

## 水泥質系表面塗料對混凝土性質影響之研究

張建智\*<sup>1</sup>、葉為忠<sup>1</sup>、楊建西<sup>2</sup>、藍健福<sup>1</sup>、洪啓哲<sup>1</sup>

### The Influences of Cement-based Surface Coating on Concrete Properties

J. J. Chang<sup>1</sup>, W. C. Yeih<sup>2</sup>, J. S. Yang<sup>3</sup>, J. F. Lan<sup>4</sup>, C. C. Hung<sup>5</sup>

#### 摘 要

本研究主要在探討水泥質系表面塗封材料對混凝土物理性質及耐久性質之影響，並以二種不同環境(現地曝曬和加速紫外線照射)，來評估混凝土表面塗封材料對耐久性之影響。試驗項目包括滲透性、吸水速率、四極式電阻、開路電位、氯離子加速擴散、電滲及加速中性化試驗等。由研究結果顯示，混凝土表面塗封處理比一般混凝土有較低的滲透係數、吸水速率、腐蝕機率、氯離子擴散係數、電滲值、碳化速率及較高的電阻值，且塗封層愈厚，效果愈佳；此外，試體在歷經 4 個月的現地曝曬或加速紫外線照射情況下，仍未發現塗封材料有明顯劣化的現象，表面塗封處理能有效的在混凝土表面形成一道保護層，降低外界有害因子侵入混凝土的機會，進而增加混凝土的耐久性。

關鍵詞：水泥質系塗封材料；現地曝曬；混凝土；耐久性。

#### ABSTRACT

In this study, the influences of the cement-based surface coating on concrete's physical properties and durability are evaluated. Two environments including the outdoor exposure and exposure to a ultra-violet light environment are used to evaluate the durability of this surface coating material. The experiments include the permeability, water absorption rate, four-probe Wenner's resistivity, open circuit potential, accelerated chloride diffusion, rapid chloride penetration test and accelerated carbonation. The results indicate that the surface coating material make concrete having lower permeability coefficient, water absorption rate, corrosion risk, chloride diffusion coefficient, RCPT value, carbonation rate and higher resistivity. In addition, such an effect becomes more apparent as thicker coating thickness is used. Furthermore, after four-month exposure to the outdoor environment and ultra-violet light no apparent degradation of the coating material is found. Overall speaking, the surface coating material can build a cover on the concrete's surface to hinder the penetration of hazard elements into the concrete such that the concrete's durability is improved.

Keywords: Cement-based coating material; Outdoor exposure; Concrete; Durability.

---

1 國立臺灣海洋大學河海工程研究所

1 Department of Harbor and River Engineering, National Taiwan Ocean University

2 交泰股份有限公司副總經理

2 Bixis Corporation

\* 連絡作者：jjc@mail.ntou.edu.tw

## 1. 前言

混凝土是一種非均質且多孔性的複合材料，由於混凝土中的孔隙水提供了高鹼性環境( $\text{pH}=12.5 \sim 13.2$ )，使得混凝土中的鋼筋表面形成一層鈍態氧化膜<sup>[1]</sup>，此鈍態氧化膜及混凝土保護層為防止鋼筋腐蝕的有效屏障，能使鋼筋不受到外界環境有害離子的侵蝕。若鋼筋混凝土結構物將遭受到外界有害離子不斷的侵入混凝土中，如氯離子滲透至鋼筋表面累積達到一定的瓶頸濃度時，則會破壞鋼筋表面之鈍態氧化膜<sup>[2]</sup>，或當混凝土中的鹼度降低到  $\text{pH}$  值小於 10 時，鋼筋表面的鈍態膜即遭受到破壞，恢復了活性狀態，在水份與氧氣條件具備下，鋼筋即開始了電化學腐蝕過程<sup>[3]</sup>。

依據前人針對台灣濱海地區的鋼筋混凝土結構物之腐蝕現況已進行十年以上之調查，對使用年限為 50 年之鋼筋混凝土結構物，建議混凝土保護層厚度至少需足夠，並使用具有良好品質控制之措施<sup>[4]</sup>，這表示在台灣濱海地區的鋼筋混凝土結構物之混凝土保護層明顯不足。

一般而言，防止混凝土劣化及鋼筋腐蝕的方法，可以分為：(1) 表面塗封處理，(2) 新拌混凝土添加卜作嵐材料，(3) 添加腐蝕抑制劑，(4) 陰極防蝕，(5) 電化學除鹽等<sup>[5]</sup>。在眾多防蝕方法中，混凝土表面塗封處理的方法，既可以應用在舊有的結構物上，也可以應用在新建的結構物上，而一般常用於混凝土表面塗封處理材料可分為防水塗膜、片狀不透水塗料、水泥質系塗料等，塗封層目的是在提供混凝土表面形成一道保護層，能達到封閉混凝土表面的裂縫及孔隙，抑止有害因子進入混凝土內部，Almusallam 等人<sup>[6]</sup>試驗結果顯示，表面塗封防蝕塗層的方法使得混凝土能有效降低氯離子滲透性、吸水率及增加抗化學性，也就是說，表面塗封處理的方法可提昇混凝土的抗腐蝕性及耐久性。

由混凝土中鋼筋防蝕的觀點而言，提昇混凝土的品質(如水灰比的限制、最低抗壓強度的要求)或添加適量的卜作嵐材料於混凝土中以增加水密性，確實為一可行之措施，然而這些防蝕設計僅適用於新建的結構物上，對於舊有的 RC 結構物或已遭受腐蝕損傷的構造物，其防蝕方法目前仍以陰極防蝕或混凝土表面塗封處理為主。緣此，本研究的防蝕重心係設定在現有的 RC 構造物上，為與實際的狀況

較為接近，所設計的基材混凝土是以普通混凝土為主，因此選用的水灰比為 0.4 ~ 0.7，且過往有關水泥質系表面塗封材料應用於混凝土上的探討並不多見，本研究中嘗試變化塗封厚度及曝曬環境以瞭解其對混凝土性質的影響，希冀未來能提供混凝土在防蝕處理上的另一種選擇材料。

一般混凝土結構物表面僅止於粉刷在無特殊處理的情形下，會讓人有種冷酷及單調的感覺，倘若於表面塗封材料中添加色劑更能使混凝土具有美觀性，然而表面塗封材料能具有美觀及耐久性為未來的方向，因此本研究主要在探討混凝土表面塗封處理對其耐久性的影響。

## 2. 試驗計畫

### 2.1 試驗材料與配比

本研究採用臺灣水泥公司生產之品牌卜特蘭第一型水泥，粗骨材(最大粒徑通過 3/4 英吋，比重 2.70)，細骨材(細度模數 2.64，比重 2.67)均產自花蓮縣木瓜溪，混凝土基材水灰比為 0.4、0.5、0.6、0.7，並依照 ACI-211 配比設計步驟求得各材料重量，設計坍度為 12 cm、空氣含量為 2%。混凝土試驗配比及 28 天抗壓強度如表 1 所示，水泥質系塗封材料係由交泰股份有限公司提供，材料主要組成分為粉劑(白水泥、偏高嶺土及色粉)與硬固劑(壓克力乳膠)，粉劑與硬固劑配比為 1:1，最後再塗一道單面劑(壓克力乳膠類)，試驗變數為四種基材水灰比(0.4、0.5、0.6、0.7)與 3 種塗封厚度(0.2、0.4、0.6 mm)，編碼說明如圖 1 所示。

第一碼：水泥質系塗料(C)，控制組(O)

第二碼：基材水灰比；4=0.4，5=0.5，6=0.6，7=0.7

第三碼：塗封厚度；a=0.2 mm (1 層)，

b=0.4 mm (2 層)，c=0.6 mm (3 層)

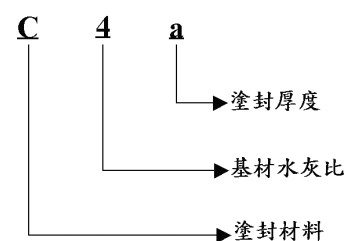


圖 1 編碼說明。

Figure 1 Instruction for coding.

## 2.2 試驗環境與試驗方法

本研究採用現地曝曬架係依據 CNS 11607 之規定設計，工作架仰角為 30°，工作架高度大於 50 cm，現地曝曬完成後並以電滲試驗與加速中性化試驗作為評估。現地曝曬環境之週平均溫度與相對濕度，統計時間係由 2004 年 1 月 8 日 ~ 4 月 1 日，試驗期間的平均溫度為 16 °C、平均相對濕度(R.H.)為 75.7%，現地曝曬地點為國立臺灣海洋大學之濱海地區(約距海邊 100 m)。加速紫外線燈箱係自行設計，規格尺寸為 160 cm × 120 cm × 80 cm，內部裝設 10 盞 40 W 紫外線(UV-C)螢光燈具，每盞燈長度為 120 cm，燈具之間距為 11 cm，並以鋁薄紙包裹內部四周，目的為避免紫外線能量波透出，加速紫外線燈箱內部環境之相對濕度(R.H.)為 0%，內部溫度為 36 °C。

本研究接著強度是依據 ASTM D 4541 之規定；混凝土表面電阻試驗係參考 Morris<sup>[7]</sup>的試驗方法，採用四極式電阻量測計進行表面電阻試驗，試體自養護槽中取出，以抹布擦乾表面，使試體成為面乾內飽合狀態，即可開始量測電阻係數。吸水速率試驗係參考 Hall<sup>[8]</sup>測定吸水速率方法進行試驗；滲透性試驗是依據 JIS A 6909 之規定的方法進行滲透性試驗；開路電位試驗依據 ASTM C876-91 中之規定，對於如何應用開路電位法來判斷金屬腐蝕機率發生的大小有一些建議；加速中性化試驗先行將混凝土試體取中間段切割成  $\phi$  10 cm × 5 cm，並在  $\phi$  10 cm × 5 cm 試片四周塗上厚度 0.2 mm、0.4 mm 及 0.6 mm 之水泥質系塗料，塗封完畢後置放在碳化箱內，以加壓(5atm)的方式進行碳化，由於本試驗係以  $\phi$  10 cm × 5 cm 試片上四周塗封，倘若將試片對割量測四周之碳化深度取平均後，碳化深度達 25 mm 亦即完全碳化。碳化深度量測係參考 RILEM CPC-18<sup>[9]</sup>所提議之方法，在 70%的乙醇溶液中加入 1%的酚酞，噴

灑於試體切割面上，由於酚酞是一種酸鹼指示劑，在 pH 值大於 9.2 以上時，會由無色轉為紅色，因此試體未中性化時將呈紅色；氯離子加速擴散試驗係參考 Andrade<sup>[10]</sup>所提出的試驗方法，將分析後的數據代入(1)式便可計算出氯離子通量，在將 J 代入(2)式中求得氯離子擴散係數。

$$J = \frac{K \times l}{A} \quad (1)$$

$$D_{\text{eff}} = \frac{J RTP}{ZFC_i \Delta E} \quad (2)$$

其中 J 為氯離子通量(mol/s/cm<sup>2</sup>)，K 為氯離子擴散速率(mol/L/s)，l 為擴散槽溶液體積(L)，A 為試片面積(cm<sup>2</sup>)，D<sub>eff</sub> 為氯離子擴散係數(cm<sup>2</sup>/s)，R 為氣體常數(1.9872 cal/mol×K)，F 為法拉第常數(96500 coulombs)， $\Delta E$  為外加電壓(V)，Z 為離子的電價數，P 為混凝土試片厚度(cm)，T 為實驗環境的絕對溫度(K)，C<sub>Cl</sub> 為陽極槽氯離子濃度(M/L)；電滲試驗係依據 ASTM C1202-94 之規定，電滲實驗所得之電荷通過量，可經由 ASTM 所建議，對氯離子之滲透性進行評估。

## 3. 結果與討論

### 3.1 表面塗封材料之基本性質試驗

抗壓強度試驗參考 ASTM C109 之方法進行試驗，係將水泥質系塗料製成 5 cm × 5 cm × 5 cm 試體，水泥質系塗料因具有水化反應，其抗壓強度明顯伴隨齡期成長，如圖 2 所示。接著強度試驗依據 ASTM C230 之水泥砂漿流度試驗測得標準用水量，並灌注 3 cm × 30 cm × 45 cm 水泥砂漿版，水泥砂漿基材 28 天抗壓強度 48 MPa。將水泥質系塗料塗置水泥砂漿基材表面，並分為 0.2 mm、0.4 mm 及 0.6 mm 三種厚度，並參考 ASTM D4541 之方法以拉拔試驗

表 1. 混凝土試驗配比及 28 天抗壓強度。

Table 1 Mixture proportions and the 28days compressive strength of concrete.

水灰比	水 (kg/m <sup>3</sup> )	水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	28 天抗壓強度(MPa)
0.4	202	505	625	1047	39.2
0.5	202	404	711	1047	30.1
0.6	202	337	768	1047	24.9
0.7	202	289	809	1047	20.9

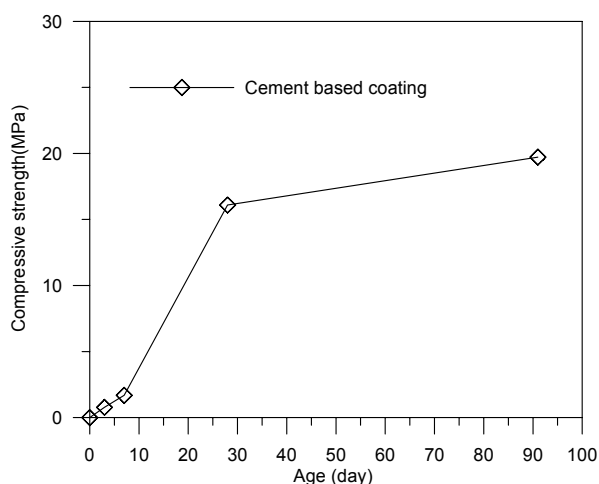


圖 2 水泥質系表面塗料抗壓強度與齡期關係圖。

Figure 2 The compressive strength v.s. ages for cement-based surface coating.

機進行接著強度試驗，其破壞界面如圖 3 所示，試驗結果如圖 4。水泥質系塗料接著強度於三天後其強度隨時間成長緩慢，且於量測時程內並未發現塗封表面伴隨時間產生表面剝落現象。試驗過程中顯示，91 天的接著強度約為接著劑黏結力之 33%，其破壞時係由塗層與水泥砂漿界面破壞。吸水速率是評估試體孔隙傳遞外界水份造成的毛細現象過程，試驗結果如圖 5 所示，結果顯示水泥質系塗封材料吸水速率為零，表示其無毛細現象發生。

### 3.2 混凝土表面塗封水泥質系塗料之滲透性試驗

本試驗原理係利用水頭壓力，主要目的在於評估混凝土表面塗封處理抵抗外界水分子進入試體的能力，試驗方法依據 JIS A 6909 之規定，結果如圖 6 所示。本研究的數據處理原則上係採三個試樣的平均值，若有施作技術未完善而造成數據變異性過大則不列入平均值。由滲透試驗結果顯示混凝土表面塗封後的滲透係數與基材的水灰比、塗封材料的厚度有關，在相同水灰比下，水泥質系塗層隨著塗封厚度增加其滲透性愈低，兩者間成反比關係；而在相同塗封厚度下，滲透係數則與水灰比成正比關係。為進一步評估塗封厚度的效果，以提供工程實務上之參考數據，分別將塗封後與塗封前的滲透係

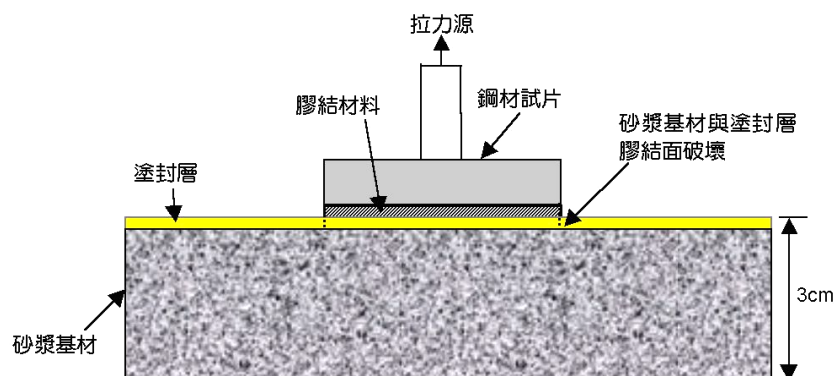


圖 3 接著破壞界面示意圖。

Figure 3 The illustration diagram of destroyed interface for pull-off failure.

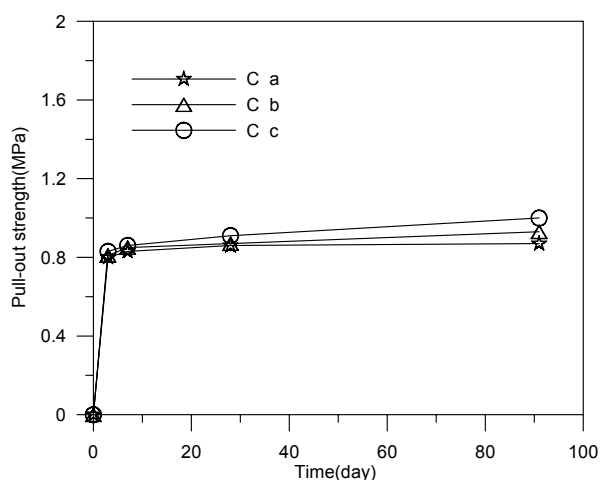


圖 4 水泥質系表面塗料接著強度與時間關係圖。  
Figure 4 The pull-out strength v.s. time for cement-based surface coating.

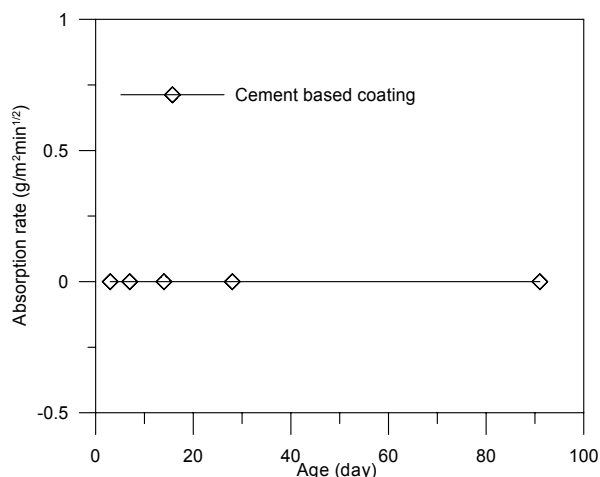


圖 5 水泥質系表面塗料吸水速率與齡期關係圖。  
Figure 5 The absorption rate v.s. age for cement-based surface coating.

數作一比較，可發現塗封厚度 0.2 mm 之水泥質系塗層滲透係數隨著水灰比的變化約為一般混凝土(未塗封前)的 25% ~ 50%，塗封厚度 0.4 mm 之水泥質系塗層滲透係數隨著水灰比的變化約為一般混凝土的 11% ~ 50%，塗封厚度 0.6 mm 之水泥質系塗層滲透係數隨著水灰比的變化約為一般混凝土的 1% ~ 5%。試驗結果顯示，混凝土表面塗封水泥質系塗料能有效降低滲透係數，因此減少水分子進入，在混凝土表面形成一道防護層，所以有助於增加混凝土的耐久性。

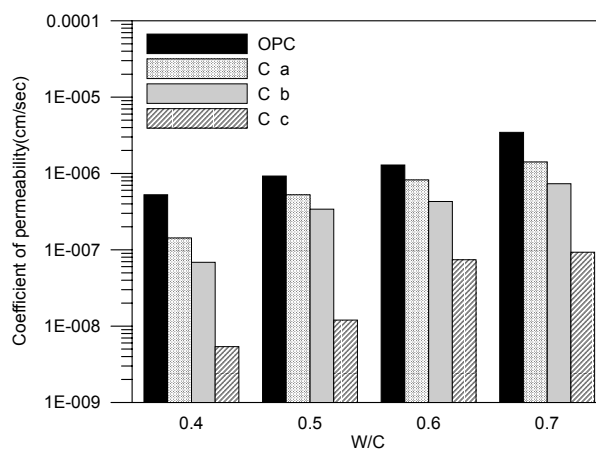


圖 6 不同水灰比混凝土基材表面塗封之滲透係數。  
Figure 6 The coefficient of permeability of different w/c ratio for surface coating.

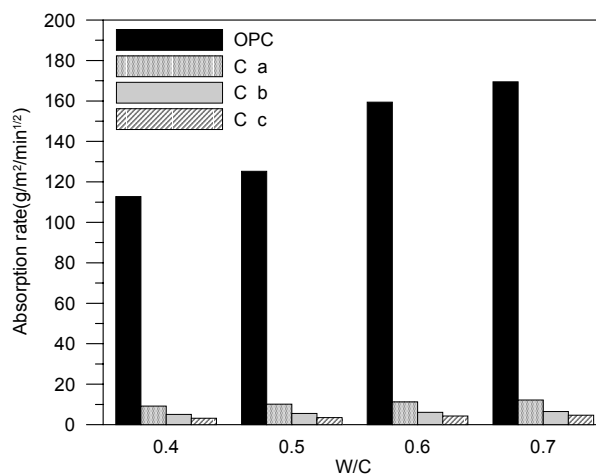


圖 7 不同水灰比混凝土基材表面塗封之吸水速率。  
Figure 7 The absorption rate of different w/c ratio for surface coating.

### 3.3 混凝土表面塗封水泥質系塗料之吸水速率試驗

本試驗是評估試體孔隙傳遞外界水份造成的毛細現象過程，試驗結果如圖 7 與 8。試驗結果顯示，吸水速率隨著水灰比減少而有減少的趨勢，表面水泥質系塗封處理的吸水速率約為一般混凝土的 3% ~ 7%，能有效的降低吸水速率及外界有害離子進入混凝土內部的機會。在室內對照組、現地曝曬及加速紫外線照射環境下 4、8 週，隨著厚度增加其吸水速

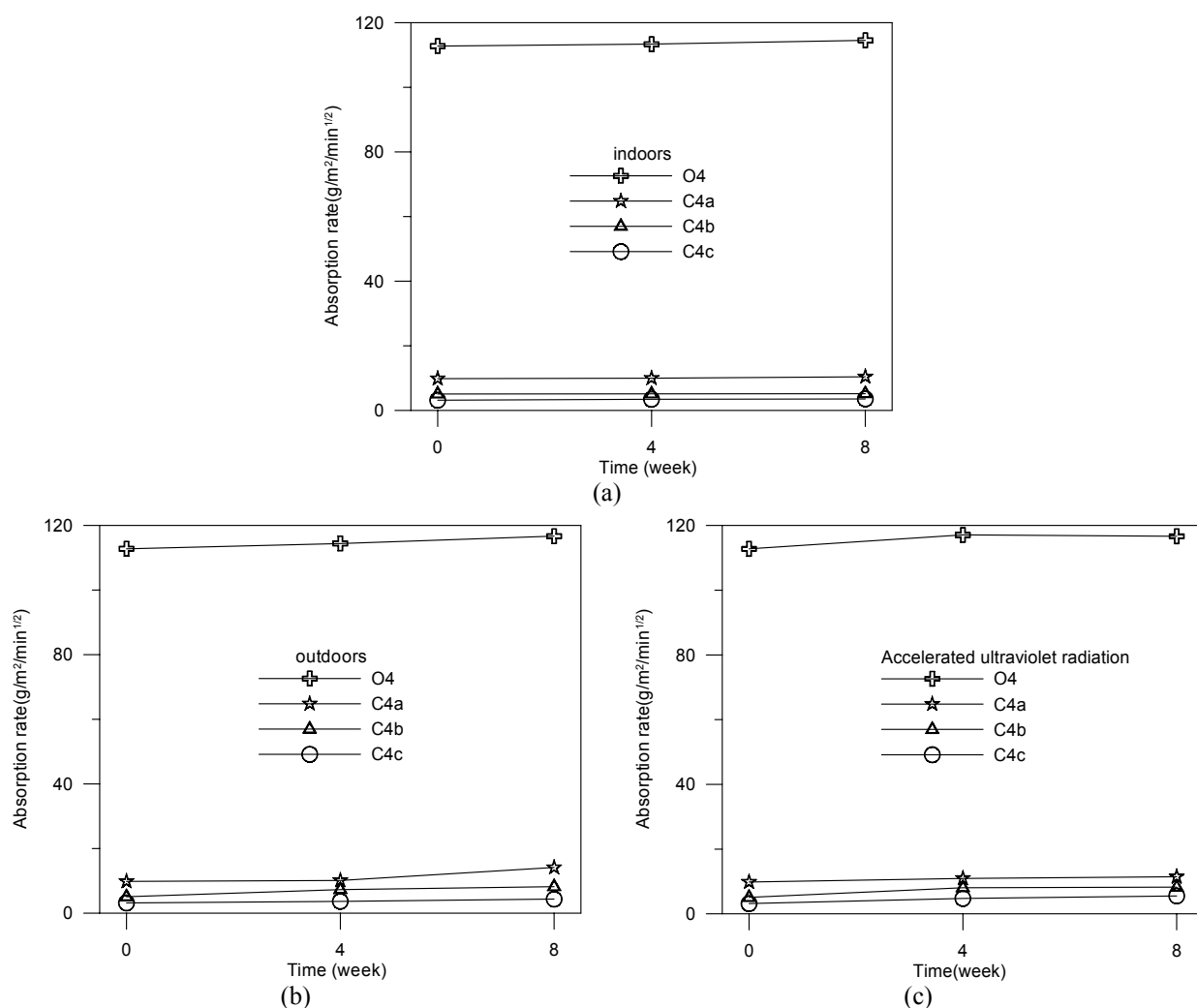


圖 8 水灰比 0.4 混凝土基材表面塗封之吸水速率 (a) 室內對照組, (b) 現地曝曬, (c) 加速紫外線照射。  
 Figure 8 The absorption rate of 0.4 w/c ratio for surface coating (a) the specimen indoors, (b) the specimen outdoors, (c) the accelerated ultraviolet radiation.

率皆有降低的趨勢，但在現地曝曬及加速紫外線照射環境下 4、8 週與室內對照組之間，不同環境下之吸水速率並無明顯差異。本研究中所使用之水泥質系塗封材料因含壓克力乳膠成份，本身的吸水速率極低，且塗封於混凝土表面時因滲入作用可將混凝土表面層的毛細孔隙填補，雖然塗封厚度與吸水速率間的關係並不明顯，然而對於塗封後的試體而言，其吸水速率確實大幅改善。就工程實務而言，塗層為保護混凝土的一道屏障，其厚度大小與離子的穿透能力係息息相關，其選擇時應多角化的考量，以達兼顧經濟性與實用性的目的。

### 3.4 混凝土表面塗封水泥質系塗料之四極式電阻試驗

混凝土為一多孔的複合材料，內部存在著許多的連通毛細孔隙，藉由電阻試驗了解混凝土中的孔隙連通程度，然而利用表面塗封處理在混凝土表面增加一層保護膜，亦即在混凝土增加表面電阻，減少外界有害因子進入機會。試驗結果如圖 9 顯示，水泥質系表面塗封處理有效增加電阻值，隨著水灰比減少而電阻亦增加，並隨著塗封厚度增加而電阻有增加趨勢，此外，水灰比 0.7 經塗封水泥質系塗料三道便可提升其效果與水灰比 0.4 之一般混凝土擁有相同之耐久性。

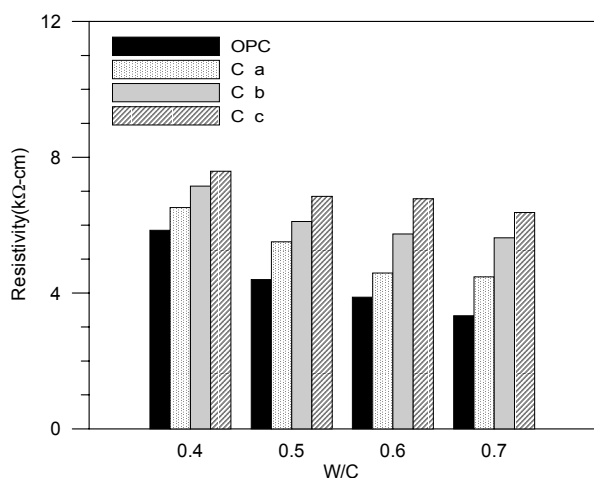


圖 9 不同水灰比混凝土基材表面塗封之電阻值。  
Figure 9 The resistivity on different w/c ratio for surface coating.

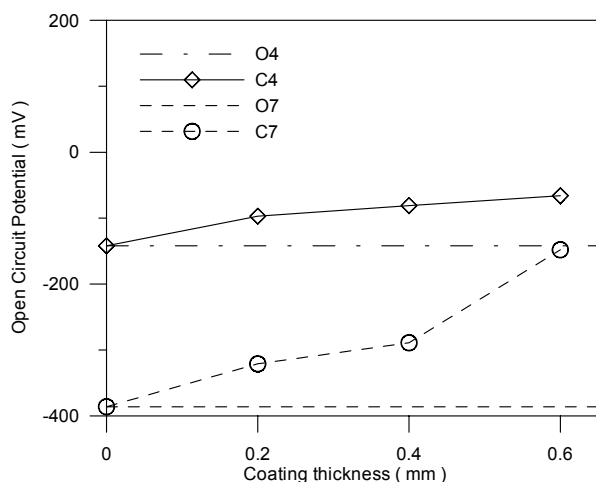


圖 10 表面塗封之開路電位。  
Figure 10 The open circuit potential of surface coating.

### 3.5 混凝土表面塗封水泥質系塗料之開路電位試驗

開路電位可以用來預估鋼筋混凝土中腐蝕的趨勢，依據 ASTM C876-91 中之建議，鋼筋電位高於-120 mV<sub>SCE</sub> 時，發生腐蝕機率低於 10%，當鋼筋電位低於-270 mV<sub>SCE</sub> 時，發生腐蝕機率高於 90%。試驗結果之開路電位值如圖 10 所示，開路電位隨著水灰比減少及塗封厚度增加而增加，水灰比 0.4 表面塗封處理開路電位均高於-120 mV<sub>SCE</sub>；水灰比 0.7 水泥

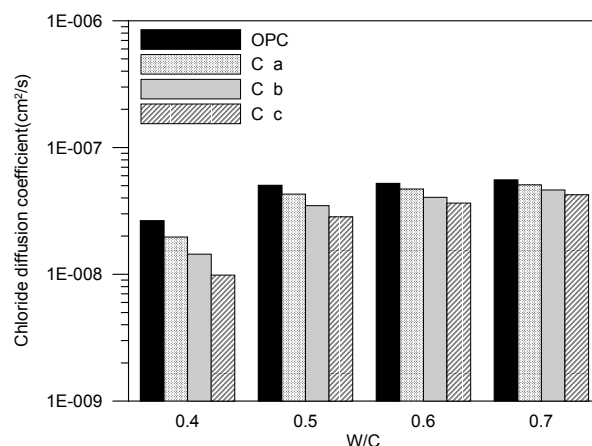


圖 11 水泥質系表面塗封之氯離子擴散係數。  
Figure 11 The chloride diffusion coefficient for cement-based surface coating.

質系表面塗封處理之開路電位均低於-270 mV<sub>SCE</sub>，其中 C7c 與 O4 效果相同，這與電阻試驗結果有相同的趨勢。

### 3.6 混凝土表面塗封水泥質系塗料之氯離子加速擴散試驗

本試驗係採 20 V 之電壓，每 24 小時量測由擴散槽通過待測槽的氯離子濃度，並繪出氯離子濃度與時間的變化曲線圖，試驗結果之氯離子擴散濃度與水灰比關係如圖 11 所示。試驗結果顯示，氯離子擴散係數隨水灰比減少及塗封厚度增加而降低，水泥質系表面塗封處理之氯離子擴散係數約為一般混凝土的 25% ~ 90%，在 Almusallam 等人<sup>[6]</sup>試驗中亦有相似的結果。

### 3.7 混凝土表面塗封水泥質系塗料之快速氯離子滲透試驗

本試驗係依據 ASTM C1202-94 之規定，利用電場加速之離子移動來評估混凝土抵抗氯離子滲透的能力，試驗結果如圖 12 與 13 所示。

電滲主要是量測通電 6 小時後通過固定面積所累積之總電量，而其總通電量是由紀錄之電流與時間之關係，依梯形法計算而得。由圖中可發現，隨水灰比減少及塗封厚度增加而其通過電量降低，根據 Caijun<sup>[11]</sup>之研究，電滲主要受到試體本身孔隙水溶液之影響。

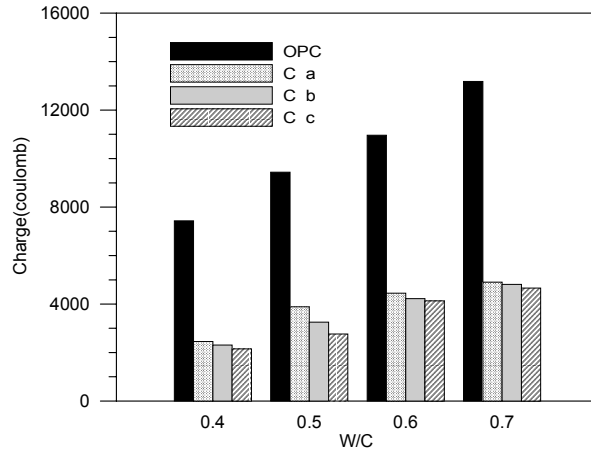


圖 12 水泥質系表面塗封之電滲值。  
Figure 12 The charge for cement-based surface coating.

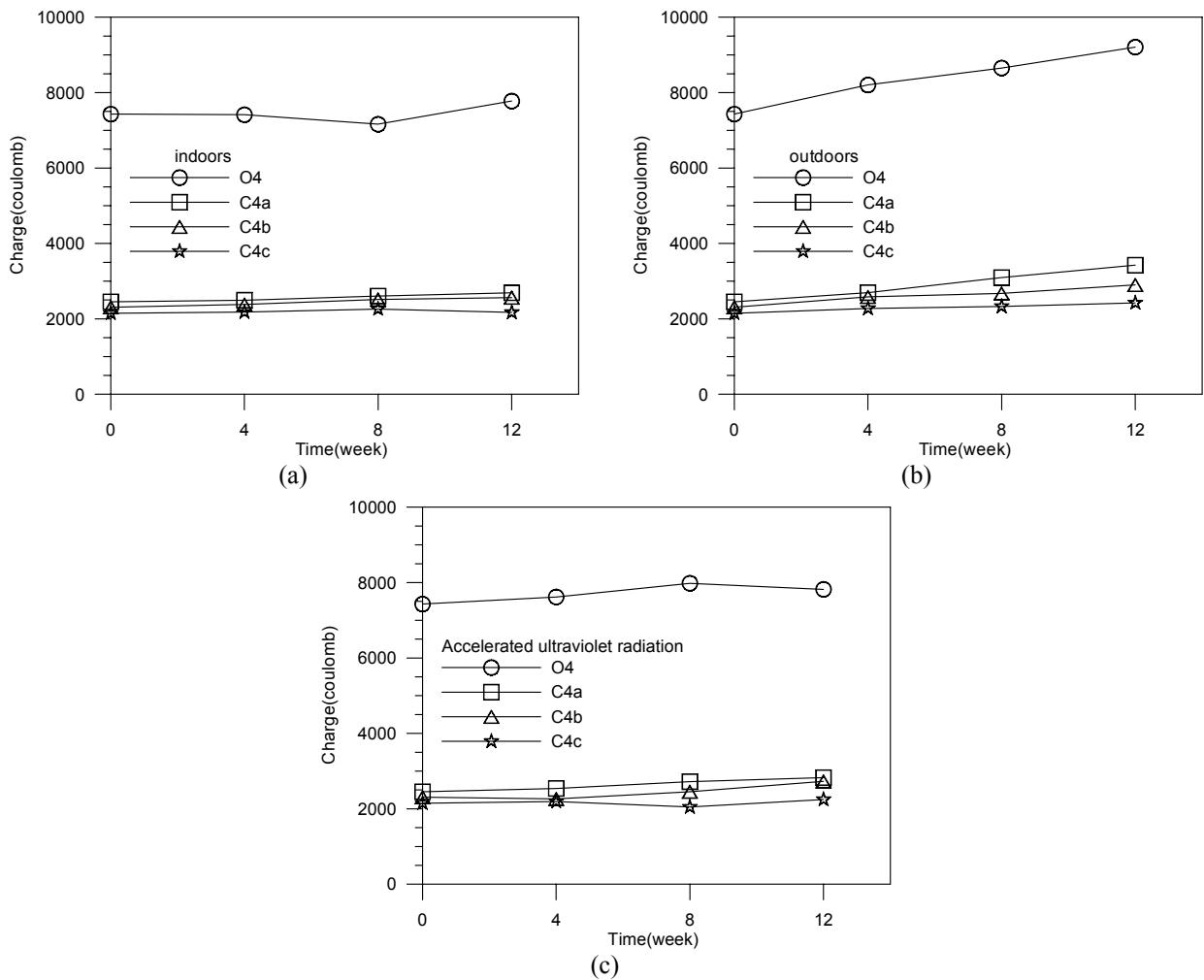


圖 13 水泥質系表面塗封之電滲值 (a) 室內對照組, (b) 現地曝曬, (c) 加速紫外線照射。  
Figure 13 The charge for cement-based surface coating (a) the specimen indoors, (b) the specimen outdoors, (c) the accelerated ultraviolet radiation.



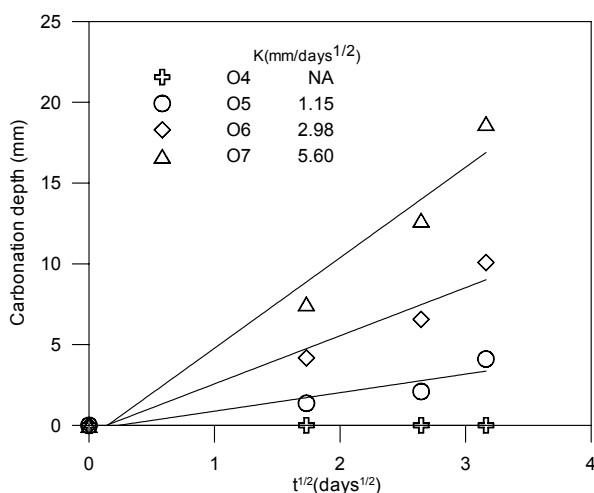


圖 14 水灰比與碳化速率關係。  
Figure 14 The relation between w/c ratio and carbonation rate.

然而在結果中顯示，通過電量隨著水灰比減少及塗封厚度增加而降低，其原因為水灰比減少時，混凝土本身連通孔隙率降低，同時塗封厚度增加，亦代表離子穿透的路徑需增加，水泥質系表面塗封處理較有效的降低通過電量，因此有較好抵抗有害因子侵入的能力，在 Almusallam 等人<sup>[6]</sup>試驗中亦有相似的結果。

室內對照組中，不同水灰比表面塗封處理，其通過電量並不會隨著時間增加而有明顯增加。現地曝曬中，不同水灰比表面塗封處理，其通過電量並會隨著時間增加而有明顯增加，是因為曝曬環境為濱海地區，其受鹽害的影響相當嚴重，故在未作電

滲試驗之前其試體本身已有相當的氯離子存在。加速紫外線照射試驗中，不同水灰比表面塗封處理，在本研究的加速時程來模擬紫外線能量範圍內，其通過電量並不會隨著時間增加而有明顯差異性存在。

### 3.8 混凝土表面塗封水泥質系塗料之中性化試驗

本試驗目的在瞭解混凝土表面塗封處理，對於混凝土抵抗中性化的能力。此試驗有其相當的重要性，影響鋼筋混凝土耐久性之因子相當多，如氯離子、硫酸根離子、二氧化碳的侵入。但混凝土中性化為其主要原因，當混凝土中性化後亦即 pH 值下降至 9.2 以下(酚酞為無色)，此時鋼筋失去鈍態保護膜，致使有害因子進入混凝土後直接就能侵蝕鋼筋，導致加速鋼筋腐蝕發生。試驗結果如圖 14 與 15 所示，碳化深度隨著水灰比減少及塗封厚度增加而降低，其中水灰比 0.4 在碳化期間無法量測其碳化深度，歸咎原因為試驗時間可能不夠長，水泥質系表面塗封處理碳化速率約為一般混凝土 23% ~ 46%。

## 4. 結論

1. 表面塗封材料之基本性質方面，水泥質系塗料的抗壓強度、接著強度，明顯伴隨齡期成長。水泥質系表面塗封材料，並不具表面吸水速率。
2. 混凝土表面塗封材料之物理性質方面，表面塗封水泥質系塗料其吸水速率及滲透係數較一般凝

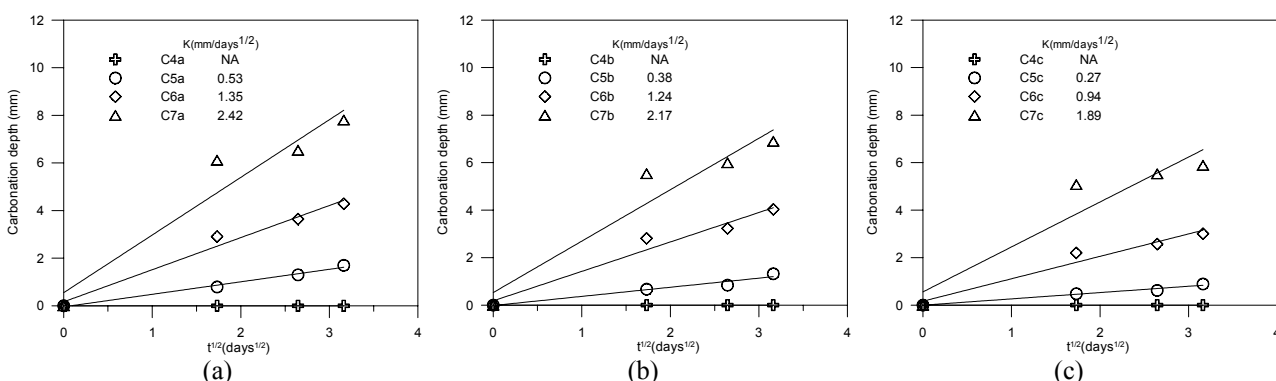


圖 15 不同厚度水泥質系表面塗封之碳化速率 (a) 0.2 mm, (b) 0.4 mm, (c) 0.6 mm。  
Figure 15 The carbonation rate for various thickness cement-based surface coating (a) 0.2 mm, (b) 0.4 mm, (c) 0.6 mm.

土低，隨著塗封厚度增加其吸水速率及滲透係數降低；水泥質系表面塗封處理之吸水速率約為一般混凝土的3~7%，而在現地曝曬及加速紫外線照射對吸水速率的影響並不明顯。

3. 四極式電阻試驗中，混凝土表面塗封水泥質系塗料比一般混凝土有較高的電阻值，隨著塗封厚度增加其表面電阻值增加；開路電位試驗中，混凝土表面塗封水泥質系塗料比一般混凝土有較低的腐蝕機率，隨著塗封厚度增加其腐蝕機率愈低。由四極式電阻與開路電位試驗亦可發現水灰比0.7經塗封水泥質系塗料三層便可提升其效果與水灰比0.4之一般混凝土擁有相同之耐久性。
4. 氯離子擴散試驗中，混凝土表面水泥質系塗料比一般混凝土有較低的氯離子擴散係數，隨著塗封厚度增加其氯離子擴散係數下降，水泥質系表面塗封處理之氯離子擴散係數約為一般混凝土的25%~90%；電滲試驗中，混凝土表面水泥質系塗料比一般混凝土有較低的電滲值，隨著塗封厚度增加其通過電量降低；中性化試驗中，混凝土表面水泥質系塗料比一般混凝土有較低的碳化速率，隨著塗封厚度增加其碳化速率降低，水泥質系表面塗封處理的碳化速率約為一般混凝土23%~46%。水泥質系表面塗封處理，能有效的抵擋有害因子進入混凝土內部。

## 誌謝

本研究承蒙交泰股份有限公司提供經費上的資助，僅表謝忱。

## 參考文獻

1. ACI Committee 222, "Corrosion of Metals in Concrete" (ACI 222R85) (Reapproved 1989), American Concrete Insitute, Detroit, 1985, pp.30.
2. P. K. Metha, "Durability of Concrete Expose to Marine Environment", A Fresh Look ACI sp 109-1, 1988.
3. 腐蝕與防護手冊：化工生產裝置的腐蝕與防護，化學工業出版社(台灣，台北，1991) p.567。
4. 林維明、黃兆龍、彭耀南、饒正，"台灣濱海鋼筋混凝土結構物腐蝕調查研究"，防蝕工程，第十一卷，第四期，2001年，第149~155頁。
5. 國立中央大學災害防治研究中心，"橋樑設計維修支援系統之建立(II) 國內現有自然災害危害評估及防治方法之整合研究"，台灣，台北，1999，p. 3-137~3-160。
6. A. A. Almusallam, F. M. Khan, S. U. Dulaijan, and O. S. B. Al-Amoudi, "Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability", Cement and Concrete Composite, Vol 25, No.4-5 (2003) pp. 473~481.
7. W. Morris, E. I. Moreno, and A. Sauges, "Practical Evaluation of Resistivity of Concrete in Test Cylinders a Wenner Array Probe", Cement and Concrete Research, Vol. 26, No. 12 (1996) pp. 1779~1787.
8. C. Hall, "Water Sorptivity of Mortars and Concretes: a review", Magazine of Concrete Research, Vol. 12, No. 6 (1989) pp. 51~61.
9. RILEM Report 12, "Performance Criteria for Concrete Durability", E&FN SPON, London, 1997.
10. C. Andrade, "Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete From Ionic Migration Measurements", Cement and Concrete Research, Vol. 23 (1993) pp. 724~742.
11. S. Caijun, "Strength, Pore Structure and Permeability of Alkali-Activated Slag Mortars", Cement and Concrete Research, Vol. 26, No. 12 (1996) pp. 1789~1799.

收到日期：2004年7月31日

修訂日期：2006年2月23日

接受日期：2006年6月5日