

公務出國報告（出國類別：國際會議）

參加 2019 年國際橋梁會議  
(2019 IBC)出國報告

服務機關：交通部高速公路局  
姓名職稱：林生發 規劃組組長  
派赴國家/美國：華盛頓特區  
出國期間：108.06.8~108.06.16  
報告日期：108.8.23



## 摘 要

國際橋梁會議(The International Bridge Conference, IBC)為美國橋梁工程管理機關、設計顧問公司、材料供應廠商等橋梁工程實務界之國際交流會議，由美國西賓州工程學會(Engineers' Society of Western Pennsylvania , ESWP)與美國道路暨運輸界協會 ( American Road and Transportation Builders Associationz , ARTBA ) 共同主辦，為橋梁工程實務界之最新資訊與技術溝通的重要平臺，提供大量技術論文，研討會和各種橋梁相關廠商產品及技術展示，每年於 6 月份舉行，今年 ( 2019 ) 於美華盛頓特區國家港灣(National Horber)舉行，邀請美國華盛頓州交通部(Washington State Department of Transportation WSDOT)分享轄區特殊課題、橋梁計畫及維護管理經驗並作為本屆特色主題。

本次會議安排之主要研討題目包含橋梁施工、新技術、橋梁檢測維護管理等議題。研討會分為兩區域進行，一為演講廳，二為展示廳。演講廳為主題演講，大會設置數個演講廳進行不同主題的演講，參與者可自由選擇聆聽；展示廳則包含本屆特色主題展示及相關工程顧問公司、營造廠商、材料設備供應商及設計、分析軟體廠商等擺設產品展示，參與者可於展示廳參觀各廠商所展示之相關產品並進行交流活動。

本報告即就參加前述國際性研討會目的、過程、心得及建議等作說明。

# 目 次

一、	目的 .....	1
二、	行程紀要 .....	3
三、	參加第 36 屆 IBC 國際橋梁會議及參訪紀要.....	5
四、	心得及建議 .....	48

# 一、目的

## (一)IBC 簡介

國際橋梁會議(The International Bridge Conference, IBC)為美國橋梁工程管理機關、設計顧問公司、材料供應廠商等橋梁工程實務界之國際交流會議，由美國西賓州工程學會(Engineers' Society of Western Pennsylvania, ESWP)與美國道路暨運輸界協會(American Road and Transportation Builders Association, ARTBA)共同主辦，為橋梁工程實務界之最新資訊與技術溝通的重要平臺，提供大量技術論文，研討會和各種橋梁相關廠商產品及技術展示，慣例於每年 6 月份的第二星期於匹茲堡市及華盛頓特區輪流舉行。

## (二)參與 IBC 會議之目的

本次國際橋梁會議包含主題講座(Keynote Sessions)、主題機構專題講座(Featured Agency Session)、技術講座(Technical Sessions)、專題研討(Workshops)及橋梁相關產業展覽(Exhibition)等活動，發表論文超過 80 篇、13 個專題研討會及 125 個展示攤位涵括：橋梁設計、施工、維護、檢測技術與儀器設備、補強修復、改建、創新觀念及永續經營等議題。本局為國內主要之橋梁新建及養護機關，藉由派員參加國際橋梁會議，透過積極參與吸收新的觀念與新知，並藉由蒐集、吸收、交流美國及國際間橋梁工程實務界近期之最新資訊與技術，提供國內橋梁規劃設計、施工、管理維護及新技術引進之參考。



圖 1-1 會議地點蓋洛德國家度假會議中心



圖 1-2 主題講座開幕主席致歡迎詞

## 二、行程紀要

### (一)行程表

本次奉派參加 IBC 國際橋梁會議核定行程自 108 年 6 月 8 日至 6 月 16 日共計 9 日，其中研討會主要議程為美國華盛頓特區時間 6 月 10 日至 6 月 12 日共計 3 日，相關行程謹彙整如表 2-1。

表 2-1 奉派參加第 36 屆 IBC 國際橋梁會議行程表

日期	起迄地點	行程紀要
6 月 8 日 (六)	臺北－美國舊金山 (去程)	桃園機場－美國舊金山機場 (去程)
6 月 9 日 (日)	臺北-美國舊金山－華 盛頓特區	舊金山機場轉機轉搭美國國 內線班機華盛頓特區(去程)
6 月 10 日 (一)	華盛頓特區	路程及報到
6 月 11 日 (二)	華盛頓特區	參加專題研討會、論文研討會 及參觀廠商展覽
6 月 12 日 (三)	華盛頓特區	參加專題研討會、論文研討 會、技術參訪
6 月 13 日 (四)	華盛頓特區	參加專題研討會、論文研討會 及參觀廠商展覽
6 月 14 日 (五)	華盛頓特區	華盛頓特區 Woodrow Wilson Memorial Bridge 參訪
6 月 15 日 (六)	華盛頓特區－洛杉磯	華盛頓特區－洛杉磯 (返程)
6 月 16 日 (日)	洛杉磯－臺北	抵達桃園機場(返程)

## (二)行程概述

配合航空公司航班時間晚去早回、美國國內線轉機等候時間及時差，在美國華盛頓特區實際停留時間僅有 5 天，第 1 天抵達華盛頓特區後搭乘公車及地鐵等大眾運輸工具順道參觀當地交通建設，第 2 天辦理報到，參加為期 3 天的國際橋梁會議，第 5 天參訪華盛頓特區 Woodrow Wilson Memorial Bridge，參訪結束隔天即由華盛頓特區杜勒斯機場搭機飛往洛杉磯，再於洛杉磯機場轉機搭乘長榮班機返台。

### 三、參加第 36 屆 IBC 國際橋梁會議及參訪紀要

#### (一) 舉辦時間、地點

2019 年國際橋梁會議舉辦地點在華盛頓特區-國家港灣(National Harbor)蓋洛德國家度假會議中心(The Gaylord National Resort and Convention Center)，舉辦時間為當地時間 6 月 10 日(星期一)至 12 日(星期三)。



圖 3-1 蓋洛德國家度假會議中心



圖 3-2 國際橋梁會議註冊及報到處

## (二)IBC 國際橋梁會議研討會議程

本屆會議研討會議程詳表 3-1 所示，共計 3 日，包含主題講座(Keynote Sessions)、主題機構專題講座(Featured Agency Session)、技術講座(Technical Sessions)、專題研討(Workshops)及橋梁相關產業展覽(Exhibition)等活動，發表論文超過 80 篇、13 個專題研討會及 125 個展示攤位，涵括：橋梁設計、施工、維護、檢測技術與儀器設備、補強修復、改建、創新觀念及永續經營等議題。會議場次均可視需求自由參加。

表 3- 1 IBC 國際橋梁會議研討會議程表

**IBC**  
SCHEDULE-AT-A-GLANCE

TIME	SESSION	ROOM
<b>Monday, June 10</b>		
8:00 – 10:00 AM	Special Session: Bridge Asset Management [Page 16]	Woodrow B/C/D
8:00 – 10:00 AM	Special Session: Construction [17]	Annapolis
8:00 – 10:00 AM	Special Session: New Technology [18]	Woodrow A
10:15 AM – 12:15 PM	Keynote Session [20]	Cherry Blossom BR
12:15 – 2:00 PM	Exhibit Hall Luncheon & Outdoor Exhibits	Prince George Hall E
2:00 – 5:30 PM	Featured State Session: Washington DOT [21]	Cherry Blossom BR
2:00 – 4:30 PM	Proprietary Session [22]	Woodrow A
2:00 – 6:00 PM	W-1: Practical Approaches and Tools for the Design of Steel Bridges [24]	Magnolia 1
2:00 – 6:00 PM	W-2: New Design Standards and Worldwide Innovative Applications using FRP Composites to Build Bridges [24]	Magnolia 2
5:00 – 6:00 PM	International Welcome Reception [24]	Prince George Hall E Foyer
5:00 – 7:00 PM	Exhibit Hall Reception & Outdoor Exhibits	Prince George Hall E
<b>Tuesday, June 11</b>		
8:00 AM – 12:00 Noon	Construction, Part 1 Session [25]	Annapolis
8:00 AM – 12:00 Noon	Preservation, Part 1 Session [27]	Woodrow A
8:00 AM – 12:00 Noon	Design, Part 1 Session [29]	Woodrow B/C/D
8:00 – 9:00 AM	W-3: Aesthetic Lighting, Public Art & Community Pride [32]	Magnolia 1
8:00 AM – 12:00 Noon	W-4: Bridge Information Modeling [32]	Magnolia 2
9:30 AM – 12:00 Noon	W-5: Bridge Load Rating, Posting, and Permitting [33]	Magnolia 1
10:00 AM – 2:00 PM	Exhibit Hall Luncheon & Outdoor Exhibits	Prince George Hall E
1:00 – 5:00 PM	IBC Bus Tour of the Arlington Memorial Bridge [10 & 33]	Outdoors

# IBC

## SCHEDULE-AT-A-GLANCE

TIME	SESSION	ROOM
1:30 – 5:00 PM	Construction, Part 2 / Cable Stayed Session [34]	Annapolis
1:30 – 5:00 PM	Preservation, Part 2 Session [36]	Woodrow A
1:30 – 5:00 PM	Design, Part 2 Session [38]	Woodrow B/C/D
1:30 – 3:30 PM	W-6: BrIM Applications [40]	Magnolia 1
1:30 – 3:30 PM	W-7: Bridge Bearings and Expansion Joints [41]	Magnolia 2
4:00 – 6:00 PM	W-8: Grouting of Post Tensioned Bridges [41]	Magnolia 1
4:00 – 6:00 PM	W-9: Construction Challenges of Jointless Bridges in Seismic Regions [41]	Magnolia 2
5:30 PM	IBC Awards Dinner [42]	Cherry Blossom BR
<b>Wednesday, June 12</b>		
7:30–9:00 AM	Exhibit Hall Breakfast & Outdoor Exhibits	Prince George Hall E
8:00 AM – 12:00 Noon	Iconic New Bridges Session [43]	Annapolis
8:00 AM – 12:00 Noon	Segmental Concrete/Rail/Transit Session [45]	Woodrow A
8:00 AM – 12:00 Noon	Special Interest Session [47]	Woodrow B/C/D
8:00 AM – 12:00 Noon	W-10: International Workshop on Emerging Bridge Technologies [49]	Magnolia 1
8:00 AM – 12:00 Noon	W-11: FHWA Bridge Security Design [50]	Magnolia 2
10:00 AM – 2:00 PM	Exhibit Hall Luncheon & Outdoor Exhibits	Prince George Hall E
1:30 – 1:30 PM	Seismic Session [51]	Annapolis
1:30 – 3:30 PM	Inspection & Analysis Session [52]	Woodrow A
1:30 – 3:30 PM	Pedestrian & Special Bridges Session [53]	Woodrow B/C/D
1:30 – 4:30 PM	W-12: MASH Implementation of Bridge Railing Systems [55]	Magnolia 1
1:30 – 4:30 PM	W-13: Bridge Scour Prevention [55]	Magnolia 2

### (三)各類研討會議及參訪簡介

本次研討會之研討議題，包含主題講座(Keynote Sessions)、主題機構專題講座(Featured Agency Session)、技術講座(Technical Sessions)、專題研討(Workshops)，內容相當廣泛涵蓋各領域範疇，茲分別簡介說明如下。

#### 1. 主題講座(Keynote Session)

由大會主席 Stephen G. Shanley, P.E. 致歡迎詞及開場白後邀請專家學者進行演講，時間約 2 小時，本次主題講座為美國華盛頓州交通部及聯邦公路總署相關之橋梁養護維修及改建工程、橋梁興建計畫等之介紹。



圖 3.3 大會主席 Stephen G. Shanley, P.E. 致歡迎詞

## 2. 技術講座(Technical Sessions)

論文研討會共三天，議題涵蓋橋梁及結構工程相關之各類範疇，包羅萬象，內容廣泛，本次研討會發表論文超過 80 篇以上，會議場次超過 13 場次，每日皆有不同論文議題在各會議室舉辦(主要議題一覽表如表 3-2 及圖 3-3~10 所示)。

表 3- 2 IBC 國際橋梁會議研討會主要議題一覽表

主要議題名稱(英文)	主要議題名稱(中文)
Bridge Asset Management	橋梁資產管理
Challenges and Innovative Construction	施工之挑戰和創新
New Technology	新技術
Automated Reinforcement of Bridges Under a BIM Perspective	應用 BIM 的橋梁自動配筋
Incremental Launching Method for Bridges	橋梁推進工法
Case Studies of Bridge Failure due to Scour and Prevention of Future Failures	橋梁沖刷及預防之案例研究
Non-Destructive Testing on High Load Multirotational Bearings	高負載多向旋轉支承之非破壞試驗
Practical Approaches and Tools for The Design of Steel Bridges	鋼橋設計之實用方法及工具
New Design Standards and Worldwide Innovative Applications Using FRP Composites to Build Bridges	使用 FRP 複合材料建造橋梁之新設計標準及創新運用
A Practical Look Into Past, Present, and Future FDOT Projects Utilizing ABC Techniques	佛羅里達州橋梁使用快速工法過去、現在及未來之實際考察
Innovative ABC Replacement of a Freight Railroad Bridge	創新的貨運鐵路橋梁改建之快速工法
ABC Replacement of Commonwealth Avenue Bridge in Boston	波士頓聯邦大道橋梁改建之快速工法
A New Perspective of Accelerated Bridge Construction	加速橋梁施工的新視角
Maintenance and Management	維護和管理

Bridge Rehabilitation	橋梁維修補強
Collaboration & Innovation in Emergency Response	緊急應變中之合作及創新
Emergency Bridge Repairs During the Winter	冬季緊急橋維修
Flexural Strengthening of Heavily Corroded Steel Members Using CFRP	重度鏽蝕鋼構件的抗彎加固使用 CFRP
Carbon FRP Jackets for Seismic Strengthening of Bridge Piers	橋墩柱耐震補強使用碳纖維 FRP 包覆
Retrofitting and repair	改建和維修
Risk management	風險管理
Seismic design and retrofitting	耐震設計和改建
Structural Health Monitoring	結構監測
Effects of Stiffness, Creep, and Shrinkage on RC Arch Bridges	勁度、潛變及乾縮對混凝土拱橋之影響
BIM for Bridges: An Integrated Approach from Design to Construction	從設計到施工使用 BIM 之完整方法
BIM for Better Bridge Design and Construction	使用 BIM 之更好的橋設計和施工
Modeling, Design and Analysis of Segmental Bridges from a BIM Perspective	從 BIM 的角度看節塊橋梁的建模，設計與分析
BIM for on-Budget Bridge Megaprojects	BIM 對大型橋梁計畫之預算運用
NEXT beam bridges for 100 plus year service life	新 T 型預力混凝土梁斷面工法
Suspender Cable Inspection Using Advanced Robotic Technology	使用先進的機器人技術進行橋梁懸吊鋼纜檢測
Lightweight Superstructure Replacement of the Bridge	橋梁以輕型上部結構進行置換
Experiences in The Performance of Bridge Bearings and Expansion Joints	橋梁支承及伸縮縫性能使用經驗分享



圖 3- 4 專題演講



圖 3- 5 專題演講

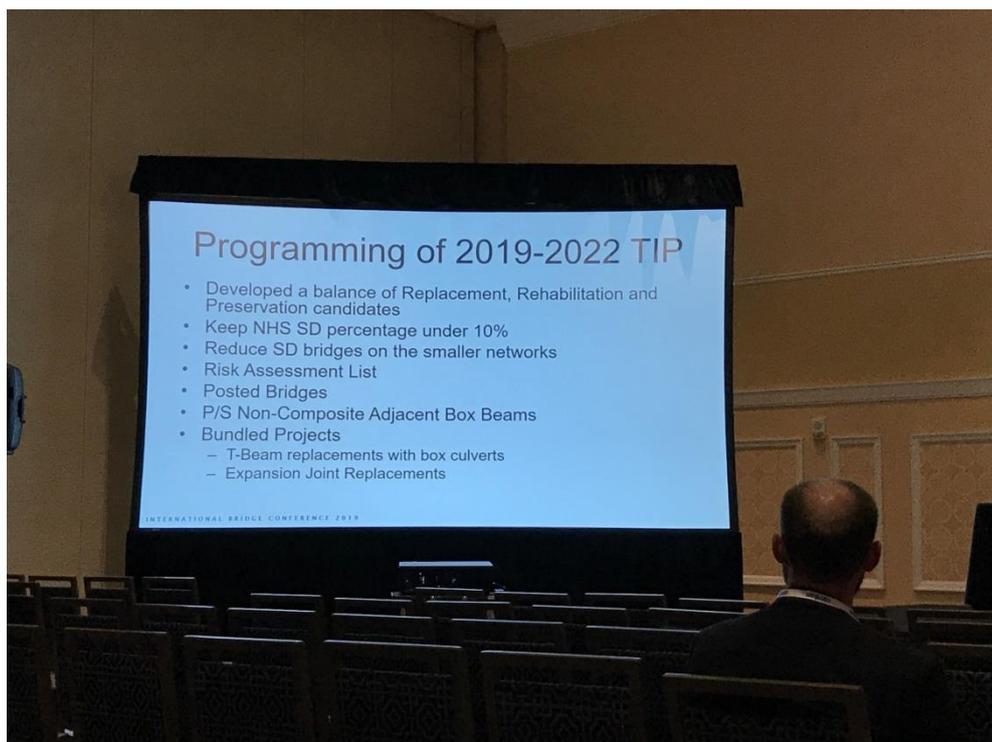


圖 3- 6 專題演講

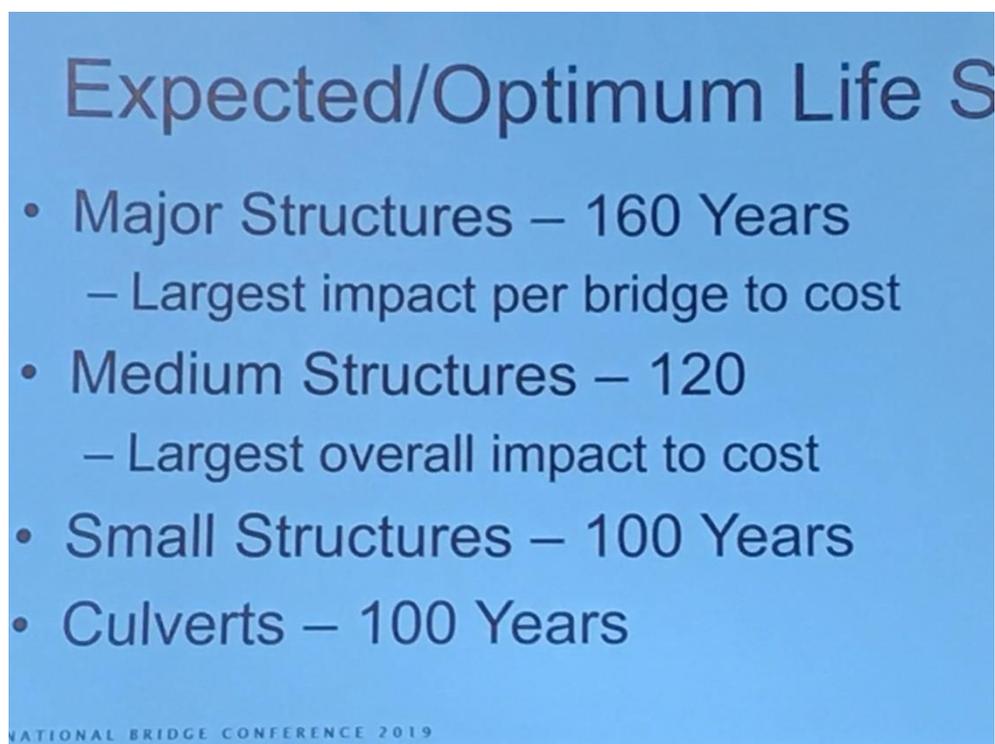


圖 3- 7 專題演講-預期結構使用年限

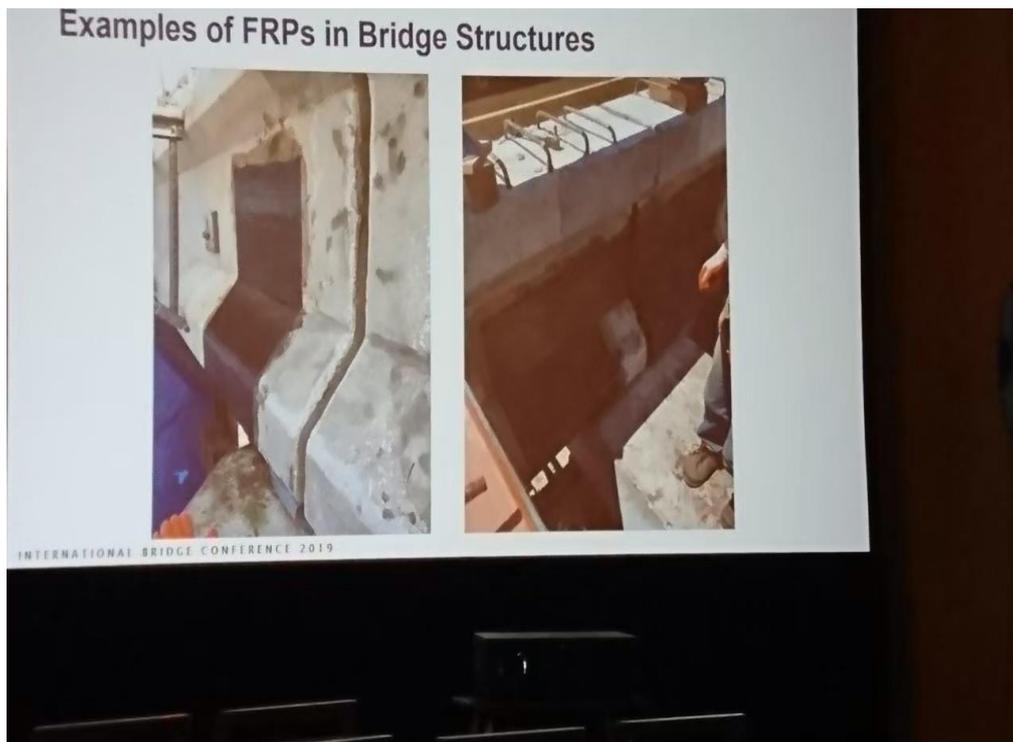


圖 3-8 專題演講

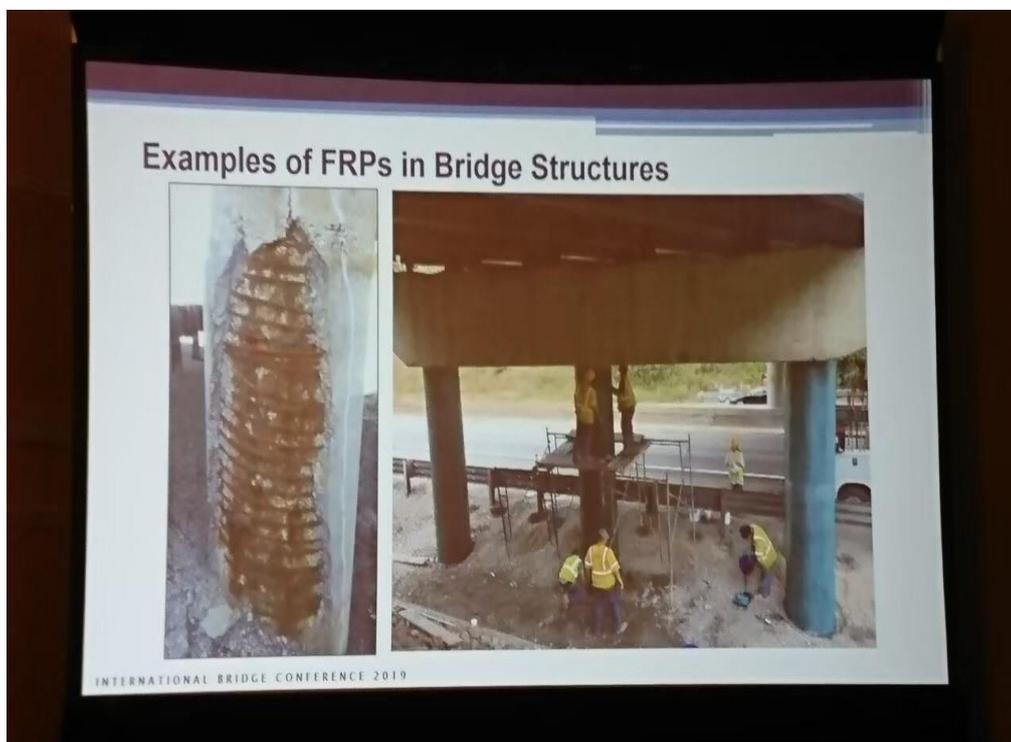


圖 3-9 專題演講

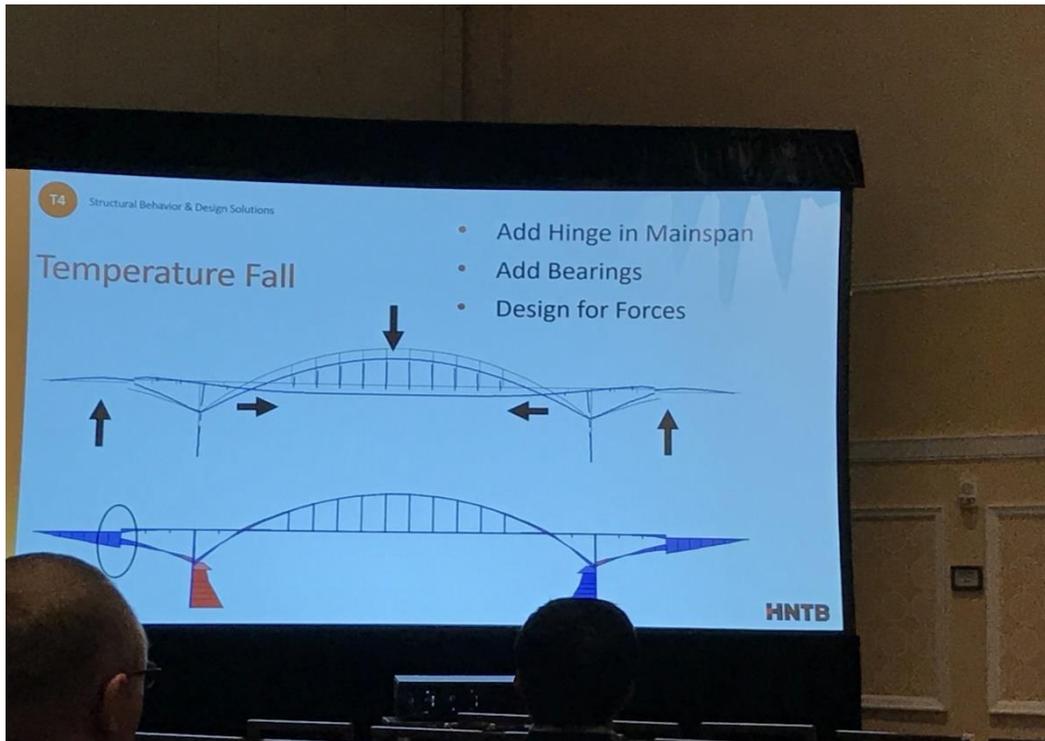


圖 3- 10 專題演講

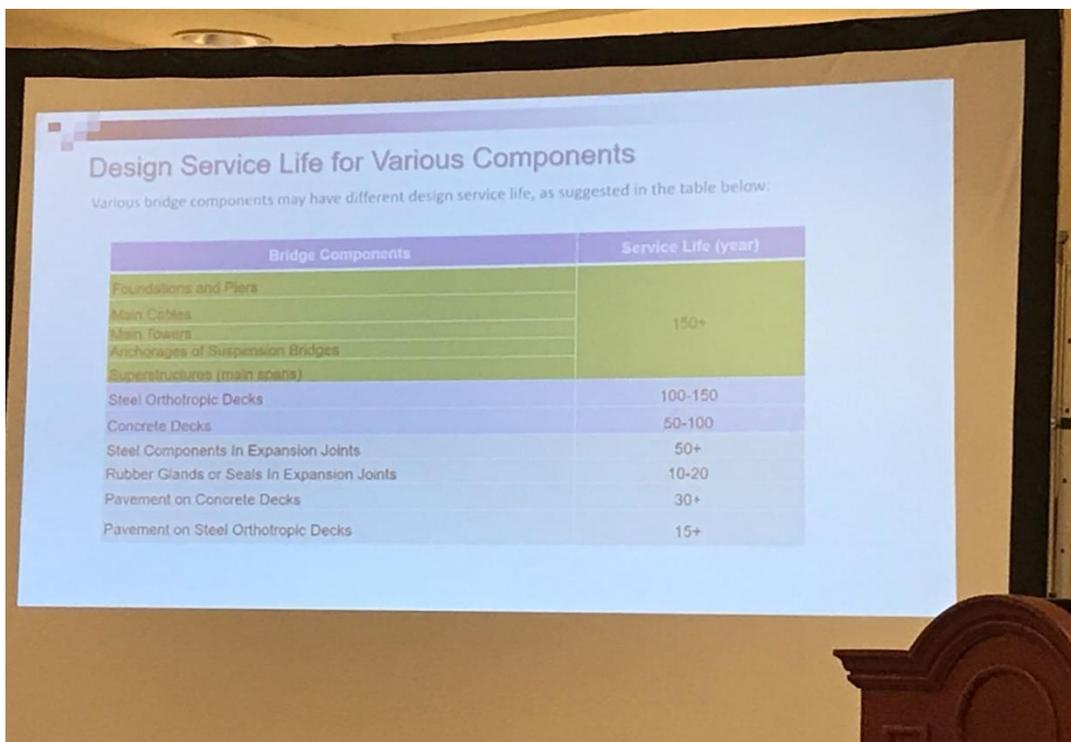


圖 3- 11 專題演講



圖 3-12 專題演講



圖 3-13 專題演講交流討論

### 3. 主題機構專題講座(Featured Agency Session)

台灣曾於 2015 年受邀為特色主題國(Featured Country) 該次參展主題由交通部屬機關就重要計畫參與展出。主題國家所參展的主題標語「SAFE Taiwan Symbiosis with the Environment」 臺灣工程與環境共生展場主題館分三大單元：分別是「永續臺灣」(Sustainable Management)「防災臺灣」(Natural Disaster Prevention)「觀光臺灣」(Discover Taiwan)。主題主要是「臺灣工程與環境共生」，有關高速公路的部分則有：國道橋梁的興建、國道生態的維護、橋梁耐震補強、橋梁監測與檢測系統等。

今 2017 年主題機構則為美國華盛頓州交通部(Washington State Department of Transportation WSDOT)分享轄區特殊課題、橋梁計畫及維護管理經驗並作為本屆特色主題。演講主題如下

- (一) WSDOT Fish Passage Program
- (二) Washington State's Floating Bridges
- (三) Innovations in WSDOT Bridge Design and Accelerated Bridge Construction
- (四) DOT Bridge Asset Management - lessons learned
- (五) Seismic Risk Analysis of Ferry Terminal Assets
- (六) Digging Deeper into the Alaskan Way Viaduct Replacement Program

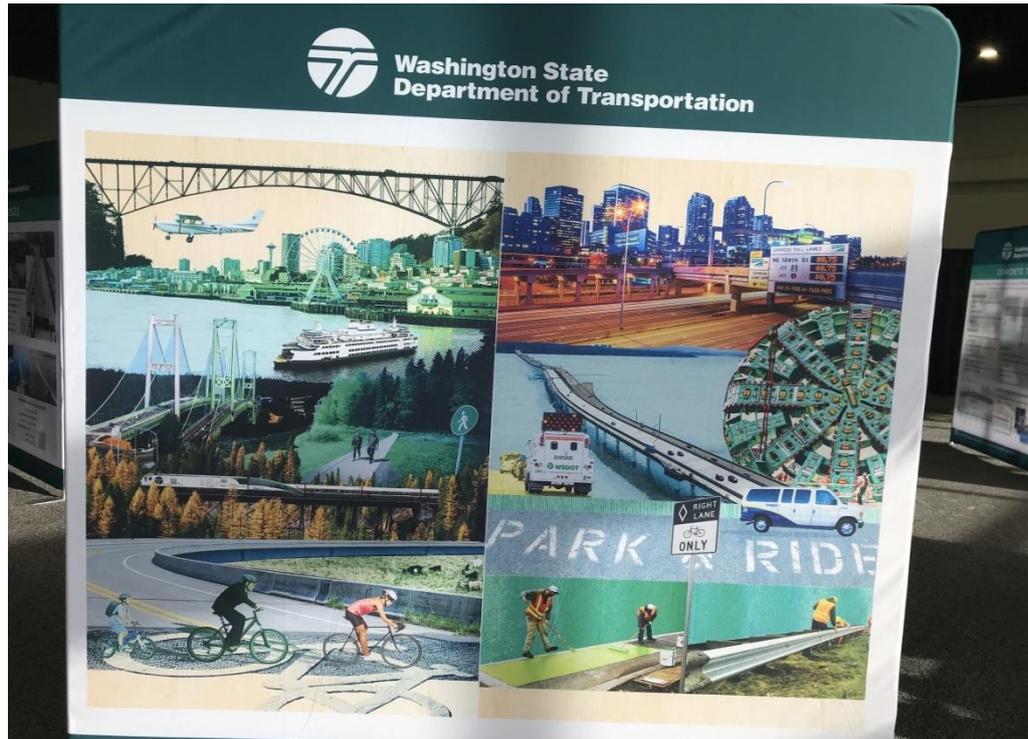


圖 3-14 特色主題展示

### Washington State Department of Transportation FISH PASSAGE PROGRAM

**S**tate highways cross streams and rivers in thousands of places in Washington State, which can impede fish migration. WSDOT has worked for nearly three decades to improve fish passage and reconnect streams to help keep our waterways healthy. A 2013 federal court injunction requires the agency to correct hundreds of culverts in Western Washington. WSDOT Fish Barrier Correction is a priority.

#### KEY FACTS

- Approximately **1,977 culverts** are barriers to fish passage on the statewide highway system; **1,513 are fish passage barriers** that have more than **200 meters** of upstream habitat.
- Of those, **806** are subject to federal injunction; **418** must be corrected to open **90 percent** of the habitat by **2030**.
- As of 2017, WSDOT completed **319 fish passage projects** statewide and improved access to about **1,032 miles** of potential habitat upstream.
- From **2013-2017**, WSDOT spent **\$97 million** correcting fish passage barriers and plans to spend **\$97.5 million** during the **2017-2019** biennium.
- Current estimate to address federal injunction is **\$2.4 billion**.

The 'I-5 Fisher Creek Before and After' section shows a culvert with a fish barrier on the left and a more natural stream with a fish passage structure on the right. The 'Church Creek Replacement Project' section shows a bypass installation, a buried structure replacement, and a final improved fish passage.

圖 3-15 特色主題展示



圖 3- 16 特色主題展示



圖 3- 17 特色主題展示

#### 4. 橋梁相關產業展覽(Exhibition)

主題機構及廠商展覽於會場展示廳舉行，今年共有 125 家參展廠商(廠商名錄如附錄 II)，展覽內容包括軟體設計公司、勞安設備供應商、橋梁施工上下設備供應商、鋼棒材料供應商、防腐蝕鋼筋供應商、斜張鋼纜供應商、橋梁施工機具、自動化橋面配筋機器人、工作車供應商、檢測技術與儀器設備、橋梁檢測車及設備、伸縮縫等產品展示，相關展覽成果相當豐富多元，或以實體展示，或以影片播放，更有實景模擬等方式。部分展示攤位亦提供書面簡介供與會者索取參考，除了有數百名以上橋梁結構工程產業相關專業人員互相交流觀摩以外，也有來自全美各地的土木工程學科學生藉由參加研討會及展場，從中學習吸收知識。



圖 3- 18 橋梁相關產業展覽(Exhibition)



圖 3- 19 橋梁相關產業展覽(Exhibition)



圖 3- 20 橋梁相關產業展覽(Exhibition)-不鏽鋼鋼筋產品



圖 3- 21 橋梁相關產業展覽(Exhibition)-不鏽鋼鋼筋產品



圖 3- 22 橋梁相關產業展覽(Exhibition)-結構監測



圖 3- 23 自動化橋面配筋機器人展示(Exhibition)



圖 3- 24 橋檢測車及相關設備展示(Exhibition)

## 5. 技術參訪

6 月 11 日下午參加主辦單位安排之技術參訪，前往參觀美國著名的 Arlington Memorial Bridge 阿靈頓紀念大橋(詳圖 3-24)，這座橋梁歷史悠久是一座新古典主義的鋼筋混凝土結構拱橋，兩端各 4 跨度拱橋外觀以花崗岩磚石裝飾，中央 1 跨度配合大型船隻航行通過需求為鋼結構活動開合橋總共為 9 個跨度，造型優美橫跨美國首都華盛頓特區的波托馬克河，連接林肯紀念碑和阿靈頓國家公墓的大門入口。橋梁總長近 2,100 英尺，94 英尺寬的橋梁，採雙向三車道橋面設計，搭配 2 側近 14 英尺寬的共用自行車和人行道。本橋梁於 1922 年開始建造歷經 10 年於 1932 年完工，至今已有 87 年的橋齡，已被列為國家史蹟。由於長久以來之機件故障及鋼橋鏽蝕問題，橋梁的活動開合跨度已在 1961 年永久關閉。橋梁維管單位經常辦理例行檢測及維修，但截至 2013 年從未進行過大修致橋梁狀況正在持續惡化。2013 年 2 月，美國國家公路總署 FHWA 對橋梁橋面版進行了重大檢查，檢查後 FHWA 宣布橋梁整體狀況不佳，原因是持續存在活動開合跨度鋼橋結構及鋼筋的鏽蝕，橋面版及拱橋混凝土劣化鋼筋鏽蝕，橋梁的承重梁亦發現了相當數量的鏽蝕，人行道磨耗層劣化磨損等相關問題。

2017 年 11 月 30 日，美國內政部宣布將花費 2.32 億美元於 2018 年對該橋進行重大維修更新，以恢復阿靈頓紀念橋的結構完整性，同時保護和保存其紀念特色及重要的設計元素，必須保留原有之外觀，施工期間並必須維持部分車道及自行車和人行道之通行。本維修工程設計及施工合約係由 Kiewit 基礎設施公司獲得，其中包括更換活動開合跨度及全橋橋面版、劣

化之承重梁、橋台及橋墩之維修補強、拱橋橋體、基礎及支承  
維修、更換混凝土人行道、安裝改良的排水系統，為了縮短施  
工時間使用預鑄橋面版預計可縮短 18 個月的工期。同時為了  
延長橋梁之壽齡減少日後維修之交通衝擊及大量花費，維修工  
程尤其是預鑄橋面版全面使用不鏽鋼鋼筋來取代傳統鋼筋。

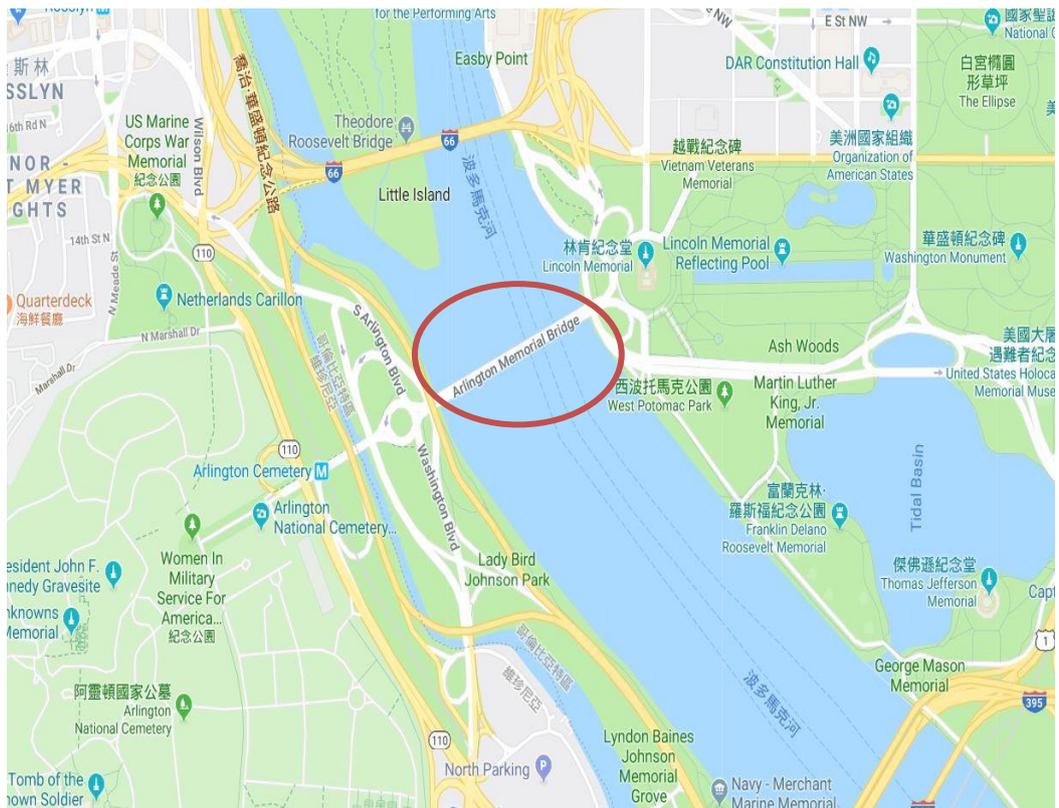


圖 3- 25 Arlington Memorial Bridge 大橋位置示意圖



圖 3- 26 Arlington Memorial Bridge 優美之外觀



圖 3- 27 Arlington Memorial Bridge 活動開合跨度鏽蝕情形



圖 3- 28 Arlington Memorial Bridge 工地解說

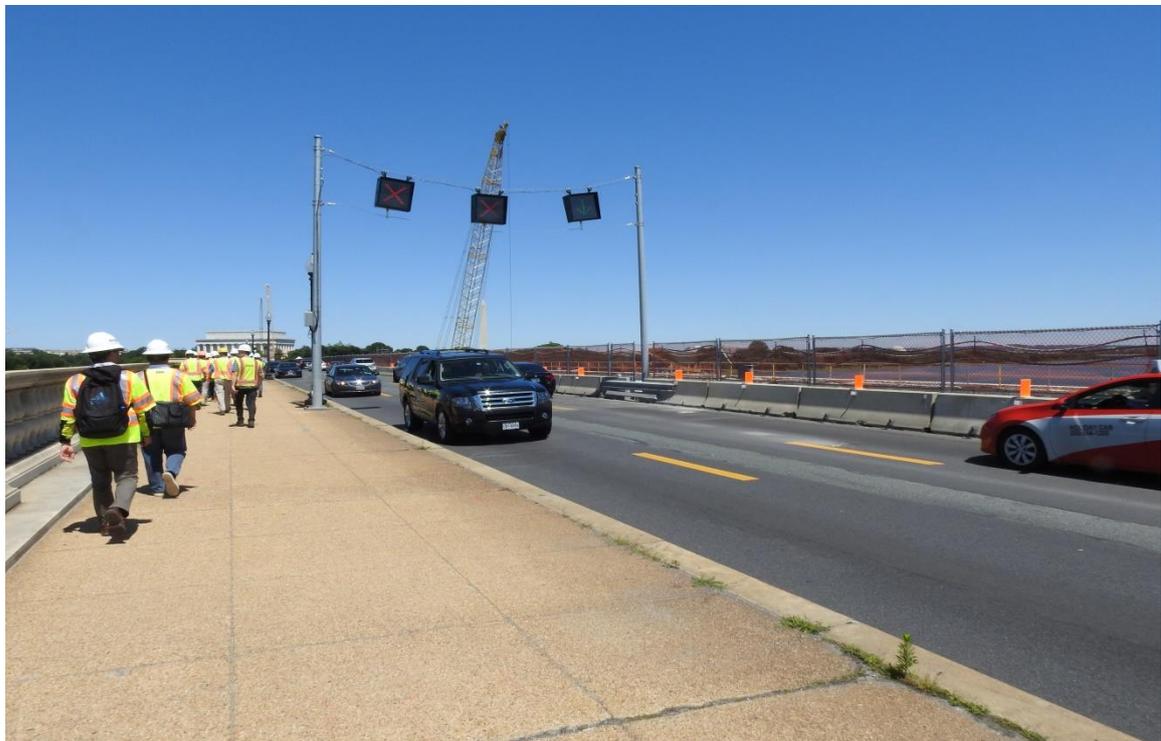


圖 3- 29 Arlington Memorial Bridge 工地交維情形



圖 3- 30 Arlington Memorial Bridge 工地使用平台船施工情形



圖 3- 31 預鑄混凝土橋面版使用使用不鏽鋼鋼筋



圖 3-32 Arlington Memorial Bridge 預鑄橋版掃紋



圖 3-33 Arlington Memorial Bridge 使用預鑄橋版快速工法

國際橋梁會議結束後 6 月 13 日透過美國前聯邦公路總署橋梁總工程師顏博士安排，前往參觀伍德羅·威爾遜紀念大橋 Woodrow Wilson Memorial Bridge (詳圖 3-28)，為華盛頓特區的首都環線高速公路跨越波托馬克河之分段活動開合大橋。目前的橋梁係於 2008 年開放，作為 1961 年建造的舊橋的替代。原來之舊橋梁有六條車道，長度為 5,900 英尺 (1,798 米)。橋梁結構為版梁活動式開合橋梁，允許大型遠洋船隻進入華盛頓特區的港口設施，惟因淨高只有 29 英尺需經常開啟中斷車輛通行，且原設計容量為每天可通過 75,000 輛汽車，在 1999 年變得極度擁擠，因為實際交通量每天約有 20 萬輛汽車通行，是原設計容量的 2.6 倍。配合交通量成長的需求，在橋梁兩側的高速公路已拓寬到八車道之後，橋梁段只有六車道，且車道很窄沒有設置路肩，成為每日交通瓶頸。此外，這座橋尚有嚴重的維護問題，並從 20 世紀 70 年代開始進行連續的拼湊維修。並曾在 1982 年到 1983 年完全重新裝修。經過大量研究和公開辯論後，決定進行橋梁改建計畫將交通容量加倍並增加活動開合部分的淨高度以減少船隻超高需開合頻率。橋梁重建工程於 2000 年 10 月動工，採先建後拆方式，一開始先進行河道的疏濬，2001 年開始進行橋梁樁基礎施工，整座橋梁以及鄰接之交流道於 2006 年中分階段陸續完工啟用開放通車，整體改善計畫則延遲至 2013 年始全部完成。改建後成為雙向 12 個車道和 70 英尺 (21 米) 的船隻通航淨高。新建橋梁標準跨度之下部結構為鋼筋混凝土 V 型橋墩，上部結構為鋼梁與預力鋼筋混凝土梁之組合橋；活動開合跨度為減輕重量則上部大梁整體結構均為鋼結構，其造型優美橫跨美國首都華盛頓特區的波托馬克河。



圖 3- 34 Woodrow Wilson Memorial Bridge 大橋位置示意圖



圖 3- 35 遠眺 Woodrow Wilson Memorial Bridge 大橋



圖 3- 36 Woodrow Wilson Memorial Bridge



圖 3- 37 Woodrow Wilson Memorial Bridge V 型橋墩



圖 3- 38 Woodrow Wilson Memorial Bridge V 型橋墩

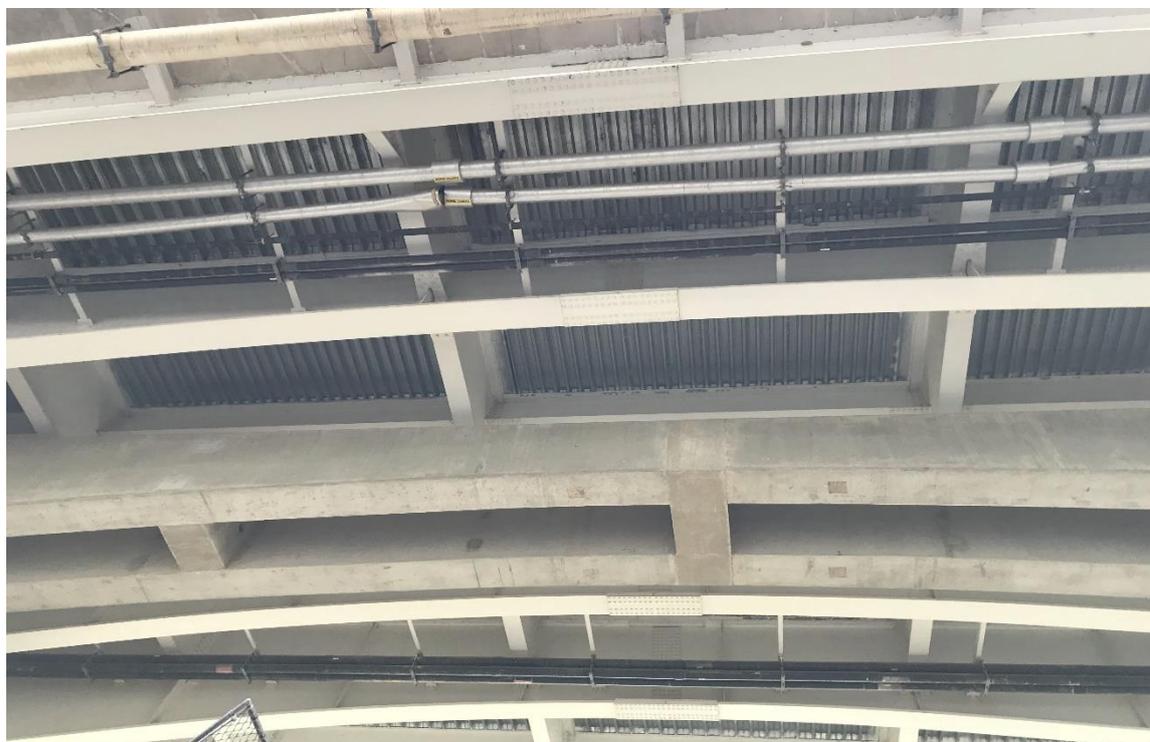


圖 3- 39 Woodrow Wilson Memorial Bridge



圖 3- 40 Woodrow Wilson Memorial Bridge



圖 3- 41 Woodrow Wilson Memorial Bridge

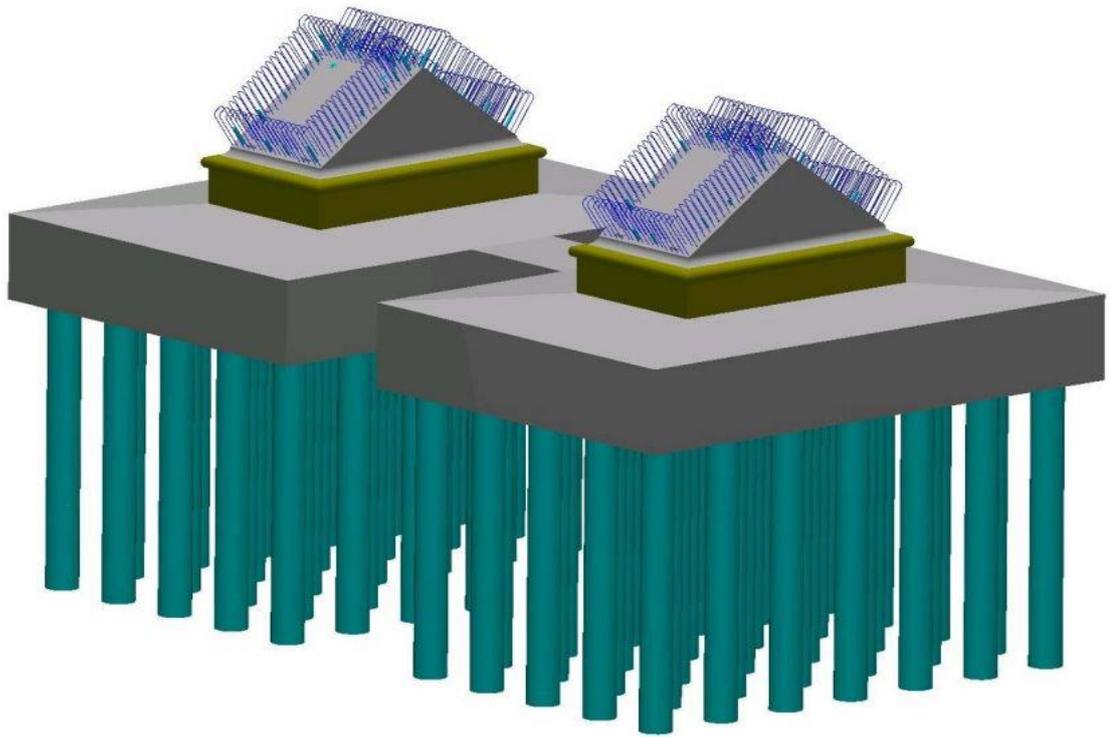


圖 3- 42 Woodrow Wilson Memorial Bridge 基礎 3D 模型

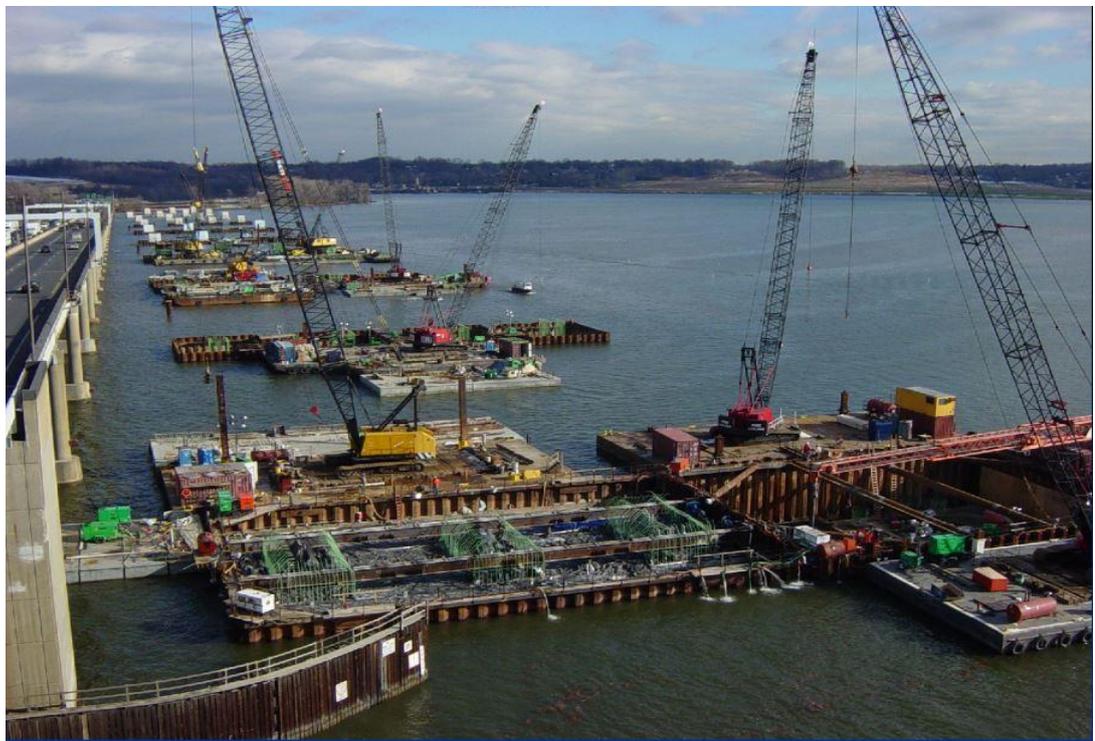


圖 3- 43 Woodrow Wilson Memorial Bridge 河中基礎施工



圖 3- 44 Woodrow Wilson Memorial Bridge 河中基礎施工

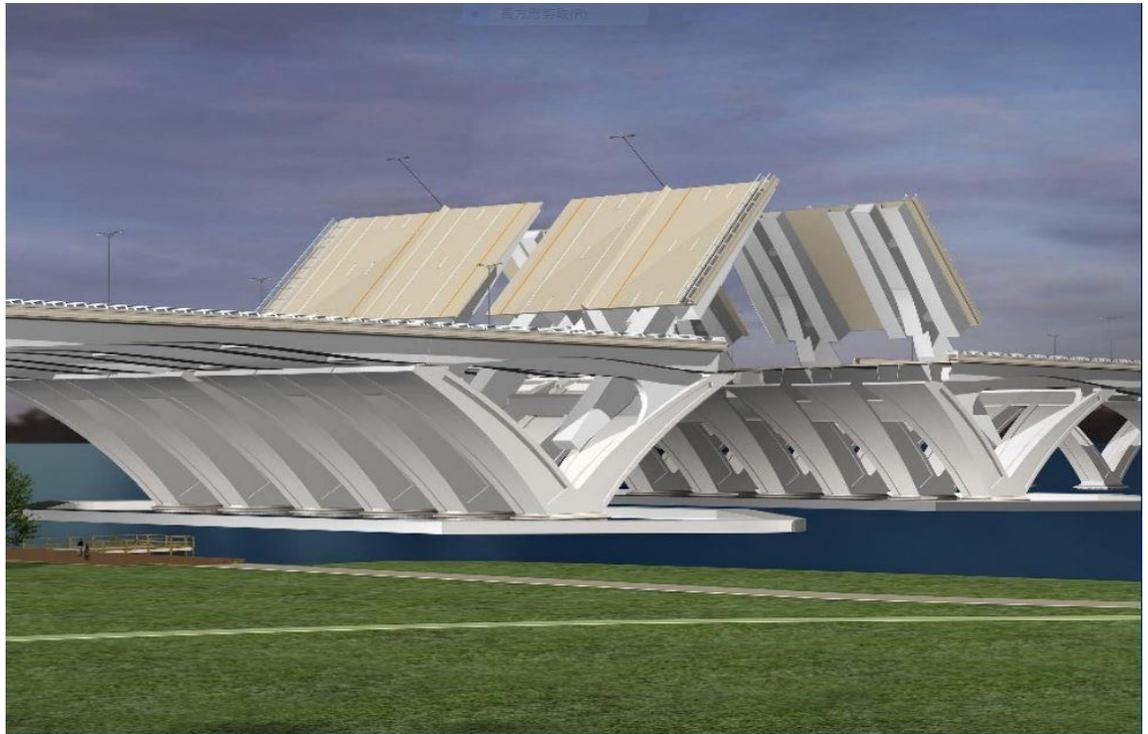


圖 3- 45 Woodrow Wilson Memorial Bridge 活動開合跨徑開啟示意



圖 3- 46 Woodrow Wilson Memorial Bridge 活動開合跨徑施工



圖 3- 47 Woodrow Wilson Memorial Bridge 鋼梁組裝

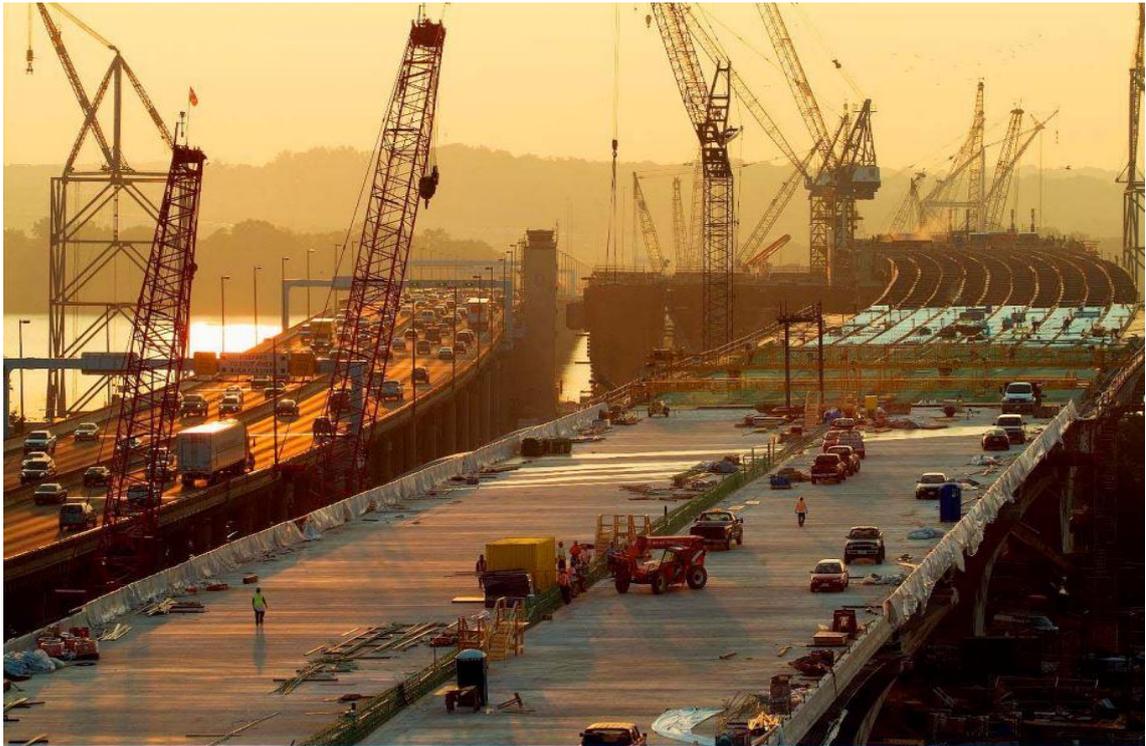


圖 3- 48 Woodrow Wilson Memorial Bridge 橋版施工



圖 3- 49 Woodrow Wilson Memorial Bridge 施工照片

## (四) 研討會議題概述

論文研討會共三天，議題涵蓋橋梁及結構工程相關之各類範疇，包羅萬象，內容廣泛，本次研討會發表論文超過 80 篇以上，會議場次超過 13 場次，每日皆有不同論文議題在各會議室舉辦，因內容廣泛，以下擇幾篇與橋梁結構有關之論文作重點摘要介紹說明。

### 1. 橋梁資產管理(Bridge Asset Management)

橋梁對為公路系統之重要連結，於蓬勃發展的國民經濟至關重要，賓州交通部 (PennDOT) 將提供其 Bridge 資產管理系統的更新以及 11-0 區的每個橋梁計畫如何與橋梁資產管理系統 BAMS 聯繫起來。每座橋梁之管理計畫 PLEB 是一個規劃工具，列出了每座橋梁下一個 30 年內的工作範圍 SOW，這項工作包括三個主要類型：維護，維修和重建。前述之評估主要依據為之前在橋上進行的維護工作、橋梁現狀，概略的生命週期成本，且不考慮資金限制。提供 PLEB 分析評估的數據均是由橋梁資產管理系統自動回饋提供的。

維吉尼亞州 DOT 將討論它如何執行並衡量其橋梁管理計畫。維吉尼亞州在其橋梁管理計劃的執行中融入了各種各樣的因素，主要依賴於一組用於觸發行動和衡量進展的指數。指數包括衡量重要性的變量、橋梁之健康狀況、功能、風險及行動有效性。這些因素用於多目標優選排序過程以選擇執行計畫。維吉尼亞州正在努力通過納入環境和元素損害的其他因素來進一步改善其橋梁管理系統。

佛羅里達州 DOT 將討論目前的 FDOT 業績指標，他們如何與 FHWA 規定的績效指標和未來進行比較增強。提供有關 FHWA 橋梁管理舉措的信息，並介紹運輸資產管理計劃 (TAMP) 的開發和實施狀況，初步經驗教訓以及可用的支援指南，還將介紹正在進行的推動橋梁管理系統高等應用，以支援 TAMP 的發展和實施。

## 2. 橋梁施工創新和挑戰(Challenges and Innovative Construction of Bridge)

位於賓夕法尼亞州匹茲堡的自由橋長度為 2,663 英尺，16 跨雙向四車道。從 2015 年 8 月開始進行修復工作幾乎每天都給駕駛者造成交通困擾。修復工作包括橋面版更換和上部結構和縱向大梁更換、縱坡調整、鋼橋結構復、整體結構的 3 層防蝕塗裝、混凝土結構修復、標誌改善和新設架空車道控制系統的安裝。修復工程工項繁雜多樣，為縮短工期採用預鑄鋼筋混凝土橋面版搭配現場紮筋連接澆築之快速橋面施工法，並使用新材料如乳膠改質混凝土，快速凝固乳膠混凝土。配合積極的里程碑和受限制的工作時間需要加快方法和材料，以便及時完成。這項耗資 8180 萬美元的修復工程於 2015 年 8 月開始施工，原計劃於 2018 年 7 月完工，但非預期的額外鋼構維修、施工期間火災、新增的人行道工作以及安裝鳥類保護屏幕延遲完工日期到了 8 月 26 日才完工。



圖 3- 50 賓夕法尼亞州匹茲堡的自由橋

### 3. 永久性板樁牆系統(Permanent Sheet pile Wall System)

賓夕法尼亞州收費公路 1,573 英尺長路堤段道路擴建，經價值工程檢討評估後，採用永久性板樁擋土牆系統（其耐久性可達 120 年），將原來兩個階段建造改為一個階段（不需要臨時支撐），可有效縮減工期、施工空間和工程經費。它由包括壁面的 Z 形板樁組成，壁板由類似形狀的板樁限制，用作垂直平面的連續扣件，即通過三向連接器連接到壁面的鰭片，提供抵抗作用在牆系統上的橫向負載。最近的一項比較研究得出結論，熱軋鋼板樁可以提供最快的施工時間，並且與競爭擋土牆體系統相比可以顯著節省成本。鋼板樁安裝總體上具有最短的施工時間，並且與其他擋土牆相比可以節省高達 60% 的成本。在施工空間受到限制的狀況下，板樁提供了一種具有成本效益的解決方案。



圖 3- 51 Permanent Sheetpile Wall System 施工情形

## 5. 建築資訊模型應用於橋梁 (Building Information Modeling for Bridges)

橋梁虛擬施工設計與其他建築結構不同，兩者之目的和應用是不同的。因此，建築資訊模型的使用也是不同的。在橋梁這種類型的結構中，需要建構具有適用於橋梁的細部設計和施工標準的詳細 3D 模型。通過設計，發展和施工保持連續性的健全流程非常重要。因此，除了 3D BIM 建模之外，我們還需要關注其他先進系統，如施工排序，地形開展，多種專業細節的詳細協調以及施工，結構和機電管線等系統。這些智能模型和 BIM 流程使施工更加高效，以預算為導向並進行規劃。我們可以建立一個詳細的，特定專業的模型，包含所有元素和後來的坐標。通常，可以使用支持 BIM 的軟件對土木結構進行建模。就像 Revit 在住宅和商業建築中更受歡迎一樣，Civil 3D 在民用建築中更受歡迎。建模完成後，可以調和規則，然後可以移除衝突。調和的模型可以在以後用於提取模型，進行展示和施工順序。施工排序有助於從開始到結束了解施工時間表和進度。

BIM 也可以應用於橋梁需要維修和重建。跨河橋梁等需要根據不斷變化的氣候條件，橋梁的年齡因素等進行重新設計和重建。此外，橋梁的年齡也導致強度下降，這在颱風期間構成了巨大的安全威脅，因此，必須重建這些橋梁。雷射掃描是任何建築或土木結構重建過程的理想解決方案。可以使用雷射掃描橋梁，然後對橋執行掃描到 BIM 轉換。此作業可減少手動測量時間，並有助於準確捕獲現有設計，包括所有維修，內部元素及其設計。有助於開發所提出的設計，減少現有設計中的錯誤和問題。一旦我們完成雷射掃描作業，該模型可以轉換為 BIM 模型，施工圖，地形和施工順序，以呈現重建過程。還可以開發模型，並且可以由不同的團隊或基於不同專業的各方對模型進行逐步添加。

由於橋梁結構是土木工程專業的一部分，因此攝影測量調查等過程有助於監測現場施工。BIM 建模基本上遵循參數化工作流程，

因此可以由一群人同時查看和處理。現場施工檢查和其他功能有助於獲得最新資訊，從而有助於決策。

2013年，猶他州交通部（UDOT）開始研究基於模型的設計和施工方法，以便更好地利用公路設計軟體，施工和自動化機器引導所帶來的效率。在2018年，UDOT及Iowa DOT使用BIM模型作為法律文件，取代傳統之平立面圖說，作為第一個橋梁設計-招標-施工試辦計畫。橋梁設計和施工正在經歷範式轉變，從將資訊放在電子紙上過渡到將資訊放入3D模型並從模型中提取施工文檔。這些以模型為中心的原則將提供準確、快速和動態的橋梁設計和施工技術，從而顯著提高生產力。

#### **6. 預鑄雙 T 型梁快速工法應用於橋梁 (Northeast Extreme Tee (NEXT) Beam)**

預力混凝土學會（PCI）開發了預鑄雙 T 型梁（NEXT）橋梁快速工法，與傳統的預鑄 I 型及密排箱型梁相比，它具有多種優勢。NEXT 梁的使用可以通過節省梁架設時間來加速橋梁施工過程，同時 NEXT 梁的上翼板可以作為場鑄鋼筋混凝土（RC）橋面版的模板並減少支撐需求，節省建造混凝土橋面版的時間和成本。雙 T 型梁段面相對於小斷面箱型梁屬開放性段面，較易於日後辦理檢測維修。

## Development of the NEXT beam

Depth 24" – 36" in 4" increments  
Typical Span Range 20' – 80'  
Width will vary 8'-0" – 12'-0"

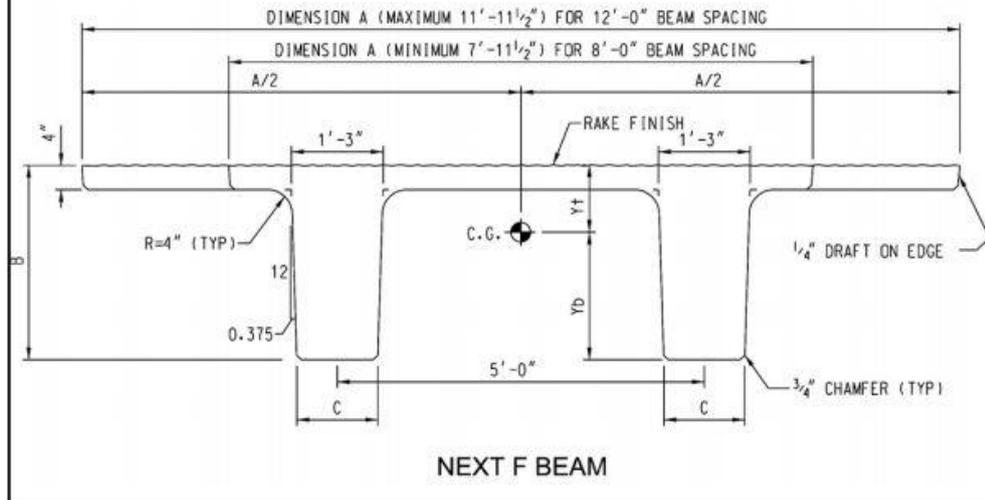


圖 3- 52 預鑄雙 T 型梁斷面

## NEXT Beam Shipping



圖 3- 53 預鑄雙 T 型梁運輸

### South Worthington, MA – Total Precast Built in 60 Days



圖 3- 54 上翼板作為底模施作鋼筋混凝土（RC）橋面版

## 7. 地震區無縫橋梁設計與施工挑戰（Design and Construction

### Challenges of Jointless Bridges in Seismic Regions）

自 20 世紀 50 年代美國州際高速公路系統開始建設以來，無縫橋梁已廣泛設計建造於美國多年。在此期間，越來越多的州建立了無縫橋梁的設計標準和關於橋梁長度、斜交角、細節或設計程序的統一設計方針。自從那時開始，許多州都採用無縫整體橋台和橋墩連續橋梁作為標準設計和施工慣例。無接縫橋梁上部結構係與橋台整體性施做，通過使用柔性支承或基礎以及通過進橋板的端部束制解除來吸收由於潛變，乾縮和溫度變化引起的變位。除降低維護成本外，無接縫橋梁的其他優點還包括改善結構完整性、可靠性和贅餘性，改善耐震性能和長期使用性、行車舒適性，降低初始成本和改善的美觀性。在地震區無縫橋梁需設計為具有足夠變位能力以滿足地震消能需求。

## 8. 鋼橋防蝕使用鋅熱熔射在挪威 (Zinc Thermal Spray for Corrosion Protection Bridges in Norway)

自 20 世紀 60 年代以來，挪威公共道路管理局 (NPRA) 一直在使用鋅熱熔射和油漆面漆 (雙面塗層) 來防止鋼橋的腐蝕。他們認為這種塗層策略取得了重大成功，並且展示了已經暴露 40 年而沒有任何維護的橋梁案例。據 NPRA 表示，「雙面塗層維護的最佳時間是在面漆劣化之前，鋅塗層開始腐蝕之前。這將給出最低的生命週期成本」。這種第一次維護作業通常在大約 30 年後進行，這比 3 層塗料系統的壽命長得多，這是因為雙面塗層的協同因素顯著增加了雙面塗層壽命。另一個有利於鋅熱熔射橋梁的令人信服的論據來自美國聯邦公路總署 (FHWA)。在 FHWA 評估中，將 47 種塗層 (包括密封和未密封的鋁，鋅和鋅-15 鋁的金屬化塗層) 與液體塗料塗層以及環氧樹脂和聚氨酯的各種組合進行了比較。該研究得出結論：金屬化系統始終如一地提供最佳的防腐性能。測試的所有金屬化塗層在 5-6.5 年的暴露期內，在侵蝕性，富含鹽的環境中沒有發現防腐蝕失效。



圖 3-55 挪威橋梁現況介紹

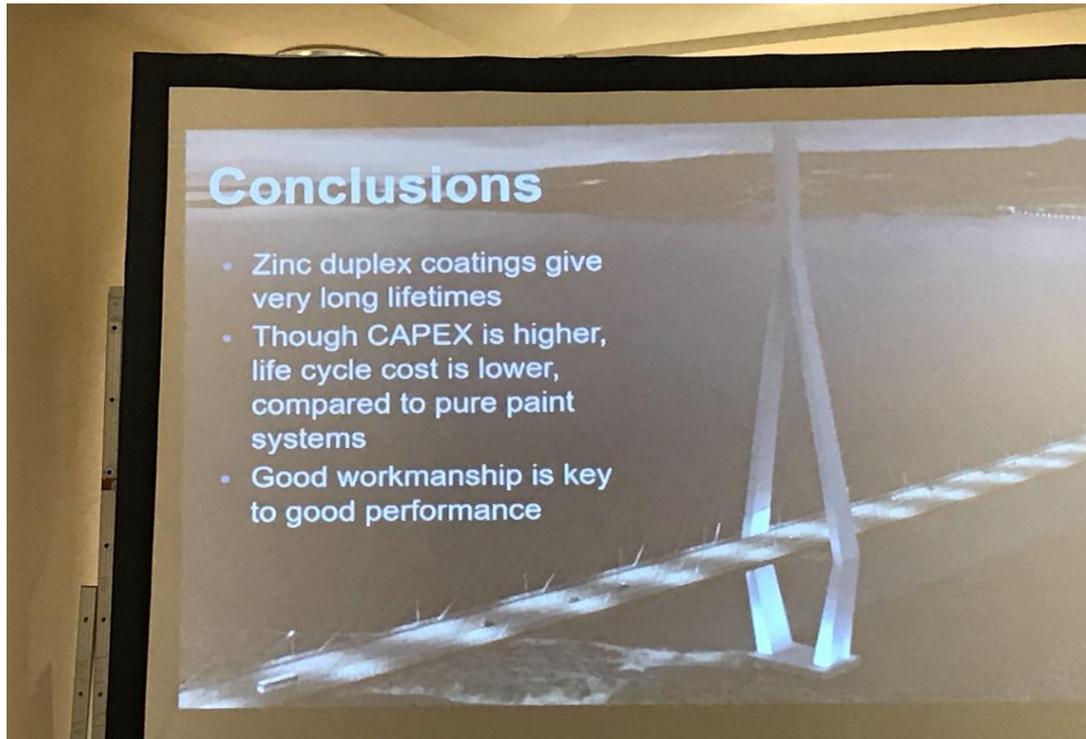


圖 3- 56 鋅熱熔射經證實防蝕效果極佳且全生命週期費用最低

## 9. 使用先進的機器人技術進行懸吊鋼纜檢測 (Suspender Cable Inspection Using Advanced Robotic Technology)

本專題介紹了使用先進的機器人技術 RopeScan®進行懸吊鋼纜檢測，可在不干擾橋梁車輛通行情況下，利用便於攜帶之鋼纜檢測機器人，以先進磁力向量原理及式雷射振動計進行掃描檢測。檢測時將機器人之滑輪夾住橋梁懸吊鋼纜，即可自動延著鋼纜爬昇掃描來檢測鋼纜缺陷並確認懸吊鋼纜在靜載重條件下的實際張力。

## 四、心得及建議

- (一) 2019 年 IBC 國際橋梁會議專題演講主要著重在橋梁設計、施工、材料、檢測、維修補強、改建等議題。除美國專家學者外，大會亦邀請加拿大、英國、法國、挪威、土耳其、中國、台灣等國專家學者與會分享專業經驗。綜觀歷年來 IBC 發表主要議題內容觀察，新建橋設計及施工一直佔有較高之比率，本屆則明顯增加相當多篇幅之既有橋梁維護管理、維修補強、延壽改建等相關議題。顯示包含美國在內許多國家，目前已需開始探討處理上世紀經濟快速發展時期大量興建之橋梁之老舊劣化問題。尤其更早期興建之橋梁甚至可能已屆設計使用壽命，需要進行較大規模的補強延壽或拆除改建。本次會議提供多篇介紹老舊橋梁改建設計、施工之快速工法與創新技術案例，如阿靈頓紀念橋及匹茲堡自由橋均使用預鑄橋版工法，以及預鑄雙 T 型梁快速工法等，均可做為本局日後辦理橋梁補強延壽及改建業務參考。
- (二) 國道 1 號中山高公路於民國 67 年全線通車迄今已 40 餘年，相關橋梁結構橋齡亦已逐漸邁入高年期。尤以台灣四面環海氣候炎熱潮溼加上工業污染屬於易腐蝕之環境，雖然早年國道 1 號橋梁施工頗為嚴謹品質尚稱良好，惟當時保護層設計厚度較薄且混凝土設計強度較低，尤其是橋面版部分直接承受車輪荷重，經過數十年來重車長期輾壓極有可能已有裂縫及白華等老劣化現象產生，影響橋梁長期之耐久性和承載力，若進一步惡化滲水、鋼筋鏽蝕，更嚴重甚至可能造成橋版破裂掉落。由於國內一般混凝土橋面均有鋪築 AC，不易或無法及早檢察出橋面版之劣化狀，建議應加強落實辦理箱型梁內部及跨越河川橋梁等相對不易到達處之檢測，以確實掌握橋梁結構狀況，及早發現問題進行維修改善避免橋梁急劇劣化，維護橋梁及行車安全。
- (三) 為延長橋梁結構使用壽命，加強鋼筋的防蝕美國近十數年來普遍使用環氧樹脂保護 Epoxy Coating 鋼筋，計分為 ASTM 775 藍色塗裝，塗佈後鋼筋可彎曲加工，及 ASTM 934 紫色塗裝，塗佈後鋼筋不可再

彎曲加工，但更為堅固耐久。近年來則更升級為使用不鏽鋼鋼筋，所安排參訪之阿靈頓紀念大橋改建工地，採用橋版預鑄之快速工法，其橋版鋼筋即係使用不鏽鋼鋼筋。本次 IBC 會場之相關產業展覽也有 3 家廠商在展示不鏽鋼鋼筋產品，經詢問其價格約為普通鋼筋的 3 倍。其優點主要為對氯離子的腐蝕具有很強的抵抗力、不再依賴混凝土的高鹼度來保護、可以減少混凝土保護層、不用再施作混凝土密封劑、提高耐久性（超過 100 年）減少維護和修理且最終可有效回收。考量橋梁全生命週期維護、拆除重建及對交通之影響等成本，有可能仍是值得之投資。目前國內對於嚴重腐蝕環境已有使用環氧樹脂鋼筋或鍍鋅鋼筋，建議橋梁設計可估算全生命週期成本評估引進新材料、新工法及新技術，持續精進提升橋梁工程耐久性延長使用壽命。

(四)有關挪威公共道路管理局 (NPRA) 在使用鋅熱熔射和油漆面漆 (雙面塗層) 來防止鋼橋的腐蝕，並且展示已經暴露 40 年而沒有任何維護的橋梁案例。據 NPRA 表示，「雙面塗層維護的最佳時間是在面漆劣化之前，鋅塗層開始腐蝕之前，這將給出最低的生命週期成本」。臺灣地區四面環海，屬高溫、高溼與高鹽份的環境，加上空氣污染的結果，腐蝕環境極為嚴重。國內鋼橋之防蝕塗裝於新建工程其表面除鏽處理一般較易符合標準，致後續防蝕塗裝能有較佳品質及耐久性，而既有鋼橋鏽蝕後之除鏽重新塗裝，其表面除鏽處理一般均未能符合標準，加上表面處理完成到實際進行塗裝之時間落差，鋼材表面又迅速再度氧化鏽蝕，致後續塗裝很難有好的品質及耐久性。建議鋼橋除鏽塗裝應編列合理除鏽表面處理費用並嚴格監督落實執行，表面處理完成亦應儘可能立即進行塗裝避免表面再度氧化鏽蝕，以確保塗裝品質延長使用壽命。

(五)橋梁的劣化檢測或監測對於橋梁的延壽很重要，也是全生命週期及永續經營的重要一環，配合無人飛行載具(UAV)之發展，加強應用於橋梁檢測作業。跨河橋梁之行水區及高橋墩橋梁，傳統目視檢測、利用望遠鏡觀測甚至橋檢車檢測等，不但耗費耗時且常需封閉車道造成交通壅塞。如日後無人載具(UAV)檢測橋梁技術發展成熟，應加

強運用各式無人載具，結合高解析度相機、影像辨識和智能科技等方法，以提供更安全，更客觀的檢測方法。此外，本局轄管多座特殊橋梁(如斜張橋、脊背橋等)，亦可參考國外鋼纜檢測機器人，以自走式延著鋼纜爬昇掃描來檢測鋼纜缺陷並確認懸吊鋼纜的實際張力等創新技術。建議與學術研究機構合作，結合科技界思考評估相關先進科技應用於特殊橋梁之可行性，以期確實掌握鋼纜之劣化及受力狀況維護橋梁安全，並可節省橋梁檢測人力需求。

(六) 本次研討會講題多篇提及橋梁工程從規劃設計、施工到營運維護階段，當以全生命週期來考量並考慮環保、節能減碳及永續經營等議題。對於主要之重要橋梁結構其設計使用年限要求甚至高達 160 年，故對於鋼筋、鋼材防蝕及混凝土品質均有較高之要求，雖然新建之工程費用較高，但在計入全生命週期管養維護及日後延壽改建等費用，可能才是最低全生命週期成本之較佳之方案。相關全生命週期觀念的導入及落實，值得國內辦理公共工程計畫經費編列及政策參考。