



自充填混凝土之發展與應用回顧

廖肇昌／國道新建工程局副總工程師

創新領先

民國 87 年，自充填混凝土 (Self-Compaction Concrete，簡稱 SCC) 於國道建設中首用於二高烏日交流道烏日穿越橋，至今已將屆 18 年之久。為普及化 SCC 的應用，十餘年來，有關 SCC 流動性量測國家標準 (CNS 14840 自充填混凝土障礙通過性試驗法、CNS 14841 自充填混凝土流下性試驗法、CNS 14842 高流動混凝土坍流度試驗法) 及工程會施工綱要規範 (第 03315 章自充填混凝土) 皆已制定及公告完成，中國土木水利工程學會混凝土施工規範 (土木 402-94) 亦增訂第 13 章「自充填混凝土」；學術研究方面，包括使用 SCC 的鋼筋混凝土柱與預力混凝土梁之結構行為、SCC 乾縮潛變與握裹力、SCC 流變性及配比等，亦陸續在台大、交大、成大等各大學完成，讓各界對 SCC 在鋼筋混凝土的應用，能更了解其結構行為。工程應用也同步開展，在國道橋梁墩柱的應用包括國道 6 號南投段、八里新店線八里五股段、台中生活圈二、四號線快速道路、國道 1 號五股楊梅拓寬段、高雄港聯外高架道路工程及金門大橋工程；其他的重大工程尚有台北鐵路地下化南港車站、台北 101 大樓、北捷松山線南京東路車站站體，機捷台北車站雙子星大樓 (12,000 psi) 等。SCC 在台灣地區已成為一項規格化的商品，尤其在民間許多大樓的柱內灌漿，皆多指定使用 SCC。

SCC 主要係大量使用卜作嵐材料 (水淬高爐石粉、飛灰) 取代水泥 (約至 45%)，使 SCC 兼具節能減碳功能，成為一種環保性材料。國際發展上，SCC 始於 1986 年東京大學土木系，隨即使用於日本明石跨海大橋，1999 年於瑞典斯德哥爾摩舉辦首次 SCC 國際研討會，之後陸續於 2001 年東京 (日本)，2003 年雷諾雅未克 (冰島)，2005 年芝加哥 (美國)，2007 年 Ghent (比利時)，2010 年蒙特婁 (加拿大)，2013 年愛荷華 (美國)、2016 年華盛頓 (美國) 等地舉辦國際研討會。SCC 已為國內外工程界所重視，並快速擴展其應用。台灣地區近十餘年來，歸功於產官學研各界熱心人士的投入，採取分工與合作方式，快速建構完整的使用環境。

成效彰顯

SCC 應用至今，是否達成當初採用目的，即 (1) 在鋼筋密集構件中能不經搗實可通過狹小的鋼筋間隙，完全填充模板內的空間；(2) 在具封閉性空間，無法順利澆置混凝土的構件如 SRC 柱內灌漿，能以逆打方式從柱底側面灌入混凝土後完全填充柱內空間；(3) 能減少澆置混凝土所需技術人員，降低施工噪音達成施工自動化目標；(4) 提高混凝土品質的均質性，耐久性等。經近十餘年來在不同的工程業主、監造者、營造業、預拌混凝土供應商及相關學者專家交換意見後，並審視眾多實際施工成果，各界普遍認同 SCC 確實改善傳統混凝土無法施作或常見的缺失，業界在 SCC 的產製能力也已有普及化現象。

高流動與耐久特性

SCC 為何能有高流動特性，且不會產生析離，係因在配比上與普通混凝土有如下差異；(1) 粗骨材用量較少；(2) 砂石比較高；(3) 膠結料用量較高及 (4) 化學摻料用量較高等。簡言之，SCC 配比組成是介於普通混凝土與水泥砂漿，藉由高漿體量及化學摻料 (高度減水劑) 使得粗骨材懸浮於漿體內，再經由泵送的初始動力使 SCC 能續依本身的重量來驅使流動特性達到填充空間的目的。SCC 的實現也要拜卜作嵐材料與高度減水劑之賜，才能有今天的 SCC 技術。

SCC 為何具耐久性，此可從其配比所用材料看出端倪。按混凝土施工規範中多規定，混凝土若要具耐久性，配比中的水膠比要低於 0.40，且要添加卜作嵐材料。現今在 SCC 配比設計上，為達到適當的黏滯性及流動性，以現階段配比能力與材料來源，配比組成必走向低水膠比 (< 0.40，或有在 0.40 ~ 0.45 間) 及足夠的膠結料用量 (一般都 > 450 kg/m³) 方能獲得所需特性，故 SCC 自然符合耐久特性要求。又因具低水膠比，其抗壓強度也比相同水灰比的普通混凝土為高。

待改善課題

SCC 雖具高流變性、高強度及高耐久性，但其變形特性卻因使用較低量的粗骨材量（一般混凝土粗粒料用量約 900 ~ 1000 kg/m³，SCC 粗粒料用量在 780 ~ 850 kg/m³），致有較普通混凝土有低的彈性模數，高的乾縮係數與潛變係數，故建議粗粒料用量至少要求維持在 800 kg/m³ 以上。但若將鋼筋加入 SCC 內一併分析時，純混凝土材料變形差異性的影響，到了鋼筋混凝土的結構行為，就不易彰顯，甚至在構件勁度上有優於傳統的鋼筋混凝土，此應是 SCC 與鋼筋有較佳的握裹力，將混凝土的變形移轉到鋼筋，改由鋼筋承受其變形，此等結果已經由國內數個大學研究成果可得證。

粗骨材用量乃關係混凝土能否成為 SCC 的關鍵，有些產製者，因未能掌握配比技巧、骨材料源穩定性及品管能力不足，在配比設計上將粗骨材量予以降低，或降低粗骨材最大粒徑，或提高砂石比，如以 SCC 第二級為例，粗骨材用量之絕對體積在日本規範建議為 0.30 ~ 0.33 m³/m³，結果有的 SCC 配比將粗骨材量降至 0.28 m³/m³ 或以最低值 0.30 m³/m³ 為目標以求通過鋼筋間隙試驗。另外在粗骨材最大粒徑上，SCC 於初期推動時，要求粗骨材應使用 6 分石（20 mm）10% 混合 3 分石（10 mm）90%，但現今有許多配比卻是 100% 使用 3 分石，混凝土的砂石比高至 57%，此等作法都將使 SCC 更易於產生析離現象，此係因細骨材含水量在產製時是非常不易控制，結果在高砂石比下，更會因砂含水量的變異造成誤差放大的效果，使得 SCC 澆置後在表層產生厚 2 ~ 5 公分不等的砂漿層（析離），亦使該層收縮加大，易於在硬化過程產生收縮裂縫（此亦因工地多無法作好養護工作），故一般建議砂石比至少也應控制在 51% 以下。

SCC 有良好流動性及自充填性，許多人認為可加快施工速度，然而，澆置 SCC 於模板空間的過程是在置換模板空間內的空氣，快速流動與澆置過程，會使得空氣無法順利排出，黏附或陷入在模板上，以致拆模後的混凝土表面產生較普通混凝土為多的氣孔，此幾乎是各國皆然。解決方式只有減緩澆置速度，提供 SCC 在模板內適當的流動距離或以適當的工具如細長鋼刷沿模板內面隨 SCC 澆置高度上升時加以輕微上下擾動，即可減少這些氣孔（普通混凝土若振動不足亦會有此情形產生）。是否須使用所謂的消泡劑，恐與配比所使用的化學摻料有關，仍待驗證。幸好這些氣孔只停留在表層稍影響外觀，並不會對強度或耐久性有不良影響。

有關流動性品管試驗，由於監造者對規範解讀與執行認知不同，有要求 SCC 運至工地後每車都要進行三項試驗（坍流度、U 型鋼筋間隙通過及 V 漏斗流下時間試驗），增加工地品管試驗所須人員，對於其後續推廣亦形成一種無

形的障礙。故在現地的品管檢測上，可先以坍流度檢測即可，若未符合規定，且認為該批 SCC 有可能因流動性差，無法完全填充構件內的空間，再進一步進行 U 型鋼筋間隙通過，以提高品管效率。

結語

SCC 後續應用推廣與前述待改善課題有關，產製 SCC 的預拌業者更扮演關鍵角色。SCC 配比設計中之組成材料用量與比例關係應訂定門檻值，以免配比偏向小粒徑與少量粗骨材的組成。現階段而言，6 分石與 3 分石的混合使用有其必要，最少粗骨材用量以 800 kg/m³ 為目標，對大多數產製者應皆可生產。硬化後 SCC 表面氣孔的減少，可透過澆置速率與流動距離，或以長鋼刷擾動表層來達成。在簡化試驗方法上，企待實務經驗回饋，如運送距離短，澆置構件不複雜，出廠前已進行三項品管試驗，是否在 60 分鐘內仍要再檢驗三項品管試驗，或將工地執行的 U 型鋼筋間隙通過試驗改用 ASTM C1621/C 1621M-09b 「Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring」方法進行，實有檢討必要，以期有效果與有效率的進行品管。

SCC 是混凝土技術發展的重要突破，所具優點亦為國際肯認，持續推動其應用可因應國內勞動力短缺、施工自動化、節能減碳與構造物生命週期考量之所需。每一種材料都有其優缺點，鋼筋也有腐蝕的缺點，SCC 當然也不例外，但其確有相當的優勢及值得的代價，可應用到適合的結構物。

參考資料

- 詹穎雯，廖肇昌，「自充填混凝土簡介、施工與應用」，土木水利第 3 卷第 3 期，中國土木水利工程學會，92.6，第 86-91 頁。
- 廖肇昌，「二高烏日交流道連絡道穿越橋—自充填混凝土之應用」，結構工程，第十九卷第二期，中華民國結構工程學會，93.6，第 93-107 頁。
- 廖肇昌，「SCC 歐洲指導原則大公開（一）（二）（三）」，營建知識，275-277 期，台灣營建研究院，94.12.23，95.1.23，95.2.23。
- 日本土木學會「高流動混凝土施工指針」，平成十年。
- 日本建築學會「高流動性混凝土材料、配比、製造、施工指引及解說」。
- 林建宏、林士平、李章哲，「自充填混凝土外柱接頭之攪曲行為」，高性能混凝土在結構工程應用之研討會，國科會工程科技推展中心主辦，94.4.12，成大，第 91-121 頁。
- 趙文成、謝奕倫，「自充填混凝土梁在高強度箍筋使用下之剪力強度測試與探討」，高性能混凝土在結構工程應用之研討會，國科會工程科技推展中心主辦，94.4.12，成大，第 122-147 頁。
- 方一匡、張簡建良、林廷駿，「自充填混凝土梁在彎矩、剪力及扭矩組合載重之承力行為」，高性能混凝土在結構工程應用之研討會，國科會工程科技推展中心主辦，94.4.12，成大，第 211-246 頁。
- 沈進發、高健章、詹穎雯、張耀文，「自充填混凝土預力梁力學行為研究（一）」，中國土木水利工程學會，94 年 7 月。
- 陳俊融、黃國立，「高雄捷運使用自充填混凝土之案例探討」，高性能混凝土在結構工程應用之研討會，國科會工程科技推展中心主辦，94.4.12，成功大學，第 186-210 頁。
- 廖肇昌，「國道六號南投段自充填混凝土施工技术探討」，結構工程，第 22 卷，第 2 期，中華民國結構工程學會，96.6，第 29-42 頁。