

鋼筋混凝土腐蝕破壞與超音波振幅衰減關聯之研究

鄭凱鴻*，吳建國**，黃然*

Correlation between Corrosion Damage and Amplitude Attenuation of Rebar in Concrete

K. H. Cheng*, J. K. Wu**, and R. Huang*

摘要

本研究係利用超音波振幅衰減、開路電位法與直流極化法，量測不同水灰比混凝土中鋼筋腐蝕程度及混凝土之損壞程度，並探討混凝土裂縫對鋼筋腐蝕速率的影響。最後並將電化學測得之腐蝕電位及腐蝕速率與超音波振幅衰減比較，建立其關聯性。

關鍵詞：振幅衰減，腐蝕，鋼筋混凝土，開路電位。

Abstract

The amplitude attenuation method in ultrasonic testing was used to evaluate the corrosion damage of reinforced concrete members. Open circuit potential and corrosion rate after acceleration corrosion were also measured by electrochemical method. It is found that the nondestructive ultrasonic method shows good performance on corrosion detection for reinforced concrete. The relationship between the average amplitude attenuation and the electrochemical parameters was analyzed and concluded in this study.

Keywords: amplitude attenuation, corrosion, reinforced concrete, open circuit potential.

* 國立台灣海洋大學河海工程學系
Department of Harbor and River Engineering, National Taiwan Ocean University
** 國立台灣海洋大學材料工程研究所
Institute of Materials Engineering, National Taiwan Ocean University.

一、前言

鋼筋混凝土為目前世界上多數結構物的主要營建材料，臺灣也是如此。臺灣屬於亞熱帶海島型氣候，四面環海、潮濕多雨，又位於環太平洋地震帶上，地震頻仍。天氣多變造成的熱漲冷縮和地震波的應力作用，使得結構物易受張力、剪力產生裂縫。腐蝕因子以裂縫為捷徑大量進入鋼筋混凝土內部，加速鋼筋腐蝕。鋼材腐蝕後之產物為 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，體積約為原體積六倍[1]，而使裂縫擴大。在不斷的惡性循環之下，對於鋼筋混凝土的承載力，會造成極嚴重的影響，近而破壞結構體的安全性。

一般以鋼筋混凝土為材料的結構物，設計年限多為數十年至百年以上。在此設計年限內，結構材料的耐久性扮演主要角色。與鋼筋混凝土耐久性直接相關的因素，便是鋼筋混凝土中鋼筋的腐蝕速率及腐蝕所造成的損壞程度。在一般的狀況下，吾人不能將結構體破壞取出樣本作檢測。因此對於鋼筋混凝土非破壞性檢測(NDT)的研究就顯得格外重要[2]。

藉由鋼筋混凝土的非破壞性檢測，就可在結構物尚未明顯破壞之前，檢測出結構體安全性的變化，進而採取因應的補救措施，對結構物的安全及公共工程設施的維護整建經費有極大的助益。因此更顯示出鋼筋混凝土非破壞性檢測具有極高的研究價值。

過去有不少利用電化學測量方式[3, 4]及極化電阻測量法[5, 6]應用在鋼筋腐蝕之測定，但利用非破壞性檢測法與電化學法腐蝕測量之關聯性較不為人知。

本研究採用超音波檢測鋼筋混凝土版構件之腐蝕，以開路電位法(OCP)、直流極化法(DC)等電化學方法和超音波回波振幅檢測腐蝕程度，最後得出混凝土裂縫成長與振幅及開路電位之趨勢，並做關聯性之比較。

二、試驗步驟

2.1 試驗材料

本試驗用波特蘭第I型水泥。強塑劑為Type G型強塑劑。鋼筋為本試驗採用#6鋼筋，其成分如表一所示。本試驗粗骨材採自宜蘭縣蘭陽溪，其物理特性如

表二所示。細骨材採自宜蘭縣蘭陽溪，其物理特性如表三所示。本試驗並使用氯化鈉晶體融入自來水中調成濃度 3.5%的食鹽水。

2.2 試體製作

本試驗試體大小為30cm(L)×20cm(W)×10cm(D)之方形及 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 之圓柱試體。選用水灰比0.35及0.45兩種配比，分別以A及B代表其配比，如表四所示，A組水灰比為0.35，B組水灰比為0.45。配比A坍度為23cm及配比B坍度為22cm。鋼筋為32cm長#6竹節鋼筋。混凝土澆置前須先用鐵刷除銹斑，並用丙酮清洗表面油漬後烘乾。在鋼筋外端繫上電線，作為加速腐蝕與電化學測量用。並於電線與鋼筋接頭處塗上環氧樹脂。

長方試體養護28天後，A、B二組各取三塊試體，於試體中央縱向切割表面做成表面縫隙(寬3mm，深10mm)。分別標記為6AC、6BC兩組。

2.3 試驗設備

本研究採用儀器有直流電源供應器(DC power supply)用於加速腐蝕，其電壓最大為30V，電流大為6A。超音波探測儀為日本Krautkramer公司製造之ULCON3型，除了用來測波速外，亦利用此儀器來觀察振幅衰減量，試驗配備有探頭頻率皆為500kHz，其中探頭直徑20mm兩個及掃描器一組。裂縫計則為量測裂縫用，最小刻度為0.1mm。而電化學量測主要係利用恆電位恆電流儀(Potentiostat/Galvanostat, NP-G1001ED)量測。其主要功能有(1)量測腐蝕開路電位。(2)提供恆電位(max. 10.0 Voltage)。電流量測最大範圍，最小為0.1mA，最大為100mA。

2.4 試驗方法

共分四組6A、6AC、6B、6BC，每組試體三塊，將其表面以砂紙磨平，延著鋼筋處畫上五點作為量測振幅衰減用。將試體浸入濃度3.5%的NaCl溶液中，直至飽合為止。首先量測初始值，量測完畢後，以鈦網將試體四周包裹住，放入濃度3.5%NaCl溶液的容器中。其中混凝土試體中的鋼筋接陽極，包裹混

凝土試體的鈦網接陰極，接通直流電源供應器，設計腐蝕電流密度均為 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ ，開始進行加速腐蝕。加速腐蝕裝置如(圖一)所示。

2.4.1 電化學腐蝕量測

本研究所使用的電化學腐蝕量測方法主要為開路電位法與直流極化法。開路電位法(OCP法)，以飽和甘汞電極(SCE)為參考電極(RE)，白金電極為輔助電極(CE)，鋼筋為工作電極(WE)。將(RE)、(CE)、(WE)三電極接於恆電位恆電流儀，測其開路電位(OCP)，並記錄成圖表。以測在不同的加速腐蝕時期，鋼筋腐蝕電位的變化。量測裝置如(圖二)所示。直流極化法(DC法)，係將記錄器接於恆電位恆電流儀，接通(RE)、(CE)及(WE)三電極。由恆電位恆電流儀測得腐蝕電位，再由腐蝕電位以下的 -10mV 掃描至 $+10\text{mV}$ ，觀察並記錄電流的變化。藉由所記錄的腐蝕電位和電流變化求出極化電阻，經由運算後得到腐蝕速率。

2.4.2 回波振幅法

本法採用直徑 2cm 雙探頭，利用A-Scan掃描法在已畫好之區域上掃描。首先必須先依各試體情形，調整分貝數使回波振幅為百分之百的強度，記錄此分貝數(db)做為起始之初值。之後每加速腐蝕 24 小時，以起始值分貝強度測量回波振幅的高度。

非破壞性檢測的應用上，常用的超音波頻率約在 $0.5\text{MHz} \sim 25\text{MHz}$ 之間。但由於混凝土材料骨材粒徑較大，為使波動能夠順利穿透混凝土試體，必須採用較低頻率探頭。故本試驗所採用的超音波為頻率 500kHz 的直束探頭[7]。

波動在穿透一般材料時，或多或少都會造成能量及振幅的衰減。超音波波動振幅衰減的主要原因可以藉由材料的吸收作用以及散射作用兩種現象來說明。吸收作用是音波經過材料時，部份音能以振動材料分子，最終轉變成熱能消散掉，造成音波振幅的衰減。而散射作用則是音波經過非均勻材料時，在不同材質的界面上，由於音阻抗的突然改變，影響音波的傳送，而造成音波的衰減。其中音阻抗(acoustic impedance)為材料密度與音速的乘積，不同物質具有

不同的音阻抗，與物質密度成正比 [8]。

本試驗採用超音波掃描方式為A-scan法來掃描試體。A-scan法係採用直徑 2cm 雙探頭，在已畫好之區域上掃描，利用超音波接收探頭接收振幅信號並記錄之，量測的位置如圖三所示。在A-scan中，螢幕之水平軸代表信號出現的時間，可換算成超音波之回波路徑長度，利用此長度及超音波行進之方向可推算出回波反射體之位置。垂直軸代表接收到的超音波振幅信號高度，可經由比較得到振幅衰減之程度。

每加速腐蝕 24 小時後切掉電源，讓試體靜置 20 小時，待內部離子平衡後，才開始進行開路電位法與直流極化法之量測。測量完畢後，取出試體 1 小時，等表面乾燥後，塗上耦合劑進行回波振幅法。記錄完畢各點之相對回波振幅百分比後，再置入食鹽水中通電加速腐蝕 24 小時。反覆進行上述各步驟，直至相對回波振幅百分比降至趨近於零為止。

三、試驗結果與討論

在每加速腐蝕 24 小時後，分別對每塊試體應用開路電位法、直流極化法等電化學方法量測試體中鋼筋的腐蝕電位及腐蝕速度。

3.1 開路電位法

根據ASTM C876-91規範建議，當混凝土中鋼筋的OCP值介於 -0.120 與 -0.270V (SCE)間時鋼筋腐蝕機率介於 10% 至 90% 。當OCP值在降到 -0.27V (SCE)以下時，腐蝕速率明顯上升，便是試體產生裂縫的前兆。鋼筋腐蝕到一定程度，由鋼筋腐蝕後體積膨脹形變所產生的張應力將會撐裂混凝土，造成微裂縫。微裂縫產生後腐蝕因子繼續侵蝕鋼筋，OCP值仍持續下降。裂縫擴大，使腐蝕速度更快。不久二次鈍態膜形成，OCP值緩緩回升。

試驗觀測時發現，如(圖四)顯示，於未加速腐蝕之初，各組鋼筋的OCP值皆介在 -0.02 至 -0.105V (SCE)間，鋼筋腐蝕機率應當於 10% 以下。6B組、6BC組因水灰比較高、較不緻密，最初的鈍態膜較易被破壞，故腐蝕電位於一開始加速腐蝕後便下降。加速腐蝕過程結果與直流極化法測得的趨勢相同，6AC組的OCP值下降趨勢也同樣比6A組的OCP值下降趨勢快；6BC

組的OCP值下降趨勢比6B組的OCP值下降趨勢快。試驗結果顯示，有預裂縫之RC試片有較易腐蝕之趨勢。

約在第六天振幅開始衰退，也就是微裂縫初現之時，6A、6AC組 OCP值在-0.424至-0.478V (SCE)之間。6B、6BC組 OCP值則在-0.630至-0.641V (SCE)之間。因低水灰比混凝土易趨向高脆性材料，比較不能容忍鋼筋腐蝕後所產生的形變。所以就水灰比而言，低水灰比混凝土在腐蝕尚淺時便生微裂縫。雖然如此，低水灰比具有較高之緻密性，而且初生之微裂縫並未由內部延伸至表面。故在相同的外界環境下，低水灰比混凝土二次鈍態膜形成的時間比高水灰比者晚。

反之高水灰比混凝土材質較不緻密，較能容忍內部微小形變，而且腐蝕因子亦較易侵入。所以微裂縫產生時腐蝕較嚴重OCP值較低，而且二次鈍態膜形成的時間也比較早。由於二次鈍態膜形成的時間決定於腐蝕因子入侵的程度，故二次鈍態膜形成的時間6AC比6A早，6BC比6B早。

因此在主裂縫尚未形成時，鋼筋混凝土抗腐蝕之能力取決於包圍鋼筋的混凝土之水灰比及厚度。水灰比之影響尤其重要。所以評估鋼筋混凝土狀況時需注意，低水灰比者在OCP值降到-0.27 V (SCE)以下時，雖腐蝕不嚴重，仍應注意微裂縫產生。高水灰比者雖然超音波振幅尚未衰減，並不表示內部鋼筋仍未腐蝕。

3.2 直流極化法

由直流極化法可量測出極化電阻，經由運算得腐蝕速率。在加速之初腐蝕速率呈一小幅度的上升。開裂前鈍態膜被破壞後，腐蝕速率急劇上升，直到開裂後仍有上升趨勢，最終趨於穩定成長。DC法所量測之腐蝕速率結果知，水灰比0.45試體較水灰比0.35試體腐蝕速率大。因水灰比越高，混凝土材料緻密性越差，氣孔較多，所以腐蝕因子更容易侵襲內部鋼筋。

每次測量所得之極化電阻(R_p)，能藉由 $i_{corr}=B/R_p$ 之公式得到腐蝕電流密度。在轉換成腐蝕速率，而B值是為常數約在0.024~0.029間 [9~11]。

圖五顯示腐蝕初期6A與6AC的腐蝕速率成長曲線重疊，6B與6BC的腐蝕速率成長曲線重疊，而且B組的腐蝕速率成長趨勢比A組的腐蝕速率成長趨勢快。由此可知初期腐蝕速率大小以混凝土品質為主要影響，與包圍鋼筋的混凝土厚度是否有表面縫隙無關。由回波振幅法得知，約在第六天試體裂縫生成。裂縫生成後，各組腐蝕速率驟升。明顯可見6AC組的腐蝕速率成長趨勢比6A組的腐蝕速率成長趨勢快；6BC組的腐蝕速率成長趨勢比6B組的腐蝕速率成長趨勢快。故在外界環境相同的條件下，因為混凝土品質與鋼筋周圍混凝土厚度同時決定腐蝕因子侵入的速度，影響腐蝕速率的增減。

3.3 直流極化法與開路電位法結果比較

由直流極化法及開路電位法的結果，得到開路電位與腐蝕速率之關係如圖六至圖九所示。電位愈負值所測得之相對腐蝕速率愈快，四組試驗均得相同之趨勢，開路電位達到-0.6V (SCE)，電位就不再下降。即使少許電位上升，仍屬氯離子擴散濃度增加而腐蝕速率仍上升。

3.4 回波振幅量測鋼筋腐蝕之結果

在A-scan中，示波器之水平軸代表信號出現的時間或回波路徑長度，垂直軸代表信號強度。由於音波通過介質產生衰減或散射，回波振幅法即是以超音波接收探頭所收到的回波振幅信號的強度衰減量的多寡，研判鋼筋混凝土內部品質，包括混凝土強度、空洞、裂縫。以A-Scan方法量測試體振幅變化時，在所需量測振幅衰減的點上，針對各點內部狀況的不同，而以未腐蝕前初始振幅值作為基值，每次以各點基值分貝數(db)強度的超音波量測振幅，便獲得和初始振幅值的相對百分比。

由圖十可發現，振幅於初始幾天仍停留在百分之百，其原因為鋼筋在腐蝕初期，所產生的鐵銹不足以對試體內部結構造成影響。微裂縫慢慢形成後，各點的振幅值隨著微裂縫擴大而慢慢下降。直到主裂縫逐漸形成，振幅才開始明顯遞減。裂縫生成的位置與擴大的速率，影響各測點振幅值下降的程度。

而由振幅開始遞減的時間來看，6A組較6B組遞

減快速；6AC組較6BC組遞減快速。這是由於低水灰比混凝土易趨向高脆性材料，比較不能抵抗鋼筋腐蝕後所產生的形變。所以就水灰比而言，低水灰比混凝土在腐蝕發生初期即有微裂縫產生。而6AC組較6A組遞減快速；6BC組較6B組遞減快速。是因為混凝土厚度有預設裂縫處理，腐蝕因子較易擴散接觸鋼筋，較易腐蝕。

若就相對振幅衰減到10%所需時間而言，6A組相對振幅衰減到10%所需時間較6B組長；6AC組相對振幅衰減到10%所需時間較6BC組長。這是由於低水灰比之試體有較佳的緻密性，延長腐蝕因子侵入鋼筋所需的時間，降低腐蝕率。故雖然A組微裂縫較早產生，但裂縫成長卻相對緩慢。

3.5 回波振幅測量與電化學測量結果比較

由開路電位法及回波振幅法的結果可以得到回波振幅與開路電位之關係。如圖十一至圖十四所示。

由直流極化法及回波振幅法的結果，得到各組回波振幅%與腐蝕速率之關係，回歸出各組回波振幅%與腐蝕速率關係曲線如(圖十五~圖十八)所示。起始之相對回波振幅設為100%，最終測得值達到0%止。回波振幅%愈低所相對之腐蝕速率愈高，四組數據皆可得到最高之值約0.2mpy。將以上所有數據及由回歸曲線所推求的數值列於表五。對於水灰比為0.45及0.35的鋼筋混凝土而言，當OCP值高於-0.476 V(SCE)腐蝕速率小於0.0301 mpy時，相對回波振幅百分比大於99%，鋼筋混凝土構件幾乎沒有受到損壞。當OCP值低於-0.628 V(SCE)腐蝕速率超過0.2238 mpy時，相對回波振幅百分比衰減至1%，此時鋼筋混凝土構件應已受損。

四、結論

1. 相對回波振幅(%)測得值與RC腐蝕有絕對之關聯性，超音波振幅衰減可提供RC腐蝕程序之監測。
2. 在主裂縫尚未形成時，鋼筋混凝土抗腐蝕之能力取決於包圍鋼筋的混凝土之水灰比及厚度。水灰比之影響尤其重要。
3. 評估鋼筋混凝土狀況時需注意，低水灰比鋼筋混凝土在OCP值降到-0.27 V(SCE)以下時，雖然電化學

估計腐蝕並不嚴重，仍應注意微裂縫產生。

4. 高水灰比的鋼筋混凝土，雖然超音波振幅尚未衰減，並不表示內部鋼筋仍未腐蝕，應注意內部鋼筋腐蝕情形。
5. 初期腐蝕速率大小以混凝土品質為主要影響，與包圍鋼筋的混凝土是否有表面縫隙無關，亦即與包圍鋼筋的混凝土之厚度無關。
6. 低水灰比混凝土易趨向高脆性材料，比較不能吸收鋼筋腐蝕後形變所產生的能量，會較高水灰比者早產生內部微裂縫。但因低水灰比混凝土緻密性高，主裂縫的生長反而較高水灰比者慢。
7. A-Scan掃瞄法優點在於探測點位置易固定，振幅衰減判斷較易掌握。缺點在於無法診察測點位置以外混凝土的狀況。若是初期內部微裂縫產生位置不在測點上，則無法測知。而且無法洞察裂縫生長的方向。
8. 由試驗回歸可以得到良好的關係曲線，但是就試驗環境與實際環境之間的時間比例縮尺關係，並無法明確的模擬。值得未來研究發展，用以更為精確的檢測鋼筋混凝土結構物的腐蝕損壞情形。

誌謝

本研究承國科會補助大學生參予暑期專題計畫經費，計劃編號NSC 87-2815-C019-012E，特此致謝。

參考文獻

- [1] A. Nielsen: in *The Concrete Book*, C.F.P. Justenson, D. Herholdt, P. Nielsen, eds. , Aalborg Portland, Aalborg, Denmark, 1985.
- [2] B. Hull and V. John , “ Non-Destructive Testing : Ultrasonic Testing ”, pp57~89 , 1988
- [3] H. G. Wheat and Z. Eliezer, *Corrosion*, 41 (1985) 640.
- [4] S. G. Mckenzie, *Corrosion Prevent. Contr*, 34 (1987) 11.
- [5] T. P. Cheng, J. T. Lee and W. T. Tsai, *Cement Concrete Res.*, 20 (1990) 243.
- [6] P. S. Mangat and B. T. Molloy, *Cement Concrete*

Res., (1991) 819.

- [7] H. W. Chung, and K. S. Law, " Diagnosing in Situ Concrete by Ultrasonic Pulse Technique ", Concrete Internal, pp.42-49, 1983.
- [8] K. Tharmaratnam and B. S. Tan, Attenuation of Ultrasonic Pulse in Cement Mortar, Cement and Concrete Research, Vol.20, pp335-345, 1990.
- [9] J. J. Beaudoin, R. F. Feldmen and V. S. Ramachane Cement Concrete Res., 19 (1989) 6.
- [10] M. Stern, J. Electrochemical Soc., 102 (1955) 609.
- [11] H. Kia, J. Electrochem. Soc., 113 (1966) 1095.

表一 鋼筋成分表。

Table 1 Chemical composition of reinforcing steel.

| | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|---------|------|
| 元素 | C | Cu | Si | P | S | Ni |
| 重量% | 0.36 | 0.23 | 0.2 | 0.04 | 0.03 | 0.11 |
| 元素 | Cr | Mo | Sn | Mn | Fe | |
| 重量% | 0.12 | 0.01 | 0.02 | 0.61 | balance | |

表二 粗骨材物理特性表。

Table 2 Physical properties of coarse aggregate.

| 試驗項目 | 試驗依據規範 | 數值 |
|--------------|----------|-------|
| 鬆比重SSD | ASTMC128 | 2.61 |
| 吸水率(%) | ASTMC128 | 1.8 |
| 單位體積重(kg/m3) | ASTMC29 | 1,504 |
| 磨損率(%)500轉 | ASTMC131 | 21.5 |
| 細度模數(F.M) | ASTMC136 | 7.74 |

表三 細骨材物理特性表。

Table 3 Physical Properties of fine aggregate.

| 試驗項目 | 試驗依據規範 | 數值 |
|--------------|----------|-------|
| 鬆比重SSD | ASTMC128 | 2.53 |
| 吸水率(%) | ASTMC128 | 3.56 |
| 單位體積重(kg/m3) | ASTMC29 | 1,532 |

表四 混凝土配比表。

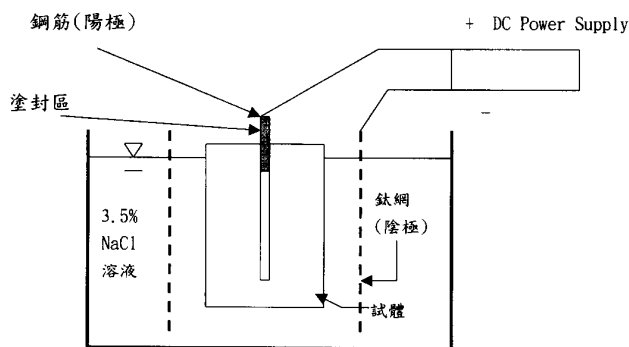
Table 4 The concrete mix designs.

| 編號 | 水灰比 | 每立方公尺所含材料重 (kg/m3) | | | | |
|----|------|--------------------|-------|-------|-------|---------|
| | | 水 | 水泥 | 細骨材 | 粗骨材 | 強塑劑 |
| A | 0.35 | 8.68 | 24.82 | 20.10 | 41.2 | 0.17377 |
| B | 0.45 | 8.74 | 19.43 | 25.43 | 41.39 | 0.01943 |

表五 綜合評估

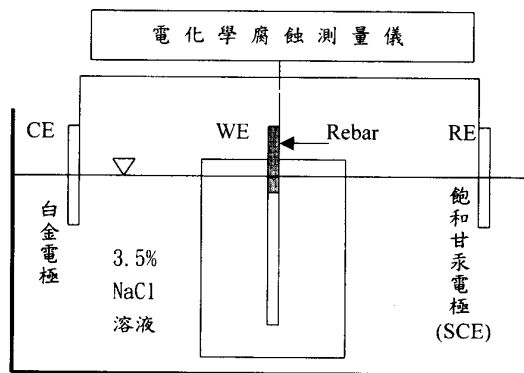
Table 5 Overall evaluation.

| 損傷程度 | 主體結構物 內傷無腐蝕損 | 由回波振幅 比值予以考量 | 結構物內部 嚴重損傷 |
|---------------------|-----------------|---------------------|---------------|
| 回波振幅 | 99% | 99%~1% | 1% |
| OCP (Volts, SCE) | > - 0.476 | -0.476 ~ - 0.628 | < - 0.628 |
| DC法腐蝕 速率(mpy) | < 0.0301 | 0.0301~ 0.2238 | >0.2238 |



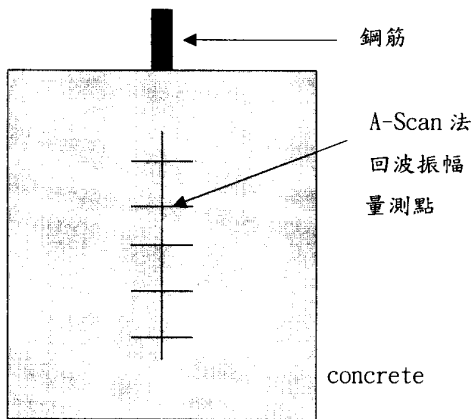
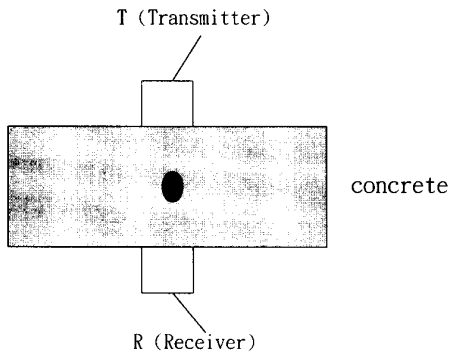
圖一 加速腐蝕裝置圖。

Fig.1 Set-up for accelerated corrosion testing.

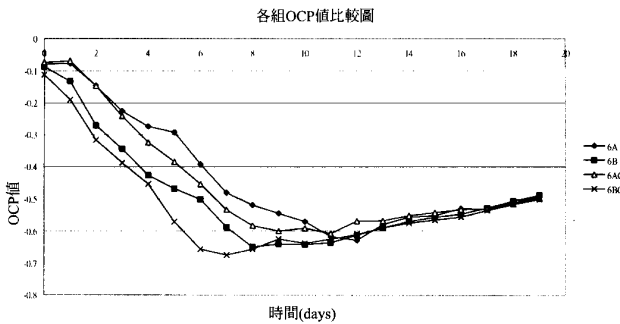


圖二 電化學腐蝕測量裝置圖。

Fig.2 Set-up for electrochemical measurement.

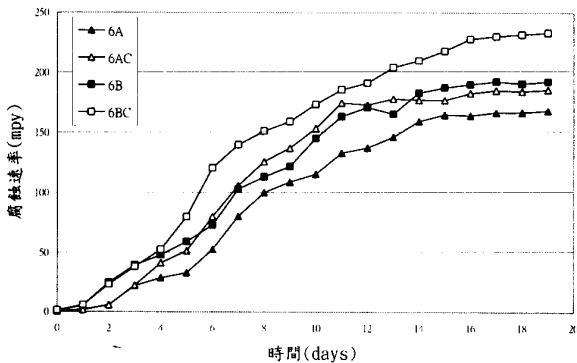


圖三 A-scan量測位置圖。
Fig.3 A-scan measured spots.



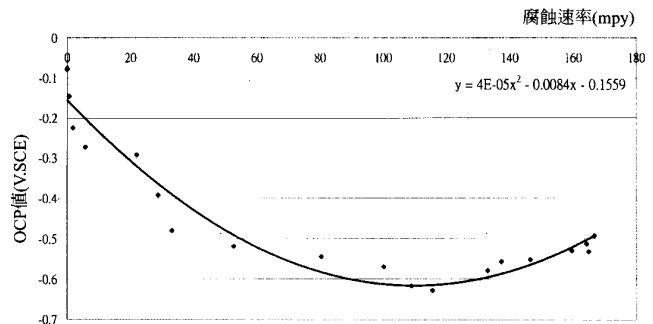
圖四 各組OCP值比較圖

Fig.4 Open circuit potential as a function of immersion time for the reinforcing steel in various concrete specimens.

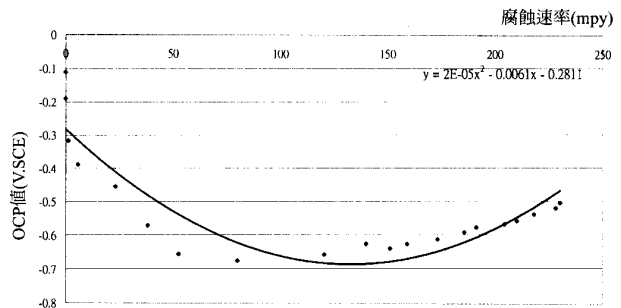


圖五 各組腐蝕速率圖

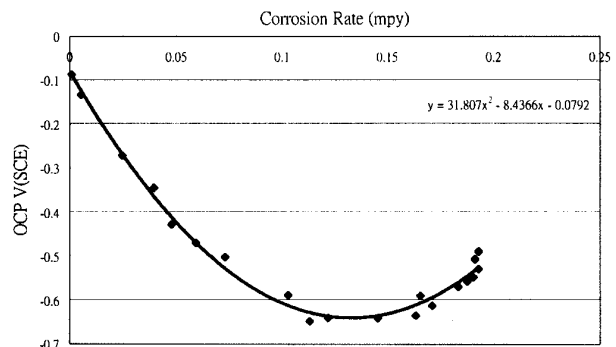
Fig.5 Corrosion rate as a function of immersion time for various concrete specimens.



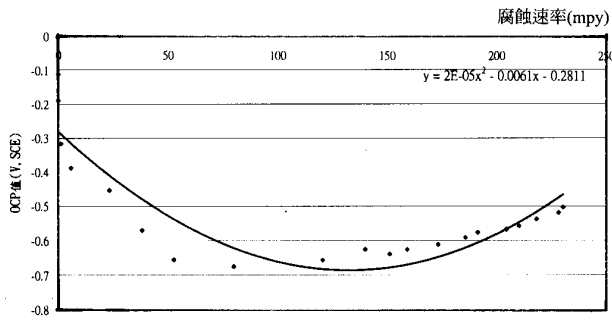
圖六 6A組腐蝕速率(mpy)與OCP V(SCE)之關係
Fig.6 Plot of open circuit potential versus corrosion rate for various 6A specimens.



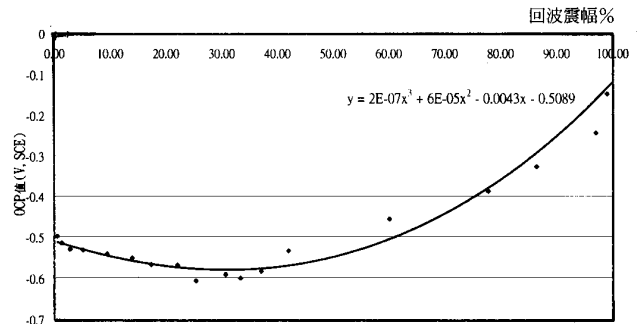
圖七 6AC組腐蝕速率(mpy)與OCP V(SCE)之關係
Fig.7 Plot of open circuit potential versus corrosion rate for various 6AC specimens.



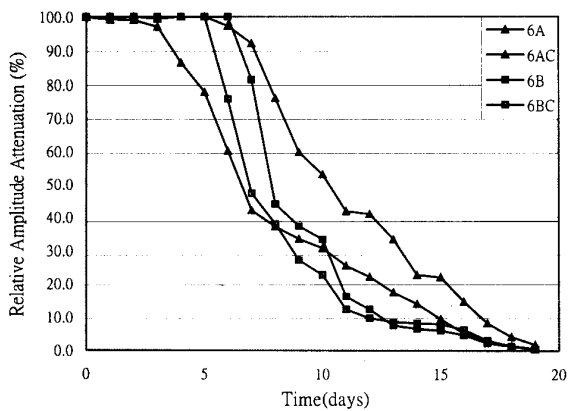
圖八 6B組腐蝕速率(mpy)與OCP V(SCE)之關係
Fig.8 Plot of open circuit potential versus corrosion rate for various 6B specimens.



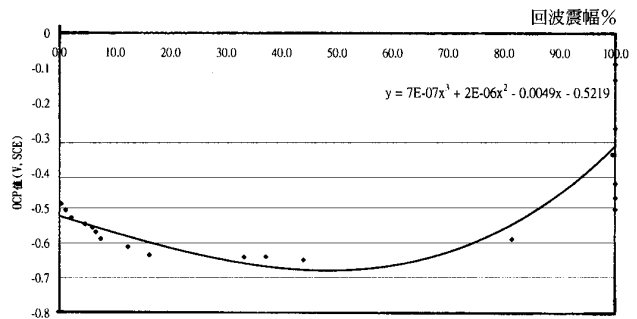
圖九 6BC組腐蝕速率(mpy)與OCP V(SCE)之關係
Fig.9 Plot of open circuit potential versus corrosion rate for various 6BC specimens.



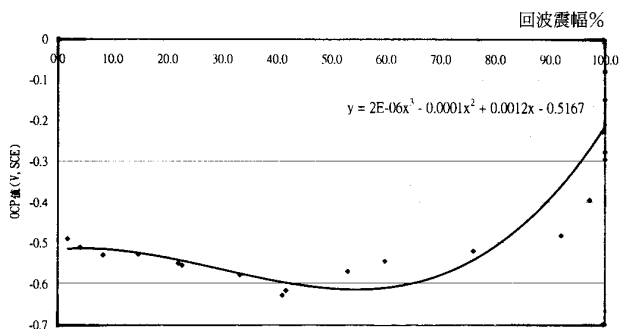
圖十二 6AC組OCP V(SCE)與相對回波振幅%之關係
Fig.12 Plot of open circuit potential versus relative amplitude attenuation for various 6AC specimens.



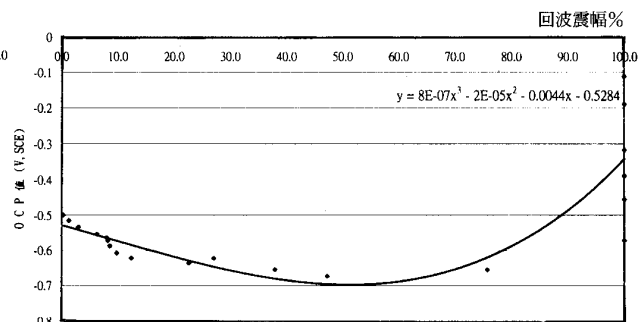
圖十 各組振幅趨勢
Fig.10 Relative amplitude attenuation as a function of immersion time for various concrete specimens.



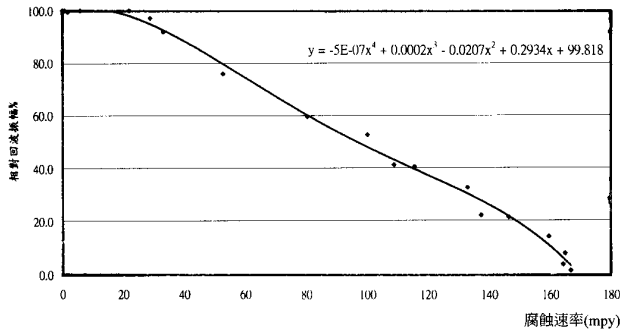
圖十三 6B組OCP V(SCE)與相對回波振幅%之關係
Fig.13 Plot of open circuit potential versus relative amplitude attenuation for various 6B specimens.



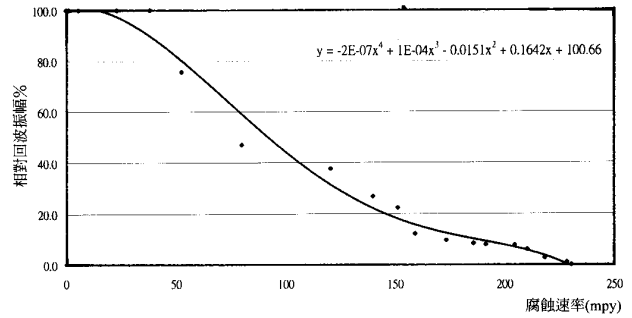
圖十一 6A組OCP V(SCE)與相對回波振幅%之關係
Fig.11 Plot of open circuit potential versus relative amplitude attenuation for various 6A specimens.



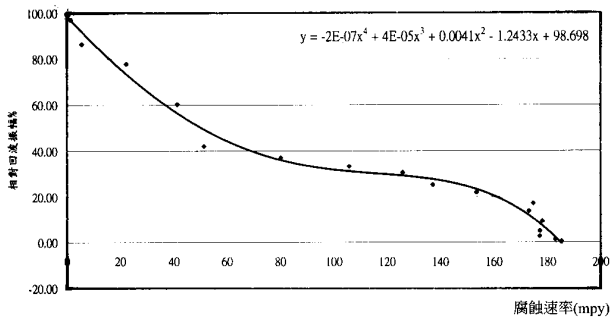
圖十四 6BC組OCP V(SCE)與相對回波振幅%之關係
Fig.14 Plot of open circuit potential versus relative amplitude attenuation for various 6BC specimens.



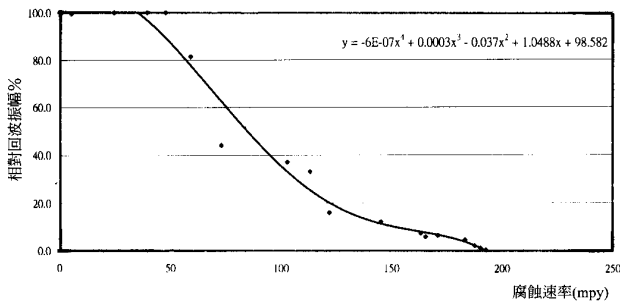
圖十五 6A組腐蝕速率與相對回波振幅%之關係
Fig.15 Plot of open corrosion rate versus relative amplitude attenuation for various 6A specimens.



圖十八 6BC組腐蝕速率與相對回波振幅%之關係
Fig.18 Plot of open corrosion rate versus relative amplitude attenuation for various 6BC specimens.



圖十六 6AC組腐蝕速率與相對回波振幅%之關係
Fig.16 Plot of open corrosion rate versus relative amplitude attenuation for various 6AC specimens.



圖十七 6B組腐蝕速率與相對回波振幅%之關係
Fig.17 Plot of open corrosion rate versus relative amplitude attenuation for various 6B specimens.