

# 新建工程之品質提昇研究

台灣省政府交通處

台灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十六年六月

86—研(十一)

## 新建工程之品質提昇研究

執行期間：民國八十五年七月至八十六年六月

計畫主持人：林維明

共同主持人：饒 正

協同主持人：張道光

研究人員：柯正龍 羅建明 陳正義

何火木 李昭明 王培源

林隆貞（港灣技術研究所）

李明同 李維智 呂岳欣

（仲欣實業有限公司）

台灣省政府交通處

港灣技術研究所

中華民國八十六年六月

# 摘 要

由於國內公共工程使用大量的混凝土為營建材料，其品質優劣素為國人所關心。港灣 RC 結構物因常年處在海洋環境下，因此發生鋼筋腐蝕與混凝土劣化現象之機率大幅提高。為確保新建工程之品質提昇，因此激起本研究。研究主要目的為應用高性能混凝土及 ISO 9000 認證制度以利提昇國內混凝土工程品質水平。實施方法為探討高性能混凝土之配比設計以及自行設計一套產製高性能混凝土之雙軸式攪拌機，以增進其施工技術並進行 HPC 之試拌及量測其坍度、坍流度及強度發展特性及剖析 HPC 品質管制系統及參與新建工程施工品質評鑑之評審確保品質保證制度。根據試驗結果發現參照 ACI 318-95 規範配比製作高性能混凝土，坍度約可達 25 公分坍流度約為 65cm × 65cm。而製作直徑 10 公分、高 20 公分之圓柱試體在 28 天及 56 天之抗壓強度分別可達 7400~9232psi(510~640 kgf/cm<sup>2</sup>)及 8773~9715psi(605~670 kgf/cm<sup>2</sup>)。而公共工程施工品質評鑑結果亦發現其施工品質已大幅提昇自原來有 25 % 之工程待改善，進步到小於 7 % 需待改善。高性能混凝土具有工作性、安全性、經濟性、耐久性及生態性等五種性能。其品質控制相當嚴謹，自料源至實際施工及結構體，每個階段都是由產官學通力合作、協商，隨時以計畫、執行、查核、與修正之品質循環作回饋參考，不斷發現問題及改善缺失，將「科技」研發之成果結合管理之「藝術」，使工程提昇獲得保證。因此是一貫徹品質保證之最新進技術。在設計港灣混凝土結構物工程若能使用已有成功案例可循的高性能混凝土，並且在自料源取得至結構體完成各階段均能落實 ISO 9000 品質保證制度，則工程品質提昇是可預期的。

# 新建工程之品質提昇研究

## 目 錄

	頁數
摘要.....	I
目錄.....	II
表目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
照片目錄.....	IX
壹、前言.....	1
一、研究動機.....	1
二、研究目的.....	1
三、實施方法.....	1
四、預期成果.....	2
貳、文獻回顧.....	3
一、國內常見之混凝土工程弊端.....	3
二、混凝土耐久性之病因.....	4
三、高性能混凝土之研發與應用.....	5
四、高性能混凝土使用材料之選擇.....	10
五、高性能混凝土之配比設計.....	13
六、高性能混凝土品質保證系統.....	21
參、實驗計畫與測試結果分析.....	25
一、試驗流程.....	25
二、試驗材料.....	25



三、試驗變數.....	25
四、試驗設備與方法.....	26
五、測試結果分析.....	27
肆、新建混凝土工程品質提昇之研討.....	35
一、加入 WTO 對提昇工程技術品質之影響性.....	35
二、如何應用 ISO 9000 認證制度提昇工程品質.....	35
三、對新建 HPC 工程的品質提昇之研議.....	39
伍、結論與建議.....	43
一、結論.....	43
二、建議.....	43
陸、參考文獻.....	45

# 表 目 錄

表一	混凝土物理與化學性劣化種類、基因、控制變數及劣化機理.....	49
表二	海洋混凝土病變原因及特徵之檢核表.....	50
表三	高性能混凝土與其他混凝土之比較.....	51
表四	高性能混凝土之優點及應用性.....	52
表五	HPC 應用之結構形態、增進之工程性質及實例.....	53
表六	使用 HPC 施工之代表性範例.....	54
表七	北海混凝土結構物之挑戰與需求.....	55
表八	北海耐久性混凝土十大重要的法則.....	55
表九	高性能混凝土要求之骨材性質.....	56
表十	ASTM C494 對化學摻料之要求.....	57
表十一	高爐石及飛灰規範、選用與建議用量.....	58
表十二	影響骨材/水泥漿體界面之因素及改善方法.....	59
表十三	單位體積混凝土所需粗骨材體積量.....	60
表十四	不同坍度及最大骨材粒徑之概估所需拌合和水及含氣量值.....	60
表十五	新拌混凝土工作性一覽表.....	60
表十六	國內各校發展高性能混凝土配比資料表.....	61
表十七	高性能混凝土執行上的規範限制.....	62
表十八	卜特蘭 I 型水泥之物理及化學性質.....	63
表十九	粗細骨材基本性質.....	64
表二十	粗骨材級配.....	64
表二十一	細骨材級配.....	64

表二十二	飛灰、爐石之物化性質.....	65
表二十三	強塑劑基本性質.....	65
表二十四	組成材料之比重.....	66
表二十五	高性能混凝土配比表.....	66
表二十六	新拌混凝土工作性測試結果.....	67
表二十七	硬固混凝土抗壓強度測試結果.....	68
表二十八	加入 WTO 後，GATS 及 GPA 之規範型態與其對營造業 之關係.....	69
表二十九	結構體評鑑標準(一).....	70
表三十	結構體評鑑標準(二).....	71
表三十一	結構體評鑑標準(三).....	72
表三十二	結構體評鑑表(河海堤).....	73
表三十三	管理績效評鑑表.....	74
表三十四	防洪及防潮工程施工品質評鑑評分表.....	75

# 圖目錄

圖一	混凝土病變之物化性原因.....	76
圖二	鋼筋混凝土結構物受耐久性影響之流程圖.....	77
圖三	鋼筋混凝土中巨大電池模式.....	78
圖四	混凝土之主要腐蝕因子.....	78
圖五	混凝土技術觀念之演進.....	78
圖六	高性能混凝土之控制策略.....	79
圖七	混凝土配比選定及資料建檔流程圖.....	80
圖八	不同試體數下標準偏差值之修正係數.....	81
圖九	試體數不足以建立標準偏差時之需求平均抗壓強度.....	81
圖十	無試拌及混凝土配比資料可尋時之容許混凝土最大水膠比.....	82
圖十一	W/C、W/B 及 W/S 對電阻係數之影響.....	82
圖十二	不同結構物型態及施工技術之建議坍度範圍.....	83
圖十三	混凝土用水量及輸氣量建議值.....	83
圖十四	法國 Ile de Re 橋.....	84
圖十五	Hibernic 重力式平台.....	84
圖十六	Heidrun 張力腳平台.....	84
圖十七	活動模板施工.....	84
圖十八	強塑劑之功能.....	85
圖十九	卜作嵐材料之應用策略.....	85
圖二十	骨材最大粒徑及細度下，每單位體積混凝土所需乾搗粗骨材體積.....	86
圖二十一	在相同之坍度下，粗細骨材比與膠結料之關係.....	86

圖二十二	最大骨材粒徑對混凝土強度效率的影響.....	87
圖二十三	ACI 混凝土配比設計流程圖.....	87
圖二十四	國內各大學 HPC 強度與水膠比之關係（加爐石粉與飛灰）.....	88
圖二十五	HPC 抗壓強度與最大容許水膠比之關係.....	88
圖二十六	國內各大學 HPC 水泥用量與抗壓強度關係圖.....	89
圖二十七	飛灰取代砂單位重曲線.....	89
圖二十八	砂、飛灰、細粒量之單位重曲線.....	90
圖二十九	坍度 250±20mm 強塑劑與用水量之關係.....	90
圖三十	緻密配比法觀念示意圖.....	90
圖三十一	HPC 緻密配比設計步驟流程.....	91
圖三十二	漿量體積與材料配比.....	91
圖三十三	漿量體積與累積單位重.....	92
圖三十四	新拌高性能混凝土坍度變化圖.....	93
圖三十五	新拌高性能混凝土坍流度變化圖.....	94
圖三十六	新拌高性能混凝土坍流度與時間關係圖.....	95
圖三十七	漿量與單位重及抗壓強度之關係.....	92
圖三十八	國內各校 HPC 配比粗骨材用量與強度之關係圖.....	96
圖三十九	國內各校 HPC 配比細骨材用量與強度之關係圖.....	96
圖四十	國內各校 HPC 配比水膠比與強度之關係圖.....	96
圖四十一	國內各校 HPC 配比水灰比與強度之關係圖.....	96
圖四十二	HPC 應用普及化考慮之關鍵（魚骨圖）.....	97
圖四十三	採用 PDCA 循環創新工程品質.....	98
圖四十四	高性能混凝土全面品質保證系統流程.....	99
圖四十五	高性能混凝土深耕計劃流程.....	100

圖四十六	混凝土材料品質檢驗流程.....	101
圖四十七	高性能混凝土施工檢驗作業程序.....	102
圖四十八	HPC 試驗計畫流程圖.....	103
圖四十九	雙軸式攪拌機尺寸圖.....	104
圖五十	HPC 之拌合程序.....	105
圖五十一	水泥及卜作嵐材料之粒徑分析圖.....	106
圖五十二	水泥、飛灰、爐石之粒徑分析圖.....	106
圖五十三	飛灰取代砂單位重曲線.....	107
圖五十四	砂、飛灰細粒量之單位重曲線.....	107
圖五十五	爐石取代水泥之最佳比例.....	108
圖五十六	化學摻料吸附於水泥表面的模式.....	109
圖五十七	化學摻料之分散作用 .....	109
圖五十八	新拌 HPC 坍度變化.....	110
圖五十九	新拌 HPC 坍流度變化.....	111
圖六十	新拌 HPC 坍流度流動時間變化.....	112
圖六十一	硬固 HPC 之抗壓強度發展.....	113
圖六十二	ISO 9000 系列之組成架構.....	114
圖六十三	ISO 9000 品質管理與企業經營的關係.....	114
圖六十四	ISO 9000 品質系統認證流程.....	115
圖六十五	公共工程施工品質歷次評鑑結果比較（以工程件數分 析）.....	116

## 照片目錄

照片 1	雙軸式攪拌機.....	117
照片 2	試体拌合情形.....	117
照片 3	坍度量測.....	118
照片 4	坍流度量測.....	118





# 壹、前言

## 一、研究動機

公共工程之品質水平為衡量一個國家開發程度之重要指標。台灣為一海島，鋼筋混凝土結構物容易受惡劣的海洋腐蝕環境之影響而使其產生劣化現象。應用最新進的混凝土技術配合一完善有效的品質保證制度為確保新建工程品質提昇之一大良策。

近年來，政府為提昇整體經濟發展，改善全民生活條件，策劃亞太營運中心及因應加入 WTO，乃積極推動各項公共工程建設。為提昇公共工程品質，行政院曾於民國 82 年頒佈「公共工程品質保證制度」，以建立三級品管系統，並推動施工品質評鑑。透過 ISO 9000 品質制度，建立規則化與經常性之品管作業，以確保品質政策與品質目標之達成。

高性能混凝土（High Performance Concrete, HPC）之發展為應用基礎水泥化學研究之材料，製作時經過品質保證技術確保品質之一致性與穩定性，滿足營建工程品質之需求，以達到高流動性；高強度及高耐久性之訴求，現已為世界各國混凝土工程界重要的研發與應用課題。為加速國內 HPC 之研發與應用，在行政院國科會及中華民國結構工程學會等單位之督導下，凝聚產、官、學、研之整合力量，已自民國 81 開始展開研發與應用之工作。工程實例如：遠東企業 42 層大樓；高雄東帝士與建台 85 層大樓及南二高一座公路橋樑等，都是利用 HPC 施工成功的。另外，中油防爆牆結構，海岸生物博物館及東家創世紀工程等新工程陸續被採用。期盼在 21 世紀來臨前，能發展出適合本土建設需求之高品質混凝土。

港灣 RC 結構物因常年處在海岸環境下，因此，腐蝕與劣化情況更為嚴重，為確保新建工程之品質提昇，因此激起本研究。

## 二、研究目的

本研究主要目的為應用高性能混凝土配比設計觀念，選用適當的材料，瞭解各種不同組成材料變化下 HPC 之坍度，坍流度及強度之發展及應用 ISO 9000 認證制度建立本土化品質系統，以利提昇國內混凝土工程品質之水平。

## 三、實施方法

1. 探討高性能混凝土之配比設計，以達材料分佈之均勻性。
2. 設計一套雙軸是製作混凝土之攪拌機，以增進 HPC 之施工技術。

- 3.進行 HPC 之試拌及量測其坍度、坍流度及強度發展特性。
- 4.剖析 HPC 品質管制系統。

#### **四、預期成果**

- 1.建立 ISO 9000 認證制度在混凝土界之應用。
- 2.瞭解並推動高性能混凝土之應用層面。
- 3.藉由 HPC 新進技術及適當之工程品質評鑑標準，以達成提昇工程品質之目標。

## 貳、文獻回顧

### 一、國內常見之混凝土工程弊端

國內混凝土結構物常發現到之品質缺陷，可歸納如下：

#### （一）海砂屋

在許多臨海結構物可能由於在施工時使用未清洗乾淨之海砂；施工品質未加以管制；使用含鹽過多之海水或地下水拌合或任意加水至預拌混凝土中等情形，因而導致建築物發生鋼筋鏽蝕混凝土剝落等現象<sup>(1)</sup>。

#### （二）蜂窩

混凝土施工時，配比中的粗骨材用量過多，砂漿從模板中露出；不適當且或不足之震動；拌合不均勻，坍度過低造成乾硬或坍度較大造成泌水與析離現象<sup>(2,3)</sup>。致使硬固混凝土表面有蜂窩之形成。

#### （三）顏色不均勻

這種現象是因為混凝土太乾或拌合不均勻，骨材隨振動棒之強力搗實下，沈澱在樑柱之底側，而水泥將在上側，因此會發現有顏色不均勻之現象，受到雨水沖刷後，就會出現白華。另外如底層水分過多，使用不同廠牌水泥或細骨材料源；坍度發生劇變，過度鏤飾或用乾水泥吸收浮水等都可能使混凝土表面之顏色產生變異<sup>(2,3)</sup>。

#### （四）白華牆

混凝土中之水泥漿含量過多，當受雨水或地下水滲透時，會溶解混凝土中之氫氧化鈣形成白華現象<sup>(2,3)</sup>。

#### （五）塑性收縮龜裂

係由於混凝土施工時加水過多或養護不佳所造成的<sup>(4)</sup>。

#### （六）富貴病建物

水泥用量過多骨材過少所產生之龜裂現象例如：捷運帽樑之強度足

夠，但還是產生裂縫問題<sup>(5)</sup>，對於混凝土之耐久性相當不利。

## 二、混凝土耐久性之病因

Mehta 曾將混凝土耐久性之病因分為物理性及化學性如圖一所示<sup>(6)</sup>。實際上混凝土耐久性相當複雜，如表一所示，可將病理基因以材料及施工層面加以剖析。然而影響混凝土劣化之因素很多可能包括組成材料、設計與施工規範，以及外在之環境（圖二）<sup>(7)</sup>。表二示海洋環境下，混凝土病因與其發生問題之特徵之相關性。尤其環境因素為主要之肇因。使用材料不當可能會導致混凝土耐久性低落，以下作扼要性之闡述：

### （一）水

適量的拌合水可使水泥達到充分的水化及混凝土強度得與發展。然而，過量之用水則容易在硬固混凝土中形成孔隙而造成耐久性的問題，詳見表一中之劣化機理說明，因此可利用強塑劑之使用以降低水灰比，免除泌水與析離現象之發生。

### （二）水泥

減少水泥用量不僅可降低其氫氧化鈣水化物之數量且經濟，而摻用價廉的卜作嵐材料可增加消耗氫氧化鈣之能力。水泥用量不僅不經濟且易產生龜裂。況且在製造水泥之過程中回收氣體及煙塵中含有相當量之氫氧化鈉或氫氧化鉀可能會骨材會產生鹼性骨材反應。

### （三）骨材

骨材佔混凝土體積之 70 ~ 80 %，因此對混凝土之工程性質具有極大之影響。其影響因子包括粒徑、級配及界面。粒徑大者，界面小因而鍵結性不佳，混凝土易在界面處發生龜裂。而粒徑小者，其水泥用量較增，可能又衍生水泥量高之問題存在。強化界面之策略可添加卜作嵐材料，使其與堆積在界面上之水化物產生卜作嵐反應。其次是降低水灰比以減少界面處之微裂縫存在。

### （四）鋼筋

如圖三所示<sup>(8)</sup>，鋼筋混凝土中鋼筋的混凝土保護層，由於材質上無

法達到均勻性。因此可能有些地方具多孔性，所以結構體外界的氧氣、二氧化碳、氯化物及水份容易侵入製鋼筋處而形成電化學反應造成鋼筋表面的鈍態膜被破壞，混凝土電阻下降。因此如圖三所示<sup>(8)</sup>，外界環境所含氯化物、二氧化碳、水及氧氣等為主要的腐蝕因子。而港灣結構物因置於海水中，這些因子最容易侵入而引起耐久性問題。

為阻止鋼筋腐蝕之現象發生，必須製造滲透性低的高品質混凝土使腐蝕因子不得侵入 RC 結構體。所以美國混凝土學會在最新之規範中就建議以低水膠比考量製作高性能混凝土<sup>(9)</sup>。然而，不幸的是一般在製作混凝土時，對使用材料設計與施工技術未做妥善的品質控制。因此，造成混凝土有裂縫產生，促使腐蝕因子持續地進入而發生循環使得鋼筋鏽蝕，甚至整個結構嚴重地破壞<sup>(10)</sup>。

### 三、高性能混凝土之研發與應用

#### (一) 高性能混凝土之定義

高性能混凝土為近年來國內、外混凝土工程界致力研發與應用之新型混凝土技術，各發展國家對 HPC 有不同的解釋與定義。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之定義為只使用  $10\text{cm}\phi \times 20\text{cm}$  圓柱型試體之單軸抗壓強度大於  $560\text{kgf/cm}^2$  (8000 psi) 之混凝土，其坍度  $25 \pm 2\text{cm}$ ，每立方公尺混凝土所用水泥  $\leq 450\text{kg}$ ，水膠比在 0.2 至 0.45 之間。使用材料含水泥、水、粗細骨材、強塑劑及礦物摻料等<sup>(11,12)</sup>。

#### (二) 高性能混凝土之特性

基本上，高性能混凝土所使用的材料與傳統混凝土者無異，不同的是對材料品質的嚴謹要求較高，同時考量混凝土適當的配比外，還需配合以理想的辦至施工作業，才能製作出符合品質要求的 HPC。表三為高性能混凝土與其他混凝土之比較<sup>(13-15)</sup>。圖五示其考量之方法與傳統混凝土考量之層面更為廣泛，為五種性能之交集，其達成之策略如圖六所示<sup>(16)</sup>。扼要說明如下：

##### 1. 安全性：

利用水灰比控制早期強度及水膠比控制晚期強度，HPC 安全性

係以骨材顆粒傳遞力量為主。在多漿情況則一旦硬固後，骨材顆粒間易形成孔隙，無法有效地傳遞力量至其他顆粒上，而是由孔隙空間所承受。HPC 支配比係採緻密配比，以最少且水泥漿量將骨材黏結住，水灰比愈低則可發揮更高之強度。無漿情況由骨材自承，而呈一安息角狀不會塌陷。不同於 ACI318-89 係以漿體為支承<sup>(17,18)</sup>。HPC 採用水膠比取代水灰比，為 ACI318-95「結構混凝土」之最新構想，也是 HPC 安全性設計之依據。圖七為配比設計安全尋求之流程<sup>(10,19)</sup>，HPC 在品質控制良好之漿體及骨材及製造緻密的混凝土之策略下安全性極高。

## 2. 耐久性

耐久性可定義為結構物於使用期間內在滿意的安全條件下，使用材料可維持其物性及力學能的能力。結構物受外界之海水、氯離子及硫酸鹽之侵蝕與其物性、化性及力學性的變化有密切關連。這些侵略因子可能同時作用或持續進行，很難單獨分開考慮某一項而忽略另一項，因此耐久性問題相當複雜。耐久性最重要的影響因素為水和有害氣體之侵入速率。此主要依結構體之孔隙率，尤其是水泥漿或骨材的透水性而定。傳統上都是以抗壓強度作為評估混凝土之品質與性能之依據。然而在海洋環境下，由於鋼筋腐蝕及混凝土剝落所造成結構物耐久性差之問題比起強度所引起的問題更為普遍。因此曝露在海洋環境下之混凝土規範不僅需高強度，而最重要的是其耐久性要高。

ACI318-95 將過去多年來所應用水灰比與強度之關係改以水膠比取代。主要是認定摻加適量卜作嵐材料對耐久性有利，並規定卜作嵐用量不得為零，及限制水固比小於 0.08 為新的趨勢。規範中並規定空氣含量、水膠比、硫酸鹽或氯化物含量等之限制。HPC 使用低水膠比及控制用水量，則可降低孔隙之連通性，限制水泥用量可降低混凝土中鋁酸三鈣之產量。因此可減少白華、析晶、石膏及鈣氫石反應之機率。由於氫氧化鈣之形成量降低，因此可減少骨材鹼性反應，增加水密性及電阻係數（圖 11）。由於 HPC 中摻有飛灰、爐石等卜作嵐材料會與水泥的水化物作用產生卜作嵐反應，即使在有龜裂之情況下，亦能自動癒合（Healing）填塞孔隙，降低滲透性，孔隙量及孔隙孔徑等，且混凝土穩定佳、晚期強度能永續成長<sup>(20)</sup>。由於使用適當及適量之良質材料，理想配比之掌握再加上嚴格的施工控制，因此所製作之 HPC 水密性佳及低體積變化，對於抗風化、海水侵蝕及耐波浪沖蝕具耐久性。

## 3. 工作性

工作性指的是施工之難易度，可能因結構型式及施工技術而異，如圖 12 所示為在不同之結構物型態下坍度建議值<sup>(19)</sup>。HPC 支配比設計特別考慮混凝土需具備有自平性，高流動性免搗實及無泌水析離現象，坍度介於 23-28 公分，坍流度為  $60 \pm 5$  公分，達到良好之工作性之策略為：

#### ①使用級配良好之骨材

骨材粒徑愈大則其表面積愈小，所需用水量就相對地減少，而且混凝土中之孔隙數量與大力將隨優良級配而減少，其相對地水泥用量亦可降低，因此在同漿量條件下，級配佳者其工作性好。

#### ②使用適當之強塑劑

正確使用適當之強塑劑，則可透過界面潤滑功能減少潤滑漿之厚度，但能具有良好之滑動性，例如：摻加水泥重量 1% 之強塑劑，則可使其拌合水用量減少約 12 ~ 30%。

#### ③善用礦物摻料

摻加礦物摻料，由於其粒徑較細可填充骨材間之孔隙，增加接觸點。如果填充料又是原型顆粒，例如：飛灰或矽灰，則關於「球軸承」之效應，更可助長材料間之滑動，對工作性更為有利，但添加量過多，則可能會因細粒料吸水量過大而造成過度黏稠，因此必須適量。

#### ④輸入適當之空氣量

由於空氣之輸入，將使水泥漿體體積相對地增加，有助於工作性如圖 13 所示，拌合水量相對地減少。但會使強度折減，且過量之輸氣劑會增加其黏稠度及降低坍流度。

因此有效地使用化學及礦物摻料，合理的控制漿量與緻密配比及採用最適之拌合技術下，所得出之 HPC 具有高度流動性，免搗實及自平性之極佳工作性。

### 4.經濟性

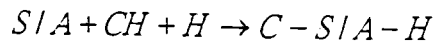
HPC 經濟上之考量為建立在適當且滿足設計規範要求之上列各種性能條件下。即提高每一公斤水泥強度效益（例如大於 15psi）為其訴求，達成此目標之策略為：

#### （1）添加強塑劑

添加強塑劑會有減水功能，即在達到同一強度品質下，固定水膠比之條件下，其水泥膠結料相對地減少。因此再作經濟評估時需考量使用強塑劑之成本增額與減少水泥用量之節省成本支出之差額。

## (2) 使用卜作嵐材料

使用卜作嵐材料產生卜作嵐反應如下示



如此可使生成具有膠結性之 C-S-H 或 C-A-H 膠體，其具有下列功能：

- ①使 CH 晶體量減少：卜作嵐反應以 CH 為反應物，結果降低水泥漿體之 pH 值，減少骨材中之 Al 和 Si 之析出。因此可以作有害物質如 CH、KOH 及 NaOH 為有益之膠體，而達成強度效益。
- ②使 CH 晶體之亂度增加：即 CH 晶體成核位置沿卜作嵐材料顆粒表面增長，減少 CH 晶體以平面平行骨材表面方式成長所形成之缺陷。
- ③具填充作用：卜作嵐反應生成物 C-S-H 膠體可充填孔隙，使結構體之孔隙率降低。

由於水泥價格較卜作嵐材料昂貴。因此，可提高水泥強度效益。然而使用過量則使其早強降低，養護不當，則其強度亦將折減。

## (3) 調整最佳之粗細骨材級配

骨材級配愈佳，則其孔隙愈小，所需水泥漿量將相對減少，因而可獲經濟性。

## (4) 骨材最大粒徑

骨材粒徑最大則其總表面積相對地減少，因此其水泥漿潤滑之厚度亦將相對縮減，而具有經濟性。應用細度模數大於 2.8 之粗砂為未來之趨勢。

在 HPC 應用上有效地使用材料使其發揮最大產能，及品管制度良好，有效的操作生產程序，和容易作業之條件下，因此極具經濟性。



## 5.生態性

HPC 具有高強度，極高耐久性，使用壽命增長，因此可減少結構體之破壞影響生態，其縮小尺寸與自重其使用空間可有效利用，所有使用材料均能做最有效地利用可節約能源，而且使用台電及中鋼生產之廢棄物飛灰極高爐石，使廢物再生利用，同時可有效地節省砂石料之數量需求及水泥用量，減少一公斤之水泥可減少在製造時排放 1 立方公尺體積之二氧化碳之排放，相對地可減少溫室效應，則可減緩大氣溫度之上升速率<sup>(3)</sup>，因此使用 HPC 極具環保生態性。

### (三) 高性能混凝土之應用

高性能混凝土之優點及應用性如表四所示，因此如今高性能混凝土以普遍在混凝土界引起廣泛之興趣，應用於高樓建築物，海域平台、港灣碼頭核能與橋樑工程及預力混凝土，其優點如下：

- (1) 增進工作度與強度，使其施工快速及具經濟性。
- (2) 更為耐久，對於橋樑，外海及核能結構物，碼頭與公路工程特別重要。
- (3) 增強結構特性，使得結構設計更具經濟性及更能發揮其功能。
- (4) 混凝土摻加卜作嵐材料可增加其結構體之緻密性，不僅使其更具耐久且具環保性。

表五<sup>(21)</sup>列出 HPC 在各種結構物上應用之型態，可增進的工作性質及實例，而表九<sup>(22, 23)</sup>示在港灣及海域工程上國外應用實例，圖十四～十六<sup>(23, 24)</sup>為 HPC 在橋樑及海域平台應用之範例。在北海混凝土平台自 1973 年至 1995 年共有 27 座。水深自 70 公尺至 345 公尺。例如圖十一之 Heidrum 張力腳平台就是建在 345 水深之處。其挑戰性及需求如表十<sup>(24)</sup>所示。北海之混凝土能保持耐久性是保持如表十一所示之十大重要法則<sup>(25)</sup>。其所使用之滑動模板施工如圖十七所示<sup>(24)</sup>，現以改進使用 HPC 高流動性泵送方式加以改善。

國內 HPC 之應用始於 1990 年在台北興建之遠企大樓、1994 年高雄 85 層國際大廈、南二高一座橋樑、中油防爆牆控制室、1997 年海洋生物博物館、1997 年復興營造公司正式採用 HPC 於營建工程，HPC 規範以引入高鐵之施工規範中，鄰近國家除日本外香港、印尼、馬來西亞及澳大利

亞、新加坡亦相繼採用<sup>(26)</sup>。未來工程將陸續採用 HPC，此乃為大勢所趨不得不作之抉擇。

#### 四、高性能混凝土使用材料之選擇

高性能混凝土的使用材料無普通混凝土無異，為水泥、水、骨材、摻料等，只是強調品質最佳化，因此在選料上必須慎重且應用本土化材料。在配比設計之前，就應考慮與外界因素有關環境的材料耐久之特性。因此，在材料選擇上必須落實在標準規範要求之上。換言之，控制應如捷運工程局及 ISO 9000 所指示一般工程品質應由廠商自行控制，並列檔管制，讓製程品管透明化。

高性能混凝土材料優質化之目的在提昇各種材料之性質，使之能充分物盡其用，並且互補互生，達到最佳效益。以下針對組成材料加以詮釋其理論上應有性質及目地。

##### (一) 水泥

高性能混凝土卜特蘭水泥選擇只要符合 CNS 61 R2001 規定即可，原則上宜固定使用同一廠牌水泥，並作長期物化性品質追蹤，檢查水泥試驗報告之差異性，使水泥達成要求品質。但由於不同水泥廠所製造水泥組成成分和細度不同，所以其製成之混凝土的強度發展特性亦有所不同，故早在採用高性能混凝土使用前 3 至 6 個月，應該要求可能參與工程之供應商能提供倉儲檢測證明資料，並查核品質管制圖表，這項工作進行不僅可以事先查出 CNS 1010 R3032 水泥砂漿立方體測試所顯現的強度特性，更重要的是能提供依 CNS 規範所檢測的水泥品質均勻性之報告，例如其矽酸三鈣含量變異數需小於 4%；燒失量變異數低於 0.5%；細度介於  $3500 - 4000 \text{ cm}^2 / \text{g}$ ；其變異值須小於  $375 \text{ cm}^2 / \text{g}$  (Blaine)；硫酸鹽 ( $\text{SO}_3$ ) 含量之變異數應限制在  $\pm 0.2\%$  範圍以內，七天之抗壓強度應大於  $294 \text{ kgf} / \text{cm}^2$  等 (4.27.28)。

雖然規範中規定水泥砂漿立方體測試方法可提供強度發展之指標，然而應用於混凝土時則其特性可能稍有不同，應再進行混凝土試拌加以驗證。試拌使用材料應採用工程施工時將使用之材料，使之能符合預期之工作性要求，其強度分別應在 7, 28, 56 及 91 天齡期時加以測定。若為高強度之 HPC，則其所含水泥量較高，此時水泥特性對拌合水量的影響性更為顯

著，宜更加謹慎。原則上若無特殊需要，採用 I 型水泥即可。

高水泥用量將使混凝土內部之溫度升高會有發生乾縮與潛變現象之可能。一般 HPC 要求每公斤能發揮 20psi 之強度，所以用設計強度除以 20 即可得出水泥用量，例如 8000psi 的混凝土使用量為  $400\text{kg}/\text{m}^3$ 。HPC 之水固比低於 8% 有利於耐久性。HPC 為達成耐久性與強度，必須配合控制用水量及水泥用量（水固比）。

另外，需要考慮的是水泥與摻料系統一致性，例如：減水劑對需要拌合水量的效益需視水泥特性而定。而強度發展則由水泥特性及水泥含量決定，更重要是以水膠比控制，這些因素都必須詳加注意。

## （二）骨材

混凝土中使用大約 80% 的骨材，其重要性不言而喻，一般要求所採用的粗骨材、細骨材只要符合 CNS 1240 A56 規範即可使用為高性能混凝土之骨材。原則上，宜採用粗砂（即  $\text{FM} > 3.0$ ），以避免因細砂會影響到用水及使混凝土稠度增加造成太黏而無法泵送之缺點。又粗骨材/砂漿界面之高握裹強度要求，故粗骨材最大粒徑被認為以不超過 20mm，質地堅硬為適宜。預拌廠之品管人員需嚴密的做好品管工作，且統計其變異性，並視需要制訂品質計畫及作為量產時配比微調的依據<sup>(29)</sup>。HPC 要求之骨材性質如表九所示。

## （三）水

高性能混凝土所用之拌合水經檢測（依 CNS 1010 R73 規範）須潔淨不含各種油脂、酸、鹽類、有機物或其他有害物質。原則上「凡是可以喝的水皆可當作拌合水」。一般要求拌合水的品質對凝結時間及抗壓強度不可有過渡的影響。同時高性能混凝土因考慮耐久性關係，水中所含氯化物不得超過 200ppm，若考慮高膠結用量所導致之水化熱問題及避免引起溫差龜裂，則拌合水宜採用冰水或飲水機之涼水（溫度約  $10^\circ$ ）以獲致良好之初期水化效果，俾產生較為緻密性之水泥漿體機體組織，防止水化產生之高溫及過大的坍度損失，而有益於混凝土極限強度<sup>(30)</sup>。

## （四）化學摻料

美國混凝土學會「結構混凝土規範」（ACI318-95）<sup>(10)</sup>已容許混凝

土可以添加化學摻料，對 HPC 而言，減水摻料之使用是一大法寶，然而在市面上化學摻料之產品相當多，因此在使用前，對其品質之認定、強度效益以及與水泥和卜作嵐材料間之相容性、減水量、凝結時間、工作性、劑量及摻加時機等性質均應以試拌方式加以測試。ASTM C494 對化學摻料之要求如表十所示。

高性能混凝土可添加符合 ASTM C494 相關性質標準之 G 型或 F 型之強塑劑（SP），添加適當之劑量而不產生泌水及析離為加 SP 之重點，若水灰比愈低或添加飛灰時，因為飛灰顆粒較細且易吸水，此時就應添加強塑劑，其用量需視現場拌合時與新拌混凝土稠度而定若加太多量，則易生泌水，而太少則效果不彰，無法獲得流動效果。影響強塑劑的效益在短期間即消逝，宜配合減水劑等混和使用，且使用時應控制混凝土溫度不超過 27°C 為宜，使強塑劑能確保應有之功能。故建議最佳劑量應以試拌為主，輔以廠商說明書及拌合時之目視，經驗判斷較佳，對於化學摻料之強塑劑之品牌選擇需考慮其主要成分及減水與緩凝效果，以利滿足添加後混凝土特性能符合工程上要求之標準。強塑劑之功能如圖十八所示，可利用減水改善工作性、降低水灰比、節省水泥用量具經濟性及提高強度及耐久性。

## （五）卜作嵐材料

美國材料試驗協會（ASTM）對卜作嵐材料所下之定義為「矽質或含矽及鋁質材料，其本身稍具或不具膠結性質，但經研磨成細粒狀及含有水分下，受溫度效應會與氫氧化鈣產生化學反應，形成含有膠結性質之水化物」<sup>(32)</sup>。一般常用的卜作嵐材料如飛灰、爐石、矽灰及稻穀灰等。

國內高性能混凝土所使用較為經濟的卜作嵐材料有飛灰及水淬高爐石粉，其具有降低水化熱及減低成本，且產生卜作嵐反應使界面泌水所造成之氫氧化鈣堆積層受到交換作用形成膠結物，進而改善強度及水密性之特性。其被用於取代砂係基於可改善混凝土性質、增加耐久性及減少環境污染有效利用資源等考慮。且可取代水泥用量，其應用之策略如圖十八所示<sup>(33)</sup>，由於國內電廠之燃煤原料之料源不同，燃燒程度不一，且品質隨季節變化，以至於品質相當不穩定，故其篩選工作相當重要。一般較簡易快速方法測試其燒失量（ $\leq 8\%$ ）。添加飛灰可改善混凝土的泌水現象及縮小孔隙結構，改善耐久性，在使用上係將不同比例飛灰與粗砂混和後可求其

最大單位重，例如一般約為粗砂的 15 ~ 20%時可獲得細骨材之最大單位重。由於爐石屬半膠結性材料，適量的使用可發揮與水泥相同的強度，及降低水化熱。為需考慮其細度、活性及斥水性，並使用品質控制穩定性佳的料源，且若久置空氣中，易吸收潮氣而結塊，拌合時宜事前檢視以使品質均勻。在此應用上係取代水泥約佔有 5%左右為宜。過量的爐石含量，則水化後期可能亦產生泌水現象及造成表面粉化或起砂缺陷。因此選用卜作嵐材料必須相當小心，中國國家標準訂定相關規範。對於高爐石及飛灰評估方法及規範如表十一所示。

由於高性能混凝土破壞方式有貫穿骨材或骨材與水泥漿體之界面發生破壞。因此必須著重使用材料之選擇，表十二列出影響界面因素及改善策略。

## 五、高性能混凝土之配比設計

### （一）高性能混凝土配比考慮重點

如何製作能符合要求性能的混凝土，主要取決於配比的成與否。故其粗、細骨材之比例，膠結料（binder）含量、摻料的使用情況等，對混凝土的組織結構及力學行為均有相當之影響性，因此任何一方面的品質控制不當都會造成不良的混凝土拌合性質或無法達到預期之性能要求，以下列舉一些配比之重點。

1. 水灰比（W/C）：HPC 之早期強度主要取決於 W/C，而長期強度則主要取決水膠比（W/B），而坍度取水灰比和用水量有相當密切的關係，特別是在高流動化的混凝土通常是在  $W/C=0.23 \sim 0.40$  之間，其與強度成反比之關係，因此水灰比及水膠比為配比上重要考慮因素。
2. 水泥用量：高強度混凝土的水泥用量最好是由試拌決定。一般而言，範圍約為 350 ~ 400kg 之間。但水泥用量太高通常容易產生乾縮現象，現可使用卜作嵐材料取代可增加 HPC 之耐久性、經濟及安全性。所以水泥與卜作嵐材料用量亦為配比重點。

#### 3. 骨材配比

##### （1）細骨材

由於細度模數在 2.5 以下的砂會使混凝土之稠度增加，以致

太黏而很難搗實。細度模數約 3.0 的砂具有最好的工作性及較高之抗壓強度。圖二十示砂之細度模數越大則需之乾倒粗骨材體積越少，此時砂與粗骨材比（S/A）值會較大<sup>(18)</sup>。圖二十一示在相同的坍度條件下砂石比值與所需之膠結料（binder）之數量成反比，是故所需之膠結料量減少，則可減少其發生乾縮龜裂現象機率和降低經濟成本<sup>(28)</sup>。

## （2）粗骨材

由於粗骨材之粒徑越小，則其砂石比就有越大的趨勢，相對地可縮減所需膠結料數量，且站在考量水泥用量和水灰比情況下所產生的抗壓強度為高之條件下，則粗骨材的最大粒徑應維持在  $3/8'' \sim 1/2''$  之間。而不同混凝土設計強度時，使用不同的最大骨材粒徑，會顯示不同的水泥強度效率，如圖二十二所示混凝土強度越高且使用的粗骨材最大粒徑越小時，則可獲較佳水泥強度效率，強度在 7000psi 之粗骨材最大粒徑約為  $3/8'' \sim 1/2''$ <sup>(34)</sup>。

## （3）骨材配比之最佳化

基於以上砂石比與膠結料之經濟效益和最大骨材粒徑與水泥的強度效率，因此高性能混凝土所使用之粗骨材最大粒徑（ $D_{max}$ ）介於  $3/8'' \sim 1/2''$ ，而細骨材之細度模數應  $\geq 3.0$  為佳，且從近年來 HPC 文獻資料中顯示出砂石比之值應在 40 ~ 45% 左右為佳<sup>(28)</sup>。

# （二）ACI 配比設計

高性能混凝土在台灣的研發工作，自 1992 開始至今已步入第 5 年，至少有 60 個大計畫在各大專院校完成或正進行中，基本上所使用的配比設計大都採用美國混凝土學會的配比設計為架構，再加上一些經驗法則，這些方法大都能達到所謂的「高強度」及「高流動化」混凝土的要求。

ACI 混凝土配比設計流程如圖二十三所示，基本上是沿襲 ACI 211 規範，決定的重點為「安全性、經濟性、耐久性」。

配比設計開宗明義第一條，即由施工狀況決定坍度，再由坍度及骨材特性，決定「拌合水和量」（ $W_w$ ）。接著，由安全性及耐久性選擇水灰比（ $W/C$ ）（ACI318-89）或水膠比（ $W/B$ ）（ACI318-95）。如此水泥量（ $W_c$ ）或膠結料（ $W_s$ ）即

$$W/C = \frac{W'_w}{W'_c} \quad (1)$$

$$W/B = \frac{W'_w}{W'_B} \quad (2)$$

施工時通常會利用加大拌合水量以求高流動化，而拌合水量過多會產生泌水與析離現象，對於硬固混凝土會有以下之缺失<sup>(9)</sup>：

- ①降低抗壓及抗辯強度
- ②提高滲透性、降低水密性及增加吸水率
- ③減少抵抗風化之能力
- ④降低澆置及鋼筋與混凝土界面之鍵結力
- ⑤增加乾濕體積變化
- ⑥增加乾縮裂縫機率

另外，可能會加多水泥量以利降低水灰比，俾便提高混凝土強度，由於水泥漿量過高，會出現體積不穩定現象，且會發生自體乾縮龜裂現象，ACI 318-95 為滿足 HPC 要求以容許使用卜作嵐材料及強塑劑可達成高強度及高流動化之目的，ACI 配比設計程序如下：

### 步驟一：選擇材料

蒐集及測試粗細骨材、卜作嵐材料與強塑劑之物性及化性篩分析、單位重、吸水率比重等資料，提供配比計算用，並指定粗骨材之最大粒徑。

### 步驟二：決定強度與坍度

HPC 配比設計時為考慮強度保證率，宜以要求抗壓強度作設計，並採用式（3）及式（4）算出之最大值者。

$$f'_{cr} \geq f'_c + 1.34S \quad (3)$$

$$f'_{cr} \geq 0.9f'_c + 2.33S \quad (4)$$

式中

$f'_c$  = HPC 規定抗壓強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )；

$f'_s$  = HPC 要求平均抗壓強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )；

$S$  = 標準差 ( $\text{kgf/cm}^2$ )。

若無適當試驗資料可資計算  $S$  時，可依式 (5) 計算：

$$f' = \frac{f'_c + 98}{0.90} \quad (5)$$

依國科會推動目標，HPC 的  $f'_c$  為  $560 \text{ kgf/cm}^2$ ，設計坍度為  $25 \pm 2 \text{ cm}$ ，且拌製 45 分鐘後之坍度不得小於  $23 \text{ cm}$ 。

### 步驟三：確定水膠比

查圖二十四之抗壓強度與 W/B 關係曲線，依  $f'_c$  確定 W/B；或以工程預定使用之材料，選三種以上之 W/B 進行試拌，必產生之強度範圍能涵蓋  $f'_c$ 。當無可接受之工地試驗記錄或試拌資料時，可依  $f'_c$  參考圖二十五確定 W/B。或依 ACI 配比設計由粗骨材最大粒徑與坍度  $25 \pm 2 \text{ cm}$  求出用水量，再用此水量加以修正，修正後之用水量不得大於  $200 \text{ kg/m}^3$  水泥用量不得大於  $500 \text{ kg/m}^3$ 。

### 步驟四：確定水泥用量

依  $f'_c$  參考圖二十六，確定每  $\text{m}^3$  HPC 之水泥用量  $C_0$ 。並考慮水泥強度效益需大於  $20 \text{ psi/kg}$ ，可由設計強度求出水泥用量。

### 步驟五：確定爐石用量

對強度要求為  $560 \text{ kgf/cm}^2$  的 HPC 而言，爐石用量約為水泥之 20%<sup>(35)</sup>。

### 步驟六：計算用水量

$$W_0 = (C_0 + P_0) \times \frac{W}{B} \quad (6)$$

式中  $W_0$ ：每  $\text{m}^3$  HPC 的用水量 ( $\text{kgf/cm}^3$ )

$C_0$ ：每  $\text{m}^3$  HPC 的水泥用量 ( $\text{kgf/cm}^3$ )



$P_0$  : 每  $m^3$  HPC 的爐石粉用量 ( $kgf / cm^3$ )

### 步驟七：確定飛灰取代砂比值

飛灰可用來取代水泥，亦可取代砂；但由於台電生產的飛灰 CaO 含量低，故在國內 HPC 配比中，通常將飛灰用來取代係砂。其算法為將飛灰與砂混和，依 ASTM C-29 或 CNS 1163 規範之方法，求出最大單位重時的飛灰/砂比值  $\alpha$ ，例如圖二十七所示。

### 步驟八：確定細砂料/全部粒料的比值

固定飛灰/砂之重量比值，依 ASTM C-29 或 CNS 1163 規範進行試驗，求出細粒料最大單位重時的細粒料（飛灰及砂之和）佔全部粒料之重量比  $S_p$ ，例如圖二十八所示。

### 步驟九：確定飛灰、砂及石用量

1. 以飛灰取代砂調整後之細度模數可查表十三，決定粗骨材之用量 ( $W_{cs}$ )。砂細度模數之調整係因為加入幾乎完全通過 #100 號篩之飛灰，所以其調整之細度模數可以原來砂之細度乘上飛灰取代細骨材之重量比例估算。
2. 從表十四查出用水量  $W$  並決定其混凝土設計強度所需之水膠比  $W/B$

$$\therefore \frac{\bar{C} + P}{W} = W/B \quad (7)$$

$$\bar{C} + P = \frac{W}{B} W$$

3. 求出細骨材之含量

在此忽略空氣含量以方便計算，並以  $\bar{C} + P$  視為水泥加高爐石之重量算出個骨材之體積，最後再予以修正。

$$V_{cs} = \frac{W_{cs}}{\gamma_{cs}} \cdot V_w = \frac{W}{\gamma_w} \cdot V_c + P = \frac{\bar{C} + P}{\gamma_c} \quad (8)$$

$$V_{cs} = 1 - (V_{cs} + V_w + V_c) \quad (9)$$

$$W_{csf} = \gamma_{cs} \times V_{cs} \quad (10)$$

上式之  $\gamma_{cs}$  係以飛灰取代砂百分比調整後之比重。

#### 4.各骨材用量之修正

(1) 砂及飛灰之用量，以飛灰取代砂之比例( $\alpha$ )直接算出

$$W_{cs} = W_{csf}(1 - \alpha) \quad (11)$$

$$W_{fly} = W_{csf} \cdot \alpha \quad (12)$$

(2) 計算水泥用量

$$C = \bar{C} + P - W_{fly} \quad (13)$$

$$\therefore V_c = \frac{C}{\gamma_c} \quad (14)$$

(3) 各骨材量之修正

因  $V_{\bar{c}+P}$  換算成  $V_c$  所減少之體積需予以修正，所以最後之骨材用量如下：

$$\text{修正係數 } S = 1 - \frac{W_{fly}}{\gamma_c} \quad (15)$$

$$W_{cs(finial)} = W_{cs} \times \frac{1}{S} \quad (16)$$

$$W_{cs(finial)} = W_{cs} \times \frac{1}{S} \quad (17)$$

$$W_{fly(finial)} = W_{fly} \times \frac{1}{S} \quad (18)$$

#### 步驟十：決定強塑劑用量與最後拌合水用量

強塑劑之使用量可先由圖二十九中查表得到，再經試拌量測坍度及流度，修正強塑劑之使用量；拌合水之調整，為使水灰比保持不變，故需

將強塑劑用量從拌合水用量中扣除，而得到最後之拌合水用量。

## 步驟十一：試拌和調整

試拌時，至少需製造三個試體，再預定齡期下再依 CNS 1230 之規定，執行抗壓強度測試；每次改變 W/B，則視為一新配比。試拌得到之 HPC 坍度值與設計值相差應在  $\pm 2\text{cm}$  以內，否則調整強塑劑量或用水量；經驗顯示若調整  $\pm 0.1\%$  強塑劑量，則坍度改變  $\pm 2\text{cm}$ ；若保持 W/B 不變而調整用水量  $\pm 3.5\text{ kg/m}^3$ ，則坍度約改變  $\pm 2\text{cm}$ 。新拌 HPC 之單位重及溫度應予記錄。另外也須依照粒料之吸水率及表面含水率調整粒料及拌合水用量。

### (三) 緻密配比法

水泥砂漿或混凝土中的水泥漿體係當作黏結骨材的膠結料 (binder)，使之成為堅固之人造石材。因此，理論上水泥漿體只要足夠充填骨材間空隙及佈滿骨材表面即可。然而實際尚未了滿足工作度的需求，常使用比較高之水泥漿量，如此不但不經濟且可能發生嚴重乾縮或潛變龜裂的問題發生，因此應儘量採用少漿系列。其觀念如圖三十所示，說明如下式：

$$V_p = V_v + S \cdot t_{\min} \quad (19)$$

式中： $V_p$  = 所需水泥漿量體積；

$V_v$  = 骨材孔隙空間體積；

$S$  = 粗骨材潤滑表面積總和；

$t_{\min}$  = 骨材表面所需最少水泥漿量之厚度。

緻密配比方法係先考慮孔隙，配出最少孔隙後再依據以計算出主要材料，如骨材及礦物摻料等之含量。最後將剩餘之空間在填入水泥漿，其配比流程如圖三十一所示<sup>(37)</sup>。如下概述：

#### (1) 緻密配料

最小孔隙的量測可以混和料配方的方式，將各種材料調配出最佳之比例，如下式：

$$\alpha_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (20)$$

式中  $\alpha_i$  為材料之最佳單位重量百分比， $i \in [1, n]$ 。

$W_i, W_j$  為混和材料  $i$  及  $j$  之單位重， $i$  及  $j \in [1, n]$ 。

## (2) 決定孔隙率

孔隙率的計算係將以調配好的各種使用材料之單位重，除以其密度 ( $\gamma_i$ )，則可算出孔隙率。

$$V_v = 1 - \sum \frac{W_i}{\gamma_i} \quad (21)$$

## (3) 設定水泥漿量體積 ( $V_p$ )

$$V_p = n V_v = V_v + S \cdot t \quad (22)$$

$$\therefore t = \frac{1}{S} (n - 1) V_v \quad (23)$$

式中  $n$  須大於 1，才有足夠水泥漿量潤滑骨材及填充孔隙。

## (4) 計算骨材之體積 ( $V_s$ )

$$V_s = 1 - V_p \quad (24)$$

## (5) 計算各材料之使用量

$$W_j = \frac{V_j}{\frac{1}{\gamma_j} + \frac{\alpha_i}{1 - \alpha_i} * \frac{1}{\gamma_i}} \quad (25)$$

## (6) 配比材料選擇之準則

以每立方米混凝土體積之水泥用量低於 400kg，水用量低於

200kg，水泥效益為大於 20psi/kg。

### (7) 試拌

依配比設計之結果，試拌 HPC 時之程序應注意，將飛灰延至最後加入，若骨材為乾燥須先加入一小部份水先將骨材濕潤，在將所有之 SP 與所有剩餘之水混和加入混凝土中攪拌，以獲得 SP 之最大效用。最後測試 HPC 之各種新拌性質，當坍度為符合要求時，可添加 SP 予以修正，經現場之試拌顯示添加 0.1% 之 SP 可增加 2cm 之坍度，因此 SP 之添加須非常小心，不可過量，否則將致泌水，影響工作性。

### (8) 測試結果之檢討

由配比計算所得之結果繪成如圖三十二及圖三十三，更能明顯看出  $V_f$  值越小則需水量及水泥量減少，因此可減少對混凝土之乾縮潛變。以經濟性之考量，水泥用量之減少，無疑地使混凝土之成本降低，並且降低水化熱所產生之負面影響及產生乾燥龜裂之機率。各種試拌結果如表十五所示，基本上，水泥漿量愈大則其 45 分鐘後坍度及坍流度會折減（圖三十四～三十六），而強度會隨漿量之增加而遞減，但其單位重，則相對地地增如圖三十七所示，表十六為現今國內各大學發展高性能混凝土之相關配比資料，圖三十八～四十一為其組成材料與強度之關係<sup>(15)</sup>。

HPC 之配比設計隨著幾次成功的經驗，印證「適當漿量，且漿量愈少耐久性愈佳」的效果。國內配比的觀念隨著 ACI 318-95「結構混凝土」的觀念及 HPC 混凝土緻密配比的思維改變，並佐以國內外 HPC 科研的成果，推出之優生思考理念，著重「安全性、耐久性、工作性、經濟性、及生態性」的準則要求，此將是 21 世紀配比之主流，值得重視。

## 六、高性能混凝土品質保證系統

針對國內常見之混凝土工程弊端及耐久病因之剖析。對策之研擬需訴之於推廣應用高性能混凝土。而其普及化應考慮之關鍵，如圖四十二所示，必須多方面之配合才能達成預期之品質保證。以下列舉一些需求性。

1. 規範修訂：不合適及過時之規範應加以更新，如表十七為 HPC 與傳統混凝土規範限制之比較。前者是利用美國混凝土學會 ACI318-89 規範制訂的。而後者係根據 ACI318-95 規範研定的。中國土木水利工程學

會之混凝土工程委員會議根據 ACI318-95 規範加以修正，並將草案刊登在土木水利季刊<sup>(39)</sup>。供 關心混凝土工程建設之各界同仁參與討論，以收集思廣益之功，預期新版之規範與解說能更趨完善。

- 2.應突破審計、工程設計及顧問公司的思考模式。即傳統混凝土僅需考慮經濟安全及工作性即可，但目前推廣 HPC 更需再詳加考慮耐久性及生態性，以利提昇工程品質。
- 3.利用網路宣導水泥漿量少，可獲緻密性佳及強度高混凝土之觀念。
- 4.建立使用水泥漿量多，則發生泌水與析離之機率會增加，且有早期強度高，但其長期強度低之傾向，水固比小於 8%，會使電阻增大，對耐久性有利。每公斤水泥能發揮 20psi 強度之水泥強度效益為經濟上之考量。
- 5.HPC 之坍度可高達 25 公分能使混凝土充填模板之角隅處或密擠之鋼筋，像蜂蜜般慢慢攤開，並非向水一樣整體外洩或崩垮。而不會像傳統混凝土大於 15 公分之坍度有泌水之困擾。
- 6.容許使用卜作嵐材料及摻料係站在安全、耐久、經濟、生態及工作性等各方面之考量。
- 7.未來結構體之品質為監測的目標，應建立規則化及經常性之品質作業，其內容類似 ISO 9000，俾便養成品管習慣及建立統計品管之資訊。
- 8.應透過電腦網路對國內 HPC 缺乏共識加以不斷宣導推廣使其達到普及化，委託專業公司從事制度化之教育訓練及習慣團體合作。所有參與人員均朝向做好良好品質保證之目標而邁進。
- 9.所有業主、設計、施工、材料供應商、預拌廠、建管及施工單位都應進行密切合作，以利建造一符合標準之 HPC 結構物，一旦形成團隊後，自然產生共同之責任與榮譽進行全面品質保證工作。
- 10.HPC 可透過計畫（Plan）、執行（Do）、檢核（Check）及修正行動（Action）（PDCA）之品管作業循環，創新工程品質如圖四十三所示。
- 11.HPC 全面品質保證系統流程如圖四十四所示，自選料、配比、試拌及試驗至回饋資訊等均需以嚴格之品管保證<sup>(40)</sup>。
- 12.未來混凝土的設計需在符合「安全、工作、經濟、耐久及生態」之準則下，考慮達到結構物要求之功能。HPC 在品質保證系統上有賴

產、官、學、研的通力合作才能普及化如圖四十五所示<sup>(41)</sup>。

13. 國內自 1992 年開始籌畫 HPC 研究群，於 1993 年在中華民國結構工程學會成立「HPC 委員會」推動多像 HPC 研究工作<sup>(42)</sup>。更由於 HPC 之配比與品質保證驗證工作相當成功。因此在工程實例上已初具宏觀，本工程執行模式係由建築師及結構設計人員明訂性能準則與規範，所以未來再推動 HPC 品質保證系統應由政府單位如營建署、公共督導委員會等層級先進行觀念上之宣導，同時由中國土木水利工程學會混凝土委員會及結構學會之 HPC 工作小組共同修訂高性能混凝土特別條款草案<sup>(43)</sup>，並透過定期演講、研討會與座談會宣導理念普及至建築師、顧問公司及品質單位等，促進 HPC 觀念在國內生根。而規範之制訂係由營建署贊助，土木水利會研擬，並普及至各縣市政府建管單位，並擇一公共工程讓產官學合作透過「PDCA」品管路徑學習 HPC 製作達成品質保證之目標及建立工程範例製作執行手冊。當實體計畫完成後，評估實質，並著手修訂規範及完成施工手冊。對於 HPC 之觀念若能透過實例如台北遠企中心及高雄 85 層國際廣場加以整理可分享國人。一定可使國內工程品質提昇，HPC 之品質保證系統主要在使參與者分享成果、激勵參與、落實建設及保固結構物。
14. HPC 是混凝土經過品質保證技術確保品質一致性及穩定性滿足營建工程優良品質之需求。因此在自選料製混凝土結構物使用等各階段均需進行一些品質驗證工作，圖四十六及四十七分別為混凝土材料品質檢驗與施工作業之流程範例，詳見參考文獻 43。





# 參、實驗計畫與測試結果分析

## 一、試驗流程

本研究探討 HPC 之材料組成、拌合程序對混凝土性質之影響，其試驗流程如圖四十八所示。

## 二、試驗材料

### 1.水泥

本研究採用之普通水泥係購自市面上台灣水泥公司生產之水泥（台泥），經檢驗符合 ASTM 第一行卜特蘭水泥規格。其基本物化性質如表十八所示。

### 2.粗細骨材

粗、細骨材係採用大甲溪之碎石及天然河砂，亦以上材料均經過清洗、烘乾等程序，然後進行比重、吸水率、單位重、過篩分析等試驗，作為配比設計之基本資料，詳見表十九至二十一所示。

### 3.爐石

採用中聯爐石公司所生產之水淬爐石粉，其物理及化學性質測定結果如表二十二所示。

### 4.飛灰

採用台電公司台中火力發電廠之 F 級飛灰，其物理及化學性質測定結果如表二十二所示。

### 5.強塑劑

採用啓欣摻料公司（HI CON）所生產之強塑劑產品為 HPC 100，基本性質符合 ASTM C494 G 型規格，其基本性質如表二十三所示。

## 三、試驗變數

本研究主要為探討 HPC 之新拌及硬固特性，硬固特性係以 28 天齡期，抗壓強度大於  $500 \text{ kgf/cm}^2$ ，且以不同水灰比觀察其影響。

### (一) 新拌性質：

主要探討混凝土之工作度，包括坍度及坍流度，為確保 HPC 之良好工作進度，於實驗室試拌時，45 分鐘以內坍度應於  $25 \pm 2\text{cm}$  之範圍內，而坍流度應在  $60 \pm 2\text{cm}$  以內。

### (二) 硬化性質：

1. 水灰比：0.28，0.32，0.40。
2. 強度設計基準：在實驗室拌合以 28 天之抗壓強度大於  $560\text{ kgf/cm}^2$ 。
3. 配比：除水膠比會對強度造成影響外，其骨材之堆積效應也會影響強度。因此本研究除使用 ACI 配比外，並以緻密配比法選定不同之水泥漿體比加以探討。
4. 硬化試體抗壓強度測試：使用  $10\text{cm} \phi \times 20\text{cm}$  圓柱試體。於 7 天、14 天、28 天及 56 天齡期下測定，每次齡期各組試體均以三個試體測定值取平均。

## 四、試驗設備及方法

本研究所引用之試驗規範及試驗設備概述如下：

### (一) 試驗材料物性實驗

1. 水泥、飛灰、及爐石之比重試驗：依 ASTM C188 規範規定應用李氏瓶測定。
2. 骨材篩分析試驗：依 ASTM C33 之規定利用振動篩試驗求得粗細骨材粒徑級配分佈及細度模數值。
3. 骨材之比重與吸水率試驗：依 ASTM C127（或 CNS 488）及 ASTM 128（或 CNS 487）規定利用天平及烘乾箱等進行量測。
4. 粗細骨材單位體積重量試驗：依 ASTM C29（或 CNS 1166）「粒料空隙檢驗法」，CNS 1166「粒料單位重之檢驗法」規定使用鐵桶、搗棒、天平及燒杯等試驗設備進行測試。
5. 粗細骨材乾搗單位重試驗：利用 CNS 1166「粒料單位重之檢驗法」

將粒料在烘乾箱內烘乾後秤重規定。使用各固體材料（粗、細骨材及飛灰），不同的混和量下支乾搗單位重，可會出各種混和比例與單位重之關係曲線，進而求得最大乾搗單位重，及最佳骨材級配，並計算其孔隙率。

## （二）混凝土性質試驗

1. 坍度、坍流度試驗：依 ASTM C143 或 CNS 1176 「混凝土稠度檢驗法」規定使用坍度儀及量尺、馬錶等進行測試。
2. 抗壓強度試驗：依 ASTM C39 或 CNS 1232 「混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法」利用 200 噸抗壓試驗機進行測試。

## （三）HPC 之拌製設備及程序

為使混凝土拌合之攪拌工作順利，本研究層設計製作兩台雙軸攪拌機，其尺寸如圖四十九所示，其中一台為固定轉速為 60rpm，而另一台則安裝變速控制設備，其轉速可自 20rpm 增至 120rpm，視需要選定。

照片 1 至照片 4 為本研究所使用之雙軸式攪拌機設備、拌合及製作試體與坍度與坍流度量測等現況照片。拌製時，首先使骨材處理成飽和或濕潤狀態後，先進行粗、細骨材拌合，然後將水泥與爐石加入攪拌均勻，在將強塑劑與拌合水混和液倒入均勻攪拌，最後則將飛灰加入攪拌。其中潤濕骨材及飛灰後加之步驟為使強塑劑能達到最大之效用，強塑劑之添加必須相當小心，不可過量以防止泌水現象，若發生析離泌水時，可酌量加入少量之飛灰或水泥以抑制其析離泌水現象，避免因析離、泌水所導致工作度及強度之不良影響，整個拌合流程如圖五十所示。

## 五、測試結果分析

### （一）高性能混凝土組成材料之物化特性

一般而言，高性能混凝土之使用材料除粗、細骨材、水泥及水外，常常還添加一些卜作嵐材料（爐石及飛灰）及化學摻料（強塑劑），本研究配比所使用的摻料有中聯爐石、台電飛灰及 HI CON 強塑劑。其特性如下：

#### 1. 比重

表二十四所示為各種材料之比重值，水泥及卜作嵐材料皆以 ASTM C188 規定採用李氏比重瓶進行試驗，由表中可之飛灰之比重為 2.3，而砂之比重為 2.59（表十九），所以在同等重量的取代下將有較多體積的飛灰，而以爐石取代水泥的部份也有相同的情形。

## 2. 細度和粒徑分析

經細度試驗發現在卜作嵐材料當中爐石之比表面積為  $4488 \text{ cm}^2 / \text{g}$  較飛灰  $3110 \text{ cm}^2 / \text{g}$  為最高（表二十二所示），而經由雷射粒徑粉末分析其結果如圖五十一所示，可知爐石整體之粒徑分佈仍較飛灰及水泥為細，但其粒徑分佈範圍較水泥顆粒分佈廣，且由粒徑分佈曲線可發現飛灰的粒徑較水泥細，而根據圖五十二之粒徑密度分佈曲線可發現，水泥顆粒分佈之均勻性較高，而飛灰之粒徑分佈情形與爐石類似。

## 3. 材料之最佳化組成

本研究 HPC 配比，需先瞭解骨材、水泥及卜作嵐材料之基本性質，並以最小孔隙法之顆粒堆積理念，使得顆粒間障礙活化能降低，且經由最佳級配及最少孔隙下，產生最大堆積密度。因而飛灰取代砂得到細骨材最大單位重關係圖，如圖五十三所示，即以 12% 飛灰取代砂量單位重最大，相對孔隙為最小。粗、細骨材之比例如圖五十四所示，即細骨材與總骨材比例以 60% 為最佳。本研究採用最大單位重之取代量，而爐石則以 5% 取代水泥量作為設計基準，如圖五十五。骨材之性質如表十九所示，細骨材之 FM 為 2.95，粗骨材之最大粒徑為  $3/8''$ （9.5mm）。

## （二）配比設計

本研究之配比設計採緻密配比法及 ASI 配比法設計法兩種。前者由實驗得飛砂  $\alpha = 12\%$ ，細粒料含量  $\beta = 60\%$ ，及爐石取代水泥量  $X=5\%$  等資料代入計算式中，將其配比結果列於表二十五中。而 ACI 配比設計法，則控制添加飛灰  $100 \text{ kg} / \text{m}^3$ ，爐石量為  $130-150 \text{ kg} / \text{m}^3$ ，控制用水量在  $200 \text{ kg} / \text{m}^3$  以下，並要求新拌混凝土之坍度為  $250 \pm 20 \text{ mm}$ ，坍流度大於 600mm，將其配比計算之結果列於表二十五所示，表中列有兩個使用粗骨材最大粒徑為  $1/2''$  之配比以供比較粗骨材大小之影響性。

## （三）產製過程

經由配比計算後所得之材料數量必須先進行小型試拌，在拌合過程中應注意下列事項：

- (1) 應先將粗細骨材調整至面乾內飽和或是些許的濕潤，在試驗過程中骨材的含水量影響相當大，若能正確求出含水量加以控制則能提高拌合效益。
- (2) 應注意材料之先後順序，由於水泥中  $C_3A$  會與水或強塑劑先行快速反應，而影響強塑劑使用成效，因此應先加入部份水與水泥反應後在將強塑劑與剩餘的水加入拌合。
- (3) 在實驗室中發現若將飛灰最後置入拌合則效果較佳，由於飛灰細度較細且同等重量下體積較大，在初期之保水率較高，若先行加入拌合則會將大量的水及強塑劑吸附而影響拌合時之效益。

除了各個材料之特性及添加程序對拌合製程有相當影響外，拌合設備及能量也會影響拌合之結果，唯有均勻且確實的拌合過程才能達到品質之要求。

依據試拌後所量測的各種新拌性質來觀察是否要調整配比，若是當坍度及坍流度不符合設計要求時，可在添加強塑劑予以調整，但添加時必須注意用量及水灰比之改變，若是使用過當則會造成泌水及析離之現象反而降低混凝土之品質，其次外在環境的溫度也會影響強塑劑使用的成效因此不可不慎。若是有些許泌水的現象，則可適當的添加少許飛灰以改善其泌水現象。在比較高水膠比的配比中可發現常會因為黏稠度不夠而無法達到坍流度的要求，此時可以適當的提高飛灰比例或改變最大骨材粒徑加以改善。

若經由試拌後沒有問題則可進行大量拌合，大量拌合時仍須注意外在環境溫度與試拌時外在溫度的改變及拌合機能量和效益均應事先瞭解。如此才能獲得品質較佳之混凝土，一般而言大量拌合時可降低強塑劑之使用劑量，但能降低多少需試拌和設備及拌合數量而定。

#### (四) 強塑劑對新拌混凝土行為影響性之探討

一般而言，混凝土的用水量越高，則其工作度越佳，此將有利於施工；但相對的，材料固化後，卻會產生較多孔隙使得強度和緻密性較差。

但相對的，材料固化後，卻會產生較多的孔隙使得強度和緻密性較差。若加入強塑劑於混凝土中，由於其分子聚集性功能，會吸附於水泥顆粒表面上，促使水泥漿體發生分散，如圖五十六所示。故可降低所需水量而得到高強度和高緻密性的混凝土材料。

化學摻料的組成爲高分子量之因離子界面活性劑，若加入於混凝土中，將會降低周圍水之凝聚力，其碳氫鏈上連接之負離子吸附在水泥顆粒表面時，也會使得水泥顆粒表面呈現負電荷，造成水泥顆粒由於同性電荷排斥而分散（圖五十七），而增加水泥漿體之流動性。

化學摻料的添加，尤其是強塑劑的應用，使得混凝土無論在工作性、持久性或經濟性等方面些能達到高性能的表現。但混凝土所使用的化學摻料種類與成分相當複雜，HPC 中所添加的強塑劑只是其中的一種而已。即使同樣是強塑劑，其種類、組成、分子量大小、所含鹽類或添加時間均有差異，這些特性會對混凝土材料性質造成不同的影響性。故在工程應用上，工程師必須獲取正確之強塑劑技術資訊，做好材料品管與測試，才可確保具有高品質的水平。

## （五）高性能混凝土之工作性

### 1. 坍度及坍流度

新拌混凝土性質是影響選擇混凝土澆置振動及修飾方法與機械設備的重要因素，同時工作性之表現對日後硬固之混凝土影響甚大，因此 HPC 之工作性最好能使混凝土成塑性態或是液態狀，而使混凝土能輕易的填充至模板之各角落。一般對工作性的要求是以坍度及坍流度爲依據，因此兩者之要求分別爲  $250 \pm 20\text{mm}$  及  $600\text{mm}$  以上。當坍度及坍流度愈小時，則其流送阻力就愈大，因此爲使施工順利均要求坍度及坍流度較大爲原則，在本研究中各種配比均以達到上述坍度，坍流度爲標準，且將用水量儘量控制在  $200\text{kg}/\text{m}^3$  以內，實驗結果如表二十六所示由表中可發現在  $n=1.4$  及  $1.7$  及 ACI 配比中  $W/B=0.32$ ， $0.40$  之配比中要達到上述標準較容易。其原因在要求高坍度極高流度之情況下，骨材與骨材之間需有適當的潤滑漿量，以利骨材藉著潤滑漿而流動，當潤滑漿量太少時，骨材顆粒間距被拉近，其分子間的凡得瓦爾鍵（Van Der Waals）之作用力大於膠體表面電雙層中 Zeta 電位產生的斥力，而產生凝集作用而使得混凝土的流動性變差，在  $n=1.1$  的配比中由於使用較少之膠結料，而粗細骨材的潤滑漿量似乎略嫌不足。若以增加強塑劑用量控制，則易造成顆粒表面無分散劑吸附而

使水份大量被排斥，而產生凝集脫水現象，即整體之混凝土易產生析離現象。圖五十八及五十九為新拌 HPC 坍度與坍流度的變化情形，其中  $n$  值為 1.4 及 1.7 之坍度與坍流度在 45 分鐘後仍能達到設計之需求，而  $n$  值為 1.1 之配比在 45 分鐘後其坍度及流度即有所折減，其原因如上所述。而 ACI 配比在 45 分鐘前一般的狀況還不錯。由於本研究為使新拌混凝土都能達到最佳之工作度，因此在 ACI 配比中添加強塑劑，使其在初始的坍度及坍流度都能符合高流動化混凝土之需求。

此外在  $W/B=0.4$  的配比中其坍度及坍流度有時並不若  $W/B=0.28$ ， $0.32$ 。本研究所使用之粗骨材其最大粒徑愈小，則其所能獲得之抗壓強度愈高，但由於其表面積增相對的砂石比( $S/A$ )將會提高，因此粗骨材重量比也相對減少，而在坍度試驗中，試樣的粘稠度及自重都會影響試驗之結果，在  $W/B=0.4$  的配由於用水量較高而降低試樣的粘稠度，這一點可從流動時間中發現，水膠比愈低的新拌混凝土其所需的流動時間愈長，水膠比愈高則其流動時間愈短，如圖六十所示。

## 2. 泌水與析離

泌水現象的產生係由於漿體拌合水量大於漿體水化或吸附所需的用水量，其機理為漿體在拌合後，若拌合水過多則會形成一固/液相之懸浮體，由於固相漿體顆粒表面與水接觸後會有電雙層之形成，而電雙層包含表面吸附層和擴散層，因此除吸附水層和擴散水層所需水分外，多餘的水分由於其比重較固相材料輕，因此會有往上浮的現象，而在固相顆粒沉澱時經由顆粒相互吸引之凝聚結構網間隙中析出而產生泌水現象。至於在電雙層中之水分則必需當兩個顆粒材料彼此相靠近時，其間的電雙層產生重疊現象，而使得重疊部份的擴散層消失或縮小，而當 Zeta 電位能量提高時，則在擴散層之水才會被釋放出來。Zeta 電位即是位於固相顆粒表面電雙層中吸附層與擴散層界面處的電位。

一般漿體材料之泌水現象會因材料遇水後產生不同的電雙層，而有不同的狀況。而由於水泥、飛灰及爐石遇水後其顆粒表面會產生不同的電雙層。而水泥水化所需之水時，水泥顆粒間電雙層的電位將提高，使其產生泌水現象的機會大為減少。而爐石和飛灰等卜作嵐材料，由於其粒徑較水泥為細在初期表面所吸附之水份較多，而隨著時間增加，因水的存在產生潤滑層使顆粒的堆積更為緻密而將部份多餘的水釋放出來，另一方面由於卜作嵐材料  $CaO$  的含量較低，需有觸媒才能進行水化作用，而且由於其  $SiO_2$ ， $Al_2O_3$  含量較高，其中矽、鋁離子容易和  $Ca^{2+}$  離子結合而形成具—矽—鈣鍵之薄層包裹於顆粒表

面而降低溶液中的  $Ca^{2+}$  離子濃度，使得水化作用進行得更為緩慢，因此卜作嵐材料大部份均是惰性材料，需要一段潛伏期才會進行反應，此即是加卜作嵐材料晚期強度較高之原因。

強塑劑是一種高性能的表面活性劑，其作用機理可以分散顆粒間的聚簇結構而使顆粒間重疊電雙層的能量降低而釋放出餘的水份，例如未添加強塑劑，水灰比為 0.25 的爐石漿體在初期並常有泌水現象產生，但隨著添加的劑量增加而使其泌水現象逐漸遞增，因而可証實強塑劑確實能使聚簇結構中擴散層的水釋放出來。但隨著劑量增加水分不斷的釋出，使得顆立間的距離愈來愈近，而形成了一個明顯的固/液相懸浮體，其上想為釋出之水分，而下想則為堆積愈來愈緊密的膠體，此種現象類似析離現象。下部的膠體因顆粒間距的拉近而形成一個不易被擾動的膠體，由此可知強塑劑雖有很大的功效，但若用量不當，則反而會影響整體的品質。

新拌混凝土若有發生泌水及析離現象時，水份易浮於混凝土表面，混凝土底部則因失水而使其粘着度過高，因而降低其工作性，而且泌水及析離對硬固混凝土的強度發展有極大的影響。因此 HPC 現場施工時，施工人員若額外添加水，則不但無法增進施工之便利，反而更不易施工，如此更能確保混凝土在現場之施工品質。

### 3.保水性質

一般膠結材料能抑制泌水之能力係以保水能力為評估依據。而保水性的機理可藉由界面化學的理論加以詮釋。泌水係由膠結材料與水拌合後浮出之水，而保水性則是在顆粒表面電雙層中吸附層與擴散層所保有之水分。故其能力仍為電雙層吸附水分的能力。因此拌合水就是電雙層內水分加上泌水量的總合，若以界面化學觀點而言，評估保水能力最好的指標即是 Zeta 電位。

## (六) 高性能混凝土抗壓強度之發展

混凝土的抗壓強度受組成材料，施工材料、施工品質及配比方法等諸多因素之影響。本研究拌製之混凝土，其坍度及坍流度均符合要求，且避免產製出泌水現象。因其將會使水泥漿產生凝集作用，並在骨材下方聚積水份而產生類似層狀沉澱之組織結構而形成相當多的連續孔隙，造成強度折減。但在拌製 HPC 時，若配比不當或為達到坍度及坍流度要求而添加過多的強塑劑，使得骨材顆粒表面擴散層之水大量地釋出，促使膠結料顆粒產生凝集現象沉澱於水之下方而降低界面鍵結力，且泌水所產生之孔隙



路徑將造成毛細管現象產生很多微裂縫，使強度大為降低。

本研究針對不同漿量比及 ACI 配比之混凝土之抗壓強度發展做一比較，試驗所得數據如表二十七所示，並將此結果繪製如圖六十一所示。原則上水膠比為 0.28，0.32 及 0.40 之設計強度分別為 620，560 及 420  $\text{kgf/cm}^2$ ，由圖中可發現在 28 天均能達到設計強度，然而  $n=1.1$  之配比下，其抗壓強度並不如預期，其原因可能是由於漿量不足以包裹骨材，致使骨材之界面間產生較多的孔隙而降低強度所致。此外由於  $n=1.1$  配比中水泥含量較少，所以其水化產物不足，加上飛灰之取代量因隨骨材含量增加而遞增，然而飛灰進行反應所需之觸媒，係來自水泥之水化產物，因此水泥量多寡直接影響觸媒的供應量，水泥水化產物 CH 在晚期使飛灰開始反應而形成 C-S-H 膠體，而增加強度。但若飛灰量較大，水泥量較少，則雖然 CH 可能被飛灰完全消耗掉，而可能尚有部份的飛灰在缺乏觸媒之供應下未能參與反應，因而對強度造成負面影響。



# 肆、新建混凝土工程品質提昇之研討

## 一、加入 WTO 對提昇工程技術品質之影響性

我政府已將積極爭取加入世界貿易組織（WTO）列為一項重要政策。其目的在拓展我外貿市場，提昇經貿地位及維持我國自身的經濟利益。在 WTO 之架構下，必須遵守國際協定、開放國內市場、取消經貿管制、降低關稅及刪除對外國廠商之各種限制等。其中與營建工程之未來發展有關之協定有服務貿易協定（General Agreement on Trade in Service, GATS）及政府採購協定（Agreement on Government Procurement, GPA）兩種。表二十八列出簽署此兩協定之規範型態及其與營造業之關係<sup>(44,45)</sup>。簽署此兩協定後對我國營造業將面臨技術提昇，市場競爭與環境改變之衝擊。針對提昇工程品質之影響性說明如下：

### 1. 簽署 GATS 對土木營建工程品質之影響

我國土木營建業界一向並不十分重視技術提昇、研究發展與工程管理之現象，將會因為外國人在國內投資營建業之限制取消而刺激國內營建業界更積極主動的吸取較為先進之技術及研發與管理經驗。同時國內之工程技術人員更需提昇其專業知識與外國語言能力。另外更加要落實專業技師之職責。

### 2. 簽署 GPA 對土木營建工程品質之影響

目前政府採購優先採用國內產品及國外工程廠商需求與我國工程廠商技術合作才得參與投標之限制必須取消。對於高科技工程例如高速鐵路、捷運工程及常跨距之隧道等之高科技或是高性能混凝土等參與廠商增多，除非提昇我國工程技術與品質，否則外商得標機率將增大。

在我國加入 WTO 後與台灣未來營建工程型態日益龐大之改變下，土木營造業再面臨市場開放，外商參與、技術提昇與專業分工之壓力下，產業結構必須改變以因應，未來土木營建將朝向國際化經營，除積極參與 ISO 9000 認證外，需結合相關專業行業特色爭取工程建設。因此必須提昇技術與培育人才，如此才可能在國際上營建工程上競爭。

## 二、如何應用 ISO 9000 認證制度提昇工程品質

ISO 即「International Organization for Standardization」是國際標準組織之縮寫。該組織於 1974 年 2 月創立於瑞士日內瓦。其宗旨為促進國際合作發展共同的工業標準。而其目的在使容易獲得物質及服務之國際交流，並在知識、科學、技術及經濟等方面之活動領域上增進國際間之合作，謀求世界之標準化及其關聯之活動，促進期間共同之發展。ISO 9000 系列，為國際標準組織所制訂之『品質管理』與『品質保證』系列標準。本系列標準於 1987 年月正式公佈後，目前全世界已有超過 70 個國家採用，並轉訂其為國家標準。我國亦已於 1990 年 3 月由中央標準局將其轉訂為中國國家標準 CNS 12680 系列。本系列之組織架構如圖六十二所示<sup>(46)</sup>，概述如下：

1.ISO 8402 為品質詞彙解釋

2.ISO 9000 系列五項標準

- (1) ISO 9000：品質管理與品質保證標準之選用指導綱要
- (2) ISO 9001：設計/發展、生產、安裝與售後服務之品質保證模式
- (3) ISO 9002：生產與安裝之品質保證模式
- (4) ISO 9003：最終檢驗與測試之品質保證模式
- (5) ISO 9004：品質經營與品質體系之要項、適用於公司內部評鑑及稽核。

由圖六十二可發現此制度可區分為品質管理與品質保證兩個部份，前者係指決定與實施品質政策之整體管理功能。包括品質政策、品質目標、策略計畫、資源分配與其他系統化之各項作業，諸如品質計畫、品質作業與品質評估等。ISO 9004 對有效的品質管理系統在文件系統撰寫方面有良好的指導，並且闡述如何可保障自身利益且能滿足顧客之需求與期望。品質保證係指企業建立之品保制度。不論採用 ISO 9001、9002 或 9003 模式，其基本作法大致如下：

- 1.由管理階層訂定品質政策、品質目標，使品保作業朝一致方向執行。
- 2.建立組織架構使各部門間的各種作業權責分明。
- 3.建立品質手冊、作業程序及工作說明，訂定執行的方法，使品保作業制度化及透明化。
- 4.教育員工按既訂的方法執行。
- 5.執行的結果需留下記錄。
- 6.利用管理審查及內部稽查的方式，定期檢討既定之作業方式及其所執行的結果是符合需求。

圖六十三為 ISO 9000 品管與企業經營之關係，一個架構良好之品質管理系統要從競爭環境，經營資源之內外在條件分析，前瞻人類社會需求，企

業未來可能的發展，確定經營理念、經營目標，再依據年度目標與中長程計畫，每年成長目標策畫經營策略、提高競爭力；再以方針管理與品管圈活動建立共識，結合 ISO 9000 制度與專業技術之徹底執行，並以 PDCA 管理循環不斷發現問題，改善缺失以達成經營目標，使其經營理念能充分實踐。由於此一品質管理系統對於顧客、品質、風險、成本及利潤等均加以考慮，故特別重視方針管理與「團隊學習」，此為品質最佳化與品質管制上極具價值之管理資源。其系統架構如圖六十三所示，由此圖可發現 ISO 9000 品質制度是將管理者所有「紀律與技術要求」做適當整合，以確保品質政策和品質目標之達成。ISO 9000 是國際上已被公認最好的品質「保證系統」制度，這個制度有下列各項優點：

- 全員參與活動，建立全員品質共識與價值觀，塑造良好的企業文化與形象。
- 以顧客滿意為原則向顧客展示良好的服務品質與產品，提昇業績。
- 強調預防剩餘矯正第一次把事情做對，減少不當的浪費及節約成本。
- 制度涵蓋完整，ISO 9002 涵蓋 19 項品質系統<sup>(47)</sup>，且環環相扣。
- 制度合理化，具有說服力，即說、寫、做三者一致之品質系統「制度」，容易取得客戶之信賴。
- 持續性維持與改善，以證據證明按制度師實施，並以 PDCA 循環不斷求新與進步，改善企業本身的體質，增加競爭力。

ISO 9000 是以「第一次把事情做對」為目標的「整體工作藝術」。它是藉由「事前妥善計畫，屆時依計畫執行，並留下執行工作客觀憑證的處事法則」，著重「系統思考」。品質保證與企業經營的重點在建立企業成員的價值觀與改善意願，也就是要建立具有「共同遠景」。

營建業是火車頭工業，鑑於營建品質對客戶，對社會以及對企業形象的重要性。導入 ISO 9000 系列於營建業，其推動工作可分為三個階段實施。

## 第一階段 導入階段

1. 決策階層決定實施
2. 推行小組成立
3. 建立品質系統分工架構
4. ISO 教育訓練

## 第二階段 標準化階段

- 1.建立品質文件
  - (1) 建立品質手冊
  - (2) 建立作業程序書
  - (3) 建立作業指導書
  - (4) 建立工作表單
- 2.建立專案品質計畫書
  - (1) 專案工程計畫書
  - (2) 檢驗測試計畫
- 3.內部品質稽核
- 4.品質系統改善

## 第三階段 認證期（流程如圖六十四）

- 1.申請認證、初訪
- 2.模擬評鑑
- 3.系統書面審查
- 4.認證評鑑準備
- 5.現場評鑑
- 6.頒發證書
- 7.追蹤稽核

品質系統之認證，最主要的功能就是協助買主確保產品或勞務之供應，能經由系統化、制度化之管理確保品質。公共工程的買主是全國的國民，因此政府為買主的工程管理代表，為善盡工程管理代表之職責。確保公共工程之品質，品質系統驗證與認證是政府可考慮善加運用之政策工具。目前國際上採用第三者驗證之方式進行品質系統驗證是非常顯的趨勢，尤其是 ISO 9000 品質系統驗證更是風行全球，近一兩年來我國營造業、工程顧問業、預拌混凝土業等公共工程相關產業，亦紛紛申請 ISO 9000 品質系統驗證，因此配合國內工程有關產業對實施 ISO 9000 品質管理標準之興趣，推動公共工程品質系統驗證應是一項既能掌握國際趨勢，又能配合產業脈動之作法。

而目前國內並無任何機關負責公共工程品質系統驗證，僅有 SGS、BSI、DNV 等外商公司對國內營建業提供 ISO 9000 品質系統驗證服務，但因 ISO 9000 品質系統驗證僅為品質管理之基本需要，因此目前之 ISO 9000 品質系統驗證服務則較偏重於文件表單之查證，而在工程技術上較不

深入，同時管理制度之落實也時常流於形式，因此以專業人員、技術單位投入 ISO 9000 輔導協助 ISO 9000 品質管理制度之落實，取得認證提昇工程技術品質驗證能力，建立本土化品質系統，實是工程界提昇工程品質，刻不容緩努力的趨勢。

### 三、對新建混凝土工程品質提昇之研議

品質的意義就是產品或服務的全部特徵與特性能滿足設定需求的能力<sup>(48)</sup>。通常以產品規格或服務規則表示，一般係由顧客決定，或由市場調查依顧客愛好決定；符合「顧客需求」就是好品質。「品質保證」是為提供一項產品或服務將能滿足所設定之品質需求適當的信心，所需之計畫性系統化之措施<sup>(49)</sup>。也就是說所有完整規劃而具系統性的措施，需具備充分信心，以使其產品和服務能滿足所需之品質要求。「品質保證制度」，就是以「第一次把事情做對」為目標的「整體工作藝術」，它是藉由「事前妥善計畫，屆時依計畫執行，並留下執行工作客觀憑證的處事法則」，從此定義可看出品質保證制度著重「系統思考」。品質係經由技術層面的檢查製造及設計等演進為制度上之「管理」，而達文化面之「習慣」。在技術上有品質保證之需求，而管理上有達成品管方法的規則，而文化面就是參與人員共同之價值觀，與改善之意願實為品質保證推動的關鍵所在。

為提昇公共工程施工品質，行政院於八十六年十月七日頒行「公共工程施工品質管理制度」，以建立三級品質管理系統。該系統包括：上級主管機關的「施工品質評鑑系統」，工程主辦單位的「施工品質保證系統」及承包商的「施工品質管制系統」，藉此得以確保公共工程施工品質<sup>(50)</sup>。

工程施工品質評鑑乃基於「品質是承商做出來的」「品質是看得見，亦可驗證出來」的理念，由獨立之第三者，以公平客觀之評鑑標準，針對以完成施工項目表現在外之品質狀況，以抽樣調查方式評估，並評定其優劣等級。因此，施工品質評鑑之意義並非取代原有監造體系功能與職責，而是與施工品質系統相輔相成，以確保施工品質。而且工程評鑑制度所採行之品質標準，雖具有輔助一般工程契約圖說規範之功能，但兩者之基本用途確有異，故不宜單獨作為技術規範之用，尤其不得引用評鑑標準作為判斷工程施工是否同意驗收之依據。質言之，由於工程品質評鑑標準較為明顯，故可做承商品質管理作業之指針，亦可作為品質改善績效之評估工具，其效用甚廣。施工品質評鑑程序如下：

- 1.選項：辦理評鑑單位視工程規模及實際施工進度選定受評工程，並通知主辦工程單位辦理配合事宜。
- 2.檢查及選取：公共工程施工品質評鑑之實施，由評鑑委員們視工程規模及實際施工狀況，以隨機抽樣方式選擇適當之檢查點。
- 3.取樣：依評鑑作業手冊規定於現地隨機選取適當數量。
- 4.評鑑實施：由評鑑人員就選定之檢查點依公共工程施工品質評鑑標準，以目視檢查或簡易工具量測方式進行評鑑。檢查點之評鑑細項有二項（含）以上不合標準或一項主要細項不合標準者，該檢查判定為不合格。
- 5.評鑑計分：計分由辦理評鑑單位依評鑑委員會員依評鑑項目之合格比例計算其得分。

施工品質評鑑內容以主體工程之品質為主，並包含品質管理制度，工程安全衛生與環境等項之管理績效。評鑑人員根據公共工程施工品質評鑑參考標準，對工程施工品質與管理績效予以評分。其標準係依公共工程施工品質評鑑作業手冊所列各項參考標準辦理<sup>(51)</sup>。

公共工程施工品質之評鑑大項分為管理績效及主體工程兩類，其配分以管理績效佔 20%，主體工程品質佔 80%為原則。建築工程，道路及排水工程，橋樑工程、隧道工程、防洪及防潮工程與廠房工程之評鑑大項配分依所附各表辦理。其他特殊或未定評鑑標準之工程得由評鑑小組比照訂定。表二十九至表三十一為結構體評鑑標準之範例。而表三十二為河海堤之結構體評鑑表，表三十三為管理績效評鑑表，因此可綜合評鑑結果計分如表三十四所示。自民國 83 年 8 月開始試評而自 86 年起正式實施。每半年評鑑一次，根據前三次評鑑結果如圖六十五所示，由圖中可發現國內公共工程品質已大幅提昇，本計畫主持人及共同主持人均曾擔任過台灣省交通處辦理重大工程施工品質評鑑之委員，一般評鑑約為 5-9 人，外聘專家學者必須超過半數以維持評鑑之公正客觀性，每一次評鑑施工現場開放設計圖、施工記錄全部陳列備查，並可抽樣及試驗以達透明化，每次評鑑時均立即召開品質控制檢討會，並列入記錄追蹤改善，並辦理輔助、講習、訪問、教育訓練複評，鍥而不捨地協助品質不良者建立品管制度，落實執行。

監造單位及承包商之獎勵應與優良建築師及優良營造評鑑結合；有關評鑑缺失之改善及相關罰則應按施工合約規定處理；主辦工程單位則依評鑑結果綜合評估並辦理獎懲，評鑑記錄列為資格預審項目之一。公共工程施工評鑑之成效如下：



- 1.喚起各級政府及監造、施工單位對提昇工程品質之意識，全面加強品質及技術管理。
- 2.健全品管組織及制度方面。
- 3.強化制度功能有效消除危害施工品質人為因素。
- 4.公共工程施工品質逐步提昇。

施工品質評鑑推動以來發現各工程主管機構均能就公共工程制度面、設計面、執行面的缺失進行檢討改善，並落實公共工程施工品質管理制度，同時加強全面品質管理，使多數政府工程主管機構由行政管理邁入技術及品質管理境界。

實施評鑑以後，可確定公共工程品質已大幅提昇，這和歐美各國所提倡政府應為「學習性組織」有異曲同工之妙，因此評鑑之內容及標準亦將隨著品質之提昇而更趨於嚴謹。

高性能混凝土係混凝土經過品質保證技術，確保品質一致性及穩定性，滿足營建工程優良品質之需求材料。由於其為一相當敏感的新研發材料，因而在混凝土的品管計畫即須更為詳實謹慎，整個品管工作自料源至實際施工均需透過嚴謹的品質管制工作。所有參與者不斷的協商，隨時以計畫、執行、查核、修正做回饋參考，終能突破傳統施工技術之屏障，建立國人對高性能混凝土的品質信心。同時為達到業主需求之性能，必須兼顧耐久、安全、工作、經濟及環保的設計理念，並做好品質保證的措施。尤其是對於台灣四面環海，海域結構甚易受到海水侵蝕、海浪沖擊及鋼筋鏽蝕等影響，因此在設計港灣工程混凝土結構務實必須考量使用高耐久之高性能混凝土設計，其已有成功的案例可尋。同時在施工時更落實品質保證制度，以確保提昇新建混凝土工程的品質水平。



## 伍、結論與建議

根據本研究結果，可得出下列結論與建議事項：

### 一、結論

1. 新建工程之品質提昇之對策為使用高性能混凝土。
2. 高性能混凝土主要強調全面品質保證，並且由最初始的「料源管制」，做到混凝土預拌廠及輸送廠商之「製程管制」，到結構體之「成品管制」，所有階段都是由產、官、學、研等通力合作，將「科學」研發的成果綜合管理「藝術」，協助施工技術之提昇，達到安全性、耐久性、工作性、經濟性及生態性之要求，使結構物品質受到全面之保障。此為提高品質保證確保結構安全性之良策。
3. 新建工程應落實 ISO 9002 以「第一次把事情做對」為目標，推動此品管系統應隨時以計畫、執行、查核及改善管理循環環，不斷發現問題改善缺失，終能突破技術與管理瓶頸，對工程品質保證充滿信心。
4. 為避免傳統混凝土品質不佳，新建工程須以 ISO 9000 品質保證方式並落實 ISO 14000 環境保護以確保結構體品質。
5. 高性能混凝土在國內公共工程應用上有其必要性。但現階段而言，有許多關卡必須突破。如應突破技術上之屏障外，更重要的是政治上的障礙，如規範之限制，施工法等都須有待全面性推廣與普及化。

### 二、建議

1. 目前國內預拌廠中之人員素質及部份老舊設備，未能符合 HPC 生產之需，最好能予汰舊換新，至於人員之素質、觀念及態度方面則需加強訓練及改正，方能有助整體品質之提昇。
2. 為提昇 HPC 在廠拌之品質，料源之穩定性及品質控制工作不可忽略，HPC 講究整體性之材料組合，因此若稍有疏失，則將造成無法達成所需之性能。
3. 目前 HPC 之各種性質如耐久性、耐火性、潛變、乾縮等資料仍然缺乏，因此須以長期研究觀測，已建立完整之資料。
4. 現今國內 HPC 剛起步，因此必須以有系統、有計畫的制訂一套完整之施工規劃及檢測制度，以應未來之需。

- 5.中低強度 HPC 為目前國內混凝土市場之最大需求，HPC 具備高流動化及易施工等之性能，因此若能運用至中低之混凝土，相信將有助於解決混凝土施工時之加水、勞工不足等問題。
- 6.公共工程施工品質評鑑可喚起政府、監造及施工單位等對提昇工程品質之意識全面加強品質及技術管理值得推廣應用。

## 陸、參考文獻

- 1.林維明等,“海砂屋調查分析”,防蝕工程 10 卷 2 期, 1995 , pp.108-118。
- 2.廖肇昌譯,“混凝土問題原因及診治”,民全書局,民國 76 年, pp.136-137。
- 3.黃兆龍,“高性能混能土在公共工程上應用”,新建混凝土技術對未來土木工程的影響研討會,四海工商專校土木科,國 86 年, pp.52-71。
- 4.Mehta, P. K. , “ Concrete Structure ,Properties and Materials,” 2nd Ed. , Prentice Hall(1993).
- 5.黃兆龍、陳建成、陳金祥。“拌合水對優生混凝土工程性質之影響”,高性能混凝土應用研習會,民國 86 年,港研所專刊 134 號, pp.1-1 至 1-18。
- 6.Mehta P. K. and Gerwick, B. C. Jr. “ Concr. Int, Vol.4 ” pp.45-51,1982。
- 7.黃君雄,“鋼筋混凝土耐久性檢測簡介”新進混凝土技術對未來工程影響研討會,四海工商專校土木科,國 86 年, pp.96-107。
- 8.林維明等,“港灣鋼筋混凝土結構耐久性研究”,港灣技術研究所 79 研(9)研究報告,民國 80 年 6 月。
- 9.Kosmatra, S. H. ,and W. C. Panarese, Design and Control of Concrete Mixtures, 13th ed. , Portland Cement Associatuon(1988).
- 10.Building Code Requirements for Structural Concrete.ACI 318-95,ACI Detroit(1995).
- 11.黃兆龍,“HPC 使用於高雄東帝士 85 層整合規劃”,高性能混凝土研討會論文, pp.147-160(1993)。
- 12.陳振川,“高性能混凝土之定義與特性”,結構工程,第 9 卷,第一期, pp.5-6(1994)。
- 13.苗伯霖,“高性能混凝土原理、優點與應用”,高性能混凝土研討會,台灣大學(1992)。
- 14.黃兆龍,“由高雄 85 層 TC Tower 論 HPC 材料選擇及性能”,高性能混凝土研發及應用研討會論文集(1994)。
- 15.林黃欽,“細骨材性質對高性能混凝土之影響”,台灣工技學院碩士論文,

1996 , pp.29 。

- 16.黃兆龍,“優生混凝土在高層建築之應用案例”,高性能材料研討會論文輯,台灣營建研究中心,1995,pp.15-38。
- 17.黃兆龍、劉俊杰、李隆盛、林豐益(1996),“高性能混凝土緻密性配比與早期性質研究”,土木水利工程學刊,第八卷第一期。
18. Building Code Requirements for Reinforced Concrete, (ACI 318-89) and Commentary (ACI 318R-83), ACI, Detroit, 1989.
- 19.黃兆龍,“高性能混凝土優生設計法”,高性能研發及推廣研討會論文集,1997,pp.91-126。
- 20.黃兆龍,“高性能混凝土材料基本性質”,高性能混凝土配合營建自動化—建築工程的發展與應用研討會論文集,台北1995,pp.21-58。
21. Grandet, J. “Durability of High Performance Concrete in Relation to External Chemical Attack” in High Performance Concrete, Ed. Yves Malier, Pub. E & FN Spon, London, pp.25-30.
22. Malier, Y. “Introduction”, *ibid*, pp.1-12.
23. CEB-FIP “Application of High Performance Concrete” CEB-FIP Bulletin Information #222, Nov. 1994 pp.53-60.
24. Haug A. K. “Concrete Technology, the key to Current Concrete Platform Concepts” ACI-SP-149 pp.63-80.
25. Monksnes J., “Oil and Gas Concrete Platform in the North Sea-Reflection on Two Decades of Experience”, in Proc. Of International Experience with Durability of Concrete in Marine Environment, University of California, Berkeley, California, 1989.
26. 林維明、黃兆龍、彭耀南、饒正,“高性能混凝土在港灣工程上應用之展望”,高性能混凝土之應用研習會,港研所專刊134號,民國86年,pp.11-1至11-28。
27. 黃兆龍、沈得縣、方水連,“養護濕度因子對水泥漿體品質之影響”,中國土木工程學刊,第五卷第三期(1993),pp.277-283。
28. 黃兆龍,“高性能混凝土組成模式推演及損傷力學研究”,國科會研究報告編號 NSC 83-0410-E011-014,民國83年,pp.3。

- 29.陳光卿、王和源，「HPC 的品質技術成效」，高性能混凝土研發實務研討會，王和源與黃兆龍主編，第 83-103 頁，（1996）。
- 30.黃兆龍，「高雄 85 層 T & C Tower 論 HPC 材料選擇及性能」，高性能混凝土（HPC）研發及應用研討會，黃兆龍主編，第 83-124 頁，台灣高雄（1994）。
- 31.周文宗，「化學摻料在高性能混凝土工程之應用」，高性能混凝土之應用研習會，港研所專刊 134 號，pp.3-1 至 3-19，1997。
- 32.ASTM, "1995 Annual Book of ASTM Standard," Vol.04.0104.24 (1995).
- 33.黃兆龍，「高爐熟料及飛灰料材料在混凝土工程上之應用」，高爐石與飛灰資源在混凝土工程上應用研討會，台灣營建研究中心，台北市（1986）。
- 34.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」，內政部建研所報告，台北。
- 35.蘇南，「由國內高性能混凝土配比探討其工程性質」，高性能混凝土研討會論文輯，台灣營建研究中心，1996，pp.55-92。
- 36.Johansen, V. and P. J. Andersen. "Particle Packing and concrete Properties," Materials Science of Concrete II, Edited by Jan Skalny and Sidney Mindess, pp.111-147(1989).
- 37.劉俊杰（黃兆龍教授指導），「高性能混凝土緻密充填配比及早其性質演繹」，國立台灣工業技術學院博士論文，（1995）。
- 38.黃兆龍，「高性能混凝土水化動力模式分析（I）」，國科會研究報告編號 NSC 85-2211-E-011-006，1996。
- 39.混凝土工程設計之規格及解說（草案）（一）（二）（三）（四），土木水利季刊第 23 卷 2-4 期及 24 卷 1 期，民國 85 年 8 月、11 月及 86 年 2 月、5 月。
- 40.沈永年、黃火列、黃兆龍，「高性能混凝土工地現場泵送特性的評估」，高性能混凝土研發實務研討會，1996，高雄，pp.105-130。
- 41.黃兆龍，「結構學會高性能混凝土推動現況」，高性能混凝土新進發展與應用，台北，1997，pp.107-118。

- 42.陳振川,“國科會高性能混凝土群體研究現況”, HPC 新近發展與應用, 台北, 1997, pp.119-135。
- 43.中華民國結構工程學會 HPC 委員會及中國土木水利工程學會混凝土委員會,“高性能混凝土特別條款 1996/12/16 修正草案”。
- 44.李建中,“我國加入世界貿易組織對營造業之影響”,營造天下, 85 年 11 月 17 日。
- 45.林士誠,“加入 WTO 對營造業之影響”,土木技師報, 86 年 6 月 14 日。
- 46.羅長春,“建築業導入 ISO 9000 系列品質保證制度”,土木水利 23 卷 2 期, 1996 年, pp.60-64。
- 47.陳行一,“ISO 9000 認證制度在營建業之應用”,新建混凝土技術對未來土木工程的影响研討會,四海工商專校土木科, 1997, pp.182-193。
- 48.史特賽著,楊潤光譯,品質保證第二頁中國生產力中心出版。
- 49.李友錚譯,“ISO 9000 品質管理保證標準”,科見管理顧問公司, 1993, pp.21。
- 50.朱嘉義、耿樂平,“公共工程施工品質評鑑制度成效”,土木水利 23 卷 2 期, 1996 年, pp.54-59。
- 51.行政院公共工程委員會,“各機關辦理公共工程施工品質評鑑作業要點”, 1996。
- 52.呂美義,“建立施工品質制度”,行政院公共建設督導會報研究報告, 1992。



表一 混凝土物理與化學性劣化種類、基因、控制變數及劣化機理<sup>(5)</sup>

劣化種類	材料基因*		劣化變數數*(愈多愈重要)							劣化機理說明		劣化機理**
	P	A	R	w/c	W	C	f <sub>a</sub> '	V <sub>p</sub>	P	sp	ak	air
物理性劣化	表面磨耗	v		•	•	•	•					剪應力 > 剪力強度。
	磨損、沖蝕、穴蝕	v		•	•	•	•					剪應力 > 剪力強度。
	凍融	v		•	•	•	•	•	•	•		水份喪失，毛細管張力、表面能點改變。
	溫度收縮	v		•	•	•	•	•	•	•		
	濕度收縮	v		•	•	•	•	•	•	•		
化學性劣化	鹽結晶壓力	v		•	•	•	•	•	•	•		乾燥時表面收縮，造成表面裂紋；潮濕時表面膨脹，造成內部裂縫。
	超載重和衝擊	v		•	•	•	•	•	•	•		孔隙中鹽類結晶產生晶壓。
	乾重	v		•	•	•	•	•	•	•		設計不當或偷工減料，損及強度，另外路面不平整及接頭高得過大。
	反覆乾重	v		•	•	•	•	•	•	•		在特定載重下反覆之次數過多，因而被剪破。
	冰融作用	v		•	•	•	•	•	•	•		支配膨脹的因素：1. 水力定律 (Powers)；2. 冰分率 (Powers)；3. 中孔固水 (Irvine)；4. 滲透性。
劣化機理	火害	v		•	•	•	•	•	•	•		骨材與水泥漿體差異膨脹係數及水泥漿體熱乾縮作用；水泥漿體水化物的高溫分解作用。
	溶解和析晶	v		•	•	•	•	•	•	•		氣氧化鈣被溶解而生成孔隙；氣氧化鈣被溶解而與其它有害物質結合。
	硫酸鹽侵蝕	v		•	•	•	•	•	•	•		四步驟： 1. $SO_4^{2-}(aq) \rightarrow$ 滲透 $SO_4^{2-}(aq)$ (水泥)； 2. $Ca(OH)_2 \rightarrow$ 溶解 $Ca^{2+}+2OH^-$ ； 3. $SO_4^{2-}+Ca^{2+}+2H_2O$ 析晶 $\rightarrow C_3A \cdot 3C_3H_3$ ； 4. $C_3A \cdot 3C_3H_3+2C_3H_3+16H_2O \rightarrow C_3A \cdot 3C_3H_3 \cdot 32H_2O$ 。
	蝕骨材反應	v		•	•	•	•	•	•	•		1. 酸分解並溶解活性防腐蝕玻璃 S-N/K-H $\rightarrow$ N/K-S-H；玻璃與氣氧化鈣結晶； 2. 形成含水防腐蝕玻璃 S-N/K-H $\rightarrow$ N/K-S-H；玻璃與氣氧化鈣結晶； 3. 玻璃吸水形成溶膠膠體侵蝕周圍。
	蝕和蝕作用	v		•	•	•	•	•	•	•		1. $Ca(OH)_2+2H^+ \rightarrow Ca^{2+}+2H_2O$ ； 2. $C_3S \cdot H_3+6H^+ \rightarrow 3Ca^{2+}+2SiH_4+6H_2O$ 。
劣化機理	腐蝕蝕蝕	v		•	•	•	•	•	•	•		1. 腐蝕反應： $Fe \rightarrow Fe^{2+}(aq)+2e^-$ ； 2. 陰極反應： $2H_2O+O_2+4e^- \rightarrow 4(OH)^-$ ； 3. 沈澱作用： $Fe^{2+}(aq)+2(OH)^- \rightarrow Fe(OH)_2$ ； 4. 氧化生鏽： $4Fe(OH)_2+2H_2O+O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$ 。

\* P, A, R: 分別表示水泥漿體、骨材及腐蝕。

• w/c: 水灰比, W: 用水量, C: 水泥量, f<sub>a</sub>: 骨材強度, V<sub>p</sub>: 水泥漿量, P: 骨材 / 水泥比, sp: 強壓劑, ak: 骨材 / 水泥比, air: 空氣含量。

\*\* 混凝土用水泥化學簡符號: C-CaO, S-SO<sub>3</sub>, H-H<sub>2</sub>O, A-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S-SiO<sub>2</sub>。

表二 海洋混凝土病變原因及特徵之檢核表<sup>(8)</sup>

病變型態														相關材料及發生處所										原因					
發生時期		剝落	破裂	膨脹	有孔	蜂窩	風化	磨損	孔洞	沖蝕	銹蝕	潮濕	表面污染	水泥	骨材	水	灰份	水灰比	鋼筋	膠料	面版	位置	發生處所						
短期顯示	中期顯示	龜裂	剝落	破裂	膨脹	有孔	蜂窩	風化	磨損	孔洞	沖蝕	銹蝕	潮濕	表面污染	水泥	骨材	水	灰份	水灰比	鋼筋	膠料	面版	位置	大氣區	浪濺區	潮汐區	浸泡區	性質 (A) 有與材料之原因	原因
✓	✓	✓		✓						✓	✓				✓	✓		✓					✓	✓	✓	✓	A-1 水化不全，塑性收縮		
✓	✓	✓											✓		✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-2 水泥中含高量之 C <sub>3</sub> A		
✓	✓	✓													✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-3 水泥中石膏漏出		
✓	✓	✓													✓	✓		✓					✓	✓	✓	✓	A-4 混凝土乾燥收縮		
✓	✓	✓													✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-5 混凝土內外體積變化		
✓	✓	✓		✓											✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-6 骨材膨脹產生局部內應力		
✓	✓	✓								✓					✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-7 鹼性反應		
✓	✓	✓													✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-8 骨材健康性差，風化作用		
✓	✓	✓													✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-9 鋼筋鈍化膜破裂		
✓	✓	✓													✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-10 鋼筋腐蝕		
✓	✓	✓													✓	✓							✓	✓	✓	✓	A-11 高水灰比，滲透性高		
✓	✓	✓	✓							✓	✓				✓	✓							✓	✓	✓	✓	B-1 養護，拌合水控制不佳		
✓	✓	✓	✓							✓	✓				✓	✓							✓	✓	✓	✓	B-2 搗實不全		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	B-3 振動不足		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	B-4 施工不良產生漏水		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	B-5 澆頭接觸面處理不當		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	B-6 拆模不當		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	B-7 保護層不足		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-1 溫、濕度變化	(C) 環境有與使用之原因	
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-2 乾濕反覆作用		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-3 氣象作用		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-4 凍融作用		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-5 受鹽侵蝕而風化		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-6 受硫酸鹽侵蝕		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-7 氯化物作用		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-8 碳酸化作用		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-9 空氣，海水中 O <sub>2</sub> 侵入		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-10 波浪作用		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	C-11 海流運動		
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	(D) 外力作用	D-1 超載重，衝擊作用	
✓	✓	✓	✓												✓	✓							✓	✓	✓	✓	D-2 反覆載重，產生撓曲		

表三 高性能混凝土與其他混凝土之比較 (13-15)

性質		傳統混凝土	高強度混凝土	高性能混凝土
強度(MPa)		21-42	> 42	> 21
坍度(mm)		25-100	0-100	230-270
流度(mm)		-	-	> 600
用途		一般建築物	高層建築物之底層柱、剪力牆、結構體	各類工程建築物
材料選擇	水泥	細度2800 Blaine 28天強度28 MPa (4000 Psi)	C <sub>3</sub> S含量較高 細度3500-4000Blaine 品質均勻者 7天強度要求29.4MPa (4200 psi)	同高強度混凝土
	骨 材	要求洗淨即可 砂之FM 2.3-3.0以2.6 較佳 粗骨材最大粒徑 25mm或38mm，以求 經濟性	9.5-19mm最大粒徑 骨材有較佳之結果 骨材表面不可有雜質 或粘土 粗骨材用量可較高 砂採用粗砂(FM>3.0)	5-19mm最大粒徑骨 材餘同高強度混凝土 之骨材
	摻 料	無特別限制	必須使用減水劑，減 水緩凝劑或強塑劑 (高 性能減水劑)	高性能減水劑、緩凝 劑為必要添加之材料
	卜作嵐材料	除了ACI 318耐久性考 慮外，一般並不限定 使用	飛灰、矽灰、爐石或 稻殼灰取代部份水泥 及砂使用量5-20%的 水泥量	飛灰、矽灰、爐石或 稻殼灰適量取代水泥 或砂，用量視設計需 要而定
配比設計		坍度依構造物而定， 水灰比視耐久性及強 度而定，水泥用量320 kg/m <sup>3</sup> 以上	坍度100mm以上 水泥用量390-560 kg/m <sup>3</sup> 水灰比0.3-0.4範圍	密配配比法 坍度必須甚大 水泥用量 < 400kg/m <sup>3</sup> 水灰比 < 0.6
拌和、澆置、 搗實及養護		稠度良好 不可過量振動，以防 止粒料析離，失去輸 氣量 一般養護作業	稠度甚硬和粘 注意必須迅速搗實， 並且要充分振動，寧 可超振動 養護作業特別重要	傳統拌和設備 強調拌和程序 利用泵送機泵送 免振動免搗實 施工時必須注意模板 設計以防爆模 養護作業非常重要
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 及最小的變異量	由材料來源之品管， 混凝土製程品管及模 型試驗，原型試驗及 現場施工檢驗，必須 有全盤性之品質保證 制度，施工前之配比 驗證工作至少6個月以 上

表四 高性能混凝土之優點及應用性

<p>(1) 早期強度高</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 抗壓強度                     <ul style="list-style-type: none"> <li>6 小時：30 ~ 40 <math>\text{kgf/cm}^2</math></li> <li>24 小時：200 ~ 400 <math>\text{kgf/cm}^2</math></li> </ul> </li> <li>▪ 抗彎強度                     <ul style="list-style-type: none"> <li>18-24 小時：28 ~ 42 <math>\text{kgf/cm}^2</math></li> </ul> </li> <li>▪ 利於 PC 施工</li> <li>▪ 提早拆模</li> <li>▪ 減少支撐需求</li> <li>▪ 鋪面施工迅速</li> <li>▪ 減少養護及保養時間</li> </ul>	<p>(4) 耐久性高</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 與在使用條件下抗拒劣化成正比</li> <li>▪ 可提供抵抗：                     <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 磨耗</li> <li>2. 化學侵蝕</li> <li>3. 鹼性骨材反應</li> <li>4. 氯離子引起之腐蝕</li> </ol> </li> <li>▪ 適用地下停車場、橋面板、碼頭</li> <li>▪ 防水混凝土</li> <li>▪ 氯離子滲透量低</li> <li>▪ 延長使用壽命</li> <li>▪ 低水膠比</li> </ul>	<p>(7) 可控制水化時間</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 可控制凝結時間</li> <li>▪ 減少水泥浪費</li> <li>▪ 減少拌合水量</li> <li>▪ 增加搬運距離</li> <li>▪ 改善施工時程</li> </ul>
<p>(2) 極限強度高</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 抗壓強度                     <ul style="list-style-type: none"> <li>28 天：400 ~ 700 <math>\text{kgf/cm}^2</math></li> <li>56 天：700 ~ 1250 <math>\text{kgf/cm}^2</math></li> </ul> </li> <li>▪ 適用高層建築施工</li> <li>▪ 縮小柱子斷面大小</li> <li>▪ 增加混凝土與鋼筋相對強度</li> <li>▪ 減少柱子數量，增加可利用空間</li> <li>▪ 可提早拆模</li> <li>▪ 降低裝模費用</li> <li>▪ 加速預鑄樑柱之施工</li> <li>▪ 增加樑柱間距</li> <li>▪ 減少樑柱數量</li> </ul>	<p>(5) 工作性高 可泵送及修飾性佳</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 坍度 25 ± 2 公分 (0 分鐘)</li> <li>▪ 坍度 23 公分 (45 分鐘)</li> <li>▪ 坍流度 60 公分 (0 分鐘及 45 分鐘)</li> <li>▪ 節省勞工</li> <li>▪ 增加澆置速率</li> <li>▪ 降低泵送壓力</li> <li>▪ 減少超時工作量</li> <li>▪ 改善結構體表面平滑度</li> <li>▪ 良好坍度控制</li> <li>▪ 不泌水析離</li> <li>▪ 易於修飾</li> <li>▪ 自行凝固</li> </ul>	<p>(8) 水中澆置性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 在水下施工條件下，可減少被沖刷掉</li> <li>▪ 抗流動水</li> <li>▪ 無埋設幫浦及可免用密特管工法，可使用一般管線輸送</li> <li>▪ 修理時，不需除水</li> </ul>
<p>(3) 彈性模數 (ME) 高</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 450,000 ~ 500,000 <math>\text{kgf/cm}^2</math></li> <li>▪ 適用於建築施工</li> <li>▪ 混凝土與鋼筋相對之 ME 提高</li> <li>▪ 適用複合材料設計</li> </ul>	<p>(6) 在任何天候下均可澆置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 全年可施工</li> <li>▪ 減少超時工作量</li> <li>▪ 可在炎熱天候下施工                     <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 坍度之損失量少</li> <li>2. 搬運距離長</li> <li>3. 溫度控制佳</li> </ol> </li> </ul>	

表五 HPC 應用之結構形態，增進之工程性質及實例<sup>(21)</sup>

結構物形態	改善性質	工程實例
橋樑	早期強度，工作性， 耐久性，延緩變形， 極限強度	Joigny (F), Rance (F) Perthuiset (F), Louhans (F) Champs du Comte (F) Sylans (F), Re (F), Auzon (F)
外海結構	耐久性、抗壓及剪力 工作性、磨耗及撞擊	Gullfaks B, C (N) Tere Neuve (CAN) Terre Adelie (F)
高樓建築	抗壓及剪力，工作性 ，早期強度，圍束	Water T. PL Chicage (USA) Nova Scotia Toronto (CAN) 2 Union Sq. Seattle (USA) 1 Wacker Chicago (USA) 225 Wacker Chigaco (USA) 181 Wacker Chicago (USA) NW Hospital Chicago (USA) Arche Paris (F) Chibune R. S. Osaka (JAP)
隧道	耐久性，抗壓，早期 強度	Villejust (F) Manche (F and G. B.) La Baume (F)
公路	磨耗，撞擊，凍融， 剪力，耐久性，工作 性	Valerenga Oslo (N) Highway E18-E6 (N) Ranasfoss BR. (N) Shestad TU. (N) Highway 86 Paris (F) Paris Airport (F)
預鑄結構件	早期強度，抗壓剪力 ，工作性	Precast joists (F) Precast floor slabs (F)
鋼骨混凝土	剪力，抗壓，工作性 ，束限	La Roize (F) 2U Sq. Seattle (USA)
排水	耐久磨耗，抗壓，工 作性	Paris (F)
特殊基礎支 柱	抗壓，工作性，短期 強度，延緩變形	Hassan Mosque (MAR)
核能結構	耐久性，強度，防水	Civeaux (research) (F)

F: 法國 N: 挪威 USA: 美國 CAN: 加拿大 JAN: 日本

表六 使用 HPC 施工之代表性範例 (22,23)

工程計劃	地點	施工時間	使用 HPC 理由	混凝土性能組成及品質	設計考慮及規範
橋柱修理 (場橋)	Hokuriko 高速鐵路 (日本・海岸區)	1991	磨耗量低, 增加耐久性	指定強度 80MPa	
挪威大多數公路結構及橋樑維修	挪威	自 1989 年起至今	耐久性, 耐海洋環境下氯離子之侵蝕	水膠比 0.4 及使用矽灰	NS 3473 挪威公路規範 process code 2"/1989
乾船塢岸壁維修	葡萄牙 Setubal	1991	耐久性	74MPa (平均強度) 107MPa (最高值) 水膠比 0.35	葡萄牙規範 (REPAP) 及 CEB-FIP
海岸碼頭嵌板	澳大利亞雪梨機場	1993	耐久性, 抗氯離子侵蝕	40MPa 混凝土摻矽灰	海洋環境
液化天然氣槽	日本橫濱	1993	耐久性	水灰比 0.3, 指定強度為 60MPa	日本土木學會高性能混凝土規範
石油浮式生產平台	挪威北海 Troll-Floater	1993/94	減少尺寸及重量, 耐氯離子之侵蝕	設計強度 75MPa 水膠比 0.38 5% 矽灰混凝土 43,000m <sup>3</sup>	NS 3473
浮式平台	法國在 Marseille 地區建造	1994/95	易於澆置, 强度高, 耐久性	需要強度 70MPa	大的預力浮式駁船 (200m 長)
石油生產張力腿平台	挪威北海 Heidrum 浮體	1993/95	浮力相對簡單, 使用壽命長	75MPa (平均強度) 水膠比 0.36 坍度 200-220mm 空氣含量 3-5% 密度 1940kg/m <sup>3</sup> 混凝土用量 65,000m <sup>3</sup>	NS 3473 水深 350m
輕質骨材混凝土浮式橋樑	挪威 Bergsøysundet	1990/92	減輕七個浮筒重量, 總長度 835m	使用 LC-55 級水泥 水膠比 0.40 密度 1920kg/m <sup>3</sup> 混凝土用量 4500m <sup>3</sup>	NS 3473
浮式橋樑	挪威 Salhus 橋	1993/94	減輕 10 個浮箱重, 總長度 1245 公尺	平均強度 70MPa 單位重 1900kg/m <sup>3</sup> Leca 骨材, 混凝土用量 9 仟立方	輕質混凝土浮箱連接於吊橋
外海平台	紐芬蘭 Hibernia 外海平台	1994/95	-	水膠比 0.34 砂灰 8.5% 坍度 21cm 水泥用量 165,000m <sup>3</sup>	NS3473 重力式基座結構, 直徑 108m, 高 111m
外海石油平台 / 動力基礎結構	挪威北海 Draugen	1990/93	耐水靜壓力, 波浪及風負荷, 使用壽命	平均強度 80MPa 水膠比 0.4-0.42 坍度 22-25cm 水泥用量 80,000m <sup>3</sup>	NS3473 水深 251m
外海天然氣平台	挪威北海 Troll 重力式平台	1992/95	同上	平均強度 82MPa 水膠比 0.38-0.40 坍度 24-26cm 水泥用量 224,000m <sup>3</sup>	NS3473 水深 303m
外海天然氣平台 / 重力基礎結構	挪威北海 Sleipner	1991/93	同上	平均強度 78MPa 水膠比 0.4-0.42 水泥用量 75,000m <sup>3</sup>	NS3473 水深 83m
浮式海域平台基礎	挪威北海 Heidrun	1993/94	強度	平均強度 83MPa 水膠比 <0.43	NS3473

表七 北海混凝土結構物之挑戰與需求<sup>(24)</sup>

性 質	挑 戰	需 求
強度	指定混凝土等級一般混凝土(c) 1970s:45 to 55 MPa 1980s:55 to 70 MPa 1990s:80 to 100 MPa	抗壓強度 抗拉強度 現場強度
耐久性	腐蝕與化學侵蝕 水侵入 15mm 最大為 25mm 抗凍融 (潑灑區)	健全的組成料 低滲透性 ( $<1 \times 10^{-13}$ m/sec) W/C(水中 0.45, 潮汐區 0.4) 水泥含量 (350kg/m <sup>3</sup> ) 足夠之保護層厚度(最少 50mm) 輸氣劑 (3-5%)
混凝土等級 與彈性模數	C60-70 Ec:3.5-3.5 GPa C75 Ec:3.0-4.0 GPa LC60 Ec:2.0-2.5 GPa	彈性模數, 應力應變關係
單位重	C80-90:2450kg/m <sup>3</sup> LC75:2250kg/m <sup>3</sup> LC65:1950kg/m <sup>3</sup>	混凝土密度, 現場單位重
可施工性	鋼筋密集與埋設, 活動模板 高生產速率與最新泵送系統 低單位重混凝土之輸送系統 高壓混凝土泵送一般混凝土 混凝土 70°C, 耐高溫溫度梯度為 1°C / cm, 巨積混凝土	工作性高 (坍度 > 22 公分) 無泌水或析離 可調整與預測凝結時間, 反振動 品質及材質一致性 控制拌合和配比 高泵送性 混凝土溫度 水化熱

表八 北海耐久性混凝土十大重要的法則<sup>(25)</sup>

1. 選擇高品質的施工材料
2. 正確的配比設計
3. 應用最新的自動拌合廠
4. 發展健全的施工程序
5. 混凝土搗實充分
6. 確保有足夠的鋼筋保護層厚度
7. 注意施工接縫
8. 容許溫差之變化
9. 保持設計簡單
10. 雇用經訓練或熟練的操作員

表九 高性能混凝土要求之骨材性質<sup>(28)</sup>

性質	影響原因	要求性質
級配	細骨材 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細度模數在2.5以下會使混凝土稠度增加，以致太黏而較難壓實。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 細度模數在3.0以上</li> <li>• 不得含有雲母、黏土等雜質</li> <li>• 減低通過50號篩及100號篩的量，但仍應符合CNS1240 A56</li> </ul>
	粗骨材 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，或由於水泥漿的彈性模數與骨材種類之模數有所不同，而可能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。	<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	壓碎石子比圓形卵石更能產生較高強度，原因可能是有棱角的顆粒所產生的握裹強度較大之故。但過度的棱角可能造成用水量增加且降低工作性。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 理想的骨材必須是淨潔、棱角方體；百分之百壓碎，含水量少，扁平且細長條</li> </ul>
	吸水性 初期水化階段時，大量水份與水泥相結合，在化學反應完成後，水份的損失約佔全部體積的1/4。以現象造成小真空吸氣效應，可將水份短距離內吸入仍俱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，相對混凝土的強度亦跟著增加。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 骨材能吸收適當量的水份，則其作用如同小型養護水池，能份佈水份至混凝土內，因此提供額外的養護水，這對低水灰比水泥漿基為有益。</li> </ul>
骨材本質 強度	較高強度骨材可造成較高強度混凝土，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，此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結極限。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 使用較佳強度之骨材，例如大部份之溪石即比山石之強度為高。</li> </ul>



表十 ASTM C494 對化學摻料之要求 (15.31)

化學摻料 形式	Type A 減水劑	Type B 緩凝劑	Type C 速凝劑	Type D 減水 緩凝劑	Type E 減水 速凝劑	Type F 高性能 減水劑	Type G 高性能 減水 緩凝劑
用水量，最大值 (佔控制組 用水量%)	95	-	-	95	95	88	88
凝結時間與 控制組之差異 (時：分)							
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3:30
抗壓強度 最小值 (佔控制組 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 (佔控制組 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(二規定 可選其一) 佔 控制組變化量%	135	135	135	135	135	135	135
超出控制組 增加量	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
相對耐久性係數 最小值	80	80	80	80	80	80	80

表十一 高爐石及飛灰規範、選用與建議用量<sup>(28)</sup>

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	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，先確定這些礦物摻料測試樣本係自主要供應商，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用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
	CNS 12458水淬高爐爐渣玻璃質含量測定法		
	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混凝土及水泥壩料用水淬高爐爐渣粉		
飛灰	CNS 11270卜特蘭飛灰水泥	當使用飛灰前必須認定符合 CSN 3036 規範，雖然此規範容許較高的燒失量，而理想情況下，緩凝損失最好不要超過3%。其它要求有：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	
	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煨燒作嵐攪和物		

表十二 影響骨材/水泥漿體界面之因素及改善方法 <sup>(28)</sup>

因素		原因	改善方法
骨材	潔淨	• 妨礙水泥與骨材間之粘結	• 洗淨
	粒徑	• 粒徑小則鍵結面總面積增加鍵結強度增加 • 粒徑大則過渡區中之水灰比提高CH容易充分析出排列	• 高強度粒徑大小影響頗大，須採用較小之粒徑 • 普通強度可予以忽略
	形狀、級配	• 影響拌合稠度、泌水和施工性	• 良好級配減少泌水產生 • 形狀良好增加工作度及密實性
	礦物組成	• 骨材礦物成份與水泥產生水化，影響界面強度	• 採用矽酸鈣質粗骨材
水泥漿體	水灰比	• w/c 高，泌水使骨材周圍緻密性降低 • w/c 越高則骨材周圍水泥顆粒濃度越稀，CH 晶體越容易成有規則排列，形成多孔結構	• 使用減少劑或強塑劑降低 w/c • 添加波索蘭材料
	泌水	• 造成骨材底部緻密性降低	• 良好骨材級配、形狀 • 降低 w/c • 採用粒徑較小骨材
環境	溫濕度	• 影響乾燥收縮造成過渡區之微裂縫形成	• 適當養護 • 降低 w/c. • 添加波索蘭材料
	礦物摻料	• 水泥水化 $C_3S + H \rightarrow C-S-H + CH$ $C_2S + H \rightarrow C-S-H + CH$ • $CH + \text{pozzolans} + H \rightarrow C-S-H$	• 波索蘭材料添加使 CH 析出減少 • 產生 C-S-H 具填充作用減少孔隙 • 減少泌水現象
	其他	輪氣劑可減少泌水現象，注膠可減少骨材界面乾燥收縮產生之微裂縫	

表十三 單位體積混凝土所需粗骨材體積量<sup>(18)</sup>

最大骨材粒徑 D <sub>max</sub> , in	不同細度模數 (FM) 砂對應之乾搗實粗骨材／混凝土體積比			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53

表十四 不同坍度及最大骨材粒徑之概估所需拌合和水及含氣量值<sup>(18)</sup>

坍度 (in)	最大骨材尺寸下每一立方碼混凝土所需之用水量 (磅)							
	3/8 in	1/2 in	3/4 in	1 in	1 1/2 in	2 in	3 in	6 in
非輸氣混凝土								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	240	210
3 to 4	385	365	340	325	300	285	265	230
6 to 7	410	385	360	340	315	300	225	-
概估陷入之空氣量 (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

表十五 新拌混凝土工作性一覽表<sup>(38)</sup>

漿體比 (n)	W/B	Omin			45min			90min		
		Slump (min)	Flow (min)	Flow time (sec)	Slump (min)	Flow (min)	Flow time (sec)	Slump (min)	Flow (min)	Flow time (sec)
1.1	0.28	245	530	274	235	450	223	235	380	236
	0.32	260	600	208	245	520	212	245	430	185
	0.40	250	580	170	245	480	143	225	490	164
1.3	0.28	255	650	205	260	630	206	250	570	215
	0.32	270	755	190	270	680	227	260	650	223
	0.40	250	530	137	230	450	145	230	430	130
1.5	0.28	275	760	139	270	620	154	240	550	176
	0.32	275	800	105	255	570	63	235	420	52
	0.40	250	480	26	230	420	24	205	360	13
ACI	0.28	260	650	142	230	560	62	190	360	29
	0.32	270	760	153	225	570	58	195	390	33
	0.40	240	530	21	210	470	16	200	405	12

表十六 國內各校發展高性能混凝土配比資料表<sup>(15)</sup>

(單位: kg/m<sup>3</sup>)

學校	教授	水	水泥	粗骨材	細骨材	飛灰	爐石	矽灰	強塑劑	W/C	W/B	坍度 (mm)	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	強度 (MPa)
工技	黃兆龍	102 ~ 160	341 ~ 625	682 ~ 873	840 ~ 928	0 ~ 138	0 ~ 26	0	15 ~ 37	0.28	0.28	245 ~ 275	560 ~ 800	55 ~ 78.5
		123 ~ 160	311 ~ 581	682 ~ 873	847 ~ 928	0 ~ 138	0 ~ 24	0	9 ~ 26	0.32	0.32	260 ~ 270	570 ~ 750	56 ~ 73.5
		153 ~ 198	262 ~ 507	682 ~ 873	864 ~ 928	0 ~ 138	0 ~ 21	0	4 ~ 12	0.4	0.4	240 ~ 250	420 ~ 700	41 ~ 68.7
	楊錦懷	174.6	362.3	730	930.6	164.2	19	0	17.4	0.48	0.35	275	620	60.8
		163	397	730	930.6	164.2	20.9	0	20.4	0.41	0.32	265	590	57.9
	沈得縣 張大鵬	158	385	903	768	136	0	0	20	0.41	0.34	270	564	55.3
		185	441	776	825	123	23	0	15	0.42	0.34	260	689	67.6
	沈進發	158	530	915	780			70	15	0.30	0.29	250	920	90.3
		156	520	920	780			45	11	0.30	0.30	240	783.1	76.8
雲技	蘇南	135	350	815	830	50	150		12	0.39	0.27	240	624	61.2
		148.5	385	815	830	50	165		13.2	0.39	0.27	240	651	63.9
		162	420	815	830	50	180		14.4	0.39	0.27	240	672	65.9
		150	350	815	830	50	150		12	0.43	0.29	270	571	56.0
		165	385	815	830	50	165		13.5	0.43	0.30	270	594	58.3
		180	420	815	830	50	180		14.4	0.43	0.30	270	626	61.4
		165	350	815	830	50	150		12	0.47	0.32	260	557	54.6
		181.5	385	815	830	50	165		13.2	0.47	0.32	260	563	55.2
		198	420	815	830	50	180		14.4	0.47	0.33	260	579	56.8
交大	趙文成	200	500	1124.3	613.2				3	0.40	0.41	190	448.1	44.0
		200	450.1	1124.3	613.2		50		3	0.44	0.41	195	399.8	39.2
		200	481.6	1124.3	613.2			25	3	0.42	0.40	170	548.2	53.8
中興	顏聰	158	350	1170	495	69	137		15.6	0.45	0.31	210	650	63.8
		158	300	1170	490	74	182		14.7	0.53	0.31	210	630	61.8
		158	250	1170	486	75	231		14.7	0.63	0.31	200	610	59.8
		167	395	967	633	158	172		7.8	0.42	0.24	235	565	55.4
		167	333	996	652	163	17.5		17.9	0.50	0.36	235	480	47.1
		189	334	967	633	158	17.6		15.3	0.57	0.40	230	450	44.1
海洋	黃然	158	400	1322	766				6.8	0.40	0.41		422	41.4
	楊仲家	170	500	1022	808			30	9.5	0.34	0.34		562.4	55.2
		156	519	1016	811			35	11.1	0.30	0.30		703	69.0
台大	詹穎雯	168	335	959	749	95	47.7		8.6	0.50	0.37	260	560	54.9
		168	335	959	749	47.7	95		8.6	0.50	0.37	280	560	54.9
		168	335	959	749		142.7		8.6	0.50	0.37	280	560	54.9
	高健章	156	520	920	780			45	11	0.30	0.30	240	740	72.6
		155	520	887	813			45	11.3	0.30	0.29	240	801	78.6

\* 註1 W/B = ( 水 + 強塑劑 ) / ( 水泥 + 飛灰 + 爐石 + 矽灰 )

資料來源：國科會「高性能混凝土研究群(85年度)」第二次會議

表十七 高性能混凝土執行上的規範限制<sup>(3)</sup>

項 目	傳 統 混 凝 土	高 性 能 混 凝 土*
設計方法	強度設計法，W/C	耐久性設計法，W/C+P=W/B
水泥量	$f_c'=280\text{kg/cm}^2$ 時， $C>400\text{kg/m}^3$ $f_c'=350\text{kg/cm}^2$ 時， $C>475\text{kg/m}^3$	控制用水量， $W/S<0.08$ 控制水泥量， $C<f_c'/20\text{psi/kg}$
工作度	坍度 $<150\text{mm}$	施工品質導向，坍度 $150\sim 280\text{mm}$
摻料	以水泥為主，摻料添加必須特別核准	飛灰、爐石、矽灰、稻殼灰及化學摻料均可使用
管制措施	單點之管理：安全性、耐久性或工作性	品質規則化：品質管制建立在透明化之數據上

註：P為飛灰、爐石、矽灰或稻殼灰；化學摻料包括減水劑及強塑劑。

表十八 卜特蘭 I 型水泥物理及化學性質

性 質			成 分
物 理 性 質	比 重 (25°C)		3.18
	停 留 在 #325 量 (%)		7.0
	細 度 (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)		3,300
	抗壓 強度 (psi)	3 天	3,481
		7 天	5,534
		28 天	7,183
	凝結時間 (min)	初 凝	140
		終 凝	280
	水化熱 (Cal./g.)	7 天	78.49
		28 天	88.74
假 凝 結 (%)		8.71	
化 學 成 份 ( % )	燒失量		0.72
	不溶物		0.12
	SiO <sub>2</sub>		21.03
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		5.40
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3.22
	CaO		63.78
	MgO		2.73
	SO <sub>3</sub>		2.03
	Na <sub>2</sub> O		0.20
	K <sub>2</sub> O		0.74
	游 離 CaO		0.54
	C <sub>1</sub> S		50.95
	C <sub>2</sub> S		21.86
	C <sub>3</sub> A		8.86
	C <sub>4</sub> AF		9.80

• 本資料由台泥公司提供

表十九 粗細骨材基本性質

物 理 性 質	粗骨材	細骨材
比重(SSD)	2.60	2.59
比重(OD)	2.58	-
吸水率(%)	1.41	1.68
最大粒徑(mm)	9.5	4.75
細度模數	-	2.95
單位重(kg/m <sup>3</sup> )	1471	1738

表二十 粗骨材級配

篩號	採用過篩百分率(%)	CNS1240要求過篩百分率(%)
1/2"	100	100
3/8"	100	85~100
NO.4	20	10~30
NO.8	5	0~10
NO.16	0	0~5

表二十一 細骨材級配

篩號	過篩百分率(%)	CNS1240要求過篩百分率(%)
3/8"	100	100
NO.4	98	95~100
NO.8	80.1	80~100
NO.16	56.07	50~85
NO.30	40.84	25~60
NO.50	19.82	10~30
NO.100	9.7	2~10
底盤	0	-



表二十二 飛灰、爐石之物化性質

化學分析 (%)	爐 石		飛 灰	
	SiO <sub>2</sub>	34.61	SiO <sub>2</sub>	49.69
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.77	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.8
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.29	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.23
	CaO	41.41	CaO	6.27
	MgO	7.5	MgO	1.63
	SO <sub>3</sub>	1.85	SO <sub>3</sub>	0.79
	K <sub>2</sub> O	0.38	K <sub>2</sub> O	1.1
	Na <sub>2</sub> O	0.14	Na <sub>2</sub> O	0.2
	鹽基度	1.81	鹽基度	0.23
	燒失量(%)	-	燒失量(%)	5.02
物理試驗	細度cm <sup>2</sup> /g	4488	細度cm <sup>2</sup> /g	3110
	#325餘篩(%)	5	#325餘篩(%)	15
	活性指數(%)	76.0(7天)	活性指數(%)	-
	比重	2.87	比重	2.3

表二十三 強塑劑基本性質

比 重	1.21±0.05
不溶物含量(%)	0.15
固溶物含量(%)	42±2%
pH值	7+1
氫離子含量(ppm)	50
顏 色	深褐色
規 範	ASTM 494 G-Type

表二十四 組成材料之比重

組成材料	來源	比重
水泥	台灣水泥 Type 1	3.15
飛灰	台中發電廠	2.3
爐石	中聯爐石	2.87

表二十五 高性能混凝土配比表

單位： $kgf/cm^3$

n	W/B	Sand	Fly Ash	Gravel	Cement	Slag	Ww,final	Wsp
1.1	0.32	986.80	188.70	772.97	270.80	14.41	123.31	26.10
1.4	0.28	842.02	125.82	792.37	457.06	24.06	150.65	19.28
1.4	0.32	842.02	125.82	792.37	421.10	22.24	168.70	13.37
1.4	0.40	842.02	125.82	792.37	360.82	19.00	195.91	6.35
1.7	0.32	815.27	156.69	656.37	485.35	25.07	202.50	10.15
ACI	0.28	880	100	805	270	130	115	9.6
ACI	0.32	920	100	805	250	150	135	9.6
ACI	0.40	860	100	825	270	130	175	9.6
ACI *	0.32	880	100	805	270	130	132.5	9.6
ACI *	0.40	920	100	805	250	150	175	9.6

\* 卵石之最大粒徑採用1/2"。

表二十六 新拌混凝土工作性測試結果

水膠比 ( W/B )	漿量比 ( n )	0 分鐘坍流度試驗			45 分鐘後坍流度試驗		
		坍度 ( mm )	坍流度 ( mm )	流動時間 ( 秒 )	坍度 ( mm )	坍流度 ( mm )	流動時間 ( 秒 )
0.32	1.1	260	610	210	247	530	215
0.28	1.4	265	705	172	265	625	180
0.32	1.4	273	778	148	263	625	145
0.40	1.4	250	505	82	230	435	85
0.32	1.7	250	470	20	220	380	18
0.28	ACI	245	628	192	240	547	195
0.32	ACI	250	650	168	238	570	160
0.40	ACI	215	535	105	205	475	95
0.32	ACI *	240	643	155	230	510	160
0.40	ACI *	240	600	120	220	530	123

\* 卵石之最大粒徑採用1/2"

表二十七 硬固混凝土抗壓強度測試結果

單位： $\text{kgf/cm}^2$

水膠比 ( W/B )	漿量比 ( n )	齡 期			
		7 天	14 天	28 天	56 天
0.32	1.1	250	370	470	580
0.28	1.4	545	610	695	784
0.32	1.4	500	620	710	750
0.40	1.4	368	450	525	650
0.32	1.7	400	480	640	700
0.28	ACI	253	410	510	605
0.32	ACI	334	500	637	670
0.40	ACI	285	413	523	635
0.32	ACI *	359	475	624	653
0.40	ACI *	319	452	547	665

\* 卵石之最大粒徑採用1/2"，其他卵石之最大粒徑均為3/8"。

表二十八 加入 WTO 後，GATS 及 GPA 之規範型態與其對營造業之關係 (44.45)

	規範之型態	與營造業之關係
G A T S	<p>一．跨國提供服務： 服務業者對其他會員境內消費者提供服務</p> <p>二．國外消費者服務： 服務業者對進入會員境內之國外消費者提供服務</p> <p>三．設立商業據點： 服務業者在其他會員境內設立商業據點提供服務</p> <p>四．自然人呈現： 服務業者在其他會員境內以自然人身份提供服務</p>	<p>一．最惠國待遇： 各會員應即日無條件對來自他國會員之服務或服務業者，提供不低於該會員給予其他會員相同服務業者之待遇</p> <p>二．國民待遇： 對其他會員與本國服務業者或服務提供者必須一視同仁</p> <p>三．市場開放： 各會員應依各自經濟發展及自由化程度採漸進式之市場開放</p>
G P A	<p>一．中央機關清單： 列明我國適用本協定之中央機關清單及門檻金額</p> <p>二．省市機關清單： 列明我國適用本協定之省市機關清單及門檻金額</p> <p>三．其他機關清單： 列明我國適用本協定之其他機關清單及門檻金額</p> <p>四．服務項目清單： 列明我國適用本協定之服務項目清單</p> <p>五．工程項目清單： 列明我國適用本協定之工程項目</p> <p>六．總附註 列明我國對承諾清單之保留條件</p>	<p>一．適用 GPA 之專業服務及營造工程案件，將無國內標或國際標或優先向國內廠商採購之分</p> <p>二．國外廠商不再受到須與我國廠商技術合作方得參與投標之限制</p> <p>三．國外廠商不再受到須承諾採購我國產品，使用我國勞力到一定比例，技術移轉國內廠商等補償交易條件之約束</p>

表二十九 結構物評鑑標準（一） (51)

評鑑項目	評鑑細項	綱要標準	細部標準
(二) 混 凝 土 澆 置	(1) 混凝土之拌合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水質應符規定。</li> <li>2. 粗細骨材級配、清潔。</li> <li>3. 稱量設備。</li> <li>4. 拌合時間。</li> <li>5. 坍陷量控制。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 用水應屬清淨無色不含有機物。</li> <li>2. 符合設計級配不混入泥土塊灰塵或其他雜物腐質。</li> <li>3. 稱量器（含量水器）必須經台灣省度量衡檢定所檢定合格。</li> <li>4. 拌合時間應符合施工規範規定。</li> <li>5. 坍陷量容許誤差為設計坍陷量未滿8公分時±2公分，8~18公分時±3公分。</li> </ol>
	(2) 混凝土之輸送	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 輸送距離及時間。</li> <li>2. 水泥漿道漏情形。</li> <li>3. 材料分離現象。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 自拌合後至完成澆置之時間&lt;1小時。</li> <li>2. 運輸器具無孔縫，水泥漿無遺漏。</li> <li>3. 材料無分離現象。</li> </ol>
	(3) 混凝土之澆置	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 澆置前澆水。</li> <li>2. 搗實情形。</li> <li>3. 施工接縫打毛。</li> <li>4. 保養應連續保持濕潤。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 澆置前基礎或接觸面須澆水。</li> <li>2. 澆置厚度15~30公分，巨積混凝土&lt;50公分，振動時每點5~15秒並應連續進行。</li> <li>3. 施工接縫必須打毛並清淨之。</li> <li>4. 保養應連續保持濕潤其期間一星期以上，如使用保養劑每加侖噴20平方公尺。</li> </ol>
	(4) 伸縮縫、施工縫、止水橡皮。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 伸縮縫、施工縫位置及形狀。</li> <li>2. 止水橡皮尺寸及位置。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 按照設計圖所示位置及構造精確設置，其形狀除另規定外應絕對水平或垂直。</li> <li>2. 止水橡皮其尺寸及安裝位置應符合圖樣規定。</li> </ol>

表三十 結構物評鑑標準 (二) (51)

評 鑑 項 目	評 鑑 細 項	細 要 標 準	細 部 標 準
Ⅳ 異 型 混 凝 土 塊	(1) 混凝土塊規格	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 模型表面平整、清潔，澆製前並應塗油。</li> <li>2. 模型組立應牢固緊密。</li> <li>3. 場鑄混凝土塊模型組立前基地應整平。</li> <li>4. 混凝土塊之澆製及保養應適當。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 模型表面平整、清潔，澆製前並應塗油。</li> <li>2. 模型組立應牢固緊密。</li> <li>3. 場鑄混凝土塊模型組立前基地應整平。</li> <li>4. 混凝土塊之澆製及保養應符合施工規範要求。</li> </ol>
	(2) 混凝土塊完成面	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表面無蜂窩或空洞，角隅無明顯碎裂。</li> <li>2. 連結鋼筋或鋼索之連結或聯扣方式應正確。</li> <li>3. 混凝土塊排列應整齊。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表面無蜂窩或空洞，角隅無明顯碎裂。</li> <li>2. 連結鋼筋或鋼索之連結或聯扣方式應符合規定。</li> <li>3. 混凝土塊排列應整齊。</li> </ol>

表三十一 結構物評鑑標準 (三) (51)

評 定 項 目	評 定 細 項	綱 要 標 準	細 部 標 準
四  泥  凝  土  完  成  面	(1)外觀	1. 表面平整無爆模突起現象。 2. 混凝土顏色無明顯差異。 3. 表面無大量修補痕跡。 4. 接縫凹凸度不得大於4mm。 5. 堤肩(高平)線應平順。	1. 表面平整無爆模突起現象。 2. 混凝土顏色無明顯差異。 3. 表面無大量修補痕跡(不超過檢查面積10%) 4. 接縫凹凸度不得大於4mm。 5. 堤肩(高平)線之直線段偏差度不得大於20mm/25m。
	(2)垂直水平度及斜面	1. 垂直面無明顯歪斜。 2. 水平面及斜面無明顯凹凸。	1. 柱牆端面應垂直，垂直容許誤差±20mm/3m。 2. 水平及斜面容許誤差±20mm/3m。
	(3)蜂窩及裂縫	1. 無蜂窩或空洞及破損等。 2. 裂縫寬不得超過2mm。 3. 裂縫長不得超過500mm。 4. 開口、角隅無明顯裂縫。 5. 無冷接縫。	1. 無蜂窩或空洞及破損等。 2. 裂縫寬不得超過2mm。 3. 裂縫長不得超過500mm。 4. 開口、角隅無明顯裂縫。 5. 無冷接縫。



表三十二 結構體評鑑表（河海堤） (51)

評鑑人：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_

構造物編號：

構造物位置：

工程名稱：

檢 查 位 置	細項評估			檢查點評估			細項評估			檢查點評估			細項評估			檢查點評估			項目評鑑結果			
	✓	△	×	合格	不合格	備 註	✓	△	×	合格	不合格	備 註	✓	△	×	合格	不合格	備 註	檢查點數 (A)	檢查點合格數 (B)	詳細項目數 (C)	詳細項目合格數 (D)
混凝土完成面																						
1. 外觀																						
2. 垂直水平度及斜度																						
3. 蜂窩及裂縫																						
混凝土澆置																						
1. 混凝土之拌合																						
2. 混凝土之輸送																						
3. 混凝土之澆置																						
4. 伸縮縫、施工縫、止水橡皮																						
異型混凝土塊																						
1. 混凝土塊規格																						
2. 混凝土塊完成面																						
說明	1. 細項評估以「✓」或「△」表示其符合標準與否。 2. 檢查點評估，若有二細項（含）以上打「×」，或有*號之細項打「×」，該檢查點即為不合格。																					

表三十三 管理績效評鑑表<sup>(51)</sup>

評鑑人：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

工程名稱：\_\_\_\_\_

構造物編號：\_\_\_\_\_

構造物位置：\_\_\_\_\_

項目	檢查位置	項目評鑑結果				項目評鑑結果				項目評鑑結果				項目評鑑結果			
		檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估
施工管理	詳細細項	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估
	1. 工作計畫與組織																
	2. 施工進度紀錄																
	3. 問題上訴及施工紀錄紀錄																
	4. 其他材料設備紀錄紀錄																
安全管理	檢查位置	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估
	1. 安全衛生計畫																
	2. 個人防護具																
	3. 工地安全設施																
	4. 緊急照明及其他安全設施																
工地環境管理	檢查位置	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估	檢查結果	檢查項目	檢查點評估	檢查點評估
	1. 環境整潔																
	2. 材料、機具管理																
	3. 廢棄物清理																
	4. 衛生管理																
說明	<p>1. 細項評估以「✓」或「×」表示其符合標準與否。</p> <p>2. 檢查點評估，若有二細項（含）以上打「×」，或有*號之細項打「×」，該檢查點即為不合格。</p>																

表三十四 防洪及防潮工程施工品質評鑑評分表<sup>(51)</sup>

工 程 名 稱：\_\_\_\_\_

工 程 地 點：\_\_\_\_\_

受評建築物名稱（或位置）：\_\_\_\_\_

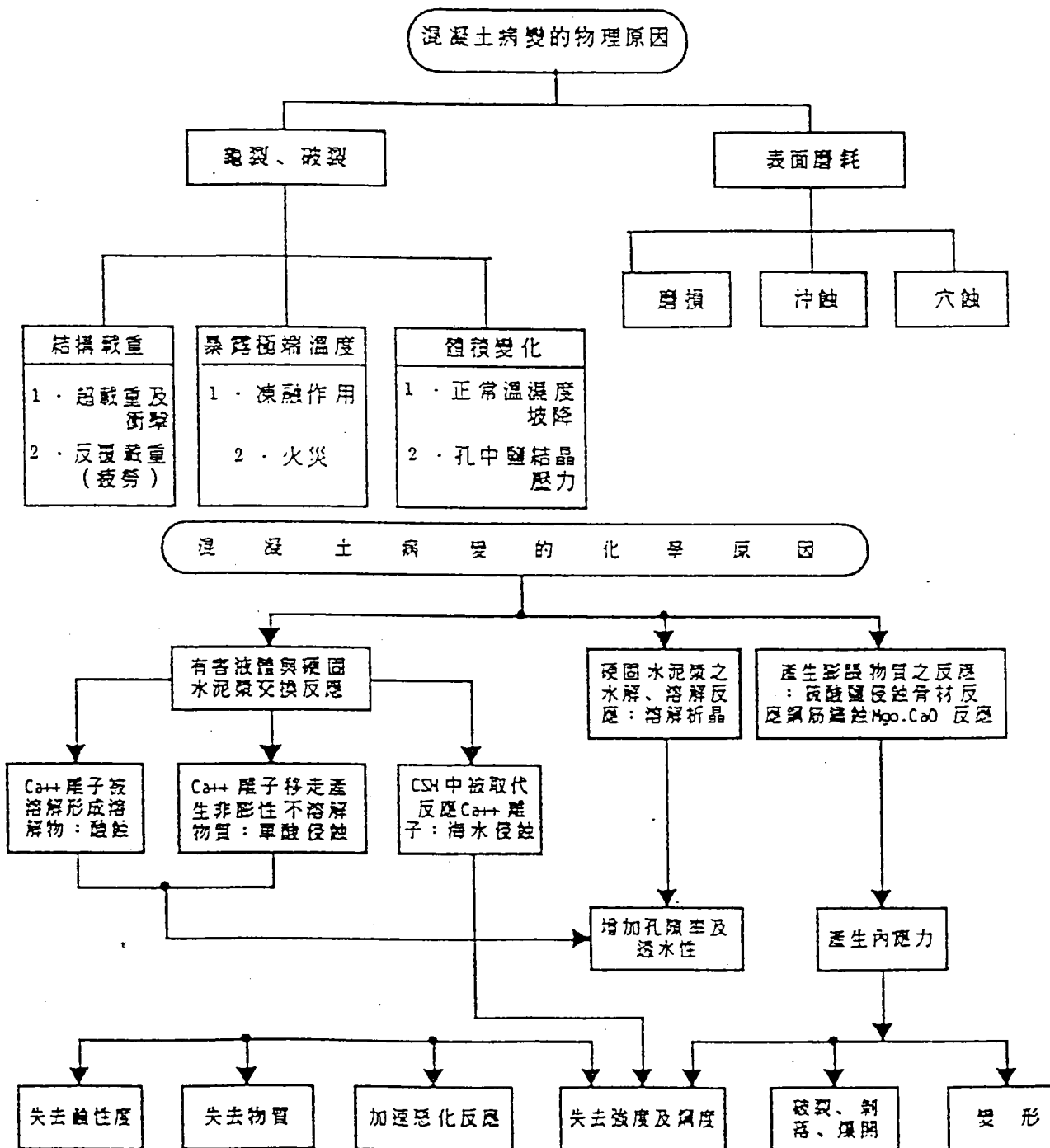
主 辦 工 程 單 位：\_\_\_\_\_

評鑑人：\_\_\_\_\_

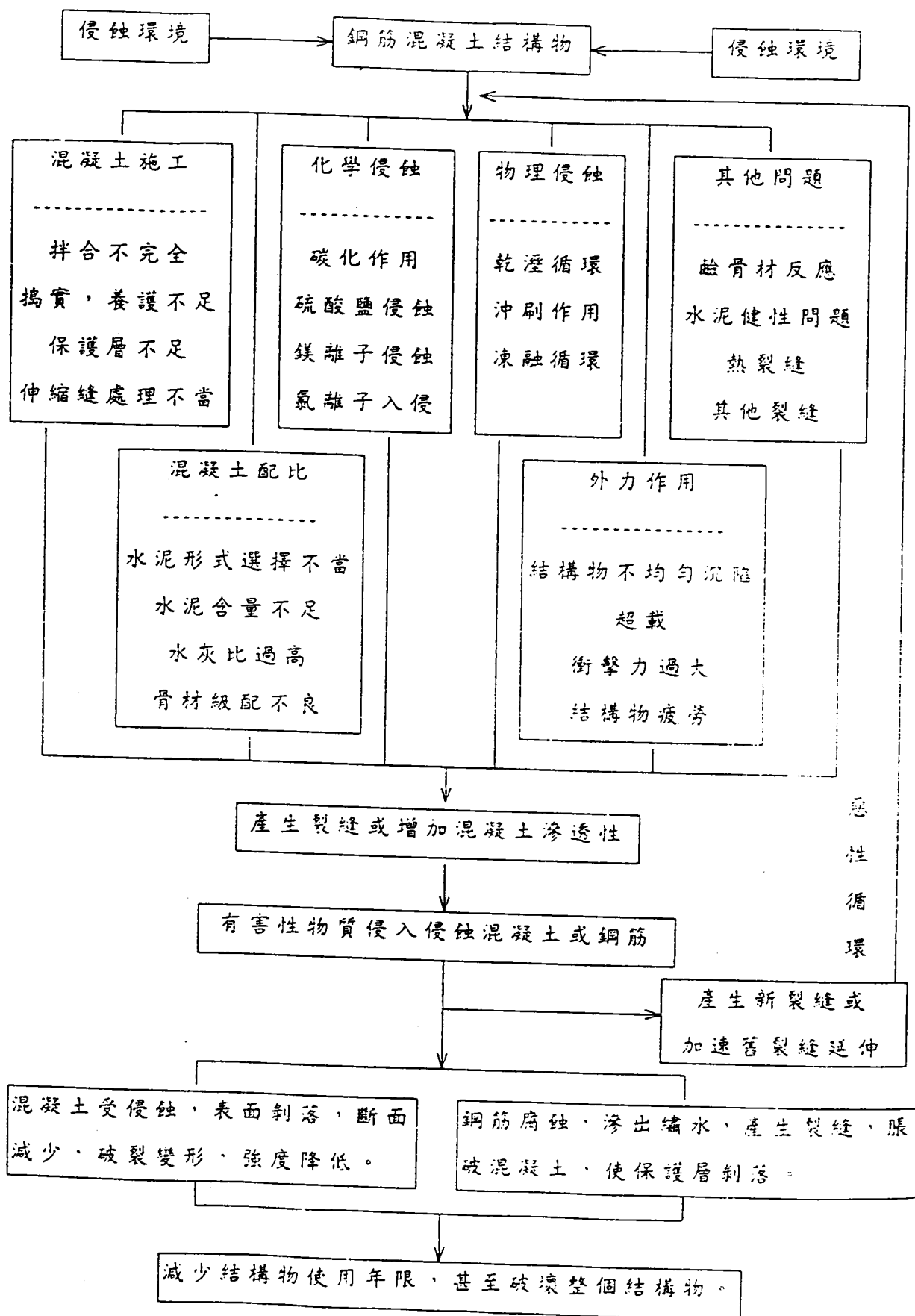
施 工 廠 商：\_\_\_\_\_

日 期：\_\_\_\_\_

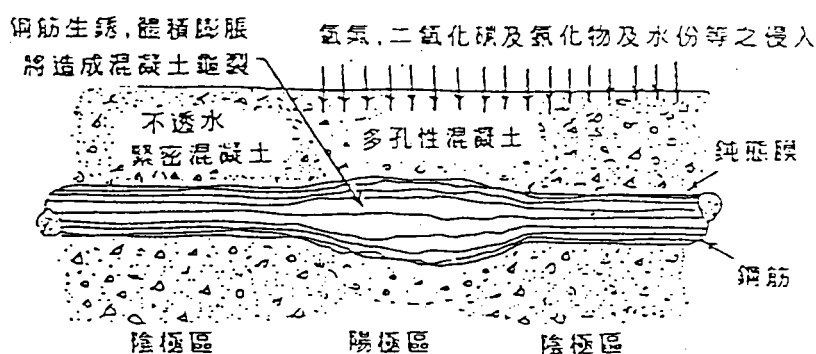
評鑑大項 項目及配分 評 分 計 算		結 構 體 (80)																				管 理 效 績 (20)						
		河 海 堤 (30) *								防 洪 牆 (30) *								閘 門 (20) *										
		模 板	鋼 筋	混 凝 土 澆 置	混 凝 土 完 成 面	土 工	石 工	異 型 混 凝 土 塊	塗 青 混 凝 土	模 板	鋼 筋	混 凝 土 澆 置	混 凝 土 完 成 面	土 工	格 工	異 型 混 凝 土 塊	塗 青 混 凝 土	模 板	鋼 筋	混 凝 土 澆 置	混 凝 土 完 成 面	土 工	格 工	閘 門 及 配 件	塗 青 混 凝 土	施 工 管 理	安 全 管 理	工 地 環 境 管 理
		3	3	4	5	5	4	4	2	5	5	4	5	2	5	2	2	3	3	3	3	1	3	3	1	6	7	7
* 配 分 調 整																												
項目 評鑑 結果 (1)	檢查點數 (A)																											
	檢查點合格數 (B)																											
	評鑑細項數 (C)																											
	評鑑細項合格數(D)																											
項目 計 分	項目合格係數 $E = B/A$																											
	細項合格係數 $F = D/C$																											
	各評鑑項目得分 $= \text{項目配分} \times E \times F$																											
(2) 評鑑大項評分																												
(3) 評鑑結構體總評分																												
整體工程評分																												
備  註	(1)檢查點數(A)、檢查點合格數(B)、評鑑細項數(C)及評鑑細項合格數(D)依附表一～四「項目評鑑結果」之值填寫。 (2)同一大項有一個(含)評鑑項目以上未受評時，其大項評分應依大項總配分與該大項受評項目配分合計之比值修正之。 $\text{評鑑大項評分} = \text{各評鑑項目得分合計} \times \frac{\text{大項總配分}}{\text{受評項目配分合計}}$ (3)三大項結構體有一個(含)大項以上未受評時，其結構體總評分應依結構體總配分與受評大項配分合計之比值修正之。 $\text{評鑑結構體總評分} = \text{各評鑑項目得分合計} \times \frac{\text{結構體總配分}}{\text{受評項目配分合計}}$ * 表示大項配分依工程金額比例重調整時填用，即以河海堤、防洪牆、閘門三類結構體工程費各佔總工程費之百分比百分比 乘以八十後為其大項配分，其評鑑項目配分亦隨之調整。																											



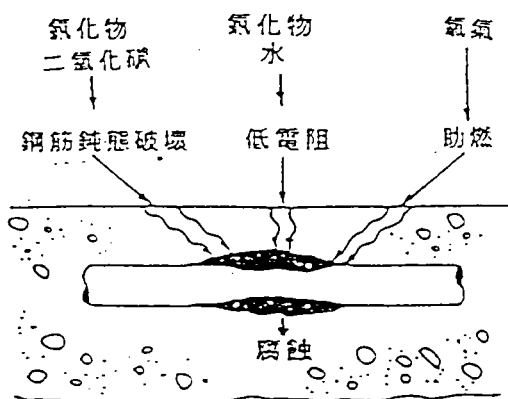
圖一 混凝土病變之物化性原因<sup>(6)</sup>



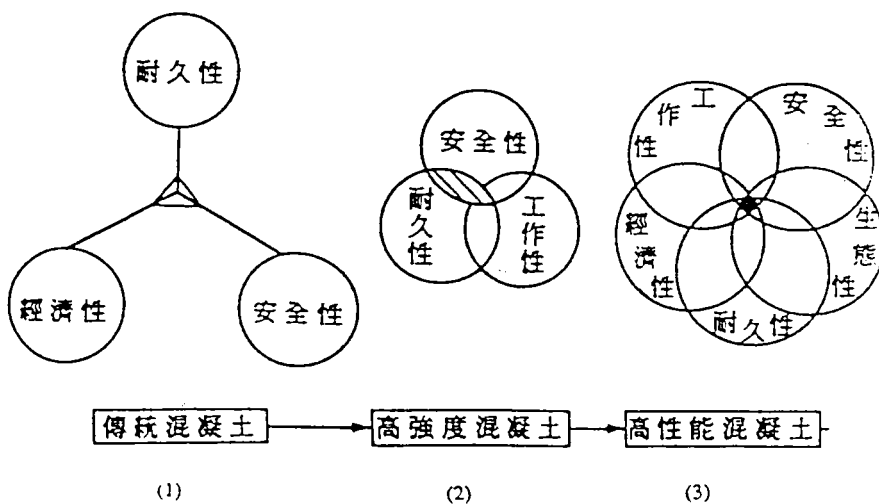
圖二 鋼筋混凝土結構物受耐久性影響之流程圖<sup>(7)</sup>



圖三 鋼筋混凝土中巨大電池模式<sup>(8)</sup>

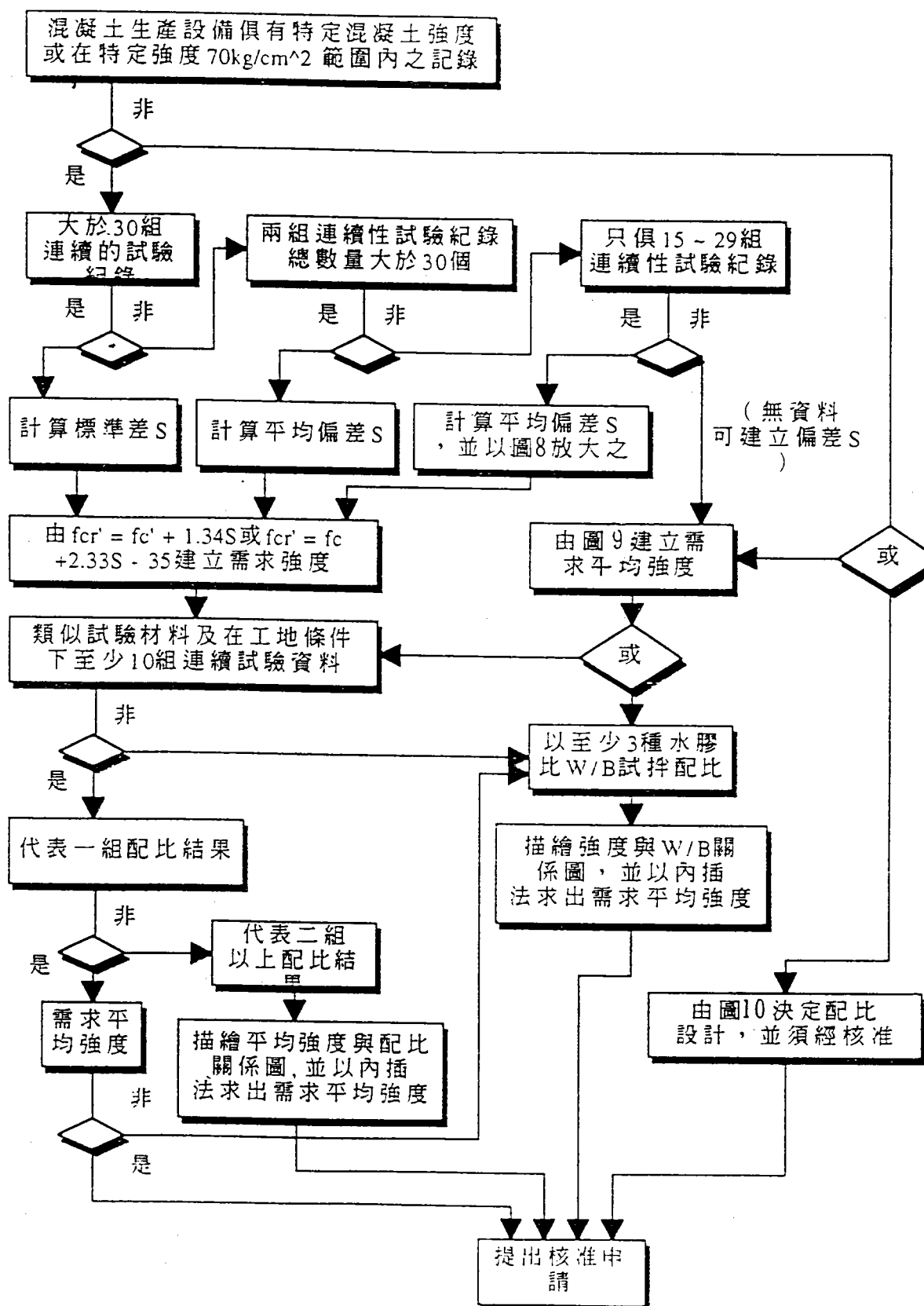


圖四 混凝土之主要腐蝕因子<sup>(8)</sup>



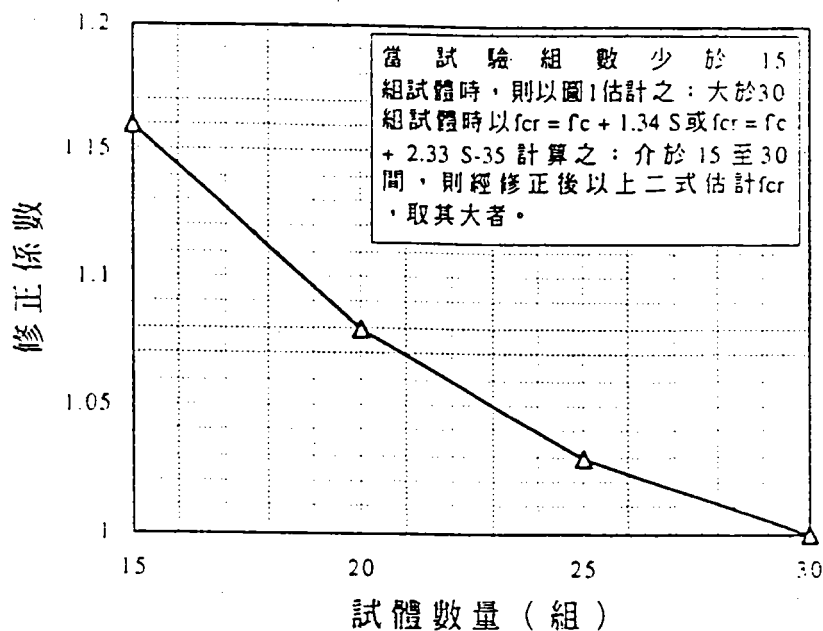
圖五 混凝土技術觀念之演進<sup>(3)</sup>



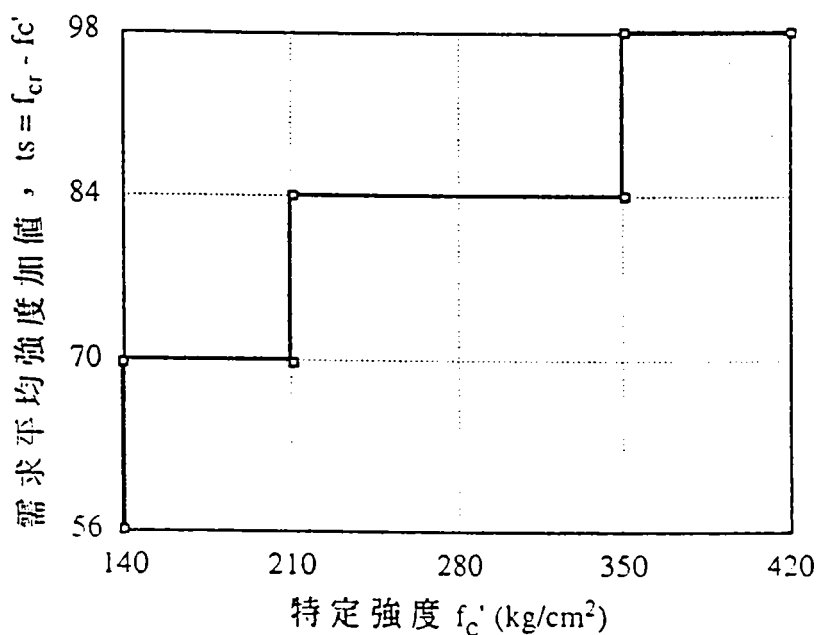


圖七 混凝土配比選定及資料建檔流程圖 (10.19)

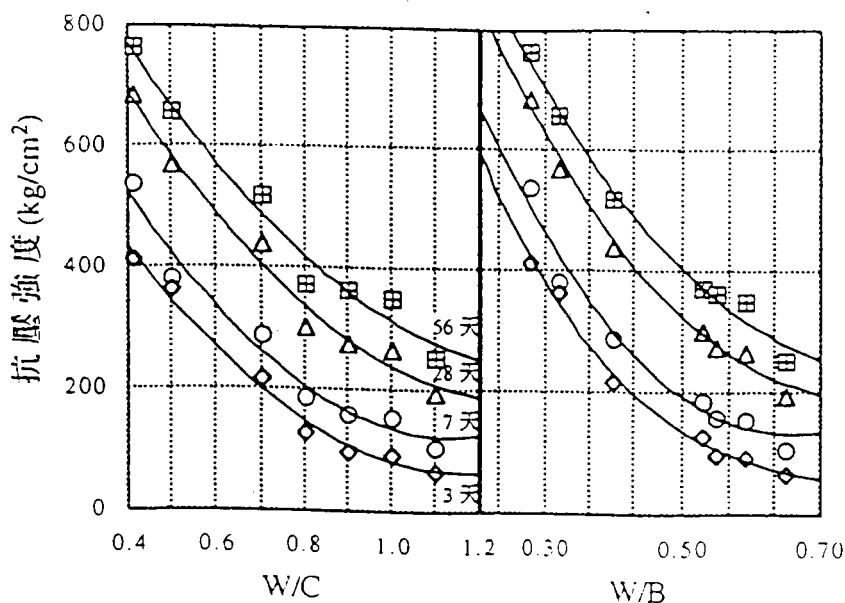




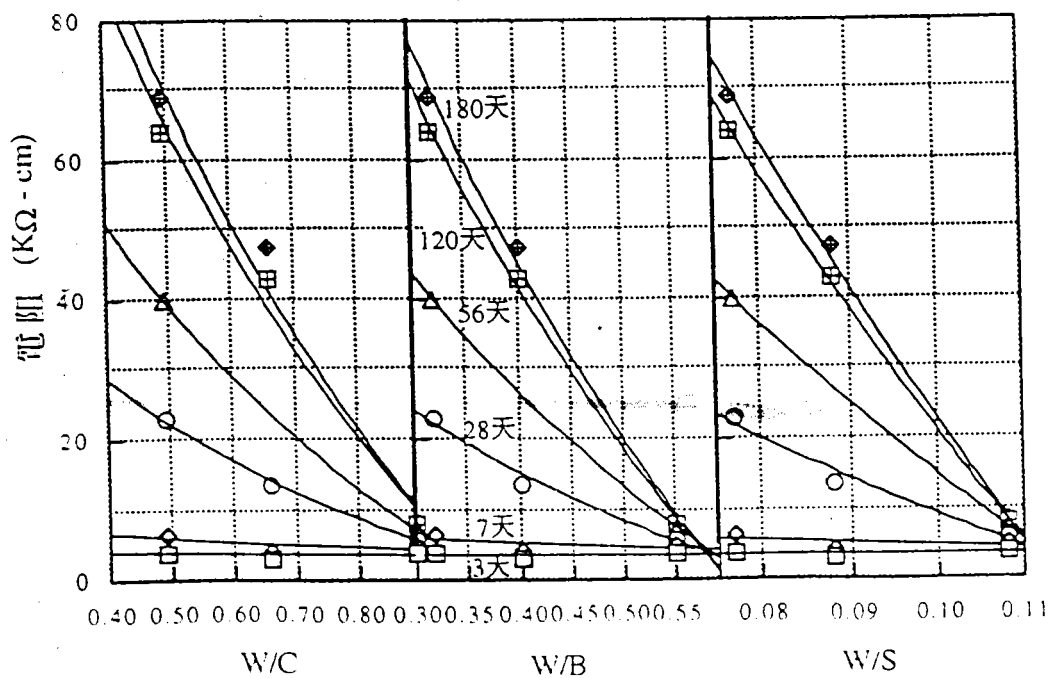
圖八 不同試體數下標準偏差值之修正係數<sup>(10,19)</sup>



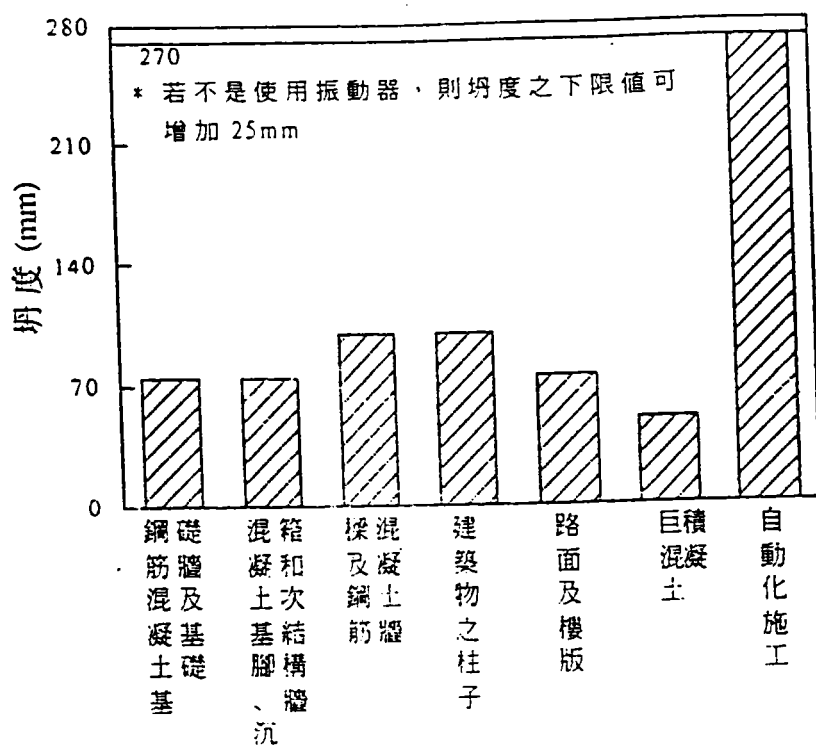
圖九 試體數不足以建立標準偏差時之需求平均抗壓強度<sup>(10,19)</sup>



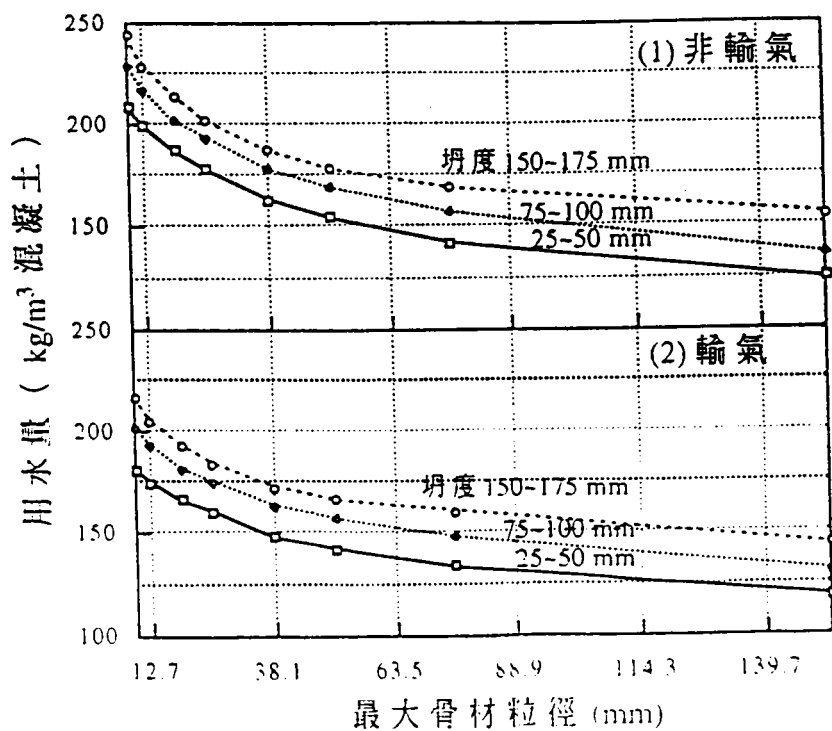
圖十 無試拌及混凝土配比資料可尋時之容許混凝土最大水膠比 (10.19)



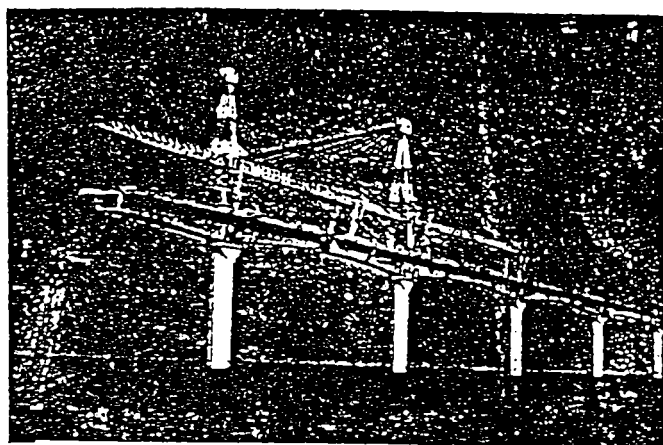
圖十一 W/C、W/B 及 W/S 對電阻係數之影響 (10.19)



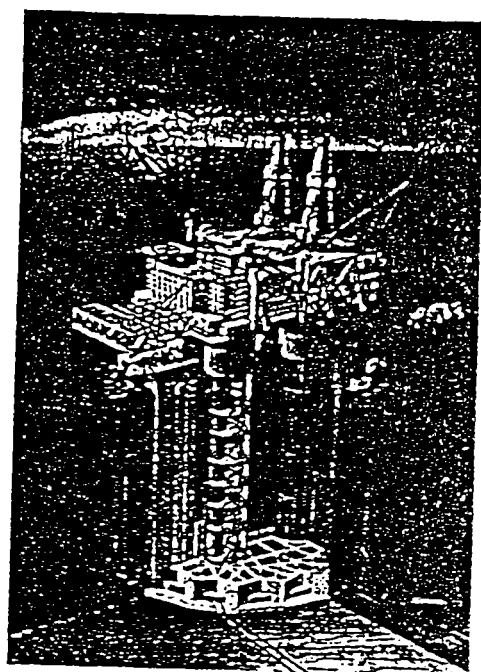
圖十二 不同結構物型態及施工技術之建議坍度範圍<sup>(19)</sup>



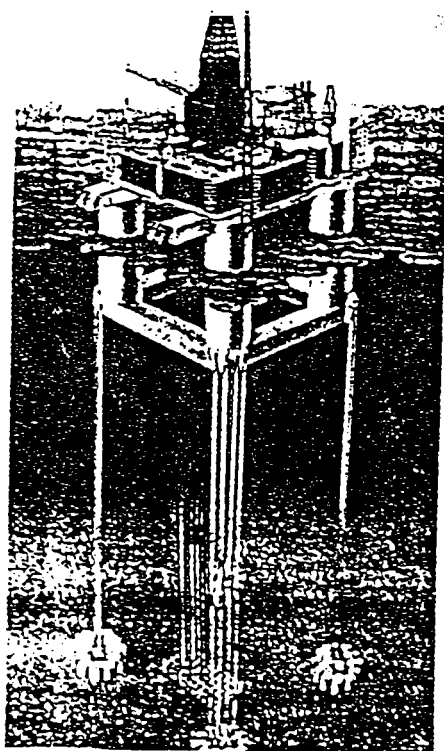
圖十三 混凝土用水量及輸氣量建議值<sup>(19)</sup>



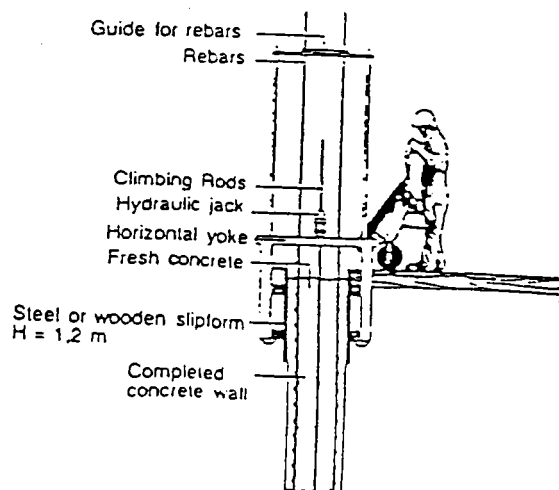
圖十四 法國 Ile de Re 橋<sup>(22)</sup>



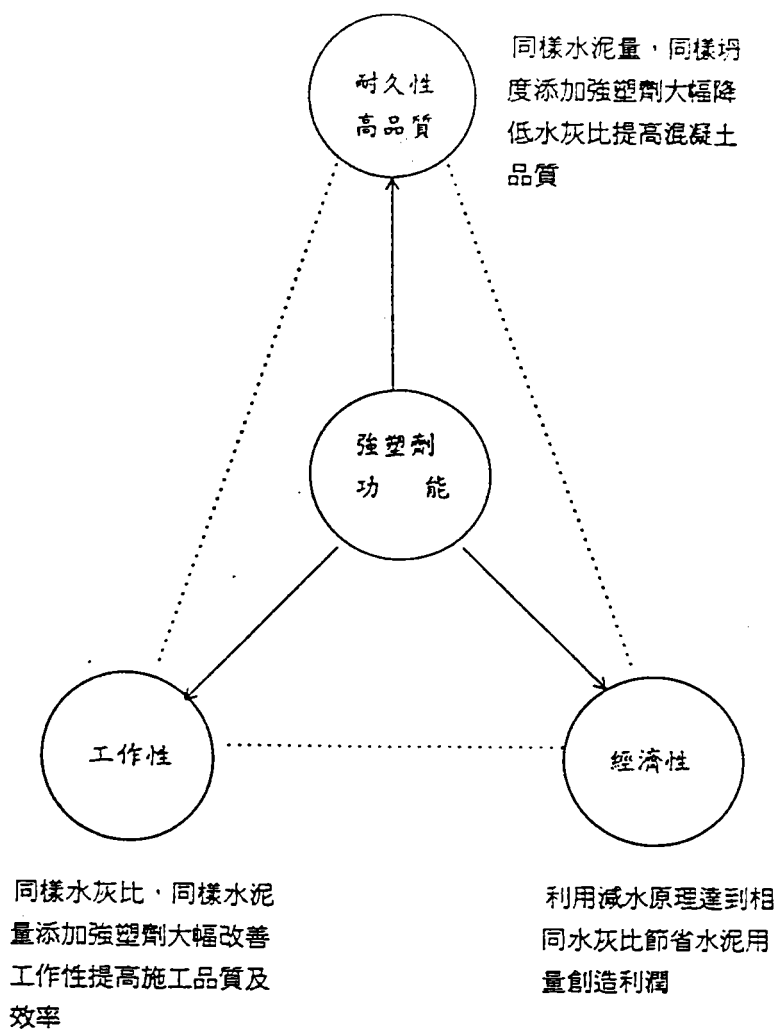
圖十五 Hibernic 重力式平台<sup>(24)</sup>



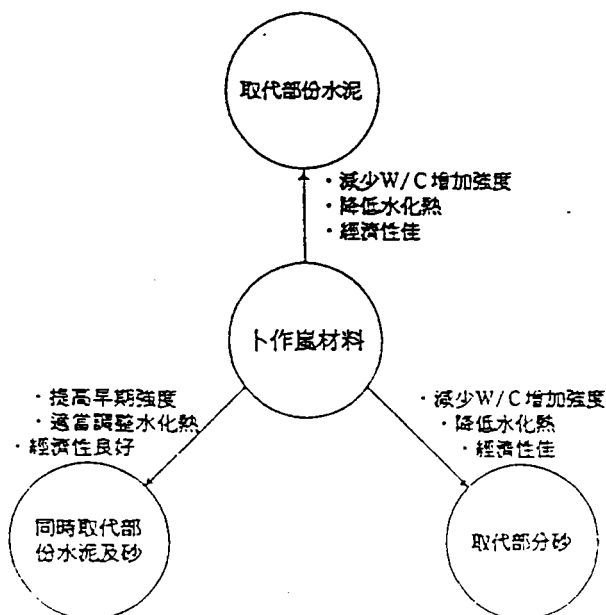
圖十六 Heidrun 張力腳平台<sup>(24)</sup>



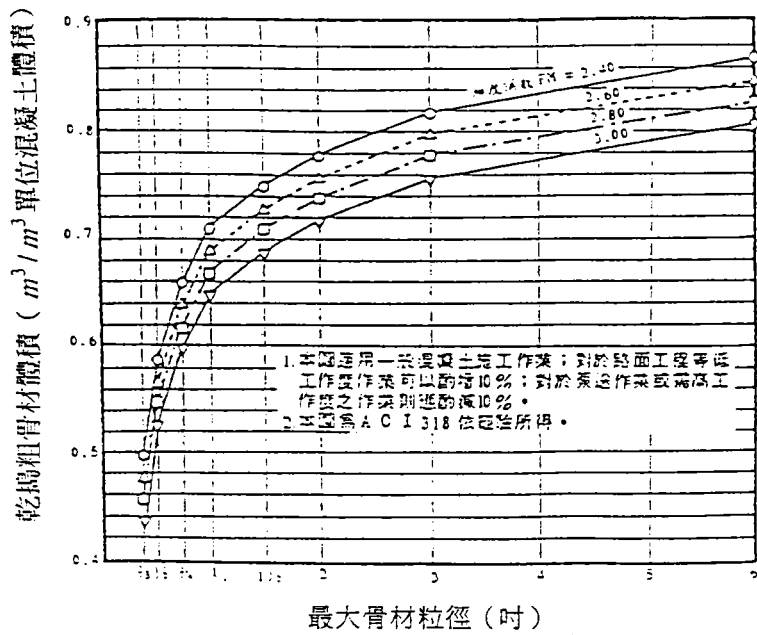
圖十七 活動模板施工<sup>(24)</sup>



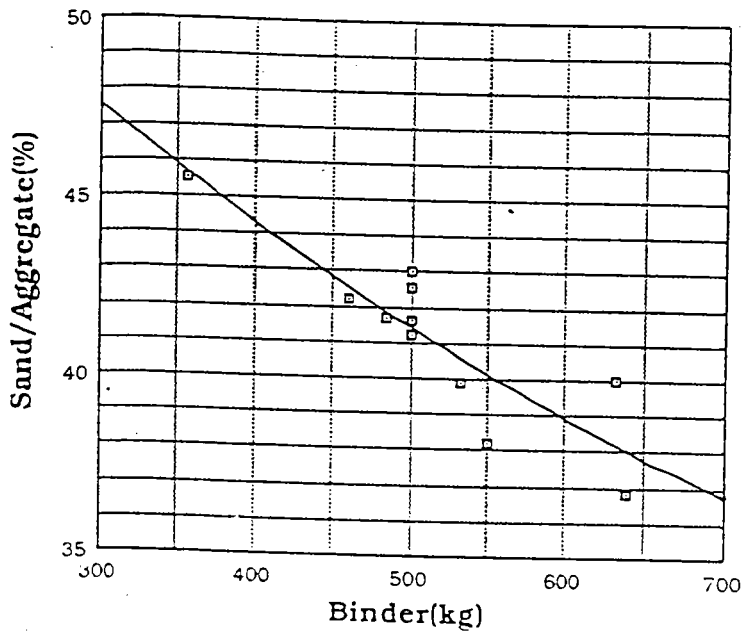
圖十八 強塑劑之功能<sup>(31)</sup>



圖十九 卜作嵐材料之應用策略<sup>(32)</sup>

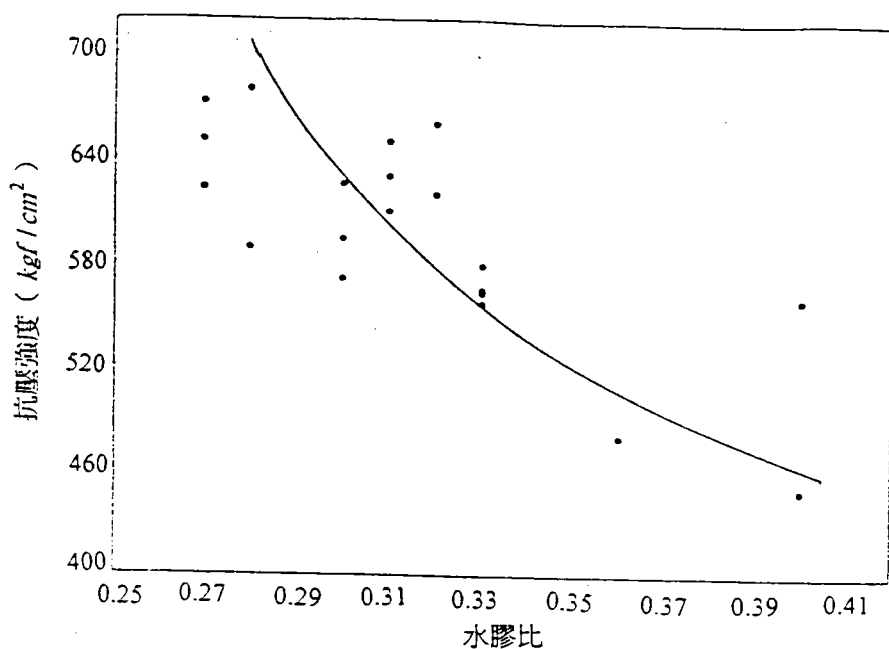


圖二十 骨材最大粒徑及細度下，每單位體積  
混凝土所需乾搗粗骨材體積<sup>(18)</sup>

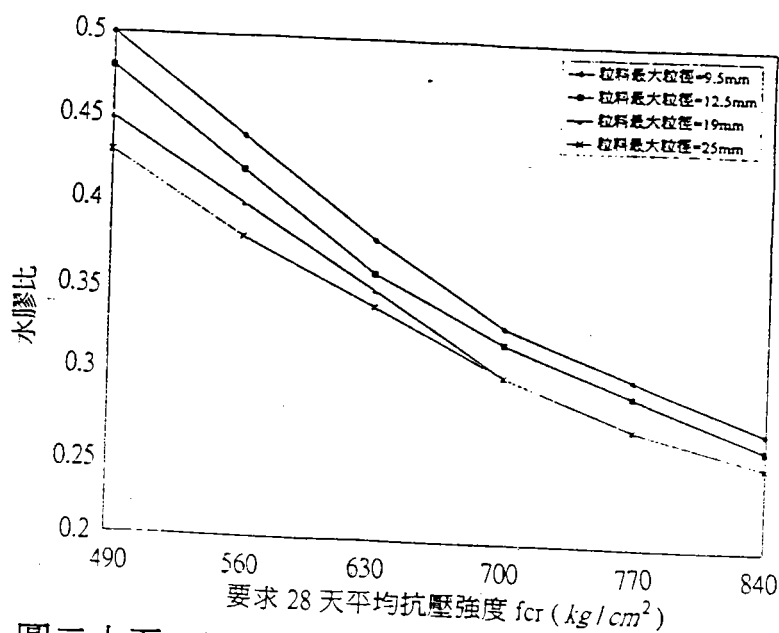


圖二十一 在相同之坍度下，粗細骨材比與膠結料之關係<sup>(28)</sup>



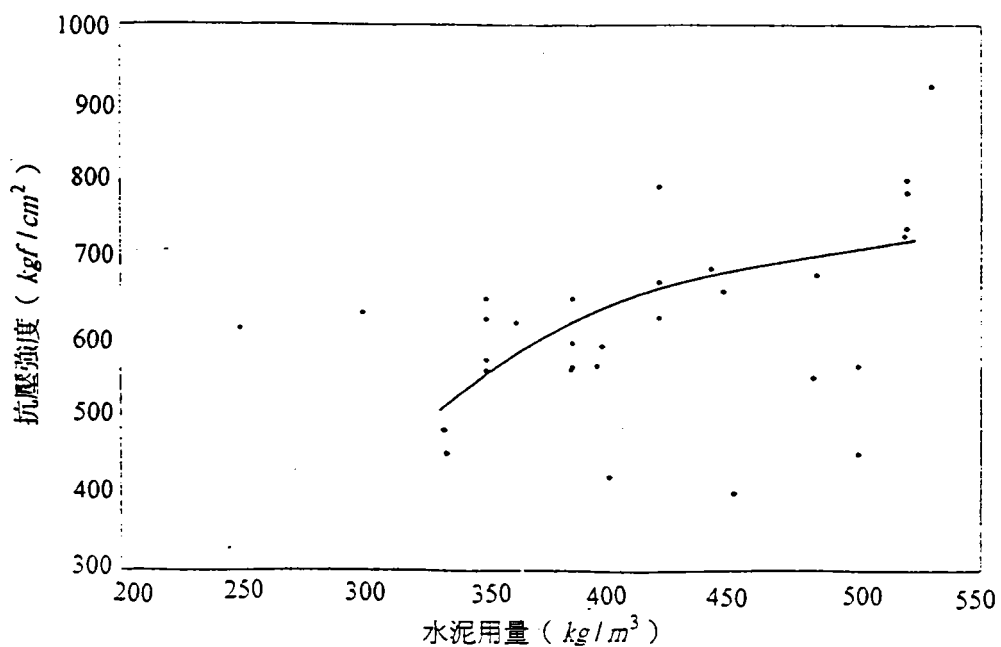


圖二十四 國內各大學 HPC 強度與水膠比之關係  
(加爐石粉與飛灰) (35)

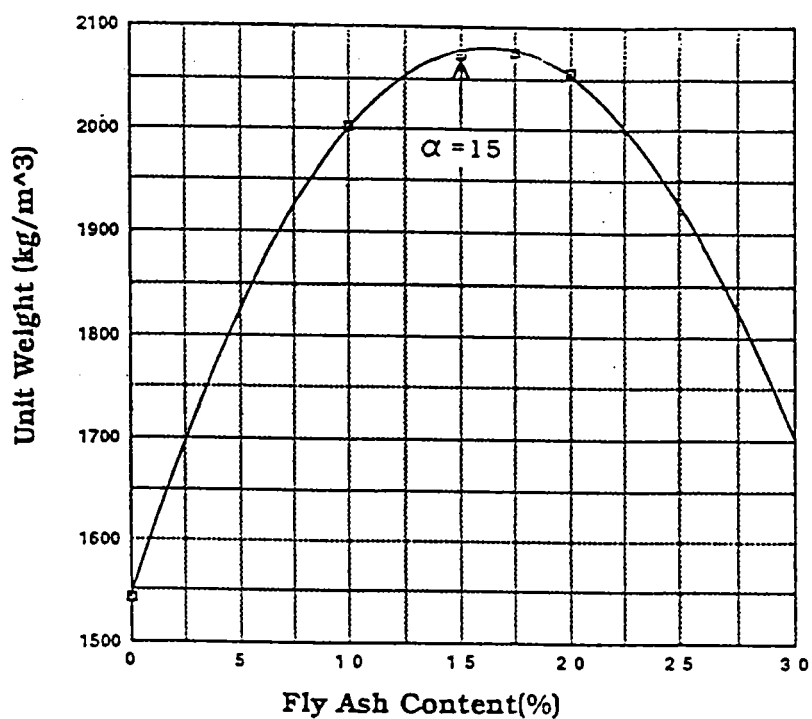


圖二十五 HPC 抗壓強度與最大容許水膠比之關係 (35)

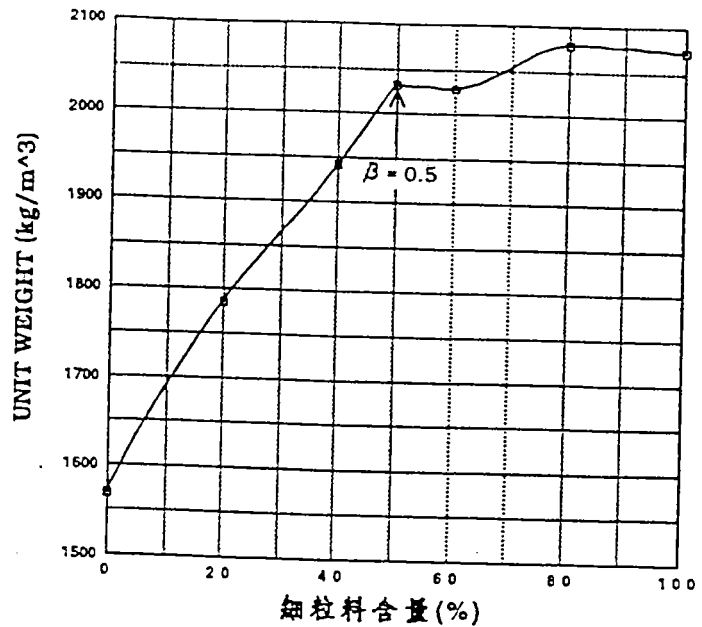




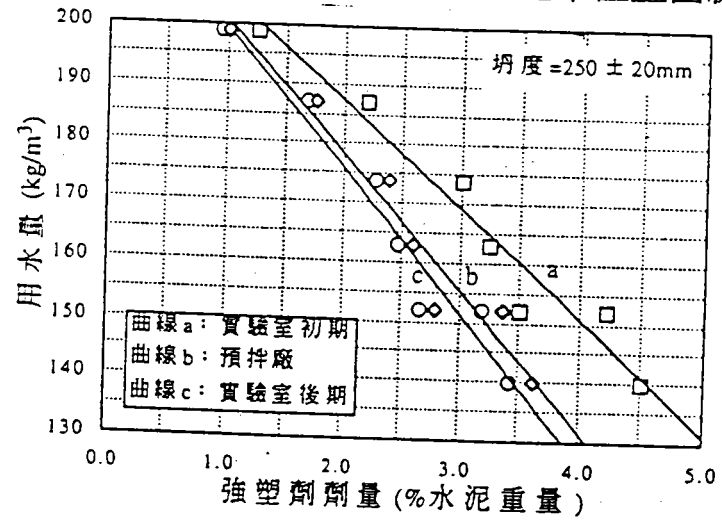
圖二十六 國內各大學 HPC 水泥用量與抗壓強度關係圖<sup>(35)</sup>



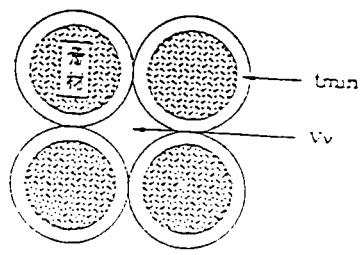
圖二十七 飛灰取代砂單位重曲線<sup>(15)</sup>



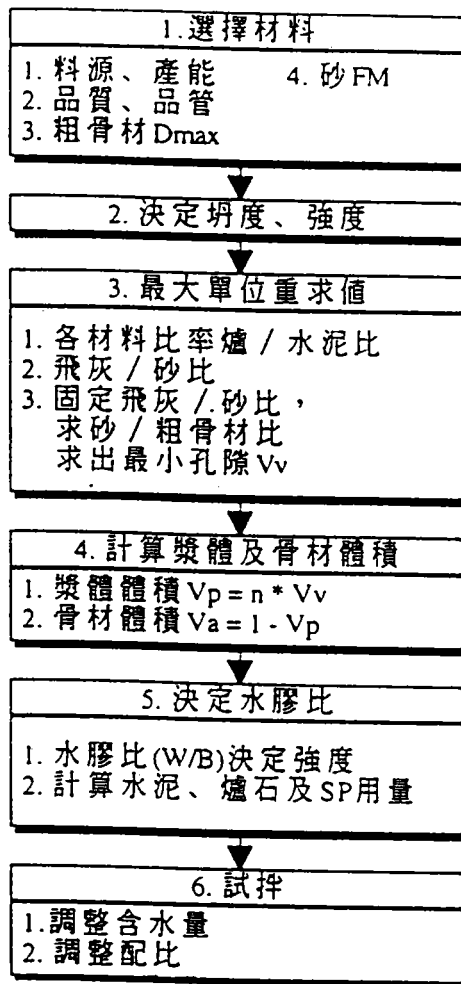
圖二十八 砂、飛灰、細粒量之單位重曲線 (15)



圖二十九 坍度 250±20mm 強塑劑與用水量之關係 (28)



圖三十 緻密配比法觀念示意圖 (36)

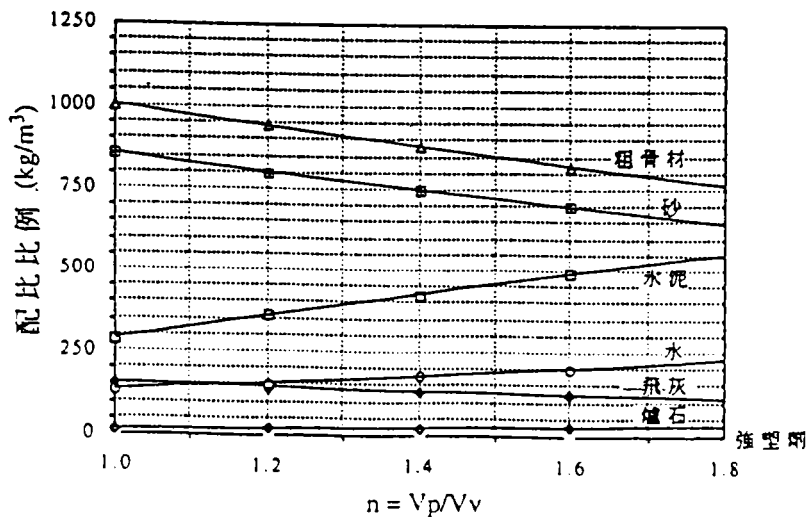


坍度不正確

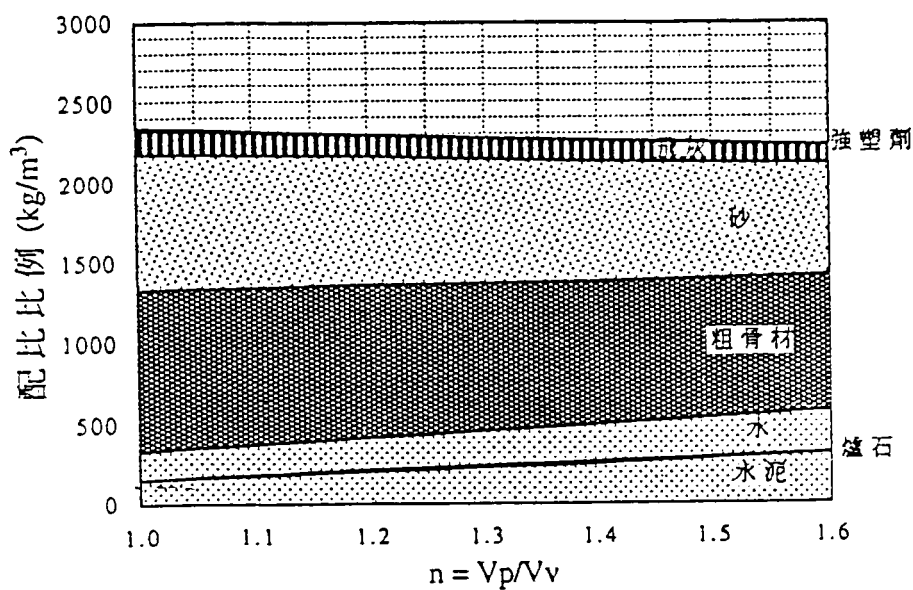
★  $\pm 2$  cm 坍度  $\rightarrow \pm 3.5 \text{ kg/m}^3$  加水 (保持 W/B 不變)

★  $\pm 2$  cm 坍度  $\rightarrow \pm 0.1\%$  SP

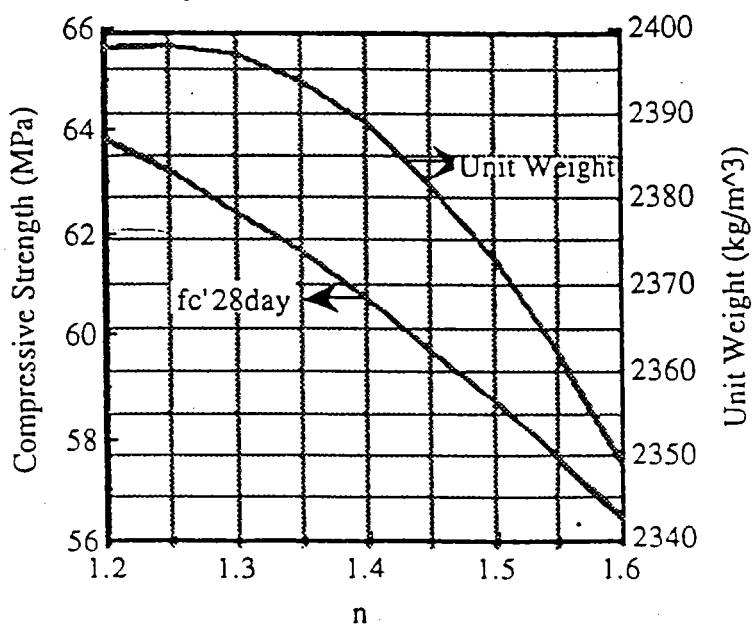
圖三十一 HPC 緻密配比設計步驟流程 (37)



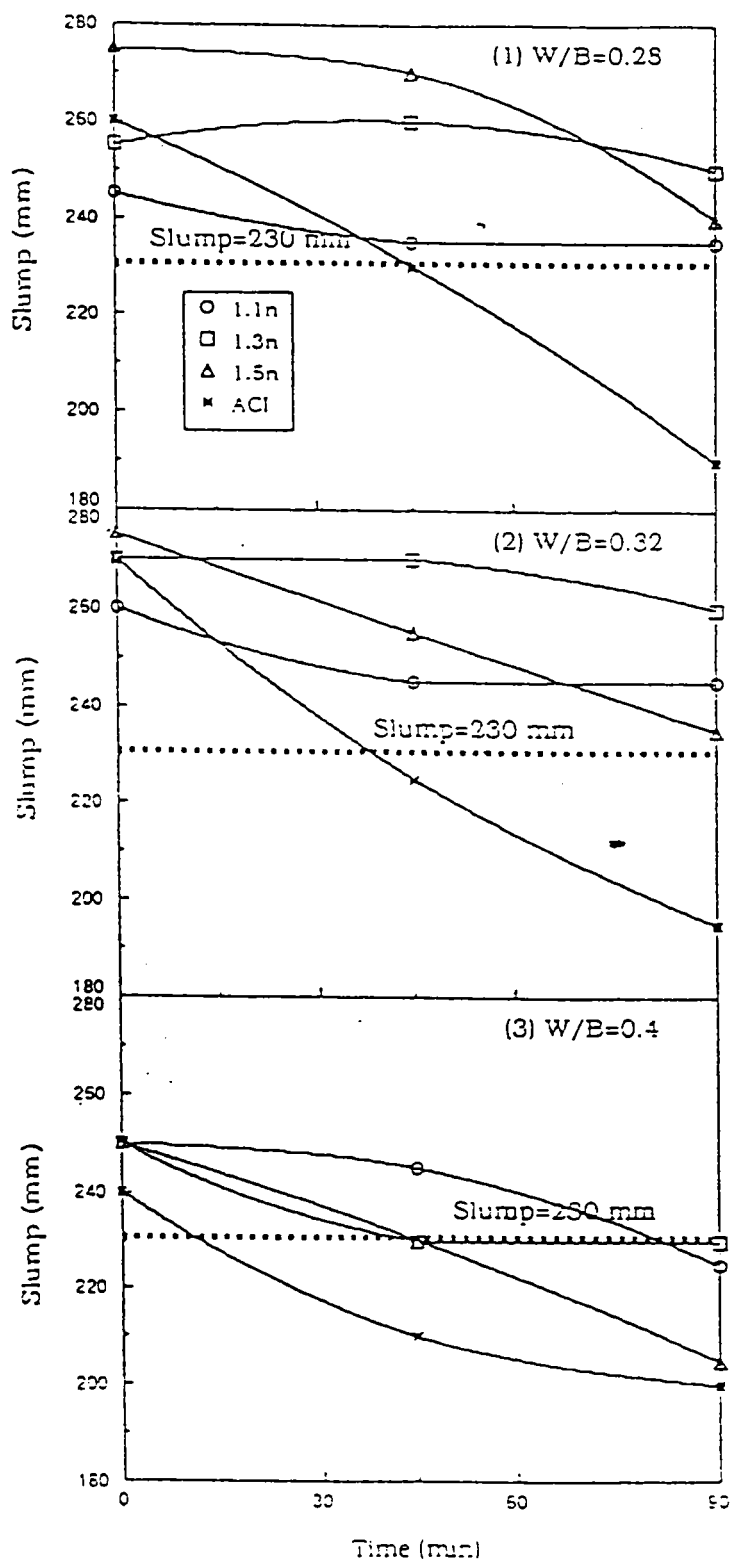
圖三十二 漿量體積與材料配比 (19)



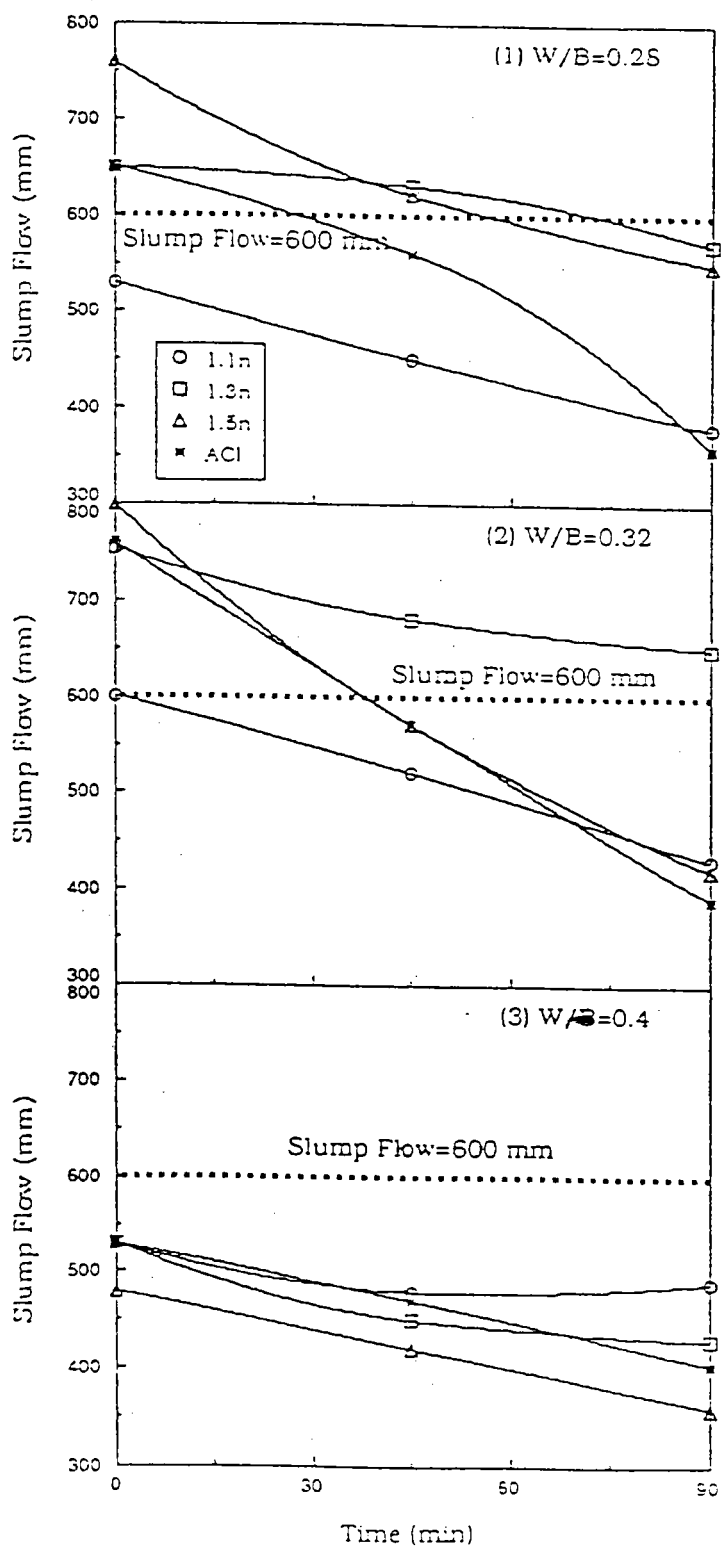
圖三十三 漿量體積與累積單位重<sup>(19)</sup>



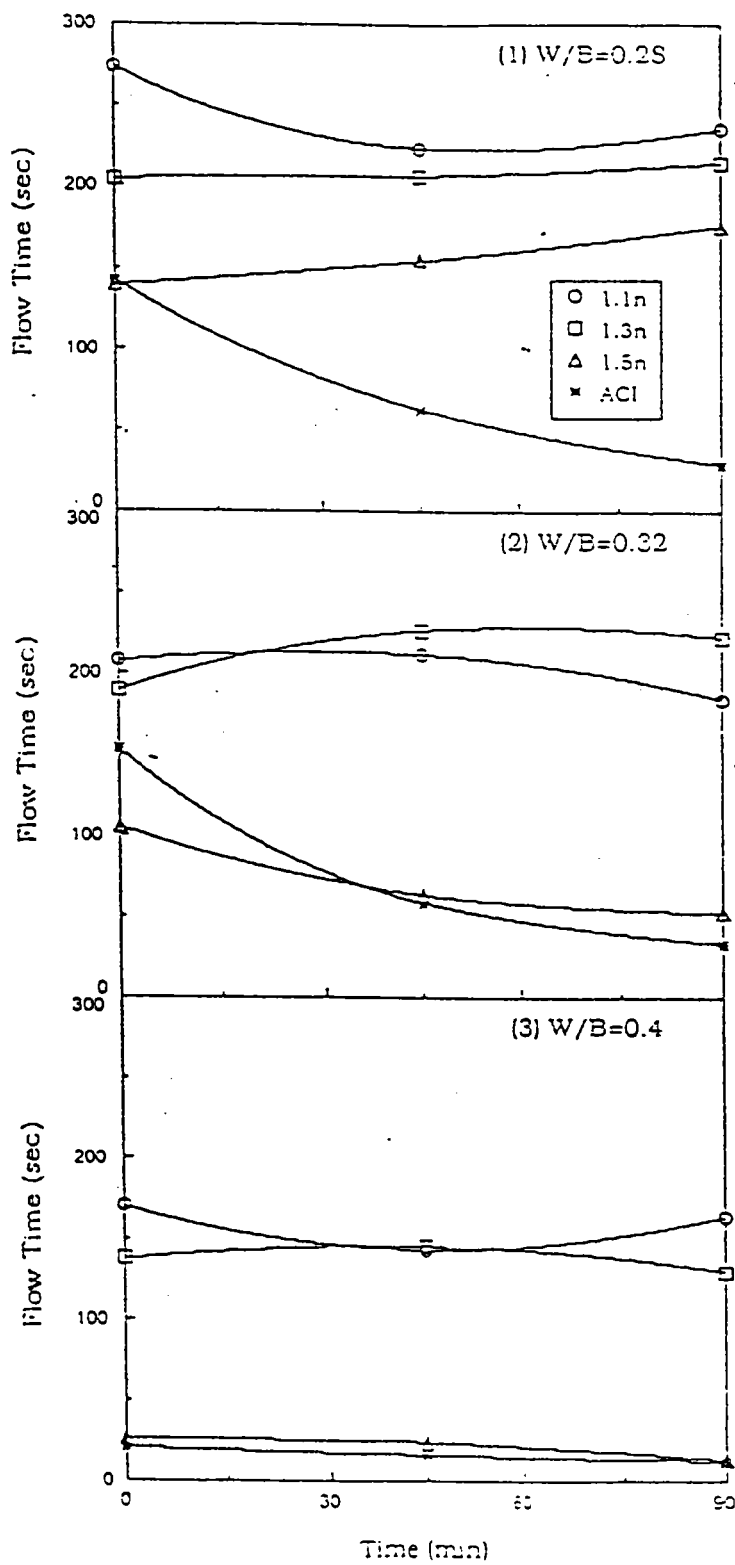
圖三十七 漿量與單位重及抗壓強度之關係<sup>(37)</sup>



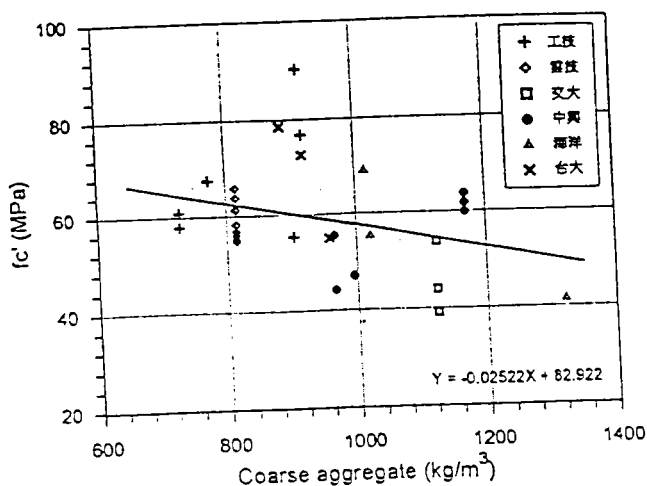
圖三十四 新拌高性能混凝土坍度變化圖 (38)



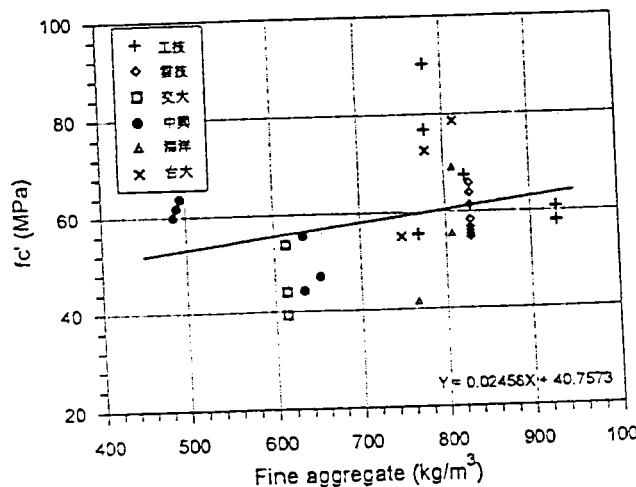
圖三十五 新拌高性能混凝土坍落度變化圖 (38)



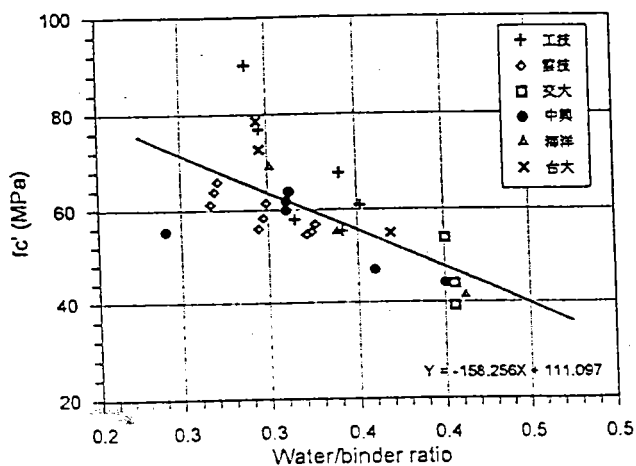
圖三十六 新拌高性能混凝土坍落度與時間關係圖 (38)



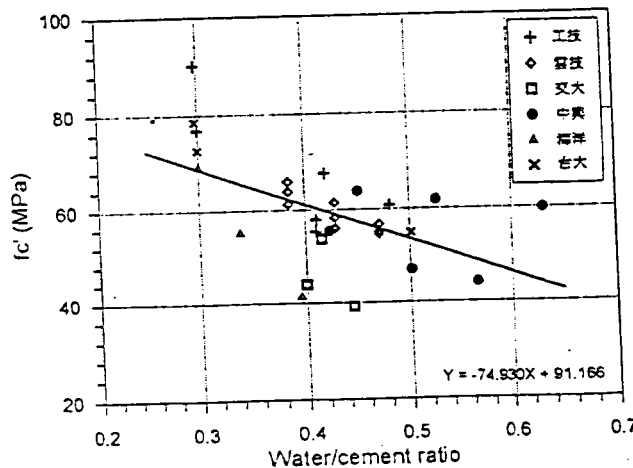
圖三十八 國內各校 HPC 配比  
粗骨材用量與強度之關係圖<sup>(15)</sup>



圖三十九 國內各校 HPC 配比  
細骨材用量與強度之關係圖<sup>(15)</sup>

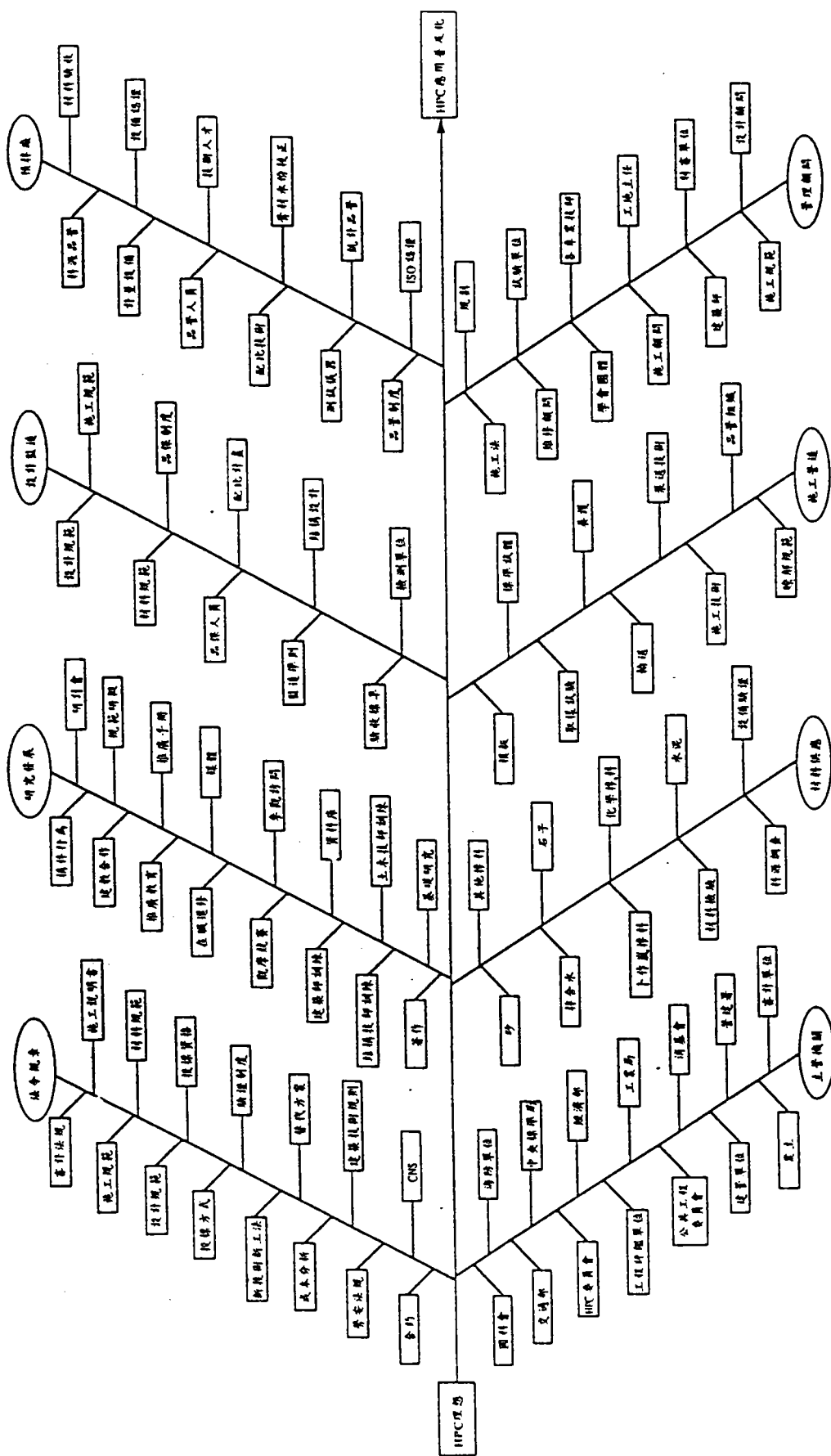


圖四十 國內各校 HPC 配比  
水膠比與強度之關係圖<sup>(15)</sup>

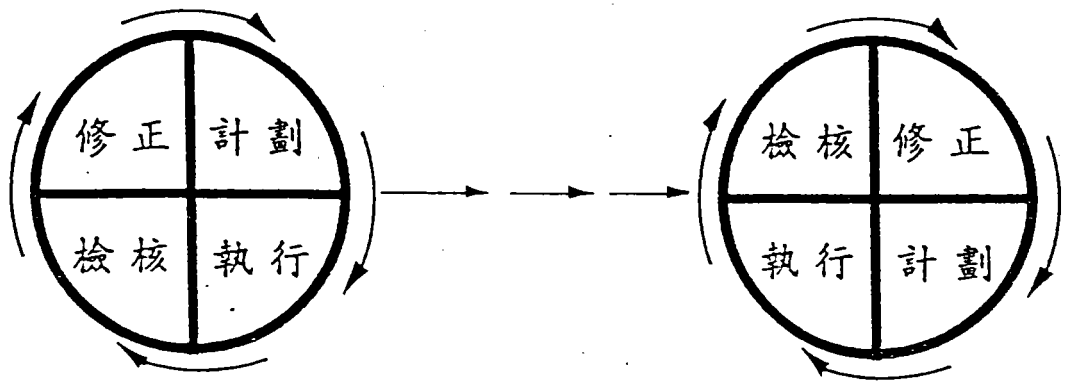


圖四十一 國內各校 HPC 配比  
水灰比與強度之關係圖<sup>(15)</sup>

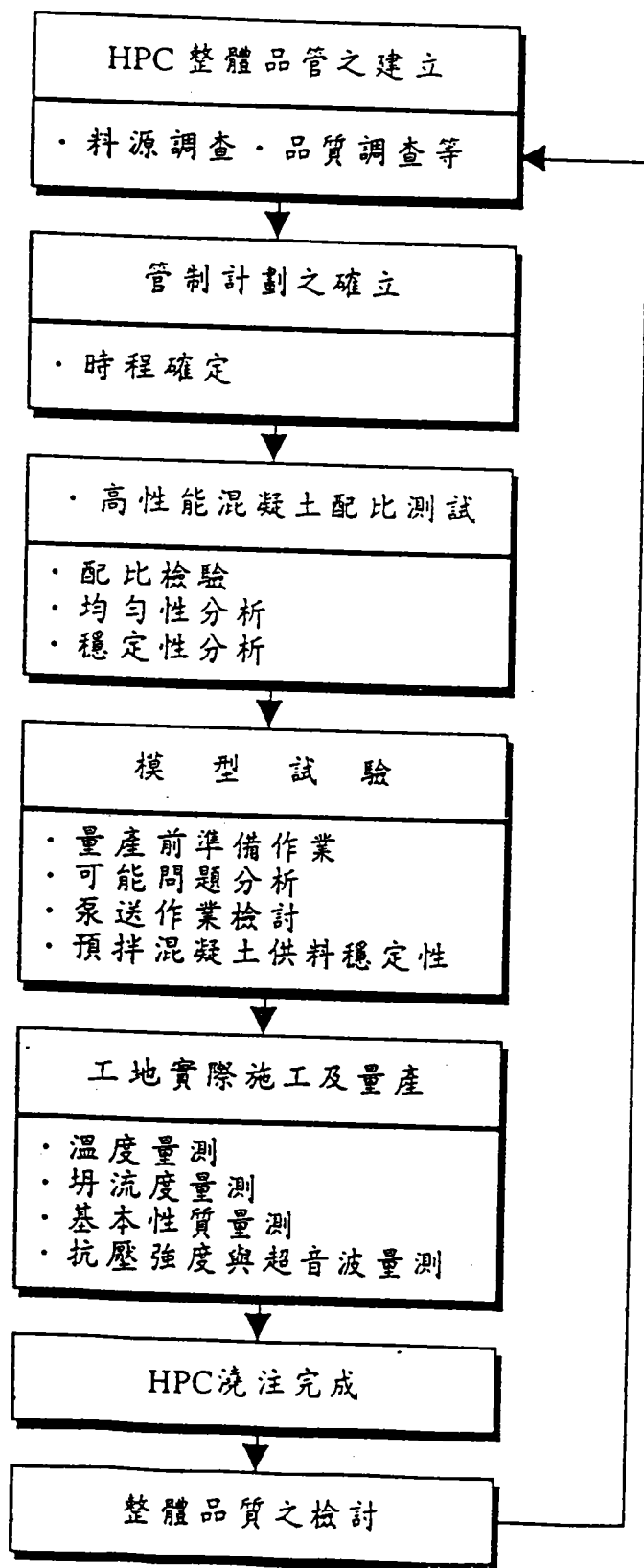




圖四十二 HPC 應用普及化考慮之關鍵（魚骨圖）<sup>(3)</sup>

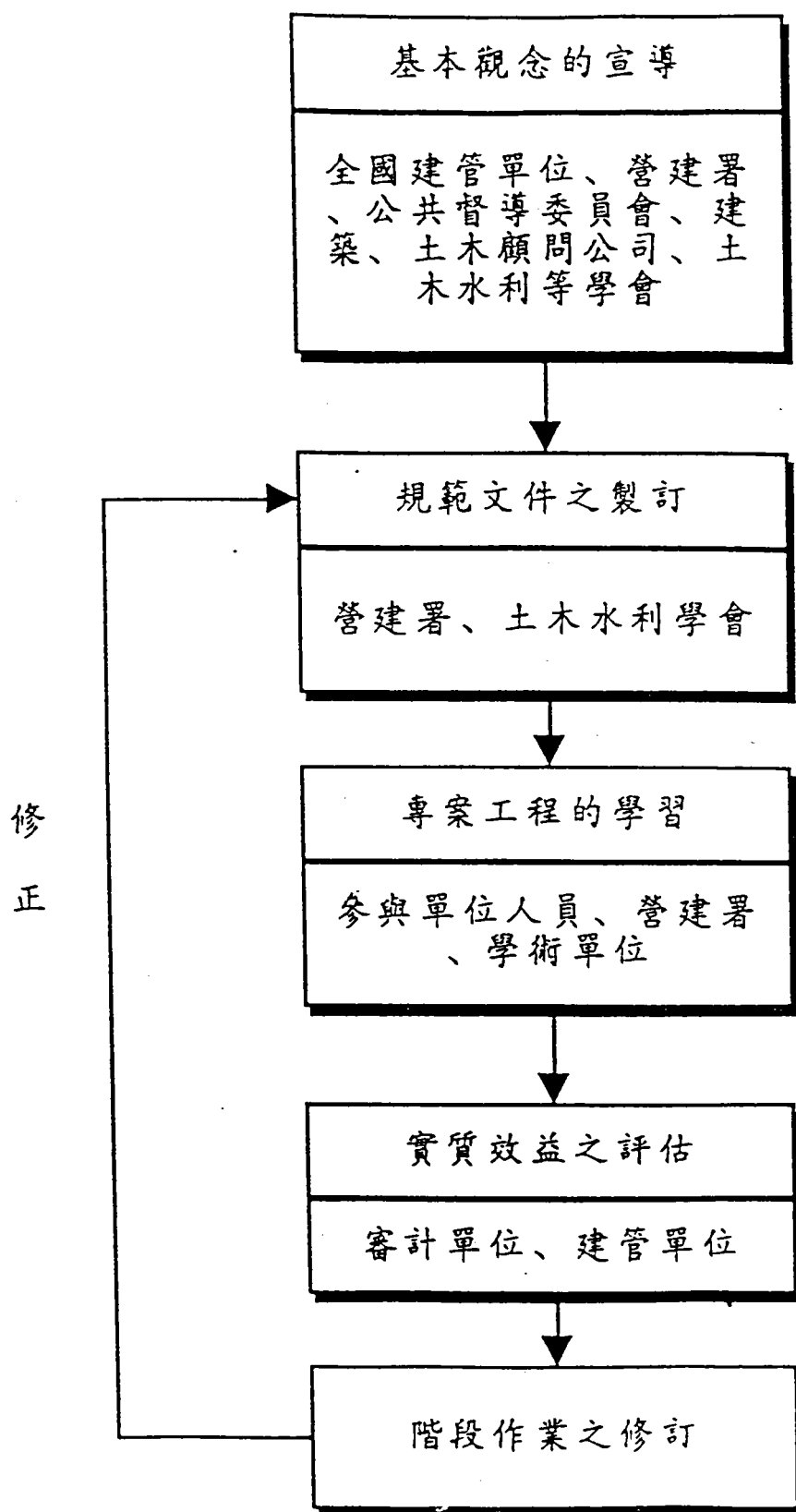


圖四十三 採用 PDCA 循環創新工程品質<sup>(3)</sup>

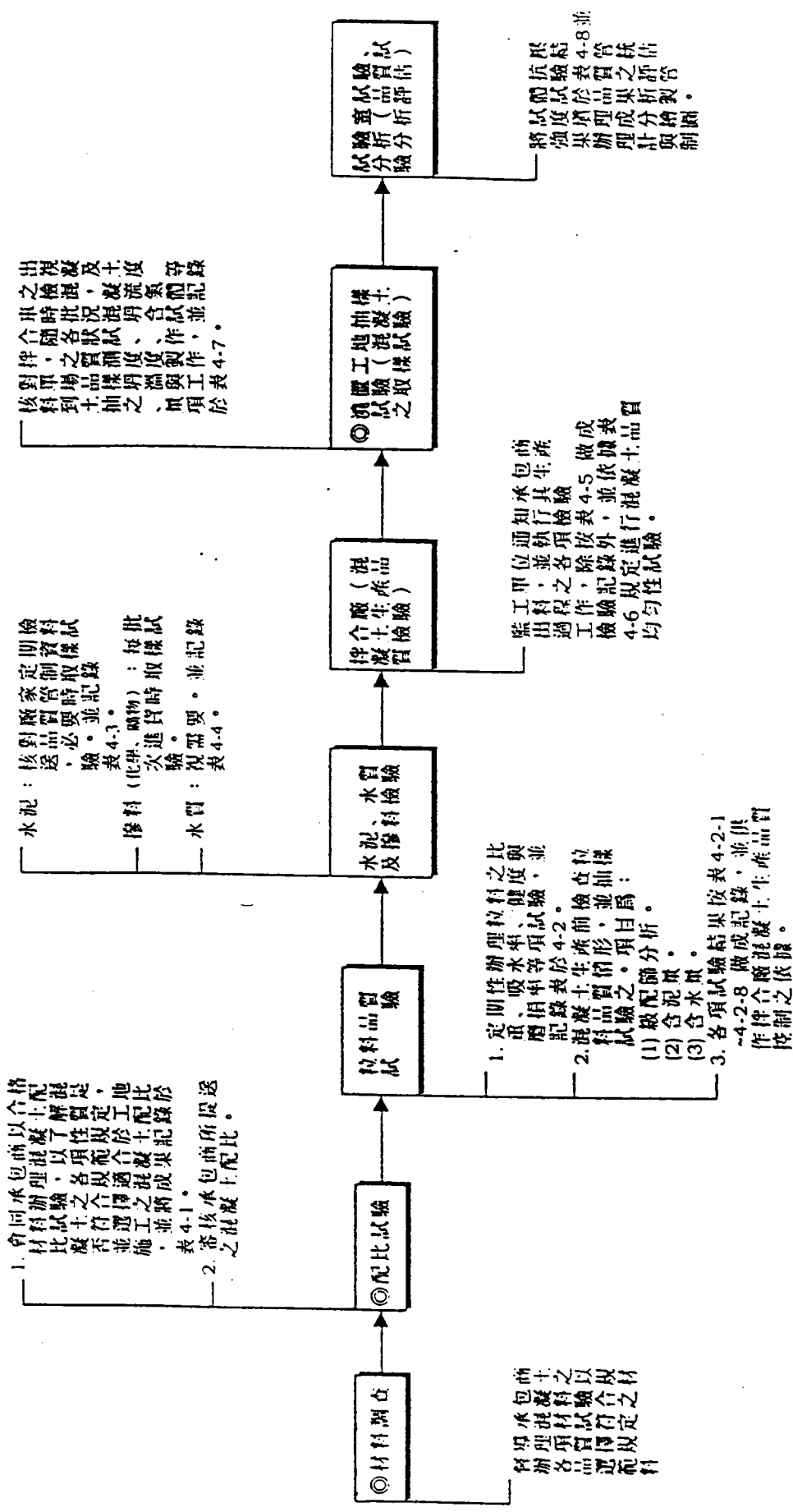


回饋至後續高性能混凝土生產計畫

圖四十四 高性能混凝土全面品質保證系統流程 (40)

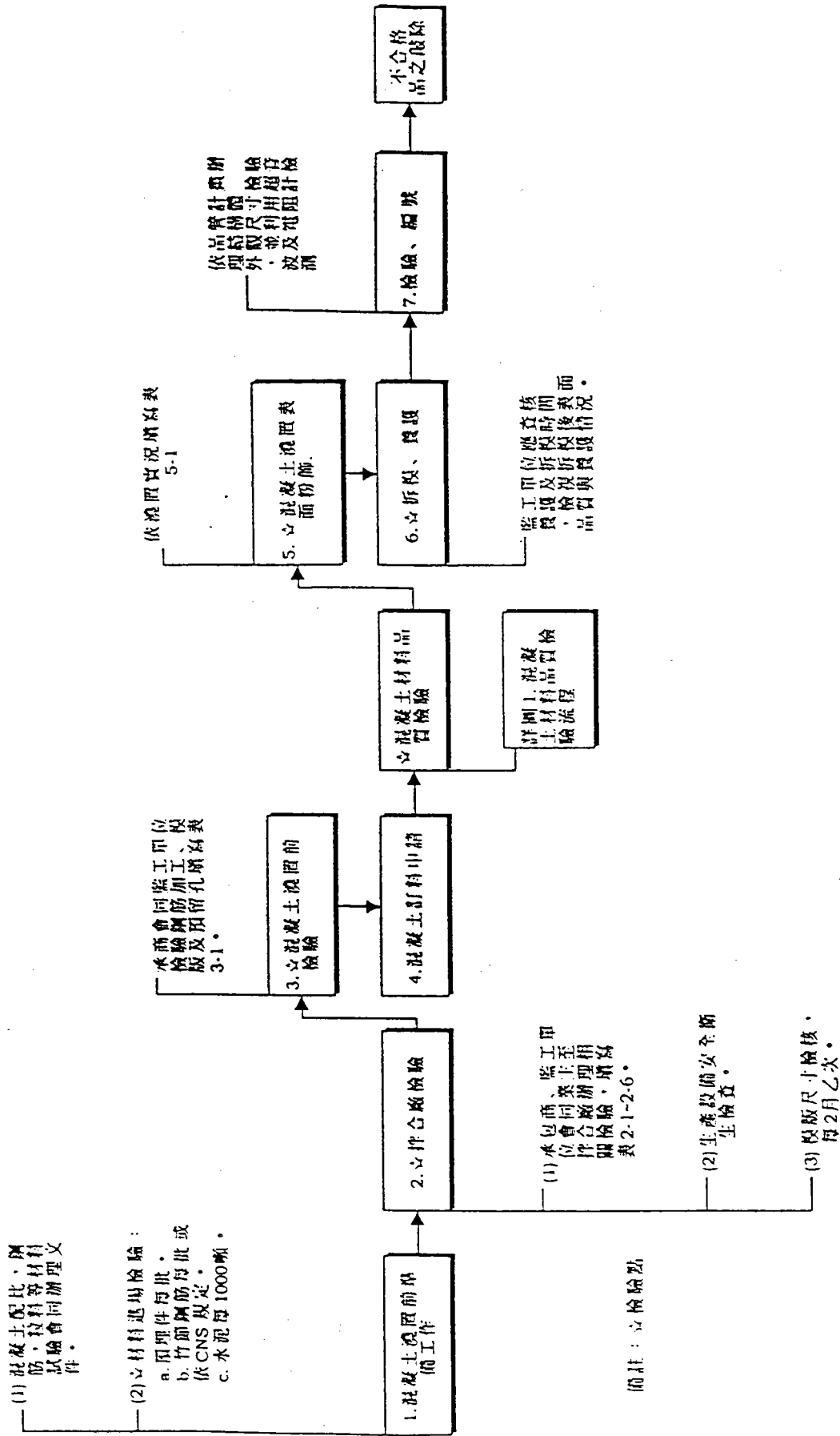


圖四十五 高性能混凝土深耕計劃流程<sup>(4)</sup>

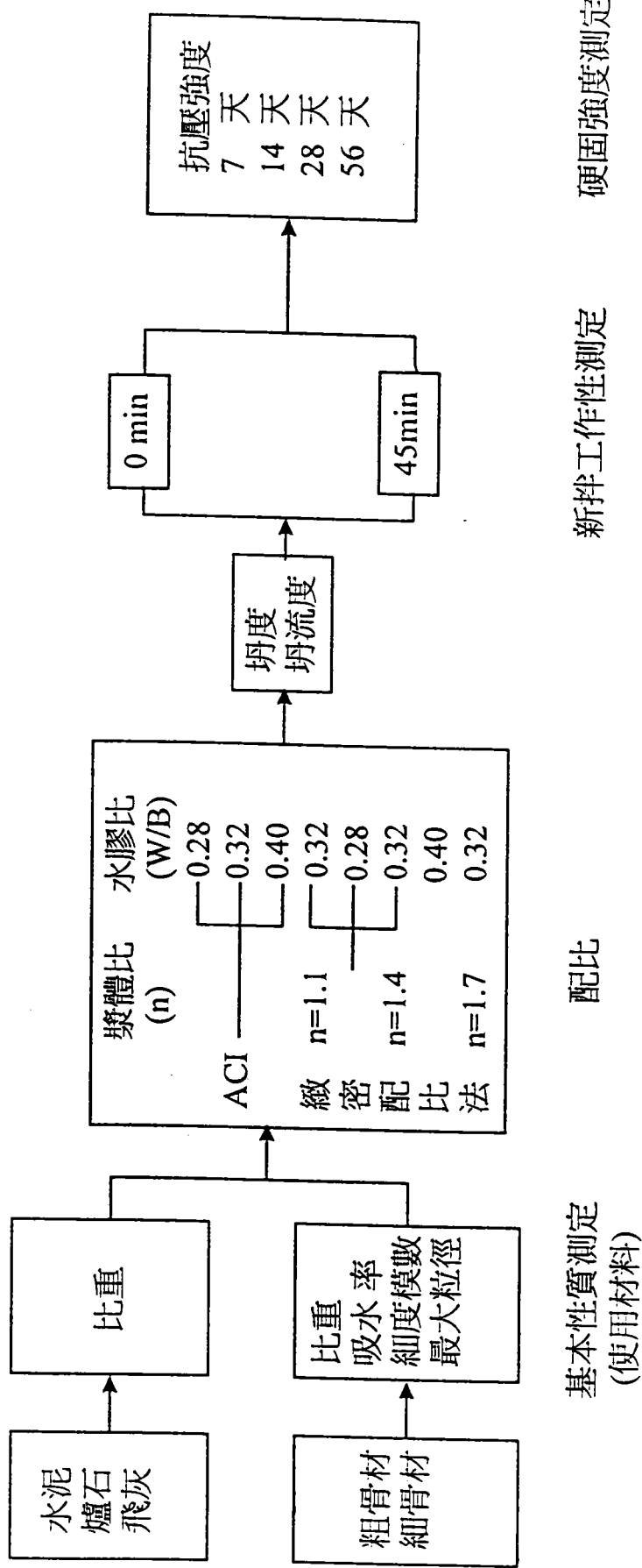


註：◎查證點

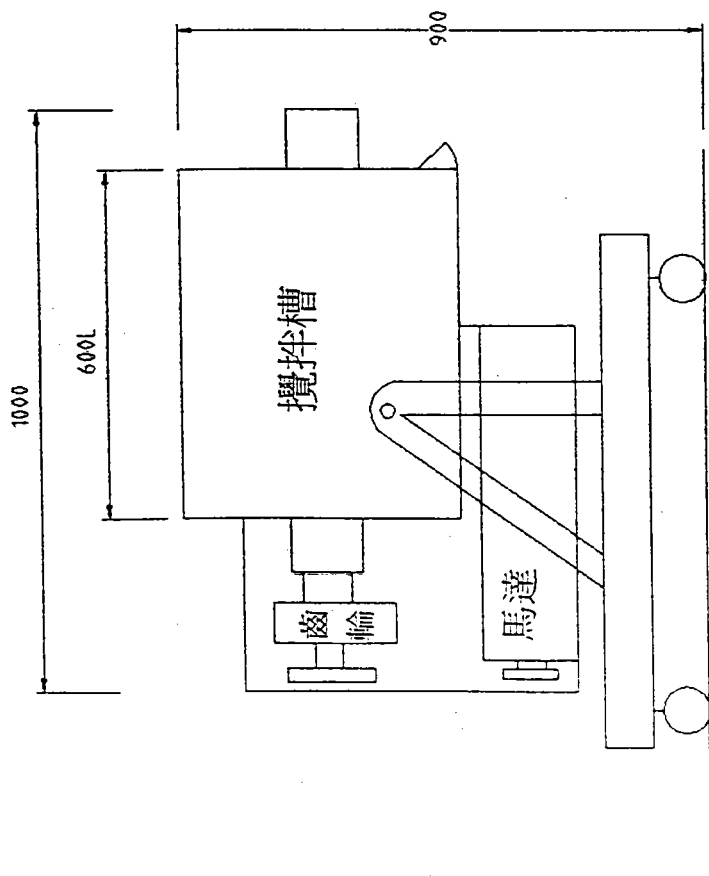
圖四十六 混凝土材料品質檢驗流程<sup>(4)</sup>



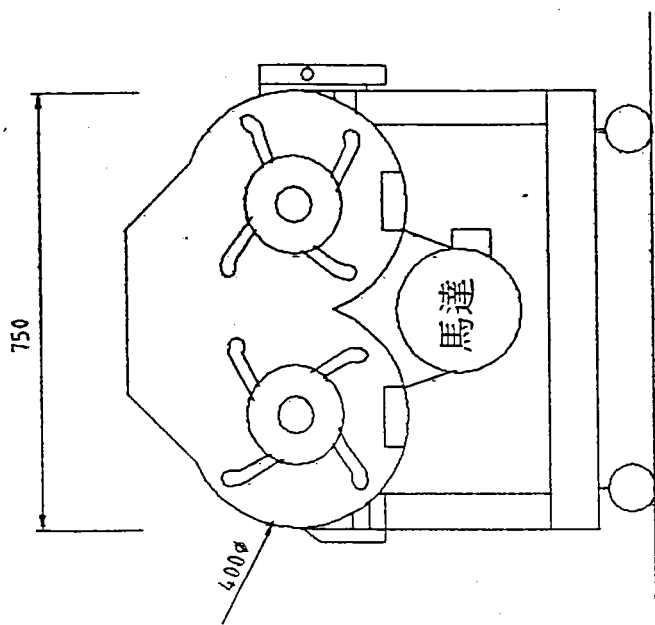
圖四十七 高性能混凝土施工檢驗作業程序<sup>(43)</sup>



圖四十八 HPC 試驗計畫流程圖



正視圖

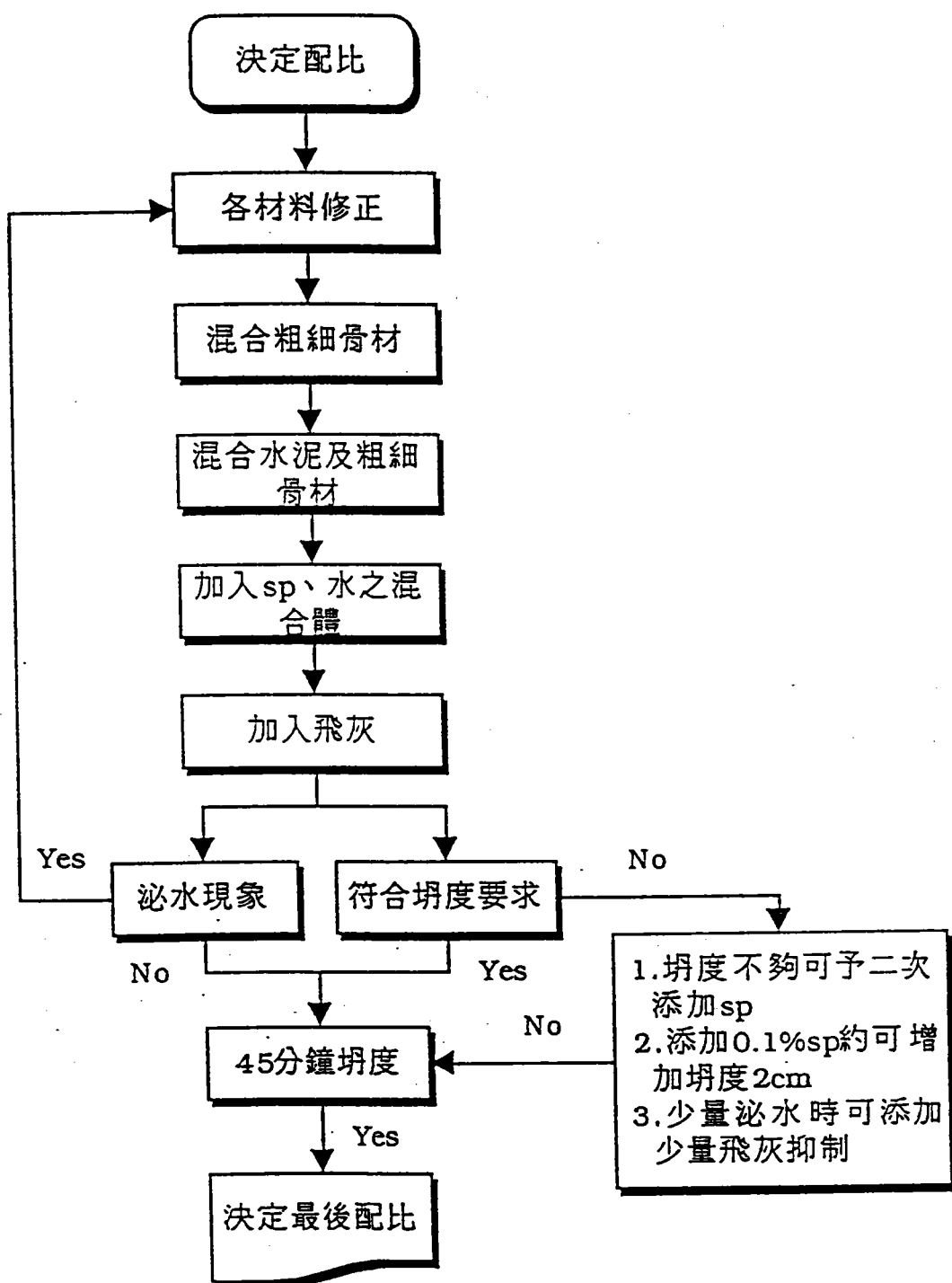


側視圖

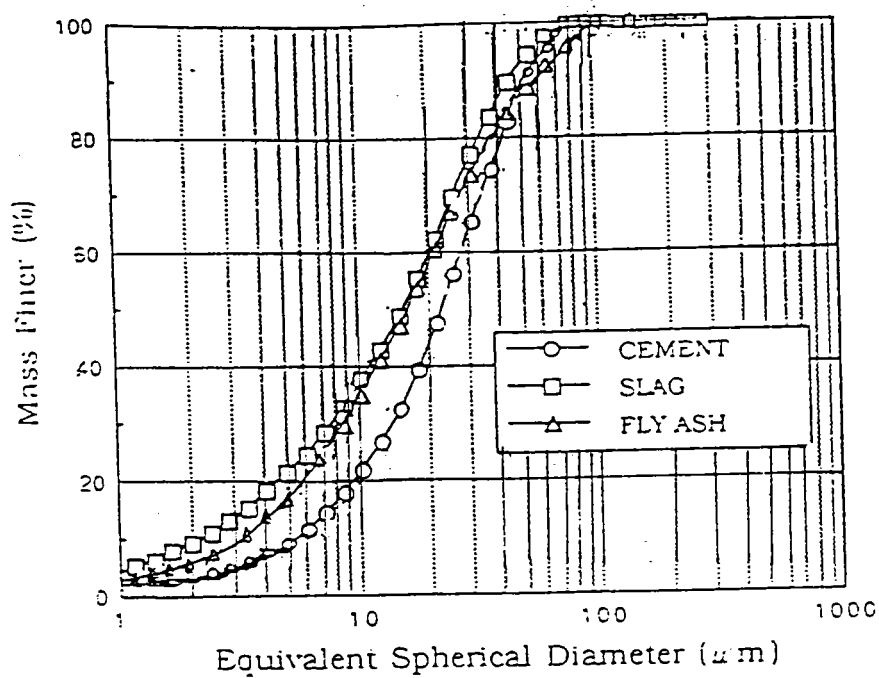
單位：mm

圖四十九 雙軸式攪拌機尺寸圖

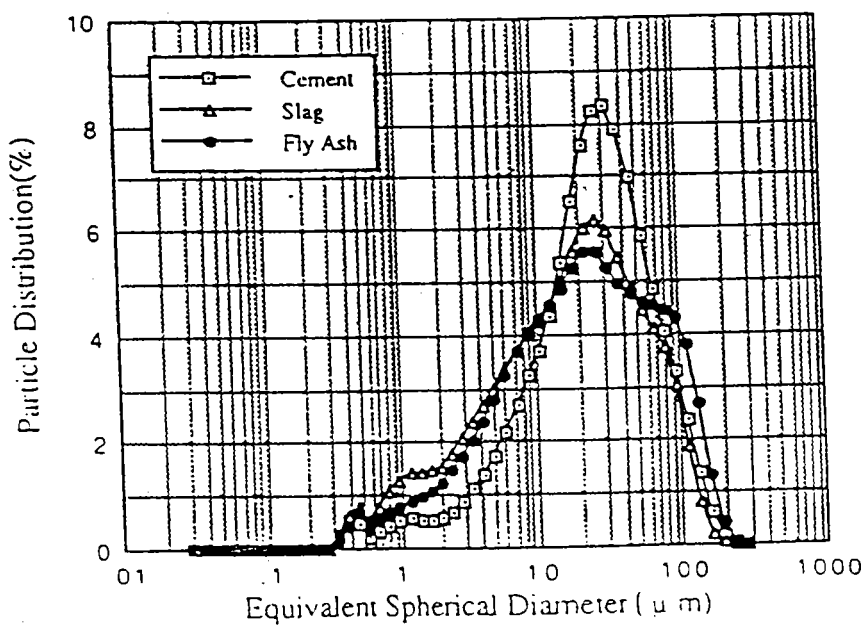




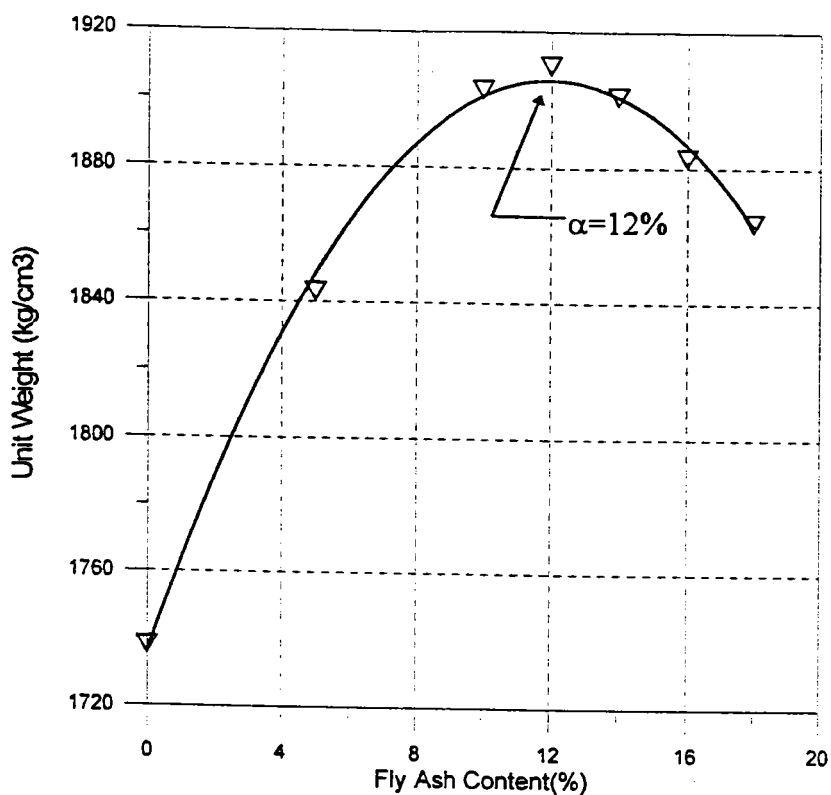
圖五十 HPC 之拌合程序



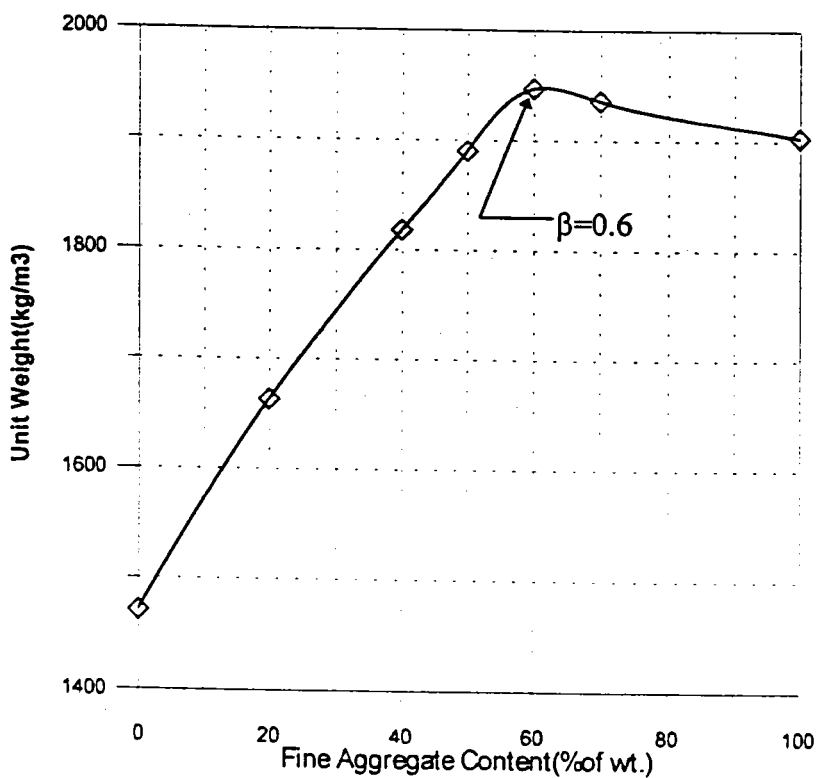
圖五十一 水泥及卜作嵐材料之粒徑分析圖<sup>(38)</sup>



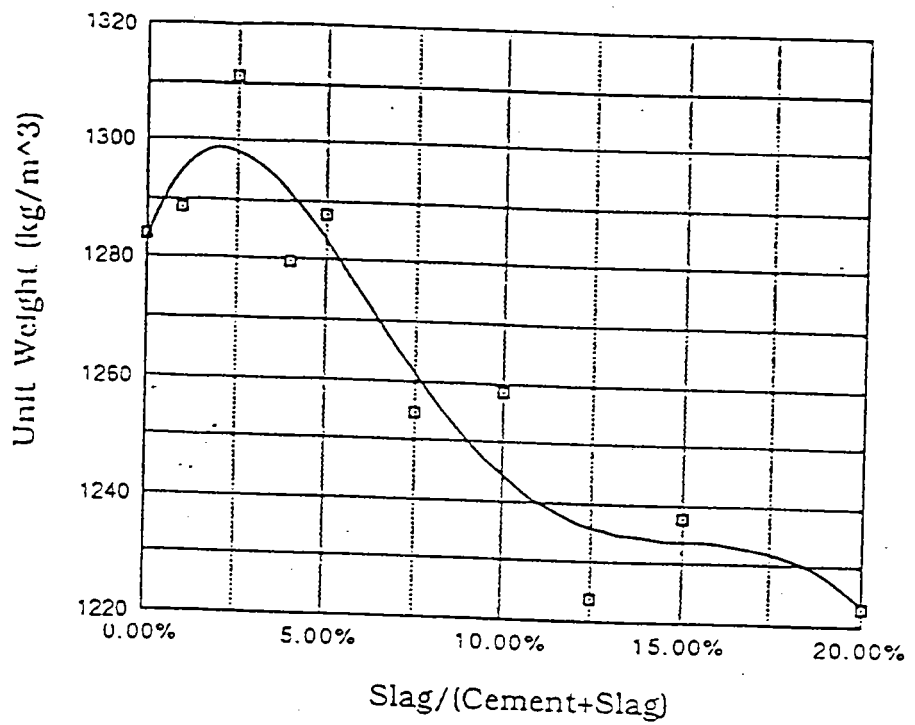
圖五十二 水泥、飛灰、爐石之粒徑分析圖<sup>(38)</sup>



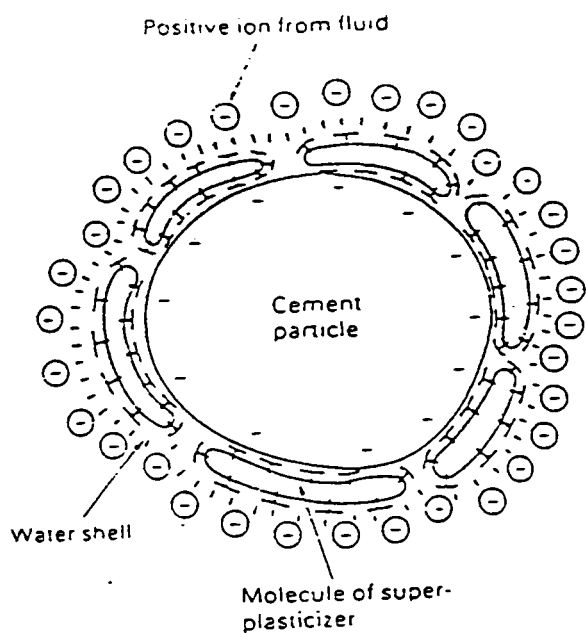
圖五十三 飛灰取代砂單位重曲線



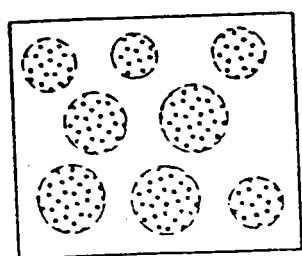
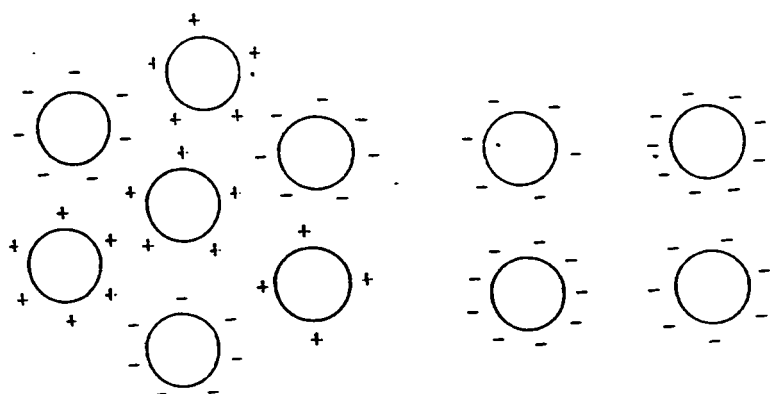
圖五十四 砂、飛灰細粒量之單位重曲線



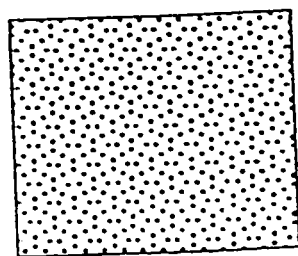
圖五十五 爐石取代水泥之最佳比例



圖五十六 化學摻料吸附於水泥表面的模式

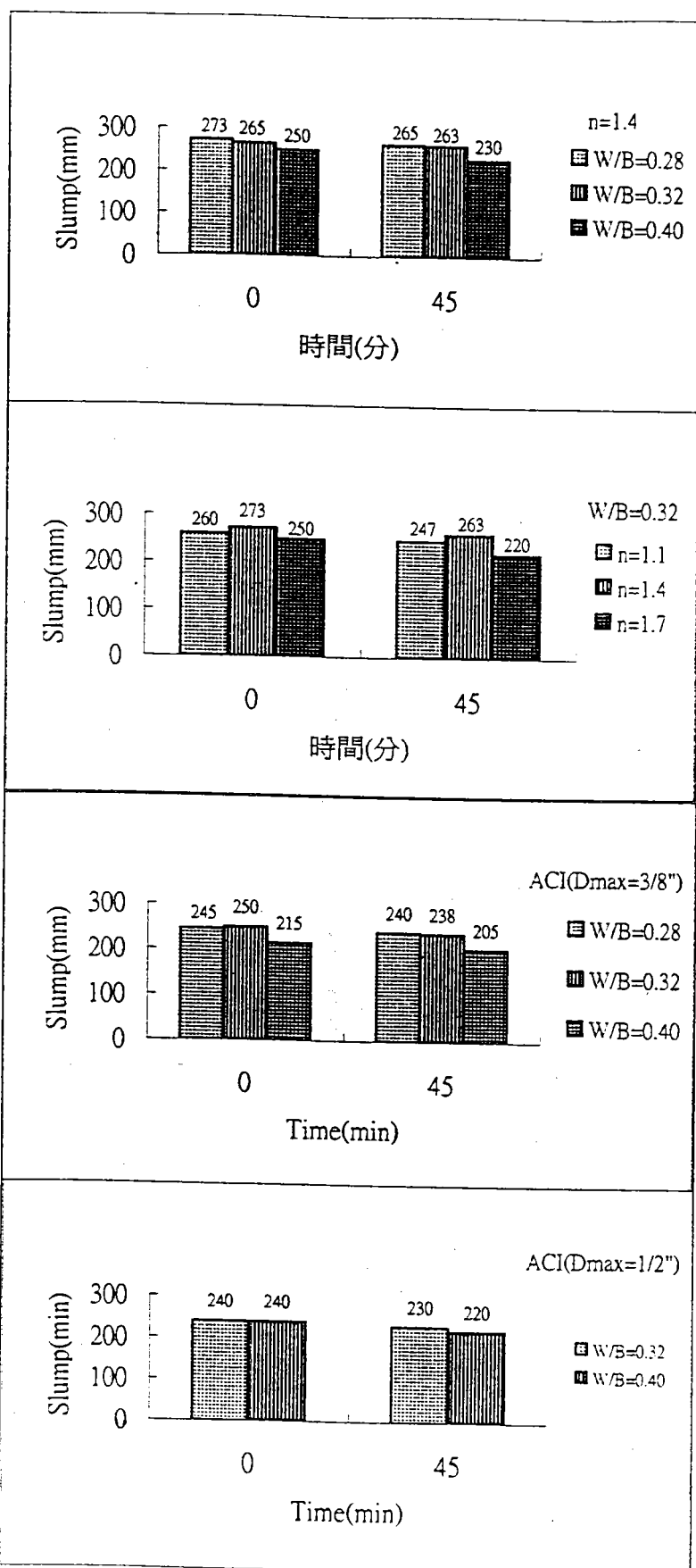


(a) 絮凝之膠體

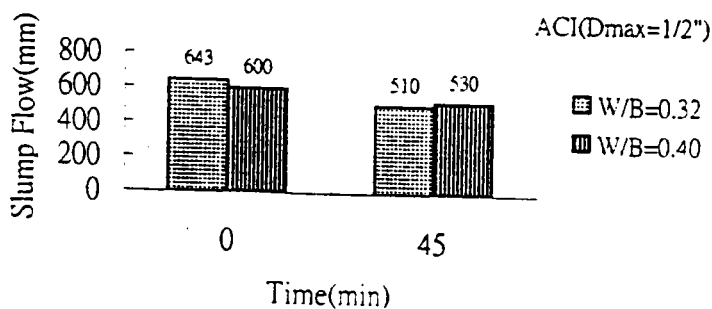
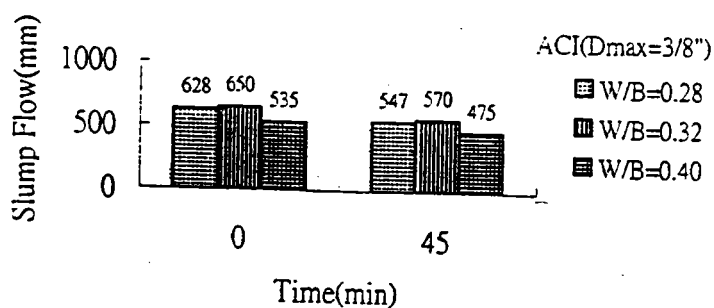
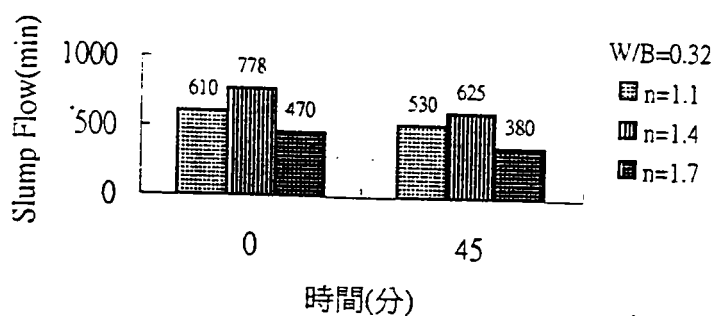
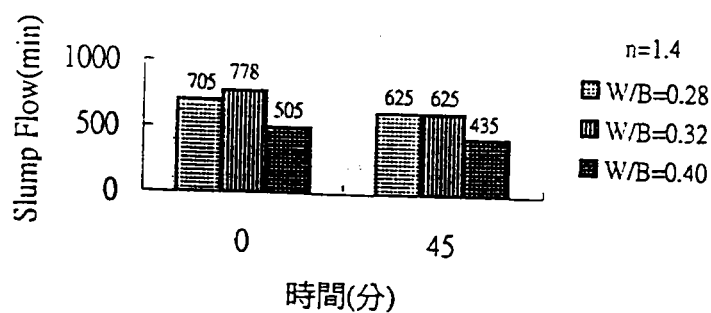


(b) 分散之膠體

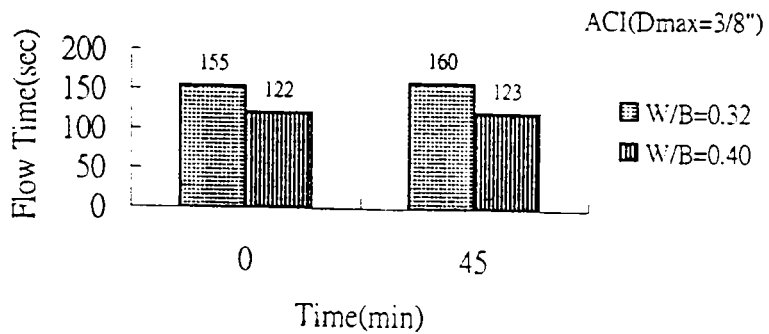
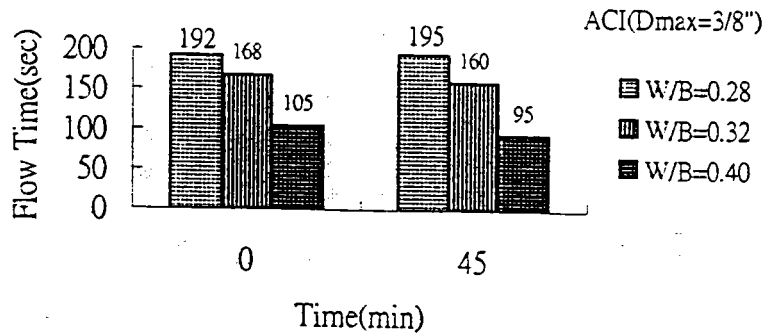
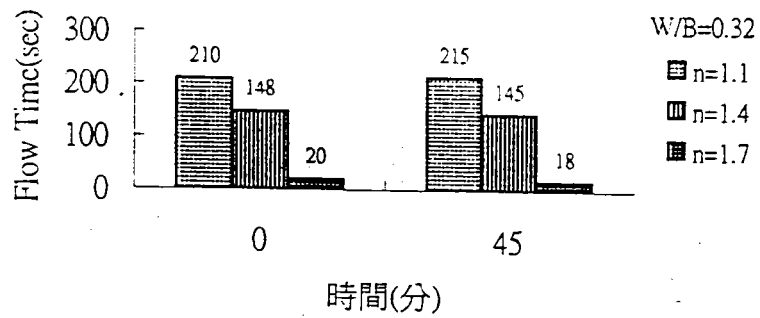
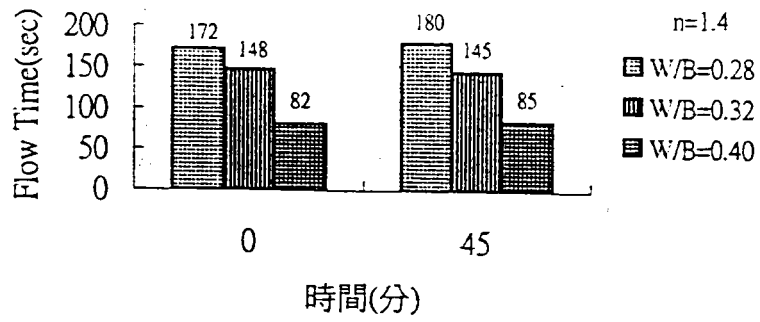
圖五十七 化學摻料之分散作用



圖五十八 新拌 HPC 坍度變化

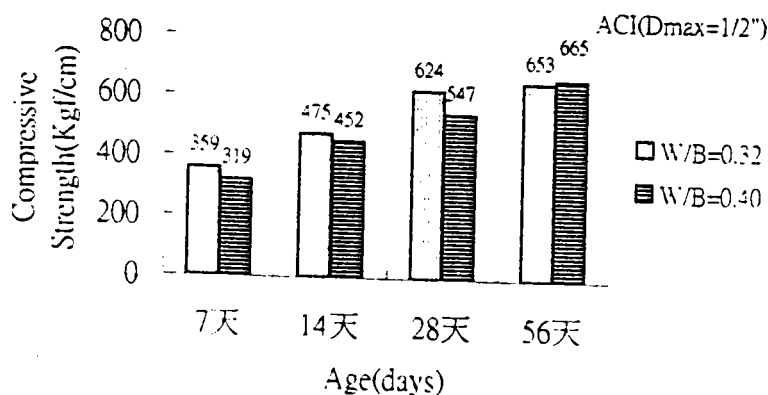
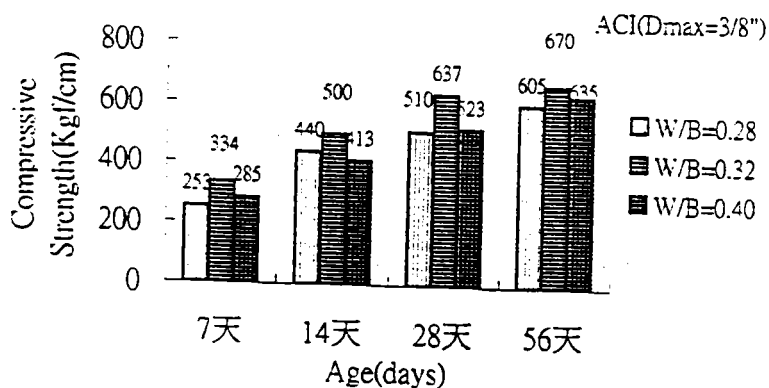
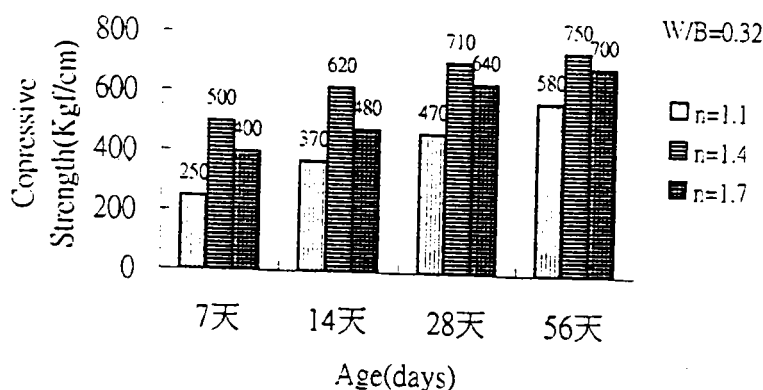
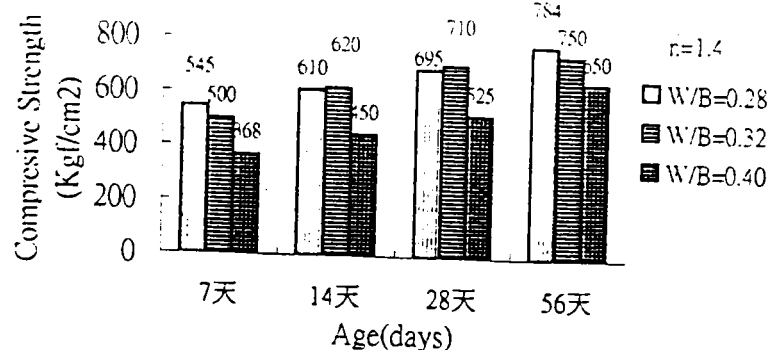


圖五十九 新拌 HPC 坍流度變化

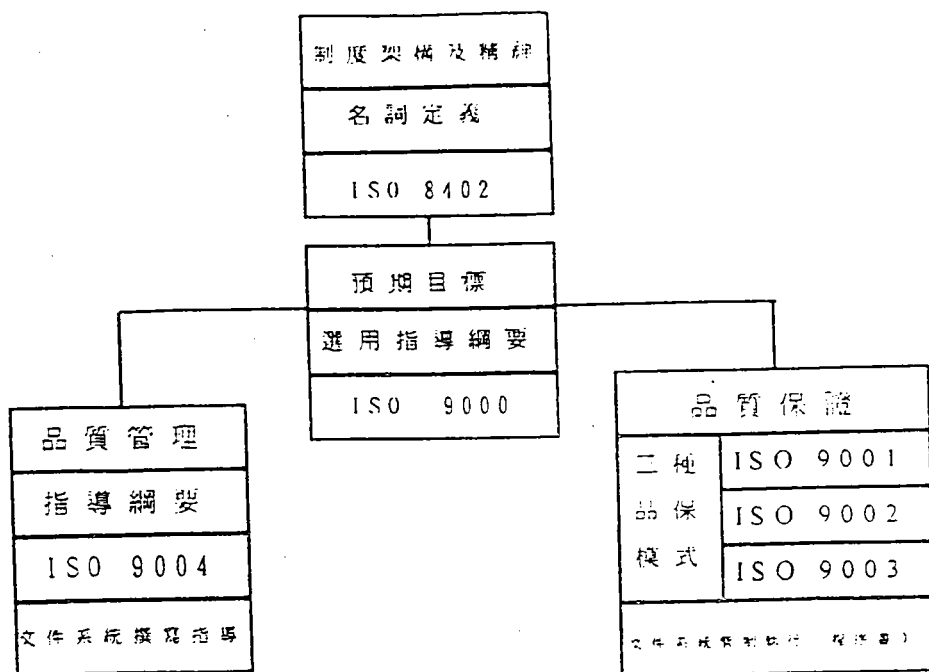


圖六十 新拌 HPC 坍流度流動時間變化

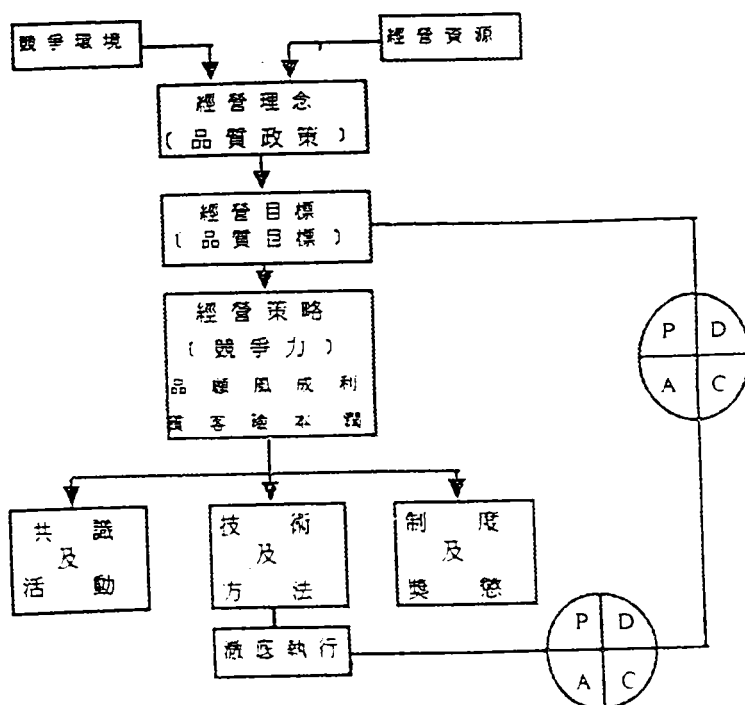




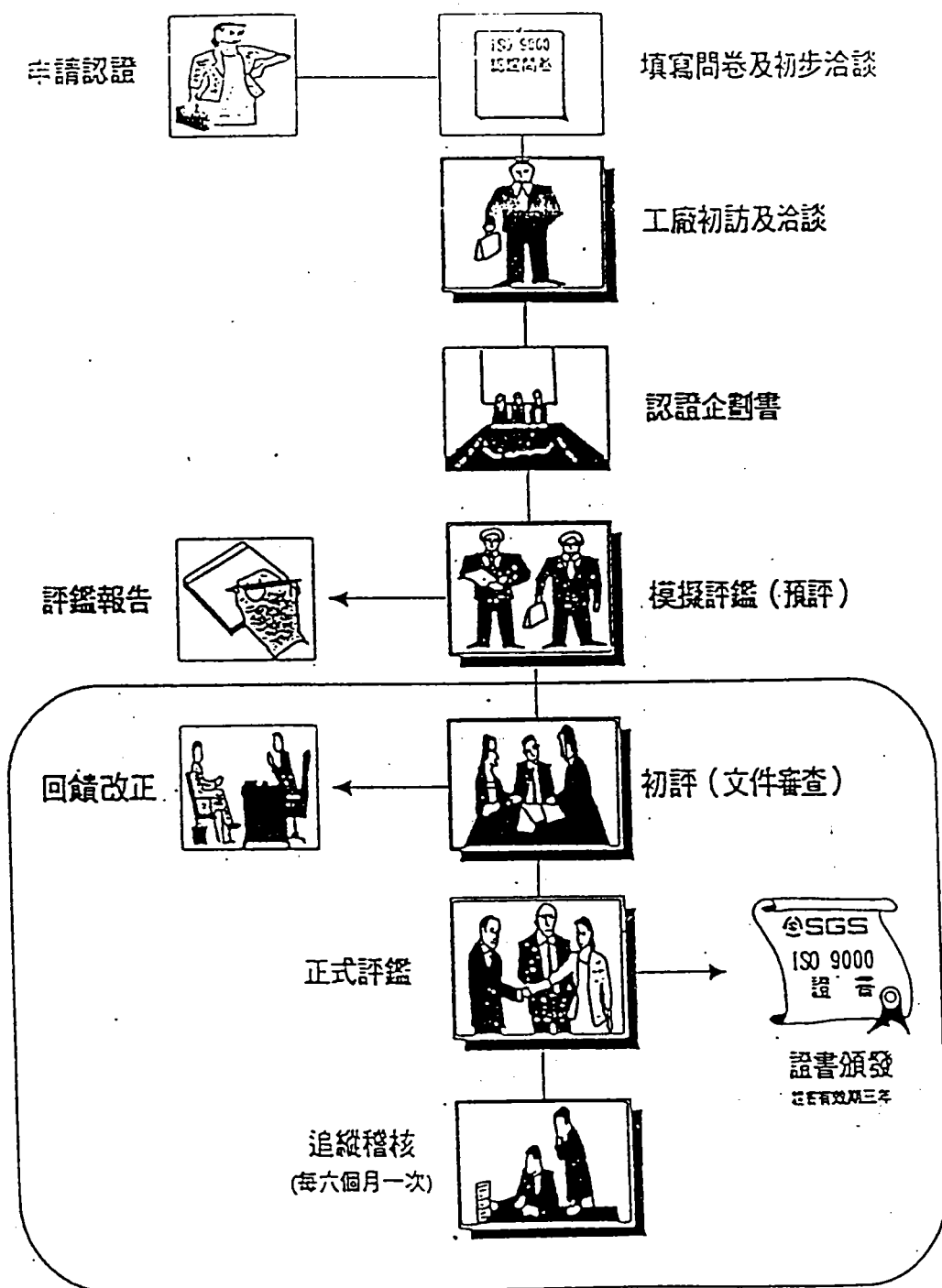
圖六十一 硬固 HPC 之抗壓強度發展



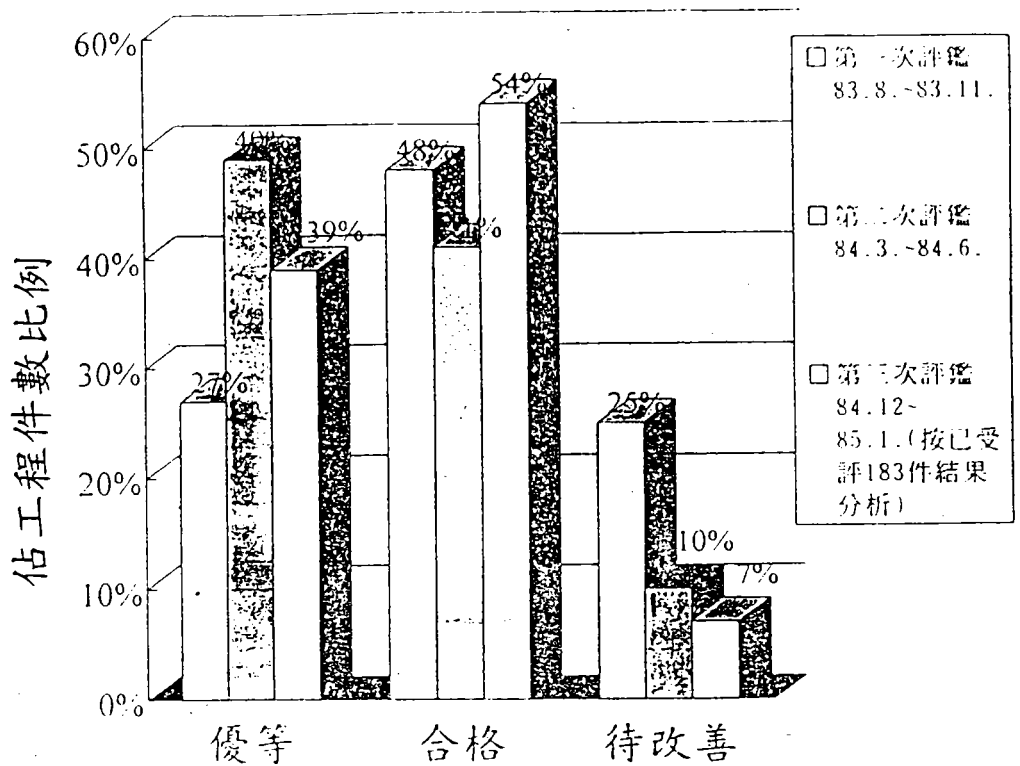
圖六十二 ISO 9000 系列之組成架構<sup>(46)</sup>



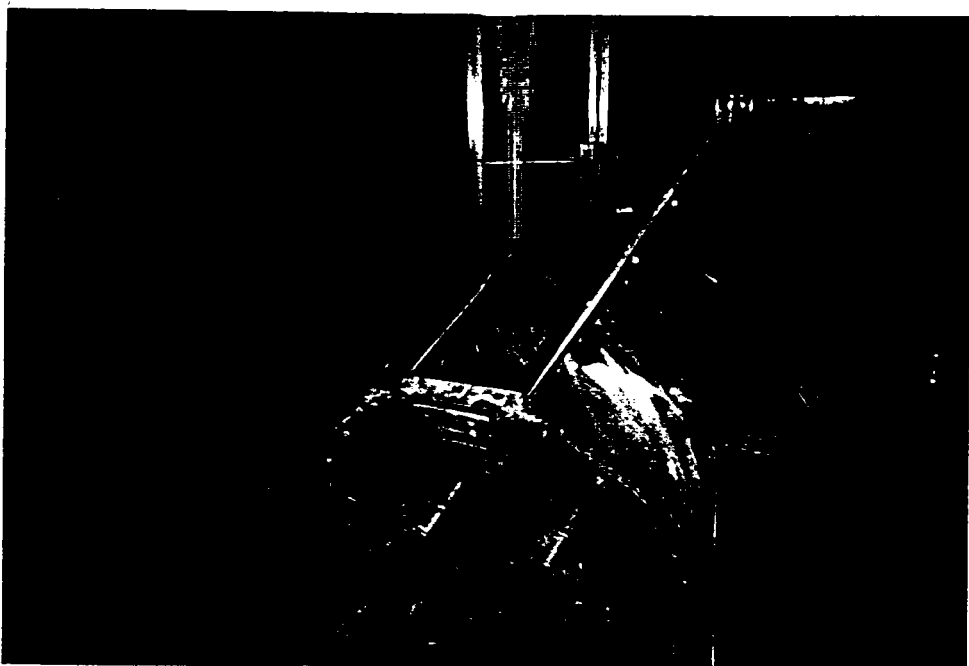
圖六十三 ISO 9000 品質管理與企業經營的關係<sup>(46)</sup>



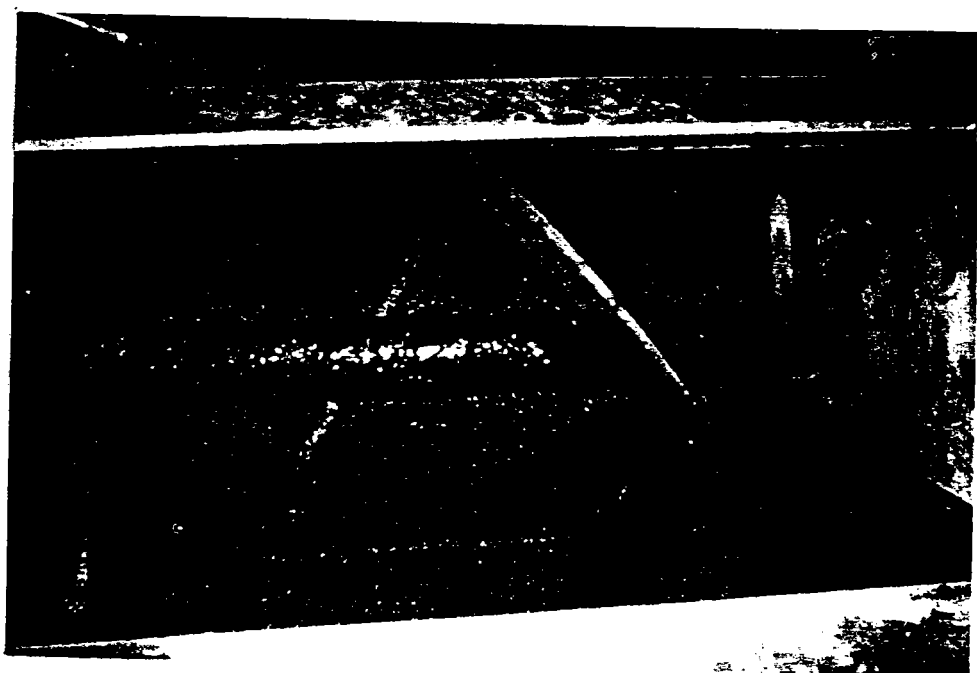
圖六十四 ISO 9000 品質系統認證流程<sup>(47)</sup>



圖六十五 公共工程施工品質歷次評鑑結果比較 (以工程件數分析)<sup>(5)</sup>



照片 1 雙軸式攪拌機



照片 2 試體拌合情形



照片 3 坍度量測



照片 4 坍流度量測

## 新建工程之品質提昇研究

編輯人：林維明、饒正、張道光

發行人：張金機

發行所：台灣省政府交通處港灣技術研究所

打字排版：港灣技術研究所港工材料組

台中縣梧棲鎮臨海路 83 號

04-6564420

承印者：建州企業有限公司

電話：04-6270966

中華民國八十六年出版，印製 50 本，非賣品