

港灣高性能混凝土耐久性設計與檢測之研究

王和源*、鐘志仁

The Durability Design and Inspection of HPC Applied for Harbors

H. Y. Wang*, J. R. Jong

摘要

港灣工程結構物常年曝露在海洋環境，容易受海水侵蝕、海浪衝擊、鋼筋銹蝕等影響，造成混凝土惡化，降低港灣工程構造物的安全性與使用年限。本文主要探討港灣混凝土的耐久設計要求，提出港灣工程高性能混凝土耐久性設計策略。港灣高性能混凝土可利用硫酸鈉浸泡、氯離子滲透、電阻試驗等檢測方式評估耐久性。最後以案例分析說明考量港灣工程結構物耐久性之嚴格要求，以詮釋港灣混凝土實務應用注意事項。

關鍵詞：港灣工程；高性能混凝土；耐久性設計；檢測。

ABSTRACT

The harbor construction exposed to the oceanic environment year-by-year is easily corroded by sea water, impacted by sea waves and to cause steel corrosion, so the concrete deterioration reduced the harbor constructions security and the service life. This article mainly studied the durable design requirements of the concrete in a harbor, and to put its design strategy in. The harbor HPC can be examined by soaking in the sodium sulfate, Chloride permeability, electric resistance testing and so on, to assess the durability. Finally, the case analysis is taken to show and consider the strict request of the harbor construction durability, and to annotate the announcements for the actual application of the concrete in a harbor.

Keywords : Harbor construction; HPC; Durability design; Inspection.

1. 前言

由於港灣工程混凝土品質受到「硫酸鹽侵蝕」、「鹽害」等影響，易產生裂縫與崩壞，形成美觀上、耐久性與或安全性的缺陷^[1]。且因傳統混凝土本質上屬多孔易脆的複合材料，如暴露在海洋環境中，有害物質會經孔隙滲入結構，造成混凝土惡化，因此控制混凝土的孔隙體積被認為是改善混凝土耐久性的最佳途徑。本文係考量化學及物理之耐久特性，以低水膠比、減低滲透性，添加卜作嵐材料增進封孔的特殊效果，減少用水量等多重觀念去設計 HPC 配比，針對 HPC 的耐久性效用作廣泛的驗證，以達到鋼筋混凝土腐蝕防治的功能，進而使港灣工程的品質能全面達到高性能的標準。

港灣工程構造物鄰近海域，風大且受海水潑濺，缺乏適當防患措施會造成嚴重的鹽害。港灣高性能混凝土引進防蝕概念， $W/C \geq 0.42$ 以減少混凝土產生自生體積變化， $W/S \leq 0.07$ ，拌合水量 $< 160 \text{ kg/m}^3$ ，以保障港灣工程結構物長期體積穩定性，使混凝土具備耐久性。為考慮施工性，60 分鐘後，坍度應大於 230mm，坍流度大於 500mm，且不得析離與泌水。

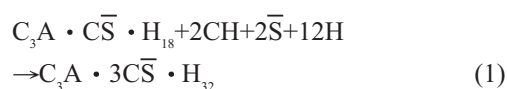
2. 硫酸鹽的侵蝕機理

港灣工程結構物因長時間暴露在海域環境中，海洋中的有害物質藉由液體吸附、滲透、擴散等方式侵入混凝土中。港灣混凝土受硫酸鹽侵蝕的機理可分為兩部分，其一是由於水泥中之鋁酸三鈣再和石膏共同水化後，產生單硫型鋁酸鈣水化物，而此單硫型鋁酸鈣對硫酸鹽不穩定，若再遇硫酸鹽會轉變成密度較低的鈣鉍石，造成體積膨脹使混凝土破裂或剝落；另外，由於水泥水化後產生氫氧化鈣，在遇到硫酸鹽時會產生石膏，若硫酸鹽濃度太高即造成石膏腐蝕。

由於造成混凝土受硫酸鹽侵蝕的原因，主要是水泥中鋁酸三鈣的水化產物和外來之硫酸鹽反應，故 CNS 12891 和 ACI 318-89 對不同環境的硫酸鹽濃度，規範適當水泥種類，藉減少水泥中之鋁酸三鈣

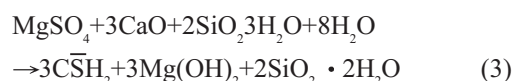
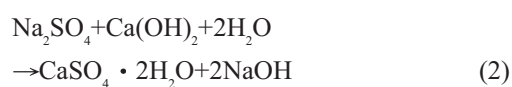
含量，減少造成混凝土膨脹破裂的因子，亦對常重水泥限制最高水灰比，及輕質混凝土限制最低抗壓強度，以降低混凝土的滲透性，防止硫酸鹽入侵。

水化之波特蘭水泥中之 Ca(OH)_2 (Calcium hydroxide) 及 Aluminabearing phases 較易受到硫酸鹽離子之侵蝕，水化作用時，波特蘭水泥中 C_3A 含量如超過 5%，將會使氧化鋁與單硫酸鹽以水化物方式存在 ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CS} \cdot \text{H}_{18}$)。但是如果 C_3A 含量超過 8%，尚會有 $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CS} \cdot \text{H}_{18}$ 之形式。當水泥中之 Ca(OH)_2 與硫酸鹽離子接觸後，此兩種含氧化鋁之水化物會轉變成高硫酸鹽的鈣鉍石形式 (Ettringite, $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CS} \cdot \text{H}_{32}$)^[2]



鈣鉍石 (Ettringite) 為硫酸鹽導致混凝土膨脹的主因。但膨脹機理 (mechanisms) 至今仍是一個爭論的要點。鈣鉍石晶體的形造成成壓力的增加及鈣鉍石不完整之晶相導致其在鹼性環境吸收水分造成膨脹為兩個較為研究者接受的假設。陽離子取代反應 (cation exchange) 形成之石膏亦會造成混凝土之膨脹。Reading^[3]指出鈣鉍石之膨脹較石膏嚴重，膨脹和裂縫降低了勁度及強度，導致混凝土毀壞。

一般混凝土硫酸鹽水溶液陽離子 Na^+ 或 Mg^{2+} 會和水化後之波特蘭水泥之產物 Ca(OH)_2 及 C-S-H 作用產生 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，其反應式如下^[2]：



在式 (2) 為鈉硫酸鹽侵蝕，反應的副產品為氫氧化鈉，其會保持整個系統的鹼性，並維持 C-S-H 膠體之穩定。而式 (3) 為鎂硫酸鹽侵蝕，氫氧化鎂不易溶解，降低整個系統鹼性，進而導致 C-S-H 的穩定降低，故對於混凝土硫酸鎂之侵蝕較為嚴重。以上水泥化學簡寫符號為： $\text{S} - \text{SiO}_2$ ， $\text{C} - \text{CaO}$ ， H

$-H_2O$ ， $A-Al_2O_3$ ， $\bar{S}-SO_3$ ， $\bar{C}-CO_2$ ， $C\bar{S}H_2$ —石膏， $C_3A \cdot 3\bar{C}\bar{S} \cdot H_{32}$ —鈣矽石。

3. 混凝土耐久性設計策略

混凝土的耐久性對結構體安全性是相當重要的，雖然有相當多的研究可考，但混凝土在實際配比及施工上，仍然無法達到理論上耐久性的領域，以致品質問題叢生，其主因是沒有將既有之耐久性知識，融入混凝土配比設計中。而施工時並沒有考慮到施工簡易及品質穩定的技術在內，因此在配比設計中，不能只單獨考慮到「安全性」或「經濟性」，必須同時考慮到「耐久性」及「工作性」基因在內，而高性能混凝土耐久性設計的達成可考量各種不同的策略方式。

3.1 減少水泥漿量

為了達到耐久性的要求，有必要減少水泥漿量，且不影響工作性及安全性，可透過下列策略達成：

3.1.1 調整級配達最小孔隙率

調整級配使得大小料徑骨材互填，俾能將孔隙縮小，此觀念如同材料科學中，原子的堆積，堆積密度愈大，其性質愈佳。而減少水泥漿量的惟一辦法就是將「級配最佳化」，使孔隙率最小，如圖1所示材料堆積緻密之效用^[1]。另外就是降低潤滑漿量厚度，或放大骨材粒徑以降低表面積。

3.1.2 添加減水緩凝劑或強塑劑

化學摻料常有減水之功能，而在同一強度下，水膠比是固定的，故水泥量相對的會降低。而高性能混凝土應用減水緩凝劑或強塑劑時控制水量依 Malhotra 的建議應小於 160 kg/m^3 混凝土^[4]。

3.1.3 添加卜作嵐材料

主要機能乃透過卜作嵐反應交換作用，轉換易溶性之氫氧化鈣，或其他鹼性物質，成為穩固的 C-

S-H 膠體，增進材料的工作性且添加卜作嵐材料將使孔隙變小並阻斷孔隙連續性，孔隙的離子性質也隨之改變^[5]。Thomas 等印證添加飛灰或爐石之混凝土經 2 年齡期可降低滲透能力 10 倍^[6]。如圖 2 添加卜作嵐材料可提昇混凝土之電阻值^[1]，顯示添加卜作嵐材料可有效抵抗有害離子的侵蝕能力。

3.2 增強界面鍵結性

混凝土中骨材與水泥漿界面是最弱的一環，容易產生泌水、析離及骨材與水泥漿變形不一致等問題，因此要如何才能增加鍵結性是相當重要的。

3.2.1 降低水膠比

降低水膠比因而提高長期強度，而且使界面強化^[7]，此仍須透過添加卜作嵐材料才能達成。此時卜作嵐材料用量必須不等於零 (即 $P \neq 0$)；換言之， $W/C \neq W/B$ ，透過長期的卜作嵐作用可促使界面強化。目前美國混凝土學會 318-95 「結構混凝土規範」即已將此列入「耐久性要求」中。圖 3 顯示緻密高性能混凝土較低水膠比時，即具有較高的電阻值^[8]，按台灣西部沿海區域的混凝土設計，均應有防蝕考慮，其 W/B 應小於 0.4，或強度 fc' 大於 350 kg/cm^2 。

3.2.2 降低水泥漿量及增加卜作嵐材料

降低水泥漿量對長期耐久性是有利的，水泥漿量在早期可獲較高之超音波速，然而晚期則非常不利，由超音波速的降低可預期內部產生的裂縫，此與水泥漿及骨材變形不一致有關，齡期愈長則愈明顯，如圖 4 顯示水膠比越低，超音波速越快^[8]，漿量減少同時也增加卜作嵐材料界面固化作用，這對混凝土而言是有利的。

3.3 增加混凝土滲透阻抗

有害物質在混凝土中滲透或擴散，都是透過電動勢的趨動，傳統混凝土降低滲透性的方法，純粹由降低水灰比 (W/C) 的方式達成，此只對「水泥漿」而言是有意義的，然而對水泥漿只佔 25 至 40% 的混

凝土而言，只採用降低 W/C 是不足的，在 ACI318-95「結構混凝土規範」的新觀念，採用 W/B 的耐久性設計理念是有益的，然而更重要的是「水量」的影響更不容忽視，否則同一用水量下，電阻係數大體上是類似的，大約 $10\text{K}\ \Omega\text{-cm}$ 。而添加卜作嵐材料 ($P \neq 0$)，則 $W/C \neq W/B \neq W/S$ 時，則電阻係數有機會提昇至 $30\text{K}\ \Omega\text{-cm}$ 以上，此點對結構混凝土是有利的，因此減低拌和水量對混凝土性質是有益的。

3.3.1 降低水固比 (W/S_{\min})

因為對水泥漿而言，如果未添加卜作嵐材料，則 $W/C = W/B = W/S$ ，而添加卜作嵐材料，則 $W/C \neq W/B = W/S$ 。在「高性能混凝土特別條款」中建議用 $W/S \leq 0.08$ ，其目的即在於此^[1]。

3.3.2 減少小孔隙

如果混凝土由水灰比控制，而無添加任何卜作嵐材料，即 $P=0$ ，則滲透性會隨 W/C 的減少而降低，然而長期滲透性會隨內部裂縫之增加而增加。所以有必要添加卜作嵐材料利用其較小孔徑可封孔及卜作嵐反應，使得孔隙變細且減少，添加矽灰可提昇電阻係數至 $100\ \text{K}\ \Omega\text{-cm}$ 以上^[9]。

台灣海域環境下，鋼筋混凝土行為腐蝕研究、混凝土各種配比科學及應用推廣之經驗、並參照美國州公路規範 (AASHTO) 及材料試驗協會 (ASTM)，設計兩項耐久性指標，其指標值為「電阻須大於 $20\text{K}\ \Omega\text{-cm}$ 及電滲量小於 2000 庫倫」。電阻值按表 1 所示，為不至於發生腐蝕之範圍，而電滲值按照表所示為低滲透範圍。

針對上述，可歸納出港灣工程混凝土耐久性設計準則如下：(1) 用水量宜少，但工作性要好；基本上要求值為拌和水量應少於 $160\text{kg}/\text{m}^3$ 混凝土，但須有良好工作性，且無蜂窩現象。(2) 水膠比 (W/B)：依設計者指定設計抗壓強度 (f_c') 放大至配比目標抗壓強度 $f_{cr}' = f_c' + \Delta f_c'$ ，並綜合耐久性要求來選擇，此部份必須按試拌資料建立資料庫來設計；(3) 水灰比：無論強度高低，都必須大於 0.42 (針對 C_3S 而言)，以防自體乾縮；(4) 電阻：56 天混凝土電阻值應大於 $20\text{K}\ \Omega\text{-cm}$ ；(5) 電滲值：56 天混凝土電滲值

應小於 2000 庫倫；(6) 乾縮量：90 天乾縮量應小於 $450\ \mu\text{m}/\text{m}$ ^[10]。

4. 高性能混凝土防蝕效能檢測

典型設計者均會將耐久性指標值放入，以判斷耐久性之高低^[11]，作為選擇配比之參考。而防蝕效能檢測方法係參考 ASTM 或 CNS 相關規範檢測^[12-17]。

- (1) 裂縫敏感度主要為觀察及量測混凝土新拌階段，暴露於外界乾燥環境下產生的塑性裂縫寬度^[18]。
- (2) 乾縮量量測利用比長儀依 ASTM 及 C551 規範製成 $4" \times 4" \times 4"$ 之混凝土乾縮試體，設定於溫度 $23\ ^\circ\text{C}$ ，相對溼度 100% 的環境中，隔日拆模並達到測定齡期後量測長度變化。
- (3) 動彈性模數試驗依 CNS 1239，以共振頻率測定儀測量圓柱體縱向共振及扭轉共振找出最大共振點之頻率，再計算成動彈性模數，以測定結構混凝土試體的剛度。
- (4) 超音波則量測試體之脈傳波速，藉助偵測超音波在混凝土波速傳遞的快慢，將超音波脈傳速度作為品質控制的量度，用以評估和分析混凝土品質。
- (5) 混凝土氯離子電滲試驗根據 ASTM C1202 利用混凝土本身電流通通的難易及大小，來判斷氯離子滲透的可能性。較高的氯離子電滲試驗時通過的電流量，對於長期耐久性有不利的影響^[14]。由圖 5 顯示水膠比越低，則氯離子滲透電量越小，具有較佳的耐久性^[19]。氯離子滲透量被評定為「低滲透等級」，表示混凝土遭受氯離子侵蝕機率較低。
- (6) 電阻量測係採用 C.N.S. Electronics LTD 生產之 Concrete Resistivity Meter 於預備承受載重之位置量測混凝土之電阻係數，作為判斷混凝土緻密性之指標，如圖 6 所示^[9]，傳統混凝土的緻密性較差和微結構孔隙多而密實性較低，導致電阻值降低。換言之離子在混凝土中移動阻力降低，是不利混凝土耐久性的^[15]。
- (7) 快速氯離子滲透試驗 (RCPT) 係依據 ASTM

C1209-97 之規定，利用電場加速之氯離子移動來評估混凝土抵抗氯離子滲透的能力^[16]。氯離子快速滲透試驗主要是求得通電後 6 小時所累積之電荷通過量，由於其方法簡單且能快速的比較混凝土中氯離子之滲透能力，因此被美國材料試驗學會 (ASTM) 採納，當作評估混凝土抵抗氯離子滲透力的試驗方法^[17]。

(8) 氯離子溶液浸泡試驗

氯離子的滲入為影響鋼筋混凝土耐久性的主要因素之一，有關氯離子在混凝土中的穿透及反應，一直為混凝土學者關心的問題。試驗可參考 AASHTO T259-80 規範之氯離子溶液浸泡試驗，探討氯離子在混凝土的行為，藉以了解混凝土微觀結構與氯離子入侵混凝土之關係；經由各種深度的氯離子重量百分濃度值，帶入 Fick 第二定律可求得各試體之擴散係數^[17]。

5. 高性能混凝土在海域環境的設計及應用

在國外例如美國、挪威、英國、法國等各國之混凝土學會及結構混凝土聯盟 (FIB)，國際橋樑與結構工程學會 (IABSE) 均曾舉辦相關研討會。國外使用案例如澳洲雪梨機場在第三跑道延伸至鄰近海灣興建擋土牆，設計年限為 10 年，要求快速氯離子滲透量須小於 1000 庫倫。香港在 Tsing Ma 橋考量耐久性設計^[18]，環境上必須抗拒惡劣之天候條件包括颱風與氯離子造成的鋼筋腐蝕，因此在耐久性檢測上對結構物進行氯離子擴散試驗以確保橋樑之長期服務性。

國內在海洋工程方面已有屏東海洋生物博物館使用高性能混凝土之案例。本文以彰化彰濱工業區「車輛測試中心」為例^[1]，說明港灣高性能混凝土耐久性設計及實務應用應注意事項。

5.1 工程簡介

車測中心位於彰化縣彰濱工業區內，彰濱工業

區為海埔新生地，鄰近海域，風大且受海水潑濺的緣故，挾帶高濃度的鹽分。冬季風大而且乾旱，為受風害及鹽霧危害最嚴重之區域。地下水常含有大量的鹽分和濃度中度之硫酸鈉溶液，有中度侵蝕的問題。

5.2 混凝土性能需求

車測中心結構物混凝土應滿足安全性的基本需求外，長期耐久性與服務性是混凝土配比設計的嚴重考驗。圖 7^[10] 與圖 8^[10] 顯示整體混凝土品質與耐久性之電滲與電阻均在規範值內。

5.3 鋼筋混凝土防蝕策略與配比研發

車測中心之混凝土 28 天設計強度為 210kgf/cm²，為考慮混凝土施工性，60 分鐘後坍度應大於 230mm，坍流度應大於 500mm，且不得產生析離和泌水現象，此有助於提高混凝土填充模板性。建築物為因應特殊暴露環境的需求，使混凝土具備耐久性。規範中對比的考量包含 W/C 大於 0.42，減少混凝土產生自體乾縮機率。水固比小於 0.07，拌合水量小於 160 kg/m³，保障車測中心長期體積穩定性。同時也對於低強度混凝土仍具有高耐久性的精神，設計 P/B (卜作嵐比例) >25%，增加混凝土的緻密性，強化骨材-水泥漿介面，提升長期服務性。「耐蝕高性能混凝土」設計邏輯，採用「緻密配比法」，是以緊密的骨材為受力架構，水泥只用來填充最小之空隙。車測中心混凝土防蝕抗硫酸鹽侵蝕，須以水膠比小於 0.4 來設計，其長期穩定性和服務性須以水固比設計，達到兼具「安全性、耐久性、工作性」的優質混凝土。

5.4 品質管制測試

車測中心結構品質經由目視檢測、抗壓強度、非破壞性試錘試驗，及耐久性指標的電阻檢測，都顯示混凝土品質經得起考驗，符合甚至超越設計需求。

6. 結論

為防止港灣工程鋼筋混凝土腐蝕，應仔細觀察分析腐蝕造成之原因，並針對原因尋求對策，訂定縝密之計畫，逐步付之實施。首先認識環境，選擇符合該環境之材料，以免錯用材料（海水、海砂）等，使鋼筋混凝土之表面層剝落造成鋼筋露出並腐蝕。

設計及施工上設法使之不產生裂縫，以其防蝕措施之萬全。並注意設計及施工，可使鄰近海域之港灣構造物能保持設計上應有之服務壽命。

參考文獻

1. C.L.Hwang, in: "High Performance concrete Theory and Practice", James Publisher., (Taipei, 2004).
2. P. K. Mehta, in: "Concrete-structure, Properties, and Materials", Prentice-Hall, Inc., (1986).
3. T. J. Reading, in: "Physical Aspects of Sodium Sulfate Attack on Concrete", ACI sp-77, (1982).pp.75-82.
4. Malhotra. Dr, "Specialized Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete", Proceedings of R&D And Promotion of High Performance concrete, Taipei, (1997). pp.19-59.
5. C. Shi, J. A. Stegemann, and R. J. Caldwell, "Effect of Supplementary Cementing Materials on the Specific Conductivity of Pore Solution and Its Implications on the Rapid Chloride Permeability Test (AASSTO T277 and ASTM C1202) Results", ACI Materials Journal, 95, No.4, (1998) pp. 7-8.
6. M. D. A. Thomas and P. B. Bamforth, "Modeling Chloride Diffusion in Concrete Effect of Fly Ash and Slag", Cement and Concrete Research, 8 (1999) pp. 487-495.
7. R. N. Swamy, "High Performance Concrete through design for durability" in: Workshop Notes on High Performance Materials (Taipei, 1995).
8. 王耀南，南部骨材堆積對混凝土耐久性質之研究，國立高雄應用科技大學，碩士論文，高雄，2004年。
9. N. Nakamura, M. Sakai, and R. N. Swamy, "Effect of Slag Fineness on the Engineering Properties of High Strength Concrete", in: "Blended Cements in Construction". Editor, R. N. Swamy, Elsevier App. Science, London, (1991), pp. 302-316.
10. 黃兆龍、王和源、湛淵源，「混凝土耐久性設計實務」，第二屆海峽兩岸材料腐蝕與防護研討會論文集，台南，2000年，第73-78頁。
11. Laszlo Dunaszegi, "High Performance Concrete a Key Component in Design of the Confederation Bridge", Beton Concrete, Canada, (1996). Vol. 1, No. 3.
12. H. Y Wang, "The Study on Restraining the Neutralization of the High Performance Concrete", Journal of Chinese Corrosion Engineering, 16 (2002) pp. 251-260.
13. O. Bjontegard, T. A. Hammer, and E. J. Sellevold, "Cracking in High Performance Concrete before setting", International Symposium on High-Performance and Reactive Power Concrete, (1998).Vol. 1, pp. 1-16.
14. ASTM C1202-97: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM, PA (1997).
15. A. M. Eevillie, in: "Properties of Concrete", Fourth Ed., (1995). pp. 346-350.
16. T. J. Zhao, Z. H. Zhou, J. Q. Zhu, and N. Q. Feng, "An Alternation Test Method for Concrete Permeability, Cement and Concrete Research", 28(1) (1998) pp. 7-12.
17. 紀茂傑、黃然、楊仲家，「卜作嵐材料對混凝土微觀特性與耐久性影響之研究」，防蝕工程，第16卷，第4期，2002年，第261-270頁。

18. 林維明，「高性能矽灰混凝土在海洋工程上應用之探討」，防蝕工程，第 12 卷，第 3 期，1999 年，第 21-42 頁。
19. 鐘志仁，水庫淤泥燒結輕質粒料混凝土工程性質之研究，國立高雄應用科技大學，碩士論

文，高雄，2004 年。

收到日期：2003 年 7 月 25 日

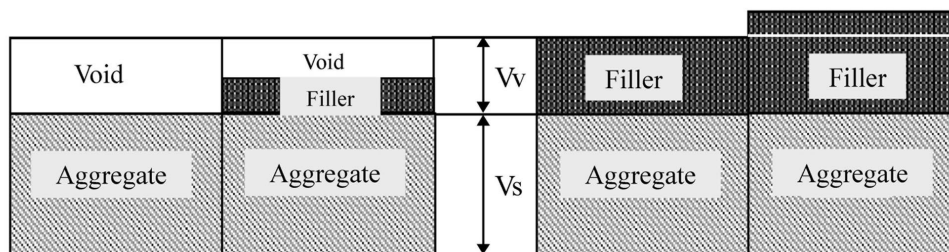
修訂日期：2004 年 12 月 2 日

接受日期：2004 年 12 月 13 日

表 1 氯離子滲透性與電流量之關係^[1]。

Table 1 The relationship between the chloride penetration and the electricity volume^[1].

Electricity Passed (Coulombs)	Chloride Penetration
>4000	High
2000~4000	Medium
1000~2000	Low
100~1000	Very Low
<100	Neglects



(1) No compacting (2) A few interstitial (3) Densified interstitial (4) Over interstitial

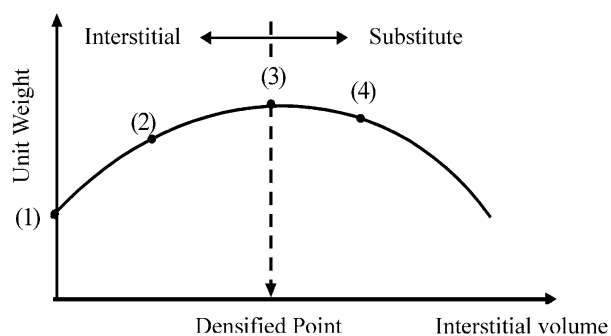


圖 1 材料堆積緻密之效用^[1]。

Figure 1 The effect of materials accumulated in dense^[1].

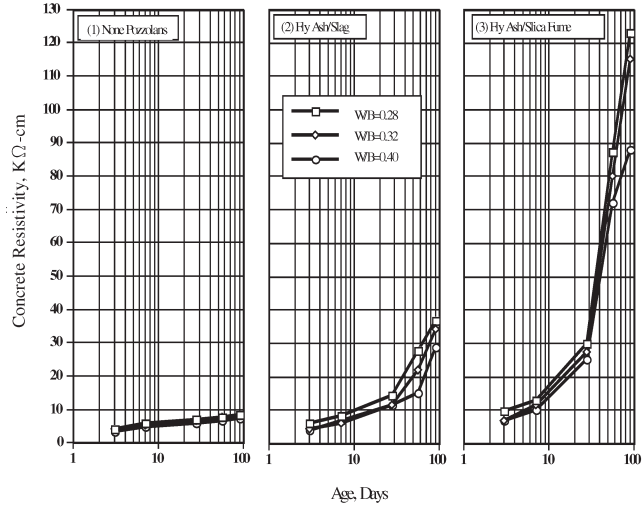


圖 2 不同卜作嵐摻料對混凝土電阻影響^[1]。
 Figure 2 The influence of the different pozzolanic materials on the electrical resistance^[1].

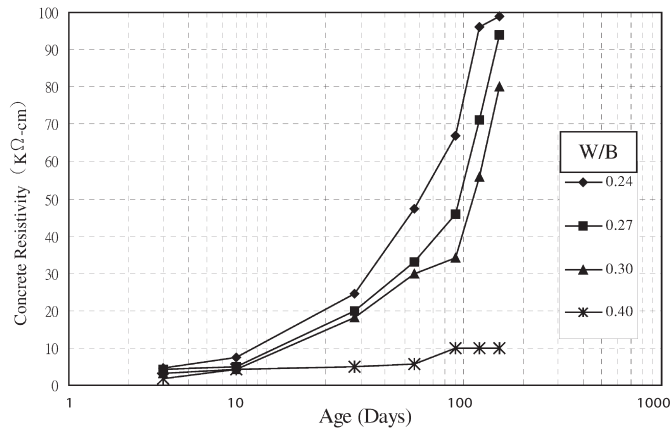


圖 3 緻密高性能混凝土齡期與電阻係數之關係^[8]。
 Figure 3 The relationship between ages and electrical resistance coefficient of the densified high performance concrete^[8].

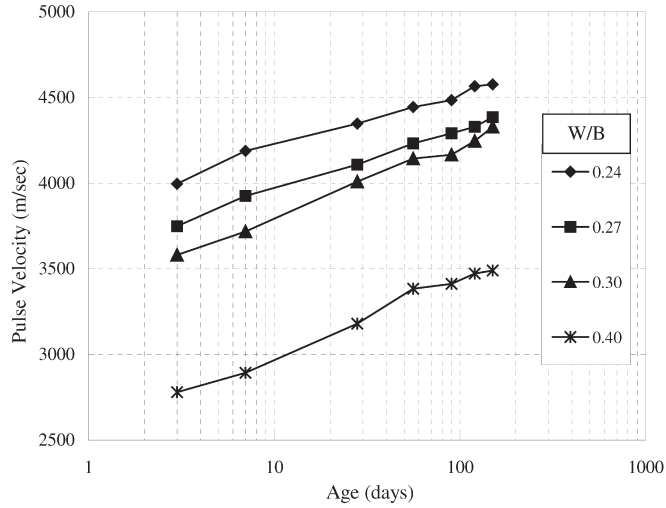


圖4 緻密高性能混凝土超音波與齡期之關係^[8]。

Figure 4 The relationship between the ultrasonic pulse velocity and ages of the densified high performance concrete^[8].

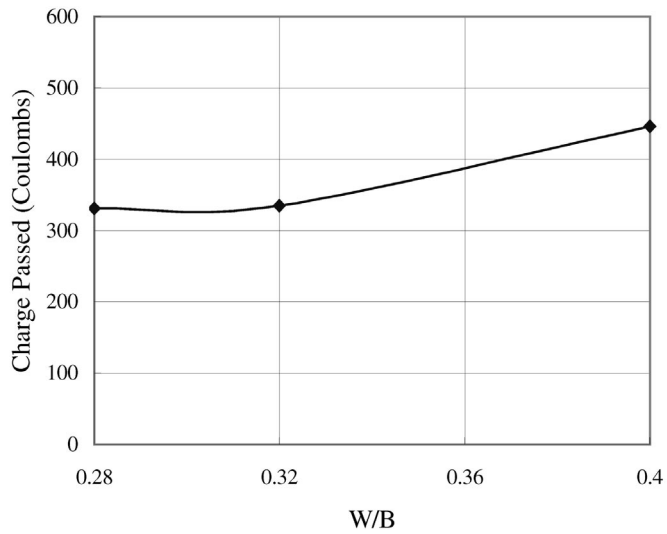


圖5 緻密輕質混凝土不同水膠比對電滲之影響^[19]。

Figure 5 The influence of the densified lightweight concretes with different water-to-binder ratios on the electroosmosis^[19].

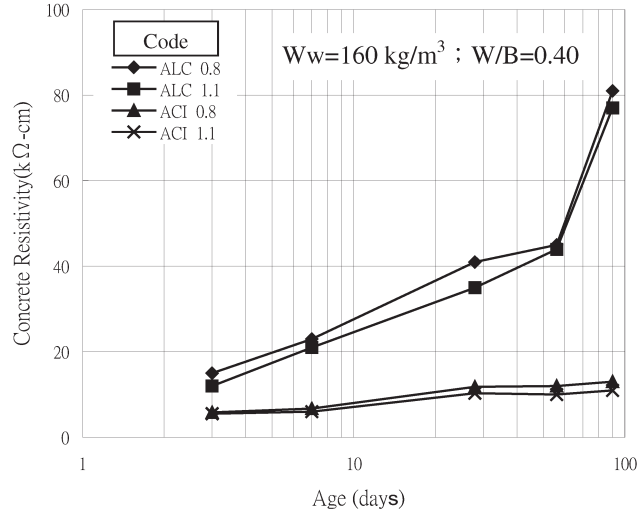


圖6 不同配比方式之輕質混凝土對電阻之影響^[19]。

Figure 6 The influence of different mixture proportioning methods used by the lightweight concrete on electrical resistance^[19].

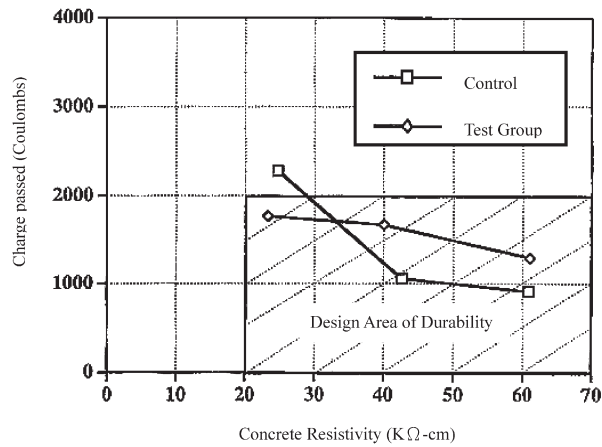


圖7 車測中心結構混凝土電阻與電滲關係^[1]。

Figure 7 The relationship between the electrical resistance and the electroosmosis of the concrete structure in the vehicle measures center^[1].

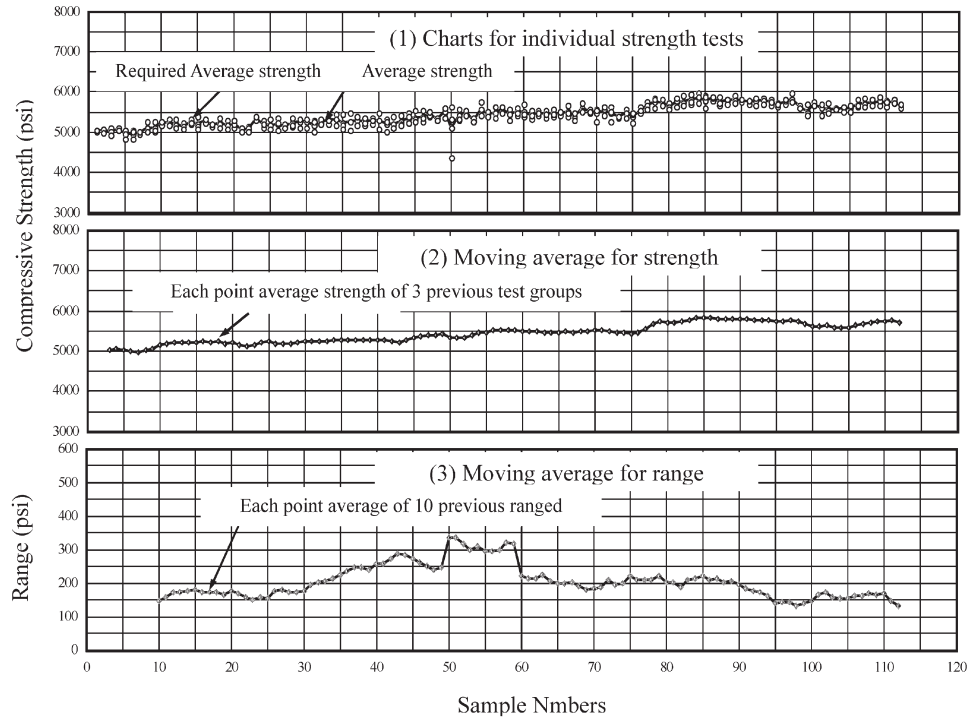


圖 8 車測中心混凝土56天強度品質控制圖^[1]。

Figure 8 The quality control chart for compressive strength (56 days) of the concrete in the vehicle measures center^[1].

