

出國報告（出國類別：考察）

2018 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：鄭榮輝 段長

李忠彥 正工程司

派赴國家：美國

出國期間：107 年 10 月 23 日至 11 月 1 日

報告日期：108 年 1 月 7 日

公務出國報告摘要

頁數：38

報告名稱：2018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：鄭榮輝/(08)7786125、李忠彥/(02)29096141轉2215

出國人員：鄭榮輝段長、李忠彥正工程司

出國類別：考察

出國地點：美國

出國期間：107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，並參觀該署橋梁檢測人員進行高速公路橋梁及箱涵檢測作業及Vincent Thomas Bridge吊橋鋼索檢測作業。另外參觀長灘港Gerald Desmond Bridge Replacement Project 新建工程及洛杉磯市第六街高架橋(Sixth Street Viaduct) Replacement Project 新建工程。

本考察報告主要介紹此次觀摩 CalTrans 在橋梁新建工程、評估檢測及養護作業之技術發展情形，及介紹 CalTrans維修部門橋梁結構調查辦公室之制度與執行，並就參訪 CalTrans 辦理橋梁檢測及新建工程之見聞，提出心得與建議，作為本局橋梁檢測、維護及未來業務推動之參考。

目 錄

一、 目的.....	1
二、 行程.....	3
三、 參訪過程.....	3
1. 拜訪 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室考察橋梁檢測業務.....	3
2. 參觀 New Gerald Desmond Bridge Replacement Project 新建工程	7
3. 參觀高速公路橋梁及箱涵檢測作業	9
4. 參觀 Sixth Street Viaduct Replacement Project 新建工程	10
5. 參觀 Vincent Thomsa Bridge 橋梁檢測作業	12
四、 參訪照片	14
五、 心得.....	33
六、 建議.....	36

一、目的

交通部高速公路局(以下簡稱本局)與美國加州運輸署(California Department of Transportation, 以下簡稱 CalTrans)簽訂合作協議書之緣由,係加州運輸署總工程司 James E. Roberts 於 2000 年 10 月拜訪本局,談及可與該署簽訂合作協議書,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,於 2002 年 8 月 29 日由加州運輸署署長(Jeff Morales) 與本局局長梁越正式簽訂合作協議 (Agreement on The Mutual Collaboration between California Department of Transportation and Taiwan Area National Freeway Bureau, Republic of China),建立雙方合作關係,期程自 2002 年至 2007 年止,共計 5 年。

其後為持續加強雙方互助合作關係,仍將合作期程予以延長於:

- (一) 2007 年至 2012 年,共計 5 年,由交通部蔡堆部長列席指導,赴美簽訂合作協議,並參與合作計畫討論。
- (二) 2012 年至 2017 年之 5 年合作協議,藉由 2011 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,邀請交通部毛治國部長列席指導,由本局曾大仁局長與加州運輸署代表進行合作協議之換約。
- (三) 2017 年至 2022 年之 5 年合作協議,藉由 2016 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之換約。

依該技術合作協議書,雙方可藉資訊交流及人員互訪方式,增進彼此之橋梁管理技術(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、允許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，包括允許臺灣之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。

本次考察主要目的在於藉由派員觀摩 CalTrans 橋梁檢測制度及辦理情形，從中學習其經驗，瞭解 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。

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。

二、行程

本次出國計畫係配合臺美雙方協商之日期，於 107 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	二	臺北搭機至洛杉磯	機上
10/24	三	參觀 New Gerald Desmond Bridge Replacement Project 新建工程	洛杉磯
10/25	四	拜訪 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室考察橋梁檢測業務及參觀洛杉磯郡橋梁檢測作業	洛杉磯
10/26	五	參觀爾灣(Irvine)地區橋梁檢測作業	洛杉磯
10/27	六	整理考察資料	洛杉磯
10/28	日	休假	洛杉磯
10/29	一	拜訪 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室考察橋梁檢測業務及參觀洛杉磯市區 Sixth Viaduct Replacement Project 新建工程	洛杉磯
10/30	二	參觀 Vincent Thomas Bridge 檢測作業	洛杉磯
10/31	三	洛杉磯搭機返回臺北	洛杉磯
11/1	四	抵達臺北	機上

三、參訪過程

1. 拜訪 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室考察橋梁檢測業務

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，SM&I 負責全加州超過 24,000 座橋梁(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、橋梁狀態評估、補強或修復工程設計，經由執行上述工作以確保所有通行狀態橋梁之安全性和可靠性。該組在全加州分設 6 個辦公室，合計超過 200 名工程師執行上述業務。

本次參訪考察之重點為橋梁檢測，SM&I 為執行該業務，設有北區及南區辦公室，本次參訪之部門為橋梁檢測南區辦公室(Office of Structure Investigations - South)，該辦公室位於洛杉磯市區，負責南加州 10 個郡共計 9,500 餘座橋梁之檢測業務。經與該辦公室負責定期檢測(Routine Inspection)業務之趙青(Ching Chao)主任進行訪談交流，趙主任說明該辦公室目前約 40 人，其中約 10 位資深工程師，20 位橋檢工程師，及 9 位橋梁簡易維修設計工程師。由橋檢工程師分區負責橋梁定期檢測，主要係以目視檢測方式辦理，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。

加州橋梁檢測業務主要係依據聯邦公路總署(Federal Highway Administration，簡稱 FHWA)制定的「國家橋梁檢測標準」(National Bridge Inspection Standards，簡稱 NBIS)辦理，該標準為美國各州執行橋梁檢測業務之準繩，規範內容包含：各州應設置之橋梁檢測組織、檢測人員之資格、檢測頻率、檢測程序及橋梁基本資料、檢測、評估資料之建置、維護與傳輸至 FHWA 之規定等。另 FHWA 制定「Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges」，明確規範各州傳輸至 FHWA 橋梁資料之內容、格式及橋梁狀態評估原則。加州依據 NBIS 規範辦理橋梁檢測，檢測方法採用「橋梁構件檢測」法(Bridge Element Inspection)，該方法係由 AASHTO 發展並制定手冊供各州參採，該手冊經 CalTrans 執行多年，各方經驗回饋後修訂頒布「加州橋梁構件檢測手冊(CalTrans Bridge Element Inspection Manual)」作為加州橋檢工程師之執行依據。

該手冊將橋梁構件分為三個類別，每個構件均予以編碼識別並定義該構件之計量單位，分述如下：

- (1) National Bridge Elements (NBEs)：為橋梁主要構件，包含橋面板、上部結構、下部結構及箱涵結構，另將橋護欄及支承歸類於本類別。同一構件依其材料不同分別予以編碼，以上部結構為例，「梁 (Girder/Beam)」共給予 5 個編碼，計量單位為英尺，詳表二所示。本類別有近 100 個構件。
- (2) Bridge Management Elements (BMEs)：為橋梁次要構件，包含伸縮縫、進橋板、鋪面、橋面油漆等。本類別有 20 餘個構件。
- (3) Agency Developed Elements (ADEs)：由橋梁管理單位視情形自行增加未包含於前述二類別之構件。

表二 上部結構構件編碼表

Caltrans Bridge Element Inspection Manual

2.1.3 - Superstructure

Element	Units	Steel	Prestressed Concrete	Reinforced Concrete	Timber	Masonry	Other
Closed Web/Box Girder	Length (ft.)	102	104	105			106
Girder / Beam	Length (ft.)	107	109	110	111		112
Truss	Length (ft.)	120			135		136
Arch	Length (ft.)	141	143	144	146	145	142
Stringer	Length (ft.)	113	115	116	117		118
Floor Beam	Length (ft.)	152	154	155	156		157
Cable - Main	Length (ft.)	147					
Cable - Secondary	Each	148					149
Pin and Pin & Hanger Assembly	Each	161					
Gusset Plate	Each	162					
Railroad Car Frame	Length	170					
Miscellaneous Steel Superstructure	Each	171					
EQ Restrainer Cables	Each	180-					

將各構件編碼識別後，手冊載明各個構件可能發生之劣化型式，也予以編碼識別，同時定義各構件就各種劣化型式之狀態，狀態分為 4 個等級，1:良好(Good)，2:尚可(Fair)，3:差(Poor)，4:嚴重(Severe)。以「構件編號#109:預力混凝土梁」為例(詳表三)，手冊臚列 6 種劣化型式及狀態等級。工程師於檢測前至橋梁管理系統下載橋梁預檢報告(Bridge Pre-Inspection Report)，即可快速掌握該橋梁之基本資料、組成構件以及前一次橋檢結果，供本次橋檢參考。橋檢時，以 2 位工程師為一組至現地執行業務，1 位為主辦工程師，1 位負責交通維持警戒及協助主辦檢測。主辦工程師觀察每個橋梁構件，記錄劣化型式、劣化嚴重度以及構件受該劣化型式影響之數量比例，並依此評估構件狀態等級，以上均由主辦工程師記錄於橋檢報告(Bridge Inspection Report)並簽署，再由資深工程師審核確認後，方可正式傳至橋梁管理系統之檢測資料庫作為正式文件。

表三 構件編號#109:預力混凝土梁劣化型式及狀態等級

Caltrans Bridge Element Inspection Manual

Element # 109: Open Girder/Beam - Prestressed Concrete

Description: Pretensioned or post-tensioned concrete open web girders regardless of protective system.

Classification: NBE - National Bridge Element **Units of Measurement:** ft.

Quantity Calculation: Sum of all the lengths of each girder.

Condition State Definitions

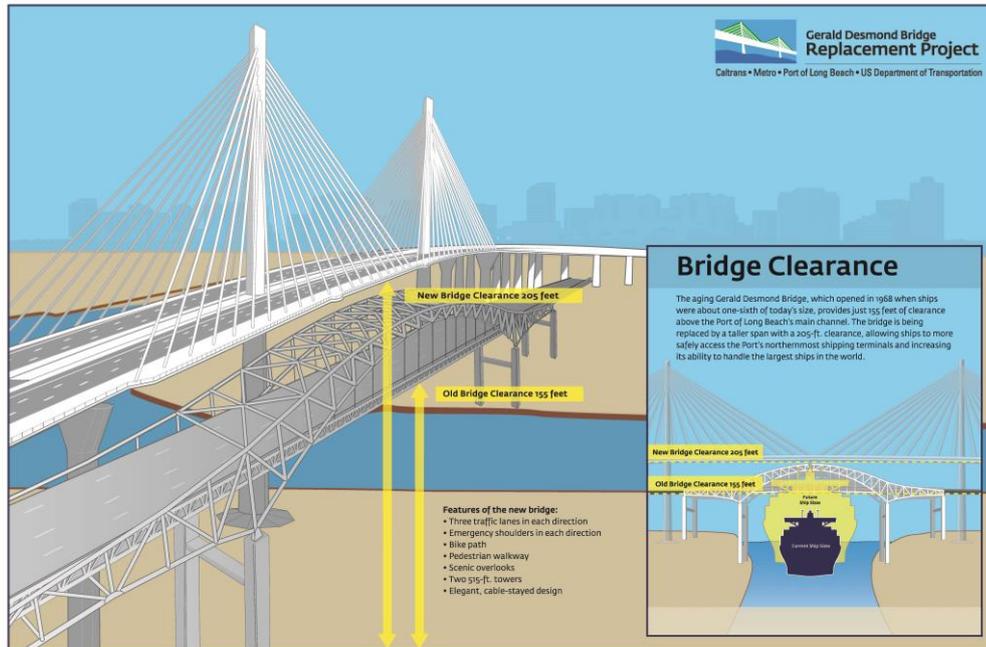
Defects	Condition States			
	1 GOOD	2 FAIR	3 POOR	4 SEVERE
Delamination/ Spall/ Patched Area (1080)	None	Delaminated. Spall 1 in. or less deep or 6 in. or less in diameter. Patched area that is sound.	Spall greater than 1 in. deep or greater than 6 in. diameter. Patched area that is unsound or showing distress. Does not warrant structural review.	The condition warrants a structural review to determine the effect on strength or serviceability of the element or bridge. OR A structural review has been completed and the defects impact strength or serviceability of the element or bridge.
Exposed Rebar (1090)	None	Present without measurable section loss.	Present with measurable section loss, but does not warrant structural review.	
Exposed Prestressing (1100)	None	Present without section loss.	Present with section loss, but does not warrant structural review.	
Cracking (PSC) (1110)	None or insignificant cracks.	Unsealed moderate width cracks or unsealed moderate pattern (map) cracking. Cracks from 0.004 to 0.009 inches wide.	Wide cracks or heavy pattern (map) cracking. Cracks greater than 0.009 inches wide.	
Efflorescence/ Rust Staining (1120)	None	Surface white without build-up or leaching without rust staining.	Heavy build-up with rust staining.	
Damage (7000)	Not applicable	The element has impact damage. The specific damage caused by the impact has been captured in Condition State 2 under the appropriate material defect entry.	The element has impact damage. The specific damage caused by the impact has been captured in Condition State 3 under the appropriate material defect entry.	

3-42 Revised 5/25/2017

2. 參觀 New Gerald Desmond Bridge Replacement Project 新建工程

Gerald Desmond Bridge 位於洛杉磯郡長灘市的長灘港(Port of Long Beach)港口，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。該橋於 1968 年完工通車，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。橋面共規劃 5 車道，上橋方向 3 車道，下橋方向 2 車道，曾在 1996 至 1997 年間施作橋梁耐震補強。長灘港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，該橋之重要性不言而喻。近年因長灘港之貨運船隻越來越大型，導致現有橋梁淨高不足；橋梁車道數不足以容納大增之交通量，而交通量增加造成橋梁承受載重增加，也使橋梁結構不堪負荷，導致橋梁下側混凝土開始受損剝落。另外，既有橋梁無路肩可供緊急救援使用，影響緊急救災效率，且若橋上如有事故發生，必須封閉多車道進行處理，嚴重影響交通。

考量上述諸多因素，故長灘港務局及加州運輸署於 2008 年提出在既有橋梁旁新建橋梁的計畫(Replacement Project)，在獲得美國聯邦運輸部同意及經費支持後，採統包(Design-Build)方式招標以節省時間、提高效率，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，新舊橋梁規模比較詳圖一。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，完善解決既有橋梁遭遇之問題。舊橋將於新橋完工通車後拆除。



圖一 新舊 Gerald Desmond Bridge 跨度及橋下淨高比較圖

新橋總長為 8,400 英呎，包含以下 3 部分：

- (1) 斜張橋：為加州第一座斜張橋，長 2,000 英呎，計有 3 跨，其中主跨跨度 1,000 英呎，兩側邊跨各 500 英呎。包含 2 座 RC 橋塔，每座橋塔各有 40 根鋼纜與主梁銜接。橋塔高 515 英呎，為美國斜張橋橋塔高度第二高。橋下淨高 205ft，為美國斜張橋橋下淨高最高者。
- (2) 西引道橋：RC 橋，分為東西行線，以支撐先進 (Movable Scaffolding System) 工法施築，長 2,800 英呎，計有 14 跨。
- (3) 東引道橋：RC 橋，分為東西行線，以支撐先進 (Movable Scaffolding System) 工法施築，長 3,600 英呎，計有 13 跨。

橋梁以使用年限 100 年為設計標準，整座橋梁配置約 90 根墩柱，共約 350 根基樁，樁長自 102 英呎至 175 英呎，直徑 5~8 英呎，大部分墩柱下方為 4 根基樁，2 座橋塔則各有 12 根基樁座為支撐。10 月 24 日參觀當時，基樁及墩柱等下部結構以及斜張橋 2 座橋塔均已完成，斜張橋正施作上部結構，2 座橋塔各已安裝 8 根鋼纜。東西引道橋各配置一台支撐先進工作車，西行線橋已完成，東行線橋持續施

工中。施工完成之意象圖詳圖二。



圖二 New Gerald Desmond Bridge 完工意象圖

3. 參觀高速公路橋梁及箱涵檢測作業

除了了解 CalTrans 橋測規範及手冊外，為實際體驗加州 CalTrans 工程師檢測過程，特由資深工程師安排參與目視檢測作業，10 月 25 日主要安排州際高速公路 5 號（Interstate Highways）的 2 座穿越橋梁及 1 座人行涵洞，分別為 Western Ave Bridge 及 Allen Ave Bridge。10 月 26 日主要安排加州大學爾灣分校附近地方道路 Conrado Street Bridge 及該橋跨越聖地牙哥河河床高程深度量測，另包含 2 座排水涵洞。

州際高速公路 5 號是美國西岸南北方向最重要的州際公路，全長 1,381.29 英里（2,222.97 公里），依次穿越了加利福尼亞州、奧勒岡州和華盛頓州，連接了西雅圖、波特蘭、沙加緬度、洛杉磯、聖地牙哥等西海岸城市。5 號州際公路在南端的美墨邊境與墨西哥下加利福尼亞州的蒂華納相連，向北則在美加邊境和加拿大不列顛哥倫比亞的溫哥華相連，是唯一一條同時連接加拿大和墨西哥的州際公路。5 號州際公

路也是美國第 12 長的州際公路、第 5 長的南北向州際公路。本次安排檢測之 Western Ave Bridge，於 1957 年興建，為穿越橋，2 跨，長度 32.5 公尺，限高 4.58 公尺，定期檢測頻率為 2 年；Allen Ave Bridge，於 1957 年興建，亦為穿越橋，單跨，長度 19.7 公尺，限高 4.54 公尺，定期檢測頻率為 2 年。

另位於加州大學爾灣分校附近地方道路之 Conrado Street Bridge，於 1989 年興建，為跨越橋，3 跨，長度 70.7m，橋下自行車道限高 3.66 公尺，定期檢測頻率為 2 年。該座橋梁跨越聖地牙哥河，CalTrans 人員除針對橋樑結構及鋪面狀況進行目視檢測外，尚必須確認橋梁下方聖地牙哥河之河川斷面，係以捲尺量測距離，並於捲尺末端固定重物以垂降方式量測河床深度。

4. 參觀 Sixth Street Viaduct Replacement Project 新建工程

第六街高架橋(Sixth Street Viaduct)位於洛杉磯市區，橋長 3,500 英尺，連接市中心藝術區與 Boyle Heights，跨越洛杉磯河、US 101 國道、多條鐵路及數條市區道路，為市區交通繁忙之主要通勤橋梁，並為多部賣座電影之取景地點，於影迷及洛杉磯市民心中有重要地位。該座橋梁於 1932 年完工通車，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 億 8,220 萬美金，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 年 2 月至 10 月拆除既有橋梁，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 2020 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)，彷彿一條優美的彩帶伸展在洛杉磯市區，完工後勢必成為洛杉磯市的新地標。橋梁模擬示意圖如圖三。10 月 29 日參觀當時，下部結構已完成，正施作橋面板及拱肋等上部結構。



圖三 Sixth Street Viaduct 「光之彩帶」示意圖

執行本橋梁改建計畫同時，洛杉磯市政府同步推動「第六街 PARC 計畫」(Sixth Street Park, Arts, River & Connectivity Improvements PARC Project)，預計將於第六街高架橋下及其鄰近地區開闢 12 英畝的大型公共休憩空間，包含公園、社區中心、整體景觀及植栽美化、表演及藝術展示空間、公共藝術設置、運動場、溜冰場、健身器材區、兒童遊戲區、洛杉磯河水岸景觀、動物公園、人行步道及自行車道等，計畫經費約 1,300 萬美金，目前正進行設計並廣徵民意提供意見，預計 2019 年開始施工，完工開放後將提供市民開闊及舒適的休憩空間，搭配新完成的高架橋，成為洛杉磯市的新亮點。



圖四 「第六街 PARC 計畫」範圍示意圖

5. 參觀 VincentThomsa Bridge 橋梁檢測作業

回國前最後 1 個上班日 10 月 30 日，適逢 CalTrans 的 Fracture Critical Inspection Team 針對 Vincent Thomas Bridge 吊橋鋼索進行檢測，故榮幸經趙青主任特別安排參與該項檢測作業，冀從中吸取其經驗來建立我們高公局特殊橋梁的檢測制度。加州對於特殊橋梁，除由趙青主任團隊施作定期的目視檢測外，針對鋼橋，經分析該橋之承受張力構件若有該構件發生破壞時將會造成橋梁局部甚至全部破壞倒塌之情形者，則必須針對該構件進行 Fracture Critical Inspection。與執行定期檢測作業不同，CalTrans 有另外一組 Fracture Critical Inspection Team 專門執行本項檢測作業，其檢測方式最大的不同在於檢測工程師對於該張力構件都必需達到 hands-on 的程度，即所謂的手部貼近檢測，以排除目視檢測在高空中或遠距離所可能產生的誤判，例如橋下目視鋼構件的裂縫，經由高空車靠近發現所謂的裂縫可能只是蜘蛛網或鴿子的排泄物所造成的錯覺。

Vincent Thomas Bridge 於 1963 年完工通車迄今已 56 年，以加利福尼亞州議員文森特托馬斯的名字命名，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，如今為洛杉磯與長灘地區銜接要道。

考察過程留下深刻印象的是 Fracture Critical Inspection Team 工程師對吊橋鋼索表面進行檢測，檢測過程須人員亦步亦趨全程攀爬鋼索，行走在鋼索上面檢查鋼索外套管的狀況，每個人員除需背負 4~5 公斤重的安全裝備，更需克服懼高的心理障礙及擁有過人的體力，檢測難度相當高。我們跟著 CalTrans 工程師一起爬上橋塔最高點完成 1/2 段鋼索的檢測作業，即已花費 30 分鐘。根據 CalTrans 工程師表示，完成整座橋樑的檢測作業需費時數日。

另外考察過程適逢邊跨在高空中進行鋼橋油漆更新，主跨通常已配備平台車供維修使用，但在邊跨並無平台車的設施，CalTrans 的解決方式是採用在高空中建立施工臨時工作平台，讓維修廠商人員可以安全無虞全力維修品質，亦為首見。

四、參訪照片



拜訪 CalTrans 橋梁檢測南區辦公室



參觀 New Gerald Desmond Bridge 新建工程



橋梁下方仰視 New Gerald Desmond Bridge 施工現況(左側為舊橋)



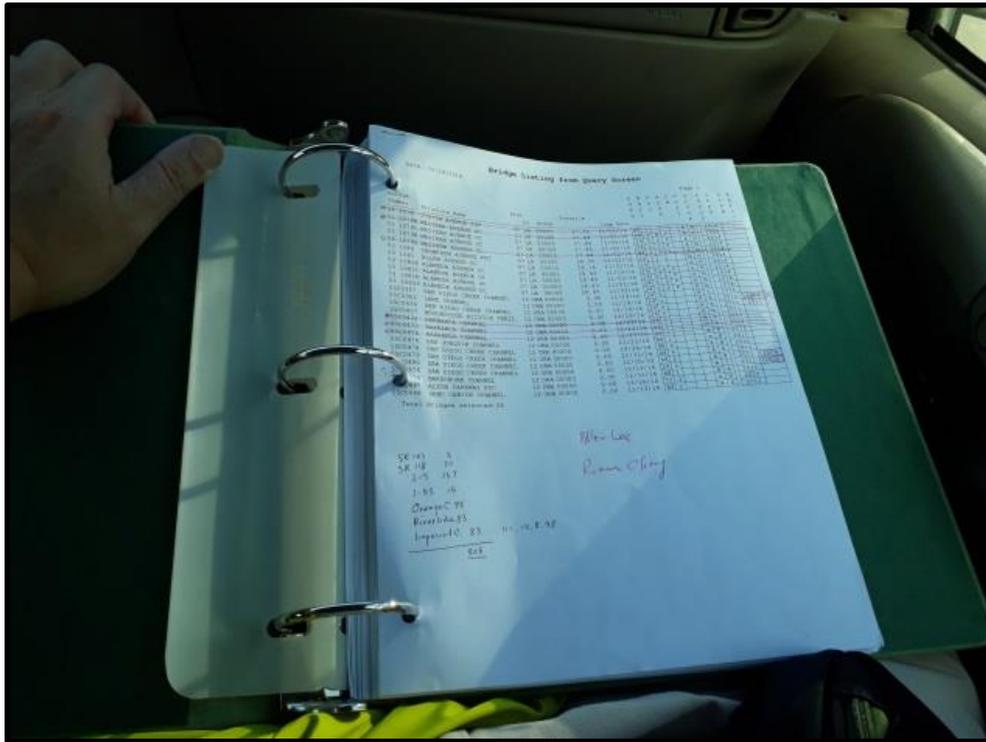
舊 Gerald Desmond Bridge(新橋完工後拆除)



New Gerald Desmond Bridge 施工現況



Western Ave Bridge



CalTrans 橋檢工程師當日橋檢項目清單

Bridge Listing from Query Screen										Page 1			
Date: 10/25/2018										F M F R U P S P Y S X			
										R A S E W O C H E T S			
										E T O S S O O A R E			
										Q L P T U T R M C			
Bridge Number	Structure Name	Dist	Co	Route	Postmile	Insp Date							
53 1078	JUSTIN AVENUE PUC	07 LA	00005	27.70	11/01/16	48	1			A	N	2014	
53 1079S	WESTERN AVENUE UC	07 LA	00005	27.84	11/02/16	48	3	S	F	A	N	2014	
53 1079K	WESTERN AVENUE UC	07 LA	00005	27.84	11/02/16	48	3	S	F	A	N	2014	
53 1079L	WESTERN AVENUE UC	07 LA	00005	27.84	11/02/16	24	3	S	F	A	N	2014	
53 1079R	WESTERN AVENUE UC	07 LA	00005	27.84	11/02/16	24	3	S	F	A	N	2014	
53 1080	THOMPSON AVENUE PUC	07 LA	00005	28.00	11/02/16	24	1			A	N	2014	
53 1081	ALLEN AVENUE UC	07 LA	00005	28.14	11/02/16	24	1			A	N	2014	
53 1082R	ALAMEDA AVENUE UC	07 LA	00005	28.43	11/03/16	24	3	S	F	A	N	2014	
53 1082L	ALAMEDA AVENUE UC	07 LA	00005	28.43	11/03/16	24	3	S	F	A	N	2014	
53 1082K	ALAMEDA AVENUE UC	07 LA	00005	28.43	11/03/16	24	3	S	F	A	N	2014	
53 1082S	ALAMEDA AVENUE UC	07 LA	00005	28.43	11/03/16	24	3	S	F	A	N	2014	
Total Bridges selected:11													

CalTrans 橋檢工程師當日橋檢項目清單



Western Ave Bridge



參與 Western Ave Bridge 橋檢作業



Western Ave Bridge



參與 Western Ave Bridge 橋檢作業時發現橋面版已有白華產生



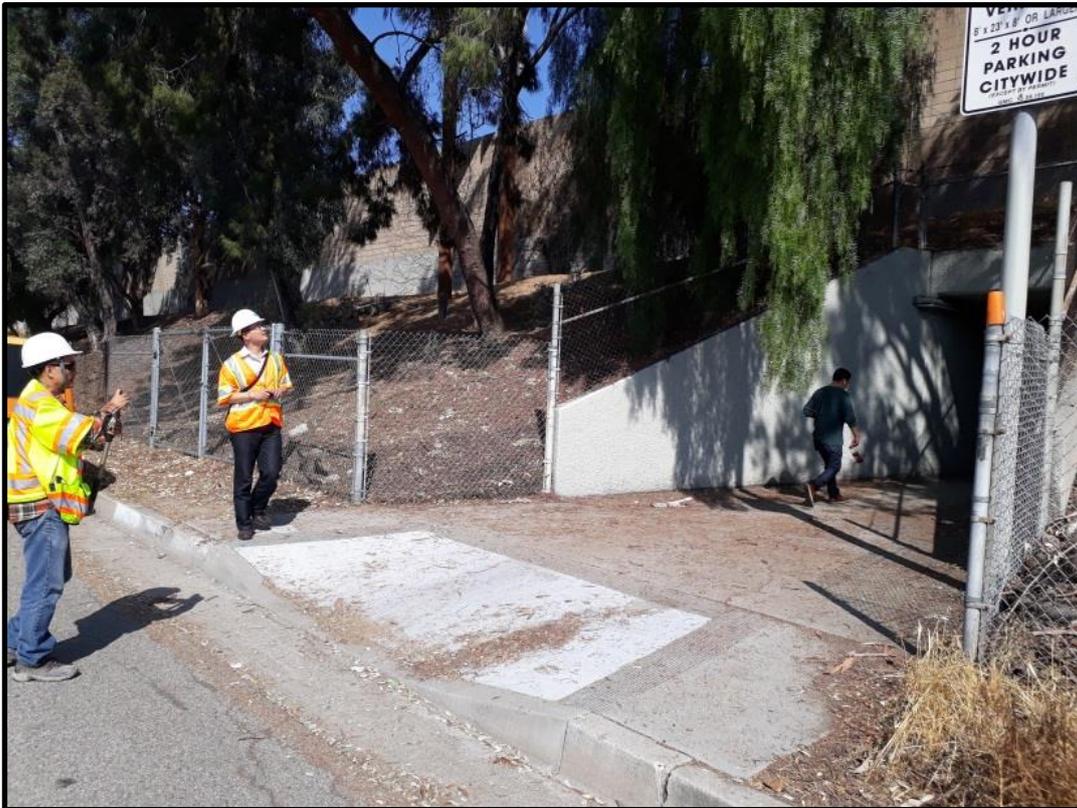
Allen Ave Bridge 於隔音牆上之銘牌



Allen Ave Bridge 檢測作業檢視橋面版的完整性



Allen Ave Bridge 檢測作業



人行涵洞檢測作業



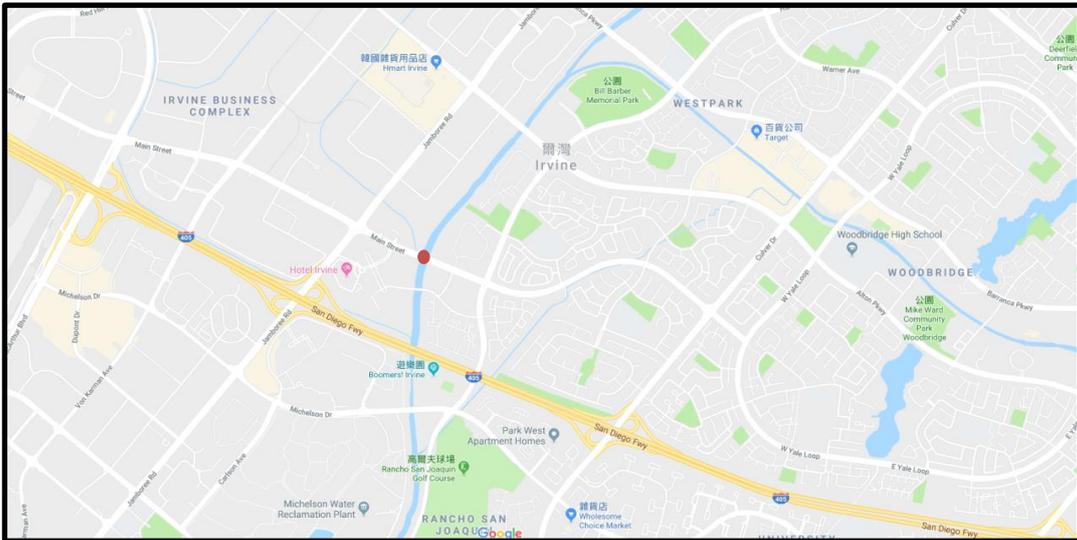
人行涵洞檢測作業



加州大學爾灣分校(Irvine) 附近排水涵洞檢測作業



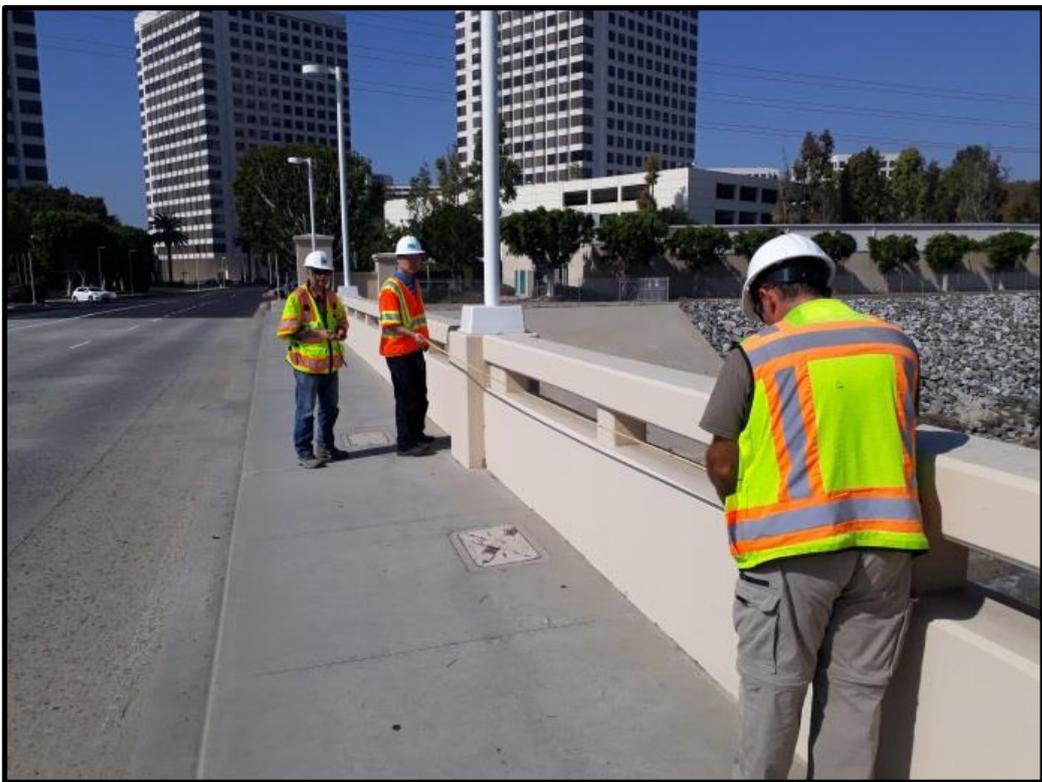
加州大學爾灣分校(Irvine) 附近排水涵洞檢測作業



爾灣(Irvine)Coronado Street Bridge (聖地牙哥河)



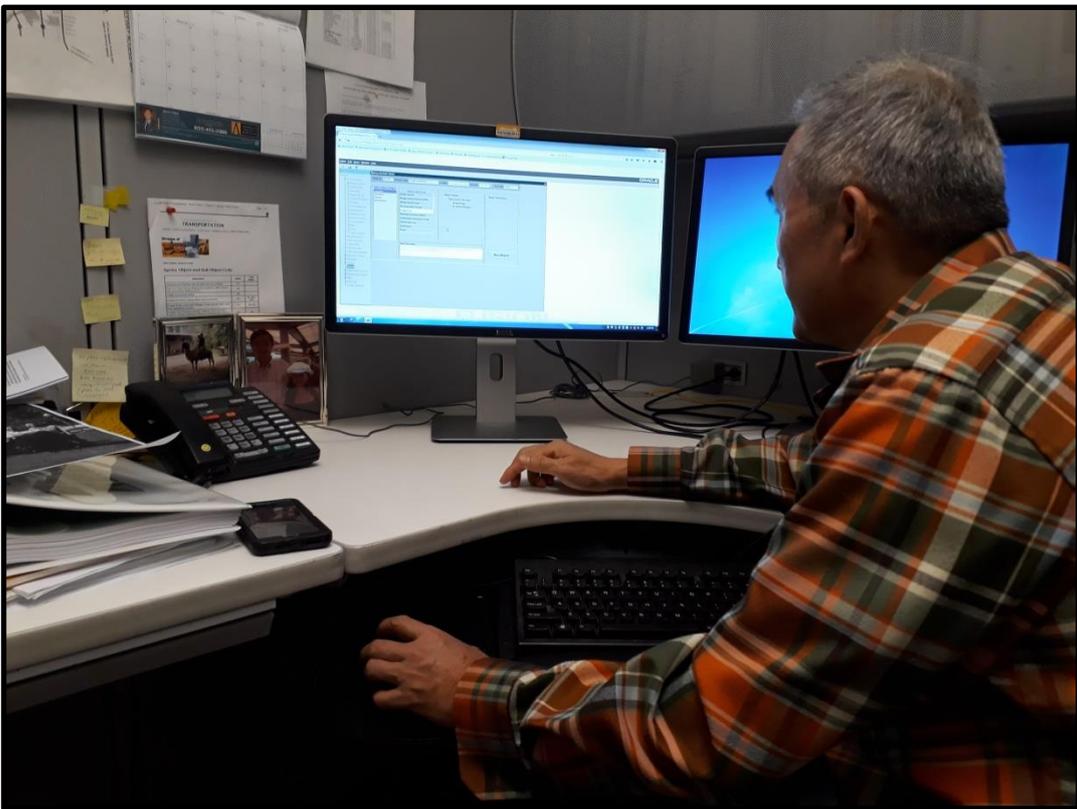
爾灣(Irvine)Coronado Street Bridge (聖地牙哥河)



爾灣(Irvine)Coronado Street Bridge 聖地牙哥河河床斷面量測作業



參與爾灣(Irvine)Coronado Street Bridge 檢測作業



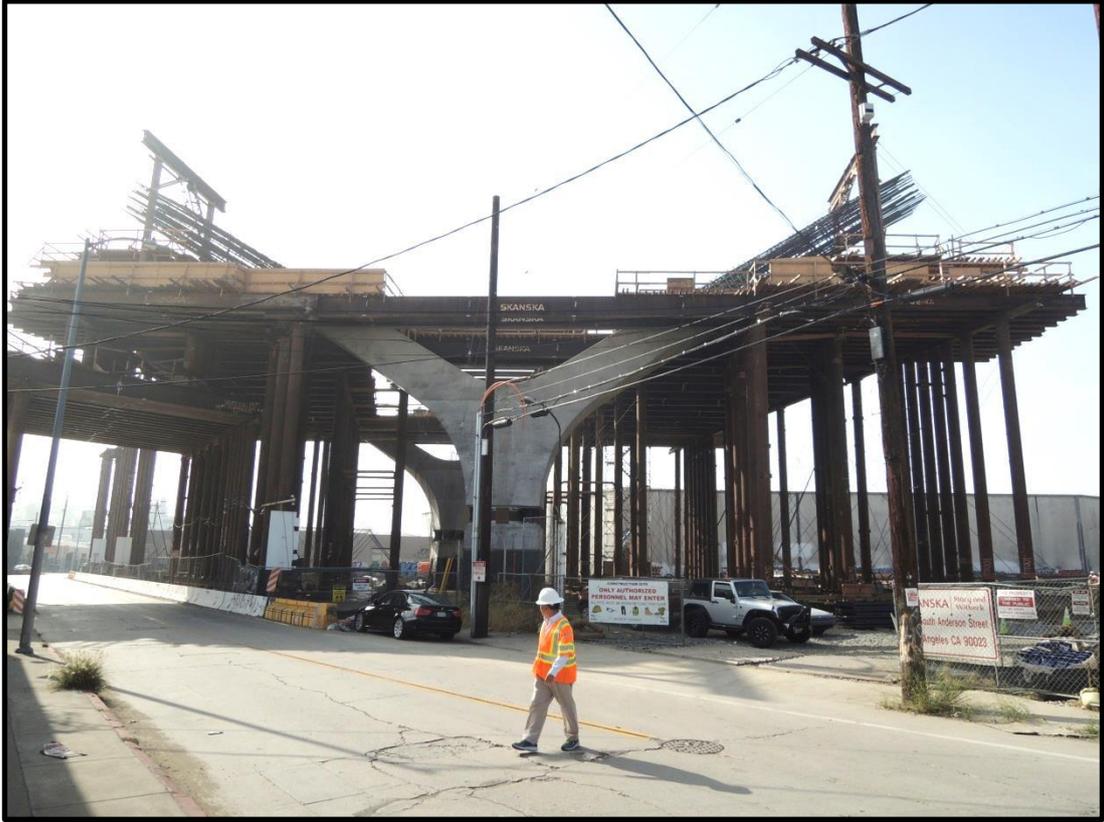
CalTrans 橋檢工程師進行橋檢資料建檔



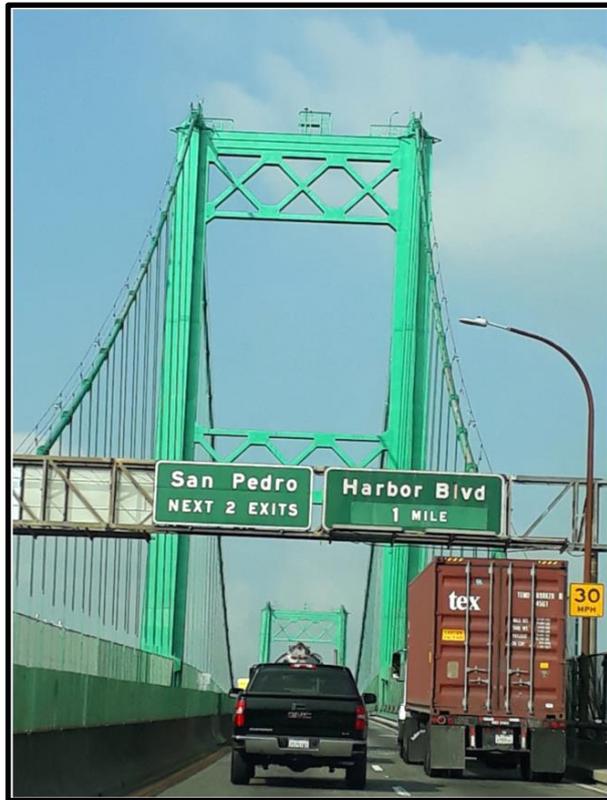
參觀 Sixth Street Viaduct Replacement Project 新建工程



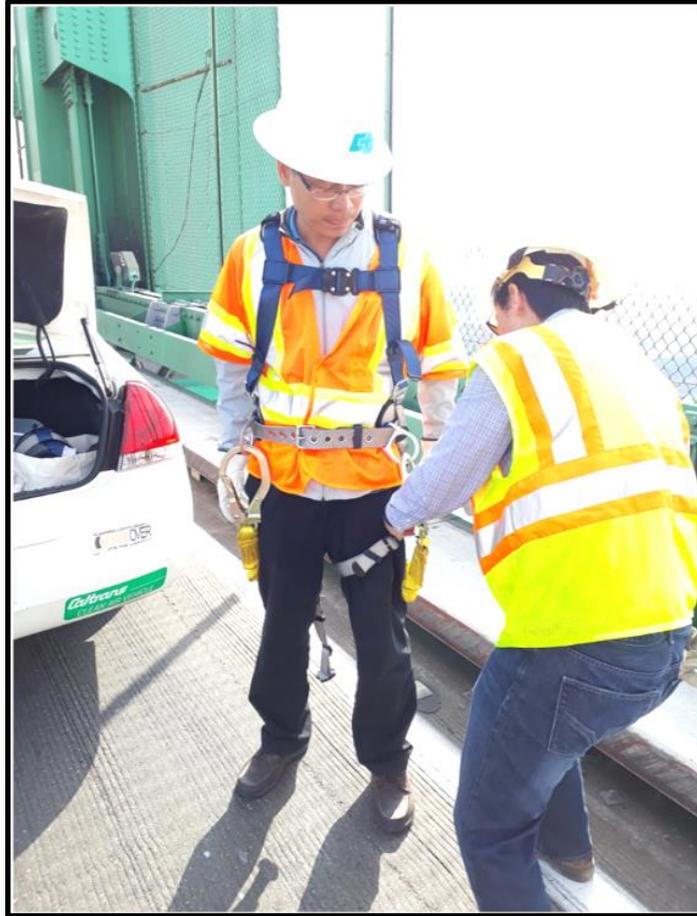
參觀 Sixth Street Viaduct Replacement Project 新建工程



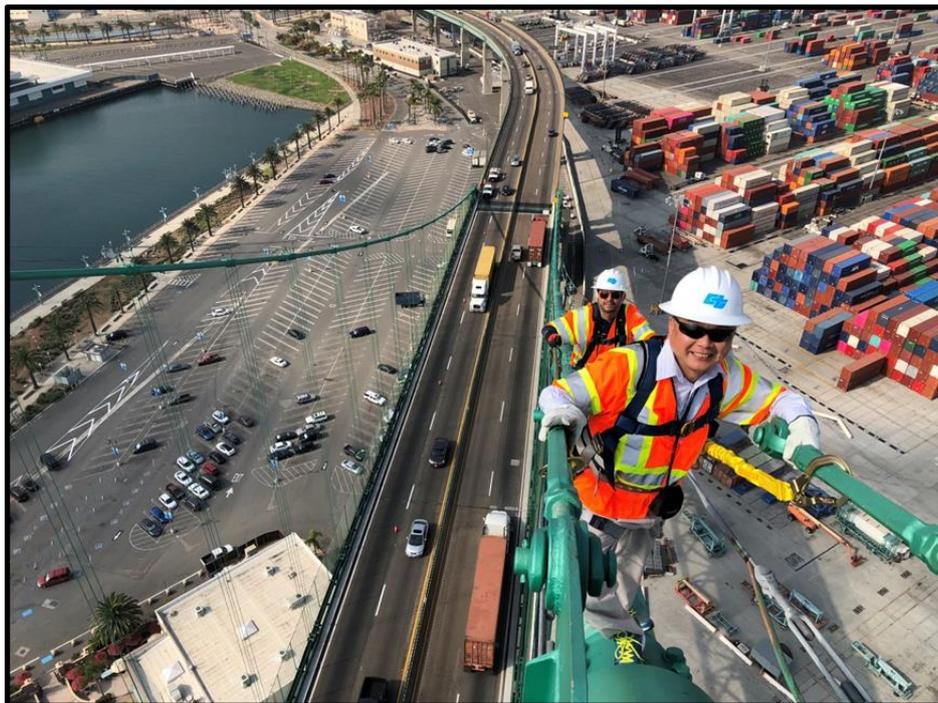
Sixth Street Viaduct Y 字型墩柱



Vincent Thomas Bridge 現況



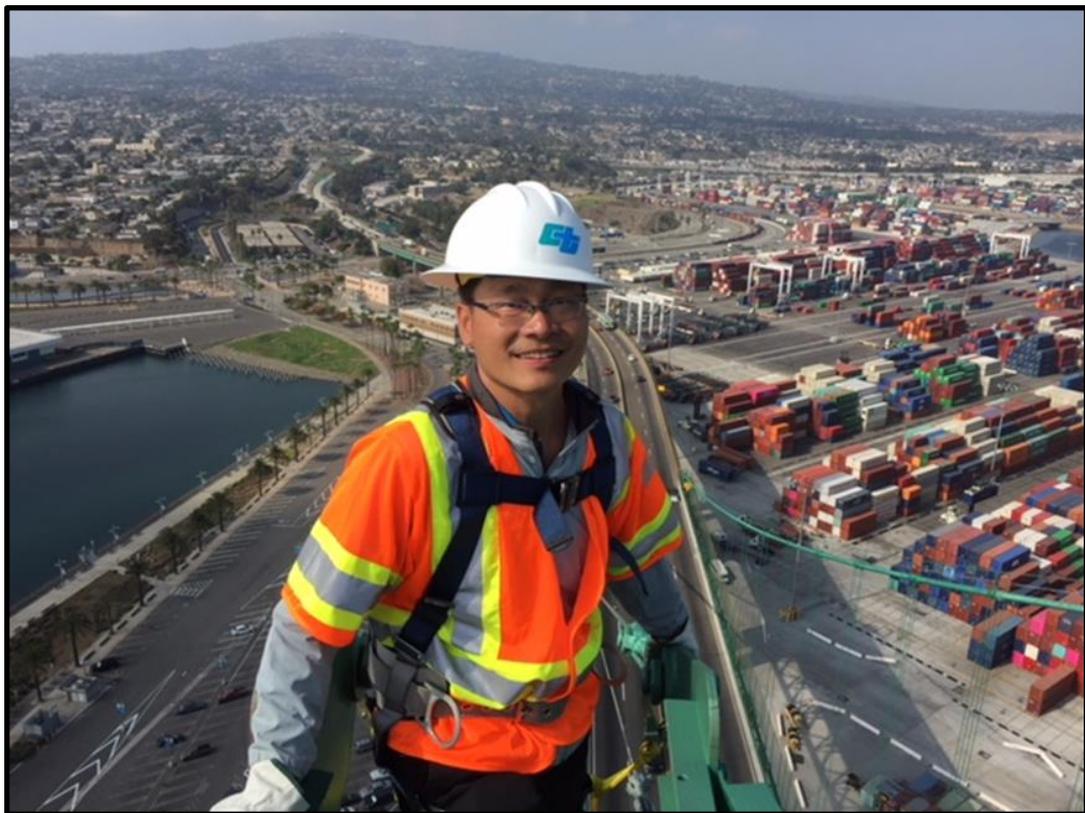
穿戴安全設備(Vincent Thomas Bridge)



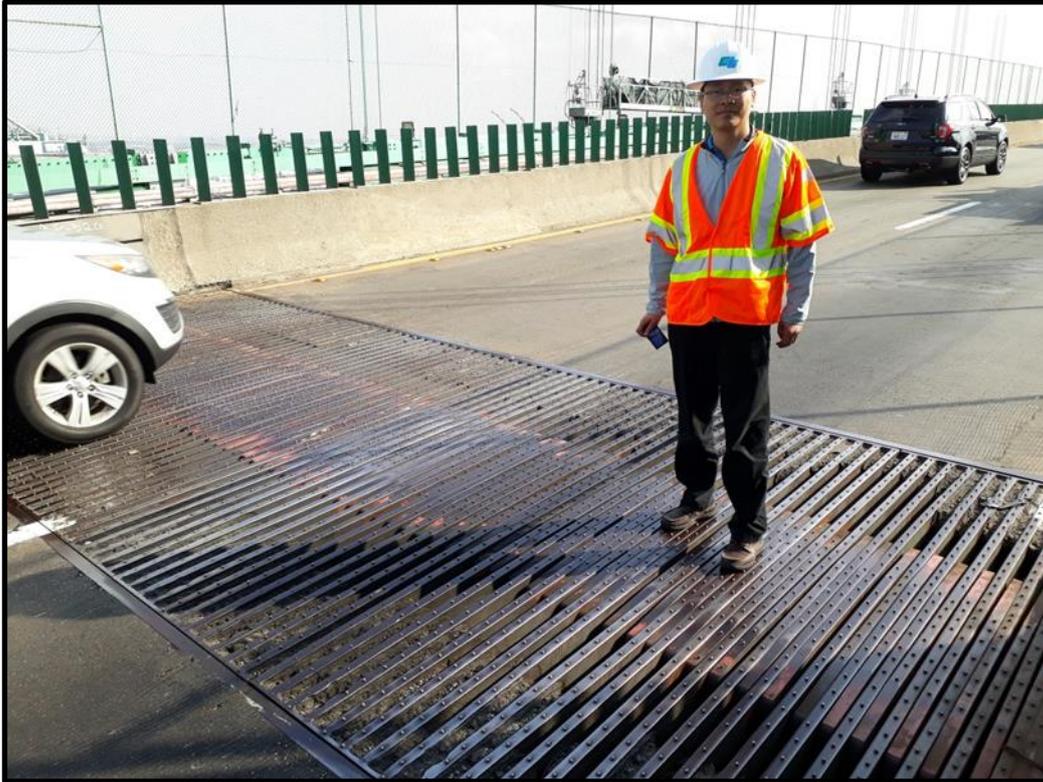
攀爬吊橋鋼索進行檢測(Vincent Thomas Bridge)



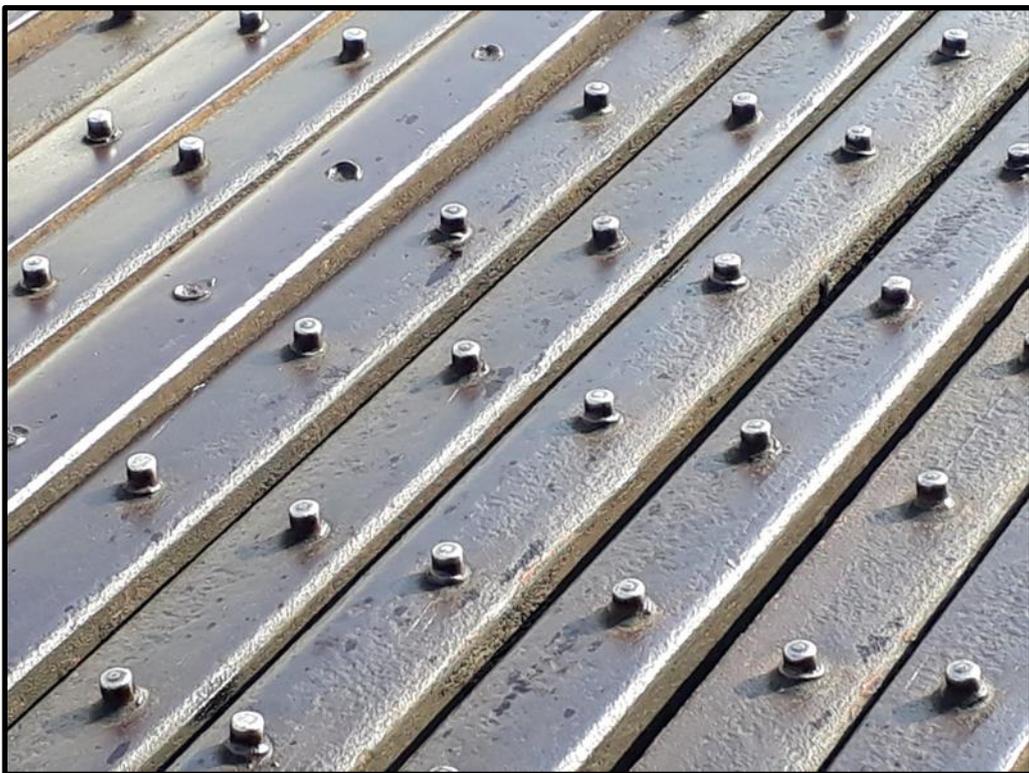
攀爬鋼索過程(Vincent Thomas Bridge)



攀爬至橋塔頂端高度(Vincent Thomas Bridge)



超大伸縮量的豎齒型伸縮縫(Vincent Thomas Bridge)



豎齒型伸縮縫以鋼鏢帽來增加車道的防滑摩擦力(Vincent Thomas Bridge)



空中臨時施工平台(Vincent Thomas Bridge)



空中臨時施工平台(Vincent Thomas Bridge)



邊跨鋼橋油漆鋼橋更新作業(Vincent Thomas Bridge)



在設計階段即考量巡檢人員的檢修便道(貓道)

五、心得

- (一) 美國的橋梁檢測制度十分完善，由美國聯邦公路總署 FHWA 制定法規(regulation)，要求各州建立橋檢組織及橋檢人員資格，FHWA 也就各州應傳送橋梁基本資料及檢測評估方法及結果的內容格式制定規範供各州依循。在此完整架構下，各州發展自己的細部橋檢規定及作業手冊，並執行橋檢工作。FHWA 身為中央主管機關，會派員至各州督導橋檢業務是否確實。另外，FHWA 辦理橋梁檢測訓練課程，編撰橋檢人員執行業務之參考手冊(Bridge Inspector's Reference Manual)，該手冊近 2,000 頁，鉅細靡遺，作為工程師實際執行業務之參考，為極佳之經驗傳承文件。CalTrans 亦有編撰加州的橋檢程序手冊 (SM&I Inspection Procedures)。本局已於 107 年 11 月訂定「高速公路橋梁目視檢視手冊」，作為本局橋檢人員及委外廠商執行橋檢工作之參考，已跨出重要的第一步，建議未來就本手冊內容持續精進擴充。
- (二) CalTrans 設有橋梁檢測專責單位，且自行辦理橋梁檢測作業，以本次參訪之橋梁檢測南區辦公室而言，有 20 位橋梁檢測工程師負責南加州 9,500 餘座橋梁之定期檢測業務，每位工程師分配到的橋梁數約 400 餘座，數量看似龐大，因橋檢工程師為專責，並不負責其他業務，且每座橋梁定期檢測頻率為 2~4 年 1 次，故實際工作量雖重擔但尚可負擔，且經趙主任表示，該辦公室正在應徵工程師以增加人力。但趙主任也表示，並非每州都像加州由公部門自辦橋檢，有些財政狀況較不佳的州，以委託顧問公司方式辦理。自辦最大優勢就是工程師專精於橋檢業務，易於培養高度專業學能的橋檢人才，提升橋檢品質。另外，經驗傳承較為完整，橋檢以 2 位工程師為一組至現地執行業務，母雞帶小雞的學習效果極佳，且部門內尚有 10 位資深工程師，隨時指點新進同仁，讓優良橋檢品質

得以長久延續。

- (三) 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，陳列在表格裡的内容也就不同。

「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，至系統下載檢測前表格 (Pre-Inspection Report)，即可了解該座橋梁之元件以及前一次檢測之結果以供參考，相當實用及方便。

- (四) 有關特殊橋梁之監測部分，加州為了解地震對於特殊橋梁之影響及橋梁受地震後之狀況，由加州保護署(California Department of Conservation)建置 California Strong Motion Instrumentation Program (CSMIP)，在特殊橋梁上安裝監測儀器，以掌握橋梁受地震後之狀況。以本次參訪之 Vincent Thomas Bridge 而言，該橋為吊橋，其於橋梁各主要結構安裝 26 個加速計。另本次參觀之 New Gerald Desmond Bridge，亦有在橋梁各主要結構安裝將近 70 個加速計。又查，連接舊金山及奧克蘭之 Bay Bridge 西段，其亦為吊橋，於 1993 年橋梁補強後安裝 76 個加速計及 3 個相對位移計；Bay Bridge 東段，於 2013 年改建完成，其亦為吊橋，安裝 76 個加速計，6 個傾斜計以及 1 個相對位移計。綜上，加州針對特殊橋梁之監測，主要係以受地震影響為主要考量，並以安裝加速計為大宗，其於監測儀器為輔助用，數量不多，部分橋梁只有安裝加速計。
- (五) 參觀第六街高架橋新建工程，了解到洛杉磯市政府對民眾參與公共建設的重視。市政府為辦理此計畫，組成社區公民委員會來討論第六街高架橋改建計畫內容，並在 2006 年至 2011

年之間召開委員會議、公聽會、說明會及專業會議等各式會議達 56 次，充分與外界溝通，以取得最大共識。PARC 計畫部分，亦從 2017 年起陸續辦理超過 6 場的說明及公聽會，匯集市民對此開放空間的需求及建議，凝聚成三個規畫方案再供民眾表達意見，選出優選方案後，才進行細部設計，且細部設計成果仍將舉辦公聽說明會。如此細膩的作法雖較費時，但傾聽民眾及外界的聲音，不致於閉門造車，營造政府及民眾雙贏結果。

- (六) CalTrans 目視檢測作業方式與本局橋梁小組並無太大差異，惟其對個人防護裝備相當要求，自頭盔、護目鏡、反光背心及工作鞋缺一不可、出發前會在辦公室由橋梁管理系統列印當日可能要檢測的橋梁清單，並對檢測動線預為安排，每組橋檢人員原則為 2 位，由第 1 位檢測員負責檢測，另 1 位同仁負責戒護同仁的安全，並作必要支援。
- (七) 到達現場後可以看到每一座橋梁均設有橋名牌以供核對檢測標的物，橋名牌內容包括橋梁名稱、穿越橋、橋梁編號、國道編號及橋梁長度，大大的直立於路肩外相當顯眼處，與本局貼附於橋護欄小面橋牌名有別。
- (八) 加州高速公路多為剛性路面，柔性 AC 路面並不常見，故 CalTrans 所檢測的橋梁亦多為剛性路面，換言之橋面板多為混凝土路面與本局的橋梁橋面板加鋪 AC 路面不同。
- (九) CalTrans 人員對於橋梁橋面板上車道混凝土裂縫會特別關注，並加以標示混凝土表面裂縫的寬度長度及面積，以提供將來維修單位進行維護。裂縫如果長期未修復，經由雨水的滲透，導致橋面板下方白華裂縫的大量產生，並加速橋面板內的鋼筋銹蝕及間接影響橋梁的壽命。
- (十) 對於橋梁橋面板上車道混凝土裂縫的維修方式，CalTrans 人員表示多採用一種叫高分子聚合物(methacrylate 甲基丙烯酸甲酯乳白狀) 類似 MMA 防水塗料材料，直接鋪築於裂縫表面範圍，

藉由滲透性自動修補的功能來修復裂縫，如果有較大面積的修補則外加鋪灑細砂使車道具有摩擦力，減少車道的打滑。

六、建議

(一) 美國 FHWA 認為橋梁檢測團隊必須要有橋檢經驗豐富的主持人(Team Leader)來確保橋檢作業及報告正確詳實，故 NBIS 明訂該主持人必須符合以下 5 項條件之任 1 項之資格：

1. 有技師資格 (Professional Engineer)、
2. 有 5 年以上橋檢經驗、
3. 取得 NICET 認證之第 3 級或第 4 級橋檢人員資格、
4. 大學畢業，通過 NCEES 之 Fundamentals of Engineering (FE) 考試且有 2 年橋檢經驗、
5. 專科畢業且有 4 年橋檢經驗。

值得注意的是，以上 5 項資格均還包含另一條件：必須完成 FHWA 認證之橋檢教育訓練。該教育訓練長達 2 週，課程具有深度及廣度，並包含期中及期末測驗，參與完整課程且通過測驗者方可取得教育訓練認證。由此可見美國對於橋檢團隊主持人之重視。另 NBIS 亦規定主持人必須定期參與為期 3 天的橋檢回訓課程，以確保主持人維持專業橋檢知識及技能。

本局目前橋檢作業均委託顧問公司辦理，橋檢人員之教育訓練係依據「交通部公路橋梁檢測人員資格與培訓要點」辦理，由交通部運輸研究所委託學術單位聘請國內專家、學者進行初訓 2 天，回訓 1 天之課程訓練，並未針對橋檢團隊主持人之資格作相關規定，建議可參考美國制度，或於契約面、或於制度面中增訂委外之橋檢團隊主持人之資格相關規定，並配套辦理深度及廣度均較強的教育訓練，讓主持人具有較橋檢人員更專精之學能。

(二) 美國橋檢制度中，除一般定期的目視檢測，針對鋼橋有 Fracture Critical Inspection 的規定，經分析該橋之承受張力構件若有該

構件發生破壞時將會造成橋梁局部甚至全部破壞倒塌之情形者，將該等構件稱為 Fracture Critical Members，必須針對該構件進行 Fracture Critical Inspection，該檢測需以手部貼近方式檢測確保構件狀況。目前我國的橋梁檢測規範並未有類似之檢測規定，另 CalTrans 人力配置充裕，Fracture Critical Inspection 係由一組專職團隊辦理，以本局目前自有橋檢人力不足，均採委外辦理的情況，似亦無法比照 CalTrans 之制度及作法。如經評估認為有需要，建議可參照 Fracture Critical Inspection 的根本原則，將本局轄管之鋼橋作結構分析，找出每座鋼橋是否有 Fracture Critical Members，若有，將該等構件註記於橋梁管理系統，並要求橋檢人員於執行定期檢測時針對該等構件做手部貼近(hands-on)檢測並記錄其狀況。

- (三) 以本次考察之 Vincent Thomas Bridge 來說，橋梁之檢測及監測業務分別由 Vision Inspection Team、Frcture Critical Inspection Team 及 Monitoring team (加州保護署 California Department of Conservation) 執行，看似人力重疊，其實各司其職，專業分工細，對照本局各段人力並無法全然比照，所幸本局檢測人力素質，在 Vision Inspection Team 上與加州有過之而無不及，但與 Monitoring team 相同，多需對外仰賴顧問公司專業，受限於政府採購法，每個專案多於 2~3 年後需重新招標，不同承攬顧問公司並未經驗傳承，經驗多所中斷或重來，至為可惜。以目前本局有限人力實無法全面自辦橋檢，長期下來恐導致局內同仁的橋檢專業學能及經驗傳承不足，故目前本局定期辦理橋檢人員之教育訓練便顯得十分重要，建議賡續辦理本項業務，並視教育訓練成果及橋檢人員經驗回饋，滾動檢討並增加教育訓練課程深度及廣度，以達最好效果。
- (四) 本局目前採用的全生命橋梁管理系統之檢測表(DERU)，對於特殊橋梁的部分構件，如橋塔、斜張鋼纜等，相關維修工法尚無建議工法可循，建議依各分局的橋梁個案修正橋梁管理

系統資訊。

- (五) 對於橋梁檢測不管加州或本局對於檢測人員的素質、頻率均甚為重視，養護考評多以檢測報告內果是否與現場相符，但對於檢測橋梁的缺失後續維修，並未完全即落實，有檢測之名無維修之實，上年度缺失一再重復出現於下一年度報告內，年度維修契維預算編列並未真正以前一年度檢測成果為主，橋梁業務應以檢測與維修並重。
- (六) 以 New Gerald Desmond Bridge 而言，因為為斜張橋，對於斜張鋼纜內部除每股鋼絞索有需要作防蝕微晶蠟外，每股之間並未一定要填充微晶蠟，對於南台灣地理環境炎熱的氣候溫度仍應一併考量。
- (七) 加州高速公路多為剛性路面，但維修並不常見，經詢才知道維修單位對剛性路面板塊之間的填縫相當的落實，對於路面可以延壽同時維修頻率也相對降低，對交通的影響也一併減少。
- (八) 在參與爾灣(Irvine)Coronado Street Bridge (聖地牙哥河)目視檢測時，發現該橋雖然只是地方道路的橋梁，為長度約 70.7 米之 3 跨橋梁，但是下部結構設計採用牆式橋墩(含基樁)(詳第 4 章照片)，與本局或台灣多數橋墩採用方型或圓型粗狀的橋墩不同，薄長型的橋墩在迎水面可以大大減少流水阻力，同時增加河床通洪的斷面，有助於聖地牙哥河急流通過橋梁時不會產生渦流及淘刷，確保橋梁的壽命，未來對於本局短橋在設計時也可以列為參考。