

出國報告（出國類別：研習、考察）

赴美參加「2006 臺美橋梁維護工程研討會」出國報告

服務機關：交通部

姓名職稱：何森永專員

派赴國家：美國

出國期間：95 年 9 月 19 日至 9 月 28 日

報告日期：95 年 11 月 20 日

# 摘要

本次考察地點為美國舊金山，行程中搭乘遊艇參觀環繞於舊金山周圍的幾座橋梁，計有 Richmond-San Rafael Bridge、Bay Bridge、Golden Gate Bridge、New Carquinez Bridge/Alfred Zampa 紀念橋梁(吊橋)等，美方人員對其均有詳細解說。

第二屆台美橋梁工程研討會為期兩日，討論之議題涵蓋橋梁維護策略、複合災害(multi-hazard)、先進技術等相關論文，內容相當廣泛且豐富。

參訪行程中計有：魔鬼坡 (Devil's Slide)、美國公路設施建設、美國加州交通廳 (CALTRANS OFFICE) 及舊金山灣區橋梁工程 Benicia-Martinez Bridge 等，均使得與會人員獲得相當多之體驗。

# 目錄

摘要.....	1
目錄.....	2
壹、目的.....	3
貳、行程摘要.....	4
參、考察過程.....	5
肆、考察心得.....	30
伍、建議事項.....	31
陸、附錄(隨團成員).....	32

## 壹、目的

一、延續 2005 台美研討會決議辦理，擬維持台美雙邊持續性之專業交流。二大

主軸(1)修護補強技術、(2)施工法；了解制度、發包、採購程序等。

二、美方希望能瞭解台灣在高危險地震區設計的概念及災害處理。

## 貳、行程摘要

日期	行程	參訪考察事項
9月19日 (星期二)	台北飛往舊金山 SAN FRANCISCO BR028 23:30/19:55	今日集合於中正國際機場，飛往美國西岸舊金山。於當日晚間抵達，專車接往飯店休息！。
9月20日 (星期三)	舊金山—工程參訪， 第五屆美國公路耐震 研討會閉幕式。	Boat tour San Francisco Bay (Technical tour of NSC)
9月21日 (星期四)	舊金山--2006年臺美 橋梁工程研討會	第二屆台美橋梁工程研討會為期兩日，討論之議題涵蓋橋梁維護策略、複合災害(multi-hazard)、先進技術等相關論文，內容相當廣泛且豐富。
9月22日 (星期五)	舊金山--2006年臺美 橋梁工程研討會	全日於飯店參加會議。在整個討論的過程中，台美雙方雖討論熱烈，但卻氣氛融洽，展現出雙方十足的交流誠意。相信經由本次會議實質之討論，無論在研討會本身，或是其他如經驗、成果、研究的交流活動建議上，都立下了相當良好的基礎，而這也是本次行程中的最大收穫之一
9月23日 (星期六)	舊金山—工程參訪	加州公路生態工法與 Devil's Slide 地滑整治現場觀摩
9月24日 (星期日)	驅車前往 Sacramento	途中參訪美國公路設施建設
9月25日 (星期一)	拜會及參訪美國加州 交通廳	CALTRANS OFFICE
9月26日 (星期二)	舊金山—工程參訪	舊金山灣區橋梁工程 Benicia-Martinez Bridge 參訪
9月27日 (星期三)	舊金山市區參觀 下 午搭機飛往台北 BR027 18:30/22:10+1	
9月28日 (星期四)	到達台北	於今日晚間抵達台北，結束此次美國西岸之會議參訪行程！

## 參、考察過程

### 一、2006/9/19 (星期二)

台北 飛往 舊金山 SAN FRANCISCO BR028 23:30/19:55

今日集合於桃園國際機場，飛往美國西岸舊金山。於當日晚間抵達，專車接往飯店休息！。

### 二、2006/9/20(星期三)

舊金山—工程參訪，第五屆美國公路耐震研討會閉幕式

Boat tour San Francisco Bay (Technical tour of NSC)。

#### ●Richmond-San Rafael Bridge



Richmond-San Rafael Bridge 是最北舊金山灣東西方橫穿，連接 Richmond 在東部到 San Rafael 在西部末端。它長期測量 5.5 英哩(29,040 英尺/8,851.39 m/8.9 公里)。在它 1956 年修造的時候，它是世界的最長的橋梁的當中一個。



在東西兩向橋梁將足夠容納三個車道。第三條車道被使用如同故障車道和當前被標記沿橋梁以標誌緊急停車處。但是，1989年，在 Loma Prieta 地震以後，第三條車道被開放當一條正常車道。但另一方面，一旦海灣橋梁再開了，第三條車道將回到緊急車道。

## ● Bay Bridge





Bay Bridge 跨過舊金山灣連接奧克蘭和舊金山。每天運載大約 270,000 輛車。橋梁包括二主要段連接一個中央海島，Yerba Buena 海島。西部段終止在舊金山包括二座吊橋兩座吊橋間以一塔式的端點連接。東部間距終止在奧克蘭包括橫穿從 Yerba Buena 海島向奧克蘭由一個 10,176 隻腳(3.1 公里)組合的雙重懸臂式。

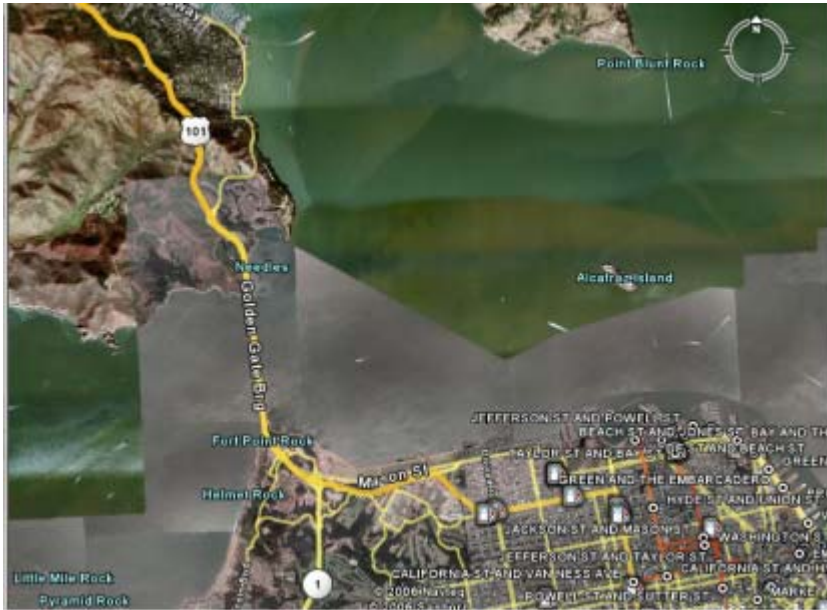


1989 年 10 月 17 日，發生芮氏規模 7.1 Loma Prieta 地震，一 50 英尺(15 m) 橋梁的部份上甲板崩潰了，間接地造成一死亡(某些人民要求這實際上歸結於交通的 misdirection 由加利福尼亞高速公路巡邏)。

本橋的東區段作了很大的修改，如上兩圖所示。並且在細部構件接合，原始之熱铆釘作了更換；而在繫條與其他次要構件作了改變，增加其材料之強度與補強，以因應其未來遭逢地震之耐震能力，相關照片如下兩圖所示。



## ● Golden Gate Bridge



金門大橋跨過金門，跨越舊金山灣臨太平洋。它連接舊金山，在舊金山半島的北端。整個橋梁跨過 1.7 英哩(2.7 公里)；主要間距為 4,200 英尺(1,280 m)，離海平面 220 ft (67m)。二塔上升 746 ft(227.4m)在水之上。主要懸浮纜繩的直徑是 36 3/8"(0.92 m)。各纜繩能舒展 40,000 英理由 27,572 根個體 0.192"直徑導線的組成。

●New Carquinez Bridge/Alfred Zampa 紀念橋梁(吊橋)



New Carquinez Bridge /Alfred Zampa 紀念橋梁(吊橋)，全長 1.06 公里，為 I-80 州際公路跨越 Carquinez 海峽連接 Vallejo 與 Crockett 的平行橋梁。原有兩座結構南下線(I-80 west)為三車道懸臂桁架結構，建於 1927 年。原始的橋梁為鋼懸臂式橋梁，這是第一主要橋梁在舊金山灣區。1958 年，一座相似的平行的橋梁被修築沿著原始一個容納持續增長的交通北上線(I-80 east)為四車道懸臂桁架結構，建於 1958 年橋寬 52 呎，長 3300 呎，高 130 呎，每日交通量 104000 輛。Carquinez 大橋因新建吊橋完工，現正進行拆除，加州交通廳工程師認定此橋須進行耐震補強以確保在 Franklin 斷層可能引起的 6.5

級地震中無嚴重傷亡。

補強工作包括：

- 1.加強或置換上部結構之桁架構件
- 2.加強南端五號橋墩樁基
- 3.補強北橋台
- 4.加強 Crockett 交流道和引道結構

新建吊橋長 3474 呎, 高 154 呎, 橋塔高 430 呎, 提供三條普通車道, 一條高乘載車道, 和一條人行/自行車道, 工程於 2003 年底完工, 耗資約兩億美元, 交通量 116000, 2003 年一座新吊橋被興建替換它。這座新橋梁被命名了 Alfred Zampa 紀念橋梁, 此一興建橋梁之特色以步行者和自行車道路為主, 完成盤旋整個海灣地區的腳踏車足跡。

### 三、2006/9/21(星期四)

舊金山--2006 年臺美橋梁工程研討會

第二屆台美橋梁工程研討會為期兩日, 討論之議題涵蓋橋梁維護策略、複合災害(multi-hazard)、先進技術等相關論文, 內容相當廣泛且豐富。以下針對研討會中所發表文章之統計, 及會後腦力激盪後討論出之具體結論加以敘明。

#### (一) 議程內容之統計與檢討

本次研討會之議程安排自上午 8 點至下午 4 點 30 分，議程相當緊湊。

由美方代表 Myint Lwin 發表之 “US Highway Bridge Program” 揭開序幕，後由我方及美方講者交互輪替，共發表橋梁工程相關論文計 23 篇。依論文之屬性，可分為以下幾類：

1. 橋梁計畫之規劃(planning)與執行(operating)：美方及我方各發表 3 篇，共計 6 篇論文。
2. 橋梁維護之議題與案例研究：由於我國於複合災害之經驗豐碩，如沖刷、地震，故於本次會議中提出相當數量之案例研究，供美方分享經驗。此類型論文共計發表 9 篇。
3. 先進技術：包含沖刷監測、自充填混凝土(SCC)材料、節塊施工方法等先進技術之相關論文共 7 篇。
4. 雙方合作模式之討論：除以上具體之論文發表外，美方李博士(George Lee)於演說中為台美雙方未來可合作之模式，提出了良好的引言，並獲得雙方熱烈之迴響與討論。李博士認為，台美雙方應由這兩年的互相瞭解及經驗初步交換，進而邁向更明確的實質共同合作。

## (二) 雙方未來合作模式之建議方案

針對美方李博士所提引之議題，我方亦同時間給予相當大之善意。並於第二天之討論中與美方交換意見，經討論後獲致以下之合作模式建議方案：

1. 短期合作活動之建議：

- (1)沖刷防護之經驗與資料交流
- (2)資料交換資料庫之建立
- (3)橋梁延壽技術之開發
- (4)橋梁快速興建法之交流
- (5)混凝土養護之自動化與品質之改善

2. 長期合作活動之建議：

- (1)組成複合災害防制研究之工作群
- (2)推動相關教育與訓練課程（包含人員之交流）
- (3)組成生命週期成本分析之研究群
- (4)建立長期技術簡報的交流

#### 四、2006/9/22(星期五)

##### 舊金山--2006年臺美橋梁工程研討會

全日於飯店參加會議。在整個討論的過程中，台美雙方雖討論熱烈，但卻氣氛融洽，展現出雙方十足的交流誠意。相信經由本次會議實質之討論，無論在研討會本身，或是其他如經驗、成果、研究的交流活動建議上，都立下了相當良好的基礎，而這也是本次行程中的最大收穫之一。

為使未來之研討會內容更能達到互相交流、互惠之目的，針對研討會本身，經會後檢討獲得以下具體結論：

(一)建議現階段研討會以每年舉辦乙次之頻率持續推動。

(二)讓講者有足夠表達、讓與會者有充分討論的時間。

(三)下屆研討會由我方主辦。

## 五、2006/9/23(星期六)

### 舊金山—工程參訪【加州公路生態工法與 Devil's Slide 地滑整治現場觀摩】

魔鬼坡 (Devil's Slide) 之名是因其陡峭之風化岩壁的海岬地形而來，介於太平洋與半月灣(Half Moon Bay)間 San Mateo 市的海岸線上，如圖 1 所示。其自然坡度達 30~70%，此處之氣候屬於地中海型氣候，日夜溫差和季節溫度相差不大，但濕度相對較高。北側山區之植被以灌木叢為主，其中並散亂著之雜草及光禿之岩石，並有數座牧場。

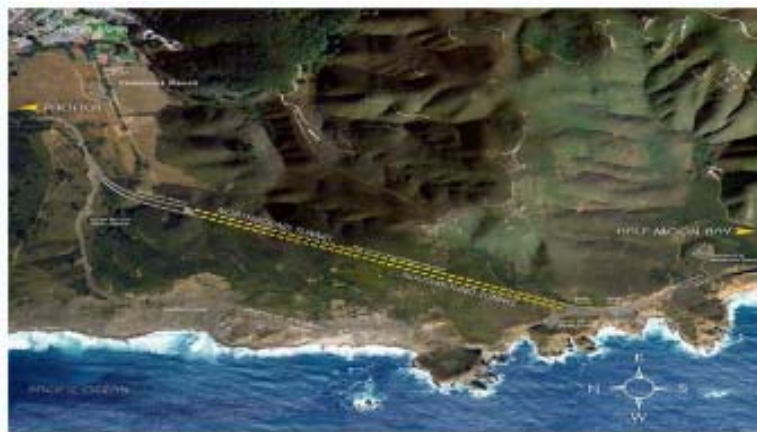


圖 1 魔鬼坡之空照圖

魔鬼坡 (Devil's Slide) 位於加州 1 號公路上，位處於 Montara 和 Linda Mar 兩個城鎮之交通要道之間，該路段為 1935 年所興建，常因雨季時之山崩落石

造成道路阻斷，並以 1995 年最嚴重，幾乎摧毀這條道路，封閉時間長達 158 天，花費近 300 萬美金進行修復，如圖 2~3 所示。而今年 4 月 2 日凌晨又因連日豪雨而產生崩塌，造成路面嚴重開裂，經過一連串噴漿加勁之護坡措施後，於今年 8 月恢復通車，其中較為特別的是，因應當地居民與環保人士之要求，為避免水泥護坡的顏色影響景觀，特將整片護坡噴為與原地貌相同之顏色，如圖 4 所示。



圖 2 魔鬼坡 2005 年災損情形



圖 3 魔鬼坡 2005 年災損情形





圖 4 魔鬼坡噴漿護坡上漆後之情形

於 1958 年有人提出繞道 Montara Mountain 的計畫，但由於環保人士的反對而終止，而大多數之環保人士亦認為隧道為一最可行之方案，如圖 5 所示。經過一連串爭議後，其間並經過長達 30 年的環境影響評估，於 1996/11/5 由 San Mateo 市民以 76% 的同意票通過以興建隧道來取代繞道計畫，其環境影響評估範圍包含濕地、野生動物、植物、噪音、景觀衝擊等。



圖 5 替化隧道示意圖

此工程稱為魔鬼坡隧道計畫(Devil' s Slide Tunnels Project)，為一雙孔隧道，每孔寬 30 英尺、長 4200 英尺，各為一線道及一個路肩，工程將以新奧工法施工，預計將花費 1.8~2 億美金，工期約為 24 個月連續施工；本工程之特點如下。

- ◎Twin bores approximately 4,200 feet long and 30 feet wide.
- ◎One vehicle lane and shoulder in each tunnel.
- ◎11 cross linking passages and 3 underground equipment rooms
- ◎Day / night lighting system with brightness transition at each end
- ◎Ventilation provided by 16 jet fans, 3.5 feet diameter, in each tunnel.
- ◎State of the art fire detection and suppression system
- ◎Carbon monoxide & Nitrogen oxide detection system
- ◎CCTV monitoring and emergency / call box telephone systems
- ◎Electronic message signs displaying safety / advisory information
- ◎Over height vehicle detection system
- ◎Weather system
- ◎Each tunnel accessible to bicyclists
- ◎Over 600,000 cubic yards of material excavated; 30,000 truck loads.

而在南側則將道路線型直線化以提供安全地進出隧道的環境，而此處約有 1/4 英里將以土壤回填的方式建造路填。此隧道預計於 2011 年完工，屆時

將因此隧道將原有 1 號公路一分為二，而有了 70 英畝之地區可提供為停車及觀光用地，而加州交通廳(Caltrans)亦將在本工程中持續進行監督。



圖 6 南洞口示意圖



圖 5 北洞口施工情形

北側以長 1000 英呎之兩座高架橋連接 1 號公路，主跨長約 445 英呎，橋柱高約 125 英呎，並在 Shamrock 牧場跨越山谷，如圖 7 所示。其結構型式為混凝土箱型梁，並以場鑄節塊懸臂工法施工，此工程將花費 4000 萬美金及 24 個月的時間，將於 2008 年中旬完工。



圖 7 北側高架橋完工示意圖

本工程與國內工程最大之差別在於，美國對於環境生態之保護特別重視，其為避免工程施工、機具對自然景觀、野生動植物的破壞，特別經過環保專家之研究下，劃出環境影響線，並以紅色醒目之圍籬將其間隔開，如圖 9 所示，以確保所有之機具、人員僅可於此範圍內施工。



圖 8 現場 Caltrans 主辦工程師進行解說



圖 9 環境影響線之圍籬

續前往羅林紅木森林公園搭乘蒸氣火車沿途欣賞加州廣大的保育紅樹林,有著北海岸獨有的原始狂野。下午驅車南行,前往遊覽舉世聞名有世界最美麗的景觀道路之稱的十七哩黃金海岸,可欣賞沿岸海浪拍打岸邊美麗的奇景及奇怪岩石,此區是加州中部海岸景緻最特殊,也最具代表性的景觀路線,沿途有蒼鬱的山林、詭譎的海蝕奇景、華麗的度假豪宅及海豹遍佈棲息在小島庸懶的可愛模樣,感受美國生態工程的具體成果。隨後驅車返回舊金山。

#### 六、 2006/9/24(星期日)

驅車前往 Sacramento, 途中參訪美國公路設施建設。

今日準備南行前往 Sacramento。早餐後前往聞名於世的納帕酒鄉, 整齊的葡萄園, 優雅的建築物, 閣下置身在宛如世外的鄉間小道上, 欣賞著的田園風光, 並可瞭解香醇紅酒的釀造過程。下午持續趕路至 Reno (乃是世界上最大的小城)。

## 七、 2006/9/25(星期一)

拜會及參訪美國加州交通廳 (CALTRANS OFFICE)

早餐後前往太浩湖欣賞全景，“世界上最美的景色”這是馬克吐溫對太浩湖的評語。太浩湖位於內華達山中,夏季可以遊湖,露營及爬山,冬季可供滑雪,是北美最大的高山湖，多山環繞的盆地中湖光山色極為優美，四周由森林被覆山峰所環抱，湖岸線長114公里。

午餐後拜會美國加州交通廳主管長官及參訪其下工程服務組(Division of Engineering Services)及工程維管組(Division of Maintenance)兩大部門。由總工程師 Richard Land 代表接待，並交換雙方管理經驗。



圖 1 陳晉源團長致贈禮物予總工程師 Richard Land



圖 2 高銘志副工程司代表高公局致贈禮物予加州交通廳



圖 3 於加州交通廳會後合影

## 八、2006/9/26(星期二)

### 舊金山—工程參訪【舊金山灣區橋梁工程 Benicia-Martinez Bridge 參訪】

#### (一)工程背景

為改善灣區交通，減低原 Benicia-Martinez Bridge 之交通負荷量，灣區內九個城鎮之居民，於 1988 年 11 月投票通過提高舊橋過路費為 1 元美金，以籌措經費來改善當地的交通。

由原橋之主管單位 - 加州交通廳 (California Department of Transportation, Caltrans) 負責新橋之設計、施工及營運，並由 Contra Costa 郡及 Solano 郡之交通主管機關與 Benicia 和 Martinez 市共同規劃 new Benicia-Martinez Bridge Project。

#### (二)基本資料

◎業主：Caltrans

◎主承包商：Kiewit

◎設計：T.Y. Lin International/CH2M Hill, a Joint Venture

◎施工工程師：Parsons

◎預力協力廠商：Schwager Davis, Inc.

◎吊運協力廠商：VSL



圖 1 New Benicia-Martinez Bridge 地理位置空照圖

### (三)工程概述

New Benicia-Martinez Bridge 為一興建中之橋梁，其位於加州 680 州際公路上，跨越 Carquinez 海峽，連接 Benicia 市的 Solano 郡和 Martinez 市的 Contra Costa 郡。其位於原 Benicia-Martinez Bridge 和 Union Pacific 鐵路橋的東側並與其平行，為一南北向橋梁。

◎全長約 2,680 m (包含南北引道)，主橋長 2,176 m，最大跨度 200m (一般跨度 161m)。

◎寬 25.5 m (包含附屬設施)。

◎包含 5 個 3.6 m 寬的車道(4 個混合車道及 1 個慢車道)及一個 3 m 路肩。



◎包含 11 支橋柱。

◎以平衡懸臂工法施工。

◎上部結構為預力箱型梁，共有 344 個節塊，梁深 4.5 m~11.4 m。

◎採用高強度輕質混凝土(抗壓強度 10000psi、單位重 2.0)。

◎本工程總經費為\$10.57 億美金，包含收費站及行政大樓。

◎本工程預計 2007 年春天完工。

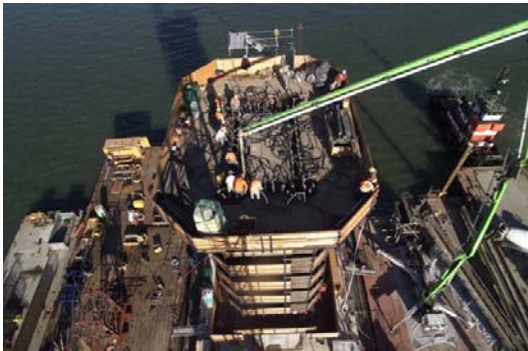


圖 2 施工情形



圖 3 現場工程師解說工程進度



圖 4 現地混凝土預拌廠



圖 5 已完成之引道



圖 6 預力箱型梁內部



圖 7 本團進入預力箱型梁內部參觀



圖 8 本團進入預力箱型梁內部參觀



圖 9 預力箱型梁之後拉鋼絞線



圖 10 尚未閉合之節塊



圖 11 未來營運用之檢測工程車



圖 12 兩個懸臂端之鉸接承



圖 13 施工中之工作車

### 九、 2006/9/27(星期三)

舊金山市區參觀 下午搭機飛往台北 BR027 18:30/22:10+1

今日進到舊金山市區，參觀舊金山市區因地形特殊而形成多面向之路網，並從觀光面領略過去數天來參觀的數座工程艱鉅的橋梁，包括舊金山大橋。而電纜車運行於山丘之間，已成為舊金山的象徵。後尋著螃蟹的標誌，

我們來到漁人碼頭，面臨金山灣，放眼望去盡是攤販與餐廳，在此閒逛，吃海鮮都是一種樂趣。下午前往搭乘班機，飛往台北，夜宿機上！。

#### 十、 2006/9/28(星期四)

台北

於今日晚間抵達台北，結束此次美國西岸之會議參訪行程！

## 肆、考察心得

(一)綜觀此次九日之美國參訪行程，主要包含以下三大主題：

1. 第二屆台美橋梁工程研討會(2nd US-Taiwan Bridge Engineering Workshop 2006)。
2. 公路系統及橋梁工程參觀。
3. 加州交通廳(Caltrans)辦公室參訪。

(二)而行程所欲達到之主要目的則包含了：

1. 確認雙方定期舉辦常態性台美橋梁工程研討會之意願。
2. 建立雙方交流模式。
3. 洽詢引進美國專業 NHI 課程。

## 伍、建議事項

台灣及美國均有許多之橋梁工程，為了使雙方之橋梁工程經驗能互相交流，建議可定期舉辦常態性之台美橋梁工程研討會。



## 陸、附錄（隨團成員）

Organization 單位	Session 講題	Speaker 主講人
Directorate General of Highways, MOTC 交通部公路總局		Chen Jin-Yuan Director-General 陳晉源局長
	Investigation for Post-Earthquake Repair and Inspection Techniques 震後橋梁補強及檢核技術之研究	Sue Wen-Chi Chief of Engineering Section, Maintenance Division, Directorate General of Highways 養路組道工科副工程司兼科長 蘇文崎
		Wang Yunn-Jiin Chief, irectorate General Of Highways, MOTC Jhonghe Branch First Maintenance Office Junghoe Engineering Section 交通部公路總局第一區養護工程處中和工務段段長 王韻瑾
Taiwan Area National Freeway Bureau, MOTC 交通部台灣區國道高速公路局		Kao, Ming-Chih Senior bridge engineer 高銘志副工程司
		Wu, Yung-Chao Senior bridge engineer 吳勇潮幫工程司
		Chen, Tien-Yu Senior bridge engineer 陳添宇幫工程司
	The Introduction of the Sliding Method to Rebuild a Bridge 中山高速公路河川橋(八掌溪橋、急水溪橋、曾文溪橋)改建橫移工法簡介	Chung, Wei-Chen Senior bridge engineer 鐘偉逞助程工程員
	Discussion and Application of Substructure Replacement Technique for Bridges - A Case Study of Shi-chou Bridge 省道公路台一線溪州大橋橋墩基礎換底工法技術之探討	Kao Pang-Chi Director of 2nd Maintenance Office Directorate General of Highways 第二區養護工程處高邦基處長
National Taiwan Expressway Engineering Bureau, MOTC 交通部國道新建工程局	Bridge Construction Automation : Precast segmental method 橋梁結構自動工法-預鑄節塊工法	Fang Wen-Chih Deputy Director General 方副局長文志
	The Application of Self-Compacting Concrete on Expressway Bridges SCC 於橋梁施工之應用	Jaw-Chang Laiw Director of Management Division 廖組長肇昌
Office of Science and Technology Advisors, Ministry of Transportation and Communications R.O.C. 交通部科技顧問室		He Sen-Yung 何森永專員

Taiwan Construction Research Institute 財團法人臺灣營建研究院		Lee Wei-Fang 李維峰博士
	River Bed Lifting Effects on Bridge Structures Caused by Heavy Rainfall 豪雨引致河床提升對橋梁結構之影響	Wen Chin-Ming 溫俊明博士
	災後中斷橋梁搶通工法長跨距橋梁	Chen Yu-Sheng 陳育聖組長
	Analysis of Damage Types and Deterioration Causes of Bridges in Taipei Metropolitan Vicinity 台北地區橋梁主要受損劣化原因分析與探討	Chang Chia-Feng 張嘉峰組長
		Wang Mei Division Chief, Professional Training & Education Division 王梅組長
National Taiwan University 國立台灣大學土木工程學系		Chang Kuo-Chun 張國鎮主任
Join Engineering Consultants 昭凌工程顧問股份有限公司	Rehabilitation of Scour-Protection Works of a Major Highway Bridge in Taiwan 中沙大橋	Yen-Bin Wang Director of Material & Technical Research Committee, JEC 王彥斌協理
		Chao Chi Tseng 曾兆麒組長
China Engineering Consultants, Inc. 中華顧問工程司	Implementation of Fiber Bragg grating Sensor on Bridge Scouring Problem 光纖監測於橋梁沖刷安全之應用	Hsin-Chih Chen Structural Engineering Department II, Section Chief 中華顧問工程司第二結構部 陳新之組長
T.Y.Lin International Taiwan 林同棧工程顧問股份有限公司		戴忠董事長