

# 混凝土工程耐久性 設計施工技術實務



台灣營建研究院叢書

TAIWAN CONSTRUCTION RESEARCH INSTITUTE

版權所有·翻印必究

---

書名：混凝土工程耐久性設計施工技術實務

主編：張光甫、許鎧麟

編印者：台灣營建研究院

發行者：台灣營建研究院

地址：231台北縣新店市中興路二段190號11樓

(北二高新店交流道出口旁台灣科技總部大樓內)

郵政劃撥帳號：05100110

電話：02-29121323轉806

出版日期：中華民國九十一年十月(一版)

---

每本定價新台幣參佰伍拾元正

ISBN：957-8343-87-6 (平裝)

# 混凝土工程耐久性 設計施工技術實務

- 主編**：張光甫（台灣營建研究院技術處處長）  
許鎧麟（台灣營建研究院產業發展組組長）
- 協編**：趙文靜（台灣營建研究院資訊組）
- 編輯**：吳秀芬（台灣營建研究院資訊組）
- 封面設計**：劉志陽（台灣營建研究院資訊組）
- 主辦單位**：經濟部工業局  
財團法人石材工業發展中心  
台灣營建研究院
- 協辦單位**：內政部建築研究所  
交通部台灣區國道高速公路局  
中國土木水利工程學會
- 時間**：中華民國九十一年十月八-九日

# 序 文

以國內工程而言，水泥混凝土之使用與世界各國無異，屬普遍而大量採用之營建材料，長久以來強度即等於耐久性想法，在結構設計階段僅重視強度、品質驗收規定大多數亦僅列坍度、強度項目之情形下，業界已習以為常，但在歷經海砂屋、澎湖大橋銹蝕、永和華陽市場建築倒塌事件後，以往僅重視水泥混凝土強度、水灰比想法確值深思探討。

耐久性的追求達成須從結構物規劃設計、規範訂立、混凝土配比設計、材料來源、生產品管、施工澆置、品質驗證管理等每一環節過程皆須嚴謹落實，在各工程單位、先進的同心協力下，其成果無疑地成為工程技術提昇、細緻精進成就的關鍵指標與展示。

台灣四面環海高溫潮濕，且經濟開發工廠林立、人口密集、汽機車排放廢氣情形下，形成鹽害侵蝕、雨水含酸的環境，對結構物造成一定程度的不利。藉由水泥混凝土耐久性設計施工技術之推廣，大幅提高結構物安全性及使用壽命，節省鉅額非正常維護甚或重建費用，本項工作深具意義。欣見台灣營建研究院邀請國內學者專家就混凝土耐久性設計施工技術之經驗心得分享交流，共同為國內混凝土工程進步提昇貢獻，特此為序共勉。

交通部國道高速公路局

局長



謹序

中華民國九十一年十月

# 混凝土工程耐久性 設計施工技術實務

## 目 錄

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 超高層大樓混凝土配比與施工<br>高健章         | 1   |
| 混凝土建築結構耐久性施工問題實務探討<br>張子文    | 15  |
| 台灣地區混凝土結構耐久性設計施工問題與對策<br>廖肇昌 | 33  |
| 國內外混凝土養護技術之探討<br>李明君、干裕成、徐尉凱 | 57  |
| 中華民國預拌混凝土廠驗證制度之介紹<br>張光甫、鍾偉舜 | 81  |
| 現地蒸氣養護技術之探討<br>王瑞禎、丘惠生       | 99  |
| 混凝土結構耐久性能設計施工技術發展展望<br>許鎧麟   | 119 |
| 新近混凝土結構耐久性設計施工技術發展沿革<br>詹穎雯  | 137 |

# 超高層大樓混凝土配比與施工

高健章

國立台灣大學土木系名譽教授

## 壹、緒論

- 1.十九世紀初葉英國仍盛行石材建築，其中波特蘭島所產石材質地優良，揚名國內外。開採之岩石需用人工斬成整齊之長方形石塊，以便堆砌城牆或建築。採石場於斬石過程中餘留甚多碎石。1824年英人阿斯匹靈(Aspdin)氏以石灰石內加 20%黏土之原料燒成水泥，請得英國專利，且因其硬化後顏色類似波特蘭島所產建築石材，故得名波特蘭水泥。當時發明之用途在於膠結採石場之廢棄碎石，以成整齊之長方形塊，以建材次級品出售得利。時至今日，竟演變成大好石塊不使用，而用機械將其軋成碎石，摻加水泥漿拌合成為混凝土，送到工地構築，為何有此反常作為？理由很簡單，因為混凝土有很好的工作性。新拌混凝土具備優異之流動性，如同自來水般可以泵送至高樓頂，並借助模型輕易的鑄成不同形狀的構件，並可埋入鋼筋加強。現今興建新寺廟，若仿古法將岩石鑿成圓柱，其功夫何等艱鉅，若以鋼筋混凝土為之，不但在成本、工期與安全上，均有天壤之別。
- 2.從上述歷史演變，可知新拌混凝土之工作性為其最大利基，國內外學術與工程界無不以此為發展重點，從高塌度、流動化、高性能、自充填等混凝土之發展，可以看出人們改善混凝土工作度之用心，其成果以達到省工、省時與高品質之境界。
- 3.高樓混凝土之施作，特點在於高揚程之泵送，如何保持混凝土之均勻性與流動性，從地面預拌車下料口到達高樓層澆灌區，其中有多艱難之處，例如高速泵送所產生之磨擦溫度可促成塌損，以多漿量減低磨擦與塞管機率，漿體之組成除水泥外，尚有高爐石粉、飛灰、石粉、輸氣泡等粉細料，其中水泥之水化凝結最快，爐石粉、飛灰次之，石粉則為惰性體並不參與塌損機制，有利於高程與延誤輸送之工地。
- 4.混凝土完成面產生蜂窩或材料析離現象，為日後建物不耐久之主因。國內生活條件日漸富裕，多數年青人已不願從事艱辛之土木勞動工作，導致混凝土施工品質低落，唯有利用新技術新管理來補救。目前混凝土工程技術大致已完成自動化，從預拌廠之全電腦化製程，預拌

車機動水平運載，泵送車垂直泵送等均已達到省力省時與制度化管理之地步，惟有澆置與搗實振動尚需仰賴人工，目前免搗實混凝土（又稱自充填混凝土 SCC）之研發成功，正可達成混凝土全自動化之境界，不但省工省時減免人為疏失，亦可提升混凝土之品質增加耐久性。

## 貳、混凝土之正常結構

一般混凝土主要組成材料為石(粗骨材)、砂(細骨材)、水泥、水、空氣與摻料。石子數量約為砂之兩倍，砂又為水泥之二倍，而水泥又為水量之二倍，如124比例之混凝土。這樣一號比另一號大的級數配合，目的在求得緻密的混凝土。理想的混凝土構造如圖一所示：圖中大石頭均勻的分佈於混凝土中，其間留下的空隙由中號石頭填補，中號石頭填補不到的孔隙由小號石子來填補，小號石子間的空隙由大號砂子來填補，如此往下遞補，最終的空隙由水泥漿體(即水泥加水之糊漿)來填補。如此一層一層的往下填補，方能得到最緻密的混凝土。混凝土內較貴的部份是水泥漿體，因此石頭與砂若能按照一種最佳的級配配合，將混凝土的大部份空間填補滿，而留下最小的空隙，由較昂貴的水泥漿體來填補，則將形成最經濟的混凝土。

## 參、優良混凝土之五項基本要求

混凝土品質之基本要求有五點：強度、工作度、耐久性、體積穩定性與經濟性。混凝土強度中最重要的是抗壓強度，因為鋼筋混凝土構造物內，混凝土之主要角色在承受抗壓力，而拉力則由鋼筋承受。混凝土強度低於設計要求則生危險，過強則形成浪費，所以最佳情形是實際強度恰等於設計強度，如此即可達不危險又不浪費之境界。

混凝土灌模時之施工要求有兩點：一為良好之流動性，可流到模內任一角落；另一為黏滯性，於振動時不生浮水與石頭沈底之材料析離現象，此兩點合稱為工作度。工作度的要求視施工器具之特性而定，有好的振動機配合耐振的板模，雖流動性差的混凝土也可灌出緻密的混凝土，例如預鑄廠使用無塌度混凝土為明顯的一例。相反的，用高壓泵送混凝土(Pump Concrete)，則需塌度甚大之混凝土，方能經由管道流至板模。因此混凝土工作度之要求，應視施工設備而定。

耐久性關係混凝土之使用壽命，一般混凝土建築物耐久性均甚良好，耐用50年，甚至百年的比比皆是，翻新時還得僱工拆除，花費一番力氣。但有些寒冷之地方，混凝土內之含水因結冰而膨脹，或有些不良的骨材與水泥起化學作用而膨脹，或有些外來雜物滲入混凝土內與水泥

起化學作用而膨脹，如此等等原因均可使混凝土脹裂剝落，形成不耐久之現象，若有此種不耐久本性存在，則應妥善安排對策，以防未然。

混凝土體積不穩定性，包括兩項變化，即乾縮龜裂與潛變(Creep)，混凝土內會產生乾縮的部份是水泥漿體，因為糊體內有大量的水份，水份蒸發就形成乾縮。至於骨材本身之乾縮有限，對混凝土之乾縮性無多大影響。因此混凝土之乾縮變化主要來自水泥漿體。漿體量多之混凝土，雖然身價較貴(因水泥漿體價格昂貴)，但反而較易龜裂。預力混凝土梁因受預力鋼線之收縮壓力，日久有發生梁長漸漸縮短之現象，謂之潛變。此潛變量關係預力效果，潛變愈大，預力效果愈差，故對預力混凝土而言，潛變愈小愈好。混凝土內骨材受力產生相對變位是潛變的主因，而骨材產生變位之大小又與骨材間之水泥漿體厚度有關，漿體愈厚則骨材間愈容易受剪變形。因此不論乾縮與潛變，均與混凝土之漿體用量有關。

混凝土內之砂石較便宜，水泥最貴，因此水泥漿體量多者將較不經濟。

## 肆、傳統混凝土之配合設計

### 一、水膠比(或水灰比)之選定

1. 混凝土強度之主要影響因素為水膠比，為千真萬確無庸至疑的事實，因此不論何種配比設計法，首先可確定的就是依據強度馬上選定水膠比。
2. 以強度來決定水膠比時需根據所謂的強度與水膠比關係曲線。以往混凝土內膠結材只用水泥時，事情比較單純，強度與水灰比關係曲線較易建立，甚至有全世界可通用之關係曲線，如附表 1。
3. 近年來混凝土普遍添加波索蘭材料，且其材料種類及品質參差不一，強度與水膠比關係曲線就沒有統一的標準，因此各個預拌混凝土廠，應根據使用的膠結材種類與成分百分比，訂定特定的強度與水膠比關係曲線，例如：(第一型水泥+10%飛灰+10%爐石粉)之強度與水膠比關係曲線，與(第二型水泥+20%爐石粉)之強度與水膠比關係曲線，兩者必將不同，使用者應據實對應。此種關係曲線以該廠之以往生產資料統計迴歸取得之曲線最為可靠與精確。
4. 預拌廠製作統計迴歸曲線時，資料來源之正確性最為重要。依目前國內預拌廠之工作習性，水膠比之水量測定與強度試體之養生條件尚待改進。實際拌合水量=拌入水量+骨材表面水量，其中骨材表面水量之正確測定有待改進。另外試體養生池水溫之準確度與均勻度也需加強管理。

- 5.目前水泥之研磨技術長足進步，各廠水泥之粉細度已多超出規範規定，且有參差，故強度與水膠比關係曲線也需依水泥品牌而有所不同。
- 6.預力混凝土之拉線齡期強度為其關鍵值，其預估亦需依據其特定成分之強度與水膠比關係曲線來判定。
- 7.混凝土耐久性亦與水膠比關係密切，因為水灰比大者硬化後之材質鬆軟，透水性大，容易遭致水分與不良化學物質入侵，導致鋼筋腐蝕或混凝土品質劣化，故以耐久性之觀點，規範對混凝土有最高水膠比之限制，且顧及膠結材種類與品質之參差，另有最低強度之雙重要求，如表 2 之規定，並與結構力學要求強度值比較，取其大者做為設計強度。
- 8.混凝土乾縮量大者易導致龜裂，形成大痲疵，易遭致水分與不良化學物質入侵，使混凝土之耐久性減低。一般而言，混凝土之乾縮量與拌合水量成正比，故要控制乾縮量需從拌合水量控制著手，可借助級配改良與摻劑之調整來達成。

## 二、拌合水量之選定

- 1.同一混凝土配比中，水泥量不變，而拌合水增多，其塌度會變大。
- 2.同一混凝土配比中，拌合水量不變，而水泥增多，其塌度將如何變化？  
答案是塌度不變。
- 3.新拌混凝土為何有塌度，是水泥漿充當骨材間之潤滑劑所致。如圖二所示，單純骨材堆積體不會滑落，是沒有塌度的，因為骨材顆粒間有摩擦阻力，阻止顆粒相對滑動變位，故整體骨材互相鎖死不動，不會塌落。但加入水泥漿之後就有塌度了。
- 4.混凝土之漿量過少時，即成所謂的無塌度混凝土 (No slump concrete)，其構造如圖三(上)所示，漿量只夠填塞骨材間之空隙，骨材顆粒仍然碰觸，骨材之相對移動受限，不易塌落。
- 5.有塌度之混凝土構造，應如圖三(下)所示之構造，水泥漿量不但足以填滿骨材間之空隙，且有多餘的水泥漿量將骨材撐開，使骨材顆粒間含有一層厚度的水泥漿充當潤滑劑，促使骨材相互滑動，造成塌度。
- 6.混凝土塌度有大小，端視骨材間潤滑層之厚薄以及潤滑性而定。一般而言，水灰比值與減水劑為水泥漿潤滑性之主控因素，而潤滑層之厚薄則與漿量之多寡及骨材級配之良莠相關。
- 7.現在對上述問題「同一混凝土配比中，拌合水量不變，而水泥增多，其塌度將如何變化？答案是塌度不變。」來做解釋，跟據美國先期研究者的「Slater's rule」，即混凝土中之水量不變時，水泥粉量（或膠結材）增加，將導致骨材間潤滑層之增厚，有利於骨材之相互滑動；但也會減低水泥漿之水灰比，增加稠度減低潤滑性，不利於骨材之相

互滑動。如此一利一弊恰巧相互抵消，塌度就不變了。

8. Slater's rule 實為美國 ACI 211.1 配比設計法之主要依據，其水量之決定，如表 3 所示，只依塌度與骨材最大粒徑來決定，與水灰比多少無關，因為水量  $W$  一旦決定，水灰比  $W/C$  之變化只在變化水泥量  $C=W/(W/C)$ ，依上述 Slater's rule 所言，不致變動混凝土之塌度。
9. 骨材最大粒徑在 ACI 配比設計法中，為骨材級配特性之標稱，此配合法規定可用之骨材需符合 ASTM C-33 之級配規定，並以其最大粒徑做為該級配骨材之標示，例如最大粒徑 20mm，不只說明所用骨材之最大粒徑為 20mm，且代表一群符合規定之級配骨材之稱呼。同理細骨材是以 FM (Fineness modulus) 為其標稱，例如 FM=2.8 之砂，不只是說明所用之砂其不過篩率依規定統計之數據為 2.8，且表示此群細骨材是符合 ASTM C-33 之級配規定。
10. 如圖四所示，是混凝土內骨材與水泥漿體之關係圖。混凝土中有多數個骨材顆粒，其間充滿水泥漿，若將每顆骨材中心相連，可成多數個三角形，拿其中一個三角形 abc 來分析，就可類推其他多數之三角形，進而瞭解整個混凝土之構造。圖內三角形 abc 中之水泥漿體可分二部份：斜線部份與中間小三角形部份。斜線部份約等於原水泥漿體厚度  $t$  之半數乘以骨材之表面積  $s$ ，中間小三角形部份則約等於骨材靠攏密集時之空隙  $v$ ，故混凝土內之糊體量  $p$  可以下列公式表示：

$$p=(1/2)t/s+v \quad (1)$$

其中： $p$  代表混凝土內之水泥糊體量

$t$  代表混凝土內骨材間之水泥糊體厚度

$s$  代表混凝土內骨材之總表面積

$v$  代表混凝土內全部骨材密集靠攏時之空隙體積

公式(1)所表示的意義是：減少  $t$ 、 $s$  或  $v$  均可減少水泥糊體用量  $p$ ，而得較經濟之混凝土。但以工作度的要求來看， $t$  就不可太小，因為  $t$  減小混凝土之塌度就減低，無法施工，故  $t$  之大小完全取決於工作度。因此在滿足混凝土工作度之條件下要減少水泥糊體量  $p$ ，唯有從減少骨材之表面積  $s$  與骨材密集時之空隙  $v$  著手了。

圖五 (a) 與 (b) 二個體積相等，圖 (a) 用同大之大骨材填滿，圖 (b) 用同大之小骨材填滿，試問兩者之  $s$  與  $v$  之大小如何？

答案應該是  $v_1=v_2$ ，而  $s_1<s_2$ 。因為圖 (b) 內任 8 個小球形成之小立方體與圖 (a) 之立方體為相似形，因此可證  $v_1=v_2$ 。一個大圓球之表面積等於  $4\pi R^2$ ，一個小圓球之表面積  $=4\pi r^2 = 4\pi(R/2)^2 = \pi R^2$  (因

為  $r = R/2$ ), 圖(a)有  $2^3=8$ 個球, 圖(b)有  $4^3=64$ 個球。因此圖五(a)之總表面積  $S_1 = 4\pi R^2 \times 8 = 32\pi R^2$ , 而圖五(b)之總表面積  $S_2 = \pi R^2 \times 64 = 64\pi R^2$ , 故  $s_1=0.5s_2$ , 即  $s_2$ 大  $s_1$ 二倍。以此類推可得證均一大小粒徑組成之骨材, 其密集時之空隙  $v$  為定值, 與粒徑無關, 但其表面積則隨粒徑之縮小而增大。

圖六用以比較單一大小粒徑骨材與不同粒徑混合之骨材間之關係。若圖內全由實線之小球填滿時, 屬含單一大小粒徑骨材之混凝土, 設其骨材總表面積為  $s_1$ , 骨材密集時之空隙為  $v_1$ 。若圖內由虛線之小球與實線之小球混合級配, 每一大球置換幾個小球之位置, 原小球間之空隙變作實心體, 且幾個小球之表面積大於一個大球之表面積, 則其  $s_2$ 與  $v_2$ 均會比  $s_1$ 及  $v_1$ 小。由此可證二種不同大小粒徑級配之骨材較比單一種粒徑骨材好, 可用較少量之水泥糊體。同理可證三種不同大小粒徑級配之骨材佳於二種大小者, 以此類推, 骨材級數愈多愈可少用水泥漿體。

11. 可知骨材顆徑愈大, 代表之意含是: 此群骨材符合 ASTM C-33 級配規定, 其級數較多故骨材密集靠攏時之空隙體積  $v$  較小, 骨材之總表面積  $s$  也較較少, 故使用同量水泥漿  $p$  時, 所得骨材間之水泥糊體厚度  $t$  將較大, 混凝土之塌度將較大。此即表 3 中為何水量與骨材顆徑相關之道理。
12. 預拌廠若有大量經驗數據, 應模仿強度與水灰比關係迴歸曲線之作法, 依據使用的膠結材種類與成分百分比, 訂定特定的塌度與水量關係曲線, 例如: (第一型水泥+10%飛灰+10%爐石粉)之塌度、骨材最大粒徑與水量關係, 與 (第二型水泥+20%爐石粉)之塌度、骨材最大粒徑與水量關係, 兩者必將不同, 使用應據實對應。此種關係曲線以該廠之以往生產資料統計迴歸取得之曲線最為可靠。

### 三、空氣量之估計

1. 混凝土內之空氣應存在於漿體中, 不可進入骨材中, 故空氣量應與漿量多寡成正比, 骨材最大顆徑較大之合格級配骨材, 其達同樣塌度之漿量必較少, 故其含氣量會較少, 如表 2 所示。

### 四、骨材量之決定

1. 由水、膠結材、粗細骨材與空氣之體積構成混凝土之整體體積, 故混凝土總體積扣除水、膠結材、空氣體積後, 就得粗細骨材之總合體積, 但接下來是如何分配粗細骨材之佔有率。
2. 如圖七(A)、(B)與(C)所示, 表示三種混凝土之粗細骨材分佈, 假設此三種混凝土之強度與塌度均相同, 即  $W/C$  與  $W$  均相同, 則水泥漿量  $P =$

W+C 均相等。另空氣含量 A 略有不同(因 A 與粗骨材最大顆徑相關, 如表 3 所示), 惟其量不大暫予忽略不計。因此上述三種混凝土之粗細骨材總量  $G + S = 1 - P - A$  約略相等。比較圖七(A)與(B)兩種混凝土中之粗細骨材用量, (A)混凝土之粗骨材之最大顆徑大於(B)混凝土, 比較上述兩者混凝土之骨材用量, 因粗骨材總量  $G_A > G_B$ , 相對的, 砂之總用量  $S_a < S_b$  (因大致  $G_A + S_A = G_B + S_B$ ), 故砂率  $S_A / G_A < G_B / S_B$ , 此即表示粗骨材最大顆徑愈大其砂率愈少, 粗骨材用量愈多, 如表 4 與表 5 所示。另再比較圖七混凝土(A)與(C), (C)砂之 FM 較小於(A)砂, 其細骨材總量  $S_A > S_C$ , 相對的, 石之總用量  $G_a < G_b$ , 故砂率  $S_A / G_A > S_C / G_C$ , 此即表示細骨材之 FM 愈小其砂率應愈小, 粗骨材用量愈多。

## 五、貧級配混凝土之材料析離現象

1. 台灣鄉下冰店出產之紅豆冰棒, 紅豆集中於冰棒頭部為其特色, 為何如此? 製造過程如圖八所示, 將煮熟的糖水紅豆混合料放入倒立之冰棒模筒, 置於冰冷水中凍結, 並在筒中插入一根竹筷, 冷凍過程中, 因紅豆較比糖水重, 故會沉到筒底(即冰棒的頭部)。目前新式冰棒, 如義美冰棒, 紅豆顆粒就均勻分佈, 因為其糖水紅豆混合料先加以勾芡處理, 使紅豆能浮懸於糖水糊體中, 不致下沉分離。
2. 混凝土之工作度, 除塌度外尚需考慮另一個很重要的特性, 即所謂的材料析離(Segregation)現象。材料析離包括二種現象, 一為浮水, 另一為石頭沉底, 均因重力而起, 即輕者上浮, 重者下沉。同理混凝土中之骨材, 若水泥漿之稠度與粘性不足, 拌合均勻之混凝土, 在輸運或搗實過程骨材下沉而形成材料析離現象。改善之辦法就是設法增加水泥漿之黏滯性, 即稠度。
3. 一般人都知道, 海灘裏的海砂加水沒有稠性, 不易塑成細膩的形像, 但泥土加水即可揉成可塑性黏土。兩者之分別在海砂之顆粒較粗, 泥土之顆粒較細。因為細微顆粒之單位重量表面積很大, 能吸附大量的水份, 形成黏性的漿體。因此混凝土之砂漿中需要適量的細粒存在, 才能形成稠度, 防止浮水之上升及粗骨材之下沉。細粒過多則混凝土之水量需要增加以保其要求塌度, 如此則會加大水灰比而減低混凝土之強度。反之, 細粒太少則會形成粗糙無黏性的混凝土, 容易形成浮水現象。混凝土內之細微顆粒包括水泥細粉(及波索蘭、石粉等)及砂中之細粒, 兩者之總量需適當, 因此富級配之混凝土, 即高強度混凝土, 因其水泥用得更多, 故細粒砂應減, 即用 FM 較大小砂。反之貧級配混凝土, 水泥少, 細粒砂量要多, 以增黏性混凝土縱有適當之細粒, 但若沒有充分的攪拌, 水分沒均勻的擴散到細粒表面上, 地無

法得到混凝土的稠性。廚師揉麵團，需要反覆的擠揉，目的在使水分擴散到麵粉之每一角落，以得到均質稠度的麵團。同理，混凝土也要充分的拌合，如日文所謂的「練」，方能得到稠度，避免材料析離。

4. 由上之論述可知，混凝土內需要適量之細粒，故在此前題下，混凝土骨材級配之下限已定，即不能缺少細粒。因此要增加骨材級配之級數，唯有增加骨材級配之上限，即骨材之最大粒徑愈大，骨材之級配數愈多，可使骨材之總表面積  $S$  及集密空隙  $v$  減少。故製造混凝土時，在可允許的範圍內，應盡量增大骨材之最大粒徑，以減少水泥漿體之需要量。

## 伍、HPC與SCC混凝土之配比設計

1. 高性能混凝土之流動性甚佳，是借強塑劑之助可調出含水量低而潤滑性甚佳之水泥漿體。目前配比設計方法尚缺統一之合理法則可以依循，大都以試誤法之試拌與 步修正為之。
2. 混凝土要高流動其水泥漿就要有高潤滑性之，若要材料不析離其水泥漿就要有高黏滯性，以往水性漿體（即以水稀釋以得較高之潤滑性）無法兼顧兩者要求。及至強塑劑問世後，才能於低含水量下調出高潤滑性與高黏滯性之水泥漿體，相對於水性漿體此種漿可比論為油性漿體，如同濃稠機油般，其性很黏稠但潤滑性甚佳。
3. 通常高性能混凝土之水膠比甚低，即低含水漿體，並借強塑劑之助使成黏稠且具潤滑之漿體。
4. 另 SCC 自充填混凝土（即免搗實）之配比設計，除考慮漿體黏稠度外，並考驗砂漿為主体之黏稠度與潤滑性，以流度試驗與 V 漏斗試驗來檢驗砂漿特性，且從經驗上得到砂漿之細骨材容積比  $S_c/M=0.4$  為一良質之砂漿配比。
5. SCC 混凝土視砂漿為粗骨材之搬運介質，除流動性要求外，並得護送粗骨材通過鋼筋網，不得使粗骨材擠死通道，砂漿搬運介質之量需足夠，相對的粗骨材之量不得太多，故有粗骨材實積率 50% 之原則規定。
6. SCC 混凝土之流動特性以坍流度試驗，V 漏斗試驗來檢驗，其穿筋能力則以 U 型箱涵來測試。
7. 粗骨材量不得太多，即如同傳統混凝土，漿量愈多骨材間之潤滑層愈厚，其流動性就愈佳。在漿體黏稠度不變下（為抗析離），漿量  $P$  愈多則拌合水量需愈多。
8. 另外水泥與強塑劑之相容性問題。

表 1 強度與水灰比之關係

| 28 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 水灰比  |
|--------------------------------|------|
| 450                            | 0.38 |
| 400                            | 0.43 |
| 350                            | 0.48 |
| 300                            | 0.55 |
| 250                            | 0.62 |
| 200                            | 0.70 |
| 150                            | 0.80 |

表 2 ACI之耐久性要求

| 暴露情況    | 水膠比  | 抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|------|----------------------------|
| 暴露於清水中  | 0.5  | 280                        |
| 暴露於凍融環境 | 0.45 | 315                        |
| 暴露鹽於水中  | 0.40 | 350                        |

表 3 ACI拌合水需要量與空氣量

| 塌度<br>cm | 拌合水量(kg/m <sup>3</sup> )<br>最大骨材粒徑(mm) |      |     |     |     |     |     |     |
|----------|--|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | 10                                     | 12.5 | 20  | 25  | 40  | 50  | 70  | 150 |
| 非輸氣混凝土   |  |      |     |     |     |     |     |     |
| 3~5      | 205                                    | 200  | 185 | 180 | 160 | 155 | 145 | 125 |
| 8~10     | 225                                    | 215  | 200 | 195 | 175 | 170 | 160 | 140 |
| 15~18    | 240                                    | 230  | 210 | 205 | 180 | 180 | 170 |     |
| 空氣量<br>% | 3                                      | 2.5  | 2   | 1.5 | 1   | 0.5 | 0.3 | 0.2 |

表4 砂率值

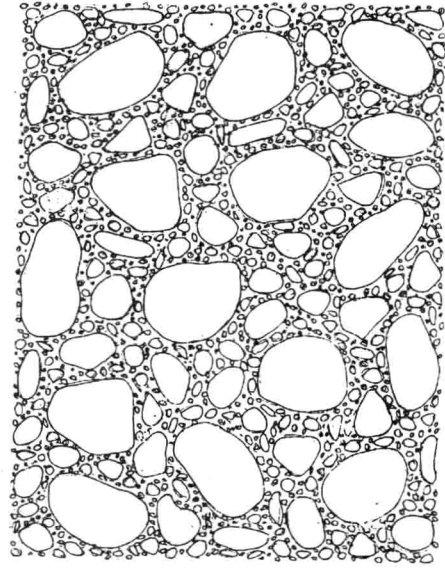
| 骨材最大粒徑(吋) | 砂率(S/G) (%) |
|-----------|-------------|
| 3/8       | 61          |
| 1/2       | 53          |
| 3/4       | 45          |
| 1         | 41          |
| 1.5       | 36          |
| 2         | 33          |
| 3         | 31          |
| 6         | 29          |

| 條件變化                 | 砂率調整量       |
|----------------------|-------------|
| 砂之細度模數 $2.7 \pm 0.1$ | $\pm 0.5\%$ |

表5 ACI粗骨材需要量

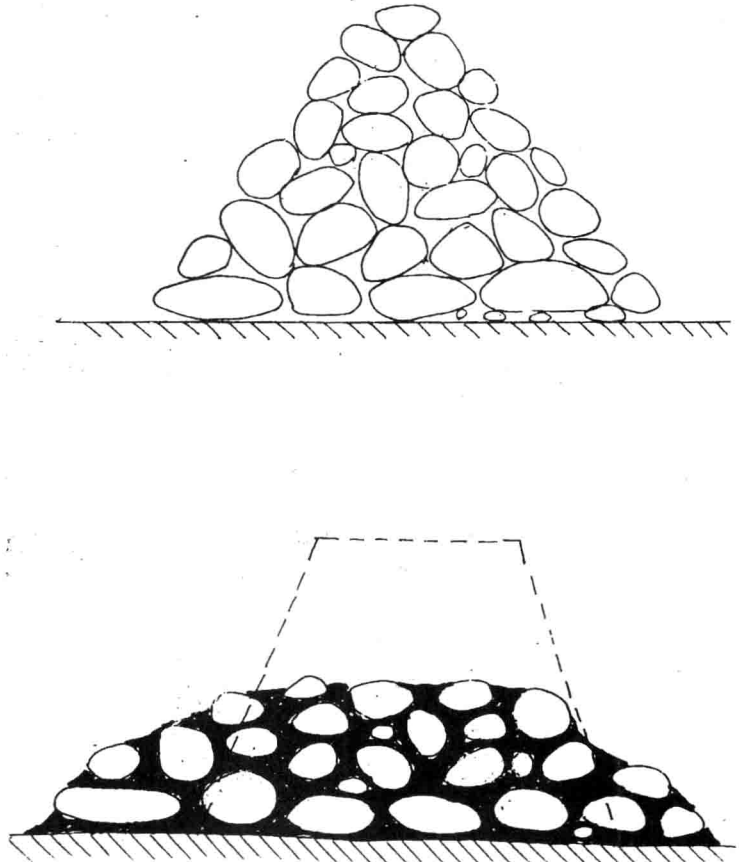
| 骨材最大粒徑<br>mm | 粗骨材用量重／粗骨材單位體積重<br>細骨材之細度模數 FM |      |      |      |
|--------------|--------------------------------|------|------|------|
|              | 2.40                           | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 10           | 0.5                            | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.5         | 0.59                           | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 20           | 0.66                           | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25           | 0.71                           | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 40           | 0.76                           | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 50           | 0.78                           | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 70           | 0.81                           | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 150          | 0.87                           | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

圖一 理想混凝土之構造

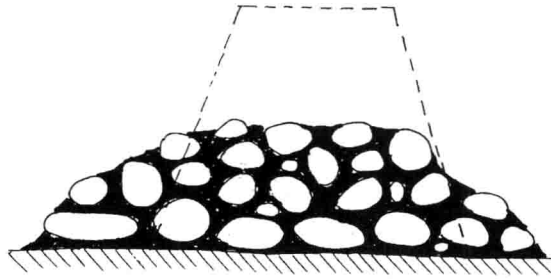
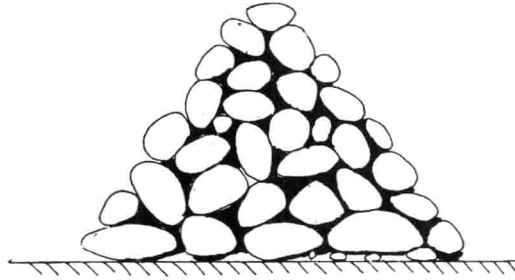


concrete structure

圖二 骨材堆積體



圖三 水泥漿充當骨材間之潤滑劑



圖四 混凝土內骨材與水泥糊體之關係圖

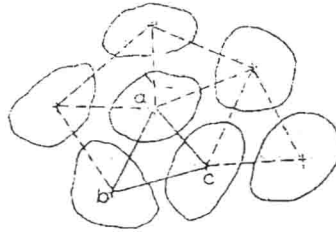


圖 (二)

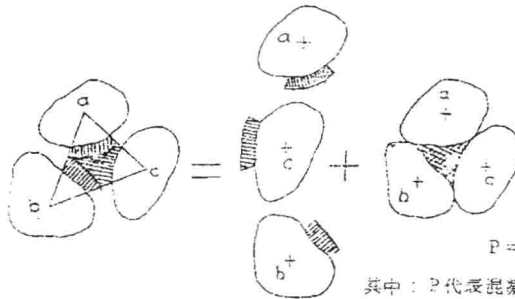


圖 (三)

$$P = \frac{1}{2} t \times S + V \dots\dots\dots(1)$$

- 其中：P 代表混凝土內之水泥糊體量
- t 代表混凝土內骨材間之水泥糊體厚度
- S 代表混凝土內骨材之總表面積
- V 代表混凝土內全部骨材密集靠攏時之間隙體積