



出國報告（出國類別：考察）

參加第 8 屆臺美橋梁工程研討會及 2012 國際橋梁研討會(IBC)

出國報告

服務機關：交通部臺灣區國道高速公路局
姓名職稱：林炳松 技術組副組長兼代組長
 蘇俊欽 南工處屏東工務段段長
 饒書安 中工處工務課幫工程司
派赴國家：美國
出國期間：101 年 6 月 8 日至 6 月 18 日
報告日期：101 年 9 月 11 日

摘要

公路交通運輸歷經多年新建與發展，國內公路運輸網絡已漸趨完善，如何透過交通管理手法有效提升公路運輸之運作效率並透過公路設施生命週期的管理，將為公路新建計畫工作重點。

自 2005 年起由交通部公路總局、臺灣區國道高速公路局、臺灣區國道新建工程局及臺灣營建研究院，共同組成跨部門形式的「公路維護管理小組」，建立我國與美國官方單位長期合作關係之重要管道，並協議自該年度起，每年以研討會方式進行雙邊交流，以提升我國公共工程建設之政策、技術與管理維護工作。其間幾年我方由臺灣營建研究院負責臺美雙方聯繫，2011 年起改由中華工程顧問司負責臺美雙方聯繫與溝通工作。

今(2012)年為第 8 屆臺美橋梁工程研討會，研討會主題主要有三大部分：(1)橋梁維護與施工技術(Bridge Maintenance and Construction Technology)、(2)橋梁安全評估(Bridge Safety Assessment)、(3)災害防治(Hazard Mitigations)。臺灣成員除了持續發表有關橋梁維修施工技術與公路建設應用外，也藉由 98 年莫拉克風災過後於國內重要橋梁安裝高科技沖刷監測設備案例，探討橋梁受颱風侵襲下的沖刷情形與未來因應的防災策略，建立針對颱風期間，即時預警工作與安全評估模式，藉以提出三大主題相關之論文 10 篇，美方則發表 8 篇，共計 18 篇論文。

本次研討會並進一步就去(2011)年第 7 屆臺美雙方所訂 3 大合作研究計畫：「橋梁維護管理技術種子教師培訓」、「橋梁長期性能研究計畫」及「橋梁複合型災害研究計畫」進行專題進度報告。此行並參訪美國波士頓市政、新英格蘭生態公路(I93)、美國麻州波士頓市交通廳中央大動脈計畫、2012 國際橋梁研討會、紐澤西州立羅格斯(Rutgers)大學 CAIT 中心及鋪面材料實驗室等轄管橋梁與公路管理單位，提供彼此專業技術交流與支援，提升國內工程人員國際觀，促進國內橋梁工程生命週期之規劃、設計、施工、維護管理等各階段之前瞻性技術發展。

關鍵字：第 8 屆臺美橋梁工程研討會、2012 國際橋梁會議、IBC、橋梁維護與施工技術、橋梁安全評估、災害防治、聯邦公路總署、Rutgers 大學、CAIT、新英格蘭生態公路、I93、中央動脈工程、Central Artery、Big Dig Project、斜張橋、長期性能計畫、LTBP、波士頓、匹茲堡。

目 錄

一、 目的	1
二、 研討會行程概述.....	3
三、 第 8 屆臺美橋梁工程研討	6
3.1 研討會內容.....	6
3.2 研討會重要決議事項.....	10
四、 主要參訪行程.....	16
4.1 波士頓市政參訪.....	16
4.2 新英格蘭生態公路參訪(I93).....	18
4.3 麻州交通廳參訪(波士頓中央大動脈計畫).....	22
4.4 2012 國際橋梁研討會(IBC).....	37
4.5 紐澤西州立羅格斯大學參訪.....	44
五、 考察心得與建議.....	51
5.1 考察心得.....	51
5.2 建議.....	53

附錄目錄

附錄 1: 「預鑄框架系統於高震區之使用」	I
附錄 2: 「有效的橋梁維護計畫-前國家橋梁工程師的思考」	II
附錄 3: 「ABC 接頭遭受複合型災害和極端事件其橋梁性能的最佳做法 NCHRP20-68A - “美國國內掃描程序”」	III
附錄 4: 「近來美國橋梁事故吸取之教訓」	IV
附錄 5: 「橋梁設計中考慮沖刷影響之可靠基礎方法論：對於複合災害共同研究的架構」	V
附錄 6: 「密西西比河之某些地質風險」	VI

一、目的

交通建設不僅肩負著經濟建設的發展任務，更與民眾生活息息相關。自 1970 年代起臺灣興建全島第 1 條南北向的中山高速公路，之後陸續推動了各項重大的交通建設計畫，在歷經近 40 年的通車使用後，交通設施面臨天然災害、人為損害與全球氣候環境改變的影響，設施受損與維護機率相對提高；另外，地球暖化、氣候異常變遷導致颱風、豪雨等天然災害發生頻率增加，加上石油、鋼鐵等自然資源在全球大量使用逐漸耗竭之趨勢下，「永續發展」已成為全球共同關注且積極發展的技術與觀念，交通運輸也不例外。公路運輸歷經多年的新建與發展，國內公路運輸網絡已漸趨完善，如國道 1、3、5、2、4、6、8、10 號、汐止五股高架、以及將於今(2012)年底完工的五股楊梅高架橋等，如何透過交通管理手法，有效提升公路運輸之運作效率並透過公路設施之延壽，將為取代公路新建計畫的工作重點，並成為交通部及所屬公路機關的業務重點。

回首 2005 年，交通部的相關主管機關注意到此問題的嚴重性與重要性，由交通部公路總局、臺灣區國道高速公路局、臺灣區國道新建工程局以及臺灣營建研究院，共同組成跨部門組織的「公路維護管理小組」，建立我國與美國官方單位長期合作關係之重要管道，並協議自該年度起，每年以研討會方式進行雙邊交流，對我國公共工程建設之政策、技術與管理的提升與外交上都有莫大的幫助。同年於臺灣臺北舉辦第 1 次「臺美橋梁工程研討會」，臺美雙方針對橋梁工程檢監測、維護補強及災害防治與管理等多項議題，進行雙方寶貴技術的交流與經驗分享。歷經 5 年的持續交流，交流研討議題由原先的橋梁維護議題，擴大成為公路工程的相關技術與管理議題，其中涉及專業技術的提昇、維護管理觀念的策進，考驗著國內工程人員的智慧。與國際接軌相信將可有效地協助工程界在面對新局面的挑戰時，借鏡美方累積多年的維護管理技術與經驗，獲得最好的啟發與支援。

其間幾年(2005~2010)，我方由臺灣營建研究院負責臺美雙方聯繫，2011 年起改由中華工程顧問司負責臺美雙方聯繫與溝通工作。本次至美國參訪主要由交通部國道新建工程局、交通部臺灣區國道高速公路局、交通部公路總局、桃園縣交通局、國家地震工程研究中心、臺灣營建研究院、臺灣科技大學、中央大學、中華工程顧問司、臺灣世曦工程顧問公司、中興工程顧問公司、林同棧工程顧問公司等 12 個單位，共 25 人組成代表臺灣之團隊，共同參加 2012 年第 8 屆臺美橋梁工程研討會，該研討會係由美方之聯邦公路總署（Federal Highway Administration，以下簡稱 FHWA）與波士頓交通廳等官方單位與我方民間團體之中華工程顧問司共同籌備舉辦。

本年為第 8 屆，研討會主題分為三大部分：(1)橋梁維護與施工技術 (Bridge Maintenance and Construction Technology)、(2)橋梁安全策略 (Bridge Safety Assessment)、(3)災害防治(Hazard Mitigations)。臺灣的成員除了持續發表有關橋梁維修施工技術與公路建設應用外，也藉由 2009 年莫拉克風災過後，於國內重要橋梁安裝高科技沖刷監測設備案例，探討橋梁受颱風侵襲下的沖刷情形與未來因應的防災策略，建立針對颱風期間，即時預警工作與安全評估模式，藉以提出三大主題相關論文 10 篇，美方則發表 8 篇，共計 18 篇論文。

本次研討會並進一步就去(2011)年第 7 屆臺美雙方所訂 3 大合作研究計畫：「橋梁維護管理技術種子教師培訓」、「橋梁長期性能研究計畫」及「橋梁複合型災害研究計畫」進行專題進度報告，並透過討論與交流，腦力激盪出更精進且創新的觀點。

此行參訪美國波士頓市政、新英格蘭生態公路(I93)、美國麻州波士頓市交通廳中央大動脈計畫、2012 年國際橋梁研討會、紐澤西州立羅格斯(Rutgers)大學 CAIT 中心及鋪面材料實驗室等轄管橋梁與公路管理單位，提供彼此專業技術交流與支援，提升國內工程人員國際觀，促進國內橋梁工程生命週期之規劃、設計、施工及維護管理等各階段之前瞻性技術發展。

未來透過此機制之良好聯繫與互動，無論我國官方單位或民間團體，相信可為臺美雙方建立一暢通管道。

二、研討會行程概述

本次出國，因出國計畫已列入本局 101 年派 3 員工程司出國預算，並獲大部核准在案(交通部 101 年 4 月 13 日交人字第 1015005581 號函)。

研討會參訪行程自 101 年 6 月 8 日起，至 6 月 18 日返台，前後共歷時 11 日。行程由台北出發，先從舊金山入境後轉往波士頓，而後循 I93 號州際公路北上到新罕布夏州的首府康科德(Concord)，沿途參訪新英格蘭地區的生態公路，並由原路返回波士頓，繼續參訪麻塞諸塞州交通廳(MaDOT)在波士頓市區所完成的「中央動脈工程」(Central Artery)，見識到其大規模改造都會交通的成果。

離開波士頓之後先南下前往紐澤西，沿 I80 號州際公路長途跋涉到達匹茲堡，參加每年一度的國際橋梁研討會(International Bridge Conference, IBC)，以作為 2015 年臺灣為主題國之事前準備，隨後正式展開「第 8 屆台美橋梁工程研討會」。研討會共歷時一天半，前半日在 IBC 研討會的會場舉行，隔日則在下榻的 Hyatt 飯店會議廳就近召開。臺美橋梁工程研討會結束後，代表團再從匹茲堡轉往位在紐澤西的 Rutgers 大學參訪，一方面聽取負責美方橋梁長期性能研究計畫的 Ali Maher 教授的研究團隊所進行的簡報，一方面參觀該團隊之非破壞檢測技術團隊及鋪面實驗室。

結束 Rutgers 大學的參訪之後，整個行程也接近尾聲。隔日在紐約市區進行市政的參訪，包括金融重鎮華爾街周邊地鐵及防患恐怖攻擊設施，並乘船於水上一睹歷史悠久的布魯克林大橋(Brooklyn Bridge)以及曼哈頓大橋(Manhattan Bridge)。

詳細行程內容列如表 1 所示，表 2 為臺灣代表團成員之組成名單，總計有 25 人。

表1. 行程表

日期	起-迄 / 行程	夜宿
2012/06/08(五)	臺北 Taiwan-波士頓 Boston	機上
23:20-19:20	臺北-舊金山	
23:00-07:40	舊金山-波士頓	
2012/06/09(六)	波士頓 Boston – 康科德 Concord	康科德
上午	波士頓 Boston – 康科德 Concord	
下午	新英格蘭生態公路參訪	
2012/06/10(日)	康科德 Concord – 波士頓 Boston	波士頓
上午	新英格蘭生態公路參訪(I-93)	
下午	新英格蘭生態公路參訪(I-93)	
2012/06/11(一)	波士頓 Boston – 紐約 New York	紐約
上午	麻州交通廳參訪-波士頓-羅根機場海底隧道與交通樞紐(Big Dig Project)交控中心	
下午	Boston- New York City	
2012/06/12(二)	紐約 New York – 匹茲堡 Pittsburgh	匹茲堡
全天	聯邦 80 號跨州公路設施觀摩	
2012/06/13(三)	匹茲堡 Pittsburgh	匹茲堡
上午	參加 2012 國際橋梁會議(IBC)	
下午	8th US- Taiwan Workshop(Theme I)	
2012/06/14(四)	匹茲堡 Pittsburgh	匹茲堡
上午	8th US- Taiwan Workshop(Theme II)	
下午	8th US- Taiwan Workshop(Theme III)	
2012/06/15(五)	匹茲堡 Pittsburgh – 紐約 New York	紐約
上午	Pittsburgh-New Jersey, Rutgers University	
下午	參訪 Rutgers University, NJ	
2012/06/16(六)	紐約 New York	紐約
全天	全日紐約市區行程	
2012/06/17(日)	紐約 New York ✎ 洛杉磯 Los Angeles ✎ 桃園	機上
09:00-12:00	紐約-洛杉磯	
15:15-20:20	洛杉磯-桃園+1	
2012/06/18(一)	20:20 抵臺灣桃園	

表 2 臺灣代表團成員名單

No.	姓名	Name	單位	Position(中)
1	吳盟分	Wu, Men-Feng	交通部公路總局	局長
2	高邦基	Kao, Pang-Chi	桃園縣政府交通局	局長
3	李維峰	Lee, Wei F.	國立臺灣科技大學	研究副教授
4	陳進發	Chen, Chin-Fa	交通部公路總局	組長
5	陳俊堯	Chen, Chun-Yao	交通部公路總局	正工程司
6	吳昭煌	Wu, Chao-Huang	交通部公路總局	科長
7	梁佳湘	Liang, Chia-Hsiang	交通部公路總局	段長
8	王仲宇	Wang, Chung-Yue	財團法人中華顧問工程司	主任
9	王正中	Wang, Cheng-Chung	中興工程顧問股份有限公司	技術經理
10	葉啟章	Yeh, Chii-Jang	中興工程顧問股份有限公司	計畫主任
11	羅嘉麟	Ro, Chia-Ling	中興工程顧問股份有限公司	結構工程師
12	林炳松	Lin, Pin-Song	交通部國道高速公路局	代組長
13	蘇俊欽	Su, Chun-Chin	交通部國道高速公路局屏東段	段長
14	饒書安	Jao, Shu-Ann	交通部國道高速公路局	幫工程司
15	王炤烈	Wang, Jaw Lieh	臺灣世曦工程顧問股份有限公司	資深協理
16	陳銘鴻	Chen, Ming-Hung	財團法人中華顧問工程司	正工程師
17	呂介斌	Lu, Jieh-Bin	交通部國道新建工程局	總工程司
18	劉志學	Liu, Chih-Shae	交通部國道新建工程局	副主任
19	張家豪	Chang, Chia-Hao	林同棧工程顧問股份有限公司	博士
20	黃榮堯	Huang, Rong-Yau	國立中央大學	教授
21	盛力航	Sheng, Li-Hong	財團法人中華顧問工程司	顧問
22	詹穎雯	Chan, Yin-Wen	財團法人臺灣營建研究院	院長
23	廖慶隆	Liao, Ching-Lung	財團法人中華顧問工程司	董事長
24	張國鎮	Chang, Kuo-Chun	國家地震工程研究中心	主任
25	林詠彬	Lin, Yung-Bin	國家地震工程研究中心	研究員

三、第8屆臺美橋梁工程研討

3.1 研討會內容

第8屆臺美橋梁工程研討會舉行時間為6月13日下午1時30分至6月14日下午5時30分，為期1天半，研討會議程詳表4，開會地點位於美國賓夕法尼亞州西南部的匹茲堡，會議第1天於大衛勞倫斯會議中心(The David L. Lawrence Convention Center) 325會議室舉行，離住宿飯店約10~15分鐘車程，第2天於參訪團下榻的Hyatt Place Pittsburgh North Shore飯店會議室舉行。

研討會開始時首先由W. Phillip Yen博士代表美國發表致詞，臺灣則由廖慶隆董事長代表致詞，正式揭開研討會序幕。參與研討會人員包括臺方25人及美方7人，美方代表團名單如表5。首場演講由美方代表發表，其後依表定議程由我方及美方講者依序發表，共計發表橋梁工程相關論文共計18篇，我方發表10篇，美方8篇，各方發表論文內容相當廣泛且豐富，研討會議題涵蓋3部分，(1)橋梁維護與施工技術，計6篇。(2)橋梁安全評估，計5篇。(3)災害防治，計7篇。

1. 橋梁維護與施工技術：(Theme I: Bridge Maintenance and Construction Technology, including ABC) (6/10 下午)

首場演講由美方代表M. Lee Marsh博士發表「預鑄框架系統於高震區之使用」(Precast Bent System for Use in High Seismic Regions)，介紹在強震地區使用預鑄彎矩系統的情形，實際應用前必須先對系統進行接合確認試驗(connection validation test)，包括橋柱-帽梁、橋柱-擴展基腳、橋柱-鑽掘豎井之間的接合系統等，並以聯邦公路(I-5)連接Grand Mound to Maytown的一座2跨橋梁為例，以預鑄橋墩及帽梁的框架結構系統快速施工，分享實驗室試驗成果，顯示預鑄框架系統施工和現地澆注施工結構破壞行為相同，其更有效且快速的現地施工亦提供我方學習技術與經驗。(簡報詳附錄1)

第2場由我方高速公路局代表饒書安工程司發表「國道高速公路橋梁維護管理實務」，介紹臺灣國道橋梁及維護管理架構，並具體分享我方維護國道實務作法。

第3場是由美方代表Arora and Associates, P. C. 公司副總裁Harry A. Capers先生發表「有效的橋梁維護計畫-前國家橋梁工程師的思考」(An Effective Bridge Maintenance Program – Reflections of Former State Bridge Engineer)，介紹一起由多位專家集體討論橋梁檢核檢測評估作業方式的計畫，該計畫雖然前後只花了2週的時間進行資料檢核(desk scan)，但是由於事先資料都已收集齊全，主要是集合各橋梁專家來共同檢討在實務上適

合可行的檢測評估作業方式為何，而這樣的討論結果相信可有效提供作為後續在執行橋梁維護管理作業上的參考，而不只是一味增加完成檢測評估的橋梁數量而已。(簡報詳附錄 2)

第 4 場由我方中央大學黃榮堯教授發表「具生命週期基礎的橋梁管理系統-五股楊梅高架高速公路專案」，介紹臺灣為因應高速公路五股楊梅路段，所開發之新一代具生命週期基礎的臺灣橋梁管理系統架構與系統介紹。

第 5 場由美方 W. Phillip Yen 博士發表「ABC 接頭遭受複合型災害和極端事件其橋梁性能的最佳做法 NCHRP20-68A -“美國國內掃描程序”」(Best Practices Regarding Performance of ABC Connections in Bridges Subjected To Multi-Hazard and Extreme Events NCHRP 20-68A-“US Domestic Scan Program”)，介紹快速橋梁建造工法(Accelerated Bridge Construction, ABC)中有關接頭部分因應多重災害之考量，包括對橋梁及 ABC 接頭之極端載重之考量、ABC 接頭之各項細節、ABC 接頭之維護、ABC 接頭之標準化及施作程序、ABC 接頭之研究重點、ABC 接頭的創新發展、ABC 接頭及預鑄橋元件之監測、以及其它的發現等。(簡報詳附錄 3)

第 6 場由我方中興工程顧問公司葉啟章經理發表「臺北市橋梁維護經驗與生命週期維護之回饋」，介紹臺北市橋梁維護經驗與生命週期維護之回饋，並說明有效的管理是橋梁檢測工作成功的重要因素，預防性的維護工作亦可確保橋梁安全，長時間檢測及監測資料的蒐集並可提供未來橋梁設計上的參考。

當日議程的最後時段，雙方並針對臺美合作計畫之「橋梁維護管理技術種子教師培訓」執行進程進行討論，由我方王仲宇主任報告計畫執行進度及與美方 W. Phillip Yen 博士共同主持討論。是日當晚由美方設宴接待臺灣代表團。

2. 橋梁安全評估：(Theme II: Bridge Safety Assessment) (6/11 上天)

第 2 天上午首場演講由我方中華顧問工程司王仲宇主任發表「PSC 箱梁高架橋加裝外部後張預應力筋之健康監測」，介紹該橋梁使用的監測系統及 EEMD(整體平均的經驗模態分解 (ensemble empirical mode decomposition, EEMD))方法的應用及監測成果說明。

第 2 場是由美方代表 Ali Maher 博士發表「FHWA 長期橋梁性能方案的更新」(An Update of the FHWA's Long Term Bridge Performance Program)，介紹美國現階段 FHWA 長期橋梁性能計畫的最新進展，綜合美國 15 個州內現有的資訊以建立和 NBI(National Bridge Inventory)資料庫之間的結合模式，並探討需要優先研究的議題，以及制定資料收集的標準協議，並將此標準協議應用於前導橋梁上(Pilot Bridge)，同時也繼續增加更

多前導橋梁的挑選加入探討。

第 3 場由我方臺灣營建研究院詹穎雯院長發表「鋼筋混凝土結構氯化影響和混凝土保護層厚度設計之研究」，介紹空氣傳播的氯化物和氯含量之鋼筋混凝土 (RC) 結構間關係，及研究臺灣北部沿海地區和存在混凝土結構表面氯化物含量實驗，並根據不同的曝光時間提出氯離子混凝土結構和設計混凝土保護層厚度的方法，來估計其影響程度。

第 4 場由美方代表 Myint Lwin 博士發表「近來美國橋梁事故吸取之教訓」(Lessons Learned From Recent Bridge Accidents in the US)，介紹美國近年來基礎設施建設的目標與規模、以及高鐵計畫的推動等，透過基礎建設的推行，除了可以達到便捷交通的經濟效益外，主要是能使民眾可以有品質又有效率的快速移動，同時能夠協助就業以降低失業率，並且帶動周邊相關產業的發展。雖然聯邦公路總署長期推動橋梁維護作業，但仍有因為材料老劣化、超載、天然災害或人為不慎等因素而發生諸多事故與橋損事件，藉由這些經驗，希望可提供與會人員參考，以減低未來橋梁失敗的發生。(簡報詳附錄 4)

第 5 場由我方中興工程顧問公司羅嘉麟工程師發表「臺灣高雄台 27 線新發大橋之設計、施工和監測回饋」，介紹公路總局台 27 線新發大橋於設計、施工及監測等過程，並說明莫拉克颱風過後現地河況於設計及施工上考量須注意的地方。

當日上午議程最後時段，雙方針對臺美合作計畫之「橋梁長期性能研究計畫」執行進程進行討論，由臺灣營建研究院詹穎雯院長共同進行計畫執行進度報告及和 Ali Maher 共同主持討論。

3. 災害防治：(Theme III: Hazard Mitigations) (6/11 下天)

第 2 天下午首場演講由我方國家地震工程研究中心張國震主任發表「複合災害防治之流域預警系統」，介紹其目前研究之高科技沖刷監測系統預警模式，以上游的雨量推估下游的洪水量，進行推估橋梁的沖刷情形及結構安全，並建立監控平台有提早達到預警成果之分享。

第 2 場由美方代表 George Lee 博士發表「橋梁設計中考慮沖刷影響之可靠基礎方法論：對於複合災害共同研究的架構」(A reliability-based methodology for considering scour effects in bridge design: A framework for discussion by the joint research task on multi-hazard)，介紹綜合靜載重、活載重、地震力以及沖刷作用之整體基於或然率之模式架構，其中沖刷分為短時的洪水沖刷，以及河道的長期沖刷兩類，洪水沖刷採用 100 年迴歸週期作為設計標準，配合以 500 年迴歸週期的洪水作檢核；長期沖刷還包括河床下刷與淤積兩種條件。Lee 教授提議後續雙方合作研究重點為沖刷類型選取、基礎類型選取、既有資料及待收集之資料、橋梁破壞模態及其量化描述、結合沖刷作用及其它天災之外力所共同制定之設計極限狀態。(簡報

詳附錄 5)

第 3 場由我方公路總局陳進發執行秘書發表「降雨誘發山區公路災害之先進風險管理程式-新發展的「公路總局降水分析方法，DiGHPAM」之應用」，介紹我國公路總局採用橋梁上游山區降雨情形，作為下游橋梁的有效封橋預警模式的說明及實際案例分享，有效提早預警作為封閉公路，大大減少國內車輛人員的行車傷亡。

第 4 場由美方代表 Thomas G. Leech 博士發表「密西西比河之某些地質風險」(Some Geological Risks in the Mississippi River)，介紹全美最長的密西西比河之各種地質風險，從明尼蘇達州發源後一直流到路易斯安納州出海，全長 3,770 公里，其流域上中下游河段各種獨特地質構造造成之沿河道之橋梁和其他構築物不同的風險。這些風險包括流冰、地震、沖刷及洪水等，不僅說明是一種鮮明的密西西比河流域地質歷史產物，更提供過去 150 年來各項在密西西比河流域所施作的工程經驗，工程師們以各種方式從地質的資料中逐一解析該流域曾發生之重大天然災害，以作為未來再規劃設計考量風險評估時之參考。(簡報詳附錄 6)

第 5 場由我方臺灣科技大學李維峰教授發表「公路橋梁和邊坡之區域型複合災害安全網絡的框架結構和機構內函-以荖濃溪地區為例」，介紹透過環境的監測、基礎設施的監測、雲端科技的風險管理及可靠的通訊系統，建置預警資訊雲端平台。

第 6 場由我方高速公路局蘇俊欽段長發表「臺灣公路橋梁檢測及補強規範之研究」，介紹公路鋼筋混凝土橋梁檢測及補強規範之目前研究成果及方向。

當日下午議程尾聲，雙方進行臺美合作計畫之「橋梁複合型災害研究計畫」執行進程之討論，由臺灣大學張國震教授進行計畫執行進度報告及與美方 George Lee 共同主持討論。

3.2 研討會重要決議事項

經過 2 天緊湊而精彩的研討，臺美雙方於技術與經驗上進行實質且深入地交流，對於未來，也初擬幾項共同合作及研究方向：

1. 雙方應對於有迫切需求及研發成熟的技術進行交流。
2. 雙方可彼此分享如何改進橋梁狀況與服務水準的經驗。
3. 透過研究、發展與教育訓練的方式以相互探討先進技術。
4. 雙方宜明訂合作計畫中的執行項目。

另本次研討會亦辦理去(2011)年臺美雙方所訂 3 大合作研究計畫之進度報告，議題研討結論分別如下：

1. 「橋梁維護管理技術種子教師培訓」：

46 位種子教師之 NHI 受訓課程，須確定是否取得授證或只是請美方的講師來台授課，授課重點將包括橋梁目視檢測及下部結構檢測技術。長期而言，臺灣應該要發展自己的橋梁維護管理教材，美方願意予以協助，但不包括提供 NHI 講師版的講義教材。

2. 「橋梁長期性能研究計畫」：

建議美方提供現有的協議標準(standard protocol)，以及所要探討的準則項目，以供臺方在進行選定研究對象時可以參考採用相同的協議內容，就類似的場址條件加以套用，以使研究成果容易相互比對。此外，請美方提供道路評級評估(Road rating evaluation)的作法供臺灣參考，以及提供對老劣化較為關鍵的影響因子，也建議能多促成更多的國際合作機會。

3. 「橋梁複合型災害研究計畫」：

臺方透過振動台、剪力盒試驗及現地量測等，持續收集沖刷致使橋墩頻率改變行為等各式破壞機制建立資料庫，目標是仿照地震易損性曲線，嘗試建立沖刷易損性曲線，並利用試驗加以校正。美方希望詳細規劃探討破壞的模式，以因應如何對此種複合行為進行設計。同時臺方擬參考美方災害防治、預警與緊急應變協議，以因應愈來愈嚴重的豪雨災害。

最後並預告國際地震工程研討會將於 2013 年 5 月 20 日至 22 日於舊金山舉行，將結合辦理第一屆國際公路橋梁地震工程研討會，屆時新海灣大橋(New Bay Bridge)已接近完工，歡迎臺灣組團參加。

表4. 第8屆臺美公路與橋梁工程研討會議程表

June 13, 2012 (Wednesday)		Day 1	
Time	Presentation	Speakers	Moderator
13:30 – 13:50	<i>Welcome Address / Opening Remarks</i>	Myint Lwin, FHWA Men-Feng Wu(吳盟芬), THB	Phillip Yen
13:50 – 16:10 (Note: 15 min quick break if needed)	<u>Theme I: Bridge Maintenance and Construction Technology, including ABC</u> Precast Bent System for Use in High Seismic Regions National Freeway bridge Maintain and Management Practices AASHTO Domestic Scanning Technology on Bridge Maintenance Development of A Life-Cycle Based Bridge Management System in Taiwan Construction Connection Detail Technology for Extreme Loads The Management Experience and Feedback of life-cycle maintenance for Bridges in Taipei, Taiwan, R.O.C.	Lee Marsh Shu-Ann Jao (饒書安) Harry Capers Rong-Yau Huang (黃榮堯) W. Phillip Yen Chii-Jang Yeh (葉啟章)	Phillip Yen Ching-Lung Liao
16:10 – 16:30	<i>Break</i>		
16:30 – 17:30	<i>Discussion Session of Cooperative Tasks in Bridge Inspection Training and Related Issues</i>	<i>All Participants</i>	Myint Lwin Chung-Yue Wang(王仲宇)
17:30	<i>Announcements and Adjourned</i>		

June 14, 2012 (Thursday)		Day 2	
Time	Presentation	Speakers	Moderator
08:30 – 10:10	<u>Theme II: Bridge Safety Assessment</u> Health Monitoring of a PSC Box Girder Viaduct Retrofitted by External Post tensioning Tendons Pilot Study of the FHWA Long Term Bridge Performance Program Study on the chloride affection to RC structures and the design concrete cover thickness Lessons Learned From Recent Bridge Accidents in the US Design, construction and monitoring feedback of the Shin-Fa Bridge located at provisional lane 27, Kaohsiung, Taiwan, R.O.C.	Chung-Yue Wang(王仲宇) Ali Maher Yin-Wen Chan (詹穎雯) Myint Lwin Chia-Ling Ro (羅嘉麟)	Myint Lwin Men-Feng Wu(無盟芬)

10:10 – 10:30	<i>Break</i>		
10:30 – 11:30	<i>Discussion Session of Cooperative Tasks in Long Term Bridge Performance Program and Related Issues</i>	<i>All Participants</i>	Ali Maher Yin-Wen Chan (詹穎雯)
11:30 – 13:00	<i>Lunch</i>		
13:00 – 15:20 (Note: 15 min quick break if needed)	<p><u>Theme III: Hazard Mitigations</u></p> <p>Watershed Early warning system for bridge multi-hazards mitigation A reliability-based methodology for considering scour effects in bridge design: A framework for discussion by the joint research task on multi-hazard.</p> <p>Advanced Risk Management Program for Rainfall Induced Hazards on Mountain Highways - Applications of the Newly Developed “Directorate General of Highways Precipitation Analysis Method, DiGHPAM” Some Geological Risks in the Mississippi River Framework Structures and Mechanical Contents of Regional Multi-hazard Safety Network for Highway Bridges and Slopes - A Case Study on Lao-Nong River Region A Study on Inspection and Retrofit Codes for Highway Bridges</p>	<p>Kuo-Chen Chang(張國震) George Lee</p> <p>Chin-Fa Chen (陳進發)</p> <p>Tom Leech</p> <p>Wei F. Lee (李維峰)</p> <p>Chun-Chin Su (蘇俊欽)</p>	<p>George Lee Wei F. Lee (李維峰)</p>
15:20 – 15:40	<i>Break</i>		
15:40 – 16:40	<i>Discussion Session of Cooperative Tasks in Multi-hazard Mitigation.</i>	<i>All Participants</i>	George Lee Kuo-Chen Chang(張國震)
16:40 – 17:00	Reports from each Discussion Session	Discussion Session Moderators	Phillip Yen
17:00 – 17:30	<i>Conclusion / Closing Remarks</i>	Men-Feng Wu, THB (吳盟芬) Myint Lwin, FHWA	Phillip Yen

圖 第 8 屆臺美公路與橋梁工程研討會 照片剪影



臺美雙方研討會全體成員合照



研討會資料卷宗



顏文暉博士代表美國致歡迎詞



廖慶隆董事長代表臺灣代表團致詞



第 1 天研討會會場專心聆聽情形



第 2 天研討會會場專心聆聽情形



本局中區工程處饒書安工程司發表



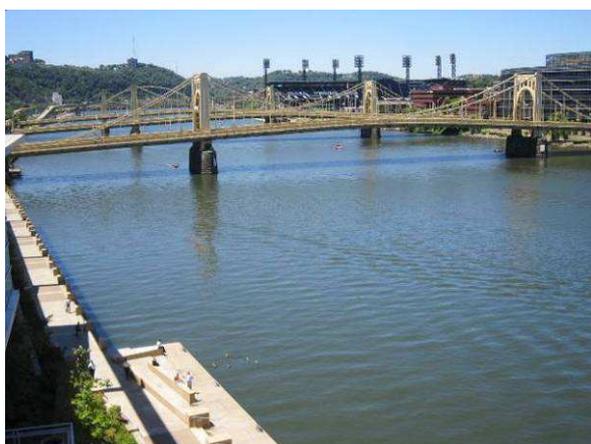
本局屏東工務段蘇段長俊欽發表



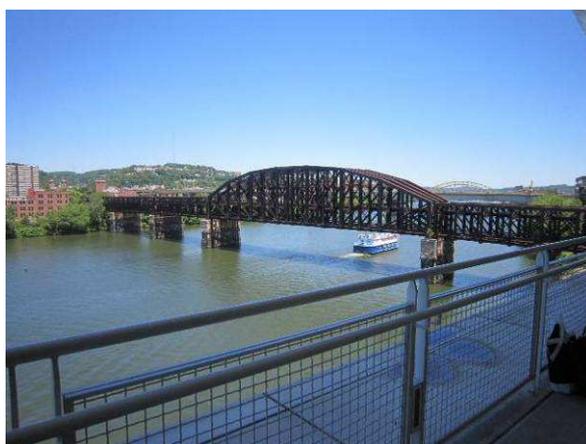
美方講者 M. Lee Marsh 博士



美方講者 Harry A. Capers 先生



第 1 天研討會會場外景致



第 1 天研討會會場外景致



第 1 天研討會會場內景致



第 1 天研討會會場外景致



美方設宴歡迎臺灣代表



Mr. Myint Lwin 進行致詞並演講



第 1 天研討會會場內踴躍討論情形



研討會圓滿成功雙方互贈紀念品

四、主要參訪行程

4.1 波士頓市政參訪

波士頓是美東地區較為早期開發的城市，由當年新移民為爭取自由所留下的各項遺跡，市政府利用紅磚標線構築一條自由之路(The Freedom Trail)，串連 3 公里長的街道連結 17、18 世紀的房舍、教堂和獨立戰爭遺址，呈現該城市歷史發展的重要之路。經過二百餘年的發展，都市內新舊建築交錯，政府單位也努力使得都市發展的過程能兼顧交通的便捷及城市既有風貌的維持，例如市中心位置兩座相鄰但建造日期相差百年的新舊建築物，隔街對望卻不突兀，顯示波士頓當局如何巧妙的將老舊建物與都市地鐵系統相結合。

波士頓馬拉松聞名世界，在馬拉松舉行地點刻劃了歷年馬拉松勝利者名單，以同心圓標示，再逐年向外擴展，此種紀念模式可供國內相關單位參考。

波士頓市區內一座兩代高架橋，可以反應該城市隨著發展的過程，交通運輸的需求量逐年增加，因此市區內常見類似的新舊兩代橋墩並存的模式，應是橋面寬度拓建的緣故。

圖 波士頓市政區 照片剪影



波士頓紅色標線 The Freedom trail



波士頓兩座相隔百年建築



位於古老建物之地鐵站入口



地鐵站入匝處



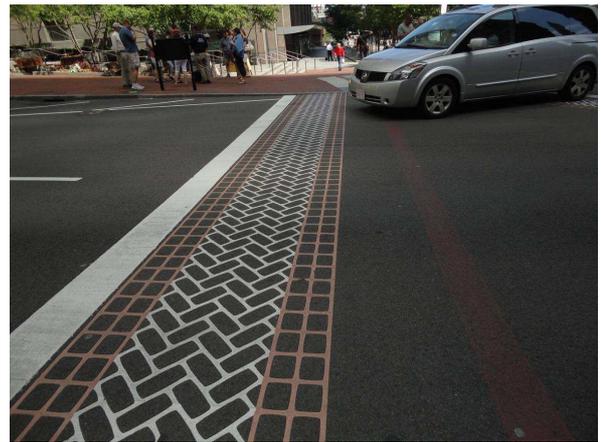
波士頓歷年馬拉松選手勝利名單，以同心圓標示，逐年向外擴展



波士頓市內兩代鋼梁橋



配合都市意象的斑馬線



配合都市意象的斑馬線

4.2 新英格蘭生態公路參訪(I93)

本(9)日及 10 日進行為期 2 天新英格蘭生態公路(93 號公路)參訪，本參訪路段為美國麻薩諸塞州波士頓到新罕布夏州康科德及至 Lake Winnepesaukee 間第 93 號州際公路參訪，93 號州際公路 (Interstate 93, 簡稱 I93) 北端始於 St. Johnsbury, Vermont 與 I91 相連，南至 Canton, Massachusetts 與 I95 相連，全長 189 英哩 (304 公里)。93 號州際公路在波士頓市中心穿過 Quincy, Milton 和 Dorchester 區的部分被稱為「中央動脈」(Central Artery)。

通往新英格蘭地區新罕布夏州的 93 號州際公路因為穿越四季分明的森林保護區，所以沿途建設尤其重視與生態環境的搭配調和。新英格蘭地區幅員遼闊，93 號州際公路線形規劃在很多路段可以筆直通暢，隨著當地丘陵地形緩和起伏，並在雙向車道之間設置大面積綠色排水廊道，以將路面積水集中收納至分隔帶間的地下排水管中。93 號公路在跨越地方平面道路時因為跨距並不是很大，因此多半以單跨簡支的方式構築，而跨越橋梁之橋台也常見使用扶臂式擋土牆的型式。

部分路段因路幅寬度稍有不足，不易容納雙向四車道，根據實用上需求，一方面採用節省佔地空間的分隔柵欄，另一方面給予車道需求較大的行車方向(例如上坡方向)雙車道使用，因此成為車道不對稱路段。下列圖片中的山頂經常有風化碎石剝落，而這類落石情形並不易防治，因此當地處理方式為在風化岩坡山腳下設置崩落的落石堆積帶，在堆積帶和公路之間再栽種植栽以有效分隔公路與落石區域，以自然平衡的方式來迴避公路遭受落石危害的機會，為新英格蘭地區常見的邊坡穩定工法。然而此種邊坡穩定工法的先決條件是需要有足夠的公路腹地作為緩衝區隔範圍。由山頂遠眺 93 號州際公路，可清楚看到該公路順著地形而走，蜿蜒於山谷之間。

本次生態公路經參訪，綜合以下幾點特色：

1. 公路設置為南北路線獨立設置，以最小邊坡開挖，避免生態破壞。
2. 沿線設有多處生態廊道，減低動物生態之影響。
3. 公路標線設計採無標鈕設置，以標線外側之壓紋路取代標鈕，以達環保。
4. 路邊排水設施多以盲溝設計。
5. 橋台護坡多以大塊礫石(或花崗岩)及布織布分層設置，減少使用混凝土設施，充分展現就地取材及環保。
6. 該區域橋梁墩柱均相當細小，顯示該區為非地震帶上，設計均較簡單，避免過度設計、浪費資源。
7. 本路段屬高緯度區域，冬天積雪易影響路邊標示牌面之視線，故路邊標

- 記桿普遍較高，約 2 公尺。
8. 每年路面積雪融化，路面維護旺季多在每年 3~10 月辦理。
 9. 路邊邊坡多以自然邊坡處理(採 1:2 坡度)並以大碎石(花崗石)鋪於坡面表層，避免水流掏刷邊坡，另一面面亦減少混凝土擋土設施之使用，充分展現環保及就地取材的概念。
 10. 鋼板護欄起始端點以防護板處理，降低撞擊的危害。

圖 新英格蘭生態公路參訪照片剪影



道路線形筆直通暢隨地形起伏



雙向車道之間為綠色的排水廊道



跨越橋梁之引道路堤及橋台型式



車道不對稱路段



路旁邊坡之穩定工法



93 號州際公路蜿蜒於山谷之間



跨越橋橋台護坡多以大塊礫石鋪設



生態公路南北路線獨立設置



公路標線設計採壓紋路取代標鈕



生態公路南北路線獨立設置



路邊排水設施多以盲溝設計



生態公路邊坡多以自然邊坡處理



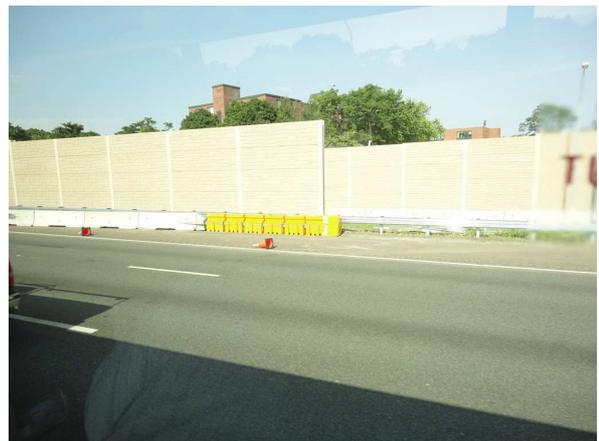
生態公路沿線鐵路橋一景



生態公路鋪面重新鋪設未劃設標線景致



鋼板護欄起始端點以防護板處理，降低撞擊的危害



施工槽化區在 RC 護欄前端布設充水護欄，增進明視度並降低撞擊的危害性

4.3 麻州交通廳參訪(波士頓中央大動脈計畫)

11日上午，波士頓交通廳官員於會議室簡報介紹參訪之工程概述，簡報後由我方代表致贈禮物予美方代表，會後由美方工程人員帶領我們前往工地參訪。本次參訪透過 FHWA 的連繫安排，由麻州交通廳(Mass DOT Office)第 6 工程處(the Acting District 6 Highway Director)的處長 Walter Heller 先生負責接待，先對本代表團進行 CA/T 計畫之概述，並且雙方就多項工程技術乃至民眾抗爭等問題充分交換意見，並先行透過模型來導覽該計畫之內容。第 6 工程處隨後安排代表團參訪 4 號通風井(ventilation building 4, VB4)，公路地下化後，通風井旁的地面有大片綠地可供遊憩使用。4 號通風井位在市中心，現場由設施營運及維護工程師 Antony Duros 先生進行解說，配合由 Mario 先生介紹通風井內的備用電力機組。在 4 號通風井的地下配有多組大型抽風機，可視廢氣排放量的需要決定啟動抽風機的數量，期間公路總局之吳局長也十分關心隧道內通風的相關問題。

另外麻州交通廳橋梁及結構工程師 Lev Bentsman 先生帶領代表團參觀 Leonard P. Zakim Bunker Hill Bridge，該橋是全美第一座非對稱式(8 車道在橋塔內，2 車道在橋塔外)、鋼材及混凝土複合桁架設計之斜張橋全長 1,400 公尺，已成為進入波士頓市中心的新地標，並以波士頓的民權活動家 Leonard P. Zakim 命名，同時斜張橋兩側張開斜拉的纜索也如同滿張風帆，以映照波士頓曾為造船中心的歷史地位。在交通廳工程人員的帶領下，團員由維修通道下到鋼箱梁內檢視，箱梁內由軌道維修車作為移動工具，但該維修車並無配備動力，移動時需要操作者人力趨動，代表團亦到橋下參觀並合影。

CA/T 計畫的參訪行程最後一站來到公路交控中心(Highway Operations Center, HOC)，主要負責控制各項訊息號誌(Variable Message Signs)與閉路電視影像，並在各工程處執勤空檔協助維持交通的控管。由 Michael MacQueen 先生詳細介紹交控中心的各項業務與系統特色，也包含在監控螢幕上讀取各通風井即時監測情形。

有關中央幹道/隧道工程及斜張橋梁，以下作進一步詳細說明介紹：

1. 中央幹道/隧道工程介紹：

波士頓市面積約 125 平方公里，人口 65 萬，這個海港城市周圍有十多個市鎮，包括哈佛大學、麻省理工學院所在的康橋市等，這些城鎮的結合體被稱為大波士頓區。

波士頓的交通大改造-中央幹道/隧道工程 (Central Artery/Tunnel Project, CA/T)，曾被評為上世紀 90 年代至本世紀初的世界八大建築工程之一。其餘 7 個分別是加拿大多倫多的 SkyDome 體育場、中國的三峽工

程、歐洲的英吉利海峽隧道、美國的丹佛機場、馬來西亞的雙子星塔、日本的明石大橋和香港國際機場。

麻薩諸塞州（麻省）是英國殖民者在北美最早的殖民地之一，波士頓作為麻省的首府已有近 380 年的歷史。18 世紀中葉，波士頓成為北美第一大城市。由於該城連接各地的道路呈車輻般的放射狀，因此又被稱為“車轂之城”。在汽車出現以前，波士頓的交通就常常混亂堵塞。到 20 世紀中期，市中心的交通擁堵更為嚴重，尤其是南北向的交通路線，情況更糟。鑑於這種情況，波士頓市政工程委員會推出高架公路計劃，並於 1959 年在市中心和濱水區之間架設完成了一條被漆成綠色的高架中央幹道。



原波士頓龐大綠色高架中央幹道把市區割裂，並佔據巨大的城市空間，擋住陽光

這條高速公路是在聯邦州際公路標準訂出之前建成，因此設計有諸多不合理之處：如急轉彎、出入口過多、駛入匝道沒有合併車道、車輛負荷持續上升等，使這條穿越鬧市區的 6 車道中央幹道長期發生塞車。更不幸的是，原本配合中央幹道解決東西向交通流量的 95 號州際公路延長線計劃，因所在區域民眾強烈反對而被撤銷，這令中央幹道不僅承載著南北向的交通流量，還要承載東西向更大負荷的流量。1959 年中央幹道通車時，2.4 公里（約 1.5 英里）長的公路段承載流量為 7 萬 5000 輛/天，到 1990 年已升至 19 萬輛/天，每天堵車持續 10 小時以上，交通事故率 4 倍於國家公路平均水平。如果當時不做大幅改造，到 2010 年波士頓將每天堵車 16 個小時以上。

中央幹道的修建，還須造成數以千計的居民和企業被迫搬遷，同時鬧市區、市場和濱水區之間的歷史連接也被隔斷。當地的企業想要打破區域

市場阻隔，歷史學家希望濱海區與市區重新聯合起來，附近居民想要把這條擋住陽光、投下陰影的“綠色怪物”拆除。20世紀70年代，麻省理工學院工程師比爾雷諾茲（Bill Reynolds）和後來的麻省運輸部部長弗雷德薩爾武奇（Frederick P. Salvucci）提出將整個公路轉移到地下的構想。

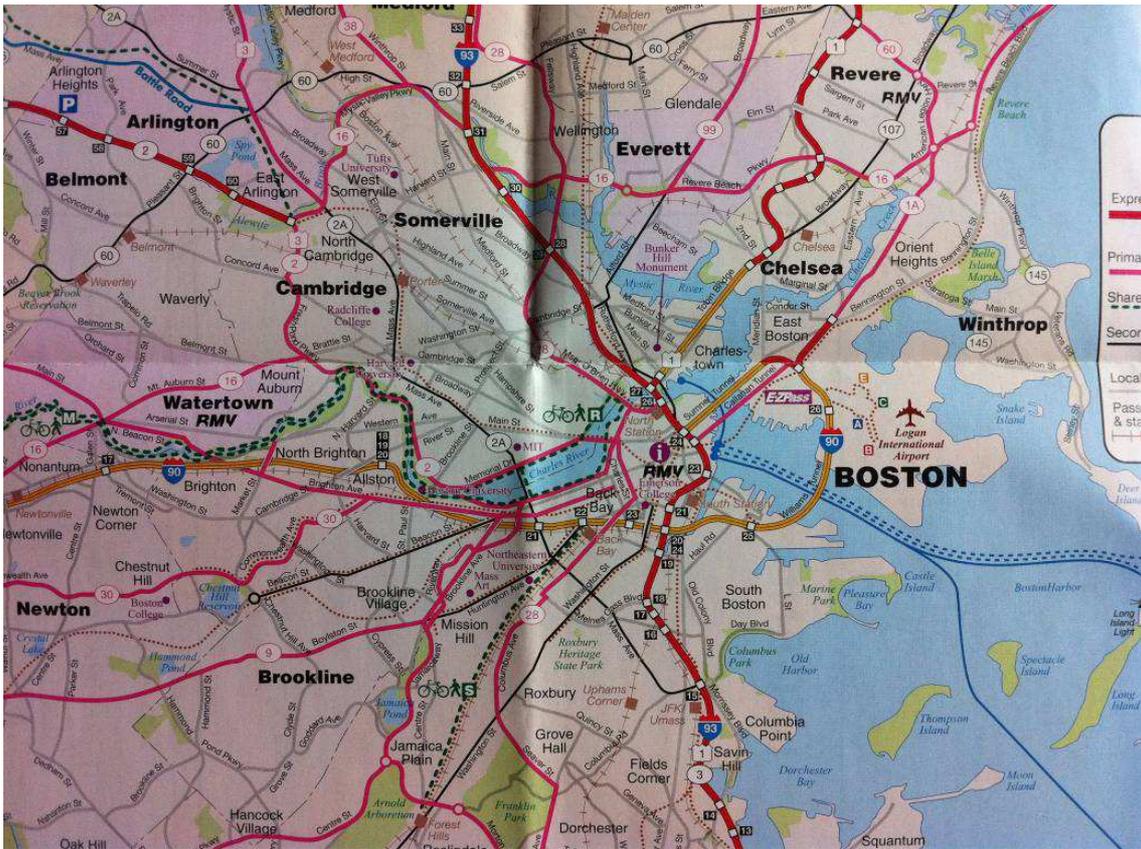
掘隧道架大橋建綠廊

故波士頓中央幹道/隧道工程（簡稱CA/T）改造工程規劃於1982年正式啟動，對環境影響的評估也於1983年展開。然而，由於資金、設計爭議、公眾溝通、建設模式、規劃與施工難度等眾多因素，它從1991年才開始動工，直到2006年主體工程才算基本完成，目前仍有收尾工程在進行中。這個曠日持久的改造工程被當地人親切稱為“Big Dig（大挖掘）”。CA/T主要包括以下8個項目：

- (1) 延長90號州際公路，從它的前終點站南波士頓市中心一直沿著波士頓港到羅根機場（Logan Airport）的特德-威廉姆斯隧道（Ted Williams Tunnel）。
- (2) 更改穿過波士頓市中心的93號州際公路，其中包括穿越城市中心的隧道。
- (3) 完成4條主要公路的相互交匯。
- (4) 修建跨越查爾斯河（Charles River）的2座大橋，其中有世界上最寬的斜拉索橋-萊昂納多·P·扎科姆·邦科爾山橋（Leonard.P.Zakim Bunker Hill Bridge）。
- (5) 建造世界上最大的公路隧道通風系統。
- (6) 建造世界上最先進的電子交通管理和事故應急體系。
- (7) 拆除現有的城市高架中央幹道（The Central Artery）。
- (8) 新建超過150英畝的城市公園和開放空間。

“大挖掘”是美國歷史上規模最大、耗資最多、工期最長、難度也較大的城市交通道路改造項目，在造價與工期上都是史無前例，其主體包括：

- (1) 建設第三條機場港口隧道-連接90號州際公路延長至羅根國際機場的特德-威廉姆斯隧道（Ted Williams Tunnel）。
- (2) 將穿越波士頓中心的高架中央幹道（I93州際公路延長線）拆除，改在地下建成一條長約5.6公里（3.5英里）的隧道。
- (3) 建設跨越查爾斯河(Charles River)的萊昂納多·P·扎科姆·邦科爾山橋（Leonard P. Zakim Bunker Hill Bridge），解決北部市區的交通。
- (4) 在原中央幹道拆除後露出的公共空間進行大面積綠化，建設露絲肯尼迪綠廊(Rose Kennedy Greenway)等項目。



波士頓市區公路網圖



車輛從高架快速乾道直接駛入“地道(隧道)”把“綠色怪物”埋入地下



波士頓大挖掘項目示意圖



波士頓，車輛駛出 93 號州際公路的南端出口，暢通無阻

150 億美元工程的分包

工程最初預算只有 60 億美元，投資主要來自聯邦政府，因為這段高速路是州際高速公路的一部分，按照美國法律，90% 的資金應該由政府出，剩下的 10% 則由當地財政負責，而當地政府又主要依靠市民所繳納的汽油稅與路費等。雖然深受交通堵塞之苦的市民很支持，但聯邦議會遲遲沒有批准預算案。到了 1990 年，原有高架路的車流量已達 19 萬輛/天，波士頓每年因塞車造成的經濟損失高達 5 億美元，波士頓成了有名的塞車之城，這讓聯邦議員們也看到了該項目的必要性，終於在 1991 年決定批准預算案，可是由於通脹因素，再加上建設過程又出現許多新技術，像要被使用在新隧道中的數位攝影技術，原來的預算已經不夠，又逐步追加到 150 多億美元，而總費用最終卻超出了 150 億美元，加上利息可達 219.3 億美元。

1997 年，州立法機關建立了麻省公路管理局，隨即接管了中央幹道/隧道工程，由於麻省公路管理局缺乏管理這麼大規模工程的經驗，它聘用了合資企業貝克特爾-柏誠公司 (Bechtel Corporation 和 PB) 提供最初的設計、管理設計顧問和施工承包商，追蹤項目成本和進度，對項目決議提出建議，有時還充當該管理局的代表。

因為工程規模太大，任何公司單獨承擔都力所不及，所以大挖掘的設計和施工又被分成了數 10 個子項目，由若干承包商承擔，但各個承包商之間有明確規定的界面。大的重型建築承包商包括 Jay Cashman 公司、Modern Continental 公司、大林公司 (Obayashi Corporation)、Perini

Corporation 公司、Peter Kiewit Sons' Incorporated 公司、JF White 公司和 Skanska USA 公司。

最終，麻省收費公路管理局將自己的僱員和貝克特爾-柏誠公司的僱員合併。雖然這種做法的最初目的是為了使管理變得更加有效，但是在一定程度上卻阻礙了麻省公路管理局獨立監管項目活動的能力，因為實際上雙方已經變成了項目合夥人。

4 個主要公路交匯，穿越 7 條地鐵隧道的地下高速公路

要在對交通流量不進行嚴格限制的前提下，在承載量巨大的中央幹道下方挖掘建設地下高速公路，難度很大。整個工程被分為 50 個獨立的部分，將向下挖至約 26 公尺深處，而最深可達 37 公尺。因為舊的高架中央幹道（在整個建設過程中仍在運行）裝靠在設計挖溝區的橋塔之上，工程師得先利用地下連續牆技術製造出 37 公尺深的混凝土牆，來支撐中央幹道，這些混凝土牆，既穩固了公路，也防止了施工現場的坍塌。

施工面臨的另一個挑戰是這條地下高速公路要先後遇到 7 條穿過它的地鐵隧道。這 7 條軌道每天承載 4 萬多名通勤者和 400 多輛列車。這是在鐵路線下方進行的世界上規模最大的隧道工程。為了避免隧道挖掘過程中列車線路多次移位，專門製造了一種特殊的千斤頂支撐地面和軌道，以保證地下開挖順利進行。

其中最大的挑戰是 90 號和 93 號州際公路的地下部分，它位於 FortPoint 隧道底下，工程師在南波士頓附近的巨大盆地上建造 6 個矩形隧道施工面，然後用水泥灌注進去。這部分長度為 160 公尺(1/10 英里)的隧道造價就高達 15 億美元，FortPoint 隧道交叉路口是世界上造價最高的公路。在開挖的過程中，施工隊伍還利用地層凍結技術使施工地面保持穩固。地層凍結技術不但可以提高施工的安全性、有效性，還可減少環境污染，因為採用這種方法，需要運出去的污染填料比傳統的隨挖隨填方法要少的多。為了建造越過這條隧道的地下連續牆，必須在這條隧道下面進行挖掘並搭建一座地下混凝土橋來支撐隧道的重量。I90 和 I93 的連接困難所在，是要在不破壞現有交通基礎設施的前提下，將約 2.4 公里(1.5 英里)長的主線隧道穿過 8~10 車道的公路，使 4 個主要公路交匯。

CA/T 工程成功的處理了這些微妙的關係，這體現在施工理念與管理兩個層面。在工程實施中，使用新的建造技術和專門化的設備用來滿足工程的特定要求和擺脫空間的束縛，特別是其在挖掘隧道之前對原有中央幹道的支撐。這條隧道是在嚴密的環境中挖掘建造，並沒有打擾現存的交通設施。現代大陸建築公司 (Modern Continental Construction Corp.)，獲得超過 10 億美元的合同，使用先進的技術來應付這項艱鉅的任務：保持高架公路正常運行，在下面低淨高的空間施工。同時，工程設計了複雜的 I90 和 I 93 交換計劃，用起重機抬起 3 條 24 公尺(80 英尺)寬和 12 公尺(40 英尺)高的長條隧道，來完成 I90 和 I 93 的連接。

此外，由於取代中央幹道的隧道所穿越的鬧市區大部分是填埋區，地下有地鐵網絡和數不清的管道和公用事業線路。另外，施工人員還遭遇了許多意想不到的地質和考古學障礙，小到冰川碎塊大到埋於地下的房屋地基和填海土地內的沉船，環保機構還曾擔心挖掘會釋放毒素，並可能驅趕數以百萬計的老鼠到波士頓街頭。

舊的中央幹道建設時，曾經有超過 2 萬名波士頓居民被迫遷居。不同於其他任何主要公路項目，此次大挖掘項目的獨特挑戰在於它的整個實施過程沒有對波士頓的交通、商業和居民生活造成中斷。

大改造的“舒緩工程”

大挖掘疏通了波士頓原先相互混合的東西向與南北向的交通流量。結果 93 號洲際公路、機場隧道和連接橋上的車輛行車時間減少了 62%。按照 2004 至 2005 年間的物價水平來說，旅客每年大概節約 1.66 億美元的旅程費用；下午高峰時間內中央幹道北行方向的行程時間更是減少了 85.6%，機場往返市區的時間也大大縮短。

新的地下中央幹道設計容量為每天 24.5 萬輛車，坡道數量減至原來的一半。特德-威廉姆斯隧道每天的運量也達到 9 萬輛車，不僅使通往羅根機場的交通變得十分便利，而且緩解了中央幹道的交通堵塞。

越發達的城市，交通規劃就越細化，不僅要考慮機動車交通，還要考慮自行車與行人以及城市景觀等方面的需要。高架的中央幹道拆除後，城市重新獲得了大量公共空間，也為“大挖掘”後續的“舒緩工程（包括運輸、人行道、自行車道和公園）”做好了準備。在被拆除的高架中央幹道空地上建成一條貫穿南部碼頭區和北區盡頭的綠色廊道，即露絲·肯尼迪綠道（Rose Kennedy Greenway），該綠色廊道共有 30 英畝，包括 3 個新建的公園：北端公園（North End Park），中部的碼頭區公園（Wharf District Park）和南端的中國城公園（Chinatown Park），以及一個全新的林蔭大道、重新改造美化過的街道和行人通道。在查爾斯河流域（Charles River Basin）完成了對要塞岬海峽（Fort Point Channel）、拉姆尼濕地（Rumney Marsh）與美景島（Spectacle Island）等主要海岸線的修復，其中還包括最有特色的波士頓港灣。

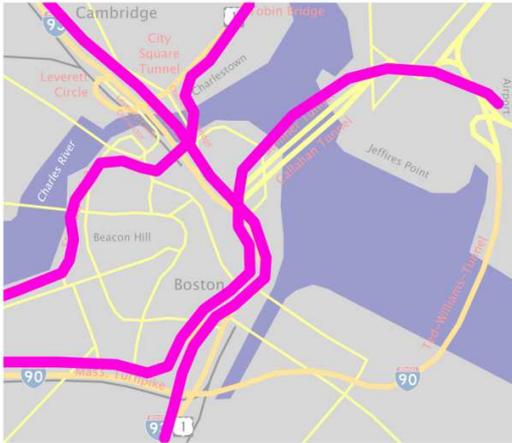
該工程還帶來了超過 45 個公園和大型公共廣場。開放空間與交通空間的整合把主要交通引入地下隧道後，為了修復城市肌理，CA/T 工程興建了 300 多英畝的綠地和開放空間，其中包括數十個公共空間以及連接地面的交通空間。

“大挖掘”的後續工程目前仍在進行，波士頓人的夢想已逐步兌現。邊建設邊交付使用讓交通在不知不覺中變得越來越順暢，穿梭如織的道路網絡讓人們盡情地享受著開著車忽而地上忽而地下的快感，污染減少，城市景觀也得到極大改善。

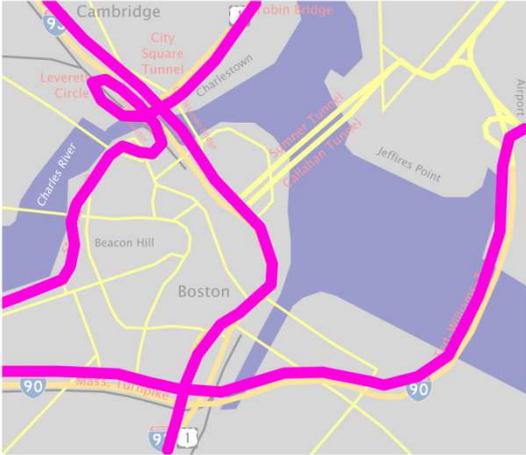
綜觀“大挖掘”工程，從立案起就整個過程公開化。主管部門提出申請後，充分尊重公眾意見，市民有許多機會參與討論並表達他們的意見，做到集思廣益，項目建設全程展示。波士頓政府有個“Big Dig” 專門網站，任何人都可以上去表達意見及查詢施工規劃與進度、每一年的施工情況等。裡面還有一些工人施工的圖片，甚至在挖掘過程中找到了什麼特別的東西也都放在網上展示，增加市民的認同感。而在拆遷與賠償方面，由於整個大挖掘工程沒有涉及到民用住宅，但涉及到一些企業，最後依據法律進行了相應賠償。



查爾斯河



中央動脈改善前路線圖



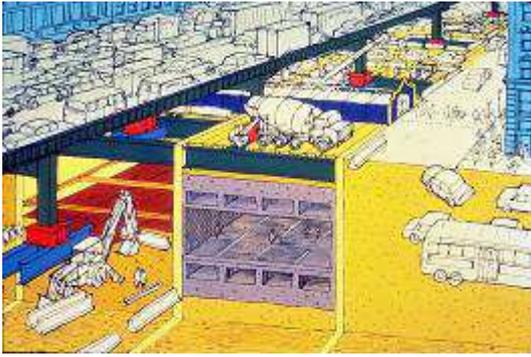
中央動脈改善後路線圖



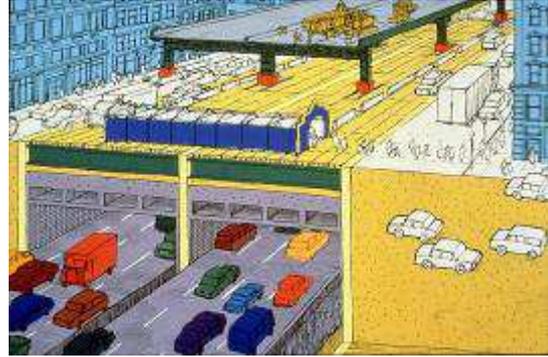
中央動脈改善前



中央動脈改善後



隧道施工示意圖



隧道完工後拆除地面高架道路示意圖



中央動脈改善前後比較



改善後綠帶



改善後綠帶



市區觀光鴨子船

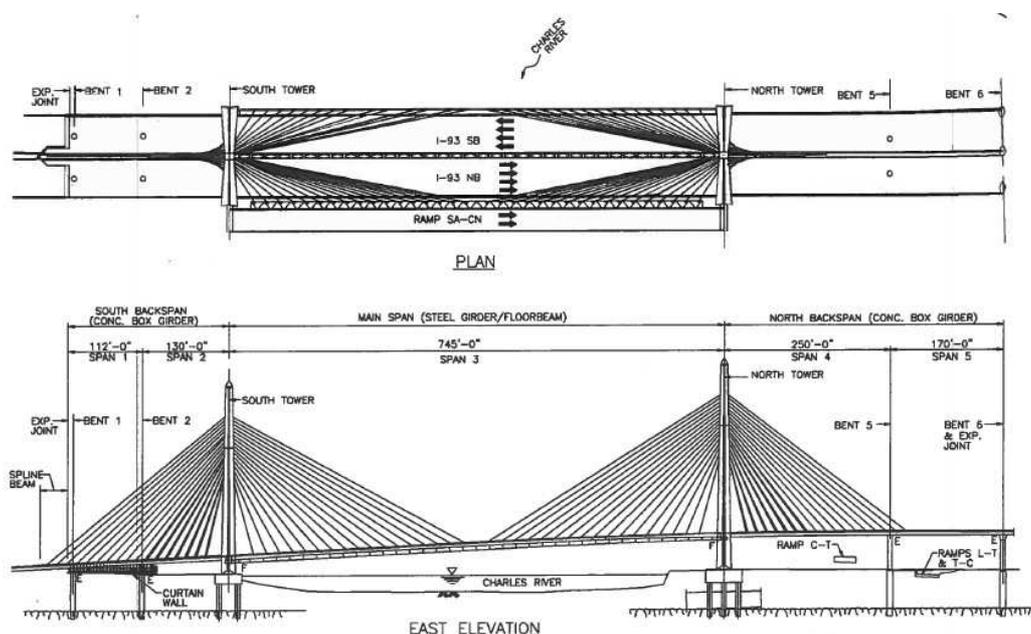
2. 查爾斯河橋梁，斜張拉橋

位於地下中央幹道北端的萊昂納多·P·扎科姆·邦科爾山橋(Leonard P. Zakim Bunker Hill Bridge)也己成為波士頓的另一個地標性建築。這座 10 車道的斜拉橋首次採用了鋼索和混凝土的混合設計。

該斜張拉橋是世界上和美國中之不對稱混合設計最寬的斜拉橋。大橋開通階段 I93 北行 4 車道於 2003 年 3 月建成通車，在 2003 年 12 月 I93 南行 4 車道亦開通，其餘 2 條車道亦在 2005 年初開通。斜張拉橋被認定為通往波士頓市中心壯觀的新里程碑。2004 年春季邦科爾山橋取代日益惡化的雙層 6 車道橋梁。

CA/T 項目還建造了一個平行 4 車道橋梁，萊弗里特圈聯絡橋，於 1999 年 10 月開通。這些橋梁增加了 1 倍以上至 14 車道越江能力。

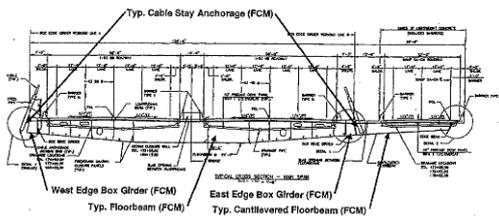
萊昂納多·P·扎科姆·邦科爾山橋融合與波士頓凱爾特人隊的未來及其歷史的過去。瑞士橋梁設計師 Menn 構思橋梁其倒 Y 形塔反映鄰近的查爾斯頓“邦克山紀念碑的形狀”。橋梁纜線表明帆船，也喚起造船中心東波士頓的歷史。橋長 1,432 英尺，出現在銅鑼灣街附近的 TD 花園地下中央動脈，過河使 2 個 I93 和 1A 幹線的連接。橋梁設計進行 10 車道的交通，8 車道途經雙塔和東側的兩個懸臂。懸臂部分，可容納從薩姆納隧道北端的北行交通，提供橋梁的獨特不對稱設計。梁地板橫梁和兩個雙塔支持橋長 745 英尺，183 英尺寬的主跨。鋼地板橫梁，支持主跨，伸出支持懸臂式車道。Zakim 邦克山大橋是有史第 1 個在美國“混合”斜拉橋橋，在其框架中使用的鋼和混凝土，主跨鋼箱梁和鋼地板橫梁，而背面則包含跨度後張預應力混凝土。



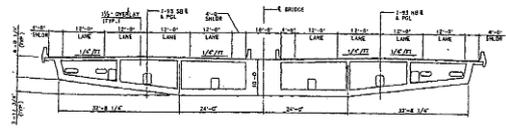
斜張橋平立面



斜張橋現場實景



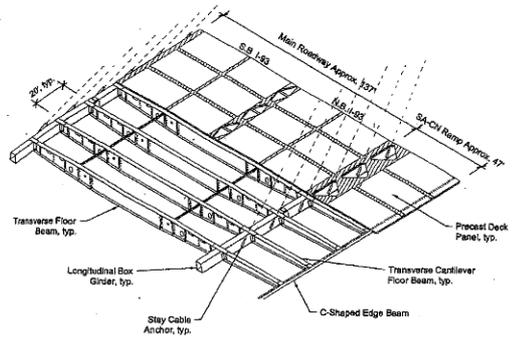
斜張橋鋼梁斷面



預力箱形梁斷面



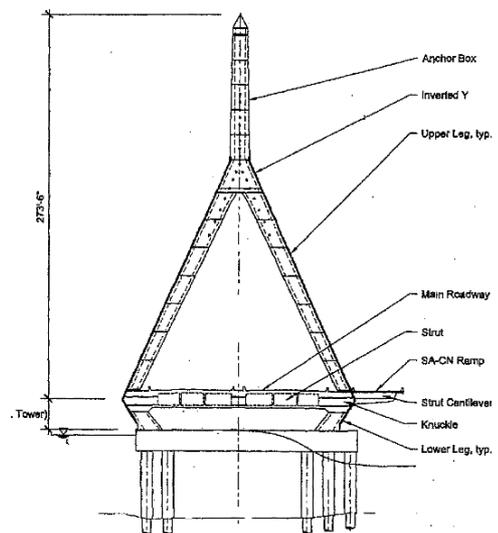
斜張橋鋼梁 實景



斜張橋鋼梁配置示意圖



斜張橋橋塔實景



斜張橋橋塔斷面

圖 波士頓交通局參訪照片剪影



麻省波士頓交通廳辦公大樓



Walter Heller 處長介紹 CA/T 計畫內容



我方團員專心聆聽美方官員簡報



聆聽波士頓交通廳官員簡報



Antony Duros 先生在 4 號通風井入口處進行解說



工程處辦公室陳列 CA/T 計畫縮尺模型



T.P. O'Neill 隧道北側入口



隧道內可連接至市中心內各街道



隧道通風系統



Mario 先生介紹通風井內的備用電力機組



交通廳官員現場介紹隧道通風系統



Lev Bentsman 先生在斜張橋上解