

膠化瀝青塗層對鋼筋混凝土梁之防蝕效益探討

鄭棟元*

A Study of Rubberized Asphalt Coating on the Steel Bar to Prevent Corrosion of Reinforced Concrete Beam

Teng-Yuan Tseng*

摘要

本研究主要探討採用膠化瀝青塗層對混凝土中鋼筋之保護效果。探討變數為鋼筋塗佈膠化瀝青與否，並於靜態與反覆載重下，裂縫變數對混凝土梁中鋼筋腐蝕行為之探討。本研究混凝土依 ACI 318-89 規範，以緻密配比法(DMDA)設計 0.4 水灰比強度 (f_c) > 5000 psi。試驗結果顯示：混凝土梁開裂前，混凝土保護層提供良好的保護效果，使鋼筋免於腐蝕。然而，混凝土梁開裂後，混凝土保護層不再提供鋼筋長期保護，鋼筋立刻被腐蝕，在這種情況下，膠化瀝青塗層就能抑制鋼筋腐蝕。

關鍵詞：膠化瀝青塗層；反覆載重；緻密配比法；腐蝕。

ABSTRACT

This study is mainly to investigate the effect of rubberized asphalt coating on the corrosion prevention of steel embedded in ordinary Portland cement concrete beam. The parameters are whether the steel bar coated with rubberized asphalt or not, as well as the corrosion behavior of steel embedded in concrete beam under static and repeated loading.

The concrete beam is designed according to ACI 318-89 code with the requirement of w/c ratio less than 0.4 and $f_c > 5000$ psi, and by densified mixture design algorithm (DMDA). The test results indicate that before concrete crack, the concrete cover provide excellent protection effect to prevent the steel from corrosion. However, after beam cracked, the concrete protection layer no longer provides protection for steel, and it is corroded immediately. In such case, the rubberized asphalt coating then takes turn to prevent the steel from corrosion.

Keywords: Rubberized asphalt coating; Repeated loading; Densified mixture design algorithm; Coating; Corrosion.

1. 前言

混凝土因其具有諸多的優點，所以是所有建設中最重要之材料，所佔比例高達 98% 以上^[1]，而且認為它是一種永久性或半永久性的材料。因為鋼筋混凝土構材中，鋼筋受到混凝土之保護，一般而言是相當耐久的材料。然而混凝土本身為一多孔且易脆的材料^[2]，且規範也允許混凝土有裂縫之存在，倘若所使用材料品質不良或施工控制不當，很容易受到外在環境的影響而產生病變。再加以外在反覆載重等因素，結構物在裂縫持續蔓延下，腐蝕因子自然就很容易循此一管道而腐蝕鋼筋。這其中還不包括鋼筋混凝土因結構設計、施工及使用維護上的疏忽而造成結構物的病變及損害，其中大多數問題終究脫不了與腐蝕有關，因而加速結構體服務年限的縮短。

台灣由於地處高溫及高濕的海島型地理環境，因此腐蝕就隨處可見，而成為結構物的「慢性病」。且由於國內設計者及工程人員大都缺乏防蝕知識，認為只要依據規範設計即可防蝕，往往就疏忽它的存在，等到病發時，往往已病入膏肓。實際上混凝土很容易受外在因素而劣化進而產生腐蝕行為，不僅影響公共安全，而且需投入大量興建及維修費用，根據文獻^[3]，我國每年因鋼鐵腐蝕所造成的損失約為國民生產毛額的 4%，約新台幣貳仟億元，這些費用的浪費誠屬可惜與冤枉。因此全民應深植防蝕觀念，做好防蝕工作，以減少腐蝕所對我們之損害，因此今日正推行中的各項公共工程，就不得不正視腐蝕問題的存在。

2. 材料試驗計劃與流程

2.1 試驗材料性質與配比設計

2.1.1 水泥

本研究採用台泥生產性質符合 CNS 61 第一型卜特蘭水泥。

2.1.2 粗細骨材

本研究用骨材經洗淨烘乾後，進行比重、吸水率、單位重及篩分析等各項基本物理性驗，以為配比設計之依據，基本性質如表 1 所示。

2.1.3 摻料

採用 ASTM C494 規定之 Type F 強塑劑。主要是應用於製造高強度、高流動性水泥材料發揮潤滑之效用，並予降低成本等特性，可改善快速坍度損失之缺點。

2.1.4 人工海水

採用人工海水素加蒸餾水稀釋，以模擬海水環境，藉以使鋼筋混凝土材料處在惡劣環境下。

2.1.5 鋼筋

本試驗所採用之鋼筋係唐榮公司所生產之#5竹節鋼筋。

2.1.6 塗料

由嘉昇公司提供橡膠化柏油塗料作為鋼筋之塗膜料，其原料主要由橡膠化瀝青和少許之聚乙烯組成。其基本特徵為具絕緣，防水份之滲透及韌性良好，且耐化學酸鹼侵蝕，於承受反覆載重下能忍受較大之應變，而仍能保護鋼筋。為確保其塗層之功能性，實施隔日再塗層措施，每層約 0.2mm 確保鋼筋塗層無遺落，然其鋼筋與混凝土之界面摩擦力將因而下降，其握裹力損失情形仍待進一步研究。

2.1.7 配比設計

本研究配比係採用「緻密配比理論」設計 0.4 水灰比混凝土，以混凝土最佳級配與最大單位重原理尋求「最小孔隙」。藉由骨材顆粒緊密堆積建立自身強度^[4]，在足夠漿量前提下，骨材堆積愈緻密則強度愈高^[5]，而透過此種配比方式，可以降低用水量及水泥用量，提昇混凝土體積穩定性及耐久性，減少外界有害物質直接攻擊之危害。緻密配比为測定足夠漿量與工作性，採用振動頻率 3000 rpm，振幅為 0.5 mm 之 Vebe 試驗儀測定混凝土工作性，以 Vebe 試驗作出 VC 值-強塑劑用量百分比曲線。但當強塑劑到達一定用量時，VC 值的降低就很平緩，

即使再加劑量，VC 值也降得很小，此時曲線的折點，即為強塑劑用量對工作性最佳點，如圖 1 所示。依此來決定配比漿量，並調整本研究各配比所用之材料，如表 2 所示。

2.2 試驗變數與試體製作

本研究主試驗主要變數為鋼筋塗層與否為研究變數，試體型式有四種。第一種是製作 12 cm × 28 cm × 80 cm 之單筋混凝土樑，使用 #5 鋼筋(分塗層與裸筋兩種)置於梁中，並於其上綁裹電線，以利電學量測，並以保護層 7.5 cm 置入梁試體澆製混凝土，如圖 2 所示，每種灌製 3 個試體。第二種試體是透水試驗用 $\phi 15 \times 12$ cm 之圓柱試體，灌製 3 個試體。第三種試體是 $\phi 15 \times 30$ cm 之圓柱抗壓強度試體，灌製 3 個試體。第四種是鋼筋與混凝土握裹力量測試體，使用 $\phi 15 \times 30$ cm 之圓柱抗壓強度試體如圖 3 所示，在 $\phi 15 \times 30$ cm 圓柱試體中心插入適當長度 #5 鋼筋(分塗層與裸筋兩種)，距底模 4 cm 處，每種灌製 3 個試體。

2.3 試驗流程與試驗方法

本研究試驗計劃流程如圖 4 所示，試驗方法及試驗設備見表 3。本研究混凝土強度採用 0.4 水灰比配比灌製混凝土四種試體，並將試體浸泡水中養護 28 天後，分別進行圓柱試體的抗壓試驗和透水試驗與鋼筋與混凝土握裹力試驗。抗壓試驗依 CNS 1230 規定以石膏蓋平，並依 CNS 1232 規定進行抗壓強度試驗。透水試驗則依 JIS A6101 規定進行，在壓力維持一定下，分別於試驗開始後之 0、2、4、8、16 小時及 1、2、3、4、5、7、14、28、90、120 天止，分別記錄量筒之水位，再依達西公式 (Darcy formula) 計算該量測試體之透水係數 K，其結果如圖 5 所示。至於鋼筋與混凝土握裹力試驗，其測試方式類似拉鋼筋依 CNS 2111 規定進行，並依建築技術規則第 398 條計算規範規定之握持長度之握裹力，以比較塗層鋼筋握裹力損失下能否合於規範要

求，其經測試結果如圖 6 所示。另將養護完成之梁，浸泡人工海水下 70 天，並每隔 1 天、3 天、5 天不等方式，以配有飽和甘汞電極為參考電極，依 ASTM C876-91 規定施作電位量測。以電位判斷腐蝕與否是依據 Stratfull⁶ 之建議，當電位 E 低於 -270 mV，則鋼筋產生腐蝕，而電位 E 介於 -220 mV 與 -270 mV 之間，則鋼筋可能處在鈍態區，或亦可能已產生腐蝕；若電位 E 高於 -220 mV，則鋼筋處在鈍態區，不產生腐蝕。在進行電位量測同時梁試體也進行交流阻抗腐蝕速率分析，利用英國 Sycopel 之 TFA(Transfer Function Analyzer) 2000 交流阻抗試驗儀，掃描頻率設定在 10 mHz ~ 100 Hz，以監測電位電流之相差予以儲存數據，並轉換成圖形。在高頻部份會顯示出一半圓，但在低頻的部份會出現一個擴散尾 (Diffusion Tail)⁷，藉由賴氏圖 (Nyquist plot) 使用最大相角相切的正切線，可以得到有用的電子轉移電阻之半徑值 (Rp)，而將鋼材腐蝕速率定量化，據此推算材料腐蝕速率，經計算各混凝土試體腐蝕速率結果列於表 4。之後將梁浸泡於人工海水下實施反覆載重試驗，以 100 噸 MTS 結構動態載重試驗機作反覆載重，頻率設計為 10 Hz 反覆載重 200 萬次下，如圖 7 所示，模擬類似橋梁結構物，在車輛反覆載重下橋梁所產生之撓度與裂縫之蔓延，並在有害物質環境(人工海水)下，鋼筋混凝土結構物混凝土劣化與鋼筋受蝕情形。試驗全程同時施作電位量測及交流阻抗試驗，其經量測電位變更結果如圖 8 所示。以上試驗完成，取樣進行依 CNS 1078-R3039 規定，以水溶法經化學滴定方式獲得氯離子含量及氫氧根離子含量。各混凝土試體於混凝土開裂前後，氯離子含量如圖 9 所示與氫氧根離子含量如圖 10 所示，以此判斷混凝土劣化情況。利用壓汞式孔隙分析儀 (MIP, Mercury Intrusion Porosimetry)，將欲測定之混凝土塊取樣約 1 克，將其抽真空後置於 MIP 測定儀中，利用高壓將水銀貫入混凝土試體之孔隙，經由儀器自動將其各孔徑之孔隙累計體積算出，藉以了解混凝土的孔隙結構。最後使用 SEM 電子顯微鏡以觀測混凝土浸泡在人工海水侵蝕與反覆載重作用下，混凝土劣化對其顯微結構改變，以印證巨觀之行為，如圖 11 所示。

3. 結果分析與討論

3.1 混凝土開裂前後對腐蝕影響分析

一般在有防蝕顧慮及較惡劣環境下，建議使用水灰比低者才能保有混凝土之耐久性。因為在水灰比較低者再工作性良好的配合下，混凝土品質會較優良。而混凝土品質優劣亦成為鋼筋腐蝕之指標，因而 Mindness 與 Young^[8] 指出混凝土機械性質取決於材料中孔隙度，孔隙越大者其強度值越小，而有害物質及水份可藉由較大之毛隙孔滲入混凝土內。當毛隙孔多且連聚在一起時，那有害物質及水份就可依此一管道進入混凝土內腐蝕鋼筋。根據本研究 MIP 孔隙試驗得出混凝土之毛隙孔體積為 35.27%，膠孔體積為 64.73%，顯見混凝土品質還不錯。另有研究指出高品質混凝土之透水性應低於 10^{-12} m/sec 為上限^[9]，本研究中所做之透水試驗結果如圖 5 所示，混凝土在 28 天時其透水係數為 1.71×10^{-11} m/sec，顯示使用緻密配比方式之混凝土，其混凝土品質已接近於高品質混凝土。因此以骨材顆粒結構堆積越緻密空隙越小情況下，只要使用少量水泥漿量會減少，一樣可以減少混凝土中弱界面（骨材與水泥漿之界面）形成的機率，同時亦可減少水泥漿與骨材不等量變形而產生界面裂縫及漿體裂縫之影響。除對混凝土整體強度有正面之貢獻之外，對因混凝土劣化而產生之腐蝕機率，也有減少之作用。

在本研究反覆載重下，量得控制組混凝土開裂時初始裂縫只有寬 0.25 mm，但經過一定反覆載重次數後，量得混凝土開裂最大裂縫高達寬 1.49 mm，塗層組初始裂縫寬 0.43 mm，混凝土開裂最大裂縫寬 1.25 mm，此時有害物質當然可以長趨直入進入混凝土中腐蝕鋼筋。因此由本研究混凝土化學性質方面之實驗結果見圖 9，就可以證明這一現象的確在發生，原本未開裂前量測混凝土中鋼筋周圍氯離子濃度控制組為 121 ppm，但在混凝土開裂後，呈現大量增加之趨勢，混凝土氯離子濃度變為 786 ppm，成長 550%。同樣情形也發生在塗層組，其氯離子濃度由 114 ppm 變為 638 ppm 成長 460%，顯示混凝土在未開裂前，氯離子只能透過混凝土慢慢滲透進入混凝土中。但當混凝土開裂後，

人工海水不須再透過混凝土保護層而直接與鋼筋接觸侵蝕鋼筋，另再有反覆載重情形雙重影響下，則形成腐蝕—撓曲—裂縫擴大之惡性循環作用，使結構壽命加速減少。另於圖 10 氫氧根離子濃度方面，其原本混凝土未開裂前控制組為 6265 ppm，開裂後變成 4130 ppm 含量下降幅度達 34.1%，塗層組從 6140 ppm 變成 3480 ppm，下降幅度為 43.3%。混凝土在開裂後混凝土內氫氧根離子濃度呈現急速下滑之現象，這正代表著混凝土正在受劣化，其中人工海水正扮演混凝土劣化的角色，此時混凝土也被侵蝕，孔隙也因而增大增多，所以在圖 11 之 SEM 照片下至為明顯。混凝土受海水侵蝕形成多孔網狀結構，此時混凝土已無法提供鋼筋一個鹼性的保護環境了。文獻指出^[10]，一般氯離子和氫氧根離子之比值需小於 0.63，才不致對鋼筋造成為害，雖然本研究之氯離子和氫氧根離子在混凝土開裂前後比均未達此值，但倘若將研究時間拉長，相信此判斷威脅鋼筋之值短時間內即可達到。

3.2 鋼筋塗層對腐蝕影響分析

台灣海島型地區常年高溫多濕，鋼結構及鋼筋混凝土結構物暴露在此環境下，極易發生銹蝕。因此混凝土為保護鋼筋免於銹蝕之第一道防線，但當混凝土施工品質控制不當，再加以規範在設計時也容許少許裂縫存在，往往實際載重又超出設計載重與反覆載重情形下，此時就會造成結構物裂縫會加寬及加大。有害物質便很容易經此一管道到達鋼筋周圍產生腐蝕現象，就不必經過混凝土保護層慢慢滲入來腐蝕鋼材，就算在混凝土中添加防蝕抑制劑及其他摻料，此時也將無法抑制有害物的侵入。文獻指出^[11]：添加摻料防蝕，只對鋼筋混凝土未開裂前，或小於 0.3 mm 寬之裂縫才具有抑制腐蝕之效。而只要裂縫寬度大於 0.3 mm，則是否添加摻料都無助益，同樣還是會發生腐蝕現象。此時最佳防蝕方式，便是在鋼筋上塗上一層韌性塗膜保護鋼筋以保障鋼筋，加強有害物質之防堵，使鋼筋不與有害物質接觸，致使腐蝕不致發生。

雖然混凝土本身有其自癒性存在，但在裂縫寬

度太大，甚至於在有反覆載重情形下，仍會使裂縫產生一開一閉之反覆行為，當反覆次數增加時裂縫隨之蔓延並加寬。以致本研究所用之人工海水，得以侵入腐蝕鋼筋。因此本研究利用由嘉昇公司提供之橡膠化柏油塗料作為鋼筋之塗膜料，其原料主要由橡膠化瀝青和少許之聚乙烯組成，其基本特徵為具絕緣，防水份之滲透及韌性良好，且耐化學酸鹼侵蝕，並於承受反覆載重下仍能忍受較大之應變變形，以確保其塗層保護鋼筋防蝕之功能性，並與一控制組（裸筋）相比較以瞭解其塗層防蝕效能。

在電位量測方面，從本研究圖8之電位變化所見，控制組與塗層組混凝土在開裂前，雖然浸泡於人工海水下，鋼筋電位有緩慢下滑之趨勢，但仍在 Stratfull^[6] 建議腐蝕範圍之外，顯示此時的混凝土保護層仍能阻止人工海水等有害物質之侵蝕。但在受反覆載重下混凝土開裂後，控制組鋼筋因立即接觸人工海水之環境而產生鋼筋表面腐蝕現象，致使電位急遽下降至腐蝕電位以下；之後又因鋼筋產生新的鈍化膜而又再反彈上來，但又因反覆載重持續作用，使這層保護層又再度遭到破壞，因而電位又下降，故而造成電位上下跳動之現象。但相較之下，塗層組於混凝土開裂後並未下滑，呈現相對穩定電位變化，這意味著塗層於混凝土開裂瞬間擔負起保護鋼筋之重責大任。

前述電位量測雖然方便，但僅能用於定性探討，無法判斷腐蝕速率及型態^[12]。因此本研究乃另採用交流 (AC) 阻抗技術量測鋼筋腐蝕速率，利用解析出溶液、混凝土、惰性膜及界面間之阻抗值，以便獲得較精確之極化電阻，用以計算出腐蝕速率，以比較出鋼筋塗層與裸筋之防蝕差異性。由於腐蝕須透過離子交換與擴散作用，而塗層塗料塗裝於鋼筋上，主要是因漆膜本身對腐蝕性離子具有抗滲透性，且塗料之導電早已被證實是藉助離子交換現象，而不是單純的電子流動。因此，抗離子滲透性能愈強的塗料具有較高的電阻抗，其抗蝕性能也就愈好^[13]。有關這方面有研究的 Mayne 等人^[13] 指出：阻抗高的漆膜同時也較具有良好的防蝕性能。而由本研究之交流 (AC) 阻抗分析結果顯示：裂縫對鋼筋腐蝕速率有決定性的影響，混凝土在未開裂前所得

之 Rp 值均較開裂後高，且在開裂前，Nyquist 圖均為擴散行為，離子擴散經混凝土孔隙來完成，而裂縫產生後，擴散路徑減少，增加有害物質危害鋼筋之機率，因此其 Nyquist 圖形成有腐蝕之現象，經計算結果列於表 4。由其之腐蝕速度來看，控制組於混凝土開裂前腐蝕速率為 $1.75 \mu\text{m/y}$ ，混凝土開裂後腐蝕速率為 $6.87 \mu\text{m/y}$ ，前後腐蝕成長 293%，塗層組於混凝土開裂前腐蝕速率為 $0.18 \mu\text{m/y}$ ，混凝土開裂後腐蝕速率為 $1.50 \mu\text{m/y}$ ，前後腐蝕成長 833%，另就混凝土開裂後控制組與塗層組腐蝕速率相比較，結果控制組為塗層組腐蝕速率的 8.33 倍。顯示混凝土在未開裂前仍具有良好的保護鋼筋的效果，但在混凝土開裂後，有害物質便得以直接侵蝕鋼筋，造成鋼筋腐蝕現象產生。但如有塗層保護下，有害物質便隔離於鋼筋之外，腐蝕問題便不會產生，這結果與前述電位量測結果是一致的。

鋼筋會塗裝是基於防蝕考慮，因此鋼筋和混凝土間必然會有握裹力損失之情形。今欲保證拉應力能確實傳遞到鋼筋，使混凝土和鋼筋間能確實緊密結合在一起，故有必要對握裹力之損失作進一步之探討。文獻指出^[14]：鋼筋因表面有竹節，鋼筋應力在通過竹節時會急劇下降，如果與竹節接觸處的混凝土，其所受之應力在彈性範圍內時，可假設鋼筋局部之滑移甚小，鋼筋應力會在通過該竹節後完全消失，此乃因竹節產生磨擦力及鍵結力而吸收這些能量。但當載重繼續增加時，因超過磨擦力及鍵結力，造成能量之突然釋放，故受力端混凝土會產生圓錐形開裂。經本研究對握裹應力測試結果，控制組之握裹應力為至 54.53 kg/cm^2 ，塗層組之握裹應力為至 44.67 kg/cm^2 ，故塗層會對握裹應力損失約 18%，且與建築技術規則經推算計算值 51.2 kg/cm^2 少約 13%。

4. 結論

1. 混凝土為保護鋼筋免於銹蝕的第一道防線，因此混凝土品質優劣亦成為鋼筋腐蝕之指標，有高品質之混凝土，才能有效阻止有害物質入侵腐蝕鋼筋之機會，也是抵抗混凝土劣化的重要因素。

2. 混凝土原本因不同原因所產生之細微裂縫，在反覆載重下會加寬加大，此時添加任何?料皆無法抑制有害物質之直接侵入混凝土中侵蝕鋼筋。
3. 當混凝土開裂後，會造成混凝土鹼性保護環境之破壞，此時混凝土中氫氧根離子濃度驟減，氯離子濃度快速上升，混凝土產生劣化現象。
4. 當混凝土開裂後，鋼筋塗層成為防蝕最後防線，能將有害物質隔離於鋼筋之外，使腐蝕速率降低因而腐蝕不易發生。但有反覆載重及酸鹼侵蝕下，應慎選適當的塗層材料才能有防蝕功效。
5. 鋼筋塗層確實會對鋼筋與混凝土間握裹力造成一定程度之影響，因此選擇塗層材料時也應注意握裹力損失問題。
6. 本研究所使用之緻密配比設計的混凝土，雖然使用少量水泥漿量，但仍可減少混凝土中弱界面，同時亦減少水泥漿與骨材不等量變形而產生界面裂縫及漿體裂縫之功效，此舉除對混凝土整體強度有正面之貢獻之外，對抗混凝土劣化也有提升之作用。

誌謝

本研究塗料係由嘉昇公司所提供橡膠化柏油塗料，在此謹表衷心謝忱。此外本文於研究期間，承蒙台灣科技大學黃兆龍教授指導，華夏技術學院建築系湛淵源博士提供寶貴之意見，使本文得以完成，在此一併致謝。

參考文獻

1. 陳振川，「國科會高性能混凝土群體研究現況」，高性能研發及推廣研討會論文輯，黃兆龍主編，台灣·台北，1997.06.20-21，pp1-21。
 2. P. K. Mehta, in: *Concrete Structure, Properties, and Materials* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1986).
 3. 鋼構業專輯，工商時報，1999年2月25日，第40版。
 4. 王和源、湛淵源、方裕欽，防蝕工程，第16卷第3期，2002年，第191-200頁。
 5. Chao-Lung Hwang, Long-Sherng Lee, and Fum-Yi Lin, 中國土木水利工程學會，第8卷第2期，1996年，第217-229頁。
 6. Denny A. Jones, in: *Principles and Prevention of Corrosion* (Macmillan Publishing Company, 2nd ed. New York, 1991).
 7. 劉宏義、魏豐義，「碳鋼與耐蝕鋼筋並和安定化處理膜的電化學行為研究」，中華民國防蝕工程學會八十年度大會暨綜合防蝕研討會論文集，台灣·溪頭，1991年，第51-59頁。
 8. S. Mindness and J. F. Young, in: *Concrete* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1981).
 9. 林維明，「海洋混凝土結構物防蝕規範及使用預測壽命之檢討」，海洋混凝土工程研討會，台灣·台中，1987年，第10/1-10/46頁。
 10. B. Espelid and N. Nilson, "A Field Study of the Corrosion Behavior on Dynamically Loaded Marine Concrete Structures", ACI Special Publication, SP-109 American Concrete Institute (1988) pp.85-104.
 11. 邱英嘉，「鋼筋混凝土性質影響腐蝕形為之研究」，碩士論文，國立臺灣工業技術學院營建工程研究所，台北，1992年。
 12. F. Mansteld, "Polarization Resistance Measurements-Todays Status", *Electrochemical Techniques for Corrosion Engineering*, NACE (1986) pp.67-71.
 13. D. J. Mills and J. E. O. Mayne, in: *Corrosion Control by Organic Coatings* (H. Leidheiser, Jr., ed. NACE, 1981) p.12.
 14. 黃兆龍、王和源，結構工程，第5卷第1期，1990年，第45-53頁。
- 收到日期：2004年9月4日
修訂日期：2004年12月10日
接受日期：2005年3月23日

表1. 粗細骨材之物理性質。

Table 1 The physical properties of the coarse aggregate and fine aggregate.

物理性質	粗骨材	細骨材
比重	2.65	2.50
SSD 吸水率(%)	1.2	2.10
O.D 吸水率(%)	0.84	6.76
單位重(T/m ³)	1.58	1.73
細度模數(F.M)	7.16	2.47
最大粒徑(cm)	1.25	—

表2. 混凝土配比設計(m³)。

Table 2 The mixture proportion of designed concrete(m³).

試體型式	水灰比	水泥 Kg	粗骨材 Kg	細骨材 Kg	水 Kg	強塑劑 Kg	總重 Kg
R.C 梁	0.4	347.5	961.0	961.0	139.0	4.3	2412.8

表3. 主要試驗方法與設備。

Table 3 The test method and installation.

項目	參考方法	主要試驗設備	說明
篩分析	CNS 486	分析篩、搖篩機	配比設計資料
比重吸水率	CNS 487	比重瓶、電子秤、烘箱	
細度模數	CNS 1047	分析篩、電子秤	
單位重	CNS 1163	磅秤、體積量筒	
比重吸水率	CNS 488	電子秤、烘箱、網筐	
含氣量	CNS 1177	空氣含氣量測定器、搗棒、鏟刀、量筒	新拌混凝土之空氣含量
凝結時間	CNS 786	電子秤、搗棒、鏟刀	新拌混凝土之凝結工作性
SEM 顯微鏡觀察		掃描式電子顯微鏡分析儀 (Cambridge S360)	混凝土受海水侵蝕前後產物觀察
MIP 孔隙量測		Auto Scan-60 Porosimeter	混凝土孔隙結構
AC 交流阻抗分析		英國 Sycopel 之 TFA 2000 (10mHz~100Hz)	腐蝕速率量測
電位量測	ASTM C876	飽和甘汞電極、三用電表 (內具高阻抗)	觀察電位—時間變化
氯離子濃度分析	ASTM C114	化學藥品一批、pH 計	係利用硝化法求出酸溶氯化物含量
氫氧根離子分析		化學藥品一批、pH 計	利用標定 NaOH 之 KHP 而求 OH 濃度
鹽橋製作		拉金管(Luggin)、飽和氯化鉀溶液	減少因 IR drop 所產生的電壓降
反覆載重試驗		100 噸 MTS 動態試驗機	提供反覆載重
混凝土抗壓試驗	CNS 1230,1232	養護池、100 噸萬能試驗機	測定 28 天齡期之抗壓試驗
透水試驗	JIS A 6101	透水儀一組	依達西定律求其滲透係數

表4. 阻抗分析混凝土中鋼筋腐蝕速率。

Table 4 The corrosion rate of steel bar in reinforced concrete by AC Impedance.

試體		混凝土 開裂	Cl ⁻ /OH ⁻		電位量測 (vs. SCE)		AC 交流阻抗量測			反覆載重 試驗之初	反覆載重 試驗之最	
種類	變數		鋼筋周圍	混凝土表面	電位 (mV)	腐蝕 狀況	Rp 阻抗值 (ohm)	腐蝕速率 (μm/y)	腐蝕速率 增加率	始裂縫 (mm)	大寬度 (mm)	
RC	控制組	375	前	0.019	0.019	-105	無	17.83	1.75	393%	0.25	1.49
			後	0.190	0.215	-284	腐蝕	4.54	6.87			
	塗層組		前	0.018	0.018	-175	無	173.07	0.18	833%	0.43	1.25
			後	0.183	0.198	-369	腐蝕	12.48	1.50			

Stratfel 建議

- E < -270mV, 腐蝕
- 270mV < E < -220mV, 可能腐蝕
- E > -220mV, 不腐蝕

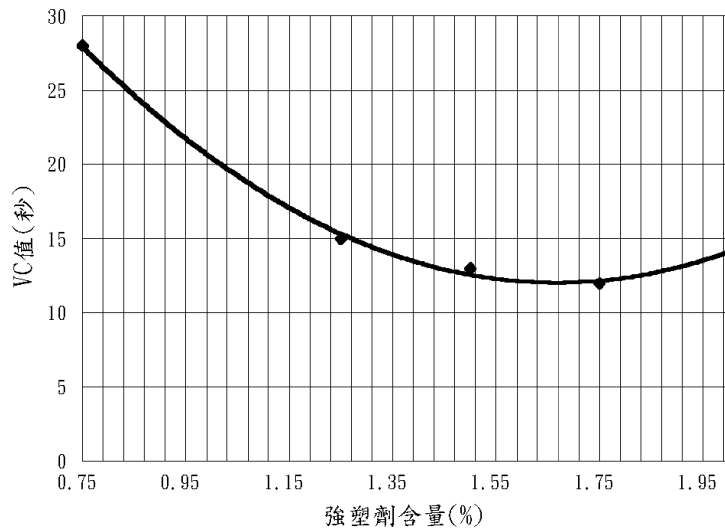


圖1 混凝土之 Vebe 值與強塑劑之關係圖。

Figure 1 Vebe test data curves the dosage of superplasticizer.

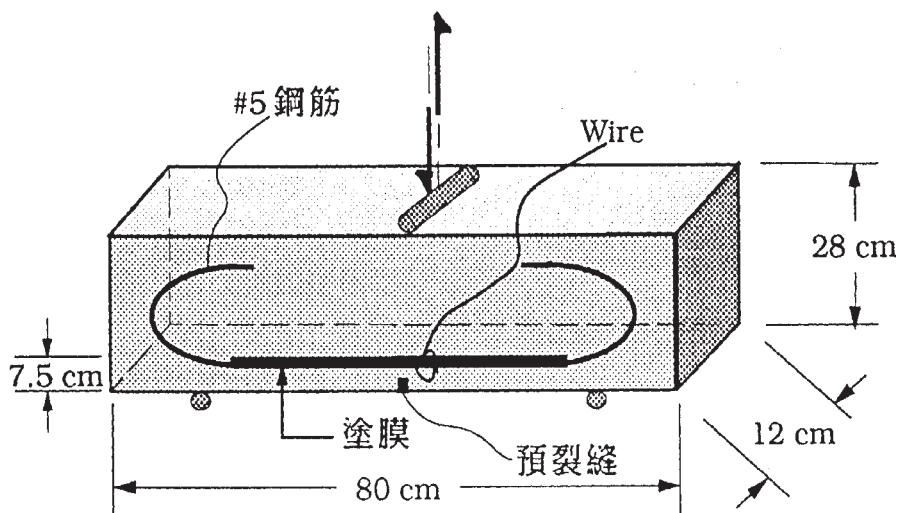


圖2 單筋混凝土梁設計圖。

Figure 2 Schematic drawing of singly reinforced concrete beam.

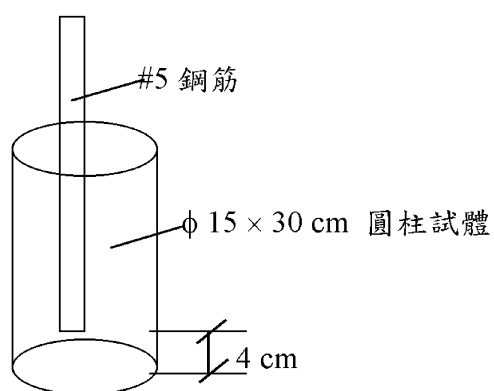


圖3 握裹力圓柱試體圖。

Figure 3 Schematic drawing of specimen for binding test.

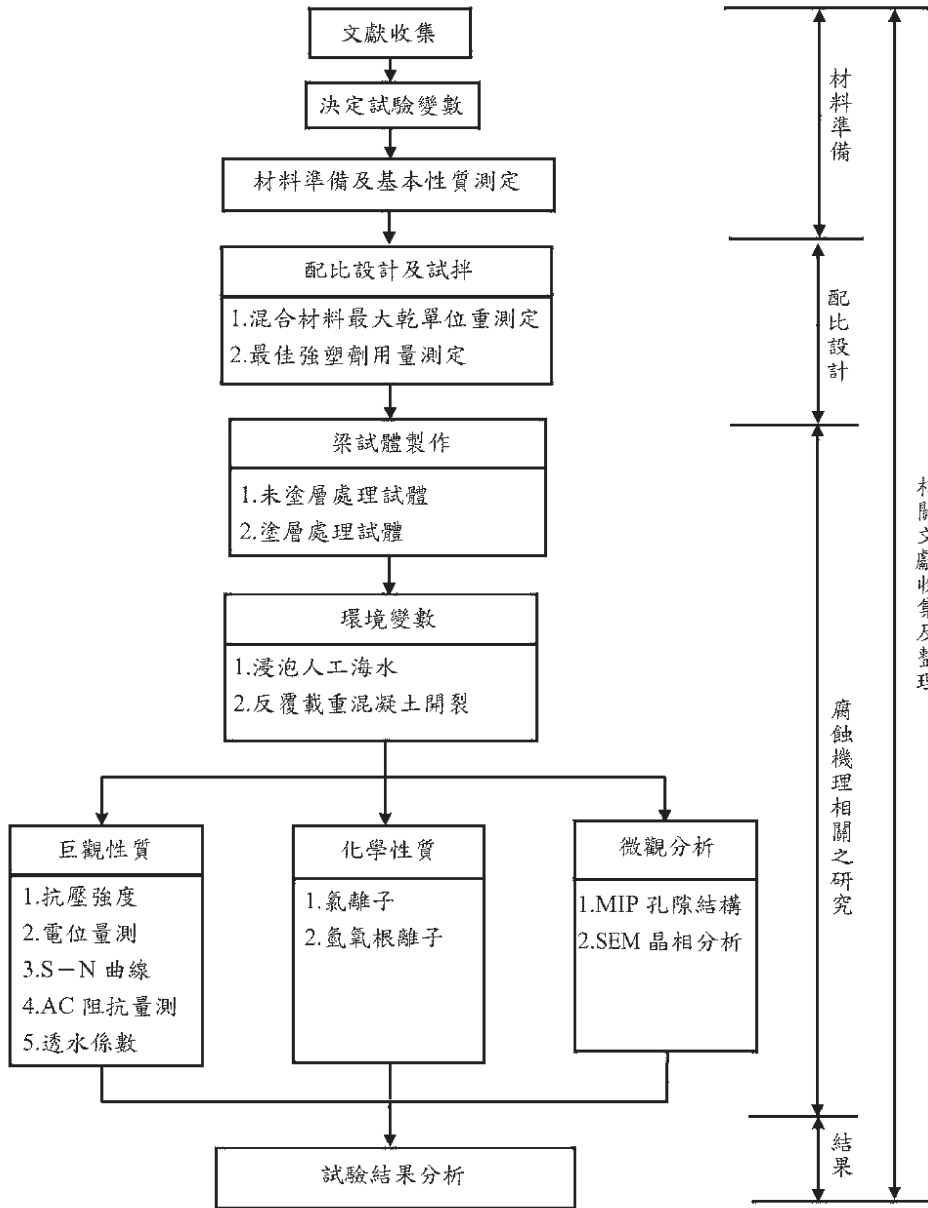


圖4 試驗計劃流程圖。
Figure 4 Study plan.

膠化瀝青塗層對鋼筋混凝土梁之防蝕效益探討

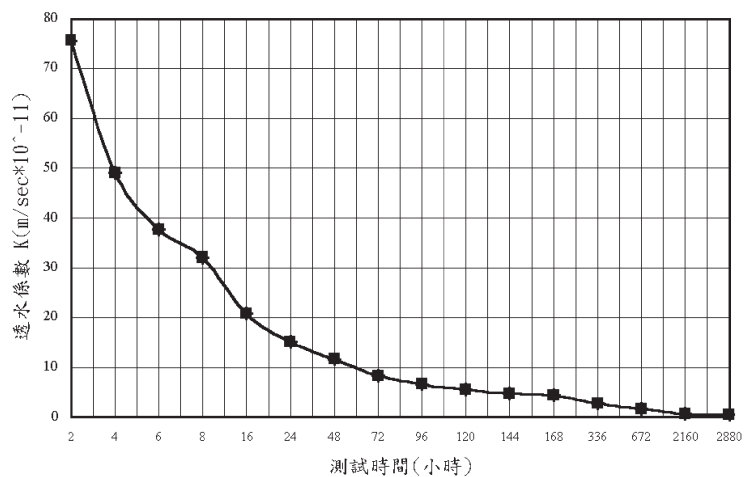


圖5 混凝土透水係數與時間之關係。
Figure 5 Permeability coefficient of concrete versus test time.

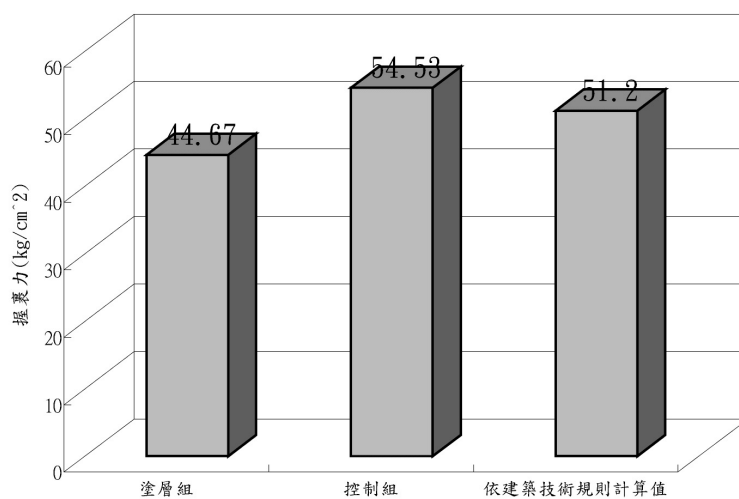


圖6 鋼筋有無塗層握裹力之比較。
Figure 6 The effect rubberized asphalt coating on bond strength.

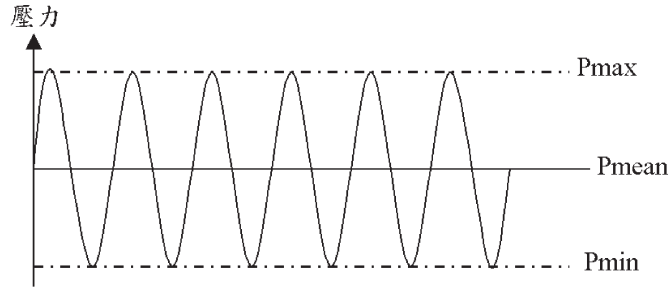


圖7 反覆載重示意圖。
Figure 7 To accept repeated loading diagram.

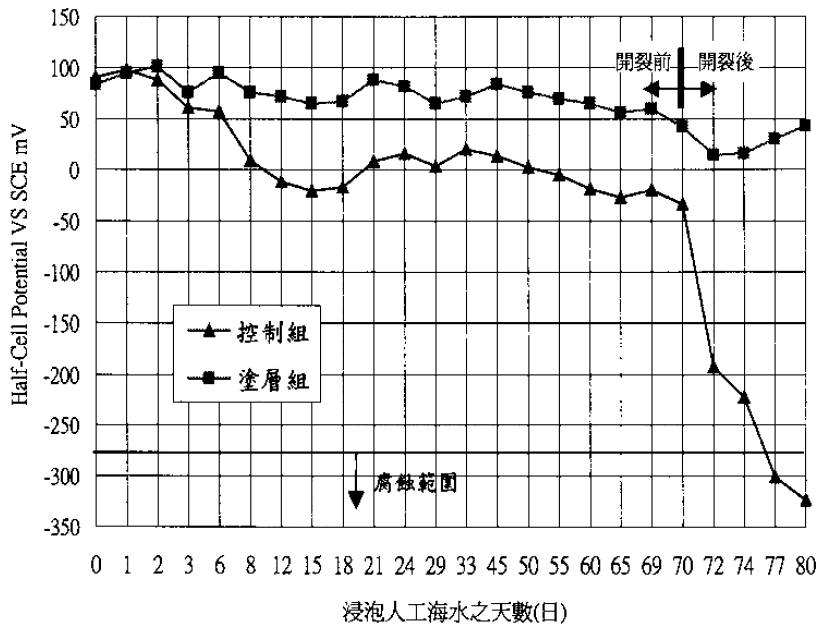


圖8 鋼筋混凝土浸泡人工海水下電位變化。
Figure 8 The effect of rubberized asphalt coating on the current change of steel bar embedded in reinforced concrete beam soaking in brine.

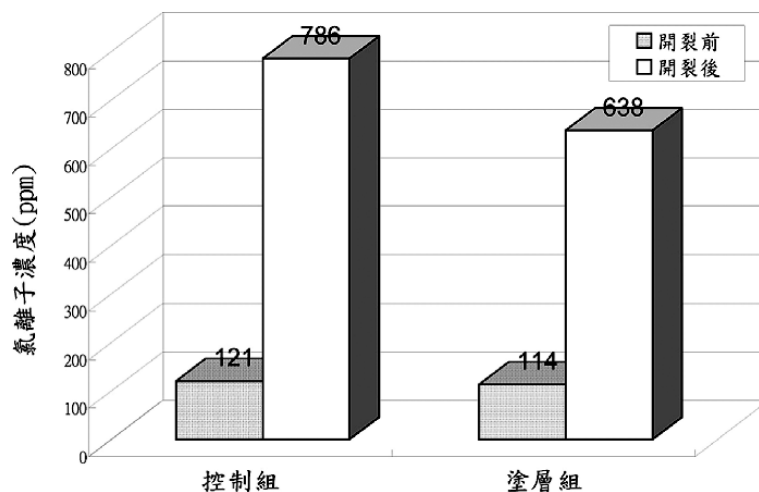


圖9 混凝土開裂前後鋼筋周圍氯離子濃度比較圖。

Figure 9 The effect of rubberized asphalt coating on the chlorine concentration around steel bar embedded in reinforced concrete beam before and after in beam cracked.

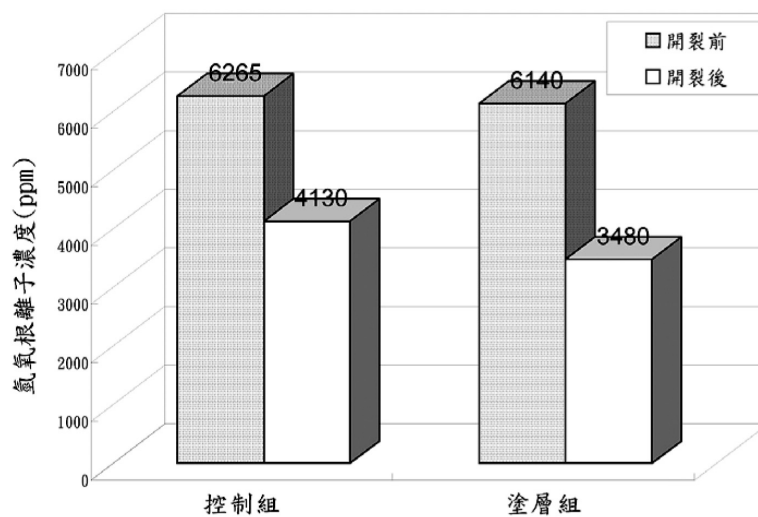


圖10 混凝土開裂前後鋼筋周圍氫氧根離子濃度比較圖。

Figure 10 The effect of rubberized asphalt coating on the hydroxyl concentration around steel bar embedded in reinforced concrete beam before and after in beam cracked.

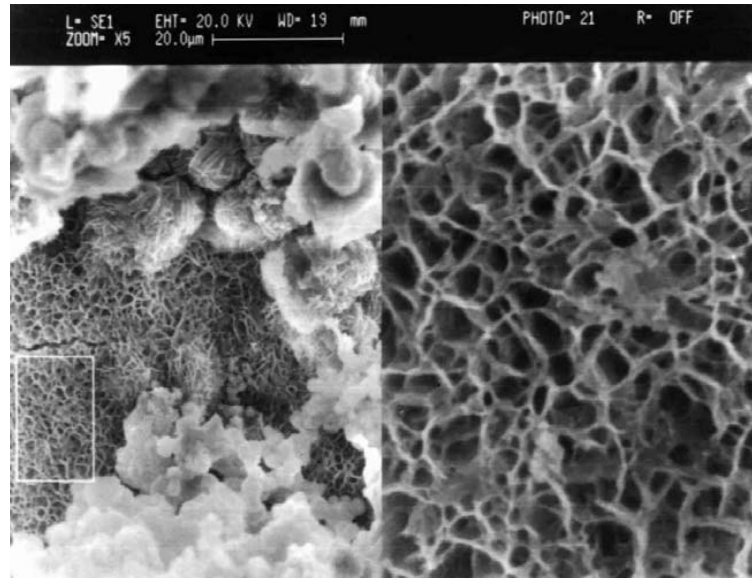


圖11 混凝土受海水侵蝕形成多孔網狀結構SEM圖。

Figure 11 The formation of porous network in concrete soaking in brine by SEM.