

大學叢書

# 混凝土結構設計

L. C. Urquhart 著

C. E. O'Rourke

蔣廣生 譯



大學叢書

混凝土結構設計

夏承楨著

University of  
Tennessee

江苏工业学院图书馆  
藏书章

商務印書館出版

◆(363342)

大學叢書  
**混凝土結構設計**  
Design of Concrete Structures

★版權所有★

原著者 L. C. Urquhart  
          C. E. O'Rourke  
譯述者 蔣          廣          生  
出版者 商 務 印 書 館  
          上海河南中路二一一號  
          三聯中華商務開明聯合總發行公司  
發行者 中國圖書發行公司  
          北京誠謙胡同六十六號  
印刷者 商務印書館印刷廠

1951年12月初版  
1952年9月再版

定價¥45,000

(滙)2,001-3,500

## 毛達恂序

混凝土結構設計，是土木工程的基本學識，也就是這一重要工作的指針，日今我國尚少此類譯著，已感覺需要殷切，尤其是全國解放戰爭勝利完成之後，正在有計劃地有步驟地籌備改造和建設新都市的一切建築，如國防要塞、工廠、貨棧、橋梁、道路等等有關建設的工程。爲適應當前的需要，對於此種參考資料，更有若飢渴。至其有裨實用的重要性，正如菽粟水火，不難想像形容。我在獲讀此書之先，以身任市政的經驗，感覺建設新都市的要求至爲迫切。經提議於建設局之下，特開一建築部門。擬聘專家，培養幹部，從事進行。並抽暇赴國內各大都市參觀市政建設，藉資考鏡，冀獲他山之助。道經武漢時，邂逅蔣君廣生，承出示此書稿本，知其於教課之餘，鑽研及此，因將自己所授工程學的實踐經驗與理論結合，潛心譯述，經過長時期的埋頭苦幹，始告完成。其治學的意志，與服務的精神，均足佩羨。因就旅次把讀一過，雖匆遽間未暇詳細研討，但是這書的內容，已窺見一斑，覺得關於論述的詳盡，舉例的明確，和所附方程式圖表等的清晰，可相信爲切合實用的述作，是毫無疑問的了。歸後追憶所感，也算是此次行役中收穫之一，寫以寄意，極盼速付剞劂，惠利建設；並就蔣君治學的精神，推想其益勤不懈，必能繼此精進而而有更大的發揮，尙望不遺在遠，有以啓予！

毛達恂 一九五〇年三月十五日於大連

## 原 序

本書供工程學校採作混凝土與鋼筋混凝土基本課與高等課之教本；作者並未企圖將其編成手冊，或將有關混凝土構造之各方面予以兼含並蓄。

作者之目的，在將混凝土設計原理，藉例題之助，予以充分啓發，使初學者對其基本理論得以澈底了解。書內並述及普通混凝土結構之完整設計，藉以融會貫通一切與該項設計有關之基本原理。

自前一版發行後，混凝土學會所作柱之試驗之完成，已在柱之設計方面，起了根本改革。本版之修正，在柱之設計方面係依照混凝土學會標準建築規章之建議，而底腳之設計，亦係依據該規章最新之定則。

T形梁具有抗壓鋼筋之梁及彎曲與直接應力之圖表，已澈底加以修正。所有圖表，均以  $pn$  為變數而製成，所以能適用於各種強度之混凝土。彎曲與直接應力之圖，包括有圓截面，且將壓力分佈於整個面積，及張力分佈於部分面積之各種情形，合併在同一圖內。

本版與以前各版另一不同之處，乃所有圖表均已集於附錄D中。有此改變，查閱諒可較為方便。復應若干讀者之要求，在基本原理部分一一附加習題，供複習之用。

對協助本書編著工作諸君，作者在此謹致謝意。甚多讀者曾向作者提供可貴之建議與積極之批評，對本書之修正，助益良多，並誌感謝。

L. C. URQUHART,

C. E. O'ROURKE.

# 目次

## 第一章 單純混凝土 ..... 1

混凝土 水泥 細混料 粗混料 成分比例 水灰比率 砂漿混合之設計 產量及強度 混凝土混合之設計 產量及強度 拌合 灌注 調養 凍結之影響 食鹽之用法 水化石灰 防水化合物 鹼類之作用 油類、酸類及污水之影響 電解 海水之影響 抗壓強度 抗張強度 抗橫向力強度 抗切強度 彈性 可塑性流動 收縮及膨脹 握裹力 重量 耐火性 氣候對混凝土之影響 摩損抵抗力

## 第二章 鋼筋混凝土之通性 ..... 32

鋼筋 光面鋼條 變形鋼條 標準尺寸 大小、數量及長度之附加費 織構鋼筋 鋼之等級 膨脹係數 彈性係數 混凝土與鋼筋結合之優點 握裹力 附着抵抗 滑動抵抗 縮定法 單位握裹應力 握裹力強度之充分利用 在張力作用下之鋼筋混凝土

## 第三章 梁和板 ..... 40

同質梁中之應力 彎曲理論之假定 矩形梁之彎曲公式 以變形截面之原理分析矩形梁 鋼筋之放置 工作應力 二邊支承之板 四邊支承之板 切應力 對角張力 預防對角張力梁的加強方法 對角張力之分佈 腰部

鋼筋 鋼環 彎鋼筋 握裹應力 T形梁 T形梁之種類 T形梁之彎曲公式 以變形截面之原理分析T形梁 具有抗壓鋼筋之梁 彎曲公式 依據變形截面原理之分析 連續T形梁

#### 第四章 柱 ..... 139

單純混凝土柱 鋼筋種類 極限尺寸 縱鋼筋及側鋼箍 縱鋼筋及螺旋形鋼筋 組合及結合柱 管柱 工作應力 彎曲應力 偏心荷重 例題

#### 第五章 彎曲應力與軸應力 ..... 151

變形截面 矩形截面，壓力分佈於整個截面 矩形截面，張力分佈於部分截面 圓截面 例題

#### 第六章 連續梁及房屋構架中之應力 ..... 163

混凝土構架與木構架及鋼構架之比較 連續梁之力矩 理論公式 均佈荷重梁之  $wl^2$  之係數 柱中之彎曲力矩 力矩面積原則 撓角公式 各種箝制情形之影響 房屋構架 房屋構架中力矩之分佈 截面之轉動慣量 例題

#### 第七章 基礎 ..... 200

土壤的承壓容受力 單純混凝土底腳 鋼筋混凝土底腳 牆底腳 單柱底腳 握裹應力 對角張應力 階級底腳及傾斜式底腳 多柱底腳 聯合底腳 懸臂底腳 支承於樁上之底腳 雜類基礎 平均下陷之底腳之面積分配 例題

#### 第八章 鋼筋混凝土房屋 ..... 241

荷重 建築規範之要求 樓板構造 樓板面 屋頂 牆及

分間牆 梯 梁桁式樓板之設計 肋材式樓板之設計 鋼 瓦填塞物 土瓦填塞物 鋼欄柵式樓板之設計 平板式樓 板 應力分析 鋼筋放置法 平板房屋設計 詳細說明	
<b>第九章 擋土牆</b> .....	<b>340</b>
種類 荷重情形 泥土推力 傾覆 壓碎 滑動 構造詳 述 重力牆之設計 懸臂牆之設計 扶牆之設計	
<b>第十章 拱</b> .....	<b>368</b>
優點 鋼筋的形式 內拱弧曲線 多心拱之半徑 拱腹 荷 重 拱環 拱頂厚 曲梁 根據彈性理論之分析 近似分 析法 拱軸之形式 呆荷重平衡多邊形 設計步驟 拱之 設計 作用於橋台之推力 其他拱之詳細說明	
<b>第十一章 板式、梁式及桁式橋梁</b> .....	<b>416</b>
種類 公路橋梁之分類 荷重 荷重之分佈 橋台 構造 詳述 板式橋設計 板桁式橋之設計 穿桁式橋之設 計 詳述	
<b>附錄 A 標準符號</b> .....	<b>451</b>
<b>附錄 B 聯委會規範所規定之工作應力之摘要</b>	<b>453</b>
<b>附錄 C 聯委會規範中之平板規則</b> .....	<b>455</b>
<b>附錄 D 圖與表</b> .....	<b>463</b>



# 混凝土結構設計

## 第一章 單純混凝土(Plain Concrete)

1. 引言 從二十世紀之初開始，混凝土 (concrete) 已在建築材料中佔有重要而最有用之地位。因其易於塑成各種需要之形狀，其用途幾乎無可限量；故在從事某些種類之工程時，施工地點如有適當之混料 (aggregates) 及水泥可用，則混凝土即用以代替其他建築材料。因混凝土之調製，看似容易，當任何人發覺此種材料適合於其工作時，即將其採用。在許多實例中，由於缺乏此種材料之恰當知識及其製造之技巧，所調成之混凝土僅為一團笨重之物質，缺少強度及其他應具備之特質，而不能達到需要之目的。

獲得上述結果者，以為混凝土僅係水泥、沙、石子、水混成之一團物質，在短時間內有不同之硬度，及不確定之強度。但工程師對於製造時之要素及變化，較為熟悉，故對混凝土之認識，並不如此簡單。

經驗示知，水泥、砂、石子之用量及性質，拌和手續，調養方法，均包括在製造程序之內。其所得結果，即與這些事項有關。故工程師須研究並控制這些因素，以獲得性質合乎需要之混凝土。

2. 水泥 波特蘭水泥 (Portland cement) 係將黏土質與石灰質材料，以適當比例透徹混和，煨燒至初步鎔化，再將熟料磨成粉末而成。煨燒之後，除水及已煨或未煨之石膏外，不需再加其他材料。所有水泥用於鋼筋混凝土建築者，均須合於標準規範。各種水泥之色澤及硬化速

率，大有差別，而應特別注意是否適宜於特定工作。

波特蘭水泥係以乾法 (dry process) 或濕法 (wet process) 製成。在乾法中，石灰質料多為石灰石，在濕法中，多用泥灰岩，實則其主要成分，皆為碳酸鈣。黏土質材料為泥板岩、黏土、黏土質石灰石，或含砂土（氧化矽）及礬土（氧化鋁）之鐵渣。

在乾法中，原料先行分別磨碎，以比例混合研細，置窯中燒之，將燒成之燼塊冷卻，加原料控制其凝固速率，然後將燼塊磨成粉末。濕法與乾法相似，惟成為泥漿狀之泥灰岩，係置於大桶中，與粉狀黏土質於燃燒前即行混和。

製成物含有 25% 至 61% 矽酸三鈣，7% 至 44% 矽酸二鈣，約 10% 鋁酸三鈣，約 8% 鋁鐵四鈣，約 3% 硫酸鈣。在二十八天內矽酸三鈣與鋁酸三鈣最能影響水泥之強度。前者所生影響將超過上述時間，而後者所生影響則於二十八天後急劇減弱，在一、二年內將變為零或負。矽酸二鈣在初期對強度很少影響，但在二十八天後為產生強度之主要化合物。

速強水泥 (High early strength portland cements) 係自含多量石灰之混合物製成，並磨成較普通水泥更細之粉末。製成物含有大量矽酸三鈣，其重量之百分比通常至少為 65%，最高能達 75%，而矽酸二鈣則隨之減少。這些化學成分使水泥迅速硬化，迅速獲得強度。此種水泥價格較昂，但在短時間內需要獲得甚大強度之場合，採用此種水泥較為經濟。

高鋁水泥 (High alumina cements) 約含有 40% 石灰，40% 礬土及 15% 氧化鐵。雖與波特蘭水泥以同樣速度凝固，但獲得強度較快，因含礬土較多。所以用這種水泥製成之混凝土在 24 小時內可達到或超過用波特蘭水泥製成者在調製後二十八天之強度。然時間過久，則其

強度有減弱之趨勢。

其他特種水泥，如沙水泥 (Sand cement)，凝灰岩水泥 (Tufa cement)，普次蘭水泥 (Pazzolan cement)，天然水泥 (Natural cement)，曾採用於各種不同之工程，但一般而論均不如波特蘭水泥之堅強而耐久。本書此後所提及之水泥，乃指波特蘭水泥而言。

3. 細混料 (Fine aggregate) 細混料包括砂石之過篩物，其他性質類似，不起化學作用之材料，或此等材料之混合物，須具有清潔、堅強、耐久，而無他物包裹之顆粒，不染有害份量之灰塵、塊狀物、軟或薄片狀粒子、泥板石、鹼、有機質、沃土或他種有害物質。一般而論，能穿過 4 號篩 (每吋四篩孔) 者，均可視為細混料。然多數規範對此規定皆允許有所伸縮。依聯合委員會 (Joint Committee) 之建議，細混料之穿過 4 號篩者，不得少於 85%。如細混料能由細到粗，級配勻稱，則更好，故聯委會報告中又規定穿過 50 號篩者，不得超過 30%，不得少於 10%。多量之極細粒子，有損混凝土之強度，因其需要水泥包裹之面積太大。此種極細粒子之容許量，各規範有不同之規定，但細混料總應以穿過 100 號篩不超過 6% 者為限。

混料之級配亦可依其顆粒之表面積分類。用篩之分析法求得：

$P_1$  為比 100 號篩更細之顆粒重量之百分比；

$P_2$  為在 100 號與 50 號篩間之百分比；

$P_3$  為在 50 號與 30 號篩間之百分比……

依此類推，以 30 號，16 號，8 號，4 號， $\frac{3}{8}$ ， $\frac{3}{4}$ ， $1\frac{1}{2}$ ，及 3 吋篩為間隔。除

$P_1$  而外，每一百分數均乘一係數。此係數即  $\left(\frac{1}{2}\right)^{m-1}$ ， $m$  為此級數中之項數。表面係數 (surface modulus) 為各乘積之和，即

$$P_1 + \frac{P_2}{2} + \frac{P_3}{4} + \frac{P_4}{8} + \frac{P_5}{16} + \frac{P_6}{32} + \frac{P_7}{64} + \frac{P_8}{128} + \frac{P_9}{256} + \frac{P_{10}}{512}$$

混料級配分類之又一法，係根據精細係數 (fineness modulus)。用前述求表面係數時同樣之篩；將大於各號篩孔之混料之重量百分數相加，除以 100，即得精細係數。

細混料之表面係數較大，粗混料則較小。一混料之表面係數受細小粒子變化之影響最大。在另一方面，精細係數則着重在較粗之成分。標準砂用作混凝土之細混料時，其精細係數為 2.4 至 3.5，平均值約為 3.0。一般說來，砂之精細係數小於 2.5 者，不能用於混凝土。

砂 岩石因受物理力量而破壞成砂。有時破裂之外，多少有些分解作用，且因之形成新化合物。發生分裂之主要力量為溫度之變化及磨損。由於組成岩石之各礦物漲縮不一致，溫度之變化使岩石分裂成小塊。磨損係由流水，風或冰河之作用所造成。化學分解則由於水之溶解力，及水中所含化學活動物質如酸類之助。

石英 (Quartz) 為組成多數砂粒主體之礦物。此乃由於岩石中僅較硬的成分始能經分解及破裂而猶存在，而石英乃岩石中常有之成分，且具備抵抗這些破壞作用之能力。然並非所有石英砂均適於用作混凝土之混料，因少量之有機質即將使其不適應用。砂石為石英砂之主要來源，原岩石之結合物之特性，將決定砂之性質，因砂之各個顆粒乃由更小之石英顆粒以砂土、氧化鐵、碳酸石灰、或黏土結合而成。

輝石 (Pyroxene) 及 角閃石 (Hornblende) 均係複雜矽酸鹽，其硬度、強度、耐力稍次於石英。角閃石之防風化力量較弱。長石之強度及耐久皆遠不及石英。雲母軟而弱，且因其成層狀結構，水分易於滲入，為砂中最討厭之成分。

河床之砂由河流、冰川之作用而成，因表面水滲入河床極易之特性，以致常為懸浮水內之有機質所染污。因此，砂粒外面為鞣酸 (tannic acid)、污水、肥料、糖類等物所包，乃常見之事。這種砂粒之外包層，不

僅阻止水泥之附著，且發生化學作用。由此可知這些物質極為有害，但其存在則甚難於發覺，此一事實使混凝土用砂試驗之重要性，益為增加。

在選砂時，有兩種方法可以決定其是否適於用作混料。常見將乾砂作篩之分析時，僅有一相當小之百分數能經過 100 號篩，但事實上有無數原來甚易篩過之小粒子很鬆的結合在一起，以致不能穿過篩子。這些小粒子多由泥渣、沃土、黏土組成，為能溶或半溶於水者。取重量已知完全乾燥之砂之樣品，置於一器皿內，加適量之水於其中，澈底攪動之，則一部份小粒子為水所溶解。此時將器皿內東西全部傾注於篩網上，把篩上剩餘物再倒回器皿內，如此重複洗滌，直到水清為止。然後將所洗之沙完全烘乾之，並量其重，則泥渣、沃土、黏土在原樣品中所佔之重量即可求得。作這種漂淨試驗有若干嚴格之規定，且有一性質類似而適用於工地之實驗，但通常規定，若這種實驗表明一種砂中所含泥渣、沃土、黏土超過 3%，則此砂即不適於用作混料。砂中之有機雜質，可以色度試驗約略測定之。

選擇混凝土用砂之最良方法，為以所選砂做成砂漿試塊（mortar-briguettes），加以試驗。同時在同一情況下，取標準阿特華（Ottawa）砂作同樣試驗。依美國聯合委員會之報告，任何砂不可用作細混料，除非砂漿試塊在七天至二十八天具有至少與標準阿特華砂同樣之抗張力及抗壓力。這種試驗常將看似清潔而級配亦佳之砂剔除，因此種砂由於其內部含有機質或外部包有鞣酸，實為甚劣之砂。

篩餘之廢物 (Screenings) 石灰石篩後廢物或壓碎粉末，有時亦用作細混料。但這樣造成之混凝土，其品質常不及以砂造成者，且易於透水。

4. 粗混料 (Coarse aggregate) 粗混料包括碎石、卵石，具有

同樣性質之其他物質或此等物質之混合，須具有清潔、堅硬、強固、耐久而無外包之顆粒，不含有害份量之軟、脆、細長、或成層狀之碎塊，亦不含鹼、有機質、或其他有害物質。

碎石 (Crushed stone) 這種混料之性質，顯然完全依據原來岩石之性質，主要來源為花崗石、深暗岩 (trap rocks)、石灰石及砂石。花崗石為火成岩，其主要礦物成分為石英與長石，另含變量之雲母、角閃石及其他物質。花崗石之構造特性，變化很大，但為最強、最硬、最耐久之一類岩石。深暗岩包括玄武岩、輝綠岩及他種具有同樣化學及物理性質之火成岩。這些岩石之主要成分大多為輝石及長石，通常均細紋、堅硬、強韌、而有耐力。石灰石為水成岩，包含石灰之碳酸鹽、碳酸鈣或石灰碳酸鹽、雙石灰碳酸鹽、苦土、白雲石等主要成分。砂及黏土為石灰石中常有之雜質，含有大量甲殼及他種化石。石灰石之組織、強度、硬度、耐力變化極大，雖然有些石灰石具有優良之結構特質，但平均一般石灰石均不及以花崗石及深暗岩用作混料為佳。砂石由大小不同之粒子組成，其主要者為石英，以黏合料結合而成。矽質黏合料造成結構堅強之砂石，而氧化鐵或碳酸石灰黏合料即遠遜於矽質者。以黏土為黏合料所成之砂石乃最劣之混料。

粗混料可用之最大尺寸係依工作之種類而定。因石塊乃混凝土中最堅強之成分，故所需顆粒宜盡量取其大，盡量取其多。粒子愈大，表面愈小，則製造某一強度之混凝土所需水泥之量亦愈少。然當最大尺寸比較大時，將其從大至從小加以適度之級配，藉以製成一稠密而堅實之混凝土，乃一極重要之工作。在小型鋼筋混凝土肢，可用之最大尺寸，小到直徑為  $\frac{3}{4}$  吋，但在任何鋼筋混凝土工作中很少有直徑可大於  $1\frac{1}{2}$  吋者。

在另一方面，對於巨大之工程，如無結構上之加強部分，以用較大之尺

寸爲有利。粗混料之最小尺寸，依美國聯合委員會之規範，爲穿過 4 號篩之重量，不得超過 10%，穿過 8 號篩之重量，不得超過 5%。

卵石 (Gravel) 質地優良之卵石，爲混凝土之適當混料。卵石僅爲來自岩石破裂之碎塊，經河流磨損或冰川作用而成。若其未腐化或未爲有機質所包，則其強度依其原來之岩石而定。卵石清潔情形之測定，應特別予以重視。黏土質之外包層易於檢驗，但阻止水泥黏著之透明之有機外包層，若無化學分析法，則不易於辨別。所以很多弱而質差之混凝土，即用這些似乎清潔而實在不潔之卵石爲混料之結果。天然卵石如其顆粒大部分尺寸甚小，則僅能歸類爲細混料。用前須先將此種小卵石篩出，或將天然卵石作篩之分析，以求得除小卵石外尚需加入之細混料之適當數量。

鐵渣 (slag) 從鼓風爐內所得之鐵渣，爲堅硬而有孔之材料，具有甚高之抗壓強度，有時較質地優良之石塊爲廉。其粗糙之表面，可供水泥之附著。若其含硫量低，則可成爲巨塊混凝土建築之優良混料。鐵渣多孔，故通常不宜用於須與水相接觸之細薄斷面。

煤渣 (Cinders) 煤渣之爲混料，其所成之混凝土遠較碎石或卵石所成者輕，乃其優點。以前認爲完全燃燒後之煤渣，能成極好之防火混凝土，但近來之經驗，已證明煤渣混凝土僅略具此功用。煤渣混凝土在強度方面較他種混凝土爲遜，且因其有含硫之危險，故不能用於需要強大結構強度之處。在不需甚大強度之處，用作填料，乃其主要用途。用時應注意其勿含有未燃燼之煤塊或細灰。

5. 水 調和混凝土之水應清潔，不含油、酸、鹼、有機質或他種有害物質。海水不及淡水適宜，雖然混凝土有用海水所成之結構，受海水之作用而未曾發生更烈之分解現象。

6. 成分之比例 以前混凝土成分之比例，常胡亂爲之而不加注

意，但失敗之次數竟然很少。在混凝土建築問世之早期，除水泥外，很少注意到其他成分。規範中僅規定需要清潔銳利之砂，及特定之碎石為粗混料，但對於混料之級配及需用之水量則不予重視。在另一方面，幾乎任何較大之工程，均需經常澈底試驗水泥。在此種情況下，任意規定比例遂成為習慣，例如任意規定 1:2:4 或 1:3:6。當需要強大結構抗力時，則規定採用富混合 (rich mix) 有時竟用到 1:1:2 之比例。對於次要或較巨塊之工作，則有指明採用 1:4:8 之貧混凝土 (lean concrete) 者。不幸這種任意指定比例之做法，至今仍有繼續存在之跡象，雖然現已逐漸認識相對稠度有關混凝土之強度矣。

各成分之量度，可以體積計之或重量計之。後者遠較前者準確，但前者更常採用。上段提及之比例為體積之比例，即 1:2:4 混合，表示 1 立方呎水泥，2 立方呎細混料及 4 立方呎之粗混料。因已知重量之水泥所佔體積由於鬆緊不同而有 30% 之變動，故當量度時，須知其鬆緊程度。因此，通常指明重 94 磅之一袋水泥，為一立方呎。水泥以袋裝、桶裝（四袋）、或散裝出售。用散裝水泥時，對於鬆散之水泥，應設法量其重，方可保證其適當之比例。

已知數量之砂，所佔空間隨所含水分而變動。加水於乾砂，常可增加 25% 或更大之體積。河岸上之自然砂，普通含有 2—4% 重量之水分。實驗室內所用之砂常為完全乾燥者。工地上所用之砂，比自然砂所含水分或多或少，當以體積量度時，為獲得準確比例，應計入含水量。在尋常濕度時，應確定膨脹因數，並給予適當限量，同時濕度則應盡量維持不變。

**7. 砂漿 (Mortar) 混合之設計** 在選擇砂漿原料之比例時，常需預知其強度、滲透性、及照已定比例混合後所能得到之砂漿量。若濕砂漿中不含空隙（試驗證明具實用稠度之濕砂漿中確無空隙存在），其所



成砂漿之體積，等於水泥之絕對體積，加砂之絕對體積，加水之體積。水泥一平均立方呎（一袋 94 磅）中，有 0.487 立方呎之固體。一立方呎之砂所有之固體依其級配及顆粒之大小而定。海灘上之砂每立方呎有 0.60 至 0.63 立方呎之固體，在商業建築上所用之砂每立方呎約有 0.68 立方呎之固體。任何砂所含固體之確實數量，可從其每立方呎之重量及其比重求得之。

強度 在混合時，水與水泥發生化學作用，產生膠狀物，裹於砂粒外面。水泥之極細粒子，完全成爲膠狀，而若干較大粒子則始終不爲水所浸透。這種膠狀外包物，乃水泥全部黏合力量之所在，若已有足量之水使其發生作用，則多加之水，反使這種黏合物質變弱。故吾人有理由可以預料：在任何時間，砂漿強度係依據每單位水泥之用水量而變；水量愈多，砂漿愈弱。

1 圖表示若干研究者所得之結果。較近之研究所得之結果，有較大之強度，此乃近日所製之水泥比十年或更久以前所製者較強之故。1 圖明白指出強度與水灰比率之直接關係。2 圖表示同樣關係，但此處水灰比率是以每袋水泥所用之水量（加侖）表之。這種關係是第一次在 1918 年爲阿伯蘭（Abram）所闡述，其曲線示於此圖內。其後阿氏又發表一曲線，表明近年來水泥方面之改進，又因可塑性混合物之強度與混料之數量及級配無關，此曲線可用以設計用波特蘭水泥調製之砂漿強度。但除非將砂漿維持在濕潤的調養情況下，此曲線不能應用。

砂漿應有之水量，包括所有固體顆粒外之水分。用於砂漿中之砂多少含有水分，其數量必須予以測定，俾在混合砂漿時可以確定尚須加入之水量。

滲透性 砂漿之滲透性，以已知壓力之水穿過已知厚度砂漿之速率量度之。當砂漿混合時，並非所有水分均與水泥發生作用，而其中大