

出國報告（出國類別：研討會）

參加「2023 年國際公路橋梁研討會
(ESWP-IBC)」

服務機關：交通部公路總局

姓名職稱：陳松堂 副總工程司

派赴國家/地區：美國/馬里蘭州奧克森崗

出國期間：112.06.09~112.06.17

報告日期：112.08.01

摘要

國際橋梁研討會 (The International Bridge Conference, IBC) 由西賓夕法尼亞州工程師協會 (Engineers' Society of Western Pennsylvania , ESWP) 主辦，為國際橋梁工程實務界之最新資訊與技術溝通的重要平台，提供豐富的橋梁技術、工程實務與相關廠商產品展示。每年舉辦一次，第一屆研討會於 1984 年在美國賓夕法尼亞州匹茲堡舉行，今年 (2023) 年 6 月 12~14 日第 39 屆於美國馬里蘭州奧克森崗國家港灣(National Harbor)蓋洛德國家度假會議中心 (The Gaylord National Resort and Convention Center) 舉行，並邀請美國科羅拉多州交通部 (Colorado Department of Transportation, CDOT) 展示分享轄區橋梁計畫、維護管理、歷史橋梁維管及環境生態友善等，作為本屆研討會特色主題。

本次研討會之研討題目豐富繁多，包含橋梁施工、橋梁檢測維護管理及新科技應用等議題。研討會區分為演講廳、主題展示區及廠商產品展示區，同時分區進行。參與者可自由選擇聆聽各專題發表，參觀主題展示區及廠商產品展示區，並進行交流活動。

目次

一、 目的	1
二、 行程紀要	2
三、 參加第 39 屆國際橋梁研討會及工地參訪	4
四、 參觀橋梁行程	22
五、 心得及建議	30
附錄 2023 國際研討會 IBC 時程表	33

一、目的

(一) IBC 簡介

國際橋梁研討會 (The International Bridge Conference, IBC) 由西賓夕法尼亞州工程師協會 (Engineers' Society of Western Pennsylvania, ESWP) 主辦，為國際橋梁工程實務界之最新資訊與技術溝通的重要平台，提供豐富的橋梁技術、工程實務與相關廠商展示產品。每年舉辦一次，第一屆研討會於 1984 年在美國賓夕法尼亞州匹茲堡舉行，除 2021 年(第 37 屆)因全球 COVID-19 疫情影響採線上會議外，餘皆採現場實體會議。

今年(2023)年 6 月 12~14 日於美國馬里蘭州奧克森崗國家港灣 (National Harbor) 蓋洛德國家度假會議中心 (The Gaylord National Resort and Convention Center) 舉行，並邀請美國科羅拉多交通部 (Colorado Department of Transportation, CDOT) 展示分享轄區歷史遺產、隧道維護管理計畫及環境生態友善等，作為本屆研討會特色主題。

明年(2024)年 6 月 3~5 日預定於美國德克薩斯州聖安東尼奧河流中心萬豪酒店 (Marriott Rivercenter San Antonio, Texas USA) 舉辦。

(二) 參與 IBC 研討會之目的

本局為國內主要之公路橋梁新建及養護機關，近年來完成包括西濱快速公路後續計畫、蘇花公路改善計畫及南迴公路改善計畫等諸多橋梁，然而在建橋梁工程尚有淡江大橋、曾文溪大橋、台 9 線花東縱谷改善計畫如玉里大橋、省道改善計畫如花蓮大橋等等，且規劃中省道快速公路如高雄至屏東間東西向第二條快速公路、台 62 線延伸至萬里金山、西濱快速公路鳳鼻至香山新建計畫等亦有頗多橋梁工程。

橋梁創新設計、工法及維管技術已成為當前重要課題，而國際橋梁研討會匯集了各國先進的橋梁技術，並提供一個跨國平台，藉由發表並分享在橋梁工程領域之最新技術，包括設計、工法、維管及發展趨勢，故參與該研討會吸取世界各國先進橋梁工程相關技術，將有助於國內橋梁設計、工法選用及維管檢測等之相關工程技術提升。

二、行程紀要

(一) 行程規劃

本次參加 IBC 國際橋梁研討會，核定出國時間為 9 天，研討會係在美國東岸馬里蘭州奧克森崗國家港灣 (National Harbor) (鄰近華盛頓特區)舉辦，研討會期間為 6 月 12 日至 6 月 14 日計 3 天。

考量研討會地點係在美國東岸，直飛紐約飛行時間就超過 15 小時，且時差為 - 12 小時，另疫情後機票高漲等，故事前蒐集相關交通及橋梁工程資料，俾能妥善規劃研討會行程。

研討會雖僅係 3 天時間，然為配合研討會早上 8 點即開始，必須提早一天抵達，研討會後隔天離開，所以參加研討會即需安排 5 天時間。所剩 4 天即為往返程各 2 天時間，考量時間非充裕，故必須規劃可節省時間之交通工具。且前往美國機會難得且花費不貲，如何善用規劃行程順道參觀相關知名橋梁工程，實仍行程規畫之重點。因此，挑選準備參觀之舊金山金門大橋 (Golden Gate Bridge)及紐約市布魯克林大橋 (Brooklyn Bridge)納入行程規劃。

行程規劃自 6/9 出發，6/10 抵達舊金山及參觀金門大橋，6/11 飛往華盛頓轉往馬里蘭州奧克森崗國家港灣，6/12~6/14 參加研討會，6/15 離開轉往紐約，6/16 參觀布魯克林大橋，依核定計畫 6/17(實際 6/19)自紐約回國，整體行程自 6 月 9 日至 6 月 17 日共計 9 日。



圖 1-1 2023 年 IBC 國際橋梁研討會地點 摘製 Google Maps

(二) 行程表

相關行程摘要如下表 1-1 參加第 39 屆 IBC 國際橋梁研討會行程表。

表 1-1 參加第 39 屆 IBC 國際橋梁研討會行程表

日期	起迄地點	行程摘要
6/9 (五)	桃園—美國舊金山(去程)	桃園機場飛往美國舊金山機場(San Francisco International Airport) (去程)
6/10 (六)	舊金山—華盛頓 DC	參觀金門大橋、舊金山機場搭國內班機飛往華盛頓 DC (Washington Dulles International Airport)(去程)
6/11 (日)	華盛頓 DC—馬里蘭州奧克森崗國家港灣	華盛頓 DC 搭地鐵等到馬里蘭州奧克森崗國家港灣、前往蓋洛德國家度假會議中心瞭解國際研討會會場
6/12 (一)	馬里蘭州奧克森崗國家港灣蓋洛德國家度假會議中心	報到 參加專題研討會、參觀科羅拉多州 (Colorado)主題及廠商產品展覽
6/13 (二)	馬里蘭州奧克森崗國家港灣蓋洛德國家度假會議中心	上午：參加專題研討會及科羅拉多州主題展覽 下午：工地參觀 The New Frederick Douglass Memorial Bridge
6/14 (三)	馬里蘭州奧克森崗國家港灣蓋洛德國家度假會議中心	參加專題研討會
6/15 (四)	馬里蘭州奧克森崗國家港灣—華盛頓 DC--紐約	華盛頓 DC 機場(Ronald Reagan Washington National Airport)搭國內班機飛往紐約(LaGuardia Airport)
6/16 (五)	紐約	參觀布魯克林大橋
6/17 (六) (實際 6/19)	紐約—桃園(回程)	紐約機場(John F.Kennedy International Airport)搭機飛回桃園機場(回程)

三、參加國際橋梁研討會 IBC 及工地參訪

本次國際橋梁研討會在馬里蘭州奧克森崗國家港灣蓋洛德國家度假會議中心 (Gaylord National Resort & Convention Center, National Harbor Maryland) 舉辦，研討會期間為 6 月 12 日至 6 月 14 日計 3 天。研討會專題內容豐富且甚多專題係同時間進行，如附錄所示，故僅能擇場參加。另在會場並安排有主題展覽科羅拉多州轄區歷史遺產橋梁、隧道維護管理計畫及環境生態友善等作法，及橋梁相關產業廠商約有 80 家的產品展出。



圖 3-1 蓋洛德國家度假會議中心外(左)及內部(右)



圖 3-2 IBC 國際橋梁研討會報到處(左)及專題發表會場(右)

(一) 參加研討會專題

國際橋梁研討會論文專題豐富且同時段在不同場地發表，大會提供開發 App，包括大會相關資訊、即時公告事項及各專題內容概要，參與者可規劃參加各專題之時間及地點，並可設定提前提醒鈴聲，讓參與者可以不錯過時間並容易抵達各專題場地。茲就摘要說明參加各專題主要內容如下：

1. 新技術特別課題 (New Technologies Special Session)

介紹使用無人機進行橋梁檢查、分析、人工智慧和資產管理。及賓夕法尼亞州交通部的 BIM 資料庫，運用於橋梁設計復原力方面的工作。協助橋梁工程師瞭解最新工具如何幫助以更高效、更安全的方式完成工作。人工智慧工程公司 (AIE) 介紹無人駕駛航空系統 (UAS/無人機)、光探測和測距 (雷射雷達) 掃描、無線監控感測器等執行或補充傳統橋梁的檢查和評估任務，以及建立實體與數位模型。

應用 Skydio 2+ AI 無人機，具有不需要衛星定位 (GPS)，利用 AI Powered 可以避開障礙物，且能在 11 英吋狹小範圍內作業，採用 1200 萬畫素相機，畫素比 4K 影片高 50% 以上，能自動收集 3D 數位模型資料。使用無人機檢查橋梁，可節省時間與金錢，亦使橋梁檢測工作更加安全。

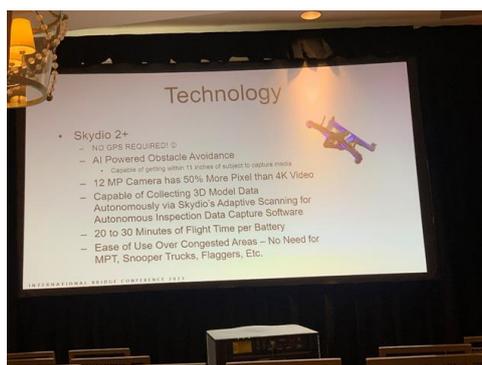


圖 3-3 無人機技術運用

The slide titled "Drone Advantages" compares conventional inspection and UAS inspection:

Conventional Inspection	UAS Inspection
Hours: Inspection Prep (RNA, Report Review): 2 hours Field Inspection: 16 hours (8 hours x 2 staff) NBS Report: 56 hours (based on E03670 contract hours) Total Hours: 74 hours	Hours: Pre-flight Planning: 2 hours Inspection Prep (RNA, Report Review): 2 hours Field Operation: 8 hours (4 hours x 2 staff) NBS Report: 56 hours (based on E03670 contract hours) Total Hours: 68 hours
Cost: Inspection Crane: \$1290 80' JLG: \$1547 MPT: \$5800 Average Cost per Bridge \$8637	Cost: Drone Inspection: 4 Hours: \$6500 MPT: \$4300 Total Cost with MPT: \$10800 Total Cost w/o MPT: \$6300

圖 3-4 使用無人機之優點



圖 3-5 使用無人機橋檢(1)

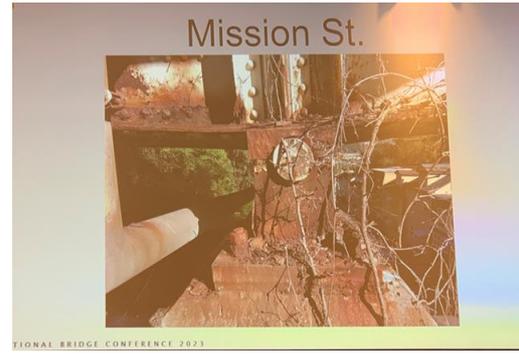


圖 3-6 使用無人機橋檢(2)

2. 莫比爾河大橋建設 (Mobile River Bridge and Bay way Progressive Build)

莫比爾河大橋和海灣工程建設位於美國東岸南邊的阿拉巴馬州，是價值 27 億美元的公路建設專案，透過莫比爾市中心和穿越莫比爾灣增加約 11 英里的 10 號州際公路。這條路廊目前使用莫比爾河下的一條 4 車道隧道，是該國最擁擠的州際走廊之一。每天設計容量是 36,000 輛汽車，現以超過 75,000 輛汽車，到夏季旅遊旺季更可能高達 100,000 輛汽車。

該專案為 12 英里拓寬專案，包括三個主要部分：莫比爾河上一座 6 車道的斜拉橋，主跨 1380 英尺；橫跨莫比爾海灣上空更換約 7 英里的 8 車道橋梁；以及重建七個橋梁交匯處。莫比爾河大橋垂直淨空須保持 215 英尺，以確保莫比爾海灣海運營運需求。

完成後將縮短莫比爾到東岸的旅行時間，提高工作、教育設施、醫療服務及娛樂活動可靠性，並將載運危險車輛導離市中心商業區[1]。

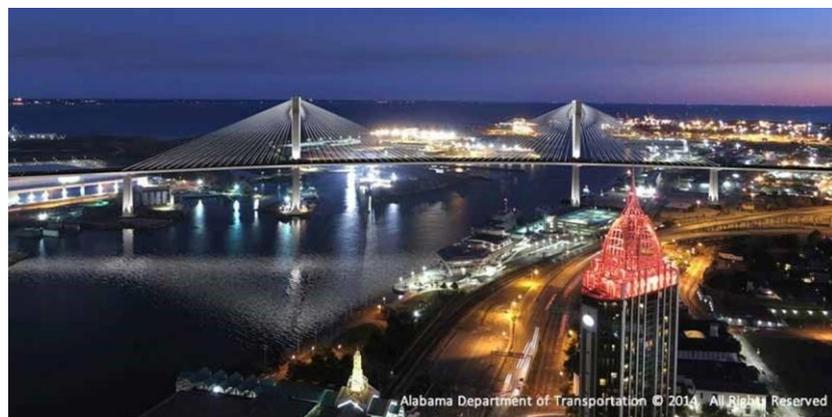


圖 3-7 莫比爾大橋 摘自 阿拉巴馬交通局網站

3. 羅斯福大橋緊急維修 (Innovative Project Delivery Method and Technical Solutions on the Emergency Repairs of the Roosevelt Bridge)

當佛羅里達州交通部關閉羅斯福大橋部分車道，作例行檢查以確定緊急維修需求時，它必須迅速確定一個高效率施作的流程，以確保快速恢復行人、車輛和鐵路的通行。

兩座平行的 4,600 英尺長後拉預力混凝土橋各有 41 跨，採用平衡懸臂工法施工。在迪克西高速公路上南行第 1 跨度的底板上發現了裂縫。這項維修工作的技術困難，加上恢復佛羅里達州斯圖亞特市中心交通重要性，因此，必須限制減少州高速公路 20 多英里的繞行時間[1]。

故佛羅里達州交通部在歷史上首次選擇 CM/GC(施工管理/總承攬商) (Construction Manager / General Contractor) 的專案方法。這種承包方法利用早期設計階段就讓承攬商參與，在設計和維修方法方面提供幫助，加快專案完成和橋梁重新開放通車。工作的主要內容包括緊急結構評估、最終設計和施工維修，以及納入強化和長期維修系統，都以簡化的時間表進行。實施了一項創新的強化解決方案，包括在橋梁箱室內安裝柔性填充的外部多股後拉預力鋼腱，以替換失效和腐蝕的現有鋼腱。

該專案在 130 天恢復原來的通車需求，並進行了額外的改進，透過預防性維護和強化措施來提高未來的可靠安全性。這些措施將有助於延長橋梁的功能壽命，同時保持其原始的、吸引人的橋梁美學。



圖 3-8 羅斯福大橋 CM/GC 專題

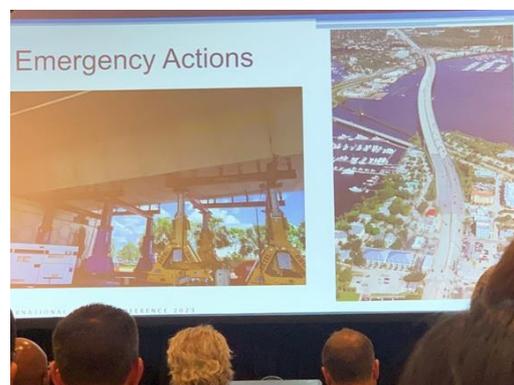


圖 3-9 羅斯福大橋裂縫緊急支撐

4. 橋梁隔減震設計 (Seismic Isolation for Achieving Functionality of Critical Bridge Structures)

在世界易發生地震地區設計橋樑結構時，功能是一個重要關鍵的考慮因素，以最大限度減少地震後對社會的破壞是必要的。世界上每年發生的大地震不斷提醒地震後的關鍵維生橋梁結構必須能保持基本通行，以便進行救援和恢復行動。

世界各地結構地震設計的準則條款（基於延展性）主要側重於在可接受的範圍內實現“防止塌陷”或“生命安全”，以犧牲對結構、非結構、建築元素和內容造成損害為代價。正如日本、紐西蘭和智利地震所觀察到的那樣，在發生大地震後，這導致了使用和功能的喪失。實現功能的方法之一是透過持續的功能設計目標，透過吸收隔離支承中的地震位移，保持彈性結構，並最大限度地減少結構中的加速度和位移來最大限度地減少結構的損壞。

依據 AASHTO 最低設計要求設計和建造的橋樑，使用韌性設計方法提供“生命安全”，不會提供彈性、可持續和功能良好的橋樑。韌性設計方法導致了代價高昂的地震後損壞，對道路系統造成了破壞。依據“持續功能”標準提出了可靠的抗震隔離設計方法和標準。

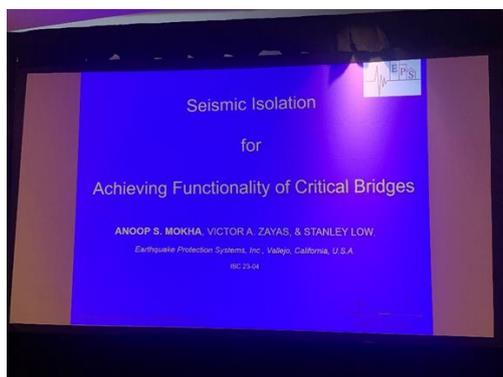


圖 3-10 橋梁隔減振專題



圖 3-11 EPS 公司橋梁隔減震分享

5. 弗雷德里克·道格拉斯紀念橋 (Frederick Douglass Memorial Bridge, FDMB)

本橋另有工地參觀再詳細說明，故本專題先作簡要介紹如下：

本橋係華盛頓特區迄今最大的首都基礎設施專案，為華盛頓特區新的標誌性天際線。這座橋橫跨阿納科斯蒂亞河，提供了一條通往美國國會大廈的直接路線，新橋是對於著名的社會改革家、廢奴主義者和政治家弗雷德里克·道格拉斯的致敬。

新的 1200 英尺橋梁由三對高大的鋼拱門支撐，拱門支撐在混凝土 V 形橋墩如碼頭的基礎上，如一條流動的蛇形結構，而橋上觀景平台則自從拱門之間懸臂在河上，形成外部空間，作為城市的社交聚會場地。兩端引道包括兩個景觀交通橢圓形，作為橋梁和城市之間網絡連結。

其鋼拱門支撐設計斷面，是經過審慎思考之特殊設計，以上下不等高之三角形組成一個菱形，而鋼拱門之變化斷面則取其菱形中之上下截斷面，亦即鋼拱門係變化斷面，造型優美但施工不易。



圖 3-12 FDMB 鋼拱門變化斷面截自菱形斷面 (上圖左斷面側所示)

6. 創新連續橋梁地震分析與設計 (A state-of-Art Analysis and Design of a Continuous Seven Spans Post-Tensional Bridge With innovative Seismic Isolation Bearings)

在厄瓜多爾(Ecuador)首都基多(Quito)建造了一座 7 跨連續的後拉預

力梁橋，每跨長 27m。因位於南美洲最活躍的火山地震地區之一，在橋梁設計過程中需面臨一些挑戰。上部結構橋梁由兩根獨立的圓形墩柱支撐，下部結構則採用沉箱深基礎，並滿足橋下淨空需求。

墩柱鋼筋降伏後不被允許作為遲滯能量耗散系統，因為此類橋墩上形成塑鉸會損害對上部結構橋梁位移的控制和穩定性。考慮到不同類別隔減震支承的參數，並進行非線性時間歷史分析。為了最佳的減震效能，在紐約水牛城大學開發了創新的地震隔離系統，並對設計的支承進行了全面測試。

由於整座橋梁長度並沒有伸縮縫，橋梁位移受制於潛變 (creep) 和收縮 (shrinkage) 的影響較大。因此，支承隔減震性能條件，在設計和每個施工階段都需滿足預期的行為。

7. 快速節塊工法重建都市高架橋梁 (Rebuilding an Urban Viaduct at the Speed of Segmental) :

I-59/20 中央商務區橋梁原承載著繁忙的 59 號和 20 號州際公路穿過阿拉巴馬州伯明翰市中心。原始橋梁 (1973 年開放) 設計為每天 8 萬輛汽車，但目前的交通量已超過 16 萬輛，原始橋梁亦因老化和超荷使用而出現惡化的跡象。ALDOT 更換原始橋梁的決定只允許 I-59/20 僅封閉 14 個月，以拆除和建造新的橋梁。

預鑄節塊混凝土箱梁橋是唯一可以在 14 個月完工的選擇。此選項允許在州際關閉前對橋梁進行異地預鑄，並可提供包括增加跨徑、提高耐久性和橋梁景觀美學。

新橋梁具有獨立的東行和西行線共 6 車道橋梁結構，每座橋長約 6500 英尺。每座橋梁由兩個預鑄節塊混凝土箱梁組成，總共包括 172 個跨度，2,316 節塊。施工廠商利用一種獨特的技術進行逐跨施工，在臨時鷹架 (falsework tower) 上組立每跨度節塊，並順利在短短 217 天完工[1]。

8. 平衡懸臂工法 (Balanced Cantilever Construction in Alberta)

艾伯塔省卡爾加里西北斯通尼小徑上的弓河大橋 (Bow River Bridge) 絕對需要超過 100 m 的大跨度才能夠在美學和水力上與現有結構相容，雖然現有結構是推進工法建造的。但與承攬廠商討論後，以就地鑄造節塊平衡懸臂結構是建造新混凝土箱梁橋的首選方法。由於這反饋和初步設計調查的結果，新橋梁採用平衡懸臂施工方法設計施工，需要克服關鍵的設計和可施工性的挑戰，包括選擇適當的設計標準、設計懸臂縱向預力、幾何控制，以及其施工安全性等[1]。

本橋梁上部結構係採用均勻斷面設計施工，在設計上部結構預力較為困難，尤其是懸臂節塊施工時之負彎矩，故跨徑長度就會受到限制，且施工時也需增加臨時支撐。另該橋梁利用橋墩作為人行道斜張橋塔柱，從橋墩中間建造一座獨立的人行道斜張橋，獨特設計值得參考。



圖 3-13 弓河大橋(Bow River Bridge) 摘自 cisc-icca.ca 網站

9. 加速橋梁施工 (Accelerated Bridge Construction, ABC)

加速橋梁施工 (ABC) 係在試圖降低對用路人交通的影響，並提高用路人和施工人員的安全性。因此，工程師們正在繼續開發新的想法和策略，以改進 ABC 技術。本次專題探討使用自走式模組化運輸車 (Self-propelled modular transporter, SPMT) 進行創新無支撐拱門的設計和施工、拓寬州際橋梁，以及使用 SPMT 放置橋面板系統進行橋梁的更換。

(二) 參觀科羅拉多州主題展覽

本次 IBC 國際橋梁研討會邀請科羅拉多州展覽公路橋梁、隧道、防災與生態景觀等工程實務，展覽會場布置在蓋洛德國家度假會議中心的內部廣場，從 6/12 第一天上午 11 時開放，可利用專題及中午空檔前往參觀。

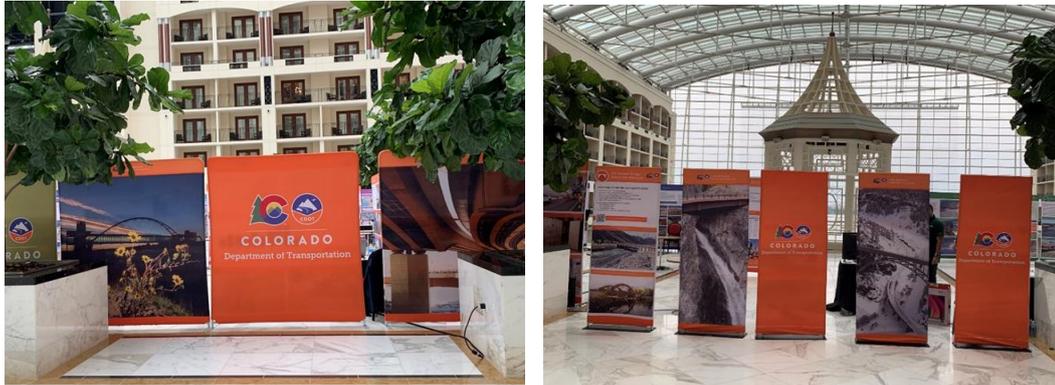


圖 3-14 科羅拉多州主題展覽會場



圖 3-15 科羅拉多州展場

左上：與高公局參加人員合影

左下：橋下生態通道_鹿安全通過

左：參觀現場與解說人員

1. 歷史遺產橋梁維護計畫

歷史悠久的橋梁是科羅拉多州交通部(CDOT)的重要資產，進行了多次全州歷史橋梁調查，以幫助確定擁有的重要交通資源。2009年科羅拉多州立法機構成立了遺產橋梁企業(Legacy Bridge Enterprise)，以解決全州範圍內日益增加的低評等級橋梁問題。利用企業管理及最佳維護，來提高科羅拉多州的歷史遺產橋梁安全性能[2]。

科羅拉多州交通局更為用路人能於公路旅途中，去探索發現及體驗欣賞沿途之交通歷史悠久遺產橋梁美景，特別製作歷史遺產橋梁摺頁及小卡片，將每一座橋梁橋名、路線里程、建造年份等資訊提供用路人參考。



圖 3-16 CDOT 歷史遺產橋梁(左)摺頁、(右)小卡片

2. 制定隧道維管投資計畫

企業管理的範圍擴大到解決 2021 年科羅拉多州複雜隧道設施日益增加的維修和維護累積壓力問題。展示探討如何 2016 年 CDOT 制定了隧道特定資產計畫，創建一個提供維管所需資金，包括有 20 條隧道和 37,494 英尺長隧道。該程序利用 NTI (National Tunnel Index) 檢查數據來確定隧道資產的生命週期、確定所有者和運營需求，並支持資產建模以創建資本項目清單。CDOT 並分享資產管理發展的經驗以及確定投資和確定投資優先順序的策略。

該專案探索了使用移動雷射雷達和熱影像作為高速、非破壞檢測方法，以繪製隧道襯砌後面和內部的缺陷，如空隙、無膠結、剝離和水分。且經實際運用熱影像檢測，成效良好。並將 20 條隧道 176 個構件元素依 WCI 預測分類，3.0 以下評為差等(Poor)，2.5 為目標值(Target)，2.0 為尚可(Fair)，1.0 為優等(Good)。再依據優先順序籌措資金維修，達到延壽之目標[2]。



圖 3-17 隧道資產管理及維護計畫

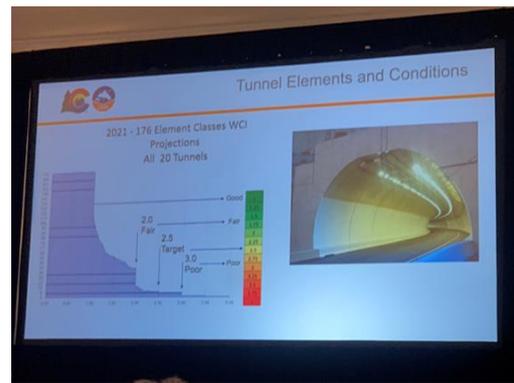


圖 3-18 隧道構件 WCI 預測分類



圖 3-19 隧道雷射掃描及熱影像檢測

3.公路防災應變計畫

科羅拉多州的山路很容易受到極端天氣和條件的影響，例如火災、土石流、雪崩和岩石滑落，穿過格倫伍德峽谷的 70 號州際公路也不例外。2020 年格倫伍德峽谷 (Glenwood Canyon) 遭受了灰熊溪 (Grizzly Creek) 大火的襲擊，而此路段風景優美，高架橋梁緊鄰陡峭的邊坡及溪岸，然因大火原因，也為 2021 年的土石流埋下了伏筆，每次事件都會導致 70 號州際公路封閉數天。因此，對於易受災路段或橋梁則進行改線迴避或是重建工作[2]。

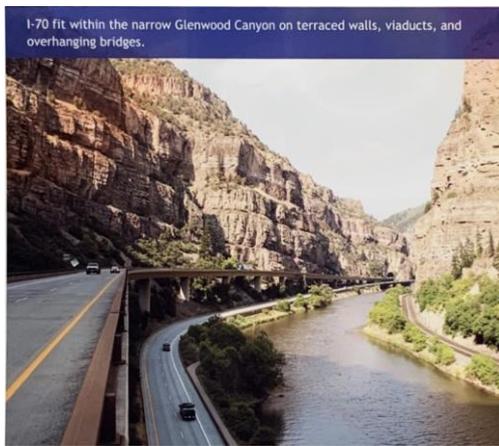


圖 3-20 I-70 格倫伍德峽谷

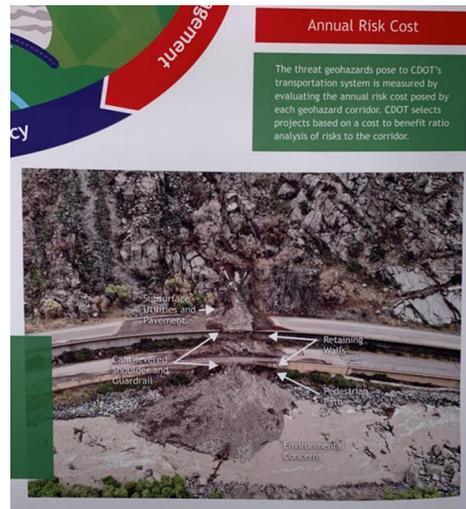


圖 3-21 橋梁遭受土石流災害

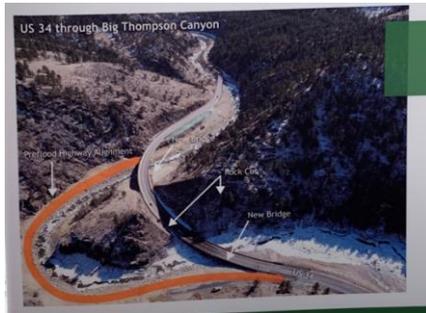


圖 3-22 路線取直改採高架橋梁

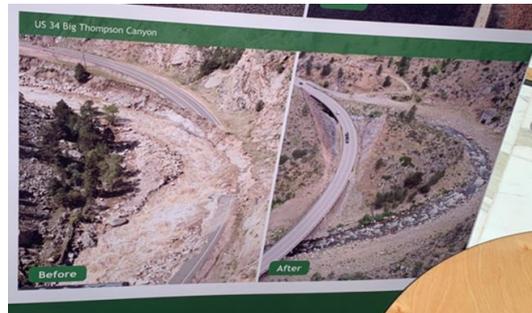


圖 3-23 路線取直採橋梁跨河

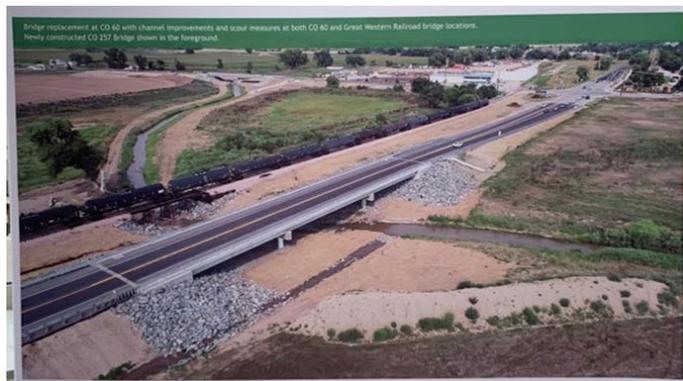


圖 3-24 重建橋梁及增加橋下通道、橋台沖刷保護工

4.生態廊道改善計畫

每年在科羅拉多州的道路超過 4000 起動物車輛碰撞 (AVC)，每年給用路人和科羅拉多州造成至少 8000 萬美元的損失。尤其是紀念碑和城堡岩之間的 I-25 公路 18 英里路段被確定為七個“高風險”路段之一，每年超過 25 起野生動物車輛碰撞事件。在春季和秋季動物遷徙季節，AVC 頻率幾乎每天都在增加。

科羅拉多州交通部 (CDOT)核定在 Ridgeway Parkway 和 Castle Rock Parkway 之間的 25 號州際公路兩側修建新的四個野生物遷徙坡道、旋轉門和 28 英里的鹿圍欄。鹿圍欄通常高 8 英尺，可讓動物遠離交通車道並引導動物到十字路口。與 2016 年的資料相比，即在所有結構和鹿圍欄完全完成之前，至 2021 年的動物車輛碰撞就減少了 80%。

科羅拉多州西南部的 160 號美國汽車記錄了 2021 年該州所有高速公路中野生動物車輛碰撞最多的事件。高速公路上有近 2220 起路殺事件，迄今為止，鹿是記錄最多的。為了減輕與這些碰撞相關的影響，交通部在 Archuleta 縣的 160/CO 151 十字路口附近的 Archuleta 縣，沿著 160 號美國公路的 2 英里路段設計並建造了兩個野生動物十字路口。每個十字路口有 15000 英尺長，有 8 英尺高的隔離圍欄、鹿和野生動物逃生坡道，預計將減少 86%的野生動物車輛碰撞事件[1][2]。

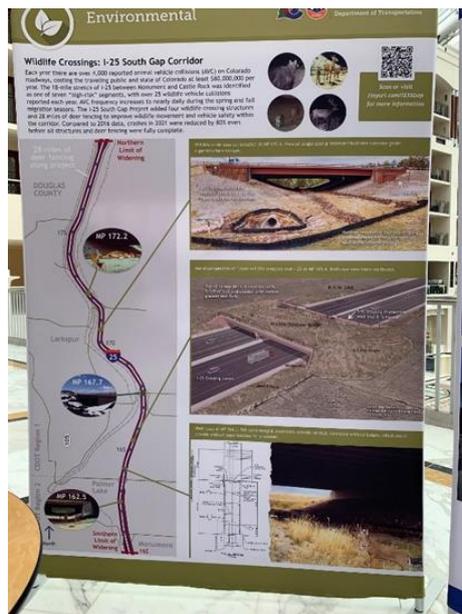


圖 3-25 CDOT I-25 生態措施



圖 3-26 CDOT US 160 生態措施

5. 加速橋梁施工案例

Pecos 橋橫跨 1-70 州際公路，為了改建並加速橋梁施工 (ABC)，利用加速橋梁施工和 CM/GC (Construction Manager / General Contractor) 施工管理/總承攬商) 專案合作模式，來縮短施工階段的工期，提高安全性，並減輕對 1-25/1-70 交匯處附近地區嚴重擁擠交通。也是科羅拉多州首次使用自走式模組化運輸 (SPMT) 整跨橋梁，使得專案將原來預定施工時程從原預定 24 個月縮短到 7 個月[2]。



圖 3-27 自走式模組化運輸 (SPMT) 整跨橋梁

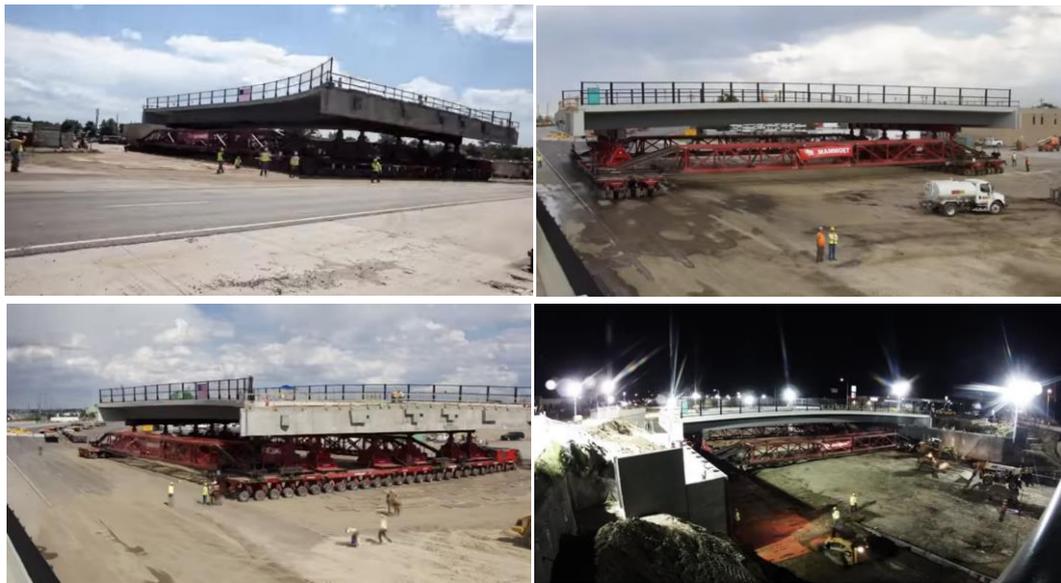


圖 3-28 自走式模組化運輸 (SPMT) 整跨橋梁過程 摘自該橋縮時攝影

(三) 工地參訪

研討會特別安排於第二天下午參觀新橋「**弗雷德里克·道格拉斯紀念橋** (Frederick Douglass Memorial Bridge)」，且於當天上午專題介紹該新橋規劃設計施工及社區參與活動等，為下午參訪行程提供相關資訊。

弗雷德里克·道格拉斯紀念大橋 (Frederick Douglass Memorial Bridge, FDMB) 是 1 座 3 跨連續平行式之鋼構拱橋，跨越華盛頓特區的阿納科斯蒂亞河，北端沿著南國會大廈街道，於 2021 年竣工通車。

原橋梁設計係以中間橋墩為旋轉中心之旋轉橋 (swing bridge)，工程於 1945 年開始施工，由於哥倫比亞特區政府向國會請求更多資金，致該工程於 1947 年被擱置了 4 個月，於 1950 年 1 月 14 日完工通車，當時命名為南國會大廈街大橋，為當時哥倫比亞特區最長的橋梁，也是世界上最長的旋轉橋。

在 1964 年華盛頓特區公民協會聯合會要求下，將這座橋梁以廢奴主義者命名為弗雷德里克·道格拉斯紀念橋，並於 1965 年 10 月 18 日，該區的專員投票通過，使其成為以非裔美國人或前奴隸命名之主要橋梁之一。

該橋北端連接南國會大廈街和蘇特蘭大道，而南端連接 295 號州際公路和 Suitland Parkway，為馬里蘭州喬治王子縣和馬里蘭州南部的對外通勤的重要交通公路。

2012 年底哥倫比亞特區政府宣布耗資 9.06 億美元的計劃來更換和重新調整這座橋梁，該項目將在原橋與 Suitland Parkway、原橋與 Potomac Avenue SW、Suitland Parkway 與 295 號州際公路、Suitland Parkway 與 Martin Luther King, Jr. Avenue 之間修建新的橋梁。新橋南北端各規劃一個大場地的橢圓形交通環島（可用於公眾集會，並適合建造新的紀念館），將橋南北兩端串連起來，有助於城市的“紀念性核心”與交通運轉。

哥倫比亞特區交通部(DDOT)於 2017 年 8 月 7 日選擇 South Capitol Bridge Builders 作為承攬廠商團隊來設計和建造新橋梁和橢圓形交通環島。該新橋規劃設計為 1 座 490 m 長，3 跨平行的下承式白色拱橋，拱型各斷面係由取菱形中變化斷面而成，造型特殊景觀優美聞名，橋面板計有 6 車道，兩側各有自行車與人行道。

新橋於 2018 年開始施工，同時紀念弗雷德里克·道格拉斯誕生 200 週年，2021

年 9 月 6 日為慶祝新橋即將竣工在新橋上舉行了 5 公里賽跑活動，新橋於 9 月 10 日北向車道開放行駛，南向車道並於第 2 天開放通行[1]。



圖 3-29 FDMB 位置圖直通國會大廈 摘製 Google Maps



圖 3-30 FDMB 兩端環狀路網圖 摘製 Google Maps



圖 3-31 FDMB 俯視圖(右) 摘自 Duane Lempke

、引道橢圓環狀路網圖(左) 摘自 Duane Lempke



圖 3-32 FDMB 原為旋轉橋 摘自 Antony



圖 3-33 FDMB 全橋側面照片



圖 3-34 FDMB 鋼拱及觀景平台位置



圖 3-35 FDMB 觀景平台解說牌(左)

、人行道與自行車道(右)(與高公局參加人員合影)



圖 3-36 FDMB 橋下空間(左)、

橋下管道開口處設置滑輪支撐架以利管道伸縮(右)

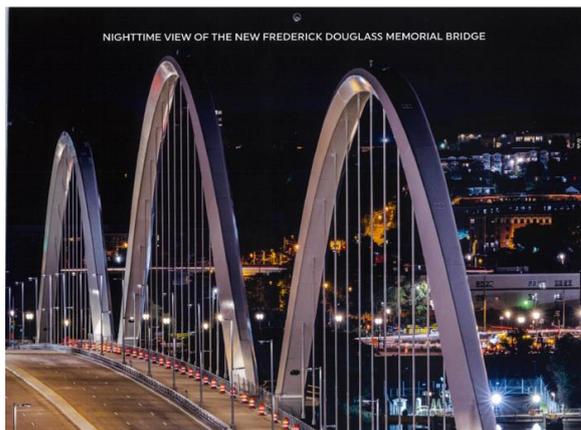


圖 3-37 FDMB 未來希望、夜間景觀
摘自 該橋專案 PROGRESS
Spring 2022 Edition

四、橋梁參訪行程

本次 IBC 國際橋梁研討會地點在美東馬里蘭國際港區，去程為適應一趟飛行時間不要太長，故選擇先到美西舊金山(飛行時間 11:25)稍作停留，參觀舊金山金門大橋，再轉搭美國國內班機到華盛頓特區，再轉往馬里蘭國際港區。回程則由盛頓特區搭機到紐約稍作停留，參觀紐約布魯克林大橋，再搭機直飛桃園國際機場(飛行時間 15:50)。

(一) 參觀金門大橋 (Golden Gate Bridge)

金門大橋 (Golden Gate Bridge)，是 1 座位於美國加利福尼亞州舊金山的懸索橋，它跨越聯接舊金山灣和太平洋的金門海峽，南端連接舊金山的北端，北端接通馬林縣。金門大橋寬度 27.5 m，雙向共 6 車道及兩側行人和自行車道。美國土木工程師協會將金門大橋列為現代世界奇觀，也是加利福尼亞州舊金山最受國際認可的地標之一。

金門大橋它最初由工程師約瑟夫·斯特勞斯於 1917 年設計，其主跨距長 1280 m，橋墩總高度為 227 m，建成時是當時世界上跨距最大的懸索橋，該紀錄直到 1964 年被韋拉札諾海峽大橋，以及 1993 年被梅斯卡拉橋超越。大橋於 1933 年 1 月 5 日開始施工，1937 年 4 月完工，5 月 27 日對外開放行人通行，翌日，隨著羅斯福總統在華盛頓按下一個電鈕，該大橋正式對外開放汽車通行。

金門大橋橋身的顏色為國際橘，因建築師艾爾文·莫羅認為此顏色既和周邊環境協調，又可使大橋在金門海峽常見的大霧中顯得更醒目。由於這座大橋新穎的結構和超凡脫俗的外觀，它被國際橋梁工程界廣泛認為是美的典範，更被美國建築工程師協會評為現代的世界奇蹟之一，它也是世界上最上鏡頭的大橋之一。

金門大橋橋身不斷塗刷油漆是一項重要的維護工作。2011 年 5 月開始首次進行整體重漆，仍然使用國際橘，耗費 4 年完工，這是金門大橋通車後近 75 年來首次重漆。金門大橋的維護工作還包括不斷的加固工作，在 1989 年底發生洛馬普里塔地震後，聘請專家對金門大橋的脆弱性進行了詳細評估，並制定了加固計劃，分三期工程實施，第二期加固工程已於 2006 年中完成[1]。

2023 年 6 月參觀金門大橋時，尚可看到南端橋跨部分搭設施工架及正在施工

中，或維修或加固施工。

金門大橋遊客眾多，但地形崎嶇停車位非常有限，因此搭乘公共運輸是較好的選擇。且通過金門大橋車輛仍需繳交通行費，但已不再現場人工收費，車輛過橋費則接受 Clipper 卡支付(預先儲值)。

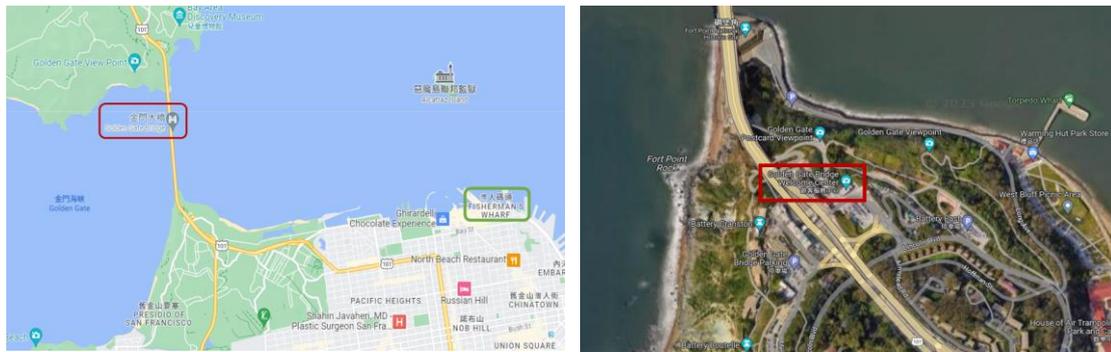


圖 4-1 美國舊金山金門大橋位置(左)、遊客服務中心位置(右) 摘製 Google Maps

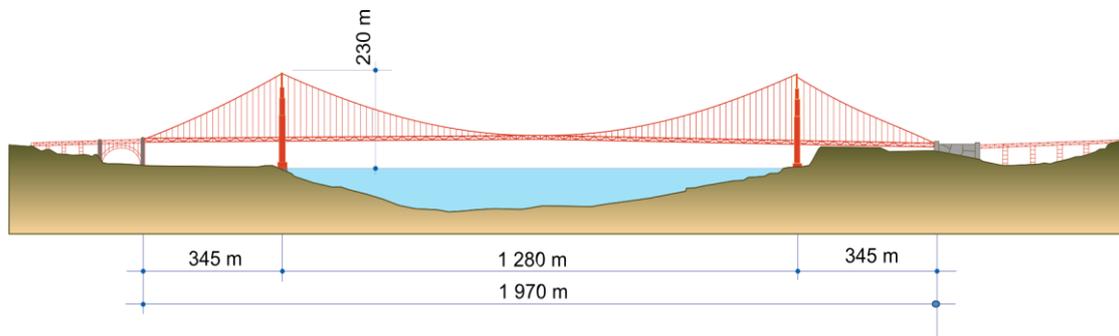


圖 4-2 舊金山金門大橋立面示意圖 摘自 Roulex



圖 4-3 舊金山金門大橋全橋照片 翻自 Aaron Logan



圖 4-4 金門大橋(左上)及施工架(右)、金門國家遠眺金門大橋(左下)



圖 4-5 金門國家公園 人、公園與公益解說牌



圖 4-6 電子收費宣導



圖 4-7 金門大橋及其橋塔模型解說牌

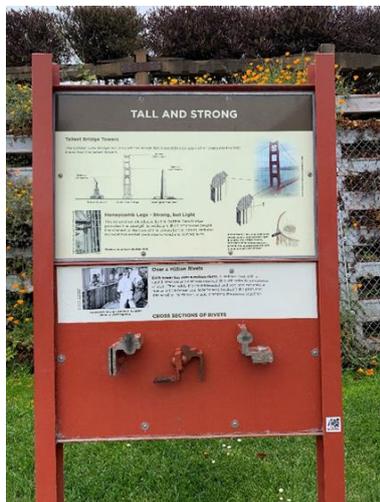


圖 4-8 金門大橋建設說明部分看板



圖 4-9 金門大橋橋梁懸索力學教學教材設施



圖 4-10 金門大橋人行與自行車道劃分



圖 4-11 金門大橋維修施工架錨固於大橋錨定座及突出螺栓保護措施

(二) 參觀布魯克林大橋 (Brooklyn Bridge)

布魯克林大橋 (Brooklyn Bridge)，原稱為紐約與布魯克林大橋 (New York and Brooklyn Bridge) 或東河大橋 (East River Bridge)，是 1 座位於美國紐約州紐約市的混合型斜拉/懸索橋，該橋梁跨越東河，連接曼哈頓和布魯克林兩個行政區。該橋於 1883 年 5 月 24 日啟用，是東河上的第一座固定橋。同時也是當時全球最長的懸索橋，主跨長度為 486.3m，橋面高於平均高水位 38.7m，建設共花費 1550 萬美元（按 1883 年的美元計算）。

布魯克林大橋是由一位擁有多年建造懸索橋經驗、德國出生的美國土木工程師約翰·奧古斯塔斯·羅布林採用新哥德式建築的風格所設計的。然在 1869 年 7 月 6 日，當羅布林前往布魯克林橋址的地點勘察時，一艘渡輪撞上了碼頭，不幸的使羅布林腳部受傷，不得不截掉部分腳趾。由於羅布林拒絕接受醫生的治療而患上了破傷風，並在同年 7 月 22 日逝世，大橋則由他的兒子華盛頓·羅布林負責，擔任首席工程師一職，而他的妻子艾米莉·沃倫·羅布林也提供了協助。然而，由於許多爭議和設計的創新性，該項目的興建共耗時長達 13 年。橋梁的名字「布魯克林」則於 1915 年正式取名。

當代布魯克林大橋是連接曼哈頓島和長島的四座免費通行車輛橋梁中最南端的一座，其北邊則有曼哈頓大橋、威廉斯堡橋和昆斯博羅橋。布魯克林大橋一直是該城市最主要的旅遊景點及天際線，並成為紐約市的象徵。多年來，該橋曾被用於舉辦各種特技表演和活動，也被指定為國家歷史地標、紐約市地標和國際土木工程歷史古蹟等等榮譽。

橋塔開始建造時，先在東河裡放入兩座巨大的沉箱，長 160 英尺、寬 100 英尺的密封式沉箱，直至沉箱沉入河底，接著向沉箱中注入加壓空氣，以便讓工人進入沉箱清理河底沉積物，並將沉箱完全沉入岩盤，然後在沉箱上建造橋塔。布魯克林大橋於 1870 年 1 月 3 日正式破土動工，然而之後很多工人患上了減壓症，今俗稱潛水夫病。工人反覆在正常氣壓與充滿加壓空氣的沉箱中工作，身體遭受壓力增減劇烈，覺得很辛苦，嚴重的會造成癱瘓，甚至死亡，由於當時並不清楚這種疾病，醫師起初稱之為「沉箱病」。

大橋建造時，橋梁建築中的空氣動力學還未得到發展。原先的塔科馬海峽吊橋於 1940 年坍塌後，橋梁才陸續於 1950 年代開始進行風洞測試。大橋支撐橋面

的桁架結構本身就不易出現空氣動力學問題，實屬大幸。小羅布林設計的橋梁及桁架系統比他認為所需的穩固程度還要穩固六倍。因此，在同時期的許多大橋紛紛消失在歷史中並被替代的時候，布魯克林大橋仍然安如磐石。

繼 2007 年明尼阿波利斯的 I-35W 密西西比河大橋坍塌後，開始注意各大橋梁的安全狀況。據報導，布魯克林大橋坡道的狀況在檢查中被評級為「差」。耗費 5.08 億美元的坡道修繕工程於 2010 年動工，而整座大橋的修繕則於 2011 年春季開始，2016 年 8 月大橋修繕完成[1]。



圖 4-12 美國紐約布魯克林大橋位置 摘製 Google Maps



圖 4-13 紐約布魯克林大橋全橋照片 摘自 Alexandre Honório



圖 4-14 紐約布魯克林大橋全橋照片 摘自 Kai Pilger



圖 4-15 布魯克林大橋橋面車道(左)及人行道解說牌(右)



圖 4-16 布魯克林大橋紐約警局監測告示牌(左)及人行道(右)



圖 4-17 布魯克林大橋纜索防攀爬設施(含門鎖)



圖 4-18 布魯克林大橋眺望曼哈頓大橋(左)及布魯克林大橋主塔(右)

五、心得與建議

本次從舊金山到華盛頓再到紐約，對特別的議題亦予以關注，如市區將汽車車道偏心劃設，迫使汽車減速慢行，保護自行車安全；在郊區山路車道寬不足則人行道僅靠外側布設；施工車輛進出由 2 人分站道路兩側，手持高標誌牌指揮交通；採用大型 CMS 太陽能臨時告示牌，夜間視線更佳。



圖 5-1 紐約市區車道偏心劃設 (保護自行車安全)



圖 5-2 單側人行道規劃(左側)



圖 5-3 施工車輛進出交通指揮



圖 5-4 大型 CMS 太陽能臨時告示牌

(一) 心得

1. 運用科技及人工智慧 (AI) 協助橋梁設計、施工、維護管理及檢測等已是趨勢，如無人機 (UAV) 搭配 AI 技術，從事橋梁檢測(橋下飛行)已無需衛星定位 (GPS)，且能在狹小空間作業，可增進橋梁檢測安全與效率。
2. 新建或維修橋梁工程，設計階段即導入施工廠商討論模式 (CM/GC) ，可確保施工可行性，並兼顧品質與工期。其有別於國內現行作業，先設計後再發包承攬廠商施工之採購模式。
3. 橋梁係屬交通要道，且可能須為災後提供維生道路之通行，其耐震能力應在災後仍能維持其基本交通功能，故在設計上宜導入隔減震觀念，如何降低地震力對橋梁損壞之影響。
4. 加速橋梁施工 (ABC) 是未來之需求，如何設計更快速之施工方法，需發揮思考與創新。自走式模組化運輸車 (SPMT) 能將整跨預鑄橋梁，運送至定位後架設，大量縮短工期，將是配合環境之優選項目，惟其係屬大型施工機具，需先規劃準備。
5. 世界著名大橋如舊金山金門大橋、紐約市布魯克林大橋、或日本明石大橋等，都成為重要風景遊憩及觀光地標，橋梁周邊配合整體交通、景觀規劃、展示區、旅客服務中心、停車場、參觀動線規劃等，應於興建過程中一併規劃建設，如本局淡江大橋、曾文溪大橋等。
6. 公路歷史橋梁維護管理應有計畫作調查建檔，製作索引地圖、圖卡，提供用路人體驗歷史橋梁維護管理，或與社區結合，帶動社區觀光發展。
7. 國內興建橋梁頗多，亦不乏在設計或施工經驗上可提供世界各國分享，亦可於每年 IBC 國際橋梁研討會發表交流，有如淡江大橋、曾文溪大橋及南方澳跨港大橋等，或經過斷層帶之玉里大橋及花蓮大橋改建等，相關工程實績應可至國外發表分享。
8. 從科羅拉多州交通局主題展覽，可知對公路資產維護管理計畫之重要。另對災害復建方案，提供改線避災及研發有效率工法，減輕原有交通衝擊。並對生態友善作為，提出計畫性改善，大幅度地減少路殺措事件。尤其施作動物遷徙通道及大型動物_鹿之高圍籬施作，均能到防護功效。

(二) 建議

1. IBC 橋梁研討會係每年 6 月舉辦，國內橋梁相關產官學界皆可參加或組團參加，發表論文或參展，以提升我國橋梁工程國際能見度。
2. 年度出國公務預算核定後，宜儘早核派參加人員，以利參加人員儘早準備相關事宜及妥善規劃行程。
3. 淡江大橋淡水端匝環道內管理中心，服務區招商營運作業（含有關紀念品招商設計版權及銷售等），宜儘早規劃，通車時可一併營運。
4. 淡江大橋除室內願景館外，亦可參考舊金山金門大橋，亦或日本明石大橋規劃室外橋梁教學區，從環境生態景觀及橋梁力學、材料、設計、施工到營運，提供遊客實體操作體驗。
5. 市區道路車道偏心劃設，迫使汽車減速慢行，保護自行車安全；在郊區山路車道寬不足則人行道單側布設；採用大型 CMS 太陽能臨時告示牌，夜間視線提高等之運用，提供相關公路工程參考。

參考資料

[1] 維基百科網站

[2] 科羅拉多州交通局主題展覽資料

附錄 2023 國際研討會 IBC 時程表

2023 IBC Schedule Matrix

EXHIBIT HALL HOURS: MONDAY & TUESDAY 11:00 AM-6:00 PM, WEDNESDAY 9:00 AM-1:00 PM					
MONDAY	CHERRY BLOSSOM BALLROOM	ANNAPOLIS 1/2/3	BALTIMORE 3/4/5	BALTIMORE 1	BALTIMORE 2
	SPONSORED BY: GPI	SPONSORED BY: HR	SPONSORED BY: Michael Baker INTERNATIONAL	SPONSORED BY: WSP	
8:00 AM	SPECIAL SESSION: EMERGENCY RESPONSE	SPECIAL SESSION: CONSTRUCTION	SPECIAL SESSION: NEW TECHNOLOGIES	SPECIAL SESSION: YOUNG ATTENDEES	
8:30 AM					
9:00 AM					
9:30 AM					
10:00 AM					
10:15 AM	IBC KEYNOTE SESSION				
11:00 AM					
11:30 AM					
12:00 NOON	LUNCH IN PRINCE GEORGE'S HALL E - LOWER ATRIUM LEVEL				
1:00 PM	FEATURED STATE SESSION: COLORADO DOT	REHAB/ MAINTENANCE SESSION, Part 1	PROPRIETARY SESSION	W01: INTERNATIONAL WORKSHOP	W02: ENGINEERING ETHICS
1:30 PM					
2:00 PM					
2:30 PM					
3:00 PM					
3:30 PM					
4:00 PM					
4:30 PM					
5:00 PM	EXHIBIT HALL RECEPTION - WOODROW WILSON BALLROOM				
6:00 PM	IBC AWARDS DINNER				
TUESDAY	CHERRY BLOSSOM BALLROOM	ANNAPOLIS 1/2/3	BALTIMORE 3/4/5	BALTIMORE 1	BALTIMORE 2
8:00 AM	PEDESTRIAN & SPECIAL PURPOSE BRIDGES SESSION	DESIGN SESSION	FOUNDATIONS SESSION	W04: COMBINED WORKSHOP	W03: COBS WORKSHOP
8:30 AM					
9:00 AM					
9:30 AM					
10:00 AM					
10:30 AM	DIGITAL DELIVERY/ BIM/3D MODELING SESSION	INSPECTION & EVALUATION SESSION	ABC SESSION		
11:00 AM					
11:30 AM					
12:00 NOON	LUNCH IN PRINCE GEORGE'S HALL E - LOWER ATRIUM LEVEL				
1:30 PM	IBC BUS TOUR - ADVANCE REGISTRATION REQUIRED				
1:30 PM	REHAB/ MAINTENANCE SESSION, Part 2	CONSTRUCTION/ ERECTION SESSION	DESIGN SESSION, PART 2	W05: BIM - COMBINED WORKSHOP	W06: FOUNDATION REUSE
2:00 PM					
2:30 PM					
3:00 PM					
3:30 PM					
4:00 PM					
4:30 PM					
5:00 PM	EXHIBIT HALL RECEPTION - WOODROW WILSON BALLROOM				
5:00 PM					
WEDNESDAY	CHERRY BLOSSOM BALLROOM	ANNAPOLIS 1/2/3	BALTIMORE 3/4/5	BALTIMORE 1	BALTIMORE 2
8:00 AM	RESEARCH SESSION	DESIGN SESSION, Part 3	RAIL BRIDGES SESSION	W08: UPCOMING PROFESSIONAL OPPORTUNITIES	W09: COMBINED WORKSHOP
8:30 AM					
9:00 AM					
9:30 AM					
10:00 AM					
10:30 AM					
11:00 AM	CABLE SUPPORTED BRIDGES SESSION	ALTERNATE DELIVERY SESSION	INSPECTION & EVALUATION SESSION, Part 2		
11:30 AM					
12:00 NOON					
12:30 PM	LUNCH IN PRINCE GEORGE'S HALL E - LOWER ATRIUM LEVEL				
1:00 PM					
1:30 PM	REHAB/ MAINTENANCE, SESSION, Part 3	INSPECTION & EVALUATION SESSION, Part 3	CONSTRUCTION/ ERECTION SESSION, Part 2	W10: OPTIMIZED AND EFFICIENT BRIDGE DESIGN	W11: DESIGN OF FRP COMPOSITES BRIDGES WORKSHOP
2:00 PM					
2:30 PM					
3:00 PM					
3:30 PM					
4:00 PM					
4:30 PM					
5:00 PM	CONFERENCE CONCLUDES				