

# 第一章 緒論

## 1-1 緣起與定義

混凝土是營建工程使用最普遍也最大量的主要施工材料，其原因乃是以前混凝土材料取得很容易、價格低廉、使用很方便，且在材料性質上具有耐壓、耐久、耐火、穩固等優點[1]。但美中不足的是，傳統混凝土由於抗壓強度及各種強度，相對於鋼料，並不很高，致使用上，構材之斷面需甚大，增加構造物自重並減少室內使用空間、增加工程費用；另外，混凝土為脆性材料且體積變化較大，易發生乾縮、潛變、龜裂等缺點。這些缺點是混凝土技術研究界一直致力研究改進之重大目標。

近年來混凝土技術研究者投注很大心力在此方面，經多年之努力，目前已有重大突破，發展出「高性能混凝土」(High Performance Concrete, HPC)，並已趨技術成熟之實用階段，各國亦正在積極研究發展中。

基本上，高性能混凝土仍是一種混凝土，也是由水泥、粗細骨材(粒料)及摻料所組成。與一般混凝土比較，依據不同之工程情況，對高性能混凝土可能有下列一種或多種「高性能」之需求：

- (1)高強度
- (2)高彈性模數
- (3)高流動性(工作度)
- (4)高體積穩定性
- (5)高耐久性
- (6)高耐磨性
- (7)高水密性
- (8)其他特殊性能

最早被廣泛利用的高性能混凝土為高強度混凝土(定義為抗壓強度大於6000psi)，因此目前大部分人的觀念，都認為高性能混凝土即為高強度混凝土[2]。為推動本土化的HPC，以應工程界實際需要，本計劃研究群(中華民國結構工程學會之高性能混凝土委員會)將HPC定義如下，並具有以下特性[3]：

- (1)高性能混凝土之定義：我國高性能混凝土乃是指需要具較一般混凝土品質為高之「免搗實高流動性混凝土」，此混凝土並可能具有高強度、高體積穩定性、高耐磨性、高水密性及其他特殊性能要求。
- (2)高性能混凝土可依其工程需求指定設計強度，其28天抗壓強度可指定為280kg/cm<sup>2</sup>，560kg/cm<sup>2</sup>，…，700kg/cm<sup>2</sup>或更高。
- (3)高性能混凝土為了達到其高流動性，且能保有其骨材不析離與材料均勻性，應適度使用化學摻料與卜作嵐材料(爐石、飛灰、矽灰等)。
- (4)高強度混凝土依ACI規定係指420kg/cm<sup>2</sup> 28天抗壓強度之混凝土，高強度是其主要條件，未必具有高流動性與免搗實之特性。
- (5)因為高性能混凝土係由低水灰比配比作成，而又適當填加卜作嵐材料，因、作嵐作用使其具有低發熱量、高水密性、耐久性之特點。
- (6)高性能混凝土之品質除了抗壓強度外，並應著重於塌度、流度(有特別量測方式)性質。施工時應特別注重模版工程，包括支撐與避免漏漿之密封性。(如圖1-1)
- (7)高性能混凝土之使用係營建自動化之重要一環，在環保與節約資源(使用工業副產品，減少水泥用量、免振動減少噪音等)、改善施工品質、增進施工技術、減少勞力方面均有極大之影響，並用以建立高品質形象，藉以擺脫混凝土品質低劣時代。
- (8)分支管澆置是仗用高性能混凝土之特色，此種作業方式使巨積混凝土澆置時間大幅縮減。以日本明石海峽大橋(一九九八年完工後為世界最長吊橋)之錨定基座使用HPC每天灌漿可達1900m<sup>3</sup>，比一般傳統混凝土施工量增加50%。(如圖1-2)

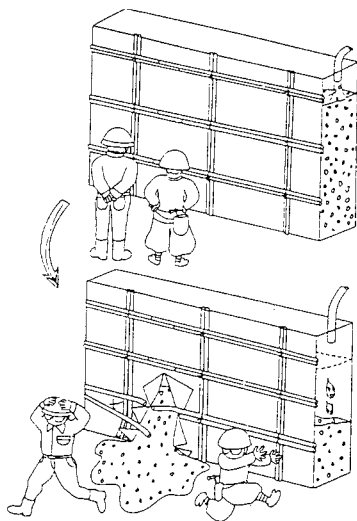


圖 1-1 HPC 澆置應特別注意模版工程 (Okamura, 1993)[7.14]

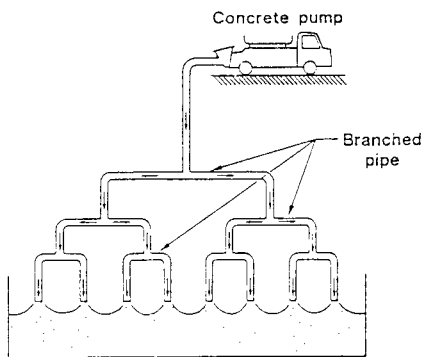


圖 1-2 快速均勻之分支管澆置 (Okamura, 1993)[7.14]

## 1-2 研究目的

高性能混凝土研發為配合未來高層結構物與集合住宅發展、產業技術升級及品質保證精神為目的而擬定。高性能混凝土除高強度外，亦有訴求或具有高剛度、高彈性模數，高流動性或高水密性之特質，對安全性、耐久性有其重要意義，為當今發展高性能材料之重要依據，經由國科會與內政部建築研究所籌備處年來的推動整合產、官、學研之規劃，舉辦多次高性能混凝土研討會引進國外學者專家之知識，並透過中華民國結構工程學會高性能混凝土委員會之成立，擬全面提升混凝土產業技術與水準。規劃之重點依材料基本資料、力學性質與測試方法、構件行為與監測、結構設計與規範、施工與品管等，設立小組進行整合推動藉由群體整合國內有限之個體研究力量及人力資源，依個人專長分工合作，使國內遲滯之混凝土技能藉以提昇。並結合產、官、學研等領域專家「橫向分享，縱向傳承」攜手合作，使高性能混凝土能得以發展，確切落實本土化及產業化，以提昇國內營建工程之品質，並能達國際水準。

## 1-3 研究範圍與方法

### (1) 研究範圍

本計劃為五年長期研究之初期研究規劃，範圍包括 HPC 之規劃及推動 HPC 相關規範資料整理分析並結合產官學研的心力，共同推展 HPC 之研發應用。中長期延伸研究範圍為探討 HPC 與高性能鋼材複合構材之研究探討 HPC 構造物輕質可行性，HPC 材料基本構成性質分析以及 HPC 品管技術與品質保證制度之建立。

### (2) 研究架構

整個計劃由中華民國結構工程學會「高性能混凝土委員會」依材料性質與耐久性、構件行為與監測、結構設計與規劃、施工與品管等

小組(表 1-1)，藉由該委員會進行整合推動。

中華民國結構工程學會高性能混凝土委員會名單如下：

陳振川(主任委員)、黃兆龍(副主任委員)、王長芳、王森源、方一匡、方文志、林志棟、林宜清、林英俊、林建宏、林銅柱、李 劍、沈進發、周禮良、洪思閩、高健章、張大鵬、張荻薇、陳升切、陳利明、莫詒隆、黃 然、黃世健、黃裔炎、楊錦懷、葉銘煌、趙文成、廖肇昌、蔡東和、賴士勳、盧湘華、謝致德、顏 聰

表1-1 分組內容及各組召集委員

分組內容	召集委員
材料基本性質與耐久性	陳振川、黃兆龍
構件行為與監測	方一匡
結構設計與規範	沈進發
施工與品管	林志棟
國內外資料蒐集	陳振川、黃兆龍

### (3) 研究方法與步驟

1. 國內外相關文獻蒐集整理
2. 配合中華民國結構工程學會高性能混凝土委員會進行整合座談會
3. 依四個工作委員會進行調查與分組研討
4. 辦理研討會以利推廣作業之進行
5. 綜合討論及報告之撰寫

## 第二章 HPC 相關文獻整理分析

高性能混凝土已成為國際混凝土研究之重點，許多國家紛紛於近年來成立正式研究單位或研究群在推動此方面之研究與應用。這些國家是針對高品質化、資源最佳利用、環保與營建自動化(節省人力與促進施工安全)之趨勢，而積極推動，其推動方式都具有下述四點特色，即

- 1.產官學研界整合；
- 2.目標性計畫(明確訂定達成目標，並有配合現場研究或建造物施工)；
- 3.注重基礎研究(HPC牽涉化學、微觀材性、多由學術界負責領導策劃推動)；
- 4.政府大力支援推動(多數為政府主動策劃之重點計畫)。

為能實際的瞭解國外 HPC 發展經驗及制度，並蒐集最先進之 HPC 資訊，於八十二年九月三日至九月二十日，由計劃主持人陳振川教授及多位高性能混凝土委員會委員組團前往法、德、西班牙、韓國等地考察當地 HPC 之發展現況，並分別帶回各國之 HPC 相關研究文獻報告，以提供國內發展之參考。以下為考察及蒐集所得之各國 HPC 發展現況。

### 2-1 歐洲地區

#### 2-1-1 法國

在法國，有一個稱為「混凝土新發展」以整合三十個產官學研單位的國家計劃[4]，已經證明了製作高性能混凝土以應用於重大營建工作的可行性。此一國家計劃，包含興建一條 114 公尺三個跨度場鑄後拉法之橋樑。該橋樑使用 28 天之設計強度為 8,700psi 的高性能混凝土，在

Joigny 地方建造。此高強度為使用現有之施工設備及當地材料，而不用矽灰製作獲得的。此結構物並安裝儀器以便監測在施工期間之溫度行為及使用期間之變形反應。由橋樑所獲之試驗數據可用以確認計算模式。本計劃很成功的說明了根據傳統基礎、使用現有設備及材料可製成高性能的混凝土。此計劃之成功使法國官員深信在需要優越耐久性的工程上，需規定使用高性能混凝土，即使強度上的要求並非如此重要。

另一個發展 HPC 的重要機構為“Pons et Chaussees”研究網，包含了一中心實驗室 LCPC 及 17 個地方性實驗室 LRPC。高性能混凝土的研究早在 80 年代初期即在 LCPC 開始，並在“Pons et Chaussees”研究網發展起來。LCPC 的主要工作為研究，而 LRPC 則進行著地區性及工地現場的實際工作，並進行一些其他方面的研究。

在法國，HPC 被視為未來的新材料，並有許多在土木工程上實際運用。因此在混凝土科學的研究，都被集中在 HPC 的研究上，最近的研究重點，正集中於 HPC 的成份及性質，特別著重於配比的設計上。

“Pons et Chaussees”研究網將進行更多的研究來促進 HPC 之快速發展。Dr. de Larrard 目前負責此研究網之推動並和營造業(包括全世界第二大營造廠 Bouygues 等)保持密切之合作關係。

法國在 HPC 上研究之成果使他們更有信心的將 HPC 運用於許多重大之結構物與長跨橋樑上，他們的理念是高品質的材料應該使用於永垂不朽的重要結構物上。譬如已建造完成位於巴黎著名大道之 La Grande Arche(圖 2-1)與正建造中之法國國家圖書館(圖 2-2)等建築及 Re Island Bridge、Perthuiset Bridge 等長跨著名跨海大橋上。法國使用極限設計法進行預力混凝土與鋼筋混凝土之混凝土設計強度為 8,700psi(60MPa)。

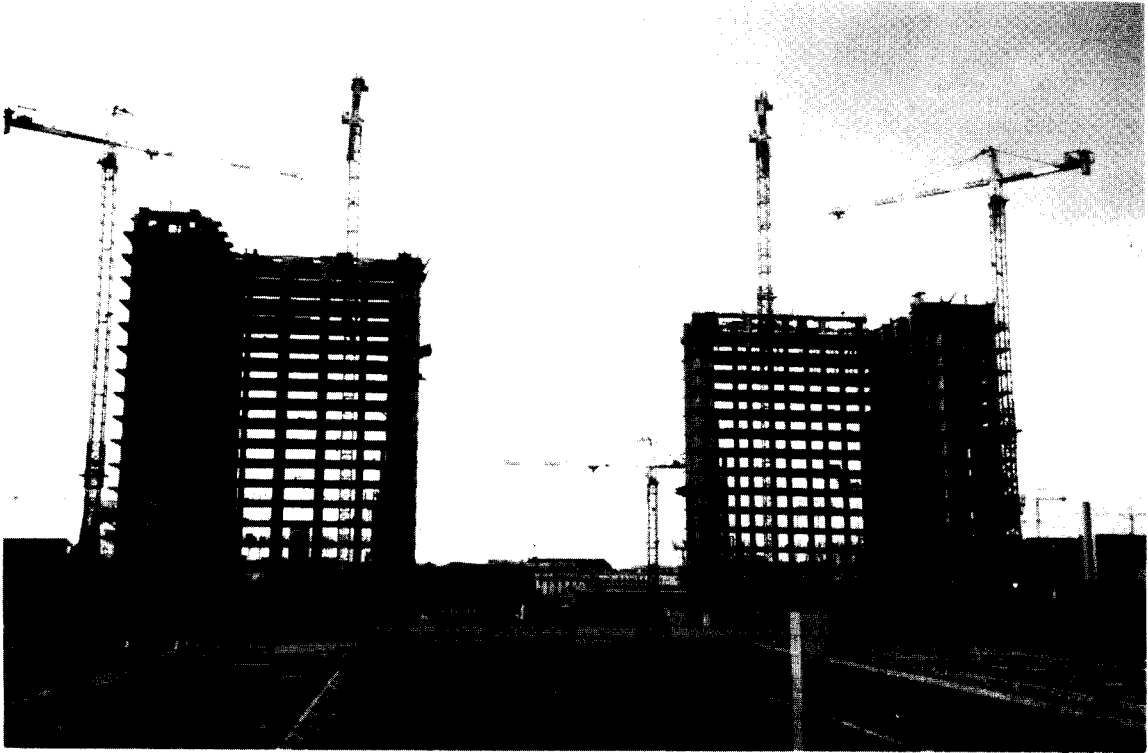


圖 2-1 Bibliotheque de France 法國國家圖書館 28天強度，60MPa

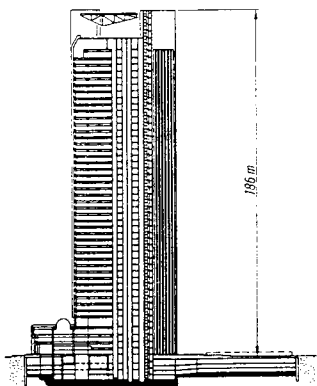


圖 2-2 法國 La Grande Arche 新凱旋門 (1985~1991) 28天強度，60MPa

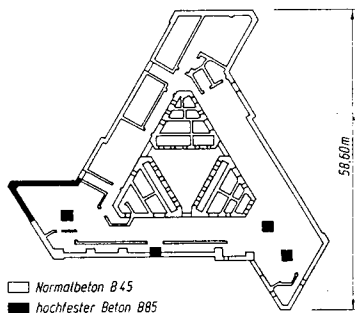


## 2-1-2 德國

德國在使用 HSC/HPC 於工程上較為保守，依其使用之鋼筋混凝土規範 DIN 1045，強度限制為 8,000psi(55MPa) 相對的挪威、芬蘭等國所使用的 89 年版 CEB-FIP 規範則設計強度可達 12,000psi(85MPa)。惟若強度超過 55MPa 則可申請特殊例許可。德國國內第一次運用高強度混凝土，位於法蘭克福的一棟 186m 的 Bfg 銀行大樓 [5](圖 2-3)。該大樓採用 85MPa 之混凝土，水灰比為 0.35，並加入矽灰及強塑劑製成。該混凝土具有良好工作度及均勻性，不容易析離，並可以泵送法輸送至工地現場。這第一次的高強度混凝土的應用，證實了以目前德國的科技要製造出 25MPa 之混凝土並非不可能。事實上，另一棟位於柏林，即將採用 115MPa 之混凝土的大樓，動物園之窗(Zoo Fenster)，也已獲得建築許可，此一樑柱構架結構型式 40 層建築，將於 1994 年元月動工。基於歐洲共同市場之形成與世界營造市場之競爭性，德國營造業為保持其在國際營造市場上之技術優勢，極力要求德國規範解除 55MPa 之限制。基於 HSC/HPC 科技之逐漸成熟與營造業需求，DIN 於 1991 年成立專門委員會以修改 DIN 1045 鋼筋混凝土規範。並預定在 2 年內完成作業。此一委員會材料方面由司徒加大學 Prof. Reinhardt 為負責人，將於 1993 年底提出草案，負責結構分析之丹斯特大學 Prof. Konig 亦將於 1994 年中旬提出定稿，此次由 10 位德國專案學者所領導與修訂規範之工作將由抗壓強度限制由 55MPa 提高至 115MPa(16,000psi) 此強度限制的修改幅度極大，依修訂委員 BAM 之 Prof. Muller 指出德國 DIN 規範由 45MPa 提高至 55MPa，雖僅增加 10MPa，但卻用了 10 年的時間。此次修改幅度可謂相當大，也代表科技之快速進步。Prof. Muller 並指出在歐體成立後，將來 ISO 規範，混凝土規範之強度限制勢必會朝高強度方面發展。法國的 Dr. de Larrard 指出德國在 HSC/HPC 之發展較慢，但依其在工業與學術研究方面之雄厚實力，及其目前全力推動趨勢判斷，德國很快的會在歐洲地區(乃至全世界)居於領先地位。



(a)德國 Bfg 銀行大樓，高186m 為  
地下4層，地上47層的建築物



(b)Bfg 銀行大樓平面圖

圖 2-3 (a)(b)[2.5]

### 2-1-3 西班牙

西班牙並無國家計畫，目前多由學術界進行研究，主要研究單位為卡特盧亞科技大學，除從事潛變、乾縮研究，並於巴塞隆納奧林匹克運動場區建造了一座薄版 12,000psi(80MPa)HPC 人行道橋(圖 2-4)，以達到美觀造型與表面材質之目的。

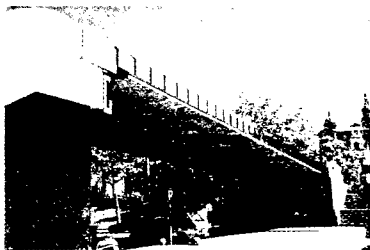


圖 2-4 西班牙奧林匹克人行道橋 28 天強度 80MPa

#### 2-1-4 奧地利

奧國與德國種族習性相依，保守而有雄厚的工業基礎，雖然奧國亦無特別的委員會或研究群從事HPC之研發工作。在實務上工業界已使用類似HPC之高流動性混凝土於製造K型半預鑄樓板及牆系統(如圖2-5)，效果良好。



圖 2-5 (a)奧地利高流動性混凝土(b)K型半預鑄樓板

#### 2-1-5 挪威

自從國際性的石油公司在60年代進入挪威作業以來，為了興建海上鑽油平台，挪威開始研究較高強度的混凝土在此方面的應用。進而刺激了高強度混凝土在技術上及經濟性上之改善。挪威皇家科學與工業研究委員會(NTNF)及該國之混凝土業者合作進行了一項有關高強度混凝土之國家研究計劃，第一階段計劃起於1986年，於1988年完成。研究成果並用以修正挪威NS 3473規範。此規範於1989年修訂，可允許使用強度15,200psi(105MPa)之普通混凝土及12,300psi(85MPa)之輕質混凝土[2]。

第二階段則已在1991年完成。此項國家計畫主要目標為：

- (1)加強對在65至105MPa強度之混凝土知識之了解並研究製造強度更高之混凝土。
- (2)決定混凝土主要成分變化可能對新拌或硬化後之混凝土性質之影響。

- (3) 決定標準測試方法對高強度混凝土之適用性及可仿效性。
- (4) 將高強度混凝土技術轉移給挪威工業界。

國際上，特別是歐洲市場，為克服貿易上之障礙，標準化是必須的。而由於挪威國內市場狹小，更急需進入歐洲市場。因此制定出高強度混凝土的標準及設計規範，亦是挪威目前正致力研究的課題之一。挪威在橋樑、海域鑽油平台等方面應用 HPC 之成果著名於世。

## 2-2 北美地區

### 2-2-1 美國

為整合美國各界對高強度混凝土之研究發展與推廣，有下列的國家計劃及國家機構正規劃推動 HPC 的研究發展。

#### (1) HPC 國家計畫

美國土木工程師學會 (ASCE) 之土木工程研究基金會 (CERF) 經 1991 年元月舉辦美國土木工程研究需求討論會界定五大即刻推動領域。其中高性能混凝土與鋼材即為其中之一。CERF 並請美國標準與技術研究院 (NIST) 籌組一個高性能混凝土與鋼材之研究整合計畫。曾在 1990 年舉辦 HPC 產官等整合研討會之 NIST 目前已大致規劃出五個主要研究域，包括 1. 材料與配比，2. 加工與養護，3. 機械性質與測試方法，4. 耐久性與測試方法，及 5. 結構行為與設計。

#### (2) 中央先進材料與加工整合計畫 (FAMPP)

美國前總統布希經其 1993 年度材料研發推動而建立 FAMPP 計畫。此計畫之經費達美金 1.63 億元。參與此計畫之政府單位包括商務部、國防部、內政部、交通部、農業部、健康與人類服務部、環保署、太空總署與美國國家科學基金會。

#### (3) 先進水泥質材料科技中心 (ACBM)

此中心在 1989 年春，由西北、伊利諾、普渡、密西根四所大學

及美國標準與技術研究院所組成，其總部設於西北大學，Prof. Shah 為中心主任 [2]。此中心接受美國國家科學基金會的補助，完成五年第一期計畫，目前因推動順利經評估而進行第二期計畫。

該中心的目標為：

1. 從事為設計其更優越性能的新水泥質材料所需之基礎科學的研究。
2. 改善對水泥質材料製程及方法的科學之了解。
3. 發展模擬水泥材料的性能與結構的數學及電腦模式。
4. 加強為使美國營造業，更具競爭力之基本知識。

該中心同時也積極的從事為開發具更優異性能的新混凝土的研究，並有很強之產學合作計畫與推廣教育活動。

#### (4) 美國混凝土學會 (ACI)

美國混凝土學會 1979 年開始即設立高強度混凝土委員會來研究與推動高強度混凝土。惟鑑於高性能混凝土相對於高強度混凝土之優越性與實用性。依 ACI 建築規範與 ACI363R-84 委員會報告，混凝土有效使用強度限為 10,000psi(65MPa)。

美國混凝土學會特於 1993 年再成立層次較高之「高性能混凝土指導委員會」，目的在籌款並建立企業聯盟以推動高性能混凝土研發並加速 HPC 相關新科技在美國之應用與推廣。

#### (5) NIST 1990 HPC 研討會

NIST 將與水泥及混凝土業者共同規劃一計劃的架構 [6]，以使 NIST 及其他機構能提供先進的 HPC 知識給美國營造界利用，並能保護未來在基礎建設上的投資。第一年的工作目標為確定有關 HPC 之已開發成功之最高技術。以便確定將併入國家研究計劃之研究範圍。為此，NIST 在 1990 年 5 月於馬里蘭州蓋茲堡邀請產官學界舉行一次研討會，並組成一由不同混凝土技術之專家組成之委員會參與之計劃。

該研討會並由 ACI 贊助支持，其主要目的為：

1. 確定最近及預定進行之 HPC 研究
2. 確定 HPC 在一慣用性基礎上可能之應用情形
3. 認清廣泛使用 HPC 之技術性障礙
4. 確訂阻礙 HPC 使用的學術性障礙及規範之不足
5. 列出為克服技術性障礙所需之各研究課題，並提供一所需標準規範之合理基礎。

為達以上目的，此研討會分為八個工作組，分別對不同問題，進行研討。參與者在會中將事前準備之課題在會中提出發表，並進行討論。該工作群的商討結果，成為提昇 HPC 在美國發展利用之重要根據。

## 2-2-2 加拿大

1988 年時加拿大政府宣佈成立 10 至 12 個卓越中心科研網 (Network of Centers of Excellence, NCE) 來從事各種科學及工程方面的研究 [7]。其中在土木工程方面，唯一的一個，即是從事高性能混凝土 (HPC) 的研究，成立於 1990 年 7 月。HPC 科研網計劃在四年內運用超過 6 百萬的加幣從事各項研究。

該科研網之運作架構是由一個董事會來統籌運作另設科研委員會及顧問委員會來協助整體運作。目前該科研網的領導人為 Sherbrooke 大學的 P.C. Aitcin 教授，辦公室亦設於該大學內。Prof. Aitcin 本人及其同事曾於民國 81 年 4 月與 11 月蒞台參加第一次及第二次高性能混凝土研討會。

HPC 科研網主要由 11 位分別來自七所大學及二家工程公司之研究人員所組成。他們分別來自三個不同的混凝土研究領域，營造、材料、結構。研究工作亦以此三個領域分組進行。他們的研究，為理論及實際應用之緊密結合，找到了唯一的綜合途徑。

營造組之主要任務為將 HPC 各方面的性質從液體與水泥顆粒之相互作用到混凝土耐久性等等之研究及實際應用的探討。

結構組為結構工程師在設計利用 HPC 建設高樓、橋樑及海上鑽油平臺時提供所需之依據。合理之設計模式正逐步納入加拿大結構設計標準中。

該科研網所進行的研究分為三個計劃：

(1)發展新建材

將研究混凝土之新拌混凝土介面特性、耐久性、材料選擇標準、纖維形態對強度之影響性、經濟與技術之最佳條件等相關之主題。

(2)高強度混凝土結構物之設計

將研究組合模式、剪力強度柱子之行為，握裹和錨碇，高強度鋼筋及新設計規範之發展。

(3)發展新產品及技術

將調查使用高性能混凝土為石頭及陶瓷材料之替代品、纖維加強噴凝土、破壞性及非破壞性實驗室試驗、結構物監測及標準測試程序等。

HPC 科研網的研究成果，都可提供給有意使用 HPC 科研究網的研究成果，都可提供給有意使用 HPC 之工業界或政府機構，其儀器設備，亦可供其進行試驗。透過每季的通訊，各種刊物和活動及一年兩次的會議，科研網使研究人員與工業界保持緊密連繫，確保 HPC 之理論與應用之結合，並推動 HPC 技術之發展。此科研網除目前正進行多項產學研合作計畫與研究，其中包括自 1990 年起於 Concordia University 圖書館地下室進行瞭解 80 與 100MPa 柱之長、短期力學行為，及一項由魁北克交通部贊助而正協助推動建造之 Portneuf Bridge，其 28 天設計強度為 10,000psi (70MPa)。此外，由科研網會員之一之 McGill University 進行之高性能預鑄混凝土計畫也是相當有前瞻性。

至 1994 年 3 月止，由加拿大政府所贊助的第一階段卓越中心科研網

計劃已經結束。在此階段計劃進行期間，HPC 科研網將加拿大的混凝土工業又向前推進了一大步。1994 年並再經嚴格評估，獲得加拿大政府的第二階段資助，總金額達美金五百五十萬元，並將中心名稱改為加拿大混凝土卓越研究中心 (Concrete Canada)，以擴展 HPC 的開發利用。[8]

## 2-3 澳洲

HPC 以 HSC (High Strength Concrete) 的形式，在 1970 年代就在澳大利亞開始採用 [10]。但直到 1980 年代，大量的高層建築採用 HSC，它才算是逐漸具有重要的地位。當時由於缺乏 HSC 諸項性質的資料，加上澳大利亞的規範 AS 3600 亦缺乏對於 28 天抗壓強度大於 50MPa 的混凝土的設計規範。所以，HSC 的利用便受到限制。於是，澳洲國家預拌混凝土協會 (NRMCA) 和澳洲水泥與混凝土協會 (C&CAA) 一同製訂出高強度混凝土使用手冊，以協助設計者、研究者、及營造者使用 HSC。

這 HSC 手冊分為三部分 (1) 材料、性質、耐久性 (2) RC 結構物的設計原則 (3) 製造與建設時之注意事項。它提供了關於 HSC 性質及在澳大利亞設計、建造上的各項細節。在澳大利亞各省的 C&CAA 及 NRMCA 的辦事處都可取得該手冊。

在澳洲大部分的 HSC 都被使用在建築物的核心 (core) 部分或柱子上，最近布里斯班 (Brisbane) 新的政府辦公室，就以 100MPa 的混凝土應用在心牆 (core wall) 和柱子上。使用 HSC 在高層建築上有以下優點如減少構件尺寸、增大可使用空間、增加勁度 (stiffness)、減少工時，可較早拆模，樓層也可蓋得較高。在 1980 年代後期，在墨爾本 (Melbourne) 有五座大樓採用以上的優點，將 HSC 應用在它們的心牆 (core wall) 及柱子上。分別為 Bourke Place, Melbourne Central, 120 Collins Street (圖 2-6), Telecom Headquarter, 及 Casselden Place (圖 2-7) 等建築。這些大樓採用 HSC 都是為了增加可利用空間以供給業主較多的利益。因為每層樓



中、柱子所佔去的空間不能被算在可利用的空間內。所以一但柱子的體積太大則將影響租戶承租的意願。



圖 2-6 澳洲墨爾本 120 Collins Street 大樓 [2.10]

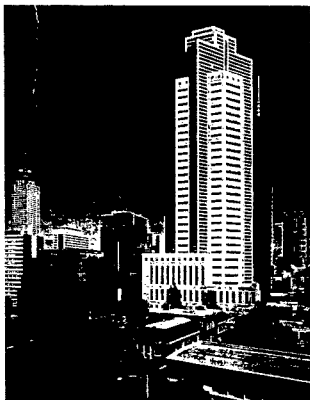


圖 2-7 澳洲墨爾本 Casselden Place 大樓 [2.10]

自從 1980 年代中，就已發展出在鋼管中灌入 HSC 的概念，並應用在大量的高層建築內。同樣的技術也就利用在澳大利亞柏斯 (Perth) 的

Central Plaza 計劃上。有關此技術在澳洲的初期發展，由 Webb 和 Peyton，根據墨爾本 Casselden Place 大樓的發展經驗做了歸納整理。他們認為採用此技術有以下優點 [11]：

- (1) 有部分軸向 (axial) 的負載，實際的由 HSC 來負擔，這是抵抗壓力最經濟的方法。
- (2) 由鋼管本身所提供的束縛，增進了混凝土的效能。
- (3) 鋼材的使用比其他 RC 結構都要有效率，無論是在強度或經濟性方向。
- (4) 不需搭建模板和鋼筋、減少工地現場所需人力。

此外 Martin 和 Schmidt 也提出了以下優點 [12]

- (1) 不需模板
- (2) 在 2-3 層樓高時，以輕鋼管可快速的設立
- (3) 在 4 層以上時，可在未灌混凝土的鋼管支撐下繼續作業，如此給建造者在安排澆置計劃時較大的彈性。
- (4) 灌漿的過程不再是工程的瓶頸。
- (5) 減去搭鷹架的麻煩

以上提到的種種利益，都先後在一些計劃中証實了，澆置柱子的速率，增加到一天可完成 20 根柱子，而且所需人手也大幅減少。減少到只需一人控制泵送器一人在樓層上工作。

目前已有相當多的證據證明澳大利亞的專業技術在發展 HPC 設計及建造上將良好的遠景。HPC 目前在澳洲 (世界各地也是如此)，由於其優異的耐久性，常被用在須抵抗侵蝕和化學腐蝕的建築物中。且由於 HPC 所具有的優異性能，將可提供建築結構物做更先進、更大利益的設計。

## 2-4 亞洲地區

## 2-4-1 日本

### (1)新鋼筋混凝土計畫

自 1988 年起，日本建設省開始一項國家性研究計劃 [9]，訂名為「新鋼筋混凝土計劃」預計將以五年的時間來研究將高樓建築的混凝土強度提昇到 120MPa。其計劃之主要工作有：

- 1.調查及分析現有與高強度混凝土有關的研究與發展，以便為新的 RC 建築物建立一個新的技術系統。
- 2.對於使用高強度混凝土及高強度鋼筋建造之建築物之力學行為之瞭解及發展新 RC 建築物之設計系統。

目前日本已有相當多成功的 HSC/HPC 的實際應用，包括橋樑、高樓建築、預鑄構件等。為了能更進一步的運用 HSC/HPC，日本將繼續進行 HSC/HPC 在經濟性上的評估，力學和化學性質的了解。及設計與施工上規範制訂。

### (2)HPC 及其施工系統之開發

日本東京大學土木工程 Okamura 教授(岡村甫教授)，與他的研究群，自 1991 年 4 月，展開了一項推動營建業使用高性能混凝土的計畫 [13]。該計畫並與日本國內 12 家大的營造廠實際地合作。Okamura 教授的研究群長久以來一直致力於推動 HPC 的實際應用，期望它能促進混凝土工業的現代化。

該計劃的研究群，包含了由各大營造廠派來的研究人員他們每週舉行一次會議，目的是為建立一施工管理的評估系統及建立材料品管及配比設計的程序。他們打算在一年內完成該計劃，並將 HPC 推向實際運用的境界。該計劃將以論文的形式發表。

由於各種建築對混凝土的性能有不同的要求，該項聯合營造業的研究計劃的主要目標，即是在建立一施工管理的系統，以能清楚的定義 HPC 所需要的性能，例如：強度、流動性、工作度等。該研究群並將設計並執行各項實驗以證實該系統的實際效用。

此外由於材料間的差異性，若採取完全固定的配比範例，將可能使成品的品質無法控制。該研究的另一主要目就是要建立一套資料使配比能公式化或以一流程圖的方式來取代配比的範例。這種控制配比的系統，對施工管理系統而言，亦是絕對必要的。

該計劃包含了以下12家大營造廠的研究人員，有鹿島建設、大成建設、大林組、態谷組、間組、前田建設工業、鐵建建設、西松建設、東急建設、三井建設、佐籐工業等。岡村甫教授主張要推動HPC之廣泛應用、須由以下四點著手：

1. 配比理論的確立。
2. 施工系統改革的研究。
3. 製造系統的改善。
4. 水泥的研究開發。

隨著此項整個營建系統的研究計劃的開展與步步為營之精神，HPC實際應用的準備工作已經到了最後階段。此項工作之初步研究成果曾由岡村甫教授於81年11月訪台舉辦之第二次高性能混凝土研討會中發表。岡村甫並已於83年元月再次訪台參加「國際公共工程學術研討會」並發表「具自夯實特性高性能混凝土之應用」，進一步介紹日本推動HPC之整體成果。[14]

#### 2-4-2 韓國

韓國目前無HPC國家計畫，但其研究工作亦正由學界與營造業積極推動，譬如漢城大學土木工程系在從事高強度混凝土構件研究，先進科技學院(KAIST)土木工程系則在進行預力構件小型結構試驗。營造業，包括大宇工程公司亦已使用6,000~7,250psi(40~50MPa)混凝土於長跨箱型梁預力混凝土橋，三星建設公司等大型營造商亦在高層公寓建築之底層及地下室柱構件設計強度為28MPa混凝土而施工使用8,000psi(55MPa)之高強度混凝土，以瞭解使用高強度混凝土施工之可行

性。為推動高性能混凝土之研究與推廣工作，韓國混凝土學會(KCI)於民國81年12月成立高性能混凝土委員會，主任委員為KAIST之Prof. Kim。此委員會分為五個支委員分別為HPC結構耐震分析、修補、預鑄混凝土與預拌混凝土。目前，KCI之HPC委員會推動進度較為緩慢，目前正在進行推動整合規劃。惟因韓國營造業頗強，在橋樑先進工法與高層國宅預鑄化施工程度(half-slab施工法很普遍)均較我國先進，地震方面之考量又甚低，配合營建自動化能力，其在HPC之發展可能會很快速。

## 2-4-3 中華民國

### (1) 工程材料研究人力

就研究人力分佈而言，可依產官學界探討。在產業界，民間企業應具有較大之活力，可惜獲利極豐之水泥業與其轉投資之預拌混凝土業實在太少，研發成果相當有限。而中小型企業則因市場規模與研發能力有限，多採用引入外國產品為主。政府機構中內政部建築研究所籌備處有從事材料規劃與研究，由於研究所尚未成立，研究計畫每年約4至10件，也括工程材料研究與工程規範制定等，唯因限於自身人力，研究案仍多委託學術界辦理。政府企業包括台電公司電力綜合研究所，中鋼公司研發處，亦因工程材料領域研究人力有限，多僅對解決內部問題。工研院已著手進行小規模之研究。在學術界方面，若以土木工程相關領域學者統計（不包括材料所）台灣大學有六位、成功大學有九位、交通大學有六位、中央大學有六位、中興大學有八位、工技學院有十一位、海洋大學有四位、淡江大學有二位、中原大學有二位、逢甲大學有六位、中華工學院有三位、中正理工有二位、師範大學有一位，合計為六十七位。國立大學在此領域之師資較為充沛，工技學院與成功大學尤為顯著。若以國科會73~82年度十年計畫執行總數而言，以台灣大學、成功

大學、中央大學與工技學院數量較多，若以年代區分為民國 73～76 年、民國 77～79 年與 80 年以後等三個時間階段來計算新投入研究人力數，則分別有 27、33 與 7 位顯見經過第二階段研究人力成長，目前工程材料研究人力成長已因當前學校師資員額飽和而在人力增聘方面速度大幅減緩。省交通處港灣研究所與台電公司綜合研究所化學組亦均具備有相當完善之材料試驗設備。前者偏重耐久性方面研究，後者則著重在水泥化學領域研究。另台電公司與中興大學合設之混凝土研究中心、各水泥公司研究室、公路局等公家單位與公民營營造業等亦多設有混凝土材料品管中心，配置基本設備從事混凝土材料品管工作。面臨公共與民間建設急需大量土木材料研究支援，現階段人力實無法應付今日眾多之研究需求。惟上述單位之研究人力仍相當有限。

在國內工程界工程師們普遍對混凝土材料缺乏觀念，而研究人力又不足狀況下，學術界除應積極延攬師資加強工程材料研究教學工作。另應強化工程品質與技術之重要性，使政府與民間業者能成立研發單位，使混凝土材料之研究人力能擴增。

## (2) 工程材料研究課題分析

土木工程材料研究主題在過去十年中仍偏重於混凝土材料，金屬材料研究極少，而其他特殊材料（例如：石膏板、陶瓷、複合材料等）則在近兩三年來才逐漸有研究課題進行研究。

若依據國科會過去十年 (FY73～FY82) 工程材料研究之課題分析，研究計畫由民國 73 年之 8 案逐漸成長至 82 年之 27 案，並以 81 年之 32 案最多。若從較廣之觀點將混凝土構件實驗與結構分析列入，則累積研究案為 142 件。若將其研究領域區分為 1. 混凝土材料 2. 混凝土構件 3. 混凝土結構與力學分析 4. 混凝土施工等四研究分類，其案件比例為 86：39：14：3。每年平均執行之研究案為 14.2 案，若再從執行計畫之混凝土材料區分，則為力學性質 14 案，礦物及化

學摻料 17 案，溫度影響（火害、高低溫等） 6 案，瀝青材料 7 案，耐久性研究 13 案，複合材料 3 案，特殊混凝土（高強度、纖維加強等）則僅為 12 案。從研究子題而言，最多之研究課題集中在礦物摻料，即中鋼煉鋼副產品爐石所製爐石粉與台電燃煤所製造副產品飛灰填加於混凝土之研究。此係配合中鋼公司與台電公司於該段時間投入較多之研究經費，激發學者併同國科會計畫進行相關研究所致，其餘研究課題，可說相當散亂，研究成果實不足對國內工程界急需而急待振興之混凝土科技有所助益。

各校研究重點與課題，與各校研究人力專長與研究設備有密切相關性。各類工程材料之重點研究課題分佈為混凝土施工（台大、工技、中央等），混凝土力學（各系所），飛灰與爐石材料（台大、成大、交大、中興、工技、中原等），瀝青材料（成大、中央、中興、工技等），耐久性（台大、成大土木、成大建築、交大、中央、工技、海洋），微觀化性（台大、成大建築等），高速撞擊（台大、中正理工等）。各校研究專長與設備均能有效率的運用於高性能混凝土研發工作。

### (3) 研究經費來源

工程材料科技除影響國家重大建設之品質，因其所佔整體工程經費比例甚高，直接影響相關企業之發展（例如：水泥、鋼材等）。並因其有消費導向之競爭，加上房屋建築用建材發展日新月異，民間業者亦競相從事新產品引入與小規模研發之工作。因此，研究經費之提供較為廣泛，茲將其分類為政府機構，工程界與產業界等三方面分析如表 2-1：

表 2-1 國內研究經費贊助單位與方向 [2.1]

單	位	贊助研究經費方向
政府 機 構	國科會 交通部 國道新建工程局 國道高速公路局 高速鐵路籌備處 台北市地下鐵路工程處 內政部 建研所籌備處 住宅與都市發展局 經濟部 中央標準局 工業局 環境保護署 原子能委員會 縣市政府	基礎學術性研究  高性能材料開發與使用 修補、維護材料研究與使用 高性能材料開發、快速施工法、預鑄等 高性能材料開發、巨積混凝土等  規範制定、新材料開發、自動化科技 橋梁、路面與住宅相關混凝土科技  國家標準建立之材料相關研究 大型組件開發、工業區開發相關研究 資源於混凝土再利用、環保問題 核輻射阻絕、用過核燃料貯存、固化等 品管、填海、固化等，港灣工程材料防 蝕、捷運工程等
	工程 界	房屋建築築造廠 工程顧問公司
產 業 界	中鋼公司 台電公司 中油公司 中聯爐石公司 民間企業	爐石、混凝土摻料研究 飛灰、核電廠等重大工程材料研究 儲油影響 爐石研究 新產品引入研究

在上述經費提供單位中，除國科會長期提供較基礎性學術研究經費外，內政部建研所籌備處已於近年來將混凝土科技列為重點並每年編列預算進行委託研究，工程界提供經費多屬任務導向性質，即配合工程需求而進行研究，公營企業（台電、中鋼等）則為解決內部問題



，例如中鋼公司曾在民國 72 年至 80 年間積極委託學術界進行小規模之材料開發與推廣研究。

遺憾的是在歐美常為推動混凝土科技主力之水泥製造業者，並未能發揮其應有之角色，在高達 21 家而均屬大型企業之水泥公司，卻極少提供研究經費而在混凝土科技提昇上負擔應盡之責任。我國水泥單價在全世界居前幾位，而水泥並為製造混凝土中最昂貴之建材成分，不論在國建計畫或民間房屋建設中均為需大量使用之材料，水泥業者理當在國家工程材料研究方面做出較積極之貢獻。由以上經費提供來源分析可得知在工程材料研究人員有限（特別是混凝土材料）而提供經費來源多樣化之狀況，應該積極有效進行整合與協調，使人力、經費、儀器設備能發揮充份功效。

#### (4) HPC 研究領域與參與單位

國科會為配合國家產業昇級政策，整合研究人力資源，群策群力推動目標導向大型計畫，確實將研究成果分享產業界，因此在土木工程學門擇定五大重點整合主題，而「高性能混凝土」被列為本階段重點研究群研究項目之一。經民國 82 年 2 月 23 日規劃會議擬定出基本特點，指導綱領及工作性能要求的特點為「具時效性、可行性的本土性研究工作」，本研究群之工作負有高性能品質要求的使命，計畫指導綱領為「能直接應用於六年國建及高層建築的高品質與高韌性混凝土」，工作計劃要求為「具高工作性、流動性(坍度 > 250mm)之高強度混凝土 ( $f_c > 56$  MPa)，並且坍度在混凝土澆置 45 分鐘後仍具 235mm 之性質」，因此研究計畫特色為理論與實務一致，特別鼓勵「產官學」界共同合作。計劃項目、執行範圍、研究人力、合作研發對象與規劃時間如表 2-2 所示。為了使落實研究成果分享各界，每一階段工作均相互環扣，其執行流程圖如圖 2-8 所示，原則為上游之成效直接轉用至下游階段研究上，最後則透過研討會將心得傳至其他各界，此種「縱向傳承，橫向分享」的模式亦為本整合研究的特色。

以上規劃之研究範圍，無法純由學術界單獨完成，亦無法期盼由政府單位贊助所有研究經費。表 2-2 中所列業者之積極參與研發及投入研究經費始能獲得具體之成果。

表 2-2 研究群之研究範圍與參加單位 [2.1]

研究範圍	參加研究單位
(1)材料基本資料研究 (物、化性、資源調查)	水泥業、預拌混凝土業、摻料業、學術界、工研院、中鋼公司
(2)配比研究	預拌混凝土業、學術界
(3)力學性質與測試方法	學術界、產業界
(4)構件結構行為	學術界
(5)結構設計與規範	工程顧問公司、工程學會、學術界
(6)施工 (與應用)	營造公司、工程顧問公司、學術界
(7)結構監測與評估	營造公司、工程顧問公司、學術界 政府工程單位
(8)其他 (營建管理、加工製造等)	產官學界

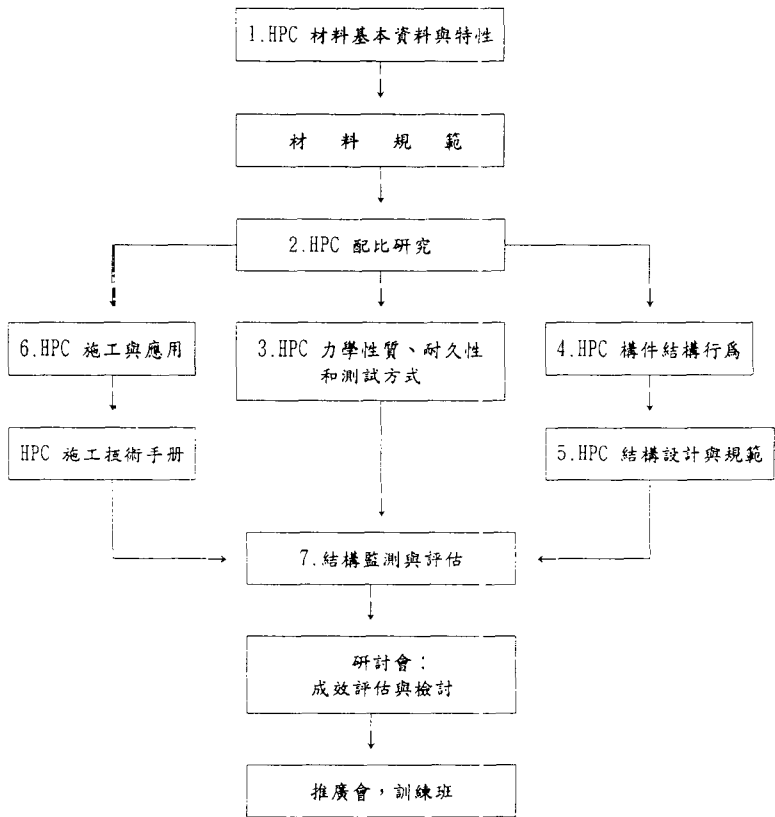


圖 2-8 高性能混凝土研究群研究程序圖 [2.1]

## (5) 策略選擇重點方向與推動方式

經分析民國 73 年至 82 年國科會及國內建研所等單位補助的有關工程材料方面的研究專題計畫及分析國內研究人力結果顯示，因為研究課題分散，研究成果實不足以對國內急待振興之混凝土科技有所助益。因此，在規劃與推動方面，決定採用下述方式：

1. 考量人力、經費與時間之限制，採務實方式規劃，必需有重點。並且採各校或跨校整合方式進行，並充份考量與工程界、產業界配合之重要性，逐步形成群體化之研究模式。
2. 蒐集與參酌國外最近工程材料研究重點與方向。
3. 配合舉辦國內或國際學術研討會，藉由發表論文與討論，凝聚本領域研究成果。

研究範圍與重點則強調：

1. 仍先將研究重點局限於極待提昇之混凝土材料。其他營建材料（高分子、複合材料等）雖亦應注重，包括噪音、隔熱、耐振、防火等特殊研究列入自由研究之範圍。
2. 材料科學與材料力學方面研究規劃應並重。

茲因土木工程材料牽涉生產（製造）與施工程序，必須與實業界密切配合，而又需要政府機關在規範與制度上配合，故需要產官學界整合推動。針對國內目前與未來工程需求，選定『高性能混凝土』領域。

表 2-2 所列研究範圍，凡是有學術界參與者皆可作為國科會贊助推動的範圍，而其重點則在材料基本性質、力學性質與構件行為等方面，初期研究並以表 2-2 之第 (1)(2)(3) 項為主。研究群亦以目標性方式推動，其方式為：

1. 以五年為期訂定目標，擬定計劃，朝實現 HPC 應用努力。
2. 選定特定橋梁與建築物各乙座，由各參與單位規劃進行分工研究與實件。（建築方面應與建研所籌備處配合）

3. 學術界分工，以個人之最專長項目進行研究，減少研發時間與設備經費。（配合國科會重點規劃與贊助）
4. 選定具有能力與意願之產業界實際參與開發與應用。
5. 注重推廣工作定期利用研討會、座談會與實際工程參觀方式交換研發心得與進度，並利用有系統出版 HPC 研究成果刊物，產官學界科研密切結合。
6. 透過學會或財團法人研究單位推動；並可成立類似加拿大之卓越中心科研網。（國科會在擬定中之「學門規劃與資源整合業務革新規劃」已訂有成立卓越中心及國家實驗室之目標。）
7. 積極參與 HPC 國際學術與科技交流，並擇期舉辦國際性會議。

為配合推動表 2-2 所列範圍，高性能混凝土委員會分為四組，並決定各組初期推動方向：

1. 材料性質：

- (a) 分材料基本性質、配比研究與力學性質三分組規劃。
- (b) 朝 HPC 學理與材料地域特性兩方面發展。
- (c) 應先建立配比、基本材料等資料庫構架，再由各地域之研究人員共同研究並交換累積經驗。

2. 構件行為與監測：

- (a) 分構件行為與監測兩分組規劃。
- (b) 建立構件研究資料庫構架。
- (c) 注重實驗室與戶外實際構件相關性探討。
- (d) 注重構件行為研究與設計規範協調性。
- (e) 合理規劃構件研究尺寸。
- (f) 鑑於 HPC 應用，其高強度與流動性可能使構件斷面減少之特質，宜加強高鋼筋量構件之研究。

3. 結構設計與規範：

- (a) 瞭解國內構件設計疑點。

- (b) 蒐集國外關於 HPC 結構之設計與施工規範資料。
- (c) 設計規範可先建立章、節、要點之架構。
- (d) 施工規範可配合中華顧問之研究案而建立基本架構。
- (f) 透過委員會之開會審查，以進行研究。

4. 施工與品管：

- (a) 配合已完成之認證制度調查資料，由品管技術、設備與人員素質分析國內商推動 HPC 生產之能力。
- (b) 對生產東帝士 85 層案 8,000 psi HPC 之東雲混凝土預拌業品管能力進行瞭解，提供有益參考資料，並將對其人員之給予品管訓練，使此 HPC 範例能順利推動。

## 第三章 HPC 相關規範之搜集及分析

高性能混凝土之發展雖為近年之事情，但其發展極為迅速，目前已成為世界性混凝土技術發展之焦點，各國之所以積極發展，乃因其具有相當實際之經濟效益。基於工程高品質化、資源最佳利用、環保與營建自動化之追求，目前世界上許多國家紛紛成立研究單位或研究群，積極推動高性能混凝土之研究與應用。對混凝土材料之實際應用而言，設計規範與施工規範之訂定非常重要，規範為材料使用之技術準則，訂定適當規範以供遵循才能正確施工，確保工程品質。

### 3-1 各國 HPC 相關規範之搜集及分析

本研究透過文獻之回顧搜集有關之設計與施工規範。目前世界各國發展比較快之國家在其正在執行研究計畫中，均列有規範研訂之項目，應於最近可以完成，但目前還未能獲得其完成之設計規範或施工規範。目前正從事規範訂定之國家及其情況如下：

#### (1) 美國

有個主要之研究單位或計畫在積極推動，其中與規範訂定有關之研究為：

1. 策略性公路研究計畫 (SHARP) 將於 1993 年建立“使用高性能混凝土之建議與準則”，該計畫係由美國國家科學研究院所監督管理之一個五年研究計畫。
2. 美國預鑄／預力混凝土學會 (PCI)，於 1985 年成立高強度混凝土委員會，計畫發展“高強度混凝土之設計準則”。

#### (2) 加拿大

1988 年加拿大政府宣佈成立 10 至 12 個卓越中心科研網 (Network of Centers of Excellence, NCE)，其中之 HPC 科研網研究計畫中有將

合理之設計模式納入“加拿大結構設計標準”，及“高強度鋼筋及新設計規範之發展”等與規範有關之工作。

### (3) 法國

預力混凝土與鋼筋混凝土之設計，均使用極限設計法，其混凝土之設計強度限定為 8700psi(60MPa)。另外特別重視混凝土配比設計之研究發展。

### (4) 德國

DIN 於 1991 年成立專門委員會，負責修改“DIN 1045 鋼筋混凝土規範”，預定兩年完成，於 1993 年底提出草案，於 1994 年中提出定稿，其混凝土之使用強度由 55MPa(8000psi) 提高至 115MPa(16000psi)。

### (5) 挪威

於 1989 年完成“挪威 NS 3473 規範”之修訂，允許混凝土之使用強度，普通混凝土為 15,200psi(105MPa)，輕質混凝土為 12,300psi (85 MPa)。目前正積極制訂“高強度混凝土之標準及設計規範”。

### (6) 澳大利亞

目前混凝土規範 AS 3600 仍限制高強度混凝土之使用強度為 60 MPa(8500psi)。澳大利亞水泥及混凝土協會 (C&CAA) 及澳大利亞預拌混凝土協會 (NRMCA) 於 1992 年出版了“高強度混凝土手冊”，以推廣高強度混凝土之應用。

### (7) 日本

為 HSC/HPC 應用很多之國家，自 1988 年起，其建設省開始推動一項國家性研究計畫，其工作項目中包括對使用高強度鋼筋及高強度混凝土建築物之力學行為之瞭解，並發展新鋼筋混凝土建築物之設計系統。目前也正在進行“設計與施工規範”之制訂工作。

另外尚有日本東京大學土木系岡村甫教授主持 HPC 及其施工系統之開發技術，將建立一 HPC 施工管理之評估系統與材料品管及配



比設計之程序。

#### (8) 韓國

目前尚無國家性研究計畫，研究工作正由學術界與營造界積極推動。尚無有關之技術規範。

#### (9) 中華民國

我國高性能混凝土之發展自 1992 年初開始，發展積極，於民國八十二年 3 月 16 日於中華民國結構工程學會成立「高性能混凝土委員會」負責推動研究發展。高性能混凝土委員會中四個分組中設有結構設計與規範分組，以進行設計與施工規範之相關工作。該分組於本計畫之執行期間除搜集各國之相關技術規範外，為因應高性能混凝土試用於高速公路橋梁之研究計畫，亦已完成由中華顧問工程司委託研訂之「高性能混凝土施工規範」。今後將依據各方高性能混凝土之研究果及使用經驗不斷修訂更新使該施工規範更趨完善。另外亦將參考各國已修訂之高性能混凝土設計規範，訂定相關之設計規範及品管技術準則。

### 3-2 高性能混凝土施工規範之研訂

施工規範之訂定需要集合眾多專家學者貢獻寶貴之知識與經驗，所幸國內重大建設繁多，此方面之人才濟濟，並多熱心參與，使工作順利完成。

目前世界上已有不少較普遍使用高性能混凝土之國家，但各先進國家之有關文獻資料中尚未有專門適用於高性能混凝土之施工規範。我國由於工程建設甚多，且亟需提高施工品質，故有必要及早研訂施工規範以促進高性能混凝土在國內之普遍應用，提升工程品質與技術水準。由於國內施工習性不同，且屬首次研訂「高性能混凝土施工規範」誠為一不易之工作，故極為審慎從事。本規範之研訂，首先對高

性能混凝土之特性、施工之特別要求加以分析，再擬訂施工規範研訂之基本原則、方式及施工規範之初步架構。以下就上述各重要工作項目加以說明。

### 3-2-1 高性能混凝土之特性分析

依中華民國結構工程學會「高性能混凝土委員會」對高性能混凝土所作之定義，「高性能混凝土乃是指需要具較一般混凝土品質為高之“免搗實高流動性混凝土”，此混凝土並可能具有高強度、高體積穩定性、高耐磨性、高水密性及其他特殊性能要求」。高性能混凝土基本上，高性能混凝土仍是一種混凝土，也是由水泥、粗細骨材(粒料)及摻料所組成。與一般混凝土比較，依據不同之工程情況，對高性能混凝土可能有下列一種或多種「高性能」之需求：

- (1) 高強度：提高強度以減小構材斷及結構自重，為目前主要之性能需求，目前已可達較一般混凝土強度提高數倍，其方法可行，其效果也甚為卓著。
- (2) 高彈性(模數)：提高混凝土彈性模數可以降低潛變及彈性疲乏，以減少結構年久之變形、撓度及預力損失等。
- (3) 高流動性(工作度)：高流動性也是高性能混凝土必具之重要性能，高流動性可以使施工容易節省施工之人力與時間，並可透過較可行之品質管制，達成混凝土施工品質之要求。
- (4) 高體積穩定性：混凝土常由於體積變化而發生問題，如嚴重龜裂、膨脹剝落及擠裂等，造成妨害表面美觀、裂縫太大及構材受損降低強度，影響結構安全，故此性能對任何結構物均有其必要。
- (5) 高耐久性：由於人類已經對於古蹟保存、環境污染及資源利用甚為重視，目前世界上營建工程界有一趨勢，即對構造物之耐久性非常重視，在混凝土配比設計上，已將耐久性與強度同等重視，故高耐久性也是任何結構物所需之一重要性能。高耐久性須由高性能混凝土

土提供。

- (6) 高耐磨性：有高耐磨需求之結構物亦可由高性能混凝土達成此項性能之需求。
- (7) 高水密性：混凝土具高水密性除可保護混凝土本身不易受化學物質侵蝕與骨材鹼性反應之害外，更可保護其內部之鋼筋，增加構造物之耐久性，使其經久耐用，歷久彌新。高水密性之需求亦須由高性能混凝土提供此項性能。
- (8) 其他特殊性能：結構物有其他特殊性能需求者，高性能混凝土也可以研製提供其他特殊性能之需求。

與一般混凝土比較，高性能混凝土在材料、配比、施工上具有下列特性：

#### (1) 材料方面

高性能混凝土為達所需較高性能，在材料上，有下列項目之特別要求：

- 1. 水泥：品質及細度。
- 2. 骨材：種類、級配、粒徑大小及骨材比率。
- 3. 摻料 (admixtures)：各種混凝土之高性能都須依賴摻料之適當使用才能達成，如利用強塑劑 (superplasticizer, SP) 以使混凝土能降低水灰比而具高流動性 (工作度)；矽灰、飛灰、緩凝劑及其他摻料以增加強度或產生其他所需性能。

這些材料上之特性是很重要之因素。

#### (2) 配比方面

混凝土之配比是決定其能否達成品質要求之關鍵，高性能混凝土在配比上具有下列特性：

- 1. 水灰比很低，為達高強度之必要條件，乃傳統混凝土所無法採用。
- 2. 坍度很高，可達 25cm 以上。

- 3.應針對各種不同性能需求，決定各項材料之適當用量比例。
- 4.須使用多種摻料，其使用對混凝土之性能影響很大。
- 5.配比設計之理論、方法與程序尚無一致結論。
- 6.應以試拌證實所設計之配比可達所需之性能要求。

### (3) 施工方面

澆置施工階段是混凝土由流動狀態硬化凝結而變成固態之重要時段，在此階段高性能混凝土具有下列特性：

- 1.新拌混凝土之高流動性受砂石含水量影響很大，須嚴密控制，否則不是無法達高流動性之要求，便可無法達強度之要求。
- 2.混凝土送抵工地坍度損失受氣溫、時間影響很大
- 3.混凝土之凝結速度快
- 4.混凝土之水化速率快，水化熱量大，溫度升高快
- 5.混凝土之高流動性很大，施工中模板所之荷重與壓力比一般混凝土施工時為大，應注意防範。

#### 3-2-2 高性能混凝土施工之特別要求

高性能混凝土施工規範應針對上面所述高性能混凝土之各項特性，考慮其所可能產生影響混凝土施工品質之問題，訂定條文加以規範，以確保施工品質。針對高性能混凝土之各項特性，其施工上應考慮之特別要求如下：

##### (1) 材料品質管制

- 1.各種材料之品質規格應訂定要求標準。
- 2.各種材料之使用上所需限制。
- 3.各種材料之儲存，以防品質變化與不穩定。
- 4.各種材料之特殊處理。

##### (2) 配比管制

- 1.配比設計時達成各項混凝土性能之方法與考量。

2. 摻料使用之考量。
3. 配比設計之計算方法與程序。
4. 混凝土之試拌與調整。
5. 配比之核定。

### (3) 施工管制

1. 應加強模板之施工，增加模板之強度與密合性，混凝土澆置前之並應加以檢查
2. 混凝土澆置前應充分準備並經檢查
3. 澆置應預做工作計畫
4. 拌合過程之管制
5. 新拌混凝土之品質管制
6. 輸送時間及坍度之損失之管制
7. 坍度損失過大之對應措施
8. 澆注之管制
9. 施工中易發生冷縫現象之防止
10. 搗實之管制
11. 混凝土溫度之控制及龜裂之防護
12. 混凝土之養護
13. 品質管制應更週嚴

### 3-2-3 施工規範研訂之基本原則

由以上所述可知高性能混凝土雖具不少特性，但也具有一般混凝土之基本性質，其一般性質本可適用一般混凝土之施工規範，不必再另外規定，但若僅對高性能混凝土之特性訂定特別規定條款，則於實際使用時必須同時參照兩本規範，一則將增加使用者麻煩，再則條文中可能有些微差異無法考慮週詳或不易適確規定之處，故考慮再三，本規範之研訂將以獨自構成完整體系為原則，不採以一般混凝土施工

規範為參考基本規範，僅對高性能混凝土之特性訂定特別規定條款之方式。

目前國外雖有不少高性能混凝土研究發展之先進國家，但尚無獨立訂定高性能混凝土專用之施工規範可資參考，故本規範之研訂屬於首創，必可充分達到本國化之目標，並符合我國工程環境與習性之需求。

為使本研究所完成之高性能混凝土施工規範能充分適合工程使用，本計畫將參考國內外已有之相關文獻，考慮針對混凝土各項特性考慮國內之施工習性，做合理之規定，但對參考資料尚不充足之部份，以採取較保守之規定為原則，等待有足夠數據佐證時再作合理之修訂。本計畫除研訂規範本文外，亦將編解說，惟本年度以規範本文之研訂為目標，其解說將於其後進行，預計可於兩年期間編訂完成，可使規範本為一附有解說使用方便之規範。

### 3-2-4 施工規範研訂之方式

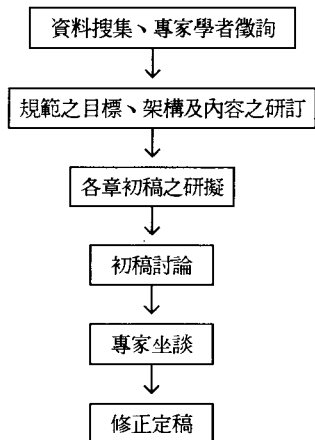
如前所述，本規範之研訂需要匯集廣泛之專業技術與經驗，此目標可由兩方面達成，一為文獻參考，其作法為文獻搜集、整理、研析與應用；另一方面為廣泛邀請具實務經驗專家學者之參與工作，貢獻其技術經驗。

施工規範之研訂工作將首先搜集有關參考文獻與規範，並根據文獻與規範研析結果，草擬規範之架構與內容，其次本研訂小組之專家學者先行檢討審查規範之架構與內容草案，確定後做為工作之基礎。研訂工作須由研訂小組各成員共同負擔，其方式為將各章分配由有關專家研擬草稿，並經全研究組討論後成為規範暫定初稿。

為使本研究所訂規範能適合實際應用須廣納各方意見，本研究組預定於研訂小組討論完成後，舉辦專家坐談會，邀請各方有實務經驗之專家坐談，充分提供意見。最後由研究小組再研討後定稿，並完成

規範草案之研訂工作。本規範草案建議有關主管單位提供工程界試用一年加以檢討修訂後，再公佈成為正式規範。

本計畫進行之程序如下面流程圖所示。



### 3-2-5 施工規範研訂之架構

雖然施工階段之施工作業對混凝土之品質有莫大之影響，但就混凝土品質之整體而言，材料之品質控制與配比控制均不容忽視，否則無法完善確保其品質，故混凝土之品質控制應從材料品質控制、配比控制及施工控制等三方面著手，不可偏廢，另外品管檢驗乃是品質管制必須之程序與手段，本規範之架構乃是基於上述之構想而訂，預計其內容共包含十五章如下：

- (1) 總則
- (2) 材料
- (3) 配比與試拌
- (4) 模板

- (5) 鋼筋
- (6) 接縫與埋設物
- (7) 混凝土之產製與輸送
- (8) 工地品質檢驗
- (9) 混凝土澆置
- (10) 養治與保護
- (11) 表面修補與修飾
- (12) 品質管制
- (13) 試驗
- (14) 施工品質評定與認可
- (15) 驗收

其架構如 3-1 圖所示：

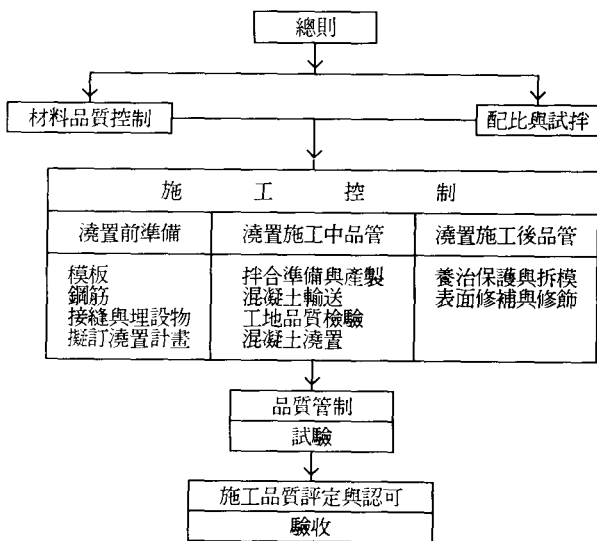


圖 3-1 施工規範研訂架構



## 第四章 高性能混凝土基本性質分析

本部份之分析工作依年度計劃，主要在初步蒐集分析國內構成高性能混凝土(HPC)之主要材料，如：水泥、水、骨材、礦物、摻料、化學摻料等之資料，以提供HPC設計及使用之參考。另外，亦收集本土化之配比，以供未來推廣設計之使用。

### 4-1 國內高性能混凝土構成材料初步評估

高性能混凝土的組成材料與一般混凝土無異，都是由粗細骨材、水泥漿及摻料(劑)所組成，但是自材料選用、配比設計施工更為嚴謹為構成高性能混凝土性質的關鍵，例如傳統一般混凝土水灰比較高，強度自然低；砂石未洗淨，有污泥摻入，影響混凝土材料界面強度，水泥品質不一，造成品控困難等，此等對HPC而言都必須藉由程序化及標準化的處理與了解，以落實施工品質控制。

#### 4-1-1 水泥

卜特蘭水泥的選擇對高強度混凝土而言尤其重要，就所選擇之水泥類型而言，雖然都符合CNS61 R2001規定(如表4-1例示國家標準要求)，但由於水泥組成份和細度不同，不同水泥廠所製造的混凝土其強度發展特性亦有所不同，如圖4-1。試拌時可以CNS1010 R3032水泥砂漿立方體測試強度特性，並適時有效提供水泥均勻性的資訊。依CNS規範檢測水泥均勻性，若其中矽酸三鈣含量變異數達4%，或燒失量變異超過0.5%；且或細度差異超過 $375\text{cm}^2/\text{g}$ (Blaine)時，則將無法確保均勻一致之高強度。另外硫酸鹽( $\text{SO}_3$ )含量應維持在最佳狀態，其變異數應限制在 $\pm 0.20\%$ 範圍內。

試拌配比應採施工工程可使用之水泥及其它材料使之符合預期之坍度，其強度分別應在7, 28, 56及91天齡期加以測定。高性能混凝土

表 4-1 水泥及波索蘭材料之化學成分及物理性質

項目	水		泥		爐			石		灰		粉煤灰		粉灰
	CNS 61	台泥IS型	中	潤	CNS 3654	CNS 11824	一般範圍	ASIM C618 (TYPE I)	ASIM C618 (TYPE C)	台泥標準級 (TYPE F)	一般範圍	Mcha 500°C	粉煤灰	
化	SiO <sub>2</sub>	-	22.01	33.46	-	-	28~38	-	-	51.23	20~60	92.15	80~95	94~98
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	5.57	15.74	-	-	8~24	-	-	24.31	10~35	0.41	-	0.1~0.4
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	3.44	0.56	-	-	1~3	-	-	6.14	5~35	0.21	-	0.01~0.15
	S+A+F	-	31	-	-	-	-	70	50	81.78	-	-	-	-
學	CaO	-	62.80	38.81	-	Max 45	30~50	-	-	6.28	1~20	0.41	-	0.08~0.3
	MgO	Max 60	2.59	7.65	-	1~18	Max 5	Max 5	1.61	0.3~4	0.45	-	0.3~0.9	
	SO <sub>3</sub>	Max 30	2.08	1.96	Max 30	Max 0.5	Max 5	Max 5	0.61	0.1~1.2	-	-	-	
	f-CaO	-	1.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
成	TiO <sub>2</sub>	-	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Na <sub>2</sub> O	-	0.4	-	-	-	-	Max 1.5	Max 1.5	-	-	0.08	1~2	0.1~0.4
	K <sub>2</sub> O	-	0.78	-	-	-	-	-	-	-	-	2.31	-	0.2~0.7
	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
分	燒失量	Max 30	0.51	0.10	Max 30	-	-	Max 1.2	Max 6	4.85	4~5.5	-	-	0.8~1.5
	不溶殘渣	Max 0.75	0.08	-	Max 1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C <sub>2</sub> S	-	40.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C <sub>3</sub> S	-	32.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
物理性質	C <sub>4</sub> A	-	8.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C <sub>3</sub> AF	-	10.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	細度 (cm <sup>2</sup> /g)	Min:2800	2970	3980	-	-	-	-	-	2.22	-	-	2	2.2~2.5
比重	-	3.15	2.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

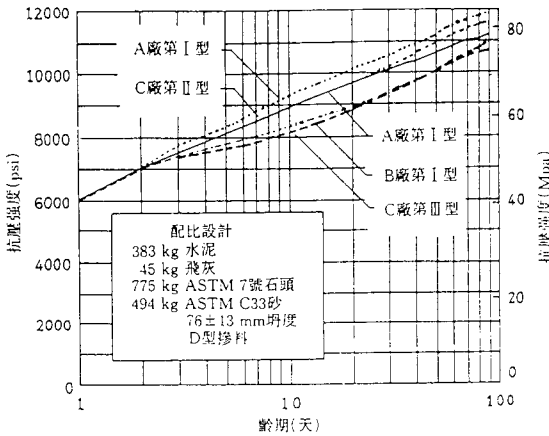


圖 4-1 水泥對混凝土抗壓強度的影響

一般所含水泥量較高但水灰比低，因此對拌合水量的敏感性更為顯著。

另外，使用高水泥含量將使混凝土內部之溫度升高，例如：芝加哥 Water Tower Place 使用含  $502\text{kg}/\text{m}^3$  水泥量的混凝土柱（1.2m 立方），結果在水化期間，溫度由  $24^\circ\text{C}$  升至  $66^\circ\text{C}$ ，這些昇高的熱量在六天內就消散掉，並未造成不良影響。雖然如此，若溫度升高預期會產生其他問題時，則可用第二型（較低水化熱）水泥。製作高強度混凝土時，水泥品質之差異會有較大影響，不同細度影響極大，且與添加減水劑等摻料後是否產生相容問題。以選擇水泥—摻料系統之最佳配比，整體而言，強度發展由水泥特性及膠結含量來決定。

#### 4-1-2 骨材

高強度混凝土之破壞方式與骨材強度有很大關係，如圖 4-2。一般混凝土大多由骨材間界面破面，而高強度混凝土則大多由骨材破壞，因此骨材除需符合 CNS1240 A56 規範外，在級配、顆粒形狀、吸水率

、骨材本質強度上也應加以要求，如表 4-2 所示。目前為防止海砂之使用造成問題，除了應加測氯離子含量外，採用 FM=3 之粗砂亦是合理防患策略。

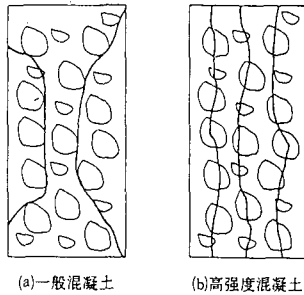


圖 4-2 混凝土裂縫成長型式

表 4-2 高強度混凝土骨材性質要求表

性質	影響原因	要求方法
級配	<p>細骨材</p> <p>高強度混凝土含有較多之細粒礦粉摻料，因此，細骨材應避免有通過 100 號篩的砂，否則會影響到用水量而且細度模數在 2.5 以下會使混凝土稠度增加，以致太黏而難壓實。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 細度模數在 3.0 以上</li> <li>• 不得含有雲母、黏度等雜質</li> <li>• 減低通過 50 號篩及 100 號篩的量，但仍應符合 CNS 1240 A56</li> </ul>
	<p>粗骨材</p> <p>• 在高水泥量和低水灰比下，最大骨材粒徑應維持最小，始可產生最佳抗壓強度。主因骨材個別表面積增加所致，另一原因係由於水泥漿的彈性模數與骨材種類之模數有所不同，而造成骨材顆粒邊界應力集中的現象，但會因採用小骨材而減低。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 最大骨材粒徑應在 1/2 吋或 3/8 吋左右。</li> </ul>
顆粒形狀	<p>• 壓碎石子比圓形卵石更能產生較高強度，原因可能是有稜角的顆粒所產生的握裹強度較大之故。但過度的稜角可能造成用水量增加且降低工作性。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 理想的骨材必須是潔淨、稜角方體；百分之百壓碎，含水量扁平且細長條</li> </ul>
吸水性	<p>• 初期水化階段時，大量水分與水泥相結合，在化學反應完成後，水分的損失約占全部體積的 1/3。這種現象造成小真空吸氣效應，可將水分短距離內拉入仍具相對可滲透的混凝土內。此時，加入結構內的水均會增加極限水化量及水泥漿每單位量的固體百分比，相對混凝土上的強度亦跟著增加。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 骨材能吸收適當量的水分，則其作用如同小型養護水池，能分佈水分至混凝土內，因此提供額外的養護水，這對低水灰比水泥漿甚為有益。</li> </ul>
骨材本質強度	<p>較高强度骨材可造成較高强度混凝土，惟使用某些骨材在到達某種強度時，超過此點即使再加入水泥量仍無法增加混凝土的抗壓強度，這種現象並非導因於混凝土的抗壓強度已經完全發展，而是已經達水泥-骨材混合料間的潛在鍵結極限了。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 使用較佳強度之骨材，例如大部分之礫石即比山石之強度為高。</li> </ul>

### 4-1-3 波索蘭材料

波索蘭材料包括飛灰、高爐石、矽灰及稻殼灰等，其化學成分組成如表 4-1 所示，高性能混凝土耐久性與工作性均有賴波索蘭材料的功用。一般波索蘭材料在混凝土中可用以取代部份水泥或細骨材使用，其主要的化學反應包括催化性水化反應及延緩性波索蘭反應，催化性水化反應係指高爐石粉或含鈣質較高的 C 級飛灰，因本身含有鹼性物質刺激產生水化作用；波索蘭反應係波索蘭材料內多餘之矽及鋁成分，與水泥水化產物氫氧化鈣 (CH) 產生反應，致使混凝土水密性提高。其各種型式規範及評估方法如表 4-3 所示。

表 4-3 高爐石及飛灰規範、選用與建議用量

型式	規範(CNS)	評估選擇	建議用量
高爐石	CNS 3654 卜特蘭高爐水泥 CNS 12458 水淬高爐爐石玻璃質含量測定法 CNS 12459 卜特蘭水泥中水淬高爐爐渣、矽質材料、飛灰及石灰測定法 CNS 11825 混凝土用高爐爐渣粗粒檢驗法 CNS 11826 高爐爐渣粒料化學分析法 CNS 11890 混凝土用高爐爐渣細粒料 CNS 11891 混凝土高爐爐渣細粒料檢驗法 CNS 12549 混凝土上及水泥 mortar 用水淬高爐爐渣粉	如同其他高強度混凝土材料一樣，礦物摻料應先行在實驗室內試拌加以評估，以決定最佳性質。實際施工時採用的材料樣本應包括在評估範圍內，先應定這些礦物摻料測試樣本係來自主要供應商，且為具代表性者。一般而言，可使用數次試拌，其變數為不同水泥因素與摻料劑量下所得到的結果，並將此等結果繪成曲線。根據曲線便可決定如何組合水泥與摻料才能達成某項預期結果。	高性能混凝土建議用量約為水泥量的 5 ~ 20% 之間
飛灰	CNS 11270 卜特蘭飛灰水泥 CNS 11271 卜特蘭飛灰水泥用飛灰 CNS 3036 卜特蘭水泥混凝土用飛灰及天然或假燒作嵐攪和物	當使用飛灰前必須認定符合 CNS 3036 規範，雖然此規範容許較高的燒失量，而理想情況下，緩凝損失最好不超過 3%。其他要求有：高細度、生產均勻性、高波索蘭反應活性及與其他材料的相容性。	

### 4-1-4 化學摻料 (劑)

一般化學摻料之要求如表 4-4 所示見 ASTM 494。

#### (1) 一般原則

摻料被廣泛使用在高強度混凝土上，這些材料包括：輸氣劑、化學及礦物類摻料在內。輸氣劑一般都是表面活性劑，可在空氣—孔隙系統內增加其耐久性。化學摻料通常採用磺化木質素、羥磷酸

碳水化合物、三聚氰及溫縮物和各種配方之有機及無機速凝劑。摻料類型、廠牌與加劑量的選擇應考慮與其他使用在工程上之材料配合。使用摻料可明顯增加抗壓、控制硬固速率、加速強度增長率、改善工作性與耐久性。在選購摻料時，應參考具工程成效之摻料。

#### (2) 輸氣摻料 (CNS 3091)

使用輸氣摻料可增加混凝土抵抗凍融的耐久性，在本省而言並不需此種材料。當抗壓強度增加及水灰比減低時，空氣、孔隙參數及輸氣百分率可依建築技術規則第三五〇條之規定，採用較低且可接受之範圍。空氣的輸入會降低強度，特別是對高強度混凝土更形嚴重，因此，除了增加耐久性的考慮，不宜採用輸氣摻料。

#### (3) 緩凝劑 (CNS 12283)

一般高強度混凝土配比設計大都採用高水泥含量，高性能混凝土在設計上則考慮減低水泥量為主訴求，這與一般商業化普通混凝土不同。緩凝劑通常有益於控制早期水化現象，千萬不可加水重拌混凝土否則會明顯降低強度。再者，結構設計常常需要大量加強鋼筋及複雜的模板，更連帶地造成混凝土澆置的困難度，而緩凝劑可以有效控制硬化速率，避免冷縫產生，使澆置期間更具彈性。

由於緩凝劑常常促使晚期強度增加，其增加量與加入劑量成正比，因此，如預期明顯使用不同添加率時則應設計不同添加劑量，但是由於溫度的關係會產生使減低強度變異數的補償功效，亦即當溫度增高時，晚期強度將下降。若能增加緩凝劑之量以控制硬化速率，則將能緩和溫度上昇所帶來強度減低之影響；相反地，溫度下降時，劑量要跟著減少。當提供初凝緩凝作用，二十四小時後的強度可藉常態劑量而增加，但若持續緩凝或較冷溫度，則可能會嚴重影響初期(24小時)強度變化。

#### (4) 正常凝結減水劑 (CNS 12283)

ASTM C494之A型傳統正常凝結減水摻料可以增加強度而不影

響硬化速率。選購這些摻料時應根據其對強度變化的影響，劑量超過常態劑量時，一般都有增加強度的效能，但凝結時間可能會延長。如果摻料使用的目的在於緩凝，則有時會產生有助於強度的效益。

#### (5) 高性能減水劑(CNS 12283)

高性能減水劑為一種高度減低用水量提供高強度的藥劑，這是高性能混凝土重要配方之一，特別在初期(24小時內)階段更為明顯。摻料的類型與加劑速率應能夠配合水泥性質，這是相當重要的。由於加入摻料後不久會產生坍度損失現象，故應該在工地加入高性能減水劑(HRWR)。

高性能混凝土採用高性能減水劑之目的，係在固定坍度下增加強度或純為增加坍度或二者兼具。摻料的添加應該是能夠均勻分佈到整體混凝土內，而適當充分拌合對均勻性質相當重要。因此，現場監督加入摻料對使用HRWR而言是相當慎重且重要的。

#### (6) 速凝劑(CNS 12283)

除了特別需要提早拆模外，高性能混凝土甚少使用速凝劑。高性能混凝土之配料可以產生足夠強度以便早期拆除牆柱的垂直外模。用來增加硬化速率的速凝劑對整個極限強度發展來說是無效果的，這點必須注意的。

#### (7) 摻料混合體

高性能減水劑與正常凝結減水劑或緩凝劑的混合使用，是一種花費最少而可獲得最佳成效的組合方式。有了最佳組合，強度的增加及凝固時間的控制和工作性的提高能有更佳的效果。在某些情形下，正常凝結減水劑或緩凝減水劑加上速凝劑互相配合，有時亦能產生特殊效果，但不論如何應先行試拌，印證其效果。

當採用摻料混合體時應該各別分開添加，且添加方法應經過廠商同意。如果使用輸氣摻料應該與減水劑分開添加。

表 4-4 化學摻料規範 ASTM C494 要求

化學摻料的型別	A 型 減水劑	B 型 緩凝劑	C 型 早強劑	D 型 減水緩凝劑	E 型 減水早強劑	F 型 高性能減水劑	G 型 高性能 減水緩凝劑
用水量，最大直（估控制組用水量%）凝結時間，允許與控制組之差別（時：分）	95	—	—	95	95	88	88
初凝：至少	—	晚1:00	早1:00	晚1:00	早1:00	—	晚1:00
至多	早1:00及晚1:30	晚3:30	早3:30	晚3:30	早3:30	早1:00及晚1:30	晚3:30
終凝：至少	—	晚3:30	早1:00	—	早1:00	—	—
至多	早1:00及晚1:30	—	—	晚3:30	—	早1:00及晚1:30	晚2:30
抗壓強度，最小值 （估控制組強度%）	—	—	—	—	—	—	—
1天	—	—	—	—	—	140	125
3天	110	90	125	110	125	125	125
7天	110	90	100	110	100	115	115
28天	110	90	100	110	100	110	110
6個月	100	90	90	100	100	100	100
1年	100	90	90	100	100	100	100
抗彎強度，最小值 （估控制組強度%）	—	—	—	—	—	—	—
3天	100	90	110	100	110	110	110
7天	100	90	100	100	100	100	100
28天	100	90	90	100	100	100	100
長度變化，最大收縮量 （兩規定可選用其一）	—	—	—	—	—	—	—
估控制組變化量%	135	135	135	135	135	135	135
超出控制組增加量	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
相對耐久性係數	—	—	—	—	—	—	—
最小值	80	80	80	80	80	80	80



表 4-5 傳統混凝土與高強度混凝土之比較

性質	傳統混凝土	高性能混凝土
定義—強度PSI(MPa)	3000—6000(20—40)	≥6000(40)
使用地點	一般建築物	高層建築物之底層柱、剪力牆、橋、梁結構體
材料選擇	細度2800Blaine， 28天強度4000psi(27.6MPa)	C <sub>3</sub> S含量較高，細度3500—4000 Blaine，品質均勻者7天強度要求4200psi(29.MPa)
1. 水泥		
2. 波索蘭材料	除了ACI319耐久性考慮之外，一般並不限定使用	飛灰、矽灰、高爐燃料、稻殼灰取代部份水泥及砂使用量5-20%的水泥重。
3. 骨材	要求洗淨即可，砂之FM3.2-3.0即可，以2.6較佳，粗骨材最大粒徑1"或1.5"以求經濟性	3/8"—3/4"最大粒徑骨材有較佳之結果骨材表面不可有雜質、粘土，必須徹底洗淨粗骨材用量可較高。砂採用粗砂(FM3.0)
4. 摻料	無特別限制	必須使用減水劑，減水緩凝劑或強型劑(高度減水劑)
配比設計	坍度依構造物而定，水灰比0.4-0.7視耐久性及強度而定，水泥用量320kg/m <sup>3</sup> 以上	坍度23.5cm以上，水泥用量390-560kg/m <sup>3</sup> ，水灰比0.3-0.4範圍
拌和、澆置與養護	稠度良好；不可過量振動，以防止析離，失去輸氣量；一般養護作業	稠度良好，不需特殊搗實、振動作業，養護作業特別重要。
品質管制	一般性品質控制	預拌廠及現場均必須有範圍較廣的品質控制計劃，包括材料的儲存至施工階段均須嚴密控制，確保強度最小的變異量

表 4-6 高強度混凝土與普通混凝土配比之比較

項目 材料性質	普通混凝土	高性能混凝土
水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	350	340
砂灰 (kg/m <sup>3</sup> )	—	50
水 (L/m <sup>3</sup> )	175	125
砂 (kg/m <sup>3</sup> )	790	750
碎石 (kg/m <sup>3</sup> )	1050	1100
強型劑 (kg/m <sup>3</sup> )	—	14
水灰比	0.50	0.25
坍度 (mm)	90	200
28天抗壓強度	35MPa	120MPa

表 4-7 高強度混凝土國際應用狀況及試驗配比

應用狀況	水塔 芝加哥 (1975)	橋樑 法國 (1989)	建築物 蒙特婁 (1984)	市場 多倫多 (1987)	機場 西雅圖 (1988)	高層塔 休士頓 (1980)	試驗 配比 (1993)	試驗 配比 (1993)	試驗 配比 (1993)	試驗 配比 (1993)	試驗 配比 (1993)	試驗 配比 (1993)	備 註
水 kg/m <sup>3</sup>	195	165	135	145	130	161	158	127	128	131	128	125	• 為 ASTM type II 水泥
水泥 kg/m <sup>3</sup>	505	451	500	315	513	390	593	450*	425*	365*	168*	450	•• 為 球 飛 灰
飛灰 kg/m <sup>3</sup>	60	—	—	—	—	99***	—	—	—	95	—	—	••• 為 C 級 飛 灰
礫石 kg/m <sup>3</sup>	—	—	—	137	—	—	—	—	—	183	320	—	
砂灰 kg/m <sup>3</sup>	—	—	30	36	43	—	119	—	45	—	54	50	
粗骨材 kg/m <sup>3</sup>	1030	1030	1100	1130	1080	1140	997	1100	1110	1115	1100	1100	
細骨材 kg/m <sup>3</sup>	630	745	700	745	685	577	537	815	810	810	730	750	
減水劑 mL/m <sup>3</sup>	975	—	—	900	—	15	—	—	—	—	—	—	
緩凝劑 L/m <sup>3</sup>	—	4.5	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
強塑劑 L/m <sup>3</sup>	—	11.25	14	5.9	15.7	—	210	15.3	14	13	12	14	
水灰比 w/(c+m)	0.35	0.37	0.27	0.31	0.25	0.33	0.22	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	
28天強度 (MPa)	65	80	93	83	119	52	111	99	110	90	105	114	120
91天強度 (MPa)	79	87	107	93	145	—	—	109	118	111	121	126	—
折斷度 cm (45分鐘後)	—	—	—	—	—	—	—	11	18	17	22	21	20

## 4-2 本土化配比設計資料之蒐集分析

高性能混凝土的材料應用，主張使用地域性及本土化之材料，包括水泥等。骨材採用鄰近河川及山區之粒料，至少應用碎石砂；在台灣波索蘭材料目前捨棄砂灰，而採用台電飛灰及中鋼爐石粉，強塑劑則應用造紙淵生物磺化木質素等物質，使用這些材料最重要的是因為大多為廢物再生，因此必須經過嚴格之品質管制方能確保品質穩定。

在本國高性能混凝土之發展，源於高強度混凝土(HSC)，初期大都為零坍度，使用強塑劑、飛灰及爐石摻料的觀念都非常保守，1988年後坍度的考慮才被重視，1990年後，遠企中心採用 $f_c' = 420\text{kg}/\text{cm}^2$ ，坍度 $25 \pm 2\text{cm}$ 的設計後，經過加州伯克萊大學賀士特博士的指導推動，技術學院的配合下，高流動性較高強度的混凝土逐漸進入量產水平，1993年發展的高性能混凝土係應用在高雄東帝士85層高樓鋼樓內，這些發展都是逐步進行的，不能疏忽大意，尤其在低水灰比條件下及低漿系統的使用，骨材含水量的變化都將造成強度的敏感變化，而損及設計品質，故必須小心處理。

表4-8所示國內5年來有關高強度及高性能混凝土發展的配比，基本上可以看出強度範圍由 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 至 $1040\text{kg}/\text{cm}^2$ ，坍度由0至28cm，水灰比(W/C)由0.24至0.54，水泥用量範圍由 $343\text{kg}/\text{m}^3$ 至 $595\text{kg}/\text{m}^3$ 。這些配比基本特色大都係由試誤法求出來的，其工作量甚大。

為達到 $f_c' = 560\text{kg}/\text{cm}^2$ 坍度 $25 \pm 2\text{cm}$ 之品質要求，經參照美國ACI363「高強度混凝土委員會」及ACI211.4R「添加飛灰高強度混凝土配比設計」之資料，加上國內之經驗可以歸納出表4-9之配比指南，基本上，水泥之強度以7天為 $274\text{kg}/\text{cm}^2$ 為原則。波索蘭材料一般如果取代砂則對早期強度有較佳之影響，如果取代水泥則必須注意品質穩定性及細度，添加強塑劑或減水劑，原則上只要符合ASTM C494規範即可，不必刻意處理，其用量可以較高，而且控制適度之細料。高強

度混凝土之水灰比之預估係以  $W/(C+P)$  為主，而非傳統之  $W/C$ ，惟早期強度仍以  $W/C$  為初步估計之原則。

表 4-8 國內近年來發展之高強度混凝土配比

編號	工業發展學院										遠東企業中心			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)				
單位材料														
$W/C$	0.305	0.38-0.54	0.286	0.241	0.24	0.28	0.24	0.24	0.32	0.23-0.35	0.26	0.32	0.35	0.34
水泥( $kg/m^3$ )	585	343-468	488	545	595	500	570	475	520	4.5-5.10	475	520	528	520
飛灰( $kg/m^3$ )	131	0-142	139	136	130		301(砂灰)	—	—	75-340	59	—	—	—
水( $kg/m^3$ )	178	159-199	167	164	174	140	144	142	170	115-300	142	170	185	175
最大粗骨材粒徑(mm)	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	3/4"	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"	3/8"	1/2"	1/2"	1/2"
粗骨料加量( $kg/m^3$ )	984	1035-1086	1042	1019	979	966	1069	1098	855	6.25-890	1098	855	920	870
粗骨料來源	大安溪	大安溪	大安溪	大安溪	大安溪	老樹溪	甲港溪	—	—	大安溪	高屏溪	高屏溪	高屏溪	高屏溪
細骨料加量( $kg/m^3$ )	524	548-1086	556	543	522	853	627	880	880	6.25-890	611	855	720	805
S.P. 用量百分比 (相對於水泥重量)	1.6	0-1	1	1.5	1.5	0-4	0.7-1.0	1.5%	0.5-2	—	1.9	1	1.3	1
28天抗压强度(psi)	9000-13000	7160-9530	9200	11300	12000	9800	11000-13900	8350-9290	8000-13000	8300	8300	8750	8245	7400
坍度(cm)	—	—	12	7	7	—	—	—	—	—	—	23.8	25.5	28

# 第五章 HPC 構件行為研究規劃

## 5-1 前言

高強度混凝土在國外之研究與實際應用已有多數歷史，就以往之研究發展，經常是實際應用之步伐走在各項基礎力學性質與相關構件行為研究之前，而現行設計規範中相關條文之延伸或修訂，則更落在各設計案例之後，但因近十幾年來此項混凝土之應用普獲學術界之重視，而其應用對象也由高樓擴展至長跨徑橋梁、公路鋪面、海域鑽油平台、…，是以相關力學性質及構件行為研究資料也在各種刊物中陸續加以報導。

混凝土抗壓強度之提高固然可使構件之斷面減小，達到減輕自重之功效，構件在承力時強度與勁度之增加也伴隨著延展性之減低，如何增加對混凝土在受壓區之圍束作用，對柱或梁在單向或反覆載重下極其重要。與混凝土抗張強度有關之構件行為，例如抗拉、抗剪、抗扭、握裹等是否可依混凝土抗壓強度之提昇仍依現有規範之規定加以外插延伸應用範圍也值得審慎評估。為使鋼筋混凝土構件在設計時具有適當之延展性，各種相關規範均有最低鋼筋量之規定，以確保構件在相關開裂強度達到之前後維持應有之強度與延展性，現有規定中常未能把混凝土抗壓強度因素適切納入考慮，此極易造成構件在局部發生延展性不足之脆性破壞。

由於國內工程界對高性能混凝土(高強度混凝土)之應用漸表重視，但在設計應用時經常發現可供參考之資料不甚充足，是以將三次國際研討會論文目錄(附錄 I)及近年來國內外相關力學性質及構件行為研究報告(附錄 III)蒐集以供參考。

HPC 在未來能否廣為工程界所接受，除與 HPC 之使用經濟性，施工性有密切關係外，利用本省現有材料所製作，HPC 構件行為之研究

與後續，設計資料之建立有不可分割之關係，這也是建立本土化 HPC 規範所必經之路。

## 5-2 研究單位實驗室內進行構件行為研究之規劃

- (1) HPC 在單軸抗壓試驗之應力應變關係。
- (2) HPC 在多軸抗壓試驗之應力應變關係。
- (3) HPC 柱在有軸力與彎矩作用下之強度與韌性研究。
- (4) HPC 剪力牆之強度與韌性研究。
- (5) HPC 梁之剪力強度與韌性研究。
- (6) HPC 之基本力學試驗(乾縮、潛變、彈性模數、柏松比、抗彎強度、劈裂強度、...)

## 5-3 實際工程應用之監測規劃

- (1) 高雄東帝士 85 層大樓使用 HPC 之監測規劃

本大樓在部份鋼柱內填充 HPC 以期增加大樓對側力作用變形之抗力，目前已向業主提出監測 HPC 在實際工程中之性質計劃，其中包括柱內 HPC 之乾縮、潛變、溫度變化、鋼柱間之差異變形，灌漿期間混凝土側壓之量測等。

- (2) 預拌廠大型試拌 HPC 之技術研究

目前已有不少研究單位與預拌廠合作進行生產 HPC 之技術研究，此項工作對日後全省各地使用 HPC 之推動，具有莫大幫助。

# 第六章 HPC 品管技術與品質保證方法

## 6-1 前言

高性能混凝土和普通混凝土最大的差異是水泥用量增加，但其用水量減少，同時使用一些矽灰或鈣質的填充劑(calcareous fillers)及強塑劑(superplasticizer)以增加水泥混凝土的工作性、可塑性而無析離現象(segregation)其特性及優點如下：

### (1)新拌混凝土階段

1. 流動性佳
2. 澆置與夯實容易
3. 泵送性好
4. 拌合、輸送省力

### (2)硬固混凝土階段

1. 早期强度高
2. 水密性佳
3. 體積變化穩定
4. 耐磨性好
5. 耐久性好

由於高性能混凝土具有諸多的優點而國外在隧道工程之襯砌(lining)核能發電廠機房、各種跨海大橋、超高層高樓、地下結構物、防震設施，皆有可觀的業績，由於其經濟性高，適用於工業化生產，故引起各先進國家在此方面研究發展的注意。

台灣地區預拌混凝土工業發達，全省 21 縣市及二個院轄市，預拌混凝土廠近 400 餘廠，其中部份預拌廠對高性能混凝土之生產頗感興趣，本章嘗試以一般預拌混凝土廠的品保綱要，詮釋高性能混凝土生產的品質控制能力。

## 6-2 高性能混凝土生產的品保綱要

高性能混凝土的生產設備和一般混凝土大同小異，如圖 6-1 為達到生產的目標在生產過程中，水泥混凝土預拌廠必須具備有一套品保綱要，以滿足消費者需求，以下就預拌廠品管能力及品保大綱做一探討：

### 6-2-1 品質目標

預拌混凝土廠必須確立其生產高性能混凝土品質目標，並讓全廠之有關人員瞭解，並共同努力去達成。工廠之品質目標，必須高於國家標準 (CNS 3090)。

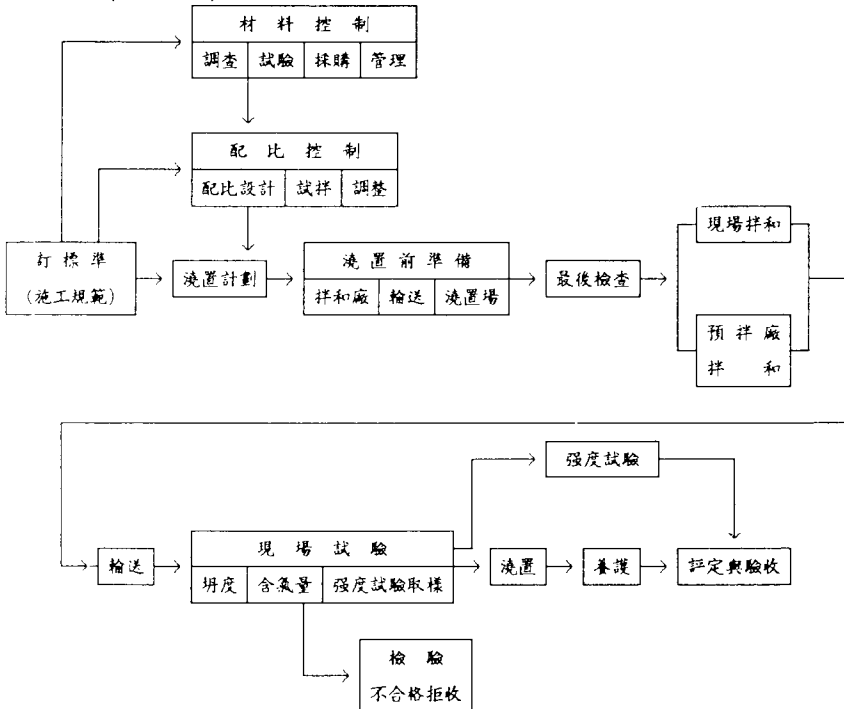


圖 6-1 混凝土品質控制作業流程網狀圖



## 6-2-2 品管組織

### (1)組織圖

為便於品質資訊之適當傳遞，及劃分品質責任等，預拌混凝土廠應有明確之組織，並付予各部門明確之管理功能，為達成此目的，預拌混凝土廠應備有組織圖，組織圖可視工廠之規模按實繪製，圖6-2所示為較具規模之預拌混凝土廠之組織圖。

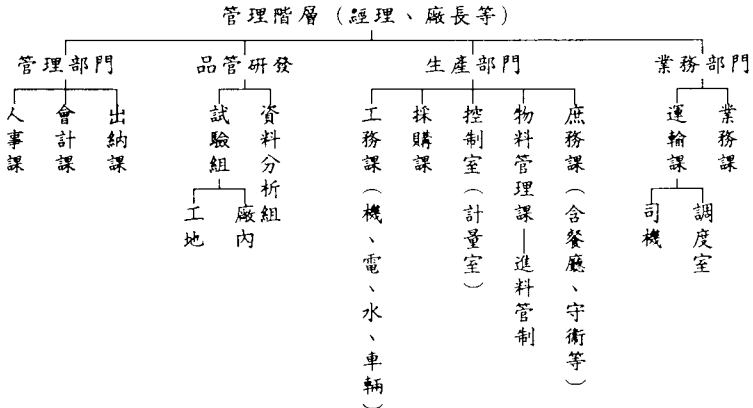


圖 6-2 預拌廠組織圖例

### (2)品管機能

品管單位之負責人應直接對公司或所屬部門之總經理負責，其負責決定產品之品質水準，通常每週提報一次產品與生產作業之品質。他應和生產部門合作，建立維持及改善產品品質水準與經濟效益之方法，並加以監督。品質管制活動，係由其協調生產與銷售部門進行。另外，他須依賴這些部門之資訊，使品管部門為公司業務目標作最佳之貢獻。

品管部門之基本成員與職責如下：

#### 1.品管經理：

推動公司產品品質達成既定水準之目標。建立公司混凝土之

品質標準，以及包含取樣與試驗範圍頻率在內之品管計劃。檢討規範、選擇配比、準備混凝土之配合設計與其它生產資料給業主審核、評估混凝土之性能。試驗之研究發展、失敗之分析與改正。

## 2.技術員：

混凝土組成材料與混凝土之取樣及基本試驗、廠內與工地之品質控制。

## 3.研究員：

除技術員之工作外，可從事更高級之試驗及品質分析等工作。

所有研究員及技術員工均應熟悉、瞭解影響混凝土品質之各種因素，品管人員且應瞭解產品品質之界限或範圍，訂定臨時發生事故時之處理方法，有單位與管理階層應定期開會檢討品質與施工上之問題，使狀況發生時每個人都能做正確之判斷與措施予以售後服務。

### (3)品管訓練

品管部門應提供教導其他人員有關的知識(如混凝土技術資料與公司之品質標準)。品管人員經由參加工業界或學術界之研討會與短期訓練班、有關書籍之研究以及理論與實地經驗之結合充實自己，並因而加強教育其他同仁之資料。

每位品管人員應通過試驗程序之專業測驗，結果並予記錄。

## 6-2-3 試驗設備與規範

### (1)基本試驗

預拌混凝土廠應有表 6.1 所示之混凝土相關試驗設備，並參照表列方法與頻率辦理試驗。

表 6-1 基本試驗項目與主要設備

項 目	主 要 設 備	試 驗 方 法	頻 率
1. 坍度	坍度錐	CNS 1176	隨時
2. 單位重及體積	單位重量桶	CNS 1163 CNS 11151	隨時
3. 抗壓強度	圓柱試體模 抗壓機 蓋平設備	CNS 1232 CNS 10991 CNS 11297	每天每種混 凝土至少一次
4. 試體養護	養護設備	CNS 3037	
5. 粒料含水量	烘箱 比重瓶 秤	CNS 11298 CNS 11298	每天至少二次
6. 粗細粒料篩分析	篩 搖篩機	CNS 486	每天一次
7. 含泥量	篩	CNS 491	每週一次
8. 粗粒料比重與吸水率	秤	CNS 488	每月一次
9. 細粒料比重與吸水率	金屬錐	CNS 487	每月一次
10. 粒料單位質量與空隙含量	單位質量容器	CNS 1163	每月一次

## (2) 高級試驗

除了表 6.1 所列舉列，預拌混凝土廠尚可進一步設置表 6.2 之設備，並辦理表列試驗。

表 6-2 高級試驗之標準與主要設備

項 目	主 要 設 備	試 驗 方 法	頻 率
1. 配合設計	拌和機	CNS 12891	每種混凝土一次
2. 混凝土凝結時間	貫入阻力儀	ASTM C403	視需要
3. 抗學強度	方柱鐵模	CNS 1231	每300M <sup>3</sup> 一次
		CNS 1233	
		CNS 1234	
4. 含氣量	抗學試驗機	CNS 9661	隨時
	含氣量計	CNS 9662	
	校正設備	CNS 1241	
5. 鑽心試驗	鑽心機	CNS 1241	視需要
6. 含砂當量	含砂當量試驗儀	ASTM D2419	每三個月一次 料源變化時 (同上)
7. 有機物	標準色溶液 氫氧化鈉溶液 比色板	CNS 1164	(同上)
8. 洛杉磯磨損	洛杉磯磨損儀	CNS 490	(同上)
		CNS 3408	
		CNS 1167	(同上)
9. 健度試驗		CNS 1010	每批或視需要
10. 鑊料抗壓強度	5cm <sup>3</sup> 模 流動性台	CNS 3655	
	費氏貫入儀	CNS 786	(同上)
11. 水泥凝結時間	吉爾摩氏貫入儀	CNS 785	
	費氏貫入儀	CNS 3590	(同上)
12. 正常稠度	圓錐模	CNS 3590	(同上)
13. 假凝	改良式費氏 貫入儀	ASTM C359	(同上)
	費氏貫入儀	CNS 3458	
14. 液體摻料	同配合設計、 凝結時間	CNS 12284	(同上)

## (3) 試驗設備之維護與管制

1. 建立試驗之儲放制度，並標識其儲放位置。
2. 不可將試驗設備當作敲擊工具，設備之量測面及刻度必須保持良好。
3. 試驗人員切忌粗心大意或動作魯莽，而招致設備不當之損耗。

## (4) 試驗設備之校正

應定期校正所用儀器，試驗室應保存校正手冊及紀錄，其內明列校正步驟、校正結果、調整與修正等紀錄，並有人負責管理。

## (5) 規範管理

預拌混凝土廠接獲訂單時，應詳細研究訂單與相關規範之要求，

以求能確實供應合格之預拌高性能混凝土。通常需檢討以下項目：

1. 工地里程與運送時間之估計。
2. 工程類別與混凝土之數量。
3. 強度、最少水泥用量與最大水灰比之規定。
4. 水泥種類、含氣量與坍度之規定。
5. 細粒料(天然砂或碎石砂)與粗粒料之最大粒徑。
6. 摻料(化學摻料、飛灰或輸氣劑等)之規定。
7. 有關試驗之規定與試驗單位。
8. 配合設計。
9. 監工與管理標準。
10. 是否需要品質控制計劃。
11. 澆置方式：泵浦、輸送帶、吊斗或傾卸卡車等。
12. 工地結構物與試體之養護。
13. 有關規範之說明與建議、容許誤差之規定。

#### 6-2-4 進料管制

各種材料應定期檢驗、報告建檔、所取試樣須具代表性。

##### (1) 水泥

應檢查水泥廠前後試驗報告之差異，如立方體強度、細度、成份、停留0.045mm篩之百分比、燒失量(LOI)、總鹼量等。

##### 1. 取樣

- a. 每批水泥取樣一次(CNS 784)，樣品儘快密封貯存於防水不透氣之容器。
- b. 保留水泥樣品以備複查，直至確定驗收合格為止。

##### 2. 試驗

- a. 目視比色：檢視比較前後樣品之顏色。
- b. 水泥溫度：預防假凝。

- c. 水泥砂漿立方體強度試驗 (CNS 1010)：內分 3、7、28、90 天等齡期，利用 ASTM C917 及控制圖評估水泥強度之均勻性，如圖 6-3 所示。
- d. 流度百分比 (CNS 1010)。
- e. 凝結時間 (CNS 785 或 CNS 786)。
- f. 正常稠度 (CNS 3590)。
- g. 細度 (CNS 9747 或 CNS 2924)。
- h. 大於 0.045mm 篩之含量 (CNS 11273)。
- i. 假凝比 (CNS 3458)。
- j. 燒失量 (CNS 1078)。

### (2) 卜作嵐—飛灰

- 1. 檢查前後試驗報告之差異，如  $\text{SiO}_2$  與  $\text{Al}_2\text{O}_3$  之總量、大於 0.045mm 之含量 (CNS 11273)、燒失量、卜作嵐活性指數及總鹼量等。
- 2. 每批飛灰取樣一次。
- 3. 應行試驗項目如目視比較顏色、泡沫指數、大於 0.045mm 之含量、燒失量及卜作嵐活性指數 (CNS 10896) 等。

### (3) 粒料

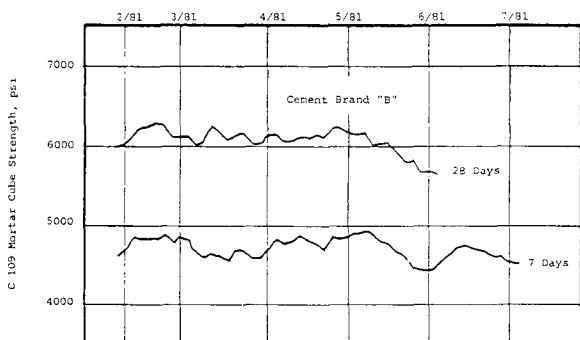
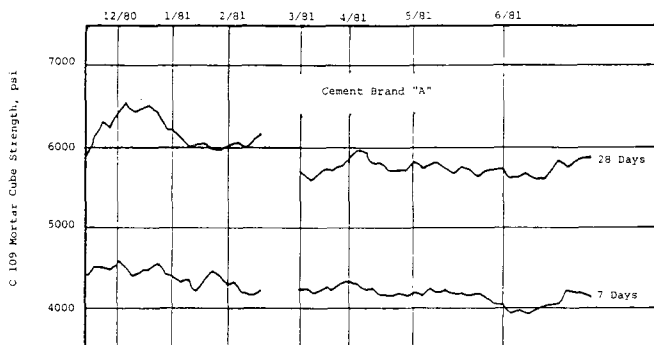
檢查材料供應商之試驗分析報告及前後報告之差異，複驗各料源以校核其報告之可靠性。

#### 1. 細粒料

每處料源每批取樣一次 (CNS 485, CNS 10989)

- a. 篩分析 (CNS 486)：保留不及格樣品以備供料者會驗。計算細度模數 (F.M.)。F.M. 變化大於 0.2 時需要變更配合設計。
- b. 小於 0.075mm 篩之材料含量 (CNS 491)。
- c. 比色法檢驗有機物 (CNS 1164)：如果以往有不合規定之情形，則應定期檢驗。
- d. 粘土塊與易碎顆粒 (CNS 1171)：如果篩分析發現有相當數量時，應

Running 5 Test Average Of C 109 Mortar Cube  
Strengths From ASTM C 917 Reports



Running 5 Test Average of C 109 Mortar Cubes  
From ASTM C 917 Data Vs. Running 5 Test  
Average Of Concrete Cylinders Tested At 28 Days

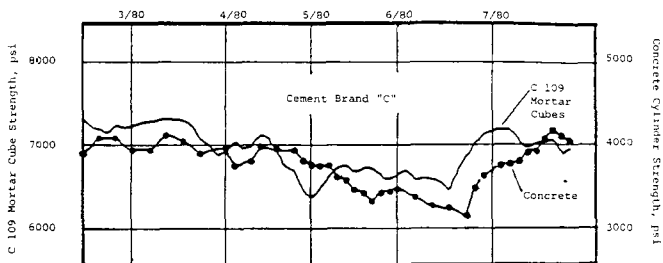


Figure 5

圖 6-3 不同水泥廠牌抗壓強度比較值

做本項試驗。

- e.其他規範所要求者，如比重、單位質量、含砂當量、氯與硫酸鹽含量等。

## 2.粗粒料

每處料源每批取樣一次(CNS 485, CNS 10989)

- a.篩分析(CNS 486)：保留不及格樣品以備供料者會驗。
- b.比重及吸水率(CNS 488)。
- c.小於0.075mm篩之材料(CNS 491)。
- d.洛杉磯磨損試驗(CNS 490, CNS 3408)。
- e.單位體積質量。
- f.其他規範所要求者，如健性、有機不潔物、易碎顆粒、扁平率與氯、硫酸鹽含量等。

## (4)化學摻料

### 1.出廠證明書

規範要求時應提供製造廠之出廠品質證明書，內含：

- a.符合CNS規定之試驗資料。
- b.各種使用狀況條件下之建議用量。
- c.經檢驗證明之 $\text{CaCl}_2$ 含量。

### 2.取樣

取樣頻率依需及混凝土顯現異常狀態時(如遲凝、閃凝、含氣量變化大)而定，每次取樣1公升，取樣前先攪拌均勻。

### 3.輸氣劑(CNS 3091)

- a.測定不同之材料組合時輸氣之效率。
- b.使用過量時，對含氣量與強度之影響。

#### 4.化學摻料(CNS 12283)

為了控制每批間之均勻性，應做之試驗有：

- a.PH值。



- b. 固體份之百分率。
- c. 使用比重計求比重。
- d. 校對紅外線光譜。

每種水泥與摻料之組合應求得：

- a. 水泥與摻料之相容性。
- b. 使用過量時，對凝結時間與強度之影響。

#### (5) 水

- 1. 井水、溪水或其他天然水源之水。

取樣與試驗依規範或當地法規(衛生、環保與公路等單位)之規定，取水管進口加裝濾網以避免雜物進入。

- 2. 重複使用之清洗水

依 CNS 3090 之規定，定期檢驗如 CNS 1010 立方試體強度、CNS 786 凝結時間、氯化物、硫酸鹽類、鹼類與總固體份等。

- 3. 自來水或經檢驗確認合乎生飲標準的水源，毋需經過試驗即可使用。
- 4. 貯水設備需潔淨加蓋。

#### (6) 採購品質

- 1. 保持並整理各種試驗紀錄，以作為對供應商之評估資料，亦可實地評估供應商之能力及品質系統。
- 2. 採購物料應訂定檢驗制度並據以執行。
- 3. 採購合約或採購訂單應依 CNS 3090 或客戶之規範註明詳細之品質要求，並讓供應商充分瞭解這些要求事項及合適之成交方式。
- 4. 不合格之進料應即由管理階層召集有關人員與供應商協議解決之，此點可與供應商事先制定溝通之管道與方式。

### 6-2-5 配合設計與相關資料之管制

#### (1) 檢查規範

- 1. 檢討規範、施工說明書與產能。

2.工作開始前，設法協調、解決不合理的條文或要求。

### (2) 配比選擇與相關資料

1.配合設計、工地經驗之配比、有關規範對水泥、粒料與摻料之規定及試驗資料或證明書。具體言之依 CNS 12891 及 ACI 318、ACI 211.1 等有關文件之規定，完整之配合設計應提供如下之資料：

- a. W/C 與強度之關係曲線如圖 2.3 及各組成材料之建議配合比。
  - b. 每盤 (Batch) 每立方混凝土之配合比、試驗坍度與試體抗壓強度。
  - c. 需求平均強度  $f_{cr}$ ，最大水灰比或最少水泥用量之規定。(一般以施工規範之規定優先，即  $f_{cr}$ 、W/C 或 C 三個條件中取強度之最高值，如規範沒有規定，以工程慣例之  $f_{cr}$  辦理)。
  - d. 設計條件如強度～坍度～粒料最大粒徑。
  - e. 其他資料如水泥、水、化學摻劑、粒料篩分析與混合後之級配、比重、吸水率及乾搗單位重。磨損、健度及有機物比色試驗等。
2. 配比與重量記錄、每小時之最低產量。
3. 卸料時間之規定、混凝土溫度之控制等。

### (3) 產品資料

1. 包括坍度與含氣量容許差之配合比、詳細資料及配合號碼，在正式生產前配合資料應齊全。
2. 配合工程安排各種材料之進廠與檢驗時間。
3. 配比變更或合約檢討之紀錄均應保存管理以供參考。

## 6-2-6 製程管制

製程過程中，各項生產設備應妥善維護並定期檢查或檢正，人員、製程與設備之合格紀錄均需保存。

### (1) 材料驗收

1. 校核材料是否經過試驗且與採購之規格相符。各項品質檢驗紀錄應保存良好並易於追溯。

- 2.檢查材料是否受到污染、是否含有害物質(如黏土、煤炭、鬆軟顆粒、有機物、樹枝等)。

## (2)材料之儲存與處理

貯料槽及輸送帶等承力構件須依設計安裝、貯料槽基腳不可產生過量之不均勻沈陷，主要材料應有存量管制與紀錄制度。

### 1.水泥

- a.應防潮濕，水泥受潮而結塊時不得使用。
- b.貯倉應緊密，避免不同型水泥間或水泥與飛灰的混雜。
- c.注意防範輸送錯誤或意外。
- d.儲存時間超過60天時須經重新試驗及認可。

### 2.卜作嵐(如飛灰等)

- a.應防潮濕。
- b.貯倉應與水泥隔離清楚，不得混雜。

### 3.粒料

- a.不同粒料應隔清楚，料堆不能滿溢、混雜或成圓錐狀。
- b.儲藏或堆料過程避免分離、避免以履帶式推土機堆料。
- c.堆料場地地面平坦、堅實、排水良好。
- d.貯料槽需有分開之隔間存放不同尺寸之粒料並避免混合。槽壁及隔板不得有破洞，或其他足以使粒料相混或流失之缺陷。外壁裝設振動器，以避免細粒料在槽底架空。閘門及閉鎖設施應操作正常，在粒料達所需之重量時可準確關閉。
- e.以輸送帶自料堆下方取料時，閘門須可完全打開並依序輪流開放。
- f.輸送設備及滿倉號誌應正常。
- g.使用時粒料之含水量應均勻。
- h.天氣炎熱時，應濕潤粗粒料，沖洗過之粒料須待游離水濾乾後方可使用。

### t.化學摻料

- a. 容器上應標明清楚摻料之種類，不同摻料不得互相混合。
  - b. 應有攪拌設備，以維持摻料溶液之均勻。
  - c. 摻料應避免遭到污染或雨水之稀釋。
  - d. 摻料須單獨添加進入拌合機中。若使用不同(類型或廠牌)之摻料，容器及填加系統均須沖洗乾淨。
5. 水泥與化學摻料應特別注意儲存時間之規定與管制並記錄其批號以確保可追溯性。

### (3) 稱量與配合

#### 1. 稱量之準確度

- a. 經常校核磅秤並且歸零，水泥及粒料秤在使用過程中，必需保持 1% 準確度。
- b. 請度量衡檢校單位(經過中央標準局驗證授權者)或已經驗證過的儀器，自己在涵蓋經常稱量之範圍內，定期作儀器校正。
- c. 稱量儀器應符合規定之容許差。

#### 2. 配料之準確度

- a. 配料之準確度應定期檢查、調整，使準確供料，廠內並備有維修手冊，以解決維修的問題。
- b. 配料控制室應準備最新之拌和資料，陳舊的或不正確的資料應即時移除。所有指示器位於操作員目視可及處，且能準確容易地操控稱料。
- c. 稱量斗應自由懸掛，不得與鋼架或其他障礙物結合。秤的組件、稱量斗及貯料槽之間的淨空須適當，斗壁不能有破洞等。
- d. 稱量斗須裝設振動器，使水泥或濕砂不致黏附在斗壁或角落上。
- e. 水泥稱量斗應有適當通風。當水泥量在±1%之容許界限外時，水泥稱量斗即無法打開，且拌和機會自動停止運作。
- f. 定期校正水量計，水閥應能完全緊閉，且通往拌和機之輸水管不得漏水。

- g.化學摻料容器狀況良好，容器玻璃乾淨且具易讀之刻度。控制室內可以清楚看到容器，如有故障可以馬上查覺。
- h.控制室內備有清楚的摻料用量指示或說明書。
- i.控制室操作員及代理人應熟悉摻料填加作業，諸如計量單位、自動化系統之劑量設定及量測設備等。
- j.檢查摻料之實際用量。
- k.當摻料改變時，容器及填加系統必須加以清洗，不同摻料之儲存槽間不得互通。

### 3.配料步驟

- a.加料入拌和鼓之順序應標準化，有關人員應熟悉標準製程。
- b.只使用一種化學摻料時，可直接添加在拌和用水的管線靠近拌和機出口處。使用一種以上之摻料時，應使用另一分離之添加管施加第二種摻料，且在進入拌和機與其他材料混和前避免其互相接觸。
- c.廠內備有混凝土拌和錯誤時之處理指引。

#### (4)拌和機與拌和控制

- 1.拌和機須備有製造廠之出廠證明，其上註明最大容量，建議之拌和鼓轉速及登記號碼。確認拌和鼓能以適當的轉速與時間操作。
- 2.定期檢查拌和葉片之磨損或水泥混凝土累積黏附的情形。葉片磨損不得超過2cm。
- 3.確定最短之拌和時間。
- 4.定期進行拌和鼓之均勻性試驗。
- 5.控制室操作員與代理人應熟悉坍度計之讀測。讀數異常時檢查分析發生之原因。建立坍度計讀數與實際試驗坍度之間的關係。
- 6.當天氣變化或者粒料堆存過久時，經常測定粒料含水量，一般情況則每天至少在上、下午各進行一次含水量試驗。
- 7.控制室應列印全天之拌和生產狀況報表，電腦螢幕可同時顯示設計重量、實際重量、水量、每盤數量、拌和時間、摻料數據及其他一般資

料，且能監測拌和操作狀況，製造過程中電腦系統及軟體，程序均應在正常狀態下，並注意經常性之維護。

#### (5) 輸送控制

##### 1. 坍度之控制

- a. 有關坍度之問題，操作員與司機間應建立有效之連絡系統。
- b. 訓練司機能正確估計及調整坍度。
- c. 針對混凝土因坍度太大遭到退貨的問題，公司應建立責任制度。

##### 2. 含氣量之控制

- a. 廠內能快速測試含氣量，材料料源改變或新進一批輸氣劑時應另做試驗。
- b. 針對不同最大粒徑之粗粒料，廠內應有含氣量上下限之規範或資料。
- c. 工地之含氣量試驗結果有異時，應測定運送階段含氣量之損失。

##### 3. 溫度之控制

控制溫度以確保符合規範之要求。

##### 4. 其他

- a. 混凝土之外觀如有異狀(如多砂或砂漿不夠、含氣量太多等)，司機應儘速反應，控制室操作員與調度員應能快速處理，品管部門則儘快分析並採取適當措施。
- b. 拌和車或攪拌車須裝設轉速計數器，車體上註明最大運輸量，拌和斗之最高與最低轉速等，交貨證明憑單上之記錄事項應完整。

#### 6-2-7 成品管制

##### (1) 混凝土之品管試驗

1. 以標準參考配比，每 $120\text{m}^3$ 做一試驗，取樣依 CNS 3090 之規定，或由監工單位所取之樣品中，分樣進行試驗，以資比較，試驗結果可依規範上允收檢驗標準查核，以便對產品和製程採取必要之矯正措施。

2.試驗項目：依 CNS 3090之規定，如坍度、含氣量、單位重、拌和體積、大氣溫度與混凝土溫度、模製抗壓與抗彎試體、進行抗壓試體或抗彎試體強度試驗等。

## (2)現場之控制

- 1.一般性之控制項目有需水量、坍度減失率、工作度、浮水率、篩面性及凝結時間等。
- 2.由於抗彎強度之變異性較大，故試體之製作、養護與試體應特別注意標準方法之規定。
- 3.特別注意坍度之規定、材料之均勻與試驗之步驟。
- 4.委外試驗時，可保留試驗有誤差之資料，並能技巧地設法改正錯誤之試驗。
- 5.預拌車司機應在交貨證明憑單上記載有關之品管資料，如客戶要求外加之水量及簽認、客戶自行另加之材料、取樣與試驗、坍度、不當之試驗及卸料完成之時間等。
- 6.必要的話，品管人員可對拒用混凝土不合格規定之項目，如坍度或含氣量等重新試驗以證實之。

## (3)試驗報告之處理程序

- 1.儘速取得各種檢驗資料，以及其他單位依 CNS 12891與 ACI 318所作強度認可與均勻性等之試驗分析文件，品管部門應特別注意強度之變化。
- 2.每日登錄新資料，如試驗結果、水泥廠牌、試驗單位及其他與強度變化有關之資料。
- 3.針對同樣品或混凝土之試驗結果、與外界試驗室之試驗結果列表比對。
- 4.統計評估：

保持以標準參考配比出料之最新標準差，必要時據以調整配比。  
評估試驗室試驗之均勻性。

## 5.繪圖管制圖：

新拌混凝土之性質，如坍度、含氣量、溫度、單位重及產量(拌合體積)等及標準參考配比之強度，均可繪製管制圖，應隨測隨時將結果點入圖中，強度可按不同齡期繪製。並以每週、月、季、半年或一年為一期，加以分析研究並做成報告。應有且常用之管制圖有坍度、個別強度、移動平均強度、移動平均全距、個別及移動平均級配與F.M.等等。個別與移動平均強度、(強度之)移動平均全距及粒料之移動平均級配為例如圖6-4、6-5所示。

6.所有資料與紀錄應適當的建檔並依次序保存，至少列成目錄並訂出保存年限，儲存期間應防止損毀、遺失及變質等情形發生。

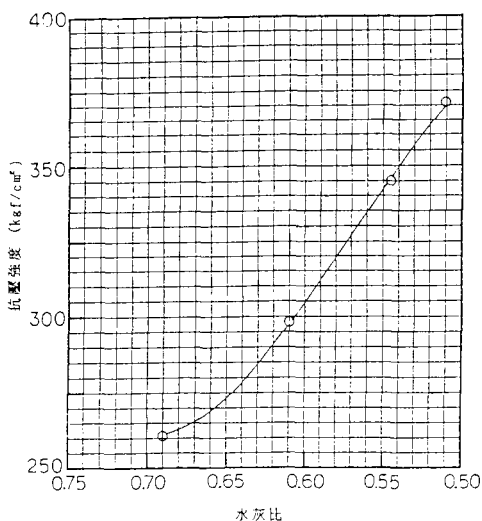


圖 6-4 W/C 與強度之關係曲線



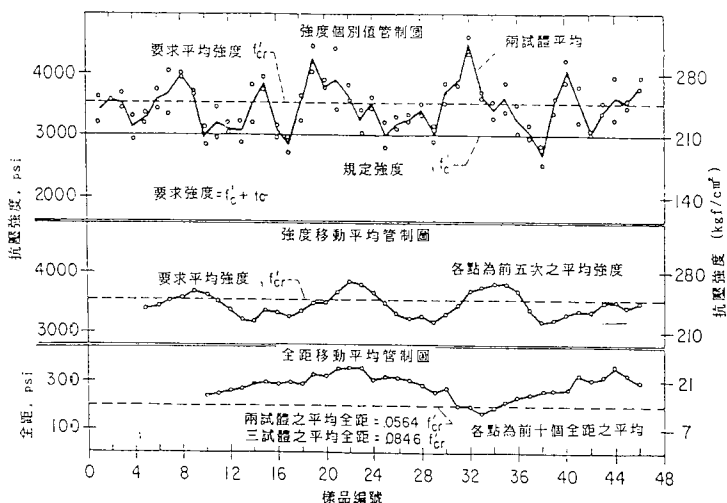


圖 6-5 混凝土抗壓強度管制圖例

#### (4) 不合格品之管制

1. 不合格之混凝土應即由管理階層召集或要求有關人員(品管生產業務)檢討分析後決定處理步驟，並有正式之書面文件，同時由品管部門負責協調各單位採取措施以預防不合格情況之再發生。所有不合格項目之原因與處理措施應記錄列檔以備參考。任何處理措施應考慮到對環保、安全、責任與顧客滿意度之影響。
2. 收集分析強度不及格之資料，如訂貨之交貨證明憑單、司機排班表、過磅單、檢查用水量、客戶所加材料及澆置時不尋常之外觀。
3. 比較同類混凝土強度及格與不及格之樣品，如空隙狀態、單位重、破裂面等等。

#### 6-2-8 售後服務

## (1) 推廣活動

### 1. 推廣公司之業務

- a. 提供客戶主要或特殊工程之記錄，如高樓工程所需之可靠的早期強度數據。
- b. 說明公司品管組織之資格與範圍，如參予外界機關之檢驗與認證計劃。
- c. 預拌混凝土廠與拌合鼓之日常檢驗文件，記錄及預拌混凝土之認證。
- d. 協助客戶改善成本效益與混凝土鋪築修飾之品質。
- e. 針對不同之工作性質，發表具有公司名稱之技術性刊物。

### 2. 推廣正確之混凝土取樣與試驗實務

- a. 與其他預拌混凝土廠合作及經由外界團體之協助，為當地之建築商、營造廠等舉辦講習班，提供混凝土品質之基本知識及正確之處理方法，以獲得良好品質之混凝土。適當的課程內容如拌和水之控制、輸氣之重要性、寒冷天氣與炎熱天氣之施工法、良好之裂縫設計以避免裂縫產生及適當養護之好處等等。
- b. 透過示範，強調完成作業之正確時間對工程品質之重要性。
- c. 與當地試驗單位合作示範正確的試驗實務，並討論種種不當實務之影響。

### 3. 經由規範推廣混凝土之利用與實務

- a. 舉辦混凝土規範實務之討論會，如使用當地材料之成本效益，強度、坍度與空氣含量的適當容許差之需要、預拌混凝土廠之最佳控制以減少配比之變化、水灰比之觀念(配合設計與工地品控等)、正確之取樣與試驗等等。
- b. 建議混凝土訂貨之實務標準，以確保提供適當品質水準之混凝土。

## (2) 服務與回饋

### 1. 客戶申訴之處理

即時處理客戶之申訴，並建立包括分析與解決方法之完整資料。提供客戶真實之報告及有關之參考資料。公司內部建立處理客戶申訴問題之單位及職責分配。

## 2.校核拌和體積之問題

- a. 配料錯誤或磅秤嚴重誤差會造成拌和體積之誤差。
- b. 於窄模斷面處振動時間拉長，可能導致輸氣混凝土體積之減少。
- c. 每週做單位重試驗並依此試驗計算、控制混凝土之體積。

## 3.強度以外之品質問題

- a. 研究工作上的問題，並建立問題之檔案資料，分析、整理品質資料，並向客戶解釋與溝通。
- b. 提供客戶相關之資料，及如何避免缺陷與損失金錢的方法。
- c. 將客戶之諮詢資料記入日誌內，所建議之補救措施應有權威資料作為依據。
- d. 遇到重大的問題或情況，應設法取得顧問公司之意見或建議。
- e. 決定釐清材料供應商在生產上之責任範圍。
- f. 持續收集材料的性質資料，以為配合設計與生產控制之參考。

## 6-2-9 員工教育訓練課程

預拌混凝土廠應經常利用各種機會教育訓練員工，以下為針對各項人員之訓練課程：

### 1.品管人員

- a. 混凝土及其組成材料之取樣與試驗。
- b. 準備配合資料、試拌及提供配合設計。
- c. 預拌廠與拌和鼓之檢查。
- d. 品質界限之範圍及試驗結果不合規定時之措施，檢討規範。
- e. 異常試驗結果之研究分析，解決問題並做成報告。
- f. 強度之統計分析與評估。

- g. 與公司內部及客戶間之溝通協調。
- h. 工地與試驗室之品控與步驟，並釐定優先順序。
- i. 試驗過程與報告資料之建檔。
- j. 混凝土技術之研究創新。
- k. 安全程序。

## 2. 控制室操作員

- a. 混凝土之基本知識。
- b. 粒料含水量之試驗與調整、控制坍度之步驟。
- c. 混凝土與組成材料之種類、材料改變時之影響及材料品控步驟。
- d. 預拌廠之檢查。
- e. 公司對處理混凝土遭退車或拌和錯誤時之措施。
- f. 磅秤及其他拌和設備之機械知識。
- g. 財產設備之損失記錄與原因之研究。

## 3. 調度員

- a. 混凝土之基本知識及控制坍度之步驟。
- b. 混凝土與組成材料之種類及材料品控步驟。
- c. 拌和種類之確認。
- d. 公司對處理混凝土遭退車時的措施。
- e. 處理客戶對產品品質之抱怨與索賠的問題。
- f. 公司內部之溝通協調。

## 4. 業務代表

除(3)節之內容外，其他課程如下：

- a. 規範之檢討研究。
- b. 試驗之方法與不當之試驗。
- c. 強度試驗報告及推廣應用、混凝土技術之研究、創新。

## 6-3 高性能混凝土材料需求

高性能混凝土發展係延續高強度混凝土，目前對高性能混凝土之各種材料規範、配合設計、拌合、運送、養治及生產控制、工程性質及其在結構設計之考慮，並未標準化。而高強度混凝土經美國水泥混凝土協會 (ACI) 之 363 委員會多年之研究結果，已有初步的成效可供參考，本節僅就材料之規定做一說明。

### 6-3-1 水泥

水泥應符合 CNS 61 之規定，由於水泥的化學成份及細度不同因而影響水泥混凝土的強度發展趨勢，故對其要求如下以保持均勻性：

1. 矽酸三鈣含量之變異應小於 4%。
2. 燒失量變異小於 0.5%。
3. 細度變異小於  $375\text{cm}^2/\text{g}$ 。
4. 硫酸鹽 ( $\text{SO}_3$ ) 含量應維持較佳的狀態，變異在  $\pm 2\%$  以內。

### 6-3-2 粒料

粒料應符合 CNS 1240 混凝土用粒料規範外，尚需注意下列事項：

1. 砂的細度應在 3.0 左右，以提供較佳的工作性及強度。
2. 細粒料應降低通過 No.50 及 No.100 號含量。
3. 細粒料不得含有雲母及黏土。
4. 組粒料之最大粒徑以 1/2 吋或 3/8 吋較佳。
5. 理想的粒料應潔淨、具稜角狀，且破碎面達 100%，扁平率儘可能減少。
6. 粗粒料具適當的吸水率。
7. 粗粒料的強度，其母岩之抗壓強度應在高性能混凝土抗壓強度以上。
8. 粒料之礦物成份對水泥水化的包裹力具良好作用。

### 6-3-3 卜作嵐材料

台灣地區常用的卜作嵐材料包括砂灰、飛灰、爐石粉，其對高性

能混凝土強度、耐久性、工作性之影響甚大。

1. 爐石粉：應合乎 CNS 12549 混凝土及水泥壩料水淬高爐渣粉規範。
2. 飛灰：應合乎 CNS 3036 卜特蘭水泥混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作嵐攪和物。

#### 6-3-4 化學摻料

高性能混凝土生產製造的二個重要因素—即為使用化學摻料。化學摻料之種類、廠牌、用量應考慮其相容性及適用性，使用時應進行成效評估、緩凝劑，正常凝結減水劑、高性能減水劑、速凝劑等，應合乎 CNS 12283 混凝土用化學攪拌及 CNS 12833 流動化混凝土用化學摻料之規範。

#### 6-3-5 水

高性能混凝土用水應合乎 CNS 3090 預拌混凝土中有關用水規範。

### 6-4 統計方法在高性能混凝土生產之應用

高性能混凝土之生產及品質隨組成材料來源不同具有區域性及本土性的特色。台灣地區由於砂石料源的不確定，以及化學摻料及礦物摻料的來源不穩定，即使具有良好的品質綱要，但各廠如何生產高性能混凝土在未全面瞭解、掌握料源以及員工的工作條件，在試拌階段必須依賴品質技術，而品質技術中以品質圈及品質七大手法最適用於高性能混凝土生產各階段的品質控制。

#### 6-4-1 品質圈

品質圈的活動是由拌合廠最基層的品質人員，對於高性能混凝土之生產，為確保生產正常化而組織的小組，圈內的工作人員為使高性能混凝土產製成功，使工作更具意義、更有活力，並且提昇自己的技術與能力的活動。圖 6-6 為其品質圈活動精神。

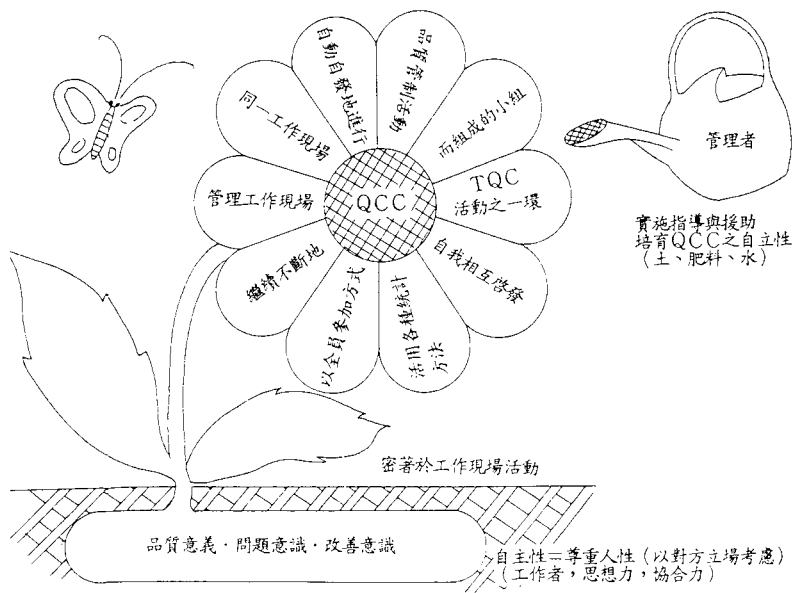


圖 6-6 品管圈活動之精神

#### 6-4-2 品管的七大手法

高性能混凝土的配合設計、進料管制、製程管制、成品管制、售後服務環環相扣，而目標不定一蹴可成的，而品管七大手法正可用於修正、診斷高性能混凝土生產過程各階段的問題，所謂七大手法指：

1. 柏拉圖：找出問題所在
2. 特性要用圖：分析原因
3. 直方圖：統計數據，以計量值表示
4. 查核表：為搜集數據及整理數據之表格
5. 管制圖：觀察各項品質特性隨時間變異情形
6. 散佈圖：探討成對數據之相關
7. 層別：將數據分門別類，比較差異

## 第七章 HPC 實際工程應用一

### 東帝士和建台 85 層大樓

高性能混凝土已在歐、美、日等工程先進國家使用多年，其高強度、高工作度、高早期強度與低潛變乾縮等優異的工程特性，可以說是混凝土之一大突破。國內則在世貿中心展覽大樓及凱悅大飯店採用了  $f_c=410\text{kg/cm}^2$  之高強度混凝土，並在遠企中心大樓採用了  $f_c=420\text{kg/cm}^2$  坍度 25cm 之高性能混凝土。在進行規劃東帝士～建台大樓時，即因高強度及高工作度之需求，而決定採用高性能混凝土做為鋼柱內之填充材料，以節省結構鋼之使用量，達到降低結構體建造成本之目的。

由於國內缺乏 HPC 之實際施工經驗，故由本計劃之執行單位「中華民國結構工程學會」之「高性能混凝土委員會」，協助施工單位東雲建設公司來整合規劃此項 HPC 工程應用。

T&C Tower 為本計劃工作委員會所選定之標的，其整合的目的除有計劃的管制品質以達成高性能結構物之目的外，並希望藉此工程，來實地進行施工品質探討，構件行為研究規劃等。

#### 7-1 國外 HPC 在建築物之應用範圍

##### (1) 現場澆鑄梁柱混凝土工程

如法國巴黎的 Grande Arche 新凱旋門(圖 7-1)其頂與底層的構件就是在建築物工地現場，將 HPC 以泵送的方式(圖 7-2)澆置而成。該混凝土的強度在 28 天時為 50 MPa 且因為需泵送的長度與高度，該混凝土需能保持固定的坍度超過 60 分鐘以上。採用 HPC 於該建築物，除能滿足上述要求之外，亦因其高早強的特性，可較早拆模加快工程進程，縮短工期。



目前在國外，高層建築的鋼柱中，很多都採用了在鋼柱內灌入 HPC 的做法，例如美國西雅圖 85 層的 Two Union Square 大樓，採用 131 MPa 的 HPC 灌入由 16mm 厚的鋼板所作成之鋼柱內。

國內已完成的遠企中心大樓也採用同樣的方法，應用了  $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$  厚度 25cm 的 HPC 於鋼柱中。這樣的做法，有部分的軸向負載，將實際的由混凝土來負擔，這是抵抗軸向壓力與增加側向勁度最經濟、安全的方法。此外由鋼柱的封閉環境提供了混凝土絕佳的養護條件，使得柱中混凝土的性能比任何形式的混凝土柱都優異。工程所需的人力，也可由於不需模版及鋼筋工程而減少許多。

### (2) 現場澆鑄其他大規模混凝土工程

由於 HPC 的高流動性，不需振動及其他優異特性，使得在下列各項大規模工程中，因運用 HPC 而得到相當高的經濟效益。如圖 7-3 的大規模基礎工程，運用分支管工法澆鑄 HPC 可加快其速率此外若再採用自動閘門的設計 (圖 7-4) 則可省去人力，達成營建自動化的目標。又如當模版內之鋼筋配置過密時，由於 HPC 不需振動及高流動性，亦能使得澆置過程順利 (圖 7-5)。

### (3) 預鑄構件

以 HPC 來製作各種預鑄構件，具有下列優點：

1. 由於 HPC 所具之高早期強度，當製造某特定強度的構件時，可減少工期。
2. 在一定的工期內，當構件須較高強度時，由於 HPC 的高早期強度，使構件中可納入較多的鋼筋，提高構件性能。
3. 由於 HPC 不需振動，可減少工廠內的噪音 (圖 7-6)，提升工作環境品質。

預鑄的構件包括：

- a. 預鑄外牆：HPC 製品除強度外，其成品表面品質亦佳 (圖 7-7)
- b. 預鑄樓版：若適當調整配比及材料，可減輕其重量 (圖 7-8)

- 2. 建築物配件：如樓梯、管件等，HPC 的高流動性及不需振動的特性，可使產品呈現多樣化，且品質優良(圖 7-9)
- 1. 預鑄桁架：由於傳統混凝土使用上的諸多限制，使得混凝土桁架的建設有困難。但由於 HPC 的發展，其高強度及不需振動的特性，使得 HPC 桁架的建造，實際可行。(圖 7-10)
- 2. 預鑄樑柱：HPC 的強度使得預鑄樑柱的截面可減小，相對的也減輕重量及價格。若再加入預力鋼腱則性能可大幅提高。1990 年時，法國國內生產的預鑄樑有 3/4 是以 HPC 製成。法國的國家圖書館工程(圖 2-2)亦是以 HPC 預鑄樑柱半預鑄法建造。

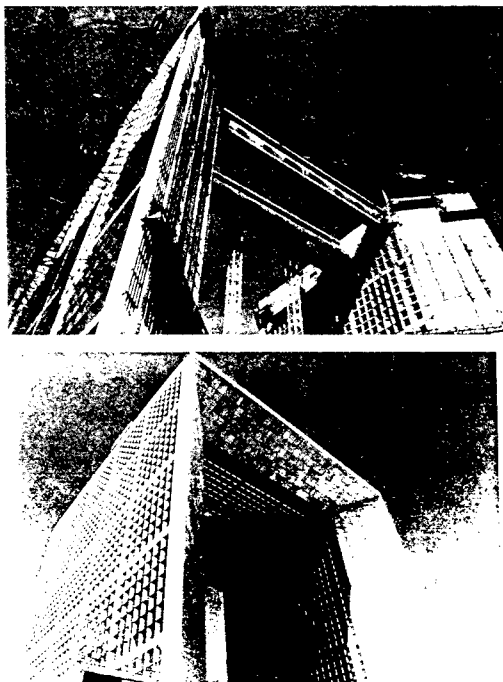


圖 7-1 (a)法國 Grande Arche 新凱旋門頂版施工圖  
(b)Grande Arche 完工圖 [7.13]

Figure 7

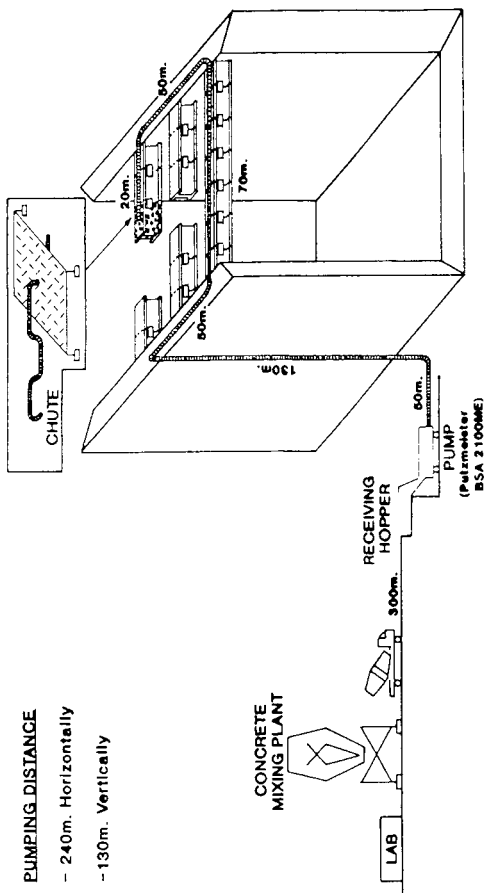


圖 7-2 法國 Grande Arche 頂版施工圖 [7.13]

圖 7-3 大規模基礎工程，採用分支管工法澆置 HPC[7.14]

圖 7-4 HPC 澆鑄，配合自動閘門，不須人力操作 [7.14]

圖 7-5 配筋過密，以 HPC 仍能順利澆鑄 [7.14]

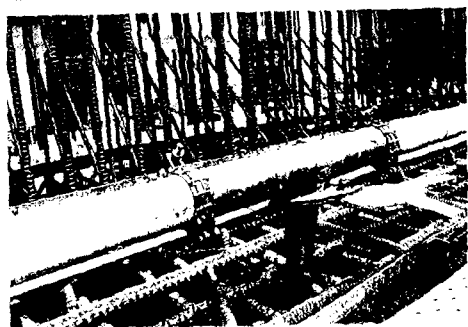
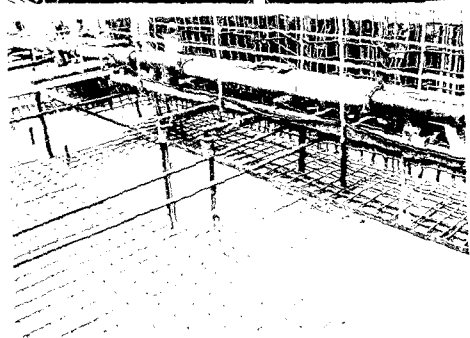
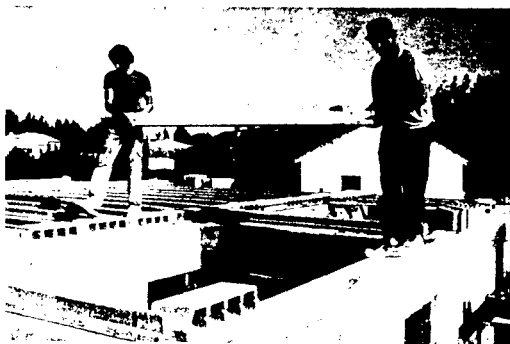
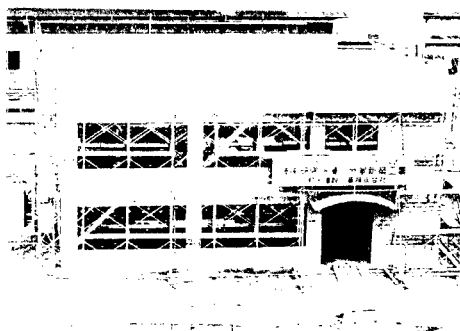
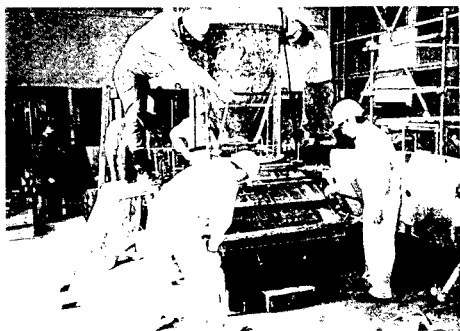


圖 7-6 預鑄構件廠房，因採用 HPC，提昇工作環境品質 [7.14]

圖 7-7 以 HPC 預鑄構件建成之房屋 [7.14]

圖 7-8 輕質 HPC 預鑄樓頂版 [7.13]



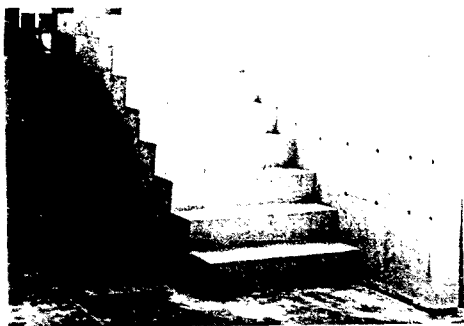


圖 7-9 HPC 預鑄樓梯 [7.14]

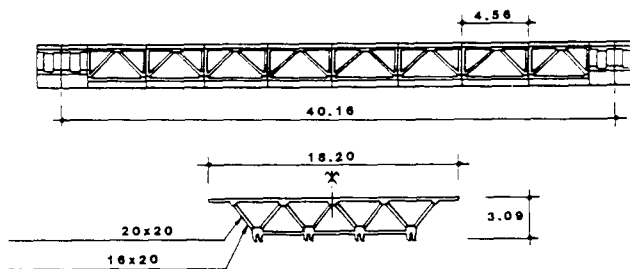


圖 7-10 HPC 預鑄桁架 [7.13]

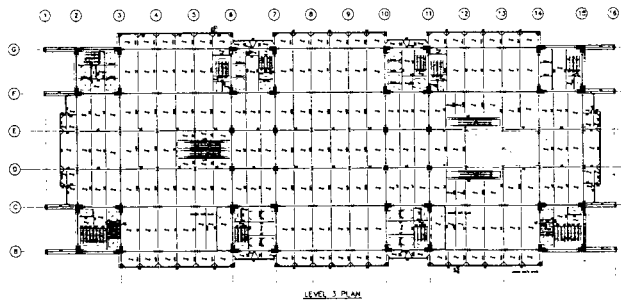
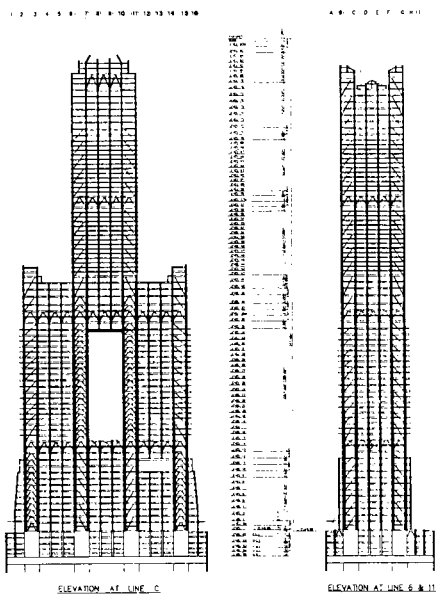
## 7-2 東帝士和建台大樓運用 HPC 之結構設計構想

### 7-2-1 結構系統簡介：

本大樓地面以上 85 層、地下 5 層，樓高 347.6 公尺，位於高雄市，為弱震區 ( $Z=0.6$ )，五十年回歸周期風速  $V_{10}=40.7\text{m/sec}$ ，為具有商場、辦公室、旅館等功能的多用途大樓。結構體採用偏心斜撐韌性鋼骨構架 (圖 7-11、圖 7-12)，位於斜撐周圍的柱子，因其所受軸力特別大，而採用箱型柱，又因柱尺寸與經濟性之考量，而決定在 60 層以下，所有箱型鋼柱內，灌鑄  $f_c=560\text{kg/cm}^2$  之高性能混凝土。

圖 7-11 TC TOWER 結構立面圖 [2.1]

圖 7-12 TC TOWER 結構平面圖 [2.1]



## 7-2-2 結構分析與經濟性之探討：

建築物的結構體剛度和構件強度，是決定構件設計之兩大因素。下面即針對這兩個因素，對不同柱材料，做了三個結構分析設計的比較，藉這些比較，可以清楚了解在本工程採用高性能混凝土做柱內灌漿的經濟性：

### (1) 基本周期與屋頂位移

	基本周期	屋頂位移
鋼柱內灌鑄 $f'_c=560\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土	5.08秒	0.95公尺， $h/365$
鋼柱內灌鑄 $f'_c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土	5.32秒	1.06公尺， $h/328$
鋼柱（柱內無混凝土）	5.85秒	1.30公尺， $h/268$

- 基本周期為建築物短向第一振態周期。
- 屋頂位移為建築物在50年回歸周期風( $V_{10}=40.7\text{m}/\text{sec}$ )作用下短向屋頂位移。

### (2) 在同樣作用力下之柱應力比較

	應力比
鋼柱內灌鑄 $f'_c=560\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土	1.00
鋼柱內灌鑄 $f'_c=210\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土	1.32
鋼柱（柱內無混凝土）	1.65

- 鋼柱斷面均為 **Box L1600 × 1600 × 50**，**A572 GR50**
- 軸力 14500t，彎矩 290t-m
- 依照 **AISC LRFD** 規範計算

### (3) 在同樣作用力下，柱設計之比較



	鋼柱尺寸	用鋼量比
鋼柱內灌鑄 $f'_c=560\text{kg/cm}^2$ 混凝土	Box L-1600×1600×50	1.00
鋼柱內灌鑄 $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ 混凝土	Box L-1600×1600×75	1.48
鋼柱 (柱內無混凝土)	Box L-1600×1600×85	1.66

- 鋼材均為 A572 GR50
- 軸力 14500t，彎矩 290t-m
- 依照 AISC LRFD 規範計算

由上面的比較可以得知採用 $f'_c=560\text{kg/cm}^2$ 之混凝土，在結構體之經濟性有明顯的效益。本大樓地面以上共需結構鋼 44,000 公噸及 $f'_c=560\text{kg/cm}^2$ 高性能混凝土 16,000 立方公尺，若取消柱內之混凝土則用鋼量約需增加 8000 公噸，平均每平方公尺樓地板面積約增加 30 公斤之用鋼量，其經濟性由此可見。

### 7-2-3 施工性之考量：

由於鋼柱中有很多各種加勁板與橫隔板(圖 7-13)，灌柱混凝土時又必須讓混凝土充滿每個角落，但是因鋼柱鋼板很厚，難以用震動機搗實。為了解決柱內灌漿的問題，本工程決定採用高性能混凝土，以由下往上的方式，將混凝土灌進鋼柱內部。

在這個工程中，所要求的高性能混凝土之主要規格如下：

- (1) 56 天強度  $560\text{kg/cm}^2$
- (2) 坍度 25 公分 ± 2 公分
- (3) 可添加減水劑、強塑劑、普蜀蘭材料以減少用水量或增加強度。
- (4) 在箱型柱橫隔板下方所量測得之氣泡表面積，不得大於橫隔板面積的 5%。

這個工程是國內首次採用 $f'_c=560\text{kg/cm}^2$ 的高性能混凝土，又因採用鋼柱內灌漿，難以在施工後由混凝土之外觀來初步觀察施工品質，

故對混凝土之品質管制及品質保證必須特別落實。

本工程中，對於高性能混凝土品質管制及品質保證特別做了下列的要求：

1. 承包商必須排定六個月時間進行試拌、足尺實樣試驗以及包括坍度損失、乾縮、彈性係數等的混凝土性質試驗。
2. 承包商必須做足尺實樣試驗，以測試混凝土之工作性及人員機具之配合情形。
3. 承包商必須事先提出針對各種可能發生之意外狀況，如機械故障、供料不順、品質不合格等之應變措施及修補計劃。

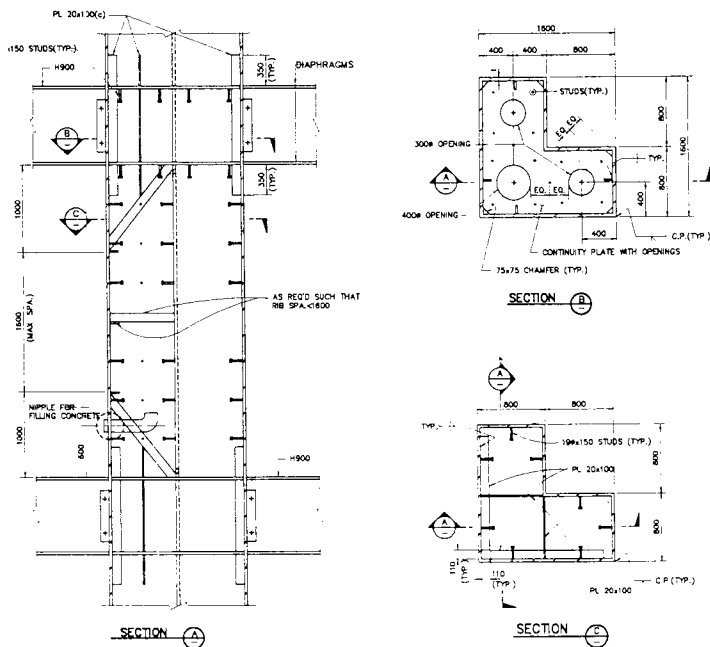


圖 7-13 灌漿鋼柱詳圖 [2.1]

## 7-3 超高層建築使用高性能混凝土的整合規劃

高雄的超高層建築即為高性能混凝土委員會研究計劃選定之標的，其整合之內涵如圖 7-14 所示，整合的目的在於有計劃的管制品質使之達到高性能之結構物，執行精神係以 PDCA，「計劃(Plan)－執行(Do)－檢核(Check)－修正(Action)」來進行，其執行細節如下。

### (1) 整體品管計劃的建立

高性能混凝土因為強調「端末混凝土性能符合設計預期之假設條件及理念」，所以必須在施工前六個月至十二個月間即建立全面「品質保證」的觀念，參與工作人員必須先完成「品保計劃書」，內容包括高性能混凝土所需之「材料品質調查、料源的充裕性調查、料源替代方案、品質穩定性、拌合設備、品管人員能力及訓練、拌和技術能力調查、泵送方法、養護技巧、品管監控技巧、不良品質處理方式」等。

### (2) 管制計劃的確定

透過討論協調方式建立學界與產界之共識觀念，並將可能之日程表確定下來，管制計劃主要內容包括各類工作完成的日程，查核並事先探討應列為檢討之項目，以為後續進度控制用。

### (3) 高性能混凝土配比的設計

國內產界容易認為只要依據以往的經驗即可「生產高性能混凝土」，然而實際上傳統混凝土(Normal Strength Concrete, NSC)在台灣地區的變異性相當大，如果工作人員沒有經過材料訓練素養及實際嘗試，無法合理生產高性能混凝土的產品，主要因素為 HPC 的製造與傳統 NSC 觀念稍為矛盾，即「為了高強度嘗試要水灰比愈低愈好，為了確保較低之乾縮潛變而期望用水量愈低愈好，可是為了流動性又需要用水量愈高愈好」，所以如何利用水泥材料、強塑劑、卜作嵐材料及最小孔隙理念來混合達成高性能混凝土，變得非常重

要；這些都必須事前規劃進行的，因此一般高強度混凝土需要6個月的規劃時間。

配比設計及測試包括配比的依據，試拌及品質的測試，大規模均勻性之測試。在此階段預拌混凝土廠宜就近策託學術研究單位建教合作，進行全盤性分析高性能混凝土的生產配比之工作，並且在完成試拌，六個月內進行多次均勻性試驗，包括砂石料含濕狀況、拌和料穩定性；拌和料流量分析、含氣量、坍度、溫度、坍度損失，強度發展之變異性，以建立預拌工廠之量化修正數據，圖 7-15 為依據 ACI318 建築規範之配比選定及檢測邏輯。

#### (4) 筒型及原型試驗

在進行實際現場施工前，施工者與設計監造者以小規模之筒型試驗以觀察實際施工作業中可能產生之疑難點以進行探討分析，內容包括泵送速率、流動阻力、溫度變化、裂縫產生機率，缺陷分析、氣泡分析、現場強度折減等問題，在此亦可分析出預拌混凝土之生產能力。當筒型試驗評估完成後，即可進行原型試驗，以進一步瞭解施工上的問題點，包括泵送能力，應變措施等，並據此建立進一步之檢核表 (check list)，作為現場施工之指南。本部份亦可與學術單位建教合作，共同討論訂定之。

#### (5) 工地實際施作

在施工作業上，當氣候季節性改變、料源、材料品質的更動都會造成混凝土性質的變異，適當的修正作業及量化修正資料在施工前都必須加以製定，此階段必須建立完整數據及資訊，並且在結構體鋼筋上按裝熱偶線、應力監測儀器，以便瞭解結構體上之各種澀生應力變化情形，及可能造成對圓鋼柱的束制情形，另外乾縮作用 (特別是自體乾縮) 及潛變可能造成的影響亦是探討的重點。

#### (6) 結構體性能評估

在結構完成後，有必要針對結構混凝土評估實際之性能，以作

為監控及國內的參考。

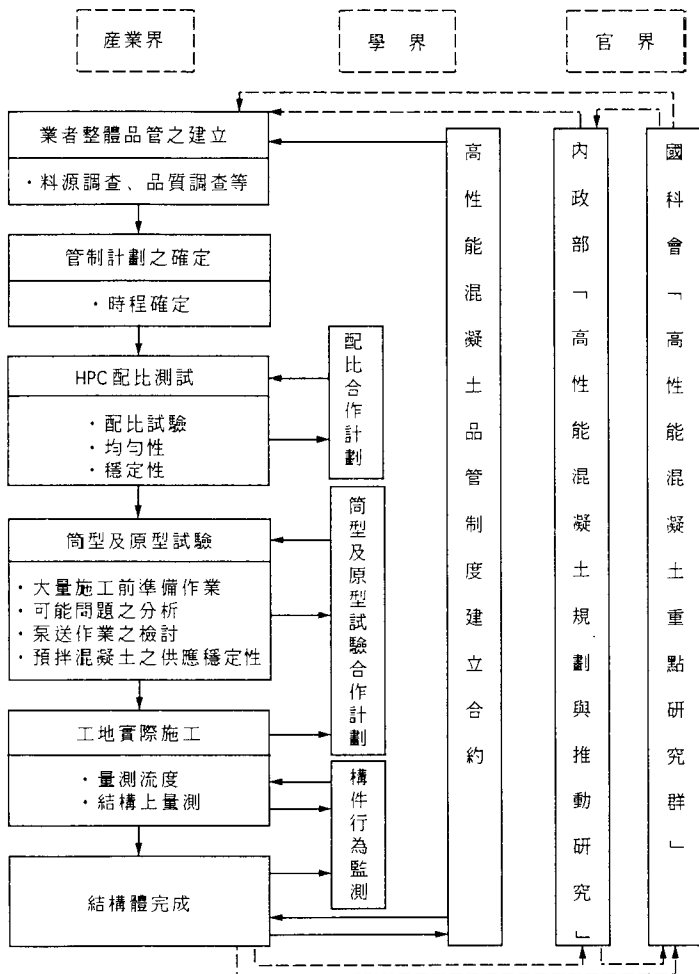


圖 7-14 超高層建築使用高性能混凝土整合規劃流程圖

混凝土生產設備具有特定混凝土強度或在特定強度100psi範圍內之記錄

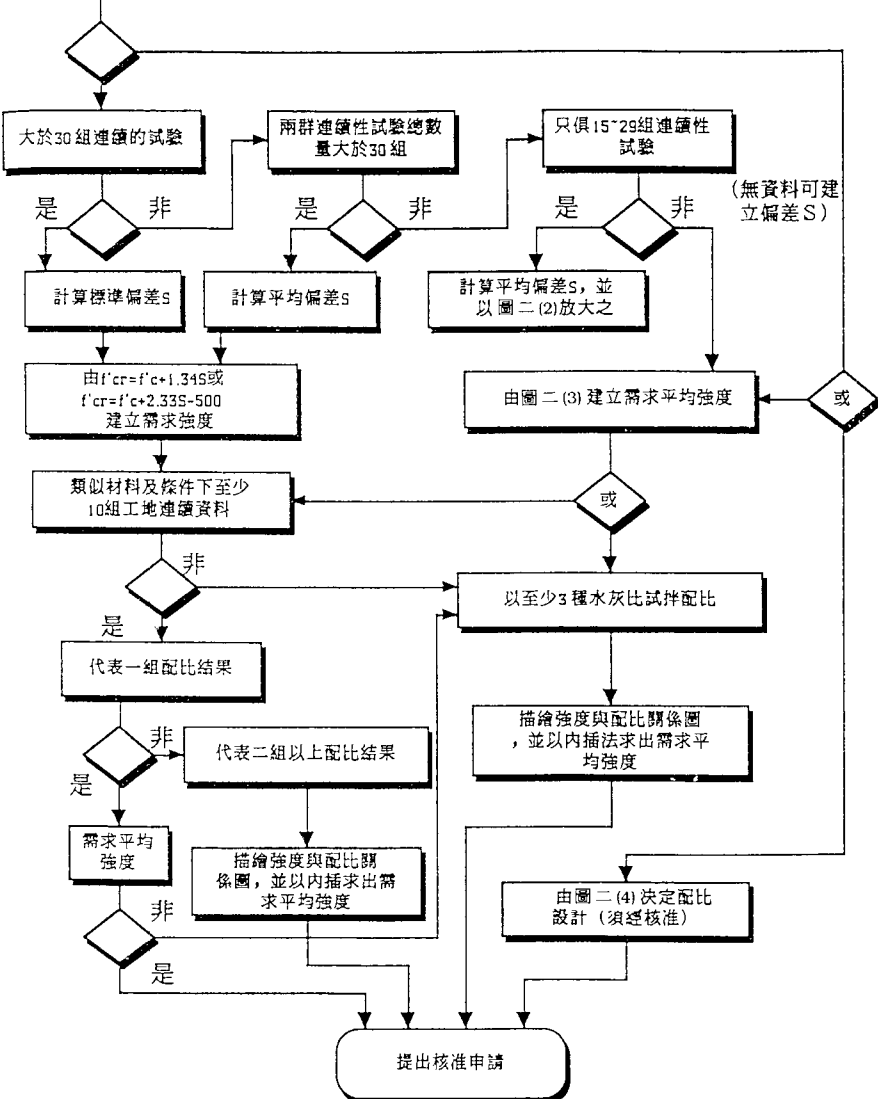


圖 7-15(1) 混凝土配比選定及資料建檔流程圖

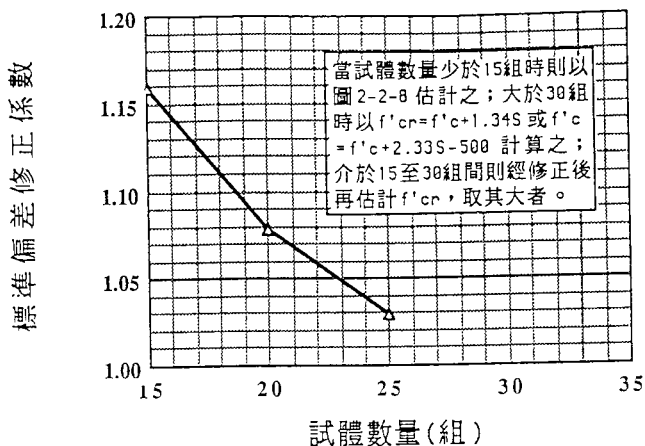


圖 7-15(2) 不同試體數下標準偏差值之修正係數 (試驗數介於 15 至 30 組間)

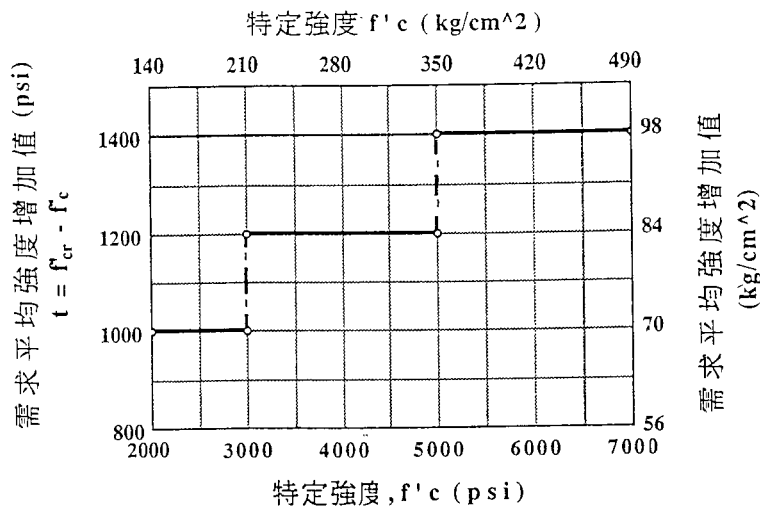


圖 7-15(3) 試體數不足以建立標準偏差時之需求平均抗壓強度增加值 (試驗體少於 15 組)

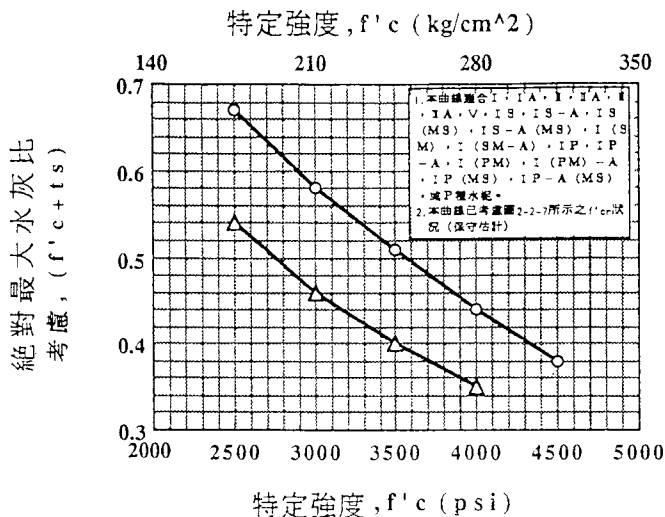


圖 7-15(4) 混凝土及無試拌配比資料可尋時之最大容許水灰比

## 7-4 東帝士和建台大樓 HPC 配比設計及執行成效

東帝士超高大樓之配比設計依據設計師之要求，應用最小孔隙法，俾能有效掌握漿量及控制混凝土性能，經現場試拌後評估品質合乎要求。

### 7-4-1 最小骨材間隙比的配比法

配比設計法很多，各有利弊，以符合當地材料與施工習性要求之本土化配比為上策。普通強度混凝土之配比法，國內業界多參考美國混凝土協會的建議方法；至於高性能混凝土的配比法，目前國外已有可觀研發成果，但國內仍有待探討，故本文提出「最小骨材間隙的 HPC 配比法」。根據上述，北中部河川粗骨抗壓強度達 800kgf/cm<sup>2</sup>，較



水泥漿體高；所以骨材若能按照最大單位重觀念，以最佳級配組合，構成混凝土的密實骨架，僅留下最小的間隙，由最昂貴的水泥漿填補，將刑成最經濟且強度高的混凝土；但基於工件度需要，水泥漿體積須較骨材間隙體積大，以包糊骨材並提供滑動性，如圖 7-16 所示。

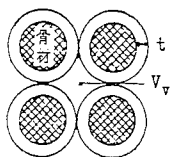


圖 7-16 水泥漿用量的示意圖 [6]

$$V_p = V_v = S \times t \quad (\text{式 1})$$

式中  $V_p$  : 水泥漿體積；  
 $V_v$  : 骨材間隙體積；  
 $S$  : 骨材表面積；  
 $t$  : 膠結料厚度。

上式蘊涵減少  $V_v$ ， $S$  或  $t$  均可減少水泥漿用量  $V_p$ ，得到經濟且強度高的混凝土；又減少  $S$  與  $t$  雖不影響強度，但卻影響工作度。因此在滿足高強度與高流動性要求下，膠結料將有一最佳厚度。 $V_v$  可以最大單位重試驗法或計算方法（本文所採用）求得，而  $S$  與  $T$  卻不易量測或算得，故方程式 1 可簡化為：

$$V_p = nV_v \quad (\text{式 2})$$

式中  $n$  : 比例數，約 1.2 ~ 2.0。

若以試拌法求得最佳  $n$  值，代入配比設計以計算材料用量，將可得到最經濟且滿足強度與工作度要求的高性能混凝土。本研究將上述邏輯演繹成高性能混凝土配比法，其設計流程請參考圖 7-17 及以下說明：

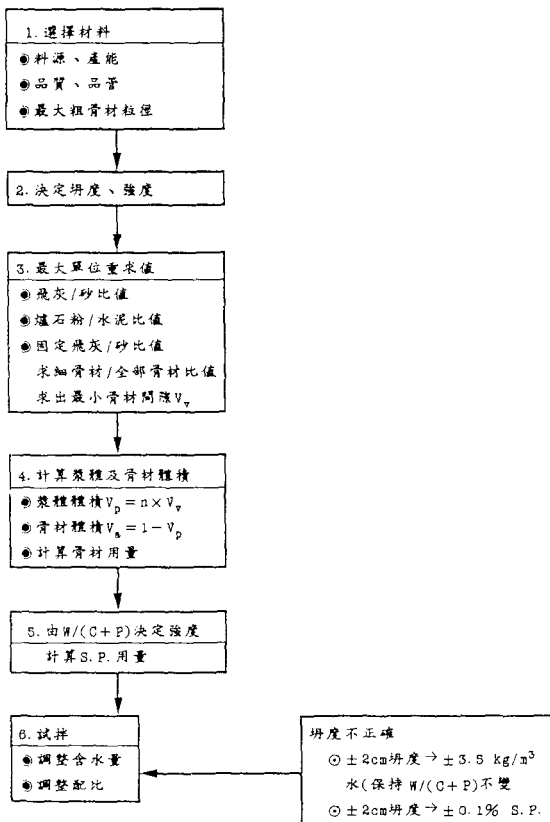


圖 7-17 高性能混凝土配比設計流程

步驟一：選擇材料

蒐集水泥、骨材、卜索蘭材料與摻料之物化性質資料，供配比計算參考，並指定最大粗骨材粒徑。

步驟二：決定強度與坍度

依據施工規範與施工條件要求，選定混凝土強度與坍度。當混凝土要求強度  $f'_c$  接近  $560\text{kgf/cm}^2$  時，且無工地經驗資料可循時，則配比需求強度  $f_{cr}$  可以方程式 3 求得：

$$f_{cr} = \frac{f_c' + 98}{0.9} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (\text{式 3})$$

### 步驟三：最大單位重求值

- (a) 進行細骨材單位重試驗，求出最大單位重時的飛灰取代砂重  $\alpha$ 。例如圖 7-18 顯示當飛灰取代 15~18% 時，獲單位重最大值。
- (b) 進行單位重試驗，求出最大單位重時的爐石粉取代泥重  $\xi$ ，一般約採 5%。
- (c) 固定飛灰與砂的動量比，進行試驗，求出骨材最大單位重時的細骨材與全部骨材之重量比  $B$ 。例如以 17.6% 的飛灰及 82.4% 之砂組合的細骨材，與粗骨材拌合後進行單位重試驗；圖 7-19 顯示當  $B = 50\%$  時，獲得最大單位重；蘊涵此情況下，骨材組構體的間隙最小。
- (d) 依下列方程式計算骨材組構體間隙體積  $V_v$

$$V_{agg} = \sum \frac{W_i}{\gamma_i} - \sum V_i \quad (\text{式 4})$$

式中  $V_{agg}$ ：骨材體積；

$W_i$ ：骨材各組成料（石、砂、飛灰）重量；

$\gamma_i$ ：骨材各組成料之比重；

$V_i$ ：骨材各組成料之體積。

若飛灰取代砂重為  $\alpha$ ，細骨材（砂與飛灰）與全部骨材的重量比為  $B$ ，則骨材各組成料之重量：

$$W_{cA} = (1 - B) W_{agg} \quad (\text{式 5})$$

$$W_{cs} = (1 - \alpha) B W_{agg} \quad (\text{式 6})$$

$$W_{fly} = \alpha B W_{agg} \quad (\text{式 7})$$

式中  $W_{agg}$ ：骨材重量；

$W_{cA}$ ：粗骨材重；

$W_{cs}$ ：砂重量；

$W_{fly}$  : 飛灰重量。

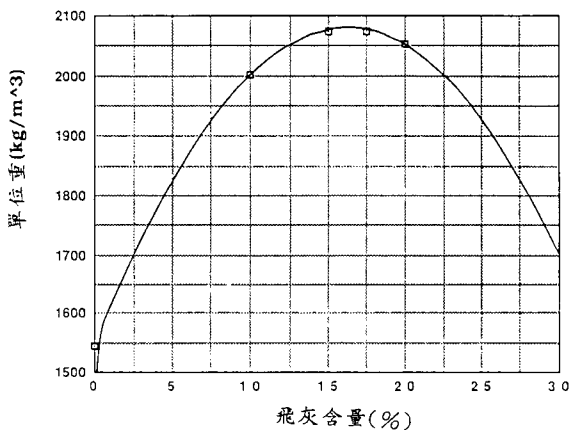


圖 7-18 飛灰取代砂單位重曲線

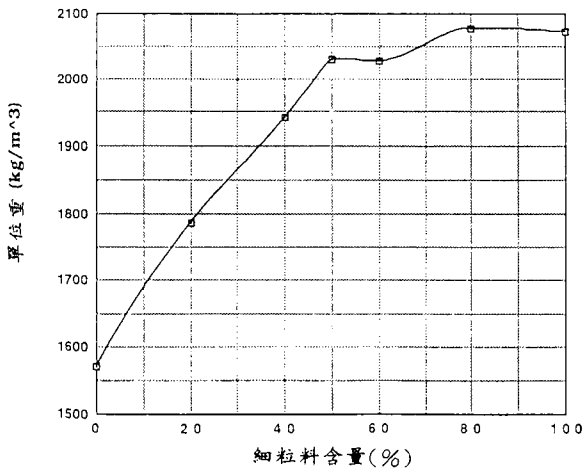


圖 7-19 砂、飛灰取代粗骨材之單位重曲線

方程式 4 改寫為

$$\gamma_{agg} = \frac{W_{agg}}{V_{agg}} \quad (\text{式 8})$$

$$\text{或 } V_{agg} = \left[ \frac{1-\beta}{\gamma_{cA}} + \frac{(1-\alpha)\beta}{\gamma_{cs}} + \frac{\alpha\beta}{\gamma_{fly}} \right] W_{agg} \quad (\text{式 9})$$

式中  $\gamma_{agg}$  : 骨材比重 ;  
 $\gamma_{cA}$  : 粗骨材比重 ;  
 $\gamma_{cs}$  : 砂比重 ;  
 $\gamma_{fly}$  : 飛灰比重。

若混凝土體積為 1，並將  $V_{agg}$  正規化，則骨材間隙體積如下式：

$$V_v = 1 - V_{agg} \quad (\text{式 10})$$

當骨材單位重最大時，即可求得骨材組構體間隙體積的最小值。

步驟四：計算漿體及骨材體積

水泥漿體積  $V_p$  可以方程式 2 求得：

$$V_p = nV_v \quad (\text{同式 2})$$

若有以爐石粉取代水泥以提高混凝土強度與改善工作度時，則  $V_p$  為：

$$V_p = \frac{W}{\gamma_w} + \frac{C}{\gamma_c} + \frac{W_{slag}}{\gamma_{slag}} \quad (\text{式 11})$$

式中  $W$  : 拌合水重量；

- $\gamma_w$  : 水比重，常溫下可取 1.0 ；
- $C$  : 水泥重量 ；
- $\gamma_c$  : 水泥比重 ；
- $W_{slag}$  : 爐石粉重量 ；
- $\gamma_{slag}$  : 爐石粉比重 。

當爐石粉取代水泥的重量比為  $\xi$  時，方程式 11 可改寫為

：

$$\begin{aligned}
 V_p &= \frac{(w/c)C}{\gamma_w} + \frac{C}{\gamma_c} + \frac{[\xi/(1-\xi)]C}{\gamma_{slag}} \\
 &= \left[ \frac{w/c}{\gamma_w} + \frac{1}{\gamma_c} + \frac{\xi}{(1-\xi)\gamma_{slag}} \right] C \quad (式 12)
 \end{aligned}$$

依步驟二算得之  $f_{cr}$  查圖 7-20 之曲線，決定水灰比之近似值，代入方程式 13～15，求得水泥漿的各組成料重為：

$$C = \frac{V_p}{\frac{w/c}{\gamma_w} + \frac{1}{\gamma_c} + \frac{\xi}{(1-\xi)\gamma_{slag}}} \quad (式 13)$$

$$W = (w/c) \times C \quad (式 14)$$

$$W_{slag} = \frac{\xi}{(1-\xi)} C \quad (式 15)$$

因上述步驟係用以計算 HPC 之材料用量，故所求出之每  $m^3$  混凝土的水泥用量須介於 392～557kg，用水量須介於 127～167kg，本配比設計法才可靠。當水、水泥與爐石粉重量求出後，骨材體積應再修正為：

$$\begin{aligned}(V_{agg})_m &= 1 - V_p \\ &= 1 - nV_v\end{aligned}\quad (式 16)$$

式中  $(V_{agg})_m$ ：骨材體積修正值

再將  $(V_{agg})_m$  代入方程式 8 及方程式 5~7，即可求得修正後之  $W_{cA}$ 、 $W_{cs}$  與  $W_{fly}$ 。

步驟五：由水與膠結料重量比估計混凝土強度

由步驟四之材料用量，計算用水量與膠結料（含水泥、爐石粉與飛灰）之比值為：

$$W/(C+P) = W/(C+W_{slag}+W_{fly}) \quad (式 17)$$

式中  $P$ ：卜索蘭材料重量。

若骨材最大粒徑為 9.5mm，有以卜索蘭材料取代水泥，並且每  $m^3$  混凝土中的膠結料用量不超過 590kg，則以  $W/(C+P)$ ，查圖 7-20 之曲線，可估計混凝土極限強度。

若 HPC 的指定坍度為  $25 \pm 2cm$ ，則其強塑劑用量可依方程式 14 算得之用水量查圖 7-21，獲得 S.P. 與水泥重量比值再求得；對 HPC 而言，此值約在 3% 以上。

步驟六：試拌

依配比設計結果，在工地或實驗室內試拌 HPC，量測坍度、單位重、產量和含氣量，同時觀察坍度損失、折離與粉光的特徵，並量測 3 天（或 7 天）及 28 天齡期試體之抗壓強度。若測得之坍度值較要求值低時，則增加用水量（但不改變  $W/(C+P)$ ），或增加 S.P. 用量（或 S.P. 分次投劑）以改善工作度。當混凝土強度未達設計要求，可降低  $W/(C+P)$  而增加水泥漿量而重新試拌；若新拌混凝土發生析離或粗粒現象時，

以不改變  $W/(C+P)$  而增加水泥漿量來改善。

#### 7-4-2 試拌結果

以下為東帝士高樓所用 HPC 的配比設計範例。

##### (1) 已知資料

使用細度 4200 Blaine 之品牌卜特蘭第一型水泥、蘭陽溪骨材（最大粗骨材粒徑為 3/8" 且骨材經水洗，其詳細資料請參考本文第三節）、台電興達廠飛灰、中鋼爐石粉與 Type G 強塑劑。設計規範要求 28 天抗壓強度  $fc' = 560\text{kg}/\text{cm}^2$ ，坍度  $25 \pm 2\text{cm}$ 。

##### (2) 配比計算

將上述材料的物性資料代入 § 5.1 節之配比步驟計算，求得 HPC 在  $n = 1.0, 1.2, 1.4$  與  $1.6$  時的各材料用量如圖 7-22 所示。其結果為  $W/(C + P) = 0.32$ ，爐石粉取代 5% 水泥量，飛灰取代 17.6% 細骨材；當  $n = 1.2$  時，每  $\text{m}^3$  混凝土的材料用量為 358kg 水泥，19kg 爐石粉，154kg 水，942kg 粗骨材，801kg 砂，141kg 飛灰與 11kg 強塑劑。圖 7-22 也顯示當  $n$  值增大時，水、水泥與爐石粉用量增加，而粗、細骨材及飛灰用量則減少。

##### (3) 拌合

依配比設計算得之材料用量，調配後，依照 ASTM 規範程序，拌合混凝土；並量測坍度與澆製  $10\text{cm } \phi \times 20\text{cm}$  之圓柱試體，俾量測新拌與硬固混凝土性質。

##### (4) 新拌混凝土

測試結果顯示，新拌 HPC 的坍度皆在  $25 \pm 2\text{cm}$  範圍內，且拌合 45 分鐘後坍度仍保持  $25 \pm 2\text{cm}$  範圍，如圖 7-23。  $n$  值愈大，水泥漿量愈多，混凝土流動性稍佳。

##### (5) 硬固混凝土

圖 7-24 顯示 3 天及 28 天齡基試體的抗壓強度，當  $n = 1.6$  時，試體 28 天抗壓強度為  $738\text{kgf}/\text{cm}^2$ ， $n = 1.2$  與  $1.4$  時，28 天抗壓強度均為  $643\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，滿足  $fc' = 560\text{kgf}/\text{cm}^2$  之要求。

##### (6) 討論

雖然採用  $n = 1.6$  可獲得較高的抗壓強度與稍佳的流動性，但也



導致水泥用量與乾縮量提高，並且增加成本。故若就強度、工作性與經濟性的平衡觀點，以 $n=1.2$ 進行配比設計，將可獲得預期要求之HPC。

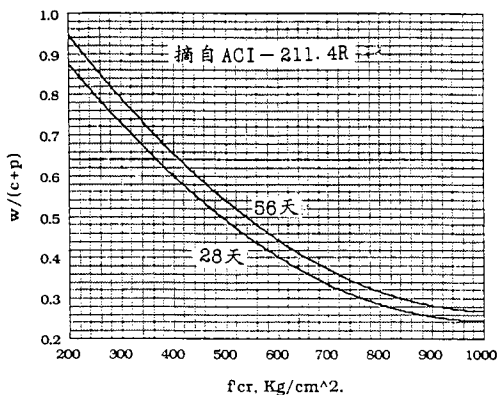


圖 7-20 混凝土強度與  $W/(C+P)$  之關係 [5]

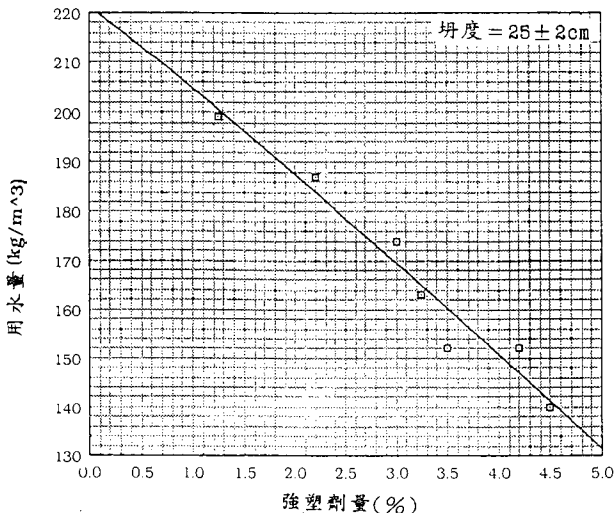


圖 7-21 HPC 強塑劑與用水量之關係

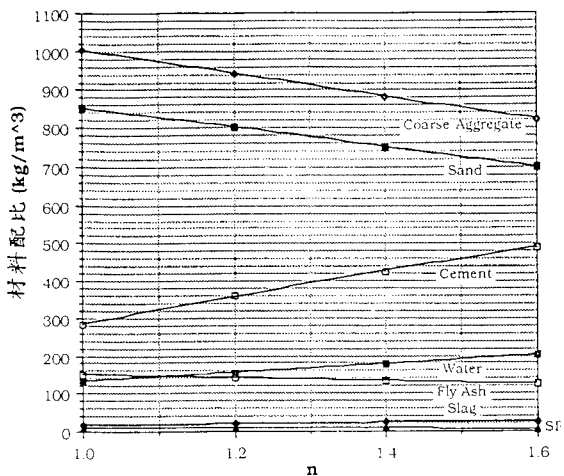


圖 7-22 漿量體積與材料配比

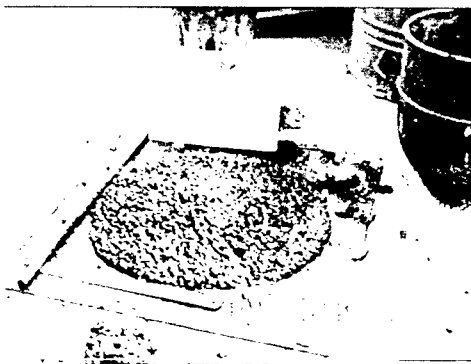


圖 7-23 新拌 HPC 之坍度量測情況

## 第八章 HPC 推廣過程與策略

### 8-1 推動過程

為達成結合產、官、學研共同進行推動 HPC 的工作，本計劃之執行單位中華民國結構工程學會，已配合內政部建築研究所籌備處，中國土木水利工程學會，與台灣大學土木所等辦理過一系列推動 HPC 的活動。

這些活動大致上是依循著下列策略方向進行的：

- (1) 以座談研討會的方式，整合國內產官學界相關單位、研究人員，以擬定推動方向。
- (2) 成立整合推動 HPC 的組織，並訂定 HPC 規劃與推動研究計劃。
- (3) 蒐集國外 HPC 研究文獻，及發展現況，以提供國內發展所需。
- (4) 舉辦研討會，傳播 HPC 知識。
- (5) 積極尋求將 HPC 實際應用於工程中的機會。

#### 8-1-1 整合座談

- (1) 於民國 81 年 11 月 7 日假南投縣溪頭舉辦成立高性能混凝土研究群座談會—計有國科會工程處、內政部建研所籌備處等產官學界代表三十餘位參加。
- (2) 於民國 82 年 2 月 23 日舉辦高性能混凝土研究群第二次討論會，計有產官學界近 20 位，包括建研所籌備處、國工局、高鐵籌備處、林同棧工程顧問等單位代表參加，並決定應儘速設定目標、擬定推動辦法、指導準則與建立推動組織。
- (3) 於民國 82 年 11 月 5 日和建研所籌備處共同舉辦「高性能混凝土規劃與推動座談會」。
- (4) 於民國 83 年 1 月 26 日與東雲建設公司於高雄工商專校合辦「高性能混凝土規劃與推動第二次座談會」並參觀 T&C Tower 工程。計有南

部地區學界及業者約四十人參與。除推廣 HPC 理念之外並對業者從事 HPC 之生產意願做深入的瞭解。

- (5) 於民國 83 年 4 月 3 日舉辦高性能混凝土推廣座談會，由黃副主任委員主持，共邀請台北區預拌混凝土公會與預拌廠代表近二十位參加。

#### 8-1-2 建立推動組織計劃

- (1) 於民國 82 年 3 月 16 日經中華民國結構工程學會第三屆第五次理監事會正式通過成立「高性能混凝土委員會」以推動高性能混凝土科技，提昇國內營建工程水準。並同時通過組織章程與由產官學界組成之委員會委員名單。
- (2) HPC 委員會受內政部建研所委託於 9 月起執行「高性能混凝土規劃與推動研究」，以藉此委員會之組織與人力規劃推動建築相關 HPC 研究。
- (3) 民國 83 年 6 月 17 日行政院主辦全國材料科技會議在交通與建設材料科技發展及產業策略規劃中將 HPC 列為重點研究項目。

#### 8-1-3 考察國外 HPC 發展現況

- (1) 組織「HPC 訪問考察團」於 82 年 9 月 3 日～16 日赴歐洲訪問，參觀考察奧地利、西班牙、法國、德國與荷蘭等國。
- (2) 本計劃主持人於民國 82 年 9 月 18 日訪問韓國混凝土學會 (KCI) 之高性能混凝土委員會，交換雙方推動 HPC 之經驗與看法。

#### 8-1-4 舉辦研討會

- (1) 於民國 81 年 4 月 29 日舉辦第一次高性能混凝土研討會－邀請加拿大 HPC 中心群科研網苗伯霖博士等蒞臨發表專題，計有各界人士 160 位參加。
- (2) 於民國 81 年 11 月 27 日舉辦第二次高性能混凝土研討會－邀請日本

HPC 研究最著名之東京大學講座教授岡村甫博士與加拿大 HPC 中心群科研網主任 Prof. Aitcin 蒞台研討，計有各界人士 130 位參加。

- (3) 於民國 82 年 12 月 8 日～9 日舉辦「第三次高性能混凝土研討會」邀請國際著名專家學者美國 ACBM 之 Prof. S. P. Shah 與法國 LCPC 之 Dr. de Larrard 蒞會發表 HPC 經驗。
- (4) 於民國 83 年 1 月 10 至 12 日舉辦「國際公共工程學術研討會-智慧型系統及高性能材料在橋梁及高架結構之應用」研討會，邀請 Prof. Okamura 與 Prof. French 等 HPC 專家來訪，計有 150 餘位各界人士參加。
- (5) 分別於 1. 民國 83 年 3 月 18 日於中央大學舉辦之飛灰及爐石混凝土應用研討會，2. 3 月 26 日於台北市台灣大學舉辦之中華民國結構工程學會年會大會，3. 4 月 9 日於台中市舉辦之高爐石應用與推廣研討會，4. 4 月 16 日於高雄市舉辦之高爐石之應用與推廣研討會，宣導與推廣高性能混凝土材料之發展與應用，共計有 800 餘位各界人士參加。
- (6) 將於民國 83 年 8 月於高雄舉辦「HPC 研發及推動成果」研討會。

#### 8-1-5 HPC 之工程應用

- (1) 於 82 年 8 月 14 日協辦並參加國工局召開之「高強度混凝土在橋梁應用座談會」為使用高性能混凝土於橋梁工程做出具體結論。
- (2) 於民國 82 年 8 月 25 日起與高雄東帝士 85 層高樓使用 8,000psi HPC 業主、施工單位、混凝土供應商達成合作協議，商定合作方式。
- (3) 於 82 年 9 月 1 日由中華民國結構工程學會與東雲建設公司簽定「高性能混凝土品質管制制度建立」計劃。協助業者建立 HPC 品質管制制度。
- (4) HPC 委員會於民國 82 年 11 月接受中華顧問委託進行高性能混凝土施工準則擬定。

- (5) 於民國 82 年 11 月 15 日，東雲建設公司與高雄工商專校簽訂「東帝士高雄超高層大樓新建工程－高性能混凝土配比改良及品管訓練計劃」。協助業者改良 HPC 配比。

## 8-2 HPC 推廣策略

經過本計劃的初步規劃推動之後，擬定了以下的續行推動策略：

### 8-2-1 HPC 研究發展方面

#### (1) 材料性質：

1. 朝 HPC 學理與材料地域特性兩方面發展。先建立配比、基本材料等資料庫構架，再由各地域研究人員共同研究並交換累積經驗。
2. HPC 材料性質的研究，除於實驗室中進行之外，並應經由實際運用 HPC 的工程中，研究出如溫度對 HPC 性質的影響、HPC 製造過程中之體積變化，初凝時間、強塑劑添加時間及劑量對其性質之影響、HPC 之乾縮潛變等，各項詳細的本土化 HPC 性質資料，提供日後大規模推廣所需。

#### (2) 構件行為與監測：

此部分將依下列原則進行

1. 注重實驗室與戶外實際構件相關性探討
2. 注重構件行為研究與設計規範協調性
3. 各項實際構件的監測工作，應朝向給業主及研究單位雙方都能獲益的方向進行，即兼顧應用與學術理論上的發展。

目前正積極進行高雄東帝士 85 層大樓使用鋼柱內灌 HPC 之監測規劃。計劃將監測 HPC 在實際工程中之性質變化，包括柱內 HPC 之乾縮、潛變、溫度變化、鋼柱間之差異變形及灌漿期間混凝土側壓的量測等。

#### (3) 結構設計與規範：

1. HPC施工規範草案現已定稿。今後將廣泛邀集各工程單位，預拌混凝土業，及學術界人士座談審查以使該規範能符合我國工程環境、習性，充分達到本土化的目標。
2. 政府工程主管單位，應授權或支持由HPC研究群所研訂之HPC設計準則與規範，並擇定幾項公共工程應用HPC，將此規範於工程中試行。試行期間，須規定試行單位，仔細研究出須修訂的部份。如此試行一段期間後，認為內容已達完善成熟後再正式頒佈施行。
3. 由於國內缺乏HPC實際施工經驗，故施工規範從研討至施行期間，均須謹慎。施工單位，更是必須遵循規範，不可沿襲過去使用傳統混凝土之輕率態度。

#### (4) 施工與品質：

1. 初步將經由對生產T&C Tower 8000 psi HPC的預拌業者的品管能力訓練，發展出生產HPC所需之一套完整的品管技術、設備與人員素質的制度。
2. 除了調查製造HPC所需之材料品質之外，協助廠商發展出一套材料品質控制的方法（包括選取、運送、儲存等程序），更是混凝土整體品管的保證。
3. 除水泥之外，HPC基本材料中相當重要的卜作嵐材料如飛灰、爐石等之品質要求，及生產過程之品質控制亦應納入相關推動與研究工作重點。因這些材料對國內的混凝土品質影響甚鉅。

#### 8-2-2 HPC推廣方面

在HPC推廣方面，下列的各要點將是日後持續推動HPC所所需努力的方向：

- (1) 應設法將HPC研究定為日後混凝土科技發展的大方向，因其對結構物品質與結構安全，及營建自動化的目標都有重大的貢獻。
- (2) 在目前國家科學委員會，內政部建築研究所籌備處等有限的研究經

費狀況下，HPC 研究應請業界多參與、贊助，以增加研究課題，擴展研究範圍。只有在基礎與應用研究二方面能併重的情況下，才能加速推廣成果。

- (3) 經由 HPC 的研究推動，可有計劃的整合國內混凝土材料界研究人力。使混凝土科技研究，不致造成課題重複，研究資源浪費的情形。
- (4) 為配合今後實際的量產 HPC，也為提高國內公共工程的安全性，本研究群正積極洽商其他相關單位，研擬出一套提升預拌混凝土品質方案。目前初步的規劃，擬逐步採用美國 (ACI)，日本經驗而定出一套具體而完整的認證制度，由本會或其它客觀的學術單位結合民間專家學者，來執行認證工作。請政府工程主管單位與優良民間業者優先採用合格之水泥或預拌混凝土，以促成水泥業及預拌混凝土業之整體水準提升。
- (5) 再廣邀各級工程單位 (如高鐵、公路局、住都局、建築業等)，來參與 HPC 工程應用計劃。特別是公共工程更應優先採用 HPC，以累積 HPC 施工經驗，促進 HPC 全面性普及，更進一步的達成提升混凝土品質的目的。
- (6) 採由點到面的方式來推廣。可先選定品質的材料及優良之預拌混凝土廠，來產製 HPC，建立「示範型生產廠」。並將所生產之 HPC 實際應用於特定工程中。在此整個生產至運用 HPC 的過程中，除 HPC 性質之外，其他如規範的探討，品質制度的建立，工程設計上的要點，甚至是整個從業人員的培訓等，都應做一番徹底的研究，以建構出全面性的完整制度。
- (7) 擬以中華民國結構工程學會為基礎，擬訂 HPC 區域推動策略。在北、中、南各地區，分別擇定適當的單位及負責人，依此推動策略，從事推廣 HPC 的工作。
- (8) 關於 HPC 知識的推廣方面，擬搜集整理目前本土化 HPC 研究成果，逐步彙整成 HPC 專輯，並積極對外發行。配合將在北、中、南各



地舉行之各項研討會、座談會、工程參觀，將可吸引更多的相關業者，參與HPC的研究發展工作，增進推廣效率。

### 8-3 未來五年 HPC 研發重點

經本計劃工作委員評估近一年來之初步推動成果，及國內相關環境之需求，為未來五年內HPC推廣應致力之研究項目，作出以下建議：

#### (1) 認證制度之建立方面

- 1.HPC 材料品質管理與認證
- 2.高性能鋼筋、鋼網品質管制與認證

#### (2) 材料與構件方面

- 1.砂石資源規劃與耐久性控制
- 2.HPC 配比準則與實用化技術發展
- 3.HPC 工作特性研析（泵送性、質流特性等）
- 4.HPC 構件耐久性、防火特性、及耐震性

#### (3) 規範方面

- 1.HPC 相關規範制訂（結構、混凝土材料、施工技術與說明書）
- 2.HPC 文獻資料庫與搜尋系統建立

#### (4) 施工與監測方面

- 1.HPC 拌合與輸送技術探討（設備、製程等）
- 2.HPC 使用模板特性及安全性之探討
- 3.HPC 澆置技術與品質保證系統建立
- 4.HPC 建築結構應用經濟性評估
- 5.HPC 結構劣化與維修技術
- 6.HPC 結構應用與監測

#### (5) 其他方面

1.HPC 工程技術改變效益評估

2.HPC 構件工業化探討 (預鑄與半預鑄工法與產品)

## 第八章 HPC 推廣過程與策略

### 8-1 推動過程

為達成結合產、官、學研共同進行推動 HPC 的工作，本計劃之執行單位中華民國結構工程學會，已配合內政部建築研究所籌備處，中國土木水利工程學會，與台灣大學土木所等辦理過一系列推動 HPC 的活動。

這些活動大致上是依循著下列策略方向進行的：

- (1) 以座談研討會的方式，整合國內產官學界相關單位、研究人員，以擬定推動方向。
- (2) 成立整合推動 HPC 的組織，並訂定 HPC 規劃與推動研究計劃。
- (3) 蒐集國外 HPC 研究文獻，及發展現況，以提供國內發展所需。
- (4) 舉辦研討會，傳播 HPC 知識。
- (5) 積極尋求將 HPC 實際應用於工程中的機會。

#### 8-1-1 整合座談

- (1) 於民國 81 年 11 月 7 日假南投縣溪頭舉辦成立高性能混凝土研究群座談會－計有國科會工程處、內政部建研所籌備處等產官學界代表三十餘位參加。
- (2) 於民國 82 年 2 月 23 日舉辦高性能混凝土研究群第二次討論會，計有產官學界近 20 位，包括建研所籌備處、國工局、高鐵籌備處、林同棧工程顧問等單位代表參加，並決定應儘速設定目標、擬定推動辦法、指導準則與建立推動組織。
- (3) 於民國 82 年 11 月 5 日和建研所籌備處共同舉辦「高性能混凝土規劃與推動座談會」。
- (4) 於民國 83 年 1 月 26 日與東雲建設公司於高雄工商專校合辦「高性能混凝土規劃與推動第二次座談會」並參觀 T&C Tower 工程。計有南

部地區學界及業者約四十人參與。除推廣 HPC 理念之外並對業者從事 HPC 之生產意願做深入的瞭解。

- (5) 於民國 83 年 4 月 3 日舉辦高性能混凝土推廣座談會，由黃副主任委員主持，共邀請台北區預拌混凝土公會與預拌廠代表近二十位參加。

#### 8-1-2 建立推動組織計劃

- (1) 於民國 82 年 3 月 16 日經中華民國結構工程學會第三屆第五次理監事會正式通過成立「高性能混凝土委員會」以推動高性能混凝土科技，提昇國內營建工程水準。並同時通過組織章程與由產官學界組成之委員會委員名單。
- (2) HPC 委員會受內政部建研所委託於 9 月起執行「高性能混凝土規劃與推動研究」，以藉此委員會之組織與人力規劃推動建築相關 HPC 研究。
- (3) 民國 83 年 6 月 17 日行政院主辦全國材料科技會議在交通與建設材料科技發展及產業策略規劃中將 HPC 列為重點研究項目。

#### 8-1-3 考察國外 HPC 發展現況

- (1) 組織「HPC 訪問考察團」於 82 年 9 月 3 日～16 日赴歐洲訪問，參觀考察奧地利、西班牙、法國、德國與荷蘭等國。
- (2) 本計劃主持人於民國 82 年 9 月 18 日訪問韓國混凝土學會 (KCI) 之高性能混凝土委員會，交換雙方推動 HPC 之經驗與看法。

#### 8-1-4 舉辦研討會

- (1) 於民國 81 年 4 月 29 日舉辦第一次高性能混凝土研討會－邀請加拿大 HPC 中心群科研網苗伯霖博士等蒞臨發表專題，計有各界人士 160 位參加。
- (2) 於民國 81 年 11 月 27 日舉辦第二次高性能混凝土研討會－邀請日本

HPC 研究最著名之東京大學講座教授岡村甫博士與加拿大 HPC 中心群科研網主任 Prof. Aitcin 蒞台研討，計有各界人士 130 位參加。

- (3) 於民國 82 年 12 月 8 日～9 日舉辦「第三次高性能混凝土研討會」邀請國際著名專家學者美國 ACBM 之 Prof. S. P. Shah 與法國 LCPC 之 Dr. de Larrard 蒞會發表 HPC 經驗。
- (4) 於民國 83 年 1 月 10 至 12 日舉辦「國際公共工程學術研討會-智慧型系統及高性能材料在橋梁及高架結構之應用」研討會，邀請 Prof. Okamura 與 Prof. French 等 HPC 專家來訪，計有 150 餘位各界人士參加。
- (5) 分別於 1. 民國 83 年 3 月 18 日於中央大學舉辦之飛灰及爐石混凝土應用研討會，2. 3 月 26 日於台北市台灣大學舉辦之中華民國結構工程學會年會大會，3. 4 月 9 日於台中市舉辦之高爐石應用與推廣研討會，4. 4 月 16 日於高雄市舉辦之高爐石之應用與推廣研討會，宣導與推廣高性能混凝土材料之發展與應用，共計有 800 餘位各界人士參加。
- (6) 將於民國 83 年 8 月於高雄舉辦「HPC 研發及推動成果」研討會。

#### 8-1-5 HPC 之工程應用

- (1) 於 82 年 8 月 14 日協辦並參加國工局召開之「高強度混凝土在橋梁應用座談會」為使用高性能混凝土於橋梁工程做出具體結論。
- (2) 於民國 82 年 8 月 25 日起與高雄東帝士 85 層高樓使用 8,000psi HPC 業主、施工單位、混凝土供應商達成合作協議，商定合作方式。
- (3) 於 82 年 9 月 1 日由中華民國結構工程學會與東雲建設公司簽定「高性能混凝土品質管制制度建立」計劃。協助業者建立 HPC 品質管制制度。
- (4) HPC 委員會於民國 82 年 11 月接受中華顧問委託進行高性能混凝土施工準則擬定。

- (5) 於民國 82 年 11 月 15 日，東雲建設公司與高雄工商專校簽訂「東帝士高雄超高層大樓新建工程—高性能混凝土配比改良及品管訓練計劃」。協助業者改良 HPC 配比。

## 8-2 HPC 推廣策略

經過本計劃的初步規劃推動之後，擬定了以下的續行推動策略：

### 8-2-1 HPC 研究發展方面

#### (1) 材料性質：

1. 朝 HPC 學理與材料地域特性兩方面發展。先建立配比、基本材料等資料庫構架，再由各地域研究人員共同研究並交換累積經驗。
2. HPC 材料性質的研究，除於實驗室中進行之外，並應經由實際運用 HPC 的工程中，研究出如溫度對 HPC 性質的影響、HPC 製造過程中之體積變化，初凝時間、強塑劑添加時間及劑量對其性質之影響、HPC 之乾縮潛變等，各項詳細的本土化 HPC 性質資料，提供日後大規模推廣所需。

#### (2) 構件行為與監測：

此部分將依下列原則進行

1. 注重實驗室與戶外實際構件相關性探討
2. 注重構件行為研究與設計規範協調性
3. 各項實際構件的監測工作，應朝向給業主及研究單位雙方都能獲益的方向進行，即兼顧應用與學術理論上的發展。

目前正積極進行高雄東帝士 85 層大樓使用鋼柱內灌 HPC 之監測規劃。計劃將監測 HPC 在實際工程中之性質變化，包括柱內 HPC 之乾縮、潛變、溫度變化、鋼柱間之差異變形及灌漿期間混凝土側壓的量測等。

#### (3) 結構設計與規範：

1. HPC施工規範草案現已定稿。今後將廣泛邀集各工程單位，預拌混凝土業，及學術界人士座談審查以使該規範能符合我國工程環境、習性，充分達到本土化的目標。
2. 政府工程主管單位，應授權或支持由HPC研究群所研訂之HPC設計準則與規範，並擇定幾項公共工程應用HPC，將此規範於工程中試行。試行期間，須規定試行單位，仔細研究出須修訂的部份。如此試行一段期間後，認為內容已達完善成熟後再正式頒佈施行。
3. 由於國內缺乏HPC實際施工經驗，故施工規範從研討至施行期間，均須謹慎。施工單位，更是必須遵循規範，不可沿襲過去使用傳統混凝土之輕率態度。

#### (4) 施工與品質：

1. 初步將經由對生產T&C Tower 8000 psi HPC的預拌業者的品管能力訓練，發展出生產HPC所需之一套完整的品管技術、設備與人員素質的制度。
2. 除了調查製造HPC所需之材料品質之外，協助廠商發展出一套材料品質控制的方法（包括選取、運送、儲存等程序），更是混凝土整體品管的保證。
3. 除水泥之外，HPC基本材料中相當重要的卜作嵐材料如飛灰、爐石等之品質要求，及生產過程之品質控制亦應納入相關推動與研究工作重點。因這些材料對國內的混凝土品質影響甚鉅。

#### 8-2-2 HPC推廣方面

在HPC推廣方面，下列的各要點將是日後持續推動HPC所所需努力的方向：

- (1) 應設法將HPC研究定為日後混凝土科技發展的大方向，因其對結構物品質與結構安全，及營建自動化的目標都有重大的貢獻。
- (2) 在目前國家科學委員會，內政部建築研究所籌備處等有限的研究經

費狀況下，HPC 研究應請業界多參與、贊助，以增加研究課題，擴展研究範圍。只有在基礎與應用研究二方面能併重的情況下，才能加速推廣成果。

- (3) 經由 HPC 的研究推動，可有計劃的整合國內混凝土材料界研究人力。使混凝土科技研究，不致造成課題重複，研究資源浪費的情形。
- (4) 為配合今後實際的量產 HPC，也為提高國內公共工程的安全性，本研究群正積極洽商其他相關單位，研擬出一套提升預拌混凝土品質方案。目前初步的規劃，擬逐步採用美國 (ACI)，日本經驗而定出一套具體而完整的認證制度，由本會或其它客觀的學術單位結合民間專家學者，來執行認證工作。請政府工程主管單位與優良民間業者優先採用合格之水泥或預拌混凝土，以促成水泥業及預拌混凝土業之整體水準提升。
- (5) 再廣邀各級工程單位 (如高鐵、公路局、住都局、建築業等)，來參與 HPC 工程應用計劃。特別是公共工程更應優先採用 HPC，以累積 HPC 施工經驗，促進 HPC 全面性普及，更進一步的達成提升混凝土品質的目的。
- (6) 採由點到面的方式來推廣。可先選定品質的材料及優良之預拌混凝土廠，來產製 HPC，建立「示範型生產廠」。並將所生產之 HPC 實際應用於特定工程中。在此整個生產至運用 HPC 的過程中，除 HPC 性質之外，其他如規範的探討，品質制度的建立，工程設計上的要點，甚至是整個從業人員的培訓等，都應做一番徹底的研究，以建構出全面性的完整制度。
- (7) 擬以中華民國結構工程學會為基礎，擬訂 HPC 區域推動策略。在北、中、南各地區，分別擇定適當的單位及負責人，依此推動策略，從事推廣 HPC 的工作。
- (8) 關於 HPC 知識的推廣方面，擬搜集整理目前本土化 HPC 研究成果，逐步彙整成 HPC 專輯，並積極對外發行。配合將在北、中、南各



地舉行之各項研討會、座談會、工程參觀，將可吸引更多的相關業者，參與HPC的研究發展工作，增進推廣效率。

### 8-3 未來五年 HPC 研發重點

經本計劃工作委員評估近一年來之初步推動成果，及國內相關環境之需求，為未來五年內HPC推廣應致力之研究項目，作出以下建議：

#### (1) 認證制度之建立方面

- 1.HPC 材料品質管理與認證
- 2.高性能鋼筋、鋼網品質管制與認證

#### (2) 材料與構件方面

- 1.砂石資源規劃與耐久性控制
- 2.HPC 配比準則與實用化技術發展
- 3.HPC 工作特性研析（泵送性、質流特性等）
- 4.HPC 構件耐久性、防火特性、及耐震性

#### (3) 規範方面

- 1.HPC 相關規範制訂（結構、混凝土材料、施工技術與說明書）
- 2.HPC 文獻資料庫與搜尋系統建立

#### (4) 施工與監測方面

- 1.HPC 拌合與輸送技術探討（設備、製程等）
- 2.HPC 使用模板特性及安全性之探討
- 3.HPC 澆置技術與品質保證系統建立
- 4.HPC 建築結構應用經濟性評估
- 5.HPC 結構劣化與維修技術
- 6.HPC 結構應用與監測

#### (5) 其他方面

1.HPC 工程技術改變效益評估

2.HPC 構件工業化探討 (預鑄與半預鑄工法與產品)

## 第九章 結論與建議

經過中華民國結構工程學會高性能混凝土委員會及產官學界專家學者之通力合作，目前除內政部建築研究所籌備處之外，並有國道新建工程局、中華顧問工程司、林同棧工程顧問公司、東雲建設公司、建台水泥公司、高雄信南水泥等眾多產官學界單位願意積極參與。計劃進行期間，並實際的運用HPC在高層建築物及公共工程兩方面。

在建築物方面，高雄的東帝士興建台 85 層超高層大樓將採用 560 kg/cm<sup>2</sup>的 HPC。目前 HPC 部分的試拌及其他相關工程正順利的進行中。在公共工程方面，國道興建工程局亦已選定南部第二高速公路之屏十七號橋，將採用 HPC 來施工。

本研究計劃配合這些實際進行的 HPC 工程，已為 HPC 的全面推展奠定重要的基礎。以下為初步推動後所歸納之結論與建議：

### (1) 結論部分

1. 在國外相關資訊的引進方面，除組團赴國外考察之外，為求能將國外最先進的 HPC 材料理念及應用情況介紹給國內業界，曾邀請此領域國際著名之學者專家包括日本東京大學土木系 Prof. Okamura 與加拿大國家 HPC 中心群科研網負責人 Prof. Aitcin 來台辦理第一次 HPC 研究會研討會 (81 年 11 月)，成效頗佳。去年 (82 年 12 月)，更邀請在於國際極負盛名之美國 NSF 先進水泥質材料研究中心主任 Prof. Shah 與法國負責推動國家 HPC 計劃之 Dr.de Larrard 來台和國內各界交換高性能混凝土材料之研究與應用經驗。由這幾次國際性 HPC 研討會，產官學界熱烈參與的情況，可預見 HPC 在國內全面普及的遠景。故應加強辦理此類活動。
2. 在 HPC 施工規範的研究方面，配合中華顧問工程司之委託計劃，HPC 施工規範草案已於 83 年 5 月完成。此規範草案是由高性能混凝土委員之施工規範研究組所研究制定。規範之研訂工作係採分

工合作的方式，由研訂小組各委員共同負擔，將各章分配由有關專家研擬草稿，並經全研究組討論後成暫定初稿。未來應再邀請國內有關產官學專家座談審查，以廣納各方意見，使所訂之規範充分與實際配合。並以充分達到本國化為目標，符合我國工程環境、習性之施工規範為原則。

3. 在 HPC 材料性質及配比方面的研究，特別著重於發展出高強度，且流動性高，在工程上實際可行之高性能混凝土。應延續目前各學校及各研究單位發展出之高性能混凝土之成果，並整合台北已完工之遠東企業中心及興建中之高雄東帝士與建台 85 層大樓之經驗，以成功的產製出本土化 HPC。
4. HPC 的品管制度研究工作，在本階段的努力之下，已經由東帝士大樓工程中成功的研製出品質穩定的 HPC。這一套實際的 HPC 品質控制方法，可做為未來更詳盡完善之品管制度的基礎。
5. 高雄東帝士超高層建築為學界選定的標的之一，亦為 HPC 研究推動的重要基礎。未來在產官學合作模式下，應加強本計劃之配合研究，以期能將實驗室配比，品管方法等成果應用至其他工程中。

## (2) 建議部份

1. 產官學各界應基於 HPC 對提升工程品質重要性的理念，攜手合作，除持續引進國外最新資訊外，每隔一段時間更應邀集國內參與 HPC 研究規劃的專家，發表最新的本土化研究成果。在如此的循環模式運作下，將可加速 HPC 的本土化全面普及。
2. 由於國內尚無足夠 HPC 施工規範可供參考，故本規範草案在試行期間，盼望國內工程界各顧問公司、營造業、水泥業、預拌混凝土業，及學術界人士均能以寶貴之實際工程經驗，審慎的評估並指出需改正之部份，以做為未來修訂之參考，終至制定出完善成熟之施工規範。

3. 東帝士超高大樓所採用之配比設計，應用屏東附近砂石、台電飛灰、中鋼爐石及其他本土化材料。事實證明這些本土材料能順利生產滿足設計師所要求之高性能混凝土。惟需特別注意的是 HPC 使用材料，必須嚴格遵照規範所要求的品質控制，其所採用骨材間之含水量對品質影響其敏感度甚高，更須特別注意。
4. HPC 之構件行為研究方面，目前已完成高雄東帝士超高大樓的監測規劃。惟構件行為之監測研究，需較長期且大量的資料分析。期盼產官學各界能體認構件行為研究與後續設計資料之不可分割關係，以長遠的眼來致力於構件行為研究工作。
5. 此外，配合 HPC 的研究推廣，除研究 HPC 的品管技術與品質保證方法外，同時也計劃全面提昇國內混凝土產品的整體水準。這工作極需政府工程主管單位及業界間的共識。惟有在政府相關單位嚴謹的制度及監督之下，才能促使業者真正產生提昇混凝土品質的動機與做法。
6. 希望土木界人士不分產官、學都能以 HPC 為共同目標並攜手合作將 HPC 材料使用於實際工程上，業界亦應撥出經費共同進行研發工作，則將來除可直接改善國內工程品質水準，並可間接提昇國人在國際工程界上的競爭能力，利益國家社會。

## 參考文獻

- 2-1. 陳振川 (編輯), 「第三次高性能混凝土研討會論文集」, 台北市, 民國八十二年十二月第 193~195 頁。(中華民國結構工程學會, 內政部建築研究所籌備處, 台灣大學土木所主辦)
- 2-2. 林維明, 「美國的高性能混凝土研究計劃概說」, 營建知訊, 第 119 期, 第 38~61 頁 (August, 1992)
- 2-3. 陳振川, 「高性能混凝土之定義與特性」, 結構工程, 第九卷第一期, 民國八十三年三月, 第 5-6 頁。
- 2-4. de Larrard, F., "A Survey of Recent Researches Performed in the French 'LPC' Network on High Performance Concrete" Proc. 3rd Int. Symp. on Utilization of High-Strength Concrete, Lillehammer, Norway, pp. 57-63, June 1993.
- 2-5. Held, Markus and Gert Konig, "First Utilization of High-Strength Concrete in Germany" Journal of Structural Engineering, International Association for Bridge and Structural Engineering, CH-8093 Zurich, Switzerland, pp. 170-172 (March 1992)
- 2-6. Carino, N. J. and J. R. Clifton., "Outline of a National Plan on High Performance Concrete: Report on the NIST/ACI Workshop May 16-18, 1990" Report No. NISTIR 4465, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, U.S.A. pp. 2-8, (December 1990)
- 2-7. MacGregor, J. G., "Canadian Network of Centers of Excellence on High-Performance Concrete" Concrete International, ACI, Vol. 15, No. 2, pp. 60-61, 1993.
- 2-8. "Concrecre, Number 11" Canada, March 1994.
- 2-9. Ikeda, S. "Utilization of High Strength Concrete in Japan" Proc. 3rd Int. Symp. on Utilization of High Strength Concrete, Lillehammer, Norway, pp. 37-44, June 1993.
- 2-10. Guirguis. S. Kett, D and RL Munn "High Performance Concrete" Constructional Review, August 1993.
- 2-11. Webb, J and J.J. Peyton, "Composite Concrete Filled Steel Tube Columns" Structural Engineering Conference, Institution of Engineers

Australia, Adelaide, 3-5 October 1990.

- 2-12. Martin, O and B, Schmidr, "High Strength/High Performance Concrete Consultants Viewpoint" High-Strength/High Performance Concrete Seminar, Cement and Concrete Association of Australia, Sydney, 13 February 1993.
- 2-13. "Cement Shinbun" Jappan, April 29, 1991.
- 2-14. Okamura, H., and K. Ozawa: "Self-Compactable Concrete for Bridge Construction," Proc. Int'l Workshop on Civil Infrastructural Systems, Taipei, Taiwan, pp. A25-40. 1994.
- 3-1. 陳振川, "高性能混凝土整合推動計畫與國外經驗", 結構工程, 第九卷第一期, 民國八十三年三月, 第7~23頁。
- 3-2. 方一匡, "第三屆國際高強度混凝土之應用研討會介紹", 營建知訊, 129集, pp18~26, June, 1993。
- 3-3. 苗伯霖, "高性能混凝土原理、優點與應用", 台大高性能混凝土研討會資料, 台北市, 1992。
- 3-4. 黃兆龍, 洪盟峯, "高性能混凝土", 營建知訊, 129集, pp5~17, June, 1993。
- 3-5. Aitcin, P.C and N. Adam, "High-Performance Concrete Demystified", ACI Journal: Concrete International Vol.15, No.1, 1993.
- 3-6. Holand, I. and E. Sellevold, "Utilization of High-Strength Concrete", Proceedings Vol.1, Symposium in Lillehammer, Norway, June 20-23, 1993.
- 3-7. Holand, I. and E. Sellevold, "Utilization of High-Strength Concrete", Proceedings Vol.2, Symposium in Lillehammer, Norway, June 20-23, 1993.
- 4-1. 黃兆龍, "混凝土性質與行為", 廣昌出版社, 台北(1984)。
- 4-2. 葉基棟, 彭耀南, 陳清泉, 黃兆龍等, "高強度混凝土設計及施工準則初步研究", 內政部建研所研究報告, 台北(1990)。
- 4-3. Weston, T. H. "High Strength Concrete: The Two Edged Sword", U.S.A.(1989).
- 4-4. 黃兆龍, "高強度混凝土之施工及品質管制", 高強度混凝土研

討會論文集，台北(1990)。

- 4-5. 苗伯霖，“高強度混凝土原理、優理與應用”，台大高強度混凝土研討會，(1992)。
- 4-6. Aitcin, P. C and N. Adam, “High-Performance Concrete Demystified”, ACI Journal: Concrete International Vol.15, No.1 (1993).
- 4-7. Jiafen, J. “High-Strength Concrete In China”, ACI Journal: Concrete International, Vol.15, No.1 (1993).
- 4-8. Aoyama, H. T. Murota, H. Hiraishi, S. Bessho “outline of the japanese national project on advanced reinforced concrete buildings with high-strength and high-quality materials”, 2nd International Symposium, Utilization of High-Strength Concrete, Berkeley, California, America (1990).
- 4-9. 林建宏，黃兆龍，凌烽生，“高強度飛灰混凝土工程性質與撓曲行為之研究”，碩士論文，國立台灣工業技術學院，台北(1989)。
- 7-1. 中華民國建築技術規則。
- 7-2. Uniform Building Code 1991.
- 7-3. AISC Manual of Steel Construction LRFD 1st edition.
- 7-4. 蔡益超、林宗賢，“建築物所受風力有關規範之研擬”，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 73-24 號。
- 7-5. 蔡益超、李慶豐，“東帝士高雄超高大樓地震設計反應譜之研擬”，CEER R77-09 Aug. (1988.)
- 7-6. Boggs, D.W. and J.A. Peterda, “Wind Tunnel Tests: T&C Tower, Kaohsiung, Taiwan” Final Report, Nov. 1991.
- 7-7. ACI Committee 363, “The State of the-art Report on High Strength Concrete,” ACI Journal, Proceedings, pp. 364-411 (1984).
- 7-8. 葉基棟，彭耀南，陳清泉，黃兆龍，高強度混凝土設計及施工準則初步研究，內政部建築研究所籌備處(1990)。
- 7-9. 黃兆龍，建築結構混凝土品質研究—台灣北部地區預拌混凝土品質分析，內政部營建署建築研究所籌備處專題研究計劃成果報告



(1987)。

- 7-10. Aitcin, P. C. and Adam Neville, "High Performance Concrete Demystified," Concrete International, Vol. 15, No. 1. pp. 21-26(1993).
- 7-11. de Larrard, F., A Survey of Recent Researches Performed in the French 'LPC' Network on High-Performance Concrete.
- 7-12. Held, Markus, and Gert Konig, "First Utilization of High-strength Concrete in Germany," Structures Worldwide, Structural Engineering International, pp. 170-172(1992).
- 7-13. Malier, Y., High Performance Concrete From material to Structure, E&FN SPON, London,PP.383-480.(1992)
- 7-14. 岡村甫，前川宏一，小澤一雅。ハイパフォーマソス コンクリート，技報堂出版，東京，pp.100～103。

## 附 錄

- I. 國內外歷次 HPC/HSC 研討會論文集目錄
- II. 新近 HPC 重要參考書籍
- III. 國內外相關力學性質及構件行為研究文獻索引

說明：此附錄之編輯是為使研究人員及業界人士能了解國內外最新的 HPC 研究資訊，並且能迅速的找到所需要的參考資料。

# I. 國內外歷次 HPC/HSC 研討會論文集目錄

1. 高性能混凝土研討會 (81.11.27)
2. 高性能混凝土研討會 (82.12.08)
3. 國際公共工程學術研討會 (83.1.10)
4. 飛灰與爐石混凝土應用研討會 (83.3.18)
5. First International Symposium on Utilization of High Strength Concrete
6. Second International Symposium on Utilization of High Strength Concrete
7. Third International Symposium on Utilization of High Strength Concrete

# 高性能混凝土研討會

Seminar on High-Performance Concrete

主辦單位：中華民國結構工程學會(CSSE)  
內政部建築研究所籌備處(BRI, ROC)  
國立台灣大學土木工程研究所(CE, NTU)

協辦單位：中國土木水利工程學會(CICHE)

贊助單位：行政院國家科學委員會(NSC)

中華民國八十二年十二月八日

台北市台灣大學

December 8, 1993

Taipei, Taiwan, Republic of China

# 高性能混凝土研討會

## 目 錄

1.French Bridges in High-Performance Concrete F. de Larrard.....	1
2.A Survey of Recent Researches Performed in The French 'LPC' Network on High- Performance Concrete F. de Larrard.....	13
3.A Method for Proportioning High-Strength Concrete Mixtures F. de Larrard.....	25
4.Optimization of High-Performance Concrete F. de Larrard.....	31
5.The Sand-Box F. de Larrard.....	45
6.Current Research at the NSF Science and Technology Center for Advanced Cement-Based Materials Prot. Shah.....	49
7.Betontechnologie der Zukunft Material Technology of Concrete in the Future Prot. Shah.....	63
8.New Advances Revive Interest In Cement-Based Materials Prot. Shah.....	71
9.Mechanical Behavior of Fiber-Reinforce Cement-Based Composites Prot. Shah.....	75
10.Fracture Behavior of Cement-Based Materials Prot. Shah.....	95
11.高性能混凝土整合推動計畫與國外經驗 陳振川 教授.....	101
12.高性能混凝土使用於橋梁工程設計探討 林正喬 工程司.....	121

13.東帝士～建台 85 層大樓運用高性能混凝土之結構設計構想 蔡東和 經理 .....	141
14.H P C 使用於高雄東帝士 85 層高樓整合規劃 黃兆龍 教授 .....	147
15.高強度混凝土短樑在反覆載重下之行為研究 方一匡 教授 .....	161
16.高性能混凝土施工規範探討 沈進發 教授 .....	193
17.高性能混凝土施工與品管能力探討－從預拌廠之品管制度談起 林志棟 教授 .....	203
18.高性能混凝土耐久性之探討 廖肇昌 博士 .....	233

---

# 高性能混凝土研討會

Seminar on High-Performance Concrete

---

主辦單位：台灣大學土木工程研究所  
中華民國結構工程學會  
中國土木水利工程學會

協辦單位：內政部建築研究所籌備處  
成功大學土木工程研究所

贊助單位：行政院國家科學委員會

中華民國八十一年十一月二十七日

台北市台灣大學

November 27, 1992

Taipei, Taiwan, Republic of China

# 高性能混凝土研討會

## 目 錄

1.利用高性能混凝土來達成施工合理化 岡村 甫，小沢一雅 .....	1
2.HOW TO MAKE HIGH-PERFORMANCE CONCRETE P.-C. Aitcin and B. Miao .....	9
3.FROM GIGAPASCALS TO NANOMETRES P.-C. Aitcin and B. Miao .....	25
4.THE HIGH PERFORMANCE CONCRETE WITH HIGH FILLING CAPACITY K. Ozawa, K. Maekawa and H. Okamura .....	53
5.HIGH PERFORMANCE CONCRETE BASED ON THE DURABILITY DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES K. Ozawa, K. Maekawa, M. Kunishima, H. Okamura .....	65
6.CEMENT AND SUPERPLASTICIZER COMPATIBILITY P.-C. Aitcin and B. Miao .....	71
7.HIGH-PERFORMANCE CONCRETE IN NORTH AMERICA AND EUROPE P.-C. Aitcin and B. Miao .....	91



---

# 國際公共工程學術研討會

智慧型系統及高性能材料在橋梁及高架結構之應用

International Workshop on Civil Infrastructural  
Systems-Application of Intelligent Systems and  
Advanced Materials on Bridge Systems

---

主辦單位：國立台灣大學土木工程學系所(CE, NTU)  
美國國家地震工程研究中心(NCEER)  
中華民國結構工程學會(CSSE)

協辦單位：行政院國家科學委員會(NSC)  
行政院教育部(MOE)  
行政院公共建設督導會報(PCSB)  
交通部國道新建工程局(TANEEB)  
中國土木水利工程學會(CICHE)  
國家地震工程研究中心(NCREE)  
國立台灣大學地震中心(CEER, NTU)

贊助單位：交通部國道高速公路局(TANFB)  
交通部高速鐵路工程籌備處(HSR)  
行政院營民工程處(RSEA)  
台灣省公路局(THB)  
中興工程顧問社(SECI)  
中華顧問工程司(CECI)  
林同棧工程顧問股份有限公司(T.Y.Lin)

中華民國八十三年元月十日

台北市台灣大學

January 10, 1994

Taipei, Taiwan, Republic of China

# 國際公共工程學術研討會

## 目 錄

### 專題演講

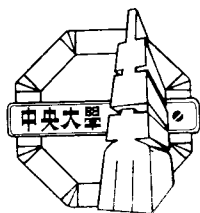
I. Bridge Monitoring Systems: - An Overview G.C. Lee and Z. Liang .....	A1
II. Self-Compactable Concrete for Bridge Construction Hajime Okamura and Kazumasa Ozawa .....	A25
1. Civil Infrastructure Systems Research Program In The USA S.C. Liu, K.P. Chong and M.P. Singh .....	1
2. Current Practice on Design of Bridges and Elevated Road Systems in the United States -- An Overview M. "Saïid" Saïidi .....	9
3. Bridge Planning, Design Philosophy and Expectations in the Taiwan Area National Ex- pressway Julia, C.H. Kuo and Chris, C.F. Lee .....	27
4. The Design of the Bridge near 18-Ancient-Tombat Tai-2 Route Ching Chyuan Tzeng and I-Lan Ou .....	45
5. Application of Span-by-Span Using Advance Shoring for Synthetic Box-Girder Bridge Wang, Ting Fu and Liu, Da Jung and Lee, I Sheng .....	59
6. Newly Developed Cable-Stressed Steel Bridges in U.S.A and Taiwan James C. Tai .....	75
7. Hybrid Protective Systems for Seismic-Excited Bridges J.N. Yang, Z. Li, J.C. Wu and K. Kawashima .....	85
8. Installation of Seismometers for Taipei-Tamshui Line Rapid Transit System Tang, J. P. ....	105
9. Applications of High-Performance Concrete to Prestressed Concrete Bridge Girders Catherine French, Alireza Mokhtarzadeh, Tess Ahlborn, Roberto Leon .....	115
10. Development of A Static and Dynamic Monitoring System for Bi-Tan Bridge Kuo-Chun Chang, Jenn-Chun Chern and Jaw-Chang Laiw .....	135

11. Intelligent Inspection System for Steel Bridge Painting Quality Luh-Maan Chang and Machine Hsic .....	151
12. A Knowledge-Based Design System for the Design of Freeway and Highway Bridges in Taiwan Chen-Cheng Chen, Ching-Churn Chern and Chen-Ji Chen .....	169
13. High-Performance Steels for Critical Civil Infrastructure Systems Le-Wu Lu, Robert J. Dexter, John W. Fisher .....	179
14. Smart Concretes for Civil Infrastructure Systems D.D.L. Chung, Pu-Woei Chen and George C. Lee .....	197
15. Basic Material Properties and Mixture Proportion of High Performance Concrete Chao-Lung Hwang .....	207
16. Nondestructive Testing of Concrete: History and Challenges Nicholas J. Carino .....	225
17. Recent Development of Light-Weight Aggregate Concrete in Taiwan Tsong Yen .....	275
18. Shear Strength and Ductility of High-performance Concrete Deep Beams Fang, I-Kuang .....	295
19. Challenge to Build the World's Tallest Building (SSH) Makoto Watabe .....	315
20. Response Control Strategy for Tall Buildings Using Interaction Between MEGA- and Sub-Structures Akira Mita and Maria Q. Feng .....	329
21. Control of Structures Using Active Tuned Mass Dampers Chihchen Chang and Henry T.Y. Yang .....	343
22. Application of High-Strength and High-Performance Steels in Bridge Structures Chitoshi Miki .....	361
23. Monitoring and Analysis of the Dynamic and Static Characteristics of Yuan-Shan Bridge System Yeong-Bin Yang and Lyan-Ywan Lu .....	377

中央大學土木工程叢書(十四)

# 飛灰及爐石混凝土應用研討會

## 專 輯



國立中央大學土木工程研究所 主辦

中國土木水利學會  
中華民國結構工程學會 協辦  
台灣電力公司電力綜合研究所  
中聯爐石處理資源化股份有限公司

中華民國八十三年三月十七日、十八日

# 飛灰及爐石混凝土應用研討會專輯

## 目 錄

1. 台電公司煤灰生產與供應 . . . . . 1  
高德發
2. T & C Tower 高性能混凝土配比與骨材堆積關係 . . . . . 13  
王和源 蔡聰誠 林豐益 黃兆龍
3. 顆粒堆積對高性能混凝土性質之影響 . . . . . 29  
蔡聰誠
4. 砂灰材料對混凝土防水效益之評估 . . . . . 45  
侯威銘 黃兆龍
5. 北中部河川粗骨材拌製高性能混凝土之初步研究 . . . . . 61  
蘇南 黃兆龍 林豐益
6. 飛灰混凝土施工與品質 . . . . . 91  
葉茂財
7. 高飛灰量混凝土性質 . . . . . 107  
賴正義
8. 飛灰混凝土應用問題釋疑 . . . . . 119  
劉昌民
9. 飛灰燒失量對輸氣劑成效之影響 . . . . . 129  
李 釗 徐宏杰
10. 礦物摻料對混凝土內氬離子滲透之影響 . . . . . 149  
廖學昌
11. 高強度混凝土力學性質之研究 . . . . . 167  
梁明德 張天祥
12. 提高飛灰混凝土早期強度策略之研究 . . . . . 189  
陳惠鋒 林志棟 黃偉慶
13. 水泥混凝土添加爐石提高早期強度策略之研究 . . . . . 221  
陳信州 林志棟
14. 預拌混凝土品質管制之探討 . . . . . 265  
陳式毅
15. 預拌混凝土製程品質管制 . . . . . 277  
陳繼禹 林志棟
16. 台灣地區飛灰預拌混凝土廠調查及其生產飛灰混凝土分析 . . . . . 285  
林志棟 陳式毅 陳繼禹 陳惠鋒
17. 飛灰卜特蘭高爐水泥混凝土技術開發及應用 . . . . . 313  
林平全
18. 爐石水泥混凝土應用及實例 . . . . . 323  
蔣昭章

# UTILIZATION OF HIGH STRENGTH CONCRETE

Proceedings

Symposium in Stavanger, Norway  
June 15 - 18, 1987

Edited by

*Ivar Holand*      *Steinar Helland*  
*Bernt Jakobsen*      *Rolf Lenschow*

# CONTENTS

## 1. MATERIALS

1.1	Canmet Investigations in the Development of High-strength, Lightweight Concrete <b>V. M. Malhotra</b> .....	15
1.2	High Strength Concrete – An Overview of Cornell Research <b>Arthur H. Nilson</b> .....	27
1.3	The Function of Condensed Silica Fume in High Strength Concrete <b>Erik J. Sellevold</b> .....	39
1.4	Experimental Studies of High-strength Superplasticized Concrete <b>Tadahiko Suzuki</b> .....	51
1.5	Microstructures of Ultra-high Strength Cement and the Application of By-products for Off-shore Concrete <b>H. Muguruma, I. Mino, M. Ashida, E. Sakai</b> .....	63
1.6	Optimizing Aggregate Properties for High Strength Concrete <b>Svein Willy Danielsen</b> .....	73
1.7	Utilization of Silica Fume in High Strength Concrete <b>V. Yogendran, B. W. Langan, M. A. Ward</b> .....	85
1.8	Microstructure of a Two-year Old Very High-strength (100 MPa) Field Concrete <b>Pierre-Claude Aitcin, Shondeep L. Sarkar, Micheline Regourd, Hugues Hornain</b> .....	99
1.9	High Strength Concrete for Highway Pavements and Bridge Decks <b>Odd E. Gjorv, Torger Bærland, Heinrich R. Rønning</b> ....	111
1.10	Mechanical Properties of High Strength Concretes Based on Different Binder Combinations <b>Vesa Penttala</b> .....	123
1.11	High Strength Concrete – A Major Research Programme <b>Ivar Holand</b> .....	135

## 2. MECHANICAL PROPERTIES

2.1	Mechanical Properties of High-strength Concrete and Application in Design	<b>E. Thorenfeldt, A. Tomaszewicz, J. J. Jensen</b> . . . . .	149
2.2	Experimental Behaviour in Bending of High Strength Concrete Beams	<b>L. Hung Hoang, Jaques L. Trinh</b> . . . . .	161
2.3	Experimental Studies of High Strength Concrete Frames	<b>Mohammad R. Ehsani</b> . . . . .	171
2.4	Bending and Shear Tests Up to Failure of Beams Made with High-strength Concrete	<b>Piero Marro</b> . . . . .	183
2.5	High Strength Concrete Exposed to Gas Explosions	<b>Thor Arne Håverstad, Jon Sandnes</b> . . . . .	195
2.6	Influence of Pulverised Fuel Ash and a Superplasticizer on Time-dependent Performance of Prestressed Concrete Beams	<b>J. J. Brooks, A. E. Gamble, W. A. AL-Khaja</b> . . . . .	205
2.7	Fracture Toughness of High-strength Concretes	<b>François de Larrard, Claude Boulay, Pierre Rossi</b> . . . . .	215
2.8	Shear Transfer in High-strength Concrete	<b>J. W. Frénay, A. F. Puijssers, H. W. Reinhardt, J. C. Walraven</b> . . . . .	225
2.9	Behaviour of High Strength Concrete Members	<b>S. M. Uzumeri, R. Basset</b> . . . . .	237
2.10	Evaluating Strength Test Results	<b>Weston T. Hester</b> . . . . .	249
2.11	High Strength Concrete – A Review	<b>Shuaib H. Ahmad, S. P. Shah</b> . . . . .	255



### 3. FATIGUE

3.1	Fatigue of High Strength Concrete <b>Rolf Lenschow</b> .....	271
3.2	Fatigue of High Strength Lightweight Aggregate Concrete <b>Knut Waagaard, Bernd Kepp, Hans Stemland</b> .....	291
3.3	Fatigue of High Strength Concrete Subjected to Biaxial Cyclic Compression <b>Erik L. Nelson, Ramon L. Carrasquillo, David W. Fowler</b> .	307
3.4	On the Low-cycle Fatigue Behaviours of Concrete and Concrete Members under Submerged Condition <b>Minehiro Nishiyama, Hiroshi Muguruma, Fumio Watanabe</b> .	319
3.5	Fatigue of Plain, High Strength Concrete Subjected to Flexural Tensile Stresses <b>H. Lambotte, L. Taerwe</b> .....	331

### 4. DESIGN AND CONSTRUCTION

4.1	Shear Design of Complex High Strength Concrete Structures <b>Michael P. Collins</b> .....	345
4.2	Potentiality of Utilizing High Strength Concrete in Structures <b>René Walther</b> .....	365
4.3	The Utilization of High Strength Concrete. A Survey of International Codes and Regulations <b>S. Leivestad, B. Vik, P. K. Ekeberg</b> .....	379
4.4	High Strength Concrete – Key to the Arctic and the Deep Sea <b>Ben C. Gerwick</b> .....	393
4.5	Concrete Quality in Norwegian Offshore Structures. 15 Years of Laboratory and In-situ Testing of High Strength Concrete <b>Jan Moksnes, Atle K. Haug, Matz Modéer, Torbjørn Berqvam</b> .....	405

4.6	Gullfaks B Cell Wall Slipforming – A Large Repair Job in High Strength Concrete <b>B. Sjetnan, K. Dybwad</b> .....	417
4.7	Best Use of High Strength Concrete Thanks to Suitable Experiment, Design and Fabrication <b>Pierre Richard, Gilbert Huard, Claude Valenchon</b> .....	433
4.8	Influence of Mixing Temperature on the Properties of High Strength Concrete <b>Mufid A. Samarai, Kaiss F. Sarsam, Mohammed Al-Khafagi</b> .....	443
4.9	Temperature and Strength Development in Concrete with W/C Less Than 0.40 <b>Steinar Helland</b> .....	473
4.10	Technological Aspects for High-strength-concrete in Thick Structural Members <b>R. Springenschmid, R. Breitenbücher</b> .....	487
4.11	Design and Placement of High Strength Lightweight and Normalweight Concrete for Glomar Beaufort Sea 1 <b>Robert W. LaFraugh</b> .....	497
4.12	Very High-strength Concrete: From the Laboratory to the Construction Site <b>François de Larrard, Paul Acker, Yves Malier</b> .....	509
4.13	Experience from the Use of High Strength Concrete on 3 Sites in Norway <b>S. Helland, T. Larsen</b> .....	517
4.14	High Strength Concrete Texture <b>Karol Komloš</b> .....	527
4.15	Ductility of Sections Designed in High Strength Concrete <b>Knut Hj. Nielsen</b> .....	535
4.16	Design and Construction Criteria for High Strength Concrete <b>Peter E. Ellen</b> .....	547

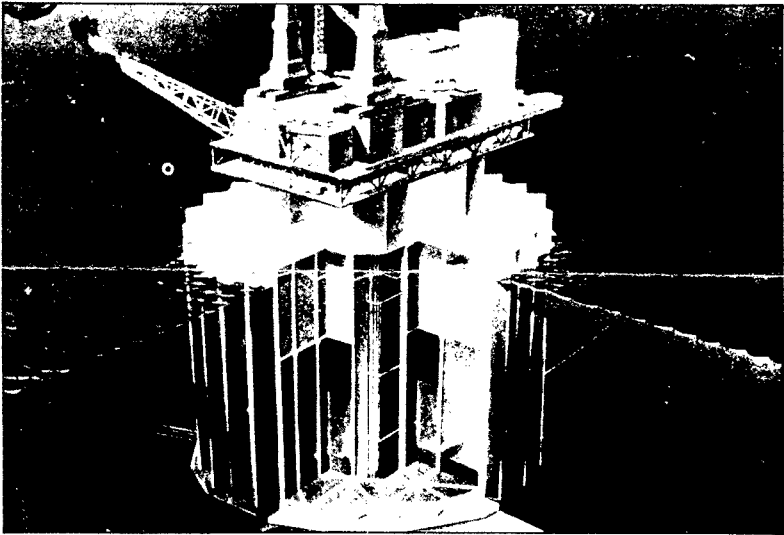
## 5. STRUCTURES

5.1	High-strength Concrete in North America <b>Henry G. Russell</b> .....	561
5.2	High Strength Concrete – Applications in Bridge Construction <b>Nils A. Giæver, Eldar Høysæter, Hans Thomas Øderud</b> ...	573
5.3	Recent Development and Potentials for High-strength Offshore Concrete Platforms <b>Bernt Jakobsen, Åge Eikenes, Tor Ole Olsen</b> .....	585
5.4	An Evaluation of the Economical and Technical Potential of High Strength Concrete in Long Span Concrete Bridge Construction <b>Stein Fergestad, Elljarn A. Jordet, Knut H. Nielsen, Trond Walstad</b> .....	597
5.5	Submerged Floating Tube Bridge <b>T. Kjøberg, H. T. Øderud, C. Hansvold, T. Einstabland</b> ...	609
5.6	High Strength Concrete Lining for Deep, Soft Rock Tunnels <b>Alf J. Lyngra</b> .....	617
5.7	High Strength Concrete for Adaptive Design of Articulated Concrete Tower for Deepwater <b>Oswald Klingmüller, Peter Wagner</b> .....	629
5.8	Scotia Plaza: High Strength Concrete for Tall Buildings <b>J. Ryell, J. A. Bickley</b> .....	641
5.9	Utilization of High Strength Concrete for Reinforced Concrete High-rise Buildings in Seismic Area <b>Fumio Watanabe, Hiroshi Muguruma, Teruo Matsutani, Daisuke Sada</b> .....	655
5.10	Improving the Flexural Ductility of Pretensioned High Strength Spun Concrete Piles by Lateral Confining of Concrete <b>Hiroshi Muguruma, Fumio Watanabe, Minehiro Nishiyama</b> .	667
5.11	High-strength LWA-concrete for Offshore Structures – Ready for Action – <b>Bernd Kepp, Bjørn Røland</b> .....	679

SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON

# UTILIZATION OF HIGH-STRENGTH CONCRETE

MAY 20-23, 1990 / BERKELEY, CALIFORNIA



Department of Civil Engineering and  
University Extension,  
University of California Berkeley  
American Concrete Institute  
Prestressed Concrete Institute  
Canada Centre for Mineral and  
Energy Technology (CANMET)

## PAPERS

OUTLINE OF THE JAPANESE NATIONAL PROJECT ON ADVANCED  
REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH HIGH-STRENGTH AND  
HIGH-QUALITY MATERIALS

H. Aoyama, T. Murota, H. Hiraishi, S. Bessho

FLEXURAL DUCTILITY, STRENGTH PREDICTION AND HYSTERETIC  
BEHAVIOR OF ULTRA-HIGH-STRENGTH CONCRETE MEMBERS

S.K. Ghosh, S.-W. Shin,, M. Kamara

FROST RESISTANCE OF HIGH STRENGTH CONCRETE

E.J. Sellevold, T. Hammer

HIGH STRENGTH LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE - CURRENT  
STATUS AND FUTURE NEEDS

G.C. Hoff

IN-SITU AND DESIGN STRENGTH FOR CONCRETE IN OFFSHORE PLATFORMS

A.K. Haug, B. Jakobsen

HIGH STRENGTH CONCRETE USED IN HIGHWAY PAVEMENTS

S. Helland

SELECTING MATERIALS AND PROPORTIONS FOR HIGH STRENGTH CONCRETES

P.K. Mehta, P.C. Aitcin

DUCTILITY IMPROVEMENT OF HIGH STRENGTH CONCRETE COLUMN WITH LATERAL  
CONFINING REINFORCEMENT

H. Muguruma

DEVELOPMENT OF HIGH STRENGTH CONCRETES FOR APPLICATION TO  
HIGH RISE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS IN JAPAN

F. Tomosawa, Y. Masuda, M. Abe, A. Shimizu, S. Nakane

EXPERIMENTAL STUDIES ON SEISMIC BEHAVIOR OF REINFORCED  
CONCRETE MEMBERS OF HIGH STRENGTH CONCRETE

H. Kimura, S. Sugano, T. Nagashima, A. Tamura, A. Ichikawa

SHORTENING OF HIGH-STRENGTH CONCRETE MEMBERS

H.G. Russell

IMPROVED SERVICEABILITY OF R.C. SLABS WITH THE USE OF HIGH  
STRENGTH CONCRETE - REDUCTION OF DEFORMATIONS AND CRACKING

R. Favre, J.P. Jaccoud and H. Charif

DEFORMATION PROPERTIES AND DUCTILITY OF HIGH STRENGTH CONCRETE

L. Bjerkeeli, A. Tomaszewicz, J.J. Jensen

SHEAR CAPACITY OF REINFORCED HIGH STRENGTH CONCRETE BEAMS  
E. Thorenfeldt, G. Drangsholt

THE STRENGTH OF OVERLAPPED SPLICES IN HIGH STRENGTH CONCRETE  
N.R. Olsen

BENT BARS IN HIGH STRENGTH CONCRETE  
K. Dahl

HIGH-STRENGTH CONCRETE FOR A NUCLEAR POWER PLANT  
F. de Larrard, G. Ithurrealde, P. Acker, D. Chauvel

REPAIR SYSTEMS FOR HIGH STRENGTH CONCRETE  
E.Gf. Chorinsky

CONSTRUCTION OF A HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE RESIDENCE  
USING HIGH STRENGTH CONCRETE  
A. Takahata, T. Iwashimizu U. Ishibashi

APPLICATION OF HIGH STRENGTH CONCRETE MADE WITH NEW HIGH  
PERFORMANCE AE PLASTICIZER IN ASEISMIC HIGH RISE APRATMENT  
COMPLEX CONSTRUCTION  
N. Murushima, K. Kuroha, K. Tomatsuri

MICROPOROSITY, CREEP, AND SHRINKAGE OF HIGH STRENGTH  
CONCRETES  
V. Penttala, T. Rautanen

CREEP AND SHRINKAGE OF HIGH-STRENGTH FIELD CONCRETES.  
F. de Larrard, M. Auperin, C. Courtel

HEAT OF HYDRATION OF HIGH STRENGTH CONCRETES  
S. Smeplass, M. Maage

LONG TERM STRENGTH OF HIGH STRENGTH SILICA FUME CONCRETE  
M. Maage, S. Smeplass, R. Johansen

THE USE OF SLAG IN HIGH PERFORMANCE CONCRETE  
H. Djellouli, P.-C. Aitcin, O. Chaalal

FLY ASH IN HIGH STRENGTH CONCRETE  
M.K. Gopalan, M.N. Haque

STRENGTH DEVELOPMENT CHARACTERISTICS OF HIGH-STRENGTH  
CONCRETE INCORPORATING SUPPLEMENTARY CEMENTING MATERIALS  
P. Read, G.C. Carette, V.M. Malhotra

HIGH-STRENGTH CONCRETE INCORPORATING SEVERAL ADMIXTURES  
D. Tachibana, M. Imai, N. Yamazaki, T. Kawai, Y. Inada

HIGH STRENGTH FLY ASH CONCRETE FOR PRESTRESSED PRODUCTS  
T.R. Naik, L.E. Sohns, B.W. Ramme

DEVELOPMENT OF HIGH STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE

M.-H. Zhang, O.E. Gjørv

HIGH STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE USING LOW DENSITY  
AGGREGATE

V. Novokshchenov, W. Whitcomb

FATIGUE OF OF HIGH STRENGTH CONCRETE

G. Petkovic, R. Lenschow, H. Stemland, S. Rosseland

CRACKING RESISTANCE OF HIGH STRENGTH CONCRETE

I. Farnalho de Almeida

NORMALWEIGHT AND TOTAL LIGHTWEIGHT HIGH STRENGTH CONCRETES:  
A COMPARATIVE EXPERIMENTAL STUDY

M. Berra, G. Ferrara

DEFLECTIONS AND CRACKING OF HIGH STRENGTH CONCRETE BEAMS  
AND SLABS

H. Lambotte, L.R. Taerwe

HIGH STRENGTH CONCRETE USED IN COMPOSITE COLUMNS

K. Cederwall, B. Engstrom, M. Grauers

MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH SEMI-LIGHTWEIGHT  
CONCRETE INCORPORATING FLY ASH AND SILICA FUME

V.M. Malhotra

# UTILIZATION OF HIGH STRENGTH CONCRETE

Proceedings

**VOLUME 1**

Symposium in Lillehammer, Norway  
June 20 - 23, 1993

Edited by

Ivar Holand

Erik Sellevold



# CONTENTS

## VOLUME 1

### 1. PLENARY SPEAKERS

Walrafen, J, The Netherlands High-Strength Concrete: A Material for the Future ?	17
Hoff,G., USA Utilization of High-Strength Concrete in North America	28
Ikeda,S., Japan Utilization of High-Strength Concrete in Japan	37
Collins,M.P., Canada Research on High-Strength Concrete in Canada	--
König,H. Bergner,H. Grimm,R. Simsch,G., Germany Utilization of High-Strength Concrete in Europe	45
Shah,S.P., USA Research on High-Performance Concrete at the Advanced Cement-Based Materials Center	--
De Larrard,F., France A Survey of Recent Researches Performed in the French "LPC" Network on High-Performance Concrete	57
Holand,I., Norway High-Strength Concrete in Norway. Utilization and Research	68

### 2. DESIGN

Al-Hussaini, A., Fegan,P.E., Xue,H-Y., Ramandane,K-E., United Kingdom The Behavior of HSC Columns under Axial Load	83
Azizinamini,A., Kuska,S.B., USA Flexural Capacity and Ductility of High-Strength Concrete Columns	91
Azizinamini, A., Russel, H.G.,USA Design Criteria for Tension Splices in High-Strength Concrete	99
Russel, H.G., Bruce R.N., Roller, J.J.,Martin,B.T,USA High-Strength Concrete for Highway Bridge Structures	107
Bruce, R.N., Tavera, E., USA Behavior of High-Strength Concrete Piling under Driving Conditions	115

Chen, Z., Wang, Z., Zhao, Q., China		
Use of High-Strength Concrete in Blast-Resistant Structures		120
Collins, M. P., Canada		
Shear Design of High-Strength Concrete Structures		128
Cusson, D., Paultre, P., Canada		
Experimental Study of High-Strength Concrete Columns Confined by Rectangular Ties		136
Do, M.-T., Schaller, I., De Larrard, F., Aitcin, P.-C., France		
Fatigue of Plain and Reinforced High-Performance Concrete		146
Fang, J.-K., Wang, C.S., Horn, K.-L., Yen, S.-T., Taiwan, China		
High-Strength Concrete Short Beams for Seismic Regions		155
Mokhtarzadeh, A., Ahlborn, T., French, C., Leon, R., USA		
Applications of High-Strength Concrete to Prestressed Industry		163
Gabrielsson, H., Sweden		
High-Performance Concrete Beams Tested in Shear Comparison between the Traditional Approach and the Modified Compression Field Theory		169
Gupta, A., Rangan, B.V., Australia		
High-Strength Concrete Structural Walls under Inplane Vertical and Horizontal Load		177
Hansen, E.A., Tomaszewicz, A., Norway		
Effect of Confinement on Ductility of Structural Members with High-Strength Concrete		184
Hallgren, M., Kinnunen, S., Sweden		
Punching Shear Tests on Circular High-Strength Concrete Slabs		192
Held, M., König, G., Simsch, G., Germany		
Ductility of Large High-Strength Concrete Columns in High Rise Buildings		200
Hellesland, J., Norway		
Applicability of Normal Grade Slenderness Limits to HSC and LWA Columns		209
Ithurralde, G.J.B., Olivier, J., France		
High-Performance Concretes for French Nuclear Reactor Containment Vessels		217
Jaccoud, J.-P., Charif, H., Farra, B., Switzerland		
Cracking Behaviour of HSC Structures and Practical Consequences for Design		225
Jakobsen, B., Gausel, E., Stemland, H., Tomaszewicz, A., Norway		
Large Scale Test on Cell Wall Joints of a Concrete Gravity Base Structure		233

Jensen, J.J., Høiseth, K.V., Hansen, E.Aa., Norway Ductility of High-Strength Concrete at High Rate Loading	241
Kim, J.-K., Park, Y.-D., Lee, S.-G., Korea Shear Strength of Reinforced High-Strength Concrete Beams	251
Kudzys, A., Kliukas, R., Vadluga, R., Lithuania Utilization of High-Strength Spun Concrete and Reinforcing Steel in Compressive Structures	259
Rommel, G., König, G., Germany The Tensile Behavior of High-Strength Concrete (HSC) and its Effect on the Shear Strength of Longitudinally Reinforced Concrete Members	269
Limsuwan, E., Thailand Strengths of High-Strength Concrete Columns	277
Limsuwan, E., Thailand Behavior of Post-Tensioned High-Strength Concrete Beams	285
Levi, F., Marro, O., Italy Shear Tests on HSC Prestressed Beams - Proposals of New Interpretative Models	293
Miyauchi, Y., Higashibata, Y., Nishimura, Y., Minami, K., Japan Design of Steel Reinforced Concrete Columns using High-Strength Concrete	306
Muguruma, H., Nishiyama, M., Watanabe, F., Japan Stress-Strain Curve Model for Concrete with a Wide-Range of Compressive Strength	314
Nishiyama, M., Fukushima, I., Watanabe, F., Muguruma, H., Japan Axial Loading Tests on High-Strength Concrete Prisms Confined by Ordinary and High-Strength Steel	322
Nykyri, P., Yli-Luukko, E., Finland Tensile Strength of Concrete in Hollow Core Slab	330
Samman, T., Racain, T., Mesawa, A., Saudi Arabia Torsion in High-Strength Plain Concrete Deep Beams	338
Sheikh, S.A., Canada Deformability of High-Strength Concrete Columns	346
Shin, S.-W., Ahn, J.-M., Lee, K.-S., Ghosh, S.K., USA The Investigation on the Behaviour of Beam Column Joints with High- and Low-Strength Concrete	354
de Sitter, W.R., Fijneman, H.J., The Netherlands The Fiber Pretensioned Concrete Bar; FPC-Bar	362

Sudo, E., Masuda, Y., Abe, M., Yasuda, M., Japan Mechanical Properties of Confined High-Strength Concrete	369
Kimura H., Sugano, S., Nagashima, T., Ichikawa, A. Japan Seismic Loading Tests of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Concrete and High-Strength Steel Bars	377
Taerwe, L.R., Belgium Partial Safety Factor for High-Strength Concrete under Compression	385
Tomaszewicz, A., Norway Punching Shear Capacity of Reinforced Concrete Slabs	393
Walter, E., Lichtenstein, Ammann, W., Switzerland Effects of High-Strength Concrete on the Pull-Out Behavior of Fastening Elements	402
Watanabe, F., Nishiyama, M, Muguruma, H, Japan Strength and Ductility of High-Strength Concrete Beams subjected to Combined Bending and Shear	412
Wollmann, G.P., Wernli, M., Switzerland Detailing for Post-Tension in High-Strength Concrete	420
Zachar, J., Naik, T., USA Analysis of the Flexural Interaction between High-Strength Concrete and High-Strength Reinforcement	428

### 3. CONSTRUCTION, CASE RECORDS

Rui-Wamba, J., Aguado, A., Oliveira, M.O.F., Bellod, J.L., Spain A Non-standard Structure on High-Strength Concrete	437
Ajdukiewicz, A., Kliszczewicz, A., Poland Application of High-Strength Concrete in Composite Skeletal Structures	449
Almeida, I.R.de, Cordeiro, T.J.R.B., Costa, J.P.M., Portugal Structural Rehabilitation using Shotcrete with Microsilica	457
Smith, J.L., Azimi, A.M., USA Utilization of High-Strength Concrete in North Carolina, USA	468
Aziznamini, A., Prakash, B.A., USA Application of High-Strength Concrete in High Rise Buildings	474
Rønneberg, H., Eeg, I.R., Norway Production of High-Strength Concrete - The Views of a Readymix Concrete Company	482

Haug, A., Fjeld, S., Norway A Floating Concrete Platform Hull made of Lightweight Aggregate Concrete	494
Hegger, J., Germany High-Strength Concrete for a 186 m High Office Building in Frankfurt, Germany	504
Kompen, R., Norway Low Water-Binder Ratio Concrete for Bridges: Experiences from Full Scale Construction	512
Laamanen, P-H., Norway High-Strength LWA Concrete for Bridge Construction - the New Sundbru Bridge in Eidsvoll, Norway	517
Sindre, H., Larsen, O.G., Norway The New Varodd Bridge, Norway. A large Concrete Bridge currently under Construction by the Balanced Cantilever Method	527
Malier, Y., de Larrard, F., France French Bridges in High-Performance Concrete	534
Melby, K., Jordet, E.A., Hansvold, C., Norway Long Span Bridges in Norway Constructed in High-Strength LWA-Concrete	545
Mirambell, E., Aguado, A., Spain, Calmon, J.K., Brasil Heat of Hydration in High-Strength Concrete, Case Study	554
Moussard, M. M., Montens, S.J., France Roize River Experimental Bridge	562
Papworth, F., Burnett, I., Australia High Performance Silica Fume Concrete Application	570
Potter, R.J., Guirguis, S., Australia High-Strength Concrete in Australia	581
Sandvik, M., Norway Utilization of High-Strength LWA-Concrete in Norway	590
Dugat J., Leguet J.L., Vinches, M., France The Amphitheatre of Ales School of Mines and experimental Building for High-Performance Concrete	599
Starr, P., Wainwright, D.A., United Kingdom Design and Construction of a Concrete Floating Berth	607

# UTILIZATION OF HIGH STRENGTH CONCRETE

Proceedings

**VOLUME 2**

Symposium in Lillehammer, Norway  
June 20 - 23, 1993

Edited by

Ivar Holand

Erik Sellevold

## VOLUME 2

### 4. MATERIALS

Abe, M., Masuda, Y., Shiomi, I., Matsumoto, M., Japan Experimental Study on Mix Design of High-Strength Concrete	631
Armelin, H., Lima, M.G., Selmo, M.S., Brazil High-Strength LWA Concrete - the first Brazilian Experience	639
Atlassi, E., Sweden Effect of Moisture Gradients on the Compressive Strength of High-Performance Concrete	646
Baalbaki, M., Baalbaki, W., Sarkar, S.L., Canada A Comparative Study of Mechanical Properties and Microstructure of High-Performance Concretes Containing Natural and Artificial Aggregates	654
Hansen, G.K., Rindal, D.B., Horrignoe, G., Norway Diffusion of Chlorides in High-Strength Concrete	671
Chew, M.Y.L., Singapore Utilization of High-Strength Concrete in Singapore	678
Ekerfors, K., Jonasson, J.-E., Emborg, M., Sweden Behaviour of Young High-Strength Concrete	691
Fang, I.-K., Jen, M.C., Liao, S.M., Taiwan, China Early Strength Development of High-Strength Concrete	698
Gjørv, O.E., Martinsen, J., Norway Effect of Elevated Curing Temperature on High-Strength Lightweight Concrete	706
Punkki, J., Gjørv, O.E., Norway Water Absorption by High-Strength Lightweight Aggregates	713
Gopalan, M.K., Australia Mix Design and Microstructure Effects on High-Strength Concrete	722
Hasni, L., Gallias, J.L., Salomon, M., France The Effect of the Mode of Curing on the Durability of High-Performance Concrete	732
Helland, S., Maage, M., Norway Strength Loss in Un-Remixed LWA-concrete	744
Jonasson, J.-E., Ronin, V., Sweden Energetically Modified Cement (EMC)	752

Joshi, R.C., Lohtia, R.P., Salam, M.A., Canada <b>High-Strength Concrete with High Volumes of Canadian Sub-Bituminous Coal Fly Ash</b>	760
Lajnef, M., Chaignon, J., Taïbi, H., Tougne, P., Hommel, H., Legrand, A.P., Bonnamy, S., Levitz, P., Van Damme, H., Wenger, F., Galland, J., France <b>Silica Fume Characterisation</b>	769
Larsen, T., McVey, M., USA <b>Concrete Strength and Durability</b>	777
Leivo, M.T., Penttala, V.E., Finland <b>High Early Strength Concrete</b>	785
Lessard, M., Gendreau, M, Gagné, R., Canada <b>Statistical Analysis of the Production of a 75-MPa Airentrained Concrete</b>	793
Johansen, K, Smeplass, S., Lindgård, Norway <b>Improving the Workability of High-Strength Concrete</b>	801
Lindgård, J., Sellevold E.J., Norway <b>Is High-Strength Concrete more Robust against Elevated Curing Temperatures ?</b>	810
Luther, M.D., Mikols, W.J., USA <b>Effect of Ground Granulated Blast-Furnace Slag Fineness on High-Strength Concrete Properties</b>	822
Marushima, N., Kuroha, K., Tomatsuri, K., Kubota, K., Koibuchi, K., Ishikawa, Y., Japan <b>Study on High-Strength Concrete with Blast Furnace Slag Cement Incorporating Very Fine Slag</b>	830
Maage, M., Helland, S., Carlsen, J.E., Norway <b>Chloride Penetration in High Performance Concrete Exposed to Marine Environment</b>	838
Masuda, Y., Abe, M., Matsumoto, M., Shimitzu, A., Japan <b>Strength Development of High-Strength Concrete in Structure</b>	847
Muguruma, H., Matsunaga, Y., Watanabe, Y., Sakai, E., Japan <b>Long Term Stability and Microstructure of Steamcured High-Strength Concrete with Ettringite based Additives</b>	855
Novokshchenov, V., USA <b>Factors Controlling the Compressive Strength of Silica Fume Concrete in the Range 100 to 150MPa</b>	863
Penttala, V.E., Finland <b>Effects of Delayed Dosage of Superplasticizer on High-Performance Concrete</b>	874



Persson, B.S.M., Sweden <b>Self-Desiccating High-Strength Concrete Slabs</b>	882
Petterson, K.H., Sweden <b>Corrosion of Steel in High-Performance Concrete</b>	890
Podmasova, S.A., Babev, Sh.T., Volkov, Y.S., Russia <b>New Low Water Demand Binders for High-Strength Concrete</b>	898
Ramezaniapour, A.A., Iran <b>Selection of Materials and Mix Proportions for High-Strength Concrete</b>	904
Rindal, D.B, Horrigmo, G., Norway <b>High Quality Roller Compacted Concrete Pavements</b>	913
Shiomi, I., Masuda, Y., Abe, M., Yasuda, M., Kodama, K., Japan <b>Influence of Various Factors on Drying Shrinkage of High-Strength Concrete</b>	921
Soutsos, M.N., Cyprus, Domone, P.L.J., United Kingdom <b>Workability of High-Strength Concrete Mixes as Defined by Tattersall's Two Point Test</b>	929
Soutsos, M.N., Cyprus, Domone, P.L.J., United Kingdom <b>Design of High-Strength Concrete Mixes with Normal Weight Aggregates</b>	937
Soutsos, M.N., Cyprus, Domone, P.L.J., United Kingdom <b>Strength Development of Low Water-Binder Ratio Mixes Incorporating Mineral Admixtures</b>	945
Sviridov, N.V., Russia <b>Ultra High-Strength Concrete without Silica Fume</b>	953
Swamy, N., United Kingdom, Nakamura, N., Sakai, M., Japan <b>High-Strength with Durability The Twin Offsprings of Fine Slag Cements</b>	962
Tachibana, D., Kishitani, K., Kimura, K., Shinozaki, A., Omori, Y., Japan <b>High-Strength Lightweight Concrete Using High Performance Artificial Lightweight Aggregate</b>	972
Tomosawa, F., Kawase, K., Masuda, Y., Watanabe, Y., Sakai, E., Japan <b>Properties of Cast-in-site High-Strength Concrete with Ettringite Based Additives Containing Fine Particles</b>	980
Yanagita, K., Wami, H., Japan <b>Evaluating the Flow Properties of High-Strength Concrete</b>	988

## 5. MECHANICAL PROPERTIES

Arioglu, E., Arioglu, B., Arioglu, U., Arioglu, E., Alper, H. Turkey Experimental Investigations on Mechanical Properties of Very High-Strength Concrete	999
Bloom, R., Bentur, A., Israel, Restrained Shrinkage of High-Strength Concrete	1007
Boulay, C., de Larrard, F., France Capping High-Performance Concrete Cylinders with the "Sand-Box"	1015
Brooks, J.J., United Kingdom The Influence of Steel Fibre Reinforcement on Compressive Strength and Deformation of Ultra High-Strength Cement-Silica Fume Mortar Matrix	1024
Brooks, J.J., Hynes, J.P., United Kingdom Flexural Creep and Shrinkage of Plain and Steel Fibre Reinforced Ultra High-Strength Compact Matrix Composite	1032
Dahl, P.A., Fluge, F., Hansen, E.Aa., Norway The Influence of Specimen Geometry and Loading Rate on the Compressive Strength of High-Strength Concrete	1038
Diederichs, U., Spitzner, J. Germany, Sandvik, M., Kepp, B., Gillen, M., Norway The Behavior of High-Strength Lightweight Aggregate Concrete at Elevated Temperatures	1046
Emborg, M., Westman, G., Bernander, S., Sweden Assessment of the Risk of Thermal Cracking in Hardening High-Strength Concrete	1054
Galeota, D., Giammatteo, M.M., Marino, R., Italy Fracture Properties of High-Strength Concrete	1062
Gettu, R., Aguado, A., Oliveira, M.O.F., Carol, I., Spain Damage in High-Strength Concrete due to Monotonic and Cyclic Compression	1070
Han, N., Walraven, J., The Netherlands Sustained Loading Effects in High-Strength Concrete	1076
Hammer, T.A., Norway The Maturation of Mechanical Properties of High- Strength Concrete Exposed to Different Moisture Conditions	1084
Hassanzadeh, M., Haghpassand, A., Sweden Brittleness of Normal and High-Strength Concrete	1092

Hoff, G.C., Ramakrishnan, V., USA <b>Flexural Fatigue Performance Characteristics of High-Strength Lightweight Concrete</b>	1100
Imam, M., Vandewalle, L., Mortelmans, F., Belgium <b>Indirect Tensile Strength of very High-Strength Concrete</b>	1114
Ipatti, A., Finland <b>Evaluating the Feasibility of Test Specimen Grinding using Factorial Experimental Technique</b>	1122
Jansen, D.C., Shah, S.P., USA <b>Stable Feedback Signals for Obtaining full Stress Strain Curves of High-Strength Concrete</b>	1130
Kumaat, E., Lorrain, M., France <b>Crack Resistance of Plain High-Strength Concrete Slabs under Bending</b>	1138
Markeset, G., Norway <b>Size Effect on Stress-Strain Relationship of Concrete in Compression</b>	1146
Marzouk, H., Chen, Z., Canada <b>Tension Softening Behaviour of High-Strength Concrete Made with Silica Fume and Fly Ash</b>	1154
Nilsen, A.U., Gjrv, O.E., Norway <b>Elastic Properties of High-Strength Concrete</b>	1162
Noghabai, K., Ohlsson, U., Olofsson, T., Sweden <b>Bond Properties of High-Strength Concrete</b>	1169
Vanhala, J.K., Nykyri, P.O., Finland <b>Development of the Mechanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete with the Aid of a Strength Model</b>	1177
Persson, B.S.M., Sweden <b>Early Basic Creep of High-Strength Concrete</b>	1185
Daerga, P.A., Pettersson, M., Pntinen, D., Sweden <b>Fracture Properties in Tension of a High-Performance Concrete</b>	1193
Pons, G., Sicard V., France <b>About Creep and Shrinkage of Young High-Strength Concrete</b>	1201
Samman, T.A., Wafa, F.F., Radain, T.A., Saudi Arabia <b>Mechanical Properties of High-Strength Concrete</b>	1209
Lloyd, N.A., Rangan, B.V., Australia <b>High-Strength Concrete Columns under Axial Load and Uniaxial Bending</b>	1217

<b>Smeplass, S., Barkenæs, J.E., Hansen, E.Aa., Norway</b> <b>Effect of the Aggregate Type on Strength and Fracture</b> <b>of High-Strength Concrete</b>	<b>1225</b>
<b>Taerwe, L.R., Belgium</b> <b>Bond Fracture and Crack Propagation in High-Strength Concrete</b>	<b>1239</b>
<b>Tomosawa, F., Noguchi, T., Japan</b> <b>Relationship between Compressive Strength and Modulus of</b> <b>Elasticity of High-Strength Concrete</b>	<b>1247</b>
<b>Tomosawa, F., Noguchi, T., Onoyama, K., Masuda, Y., Abe, M., Japan</b> <b>Test Method for Compressive Strength of High-Strength</b> <b>Concrete</b>	<b>1255</b>
<b>Yue, L., Taerwe, L.R., Belgium</b> <b>Empirical Investigation of Creep and Shrinkage of</b> <b>High-Strength Concrete</b>	<b>1263</b>
<b>Zhang, M.-H., Canada, Rønning, T.F., Gjørv, O.E., Norway</b> <b>Mechanical Properties of High-Strength Concrete</b>	<b>1271</b>
<b>Zhao, G.-Y., Wu, P.-G., Zhan, W.-W., China</b> <b>Experimental Research on Fatigue Behavior of High-Strength</b> <b>Concrete under Constant Amplitude Tensile Cyclic Loading</b>	<b>1280</b>

## II. 新近 HPC 重要參考書籍

1. High Performance Concrete
2. High Performance Concrete and Applications
3. ハイパフォーマンス コンクリート
4. 結構工程，第九卷，第一期
5. 高性能混凝土施工規範之研訂研究報告

# **HIGH PERFORMANCE CONCRETE**

**From material to structure**

EDITED BY

**Yves Malier**

*Professor of Civil Engineering  
ENPC Paris and ENS Cachan  
France*



**E & FN SPON**

An imprint of Chapman & Hall

London · Glasgow · New York · Tokyo · Melbourne · Madras

# Contents

Contributors	ix
Foreword	xi
Introduction	xiii
Y. MALIER	
<b>PART ONE KNOWLEDGE OF THE MATERIAL</b>	<b>1</b>
1 Microstructure of high performance concrete M. MORANVILLE-REGOURD	3
2 The use of superplasticizers in high performance concrete P.-C. AITCIN	14
3 Ultrafine particles for making very high performance concretes F. de LARRARD	34
4 A mix performance method for high performance concrete F. de LARRARD	48
5 High performance concrete supplied by a network of ready-mix concrete plants C. LEVY and J.-P. LE BOULICAUT	63
6 Engineering properties of very high performance concrete F. de LARRARD and Y. MALIER	85
7 Creep in high and very high performance concrete F. de LARRARD and P. ACKER	115

8	Bond properties of high performance concrete M. LORRAIN	127
9	Monitoring of the chemical and mechanical changes in high performance concretes during the first days C. VERNET and G. CADORET	145
10	Large reduction of deflections due to high performance concrete R. FAVRE, H. CHARIF and J.-P. JACCOUD	160
11	High performance concrete – engineering properties and code aspects L. PLISKIN	186
12	Testing high performance concrete M. LESSARD and P.-C. AITCIN	196
13	Mixing and casting HP and VHP concrete in the laboratory G. BERNIER	214
<b>PART TWO DURABILITY</b>		<b>223</b>
14	Durability of high performance concretes: alkali–aggregate reaction and carbonation M. MORANVILLE-REGOURD	225
15	Durability of high performance concrete in relation to 'external' chemical attack J. GRANDET	234
16	Frost durability of high performance concretes R. GAGNE, P.-C. AITCIN, M. PIGEON and R. PLEAU	239
17	Permeability, as seen by the researcher D. PERRATON, P.-C. AITCIN and A. CARLES-GIBERGUES	252
18	Permeability: the owner's viewpoint G. ITHURALDE	276



19	<b>HPCs and alkali silica reactions. The double role of pozzolanic materials</b>	295
	A. CRIAUD and G. CADORET	
20	<b>Accelerated carbonation: comparison between the Joigny Bridge, high performance concrete and an ordinary concrete</b>	305
	C. LEVY	
<b>PART THREE CONSTRUCTION</b>		327
21	<b>The French National Project 'New Ways for Concrete' – objectives and methodology</b>	329
	Y. MALIER	
22	<b>From material to structure</b>	333
	P. RICHARD	
23	<b>High performance concrete in tunnel linings</b>	347
	J.-M. BROCHERIEUX	
24	<b>High performance concrete in nuclear power plants</b>	365
	J.-L. COSTAZ	
25	<b>Full scale use of high performance concrete in building and public works</b>	379
	G. CADORET and P. RICHARD	
26	<b>The development of high performance concrete in North America</b>	412
	P.C. AITCIN and P. LAPLANTE	
27	<b>Experimentation: the key to a research–development strategy in civil engineering</b>	421
	Y. MALIER	
28	<b>The Joigny bridge: an experimental high performance concrete bridge</b>	424
	Y. MALIER, D. BRAZILLIER and S. ROI	
29	<b>Experimental monitoring of the Joigny bridge</b>	432
	I. SCHALLER, F. de LARRARD, J.-P. SUDRET, P. ACKER and R. LE ROY	

30	<b>High performance concrete underpinning of the great Hassan II Mosque</b>	458
	G. CADORET and C. COURTEL	
31	<b>Prefabrication of high performance prestressed concrete building components</b>	470
	G. CHARDIN	
32	<b>Offshore application of high performance concrete space frame</b>	477
	C. VALENCHON	
33	<b>High performance light weight aggregate concrete in blast resisting structures</b>	495
	F. HANUS, J.-C. FAURE and G. PEIFFER	
34	<b>High performance concrete in the arch of the bridge over the Rance</b>	510
	J.-F. DE CHAMPS and P. MONACHON	
35	<b>The Roize bridge</b>	525
	G. CAUSSE and S. MONTENS	
	<b>Author index</b>	537
	<b>Subject Index</b>	538

## CONTRIBUTORS

- P. Acker, LCPC, Paris, France  
P.-C. Aitcin, Sherbrooke University, Quebec, Canada  
G. Bernier, ENS de Cachan, France  
E. Brazillier, Direction Departementale de l'Equipement de Saône et  
Loire, France  
J.-M. Brocherieux, SPIE Batignolles, France  
G. Cadoret, Technodes SA Groupe Ciments Français, France  
A. Carles-Gibergues, INSA, Toulouse, France  
G. Causse, Scetauroute, France  
J.-F. de Champs, Campenon Bernard, Paris, France  
G. Chardin, PPB Saret, France  
H. Charif, IBAP, EPFL, Lausanne, Switzerland  
J.-L. Costaz, Electricité de France, Septen, France  
C. Courtel, Groupe Bouyges, Scientific Division, Paris, France  
A. Criaud, Technodes SA Groupe Ciments Français, France  
J.-C. Faure, Sogea, Paris, France  
R. Favre, IBAP, EPFL, Lausanne, Switzerland  
R. Gagne, Sherbrooke University, Quebec, Canada  
J. Grandet, INSA, Toulouse, France  
F. Hanus, Sogea, Paris, France  
G. Ithurrealde, Electricité de France, Septen, France  
J.-P. Jaccoud, IBAP, EPFL, Lausanne, Switzerland  
P. Laplante, Sherbrooke University, Quebec, Canada  
F. de Larrauld, LCPC, Paris, France  
J.-P. Le Boulicaut, Bétons Granulats Lafarge, France  
R. Le Roy, LCPC, Paris, France  
M. Lessard, Sherbrooke University, Quebec, Canada  
C. Levy, Lafarge Coppée Recherche, France  
M. Lorrain, INSA, Toulouse, France  
Y. Malier, ENS Cachan, France  
P. Monachon, Campenon Bernard, Paris, France  
S. Montens, Scetauroute, France

# HIGH PERFORMANCE CONCRETES AND APPLICATIONS

Edited by

**S P Shah**

*Walter P Murphy Professor of Civil Engineering, and  
Director of NSF Center for Science and Technology  
of Advanced Cement Based Materials  
North Western University, Evanston, IL, USA*

**S H Ahmad**

*Professor of Civil Engineering  
North Carolina State University  
Raleigh, NC, USA*

**Edward Arnold**

A member of the Hodder Headline Group

LONDON MELBOURNE AUCKLAND

# Contents

Preface	ix
List of contributors	xi
<b>1 Materials Selection, Proportioning and Quality Control</b>	<b>1</b>
<i>S Mindess</i>	
1.1 Introduction	1
1.2 Selection of materials	2
1.3 Mix proportions for high strength concrete	13
1.4 Quality control and testing	17
1.5 Conclusions	23
References	24
<b>2 Short Term Mechanical Properties</b>	<b>27</b>
<i>S H Ahmad</i>	
2.1 Introduction	27
2.2 Strength	28
2.3 Deformation	50
2.4 Strain capacity	55
2.5 Poisson's ratio	59
References	60
<b>3 Shrinkage Creep and Thermal Properties</b>	<b>65</b>
<i>F de Larrard, P Acker and R Le Roy</i>	
3.1 Introduction	65
3.2 Shrinkage	66
3.3 Creep	80
3.4 Drying shrinkage and drying creep	86
3.5 Thermal properties	97
3.6 Structural effects: case studies	102
3.7 Summary and conclusions	108
References	110
<b>4 Fatigue and Bond Properties</b>	<b>115</b>
<i>A S Ezeldin and P N Balaguru</i>	
4.1 Introduction	115
4.2 Mechanism of fatigue	120
4.3 Cyclic compression	121
4.4 Cyclic tension	124

i *Contents*

4.5	Reversed loading	126
4.6	Effect of loading rate	127
4.7	Effect of stress gradient	127
4.8	Effect of rest periods	127
4.9	Effect of loading waveform	128
4.10	Effect of minimum stress: comparison of normal and high strength concrete	128
4.11	Effect of concrete mixture properties and curing	128
4.12	Biaxial state	129
4.13	Bond properties	130
4.14	Summary	134
	References	135
<b>5</b>	<b>Durability</b>	<b>139</b>
	<i>O E Gjorv</i>	
5.1	Introduction	139
5.2	Permeability	139
5.3	Corrosion resistance	143
5.4	Frost resistance	148
5.5	Chemical resistance	149
5.6	Fire resistance	150
5.7	Abrasion-erosion resistance	153
5.8	Concluding remarks	156
	References	156
<b>6</b>	<b>Fracture Mechanics</b>	<b>161</b>
	<i>R Gettu and S P Shah</i>	
6.1	Introduction	161
6.2	Linear elastic fracture mechanics	162
6.3	The fracture process zone	166
6.4	Notch sensitivity and size effects	169
6.5	Fracture energy from work-of-fracture	172
6.6	Nonlinear fracture mechanics of concrete	175
6.7	Material characterization	187
6.8	Other aspects of fracture in concrete	194
6.9	Applications	196
	References	200
<b>7</b>	<b>Structural Members</b>	<b>213</b>
	<i>A H Nilson</i>	
7.1	Introduction	213
7.2	Axially loaded columns	214
7.3	Flexure in beams	219
7.4	Beam deflections	222
7.5	Shear in beams	224
7.6	Bond and anchorage	227

7.7	Flexural and shear cracking	228
7.8	Prestressed concrete beams	229
7.9	Slabs	229
7.10	Eccentrically loaded columns	230
7.11	Summary and conclusions	233
	References	233
<b>8</b>	<b>Ductility and Seismic Behaviour</b>	<b>237</b>
	<i>S K Ghosh and M Saatcioglu</i>	
8.1	Introduction	237
8.2	Deformability of high-strength concrete beams	239
8.3	Deformability of high-strength concrete columns	274
8.4	Deformability of high-strength concrete beam-column joints	290
8.5	Application of high-strength concrete in regions of high seismicity	306
8.6	Summary	310
	References	310
<b>9</b>	<b>Structural Design Considerations and Applications</b>	<b>313</b>
	<i>H G Russell</i>	
9.1	Introduction	313
9.2	Structural design considerations	314
9.3	Construction considerations	317
9.4	Quality control	320
9.5	High rise buildings	322
9.6	Bridges	334
9.7	Special applications	337
	References	338
<b>10</b>	<b>High Strength Lightweight Aggregate Concrete</b>	<b>341</b>
	<i>T A Holm and T W Bremner</i>	
10.1	Introduction	341
10.2	Materials for high strength lightweight aggregate concrete	349
10.3	High strength lightweight concrete laboratory testing programs	351
10.4	Physical properties of high strength lightweight aggregate concrete	352
10.5	Constructability of high strength lightweight aggregate concretes	363
10.6	Applications of high strength lightweight aggregate concrete	366
	References	371

viii *Contents*

<b>11</b>	<b>Applications in Japan and South East Asia</b>	<b>375</b>
	<i>S Nagataki and E Sakai</i>	
11.1	Introduction	375
11.2	Methods of strength development	376
11.3	Applications	379
11.4	Summary and conclusions	393
	References	396
	<b>Index</b>	<b>399</b>



# List of Contributors

*P Acker*

Head, Division: 'Betons et Ciments pour Ouvrages d'Art', Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris, France

*S H Ahmad*

Professor, Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA

*P N Balaguru*

Professor, Civil Engineering Department, Rutgers University, Piscataway, NJ, USA

*T W Bremner*

Professor of Civil Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada

*F de Larrard*

Senior Scientist, Division: 'Betons et Ciments pour Ouvrages d'Art', Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris, France

*A S Ezeldin*

Assistant Professor, Department of Civil, Environmental and Coastal Engineering, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ, USA

*R Gettu*

Senior Researcher, Technical University of Catalunya, Barcelona, Spain

*S K Ghosh*

Director, Engineered Structures and Codes, Portland Cement Association, Skokie, IL, USA

*O E GjØrv*

Professor, Division of Building Materials, Norwegian Institute of Technology - NTH, Trondheim - NTH, Norway

xii *List of Contributors*

*T A Holm*

Vice President of Engineering, Solite Corporation, PO Box 27211,  
Richmond, VA, USA

*R Le Roy*

Research Engineer, Division: 'Betons et Ciments pour Ouvrages d'Art',  
Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris, France

*S Mindess*

Professor, Department of Civil Engineering, University of British  
Columbia, Vancouver, Canada

*S Nagataki*

Professor of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology, O-  
okayama, Meguru-ku, Tokyo 152, Japan

*A H Nilson (Professor)*

162 Round Pound Road, HC-60, Box 162, Medomak, Maine, USA  
(formerly of Cornell University)

*H G Russell*

Vice President, Construction Technology Laboratories Inc., 5420 Old  
Orchard Road, Skokie, IL, USA

*M Saatcioglu*

Associate Professor of Civil Engineering, University of Ottawa, Canada

*E Sakai*

Manager, Special Cement Additives Division, Denki Kagaku Kogyo Co.  
Ltd, Yuraku-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan

*S P Shah*

Walter P Murphy Professor of Civil Engineering; Director, NSF Center for  
Science and Technology of Advanced Cement-Based Materials; and  
Director, Center for Concrete and Geomaterials, Northwestern  
University, Evanston, IL, USA

# ハイパフォーマンス コンクリート

▼

岡村甫・前川宏一・小澤一雅著

技報堂出版

## 目次

### 1 序章

- 1.1 ハイパフォーマンスコンクリートの基本コンセプト 2
  - 1.1.1 基本コンセプト 2
  - 1.1.2 欧米における high performance concrete 3
- 1.2 開発の経緯 5
  - 1.2.1 開発への挑戦 5
  - 1.2.2 締固め不要のコンセプト 6
  - 1.2.3 プロトタイプの実験 9
  - 1.2.4 普及への努力 11
  - 1.2.5 今後の展開 14
- 1.3 コンクリート構造物の耐久性設計 15
  - 1.3.1 土木学会耐久設計指針(試案) 15
  - 1.3.2 ハイパフォーマンスコンクリートと耐久性設計 17
- 1.4 ハイパフォーマンスコンクリート普及の効果 18
  - 1.4.1 施工システムの合理化による建設工事の近代化 18
  - 1.4.2 騒音防止と製品工場の近代化 19
  - 1.4.3 コンクリートの材料設計システムの改革 19

### 2 ハイパフォーマンスコンクリートの標準仕様

- 2.1 基本コンセプト 24
  - 2.1.1 ハイパフォーマンスコンクリートの定義 24
  - 2.1.2 標準仕様の種類 24
  - 2.1.3 標準仕様の意義 26
- 2.2 汎用ハイパフォーマンスコンクリート 28
  - 2.2.1 基本的特性 28
  - 2.2.2 汎用ハイパフォーマンスコンクリート用セメント 30
- 2.3 汎用ハイパフォーマンスコンクリートの配合設計 35
  - 2.3.1 配合設計の基本 35
  - 2.3.2 粗骨材容積比 35
  - 2.3.3 水セメント容積比 38
  - 2.3.4 空気重 43
  - 2.3.5 粗骨材容積とコンクリートの配合 43
- 2.4 マスコンクリート用ハイパフォーマンスコンクリート 48
  - 2.4.1 基本的特性 48
  - 2.4.2 使用する粉体 49
  - 2.4.3 配合設計 51
- 2.5 高級ハイパフォーマンスコンクリート 53
  - 2.5.1 基本的特性 53
  - 2.5.2 使用する粉体 53
  - 2.5.3 配合設計 53
- 2.6 普及型ハイパフォーマンスコンクリート 56
  - 2.6.1 基本的特性 56
  - 2.6.2 使用する粉体 57
  - 2.6.3 配合設計 58

### 3 ハイパフォーマンスコンクリートの製造

- 3.1 基本コンセプト 60
- 3.2 材料の管理と試験 62
  - 3.2.1 汎用ハイパフォーマンスコンクリート用セメント 63
  - 3.2.2 混和材 64
  - 3.2.3 細骨材 67
  - 3.2.4 粗骨材 69
  - 3.2.5 高性能減水剤 71
- 3.3 製造プラント 73
  - 3.3.1 プラント設備一般 73
  - 3.3.2 細骨材の貯蔵および処理 73
  - 3.3.3 粗骨材の貯蔵および処理 75
  - 3.3.4 水の管理 76
  - 3.3.5 計量 76
  - 3.3.6 練混ぜ 76
  - 3.3.7 配合の自動修正システム 78
  - 3.3.8 配合の自動印字記録 81
- 3.4 コンクリートの管理試験 82
  - 3.4.1 基本 82
  - 3.4.2 充填性 83
  - 3.4.3 強度 85
  - 3.4.4 耐久性に関する試験 85

## 4 ハイパフォーマンスコンクリートの施工

- 4.1 基本 88
- 4.2 型枠の設計 90
- 4.3 コンクリート打設前の検査 92
  - 4.3.1 型枠および配筋の検査 92
  - 4.3.2 コンクリート充填性の検査 92
  - 4.3.3 配合印字記録と品質管理試験結果 94
- 4.4 ポンプ圧送 95
- 4.5 コンクリート打設 96
  - 4.5.1 打設速度 96
  - 4.5.2 打設高さ 97
  - 4.5.3 打継目の処理 98
- 4.6 養生 99
- 4.7 ハイパフォーマンスコンクリートの適用例 100
  - 4.7.1 急速施工と機械化施工 100
  - 4.7.2 鋼コンクリート合成構造の活用 100
  - 4.7.3 充填しにくい構造および箇所への適用 100
  - 4.7.4 二次製品への適用 101
  - 4.7.5 その他の適用例 101
  - 4.7.6 将来のコンクリート工事の姿 103

## 5 ハイパフォーマンスコンクリートの一般検査方法

- 5.1 ハイパフォーマンスコンクリートを用いた構造物の設計照査システム 109
- 5.2 耐久性に対する照査システム 109
- 5.3 ハイパフォーマンスコンクリートの設計 115
  - 5.3.1 設計 115
  - 5.3.2 充填性レベルの設定 116
  - 5.3.3 使用材料等の設定および選定 118
  - 5.4 充填性に基づく配合設計 121
    - 5.4.1 配合設計の基本 121
    - 5.4.2 粗骨材 122
    - 5.4.3 粉体 123
    - 5.4.4 その他の混和材料の使用 123
  - 5.5 充填性評価 124
    - 5.5.1 充填性 124
    - 5.5.2 充填性の評価方法 124
    - 5.5.3 現場の受入れ試験 131
    - 5.5.4 コンクリートの管理試験 131
    - 5.5.5 モルタル試験による材料評価 131

## 6 温度ひび割れ設計

- 6.1 基本コンセプト 134
- 6.2 新しい温度ひび割れ照査システム 137
- 6.3 セメントの水和発熱モデル 140
  - 6.3.1 基本式 140
  - 6.3.2 基準発熱速度と活性化エネルギー 143
- 6.4 並物組成に基づく複合水和発熱モデル 150
  - 6.4.1 基本コンセプト 150
  - 6.4.2 基本式 152
  - 6.4.3 事例 155
- 6.5 熱伝導と水和発熱に関する連成解析 156
- 6.6 熱応力解析 158
  - 6.6.1 基本コンセプト 158
  - 6.6.2 構成式 158
  - 6.6.3 静的強度と瞬間剛性の予測 160
  - 6.6.4 境界条件 163
  - 6.6.5 ひび割れ指数と危険度 165

付録1 使用材料の品質規格 168

付録2 ハイパフォーマンスコンクリート用セメントの品質管理試験 172

付録3 コンクリートの品質管理試験 194

付録4 ハイパフォーマンスコンクリートの製造・施工・品質保証システム 201

写真資料 233

# 結 構 工 程

中華民國八十三年三月

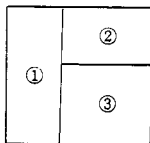
第九卷第一期

總號第三十三期

## 目 錄

高性能混凝土專輯序言 .....	陳振川	3
高性能混凝土之定義與特性 .....	陳振川	5
高性能混凝土整合推動計畫與國外經驗 .....	陳振川	7
高性能混凝土使用於橋梁工程設計探討 .....	林正喬	25
東帝士~建台 85 層大樓運用高性能混凝土之結構設計構想 .....	蔡東和	39
HPC 使用於高雄東帝士 85 層高樓整合規劃 .....	黃兆龍	43
高強度混凝土短樑在反覆載重下之行為研究 .....	方一匡、王淳玄、顏世宗、洪克倫	53
高性能混凝土施工規範探討 .....	沈進發	65
高性能混凝土施工與品管能力探討——從預拌廠之品管制度談起 .....	林志棟、陳式毅、劉惠德、陳繼禹	71
高性能混凝土耐久性之探討 .....	廖肇昌	87
新近高性能混凝土重要參考書籍 .....	陳振川	101
鋼筋混凝土中性化之探討 .....	林維明	103
Q&A 專欄 .....	陳正平	117

封面說明：



- ①法國 Normandie Bridge 諾曼地橋，世界最長跨度拉索橋（跨度 850 公尺）35,000 m<sup>3</sup> HPC，28 天強度 64 MPa。
- ②法國 Elone Bridge（建造中），中央跨度 400 公尺，28 天強度 80 MPa。
- ③ Sylans/Glacieres Viaducts（1986/1989），28 天強度 58 MPa。



中華民國結構工程學會

---

# 高性能混凝土施工規範之研訂 研究報告

高性能混凝土委員會  
高性能混凝土施工規範研究組

召集人：沈進發

委員：方一匡      方文志      王長芳      林英俊  
         林正喬      洪思闓      高健章      徐金泉  
         陳振川      陳式毅      陳利明      黃兆龍  
         黃然      黃喬炎      廖肇昌      蔡東和  
(按姓氏筆畫)

委託單位：財團法人中華顧問工程司

中華民國八十三年五月

# 高性能混凝土施工規範

## 目 錄

第一章 總則	
1.1 通則 .....	1
1.2 施工載重 .....	1
1.3 設計與施工之配合 .....	2
1.4 定義 .....	2
1.5 專利工法 .....	2
1.6 單位 .....	3
1.7 其他參考標準及文獻 .....	3
第二章 材料	
2.1 通則 .....	5
2.2 水泥 .....	5
2.3 粒料 .....	5
2.4 水 .....	5
2.5 摻料 .....	6
2.6 材料之特別管制 .....	7
2.7 材料之儲存 .....	7
第三章 混凝土配比與試拌	
3.1 通則 .....	9
3.2 耐久性 .....	9
3.3 強度 .....	9
3.4 工作性 .....	9
3.5 其他性能 .....	9
3.6 粒料之配合 .....	10
3.6 摻料及劑量之選用 .....	10



3.8	配比設計	10
3.9	配比試拌	16
3.10	量產模擬試驗	16
3.11	配比之核定	16
<b>第四章 模板</b>		
4.1	通則	17
4.2	模板材料	17
4.3	模板設計	18
4.4	模板組立	18
4.5	模板面之處理	21
4.6	模板工程檢驗	21
4.7	拆模	21
4.8	再撐	22
<b>第五章 鋼筋</b>		
5.1	通則	23
5.2	鋼筋、鋼線與續接器	23
5.3	鋼筋之支墊及分隔器	23
5.4	鋼筋續接	24
5.5	加工	24
5.6	鋼筋加工與排置之允許公差	24
5.7	鋼筋之排置	28
5.7	品管檢驗	31
<b>第六章 接縫與埋設物</b>		
6.1	通則	33
6.2	施工縫	33
6.3	伸縮縫	34
6.4	止水物	35
6.5	其他埋設物	35
6.6	埋設物之安置	35
<b>第七章 混凝土之產製與輸送</b>		
7.1	通則	37
7.2	材料計量	37
7.3	拌合管制	38
7.4	化學摻料使用之管	38

7.5	新拌混凝土之品質管制	39
7.6	輸送過程之管制	39
7.7	工地輸送方式之管制	40
7.8	特殊天候之防護	41
<b>第八章 工地品質檢驗</b>		
8.1	通則	43
8.2	初步檢測管制	43
8.3	混凝土取樣	43
8.4	混凝土品管試驗	44
8.5	再拌合處理	44
8.6	不符合規定之處置	45
<b>第九章 混凝土澆置</b>		
9.1	通則	47
9.2	澆置前之準備	47
9.3	施工縫之設置	47
9.4	澆置	48
<b>第十章 表面修補與修飾</b>		
10.1	通則	51
10.2	表面缺陷修補	51
10.3	繫條孔與暫留孔之填補	52
10.4	污點、鐵銹、白華及表面沈積物之去除	53
10.5	表面修飾	53
10.6	原鑄面修飾	53
10.7	磨光修飾	54
10.8	塗敷修飾	54
10.9	修飾方法	55
10.10	版混凝土表面修飾	57
<b>第十一章 養護</b>		
11.1	通則	61
11.2	保持水份之方法	61
11.3	特殊天候之防護	62
11.4	力學性損傷之防護	62
11.5	養護效果之評估	63

## 第十二章 品質管制

12.1	通則	65
12.2	品質管制計劃書	65
12.3	品質管制範圍	66
12.4	品質管制制度	66
12.5	品管人員及訓練	66
12.6	品管紀錄及評估	67

## 第十三章 檢驗

13.1	通則	69
13.2	檢驗機構及費用	69
13.3	檢驗	69
13.4	其他檢驗業務	70
13.5	增加之檢驗業務	70
13.6	檢驗機構(或人員)之職責	71
13.7	承包商之職責	71

## 第十四章 施工品質之評定與認可

14.1	通則	73
14.2	混凝土強度之評定	73
14.3	結構體混凝土之評估	73
14.4	鑽心試驗	74
14.5	非破壞試驗	75
14.6	結構物強度之評估	75
14.7	分析法	75
14.8	載重試驗	75

## 第十五章 驗收

15.1	通則	79
15.2	尺寸驗收	79
15.3	外觀驗收	80
15.4	混凝土結構物強度評估	80
15.5	特殊性能驗收	80

## 附錄 III. 國內外相關力學性質及構作行爲 研究文獻索引

- Carrasquillo, Ramon L., Nilson, Arthur H., and Slate, Floyd O., "Microcracking and Engineering Properties of High-Strength Concrete," Research Report No. 80-1, Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, Feb. 1980, 254pp.
- Carrasquillo, Ramon L., Nilson, Arthur H., and Slate, Floyd O., "Properties of High Strength Concrete Subject to Short-Term Loads," ACI Journal, Proceedings V.78, No.3, May-June 1981, pp.171-178.
- Carrasquillo, Ramon L., Slate, Floyd O., and Nilson, Arthur H., "Microcracking and Behavior of High Strength Concrete Subject to Short-Term Loading," ACI Journal, Proceedings V.78, No.3, May-June 1981, pp.179-186.
- Kaar, P.H., Hanson, N.W., and Capell, H.T., "Stress-Strain Characteristics of High-Strength Concrete," Douglas Mc-Henry International Symposium on Concrete and Concrete Structures, SP-55, American Concrete Institute, Detroit, 1978, pp.161-185. Also, Research and Development Bulletin No.RD051.01D, Portland Cement Association.
- Perenchio, William F., and Klieger, Paul, "Some Physical Properties of High Strength Concrete," Research and Development Bulletin No.RD056.01T, Portland Cement Association, Skokie, 1978, 7pp.
- Shah, S.P., Editor, Proceedings, National Science Foundation Workshop on High Strength Concrete, University of Illinois at Chicago Circle, Dec. 1979, 226pp.
- Wang, P.T., Shah, S.P., and Naaman, A.E., "Stress-Strain Curves of Normal and Lightweight Concrete in Compression," ACI Journal, Proceedings V.75, No.11, Nov. 1978, pp.603-611.
- Martinez, S., Nilson, A.H., and Slate, F.O., "Spirally-Reinforced High-Strength Concrete Columns," Research Report No.82-10, Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, Aug. 1982.
- Ahmad, S.H., and Shah, S.P., "Stress-Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement," ACI Journal, Proceedings V.79, No.6, Nov.

Dec. 1982, pp.484-490.

- Iyengar, K.T. Sundara Raja, Desayi, Prakash, and Reddy, K. Nagi, "Stress-Strain Characteristics of Concrete Confined in Steel Binders," Magazine of Concrete Research (London), V.22, No.72, Sept. 1970, pp.173-184.
- Vallenias, J., Bertero, V.V., and Popov, E.P., "Concrete Confined by Rectangular Hoops and Subjected to Axial Loads," Report No.UCB/EERC-77/13, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1977.
- Bennett, E.W., and Muir, S.E. St. J., "Some Fatigue Tests on High Strength Concrete in Uniaxial Compression," Magazine of Concrete Research (London), V.19, No.59, June 1967, pp.113-117.
- Ngab, A. S., Slate, F. O., and Nilson, A. H., "Behavior of High-Strength Concrete under Sustained Compressive Stress," Research Report No.80-2, Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, Feb. 1980, 201 pp.
- Ngab, Ali. S., Nilson, Arthur H., and Slate, Floyd O., "Shrinkage and Creep of High Strength Concrete," ACI Journal, Proceedings V. 78, No. 4, July-Aug. 1981, pp. 255-261.
- Ngab, Ali. S., Slate, Floyd O., and Nilson, Arthur H., "Microcracking and Time-Dependent Strains in High-Strength Concrete," ACI Journal, Proceedings V. 78, No. 4, July-Aug. 1981, pp. 262-268.
- Smadi, M. M., Slate, F. O., and Nilson, A. H., "Time-Dependent Behavior of High-Strength Concrete under High Sustained Compressive Stresses," Research Report No. 82-16, Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, Nov. 1982.
- Russell, H. G., and Corley, W. G., "Time-Dependent Behavior of Columns in Water Tower Place," Douglas Mc Henry International Symposium on Concrete Structures, sp-55, American Concrete Institute, Detroit, 1978, pp. 347-373. Also, Research, and Development Bulletin No. RD052.01B, Portland Cement Association.
- Leslie, Keith E., Rajagopalan, K.S., and Everard, Noel J., "Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams," ACI Journal, Proceedings V. 73, No. 9, Sept. 1976, pp. 517-521.

- Nedderman, H., "Flexural Stress Distribution in Very-High Strength Concrete," MSc thesis, University of Texas at Arlington, Dec. 1973, 182 pp.
- "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete," Report of ACI Committee 363, ACI Journal Proceedings, Vol.81, No.4, July-Aug., 1984, pp.365-111.
- Mphonde, A.G., Frantz, G.C., "Shear Tests of High and Low-Strength Concrete Beams with Stirrups," ACI SP-87, 1985, pp. 179-196.
- Mophonde, A.G., Frantz, G.C., "Shear Tests of High and Low-Strength Concrete without Stirrups," ACI Journal, Vol.81, No.4, July-Aug., 1984, pp.350-357.
- Elzanaty, A.H., Nilson, A.H., Slate, F.O., "Shear Capacity of Reinforced Concrete Beam Using High-Strength Concrete," ACI Journal, Vol.83, No.2, Mar.-Apr., 1986, pp.290-296.
- Ahmad, S.H., Khaloo, A.R., and Poreda, A., "Shear Capacity of Reinforced High-Strength Concrete Beams," ACI Journal, Vol.83, No.2, Mar.-Apr., 1986, pp. 297-305.
- Johnson, M.K., and Ramirez, J.A., "Minimum Shear Reinforcement in Beams with Higher Strength Concrete," ACI Journal, Vol.86, No.4, July-Aug., 1989, pp.376-382.
- Roller, J.J., Russell, H.G., "Shear Strength of High-Strength Concrete Beams with Web Reinforcement," ACI Journal, Vol.87, No.2, Mar.-Apr., 1990, pp.191-198.
- 陳振川，唐開明等，「不同強度混凝土之破裂特性」，中國土木水利工程學刊，第二卷，第一期，1990，第73-81頁。
- 趙文成，魏坤雄，「飛灰高強度混凝土—高溫高壓養護及基本力學性質之研究」，國立交通大學土木工程研究所研究報告，1990。
- 趙文成，「高強度混凝土特性與應用簡介」，結構工程，第三卷，第一期，1988，pp.81-90。
- 方一匡，黃漢屏，「場拌高強度混凝土之配製及其力學特性之探討」，土木水利季刊，第16卷，第4期，2月，1990，pp.23-33。
- 方一匡，呂嘉峯，「高強度混凝土在單軸壓下之韌性研究—高強度混

混凝土在主動圍壓下之強度及韌性，國科會專題計劃研究報告(第一部份)，NSC-80-0410-E006-04，3月，1992，61pp。

- 顏聰，“高強度飛灰混凝土之研究”，台灣電力公司研究報告，1990。
- 顏聰，“低水泥量高性能混凝土之製作與性能研究”，國科會專題研究報告，1994。
- Lin, I. J. and Chen, Y. I., “Shear Transfer across a Crack in Reinforced High-Strength Concrete”, Proceedings of the Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Chiang Mai, January 1989, pp. 505-510.
- 林英俊，林總仁，「高強度混凝土深梁之剪力強度」，國立台灣工業技術學院工程技術研究所研究報告，1989。
- 林英俊，何國彰，「高強度鋼筋混凝土托架之研究」，國立台灣工業技術學院工程技術研究所研究報告，1990。
- 林英俊，劉張欽彥，「軸向力作用時鋼筋混凝土深梁之剪力強度」，國立台灣工業技術學院工程技術研究所研究報告，1990。
- 林英俊，吳枝萬，「反覆載重作用下鋼筋混凝土之剪力摩擦強度」，國立台灣工業技術學院工程技術研究所研究報告，1986。
- 林英俊，李宜純，「彎矩作用於剪力面時鋼筋混凝土之剪力傳遞」，國立台灣工業技術學院工程技術研究所研究報告，1989。
- 顏聰，湯兆緯，「箍筋對高強度 R.C. 樑延性之影響」，國立中興大學土木工程研究所研究報告，1988。
- 林英俊，葉文德，「高強度飛灰混凝土之剪力摩擦強度」，國立台灣工業技術學院研究報告，1990。
- 黃兆龍，林建宏，「高強度飛灰混凝土性質及結構行為研究」，NSC 77-0410-E011-06，國科會專題研究報告，1989。
- Fang, I. K.; Hong, K. L.; and Wang, C. S., “Cyclic Behavior of HSC Short Beams with Lower Amount of Flexural Reinforcement,” Structural Journal of American Concrete Institute, January/February, 1994, pp.10-18.
- Fang, I. K.; Hong, K.L.; and Wu, J. Y., “Behavior of Axially Loaded High-Strength Concrete Tied Columns,” Proceedings of the National

Science Council, R.O.C., Part A: Physical Science and Engineering, January, 1994, pp.63-74.

- 方一匡，洪木通，彭盛昌，“高強度混凝土樑在低剪力鋼筋量下之行為研究”，中國土木水利工程學刊，第2卷，第4期，12月，1990，pp.347-356。
- Fang, I. K.; Yen, S. T.; Wang, C. S.; and Hong, K. L., “Cyclic Behavior of HSC Moderately Deep Beams,” Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 119, No. 9, September, 1993, pp. 2573-2592.
- 方一匡，宋昌國，“高強度混凝土在側向束制下之強度及延展性研究”，中國土木水利工程學刊，第1卷，第3期，12月，1989，pp. 229-237。
- Fang, I. K., “Shear Strength and Ductility of High-Performance Concrete Deep Beams,” published in the symposium report of The International Workshop on Civil Infrastructural Systems-Application of Intelligent Systems and Advanced Materials on Bridge Systems, January, 1994, Taipei, (R.O.C).
- Fang, I. K. and Wu, J. Y., “Shear Behavior of Fiber Reinforced HPC Deep Beams, Accepted for presentation and publication in ACI 1994 International Conference on High-Performance Concrete, November, 1994 (Singapore).
- 顏聰：“高強度混凝土梁承受動態重覆荷重之結構行為研究”，國科會專題計劃研究報告，1991。
- 顏聰：“RC梁平衡鋼筋比在重覆荷重下之變化研究”，國科會專題計劃研究報告，1991。
- 林建宏：“高強度飛灰混凝土柱之結構行為”，國科會專題計劃研究報告 (NSC-78-0410-E011-11)，1989。
- 林建宏：“高強度飛灰混凝土預力梁之撓曲行為”，國科會專題計劃研究報告 (NSC-80-0410-E011-05)，1991。
- 林建宏：“高強度飛灰混凝土梁之剪力強度”，國科會專題計劃研究報告 (NSC-81-0410-E-005-513)，1992。
- 林建宏：“高強度飛灰混凝土預力梁之剪力強度”，國科會專題計劃研究報告 (NSC-82-0410-E-005-053)，1993。



- 林英俊，蘇孝昌，“軸向力作用時高強度混凝土梁之剪力強度”，國立台灣工業技術學院工程技術研究所研究報告，1991。
- 黃世建，“竹節鋼筋對高強度混凝土之抗拉發展長度”，(NSC80-0410-E011-07), 1991。
- 黃世建，黃漢林，呂益仁，“竹節鋼筋在高強度混凝土中抗拉握裹強度”，第一屆結構工程研討會，台灣南投，1992。
- Hwang, S.J., Lee, Y.Y., and Lee, C.S. “Effect of Silica Fume on the Splice Strength of Deformed Bars of High-Performance Concrete”, ACI Structural Journal, 1994.
- 黃世建，“矽灰與飛灰對竹節鋼筋在高強度混凝土中抗拉握裹強度之影響”，(NSC82-0410-E011-154), 1993.
- 李劍鋒，(陳振川)，“高性能混凝土乾縮與潛變性質之研究”，國立台灣大學土木所結構組碩士論文，民國八十三年六月。