

新 中 學 文 庫

三 和 土

馮 雄 著

商 務 印 書 館 發 行

工學小叢書

三 和 土

馮 雄 著

商務印書館發行

中華民國二十二年七月初版  
中華民國三十六年四月八版

(01344)

工學  
小叢書  
三和土一冊

定價國幣貳元伍角

印刷地點外另加運費

著者 馮 雄

發行人 朱 農  
上海河南中路

印刷所 商務印刷書廠

發行所 商務印書館  
各地

\*\*\*\*\*  
\* 版 翻 \*  
\* 權 印 \*  
\* 所 必 \*  
\* 有 究 \*  
\*\*\*\*\*

# 目錄

第一章	緒論	一
第一節	釋名	一
第二節	溯源	二
第三節	發展	六
第四節	用途	七
第二章	原料	八
第一節	純淨水泥	八
第二節	細粒料	一四
第三節	粗粒料	一五
第四節	水	一六

第五節 原料之初步處理……………一六

第三章 三和土之配料法……………一八

第一節 總論……………一八

第二節 依任意選擇配料法……………一九

第三節 依乾粒料空隙量配料法……………二〇

第四節 依最小產率配料法……………二二

第五節 依細度分析配料法……………二三

第六節 依細度係數配料法……………二四

第七節 愛德華滋氏依表面積配料法……………二九

第八節 各種配料法之比較……………三一

第九節 配料需用材料計算法……………三二

第四章 三和土之混和法……………三四

第一節	混和法總論·····	三四
第二節	手工混和法·····	三五
第三節	機器混和法·····	三六
第五章	三和土之移運及放置·····	三八
第一節	三和土之移運·····	三八
第二節	三和土之放置·····	四一
第六章	三和土之板型·····	四五
第一節	總論·····	四五
第二節	板型之設計及裝置·····	四六
第三節	房屋之板型·····	四七
第四節	特別式樣之板型·····	五〇
第五節	鐵板型·····	五一

第六節	板型之拆卸·····	五二
第七章	三和土建築工場·····	五四
第八章	三和土表面之整理·····	五八
第一節	三和土表面之增加美觀法·····	五八
第二節	三和土表面之增加耐蝕性法·····	六二
第九章	三和土之物理的性質·····	六四
第一節	總論·····	六四
第二節	三和土之強度·····	六四
第三節	三和土之耐用性·····	七六
第四節	三和土之雜項性質·····	八〇
第十章	鋼骨三和土·····	八三
第一節	鋼骨三和土之沿革·····	八三

第二節	鋼骨三和土構造之原理	九二
第三節	鋼骨三和土之特點	九二
第四節	鋼骨三和土之用途	九五
第十一章	三和土製品	九六
第一節	三和土磚	九六
第二節	三和土洩水管及污水管	一〇一
第三節	雜項三和土製品	一〇三
第十一章	三和土船	一〇四
第一節	造三和土船業之歷史	一〇四
第二節	三和土船之造法	一〇六
第三節	三和土船之優點	一〇八
第十三章	中國三和土建築業之將來	一〇九

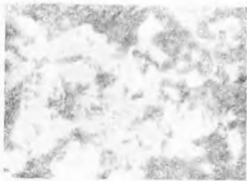


# 三和土

## 第一章 緒論

### 第一節 釋名

三和土 (concrete) 乃人造之石，其組織有與天生岩石極相似處。試取由沙粒膠結而成之砂岩，置顯微鏡下觀之，其組織如第一圖所示。此與膠沙 (mortar) 正無大異。膠沙乃用水泥 (cement) 膠合沙礫而成，實即三和土之不含石塊者也。礫岩 (conglomerate) 乃卵石膠結而成，則



第一圖 砂岩

與用膠沙將卵石膠合而成之三和土，極爲相似。

天生岩石，種類極多；人造三和土，古今所製亦，有各式不同。三和土之成分可，分爲粒料 (Aggregate) 及膠凝料 (cementing material)。粒料在合成三和土以後，質無變化；膠凝料則與水起化學作用，凝結硬化，而將粒料膠合堅固。粒料之粗者，或爲卵石，或爲碎石，或爲煤渣，或爲鐵渣，其細者或爲沙，或爲碎石屑。膠凝料或爲尋常石灰，或爲水凝性石灰，或爲天然水泥，或爲人造之純淨水泥。粒料之塊粒大小，可有種種，而粒料與膠凝料相和之比率，亦可有種種。古時製三和土，常用大塊之石爲粒料，而以石灰爲膠凝料。今時製三和土，粗粒料之塊粒常較小，且使大小配合得宜，填嵌緊密，以求減少空隙。在粗粒料之間，復加細粒料以充實之。粗粒料之大小，亦復配合適宜，務使三和土中膠凝料，祇用於結合粒料，而不多耗於填充粒料之空隙，因之用最節省，而所成三和土之實度得以加高。今時所用膠凝料，幾於全爲純淨水泥，因其質地優於別種膠凝料故也。

## 第二節 溯源

三和土在何時發明，不能確知；但在墨西哥及祕魯兩國，曾見三和土建築房屋之遺蹟，考其年代，當在有史以前。又從埃及底比斯（Thebes）城阿蒙（Ammon）神廟畫壁所繪，足見埃及人在西元前一九五〇年前後，已知製造三和土。第二圖所示，為畫壁攝影。自左至右，次第觀之，則凡從湖中取水，澆水於石灰，使之水化，取沙備製造膠沙，移運膠沙，造磚，運磚，用三和土作牆心而砌磚面，種種情形，明明可辨。圖中並有執棍者二人，執鞭者一人，乃監工者也。下圖右方，有埃及象形文字，即記載工事情形者。

古希臘人亦以三和土為重要建築材料。羅馬人當西元前五百年時，已採用之。自茲以降，其用已盛。造牆者常以三和土為中心，外加磚石作面。當提微（Julius Caesar）帝臨御之

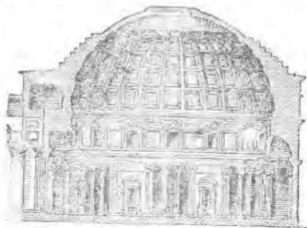


第二圖 古埃及人製造三和土

世羅馬人房屋之基礎及屋中體積巨大之部分常用三和土造。降至奧古斯都 (Augustus) 帝之世，凡建造房屋，橋梁，水管等，幾例採三和土作材料也。判提溫 (Palladium) 者，羅馬城之大圓屋也，實為古代三和土建築物之最可稱美者。此屋造於西元一二三年。直徑為一百四十二英尺，其頂開孔，直徑為三十英尺。第三圖所示是也。

羅馬人造屋，慣用三和土為牆心，而於外方砌磚石作面。若牆面不須特加磚石，則其造法為用長板對面側置，中填水泥與相細相和之石塊，此與今日放置三和土之法，極相似也。

英格蘭境內，多有羅馬人三和土建築物，歷時



第三圖 羅馬城判提溫圓屋

二千年，尙未湮滅，足見其堅固矣。倫敦有羅馬人所築之城，歷經摧毀，仍留殘基。倫敦塔附近有一古屋之基，列石塊與磚塊相間，用水泥嵌砌，而石塊與磚塊，竟不及水泥牢固也。

英格蘭境內，不少封建時代堡壘，巋然長峙，以至於今。因其牆表裏聯結，極爲牢固，故能經歷數百年不毀。考當時施工程序，例從牆面砌起，中間填置石塊，較砌牆面所用者爲小，復加碎石屑與之混和，然後用石灰與沙及水相和，製爲膠沙，灌入牆中，充填碎石間之空隙，故造成三和土牆心，復與外方牆面牢固結合。所用石灰，常加入別種物質，使能遇水而硬化，且耐受風霜雨雪之侵蝕。此不啻用一種水硬性水泥。雖質地不及今日人造水泥優美，然已足製成堅固不壞之三和土。

三和土建築與石塊建築，兩者耐用性之比較，可從英格蘭里丁（Reading）城本尼狄克特寺（Benedictine Abbey）之牆壁見之。此寺見於西元一二二一年。考當初建築寺牆時，曾用方石塊砌作表裏牆面，而用三和土作牆心。今日但餘牆心，牆面早已毀滅矣。

石砌之牆，無論石質如何堅硬，表面總逐漸剝蝕。三和土牆則否。古代三和土牆，每存夾板接縫之跡，是其證也。

中古時代，歐洲大陸漸不用三和土為建築材料；而在不列顛三島，則此物幾至絕跡。直至第十九世紀後半期，三和土之建築始復盛，則因有新材料新方法故也。

### 第三節 發展

上節謂降至第十九世紀後半期，三和土始復用作建築材料，而逐漸通行。然三和土建築之開新紀元，則當上溯純淨水泥發明之日為始。純淨水泥之質地，遠勝古羅馬人之水泥，亦非水硬石灰，天然水泥所能及也。

使用三和土者既廣，於是配料混和之法，逐漸改良；而水泥之製造，亦日趨完美。今日製造水泥者，於保持其質地之優良一層，已確有把握矣。

近數十年來，鋼骨三和土建築發展，三和土為用益宏。鋼骨三和土，乃將三和土與鋼條，依最合理方法，作最有效之結合者也。用於一切建築物，殆無不宜，而其設計形式，則能與構造鋼極相似也。鋼骨三和土設計構造原理，本書另有專章，述其大略，今不具論。但有一點可注意者，即三和土與鋼

合用，古羅馬人早已行之矣。

#### 第四節 用途

昔年美國水泥用戶聯合會 (American Association of Cement Users) 開會，嘗有人演說，論及三和土用途之廣，其言頗有味，大意謂：『人類進化，由石器時代而至鐵器時代，今則似由鐵器時代而至三和土時代矣，何以言之？吾人散步街旁，足之所履者，三和土步道也；駕車通衢，輪之所碾者，三和土路面也；跨越江河，車馬所經以登彼岸者，三和土橋梁也；日常坐臥飲食於中者，三和土房屋也；糧食之藏於中者，三和土倉庫也；飲水之儲藏與流通於中者，三和土水池與水管也；城市穢水之所由排洩者，三和土洩水管也；一旦年命既盡而永闕其中者，三和土棺與三和土墓也；所藉以傳不朽之名者，三和土碑銘造像也。』然此君所舉，猶多漏略，如船舶，亦有用三和土造者矣。三和土之用途，誠極廣哉？

## 第二章 原料

現時製造三和土，通用純淨水泥，沙，及碎石或卵石三者，加水合成。茲將此種原料，分述如次。

### 第一節 純淨水泥

一八二四年，英格蘭約克 (York) 州黎芝 (Leeds) 城，有巧工阿斯丁 (Jos ph Aspdin) 氏，得製造水泥法之專利權。阿斯丁氏因用此種水泥製成之三和土，有似英格蘭南波特蘭 (Portland) 島所產石灰石，遂以波特蘭水泥 (Portland cement) 名之。當時所發明者，祇有用石灰石與黏土之混合物，入窯烘燒後，磨粉而成水泥之程序。後經製造家與化學家，積百年之研究，於原料配合，烘燒程度，磨粉方法，無不立有精密之規律，故成品優良，與昔年之粗糙製品，迥不相侔矣。

欲明純淨水泥之製造方法，當先知其定義。美國土木工程師會 (American Society for



(Civil Engineers) 純淨水泥規範書中所立定義曰：「以粘土質及石灰質之材料，依極適當而正確之比例，透徹混和，烘燒之至開始熔融，取其塊塊，磨為細粉，在烘燒以後，除水及熟石膏或生石膏外，不加他物，此細粉即純淨水泥也。」

從此定義，可知製造純淨水泥所用材料，分粘土質者及石灰質者兩種。通常所用粘土質材料，為粘土、板石、頁石，或粘土質石灰岩；而石灰質材料，為純淨石灰岩、白堊、泥灰岩。隨各地所產者，配合兩種用之。

既知所用兩種原料成分，乃求得適當配料比例，以期製成水泥，合於所需成分。此須有極精密研究，非易事也。

製造純淨水泥，有乾溼二法。隨原料乾溼而異。依乾法製造時，採得粘土質原料，及石灰質原料，除原為細粉者外，俱先分別軋碎，成為小塊。次送入轉筒式乾燥機中烘乾。復次送入球磨機 (Ball mill) 中行粗磨；此機具旋轉圓筒，中貯鋼球，原料經其軋轉，即成碎屑。復次，依所求得適當混和比率，將兩種原料混和。復次，送入管磨機 (tube mill) 中行細磨，此機具旋轉圓管，中貯燧石質卵石，

磨出原料較前更細，且混和益勻。復次，將所得細粉，送入旋轉磨 (rotary mill) 上端，磨乃圓筒，外面有鋼殼，內面有火磚貼壁，長自一五〇至二四〇英尺，徑自一〇至一二英尺，安置略斜，每分鐘約旋轉一周。燃料為細煤粉，自竈下端，由送風機吹入。竈中溫度約為華氏溫度二七〇〇度。原料自竈上端，緩緩行抵下端，經過烘燒，約至開始熔融；當出竈時，結成硬實爐塊。復次，將爐塊送入降冷機中降冷。復次，將已冷爐塊，送入粗磨機 (course grinding mill) 中，磨成粗粒。復次，加入適量石膏，其作用為減緩成品之凝結速度。復次，以混和物送入管磨機中，磨成極細之粉，即為純淨水泥。復次，送入儲藏櫃中，陳置歷數星期，改良品質。終則裝入箱或袋中，以備出售。一箱水泥重三七六磅，一袋重九六磅。

溼法製造純淨水泥，在原料雜有多量水分，如以石灰石與粘土同用時行之。先將石灰石與粘土，依適當比量相和，成為泥漿。次送入攪拌機中，透徹混和。復次，移泥漿入大箱中，定其成分，加入適當原料，以改正其成分。復次，送入溼管磨機細磨。復次，移入儲藏櫃中，由此用唧機送入烘燒竈；所含水分，即在竈中蒸發。此後處理爐塊法，與乾法相同。

製造廠於製成水泥，例須取樣試驗。質地能合定格時，方可出售。遇有重要工程，買主於所買水泥，亦須檢查試驗，以定去取。通常所行試驗有六項：(一)成分，(二)比重，(三)細度，(四)健全性，(五)凝結時間，(六)一比三膠沙之牽引強度。

水泥之成分，係用化學分析方法測定。關於成分之當注意者，為燃燒損失量，應不逾四·〇〇%；不溶解之殘留物質，應不逾〇·八五%；三氯化硫，應不逾二·〇〇%；氯化鎂，應不逾五·〇〇%。

水泥之比重，尚不甚重要。非經特別指定時，不測定之。測得比重，應不小於三·一〇。如小於此數，可將水泥烘乾，再行試驗。

水泥之細度，乃重要性質。水泥磨粉極細，則分子之活動性質強，製成膠沙之強度高，而所能和入沙之分量亦大，故磨粉愈細愈佳，但以勿使成本增加過重為度。細度係憑篩測定。依美國標準，水泥中所含留在第二號篩上之粉粒，應不逾全重之二二%。尋常水泥，留在第二號篩上之粉粒約在五至一〇%之間。第二號篩每英寸有二百絲；絲之直徑為〇·〇〇二一英寸，絲間空隙平

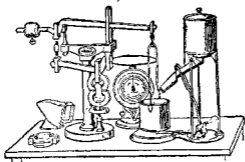
均爲〇・〇〇二九英寸。

水泥之健全性，最爲重要，乃其不含有使強度及耐用性等減退之作用之性也。凡水泥在凝結之後，膨脹而起分裂破壞者，卽爲不健全之表示。依美國標準，試驗水泥健全性之法如下：用具有正則稠度之水泥糊，在見方四英寸之玻璃片上，作一圓餅，直徑約三英寸，中心厚約半英寸，由中心向周圍漸次收削，成爲薄邊。此餅留置在潤溼空氣中，歷二十四小時，後置在沸水上方之適當支架上，離水面一英寸，包含在攝氏溫度九八至一〇〇度之蒸汽中，歷五小時。屆時察之，如仍強固堅硬，而無扭損，裂縫，破碎，或崩解等現象，則爲具充分健全性也。

水泥凝結時間，長短應如何，隨用途而定，各有其宜，用水泥作三和土，既不可在未放置時卽已凝結，亦不可在放置後經歷多時，方始凝結。用於水下建築之水泥，凝結不可緩，故宜用速凝水泥。凝結時間常用維卡針（Vicat needle）測定之。此儀器具有六公分長一公釐直徑之針一具，安置在粗圓桿之一端，圓桿重量爲三百公分。有架支持圓桿，令成直立，取水泥在玻璃板上，製成七分直徑，一公分厚之圓餅，作爲試驗樣品，置在針下，令針端恰與餅面相觸。當水泥尙未凝結時，將針放鬆，

即陷入餅中直穿至底。如當針放鬆後，在半分鐘以內，僅能穿至離玻璃板五公釐之處，而不能再向下，是爲水泥開始凝結之象。如當針放鬆後，祇在餅面微留壓痕，而圓桿他端壓於餅面，則絕無痕跡，是爲水泥終止凝結之象。依美國標準，普通水泥之開始凝結時間，用維卡針試驗時，不得少於四十五分鐘；其終止凝結時間，應在十小時以內。依英國標準，速凝水泥之開始凝結時間，不得少於二分鐘，其終止凝結時間，應在三十分鐘以內。

試驗水泥之強度時，通常用水泥和沙，製成一比三膠沙，而試驗其牽引強度。按水泥膠沙或三和土，因牽引強度甚低，故無特以抵抗牽引力者；在試驗時所以獨取此項性質者，乃緣其易於試驗，且假定此項性質，足以表示水泥之擠壓強度是否充分故也。惟在水泥之牽引與擠壓二項強度之間，實無一定之比率耳，行牽引強度試驗之試驗機，如第四圖所示。先



第四圖 水泥膠沙牽引強度試驗機

用細鉛丸裝入圖右上方筒中，俟與圖左重錘平衡。次用膠沙所製細腰餅，夾在圖中雙鉗之間。復次，開筒底之孔，容鉛丸瀉出；於是重錘之重量，經機中槓桿之傳力作用，牽引膠沙餅向上，終使之分斷，而鉛丸即不再瀉下。由瀉下鉛丸之重量，可算出牽引強度。依美國材料試驗協會 (American Society for Testing Materials) 標準，一比三膠沙樣品，先置在空氣中一日，後置在水中六日，牽引強度應有每方英寸二〇〇磅；又先置在空氣中一日，後置在水中二十七日，牽引強度應有每方英寸二七五磅。

## 第二節 細粒料

三和土中細粒料之功用，在填滿粗粒料間空隙。粒料常用沙，間以碎石屑代之。沙須為堅硬石英粒，質地清潔，不雜有柔軟礦物質，礫母，粘土及有機質等。其顆粒須能穿過四分之一英寸篩孔，自粗至細，分配均勻。如顆粒全屬極細者，或同屬一種大小，均不宜；因此種沙製成三和土，不能極密實故也。如用碎石屑代沙，須取石質堅硬耐用者，且須將其中過粗之粒，及極細之粉篩去；其顆粒粗

細之分配，與沙同。

### 第三節 粗粒料

製良好三和土所用粗粒料，須爲卵石，或質地堅硬緻密之碎石。造鋼骨三和土時，專用此二者。別種粗粒料，如煤渣，鐵渣，碎磚，鑄灰等，製成三和土，品質欠優，故以不用爲宜。

粗粒料應潔淨，不含一切有害雜質，如壩坭，粘土，及有機質等。其顆粒宜約略作方形或圓形；至於平扁者或成長條者，不能攢聚密實，故不宜用。顆粒應有同樣大小，或自細至粗，分配有序。顆粒之小於四分之一英寸者，應行篩去；或其品質優良，亦可留存，以備作細粒料用。顆粒之最大限度，隨三和土之用途而定；如用於體積巨大之建築，例如大墩座，支墩，厚牆，臺階等，可以二英寸半爲限；如用於薄牆，鋼骨三和土梁及柱，並別種普通小件構造物等，常以一英寸爲限。

如用卵石製三和土，鋪成路面，其卵石須有刀劃無痕之硬度；在別項僅注重強度之三和土，則可不拘，惟若卵石質地過軟而雜有爛石者，亦不宜用。

碎石常用深暗岩及花崗岩，與質地堅硬之白雲岩及石灰岩。

近年美國製造三和土船，用一種特別燒成之粘土，作粗粒料，其特點為質量甚輕，故造成船舶，重量可減也。

#### 第四節 水

製造三和土所用之水，應新鮮清潔，而不含種種有害之雜質，如污泥、油質、酸質、鹼質、有機質等。

#### 第五節 原料之初步處理

製造三和土所用水泥，如非筒裝而為袋裝，運到工場中，不可擱置不用，以致有受潮變性之弊。粗細粒料，常含有有害雜質，須先用水洗滌，方法不一。

- (一) 將其置在斜槽內自上向下沖洗。槽之下方有網。污水挾雜質，由此漏去。
- (二) 將粒料傾倒於沒入水中之篩上，振盪其篩，使雜質散去。



(三) 將粒料置入螺旋式運送器中，自下向上行，與下流之水相遇，而洗滌之。分析粒料之粗細，用篩行之，方法亦不一。

(一) 用手鏟起粒料，對斜置之篩投去，使粗料留於篩上，而細粒透入篩下。

(二) 用機械設備，以代手工。

(三) 用旋轉之筲形篩，置粒料於內，隨篩筲之轉動，而令細粒者落出。

## 第三章 三和土之配料法

### 第一節 總論

三和土之配料，指製造時配合材料分量之法而言。三和土隨其用途而應備具種種性質：如供造路面作臺階者，則當能耐磨蝕；如供建築房屋者，則當十分強固；如作水池水管者，則當不透水。欲求三和土備具此種優良性質，不應專恃多用水泥，而當注意於配料法；否則徒耗可貴之水泥，無濟於事也。

配料法有種種，可分兩類。第一類方法，目的同在求得具最大實度 (Density) 之三和土。實度乃三和土中水泥與粗細原料之總體積，與成品體積之百分率。舊說以為兩種三和土，含水量相同，製法亦相同，獨其實度有異，則實度愈高者，其強度，不透水性，及抵抗磨蝕性均愈高；故配料法之

目的，即在求得最大實度之製品。屬於此派學說之配料法，有下列四種：

- (一) 依任意選擇配料法。
  - (二) 依乾粒料空隙量配料法。
  - (三) 依最小產率配料法。
  - (四) 依細度分析配料法。
- 最近關於配料之學說，則不從求得最大實度上着想。屬於此類之配料法，有下列二種：
- (一) 依細度係數配料法。
  - (二) 依粒料表面積配料法。

## 第二節 依任意選擇配料法

此法採用者最廣。乃由工程師根據經驗，審察三和七用途，斟酌材料情形，而定配料之比量。普通假定對於不含過細顆粒之粗粒料，需用自四〇至六〇%之細粒料以填滿之，平均為五〇%，即

所用粗粒料體積爲細粒料之一倍。故 1:1 $\frac{1}{2}$ :8, 1:2:4, 1:2 $\frac{1}{2}$ :5, 1:3:6, 及 1:4:8 等。配料比量，俱屬常用。1:1:2 及 1:1 $\frac{1}{2}$ :3 三和土，含水泥極多，在注重強固或不透水之構造部分，如房屋支柱用之。1:3:4 三和土，性質亦優良用於鋼骨三和土地板，樓板，梁，柱，拱等，及受震動之發動機支座與機器支座，水管，污水管等。1:2 $\frac{1}{2}$ :5 三和土，亦用於地板，樓板，機器支座，房屋牆壁，街旁人行道等。1:3:6 三和土，含水泥少，用於笨大之建築物，厚牆，支承靜重之基礎等。1:4:8 三和土，含水泥極少，用於笨大建築物中不注重強度之處。如粗粒料之空隙量特大，則可將細粒料量爲增加，而用 1:2:3, 1:3:5, 及 1:4:6 等比量。反是，如粗粒料之空隙量頗小，則可用 1:1 $\frac{1}{2}$ :4, 1:2:5, 及 1:3:7 等比量。此法如由經驗豐富之工程師用之，又對於材料之計量處理，都能適當，常可得優良之製品。反是，則結果可以與預期者相差甚大，例如量水泥時，過於虛鬆，則用水泥少，而成品之強度不足；有時過於密實，則用量過多，有耗費之弊。俱不可不注意避免之。

### 第三節 依乾粒料空隙量配料法

此法在使水泥漿用量，適足以填滿細粒料之空隙，而細粒料用量，適足以填滿粗粒料之空隙。由測定所用粗細粒料之空隙量，而定配料之比量。每製一立方英尺之水泥漿，以需用水泥一百十二磅計之。

測定材料空隙量之法，如下所述：取已知體積之容器，盛入所測定之粒料，搖盪令密實，至填滿此器，上面與器口齊平爲度。以已知體積之水，加入器內，俟水面升至粒料表面爲止。由所餘之水，得知填滿粒料空隙需水之體積；復由填滿粒料需水之體積，及粒料之體積，求得粒料之空隙量。粗細粒料之空隙量，俱可依此法測定。此法簡便，而結果不甚準確。別有一法，卽先測定已知體積之粒料之重量，由此推算每一立方英尺中之重量。又從實驗，測得此種粒料之淨比重，由此二者，便可推出空隙量矣。

此法配料，結果不能甚準確。其故有種種：粗細粒料之鬆實程度，隨其處理情形與乾溼狀況而異，則空隙量必不能與實測所得者毫無差異，一也；三和土混和之後，粗粒料常有被細粒料推開之勢，而細粒料常有被水泥漿推開之勢，則粗細粒料間之空隙量便較測得者爲大，二也。故依此法配

料時所用水泥漿，每較計算所需者，多加十分之一，又使所成膠沙，亦較計算所需者，多加十分之一，以補不足也。

#### 第四節 依最小產率配料法

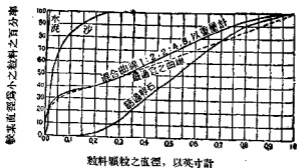
產率者，成品體積與其中粗細粒料體積之比率也。此法之原理，在假定水泥之用量，水之用量，及粗細粒料之總用量如俱不變，而惟粗粒料與細粒料之比量互有增減時，則製成三和土之產率，最小者，其實度為最大，亦即其性質為最優。此法所用器具為盛三和土之一圓筒，直徑自九英寸至十二英寸，高自十二英寸至十五英寸。先依所定含水量及所需之適當稠度，配合各種原料，製成三和土一種。裝入筒中，用桿捶實，測定其高度。然後傾出，將筒洗淨。次不改所用水泥及水之量，亦不改所用粗細粒料之總量，但改變粗細粒料之比量，製成另一種三和土，置入筒中，同樣捶實，驗其高度之增減。如此試之，直至求得一種高度最小之三和土為止。此乃產率最小者，可取其粗細粒料之配合比量，作配料標準也。

## 第五節 依細度分析配料法

此為美國工程師佛勒(W. B. Fuller)氏及湯卜遜(G. Thompson)氏積二十年研究所得之方法；乃將粗細粒料，用篩分析，定其細度情形，據此以決定配料之比率者也。

測定粗細粒料之細度，係取一定重量之粒料，用大小不同之篩，次第篩之，而測定其穿過各篩者之重量，再計算其相當於全部重量之百分率。依此繪成粗細粒料之細度分析曲線，如第五圖之曲線所示。

佛湯二氏，歷經試驗，知製造三和土時，如用沙或篩過碎石屑為細粒料，而用碎石或卵石為粗粒料，則在由種種配料比量製成之三和土中，厥惟所含混合粒料之細度分析曲線，如第五



第五圖 粗細粒料之細度分析曲線

圖虛線所示者之三和土爲最密實，最強固，最不透水。此曲線頗似由一段橢圓線一段直線合成之拋物線。配料之時，若粗細粒料之比重得宜，恰使混合粒料之細度分析曲線，與前述拋物線形曲線極爲近似，則製成之三和土性質最佳。設用細度分析曲線如第五圖中所示之沙及篩過卵石，依 1:2.2:4.8 比量製成三和土，則其混合粒料之分析曲線，將如圖中虛線所示，與標準曲線頗相近似，卽其配料爲最適宜者也。

據佛勒氏之經驗，依此種配料法製成 1:3:7 三和土，含水量雖不豐，然因配料得宜之故，質地頗爲密實而不透水，堪用於建築不透水薄牆。如依尋常簡單方法配料，往往須用 1:2:4 之三和土，方能得同樣功效。由此可見，依本法配料，能省水泥不少。如在規模宏大，多用材料之建築中，用此法之利益，乃極爲顯著也。

### 第六節 依細度係數配料法

此法爲美國芝加哥留伊斯學院 (Lewis Institute) 教授亞布 (Prof. A. B. )





製造三和土時，欲求用水率之減小，不外兩法。設有依某種比量配合之粗細粒料於此，取其一定量，加入一定量水泥，和水製成三和土，則所需以潤溼粒料表面而使成品具某稠度之水量，為某一定量。如所用之水泥量增加，而用水仍為某一定量，則用水率便減少；此際強度增高，正與尋常所謂用水泥愈豐富之三和土，強度愈高之理相符。如用水泥量與用粒料量之比率不變，但設法變化所用粒料之粗細分配情形，而令所需以潤溼粒料表面之水量減少，則亦使用水率低減。本配料法目的即在研究如何配合粒料，以使用水率減低也。

亞布藍斯氏發明粒料之細度係數 (*Fineness modulus*) 以辨別粒料之性質。此係數由分析粒料得之。用台勒爾 (Tyler) 氏標準篩一組。其篩孔為每英寸一百孔，四十八孔，二十八孔，十四孔，八孔，四孔，及八分之三英寸孔，四分之三英寸孔，與一英寸半孔。將留存在此九篩上粒料之百分率數相加，以一百除之，所得即為細度係數。細沙之細度係數可以小至一·二五，粗石之細度係數，可以大至八·〇〇。同一種細度係數之粒料，無論其為沙，為石，或為沙石混合物，所需令其表面潤溼之水量相同。設三和土之中用水泥量與用粒料量之比率不變，則其強度隨細度係數而增加，至一

最大限爲止。對於某一種用水泥量與用粒料量之比率，及粒料之某一種最大式樣，各有一最大限。過此最大限後，其粒料卽不適用。如祇就某一種用水泥量與用粒料量之比率試驗，而其顆粒之最大式樣，可有變化，則製品之強度，乃隨細度係數而增加，不見有最大限也。

亞布蓋斯氏根據試驗結果，得下列公式，以表示用水率與細度係數等之關係：

$$x = R \left( \frac{3}{2} p + \frac{0.30 R}{1.25 R} \right) + (a - 0)$$

式中  $x$  爲用水率，卽三和土混和時，用水之體積與用水泥之體積兩者之比率。

$R$  爲三和土之比較稠度，（測定此比較稠度之法如下：用金屬製之圓筒型，型之內面光滑，直徑爲六英寸，高十二英寸，填三和土於內，以桿壓實。於是將筒型向上拔起。如三和土恰減短半英寸至一英寸，則爲具正則稠度，而其  $R$  之值爲一。如用水之量較正則稠度時所需水量多二〇%，則  $R$  之值爲  $1.20$  餘可類推。）

$p$  爲依水泥之標準試驗，製出正則稠度之水泥餅時，所需之水量，以水之重量與水泥之重

量兩者間之比率計之。

$n$  爲三和土混合粒料體積與水泥體積之比率。

$m$  爲混合粒料之細度係數。

$a$  爲乾燥粒料浸在水中三小時後，其所吸水之體積與粒料體積之比率。此比率在軋碎石灰石及卵石之平均值爲 0.02；在質地疏鬆之沙石，可至 0.08；在質地極疏鬆之粒料，可大至 0.25。

○ 爲粒料所含水分之體積與粒料體積之比率（在空氣中乾燥之粒料，所具之值爲零）。設有某種粗細粒料於此，而欲以之製成具某項強度之三和土時，求配料比量之法，具如下述：先由第六圖，依所需強度，查出用水率。次將求得用水率  $x$  代入公式，此公式中之其餘各項，如  $R$ ,  $p$ ,  $a$ ,  $c$ ，皆爲可以測定之已知數，亦一一代入，而  $n$  之值則可假定一數。復次，解此公式，以求得混合粒料之細度係數  $m$  之值。配料之時，自宜力求少用水泥，故所假設  $n$  之值，可以更換試之，待算出  $m$  之值，與此種三和土細度係數所可有之最大值相近爲止。既知應具  $m$  之值，又知所用細粒料之細度

係數，及粗粒料之細度係數，可由下式求出所用粗細粒料之配料比量：

即

$$y = \frac{(A-B)}{(A-C)} \times 100$$

式中  $y$  為混合粒料總量中所有細粒料之百分率，

A 為粗粒料之細度係數，

B 為混合粒料之細度係數，

C 為細粒料之細度係數。

亞布藍斯氏所製用水率與強度關係圖中之強度，係依據試驗室之結果；在實地工作，製成三和土之強度，自然稍遜；故依本法配料時，須顧及此點也。

### 第七節 愛德華滋氏依表面積配料法

此法為愛德華滋(L. N. Edwards)氏所創。愛德華滋氏根據試驗之結果，發明三事：

(一) 由品質勻整之粒料，製成三和土，其強度視下列二項爲衡。

(甲) 所用水泥之量與粒料表面積之關係。

(乙) 混和物之稠度。

(二) 他項情形如相等時，細粒料具有較小總表面積者，所製膠沙之強度，較具有較大總表面積者所製者爲大。

(三) 製成正則稠度之膠沙，所需用水量，隨用水量及細粒料受水浸溼之總表面積爲衡。依此法而配合三和土，程序如下：

(一) 用篩分析所採用之粒料：

(二) 測定穿過每一種篩孔，而阻於別一種篩孔之粒料，每一單位量之中，所含顆粒之平均

數。

(三) 由(二)之結果及粒料之比重計算每一種大小之粒料一顆粒之平均體積。

(四) 由各種大小及形式之粒料之平均體積，計算其表面積。(沙粒及卵石粒，假定爲球體；

碎石塊粒，假定其中三分之一爲立方體，而三分之二爲平行立方體。

(五) 算定粗細粒料之總表面積。

(六) 根據粒料總表面積而定用水泥量。

(七) 根據用水泥量及粒料總表面積而定用水量。

(八) 將依(七)製成之膠沙或三和土，施行強度試驗。

(九) 將混和物中水泥及水之量，予以增減，直至求得適合所需之強度爲止。

配料時水與水泥之比量，必須適當，否則所得強度結果，不能良美。

在試驗室中，如將各種式樣及比重之粒料之表面積與單位重量間之關係，混和物強度與粒料表面積間，與用水泥量間，及與水與水泥比率間之關係等等，製成表格與曲線圖解，以指示之，則依此法配料之工作，可以減省不少。

## 第八節 各種配料法之比較

任意選擇法，乾粒料空隙量法，最小產率法，均可選在施工處行之，無庸先在試驗室中研究，故皆頗簡便；然三法俱不精密，多憑經驗，而非據學理，故須由經驗豐富之工程師行之，方得良好結果。網度分析法，須先作實驗，而後決定粒料粗細分配之情形；如應用合宜，不難得密實強固之製品；但有時須將材料用篩分為數種粗細等級，而後再合併用之，所費或不貲耳。細度係數法及粒料表面積法，均須先作實驗，且不無計算之煩；然其在實地工作時，無須將粒料分成等級使用，故無多耗費，而仍能得優良製品；在大工事中，採用此等精密方法，常可節省工料甚多也。

### 第九節 配料需用材料計算法

既經決定三和土之配料比量後，計算每一單位體積需用各種材料之分量，可用下列公式。

$$\text{所需水泥之量} = \frac{1.55 \times c}{c \times s + r} \quad \text{單位體積}$$

$$\text{所需細粒料之量} = \frac{1.55 \times s}{c + s + r}$$



$$\text{所需粗粒料之量} = \frac{1.55 \times r}{c+s+r}$$

式中  $c, s, r$  爲三和土中水泥、細粒料、及粗粒料之配料比量，皆以體積計之。

## 第四章 三和土之混和法

### 第一節 混和法總論

三和土之混和，最當注意之點，爲於最短時間內，將各種材料混和透徹，成爲全部稠度均勻之混和物。混和無論採用何種方法，均須將水泥與細粒料先行乾拌均勻，如此則結成水泥球之弊，可以避免。所用細粒料應取乾燥者；而粗粒料則勿令全乾，否則將吸取膠沙之水，而令成品之硬化性降低，其弊不容忽視也。

混和之時，計量水泥，常憑重量，每袋重九十四磅，作爲體積一立方英尺；每桶重三百七十六磅，作爲四立方英尺。取用粗細材料，係以木斗定其體積。用水之量，在手工混和時，用體積已知之量器，以量定之；在機械混和時，於混



第七圖 容一立方英尺之木料

和機所附水箱，安有計量進水體積之器，以量定之。

三和土之混和，有手工法及機械法之別。以下二節分述之。

## 第二節 手工混和法

手工混和，應在混和臺 (mixing Platform) 上行之。混和臺用木板造成，須不漏水，長可十五英尺，寬十英尺。混和之時，先將沙平鋪於板面，加水泥於上。次將水泥與沙乾拌之，直至混為一色。另將潤溼粗粒料，亦攤在板上。於是將混和之沙及水泥鏟起，加於粗粒料上，而混和之。復次，於混和之



第八圖 三和土鏟

材料中造成低穴，加入適量之水。復次，鏟起四邊，向中心翻進，俟水全被吸收，再翻轉三邊，使混和透徹爲止。又一法爲於水泥及沙經過乾拌之後，即行加水，作成稀薄之膠沙，翻轉兩次後鏟起堆於潤溼粗粒料上，而混和之，翻轉三次爲止。

手工混和三和土，極爲用力，工人易感疲勞，往往有混和不透徹之弊，而有損於成品之強度及別種性質。祇在所製三和土分量不多時，用之爲宜。

### 第三節 機器混和法

三和土混和機有兩大類，運用法隨之不同，分述如下：

(一) 間歇混和機 間歇混和機 (batch mixer) 常具鼓形之第一具，以軸支於架上，故能迴轉。甯有爲圓形者；其內有斜置之推板，以便推動材料，有爲立方形者，則不甯此。每次混和，先將各種



第九圖 三和土之混和器

乾燥材料之適當分量送入，令筒旋轉，則材料被送至上方，復行落下，故得混和透徹。歷十秒鐘或十五秒鐘後，急將所需分量之水送入筒內，繼續混和。歷一分半鐘至二分鐘，將和成三和土瀉出機外，以備運輸放置。此式之機，製出三和土，混和透徹，質地均勻，強度亦高，較手工混和者為佳，亦較下述連續混和機混和者為佳；且在較大工事，使用機械，並屬省費，故其應用最廣也。

(11) 連續混和機 連續混和機 (continuous mixer) 常具一種之槽，中設螺旋或轉動輪。材料繼續分別送入機之一端，或為已配合之乾燥材料，或為未配合之各種材料，異其送入速度，以節制配料之比量。製成三和土，則由機之別一端放出。此式之機雖屬省事，然成品常不佳，不可施於重要工作。

## 第五章 三和土之移運及放置

### 第一節 三和土之移運

三和土一經和成，即應移運至使用之處，而放置之，絕不可猶豫失時；一以免粗粒料下沉而與膠沙分離，一以免三和土在放置前即行凝結。如有此種現象，則三和土強度降低而不可用矣。

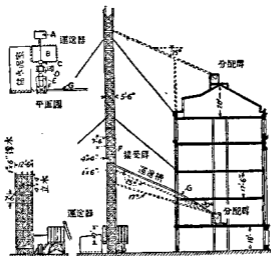
在使用少量三和土之時，可用尋常獨輪手車或雙輪小車移運。

在規模較大之三和土工作中，可安置輕便鐵路，用大車移運。又有用索引道與起重機等項設備，移運三和土者。美國建築業，習用起重塔與運送槽，移輸三和土。其設備略如下述。主體為起重塔，乃鋼料構成。和成之三和土，置於特別式樣之運送厚中，在塔內提至高處。塔之近頂處，置有受三和土漏斗一具，在其中他處，置有兩三具。輸送三和土之槽，由塔向下斜懸，與使用三和土之處相接。此

數者爲設備要項，至於其布置方法，則隨工作情形而異。鋼塔係用可以互換之段連接而成，每段長約二十英尺，上下相接，至有適當高度爲止。尋常以二百英尺爲限，偶有較此更高者。起重機承於架上，有適當布置，令其當落至塔底時，則自動行至三和土混和機之出口下，以受三和土；當其升至預定高度時，則自動將三和土瀉入漏斗中。漏斗乃鋼板製成，構造堅固，搭接於塔內，其下備有不漏水活門。漏斗亦可附着在滑動架上，以便能於片刻間，改換地位。運送槽上端接於漏斗下活門處，可有任何長度，但以塔之高度及槽之應有斜度所容許者爲限。平置之運送槽，截面均作開口之卵形；直立者作圓形。

今舉一例以說明此種移運三和土之設備。第十圖所示，爲美國國立印刷局(U. S. A. Bureau of Engraving and Printing)建築新屋時，所用起重塔及運送槽之布置情形。新屋爲五層高樓，長爲五百零五英尺，寬三百英尺。製造三和土之工場有兩處，分設於屋之兩院內。每處有混和機，起重塔，起重機及運送槽。如圖所示，沙及卵石，存於A處池中，經運送器送至B處料倉，由C處量料漏斗量過，於此加入水泥，一齊送入D處混和機中。和成之三和土，送入E處運送屏，提至高處，瀉入

F處之漏斗，由此轉入G處之運送槽，再由分槽或由小車，分配於使用之處。



第十圖 美國國立印刷局建築工場三和土布置情形

用起重塔及運送槽時，對於三和土之配料及混和，須特別注意，尤當注意於製品之稠度。製品既不可過乾，又不可過溼，須乾溼合度，成爲質地均勻，而其黏性之物體。如置一石塊於和成之三和土上應半浮半沈，而不可全浮在三和土面，亦不可全沉入三和土中。三和土過溼，則有使粗粒料與膠沙分離之弊。與其失之過溼，尚不如失之過乾。過乾時三和土之性質不至減劣；但因運送槽之安置須較前爲峻急，則其能運送之範圍，不免減小耳。



用起重塔及運送槽時，在工場之設計布置管理各方面，亦咸應合法，方能得良好結果。運送槽之傾斜度，須恰使三和土能在其上依整齊速度繼續流動，且完全受人力節制。在停止運送三和土時，運送槽必須用流水洗淨，縱使停工之時間極短，亦須如此辦理。當停止以後再行運送之時，槽面必須全部潤溼。凡使用多量三和土，而工作之處即在混和機近旁者，用起重塔及運送槽以分配三和土，最為相宜。如使用材料不多，而工作之處又分散而不聚，自不宜採用此法也。

## 第二節 三和土之放置

在尋常建築工事中，放置三和土之程序，隨三和土之稠度而異。如三和土較乾，放置之時，宜成六英寸或八英寸厚之平層，施以搗實，容其略起凝結，乃加置上層。如三和土較溼，可繼續放置，而不須分層搗實。

較乾之三和土，不可自過高之處倒下，否則粗粒料與膠沙分離。較溼之三和土，如從高處垂直倒下，亦不免有此弊，但不甚顯耳。造薄牆時，須用鏟將三和土鏟入型板內，用鋼條在近型板處上下

搗之，使粗粒料與型板略為隔離，其間祇留有膠沙；如此則拆去型板後，牆面可以較為平滑完美。

三和土放置後，用適當工具捶築，乃所以逐去其中氣泡，而使質地密實也。較乾之三和土，可用尋常修街所用之槌為之。較溼之三和土，如用重槌，有使膠沙浮升上部之弊，故宜用較輕之槌為之。

在鋼骨三和土建築，須使三和土在型板中到處填實，而鋼條鋼網之間，尤不可有充填不周之處，此點極為重要。可用鋼條在三和土中上下搗實。又可用氣力槌（pneumatic hammer）在型板外敲擊，使三和土中氣泡因受震動而逸去，故全體三和土得增加密實也。

在三和土建築物之注重不透水性者，如蓄水池，水櫃，游泳池，船舶等，三和土應如天衣無縫，成一整體，絕不可有縫隙。故放置三和土時，最好須用兩三班工人，輪流日夜工作，以免因休息或停工而使先後放置之三和土間，生出界線。如不能採此法辦理，則須於先凝結之三和土表面，洗刷十分清潔，或並須使其粗糙，用水潤溼，塗以淨水泥漿，然後再放置新三和土。在整實三和土建築物，其三和土祇受擠壓應力，又無須防止透水者，則對於新舊三和土之聯合，可不用十分加工處理，但將舊三和土表面洗刷清淨足矣。

有時將三和土送入水下放置，一切程序，須特別注意。三和土不可倒於水面而容其自行沉至水底；否則一部分膠沙，將隨水漂散，祇餘一部分膠沙及粗粒料，不全為三和土矣。有數種特別放置方法，可免此弊。

(一) 用起重機懸吊，厚盛三和土，上面蓋實，送入水下，至放置之處，則厚下之活門自開，放出三和土。

(二) 用一長鐵管，用船支持，垂入水中。管之上端出水面，與漏斗一具相接；下端抵於水底。將三和土由漏斗送入管中，令其充滿，當工作進行之際，將管提起少許，則三和土從管之下端放出。將三和土不斷添入漏斗，故管內得以時時充滿，繼續放出，而次第攤在所填之處上也。

在重要之水下三和土建築，另有方法，以免三和土與水接觸。

(一) 於工作之處，造成圍堰，用唧機起出堰中之水，然後依尋常陸地建築方法，安設板型等，以放置三和土。

(二) 於陸地造成三和土大方塊，於水底造成平整之基面，用起重機將三和土塊卸入水底，

由泗水者將各塊按適當地點排列，在基面上，結合牢固。一層造成，再造上層。層疊而上，出於水面。

(三) 於陸地造成鋼骨三和土之潛室 (caisson)，下水以後，浮至工作之處，沉入水底，安置於預先造成之基面上。橋梁碼頭等之支墩，頗有依此法建築者。

碎石倒入水中造成之堤，亦有變成三和土之法。即用管伸入水底石隙之中，注射水泥膠沙，則膠沙與碎石聯合，便與三和土無異也。

## 第六章 三和土之板型

### 第一節 總論

三和土當放置時有幾分流動性，故須設法使不逸出預定範圍以外，直至硬化成形為止。其法有簡有繁，隨情形而異。

如欲在地上，造成三和土路面，則三和土直接灌注於路基上，無需另用板型，惟周圍應設置邊條 (curb)，阻其流入路旁耳。

如欲用三和土造成種種複雜形式，如柱，拱，小梁，大梁，樁，桁，樑架，及全部房屋，橋梁，水池，船舶等，則須依構造物形狀，用板型作成外殼，承受三和土，而支持其重量，直至三和土已充分凝結硬化，能自行支持時為止。板型安置法，往往甚為繁複，乃隨構造物情形而異也。

## 第二節 板型之設計及裝置

板型均由包工者備辦。在每次包工之一部分中用過後，尚須求其在別一部分中再用。在一處包工中用過之後，尚須求其能在別處包工中再用。故設計板型時，當注意使構造簡單而拆卸便利，能不受大傷。如此則板型可反復使用多次，其價值由前後工作分攤，而各次之包價可省。三和土在未會凝硬之時，重量由板型支持，故設計板型之時，又須注意於結構之安穩也。

板型之材料有兩種，即木與鋼是。我國今多用木料。木料須取其經過適度之陳置者，不宜過乾，亦不宜過溼。過乾或者引起木料受水膨脹過度之弊，過溼或者引起接縫不密而滲漏之弊，而三和土中或竟生有空洞也。

板型必須仔細結構，無使地位參差，又須用足數之支柱及斜柱，抵撐結實，使能承受潤溼三和土之重量，不致改變形狀；而在受風之處，更須加用禦風撐條，以免被風吹倒。

板型上用釘之處，愈少愈妙。構造板型之木匠，爲省事之故，往往樂於多多用釘；其實不用釘而

只用夾條與木楔，固可將型之對面夾實。縱在必須用釘之處，亦不可將釘全行釘入板內，須留釘頭突出板面少許，如此則起釘之時，一撬便出，無須挖傷木料矣。

在建築數層之樓房時，備有兩層或三層所需之板型，已屬足用。房屋自上而下，分層建築；中層之板型灌過三和土後，下層之三和土當已凝結硬化，便可將板型拆卸，以支搭上層，而中層板型暫存不拆，留待三和土之硬化。如是次第拆裝，甚屬便利，不僅節省材料已也。

板型之內面，即與三和土接觸部分，須刨成平滑。在放置三和土之先，須將板型內之一切木屑垢穢除去，又須用潤滑油或軟胰皂，塗刷板型裏面，使板不致與三和土表面膠合，始便於拆卸也。

### 第三節 房屋之板型

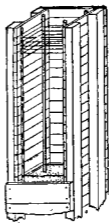
鋼骨三和土柱，截面或方，或長方，或圓，方者及長方者，常用木板作型，圓者常用鐵板作型。

造柱之木板型，結構方法有數種。板型有全用橫板構成者，如第十一圖所示，先構成三面，而於餘一面，祇將最下段型板釘實，灌置三和土於最下段面捶實之，隨即加釘上一段之橫板，再放置三

和土，如是次第分數段行之。別一法爲於柱之諸角，先立小柱，在周圍加釘橫板，分段爲之，次第放置三和土，而加工捶實之；於三和土尙未充分硬化時，即可拆去橫板容其周圍顯露，而促進硬化之作用；至於上方之材料及板型之重量，因有諸角柱支承，自不至有何危險。

柱之板型有全用直板構成者，如第十二圖所示，將周圍板型，俱行釘實。此法所用三和土，應稍潤溼。柱底應留有一孔，在灌三和土之前，出清木片泥土，然後閉之。

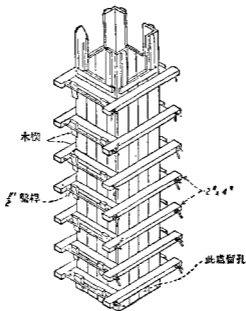
梁之板型，如第十三圖所示，成爲槽狀，安置在兩柱型之間，由柱型支承之。配置梁型邊板法，須令能在三和土未充分硬化以先，即可拆卸邊板，而不擾及底板。如此則使三和土一經凝結，即能與空氣接觸，而促進硬化。邊板每隔適當距離，須設法夾實，以免灌注三和土時，不勝其壓力而散開。梁之底板，須有支柱撐柱，不致因不勝重壓而下垂。支柱用木楔置入其頂及底，一方面爲求安置之便



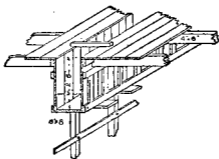
第十一圖 柱之板型用橫板作成



利。一方面可於取出支柱以先，察驗構造物本身是否已充分強固，能自支持。



第十二圖 柱之板型用直板作成



第十三圖 梁之板型

鋼管三和土房屋之樓板，結構方法有三種，其板型之布置，隨之而異。

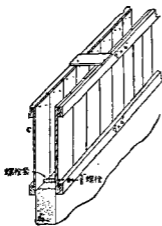
(1) 平底樓板 (Flat slab Floor)，不用梁支持，而直接由柱承之；因其構造簡單，故板型之

布置亦便利而省費。

(11) 井梁樓板 (Beam and Girder floor) 樓板支於小梁，小梁支於大梁，大梁支於柱。樓板之下，兩面爲大梁，兩面爲小梁，成爲井字形。其結構複雜，故板型之布置亦較平底樓板爲繁雜。

(12) 方板樓板 (slab floor) 用木製或鐵製方形型心，排成行格，兩排型心之間爲大梁，各型心之間爲小梁，而樓板則在型心之上。因所用之大部分爲同樣之型心，故布置尙覺簡便。

造三和土牆壁時，可建立兩面之型板，而於中間填入三和土。牆壁亦可用活動板型建築，如第十四圖所示，用栓釘或夾條，將其聯結於造成之一段牆上，放置三和土後，再向上移動，直至全牆之高度已足爲止。



第十四圖 牆之活動板型

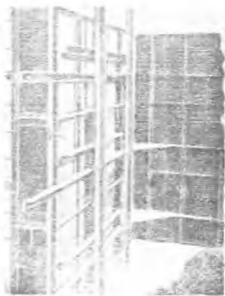
#### 第四節 特別式樣之板型

造三和土障壁，壩堰，橋梁，涵洞，水池，水櫃，穀倉等類建築物時，板型常甚複雜，每須承受巨大重量，經過長時期方行拆去。重要之道路橋梁與鐵路橋梁，因動靜載重均大，故其板型之設計，尤須精細。

在造三和土船時，先依船身之外形，造成全型之外殼，以後次第造成型之內殼，隨時灌入三和土。

## 第五節 鐵板型

美國近年建築大房屋，穀倉，蓄水池，圓水櫃，煙囪等，多用鐵板型。木板型價雖較鐵板型為廉，然不能經過多次使用，若統長期計之，實以用鐵板型為合算。不僅此也，鐵板型又能使建築物之表面異常完美，非木板型造成者所能及。鐵板型乃用特種不生鏽之鐵造成，具標準尺度，每板之一邊及其一端，備有鐵扣，裝置之時，與相鄰之板型緊密連結。對面之板用標準式樣之聯桿 (Bolt) 聯結。在建築物之內，外隅角處，另有特別式樣板型備用。第十五圖所示，為造牆用之鐵板型。



第十五圖 建造用鐵板型

## 第六節 板型之拆卸

五二

三和土建築中，對於板型之拆卸時期，須謹慎定之。然並無定律可循，須視工程情形及天氣而決。大概言之，如天氣較冷，或在多雨之時，三和土之凝結與硬化較緩；若建築物頗厚重，則因中心難硬化，故拆除板型宜遲。

拆卸板型，須按次序為之。在溫和天氣中，柱之邊板可於灌成三和土後一星期以外拆卸，但須先將大梁、小梁、樓板等，分別撐柱安妥。次為小梁之邊板及樓板之底板，可於灌成三和土半月以外拆卸。復次為大梁之邊板。復次為小梁之底板及支柱，可於灌成三和土後三星期以外拆卸。復次為大梁之底板及支柱。牆之板型，常獨立

而與別種板型無關連，故可於灌成三和土後四日至十日拆卸。

拆卸板型及支柱時，須由熟手工人擔任之，而由監工員監督之。須注意，不可亂敲重擊，致使新三和土因震動而受損；又當愛惜板型，以備拆卸後改在他處應用也。

## 第七章 三和土建築工場

在使用三和土分量不多之工事中，尤如採用手工混和法時，製造三和土之設備，極為簡單。水泥儲藏於適宜之處。粗細粒料，堆積在三和土混和平臺之附近；如須洗淨或篩分者，分別洗淨或篩分；隨時用鏟送入平臺上量屛中，或距離稍遠，則用手車運送。所有設備，極為簡單，不足稱為工場也。

如工事之規模巨大，則運送原料，與製造三和土，一切設備，須求完美便利，故其布置大有研究之價值。用材料之量既多，則每可設備儲料倉以積存材料；用運送器，起重機，輕便鐵路等以運輸材料。一切設備，須力求減少人工，節省動力。原料之儲藏處，應即在初步處理之地附近；經過初步處理後，送至混和之處，其間所行距離，愈小愈妙。要而言之，則其種種布置，應與現時新式製造貨品之工廠相似也。

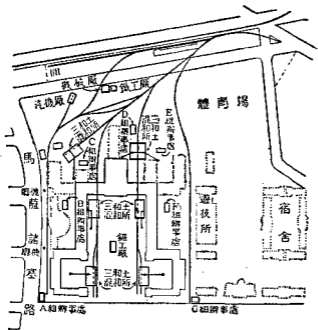
第十六圖所示，為三和土建

築工場之一例，乃美國波士頓馬

薩諸塞工科學大學（Massachu-

setts Institute of Technology

建築新校舍時之布置。材料由鐵路運來，由架於木架上之運輸路，送至各工區。每區有存沙之池，容三百立方碼，存卵石之池，容四百立方碼。水泥藏於棚內。三和土混和機，設在池底，故材料藉重力瀉下，甚為便利。製成三和土，由車送至起重之高塔，由此分配各處。



第十六圖 美國馬薩諸塞工科學大學之三和土建築工場

## 第八章 三和土表面之整理

三和土表面之整理方法，隨其注重之性質而異，有注重在增加美觀者，有注重在增加耐蝕性者，今分節述之如下。

### 第一節 三和土表面之增加美觀法

欲求三和土建築物全部之美觀，當着意於增加其表面之美觀；若不此之圖，而惟從建築式樣上，摹倣石料之形色，反不能得美滿之結果，此當明辨者也。

三和土拆去板型後，表面所以每不如磚石建築物之美觀者，原因略如下述。

- (一) 板型之接縫，板型上之木節裂縫等，留痕跡於三和土表面。
- (二) 三和土之放置，搗捶等項工作，未曾足度，草率了事，以致表面留有缺陷。



(三) 三和土之混和未均勻，以致表面顯露攢聚在一處之粗粒料，而使表面之結構模糊。

(四) 所用板型不清潔，以致三和土表面隨之污穢，顏色醜觀。

(五) 或雖無上述弊病，而因三和土表面顏色不鮮明，遂覺不美觀。

既明三和土表面不美觀之原因，則可對症下藥，使其易為美觀，大概第一着重之點，在除去板型所留之痕跡；以後倘更求美觀，而不惜增加費用，則就三和土之結構與顏色上設法加以整理。其方法有種種，以下分述之。

(一) 放置三和土前後之注意 於放置三和土前後，施行適當注意，可將三和土表面有損美觀之缺點，減去不少。

(甲) 板型裏面當刨成平滑，且塗刷潤滑油一厚層，撒以細沙，則澆成三和土之表面，便無木紋。

(乙) 注意於板型裏面之清潔，除去污穢，則三和土表面，不致醜觀。

(丙) 用黏土或膠沙填嵌板型上木節，縫隙，及板型接縫，則澆成三和土之表面，便無條痕。

(丁) 混和三和土時，務求均勻，則表面不至有在一處攢聚多數粗粒料之弊。

(戊) 三和土之放置及搗搗等項工作，均仔細行之，則表面不至留有缺陷。

(二) 除去三和土之面層 三和土表面之水泥層，顏色平淡，頗欠美觀。可設法除去之，使下層相細粒料之鮮明結構，得以顯露；且將表面由板型遺留之痕跡，一齊除去。

(甲) 趁三和土未乾時，用水沖洗，使表面現出粗細粒料之結構。所需水之壓力，隨三和土凝結之程度而定。但此法須於三和土尙未充分硬化時，即灌成後七八小時內，便將板型拆卸，方可實行。然在受力之構材，拆卸板型，如此之早，定生危險，故此法不可用。

(乙) 三和土表面可用硬毛刷或金屬絲刷刷淨，此須待其充分硬化後行之，大約在灌注後一日至數日，視溫度高低而定。

(丙) 三和土表面可用稀薄鹽酸塗之，顯出粒料之顆粒。此法常與上述刷淨法並用，即在刷淨之時，用酸液潤溼三和土表面，或於刷淨後塗之。初灌之三和土，可用酸一分和水六分至八分之溶液；充分硬化者，可用較濃溶液。塗刷後，隨用水洗淨，否則三和土有褪色之弊。

(丁) 三和土表面可用細磚、軟石、砂砥石 (carborundum stone) 或金鋼沙 (amery) 磨平。準備依此法整理之三和土，在灌注時應用鐵條在型內上下搗之，使粗粒料不與板型相接，以免將來磨擦工作，受其阻礙。拔型須於三和土尚溼時拆卸。如不能早日拆卸板型，亦可在三和土硬化程度較深後，施行磨擦，惟其事加難耳。

(戊) 三和土表面可用鈍鑿等琢治，使其粗細粒料顯露，所得結構狀態，則隨材料之剛柔及施行鑿擊之方向而異。惟琢治須於三和土灌成至少二月後行之，否則三和土硬化尚未透徹，粒料有被擊落之弊。準備依此法整理之三和土，在灌注時亦應阻其粗粒料貼近表面。

(己) 三和土表面亦可用噴沙機 (sand blast) 噴射沙粒，以行清潔，惟須於三和土灌成至少三月後行之。但



第十七圖 有花邊之三和土表面用鈍鑿處理

表面所有板型痕跡，應先設法除去，凹陷之處，亦應同時填平。所得表面，極美觀。惟此法應用不廣，一因設備費大，一因祇有表面廣大平滑時方適用此法也。

（三）三和土顏色之注意。選擇顏色適宜之粒料，以製三和土，或於其中加入相宜色料，俱使三和土增加美觀。

（甲）上段所述諸種整理三和土表面之法，主旨均在顯出其粒料之特質。如於選擇粒料時注意於其彩色、形式及組織，則結果自更美觀。倘美觀粒料價值頗昂，可僅在三和土表面用之，而內部仍用普通粒料。灌注三和土時，可用鐵板安置在離表面一英寸以上之處，於外面灌入用美觀粒料製成之三和土，同時於內面灌入普通三和土，隨時逐漸提高鐵板，容兩者凝結成一體。

（乙）三和土之原料中，可加入特別色料，使其表面美觀。惟所加色料，須為礦物質，且重量不可過全部重量之六%。黃色、櫻色、紅色、黑色之色料，係用赤鐵礦磨粉所製，俱不褪色。青色及藍色之色料，則不免褪色。

（四）塗飾三和土之表面。三和土表面可用種種方法塗飾，以掩水泥黯淡之色。

(甲) 用膠沙塗墁於三和土表面，祇屬一時權宜之計，因終不免剝落故也。塗墁之前，應按照接合新舊三和土之法，將表面刷清，用水調溼透徹。所用膠沙，應含水泥一分，及沙三分。欲求增加美麗，可選各種適宜色彩之沙用之，或以色料加入膠沙中用之。塗墁之時，應力求牢固。用木製墁刀壓磨膠沙，可得平滑之面；如用鋼製墁刀或於木製墁刀附以呢面，則所得之面更加平滑。亦有不用墁刀壓磨膠沙，而用工具將滑溼之膠沙漸起，灑於三和土牆上者，所得表面，亦頗美觀。又有於三和土牆面先塗軟潤之膠沙，後取小卵石嵌於其面者。

(乙) 三和土表面可用油質塗料塗刷，作成種種顏色。宜於表面先塗刷氫矽酸鎂鈣 *magnesium silico fluosilicate* 或硫酸鋅之水溶液，使水泥中之游離石灰中和，則以後所加塗料，可無脫落之慮。



第六圖 三和土表面用灰泥裝飾

(丙)三和土表面可用燒泥塊填嵌，作成花樣，增加美觀。法為將燒泥塊膠貼在板型之內，然後灌注三和土，或照所定式樣，用木條或木塊，釘於板型之內，而灌注三和土，然後於留出之空位，嵌入燒泥塊亦可。

## 第二節 三和土表面之增加耐蝕性法

作地板或路面之三和土，整理表面之法，與前述諸法不同。前述諸法，重在美觀，故有將三和土之外層除去者。地板或路面重在耐磨蝕，故注意於作成良好之外層。通常於三和土地板上另造耐蝕表面一層；而三和土鋪砌，亦分上下兩層造成，以上層為耐蝕表面。耐蝕表面之材料，大概為一分水泥，與不及二分之石英沙，沙質須粗細分配整齊有序，用最少量之水，和成略乾之膠沙，趁三和土底層未全凝結時，（即在灌注後四十五分鐘以內）攤布於其上。地板之耐蝕層，至少應有一英寸厚；而道路之耐蝕層，則厚自五英寸至十英寸。用直條架於地面，以為攤平其表面之準則。當膠沙已起硬化時，可用鐵邊刀磨平，惟用力不可過度。當硬化漸深，將不可刮磨時，再用鐵邊刀磨平一次。此

後在二十四小時以內，用水溼木屑蓋在表面，不時加水，至半月爲止。不用木屑而用溼泥亦可。凡此均所以防三和土之速乾而硬化不充分也。

## 第九章 三和土之物理的性質

### 第一節 總論

三和土之物理的性質，包括其強度，彈性，透水性，吸水性，脹縮性，及耐用性等。此種性質，隨各種事物之影響而變化。材料之品質也，配料之比量也，用水之多寡也，混和之程度也，放置及捶實之得法與否也，調養之合度與否也，成品之年齡也，皆足以影響於三和土之性質而使其變化。

故三和土之性質不能離諸種事物而討論之也。

### 第二節 三和土之強度

今先將各種事物對於三和土強度之影響說明，而再就三和土之各種強度及彈性的性質，分



別論之。

(一) 各種事物對於三和土強度之影響。

(甲) 水泥比量之影響 三和土之擠壓強度，約與其每單位體積所含水泥量成正比。巴爾(G. A. Kimball)氏曾依各種水泥比量作成三和土樣品，除此混和比量一事不同外，其餘一切情形相同。所行擠壓試驗結果，如下表所列。

第一表 三和土中水泥比量對於擠壓強度之影響

配 料 比 量	平均擠壓強度以每方英寸若干磅計				
	七 月	八 月	九 月	十 月	十 一 月
一比二比四	一、五六五	二、三九九	二、八九六	三、八二六	
一比三比六	一、三一一	二、一六四	二、五三二	三、〇八九	
一比六比一一	六〇二	九九四	一、〇七九	一、三五九	

凡用於受直接擠壓之三和土，欲增加其強度，惟增加水泥比量，為最簡單而省費之法也。

(乙) 材料品質之影響 製造三和土之水泥及細粒料，如含有有害之雜質，俱可減低三和土之強度，粗粒料之強度，對於三和土之強度，亦可有影響。如用水泥甚多，而粗粒料不堅強時，則三和土之破裂，或即在粗粒料中發現。尋常之碎石及卵石，強度儘足以應多種用途之三和土所需。依試驗所得結果，知碎石三和土常用同樣製成之卵石三和土為強，惟所差不過一〇%，為值已微；在使用上相較，卵石三和土卻常覺略優，因卵石圓滑，放置較易，而成品之透水性亦較低也。軟弱易碎之石，所製三和土，強度隨之降低。煤渣三和土之強度尤弱。今將各種粗粒料製成之三和土強度之比率，列表如下。

第二表 各種粗粒料製成之三和土之強度比較表

粗 粒 料 之 種 類	強 度 之 比 率
花崗岩及深暗岩	1.00

那石 硬石灰岩 硬沙岩	○·九〇
軟石灰岩 軟沙岩	○·六七
煤渣	○·二五

(丙) 粗粒料大小之影響 製造三和土時，設其粗粒料直徑不逾三英寸，又設其一切情形無改易，而獨粗粒料之大小有變化，則粗粒料之最大顆粒愈大時，所得之三和土之實度愈高，而其強度亦愈大。佛勒(Fuller)氏及湯卜遜(Thompson)氏，曾用各種材料，製成水泥一分與粗細粒料九分相配之三和土，行此試驗，其結果略如下表所列。

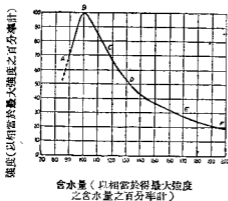
第三表 水泥一分配粗細粒料九分之三和土中最大顆粒之大小，對於實度及擠壓強度之影響。

粗粒料最大顆粒之直徑	平均實度		製成一百四十日之平均擠壓強度
	數值	比率	
	數值	比率	數值(每方英寸之磅數)
			比率

○・五〇英寸	○・七八八	○・九三	一・〇〇八	○・七二
一・〇〇英寸	○・八一四	○・九六	一・一五三	○・八三
二・二五英寸	○・八四七	一・〇〇	一・三九一	一・〇〇

(丁) 用水比量之影響 第十九圖之曲線，為亞

布藍斯氏試驗三和土擠壓強度與含水量關係所得之結果。所作樣品之配料比量，種種不同。由此曲線，可見在 A B 一段，強度隨含水量而增加頗多。過此以後，含水量再增加，則強度復減小，其減小由速而緩，如 B C D E F 一段所示。含水過少之三和土，如 A B 一段所示者，用於尋常建築工程，多嫌過乾，但在製造三和土磚，洩水管，以及別種製品之須用較乾三和土者，自屬相宜。造路所用



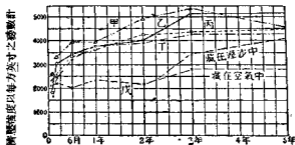
第十九圖 三和土擠壓強度與含水量之關係

三和土之含水量，如點C所示。在建築工程所用三和土，含水量常與圖中D至F一段相當。用如此潤澤之三和土，其強度不過能得最大強度之三〇%，由此可見。在鋼骨三和土建築中，含水量，以使三和土在板型中能緩緩流動者為宜。

(戊) 混和情形之影響 三和土混和之情形，對於稠度及強度，俱有影響。混和透徹之三和土，不僅較便於使用，且強度亦增加。例如用間歇式混和機混和三和土時，混和應歷時一分半鐘至二分鐘，方為透徹，而得具充分強度之製品；至其確實時間，則隨其機械式樣而略異。據亞布藍斯氏試驗，用某種間歇式混和機混和三和土時，製品強度，隨混和時間而增加，在二分鐘以內，增加甚速，過此以後，則增加甚緩。用機械混和，較用手工者，易得良好結果。大概言之，同類三和土，由手工混和者之強度，較由機器混和者之強度，減小十分之一至四分之一。

(己) 移運放置情形之影響 移運放置三和土時，設未盡合法，則有損三和土之強度。移運時若有耽延，則三和土不免在放置之前，即起始凝結；及灌入型中，再受攪動而破壞其結晶之組織；又移運時與放置時，若三和土之粗粒料與膠沙起分離現象，則灌入型中，結構不能均勻；遂有強度

不齊之弊，此類情事皆使構造物中，有強度特低之面，而危險每由此發生。如放置時三和土未能擠實，或放置以後未經適當之調養，皆足令三和土之強度降低。第二十圖所示為美國伊里諾斯 (Illinois) 大學，用樣品試驗三和土調養方法，對於擠壓強度之影響之結果。圖中五種樣品之配料比量，以重量計，同為 1:2.5:3.5。(甲) 線所示之樣品稍乾，含水 8.4%，四%，藏在溼沙中；(乙) 樣品具正則稠度，含水 9.3%，三%，藏在溼沙中；(丙) 樣品具正則稠度，含水 9.3%，三%，表面用石蠟塗抹過，藏在溼沙中；(丁) 樣品稍溼，含水 10.2%，二%，藏在溼沙中；(戊) 樣品具正則稠度，含水 9.3%，三%，藏在空氣中。觀此圖可知，藏在空氣中之樣品，雖經過數年，其強度增加頗微。藏在溼沙中之樣品，則隨年月而增其強度。製成歷五年之樣品，藏在溼沙中者，較藏在空氣中者，強度大一倍。又有可注意者，即

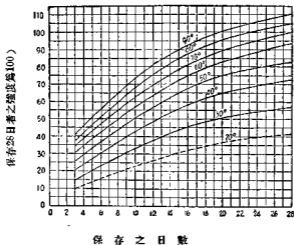


第二十圖 三和土調養方法對於擠壓強度之影響

藏在空氣中之樣品，經過二年三月以後，取出移入溼沙之中保存，其擠壓強度，仍能增加不少也。

(庚) 低溫度之影響 初經放置之三和土，或放置未逾數日之三和土，遇低溫度，則強度大減。此乃由於水泥之水化作用及硬化作用受阻之故。其甚者，三和土之強度永遠傷損。第二十一圖所示者，為馬克但以理 (A. B. McDaniel) 氏在美國伊里諾斯大學試驗低溫度對於三和土強度之影響之結果。

(辛) 成品年齡之影響 新製三和土，強度隨其經歷時日，增加甚速，但過一二十日



第二十一圖 三和土強度與溫度之關係

後，則其增加之速率，遂不如前之大。關於此種關係之試驗，尙少長期記錄。但就各家試驗報告觀之，則強度增加之平均比率，如下表所列。

第四表 三和土強度隨年齡而增加之平均比率

成 品 年 齡	強 度 比 率
一 月	一〇〇
六 月	一五〇
一 年	一七八
二 年	一九八
三 年	二〇〇
七 年	二一〇

(二) 各種強度 今就三和土之各種強度，略爲分論如次。

(甲) 擠壓強度 三和土之擠壓強度，最爲重要，上已述及，有種事物，足以影響於三和土之



強度。此種事物既屬千變萬化，則三和土之擠壓強度，自隨之而無定值。今單就在平常實地情形中，三和土之擠壓強度論之。美國有五工程學會，合組委員會，研究三和土，發表報告書，謂在作工程設計時，所用三和土之極限擠壓強度，可採用下表所列之值。

第五表 各種三和土在製成後二十八日時之極限擠壓強度，以每方英寸若干磅計。

三和土之材料	配 料 比 量				
	一 比 三	一 比 四 · 五	一 比 六	一 比 七 · 五	一 比 九
花崗岩 片麻岩	三,三〇〇	二,八〇〇	二,二〇〇	一,八〇〇	一,四〇〇
卵石 礫石灰岩 礫沙岩	三,〇〇〇	二,五〇〇	二,〇〇〇	一,六〇〇	一,三〇〇
軟石灰岩 軟沙岩	二,二〇〇	一,八〇〇	一,五〇〇	一,二〇〇	一,〇〇〇
煤渣	八〇〇	七〇〇	六〇〇	五〇〇	四〇〇

(乙) 牽引強度 三和土之牽引強度，遠不如擠壓強度之重要，因三和土無用以承受牽引力之故也。三和土之牽引強度與擠壓強度，無一定比率。大約言之，牽引強度為擠壓強度之八分之

一至十二分之一，平均為十二分之一。材料與人工之優劣，及環境情形，對於牽引強度之影響，較之對於擠壓強度為大，而試驗時設備裝置之差異，亦足使測得之值，發生多少差異也。

(丙) 剪割強度 三和土之剪割強度，頗關重要，尤以在三和土短柱為甚。因難得適宜之器械，以測定金屬剪割性質之應力，故學者發表之結果，頗多歧異。從前所得之值多甚低，與牽引強度相仿，此乃因樣品之破壞，非由於不勝剪割力，而實由於不勝牽引力故也。一九〇六年，美國伊里諾斯大學塔爾坡特 (Talbot) 氏曾發表報告，彼用改良之試驗法，作多次試驗，結果表示剪割強度約為擠壓強度十分之四至十分之七。

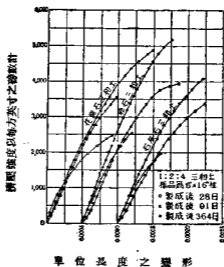
(丁) 橫撓強度 三和土之橫撓強度，幾全隨其牽引強度而異。大概計算所得之撓折係數，約為牽引強度之二倍，約為擠壓強度之五分之一至六分之一。

(三) 三和土之彈性的性質 三和土之彈性的性質，頗屬重要，不僅因與研究三和土建築物載重時變形之狀況有關，且因鋼及三和土對於同量變形之比較應力，乃設計之根據也。

(甲) 應力變形圖 三和土受擠壓時之應力變形圖，如第二十二圖所示。

(乙) 彈性係數 三和土與別種脆性

材料（如磚、石、鑄鐵等）相似，乃不具完全彈性者；所加載重雖不大時，已可見有永遠變形；且不論載重之大小，其變形並不與所起應力之大小有比例。是以三和土之彈性係數，並非一定數，而為一變數，載重愈增，則彈性係數愈低。實際上所採用三和土之彈性係數，係與三和土之使用應力相當者。假定三和土製成後歷時一月或二月，而其使用應力不逾每方英寸五〇〇磅，則一比二比四三和土之彈性係數，可作為每方英寸二〇〇〇、〇〇〇至二、五〇〇、〇〇〇磅，而一比三比六三和土之彈性係數，可作為每方英寸一、五〇〇、〇〇〇至二、〇〇〇、〇〇〇磅。



第二十二圖 三和土受擠壓時之應力變形圖

(丙) 彈限 三和土受甚低之載重，亦起永遠變形，故以嚴格言之，實無彈限。但其應力有一限度，在此限度以內，反復施力，不見增加變形；過此限度，則變形無限增加，終至破壞。在實用上，可即取此限度作為彈限。據巴哈 (Bach) 氏及奧南 (Van Ornum) 氏等之試驗，此限度約為極限強度之四〇至六〇%。

(丁) 柏松氏比率 學者得測三和土之柏松氏比率 (Poisson's ratio)，一比三比六者，可作為〇・〇八；一比二比四者，可作為〇・一一；一比一・七五比三・二五者，可作為〇・一八。

### 第三節 三和土之耐用性

今就磨蝕、高熱、油類、酸類、鹼類、海水等事物，對於三和土耐用性所生影響，分述於下。

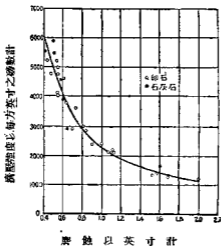
(一) 磨蝕 三和土用作地板或道路表面時，其關於磨蝕之耐用性，最為重要。抵抗磨蝕性，大部分繫於膠沙之抵抗磨蝕性，但若三和土表面已被磨蝕甚劇，露出粗粒料，則粗粒料之耐用性，自亦有幾分影響。依亞布藍斯氏試驗，三和土擠壓強度與抵抗磨蝕性之關係，如第二十三圖所示。

(二) 高熱 三和土耐受高熱之性，較尋常建築材料（如磚瓦、燒泥、及石膏）為優。三和土熱至華氏溫度計上一千度，歷三小時或四小時，隨用水管射水，令其急冷，此際除其表面略有剝落外，並無重傷。三和土熱至一千度以上，方失強度及勁度。設在此時，三和土表面與空氣繼續接觸，則逐漸分解破碎；如不斷澆水，則可阻分解。尋常火災，如歷時不長，或勢非極盛，其溫度在華氏溫度計一千度上下，故三和土儘可耐受。此所以城市發生小火災時，三和土房屋每能留存不燬也。

房屋之鋼梁鋼柱，於表面敷以二英寸厚之三和土，即足以護之。其原因如下所述：

(甲) 三和土本身為不能燃燒之物質。

(乙) 其膨脹係數與鋼之膨脹係數極相近，故能一齊伸縮，而無害於兩者之結合；不似用燒



第二十三圖 三和土腐蝕深度與抵抗腐蝕性之關係

泥保護鋼料時，因燒泥之膨脹係數較鋼大一倍，遇火則燒泥便與鋼料分離也。

(丙)三和土之傳熱速度甚低，美國哥倫比亞(Columbia)大學校教授武爾孫(Woolson)氏曾行試驗多次，察得三和土表面受華氏一千五百度之高熱，歷二小時，其表面下二英寸處之強度，不過升至五百度至七百度之譜。若在三英寸處，則不過熱至與水之沸度相等也。考三和土所以傳熱甚緩者，一因其中有細微空隙充滿，一因空氣受熱時外面三和土中化合水蒸發，須吸收熱，故傳至內面三和土之熱遂無多也。

三和土失去化合水時，固已受重傷，然如火勢不大，則其傷害，非深入內部，不過及於表面下一英寸或二英寸距離之內，而非害及全體也。

就三和土之質地論之，愈密實剛硬者，愈能禦火。粗粒料之屬砂質者，如沙岩，卵石，石英岩，花剛岩等，不及石灰岩，深暗岩，鐵渣等種粗粒料之抗火性高。

(三)油類 既經硬化之良好三和土，不受普通植物油，動物油，及礦物油之侵害。但含有酸質之植物油，如橄欖油及可可油，浸漬三和土，則漸起損蝕；又煎熬甚熱之動物油，亦略有害於三和

土之耐用性。

(四) 酸類 三和土之品質優良，硬化透徹者遇酸類時，不受影響。

(五) 鹼類 土壤或地下水中如含有鹼質，則其地三和土建築物，常受侵蝕，而埋入土內或浸入水中之處，界劃顯然。鹼質究引起何種化學變化，尙未明瞭，大概侵蝕作用之主要原因，當在其中的硫酸鎂，而硫酸鈉及碳酸鈉，或亦各有影響。三和土常與鹼質接觸者，受害之程度，反較時與之接觸時復乾燥者爲低。如三和土質地優良，不透水，且表面密實，則其抵抗鹼質之性較強。

(六) 污水 用三和土作污水管時，須注意於污水之性質。如污水放出硫化氫氣，則生成硫酸，足使水泥中氯化鈣質分解，而起破壞也。

(七) 海水 三和土浸在海水，每逐漸膨脹，裂拆，以至崩解，諒由海水中硫酸鎂及硫酸鈣之侵蝕作用所致。三和土長期浸在海水者，較時乾時溼者，反覺耐用。三和土如工料良好，質地密實，充分硬化，可至十年或十五年始見傷損；且如情形良好，雖至四五十年，亦尙無重傷。海濱之鋼骨三和土建築物，三和土應特別厚實，以免海水滲入，令鋼骨銹壞也。

## 第四節 三和土之雜項性質

(一) 比重 三和土之比重，隨所用材料之品質及成品之實度而異，在每立方英寸一六〇至一四〇磅之間；尋常設計，可作為一五〇磅。用煤渣為粗粒料者，質地特輕，不過每立方英寸〇至一一五磅之譜。

(二) 脹縮 三和土與別種物質同，受熱則脹，受冷則縮。其膨脹率約為每華氏溫度一度，差〇・〇〇〇〇〇六。與鋼之膨脹率〇・〇〇〇〇〇六六，極為近似，此所以在鋼骨三和土中，無因溫度升降而致兩物分離之危險也。

三和土於硬化時，體積亦有脹縮。在空氣中硬化者體積縮小，在水中硬化者，體積膨脹。膨脹之量，隨含水泥之增減而增減。

三和土之含水量變化時，亦起脹縮。曾有人試從造成二十年之三和土人行道表面，割取一塊，置入水中，亦見膨脹有〇・〇〇〇五至〇・〇〇〇六之大；其後提出乾燥，又見收縮。設若當此塊三



和土之含水量變化時，限制之使不能脹縮，則可引起每方英寸一千至一千二百磅之應力，已有極限擠壓強度之半，而遠逾牽引強度，殊未可忽視也。

(三) 透水性 三和土含水量愈多，含沙愈細，製成後經歷年月愈長者，透水性愈低。透水性有時頗關重要，如用於建築蓄水池，水管，船舶，房屋底層等者，須不透水是也。欲求三和土之不透水，第一在使其異常密實，即於配料，混和，捶實等工作，特別注意是也。此外另有用阻水物質和入三和土以求減低透水性之法。阻水物質有與水泥起化合作用者，如黏土，極細之沙，熟石灰等；有與水泥化合而成不溶解物質者，如各種特製出售之阻水材料是，其中多含有脂蠟酸 (stearic acid) 與鈉及鉀或鈣相合。不與水泥化合之阻水物質，乃與乾燥水泥相合，而後用之；用量最多可至水泥量之二〇%。其中常用者為黏土，加入少量於三和土，能將其中空隙充填，使之密實。熟石灰用量可至水泥量之一〇至一五%，作用與黏土相同，施於含水量少之三和土，為最相宜，但不可用於水下工作。與水泥化合之阻水物質，亦與乾燥水泥相和而後用之，用量常不過水泥量之二%，多則有害於三和土之強度，尤以含水量多者，其害為顯。其作用不外遇水造成不溶解物質，存於三和土空隙

間，使不透水。其功效殊不及黏土、石灰等者之著也。

上所述減少三和土透水性之法，皆在三和土之品質上着想。此外有用塗有煤膏之紙或氈等三數層，嵌於房屋底層之牆壁或地板間，以求不透水者；又有於三和土表面塗刷種種不透水物質，如煤膏、油漆、明礬、胰皂，以及特製不透水水泥等者，各有多少效用也。

(四) 吸水性 三和土之吸水性 (absorption) 可有不少差異，乃視其實度、水泥用量、粗細粒料種類、混和之透微程度、放置時謹慎與否等項事物而異。使三和土增加不透水性之事物，大概俱能使其增加不吸水性。

## 第十章 鋼骨三和土

### 第一節 鋼骨三和土之沿革

鋼骨三和土建築原理，古羅馬人固已知之；其所用增加三和土強度之材料，或為木材，或為紫銅，或為青銅，種種不一。以後在中古時代之歐洲，亦沿用之。但用科學方法研究鋼骨三和土，而有今日之發展，則不過近百年中事耳。

一八三〇年，勞頓 (London) 氏創用鋼骨三和土建築屋頂之議。後十年有人發明建築鋼骨三和土地板之法式兩種，其使用鋼骨之法，與今時通用之法，頗相近似。一八四九年，法蘭西人蘭坡 (Lambot) 氏，造鋼骨三和土船一艘；一八五五年，送至巴黎博覽會陳列，且註冊得專利權。此船至今猶保存未壞。一八五五年，尉爾琴孫 (Wilkenson) 氏及科涅 (Colinet) 氏發明鋼骨三和土建

築方法，註冊得專利權。一八六一年，法蘭西人摩尼厄（Morie）氏，始製三和土蒔花箱，用鐵絲爲框架。一八六七年，摩尼厄氏以其製品，送至巴黎博覽會陳列，且註冊得專利權。其製法係用上下兩排鋼條，縱橫相交。此制當時雖未通行，今日則已廣用，尤以用於樓板地板者爲多也。

自是以後，至第十九世紀之末，四十年中，研究此項構造而有所貢獻改良者，更僕難數，舉其最著者，有數人焉。一爲亥阿特（Thidéus Hyatt）氏，於一八七七年，曾著一書，詳述其對於鋼骨三和土所作種種實驗。一爲梅蘭（Melan）氏，在一八九〇年後數年之間，發明丁字形梁，爲最省料最強固之構造。一爲巴黎人痕涅比（Hennebique）氏，研究全用科學方法，發明肋條（stripp）及折角條（bent-up bar）。其構造法今極通行。今日鋼骨三和土構造之所以能極盛者，此君之功居多也。

## 第二節 鋼骨三和土構造之原理

鋼骨三和土能兼具鋼與三和土之優點，三和土之耐用性極高，頗能抗火，且堪受重大擠壓力。

惜不能耐受牽引力。鋼之強度極高，又富有彈性，惜易於銹蝕，又易因受熱而損其強度。合此二種材料，則兼具其優點，而不露其缺點，此鋼骨三和土所以優美也。明乎此則可進而研究三和土之原理。

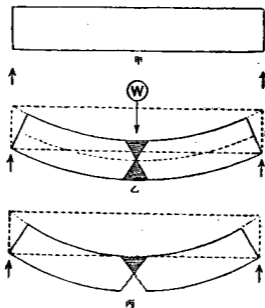
(一) 梁 橫梁中兼有擠壓與牽引兩種應力，故不宜單用三和土作之；然與鋼料合用，則甚為合算，其合用之方法與原理，述之於次。

先設有一無骨三和土梁，支點在二端，其承受之重量，或集於中心點，或分布於全梁之上面。無論如何，梁受重壓，總欲向下彎曲，而在其下面，三和土有分裂之勢，在其上面，則三和土有壓碎之勢。

此種情形，觀第二十四圖自明。圖中甲處所示為支點在兩端之梁。圖中乙處所示為此梁因受重物W之壓而撓曲。察此圖，可知梁之下面有牽引之力，上面有擠壓之力，在二者之間，必有一無牽引力亦無擠壓力之處。圖中以有黑影之三角形面積兩區，表示梁中之牽引應力及擠壓應力，而此二面積之界線，即相交之二斜線，頗似剪刀之兩股。剪刀兩股之運動，愈近中樞愈小，在樞點絕無運動。此樞點與梁之中性軸上一點相當，在其處全無應力，因牽引力自梁之底面向上，逐漸減小，而擠壓應力亦自頂面向下逐漸減小，至中性軸處俱化為零也。

設三和土抵抗底部牽引力之分量，能與抵抗頂部擠壓力者相等，則此梁為能盡其用，而無耗費之材料。實則不然。三和土對於牽引力之抵抗力，僅得對於擠壓力之抵抗力之十分之一。故第二十四圖所示之梁，支承之重量，尙未至足使三和土能盡顯其對於中性軸以上擠壓力之抵抗力時，中性軸以下之三和土，早因不勝牽引而破裂，如圖中丙處所示是也。

然則欲求三和土梁之不破裂，必使所任重量，與其對於牽引力之抵抗力相副方可，其理甚明。



第二十四圖 梁之受力情形

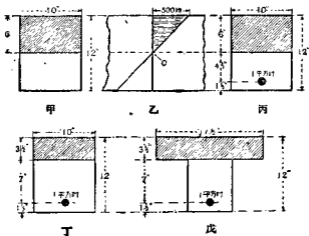
於是三和土對於擠壓力之抵抗力之十分之九，不能展布，是為虛耗材料，實至不合算也。

雖然，此缺點非無不可彌縫之策焉，即藉鋼條之助，以補三和土對於牽引力之抵抗力之不足是也。設有一梁，如第二十五圖甲處所示，寬一〇英寸，深一二英寸，其中性軸位於深六英寸處，即在頂面與底面之中間。假定此種三和土梁能承受在頂面每方英寸五〇〇磅之擠壓力。今之所計畫者，即為欲使三和土能盡量發展其對於擠壓力之抵抗力，必如何而可。因應力向中性軸處，逐漸減小，至中性軸處則化為零（第二十五圖乙處），故在梁之橫剖面上半部一〇英寸寬二〇英寸高之面積中之平均應力，祇能有每方英寸  $(500 \div 2) \div 2 = 125$  磅，而此面積中之全部擠壓力，應為  $10 \times 6 \times 250 = 15,000$  磅，因梁之下半部之三和土，在頂面之擠壓應力升至每方英寸五〇〇磅之前，早將破裂，故就其抵抗牽引力言之，可謂有等於無。然此部分之三和土，非絕無用處，因有此方能安置鋼骨在內也。

假設鋼對於牽引力之抵抗力，能有每方英寸一五、〇〇〇磅，則用鋼之面積有一方英寸，即能與梁之上部三和土一五、〇〇〇磅之擠壓力相抵，而保持平衡。此所需一方英寸之鋼，可取鋼

條安置在離梁底面之一英寸半之處，供給之。再精確言之，則此地位所需之鋼面積尙略大於一方英寸也。

今假設中性軸之地位未移，而以第二十五圖丙處表示梁之橫剖面；在此梁中祇用三和土以抵抗擠壓力，祇用鋼條以抵抗牽引力，單就梁之上半部三和土言之，其對於抵抗擠壓力之效用，業已增加十倍。若以梁之全體而論，則加用鋼條，即增加材料價值，而梁之下半部三和土並無抵抗牽引作用，亦屬虛耗材料，此兩項不能不計，故梁之效用，實在祇較不用鋼骨者，增加七倍之譜。凡此所論，皆以假定中性軸不變位置為根據，



第二十五圖 三和土梁之設計



實則加用鋼骨之梁，構造既與前不同，則其中性軸便不在原位，而移至離梁面三英寸半之處，如第二十五圖丁處所示，是以三和土對於抵抗擠壓力有效之面積，亦從  $50 \times 10 = 500$  方英寸，減至  $50 \times 8 = 400$  方英寸，故在受牽引力方面之三和土，虛耗之面積增加，而梁之效用，較上所假定者，尚須減少。

幸尚有方法，足以彌此缺憾，即將梁之截面，改作第二十五圖戊處所示之狀是也。將梁之上半部改寬，成爲翼形，面積得  $15 \times 10 = 150$  方英寸，又將下半部縮窄，面積減至  $7 \times 10 = 70$  方英寸。因下半部之三和土，並不抵抗牽引力，祇爲安置鋼條且使梁之上下着力部分，得以連接之用，故下半部改窄，無損於梁之強度也。如此改作，則得丁字形梁 (T-beam)，是爲鋼骨三和土最

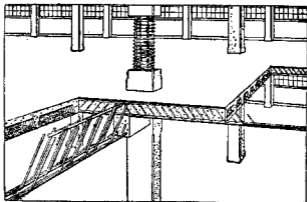


第二十五圖 鋼骨三和土所用鋼骨

有效用最省材料之構造；有此而後鋼骨三和土梁之效用，不因中性軸之升高而損失也。

在實地建築，於抵抗牽引力之鋼骨外復置鋼條，以使梁之受擠壓力部分與受牽引力部分，聯貫益密。此項鋼條名爲肋骨（web reinforcement），其功用不僅在連合牽引及擠壓之正應力，且能抵抗梁中沿各方面而發生之副應力。第二十七圖所示爲卡（Kahn）氏式之梁及柱中鋼骨布置之情形。

如欲減少所需以抵抗擠壓力之三和土，而使梁之尺度縮小，常於梁內近頂面處，安設鋼骨。又在梁之運架於數支柱之上者，亦須添用抵抗擠壓力之鋼骨，因有時由載重不均之故，使梁之上半部原



第二十七圖 卡氏式之梁及柱中鋼骨布置之情形

受擠壓力之處，變爲受牽引力，而使其下半部原受牽引力之處，變爲受擠壓力，不能不早爲之備也。用鋼骨以抵抗擠壓力，雖不若用以抵抗牽引力時之合算，然如此用法，常覺有利，有時且爲事所必需也。

(二)柱 上文所述，都指橋梁而言，今再就支柱或構造物中別種承受擠壓力之部分論之。在此種部分，單用鋼料，固無不可。但在有火災之慮處，須於鋼料之外，用三和土，或磚，或燒泥，或別種材料以保護之，其合併之造價，不能較用鋼骨三和土者爲省，而其體積亦未必較用鋼骨三和土者爲小，則用鋼骨三和土以代鋼料亦屬相宜。尤有進者，如支柱或構造物中別種受擠壓力之部分，頗覺瘦長時，或所受擠壓力，不在柱之中心，而偏於旁時，則於簡單之擠壓應力外，復生橫撓應力。達此情形，則用鋼骨三和土，乃顯然合算。尙有常注意者，卽同一構造物中，其橫梁用鋼骨三和土，爲一種建築法，而支柱又單用鋼料，爲別一種建築法，自不若同用鋼骨三和土之優美，且使構造物成一整體之體，異常牢固也。

本書屬通俗性質，且因爲篇幅所限，自不能詳述鋼骨三和土設計建築之方法。讀者如欲深造，

可另擇專書讀之。然構造物之重要部分，不外橫梁及支柱，其設計之原理，為鋼骨三和土設計之基本，本書已述其大略矣。

### 第三節 鋼骨三和土之特點

鋼骨三和土與用三和土包於鋼料之外，以防火傷及鏽蝕者，迥不相同，因其不僅為兩物合併而成，實具有新特性，即韌性及彈性是也。

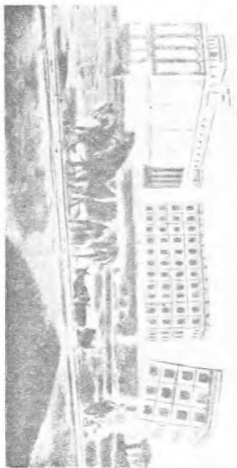
當無骨三和土受牽引力而破壞時，其破壞也驟，先見巨大之裂痕一條或數條，隨即斷絕。鋼骨三和土則不然，當不勝牽引之力時，逐漸起細微之裂痕，然後分離，而當分離之時總計其延長之度，較之無骨三和土，乃大至十倍至二十倍也。

由是以觀，可知三和土自加入鋼骨後，其耐受延長之性，增加甚大，非比未加鋼骨者之祇能延長極微。此項特性，似係由於二種材料有完全附着性之故。二者之膨脹係數，殆無差異，故能始終聯合，不因溫度之升降，而起分離也。

鋼骨三和土遇火災時，因三和土傳熱甚緩，故鋼骨不易受傷。鋼骨之表面，附有水泥層，能防其銹蝕，且縱使起有銹蝕，而因氯化鐵與水泥間有化合作用，能生不透濕氣之新化合物，仍阻鋼料不令速銹。

鋼骨三和土之強度及耐用性，隨歲月而俱增，此實爲其作建築材料之一最大優點。其別種特色之可紀者，則有質地剛實，不變形狀；製造得法，可不透水；能耐高熱，不易燒燬；造價低廉，且不需修理之費，此點尤爲別種材料所不能及。

鋼骨三和土之構造物，與尋常別種構造物，在構造上，有一最大異點，即前者之三和土乃連成一體，如天衣無縫，而其中鋼骨則使各部分之聯合益加緊密。是以設計合度而建築得法之鋼骨三和土構造物，遇有地震或土虛下陷等意外之變時，竟能保持其完整之體而不分裂。第二十八圖所示，爲在突尼斯(Tunis)附近地方，有鋼骨三和土房屋三座，因附近湖水降落土鬆下陷之故，遂致傾側，後設法扶正，而房屋未稍受損傷。圖左二座，已恢復直立原狀，右方之屋，則尙與垂直線作二十五度之斜角也。



第二十八圖 突尼斯之房屋在地震後之情形

以鋼骨三和土構造物與無骨三和土或磚或石之構造物相較，則前者分量輕而體積小，非若後三者之笨重，此亦一重要之點。鋼骨三和土，既具充分之彈性強度，其設計自易仿照鋼料建築之法，而不須如用笨重材料時，徒憑重量與體積以求構造物之安穩矣。

用鋼骨三和土建築房屋、水池、倉庫、煤棧等時，牆壁支柱體積不多，則空處可大，亦屬優點。又構造物上部，既不笨重，則下部基礎，所支承之靜重，自亦減少，而工作之困難，亦可減少，其建築費亦可節省焉。

#### 第四節 鋼骨三和土之用途

在鋼骨三和土初創之時，所用設計法，尙不免有粗疏之病。及經過數十年之改良，至今已採用科學方法，其精密較之鋼料構造物之設計，未有遜色。是以鋼骨三和土構造物之可恃，已無疑義。其用途之廣，難以悉數，舉其最要者，則有房屋、橋梁、涵洞、壩堰、障壁、水池、水管、水塔、穀倉、煙囪、高塔、支椿、鐵路軌枕、船舶等。本書爲篇幅所限，不能一一詳述。

## 第十一章 三和土製品

三和土用途之一部分，爲作成種種形式之製品，供建築或裝飾之用。其中最著者爲三和土磚及三和土管，今分數節述之如下。

### 第一節 三和土磚

用三和土磚以代替尋常硬石，近年頗爲通行。三和土磚可依用途分爲兩類：

(一) 主要供砌造用者，如尋常實心或空心之三和土磚。

(二) 主要供裝飾用者，如依特別式樣製成，或表面經特別修飾之三和土磚。

供砌造用之三和土磚，類多中心空虛，既省材料，且砌造成牆，中有空室，故能阻火，禦溼，而不損建築物之強度，實具種種利益。其尺度較尋常之磚爲大，普通長十六或二十四英寸，高八或九英寸，



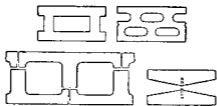
厚八、十、或十二英寸。其種種樣式，有如第二十九圖所示供裝飾用之三和土磚，類為實心磚，造成種種特別式樣，以備施於牆角，欄干，窗臺等處。

製三和土磚所用粗粒料，常為大小配合均勻之碎石或卵石，能穿過四分之三英寸篩孔而不能穿過四分之一英寸篩孔者。配料比量當在一比二比三與一比三比五之間；如不用粗粒料時，應以水泥一分與細度分配均勻之粗沙不逾四分混合用之。

材料之混和，以用機械為優，但如製磚不多，自以手工者為簡便。和成三和土之稠度，隨所用製磚方法而異。

三和土磚之製法有三類：即乾捶法（dry damp process），壓法（pressure process），及濕澆法（wet-cast process）是也。裝飾用三和土磚，常用特製之型，依乾捶法製之。製磚可用手工，或特別機器。壓法製磚，

專用機器。砌造用三和土磚，常用機器製造。具特別式樣之三和土磚，常用手工製造。製磚所用機器



第二十九圖 三和土磚

有多種，其構造每隨三和土稠度及擠實三和土方法而異。今就三種製磚方法，分述如下。

(甲) 乾捶法 將材料混和，得介於乾溼間之稠度，置入型中，而捶實之。行此法時，三和土常不免偏於用水過少，其弊在使成品多空隙，易吸水，而強度亦低。此法可用任何式樣大小之型，故在製特別式樣或表面有特別花紋之三和土磚，常用之。捶實多藉手工，亦有用氣動力機者。

(乙) 壓法 三和土混和，較乾捶法為略溼。三和土置於型中，用槓桿之裝置壓實，或藉水筒活塞之裝置壓實。

(丙) 澆澆法 三和土混和，須充分潤溼，能流動無礙。三和土澆灌入型，加以攪動，使無空氣混雜，又無大塊材料留於表面；但不需捶實及擠壓。行此法時，常不免用水過多之弊。

前兩法所用三和土較乾，故擠實後即可從型中取出；末法所用三和土較溼，須候凝結後方可取出。

欲增加三和土磚之美觀，可作成種種顏色。法以各種顏色之碎石屑或沙，鋪填在型內表面處，作為面層之材料，或於混和面層材料時，加入着色物質亦可；惟此種着色物質，須用最純淨之礦物

質色料，如品質不純，或含有植物質，則不免損傷水泥之粘合性也。

三和土磚製成後，尚須加以調養（curing），使不即乾燥。此乃製造上極重要之點，絕不可忽視者。磚在型中取出時，便當加以保護，使不受風吹日炙，避乾熱，防結凍，如是至少歷一星期。每日至少須灑水一次，令其充分潤溼。一星期以後，每隔適當之時日，尚須灑水，直至取用之時為止。如此調養之三和土磚，在製成後至少須歷三星期，方可使用。

三和土磚之調養，有加速之法，乃於從型中取出後，立即置入溼蒸汽瀰漫之室中，至少歷四十八小時。室中溫度約在華氏溫度計一〇〇至一三〇度間。飽和之蒸汽，既供給熱，又供給水分，而令三和土之凝結硬化加速，但不因此而失去水分。從蒸汽調養室中取出後，至少須藏蓄八日，方可使用。

優良之三和土磚，應能合於下列試驗之定格。試驗時須用全形之三和土磚。每一試驗所用樣品，不得少於三枚。

（甲）橋撓試驗 用造成後二十八日用樣品行橫撓試驗，其撓折係數應平均在每方英寸

一五〇磅以上，而每單一樣品之撓折係數，不得在每方英寸一〇〇磅以下。

(乙) 擠壓試驗 用造成後二十八日之實心三和土磚，行擠壓試驗，其擠壓強度應平均在每方英寸一，五〇〇磅以上，而每單一樣品之擠壓強度，不得在每方英寸一，〇〇〇磅以下。

用造成後二十八日之空心三和土磚，行擠壓試驗，其擠壓強度平均在每方英寸一，〇〇〇磅以上，而每單一樣品之擠壓強度，不得在每方英寸七〇〇磅以下。計算強度時，須將三和土磚空處之面積一并計入。對於擠壓容許之實用應力，如屬空心三和土磚，不得過每方英寸一六七磅，此係連空處之面積計之；如屬實心三和土磚，不得過每方英寸三〇〇磅。

(丙) 吸水試驗 所用試驗樣品，須置在不過華氏溫度計上二一二度之溫度中乾燥，直至重量不復減少為止。樣品乾後，浸入清水中四十八小時，其吸水量百分率（即吸水之重量用乾燥樣品之重量除之所得）應平均不逾一五%，而每單一樣品之吸水量百分率，應不逾二二%。

砌造用三和土磚可為磚石或整實三和土之代用品，以造薄牆或不受多大重力之牆，如房屋牆壁及隔牆等造成之牆，中有空虛部分，不僅減少重量，且使其牆甚為安定，並能防止潮溼。

## 第二節 三和土洩水管及污水管

三和土洩水管 (drain tile) 爲三和土所造之管，作放洩地下水之用。三和土污水管 (sewer pipe) 爲三和土造之管，作流通污水 (sewage) 之用。此種管之橫剖面，無論爲圓形，蛋形，或馬蹄形，俱易得正確；且可增加管壁厚度，或添用鋼骨，以適應管外壓力，而無過弱之慮，此皆其優點也。

尺度較小之管，材料可不用粗粒料，而僅用水泥及良好之沙，沙中顆粒細度須分配適宜，粗粒較多。通常一分水泥，至多配以三分之沙。製較大之管，可加用篩過碎石或良好卵石，石塊以不大於管壁厚度三分之一者爲限。配料比量自一比二比三至一比二·五比四，視粗細粒料之質地而異。材料混和，用手工或機器均可，但在製造大宗之管時，自以用機器者爲省費。和成膠沙或三和土之稠度，以較溼者爲宜。

在較大之製造廠，於管之成形及插實，俱用機器爲之。其機器大別有二種：(一) 動型製管機 (spiral-tamping machine)，置管型於轉動之平臺上，平臺依垂直軸旋轉，材料灌入型中，另有一

細圓柱伸入管內，上下運動，每小時往復四五百次，捶實管壁。(11) 靜型製管機 (Packer-head machine) 型，兩靜置，內有一圓鐵餅，約四英寸高，直徑與管之內徑同大，依垂直軸旋轉，又作上下往復運動。鐵餅之上，有可以調整而依直徑方向安置之片葉。製管之時，使鐵餅落至型筒之底，乃灌入膠沙或三和土，當鐵餅升起時，材料因受鐵餅旋轉之離心力作用，故貼向筒壁，復以鐵餅及片葉外圍之作用，而得壓磨光滑。動型機不如靜型機工作之速，但製造之管，質地較整齊。故污水管多用動型機造，而洩水管多用靜型機造。

製成之管，應置在溫度為華氏溫度計七〇度之溼蒸汽中，調養至少三十六小時；此後兩星期中，須得保持管之溫度，勿降至華氏四〇度以下；又在第一星期中，應每日灑水二次。

如此製成之三和土管，取碎塊試驗其吸水量百分率，應不逾八%。污水管在內方壓水力未逾每方英寸一〇磅時，應不透水；而在管受內方水壓力，以致管周生牽引應力時，如牽引應力未逾每方英寸一八〇磅時，應不破壞。

### 第三節 雜項三和土製品

三和土除製磚製管以外，尙可作成種種別式製品。電線柱及建築所用之樁，近多用三和土製，加用鋼骨條作骨，以求堅固。電車軌道所用軌枕，亦用三和土製之。花園飾景所用噴水池，花臺，日晷，坐椅之類，俱可用三和土製之。

## 第十二章 三和士船

### 第一節 造三和士船業之歷史

前已言及，用三和士造船，創於法國工程師蘭坡氏，時爲西元一八四九年。其所造小船，今猶浮行於密勒味（Miraval）鎮附近小湖上，歷七十餘年，猶未甚壞。

自此船成後，英吉利，美利堅，意大利，荷蘭諸國，皆仿爲之。當一九一七年年末，統計造成二百餘艘，其中有帆船，有汽船，有如葉扁舟。有鱗鱗巨艦。

歐洲大戰既興，運兵轉餉，需用船舶，至多且亟。於是英美法諸國政府，益獎勵三和士造船業。英國海軍部與造船家訂立第一批造船合同，計大小船舶二百餘艘，中有載重一千噸之行海拖船，及拖船用七百五十馬力之汽船。當時新設船廠有二十處，延聘經驗豐富之三和士建築工程師，與造



船工程師協力經營。其準備之事，固已經緯萬端，困難重疊，而招集熟練工人，選購應用材料，亦均非易事；然功程尙稱迅速，自一九一八年八月有第一艘一千噸拖船下水，至是年之末，而同進之船，完成者有十五艘之多。以後工事繼續進行，速度與此不相上下。直至歐戰停息，此造船計畫取消為止。法國海軍部之造船計畫，擬造有拖船，拖船用汽船，及油機船，共七百五十艘。在國內各處分造，進行頗速，直至停戰時為止。

美國政府原定造三和土船計畫，擬造者有汽船四十二艘，載重五千噸，三千五百噸，及七千噸，此外有較小之拖船等多艘。歐戰既停，縮小計畫，改造七千五百噸之運油汽船八艘，七千五百噸之運貨汽船二艘，三千五百噸之運貨汽船三艘，及三千噸之運貨汽船一艘。

除歐戰中諸國政府盛造三和土船外，各處所造亦復不少。美國某公司當一九一六年時，曾於舊金山造三和土汽船一艘，載重五千噸，取名非斯（W. B. F.）。此船載貨航海，每次行程輒遠至一萬五千英里或二萬英里，飽受風霜雨雪之侵，絕無損壞。美國政府盡力於造三和土船之業，實羨茲船之美好而仿爲之也。

英國之造三和土汽船，以名阿米斯提斯 (Armistice) 者為始。載重計一，一五〇噸。此船不懼風浪，履險如夷，今為倫敦某公司管業。

此外各國造三和土船之業，不無可紀。法國會造三和土運貨機油船若干艘，載重有至一千噸者，航行境內各處河渠。瑞典挪威兩國船廠，亦造有相類之船多艘。澳洲悉尼 (Sydney) 港，當一九一五年時，曾造三和土船一艘，載重八百噸，供本港之用。新加坡曾造三和土船一艘，載鐵路列車渡過海峽。荷屬東印度近年造有三和土油機船若干艘。北美洲英屬坎拿大及南美洲各處，造三和土船業，亦頗興盛。

### 第二節 三和土船之造法

三和土船之造法，別為三類，即整造法 (monolithic construction method)，分造法 (unit-construction method)，及架造法 (skeleton construction method) 是也。

(甲) 整造法 船之全部，成爲一體，若天衣無縫，情形與陸上三和土構造物之建築相同。今

搬舉其程序述之。造船臺 (building berth, 或 slipway) 之底，係由三和土磚塊排砌。船殼 (hull) 全由板型造成。先排列外方板型，以定船體之外形。在此板型之內，適當之地位，排置鋼條，作三和土之骨格。船中橫架 (transverse frame) 及縱桁 (longitudinal stringer) 均按其形式，架置板型。全部船體外之內方板型，則於灌注三和土前，次第安排。隔艙 (bulkhead) 甲板 (decking) 艙口圍 (hatch way coaming) 等，均於船殼將近造成時造之，法亦相同。

(乙) 分造法 此法在英國船廠，頗為通行。按船體形狀，劃分為多數之格。格框作為整體，用三和土造成；格板則屬分造，嵌置於格板之內。亦有祇將主要格框作為整體造成，而其餘格框及格板，俱屬分造嵌置者。

(丙) 骨造法 先用鋼條結成船殼之骨格，內外兩面，以優等三和土填之。此乃蘭坡氏第一艘三和土船之造法，盛行於意大利國。又有採用此法而變化之者，用鋼條組織成雙層之船殼，中填三和土，復以三和土填於內外兩面，尤為堅固。

上述三法和較，各有利弊，用之得宜，俱收良效。擇用何法，視船大小及用途定之。大概航海之大

汽船，宜用營造法，而航行內河之船，宜用骨造法也。

### 第三節 三和土船之優點

三和土船，爲安定，不大搖盪，適於航海；平時既不漏水，遇風撞時，修理頗易；偶然失火，難於延燒；此皆其優點之顯著者也。

三和土船與鋼船相比，各有利弊。以造價論，三和土船平均僅得同一載重之全鋼船十分之七，至多不過十分之八，少者可至十分之六。三和土船與鋼船，如載重噸位相等時，三和土船之船體，必較鋼船爲大。故運輸貨物，設屬質輕體笨一類，則三和土船所載體積，自較鋼船爲多；此種貨物運費，按體積計算，是以可多收運費也。三和土船固無取鋼船而代之勢，然如尋常貨船，沿海汽船，拖船之汽船，油機船，駁船等，俱可用三和土造成，而得良好結果，復何疑乎？

## 第十三章 中國三和土建築業之將來

卡內基 (Andrew Carnegie) 氏者，世所稱鋼鐵大王也，嘗有言曰：『三和土既通行，則結構鋼之消費，因之節省。夫三和土建築術之興起，歲月雖淺，然一切建築物用三和土之較用鋼為優美，為便利，為省費，顯而易見，則此業之發展，正未可限量，現在產水泥及三和土原料極富之美國乎？』

以美國產鐵之豐富，而卡內基氏猶以用三和土能減少用鋼之量為言。返觀吾國，則何如乎？就目前情形言之，我國製鐵鍊鋼之業，奄奄無生氣，建築所用鋼料，勢不能不求之國外，價值既昂，購運又需時日，故鋼架構造，除鐵路橋外，在我國殊為少見。若夫製造水泥三和土之原料，產量豐富，未遜於美國，水泥製造廠，冀、蘇、鄂、粵諸省俱有之，產量足供所需，故各地之新式橋梁房屋，用三和土建築者，乃遠多於用鋼料者也。況我國鐵鎔之儲量，未為豐富，今日新式工業方在萌芽，所用機器，大部分購自外國，其設廠自造者尚罕，故鋼鐵之消費量不高。向使工業振興，需用鋼鐵既多，自當求之國

內，且不能不顧及節用鋼鐵之問題。欲解決此問題，莫妙於在建築業方面，多用三和土而少用鋼料。然則我國三和土建築業之定能發展，可以逆睹已。