

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫三：含密集鋼筋 RC 構造採用 SCC 提昇耐震功能之機 理探討

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-002-093-

執行期間：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：詹穎雯

計畫參與人員：陳聿甫

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 11 月 29 日



## 摘 要

本計畫在於探討因SCC之充填性能，所能提昇構件之耐震能力程度。由於SCC可確實充填至模版與鋼筋間任一角落，相對於普通混凝土的施工限制，SCC對構造物耐震能力之提昇，咸信來自兩方面，一是SCC可提高鋼筋的有效握裹力，一是SCC可使鋼筋之圍束力更接近理論值。本研究之前兩年計畫已針對SCC在提高鋼筋有效握裹力之效應與特性完成詳實探討，並獲致具體而正面之結論；本年度(91學年度、第三年計畫)則完成SCC在受軸壓構件(RC柱)核心混凝土所受圍束行為的效應上之探討，研究發現與成果概要彙整於本報告。

本年度之研究內容在探討受軸壓構件(SCC柱與OPC柱)之核心混凝土所受的圍束效應，試驗研究對象為縮尺寸之RC柱，包含主筋與圍束箍筋，其設計符合我國耐震相關規範，箍筋型式有標準箍筋(含繫筋)與鋼絲一筆箍等兩類，混凝土採SCC與OPC兩種，各有兩種設計強度( $280 \text{ kgf/cm}^2$ 與 $420 \text{ kgf/cm}^2$ )，OPC澆置時，配合以標準振動搗實作業要點，SCC則以無振動搗實方式澆置，藉由SCC自身之自充填性能完成混凝土柱試體之澆置。由於OPC柱試體係於施工機具完備之混凝土預鑄廠中，由專業工程人員進行所有施工作業，因此，OPC柱所表現之性能可視為該尺寸斷面與配筋設計下之理論值，在相同設計細節條件下，如為場鑄(Cast-in-place)，在合理之變異性與施工水準落差存在下，所完成混凝土柱之真實結構性能，應具一定之折減，亦即一般RC理論中，有關柱軸力折減係數( $0.85f_c'A_c$ )之應用。

由實驗結果可發現，本研究之SCC柱與OPC柱在受軸壓下，其最大軸力、極限應變、混凝土圍束效應等結構行為特性，均約略相當，證實SCC柱可達OPC柱之理論結構性能。因此，在實際工程應用上，SCC柱之結構性能將明顯超過普通混凝土構件一定程度，並可確保設計結構性能之發揮。

## 一、緒論

國內的建築施工常因施工的方便性而忽略許多重要的耐震細節。1999年發生的921大地震，將台灣營建工程的缺失與弊病，完完全全地暴露在國人的面前。

自充填混凝土（Self-Compacting Concrete，簡稱SCC），是一種可以採用免振動、免搗實方式施工的混凝土，其優越的流動性與鋼筋通過能力，可以使其通過密佈的鋼筋籠，確實地與鋼筋緊緊包覆在一起，並能填充模版的每一個角落。

SCC之充填性能須藉由適當的配比設計與調整，並配合特殊化學摻料而達成。以SCC施工，可有效避免因施工人員素質、訓練或管理之不良，所造成之施工瑕疵及品質落差，大幅提升構件的可靠度，故以SCC施工的RC構造物，相信將有更接近設計值之承载力與耐震能力[1]。

近年來，SCC在台灣大學與台灣營建研究院等相關研究單位的努力推展下，國內業界逐漸體認SCC的優點與特性，有越來越多的施工單位紛紛採用SCC作為施工材料，目前SCC的用量在台灣可說是大幅度的成長。

另一方面，在鋼筋混凝土方柱構件上，閉合箍筋之綁紮常採用90°彎鉤。即使按耐震設計要求之135°彎鉤，受軸向力作用時仍難以避免側向變形發生鬆開現象，無法提供抗震所須的圍束力，主筋因而造成挫屈與柱體的潰散。這種無良好圍束力的方柱常產生非預期的脆性破壞模式。

耐震性能不佳的方柱一但發生破壞，對整體結構物的安全立即造成威脅，因此如何研發出經濟又有效的圍束方式以提升現有的鋼筋混凝土結構中方柱之軸向強度與韌性為本研究之主要目的。

## 二、文獻回顧

所謂的自充填混凝土係指澆置過程中不需施加任何額外的振動、搗實，完全藉由其本身優越的充填能力即可充填至鋼筋間隙及模版各角落之特殊混凝土。但要如何判定混凝土在新拌階段有良好的流動力、充填能力與抗析離能力？因此必須有一套可將之「量化」的試驗方法與標準。以下根據日本土木學會所提出，對於自充填混凝土於新拌階段時的品質特性，如流動性、材料抗析離能力、間隙通過能力與自充填能力等評價與檢測項目逐一說明[2]。一、坍流度試驗：用以量測混凝土的流動能力；二、V形漏斗試驗：用以評估混凝土的黏稠度；三、箱型試驗：用以評估混凝土鋼筋間隙通過與充填模版的能力。

國內對SCC的研究日漸成熟，由台大土木系材料實驗室非破壞性檢測及破壞性檢測的結果可知[3]，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；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。

目前在國內已有多起利用自充填混凝土施工的工程案子，可見國內廠商對於這種特殊混凝土已漸能接受，並體會到其新拌時期的各項優點。使用自充填混凝土主要可分為三個方向：取代普通混凝土、解決施工困難，以及符合特殊需求[4]。

混凝土受到側向圍束應力(confined stress)，可以明顯提昇混凝土的強度(strength)及韌性(ductility)，一般圍束的方法大致可分為主動束制(active confinement)與被動束制(passive confinement)，而實際的應用上，則多採用被動束制[5]。

由於圍束鋼筋對混凝土的圍束效應可以增加結構的韌性及能量吸收、消散能力，並使得外層混凝土保護層剝落之後，其柱心仍有圍束效應。因此在柱的耐震設計中，塑欵區會配置圍束鋼筋。有關柱受圍束效應的應力-應變關係，已有許多研究。從Kent and Park[6]於1971年提出應力-應變曲線，以二次曲線模擬應力上升的線段，與一線性的線段模擬下降線段。到1982年又將此模式加以修改，認為圍束效應和圍束鋼筋的體積比和降伏強度有關。1982年Sheikh and Uzumeri[7]提出效圍束核心區域的觀念，成為日後發展的主軸。Mander (1988) [8]更進一步將多軸向抗壓應力的極限強度面積引入參數，使模式有更好的預測結果。Hoshikuma (1997) [9]則收集相關文獻的抗壓試驗結果作一回歸分析，發展出一套混凝土應力-應變曲線。到此普通強度混凝土的圍束效應的應力-應變分析已臻完備。

普通強度混凝土圍束效應的應力-應變曲線並不適用於高強度混凝土中。由 Razvi (1999) [10]中顯示將普通強度混凝土圍束效應的應力-應變模式應用在高強度混凝土上會高估結構的韌性。另一方面，高強度混凝土的應力-應變曲線在達到最大值後的下降曲線較普通強度混凝土更為陡峭。側向圍束箍筋的運用不但能提高混凝土的抗壓強度，同時增加韌性。因此側向圍束箍筋在高強度混凝土的行為非常重要。

### 三、 SCC 充填性之測試與應用

國內外挫屈束制支撐之鋼管多使用無收縮水泥砂漿作為圍束單元，主要原因為鋼管灌漿面積小、高度又深，振動搗實不易。一般混凝土難以充填完全，無法避免蜂巢的形成而造成圍束效果不佳，發生核心單元局部挫屈的破壞。

自充填混凝土免振動、免搗實的高流動性特性正好十分適合應用於填充鋼管中。強度方面亦可輕易達到8000psi以上，符合圍束的需求強度。且混凝土的成本比水泥砂漿低上許多倍。在在都顯示出自充填混凝土的優勢。

由實驗結果得知[11]，兩挫屈束制支撐構件之非線性受力與變形行為良好穩定，遲滯迴圈相當飽滿，可有效消散能量，均可承受1.5倍最大樓層設計側位移變形而不發生破壞。同時在2.8公尺的落下高度及無任何流動空間的情況下，SCC 仍具有相當好的充填效果。

## 四、 實驗計畫

本實驗計畫主要分為兩個主軸。首先材料部分分別使用普通混凝土與自充填混凝土澆置，其中一般混凝土試體製作經過充分的搗實，而自充填混凝土部分則以無振動、無搗實方式製作。並考慮混凝土設計強度28MPa與高強度42MPa為參數。第二部分試體的設計則參考實際建築物之設計圖並經適當修改與縮小尺寸，試體斷面寬度為28公分，高度104公分，其中箍筋分別以一般#3鋼筋作一般90°閉合及繫筋綁紮與SD56的 $\psi$ 10mm耐震鋼筋作一筆箍為參數。共有8組試驗條件，各製作3個相同試體，一共24個試體。並對實驗混凝土材料製作 $\psi$ 10cm $\times$ 20cm之標準圓柱抗壓試體，以量測各混凝土材料之抗壓強度與靜彈性模數。

## 五、 實驗結果與討論

實驗破壞情形相當一致，不論OPC或SCC試體均是在經過極限強度後，試體偏上或偏下處開始出現微細裂縫，之後試體中央馬上出現剪斜裂縫，此時強度驟降至低於0.8倍極限強度。隨後剪斜裂縫發展為主裂縫，保護層開始剝落，強度亦隨之下降。

極限強度發生在軸向應變約0.5%左右，之後軸向強度開始下降，於軸向應變於3.0%即停止實驗，圖1為試體之軸向應力與應變關係圖，試體於強度達極限強度後，保護層漸漸剝落，導致使主筋發生挫屈、柱心混凝土破碎，軸向強度亦跟著喪失。一筆箍可能會發生斷裂現象，導致強度瞬間下降；一般箍筋會發生鬆脫而未能發揮圍束力。

軸向應變與平均側向應變關係圖示於圖2。由關係曲線發現，試體於最大軸向應力發生之前，側向應變呈線性增加。但在試體發生裂縫後，側向變形急速增加，即保護層向外漲開導致。試驗量測到平均側向變形達約8-10mm時，卸下LVDT，以避免損壞。應力下降後試體側向變形與軸向強度成反比關係，即側向變形增大則軸向強度隨著下降。

各試體軸向應力與主筋應變之比較圖示於圖3。取軸向應變於前1.0%以觀察其早期行為。可發現在軸向應力值達最大值之前，所有的主筋應變均為均勻的受壓，呈線性增加的情形。到了軸向應力過了最大值，同時試體開始發生裂縫，混凝土產生破壞後，主筋應變突增，瞬間發生降伏，應變值並可能有不規則的

現象發生，推測可能有挫曲的情況發生。其中大多在角隅，兩端之主筋最早發生降伏，但其它位置之主筋亦有發生大變形並降伏的情況發生。表示矩形柱外圍任何一柱主筋均有降伏或挫曲發生之可能，故在設計時不可輕忽。

各試體軸向應力與箍筋應變之比較圖示於圖4。取軸向應變於前1.0%以觀察其早期行為。可發現在軸向應力值達最大值之前，於箍筋中央之應變計，呈線性均勻受拉，表示箍筋正施以圍束力。而角隅和繫筋部分則變化不大。都為受壓情況。到了軸向應力過了最大值，試體開始破壞，一筆箍部分箍筋中央部分應變值開始迅速增加，但並不像主筋應變量突增，而是到軸向應變達0.8%時才到達拉伸降伏。而一般型式箍筋則大多無箍筋拉伸降伏的情況發生，推測在試體開始破壞後，箍筋亦已鬆脫，故不具任何圍束作用，鋼筋之應變量大都在降伏量之內。一筆箍軸向應變到2.2%之後可能發生箍筋斷裂現象，但當時之應變計大都已損壞，同時斷裂處均不在試體正中央之箍筋，故無法由應變計取得箍筋斷裂之資料點。

不同箍筋型式在本試驗中，對於極限強度之影響不大，如圖5。我們可發現不論任何型式之箍筋，應力上升段之接近一線性增加趨勢，且斜率相同。到達極限強度後，以相同速率遞減至約0.8殘餘強度後趨緩。此時一筆箍與一般型式箍筋開始有顯著的差異。一般型式箍筋以較快的速率遞減，到了0.5倍殘餘強度時，一筆箍之應變已是一般型式箍筋之兩倍。軸向應變到達2%時，一般型式箍筋強度已降到100kgf/cm<sup>2</sup>以下，而一筆箍仍保持200 kgf/cm<sup>2</sup>以上。一筆箍不論韌性比、0.5倍殘餘強度或0.2倍殘餘強度所對應之極限應變都較一般型式箍筋大。之後一筆箍雖會發生斷裂，導致強度瞬間下降，但強度仍較一般箍筋高。

圖6與圖7分別為SCC一筆箍與一般型式箍筋軸向應力與軸向應變之實驗與分析曲線比較圖。由圖中所示，Modified Fafits & Shah模式為最接近實驗值之理論曲線，其結果和一般型式箍筋十分接近。而一筆箍方面之下降曲線則和Cusson & Paultre模式接近。

實驗結果顯示，使用自充填混凝土施工的方柱所得之強度與韌性和使用一般混凝土施工之方柱來相當，即自充填混凝土在不需要振動搗實的施工方式下，即可達到一般混凝土必須充分且繁瑣的振動施工後才能達到的境界，甚至可能比其更佳。

## 六、 結論與建議

### 結 論

1. 相較於OPC方柱之變異性較大，SCC為保障施工品質之最佳選擇。
2. SCC之彈性模數雖然較低，但SCC之應力應變曲線與OPC相差不大。
3. 國內高強度混凝土之應力應變曲線可由Modified Fafits and Shah之模式預測，結果令人滿意。
4. 試驗結果證實，採用90°彎鉤之箍筋，於受力後將鬆脫，並無法發揮圍束效果，國內工程上應全面禁止採用此種箍筋施作方式。
5. 一筆箍在間距較大的情況下，仍可發揮較好的圍束效果，可推薦使用。
6. 方柱達最大應力前，主、箍筋呈均勻線性增加，過最大應力後則有應變不規則突增之現象發生。
7. SCC在不需要搗實的施工方式下，即可達到一般OPC必須充分且繁瑣的振動施工後才能達到的境界，在實際施工中具有一定的優勢。

### 建 議

1. 結構試驗須考慮尺寸效應，將來可以實尺寸加以探討相關力學行為。
2. 拌合SCC時，使用不同之強塑劑或粉料都會對SCC造成極大的影響，尤其是嘗試新式材料時，應經過多次的試拌和配比調正，在實際拌合時才仍確實SCC之品質。
3. 使用自充填混凝土施工，必須讓混凝土有足夠的流動距離與流動空間與適當的打料速度，讓混凝土藉由流動來達到均質性並排除混凝土與模版間之空氣，避免混凝土澆置時包覆多餘的空氣形成不必要的瑕疵。

## 參考文獻

- [1] 詹穎雯，「自充填混凝土簡介與相關規範」，自充填混凝土產製與施工研討會，台灣營建研究院，pp.1-20，台北市，2000年2月。
- [2] 周禮良，「日本自己充填混凝土之應用現況」，高性能混凝土新近發展與應用，pp. 19-36，台北市，1997年。
- [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，2000年6月。
- [4] Chan, Y.W., and J.C. Chern, “The Applications of SCC in Taiwan,” Proceedings of the Second International Symposium on Self-compacting Concrete, Tokyo, Japan, October 2001, pp. 25-32.
- [5] 陳彥睿（陳振川指導），「鋼管圍束高強度纖維混凝土於高溫力學行為研究」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，1999年6月。
- [6] Kent, D.C., and R. Park, “Flexural Members with Confined Concrete”, *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 97, pp. 1969-1990, July, 1971.
- [7] Sheikh, S.A., and Uzumeri, S.M., “Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Column.” *Journal of Structural Division, ASCE*, Vol. 108, No. 12, pp. 2703-2722, 1982.
- [8] Mander, J.B., M.J.N. Priestly, and R. Park, “Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, *Journal of Structural Division, ASCE*, Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1826, August, 1988.
- [9] Hoshikuma, J., K. Kawashima, K. Nagaya, and A.W. Taylor, “Stress-Strain Model for Confined Reinforced Concrete in Bridge Piers,” *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 123, No. 5, May, 1997.
- [10] Razvi, S., and S. Murat, “Confinement Model for High-Strength Concrete.” *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 125, No. 3, pp. 281-288, Mar, 1999.
- [11] 林聖霖（蔡克銓指導），「全鋼型與可拆型挫屈束制消能支撐之試驗與研究」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，2003年6月。

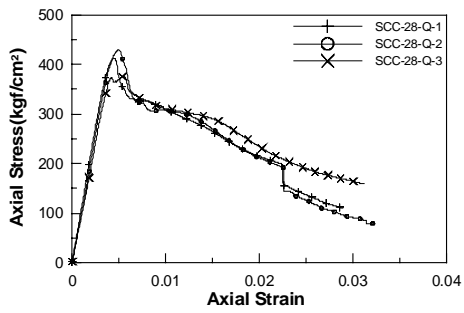


圖 1 軸向應變與軸向應力關係圖

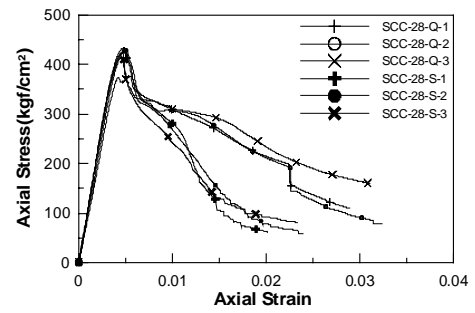


圖 5 箍筋型式比較之軸向應力關係圖

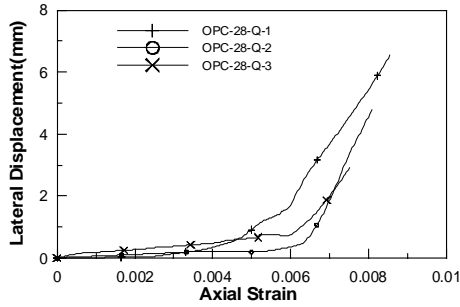


圖 2 軸向應變與側向應變關係圖

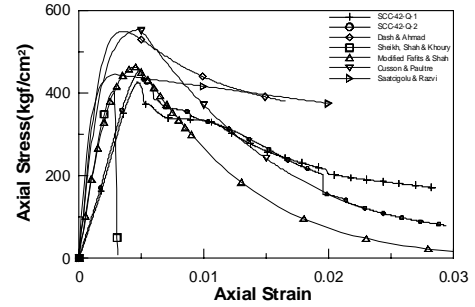


圖 6 一筆箍應力應變之實驗與分析比較圖

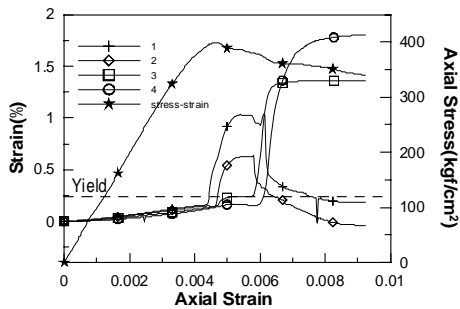


圖 3 軸向應力與主筋應變比較關係圖

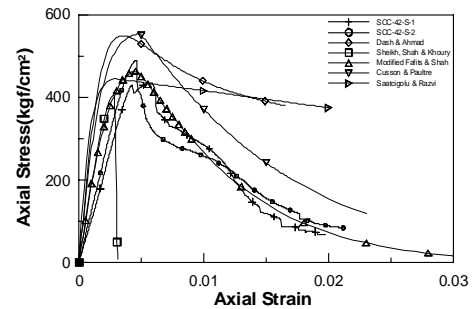


圖 7 一般箍筋應力應變之實驗與分析比較圖

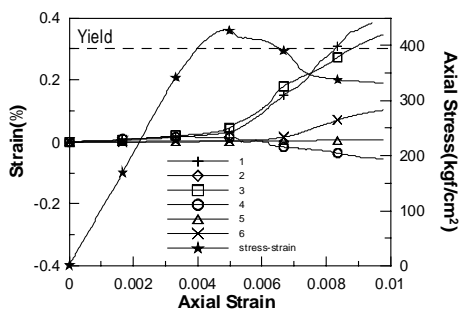


圖 4 軸向應力與箍筋應變比較關係圖