

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 48 卷 第 1 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 48 No.1 Jan. 2022

交通部公路總局

中華民國 111 年 1 月 15 日



封 面 說 明

台16線 集集 林尾橋

陳凱傑 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 48 卷 第 1 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

許 鈺 漳

社長

林 聰 利

總編輯

陳 敬 明

總幹事

李 崇 堂

編輯

鄧文廣 陳進發

李忠璋 蔡宗成

劉雅玲 葉双福

陳松堂 薛讚添

陳營富 劉世桐

吳昭煌 李順成

謝哲雄 詹益祥

江金璋 邵厚潔

顏召宜

實務報導

行人與自行車穿越路口安全規劃設計之構想

-以機捷 A8 站周邊路口為例

.....呂紹霖、顏淑芬、謝馥揚、許世然、黃志賢、童新茹... (2)

台 8 線白沙一橋、白沙二橋、慈母橋監測建置

.....李順成、陳麗華、曾威修、黃進國、林嘉欣、蔡欣局... (16)

行人與自行車穿越路口安全規劃設計之構想 -以機捷 A8 站周邊路口為例

呂紹霖¹、顏淑芬²、謝馥揚³、許世然⁴、黃志賢⁵、童新茹⁶

摘要

近年來，全球都市發展朝向強調人性化之都市，永續發展、綠色交通及大眾運輸導向等思維日漸受重視，以人為本的交通環境亦為都市發展趨勢。以桃園市龜山區、新北市林口區人流及車流匯集核心點-機捷A8站周邊路口為研究案例，並以安全路口規劃為設計構想，透過路口轉角縮小與行人穿越道路退縮，降低車輛轉彎速率並提升駕駛人行車視野及視距；路口增設自行車穿越道，與人行動線有效區隔、降低路口穿越衝突；改善無障礙設計與預防災害設施等，提供更加友善之人行空間，以及規劃纜線下地、共桿設計等，美化城市景觀等功能，藉由以上改善構想，期許建構兼具人本、友善、安全、環保等議題之人行環境。

關鍵字：人本環境、路口改善

一、前言

桃園市毗鄰首都生活圈及桃竹苗生活圈，擁有良好的經濟發展位置，自民國 103 年正式升格為直轄市後，迅速發展多項重劃區或都市計畫區之開發，吸引許多產業及人口移入，促使人口、經濟、產業、交通、觀光及社會活動等資源明顯成長，然衍生的交通、停車及人行環境等問題，亦為急須改善之議題，因此，「前瞻基礎建設」為桃園市都市發展重要關鍵，透過符合需求之建設及改善，促進桃園市整體發展及區域平衡。其中，「提升道路品質-公共環境建設計畫」係以打造友善人本環境空間及定位社區服務機能為

¹ 桃園市政府養護工程處 副處長

² 桃園市政府養護工程處 主任秘書

³ 桃園市政府養護工程處 科長

⁴ 交通部公路總局規劃組研究發展科 幫工程司

⁵ 鼎漢國際工程顧問股份有限公司 副總經理

⁶ 鼎漢國際工程顧問股份有限公司 工程師

目的，藉由基礎公共空間建設與無障礙環境規劃，提升桃園市人行街道環境新紀元。

二、基地現況環境說明

以文化一路、文化二路、文化三路與復興一路之路口為研究基地，並針對現況進行下列之說明。

(一) 基地周邊發展概述

林口特定區之開發完善且緊鄰國道 1 號林口交流道、機場捷運 A8 長庚醫院站及林口長庚醫院等重要集結點，隨著桃園機場捷運的開通，以及三井 outlet 與環球購物中心等大型商場進駐，吸引大量民眾移居於此，而周邊聚集約 84 條公車路線，包括中長程客運巴士及桃園市區免費公車等，為北北桃地區重要轉運中心之一。此外，研究基地周邊位於進出長庚醫院林口院區及華亞科技園區必經之地，每日進出就診及就業人數達上萬人次，形成人流車流交通匯流的核心，同時兼具生活休閒、醫療服務及工業發展等特性，為連結桃園市區及大臺北地區之重要衛星市鎮，基地位置及周邊發展背景示意如圖 2-1。



圖 2-1 基地位置及周邊發展背景示意圖

(二) 現況概述

1. 道路配置與停車現況

調查基地周邊道路配置，並蒐集交通量資料進行服務水準分析，同時亦調查停車現況，瞭解其停車供需情形，作為後續研擬改善措施之依據，以達到有效提升並打造更友善之人行環境空間其道路配置彙整如表 2-1。

表 2-1 基地周邊道路配置彙整表

道路	路幅寬度(m)	人行道寬度(m)	雙向車道配置	分隔型式	停車管制情形
文化一路	40	4.0	4 快 2 混	中央實體分隔	劃設紅線
文化二路	30	2.5	2 快 2 混	中央實體分隔	劃設格位
文化三路	30	2.5	2 快 2 混	中央實體分隔	劃設格位
復興一路	40	4.0	4 快 2 混	中央實體分隔	劃設格位

資料來源：本研究調查彙整。

蒐集基地重要道路及路口尖峰時段交通量資料，並分別進行服務水準分析，由分析結果可知，各路段及路口服務水準以復興一路/文化一路路口及復興一路/文化二路路口壅塞程度最為嚴重，服務水準僅為 E 至 F 級。另路外停車場之汽車及機車尖峰需供比分別為 0.92 及 0.79；路邊停車格位之汽車及機車尖峰需供比分別為 0.88 及 1.10，汽車及機車格位之供需情況於尖峰時段皆趨近於飽和，基地周邊範圍整體人流車流龐大，道路服務水準及路外停車點位詳圖 2-2。

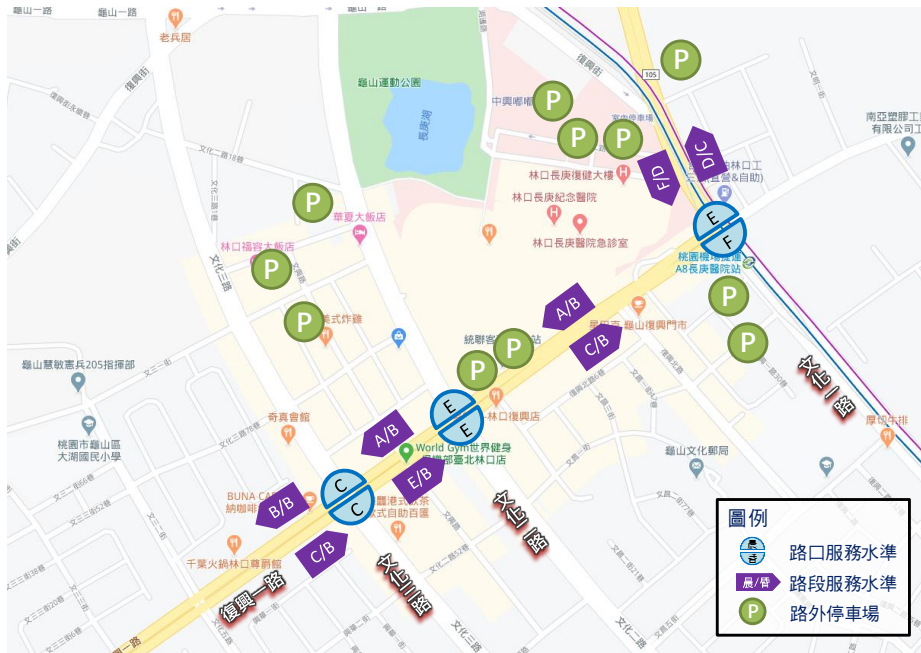


圖 2-2 公車/客運站位及轉運站預定地示意圖

2. 大眾運輸系統現況及發展趨勢

基地內大眾運輸系統路線交織，主要系統包括市區公車、公路客運、機場捷運線等大眾運輸工具，大眾運輸系統尚稱便利，周邊捷運為機捷 A8 長庚醫院站及 A9 林口站，其中又以 A8 長庚醫院站為重要轉乘點，此外，未來湖邊路東側用地將作為轉運站預定地，周邊大眾運輸動線可隨著轉運站完工後進行整合，故捷運站、客運轉運站、市區公車站及公路客運站等間之轉乘便利性，將是本案例以大眾運輸優先為導向之策略重點，大眾運輸各場站位置詳見圖 2-3 所示。



圖 2-3 公車/客運站位及轉運站預定地示意圖

3. 人行及自行車動線現況

基地內主要幹道大致已完成人行道建置，惟部分既有人行道寬度不足，違停情況嚴重，且未規劃明確公共設施帶，影響人行環境安全性及順暢性；自行車道則已建置「龜山區文化、復興自行車道」路線，主要以復興一路、文化三路及文化一路為串連路網，且公共自行車租賃站亦多鄰近該路網節點處，現況自行車路網無專用車道，須與行人共道，亦無明顯標誌或標線指示，造成安全隱憂及使用不便等問題，自行車道、公共租賃站與人行動線分布現況詳圖 2-4 所示。

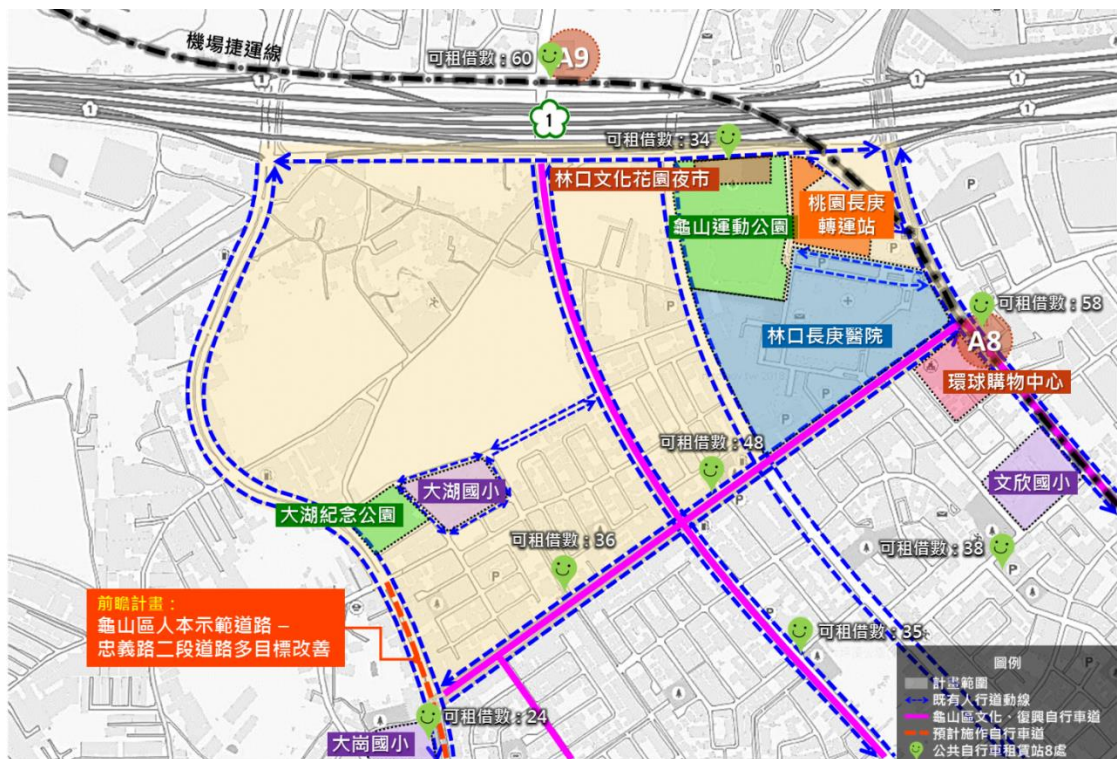


圖 2-4 自行車道、公共租賃站及人行動線分佈示意圖

(三) 重大相關計畫影響

「桃園長庚轉運站建置計畫」為規劃地區大眾運輸之轉乘接駁設施，以提供完善大眾運輸服務，提升大眾運輸服務效能及效率，並改善尖峰時間市區道路交通壅塞情形，該計畫預定以 BOT 方式辦理，同時考量衍生之停車需求，規劃建置 19 席月台(預計納入周邊約 38 條公車路線)，並建置汽車停車格 650 席，機車停車格 1,200 席，開發量體規劃為地上 5 層、地下 1 層，其預計於民國 111 年完工，建置計畫示意圖如圖 2-5。

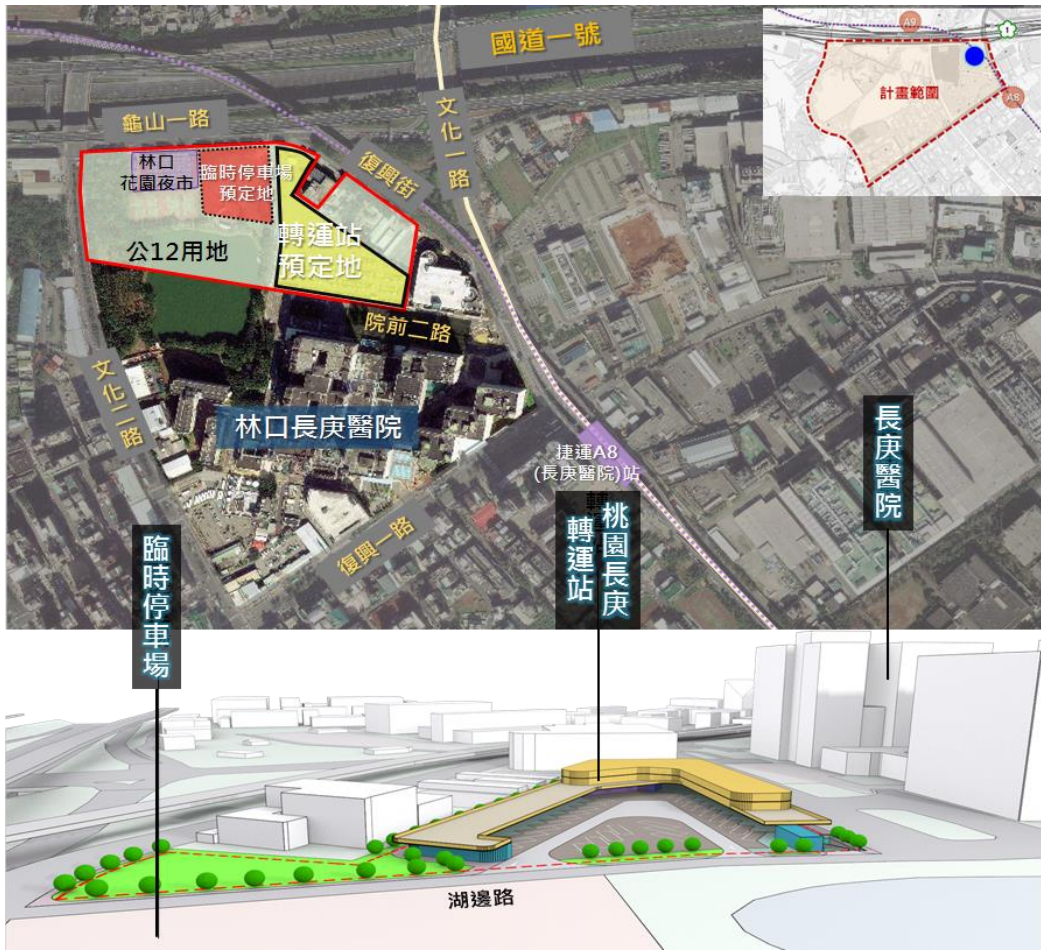


圖 2-5 桃園長庚轉運站建置計畫示意圖

三、課題

(一) 主要幹道交通量龐大、車流交織複雜，潛藏路口穿越危機

基地之主要幹道為桃園市龜山區、新北市林口區及國道 1 號主要往返聯絡道路，平假日尖峰時段車流龐大，路口車流交織複雜，潛藏通行危機問題，因此若規劃路口轉角縮小及行人穿越道路退縮，改善行駛車輛視野及視距，可加強整體行人、自行車穿越路口之通行安全。

(二) 市區公車及公路客運行駛路線過於集中，車輛停靠嚴重影響車流

基地內市區公車及公路客運行駛路線重疊性高，其中行駛路線以長庚醫院周邊復興一路及文化二路等道路最為密集，旅客等候人潮多集中於此，其中機捷 A8 長庚醫院站轉乘旅客多於復興一路搭乘公車，然復興一路街廓長度不足，公車及客運頻繁進出停靠

站易造成後方車輛堵塞，影響整體車流順暢，初期透過分群停靠降低公車停靠對車流之影響，並利用候車站位顏色區分提供明確乘車指標等方式進行初步改善，後續則待桃園長庚轉運站建置完工後，針對該區域市區客運、公路客運等進行整體性動線整合及改善，現況照片如圖 3-1 所示。



圖 3-1 公車站牌停等區現況圖

(三) 人行道寬度不足且違停情況嚴重，壓縮民眾通行及等候公車空間

基地周邊主要道路人行路網佈設完整，然現況部分人行道寬度不足，現況照片如圖 3-2 所示，顯示既有設施設置方向不一，造成人行環境空間壓縮，並完全阻斷人行動線，導致行人須行走於車道，然公車停靠站旁也因違停亂象，不利民眾等候搭乘，因此若能藉由調整街道比例合理增加人行道寬度，同時規劃公共設施帶及整合路邊停車格位，將能夠大幅提升人行環境可行空間及通暢性。



圖 3-2 人行環境現況圖

(四) 街道纜線、桿件混亂及缺乏友善設施，不利於城市景觀塑造

基地現況號誌、路燈及標誌設置繁雜，纜線設施外掛，以及缺乏無障礙設施或無障礙設施設計不良等，現況照片如圖 3-3 所示，此些狀況導致天際視野紊亂不清，無障礙動線受阻或無障礙設施使用效率不佳等問題，其發展前景應朝向進步化城市改善，透過

纜線地下化、共桿設施及建置友善空間等，塑造新穎的在地城市景觀特色。



圖 3-3 街道景觀及無障礙設施現況圖

(五) 施工階段不利於發展商業行為且影響周邊居民出入

基地位處大臺北醫療核心，且鄰近機場捷運與環球影城等，商業行為繁榮，店家林立且周邊居民眾多，因此設計與施工階段時，時常因交通管制或施工而造成周邊商家不利發展商業行為、周邊住家出入不便以及限縮道路使用空間，擬透過召開地方說明會與地方進行溝通協調並於店家與住宅前擺放臨時簡易通道，維持通道順暢，維護商業營業行為以及出入方便。

四、構想

以人流車流匯集核心-機捷 A8 站周邊路口進行改善作為案例，依據內政部營建署「都市人本交通規劃設計手冊」與「市區道路及附屬工程設計規範」等規範，導入大眾運輸導向發展(Transit-Oriented Development, TOD)，結合公車(BUS)及公共自行車(BIKE)、捷運(METRO)、步行(WALK)之 BMW 綠色運輸概念進行路口改善及其他附屬設施改善之構想示意如圖 4-1。

其中 TOD+BMW 係以大眾運輸樞紐與車站為主軸，同時有效控制步行空間，發展行人友好環境，將區外旅次以中長程客運(BUS)經由轉運站及機場捷運(METRO)之大眾運輸系統進入核心區，核心區內以步行(WALK)為主要交通方式，周邊地區依距離不同利用公車(BUS)及公共自行車(BIKE)進入，以及取消部分路段之汽機車停車格位，使兩側人行空間最大化，本研究案例以此作為規劃概念，進行路口及其他附屬設施改善，分別針對行人停等區加大、路口轉角縮小、行人穿越道路退縮、路口穿越分流、中央庇護島、街道比例調整、公車系統改善、災害預防設施、共桿設施及纜線下地等議題提出改善構想，以下分別詳述之：

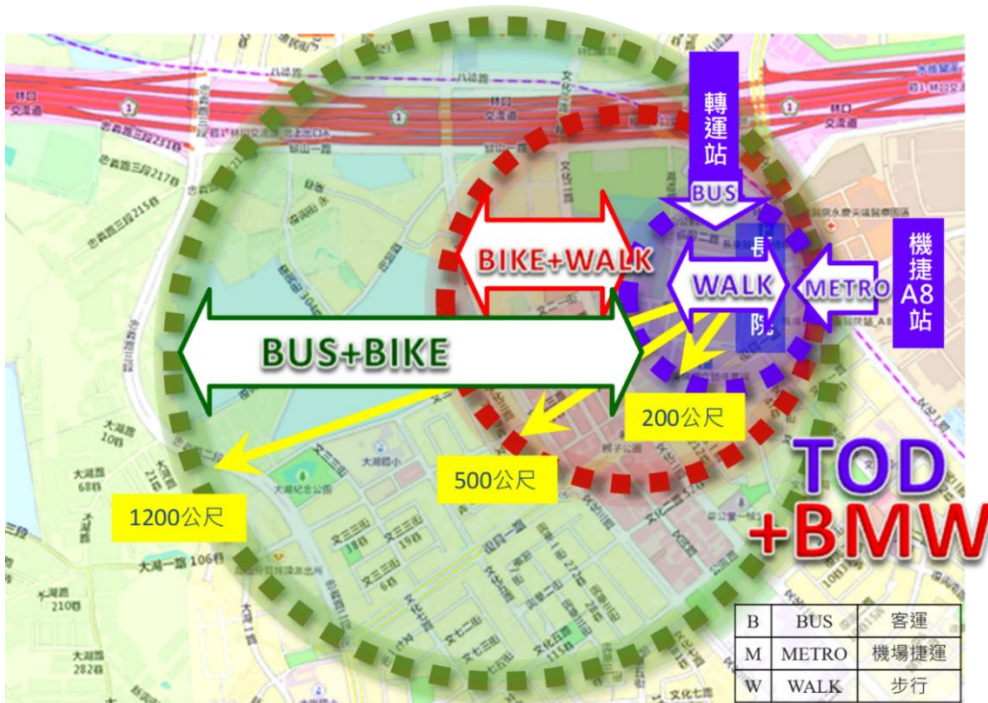


圖 4-1 TOD 及 BMW 綠色運輸概念示意圖

(一) 路口改善構想(圖 4-2)

1. 行人停等區加大，提升等候安全

擴大路口轉彎處之人行道停等區，並增設行人停等區立體安全庇護空間，防止因車輛轉彎而限縮行人停等空間與降低對於行人安全之威脅，加強整體路口行人停等之安全性。

2. 路口轉角(曲率半徑)縮小

透過路口轉角縮小可迫使車輛轉彎速度降低，達到轉彎車輛減速慢行之效果，搭配護欄或綠籬設置，除可進一步降低轉彎車輛速度外，亦可避免轉彎內輪差擠壓人行環境空間造成事故發生。

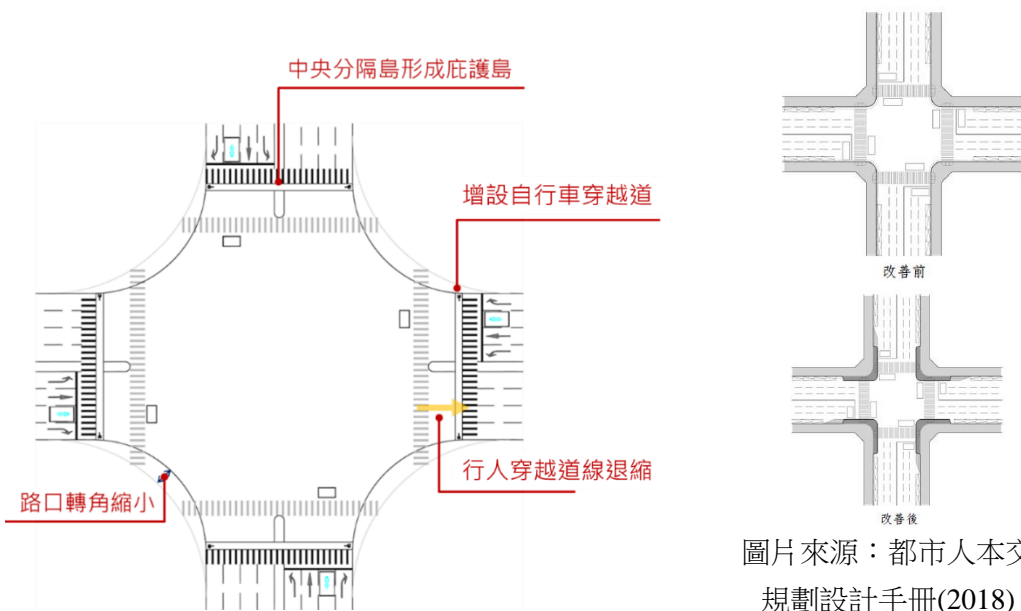
3. 行人穿越道線退縮及中央庇護島

路口行人穿越道線退縮則可縮短行人穿越道路長度，並增加行駛車輛轉彎後與行人穿越道線之距離，使車輛與行人穿越道線呈現近垂直之角度，提供駕駛人與行人之良好視角與視距，並且透過中央庇護島與標線有效區隔行人及汽機車，減少路口穿越動線衝突，形成行人友善安全路口。此外，退縮空間轉為增加轉向車輛等候空間，除了減少轉彎車輛影響直行車輛續進效率外，亦可進而提升轉彎車輛禮讓行人之效果。

4. 建構自行車綠色路網

透過路口增設自行車穿越道，整合與串聯基地周邊自行車道，形成完整的綠色路網，並利用標線分隔自行車與行人，避免人車爭道，以達成自行車與行人友善共存之目

標。此外，延伸中央分隔島亦可作為大型路口臨時庇護島，加強整體路口穿越通行安全。



圖片來源：都市人本交通
規劃設計手冊(2018)。



圖 4-2 路口改善構想示意圖

(二) 附屬設施改善構想

1. 拓寬人行道空間，強化人本交通功能

依照現有道路狀況及車道需求等合理拓寬人行道並規劃公共設施帶，將植栽、標誌牌面、公車停靠站及其他設施等設置於人行道同一側，以增加人行環境可行空間及維持良好人行動線，另藉由街道比例調整重新整合路邊停車格位，結合交通管理手段初步改善違停情況，後續則應透過交通政策增加大眾運輸轉乘停車區位，同時逐步取消路邊停車，引導民眾多加使用大眾運輸，減少路邊停車對道路服務水準之影響。

2. 公車以顏色分群，梳理交通動線

基地周邊公車路線眾多且多元，公車停靠進出動線頻繁，易與外側車道產生交織衝突，不僅影響車流續進，甚至影響駕駛人之行車安全，因此於公車站實施分群停靠及候車站位示意，依照公車路線屬性及方向性，採用不同顏色(紅色、綠色、黃色)至地面區分各候車路線，不僅方便民眾辨識路線，同時亦紓緩尖峰時段公車停靠造成車行壅塞之問題，未來可進一步持續對民眾加強宣導以發揮更大功效，公車停車與候車亭改善模擬示意如圖 4-3。



圖 4-3 公車停車與候車亭改善模擬圖

3. 設置災害預防設施，提升街道友善性

因基地位於龜山區且臨近機場捷運、環球購物中心與長庚醫院，考量氣候潮濕、人潮眾多與出入民眾多元，且經調查基地內道路鋪設年期多已超過 5 年以上，現況路面因年久失修有補錠、縱橫向裂縫、龜裂造成道路不平整等情形，影響用路人行駛安全與順暢性，故於人行環境配置災害預防設施，加強鋪面防滑及排水效果，同時植栽直立喬木，搭配導根板引導根系生長，減少樹根隆起破壞鋪面，提高整體友善程度及道路品質，基地內人行道改善前後對照如圖 4-4。



圖 4-4 人行道改善前後對照圖

4. 纜線下地及共桿，美化天際線

考量道路與行車環境之美觀與安全，將過多的外掛纜線統一下地，要求各纜線業者清整捆束所屬纜線，並貼上識別標籤納入規範，以達成美化景觀與加強公眾安全之雙重目標，藉此延長道路與管線使用年限，降低維護與行車成本，改善成果如圖 4-5。而零散設置的標誌、號誌及路燈等設施，採共桿方式整合為一，降低用路者視覺分擔，提升車道視野整潔清晰。



圖 4-5 纜線地下化與共桿設計模擬圖

(三)貼近地方需求，營造大臺北醫療核心區

本研究案例於設計與施工過程中，為維護在地居民道路使用以及周邊商家之營運行

為，召開數次地方說明會，與民意代表、議員、里長及在地居民達成共識，且多次至現場進行勘查並與相關權責單位召開協調會議，將民眾反映情形納入變更設計，使整體工程改善貼近地方需求，打造亮點醫療核心地區，地方協調與現地會勘照片如圖 4-6。

由於基地鄰近院區、機場捷運及環球購物中心，周邊商店林立，因此於施工階段時，於各商店前擺放臨時通道，提供民眾短暫通道，維護商店之商業行為。



圖 4-6 地方協調與現地會勘照片

五、預期效益

(一) 建置友善的人本空間

由於基地鄰近機場捷運、長庚醫院與環球購物中心，人潮眾多且多元，因此藉由街口瘦身及街道比例的重新分配，增加人行環境可行空間，並整合公車系統、改善無障礙設計以及增加災害預防設施等，建置更加友善的人本空間。

(二) 提升道路交通安全與秩序

透過路口轉角縮小及行人穿越道線退縮等方式，使車輛轉彎速度降低及增加轉彎車輛良好視角與視距，此外退縮空間轉為增加轉向車輛等候空間，可減少轉彎車輛影響直行車輛續進效率外，亦能提升轉彎車輛禮讓行人之效果，達到道路交通安全與秩序的提升。

(三) 降低路口衝突並加強行人安全防護

路口增設自行車穿越道，藉由標線有效區隔自行車及人行動線，降低路口穿越衝突，並利用中央分隔島延伸形成臨時庇護島，加強整體通行安全。

(四) 改善天際線視野達到街道景觀美化

藉由管線下地與共桿設計，達到改善天際線視野，提升車道整潔清晰與加強公眾安全等目標，同時美化街道景觀設計，除了進一步舒緩用路者，更能美化整體環境。

六、結語

隨著都市發展與規模擴張，人口不斷往都市集中，社會、人口與經濟結構產生改變，市區道路之功能已逐漸從解決交通問題，轉變與延伸至對都市環境的關注，強調以人本為主軸且結合綠色運輸與永續，建構友善的人本交通環境。

本研究案例以機場捷運 A8 站周邊路口為基地，導入人本交通與綠色運輸概念，追求人本取代車本，藉由路口轉角縮小、行人穿越道路退縮、中央分隔島延伸形成庇護島以及街道比例調整等，提升整體人行環境空間及路口通行安全。此外，亦規劃無障礙設施、災害預防設施、纜線下地及共桿設施等因地制宜之改善措施，滿足當地醫療重鎮及先進城市等街道需求，塑造特有城市景觀融合在地人文特色，達到兼具友善人行環境及提升街道品質等目標。

希望透過本研究案例改善之設計構想的推廣，提供相關機關對人行環境整體改善方針之參考，進而推動我國對人本環境改善的重視，創造更多符合在地需求之友善人行環境。

參考文獻

1. 都市人本交通規劃設計手冊，內政部營建署，2018。
2. 市區道路及附屬工程設計規範，內政部營建署，2015。
3. 交通工程規範，交通部，2015。
4. 道路交通標誌標線號誌設置規則，交通部，2017。
5. 公路路線設計規範，交通部，2019。
6. 自行車道系統規劃設計參考手冊，交通部運輸研究所，2013。

台 8 線白沙一橋、白沙二橋、慈母橋監測建置

李順成¹、陳麗華²、曾威修³、黃進國⁴、林嘉欣⁴、蔡欣局⁵

摘要

民國108年10月1日風和日麗、艷陽高照，南方澳大橋在沒有任何天然災害侵襲的當下，發生了毫無預警的倒塌事故，在此次事故中導致6人罹難，13人輕重傷。經國家運輸安全調查委員會於109年11月公布之調查報告顯示，吊索鋼絞線發生嚴重鏽蝕可能為此事故的主要原因之一。有鑒於此，公路總局針對其轄區內具有吊索之特殊性橋梁辦理監測計畫，期望透過即時監測系統之建置，瞭解橋梁的安全狀況。

本文主要針對台8線白沙一橋、白沙二橋與慈母橋監測系統建置、鋼纜模態檢測試驗、結構分析模型等三個部分進行說明。透過鋼纜模態檢測試驗掌握各鋼纜頻率分布特性，搭配雙頻法即時計算索力，後續將嘗試調校數值模型，作為後續管理值訂定及調整方向，提供橋梁管理單位作為應變機制之參考依據。

關鍵字：斜張橋、拱橋、索力量測、橋梁監測、橋梁模擬

一、前言

1.1 白沙一橋

白沙一橋位於花蓮縣秀林鄉，為單跨鋼拱橋設計，東側連結白沙隧道西出口橫跨立霧溪，橋址高程約 143m~150m。根據白沙一橋細部設計圖說中一般說明，其設計規範係依據交通部於民國 100 年公佈之公路路線設計規範、98 年公佈之公路橋梁設計規範、民國 98 年公佈之公路橋梁耐震設計規範與美國公路及運輸官員協會 2002 年之公路橋梁標準規範（AASHTO 2002），設計活載重為 HS 20-44(MS18)之活載重再增加 30%；設計溫度變化範圍為 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ （混凝土結構）、 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ （鋼結構），設計風壓為考慮 200 km/hr

¹ 公路總局第四區養護工程處 處長

² 公路總局第四區養護工程處太魯閣工務段 段長

³ 公路總局第四區養護工程處 考核工程師

⁴ 財團法人中華顧問工程司設施管理研發中心 正工程師

⁵ 財團法人中華顧問工程司設施管理研發中心 主任

之風速。橋墩、人行道、橋名柱及橋欄杆混凝土材料強度 $f'c = 245 \text{ kgf/cm}^2$ ，結構鋼料為 ASTM Gr.50 ($f_y = 3,500 \text{ kgf/cm}^2$) 與 ASTM A36 ($f_y = 2,520 \text{ kgf/cm}^2$)。

白沙一橋 (STA. 179K+539~STA. 179K+649) 整體上部結構主要由主梁、拱肋、橋面板與吊索所組成，其支承採用盤式支承，搭配側向人造橡膠防震板。根據設計圖說之立面及平面圖，如圖 1-1 所示，白沙一橋全橋長為 110 公尺，橋面全寬為 9.5 公尺，拱肋高為 26.91 公尺。拱肋斷面型式如圖 1-2 所示，拱肋 DA1 深 1.75 至 2 公尺，拱肋 DA2 深 2 至 2.25 公尺，腹板與上下翼板厚度為 45 mm。

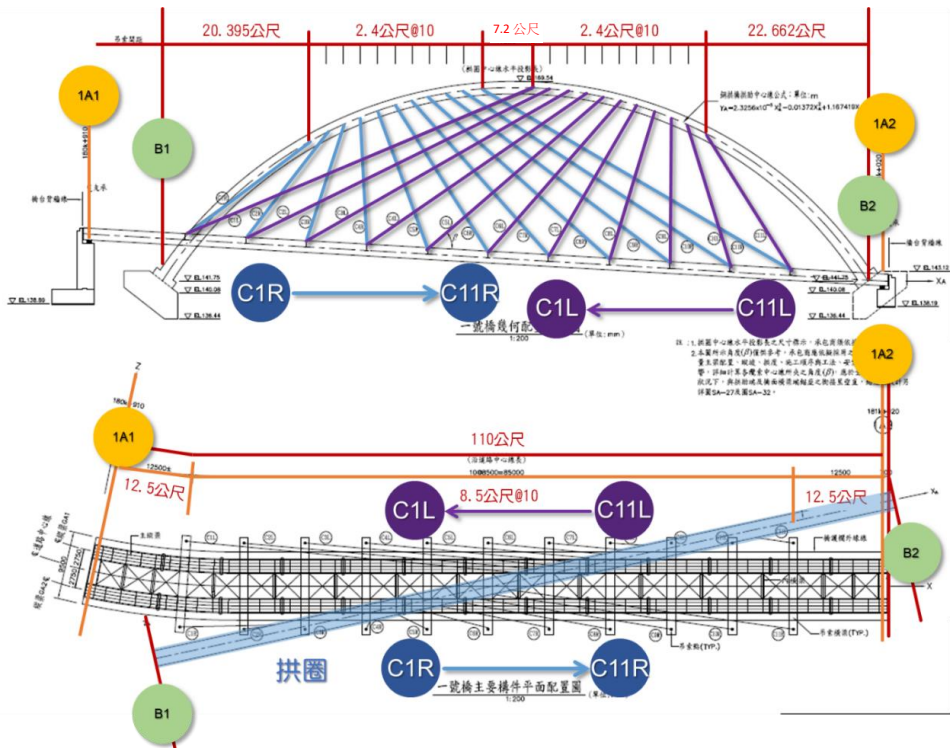


圖 1-1 白沙一橋幾何與平面配置圖

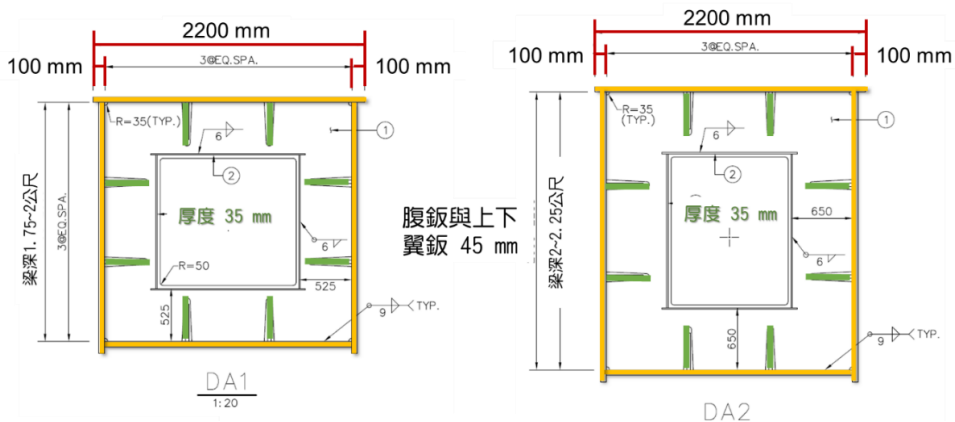


圖 1-2 白沙一橋拱肋斷面圖

橋面內橫梁處標準斷面如圖 1-3 所示，係由兩鋼箱型梁與 I 型梁組合而成，支撐 20 公分厚之混凝土橋面版，其上鋪設 5 公分厚之瀝青混凝土鋪面；鋼箱梁梁深為 1.6 公尺，上下翼板寬為 2 公尺，腹板與翼板厚為 19 mm，縱向加勁板寬為 16 mm，長為 180 mm，厚度 16 mm。橋梁有附掛管線 7 根 4 英吋、8 根 3 英吋之電信線路與 6 根 8 英吋之台電管線。

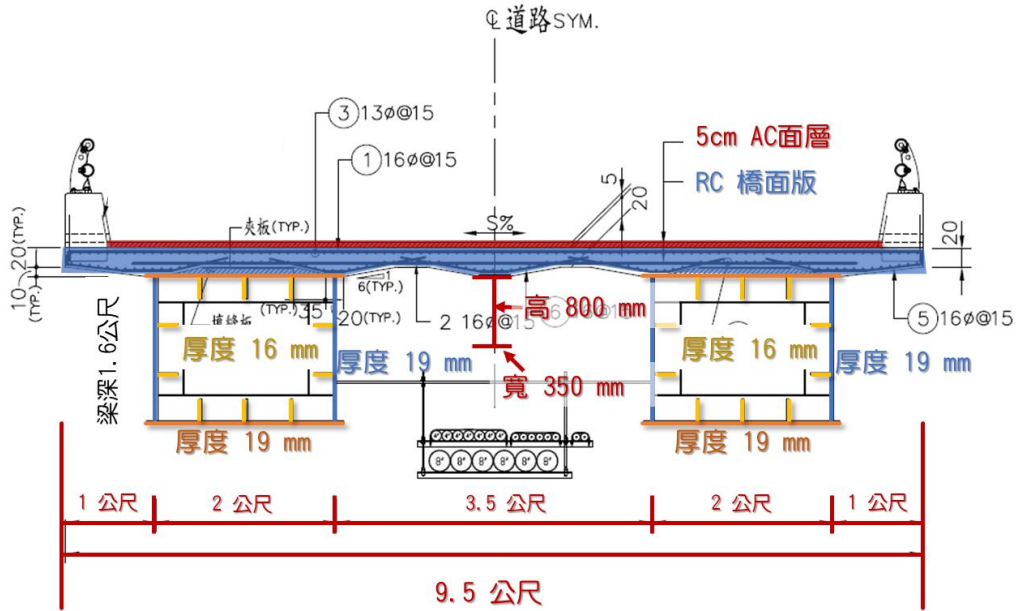


圖 1-3 白沙一橋面內橫梁處主梁斷面圖

吊索有兩種規格，分別為 10 股 15.2mm ψ 與 12 股 15.2mm ψ 之 7 線低鬆弛預力鋼絞索所組成，橫梁斷面如圖 1-4 所示，其翼板寬為 1.2 公尺，橫梁深為 1.2 至 1.6 公尺，上下翼板與腹板之厚度為 19 mm，其加勁板厚度為 16 mm。

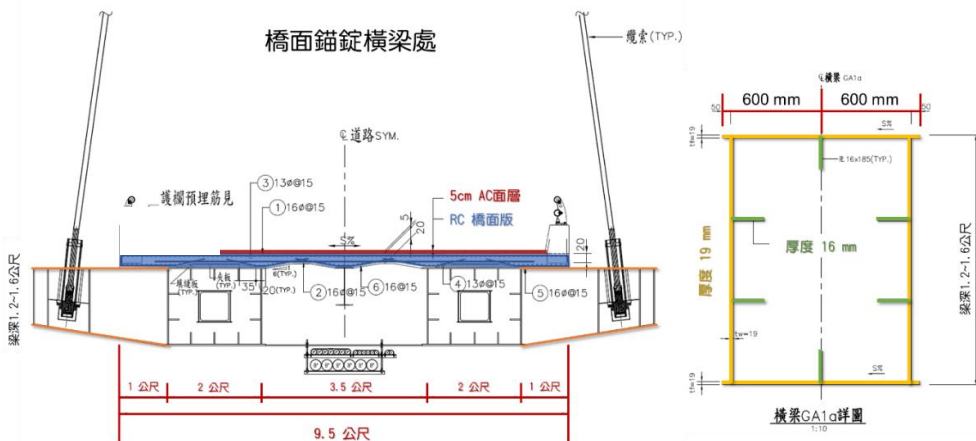


圖 1-4 白沙一橋面內橫梁處橫梁斷面圖

1.2 白沙二橋

白沙二橋位於花蓮縣秀林鄉，為背拉單跨斜張橋設計，西側連接白沙隧道東出口橫跨立霧溪，橋址高程約 133m~137m。根據白沙二橋細部設計圖說中一般說明，其設計規範係依據交通部於民國 100 年公佈之公路路線設計規範、98 年公佈之公路橋梁設計規範、民國 98 年公佈之公路橋梁耐震設計規範與美國公路及運輸官員協會 2002 年之公路橋梁標準規範（AASHTO 2002），設計活載重為 HS 20-44(MS18)之活載重再增加 30%；設計溫度變化範圍為 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ （混凝土結構）、 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ （鋼結構），設計風壓為考慮 200 km/hr 之風速。橋墩、人行道、橋名柱及橋欄杆混凝土材料強度 $f'c = 245 \text{ kgf/cm}^2$ ，結構鋼料為 ASTM Gr.50 ($f_y = 3,500 \text{ kgf/cm}^2$) 與 ASTM A36 ($f_y = 2,520 \text{ kgf/cm}^2$)。

白沙二橋（STA. 179K+821~STA. 179K+918.6）整體上部結構主要由主梁、橋塔、橋面板與吊索所組成，其支承則採用盤式支承，搭配側向人造橡膠防震板。根據設計圖說之立面及平面圖，如圖 1-5 所示，白沙二橋全橋長為 97.6 公尺，橋面全寬為 9.5 公尺，橋塔高為 26.89 公尺。橋塔斷面型式如圖 1-6 所示，橋塔寬度為 1.5 公尺。

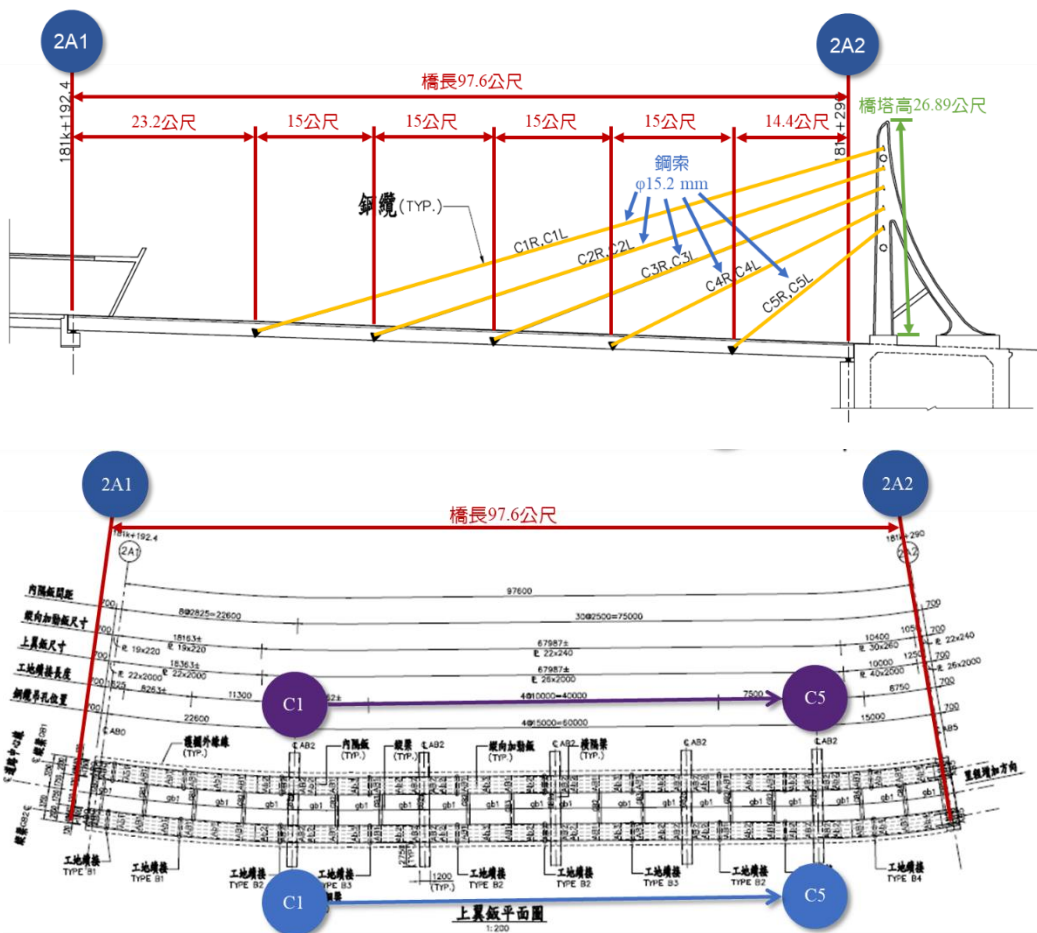


圖 1-5 白沙二橋幾何與平面配置圖

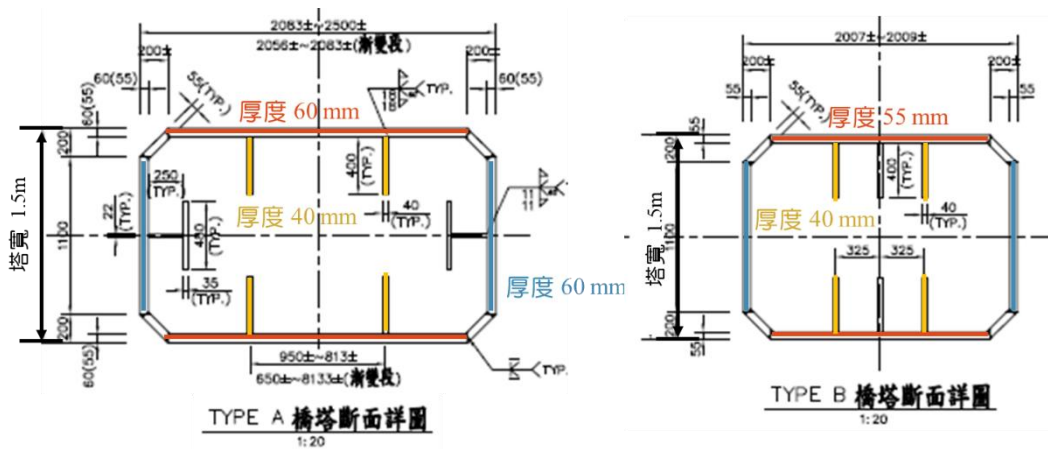


圖 1-6 白沙二橋橋塔斷面詳圖

吊索由 37 股 15.2mm ψ 之 7 線低鬆弛預力鋼絞索所組成，橫梁斷面如圖 1-7 所示，其翼板寬為 1.2 公尺，橫梁深為 1.2 至 1.6 公尺，上下翼板與腹板之厚度分別具有 26、24、22 與 19 mm，其加勁板厚度具有 16、19、22 與 30 mm。

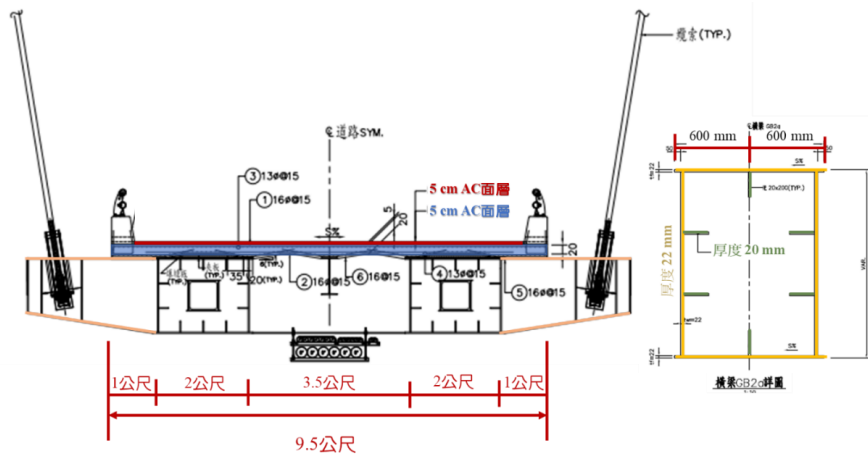


圖 1-7 白沙二橋橋面內橫梁處橫梁斷面圖

1.3 慈母橋

根據慈母橋竣工圖說中一般說明，其設計規範係依據交通部於民國 76 年審訂之公路橋梁工程設計規範、美國公路及運輸官員協會 1983 與 1989 年之公路橋梁標準規範 (AASHTO 1983、AASHTO 1989) 與日本道路協會之道路橋示方書-鋼橋篇，設計活載重為 HS 20-44 再增加 25%，設計水平地震力以靜重之 22% 計算，設計溫度範圍為 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ，設計風速為 234 km/hr。步道、欄杆、緣石、水溝等非橋梁部分之混凝土材料強度 $f'c=210$

慈母橋之斷面型式如圖 1-10，主梁係由 I 型主大梁(上翼板厚度為 35 mm、腹板厚度為 20 mm、下翼板厚度為 35 mm)、C 型橫撐與鋼板斜撐組合而成，梁深為 1.5 公尺；橋塔由箱型斷面搭配 T 型加勁材組成；橋面板為 20 公分厚混凝土，再以 5 公分之瀝青混凝土鋪設而成。橋梁另有附掛管線為直徑 6 英吋之台電管線。

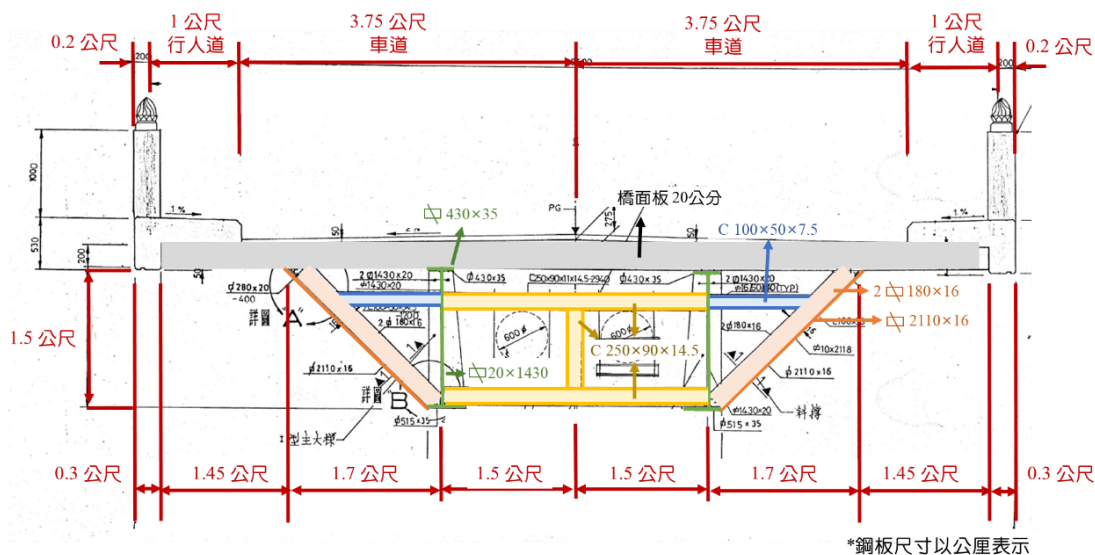


圖 1-10 慈母橋之主梁標準斷面圖

吊索橫梁處係於主梁標準斷面兩側增加鋼板支撐(如圖 1-11)，C1、C4 之橫梁採用厚度為 40 mm 之鋼板組立，C2、C3 之橫梁則採用厚度為 30 mm 之鋼板組立。靠近橋台之外吊索 C1、C4 由 20 股 15.24 mm ψ 7 線低鬆弛預力鋼絞索組成，而靠近橋墩之內吊索 C2、C3 則以 16 股 15.24 mm ψ 7 線低鬆弛預力鋼絞索組成，C1、C2、C3 與 C4 皆以高密度聚乙烯管(HDPE)包覆，再灌注水泥漿，最後以彩色被覆層作為最外圍之造型。

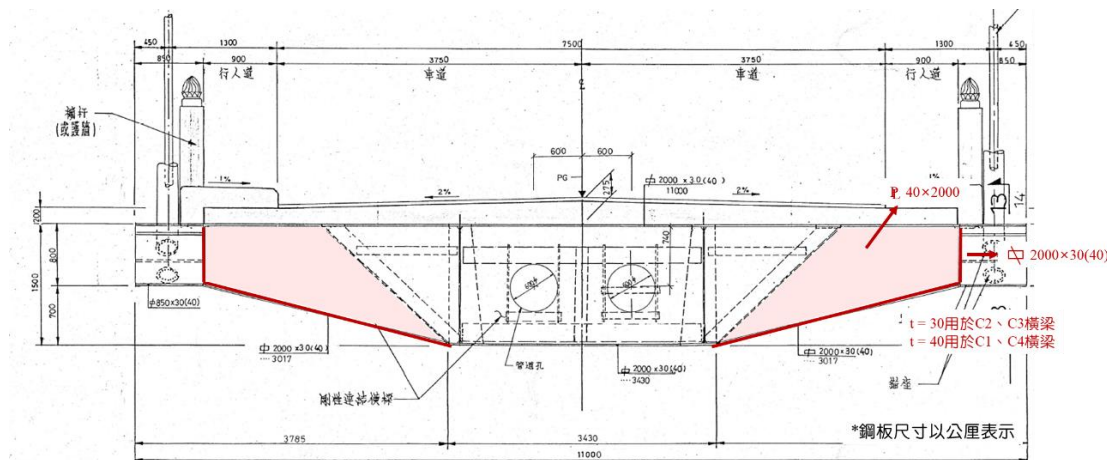


圖 1-11 慈母橋之橫梁斷面圖

二、監測系統說明

白沙一橋、白沙二橋與慈母橋監測系統，監測項目規劃包含有鋼纜索力、主塔(拱肋)傾角、主塔應變、大梁撓度、大梁溫度、環境溫度、伸縮縫縱向位移、橋址風速等項目，各項目監測位置數量、監測目的，詳如表 2-1 所述，採用之各感測器量測範圍、解析度說明如表 2-2 所示。本文之監測系統架構如圖 2-1 所述，現地端主要由感測器、資料擷取器、中央控制系統、不斷電供應系統、網路傳輸器組成；遠端監控平台主要為雲端資料、網頁平台及管理者遠端連線。

白沙一橋的感測器包含 22 組振動量測計、1 組雙向傾斜計、2 組位移計、12 組沉陷計、2 組溫度計、1 組風速計，3 組動態資料擷取器、1 組靜態資料擷取器及 1 組 UPS 不斷電供應系統，各儀器佈設位置如圖 2-2 所示。

白沙二橋的感測器包含 10 組振動量測計、1 組雙向傾斜計、2 組位移計、6 組沉陷計、2 組溫度計、1 組風速計、2 組振弦式應變計，2 組動態資料擷取器、1 組靜態資料擷取器及 1 組 UPS 不斷電供應系統，各儀器佈設位置如圖 2-3 所示。

慈母橋的感測器包含 16 組振動量測計、1 組雙向傾斜計、2 組位移計、10 組沉陷計、2 組溫度計、1 組風速計、2 組振弦式應變計，3 組動態資料擷取器、1 組靜態資料擷取器及 1 組 UPS 不斷電供應系統，各儀器佈設位置如圖 2-4。

表 2-1 各橋監測項目、數量與目的

項次	監測項目	橋名	數量	監測目的
1	鋼纜索力	白沙一橋	22	以微振法量測鋼纜振動，分析鋼纜振動頻率以計算鋼纜現況索力值，作為警戒分析研判依據。
		白沙二橋	10	
		慈母橋	16	
2	主塔(拱肋)傾角	白沙一橋	1	索力改變會直接影響主塔/拱肋傾斜的狀態，兩側索面索力變化會直接作用於主塔/拱肋產生彎矩或軸力的變化，主塔/拱肋的傾斜數據則用以分析主塔/拱肋的彎矩與軸力變化量。
		白沙二橋	1	
		慈母橋	1	
3	伸縮縫位移	白沙一橋	2	伸縮縫的位移變化常時為溫度熱漲冷縮控制，其位移量應於一定範圍內變化，一旦橋體行為異常或災害(如地震)發生，導致過大殘留位移，都可透過即時監測變化，掌握橋況與趨勢。
		白沙二橋	2	
		慈母橋	2	
4	大梁撓度(沉陷)	白沙一橋	12	長期記錄分析大梁撓度變化，迴歸分析撓度與溫度關係性，建立大梁撓度變化趨勢，作為警戒分析研判依據。
		白沙二橋	6	
		慈母橋	10	

項次	監測項目	橋名	數量	監測目的
5	大梁溫度	白沙一橋	1	瞭解大梁溫度變化，作為數據分析的迴歸參數。
		白沙二橋	1	
		慈母橋	1	
6	環境溫度	白沙一橋	1	瞭解環境溫度變化，作為數據分析的迴歸參數。
		白沙二橋	1	
		慈母橋	1	
7	橋址風速	白沙一橋	1	瞭解橋址處風速變化，當風速達設計風速 80% 時，監測系統發出警報訊息。
		白沙二橋	1	
		慈母橋	1	
8	主塔應變	白沙一橋	4	索力若有明顯改變會直接影響主塔/拱肋受力狀態，兩側索面索力的變化會直接作用於主塔、拱肋產生彎矩或軸力的變化，主塔/拱肋應變數據則用以分析主塔/拱肋彎矩與軸力變化量。
		白沙二橋	2	
		慈母橋	2	

表 2-2 採用之監測儀器規格

項次	監測儀器	廠牌	型號	量測範圍	解析度
1	振動量測計	sara electronic instruments	sa10-1D	±2g	165db
2	雙向傾斜計	Geomaster	MEM-485	±15 度	0.001 度
3	位移計	MIDORI	LP-300FJS	300mm	1mm
4	沉陷計	Geomaster	CSS-C1	100mm	0.1mm
5	溫度計	TE connectivity	PTMF101T1A0	-30°C~200°C	±0.1°C
6	風速計	SIAP+MICROS	t031-TVV	0.25m/s~50m/s	0.1m/s
7	振弦式應變計	Geokon	4000	3000µε	1.0µε
8	動態資料擷取器	Geomaster	DSPL-24	1~2k Hz	24bit
9	靜態資料擷取器	Geomaster	BJ-64	1 Hz	16bit
10	不斷電系統	OPTI-UPS	DS1000B-RM	-	-

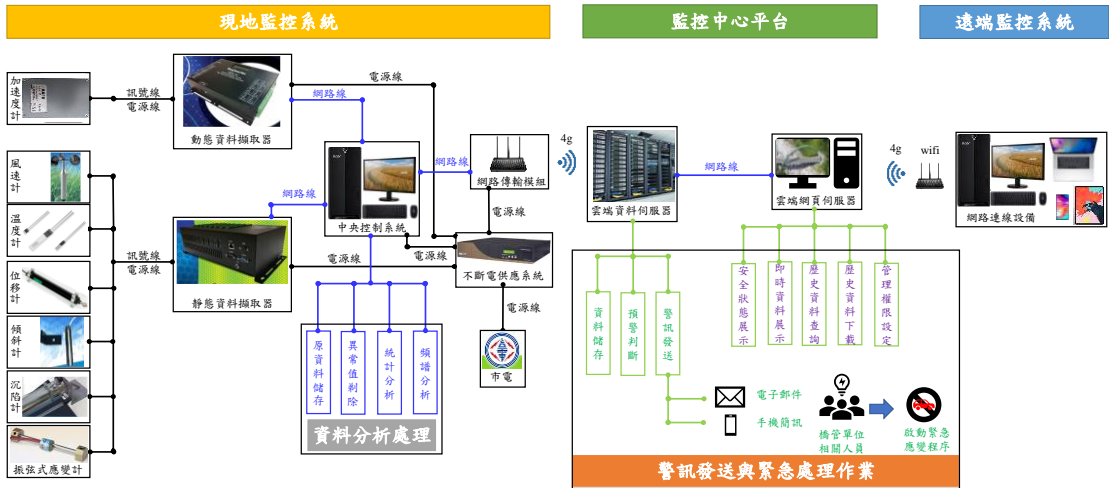


圖 2-1 監測系統架構圖

白沙一號橋感測器編碼

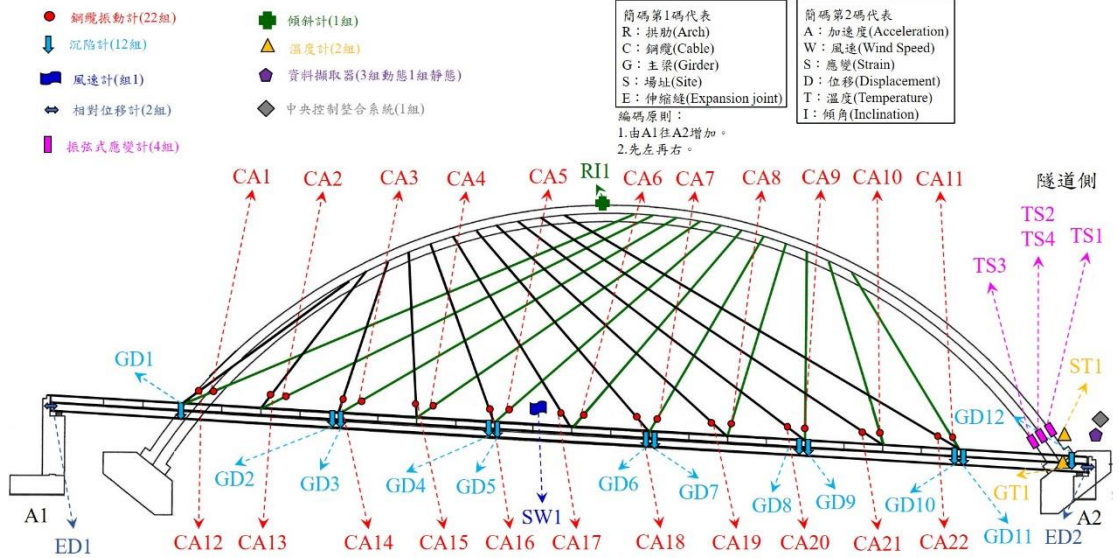


圖 2-2 白沙一橋感測器配置位置圖

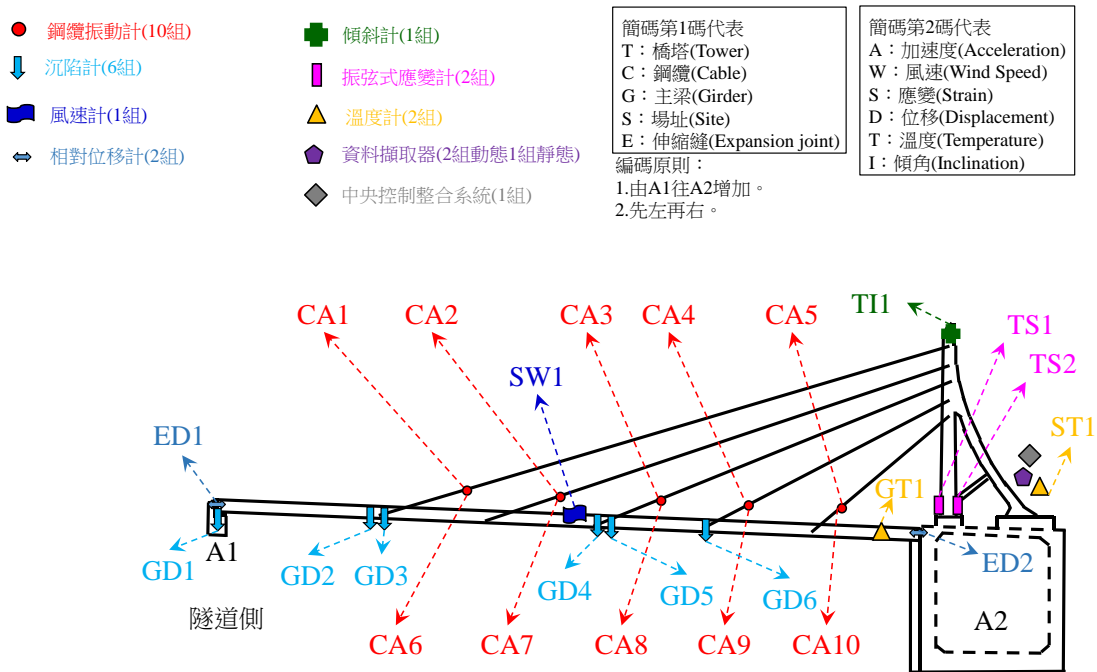


圖 2-3 白沙二橋感測器配置位置圖

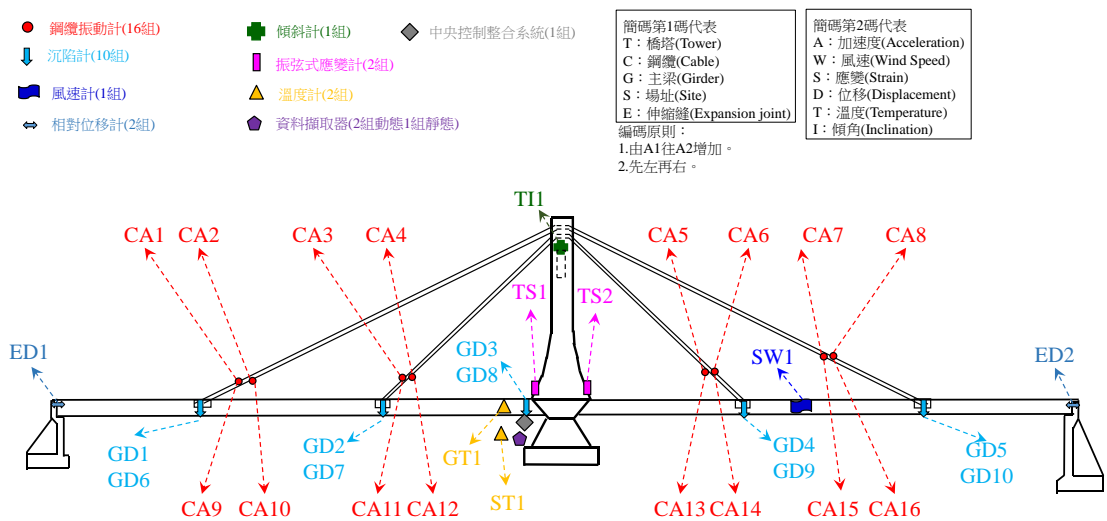


圖 2-4 慈母橋感測器配置位置圖

三、鋼纜模態檢測試驗

鋼纜模態檢測試驗主要目的為，透過同步量測鋼纜數個點位的振動歷時訊號，藉由頻譜分析的方法，取得各階鋼纜模態振型，擬合出鋼纜有效振動長度(L)，並同時識別出各階頻率(f)，再將識別所得各階頻率、有效振動長度，搭配材料參數鋼纜質量密度

(ρ)、鋼纜斷面積(A)代入「等效簡支梁法[1~6]」之索力計算公式，求取鋼纜索力值。

本文中採用的鋼纜模態檢測試驗的做法為，於每一束鋼纜均進行 5 點同步量測，單根鋼纜共佈設 5 個感測器(目前常用的感測器為速度計與加速度計，本文中採用的是速度計)，如圖 3-1 所示，近橋面端布設 4 處、接近或超過鋼纜一半長度處 1 個，主要目的在於估算鋼纜有效振動長度值，每次量測資料記錄時間為 15 分鐘。將振動歷時訊號轉換成傅立葉頻譜，再由鋼纜之頻率等間距分布特性，識別各振態的頻率值，振型比值則來自於量測點間傅立葉振幅譜相同振態之傅立葉轉換係數的比值，振動頻率識別結果搭配有效振動長度、鋼纜斷面參數即可計算索力值。

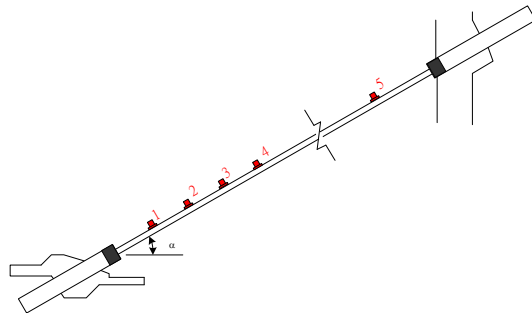


圖 3-1 多點同步量測感測器佈設示意圖

鋼纜模態檢測的執行方案與流程，可參考圖 3-2。試驗時採用多點量測法修正鋼纜有效振動長度，量測方式是在試驗鋼纜上同時裝設五個感測器，各感測器裝設位置可視現況進行調整，同步量測五個感測器的振動歷時訊號，感測器需以置具良好固定於鋼纜位置，感測器裝設完成狀況如下圖 3-3 所示。

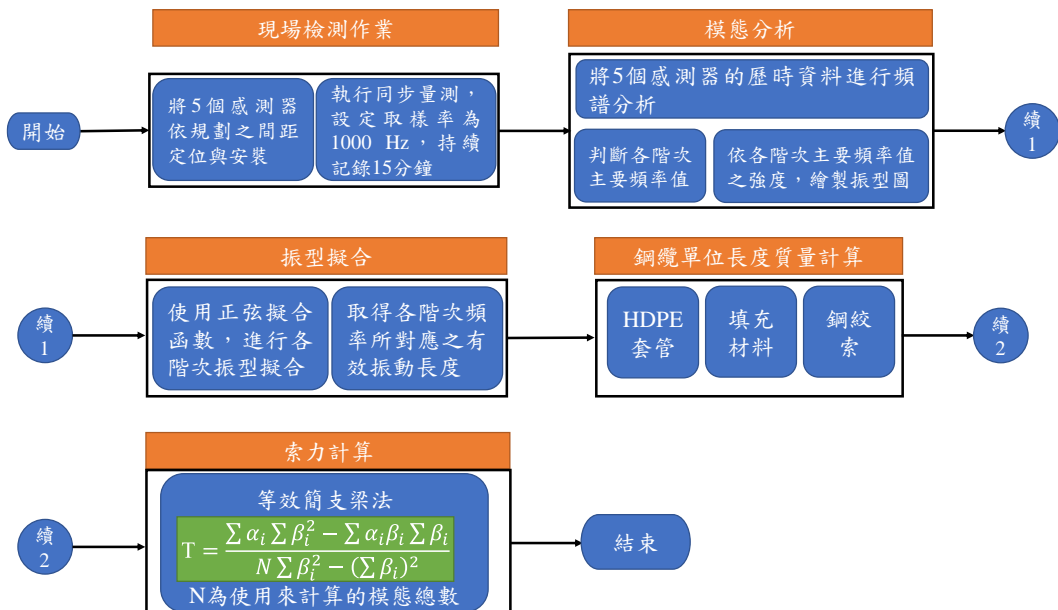


圖 3-2 鋼纜模態檢測試驗索力計算流程圖



圖 3-3 鋼纜模態檢測試驗之感測器裝設完成案例

感測器裝設完成後，即將訊號線路接入資料擷取器進行訊號擷取紀錄，量測訊號以 1,000 Hz 進行取樣，連續 15 分鐘同步記錄五個感測器的振動歷時訊號，現地量測所得之振動訊號如圖 3-4 所示。

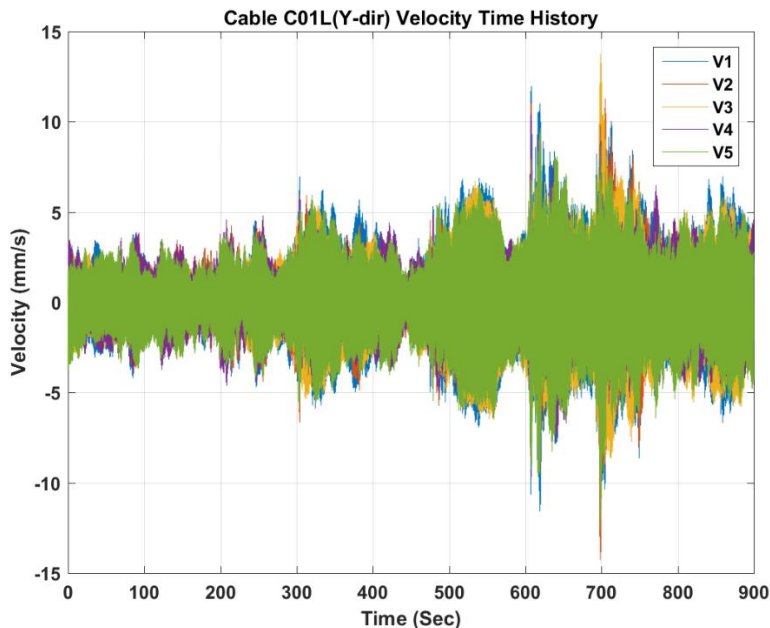


圖 3-4 振動訊號即時波形圖

現場量測得鋼纜之振動訊號後，則需進行後續的訊號處理分析作業，以下針對各分析步驟進行說明：

步驟一：鋼纜振動模態分析

將每束鋼纜 5 個感測器測得之振動歷時數據，以快速傅立葉轉換(FFT)，取得振動訊號頻譜圖，如圖 3-5 所示，接著分析鋼纜的模態頻率與模態振型。

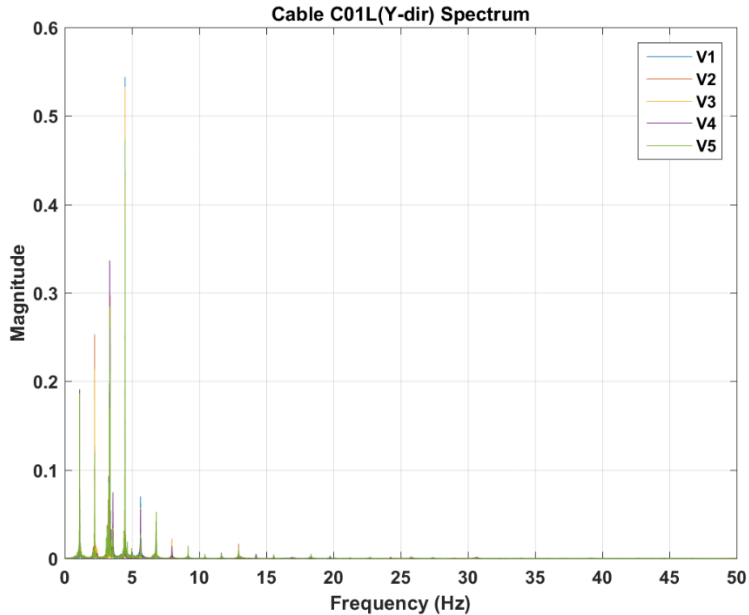


圖 3-5 振動訊號頻譜圖

步驟二：鋼纜有效長度計算

依據等效簡支梁法的理論，以三角函數為基底，擬合各階鋼纜模態振型，用以訂定鋼纜之有效振動長度 L ，如圖 3-6 所示，圖中各符號標記為分析得感測器位置之模態振型比值(最大值為 1.0)，各顏色實線為三角函數之擬合曲線，各實線與零點交點間的距離即為鋼纜有效長度 L ，用以計算鋼纜索力。

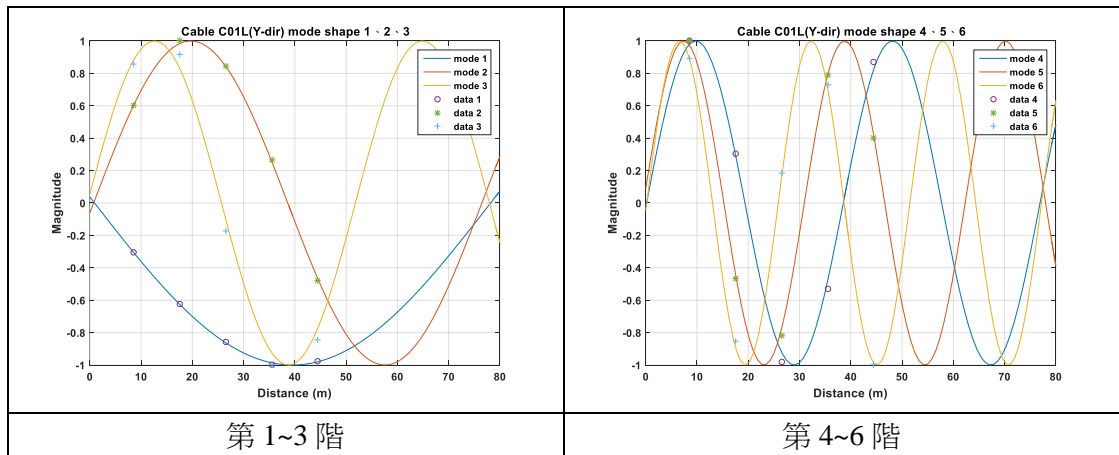


圖 3-6 鋼纜前 6 階模態振型擬合示意圖

步驟三：索力計算

將鋼纜模態檢測試驗所得之鋼纜有效長度(L)以及各模態頻率值(f_i)，搭配鋼纜單位長度質量 (ρA ，如表 3-1 所述)，以「等效簡支梁法[1~6]」計算鋼纜索力值。

等效簡支梁法索力計算公式

$$T = \frac{\sum \alpha_i \sum \beta_i^2 - \sum \alpha_i \beta_i \sum \beta_i}{N \sum \beta_i^2 - (\sum \beta_i)^2}$$

N 為使用計算的模態總數， $i=1\sim n$ 。

$$\alpha_n = \frac{4(\rho A)L^2 f_n^2}{n^2}$$

$$\beta_n = \frac{n^2 \pi^2}{L^2}$$

將鋼纜模態檢測試驗所量得之振動訊號歷時訊號，依照圖 3-2 所述之索力計算流程，計算得到慈母橋、白沙一橋及白沙二橋有效振動長度、索力如表 3-2、表 3-3 與表 3-4 所示。

表 3-1 鋼纜材料參數

項目\橋名		慈母橋		白沙一橋		白沙二橋
	鋼腱數量	15.24mmφ		15.2mmφ		37T-15.2mmφ
		16T	20T	10T	12T	
HDPE 套管	周長(cm)	64.0	64.0	35.2	35.2	60.0
	厚度(cm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	密度(g/m ³)	0.965	0.965	0.965	0.965	0.965
	單位長度質量(kgf/m)	8.052	8.052	4.161	4.161	7.512
鋼 腱	單位重(kgf/m)	1.1775	1.1775	1.101	1.101	1.101
	斷面積(cm ²)	1.387	1.387	1.387	1.387	1.387
	單位長度質量(kgf/m)	18.840	23.550	11.010	13.212	40.737
填 充 材	種類	水泥砂漿		環氧樹脂		環氧樹脂
	密度(g/cm ³)	3.15	3.15	0.965	0.965	0.965
	單位長度質量(kgf/m)	67.196	64.898	4.161	3.883	15.071
鋼 纜 整 體	單位長度質量(kgf/m)	94.088	96.500	19.332	21.257	63.320

表 3-2 慈母橋有效長度及鋼纜索力計算結果

鋼纜編號	有效振動長度 (m)	索力(tf)			鋼纜編號	有效振動長度 (m)	索力(tf)		
		設計圖(竣工圖)	等效簡支梁法	監測值(雙頻法)			設計圖(竣工圖)	等效簡支梁法	監測值(雙頻法)
C01L	49.88	163.4*	212	214	C01R	50.79	163.4*	230	226
C02L	50.27	163.4*	249	256	C02R	49.28	163.4*	193	194
C03L	30.61	101.0*	180	168	C03R	30.09	101.0*	187	179
C04L	32.20	101.0*	155	152	C04R	30.48	101.0*	183	163
C05L	30.97	101.0*	204	204	C05R	30.10	101.0*	205	210
C06L	32.78	101.0*	149	146	C06R	30.11	101.0*	115	112
C07L	50.26	163.4*	227	220	C07R	50.92	163.4*	210	207
C08L	50.97	163.4*	231	226	C08R	51.98	163.4*	231	227

註記：“*”竣工索力資料因年代久遠，檔案經多次搬遷已遺失，故僅查詢到設計索力資料。

表 3-3 白沙一橋有效長度及鋼纜索力計算結果

鋼纜編號	有效振動長度 (m)	索力(tf)				鋼纜編號	有效振動長度 (m)	索力(tf)			
		設計圖	竣工圖	等效簡支梁法	監測值(雙頻法)			設計圖	竣工圖	等效簡支梁法	監測值(雙頻法)
C01L	52.24	72	72	57	61	C01R	16.80	73	73	41	42
C02L	45.61	74	74	56	62	C02R	17.13	77	77	89	90
C03L	41.03	66	66	75	79	C03R	15.58	84	84	112	107
C04L	36.01	68	68	76	79	C04R	16.48	83	83	99	93
C05L	34.96	74	74	104	90	C05R	17.12	82	82	79	71
C06L	25.83	67	67	100	106	C06R	22.45	71	71	92	87
C07L	23.74	74	74	115	122	C07R	27.87	73	73	107	109
C08L	21.47	79	79	104	105	C08R	31.51	67	67	80	90
C09L	18.25	82	82	57	57	C09R	37.70	70	70	65	74
C10L	18.63	67	67	86	91	C10R	42.60	69	59	77	76
C11L	20.74	62	62	75	78	C11R	48.39	70	70	62	68

表 3-4 白沙二橋有效長度及鋼纜索力計算結果

鋼纜編號	有效振動長度 (m)	索力(tf)				鋼纜編號	有效振動長度 (m)	索力(tf)			
		設計圖	竣工圖	等效簡支梁法	監測值(雙頻法)			設計圖	竣工圖	等效簡支梁法	監測值(雙頻法)
C01L	77.66	256	256	193	195	C01R	80.73	269	269	226	234
C02L	63.72	213	213	285	284	C02R	63.60	231	231	296	296
C03L	48.27	245	245	299	295	C03R	48.04	264	264	285	281
C04L	34.35	228	228	283	279	C04R	63.11	247	247	332	327
C05L	23.14	210	210	303	278	C05R	20.36	223	223	255	246

四、鋼纜索力自動化監測

慈母橋有 16 束鋼纜、白沙一橋有 22 束鋼纜、白沙二橋有 10 束鋼纜，共計 48 束鋼纜，本文每 1 束鋼纜均安裝 1 組單軸向力平衡加速度計，各加速度計規劃安裝的位置設定為距離橋面端錨 $0.06L \sim L/6$ 的範圍之間，但因現場實際執行安裝時，高空作業車搭載設備有其安裝高度限制，故安裝時仍會視實際可安裝位置調整至適當高度。此時安裝單一組加速度計之主要目的，在於取得鋼纜的振動加速度反應，再將加速度歷時訊號透過頻譜分析，得到各階模態頻率(f_i)，並搭配鋼纜模態檢測試驗所得到的有效振動長度(L)、鋼纜單位長度質量(ρA)，便可計算得到索力(T)。鋼纜加速度計設定之安裝位置需考量以下幾點因素：

1. 須避免安裝在離錨碇端 $0.06L$ 的範圍，以免量測訊號受到邊界效應干擾(如圖 4-1 所示)。
2. 須避免安裝在振型轉換點(零值)處，如圖 4-1 中紅色標記“ \oplus ”處，以避免該階頻率量測不到。
3. 由圖 4-1 顯示，如欲量測到前六階模態頻率，須避開振型轉換點，感測器配置範圍可直接佈設於 $0.06L \sim L/6$ 的範圍內。
4. 感測器安裝位置須考量日後維護便利性及失竊風險。
5. 安裝完成後，須確認測器是否有量測到，可用以計算索力的各階頻率，若量測所得頻率不明顯或有漏失，應更換安裝位置。

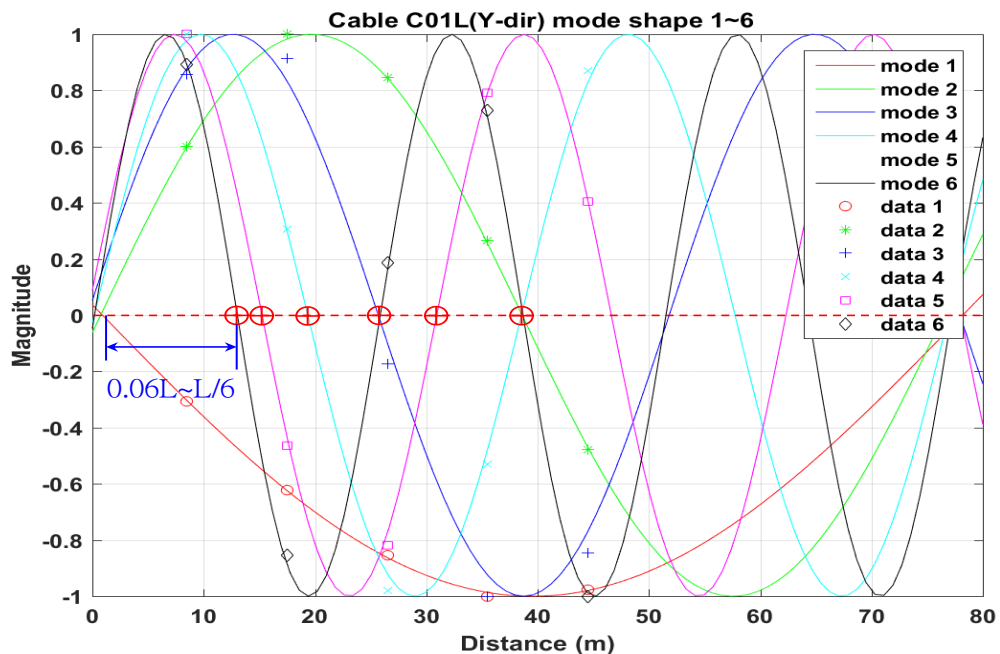


圖 4-1 前六階振型轉換點(零值)位置圖

本文鋼纜加速度訊號記錄方式為，每 5 分鐘記錄一筆資料，因採用的取樣率為 100 Samples/sec，故單筆加速度歷時資料點數為 $5 \times 60 \times 100 = 30,000$ 點，頻譜分析時採用 $2^{15} = 32,768$ 資料點數(點數不足處以補零方式處理)，進行頻譜分析，頻譜解析度可達 $100/32,768 = 0.003$ Hz。透過鋼纜模態檢測試驗取得之各階頻率(f_i)分布位置、有效振動長度(L)。索力即時監測部份[7]則透過「雙頻法[8~9]」索力計算公式，以兩個鋼纜主要頻率(f_n 、 f_p)，搭配鋼纜模態檢測試驗所得到的有效振動長度(L)及鋼纜單位長度質量(ρA)，撰寫自動化程式持續進行索力計算，並將計算所得的索力資料上傳至雲端監控網頁即時展示。其索力自動化計算流程如下圖 4-2 所示，使用之雙頻法索力計算公式如下：

$$T = 4(\rho A)L^2 \times \left[\frac{f_n^2 p^4 - f_p^2 n^4}{n^2 p^2 (p^2 - n^2)} \right] = 4(\rho A)L^2 \bar{f}_c^2$$

- f_n ：第 n 階頻率值
- f_p ：第 p 階頻率值
- ρ ：鋼纜質量密度
- A ：鋼纜斷面積
- L ：鋼纜有效振動長度

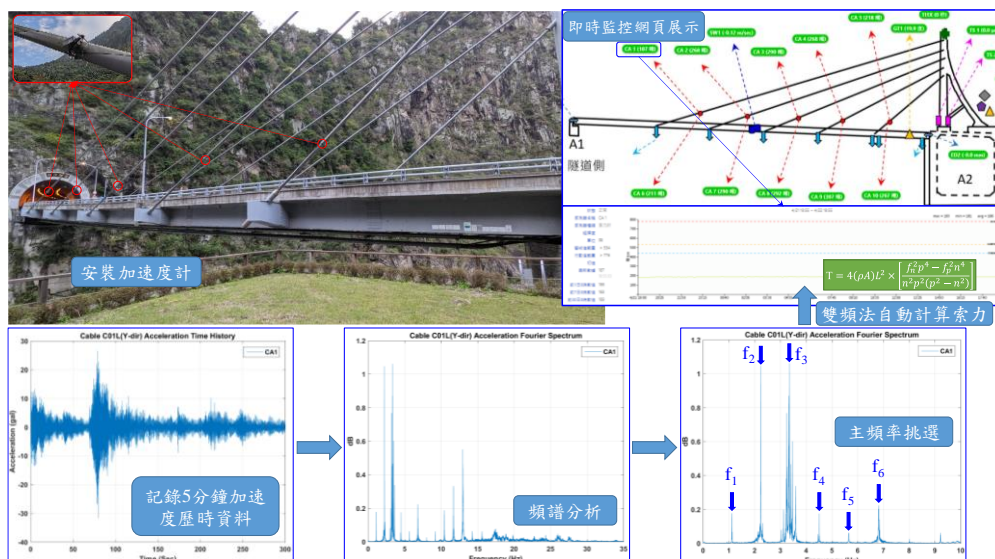
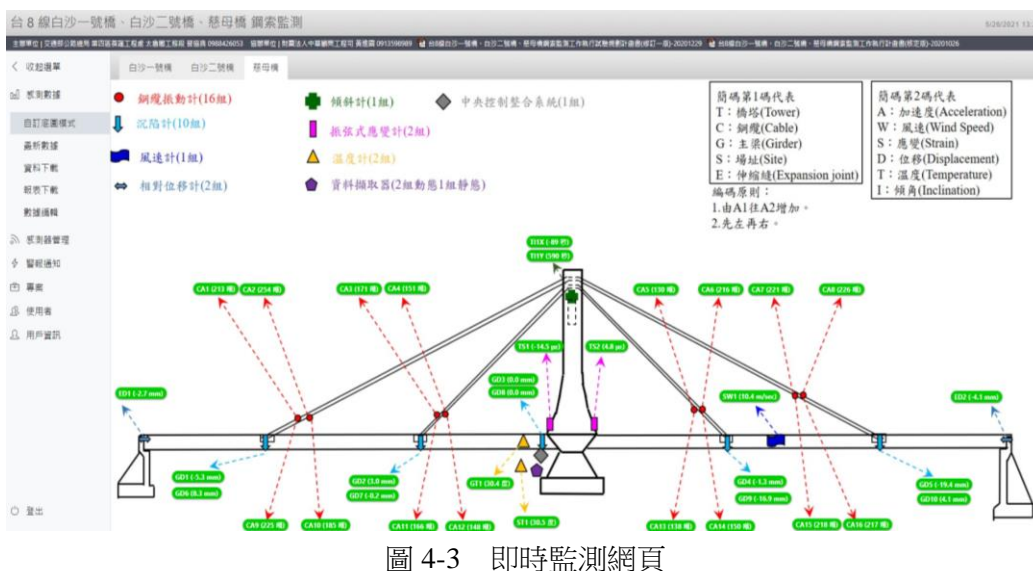


圖 4-2 鋼纜索力監測自動化程式計算流程圖

圖 4-3 為慈母橋監測網頁，各感測器監測數值配合感測器安裝位置，以圖形化的方式直接呈現，讓使用者可以依照感測器位置搭配結構力學概念，研判當下橋梁的狀況。感測器顯示狀況以四種燈號進行展示，綠色代表感測器正常、數值處於預警值範圍內。

另以黃色燈號代表監測數值超過所設定之預警值，橘色燈號代表監測數值超過所設定之警戒值，紅色燈號代表監測數值超過所設定之行動值，藉由燈號的設定讓使用者可以更直觀的瞭解該感測器所對應構件的現況，並且於訊號異常時做出適當的應變機制。



五、橋梁結構模型初步分析結果

根據白沙一橋、白沙二橋與慈母橋竣工圖所記載之材料強度及各構件斷面尺寸等資料(如表 5-1 所示)，採用結構分析軟體 Midas Civil 建立橋梁結構模型，並詳實模擬真實橋梁結構基本特性，期能藉由橋梁結構數值分析模擬過程，求取橋梁基本振動特性，以利與量測資料相互比對及勘誤驗證，並有效提升後續橋況推算之正確性。

表 5-1 結構分析模型設定材料參數

參數	白沙一橋	白沙二橋	慈母橋
混凝土強度 $f'c$ (kgf/cm ²)	245	245	240
鋼材(ASTM G.50)降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	3,500	3,500	3,500
鋼材(ASTM A36)降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	2,520	2,520	2,500
吊索型式(15.2mm ψ &15.24 mm ψ)	10T&12T	37T	16T&20T
吊索極限抗拉強度 $f's$ (kgf/cm ²)	19,000	19,000	19000
AC 重量(tf/m ²)	0.115	0.115	0.14
欄杆重量(tf/m)	0.16	0.16	0.02
緣石重量(tf/m)	0.594	0.594	0.93
管線(tf/m)	0.12	0.12	0.024

5.1 白沙一橋結構模型幾何條件

依據橋梁結構原竣工圖說標註尺寸，結構分析共建立約 380 個節點、528 個構件、2 個橋墩底面邊界條件與 4 個支承條件設定。此階段建立之數值模型以準確定義結構斷面，並將各斷面資訊與桿件進行鏈結，整體結構構件及邊界條件示意圖如圖 5-1 所示。白沙一橋之額外靜載重包含瀝青混凝土鋪面、混凝土緣石、欄杆等，瀝青混凝土鋪面係以面載重加載於結構數值模型，而混凝土緣石、欄杆與附加管線則以線載重加載於主梁兩側。吊索採用 15.2 mm ψ 低鬆弛鋼絞索設計，分析過程使用二力構件進行吊索預力之設定。模態分析得到白沙一橋行車(X)向、垂直行車(Y)向與鉛錘(Z)向參與質量及頻率如表 5-2 所示，其頻率分別為 6.532 Hz、2.295 Hz 與 1.613 Hz，模態振型如圖 5-1 所示。白沙一橋於靜載重作用下橋面之最大變位為 3.511 公分，剪力、彎矩、軸力分佈如圖 5-2 所示，由軸力圖顯示鋼纜均處於受拉狀態，確認鋼纜受力行為模擬正確無誤。

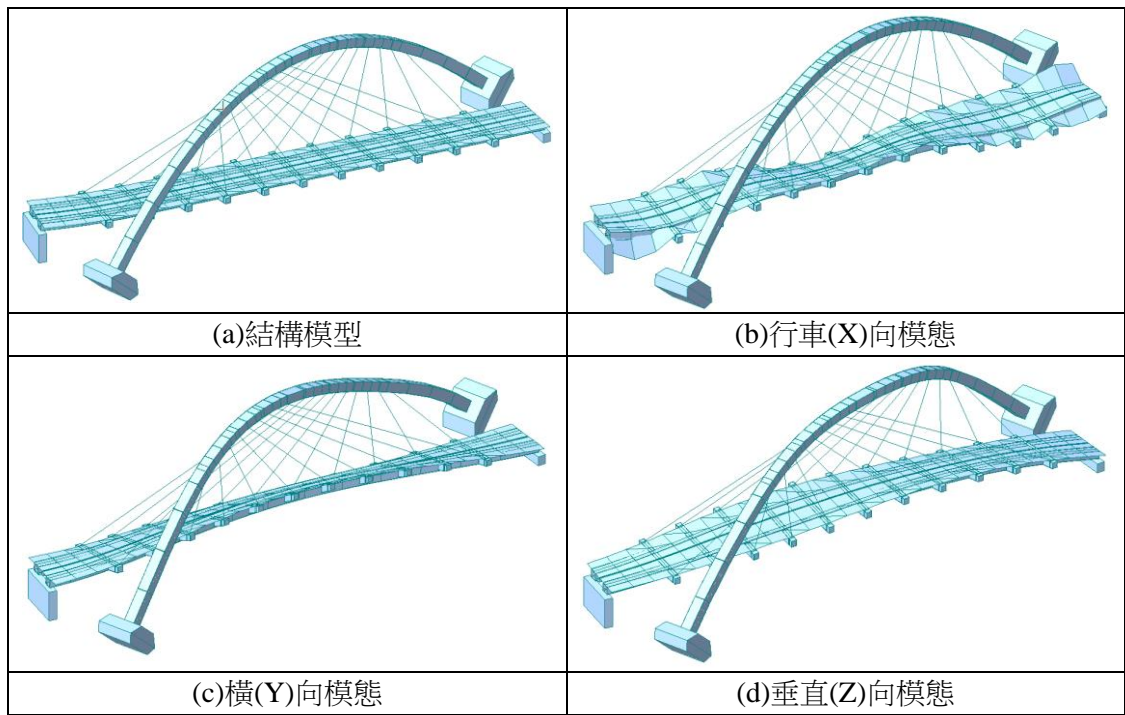


圖 5-1 白沙一橋結構節點與模態圖

表 5-2 白沙一橋模態分析結果表

模態數	參與質量 UX	參與質量 UY	參與質量 UZ	頻率(cycle/sec)
1	0.05	8.16	0.26	1.023
2	1.41	0.41	42.54	1.613
3	1.24	4.08	0.19	1.904
4	0.61	27.40	0.47	2.295
5	3.57	6.91	0.09	2.451
6	0.04	1.53	3.21	2.485

模態數	參與質量 UX	參與質量 UY	參與質量 UZ	頻率(cycle/sec)
7	0.53	0.00	0.69	2.905
8	1.49	0.01	0.09	4.009
9	0.14	0.00	0.41	4.755
10	5.06	1.03	0.05	5.001
11	7.71	1.12	0.43	5.264
12	0.01	0.30	0.35	5.558
13	5.43	0.00	0.02	5.748
14	1.41	0.00	0.06	5.965
15	12.31	0.07	0.63	6.532
16	6.89	0.09	0.49	6.839

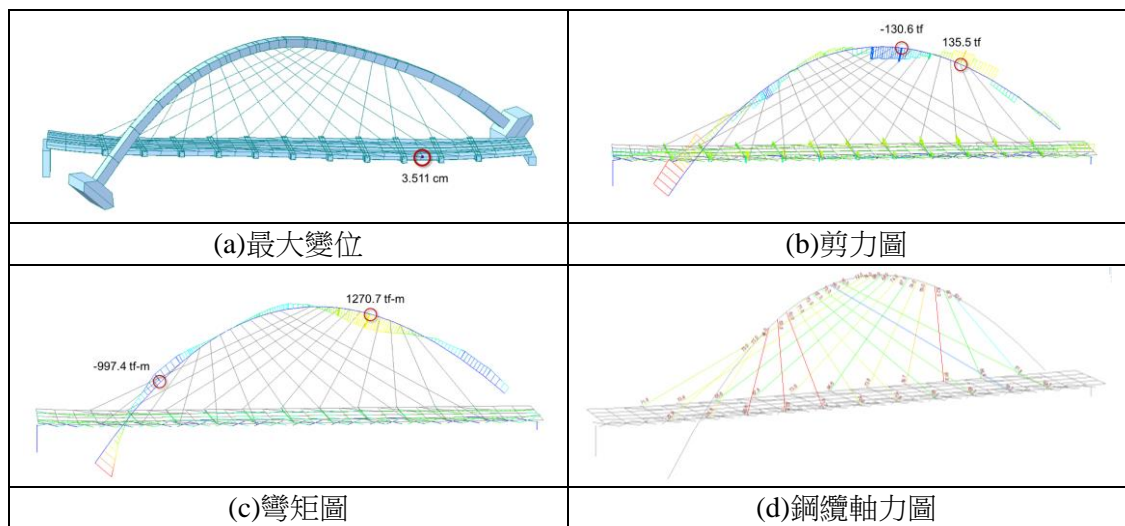


圖 5-2 白沙一橋靜載重作用下反應

5.2 白沙二橋結構模型幾何條件

依據橋梁結構原竣工圖說標註尺寸，結構分析共建立約 574 個節點、755 個構件、8 個橋墩底面邊界條件與 66 個支承條件設定。此階段建立之數值模型以準確定義結構斷面，並將各斷面資訊與桿件進行鏈結，整體結構構件及邊界條件示意圖如圖 5-3 所示。白沙二橋之額外靜載重包含瀝青混凝土鋪面、混凝土緣石、欄杆等，瀝青混凝土鋪面係以面載重加載於結構數值模型，而混凝土緣石、欄杆與附加管線則以線載重加載於主梁兩側。吊索採用 15.2 mm ψ ($A=138.7 \text{ mm}^2$) 低鬆弛鋼絞索設計，分析過程使用二力之構件進行吊索預力之設定。模態分析得到白沙二橋行車(X)向、垂直行車(Y)向與鉛錘(Z)向參與質量及頻率如表 5-3 所示，其頻率分別為 8.673Hz、2.932 Hz 與 0.861 Hz，模態振型如圖 5-3 所示。白沙二橋於靜載重作用下橋面之最大位移為 19.067 公分，剪力、彎矩、軸力分佈如圖 5-4 所示，由軸力圖顯示鋼纜均處於受拉狀態，確認鋼纜受力行為模擬正確無誤。

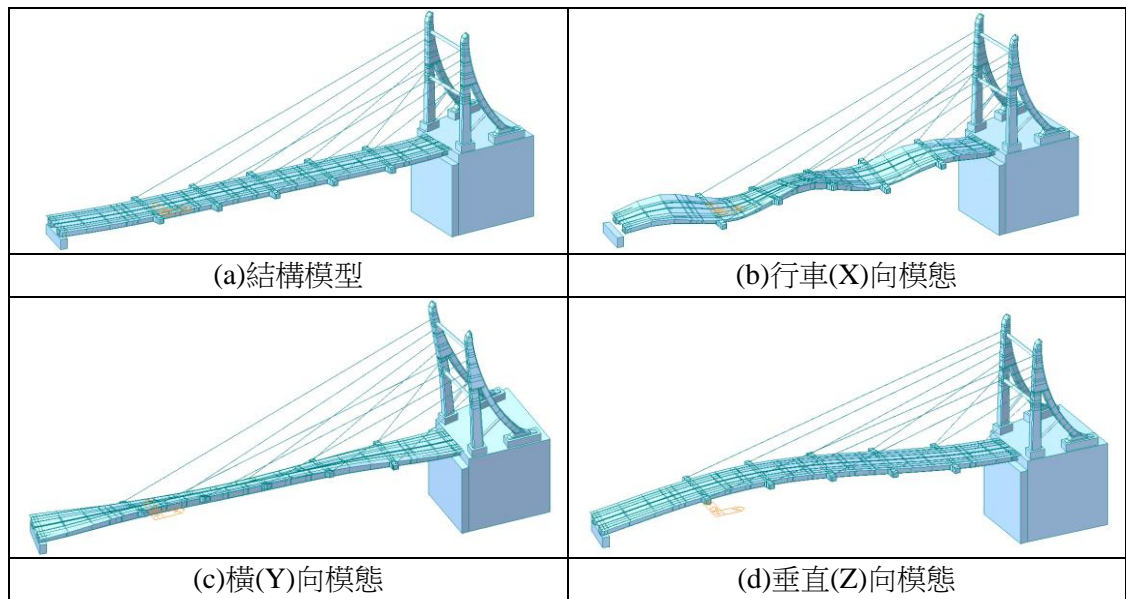


圖 5-3 白沙二橋結構節點與模態圖

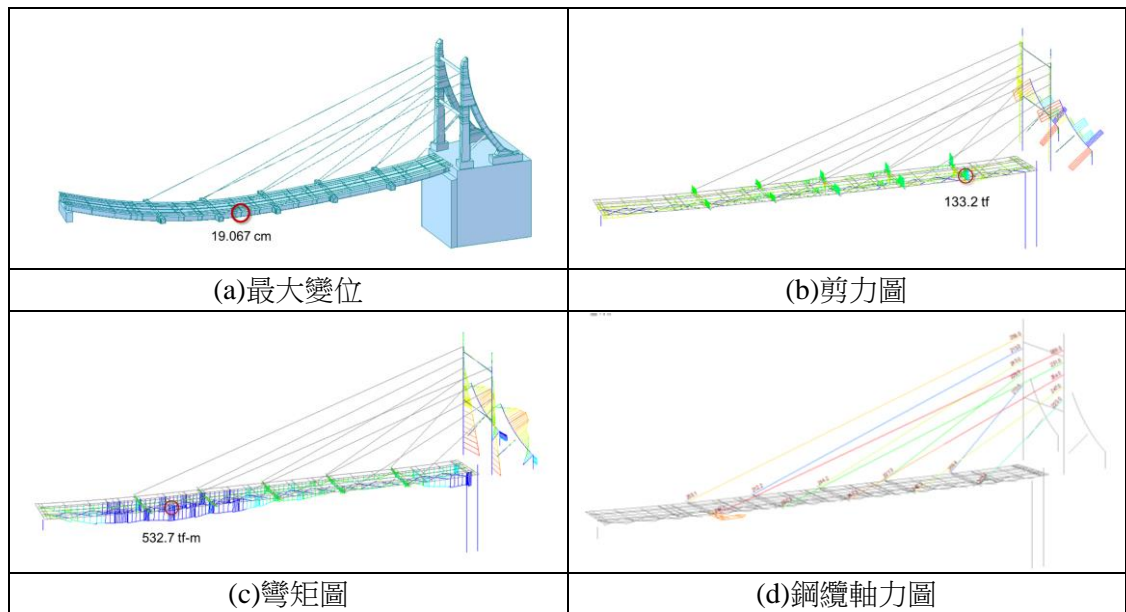


圖 5-4 白沙二橋靜載重作用下反應

表 5-3 白沙二橋模態分析結果表

模態數	參與質量 UX	參與質量 UY	參與質量 UZ	頻率(cycle/sec)
1	0.02	0.02	62.26	0.861
2	0.12	0.00	3.07	1.795
3	0.02	28.14	0.07	2.710
4	0.32	42.89	0.29	2.932
5	0.00	0.01	0.50	3.104
6	0.31	0.20	7.57	3.306

7	0.20	0.05	0.03	5.187
8	1.43	0.00	0.03	5.436
9	1.24	0.02	0.00	6.908
10	0.16	0.45	0.06	7.573
11	17.99	0.00	1.32	7.889
12	48.20	0.01	0.83	8.673
13	0.29	0.02	0.01	9.914
14	0.91	0.00	0.00	11.093
15	0.38	8.10	0.00	11.904
16	0.19	2.60	0.00	12.258

5.3 慈母橋結構模型幾何條件

依據橋梁結構原竣工圖說標註尺寸，結構分析共建立約 1,100 個節點、1,364 個構件、4 個橋墩底面邊界條件與 6 個支承條件設定。此階段建立之數值模型以準確定義結構斷面，並將各斷面資訊與桿件進行鏈結，整體結構構件及邊界條件示意圖如圖 5-5 所示。慈母橋之額外靜載重包含瀝青混凝土鋪面、混凝土緣石、欄杆等，瀝青混凝土鋪面、混凝土緣石、欄杆與附加管線皆以面載重加載於橋面板上。吊索採用 15.24 mm φ (A=138.7 mm²) 低鬆弛鋼絞索設計，分析過程使用二力之構件進行吊索預力之設定。模態分析得到慈母橋行車(X)向、垂直行車(Y)向與鉛錘(Z)向參與質量及頻率如表 5-4 所示，分別為 8.321 Hz、3.122 Hz 與 1.884 Hz，模態振型如圖 5-5 所示。慈母橋於靜載重作用下橋面之最大位移為 2.10 公分，剪力、彎矩、軸力分佈如圖 5-6 所示，由軸力圖顯示鋼纜均處於受拉狀態，確認鋼纜受行為模擬正確無誤。

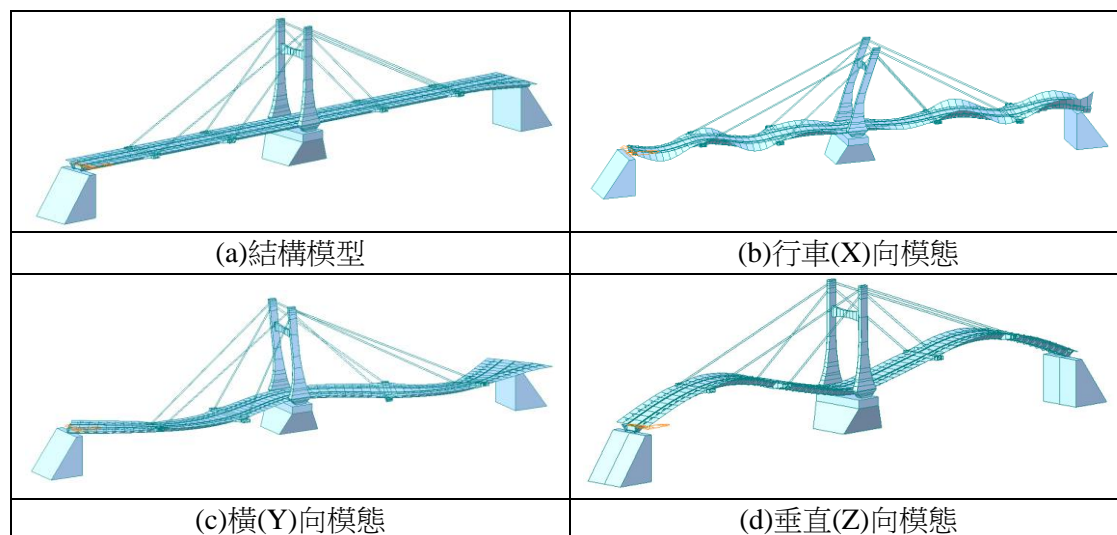


圖 5-5 慈母橋結構節點與模態圖

表 5-4 慈母橋模態分析結果表

模態數	參與質量 UX	參與質量 UY	參與質量 UZ	頻率(cycle/sec)
1	0.01	0.00	0.07	1.442
2	0.00	0.00	69.84	1.884
3	0.01	0.34	0.00	2.926
4	0.00	7.92	0.00	2.998
5	0.01	65.64	0.00	3.122
6	0.08	0.04	0.03	3.229
7	0.00	0.00	1.30	3.579
8	0.37	0.00	0.02	5.141
9	0.00	0.00	10.21	5.531
10	0.00	0.00	0.00	5.740
11	0.00	0.00	0.00	6.647
12	0.67	0.02	0.00	7.266
13	7.42	0.01	0.00	7.435
14	0.00	0.00	0.00	7.849
15	0.09	0.00	0.01	8.096
16	53.97	0.02	0.00	8.321

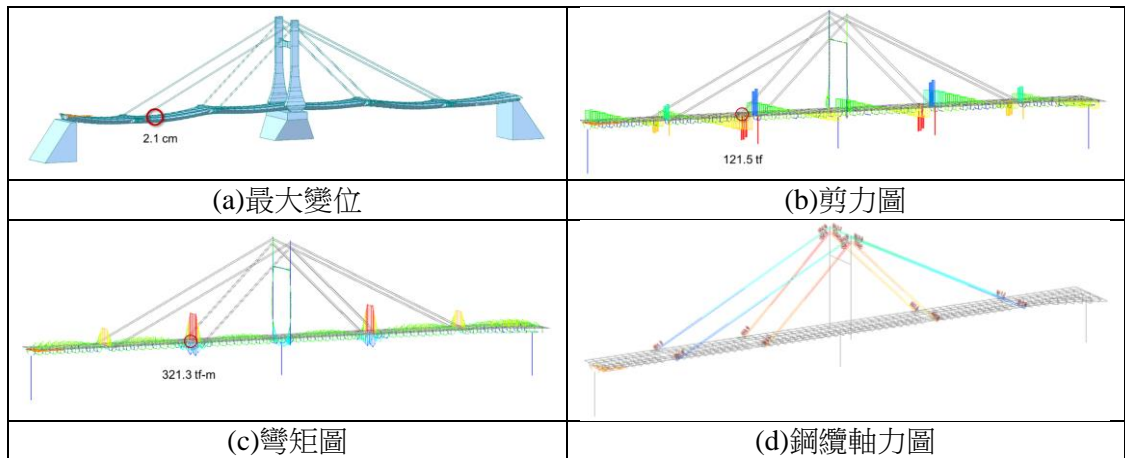


圖 5-6 慈母橋靜載重作用下反應

六、結論與後續研究工作

本文主要針對台 8 線白沙一橋、白沙二橋與慈母橋等三座橋梁，說明監測系統的規劃內容、採用加速度計監測索力、位移計監測伸縮縫變化、沉陷計監測大梁垂直向位移、傾斜計監測橋塔/拱肋的傾斜趨勢、應變計監測橋塔/拱肋底部應變、風速計監測橋址風速、溫度計監測大氣與鋼箱內溫度，並透過無線網路將監測資料即時傳輸至雲端監測網頁平台。

針對鋼纜索力部分，採用鋼纜模態檢測試驗量取鋼纜之多點同步振動訊號，運用三角函數擬合模態分析取得之振型，求取其有效振動長度，再搭配等效簡支梁法進行索力

計算，分析結果如表 3-2、表 3-3、表 3-4 所示，然比對設計與竣工資料，其中因慈母橋年代較為久遠，已無法比對；而白沙一橋、白沙二橋竣工值與試驗分析結果有較明顯差異，由於導致兩者差異的可能因素甚多，然使用雙頻法計算之索力監測值與鋼纜模態檢測試驗分析索力值並無明顯差異，故建議後續索力監測以此次的量測值做為基準點，作為持續追蹤鋼纜狀況的初始參考值。

文章最後敘述三座橋梁之結構分析模型建置方式，及結構模型之模態分析與靜載重作用下之初步分析成果，初步模擬結果顯示行車(X)向、垂直行車(Y)向與鉛錘(Z)向分別為白沙一橋 6.53 Hz、2.29 Hz 與 1.61 Hz；白沙二橋 8.67Hz、2.93 Hz 與 0.86 Hz；慈母橋 8.32 Hz、3.12 Hz 與 1.88 Hz。

後續將針對結構模型進行調校，其調校之依據為橋梁微振量測與載重試驗之成果，並搭配長期監測數據、參考原始設計資料及公路橋梁設計規範相關規定，進行管理值之研擬與滾動式調整。

參考文獻

1. 陳建州、吳文華(2013)。以微振法精確量測斜張鋼纜索力之關鍵技術，第八屆公共工程非破壞檢測技術研討會，臺南，2013 年，第 145-154 頁。
2. 吳文華、陳建州、王乙任(2016)。以微振法量測斜張鋼纜索力之目標頻率選用。結構工程，第 31 卷，第 4 期，第 88-105 頁。
3. Chen CC, Wu WH, Leu MR, Lai G. Tension determination of stay cable or external tendon with complicated constraints using multiple vibration measurements. *Measurement* 2016;86:182–95.
4. 吳文華、陳建州、陳欣怡(2017)。根據多點微振量測進行不同類型纜索之精準索力估算。第十屆公共工程非破壞檢測技術研討會，臺北市。
5. Chen CC, Wu WH, Chen SY, Lai G. A novel tension estimation approach for elastic cables by elimination of complex boundary condition effects employing mode shape functions. *Eng Struct* 2018;166:152–66.
6. 陳建州、吳文華、陳欣怡、賴國龍(2020)。結合振型之微振索力估算法中量測點位配對精度的影響。結構工程，第 35 卷，第 3 期，第 99-117 頁。
7. 黃進國、葉啟章、王正中、鄭書恒、邱毅宗、黃秋揚、陳嘉盈(2016)。橋梁安全監測系統介紹—以芙谷峯橋為例。土木水利，第 43 卷第 1 期，第 41-47 頁。
8. 余志鵬、巫文勝、許耿蒼、江支弘、鄭家齊(2014)。以繩索張力公式推估預力鋼索時的長度計算修正。中華民國第十二屆結構工程研討會暨第二屆地震工程研討會，高雄，pp.1612。
9. Chih-Peng Yu, “Tension prediction for straight cables based on effective vibration length with a two-frequency approach,” *Engineering Structures*, 222, 2020, p.1 ~ p.13.

臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 111 年 1 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：社團法人中華民國領航弱勢族群創業暨就業發展協會

地 址：10859 臺北市萬華區西園路二段 261 巷 12 弄 44 號 1 樓

電 話：(02)2309-3138

中華民國 111 年 1 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123 轉 8008)

半年新臺幣 150元
一年新臺幣 300元
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)
帳號(共14碼)：1 2 2 9 7 1 0 2 1 0 8 0 1 9
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN2004100003

定價新臺幣30元