



RRPB88030985

(A.P)

PB 8803-0985

高性能混凝土 TAICON 研究群—硬固混凝土力學行為(II)

TAICON 耐久性評估指標之研究(II)

計劃編號：NSC 88-2211-019-015

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：黃 然 國立台灣海洋大學河海工程學系

一、中文摘要

本研究為連續性計畫之第二年度，旨在探討台灣高性能混凝土 (TAICON) 耐久性及其評估指標；試驗方法包括硬固混凝土抗壓強度、吸水率、電滲量及濃度的量測，此外並利用電化學之開路電位法、直流極化法及交流阻抗法探討混凝土中鋼筋的腐蝕行為。結果顯示 TAICON 混凝土試體抗壓強度與利用 RCPT 法量得無明顯關係；利用 RCPT(電滲法及濃度法) 與鋼筋腐蝕試驗等方法可評估 TAICON 混凝土耐久性。

關鍵詞：高性能混凝土、耐久性指標、電滲法、腐蝕速率

Abstract

The objective of this study is to test the durability of Taiwan high performance concrete (TAICON) and to determine the durability index. Concrete compressive strength, absorption rate and rapid chloride penetration were tested. In addition, open-circuit potential method, DC polarization method and AC impedance were also applied to measure rebar corrosion. Test results show that no significant relationship exists between the concrete compressive strength and charge. The RCPT method and chloride

penetration test method can be applied to assess the concrete durability and to compare with the rebar corrosion rate measurement.

keywords : TAICON, durability index, chloride penetration and water permeability, corrosion rate

二、緣由與目的

近幾年來，國內外 RC 構造物破壞劣化事件頻傳，造成財物的損失及人員的傷亡。因此如果能確實做好構造物的安全評估，可避免或減少災害的發生。過去，許多混凝土結構物往往因設計不合理，組合材料使用不當，施工品質欠佳或管理不完善等因素的影響，致使混凝土結構物內由於鋼材腐蝕而產生破壞。這些構造物大多未達其應有的設計使用年限即需進行維修或重建，不但造成金錢上的損失，更影響社會經濟整體的發展與人民生活上的不便[1, 2]。近年來混凝土材料對構造物耐久性的影響日漸受到重視，國內外許多學者並致力於混凝土材料的研究，冀望建立標準化規範，使材料達到使用性之要求。

近年來，混凝土在強度的製造上已有顯著的改善，混凝土技術研究者為增進工程品質與效益，於此方面投注很大的心力。經多年的努力，研發出高強度、高耐磨性、高水密性、高體積穩定性及高流動性之高性能混凝土

土，並實際應用於工程上。歐、美、日各國使用高性能混凝土於各項土木、建築結構物上方興未艾[3-7]；我國也正積極推展高性能混凝土並應用於各類重大工程建設。高性能混凝土研究群基於過去五年的研究經驗並配合國家社會建設需要，提出臺灣高性能混凝土(TAICON)推廣計劃，擬利用三年時間分組進行組合材料及硬固混凝土性質研究以推廣 TAICON 至全國各地。

本計劃為 TAICON 硬固性質研究群之子計劃。TAICON 工作群提出 TAICON 免搗實混凝土的各項性質與配比所需條件必須符合抗壓強度在 27.6 MPa 至 34.5 MPa (4000psi 至 5000psi)、初始坍度在 220 mm± 20 mm，45 分鐘後坍度不小於 200 mm、初始流度介於 400 mm 至 600 mm，45 分鐘後不小於 400 mm、每立方混凝土水泥用量不大於 300 kg、水灰比不小於 0.42、波索蘭材料不大於水泥重量的 30%等。

三、試驗計畫

3-1 試驗材料及配比

本研究計劃採用亞洲水泥公司所生產之洋房牌波特蘭第一型水泥及深澳火力發電廠生產之飛灰(符合 ASTM C618F 級)。粗骨材(最大粒徑通過 3/8 英吋，比重 2.64)與細骨材(細度模數 3.1，比重 2.62)均產自蘭陽溪，級配分布曲線皆符合 ASTM C-33 規定，強塑劑為 Type G (茶磺酸鹽甲醛縮合物)，混凝土配比設計如表一所示；其中 Mix A 為符合 TAICON 的各項性質與配比所需條件之要求。

3-2 試驗方法

本研究坍度的測定是依據 ASTM C143 規定，坍流度係參考 JSCE-F503 之規定；混凝土壓力強度依據 ASTM C39 規定；吸水率試驗依據 ASTM C642-90

規範規定；此外，本研究並進行 RCPT(電滲法與濃度法)及鋼筋腐蝕試驗等，藉由擴散傳輸及電化學試驗來探討混凝土的耐久性並提出高性能混凝土耐久性的評估指標，建議做為本國規範修訂之參考。

四、結果與討論

4-1 抗壓強度

抗壓強度一直是評估混凝土品質的重要指標，故本研究拌製三種不同配比混凝土試體並於室溫下養護，分別在 7 天、14 天、28 天、56 天及 91 天時各取三個試體進行混凝土壓力強度試驗，結果如表二及圖一所示。混凝土在 28 天之抗壓強度均符合實驗設計要求；此外結果顯示，水膠比較低者抗壓強度較高且隨齡期的增加而增加，但在齡期 56 天後因水泥水化反應及波索蘭效應已趨緩和，故其強度在齡期 56 天後增加速度已漸平緩。

4-2 吸水率試驗

混凝土是屬於多孔性材料，其孔隙率與混凝土的品質及耐久性有密切的關係。水灰比、齡期及早期養護溫度對硬固混凝土的總孔隙體積與孔隙連續性具有相當影響[8]。本實驗係依據 ASTM C642 規範進行試驗，結果顯示齡期 91 天時 Mix A、Mix B 及 Mix C 之吸水率分別為 5.47%、3.77% 與 2.82%。一般混凝土的吸水率與孔隙率有關，因 Mix C 的抗壓強度最大，故本試驗結果可判斷 Mix C 的孔隙率應該較其他二種配比为低且較為緊密。

4-3 RCPT(電滲法)

本試驗參照 ASTM C1202-97[9] 規範進行氯離子滲透性量測；利用外加直流電壓(60V)。使電解液 NaCl 及 NaOH 解離產生帶電之陰離子並加速其對混凝土的滲透，每隔 30 分鐘紀錄其通過

混凝土電流的大小，將此紀錄之電流值代入方程式 $Q=I \cdot t$ (庫倫=安培*秒) 計算其電量，可作為評估氯離子滲透性的指標。依據美國材料試驗協會利用電量評估混凝土滲透性的等級如表所示，分別為中滲透等級、低滲透等級、非常低滲透等級；本試驗結果如表三所示，可以明顯得知 Mix C 的電量最低，就混凝土耐久性評估，其抵抗氯離子的滲透性為最好。此外，由圖二可知混凝土的電量與混凝土的齡期、水灰比有關，會隨著齡期增加、水灰比減少而下降。且混凝土的電量於齡期 91 天以後趨於穩定。

4-4 RCPT(濃度法)

本實驗取 2 cm 之混凝土試片，參考學者 Andrade 在 1993 年提出的試驗方法進行氯離子擴散試驗[10]。為加速氯離子擴散，本實驗將整個電場加入 20V 電壓。以縮短氯離子擴散時間，期儘早能達到穩定狀態。本實驗利用待測槽之氯離子濃度隨時間的累加圖，取穩定狀態下的點做線性回歸，再經換算即可求得氯離子擴散係數，表四為本實驗所得之結果。由圖三顯示，Mix C 必須加速較長的時間才讓氯離子穿透混凝土試片，其次為 Mix B、Mix A；由延遲的擴散時間可以定性的判斷混凝土的緻密性與滲透性程度為 Mix C 佳、Mix B 好、Mix A 差。再由氯離子擴散係數來定量的評估混凝土的滲透性也是為 Mix C 佳、Mix B 好、Mix A 差與定性的判斷相吻合。

4-5 電化學腐蝕試驗

開路電位法

本實驗進行此試驗時以標準甘汞電極為參考電極，在未外加電流、電壓狀態下進行量測鋼筋之電位，此時電極電位稱之為腐蝕電位。圖四為本試驗 Mix A 之結果。依據 ASTM C876-91

規範規定可知[11]，Mix A 在通以定電流密度 ($0.5\text{mA}/\text{cm}^2$) 下，混凝土中的鋼筋在加速 24 小時後腐蝕機率大於 10%，當繼續加速至 216~264 小時後迅速造成鋼筋的鏽水逸出，此時表示混凝土已破壞，A1、A2、A3 三個試體的腐蝕電位變化趨勢類似。

直流極化法

直流極化法乃利用一微小之過電壓進行擾動，而得一反應電流，此微小過電壓與反應電流會成一線性關係[12]，其線性斜率為極化阻抗值再代入 Stern-Geary 方程式即可求得鋼筋之腐蝕速率。本實驗以外加 $0.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 電流密度加速鋼筋腐蝕，以縮短試驗時間得試驗結果。圖五所示為 Mix A 試體 A1、A2、A3 在通以定電流 24 小時後均開始產生腐蝕，其混凝土中鋼筋之腐蝕速率隨著通電時間而產生腐蝕，腐蝕速率有遞增的趨勢，且三個試體的腐蝕趨勢類似；直流極化法可間接求得鋼筋的腐蝕速率，故可以量化方式評估混凝土的品質。

交流阻抗法

交流阻抗法係利用一微小之交流電荷與頻率對鋼筋腐蝕系統進行擾動，將反應所得之訊號經由電路解析技巧可量測鋼筋的極化阻抗值 (R_p)，再將極化阻抗值 (R_p) 代入 Stern-Geary 方程式以計算鋼筋腐蝕速率。故此法可以量化方式評估混凝土的品質。圖六所示為 Mix A 中之試體 A1、A2、A3 在通以定電流 24 小時後均開始產生腐蝕，混凝土中鋼筋之腐蝕速率隨著通電時間而有遞增的趨勢，且三個試體的腐蝕趨勢類似。

4-6 抗壓強度與 RCPT (電滲法) 之電量關係

圖七為抗壓強度與 RCPT (電滲法) 之電量關係，結果顯示兩者並無明顯關係存在。

4-7 電量與 RCPT (濃度法) 之氯離子濃度之關係

圖八為混凝土齡期 91 天時，電量與氯離子濃度之關係，結果顯示電量庫侖隨氯離子擴散係數及氯離子累積濃度增加而有增加的趨勢。

五、計劃成果與自評

台灣高性能混凝土(TAICON)考慮的重點包括安全、經濟、工作、生態及耐久等性能，尤其是耐久性之考量是許多混凝土研究者一直努力的課題。本計劃結果顯示 TAICON 混凝土試體抗壓強度與 RCPT(電滲法)之電滲量無明顯關係；利用 RCPT(電滲法及濃度法)與鋼筋腐蝕試驗等方法可快速的評估其耐久性。

混凝土耐久性指標需要更大量的資料加以驗證，因此未來的研究應著重於更多試驗結果的蒐集及應用統計方法加以分析以建立其可靠度。

六、參考文獻

1. Skalny, J. P., "Concrete Durability- an Issue of National Importance," Editor: J. M. Scanlon, ACI SP-100, pp.265-279, 1987.
2. Gjørsv, O. E., "Durability of Concrete Structure in the Ocean Environment," Proceeding of the FIP Symposium on Concrete Sea Structures, London, pp.141-145, Sept. 1972.
3. Seabrook, P., "Discussion of Papers on Physical and Chemical Cause of Deterioration of Concrete in Seawater," Proc. Ben Gerwick Symposium on International Experience with Durability of Concrete in Marine Environment, University of California at Berkeley, Editor: P.K. Mehta, pp.73-74, 1989.
4. Okada, K., Nishibayashi, S. and Kawamura, M., "Alkalis-Aggregation Reaction", 8th International Conference, Kyoto, Japan, 1989.
5. Clifton James R., "Predicting the Service Life of Concrete", ACI Material Journal, Vol. 90, No.5, pp.611-617, Nov.-Dec., 1993.
6. Daksh Baweja, Harold Roper, Vute Sirivivatnanon, "Relationships Between Anodic Polarization and Corrosion of Steel in Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.23, pp.1418-1430, USA, 1993.
7. Fraczek, J., "A Review of Electrochemical Principles as Applied to Corrosion of Steel in a Concrete or Grout Environment", Corrosion, Concrete and Chlorides, Steel Corrosion in Concrete: Cause and Restraints, ACI SP-102, Gibson, F. W., Editor, pp.13-24, 1987.
8. Jawed, I., J. Skalny and J. F. Yang, "Hydration of Portland Cement", P. Barnes Maryland, 1987.
9. ASTM C1202-97, Test Method for Electrical Indication of Concrete Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM, PA, 1997.
10. Andrade, C., "Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurement", Cement and Concrete Research, Vol. 23, No. 43, pp. 724-742, 1993.
11. ASTM C876-91 Standard Test Method for Half-Cell Potential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
12. ASTM G59-78 (Reapproved) Standard Practice for Conduction Potential Dynamic Polarization Resistance Measurement.