

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

TAICON 充填性能對 RC 構件施工性影響之研究(III) The Effect of the Self-compactability of TAICON on the Construction of RC Members (III)

計畫編號： NSC 89-2211-E-002-065

計畫期間： 民國 88 年 8 月 1 日至民國 89 年 7 月 31 日

計畫主持人： 詹穎雯 國立台灣大學土木工程研究所

一、緒論

以國內的工程環境與施工習性而言，營造廠的素質良莠不齊，政府相關單位無法合理落實相關的制度與管理機制，使整個工程環境就在惡性競爭下，漸趨劣質化，工程品質不良已是一常態現象，一般的工程經過施工環節後，常使其原設計的安全係數消耗殆盡。數月前之 921 大地震，使得施工不良的建築與公共工程完全暴露，無所遁形。欲改變國內工程普遍欠缺妥善施工品質的現狀，除了徹底落實制度上的監造機制、證照制度，加強營造廠管理及工人的職前與在職訓練等；另一可行之道，便是在工程施作中將「人」的影響因素減到最低，除可確保工程的施工品質，並可因為適當的施工流程管理與人工的免除，大幅降低施工的成本。

加上現行的結構物耐震設計，其設計結果往往造成模版內的鋼筋密佈，澆置搗實不易，而使得結構的真實承載力與設計產生一落差，耐震力大受影響，為有效確保結構物之耐震能力，如何有效降低施工難度、提昇施工品質，是解決目前國內 RC 構造物可靠度偏低的當務之急。其次，未來工程進行於施工時噪音防制之環保需求，也將亦趨嚴格。因此，為確保工程品質、避免過多的施工瑕疵、兼顧環保的需求、達成施工自動化的目標，應用具有「施工中免振動、搗實、具有自動充填能力」的自充填高性能混凝土，對現今產業界格外具有重要意义。

二、SCC 配比技術之探討

自充填混凝土的配比設計，必須依建築物的結構條件、施工條件以及環境條件加以考

慮，其中結構條件包括結構斷面形狀與尺寸、鋼筋的間距及鋼筋量，而施工條件應考慮的有澆灌作業所需時間、泵送混凝土所需的距離、自由落下的距離、最大的流動距離及模版的形狀等；且混凝土需通過各種的充填性試驗，以能達到自行充填的性能、施工性、強度、耐久性、水密性、析離抵抗性等，這是配比設計的基本要求。

自充填混凝土流動性測試方法

自充填混凝土是指在新拌階段不損害材料分離抵抗性而顯著提高其流動性的混凝土，以下根據日本土木學會所提出的，對於自充填混凝土在新拌階段時的品質特性，如流動性、材料分離抵抗性、間隙通過性及充填性等評價及試驗檢測的項目做一說明。

參照日本自充填混凝土的配比設計規範，可將其分為以下三類：粉體系高流動混凝土之配比設計、增稠劑系高流動混凝土之配比設計及併用系高流動混凝土之配比設計。

三、文獻回顧

鋼筋混凝土之握裹力可視為一種剪力，鋼筋與混凝土兩種材料彼此藉此種力量相互傳遞應力，而影響握裹強度的因素則包括：

1. 化學粘附力 (Chemical Adhesion)：係由水泥與水起水和作用，產生水泥膠體之化學反應物，其與鋼筋表面間形成之黏著力稱之。當構件承受低應力時，握裹抵抗主要由化學粘附力所提供，而且當鋼筋滑動時，此種有限的抵抗隨即會消失。
2. 摩擦力 (Friction)：鋼筋與混凝土間因表面粗糙所產生之阻力，當粘附力喪失，而且鋼筋與混凝土之間有輕微滑動發生時，握裹力則

由摩擦力與混凝土作用於鋼筋突緣所造成的支承载力共同提供。

3. 楔形作用力 (Wedging Action): 係一種鋼筋竹節環與混凝土間互鎖的作用力, 當鋼筋與混凝土更進一步滑動時, 則此支承應力更形重要。

1972 年 Ash 將混凝土試體分為兩組, 對其作拉拔力試驗; 試驗結果發現, 水平灌模之混凝土試體較垂直灌模者之拉力為強, 此表示混凝土為異向性 (Anisotropic) 材料, 且水平灌模之混凝土試體, 具有較強之握裹力量。當混凝土試體受到外力作用, 應力波傳播至骨材顆料時, 引發每一骨材顆粒之兩端, 進行如同拔河比賽之拉鋸戰, 由於混凝土浮水作用, 使骨材顆料上下周緣有不同之握裹力量。

1989 年 Hoshino 教授研究粗骨材及混凝土試體高度對浮水的影響, 研究結果指出在混凝土凝固前, 骨材沉降的進行和水泥的水化作用無必然的相關性。因此值得重視的是在混凝土凝固的過程中, 顆粒的沉降和浮水的上升, 不會同時結束。除此之外已被證實的是, 即使在粗骨材的沉降停止之後, 細骨材和未水化水泥顆粒的沉降持續輕微地在骨材間進行, 因此, 在混凝土凝固之前, 靠近粗骨材較低的表面處可能有縫隙產生。

早在四、五十年前, 專家學者已發現, 混凝土試體內之水平鋼筋會隨鋼筋下方混凝土厚度增高, 而握裹力會有減少的現象, 1947 年 Clark 由拉力試驗結果, 發現距離混凝土試體底面 15" 之處鋼筋的握裹力與距離底面 2" 之處鋼筋的握裹力有明顯的差異, 上部鋼筋約為下部鋼筋的三分之二, 此原因係由於上部鋼筋試體底床產生浮水滯留所影響, 又經過多位學者研究發現, 一致認為澆置混凝土時水平鋼筋底層之混凝土越深, 握裹強度之損失越大, 此即表示由於混凝土浮水作用, 在水平鋼筋底床, 聚集水分與空氣所致。1976 年 Anabd & Briggs 兩位學者推斷, 水平鋼筋底床與混凝土有一層分離面 (Plane of Separation), 可能影響鋼筋與混凝土之結合。

四、實驗計劃

第一階段的研究規劃為配比調整試驗, 其目的是在確保流動性與抗析離能力的性質下, 調整自充填混凝土的配比, 並參考國科會之 TAICON 研究群的規劃特性, 將其設計強度 f_c'

定在 4000~5000 psi, 以滿足現階段產業界之需求, 達到著重本土化材料之研發及應用之目標; 試驗的方法是先根據國內修正之自充填混凝土配比設計方法, 利用不同粉料的比例搭配及細骨材細度模數的調整, 以設計出中強度的自充填混凝土, 並同時檢測其彈性模數, 以確保混凝土的變形量。

第二階段的實驗規劃在探討混凝土的體積穩定性, 有鑑於國內目前已有起自充填混凝土的生產紀錄, 在生產上應已掌握新拌混凝土特性, 惟在其硬固後之力學行為與變形特性如彈性模數、乾縮潛變量等, 是否會因配比特性而與一般混凝土對構件產生不同的影響, 則有加以了解的必要, 配合實際工程應用之自充填混凝土配比, 進行潛變乾縮之試驗。

第三階段的研究規劃為鋼筋之拉拔試驗, 其目的有二, 一是探討混凝土握裹力隨齡期成長之歷程, 並與其抗壓強度之成長歷程相比較, 以瞭解混凝土與鋼筋握裹力隨著混凝土初凝、終凝之發展歷程, 實際量測、評估自充填混凝土 SCC 與普通混凝土在澆置後初期, 影響混凝土與鋼筋間之整體性最關鍵之時機為何; 另一則是探討鋼筋間距與高程對鋼筋握裹力之影響程度, 鋼筋有效間距之大小會影響混凝土充填之密實性, 因而會對鋼筋所受有效握裹力有影響, 本階段的研究將以不同的鋼筋間距配置, 並分別以自充填混凝土及普通混凝土加以澆置, 在由握裹力試驗結果, 探討鋼筋間距與高程變化對混凝土握裹力大小之影響。

第四個階段則針對預力樑長期變位與預力損失為探討對象, 配合自充填混凝土圓柱試體的潛變試驗、乾縮試驗, 以做為混凝土預力樑長期變位與預力損失之研究。

五、實驗結果與討論

5.1 自充填混凝土之體積穩定性

1. 由試驗結果顯示, 當將最大粒徑由 20mm (3/4 in) 降至 13mm 時, 可有效地提高其新拌性質的流變能力與鋼筋通過性, 其原因為當骨材粒徑小時, 要形成架橋現象的機率也相對降低, 故其通過性能可明顯提高; 加上粗骨材的比表面積增加, 其與水泥漿接觸的面積也增加, 故可提高其潤滑效果, 亦增加其流動性。
2. 將細骨材的細度模數由 2.86 降至 2.51 左

右，可使細骨材的比表面積增加，而細骨材可吸收的水分也可提高，所以使用高用水量也較不易造成析離的現象；除此之外，由於膠結用量的減少，使得混凝土級配比中較細的顆粒減少，所以適時的降低細骨材的細度模數，可補足這方面的損失。

3. 以較高的飛灰取代水泥量時，可有效地將抗壓強度降低；但在降低水泥用量及提高用水量的同時，很容易對新拌混凝土的流動性造成影響，且對硬固後的混凝土品質亦會有影響，所以水泥用量及總膠結量必須有所下限，而其用量的決定，需取決於所需的強度、工作性、耐久性及其他要求的性能。
4. 自充填混凝土低骨材量及高漿量的配比特性，對混凝土的抗壓強度影響不大，故高強度的設計不會是問題。不過，對於彈性模數或體積穩定性而言，則需加以特別注意，原因是此種配比容易造成混凝土彈性模數偏低及乾縮潛變等現象偏高的現象，見圖 5-1。

5.2 自充填混凝土之體積穩定性

1. 由實驗結果顯示，自充填混凝土採用高漿量、低水灰比、較低的粗骨量，另添加卜作嵐材料及強塑劑，使得自充填混凝土產生較普通混凝土高的自體收縮及乾燥收縮變形，見圖 5-2 所示，因此在應用自充填混凝土於實際工程時，必須加以考慮。
2. 至於自充填混凝土的乾燥潛變雖然不是很顯著，但卻有較大的基本潛變量，這對於預力混凝土橋梁或高樓層構造物的結構行為可為產生負面的影響，諸如預力損失、超額變位等問題，故對於結構受載的變形量必需特別加以注意。

5.3 握裹力試驗

1. 本試驗所使用的自充填混凝土的初凝時間約為 17 個小時，終凝時間約為 20 個小時，而普通混凝土的初凝時間為 5.6 個小時，終凝時間為 7.5 個小時，故在工程應用時需特別注意拆模時間及初期的養護。
2. 本試驗所採用的是「臨界握裹應力」作為判斷的準則，此方法不但適合於構件形式的握裹力量測，且對於裂縫寬度的控制較有意義，因為握裹強度是取決於結構的形式、受載的方式、束制的情形與邊界的條

件等，並非單一圓柱試體或方形試體所能比擬的，故對於握裹強度的量測實有必要採用構件的形式來判斷。

3. 由握裹力的試驗結果可看出，為了反應出實際結構在施工期間的情況，故必須使用較大尺寸的試體，也使得鋼筋埋入長度加長，所以在進行拉拔力試驗時，要施加的拉拔力較大，這時就必須將鋼筋的彈性伸長量考慮進來，才能反應出鋼筋實際的滑移量，見圖 5-3。
4. 由齡期試驗可發現無論是 SCC 或 OPC 其握裹應力的成長在 14 天之後就趨於緩和；而比較兩者的成長曲線可發現，SCC 與 OPC 的比率大約是介在 60%~80% 之間，可知 SCC 在不需振動搗實的情形下，其充填性已優於使用高坍度混凝土加上振動搗實後的效果，即表示在同樣的抗壓強度下，SCC 可更有效地發揮出混凝土的握裹力，可提供更高的安全係數。
5. 由高程對握裹力的影響可得知，SCC 與 OPC 的握裹強度皆有隨高程而遞減的現象，SCC 的折減率約為 65~75%，而 OPC 約為 55~65%，見表 5-1，其產生的原因不同，SCC 可能是因鋼筋底層混凝土的塑性沉陷而產生，OPC 則應是振動搗實所引發的浮水現象而產生。
6. 在鋼筋間距對握裹力影響的試驗中，可看出 SCC 的鋼筋握裹應力在 1 倍主筋間距的情形下，即可發展出足夠的強度，而在較高的位置，使用 2 倍的主筋間距也可達到規範的要求，不會因浮水現象而產生太多的折減；但對於 OPC 而言，在高程較高的位置，即使用到 2 倍的主筋間距，其握裹應力仍會有大幅地衰減，其值已低於規範的要求，故在做結構設計時必須加以考慮。
7. 由非破壞性檢測及破壞性檢測的結果可知，無論是動彈性模數、單位重、抗壓強度及彈性模數，都可顯示出 SCC 的均勻性皆比 OPC 來的好，見表 5-2；故對於鋼筋密佈、搗實不易的結構，實有必要使用自充填混凝土。
8. 由目前對握裹應力的規範可看出，SCC 的安全係數比規範高出許多，而 OPC 在較高的位置甚至低於規定，見表 5-3。由此可看出 SCC 因其優越的充填能力而形成與鋼筋

界面較佳的握裹力，以及免振動搗實的特性而減少了浮水的現象，皆可使 SCC 握裹應力的安全係數提高不少，故規範對於使用 SCC 的構件的伸展長度可以有所折減，以達到節約能源、降低成本的目的。

六、結論與建議

1. 由實驗的經驗可知，自充填混凝土對於水的用量是非常的敏感，而強塑劑對水的敏感度則有控制的效果，但不同廠牌的葯劑其功用卻有很大的差別，故在使用強度劑前應先建立起其敏感度曲線，以便在實際工程應用時，預拌廠商可調整其下水量的精度，才能生產出品質穩定的自充填混凝土。
2. 握裹強度的大小取決於判斷的標準，若採用極限握裹力來作判斷時，其對應之滑移量已非常大（4~6 mm），在實際結構物上會產生太大的變形，而有實質的危險性，故建議對於握裹強度的判斷應採裂縫控制的方式，且應建立起小試體與構件間握裹力的關係，以做為比較之依據。
3. 由於鋼筋間距效應組在施以拉拔力時，是對單一鋼筋施力，但在真實結構中是數支鋼筋一起受力，故在這樣的實驗架構下，其他不受力的鋼筋可能會對受力的鋼筋產生類似群樁的效應，建議將其他不受力的鋼筋刨光並上油，如此不但有鋼筋間距的影響亦可減少群樁的效應。
4. 在施作握裹力試驗時，除了要考慮鋼筋的伸長量外，亦需注意混凝土的彈性變形；而為了免除混凝土的變形因素，只須將量測位移裝置的 LVDT 盡量遠離施拉的鋼筋即可。
5. 葯劑對混凝土的穩定性是非常重要的，因為土木工程的進度是非常不容易掌握的，常常有各種突出況狀發生，所以我們不能只將自充填混凝土的充填性能設定在剛下料時或是一個小時，而必需要有持續性和穩定性，讓混凝土的工作度能維持一定的時間，以應付各種工程狀況。

參考文獻

- [1]詹穎雯、廖基良、謝明宏，「自充填混凝土

之化學摻料種類與用量之設計方法」，混凝土施工自動化-化學摻料、配比、品管與施工研討，台灣營建研究院，pp.85-96，Taipei，November 1998。

- [2]土木學會，「高流動性混凝土施工指針」，July 1998。

- [3] 陳育聖（詹穎雯指導），「自充填混凝土之工程性質」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，June (2000)。

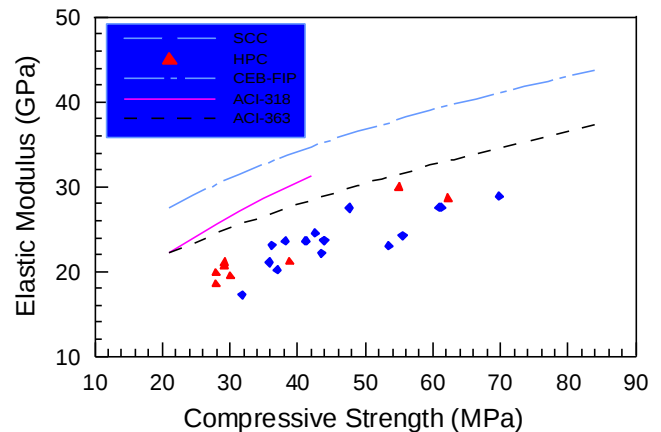


圖 5-1 SCC 之彈性模數與經驗公式比較

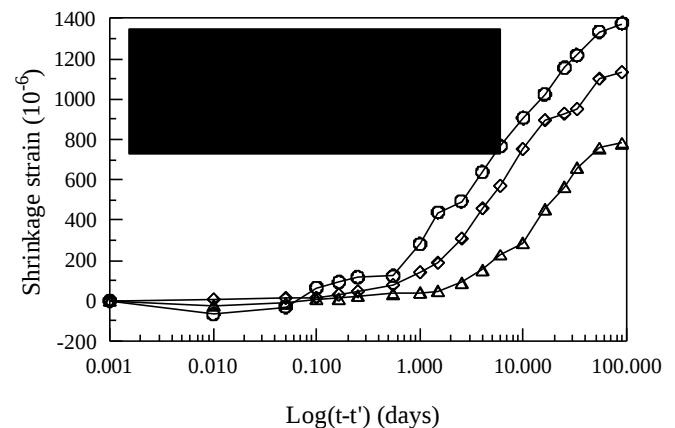


圖 5-2 SCC 之乾縮曲線

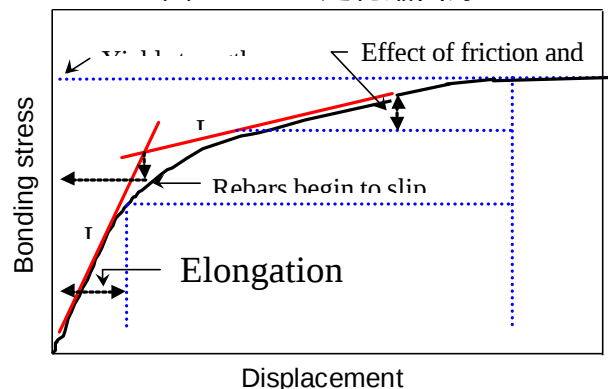


圖 5-3 握裹力之拉拔歷程示意圖