

摻用海砂結構之防蝕處理

施建志¹、林葆喜²

CORROSION PROTECTION OF SEA SAND CONTAMINATED CONCRETE STRUCTURE

C.C. SHIH¹ P.Y. Lim²

摘要

鋼筋混凝土摻用海砂以致混凝土中氯離子含量過高使得鋼筋生銹、混凝土龜裂、崩裂，影響居住安全及結構安全。摻用海砂的結構物所造成的影響目前已經引起大眾的關切。新的建築物可從管理法規方面著手全力防範類似問題發生。至於已經摻用的鋼筋混凝土結構則需運用各種防蝕方法，以及加強日常維護管理來延長結構物的壽命。本文將介紹各種防蝕方法目前的發展及使用狀況以及日常維護管理的作法，期使海砂摻用對結構物腐蝕及安全所造成的危害降到最低。

關鍵詞：腐蝕診斷、陰極防蝕、電化學去鹽、腐蝕、海砂

ABSTRACT

The use of sea dredged aggregate in reinforced concrete might cause corrosion of rebar, cracking and spalling of concrete and eventually endanger the safety of structure. Concerns have been arised to address how to prevent further use of sea dredged aggregate in new structure and to control corrosion of rebar in the existed structure. Through serial of legislation works and construction management, the use of sea dredged aggregate might be prevented. As to the existed structure, the life may be extended by application of proper corrosion control methods and implementation of maintenance scheme. This paper will introduce various methods and their advantages and limitations on corrosion control of sea sand contaminated concrete structure.

Key words:

一、前言

鋼筋混凝土結構使用未經處理的海砂後，由

於海砂中的氯離子以及本身細度模數等因素會造成鋼筋生銹、混凝土劣化、剝落，甚至樓板崩塌、樑柱傾斜等現象。在桃園正光花園新城及士

1 工業技術研究院工業材料研究所研究員
Research Scientist, Material Research Laboratories, ITRI.

2 工業技術研究院工業材料研究所研究員
Research Scientist, Material Resarch Laboratories, ITRI.

林福林家園經過媒體報導之後，一般民衆對此非常的關心，也引起各相關單位的重視。各界紛紛委託分析單位檢驗混凝土，希望了解是否有海砂摻用在其中。檢驗工作大多是測量混凝土中氯離子含量。測量混凝土中的氯離子含量之後，再根據相關國外規範或研究資料判斷氯離子含量是否偏高。如果氯離子含量偏高，接著工作的重心將是落在如何檢測房子是否會腐蝕，以及如何防蝕等等。由於國內過去在海砂結構物防蝕管理方面缺乏經驗，也沒有一定程序可循，因此，作者參考日本建設省在昭和61年公布「建築物耐久性向上技術開發」⁽¹⁾的相關資料及歐美各國的相關文獻提出如圖一的程序，做為已摻用海砂結構物的後續處理方法。此一程序包括了各種檢測、診斷、劣化評估、防蝕方法的運用及管理制度之建立，其詳細內容敘述如下。

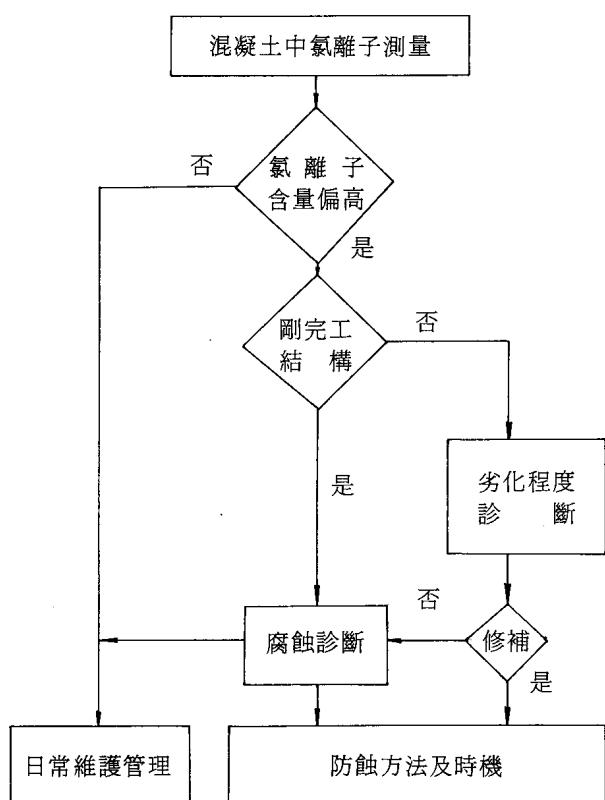


圖 1 掺用海砂鋼筋混凝土結構體管理程序

二、問題現況探討

在83年4、5月間，媒體大量報導海砂摻用於鋼筋混凝土的問題，短短2個月之間有相當多的案例被報導。從淡水的民權社區、士林福林家園、五股明日世界、桃園正光花園新城，到新竹華江街及台裕新竹城，總共有1000多戶。這些案例有的是大樓，有的是公寓而其建造時間最久的是約14年，最近的則是1、2年而已。

然而，目前除了這些報導之外，似乎還看不到較嚴謹的調查及分析，讓大家更了解海砂問題的嚴重程度及海砂摻用結構的壽命及後續維護方法。我們認為這些調查、分析及研究必須同時測量影響結構的性質，例如氯離子含量、混凝土強度、水灰比、水泥含量、鋼筋腐蝕現況及速率、保護層厚度等等，以便分析為什麼有些結構物易於腐蝕，會在較早時期發現腐蝕徵兆，並進一步評估結構物殘留壽命及安全性及可能的防蝕維修方法。在海砂結構物數量方面，也需要以較科學的統計方法來調查並加以推測摻用海砂結構物的總數，以供政府及社會各界了解海砂問題的現況及應採取之對策。

三、氯離子測量及運用

氯離子是造成鋼筋腐蝕的重要元素，也是摻用海砂結構物腐蝕的主要原因之一，因此目前所有檢測的第一步驟大都是檢測硬固混凝土中的氯離子含量。但是氯離子檢測數據難以用來判斷鋼筋的腐蝕程度。例如：很多採用的方式是參考歐美日的規範來判斷房屋會不會腐蝕。但是國外的規範也不一致（如表1）所以判斷起來相當不容易。即使有規範可循，用氯離子含量高低來判斷房子是否會腐蝕也不客觀，因為很多案例顯示，即使是氯離子含量低於規範的容許值，並不表示此一結構物不會腐蝕，也有氯離子高於此一容許值結構不腐蝕的情形。因為鋼筋在混凝土中腐蝕

表1 各國混凝土中氯離子含量規範比較

氯離子含量 單位 國別	氯離子沾水泥比重	Kg/m ³
美國 ACI318-89	鋼筋混凝土* 一般環境0.3%wt (水溶性氯離子)	0.9
英國 BS1880	鋼筋混凝土* 一般環境0.2%wt (全部氯離子)	0.6
日本 JASS 5-86	0.1%wt 註2 (全部氯離子)	0.3

註1：Cl⁻之重量換算法，單位水泥重300Kg/m³混凝土
單位重2300Kg/m³，單位細管材重Kg/m³

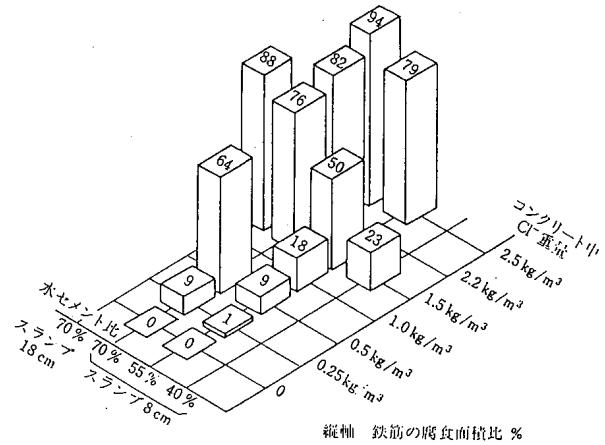
註2：原規範中未詳細說明。此為作者由原規範立意引伸而得。

*：原規範採用之方式

的過程是相當的複雜，而其腐蝕的速率不只和混凝土中的氯離子有關，也受到混凝土保護層厚度、水灰比、水泥含量以及腐蝕環境等等影響。比較圖2及表1之後我們可以了解氯離子含量低於規範值時仍會腐蝕。舉例來說有一混凝土氯離子含量是0.5kg / m³，而換算後是0.15%wt vs cement，從英國規範來看此一混凝土是合乎要求。但是從圖二我們發現在此一氯離子含量下，鋼筋仍然有相當程度的腐蝕。因此，我們不能只是用規範或氯離子含量高低來判斷鋼筋是否會生鏽。氯離子含量的測量應該當做是類似人體的健康檢查，檢查出來的結果可以當成是一個指標，如果含量超過某一個值就應該進一步檢查房子腐蝕狀況。目前材料所在此方面的處理方式如下：當氯離子含量超過水泥重0.1% 時會建議進行腐蝕診斷，以了解鋼筋混凝土結構的腐蝕現況。

四、鋼筋混凝土腐蝕診斷

腐蝕診斷除了提供目前結構物的劣化現況並能鑑定腐蝕原因，以及提供修復方法、區域及時機的參考。

圖2 氯離子含量及水灰比對鋼筋腐蝕之影響⁽⁴⁾

腐蝕診斷所需的資料不外乎混凝土材料現況及鋼筋腐蝕現況。視個案情形而定，每一案件檢測的項目可能有所不同。下面簡述幾種常用的檢查項目。混凝土部份的檢測包括以下幾個項目：

1. 裂縫檢查
2. 混凝土層剝離鋼筋的情形
3. 保護層厚度
4. 中性化厚度
5. 混凝土強度
6. 吸水性及透水性測試

鋼筋腐蝕性質或物理性質的檢測是判斷鋼筋腐蝕最直接的方法。但是由於鋼筋混凝土是一極為複雜的材料，準確的測量鋼筋的腐蝕速度或腐蝕量並不是一件容易的事。以下介紹五種目前常用的方法及其優缺點。

(一) 測量腐蝕電位圖

使用一個高輸入阻抗的電位計，一端接一參考電極（如銅 / 硫酸銅），另一端接鋼筋，就可以測量鋼筋的腐蝕電位。依據ASTM標準，腐蝕電位在 -350mV (Cu/CuSO₄) 以下時，有95% 的發生腐蝕可能。另外我們亦可在一個結構物上分成數個區域，然後測量各區的腐蝕電位，並製成一腐蝕電位圖，再由此一圖來判斷腐蝕集中的

區域，以利後續的維修規劃。腐蝕電位在 -200 mV ($\text{Cu} / \text{CuSO}_4$) 以上時，腐蝕發生的機率在 5% 以下。雖然此一方法相當簡便，但是有以下的缺點，第一、數據只能指出鋼筋是否有發生腐蝕的可能，卻無法告訴我們鋼筋的腐蝕速率。第二、上面的判斷標準只是一個經驗法測，在若干特殊情形並不適用。

(二) 腐蝕電位和混凝土電阻同時測量

測量混凝土電阻可以使用測量土壤電阻的 Wenner method。利用數學模式，腐蝕電位圖和混凝土電阻可以用來預測鋼筋的腐蝕速率。另外混凝土電阻亦可以進一步來輔助腐蝕電位來判斷腐蝕速度的大小。當腐蝕電位在 -350mV ($\text{Cu}/$

CuSO_4) 以下時，若混凝土電阻大於 $12\text{k}\Omega/\text{cm}$ ，則腐蝕速度很小，但如果混凝土電阻小於 $5\text{k}\Omega/\text{cm}$ 時，則腐蝕速度會很大。

(三) 測量瞬間腐蝕速度

由於鋼筋腐蝕是一種電化學反應，測量其電化學反應速度就可以獲知鋼筋的腐蝕速度。在實驗室中，我們有以下幾種方法可以用來測量鋼筋的腐蝕速度，這包含 LPR (Linear Polarisation Resistance)，AC impedance, Harmonic analysis 等電化學方法。

直接測量鋼筋腐蝕速度可以了解此一結構物的腐蝕原因，協助規劃最適當的維修方法及時機。另外，這種技術也可以幫助我們評估防蝕措施的效果。圖 3，顯示材料所在實驗室中評估此

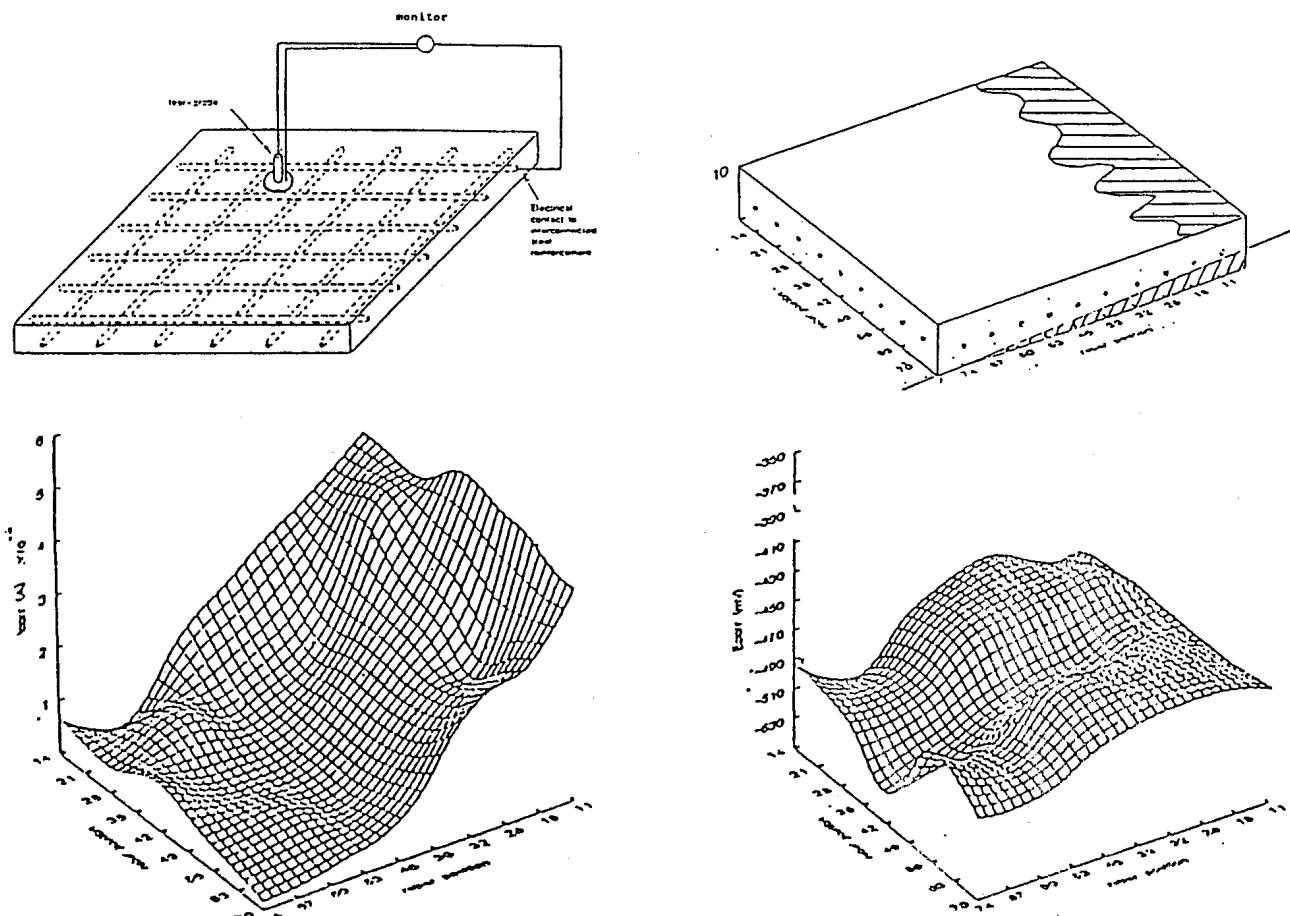


圖 3 鋼筋腐蝕速率測量技術實驗室評估

一現場檢測系統的數據。圖3的右上角顯示的是實驗用的大型水泥塊（長寬各1公尺）其中有互相交錯的鋼筋20根。此水泥塊半浸在鹽水中。另外我們特意在水泥塊的右方噴灑鹽水，並使右方水位高於左方水位。在此特意營造的腐蝕環境下，預期右方鋼筋的腐蝕速度要比左方的要快。圖3的左上角顯示檢測的方法。檢測時，將可移動式探頭放在檢測的位置，再由電化學檢測設備量出腐蝕速度，最後獲得整個鋼筋混凝土結構的腐蝕速度分佈。圖3左下角就是檢測所得的腐蝕速度分佈圖，明顯的和我們預期的結果相同。如果我們使用上面所提的腐蝕電位方法，則無法用來顯示腐蝕的趨勢。圖3右下角就是腐蝕電位分佈圖。腐蝕電位分佈似乎和腐蝕分佈完全不能吻合。由上面說明可以了解正確使用此一技術，不只是可以提供結構物的腐蝕速度並可以結合環境資料來判斷造成腐蝕的原因。

材料所已開發完成一「現場鋼筋腐蝕速率檢測技術」，可用在橋樑或房屋上進行腐蝕速率分佈狀況檢測，檢測結果可供腐蝕原因判斷及結構評估參考。

(四) 鋼筋減薄量的測量

上面所提的電化學方法只能告訴我們測量時鋼筋的腐蝕速度，但是無法告訴我們此時鋼筋已經銹了多少。為了正確預測鋼筋在某段時間後的有效截面積及強度，我們必須要能測量出鋼筋現在的有效截面積（就是沒有腐蝕的截面積）。目前在開發中有radar、超音波、渦電流等非破壞性技術。

(五) 長期腐蝕監偵測

對於一個新的建築物來講，如果一開始在混凝土中埋設一根鋼筋，就可以長期對此一埋設的鋼筋進行腐蝕速度測量。假設此一埋設的鋼筋和結構物有相同的腐蝕狀況，我們就可以隨時掌握

此結構物的腐蝕狀況。

五、劣化程度分類

日本建設省「建築物耐久性向上技術」建議建築物鋼筋腐蝕診斷後劣化程度的分類可依下述方法進行。每一建築物至少檢查五點以。檢查重點在鋼筋腐蝕的程度，鋼筋腐蝕的程度可依表二所描述評分。檢查所有位置後再取各測試點的平均值做為此一建築物劣化程度之判別標準。平均值之計算方式如下：

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^5 \alpha_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^5 n_i}$$

α_i ：每一測試點的評分

n_i ：每一測試點的鋼筋數量

計算 $\bar{\alpha}$ 之後再參照表3區分目前鋼筋腐蝕的劣化程度。

表2 鋼筋劣化狀況評分描述

圖示法	評分	鋼筋現況
I □	0	鋼筋表面鏽層呈現黑色 混凝土有剝離狀況
II □	1	鋼筋鏽層部份浮脫現象 小面積鏽層呈現斑點
III □	3	全部鋼筋鏽層浮脫 部份區域鋼筋減薄
IV ■	6	鋼筋明顯減薄

表3 鋼筋劣化程度評分表

劣化程度	區分之基準
I (微乎其微)	$0 \leq \bar{\alpha} < 1$
II (輕度)	$1 \leq \bar{\alpha} < 3$
III (中度)	$3 \leq \bar{\alpha} < 4.5$
IV (重度)	$4.5 \leq \bar{\alpha} \leq 6$

六、修補時機

日本建設省「建築物耐久性向上技術」的建議建築物依劣化程度等級決定是否現在要進行修補工作。若目前劣化程度在Ⅳ以上，建築物需作立即修補。若劣化等級定為Ⅰ則不用修補也不用再進行精密的再次檢查。當劣化程度落在Ⅱ時，則有必要進行再一次檢查。此次檢查的方法和上述方法一樣，但需要檢查更多位置的鋼筋狀況。不過在海砂摻用結構的案例中，作者認為海砂摻用混凝土結構即使目前評分顯示為劣化程度Ⅰ，仍在進行腐蝕診斷後再決定要不要做防蝕修補工作。因為在海砂摻用的結構中，氯離子已經接觸到鋼筋，只要腐蝕條件足夠，鋼筋腐蝕即會進行，雖然目前外觀尚看不出異狀，但將來仍會惡化到需要修補的程度，因此事先預防未然是有必要的。

七、防蝕方法

摻用海砂結構體的防蝕方法有治標及治本兩種，防蝕工作要參考腐蝕診斷所得結果，再作適當的判斷，才能選擇到經濟又有效的方法。各種防蝕方法用在不同劣化程度的海砂結構物時所需費用及效果也都不同。因此，實施前審慎的規劃是相當的重要。下面簡述各種防蝕方法以及其優缺點。

(一) 摻入型防水劑

防水劑如矽烷化合物可和摻入混凝土內，在毛細孔內和混凝土產生化學反應而形成防水膜。由於混凝土的毛細孔填充了反應物，因此可防止水份侵入鋼筋。使用摻入型防水劑同時也會增加混凝土的電阻及可以減緩混凝土中性化作用避免混凝土中性化導致鋼筋腐蝕，因此，新的結構使用防水劑可以延緩腐蝕的開始。面上有各種廠牌的防水劑，其產品主要組成均不相同，防水的效

用亦不一樣，材料所的評估測試結果顯示各種防水劑防水效果不一樣，因此採用前最好先進行評估。當摻用海砂的鋼筋混凝土結構物已經開始腐蝕，選用適當的防水劑也可以降低鋼筋的腐蝕速率，但是無法完全抑制腐蝕⁽²⁾。因為使用滲入型防水劑後混凝土外觀和未使用時並無兩樣。一般人無法用肉眼判斷防水劑是否有施塗及有防水效果。因此在工研院正在開發現場簡易型檢測方法，以提供施工品管以及日後維修之用。

(二) 裂縫注入法

過去，當沒有摻用海砂的鋼筋混凝土結構產生裂縫時，大都會以樹脂注入裂縫將鋼筋阻絕包圍，以防止水氣侵入造成鋼筋生鏽。此一方法在混凝土沒有氯離子的情況下，的確可以達到降低鋼筋腐蝕的效果。然而當氯離子已經在混凝土中（如摻用海砂）時，樹脂注入法並無法降低或抑制鋼筋的腐蝕⁽³⁾。因此，要選用裂縫注入法為摻用海砂結構物防蝕處理時要特別審慎。

(三) 混凝土補修法

在歐美日本國家目前有相當多鋼筋腐蝕修補產品。這些產品使用方法大都是先將原來銹蝕的鋼筋除鏽、塗裝防銹劑、塗刷表面附著劑後用樹脂砂漿補回已剝落的混凝土斷面。補回混凝土斷面後，在混凝土表面塗裝面漆以增進混凝土的美觀。使用這種修復方法最常發生的問題就是修補區域的邊緣在一段時間後會繼續生銹造成混凝土剝落。如此修修補補之後，房屋還是要拆除重建。澎湖大橋在73年發現鋼筋銹蝕後，也曾試用數家產品進行修復，然修復不久即又發生混凝土剝落現象。

近年來有相當多研究針對此一問題進行了解，研究結果認為由於以下原因致使此一系列產品效果不佳。

1. 修復材料和原混凝土材料物化性質的差異

2. 水份及氯離子會沿修復區域接縫侵入到鋼筋
3. 修補區週邊的鋼筋會加速腐蝕

針對以上問題，各國目前正在研發各種方法，希望能提高修復法的防蝕效果。目前，日本混凝土學會也於1990年起進行一長達五年的試驗計畫。計畫中評估26種方法，評估這些方法對於已經發生腐蝕及未發生腐蝕的試體的防蝕效果。

(四) 鋼筋混凝土陰極防蝕法

鋼筋混凝土陰極防蝕技術使用已有20年左右。其應用範圍最初偏重於交通設備如橋樑及立體停車場，目前漸漸應用到建築物上。美國聯邦公路管理局（FHWA）推薦陰極防蝕法為“唯一能有效抵制混凝土中鋼筋受氯離子侵害之對策”。

陰極防蝕的基本原理即是藉外加電流或犧牲陽極強制使鋼筋形成陰極。陽極不斷的輸出電子使鋼筋週圍呈陰極反應，這樣鋼筋上之Fe就沒機會釋出，因而得到保護（圖4）。

陰極防蝕系統如圖五所示，主要包括外加陽極、電流設備、覆蓋層、陰極（鋼筋）及導電介質（含腐蝕因子混凝土層）。多年來不斷朝安裝便利、重量輕、電流分佈均勻等改進。陽極由早期之導電覆蓋層系統，進展至線狀陽極及目前所開發之網狀陽極系統。另外有樹脂添加石墨或碳

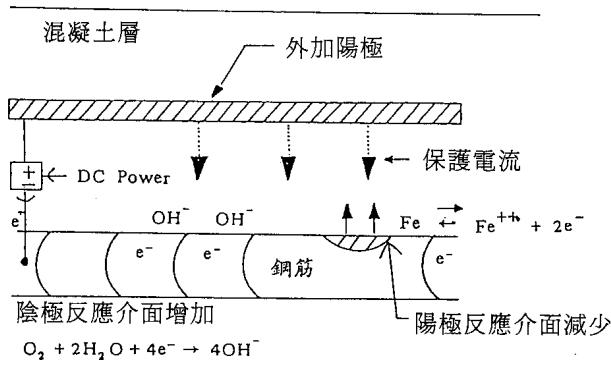
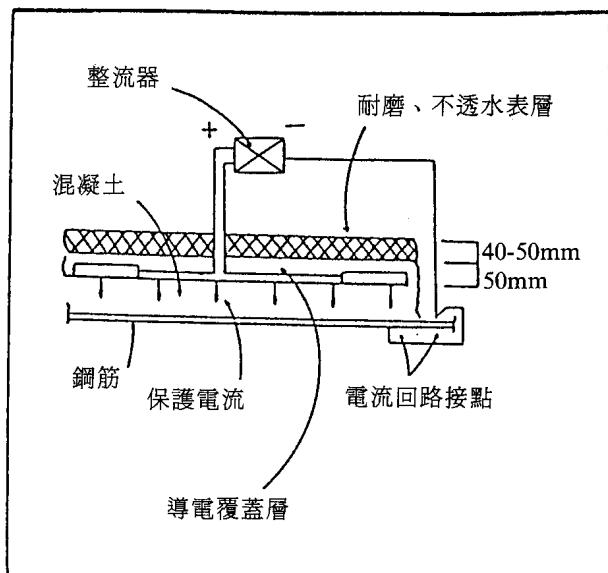


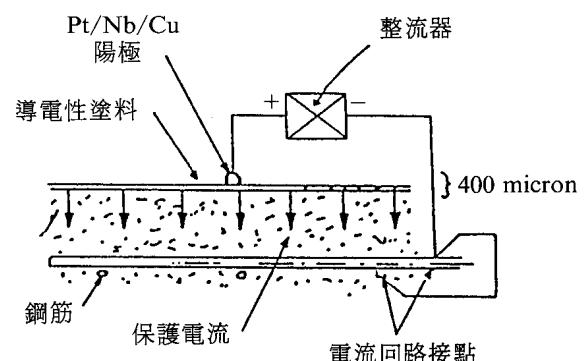
圖4 陰極防蝕原理示意圖

粉所構成的導電性塗料，使厚度由早期的40~50 mm降到400μm。

鋼筋混凝土陰極防蝕技術在歐美日等國經過20多年的使用及研究，目前已經是廣為接受的技術。在國內，材料所於二年前開始進行一系列研究，主要目的在於開發適用於台灣地區的設計施工等相關技術。目前研究進度已經完成實驗室評估、效果檢測技術及材料評估，同時也在台2線28號橋進行一實體陰極防蝕工程。目前已完成的



(a) 導電覆蓋層系統



(b) 導電性塗料

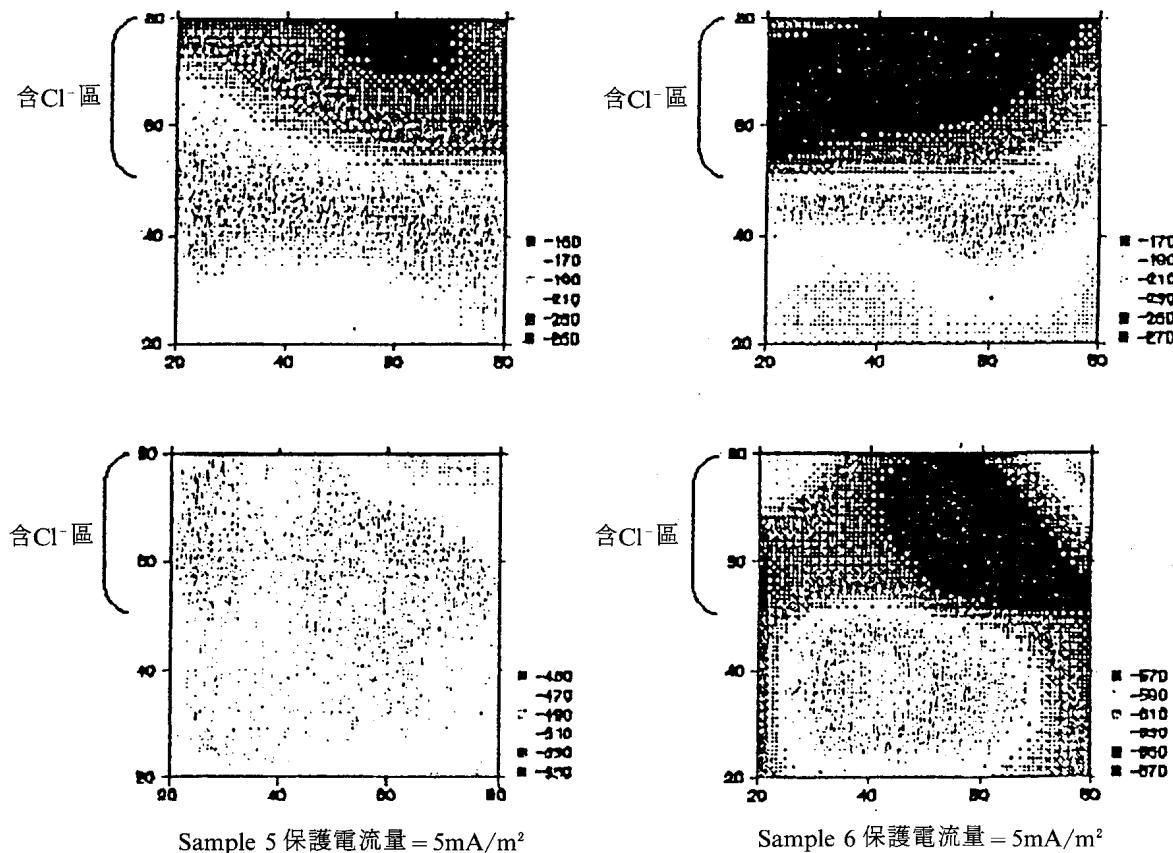
圖5 陰極防蝕系統

初步數據顯示已達到保護要求。圖 6 為混凝土中含有 0.1% NaCl / cement 情形下，陰極防蝕測試的數據。由圖 6 可看出，混凝土中摻有氯離子含量下，只要供應適當的電流量即可達到保護效果。在實際設計鋼筋混凝土陰極防蝕時，有許多因素會影響電流分佈均勻與否，以及防蝕效果之優劣。這些因素包括保護層厚度、鋼筋間之電阻、骨材種類等等。為了正確設計陰極防蝕，在

設計前需先評估這些因素的影響。

(五) 電化學去鹽

當我們摻用海砂於混凝土中，鋼筋表面的氯離子含量如果高過一個值，鋼筋就可能會生鏽。同理可推，如果鋼筋表面的氯離子含量可以用某種方法降低到一個安全的程度，鋼筋就不會生鏽，混凝土也就不會膨脹而剝落。但是，當氯離



試體編號	5	6
保護電流量 (mA/m ²)	5	15
腐蝕電位 (mV)	高 Cl⁻ 區 -240 低 Cl⁻ 區 -160	-250 -190
保護電位 (mV)	高 Cl⁻ 區 -470 低 Cl⁻ 區 -510	-590 -670
保護電位變化量 (mV)	高 Cl⁻ 區 230 低 Cl⁻ 區 350	340 480

圖 6 陰極防蝕效果實驗室評估

子已經因為海砂摻用而深埋在混凝土之內，我們有什麼方法可以再將氯離子驅離鋼筋的表面呢？其原理簡述如下：當我們施予鋼筋一個電流，帶負電的氯離子會遠離陰極而朝向陽極集中，而且給的電流愈大，氯離子的移動速度愈快。電化學去鹽技術就是將鋼筋安排成陰極，當電流接通後，鋼筋表面的氯離子含量會逐漸降低，直到不會造成鋼筋生鏽的程度，處理就完成了。

電化學去鹽技術經過十年的研究，預計到 1994 年底國外商業化應用的總面積將達 20 萬平方公尺⁽⁵⁾。此一方法的處理時間約需 2~10 週左右，處理過的鋼筋經化學分析之後證實其表面氯離子含量明顯降低，已腐蝕的鋼筋會中止腐蝕。在混凝土結構方面，只要適當處理，電化學去鹽處理不只不會影響其強度，甚至會增加其強度⁽⁶⁾。

圖 7 為各種不同海砂含量混凝土在電化學去鹽處理前後的氯離子含量。由數據可以看出 70% 海砂混凝土結構中氯離子含量由處理前的 0.079% 降到 0.016% / 混凝土重。處理過的氯離子含量明顯降低，由此顯示此一技術相當可行。目前國外有類似技術應用到建築物的防蝕上，惟尚未應用到海砂摻用結構物。而海砂對電化學去鹽會有何種影響，以及在複雜配筋情形下電化學

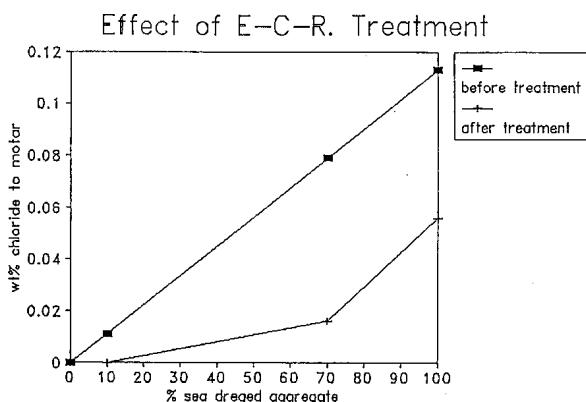


圖 7 電化學去鹽處理前後氯離子含量

去鹽效果如何，這些過去國外都尚未研究過。針對上述的問題，工研院材料所目前正積極研究並預計在二年內開發出適用於摻用海砂建築物上的電化學去鹽技術。

八、日常維護管理

由於鋼筋混凝土腐蝕是一持續性進行的劣化現象，很多建築物在早期無法由外觀看出目前腐蝕的程度，也無法判斷未來的狀況，再加上防蝕方法有其耐用年限。因此，需要一套完善的維護管理制度以便即早發現混凝土劣化徵兆，即早處理，防止影響結構安全。

日常維護管理的架構區分為例行檢查，以及詳細檢查兩大項（圖 8）。例行檢查的工作應由建築物的管理單位執行，檢查的方法大多為目視檢查，其主要功能是即早發現結構物異狀，以便委由專業人員進行深入檢測工作。詳細檢查則是檢查鋼筋混凝土結構各種性能後，以專業知識來判斷結構物的現況、劣化原因、防蝕措施的效果以及堪用程度。

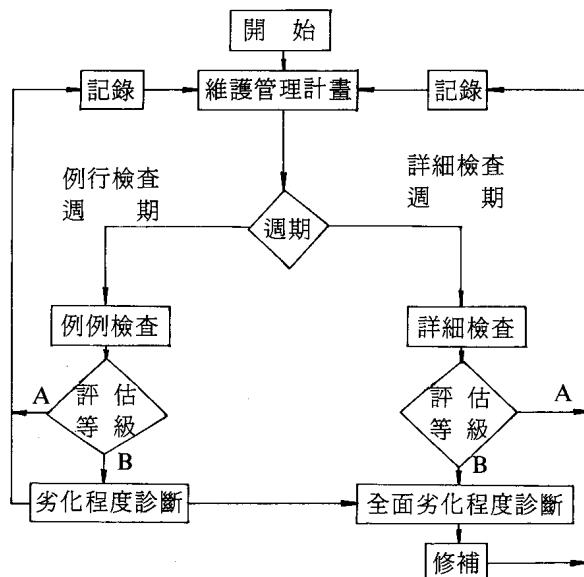


圖 8 海砂結構物日常維護管理程序

九、結論

1. 摻用海砂的鋼筋混凝土結構物過去由於大家不了解其所產生的腐蝕嚴重性，再加上缺乏有效的腐蝕檢測、防蝕方法以及疏於維護管理，因此造成使用僅有短短數年即面臨拆除重建的命运。
2. 摻用海砂的鋼筋混凝土結構物的腐蝕不只和混凝土中氯離子含量有關，也受混凝土保護層厚度、水泥種類、環境有關。為了確實掌握結構物的腐蝕狀況，找出腐蝕原因及妥善規劃防蝕措施，必須進行腐蝕診斷。
3. 摻用海砂的結構物需要透過完善的管理制度，運用腐蝕檢測技術及防蝕方法延長其使用壽命，以免造成財物損失。

參考文獻

1. 「鐵筋コニワソート造建築物の耐久性向上技術」

- 」（財）土開發技術研究セミナー編，技報堂出版，昭和61年，東京，日本。
2. Vassie, P.R, "Concrete coatings: Do They Reduce Ongoing Corrosion of Reinforcing Steel?", in: Corrosion of Reinforcement in Concrete eds. Society of Chemistry Industry (Elsevier Applied Science, London, 1990) p.456.
 3. Calder, A.J.J, in: Corrosion Protection Applied by Various Crack Injection Technique, eds. Society of Chemistry Industry (Elsevier Applied Science, London, 1990) p.433.
 4. 山本彦泰コニワソート中の鹽化物含有量の上限値決定の背景，コニワソート・ライブブン—，第61號，pp1~4，1986.10。
 5. 個人連繫資料，John B. Miller, NCT Ltd, Norway.
 6. Banfill, P.F.G, in: Feature of the Mechanism of Re-alkalisation and Desalination Treatments for Reinforced Concrete, Proceeding of International Conference on "Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete", Sheffield, Jul.1994, ed., R.N. Swamy, P.1489.