



榮民工程股份有限公司出國報告

出國類別：會議、參訪及研習

赴美國普渡大學專題演講、參訪研習及出席加拿大第三屆混凝土於嚴苛之環境與荷重條件下之國際性研討會

服務機關：榮民工程股份有限公司
出國人職稱：副工程司、約聘正工程司
出國人姓名：徐力平、李騰芳
出國地點：美國及加拿大
出國時間：90/6/14 90/6/21
報告日期：90/8/22

赴美國普渡大學專題演講、參訪研習及出席加拿大 第三屆混凝土於嚴苛之環境與荷重條件下之國際性 研討會報告

目 錄

壹、 目的

貳、 行程

參、 心得

肆、 結論與建議

壹、目的

本次應邀前往美國印地安那州普渡大學訪問二天，以「高強度覆工版之設計、製作及測試」(Design Manufacturing and Test of High-Strength Concrete Deck)為題進行專題演講，一方面說明本公司在活性粉混凝土之發展與應用情況，一方面與普渡大學材料科學研究所進行技術之交流與研習，並了解該研究所之發展方向。

隨後轉往加拿大溫哥華(Vancouver)參加為期三天「第三屆混凝土於嚴苛之環境與荷重條件下之國際性研討會」(Third International Conference on Concrete Under Severe Environment and Loading Conditions, CONSEC'01)，會中並以李騰芳、徐力平、姚錫齡聯名發表論文一篇；名為(The Comparison of Structural Concrete, Self-Compacting High-Performance Concrete, and Self-Compacting Reactive Powder Concrete Under Severe Impact Loading Conditions)，除顯示本公司在活性粉混凝土之研究結果，藉此了解其他國家應用發展情況，並就混凝土之相關科學技術與世界各國專家學者進行交流研討，以明瞭混凝土科技之研究發展趨勢，做為本公司制定研發方向之參考。

貳、行程

6月14日(四)：台北至普渡大學。

6月15日(五)：普渡大學以「高強度覆工版之設計、製作及測試」專題演講並進行技術交流。

6月16日(六)：普渡大學參訪研習。

6月17日(日)：美國普渡大學至加拿大溫哥華。

6月18日(一)：出席第三屆混凝土於嚴苛之環境與荷重條件下之國際性研討會。

6月19日(二)：出席第三屆混凝土於嚴苛之環境與荷重條件下之國際性研討會，並發表「普通混凝土、高性能混凝土及活性粉混凝土在激烈衝擊下之比較」。

6月20日(三)：出席第三屆混凝土於嚴苛之環境與荷重條件下之國際性研討會。

6月21日(四)：回台。

參、心得

一、專題演講與技術交流

在普渡大學以「高強度覆工版之設計、製作及測試」發表專題演講，在場聆聽的有 Menashi Cohen 教授、Jan Olek 教授、Sydney Diamond 教授以及數十位研究所學生。

高強度覆工版係以活性粉混凝土製作，活性粉混凝土為本公司近年來積極研發的超高強度、超高性能材料，利用自充填緻密配比技術，拌合出混凝土之抗壓強度達 28,000 psi，抗彎強度達 3500 psi，且工作性非常優良，坍度達 25 cm。本材料具有高強度、耐腐蝕、耐衝擊、高磨擦阻抗等之特性，可於軍事防護工程、核廢料密封容器、核廢料儲存筒、高壓水管、鋪面、修補、保險箱等方面應用，市場前景可期，覆工版為本公司首度利用本材料製作之新型產品。

製作本覆工版之理念源起於雲林離島新興工業區南便橋上採用之 H 型鋼傳統覆工版，在使用不到一年即出現損害情況，使用單位乃提出可否採用活性粉混凝土之理念。營建材料實驗室在此需求下，經由現場勘察、設計與分析模擬、原型製作、承重測試以及小

量生產與品管等一系列嚴謹的研發程序，以驗證研發成品對於規範之滿足性並確認性能、生產與施工技術之可行性與可靠性。研發之產品並於該工地一隅同時進行現場測試，其結果顯示狀況甚佳。本項無需配置鋼筋之覆工版，經李博士一個半小時精彩解說下，引起普渡大學材料研究所研究群極大興趣，紛紛提出問題討論。應用活性粉混凝土製作覆工版屬世界首創，經此研討本公司更有信心推展此產品之業務。

以我們目前蒐集到的資料活性粉混凝土在歐美仍屬試驗性、特殊性之應用。Cohen 教授提出在數十年前曾以混凝土之未來應用展望詢問當時就讀學生，其中一位天才學生已預測今日混凝土工程普及情況，同樣地針對活性粉混凝土問我們看法如何？目前來看活性粉混凝土雖具有各項卓越性能，但其材料成本仍居高不下(為普通混凝土十數倍)，僅能於特殊用途上應用，惟隨著混凝土科技之進展，未來必有獨領風騷之一日。

二、參訪研習

在普渡大學進行技術交流與參訪研習時得知；美國 INDOT (Indiana Department of Transportation)正在發展一套將施工品質、驗收方法與付款金額三者互相結合的辦法，其概念整體化了設計、施

工、檢驗品管、營建管理、財務運作等且將其融合，主要的概念是以設計之品質為準，而以成品之品質與其之差別來計價。

本套辦法雖屬先導研究，然其概念新穎甚具參考價值。其研究成果將由 Indiana 州政府於近期內公開發表，名為”Challenges in the Development of a Performance-related Specifications (PRS) for Concrete Bridge Superstructures - Pilot Project in Indiana”，本計畫乃由 B. Magee, J. Olek, J. Ramirez, R. Frosch, J.P. Smith, and T. Nantung 六位先生所聯合進行的研究，有興趣者可拭目以待。相信本套辦法對於公共工程品質的提升有其正面積極的意義，建議政府或學術相關單位可透過邀請演講方式進一步探討了解。

此外，亦至材料研究所之實驗室參觀，見到幾位博士班研究生正在進行的有趣實驗。學校研究比較重視在該領域之突破進展，理論分析與基礎研究應是重點，與本公司重視解決問題與實務應用之研究發展是不同的，但兩者之間應有相輔相乘的效果，如何藉助學術單位力量(國內外皆可) 以拓展本公司研究成果，值得考量。

三、出席第三屆 CONSEC'01 會議

1. CONSEC 會議緣起

CONSEC 係 Concrete Under Severe Environment and Loading Conditions,之簡稱，鑑於混凝土在嚴苛之環境或荷重條件下或兩者相互作用下之行為愈來愈受到重視，從既有結構之耐久性評估經驗中衍生出結合結構性設計與耐久性設計之迫切需要，對於混凝土結構之老化評估、維修補強等技術發展，皆有賴於新的設計理念與施工方法之研議提出。在此背景下，日本 Sakai 教授、挪威 Gjeruv 教授乃倡議舉辦此一系列之國際性研討會，以交流彼此技術與經驗，受到各國學者專家之熱烈響應支持。第一屆 CONSEC'95、第二屆 CONSEC'98 分別於 1995 年、1998 年在日本及挪威舉行，今年第三屆 CONSEC'01 由加拿大舉辦，第四屆 CONSEC'04 預定於 2004 年由韓國接手舉辦。

事實上，此系列研討會主題正是台灣工程界所關心的，本屆研討會台灣方面僅有本公司派員參加，未足以顯示台灣在此一研討課題上之風貌，進而錯失與各國學者專家交流討論機會，殊為可惜。因此在此強烈建議國內產、官、學相關單位能於 2004 年組團參加在韓國舉辦的第四屆 CONSEC 會議，進而規劃爭取未來研討會主辦國，使台灣之混凝土工程技術能與世界同步接軌。

2. CONSEC'01 會議介紹

這一屆 CONSEC'01 乃是由加拿大哥倫比亞大學土木工程系 (Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, CANADA) 所主辦，日期為 2001 年 6 月 18 至 20 日，地點在溫哥華 Waterfront 旅館。共有來自 40 個國家之 260 篇論文發表，Chairman of the Organizing Committee 是國際知名的 Sydney Mindess 教授。大會總共規畫了如下所列之五大子題分別研討之。

- (1) 混凝土於嚴苛之環境條件下之行為 (Performance of Concrete Under Severe Environments)
- (2) 混凝土於嚴苛荷重條件下之行為 (Performance of Concrete Under Severe Loading)
- (3) 新的設計理念 (New design Concepts)
- (4) 材料與施工 (Materials and Construction)
- (5) 操作、保養及修復 (Operation, Maintenance and Repairs)

三天內研討專題內容非常廣泛，包含設計、材料、實驗、施工、結構、力學、基礎、營管、維修等等，令人受益匪淺。以下針對具有代表性的三篇主題演講：「混凝土結構之耐久性：研究課題與挑

戰」、「碳纖維在混凝土工程之應用」及「日本 JSCE 根據混凝土結構耐久性行為訂定之規範」提出報告。

3. 混凝土結構之耐久性：研究課題與挑戰

本篇論文由加拿大 Michel Pigeon 教授發表，針對混凝土結構之耐久性提出基本之探討，事實上以目前混凝土知識要選擇出最經濟有效之混凝土結構，從設計、施工、維修等方面一併考量，仍是一相當具有挑戰性的工作。

目前在混凝土領域中已經較為清楚的課題有：

(1) 凍融循環(freezing and thawing cycles)

在寒帶地區必需考慮凍融及解冰鹽(de-ice salts)對混凝土造成之破壞，加入適量氯劑為有效之解決方法，台灣除了高山地區，一般不需考慮此一問題。

(2) 鋼筋腐蝕(reinforcement corrosion)

世界各地鋼筋腐蝕之主要機制為混凝土碳化(carbonation)後，使 pH 值降至約 9.5，造成鋼筋喪失高鹼性保護膜，而開始劣化腐蝕。目前已發展出根據鋼筋附近氯離子含量之分析模式，可藉此評

估保護層厚度、混凝土耐久性等。

(3) 化學侵蝕(chemical attack)

含硫或微酸環境將對混凝土形成侵蝕傷害，其離子擴散、濕氣流動、化學反應、化學侵蝕現象皆已深入研究，並已發展出分析模式。鹼骨材反應則屬於內部之化學侵蝕。

(4) 乾縮(shrinkage)

乾縮將造成混凝土龜裂。除環境乾燥外，混凝土自我乾涸、溫度效應亦為形成原因。藉由良好之設計及施工應可避免此一現象。

(5) 荷重(mechanical loading)

不論於靜力或疲勞作用下之混凝土行為皆已深入研究，如何避免荷重傷害已很清楚。

而目前在混凝土領域中尚待釐清的課題則有：

(1) 腐蝕及荷重(corrosion and mechanical loads)

如前所述，混凝土腐蝕及荷重行為單獨考慮皆很清晰，但荷重、化學與溫度耦合(couple)影響效應之研究則很少。尤其是鋼筋

腐蝕下之疲乏效應仍有待研究。

- (2) 低溫下結凍效應與荷重行為 (freezing and mechanical performance at low temperatures)

同樣地，鋼筋混凝土在低溫下凍融循環加上長期荷重聯合作用下之影響效應，亦待研究釐清。

- (3) 相對濕度、溫度梯度及荷重行為 (relative humidity, temperature gradients and mechanical performance)

由實驗室所獲得之混凝土性質皆在恆溫恆濕條件下進行。每日相對濕度、溫度梯度變化對混凝土乾縮及預力損失之影響，目前仍不是很清楚。

- (4) 修補之混凝土結構 (repaired concrete structure)

修補之混凝土結構在濕度、溫度變化、凍融循環或疲乏作用下影響效應之研究仍相當少。

- (5) 劣化之混凝土結構 (deteriorated concrete structure)

目前對劣化之混凝土結構應於何時及如何修補或重建之決定，仍是相當困難工作，劣化混凝土結構之殘留應力、荷重強度及其隨時間之變化現在所知仍很有限。

(6) 特殊混凝土之應用(use of special concrete)

高性能混凝土或纖維混凝土皆採用緻密性配比，應具有較高耐久性，然處於起步階段，其耐久性之量化，則有待進一步研究。

歸納上述所知及未知者，在混凝土領域中之需要再研究之課題包含：

- (1) 荷重(尤其是長期動態荷重)、腐蝕、凍融及低溫交互作用下之混凝土行為
- (2) 修補之混凝土結構在濕度、溫度變化、凍融循環或疲乏作用下之行為
- (3) 劣化之混凝土結構耐久性評估、補修策略
- (4) 高性能混凝土或纖維混凝土之應用
- (5) 成本分析包括可使用年限、維修補強等一併考量
- (6) 考慮各種影響效應之分析模式

在各項知識迅速累積的時代，如何整合正確有效資訊，解決面臨的問題，正是我們需要面臨的挑戰。

4. 碳纖維在混凝土工程之應用

近年來碳纖維主要應用於結構補強上，目前在如何充分利用碳纖維複合材料具有多種功能及超高強度之發展上，可說是仍非常有限。瑞典 Urs Meier 先生即針對未來如何善加應用此種材料提出報告。

(1) 結構功能(structural function)

碳纖維複合材料目前仍是非常昂貴的材料，若不施預力則僅能利用其強度(3000-3300 MPa)之 10-12%，無法充分利用其材料強度。一種自動化施加預力方式已由瑞典 EMPA 公司發展出來，如圖一所示。其預力將由與結構接觸面層之中間部位往兩端遞減之，加上可以導電加熱方式達到黏貼養治效果，大為節省人工安裝費用，為碳纖維複合材料大量應用於結構(取代預力鋼鍵)開發出可行途徑。





圖一、碳纖維複合材料之自動化施工圖。左上：以噴砂清理混凝土接觸面，右上：施加預力及塗上黏著劑，左下：安裝架之動作，右下：安裝定位及黏著養治

(2) 計測功能(sensory function)

光纖感應器(optical fiber sensors)可以搭配碳纖維複合材料組成之結構使用，量測其長期之結構行為。此光纖感應器無電磁干擾問題，尤其適用於需供應高壓電之軌道運輸系統。光纖感應器可於生產碳纖維複合材料時置入，做為品管監控，惟其成本非常高昂。對於結構行為評估而言，可藉由量測碳纖維的電阻變化所得平均應變推估，以降低成本。

(3) 加熱功能(heating function)

碳纖維於其長向透過 50 伏特之電壓導電可達到增溫 80°C 之效果，可做為與結構黏貼養治之用，節省安裝時之人力。

(4) 激發功能(actuation function)

以目前土木工程設計橋樑最大跨距為 2 公里，主要受結構動態行為控制，另一限制為跨距增加將增加自重與服務載重之比例而不具經濟效益。但結合碳纖維複合材料結構功能、計測功能及激發功能，使材料可因應外界變化而具有調適作用，解決動態行為限制之問題，進而提高橋樑最大跨距，以此理念有一 8 公里長跨距橋樑之可行性評估已被提出。

目前碳纖維年產量約 1500 公噸，其中四分之三提供航太工業使用，但隨著土木工程應用技術提升及碳纖維生產成本降低趨勢，未來碳纖維複合材料大量應用於土木工程中應是可期。

5.日本 JSCE 根據混凝土結構耐久性行為訂定之規範

日本土木工程協會(JSCE)最近出版了根據混凝土結構耐久性行為訂定之規範，由 Teketo Uomoto 教授針對其原理與方法提出報告。日本到了 2030 年，依統計超出 50 年的老結構物比例將從現在 10% 以下增加為 50% 以上。另一方面，年輕一代(0-14 歲)人口比例到了 2030 年將遞減為 15%，少於 65 歲以上之人口比例。因此日本針對混凝土結構老化問題訂立兩項策略：

- (1) 建立維修費用儘量降低之新建混凝土結構設計及施工規範
- (2) 建立維修人力儘量減少之既有混凝土結構經濟有效之維護系統
規範

針對第一項策略所定之混凝土結構耐久性行為規範已於 2000 年元月出版；而針對第二項策略所定之混凝土結構耐久性行為規範已於 2001 年元月出版。

以往的規範並未針對結構老化程度規定，所有結構皆假定在良好設計與施工條件下，應可維持 50-100 年的使用年限。實際的情況則是有的老化結構造成意外，有的仍完好如初，老化結構耐久性行為不盡相同。日本所訂混凝土結構耐久性行為規範之原理為：

- (1) 結構設計需考慮使用期間判定老化程度之規範
- (2) 修復老化結構達到要求須以量化規定結構行為

此規範係以下列通式檢驗結構耐久性行為：

$$i \cdot A_d / A_{lim} \leq 1.0$$

式中

A_d ：考慮老化時間後之結構行為

A_{lim} ：考慮結構行為之極限值

i ：考慮影響效應之係數

規範中已針對混凝土碳化造成鋼筋腐蝕、氯離子滲透造成鋼筋腐蝕、凍融造成混凝土劣化、化學侵蝕造成混凝土劣化、鹼骨材反應造成混凝土劣化、混凝土之水密性及由火害造成混凝土劣化等訂出公式。

日本這套世界首創的耐久性規範，不論從策略、原理、方法等方面都值得國內借鏡。但是否能全盤引用則需謹慎評估，包括氣候、環境、材料、施工與設計理念的差異性皆需納入考慮，必須透過本土性之結構耐久性行為進一步研究釐定。

肆、結論與建議

藉由赴美國普渡大學專題演講及參訪研習，一方面介紹本公司以活性粉混凝土之製作覆工版發展情況，一方面了解普渡大學材料科學之研究方向。以我們目前蒐集到的資料(包括本次行程)活性粉混凝土在歐美仍屬試驗性、特殊性之應用，本公司將其應用於活性粉混凝土覆工版生產，應屬首創。未來隨著混凝土科技之進展，材料成本再降低，活性粉混凝土特殊優異的性能必能獲得青睞。本公司惟有契而不捨地投入研發以保持技術領先地位，並藉由積極開發業務，創造利潤，方可立於不敗地位。

「第三屆混凝土於嚴苛之環境與荷重條件下之國際性研討會」研討所涉獵的領域含設計、材料、實驗、施工、結構、力學、基礎、營管、維修等甚為廣泛，令人收穫良多，故是一次相當成功的國際性營造工程專業研討會議，尤其是提供來自世界各地之工程與研究從業人員交流與聯誼的機會，更是讓大家受益匪淺。

『讀萬卷書不如行萬里路』，茲有必要將國內的工程訊息與國際人士交流以刺激或回饋一些新的概念，並瞭解世界上不同角落的人們正在從事的工程與面對的問題，這種與世界接軌的活動極有助於國內工程的研究與發展，故應多鼓勵國內工程人員與國際上的工

程與研究從業人員互相接觸與聯繫，此將有助於國內營造業之知識經濟的起飛，也才能營造出營造產業明日的春天。

以下為此次報告之建議，可提供參考採行：

- (1) 建議繼續蒐集活性粉混凝土相關發展應用資料，儘量出席與活性粉混凝土相關之研討會，以做為本公司研發與拓展業務的參考依據。
- (2) 政府欲提高公共工程品質，應以興利重於防弊觀點為之。美國 INDOT 正在發展一套將施工品質、驗收方法與付款金額三者互相結合的辦法，值得借鏡。建議以邀請演講、研討交流方式，提供不同思維模式，以事半功倍效率提升公共工程品質。
- (3) 建議國內產、官、學相關單位能於 2004 年組團參加在韓國舉辦的第四屆 CONSEC'04 會議，進而規劃爭取未來研討會主辦國，以與各國交流討論眾所關心議題，使台灣之混凝土工程技術能與世界同步接軌。
- (4) 荷重、腐蝕、凍融及低溫交互作用下之混凝土行為；修補之混凝土結構之行為；劣化之混凝土結構耐久性評估、補修策略；高性能混凝土或纖維混凝土之應用；一併考量使用年限、維修

補強等之成本分析；考慮各種影響效應之分析模式等課題，值得投入研究。

- (5) 隨著土木工程應用技術提升及碳纖維生產成本降低趨勢，未來大量應用於土木工程中應是可期，國內對於碳纖維複合材料之應用趨勢及可行的分析模式，亦值得投入研究。
- (6) 日本研訂的結構耐久性規範值得國內借鏡。但必須考慮氣候、環境、材料、施工與設計理念的差異性，建議透過本土性之結構耐久性行為進一步研究釐定。