

高性能混凝土 TAICON 研究群 (III) -

硬固混凝土力學行為 - 總計畫 (第三年)

計畫編號：NSC89-2211-E-002-066

執行期限：民國 88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：陳振川 國立台灣大學土木工程教授

一、中文摘要 (關鍵字：高性能混凝土、 力學性質、硬固混凝土)

本計畫係在結合學術力量發展 4,000~5,000psi 高流動性高性能混凝土為期三年之第三年整合型計畫。總計畫依硬固混凝土、新拌混凝土、材料物化性質分別組成三個研究群，依各校研究人員之專長協調整合以有效執行，合計共有三個研究群母計畫與 14 個子計畫；本總計畫並負責硬固混凝土研究群之整合，本年度主要探討內容包括區域性骨材性質對力學行為影響、斷裂韌性研究、耐久性評估探討與梁構件之抗撓曲與扭矩作用影響等七個子計畫。透過定期召開會議與配比經驗之交流，使各研究人員能有效發揮專長，並達成所設定群體研究之目標。

二、英文摘要 (Keyword: High-performance

concrete, Mechanical property, Harden concrete)

This project is in the third of a three year's program to integrate the academic effort to develop 4,000~5,000psi flowable high performance concrete. The coordinated research program is composed of three groups, which are working in the areas of harden concrete, fresh concrete, and basic material properties. There are fourteen projects performed by university professors according to their research majors. Besides serving as the overall program coordination, this projects also is in charge of the coordination of research of the harden concrete group. The content of harden concrete groups includes aggregate effect, fracture behavior, and durability of TAICON. Through the regular meeting, the researchers can share their experience and exchange information, such as the mix design, to enhance the effectiveness of this coordinated research of flowable high-performance concrete toward the goal of the program.

三、計畫緣由與目的

近年來，政府為提昇整體經濟發展，改善全民生活品質，因應加入 WTO 與國際競爭，乃積極推動高速公路、高速鐵路、捷運、水資源等各公共工程建設，而工程材料的選擇與應用更是影響公共工程生命週期的主要因素。此外，國內天然資源有限，主要的工程材料如水泥、砂石、鋼鐵等在國建計畫大力進行下已漸形短缺，影響所及不容忽視。混凝土是所有建設中最普遍最重要之材料，所佔使用比例高達 98% 以上，然而國內公共工程與建築工程卻飽受混凝土品質不佳影響，921 大地震眾多建物受損與海砂屋事件便是實例。有鑑於未來營建工程的持續發展，工程規模日益龐大營建工程主要材料日益匱乏，人工短缺，以及對構造物品質要求不斷提高，在行政院大力推動營建自動化，提昇營建業競爭力之際，高品質之耐久材料的發展與應用實有其迫切必要性，這是高性能混凝土 (High-Performance Concrete, 簡稱 HPC) 發展之動機。

傳統混凝土在澆置作業時，必須仰賴密集之人力從事振動、搗實之艱苦作業，工人並為達到容易輸送而隨意加水，使澆置之混凝土常無法達到預定的要求。高性

能混凝土之開發與應用，不僅完全解決了混凝土澆置時的填充考量，更免除了傳統的振動與搗實工作，使得混凝土的品質大幅提昇，同時，也達到了施工合理化、省力化、減少技術工人需求、加速澆置作業、縮短工期等優點[1]。HPC 將成為解決台灣混凝土工程品質不佳之利器與特殊工法之工具。

目前，HPC 材料在美國、日本、歐洲等國家推動帶領下，全世界數十餘國家積極進行全國性之整合推動計畫，美國、加拿大等國更成立國家中心極力推展。高性能混凝土的發展具有本土性，必須有深厚的學術研究為基礎。1993 年，國科會土木工程門為配合國家產業升級政策整合研究人力資源，將高強度高性能混凝土列為五大重點整合研究主題之一。並於 1994 年 8 月起執行第一階段之 8000psi (560kgf/cm²) 高強度高流動性高性能混凝土之研發，成立『高性能混凝土研究群』，於本文作者主持下，三年內先後補助各大學教授二十餘位參與主持之專題研究計畫，合計達 54 件。1993 年 3 月 16 日於中華民國結構工程學會成立『高性能混凝土委員會』以加強產官學界之整合推廣。在有效整合協調推動下，這項和世界各國同步發展之研發工作已開始展現成果，除有諸多學術論文發

表，並在實務應用、國際科技交流、人才培養與技術推廣方面皆有初步成果[2]。

國內自 1999 年下半年開始有較具規模的 SCC 實務應用，並有若干重要建設項目以進行規劃以 SCC 施工，至今年則開始被大量應用於建築工程。統計數字顯示 SCC 應用之層面有日漸擴大趨勢，近二十個案例統計使用 SCC 的數量超過 70 萬立方，其中部分已完成，多數則仍在施工中。就案例特性而言，多數為商業大樓與廠辦大樓。同時亦以 RC 建築居多，有幾例則為鋼柱內填充、剪力牆或梁柱接頭等特殊施工條件，公車專用道一例，橋樑工程則有烏日交流道穿越橋，使用個案亦已逐漸擴展至公共工程建設中。

在國際交流上，本計畫執行期間曾邀請十餘位國際著名學者專家 Prof. Okamura, Prof. Aitcin, Prof. Shah 等蒞台交流，1996 年美國混凝土學會 ACI 期刊發表『HPC 在台灣研發現況』專文，1996 年受法國公共工程部邀請參加 12 個國家代表與會之 HPC 高峰會，介紹台灣研發推廣現況。1997 年 12 月於吉隆坡市舉行之 ACI 高性能國際會議中，我國學術界代表共宣讀七篇論文（全部篇數為 71 篇）。在國科會與中華民國結構工程學會高性能混凝土委員會推動

下，研究計畫的執行培訓了近百位博碩士班研究生，厚植 HPC 的發展人才。計畫執行過程，先後舉辦十次的 HPC 研討會，廣泛散播 HPC 知識種子。1997 年 10 月 17 日假雲林科技大學舉辦之『國科會高性能混凝土研究成果推廣與應用研討會』，介紹高性能混凝土之研發成果，參加者達到 420 餘人可謂盛況空前，出席之踴躍，可顯示產業界對此項材料研發成果與發展之重視。1998 年計畫中邀請日本 HPC 專家 Prof. Ouchi 來訪座談，同年 8 月計畫主持人更赴日本參與『SCC 國際會議』發表兩篇邀請論文。

本土化高強度、高流動性之 HPC（簡稱高強度高流動 HPC）雖有相當程度的發展，並為 HPC 基本研發應用立下基礎。然而，侷限於設計規範之強度限制，國內工程仍偏重於使用一般強度（中低強度）之混凝土，未達普及化觀點來全面提升國內混凝土材料品質與施工技術及配合國科會積極推動產、官、學一體實用性的研究目標。國科會 HPC 研究群於 1996 年 12 月 18 日開會討論，做成凝聚過去三年從事高強度高性能混凝土之經驗，提出研發本土化中強度高流動高性能混凝土（TAICON，即台灣混凝土）之決議。盼望透過三年期計畫（1997 年 8 月~2000 年 7 月）之執行，

於二十一世紀蒞臨時，完成適合國內建設需求之 TAICON 發展計畫，將國內混凝土常用之 3,000~4000 psi (210~280 kgf/cm²) 務實的提昇，以達增進品質與節省天然資源目的。TAICON 之規劃特性為 $f_c'=4,000\sim 5,000$ psi，坍度為 220 ± 20 mm (拌合 1 小時後，或施工前)，坍流度為 500 ± 100 mm (拌合 1 小時後，或施工前)。經良好配比，並能通過箱型 (鋼筋障礙) 充填試驗者，此要求條件即是自充填混凝土 (Self-Compacting Concrete, SCC) 之一種。上述要求條件可使 TAICON 口強度混凝土同時兼顧耐久性、安全性、工作性、經濟性及生態性之需求，應足以滿足現階段產業之需求，達到著重本土化材料之研發及應用之目標。此研究計畫採跨校整合式，考慮混凝土材料之地區性與製造之可行性，本文作者負責推動，邀請由南至北各校工程材料與結構專長之教授共同參與。為求在短暫間對高性能混凝土有深入之瞭解，得有系統且循序漸進的由最基本材料特性 (包括巨觀及微觀)，再至配比研究、混凝土之力學行為、構件結構行為、結構設計與規範、施工、結構監測與評估等整合進行。各研究重點均以深入探討方式辦理，求精而不求廣，並利用相互交流的機會累積與交換經驗。材料探討成熟，

其設計之配比將交由預拌混凝土廠實際量產，並將其產品直接用以澆置混凝土構件，以進行構件力學行為探討。使學術界於各大學實驗室之研究成果能較迅速的經由產業界之配合而達到相互提昇的目的。在計畫進行階段透過財團法人台灣營建研究院、中華民國結構工程學會之高性能混凝土委員會和產業界交換意見與合作，並透過發表會、研討會、座談會之舉辦來加速推廣效果。

為加強整合之執行效率並結合原已從事研究之學者，依規劃內容分成三個研究群，分別就物化性質、新拌混凝土工程技術與硬固混凝土力學行為分組整合。三年來相關規劃的施行、整合與推廣作業的相互配合，使之在學術與應用上均有豐碩的成果，對國內之工程技術提昇有相當貢獻。

四、執行過程內容與成果

本年度執行過程與成果如下：

1. HPC 研究群第一次會議

時間：民國 88 年 9 月 14 日

地點：台大地震工程中心會議室

活動內容：(1) 繼續蒐集各教授研究配比資料，並進行比較探討。(2) 決定年

度工作重點為工程應用，編纂應用手冊、辦理研討會推廣。(3) 進行分組研究成果交流。

2. 辦理自充填混凝土產製與施工研討會

時間：民國 89 年 2 月 23, 24 日

地點：台大應力所國際會議廳

活動內容：與工業局共同舉辦，發表相關論文七篇，產學界齊聚討論 SCC 規範、設計、施工、應用及研發成果。

3. HPC 研究群第二次會議

時間：民國 89 年 5 月 18 日

地點：台大地震工程中心會議室

活動內容：(1) 與日本東京大學教授國島正彥、建設省土木研究所小澤一雅博士進行 HPC 發展與應用交流。小澤一雅博士特別介紹日本預拌混凝土界推動 HPC 情況與相關規範。(2) 研究進度檢討與討論。

4. 日本 HPC 規範彙整與推廣

於民國 89 年 7 月，由日本小澤一雅博士提供日本預拌混凝土聯合會所於 1998 年 7 月出版之『高流動（自己充填）混凝土製造手冊』供本研究群教授使用，蘇南教授並將之翻譯成中文，供國內產業界參考。另收集日本土木學會於 1998

年 7 月出版之『高流動性混凝土施工指針』與日本建築學會於 1997 年出版之『高流動性混凝土之材料調和、製造、施工指針與解說』，供研究群參考。規範之引入對本材料之廣有相當助益。

5. 歷年各大學高性能混凝土學位論文與研究報告

此領域的研究亦達到普及化的效果。依據高健章教授統計，歷年來之相關學位論文研究達 98 篇之多，研究內容若依本研究規劃區隔，計有配比設計與流變工作性研究 30 篇，構件行為研究 26 篇，耐久性行為及其他研究 21 篇，為業界造就相當多的人才。

6. 推動協助混凝土拌合業者提昇技術

為擴大學術研發成果的推廣，財團法人台灣營建研究院在經濟部工業局贊助下，於民國 88 年 7 月至民國 89 年 12 月期間，進行『協助國內傳統工業技術升級計畫』技術合作體系之『混凝土產業技術合作交流組織』推廣重點即為 SCC 材料，參與之預拌混凝土業者，計有台泥、亞泥等 16 家廠商，就各項技術進行交流，此對推動 SCC 之普及化有相當的助益。

五、結論

本整合型計畫透過協調會議溝通、資料蒐集之整理探討、與國際定期交流研討，使從事研究之教授與研究生能有效對研究內容做充分交流，對計畫之執行助益很大。本計畫之推動並得以將學術界與產業界緊密結合，發展適用於國內之二十一世紀高品質混凝土，協助提昇工程品質。本計畫之推動更使得台灣的HPC材料科技發展，在國際社會中佔有一定的地位。

六、參考文獻

1. 陳振川，"高性能混凝土推動與營建自動化施工技術探討"，營建管理季刊，第23期，民國84年6月，第8-21頁。
2. 陳振川，"高性能混凝土整合推動計畫與國外經驗"，結構工程，第九卷，第一期，民國83年，第7-23頁。
3. Chern, J.C., Hwang, C.L. and Tsai, T. H., "Research and Development of HPC in Taiwan", Concrete Int'l, ACI, 1995, pp 71-76.
4. 林正喬、陳振川，"國內首座高性能混凝土橋之介紹"，國道橋樑工程技術論文集，交通部國工局，民國83年，第507-514頁。
5. 柴希文主編，"自充填混凝土產製與施工" 論文集，台灣營建研究院出版，民國89年2月，115頁。
6. Ozawa K., Ouchi, M., "Proc. of the International Workshop on Self-Compacting Concrete", JSCE, 1998, 309pp.