

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

劣化混凝土材料應力波傳速度與 E 值、
老化時程及抗壓強度之關係(II)

計畫編號：932001INER006
受委託機構：朝陽科技大學
計畫主持人：干裕成
報告日期：93.12.12

目錄

一、中文摘要.....	3
二、英文摘要.....	4
三、計畫目的.....	5
四、計畫緣起.....	6
五、執行方法與進度.....	7
5.1 試驗計畫.....	7
5.1.1 材料性質.....	7
5.1.2 試體之規劃.....	8
5.1.3 試驗設備.....	9
5.1.4 試驗方法及步驟.....	10
5.1.4.1 配比設計.....	10
5.1.4.2 混凝土工程性質試驗.....	10
5.1.4.3 劣化侵蝕試驗.....	13
5.2 結果與討論.....	13
六、結論與建議.....	15
七、參考文獻.....	17

一、中文摘要

本研究之主要目的係透過多項試驗，建立混凝土劣化程度、破壞強度、彈性模數與應力波速之間的關係。本研究工作依不同混凝土狀況分二年進行：第一年工作係針對核設施常用混凝土之波速及力學性質完成實驗及分析，同時進行老劣化試體製作，本年度則針對完成之老劣化試體及不同品質狀況之混凝土，進行劣化與波速及力學相關性質評估研究。

研究試驗主要參考採用電廠所使用混凝土配比為控制組，試驗方法係參考 ASTM 規範之人工海水浸泡及高低溫度返覆循環系統處理之混凝土試體，模擬經腐蝕之混凝土，進行各種基本力學試驗及應力波速量測。本年度完成三種不同品質混凝土經 28 天、56 天、91 天及 180 天四個齡期加速劣化試驗；試驗結果顯示抗壓強度仍隨人工海水冷熱循環腐蝕齡期增長，且單位重及波速有隨腐蝕齡期增加的趨勢。另外，三種配比之混凝土水灰比愈大者，其各項測試性質多呈遞減現象；且各齡期老劣化組抗壓強度皆較控制組強度小。另一方面，以位移規轉換及加速規所測得之應力波速具相當一致性；超音波速略高，乾點式超音波測試結果更偏高。此外，綜合各種混凝土彈性模數與抗壓強度之關係，發現相同抗壓強度下，劣化組彈性模數較控制組高，但皆較 ACI 建議經驗公式所得值偏低。

二、英文摘要

The entire testing program will be engaged for two years. In the first year, it set up the relationship between the wave velocity and those mechanical properties for the concrete used in the nuclear power plant. In the second year, it will emphasize on the investigation on the same properties for the deteriorating concretes with poor quality.

The testing program used the concrete, which was adapted from one of the power plant. The testing methods comply with ASTM specifications for the deterioration process and fundamental mechanical properties of concrete. Totally, four deterioration durations relating to 28 day, 56 days, 91 days and 180 days were designated for the entire program. The test results turn out compressive strength and wave velocity increase with the growth of deterioration duration. The wave velocities measured from an accelerometer and a displacement transducer turn out a consistent in various durations; while ultrasonic wave velocity is a bit higher and that wave velocity measured from ultrasonic low-frequency short-pulse transducers with dry point contact (PDC) turns out the highest. It shows that modulus of elasticity for deteriorated concrete appears higher than those controlled sets for a given compressive strength; while both modulus of elasticity versus compressive strength relation curve appears lower as compared with the empirical equation curve provided by ACI Code.

三、計畫目的

本計畫之主要目的係經由一系列之破壞力學試驗及敲擊回波檢測試驗，建立核設施常用混凝土配比材料之應力波傳速度、E 值、老化時程及抗壓強度間之關係經驗公式；此外，根據台灣常見之混凝土劣化狀況，建立老劣化試體及試驗，進一步擴大經驗公式之適用範圍。此外，本計畫混凝土部份試體，在加壓過程中，將一併進行應力波傳速度與壓應力關係之研究，以確認應力對敲擊回波檢測法之影響。

本研究將透過多項試驗，建立混凝土劣化程度、破壞強度、彈性模數與應力波速之間的關係。其中應力波速即為非破壞檢測法中之「敲擊回波檢測」、「超音波檢測」及「音洩檢測」之主要定量數據，根據應力波速，來推斷混凝土狀況。本研究實驗成果能將傳統破壞檢測之資料聯結至近十年來發展迅速之非破壞檢測領域，有助於貴所相關非破壞檢測評估之準確性。

四、計畫緣起

台灣位於西太平洋強震區，又屬海島型氣候，在高溫、濕度、鹽害、中性化及硫化物等種種不良的因素作用下，混凝土材料容易龜裂、侵蝕、風化及老劣化。在以上問題之研究過程中，有關強度及破壞力學特性等議題，在產、學各界，過去已有相當多的探討及成果，但大部分研究，因年代較早，無法將其實驗成果推及至近十年來發展迅速之非破壞檢測領域，竟而形成新式檢測評估與傳統破壞檢測間之「失聯」狀態，此亦為近年來土木非破壞檢測領域之重要課題。

1996年美國NRC針對該國商業運轉中之核電廠發佈指示，各廠須在五年內依ASME SEC XIIWL進行圍阻體混凝土結構物之相關目視檢測(VT)，並於未來進行定期檢測追蹤，此為核設施混凝土結構體老劣化管制工作之濫觴。核設施混凝土結構體除需滿足嚴格之結構安全要求外，尚有放射線屏蔽功能考量，是故混凝土結構體之材料完整性、緻密性與裂縫/老劣化狀況等，為核安管制中之重要環節。核設施由於其功能及環境之特殊性，在現有建物檢測上，多要求以非破壞檢測方式進行，上述「失聯」狀態對檢測評估之準確性，影響可謂甚大。是故如何建立非破壞檢測與傳統破壞力學數據間之公式關係，是本研究之主要動機。

五、執行方法與進度

本計畫為藉由不同配比設計及試拌工作，瞭解電廠混凝土的劣化與波速及力學性質評估研究。其配比分為兩種，第一種為有加入飛灰之混凝土，另一配比則沒有加入飛灰之混凝土，用來比較有加入飛灰後混凝土之耐久性及強度的影響，本試驗用水泥為波特蘭第二型中度抗硫水泥，骨材則取自於與電廠相同之骨材，以提供日後對比及參考用。

本研究之執行方法偏重試驗，包括多項應力試驗、破壞力學試驗及非破壞檢測試驗，試驗結果將用以建立混凝土劣化程度、破壞強度、彈性模數與應力波速之間的關係式，及敲擊回波法檢測劣化混凝土波速之資料庫。第一年為核設施（電廠）用混凝土劣化與波速及力學性質評估研究。本年度為配比、澆製不良及老劣化品質混凝土之劣化、波速及力學性質評估研究。試驗計劃大致可分為普通及劣化混凝土基本力學性質測試試驗二部份，茲分述如下：

5.1 試驗計畫

5.1.1 材料性質

本研究試驗所使用材料如下：

1. 混凝土材料

(1) 水泥

水泥採用波特蘭之第二型中度抗硫水泥，其水化熱較普通水泥低，發熱較緩，可在溫暖天候中施工，早期強度之產生較普通水泥慢，特性符合中國國家標準 CNS61 第二型波特蘭水泥規格。採用第二型中度抗硫水泥主要是用來作混凝土耐久性試驗，用來抵抗硫酸鹽與人工海水之用。

(2) 骨材

骨材的用量約佔混凝土體積的 65% ~80%，它對混凝土的性質有莫大

的影響，取得後先將其放至於骨材堆積處，再取出試驗用量的粗骨材和細骨材於烘箱烘乾冷卻後，分別裝入桶中，以確保骨材性質之穩定性；待 3 至 5 天後，再將其放置於集中桶中，用蓋子密封，使骨材不與外界水氣接觸，避免骨材吸水或散失。本試驗所用之粗骨材最大粒徑 $D_{max} = 19 \text{ mm}$ ，細度模數 $F.M. = 6.82$ ，篩分析結果如表 1；細度模數 $F.M. = 3.23$ ，篩分析結果如表 2。

(3) 摻料（減水緩凝劑）

減水劑類似輸氣劑，都是一種表面活性劑，但其反應作用與輸氣劑的氣 / 液系統不同，減水劑是固 / 液界面的活性劑，會始水泥顆粒均勻分散。顆粒間摩擦或相對移動阻力減少，潤滑用水量可以大為減少，此即為減水劑的主要功能。本試驗用減水緩凝劑為 Type D 型，至少減水 5 % 並具速凝功能。

2. 耐久性試驗侵蝕溶液

人工海水主要是在耐久性試驗時，用來模擬實際海水對試體侵蝕情形，作為長期耐久性試驗的腐蝕溶液。本研究中浸泡試體所使用之海水，是依據 ASTM D-1141 規定，配製之人工海水，其中包含海水中主要的五種基本鹽類分別為：氯化鈉〔NaCl〕、氯化鎂〔 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 〕、硫酸鈉〔 Na_2SO_4 〕、氯化鈣〔 CaCl_2 〕、氯化鉀〔KCl〕等。

5.1.2 試體之規劃

本試驗混凝土試體主要為 $\Phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 的圓柱試體，測試其各項基本力學性質。其配比設計，如表 3 所示。混凝土試體在澆置完成後，使用保鮮膜覆蓋，以防止水份快速蒸發。隔天拆模，並將其分為老劣組及控制組；老劣組為在拆模後隨即置放於人工海水中一天，隔天將其搬至烘箱中（ 60°C ）一天，依此做乾濕循環來試驗混凝土的老劣化情況，本次試驗規劃試體，分別侵蝕 28 天、56 天、91 天及 180 天四個階段。

控制組使用之試體拌製完成後，皆先置於水中相對之養護天數，再進行各種測試。本次試驗規劃三種品質配比在每一齡期圓柱試體數量如下：

φ10 × 20 cm：每組 3 個，共 12 個，供劣化後單位重及抗壓強度測試

φ10 × 20 cm：每組 3 個，共 12 個，供劣化後彈性模數及波速試驗

φ10 × 20 cm：每組 4 個，共 16 個，供控制組性質測試

共計有 120 圓柱試體。

5.1.3 試驗設備

本試驗所使用之儀器包括有 50 噸材料試驗機 MTS (Material Test System)、應變測量計 (Strain Gage)、10 mm 電子位移計 LVDT、全自動抗壓試驗機、混凝土彈性模數測定儀、資料擷取器等。其中 50 噸材料試驗機 MTS 為功能強大的電腦伺服控制材料試驗機，電腦伺服器控制的模式共有三種控制模式，分別為力量控制、位移控制以及應變控制，而本次試驗的控制模式有兩種，試體樑使用應變控制，而圓柱試體則使用力量控制。電子位移計則用來量測垂直載重之位移。200 噸全自動抗壓試驗機，在本試驗中用來進行混凝土圓柱試體抗壓試驗。混凝土彈性模數測定儀包括兩個圓形框環及一個測為錶，配合全自動抗壓機可求得混凝土彈性模數。資料擷取器 (Data Acquisition Controller) 為 NEC DE1200 及 DE10-111 Remote Scanner，包含 60 個 channels，透過位移計 (LVDT) 與應變計 (Strain Gage) 可量測得構件位移與應變，配合筆記型電腦，儲存資料擷取器所得到之實驗數據資料，可求得混凝土之柏松比。

在非破壞檢測方面，使用敲擊回波檢測設備，符合 ASTM 1383 之規範，元件含敲擊源、接受器、筆記型電腦及內 A/D 資料擷取接界面卡；本研究主要採用加速規(頻域法)及位移規(時域法)二種。另有超音波波速檢測法，其探頭測定儀輸出的激發能量有 500、1500 及 2500 伏特三種選

擇；工作頻率為 54、82 及 150kHz，透過兩個 50mm 直徑探頭所激發出能量，量測聲波經過試體兩端所需時間，求得聲波通過試體的速度，藉以判別混凝土緻密性。

此外，由核研所在計畫進行中由國外新購置的乾點式低頻超音波探頭，即 UK-1401 (Ultrasonic Low-Frequency Short-Pulse Transducers with Dry Point Contact，以下簡稱為 DPC 探頭)，係利用 PZT(鋁鈦酸鉛)晶體壓電效應產生應力波，透過錐狀尖端（觸點）將應力波傳入混凝土內部，由於探頭觸點之設計不受表面粗糙度影響，故不需耦合即可得到穩定數據。

上述四種波速量測方法，皆利用本研究試驗之試體進行比對試驗；至於，數據分析及與其他性質關係之建立，則以加速規(頻域法)所測為主。

5.1.4 試驗方法及步驟

本部份為藉由不同配比設計及試拌工作，瞭解電廠混凝土的工程特性。本試驗計劃概分為配比設計、基本性及耐久性試驗等部份。

5.1.4.1 配比設計

故配比試驗規劃將採用 A、B、C 三種不同配比，如表 3 所示。其中，配比 B 及 C 係由控制組配比 A 模擬混凝土加不同水量後之情形。並進行四階段的劣化侵蝕試驗，及相對齡期之一般養護，比較各項工程性質之變化。

5.1.4.2 混凝土工程性質試驗

此部份可分為新拌混凝土與硬固混凝土兩階段：

A. 新拌混凝土

新拌混凝土性質是影響選擇澆置及振動機具的重要因素，同時也可能影響未來硬固混凝土的性質。換言之，新拌混凝土需有適當的工作性，卻不因工作度而影響硬固後之強度、耐久性和體積穩定性，包括強度劣化、水量過多、蜂窩、泌水析離、龜裂等。新拌混凝土牽涉到水化行為、

凝結性質、材料組成及品質穩定性等，透過標準試驗可反應出品質狀況，保障硬固混凝土之性質。本試驗在求得新拌混凝土之工程性質，主要包括混凝土坍度、單位重及空氣含量試驗。

B.硬固混凝土：

(1) 單位重

硬固混凝土單位重係將齡期 28 天的圓柱試體放入水池中 24 小時，擦乾表面後呈面乾飽和狀態，稱重除以體積，得其單位重。

(2) 抗壓強度試驗

混凝土抗壓強度經常被用為品質管制的標的，亦為混凝土結構設計的重要依據。本試驗依 ASTM C109 或 CNS 3801「混凝土圓柱試體抗壓強度之試驗法」施行，將 $\Phi 10 \times 20$ cm 混凝土圓柱試體依齡期將試體由水中取出，並用石膏予以蓋平，至石膏硬化後置於油壓試驗機，以每秒 $1.4 \sim 3.4 \text{ kgf/cm}^2$ ($20 \sim 50 \text{ psi}$) 之荷重速率，加壓至試體破壞，求出試體抗壓強度。

(3) 彈性模數、柏松比試驗

混凝土的彈性模數為表現混凝土變形行為的重要參數，彈性模數也是結構設計時計算剛度的重要參數之一，彈性模數越大，則彈性變形量越小，由於骨材及水泥漿體等兩種異質材料的緣故，所以表現為一種非線性關係。而且彈性模數甚大，純粹用應力—應變 ($\sigma - \varepsilon$) 來量測及決定是相當困難的，故以弦模數方式求取混凝土彈性模數。弦模數為在應力—應變曲線上，連接彈性極限前曲線上兩點之斜率，即由應變 50μ (mm/mm) 之點與 $40\% f_c'$ 應力點之連線。本試驗依 ASTM C469 規定施行，以每秒鐘 $241 \pm 34 \text{ kPa}$ 之荷重速率，施壓至 $0.4f_c'$ 為預壓，再重複施壓至 $0.4f_c'$ 以變位計量測軸向變位，同時記錄載重以求得試體靜態之彈性模數。以下為彈性模數的計算方式：

$$E = \frac{C_2 - C_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

式中 E 為靜態彈性模數， σ_2 為極限應力的 40%， σ_1 為應變於 50×10^{-6} mm/mm 時的應力， ε_2 為 σ_2 時的縱向應變。另有動彈性模數係由非破壞檢測，使用敲擊回波檢測而得，以資比較。

當材料受簡單軸向載重時，在彈性範圍內，側向應變與軸向應變的比值即為「柏松比」。通常柏松比為混凝土結構計算必要的數值之一，對隧道、拱壩或其他靜不定結構而言是非常需要的數值。由於混凝土側向變位極小，柏松比量測儀側向讀錶來求得側向變位不易，故本實驗在圓柱試體上黏貼橫向應變計，軸向由 LVDT 讀取垂直位移，並用資料擷取系統，同時記錄載重、軸向及側向變位，以求得試體柏松比。以下為柏松比的計算方式：

$$\nu = \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

式中 ν 為柏松比， ε_{t2} 為 σ_2 時的側向應變， ε_{t1} 為 σ_1 時的側向應變。

(4) 應力波速量測

本研究試驗之波速量測係以敲擊回波法為主，檢測不同劣化階段及劣化狀況下之應力波波速。本案之量測方式係參考 ASTM-C1383 規定，利用已知之試體尺寸(長度 d)及檢測所得頻譜對應頻率 f，利用公式 $V=2df$ 及試體形狀系數計算應力波速 V。在試驗過程中，皆配合核研所人員進行不同劣化情形下之波速量測。此外，破壞強度、彈性模數與應力波速之關係式亦在本研究中求得。

5.1.4.3 劣化侵蝕試驗

人工海水主要是在劣化試驗時，用來模擬實際海域環境對試體侵蝕情形，作為長期劣化試驗的腐蝕溶液。本試驗係參考 ASTM C88 方法施行，製作 $\Phi 10 \times 20$ cm 圓柱試體於拆模後，將混凝土置於人工調製海水溶液及烘箱中，進行 24 小時浸泡 24 小時 60°C 烘乾幾次交替循環作用，模擬海水侵蝕之環境，加速侵蝕效果。循環次數將依侵蝕效果而定，此過程計六個月。基本性質測試使用之試體拌製完成後，皆放置於水中養護，再進行各種測試。抵抗人工海水侵蝕試驗使用之試體，在拌合後置於模具中養護一天，即開始進行海水侵蝕模擬試驗，直到指定齡期為止。

5.2 結果與討論

本研究試驗結果主要有基本力學性質及應力波速與侵蝕齡期之關係。詳細試驗結果如表 4 至表 7 所示，以下係就目前已完成之試驗結果及試驗過程中所發生的現象，做一初步討論。

1. 單位重

由圖 1 可看出混凝土之單位重有隨著人工海水侵蝕時間的增加，似有愈來愈小的趨勢；惟受限於試驗設備之容量，未能監測同一批混凝土不同齡期單位重之變化，此趨勢仍有待進一步確認。另外，A、B、C 三種混凝土配比之單位重，皆隨著水灰比增加而減小。

2. 抗壓強度

試驗結果顯示，A、B、C 三種配比之混凝土試體抗壓強度並不因海水冷熱循環作用而降低；反而皆隨著時間的增長而有增加的現象，如圖 2 所示。由圖上曲線走勢亦可看出，三種不同配比之混凝土老劣化組抗壓

強度皆較控制組強度偏高。此現象似與人工海水溶液提供混凝土自癒能力有關，促進其強度繼續成長。由此蓋可推論，有關於海域混凝土結構之侵蝕，非以混凝土為主因；而有必要針對鋼筋腐蝕造成混凝土劣化，做進一步探討。

3. 彈性模數與柏松比

混凝土工程性質中，彈性模數為材料特性之重要指標，其材料性質的好壞包括材料種類、組合形態、均勻性、強度及材料緻密程度皆會影響其彈性模數。目前試驗結果如圖 3 所示，三種配比混凝土控制組及老劣化組皆呈現隨著海水冷熱循環作用時間的增長而有增加的現象。另外，然而對於配比 A 及配比 B 混凝土老劣化組試體彈性模數，呈現隨著皆高於控制組試體；配比 C 混凝土於初期老劣化組試體彈性模數偏低，但約 56 天後則亦然。各種不同劣化混凝土之動彈性模數值，則如圖 4 所示，皆呈現為靜彈性模數試驗值 1.3 至 2.1 倍左右；且混凝土齡期愈久，比值愈小。另一方面，有關於柏松比亦在部分試體上以應變計做局部量測，唯因混凝土局部化的特性，其變異性頗大，此數值僅做為參考用。

4. 應力波速

一般而言材料性質的好壞包括材料種類、組合形態及材料緻密程度皆會影響其應力波傳速度。目前試驗結果如表 8 至表 11 所示，A、B、C 三種配比混凝土試體應力波速，皆隨著侵蝕時間的增長而有增加的現象，且各配比之混凝土控制組應力波速皆較老劣化組為大。顯示混凝土因老劣化的作用致緻密性逐漸減低。另外，有關各種波速量測方法之比較試驗結果如圖 5 所示，以位移規(時域法)轉換及加速規(頻域法)所測得之應力波速具相當之一致性；超音波速量測法數值略高，乾點式超音波

測試結果更偏高。

5. 綜合分析

如以所有不同強度之控制組及劣化組試體為對象，再與 ACI 彈性模數與抗壓強度經驗公式曲線進行比較，發現劣化組彈性模數都呈現比控制組高；若將強度固定，發現實驗之控制組與劣化組都比值經驗公式低，如圖 6 至圖 8 所示，故試體在經海水乾溼循環後，彈性模數值都較經驗公式值偏低。

另外，從表 4 至表 7 中觀察，混凝土波速及彈性模數值皆隨著養護齡期而增加。比較抗壓強度相近但養護齡期不同之混凝土，發現高水灰比、低強度但齡期長之混凝土波速及彈性模數值，比較低水灰比、中高強度但齡期短之混凝土有明顯較大。甚至，在本研究試驗中控制組試體之最低強度組 180 天齡期(平均 $f_c' = 298 \text{ kg/cm}^2$)之波速及彈性模數值，仍比最高強度組 28 天齡期(平均 $f_c' = 356 \text{ kg/cm}^2$)為大。如此顯示，以波速預測抗壓強度，或以混凝土抗壓強度預測彈性模數值，尚需考量混凝土養護環境及齡期效應。

六、結論與建議

本研究之性質屬混凝土實驗力學，橫跨破壞力學與非破壞檢測二領域。對以非破壞檢測為主之核設施混凝土結構，本案所得之數據及公式，有極大用處。針對目前試驗結果，大致可看出幾個現象：

1. 試驗結果顯示，A、B、C 三種混凝土配比試體劣化組抗壓強度，並不因人工海水冷熱循環作用而降低；仍皆隨著時間的增長而有增加的現象，且其控制組強度皆較劣化組抗壓強度成長為大。因此，有關於海

域混凝土結構之劣化評估，混凝土本身考量似非劣化主要機制；但有必要針對鋼筋腐蝕造成混凝土劣化，做進一步探討。

2. 不同配比混凝土彈性模數試驗結果，控制組及老劣化組皆呈現隨著海水冷熱循環作用時間的增長而有增加的現象。綜合各種混凝土彈性模數與抗壓強度之關係，發現相同抗壓強度下，劣化組彈性模數較控制組高，但皆較 ACI 建議經驗公式所得值為低。
3. 波速試驗結果，三種不同配比混凝土試體應力波速，皆隨著侵蝕時間有增加的現象，且各配比之混凝土控制組應力波速皆較老劣化組為大。顯示混凝土因海水冷熱循環作用，使緻密性減低。另外，以位移規(時域法)轉換及加速規(頻域法)所測得之應力波速較具一致性；超音波速度量測法數值略高，乾點式超音波測試結果更偏高。
4. 混凝土波速及彈性模數值皆隨著養護齡期而增加，二者發展較具一致性。另外，比較抗壓強度相近但養護齡期不同之混凝土發現，高水灰比、低強度但齡期長之混凝土波速及彈性模數值，有較低水灰比、中高強度但齡期短之混凝土明顯較大；且控制組與劣化組皆然。故以波速預測抗壓強度，或以混凝土抗壓強度預測彈性模數值，尚需考量混凝土養護環境及齡期效應。

七、參考文獻

- (1) 黃兆龍， “混凝土性質與行為” ，詹氏書局， pp.139-141. (1997)
- (2) Sami , A., “Aggregates, "Elastic-Modulus, and Poisson's Ration of Concrete ”, ACI Journal. (1986)
- (3) Klink , S.A., “ Aggregates, Elastic Modulus, and Poisson's Ratio of Concrete ” ACI Journal , Proceedings Vol. 86, No.6, Nov.-Des. pp.961-965. (1985)
- (4) Mehta , P.K., “ Concrete Structure, Properties and Materials ”2nd Ed., Prentice Hall (1993)
- (5) 李明君， “ 海砂和海鹽對混凝土性質之影響及改善方法研究 ”，國立中央大學土木工程研究所碩士論文 (1989)
- (6) Regourd, M., and Mortureux, B., “ Microstructure of Concrete in Aggressive Environments ” ASTM STP 691, pp.253-268. (1980)
- (7) ASTM D1141-75, “ Standard Specification for Substitute Ocean Water ”.(1984)
- (8) Buenfeld, N. R. and J. B. Newman, “The Development and Stability of Surface Layer on Concrete Exposed to Sea-water,” Cement Concrete Research, Vol. 16, pp.721-732. (1986)
- (9) 干裕成、李明君、江支弘、蔡英明，2002, 三月，「橡胎層化後在混凝土工程上應用之研究」，中國土木水利工程學刊，第 14 卷，第一期，第 141-149 頁。
- (10) Mehta, P. K., “ Mechanism of Sulfate Attack on Portland Cement Concrete-Another Look,” Cement and Concrete Research, Vol.13, No.3, pp.401-406. (1985)
- (11) Malhotra, V. M. & Carino, N.J. “ CRC handbook on nondestructive testing on concrete,” CRC press, Inc. (1991)
- (12) Whitehurst, E. A. “ Soniscope tests concrete structures ”, ACI J. Proc., 47(6), pp.433. (1951)

表 1 粗骨材之篩分析

篩號	篩孔徑 (mm)	留篩量 (g)	留篩百分率 (%)	留篩累積 百分比(%)	過篩百分比 (%)
3"	76.2	0	0	0	100
2"	50.8	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.1	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.4	0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.1	744.8	12.3	12.3	87.7
3/8"	9.52	3644.6	60.2	72.5	27.5
#4	4.76	1509	24.9	97.4	2.6
底盤	0	157.6	2.6	100.0	0.0
總計		6056	100.0	282.2	—
試樣重(W):6056g				500	
				782.2	
FM=(782.2-100)/100=6.82					

表 2 細骨材之篩分析

篩號	篩孔徑 (mm)	留篩量 (g)	留篩百分率 (%)	留篩累積 百分比(%)	過篩百分比 (%)
#4	4.76	39.5	1.3	1.3	98.7
#8	2.38	726.9	24.0	25.3	74.7
#16	1.19	632.8	20.9	46.2	53.8
#30	0.59	734.5	24.3	70.5	29.5
#50	0.297	431.2	14.2	84.8	15.2
#100	0.149	302.6	10.0	94.8	5.2
底盤	0	158.7	5.2	100.0	0.0
總計		3026.2	100.0	422.9	—
試樣重(W):3026.2g					
FM=(422.9-100)/100=3.23					

表 3 不同品質混凝土配比

	配比 A	配比 B	配比 C
水灰比	0.53	0.60	0.70
水泥 (kg/m ³)	370	360.6	350.7
水 (kg/m ³)	194	214.6	243.7
附加劑 (kg/m ³)	1.85	1.81	1.76
細骨材 (kg/m ³)	795	774.8	753.5
粗骨材 (kg/m ³)	978.4	953.6	927.4
單位重	2339	2305	2277

表 4(a) 配比 A 混凝土 28 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	309	3865	2429		1.97	3.24
2	312	3865	2419	0.14	1.99	3.18
3	348	3823	2439	0.18	1.95	3.11
4	338	3830	2438	0.18	2.11	3.17
5	350	3885	2417	0.18	1.86	3.24
6	353	3802	2410	0.17	1.94	3.08
平均值	335	3845	2425	0.17	1.97	3.17
偏差係數	5.9%	0.8%	0.5%	10.2%	4.1%	2.1%
1C	348	3865	2442	0.145	1.79	3.13
2C	296	3906	2434	0.135	1.56	3.17
3C	401	3865	2448		1.78	3.19
4C	380	3795	2482		1.84	3.08
平均值	356	3858	2452	0.14	2	3.14
偏差係數	12.9%	1.2%	0.9%	5.1%	7.1%	1.6%

註： V_A 為敲擊回波檢測值(IE/加速規)

表 4(b) 配比 B 混凝土 28 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	254	3705	2382	0.11	1.86	2.98
2	248	3747	2410	0.13	1.77	2.99
3	252	3761	2388		1.74	3.00
4	215	3657	2397	0.14	1.66	2.89
5	238	3685	2408	0.11	1.7	2.92
6	242	3684	2399	0.11	1.63	2.96
平均值	241	3707	2397	0.12	2	2.96
偏差係數	5.9%	1.1%	0.5%	11.8%	4.8%	1.5%
1C	265	3678	2430	0.19	1.48	2.84
2C	264	3719	2371	0.15	1.51	2.96
3C	302	3726	2387		1.53	3.00
4C	292	3802	2395		1.6	3.11
平均值	281	3731	2396	0.17	2	2.98
偏差係數	6.8%	1.4%	1.0%	16.6%	3.3%	3.8%

表 4(c) 配比 C 混凝土 28 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	143	3477	2321	0.13	1.39	2.57
2	162	3595	2312	0.12	1.56	2.76
3	201	3560	2276		1.77	2.76
4	128	3345	2358	0.11	1.48	2.43
5	183	3615	2327		1.48	2.88
6	142	3511	2335	0.12	1.38	2.68
平均值	160	3517	2321	0.12	1.51	2.68
偏差係數	17.4%	2.8%	1.2%	6.8%	9.5%	6.0%
1C	172	3387	2330	0.140	1.19	2.44
2C	172	3560	2320	0.142	1.40	2.77
3C	241	3615	2290		1.51	2.80
4C	161	3629	2275		1.37	2.84
平均值	187	3548	2304	0.14	1.37	2.71
偏差係數	19.6%	3.1%	1.1%	1.3%	9.7%	6.7%

表 5(a) 配比 A 混凝土 56 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c $\times 10^5$ kg/cm ²	E_{dyn} $\times 10^5$ kg/cm ²
1	360	4218	2449		2.56	3.85
2	379	4218	2448	0.21	2.67	3.78
3	407	4218	2440	0.21	2.78	3.81
4	405	4218	2456	0.18	2.57	3.85
5	424	4197	2428	0.15	2.53	3.76
6	415	4218	2450		2.66	3.82
平均值	398	4215	2445	0.19	2.63	3.81
偏差係數	6.1%	0.2%	0.4%	15.3%	3.5%	0.9%
1C	456	4301	2420	0.17	2.46	3.91
2C	333	4301	2415	0.163	2.5	3.83
3C	494	4280	2435		2.54	3.90
4C	487	4280	2412		2.85	3.90
平均值	442	4291	2420	0.17	2.59	3.88
偏差係數	16.9%	0.3%	0.4%	3.0%	6.9%	0.9%

表 5(b) 配比 B 混凝土 56 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c $\times 10^5$ kg/cm ²	E_{dyn} $\times 10^5$ kg/cm ²
1	195	4031	2382	0.18	2.12	3.45
2	344	4156	2382	0.12	2.46	3.67
3	310	4072	2389	0.14	2.5	3.56
4	310	4114	2386		2.64	3.63
5	316	4052	2394	0.15	2.56	3.52
6	341	4072	2390		2.62	3.56
平均值	303	4083	2387	0.15	2.48	3.56
偏差係數	18.1%	1.1%	0.2%	16.9%	7.7%	2.2%
1C	438	4204	2345	0.167	2.51	3.70
2C	452	4266	2419	0.16	2.56	3.80
3C	409	4273	2380		2.35	3.74
4C	425	4252	2407		2.43	3.84
平均值	431	4249	2388	0.16	2.46	3.77
偏差係數	4.3%	0.7%	1.4%	3.0%	3.7%	1.6%

表 5(c) 配比 C 混凝土 56 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c $\times 10^5$ kg/cm ²	E_{dyn} $\times 10^5$ kg/cm ²
1	205	3761	2357	0.14	1.81	3.02
2	197	3844	2358	0.11	1.86	3.14
3	183	3782	2363	0.14	1.74	3.04
4	188	3844	2381	0.14	1.86	3.14
5	215	3865	2318		1.88	3.22
6	214	3761	2319	0.12	1.84	3.02
平均值	200	3810	2349	0.13	1.83	3.10
偏差係數	6.6%	1.2%	1.1%	10.9%	2.8%	2.6%
1C	279	3906	2321	0.18	1.94	3.25
2C	254	3927	2321	0.17	1.95	3.29
3C	283	3969	2334		1.96	3.31
4C	209	3969	2318		1.67	3.32
平均值	256	3943	2323	0.18	1.88	3.29
偏差係數	13.3%	0.8%	0.3%	4.0%	7.5%	1.0%

表 6(a) 配比 A 混凝土 91 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	445	4050	2390	0.176	3.52	3.54
2	335	4089	2390		2.33	3.58
3	374	4050	2373	0.14	2.36	3.54
4	384	4089	2391	0.14	2.5	3.57
5	389	4128	2381	0.142	2.36	3.66
6	389	4050	2393	0.15	2.53	3.57
平均值	386	4076	2386	0.1	2.6	3.58
偏差係數	9.2%	0.8%	0.3%	10.2%	17.6%	1.3%
1C	518	4186	2412	0.162	2.36	3.77
2C	401	4166	2431	0.183	2.33	3.76
3C	457	4147	2395		2.29	3.71
4C	474	4186	2421		2.26	3.81
平均值	463	4171	2415	0.17	2.31	3.76
偏差係數	10.5%	0.4%	0.6%	8.6%	1.9%	1.0%

表 6(b) 配比 B 混凝土 91 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	346	4166	2359	0.19	2.31	3.76
2	281	4011	2324	0.17	2.38	3.45
3	268	4069	2344	0.18	2.34	3.59
4	344	4037	2346	0.15	2.72	3.47
5	340	4206	2360	0.14	2.31	3.84
6	351	4095	2340		2.37	3.61
平均值	322	4097	2346	0.17	2.41	3.62
偏差係數	11.5%	1.8%	0.6%	12.5%	6.5%	4.3%
1C	377	4166	2361	0.115	1.97	3.73
2C	401	4128	2344	0.15	2.07	3.63
3C	393	4166	2369		2.06	3.73
4C	401	4102	2365		1.99	3.59
平均值	393	4141	2360	0.13	2.02	3.67
偏差係數	2.8%	0.8%	0.5%	18.7%	2.5%	1.8%

表 6(c) 配比 C 混凝土 91 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	236	3913	2316	0.11	1.42	3.23
2	200	3835	2324		1.74	3.21
3	237	3842	2321	0.18	1.74	3.24
4	184	3894	2319		2.33	3.33
5	222	3913	2296	0.15	1.77	3.29
6	195	3829	2292		1.68	3.14
平均值	212	3871	2311	0.15	1.78	3.24
偏差係數	10.5%	1.0%	0.6%	23.9%	16.8%	2.0%
1C	272	4011	2347	0.22	1.9	3.42
2C	275	4011	2342	0.173	1.89	3.41
3C	263	3946	2321		1.87	3.39
4C	258	3952	2280		1.85	3.35
平均值	267	3980	2323	0.20	1.88	3.39
偏差係數	3.0%	0.9%	1.3%	16.9%	1.2%	0.9%

表 7(a) 配比 A 混凝土 180 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	538	4426	2361	0.17	2.87	4.20
2	443	4322	2389	0.17	2.89	4.03
3	350	4322	2386	0.18	2.8	4.04
4	406	4405	2407	0.15	2.77	4.21
5	553	4363	2401	0.17	2.88	4.11
6	433	4398	2373	0.16	2.84	4.20
平均值	454	4373	2386	0.17	2.84	4.13
偏差係數	17.2%	1.0%	0.7%	6.2%	1.7%	2.0%
1C	393	4467	2358	0.14	2.76	4.23
2C	466	4439	2381	0.163	2.93	4.24
3C	503	4439	2402		2.84	4.23
4C	588	4446	2357		2.92	4.24
平均值	488	4448	2374	0.15	2.86	4.23
偏差係數	16.6%	0.3%	0.9%	10.7%	2.8%	0.2%

表 7(b) 配比 B 混凝土 180 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	379	4239	2333	0.15	2.63	3.90
2	416	4301	2336	0.19	3.08	4.02
3	343	4301	2331	0.2	2.75	3.98
4	378	4176	2365	0.21	2.74	3.78
5	396	4232	2363		2.67	3.88
6	382	4273	2349		2.54	3.93
平均值	382	4254	2346	0.19	2.74	3.91
偏差係數	6.3%	1.1%	0.6%	14.0%	6.8%	2.2%
1C	486	4322	2342	0.17	2.81	3.98
2C	475	4280	2349	0.164	2.73	3.93
3C	460	4363	2388		2.73	4.07
4C	486	4280	2342		2.65	3.90
平均值	477	4311	2355	0.17	2.73	3.97
偏差係數	2.6%	0.9%	0.9%	2.5%	2.4%	1.9%

表 7(c) 配比 C 混凝土 180 天侵蝕後之性質

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	ρ kg/m ³	μ	E_c ×10 ⁵ kg/cm ²	E_{dyn} ×10 ⁵ kg/cm ²
1	271.2	3948	2319	0.19	2.39	3.37
2	281.7	3989	2296	0.19	2.14	3.42
3	275.2	4031	2285	0.14	2.11	3.50
4	272.0	3989	2323	0.2	2.18	3.44
5	253.8	3982	2347	0.15	2.12	3.40
6	266.4	3989	2286		2.12	3.44
平均值	270	3988	2309	0.17	2.18	3.43
偏差係數	3.5%	0.7%	1.1%	15.5%	4.9%	1.3%
1C	305	4065	2289	0.15	2.21	3.56
2C	310	4052	2284	0.145	2.15	3.48
3C	275	4031	2316		2.25	3.47
4C	301	4079	2279		2.28	3.54
平均值	298	4057	2292	0.15	2.22	3.51
偏差係數	5.3%	0.5%	0.7%	2.4%	2.5%	1.3%

表 8(a) 配比 A 混凝土 28 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f_c^r kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	309	3865	3960	4056	4197
2	312	3865	3960	4070	4197
3	348	3823	3883	3997	4163
4	338	3830	3883	4090	4167
5	350	3885	3960	4016	4130
6	353	3802	3883	4059	4140
平均值	335	3845	3922	4048	4166
偏差係數	5.9%	0.8%	1.1%	0.9%	0.7%
1C	348	3865	3960	4209	4043
2C	296	3906	3960	4132	4150
3C	401	3865	3883	4185	4097
4C	380	3795	3883	4186	4010
平均值	356	3858	3922	4178	4075
偏差係數	12.9%	1.2%	1.1%	0.8%	1.5%

註： V_A 為敲擊回波檢測值(IE/加速規)； V_B 為敲擊回波檢測值(IE/位移規)；
 V_C 為耦合式低頻超音波； V_D 為乾點式低頻超音波(UK1401)。

表 8(b) 配比 B 混凝土 28 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f_c^r kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	254	3705	3753	3987	3997
2	248	3747	3883	4013	4123
3	252	3761	3805	4008	3990
4	215	3657	3727	3999	3947
5	238	3685	3753	3843	3977
6	242	3684	3753	3960	3887
平均值	241	3707	3779	3968	3987
偏差係數	5.9%	1.1%	1.5%	1.6%	2.0%
1C	265	3678	3727	3830	3897
2C	264	3719	3805	3949	3943
3C	302	3726	3805	3958	3987
4C	292	3802	3883	3941	3903
平均值	281	3731	3805	3920	3933
偏差係數	6.8%	1.4%	1.7%	1.5%	1.1%

表 8(c) 配比 C 混凝土 28 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	143	3477	3546	3636	3607
2	162	3595	3650	3754	3893
3	201	3560	3650	3704	3703
4	128	3345	3417	3665	3610
5	183	3615	3650	3766	3877
6	142	3511	3572	3739	3757
平均值	160	3517	3581	3711	3741
偏差係數	17.4%	2.8%	2.6%	1.4%	3.3%
1C	172	3387	3495	3618	3553
2C	172	3560	3650	3733	3747
3C	241	3615	3727	3918	3737
4C	161	3629	3727	3896	3783
平均值	187	3548	3650	3791	3705
偏差係數	19.6%	3.1%	3.0%	3.7%	2.8%

表 9(a) 配比 A 混凝土 56 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	360	4218	4245	4043	4550
2	379	4218	4219	4040	4540
3	407	4218	4271	4169	4570
4	405	4218	4271	4065	4587
5	424	4197	4232	4027	4470
6	415	4218	4245	4213	4540
平均值	398	4215	4247	4093	4543
偏差係數	6.1%	0.2%	0.5%	1.9%	0.9%
1C	456	4301	4245	4363	4500
2C	333	4301	4219	4329	4450
3C	494	4280	4271	4434	4573
4C	487	4280	4271	4448	4510
平均值	442	4291	4252	4394	4508
偏差係數	16.9%	0.3%	0.6%	1.3%	1.1%

表 9(b) 配比 B 混凝土 56 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	195	4031	4077	4037	4310
2	344	4156	4180	4005	4390
3	310	4072	4116	3956	4373
4	310	4114	4103	4057	4370
5	316	4052	4077	4013	4307
6	341	4072	4167	4117	4373
平均值	303	4083	4120	4031	4354
偏差係數	18.1%	1.1%	1.1%	1.3%	0.8%
1C	438	4204	4206	4341	4283
2C	452	4266	4154	4451	4377
3C	409	4273	4187	4418	4353
4C	425	4252	4116	4316	4363
平均值	431	4249	4166	4382	4344
偏差係數	4.3%	0.7%	0.9%	1.4%	1.0%

表 9(c) 配比 C 混凝土 56 天齡期其不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	205	3761	3792	3838	3950
2	197	3844	3870	3891	4040
3	183	3782	3831	3821	4080
4	188	3844	3870	3843	4020
5	215	3865	3896	3931	4067
6	214	3761	3805	3753	3933
平均值	200	3810	3844	3846	4015
偏差係數	6.6%	1.2%	1.1%	1.6%	1.5%
1C	279	3906	3934	4237	3987
2C	254	3927	3973	4201	4003
3C	283	3969	3999	4234	4047
4C	209	3969	4012	4258	4057
平均值	256	3943	3980	4233	4024
偏差係數	13.3%	0.8%	0.9%	0.6%	0.8%

表 10(a) 配比 A 混凝土 91 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	445.2	4050	4057	4106	4447
2	334.5	4089	4103	4192	4497
3	374.4	4050	4057	4118	4487
4	383.6	4089	4083	4129	4473
5	388.5	4128	4135	4137	4507
6	388.5	4050	4057	4076	4463
平均值	385.8	4076	4082	4126	4479
偏差係數	9.2%	0.8%	0.8%	0.9%	0.5%
1C	518.2	4186	4057.1	4477	4560
2C	401.2	4166	4102.6	4319	4467
3C	457.2	4147	4057.1	4415	4463
4C	473.7	4186	4083.1	4249	4517
平均值	462.6	4171	4075	4365	4502
偏差係數	10.5%	0.4%	0.5%	2.3%	1.0%

表 10(b) 配比 B 混凝土 91 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	346.1	4166	4148	4146	4443
2	281.1	4011	4019	4035	4347
3	267.9	4069	4064	4146	4360
4	344	4037	4019	4123	4280
5	339.6	4206	4206	4073	4513
6	351.1	4095	4103	4086	4343
平均值	321.6	4097	4093	4102	4381
偏差係數	11.5%	1.8%	1.8%	1.1%	1.9%
1C	377.4	4166	4154	4366	4330
2C	401	4128	4232	4255	4363
3C	392.5	4166	4258	4246	4490
4C	401	4102	4232	4255	4297
平均值	393.0	4141	4219	4281	4370
偏差係數	2.8%	0.8%	1.1%	1.3%	1.9%

表 10(c) 配比 C 混凝土 91 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	235.5	3913	3928	4000	4000
2	199.9	3835	3811	3853	4037
3	236.8	3842	3837	3929	4007
4	183.8	3894	3889	3968	4207
5	221.9	3913	3921	4005	4147
6	195	3829	3844	3908	4143
平均值	212.2	3871	3872	3944	4090
偏差係數	10.5%	1.0%	1.2%	1.5%	2.1%
1C	272.4	4011	4038	4138	4190
2C	274.8	4011	4038	4204	4197
3C	263.2	3946	3967	4115	4180
4C	257.9	3952	3973	4084	4170
平均值	267.1	3980	4004	4135	4184
偏差係數	3.0%	0.9%	1.0%	1.2%	0.3%

表 11(a) 配比 A 混凝土 180 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	538.1	4426	4426	4437	4813
2	442.7	4322	4310	4291	4720
3	349.9	4322	4323	4348	4683
4	405.6	4405	4400	4411	4733
5	552.8	4363	4387	4431	4747
6	433.4	4398	4413	4402	4727
平均值	453.8	4373	4377	4387	4737
偏差係數	17.2%	1.0%	1.1%	1.3%	0.9%
1C	393.2	4467	4426	4576	4803
2C	466.4	4439	4310	4524	4790
3C	502.5	4439	4323	4491	4747
4C	588.3	4446	4400	4566	4733
平均值	487.6	4448	4365	4539	4768
偏差係數	16.6%	0.3%	1.3%	0.9%	0.7%

表 11(b) 配比 B 混凝土 180 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	378.7	4239	4258	4332	4583
2	415.7	4301	4323	4369	4633
3	342.8	4301	4310	4291	4547
4	377.7	4176	4193	4273	4573
5	396.4	4232	4232	4350	4623
6	381.9	4273	4284	4291	4617
平均值	382.2	4254	4267	4318	4596
偏差係數	6.3%	1.1%	1.2%	0.9%	0.7%
1C	485.5	4322	4349	4501	4637
2C	475.3	4280	4323	4228	4523
3C	460.1	4363	4413	4444	4547
4C	486.4	4280	4349	4354	4523
平均值	476.8	4311	4359	4382	4558
偏差係數	2.6%	0.9%	0.9%	2.7%	1.2%

表 11(c) 配比 C 混凝土 180 天侵蝕後不同波速量測方法之比較

	f'_c kg/cm ²	V_A m/s	V_B m/s	V_C m/s	V_D m/s
1	271.2	3948	3973	4158	4283
2	281.7	3989	3999	4095	4350
3	275.2	4031	4038	4095	4333
4	272	3989	3999	4087	4347
5	253.8	3982	4012	4115	4277
6	266.4	3989	3999	4105	4323
平均值	270.1	3988	4003	4109	4319
偏差係數	3.5%	0.7%	0.5%	0.6%	0.7%
1C	304.5	4065	4116	4323	4287
2C	310.4	4052	4077	4234	4233
3C	274.9	4031	4077	4249	4257
4C	301.1	4079	4116	4288	4367
平均值	297.7	4057	4097	4274	4286
偏差係數	5.3%	0.5%	0.5%	0.9%	1.4%

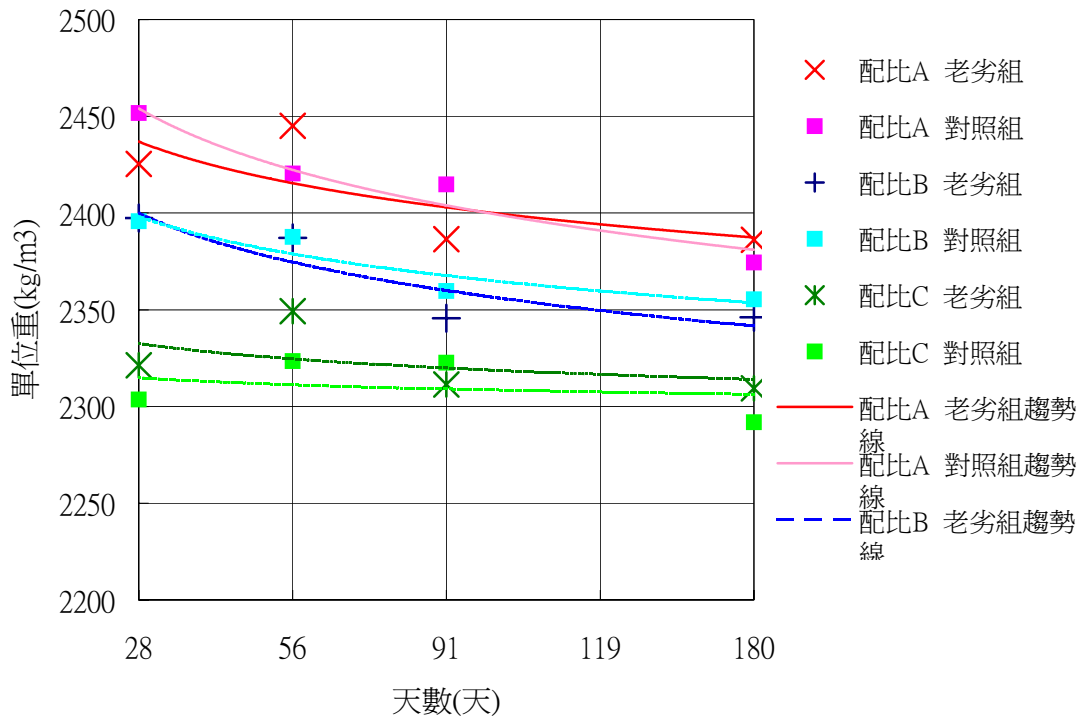


圖 1 各種混凝土單位重與養護齡期之關係

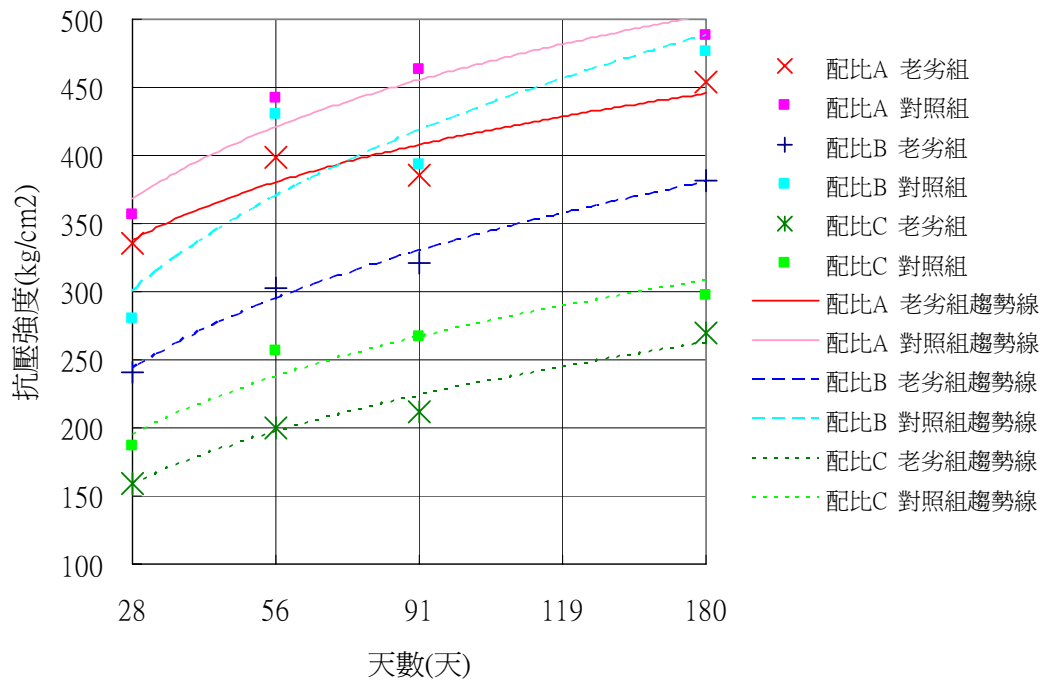


圖 2 各種混凝土抗壓強度與養護齡期之關係

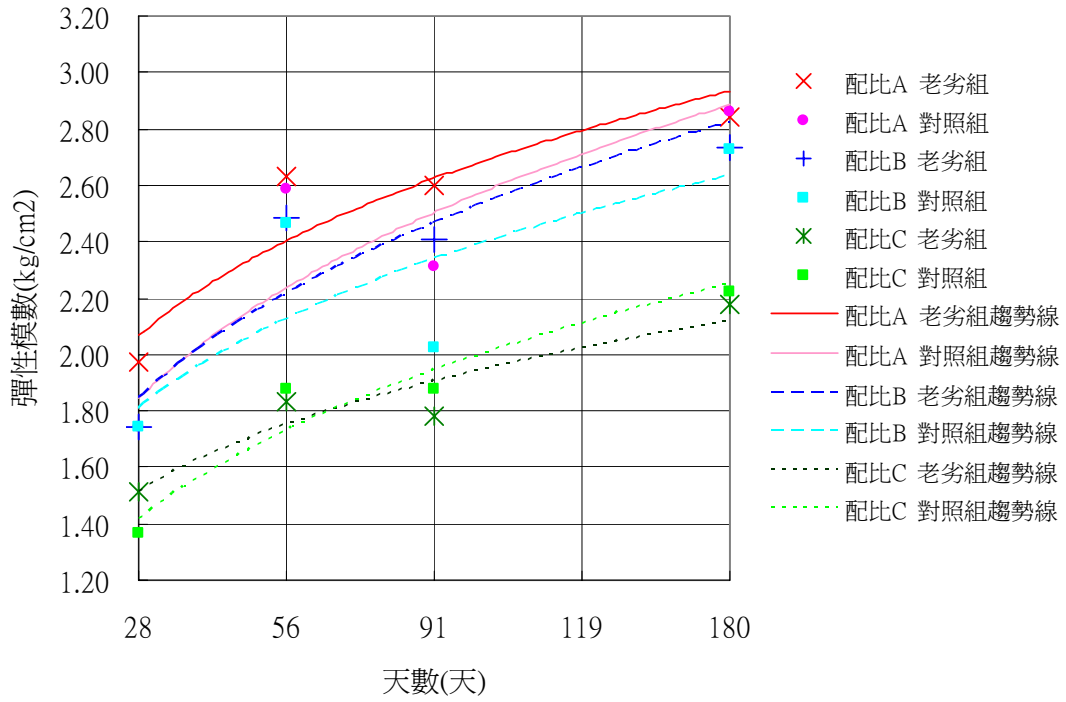


圖 3 各種混凝土彈性模數與養護齡期之關係

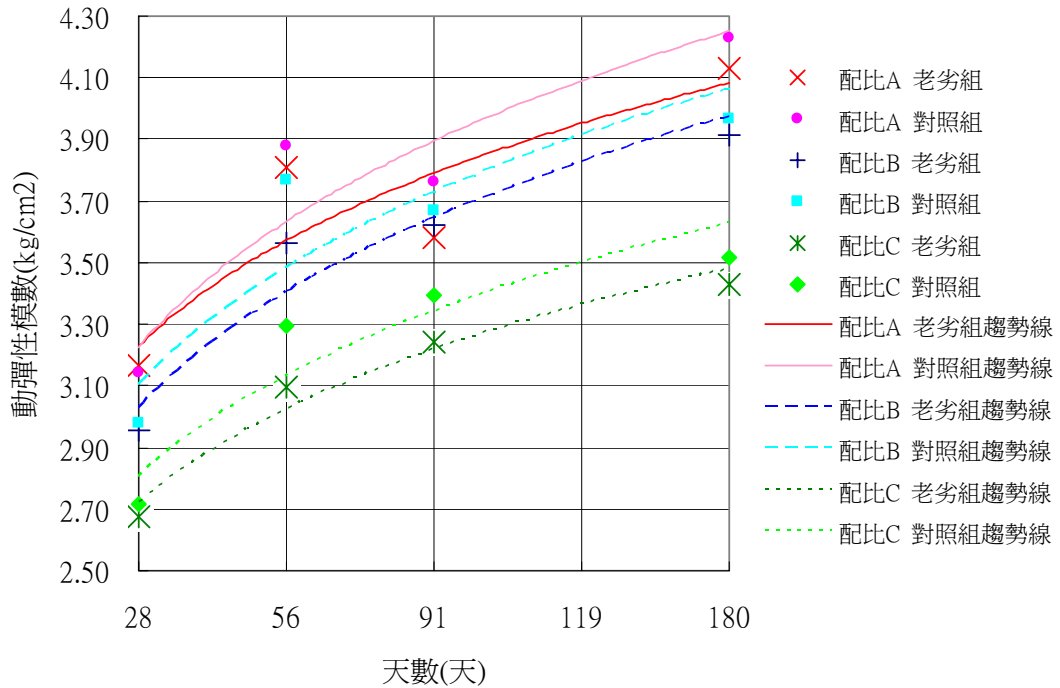


圖 4 各種混凝土動彈性模數與養護齡期之關係

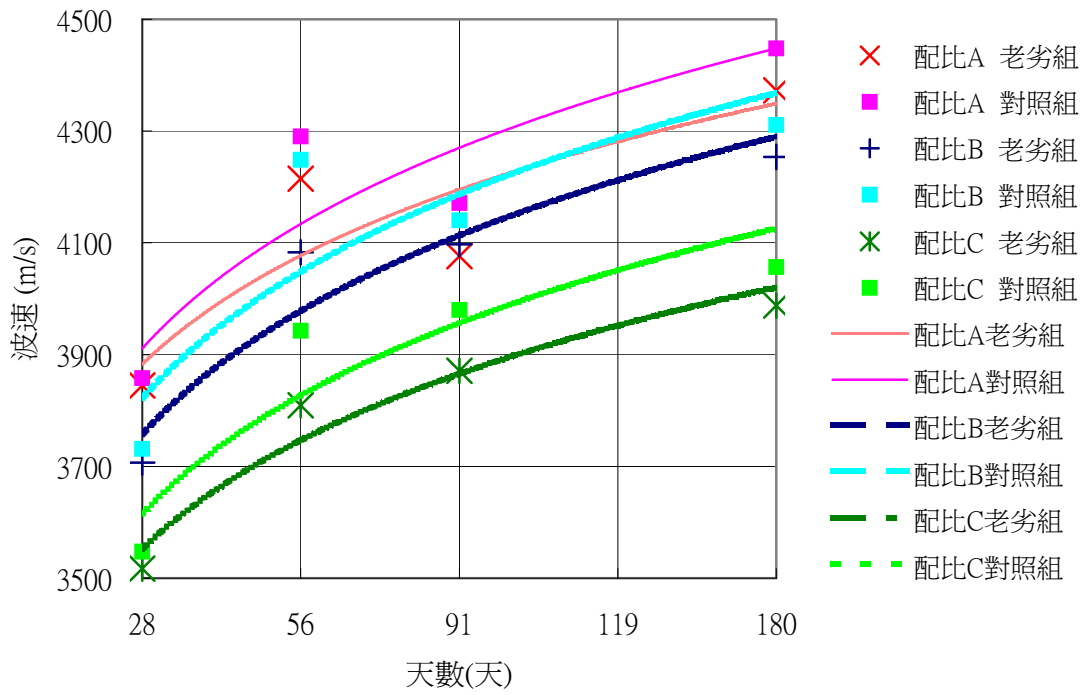


圖 5 各種混凝土波速與養護齡期之關係

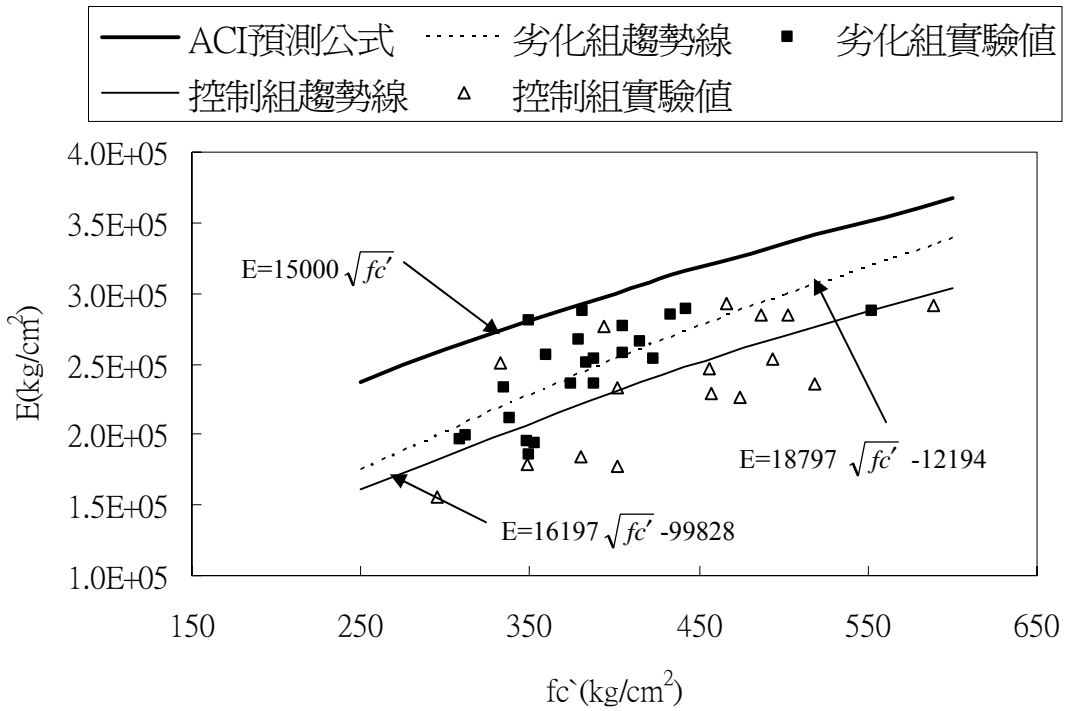


圖 6 配比 A 之彈性模數與 ACI 經驗公式比較

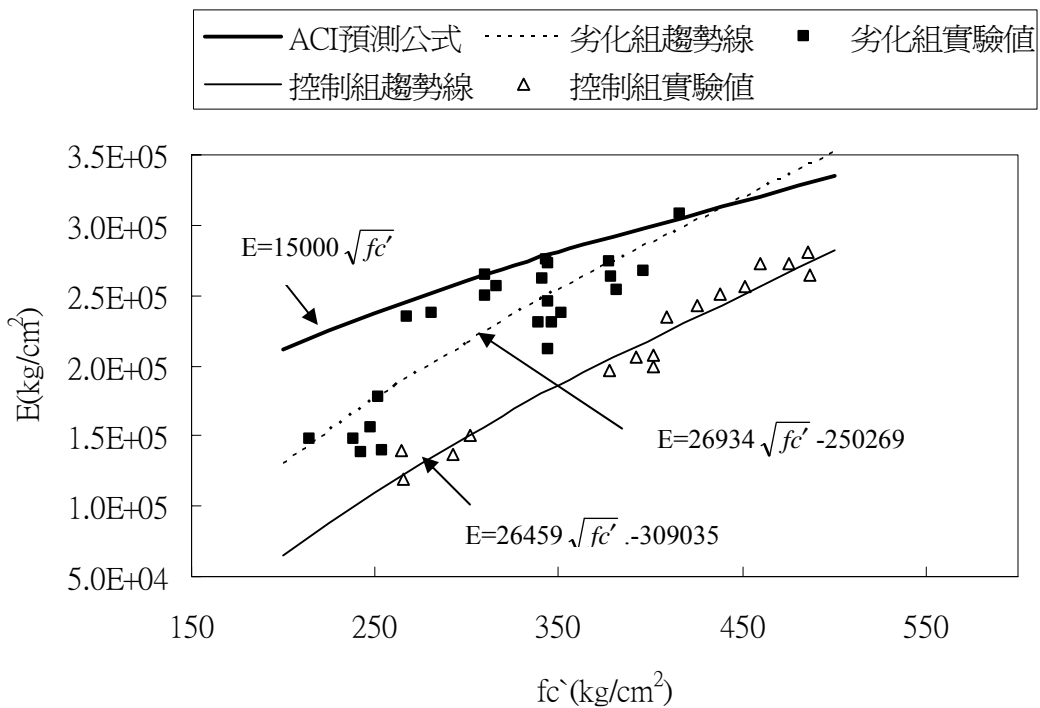


圖 7 配比 B 之彈性模數與 ACI 經驗公式比較

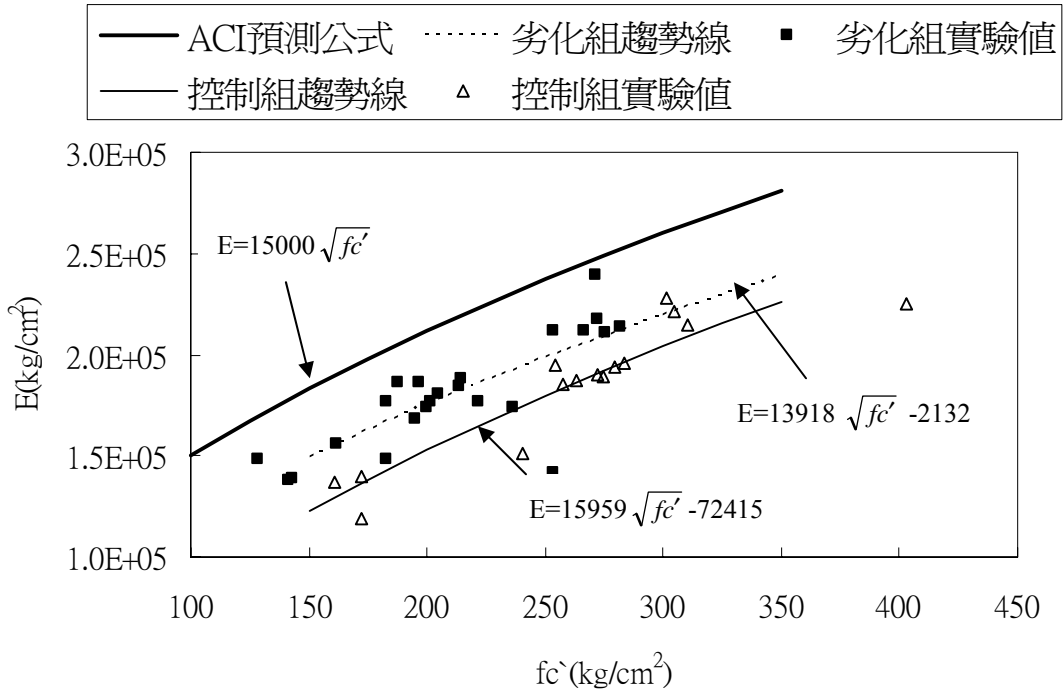


圖 8 配比 C 之彈性模數與 ACI 經驗公式比較