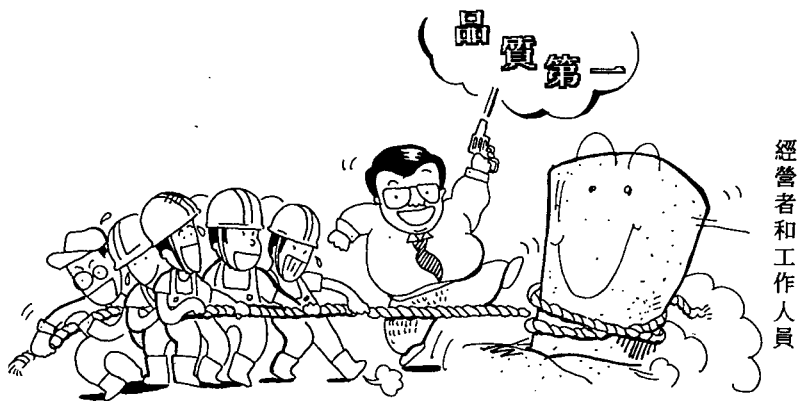


第一章 建築結構物鋼筋混凝土簡介



學習目標

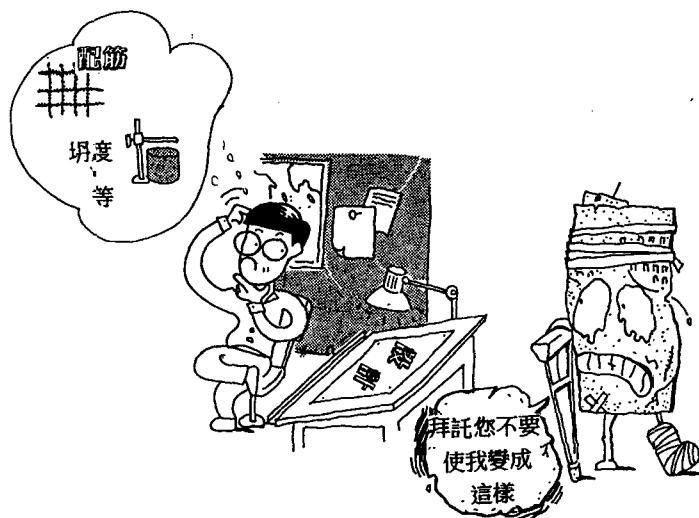
1. 瞭解現行營建體制下，影響建築結構混凝土品質之要因。
2. 瞭解施工過程中各階段品質保證系統及組織。
3. 認知優良品質混凝土必須考慮的主要架構。
4. 認識新拌及硬固混凝土性質的影響因子，及採取的因應措施。

2 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

摘 要

鋼筋混凝土仍利用鋼筋和混凝土所具有特性之複合材料，再加上其體積—能量比低，易施工性，及防護人類居住環境之機能，故成為建築材料之主體。然而混凝土其組成材料（骨材、水泥、水）其變異性很大，為確保能達到所預期之目標，就必須對混凝土的基本性質及影響品質之因素，深入了解，以符合經濟、耐久、強度三大需求之混凝土。

在施工的任一階段，各相關單位必須對品管有共識，同時制度化，才能鑄造良好的鋼筋混凝土結構。



設計時施工問題請能先考慮

前言

鋼筋混凝土為當今建築結構的主要材料，本質上混凝土俱有可塑性、經濟性、防火性、耐久性等優點，而鋼筋在混凝土良好的鹼性保護下亦是相當安全與耐久的，因此良好的品質管制措施下鋼筋混凝土是非常耐久而在 50 年內不用加以維修的。然而由於鋼筋混凝土中混凝土大部份是在現場鑄造，其品質受很多外界的影響，尤其加上目前國內不健全的法令政策下，鋼筋混凝土的弊病叢生自是難免，由圖 1-1 現行營建體制下混凝土的影響因素圖即可見一斑。鋼筋混凝土品質不良的狀況下，導致鋼筋的銹蝕，混凝土龜裂、漏水、甚至失去安全性，造成潛在性公共災害的風險及問題。

鋼筋混凝土品質之確保必須在公共工程當局的監督之下，自業主、設計師，及材料生產者，營造業者及使用者均依共同品質認定之基準及應負責任下方可達成，圖 1-2 即說明達成結構品質的責任歸屬架構。在達成品質保證的目標下，業主至使用者等所有參與者均須依照合理規範、製程控制、驗收控制、工作與職責，使用者之保障的措施來進行品質控制，如圖 1-3 所示，而工程當局是否有鋼筋混凝土的專業知識對品質認定上扮演相當重要的角色。

二 混凝土材料

鋼筋混凝土材料為複合材料的一種，見圖 1-4，係利用鋼筋材料的高抗拉強度及延展性來彌補混凝土的缺陷，使混凝土的抗壓強度能充分發揮，並且使得建築結構物能充分利用混凝土的優點，因此鋼筋混凝土兼俱二種材料的優點，即較傳統木造結構及鋼骨結構物有更大好處，故成為當今最重要的建築結構材料。

鋼筋混凝土中之混凝土係為一種複合材料 (Composite Materials)，巨觀上由水泥、水、骨材及摻料等四種性質相異的材料組合成，見圖 1-5，因此自然的有泌水 (Bleeding) 及析離 (Segregation) 的傾向，是故施工的正確與否足以影響混凝土的品質及性能，見圖 1-6 所示。

4 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

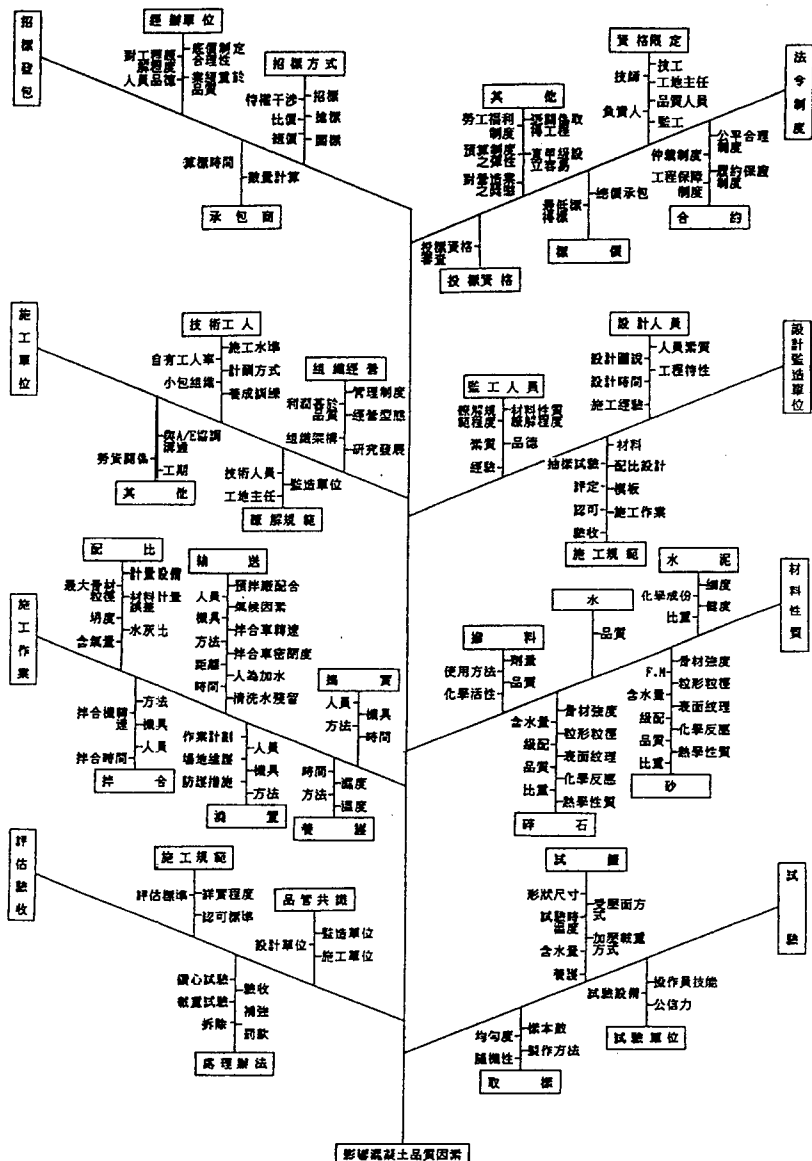


圖 1-1 現行營建體制下影響建築結構混凝土品質要因圖

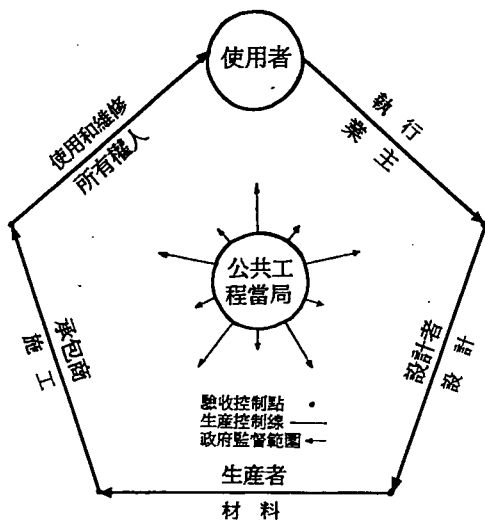


圖 1-2 每一參與施工過程的群體必須適當付出其責任以確保結構有良好之性能

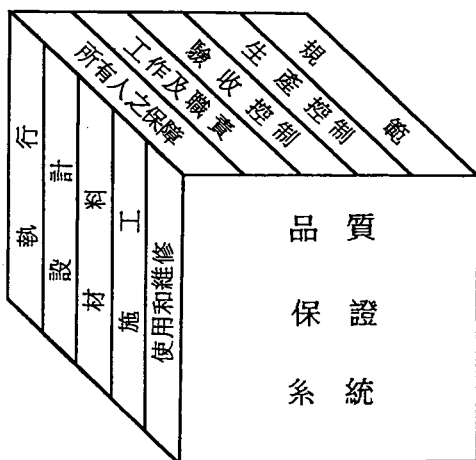


圖 1-3 施工過程中5種執行作業品質保證系統之不同組織

6 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

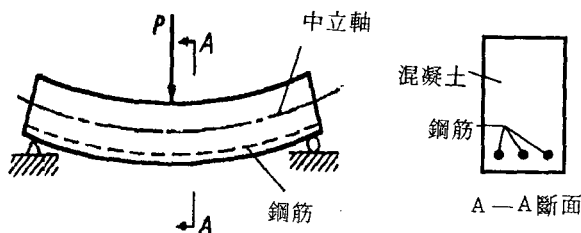


圖 1-4 鋼筋混凝土樑的複合材料範例

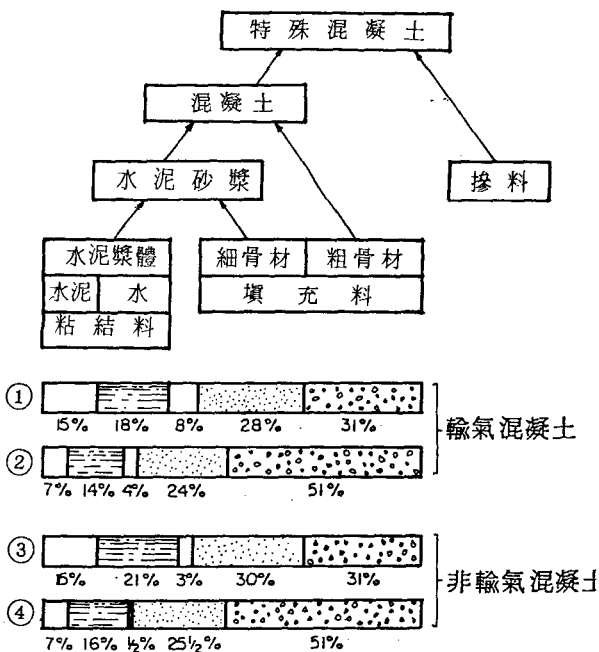


圖 1-5 (1) 混凝土係一種複合材料，其組成材料性質及配比影響混凝土性質。

(2) 第一及第三列代表富配比含少量骨材，第二及第四列代表貧配比含多量骨材。

優良的混凝土材料俱有良好的強度、經濟性、耐久性等性能，見圖 1-5，由於材料先天上均俱有常態性的變異；同時材料的料源品質亦常會因環境等變化而有相當改變，尤其是水泥的品質及骨材的含水狀況，經常造成混凝土品質的變異，若不加以控制，則可能影響結構體的品質，因此品質管制措施因應而生。

由圖 1-5 及圖 1-7 可以瞭解在可工作範圍下水灰比愈低混凝土品質愈佳，由圖 1-5(2) 更可看出用水量愈多，則混凝土的骨材愈少，其孔隙較大，除了可能有泌水、析離的問題外，亦會滋生其它不利影響，由經驗及實驗數據顯示用水量減少具下列數項優點：

- ① 增加抗壓及抗彎強度。
- ② 降低透水性，因此增加水密性及降低吸水性。
- ③ 增加抗風化力。
- ④ 增加連續澆置層間與鋼筋／混凝土間之粘結力。
- ⑤ 增加乾濕作用下之體積穩定性。
- ⑥ 降低乾燥龜裂之發生機率。

所以新的混凝土觀念強調，利用高週波混凝土振動器，或添加流動化摻料，則可使稠度較硬的混凝土變成可施工，如此可達到經濟性要求，也可獲較好的體積穩定性，對長期國家能源資源而言也較有利，使得混凝土未來更可能成為傑出的建築結構物材料。

三、新拌混凝土

新拌混凝土最基本的要求是均勻的塑性、可工作性，並可充填多種不同的形狀，經適當時間之養護可獲得所需強度。傳統利用坍度錐來量測混凝土的工作性，常會遭遇俱良好坍度，但不俱如粘土般可塑性，以致混凝土發生泌水或發生析離的米漿狀困擾，因此建議新拌混凝土須將外觀塑性及現象加以記錄，以保證品質的水準，表 1-1 顯示為新拌混凝土基本性能特徵及注意事項。

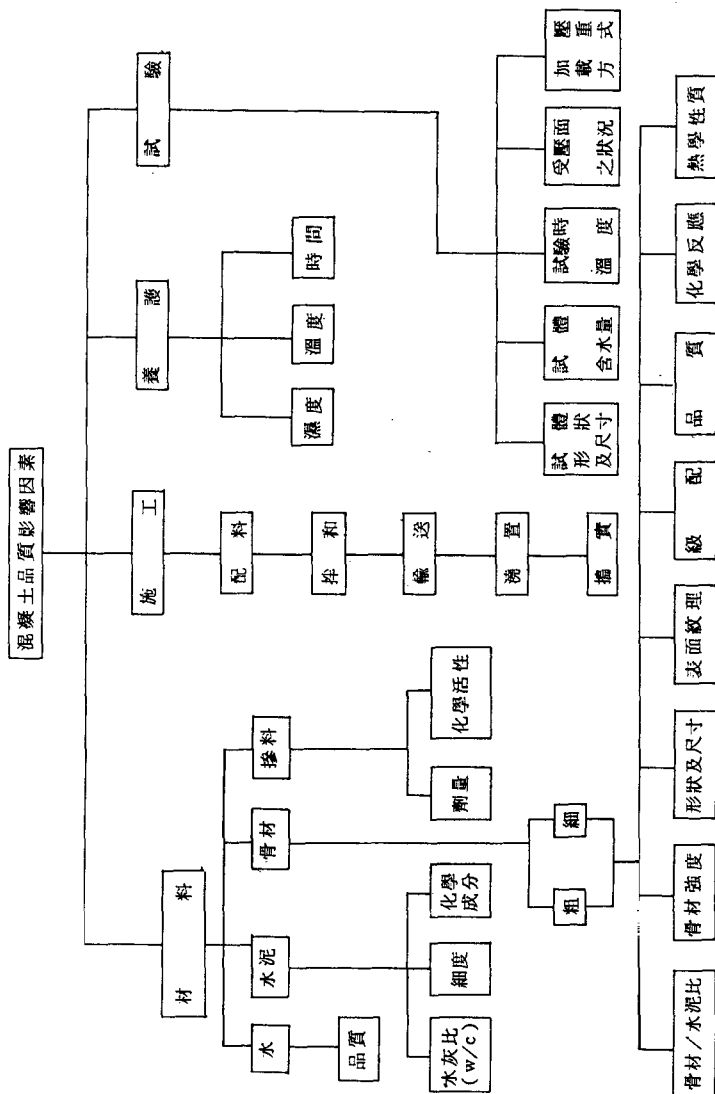


圖 1-6 影響混凝土品質的主要因素

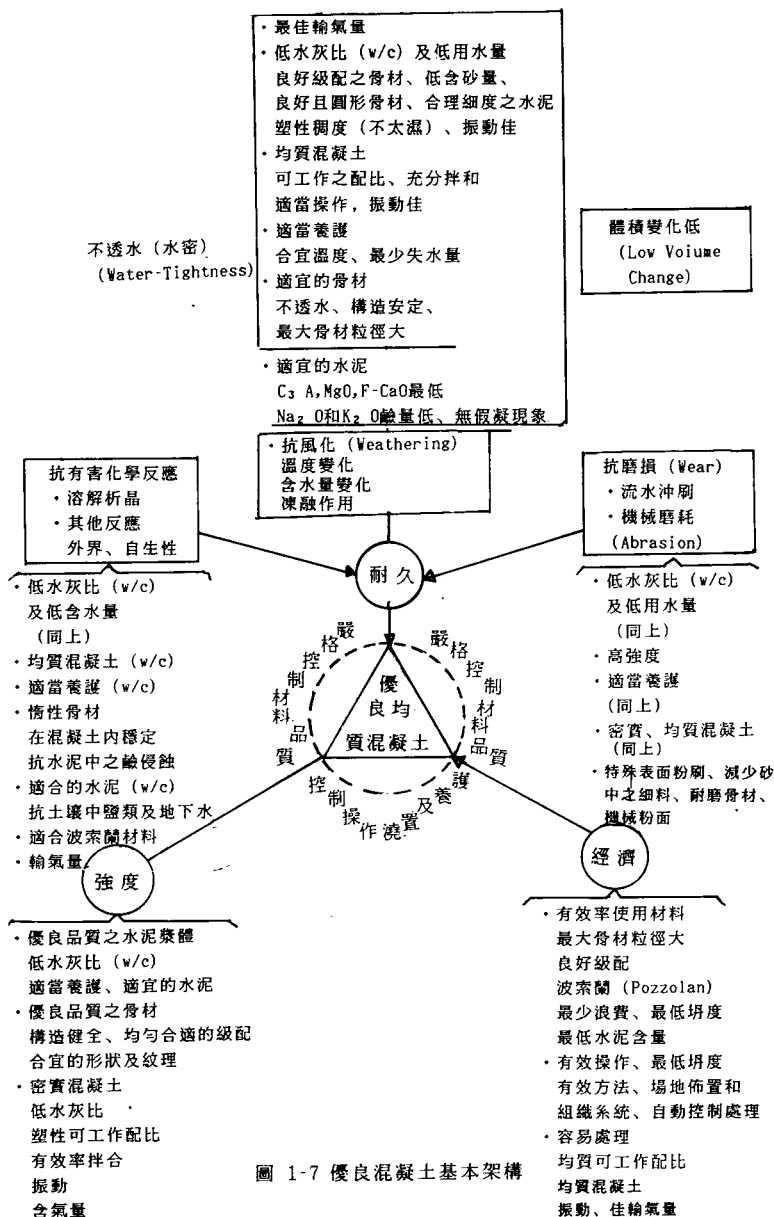


圖 1-7 優良混凝土基本架構

10 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

表 1-1 新拌混凝土基本作業性質、要求及影響因子

作業性質	基 本 要 求	影 響 因 素 及 控 制 與 防 範 策 略
拌 和	均勻配合	加料程序，加水時間調整，拌和機轉數，轉速，拌和尺寸與拌和機容量比，配料與拌和間斷時間，拌和機及葉片設計、形狀、拌和狀況，拌和機正確拌和及維修。
可工作性	容易澆置、搗實、修飾，且無過度泌水析離。	輸送及澆置混凝土儘可能靠近最終點，使用輸氣劑增加工作性和減少析離及泌水的產生。
搗 實	以振動方式減低混凝土間摩擦力，使稠度大之液體俱動態性能。	最大骨材粒徑愈大則包覆骨材以獲工作性之水泥漿愈少，振動頻率愈大則乾配比亦可工作及搗實可增加品質及經濟性，若配比可用手搗則不可採用振動器以防析離。
水化、凝結、及硬化	水泥成份正確、顆粒尺寸細小(10 μ m) 用水量不應較所需者多。	水泥研磨細度、摻料、加入水量，拌和時之材料溫度。

四 硬固混凝土

硬固係指混凝土至終凝後俱相當強度之性質，通常依不同結構性需求與環境條件，而有不同之硬固混凝土特質，表 1-2 即表示這些性質特徵。基本上，混凝土濕養護是獲得強度及品質的最重要保障，相對濕度一旦降至 80% 時或溫度到達冰點時，則混凝土即終止水化，其強度即會受到損害，故不斷加水養護是需要的。至於其它的性能需求，則依照設計者對混凝土品質的要求而異。

表 1-2 硬固混凝土性質及因應策略

作業性質 與 狀 況	基 本 要 求	控 制 與 防 範 策 略
濕 養 護	相對濕度RH>80%，濕度>冰點	連續濕養護至獲得需要品質。
乾 燥 率	不可以乾燥來硬固或養護混凝土。	防止乾燥裂縫產生，控制尺寸及形狀。
強 度	抗壓、抗彎、抗拉、抗剪強度符合安全要求。	水灰比、齡期、水化狀況。
單 位 重	15~400pcf (240~6410kg/m ³)	骨材的含量和相對比重，輸氣或陷氣之量，水及水泥含量，最大骨材粒徑
抗凍融性	4~8%含氣量	輸入氣泡，低水灰比，預先乾燥。
透水性 和水密性	防水結構或暴露風化環境或惡劣狀況下之混凝土必須不透水或水密性。	水泥漿透水性（水灰比、水化程度、濕養護時間），骨材透水性與級配，水泥漿/骨材比。
抗磨耗性	樓板、鋪道面、水工結構俱高度抗磨耗性能。	低水灰比、適當養護、堅硬骨材、表面修飾。
體 積 穩 定 性	0.01~0.08%	用水量、骨材用量、骨材性質、混凝土尺寸形狀、相對濕度和大氣溫度、養護方法、水化程度、及時間。
裂縫控制	不產生不雅觀裂縫	乾燥收縮須以鋼筋控制裂縫寬度，或以控制縫控制裂縫位置。

12 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

關 鍵 字

耐火性 (Fired resistance)	稠度 (Consistency)
耐久性 (Durability)	養護 (Curing)
品質保證 (Quality assurance)	粗骨材 (Coarse aggregate)
規範 (Specification)	細骨材 (Fine aggregate)
生產控制 (Production control)	配料 (Batch)
驗收控制 (Compliance control)	拌合 (Mixing)
品質控制 (Quality control)	澆置 (Puring)
抗拉強度 (Tensile strength)	最大骨材粒徑 (Maximum size of aggregate)
延展性 (Ductility)	溶解 (Leaching)
抗壓強度 (Compressive strength)	析晶 (Precipitation)
複合材料 (Composite materials)	抗磨性 (Wear and Abrasion)
水泥 (Cement)	風化 (Weathering)
水 (Water)	凍融作用 (Freezing and Thawing)
骨材 (Aggregate)	搗實 (Consolidation)
摻料 (Admixture)	凝固 (Setting)
泌水 (Bleeding)	硬化 (Hardness)
析離 (Segregation)	細度 (Fineness)
輸氣混凝土 (Air-entrained concrete)	新鮮混凝土 (Fresh concrete)
非輸氣混凝土 (Non-air entrained concrete)	硬化混凝土 (Hardened concrete)
富配比 (Rich mix proportioning)	終凝 (Final setting)
貧配比 (Lean mix proportioning)	初凝 (Initial setting)
抗彎強度 (Flexural strength)	相對溫度 (Relative humidity)
透水性 (Permeability to water)	水化 (Hydration)
水密性 (Water tightness)	抗剪強度 (Shear strength)
吸水性 (Absorption)	濕養護 (Wetting curing)
粘結力 (Adhesive stress)	輸氣 (Entrained Air)
乾濕作用 (Drying and Wetting)	陷氣 (Entrapped Air)

自我評量題目

選擇題

1. 鋼筋混凝土材料主要擷取混凝土何種特性①抗拉強度②抗壓強度③抗剪強度④抗扭強度？
2. 骨材粒徑越大的級配，則包覆骨材之水泥漿①越多②越少③不變。
3. 混凝土養護當相對濕度降至① 80% ② 60% ③ 50% 即終止水化。
4. 混凝土品質保證是①施工者及材料供應商②業主及使用者③設計者及施工者④以上的責任。

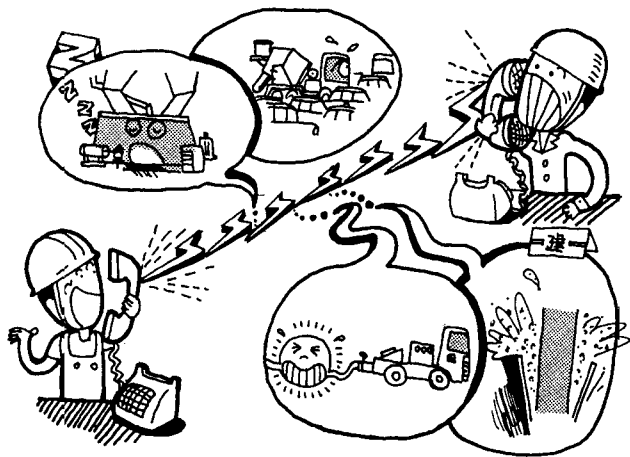
解釋名詞

- ① 品質保證系統
- ② 泌水及析離現象
- ③ 新拌混凝土
- ④ 硬固混凝土

問答題

1. 試說明影響混凝土品質的因素有那些？
2. 混凝土拌合時用水量減少俱有那些優點？
3. 何謂優良均質混凝土？

14 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度



第二章 混凝土材料特性－水泥、 水、骨材和摻料



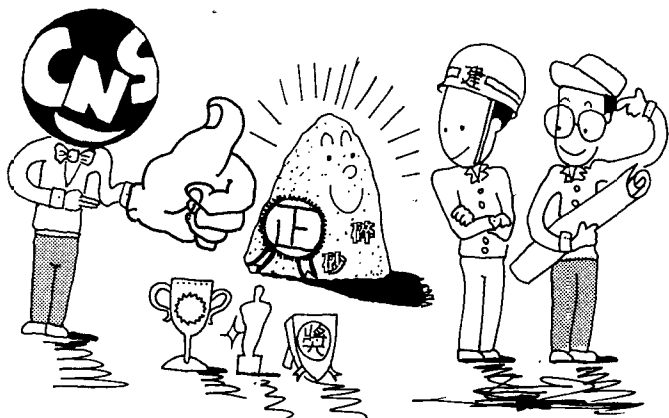
不要買便宜貨

學習目標

1. 了解水泥製造流程，各種水泥組成成份之差異，造成各種水泥不同比例的化學成份對混凝土性質之影響；及提供各種水泥使用之狀況。
2. 認識水對混凝土之影響及品質之認定方式。
3. 了解骨材級配、粒徑、形狀和水泥砂漿的關係及對混凝土性質的影響。
4. 認識摻料的種類，其使用目的，時機及對混凝土品質的影響。

摘 要

混凝土是由水泥、水、骨材所組成的複合材料，欲達特殊之用途，有時要加入摻料。了解各種水泥組成份的特性、骨材及水所扮演的角色，各類摻料的正確用法才能於混凝土工程實務上採取因應達成需求目的，因此在拌合前要針對混凝土各組成單元進行品管，配合成最佳的組合。



「我承認他是非常好的材料」

一、水泥

卜特蘭水泥是水硬性水泥主要係由水硬性矽酸鈣鹽類組成，當加入水後即會起化學反應，產生凝結及硬固作用，故可加入骨材中做為粘結材料製造人造石材，是一種多變化常用的營建材料。水泥的水化自加入水即開始，只要濕度及溫度條件適宜，則水化會繼續不斷（曾有 50 年仍舊水化的記錄），但一般在混凝土生命週期的第一個月內大部份的水化及強度即已發展。

卜特蘭水泥係 1824 年英國水泥匠阿斯巴汀最初發明，1886 年引進中國於唐山建立啟新洋灰廠，1915 年日本在台灣設立淺野水泥株式會社為台灣水泥公司之前身。

（一）卜特蘭水泥之製造及其性質

水泥基本上係由石灰質材料及粘土質材料經研磨、燒結，再加石膏研磨（二磨一燒）的程序生產而成。由於原料的成份隨產地及開採狀況而異，故易造成水泥品質上的差異。對同一廠牌同樣配方的水泥，因煅燒時間、溫度、煅燒量、冷卻時間、研磨時間及細度等的不同，都會造成水泥產品性質的變異，因此使用水泥時必須依據 ASTM C150 及 C595 規範規定合理抽樣分析，適時掌握其變異性，做為分析混凝土品質的參考。

水泥的組成成份（Cement Composition）【矽酸三鈣（ C_3S ）、矽酸二鈣（ C_2S ）、鋁酸三鈣（ C_3A ）和鋁鐵酸四鈣（ C_4AF ）】影響混凝土性質最鉅。水泥的品種即以 C_3S 、 C_2S 、 C_3A 和 C_4AF 等四種熟料礦料（Clinkers）（單礦物）的水化特徵來分，見表 2-1 及 2-2。基本上， C_3A 及 C_3S 為主要水化熱的來源，對巨積混凝土而言特別重要，而 C_3S 及 C_2S 為貢獻強度的主要支配因子，需要早期強度時則 C_3S 之量必需增加，由圖 2-1 及圖 2-2 可明顯看出其相互關係。但並非一定需有某種水泥才能得到該種水泥之性質，若只有一種水泥可購得，則可利用摻料（如飛灰、高爐熟料

18 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

、早強劑等)、調整細度、或其它催(遲)化方法(如加熱、加冰、冷卻等)使之改變成類似其它品種水泥之性質,但使用時務須注意可能會有其它影響。特殊用途之水泥,有其特別之規定,不可以標準卜特蘭水泥之性質一概論之。一般標準卜特蘭水泥強度的發展及絕熱狀況下溫度的上昇可分別表示如圖 2-3 及圖 2-4。

混凝土的強度主要依賴骨材強度、水泥漿體強度及水泥漿／骨材界面強度,而水泥漿體品質的關鍵因素為水灰比,在相同材料及養護狀況下,減少用水量俱有許多優點:增進抗壓及撓曲強度、增加水密性(Water Tightness)、減低吸附水量、增加抗風化能力、澆置面間有較佳之粘著性、混凝土與鋼筋間有較佳之握裹力及乾濕作用所造成的體積變化較少。換言之,在可適當搗實的條件下,含水量愈少則混凝土品質愈佳。

表 2-1 標準卜特蘭水泥的典型成份及性質

化 學 成 分	I 普 通	II 中度抗硫及水化熱	III 早 強	IV 低 熱	V 抗 硫
C ₃ S	55	51	56	28	38
C ₂ S	19	24	19	47	43
C ₃ A	10	6	10	4	4
C ₄ AF	7	11	7	12	9
石膏 C ₂ SH ₂	5	5	5	4	4
細度(Blaine m ² /kg)	370	370	540	380	380
抗壓強度, 1天(Mpa(psi))	7(1000)	6(900)	14(2000)	3(450)	6(900)
水化熱(7天, J/g)	370	250	500	210	250

表 2-2 水泥熟料礦物的水化特徵

成 分	反應速率	放 熱 量	對 水 泥 的 貢 獻	
			強 度	水 化 熱
C_3S	中 度	中 度	高	高
C_2S	慢	低	初期低，末期高	低
$C_3A + C\bar{S}H_2$	快	甚 高	低	非 常 高
$C_4AF + C\bar{S}H_2$	中 度	中 度	低	中 等

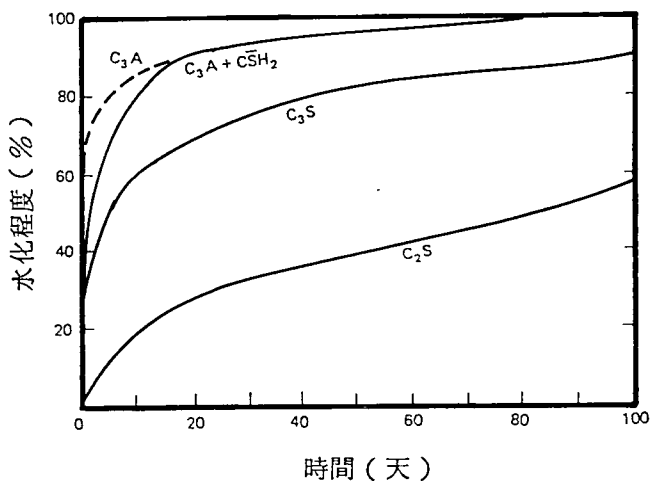


圖 2-1 水泥成份之水化速率

1) 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

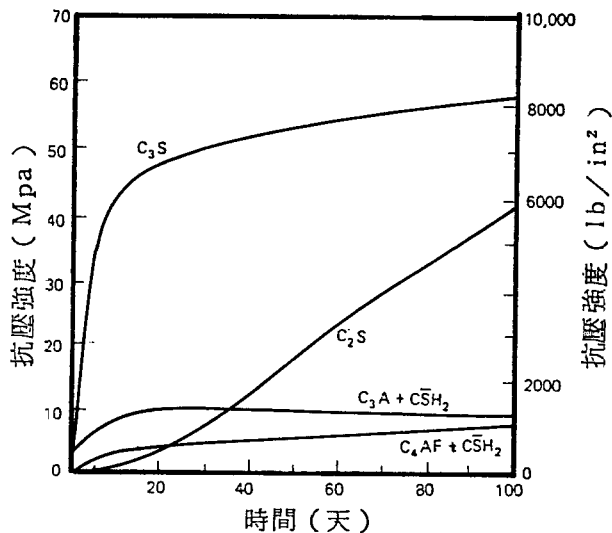


圖 2-2 純水泥礦物漿體的強度發展

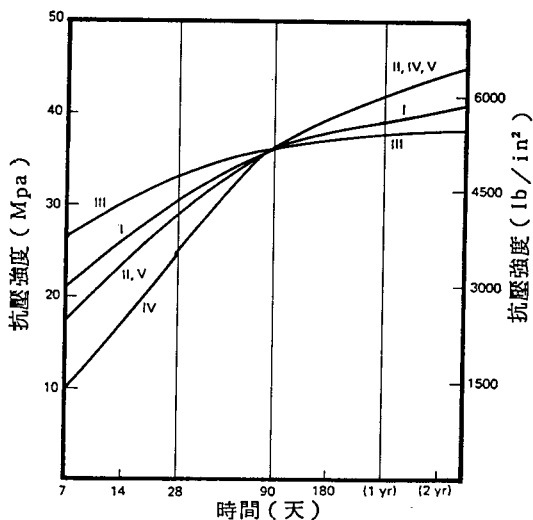


圖 2-3 使用相同骨材但不同水泥之6吋 $\phi \times 12$ 吋

混凝土圓柱試體之強度

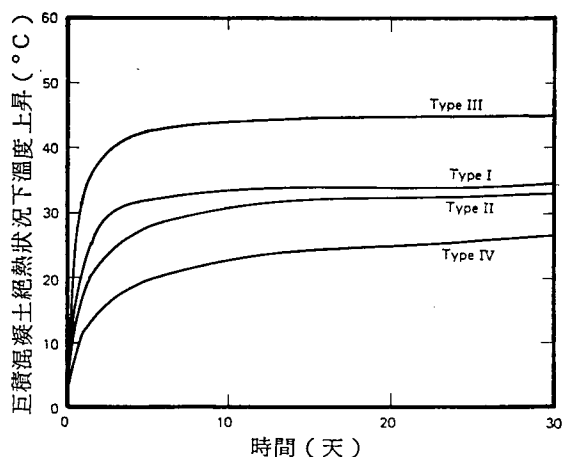


圖 2-4 在絕熱狀態下不同品種水泥巨積混凝土之溫度上昇

(二) 卜特蘭水泥的類別及用途

卜特蘭水泥的類別可區分為普通卜特蘭水泥 (OPC)，輸氣卜特蘭水泥 (APC)、白水泥、混合水泥、圻工水泥、膨脹水泥、特種水泥等，其特徵及用途分別簡示如表 2-3，相應之抗壓性能則如表 2-4 所示。

(三) 水泥的品管

水泥的品質必須經由標準規範試驗以防止任何不正常的行為，諸如早凝、遲凝、或低混凝土強度。一般測定的項目依據 ASTM C150 包括細度、健度、稠度、凝結時間、假凝、抗壓強度、水化熱、燒失量、比重及水泥重量等。

2 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

表 2-3 卜特蘭水泥的特徵及用途

區別	類 型	特 徵	用 途
普通 卜特蘭 水泥	I		一般性，無硫酸鹽侵蝕或無應溫度上昇影響之處。如鋪面、樓地板、鋼筋混凝土結構物、橋樑、鐵路結構、水庫、儲水池、管道、圬工單元及其它預鑄體。
	II		抵抗中度硫酸鹽侵蝕(0.1~0.2%SO ₄)，水化熱較低之處，如大橋墩、重型擋土結構、或溫暖氣候處：
	III	化學成分及物理性質類似第I種水泥，但細度較第I種為細	需要早期強度之處，及提早拆模處，如冷天施工時。
	IV	強度發展較其它水泥慢，含矽酸三鈣(C ₃ S)及鋁酸三鈣(C ₃ A)較低。	需要低水化速率及水化熱處，如大壩等巨構混凝土。
	V	鋁酸三鈣(C ₃ A)含量甚低。	有嚴重硫酸鹽侵蝕之處。
軸氣卜特蘭水泥	IA	相應於普通卜特蘭水泥I、II、III惟其中於製造時添加小量之軸氣劑。	需要抵抗凍融作用及卻冰鹽剝落作用之處。
	IIA		
	IIIA		
白水 泥		控制普通水泥使之不含氧化鐵及氧化鎂。	建築使用目的，如預鑄牆幕牆、面板、磨石子面、灰泥、水泥摻料、磁磚填料、裝飾用混凝土及其他需要著色之處。
混合 水 泥	IS	卜特蘭水泥中添加25~70%高爐熟料。	一般性混凝土施工。
	IP或P	卜特蘭水泥I及IS中添加15~40%之波索蘭IP。	一般性混凝土施工，P則用在不需早期強度處如橋墩、大壩、基腳。
	I(PM)	卜特蘭水泥中添加少於15%波索蘭材料者。	一般性混凝土施工。
	S	卜特蘭水泥中添加至少70%高爐熟料者。	需要低強度處。
	I(SM)	卜特蘭水泥中添加少於25%之高爐熟料者。	一般性混凝土施工。
圬工 水泥	N S M		圬工水泥砂漿用。
膨脹 水泥	E-1(K) E-1(M) E-1(S)	凝結硬固期間會稍微膨脹者。	避免及控制乾燥裂縫。
特 種 水 泥	油 井 A~S	慢凝結、抗高溫及高壓。	油井用。
	防 水	卜特蘭水泥中添加斥水添加物，如硝酸鹽。	防水工程用。
	無狀水泥	添加塑化劑。	泥漿及填縫料用。
	調凝水泥	添加硫酸鈣。	控制凝結時間數分鐘及至1小時。
機能添 加水泥			特殊性能要求處。

表 2-4 不同類型水泥製成水泥砂漿之抗壓強度要求

水 泥 種 類	最 低 抗 壓 強 度, psi				ASTM
	1天	3天	7天	28天	編 號
卜 特 蘭 水 泥					C 150-85
I	—	1800	2800	4000*	
IA	—	1450	2250	3200*	
II	—	1500	2500	4000**	
	—	1000+	1700+	3200*	
IIA	—	2000	2000	3200*	
	—	800+	1350+	2560**	
III	1800	3500	—	—	
IIIA	1450	2800	—	—	
IV	—	—	1000	2500	
V	—	1200	2200	3000	
混 合 水 泥					C 595-85
I(SM), IS,					
I(PM), IP,	—	1800	2800	3500	
I(SM)-A, IS-A,					
I(PM)-A, IP-A	—	1450	2250	2800	
IS(MS), IP(MS)	—	1500	2500	3500	
IS-A(MS), IP-A(MS)	—	1200	2000	2800	
S	—	—	600	1500	
SA	—	—	500	1250	
P	—	—	1500	3000	
PA	—	—	1250	2500	
膨 脹 水 泥					C 845-80
E-1	—	—	2100	3500	
圪 工 水 泥					C 91-83a
N	—	—	500	900	
S	—	—	1300	2100	
M	—	—	1800	2900	
*選擇性要求					
+選擇性水化熱或指定 (C ₃ S + C ₃ A) 化學量限制時用之					
注意：當低或中度水化熱指定 ASTM C595 之混合水泥時					
，則強度要求值為表上值之 80%。					

二、水

水質對混凝土的影響並沒有想像中嚴重，拌和混凝土之水須為潔淨且不含各種油脂、酸、鹼、鹽類、有機物或其它有害於混凝土或鋼筋之物質，最簡單的原則是「凡是可以喝的水皆可當拌和水」。不幸的是由於自然環境受到工業及人為的污染，常含有各種不同程度的雜質，有的可溶、有的不溶、有的含有有機物，雖然可能亦可以喝，但用來做拌和水則可能有害混凝土的品質，造成影響凝結時間、乾縮、耐久性問題、風化、析晶及鋼筋腐蝕等不良的結果。因此須視結構物的重要性來選定拌和水的品質、有關水質的檢驗，ASTM C94 有規定，也可參考英國 (BS 1880) 或 CNS R3032，原則上要求拌合水之品質對凝結時間及抗壓強度不可有過度的影響，一般要求凝結時間早 1 小時至遲 1.5 小時及 7 天強度至少 90% 之限度。

三、骨材

骨材的用量約佔混凝土體積的百分之 70 至 80，無疑的，它對混凝土性質有莫大的影響，表 2-5 為骨材性質對混凝土之影響，通常骨材（填充料）比水泥漿（粘結料）的強度高出甚多，因此只要骨材堅硬、形狀適當、潔淨即可使用，但是混凝土的經濟性是隨水泥用量多寡而減增，使用經濟量（少量）的水泥，在水灰比不變的條件下水泥漿可能不足或太少，此會嚴重影響混凝土的工作性，除非有高頻率的振動機器或強塑劑（Superplasticizer）等來克服流變性（Rheology）的問題，否則容易產生蜂窩及孔隙現象，導致強度的遞減。居於強度的考慮，通常希望骨材強度與水泥漿長期強度相近，不過級配的考慮也是不可忽視。一般進行配比設計（Mix Design）時所需的骨材性質可簡示如表 2-6，基本上為形狀及紋理、級配、容積比重、單位重、吸水率及含水量。

骨材的儲存必須把握不產生析離現象、有害物質的污染及級配的劣化。

表 2-5 骨材性質對混凝土性質的影響

混 凝 土	性 質	骨 材	相 應 性 質
耐久性 (Durability)	抗 凍 融 作 用	健康度、孔隙、孔隙結構、透水性、飽和度、拉力強度、紋理及結構、粘土礦物	
	抗 乾 濕 作 用	孔隙結構、彈性模數	
	抗 熱 冷 作 用	熱膨脹係數	
	抗 磨 損 作 用	硬度	
	輪 骨 材 反 應	活性矽化物的存在	
強度 (Strength)		強度、表面紋理、淨潔、顆粒形狀、最大骨材尺寸	
收縮和潛變 (Shrinkage and Creep)		彈性模數、顆粒形狀、級配、淨潔、最大骨材尺寸、粘土礦物	
熱膨脹係數 (Coefficient of Thermal Expansion)		熱膨脹係數、彈性模數	
熱導性 (Thermal Conductivity)		熱導性	
比熱 (Specific Heat)		比熱	
單位重 (Unit Weight)		比重、顆粒形狀、級配、最大骨材尺寸	
彈性模數 (Modulus of Elasticity)		彈性模數、波森比	
滑倒性 (Slipperiness)		被磨去的可能性	
經濟性 (Economy)		顆粒形狀、級配、最大骨材尺寸、骨材處理要求程度、可用量多少	

表 2-6 配比設計所需之骨材性質

性 質	要 求	性 能 特 徵	範 圍
形狀和紋理	形狀愈近圓球所需水泥漿體愈少，在同一漿體條件下其工作度可獲改善，表面紋理愈平整光滑，則需漿愈少，或工作度愈佳，但表面粗糙會有較佳之機械互制作用而提高初期強度，但對極限強度則無明顯之差異。		
級 配	級配考慮的條件為在達到工作度最佳化(Optimize)及水泥漿體用量經濟化。理論上達到經濟用漿量的策略為：①在結構體空間許可下儘量採用最大粒徑的級配骨材，如此可以縮小單位重量之表面積 (S)及孔隙空間(Vc)。②適當摻加細粒可以增加黏滯性及防止骨材的析離。③採用圓形且光滑的骨材，如此可減少凸凹多角的表面，而減少表面積(S)，節省用漿量FM 要求通常分析最經濟用漿量的工具為篩分析(Sieve Analysis)，透過篩分析可以獲得最大骨材尺寸(Dmax)，顆粒分佈曲線(級配)及細度模數(FM)的資料。		FM 要求 2.3~3.1
容積比重	容積比重 (BSG)為配比設計計算體積—重量關係時之重要依據		2.4~2.9
單 位 重	單位重為骨材單位體積之重量，其體積包括骨材實體積、骨材內孔隙、及骨材與骨材間之空隙。		1200~1750 kg/m ³
吸水率 及 含 水 量	吸水率(AC)及含水量(MC)為骨材影響混凝土品質的最大關鍵所在，因AC隨骨材風化狀況、裂隙多寡、孔隙多少、骨材種類及成分而異。同一來源之骨材常有非常大之差異。MC則隨風速、溫度、濕度狀況而異，同一堆骨材，上層與下層間就有明顯的差別。若是AC及MC沒有適當瞭解與控制，則經常會變動原有配比的用水量，進而變動水灰比(w/c)影響混凝土強度性質。		粗骨材1~6% 細骨材3~8%

混凝土骨材應符合 ASTM 相關規範之規定其性質及規範如表 2-7 所示。但採用骨材，並不一定要完全符合標準規範所定之級配及特徵，在骨材難求的條件下，可經特別試驗認為強度適宜無害耐久性時，可犧牲漿量的經濟性而考慮達到整體的經濟性為目的，但務必注意過量的漿量可能造成較大的潛變、乾縮及強度遞減的現象。另外，對長期性行為來說，骨材的耐久性是另一考慮重點，並且特種骨材需按所需性質作適當分析及調查。

目前本省的河川骨材資源日漸短缺，陸上骨材資源有必要加以開發，混凝土的再生利用及沿海浚淤砂、石的利用是漸被容許的，惟須注意不可含超過許可之氯、及其他不佳之物質，見表 2-8 所示。

一般骨材的品質試驗目的有二：一為決定骨材本身是否適合應用在混凝土內，此部份包括磨耗、健度、比重、岩相和化學分析。次為確定均勻性，此部份包括骨材含水量和級配。一般骨材試驗取樣建議於最初時每日數次，以後當工程進行時可逐次減少取樣頻率，當然要看骨材的均勻性而定。通常每日一至二次是較合宜的，經過多次試驗後大概可以經由目測或感覺判定含水量是否有變化，一旦感覺異常時，則必須加以測定。取樣的代表性及準確性是非常重要的，尤其少量的取樣骨材代表大堆的使用骨材，故其影響甚鉅，通常粗骨材採用四分法，先將骨材充分混合，然後均勻分佈在帆布上約 3 或 4 吋厚，然後分成四部份，只取對角二部份，其他部份棄置，繼續此作法以獲取足量的試樣為止。細骨材的取樣則以分樣器為主。

四、摻料

依據 ASTM C125 的定義，摻料是水、水泥及骨材以外之添加物，見圖 1-5，因此涉及範圍甚廣。摻料的種類既多且雜，甚難一一辨明，同一品名摻料可能有很多種不同化學成分，而且一種摻料常同時俱有數種性能，見表 2-9 所示，因此切忌濫用。一般要求預力混凝土及含鋁埋件之混凝土不得含有氯離子之摻料限制使用時務須注意下列各項要點：

- (1) 需要符合標準規範 (ASTM、CNS 或 BS)，見表 2-10。

28 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

- (2) 依照廠商的使用說明書決定劑量。
- (3) 在相關工地條件下，試拌混凝土，檢驗是否達到所需品質。
- (4) 決定正確的配比設計。
- (5) 記錄加摻料後混凝土其它性質變化的情形。

通常，混凝土作業上使用的摻料種類依用途例如表 2-9，這些摻料對混凝土性質的影響如表 2-10 所示。使用摻料時應先考慮幾項重點【至少需滿足表 2-9 一項目的】：

- (1) 具經濟性 (Economical)：可減少水泥用量。
- (2) 施工上的便利：延長輸送時間、特殊澆置作業。
- (3) 改良新拌混凝土的性質：獲得較佳工作度而不增加用水量、同一工作度降低用水量、控制凝結時間、減低水化熱。
- (4) 改善硬固混凝土的性質：提高極限強度，尋求較佳耐久性。
- (5) 特殊混凝土：乳液改良劑 (Latex Modifying)；收縮補償劑 (Shrinkage Compensated)；速凝劑 (Rapid-Setting) 等。

由於摻料具有某些特別性能，可以利用來改變水泥的性質，表 2-11 例示即為標準第 I 種水泥添加不同摻料而變成類似其它標準水泥品種的性質。

表 2-7 骨材的特性及試驗方法

特 性	意 義	試 驗 方 法 *	要 求 或 報 告 項 目
抗 磨 損	骨材品質指標；地板，鋪面抗磨損性	ASTM C131 ASTM C295 ASTM C779	最大重量損失百分率 磨損深度及時間
抗 凍 融	表面剝落，粗糙度，斷面減損及不雅	ASTM C666 ASTM C682	最多循環次數或時期的抗凍害；耐久因子
抗硫酸鹽分解	抗風化作用的健全性	ASTM C88	重量損失；顆粒缺陷
顆粒形狀及表面紋理	新拌混凝土工作性	ASTM C295 ASTM C3398	扁平及狹長顆粒最大百分比
級 配	新拌混凝土工作性；經濟性	ASTM C117 ASTM C136	通過標準篩最大及最小百分率
整體單位重或密度	配比設計計算；分類	ASTM C29	夯實重及鬆重
比 重	配比設計計算	ASTM C127, 細骨材 ASTM C128, 粗骨材	—
吸 水 率 及 表面含水量	混凝土品控	ASTM C70 ASTM C127 ASTM C128 ASTM C566	—
抗 壓 及 抗 彎 強 度	細骨材不符合試驗要求時其可接受性	ASTM C39 ASTM C78	強度超過以純淨砂製成之強度95%
成份的定義	增加了解及溝通	ASTM C125 ASTM C294	
骨材成份	決定有害及有機物質數量	ASTM C40 ASTM C87 ASTM C117 ASTM C123 ASTM C142 ASTM C295	各別成分最大百分率
抗 鹼 性 反 應 及 體 積 變 化	抗體積變化之健全性	ASTM C227 ASTM C289 ASTM C295 ASTM C342 ASTM C586	最大長度變化，砂及鹼度成份與含量

*上面所列之試驗及性質是參考ASTM C33。

表 2-8 骨材有害物質

物 質	對 混 凝 土 的 影 響	試驗依據
有機不淨物	影響凝結及硬固時間可能造成惡化	ASTM C40 ASTM C87
小於200號篩(80/ μm)物質	影響粘著，增加用水量	ASTM C117
煤屑煤或其他輕質物質	影響耐久性，可能造成污點及爆開	ASTM C123
柔軟顆粒	影響耐久性	ASTM C851
粘土坭土及易碎顆粒	影響工作及耐久性，可能造成爆開	ASTM C142
角岩比重小於2.40	影響耐久性，可能造成爆開	ASTM C295
骨材鹼性反應	不正常的膨脹，地團式龜裂爆開	ASTM C227 ASTM C289 ASTM C295 ASTM C342 ASTM C586

表 2-9 摻料對混凝土性質的影響

混 凝 土 品 質	摻 料 的 種 類
工 作 度 (Workability)	減水劑、礦物灰、輸氣劑(AEA)、火山灰(Pozzolans)、聚合物、乳液(Latex)
強 度 (Strength)	減水劑、火山灰、聚合物、乳液、輸氣劑、緩凝劑。
耐 久 性 (Durability)	輸氣劑、聚合物、乳液、減水劑、火山灰、防土劑(Corrosion Inhibitors)、斥水劑(Waterrepellant Admixtures)
變 形 (Deformation)	減水劑、凝結控制劑
凝 結 控 制 (Set Control)	速凝劑、緩凝劑
特 殊 混 凝 土 (Special concrete)	聚合物乳液、爐石、膨脹劑、色料、起泡劑(Gas Forming Admixtures)

表 2-10 混凝土摻料的種類

摻料種類	需求效果	材 料
促凝劑 (ASTM C494, Type C)	加速凝結和早強發展	氯化鈣 (ASTM D98)、亞硝酸鈣、 三段三乙酸、磷酸鈣、硝酸鈣
減氣劑	減低含氣量	三磷酸鹽、矽樹脂、硼酸、水溶性磺酸脂
輪氣劑 (ASTM C260)	增進耐久性 (凍融、卸冰、 硫酸、鹽和鹼反應) 增進工作性	木脂鹽類 人造膨脹劑 礦化木質素鹽類 石油酸鹽 蛋白質鹽 脂肪及樹脂及其鹽類 苯烷基、硫酸基
鹼反應劑減劑	減低鹼骨材反應膨脹	波索蘭 (飛灰、砂灰) 高爐石、鋁及鉍鹽、 輪氣劑
粘結摻料 著色劑	增加粘結強度 著色混凝土	橡膠、聚氯乙稀、壓克力 氧化鐵、氧化鋁、氧化鈦 結土
阻銹劑	氣環境下減低鋼筋銹蝕	亞硝酸鈣 亞硝酸鈉
防潮摻料	延遲水份滲入乾混凝土	丁基硬脂酸 石鹼產物
細磨礦物摻料 膠結性 波索蘭 波索蘭和膠結料 標稱荷性	水硬性性質 部份取代水泥 波索蘭反應 增加工作性、塑性、抗硫、 減低鹼反應、滲透、水化熱 部份取代水泥 填充料 如膠結料和波索蘭材料 說明增加工作性 填充料	細磨粗化爐石 天然水泥 水酸性消石灰 (ASTM C141) 砂礫土、金貓眼角岩、岩土、 頁岩、火山堆石、浮石 (ASTM C618, N級) 飛灰 (ASTM C618, F及C級)、砂灰 (ASTM C618, Class C) 高鈣飛灰 (ASTM C989) 細磨粒化爐石 大理石、白雲石、石英、花崗岩
殺菌劑、殺蟲劑	阻止或控制細菌和菌類生長	銅混合物
造氣劑	凝結前引起膨脹	鋁粉 松脂肥皂或蔬菜或動物粘性物蛋白質
灌漿劑	調整水泥漿性質以符應用所需	見輪氣劑、速凝劑、侵凝劑、工作性助劑
減滲劑	降低滲透性	砂灰 飛灰 細磨爐石 天然波索蘭 減水劑

助 泵 劑	增進泵送性	有機及合成高分子 有機聚族物 石蠟、焦油、瀝青、亞克力 有機乳化劑 皂土和 天然波索蘭 (ASTM C618, Class N) 飛灰 (ASTM C618, Classes F and C) 磷石灰 (ASTM C141)
緩 凝 劑	延緩凝結時間	木質素 矽砂 糖 酒石酸及其鹽類
強 塑 劑	流動混凝土 減低水灰比	磺化三聚氰胺甲醚凝縮物 磺化木質素
強塑劑和緩凝劑	流動混凝土俱緩凝效果 減水	見強塑劑和減水劑
減 水 劑	減水至少5%	磺化木質素 氯氣、磺氯酸 磺水化合物 (亦將造成緩凝故常加入促凝劑)
減水和早凝劑	減水 (至少5%) 和速凝	見減水劑, (加入速凝劑)
減水和緩凝劑	減水 (至少5%) 和速凝	見減水劑
高度減水劑	減低用水量 (至少12%)	見強塑劑
高 度 減 水 緩 凝 劑	減水 (至少12%) 和緩凝	見強塑劑和減水
工 作 助 劑	增進工作性	輪氣摻料 細磨摻料、不含矽灰 減水劑

強塑劑亦稱為高效能減水劑或塑化劑。這些摻料經常同時符合 ASTM C474 和 C1017 規範。

表 2-11 添加摻料入第 I 種水泥而獲得類似 ASTM 水泥之性質

摻料種類	混合水泥	相應標準水泥	備 註
波索蘭材料 (Pozzolan)	IP, I-PM	II	少量添加
波索蘭材料 (Pozzolan)	IP	II	C ₃ A 含量同第 II 種
早強劑 (Accelerator)	—	III	
減水劑 (Water-reducing)	—	III	W/C 甚低
波索蘭材料 (Pozzolan)	IP	IV	中至高摻量
爐石 (Slag)	IS	IV, V	低水化熱及低強度發展
波索蘭材料 (Pozzolan)	IP	V	低鋁含量、高抗硫性

關 鍵 字

卜特蘭水泥 (Portland cement)	波森比 (Poissons ratio)
水硬性水泥 (Hydraulic cement)	篩分析 (Sieve analysis)
石膏 (Gypsum)	流變性 (Rheology)
水泥組成成分 (Cement compound composition)	容積比重 (Bulk specific gravity)
熟料 (Clinkers)	吸水率 (Adsorption capacity)
變異性 (Variations)	含水量 (Moisture content)
水化熱 (Heat of hydration)	有效吸水率 (Effective adsorption)
飛灰 (Fly ash)	初期強度 (Initial strength)
高爐熟料 (Blast-furnace slag clinker)	極限強度 (Ultimate strength)
催化 (Seeding)	細度模數 (Fineness modulus)
握裹力 (Bond stress)	四分法 (Quartering)
爐石 (Slag)	早強劑 (Accelerator)
普通卜特蘭水泥 (Ordinary portland cement)	減氣劑 (Air detainers)
輸氣卜特蘭水泥 (Air-entraining hydraulic cement)	輸氣劑 (Air entraining admixtures)
白水泥 (White cement)	鹼反應削減劑 (Alkali-reactivity reducers)
混合水泥 (Blended cement)	粘法摻料 (Bonding admixture)
圬工水泥 (Masonry cement)	著色劑 (Coloring agents)
膨脹水泥 (Expansive cement)	阻銹劑 (Corrosion admixtures)
健度 (Soundness)	防潮摻劑 (Dampproofing admixtures)
水泥漿 (Paste)	細磨礦物摻料 (Finely divided mineral admixtures)
油井 (Oil-well)	膠洗性 (Cementitions)
波索蘭 (Pozzolan)	標稱惰性 (Nominally inert)
假凝 (False setting)	殺菌劑殺虫劑 (Fungicides, germicides and insecticides)
紋理 (Texture)	起泡劑 (Gas formers)
級配 (Grading)	灌漿劑 (Grouting agents)
鹼骨材反應 (Alkali-aggregate reaction)	減滲劑 (Permeability reducers)
收縮和潛變 (Shrinkage and creep)	助泵劑 (Pumping aids)
熱脹係數 (Coefficient of thermal pansion)	緩凝劑 (Retarders)
熱導性 (Thermal conductivity)	強塑劑 (Superplasticizers)
比熱 (Specific heat)	減水劑 (Water reduces)
單位重 (Unit weight)	工作助劑 (Workability agents)
彈性模數 (Elastic modulus)	乳液改良劑 (Latex modifying)
速凝劑 (Rapid-setting)	收縮補償劑 (Shrinkage compensated)

自我評量題目

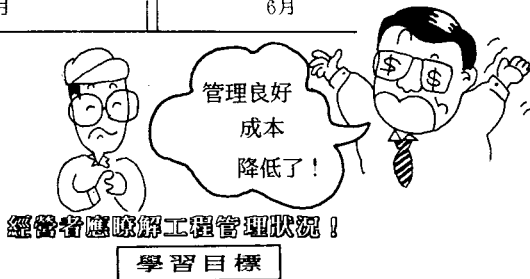
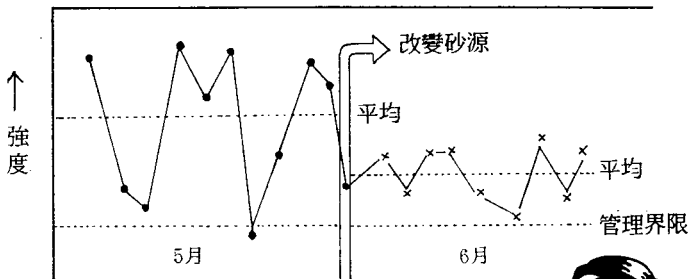
選擇題

1. 何種熟料礦物對水泥水化熱貢獻最大① C_3S 及 C_3A ② C_2S 及 C_3A ③ C_3A 及 C_4AF ④ C_4AF 及 C_3S
2. 何種熟料礦物對水泥強度貢獻最大① C_3S ② C_2S ③ C_3A ④ C_4AF
3. 水化熱於 7 天前以何種水泥最高① I ② II ③ III ④ IV
4. 當構築巨積混凝土結構以使用何水泥較理想① I ② II ③ III ④ IV
5. 拌合水之品質要求凝結初凝中，早 1 小時，終凝遲 1.5 小時，而強度至少① 70% ② 85% ③ 90% ④ 95% 以上
6. 骨材一般的佔混凝土體積的① 10 ~ 20% ② 40 ~ 60% ③ 50 ~ 80% ④ 70 ~ 80%
7. 摻料使用的目的為①強度及工作度②耐久及強度③變形及凝結④以上皆是

問答題

1. 水泥主要熟料礦物有那幾種？
2. 如何克服骨材的鹼性反應？
3. 請說明混凝土配比設計所需之骨材性質有那些？
4. 使用摻料時必須有何考慮？
5. 細磨礦物摻料有那些，請分類並說明之？

第三章 新拌混凝土性質、品質 管制及配比設計

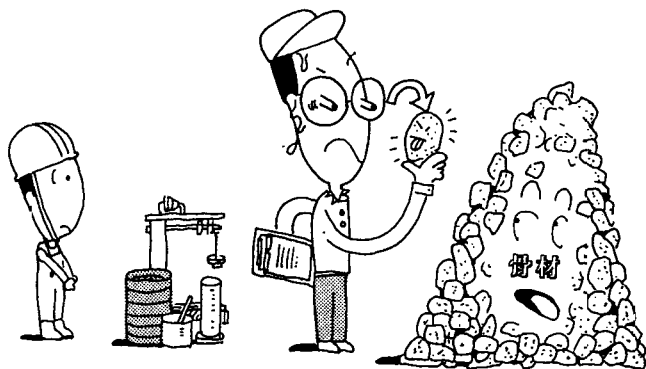


1. 瞭解新拌混凝土品質控制的意義，以及正確品質控制方法。
2. 就品管人員而言，由新拌混凝土一系列的簡易試驗所得知的品質數據，判斷品質的狀況。
3. 瞭解混凝土配比設計的步驟，並由流程內特殊之規定認知這些規定的含義。
4. 將可獲得配比設計的試拌結果放大至實際應用的觀念，並對可能會遭遇到的問題，提出解決方案。

摘要

了解骨材、水泥，水之基本性質後，經由配比設計之步驟及試拌，旨在製造出符合工作度，強度及耐久性等三大原則之混凝土。同時以統計學變異的觀念導入配比需求強度（ $f_{cr} = f'_c + T \cdot s$ ），以確保混凝土強度符合 f'_c 的最低要求。

新拌混凝土性質的測定是評估硬固混凝土品質之重要條件；因此對新拌混凝土透過一系列的簡易試驗項目，有其特定的意義，品管人員應依據規範要求及標準來做各項試驗，並詳細的記錄與保存以備品質產生偏差時，能做為追查問題的輔助工具。



採購前請好好評估吧

新拌混凝土性質

新拌混凝土性質是影響選擇混凝土澆置振動及修飾器械的重要因素，同時也可能影響到硬固混凝土的性質。換言之，新拌混凝土需要適當可工作性，但千萬不可因工作性而影響硬固混凝土的強度，耐久性和體積穩定性，表 3-1 為新拌混凝土必須要求的性質，故新拌混凝土必須是塑性態或半液態且須能以手搗成型。但是能輕易充填模板的潮濕混凝土未必是塑性態，所謂塑性態即易於模造成型或可如粘土般模造成型，此種狀況下骨材均勻分佈呈懸浮狀況，流動時緩慢而無析離及泌水發生。坍度通常用來量測混凝土的稠度，故低坍度混凝土俱有硬的稠度。新拌混凝土之工作性與其流變形有關，通常可利用強塑劑、減水劑、礦物摻料等來增加其工作性及流變行為。對鋼筋密集的結構物而言，目前可採用強塑劑製造流動性混凝土減少蜂窩的產生及增進均勻性。影響工作度的因素有骨材形狀、紋理、級配；含水量；含氣量；摻料；時間及溫度；和水泥的性質等。

表 3-1 新拌混凝土性質

性 質	ASTM 相關規範
容易拌和及輸送，俱塑性。	目 測
俱優良之流動性，容易充滿模板各個角落	C143
僅用少量振動，過程無過量之泌水及析離	C232
表面容易粉光處理	C403
適當的凝結時間	

二新拌混凝土的品質管制

新拌混凝土性質的測定為品質控制的重要工具，這是施工過程中用以確保預期混凝土品質及性能不可或缺的手段。其重要性基於下列二種假設：

- ①試驗數據可提供估計硬固混凝土行為的資料。
- ②當新拌混凝土性質一旦變動時，即暗示混凝土配比已改變，此刻應採用應變措施加以補救。

新拌混凝土的品質試驗簡示如表 3-2 所示。

（一）取樣頻率

取樣的頻率是混凝土品質控制有效性的支配因子，其數量愈多愈好，但為了經濟性一般均以足以代表施工品質即可，表 3-2 所列即為新拌混凝土各試驗所需取樣數。

（二）取樣的方法

取到真正代表新拌混凝土性質的樣本對品質控制試驗而言，其意義非凡，且必須被重視及強調。要是試驗樣本代表性不足，則試驗結果將會誤導，樣本的取得及處理均依據 ASTM C172 規範執行。除非必須經常檢測的坍度及含氣量外，要求取樣至少 1 立方呎 (0.03 m^3)，並且在 15 分鐘內完成，取樣環境須防止日照風吹及其它可能產生快速蒸發的狀況，且試樣不應取在最初及最後卸料時之部份。

（三）試驗的依據

取得俱代表性之試樣後必須依據 ASTM、CNS 或其他相關之標準試驗方法執行。採用標準試驗的目的，是因為試驗數據會因試體尺寸、準備程序方式、溫度、濕度、儀器而變，若不統一，則無法加以比較、研究或控制了，有關試驗方法簡列如表 3-2 所示。

（四）試驗數據意義

雖然由大量的混凝土內取出少量的樣本來檢驗，基本上由於常態分佈的變異關係，常被認為不俱“代表性”或不“代表”結

表 3-2 新拌混凝土品質控制試驗規定

試驗項目	依據ASTM規範	取樣頻率	取樣方法	試驗方法概述	試驗要求	取代試驗
稠 度	C 143	每日第一次拌合之混凝土，混凝土稠度明顯改變時；工地試驗製作之同時。	依據 ASTM C172 除經常性稠度及含氣量試驗外，取樣是至少 0.03 m^3 (1 ft^3)，且在15分鐘內完成。必須防止日曬、風吹及快速蒸發之可能。	將混凝土分三層填入稠度之坍度錐內，每層搗25次，然後提起坍度錐量測其坍下高度，精度為1/4吋。	取樣後5分鐘內執行，且在2 1/2分鐘內完成。	K-坍度試驗儀 (DIN1048) 搗實因數，動力重複，流度試驗，V-B試驗，貫入球試驗 (ASTM C366)，坍度錐 (ASTM C905)。
含 氣 量	C 231 C 173 C 138	工地抗壓試驗體製作之時。	且在15分鐘內完成。必須防止日曬、風吹及快速蒸發之可能。	以壓力法、體積法及重力法試驗之。	取樣後5分鐘內執行	口袋型空氣指示器 (AASHTO T199)
溫 度	C1004			以玻璃或鐵屑保護之溫度計直接插入混凝土中測定，溫度計必須有3吋之混凝土保護		
單位重及產量	C 138			混凝土裝入固定之容器內測其單位重及產量	天秤精度0.2kg	核子法 (ASTM C1040)
強 度	C 31 C 192	施工規範要求；雙異產生時；每日至少一次；每 115 m^3 (150 yd^3) 一次；每 465 m^3 (6000 ft^3) 一次。	最初及最後倒出之混凝土不應取樣。	分三層設置混凝土並各搗實25下。試體則分二層。置標準養護層	取樣後15分鐘內完成	成熟度試驗 (ASTM C1074或ACI 308)
加 速 養 護	C084			如上，置溫水 35 ± 2 ℃滾水和自生養護槽內養護		
水泥和含水量	C1078 C1070					快速試驗儀 (RAM) 歐希試驗 (WH)
氣 含 量	(依國家預拌混凝土學會 NRMCA)					
礦物摻料含量				使用#525號篩過濾，然後以實體顯微鏡觀測		
泌 水	C252	很少在工地測定		①以搗棒搗實而不動樣本②每次風測前均間歇振動之。		

10 建築結構物混凝土品質保證檢驗與制度

構物上之混凝土性質，然而試驗仍一直被執行，因為俱有下列意義：

- ①可確保品質配比的適當性；
- ②可指示混凝土品質變異狀況，而瞭解品質優劣；
- ③可顯示出材料或環境改變的情形；
- ④可催促施工人員確實執行施工品質而不怠忽；
- ⑤一旦結構物發生問題時，仍有資料可輔助查出問題之原因；
- ⑥試驗檢定結果可判定繼續施工之依據，如拆模之時機等。

（五）新拌混凝土品質管制試驗

1. 稠度試驗（Consistency）

稠度試驗的方法甚多，最常用的是坍度試驗。基本方法係分為三等分體積澆入坍度錐內，換言之，第一層約 2 1/2 吋高度（65mm），第二及第三層則對半。每層搗實 25 次，刮平後提起坍度錐，量測下坍之深度。坍度試驗的頻率與混凝土抗壓試體製作頻率相同。

2. 溫度的量測

溫度會影響新拌及硬固混凝土的性質，所以許多規範均明文規定新拌混凝土溫度的極限值。量取溫度並無標準法，只要注意量測穩定時的溫度即可，量測的頻率如坍度一般。

3. 單位重及產量試驗

單位重可以表示出含氣量的範圍，顯示出配比的正確性與否及每一次拌合混凝土的產量（yield）。通常量測單位重係與含氣量量測同時進行，使用秤子的精確度為 0.05 公斤（0.1 磅）以內。

4. 含氣量試驗（Air Content）

含氣量關係著耐久性及工作度，所以一般均須測定之。測定的方法甚多，一般以體積法或壓力法為之。

5. 混凝土抗壓試驗

新拌混凝土規定製作圓柱抗壓試體，每天至少一次或每

115 m^3 (150 yd^3) 混凝土至少 1 次或每 465 m^2 (5000 ft^2)

鋪設面積至少 1 次，每次至少二個試體，當然隨工程品質的要求可能需製造較多的試體。混凝土製作需分三等分層澆置，但若用於樑且使用振動搗實的混凝土則可分二等分層澆置。搗實的方法依坍度而定，坍度小於 1 吋時需使用振動器，大於 3 吋時需手搗，介於其間者可採用任一方式。試體一旦製作完成，需即刻蓋上上油之玻璃板、鐵板或塑膠布。試體硬化後，需養護在標準條件的試驗室內作為標準設計強度用；或現場環境下作為結構強度的指標及拆模的依據。

6. 加速養護試驗

加速強度試驗可用來當作生產過程下混凝土快速品質控制的工具；而且當與 28 天強度作成關係曲線後，可用來評估結構體強度是否可被接受的程度，加速檢定試驗一般使用方法有溫水法、滾水法及自生加速養護三種。

7. 氯含量

氯含量試驗的目的在確保混凝土及其組成成分中之氯低於鋼筋可能銹蝕的氯含量極限。依據美國國家預拌混凝土學會的檢定方法可快速測定新拌混凝土中水溶性氯含量。

8. 水泥和水含量試驗

若能使用快速檢定法在混凝土凝結及硬化前，決定出新拌混凝土潛在強度，則可避免從澆置至量測硬化混凝土性質時之品控時差（一般約 28 天），也可避免於 28 天時由於強度不足致生糾紛的困擾。這種直接適時的品控方法列在 ASTM C1078 和 C1079 規範內，有甚多種其他方法可資利用，如 RAM 快速檢驗及威里－享門試驗，並且非常可行。其中以 BS 1881 水洗法最為簡易，也最值得推廣。

9. 礦物摻料含量

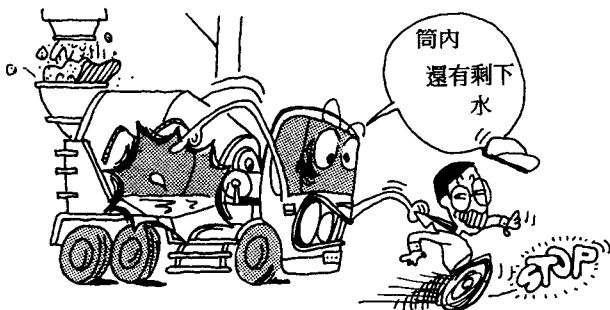
目前並沒有 ASTM 標準規範可資利用以檢測礦物摻料之含

12 建築結構物混凝土品質保證檢驗與制度

量。不過利用 325 號篩過濾混凝土中水泥砂漿的細粒料級，利用 150 倍及 250 倍的實體顯微鏡觀測殘餘部份即可查出飛灰、爐石等摻料，因為在顯微鏡之下礦物摻料的顆粒外形及色澤均有別於水泥及砂。若能將水泥砂漿預先以 100 號或 200 號篩過濾，則有助於移出砂料子，使觀測更容易。

1.0 混凝土的泌水量

新拌混凝土泌水的性質，可以依據 ASTM C232 的規範來加以測定，有二種建議方法可行。一是搗實但進一步不擾動試體；另一法是每次量測時均加以振動，且以間歇振動方式進行量測。泌水量經常以每單位面積的混凝土泌水體積或試體中拌和水的百分率來表示。泌水試驗甚少在工地使用。



造成龜裂、蜂窩、強度不足之原因！！

三、混凝土配比設計方法

混凝土的品質受到相當多因素之影響，傳統上配比設計理念的偏差亦是主要因素之一。ACI 318-83 一反過去的作法，將統計學變異的觀念導入，使得強度更有保障更為合理，因此特別強調以實驗數據來佐證設計時的配比需求強度 (f_{cr})，如果數據不足時，則必須將設計強度 (f'_c) 適度的提昇，以保證結構安全性的最低要求限制。否則以平均強度 (f_{avg}) 為需求配比需求強度 (f_{cr})，則混凝土強度將有 50% 不合格的風險，此等觀念在配比設計時即必須考慮。

(一) 混凝土配比設計基本原則

混凝土配比設計的目的是以現有的材料決定符合特殊使用條件需求性能的最經濟及實用的組合。為了達到此一目的，適當的混凝土配比設計須俱有如后之品質：新拌混凝土俱可接受的工作性；硬固混凝土俱耐久性、強度和均勻外觀；經濟性。

① 工作性

工作性是新拌混凝土的重要特徵，通常泛指稠度 (Consistency) 及凝聚度 (Cohesiveness)。稠度即混凝土配比的濕度，常以坍度 (Slump) 來表示，濕度愈大坍度亦愈大。換言之，用水量直接影響坍度，所以一般配比手冊上均以用水量來反應坍度的大小，見圖 3-1 所示對於同一坍度而言，用水量隨下列狀況而減少：(1) 優良級配骨材最大粒徑的增大；(2) 角粒形、粗糙紋理骨材比例的減低；和(3) 配比中含氣量的增加。凝聚度則指搗實性及粉光性而言，一般以抹攪度 (Trowelability) 來評估或以目測泌水析離狀況來判斷。習慣上，凝聚度不良的狀況，需以下列方式來修正：(1) 增加砂／粗骨材比 (S/A)；(2) 以細砂來取代部份粗砂，(3) 在同一水灰比下增加水泥漿／骨材比 (C/S)。

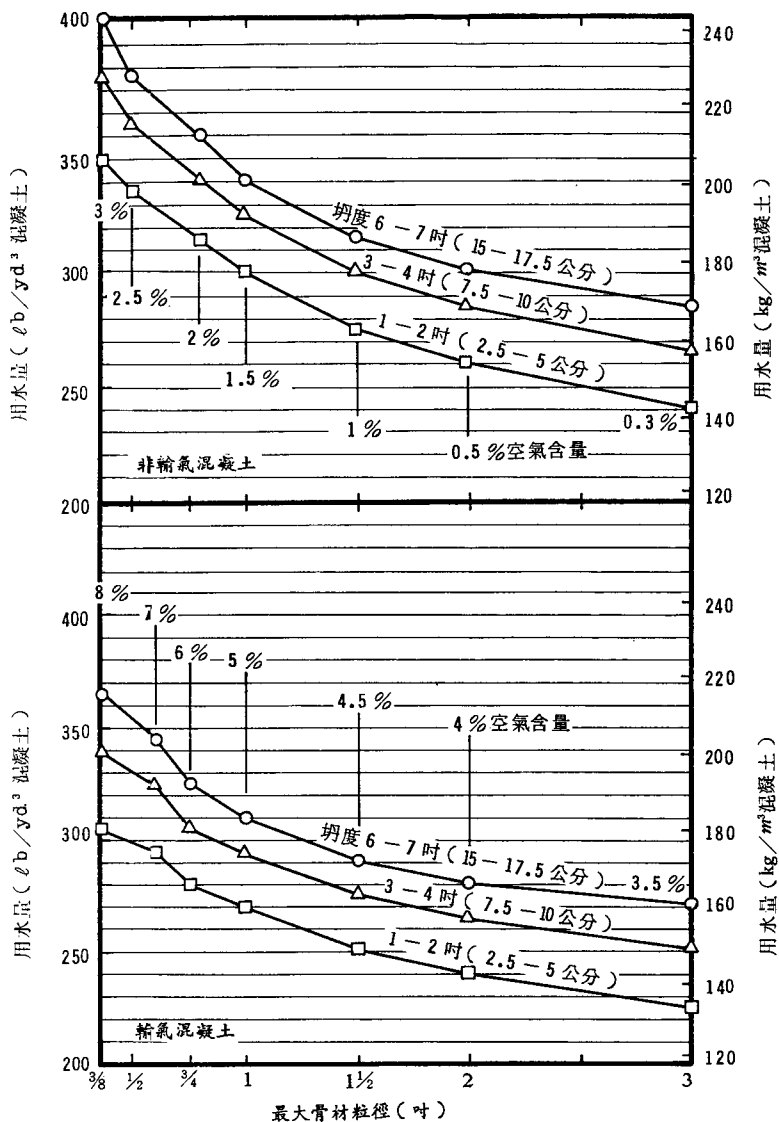


圖 3-1 不同最大骨材粒徑及坍度條件下混凝土

用水量及空氣含量建議值

由以上可知在工作度上僅有稠度可以量計，故一般配比設計均以坍度來表示工作度，而凝聚度則須靠實際經驗觀察來調整，所以配比設計常常須嘗試數次試拌及大型實體拌合才可以達到施工上的需求。這些實地需求的工作度隨施工型式、混凝土輸送機械、搗實機械而異，見圖 3-2 所示。

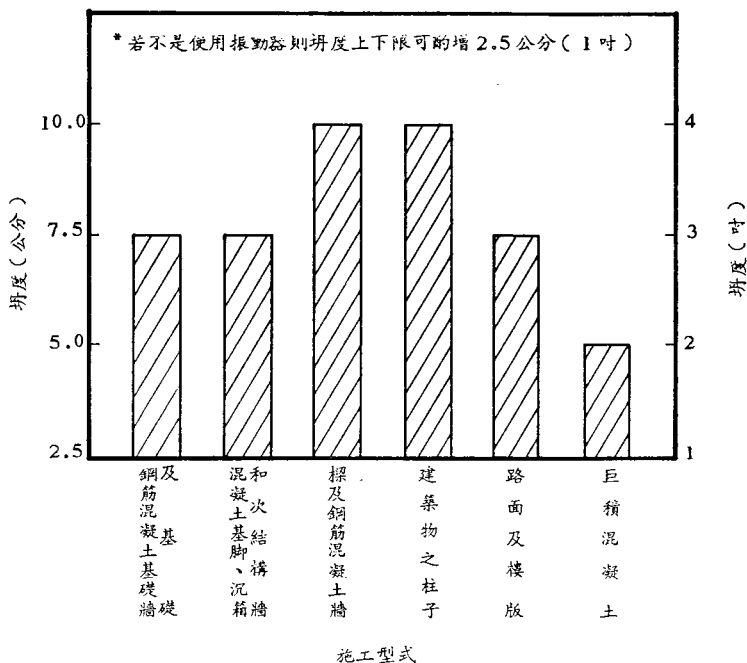


圖 3-2 不同施工型式之建議坍度範圍

② 強度

基於結構物安全性的觀點，設計者所指的混凝土強度 (f'_c) 係以最低要求強度而言，所以配比設計者必須考慮混凝土配比材料、拌和方式、輸送和澆置過程，混凝土試體製作、養護、試驗等因素改變所產生之變異，見第一章所示。由統計學觀點上，ACI 214 規範即要求強度上必須較保守，否則強度即會有如圖 3-3A 及 B 曲線所示的強度部份不足的現象。換言之，配比設計計算時須以平均強度 $f_{cr}=f'_c+ts$

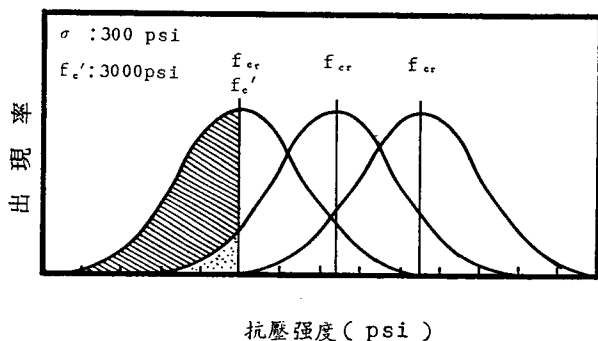


圖 3-3 不同平均值下常態曲線之比較

A 表若 $f_{cr}=f'_c$ 時將有 50% 的試體強度低於 f'_c

B 表若 $f_{cr}=f'_c+485$ ，則有 10% 強度低於 f'_c

C 表若 $f_{cr}=f'_c+900$ ，則全部試體均大於 f'_c

非以特定強度 f'_c 為依據，如此才能將需求強度 f_{cr} 提昇至安全範圍。通常這些資料係由以往的經驗或試拌資料來建立，ACI 318 即建議收集混凝土配比的個案資料，做為認定配比的參考，見圖 3-4。圖 3-5 至 3-7 為一般 ACI 求出偏差及訂出需求強度之參考。

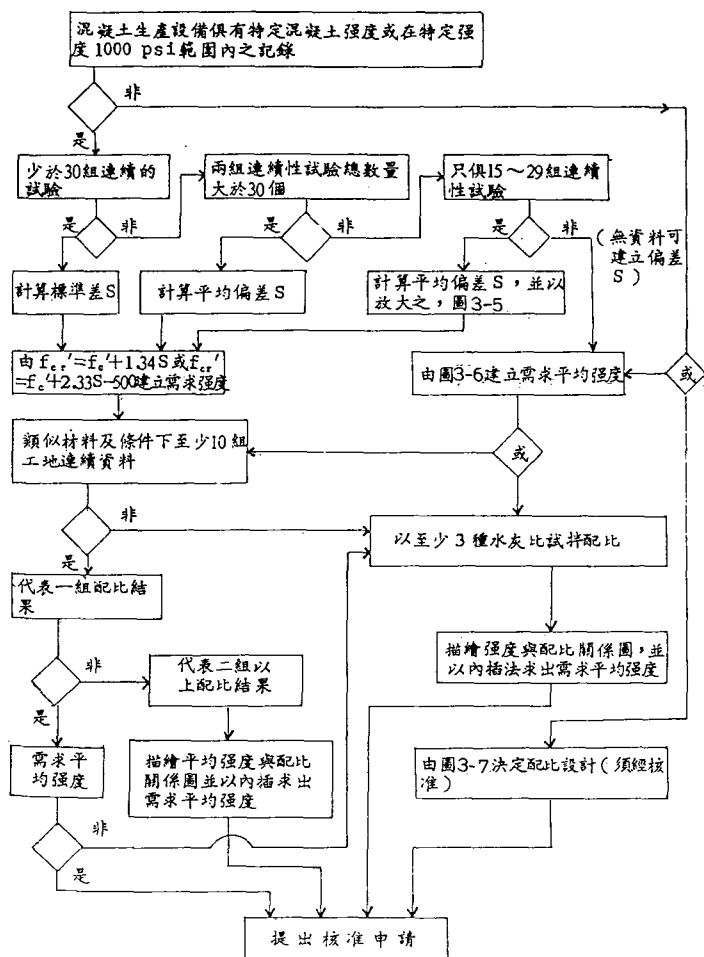


圖 3-4 混凝土配比選定及資料建檔流程圖

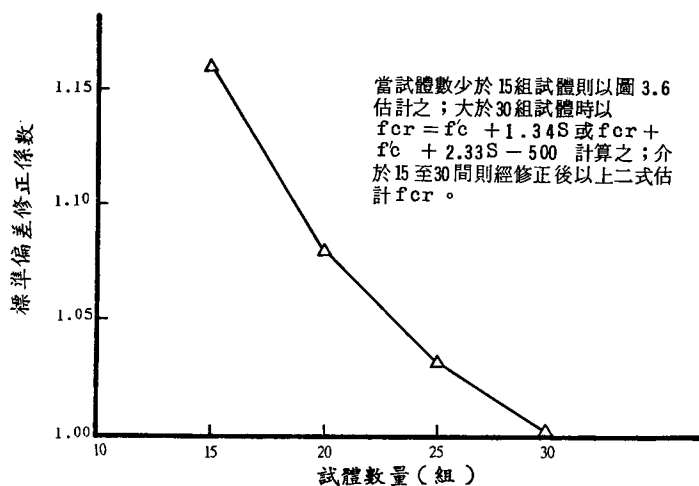


圖 3-5 不同試體數下標準偏差值之修正係數
(試體數介於15~30間)

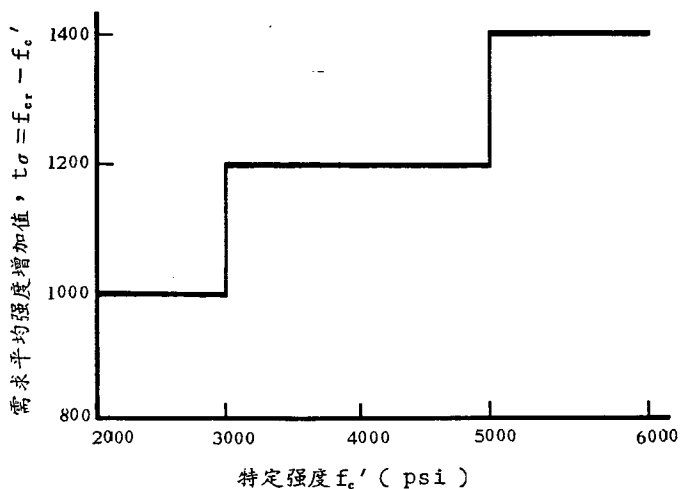


圖 3-6 試體數不足以建立標準偏差時之需求平均
抗壓強度 (試體數少於15組)

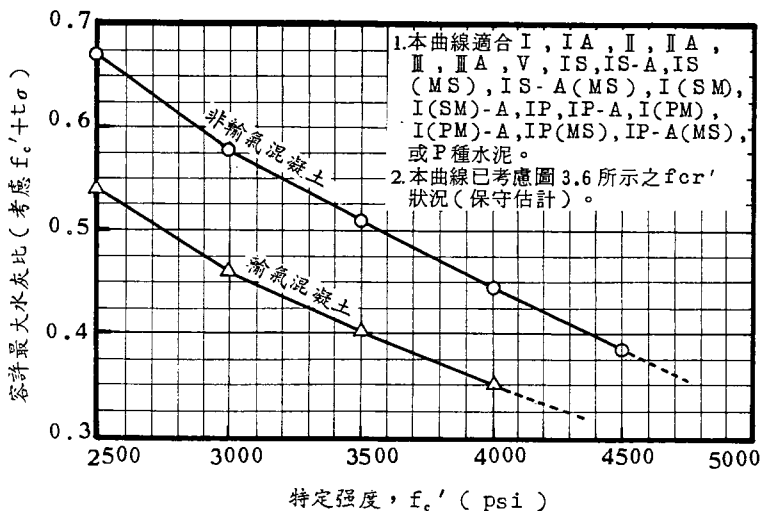


圖 3-7 無試拌及混凝土配比資料可尋時，容許混凝土最大水灰比

由圖 3-7 不難看出，強度係與輸氣量及水灰比成密切關係，在配比設計中骨材的含水量影響水灰比至鉅，為了確保水灰比的正確性，拌和水量、砂和粗骨材的數量須適當調整，圖 3-8 及表 3-3 提供骨材含水量狀況及關係供含水量調整之參考。

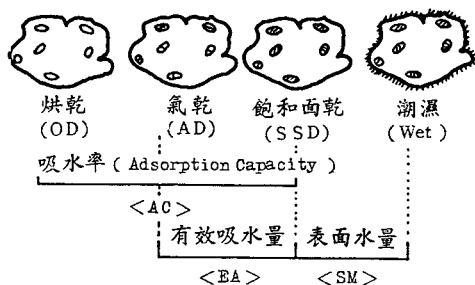


圖 3-8 骨材含水狀態與吸水率、有效吸水量及表面水量之關係

表 3-3 含水量的決定：以SSD與OD為基準之比較

基準 項目	飽和面乾 (SSD)	烘箱烘乾 (OD)
吸水率	$AC = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100$	$AC = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100$
有效吸水率	$EA = \frac{W_{SSD} - W_{AD}}{W_{SSD}} \times 100$	$EA = \frac{W_{SSD} - W_{AD}}{W_{OD}} \times 100$
表面吸水率	$SM = \frac{W_{wet} - W_{SSD}}{W_{SSD}} \times 100$	$SM = \frac{W_{wet} - W_{SSD}}{W_{OD}} \times 100$
總含水量		$TM = \frac{W_{庫存} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100$

註：EA = AC - TM；EM = TM - AC；MC = TM - AC，

而且MC (+) = SM，MC (-) = EA

③ 耐久性 (Durability)

在正常暴露條件下，配比設計常忽略耐久性之可能，但惡劣環境下有縮短混凝土使用壽命時，則配比設計中需特別加以考慮耐久性，通常耐久性透過減低水灰比，使用輸氣劑或減水劑及礦粉摻料等方式達成，ACI 318-83 對耐久性之需求有相當之規定，見圖 3-9 及表 3-4 至表 3-6 所示。

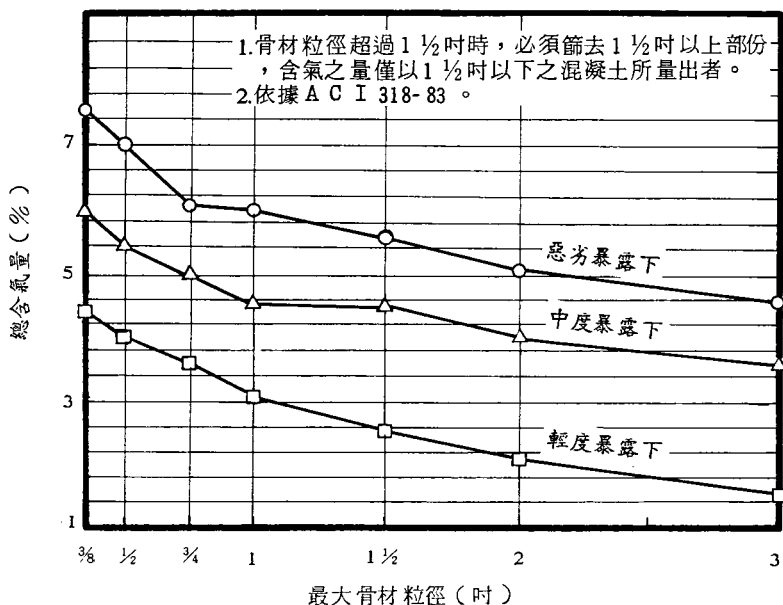


圖 3-9 抗凍混凝土之總含氣量

52 建築結構物混凝土品質保證檢驗與制度

表 3-4 特殊暴露條件下之要求

暴 露 條 件	普通混凝土最大 水 灰 比	輕質混凝土最低 f'c(psi)
水密性混凝土		
1. 暴露清水下	0.50	3750
2. 暴露鹽水或海水下	0.45	4250
暴露濕潤凍融條件		
1. 綠石、排水溝、欄杆或薄斷面	0.45	4250
2. 其它構造	0.50	3750
3. 有卻冰化學劑下	0.45	4250
鋼筋混凝土暴露卻冰鹽、鹽水、海水 或此等有害物之霧氣下考慮防蝕時	0.40*	4750*

* 如果鋼筋混凝土保護層每增加0.5吋時，水灰比可以酌量增加至0.45

(普通混凝土)或f'c減少至4250psi (輕質混凝土)。

表 3-5 混凝土暴露硫酸鹽溶液下之要求

暴露硫酸鹽程度	土壤中水溶性硫酸鹽 (SO ₄) %(重量)	水中硫酸鹽(SO ₄) ppm	水 泥 種 類	普通混凝土 最大水灰比*
輕微(可不計)	0.00~0.10	0~150	--	-
中度(或海水)	0.10~0.20	150~1500	II, IP(MS), IS (MS)	0.50
嚴重	0.20~2.00	1500~10000	V	0.45
相當嚴重	>2.00	>10000	V + 波索蘭材料*	

*若考慮水密性或鋼筋防蝕時須考慮採用表3-4較小W/C及較高強度

+ 波索蘭材料需有試驗資料或實例證明與第V種水泥使用時俱抗蝕之效用

表 3-6 防蝕保護最大氯離子含量

構 造 型 式	28天硬固混凝土最大氯離子(Cl)含量 %(重量)
預力混凝土	0.06
鋼筋混凝土暴露氯化物下	0.15
鋼筋混凝土在乾燥環境下	1.00
其它鋼筋混凝土構造	0.30

(二) 混凝土配比設計步驟

混凝土配比設計即是依據工作度、強度及耐久性三項大原則來進行，圖 3-10 即顯示設計的九大步驟。

步驟一選擇坍度

如果坍度在規範內沒有特別指定，則一般可依圖 3-2 來選擇。若採用較硬稠度之配比則只要可以澆置及搗實而無析離問題時，應可接受。

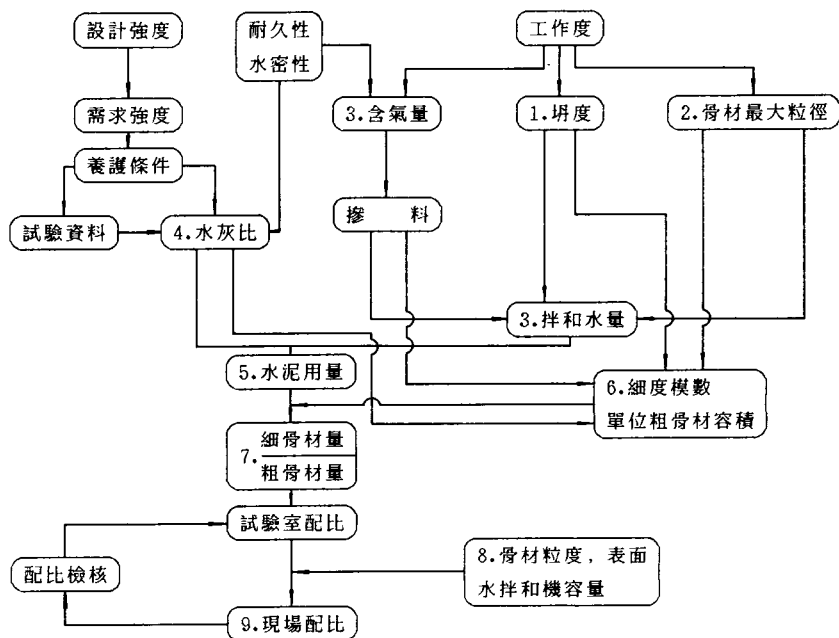


圖 3-10 配比設計流程圖

54 建築結構物混凝土品質保證檢驗與制度

步驟二 選擇最大粒徑之骨材

骨材之最大粒徑依下列原則決定之。

$$D_{\max} \leq 1/5 \text{ (最窄模板間距)}$$

$$\leq 1/3 \text{ (樓版厚度)}$$

$$\leq 3/4 \text{ (最小鋼筋淨距)}$$

步驟三 估計拌和水量及含氣量

混凝土特定坍度下之拌和水量視最大骨材粒徑、形狀、骨材級配、含氣量、及摻料而異。一般皆依據實際配比之資料來決定拌和水量及含氣量，若資料不足則可參閱圖 3-1 來決定之。

步驟四 選擇水灰比

在相同水灰比下，不同骨材及水泥廠將有不同之強度表現，因此通常必須以實際採用之材料來建立水灰比與強度之關係曲線，若欠缺資料的話，則可利用圖 3-11 之曲線來選擇配比設計所需之水灰比。在考慮耐久性的要求下，水灰比必須採取最低之數值。通常耐久性之要求水灰比在 0.4 ~ 0.5 範圍，表 3-4、表 3-5 及表 3-6 為 ACI 對於不同環境之需求水灰比值最大含氣量。

步驟五 計算水泥含量

當滿足坍度的拌和水量及水灰比求出後，以用水量除水灰比則可求出需要水泥含量。

步驟六 估計粗骨材含量

單位混凝土體積採用最大量粗骨材乾搗體積將可達到經濟性需求。經驗上獲知，適當調配之材料，砂愈細，粗骨材粒徑愈大，則相同工作性要求下粗骨材體積將愈大，圖 3-12 即顯示此種趨勢及估計粗骨材用量。1982 年，Hamdani 嘗試由粗骨材孔隙體積的觀念來估計粗骨材用量，由經驗之資料顯示潤滑粗骨材之水泥砂漿體積 $V_1 = S \cdot t_{\min}$ ，如圖 3-13 所示，則利用孔隙含量可以反求出粗骨材絕對體積用量，見公式 3-1 及圖 3-14 所示。

$$V_t = V_a + V_w + V_c + V_v = 1$$

$$V_t = V_a + V_v = S \cdot t_{\min} = 1$$

$$V_t = V_a + V_v + V_l = 1$$

$$V_a + e_a V_a + V_l = 1$$

$$\therefore V_a = \frac{1 - V_l}{1 + e_a}$$

式中 V_t , V_a , V_w , V_c , V_s , V_v 分別表混凝土、骨材、水、水泥、砂及孔隙之體積； S 及 t_{min} 為粗骨材表面積及潤滑水泥砂漿厚度；和 V_l 為潤滑水泥砂漿體積，由圖 3-13 可求出： e_a 為粗骨材孔隙率。

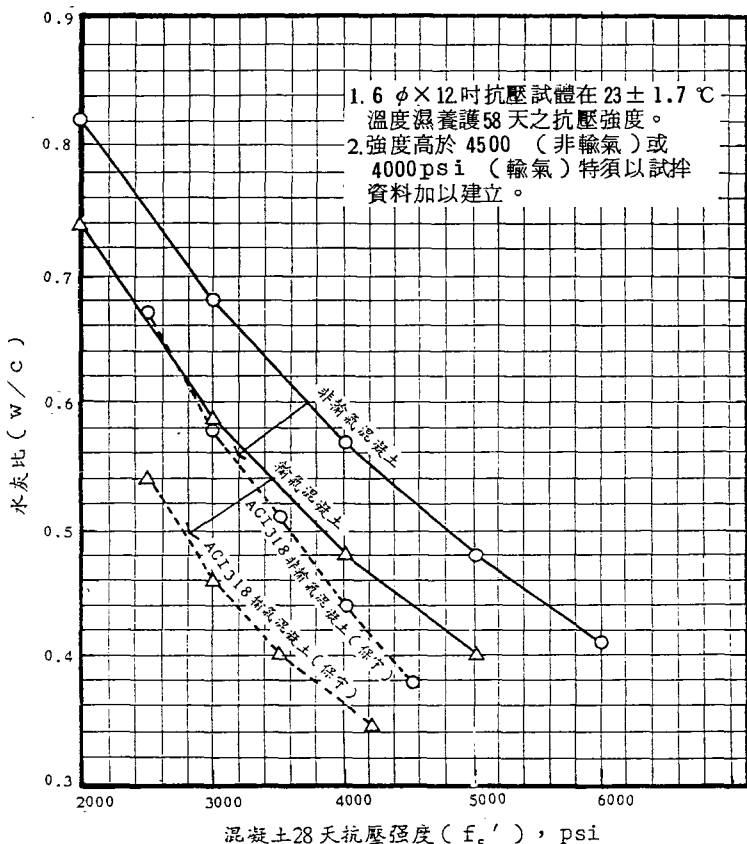


圖 3-11 混凝土抗壓強度與水灰比之關係 (無資料可尋時參考用)

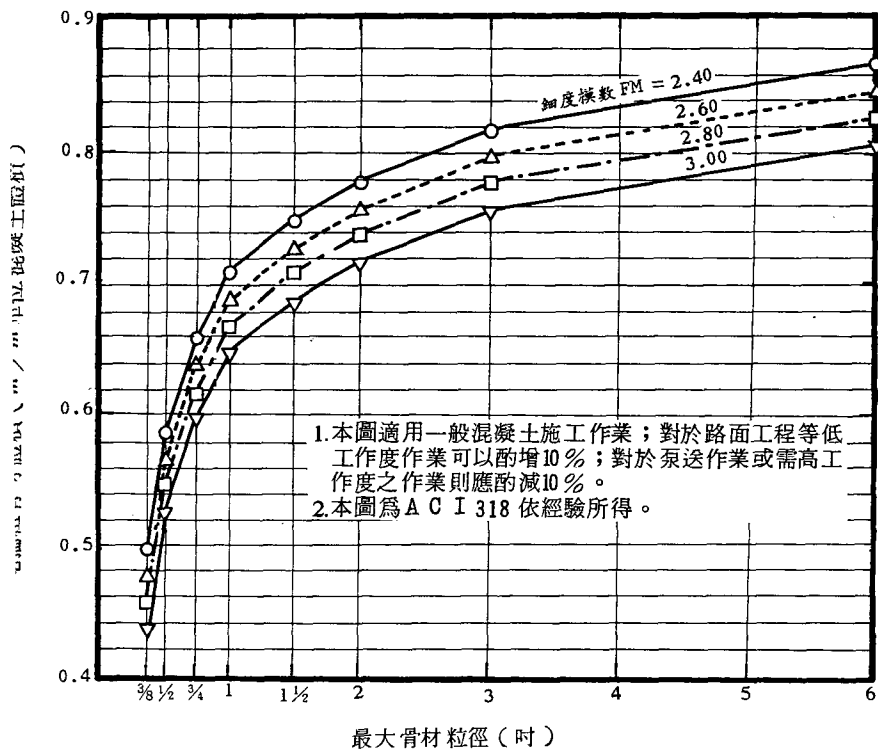


圖 3-12 最大骨材粒徑及細度下每單位體積
混凝土所需乾搗粗骨材體積

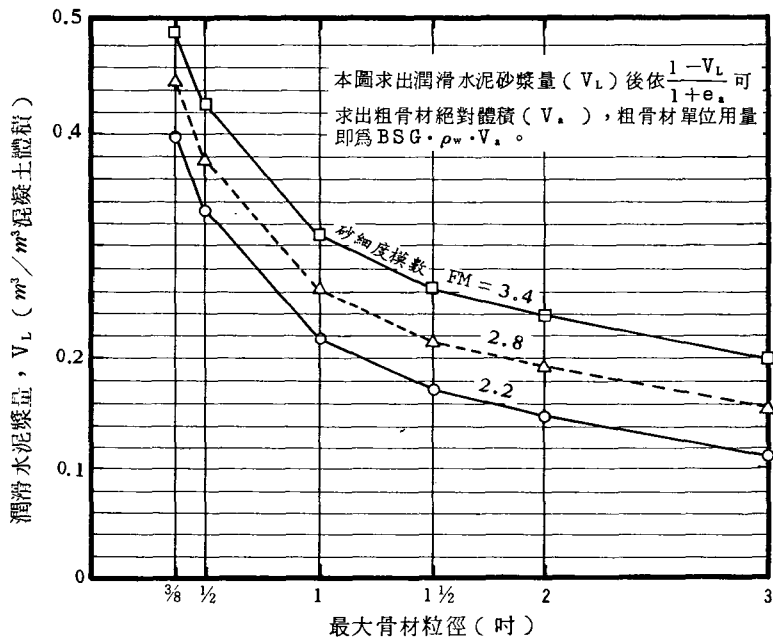


圖 3-13 粗骨材面之潤滑水泥砂漿體積量

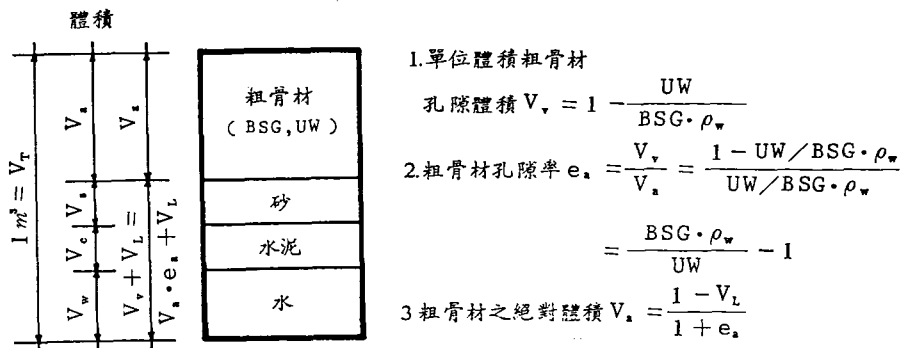


圖 3-14 混凝土體積示意圖【 V_L : 潤滑水泥砂漿】

步驟七 估計細骨材含量

步驟六完成則除細骨材含量外其它材料之用量皆已決定，此刻可以重量法 (Weight Method) 或絕對體積法 (Absolute Volume Method) 來計算單位混凝土體積細骨材用量。重量法係以經驗概估混凝土單位體積重，然後減去單位體積之水、水泥、粗骨材之重量即可得細骨材之單位體積含量，此雖為概估，但對試拌而言足矣，圖 3-15 為概估混凝土單位重之經驗值。絕對體積法則係將總體積 (1 m^3) 減去其它材料 (水、水泥、空氣含量、粗骨材) 之體積，則為細骨材之體積，再乘以其密度即可求出細骨材含量。

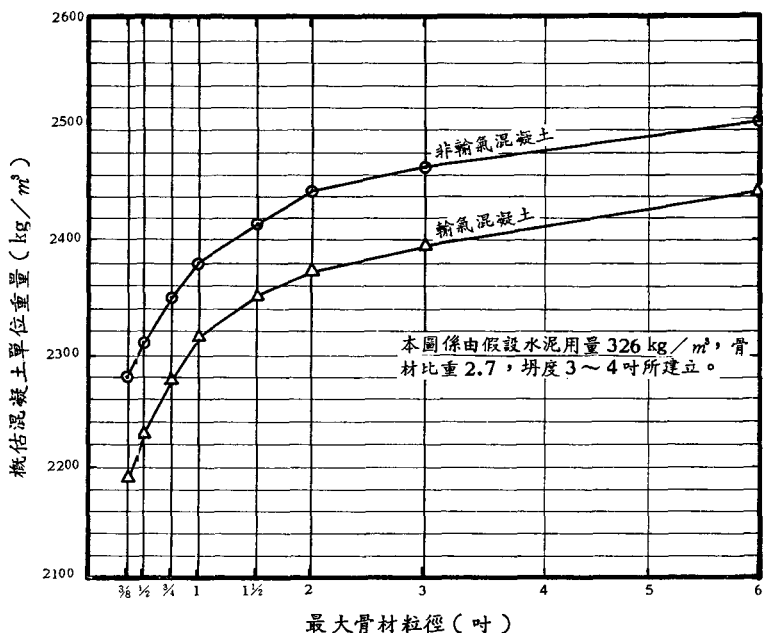


圖 3-15 最大骨材粒徑下混凝土單位重概估值

步驟八 調整骨材含水量

通常庫存的骨材均是潮濕的，因此若沒有調整骨材含水量，則實際試拌之水灰比將比由步驟四所選用的水灰比高，而試料面乾飽和（SSD）骨材重量將較步驟六及七所估計者低，如此將造成品質的變異。一般配比試拌作業均須依骨材自由含水量的多寡加以調整，使其達到 SSD 狀況，見圖 3-8 及表 3-3。

步驟九 調整配比

由於配比設計係居於以往之經驗資料所獲得，其中不免存在一些假設，且與實際使用材料及狀況有所差異，因此配比設計完後須在試驗室內以小型配料機【約 0.008 m^3 ， (0.01 yd^3) 】來試拌，檢核性質是否合乎要求，坍度、單位重、含氣量、抗壓強度，並加以調整。經過數次試料，當配比符合要求工作性及強度後，試驗室試拌配比即可放大至現場拌和尺度。

（三）混凝土配比設計實例

1. 施工規範

施工型式	鋼筋混凝土基腳
暴露條件	溫和（地面下未暴露在冰凍或硫酸鹽溶液）
最大骨材粒徑	1 ½ 吋
坍度	3～4 吋
要求 28 天抗壓強度	3500 psi

2. 選定材料的特性

	水 泥 ××牌卜特蘭第一型	細 骨 材 大 漢 溪	粗 骨 材 碎 石
容積比重 (BSG)	3.15	2.60	2.70
容積密度 (kg/m^3)	3150	2600	2700
乾搗單位重 (kg/m^3)	—	—	1603
細度模數 (FM)	—	2.80	—
濕度偏異 (以 SSD 為基準) %	—	+2.5	+0.5

3. 以 SSD 為基準計算步驟

步驟一 坍度 = 3 ~ 4 吋 (規範規定)

步驟二 最大骨材粒徑 = 1 1/2 吋 (規範規定)

步驟三 拌和水 (非輸氣混凝土) = 178 kg/m³ 混凝土

估計陷入空氣含量 1% (由圖 3-1 出)

步驟四 平均強度 (假設過去的記錄顯示標準強度偏差值為

$$300\text{psi}) = 3500 + 1.34 \times 300 = 3900\text{psi}$$

∴ 水灰比 $w/c = 0.58$ (由圖 3-11 求出)

步驟五 水泥用量 = $178/0.58 = 307 \text{ kg/m}^3$ 混凝土

步驟六 乾搗粗骨材體積 (圖 3-12) = 0.71

粗骨材用量 = $0.71 \times 1603 = 1138 \text{ kg/m}^3$ 混凝土

步驟七 絕對體積法

$$V_w = 0.178$$

$$V_c = 307/3150 = 0.097$$

$$V_a = 1138/2700 = 0.421$$

$$V_{\text{air}} = 0.01$$

合計 $0.706 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 混凝土

砂體積 $V_s = 1 - 0.706 = 0.294 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 混凝土

砂用量 = $2600 \times 0.294 = 763 \text{ kg/m}^3$ 混凝土

步驟八 試驗室試拌含水量調整

材 料	SSD (kg/m ³)	SSD (kg/0.008 m ³)	含 水 量 調 整	初次拌和配比 (kg)
水 泥	307	2.46		2.46
砂	763	6.10	$6.10 \times 0.025 = 0.153$	6.253
粗骨材	1138	9.10	$9.10 \times 0.005 = 0.046$	9.146
水	178	1.42	$1.42 - (0.153 + 0.046)$ $= 1.22$	1.22
合 計	2386	19.08	← 相 同 →	19.08

步驟九 實驗室試拌及調整配比

新拌混凝土性質量測：

坍 度 = 4-3/4 吋

工作度 = 稍有泌水及析離現象

單位重 = 2372 kg/m³

含氣量 = 1%

第二次試拌嘗試：減少粗骨材 0.113 kg，砂則增加

同量

第二次試拌配比：

水 泥 = 2.46 kg

砂 = 6.37 kg

粗骨材 = 9.03 kg

水 = 1.22 kg

19.08 kg

第二次試拌新拌混凝土性質量測：

坍 度 = 4 吋

工作度 = 滿意

單位重 = 2372 kg/m³

含氣量 = 1%

3" Φ × 6" 抗壓試體 28 天平均強度 = 4250psi 標準偏差率

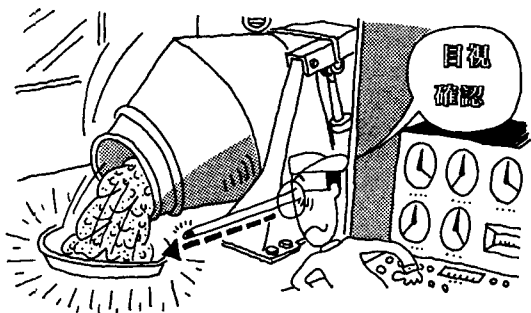
5% 以內，試驗滿意將配比放大至現場混凝土。

材 料	現場儲存 (kg/m ³)	含 水 量 修 正 (改為SSD) kg	SSD基準 (kg/m ³)
水 泥	307		307
砂	796	$796 \times 0.025 = 19.9$	776
粗骨材	1129	$1129 \times 0.005 = 5.65$	1123
水	153	$153 + (19.9 + 5.7)$	179
合 計	2385	← 相 等 →	2385

由此配比可知混凝土產量(Yield) $Y = \frac{1}{307} = 0.0033 \text{ m}^3 \text{ 混凝土} / \text{kg 水泥}$

水泥因子(Cement factor)

$$CF = \frac{307}{50} = 6.14 \text{ 包} / \text{m}^3 \text{ 混凝土}$$



目視確認為第一關門

注意是否依照訂貨規範製造？

關 鍵 字

工作性 (Workability)	設計強度 (f'_c) (Design strength)
含水量 (Water content)	凝聚度 (Cohesiveness)
含氣量 (Air content)	抹壤度 (Trowelability)
蜂窩 (Honeycomb)	標準偏差 (Standard deviation)
凝結時間 (Setting time)	變異性 (Variability)
成熟度試驗 (Maturity test)	烘乾 (Oven dry)
超音波試驗 (Ultrasonic test)	氣乾 (Air dry)
貫入球試驗 (Penetration test)	飽和面乾 (Saturated surface dry)
坍度試驗 (Slump test)	重量法 (Weight method)
核子法 (Nuclear method)	飽對體積法 (Absolute volume method)
溫水法 (Warm water method)	試拌 (Trial batch)
滾水法 (Boiling water method)	孔隙體積 (Pore volume)
自生加速養護 (Autogenous method)	水泥因子 (Cement factor)
快速強度試驗 (Accelerated strength tests)	產 量 (Yield)
配比需求平均強度 (f_{cr}) (Required average strength)	

自我評量題目

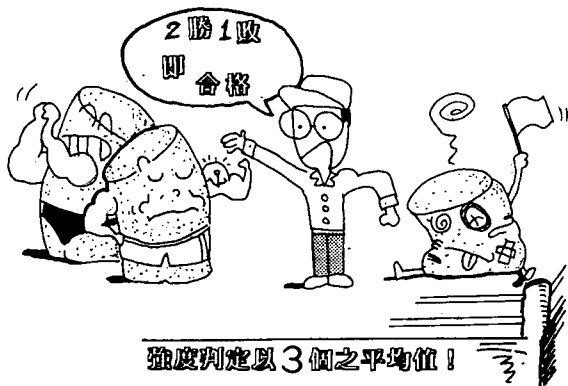
選擇題：

1. 混凝土取樣時規範要求在 15 分鐘要取樣完成，取樣的數量不得少於
① 0.01m^3 ② 0.02m^3 ③ 0.03m^3 ④ 0.1m^3
2. 混凝土試體製作每天至少一次，每 115m^3 一次或每
① 365m^2 ② 465m^2 ③ 565m^2 ④ 300m^2 一次
3. 設計強度 ($f'c$) 應該以配比需求強度 (f_{cr}) 之
① 上②中③下限標準而設計才能保證結構物安全。
4. 混凝土坍度試驗時
① 一定要用鐵棒規範之規格②也可用震動棒③依坍度而兩者皆可用。
5. 配比設計時，骨材最大粒徑要求 $\leq$ ① $1/4$ ② $2/4$ ③ $3/4$ 最小鋼筋間距。
6. 配比設計時可採用何種形式來改善耐久性①輸氣劑②減水劑③礦物摻料。
7. 細骨材細度模數越大，表示細骨材顆粒①細②粗③不能辨別④以上皆可。

問答題：

1. 從新拌混凝土得到試驗數據可提供何種信息？
2. 新拌混凝土品質管要做那些品質管制試驗？
3. 試簡述混凝土配比設計流程？
4. 如何判斷新拌混凝土工作度的好壞？
5. 配比設計時如何決定水灰比？
6. 請問 ACI 318 如何規定 $f'c$ 及 f_{cr} 之關係，並如何以試驗數據來決定呢？

第四章 硬固混凝土的性質及品質管制

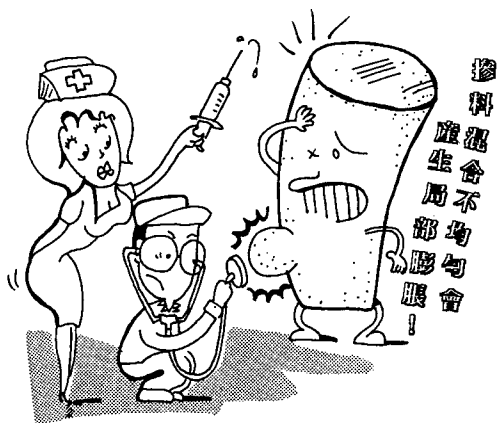


學習目標

1. 了解普通混凝土的強度與水灰比，水化齡期及養護的關係。
2. 建立混凝土抗壓強度和混凝土一般工程性質之關係。
3. 了解硬固混凝土之品質控制試驗可區分為破壞及非破壞性試驗，其檢測的方法、項目及規範依據，並且提供替代試驗方法。
4. 規範對於破壞性及非破壞性抗壓試驗結果合格標準的規定。

摘 要

混凝土可視為有機體，正常情況強度隨水化過程的滋長；針對組成材料及新拌混凝土的「品質檢驗」合格，並不意味著硬固混凝土品質也是合格的。硬固混凝土的評估一般以抗壓強度為主，其檢驗的方式可分為破壞及非破壞性試驗，試驗時必須依規範上的要逐求步進行，才能建立一客觀性之結果。



硬固混凝土的性質

混凝土在正常狀況下會隨著齡期而增加強度，當承受外在或環境所加負的載重即會發生內部應力，通常混凝土抗拉強度甚弱，只要其應力大於強度，產生龜裂的機率即大量增加，一般在容許範圍下會產生相應之變形。混凝土另外特徵即為多孔結構，當外界乾濕條件改變時即會產生體積穩定的問題。其他耐久性亦是硬固混凝土的重要性質，表 4-1 簡示硬固混凝土的各種性質。

(一) 強度及應力與應變行為

結構混凝土抗壓強度可被定義為混凝土承受軸向載重下的最大抵抗力，通常以 28 天強度之 psi（每平方吋的磅數）或 kg/cm^2 表示之，且以 f'_c 來表示。混凝土抗壓強度是最主要的物理性質，而且是橋樑、建築物和其它結構物設計最常用的強度判斷基準一般常用的混凝土俱有 3000 ~ 5000psi (210 kg/cm^2 ~ 350 kg/cm^2) 的抗壓強度；而高強度混凝土則俱有至少 6000psi (420 kg/cm^2) 以上之抗壓強度，圖 4-1 顯示應力—應變關係，俱有 20,000psi (1400 kg/cm^2) 的混凝土也曾應用在建築結構物上。對於地面上的鋪面及樓板設計，彎曲強度則被經常的使用。抗彎、抗拉、彎曲、剪力及楊氏模數經試驗結果顯示與抗壓強度有密切關係，其關係如表 4-1 所示。混凝土的強度與水灰比及水化齡期有密切關係。圖 4-1 之應力應變關係曲線顯示較低強度之混凝土俱有較大之變形量（延展性），而最大的應力發生在抗壓應變介於 0.15 ~ 0.2% 範圍，而極限應變為 0.3 ~ 0.8% 範圍，此刻混凝土將被壓碎。一般實際設計上採用最大應變為 0.3 ~ 0.4%，ACI 則規定 0.3%。

(二) 單位重

一般使用在鋪面、建築物和其它結構物之傳統混凝土的單位重量其範圍在 140 ~ 150 磅/呎³ (pcf)，實際單位重與骨材的數量及相對密度，含氣量和用水及水泥量有關，組合鋼筋混凝土則大約為 150 磅/呎³。單位重從使用為隔熱的輕質混凝土至重質混凝土之範圍為 15 磅/呎³ 至 400 磅/呎³。

表 4-1 典型硬固混凝土的一般工程性質

性質類別		範圍
抗壓強度	一般	3000~5000psi (210~350kg/cm ²)
	高強度	>6000psi (> 420kg/cm ²)
抗彎強度		800psi (56kg/cm ²)
抗拉強度		400psi (28kg/cm ²)
彈性模數		4×10^5 psi (28×10^4 kg/cm ²)
波森比		~0.18
單位重	一般	14.5磅/呎 ³ (2300kg/m ³)
	輕質	110 磅/呎 ³ (1800kg/m ³)
熱膨脹係數		$\sim 10 \times 10^{-6}$ /°C (5.6×10^{-6} /°F)
極限乾縮量		0.05~0.1%
透水性		1×10^{-10} cm/sec (水灰比0.3~0.7)

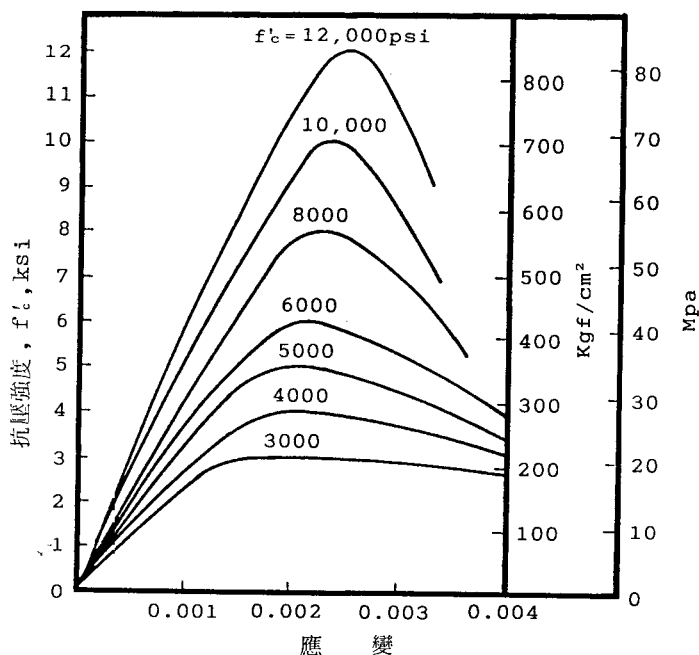


圖 4-1 短期載重下混凝土之典型應力應變圖

表 4-2 混凝土各種強度間之關係（僅適用普通混凝土）單位：psi

強度性質	與抗壓強度之關係式
抗 彎	$f_r = 7.5 \sim 10 \sqrt{f'_c}$
抗 拉	$f_{ct} = 0.08 \sim 0.12 f'_c$ 或 $f_{ct} = 6 \sim 7 \sqrt{f'_c}$
抗 剪	$f_s = 0.35 \sim 0.8 f'_c$
楊氏模數	$E = 2 \sim 6 \times 10^6 \text{ psi}$ 或 $57000 \sqrt{f'_c}$

（三）滲透性和水密性

使用於擋水結構或暴露於氣候或惡劣條件下之混凝土其本質必須不透水或俱水密性。水密性的定義通常指混凝土阻擋水或保留水而無可見滲漏的能力；而滲透性則指當水在壓力下通過混凝土的量，或指混凝土抵抗水或其它液體、氣體、離子等物質滲透的抵抗力。通常混凝土俱低滲透性亦會俱較高水密性性質。混凝土的整體透水性為水泥漿滲透性、骨材級配和滲透性，和水泥漿與骨材相對比例之函數。減低滲透性會增進混凝土抗再飽和，及硫酸鹽和其他化學侵蝕，以及氯離子的滲入。水泥漿的滲透性與水灰比和水泥水化程度或濕養護時間相關。低滲透性混凝土需要低水灰比和適當的濕養護，見圖 4-2 所示。輸氣有助於水密性，但對滲透性無多大影響，而乾燥則會增加滲透性。通常連續養護之硬固水泥漿之滲透性係數於 0.3 至 0.7 水灰比時，分別為 0.1×10^{-12} 至 $120 \times 10^{-12} \text{ cm/sec}$ ，常用岩石之滲透性為 1.7×10^{-9} 至 $3.5 \times 10^{-13} \text{ cm/sec}$ ，而良好品質

且成熟的混凝土則大約 1×10^{-10} cm/sec, 當混凝土有蜂窩, 孔隙及破裂時, 將有大量滲透發生。

(四) 抗磨耗性

樓板、鋪面和水工結構均會受到磨耗作用, 因此使用在此等結構之混凝土必須考慮高耐磨性, 試驗資料顯示抗磨性與抗壓強度有密切關係, 抗壓强度高則相應的抗磨性亦強, 通常採用水灰比低及適宜之養護可增加抗磨性, 當然堅硬的骨材及特殊的表面處理亦會增加此種性能, 見圖 4-3 及 4-4 所示。

(五) 體積穩定性

硬固混凝土會因溫度, 濕度和應力的改變而稍微改變體積, 通常體積或長度改變的範圍在 0.01% 至 0.08%, 連續養護混凝土會稍微膨脹; 相反的, 乾燥則會產生收縮, 主要影響乾縮的因素為新拌混凝土的用水量, 愈高則乾縮越大, 其他影響乾縮的因素包括骨材含量, 骨材性質, 混凝土的尺寸和形狀、相對濕度和溫度, 養護方法, 水化程度和時間。當混凝土承受應力會立即變形, 而持續載重將產生潛變, 潛變隨時間而漸減。圖 4-5 顯示乾縮潛變及彈性應變之關係。

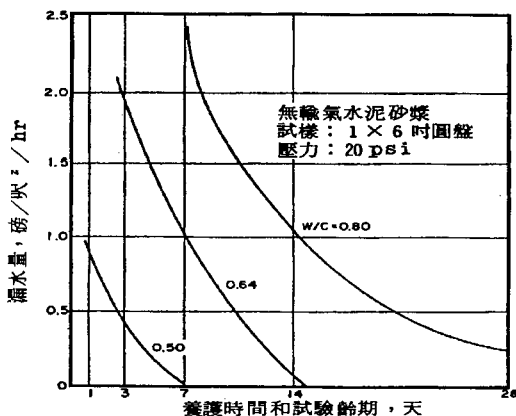


圖 4-2 水泥砂漿水灰比(w/c)和養護時間對透水性之影響。

【注意水灰比降低及養護齡期增加會降低漏水量。】

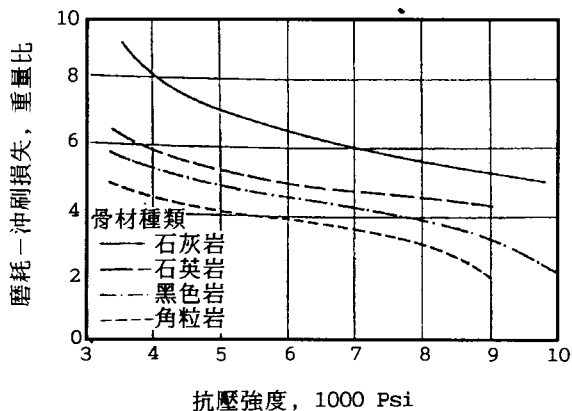


圖 4-3 混凝土抗壓強度和骨材種類對抗磨耗性之影響。

以硬實骨材製造之高強度混凝土俱高抗磨耗性。

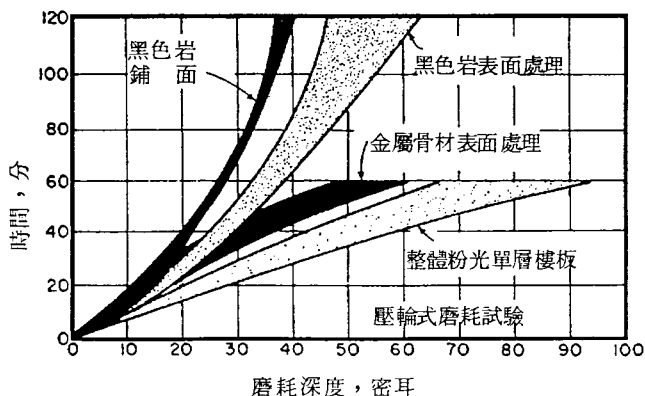


圖 4-4 硬鋼鍍和表面處理對混凝土耐磨性之影響。底層皮塊

28 天強度為 6000psi，所有板塊均以鋼鍍處理。

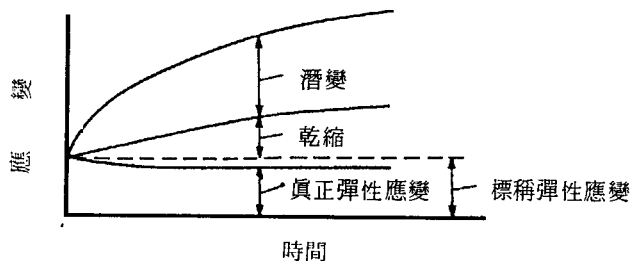


圖 4-5 載重和乾燥下試體應變之改變。 t_0 為加載時間。

硬固混凝土品質控制試驗

組成材料及新拌混凝土的「品質檢驗」合格，並不意味著結構體上硬固混凝土品質也是合格的，除了目前混凝土圓柱試體常被施工者調包或特製試體應付檢驗之外，結構體混凝土施工作業方式的差異，將會影響混凝土整體的均勻性及品質，而造成品質不均勻的施工因素，包括配料和拌和程序、泌水、析離及過度輸氣、養護不當等在內，另外耐久性變化亦會造成硬固混凝土品質的差異。對於硬固混凝土的檢驗可分為破壞性 (Destructive) 及非破壞性 (Nondestructive) 二大類，表 4-3 顯示硬固混凝土一般檢驗項目及依據。

表 4-3 硬固混凝土品質檢驗項目及依據

破 壞 性 試	項 目	依據之ASTM規範試體準備方式	基本要求及注意事項	品質意義
	硬固混凝土 強 度 試 驗	取樣 ①C31或C192新拌混凝土製作 試體 ②C42,鑽心試體試驗 ③C873,場鑄圓柱模 試驗-C39抗壓、C78抗彎(三分 點) C293抗彎(中央)、C496 劈裂能力。	試體直徑必須為最大 骨材粒徑之三倍,高 度為二倍直徑,若為 0.95直徑則棄置。取 樣時不可擾動水泥砂 漿與粗骨材之粘結力 。	結構品質之評估。
	含 氣 量	C457新拌混凝土製作之試體或鑽 心試體。	表面必須磨光。	決定不同摻料之影響 及搗實澆置方式對 氣泡系統之影響。
	密度、比重 吸水率和 孔隙	C642或C1041核子密度測定。		間接評估品質。
	水泥含量	C85和C1084或蘋果酸等非標 準方法。	注意某些摻料及骨 材種類可能改變測 定之結果。	①評估混凝土強度不 佳或耐久性不佳之原 因。 ②礦物摻料的存在可 顯示出。
	礦物摻料和有 機摻料含量	C856岩相學技術(礦物摻料) 紅外線譜儀(有機摻料)		決定礦物摻料之種類 及含量。
	氯含量	FHWARD-77-85 C114		測定鋼筋腐蝕之可容 解含氯量。
	岩相分析	C856		①決定混凝土組成、 品質、有害性質、惡 化,並且②預估未來 之行為及結構物性質

驗	體積及長度變化	C157 (水及空氣儲存法) C827 (早期乾縮) C517 (潛變) C469 (波森比或彈性模數) C215 (動彈性分析法)		乾燥收縮化等反應，及載重下之變化。
	碳化	C856岩相分析技術，酚液指示劑		碳化的種類及深度。
	耐久性	C646, C671, C682凍融抵抗 C672卻冰鹽抵抗 C876鋼筋銹蝕保護及活性 C227鹼骨材反應 C287, C342, C441礦物摻料 抑制鹼砂反應之效能 C586鹼磺反應 C452, C1012硫酸鹽侵蝕 C415 (噴砂), C779 (壓輪), C944 (旋刀法) 抗磨		測定抵抗外界環境劣化之程度及能力。
	含水量	將試體切出置100℃烘乾決定其含水量以4呎平方之PE紙貼面上，4~48 hr若無水份凝結即已乾燥。	試體必須保持濕度不變。	決定是否足夠乾燥，而可以塗上塗膜材料。
	滲透性	ASTM正擬定之		決定滲透性。
非 破 壞 性 試 驗	非破壞性試驗評估 硬固混凝土強度	C805反彈錘 C803溫氏貫入針 C900拉脫試驗 C597動彈性或振動試驗X光檢定	將受表面平整度、尺寸、形狀則度 管材種類，碳化而變。	指示混凝土抗壓強度 決定相對強度，量測 直接剪力強度①測定 動態頻率，②記錄短 波。
	評估未硬固及 硬固混凝土密度	C1040伽瑪放射儀		
	量測鋼筋深度 度及位置	磁力偵測器 (鋼筋器、厚度 測定器)		決定鋼筋位置、密度 、蜂窩的存在。
	含水量測定	微波—吸收法		測定混凝土含水量。
	裂縫預測	音響放射技術		研究載重狀況及特定 裂縫位置。

(一) 硬固混凝土破壞性試驗

顧名思義，即此種試驗會損壞結構體，試體可以標準製作之圓柱試體或鑽心 (Core) 試體經切割而成。抗壓試驗時須注意試體的形狀及尺寸、試體含水量、溫度。受壓面之平整狀況及加壓載重方式，務必符合規範之規定。硬固混凝土其它重要性質及需要知道的重要資料大都有 ASTM 規範可循，表 4-3 即指出相應檢驗項目及規範依據，同時亦簡示品管的意義。

1. 硬固混凝土強度試驗

依標準規範取樣，然後表面處理，最後量測抗壓，抗彎、抗拉等品質，此刻一般強度由於養護狀況不佳，其強度會受到損壞，ACI 對此有放寬之規定 (0.85 倍原強度)。

2. 含氣量

硬固混凝土之含氣量及空氣孔隙系統參數可以實體顯微鏡法加以測定，本試驗同時可以量出空氣的含量，體積，比表面積和間距因子。

3. 密度、比重、吸水率和孔隙

ASTM C642 規定量測密度、比重、吸水率和孔隙的方法。一般決定出 SSD 密度可提供指示新拌混凝土的單位重。

4. 水泥含量

由水泥含量的測定通常可以求出配比之正確性。混凝土中水泥含量可以指示混凝土可能劣化的原因及預測其品質。

5. 礦物摻料和有機摻料含量

利用岩相分析技術及紅外線光譜儀可以測定礦物摻加量，而有機摻料可以紅外線加以測量。

6. 氯含量

混凝土含有超量之氯化物，則可能產生銹蝕問題，因此必須依照 ACI 318-83 規定要求加以測定氯化物之含量限制。

7. 岩相分析

岩相分析係利用顯微鏡技術來決定混凝土的組成，品質

及不良性能，強度降低或惡化之因素。本項試驗可以獲得許多資料：水泥漿，骨材，礦物摻料，含氣量，冰凍和硫酸鹽侵蝕，鹼骨材反應，水化及磺化程度，水灰比，泌水性能，火害、剝蝕、爆開，摻料之效益，及其他變因。

8. 體積及長度變化

對某些混凝土而言，有時會指定體積或長度變化。

9. 磺化

通常以酚酞液來顯示混凝土是否有磺化作用，當磺化已發生則呈透明（中和）反應，否則若無磺化則呈發粉紅色反應。

10. 耐久性

耐久性係為混凝土抵抗外界環境或服務地區惡化的能力。適當設計的混凝土在其服務壽命內應能抵抗外力而不致於產生敗壞。為了使混凝土耐久性品質符合施工計劃的要求，必須檢定相關材料之耐久性性能。耐久性試驗的項目包括抗凍融（ASTM C666, C671, 和 C682），抗卻冰鹽剝蝕（ASTM C672），鋼筋銹蝕保護和銹蝕活性（ASTM C876），鹼骨材反應（ASTM C227），礦物摻料抑制鹼砂反應（ASTM C342, C441, C289），鹼磺反應（ASTM C586），抗磨耗試驗（ASTM C779 及 C944）。

11. 含水量

硬固混凝土的現場含水量或相對濕度的量測有助於決定混凝土是否乾燥到足以塗佈地板覆蓋材料或覆面材料。在水溫高過沸點的區域，亦必須混凝土足夠乾燥才可避免表面剝落的發生。直接測定混凝土含水量的方法是將有問題的試體以鑽刀乾切，置入保濕容器內，運送至試驗室內，先量測原始重量，然後置入 100 °C 之烘箱內烘至重量穩定後，將二重量之差值除以烘乾重，乘上 100 即為含水量百分率。另一種簡易測定法，係以 4 呎見方之聚乙烯布（PE）貼附在樣板面上，若 24 至 48 小時內無水份集結，則表示樣本足

夠乾燥，可塗佈塗膜材料了。

1.2 滲透性

有很多種直接測定混凝土中介質滲透性的方法可採用，然而 ASTM 目前並沒有（正擬定中）標準方法可行，美國石油協會建議直接透水試驗的方法可參考使用。AASHTO T277 快速測定氯化物滲透的方法亦可資參考。

1 硬固混凝土非破壞性試驗 (Nondestructive Test, NDT)

非破壞性試驗為工地檢測試驗，並不損壞結構體，故為一般所接受，然而因檢定時常受表面、受測位置、及混凝土組成材料的影響，並且無法精確評估強度，而被認為僅能提供混凝土強度均勻性及耐久性品質判斷的工具。此類檢驗方法甚多，但基本上可歸類為表面試驗 (Surface tests)、貫入試驗 (Penetration tests)、拉脫試驗 (Pull-out Tests)、震動波試驗 (Dynamic or Vibration Tests) 及其它光電檢測試驗，表 4-3 即顯示非破壞性檢驗之 ASTM 依據及品管意義，表 4-4 即包括建議 NDT 評估方法及可能替代方法。

1. 表面試驗

一般準確性在 20 ~ 30% 範圍，常用為反彈硬度試驗 (Rebound Hardness)，儀器有 Schmidt 試錘，及 Frank 彈簧錘 (Spring Hammer) 等，此類試驗會受到試體表面平整度、尺寸、形狀和剛度、粗骨材種類、混凝土表面碳化程度等因素的影響。由於此類試驗儀器價格便宜、攜帶簡便、試驗簡單，因此常被應用為均勻性評估的工具。

2 貫入試驗

有如表面試驗，一般為硬度指示器，此類試驗可快速提供相對強度的數據。Windsor 測定器為最常用的一種，其基本原理係利用定量彈藥的固定驅動能量，將合金測針貫入混凝土內，而由露出之長度估計混凝土品質，然而骨材的強度常會使混凝土強度被高估。

表 4-4 混凝土材料的非破壞性評估 (NDT) 方法及建議

混 凝 土 性 質	建議 NDT方法	可 能 NDT 方 法
強 度	貫入針 反彈錘 拉拔法	
一般品質和均勻性	貫入針 反彈錘 超音波 伽瑪輻射法	超音波回響
厚 度		雷達 伽瑪輻射線 超音波回響
剛 度	超音波	驗證載重 (載重-變形)
密 度	伽瑪輻射法 超音波	中子密度計
鋼筋尺寸及位置	厚度儀 伽瑪輻射線	X光輻射線 超音波回響 雷達
鋼筋腐蝕狀況	電勢能量測	
底部孔隙之存在	音響衝擊 伽瑪弱射線 超音波	熱檢查 X光輻射線 超音波回響 雷達
混凝土結構完整性	驗證載重 (載重-變形)	以音響放射驗證試驗

3. 拉脫試驗

係將固置於結構體混凝土中之鋼錨錠拉出，而估算出混凝土強度，此類試驗的缺點係會留下疤痕，並且須預先計劃埋置於混凝土中。

4. 震動波試驗

基本上可分為共振法 (Resonant Frequency) (動力試驗)、脈波速度 (Pulse Velocity) 及低週波微震 (Microseismic technique) 測定等三種。前兩者由其通過速度的快慢可以檢

定混凝土品質的好壞，後者另可用來測定出內部裂隙的存在及方位等資料。

5. 其它試驗

包括 X - 光、Gamma - 射線、中子反向消散、磁力設施、電阻法、微波吸收 (microwave-absorption)、音響放射 (Acoustic-Emission) 等方法。

(三) 抗壓試驗結果之評估

鋼筋混凝土建築規範 (ACI 318) 要求混凝土抗壓強度若所有各組連續三個強度試驗結果平均等於或超過指定的 28 天強度，而且沒有單一強度試驗結果（兩個圓柱體平均）是低於指定強度 500psi (3.5Mpa) 以上時，才可認定品質滿意。如果任何試驗室養護的圓柱試體低於特定度 f'_c 之值超過 500psi 時，則現場混凝土的強度必須要加以評估。同樣的，當現場養護的圓柱試體強度低於同組試驗室養護圓柱試體強度的 85% 時，亦須要進行強度評估，但是如果現場養護的混凝土強度超過 f'_c 有 500psi 以上時，則 85% 的要求可不考慮。

當試驗室養護圓柱體強度低於 f'_c 有 500psi 以上時，若有必要測定現場強度時，應取三個鑽心試體以應對每一組有問題的試驗結果。如果結構體使用時係處於乾燥狀況，則試驗前須存放於 60 ~ 80 °F (16 ~ 27 °C) 溫度，60% 相對濕度下 7 天；但相反若使用於超過表面濕潤狀況之下，則試體在試驗前必須泡水 40 小時以上。

非破壞性檢定 (NDT) 只當作品質均勻性評估，而不能當作鑽心試驗 (ASTM C42) 的取代品。如果平均三個鑽心試體強度超過 $0.85f'_c$ 並且其中沒有任何一個鑽心圓柱體強度低於 $0.75f'_c$ 時，則鑽心所代表的區域混凝土對結構應是合適的。如果適當取得之鑽心試驗不符合以上要求，則結構體之整體性必須加以置疑，此刻為安全性起見，可能需要按 ACI 318 第 20 章之規定進行載重試驗，但要注意載重試驗合格並不意味結構物之材料品質沒有問題。

關 鍵 字

內部應力 (Initial stress)	圓柱試體 (Cylinder)
楊氏模數 (Young's modulus)	破壞性試驗 (Destructive test)
水泥砂漿 (Mortar)	非破壞性試驗 (Nondestructive test, NDT)
水泥漿 (Paste)	鑽心試驗 (Core test)
體積穩定性 (Volume stability)	反彈錘 (Rebound hardness)
濕治養護 (Moist curing)	拉脫試驗 (Pull-out test)
金屬骨材表面處理 (Metallic aggregate surface treatment)	共振法 (Resonant frequency method)
整體粉光單層樓板 (Monolithic single course slab)	脈波速度 (Pulse velocity)
壓輪式磨耗試驗 (Dressing-wheel abrasion test)	碳化程度 (Carbonation)
	蒸氣養護 (Steam curing)

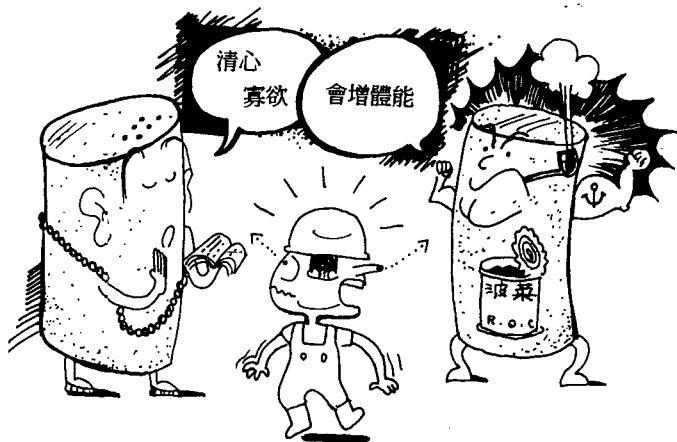
自我評量題目

選擇題

1. 硬固混凝土，其極限應變依 ACI 規定在實際設計時為① 0.002 ② 0.003 ③ 0.004 ④ 0.005
2. 影響混凝土乾縮最主要因素為①拌合水②養護情況③骨材④以上皆是
3. 以下何種是破壞性試驗①拉拔試驗②超音波③鑽心取樣試驗④以上皆是
4. 非破壞性試驗例如鑽心試驗，當其抗壓強度，若任何一個皆達到① $0.65 f'c$ ② $0.75 f'c$ ③ $0.85 f'c$ ④ $f'c$ 以上就可算合格
5. 現場養護的圓柱體若低於相同組試驗室養護的① 65% ② 75% ③ 85%，則要進行評估，但若現場 $f'c > 500 \text{psi}$ 以上，則不受前項要求。
6. ①反彈錘②伽瑪放射儀③水泥含量測定④拉脫試驗為破壞性試驗。

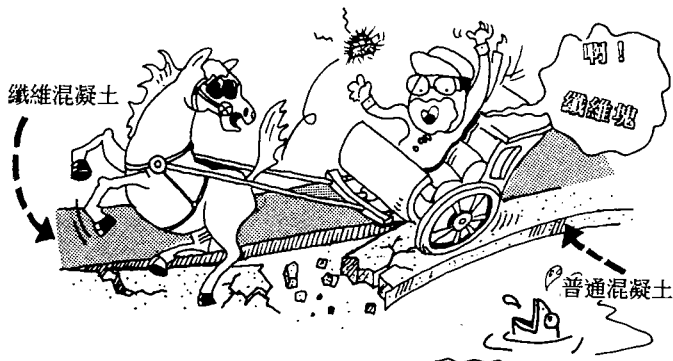
問答題

1. 水密性及滲透性有何區別？
2. 試各簡述一種破壞性及非破壞性試驗？
3. 試簡述規範規定養護及非破壞性試驗的評估要旨？
4. 試規劃出利用非破壞性檢測配合破壞檢測結果來評估結構體之強度及均勻性品質之計劃？



檢測應認真以防雜物摻入

第五章 特殊混凝土性質



纖維補強混凝土對脆性改善有效！

但不要混入纖維塊！

學習目標

1. 了解除普通混凝土外，特殊混凝土之工程性質組成材料配比，施工方式，及相關之規範。
2. 認識各種特殊混凝土之機理，來激盪出新的混凝土觀念及推廣與開發新的特殊混凝土。

摘 要

為了符合特殊工程需要及目的，異於普通混凝土性質或製造的特殊混凝土因應而生；此種混凝土不外從充分利用普通混凝土組成單元材料的特性，加入特殊用途目的的摻料，或以特殊之機械，施工方式來製造混凝土。知曉其機理，才能正確的使用特殊混凝土，而免於失敗。

特殊混凝土基本上定義為「並非正常性質的混凝土或使用特殊技術製造的混凝土」均屬之，由混凝土係「以膠結料和骨材組成」的定義可瞭解混凝土的形式有很多種，表 5-1 所示即為許多並非正常性質或特殊製造的混凝土之類型。表 5-2 則為選擇性幾種特殊混凝土的性質、材料，配比範圍及規範。



表 5-1 特殊混凝土的種類

卜特蘭水泥製造之特殊混凝土		
輸氣混凝土	重質混凝土	預力混凝土
建築混凝土	高早強混凝土	滾壓混凝土
細胞混凝土	高強度混凝土	鋸屑混凝土
離心鑄造混凝土	隔熱混凝土	遮障混凝土
膠體混凝土	乳液改良混凝土	噴凝土
著色混凝土	低密度混凝土	收縮補償混凝土
密度控制填料	巨積混凝土	砂灰混凝土
橡膠混凝土	中強度輕質混凝土	土壤混凝土
乾堆混凝土	可釘著混凝土	踏腳混凝土
環氧樹脂改良混凝土	無坍度混凝土	結構輕質混凝土
露骨材混凝土	高分子改良混凝土	強塑化混凝土
鐵絲網混凝土	孔隙混凝土	磨石子
纖維強化混凝土	波索蘭混凝土	特密混凝土
填築混凝土	預鑄混凝土	真空處理混凝土
流動化混凝土	預疊混凝土	輕蛭石混凝土
飛灰混凝土	預疊骨材混凝土	白水泥混凝土
躍級配混凝土		零坍度混凝土

非卜特蘭製造之特殊混凝土

亞克力混凝土	弗龍混凝土	聚酯混凝土
磷酸鋁混凝土	石膏混凝土	高分子混凝土
瀝青混凝土	乳液混凝土	矽酸鉀混凝土
鋁酸鈣混凝土	磷酸鎂混凝土	矽酸鈉混凝土
環氧樹脂混凝土	甲基丙烯酸甲脂混凝土	硫磺混凝土

大部份此種類型的混凝土可在ACI 116R-78「水泥和混凝土詞彙」內找到，ACI 116委員會修訂，美國混凝土學會，1978。

夜 0-2 付不低飯上仕員、竹科比靴園和風靴

特殊混凝土種類	主 要 用 途	性		頁	配 比							明度 有關 ASTM 規範		
		抗压强度 (psi)	單位重 (pcf)		乾密度 (pcf)	水泥	砂	骨 料	輕質骨料	水	減水劑		粉煤灰	飛灰
結構輕質混凝土	高層建築、減輕荷載 橋台墩之保護	3000~5000	85~115	0.08~0.07	600	900	540	600	280	26.02	2.5~0.2		3~5	C173 C308
底部填充地盤輕質 混凝土	隔開音之建築物	100~1000 1000~2500	15~50 50~120	0.1~0.6	200~600			250~200			20%~35%		10	C069 C138 C332 C177 C173 C165 C513
重質混凝土	放射線屏蔽、壓平 地面及基礎、防盜	9000~10000	400		600									C087 C338
高強度輕質土	高層建築之垂直柱	>5000		650~670	1000	1710		317	35.02			5%~25%	3~4	C070
高早期輕質土	預力混凝土橋樑、加建 預力輕質土主要為預壓砂灰 料、冷天施工、工廠及橋面	~6000		600~1000						6.1/2%		70	8.4	1 1/2
巨無輕質土	防土庫底基礎			300~1000										ACI 116
預置輕質混凝土	結構、屋架、牆、橋樑、水 下結構、建築外觀													C087 C043 ACI 304
無砂輕質土	輕便之基礎													ACI 116
空腔輕質土	重力牆、大柱間等空間 空腔之填充	1000~4500 5000~10000		100~600				105~200					1/4	ACI 116 ACI 211.3
土壤水泥	公路、道路、機場及停車 場之修補、鋪面之改善 土壤、土壤、水泥、排水道之 地面	300~800		130~430								0~15%	1/4	ACI 207.5 BS58
磚凝土	新築、工廠及維修作業													
快速修補輕質土	橋樑、鋪面、結構補強、 修補作業	6000		500.00	1207	1700		312				6.53	4.3/4	ACI 223
孔無輕質土	需考慮水之區域、 橋樑基礎	500~4000	100~120											
白水泥輕質土	建築用水泥灰漿、牆壁、灰泥													CI-50
彩色輕質土	彩色水泥													C070
高分子材料輕質 混凝土	以物填充之柱													
纖維輕質土	預壓、預壓、預壓、預壓、 預壓、預壓、預壓、預壓、 預壓、預壓											6.35		
纖維加強輕質土	牆面、牆面、牆面、牆面、 結構、結構、結構、結構、 結構、結構			700~1200										ACI 544.1R C065 C1018
抗衝輕質土	鋼筋、鋼筋、鋼筋、鋼筋、 鋼筋、鋼筋、鋼筋、鋼筋、 鋼筋、鋼筋	5000~8000		500~630	1430	1700		240				6.47~6.50	9	ACI 544.2R ASTM C694

一、結構輕質混凝土

結構輕質混凝土與普通混凝土相似，但重量較輕，單位重由 85pcf 至 115pcf 主要差異在於使用全輕質骨材，或混合輕質與一般骨材，使用的目的係為減輕高樓結構物的靜載重，但不影響結構的安全性，典型結構輕質混凝土的性質及配比如表 5-2 所示。

結構輕質骨材通常以製程的不同而區分為數類，典型製造出混凝土的強度範圍由 3000psi 至 5000psi，當然更高的強度亦可獲得，圖 5-1 即顯示調製不同強度的可能性。結構輕質混凝土為了使施工不致產生泌水及析離的緣故，通常加入輸氣劑以產生 4.5 至 9% 之含氣量。

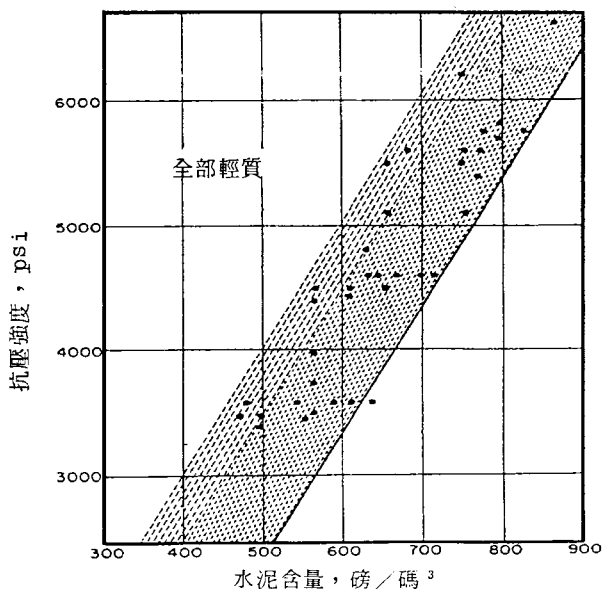


圖 5-1 現場結構輕質骨材所製造之混凝土其水泥含量與抗壓強度關係圖

結構輕質混凝土拌和前須將輕質骨材充分潤濕，然後加水拌和以獲得需求的坍度為主，一般坍度在 3 ~ 5 英吋範圍，使用振動機的方法如同常重混凝土，結構輕質混凝土的養護時機較普通混凝土早，養護的方法則相同，而且至少 5 天以上。

二 低密度和中強度輕質混凝土

低密度混凝土又稱絕緣混凝土，也是輕質混凝土的一種，其單位重較 50pcf 低，抗壓強度當然也很低，介於 100psi 至 1000psi 間。中強度混凝土則較低密度混凝土有較高之單位重，50 ~ 120pcf，強度亦較高 1000 至 2500psi，細胞型混凝土亦可按此策略調製低密度和中強度輕質混凝土，此類型混凝土被用在隔熱機能上其隔熱效能隨密度而異，見圖 5-2 所示。

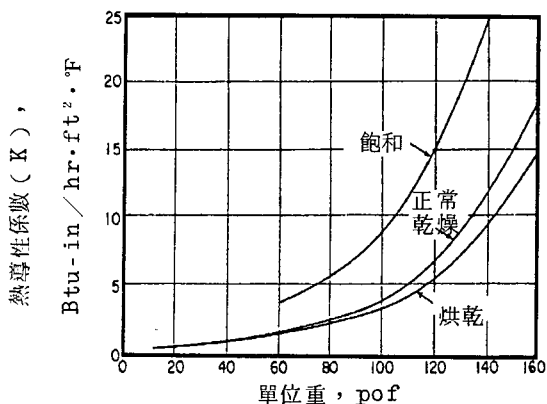


圖 5-2 隔熱結構輕質和普通混凝土單

位重和熱導性係數之概估關係。

低密度和中強度輕質混凝土的配比中含氣量通常在 25% 至 35% 範圍，其目的與結構輕質混凝土類似。由於有大量空氣量，故工作性非常好，拌和時必須防止過度以免骨材分裂，析離在此種混凝土甚少發生，常用泵送機澆置，施工時必須注意儘量減少過度粉飾，利用刮板處理作業即應足夠。低密度和中強度輕質混凝土常使用為隔熱或填築時必須注意其乾縮行為，通常乾縮量為 0.1 ~ 0.6%，若缺乏適度控制可能會發生翹曲的現象。使用在屋頂上，因為太陽直射膨脹的關係，必須製作 1 吋的膨脹縫，其距離至少每 100ft 一條，來調整膨脹的應力。

三、重質混凝土

重質混凝土，譬如輻射遮障混凝土，係以特殊重質骨材製作而成，其密度高達 400pcf。此類混凝土主要用在遮障 X 光、伽瑪線和中子輻射的高輻射能，當然也可用在平衡載重，及其它需要高密度的區域。

重質混凝土遮障輻射能的效果與其密度有關，密度愈大則效率愈佳，而骨材中含高量固定型氫水的量愈多，則因為水中之氫提供非常有效的沖淡作用，故可用以隔離或沖淡伽瑪及中子射線，硼添加物常用來增加對中子的遮障效能。

重質混凝土的性質除了重量較普通混凝土重外，其餘均非常相似，故其配比過程均相似，惟在拌和過程因為骨材甚重，故不應有超載的現象，否則容易損壞拌和機，通常拌和量均減半。有時重質混凝土的澆置作業係似預疊骨材的方式，然後以壓力灌漿填充孔隙；若利用泵送機壓送混凝土則其距離應縮短，因為載送能力因單位重太大而減低；以厚度大於 2 吋水泥砂漿鋪築後，再覆上骨材然後振實的搗泥法亦被採用，惟須注意應確保骨材均勻分佈。

四、高強度混凝土

高強度混凝土通常定義為抗壓強度高過 6000psi 之混凝土，目

前已經有建築物使用 20,000psi 高強度混凝土來施工的，這些強度量測基準係以 56 天或 90 天之試驗結果為依據，因為一般高層建築實際使用係在 1 年以上。高強度混凝土之水灰比甚低，故通常坍度小而無法在現場施工，常以預鑄體或預力混凝土的方式被製作，目前由於高效能減水劑，即強塑劑的發展，已經可以將高強度混凝土製作成高工作性和流動性配比了。

如果高強度混凝土設計者瞭解影響混凝土的因素和如何改變這些因素以獲得最佳結果，則可以不用採購特殊材料來製作高強度混凝土。一般只要將獲得最佳配比設計方法掌握住，接著應注意如何使用本地材料來得到所需的經濟性。高強度混凝土所使用的水泥必須俱 7 天 4200psi 之強度，而試拌之水泥範圍可介於 650 至 950 磅／立方碼。波索蘭材料如飛灰、高爐熟料，或矽灰通常加入混凝土中，其使用量由 5% 至 20%，其原則是良好的工作性為主。骨材應注意其尺寸、形狀、表面紋理，礦物組成和淨潔度等，經試驗顯示 3/8 吋 ~ 1/2 吋的骨材具最佳的抗壓強度，見圖 5-3 所示骨材表面的清潔

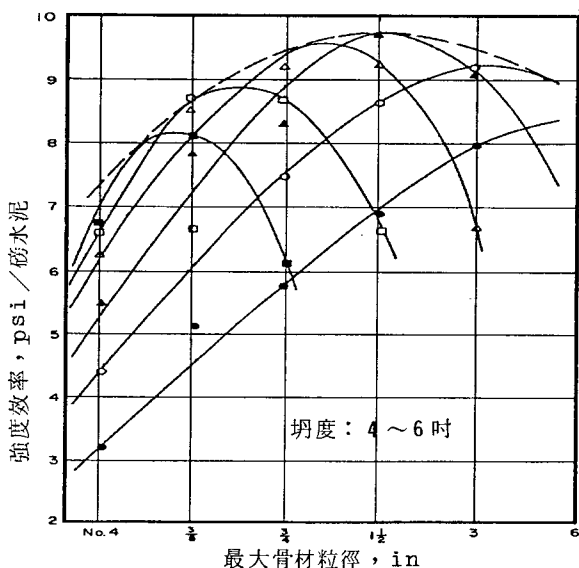


圖 5-3 強度效率包絡線與骨材最大粒徑之關係

度對骨材 - 水泥漿界面強度之影響甚鉅，故高強度混凝土之骨材必須加以清洗。砂通常採取 $FM=3.0$ 之粗砂，若採用 FM 介於 2.5 至 2.7 者，常由於混凝土較粘而產生強度性質較差。

高強度混凝土配比使用水灰比應低， $0.3 \sim 0.40$ 似乎是合理的，砂的用量可以較低，拌和、澆置及養護對高強度混凝土而言較普通混凝土更為重要。品質管制必須同時於拌和廠及工地進行，以確保強度的穩定及符合設計，換言之，自材料的儲存及養護完成均是高強度品質控制的範圍，故應有良好的檢驗計劃。

五、高早強混凝土

高早強混凝土係混凝土獲得指定強度的時間比普通混凝土更短，有時甚至短到至數小時即可獲得傳統 28 天之強度。高早強混凝土可以利用傳統混凝土材料和方法來獲得，可利用下列單項或多項策略而得到。

1. 第三種早強水泥
2. 高水泥含量 (600 ~ 1000 磅/碼³)
3. 低水灰比 (0.2 ~ 0.45)
4. 高的新拌混凝土溫度
5. 高養護溫度
6. 化學摻料
7. 蒸氣或高溫高壓鍋
8. 砂灰
9. 絕緣以保持水化熱
10. 調凝水泥或其它特殊水泥

使用高早強混凝土的目的主要為提供預力混凝土使能提早施加預力；促使預鑄混凝土能快速製造生產；加速模板的再利用率；冷天施工；快速修護以減少交通影響；快速鋪面；和其它用途。

六、巨積混凝土

巨積混凝土依 ACI 116 定義為「任何場鑄大體積之混凝土其尺寸過大而必須克服產生溫度和伴隨之體積變化以減少裂縫」，所以巨積混凝土不僅包括低水泥量的大塊混凝土和其它大體積混凝土，亦包括中量及高量水泥之結構混凝土。更明確定義巨積混凝土尺寸的標準尚不存在。對於巨積混凝土為避免龜裂之產生，大塊及其它無筋混凝土結構物等低抗壓強度者並不容許溫度上昇超過大氣溫度的 $20 \sim 25^{\circ}\text{F}$ ($11 \sim 14^{\circ}\text{C}$)。降低內部溫度上昇的方式為：

1. 低水泥含量 ($200 \sim 450$ 磅 / 碼³)，最大粗骨材含量 (80%)，最大骨材粒徑 (3 ~ 6 吋)。
2. 低熱水泥或混合水泥。
3. 波索蘭材料：一般波索蘭的水化熱大約為水泥的 25 至 50%
4. 減低混凝土初始溫度至 10°C 左右。
5. 利用埋入之冷卻管冷卻混凝土。
6. 鋼模以加速熱量散失
7. 水養護
8. 澆置升層較低 (<5 吋)。

但是對於高水泥含量 ($5000 \sim 10000$ 磅 / 立方碼) 的巨積結構鋼筋混凝土並不能以澆置技術及上述控制因素來降低溫度控制裂縫。對此類混凝土 (如筏基礎和電廠基礎) 建議以下幾種方式來防止裂縫：

1. 一次澆置全部混凝土，
2. 避免鄰界混凝土單元的束限作用。
3. 控制內部差異熱應變，採取防止混凝土內部與表面間過度的溫度差異。此可用隔熱物如帳篷、棉被或砂堆在聚酯乙稀布上的方法，試驗顯示只要差異溫度不超過 36°F (20°C) 即可免除表面裂縫的產生，當然內部裂縫亦會減少，圖 5-4 顯示小心控制表面溫度的降低可避免裂縫的產生。

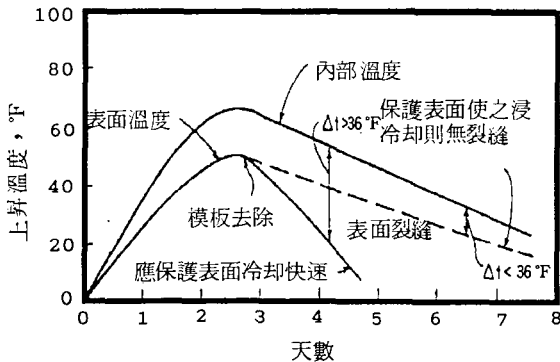


圖 5-4 模板除去後表面潛在的裂縫產生機率，假定臨界差異溫度 $\Delta t = 36^\circ\text{F}$ (20°C)。如果表面溫度降低緩慢，且差異溫度少於 36°F (20°C)，則無裂縫產生。

七、預置骨材混凝土

預置骨材混凝土係將骨材預先排置在模板內，然後以水泥—砂漿或加入摻料灌入其孔隙內所造成之混凝土。此種混凝土與傳統混凝土的性質相似，惟熱及乾縮量因骨材間的接縫緊密而減小。製作此種混凝土的粗骨材須符合 ASTM C33 之規定，有些規定限制骨材最大粒徑為 3 吋至 1/2 吋間，同時級配應含 35 ~ 40% 孔隙的範圍，灌漿用的砂需全數通過 16 號篩，且細度模數介於 1.2 ~ 2.0 間。此種混凝土主要用在修復工作，反應爐之施工、橋墩、水下結構物或需建築特性之混凝土。

八、無坍度混凝土

依 ACI 116 定義無坍度混凝土為「坍度小於 1/4 吋以下的混凝土」屬之。這種混凝土是非常乾，故需要有特殊的工作能量才足以澆置，並且要利用機械才可搗實。對於工作度依 ACI 211.3 之建議有三種方法來量測，即 Vebe 儀、搗實因子試驗和 Thaulow 桌。當耐久性必須考慮時，通常建議加入輸氣劑，其輸氣量較普通混凝土來得

低，但效果且相仿。

九、滾壓混凝土

滾壓混凝土是一種貧配比，無坍度，幾乎乾燥的混凝土，其施工係以土工振動滾壓機或平板搗實儀器來搗實的。這種混凝土的組成為骨材、水泥、水和飛灰等補充膠結料，水泥用量由 100 至 600 磅立方碼，拌和採傳統拌和機，連續拌和機或快速傾卸的車載式拌和機。滾壓混凝土施工非常快速且經濟適用於大型重力壩，如貨櫃儲運場等非公路鋪面，木材分類場、機場停機坪、鄉村道路，和傳統公路及街道鋪面的底層。抗壓程度性質由填工之 1000 至 4500psi，甚至高至公路鋪面設計的 5000 至 10000psi。為了確保滾壓混凝土的品質，混凝土的鋪築必須儘量薄以使振動滾壓機能充分搗實，通常建議 8 至 12 吋為主，而品管作業主要控制散鋪滾壓混凝土的方法。

十、土壤－水泥

土壤－水泥係一種「粉末化土壤或粒狀材料、水泥和水的混合物」、又稱為「水泥處理底層或次底層」，「水泥穩定」，「水泥改良土壤」和「水泥處理骨材」。這種混合料先被搗實至高密度，然後一旦水泥水化此種混合材料即變的非常硬實及耐久。土壤－水泥主要用在道路、街道、機場和停車場的基層、瀝青或卜特蘭水泥混凝土磨擦層覆蓋其上。土壤－水泥亦用在土填和土堤，水庫和溝渠面之斜坡保護及基礎穩定上。這種混合料之要求非常寬，土壤可以是砂、粉土、粘土、和卵石或碎石等之組合物，當然地域性粒狀材料如礫石、鈣石、石灰岩、鐵渣加上工業廢料如煤渣、飛灰、和礦場及卵石場的過濾物亦可用來製造土壤－水泥，老舊碎石路亦可用來製造之。土壤－水泥的水泥用量由 130 至 430 磅／立方碼，拌和係在中央拌和廠進行，然後以傳統道路施工機械輾壓至 96 ～ 100% 之最大密度。此種混合物 7 天強度通常為 300 ～ 800psi，而數年後之強度有高達 2500psi 之記錄。

十一、噴凝土

噴凝土係以氣壓方式將水泥砂漿或混凝土以高速率噴至表面的一種混凝土施工技術，相對乾燥的混合物利用衝擊力搗實，因此可噴至垂直或水平面上而無垂流落下的發生。噴凝土被用在新施工或維修工作上，特別適合曲率和薄混凝土結構及薄淺的修補作業。硬固噴凝土的性質完全依賴施工作業手而異，一般性質近似普通及高強度混凝土，骨材的容許最大尺寸為 $3/4$ 吋，噴凝土的施工分為乾式及濕式二種，其差異在拌和水添加之先後而已。

十二、收縮補償混凝土

收縮補償混凝土係使用膨脹水泥或加膨脹性添加料入卜特蘭水泥中，以使混凝土凝結和硬固過程產生相當於或稍大於普通混凝土預測乾縮量的膨脹量，以補償乾縮所造成的縮短現象，或引發的龜裂。這種混凝土被用在混凝土樓板、鋪面、結構體、和修補作業上，其性質類似普通混凝土。

十三、孔隙混凝土

孔隙（無細料）混凝土含有狹窄級配的粗骨材，微量或無細骨材，並且無足量之水泥漿來充滿粗骨材孔隙。這種混凝土之水灰比低、坍度低，粗骨材主要在接觸點以水泥漿粘結，其孔隙體積由 20 至 35%，俱高透水性容許水快速流過。孔隙混凝土使用在水工結構物當作透水介層、停車場、鋪面及機場跑道以減輕暴雨浸溢，亦可用在網球場及溫室內。當建築考慮隔熱時，亦可使用之。

十四、白色和著色混凝土

1. 白色混凝土

白色卜特蘭水泥使用來製造白色混凝土，以供建築功能之使用，如水泥砂漿、膠泥漿、灰泥、磨石子和卜特蘭水泥塗料。白水泥

之製造須符合 ASTM C150 之性能要求。白色混凝土必須使用無影響混凝土顏色的骨材和水，白色或淺色的骨材可被採用，必須注意以防止工具及機械銹斑之污染，當然有色的養護劑亦應避免。

2. 著色混凝土

著色混凝土可以利用著色的骨材或添加色料（ASTM C979）或使用此二種材料。採用著色骨材通常均露在混凝土外面，其處理製造方式如同露骨材混凝土一般。著色用色料必須是純氧化礦物，經細磨至比水泥還細，且不溶於不含鹽和酸之水，在陽光下不褪色，能抗鹼和抗弱酸之侵蝕，並且不含有硫酸鈣等成分。著色混凝土中之色料用量不超過 10% 的水泥重，其色調深淺視用量之多寡而定。為了確保顏色的均勻一致，配比必須嚴加控制，且以重量為主，並且拌和時間要比普通混凝土長。對於平板型如樓板和預鑄板的作業有時著色採用乾撒的方式來分佈色料，乾撒的材料包括氧化礦物色料、白卜特蘭水泥和特殊級配的砂砂和其它細骨材。樓板整平後；將 2/3 的乾色料以手分佈表面上，即進行表面修飾，隨後應立即養護，並防止可能有的污染及褪色影響。

十五. 高分子卜特蘭水泥混凝土

高分子卜特蘭水泥混凝土（PPCC），又稱為「高分子改良混凝土」，是以卜特蘭水泥為基添加入高分子或單體以增進混凝土之耐久性。高分子通常採用熱塑性和彈體乳液；環氧樹脂及其它高分子材料亦常被使用。一般而言，乳液可改善混凝土及水泥砂漿之延展性、耐久性、粘著性、抗氯離子侵蝕，增加剪力、鍵結力、和拉力及撓曲強度。乳液改良混凝土（LMC）亦俱優越的凍融、磨耗、和衝擊的抵抗力。有些 LMC 材料可以抵抗酸、鹼、有機溶劑之侵蝕。高分子卜特蘭水泥混凝土主要應用在補綴工程及鋪面工程上。

十六. 鐵絲網混凝土

鐵絲網混凝土是一種特殊的強化混凝土，由水泥—砂漿及埋置其

中的數層密接連續的薄金屬或非金屬網和絲共同組成。其鑄造係將網製成雛形，然後將水泥－砂漿用手塗抹、噴凝土、或層壓入新拌水泥砂漿、或則組合上述方法而達成採用之水泥砂漿配比，通常砂－水泥比為 $1.5 \sim 2.5$ ，其水灰比為 $0.35 \sim 0.5$ ，鋼筋大約佔鐵絲網的 $5\% \sim 6\%$ 體積，有時可加入纖維和摻料以增加水泥砂漿的品質，高分子或水泥基覆面料經常應用在完成表面以減少孔隙率。鐵絲網混凝土非常容易造成各種形狀及尺寸，但為一種勞力密集的混凝土。通常用來建造薄殼屋頂、游泳池、隧道襯砌、圓儲倉、儲藏槽、預鑄房屋、浮塢、船、雕塑、和薄版或厚度 1 吋以下之單元。

1-7. 纖維加強混凝土

纖維加強混凝土係以傳統混凝土拌和時添加不連續之短纖維，以增進混凝土之韌性。纖維可以鋼、塑膠、玻璃及天然纖維素和其它材料製成，其形狀有圓型、平扁型、摺皺型、竹節型，長度由 0.25 至 3 吋，厚度則為 0.0002 至 0.030 吋。許多研究成果指出，鋼纖維能有效地增進混凝土的撓曲強度、衝擊強度、韌性、疲勞強度，和抗裂能力；而其它纖維則有不同的結果。纖維含量多寡對工作性有相當之影響，多則因為絞撓而影響工作性，但是纖維含量愈多則韌性有更好的表現，見圖 5-5，一般 $1 \sim 2\%$ 纖維體積應是相當實際可行的。鋼纖維的施工可採用傳統的方式如泵送機等，但如果過程潮濕則可能會分離，利用泥漿灌入的方法亦有之。鋼纖維加強混凝土主要使用在鋪面、路面、補綴、水工結構物、薄殼、和預鑄產品，玻璃纖維一般用在噴灑薄版成為 GFRC 板。

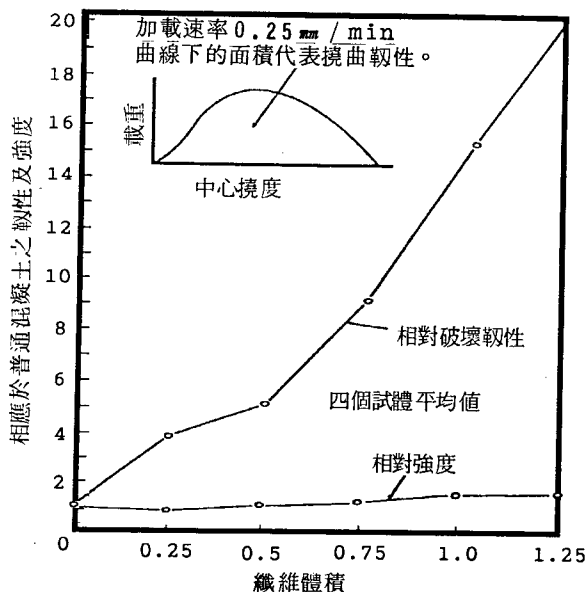


圖 5-5 纖維的含量對韌性及強度的影響

十八. 流動化混凝土

流動化混凝土依標準定義為「具流動稠度之混凝土其坍度由 7 ~ 9 吋」，此種混凝土可以少量或不用振動即可以搗實而無泌水及析離的問題產生。這種混凝土係因添加高性能減水劑，又稱強塑劑 (ASTM C494 F 及 G 型) 化混凝土，利用此種混凝土可減少勞力、振動能量、快速施工、泵送容易，產生均勻性外觀且無蜂窩，特別適合於鋼筋量過密的區域。傳統 F 型強塑劑的坍度易在短期間內失去，故須以分段添加的方式來修正，目前緩凝 G 型強塑劑的生產使坍度的損失較慢，提高了強塑劑的使用價值。

關 鍵 字

特殊混凝土 (special concrete)	孔隙混凝土 (popcorn concrete)
水泥含量 (cement content)	波索蘭混凝土 (pozzolan concrete)
泵送機 (pumping)	預鑄混凝土 (precast concrete)
中子 (neutron)	預疊骨材混凝土 (preplace-aggregate concrete)
模板 (form)	預力混凝土 (prestressed concrete)
筏基礎 (mat foundation)	滾壓混凝土 (roller-compacted concrete)
內部溫度 (inside temperature)	鋸屑混凝土 (saw dust concrete)
表面溫度 (surface temperature)	遮障混凝土 (shielding concrete)
衝擊強度 (impact strength)	噴凝土 (shotcrete)
疲勞強度 (fatigue strength)	收縮補償混凝土 (shrinkage compensating concrete)
靜載重 (static load)	矽灰混凝土 (silicone concrete)
重質混凝土 (heavy-weight concrete)	土壤水泥混凝土 (soil-cement concrete)
高早強混凝土 (high-early strength concrete)	踏腳混凝土 (Stamped concrete)
高強度混凝土 (high strength concrete)	結構輕質混凝土 (structural light concrete)
隔熱混凝土 (insulating concrete)	強塑化混凝土 (super plasticize concrete)
乳液改良混凝土 (latex-modified concrete)	磨石子 (terrazzo)
低密度混凝土 (low-density concrete)	特密混凝土 (tremie concrete)
巨積混凝土 (mass concrete)	真空處理混凝土 (vacuum treatment concrete)
中強度輕質混凝土 (moderate-strength lightweight concrete)	輕蛭石混凝土 (vermiculite concrete)
可釘著混凝土 (nailable concrete)	白水泥混凝土 (white-cement concrete)
無坍度混凝土 (no-slump concrete)	零坍度混凝土 (zero slump concrete)
高分子改良混凝土 (Polymer-modified concrete)	磷酸鎂混凝土 Magnesium Phosphate
亞克力混凝土 Acrylic concrete	甲基丙烯酸甲酯混凝土 Methyl Methacrylate Concrete
磷酸鋁混凝土 Aluminum Phosphate Concrete	聚酯混凝土 Polyester Concrete
瀝青混凝土 Asphalt Concrete	高分子混凝土 Polymer Concrete
鋁酸鈣混凝土 Calcium aluminate concrete	矽酸鉀混凝土 Potassium Silicate Concrete
環氧樹脂混凝土 Epoxy Concrete	矽酸鈉混凝土 Sodium silicate Concrete
	硫磺混凝土 Sulfur Concrete
	石膏混凝土 Gypsum Concrete
	乳液混凝土 Latex Concrete
	弗龍混凝土 Furan Concrete

自我評量題目

選擇題：

1. 纖維加強混凝土纖維含量越高則
① 抗壓強度 ② 韌性 ③ 疲勞愈顯著
2. 對巨積混凝土而言以下何者不正確
① 水泥含量高 ② 粗骨材含量高 ③ 降低混凝土初始溫度
3. 噴凝土所能容許骨材最大尺寸
① 2/4 吋 ② 3/4 吋 ③ 1/4 吋
4. 鋼筋密集時採用何種混凝土為宜
① 無坍度混凝土 ② 孔隙混凝土 ③ 纖維加強混凝土 ④ 流動化混凝土
5. 以下何種混凝土可用來做透水介層
① 孔隙混凝土 ② 收縮補償混凝土 ③ 鐵絲混凝土 ④ 預疊混凝土

問答題

1. 利用何種策略才能達到高早強混凝土？
2. 何謂高分子卜特蘭水泥混凝土？
3. 何謂滾壓混凝土？
4. 波索蘭混凝土有何特徵？

第六章 混凝土施工及檢驗



在工程現場加水會造成嚴重後果！

學習目標

1. 確立混凝土施工前檢驗制度其檢驗的項目包括：
模板、鋼筋、水電、混凝土材料，混凝土結合面及其標準。
2. 考慮混凝土輸送、搗實、及事先規劃施工縫、伸縮縫、控制縫之位置，
且要防止混凝土析離；及於澆置過程中加水對混凝土影響。
3. 瞭解施工後檢驗的目的及方式。
4. 瞭解混凝土養護時機及養護方式。
5. 低溫，高溫對混凝土強度之影響及採取施工對策。

摘 要

欲構築良好品質的混凝土結構，必須各種作業（鋼筋、模板、混凝土、水電等）皆能配合完善，因此於混凝土澆置前、中、後要詳加計劃及準備，對於預期可能產生之突發狀況，也應備妥因應措施，承如中庸云“凡事豫則立，不豫則廢”，如此才能減低不良鋼筋混凝土品質的產生機率。



才能澆置低坍度之混凝土

混凝土施工作業包括混凝土澆置、修飾、及養護等工作，這些作業的正確性及其重要性已如前所述，會支配工程的品質，而在混凝土施工作業前各項附屬作業是否符合安全及施工圖規定，對混凝土結構的安全性及耐久性有莫大影響，因為基礎沒處理好，則可能造成不均勻沉陷，模板沒依施工圖執行，以致支撐及繫件不足，小則會爆模變形，大則崩跨造成傷及工作人員之危險；而鋼筋沒依施工圖執行，則可能保護層不足造成鋼筋銹蝕耐久性的問題，或接續長度，或彎鈎不夠，以致危及結構安全性，這些問題均應預防的。在本省夏天天氣酷熱，而冬天風大結構溫度亦相高，故混凝土施工尤應注意以防止混凝土產生裂縫，危及結構之整體性。

一、混凝土澆置前其它檢驗

依照建築技術規則規定混凝土施工需要作各個階段的檢驗，其中新拌混凝土的檢驗如同前述第二及三章之說明，而澆置前檢驗，基礎開挖、模板之安裝及鋼筋的排置在品質管制系統中屬於重要的步驟。

開挖整平線及坡度的設計對排水相當重要，必須確實丈量，開挖基礎位置、尺寸、形狀、排水和表面處理及積水之排除，及舊混凝土表面乳皮之清洗。

模板的主要檢查是否與顧問公司、主管建築單位或營造公司之設計人員所繪製設計的施工圖一致，其檢驗項目如表 6-1。模板必須使得最後所獲得的結構與設計圖及規範規定的形狀、線條、尺寸相符合，模板要求足夠密緻以防止水泥砂漿的滲漏；斜支撐系統必須要間距適當，且接續合宜以確保其應有位置及形狀；同時模板及支撐要詳細審核確實支撐安裝，以免損壞已完成之結構體。

鋼筋的檢驗主要在確保結構安全性及耐久性，基本的方式即檢驗鋼筋的直徑、尺寸、彎曲、彎鈎、鋼筋排置、位置、數量、最小間距、保護層、接續處等與設計圖說一致，並且防止鋼筋外表之污染、鬆脫之物質，見表 6-1 所示。

表 6-1 模板及鋼筋檢驗項目及目的

	檢驗項目	目的
模 板	模板的種類	須與指定種類相同，以防強度不足及漏漿
	模板位置	確保形狀正確
	準線及沉陷規定	確保條條的準確性、沉陷的極限量
	支承、支柱、繫件及間隔器之穩定性	防止不當變形、漏漿、傾倒、危害已完成結構
	模板開口	提供分段澆置之開口是否正確及密合，其它開口是否與施工圖一致
	表面準備	清理表面殘渣、木屑鐵塊、修補孔洞、確保模板密實以防漏漿
	最後清洗	防止表面殘餘粉末、油垢、油脂等有礙外觀之物質
鋼 筋	尺寸（直徑、長度）	確保結構承載力及安全性
	彎曲、彎鉤錨定	
	位置（鋼筋數目；最小間距；最小保護層）	確保安全性，及鋼筋混凝土之耐久性
	接合長度，繫接方法	確保結構承載力
	穩定性（鐵件固定架、座墊及間隔器）	防止鋼筋鬆動及維持保護層厚度
	潔淨（無鬆銹、無油污、油漆及乾灰漿）	保持鋼筋之握裹力
	附屬固定物（位置、穩定性、潔淨）	保持位置，穩定性及其握裹力
	圖上未標示之開口	開口角隅之補強

其它檢驗包括澆置前零星工作，如秤量裝置之校正、拌和設備之運轉狀況、生產效率、連續澆置準備、養護準備、防止陽光、降雨、冷熱氣候作用之準備，人力支援及施工工具之準備及校正等均為施工前重要的工作，必須要列表逐一查核，並經有關人員簽證，必要時應集合有關人員協調，互相支援事項，模擬施工時可能發生之問題，提出解決方案。

二 混凝土施工及檢驗

混凝土施工時，必須查核天氣狀況是否合宜施工，準備作業是否完備，澆置前指定間隔是否詳盡，照明工作之複查。接著進行。配料、拌

和、輸送、澆置、振動、設置施工縫及收縮縫，並進行表面修飾工作。

(1) 配料 (Batching)

混凝土依據所需狀況設計出滿足安全、耐久、經濟及可工作的配比後，接著可大量生產，然而為確保品質符合所需，配料時必要加以確保配比的正確性，尤其在含水量的調整上。一般配料係以重量為基準，如此可以精確且快速而減少含水量變異的影響。依據 ASTM C94 的規定，重量的誤差不可超過表 6-2 之範圍。

配料除了重量配比正確外，材料的均勻性也是重要的，一般均採用配料機具 (Batching Equipment) 來達成此項任務，這些機具包括有人工操作 (Manual)、半自動 (Semi automatic) 及全自動 (Fully Automatic) 等，配料機具愈是自動化，其材料的均勻性比率也愈精確，但是由於電子化裝置，機具需特別清理保養，否則會有嚴重誤差產生。另外材料在配料前的堆放，也需注意防止析離的發生，如此才可確保材料的均勻性，滿足所要求的範圍。骨材含水量是相當重要的，品質管制師需不斷測定含水量，隨時校正用水量及配比，否則稍一疏忽即會造成品質嚴重差異；同時也要測定混凝土之產量。

(2) 拌和 (Mixing)

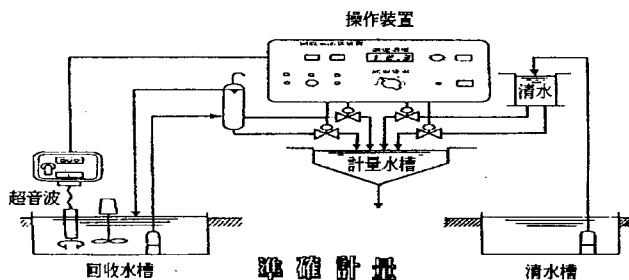
充分的拌和是達到品質均勻一致的重要過程。拌和不當除會造成低強度外，尚會有極大的品質差異，然而過度的拌和非但不能進一步改善混凝土品質反而會影響拌和廠的生產量。一般就經濟上來說，拌和時間以不超過 2 分鐘為宜，但還要依拌和機具的型式、使用狀況、旋轉速度、拌和容量及材料性質而定。一般拌和時間常以下列公式做參考。

$$\text{拌和時間, } t_m = \left(1 + \frac{n-1}{4} \right)$$

式中 n 表拌和數量 (m^3)

表 6-2 ASTM 規定配料容許誤差

材 料	個別誤差值 (%)	容積誤差值 (%)
水 泥	± 1	± 1
水	± 1	無
骨 材	± 2	± 1
摻 料	± 3	無 (但波索蘭則有)



近年來都市土木建築大量發展，在現場拌和混凝土的機率相對下降，轉而為預拌混凝土 (Ready-Mixed Concrete) 所取代，這種方式由於有較高素質及相當實務經驗的操作人員，可能品質控制較佳。然而由於中心拌和廠離現場較遠，混凝土到達工地時可再拌和或加強塑劑摻料使坍度適度恢復，但切記不可加水，否則會造成品質的變異。此階段應觀察混凝土之含氣量、溫度、坍度，並查核拌和均勻性，預拌車超載現象，轉速及混凝土數量。

(3) 混凝土的輸送 (Transportation)

由於場地及品質要求的關係，且中心拌和廠常遠離現場或澆置區域致一般機具無法靠近，因此輸送混凝土是項重要的過程。輸送方式甚多，包括吊車和吊桶、手推車、滑槽和輸送帶、車輛、壓送機 (Pumping) 等等見表 6-3，但均取決於數量、施工方式、施工位置、拌和機位置及成本等的考慮，基本上應避免材料析離，及混凝土中斷、防止暴露於熱、冷、濕的空氣中及直接日

照下，並防止過硬或過乾燥，及規定澆置時間之限制。

表 6-3 混凝土輸送的一般方式

方 式	應 用 狀 況	能 力	備 註
卡車 (有攪拌器者)	預拌混凝土	4~9m ³	高至1.5小時/每次
卡車或軌車 (無攪拌器) (Truck or Rail Cars)	由鄰近拌和廠	4~9m ³	30~45分鐘/每次, 避免過濕或過乾 [坍度以12~50mm (1/2~2吋) 為宜]
吊桶或攪車吊斗 (Buckets or Skips)	現場, 可由鄰近拌和廠輸送	高至6m ³	需配合吊車或索
動力推斗車 (Power Buggies)	現 場	高至75m ³	需要非常好的平台, 無法垂直輸送
手推車 (Wheelbarrows)	現 場	大約0.03m ³	適用小工程
輸送帶 (Belt Conveyors)	現 場	高至115m ³ /h	避免過濕, 需用凝聚性配比, 坍度3吋
壓送機 (Pumping)	現 場	高至75m ³ /h	配比需特別設計

(4) 澆置 (Placement)

澆置不當常造成粗骨材析離, 以致產生蜂窩及氣袋 (Air Pocket) 使混凝土品質受損。一般澆置的法則是使混凝土“垂直落下, 但並非自由墜下或碰撞它物”。澆置的方式依構造物的特徵而定, 但把握上項法則應可確保最佳的結果, 故澆置應可能直接澆置於其最終位置, 以免再移送或流動而造成分離; 澆置之速率應使混凝土隨時俱塑性流入鋼筋間之空隙; 已部份硬化或污染之混凝土不得澆置入結構體; 澆置作業應連續至邊界或預定工作縫處之構造完成才能中止。檢驗工作應注意均勻及密緻, 連續作業之澆置順序, 新舊接觸面之清洗處理, 混凝土全不碰擊模板或鋼筋, 澆置層厚度不得超過規範之規定, 過硬混凝土之退料等事項。

(5) 搗實 (Consolidation) 及表面修飾

混凝土一旦澆置完成, 需以適當器械進行搗實工作, 以除去孔隙、陷入之空氣 (Entrapped Air) 避免蜂窩現象並使混凝土

充分填實模板角隅及鋼筋之周遭。使用振動器 (Vibrators) 來搗實混凝土，適當振動會使較低坍度的混凝土易工作，並且造成良好的表面特性。坍度大於 2 吋的混凝土可用手搗實，但仍無法除去陷入的空氣，因此一般建議使用振動機，但振動機使用時視其頻率而決定振動時間，不可過度否則會產生泌水及喪失輸氣量，原則上可振動 10 ~ 20 秒，至氣泡上昇速率減緩及水泥漿冒出振動機邊緣止。初振搗實後 1 至 2 小時可再振動搗實，如此可以免除裂縫、孔隙、上下混凝土界面及其它弱點。

除了振動器外，對於平坦表面的搗實可採用真空卻水裝置 (Vacuum Dewatering)，以使表面約 15 至 30 公分厚之版之水份失去 15 至 25%，這樣會降低表面之水灰比，免得由於泌水造成有水灰比過高現象，其效果為提高混凝土表面的強度及增加耐磨性能。混凝土搗實後即應以刮板適當整平，並利用合宜之工具進行表面修飾。

(6) 施工縫

施工縫的設置為混凝土每日施工完成造成不同時間澆置混凝土之分離區域，圖 6-1 及圖 6-2 為數種適用之施工縫。通常樓地板之施工縫設置與控制縫或隔離縫一致，其基本設置要求為不得嚴重損害結構物之安全強度，故須俱適當形狀以傳遞剪力及其它作用力，通常樓板之施工縫設置在版或梁跨度的中央附近，若梁與大梁在該處相交，則大樑之工作縫應離交接處兩倍梁寬之距離設置。施工縫的位置一般均在設計階段即予考慮，其形狀處理要求能保持新舊混凝土間之粘結力，檢驗時即針對施工縫之規範及施工圖查驗是否一致即可。

(7) 混凝土的養護

混凝土材料經搗注成所需結構體形狀後，尚沒有強度故需加以適當養護，如此才可促使水化作用順利進行，達到預定齡期所需之強度品質。因為水泥漿體的膠結作用，係透過水化作用來完

成的，而水化作用的化學反應及物理擴散作用和濕度、溫度及時間有著密切的關係，圖 6-3 即顯示養護之重要性。因此充分而適當的濕養護對混凝土品質是非常重要的。基本上，影響養護的因素包括：

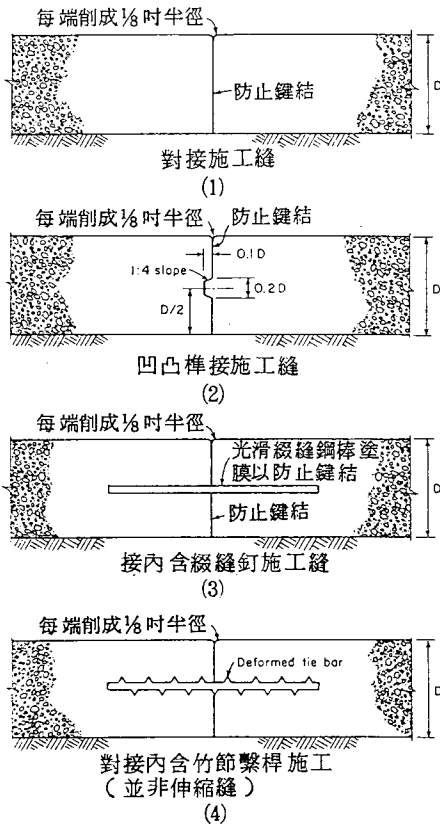


圖 6-1 施工縫係設置在施工過程中停止處

(1) (2) (3) 同時可當伸縮縫。

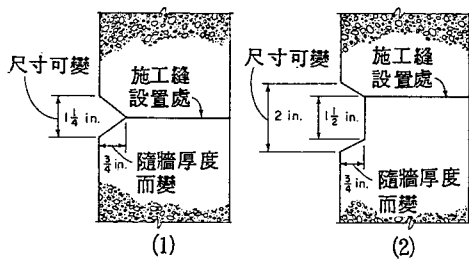


圖 6-2 牆上水平施工縫。(1) V 槽形 (2) 斜面形。

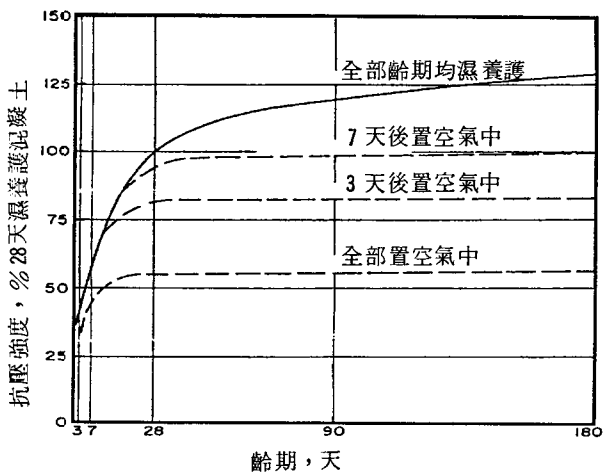


圖 6-3 混凝土之強度在濕度及溫度適當
水泥水化之條件下隨齡期而增加

1. 間歇養護 (Interrupted Curing)

實際混凝土結構物常受到乾—濕交互作用，雖然濕時水化可繼續，但乾—濕作用頻率過多，混凝土表面及裡面乾濕程度不同而造成差異應力，致產生裂痕，混凝土因此失去整體性，強度會減損。

2. 相對濕度的影響 (Relative Humidity, RH)

相對濕度稍小於 100% 時，水泥仍然利用部份毛細管水而繼續水化作用，但是若相對濕度低於 80% 時，水泥之水化會全面中止，特別是水灰比較低的混凝土而言；若新拌混凝土剛施工完成，過低的濕度會造成嚴重的塑性收縮 (Plastic Shrinkage) 而降低品質。

3. 溫度的影響 (Temperature)

不當的溫度變化會使混凝土產生差異變形或差異應力，而使混凝土失去整體性，養護溫度低於 10℃ 亦將影響早期強度之發展，而 -10℃ 則必無法試驗故必須超過 -10℃？

4. 養護時間的影響

養護時間愈長當然水化愈完全，混凝土品質也愈佳，一般在施工地點並無法永遠或長期養護，但是至少需 7 天以上才可。養護的方法有很多種，依特徵上可區分為水養護 (Water Curing)、封面養護 (Sealed Curing) 及加速養護 (Accelerate Curing) 三種。水養護適合一般工程，其效果在沒有特殊設備的狀況下最佳，其策略可為儲水 (Ponding)、噴水 (Spraying)、洒水 (Sprinkling)、覆蓋濕物 (Coverings)。封面養護的效果最差，但方便且易實施。加速養護係利用成熟度的觀念來提早養護效果達到早期拆模縮短工期的目的，加速養護方法製成之混凝土耐久性應與一般方法相同，其拆模時間亦視強度發展情形而定，其養護適當與否應予輔助試驗加以驗證。

三. 混凝土施工後檢驗

混凝土施工後即應適當保護以防止不當之損壞，避免外物之衝擊，不可提早加載，免受到毀損。

拆模時間的決定基本原則，除非結構體與支撐俱有足夠強度，能安全支撐本身重量及其上載重，建造中結構體任何部份不得承受施工載重，亦不得拆除支撐；並須以工地養護之試體強度與結構分析證明之；必要時主管機關得要求報備。拆除支撐後，施工中結構體施工載重不得超過靜載重與規定活載重之和，除非分析證明俱有足夠強度。拆模時不得損害結構體之安全與適用性，拆模後混凝土須俱足夠強度以防受損。預力混凝土於施預力後能承受其自重及施工載重，方可拆除模板及支撐。模板拆除後表面缺陷及蜂窩應立即加以修補，故檢驗者應配合工地狀況依數據決定拆模之適當時機。最後在混凝土具適當強度即進行切控制縫之工作，切縫的原因係基於混凝土之乾燥收縮行為的本質。係無法避免之性質，故必要事先加以規範。其適當位置以免裂縫形成不規則之圖案，並且設法減小裂縫寬度，典型混凝土樓地板接縫之形式如圖 6-4 所示。當然過大之振動亦會造成地板之龜裂，故動力機械及特別柱頭均應以隔離縫與主結構體分離。

四. 熱天混凝土施工

台灣本島屬亞熱帶海洋性氣候，終年炎熱，平均風力甚大普遍造成表面龜裂，冷縫等現象，對混凝土有非常不利的影響，見表 6-4，因為溫度超過 32℃ 的熱天氣候對新拌及硬固均會產生一些困擾，尤其工地通常為了工作性而添加水，造成強度，耐久性，外觀及乾縮的劣化，因此預先防患熱天施築混凝土的困擾則可減輕可能的問題，而使得工程進行順利。

一般規範要求混凝土澆置溫度在 29 至 32℃ 以下，否則必須採取冷卻方法來降溫，尤其室外之作業及暴露面積較大的平面作業，更須注意以確保工程的完美，可能最佳施工溫度在 24 至 38℃ 間，實際上的溫度必須在現場試拌訂定之。

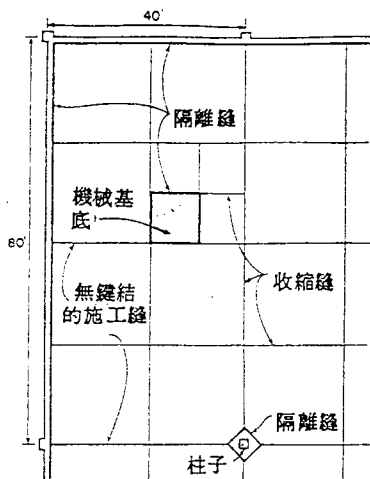


圖 6-4 典型8吋厚混凝土樓地板接縫的佈置圖

表 6-4 熱天對混凝土品質可能之傷害及防止策略

混凝土狀況	問題	預防措施
新拌混凝土	增加需水量 加速坍度損失 增加凝結速率 增加塑性龜裂的傾向 甚難控制輸氣量 迫切需要及早養護	利用冰、冰水、液態氮降低混凝土材料的溫度使混凝土溫度在29或32℃以下。 遮陽、遮雨、噴霧、潤濕工作機具及地板基礎。 極熱天候避免正午及白天施工。
硬固混凝土	減低強度 減低耐久性及水密性 造成外觀不均勻 增加乾燥收縮的傾向	增加工作人員、加速施工速率。 避免拌和、攪動過久。 混凝土必須在1-1/2小時內或300轉內澆置完成。 產生塑性龜裂時立即整平並加強防護。 提早整飾、並加強養護。 添加緩凝劑。

(一) 高混凝土溫度的影響

高混凝土溫度因為加速水化速率，而使混凝土坍度快速減低，通常工地常會加水，來滿足坍度的要求見圖 6-5，造成水灰比昇高而降低混凝土強度及有害其他硬固混凝土需求性質，見表 6-4，若為了保持水灰比的不變必須加入水泥，此舉不僅增加成本，同時也因為水泥增加而提高溫度，亦會影響強度，見圖 6-6 所示，而溫度提高雖早期強度可以提高然而極限強度未必有利。溫度過高也會造成凝結時間的縮短見圖 6-7，而容易造成冷縫或混凝土的不連續性，此刻必須考慮添加緩凝劑來平緩高溫對凝結的影響。

熱天高混凝土溫度增加了混凝土硬固前後龜裂的機率，因為高溫而使蒸發速率提高超過泌水上昇的速率，終至產生塑性裂縫，見圖 6-8，尤其風大，低濕度時間問題更嚴重，圖 6-9 所示為結合溫度，濕度及風速造成蒸發速率提高的結果，經試驗指出蒸發速率超過 $0.1 \text{ 磅} / \text{ft}^2 / \text{hr}$ 時，龜裂即可能會產生，而此種龜裂的可以由數吋至數呎，間距則由數呎至 2 呎，呈規則性狀態。防止塑性裂縫的策略一般如表 6-5 所示。

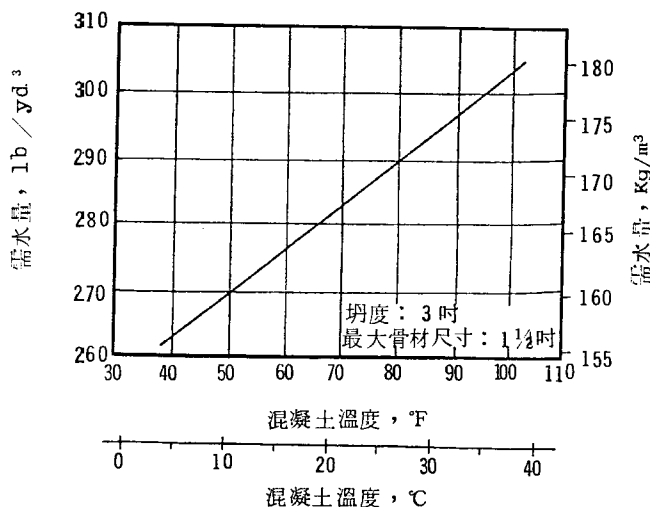


圖 6-5 增加混凝土溫度會增加混凝土配比的需水量

表 6-5 混凝土塑性裂縫的防止

施工狀況	方 法
施工前	1. 收集氣象資料，量測風速、氣溫、相對濕度。 2. 潤濕基層和模板。 3. 潤濕乾燥和會吸水的骨材。 4. 組立臨時擋風阻風設備，減低在混凝土面上之風速。 5. 組立臨時遮陽以減低混凝土表面溫度。
施工中	1. 冷卻骨材和拌和水以保持新拌混凝土之拌和溫度。 2. 當澆置與修飾時有延緩現象發生時，以PE布等臨時覆蓋物遮蓋，以減少表面蒸發。 3. 在最終修飾和養護開始前以高分子蒸發延遲劑噴撒混凝土表面減少蒸發。（注意此類物質不可有害混凝土） 4. 避免施工中的延遲作業，以減少澆置和開始養護的時間。 5. 最後修飾完成立即加以保護，以防水份蒸發。（此最有效） 6. 使用噴霧器以增加空氣中之相對濕度，直到可以其他方法養護時。
龜裂發生時	以鐵板將裂縫二邊壓緊，重新整飾或重新振動再修飾，並立即採取防護措施。

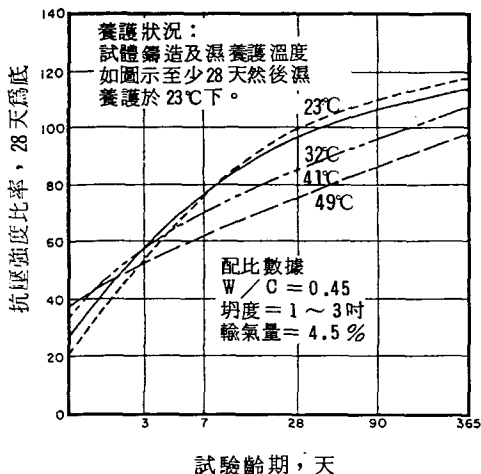


圖 6-6 高混凝土溫度對混凝土強度之影響

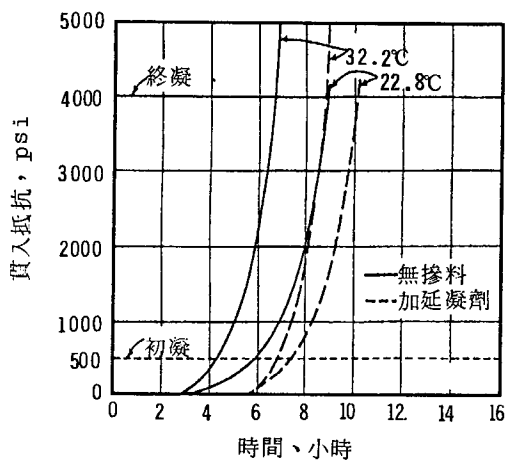


圖 6-7 混凝土溫度及添加緩凝對凝結時間之影響

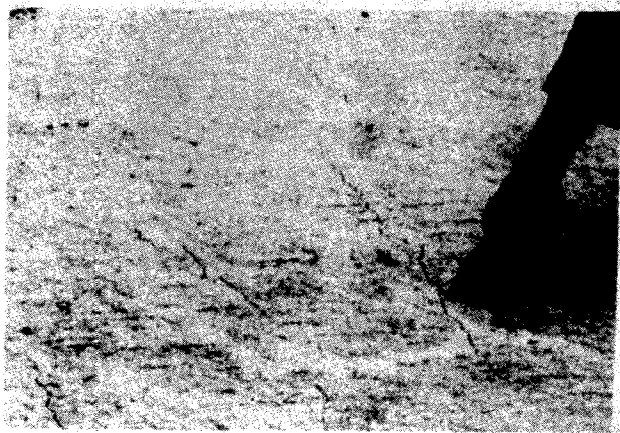


圖 6-8 典型塑性收縮裂縫 (與風向垂直)

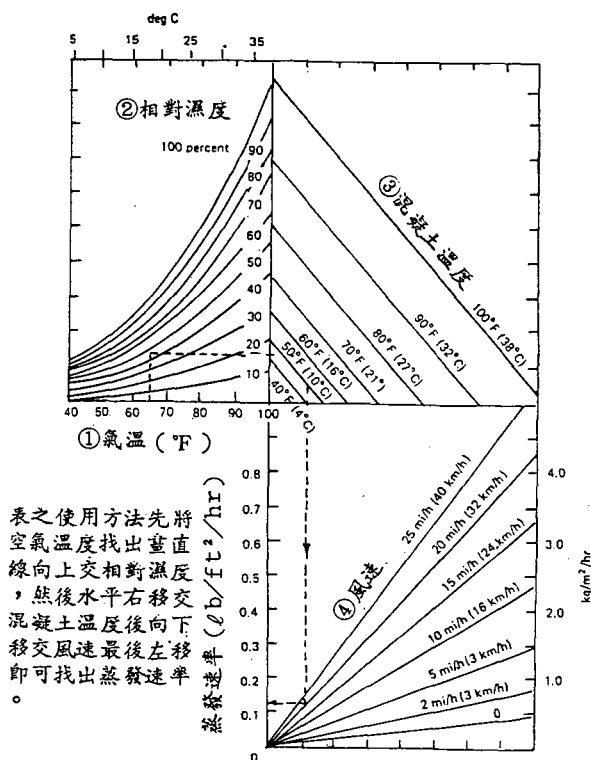


圖 6-9 混凝土溫度和空氣溫度，相對濕度和風速對混凝土週界蒸發速率之影響

氣溫高硬固混凝土會因乾燥收縮的增加或表面熱收縮的變化而可能產生裂縫，影響極限強度及耐久性；若添加輸氣劑，則較高的氣溫下，必須有較高的藥劑以獲得必須的含氣量。

綜合以上可知高大氣溫度所造成的影響甚鉅，因此熱天下應考慮種種預防措施來防止混凝土劣化的基因，最後的方法是採用冷卻方法。

(二) 冷卻混凝土材料的方法

降低混凝土溫度最常採用的方法就是拌和前冷卻其組成材料。組成材料中以骨材量最大，圖 6-10 為降低骨材溫度的效應，水的比熱最大（1），而水泥為造熱因子，因此對此種材料基本上即以降溫度為主，次即想辦法降低水泥的含量降低其水化熱。造成溫度的基本組成，即材料的溫度，比熱和數量，以下公式顯示此種關係。

$$T = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_{wa} W_{wa}}{0.22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}}$$

式中 T 表新拌混凝土溫度

T_a , T_c , T_w 和 T_{wa} 分別表骨材、水泥、水和骨材面上游離水之溫度。

W_a , W_c , W_w 和 W_{wa} 分別表骨材、水泥、水和骨材面上游離水之數量。

0.22為骨材和水泥之比熱。

水的比熱為 1，所以降低水溫最為有效，其降溫之方法係以冷卻法，液態氬或冰來進行，圖 6-11 及 6-12 分別為利用液態氬及冰的裝置來降低水溫的方法。

骨材的溫度可以遮陽、噴水、冷凍、泡冷水、通冷空氣等方法均有效降低骨材的溫度，圖 6-10 顯示降低骨材溫度的效果，因為骨材佔混凝土體積的 70 ~ 85 %，故只要降低骨材 8 °C 即可降低混凝土溫度 5 °C。

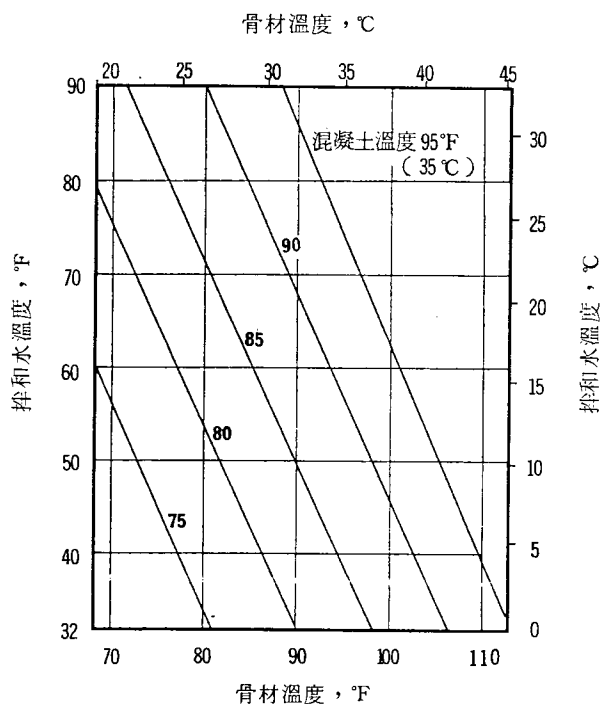


圖 6-10 新拌混凝土溫度受到其組成材料之影響。雖然本圖係以下列配比為主，但仍適用其它配比。

骨材	3000磅(1364公斤)
骨材中之水	60磅(27.3公斤)
拌和水	240磅(107.1公斤)
水泥 (65.6°C)	564磅(256公斤)



圖 6-11 預拌混凝土廠採用液態氮冷卻系統降低水溫。

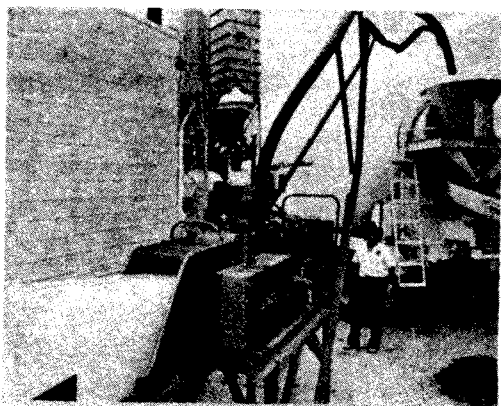


圖 6-12 以冰塊取代部份水可大量降低混凝土溫度。碎冰機將冰打碎再送至車載式拌和機更俱迅速且可靠。

自我評量題目

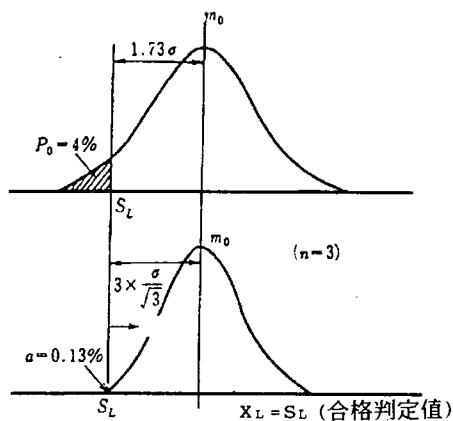
選擇題：

1. 相對濕度低於① 80% ② 90% ③ 50% 時水化會面中止
2. 以下何種接縫，鋼筋必須中斷，混凝土不可結合①施工縫②隔離縫③收縮縫
3. 就施工縫要位於①彎短最大之處②剪力最大之處③隨意皆可
4. 養護的方法以下何種效果較差①水養護②封面養護③加速養護
5. 養護溫度低於① 10 °C ② 9 °C ③ 4 °C 將影響強度的發展

問答題：

1. 熱天對新拌混凝土及硬固混凝土可能產生之問題及預防措施。
2. 簡述防止混凝土塑性裂縫之策略。
3. 請說明施工應進行何種檢驗？注意重點為何？

第七章 混凝土品質管制的觀念及制度



應重視統計品質

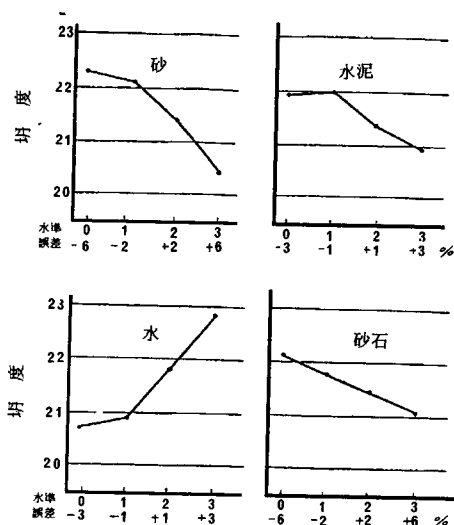
學習目標

1. 了解應用統計學上的基本觀念，做為品控的工具，同時以機率的觀念來定 f_{cr} 及 f'_{c} 。
2. 當混凝土品質不符合規範，身為品管人員要採取的措施及策略為何。
3. 了解混凝土品控的組織架構，及各組織成員的任務為何。
4. 做為品管人員應如何的來建立品控資料及撰寫品質控制報告。

摘要

混凝土的品質控制乃針對各單元材料的基本性質、混凝土試拌、新拌混凝土各種工程性質性質。及硬化混凝土抗壓強度等資料利用統計學方法由各種管制圖表上各樣品試驗值的趨勢進行評估。然後以管理流程P.D.C.A 的觀念謀求問題改善和解決以降低混凝土變異性之產生。

基於機率（可信度）的考慮，混凝土設計強度 f'_c 要採用下限值，以確保混凝土之安全。當發現混凝土不符合要求時不可閉門造車，要透過仲裁的程序來解決問題。混凝土品管制度成功與否建立在合理的評估制度，這制度主要是以人為中心，參與的成員俱有工程素養及盡責的態度，此制度才能成功。



混凝土品質管制係透過混凝土組成材料及性質等專業知識，利用工程統計學的概念，將所得試驗資料配合管制圖，適時控制混凝土品質，使所得到的硬固混凝土材料品質在合理的範圍內。品質管制的目的在兼顧安全、美觀、耐久的大前提下，透過科學管理技術使產品達到經濟性。品質管制嚴格與否，悉視規範要求而定，較嚴格的管制需要試驗數量愈多，成本自然增高，然而可以降低業主（使用者）的風險－結構物較安全，反之則成本減低，品質較劣，施工者（生產者）的風險降低，但結構物安全勘慮。目前台灣地區的建築結構物混凝土品質低劣，除因傳統品質控制方法及觀念不健全外，投資者緊縮預算與生產者惡性搶標及偷工減料亦有莫大之關係，本章即簡述混凝土品質管制的觀念及應有的制度，以提昇國內建築結構物混凝土品質為目的。

一、基本統計學概念

品質控制係為管理技術的一環，基本上，即是透過試驗資料的收集與分析來評鑑品質是否符合規範的要求，謀求改進試驗方法、頻率及準則，使得所獲得之材料品質能在平衡業主與生產者雙方之風險下有合理之基準，見圖 7-1 所示。在混凝土品質管制技術上最常應用的統計曲線為「常態分佈」及「學生－t 分佈」二種，事實上兩者僅是試體數量的差異而已，數量較少時，品質的分佈屬學生－t 分佈曲線，見圖 7-2 之比較圖。大部份材料性質的分佈狀況皆呈常態分佈，因此在分析上為最普及的一種，這種分佈曲線可以平均值（ μ ）及標準差（ σ ）來定義，見公式 7-1 及圖 7-3。

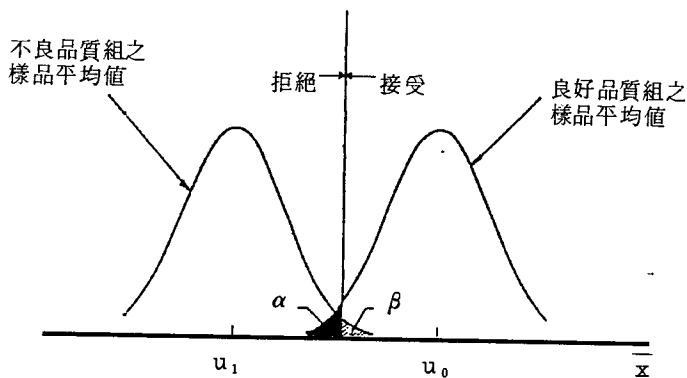


圖 7-1 使用者風險(β)與生產者風險(α)

對品質合格的影響，一般要求 $\alpha = \beta$

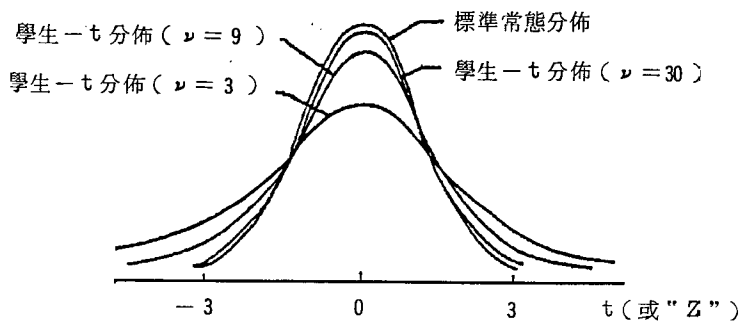


圖 7-2 標準常態分佈與學生-t分佈曲線的比較

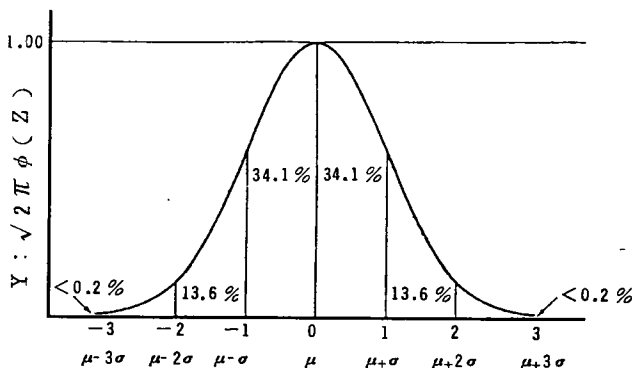


圖 7-3 y與z之關係分佈及常態曲線之面積

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(X - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad \text{公式 7-1}$$

式中 y 表材料之品質（如含水量、單位重、強度、耐久性、透水性等）分佈之出現曲線；

σ 表標準差，其定義為 $\sigma = \sqrt{\sum (X_i - \mu)^2 / NX}$ ；

X 表材料之品質；而

μ 表平均值，定義為 $\mu = \frac{\sum X_i}{N}$

對於變異的大小程度，一般以變異係數（Coefficient of Variation）（ V ）來表示，變異愈大表示品質控制較差，反之則較優，其定義如下。

$$V = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\% \quad \text{公式 7-2}$$

為了簡化分析的方式，以便利用現存之統計圖表，一般常將常態分佈的指數變數值正常化，其方式如下：

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad \text{公式 7-3}$$

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{Z^2}{2} \right] \quad \text{公式 7-4}$$

正常化後，這種鐘形分佈曲線，見圖 7-3，俱有下列之特徵：

1. 在 $Z=0$ （或 $X=\mu$ ）之處為最大縱座標值處。
2. 曲線對稱於 $Z=0$ 點。
3. 在 $Z=\pm 1$ （或 $X=\mu \pm 1\sigma$ ）處，有一反曲點。
4. 位於曲線下之總面積為 1。
5. 位於曲線下某區間範圍之面積，即為出現於該相應區間範圍之機率值。
6. 假如有 n 個標準差， σ_1 ， σ_2 ，..... σ_n ，係造成總標準差 σ 之部份，則其關係為：

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2 \quad \text{公式 7-5}$$

材料檢驗時，取樣數量愈多，當然愈能反應出俱代表性之材料性質，然而這是比較不經濟的，因此一般均取某一數量的樣品，使得所需品質的可信度達到要求的標準。由有限資料所描繪出來的分佈曲線即為學生-t 分佈，見圖 7-2，亦即為樣品平均值分佈曲線，基本上如常態分佈曲線一樣可由樣品平均值 $\bar{X}$ ，及樣品標準差 S ，表示出其特性。

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{公式 7-6}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{公式 7-7}$$

明顯的，除了數量多寡的差異外，學生 - t 分佈公式係將常態分佈之公式內之 σ 以 S 表示而 n 以 $n-1$ 表示。

品質檢驗的數量一般均按標準失誤率（不合格機率）而定出，換言之，即某一品質範圍出現之可信度（機率），可依照公式 7-1 推導出。一般規範均會規定標準範圍、失誤之機率及取樣之頻率，以使所得之品質合乎要求。混凝土品質控制即利用這些基本統計學分析觀念，選定標的物，依設計要求及重要性，訂出要求下限值、品質要求範圍、或上限值，提供品質控制人員之控制依據。目前現行之個人用計算器（科學型）及電腦均有統計學之程式可資利用，對不諳統計理論的工程人員應是相當有幫助的。

二、混凝土品質管制的執行

混凝土品質管制係利用統計學觀念，收集數據資料，分析其平均值及變異數，適時適切掌握品質的動向，通常一般的控制圖形如圖 7-4 所示。一般品質控制常採用“品質控制圖 (Quality Control Chart)”，利用作圖方式描繪品質或其變異程度。控制圖上的資料視規範要求的可信度、極限而異。通常混凝土組成材料及新拌混凝土的品質均是訂定容許界限範圍（上限及下限），而硬固混凝土品質則以最低（下限指定）強度為界限，其可信度視工程重要性而定，可信度愈高，混凝土製作

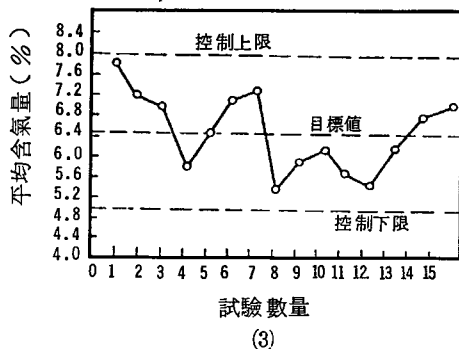
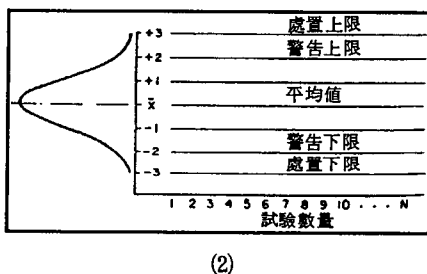
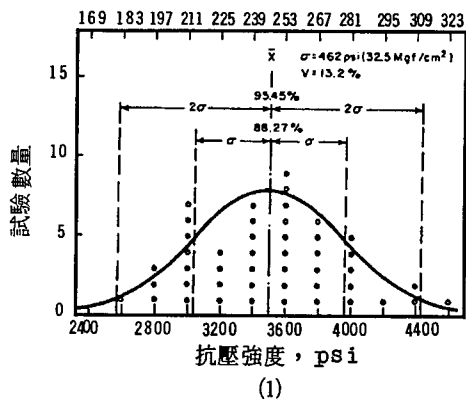


圖 7-4 (1)強度值之頻率分佈及相應常態分佈，
(2)典型統計控制圖，和
(3)含氣量之平均值($\bar{x}$)圖。

典型控制圖，上下限由其側邊之常態分佈圖導出成本也愈高，換言之，混凝土材料品質容許不合格數量愈少則愈不經濟，當然其優點即投資者或業主之風險也愈少。

品質控制圖常用的形式有個別強度、強度移動平均值及差值移動平均等，見圖 7-5 所示，圖上之橫向座標為取樣的數量，而縱向座標則視控制之參數而異。

1. 個別品質圖 (Individual Quality Value) (又稱 $\bar{S}$ - 管制圖)

如圖 7-5(1) 所示，為使用於混凝土強度控制的例子，圖上虛線為要求平均強度 (f'_c) 或平均品質，實線則為特定強度 (f_{cr}) 或要求品質。實線視品質要求條件不同而異，高品質的控制實線與虛線差距較小，反之則大，見圖 7-6。對於組成材料品質及新拌混凝土品質等，因其俱有上下限限制，一般即以上限控制界限 (Upper Control Limit, UCL) 及下限控制界限 (Lower Control Limit, LCL) 分列平均需要品質的上下方，其表示方法如圖 7-4(2) 及 (3) 所示。

特定強度即指設計時材料之品質，如鋼筋混凝土中混凝土設計強度 f'_c ，其控制一般採用下限值，如圖 7-5(1) 以保證混凝土之最低安全，通常本省預拌混凝土採用中值為設計強度這是不正確的，因為倘若以中值為混凝土配比強度，則此混凝土強度之可信度 (機率) 僅為 50% 而已，見圖 7-3，換言之，即製作二個隨機試體，其中會有一個可能不合格，因此對品質而言，須設立一品質控制平均值，其大小表示如下。

$$f_{cr} = f'_c + tS \quad \text{公式 7-8}$$

式中 f_{cr} 表要求平均強度；

f'_c 表特定設計強度；

t 表容許較 f'_c 強度低時之發生頻率常數，一般即統計圖表中的“Z”值，見表 7-1；和

S 表標準差，如公式 7-7，可以計算器直接算出。

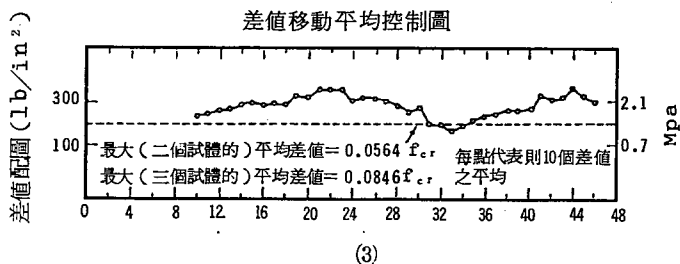
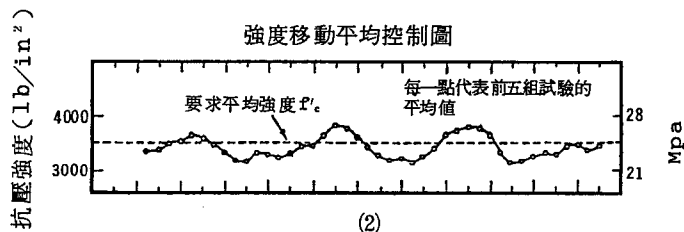
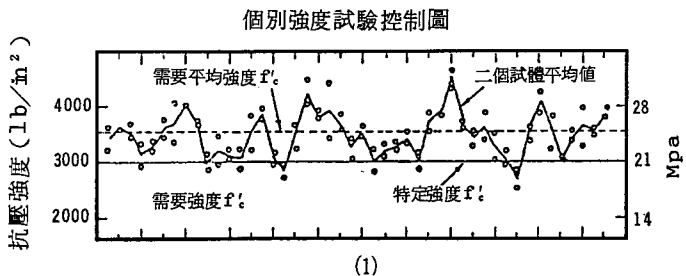


圖 7-5 混凝土強度品質控制圖

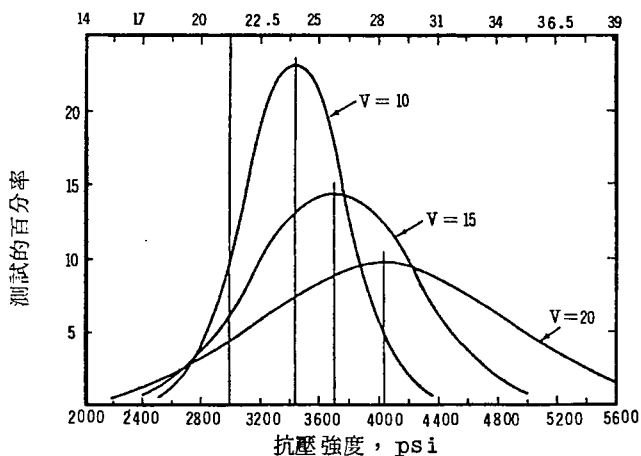


圖 7-6 標準偏異率(10,15,20%)對分佈曲線及平均值的影響，
品質愈好則偏異愈小如10%之V值

表 7-1 容許偏差值 (大值)

試驗結果在 $\mu \pm tS$ 範圍內的百分率(機率)	試驗結果低於最低界限 的 機 會	t
40	每10個有3個, 3/10	0.52
50	每10個有2.5個, 2.5/10	0.67
60	每10 個有2個, 2/10	0.84
68.27	每6.3個有1個, 1/6.3	1.00
70	每10個有1.5個, 1.5/10	1.04
80	每10個有1個, 1/10	1.28
90	每20個有1個, 1/20	1.65
95	每40個有1個, 1/40	1.96
95.45	每44個有1個, 1/44	2.00
98	每100個有1個, 1/100	2.33
99	每200個有1個, 1/200	2.58
99.73	每741個有1個, 1/741	3.00

不過依據 ACI 318-83 第三部份混凝土品質的要求， t 定為 1.34，即其品質之可靠度為 85%，亦即每 15 個試驗組合容許一次不合格，其公式為：

$$f_{cr} = f'_c + 1.34 S \quad \text{公式 7-9}$$

或

$$f_{cr} = f'_c + 2.33 S - 500 \quad \text{公式 7-10}$$

式中之 S 偏差值要求必須由相類似強度之混凝土 30 組連續試驗之數據求出，見圖 3-4，若不類似則須重新求出；倘若數據少於 30 組但多於 15 組，則以第三章配比設計內圖 3-5 方式加以修正；若全然沒有數據則 ACI 以加成方式提高強度以保持標定強度，見圖 3-6 所示。ACI 318-83 的規定建立在統計學觀念上，較傳統舊 ACI 318 嚴格且科學化。

混凝土組成材料的上下限範圍常明文規定在合約施工規範內，例如“細度模數 (FM) 變化量超出 0.20 時須調配比設計”等，此即規定細度模數控制範圍如下：

$$UCL = FM + 0.20 \quad \text{公式 7-11}$$

$$LCL = FM - 0.20 \quad \text{公式 7-12}$$

利用這種控制圖的優點為非常簡便，且隨時看出過低試體數量及散亂情形，然而對於只有下限要求及容許不合格機率的混凝土強度而言，其敏感性較低，因此需配合其它控制圖（如強度移動平均圖）合併使用。

2. 品質移動平均值圖 (Moving Average for Quality)

圖 7-5(2) 為混凝土強度控制的另一例子，圖上每一點係前 5 組（端賴品質管制要求而定）強度試驗的平均值，每組代表 2 至 3 個試體的抗壓強度平均值。明顯的，此種控制圖有較平坦的曲線，一般用來指示季節性變化及施工程序變化等用途。若平均品質超出上下限界時，則須檢討是否由於品質原因，變異過大或施工技术等因素所造成，並謀求對策。

3. 差值移動平均圖 (Moving Average of the Range) 或累積圖 (Cusum) 或 $\bar{R} M$ 控制圖

圖 7-5(3) 即為引用於強度控制的例子，此種控制圖被廣泛應用於北美及美國地區。圖上差值， $\bar{R} M$ ，又稱全距，係最高品質與最低品質之差值，線上每一空心圓點代表前十組試驗品質之差值平均值，虛線表最大平均差值， $\bar{R} M$ ，如公式 7-13。

$$\bar{R} M = \bar{X} \cdot \nu_1 \cdot d_z \quad \text{公式 7-13}$$

式中 $\bar{X}$ 為平均品質或要求品質，如配比強度 f_{cr}

ν_1 為試驗間變異係數，通常為 5% (可以接受範圍)。

d_z 為依照試體數量而定的因素，如 t 及 z 值一般，亦可查表 7-2 求出。

表 7-2 試驗間標準因數

試 體 數 量	d_z
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.970
10	3.078

此種控制圖的特徵為所描繪的點係包括前面數組資料在內，對混凝土品質變異的敏感性較高，因為平均值的變化，在 $\bar{R}-M$ 圖上均會有明顯的產生斜度變化，而此變化（上揚或下墜）均表示品質發生變異，然而此種控制圖不俱 $\bar{S}$ 控制圖的優點，因此通常均合併 $\bar{S}$ 控制圖使用，而稱之 $\bar{S}-R-M$ 控制圖。

混凝土品質控制試驗的進行視品質要求的程度而不同，品質合格與否端賴契約訂立時使用者與生產者間對風險所願接受的程度而定，見圖 7-1，原則上，混凝土品質控制試驗的施行可參考第三章及第四章之規定進行，以獲得所需之品質數據。

三、品質不符合規範時的仲裁措施

混凝土試體製作完成待 7 天或 28 天後進行抗壓試驗一旦發現平均強度或試體強度比最低要求強度低的數量超過規定時，此刻必須有適當的措施（Action）來決定問題所在，謀求解決方案、改變配比設計或修正施工方式、或補強之或者降低服務標準等等，圖 7-7 為一簡要的流程圖說明一般可採行之步驟。

1. 查核取樣和試驗技巧

這是經常發生錯誤的所在，須先依照 ASTM、CNS 或其他標準法查核有否疏忽發生，試驗機具是否缺乏精確性，而需重新校正。若僅有此項而無其他錯誤發生，則可不考慮進一步行動，但為了確保可靠性，建議修正取樣方法或校正機器誤差後現場取數個樣品測試一番。

2. 檢查材料及拌合廠

檢查材料是否符合規定、拌合廠配出之混凝土配比是否穩定及原配比設計是否正確。如果不符規定，明顯的錯在材料供應商，此刻需採取補救措施以改善後續混凝土的生產品質，同時必須加強檢驗材料及控制混凝土生產程序。

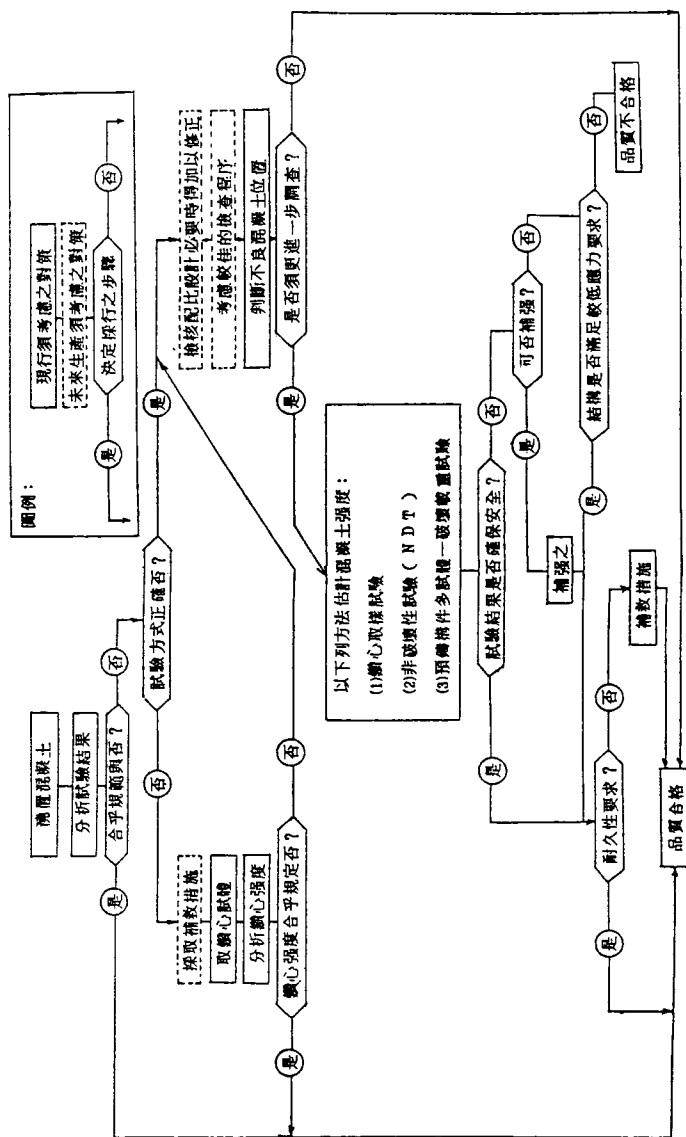


圖 7-7 混凝土品質不符合規範時之仲裁流程圖

3. 檢查結構體上混凝土的品質

雖然表面上前二項步驟很簡單，但有時不見得容易查出問題所在，若問題無法查出時，則有必要估計結構體上混凝土的品質，以做為了解結構體的承載能力 (Load-Carrying Capacity) 的參考，並找出不符合規範之原因，如此方可決定修繕費用的歸屬。本步驟所需之檢核項目包括鑽心及硬度試驗、超音波等非破壞試驗 (Nondestructive Tests) 如第五章所述。而鑽心試體一般 ACI 318-83 及 CSA (加拿大標準局) 規定如下：

- (1) 若強度較 $f'c$ 少 500psi 以上時，則至少需取三組鑽心試體。
- (2) 三組試體之平均值至少需 $0.85 f'c$ 以上，而且其中不能有個別組試體低於 $0.75f'c$ 。

但是鑽心試體的強度與混凝土品質的關係程度可信度並不佳，所以若強度符合 ACI 之規定，當然無問題 (可接受)；可是若不符合，則又有二種可能性發生：品質真的有問題或規範有問題？因此判斷時務必小心謹慎。

4. 評估結構安全程度

如果仍然判定混凝土品質不當，則進一步須估計結構的耐久性與安全性，這項工作包括混凝土強度的決定以及補強鋼筋的位置、數量及尺寸的勘定。利用這些資料可以較有信心的分析出結構的承載能力 (Load-Carrying Capacity)。依此資料，則可決定往後結構所能承受的活載重或服務載重，此刻若結構安全性沒問題，則仍然需要有適當之措施來改進混凝土的耐久性。不過有時依 ACI 318-83 第二十章需進行結構載重試驗，但一般來說這是下下之策，因為不僅費用高、危險性大，而且一旦加上某一最大荷重後，往後結構安全性會產生更嚴重的疲勞問題，同時載重試驗合格並未表示混凝土品質合格，僅表示結構物短期之安全而已。當然，若是結構安全性真有問題而無法補救時，則結構物必須判定不合格，並予以拆除之。

四、混凝土品質管制

混凝土品質管制的成功與否建立在合理的評估制度，依據 ACI 318-83 規定及其補充說明指示，品質檢驗必須由合格勝任的工程人員、建築師或其代表人或獨立檢驗機構來執行，通常由設計者來執行檢驗以明白是否符合其設計為最佳之模式。檢驗制度必須包括品管人員數名，圖 7-8 為組織上設計者與承包商均應有檢驗人員負責品質保證與例行性檢驗，有關設備則參閱相關 ASTM 所需之配備，包括萬能試驗機、試體模、坍度試驗儀器、單位重量測定儀、含氣量測定儀、及其他有關之儀器，見表 7-3 所示。

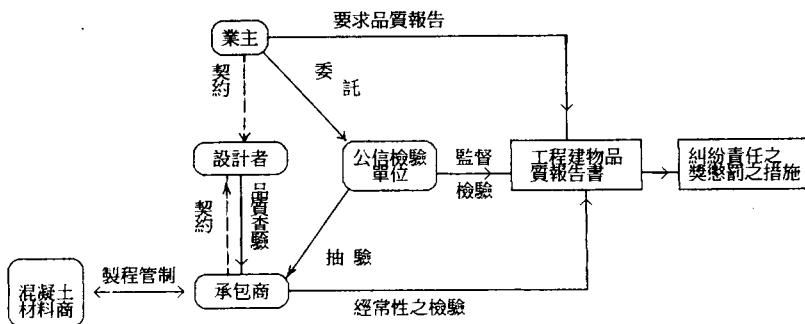


圖 7-8 混凝土品質管制基本組織及任務

表 7-3 混凝土品質所需儀器

試驗狀況		所需主要儀器
新拌 混凝土	含氣量	含氣量測定儀
	單位重	單位重桶
	坍度	坍度錐
硬 固 混 凝 土	抗壓強度	萬能試驗機
	非破壞試驗	反彈錘，超音波，貫入槍
	破壞試驗	鑽心機

五、記錄報告之撰寫

在計劃說明書內，規範及監督機構的規定中，檢查與試驗報告和記錄的撰寫是必要的，大部份報告必須隨計劃的生命期而保存，因此必須簡單且明瞭，完整及可信賴。其中應提供建築狀況的記錄，包括施工過程是否依照計劃規範的證明，以及許多不符合規範而所採取的補救措施，這些可用來解決爭論及做為未來結構物變更時之參考。

明顯地，檢查時詳細的要求係受到許多因素的影響，有些因素對於現場計劃者的權限，合約要求，計劃的大小，計劃的地點，混凝土開始澆置的準確性，混凝土開始澆置量等是完全合理的，在本章中所列的查核事項及表格只能認為係一種建議而不是強制性的規定。在許多計劃中，圖表被發現非常適用，通常設計工程師，必須決定選擇那一個及如何使用，以符合合理的要求及業主的需要。正如在準備設計及規範以符合每一特殊計劃要求，將決定每一計劃檢查的要求，及證明所需的記錄和報告。本章結尾所附的查核表及報告格式將很有幫助，但不能亦不應胡亂地使用在每一計劃上，而有用的必須能符合各別計劃所控制的合法性

及特殊的需要而變。本章結尾亦附上八張簡單的格式。

1. 品質控制圖表

有些記錄及報告是用來控制施工及確保進度採取之修正措施以避免次標準的品質。此類典型的記錄包括在“混凝土強度試驗結果評估建議策略”(ACI 214)中。早期強度資料繪出以提供表示品質趨勢的圖形。圖表亦可用來建立已完成或標示出其中指定強度標準，以便採取修正措施。

2. 配料廠及拌合檢查

生產配料之前，混凝土配料及拌合檢查包括曾被使用的適當材料，適當的比例配合及適當完整的拌合所需試驗文件及證明；證明配料廠是否符合規範標準，依美國預拌混凝土協會出版合格一致的品質或工廠的檢查報告包括有校正結果，均勻性試驗，及工廠的狀況。配比均勻性試驗報告應以類似於計劃的配合比例及材料為基準。中央拌合機適當拌和時間或卡車拌合機轉數應加以證明及記錄。工廠的秤料設備性能須符合各別材料重量精度之指定要求，並加以證明及記錄。

3. 預先配料檢查報告

預先配料檢查報告可包括下列事項：

- (1) 確定磅秤在使用前已經校正，試驗重量精度及磅秤的合格證明，應顯示出在易見的地方以備檢查，其中亦應包括有效日期及新校正的日期。
- (2) 確認拌和水量測裝置及摻料添加機已適當地校正且仍在有效日期內。
- (3) 確認水份補償已經使用適用可行的試驗方法加以校正。

4. 混凝土製造檢查記錄

下面有些查核事項是在日常作業中執行的，而端賴狀況及規範而定。配料廠及中央拌合廠的檢查應加以查對並提出文件證明。

142 建築結構物混凝土品質保證檢驗與制度

- (1) 水泥及骨材的儲存符合規範及適當的標準。
- (2) 每一指定的澆置有充足可用的量。
- (3) 依計劃程序澆置中斷及所需的適當拌和行為。此能經由完成混凝土澆置卡而獲得證明，見表7-4及7-5之範例。
- (4) 自動水份補償裝置以調整細骨材表面的含水狀況顯示時間、數量，及真正試驗結果的相關性。
- (5) 為粗骨材而製定的水份補償，標示時間，數量及與真實試驗結果的相關性。
- (6) 記錄材料的水份以證明符合規範要求。
- (7) 證明使用適當的配料卡，包括拌合時間，若必要時可以均勻試驗證明其拌合時間。
- (8) 查對秤的比例及與記錄器相符性。
- (9) 查對使用的總水量，並比較保持允許配比水灰比的差值。

5. 混凝土廠日常性檢查報告應至少包括下列事項：

- (1) 日期
- (2) 各級混凝土總產量
- (3) 澆置證明
- (4) 水泥型別、廠牌及進廠與使用日期
- (5) 骨材含水量
- (6) 中央拌合機拌合時間

6. 混凝土拌合卡車報告

當使用預拌混凝土卡車拌合，報告應包括下面檢查結果以符合指定限制：

- (1) 拌和及攪動轉速
- (2) 依指定限制配料後混凝土運送時間
- (3) 總水量、包括添加的拌和水，以顯示符合水灰比之要求

表7-4(1)拌和廠檢查報告例

拌 合 廠 檢 查 報 告			
計 劃 名 稱：		日 期：	
報 告 編 號：			
拌 合 編 號	體 積 (立方米)	出 料 單 (卡) 號 碼	

拌合開始時間：_____拌合完成時間_____

天 氣 狀 況：_____

澆 置 位 置：_____

拌合廠延遲：_____

備 註：_____

檢 查 者：_____ 日 期：_____

表7-4(2)拌和廠檢查報告例

檢 查 項 目	評 定 等 級-打 (✓)					備 註				
	優	良	好	普	通	不	良	備	註	
膠料儲存設備										
水泥倉的狀況										
骨材儲存堆的狀況										
運送卡車的狀況										
列印報表資料的可靠性										
熱/冷氣候的應變措施										
工廠整體運作										
管 理										
時 間 (見提示1)	運送卡車號碼 (見提示2)	空 氣 溫度(℃)	水 溫 (℃)	混凝土 溫度(℃)	細 骨 材 含水量(%)	粗 骨 材 含 水 量 (%)				容 許 水 □ 公 升 □ 公 升 (見提示3)
						#4	#67	#57	#8	
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										
AM										
PM										

提 示 :

1. 反複取樣進行含水量試驗
2. 進行此項試驗以獲取所需資料的第一輛運送卡車的號碼
3. 容許的總用水量

表 7-5 混凝土澆置卡例

混 凝 土 澆 置 卡				
預 先 澆 置		查 核 記 錄		
關係安全 是 ☐ 否 ☐		預定澆置日期 _____		
澆置號碼 _____		澆置日期 _____		
承 包 商 _____		合約號碼 _____		
位 置 _____				
高 程 _____ 至 _____		修飾 _____		
混凝土等級 _____				
參考施工圖 _____				
項 目	監 工 簽 名	日 期	S.12	
			QC	日期
底 層 準 備				
鋼 筋				
結構性埋設物				
泵 送	系 統			
	埋入物			
電力	接 地			
	傳 導			
	埋入物			
木工	模 板			
	埋入物			
	止水板			
其 他				
線 條 & 坡 度				
最 後 許 可				
承 包 商 負 責 人				
QCA(相關安全)				

(正面)

(反面)

表 7-6 混凝土澆置卡例

混 凝 土 澆 置 卡	
混凝土開始澆置時間_____	混凝土完成澆置時間_____
混凝土依規範進行澆置及振實	
意見：_____	

承包商監工_____	
說明：“意見”欄內係記述在混凝土澆置時遭受到不正常的狀況或困難致影響澆置及混凝土品質；同時任何對承包商的指示及採取的措施。	

表 7-7 水泥試驗表格例

水 泥 試 驗									
廠牌及型別：					來源：				
用途：		試驗編號			日期				
物 理 試 驗									
樣品編號	健性	凝結時間(維卡針)		抗壓強度(psi)			含氣量(%) (體積計)	比表面積 cm ² / g	
	高壓蒸汽 膨脹率(%)	初 凝 小時：分	終 凝 小時：分	(3個平均)					
				3天	7天	28天			
規範要求	最大0.8	最少45分	最大8小時	最小1500	最小2500	最小3500	最大12.0	最小2800	
化 學 分 析									
樣品編號	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	燒失量	不溶物 殘留量	C ₃ S	C ₃ A
規範要求	最少21.0	最大6.0	最大6.0	最大5.0	最大3.0	最大3.0	最大0.75		最大8.0
意見：									
材料 是 ☐ 不 ☐ 符合規範要求。 _____									
				試驗者		覆核者		日期	

表 7-8 混凝土骨材試驗報告例

混 凝 土 骨 材													
試 驗 報 告													
用途：		報告號碼：		日期：									
粗骨材來源：		細骨材來源：											
粗骨材取樣：		細骨材取樣：											
日期		日期											
時間		時間											
位置		位置											
骨材級配通過率—ASTM C136													
篩尺寸	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	NO.4	NO.8	NO.16	NO.30	NO.50	NO.100	F.M
細骨材													
規範						100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10	2.3-3.1
NO.6粗骨材													
規範					100	85-100	10-30	0-10	0-5				
NO.67粗骨材													
規範			100	90-100		20-55	0-10	0-5					
NO.57粗骨材													
規範		100	95-100		25-60		0-10	0-5					
NO.4粗骨材													
規範	100	90-100	20-55		0-5								
意見：接受 / 退回													
骨材有害物質——小於200號篩物質—ASTM C117													
骨材尺寸	細骨材	NO.8	NO.67	NO.57	NO.4								
小於200號													
規範	最大3.0%	最大±1.0%	最大±1.0%	最大±1.0%	最大±1.0%								
意見：接受 / 退回													
*若材料小於200號物質高至1.5%係因顆粒破碎的塵灰則可接受。													
意見：_____ 監督者：_____													

表 7-9 骨材試驗週報告例

混 凝 土 骨 材 試 驗					
週 報 告					
代表 月 日 至 月 日					
細骨材來源：_____			有機不淨物－ASTM C-40		
取樣日期：_____			試驗值_____		
地 點：_____			規範：NO.3 標準或更少		
結果(可)(不可)接受			*大於NO.3 標準是可接受假設褐色係 主要因少量的煤或褐煤		
混 凝 土 骨 材					
月 報 告					
代 表 月					
粗骨材來源：_____			細骨材來源：_____		
取樣日期：_____			取樣日期：_____		
地 點：_____			地 點：_____		
骨材內粘土塊－ASTM C142(易碎顆粒)					
骨材尺寸	細骨材	NO.8	NO.67	NO.57	NO.4
%易碎					
規範	最大3.0%	最大5.0%	最大5.0%	最大5.0%	最大5.0%
意見：接受 / 退回					
骨材內柔軟顆粒－ASTM C235					
骨材尺寸	NO.8	NO.67	NO.57	NO.4	
% 柔軟					
規範	最大5.0%	最大5.0%	最大5.0%	最大5.0%	
意見：接受 / 退回					
意見：					
監督者：_____					

表 7-10 混凝土現場試驗資料卡例

混 凝 土 現 場 試 驗 資 料 卡							
工程名稱：				承包商：		報告編號：_____ 日期：	
構造物位置：							
澆置卡編號：				混凝土等級：			
時 間	卡車編號	坍度 (cm)	含氣量 (%)	混凝土溫度 (°C)	空氣溫度 (°C)	單位重 (kg/m ³)	備 註
意見：試驗結果是否符合規範要求_____							
試驗設備		規範要求		含氣量儀號碼： 溫度計號碼： 單位重桶號碼： 含氣量% 溫度 (°C) 最大 最小 坍度 (cm) 最大 編 號 混凝土品質控制 覆 核 者 日 期			

7. 混凝土澆置

為輔助品質評估，混凝土澆置報告應在指定的時間內，包括下列資料：

- (1) 輸氣量 (列出規範限制及試驗方法)
- (2) 新拌混凝土溫度
- (3) 坍度 (列出規範限制及試驗方法)
- (4) 試驗圓柱體的識別及位置，包括卡車，裝載編號，及取樣時間
- (5) 日期
- (6) 澆置位置 (結構的位置) 及澆置編號
- (7) 計畫及結構
- (8) 天候狀況，包括周圍溫度
- (9) 澆置開始及結束時間
- (10) 混凝土澆置的數量
- (11) 混凝土退回及數量
- (12) 檢查者簽名
- (13) 混凝土等級
- (14) 澆置及振實
- (15) 養護及保護的方法
- (16) 現場加水
- (17) 延時
- (18) 模板及鋼筋狀況

8. 混凝土澆置卡

有些大型的營建計劃使用一系列混凝土澆置卡，以控制各種預先澆置的狀況，這些卡包含混凝土澆置前每一必須採取應加以確認的措施，監督者負責並簽名及標註日期，當所有圖說及規範的要求已依措施指定的澆置加以完成這些範圍包括底層、施工縫、模板鋼筋及埋入物、電管及電線埋入物、水管及埋入物、及結構埋入物。通常負責的工程師或總監督者須確

認所有措施的正確性並同意混凝土的澆置。

9. 混凝土運送單

混凝土供應商通常針對每批混凝土提出一運送單，做為配比及運送數量的證明，內容須包括：

- (1) 預拌混凝土配料廠的名稱
- (2) 單據的序列號碼
- (3) 日期及卡車的號碼
- (4) 合約廠的名稱
- (5) 工程中的特定稱呼 (名稱及位置)
- (6) 符合工程規範要求之混凝土等級及名稱
- (7) 混凝土運送量 (立方碼)
- (8) 拌合機裝載的時間或水泥和骨材初次拌合的時間
- (9) 抵達工地的時間
- (10) 開始卸載的時間
- (11) 完成輸送的時間
- (12) 混凝土初始用水量及後續加入的水量
- (13) 摻料的型別、名稱及數量

其他在運送單上可能包括的項目有：

- (1) 初次加水旋轉計數器的轉數
- (2) 預拌混凝土廠代表的簽名
- (3) 水泥型別及廠牌
- (4) 水泥量
- (5) 生產者總共加入的水量
- (6) 骨材最大粒徑
- (7) 細及粗骨材的重量
- (8) 骨材的自由水
- (9) 指示所有的材料如先前所簽發同意的一樣

運送單可依計畫規範需要提供許多其他的資料，例如，一份有關列印

每一配料的複本（由配料系統中直接列印的設備單元中獲得），包括依採購者的需要由製造商提供所有材料的真實重量資料。

1.0 一般記錄的要求

檢查及試驗記錄應包括下列項目：

- （1）檢查方式的描述
- （2）生產製造或試驗作業完成的證明
- （3）試驗的日期及結果
- （4）有關不符合的資料
- （5）檢查者或資料記錄器的證明
- （6）結果可接受性的聲明？
- （7）檢查者或試驗技術人員的簽名

1.1 記錄的保存

規範、計劃說明書要求的所有記錄或適當的程序應加以保存在一安全儲存區，這些記錄應適當的存檔以供臨時取出及保持一段所需使用的時間，至少，所有記錄應加以確認及列成目錄標出保存時間，儲存位置及記錄在儲存區的位置。

儲存保護在一防火的櫥櫃，具某種程度的防火性（變通的方法，是將複印的記錄存在另外不同的建築物內）記錄應附在固定夾，放在紙夾內或單獨地保存，並應保護防止凝結水份的作用或惡化，特別的記錄如微縮膠片應依製造商指示加以儲存。

關 鍵 字

常態分佈 (Normal distribution)	隨機 (Random)
學生-t分佈 (Student-t distribution)	可信度 (reliability)
風險 (risk)	品質移動平均值圖 (Moving average for quality chart)
變異係數 (Coefficient of Variation)	差值移動平均圖 (Moving average of the range chart)
機率 (probability)	全距 (Range)
品質控制圖 (Quality Control Chart)	拌合廠 (Batch plant)
個別品質圖 (Individual quality value chart)	承載能力 (Load-carrying capacity)
上限控制界限 (Upper control limit)	品質趨勢 (Quality tendency)
下限控制界限 (Lower control limit)	中央拌合廠 (Central-mixed plant)

自我評量題目

選擇題：

1. 就常態分配 $\pm 1\sigma$ 其所含蓋之面積
① 68.2% ② 95.4% ③ 99.6%
2. 規範上 (ACI)，強度 f'_c 少 500psi 以上時，則至少需取
① 4 個 ② 5 個 ③ 3 個 ④ 2 個鑽心試驗。
3. 試體數量較少屬
① 標準常態分佈 ② 學生-T 分佈 ③ β 分佈
4. 當進行載重試驗後認為安全有問題時，應
① 無所謂 ② 假造資料 ③ 拆除
5. f_{cr}
① 與 f'_c 一樣 ② 比 f'_c 高 ③ 比 f'_c 低

問答題：

1. 規範對鑽心試驗之混凝土品質控制要求如何？
2. 請敘述品質控制圖的特性，並舉例說明之。
3. 如何決定 f_{cr} 之設計值？
4. 當發現混凝土不符合規範時要如何處置。

156 建築結構物混凝土品質保證檢驗與制度

第八章 問題混凝土評估及處理

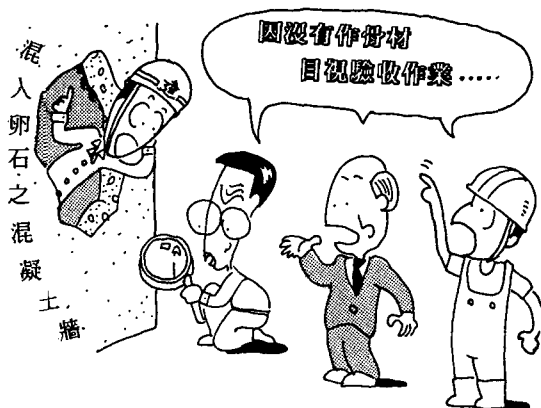


學習目標

1. 了解鋼筋及混凝土材料病變的機理及採取預防策略。
2. 判斷鋼筋混凝土的病變，應採取的處置流程及補救方法。
3. 事前預防鋼筋混凝土病態產生之重要性。
4. 了解診斷維修的技術及處理方法。

摘 要

本省公共工程的品質，一向為人所詬病。造成的因素很多，制度不健全，施工不良，對材料性質認識不清，使用材料未和外在環境配合。從材料行為的觀點，忽視了產生材料病變的機理，當外觀病變產生，已病入膏肓，要付出很高的代價。所以事先對材料病變機理深入了解，材料的使用和外在環境相配合，才能防微杜漸。



鋼筋混凝土一般弊病

通常設計師、建築師和土木工程師所注重的是鋼筋混凝土材料的經濟性與強度性質，然而近年來陸續發現鋼筋混凝土結構物有嚴重的龜裂及破壞現象。在美國地區 1970 年代建立的橋樑結構物，年來發覺嚴重的鋼筋腐蝕問題，本省也有類似之案例其中尤以澎湖大橋最為嚴重，其有關混凝土破壞龜裂的案例不勝枚舉。在美國 1980 年代初期即耗費了超過 2 千 5 百萬美元的費用來進行全美數千座橋樑之修復，本省澎湖大橋亦投資不少修復費用，目前卻落到拆除「擴建」的地步，其嚴重程度可以想見。此等案例更提醒了海域鋼筋混凝土及其它處在乾燥及潮濕更迭環境下鋼筋混凝土的設計者、監造者及使用者能對鋼筋混凝土耐久性提高注意。

事實上，在大部份的環境下，混凝土在嚴格品管、施工、養護的狀況，應是相當經久耐用的，然而混凝土本質上由於組成材料間性質差異、材料間反應作用及材料析離傾向；周遭環境溫度、濕度、化學侵蝕物質存在與變化；載重狀況不同等原因，使多孔易脆的混凝土先由內部形成微觀裂縫而逐漸向外或先由表面裂開造成巨觀裂縫，形成美觀上耐久性上，或安全上的缺陷。通常在混凝土巨觀裂縫被發覺前，內部可能已形成相當嚴重的損壞與破裂，若能瞭解混凝土病變形成的機理，而建造之先或在病變發生前即加以有效之防患，或已發生病變之混凝土得以儘早適當修補，則可使混凝土維持適當的安全性與耐久性。

鋼筋混凝土病變形成的基本原因可由物理（Physical）與化學（Chemical）作用二方面加以探討，見圖 8-1、8-2 及表 8-1 所示，而這些均與水有密切關係。物理的作用力，常見者包括冰凍作用（Frost）、乾濕作用（Wetting and Drying）、高溫作用（High temperature）、表面磨損（Surface Wear）；而化學作用力則包括溶解與析晶（Leaching and Precipitation）、酸中和作用（Acidic Attack）、膨脹性鹼矽反應作用（Alkalie Silicate）、硫酸鹽侵蝕（Sulfate attack）、鋼筋腐蝕（Corrosion of Steel）。本質上，此等

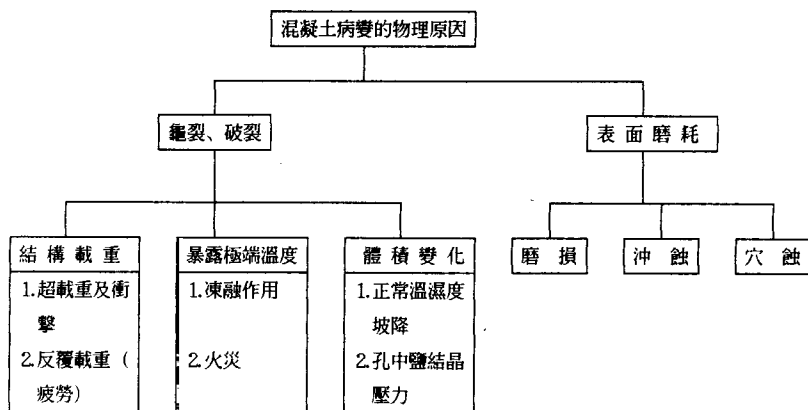


圖 8-1 混凝土病變的物理作用因素

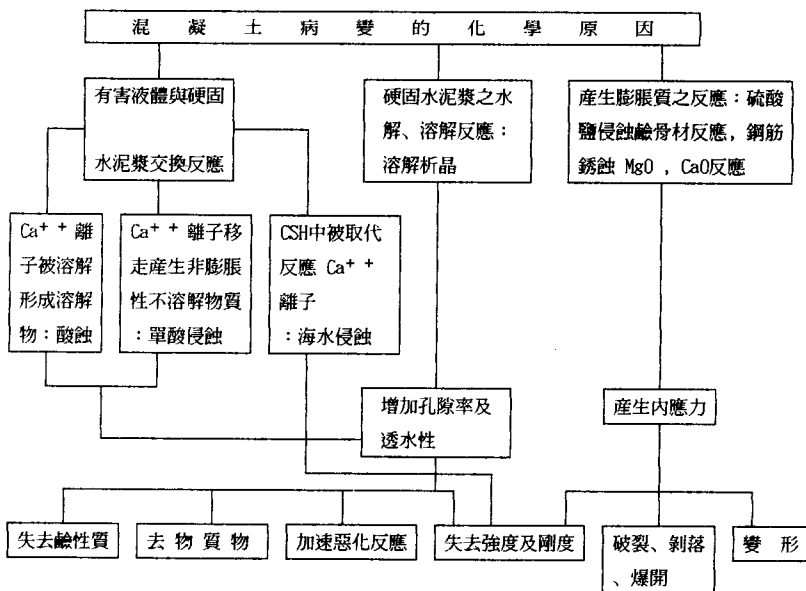


圖 8-2 混凝土病變的化學原因

表 8-1 混凝土病變種類、機理及相應策略

侵蝕的種類		受影響材料*	說 明	病 變 機 理	控 制 對 策
物理性作用	凍融作用	P, A	水結冰體積膨脹9%, 造成冰縫或水力壓力, 使混凝土顆粒分離。	1. 水力定律 (Powers) 2. 冰分離 (Powers) 3. 中孔卸水 (Litvan) 4. 滲透性	1. 輪氣 2. 增加強度 3. 減低飽和度 4. 提高滲透係數
	乾濕作用	P	乾燥時表面收縮形成表面裂縫; 潮濕時表面膨脹形成內部裂縫。	水份喪失; 毛細管壓力 、表面能量改變	1. 防止水份蒸發 2. 採用伸縮機
	高溫作用	P, A	冷縮熱膨脹作用或暴露劇烈之火 焰產生差異內壓力, 而使顆粒分 離或剝片剝落。	骨材與水泥漿體差異膨脹係 數及水泥漿體過熱乾燥作用 水泥漿體水化物的分解作用	1. 避免直接火焰的接觸或暴露時間過久 2. 提高強度 3. 採用防火或耐火混凝土
	磨損及磨耗	P, A	混凝土抗剪力不足而使表面受剪 破壞	剪應力 > 剪力強度	1. 採用質硬密實之骨材 2. 提高混凝土強度
化學性作用	溶解與析晶	P	水份滲入混凝土溶解氫氧化鈣 而於滲透面露出 乾濕作用而將溶解物析出結構體 外造成白華	氫氧化鈣被溶解而造成孔隙 氫氧化鈣被溶解而與其它有 害物質結合	1. 減低水灰比、滲透性 2. 添加火山灰材料 3. 防水塗膜
	硫酸鹽侵蝕	P	單體型硫酸鈣水化物與硫酸鈣鹽 類作用而生成鈣矾石造成體積膨 脹作用, 而分離混凝土	四步驟: 1. SO_4^{2-} (I) 滲透 SO_4^{2-} (水泥) 2. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解 $\text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$ 3. $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ 析晶 CSH_2 4. $\text{C}_3\text{A} + \text{CH}_2 + 2\text{CSH}_2 + 16\text{H}^+ \longrightarrow \text{C}_3\text{A}_2\text{S} + 3\text{CSH}_2$	1. 減低水泥之 C_3A 及 C_4AF 量 2. 添加火山灰材料 3. 減低水灰比、滲透性 4. 蒸汽養護使 $\text{C}-\text{A}-\text{H}$ 分解 5. 防水塗膜
	鹼—骨材反應	A	骨材之活性矽酸鹽與水泥中之 鹼(鉀或鈉)作用產生膨脹裂縫, 而滲出膠體, 一般呈現爆開或 剝落現象	1. 離解並溶解活性矽 2. 形成含水份膨脹玻璃 $\text{N}/\text{N} + \text{H} \longrightarrow \text{N}/\text{K} - \text{S} - \text{H}$ 3. 玻璃吸水形成溶膠而侵蝕周圍	1. 減少活性矽酸鹽含量 2. 適當骨材尺寸 3. 水泥中鹼含量使之小於0.6% 4. 減低含水量 5. 防水塗膜
	鹼和鹼侵蝕	P	鹼對混凝土的影響甚小, 然而 鹼性則會因 H^+ 離子而加速氫 氧化鈣之溶解, 甚至使 $\text{C}-\text{S}-\text{H}$ 受侵蝕而產生砂礫	1. $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ 2. $\text{C}_3\text{S} + 2\text{H}_2 + 6\text{H}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}^{2+} + 2\text{CSH} + 6\text{H}_2\text{O}$	1. 減低含水量(水密性混凝土) 及滲透性 2. 減少磨礫石灰加入火山灰材料 3. 防水塗膜
	金屬腐蝕	R	電化學反應造成鐵受氧化形成 氯化鐵, 致使體積膨脹而產生體 積剝落、破裂或剝落	1. 陽極: $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ 2. 陰極: $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$ 3. 沈澱: $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$ 4. 氧化生鏽: $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \longrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$ 鏽	1. 陰極保護 2. 保護塗膜及保護膜或腐蝕阻止物 3. 足夠保護層 4. 減少水中含氧量 5. 減少水灰比及滲透性

* P, A, R 分別表示水泥漿體, 骨材及鋼筋。

◊ 混用水泥化學簡寫符號: C — CaO , S — SiO_2 , H — H_2O , A — Al_2O_3 , S — SiO_2

破壞之起因與混凝土的抗拉強度及滲透性相關。混凝土的抗拉強度非常低，因此外界變化所造成的差異內應力很容易超過其抗拉強度，而導致微裂縫的產生；而且多孔性的混凝土非常容易因毛細管作用及滲透作用，使得外界有害物滲入，而與混凝土中水泥組成成份（如 C_3A 、 C_4AF 、鈉及鉀等）產生膨脹反應、或水份蒸發而有表面收縮現象，此差異變形甚容易引致內應力而造成破裂。

鋼筋混凝土結構物一旦被認為服務壽命終了（the End of Service Life），並非必定產生安全性問題、或坍塌，事實上其判斷完全決定於其使用是否有安全性可慮或維修經濟性不佳（其維修超過建造成本時），此刻必須採取拆除重建一途，一般而言在其它條件下均是可加以適當整修的。

二、本省常見鋼筋混凝土病變及其預防策略

（一）設計載重或配比需求強度不當

國內設計常依照國外規範，如橋樑採用 AASHTO HS20 之載重規範，而忽略本省習慣上的載重狀況，譬如砂石車輛其載重常超過 20 噸甚多，結果使設計出之橋樑面臨加速破壞之命運。一般公共結構物如橋樑等，在低於混凝土抗壓強度的反覆應力作用下，疲勞作用會使裂縫的蔓延終至產生嚴重裂口。此等病變所生之症狀一般係大而不規則（Large and Irregular），見圖 8-3 所示。此類型之病變之預防必須透過設計前合理收集載重資料，以便設計師改變設計斷面、加強支承力、限制載重或載重狀況等方式來防止。

配比設計之強度，國內傳統均以 f'_c 為主，並未將耐久性列為重要因子，同時設計時並未將 f'_c 之強度需求當為最低安全需求，以致拌和出來之混凝土先天即不良，難怪本省建築物混凝土品質問題糾紛迭起，當然投標單價過低也是另一誘因。



圖 8-3 基礎沈陷造成大裂縫

1) 塑性收縮及乾燥收縮裂縫

混凝土為一種多孔材料，一旦水份由表面透過擴散蒸發時，會產生內外濕度坡降，而發生不同層次的龜裂現象，這些均可歸納為因收縮（Shrinkage）變形所引起。收縮狀況可分為自生乾燥收縮（Autogenous）、塑性收縮（Plastic）、乾燥收縮（Drying）及碳化收縮（Carbonation）等。自生收縮係由水化作用所引起，其量小故被忽略，其餘則為相當嚴重而不可忽視。

塑性收縮為混凝土施工過程在終凝前所發生的收縮裂縫，其產生之時機係受混凝土本身之溫度、空氣溫度、相對濕度、風速等共同作用所致，見第六章圖 6-9，以致其水份蒸發速率超過泌水速率時，則開始龜裂，一般認為蒸發速率應控制在 $0.5\text{kg/m}^2/\text{hr}$ （即 $0.11\text{lb/ft}^2/\text{hr}$ ）以下即不會產生裂縫，估算蒸發速率請參閱圖 6-9。塑性收縮裂縫，在嚴重狀況下混凝土將全面裂開而失去整體性，另外此種裂縫經常垂直於風向，防止塑

性收縮的方法莫非保持新搗實混凝土表面濕潤，一般可採用臨時覆蓋、噴霧、噴撒養護劑、或遮風等方式來預防。

乾燥收縮對混凝土工程而言相當重要，混凝土由於多孔隙關係，乾燥後必會產生收縮，若強行侷限將會在表面上產生不雅觀，大且規則之裂縫見圖 8-4 乾燥收縮，與水泥漿體之組成、水泥含量、骨材性質、外界環境有密切關係，此類型的裂縫控制，通常建議採用較多之骨材量（少漿系列混凝土）見圖 8-5 所示骨材量之影響；並且設置適當之控制縫（Control joint）使乾燥收縮裂縫整齊劃一，參考圖 6-1，6-2 及 6-4。

（三）鋼筋銹蝕（Corrosion of Embedded Steel in Concrete）

品質優良的混凝土且保護層足夠的混凝土一般而言，鋼筋處於鹼性保護環境下，是不容易被腐蝕的。然而一旦混凝土受應力作用產生破裂，鋼筋混凝土保護層不足，混凝土品質不佳（施工或設計未注意），或混凝土中含高量氯離子，則混凝土中鋼筋會由於滿足銹蝕五大要件，而產生膨脹銹蝕反應，其反應簡示如圖 8-6 及公式 8-1。通常在台灣本島由於施工較馬虎，鋼筋未按圖加裝保護層架座或墊塊，造成保護層不足；養護不佳產生龜裂；同時常使用含氯較高之未沖洗海砂，以致甚多建物內鋼筋銹斑處處可見。

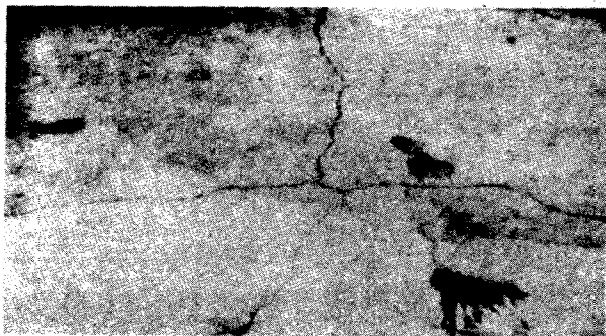


圖 8-4 典型收縮裂縫大而規則

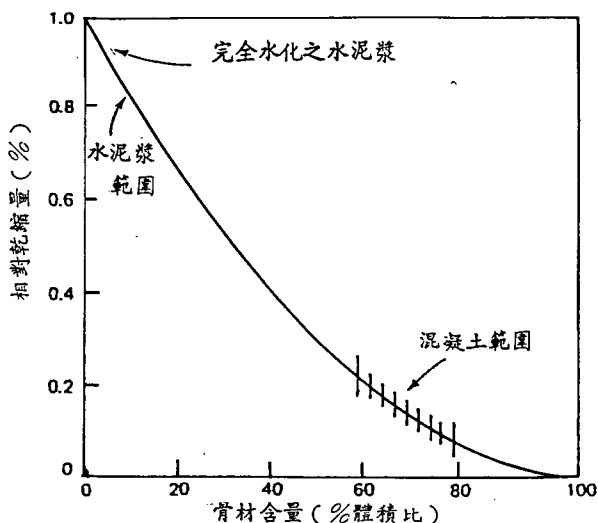


圖 8-5 骨材對乾燥收縮的影響

1. 陽極反應 (Anode) : $\text{Fe} \rightarrow 2\text{e}^- + \text{Fe}^{+2}$ (氧化或溶解)
2. 陰極反應 (Cathode) : $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4(\text{OH})^-$ (還原)
3. 二次反應 : $\text{Fe}^{+2} + 2(\text{OH})^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \xrightarrow{[\text{O}]} \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{FeO} \cdot x(\text{H}_2\text{O})$
析出銹 鐵 銹

公式 8-1

鋼筋腐蝕的症狀如圖 8-7 所示 (2)，係沿著鋼筋接近混凝土保護層處之面上爆開、鼓起。在本島通常鋼筋銹蝕係由於未按規定設置足夠之保護層所致，因此必須加強控制。在含有氯化鹽的環境下，或使用含氯之早強劑時，鋼筋之銹蝕更容易產生，應注意。此類銹蝕之防止常採用低水灰比高品質 ($W/C=0.4$) 混凝土，避免使用含氯摻料及骨料，足夠保護層 (2 吋以上)，防銹劑，鋼筋表面塗膜 (環氧樹脂) 或混凝土表面防水處理，陰極保護處理，並且一旦其他裂縫超過 0.1mm 時必須即時修改等措施來防止鋼筋的銹蝕。

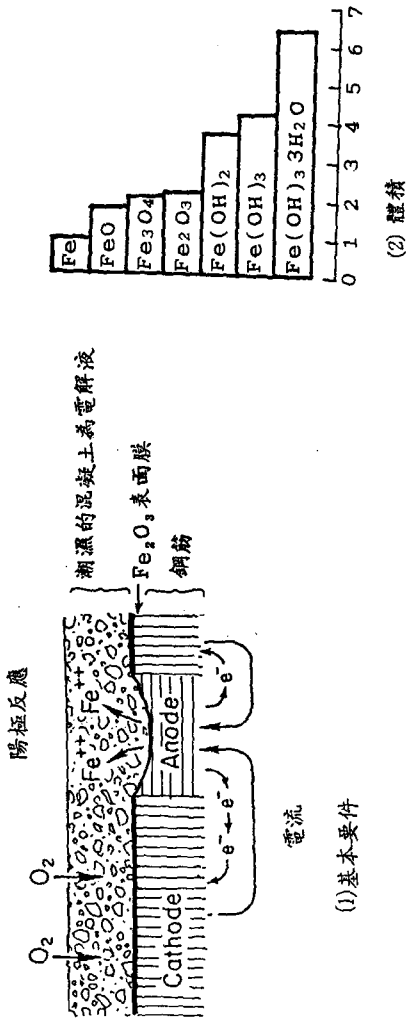


圖 8-6 (1)腐蝕的基本要件：①陽極②陰極③電路④濕氣⑤氧氣及
(2)鋼筋分子體積膨脹性比較。



圖 8-7 典型鋼筋銹蝕之狀況（澎湖大橋）

（四）施工技術不當及品質管制不佳

本省鋼筋混凝土由於單價、設計觀念及施工監造人員的基本訓練不足，以致混凝土施工時即產生問題。通常最常見的是混凝土訂購品質較實際低甚多，混凝土配比太乾硬，現場泵送機泵送混凝土時大量加水，嚴重降低品質。澆置時未按規範要求確實施工，造成泌水析離，蜂窩現象，及冷縫等問題。有關這方面的處理，應委託附近大專院校，定期舉辦施工技術講習會，要求營造廠商，材料供應商參與受訓，並且在施工前提出施工技術說明書及協調會，施工中提出品質檢驗統計報告（ $\bar{S}-R$ ），施工報告書（詳述施工之概況，方法、問題處理，結果及工程完成之重大成就），以便累積施工技術及經驗，並且進行品質保證措施。

三、問題混凝土診斷評估及處理

（一）診斷（Diagnosis）

診斷的目的在於察明損壞（Damage）的原因、類型及程度，

表 8-1 提供此方面的資料。若損壞程度相當嚴重或相當有疑問

時，則除了需進行結構單元的物理檢查（Physical Examination）外，尚須進一步調查，通常其步驟如流程圖 8-8。

1. 外觀檢視係參照表 8-1 之索引，初步判斷可能的原因。
2. 訪問當初參與混凝土工作之工程師、建築師、施工者、材料供應商、預拌混凝土供應商及業主等，以獲得問題混凝土當初之施工資料，循此應可估計出問題之癥結、破裂的程度及破壞的性質。
3. 檔案覆審包括規範、土壤鑽探資料、施工及監工日誌、材料及混凝土分析及試驗資料、圖樣和氣象資料。
4. 現場非破壞性試驗包括超音速、動彈性、試錘等並可能的估計裂縫的寬度、深度描繪品質分佈圖及等值圖，見圖 8-9，8-10 及 8-11 所示。

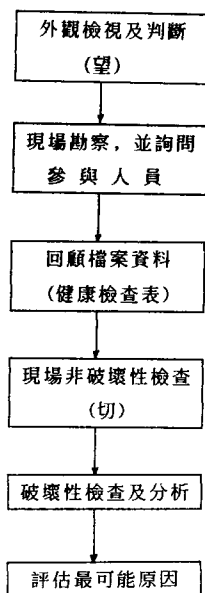


圖 8-8 問題混凝土診斷分析流程圖

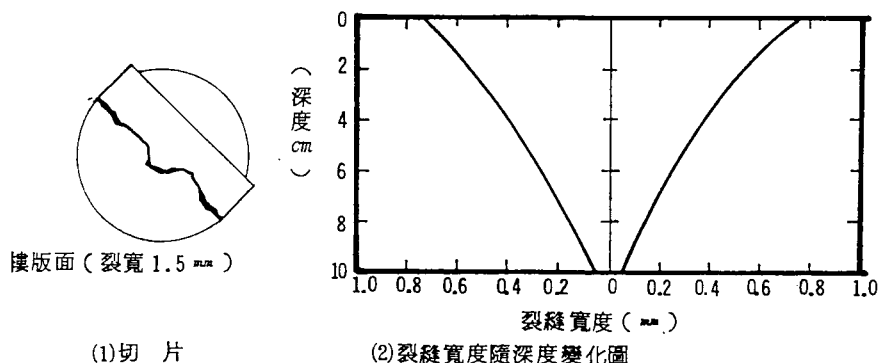


圖 8-9 裂縫寬度及深度量測

5. 鑽心取樣供試驗室檢查和試驗，見圖 8-9，實際量測裂縫深度及寬度，並進行物理及化學分析見表 4-3 之要求，以瞭解病變之肇因。

6. 綜合以上資料判斷出問題混凝土產生之主因。

(二) 問題混凝土之處理

通常混凝土問題產生原因找出後，應忠實將結果撰寫報告，呈送有關單位舉行說明會，以便累積經驗防患未然；若為規範上疏忽則應修改規範使其涵蓋可能產生問題之處理，必要時應業主、設計者、材料供應商施工者、使用者消費者共同討論協調，使規範能被瞭解而共同遵守；若為設計上錯誤則應適時補強或減低載重以符合安全需求；若為偷工減料，則應按規範加以扣款，並加派人員加強監工；若為使用不當，則應儘快修正。無論何種混凝土問題只要其經核算安全有虞處時則應補強，若僅有裂縫存在，則按 ACI 318 之規定容許寬度決定是否修補以防範及耐久性問題，見表 8-2 所示。表 8-3 所列為預防問題混凝土之相應策略。

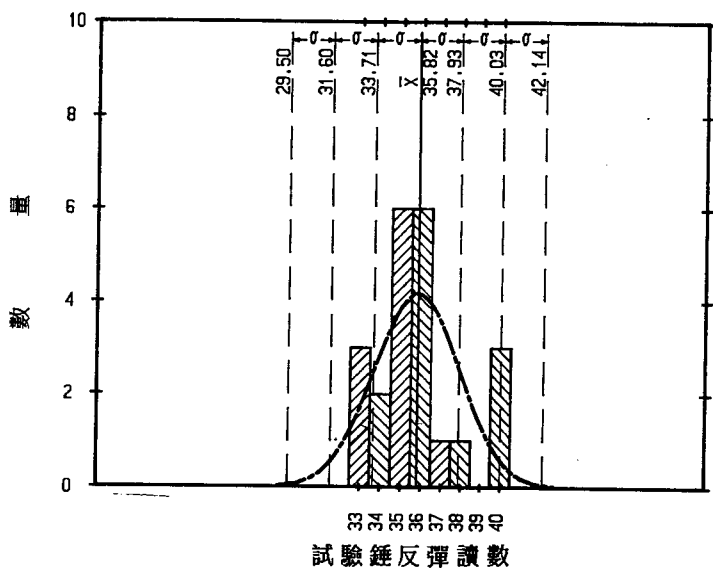


圖 8-10 混凝土試錘反彈數分佈圖



圖 8-11 混凝土試錘反彈數等值圖



圖 8-12 鑽心試體顯示整片剝離的症狀

表 8-2 ACI 318規定鋼筋混凝土裂縫寬度容許值

暴 露 條 件	最大裂縫寬度 , mm (in)
乾燥空氣中且俱保護層	0.40 (0.016)
高濕度和潮濕環境	0.30 (0.012)
卻冰化學劑	0.175 (0.007)
海水和噴水沫，乾濕交替作用	0.15 (0.006)
蓄水結構物	0.10 (0.004)

表 8-3 預防混凝土病變之控制策略

1. 混凝土施工前，鑑定使用材料必須符合CNS或ASTM等有關之標準規範，使混凝土中有害的組成成份減至最低限度，參閱表3.2要求執行。
2. 調查混凝土使用環境，若處於有化學性侵蝕的狀況下，則考慮高強度、高水密性(Water tightness)、表面保護塗膜、加摻料或採用適當之水泥；而若處於有物理性侵蝕狀況下則考慮輸氣，增加強度、水密性等相應策略，此應依據ACI 318-83或有關規範之要求。
3. 混凝土配比設計時，綜合前二項之資料及結構混凝土設計強度，依統計學及可能載重狀況預測混凝土配比需求強度。
4. 混凝土施工時，嚴格執行規範要求，使鋼筋有足夠保護層，使混凝土達到最佳均勻性而無蜂窩、泌水及折離等現象發生，並且有適當養護措施以確保混凝土之品質，請參閱第六章，表 6-1。
5. 混凝土完成後，注意載重限制，不可超過容許載重，而有反覆載重可能之結構物（如橋樑、公共展示所等），須控制載重，並預測可能的使用壽命。
6. 混凝土使用期間需有適當定期的維護工作，以確保結構的整體性。

一旦病變或其它惡化損壞現象被發現，為避免混凝土繼續受到進一步惡化的傷害（damage），甚至危及安全性，必須即時修復。雖然修復工作有時會因為文化需求經濟性與政治性的考慮而受到影響或拖延，但以技術性眼光而言，愈早修繕將有助於確保混凝土整體性，而且儘早填封裂隙（Sealing of cracks）和復元防水接縫（Waterproof joints）將可能節省往後昂貴的修復費用。修復方法決定於破裂的性質，可接受性、環境條件、材料的取得、成本、需要材料的性質，和是否為暫時的或為永久的修復工作而定。表 8-4 為一般基本修復方法、使用材料及特徵的簡表，供修復之參考。

裂隙的修補（Repair of Crack）視裂隙尺寸大小而決定處理方式，表 8-4 為常採用的材料與適用狀況，然而由於新材料不斷發現，只要符合安全、耐久、美觀及經濟要求的其它材料均可考慮使用。

表 8-4 混凝土修復的方法、材料及特徵

修復方法	適用狀況	適用材料	材料特徵
封住裂縫 (Sealing of Cracks)	微裂隙(寬度小於 0.05mm)	環氧樹脂(Epoxy Resin)低黏性聚合 物(low- μ poly- mers)乳液(Latex)	良好的膠結性能、 不受潮濕影響
	大裂縫(寬度大於 0.05mm)接頭 (joint)、漏鏽 (leak)	卜特蘭水泥砂漿 聚合物砂漿 油灰(Putties)和填 隙料(Caulks)	搗實良好 膠結性能良好 以人造聚合物及煤 焦油(tar)為主
表面塗封 (Sealing of Surfaces)	表面漏水、防水處理 、隔離有害物質進入 混凝土內	人造聚合物塗料 瀝青塗料	
局部表面補綴 (Localized patching of Surfaces)	鑿件孔洞、螺絲孔、 預力導孔、局部的 破裂	卜特蘭混凝土或水泥砂漿 速凝水泥 聚合物樹脂 聚合物混凝土、瀝青 混凝土 乳液改良混凝土(LMC)	鋁酸鈣和凝結調整水 泥環氧劑聚脂等俱良 好膠結性材料
鋪面和噴漿 (Overlays and Shotcreting)	無法表面補綴或效果 不佳需全面補修，如 橋面版、橋底鋼筋及 混凝土損壞剝落、沖 蝕等一般修補厚度為 25至100mm	卜特蘭水泥混凝土 纖維加強混凝土(FRC) 乳液改良混凝土(LMC) 聚合物混凝土 瀝青混凝土	使用速凝摻料 抗破裂佳 良好的膠結性能
重建 (Rebuild)			

關 鍵 字

冰凍作用 (Frost)	控制縫 (Control joint)
表面磨損 (Surface Wear)	陽 極 (Anode)
體積變化 (Volume Change)	陰 極 (Cathode)
沖蝕 (Erosion)	診斷 (Diagnosis)
穴蝕 (Cavitation)	施工報告書 (Construction Report)
鋼筋腐蝕 (Corrosion of Steel)	統計報告 (Statistics report)
酸中和作用 (Acidic attack)	物理檢查 (Physical examination)
鹼矽作用 (Alkalic Silicate)	填封裂隙 (Sealing of Cracks)
硫酸鹽侵蝕 (Sulfate attack)	防水接縫 (Water proof joints)
服務壽命 (Service life)	

自我評量題目

選擇題：

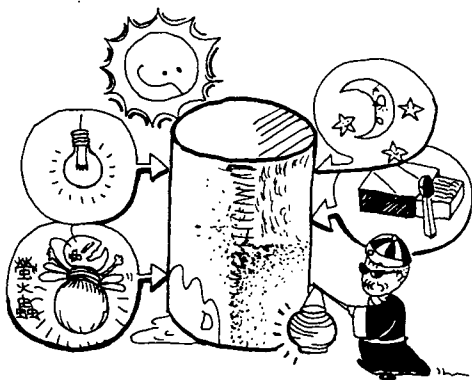
1. 收縮可分為多種，何者係由水化作用所引起，① 自生乾燥收縮② 塑性收縮③ 乾燥收縮④ 碳化作用。
2. 以下何者會產生鋼筋腐蝕，① 混凝土含高量氯離子② 於酸性環境中③ 保護層不足④ 以上皆是。
3. 於預力混凝土結構避免銹蝕，① 不採用氯摻料② 2 吋以上保護層③ 水灰比低④ 以上皆是。
4. 何種裂縫垂直風向，① 塑性收縮裂縫② 乾燥收縮裂縫③ 碳化裂縫④ 以上皆是。
5. 混凝土表面白華的產生乃何種化學性作用，① 溶解和析晶② 硫酸鹽侵蝕③ 鹼受材反應

問答題：

- ① 簡述混凝土之病變及相應策略？
- ② 鋼筋腐蝕的基本要件及防止之策施？
- ③ 病變混凝土應如何偵測及分析？
- ④ 何以事前的預防優於事後的修補？
- ⑤ 請綜合本書各章節設計一品質保證系統？

176 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

第九章 塑造建築結構高品質形象之使命

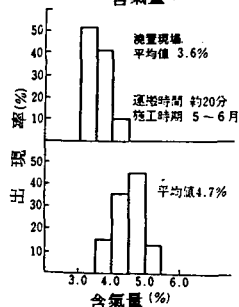
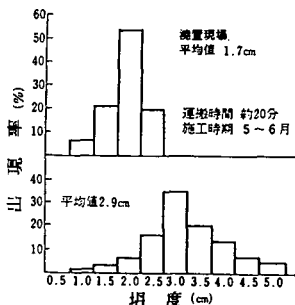
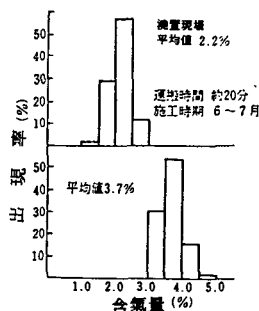
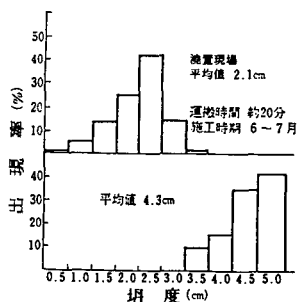


學 習 目 標

1. 了解提高品質應採取之數種途徑。
2. 了解塑造高品質形象的重要性及時代使命。

摘 要

提昇建築結構品質水準係所有參與規劃設計、施工、預算、監督、使用人員應負之責任，因此所有人員均應設身處地，全力協調配合，以達成高品質之建築物為目標。為了提昇品質、確保品質，應提出適當成本結構之品質檢查表，反應建築物之體質，使所有品質的黑盒子透明化，而免除對品質的虞慮，重新塑造公共品質及居住建築品質的優良形象。



建築結構混凝土過去的品質因為種種不良誘因的影響，以致品質低落不堪，嚴重威脅到居住的安全及舒適，此種品質形象實無與國家之經濟成就及個人所得相比，為此必須針對過去的問題，結合政府建築主管單位、學術單位，及工業界人士，勇於剝析探討出主要病因，並訂立時間表逐一執行。另外必須摒除過去缺乏數據的作法，而建立起一套完整的資料處理系統，使得品質均能明顯表現；同時品質管制人員與監工人員必須充滿愛心，把建立完美的建築物訂為目標，努力執行，並相互協調合作解決問題。以下為塑造未來建築結構混凝土高品質形象的建議，提供業主、設計者、材料供應商、施工者及使用者（消費者）參考：

1. 建立品質保證系統

品質保證系統係為全面性之保證制度，由事前的規劃作業、發包、施工中之品質管制檢驗措施，至使用較之正常維修及檢核等均需作完整的配合，換言之，係為一種防患未然及管理應變的措施。執行品質保證系統的成員係包括業主、設計者、材料供應商、施工者及使用者，而在建築主管單位的協調下達成，而非如傳統的敵對氣氛，見圖 1-1 所示即為品質保證系統的基本架構，圖 9-1 提供一種建築結構混凝土品質保證檢驗流程供參考，而圖 9-2 則提供一種混凝土生產中品質控制流程的大架構。

2. 招標發包合理化

傳統招標發包由於法令規章的限制，更重要的是缺乏品質及成本分析的觀念，因此合理成本無法得知，自然最低標及合理標孰為合理？非經分析亦不得而知。所以，主辦單位及主管單位應依施工狀況、機具、工人技術水準及物價的變化核算合理品質標準下之悲觀、樂觀及平均成本，以為底價訂立之依據，並應於投標前審查具有統計資料和實績之竣工報告書，及投標工程之施工計劃書。

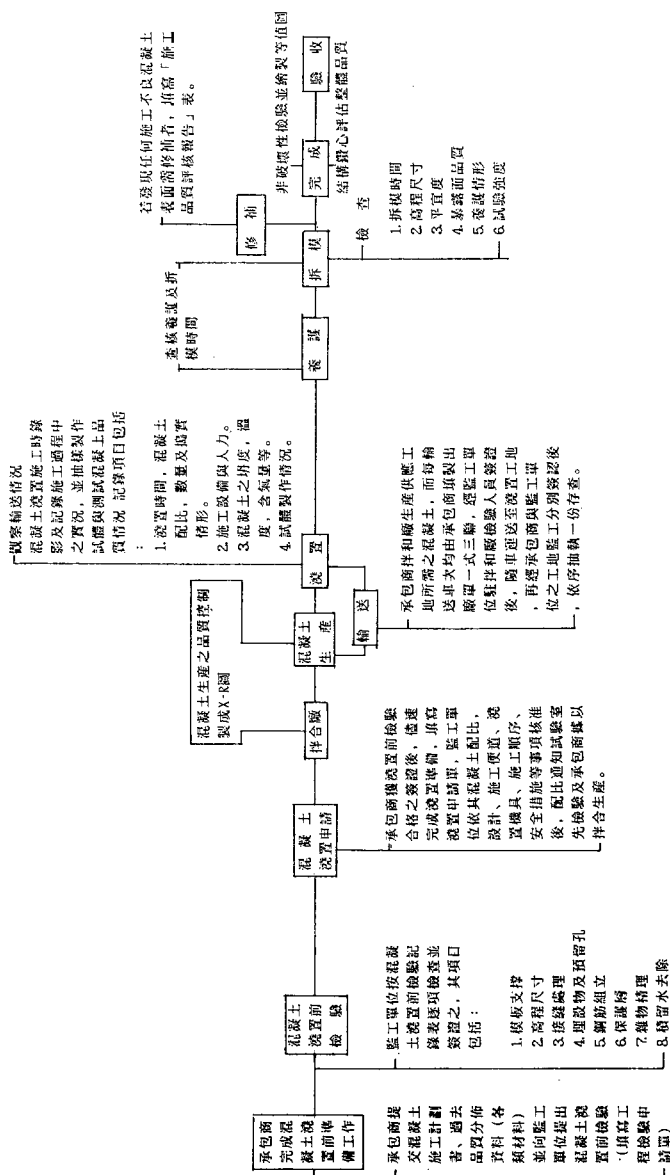


圖 9-1 建築結構混凝土品質保證檢驗流程圖（※表示檢驗點）

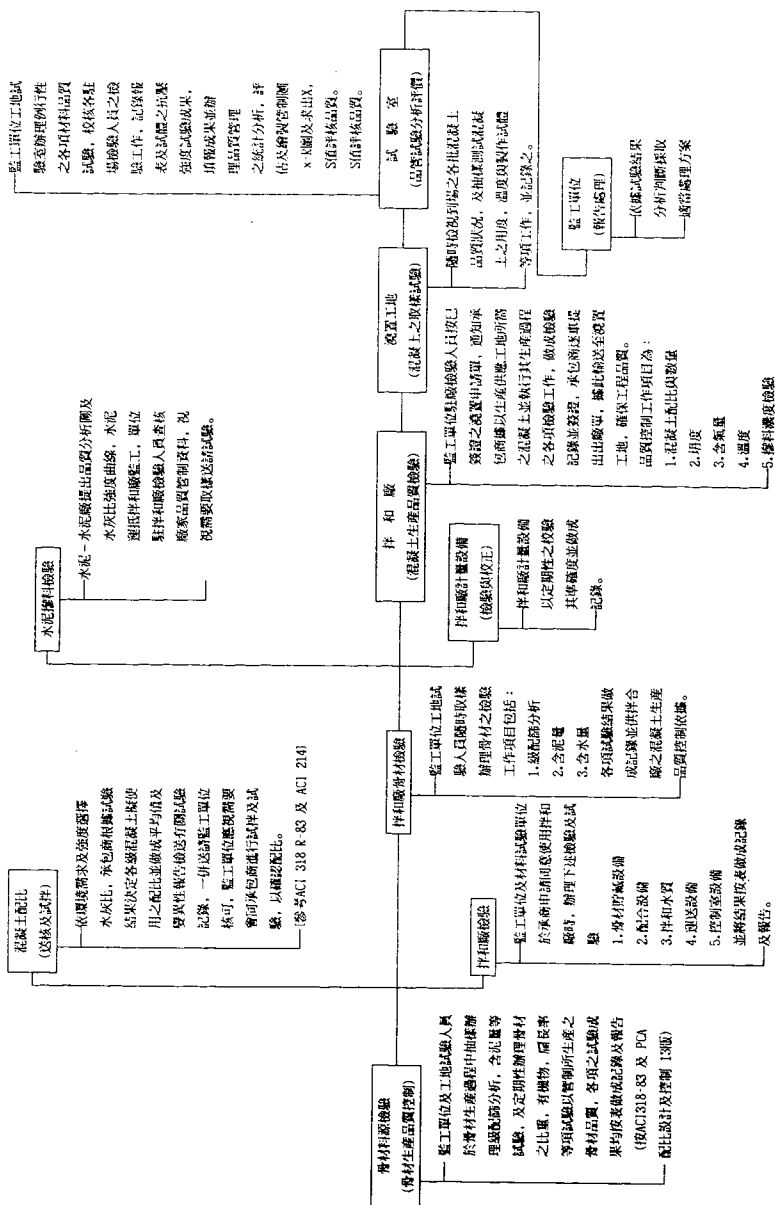


圖 9-2 混凝土生產品質控制流程圖

3. 加強教育訓練

科學技術由於電子計算機的發展，資訊快速傳遞，新觀念新技術也受到激盪而進展迅速，但國內技術人員仍舊「故步自封」無法突破傳統之窠臼，同時由於工作煩忙，無暇顧及新技術及品管的觀念。因此有必要讓參與工程計劃的人員接受最新科技資訊及實用技術教育訓練，提昇工作的趣及效率，促使建築結構混凝土之產品生產快速由勞力密集提昇為技術密集，且達到品質最佳化的目標。此項工作可以委託附近大專院校辦理或踴躍參與學術研究單位之講習會。

4. 成立工程品質及技術研究會

由於經濟自由化後，國外資金技術及人力大量湧入，國內施工品質勢必加速提昇不可，否則必遭淘汰，為此有必要將小公司合併成企業化經營之大營造公司、大混凝土預拌廠，同時摒棄成見組成工程品質及技術研究會，邀請主管單位、學術單位及同業共同討論突破品質瓶頸，加速技術提昇、提高生產力及降低成本策略。

5. 成立公正品檢單位及建立工程現場品管試驗室

傳統品質檢驗單位係委託學術研究單位代驗個別試體，一來試體取得非學術研究單位所能控制，二來容易做「假」試體，而無助於實際品質之管制。至於一般市政工程通常檢驗單位附屬在主辦單位編制內，其年度預算又受制於議會，倘若議會代議士又是承包廠商之股東，則檢驗單位立場處境困難，容易受到關說而影響品質，故應成立財團法人附屬之公正品質檢驗單位，其成員由學術研究人員組成，定期將檢驗成果繪成統計圖表及品質等值圖，成為控制之依據。同時主辦單位有必要要求施工廠商於每一得標之工地設立品管試驗室，聘請合格的品管人員，容許品管費用編入預算內，並定期委託學術單位辦理評鑑工作。

6. 成立糾紛仲裁評審會

營建業為高風險之行業，當發現混凝土品質低落時，有些承包商會

認為主辦單位故意刁難企圖索取回扣等情事，因此常有糾紛產生，此刻應由主辦、學術、業者組成糾紛仲裁評審會，經過公正品檢單位全面評估後，提出品檢報告書給予評審會，以決定責任歸屬。若品質產生問題，則應懲罰失職人員並補強修正之，必要時則拆除重建，而其費用則由該責任方負責。

7. 合理工程驗收制度

傳統工程驗收均由行政業務煩忙的審計單位負責，由於欠缺工程品質專案知識，而且驗收時「走馬看花」，無法達到實質驗收品質的原意。因此有關驗收，主辦單位應邀集學術單位、審計單位、承包單位共同委託檢驗單位進行驗收評估檢驗，其內容包括非破壞及鑽心試驗，並將全面品質做成診斷記錄，使建築結構混凝土品質數量化、明顯化，防止任何糾紛產生之可能。

8. 確實撰寫竣工報告

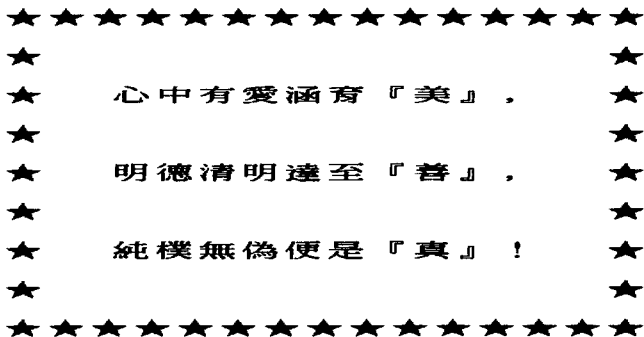
工程完工後主辦單位應協調扶助承包單位完成竣工報告書，內容包括施工計劃、工程概況、施工方法、成本流程、問題產生之處理、工程品質檢驗記錄及統計分析圖表，品質及進度控制圖表，工程完成之重大成就及未來之改進建議，這些資料均做為提供下次投標時資格審查使用，必要時得要求專任技師召開會議報告成果，以提供主辦單位及工程人員之參考，藉以防止借牌等情事發生。

9. 舉辦工程成果討論會

主管建築機關及主辦單位應編列預算定期邀請審計、設計、施工、材料供應商、監工及代議士或消費者等單位參加重大工程或市政工程或一般建物之施工成果討論會，依數據化工程品質評估優良建築物，以能良性提昇建築物之品質。

結 語

建築結構混凝土品質的確保是全體營建人員的責任，但願經由本書入門的洗禮，您已領受了這方面的專業知識，接著希望您能以愛心來協助其它相關人員達到最佳品質的目標，而促使整體國家品質的提昇。最後以「真、善、美」來共勉之！



自 我 評 量 題 目

選擇題

1. 塑造品質是①施工者、材料供應商②業主、審計單位③設計者、業主④以上共同之責任。
2. 建築結構混凝土品質有糾紛時，是下列何人之責任？①監工②業主③施工者④不定（按實際狀況而定）。
3. ①合理標②最低標③議價④正常品質之最低標為達到優良品質的最佳保證。

問答題

1. 請提出塑造建築結構混凝土優良品質的方案？
2. 建築結構混凝土品質發生糾紛時，其責任應如何區分？
3. 請說明當前建築結構混凝土品質的問題因應措施？

序 言

建築結構混凝土品質由於國內傳統土木建築教育訓練的宗旨及方式與工業界需求目標相差甚大，造成學校所造就之人才無法落實工業界，以致於員工經常由「土法」訓練，缺乏理論依據而錯誤百出，不僅個人信心儘失，工作興趣低落，效率降低，也肇致今日國內工程品質不佳的惡果，尤其自「1115」地震後，國內重申品質的觀念被震醒，民意也開始對公共品質及居住單元的品質表示關心，而且顯示不能忍受偷工減料的事實了。尤其，中華民國的經濟發展與 MIT 品質形象無法匹配，而此終究將傷害到國內的營建業者，因此學術界及建築主管機關有義務來協助工業界推展品質的觀念，使未來 MIT 蔚為「最佳品質」的代名詞。

本書即針對此一理念為依歸，將有關建築結構混凝土品質保證的最新資料及管理觀念導入，並配合內政部建築技術規則及美國混凝土學會 ACI 318-83 Building Code 及 ACI 214 品質管制觀念，以淺顯通俗的語句和活潑的圖表來闡述混凝土材料及品質控制的基礎觀念，使初學者能順利步入混凝土材料及品質的殿堂。本書內容分為九章，由混凝土材料簡介，混凝土材料特性，新拌混凝土性質，硬固混凝土性質及病變之處理至塑造高品質形象等，適合一般性教育訓練之教材。

黃 兆 龍 博 士
於營建材料研究室
七十七年五月十日

獻 言

將此書
獻 給
關心我、忍受我
鼓勵我、協助我
深愛我、照顧我
的
妻
母 親

給營建材料研究室的伙伴們

半畝方塘一鑑開，
天光雲影共徘徊；
問渠那得清如許，
為有源頭活水來。

朱 熹

誌謝

本書承蒙內政部營建署 張署長隆盛、 張副署長世典，建築研究所籌備小組 張執行秘書德周及周技正智中先生之支持與鼓勵，才能順利付梓，特予申謝！

且蒙國立台灣工業技術學院營建系 鄭主任文隆、 林教授草英、台灣營建研究中心 陳主任清泉的指導及支援；加上營建材料研究室全體工作同仁的任勞任怨，同心協力的奉獻與犧牲，特致感謝之意。

最後感謝工程界諸先進精神加盟及實質的支持；學術界諸師長的教誨與鞭策；建築主管單位諸前輩的砥勵與磨練，促使營建材料研究室能順利發揮預期服務營建界的功能，未來仍然希望繼續獲得營建界之認同與支援，並加入此行列。

作 者 簡 介

黃兆龍

廣東省汕頭市人

美國伊利諾大學營建管理碩士

美國伊利諾大學工程材料博士

曾任工程師、技師、專利技師、助教、研究助理、副教授、顧問

現任國立台灣工業技術學院教授

研究興趣

材料科學及工程應用、微觀技術研究及材料性質之探討、
工程材料行為模式分析、新材料及新技術之開發及評估、
品質保證系統之制定、問題結構物之評估技術研究、
新工法之研究及發展、教育訓練之規劃與執行、
建築結構混凝土品質保證制度之建立。

目 錄

序言	I
獻言	II
誌謝	III
作者簡介	IV

第一章 建築結構鋼筋混凝土簡介	1
一、前言	3
二、混凝土材料	3
三、新拌混凝土	7
四、硬固混凝土	10

第二章 混凝土材料特性—水泥、水、骨材和摻料	15
一、水泥	17
卜特蘭水泥之製造及其性質	17
卜特蘭水泥的類別及用途	21
水泥的品質	21
二、水	24
三、骨材	24
四、摻料	27

第三章 新拌混凝土性質、品質管制及配比設計	35
一、新拌混凝土性質	37
二、新拌混凝土的品質管制	38
取樣頻率	38
取樣的方法	38
試驗的依據	38
試驗數據意義	38
新拌混凝土品質管制試驗	40

三、混凝土配比設計方法	43
混凝土配比設計基本原則	43
混凝土配比設計步驟	53
混凝土配比設計實例	59
第四章 硬固混凝土的性質及品質管制	65
一、硬固混凝土的性質	67
強度及應力與應變行為	67
單位重	67
滲透性和水密性	69
二、硬固混凝土品質控制試驗	72
硬固混凝土破壞性試驗	75
硬固混凝土非破壞性試驗	77
抗壓試驗結果之評估	79
第五章 特殊混凝土性質	83
一、結構輕質混凝土	87
二、低密度和中強度輕質混凝土	88
三、重質混凝土	89
四、高強度混凝土	89
五、高早強混凝土	91
六、巨積混凝土	92
七、預疊骨材混凝土	93
八、無坍度混凝土	93
九、滾壓混凝土	94
十、土壤—水泥	94
十一、噴凝土	95
十二、收縮補償混凝土	95
十三、孔隙混凝土	95

十四、白色和著色混凝土	95
十五、高分子卜特蘭水泥混凝土	96
十六、鐵絲網混凝土	96
十七、纖維加強混凝土	97
十八、流動化混凝土	98
第六章 混凝土施工及檢驗	101
一、混凝土澆置前其它檢驗	103
二、混凝土施工及檢驗	104
配料	105
拌和	105
混凝土的輸送	106
澆置	107
搗實及表面修飾	107
施工縫	108
混凝土的養護	108
三、混凝土施工後檢驗	112
四、熱天混凝土施工	112
高混凝土溫度的影響	114
冷卻混凝土材料的方法	118
第七章 混凝土品質管制的觀念及制度	123
一、基本統計學概念	125
二、混凝土品質管制的執行	129
個別品質圖	131
品質移動平均值圖	134
差值移動平均圖或累積圖或 RM 控制圖	135
三、品質不符合規範時的仲裁措施	136
查核取樣和試驗技巧	136

檢查材料及拌合廠	138
評估結構安全程度	138
四、混凝土品質制度	139
五、記錄報告之撰寫	140
品質控制圖表	141
配料廠及拌合檢查	141
預先配料檢查報告	141
混凝土製造檢查記錄	141
混凝土廠日常性檢查報告應至少包括下列事項	142
混凝土拌合卡車報告	142
混凝土澆置	151
混凝土澆置卡	151
混凝土運送單	152
一般記錄的要求	153
記錄的保存	153
 第八章 問題混凝土評估及處理	 157
一、鋼筋混凝土一般弊病	159
二、本省常見鋼筋混凝土病變及其預防策略	162
設計載重或配比需求強度不當	162
塑性收縮及乾燥收縮裂縫	163
鋼筋銹蝕	164
施工技術不當及品質管制不佳	167
三、問題混凝土診斷評估及處理	167
診斷	167
問題混凝土之處理	169
 第九章 塑造建築結構高品質形象之使命	 177
建立品質保證系統	179

IX 目錄

招標發包合理化·····	179
加強教育訓練·····	182
成立工程品質及技術研究會·····	182
成立公正品檢單位及建立工程現場品管試驗室·····	182
成立糾紛仲裁評審會·····	182
合理工程驗收制度·····	183
確實撰寫竣工報告·····	183
舉辦工程成果討論會·····	183

參考文獻

附錄一、建築結構混凝土材料規範（譯自ACI 318-83）

附錄二、混凝土品質保證相關規範

建築結構物混凝土品質保證檢驗與制度

參 考 文 獻

1. 黃兆龍 (1986) , 混凝土材料品質控制試驗, 詹氏書局。
2. Dosmatka, S. H., and Panarese, W. C., (1988) Design and Control of Concrete Mixtures, 13th Ed, Portland Cement Association, Skokie, IC.
3. Mindess, S, and Young, J. F. (1981). Concrete, Prewtice-Hall, Englewood Cliff, N. J.
4. Newman, K (1986), "Common Quality in Concrete Construction", Concrete International, PP.37~49, ACI.
5. "Quality Assurance Systems for Concrete Construction", Concrete International, PP.56~59, ACI(1986).
6. 生コン百問百答, 建設材料研究會, 技術書院 (1983) 。
7. Concrete Manual, 8th ed, U. S. Department of the Interior (1975).
8. 黃兆龍 (1984) , 混凝土性質和行為, 廣昌。
9. Wang, C. K. and Salmon , C. G. (1985) , Reinforced Concrete Design, Happer & Row publishing, N. Y.
10. Building Code Requirements for Reinforced Concrete , (ACI 318-83) and Commentary (ACI 318R-83), ACI Detroit.
11. 黃兆龍 (1985) , 「混凝土品質控制實務」, 混凝土工程技術研討會, IX-1 ~ IX-31 , 台灣營建研究中心。
12. Kosmatka, S. H, and Panarese, W. C. (1988). Design and Control of Concrete Mixtures, 13th Edition, portland cement Association, Skokie, IC.
13. 黃兆龍和蘇南 (1988) , 「台灣北部主要河川粗骨材巨觀工程性質之研究」, 中國土木水利季刊。
14. 黃兆龍, 胡秀昌 (1987) , 「現行營建體制下混凝土品質問題研究」, 第一屆營建工程技術研討會論文集, 頁 139 。
15. 黃兆龍 (1987) , 「海域混凝土鋼筋腐蝕之研究—澎湖跨海大橋初

2 建築結構混凝土品質保證檢驗與制度

步診斷」，海洋混凝土工程研討會論文集，頁 3/1 ~ 3/27。

- 1 6. 林草英、態雲峯、黃兆龍、林英俊（1985），國立台灣工業技術學院第二實習工廠大樓結構體安全評估，台灣營建研究中心研究報告；TS-74228。
- 1 7. 黃兆龍、李鎮川（1986），混凝土添加強塑劑之效能研究，TR-75103，台灣營建研究中心研究報告。
- 1 8. 黃兆龍、陳增燦（1986），民航高雄國際機場停機坪裂縫形成原因及預防對策研究（總結報告），國立台灣工業技術學院研究報告。
- 1 9. 黃兆龍（1987），混凝土蜂窩形成原因分析及復原建議，TS-76224。
- 2 0. 黃兆龍（1987），台北市士林怡園大廈混凝土病變之分析，台灣營建研究中心研究報告，TS-76226。
- 2 1. 黃兆龍（1987），電信訓練所板橋綜合大樓新建工程地下二層外牆超音波測試評估，台灣營建研究中心研究報告，TS-76231。
- 2 2. 黃兆龍（1987），萊茵大廈裂縫原因研究及修復建議，台灣營建研究中心研究報告，TS-76229。
- 2 3. 黃兆龍和陳增燦（1987），混凝土初期龜裂的原因及診治方法研究（期中報告），技合建字第 306 號，國立台灣工業技術學院。
- 2 4. 黃兆龍和林建宏（1987），交通部電信訓練所參樓倉庫結構安全鑑定，技合建字第 0349 號，國立台灣工業技術學院。
- 2 5. 黃兆龍和胡秀昌（1987），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（期中報告），TR-76017，台灣營建研究中心研究報告。
- 2 6. 黃兆龍、陳增燦、劉俊杰和林嘉隆（1987），混凝土初期龜裂的原因及診治方法研究（總結報告），技合建字第 306 號，國立台灣工業技術學院。
- 2 7. 黃兆龍、胡秀昌、謝素蘭和龔龍山（1987），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，16-03-76-15 台灣營建研究中心報告。
- 2 8. 黃兆龍（1987），「混凝土病變及修復」，混凝土施工技術研討會

台灣營建研究中心，頁 163-208。

2 9. 黃兆龍 (1987)，「混凝土施工入門」，營建簡訊，63 期，頁 66-73。

3 0. Mehta, P. K (1986), Concrete-Structure, properties, and Materials, prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.