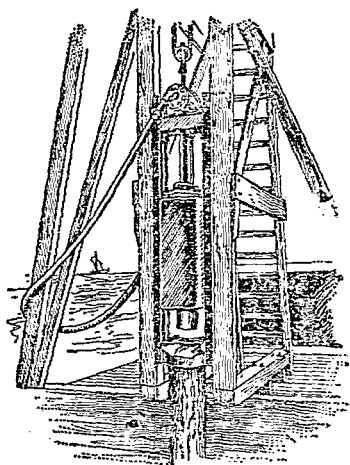
落鎚打樁機 在落鎚打樁機，機架之主體爲垂直柱二支，長自十英尺至六十英尺，相離二英尺，名曰導柱，使鎚下落時不至偏斜。導柱常爲木柱，間有用鋼工字梁者。鎚爲鐵製，重五百磅至二千磅，兩側有槽，與導柱相契合。鎚上有環，以使用繩吊起。打樁機架有裝在車上者，亦有裝在船上者。吊

鏈之繩有繞在輪上而以汽機或人力轉絞者，亦有逕用人馬牽引之者。

板樁之打樁機，僅有導柱一支，鏈沿其前面起落。故得以貼近圍堰之壁打樁，而先打之樁，無礙於後樁之打下也。

放鏈下落之法有兩種：（一）用自動開閉之鉗，鉗有座，在導柱間自由上下滑動，座下有鉗，當其落在鏈頂時，鉗口自動夾住鏈頂之環，當提鏈上升時，仍緊夾之。至鉗座上方鉗臂觸及撥鉗塊之斜面時，則鉗口分張，放鏈落下。撥鉗塊可安置在導柱上下任何地位，依所需落鏈高度定之。用此種鉗時，打樁之法，首為樹樁於其正當地位，置鏈於樁頭，鉗口夾住鏈上之環，將繩絞起，鏈被提上升，至鉗之上端，觸及撥鉗塊，鉗張開而鏈落下。當繩放開時，鉗隨鏈落下，迫落在鏈頂時，鉗即自動將鏈上之環夾住，以後又可將繩絞起，提升重鏈如前。當用汽機絞繩時，最大鏈打速度，每分鐘自六次至十四次，視落鏈高度而異。（二）用摩擦齧合子，繩繫於鏈頂之環，而藉摩擦齧合子之作用，以放開絞繩之筒。當用汽機時，最大鏈打速度，每分鐘自二十次至三十次。

汽鏈打樁機 汽鏈打樁機如第四十六圖所示。有一汽筒，其衝程約為三英尺，其活塞桿連於



第 四 十 六 圖 汽 錘 打 樁 機

輪。樁既安置在正當地位後，將機械放下，使剛落在樁頂，於是開啓汽管，任其自行動作。當送汽入活塞之下時，活塞帶錘升起，直至觸及一撥錘器，阻斷蒸汽入筒，錘乃因本身重量及蒸汽壓力而落下。當下行衝程之末，活門又自動倒轉，而衝程改變方向，錘再上升。調整撥錘器，則衝程長度可以增減而錘擊力亦隨之增減。此式打樁機每分鐘可錘擊六十次至八十次。

打樁之錘。錘重三千磅至五千磅。汽筒裝置於兩支工字鋼梁頂部之間，梁長八英尺至十英尺。梁之底部以一鐵塊聯之。鐵塊中間有孔。鐵塊下面形式，適容樁頭套入。錘在兩梁間上下。錘之下方有圓柱式突出部分，適能穿過鐵塊之孔，而打擊樁頭。汽錘所用蒸汽，由鍋爐供給，用軟管導入汽筒之活門。全部機械係用繩懸挂，此繩繞過導柱頂之滑

打樁機之優劣比較 落鏈打樁機與汽鏈打樁機各有利弊。落鏈機能用於抵抗力較大之處。汽鏈機速度較大，故使樁周土壤無充分時間以恢復其密實程度，而打樁之效力加大。在軟質土壤，汽鏈機打樁較落鏈機為速。以兩種打樁機本身開辦費言，汽鏈機殆十倍於落鏈機。汽鏈機蝕壞較速。在遠離機械工廠之處，倘汽鏈機偶有機件損壞，不易修補更換，亦其缺點。

水洗下樁法 水洗下樁法雖原理與用打樁機者不同，然常用之，所費甚廉，且在爛泥地及沙地，往往僅適用此法。其事甚簡單。係於樁之下端，用水沖洗土壤，樁即下沈，間有略加打擊者。水用軟管導至樁端，當樁下沈合度時，可將軟管拔出。以鐵管代軟管亦可。此法之效力視土壤受水後之流動性高低而異。在沙地，爛泥地，軟粘土地效力最高，而在卵石地或硬粘土地則此法幾全無用。故機械設備，須使出水多而力量得中；若出水極速而流量微小，反無益也。送水唧機，可用往復式，亦可用離心力式。往復式者功率較大。離心力式者購價較小，且不易為水中之沙所侵蝕也。

打樁法之優劣比較 打樁機與水洗下樁法各有適宜之處。如在沙土用水洗下樁法甚便，倘用打樁法，反甚費事。在內地不易得水處，宜用打樁機，但在河工及港工，則水洗法最相宜。在硬粘土

地，合用兩法最佳。

## 第二節 樁之支承力

樁依其作用又可分二種：一爲柱式樁，下端抵於硬地層上；一爲普通支承樁，其支承力係由於樁身周圍與土壤之摩擦力。

### 第一項 柱式樁之支承力

柱式樁之支承力 柱式樁如全埋在土中，則柱身可無旁彎之慮，故樁之支承力，殆等於樁之擠壓強度，自不必視樁作柱而計算之。倘樁之上端伸出地面，通常係用撐條搭接，以防旁彎，亦不必視作柱也。然如柱之上端，有大部分係在水中，而下端又有大部分埋於浮泥之中，則須視作下端固定上端活動之柱，而依下列公式計算其極限支承力。

設  $P$  爲樁之極限支承力；

$E$  爲彈性係數；

I 爲樁之橫剖面之情況；

I 爲樁身無撐柱段之長度。

則

$$P = 97.2EI + 41P \dots \dots \dots (116)$$

如樁之直徑爲十二英寸或不及十二英寸，而無撐柱段長逾二十五英尺，則其極限支承力或不及普通加於樁上重量之大。樁之安全支承力僅爲上列公式所示者之數分之一，故在此類之樁，務須用上列公式，以查考其是否強固合度。木料之安全支承力爲每平方英寸一二〇〇磅至一六〇〇磅，故樁之安全擠壓強度磅數，乃等於以九〇〇至一二五〇乘樁徑英寸數平方所得之值。

### 第二項 摩擦樁之支承力

合理公式與實驗公式 決定樁之支承力，昔人往往研究樁之支承力與樁之長度及直徑，錐之重量，錐落下距離，樁在最後一次被擊下陷距離諸項之關係，而欲以一公式表示之，是爲合理公式。願因足以影響樁之支承力之事項，不止於此數者，且變化太多，無從確定，此種合理公式，殆不能立。惟有求之實驗，以重物或直接壓力，加於若干支樁，考察各樁所能支持之重量，及其與打樁深度，

樁之直徑，及土壤種類之關係，而以一公式表示之，是為實驗公式。各種方法打下之樁，俱適用之。

工程新聞公式 實驗公式雖多，然合用者實僅有工程新聞公式 (Engineering News

Formula) 乃美國工程新聞 (Engineering News) 主筆威靈敦 (A. M. Wellington) 氏所擬。適

用於落鏈機打下之樁者，其式如下：

$$P = \frac{2Wh}{s+1} \dots\dots\dots (117)$$

式中 P 為安全支承力，以磅計；W 為鏈之重量，以磅計；h 為鏈之落下距離，以英尺計；s 為最後一次鏈擊樁之下陷距離，以英寸計。此最後一次鏈擊樁之下陷距離，假定為可以察見而有約略整齊之下陷速度者，須於鏈已確無回躍可見而實係擊在整實木料上時量之。此公式之安全率，大約為六。

如用單作汽鏈打樁機打樁，可用下列公式：

$$P = \frac{2Wh}{s+0.1} \dots\dots\dots (118)$$

如用雙作汽鏈打樁機，可用下列公式：

$$P = \frac{2h(W+aP)}{s+0.1} \dots\dots\dots (119)$$

式中  $a$  爲活塞之有效面積，以英寸計， $p$  爲平均有效蒸汽壓力，以每平方英寸之磅數計。

威靈敦氏擬定公式（二七）及（二八）時，所假定之安全率爲六。兩公式已沿用多年，說者謂如鏈之重量及其落下距離，俱屬尋常度量時，依公式所推算結果，頗爲可靠，而無過大之慮。公式雖原係供木樁之用，然三和土樁用之，尤屬相宜。

在作試驗鏈擊時，宜不見鏈有回躍之狀，縱不能全無回躍，然回躍須極低。倘鏈之回躍甚高，則是鏈之落下距離過大，或鏈過輕，或樁腳觸及硬質阻礙物。此際須憑經驗，周詳研究，以判定回躍之原因。減小鏈之落下距離，常足以減小鏈之回躍距離，而增加打擊之效力。如樁腳觸及堅硬地層，而繼續鏈擊，則因樁腳破碎之故，仍微見樁身繼續下降。願樁腳既破碎，則繼續打樁，便無益矣。

擇定公式中樁之下陷距離，應俟樁之下陷速度已整齊，或整齊遞減時，始可行之。如下陷速度時大時小，則爲樁腳遇地層中轉石之證。如下陷距離幾等於零，是爲樁腳觸及堅硬地層或樁腳已破碎之證。如下陷距離已是微量，如在每擊一次僅陷半英寸或四分之一英寸時，而鏈之回躍頗高，則知當已抵此樁之安全打擊限度。試驗樁之最後下陷距離時，應打在堅實木料上，倘木料損壞，則



樁之下陷距離定過低，即算出之樁之支承力定過高也。

樁身之極限摩擦力 樁之支承力，在繼續受有靜載重時，未必即與其受打擊時相同。樁身周圍之摩擦力，對於前一種情形影響較大，而樁腳對於下陷之抵抗力，則在後一種情形時，效果較顯。又水洗法所下之樁，其支承力除實驗測定外，更無別法可以推求，故樁受靜載重時之支承力，實須由實驗定之。願此種實驗尚罕，而就少數實驗結果觀之，樁身之極限摩擦力，約如下表所示。

第十表 樁身之極限摩擦力表

土壤種類	樁身每平方英尺之極限摩擦力磅數
河中爛泥	三六〇
沼澤地	六〇〇
硬粘土	一八五〇
潔淨白沙	一九〇〇

樁之支承力之安全率 關於樁之情形，既有種種不能確定之事項，故樁之支承力之安全率，視構造物是否重要與夫所用公式及所作實驗之可靠與否而定其大小，自二至十二不等。如樁之抵抗力大部分爲其摩擦力，則於打樁停止以後，樁之支承力常繼續增加，且經過若干時始止，緣摩擦係數恆於打樁停止以後增加故也。如樁之抵抗力大部分爲樁腳對於穿過硬質地層之抵抗力，則樁對於靜載重之支承力，或且不逮打樁所需之力，緣多種材料緩緩改變形狀時，所需之力，較急速改變形狀時所需者爲小故也。如樁旁土壤溼潤，則樁之支承力當減小。

樁之支承力安全率，應隨構造物性質而定。蓋如石拱橋之塊，建築之時，須使其毫不下陷，如鐵路樁架棧道，則雖下陷亦無大礙，緣可將鐵路軌道墊起故也。

打樁區域之支承力 尚有一事，須加辨明，即一打樁區域之支承力，未必即等於一樁之支承力，與此區內所打樁數相乘之積。例如當樁下地層係受力不能無退縮者時，則基礎之總支承力，乃樁下軟地層面積之支承力與包圍衆樁全部區域外面之摩擦力二者之和也。

#### 第四節 基礎之布置

樁基礎之計畫 樁之長度，應視土壤之情形，或打樁之便利，或製備之便利而選定之。樁之安全支承力，可用上節所述公式計算之，或依相類地域之舊例決定之，或就地打下一樁而試驗之。既知樁應支承之重量，又選定樁之長度並估計其支承力，則易求出用樁之數。構造物各部分下之樁數，自應依照各部分之重量，分別定之。

樁心距離 樁心距離，至少應有二英尺半至三英尺。過近則有此樁打下彼樁升起之弊。如用樁不密，已有充分之支承力，或須基礎面積較大，以免全部傾側，則樁心自可相離稍遠。

如於樁頭造有格牀，則須將樁頭修整，使在一小平面上，而格牀之最下層木梁得擱實在一列木樁之上。在水下打樁時，可用窄板作成木架，穿小方孔，以表示樁之地位。此架或聯繫於圍堰之邊，或聯繫於先下之樁，或暫用木柱支持之。在尋常打樁工事，樁頭中心，能位於格牀木架之下，即為良好工事。倘樁頭在打下時偏斜頗多，則可用輓轆或螺旋起重機逼回原位。如樁頭須蓋上三和土，則

其位置是否正確，却不關重要矣。

打樁次序 如樁之排列頗密，則打樁時應從區域中央起，逐漸進向諸邊。因如先打邊地之樁，則中央土壤或竟被擠實，而不能打樁也。

阻止基礎側移法 有時於受側向壓力甚大之構造物下，用樁基礎以支承之，此際有基礎全部被推側行之慮。倘衆樁下抵堅實底層，則可將樁頭周圍上層軟泥除去而填以碎石，當略有阻止基礎側移之效。或亦可於樁礎周圍，相距適當距離，打樁一排，而於基礎與排樁之間，以撐木聯接。倘基礎不能在前面撐拄，則可用拉桿，一端繫於牆面，一端繫於三和土塊，三和土塊埋在牆後適當距離處之土壤內。又可造減壓拱於牆背，以減小牆背所受壓力。

修整樁頭 樁既打下後，須將樁頭鋸去，俾其齊平，或使其能低至不便打樁之處以下，或除去擊碎木料，藉令支承圻工構造物之木台，得攔於堅實木料之上。樁頭應留在水面上者，常可由一人以手鋸鋸去，或由兩人以對拉鋸鋸去。樁頭應留在水面下者，須以鋸機鋸之。普通係用圓盤鋸，鋸之豎軸裝在打樁機兩導柱之間，或裝置在特備之架上，而以打樁時所用發動機推動之。欲將衆樁之

頭鋸平，使同在一水平面上，頗須十分謹慎。然亦不必毫無參差，緣倘有一樁獨高，則受力亦巨，自然下陷，直至其餘各樁分任其力始止故也。在尋常情形中，水面上之樁，鋸至高度相差不逾半英寸，水面下之樁，鋸至高度相差，不逾一英寸，即為良好之工。如在地面上用鋸機鋸平樁頭，可沿衆樁鋪一軌道，以鋸機裝在車上，沿軌道鋸之，則於鋪平軌道後，即可依次施鋸，而不必注意於各樁情形。在水面下鋸平樁頭時，鋸線在水面下之深度，可由鋸機豎軸上之記號標示，或用水平儀測定，或用水平桿立於鋸架上而測定之。在水面下鋸平樁頭，常深至十英尺至十五英尺，間有深至二十英尺至二十五英尺者。

基礎之完成 基礎之完成，可分兩種情形論之。(一) 樁頭不在水面下者，又分兩項：(甲) 用木格牀者，(乙) 僅用三和土者。(二) 樁頭在水面下者，係先構成樁與基礎間之木料構造物，沈於水下。造法與樁頭不在水面下者，大體相同，所不同者，在使木料構造物歸至其最後安置處之方法。

木料格牀 格牀為木料一層或數層構成之架，頗為堅實。以栓釘或軸桿聯於木樁之頭，並互

相聯接，在此種木料上面，鋪厚板或粗木料一層，以支承圻工構造物之最下層。

支承在樁頭上之木料，名曰蓋梁，常爲見方一英尺者。聯接之法係於蓋梁穿孔，又於樁頭穿孔，而以鐵條打入，鐵條直徑較孔略大，即所謂擴孔桿釘是也。舊橋木料，工架拆下木料，俱可代替新料，以造格牀。格牀層數，隨所需定之。上下二層木料，縱橫相交。木料排列，有密合者，有相離而中空者，有相離而填以卵石碎石，以便格牀之易於下沉者。格牀上層木料，排成密合，否則係於上面加鋪厚板，以承受圻工構造物。此種格牀，當然僅在恆溼處方能用之。不然，木料易腐也。

倘構造物所受側向壓力頗大，而幾等於其垂直壓力之半，如在壩，擋土牆，橋塊等處，如用格牀以基礎底面，或謂須防構造物被推在格牀上滑動之慮。其實此種危險極爲罕見。防止之法，祇須使格牀上層木料方向，勿與側向壓力成垂直，或將格牀作成階級式，或用擴孔桿釘穿入格牀中，留上部伸入圻工構造物中已足。

擴孔桿釘爲鋼桿，打入直徑較桿之直徑爲小之孔中。構造工程上聯接巨大木料時常用之。擴孔桿釘之支持力隨孔桿徑差（即孔之直徑與桿之直徑二者之差），桿之直徑，與木料種類而異。

大概以直徑一英寸之擴孔桿釘，打入松木料上直徑十六分之十五英寸之孔中，孔之方向與木紋成垂直，其支持力為每英寸五百磅，即每英尺三噸。如孔之方向與木紋平行，則支持力減半。如孔之直徑為十六分之十四英寸，支持力增至一·六九倍；如孔之直徑為十六分之十三英寸，支持力增至二·一三倍；如孔之直徑為十六分之十二英寸，支持力却僅增至一·〇九倍。

三和土牀 樁頭如不造木料格牀，常代以三和土牀，係以三和土厚層，鋪在諸樁頭及其中間之土壤上而成。三和土少滑動之危險，且增加基礎之支承力，因其能利用樁間土壤之支承力故也。三和土放置時，可不排除土壤面之水分，且可不鏟平樁頭。用三和土時，所須開掘之工較少，故便利而省費。此四事為三和土牀之優點。近年多用三和土構造物以代磚石坊工構造物，其上部構造物之三和土，即放置在樁頭上及樁間土壤上，如是則構造物與三和土牀，聯合為一矣。

## 第十章 水下基礎

水下基礎 本章所述之水下基礎，實即橋墩及橋臺之基礎，蓋造於水下之基礎，以二者爲主也。所用建築原理，亦適用於含水飽滿土壤上基礎之建築。此種工事上最難之處，在布置基礎底面以前之排水，籌畫極須謹慎周詳。有時則保護基礎使不受流水冲刷，亦要事也。

防止基礎受流水冲刷 防止基礎受流水冲刷，當非甚難。在水流不甚急之處，祇須於橋墩橋臺之脚下，拋亂石以護之。如亂石有被衝散之慮，則多用亂石，俾其下陷後，有上面亂石落下以填補空穴，可不生危險也。用柳枝紮排，置碎石於上，壓之下沈入水，亦爲保護構造物被水冲刷之良法。保護橋墩，亦可打樁一圈。而於墩與樁之間，拋下碎石。在較小之構造物，可沿其周圍，打板樁以保護之。顯如於橋墩周圍，多拋碎石，則橋孔變小，既使水流加速，增大冲刷力，且往往足以妨礙行船，故此法每不適用，而須將基礎造在水力所及之處以下。於是布置基礎底面之工事，又加難矣。



水下基礎造法種類 造水下基礎，法有五種：

第一法爲用圍堰以排除基礎底面上之水。

第二法不須排水，但用木料作筏，上加不透水之箱，而於其中安置圪工構造物。

第三法爲用鐵筒，或木筒，或圪工井筒，沈入水中，直抵堅實地層，而於其內開掘。

第四法爲用擠壓空氣以排水。

第五法爲於地盤周圍，作成凍結之牆，而於其中施工。

以下各節就此五法分述之。

### 第一節 圍堰法

用途 圍堰係阻水之壁。抽去其中之水，則可於內部布置基礎底面，而作成圪工構造物。既成以後，即將圍堰拆除。此法僅可施於堰底土壤能不透水之處，若滲水稍多，即難排水。基礎底面在水下愈深，則此法愈難使用。如用木板樁，深度大約以三十英尺或三十五英尺爲限。如用鋼板樁，深度

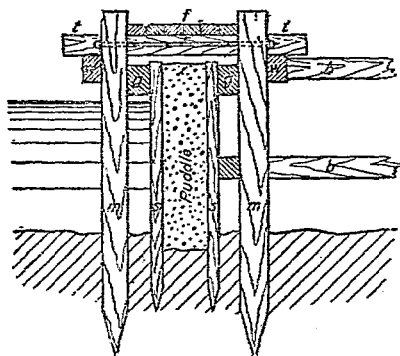
有至六十英尺者。然至如此深度時，或不如改用別法之便利也。

造法 圍堰造法不一。在不流之淺水中，用粘土及卵石築成土埂，已足以阻水。如水略流動，可用麻袋裝入粘土及卵石，堆疊成堤。如水稍深，不宜用上法，則可打下木板一排或兩排，而於其外面堆積粘土，防其漏水。如水流加急，則板外之土，將被洗去，如水加深，則用土須甚多，俱不宜用此種簡便之法，而須改用木板樁或鋼板樁，或用鋼板樁內外兩排，而中填泥土也。

木板樁圍堰 在水不甚深處，板樁可用尋常木板。如水較深，須用威克飛爾德式板樁。板樁下端須打至圍堰內開掘之地面下至少一英尺或二英尺，而在融軟之土，且須打至其下至少三英尺或四英尺，方免漏水。

如堰外之水或融軟土壤，較基礎底面，高四英尺或五英尺，須用橫木抵於一排板樁之頭，而此橫木之兩端則由相鄰一排樁頭之橫木以撐柱之，或更於其中點，加用橫撐木。在較深圍堰，每掘深一段，須加用此種橫木橫撐木一組。若水較淺，有時可於堰內打下普通支承樁，抵住此種橫木，如此可免用橫撐木，較便於開掘及造圻工構造物。

木板樁厚度可由經驗定之。如須求其應有強度，則可作為木梁而計算之。板樁側面之壓力，等於一立方英尺水之重量磅數（六二·五），樁寬英尺數，與水深英尺數三者連乘積之三分之一，而其施力點，則為從水面量起等於水之深度之三分之二處。



第 四 十 七 圖 土 心 牆 堰

鋼板樁圍堰 造法與木板樁者相似。

土心牆圍堰 其豎剖面如第四十七圖所示。先於地盤周圍打下普通木樁兩排， $m$ 及 $m$ ，是為主樁。一排樁中樁間距離自六英尺至十英尺。在主樁外面，樁頭下少許，釘以橫木 $w$ 及 $w$ 。主樁內面，亦釘以相似木條 $g$ 及 $g$ ，俾打下板樁 $s$ 及 $s$ 時，有所遵循。板樁普通用二英寸厚者。 $r$ 為鋼條，以聯接相對主樁之頭，使當填土時不至分開。 $t$ 為木梁，攔在兩橫木上，以支持路板 $f$ 。 $b$ 及 $b$ 為橫撐木，抵於圍堰兩牆之內面。當堰內

積水抽出時，安置此種橫撐木。當圻工構造物由下向上造時，逐漸撤去橫撐木，而以短木抵於構造物與堰牆之間，庶令堰牆不向內傾。

堰之厚度，須使其上路板寬度，便於工人往來及安置機械，且不可過薄，以致堰身有被水壓斜或容水滲過之慮。堰內心土牆之厚度，視板樁之嚴密程度及泥土之不滲水性而定，在普通情形，應有其高度之六分之一至四分之一。心土須具不滲水性，以含卵石之粘土為最佳。在填土之前，須將兩排板樁間之浮泥除去。土係分層填入，每填一層，須極力搗實。

籠式圍堰 造圍堰時，有作成木籠，而沈入水下者。在淺水中，此種木籠，係以豎木柱與橫木梁作成框架，而於外面用企口板掩護。亦有以方木料上下相疊，用擴孔桿釘聯接之，以成木籠者。木料間之縫隙，可於構造時置入水泥漿以膠合之，亦可於造成後用麻絲填嵌。木籠係於岸上造成，下水後引至其適當地位，將石塊堆積於其表面，壓令下沉。有於其中特設堆石之艙者，使籠底不透水之法，係於其外打下板樁，或張帆布。帆布上邊可釘在木籠之底近處，或釘在木籠側面水上之處。其外邊則可攤在河底而以石或沙壓住。

雙層圍堰 有時造內外圍堰各一。外堰阻水。內堰阻融軟泥土流入開掘之處。外堰造法可擇上述各式之一用之。內堰係造成木架加釘木板。

防止圍堰漏水 圍堰之缺點在難於防止漏水。防止漏水之法，最簡單者，為於堰外拋下卵石。如有水在板樁下滲入而刷成水道，則隨有卵石落下以填塞之，不至有害。如用木籠式圍堰，可沿堰底打下短板樁，亦可用稻草柳枝等置於堰底周圍，而以土石掩蓋之，或用油布釘於籠之底邊，攤在水底，而以土石掩蓋之。如河底不平，或河底有石，不便打板樁，則用油布尤便利也。

如河底為岩石，或岩石上僅積有數英尺之浮泥，則先造一圍堰，祇須能阻浮泥已足。堰內浮泥，設法除去，然後將三和土放置於水下。在三和土凝結堅硬以前，於此圍堰內再造一圍堰，務令能阻水滲入，係使堰腳插入三和土中，或打板樁入三和土內。但用此法，不如用敞口箱法之佳。

若非木籠之底擱於不透水地層上，或圍堰板樁打入不透水地層，殆不能全將入堰之水阻止。河底係卵石或沙者，水能由其中伏流滲出。願造圍堰之主旨，並非使堰內全不滲水，不過使滲水之量減小，至不必多費抽水之工，即能令堰內無積水妨礙建築工作。如抽水之工過鉅，則須棄去圍堰

法而改用別種建築水下基礎法矣。

河底沙脈滲水，甚不易處置。圍堰之底觸及大石塊，亦難剔除。有時須先將擬造圍堰處之浮泥排除，然如用此法，則不如舍棄圍堰而改用別種建築水下基礎法之便利。總之，圍堰祇適於淺水處，或水底為粘土或相類不透水地層之處也。

**唧機** 造基礎時常須排除掘地所遇之水。方法隨水量多寡，掘地深淺，及所備排水器具而異。如積水少而淺，可僅用戽水法，惟工人頗為勞苦。否則須用唧機。唧機有數種，分述如下。

(一)基礎排水用手提直動唧機 此種唧機乃一直筒，底有普通葉式活門，中裝活塞，活塞中又有活門。筒有為木板合或之方筒者，有為鐵片作成之圓筒者，鐵片作成者較多。唧機用拉樁及繩索繫住，使不移動。運用唧機之力，加於活塞之上端。此式唧機可以隨處製造，是其優點。惟機有活門，易被草泥堵塞，則其缺點也。

(二)橫隔膜唧機 此種唧機乃造基礎時所常用者。具一鐵鑄短圓筒，下聯橡皮軟管。筒之中央有橡皮橫隔膜，分筒為上下二部。橫隔膜中部，聯於曲槓桿，是為唧機之柄。橫隔膜中開一活門。橫

隔膜中部之升降，功用與活塞相同。此式唧機出水多，容沙石進出，亦不易被草葉阻塞。

(三) 蒸汽吸水管 此為唧機之最簡單者。主體為一排水管，兩端開口，另以小管穿大管之壁，而轉彎向上。大管下端插入水中，小管外端通於汽鍋。蒸汽由小管噴入大管，挾大管上端之空氣而升，故令大管下端之壓力降至極低。於是水升至大管，而與蒸汽一同衝出。此種吸水管簡單而省費，可就地用大小直徑之管裝配而成。但如用製造廠製成出售者，則效率可較高。此種吸水管送水高度，普通為數英尺。

(四) 汽壓起水器 此為由蒸汽虹吸管改良而成之式。其起水高度，殆可無限制。圍堰之排水常用之。

(五) 離心力唧機 此種唧機能於短時間內除去多量之水，故遇有此種情形時，恆須用之。機之圓殼中，有旋轉輪葉一組，機殼中心，與進水管相通。機殼周圍與出水管相通。輪葉急速旋轉，機殼中空氣，為輪葉離心力驅向輪周，因之機殼中心發生真空，故水由進水管進入，而至出水管處被壓排出。此種唧機無活門，故容沙石進出。地上積水面與機身距離，雖受大氣壓力之限制，然機身與出

水管上口之距離，則僅受輪葉外端旋轉速度之限制。基礎排水工事所用此式唧機，出水管直徑常自六英寸至十英寸。

浚漂 有時不僅須除去圍堰內之水，且須除去其內浮泥。如水多而浮泥少，可用離心力唧機將水與浮泥一齊排除。如浮泥多，則須用浚漂機排除之。

整理基礎底面 圍堰內之水與浮泥，既已排除，則可進而整理基礎底面。係由工人用鏟將泥土鏟起挑出。圻工構造物可逕從堅硬地層上造起，或從木料格牀上造起，或打樁以支承之。

圍堰之利弊 圍堰之工價頗難估計，而工事進行時之阻礙亦不易預料，故如在造橋柱基礎時，往往以選用別法為宜。圍堰僅適用於淺水處。若在流水有冲刷力之處，造圍堰以建築橋柱，則橋柱每有被水冲損下部或被推離基礎之危險。如基礎係在泥沙上，則橋柱易被水冲損下部。雖可打樁並多拋石塊以保護之，然此種基礎須時時留意察視，未免耗財費事。如基礎係在岩石上，則橋柱易被推離基礎，蓋橋柱之底未必能與岩石層聯合密切故也。



## 第二節 敞口木箱法

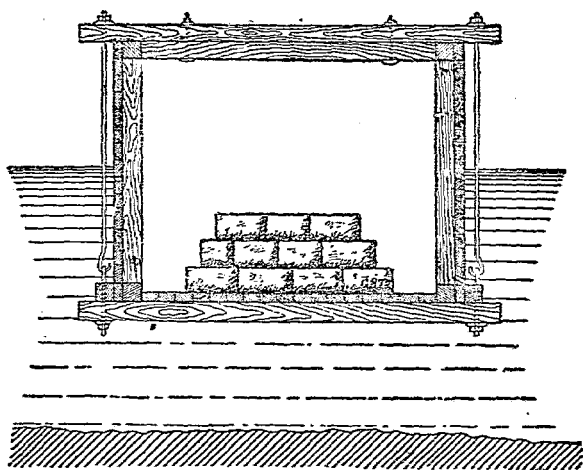
原理 以敞口木箱法造水下基礎，係先用木料作成敞口木箱，箱以木排爲底，於箱內作坊工構造，構造物增加，則箱漸下沈，終則擱在基礎底面上。坊工構造物常僅起自低水面下一英尺或二英尺。構造物之下部，則由箱底之木排構成。如水底爲浮泥或水流急速，而木排又須直接於水底者，則須浚深水底浮泥，或打樁入水底也。

木排造法 敞口箱底之木排，實卽格牀之特厚者，不過非就基礎處構造，而是先在他處構成，後沈入基礎處水底者耳。如壓力頗大，可以方木料分層密排，如壓力不大，則可多少有空隙。如木排係擱在軟泥上者，其下部數層可排列稍疏，俾基礎底面泥土得擠入木排中，而底面之支承基礎，較爲平正。如木排係支承在不平之石層上，可先將石面整理平正，再拋下碎石，此雖非良法，然用之尚無不可。如底面粗糙或傾斜，則木排之下部數層，可依照水底之實在形式安置，然此式須謹慎行之，方免木排在斜面上滑動之慮。

木排常浮在水上造成。因水之浮力頗大，如木排全由木料構造，則木排有三分之一升出水面，須用甚大重力，方能使木排下沈，故宜於木排中夾用多量碎石，如木排係開敞者，可於其開敞處鋪木板，然後用石填滿。如木料應全部堅實者，則須每隔三層木排，不用木料，而以碎石填補其空處。每層所用木料應用擴孔桿釘仔，細繫於下層木料上，以免上層木料之浮力有將木排擠開之勢，又免上層木料有在下層木料上滑動之危險。

**敞口箱造法** 敞口箱之造法，隨其深度而異。淺箱之造法最簡單，祇須於木排之邊立柱，而於柱之外面，釘木板作壁。六英尺或八英尺深之箱，用此法頗為相宜。柱用六英寸寬三英寸厚之木料，柱間相距三英尺，下端作成接榫，與木排上層相接。箱底（即木排上層）及箱壁所有之縫，俱用麻絲填塞緊密。當箱中坊工構造物加高時，可用撐木支於坊工構造物以抵住箱壁。迨箱沉至水底，則將邊柱及箱壁等敲散拆除。

如水深逾六英尺或八英尺，敞口箱之造法，可如第四十八圖所示。箱邊用木料作框，而以厚板蓋於其外。接縫俱用麻絲填塞，使不漏水。深箱之壁，可於坊工構造物加高時次第添造。箱壁與箱底，



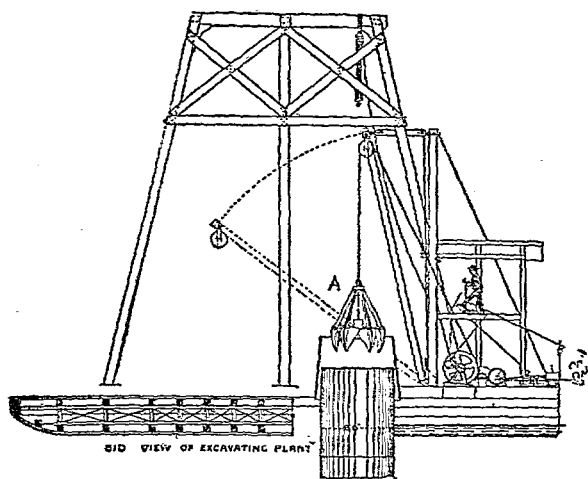
第 四 十 八 圖 敞 口 箱

俱用直立之粗鋼桿聯成一體。俟箱沈至水底，而坊工構造物造至水面上時，拆除鋼桿及箱壁，而箱底則留在水底，為構造物之一部也。

造箱之時，須使其於造坊工構造物之前，可以隨意沈至水底，以察是否攔置平穩，如不平穩，可以令其浮起，而將水底重行整理。法係於箱壁造一滑動小門，以便啓門進水，俾箱下沈。箱下沈後，閉門而將箱內之水排除，箱即浮起。如不開此種之門，而於箱中置入石塊，亦可令其下沈，除去石塊，箱即浮起也。

因敞口箱甚笨重，故下沈時不易令其適攔於預定位置上。故箱須較預擬之橋柱底部爲大，以便於箱攔在水底後，可恰在預擬地位之上建築橋柱。應留之餘地，視水之深淺，箱之大小，及施工便利與否等而定。大概至少應於橋柱地位周圍各留一英尺寬之餘地也。

整理水底 敞口箱攔在水底上，水底應先行整理。其法隨河之深淺，水流遲速，水底地質等而異。如水流甚緩，僅須於河底開穴，以支承箱底，開穴可用浚渫機行之。如河底爲沙或浮泥，可以尋常離心力唧機將沙泥連水一齊抽去。在開穴處周圍，宜作成小圍堰，以免沙泥落入新開之穴中。如水淺流急而河底爲流沙浮泥，可藉水力以刷成深穴，即於擬造橋柱處之上游，用木椿木板，暫時造兩隄以集中水力，增加其速度，使河底受其沖刷，自然成潭。此法費時自一日至三日不等，然甚爲簡便而省費。如河水過深不使用此法，可將敞口箱懸於水中，今箱底與河底間相差有限，則水力能將箱下水底上沙泥除去。但如河水原爲多挾沙泥之濁水，則觸及箱底時，或致使沙泥沈澱而令箱底下淤塞耳。如河水軟土頗深，或基礎須擴張甚大，致妨河流，或河底易被沖刷，則可打樁而將敞口箱攔於其上。



掘開筒井 圖九十四第

原理 井筒開掘法係用鐵井筒或用圻工砌成之井筒，其下有強固之鐵或木料作成之環邊，而於井筒內開掘，井筒隨開掘之進行而下陷，至所需深度，乃不復開掘。此法不僅適於造水下基礎，即在陸上造基礎，亦可用之。此法用於造水下基礎時，利在能開掘頗深，可遠在一百英尺（此為氣力法開掘深度之最大限度）以下，除冰凍法外，別法無能及者。其弊則在井筒之易於為地下石塊所阻也。

開掘法 井筒中沙泥之開掘，有用蚌殼

### 第二節 井筒開掘法

式浚渫機者，有用橘皮式浚渫機者，有用練斗式浚渫機者，亦有用伊忒式唧機 (Eads pump) 者。蚌殼式浚渫機之挖泥器爲兩殼，合成半球形，各依一水平直徑旋轉，殼邊以機體之重量，壓入土壤中。當用鐵練將挖泥器吊起時，其拉力使兩殼併合，而夾起之土壤，即留於殼內，可於提起挖泥器至適當高度後，令殼開張，放出泥土。

橘皮式浚渫機較上式者爲適於井筒內掘土之用。其挖泥器由球面三角形之鋼瓣合成，以其自身重量，陷入土中。拉起挖泥器時，此種球面三角形鋼瓣聚合，而所擬掘之土，乃留在挖泥器中，得以提至別處放出也。

井筒與土壤之摩擦力，井筒與土壤之摩擦力，隨土壤之性質，井筒之深淺，及井筒下沉之方法而異。如井筒之下沈係用氣力法，則水或空氣沿井筒之壁上升，足以減小摩擦力。但摩擦力之大小究屬如何，尙無確實記錄耳。

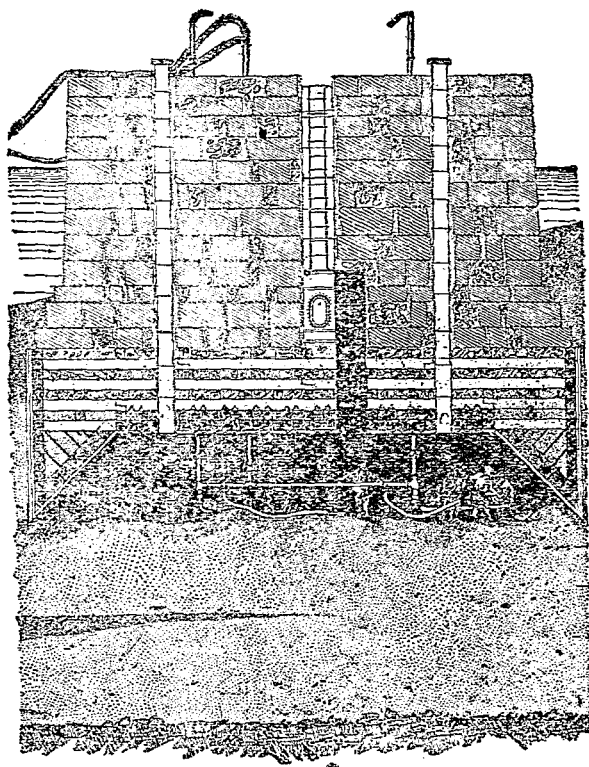
#### 第四節 氣力法

原理 氣力法係作成不漏氣之室，而利用其內外空氣壓力之差異，以使其下沈。不漏氣室有爲氣力樁者，乃一鐵筒，下沈以後，即可改成基礎及橋柱。此種氣力樁今已不用。不漏氣室有爲氣力密封室者，僅在下方開口，而他處則嚴密不漏氣，坊工構造物係擱置在其上面。利用氣壓之法有二。一爲真空法，一爲擠壓空氣法。真空法今已不用，祇就擠壓空氣法述之。

氣力密封隔水箱 氣力密封隔水箱乃一巨箱，下端開口，餘處既不漏氣，亦不漏水。箱之底部常擴大，坊工構造物係在箱頂建築，而將箱之周圍包住。箱之下沈，即藉坊工構造物之壓力。

在氣力密封隔水箱中，工人作工之處，名曰工室，亦稱曰氣室。係以鐵板作成。工室之上，通於豎井，謂之氣井。中有鐵梯，乃工人升降出入之路。豎井分爲兩段，中設氣閘，與上下兩井各有一門相通。兩門此啓則彼閉。另有送入三和土之豎井，及送入擠壓空氣之管，並輸出沙泥之管。此爲氣力密封隔水箱之大概布置情形。

氣閘有安設在氣井上端者，坊工構造物加高，氣井加長時，則須拆去氣室，加長氣井一段，然後安設氣閘於其上方，殊爲不便，且使工人須在擠壓空氣中緣高梯上下，甚覺用力。有改將氣閘設於



箱水隔封密力氣 圖十五第

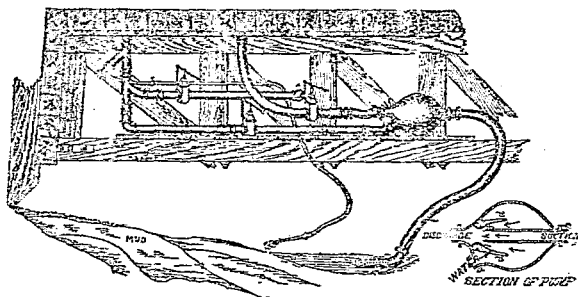


氣井之底者，然一旦工室中有漏氣危險時，工人或不能入氣閘而至氣井上升，則有傷斃危險，故此法甚不佳。總不如將氣閘安設在豎井中段稍近井底處之便利而安穩也。

運送泥土法 用氣力密封隔水箱時，開掘土壤，運出箱外，其法不一。

最簡單之法，係用人工開掘，裝入桶中，提送氣室暫存。俟積聚已多，乃閉氣室下門，放出氣室內高壓空氣，開其上門，而運之出室外。此法需人工多，故費昂，且甚遲緩。

較佳之法，係用機械，隨土壤種類而異其布置。沙可用排沙管運出。即裝鐵管，穿過隔水箱，而至工室內開掘之地面。在室內之管上，裝有活門。將沙掘起，堆在管之周圍，開啓活門，則室內高壓空氣，壓沙升入管中，而在管之上端洩出。此法最適於沙，但爛泥及半液體土壤亦可用之。沙管上端轉彎處，最易被沙磨蝕破損，有於轉彎處凸面管壁，用四英寸厚之鐵者，然亦僅能支持二日。此法效率甚高，但降低工室內壓力，易使室內生霧，且容水由箱底流入，是其缺點。爛泥可用伊咨式爛泥唧機排除。此種唧機剖面如第五十一圖所示。中部小管下接軟管，軟管插入爛泥中，以壓力甚高之水，於小管之口外流過。因其流行甚急，遂生吸力，令爛泥由軟管上升，而在小管之口，和水射出。小管在機殼



第 五 十 一 圖 伊 查 式 泥 唧 機

中可以進退，藉以節制流水之量。流水之壓力，常在每平方英寸八十磅至九十磅之間。爛泥須用水調薄，方便用此種唧機吸起。此種唧機適用於排除爛泥、浮泥，及含沙頗少之土壤。若土壤含沙多時，則宜用前述之排沙管，而不合用此種唧機。如土壤為粘土，則須用粘土升降器以運出之。粘土升降器為一圓筒及一活塞，置在運料井筒頂部之一邊。活塞由空氣壓力運用之，而繫有繩索。此繩索末端繫有土斗，在運料井中升降。在運料井頂部開兩門，於外方安設槓桿以運用之。斗之容量約六立方英尺。以此法運出粘土，功效頗佳。

摩蘭式氣閘 在運料井之頂，裝設摩蘭式氣閘 (Moran air lock)，最為合宜。此種氣閘之閘室，上下各有

一對滑門，其布置法恰能令起重機及繩索將運料斗吊出氣室。閘門以擠壓空氣運動之，此啓則彼閉。繩索上裝有閉氣箱，與閘室上部一對滑門相合處之兩半圓槽相合，故閘室上門閉時，運料斗仍可升降。

炸解轉石 在氣力密封隔水箱內，開掘土壤，倘發見轉石，可用炸藥炸碎之，然後除去。間有留存之，俟後來填滿氣室時，用三和土包圍之者。

作工速度 氣力密封隔水箱中開掘之工，恆日夜不停。其速度隨箱之大小，坊工之進行速度，土壤性質，及地下轉石多寡而異。每日自一兩英尺至二三十英尺不等。

開掘深度 用氣力密封隔水箱時，開掘之深度，最大者在一百英尺以上，普通則不逾九十英尺。過深則擠壓空氣壓力過高，有害工人之身體。

箱之支撐 在安置氣力密封隔水箱時，如水深流急，須設法將箱支撐，以使其下沈時不離正位，或須於橋柱上游造隄分水，以使橋柱處成爲靜水。迨箱既觸及河底，即可不加支撐，祇須於工室內切土邊下，就適當地位移去土壤，其箱自能保持平正地位而下沈。倘於箱邊土壤移去以後，箱仍

不下沈，則降低工室內空氣壓力少許，每可得所望之結果。

箱之充填 當氣力密封隔水箱已下沈至所需深度時，則將水底整理平坦，而以三和土填滿

工室及諸井。有時僅用三和土將箱底填平，使不漏水，而在其餘各處，則用沙填滿所費較省。

擠壓空氣之生理作用 工人出入工室，經過氣閘，務須緩慢，俾擠壓空氣由人身排出，或進入人身，俱不急速，而人身各部之情形，得與之相合。工人經氣閘出氣井後，須不受寒風，當飲熱茶，多著衣服，靜臥片時，以免感疾。

當開掘深度不及四十英尺或五十英尺時，工人在氣力密封隔水箱之擠壓空氣內，每日可作工八小時，於作工四小時後，出外就餐。壓力加高時，工人每日作工時間，可酌量減少。倘掘深至八九十英尺時，每日祇可作工三小時至四小時，分班作工，每次作工一小時，至二小時不等。

人在高壓力之空氣中經時過長，易得一種癱瘓之症，重者或竟致命。大概由氣閘出外過急速者，易於患之。又嗜飲酒者，易得此病，故僅有強壯健康之人，方可入箱作工也。

結論 總之，除在水極淺或極深處外，用氣力密封隔水箱法，以造基礎，實為最合宜之法。其優

點可分六項論之。

(一) 隔水箱甚可靠。

(二) 可不開土壤爲何種，而一律採用此法。

(三) 工事較速，因隔水箱之下沈與橋柱坊工構造物之增添，可以同時故也。

(四) 較爲省費。

(五) 能查察前後基礎，整理平坦，並移去業已風化之岩石。

(六) 因岩石可以洗滌透徹，故三和土可在完全清潔之表面上放置，而基礎之安穩，自無問題。





書叢小學工

工 坊

冊 下

著 雄 馮

行發館書印務商

工學小叢書

工

坊

下冊

馮雄著



商務印書館發行



## 第十一章 坊工壩

研究範圍 壩者所以阻水之構造物，自來水廠用之，水力廠用之，整理河道用之，農田灌溉工程亦用之。築壩材料有泥土，木料，鋼鐵，散堆石塊，及坊工構造物之別。今單就坊工壩論之，且僅限於構造物安定之問題，至於壩之附屬構造物，如水門室，溢水道，滾水道，洩泥門，節水門，魚行道等，當視壩之用途，求之於專書，今亦不旁涉。壩身安全之原理，並適用於擋土牆，橋臺，橋柱，及拱也。

坊工壩分類 坊工壩抵抗水壓力之法有二：（一）憑藉坊工構造物之惰性，即以坊工構造物對於向前滑動或顛覆之抵抗力，與水之水平推力對抗而得平衡。此種壩名曰重力壩。（二）憑藉拱之作用，即將水之水平推力，經坊工構造物以旁傳至與壩端相接之側山。此種壩名曰拱壩，普通之壩全為重力壩，本章所述即以重力壩為主。拱壩用者極少，乃因關於坊工拱安定性之定律，尙未完全明悉之故。以後第十六章及第十七章當論拱也。



## 第一節 重力壩之安定性

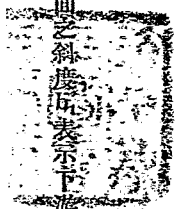
破壞情形 重力壩之破壞，可有三種情形：（一）沿一水平接縫面而滑動，或沿任何剖面因不勝剪割力而破壞。（二）依一水平接縫面之前邊而顛覆。（三）坊工構造物被壓碎，其情形又有二種：（甲）當壩後水滿時，在一水平剖面之下游邊線處壓碎；（乙）當壩後水涸時，在一水平剖面之上游邊線處壓碎。

上述壩之破壞情形，俱指壩身而言，而與壩之基礎無關。顧坊工壩實常因基礎惡劣而破壞。但穩實基礎之造法，前數章業已論述，故今不復敘。

研究之單位 在研究壩之安定性時，僅須取其一段，具有單位長度，而介在與壩面成垂直之二直立之間者而討論之。段之長度，若取一英尺，頗為適宜。

符號說明 本章所用各種符號，代表之事物，具列如下。

b 為壩面斜度，即壩面每升高一英尺之傾斜度，今以  $b'$  表示上游壩面之斜度， $b$  表示下游壩



面之斜度。

d 爲壓力中心點與壩底中心點間之偏斜距離。

f 爲安全率。

h 爲水面出於壩底上之高度。

H 爲水對於上游壩面之水平壓力磅數，壩長一英尺，水面高 h 英尺。

k 爲水流過壩頂時水面出於壩頂上之高度。

l 爲壩底之長度，在第五十二圖中，l 等於 AB。

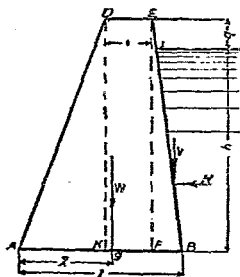
q 爲水不流過壩頂時壩頂出於水面上之高度。在第五十二圖中，q 與 h 之和，即壩之高度。

五十二圖中，q 與 h 之和，即壩之高度。

u 爲摩擦係數。

V 爲水對於上游壩面之垂直壓力磅數，壩長一英尺，

水面高 h 英尺。（此所謂垂直，指與水平方向成正



形情力受壩工圪 圖二十五第

交而言，非指與壩面成直角。）

W 爲壩長一英尺段之重量磅數。

w 爲一立方英尺坊工構造物之重量磅數。

x 爲自下游壩面之底邊起，至經過壩之重心之垂直線穿過壩底處一點間之距離，在第五十

二圖中， $AE = x$ 。

第一項 抵抗滑動之安定性

水之水平壓力，有使壩身向前滑動之勢，此係由壩身重量引起之摩擦力抵抗之。

滑動力 今先考究滑動力之量。當水不漫過壩頂時，水加於壩長一英尺段之水平壓力爲：

$$H = h \times 1 \times \frac{1}{2} h \times 62.5 = 31.25 h^2 \dots\dots\dots (III O)$$

如水漫過壩頂，則水平壓力爲：

$$H = 31.25 (h^2 - k^2) \dots\dots\dots (III I)$$

抵抗力 再就壩身抵抗力研究之。此抵抗力可分爲二項。一爲壩之重力；一爲水對於壩之斜

面之壓力之垂直分力。

在第五十二圖中，壩長一英尺段之重量爲：

$$W = w \left[ t (h + q) + \frac{1}{2} b (h + q)^2 + \frac{1}{2} b_1 (h + q)^2 \right] \dots\dots\dots (1111)$$

在第五十二圖中，水對於壩長一英尺段斜面  $EB$  之壓力之垂直分力爲：

$$V = 31.25 h^3 b \dots\dots\dots (1111)$$

如下游水面恆高於壩之基礎，則水有反壓力，應於上求得  $H$  值中減去之。

平衡條件 欲求壩身無滑動之危險，則應使壩身重力與水之垂直壓力（即與水平成直角

之壓力）二者之和與摩擦係數相乘之積，大於水之水平壓力。以方程式表示之如下。

$$H \wedge n (W + V) \dots\dots\dots (1114)$$

即  $f H = n (W + V) \dots\dots\dots (1115)$

坊工摩擦係數之值，見第十一表。

第十一表 坊工之摩擦係數

埭 工 種 類	摩 擦 係 數
軟質石灰石在軟質石灰石上兩者俱琢治整齊	○・七五
磚工在磚工上膠沙略溼	○・七五
硬磚工在硬磚工上膠沙略溼	○・七〇
錐琢花崗石在錐琢花崗石上	○・七〇
錐琢花崗石在琢治整齊之花崗石上	○・六五
普通磚在普通磚上	○・六五
普通磚在硬質石灰石上	○・六五
硬質石灰石在硬質石灰石上膠沙潤溼	○・六五
三和土塊在相同三和土塊上	○・六五
精琢花崗石在壓成三和土塊上	○・六〇

磨光石灰石在磨光石灰石上	○・六〇
琢治整齊之花崗石在琢治整齊之花崗石上膠沙新鮮	○・五〇
普通磚在普通磚上膠沙潤溼	○・五〇
磨光雲石在普通磚上	○・四五
錐琢花崗石在卵石上	○・六〇
錐琢花崗石在乾粘土上	○・五〇
錐琢花崗石在沙上	○・四〇
錐琢花崗石在溼粘土上	○・三三
琢治整齊之石灰石在鍛鐵上	○・五〇
琢治整齊之石灰石在鍛鐵上中間水溼	○・二五
石灰石在橡木上石面與木紋平行	○・六五

石灰石在橡木上石面與木紋垂直

○・四○

壩之上游面，常作成垂直，或近於垂直，以期節省材料，故水對於此面之垂直壓力（即與水平成直角之壓力）甚小，常略去不計，此種算法，足使壩身益加安全。

上述算法，祇假定壩身之破壞，係由於接縫處上下面之滑動，然有數事足以增加壩身之安定性者，並未計及。一為壩身石塊係用膠沙嵌砌，此於摩擦力外更有巨大之凝聚力。二為坊工壩多係不分層未琢石工，其石塊互相聯鎖，故不僅以摩擦力抵抗滑動力，且以各個石塊之剪割應力抵抗之。三為在三和土壩，亦係以三和土之剪割應力及摩擦力以抵抗滑動力。四為壩下之泥土略增加對於滑動力之抵抗力。此四項俱足以增加壩身之安定性，而在公式（三五）中並未計及，故依此公式以計畫之壩身，當不至有因滑動而破壞之慮。倘若有之，當在其與基礎相接處也。

增加壩身抵抗力法 低壩可造在土壤上，高壩應造在岩牀上。如必須於土壤上造壩，可依下述方法增加對於壩身在基礎上滑動之抵抗力。（一）在壩前打下一排傾斜之樁，（二）將壩身



一部分加深，作成較窄之牆，深入基礎本體以下。如此則抵抗滑動之力，在壩身重量與摩擦係數（此為圻工構造物在泥土上之摩擦係數）相乘之積以外，復有壩身滑動時所推動泥土之重量與摩擦係數（此為泥土在其本身上之摩擦係數）相乘之積，而泥土被推時之滑動面，究在何處，則視壩下原來地面之形式而異，可為水平面或向上之斜面，擇其抵抗力最小者用之。此際未計及泥土之凝聚性，故計算結果，實亦增加壩之安定性也。

如壩係造在岩牀上，岩牀整確不平，足令壩身安定性大為增加。倘岩牀天然平坦，可於基礎底面上開鑿縱溝一道或數道，然後填造圻工構造物。

## 第二項 抵抗顛覆之安定性

解法分類 水之水平壓力有使壩身依任何接縫面之前邊而顛覆之勢，係以壩身重量之力幾抵抗之。今可假定壩身係擱在堅固之底面上，而僅可因全部顛覆而破壞。決定壩身抵抗顛覆之安定性，可由研究數項力幾而得之，或憑合力之原理而得之。前者為代數學解法，後者為作圖解法。分述如後。

代數學解法 (一) 顛覆力幾 先求顛覆力之力幾。考水之壓力係與被壓之表面成垂直。如水壓於斜面，則壓力與水平方向間之角，即等於斜面與垂直方向（即與水平成直角之方向）間之角。但因求此力之臂較難，故宜就此力之水平與垂直兩分力研究之。水壓力之顛覆效果，即等於水平分力之力幾，減去其垂直分力之力幾所得之值。

水壓力之水平分力，可用公式 (三〇) 求之。此力之臂為  $\frac{1}{3}h$ 。故其使壩身顛覆之力幾為：

$$\frac{1}{3} H h = \frac{1}{3} \times 31.25 h^2 = 10.42 h^2 \dots\dots\dots (三十一)$$

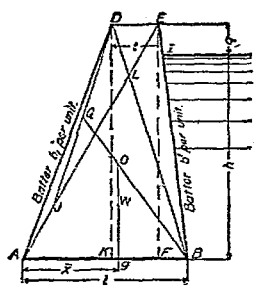
今以  $M_1$  代表之。

水壓力對於上游壩面之垂直壓力（即與水平成直角之壓力）可用公式 (三三) 求之。其施力點在 I 與 B 之間，與 B 點之距離為  $\frac{1}{3} IB$ 。此力之臂為  $1 - \frac{1}{3} h b$ 。故在斜面上此垂直壓力之力幾為：

$$31.25 I b^2 h^2 - 10.42 b^2 h^2 \dots\dots\dots (三十二)$$

今以  $M_1$  代表之。如壩面成垂直，則  $M_2$  之值為零。

實有之顛覆力幾，為公式 (三六) 與 (三七) 之和，即  $M_1 + M_2$  也。



圖三十五第 坊工壩剖面

(二) 抵抗力幾 次求抵抗力之力幾。此乃壩身重量之  
力幾。壩身重量可用公式 (三二) 求之。其施力線乃經過壩  
身重心之垂直線。壩身重心以圖解法求之甚便。如第五十三  
圖，作對角線 DB 及 AE，且截取 AJ // EI，又作 DJ 線，而  
平分之，得其中點 Q。則 ABED 剖面之重心 O，乃在 QB 線  
上與 Q 點相距  $\frac{1}{3}QB$  之處。此法適用於任何四邊形。

壩身重力之力臂為  $AB$  ( $=x$ )，故重力之力幾為：

$$W \times AB = W(h+q) \left[ t + \frac{1}{2}(h+q)(b_1 + b_2) \right] \dots \dots \dots (三八)$$

今以  $M_3$  代表之。

(三) 安全率 欲使壩身不繞其一接縫面之前邊而顛覆，則須令顛覆力幾  $M_1 + M_2$  小於抵

抗力幾  $M_2$ ，易言之，即抵抗顛覆之安全率為

$$r = \frac{M_1}{M_2 - M_3} \dots\dots\dots (119)$$

在計算壩身抵抗顛覆之安全性時，常不計壩面所受水之垂直壓力，此足以提高壩之安全性也。

圖解法 (一) 方法 如已知壩之實在剖面形式尺度，或已將擬造壩之剖面形式尺度假定，則可用圖解法以定其抵抗顛覆之安定性。其法有二。

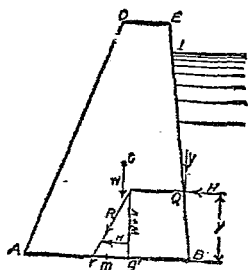
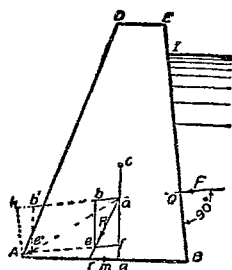


圖 四 十 五 第

法解圖之性定安覆顛抗抵身壩定

(甲) 在第五十四圖中， $Q$  點為水對於壩背壓力之中心點。  $O$  為  $BE$  上之點。  $C$  點為壩身剖面之重心，係以前述方法求得。  $m$  為  $\triangle BCD$  底之中心點。  $H$  為水壓力之水平分力。  $V$  為水壓力之垂直分力。  $W$  為壩身單位長度段之重量。依力幾原理，知  $V$  與  $W$  之合力，在  $g$  點穿過壩底  $\triangle BCD$ 。依力三角形，知  $H$  與  $\triangle BCD$  之合力，在  $r$  點穿過壩底  $\triangle BCD$ 。當  $r$  點未



圖五十五第  
法解圖之性定安覆顛抗抵身壩定

出壩底時，壩身無顛覆之慮。

(乙)以圖解法求壩身抵抗顛覆之安定性，亦可選用正面壓力  $F$  而不須分解為分力。在第五十五圖中，經過  $Q$  點作  $o$  線，與  $AB$  線成垂直。又經過  $o$  點，即壩身剖面之重心，作垂直線  $o'o$ 。依任何適宜之比例尺，截取  $o'o'$  段，等於水對於  $AB$  面之總壓力，又依同一比例尺，截取  $o'o''$  段，

等於壩身單位長度段之重量。完成平行四邊形  $o'o''t$ 。作對角線  $o't$ 。此線與壩底  $AB$  在  $r$  點相交。當  $r$  點未出壩底時，壩身無顛覆之慮。

(二)安全率 以圖解法決定壩身抵抗顛覆之安定性時，有數種求安全率之方法，所得結果不同，蓋所用安全率之意義不同也。

(甲)如以安全率為抵抗力幾與顛覆力幾之比率，則在第五十四圖中，依  $A$  點計算力幾，得

$$\text{安全率} = \frac{(W + V) A e''}{H \cdot y} \dots \dots \dots (四〇)$$

因  $(W+V) : H = Y : r g'$  即  $\frac{W+V}{H \cdot Y} = \frac{1}{r g'}$  故公式 (四〇) 變為

$$\text{安全率} = \frac{A g'}{r g'} \dots\dots\dots (四一)$$

如用第五十五圖之圖解法，則

$$\text{安全率} = \frac{W \cdot A g'}{F \cdot A k} \dots\dots\dots (四二)$$

用公式 (四二) 求得安全率之值與用公式 (四一) 求得者不符，因在公式 (四二) 中，水壓力之垂直分力包括在顛覆力內，而在公式 (四一) 中，則此力乃作為抵抗力故也。

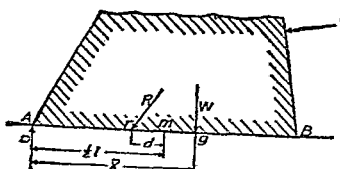
(乙) 如以安全率為剛使壩身顛覆之力與勢令壩身顛覆之力之比率，則由第五十五圖，得安全率為  $F' \div F = a \cdot b' \div a \cdot b$  即

$$\text{安全率} = \frac{a \cdot b'}{a \cdot b} \dots\dots\dots (四三)$$

此值與用公式 (四二) 求得者相合，但不與用公式 (四一) 求得者相合。

### 第三項 抵抗壓碎之安定性

今再進而研究壩身抵抗壓碎之安定性。當壩背水滿時，水之推力使所有壓力集於水平接縫面之下游邊線上，故須將任何水平剖面上壓力之分布加以研究。當壩背水涸時，雖無外力足以影響到水平剖面上壓力之分布，然因壩身之垂直剖面，乃不對稱者，高壩尤甚，大都與直角三角形相似，其垂直之面為臨水之面，經過壩身重心之垂直線不穿過壩底之中心點，故此剖面之壓力分布



第五十六圖 壩身剖面圖

不均勻，在壩之背面下最大，而在壩之正面下最小。是以關於壩身抵抗壓碎之安定性，有兩種情形，應當辨明，即（一）壩背水滿時，及（二）壩背水涸時是也。

壩背水滿時 在第五十六圖中， $AB$ 為壩身之一垂直剖面之底邊。

直為水壓力對於 $A$ 點之力幾，等於 $K_1 - K_2$ （參閱前述之公式（三六）及（三七））。

$W$  爲壩身一英尺長段之重量。

$V$  爲水壓力之垂直分力。

$P$  爲  $A$  處單位面積上之最大壓力。

$p$  爲自  $A$  向  $B$ ，單位距離上，單位壓力之變化量。

$x$  爲自  $A$  向  $B$  之任何距離。

$P - p \cdot x$  爲自  $A$  向  $B$  量得距離爲  $x$  處之單位面積上壓力。

$Y$  爲垂直力之符號。

$l$  爲垂直剖面底邊長度，等於  $AB$ 。

$d$  爲壓力中心點對於底邊中心點之偏斜距離，等於  $hb$ 。

$\bar{x}$  爲自任何水平剖面之下游邊線至經過壩身重心之垂直線穿過此剖面之點之距離，等於

$$AB \cdot \frac{2}{3}$$

今依  $A$  點以計算力幾，得



$$M - W\bar{x} + \int_0^1 (P - P x) dx \cdot x = 0$$

$$M - W\bar{x} + \frac{1}{2} P l^2 - \frac{1}{3} P l^3 = 0 \dots\dots\dots (甲)$$

AB面上諸正面力之和，亦必等於零，方能保持平衡，故

$$\Sigma Y = -W - V + \int_0^1 (P - P x) dx = 0$$

由此得

$$P l^2 = 2 P l - 2 W - 2 V \dots\dots\dots (乙)$$

合併方程式(甲)及(乙)得

$$P = \frac{4(W+V)}{l} - \frac{6W\bar{x}}{l^2} + \frac{6M}{l} \dots\dots\dots (四四)$$

令壩身顛覆之力幾，如係用公式(三六)及(三七)算出，則M為已知量，故P可以公式(四四)算出。如壩身對於顛覆之安定性，係用圖解法決定，則M為未知量，故不能逕用公式(四四)以算出P，而須將公式(四四)依下述方法改變其形式。

依 A 點以計算力幾，得

$$M = W \cdot A B - (W + V) A r$$

由第五十六圖， $A B = x$  而  $A r = \frac{1}{2} l - d$  以此  $x$  及  $M$  之值代入公式 (四四) 得

$$P = \frac{W + V}{l} + \frac{6(W + V)d}{l^2} \dots\dots\dots (四五)$$

如壩身為對稱式， $x = \frac{1}{2} l$ ，且如  $V$  為零，則公式 (四四) 變為

$$P = \frac{W}{l} + \frac{6M}{l^2} \dots\dots\dots (四六)$$

如無外方顛覆力，則  $V = 0$  而  $M = 0$ ，而公式 (四四) 變為

$$P = \frac{4W}{l} - \frac{6W\bar{x}}{l^2} \dots\dots\dots (四七)$$

在公式 (四七) 中，如  $\bar{x} = \frac{1}{2} l$ ，即垂直合力經過底邊之中心點，則  $P = W$ ，易言之，即底邊上

之壓力為均勻壓力，此乃理所宜然。如  $\kappa = \frac{1}{3}l$ ，則  $P = 2W \cdot \frac{1}{3}l$ ，易言之，即直角三角形剖面底邊上之最大單位壓力，為平均壓力之兩倍。如  $\kappa = \frac{2}{3}l$ ，則  $P = 0$ ，此乃壩之剖面在 B 處成直角者之情形，A 處之單位壓力必為零也。

在公式（四五）中，如  $r = 0$ ，則載重對稱，而壓力之分布均勻，此為理所宜然。當  $r$  與 A 同在中心點之一邊時，則  $d$  為正數； $r$  在中心點之別一邊時，則  $d$  為負數。例如壩為直角三角形而其直角在 B 處，在壩背水涸時， $\kappa B = \frac{1}{3}l$ ， $d = -\frac{1}{6}l$ ，而 A 處之壓力為  $P = \frac{W}{l} - \frac{W}{l} = 0$ ，此為理所宜然。又在 B 處， $r = \frac{1}{6}l$ ，而壓力為

$$P = \frac{W}{l} + \frac{6Wd}{l^2} = \frac{W}{l} + \frac{W}{l} = \frac{2W}{l}$$

即  $P$  為平均壓力之二倍，此亦理所宜然。

此項關係即所謂中央三分之一段原理，易言之，即當壓力中心未出接縫之中央三分之一段

時，最大壓力不逾平均壓力之二倍，而在接縫面上任何一點處無牽引力也。

公式（四五）右邊之第一項，表示壩底因壩身重量及水壓力垂直分力而生之均勻壓力；其第二項表示任何令壓力中心點離開壩底中心點之力系（即令壓力合力與壩底在與其中心點相距  $d$  處相交之力系）對於壩底最大壓力之影響，易言之，即此  $\frac{6Wd}{I}$  一項乃壩底因壓力中心點  $r$  偏斜而增加之壓力量，此種偏斜有由於壩身垂直剖面之不對稱者，有由於外力之傾覆趨勢者，亦有由於兩種作用者也。

是以公式（四五）乃任何二距形平面被任何力系加壓相合時之最普通公式。

故公式（四五）亦可書為：

$$P = \frac{W+V}{I} + \frac{6Wd}{I^2} \dots\dots\dots (四八)$$

用式中之 + 號時，所得為當壓力中心點  $r$  離開壩底中心點  $m$  而有某定量偏斜  $d$  時，第五十六圖中 A 處之最大壓力；用式中之 - 號時，所得為當壓力中心點  $r$  離開壩底中心點  $m$  而有某定量偏斜  $d$  時，第五十六圖中 B 處之最小壓力； $d$  僅計其數值，而不問其代數符號之正負。公式（四八）

表示壩底兩極限處之最大壓力及最小壓力，無論偏斜量  $d$  爲由於壩身形式，或由於勢令壩身傾覆之力，或由於兩者，俱適用之。

壩背水涵時 壩身之垂直剖面如爲對稱者，則壩底之壓力分布均勻，而等於  $\frac{1}{2}H$ 。但此剖面如爲不對稱者，則壓力厚集於壩底之一邊，而在他邊減小。前所求得壩背水涵時之公式今俱適用，惟須將式中  $M$  之值作爲零而已。

在決定壩身對於壓碎之安定性時，不宜計算其安全率，因算出之安全率將隨圪工之擠壓強度而異，而此擠壓強度，固亦假定之數值故也。

計劃圪工壩時，須先將圪工單位面積所能勝之最大壓力決定。在計算時，恆忽略壩身內面之垂直壓力不計。此種算法，常屬穩妥，因算出壩身正反面底邊最大壓力，常較實有者爲大故也。依此算法，世界上數處最大之未琢石工壩，所受最大壓力爲每平方英尺十一噸至十五噸，即每平方英寸一百五十磅至二百磅。

風與冰亦足以影響到壩之安定性，此當就造壩處之氣候，及壩內水面情形等而於計畫時加

以注意。

## 第二節 壩之計畫

今將壩之計畫法，述其大略如下：

壩頂寬度 壩頂普通造路一條，故壩頂寬度，即以路寬為準。

壩之垂直剖面 計畫重力壩之垂直剖面時，應使其合於三種條件，即（一）合於公式（三五）以防向前滑動；（二）合於公式（三九）以防顛覆；（三）當壩背水滿及水涸時，用公式（四八）求得之最大壓力不逾安全界限，以防壓碎；而當壩背水滿或水涸時，其最小壓力仍為正量，即壩中無牽引力發生。令公式（四八）求得之值恆為正量，即等於令  $d$  小於  $1$  之六分之一，亦即等於令壓力中心點恆在任何水平接縫面之中央三分之一段以內。因此三種條件之方程式，僅含有變量三項，即  $h$ ,  $b_1$ , 及  $b'$ , 故可以求得其實數值。因壩身倘已安定而不致顛覆及壓碎，則可無因滑動而破壞之危險，故所應符合之條件，實又減為二項。且重力壩之上游壩面，儘可作成垂直面，是以變量

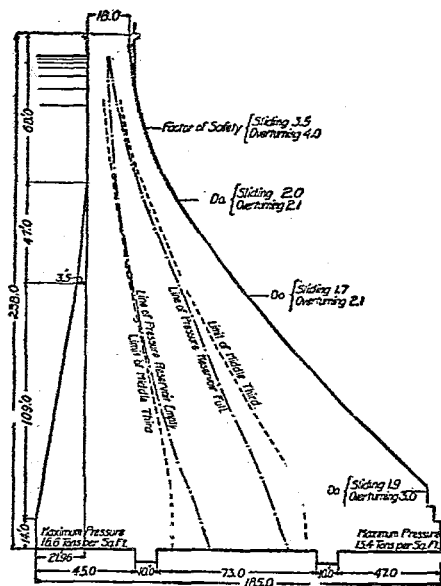
乃祇餘二項，即  $h$  及  $b_1$  也。

計畫壩身時，應自上而下，將壩身分爲若干較薄之水平層，而次第定其尺度，使能符合上述條件，用上部壩身之尺度，以求下一層之尺度。係用直接計算法或嘗試法以求之。

(一) 直接計算法又可分爲代數學解法及圖解法兩種。(甲) 用代數學解法時，係以接縫面之長度 ( $l$ )，壩頂寬度 ( $t$ )，壩身高度 ( $H + h$ )，水之深度 ( $h$ )，上游壩面斜度 ( $b'$ )，下游壩面斜度 ( $b_1$ )，水每立方英尺之重量，及圬工每立方英尺之重量，代入壩身對於顛覆之安定性之公式 (即公式 (三九))，而解此公式以求  $l$  之值。再用公式 (四八) 以考驗此接縫面。此法須解一甚繁之二次方程式。(乙) 用圖解法時，係畫出剖面，決定壓力中心點，然後以公式 (四八) 考驗之。

(二) 用嘗試法時，係先就已知之壩頂寬度，假定第一水平層，而用公式 (三九) 及公式 (四八) 以試驗壩身之安定性。用公式 (四八) 時，須將壩背水滿及水涸兩種情形，一齊考驗。如假定之尺度，不與規定條件相合，須另定尺度，而再試之。

計畫壩身時，所假定剖面尺度，與諸公式符合之程度，不須極密，緣關於壩身之事項，未能確定者原屬甚多也。大概祇須參照他處現有之壩身剖面，而假定一種剖面，然後擇取數點，以諸公式試



美國新克洛吞壩剖面圖 第七十五圖

驗之，察其相符與否，斟量改定，實較前述逐層計畫之法為便捷也。又壩身剖面形式，歷經研究，知倘由下述兩四邊形合成，當可與前述諸公式之條件相合。兩四邊形上下相疊。在下者較大，乃一三角形之下部。此三角形之底邊，在壩之基礎上其頂點在水面上。在上之四邊形，頂邊為壩頂之寬度，兩側邊為



近於垂直之線，而與在下之四邊形之兩側邊相交。壩底之寬度，係用公式求得。上下游壩面斜度視對於壓碎及顛覆之安全率之相對數值而異。上述之剖面形式，其安全率則自下向上而增加也。

第五十七圖所示為美國新克洛吞壩 (New Croton Dam) 之最大剖面。此壩在紐約城北三十英里，一八九二年開工，一九〇七年竣工。壩之主體直而不曲，長約六百英尺。

重力壩與拱壩比較 重力式之壩，全恃壩身重量以求安定。拱式之壩，全恃所具拱之形式，以求安定。拱壩將水壓力沿水平方向傳遞，以抵側山。因壩身頗薄，水之水平壓力與圻工重力之合力，實出於壩前底邊以外，故拱壩如當作重力壩視之，則不安定矣。然拱壩需用圻工之量遠少於重力壩，故實為最佳之式。惜吾人於圻工拱之定律，所知不完備，祇能多憑經驗，以察其安定性耳。惟吾人對於建築大拱之經驗尙未豐富，是以尋常情形中，未宜即造完全利用拱之作用之圻工壩。但在造重力壩時，如於垂直剖面之計畫，仍依照重力壩之條件，而於平面上，則改照拱壩布置，當可使壩身益加安全，且使上游壩面受擠壓力，而一切垂直縫隙得以擠緊。壩身雖加長，然為量甚微，故增加工料有限。尤有進者，彎曲之壩，對於溫度變化之抵抗性，遠較直壩為大。是以世界諸大壩中，彎曲之

重力式壩，乃較正直之重力式壩爲多，而拱壩則甚少也。

壩身兼受水之水平壓力及垂直壓力，故其垂直接縫及水平接縫決不可有聯續不斷者。是以所用圻工，應爲不連續分層琢石工，或不分層方石工，或不分層未琢石工，或三和土。亦有以石工作壩面，而中填三和土者。

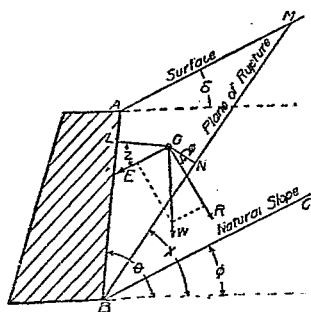
## 第十一章 擋土牆

擋土牆乃圻工牆，在造成後於其一面填土，而土之壓力須由此牆承受者也。鐵路、運河、及海港工程中常用之。擋土牆計畫之原理，並可應用於造拱、開礦、築隧道、掘深溝等。

### 第一節 擋土牆安定性之理論

破壞情形 擋土牆本身之破壞，可有三種情形：（一）沿任何水平接縫面而滑動；（二）繞任何水平接縫面之前邊而顛覆；（三）在任何水平接縫面之前邊破壓碎。

研究擋土牆之難題 研究擋土牆之安定性，定土之推力對於牆身之影響時，須知（一）壓力之量，（二）施力點，（三）施力線。願在今日，關於此三事之知識尚不充足，故此種問題之研究頗屬不易。



第五十八圖 擋土牆

泥土側壓力之理論 關於泥土之側壓力，學者根據力學原理與經驗，立有各種理論。此可分為兩類，第一類理論，假定當擋土牆破壞時，牆後有一部分之土沿一平面滑動而下，此平面即所謂崩裂面。此種理論為庫隆 (Coulomb) 氏所擬議，故名曰庫隆氏理論，有時則稱為最大壓力斜楔理論。第二類理論，係以所謂卍字壓力原理為根據，先作成微分方程式，以表示擋土牆所支持泥土中泥土分子之平衡情形，然後用積分法，以推算土壓力之合力。此種理論係郎肯 (Rankine) 氏所擬議，故名曰郎肯氏理論，有時則稱為卍字應力理論。今將泥土側壓力理論，依其所研究之事項，分為三類論之。

(一) 關於泥土側壓力之量之理論 在第五十八圖

中， $\triangle ABC$  為擋土牆之背面，與水平方向成  $\theta$  角；牆之高度為  $h$ ； $BC$  為天然斜坡，與水平方向成  $\phi$  角； $BM$  為崩裂面，與水平方向成  $\alpha$  角，此角乃未知量； $O$  為泥土中任一點； $W$  為擋土牆單位長度後泥土斜楔  $\triangle BOM$  之重量； $OL$  與  $AB$

成垂直，而  $OZ$  與  $OB$  成垂直。  $W$  力分爲分力  $E$  及  $R$ ；  $E$  爲牆背所受土壓力，與牆背上垂直線成  $z$  角；此角乃未知量；  $R$  與崩裂面上垂直線成  $\phi$  角。設泥土單位體積之重量爲  $w$ 。

在第五十八圖中，假定泥土斜楔  $ABO$  受下述三力之作用而成平衡：（一）此斜楔之重量；（二）牆之反應力，與  $E$  相等而相反；（三）崩裂面之反應力，與  $R$  相等而相反。依此種假定，

$$E = W \frac{\sin WOR}{\sin WRO} \dots\dots\dots (四九)$$

按

$$W = \frac{1}{2} w \cdot AB \cdot \sin ABM \cdot BM$$

$$= \frac{1}{2} w h^2 \frac{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta - \alpha)}{\sin^2 \theta \sin(\alpha - \delta)}$$

$$\angle WOR = \alpha - \phi$$

$$\angle WRO = \theta + z - \alpha + \phi$$

代入（四九）式得

$$E = \frac{1}{2} w h^2 \frac{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta - \alpha) \sin(\alpha - \delta)}{\sin^2 \theta \sin(\alpha - \delta) \sin(\theta + \alpha - \delta)} \dots \dots \dots (五〇)$$

欲求泥土對於牆背之最大壓力，須取方程式（五〇）對於E及 $\alpha$ ，行微分法，而求E之最大值。其算式頗繁，今僅將求得結果列式如下。

$$E \text{ 之最大值} = \frac{\frac{1}{2} w h^2 \sin^2(\theta - \delta)}{\sin^2 \theta \sin(\theta + z) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta - \delta) \sin(\delta + z)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + z)}}\right)^2} \dots (五一)$$

公式（五一）為依 $z$ 角（即土壓力與牆背上垂直線間之角）以計算牆背所受最大土壓力之普通公式。諸家所定公式，雖各有不同，然可由假定公式（五一）中數項之值而變化得之。

（甲）庫隆氏公式 在公式（五一）中，如假定 $\delta$ 為零， $\theta$ 為九十度，而 $z$ 為零，則得庫隆氏公式：

$$E = \frac{1}{2} w h^2 \tan^2(45^\circ - \frac{1}{2} \phi) \dots \dots \dots (五二)$$

（乙）郎肯氏公式 在公式（五一）中，如假定 $z$ 等於 $\phi$ ，則得郎肯氏所擬斜背擋土牆公式：

$$E = \frac{1}{2} w h^2 \sin^2(\theta - \phi) \dots \dots \dots (五三)$$

$$\sin^2 \theta \sin(\theta + \phi) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin^2 \phi}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \phi)}}\right)^2$$

如再假定  $\theta$  爲九十度，而  $z$  等於  $\delta$ ，則得郎肯氏所擬當地面與水平成  $\delta$  角時垂直背擋土牆之土壓力公式：

$$E = \frac{1}{2} w h^2 \cos^2 \phi \dots \dots \dots (五四)$$

$$\cos \delta \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \delta)}{\cos^2 \delta}}\right)^2$$

如  $\delta$  等於  $\phi$ ，則得郎肯氏所擬當地面與水平成安息角時垂直背擋土牆之土壓力公式：

$$E = \frac{1}{2} w h^2 \cos \phi \dots \dots \dots (五五)$$

(丙) 衛牢胡氏公式 如在公式 (五一) 中，假定  $z$  等於零，則得衛牢胡 (Weyrauch) 氏所

擬公式：

$$E = \frac{1}{2} w h^2 \sin^2(\theta - \phi) \dots\dots\dots (五十一)$$

$$\sin^2 \theta \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin \phi}{\sin(\theta - \delta) \sin \theta}} \right)^2$$

(丁) 逢塞雷氏公式 如在公式(五一)中, 假定  $z$  等於  $\phi$ ,  $\delta$  爲零,  $\theta$  爲九十度, 則得逢塞雷

(Poncelet) 氏公式:

$$E = \frac{1}{2} w h^2 \cos \phi$$

$$(1 + \sqrt{2} \sin \phi)^2$$

(二) 關於泥土側壓力施力點之理論 諸家理論中, 所定土壓力公式, 均以爲土壓力隨牆高之平方而變化, 此與水壓力相同, 故諸家假定土壓力適用水壓力定律, 而以施力點爲在牆底上相距等於牆高三分之一處。

(三) 關於泥土側壓力方向之理論 公式(五一)係依  $z$  角之值以計算最大土壓力, 而  $z$  角即土壓力與牆背垂直線間之角則爲未知量,  $z$  之真值不能決定, 故諸家理論各擇不同之值用



之。大概主張最大壓力斜楔理論者，以壓力為與牆背成垂直，即  $z$  等於零，而主張  $\beta$  字應力理論者，則以壓力為與牆後地面平行，即  $z$  等於  $90^\circ$  也。

土壓力理論之研究 土壓力理論之是否可恃，學者之議論不一。或謂其無甚實際價值，或謂其與建築工程中別種理論同樣可信。要之欲判斷理論公式之可信程度，當以經驗與實驗為根據。按諸家所立土壓力理論，俱有三種假定，第一種假定為崩裂面乃平面；第二種假定為施力點乃在牆底上相距牆高三分之一處；第三種假定則為施力線與牆背間之角。今當依據經驗與實驗，次第研究之。

(一) 崩裂面 假定崩裂面為平面之理論，等於假定土壤毫無凝聚性。此僅在土壤為乾燥清潔之沙時為然。實則擋土牆所支持者常有各種土壤，且縱即是沙土，亦非乾燥潔淨之沙，故此種假定實以不合實際之時為多。又當土壤坍卸時，其崩裂面常成凹面，在頂部近於垂直，而在底部則成弧形，足證崩裂面成平面之假定，遠於事實。大概在牆背填土之時，土壤之凝聚力最小，而與土壓力理論相近，故此理論僅表示極危險之情形，一俟土已穩實，則凝聚力加厚，而與理論所假定者，大不

相同矣。

(二) 施力點 以施力點爲在牆底上相距牆高三分之一處之假定，乃據土壓力與牆高之平方成正比，一項關係而推得者，顧此項關係尙非完全確實，故所得假定亦不盡可信。按在立推求土壓力分量之公式時，曾假定在崩裂面與牆背間之泥土斜楔，在崩裂面上成爲固體而滑動，故亦可推測土壓力乃均勻分布於牆背，而以合力之施力點爲在牆高之中點。然土壤既非液體，亦非固體，故上述兩種假定俱不合實際，而土壓力之真正施力點殆在上敝兩極限之間也。

(三) 施力方向 諸家理論之差異，多由於所假定施力方向之不同。顧如郎肯氏理論以土壓力恆與地面斜度平行，似不合理，以壓力應與運動之方向相同，即與崩裂面平行，而此則幾與地面斜面無關也。又依郎肯氏及庫隆氏兩種理論，當牆背垂直而地面成水平時，土壓力之合力與牆背成垂直，此實又與土壤斜楔在牆背滑動之理論相遠矣。

要之，諸種理論，俱有自相矛盾之處，或與尋常經驗及精密實驗殊異，由此可知其所據之假定事項，必有錯誤耳。

理論公式所算出之土壓力，蓋遠較實在壓力爲大，而所假定之施力點則較實在施力點爲低，兩種錯誤乃有一部分互相抵消。但第一種錯誤甚大，是以求出之顛覆力幾，必大於實在之力幾數倍。

今可斷言曰：理論公式於計畫擋土牆時，無甚價值。擋牆土問題，實未能有精確之算學解法。欲用理論公式，則必有若干假定事項，以爲公式之根據，假定之根據既不能正確，何如逕行假定擋土牆之厚度，反較簡便也。

定擋土牆厚度之實驗規律 計畫擋土牆，既不宜用理論公式，如上所述。則有三條實驗規律，可據以定牆之厚度。此種規律並適用於無骨三和土牆也。

(一)芬朔氏律 依芬朔 (Fensholt) 氏所定規律，用磚造兩面平行之牆，以擋尋常土壤，其厚度隨牆面斜度而異：斜度爲五分之一者，厚度爲牆高之百分之二十四；斜度爲六分之一者，厚度爲牆高之百分之二十五；斜度爲八分之一者，厚度爲牆高之百分之二十六；斜度爲十分之一者，厚度爲牆高之百分之二十七；斜度爲十二分之一者，厚度爲牆高之百分之二十八；斜度爲二十四分

之一者，厚度爲牆高之百分之三十；牆面垂直者，厚度爲牆高之百分之三十二。

(二)培克耳氏律 培克耳「便雅憫」(Benjamin Baker)氏於建築擋土牆富有經驗，謂在表面成水平之地旁造擋土牆，如厚度有高度之一半，而牆面斜度爲每英尺一英寸或二英寸，但須牆之基礎穩實而牆背土壤情形良好，則牆身可有充足之安定性。倘牆背地面斜向上升而土壤壓力甚大，則在堅實基礎上時，牆之厚度可稍增加，但無需加至逾越雙倍，即在牆高一半以上。大概牆厚得牆高之三分之一，乃普通情形也。

(三)特啞廷氏律 特啞廷(Troutwine)氏謂造垂直或近於垂直之牆以擋泥沙、卵石，如地面成水平，而土壤係鬆散填積者，牆之底腳之頂部，厚度應不較下列者爲小。

(甲)琢石牆或用膠沙砌成之最佳之分層未琢石牆 牆高之三五%；

(乙)用膠沙砌成且以石片填嵌之良好未琢石牆或磚牆 牆高之四〇%；

(丙)不用膠沙僅用石片填嵌之良好未琢石牆 牆高之五〇%。

安全率 擋土牆之安全率，無從精密計算，因所受之力未甚明悉故也。

(一)關於顛覆之安全率 計畫擋土牆者，有時以為如用上章所列公式(四一)以算出理論上之安全率，而其值為三或大於三者，則此牆可無顛覆之慮。然常有擋土牆，倘依尋常理論推測之，當有顛覆之危險，而實際上頗安穩者，則因理論原有錯誤，無異於提高安全率耳。

(二)關於滑動之安全率 磚石擋土牆因牆身上下滑動而破壞之危險甚小，三和土擋土牆更可無慮，惟牆身與基礎間之滑動，則仍須注意耳。

(三)關於壓碎之安全率 擋土牆之壓力中心，常保持在其底部中央三分之一段以內，故牆之前邊，可無壓碎之危險。惟基礎下土壤之最大壓力，是否為土壤所勝任，卻不可不注意也。

## 第二節 構造法

基礎 擋土牆之破壞，多由於基礎之下陷不均勻。擋土牆之高度為其寬度之數倍，故牆底下陷時兩面高低之差雖微，而牆頂之前後移動已大。是以若非土壤極堅實或牆身擱在優良樁基礎上，則基礎上壓力之分布，須求均勻，此實極重要事項也。

擋土牆底脚之伸出尺度應以土壤之支承力為準。如土壤鬆軟，則底脚當遠較牆身為寬。擋土牆造成後向前傾斜，不一定為牆身過輕，而有顛覆之勢，乃多由於底脚過窄，與計算時所用土壓力公式不準，算出基礎上最大壓力較低，以致底脚有下陷不均勻之弊。是以在計畫時，於底脚之布置，應使底脚下土壤所受壓力之中心點，在底脚之中心點以內，於是牆背底邊之壓力最大，而牆頂有向內偏倚之勢，較為穩妥。

有時因地位所限，不便將擋土牆底脚伸出牆之前面以外，則可擇用下列方法：

- 一、在牆底前面下打樁；
- 二、於牆背造減力拱；
- 三、將牆背斜度作成甚和緩，俾壓力中心點在牆之前面底邊以後相離頗遠，此則須造空心牆或鋼骨三和土有扶壁擋土牆矣。

洩水 擋土牆之破壞，除由於基礎不良外，牆背土壤蓄水不洩，以增加土壓力或結冰膨脹，亦為其原因。預防此弊，須於牆中造洩水孔。在石牆，於四平方碼或五平方碼牆面上，可開一孔，寬兩三英寸，深與一石塊等。在三和土牆，可沿牆底每隔十英尺至十五英尺，用三英寸或四英寸瓦管嵌入牆中。如土壤富有蓄水性，並須於擋土牆背置碎石，或卵石，或煤灰，以便瀉水入洩水孔，或於土壤

中安置垂直瓦管，以滲水入洩水孔。

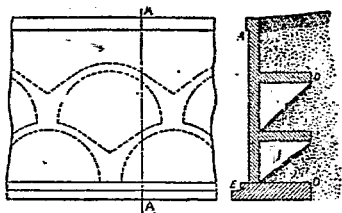
收縮縫 擋土牆須有收縮縫，其造法前在第三章第四節論三和土時業已述及，茲不贅。

填土 擋土牆造成後，宜俟圻工膠沙或牆身三和土凝結堅硬，方可填土。填土時勿使土壤有向牆背滑動之勢。應分層填土，或使土壤係自牆背起向後滑動。如在牆中膠沙或三和土未完全堅實時填土，尤須格外謹慎。否則牆身受過量土壓力，或竟破壞也。

碇板 擋土牆之安定性，可以設法增加，即於牆後稍遠處之穩實土壤中，埋入三和土碇板，而以鐵桿聯於牆身是也。矩形垂直碇板之支持力，可以下列公式示之。

$$H = w \frac{x_2^2 - x_1^2}{2} \frac{4 \sin \phi}{\cos 2 \phi} \dots \dots \dots (五七)$$

式中H為碇板之支持力，以對於寬度每英尺之磅數計之，w為土壤每立方英尺重量磅數， $x_1$ 為碇板上邊在地面下英尺數， $x_2$ 為碇板下邊在地面下英尺數，而 $\phi$ 為土壤之安息角。碇板之壓力中心點在其上邊以下等於高度三分之二處，鐵桿之一端，應繫於此處。如擋土牆全恃碇板以防滑動，則應於牆之外面，在牆底以上等於高度三分之一處，裝置鐵板，而將鐵桿之他端聯於板上。如擋土牆



圖面前 圖面剖 A A  
拱力減 圖九十五第

係兼恃基礎及碇板以防滑動，則牆面鐵板宜安置稍高。

減力拱 減力拱亦所以支持土壓力。其布置如第五十九圖所示。決定此種構造物全體之安定性，係先定垂直面  $\bigcirc \cup$  所受水平壓力，而以此與牆身及土壤  $\bigcirc \triangleright \cup \cup$  之重量相合，以求基礎上之總壓力。

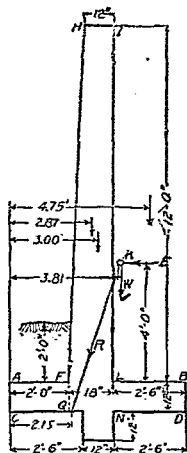
鋼骨三和土擋土牆 鋼骨三和土擋土牆，式有二種。一為伸

臂式，其作用如伸臂梁，藉以抵抗土壓力。一為有扶壁式，牆身較薄，每隔適當尺度，有扶壁以支持之。較矮之牆宜用伸臂式，高者宜用有扶壁式。今將兩式之計畫法次第述之。

伸臂式鋼骨三和土擋土牆計畫法 假定所計畫之牆，係擋十英尺高之土岸，又假定基礎係在地面下三英尺。假定牆頂之寬度，為十二英寸，而牆面斜度為每英尺半英寸。則牆底寬度為十八英寸。底脚之厚度須俟牆身計畫決定後，方能決定，然今當假定為十二英寸。故牆身在底脚以上，高



十二英尺。底脚之長度亦不能先行決定，但可假定為六英尺。牆背在底脚上之位置，除嘗試外，不能決定其應在何處，方為最省工料。要之牆背愈近底脚前邊，則牆身重量之抵抗幾減小，而底脚下土



式臂伸 圖十六第  
牆土擋土和三骨鋼

壤上之最大壓力增加。願有時因地位所限，仍須使牆面貼近基地界線，而不能使底脚前邊外伸。在本例中，可假定底脚外伸二·五英尺。如此計畫之牆，如第六十圖所示，今先定其安定性，再考究其結構

之堅實與否。

(一)對於顛覆之安定性 先求土壤之側壓力。可用庫隆氏公式。假定填土之表面成水平，天然地面坡度為平一·五比高一， $\alpha \parallel 34^\circ$ ， $w$ 為每立方英尺一〇〇磅， $h$ 為一二英尺，而三和土重量為每立方英尺一五〇磅則

$$E = \frac{1}{2} w h^2 \tan^2 (45^\circ - \phi) = 2040 \text{磅}$$

牆身 FLIH 三和土重量為  $\frac{1}{4} \times 12 \times 150 = 2250$  磅。此力之垂直施力線，在 F 右一〇·四英尺，即〇·八七英尺，即在 A 右二·八七英尺。LB 上土之重量為  $\frac{1}{2} \times 1200 = 3000$  磅，其垂直施力線，在 L 右一·二五英尺，即在 A 右四·七五英尺。底脚三和土之重量為  $6 \times 1 \times 150 = 900$  磅，其垂直施力線在 A 右三英尺。依 C 點計算力幾，而以重量之和除之，得垂直合力之施力線，在 C 右三·八一英尺。

合併土壓力與各項重量，所得合力，其施力綫與垂直線間之角之正切，為  $2040 \div (2250 + 3000 + 900) = 0.33$ ，而自 K 點至此合力穿過 CD 線處之水平距離為  $(4.00 + 1.00) \times 0.33 = 1.66$  英尺，即自 C 點至其處之水平距離為  $3.81 - 1.66 = 2.15$  英尺。此較六英尺之三分之一即二英尺為大，故合力穿過底脚底面之處，在其中央三分之一段以內。是以此牆對於抵抗顛覆，有充足之安定性。

(二) 土壤上壓力 依第十一章公式 (四八)

$$P = \frac{W}{1 \pm \frac{6Wd}{P}}$$

今W爲六一五〇磅，l爲六英尺，d爲 $\frac{1}{2} \times 1 - 2.15$ 即〇·八五英尺。代入上式，得O處之壓力最大，爲每平方英尺一八九七磅，B處之壓力最小，爲每平方英尺一五三磅。土壤是否能勝此最大壓力，視土質而異，然土壤殆無不能支持每平方英尺一噸之壓力者，故在本例中，底腳下壓力非過大也。鋼骨三和土擋土牆薄而輕，故其下土壤所受壓力不及石牆下者之大，此乃鋼骨三和土擋土牆之優點也。

(三)對於滑動之安定性 土壤之水平推力爲二〇四〇磅。如土壤爲乾粘土，其摩擦係數可作爲〇·五〇，而對於滑動之阻力爲 $(2520 + 3000 + 900) \times 0.50 = 3075$ 磅。依此觀之，牆身當無滑動之慮。牆底前面有二英尺深土壤，並可增加牆身安定性也。然如此粘土受水潤溼，則摩擦係數當減爲〇·三一，而對於滑動之阻力，僅有一九〇六磅。如此牆身未爲安定，則宜於底腳下面造有突起部分，如第六十圖所示，以增加牆前土壤之支承力。三和土牆身頗輕，故其對於滑動之安定性

較低，是其優點。

(四) 牆身中鋼骨 今取一英尺長之牆身研究之。此段牆身所受壓力，對於  $\Delta$  平面任何一點，計算撓矩，得  $M = 2040 \times 4 \times 12 = 97920$  英寸磅。鋼骨中牽引力  $T$  之力幾為  $H \cdot j \cdot d$  亦即  $M = H \cdot j \cdot d$ 。今  $j$  之值可作為八分之七，而  $d$  為  $18 - 2 = 16$  英寸。以  $M, j, d$  代入上式，得  $T$  為對於牆身長每英尺有七〇〇〇磅。如  $f_s$  為每平方英寸一二、〇〇〇磅，則對於牆身長每英尺需鋼料  $7000 \div 12000 = 0.58$  平方英寸。可排列八分之五英寸徑圓鋼條，兩條間中心距離六英寸，或排列二分之一英寸徑圓鋼條，兩條間中心距離四英寸。

三和土之最外纖維應力，為

$$f_c = k \cdot j \cdot b \cdot d^2 = \frac{2 \times M}{3 \times \frac{7}{8} \times 12 \times 16^2} = 194 \text{磅/(英寸)}^2$$

此數未逾三和土之安全擠壓強度。

牆身中鋼骨之量，不須自下至上，全體如一。蓋所需鋼骨量隨土壓力之力幾而異，而此力幾則

與其施力線在地面下深度之立方成正比，故牆身所需鋼料之量，愈在上方則愈少也。用鋼骨愈細愈多，則其排列法愈可與所需之量相合。如用八分之五英寸徑圓鋼條，可分二組，一組相距十二英寸，直至牆頂；別一組亦相距十二英寸，則僅至牆高之中點爲止。如用半英寸徑鋼條，可分三組，各組中鋼條相距俱爲十二英寸。第一組直至牆頂，第二組至牆高三分之二處，第三組則僅至牆高三分之二處也。

依上列計畫所用  $r_1$  之值，應將鋼條藏在牆身底面以下深至鋼條直徑四十倍處，方能得所需之附着應力。如用半英寸徑鋼條，須深藏至二十英寸。在第六十圖所示之剖面，固可將其藏入底腳下面突起部分，然如無此突起部分，而底腳之厚又不及二十英寸者，則可將鋼條下端曲成圓環，繞過底腳內水平鋼骨。最佳之法，莫如於底腳內置一水平窄鋼板或角鐵，於其上穿孔，而將鋼條插入其中，在鋼板或角鐵兩面，俱用螺絲套將鋼條固定也。

(五) 底腳前部之鋼骨 第六十圖中  $\triangle FQO$  部分之底腳，可視作伸臂梁而計畫之。O 處之單位壓力爲每平方英尺一八九七磅，而 D 處者爲一五三磅，故 Q 處之壓力爲

$$153 + (1897 - 153) \times \frac{4}{9} = 153 + 1162 = 1315 \text{磅/英尺}^2$$

○ ○ 上壓力之重心，離 Q 爲 1.0 六英尺，而對於 Q 點之力幾爲

$$M = 1606 \times 2 \times 1.06 \times 12 = 40860 \text{英尺磅}$$

依公式  $F = M \div j \cdot d \cdot d$  今  $p$  爲 12 - 2 = 10 英寸， $j$  爲八分之三，故  $F = 40860 \div \left(\frac{3}{8} \times 10\right)$

4670 磅。每英尺長底脚中所需鋼骨爲 4670 ÷ 12000 = 0.39 平方英寸。可用半英寸徑圓鋼條，中心相距六英寸。此項鋼條可伸至 Q 右二十英寸，以使有充足之附着力。

三和土之最外纖維應力  $f_c$  爲每平方英寸二〇八磅。

爲防沿牆脚縱向之土壤，有支承力不齊之弊，常於底脚之底面，排列縱向鋼骨，與牆面平行。其疏密全由計畫者斟酌定之。大概其數可爲橫向鋼骨之三分之一至二分之一。

(六) 底脚後部之鋼骨 第六十圖中 B D N H 部分之底脚，亦可視作伸臂梁而計畫之。此伸臂梁除支持其本身重量外，又於其上面受有均勻分布之向下壓力，於其下面受有整齊變化之向

上壓力。向下壓力對於L處之力幾爲  $3000 \times 1\frac{1}{4} \times 12 = 45000$  英寸磅。底腳本身重量對於L處

之力幾爲  $1 \times 2\frac{1}{2} \times 150 \times 1\frac{1}{4} \times 12 = 5628$  英寸磅。合計向下力幾爲  $45000 + 5628 = 50628$  英寸磅。

D處之向上壓力爲每平方英尺一五三磅，而N處之向上壓力爲  $153 + (1897 - 153) \times \frac{2\frac{1}{2}}{6.0}$

$\parallel 153 + 728 = 881$  磅/（英尺）<sup>2</sup>。此壓力之中心點離N爲  $0 \cdot 96$  英尺。故向上之力幾爲  $517 \times 2$

$\frac{1}{2} \times 0 \cdot 96 \times 12 = 14808$  英寸磅。前求得向下力幾爲五〇六二八英寸磅。上下兩抵，淨存向下力幾

三五八二〇英寸磅。

底腳每英尺長段中，所需鋼骨爲  $M \cdot 1 \cdot (j d \times 12000) = 35820 \cdot \left(\frac{3}{8} \times 10 \times 12000\right) = 0 \cdot 34$

平方英寸。可用半英寸徑圓鋼條，中心相距六英寸。此項鋼條可伸至L左十英寸，以使有充足之附

着力。

(七)對於剪割之抵抗力 牆身橫剖面積爲  $12 \times 18 = 216$  平方英寸。三和土之安全單位剪

割應力，至少有每平方英寸二十五磅，故牆身每英尺長段對於剪割之抵抗力有  $210 \times 25 = 52500$  磅。此在算出之滑動力之兩倍半以上，故牆身決無滑動之慮。

底脚前部每英尺長段對於剪割之抵抗力為  $12 \times 12 \times 25 = 3600$  磅，而實在剪割力為  $3212$  磅，

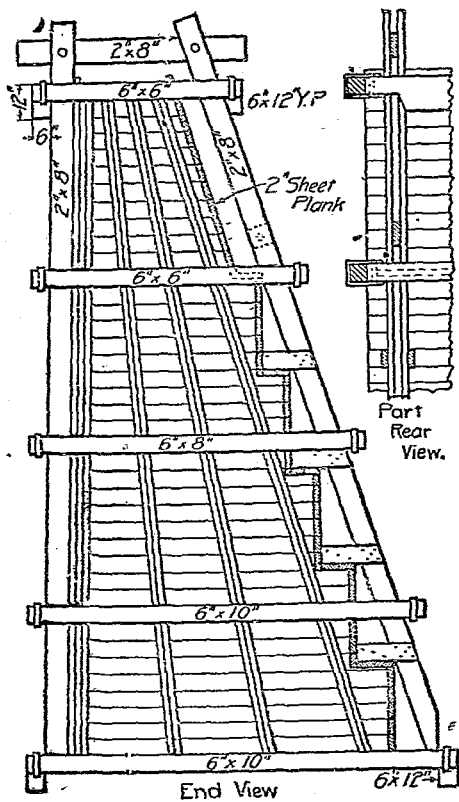
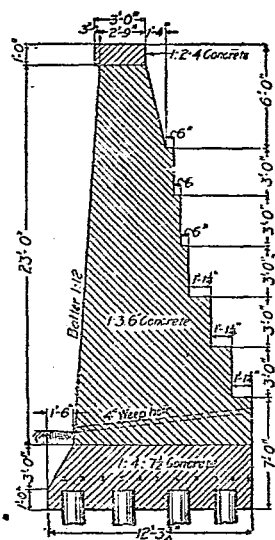


圖 一 十 六 第





實體擋土牆

平均，而無破壞。大概如用彈限為每平方英寸六萬磅之鋼，則對於華氏溫度一百度之變化，可用等於三和土剖面之○·五%之鋼條，以防三和土發生裂縫。脹縮鋼骨應置在接近顯露表面處。在水平方向上及垂直方向上，須用同量鋼料。

鋼骨三和土有扶壁式擋土牆之計畫。此式擋土牆頗薄，每隔適當長度，以垂直之扶壁支持之。薄牆及扶壁之下，有底脚以承之。牆頂常僅厚六英寸至八英寸，牆底厚十英寸至十二英寸。扶壁厚與牆相同。扶壁中心距離自五英尺至十英尺。大凡高逾二十英尺之擋土牆，用此式頗為相宜，低

故無破壞之危險。底脚後部亦無此種危險。

(八) 脹縮鋼骨。欲免牆身因脹縮而生裂縫，可造收縮縫，或用縱向鋼骨，使足以抵抗因溫度變化而起之應力，藉使牆身縱向上之脹縮

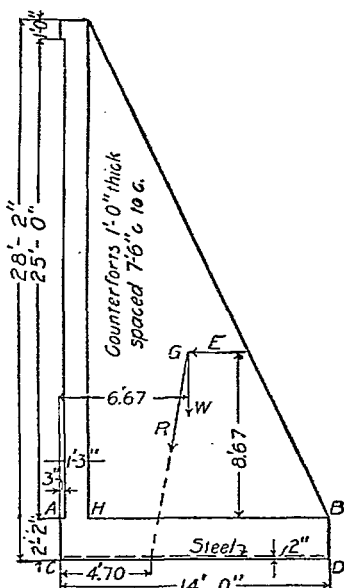


FIG. 115.

圖二十六第

牆土擋式壁扶有土和三骨鋼

110K

則所省材料價值不抵所增造板型工費也。

今假定(一)所計畫

之牆高二十八英尺，(二)

牆面接近地界，(三)牆之

安定性與第六十一圖所示

標準實體擋土牆相等，(四)

擬造之牆支持在樁基礎上，蓋如土壤非極堅實而底脚又不能伸出牆面以前者，則常須如此布置也。第六十二圖所示為擬造擋土牆之假定形式。

第六十一圖之牆，每英尺長段中，有三和土二〇五·七立方英尺，每立方英尺重一五〇磅，總重三〇八五〇磅。牆背上泥土重量為七八九〇磅。此兩項重力，對於牆底中央三分之一段左端之力幾為八〇九六九英寸磅，可假定為土壓力之力幾。如視土壓力為由於每立方英尺重 $w$ 磅之液

體之壓力，則上列力幾等於  $\frac{1}{2} \times 1.97 \times 1.97 \times 1.97 \times 1.97$ 。解此方程式，得  $w$  為每立方英尺二二·二磅。即第六十一圖之實體擋土牆，能支持每立方英尺重二二·二磅之液體之壓力，而其對於顛覆之近似安全率仍為三。故本問題實即計畫一鋼骨三和土有扶壁之擋土牆，以支持每立方英尺重二二磅之液體之壓力也。

(一) 擬定牆身之安定性。每段牆中泥土及三和土總重量為三〇六五九〇磅，其重心離  $O$  處六·六七英尺。作一垂直平面，經過  $D, E$ ，在  $B$  處以上，此平面所受之總水平壓力為  $\frac{1}{2} w \cdot d^2 \cdot b = \frac{1}{2} \times 22 \times 26^2 \times 7.6 = 55770$  磅。諸力之合力與垂直線間之角之正切為  $\frac{55770}{306590} = 0.182$ 。合力穿過底脚底面之點，在  $G$  處之左，相距為  $10.83 \times 0.182 = 1.97$  英尺，即其與  $O$  處相距為  $6.67 - 1.97 = 4.70$  英尺，而其與底脚中心點相距為  $7.00 - 4.70 = 2.30$  英尺。由此可知壓力中心點殆恰在中央三分之一段之界限上，而對於顛覆之近似安全率乃三也。

倘此牆不以樁為基礎，卻支持在土壤上，則每段牆下土壤所受之最大壓力為

$$P = \frac{W + 6Wd}{12} = 42,485 \text{磅}$$

即每英尺牆下土壤所受之最大壓力，為  $42485 \div 7.5 = 5,665 \text{磅/英尺}$ 。至於最小壓力，則為每平方英尺四二磅。

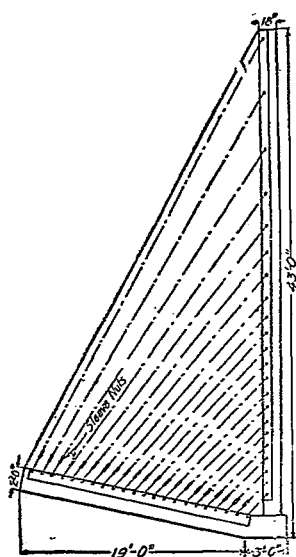
令牆滑動之方為五五、七七〇磅，而對於滑動之阻力，如以摩擦係數為  $0.50$  計之，乃等於  $30650 \times 0.50 = 153,205 \text{磅}$ 。是以此牆可無因滑動而破壞之危險。

(一) 鋼骨 有扶壁式擋土牆之薄牆，可視作若干條橫梁組成，各梁獨立，而兩端固定。牆中鋼骨依此布置。在一段牆之中部，置鋼骨於近牆前面處，在一段牆近扶壁處，則置鋼骨於近牆背面處。牆前鋼骨，常作成連續不斷，牆背鋼骨則可用較短者。有時係用單根鋼骨，加以彎曲，兼作兩種之用，在近扶壁處，與牆背相近，而在兩壁扶中間，則與牆前面相近也。

有扶壁式擋土牆底板，亦可視作由若干橫梁組成，梁之兩端固定，梁之上面受土壤之向下壓力，而梁之下面則受土壤之反應力。底板下土壤之反應力自 D 向 O 而增加。底板中鋼骨之布置，即依此計畫之。

扶壁聯合牆與底板，其中鋼骨之排列方向，有成垂直及水平者，亦有依對角線者。前式最普通，後式較合學理而用料亦省。

用前式時，可視扶壁為固定於底板上之伸臂式梁，亦為以牆作邊部之丁字式梁。依此種假定，則水平鋼骨聯合牆與扶壁，而垂直鋼骨聯合底板與扶壁，而與扶壁長邊平行之鋼骨，則抵抗扶壁之撓幾。在伸臂梁上不固定邊上任何一點應需鋼骨之量，估計之法，為於此點作一垂直線，就此線與牆之中心線相交之點，計算力幾，而據此以定鋼骨用量。



圖三十六 第  
式一之牆土擋壁扶有土和三骨鋼

後式係視扶壁為由若干對角線梁所組成，每一梁中有縱向鋼骨一條或數條，以將垂直牆與底脚相聯繫。各梁與垂直牆相接處，較其與底脚相接處為寬。在各梁與垂直牆相接

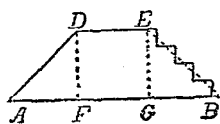
處牆面所受相當液體壓力，甚易計算，既知此壓力，則梁中鋼骨應有面積，即可算出。鋼骨與垂直牆及底板相聯，可完全依照對角線方向，亦可在起點處與垂直牆成垂直，繼此彎作弧形，其半徑為鋼骨半徑之二十倍，至與扶壁斜邊成平行，乃斜向下伸，再依同一半徑彎作弧形，然後依垂直方向，與底板相聯。鋼骨兩端須彎成環形，繞在垂直牆及底板中鋼骨上。能用長鋼板或角鐵以便插入鋼骨，用螺絲套扣住，尤佳。第六十三圖所示擋土牆，屬於此式。

在垂直牆之前面，應布置水平及垂直之脹縮鋼骨，俾當溫度變化時不生裂縫。

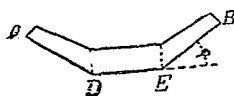
# 第十三章 橋臺

## 第一節 總論

式樣分類 橋臺之式有四種。第一種爲直而橋臺，如第六十四圖所示。其與水流平行之面，乃一平面牆，間或附有翼牆  $ADH$  及  $BEI$ 。翼牆之上面有爲斜坡如  $\triangle D$  者，三和土橋臺常作此式；



直橋面臺 圖四十六第



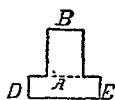
曲橋面臺 圖五十六第

有成階級如  $\square D$  者，石橋臺常作此式。第二種爲曲面橋臺，如第六十五圖所示。圖中  $\phi$  角常約爲三十度。第三種爲凹字式橋臺，如第六十六圖所示。第四種爲凸字式橋臺，如第六十七圖所示。

式樣比較 橋臺應用何式，隨其所在地而異，即跨水造



圖六十六第  
壘橋式字四



圖七十六第  
壘橋式字凸

橋抑或在街道或鐵路上造橋是也。如跨水造橋，則須審察河岸是沙灘或岩石，平坦或高峻，水流迂緩或滯急，及土工之價值高下等比較而決定之。

(一)直面橋臺 第六十四圖之直面橋臺，宜用於跨越街道或鐵路之橋，而不合用於水道橋，以有水流沖刷臺背之慮故也。

(二)曲面橋臺 第六十五圖之曲面橋臺，為水道橋常用之式，因上下游翼牆曲折，足以略令流量加大也。

(三)凹字式橋臺 第六十六圖之凹字式橋臺，其牆內土壤側壓力減小，因兩面之崩裂面相交，無異於移去最大推力斜楔之一部分故也。如河岸陡峻，則翼牆之底可作成階級，以求合於地形，減省材料。

(四)凸字式橋臺 第六十七圖之凸字式橋臺，用圬工材料最多，惟其用料量多，則工價可省。此式橋臺之重心，離橋臺正面線較遠。因橋臺之顛覆須以此線為旋轉軸，而橋臺之壓碎亦必起於



此線，故此式橋臺頗安定也。

橋臺安定性理論 橋臺之功用有二：（一）支承橋之一端，（二）使岸上泥土不至坍卸入水。橋臺本身之破壞，可有三種情形：（一）向前滑動，（二）顛覆，（三）壓碎。

橋臺頂部之尺度，須足以支承橋座，又須在其後邊，留有餘地，造垂直牆，以支承路身。以理論言之，橋臺本身之底部尺度，似但須考量泥土側壓力，已可決定。然在實際上，則在土壓力外，尚有動載重，故不能僅以土壓力為計畫之根據。在鐵路橋，車輛之動載重，影響尤大。橋身重量之足以增加橋臺抵抗顛覆之力，在高橋臺不及低橋臺之著，而短跨度橋不及長跨度橋之著。

橋身在兩橋臺之間，多少足以防止橋臺之滑動或顛覆，其效力視橋身重量與橋身一端是擱在滑動板上抑膨脹滾軸上而異。除在直面橋臺外，翼牆亦足以防止橋臺本身之顛覆也。

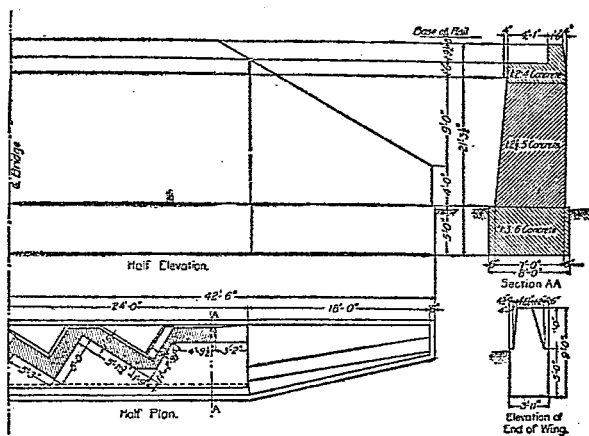
土壓力之理論，不能正確，前已述及，故計畫橋臺時，恆不計算其安定性，但定橋臺本身在底部頂面處之厚度，為臺後填土高度之 $0.4$ 或 $0.45$ 倍。照此計畫，即不用辨別公路橋與鐵路橋，不用計及動載重，不用計及橋身重量，亦不用計及橋身抵撐橋臺之作用。翼牆之厚度，可定為其

處填土高度之○・三倍。

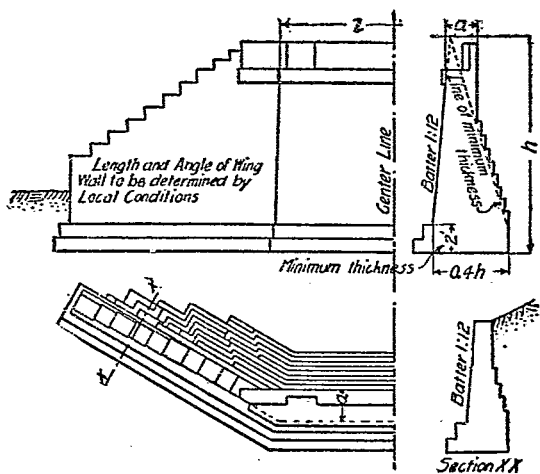
造橋臺基礎，常不甚難。在河水低落時開工，往往可不用圍堰。然如土質融軟，或易受流水冲刷，則須用樁基礎及格牀，其造法前已述之。

橋臺在底脚上之厚度，依據經驗，已可確定；惟底脚之寬度，則須視土壤之支承力而定，故其變化頗大。今橋臺顛覆之力幾，既未能確實算出，而底脚下土壤所受壓力，分布情形，及最大壓力之量，亦不克明白估計，故如土壤略有融軟性質，則決定底脚之尺度，便須極為審慎。須斟酌當地情形，參照已有經驗，纔可決定底脚應有如何寬度，方為安全而又不嫌過大也。

昔時造橋臺，常用長層琢石工或方石工，隨其構造物之重要程度而定，今則常用三和土，因其造價較廉，且橋臺作成一體，不易受冰凍與震動之影響故也。三和土橋臺，多不用鋼骨，或僅於橋座下，及凹角處，並易起裂縫處，略用鋼骨。橋臺各部分所用三和土之配料比量，可依其處受力大小而異。



第 八 十 六 圖 直 面 橋 臺



第 九 十 六 圖 曲 面 橋 臺



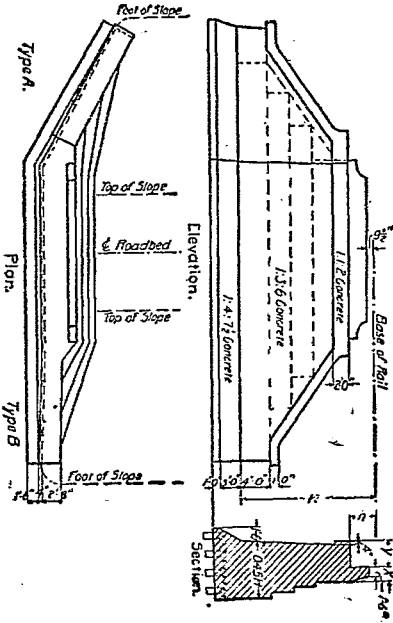
一〇〇英尺	二英尺八英寸	較路面加寬五英尺
一五〇英尺	三英尺	較路面加寬五英尺九英寸
二〇〇英尺	三英尺四英寸	較路面加寬六英尺六英寸
二五〇英尺	三英尺六英寸	較路面加寬七英尺

第七十圖所示為美國紐約中央鐵路所用直面橋臺及曲面橋臺之標準式樣。

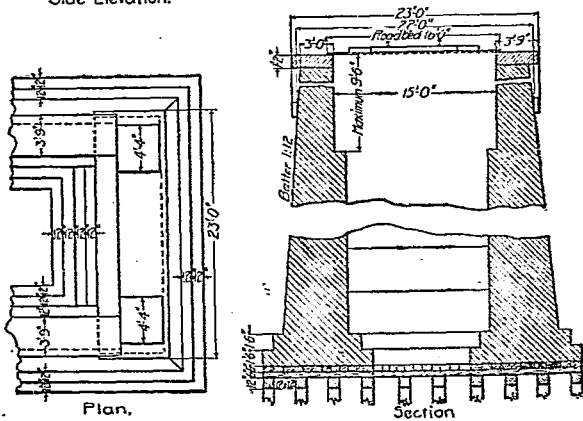
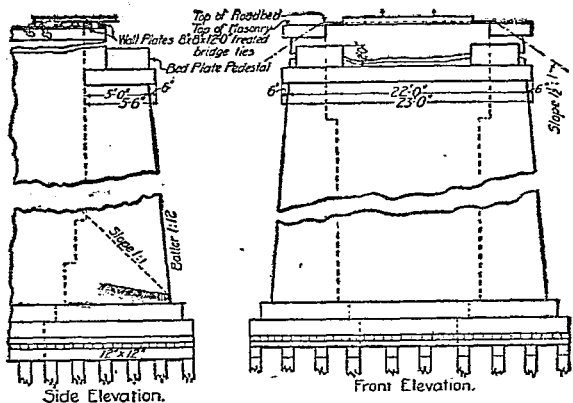
#### 第四節 凹字式橋臺

凹字式橋臺 第七十一圖所示，為凹字式橋臺之一式。適用於石工及無骨三和土。

凹字式橋臺兩翼牆間之土壤，應使其洩水便利。可用垂直瓦管或有孔鐵管，插入翼牆之後，而引水經翼牆中排水孔流出，或通於臺底水平水管，而於牆端流出。翼牆間地位，有時填入煤灰或沙或卵石，以求瀉水便利，而減少橋臺所受側壓力。



美 國 紐 約 中 央 鐵 路 之 直 面 及 曲 面 橋 墩 式 樣 圖 第 七 十 七 號



第四式橋臺 圖一十七第





## 第五節 凸字式橋臺

凸字式橋臺 第七十二圖所示爲鐵路橋所用凸字式橋臺之一式。尾牆常寬十英尺或十二英尺。其長度則以河岸斜坡之底，恰抵頭牆之背面爲準。頭牆之斜度以一比十二至一比二十四爲準。尾牆之側面及後端（即與路隄土壤相接之端）常成垂直，惟前端頂部仍有斜度，因如用方角，則在冬季結凍時方角或不免剝落也。

## 第十四章 橋柱

橋柱之功用 橋柱之功用有二：(一) 支承橋身；(二) 容水在柱旁流過而不擾亂水流。前一事有關於橋柱之安全性，亦即有關於橋柱之垂直剖面。後一事有關於橋柱之水平剖面。

橋柱安定性之理論 橋柱之破壞有兩種情形：(一) 沿河道之縱向，被推向下游滑動或顛覆；(二) 在河道橫向上滑動或顛覆。

令橋柱向河道下游滑動或顛覆之力，為風力、水力及浮冰之力。據研究結果，任何橋柱，祇須柱頂有充分地位以安置橋座，而其表面斜度為一比十二或一比二十四者，即足以抵抗沿河道縱向之破壞力也。

令橋柱沿河道橫向（即與橋身平行方向）而滑動或顛覆之力有三：(一) 動載重之衝擊力；(二) 橋身之膨脹力；(三) 風對於橋柱側面之壓力。前一項僅鐵路橋有之，後二項則鐵路橋

及公路橋俱有之。橋柱沿河道橫向而破壞之機會，遠較沿河道縱向者為多。

機車拖帶列車過橋時，所有拉力，終必以橋柱對於與車行方向相反之滑動力或顛覆力之抵抗力，與之平衡。倘在橋上忽然停車，則橋柱又受與車行方向相同之滑動力或顛覆力，而須抵抗之。此際橋柱所受之力較前者為大，因可大至任何一節橋身上列車全部重量之五分之一也。此力之施力線係在軌道平面上。其對於任何水平面之力幾，係以橋身列車及橋柱三者重量總和之力幾抵抗之。橋身之伸縮對於橋柱，可有拉力。如橋身活動端之滾軸或滑板，情形良好，此力尚無關重要；如已因煤灰膠粘或生鏽而不靈，則此力每未可忽視。其力之量，等於橋身之重量與摩擦係數相乘之積。其力之方向，與列車衝擊力相同或相反。計算時自當以相同者為準。橋身滾軸或滑板之摩擦係數，隨其情形而異。如情形良好，摩擦係數自屬較小，如已失效或生鏽，則摩擦係數可大至 $0.1$ 至 $0.2$ 。風力對於圓柱之壓力，常作為等於其垂直投影面所受壓力之三分之二，而垂直面所受風壓力則為每平方英尺五十磅。風之壓力中心，係在橋柱顯露部分之中點。

橋柱受縱向橫向諸力而有滑動之趨勢，其合力即等於縱向合力之平方與橫向合力之平方

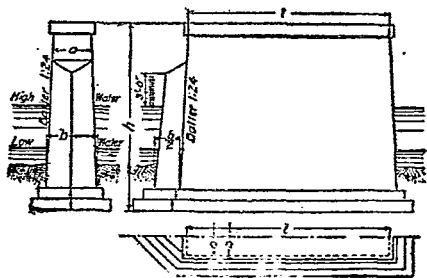
二者之和之平方根。同理，令橋柱顛覆之合力，亦等於縱向合力之平方與橫向合力之平方二者之和之平方根也。

橋柱之尺度 橋柱頂部之尺度，隨橋柱橫剖面形式及橋身形式跨度而定。以理論言之，橋柱

底部之尺度，當準橋柱安定性以計畫之，但在實際上，則視橋座大小，以定橋柱頂部尺度，再將橋柱側面予以適當斜度，以求美觀。如此所得橋柱，當有充分之安定性也。

在水流和緩之處，橋柱之水平橫剖面，尚不關重要；但在水流急速之處，則須謹慎決定之。

橋柱向上游一面，應作成圓面或尖面，以使水流分向柱之兩邊，而不至發生漩渦，洗刷橋柱基礎周圍之河底，且可免受浮冰漂木及船舶之衝撞。橋柱向下游一面，亦可如此計畫。大概半橢圓形，最為合宜，然造價較昂，可以相交之兩圓弧或半圓形代



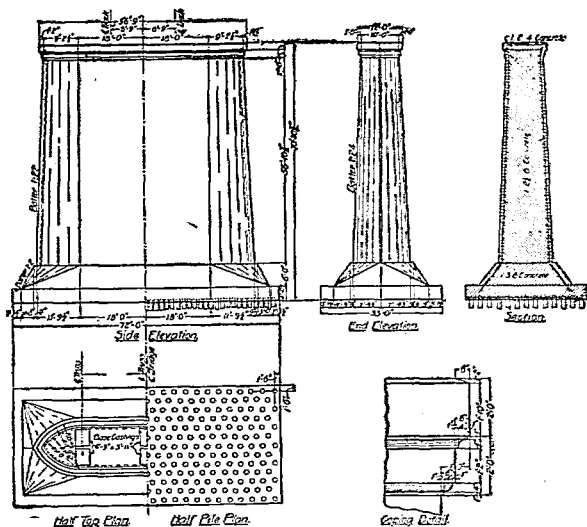
式一之柱橋路公 圖三十七第

之。若在高水位以上，則用矩形亦無妨，惜不美觀耳。較省費之造法，為於橋柱向上游及向下游之兩面，各用斜面合成，而在平面圖上所見斜面，係與橋柱側面成四十五度之角。倘有更省費之法，為於向上游面，在高水位以下，用兩斜面合成，兩斜面相交於一線，此線之斜度為每英尺三英寸或四英寸，橋柱之餘三面及上游面在高水位以上部分，則用一比十二或一比二十四之斜度。

第七十三圖為公路橋橋柱之一式，適合於石工或無骨三和土構造，其尺度如下表所示。

第十三表 第七十三圖橋柱尺度表

跨	度	距	離	a	距	離	1
五〇英尺				二英尺八英寸			較路面加寬四英尺
一〇〇英尺				三英尺二英寸			較路面加寬五英尺
一五〇英尺				三英尺八英寸			較路面加寬五英尺九英寸
二〇〇英尺				四英尺四英寸			較路面加寬六英尺六英寸
二五〇英尺				四英尺十英寸			較路面加寬七英尺
三〇〇英尺				五英尺四英寸			較路面加寬七英尺六英寸



第七十四圖鋼骨三和土橋柱之一式

第七十四圖所示為鋼骨三和土橋柱之一式。此為雙線鐵路橋之橋柱。其鋼骨全用四分之三英寸方鋼條。基礎中鋼條縱橫排列，各高出底面六英寸，而置在相鄰樁線之中間。橋柱本身有水平圓環鋼骨，離柱面六英寸。上下兩環相距二英尺。柱頭有鋼骨三圓環，上環在柱面下六英寸，而環與環上下相距二英尺。柱身周圍又有垂直鋼骨，排列相距二英尺，在底脚及基礎中者則相距較寬。鋼骨中聯接處與鄰線上鋼骨聯接處相距至少五英尺。鋼骨聯

接處兩鋼骨重疊繫合，至少長十八英寸；用第十六號鍍鋅鐵線結繫，至少二道。鋼骨交叉處結繫，亦如此式。

## 第十五章 涵洞

### 第一節 總論

涵洞開於鐵路或公路之路堤下，所以容水流過者也。涵洞之跨度常不逾十五英尺，至多不逾二十英尺。常係依照預定標準計畫建築，非每一涵洞有一特別計畫也。

涵洞應留水道大小，涵洞應留水道大小，不能精密計算。足以影響於所需水道大小之事項甚多，如集水區域內降雨遲速，土壤性質，地面開墾種植狀況，地面斜度，集水區域大小，河流溪澗是否通利並其分布情形，涵洞口之形式及涵洞底之斜度，涵洞上口是否沒入水中等，在理論上，計畫涵洞大小，應取作根據。但此種種事項，殊難確定。故計畫涵洞，祇能依照實驗公式，參以經驗。惟須周詳謹慎，勿使過小過大。過小則易於沖毀，或不免傷害人命財產，且耗修理重建之費；過大則虛耗建



築費也。

實驗公式 計畫涵洞通用之實驗公式有下列兩種。

(一)邁爾士氏公式 此為邁爾士 (E. T. D. Myers) 氏所擬定。其式如下：

$$\text{水道面積平方英尺數} = C \sqrt{\text{集水面積英尺數}}$$

式中  $C$  為一係數。在陂陀起伏之草原，其值為 1；在邱陵地，其值為 1.5；在山地，其值為 4。就經驗論之，用此公式算出涵洞面積，在集水區域小者，其值過大，在集水區域大者，其值却嫌過小。

(二)塔爾波特氏公式 此為塔爾波特 (A. N. Talbot) 氏所定。其式如下：

$$\text{水道面積平方英尺數} = C^4 \sqrt{\text{集水面積英尺數}}$$

式中  $C$  為一係數。在峻急山地，其值自三分之一至 1。在陂陀起伏之田野，當春融時被水浸沒，而流域之長三四倍於其寬者，其值為三分之一；倘流域較長，則其值當酌減；在春融時不受水浸之地，流域之長數倍於寬者，其值為五分之一或六分之一。用此公式所得結果，尚與實際所需者相合。上列兩公式中，各有一係數  $C$ ，其值須由計畫者決定，此即計畫者發揮其學識經驗之處也。

洞身及翼牆 任何涵洞可分二部，一為洞身，一為其兩端之翼牆。故涵洞之計畫，分為兩事。一為布置翼牆以保護路隄且使水便於流入涵洞，二為決定洞身之橫剖面。

涵洞式樣 涵洞之式有三，即管式、箱式及拱式是也，後當分節述之。

箱式及拱式涵洞之末端，造

法有三種。一為作成直牆，與洞身

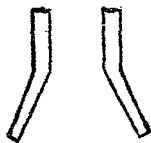
軸線成垂直，如第七十五圖。二為

作成翼牆，與洞身軸線成三十度

之角，如第七十六圖。三為作成與



圖五十七第 直牆翼牆涵洞口



圖六十七第 斜牆翼涵洞口



圖七十七第 直牆翼涵洞口

洞身軸線平行之翼牆，僅將其外端處改薄，以擴大水道，如第七十七圖。三式所需材料，相差不多。第七十五圖所示之式，最為普通，實較優良。翼牆頂面常作成階級或斜坡，求與路隄兩邊斜坡相合。涵洞兩端常作成同樣形式。間有於進水端作成第七十六圖之式，而於出水端作成第七十七圖之式者，此法頗佳。

## 第二節 管式涵洞

總論 管式涵洞爲最簡單之式，係用粘土燒成之瓦管，或三和土管，間有用水波紋鋼管者。路隄下不宜多開孔穴，故遇涓涓細流，恆不卽在路隄下開小孔容其經過，却沿路隄引至別處，俟與他水相會，乃作較大之涵洞放洩之。此所以尺度較小之瓦管，不作爲涵洞用也。

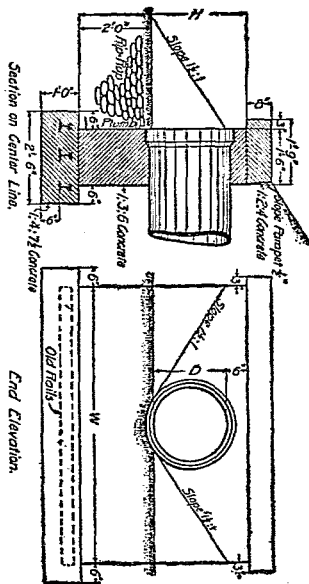
管式涵洞頗結實經用。內面光滑，瀉水通暢，價值不高，安置便利，是其優點。

瓦管涵洞 瓦管涵洞適用於公路隄下。其直徑可至三十六英寸。安設瓦管時，所開溝之底面，應與管之下半面形式相合，在兩管接頭擴大處，溝底亦應挖深。管之下半面周圍泥土，應加捶實。管上所蓋泥土至少應厚十八英寸，且須捶實。倘管中有時滿水，則兩管之接縫，應用水泥膠沙填嵌，以防漏水損壞路隄。

涵洞末端應造石工牆或三和土牆以保護之。牆之基礎須深，俾不至結冰破壞。在涵洞進水口，須防管中水滿時，有水滲入路隄，沿管之外面流過。在冬季，倘管內水深逾管之半徑，一旦結冰，足使

管迸裂，故應使管之出水口外有足量之落水高度，以便將水瀉盡。

第七十八圖為瓦管涵洞之一式。各種管徑之洞口牆尺度如下表所列。



洞 涵 管 瓦 圖 八 十 七 第

第十四表 管式涵洞各種管徑之洞口牆尺度表

管之直徑英寸	H 之 尺 度	W 之 尺 度	每座洞口牆之 立方英尺數
一〇	三英尺 四英寸	三英尺 八英寸	一・二二
一二	三英尺 六英寸	四英尺 〇英寸	一・三四
一六	三英尺 一〇英寸	五英尺 四英寸	一・八三
一八	四英尺 〇英寸	六英尺 〇英寸	二・〇九
二〇	四英尺 二英寸	六英尺 六英寸	二・三一
二四	四英尺 六英寸	七英尺 六英寸	二・七五
三〇	五英尺 〇英寸	九英尺 二英寸	三・五三
三六	五英尺 六英寸	一〇英尺 一〇英寸	四・三八

此種涵洞瓦管之坡度，至少應在十二英尺中有三英寸。

三和土管涵洞 無骨三和土管宜作較小之涵洞，而鋼骨三和土管則宜於較大者。鋼骨三和

土管係用鋼條之環作骨，在管頂管底處，鋼環接近管之內面，在管之兩側，鋼環接近管之外面。四十八英寸直徑管，厚四英寸，其鋼環相距三英寸，又有縱向鋼骨，相距八英寸，俱用四分之一英寸方鋼條。較細之管，則用鋼絲網以代鋼條。管長為八英尺。安置三和土管時，須使管之下面處有均勻支承，管之兩側，均受壓力，管之上面，有均勻壓力，則其管所能支承之載重，可以增加也。

### 第二節 箱式涵洞

箱式涵洞式樣 箱式涵洞，有石造者，今日通用之式為三和土造。

箱式涵洞有兩種。一為僅有頂板及側牆者，一為頂板側牆及底板俱全者。

在易得石料之處，箱式涵洞可用石料造成，石蓋板之跨度自二英尺至四英尺，其厚自十英寸至十六英寸。但在易得水泥之處，則以用三和土造箱式涵洞為宜。其三和土須為鋼骨三和土，蓋無骨三和土不合於抵抗涵洞中發生之牽引力也。

鋼骨三和土箱式涵洞，多屬有底板式，偶於基礎堅實不慮受水沖刷之處，亦可作無底板者。

剖面尺度計畫法 箱式涵洞剖面尺度之計畫，不能有精確之算法。各學者於計畫時所假定之事項不同，故結果往往差異。今取一法舉例說明如下。

設於鐵路路隄下造一鋼骨三和土箱式涵洞，可就在軌道中線下一英尺長段之涵洞研究之。假定機車之動載重，由枕木向軌道兩側共八英尺寬度間平均分布，但在軌道之縱向上則不生變化。設機車與涵洞跨度同長之一段，重量為每英尺一萬磅，則依上項假定，涵洞頂部之單位動載重為每平方英尺一二五〇磅。

設  $d$  為涵洞頂板之厚度 [英寸數]，

$E$  為泥土載重，每平方英尺之磅數，

$H$  為路隄在水道頂部以上之高度 [英尺數]，

$h$  為水道淨高度 [英尺數]，

$L$  為動載重每平方英尺之磅數，

$M$  為最大撓幾之 [英寸磅數]，

S 爲涵洞淨跨度英尺數，

w 爲泥土單位體積之重量，即每立方英尺一〇〇磅，

W 爲三和土單位體積之重量，即每立方英尺一五〇磅。

(二) 涵洞之頂板 視涵洞頂板爲兩端固定之梁，則最大撓幾，在頂板上而與側牆內面相對之處，其值等於總載重與跨度之乘積之十二分之一，即

$$M = \frac{1}{12} S (E + L) 12 S + \frac{1}{12} (W - w) \frac{d}{12} S (12 S)$$

$$= S^2 (100 H + L) + \frac{1}{12} (W - w) d S^2$$

$$= S^2 (100 H + L) + 50 \frac{d}{12} S^2$$

$$= S^2 (100 H + L + 50 \frac{d}{12}) \dots \dots \dots (五八)$$

用此式時，可先略去含頂板厚度 d 之一項，以計算頂板之約略厚度。再用此約略厚度之值，以重行



計算厚度。然即將此公式中之含  $d$  一項略去用之，所得結果，亦無大差也。

用鋼骨之量，可為軟鋼百分之一至一·五，或硬鋼百分之〇·七五至一。軟鋼之實用工作應力可作為每平方英寸一二〇〇〇磅至一六〇〇〇磅。三和土之實用應力可作為每平方英寸六五〇磅。

涵洞頂板厚度可用第四章公式（一一）或（一二）求之，視用鋼之量較此章公式（一〇）所示之量為少為多而定。假定較少，則頂板厚度可用公式（一一）算出，即：

$$t^2 = \frac{M}{b f_s p j} \dots\dots\dots (五九)$$

式中  $p$  之值為一，因僅就一英尺長段之涵洞研究之故也； $M$  為由前公式（五八）所得之最大撓幾； $b$  為鋼之實用單位應力； $p$  為鋼之比率； $j$  為八分之七。由公式（五九）算出之厚度，應加一英寸或二英寸，為鋼骨外三和土護層之厚度。

因涵洞頂板非真正兩端固定之梁，故常須假定其最大撓幾較兩端固定之梁為高，可照兩端活動之梁，計算最大撓幾，而取其十分之八用之。此與兩端固定之梁之最大撓幾，約為十二與十之

比也。

(二) 涵洞之底板 涵洞底板常與頂板同，因二者之載重相同，故不須另行計畫也。

(三) 涵洞之側牆 泥土壓力之水平分力可假定為泥土重量之三分之一，即在側牆頂部之水平壓力為  $\frac{1}{3} W$ ，在其底部者為  $\frac{1}{3} W (H + D)$ ，平均為  $\frac{1}{6} W (2H + D)$ 。在側牆中點之撓幾，可作為

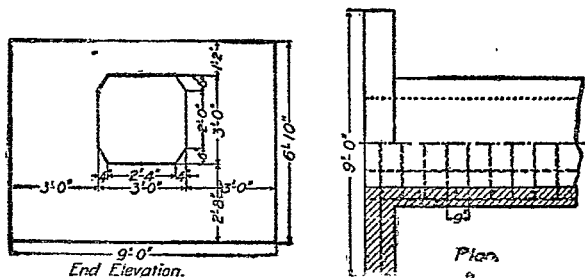
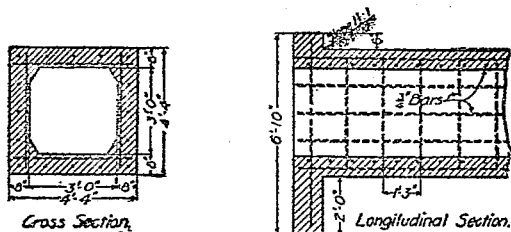
$$M = \frac{1}{72} \cdot W (2H + D) h^2$$

$$= 1.4 (2Hh + h^2) \dots \dots \dots (K \circ)$$

當無大差。既知撓幾，則可算出側牆厚度。

(四) 三和土中剪割力 因涵洞之跨度並不大，故其剪割力頗小，祇須將主要鋼骨之一部分向上彎曲，不用特別布置以抵抗剪割力也。

(五) 附着強度 鋼骨藏在三和土中，應越最大撓幾點而經過長度與其直徑五十倍相等之遠。



鋼骨三和土箱式涵洞 第七十九圖

(六) 縱向鋼骨 箱式涵洞中用縱向鋼骨，可使其在縱向上之強度增高，足以防免泥土支承力不均勻之弊害，故為有益。縱向鋼骨並能阻三和土因收縮而生裂縫也。

第七十九圖所示為鐵路路隄下

鋼骨三和土箱式涵洞之一式。

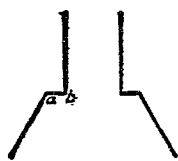
#### 第四節 拱式涵洞

拱式涵洞計畫法 拱式涵洞計

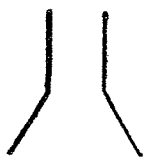
畫時所當注意者，為使其洩水量增至最大限，涵洞不致被漂流草木阻塞，又

涵洞須有充分強度。但此種涵洞常依標準圖樣構造，而不問路隄之高度如何。倘路隄甚高，須有特別計畫者，則當依後第十六章及第十七章之圻工拱原理研究之。

翼牆 拱式涵洞末端之翼牆，安置方法有三種，前已述及。但其最通用者，則為翼牆與涵洞軸



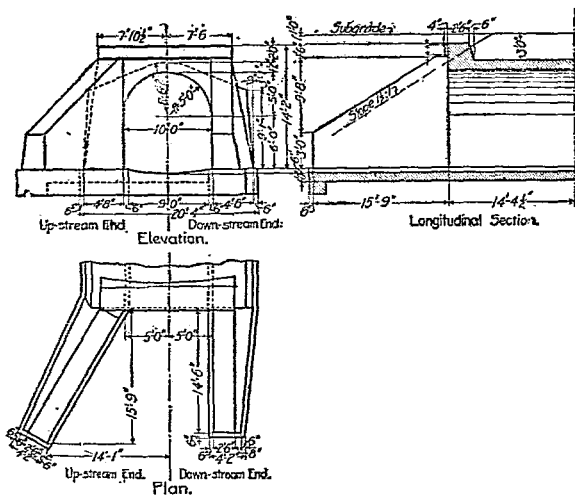
圖十八第  
法合聯身洞與牆翼洞涵



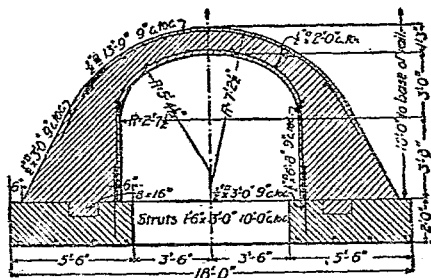
圖一十八第  
法合聯身洞與牆翼洞涵

線成三十度斜交之式。此際翼牆與洞身聯合之法，有第八十圖及第八十一圖所示兩種。石工拱式涵洞，用第八十圖之式者甚多。其翼牆在洞中水道邊線之後，藉免拱圈妨礙翼牆與頭牆之聯合。顧在 a 及 b 兩處之角，既減小涵洞洩水量，又增加其造價，實有妨礙。不似第八十一圖所示者能增加涵洞洩水量也。如第八十一圖式之涵洞，翼牆擴張之度愈小，則洩水愈便利，且洞身被漂浮草木阻塞之機會愈少。三和土拱式涵洞，多依此式。

涵洞剖面形式 造石工拱式涵洞時，半圓形剖面與弧形剖面，孰為合宜，頗有研究價值。以一



洞涵式拱土和三骨無 圖二十八第



洞涵式拱土和三骨鋼 圖三十八第

定分量之石工材料，作拱式涵洞，則以弧形者爲能有最寬之水道；易言之，卽造同一水道寬度之拱式涵洞，則以弧形者所需石工材料爲最少。

造三和土拱式涵洞時，拱中三和土之單價，與涵洞他部無異，故半圓形者與弧形者無分軒輊。

第八十二圖所示爲鐵路路隄下無骨三和土拱式涵洞之一式。

第八十三圖所示爲公路路隄下鋼骨三和土拱式涵洞之一式。

## 第十六章 分塊拱

### 第一節 總論

拱者，受載重之作用，而對於其兩端之支承物（即拱臺）加以向外推力之構造物也。

坊工拱之分類 坊工拱有兩種：一爲分塊拱，其拱環係由若干塊坊工材料砌合而成；一爲整體拱，其拱環係由三和土澆成一體。分塊拱之拱塊，有爲石塊者，有爲三和土塊者，亦有爲磚塊者，俱作成適宜形式，以便砌合。

拱又可分爲無鉸鏈拱及有鉸鏈拱兩種。無鉸鏈拱之末端乃固定者。有鉸鏈拱在拱環中有鉸鏈一處或數處，以作關節。有於拱頂置一鉸鏈者，有於拱臺各置一鉸鏈者，亦有於拱臺各置一鉸鏈又於拱頂置一鉸鏈者。大概以用兩鉸鏈或三鉸鏈者爲多。分塊拱與整體拱俱可作無鉸鏈式，或有

鉸鏈式，惟須在大拱始用有鉸鏈式耳。用鉸鏈之利益在使拱中應力可精確計算，且可節省材料；其缺點在鉸鏈本身造價頗昂，而有鉸鏈拱不及無鉸鏈拱之安定牢固也。

拱之形式 拱之下面與垂直面相交所成之曲線，名曰拱內環線。依此線之形式，拱又可別為圓拱、橢圓拱、雜弧拱及尖拱之數種。如內環線為一半圓，則得半圓拱。如內環線不及一半圓，則得圓弧拱。如內環線由數段圓弧相切而成，則得雜弧拱。如內環線由兩圓弧在跨度中點上相交而成，則得尖拱。

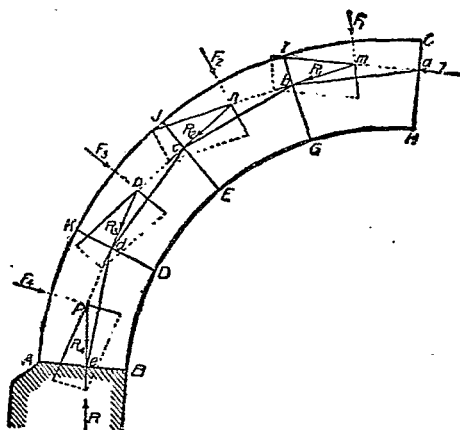
## 第二節 坊工拱安定性之學說

坊工拱安定性之兩種學說 關於坊工拱之安定性，有兩種學說：一為推力線學說，一為彈性變形學說。推力線學說，以拱環之安定性為繫於各拱塊間之摩擦力與反應力。彈性變形學說，視拱為彎曲之梁，其安定性乃繫於作拱材料中之內部應力。雖壓力線學說常用於分塊拱，而彈性變形學說常用於整體拱，然兩種學說俱可用於分塊拱及整體拱。彈性變形學說稍覺複雜而精密，但兩



種學說實無大殊異耳。

推力線學說 今請略論推力線學說之大概。



線力壓之拱塊分 圖四十八第

設將各對相鄰拱塊之間，所有原力及反力，俱作爲單一力，使其全與均勻分布之力相等，則連接諸單一之力之施力點之線，即爲拱之推力線。如以第八十四圖言之，假定圖中半拱，係由水平推力  $T$ （右半拱之反力）施於接縫  $O$  口上  $a$  點者保持平衡。又假定各拱塊接合緊密，而嵌縫膠沙並無附着力  $F_1, F_2, F_3, F_4$ ，諸力各代表相當拱塊所受一切力（包括拱塊本身重量）之合力。拱塊  $OIHQ$  係由  $T, F_1$  及拱塊  $IJEQ$  之反力三者保持平衡。故此三力必交於一點，而  $R_1$ （即拱塊  $OIGH$  與  $IJEG$  間壓力之合力）之

方向可以用圖解法求得，如圖所示。 $R_1$ 之施力點在  $b$ ，即  $R_1$  與接縫  $QI$  相交之處。拱塊  $HI$  係由  $R_1$ 、 $F_2$  及  $R_2$ （即拱塊  $CEQI$  及  $CEHI$  間壓力之合力）三者保持平衡，故  $R_2$  之方向，分量及施力點（ $O$ ）俱可如圖求得。求  $R_3$  及  $R_4$  法與  $R_1$  及  $R_2$  相同。 $a, b, c, d, e$  諸點，名曰壓力中心點，乃諸接縫所受均勻分布壓力之合力之施力點，亦可視為諸接縫之抵抗力中心點。就前一項言之， $e, c, a, b, c, a$  線當稱為壓力線，就後一項言之，則此線當稱為抵抗力線。若細加辨析，則抵抗力線實為外切於  $e, c, a, b, c, a$  多角形邊線之連續曲線。接縫之數愈多，則此多角形邊線愈與外切曲線相近也。

分塊拱之破壞，可有三種情形：一為拱塊壓碎。二為相鄰拱塊間滑動。三為拱塊沿接縫邊翻轉。欲免拱塊壓碎，則抵抗力線與各接縫之交點，應離拱之內邊線與外邊線頗遠，庶最大壓力小於圯工之壓碎強度。欲免滑動，則抵抗力線與任何接縫上之正交線間所包之角，應較拱塊間摩擦角為大。欲免拱塊顛覆，則抵抗力線應恆不出拱內邊線與拱外邊線之範圍。

欲定拱之三項安定性，必先知其抵抗力線之位置，或其位置之範圍。如此則必先知拱所受一切外力以及拱頂推力。但各拱塊所受外力之分量，施力點，與其方向，既不能精密決定，而拱頂推力

亦然，故須加以假定。是以學者關於分塊拱之學說頗多，其所據假定原理，往往殊異。要之憑藉此種學說，所得結果，祇可謂為近似正確，而不能完全精密。蓋此種學說未確定外力之量與分布，未確定抵抗力線之直正位置，未顧及膠沙之附着性與圬工材料之彈性，而圬工之強度究屬如何，亦尚無充分考驗，且因作拱材料質地之變化，工人製作拱塊之粗疏，拱架之作用，拱臺之擴張，及基礎之下陷等，分塊拱之應力遂不能決定，凡此種種事物無法用算式正確表示也。關於分塊拱之學說，重要者為所謂合理學說，最為通用，今因限於篇幅，姑從闕略。

## 第二節 實驗規律

前已述及，拱之學說，俱有假定之事項，而所得結果，不能精密。且此種學說，不能計及動載重，故在動載重較靜載重為大之處，根據學說所作計畫，即難適用。顧在實際上，因有種種實在構造物可作為研究分塊拱安定性之根據，且有種種因安定性不足而破壞之拱，尤可為前車之鑒，故分塊拱之計畫，尚非極難。惟根據經驗，以作計畫，仍須用學說以考核之耳。

實驗規律 關於拱之實驗公式頗多。但有當注意者，即此種公式祇表示合於公式之構造物可稱安全，至於其安全程度，究屬如何，則無能測知。此種公式常僅表明拱之主要尺度間之關係，惟拱之安定性，實不能單就尺度察出，蓋如載重之情形，工料之美惡，拱架構造拆卸情形，拱臺之擴張，基礎之下陷等，咸足以發生影響也。今將數種重要之實驗規律，分述如下：

在拱頂處拱之厚度 在計畫分塊拱時，第一步為決定拱頂之厚度。

設  $d$  為拱頂厚度，以英尺計；

$p$  為拱內邊線彎度之半徑，以英尺計；

$r$  為拱之高度，以英尺計；

$s$  為拱之跨度，以英尺計。

(1) 美國習慣 特刺廷 (Trautvime) 氏第一等琢石圓拱或橢圓拱拱頂厚度公式如下：

$$d = \frac{1}{4} \sqrt{p + \frac{1}{2}s + 0.2} \dots \dots \dots (六1)$$

第二等石工拱，厚度可增加八分之一。磚拱或普通未琢石拱，厚度可增加三分之一。

(二)英國習慣 郎青 (Rankine) 氏單拱拱頂厚度公式如下：

$$d = \sqrt{0.12^2 p} \dots\dots\dots (六二)$$

其成列拱拱頂厚度公式如下：

$$d = \sqrt{0.17 p} \dots\dots\dots (六三)$$

其隧道拱拱頂厚度之公式如下：

$$d = \sqrt{0.12 \frac{r^2}{s}} \dots\dots\dots (六四)$$

公式 (六四) 用於地質堅實之處。如土壤鬆軟，則當取二倍公式 (六四) 之值。

(三)法國習慣 貝龍訥 (Peronnet) 氏於所著書中，立有拱之公式，其形式不一。下所示者，人常引用之。

$$d = 1 + 0.035 s \dots\dots\dots (六五)$$

說者謂此公式適用各種形式之拱。

在起拱線處拱之厚度 分塊拱諸接縫中，有在拱外邊線處發生開張趨勢者，此名曰危險接

縫。拱之有危險接縫，正如梁之有危險剖面。在實際上，危險接縫無異於起拱線，因此接縫以下之材料，可作為拱臺之一部分故也。決定危險接縫，當用拱之學說，今不具述。惟有當知者，即危險接縫與拱頂垂直線間之角，常在四十五度至六十度之間。在拱頂與危險接縫面間各接縫之垂直投影長度，應與拱頂厚度相等，以公式表示之，即

$$l = d \sec a \dots\dots\dots (六六)$$

式中  $l$  為接縫之長度， $d$  為拱頂厚度， $a$  為接縫與垂直線間之角度。

拱臺之厚度 特刺廷氏之公式如下：

$$t = 0.2 p + 0.1 r + 2.0 \dots\dots\dots (六七)$$

式中  $t$  為起拱線處拱臺之厚度， $l$  為拱內邊線彎度之半徑， $r$  為拱之高度，俱以英尺計。此公式對於最小涵洞以至最大橋梁，均屬適用，且不問高度與跨度之關係以及拱臺之高度。無論拱環上方係用圬工接造，至與拱頂齊平，抑或加泥土填平，此公式俱可用。如在小橋或在鐵路大涵洞，有急行重車經過者，可將拱臺厚度較上式所示者加大四分之一。如拱臺係用未琢粗石造成，可較上式

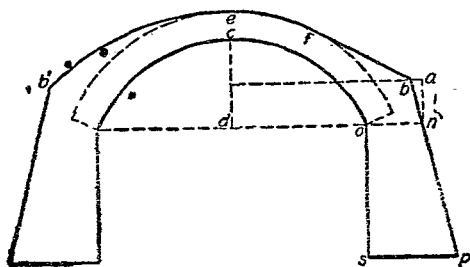
所示者加厚六英寸。

求拱臺底部之厚度可依第八十五圖，作  $on$  線與上式所示之  $t$  相等。在穿過  $n$  之垂直線上，取

$an$  等於拱之高度之半，在穿過  $n$  之水平線上，取  $ab$  等於跨度之四十八分之一。延長  $bn$  線，至與拱臺底線  $sp$  相交於  $p$ ，如  $sp$  不小於拱臺高度  $os$  之三分之二，則  $bp$  線即拱臺之背面線。僅拱之跨度甚高時， $sp$  間或不及此限。如拱臺甚高，則依上法求得之拱臺，始嫌薄弱耳。

求拱之全部厚度，係先求出  $ce$  之厚度，次作一曲線，與拱內邊線平行。復次，作  $bf$  線，與拱外邊線相切，則  $pfo$  表示拱環上圻工之頂面也。

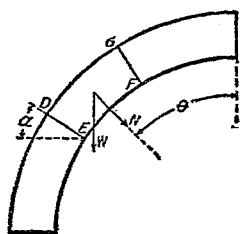
#### 第四節 拱架



法度厚部底臺拱求 圖五十八第

總論 拱架爲造拱時暫時支承拱身之構造物。拱架常由若干肋條框合成，此種框之平面與拱之軸線成垂直，各框相距數英尺。框上蓋以窄木板，與拱之軸線平行。諸拱塊即支承在拱架木板上。拱架常用木料造成。拱架可分爲兩種。一種爲在拱下留有舟車通過之路者，一種則否。

拱架之構造 拱架之構造裝置與拆卸，乃造拱工程中之重要部分。拱架之工料須求節省，且須求其拆卸後之作廢料者無多。然拱架裝置須結實堅固，形式毫無改移，庶拱內邊線與抵抗力線不致變易而危及拱身。又拱架在拆卸時，須能隨意移動，而不令拱身震動也。



圖六十八第 拱架所受壓力

拱架上之載重 計畫拱架時，當先求拱架上之載重。設在第八十六圖， $a$  爲接縫  $DE$  與水平線間之角， $\mu$  爲摩擦係數，即安息角之正切， $\theta$  爲任何一點至拱頂間之角距離， $W$  爲拱塊  $DEFG$  之重量， $N$  爲拱架所受依徑壓力，即拱塊重量所生者，因  $D$  接縫上有摩擦力，故

$$N = W (\sin a - \mu \cos a) \dots\dots\dots (六十八)$$



公式(六八)所示  $N$  之值較實際之值爲大，因拱環與拱架間之摩擦力足以減小  $\mu$  之接縫之壓力故也。

由起拱線起，沿拱環上行，各拱塊間壓力逐漸減少，至近拱頂處，則壓力之減小極速，而拱塊間摩擦力乃可忽略不計。此際拱架所受壓力，當以下式表示：

$$N = W \cos \theta \dots\dots\dots (六九)$$

公式(六九)中摩擦係數之值，如不計及膠沙之附着力，可自  $0 \cdot 4$  至  $0 \cdot 8$ ，如計及之，則可大逾一。平均可作爲  $0 \cdot 58$ ，易言之，即安息角爲三十度。

在公式(六八)，如  $\tan a = W$ ，則  $N = 0$ 。易言之，即如  $a = 30^\circ$ ，則  $N = 0$ 。由此可知，如

拱塊自起拱線處向上加砌，在拱塊下面與水平相交之角未及三十度時，拱塊對於拱架並無壓力。在拱塊下面與水平相交之角成三十度之處起，至此角成六十度之處止，當用公式(六八)以計算拱架所受壓力。迨此角過六十度，以抵拱頂，則當改用公式(六九)以計算拱架所受壓力也。

拱框造法 拱架由拱框及蓋板合成。拱框造法有數種。



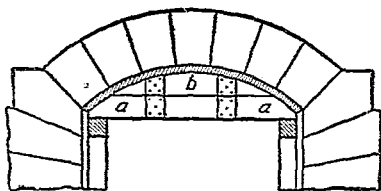
圖九十八第  
置裝條撐框拱



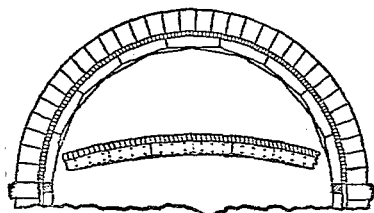
圖十九第  
置裝條撐框拱



圖一十九第  
置裝條撐框拱



框拱板木 圖七十八第



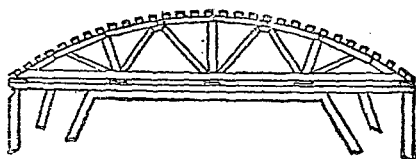
框拱合併板木 圖八十八第

(一)木板拱框,如第八十七圖所示,適用於跨度在十英尺以下之圓弧拱。係以十英寸或十二英寸寬,一英寸半或二英寸厚木板兩塊,上下相疊,作成拱內邊線形式,以短木板夾住釘實。各肋條間相距二英尺或三英尺。

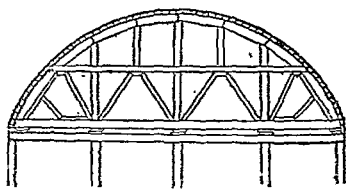
(二)木板拚合拱框,為第八十八圖所示,適用於跨度十英尺至三十英尺之半圓拱或圓弧拱。係以二英寸厚短木板兩層或三層聯接而成。各框相距可有一英尺半。

(三)木板撐條拱框,適用於跨度

便砌置拱塊後，拱架受壓下彎，得保持所需形式。通常凸起之量係以半徑之四百分之一為準。但此量在堅實拱架實嫌過大。另法係依照實在應有形式構造拱架，務求剛勁，以免下彎，倘有下彎，則將拆架木楔敲緊。此法似較優也。



框拱架構 圖二十九第



框拱架構 圖三十九第

十五英尺至三十英尺之半圓拱。係用一英寸或二英寸厚木板兩層作成弧板，聯結而成，而以水平及垂直撐條支撐之。撐條裝置法可如第八十九圖至第九十一圖所示，以增加拱框之剛強不撓之性。

(四) 構架拱框如第九十二圖及第九十三圖所示，適用於跨度過長不適用前數種拱框之處。

拱架之凸起 拱架應向上凸起，以

拆卸拱架法 拆卸拱架之法有數種。各拱樞之末端，通常擱在一木條上，此木條與起拱線成平行，而以拆架木楔支承之。此木楔係以硬木作成，擱在又一木條上，此木條則以木柱支承之。通常在每一拱樞之兩端，各有木柱一根。木楔係由一對拼合而成，長一英尺至二英尺，寬六英寸，其斜度爲一比五至一比十。各拱樞之兩端，各有木楔。將木楔之一對向後打擊，則拱樞下陷。木楔之打擊須緩，庶拱樞之下陷亦緩。各木楔須在同時敲擊，移動相同距離，可於木楔上作記號以爲移動距離之標準。此種拆架木楔，用者最多。此外拆卸拱架之法有聯合木楔法，沙筒支柱法，軟質木料壓碎塊法等。茲姑從略。

拆卸拱架之遲速 拆卸拱架之遲速，學者議論不一。有謂拱環砌成，拱上填滿土石，即可拆卸者；有謂須待膠沙凝結堅固者。大概拱頂塊一經砌置，即將拱架放鬆，可使各接縫俱受壓力，最爲良法。惟在磚拱及未琢石拱，多用膠沙砌縫，則拆卸拱架不宜過早，以免膠沙被擠出，而拱環有變形之弊，須待膠沙凝結堅固，且強度已高時，始可行之。通常橋梁拱架，在橋身造成後三四月方拆去，而隧道，穢水管，涵洞之拱架，則可於拱環砌成，上面填置土石及半時，即拆去之。

## 第五節 拱之施工法

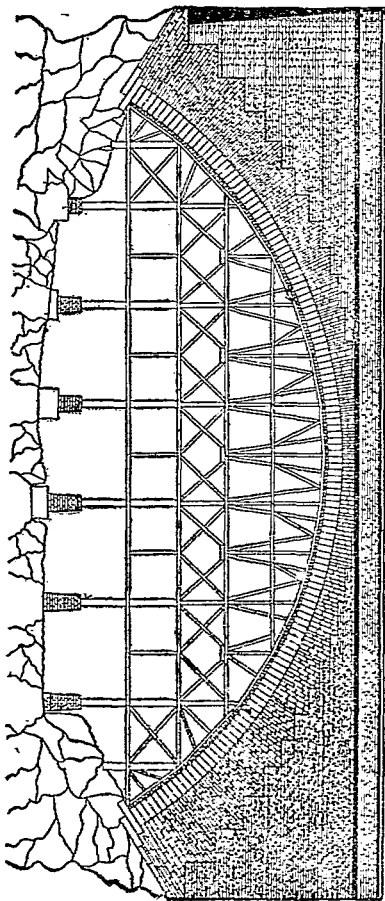
今就拱之施工方法，略述數事於下。

填背 拱環本身之上方及外方，須用次等石工填滿，以增加堅固之性。此名曰填背。常為分層或不分層未琢石工，有時用三和土。拱塊之上端，有時琢成水平面，則填背亦可分層砌置，深度與此種拱塊階級相同，接合緊密。有時填背之分層，方向係沿拱之半徑。但不如成水平層者之較為普通。有時填背在拱頂處分層極薄，愈下愈厚。有時在拱頂處分層已厚，而在起拱線處則更厚也。

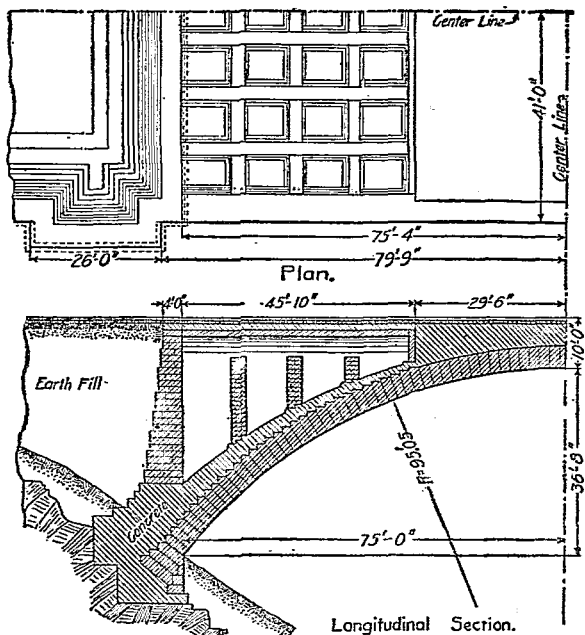
拱上路面須略成水平，而不可過陡，故在拱背上尚須加填材料甚多，以使路面平坦，此種材料，可用泥土，卵石，碎石，煤灰等。有時則於拱背上造成小拱，留出中空地位，以減少材料，并減少拱上載重。

分塊拱之例 第九十四圖之分塊拱橋，為美國華盛頓附近之寇賓約翰拱橋 (Cabin John Arch)。上有九英尺徑之水溝管及二十英尺寬之馬車路。此拱乃半圓拱，其跨度為二二〇英尺，高

五七・三英尺，拱環在拱頂處厚四・二英尺，在起拱線處厚六・二英尺。拱環半徑為一三四・三英尺。拱環用花剛石。拱背則用沙石。



橋拱論約實經順歷華國美圖四十九第



圖五十九第

第九十五圖之拱橋爲  
 美國匹茲堡 (Pittsbury)  
 城斯刻雷公園 (Schenley  
 Park) 門前之貝耳飛爾德  
 橋 (Belleville Bridge) 此  
 拱乃半圓拱。其跨度爲一五  
 〇英尺，高三六·六英尺，拱  
 環在拱頂處厚四英尺，在起  
 拱線處厚六英尺。拱環半徑  
 爲九五英尺。

## 第十七章 彈性拱

彈性拱係以作拱材料之內部應力支持所受載重者。凡分塊拱之抵抗力線未出其中中央三分之一段以外者，卽未發生牽引力者，其作用卽與彈性拱相同。無論分塊拱或整體拱，其最大牽引力未逾膠沙之安全牽引強度或三和土之彈限者，其作用亦卽與彈性拱相同。前章所論之拱，其得以保持平衡，係恃其抵抗擠壓之力與摩擦力。本章所論之拱，其得以保持平衡，則恃其抵抗擠壓與撓曲合併作用之力，易言之，卽視拱環爲彎曲梁也。

今請先研究兩端固定無骨三和土拱之計畫法，再就計畫鋼骨三和土拱及有鉸鏈時應加變通之處論之。

### 第一節 兩端固定之無骨三和土拱



彈性拱之計畫法，與分塊拱相似，亦係先參酌現有之拱，或據實驗公式，假定拱環之尺度，然後依理論以計算應力。倘應力較安全應力為大，則更改尺度而再試之，至不逾限為度。

外力 計畫彈性拱時，其所受外力，恆假定全為垂直力。如此略去水平力不計，不僅使計畫法簡單，且可提高拱之安定性。

兩端固定拱之條件 拱之兩端固定，則符合於下述三事：（一）拱環中性軸線兩端之切線之傾斜度，不因受載重而變化；（二）兩拱臺之相對高度不變化；（三）拱環中性軸線之跨度不變化。

依彈性理論以攷驗拱，即係求出拱環之抵抗力線（即線拱）能合於上述三條件者，而同時據此線以定拱環應力是否不逾安全應力範圍也。

以算式表示條件 上述三項條件，欲求其能供攷驗拱環之用，須用算式表示之。設  $A$  及  $B$  為拱環之兩端， $M$  為此拱環上任何剖面至  $A$  端間所有外力對於此剖面與中性軸線交點之撓幾， $E$  為拱環中性軸線之長度， $E$  為材料之彈性係數， $I$  為拱環橫剖面對於中性軸線之惰幾， $x$  為此剖

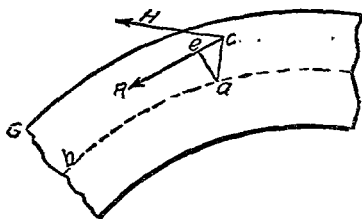
面與中性軸線交點對於拱環跨度中點之水平距離， $y$  爲此剖面與中性軸線交點在穿過兩拱臺間水平線以上之垂直距離。則上述三條件可改書爲：

$$\int_A^B \frac{M_x d s}{E I} = 0 \dots\dots\dots (七〇)$$

$$\int_A^B \frac{M_y d s}{E I} = 0 \dots\dots\dots (七一)$$

$$\int_A^B \frac{M_z d s}{E I} = 0 \dots\dots\dots (七二)$$

條件方程式之由繁化簡 據彈性理論攷驗拱環，以用圖解法爲便利。故上列三公式尙須加以變通，方便於應用。此三式中俱有  $\rho$  及  $I$  一項，其  $\rho$  及  $I$  俱隨在拱環中位置而變化。爲將拱環之中性軸線分爲若干短段  $\Delta s$ ，恰使  $\Delta s \cdot I$  爲定值者，則可將有定值之  $\Delta s \cdot I$  納入三式中，置於積分符號之外，以代無定值之  $\rho$  及  $I$ 。三和土之彈性係數  $E$  隨單位載重而變化，但在尋常安全應力範圍內，其變化尙不大，故亦可作爲定值，而移置於三式積分符號之外。於是三式可改書爲：



第九十六圖之拱圖解研究

$$MM = 0 \dots\dots\dots (七三)$$

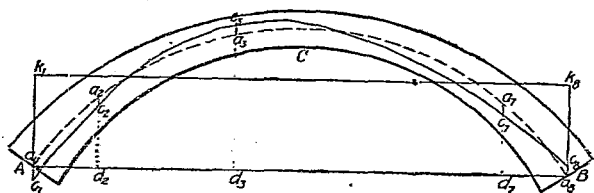
$$MM \cdot x = 0 \dots\dots\dots (七四)$$

$$MM \cdot y = 0 \dots\dots\dots (七五)$$

以圖解法表明條件方程式 欲以此三式用於拱之圖解研究法，須將M以圖解法表明。在第

九十六圖中，設GJ為拱環之一段，ab為中性軸線，ac為一垂直線，ce為平衡多邊形與此段中性軸線相鄰之一邊，ae為由a起對於ce線之垂直線。設R表示沿ce線作用之力之量，R即在力圖中與平衡多邊形ce線平行之力線之長度。設H為R之水平分力，即H為力圖中之真正極點距離。

R力有使拱環撓曲之勢，而其對於a點之撓幾M則為R·ae。照但依相似三角形定理，R·ae ∥ H·ee，易言之，即在拱環中任何剖面由垂直載重而生之撓幾，等於真正極點距離乘以真正平



圖七十九第 拱之圖解研究

衡多邊形與拱環中性軸線間垂直距離之積。以上述  $M$  之值，代入公式 (七三) (七四) (七五) 中，則得下列三式：

$$\sum B A c o = 0 \dots\dots\dots (七六)$$

$$\sum B A c o \cdot x = 0 \dots\dots\dots (七七)$$

$$\sum B A c o \cdot y = 0 \dots\dots\dots (七八)$$

式中無  $H$  者，以對於任何一組特別載重， $H$  之值不生變化故也。式中  $ac$  表示真正平衡多邊形與拱環中性軸線間垂直距離， $x$  表示自跨度中點起至拱環上任何點之水平距離， $y$  表示任何點在穿過兩拱臺間水平線以上之垂直距離。

條件方程式之應合法 在第九十七圖中令  $a_1 \dots\dots a_8$  表示拱環之中性軸線， $c_1 \dots\dots c_8$  表示真正平衡多邊形，而

$k_1, \dots, k_n$  表示準則軸線。則在任何點

$$a_0 = c_0 k - a_k \dots \dots \dots \text{(甲)}$$

以(甲)式積分, 并注意  $M_{a_0} = 0$ , 得

$$M_{a_0} = M_0 c_0 k - M a_k = 0, \text{即 } M_0 c_0 k = M a_k \dots \dots \dots \text{(七九)}$$

以  $x$  乘(甲)式, 并積分, 得

$$M_{a_0} \cdot x = M_0 c_0 k \cdot x - M a_k \cdot x = 0, \text{即 } M_0 c_0 k \cdot x = M a_k \cdot x \dots \dots \dots \text{(八〇)}$$

仿此, 得

$$M_{a_0} \cdot y = M_0 c_0 k \cdot y - M a_k \cdot y = 0, \text{即 } M_0 c_0 k \cdot y = M a_k \cdot y \dots \dots \dots \text{(八一)}$$

是以如拱環能合於方程式(七九)、(八〇)及(八一), 則能合於方程式(七六)、(七

七)及(七八), 即能合於彈性拱之三條件。又如軸線  $F_1, \dots, F_n$  之位置恰使

$$M_{a_k} = 0, \dots \dots \dots \text{(八二)}$$

$$M_{c_k} = 0, \dots \dots \dots \text{(八三)}$$

$$M a k \cdot k = 0 \dots\dots\dots (八四)$$

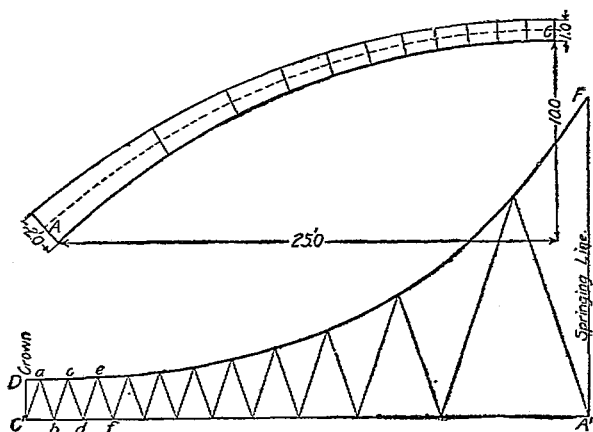
$$M o k \cdot k = 0 \dots\dots\dots (八五)$$

則拱環可與方程式(七九)及(八〇)相合。

是以欲決定一平衡多邊形使符合(七六)(七七)(七八)三式,可依下述程序爲之(一)將拱環分成若干短段,恰令  $\Delta a \cdot I$  具有定值。(二)求一準則軸線,恰令  $M a k \parallel 0$  及  $M a k \cdot k = 0$ 。

(三)作一平衡多邊形,恰令  $M o k \parallel 0$ ,  $M o k \cdot k = 0$  及  $M o k \cdot y = M a k \cdot y$ 。

(一)將拱環分成若干短段,恰令  $\Delta a \cdot I$  具有定值,其法不一。下述圖解法乃最簡單者。先將拱環之半之中性軸線分爲相等之五段或十段。次將此線依照比例尺,改作直線,如第九十八圖之  $A_1 C_1$  直線。將此直線亦分爲相等之五段或十段。在  $A_1 C_1$  線上各分段點,作垂直線,其長度表示  $\Delta C$  拱環上相當分段點之情幾。作整齊曲線  $D E$  連接各垂直線之頂點。則可假定此曲線之任何縱距線,即與拱環上相當點之情幾成比例。由  $C_1$  點起,依任何傾斜度,作  $C_1 a$  線,與曲線相交於  $a$ ; 繼自  $a$  點起,依同一傾斜度,作  $a, b$  線,與  $C_1 A_1$  線相交於  $b$ 。如是繼續作諸等邊三角形,其兩邊之傾



第九十八圖 拱環分段法

斜度與前相同。於是  $A'C$  線（即改成直線之拱環線）乃分爲  $Cb, b, d, d, f$  等若干段。各段之長度，除以其中心點之情幾，乃一常數，即  $\Delta = \frac{1}{2} I \tan \alpha$  而爲一常數，蓋  $\alpha$  乃各等邊三角形兩邊與垂直線間之角，其值有定也。若欲將拱環中性軸線依照預定之數，分爲若干段，則可繼續試分，每次酌改等邊三角形邊線之傾斜度，至恰得所需段數爲止。

(1) 定第九十七圖中準則軸線  $E_1F_1$  以令  $M a E_1 \parallel O$  及  $M a E_1 \cdot X \parallel O$ ，法如下述。因聯接兩拱臺之線  $AB$  爲水平線，故在此  $AB$  線上作水平線  $E_1, E_2$ ，其高度爲中性軸線縱距之

平均值，則  $M a k \parallel 0$ ；易言之，即如以  $n$  表示拱環分段之數，而  $a_1 k_1 \parallel M a d \perp (n+2)$ ，則此  $k_1 k_2$  線與公式 (八二)，即  $M a k \parallel 0$  相符合。

依經過拱頂之垂直線言之，拱環乃對稱者，又依拱頂言之，拱環上分段諸點亦屬對稱者。因此之故， $k_1 k_2$  線亦與公式 (八四)，即  $M a k \cdot x \parallel 0$  相符合。

方程式 (七八)，(八三)，及 (八五) 均涉及平衡多邊形，故須先定平衡多邊形，始能得與三方程式相符合之情形。

(三) 於第九十七圖中  $F_1 F_2$  線上，作一平衡多邊形，使與  $M o k \parallel 0, M o k \cdot x \parallel 0, M o k \cdot y = M a k \cdot y$  三式相合。其法可舉例以說明之。

設欲造一弧形無骨三和土拱，其假定之尺度如第九十九圖所示。今就一英尺寬之拱環研究之。

第一步為將拱環之中性軸線分為十七段，恰使各段長度除以橫剖面惰幾所得之商為定值。次依此將拱環分段，而計算各段之靜載重及動載重。以後須在圖上量出平衡多邊形與拱環中性





段之靜載重與動載重，則依此作成之平衡多邊形，其各邊殆可在穿過  $a_1, a_2$  等點諸垂直線上，恰與抵抗力線相切，而此穿過  $a_1, a_2$  等點諸垂直線，即計量平衡多邊形與中性軸線垂直距離時所用之線也。

繪製真正平衡多邊形時，第一步為作一試用平衡多邊形。拱環之載重如第九十九圖所示。今重繪放大，如第一百圖所示。

作試用平衡多邊形之法，為先繪載重線  $1 \dots 19$ ，以表示諸載重。次選定一試用極點，宜使極點距離為一整數，如一萬，二萬之類，而略與載重線上分成兩反力之點相對。真正極點距離，可以納維厄氏原理 (Navier's principle) 即線拱上任何正面受壓點之推力，等於彎度半徑與此點單位壓力之積之原理，施於拱頂，而算出之。此際算出之推力為  $(2 \times 150 + 2 \times 100 + 100) \times 36.2 = 21749$  磅，是以試用極點距離，宜為二萬磅，而極點宜位於載重線中心點  $P'$  之下少許。復次，繪諸力線。復次，作試用平衡多邊形  $b_1 \dots b_2 \dots b_{18}$ 。復次，作一線自  $v$  (即  $b_1$ ) 至  $v_{18}$  (即  $b_{18}$ )；又自  $b_2, b_3$  等點作垂直於  $v_{18}$  之線，而將諸交點用  $v_2 \dots v_3 \dots v_{17}$  等表示之。

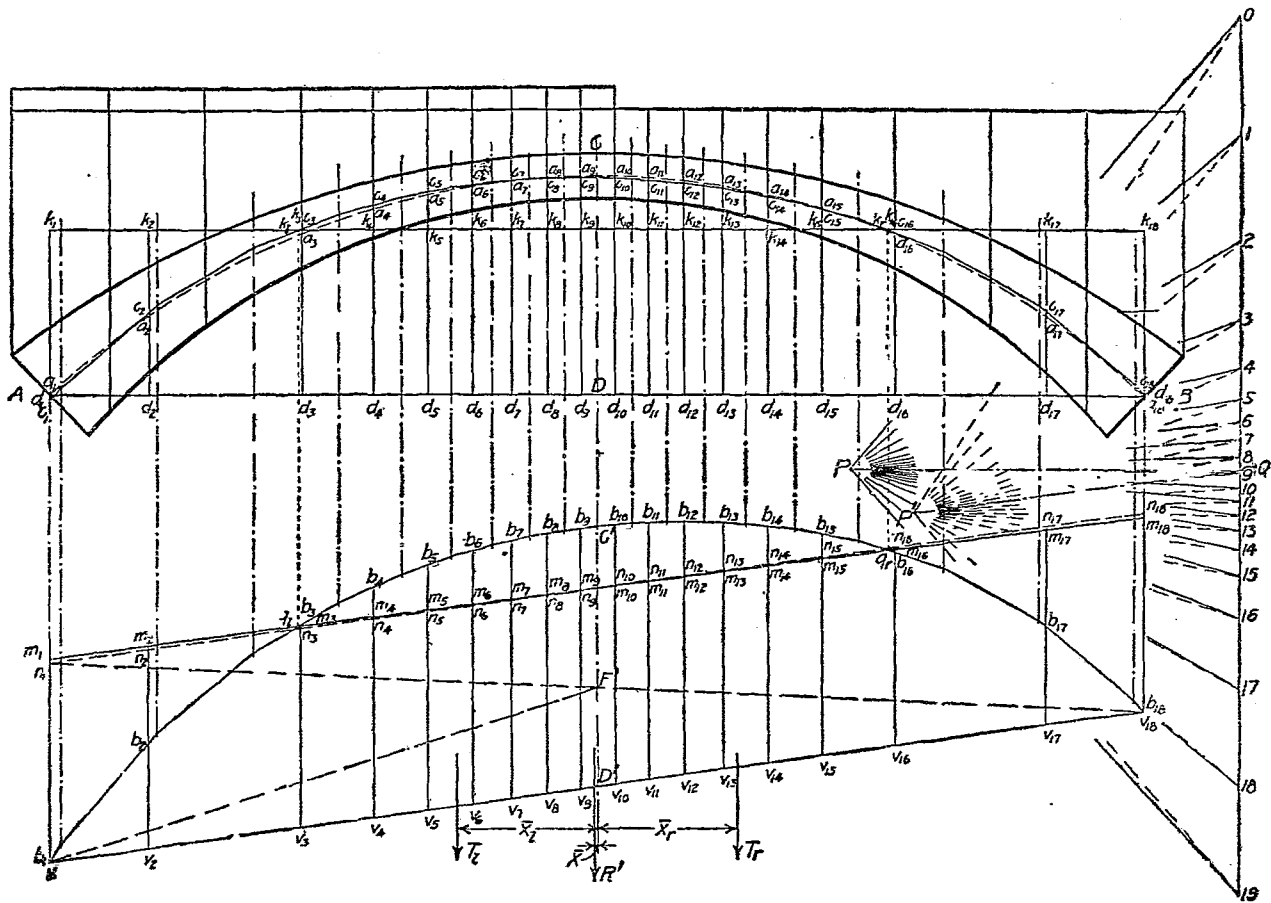


圖 百 一 第

如拱之兩端 A 及 B 有鉸鏈，或其支承法甚簡單，則在此兩點無撓幾，故平衡多邊形之閉合線當與 AB 線平行，而真正平衡多邊形甚易求出。但今則不然，拱之兩端固定，故在各拱臺處有撓幾，而閉合線之位置乃屬未明，於是真正平衡多邊形不能用常法求出。

(四) 試用平衡多邊形 求真正平衡多邊形之第一步方法，為求出試用平衡多邊形  $b_1 \dots b_n$  之閉合線  $m \dots m_{180}$ 。因在兩端固定之拱環上各點之力幾之總量為零，又因平衡多邊形之縱距與力幾成比例，故閉合線之位置，係恰令此線與平衡多邊形間之距離為零，亦即閉合線應符合之條件為  $M \Sigma = 0$ ，或其相等式

$$M (b_1 m_1 + b_2 m_2 \dots b_{17} m_{17} + b_{18} m_{18}) = 0$$

但上列條件尚不足以決定閉合線之位置，因原有無數之線合於此條件故也。別求一條條件，以決定閉合線之位置，則有前述方程式 (七四) 之條件，即  $M \Sigma \cdot \kappa = 0$ ，或其相等式

$$M (b_1 m_1 \cdot x_1 + b_2 m_2 \cdot x_2 \dots b_{17} m_{17} \cdot x_{17} + b_{18} m_{18} \cdot x_{18}) = 0$$

欲明如何利用此兩條件以定閉合線之位置，可將此問題重述如下：如單就試用平衡多邊形

研究之，而不問其與拱環之關係，則  $b_1, v_1, \dots, b_g, v_g, \dots, b_{1g}, v_{1g}, \dots, b_{1g}, v_{1g}, \dots$  諸距離，可當作力看待。於是於閉合線位置之問題可視為須加如何一組負力於正力  $b_1, v_1, \dots, b_g, v_g, \dots, b_{1g}, v_{1g}, \dots$  等，方能符合  $M \parallel 0$  及  $M \cdot \kappa \parallel 0$  之條件，即  $M b \parallel 0, M v \parallel 0$  之條件。因力幾之總量須等於零，即  $M b \parallel 0$ ，故負力總量必等於正力總量；又因  $M b \cdot \kappa \parallel 0$ ，故負力之合力必與正力之合力在同一直線上。依據上述原理，乃能求出正力之合力，再求出試用平衡多邊形之閉合線。

第十五表載有拱環中性軸線與諸載重施力線相交點之橫距  $x$  及縱距  $y$  之值，以及各種距離及乘積之值。橫距及縱距之原點在跨度之中點，所以便於計算也。

(五) 求合力法 求諸正力之合力  $R'$  之量，即  $b_1, v_1, \dots, b_{1g}, v_{1g}, \dots$  之總和，可自表中求之，其值為一六四·七一。

求合力之位置，係先算出諸  $b, v, \kappa$  之總和之值，後以諸  $b, v$  之總和之值除之。檢表，諸  $b, v, \kappa$  之總和之值為負一九·四，除以一六四·七一，得負〇·一二英尺。是以  $R'$  在  $O$  之左，即在載重較大之一邊，與拱環中線相距  $0 \cdot 12$  英尺，易言之，即  $\kappa \parallel -0 \cdot 12$  英尺也。

第十五表 求真正平衡多邊形之各種數值

點	拱環之中性軸線		試用平衡多邊形				真正平衡多邊形				
	自跨度線中點量起之縱距及橫距		縱距		乘積		縱距		乘積		$\frac{\sum ak \cdot y}{\sum bm \cdot y} = ck$
	x	y	bv	$n_1 F' v_1 = f$	bv · x	f · x	bm	ak	bm · y	ak · y	
1	- 25.00	0.00	0.00	9.14	- 0.0	- 228.5	+ 9.31	+ 7.57	+ 0.00	+ 0.00	+ 7.81
2	- 20.48	3.68	4.82	7.49	- 98.8	- 153.4	+ 4.49	+ 3.89	+ 16.52	+ 14.31	+ 3.77
3	- 13.53	7.40	9.28	4.97	- 125.6	- 67.3	- 0.03	+ 0.17	- 0.22	+ 1.26	- 0.02
4	- 10.22	8.54	10.59	3.75	- 108.3	- 38.4	- 1.36	- 0.97	- 11.60	- 8.28	- 1.14
5	- 7.77	9.18	11.28	2.83	- 87.7	- 22.0	- 2.06	- 1.61	- 18.92	- 14.79	- 1.73
6	- 5.74	9.57	11.64	2.09	- 66.8	- 12.0	- 2.46	- 2.00	- 23.53	- 19.14	- 2.06
7	- 3.97	9.80	11.86	1.44	- 47.1	- 5.7	- 2.68	- 2.23	- 26.27	- 21.87	- 2.24
8	- 2.32	9.94	11.94	0.85	- 27.7	- 2.0	- 2.79	- 2.37	- 27.72	- 23.55	- 2.34
9	- 0.77	9.999	11.99	0.28	- 9.2	- 0.2	- 2.82	- 2.43	- 28.20	- 24.30	- 2.36
拱頂	0.00	10.00									
10	+ 0.77	9.999	11.92		+ 9.2		- 2.78	- 2.43	- 27.80	- 24.30	- 2.33
11	+ 2.32	9.94	11.81		+ 27.4		- 2.68	- 2.37	- 26.63	- 23.55	- 2.25
12	+ 3.97	9.80	11.63		+ 46.2		- 2.50	- 2.23	- 24.50	- 21.87	- 2.10
13	+ 5.74	9.57	11.35		+ 65.2		- 2.25	- 2.00	- 21.52	- 19.14	- 1.88
14	+ 7.77	9.18	10.90		+ 84.7		- 1.83	- 1.61	- 16.82	- 14.79	- 1.53
15	+ 10.22	8.54	10.20		+ 104.3		- 1.13	- 0.97	- 9.65	- 8.28	- 0.95
16	+ 13.53	7.40	8.90		+ 120.6		+ 0.12	+ 0.17	+ 0.89	+ 1.26	+ 0.10
17	+ 20.48	3.68	4.60		+ 94.2		+ 4.40	+ 3.89	+ 16.19	+ 14.31	+ 3.70
18	+ 25.00	0.00	0.00		+ 0.0		+ 8.97	+ 7.57	+ 0.00	+ 0.00	+ 7.53
Σ			164.71		- 19.4	- 529.5	- 0.08	+ 0.04	- 229.78	- 192.72	- 0.02

求試用平衡多邊形之閉合線 繼此當求一閉合線，使由此線至  $V_1 \dots V_9 \dots V_{18}$  間諸縱距如視作諸力，其合力恰等於  $R'$ ，而與之在同一直線上。今先作一試用閉合線  $H_1 H_{18}$  與  $V_1 V_{18}$  成平行，恰使  $V_1 H_1$  與諸縱距  $b$  之平均值相等，即  $V_1 H_1 = V_{18} H_{18} = R' + (16 + 2) = +9.15$  英尺。

前已言及，諸縱距  $V_1 H_1 \dots V_{18} H_{18}$  可視作表示加於諸正力則得閉合線  $H_1 H_{18}$  之諸負力。如作  $H_1 V_1$ ， $H_1 V_{18}$  及  $H_{18} V_{18}$  三線，則負力總量可視為由三角形  $H_1 V_{18} V_1$  及三角形  $H_1 H_{18} V_{18}$  中諸縱距表示之。茲將三角形所表示諸力之合力，以試用  $T_1$  表示之，又將三角形  $H_1 H_{18} V_{18}$  所表示諸力之合力，以試用  $T_r$  表示之。（ $T$  下所附 1 字，表示合力在拱環中心線  $O$ 、 $D$  之左， $r$  字表示在其右。）此際當求出  $T_1$  及  $T_r$  之分量與其位置。

試用  $T_1$  之量，為三角形  $H_1 H_{18} V_1$  中諸縱距之和。因  $H_1 H_{18}$  線與  $V_1 V_{18}$  線平行，故三角形  $H_1 V_{18} V_1$  與三角形  $H_1 H_{18} V_{18}$  相等，是以試用  $T_r$  等於試用  $T_1$  等於  $R'$  之二分之一，即八二·三五英尺。而  $T_r$  在  $O$  右之距離，與  $T_1$  在  $O$  左之距離相等。如以  $x_r$  表示  $T_r$  在  $O$  右之距離，而以  $x_1$  表示  $T_1$  在

$O'$  左之距離，則  $x = \bar{x}_1$ 。

求  $T_1$  之位置甚便，蓋依  $O'$  點以計算諸縱距之力幾，而以諸縱距之和除之，所得即  $\bar{x}_1$  之值。如自  $V_1$  作一線至  $F'$ （此為  $H_1, V_{1g}$  與經過  $O'$  點垂直線相交之點）則三角形  $H_1, V_{1g}, D'$  之力幾與  $F', V_1, D'$  者相等；是以依  $F'$  點計量  $H_1, V_{1g}, V_1$  之力幾，其值與依  $F'$  點計量  $H_1, F', V_1$  之力幾相等。三角中  $H_1, F', V_1$  中諸縱距，見於第十五表。此表中又載有依  $F'$  點計算諸縱距之力幾之值，前者以  $f$  表示之，後者以  $f \cdot x$  表示之。作成力幾方程式而解之，則得  $x = \frac{W T_1 \cdot x}{1 R'} = 6.44$  英尺。是以  $\bar{x}_1 = 16.44$  英尺。

依試用  $T_1$  上一點以計算力幾，則得

$$\text{真正 } T_1 \cdot (x_1 + \bar{x}_1) = R' \cdot (x_1 - \bar{x}_1)$$

$$= 2 \text{ 試用 } T_1 (x_1 - \bar{x}_1)$$

是以



$$\frac{\text{真正}T_1}{\text{試用}T} = \frac{2(x_1 - x_2)}{x_1 + x_2} = \frac{x_1 - x_2}{x_1}$$

同理，依試用 $T_2$ 上一點，以計算力幾，則得

$$\frac{\text{真正}T_1}{\text{試用}T} = \frac{2(x_1 + x_2)}{x_1 + x_2} = \frac{x_1 + x_2}{x_1}$$

如 $n_1$ 點沿垂直直線向上提高，則試用 $T_1$ 之量增加，如 $n_2$ 點沿垂直直線向下降低，則試用 $T_1$ 之量減少。但如 $n_1$ 點沿垂直直線移動，試用 $T_1$ 之位置却無變化，因所有縱距隨其長度而依比例增加，則力幾之總和，除以力之總和，所得之商不變，故也。 $n_1$ 點之移動，毫不影響於試用 $T_2$ 之位置與分量，因諸縱距之分量及其在水平線上之位置均未變化故也。同理， $n_2$ 之移動，祇使試用 $T_2$ 之分量增減，但不改易其位置。

是以如 $m_1, m_2, m_3$ 為真正閉合線，則得下列比例式：

$$\text{試用}T_1 : \text{真正}T_1 = v_1 n_1 : v_1 m_1$$

$$\therefore v_1 m_1 = \frac{\text{真正}T_1}{\text{試用}T} v_1 n_1$$

以前所求得

$\frac{\text{真正}V_1}{\text{試用}V_1}$  及  $V_1 n_1$  之值，代入上式，得

$$V_1 n_1 = \frac{\text{真正}V_1}{\text{試用}V_1} V_1 n_1 = \frac{K_1 + \bar{x}}{K_1} V_1 n_1 = 1.02 V_1 n_1$$

$$= 9.33 \text{英尺。}$$

試用  $V_r$  : 真正  $V_r = V_{18} n_{18} : V_{18} m_{18}$

$$V_1 m_1 = \frac{\text{真正}V_r}{\text{試用}V_r} V_{18} n_{18} = \frac{K_1 - \bar{x}}{K_1} V_{18} n_{18} = 0.98 V_{18} n_{18}$$

$$= 8.97 \text{英尺。}$$

既求得  $V_1 m_1$  及  $V_{18} m_{18}$  之值，則作一線自  $m_1$  至  $m_{18}$ ，即真正閉合線也。 $m_1, m_{18}$  線與  $m_1, m_{18}$  線，應在跨度中點下相交，此乃作圖時藉以校勘之一事。

$m_1, m_{18}$  線之位置，恰使由  $V_1, V_{18}$  至  $m_1, m_{18}$  間諸縱距之和，等於由  $V_1, V_{18}$  至  $b_1, b_{18}$  間諸縱距之和，易言之，即  $M \nabla b \parallel M \nabla E$ 。又因諸負力（即諸縱距  $\nabla E$  所表示之力）之力幾等於諸正

力（即諸縱距  $p \Delta$  所表示之力）之力幾，故  $m_1, m_2$  線之位置，恰使  $M p \Delta \cdot x \parallel M p \Delta \cdot x$ 。是以  $M p \Delta - M p \Delta \parallel 0$ ，而  $M p \Delta \cdot x - M p \Delta \cdot x \parallel 0$ 。但  $p \Delta - m \Delta \parallel p \Delta$ ，故  $M p \Delta - M p \Delta \parallel M p \Delta \parallel 0$ ，而  $M p \Delta \cdot x - M p \Delta \cdot x \parallel M p \Delta \cdot x \parallel 0$ 。

因諸縱距  $p \Delta$  與諸力幾成比例，故  $M p \Delta \parallel 0$  即等於  $M \Sigma \parallel 0$ 。同理， $M p \Delta \cdot x \parallel 0$  即等於  $M \Sigma \cdot x \parallel 0$ 。是以真正平衡多邊形所應符合之三條件，有二條件為試用平衡多邊形  $p_1, p_2, p_3, m_1, m_2$  所能符合也。

如在力圖中自試用極點  $P'$  作一線以至載重線而與閉合線  $m_1, m_2$  成平行，則其交點  $Q$  將載重線分為兩段，表示左右兩拱臺處之反力。真正極點之位置尙未決定，但必在穿過點之水平線上。

因試用平衡多邊形之跨度，與拱環跨度相同；又因在水平線上移動極點並不令試用平衡多邊形內諸縱距對於水平線之地位變化，故如穿過  $q_r$  及  $q_l$  兩點作兩垂直線， $q_r$  及  $q_l$  兩點即閉合線與試用平衡多邊形相交之點，則此兩垂直線與準則軸線  $F_1, F_2$  相交之點  $k_r$  及  $k_l$  乃在作於  $F_1, F_2$

線上之真正平衡多邊形上之兩點也。

真正極點距離 今可進而求真正極點距離。考任何點之力幾，等於平衡多邊形中諸縱距與極點距離相乘之積。是以增加極點距離，則使平衡多邊形中諸縱距減小；反是，減小極點距離，則使諸縱距加長。真正平衡多邊形必合於  $M \circ K \cdot Y = M a k \cdot Y$ ，是以試用極點亦必依此移動。如將試用極點沿垂直線上提高，至在穿過  $Q$  之水平線上，則閉合線乃水平線；如由此復將試用極點沿穿過  $Q$  之水平線移動，以將  $M \circ K \cdot Y$  變為  $M a k \cdot Y$ ，則極點之新位置即為對於題中載重之真正極點。是以

$$\text{真正極點距離} = \text{試用極點距離} \times \frac{M \circ K \cdot Y}{M a k \cdot Y} \dots\dots\dots (八六)$$

解方程式 (八六) 方法如下述：在試用平衡多邊形中，量出諸縱距  $b_i$ ，又量出諸縱距  $a_i$  ( $= Y$ ) 即自中性軸線至跨度線  $AB$  之距離；而計算

$$\Sigma b_m \cdot Y = \Sigma (b_{m_1} \cdot Y + b_{m_2} \cdot Y_2 \dots b_{m_s} \cdot Y_{s_2})$$

$b_i$  及  $Y$  之值，載在第十五表中。如是算出  $M \circ K \cdot Y = 229.78$  在各載重之施力線上，量出自

中性軸線至準則軸線  $K_{1a}$  間諸縱距  $a_k$  之長度，而計算

$$M a_k \cdot y = M(a_1 k_1 \cdot y_1 + a_2 k_2 \cdot y_2 + \dots + a_{1a} k_{1a} \cdot y_{1a})$$

$a_k$  及  $y$  之值，載在第十五表中，如是算出  $M a_k \cdot y = -192,720$  於是方程式（八六）變為：

$$\text{真正極點距離} = 20,000 \times \frac{-220,78}{-192,72}$$

$$= 20,000 \times 1.192 = 23,840 \text{磅。}$$

真正平衡多邊形 此際可求真正平衡多邊形矣。由  $Q$  點沿水平線，量出真正極點距離，而得真正極點。作諸方線。於是從  $k_1$  點起，作平衡多邊形  $o_1 o_2 \dots o_{1a}$ ，此平衡多邊形必通過  $k_1$ 。

如此作成之平衡多邊形，乃對於題中所定載重之真正平衡多邊形，其證明如下：

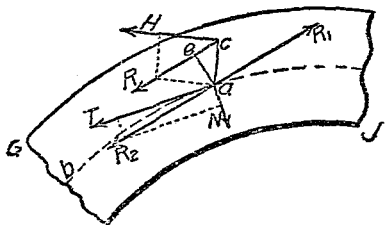
依作圖法， $M o_k \cdot y = M a_k \cdot y$ 。此與方程式（八一）相符。

依作圖法，各  $o_k$  等於相當  $b_H$  除以一定比率所得之商，前已證明  $M b_H = 0$ ，是以  $M o_k$

|| 此與方程式（八三）相符。

各縱距  $o_k$  係在相當縱距  $b_H$  上而同一垂直線內，而各  $o_k$  之量則等於相當  $b_H$  除以

一定比例所得之商；前已證明  $M \cdot P \cdot B \cdot K \parallel O$ ，是以  $M \cdot O \cdot F \cdot K \parallel O$ ，此與方程式（八五）相合。是故  $C_1 \dots C_2 \dots C_3 \dots C_{18}$  為對於題中所定載重之真正平衡多邊形，而  $L_1, L_2$  線則真正閉合線也。



解圖之力應環拱 圖一百一第

由靜載重及動載重引起之應力 既定真正平衡多邊形，乃可進而計算由靜載重及動載重引起之應力。其法如下述。在第一百圖中，設  $Ω_1$  表示拱環之一段， $o_1$  為中性軸線， $o_2$  為在  $a$  點左方真正平衡多邊形之一邊， $o_3$  為中性軸線與平衡多邊形間之垂直距離， $o_4$  為自  $a$  至  $o_3$  之垂直線。於是  $o_5$  為  $o_3$  橫剖面以左一切外力之合力  $R$ （即左拱臺之反力與左拱臺與  $o_3$  橫剖面間一切外力之合力）之施力線。  $R$  之量及其方向，由力圖中相當力線表示之。假設有相反之二力  $R_1$  及  $R_2$  施於  $a$  點，二力各與  $R$  相等且與  $R$  成平行。此二力當不擾亂拱環之平衡狀態。於是  $o_6$  點之單力  $R$ ，可視

爲由偶力  $R_1, R_2$  及施於  $a$  點之  $R_3$  力代之。 $R_1$  可分爲二分力，其一爲  $T$ ，切於中性軸線  $a, c$  上，其一爲  $N$ ，則與中性軸線成垂直。偶力  $R_2, R_3$  發生撓曲作用， $T$  力壓拱環使縮短， $N$  力則在通過  $a$  而與中性軸線成垂直之剖面上發生剪割作用。此種撓曲，壓縮與剪割作用，約略與分塊拱之傾覆，壓碎及滑動作用相類。

設  $b$  爲拱環單位剖面之寬度，即  $b$  爲一英尺。爲自拱環中性軸線至最遠纖維之距離， $d$  爲拱環之深度， $f$  爲單位纖維應力， $H$  爲真正極點距離， $v$  爲單位剪割應力。

在第一百一圖中，偶力之力幾爲  $R \cdot e$ 。但  $H$  爲  $R$  之水平分力，即真正極點距離，而由相似三角形原理， $R \cdot a \circ \circ \parallel H \cdot a \circ \circ$ ， $H$  之值前已算出。 $e$  之值可在第一百圖中量出。是以拱環上任何一點之撓幾可以算出。在  $a \circ$  剖面上，由撓幾而引起之最大單位纖維應力爲：

$$f_b = \frac{M \circ}{I} = \frac{H \cdot a \circ \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b d^3} = \frac{6 H \cdot a \circ}{b d^2} = \frac{6 H \cdot a \circ}{d^3} \dots \dots \dots (八七)$$

即在 R 一面為擠壓力，在對面則為牽引力。

求 T 之值，可將力圖中與平衡多邊形中近 a 點處一邊成平行之力線，分為與 a 處切線平行之分力而得之。由壓拱環使短之力所引起之單位擠壓應力為

$$T \parallel H \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{p} \parallel H \cdot \frac{1}{p} \dots \dots \dots (八八)$$

N 力為與 a 處拱環半徑成平行之力，而單位剪割應力 v 為

$$v \parallel N \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{p} \parallel N \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{p} \parallel N \cdot \frac{1}{p} \dots \dots \dots (八九)$$

由撓曲及縮短兩種作用聯合而生之最大纖維應力為

$$f \parallel f_b + f_s \parallel \frac{F}{p} \cdot \frac{6H \cdot a \cdot \sigma}{p_s} \dots \dots \dots (九〇)$$

方程式右邊之第一項，恆為擠壓應力。其第二項，在拱外邊線一方，當平衡多邊形在拱環中性軸線以外時，為正量，即擠壓應力；當平衡多邊形在拱環中性軸線以內時，為負量，即牽引應力。在拱內邊線一方，則適與此相反。用方程式（九〇）所得應力，尚當與由拱環溫度變化而生之應力合併以得最大應力。



用方程式(九〇)時，須在穿過  $a_1, a_2, a_3$  等點(即  $\nabla$  之  $\perp$  爲常數之點)之垂直線上計量  $a_0$  之值，以合於拱環應有條件之方程式，且得最精密之結果。

第十六表所載爲第九十九圖拱環各點之各項應力。以後當與溫度應力合併而考察之。

第十六表 拱環之靜載重及動載重應力

(表中應力爲每平方英寸之磅數，+表示擠壓應力，-表示牽引應力)

點	應力		最大應力		剪割	
	撓曲	壓縮	內邊線	外邊線		
$a_1$	+	63.1	+	74.4	52.8	5.8
$a_2$	+	63.3	+	42.0	84.6	0.9
$a_4$	+	69.8	+	41.9	97.1	1.8
$a_5$	+	74.0	+	47.1	100.9	2.4

$a_{10}$	±	24.6	+	82.5	+	107.1	+	57.9	1.7
$a_{11}$	±	29.2	+	82.2	+	111.4	+	53.0	0.9
$a_{15}$	±	3.3	+	69.5	+	72.8	+	66.2	1.6
$a_{18}$	±	1.6	+	49.1	+	47.5	+	50.7	3.5

發生最大應力時動載重之位置 拱環上任何一點發生最大應力時動載重之位置如何，尚無定律可據。依方程式（九〇），拱環上任何一點之應力，隨下列各項而異：（一）沿切線方向之推力  $T$ ；（二）真正極點距離  $H$ ；（三）縱距  $a_0$ ；（四）拱環深度。此各項之變化，定律不同，是以欲求任何點發生最大應力時動載重之位置，實屬極難。工程家考驗拱環安定性時所定動載重之位置，習慣不齊。稍疏之法為僅考驗動載重在兩種位置時之拱環，即動載重分布於跨度半部時及分布於跨度全部時；稍精密者則考驗四種位置，即分布於跨度之四分之一，二分之一，四分之三，及其全部時。又有考驗別四種位置，即跨度五分之二，二分之一，五分之三，及其全部者，或謂宜考驗下

四種位置，即跨度十分之三，二分之一，十分之六，及全部者。考驗拱環之計畫是否得宜，應依第十六表之式，將靜載重在各種位置時拱環上各點之最大應力求出，列表以資比較。

溫度變化之影響 拱環中溫度應力可以甚高，故須詳慎考慮。計算時可設想拱環無重量，且在某種平均溫度時，此拱環恰與環之兩端斜面相合，而拱環中毫無應力發生。設  $l$  為中性軸線之跨度，為溫度升高華氏溫度計一度時三和土每單位長度膨脹之量，而  $\alpha$  為拱環平均溫度與其實在溫度相差之華氏溫度計度數。則中性軸線跨度之長度變化總量為  $l \cdot \alpha \cdot \Delta t$ 。因拱環抵抗此種變化，故在各拱臺處發生一水平力及一撓幾。假想此撓幾由水平力  $Q$  抵抗之，而此  $Q$  力之施力線係在各起拱線上距離  $q$  處，當溫度升高時其方向內，當溫度降低時其方向外。又假設在兩起拱線處，各有二水平力，方向相反，而各等於  $Q$ 。第一水平力  $Q$  與後二水平力中之一，成為偶力，其依拱臺以計算之撓幾為  $\frac{Qq^2}{2}$ 。餘一水平力則抵抗拱臺處之水平推力或拉力。今可假定拱環無重量，而受偶力及水平推力之作用。茲所欲考求者，為拱環中因此發生之應力。因拱環之兩端固定，故必符合（七三）、（七四）、（七五）三方程式之條件。

如視拱環兩端在上之  $Q$  力之施力線為沿第一百圖中  $K_1, K_{1a}$  線，即  $q \parallel d, F$ ，則拱環中任何一點因溫度變化而生之撓幾為  $O \cdot a \cdot F$ 。在拱環中任何一點因載重而生之撓幾為  $\square \cdot e \cdot o$ 。以相類之故，知方程式（七三）、（七四）、（七五）中  $\square \cdot e \cdot o$  俱可代以  $O \cdot a \cdot F$ ，於是溫度變化之條件方程式，可書為：

$$M a k = 0 \dots\dots\dots (九一)$$

$$M a k \cdot x = 0 \dots\dots\dots (九二)$$

$$M a k \cdot y = 0 \dots\dots\dots (九三)$$

按  $K_1, K_{1a}$  之位置恰使  $M a k = 0$ ，又使  $a k \cdot x = 0$ ，是以如未知之  $Q$  力之施力線係沿  $K_1, K_{1a}$  線，則符合於方程式（九一）及（九二），即符合於條件方程式三式之前二式也。

為求符合第三條件，當注意於溫度升高則有增加跨度之勢，而溫度降低則有減小跨度之勢。是以在各拱臺處之  $Q$  力必剛足以抵抗此趨勢，且必於抵抗溫度升高時，向跨度中心施力，而於抵抗溫度降低時，由跨度中心向外施力。前已述及跨度之變化為  $l \cdot e \cdot o$ 。按跨度之微分變化為

$\frac{M y d s}{E I}$  是以

$$1 e t^0 = \int_A^B \frac{M y d s}{E I} = \frac{M y s}{E I} \dots\dots\dots (九四)$$

以前求立之值代入上式，而就拱環之半以行積分得：

$$1 e t^0 = Q \frac{\Delta s}{I} \frac{1}{E} \sum A^B \cdot Y \dots\dots\dots (九五)$$

$$Q = \frac{E I e t^0}{\sum A^B \cdot Y} \cdot \frac{I}{\Delta s} \dots\dots\dots (九六)$$

方程式（九六）中  $E$  之值，隨三和土品質而異，在本題中，可假定為一比二比四三和土，其值作為每平方英寸一，五〇〇，〇〇〇磅。I 為中性軸線跨度，在本題中為五〇英尺。之值為華氏溫度每度自〇・〇〇〇〇〇四三至〇・〇〇〇〇〇八〇，今可酌定為〇・〇〇〇〇〇五四。 $\frac{1}{\Delta}$  為  $\Delta$  之倒數。當計算由載重引起之應力時，須算出  $\frac{1}{\Delta}$  之值。在本題中， $\frac{1}{\Delta}$

一  $I$  之平均值爲  $2 \cdot 31175$ 。故  $I \cdot \Delta s$  之值爲  $1 \cdot 123275 M a k \cdot \gamma$  之值爲  $192 \cdot 7$ 。  
 二  $t$  之值殊不易決定。在本題中，可假定平均溫度爲華氏  $60^\circ$  度， $t$  在其上  $20^\circ$  度，在其下  $30^\circ$  度。

以上列各值代入方程式 (九六)，得溫度增至最高時，

$$Q = \frac{(1,500,000 \times 144) \times 50 \times 0.000054 \times 20}{192.72 \times 2.3275} = 2550 \text{磅。}$$

即在一英尺寬之拱環中，當溫度升高華氏  $20^\circ$  度時，對於拱臺有向外推力  $2,550$  磅。同理，當溫度降低華氏  $30^\circ$  度時，則有向內拉力，加於拱臺，其量爲  $3,825$  磅。

溫度應力 由溫度變化而生之纖維應力，爲：

$$f_b = \frac{M_0}{I} = Q \cdot a k \cdot c = 6 Q \cdot a k \dots\dots\dots (九七)$$

由  $Q$  力之切線方向分力所引起之應力，爲：

$$f_s = \frac{T_t}{d} \dots\dots\dots (九八)$$

式中  $T_t$  爲  $Q$  之分力，此分力與在計算應力點與中性軸線相切之線平行。由溫度變化生撓曲力與推力，引起纖維應力，其總量如下：

$$F = \frac{E T_t}{P} + \frac{E Q \cdot a}{R} \dots \dots \dots (九九)$$

式中右邊第一項之十號用於溫度升高時，一號用於溫度降低時。欲明式中右邊第二項所示應力之性質，可僅就拱環左半研究之。設想右半移去，而其效用則由  $Q$  力替代之， $Q$  力沿  $F_1$  線，常溫度升高時，此方向左，當溫度降低時，此方向右。是以如所研究之點在  $F_1$  線以下，例如  $a$  點，則當溫度升高時，方程式（九九）右邊之第二項，在拱內邊線上爲牽引力，在拱外邊線上則爲擠壓力，當溫度降低時，在拱內邊線生擠壓力，在拱外邊線則生牽引力。如所研究之點在  $F_1$  線以上，則應力與上述者相反。第十七表表示在本題拱環中之溫度應力。

第十七表 拱環之溫度應力

（表中應力爲每英寸之磅數，十表示擠壓應力，一表示牽引應力）

點	溫度升高華氏二〇度				溫度降低華氏三〇度			
	撓 曲 推 力	內 邊 線	外 邊 線	剪 割	撓 曲 引 力	內 邊 線	外 邊 線	剪 割
a <sub>1</sub> ±	32.1 +	2.5 -	29.6 +	34.6 2.5 ±	48.1 -	3.8 +	44.3 -	51.9 3.6 ±
a <sub>2</sub> ±	2.3 +	5.9 +	3.6 +	8.2 .4 ±	3.4 -	8.9 -	5.5 -	12.3 3.5 ±
a <sub>4</sub> ±	17.0 +	6.9 +	23.9 -	10.1 2.0 ±	25.5 -	10.3 -	35.8 +	15.2 3.1 ±
a <sub>6</sub> ±	33.1 +	7.6 +	40.7 -	25.5 1.7 ±	49.5 -	11.4 -	60.9 +	38.1 2.5 ±
a <sub>10</sub> ±	63.8 +	8.8 +	72.6 -	55.0 0.2 ±	95.7 -	13.2 -	108.9 +	82.5 0.3 ±
a <sub>11</sub> ±	61.5 +	8.7 +	70.2 -	52.8 0.6 ±	92.2 -	13.1 -	105.3 +	79.1 0.8 ±
a <sub>15</sub> ±	17.0 +	6.9 +	23.9 -	10.1 2.0 ±	25.5 -	10.3 -	35.8 +	15.2 3.1 ±
a <sub>18</sub> ±	32.1 +	2.5 -	29.6 +	34.6 2.5 ±	48.1 -	3.8 +	44.3 -	51.9 3.6 ±



拱環縮短所生應力 前於計算動靜載重所生應力時，曾言及切線分力  $T$  有使拱環縮短之作用。此力均勻分布於拱環之橫剖面上，故對於由  $E \cdot e$  或  $H \cdot a$  而生之撓曲作用，不生影響。但拱環縮短亦生撓曲作用，今當研究之。

如由推力  $T$  而生之單位擠壓應力，在所有橫剖面中，俱屬相等，則其作用與溫度降低之作用相同。設  $T \cdot A$  表示平均單位擠壓應力，則跨度縮短之量為  $\frac{T}{E} \cdot l$ 。以上二者列為相等式得

$$\delta = \frac{T}{A E} \cdot l \dots \dots \dots (100)$$

在上式中  $H \cdot a$  之值，頗不易決定，因拱環中單位推力，各點不同，且在拱環之兩半部分中完全殊異，故也。就本例言之，則可取  $a_1$ ， $a_4$ ，及  $a_{10}$  三點單位推力之平均值，（見第十六表，）即每平方英寸七·八磅。以此值及  $E$  與  $e$  之值代入公式（100）中，得

$$\delta = \frac{71.8}{1,500,000 \times 0.000054} = 8.9$$

是故拱環受推力  $T$ （即動靜載重之切線分力）之作用時，其縮短之量，與由溫度降低華氏溫度

計八・九度時縮短之量相等；易言之，即由切線分力引起縮短之最大應力，相當於由溫度降低華氏計三〇度時引起縮短之最大應力之二九・五%。此種切線分力引起縮短之最大應力之值，載在第十八表中第四行及第五行。

**合併應力** 第十八表所載為由動靜載重及溫度變化而生之最大合併應力。係由第十六表及第十七表彙集而成。攷核拱環計畫時所用應力，推算之法，與第十八表所載者相同，惟須用動載重在各種位置時之最大應力，而非如第十六表所載動載重在一種位置時之應力。第十八表中未列入剪割應力，以省篇幅。在第十六表中列有由動靜載重而生之剪割應力；在第十七表中列有由溫度變化而生之剪割應力。由溫度變化而生之剪割應力甚小，故攷核拱環計畫時用第十六表所列剪割應力，已足。

第十九表用以表明一百英尺長三和土拱在各種情形中之應力。兩半拱環各分為十四段，恰令  $\angle \alpha$  為定值。表中第一點為拱環末端分段之中點；第六點約在此點與拱頂之中心點。欲研究由動靜載重而生之應力變化情形，祇須細閱此表中註明動靜載重各直行。欲研究由動靜載重

第十八表 拱環由動靜載重及溫度變化而生之合併應力

以每平方英寸之磅數計

(+)表示擠壓應力；(-)表示牽引應力

點	由動靜載重而生之最大應力		由拱環縮短而生之最大應力		升高華氏計20度				降低華氏計30度			
					溫度應力		合併應力		溫度應力		合併應力	
	拱內邊	拱外邊	拱內邊	拱外邊	拱內邊	拱外邊	拱內邊	拱外邊	拱內邊	拱外邊	拱內邊	拱外邊
a <sub>1</sub>	+ 74.4	+ 52.8	+ 13.1	- 15.3	- 29.6	+ 34.6	+ 57.9	+ 72.1	+ 44.3	- 51.9	+ 131.8	- 14.4
a <sub>3</sub>	+ 42.0	+ 84.6	- 1.6	- 3.6	+ 3.6	+ 8.2	+ 44.0	+ 89.2	- 5.5	- 12.3	+ 34.9	+ 68.7
a <sub>4</sub>	+ 41.9	+ 97.1	- 10.6	+ 4.5	+ 23.9	- 10.1	+ 55.2	+ 91.5	- 35.8	+ 15.2	- 4.5	+ 116.8
a <sub>6</sub>	+ 47.1	+ 100.9	- 18.0	+ 11.2	+ 40.7	- 25.5	+ 69.8	+ 86.6	- 60.9	+ 38.1	- 31.8	+ 150.2
a <sub>10</sub>	+ 107.1	+ 57.9	- 32.1	+ 24.3	+ 72.6	- 55.5	+ 147.6	+ 27.2	- 108.9	+ 82.5	- 33.9	+ 164.7
a <sub>11</sub>	+ 111.4	+ 53.0	- 31.0	+ 23.3	+ 70.2	- 52.8	+ 150.6	+ 23.5	- 105.3	+ 79.1	- 24.9	+ 155.4
a <sub>15</sub>	+ 72.8	+ 66.2	- 10.6	+ 4.5	+ 23.9	- 10.1	+ 86.1	+ 60.6	- 35.8	+ 15.2	+ 26.4	+ 85.9
a <sub>18</sub>	+ 47.5	+ 50.7	+ 13.1	- 15.3	- 29.6	+ 34.6	+ 31.0	+ 39.0	+ 44.3	- 51.9	+ 104.9	- 16.5

第十九表 三和土拱在各種情形時之應力

中性軸線跨度, 100 英尺。中性軸線高度, 12 英尺。拱環深度: 拱頂, 2.0 英尺; 第 6 點, 2.29 英尺; 第 1 點, 3.05 英尺。拱頂上填土厚度, 2.3 英尺。動載重, 每平方英尺 140 磅。溫度變化, 士 26°。表中負號(-)表示牽引應力。

點之號數	各種情形	水平推力磅數		三和土中應力, 以每平方英寸之磅數計															
		動靜載重之H	溫度變化之Q	拱頂				第 6 點				第 2 點				第 1 點			
				動靜載重	溫度變化	最大	最小	動靜載重	溫度變化	最大	最小	動靜載重	溫度變化	最大	最小	動靜載重	溫度變化	最大	最小
(甲) 載重之情形不同。拱之末端固定。在拱內邊及拱外邊有鋼骨 0.75%。																			
1	全部動載重	90300	11250	293	217	510	100	285	61	287	146	220	239	451	28	237	330	525	- 145
2	五分之三動載重	85800	11250		217	449	15	313	61	315	94	237	239	476	- 13	272	330	560	- 194
3	二分之一動載重	82800	11250	283	217	500	67	339	61	341	52	243	239	482	- 33	310	330	598	- 248
4	五分之二動載重	79700	11250	290	217	507	40	332	61	334	43	218	239	457	- 69	303	330	591	- 253
(乙) 拱環之材料不同。拱之末端固定。二分之一動載重。																			
5	在拱內邊及拱外邊有鋼骨0.75%	82800	11250	283	217	500	67	339	61	341	52	243	239	482	- 33	310	330	598	- 248
6	無骨三和土	82800	8650	351	214	565	120	400	57	405	53	274	239	513	- 22	356	309	630	- 233
(丙) 拱之末端情形不同。二分之 靜載重。在拱內邊及拱外邊有鋼骨 0.75%。																			
7	固定末端	82800	11250	283	217	500	67	339	61	341	52	243	239	482	-33	310	330	598	- 248
8	二鉸鏈	82900	960	296	94	390	116	405	62	462	-15	256	20	272	124	197	9	206	188
9	三鉸鏈	82800		250		250	250	370		370	82	263		263	137	196		196	196

及溫度而生之應力變化情形，祇須細閱此表中最上四橫行之數字。此表中其餘各項，可於研究本章第二節時參閱之。

放置三和土法 在小拱，可將三和土一次放置，自拱臺起以至拱頂，俾拱環成爲整體；但在大拱則不能如此。大拱之放置三和土法有兩種：（一）將拱環分段造成，每段寬度與拱環寬度完全相等。（二）將拱環分爲若干平行之條，每條一次造成，自此拱臺以至彼拱臺，而每條寬度則僅得拱環寬度之一部分，兩法各有優劣。用第一法時，先放置兩起拱線處之三和土塊。次在兩起拱線與拱頂間之中點，各放置一塊。復次，在拱頂三和土塊地位之左右，各放置一塊。復次，放置其餘中間各塊。最後乃放置拱頂之一塊。第一百二圖表示大泥橋（Big Muddy Bridge）建築時三和土之放置次序。用此法時，重量均勻分布於拱架上，故拱架不至因受壓不齊而變形。用第二法時，每條三和土之寬度應使一日之工，恰將兩拱臺間之三和土放置完畢。每條中無接縫，故抵抗撓曲應力之效用較優；但如壓力線不出中央三分之一段以外，則拱環中無牽引力，而此種優點實不關重要耳。

無骨三和土拱舉例 第一百二圖所示爲美國伊里諾斯中央鐵路（Illinois Central

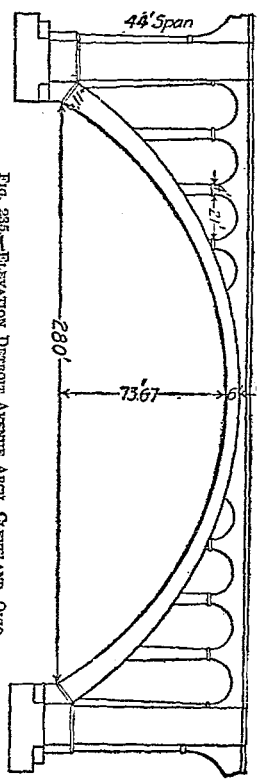
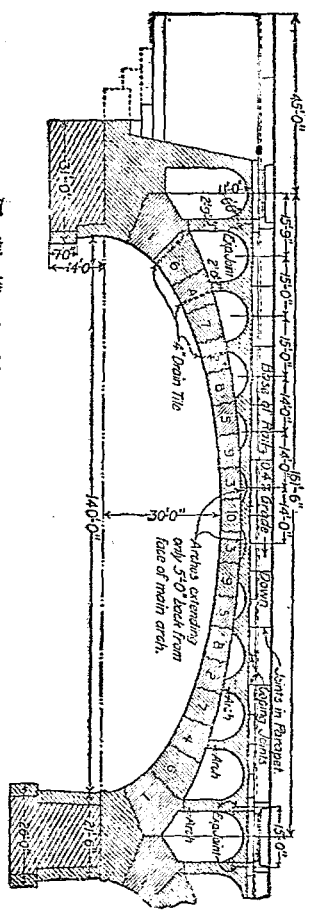


FIG. 235.—ELEVATION DETROIT AVENUE ARCH, CLEVELAND, OHIO.



第一二二圖 大橋之縱剖面

Railroad) 大泥河 (Big Muddy River) 上之無骨三和土拱橋。橋上敷設雙軌鐵路。係由橢圓式拱三段連成，每段淨跨度爲一百四十英尺，高三十英尺。拱頂處半徑爲一百四十七英尺。拱環在拱頂處厚度爲七英尺；在起拱線處厚度爲二十英尺。圖中所示爲一主拱之縱剖面。拱環分塊造成，各塊在拱內邊線處約長八英尺。相鄰拱塊間有四英寸厚一英尺寬之凸凹部分以爲接合。在放置三和土時，於先成之拱塊上釘木料，卽成凹槽也。

## 第一節 鋼骨三和土無鉸鏈拱

鋼骨三和土之優點 如拱上載重俱係固定載重，則可計畫拱環，使壓力之合力，穿過各橫剖面之中心點，而使全部拱環，悉受擠壓。但如載重之一部分爲動載重，或如壓力線不恰穿過拱環各橫剖面之中心點，則於直接擠壓應力外，又生撓曲應力。當拱壁受撓曲力時，用鋼骨三和土以代無骨三和土，常極合算。然以全部之拱言之，則採用鋼骨，所省費用，尙非甚顯。如壓力未出拱環中央三分之一段以外，則不生牽引力。是以鋼骨之效僅爲增加抵抗擠壓之力，就抵抗擠壓之功用言之，鋼

骨尚不及三和土之合算也。又如壓力線已出拱環中央三分之一段以外，則因直接擠壓應力比較甚高之故，所生牽引力乃甚小，而鋼骨中單位牽引應力遂甚低。雖用少量之鋼，可使鋼骨中單位應力提高，然如用鋼比量過小，欲使其分配均勻，則須用極小橫剖面鋼骨，殊不易辨耳。

願拱中採用鋼骨，雖非最省費，然用之實甚有益。三和土抵抗擠壓之性，遠較其抵抗牽引之性為可恃，故採用鋼骨，足使構造物全部益覺堅固可恃。又在計畫拱時，凡採用資料之粗疏，計算之錯誤，在建築拱時，發生之收縮應力基礎下陷之不均勻，以及工料之不良，種種缺陷，皆可由採用鋼骨以彌縫之也。

鋼骨三和土拱之分析研究 鋼骨三和土拱，兩端固定者，其分析研究法，與無骨三和土拱實際相同，但須將無骨三和土拱之全部材料一致之橫剖面，易以鋼骨三和土由兩種材料合成之橫剖面耳。今將兩種拱分析研究法不同之點，依次述之如下：

條件方程式 鋼骨三和土拱中鋼骨，常係對於拱環之中性面，對稱排列。前曾述及無骨三和土拱之條件方程式。鋼而骨對稱排列之鋼骨三和土拱，其條件方程式，形式與之相似，如下所列：



$$\int_A^B \frac{M d s}{E_c (I_c + n I_s)} = 0 \dots\dots\dots (101)$$

$$\int_A^B \frac{M x d s}{E_c (I_c + n I_s)} = 0 \dots\dots\dots (1011)$$

$$\int_A^B \frac{M y d s}{E_c (I_c + n I_s)} = 0 \dots\dots\dots (10111)$$

令  $\Delta s \cdot (I_c + n I_s)$  爲定值法 拱環之中性軸線，必須劃分爲適宜之段，令  $\Delta s \cdot (I_c + n I_s)$  成爲定值。其法與無骨三和土拱環之分段法相同。今借第九十八圖論之作一線與 D 相似，以表示  $I_c + n I_s$ 。按  $I_c = \frac{1}{12} b (2 d_c)^2$  而  $I_s = \frac{1}{12} b d_1^2 + A_s d_2^2$ 。式中  $d_c$  爲三和土自中性軸線量起之深度， $d_1$  爲沿拱之半徑量得鋼之厚度， $d_2$  爲自中性軸線至鋼之中心之距離，而  $A_s$  爲在中性軸線兩側之鋼骨之橫剖面積總和。因通常研究拱環係取其一單位長度之段，故可令  $I_c = \frac{1}{12} (2 d_c)^2$ ，且常可令  $I_s = A_s d_2^2$ 。既得表示惰幾之線，則進而分畫中性軸線爲預定數目之部分。

定  $\overline{N}$  線之位置法 定鋼骨三和土拱之  $\overline{N}$  線法，與前述用於無骨三和土拱者完全相同。

定真正平衡多邊形法 定鋼骨三和土拱之真正平衡多邊形法，與前述用於無骨三和土者

完全相同。

靜載重及動載重之應力 在鋼骨三和土拱中，三和土內因撓曲引起之最大纖維應力為：

$$f_c = \frac{H \cdot a \cdot c \cdot d_c}{I_c + n I_s} \dots\dots\dots (104)$$

而鋼骨內因撓曲引起之最大纖維應力為：

$$f_s = \frac{H \cdot a \cdot c \cdot d_s}{I_c + n I_s} \dots\dots\dots (105)$$

再求因推力  $T$  (即  $R$  之切線分力) 而生之單位應力。按拱之橫剖面成對稱式，而鋼中應力為同大橫剖面積三和土者之九倍。是以由  $T$  而生之單位擠壓應力為：

$$f_e = \frac{T}{A_c + n A_s} \dots\dots\dots (106)$$

又因  $f_s \parallel n f_c$  是以

$$f_s = \frac{n T}{A_c + n A_s} \dots\dots\dots (107)$$

以 (104) 及 (106) 兩式相加, 又將  $f_c = \frac{1}{12} (2 d_c)^2$  及  $f_s \parallel A_s d_s^2$  之值代入式中,

則得:

$$f_c = \frac{T}{A_c + n A_s} \pm \frac{H \cdot a \cdot c \cdot d_c}{\frac{8}{12} d_c^2 + n A_s d_s^2} \dots\dots\dots (108)$$

同理, 以 (105) 與 (107) 相加得:

$$f_s = \frac{n \cdot T}{A_c + n A_s} \pm \frac{n \cdot H \cdot a \cdot c \cdot d_s}{\frac{8}{12} d_c^2 + n A_s d_s^2} \dots\dots\dots (109)$$

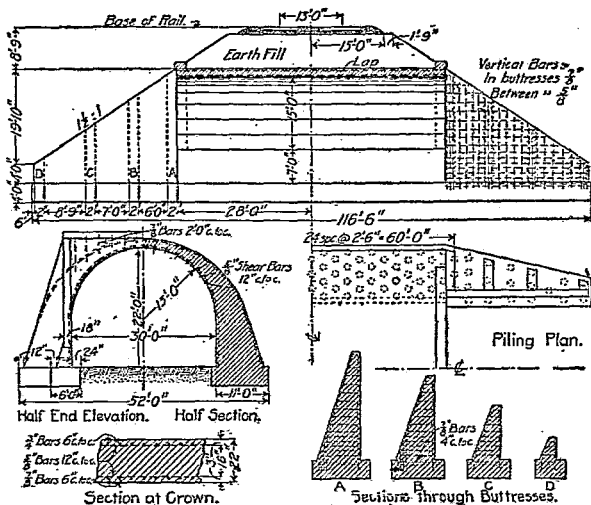
鋼骨三和土拱構造法 鋼骨三和土拱構造法有各種, 多為取得專利權者。今取其較著者數種述之。

(一) 摩尼厄氏法 法國巴黎人摩尼厄 (Jean Monier) 氏首於一八七五年造鋼骨三和土拱。初於拱內邊處安置鋼絲網。後改用鋼絲網兩層，一在近拱內邊處，一在近拱外邊處。此種構造法，有數種弊病。一為鋼絲網柔軟，不易安置適當；二為橫向鋼絲無益於支承重量，故徒耗材料，增加造價；三為網孔細密，所用碎石過細，亦提高三和土造價。顧摩尼厄式拱雖有此種弊病，然建築者不少，尤以在歐洲為多；且其拱環之薄與強度之高，頗可注意。如一八九一年瑞士所造之三拱，跨度各為一二八英尺，高一英尺，在拱頂處厚僅六·六七英寸，在起拱線處厚僅一〇英寸，其一例也。

(二) 溫須式拱 匈牙利國布達倍斯特 (Budapest) 人溫須 [羅伯] (Robert Wütsch) 氏於一八八四年發明一種拱，係用軋成之直鋼料平置於拱頂上，長度與拱之跨度相等；又以彎曲之鋼料安置與拱內邊線成平行，而在兩者之間配以直立鋼料，用鉚釘聯接之。

(三) 梅倫式拱 奧大利匈牙利國梅倫約瑟 (Joseph Molan) 氏於一八九二年發明一種拱，係以鋼骨安置於三和土拱環之內。其鋼骨在小拱係用軋成之鋼料；在大拱則用拼成之鋼料。

(四) 痕涅比式拱 痕涅比 (Hennebique) 氏於一八九三年發明一種拱，安置軋成鋼料，與



橋拱土和三骨鋼之路鐵洋平太合聯國美 圖三百一第

拱內邊線及拱外邊線平行，另以鋼骨  
 聯接之。用此式拱造小橋時，係以平行  
 拱條排列，至與拱頂平面齊平，而於其  
 上逕置鋼骨三和土橋板。如構造大橋  
 則係於鋼骨拱條之拱外邊一面上，加  
 柱式拱，以支承橋面板。

(五) 撒喬式拱 美國紐約城人

撒喬「愛德文」(Edwin Thacher)

氏於一八九九年發明一種拱，係用成  
 對之平鋼條，一與拱內邊線平行，一與  
 拱外邊線平行。兩鋼條除藉三和土外，  
 別無所以聯接之者。

(六) 普通式拱 除上述諸式拱外，普通造鋼骨三和土拱之法，係用一列鋼骨，安排在近拱外邊線處而與之平行，別一列鋼骨，近安排在拱內邊線處而與之平行。兩者間更以腹條聯接之。

鋼骨三和土拱舉例 今舉一例以說明鋼骨三和土拱之構造。第一百三圖所示為美國聯合太平洋鐵路 (Union Pacific Railroad) 所造鋼骨三和土拱，用作跨過公路之橋者。其鋼骨係竹節鋼骨，兩條鋼骨相聯處，重疊二英寸。

### 第二節 有鉸鏈拱

鉸鏈 坊工拱之鉸鏈係由兩塊石料或鑄鐵或鋼合成。其一塊之接觸面為平面，別一塊之接觸面為圓筒式面。有鉸鏈拱之式有三種：第一種有鉸鏈一件，置在拱頂；第二種有鉸鏈二件，分置在各起拱線處；第三種有鉸鏈三件，以一件置在拱頂，餘二件分置在各起拱線處；但坊工拱所用者僅為第三種式樣。

坊工拱之用鉸鏈，乃一八八〇年德國德萊斯頓 (Dresden) 市柯普虎 (Koeplke) 氏所倡。歐

溯所造有鉸鏈拱頗爲不少，有爲分塊拱者，有爲整體拱者，有爲無骨三和土者，有爲鋼骨三和土者。三鉸鏈拱之分析研究，無鉸鏈拱乃在靜力學上不能決定應力之構造物，因若不考慮拱環材料之彈性方面之性質，則不能求出其應力故也。三鉸鏈拱則不然，乃在靜力學上能決定應力者。其拱環之兩半，各爲一獨立之構造物，而外部反力及內部應力可用研究構造物之常法以求出之，並非難事。易言之，卽拱環之兩半可各視作彎曲梁，而計算其應力也。計畫有鉸鏈圻工拱之法，係先假設拱環在鉸鏈處之橫剖面積，及拱環之內外邊線，然後計畫若干處橫剖面之最大應力。如所得之應力過大，則改定拱環之尺度，而再計算之。

有鉸鏈拱與無鉸鏈拱之比較 有鉸鏈拱之優點如下：

- (一) 拱環中用鉸鏈，在分析研究時，可免困難；且不似無鉸鏈拱應力之不易確定。
- (二) 拱環中用鉸鏈，可免因拱臺沈陷不均勻而起之意外應力。
- (三) 拱環中用鉸鏈，所受溫度變化之影響，較不用鉸鏈者爲小。
- (四) 拱環中用鉸鏈，拱環之重量較不用鉸鏈者爲小。

有鉸鏈坊工拱之缺點如下：

- (一) 拱環中用鉸鏈，既增加價值，又使構造複雜，且平時保養亦須特別注意。
  - (二) 鉸鏈因積壓生銹之故，作用不能完全自如，則拱環中發生不能計算之應力。
  - (三) 鉸鏈移動則壓力線移動，而應力亦變化。
  - (四) 拱橋之牆及橋面板妨礙鉸鏈之作用。
  - (五) 拱環中坊工材料之量僅為全部構造物之一小部分，是以節省少量材料，並無多大利益，而不關重要。
  - (六) 有鉸鏈拱之彎曲度較大，故不如無鉸鏈拱之剛勁。
  - (七) 鉸鏈不能經用多年，而坊工拱之重要特色却在能經用多年，兩者恰相反。
- 要之：拱環愈大愈平，則用鉸鏈為愈覺合宜。



表名正制準標(一)

國民政府實業部規定度量衡新制於二十二年年底以前完成劃一茲附印正表及折合表於後以備參考

量	重	容量	體積	地積	面積	長度	度量衡	
							名	標
							公里	公里(Kilometre)
							公尺	公尺(Metre)
							公分	公分(Centimetre)
							公厘	公厘(Millimetre)
							方公尺	方公尺(Square Metre)
							方公尺	方公尺(Square Decimetre)
							方公分	方公分(Square Centimetre)
							方公厘	方公厘(Square Millimetre)
							公畝	公畝(Are)
							公厘	公厘(Centiare)
							立方公尺	立方公尺(Cubic Metre)
							立方公分	立方公分(Cubic Centimetre)
							立方公厘	立方公厘(Cubic Millimetre)
							公石	公石(Hectolitre)
							公斗	公斗(Decalitre)
							公升	公升(Litre)
							公斤	公斤(Kilogramme)
							公兩	公兩(Heclogramme)
							公分	公分(Decigramme)
							公厘	公厘(Gramme)
							公厘	公厘(Decigramme)
							公毫	公毫(Centigramme)
							公絲	公絲(Milligramme)
							噸	噸(Metric Tonne)
							公噸	公噸(Metric Tonne)
							公兩	公兩(Metric Kilogram)
							公分	公分(Metric Decagram)
							公厘	公厘(Metric Gram)
							公厘	公厘(Metric Decigram)
							公毫	公毫(Metric Centigram)
							公絲	公絲(Metric Milligram)

表及折合



華民國二十三年六月初版

(二一五九〇)

工學叢書坊 工二册

每部定價大洋柒角

外埠酌加運費匯費

著者 馮 雄

發行人 王 雲 五

印刷所 商務印書館

發行所 商務印書館

\*\*\*\*\*  
版 權 所 有  
翻 印 必 究  
\*\*\*\*\*

二八一六上

商

