

出國報告（出國類別：其他）

2015 國際橋梁會議暨第十屆台美 橋梁研討會

服務機關：交通部臺灣鐵路管理局

姓名職稱：陳仲俊 副處長

陳宗宏 科長

朱我帆 副段長

派赴國家：美國

出國期間：104 年 6 月 5 日至 6 月 13 日

報告日期：104 年 8 月 26 日

2015 國際橋梁會議暨第十屆台美橋梁研討會

目 錄

壹、	目的.....	1
貳、	過程.....	1
參、	研討會 IBC 台灣主題介紹	2
肆、	IBC 參展單位簡介	24
伍、	市政參訪（從舊金山、匹茲堡到紐約）	31
陸、	參訪心得及建議.....	56

圖目錄

圖 3.1	台灣主題館入口	..2
圖 3.2	台灣主題館佈設	..3
圖 3.3	范次長、大會主席及高工局局長合影	..4
圖 3.4	品察及贈送小春聯攤位	..5
圖 3.5	來賓專注欣賞歌手演唱	..5
圖 3.6	台鐵路大甲溪橋位置圖	..6
圖 3.7	颱風過後大甲溪橋橋墩及攔水堰沖刷現況	..7
圖 3.8	大甲溪橋下游攔水堰破壞情形	..8
圖 3.9	及時警示通報系統作業流程	..9
圖 3.10	大甲溪橋新舊基礎對照圖	..9
圖 3.11	大甲溪橋原有沉箱基礎	10
圖 3.12	兩側新橋墩完成後拆除舊有橋墩	10
圖 3.13	完工後橋墩示意圖	11
圖 3.14	大甲溪橋新建兩側橋墩	11
圖 3.15	換底工法完成後照片	12
圖 3.16	台中都會區鐵路高架捷進化計畫範圍	12
圖 3.17	台中站完工示意圖	13
圖 3.18	豐原站完工示意圖	13
圖 3.19	太原站完工示意圖	13
圖 3.20	高架橋橫斷面圖	14
圖 3.21	基樁鋼筋吊裝	15
圖 3.22	橋墩鋼模拆除中	15
圖 3.23	泰山~林口間施工照片	..16
圖 3.24	跨越國道 1 號鋼梁施工照片	...16
圖 3.25	雙層橋墩柱配置圖	16
圖 3.26	生態工法保留棲地生物遷徙路線	17

圖 3.27	國道 3 號紫斑蝶遷徙地點及防護網	17
圖 3.28-1	國道高速公路橋梁耐震補強措施 (一)	18
圖 3.28-2	國道高速公路橋梁耐震補強措施 (二)	19
圖 3.29	新竹市開山伯公廟老樟樹	20
圖 3.30	遭白蟻侵蝕所致的腐朽洞	21
圖 3.31	進行雜木清除、樹冠修剪	21
圖 3.32	專業的樹醫生進行治療及防治	22
圖 3.33	高速鐵路穿越水雉保育區	22
圖 3.34	水雉轉換繁殖羽	23
圖 4.1	鐵、公路使用的橋梁檢查車模型	24
圖 4.2	Quick Deck 架設於橋梁下方	25
圖 4.3	Quick Deck 架設於橋梁下方於日本鐵路橋梁架設完成外觀	25
圖 4.4	Quick Dec 應用一般道路橋梁	26
圖 4.5	Quick Deck 橫斷面示意圖	26
圖 4.6	不銹鋼鋼筋展示攤位	27
圖 4.7	不銹鋼鋼筋延展性佳，且可適用於易腐蝕環境	28
圖 4.8	使用不銹鋼鋼筋的益處	29
圖 4.9	T-wall 應於於路基及橋台保護實例	30
圖 4.10	T-wall 實體樣品	30
圖 5.1	舊港灣大橋東側入口處	32
圖 5.2	舊港灣大橋的鋼結構橋墩	33
圖 5.3	新建得奧克蘭港灣大橋上的自行車及人行步道	34
圖 5.4	高聳的鋼纜橋柱	35
圖 5.5	大跨度橋面版	35
圖 5.6	新港灣大橋鋼纜錨碇座	36
圖 5.7	舊港灣大橋正逐步拆除中	37
圖 5.8	尙未完成拆除港灣大橋近照	37

附件

附件 1 橋梁檢查車目錄

附件 2 T-wall 擋土牆目錄

附件 3 AIL 隔音牆目錄

壹、 目的

國際橋梁研討會（The International Bridge Conference,IBC）為美國橋梁工程實務界之國際交流會議，由美國西賓州工程學會（Engineer' Society of Western Pennsylvania）與美國道路暨運輸界協會（American Road and Transportation Builders Association,ARTBA）共同主辦，依慣例於每年6月份假匹茲堡羅倫斯會議中心（David L.Lawrence Convention Center）舉行，得以完整瞭解美國橋梁工程實務界之最新資訊與技術。

2015年經IBC大會籌備委員會同意後台灣為「主題國（Featured country）」由我國交通部毛前部長治國（現任行政院院長）署名同意。

為期擴大活動效益，經提報籌備會議同意後，納入第十屆台美公路與橋梁工程研討會共同規劃，目標以宣傳台灣工程及觀光為主軸，以三大主題「台灣在永續的經營」、「台灣在防災的努力」以及「台灣的風土人情」分別展現我國在工程建設及觀光建設上的努力。爰此，本局奉交通部104年5月18日交人字第1040014182號函同意，派員參加交通部率團出席之「2015國際橋梁會議暨第十屆台美橋梁研討會」，並提出「台中大甲溪橋橋基換底工程」參展，以共同將台灣的工程成就行銷到海外。

貳、 過程

一、活動名稱：2015國際橋梁會議暨第十屆台美橋梁研討會。

二、活動日期：104年6月5日至6月13日。

表 2-1 行程表

月/日	星期	行程	備註
6月5日	五	臺北/舊金山	
6月6日	六	舊金山/匹茲堡	
6月7日	日	展覽現場準備工作/會場註冊	
6月8日	一	開幕儀式/展覽/代表歡迎晚宴	
6月9日	二	IBC/Boat Tour/國際歡迎宴會	
6月10日	三	上午:IBC 下午:專車前往紐約	
6月11日	四	紐約建設參訪	
6月12日	五	紐約/台北	
6月13日	六	抵達台北	

參、 研討會 IBC 台灣主題介紹

這次 IBC 會議以台灣為主題國，內容以交通部所屬之單位，如台鐵局、鐵工局、國工局、公路局、高鐵局、運研所、觀光局等單位近年主要努力的成果為主題，我們又將其分成「防災台灣」、「永續台灣」及「觀光台灣」等單元。



圖 3.1 台灣主題館入口



圖 3.2 台灣主題館佈設

6月8日上午各國與會人員報到後，首先進行開幕式，主持人說明了IBC會議的緣由與目的，台灣主題方面，范次長也上台介紹橋梁工程的特色，以及對環境保育的用心，能在此國際場合，將台灣橋梁搬上國際舞台，讓世人注意到我們的技術及發展，這對國內工程界而言絕對是種肯定。



圖 3.3 范次長、大會主席及高工局局長合影

開幕式後，橋梁展覽於焉展開，我們位於會場正中央，除了靜態展覽與各單位駐點協助解說之外，台灣主辦單位還邀請了聲樂家於台灣區小舞台定時演唱中國與美國家喻戶曉的歌曲，另外現場揮毫製作出的小春聯，也是吸引國外朋友注意到台灣主題曲的方式，當他們陶醉在歌曲中，我們再遞上一杯來自台灣的茶，以及鳳梨酥等名產，輔以觀光局的行銷大計，各國家賓均能回以滿意的笑容，豎起大拇指說聲讚。如此流程與體貼的安排，不得不為主辦單位的用心美言幾句。



圖 3.4 品茶及贈送小春聯攤位



圖 3.5 來賓專注欣賞歌手演唱

以下就本次台灣主題主要內容說明如下:

主題一：鐵路局

橋梁換底工法以大甲溪為例

表 2-2 大甲溪橋梁基本資料

79 年開工，85 年竣工(山線雙軌)；86 年增設攔水堰及保護塊工程	
跨距	32.1M
跨數	26
長寬度	長 802M，寬 105M
上部結構	PCI 型梁
下部結構	變化斷面形圓柱
基礎	沉箱 P2-P6 深 24M，P7-P13 深 20M

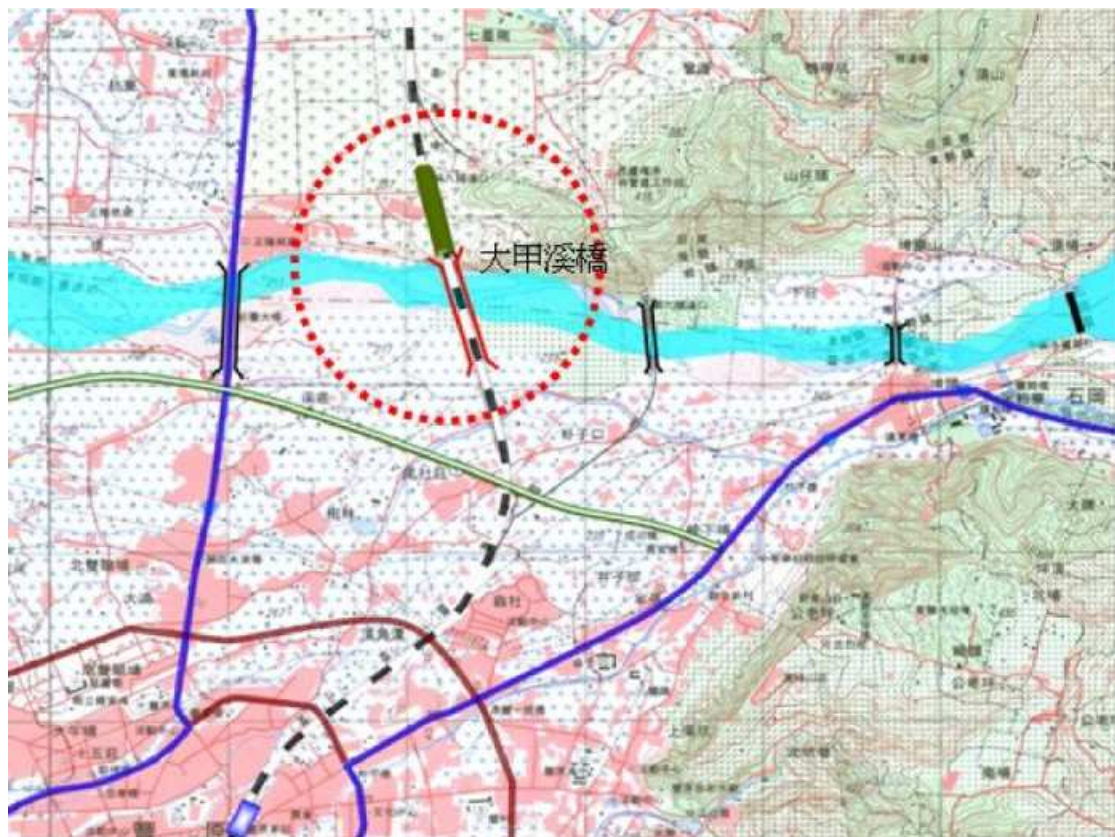


圖 3.6 台鐵局大甲溪橋位置圖

表 2-3 河床沖刷及保護過程

年度	事件	影響
93	敏督利颱風	橋梁下游農田水利會內埔圳攔水堰破壞，河水集中沖刷大甲溪特殊之泥岩地質，使主河道下降。原有河床保護工「攔水堰」基樁裸露
94	海棠颱風	P4-P8 橋墩經量測 24 公尺深度沉箱約裸露 11 公尺。沉箱裸露 13.5 公尺，已超過深度之 1/2。

94	瑪莎颱風	P3-P6 下游攔水堰基樁亦裸露 10 公尺以上，多達 12 根基樁斷裂。 橋梁沉箱裸露 13.5-16 公尺。
----	------	---



圖 3.7 颱風過後大甲溪橋橋墩及攔水堰沖刷現況

一、 搶險過程

年度	具體內容
94	成立緊急搶險預算調撥消波塊 1350 只投入橋墩 P4-P8 間防護
95	消波塊流失，河道改變再製作消波塊 570 只投入於 P6-P7 間
95	成立河床保護預算，於橋墩上下游各興建一處蜂巢式擋牆，期以河床回淤方式保護橋基
97	因辛樂克颱風等豪雨沖刷及河床不斷下降，消波塊流失、蜂巢式擋牆逐步產生損壞再製作投入消波塊 1420 只

說明：94-97 年間為保護橋梁安全總計投入約 1.13 億元經費



圖 3.8 大甲溪橋下游攔水堰破壞情形

一、豪雨期間應變機制

(一) 人員監視機制：石岡水壩放水量達 1500m³/秒，啓動外業組人員現場監視機制。

(二) 列車慢行：

放水量達 1500m³/秒；慢行 60Km/h

放水量達 2000m³/秒；慢行 40Km/h

放水量達 3000m³/秒；路線封鎖

(三) 及時警示通報系統

爲維行車安全台鐵局於大甲溪橋橋上安裝傾斜計，如達到預警值或警戒值，將訊息傳至橋上警示燈及臨近車站，以提醒駕駛人員減速或停駛，詳如圖 3.9。

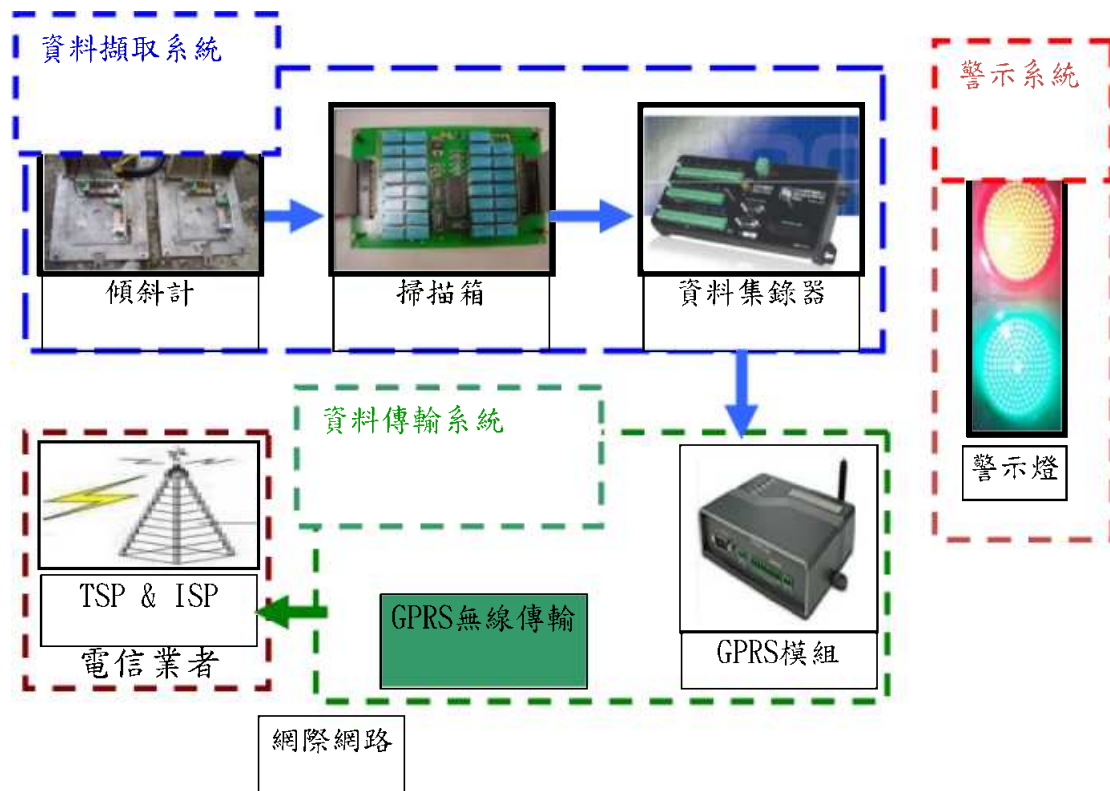


圖 3.9 及時警示通報系統作業流程

二、換底工法

- (一) 本計畫係在營運中路線橋梁段進行換底工程，故不得產生振動及軌道沉陷影響行車安全。
- (二) 全國首創橋梁換底

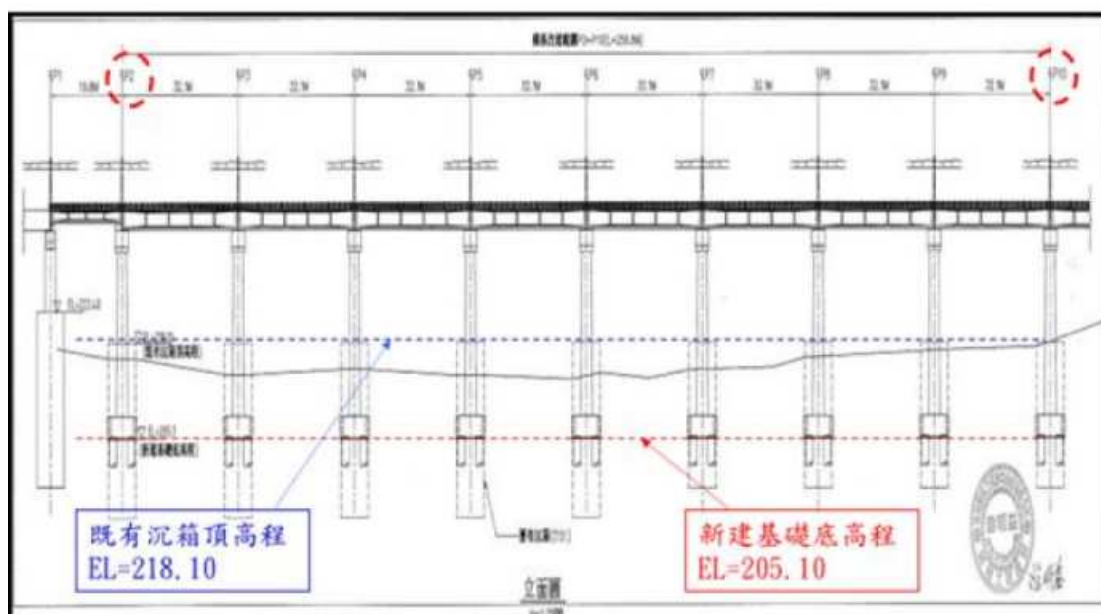


圖 3.10 大甲溪橋新舊基礎對照圖

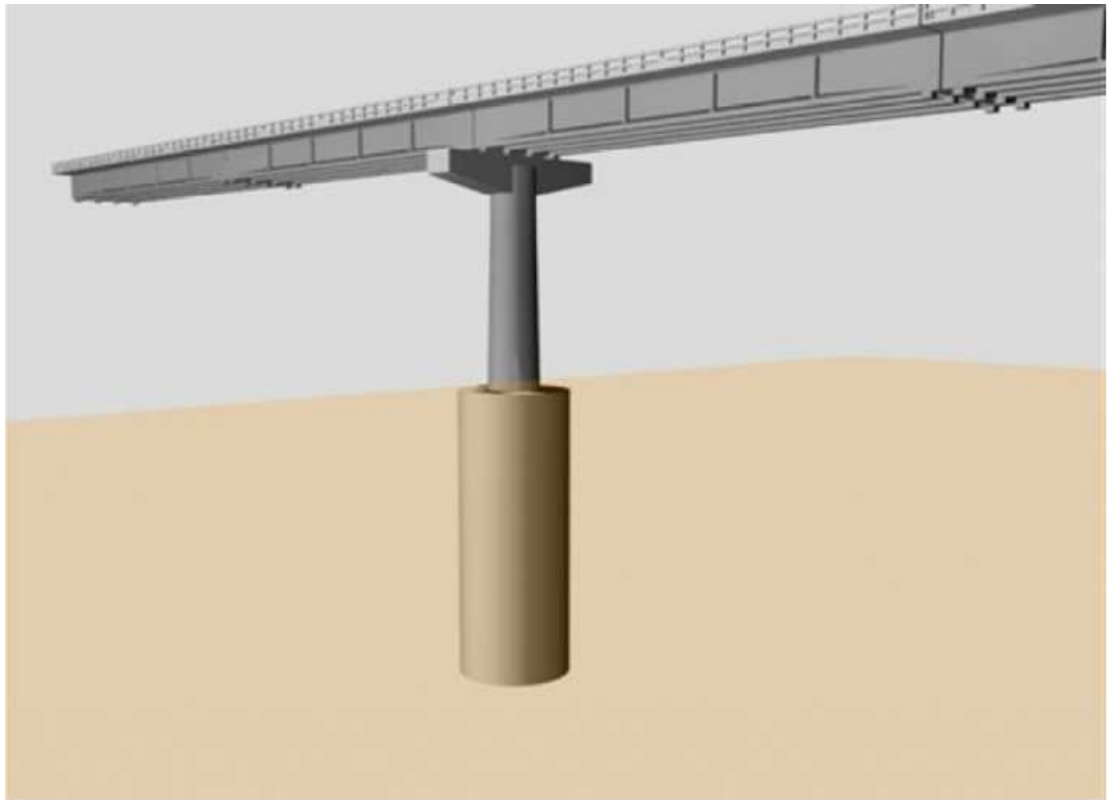


圖 3.11 大甲溪橋原有沉箱基礎

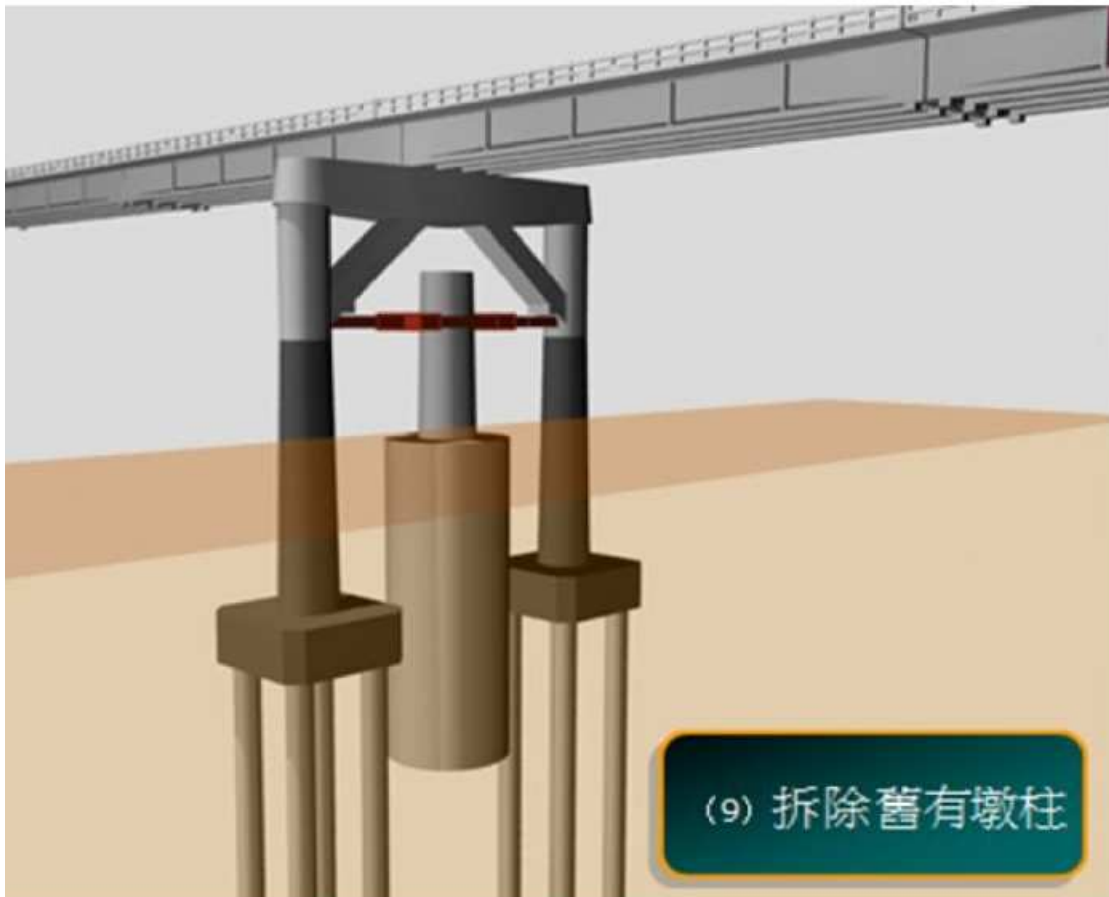


圖 3.12 兩側新橋墩完成後拆除舊有橋墩



圖 3.13 完工後橋墩示意圖



圖 3.14 大甲溪橋新建兩側橋墩



圖 3.15 換底工法完成後照片

主題二：鐵工局

臺中都會區鐵路高架捷運化（臺中計畫）

臺中計畫自豐原站以北至大慶站以南全長 21.7 公里，全線鐵路採高架化，共消除 17 處平交道，改建豐原、潭子、太原、臺中、大慶 5 座車站，增設豐南、頭家厝站、松竹、精武與五權 5 座通勤車站。完成後將可縫合東西兩側都市發展，改善交通壅塞、提供都會區快鐵之便捷交通改善都市景觀、增加都市土地利用價值等。預定 104 年 12 月通車啓用，整體計畫於 106 年 3 月完成。



圖 3.16 台中都會區鐵路高架捷運化計畫範圍



圖 3.17 台中站完工示意圖



圖 3.18 豐原站完工示意圖



圖 3.19 太原站完工示意圖

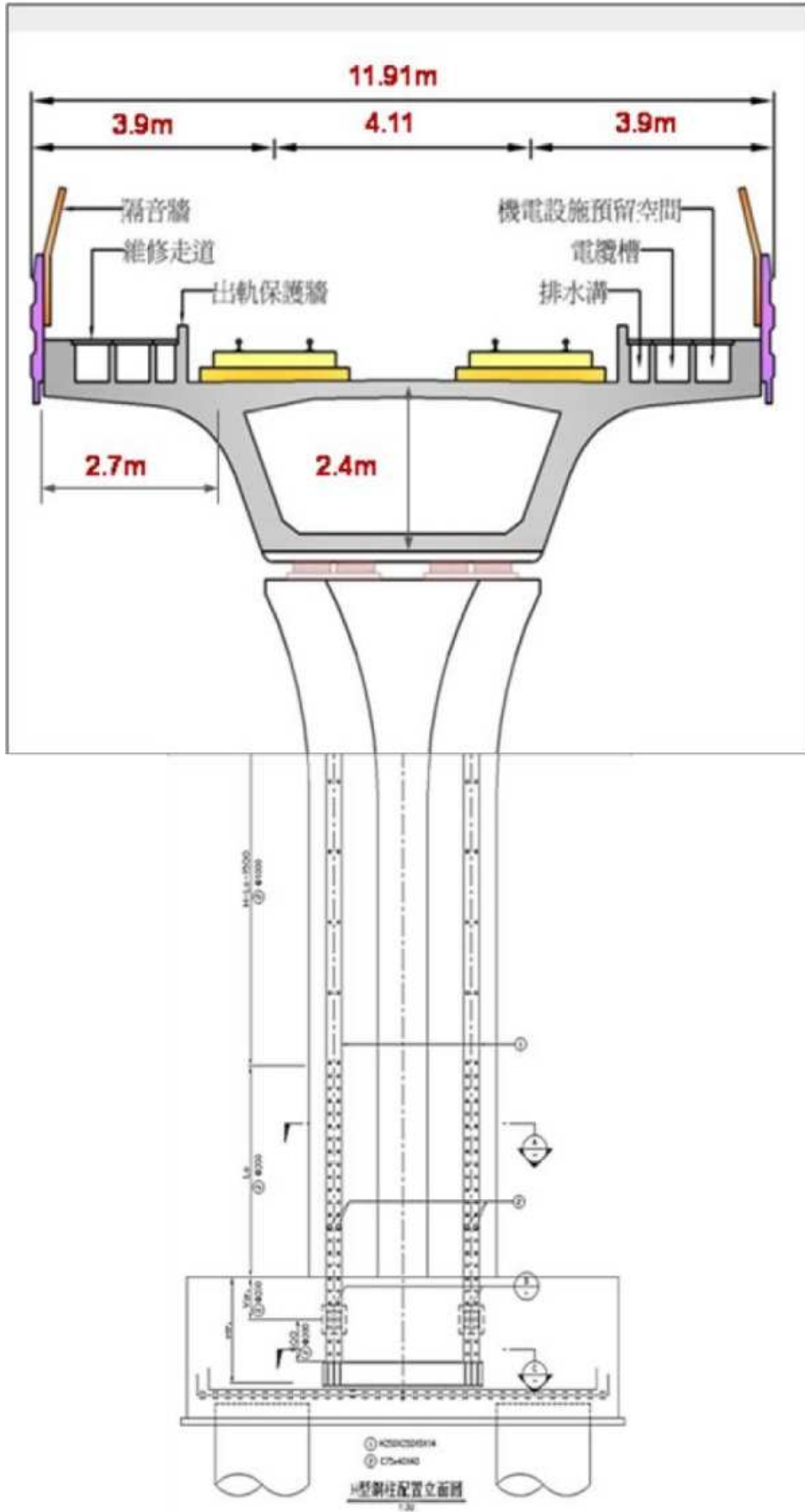


圖 3.20 高架橋橫斷面圖



圖 3.21 基樁鋼筋吊裝



圖 3.22 橋墩鋼模拆除中

主題三：高速公路局

一、設計克服環境障礙（五股至楊梅段拓寬工程）

國道 1 號五股至楊梅段拓寬工程，北銜汐止五股高架橋，南至楊梅收費站北端，全長約 40 公里，自 2009 年(98 年)10 月動工，於 2013 年 4 月完成。本計畫係自營運中國道 1 號向外拓寬，施工時需兼顧營運安全又受限於工址環境及工期因素，採用之鋼樑橋為台灣目前已知最大跨徑。



圖 3.23 泰山~林口間施工照片

為不影響大窠坑溪河流斷面並避開地質敏感區，路線橋墩順延大窠坑溪與既有路線間狹窄空間設置，北上線及南下線採用雙層共構型式樹狀墩柱以及大偏心結構長度約為 2.86 公里。

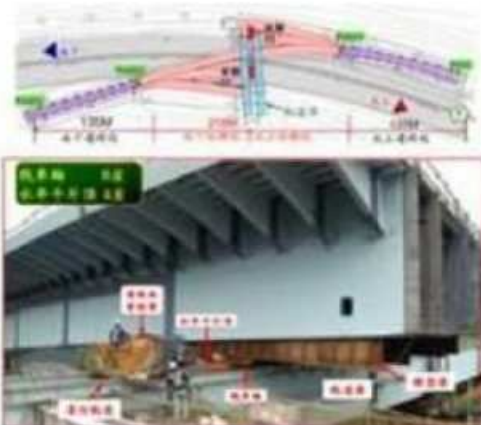


圖 3.24 跨越國道 1 號鋼梁施工照片



圖 3.25 雙層橋墩柱配置圖

三、國道高速公路橋梁耐震補強工程計畫

1999年9月21日台灣地區發生芮氏地震規模達7.3的集集大地震，造成中部地區相當大的生命及財產損失，為防範於未然，隨即推動「國道高速公路橋梁耐震補強工程計畫」，以最新之交通部頒橋梁耐震設計規範，重新檢核及評估2000年以前已通車國道路段橋梁，對於不符合最新耐震設計規範之橋梁進行耐震補強工程。

耐震補強工程計畫，計畫分為三個階段實施：第一階段，國道1號（包括國道2號拓寬工程）已完成；第二階段，國道3號（北段）正在施工中；第三階段，國道3號（中部和南部部分）和國道4號，5，6，8，10正進行可行性研究階段。補強措施包括安裝隔震支座，阻尼器，衝擊傳遞裝置(STU)，防落橋裝置，鋼板包覆，混凝土包覆，FRP 碳纖維包覆，填充剪力牆，連接梁，以及新基等工法。



圖 3.28-1 國道高速公路橋梁耐震補強措施 (一)

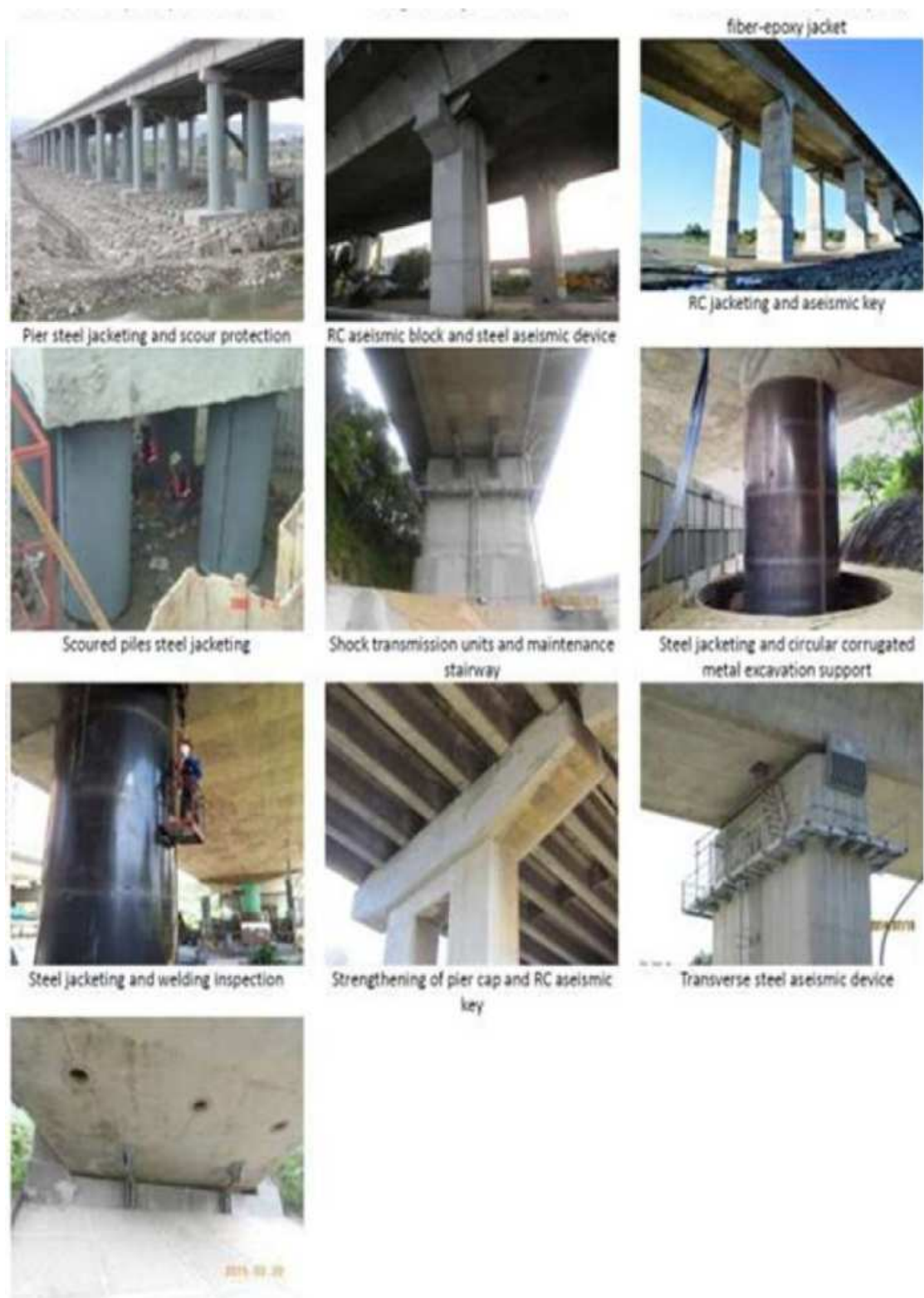


圖 3.28-2 國道高速公路橋梁耐震補強措施（二）

主題四：高鐵局

一、老樹保存

為保存老樹及尊重地方文史記憶興建期間特別耗費新台幣六千萬元經費、延後數月工期調整高鐵軌道路線以原地保留樹齡 300 多歲的新竹市開山伯公廟老樟樹。



圖 3.29 新竹市開山伯公廟老樟樹

護樹執行情形：

- (一) 施工前特別延請樹醫生進行診斷老樟樹有明顯的腐朽大洞，主要為白蟻的日夜侵蝕，若不進行外科手術，三、五年後老樹將枯死。
- (二) 護樹實際作為如下：
 - (1) 為不影響老樹根系將橋北移 20 公尺。
 - (2) 針對腐朽洞進行外科手術治療，同時進行白蟻防治。
 - (3) 雜木清除，樹冠修剪。圖 3.28 國道高速公路橋梁耐震補強措施
 - (4) 營運期間持續監測關懷老樹。



圖 3.30 遭白蟻侵蝕所致的腐朽洞



圖 3.31 進行雜木清除、樹冠修剪



圖 3.32 專業的樹醫生進行治療及防治

二、水雉復育

高速鐵路路線規劃路線穿越台南葫蘆埤及德元埤等水雉重要棲息地，對水雉的生存構成極大之威脅，經環保審議，應提出保育計畫書送審未通過前不得施工。

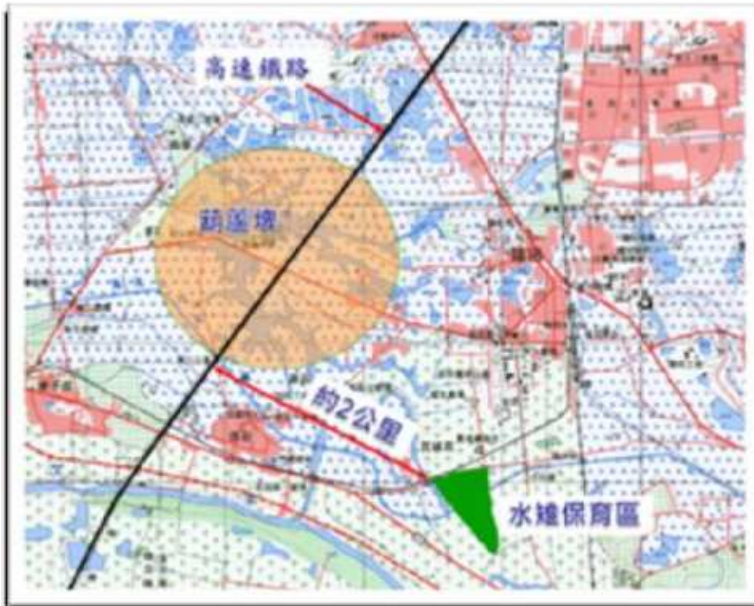


圖 3.33 高速鐵路穿越水雉保育區

(一) 保育計畫書內容如下

- (1) 施工前：將完成 15 公頃棲地出租事宜，作為水雉棲地營運之用。
- (2) 施工中：持續配合台南縣政府進行水雉棲息地復育計畫，提供配合經費。
- (3) 營運中：檢討水雉棲地復育計畫保育成效，評估營運的影響。

(二) 施工期間策略

- (1) 橋樑上部結構以全跨徑預鑄橋樑施工法或支撐先進橋樑施工法，縮短工期，橋樑基礎施工時採用架設便橋方式通達橋墩施工點，對地面之環境無干擾及污染。

- (2) 施工道路利用高鐵沿線路權鋪設，以降低施工影響範圍。
- (3) 水雉繁殖期(每年五月至九月)，暫停於菱角田施工；度冬期間(每年十一月至翌年四月)不在葫蘆埤施工。
- (4) 基樁施工以鑽掘方式為主，不採擊樁方式施工。
- (5) 減少水雉重要棲地之橋墩數量及開挖面積；開挖時採圍堰方式施工；可能流入埤塘之施工廢水及化學物質等均回收處置，減少水質污染。
- (6) 採低噪音機具施工，進出車輛禁鳴喇叭，避免對水雉活動造成驚嚇。
- (7) 要求承包商遵守「野生動物保育法」，不得捕捉獵殺工區附近之野生動物，不得燃放炮竹，不得進出水雉活動區內活動，並訂定罰則。
- (8) 執行施工期間葫蘆埤水質監測計畫(含農藥項目)。

(三) 保育成果

經十多年的保育努力，台南境內的族群逐年增加，至民國 102 年已超過 600 隻，其中約 25% 的族群更長期棲息於復育區內。



圖 3.34 水雉轉換繁殖羽

肆、 IBC 參展單位簡介

此外，在台灣主題國外側，許多參展攤位，展示了許多機械、材料、儀器、設計及特殊工法等，局內同仁一行三人也逐一造訪，其中最多元，也是最特殊的，當屬橋梁檢查車，但比較可惜的是此檢查車多屬公路橋梁檢查，採車輛附掛三到四節懸臂操作及觀察平台的方式，將人員送至橋面版下方近距離觀測橋樑狀況的設備，操作簡單且安全，但大多數屬租賃性質，並沒有行銷美國海外的計畫及經驗。



圖 4.1 鐵、公路使用的橋梁檢查車模型

尼索公司(Nisso)的快速安全施工架(QuikDeck & Safway)，也值得台灣借鏡，經過詳盡的結構計算後，它可固定於結構物，如橋面版或屋頂，在其下方搭建工作平台，以供結構檢查或維修之用。其特色為材料單純、施工迅速，每日可完成300-400m²，且外側亦架設欄杆防護，淨空可視現場調整，安全、迅速為其招牌，此工法在日本已普遍使用，JR 名古屋及大宮站近口亦採用 QuikDeck，作為整修車站屋頂之設備。尼索公司日本分公司已有專人與我們聯繫，希望有機會能來台灣為我們介紹。



圖 4.2 Quick Deck 架設於橋梁下方



圖 4.3 Quick Deck 架設於橋梁下方於日本鐵路橋架設完成外觀



圖 4.4 Quick Deck 應用一般道路橋梁

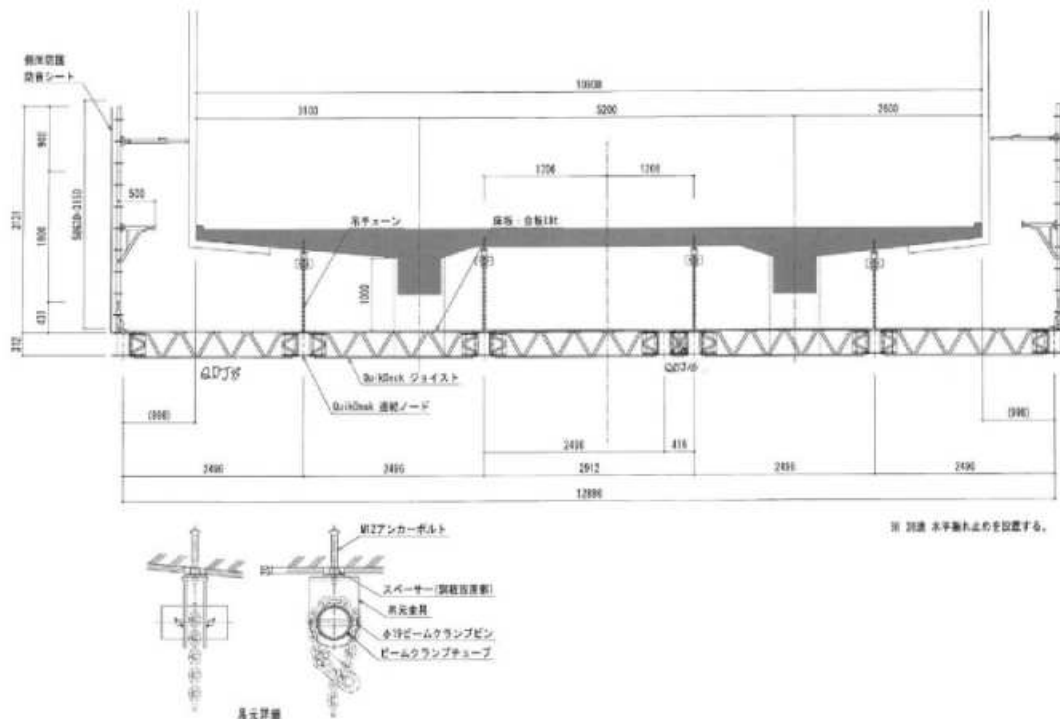


圖 4.5 Quick Deck 橫斷面示意圖

另外，不鏽鋼鋼筋對局內而言也是一大亮點，它使用在臨海區域，混凝土結構物常因保護層不足，鋼筋腐蝕而造成混凝土剝落的問題。它的好處在於不怕氯離子侵蝕，而且強度、耐久性無虞，容易裁切及彎曲，裁切處無需再防蝕處理，且符合鋼筋規範，可大大減低混凝土保護層厚度，節省用量。

702

STAINLESS STEEL REBAR



BENEFITS OF SOLID STAINLESS STEEL REBAR

- Excellent corrosion resistance to chlorides (road salt, seawater)
- Excellent strength, ductility and toughness
- Creates durable concrete structures with low life-cycle costs
- Rebar produced according to ASTM A955
- Easy to cut and bend. No cut ends to coat or cover.
- No rebar coating damage to repair
- No cathodic protection is required
- No concrete sealers or membranes are required
- No corrosion inhibitors are needed in the concrete mix
- No High-Performance Concrete (HPC) is needed
- Concrete cover depth can be reduced
- Stainless steel tie-wire, couplers and dowels are available
- Welded-wire mesh is available, produced to ASTM A1022
- Stainless rebar can be magnetic or non-magnetic

圖 4.6 不銹鋼鋼筋展示攤位

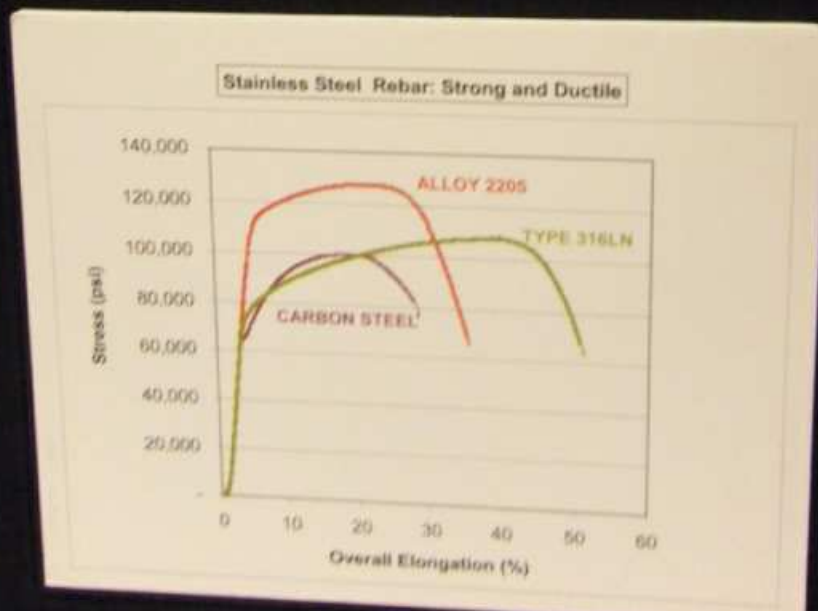


圖 4.7 不銹鋼鋼筋延展性佳，且可適用於易腐蝕環境

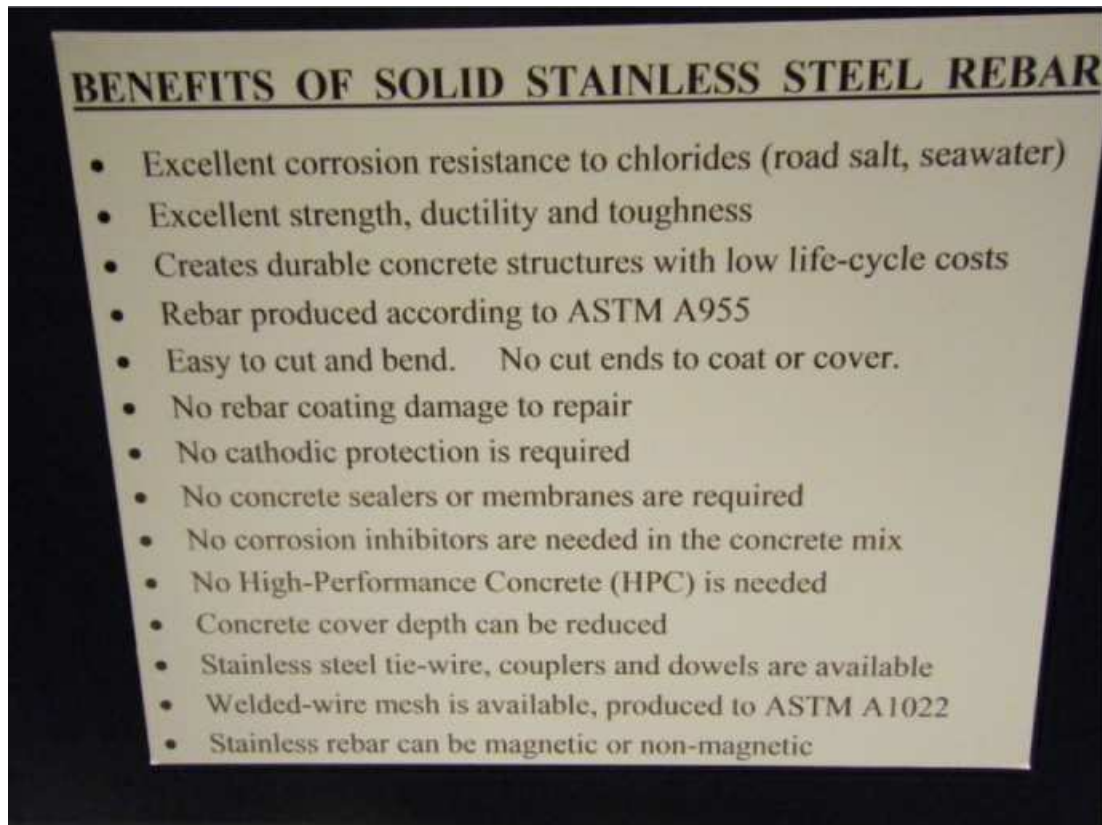


圖 4.8 使用不銹鋼鋼筋的益處

擋土牆有一特殊的 T-Wall 基礎形式，可減少開挖面，採預鑄背拉設計以縮短工期，同樣地，這公司只提供設計諮詢服務。隔音牆材料，在展場也有廠商展示，有包覆隔音或吸音材料，也有單獨阻絕音源的材料，特點都是容易組裝，這些資訊都可供本局參考。



圖 4.9 T-wall 應用於路基及橋台保護實例



圖 4.10 T-wall 實體樣品

伍、 市政參訪（從舊金山、匹茲堡到紐約）

要從平日繁忙的工作中，安排離鄉背井，飛行十二個小時遠渡重洋的行程，一開始我們心中確實有點忐忑，最大的不安當然來自於語言的隔閡。但當我們 IBC 成員在桃園機場集合的那一刻，從交通部各單位，到國內首屈一指的顧問公司以及營建業者，相互介紹後頓時「團結力量大」，彷彿每位成員都成了我們的靠山，心中的不安消除了大半，這段看似漫長，卻是緊湊的行程於焉展開。

飛機從桃園機場起飛已近乎凌晨，在長榮空服人員親切的服務中，時間倒也不覺漫長，忽然間在半夢半醒中，飛機開始下降，來到我們旅途的第一站舊金山。打從入境開始，發現這是座種族融合的大城市，有著各式各樣的文化，尤其華人已然在金山灣區建立龐大的族群，隨時可見親切的面孔與文字。當然，要吃中國菜可是到處都有，當天晚餐也不例外。

第二天早上，IBC 橋梁熱身活動開始，我們安排參觀了連接舊金山與奧克蘭的港灣大橋（San Francisco-Oakland Bay Bridge），顧名思義這座橋梁連接了灣區的這兩座大城市。遠在橋梁建造之前，灣區民眾往來兩地，只能靠渡輪，但受氣候、班次及運量影響，不但機動性差，且大量的需求讓民眾在船上苦不堪言。隨後因經濟成長，及人口車輛不斷增加等原因，加州政府爭取財源，決定建造一座橋梁，以維持其經濟命脈。

這座橋梁 1933 年開工，1936 年完工，採雙層鋼樑橋設計，上層橋雙向各三車道；1938 年起，橋梁下層南側設置二股軌道供鐵路運輸，北側設置三公路車道供重型車輛行駛，因而此多功能橋樑在當時的確為加州經濟注入一股強心劑。然而，金山灣區的快速成長，公路的發達使得船運及鐵路逐漸式微，1958 年下層鐵路拆除，舊金山奧克蘭港灣大橋重新設計，並於 1963 年起，改為上層五車道西向，下層五車道東向行車模式。



圖 5.1 舊港灣大橋東側入口處

1986 年，在各界歡呼聲中，舊金山奧克蘭港灣大橋歡度五十週年慶，各式各樣的燈光秀，用以展現這座橋梁之美，以及它對加州的貢獻。然而好景不常，就在 1989 年 10 月 17 日清晨 05:04 分，加州發生芮氏規模 7.1 集大地震，第 E9 橋墩處上層版西側支承破壞，東側支承勉強抵住地震力，因此此橋面板僅西側滑落，連帶破壞了下層版。



圖 5.2 舊港灣大橋的鋼結構橋墩

加州大地震後的舊金山奧克蘭港灣大橋為此封閉了月餘，工程師們努力從地震波取經驗，他們更換了東側支承，也補強了西側支承，最重要的是耐震與防落橋機制儼然已成爲更新的概念。

故事至此尚未結束，2002 年起，州政府推動橋梁改建計畫，新的舊金山奧克蘭港灣大橋於 2013 年落成，斥資 63 億美金，也創下美國最高公共工程建設經費的紀錄，主梁部分採 Self-Anchored Suspension Span，東西向各設六車道，特別的是公路外側設有 3.6 公里長的步道，供腳踏車及行人通行，隨時可見橋上散步、慢跑與休閒的人們，與一線之隔繁忙喧囂的高速公路車道，可說是天壤之別，這可說是非常別出心裁的設計。



圖 5.3 新建的奧克蘭港灣大橋上的自行車道及人行步道



圖 5.4 高聳的鋼纜橋柱



圖 5.5 大跨度橋面版



圖 5.6 新港灣大橋鋼纜錨碇座

功成身退後的舊橋，屈指一算也有 77 歲了，我們走在橋上，首先映入眼簾的是橋梁東側部分，仍屹立不搖，靜靜地享受著河水的蕩漾，而默默地等待州政府拆除的命運；仔細遠觀其大小構件，鋼材的完整，防鏽的能力仍首屈一指，此乃 IBC 團員共同的心得與認知，可惜受限於時間空間，沒能再進一步探索其究竟。再往前走到舊橋西側，已拆除部分水域反顯遼闊，然而此時令人驚豔的反倒是新橋主懸吊系統，白色系的主塔與鋼纜，超大型的錨碇系統，宣示了現代橋樑之美，令 IBC 團員無不歎為觀止。



圖 5.7 舊港灣大橋正逐步拆除中



圖 5.8 尚未完成拆除港灣大橋近照

談到舊金山的橋樑，最有歷史，最負盛名的，首推金門大橋（Golden Gate Bridge）。約莫在 10,000 年前，海平面比現在低約 100 公尺，河流切割出了峽谷地形，也因而形成了長約 5 公里，寬 1.6 公里的金門海峽（Golden Gate Strait）。其後冰河時期結束，氣候暖化的結果，河流沖刷形成了舊金山灣（San Francisco Bay），在舊金山灣區的西側為太平洋，東側即為金門海峽。而在加州，60%的雨水和融雪匯流至此區，在山間蜿蜒，進而雕塑出美麗的北加州海岸。因此，特殊的地形地貌，使得風與霧成為金門海峽的金字招牌，但靠海的氣候，使得高鹽分成為橋梁的隱形殺手。

1900 年起，由於舊金山灣區人口成長突破 100 萬人，為著名的加州 101 公路貫穿南北，史特勞斯（Joseph Strauss）先生首先提出在此興建橋梁，以打通交通動脈的概念，這在當時可是世界上跨距最長（1280 公尺）的橋梁。但是政治立場與經濟條件也是兩大難題，當時破壞景觀、技術不足、無經濟效益等反對聲浪不小。然而在加州人的期待，與工程師的梦想結合下，終究還是催生了這座全世界知名的舊金山金門大橋。



圖 5.9 Joseph Strauss 先生銅像

這座橋梁於 1933 年 1 月 5 日開工，歷經四年多的艱辛，於 1937 年 5 月 28 日通車。金門大橋全長 2737 公尺，兩主塔間距離 1280 公尺，整體鋼索懸吊系統長度為 1966 公尺，橋樑寬度為 27 公尺，車道寬度 19 公尺，人行通道寬度 3 公尺，橋樑總重 80 萬噸，橋面下淨空 67 公尺。兩主塔高度在水平面以上 227 公尺，路面以上 152 公尺，基礎則為 10*16 公尺；每一主吊所長度 2332 公尺，直徑公分 92 公分，混凝土總使用量為 30 萬立方公尺，鋼構總用量 7 萬 5 千噸。



圖 5.10 舊金山大橋完成年份看板




圖 5.11 遠眺舊金山大橋



圖 5.12 人來人往的舊金山大橋

令人好奇的是，鋼結構防鏽和鏽蝕的保養維修，也是台鐵遇到最主要的問題，當然在歷史悠久的金門大橋更是嚴酷考驗。臨海高鹽分的環境，隨時威脅橋梁的安全與生命週期；事實上自建造之始，鋼構、錨釘、吊索等，均已出現鏽蝕的症狀，因此從 1965 年起，已悄然展開重新油漆的工作；除此之外，鋼構件底漆的防鏽處理，也由原本的鉛，逐步剷除改由塗布世人熟知的鋅，這項艱鉅的任務一直持續到 1995 年才完成。

STEEL, FOG, SALT, RUST, AND PAINT





Only rarely must the Golden Gate Bridge withstand earthquakes or strong wind, but everyday it must fight another threat: corrosion of the steel which creates a byproduct called rust.


Steel is an alloy comprised principally of iron along with small amounts of other elements such as carbon or nickel. When steel is exposed to the oxygen in air and to water, the iron changes through a chemical process called corrosion; this change creates rust which erodes the steel making it slightly smaller and weaker than before the corrosion took place. On the Bridge, fortunately, the steel sections were originally over-sized in anticipation of corrosion and other threats.

Water vapor evaporating from the ocean is all around the Bridge and often cools and condenses to form fog. **Corrosion is sped up by the presence of salt.** The sea air around the Bridge not only supplies the water needed for rust -- it is also loaded with millions of tiny particles of salt.

In the 1930s the original primer paint on the Bridge was two-thirds (by weight) lead. Lead is a good material for preventing rust, but is harmful to people and the environment. Today different areas of the Bridge are re-painted about every ten to twenty years.

When the protective paint layer peels or cracks, steel is exposed to oxygen and water which initiates corrosion. Maintenance is required to remove the rust down to bare steel before re-applying primer and top coats of paint.




Due to environmental concerns, today's primer contains zinc instead of lead. The zinc protects the steel, because zinc corrodes more easily than steel. **Zinc serves as a sacrificial metal, so the steel does not rust when zinc is present.** On top of that zinc primer is a top coat of paint in the Golden Gate Bridge's signature color called International Orange.

Besides International Orange, other color schemes were considered when the Bridge was built. One alternative that was proposed was a striped design to make it more visible to ships and airplanes.

Steel samples placed here in 2012

BARE STEEL



PRIMED AND PAINTED STEEL




圖 5.13 舊金山大橋防腐的作法及對策

直到現在，金門大橋仍有一施工團隊，專門負責此項天人交戰的工作，此團隊包括 16 位鐵工，33 位油漆工，經年累月鍛煉一身蜘蛛人的工夫，在金門大橋的鋼結構爬上爬下，他們不畏日曬雨淋，還要頂著寒風，吸著海鹽，在萬丈高空中除鏽防蝕，為的是工程師的初衷，也就是維護橋樑與大眾行的安全。

仰望這八十多年來，鮮紅色的金門大橋常虛無縹緲，無論清晨午間或黃昏，它靜靜地站在河中，搭配光線的變化與四散的霧氣，早現出千變萬化的朦朧美。一般遊客或許走馬看花，以拍照為職志，但身為土木工程背景的我們，應該要能更深層去思考這偉大工程的內涵。此時，不妨駐足了解這座橋梁的奧妙，就在橋台側的遊客中心區，建立了許多資訊解說牌，包含了史特勞斯先生的雕像、橋梁歷史、設計、主塔、吊索、橋面版等建造過程，以及地震及風力對橋樑的影響，當然最大的殺手，鋼構件腐蝕的原理以及對策，在這區都有所著墨。



圖 5.14 舊金山大橋抗地震力及風力模型 (一)



圖 5.15 舊金山大橋抗地震力及風力模型(二)

行程至此，我們再次利用夜間航班由舊金山飛往匹茲堡，這座城市與舊金山最大的不同，在於它的規模小而美，沒有舊金山的喧囂與繁雜，也沒有國際觀光客的匯聚，相形之下一切顯得單純。我們隨後驅車前往展場大衛·勞倫斯會議中心(David L. Lawrence Convention Center)，承蒙主辦單位的用心，將展場佈置得美侖美奐。



圖 5.16 主題館位於展場正中央

傍晚 IBC 主辦單位特別安排了開幕歡迎晚宴(Kickoff Reception)，台灣由范次長率隊，交通部各單位及中興顧問、大陸工程等均派員會同參加。此餐會特別選在匹茲堡歷史保存區的(Lawyers Title Building)，古色古香的建築，佈置得典雅堂皇。世界各國橋梁專業人士在此齊聚一堂，互相交換心得，為隔天的正式會議暖身。



圖 5.17 匹茲堡羅倫斯會議中心全景



圖 5.18 范次長與來賓交換意見

此次本局以 2011 年完成之大甲溪橋換底工程為「防災台灣」之一子題，因其為國內首次於鐵路橋梁施作的工法，施工期間零災害、零工安事故，我們特別準備了詳細的電腦簡報，局內三人輪番上陣，旨要見到駐足研究且有興趣的嘉賓，一律主動出擊，將此工法的設計與施工，以一對一的方式，簡單明瞭地介紹給他們，尤其幾位來自賓州當地的橋梁工程師，對此工程有高度之興趣，另外來自中國與韓國的教授，也為此工法留下深刻的印象。



圖 5.19 台鐵展示一隅（一）

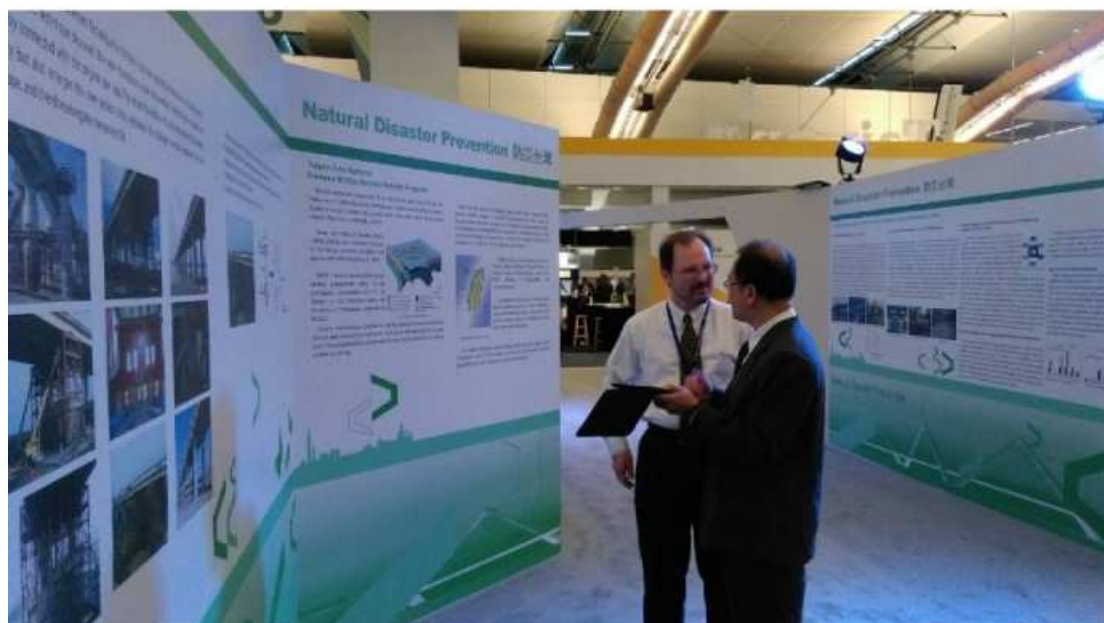


圖 5.20 台鐵展示一隅（二）

而在展場兩側，設有兩演講區，由各國工程師定時做專題演講，內容包括新工法、新材料與新技術，舉凡混凝土或鋼構橋梁，各國所遭遇的各種疑難雜症，如何克服以及分析問題，在此呈現最好的交流方式。中華顧問的林正偉博士，也對國內橋梁發展及最新工法，作了最佳詮釋，當然其中也包括本局的大甲溪橋換底工程。

最後，利用傍晚展覽結束後，徒步瀏覽了匹茲堡，這座城市屬賓州第二大城，之所以美，由於得天獨厚的條件，城市裡有愛麗格尼河(Allegheny River)與蒙隆格海拉河(Monongahela River)匯聚成俄亥俄河(Ohio River)，因此放眼望去河流的開闊，取代城市發展的擁擠。這裡有四百多座大大小小的橋梁，號稱是世界上橋梁最多的城市，稱為橋梁之都(The Bridge Capital)不為過。



圖 5.21 會議中心遠眺橋梁一景

而真正匹茲堡的美，又是由市區幾座造型唯美的鋼梁橋襯托而來，別忘了「鋼鐵之城」是可是它另一個代名詞。19 世紀上半葉，由於特殊的地理條件，在此又發現了優質的煤和鐵礦，煉鋼業隨之興起，也帶動了鋼鐵工業的發展。此外便捷的水運和鐵路運輸，使鋼鐵和原料的運送更形方便。此天然資源讓匹茲堡成為工業界的最愛，來自蘇格蘭的巨子卡內基 (Andrew Carnegie) 在這此建立了集團，因而被譽為「鋼鐵大王」，這也就是為什麼匹茲堡的橋梁這麼多，又以鋼構橋稱霸天下的原因了。



圖 5.22 匹茲堡鋼鐵大樓

有幸散步於城內河畔，眼前是浪漫的愛麗格尼河，觸目所及有五座橋聯絡南北城，位於最東側 11 街的是鐵路橋，很明顯的是其笨重的型式，偶有貨運列車通過，那再熟悉不過的「轟隆、轟隆」聲吸引了我，忍不住走到橋下一探究竟，令人訝異的是，其橋台擴大基礎外層鋼筋已生鏽嚴重，混凝土也已開裂多時無人問問，鋼構件部分生鏽異常明顯，雖有可能是耐候鋼正常現象，我也相信安全係數足以讓人對結構安全無虞；但換做在台灣，這般景象能忍受接二連三的投書嘛？世人又要用什麼樣的說法來凌駕我們的專業？



圖 5.23 位於會議中心壯觀的雙層鐵路鋼橋



圖 5.24 鋼橋橋墩抵不住歲月催化的痕跡



圖 5.25 鐵路橋上滿滿殘留滿滿鏽斑及歷史痕跡

隨後我又走過九街的的鋼橋，在橋台處貼有歷史建物的標記，建造於 1927 年，黃色的面漆看似柔和，但上橋後還是令人捏把冷汗，各構件也是鏽痕累累，接合處更是侵蝕到鋼構斷面減少，站在這座高齡 88 歲的橋梁上，依稀記得一位來自當地看展的橋梁工程師告訴我，他們會注意及觀察橋梁的狀況，約 20 年會重新油漆一次，而且那是非常浩大的工程，有時要封鎖道路，施工的成本甚至比興建一座橋梁還要高。



圖 5.26 連接匹茲堡 Downtown 橋梁（一）



圖 5.27 連接匹茲堡 Downtown 橋梁（二）



圖 5.28 橋梁鏽蝕狀況

緊接著走過八街和七街的鋼梁橋，正巧遇到 MLB 海盜隊主場球賽，連通七街 PNC 公園球場(PNC Park)的鋼橋還因此封閉，僅供行人通行。所以，鋼橋在匹茲堡已是生活的一部份，它跨過河畔，可以很迅速，也可以很悠閒，尤其鋼構的美學，可以是一座城市的象徵。總之，鋼結構雖然有輕便、經濟及施工快速的優勢，但日後維修管理真的是一門大學問。可惜的是在匹茲堡的時間不長，也沒有機會更深一層接觸橋梁管理單位，此問題只能留待日後再探討了。



圖 5.29 橋梁封閉，僅供行人通行

此次行程最後一天，我們來到了全美金融重鎮紐約，不同於舊金山與匹茲堡，頂著全美第一大城頭銜，我們很容易就感受到種族的融合與人文的匯萃，但聳立的高樓與川流不息的人潮，搭配西裝筆挺的紳士與穿著得體的淑女，無形中節奏變快了許多。然而，想要體會紐約的繁華與進步，搭乘遊艇當然是最輕鬆的方式，也可以從各角度來欣賞其建設之美。

穿過曼哈頓摩天大樓群，我們來了港口搭上遊艇。啓航後，身後高聳的建築建行漸遠，相反地，遠方鼎鼎大名的自由女神像(Statue of Liberty)隱約地在向我們招手。值得一提的是，在 911 之前，著名的世貿中心(World Trade Center)雙塔，與島上的自由女神像互相輝映，從自由女神島看世貿，兩棟大樓鶴立雞群，堅立挺拔好不顯眼；反之從世貿遠望自由女神，它靜靜地舉著火把獨自站立，象徵自由民主，不言可喻。可是自從 2001 年 911 之後，世貿消失了，美國讓這重拳一擊，彷彿世界也改變了。



圖 5.30 自由女神靜靜地舉著火把獨自站立，象徵自由民主

隨後我們有幸來到雙塔世貿中心原址，絡繹的人潮，相信 911 的陰影還深烙在每個遊客心中，但令人嘆為觀止的是，世貿中心重新站了起來；最感性的是，在新大樓廣場設置了一大型水池，水池外牆上刻滿了 911 事件罹難者的姓名，為紀念這些犧牲者，新世貿誕生了，紐約也浴火重生，全世界又恢復了往日的寧靜。



圖 5.31 在新大樓廣場設置了一大型水池，外牆上刻滿了 911 事件罹難者的姓名



圖 5.32 新世貿中心於 2013 年 11 月完成，72 層樓高度 541 公尺為美國最高

新世貿中心於 2013 年 11 月完成，72 層樓高度 541 公尺相當於 1776 英尺(1776 恰為美國發表獨立宣言的年代)，這個高度已超越芝加哥的威利斯大樓，登上全美摩天大樓排行榜第一，其造型為止倒交錯的三角形切面，頂端有長型塔尖，外觀稱得上時髦又顯眼，目前為全世界第三高的建築。

陸、 參訪心得及建議

為期八天的行程，倉促中帶了點悠閒，橋梁工程在全世界已非常發達，各種材料、工法、顏色、造型早已擺脫傳統刻板的印象，各國不斷向下鑽掘，往上發揮，勇於拓展，一座座大跨徑、高張力以及極具安全性的橋梁與日俱增，為的是克服大自然以及氣候異常的挑戰，以增進人民的通行的便利與壯大國家的發展。

橋梁工程在台灣，這次能登上 IBC 會議的國際舞台，我們的水準絕對也達世界級，無論設計者的巧思，或是施工團隊的精進，台灣的橋梁可以克服惡劣的天候，可以融入當地的文化特色，最特別的是，有時我們得穿著衣服改衣服，也就是在維持橋梁營運的前提下動土；更難能可貴的是，我們付出心力關心環境保育及自然生態，減少開發帶來的衝擊，應該是這次帶給外國人最津津樂道的。

然而，在大量的建設之後，我們要面對的是維修保養，或許現在起我們已經發現橋梁開始劣化，五年、十年、甚至二十年後到了巔峰，就像我們在匹茲堡看到的狀況，畢竟道路開闢了之後，就是條不歸路，只能永遠向前走。但是當我們都專注於興建知識，面臨的是發展快速，人口老化、人力不足的條件時，何曾想過日後如何檢查，又如何維修保養這些與日俱增的橋梁呢？

頭痛醫頭、腳痛醫腳或許是我們目前的寫照，但是從這次 IBC 參展單位展示出的商品，似乎又讓人看到一絲曙光。其實我們的問題，大概老美們也都親身經歷了，面對天寒地凍的環境，他們開發出一系列產品，無論橋梁檢查、檢測、新材料、新工具、新儀器、工安設備等，超乎我們想像，這是超出理論之外，非常務實的一面。

所以，在台鐵建造橋梁，蓋座鋼構車站，甚至鐵路高架化的大型建設，都已不是問題；值得注意的是，在大量建設之後，將新橋梁資料資訊化、系統化，日後定期追蹤檢查，人力的安排與經驗的培訓，都是重要的課題。目前工程師仍以土法煉鋼的方式，一年四次頻繁地檢查，到了年底將資料鍵入橋檢系統，也就算任務完成了。但是人員不斷更換，橋梁不斷增加，如何發現並解決問題，是日後努力的目標。

從舊金山到匹茲堡，彷彿看到一部橋梁史，高齡八十的結構功成身退，仍默默地佇立於河中，因為工程師們善待它，用了最好的材料，並適時的關照，即使天災重創了它，它依然屹立。再想想金門大橋，這曾是世界第一長跨徑的橋梁，在工程技術屢創新猷的今日，仍名列排行榜第九，每年吸引成千上萬來自全世界遊客的目光，儼然成為舊金山地標，也在於主事者的用心，讓橋梁變得更美麗。

因此，這次交通部所屬單位與國內知名顧問公司及營造廠商聯手參展，讓我們平時在忙碌之餘，增加了橫向聯繫的機會；能夠跨出自己部門，向其他單位學習，也是非常難得的體驗。而能見識到各國對橋梁研究的堅持，以及工程師對自己專業所盡的本份，我們自嘆弗如，但誠所謂行萬里路勝讀萬卷書，我們還是得到了不少新的體會，就留點時間與空間去執行。



圖 6.1 2015 年 IBC 會議，台灣第一團團員合影