

第一章 前言

1.1 出國目的

橋梁除為跨越河流溪谷之結構物外，亦為維持區域發展之重要交通設施，然我國位處板塊交界，地震頻繁且地質條件複雜多變，加以屬海島型氣候，每年颱風豪雨頻繁，故河川劇烈沖刷淤積及土石流災情時有所聞，復在車輛超載、河川砂石盜採及橋梁施工品質不佳等人為不良因素影響下，橋梁劣化受損之情形更為劇烈，故橋梁斷落造成人員傷亡之情形屢見不鮮，每每引起社會高度關注，因此，如何確保橋梁及用路人行車安全遂成為各機關施政重點。

近年來，氣候變遷劇烈，各地天災頻傳，加以政府財政日益艱困，故世界各國在橋梁之建設及管理上均面臨嚴峻挑戰，另一方面，由於工程技術、檢測技術、資訊技術及管理技術不斷發展，故各類有利於橋梁方面之技術不斷推陳出新，因此，為了解世界各國近年來在橋梁工程及技術方面之發展情形暨近來常遭遇之困境及因應對策，爰規劃本次出國計畫，期能透過本計畫了解各國在橋梁各生命週期階段(規劃設計、施工、管理及維護改善)之最新技術及發展情形，俾供國內相關橋梁機關(構)參考。

1.2 行程概要

本次出國計畫係前往美國德州之聖安東尼奧城市參加「德州運輸部(Texas Department of Transportation)」主辦之「第7屆國際橋梁工程研討會(7th International Bridge Engineering Conference)」，計畫行程自民國99年11月30日起至同年12月5日止，為期6天，出國行程及會議地點詳如表1及圖1。

表 1、出國行程表

99 年		行程	起迄或停駐地點
月	日		
11	30	前往美國聖安東尼奧	臺灣桃園→日本東京→ 美國達拉斯→美國聖安東尼奧
12	1	參加研討會	美國聖安東尼奧
12	2	參加研討會	美國聖安東尼奧
12	3	參加研討會	美國聖安東尼奧
12	4	返回台灣	美國聖安東尼奧→美國達拉斯 →日本東京→臺灣桃園
12	5	返回台灣	



圖 1、第 7 屆國際橋梁工程研討會會場位置圖

第二章 會議內容

為增進橋梁工程及管理知識，美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration)及美國運輸研究委員會(Transportation Research Board)每5年定期贊助辦理1次橋梁工程研討會，本次研討會在德州聖安東尼奧的君悅飯店(Grand Hyatt Hotel)舉行，研討會主題為「提昇橋梁之可靠度及安全性(Improving Reliability and Safety)」，以下分別針對本次研討會之議程及相關內容進行說明。

2.1 議程簡介

本次研討會之內容可分為「全體會議(Plenary Session)」、「技術會議(Technical Session)」及「展覽及海報招報會(Exhibits and Posters Reception)」等3部分，相關議程詳如表2。

表2、第7屆橋梁工程研討會會議議程

時間	12 月 1 日		12 月 2 日		12 月 3 日	
08：00	註冊報到		全體會議		全體會議	
09：00						
10：00	全體會議		技術會議		技術會議	
11：00						
12：00		展覽		展覽		
13：00	技術會議		技術會議			
14：00						
15：00						
16：00						
17：00	展覽酒會					
18：00						

2.2 研討主題概述

本次研討會之主題為「提昇橋梁之可靠度及安全性」，共有 61 篇論文發表，依主題可概分為以下 15 類。

1. 加速橋梁建設(Accelerated Bridge Construction，簡稱 ABC)
2. 橋梁非破壞性檢測(Nondestructive Evaluation of Bridges)
3. 橋梁管理(Bridge Management)
4. 橋梁結構健康監測(Structural Health Monitoring for Bridges)
5. 橋梁動態分析(Bridge Seismic Analysis)
6. 橋梁涵洞及土壤穩定分析(Bridge Culverts, Soil Stabilization, and Bridge Seismic Analysis)
7. 極端橋梁事件之評估(Extreme Events Assessment and Evaluation for Bridges)
8. 橋梁評估及試驗(Bridge Rating and Testing)
9. 橋梁沖刷(Bridge Scour)
10. 混凝土橋(Concrete Bridges)
11. 鋼橋(Steel Bridges)
12. 木橋(Timber Bridges)
13. 橋梁基礎(Bridge Foundations)
14. 混凝土橋面版(Concrete Bridge Decks)
15. 橋梁工程個案研究(Bridge Engineering Case Studies)

2.3 研討內容概述

本次研討會分別在 4 個不同會場舉行，由於部分主題之研討時間有重疊情形，故在參與相關研討會議時必需有所取捨，以下僅就部分參與議題之內容進行概述。

1. 加速橋梁建設(Accelerated Bridge Construction, ABC)

本主題共有 3 篇論文發表，分別為「華盛頓州運輸部加速建設橋梁計畫」、「一週內快速拆除更換橋梁案例」及「自走式模塊車抬移公路橋梁時引致之應力分析」，以下針對部分內容進行概述。

◆ 華盛頓州運輸部加速建設橋梁計畫：

美國對 ABC 之需求主要源自於數十年來不斷增加之交通壅塞問題暨伴隨產生之成本增加問題(如旅行距離及時間增加造成之浪費)及層出不窮之安全問題(如讓工人曝露在高交通事故風險中)，故而在現場不需綁紮鋼筋、組裝模板及澆置、養護混凝土之預鑄橋梁工法非常符合需求，預鑄工法除使得建造橋梁變得更加安全快速，也進一步確保了橋梁之品質及耐久性，因此，華盛頓州運輸部在 2008 年時開始實施了一連串的 ABC 發展計畫，並成立了專責小組制定相關標準、準則及政策。本研究主要介紹華盛頓州運輸部對預鑄橋梁之研究成果(設計準則、分析方法及決策模式)，及近年來在 ABC 方面之策略及工作計畫。

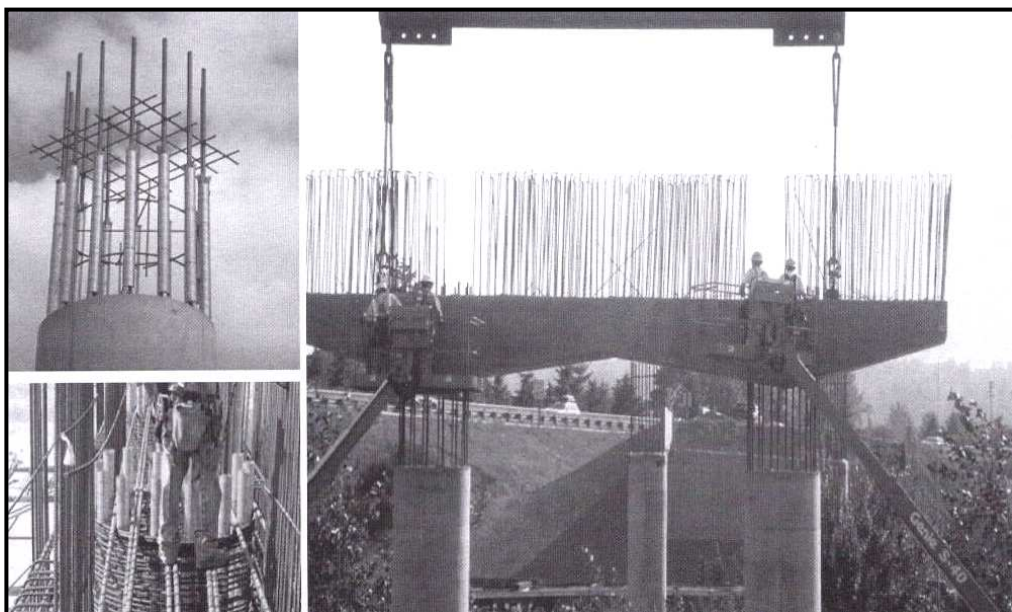


圖 2、華盛頓州預鑄橋梁(帽梁部分)安裝情形

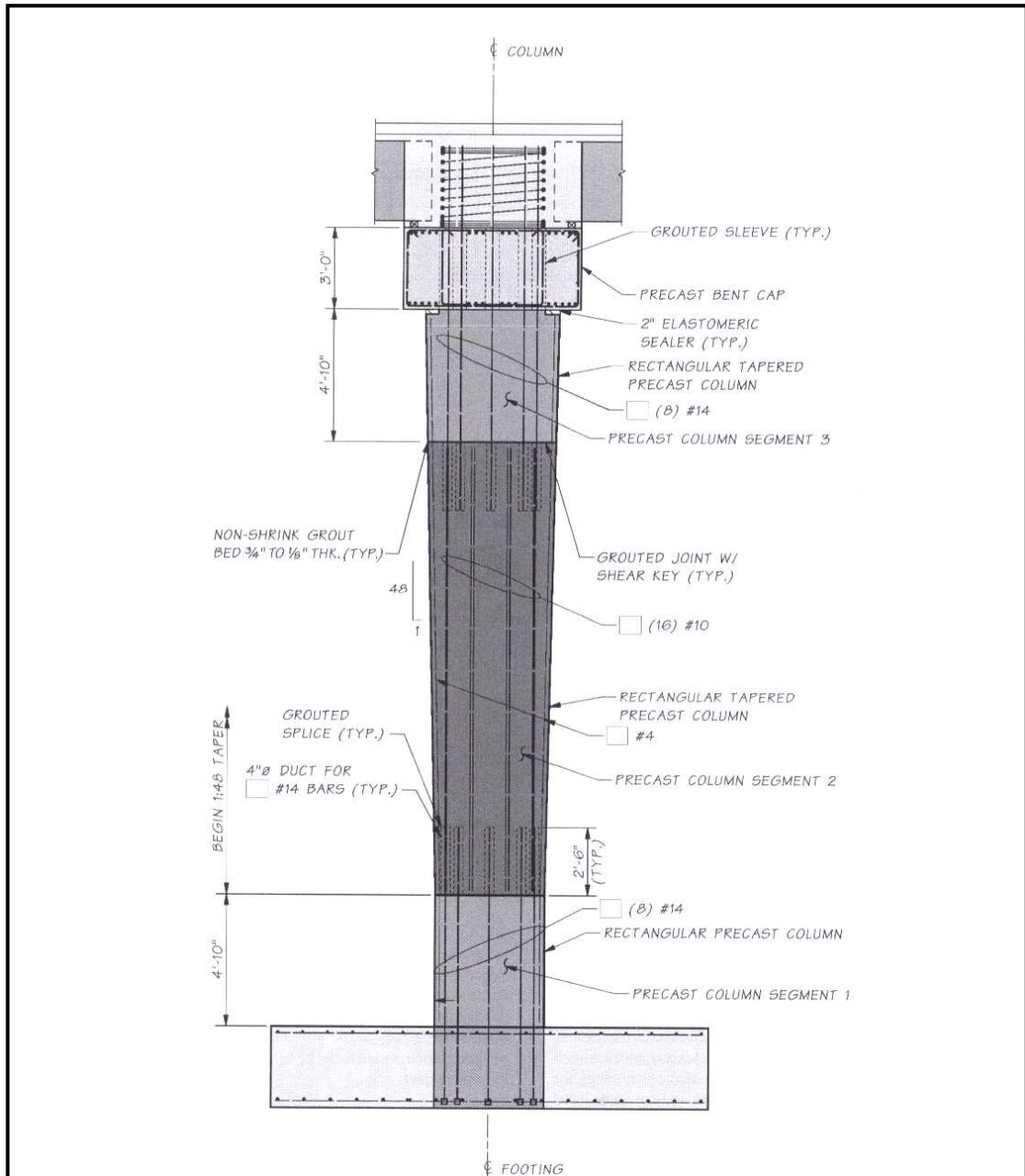


圖 3、華盛頓州預鑄橋梁示範計畫之結構示意圖

◆ 一週內快速拆除更換橋梁案例：

本文主要介紹 1 週內快速拆除更換猶他州鹽湖城「4500 South Bridge」之案例，4500 South Bridge 位於 266 號州公路 (State Route)，該橋跨越 215 號州際公路 (Interstate)，興建於 1971 年，該橋因橋體出現嚴重之混凝土剝落及鋼筋裸露鏽蝕情形，故猶他州運輸部於 2007 年時決定改建該橋，經

評估各種可行方案後，猶他州運輸部決定採用創新的方案進行橋梁改建，該方案主要係透過自走式模塊車(Self Propelled Modular Transporter, SPMT)加速橋梁改建，方案主要內容包含「在橋址旁建造上部結構」及「使用 SPMT 移除舊橋上部結構及更換新的上部結構」，透過 SPMT，猶他州運輸部在 1 週內完成舊橋拆除及新橋更換工作(新橋長 52m，重 1.6 萬噸)，經估算，本工程如採一般工法需時 120 天，所需經費約 892 萬美元，採用 SPMT 加速辦理，雖需增加 81 萬美元，但因而產生之旅行時間及距離成本之節省達 405 萬美元，故實際減省了 324 萬美元($405-81=324$)之成本，減省之費用約為建造費之 36%。根據猶他州運輸部之調查，相關利害關係人對該工程之滿意度高達 97.2%，其中非常滿意之比例達 76.1%，顯見民眾對本工程之肯定。另本工法除大幅降低了橋梁改建時間、縮短對 266 號州公路及 215 號州際公路產生之衝擊、為工程人員及用路人提供了安全的環境及有效提昇橋梁品質外，更為猶他州運輸部自 FHWA 贏得了 100 萬美元之獎勵。

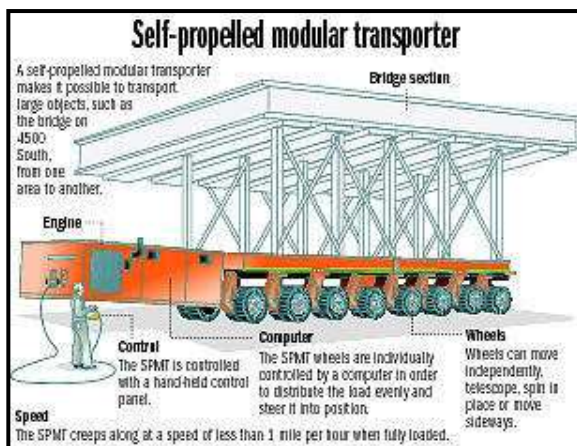


圖 4、自走式模塊車(SPMT 具有 256 個可由電腦獨立操控的輪胎，並具有可昇降 60cm 之液壓系統，主要功能為運送大型物件)

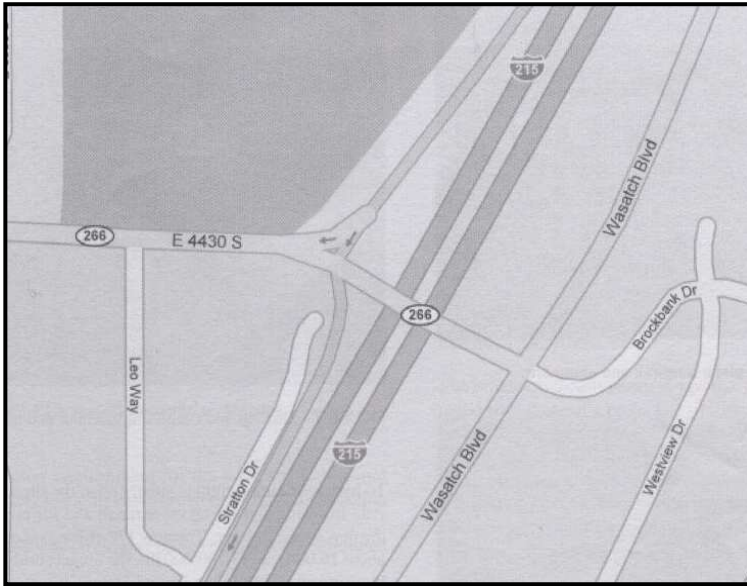


圖 5、4500 South Bridge 之位置圖及受損情形



圖 6、在橋址旁利用臨時橋台
搭建新的上部結構



圖 7、利用 SPMT
抬移舊橋之上部結構



圖 8、敲除舊橋之橋墩及帽梁



圖 9、利用 SPMT 運放新的上部結構



圖 10、改建完成之 4500 South Bridge

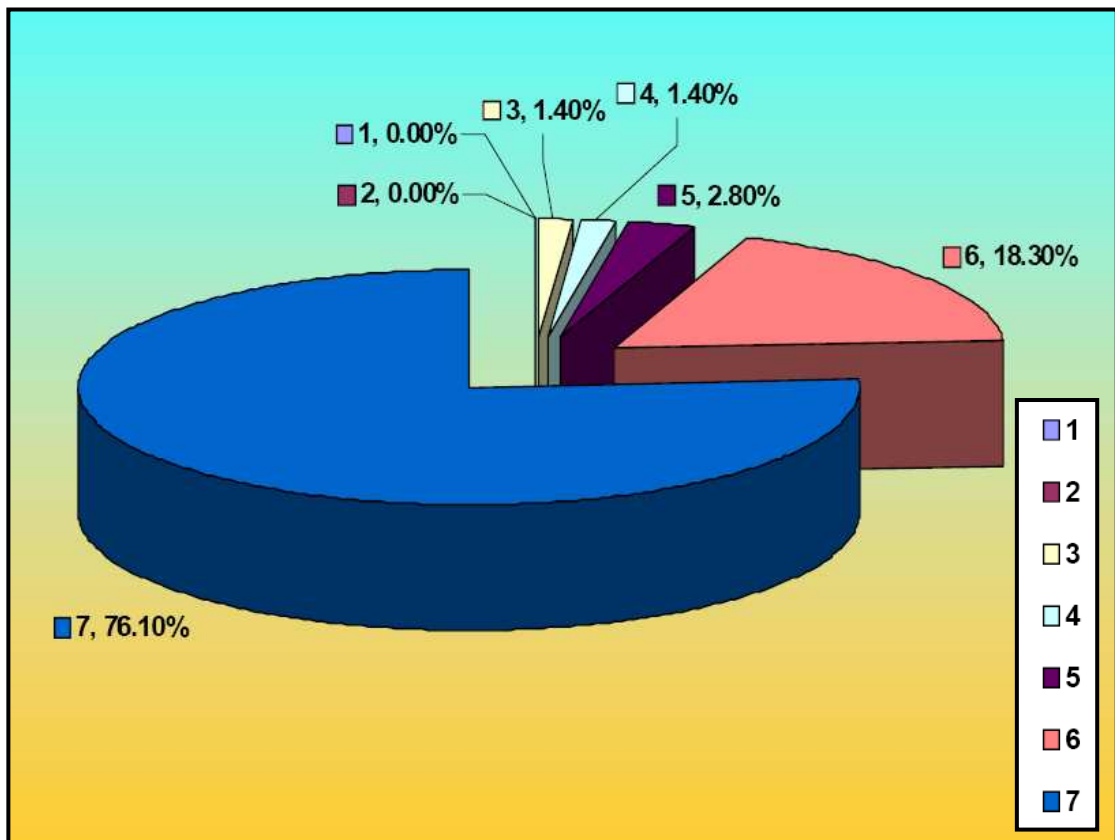


圖 11、利害關係人對本工程結果之滿意度調查
(1 表示非常不滿意，7 表示非常滿意)

2. 橋梁非破壞性檢測(Nondestructive Evaluation of Bridges)

本研究主題共有 4 篇論文發表，分別為「利用共振感應器檢測混凝土橋梁之鏽蝕情形」、「應用紅外線影像技術檢測混凝土橋梁底面劣化情形」、「應用多元互補之非破壞性檢測技術評估混凝土橋面版狀況」及「應用地震檢波器進行橋梁非破壞性檢測」，以下針對其中部分內容進行概述。

◆ 應用紅外線影像技術檢測混凝土橋梁底面劣化情形：

溫度影像(Thermal Imaging)或紅外線影像(Infrared Imaging)技術可用於檢測混凝土橋梁劣化情形，該技術因可從遠處進行橋梁檢測，故可降低橋檢時對交通產生之影響，本研究主要介紹該技術應用於檢測混凝土橋梁底面劣化情形(Subsurface Deterioration)之成果，並透過現場實驗之結果，進一步討論多項環境變數(尤其是梁底日間溫度變化)對檢測結果產生之影響。

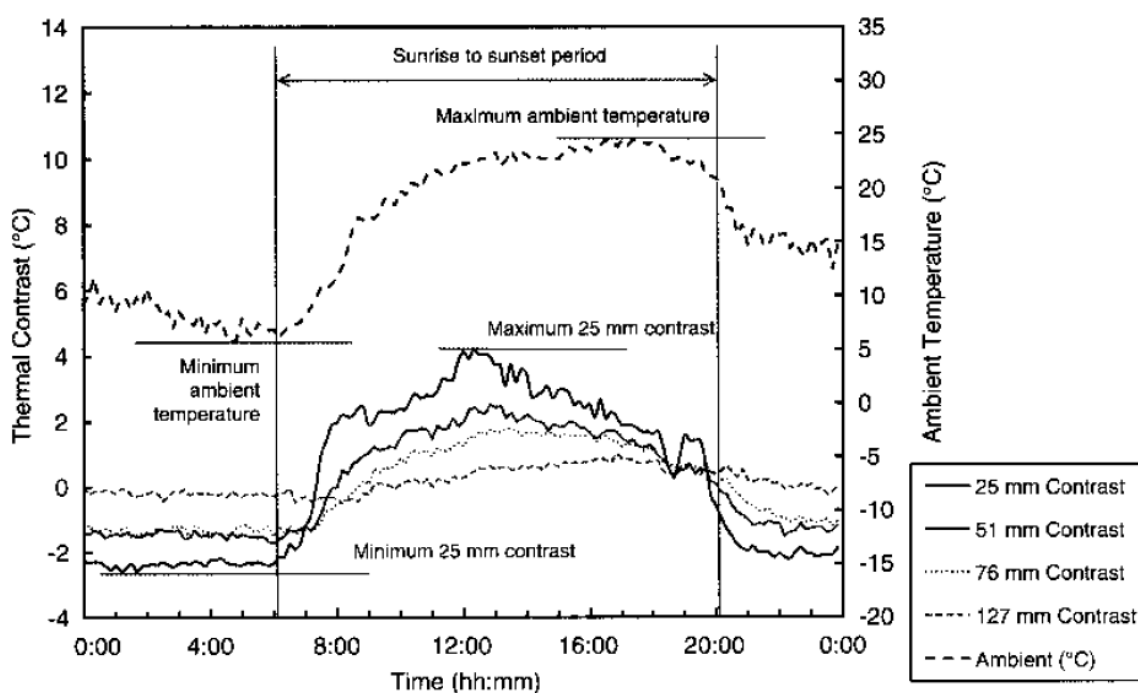


圖 12、連續 24 小時內，混凝土塊不同深度位置之溫度變化情形

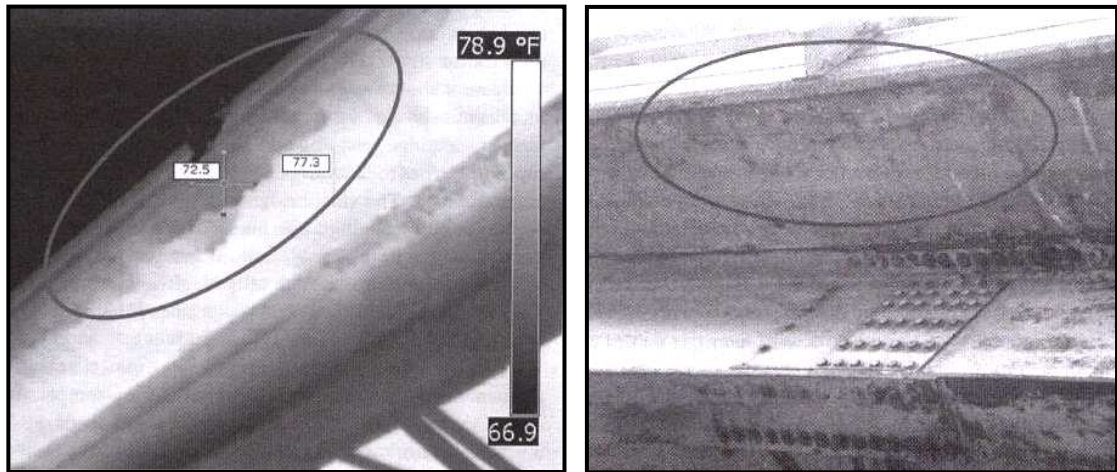


圖 13、橋版底部疑似劣化區域及相應之溫度影像

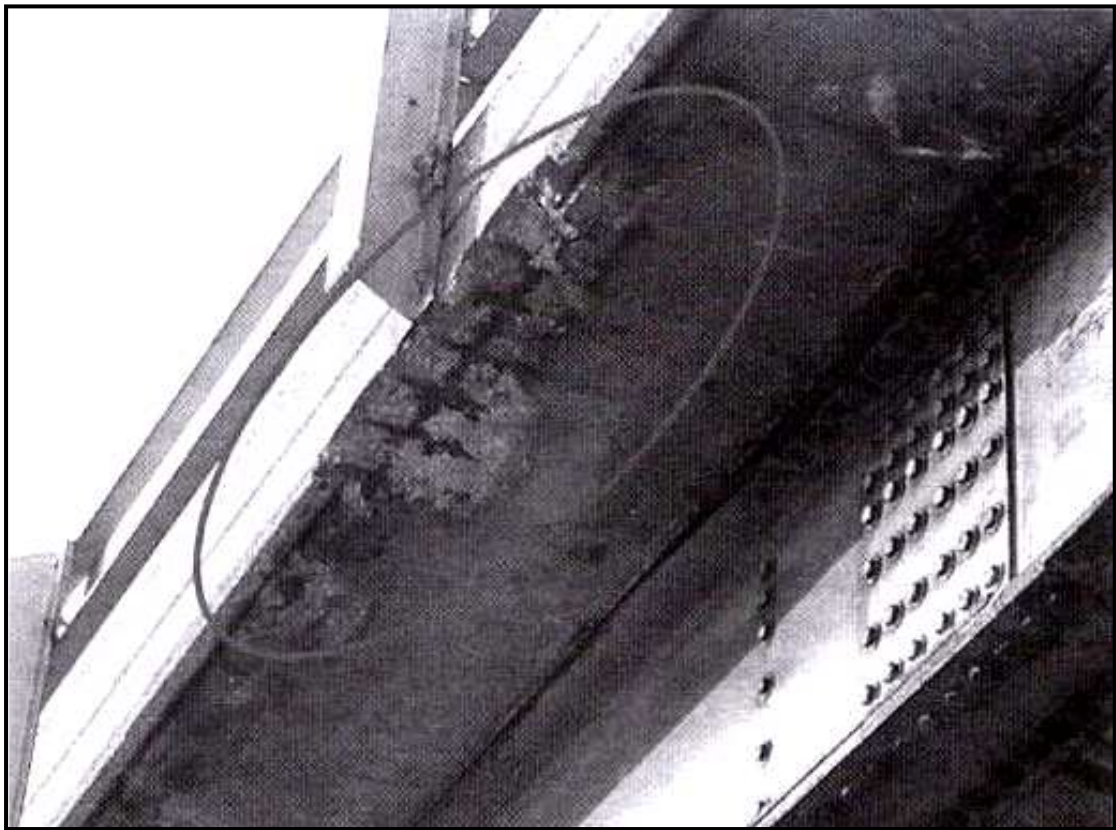


圖 14、以重錘敲擊疑似劣化區域後之橋版底部照片

- ◆ 應用多元互補之非破壞性檢測技術評估混凝土橋面版狀況：
鋼筋腐蝕造成橋面版劣化為混凝土橋常見之損壞原因，過去研究顯示單一種非破壞檢測(Nondstructive Evaluation, NDE)技術往往無法提供足夠的資訊研判劣化情形，為了克服這項

限制，同時使用多種 NDE 進行橋梁檢測有其必要。本文主要介紹敲擊回音(Impact E- cho, IE)、表面超音波(Ultrasonic Surface Wave, USW)、透地雷達 (Ground-Penetrating Radar, GPR)、半電位(Half-Cell Potenti- al, HCP)及電阻率 (Electrical Resistivity, ER)等 5 種技術組合成之橋梁非破壞性檢測技術，並說明了該組合檢測技術應用於檢測愛荷華州內 9 座橋梁之實施情形，文末並進一步討論了各項技術之優點及限制。

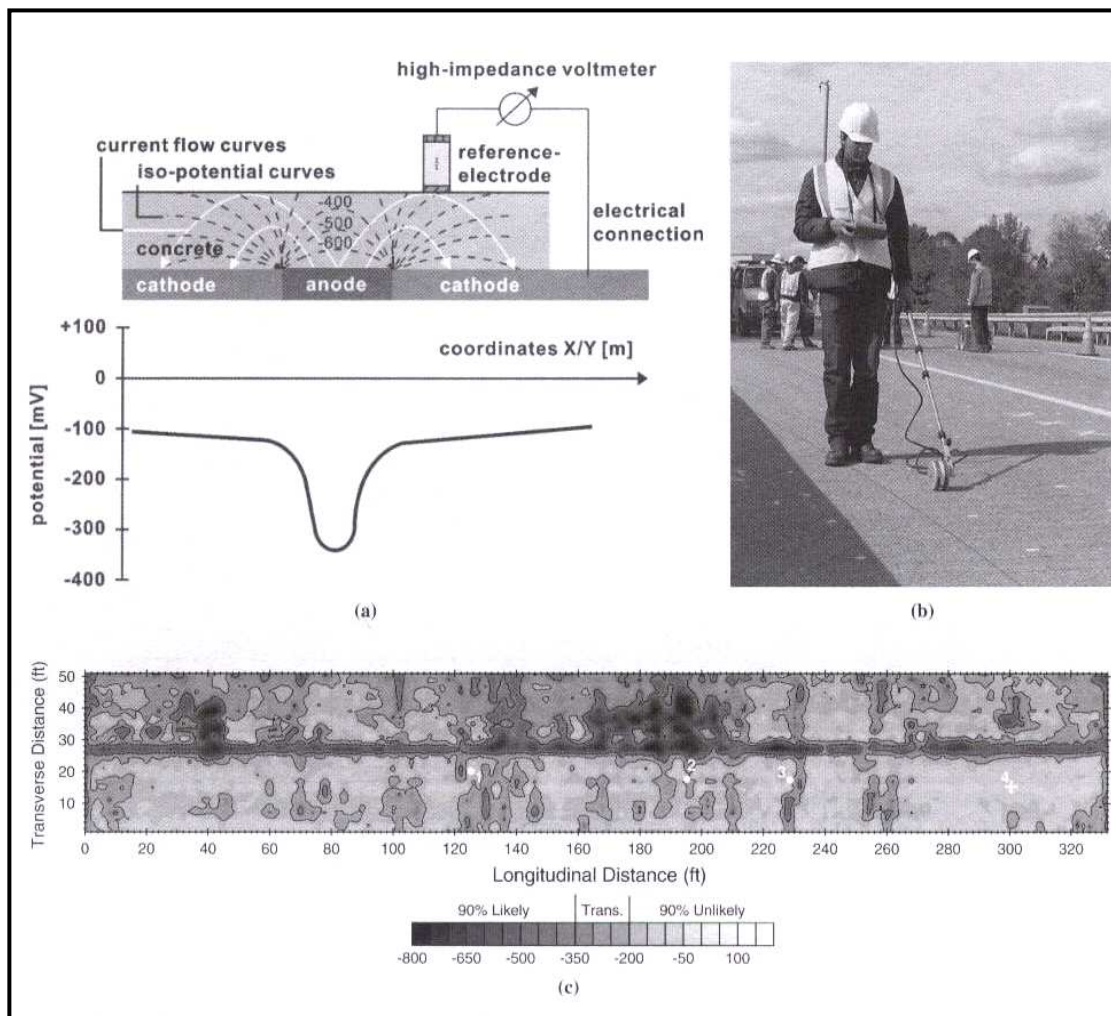


圖 15、應用半電位法檢測混凝土橋面版劣化情形
(a)檢測原理，(b)檢測情形，(c)檢測結果

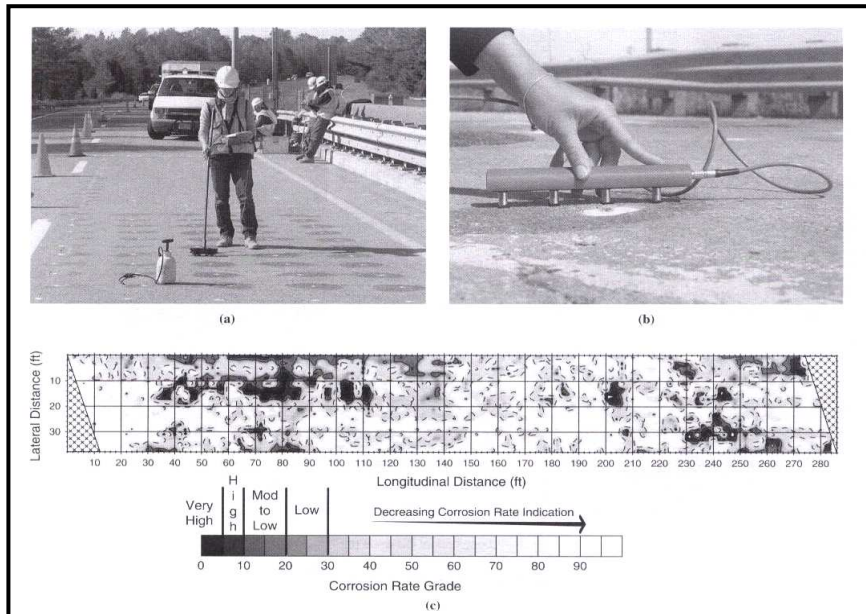


圖 16、應用電阻率法檢測混凝土橋面版劣化情形
(a)檢測情形，(b)佈設情形，(c)檢測結果

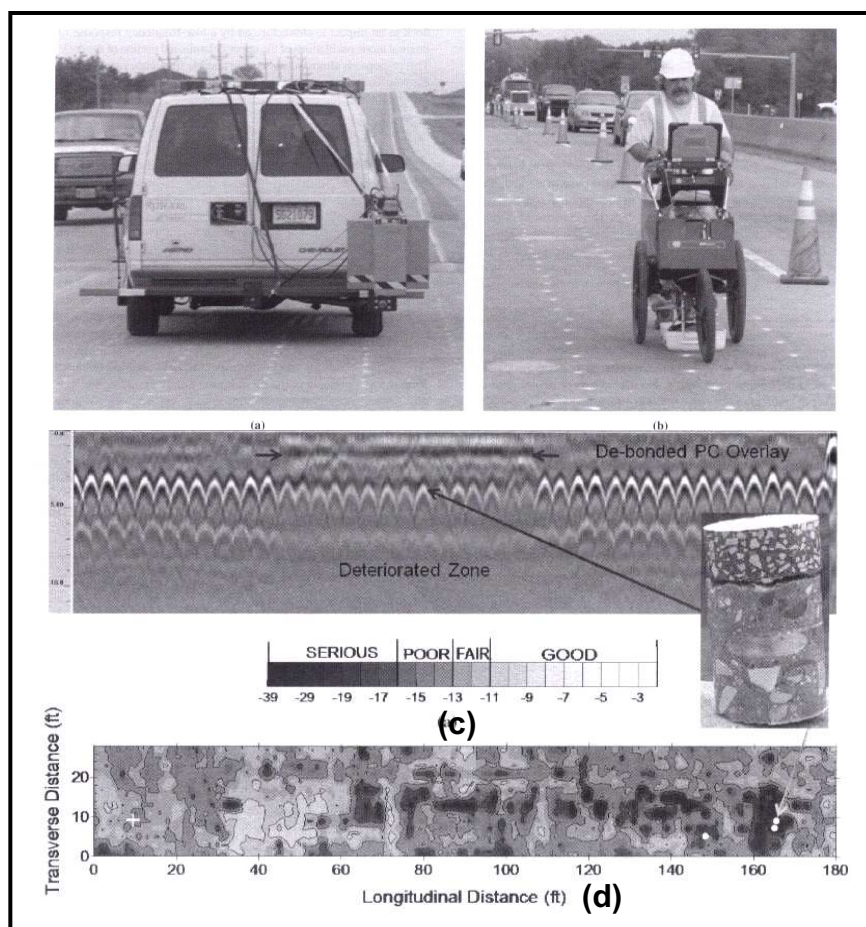


圖 17、應用透地雷達檢測混凝土橋面版劣化情形
(a)檢測設備，(b)檢測設備，(c)檢測資料，(d)檢測結果

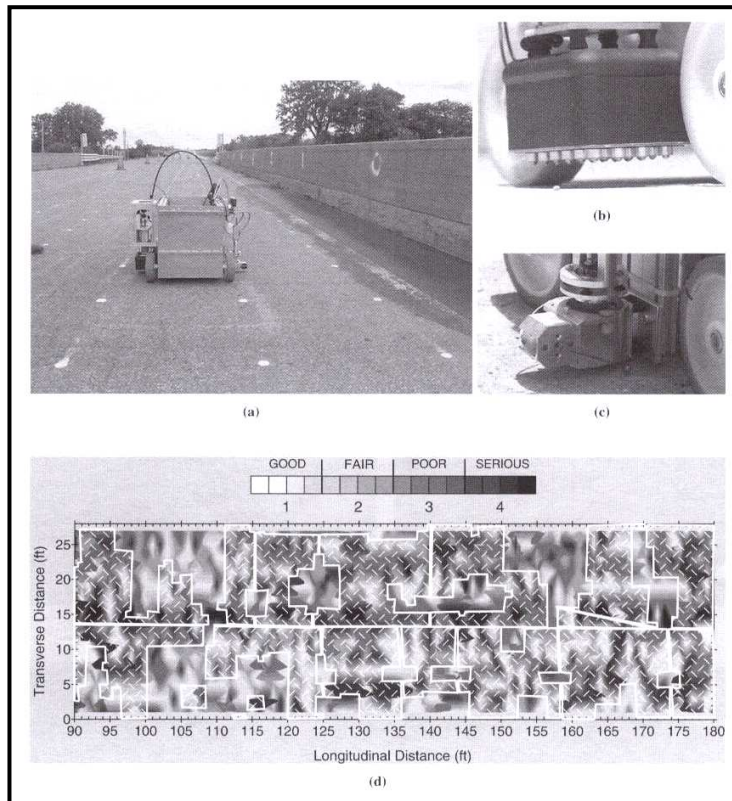


圖 18、應用具有表面超音波及敲擊回音功能之儀器檢測橋面版
(a)檢測儀器，(b)超音波探測器，(c)敲擊回音探測器，(d)檢測結果

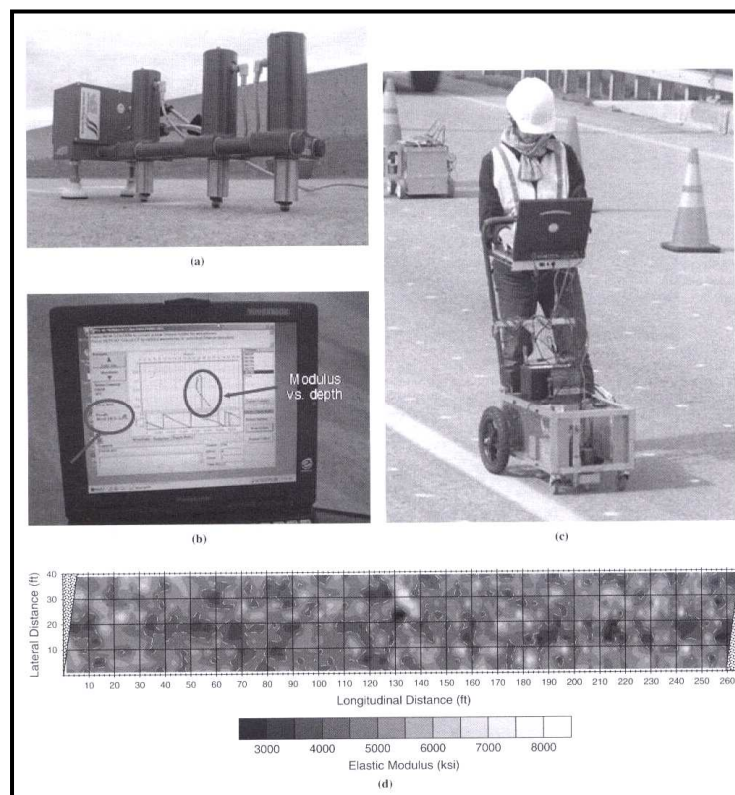


圖 19、利用表面超音波法評估橋面版彈性模數
(a)檢測儀器，(b)模數評估，(c)操作情形，(d)評估結果

3. 橋梁管理(Bridge Management)

本研究主題共有 4 篇論文發表，分別為「於歷史價值及工程標準間篩選可予保留之橋梁」、「發展可拮取國家橋梁清單資料之友善軟體」、「有限預算下之最佳化橋梁管理-結構健康監測」及「2020 年以後之橋梁管理」，以下針對其中部分內容進行概述。

◆ 於歷史價值及工程標準間篩選可予保留之橋梁：

印第安納州約有 1.9 萬座橋梁，其中具有歷史意義且現仍開放使用之橋梁計 717 座，由於該類橋梁每年所需之維護費用較高，且常因無法符合現行設計規範，故安全性相對較低，為能在歷史價值及橋梁安全間取得平衡，印第安納州運輸部在 2006 年時開發了「歷史橋梁保存應用程式(Historic Bridge Preservation Program)」，藉由該程式，印第安納州運輸部可全盤且有效的管理各個具有歷史價值之橋梁。該程式內建立了一套可排定橋梁優先次序之方法，透過該程式，每座具歷史意義之橋梁會被評比及分類(評比項目主要包含橋梁之歷史意義、功能、安全、成本效益及復舊可行性等)，被程式篩選出之橋梁表示適合保存，而未被篩選出的即表示不適合保存，經分析，印第安納州 717 座具歷史意義之橋梁中，有 61% 建議保留，餘 39% 建議不予保留。另為利於進行橋梁復舊，印第安納州運輸部現已針對低交通量路段發展了一套檢核標準，復舊後之橋梁如能滿足該標準，則可開放車輛通行。

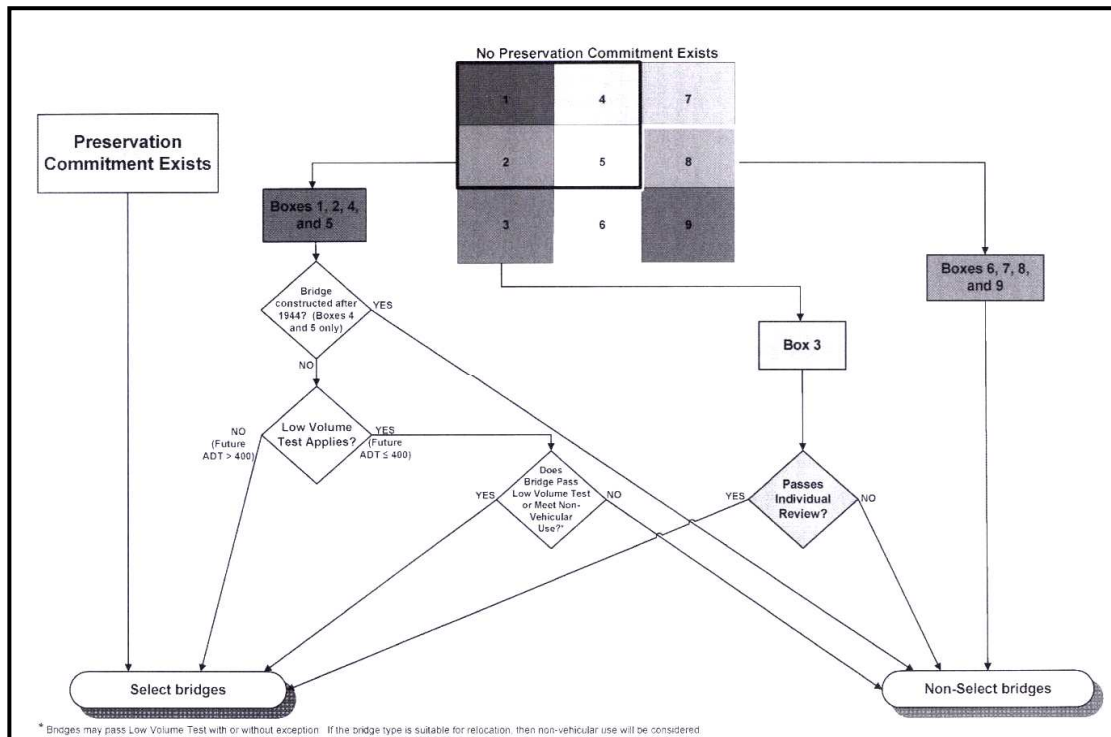


圖 20、橋梁篩選程序

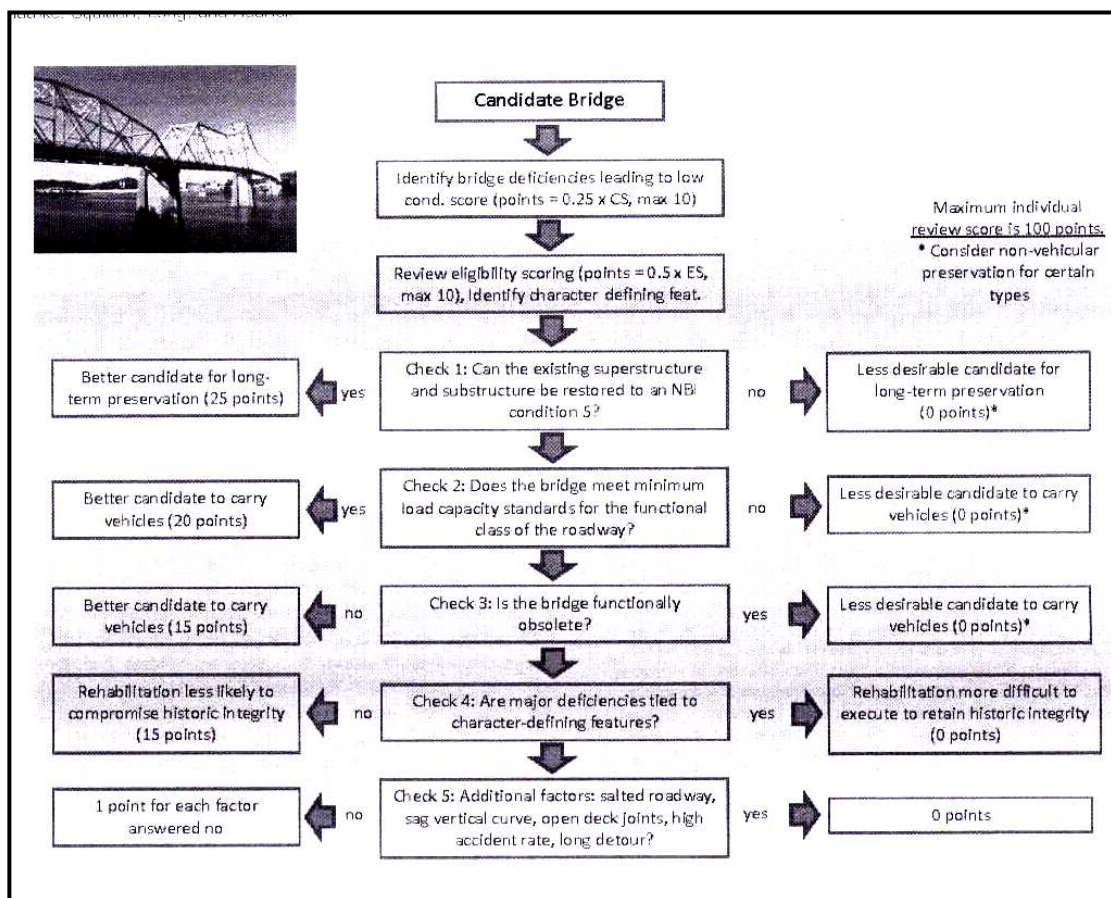


圖 21、橋梁評估程序

◆ 發展可拮取國家橋梁清單資料之友善軟體：

依據國家橋梁清單(National Bridge Inventory, NBI)之統計，全美約有 60 萬座橋梁，平均橋齡約 39 年，隨著橋齡逐漸老化，美國正面臨龐大之橋梁修理、維護及更換支出，為能讓各行各業的人快速簡易的獲取所關心的資料，開發一套簡易、廉價、沒有嚴格使用者限制且不需搭配某些專用軟體之橋梁資訊系統有其必要。NBI 內現雖有全美國所有橋梁之重要資料(如使用狀況、載重情形、橋齡、位置、功能等級、交通量、改善成本、檢測頻率、設計型式、歷史意義、結構缺陷及功能退化等)，但對於各種不同領域的用戶來說(如橋梁設計人員、維修人員、管理部門人員、文化及環境專家、經濟預測及財務人員、新聞媒體、商業利益者及行政官員)，每個人的需求可能不盡相同，為了能滿足多樣的需求，新墨西哥州運輸部著手發展「橋梁資訊特殊應用系統(Special Application Bridge Information System，簡稱 SABIS)」，本文主要介紹 SABIS 之功能、應用方式及優缺點，透過該系統，各領域之人員，不論其是否為已授權用戶或是否具備橋梁技術知識，均可以低廉的成本，快速簡易的自 NBI 內取得其所需之概括性橋梁資料(如結構缺陷、改善成本、歷史意義等)。

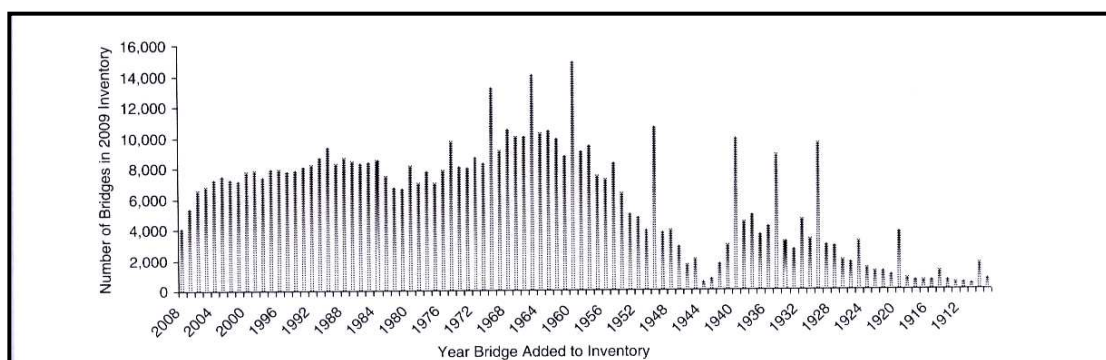


圖 22、全美國橋齡 100 年以下橋梁之橋齡數量分佈(平均橋齡 39 年)

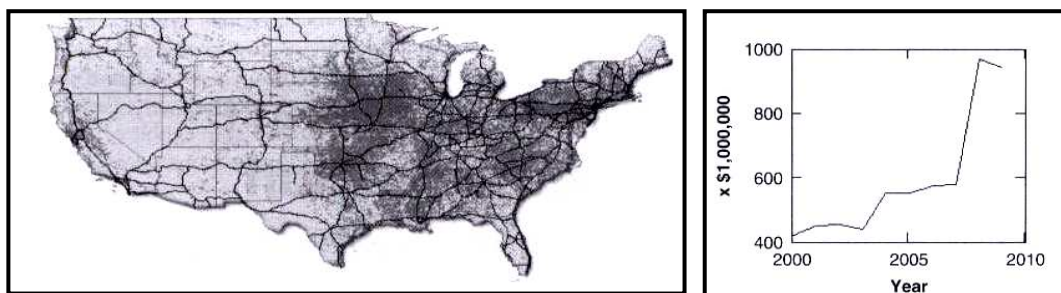


圖 23、美國結構缺陷橋梁分佈情形及新墨西哥州之橋梁改善費用

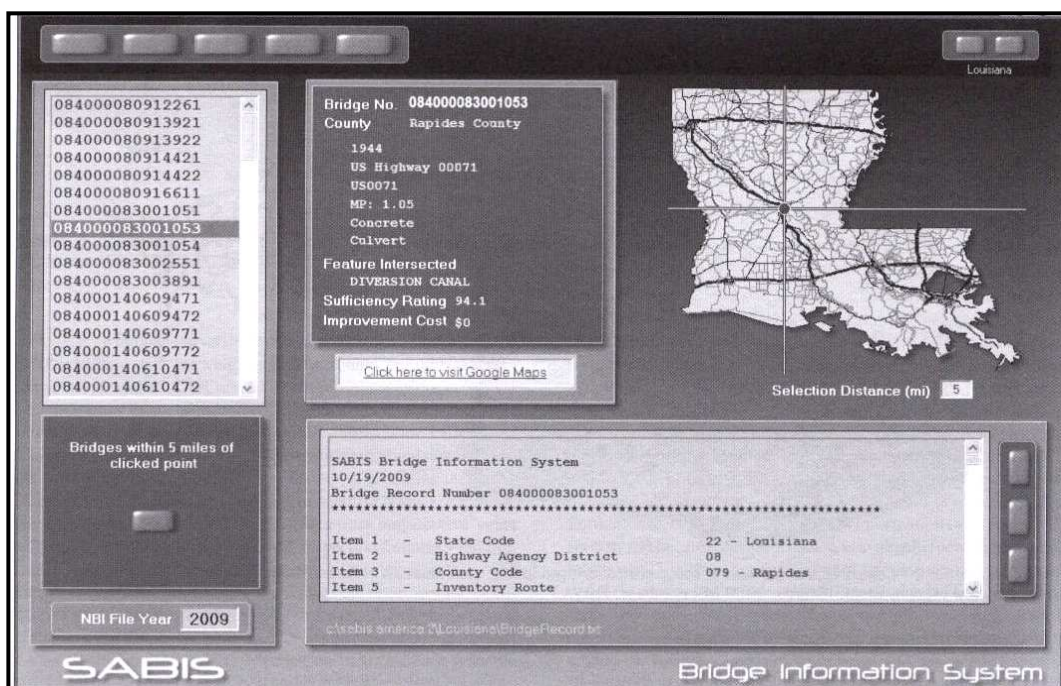


圖 24、SABIS 之使用界面



圖 25、SABIS 之使用界面

◆ 2020 年以後之橋梁管理

美國自 1980 年代開始發展橋梁管理系統(Bridge Management Systems，簡稱 BMSs)，1990 年代時，橋梁管理之主要挑戰在於如何由數個專案層級(Project Level)進階到網路層級(Network Level)，而目前的挑戰在於如何整合日益增加之大量資訊並用以幫助橋梁進行各生命週期階段之管理，相關趨勢指出公眾對汽車之依賴仍將持續增加，故如何利用有限資源充份管理橋梁的老問題仍將繼續存在。本研究認為，自動化科技及通訊技術之快速發展，將持續改善資料收集及儲存能力，並將不斷加快資料處理速度，因此，諸如有效預測橋梁狀況並評估補救行動後橋梁壽命之目標將逐漸實現，而能支援橋梁安全、保安及緊急決策之中央橋梁管理資料庫也將出現，到了 2020 年，橋梁管理者將更能利用大量的決策資料，有效的表達橋梁之短期及長期管理策略，並將能更有自信的預測採取行動或不採取行動的後果，而更高品質、更快速及更經濟之橋梁全生命週期管理目標也將逐漸實現。

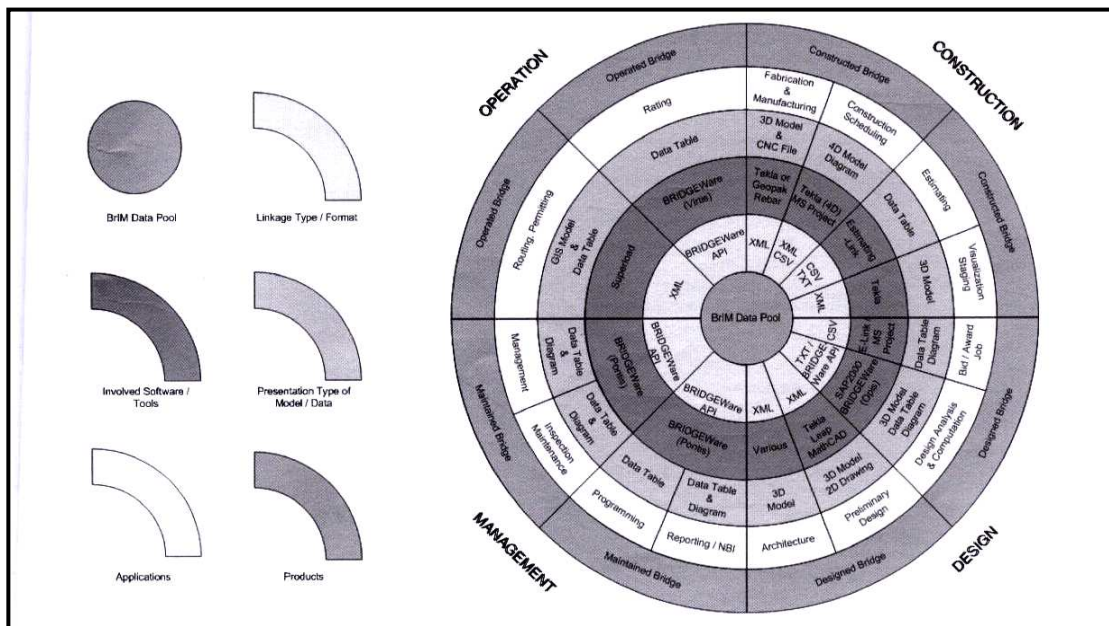


圖 26、橋梁各生命週期階段之概念

2.4 展覽內容簡介

本次研討會進行期間，主辦單位特別於研討會議室旁展示多項與橋梁工程有關之海報，展示之主題包含以下 10 項。

1. 比較分析加拿大、美國及歐洲之木材橋梁設計規範(Comparative Analysis of Design Codes for Timber Bridges in Canada, the United States, and Europe)。
2. 利用碳纖維補強聚合物進行鋼構疲勞修補之改善方法(Improved Method for Bonding Carbon Fiber-Reinforced Polymer Overlay-s to Steel for Fatigue Repair)。
3. 交叉框架之放置及傾斜對鋼橋產生扭力疲勞之影響(Effects of C-ross Frame Placement and Skew on Distortion-Induced Fatigue in Steel Bridges)。
4. 利用鑽孔改善鋼橋因裂縫而產生疲勞破壞之技術進展(Development of a Technique to Improve Fatigue Lives of Cra- ck Stop Holes in Steel Bridges)。
5. 南路易斯安那粘土層設置基樁之研究(Study of Pile Setup: South Louisiana Clayey Soils)。
6. 利用可快速追蹤及安裝之微型樁支撐已沉陷彎曲之 60 號橋梁(F-ast Track Installation of Micropiles to Re-support Settled High- way 60 Bri- dge End Bents)。
7. 可預測極限承载力之大尺度橋梁破壞試驗(Full-Scale Destructi- ve Bridge Test Allows Prediction of Ultimate Capacity)。
8. 地震負載下水平彎曲鋼 I 型梁橋之機率漏洞(Probabilistic Vulner- ability Scenarios for Horizontally Curved Steel I-Girder Bridges Under Earthquake Loads)。

9. 公路橋梁在地震及沖刷合併作用下之載重因子及強度設計(Earthquake and Scouring Combination for Load Factor and Resistance Design of Highway Bridges)。
10. 整合地工合成材料加勁土壤之橋梁系統(Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System)。

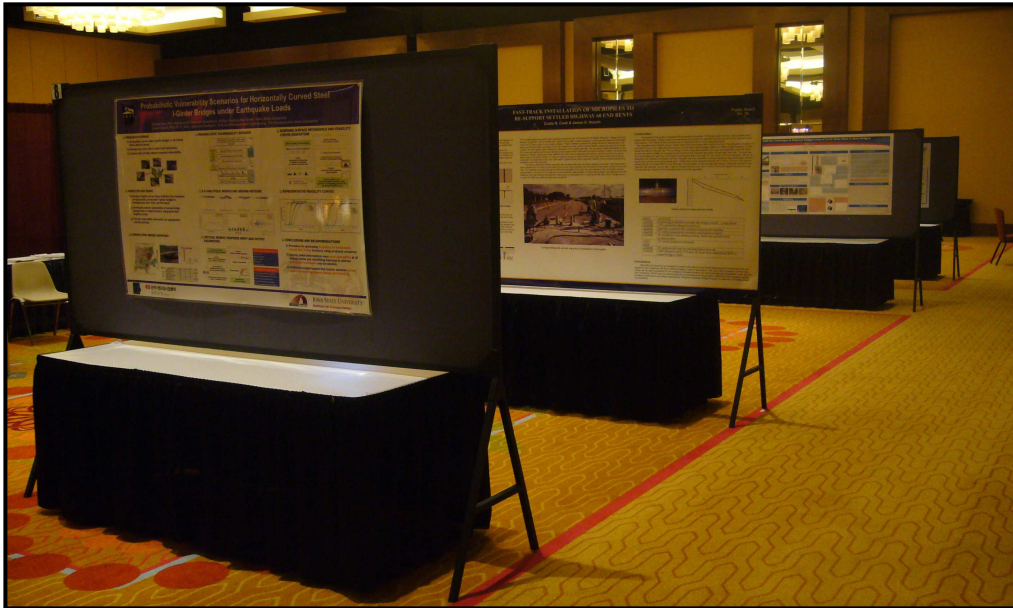


圖 27、海報展覽情形



圖 28、產品攤位展示情形

除海報展覽外，展場內尚有 28 個由民間或官方設置之攤位，每個攤位均有人員進駐推廣與橋梁有關之產品、技術或相關成果，僅將部分內容摘錄如下。

1. 德州運輸部 2011 年研究計畫(TXDOT Research Program)。

表 3、德州運輸部 2011 年之研究計畫及經費

The 2011 TxDOT Research Program			
RMC	Continuing Projects	New Projects	Total Project Funding
1	22	17	\$ 5.8 million
2	12	15	\$ 4.4 million
4	19	10	\$ 3.8 million
5	20	8	\$ 4.8 million
Total	73	50	\$ 18.8.million

2. 結合透地雷達(Ground Penetrating Radar, GPR)及紅外線影像(Infrared Thermography, IR)之橋梁非破壞檢測儀器。

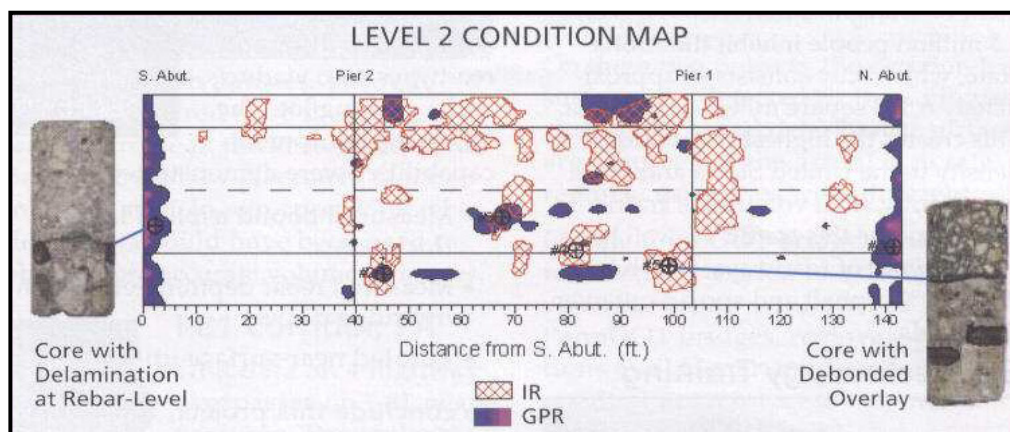


圖 29、GPR-IR 檢測器之檢測結果

3. 結合落體測位儀(Falling Weight Deflectometer, FWD)及透地雷達(GPR)之路面檢測車。



圖 30、FWD-GPR 檢測車

4. 橋墩及橋台耐撞設計準則(Guidelines for Designing Bridge Piers and Abutments for Vehicle Collisions)



圖 31、以 8 萬磅卡車撞擊橋墩之撞擊實驗

5. 不銹鋼鋼筋(Stainless Steel)



圖 32、新墨西哥州不銹鋼橋

註：本照片於新墨西哥拍攝，其中右邊的橋係於 1941 年時使用不銹鋼筋建造，而左邊僅存的橋墩係於 1969 年時使用竹碳鋼筋建造

6. 環氧樹脂塗層強化鋼筋(Epoxy-Coated Reinforcing Bars)



圖 33、環氧樹脂塗層筋應用於橋梁工程之情形

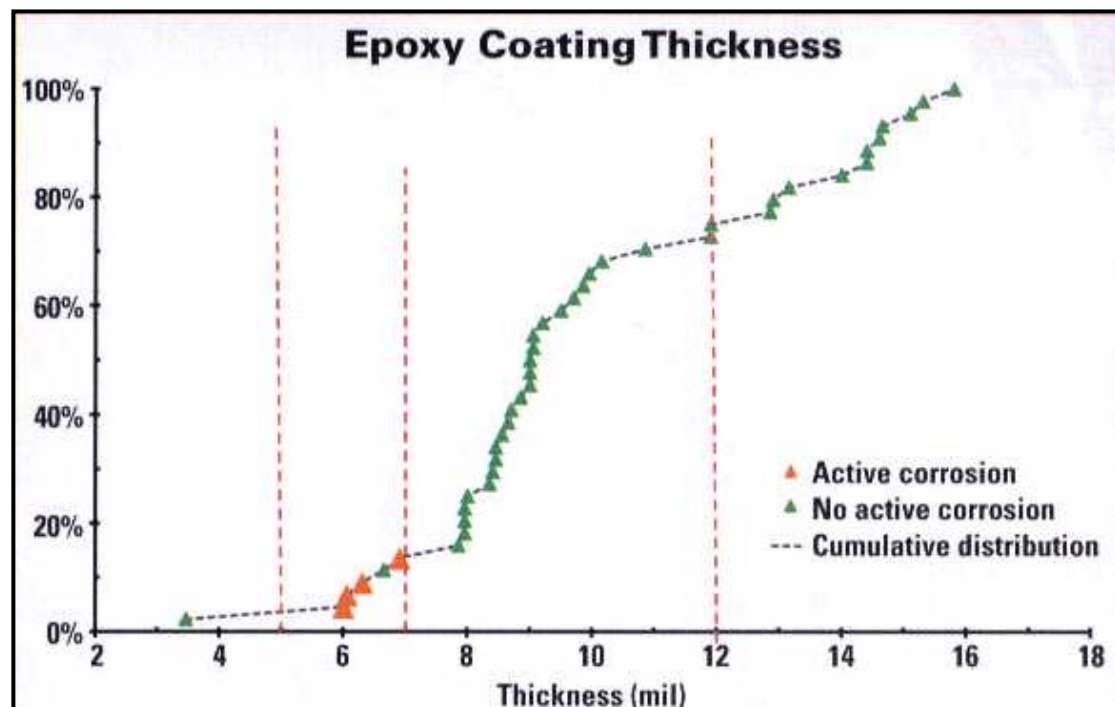


圖 34、環氧樹脂塗層厚度與鋼筋主動銹蝕比例之關係

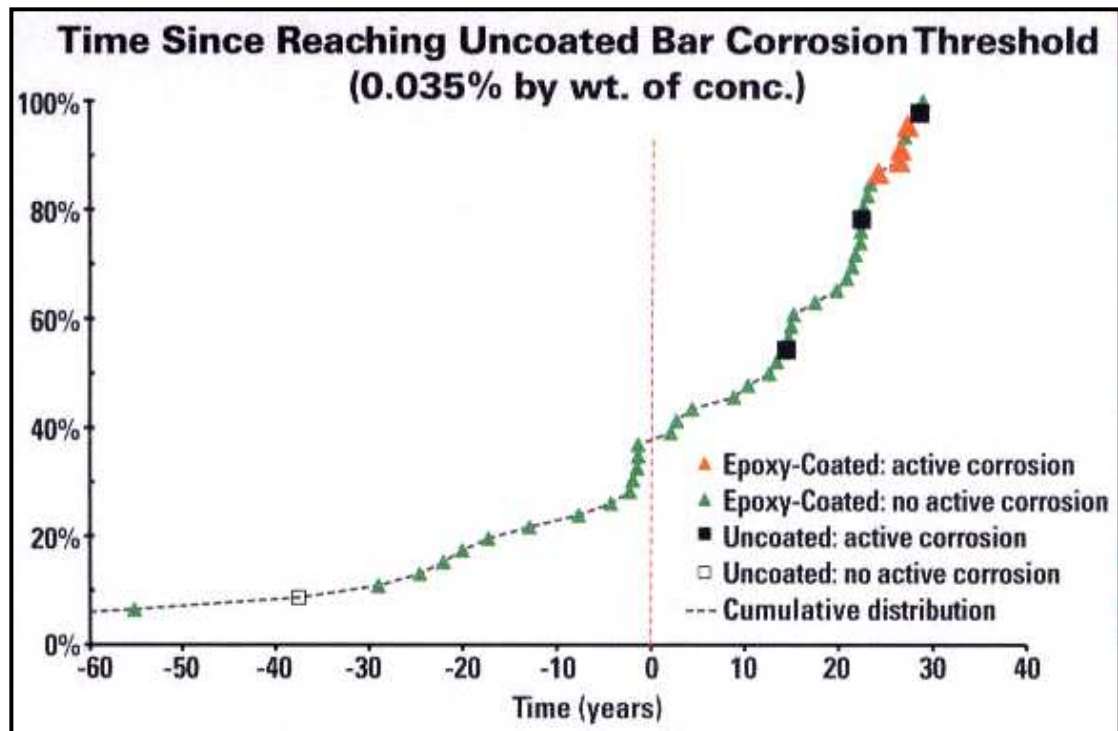


圖 35、環氧樹脂塗層鋼筋出現銹鏽現象之年限分佈

7. 橋梁設計及分析評估軟體(Bridge Analysis Design and Assessment Software)

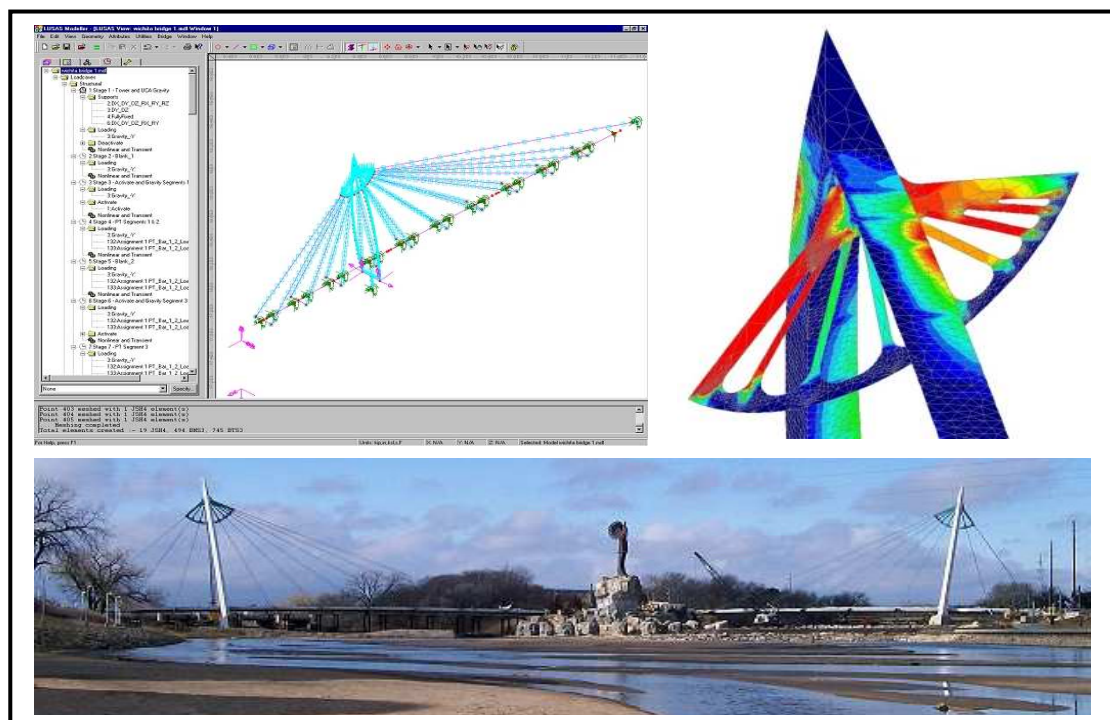


圖 36、堪薩斯州 Wichita Pedestrian Bridge 之分析及設計

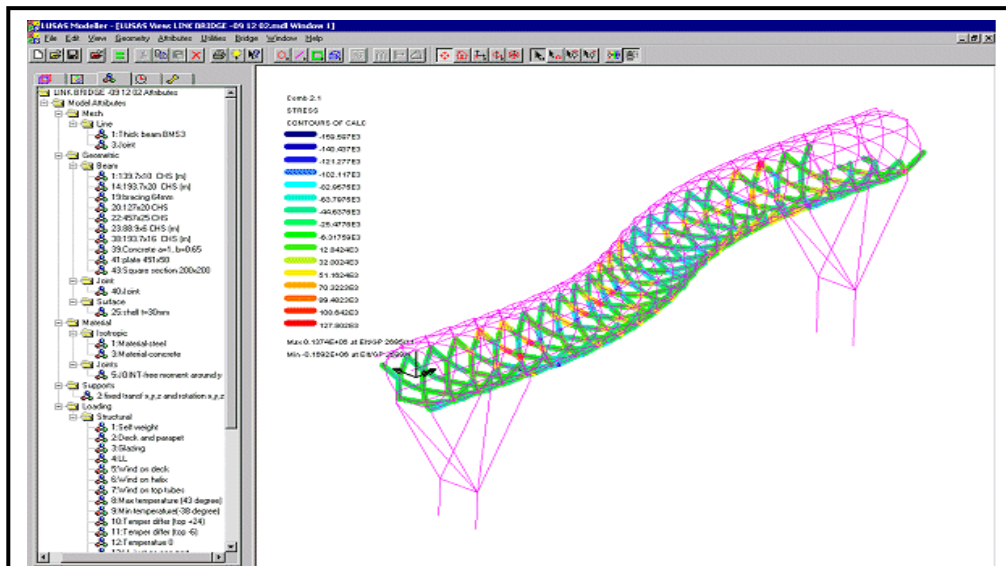


圖 37、愛丁堡 Greenside Place Link bridge 之分析及設計

8. 橋面防水終結者(Bridge Deck Waterproofing Eliminator)



圖 38、橋面防水層之噴塗情形

第三章 交通運輸設施考察

本次出國計畫之行程較為緊湊，故並未規劃考察行程，僅將沿途觀看到之交通運輸設施照片略摘如下。



圖 39、日本成田機場第 2 航廈導覽告示



圖 40、日本成田機場第 2 航廈通往第 1 航廈之區間電車



圖 41、日本成田機場針對臺灣等外國旅客提供之導覽手冊



圖 42、達拉斯 Fort Worth 機場之航廈導覽告示

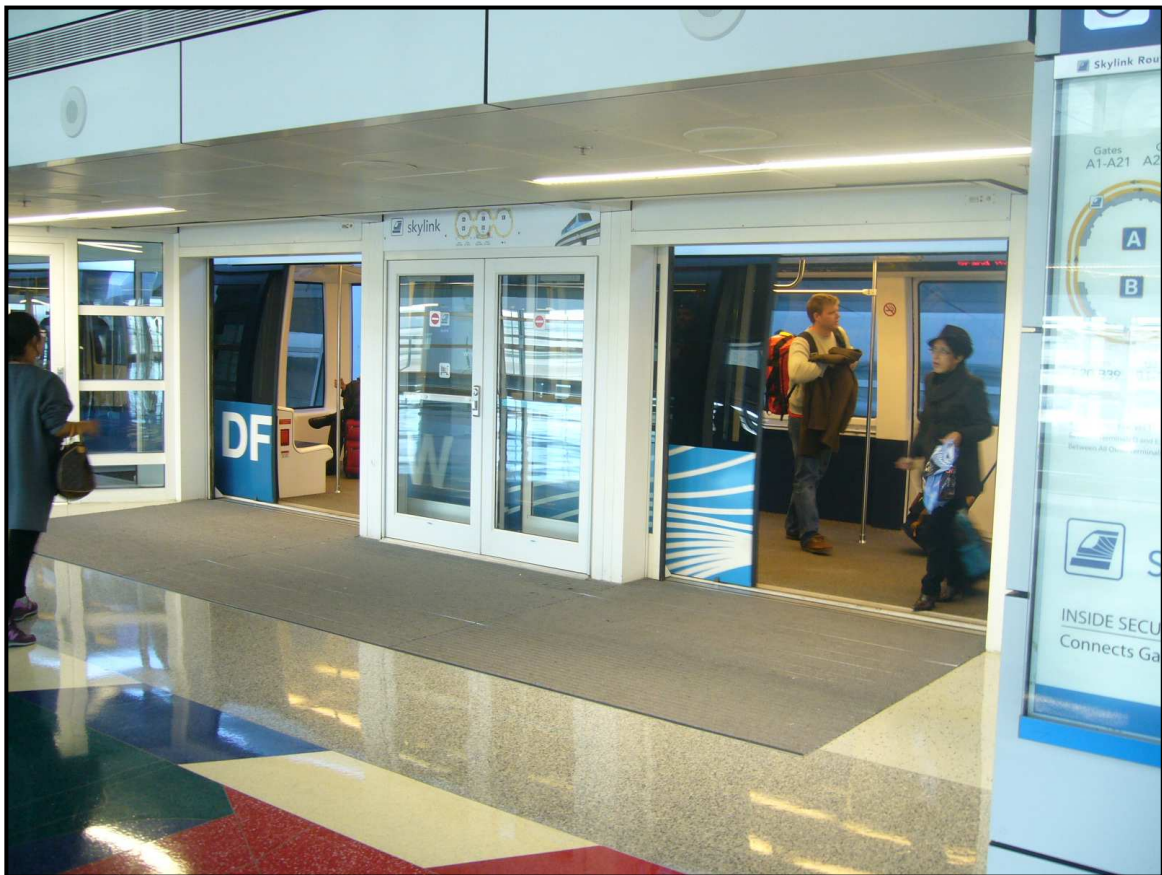


圖 43、達拉斯 Fort Worth 機場內通往各航廈間之區間電車



圖 44、達拉斯 Fort Worth 機場內運送老弱婦孺之電動車



圖 45、聖安東尼奧市區公車資訊告示



圖 46、聖安東尼奧市區自行車告示



圖 47、聖安東尼奧市區自行車告示



圖 48、聖安東尼奧日落火車站(貨運站)



圖 49、聖安東尼奧日落火車站入口

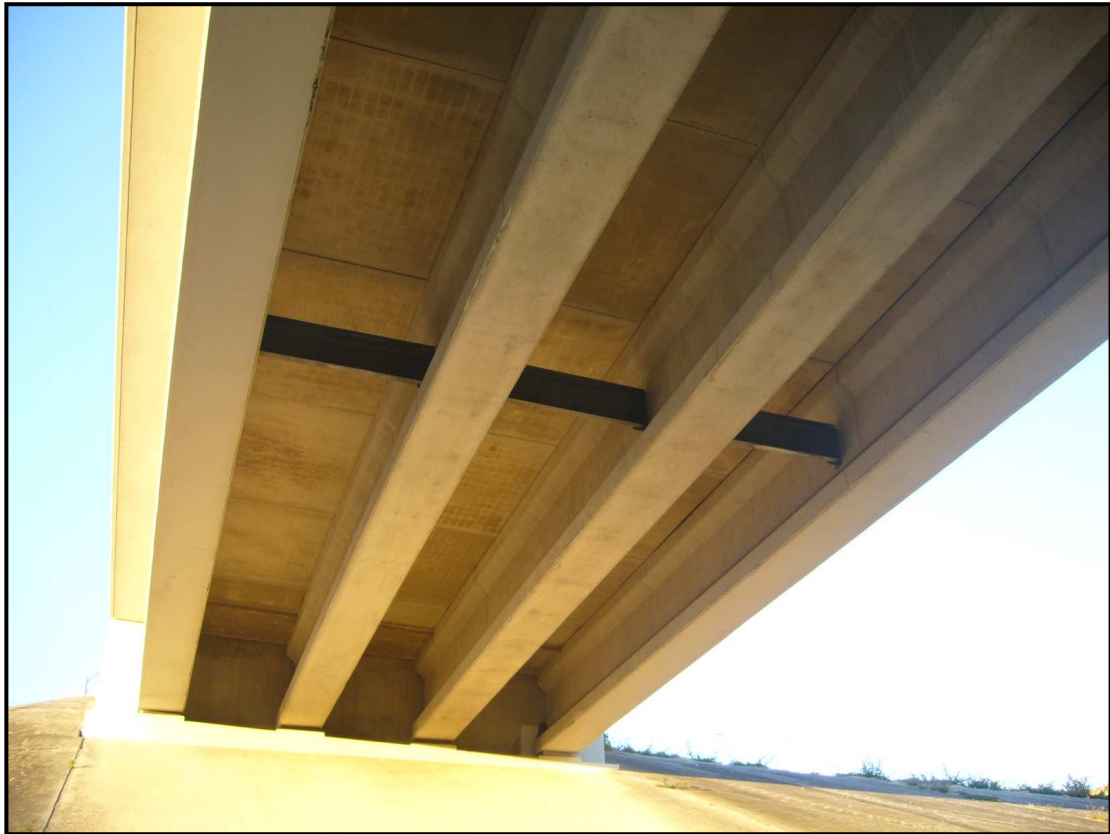


圖 50、聖安東尼奧市區預鑄橋梁梁底照片



圖 51、聖安東尼奧市區預鑄橋梁側視照片

第四章 德州橋梁管理情形簡介

本次研討會由德州運輸部主辦，經瀏覽相關資料，德州轄管之橋梁規模為全美最高，以下分別簡介德州之橋梁管理部門及管理情形。

4.1 德州運輸部橋梁司簡介

德州運輸部由 21 個司(橋梁、航空、建設、設計、環境事務、財經、一般服務、政府與公共事務、人力資源、維護、汽車運輸、汽車、職業安全、公共交通、鐵路、路權、技術服務、交通運作、交通規劃、旅遊資訊、車輛登記)、4 個地區支援中心及 6 個辦事處組成，全部員工超過 12,000 人，其中「橋梁司」的業務主要包含「制定與橋梁有關之政策、計畫、設計標準、規範及手冊」、「審查及協助轄內 25 個縣進行橋梁結構規劃、設計、審查、施工及驗收」及「定期檢測德州轄內逾 50,000 座橋梁」。

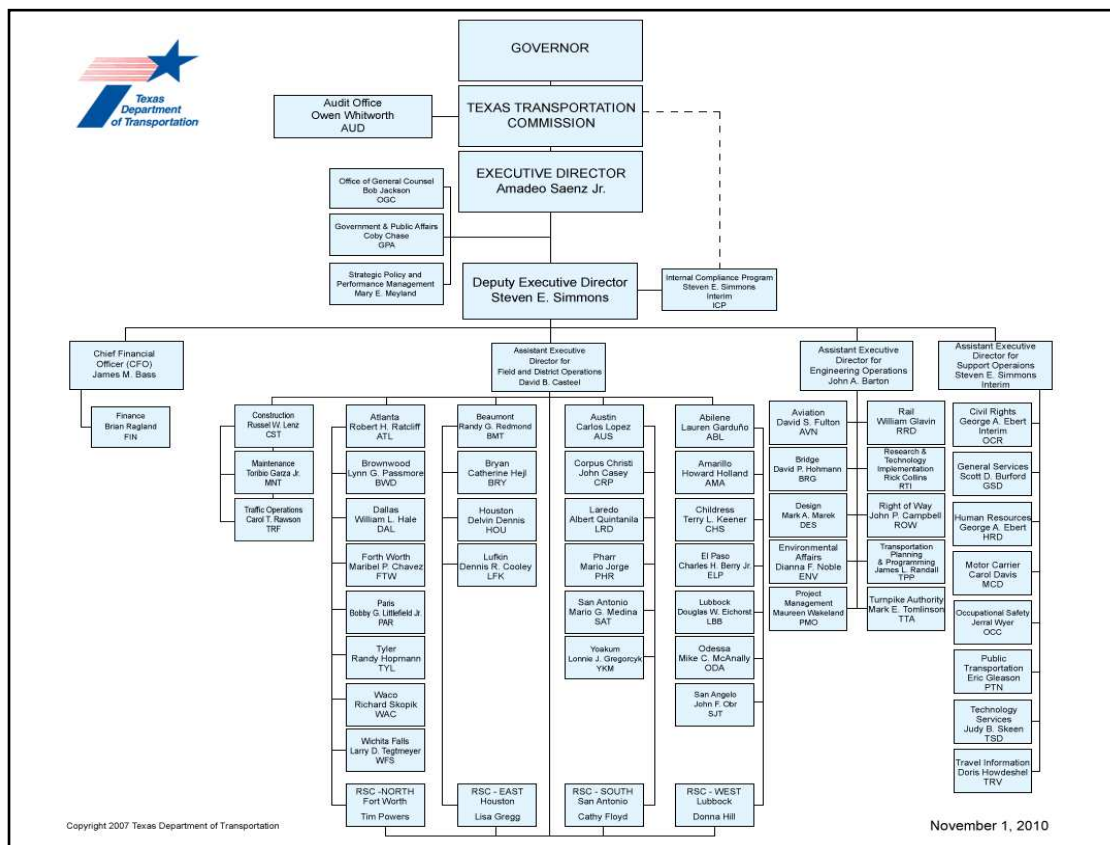


圖 52、德州運輸部組織圖

4.2 德州運輸部之橋梁管理情形

德州所轄橋梁逾 5 萬座，總面積約 3,960 萬平方公尺，平均橋齡約 41 年，其中最老的橋在 1911 年興建，最長的橋長 4.7 公里，最長的跨距為 375 公尺，依據 FHWA 之統計，德州所轄橋梁規模為全美國之冠(數量佔全美橋梁之 8.4%，面積佔全美橋梁之 11.3%)，惟分配到之資金並未相對較高，以 2006 年為例，當時 FHWA 分配給各州的橋梁總經費約 48 億美元，而德州僅分配到其中 3.6 億美元，佔整體經費之 7.6%，遠低於橋梁養護面積之佔比(11.3%)，而 2007 年甚至僅分配到 2.7 億美元。

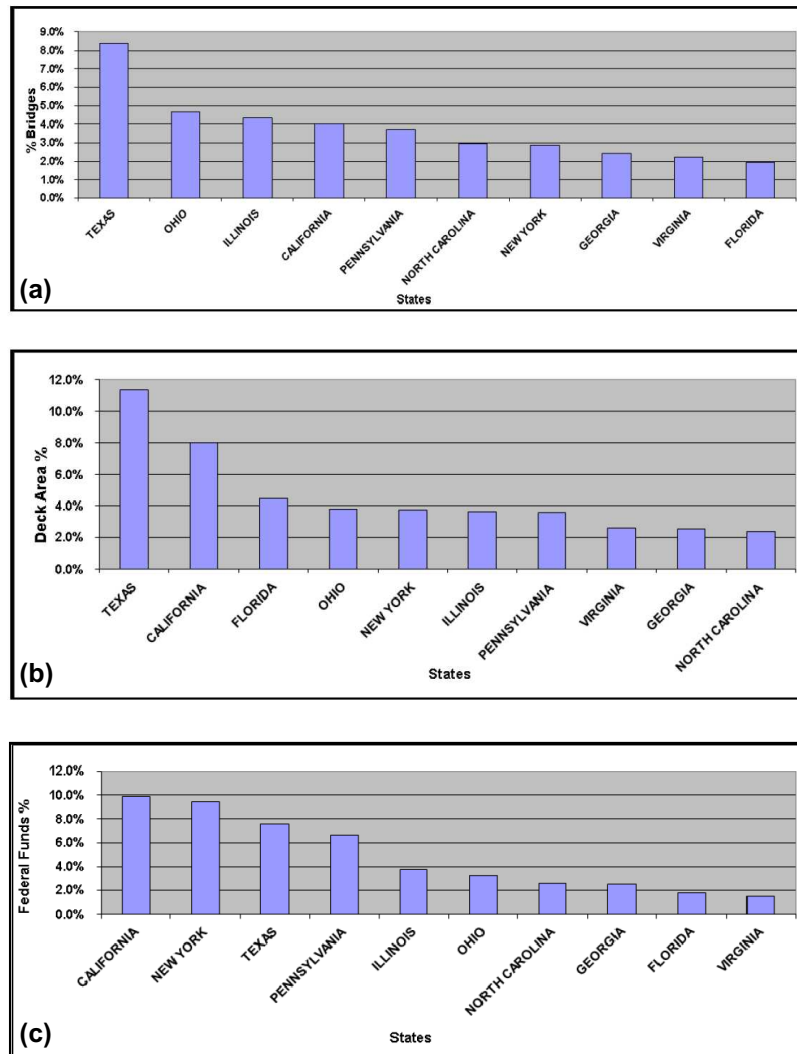


圖 53、德州 2006 年所轄橋梁規模及橋梁改善經費分配情形佔比
(a)橋數佔比，(b)橋面積佔比，(c)橋梁改善經費佔比

2001 年時，德州境內狀況尚可(Bridges in Good or Better Condition)之橋梁數量佔比約為 70%，而存在結構缺陷(Structure Deficient)之橋梁計 763 座，鑑於資源有限，為能分年提昇橋梁安全，德州政府計畫在 2011 年以前改善所有存在結構缺陷之橋梁，並將狀況尚可之橋梁佔比提昇為 80%，經過多年努力，具結構缺陷之橋梁數量於 2008 年時已降至 354 座，而狀況尚可之橋梁數量佔比已達 78%。

Goal – Make 80% of Texas Bridges in Good or Better Condition by End of FY 2011	
FY 2001 – 70% of bridges in good or better condition	
FY 2002 – 71% of bridges in good or better condition	
FY 2003 – 75% of bridges in good or better condition	
FY 2004 – 76% of bridges in good or better condition	
FY 2006 – 77% of bridges in good or better condition	
FY 2008 – 78% of bridges in good or better condition	
Goal – Eliminate Structurally Deficient On-System Bridges	
FY 2001 – 763 structurally deficient, on system bridges	
FY 2002 – 693 structurally deficient, on system bridges	
FY 2003 – 645 structurally deficient, on system bridges	
FY 2004 – 565 structurally deficient, on system bridges	
FY 2006 – 483 structurally deficient, on system bridges	
FY 2008 – 354 structurally deficient, on system bridges	

圖 54、德州運輸部之橋梁管理目標

橋梁會隨著橋齡之增加而逐漸老化，故必需定期檢測並適時投入經費進行維護改善，經估算，德州政府於 2009~2030 年期間需籌措之橋梁維護改善經費(主要包含橋梁定期檢測、維護及修復更新費用)約為 361 億美元，每年平均約需 16 億美元。

Cost Category	Total to 2030 (\$ millions)	Average Gross Annual Cost (\$millions)
Replacement Costs On-system	\$ 19,918	\$ 905
Replacement Costs Off-system	\$ 7,804	\$ 355
Costs to Replace Special and Large Bridges	\$ 6,107	\$ 278
Inspection Costs Existing Bridges On-system	\$ 615	\$ 28
Inspection Costs Existing Bridges Off-system	\$ 327	\$ 15
Maintenance Costs Existing Bridges On-system	\$ 1,123	\$ 51
Inspection Costs Mobility Bridges (Prevent Worsening Congestion)	\$ 170	\$ 8
Maintenance Costs Mobility Bridges (Prevent Worsening Congestion)	\$ 63	\$ 3
Total- Full Funding	\$ 36,127	\$ 1,643

圖 55、德州運輸部 2009~2030 年所需之橋梁維護改善經費

第五章 心得與建議

本次研討會之主題為「提昇橋梁之可靠度及安全性」，3 天的研討會下來，除參與了許多產、官、學界之研究成果發表外，也認識了一些在國外從事橋梁研究工作的朋友，深覺獲益良多，以下先說明參與本次研討會後之心得，並接續提出建議。

5.1 心得

1. 預鑄橋梁品質穩定、外觀優美、施工快速、施工安全性較佳且較為環保，值得借鏡採用

相較於國內常見之場鑄橋梁，預鑄橋梁由於係在工廠內鑄造，故品質較為穩定且外觀優美，由於預鑄橋梁在現場不需綁紮鋼筋及組模且不需灌注及養護混凝土，故施工期間對環境(噪音、廢氣及粉塵)之衝擊較小且施工安全性較高，復由於各橋梁預鑄構件可直接在現場組裝，故施工較為快速，也因此，預鑄橋梁在美國非常普遍，不管是橋梁之墩體、帽梁或上部結構等部位，皆十分常見，而相關施工經驗及技術規範之發展也頗為完整，值得借鏡採用。

2. 大型自動化運輸機具確有助於加速橋梁建設，可作為我國後續推動營建自動化業務時之參考

美國近幾年來不斷嘗試利用大型運輸機具(如 SPMT)加速橋梁建設，透過大型運輸機具之搬運能力，運輸部門可將橋梁改建過程分成數個工作面同時進行，並於完成成品後直接運放，不需再行組裝加工，以猶他州之 4500 South Bridge 為例，該州運輸部即將橋梁改建工程分成 4 个工作面(建造新的橋台、拆除舊橋橋墩及帽梁、拆除舊橋上部結構、建造新橋上部結構)同時進行，並於完成新橋上部結構後，直接將所有的上部結構(含大梁、橋面版、

護欄及鋪面)運放至預定位置，並於完成零星接合工作後隨即開放通車，故施工速度遠超過傳統工法，對於交通流量較大之路段，確有顯著成效。我國現正致力推動營建自動化業務，國外之案例及創意實可作為我國後續推動類似業務時之參考。

3. 以全生命週期概念進行橋梁管理有其必要

橋梁之生命週期至少包含規劃設計、施工、管理及維護改善等 4 個階段，各環節應考量之重點及所需之成本皆不盡相同，國內鮮少以宏觀之全生命週期概念進行橋梁管理，多僅只考慮到短期建設成本，而忽略了未來進行橋梁管理及維護改善所需投入之龐大經費及人力，由於國家財政日益艱困，故以全生命週期概念進行橋梁管理實有必要。

4. 加強橋梁評鑑，並籌編足額經費進行改善

隨著規範的更新及橋齡的增加，功能不全無法符合設計規範及逐漸出現結構缺陷之橋梁會不斷增加，我國橋梁近 3 萬座，橋梁功能不全之原因多為耐洪、耐震或載重能力不足，而造成結構缺陷之原因多與橋基沖刷裸露或橋體老舊劣化有關，政府除應正視該現象外，更應訂定目標並有計畫的投入經費逐年改善，甚或定期公佈改善情形，俾使大眾了解政府之施政成果，也使各橋梁管理機關(如地方政府)正視橋梁安全問題。以德州運輸部為例，該部除定期公佈轄內功能不全或存有結構缺陷之橋梁資料外，並訂定了多項橋梁改善目標及定期公佈執行情形，依該部估計，截至 2030 年止，每年需投入之橋梁維護改善費用約 16 億美元(近 500 億新台幣)。我國自民國 93 年實施橋梁評鑑以來已逾 6 年，藉由定期公佈評鑑結果，多數機關雖已逐漸重視橋梁管理工作，惟部分機關因經費有限及資源配置不當等因素，故改善速度緩慢，尤

以縣市政府最為明顯，近年來雖偶由中央政府補助經費進行改善，惟該機制仍非常態，因此，為有效改善，除應持續督促相關單位有效配置資源、正視橋梁安全問題外，更可嘗試透過調整統籌稅款或成立基金專戶方式，籌編足額經費進行橋梁改善。

5. 成立專責單位辦理橋梁研究發展業務

我國橋梁近 3 萬座，總面積逾 3 仟萬平方公尺，相較於美國各州，我國橋梁規模雖僅次於德州(約 5 萬座橋，總面積近 4 仟萬平方公尺)，惟仍未有專責辦理橋梁研究發展業務之公務部門，部分機關雖設置有橋梁部門，惟皆係為辦理所轄橋梁之規劃設計業務而設置，加以常疲於應付各項經常性或非經常性業務，故幾無暇致力於辦理橋梁研究發展業務，即便偶有涉略，也常屬臨時起意，非但不具整體性，也常有競相研究類似課題之情形，相較於我國，德州運輸部下設橋梁司專責辦理與橋梁有關之研究發展業務，經年累月下，各項成果豐碩，因此，為能整合研究能量，並進一步提昇我國橋梁水準，實有成立專責單位辦理橋梁研究發展工作之需要。

5.2 建議

1. 評估大量使用預鑄工法及引進大型自動化運輸機具加速橋梁建設之可行性。
2. 責成各橋梁管理單位將全生命週期概念融入各項橋梁業務。
3. 加強橋梁評鑑，並籌編足額經費進行橋梁改善。
4. 成立專責單位辦理橋梁研究發展業務。