

出國報告（出國類別：考察）

## 2019 年橋梁檢測維護技術考察報告

服務機關：交通部高速公路局

姓名職稱：鄭承鴻 副段長

派赴國家：美國

出國期間：108 年 10 月 23 日至 11 月 1 日

報告日期：109 年 1 月 10 日



## 公務出國報告摘要

頁數：21

報告名稱：2019年橋梁檢測維護技術考察報告

主辦機關：交通部高速公路局

連絡人/電話：鄭承鴻/(03)9887060轉3202

出國人員：鄭承鴻 副段長

出國類別：考察

出國地點：美國

出國期間：108年10月23日至11月1日

分類號/目：H0/綜合類（交通）

關鍵詞：美國加州運輸署(California Department of Transportation 簡稱CalTrans)；橋梁檢測（Bridge Inspection）

內容摘要：

本次考察地點為美國加州運輸署(CalTrans)位於洛杉磯地區之橋梁檢測南區辦公室，並參與該署橋梁檢測人員進行長灘Vincent Thomas Bridge下部結構及吊橋主鋼索檢測作業。另外參觀第六街高架橋(Sixth Street Viaduct) Replacement Project 新建工程及長灘港Gerald Desmond Bridge Replacement Project 斜張橋新建工程。亦針對南方澳跨港大橋倒塌事件進行簡易交流。

本考察報告主要介紹此次觀摩 CalTrans 在橋梁新建工程、評估檢測及維護作業之執行，並對參訪見聞，提出心得與建議，提供本局橋梁檢測、維護及未來業務推動之參考。

此次考察行程，特別感謝 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室（Office of Structure Investigations - South）趙青(Ching Chao)主任聯絡相關單位及行程安排。

# 目 錄

|      |   |    |
|------|---|----|
| 一、   | 目的 .....  | 1  |
| 二、   | 行程 .....  | 3  |
| 三、   | 參訪過程 .....  | 4  |
| 3-1、 | 拜訪 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室 .....                                 | 4  |
| 3-2、 | 參觀 VincentThomsa Bridge 橋梁下部結構及主鋼索檢測作業 .....                | 5  |
| 3-3、 | 參觀 New Gerald Desmond Bridge Replacement Project 新建工程 ..... | 6  |
| 3-4、 | 參觀 Sixth Street Viaduct Replacement Project 新建工程 .....      | 9  |
| 四、   | 參訪照片 .....  | 11 |
| 五、   | 心得 .....  | 19 |
| 六、   | 建議 .....  | 20 |

## 一、目的

民國 89 年 10 月美國加州運輸署(California Department of Transportation)總工程司 James E. Roberts 拜訪本局，談及雙方署簽訂合作協議書，以提升雙方橋梁管理技術。經本局將合作協議案報請交通部同意後，91 年 8 月 29 日由加州運輸署署長(Jeff Morales) 與本局梁樾前局長正式簽訂合作協議(Agreement on The Mutual Collaboration between California Department of Transportation and Taiwan Area National Freeway Bureau, Republic of China)，建立雙方合作夥伴關係，期程自 91 年至 96 年止，共計 5 年。

其後為持續加強雙方互助合作關係，續將合作期程延長：

- (一)96 年至 101 年，共計 5 年，由交通部蔡堆前部長列席指導，赴美簽訂合作協議，並參與合作計畫討論。
- (二)101 年至 106 年之 5 年合作協議，藉由 100 年 9 月於臺灣舉辦之「第七屆臺美公路與橋梁工程研討會」期間，邀請交通部毛治國前部長列席指導，由本局曾大仁前局長與加州運輸署代表進行合作協議換約。
- (三)106 年至 111 年之 5 年合作協議，藉由 105 年 10 月於臺灣舉辦之「第十一屆臺美公路與橋梁工程研討會」期間，邀請交通部范前政務次長植谷列席指導，由本局趙興華局長與加州運輸署代表進行合作協議換約。

依該技術合作協議書，雙方可採資訊交流及人員互訪方式，增進彼此橋梁管理技術（包括橋梁檢測、維修、補強、營運管理等）交流：

- (一)資訊交流：技術合作與諮詢、召開技術交流會議、讓雙方工程司參加雙方為提升技術之特定會議及訓練、參與雙方提供之實務作業。
- (二)人員互訪：提供交流人員訓練課程，包括臺灣工程司觀摩加州運

輸署相關單位訓練、安排參訪雙方高速公路之現場設施、拜訪雙方工程機關人員。

此次考察主要目的在於藉由派員觀摩 CalTrans 橋梁檢測制度及執行情形，觀察 CalTrans 在橋梁方面之新建、檢測及維護作業情形，作為本局相關橋梁檢測業務未來推動與發展之參考。

## 二、行程

本次出國計畫係配合臺美雙方協商之日期，於108年10月23日出國，11月1日返國，全程10天，其行程內容詳表一。

表一、行程表

| 日期    | 星期 | 主要行程概述                                   | 夜宿  |
|-------|----|--|-----|
| 10/23 | 三  | 臺北搭機至洛杉磯                                 | 機上  |
| 10/24 | 四  | 準備考察行程資料                                 | 洛杉磯 |
| 10/25 | 五  | 1.運輸署組織與職掌介紹<br>2.橋梁耐震、檢測、公路防災等規範介紹      | 洛杉磯 |
| 10/26 | 六  | 1.橋梁檢測業務介紹(含人員組織、工具、資訊管理系統等)<br>2.橋梁實地檢測 | 洛杉磯 |
| 10/27 | 日  | weekend                                  | 洛杉磯 |
| 10/28 | 一  | weekend                                  | 洛杉磯 |
| 10/29 | 二  | 現地考察橋梁檢測、維修、補強等作業                        | 洛杉磯 |
| 10/30 | 三  | 現地考察橋梁新建工程                               | 洛杉磯 |
| 10/31 | 四  | 洛杉磯搭機返回臺北                                | 洛杉磯 |
| 11/1  | 五  | 抵達臺北                                     | 機上  |

## 三、參訪過程

### 3-1、拜訪 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室

CalTrans 位於沙加緬度，辦理全加州地區橋梁特殊老化斷裂及水下檢測工作，並管理維護橋梁管理系統(the Bridge Management System, PONTIS)、橋梁檢測資訊系統 (the Bridge Inspection Records Information System, BIRIS)及結構維護自動報告傳送系統 (The Structure Maintenance Automated Report Transmittal System SMART)，肩負橋梁歷史維護檔案管理及保存，亦負責州際橋梁的維護管理。

CalTrans 的橋梁檢測業務由該署維護部(Division of Maintenance)之結構維護及調查組(Structure Maintenance & Investigations organization，簡稱 SM&I)負責辦理，全加州分設 6 個辦公室，合計超過 200 名工程師。SM&I 負責全加州超過 24,000 座橋梁(私人所有除外，包含高速公路約 12,000 座橋以及郡、市政府等地方政府轄管之地方道路約 12,200 座橋)的基本資料建置及管理、橋梁檢測、狀態評估、補強或修復工程設計，以確保所有轄管橋梁之安全性和可靠性。

橋梁檢測為本次參訪考察重點，SM&I 負責執行該業務，轄下設有北區及南區辦公室，遂安排參訪南區辦公室(Office of Structure Investigations - South)。南區辦公室位於洛杉磯市區，負責南加州 9,500 餘座橋梁之檢測業務。

經與趙青(Ching Chao)主任訪談交流，說明該辦公室目前設有 5 個小組，每組成員約 5~8 人，其中 4 組主要辦理橋梁檢測業務；另設有 1 組辦理簡易維修設計。複雜性橋梁另有資深工程師專責辦理檢測作業。

橋檢工程師分區負責橋梁定期檢測，惟全加州僅有 5 輛橋檢車，故檢測主要係以目視搭配望遠鏡方式辦理。橋梁之檢測頻率為 2 年 1 次，部分狀況良好之橋梁經評估並核准後，得放寬為 4 年 1 次。箱型梁內部檢測攸關勞工安全相關作業問題，檢測員非從外觀檢視發現有滲水白華等跡象，無需進入箱型梁內部檢測，但對於重要橋梁仍須進入箱梁內部檢測。

檢測與維護分屬不同小組，彼此互有專精。檢測成果如有發現較重大的劣化缺失，召集團隊舉行檢測討論會議，規劃並提出維修建議。

另加州目前對橋梁檢測作業採用 UAV 辦理方式仍屬尚未接受。其一為受限於航空管制需求，UAV 操作者須具備飛行員資格，機關內部具備此資格人員甚少。其二為聯邦公路總署(Federal Highway Administration，簡稱 FHWA)對照片或視頻影像呈現尚在研議階段，尚需 1~2 年試辦過後才得以通過認可。

聯邦對於檢測成果會進行現地抽查比對，如果檢測成果差異較大，需要提出說明；若檢測員沒有落實檢測會被提出警告，嚴重者會被調離單位或是開除。

### 3-2、 參觀 VincentThomsa Bridge 橋梁下部結構及主鋼索檢測作業

Vincent Thomas Bridge 位於洛杉磯灣區，於 1963 年完工通車，主橋長度 2,513 英尺，由主跨及 2 邊跨組成，主跨 1,500 英尺及邊跨 506 英尺，外加兩側合計 20 跨引道橋，全長 6,060 英尺，屬雙橋塔結構懸索吊橋，橋塔高度為 335 英尺，橋的兩端分別銜接 San Pedro 與 Terminal Island，為洛杉磯與長灘地區銜接要道，每日交通量達 32,000 輛。



10月26日參觀 Vincent Thomas Bridge 下部結構目視檢測；另趙青主任也特別安排10月30日參與 CalTrans 的 Fracture Critical Inspection Team 針對 Vincent Thomas Bridge 吊橋主鋼索檢測作業。

加州對於複雜性橋梁(complex bridge，斜張橋、懸索橋及裝設阻尼器橋梁，此三類橋梁)，除定期的目視檢測外，針對若發生破壞時會造成橋梁局部甚至全部破壞倒塌之構件(Fracture Critical Member，FCM)，則必須針對該構件進行 Fracture Critical Inspection。CalTrans Fracture Critical Inspection Team 專門執行本項檢測作業，其檢測作業要求檢測員接近 FCM 達到 hands-touch 的距離，以清楚明確檢測構件狀態。

設計單位在設計複雜性橋梁時，必須於圖面標示 FCM，俾利後續管養階段執行檢測作業列入重點項目。

複雜性橋梁檢測員為資深工程司，具有相當專業能力及判斷力，對結構相當清楚，長期執行該橋梁檢測作業，該橋的劣化及檢測重點位置掌握度很高，執行過程亦相當注重職安。

主鋼索(FCM)表面油漆披覆檢測，身著 4~5 公斤重背負式安全裝備，亦步亦趨跟著資深工程師全程攀爬鋼索，行走在鋼索上面檢查鋼索外套管的狀況，高空作業除更需過人的體力外，檢測時更是需要仔細檢測構件狀態及注意自身安全，可謂一心多用，檢測難度相當高。

檢測時發現有塗裝劣化時，須拍照及記錄，各項設備均須有防掉落機制；另吊索並未張貼編號，如有劣化不易記錄，易產生誤標情形。另建議可採用 Gopro 攝影器材，安裝安全帽上方，以影音記錄，可減少鬆手記錄劣化次數，增加作業安全及提高效率。

### **3-3、 參觀 New Gerald Desmond Bridge Replacement Project 新建工程**

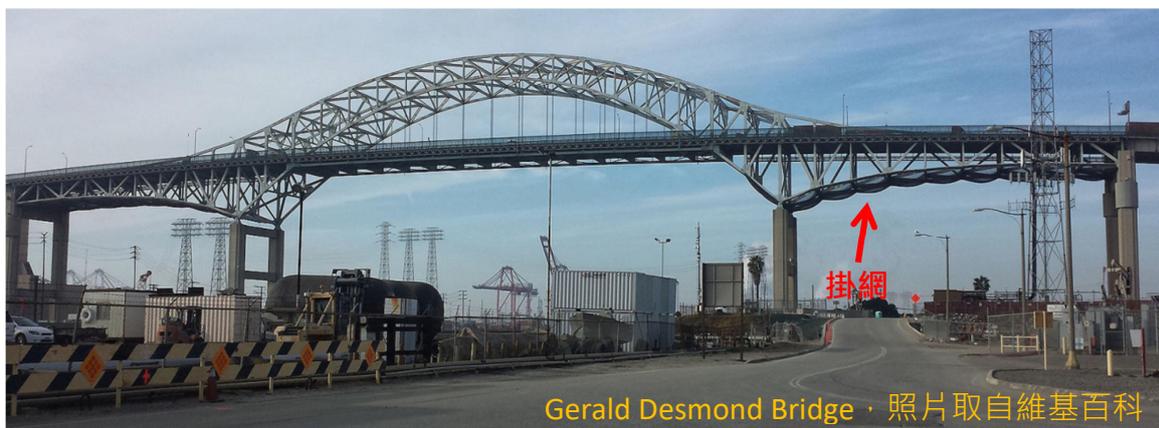
長灘港(Port of Long Beach)為美國主要貿易商港，該港與比鄰的洛杉磯港(Port of Los Angeles) 共處理 40%的美國海運進口貨物，而全美 15%海運進口貨物行經 Gerald Desmond Bridge。

Gerald Desmond Bridge 距洛杉磯市中心約 28 英里，係以對長灘市貢獻

卓著的市檢察官及市議員 Gerald Desmond 命名，橋梁總長約 1.5 英里，主跨為鋼拱橋，主跨度 527 英尺，橋下淨高 155 英尺，1968 年完工通車，隔年就開始出現劣化缺失，即著手進行維修，並於橋梁底部增設防護網，以承接掉落混凝土塊。1996 至 1997 年間辦理施作橋梁耐震補強。

惟隨著近年大型貨輪越來越多，致使 Gerald Desmond Bridge 出現淨高不足現象，影響港口進出船隻，導致吞吐量減少，危及港口經濟地位。另貨櫃車及重車交通量增加造成橋梁承受載重增加，導致橋梁下側混凝土受損剝落。橋梁又無設計路肩可供事故緊急救援使用，一旦發生較大事故，必須封閉多車道進行處理，嚴重影響交通。

2007 年 Caltrans 評估 Gerald Desmond Bridge 的結構性，僅得 43 分(總分 100 分)。次年長灘港務局及加州運輸署即提出在既有橋梁旁新建橋梁的計畫(Replacement Project)，獲得美國聯邦運輸部同意及經費支持。港務局負責興建，完工後移交 Caltrans 管養。工程於 2013 年 1 月開工，預計於 2019 年底前完工，總經費約 12 億 8,800 萬美金。新橋將擁有雙向各三車道，大幅增加交通運輸容量。主跨度提升至 1,000ft，橋下淨高提升至 205ft，足供現代化大型貨輪通過，新橋梁完成模擬圖詳圖一。橋面加設路肩供緊急救援使用，另於橋梁南側設置行人及腳踏車通道，充分解決既有橋梁遭遇之問題。舊橋將於新橋完工通車後拆除。





橋址位處氯離子濃度較高區域，考量混凝土橋面板受載重及老劣化容易產生裂縫，橋面板鋼筋採用不鏽鋼鋼筋，混凝土護欄鋼筋則採用環氧樹脂塗層鋼筋，以避免裂縫而引起鋼筋鏽蝕。不銹鋼鋼筋與環氧樹脂塗層鋼筋主要差異除了價格之外，其選用在於是否需要現場加工，現場裁切將影響環氧樹脂塗層鋼筋防鏽能力。

新建工程同樣面臨契約變更問題，致使預算增加 50%，建造成本掌控不易，另工期也從預定 2019 年底完工，展延至 2020 年 6 月完工。

工程新建階段除了原有品質 QC 及 QA 制度，CalTrans 南區辦公室(完工後管養及檢測單位)亦派人進行 QA，深入參與，確實掌握橋梁重點，複雜性橋梁(斜張橋)施工階段的參與，有助日後養護管理重點掌握。

### **3-4、 參觀 Sixth Street Viaduct Replacement Project 新建工程**

第六街高架橋(Sixth Street Viaduct)是美國最著名的橋梁之一，是洛杉磯河西側的藝術區與東側歷史悠久的博伊爾高地之間的重要樞紐。1932 年完工通車，橫跨河道近 3500 英尺，在無數電影，音樂錄影帶和電視廣告出現，於影迷及洛杉磯市民心中有重要地位，經常被用來代表洛杉磯更堅韌的一面。

該座橋梁於通車後 20 年即因混凝土發生鹼骨材反應，導致橋梁結構逐漸損壞，多年來洛杉磯市政府進行多次修復補強工程，惟均無法徹底改善，在 2004 年進行地震脆弱度研究，認為本橋在大地震來襲時將有倒塌之虞，建議應拆除並新建橋梁。

洛杉磯市府在 2007 年市議會同意 Sixth Viaduct Replacement Project 後開始推動計畫，計畫總經費約 4.88 億美金，為洛杉磯市史上最大規模之公共工程計畫。2012 年設計標(國際競圖)決標，2015 年開始施作高架橋與地方道路交叉路口改善工程，2016 拆除既有橋梁，2016 年 8 月開始施作橋梁基礎，2017 年初橋梁主體工程開工，預計於 2022 年底完工通車。

新橋設計概念為"光之彩帶(The Ribbon of Light)"，由洛杉磯建築師 Michael Maltzan 設計，為 20 座傾斜式 RC 拱肋加上網狀鋼索構成之網狀吊索系統繫桿拱橋(network tied arch bridge)，彷彿飛舞市區的彩帶。



Sixth Street Viaduct 「光之彩帶」示意圖

## 四、參訪照片



拜訪 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室



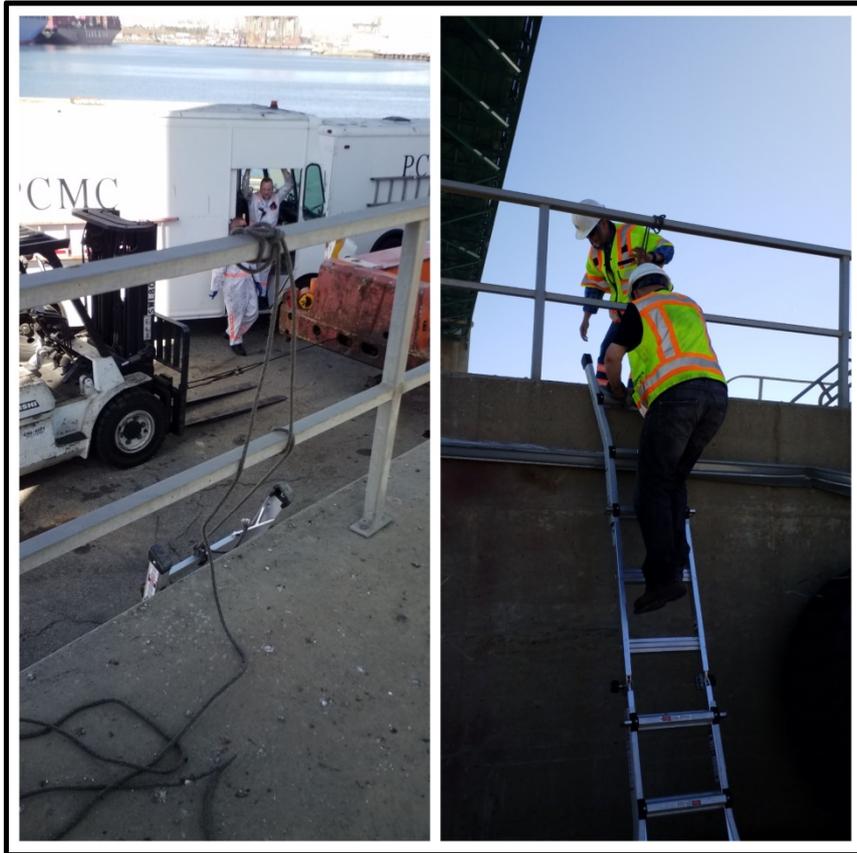
Vincent Thomas Bridge 下部結構目視檢測



Vincent Thomas Bridge 下部結構檢測成果



Vincent Thomas Bridge 下部結構檢測成果



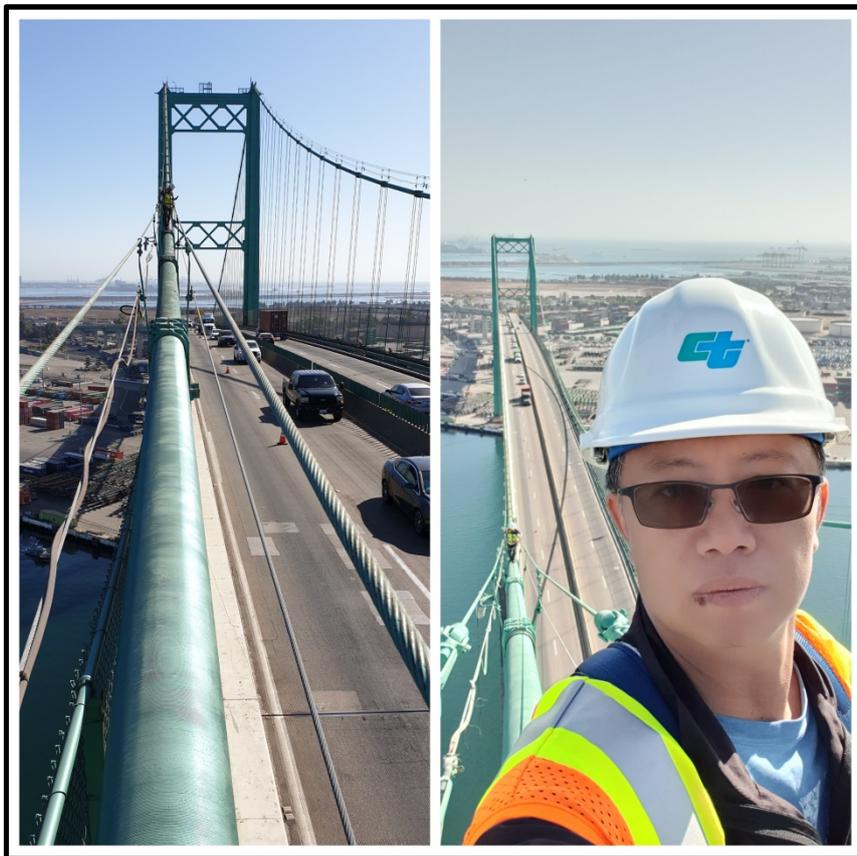
Vincent Thomas Bridge 下部結構檢測-職安措施



Vincent Thomas Bridge 下部結構-耐震補強作為



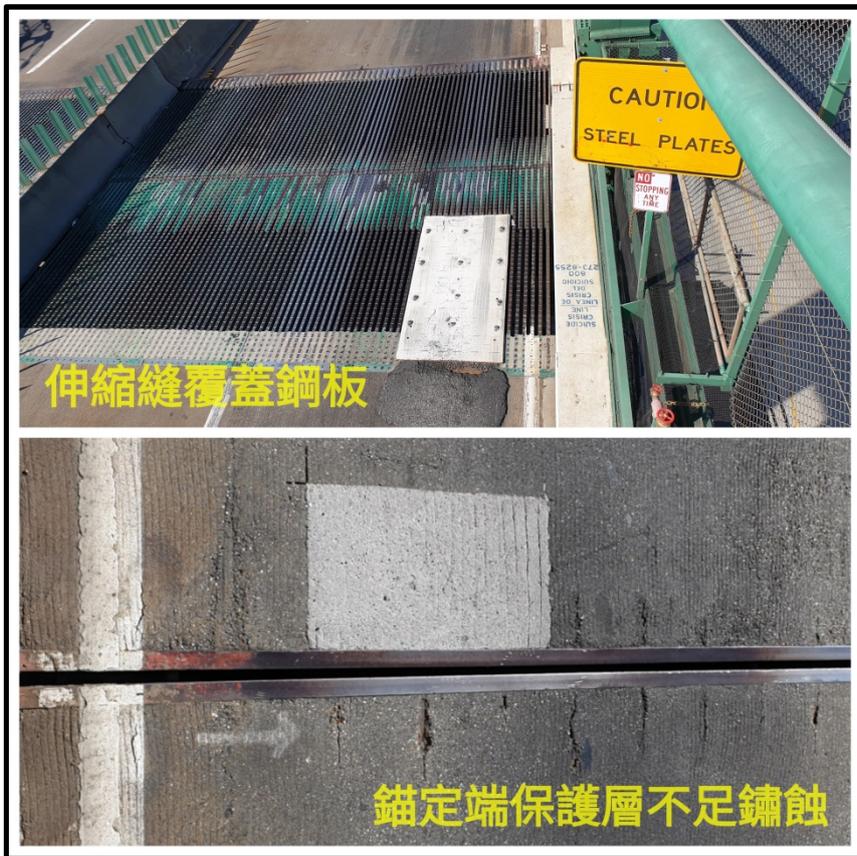
Vincent Thomas Bridge 主鋼索檢測-車道封閉交通維持



Vincent Thomas Bridge 主鋼索檢測



Vincent Thomas Bridge 鋼索檢測成果



Vincent Thomas Bridge 橋面檢測成果



參觀 New Gerald Desmond Bridge 新建工程



仰視 New Gerald Desmond Bridge 施工現況(左側為舊橋)



New Gerald Desmond Bridge 施工現況



New Gerald Desmond Bridge 施工現況



Sixth Street Viaduct 施工現況



Sixth Street Viaduct 施工現況(鋼柱臨時支撐)

## 五、心得

- (一) CalTrans 橋梁檢測工程師專責辦理檢測業務，並不辦理其他業務(如維修、公文.....等行政作業)，檢測員穩定性相當高(流動率低)，對所轄管橋梁狀態掌握度很高。檢測員於年初即上系統排定本年度預計檢測橋梁，系統確定後就不再更動，檢測員即按照每月期程自行排定檢測時間，系統亦會提醒尚未完成檢測橋梁，如此可如期如質落實檢測作業。檢測與維護各有專精，檢測成果如有發現較重大的劣化缺失，召集團隊舉行檢測討論會議，規劃並提出維修建議。
- (二) 檢測方法主要以目視搭配望遠鏡方式辦理，橋梁之檢測頻率為 2 年 1 次，部分狀況良好之橋梁經評估並核准後，得放寬為 4 年 1 次。箱型梁內部檢測攸關勞工安全相關作業問題，檢測員非從外觀檢視發現有滲水白華等跡象，無需進入箱型梁內部檢測，但對於重要橋梁仍須進入箱型梁內部檢測。
- (三) 檢測工程師對橋梁管理系統相當嫻熟，系統可以提供檢測作業正面助益，非僅為管理階層開發使用。檢測作業紀錄方式雖仍採用傳統紙本記錄，但未造成作業不便之處。
- (四) 檢測工程師為州政府員工，即為公務員，做事較為負責。聯邦對於檢測成果會進行現地抽查比對，如果檢測成果差異較大，需要提出說明；若檢測員沒有落實檢測會被提出警告，嚴重者會被調離單位或是開除，罰則相對較為嚴厲。
- (五) 設計單位在設計複雜性橋梁(complex bridge，斜張橋、懸索橋及裝設阻尼器橋梁，此三類橋梁)時，必須於圖面標示 FCM，俾利後續管養階段執行檢測作業列入重點項目。複雜性橋梁檢測員為專責資深工程司，具有相當專業能力及判斷力，對結構系統相當清楚，長期執行該橋梁檢測作業，橋梁的劣化及檢測重點位置掌握度很高。
- (六) CalTrans 並未就特殊橋梁之目視檢測做特別規定，檢測程序及所使用表格(Bridge Inspection Report)與一般橋梁相同，差別只在每座橋

梁之元件不同，陳列在表格裡的內容也就不同。「CalTrans Bridge Element Inspection Manual」將所有橋梁元件予以律定並編碼，詳述各個元件可能會發生之劣化型態(劣化型態亦予以編碼)，並定義劣化等級(分為 Good 良好、Fair 尚可、Poor 差、Severe 嚴重等 4 個等級)之判定原則。CalTrans 之橋梁管理系統，每座橋梁均依據前述 Manual 所載之元件型式建置該座橋梁之基本資料，工程師辦理橋檢前，至系統下載檢測表格 (Pre-Inspection Report)，即可了解該座橋梁之元件以及前一次檢測之結果，並追蹤建議維修構件是否已維修，相當實用及方便。

- (七) CalTrans 執行檢測作業非常注重職業安全，個人防護具不可少，上下設備一定要齊備，安全不打折。封閉車道檢測，警車必全程在交維緩衝區段警戒，警示及確保作業安全。
- (八) 加州高速公路橋梁幾乎均為剛性路面，橋面版裂縫為檢測重點，檢測會特別加以標註裂縫長寬及面積，以提供將來維修單位進行維護。
- (九) 美方對橋梁完工外觀品質要求相當高，並盡量避免採用事後修飾方式達到外觀要求，迫使施工廠商除了採用新模板外，更必須精進及注意各項施工細節，以達外觀平滑美觀，連帶提升營造業整體施工水準。

## 六、建議

本次出國考察活動行程豐富，受益良多，就所見所聞提出幾點建議

- (一) 橋梁檢測首重在落實，落實檢測才能確實掌握橋梁狀態，適時維修才得確保行車安全。我方與美方在橋梁檢測方法差異不大，關鍵在“人力”。美方檢測人員低流動率高穩定度，長期專注執行橋梁檢測，對所負責橋梁狀態掌握度很高。反觀我方，受限人力，1 人身兼數職，橋梁檢測多委託辦理，承辦工程司對管養橋梁相對就較不熟悉。機關必須適度分散業務或增加人力，專業要專人辦理，方能

提高對橋檢廠商檢測成果抽查頻率，如此必可大大提升橋梁檢測品質。

- (二) 工程司如於工程新建施工階段可適時投入參與，瞭解施工細節，掌握重要構件資訊，有助日後檢測及養護重點掌握。
- (三) 南方澳跨海大橋倒塌後，交通部已修訂公路橋梁檢測及補強規範，針對特殊性橋梁之檢測及補強訂定原則性規定。後續此類橋梁檢測建議可訂定橋梁檢測員資格應為資深工程司，其具有相當專業能力及判斷力，對結構系統相當清楚，若長期執行該橋梁檢測作業，橋梁的劣化及檢測重點位置掌握度很高。
- (四) 檢測工作是高勞力密集及高假設工程費用作業，大型顧問公司投標意願不高，資深工程師亦不願投入檢測業務，建議除檢討預算如實反映勞務成本外，亦可從採購策略思考，如較長期的契約，可有提高投標意願。
- (五) 提高橋梁完工外觀品質要求，施工廠商勢必精進及注意各項施工細節，以達外觀平滑美觀，連帶提升營造業整體施工水準。