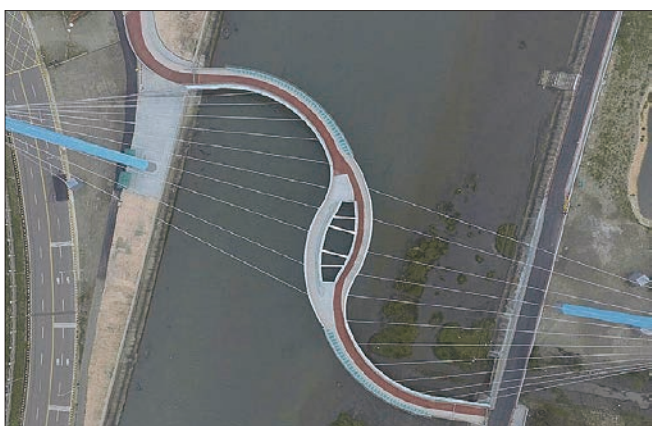


# 土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

June  
2017



ISSN 0253- 3804



NT\$300



Volume 44, No. 3

社團法人  
中國土木水利工程學會 發行  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

橋梁工程

專輯

木鐸集

土木工程與  
希臘文明的  
生與死

CICHE  
READY TO GO!

學會資訊看板



CECI



台灣世曦

工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



桃園國際機場捷運·A1車站竹林流瀑



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號

No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN

Tel:(02) 8797-3567 Fax:(02) 8797-3568

http://www.ceci.com.tw E-mail:pr@ceci.com.tw

用心  
做好每一件事情

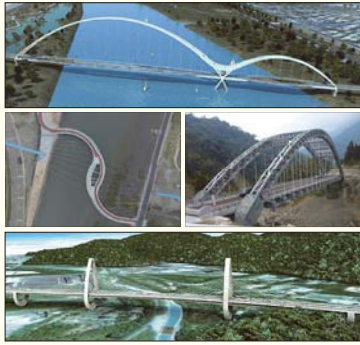
匠心，才得以淬煉「專業」品質  
誠心，才足以貫徹「人本」信念  
悉心，才可以恢宏「關懷」情操

台灣世曦永遠以「心」為出發  
持續履行對土地、對人民不變的承諾  
一個環境永續的生態樂園  
一個幸福溫馨的生活家園



# 土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



(上) 新月橋  
(中左) 高美濕地景觀橋  
(中右) 科子林橋  
(下) 白米景觀橋

## 土木水利半月集

### 先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

### 永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

### 國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

### 教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

### 學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

### 出版活動

- 中國土木工程學會會刊
- 土木水利半月集

### 分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水部分會
- 土水東部分會

發行人：呂良正

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：宋裕祺 (國立台北科技大學土木工程系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

副主任委員：王華弘 (明新科技大學土木工程與環境資源管理系副教授)

委員：王昭烈、何泰源、李順敏、李維森、林鎮洋、徐景文、曾昭衡、曾惠斌、黃尹男、廖肇昌、劉格非、鄭家齊、謝尚賢

(依姓氏筆劃排序)

定價：每本新台幣300元、每年六期共新台幣1800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

## 社團法人中國土木工程學會第二十二屆理監事

理事長：呂良正

常務理事：曹壽民 張荻薇 楊偉甫 歐善惠

理事：王昭烈 朱旭 李元唐 宋裕祺 沈景鵬 林其璋 吳瑞賢  
胡宣德 高宗正 莫若楫 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 陳國慶  
廖學瑞 歐來成 劉恒昌 謝啟蕙

常務監事：周南山

監事：李建中 李順敏 林志棟 張培義 楊永斌 壽克堅

秘書長：倪惠妹

## 中國土木工程學會任務

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

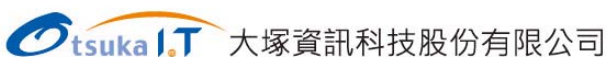
土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

## 中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

## 橋梁工程專輯 (客座主編：林曜滄總工程師)

- 專輯序言：新形態、新技術、新工法 — 創新的台灣橋梁工程 林曜滄 4
- 鋼箱梁參數化三維建模 — 以三鶯大橋改建工程為例 曾榮川／陳政雄／李育謙／吳淑珍 6
- 華倫式桁架橋之設計與施工 — 以新北市國芳橋為例 林曜滄／張志斌／溫俊明／陳政雄／賴駿仁 12
- 美濃地震台86線24號橋震後災害橋梁橫移復位介紹 黃炳勳／蔣啟恆／陳彥豪 20
- 工程碳足跡盤查發展及成果介紹 — 以臺9線南迴公路安朔草埔段為例 陳保展／黃炳勳／蔣啟恆／劉 珊／湯允中／許肇安 28
- 新北市淡水河流域跨河休憩景觀橋工程 — 新月橋及星光橋設計與施工 楊政儒／吳彥毅／顏伸和／袁正平／劉敬德 42
- 台9線蘇花改白米景觀橋之設計與施工 邵厚潔／林廷彥／王正中／林煒龍／劉永輝／王志軒 54
- 雙索面脊背橋之規劃與設計案例介紹 蔡伯中／賴順政／孫維政 68
- 橋梁工程與藝術美學之關係 李仲彬 78
- 大跨度曲線人行橋之設計與施工 — 高美濕地景觀橋 闕山仁／郭中天 86
- 山區災害復建橋梁之設計與施工實務探討 葉昭雄／林永福／楊世仲 96
- BIM在橋梁工程的應用 — 以家源橋為例 王茲為／石晉方／廖吳章 108



大塚資訊科技是台灣最大的CAD/CAM 產業上櫃公司，也是台灣唯一歐特克白金級全產品代理商。二十年來深耕在各產業，以「服務深度塑造產品價值」的企業精神，提供客戶產業最佳解決方案、跨業整合創新思維。以堅定的信任關係與客戶齊頭並進、以扎實的顧問實力協助客戶邁向成功，是我們一貫的任務與信念。

## 全方位解決方案 營建業 - 產品 / 服務最佳供應商

### BIM 解決方案

提供客戶從工程規劃 / 設計到施工 / 營運全生命週期的BIM工具與系統，讓您在BIM潮流中無往不利。

### 視覺化 解決方案

代理Fuzor、Enscape、V-Ray等Revit外掛軟體，讓您的設計可以輕鬆快速的轉化為擬真圖像，並提供您BIM+VR/AR的全面進化，提升企業核心競爭力。



### CIM 解決方案

在基礎建設 / 交通運輸等公共工程的BIM步伐大步邁進之際，協助您基於CIM的架構下，穩健、快速的轉型為趨勢的領先者。

### 工程影像 解決方案

• 3DR Solo & Site Scan - 提供現場空拍資料和影像成型之統整方案。  
• Brinno - 縮時攝影相機長期工程紀錄，方便檢視施工過程及進度管理。



## 本輯集：土木與文明

📖 土木工程與古文明生死關鍵的個案分析

六、土木工程與希臘文明的生死關鍵

洪如江 114



## 學會資訊看板

📖 亞洲土木工程聯盟第三十二屆執行委員會尼泊爾加德滿都會議紀實 謝啟萬／王華弘／鄭錦桐 124

📖 BRAVO! Nepal FLF! READY TO GO! 徐梓隆 130

## 廣告特搜

福清營造股份有限公司 — 多元服務·基業長青	封底
台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 用心 做好每一件事情	封面裡
黎明工程顧問股份有限公司 Liming Engineering Consultants Co., Ltd.	封底裡
大塚資訊科技股份有限公司 — 全方位解決方案	2
中興工程顧問股份有限公司 — 用技術落實對安全及永續的執著	19
行政院農業委員會水土保持局 — 106年水土保持創新教具徵選活動	26
交通部鐵路改建工程局 — 高架鐵路咫尺現 新塑臺中天際線	27
臺北市政府捷運工程局 — 臺北捷運建設30年	77
美商傑明工程顧問 台灣分公司／美華環境科技 — 全球頂尖的全方位綜合服務企業	94
暉恩有限公司 — 不鏽鋼螺紋錨栓	95
經濟部水利署南區水資源局 — 曾文水庫防淤隧道	107
經濟部水利署南區水資源局 — 防颱準備好 災損自會少	107
榮工工程股份有限公司 — 信譽卓著 品質保證 專業團隊 與您夢想起飛	113
中華工程股份有限公司 — 營造希望 建設幸福	135
上益營造有限公司 — 實事求是 按步就班 穩定成長	136





專輯序言

# 新形態、新技術、新工法 創新的台灣橋梁工程

專輯客座主編 林曜滄／台灣世曦工程顧問股份有限公司 總工程師

本期專輯主要探討隨著科技日益進步，橋梁工程之設計及施工透過新技術之實際運用，展現求新求變之橋梁工程技藝，藉由實際完成之新橋型、新工法及創新橋梁紀錄之案例，一窺橋梁技術精進之方向與內涵。

曾榮川協理等人撰寫「鋼箱梁參數化三維建模——以三鶯大橋改建工程為例」一文，研析 BIM 在橋梁與建築應用上的差異及所面臨的課題，並提出 BIM 應用在橋梁工程上之具體作法，以實際案例之參數化建模成果驗證其正確性與效率。協助發展橋梁設計的交換數據模型，促進橋梁工程師逐步採用 3D 設計，自動產生分析模型及調整設計資料，達成精確化及可視化之目標。

林曜滄總工程師等人撰寫「華倫式桁架橋之設計與施工——以新北市國芳橋為例」一文，探討採用復古風的華倫式桁架橋型，以具有在地早期採礦台車之意象元素，融入人文環境與創造特色地標，使用桁架橋與生俱有之大跨度跨越障礙之能力，減少河中落墩配置，以符合河段治理計畫需求。

黃炳勳資深協理等人撰寫「美濃地震台 86 線 24 號橋震後災害橋梁橫移復位介紹」一文，介紹國內第一座震損之多跨連續 PC 橋梁，經過緊急支撐，避免二次災害或災損擴大，並全面橋梁檢測評估後，大梁橫移復位後先階段性通車的案例，說明在震後的調查及

緊急復建工作中盤式支承更換、大梁頂升復位的規劃及耐震補強方案的選擇。相關的補強設計皆以短期恢復通車為主要考量，橫移復位工法的寶貴經驗可提供工程界參考。

黃炳勳資深協理等人撰寫「工程碳足跡盤查發展及成果介紹——以臺 9 線南迴公路安朔草埔段為例」一文，說明工程碳盤查之各項工作與初步成果，包含細部設階碳排放量推估、施工階段碳足跡輔導及盤查、查證、碳排放量彙整及碳匯變化量調查等。依實際碳足跡盤查及碳匯變化量調查結果，提出本工程全生命週期碳排放量盤查報告，建立本土化之產品碳排放係數及工程碳足跡參數。

劉敬德副總經理等人撰寫「新北市淡水河流域跨河休憩景觀橋工程——新月橋及星光橋設計與施工」一文，敘述兩座人行與自行車休憩景觀橋特色，新月橋主橋採不對稱雙鋼繫拱橋，橋面採變寬及部分開孔設計，橋型線條輕巧簡潔，展現猶如新月般優美曲線。星光橋為單斜塔斜張橋，結合橋面線形採曲線及變寬設計，整體橋型充分展現力與美之結合。

邵厚潔處長等人撰寫「台 9 線蘇花改白米景觀橋之設計與施工」一文，以國內橋梁工程首座採用之具有波形鋼腹板脊背橋為案例，就景觀橋工程特色、規劃設計重點、若干施工關鍵議題與工程施工規劃及執行概要等說明，將經驗回饋橋梁工程領域之產、官、



學界等，對於國內此類橋梁規劃設計與施工技術之提升有所助益。

賴順政經理等人撰寫「雙索面脊背橋之規劃與設計案例介紹」一文，介紹兩座脊背橋，包括屏東車城福安大橋及龜山大橋結構分別採二跨及三跨連續型式，為國內首座將塔柱設置於橋面二側之雙索面脊背橋。橋塔造形融入海洋節肢動物意象，橋塔及纜索設置夜間景觀照明，並於橋面鄰海側設置人行及自行車道，此兩座景觀橋將成為當地重要觀光景點。

李仲彬理事長撰寫「橋梁工程與藝術美學之關係」一文，說明隨著現代社會日常生活審美觀點多樣化的趨勢，使得橋梁設計除了結構安全性，同時必須融入更多的藝術美學與文化特質等相關元素，而且橋梁具有公共性的特殊魅力，因此優雅的橋梁型態將成為展現在地人文環境之特有傳統的象徵。

關山仁技師等人撰寫「大跨度曲線人行橋之設計與施工－高美濕地景觀橋」一文，敘述橋梁配合推動台中市政府海線雙星的觀光發展政策，並呼應當地特有生態環境與景觀特色，採用雙弧線、雙橋塔之斜張橋設計，為國內首創之橋型。本橋位於台中市清水高美溼地濱海區域，全橋進行了風洞試驗，以確保相關結構之安全性。由於工區緊鄰生態保護區域，施工期間的相關環境監測作業，瞭解現場施工條件，研擬最妥適的施工對策，供工程界參考。

葉昭雄前局長等人撰寫「山區災害復建橋梁之設計與施工實務探討」一文，闡明山區橋梁之復建工程變化性高及施工性不佳，需有詳實調查。山區道路橋梁跨越土石流潛勢溪流，復建規模應妥善規劃，以防災、避災為最高原則，局部改線可納入考量，兼顧環境及景觀需求。橋梁要儘量抬高及溪流中不落墩，以避開洪水、土石流的威力。

廖吳章處長等人撰寫「BIM 在橋梁工程的應用：以家源橋為例」一文，藉由宜蘭縣大同鄉家源橋改建工程設計專案的執行為例，將 BIM 導入橋梁設計各階段，了解 BIM 現有軟體之極限及套用在橋梁工程之侷限與效益，並回饋至業主、設計顧問、承包商及軟體開發商，提供推動 BIM 導入未來公共工程之實用參考。

橋梁工程之規劃設計，除安全、經濟、交通功能外，更要面對與考量的是防災設計思維、震後快速安全檢測、耐震評估與補強、維護與管理等課題。另外橋梁與環境之融合與美化、防災與延壽之策略，面對未來日益嚴苛的天然災害及環境挑戰，提昇橋梁工程品質及防災功能，以提供居民更便利及安全的生活空間為目標。

本期專輯匯集在橋梁設計與施工所累積的工作心得與技術成果，期盼與工程先進分享。藉由新思維、新技術的交流，重視橋梁全生命週期的每一個環節，營造高效率與高品質的永續橋梁工程。🏗️





# 鋼箱梁參數化三維建模

## — 以三鶯大橋改建工程為例

### The Parametric 3D Modeling Apply to Steel Box Bridge — Take Sanying Bridge Reconstruction For Example

曾榮川／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第一結構部協理

陳政雄／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第一結構部正工程師

李育謙／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第一結構部工程師

吳淑珍／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第一結構部副理

由於工業 4.0 浪潮已將傳統營造產業推向轉型的臨界點，在守舊與維新的交鋒需要有領航員找出最佳的航道。目前為止 BIM 被視為營造業進入這波工業革命的風向球，誰能掌握風起就能掌舵。迄今建築 BIM 逐漸成熟，惟橋梁工程難移植建築經驗，研析 BIM 在橋梁工程應用上與建築物的差異及所面臨困境，並具體提出 BIM 在橋梁工程應用上應有之作法，本文同時介紹以工程師設計語彙與邏輯導向之參數化 BIM 快速建模前處理程式，冀望打破以往工程師對於橋梁 BIM 建模的囹圄，並以實際案例成果加以驗證其正確性與效率。結果顯示，以工程師設計語彙參數化作為資料輸入方式，並經由程式進行繁複計算及存成後續 BIM 模型使用之格式，確實發揮快速 BIM 建模的目標，大幅降低 BIM 建模成本及縮短短期程，發揮 BIM 在橋梁工程的應用與效益。對於 BIM 在橋梁工程之應用推展及效益的發揮將有很大的助益，提供業界同仁參考。

## 前言

近年來物聯網發展迅速，當德國提出工業 4.0 概念與政策後，引發全球智慧製造新浪潮。物聯網首重數據交換能力，此對於土木工程造成重大衝擊。傳統 2D 圖紙展現設計成果，不易於資訊傳遞。因此營造業轉向提高設計維度，以 3D 數位模型裡加入連動數據。同時擬定數據交換格式，確保數據交換可行性，以朝向智慧設計、製造、營建、維管之全生命週期領域邁進。此概念最早發展於建築，因此稱之為 BIM (Building Information Model)，演進示意如圖 1。BIM 以終為始的

設計概念，在設計階段採放樣精度建構模型，兼顧後續資訊傳遞的延續性。目前漸漸出現支援橋梁工程的商用軟體，惟建模缺乏多箱梁及導線不平行等常見橋型，在鋼箱梁設計尚未達商用水準。有鑑於此，自行開發建程式乃簡單可行的方案，解決等待商用軟體發展成熟前履約能力不足的困境。考慮第三方開發與資訊交換的前提，選用的建模軟件除需考量承載幾何、材質等…基本訊息外，還需有 API (Application Program Interface) 擴充能力，配合外掛程式達成參數化自動建模目的。

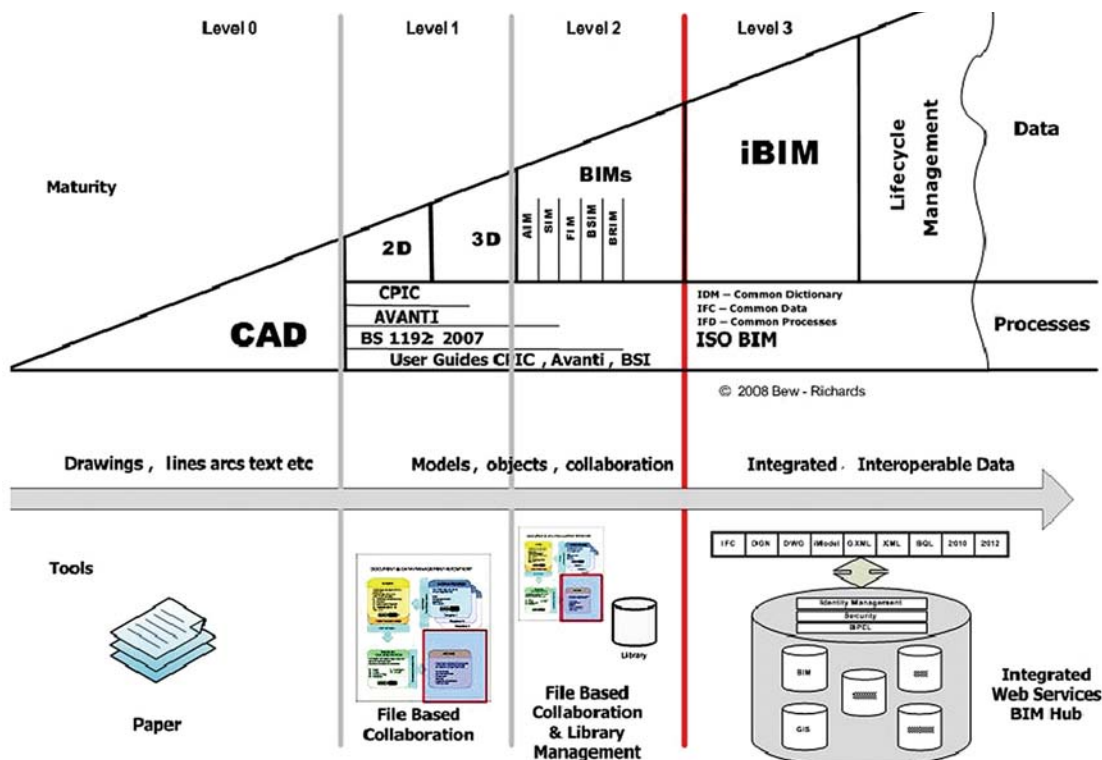


圖 1 BIM 發展階段示意圖<sup>[1]</sup>

### 橋梁 BIM 發展迷思

BIM 在建築與橋梁的差異在於數據模型交換類別（詳表 1）。建築梁柱構件幾何複雜度低，BIM 可採 Frame-Frame 數據交換模式，在元素中附加設計資料並稱之為 BIM。橋梁工程構件幾何複雜度高，必需以 Curve-Frame 數據交換才能保留設計參數。然而目前橋梁 BIM 軟件主要以施工放樣模型為主，以大地座標放

樣建置鋼板後便失去連結設計參數的重要資訊，這就是為何許多橋梁工程師不願接受以建築觀點所發展之 BIM 的主要原因。像 Solid、Shell 幾何之通用 BIM 模型僅適用於 3D 列印、機械設備、航太工業、動畫工業等領域，橋梁只應用在特殊構件局部應力集中檢查、橋梁外觀規劃模型等，因此橋梁工程師誤以通用 BIM 來設計橋梁會讓自己陷入圈套中。

表 1 BIM 模型與分析模型數據交換類別

用途	BIM 元件	圖例	分析模型	圖例	說明
建築 BIM	Frame		Frame		構件用 2 點座標定位，建築 BIM 模型可以 Frame-Frame 互轉分析模型。
橋梁 BrIM	Curve		Frame		橋梁採用道路工程 Curve 元件，外掛程式 API 加入自定義設計資料，能自動轉換至 Frame 分析模型。
無	Shell		Frame		沒必要開發 AI 人工智慧，通用 Shell 模型無法轉換 Frame 分析模型。
通用 BIM	Shell		Shell		若採通用 BIM 模型設計鋼箱梁，只能用 Shell-Shell 交換至分析模型。



### Shell 運算需求高

圖 2 為鋼箱梁常見尺寸，Frame 構件展為 Shell 構件後變成 304 片 Shells，版元素的自由度為梁元素的 2 倍（詳圖 3），活載重影響線所需儲存的空間增加 608 倍，勁度矩陣大小增加為 369,664 倍，一般電腦難以負荷。

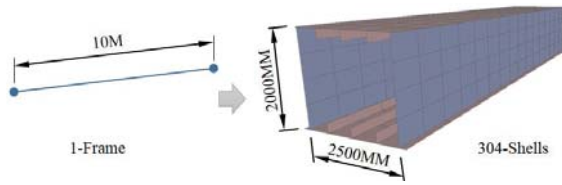


圖 2 Frame 展開 Shells

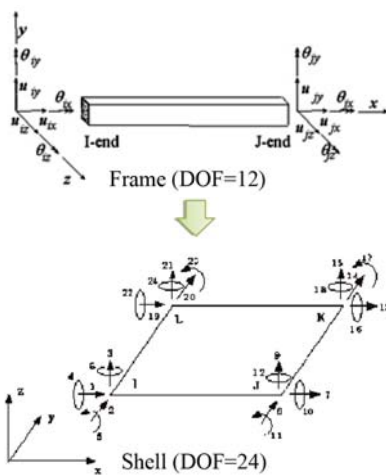


圖 3 構件自由度

### Shell 應力檢核風險

我國鋼構規範之檢核對象為斷面內力，所有安全係數均隱含各式載重下鋼構材韌性容量，檢核對象為 Frame 模型斷面應力。若採用 Shell 模型分析，需依斷面應力積分取平均值檢核，在 Mesh 後的 Shell 元素不易自動化計算斷面積分，若人工檢核容易發生人為盲點。

### Shell Mesh 健康度檢查

常見 Mesh（網格）Node（節點）不重合問題如圖 4，此為 Auto Mesh 後最常見錯誤；其次為元素形狀盡量避免形成狹長形或銳角形造成數值不穩定。因此在選用 BIM 軟體時，應注意其自動轉換 Shell-Shell 成熟度。

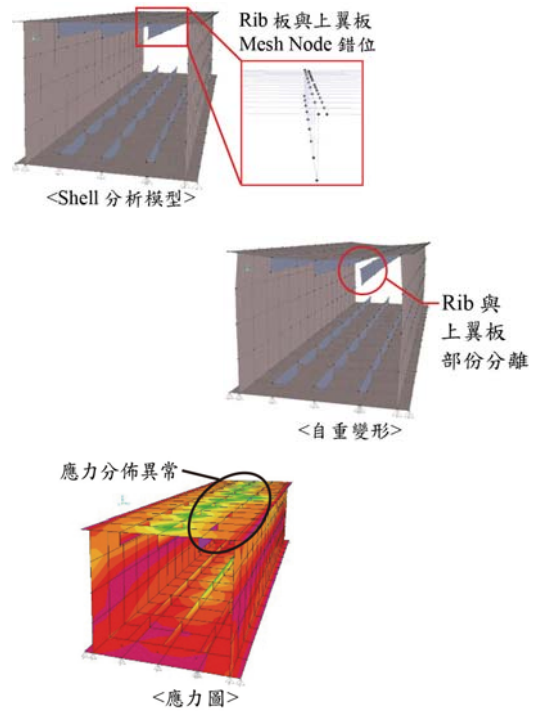


圖 4 Shell Mesh 風險 — Nodes 不協調

### BIM 橋梁發展結論

橋梁採通用 BIM，由於 Shell-Shell 對電腦處理效能、儲存容量與規範檢核皆不易克服，因此我們必需找另一套可行方案，例如採用 Civil 3D 這類擁有道路工程 Curve Base 導線功能的軟體，配合自行開發的外掛程式（API），依設計橋型建立專用設計參數，如圖 5。

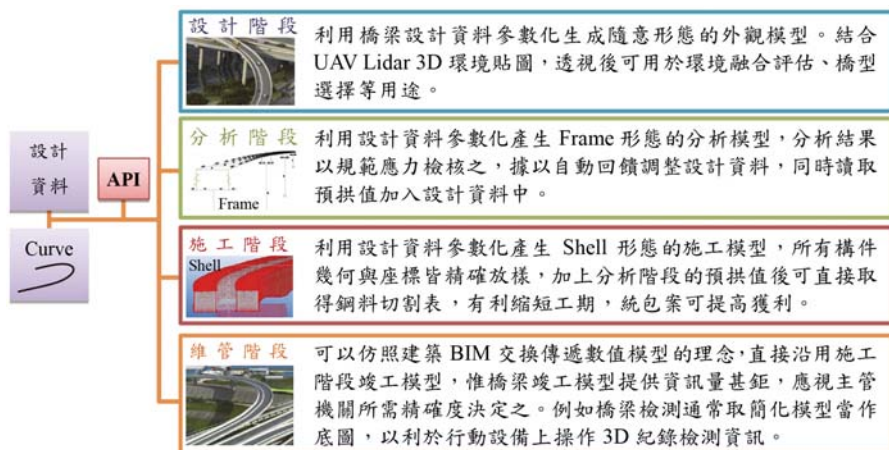


圖 5 鋼箱梁橋 BrIM 數據階層圖

從橋梁設計資料向下發展出各階段所需之模型，各階段依 3D 模型檢討成果後調整原始橋梁設計參數。因此各階段 BIM 模型若無連結橋梁設計資料的話，一旦模型形態不相同便無間接交換之可能。由於以上做法明顯與建築 BIM 有本質上的差異，FHWA 於 2015 年發起 Bridge Information Modeling (BrIM) Using Open Parametric Objects[2]，希望能引導並標準化橋梁參數模型。目前 BrIM 的 IFC Bridge Design to Construction Information Exchange 仍在發展初期，期待將來會有標準數據交換規範應用於橋梁 BIM 軟件，也希望自行開發

的成果能引起更多先進加入 BrIM 發展的行列。

### 三鶯大橋改建工程簡介

本案例三鶯大橋跨越大漢溪，於新北市三峽區與鶯歌區之間，如圖 6。既有橋梁為 PCI 預力梁，跨徑 20 m ~ 40 m 全部橋梁總長度達 600 m，雙向橋寬各 8.5 m。

三鶯大橋改建工程規劃四階段，本工程為第一階段擴建原橋兩側匝道，圖 7 為兩側匝道平、斷面圖及匝道 1 立面圖，全長 574.6 ~ 595.4 m。匝道 1、2 採鋼箱梁橋，橋寬 7.5 m。



圖 6 三鶯大橋原橋空拍與立面圖、斷面圖

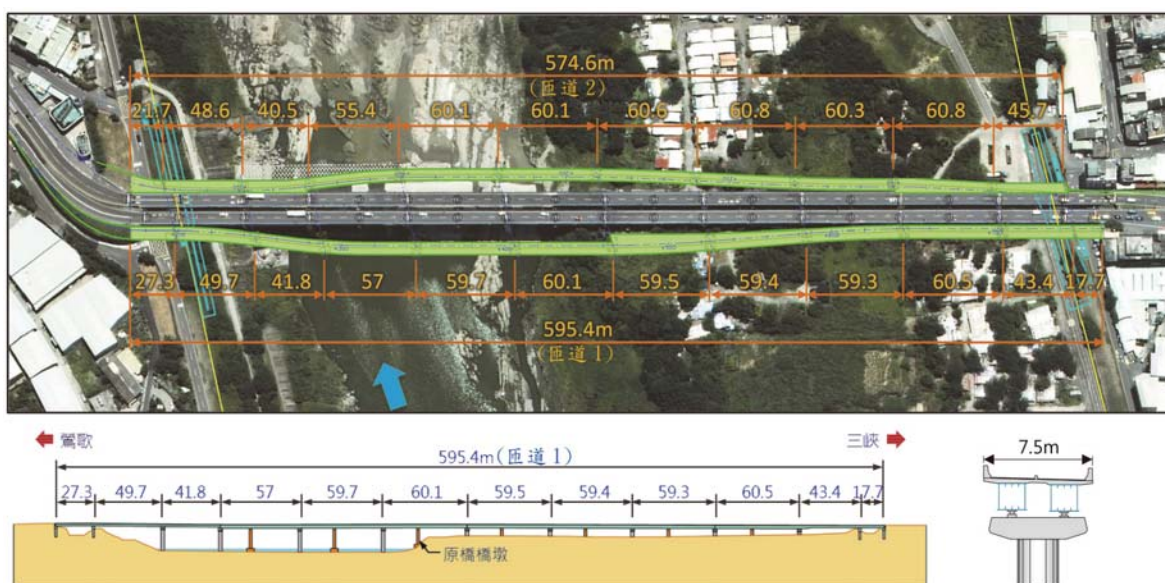


圖 7 三鶯大橋改建第一階段—擴建匝道平面圖、立面圖、斷面圖



## 橋梁 BrIM 自動參數化建模

BrIM 各階段數值模型需維持與橋梁設計資料的關聯性，底下將以細部設計階段，針對鋼箱梁說明參數化建模的流程。首先以工程師視角的語彙來瞭解所需資料，道路工程與橋梁基本資料概述如下，示意如圖 8 與圖 9 所示。

- 平面控制線：平面位置放樣的依據，具有路工導線方向角、曲率半徑、里程等基本訊息。
- 高程控制線（縱坡）：高程放樣的原始依據，對應於平面控制線的里程。
- 超高（橫坡）：轉彎安全所需的坡度或洩水坡度。
- 鋼梁平面位置：鋼梁與平面控制線及高程控制線之關係，即鋼梁平面配置。
- 斷面幾何：構材位置及構材間之幾何關係。

了解這些橋梁基本參數的運作，依路工導線定義就能精確放樣完整橋梁構件至大地座標。開發者只需熟悉其中運作規則就能撰寫 API 外掛程式，直接由橋梁設計參數計算橋梁構件座標，並將之拋擲至合適的 BIM 軟體。橋梁工程師便可方便地依既有的格式與邏輯輸入設計參數，將大幅提升 BIM 建模效率與正確性。接著以新北市三鶯大橋改建工程鋼箱型梁為例，其資料輸入操作流程及成果摘述如後。

表 2 為擷取部分道路工程設計參數資料，其可由 Civil 3D 直接引用，若僅有 2D 圖資，則需手動輸入控制點相關數據到設計資料庫，無論何種方式都能建立基本道路工程 Curve 設計資料。

表 3 為擷取部分鋼箱梁設計參數資料以示意 BrIM 橋梁設計資料交換格式。其中每一鋼梁為具名獨立物件，需定義其梁深變化曲線、起迄里程、梁中心曲線、上下翼板寬厚度、腹板厚度、加勁材等相關參數。橋面板部份也類似鋼箱梁，需具名物件，除基本厚度參數外，還需要定義兩側路緣控制線及底下鋼箱梁物件名稱，以利完整描述斷面。

圖 10 是筆者自行開發的鋼箱梁參數化建模型式執行畫面，採用 C# 語言程式撰寫特色是難度低、效率高、物件導向模組化，可在短期間內快速開發大量複雜的程式，最重要的是有免費開發套件 Visual Studio Express 系列。本程式考慮輸出受體的多樣性，目前僅包含 AutoCAD 與 Tekla 輸出，將來可以視需求加入 Revit、Sketch Up … 等等。為了讓剛接觸的工程師能快速上手，GUI 加入執行階段訊息，可以快速除錯；並能指定輸出構件例如翼板、腹板、橫梁、加勁材等等 … 縮短試誤時間。經實測結果發現，採用 Tekla 當作輸出受體有許多好處，最明顯的是繪製時間只有 AutoCAD 的 10% 不到，

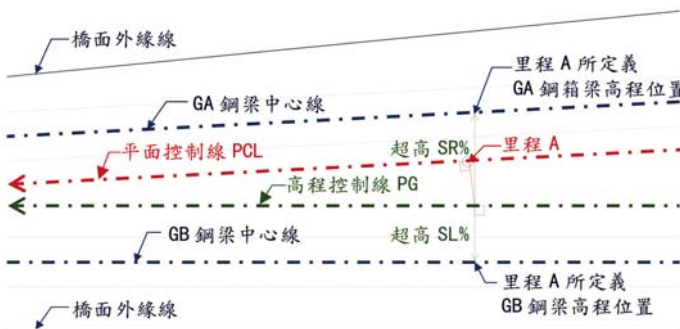


圖 8 平面控制線、高程控制線、超高、鋼梁中心線等關係示意圖

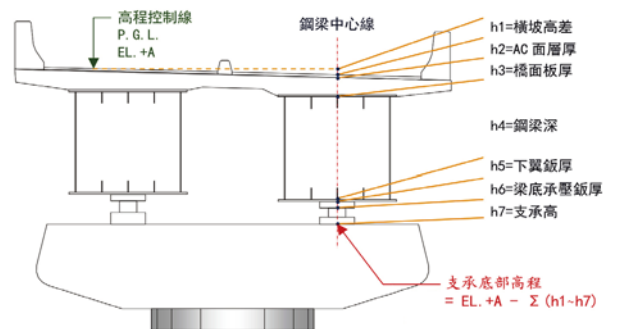


圖 9 鋼箱型梁位置及斷面幾何關係示意圖

表 2 道路工程控制點資料

PCL (平面控制線) 資料							橫坡 (超高) 資料			縱坡 (高程控制線) 資料		
STA	N	E	Type	AZ度	A(+)	R(+)	STA	RS	LS	STA	EL	Slop
0+000.000	2760060.152	285633.348	TT	177.2		OC	STA. 0+000.000	-2%	-2%	STA. 0+030.000	44.312	2.000%
0+010.308	2760049.857	285633.857	TS	177.2	82.61		STA. 0+010.308	-2%	-2%	STA. 0+070.000	45.532	4.100%
0+045.308	2760014.876	285634.540	SC	182.3		195	STA. 0+045.308	-3%	-3%	STA. 0+170.000	49.632	4.100%
0+086.685	2759974.018	285628.514	CS	194.5	-82.61		STA. 0+086.685	-3%	-3%	STA. 0+230.000	50.859	-0.010%

表 3 鋼箱梁橋設計資料

鋼箱梁設計 (鋼梁位置及斷面幾何) 資料													橋面板設計 (斷面幾何) 資料																	
名稱	梁曲線	橫坡控制線	梁深曲線	起程	終程	梁與 PCL 偏距	腹板長	腹板厚	上翼板內淨寬	上翼板 Ext.	上翼板板長	上翼板板厚	上翼板板厚	上翼板 Rib 根	上翼板 Rib 厚	上翼板 Rib 寬	名稱	左側胸牆控制	左側胸牆偏距 (CM)	右側胸牆偏距 (CM)	胸牆型式	AC 厚度	最小厚度	橫坡	分割長度 (CM)	起程	終程	鋼箱梁		
Name	PCL	PG	BG	STA0	STA1	Offset	WebL	TW	TT	TExt	TTL	TTF	TRibN	TRibT	TRibB		Name	PCLR	OffsetL	PCLR	OffsetR	Type	AC	TT	PG	SecLen	STA0	STA1	Girder	
GA23	圖號2	圖號2	CODEP110	307	487	3600	180000	13	1800	120	180000	13	2	13	130		S11	圖號2	-200	圖號2	550	TypeA	5	25	圖號2	100	307	487	GC23,GA23	
GA23									1800	120																				

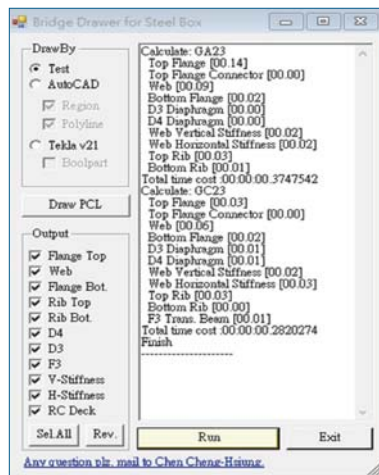


圖 10 鋼箱梁參數化建模程式

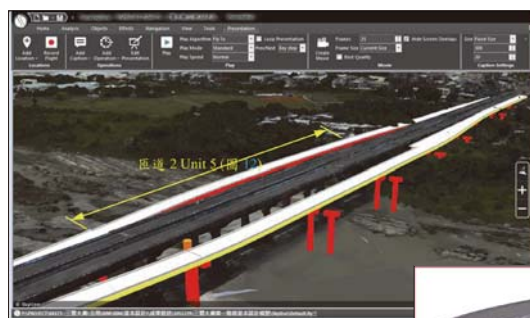


圖 11 三鶯大橋 BIM 成果

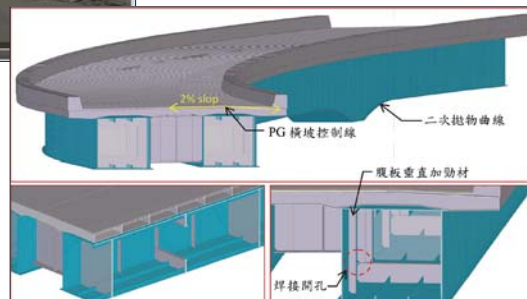


圖 12 鋼箱梁參數化建模剖析圖

鋼板可以快速設定開孔，且可以分別依實際設計結果配置不同材質如 SUS303、GR.36、GR.50 等，最重要的是其可以依板厚或材料性質來做相關數量統計。

本案三鶯大橋改建 BIM 成果如圖 11 所示，圖 12 為匝道 2 第 5 單元，平面路線包含弧線、克羅梭與直線，橋墩處梁深為二次曲線漸變。在參數化建模下，直線或曲線的困難度都一樣，設計者僅需輸入設計參數，不需花大量時間在放樣繪製鋼箱梁 BIM 模型。從圖 12 看的出鋼箱梁完成度高，隔板與加勁材於焊接處皆有精確開槽。圖 12 橋面板仍清楚看見 PG 控制線的橫坡折角，模型任一點皆可拿來施工放樣，甚至加預拱後可用於鋼材切割。

目前尚無成熟的橋梁 BrIM 程式，吾人已發展如下：

1. 直接引用類似 Civil 3D 道路工程曲線。
2. 依據指定規範與分析結果，智慧連動隨從構件。  
例如：腹板垂直加勁材、翼板縱向 Rib、隔板、人孔等等。
3. 採通用施工 BIM 模型展開局部加勁材 Shell 分析模型，用於局部應力檢核。
4. 自動展開 2D 圖面，以符合業主驗收需求。

未來發展目標如下：

1. 在 3D 環境中輸入設計參數，並且快速預覽鋼箱梁樣貌。
2. 依據設計參數與路工資料自動產生 Frame 分析模型，並能依分析結果檢核應力後自動回饋調整設計資料，達成設計直覺化目標。
3. 其他橋梁類型。

## 結語

國內產官學研界也相當重視並積極推動 BIM 發展，公共工程主管機關並擇定各類別公共建設的示範案將資訊模型擴及公共工程。惟橋梁 BrIM 發展比較晚，方向也不一樣，建築的 BIM 經驗需從本質改變為橋梁 BrIM。身為橋梁工程師必需了解橋梁主導的 BrIM 所帶來的衝擊效應，別因誤會而排斥 BIM，錯失參與土木界難得的工業革命。

本文以新北市三鶯大橋改建為例，說明標準鋼箱梁橋 BrIM 參數化建模不但可行還有諸多利基，如高程檢核、施工排程 3D 模擬、景觀融合模擬、發包前鋼材切割評估等。當越來越多的橋梁工程先進們願意加入 BrIM 領航的行列，以實務經驗導向協助標準橋梁設計交換數據模型的發展，將來橋梁智慧化設計便指日可待。BrIM 成熟後，顧問公司自然會採用 3D 智慧橋梁設計，以精簡人力成本、提升設計效率，並獲取可視化及精確化的設計附加效益。

## 參考文獻

1. Richards, 2008, BIM maturity level.
2. Bartholomew et al., 2015, Bridge Information Modeling (BrIM) Using Open Parametric Objects.
3. 公路橋梁設計規範，交通部，98。
4. 公路路線設計規範，交通部，100。
5. ActiveX Developer's Guide (ActiveX/VBA), help.autodesk.com, 2016.
6. Tekla Open API Reference Manual, Trimble Solutions Corporation, 2017.
7. C# Programming Guide, Visual Studio, 2015.
8. BIM 帶來的變革與政府的前瞻作為，許俊逸、徐景文、林傑、李文欽，103。





# 華倫式桁架橋之設計與施工 — 以新北市國芳橋為例

林曜滄／台灣世曦工程顧問股份有限公司 總工程師

張志斌／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第一結構部副理

溫俊明／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第一結構部計畫工程師

陳政雄／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第一結構部正工程師

賴駿仁／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第一結構部正工程師

國內跨河橋梁均採中大跨度橋型，近年來，因應氣候變遷，極端氣候影響，在 200 公尺左右寬以下之河道上興建橋梁，水利單位均要求河中不要落墩，降低對河川通洪之影響。而過去國內常用之橋型又以拱橋居多，所以基隆河道上可見拱橋比比皆是，讓人感覺橋型大同小異都很類似。本橋跳脫過去的思維，以當地早期採礦之台車為意象，融入當地人文特色，並採用具有復古風的華倫式桁架橋型。

國芳橋位於新北市瑞芳區，由於原橋南側橋台位於治理計畫線內、橋梁長度無法滿足防洪需求，影響颱風期間基隆河橋、河安全，因此於「淡水河系基隆河橋梁改善工程實施計畫」中被列為優先改善橋梁。本橋配合河段治理計畫需求，採河中不落墩配置，並將當地歷史人文意象融入橋型構思，而採用了中大跨徑（單跨達 101 m）、兼具古樸色彩的鋼桁架橋進行改建。改建工程由新北市政府負責執行，工程於 105 年 3 月開工，預計 106 年 7 月完工通車。

本文以國芳橋為例，簡略說明桁架橋之規劃設計考量，同時分享本工程的施工過程，冀望藉由本文可將相關經驗傳承，供工程界參考。

## 前言

基隆河為淡水河系之重要支流，源自新北市平溪區，行經新北市瑞芳區、基隆市、新北市汐止區及台北市，於台北市關渡附近匯入淡水河。為減低沿岸洪患，政府積極推動「基隆河整體治理計畫」，並依 200 年頻率之洪水位及分兩階段，辦理河道整治及分洪計畫。第一階段稱為「前期治理計畫」，自民國 91 年起至民國 94 年 6 月止，完成了員山子分洪工程、洪水預報系統、淹水警報系統及部分橋梁與抽水站之改善等工程；第二階段稱為「後期治理計畫」，自民國 94 年 6 月起，計畫重點為改建橋梁、改善排水工程、興建抽水站、洲美堤防工程、基隆河坡地保

育及滯洪區建置計畫等。95 年起經濟部水利署持續辦理「基隆河流域治理規劃檢討」、「淡水河系基隆河治理基本計畫（南湖大橋至侯硐介壽橋段修正）」以及「淡水河系基隆河橋梁改善工程實施計畫」等計畫，並配合推動相關工程建設，以確保整體計畫之整治效益。

位於新北市瑞芳區之國芳橋（如圖 1）係屬「淡水河系基隆河橋梁改善工程實施計畫」中之優先改善橋梁，主要係因原橋南側橋台位於治理計畫線內，且橋梁跨度僅 30 m、橋梁長度無法滿足防洪需求，故須進行改建予延伸加長。本案由新北市政府負責執行，改建橋梁長度配合河川用地範圍及現地條件，以 101.3 m 配

置，且河中不落墩，以符合本河段之治理需求。此外，在橋型選擇上，有別於基隆河上常見之拱橋橋型，國芳橋採用了近年來較少採用之鋼桁架橋，以創造特色地標。一般常見之桁架橋型包括華倫式 (Warren)、豪威式 (Howe) 及普拉特式 (Pratt) 等，本橋採用具復古風的華倫式桁架橋型，適度將採礦台車之地方色彩融入橋梁整體景觀，見圖 2。

本橋改建完成後，預期可達成下列建設目標：

1. 使瑞芳地區防洪符合基隆河 200 年洪水頻率標準，預留河岸整治空間。
2. 提昇橋梁耐震及耐洪能力，以符合最新相關規範規定，滿足橋梁安全及功能。
3. 創造與環境融合且具特色之地標，提昇基隆河河岸景觀。



圖 1 工址位置圖及原橋照片

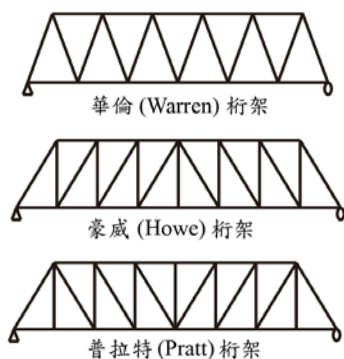


圖 2 常見桁架型式

## 設計考量及處理對策

本節以國芳橋為例探討桁架橋規劃設計之重點，包括：橋梁結構型式、分析程式、橋梁設計考量、活載重、節點力分析、變形與拱度等。

### 橋梁結構型式

本橋除考量符合安全、經濟、防災及施工性等需求，並加強融合地方歷史人文元素，以期未來形成地標、成為城鄉景觀要素。有關橋梁結構考量之條件包括：

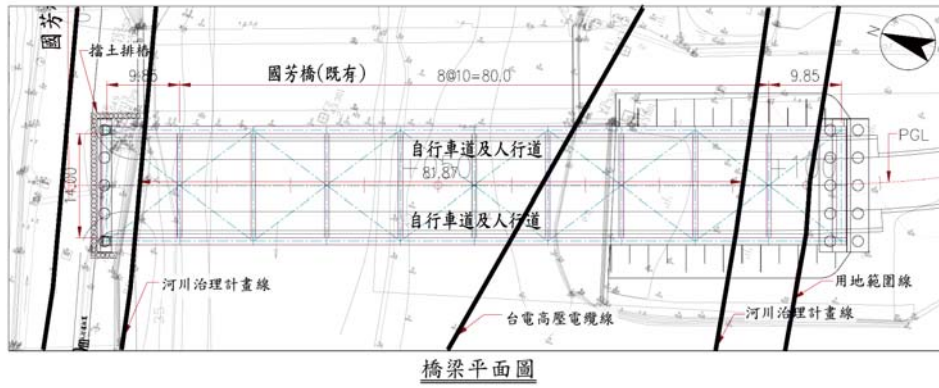
1. 防洪需求：本案計畫河寬約為 80 m，考量未來基隆河整治需求，將南岸橋台移至河川用地範圍線外（如圖 3 橋梁平面圖），以河中不落墩、跨度 101.3 m 之簡支鋼桁架橋配置，確保河防安全不受橋梁影響。
2. 地形條件：由於北岸側為 T 字路口且路幅受限，因此北端 A1 橋台採用樁柱式橋台，減少橋台施工時之開挖面積，以降低施工期間對於既有交通的影響。
3. 人文意象：擷取瑞芳周邊歷史人文元素，將當地特有之礦業意象融入橋梁整體造型之中，選用具有礦業台車意象之鋼桁架橋型。
4. 人本交通、民眾參與：橋上兩側設置 2.5 m 寬人行道可兼供自行車通行，另於北側路廊進行人行道改善，以落實人本交通。同時，以鄰近瑞亭國小學童之彩繪作品燒製於護欄上，提供當地民眾參與機會，提昇景觀並創造地方特色。
5. 淨空限制：由於工址上方有台電高壓電纜通過（詳圖 3 橋梁立面圖），距離橋面僅約 15.38 m；考量高壓電纜安全距離 5 m，因此桁架最大高度採 10.35 m，另為增加橋梁立面造型變化，桁架採高度變化方式配置。

基於前述各項考量條件之配置如圖 2 所示；其中，橋梁跨徑 101.3 m，路面採 RC 橋面板，路面寬 13 m，設置雙向各 3.5 m 單車道，兩側各 2.5 m 人行及自行車道；桁架立面節間距在兩端為 2@9.85 m，中間 8@10 m；桁架寬 15.85 m，桁架橋高度變化由 8.84 m 漸變至 10.35 m。完工後之模擬圖如圖 4。

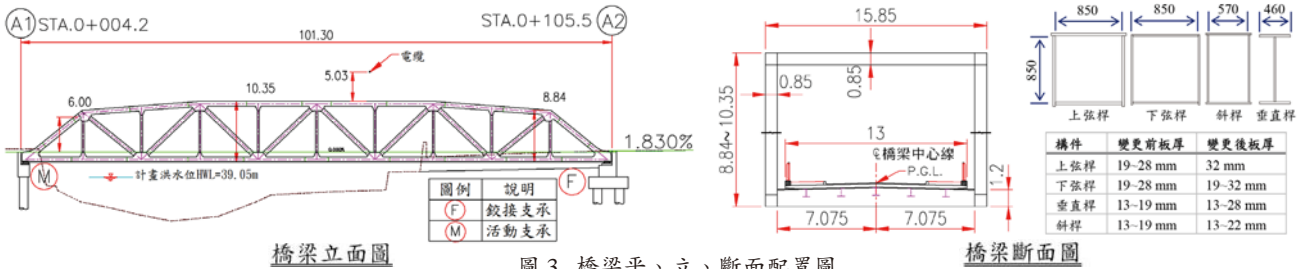
### 分析程式

使用 Sap2000 結構分析程式，國芳橋之分析模型如圖 5。Sap2000 為標準橋梁設計套裝軟體，有支援活載重影響線及非線性構件等梁分析必要功能，惟內建地震力分佈與鋼構檢核皆無支援我國橋梁設計規範，故分析時先以前處理程式計算地震力大小及分布，應力分析完成後，再以後處理程式進行應力檢核。





橋梁平面圖



橋梁立面圖

圖 3 橋梁平、立、斷面配置圖

橋梁斷面圖

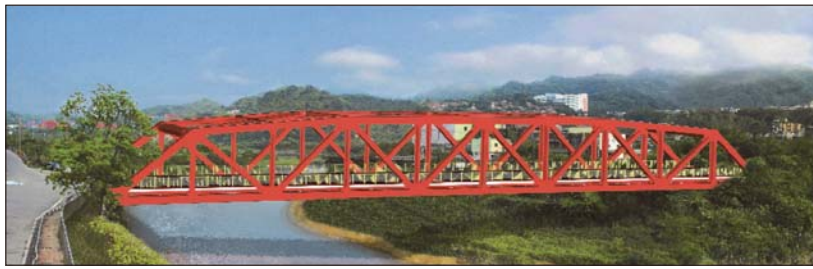


圖 4 橋梁完工透視圖

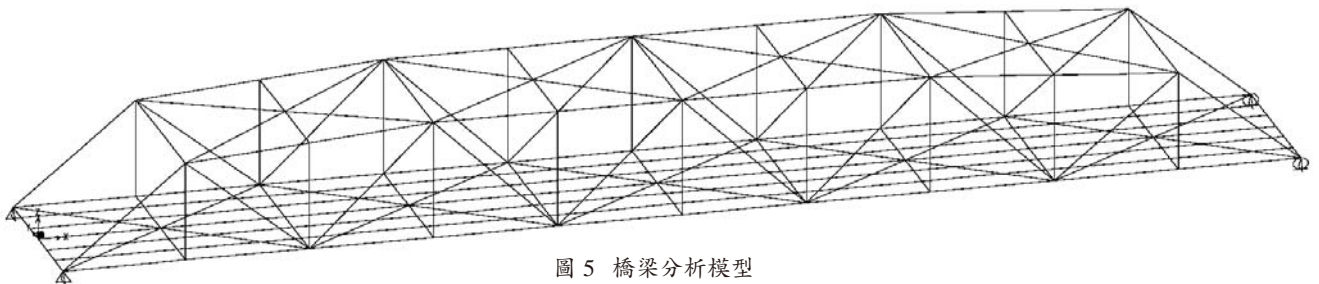


圖 5 橋梁分析模型

### 橋梁分析考量

分析模式符合設計載重作用下之實際結構行為，並能合理反應結構臨界斷面之應力，其中基礎之邊界條件應以等值土壤彈簧方式模擬。結構應力檢核應符合規範規定之容許範圍內，且須避免斷面或板厚過大，以符合經濟效益。

#### A. 活載重

公路活載重採用 HS20-44 標準貨車與車道載重，如圖 6 所示，而兩側人行與自行車道之設計活載重為 400 kgf/m<sup>2</sup>。

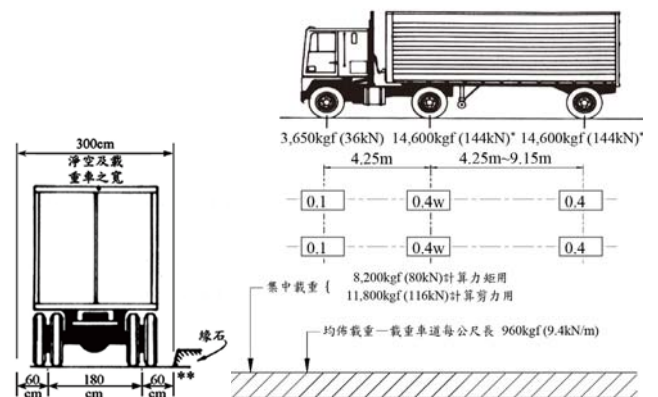
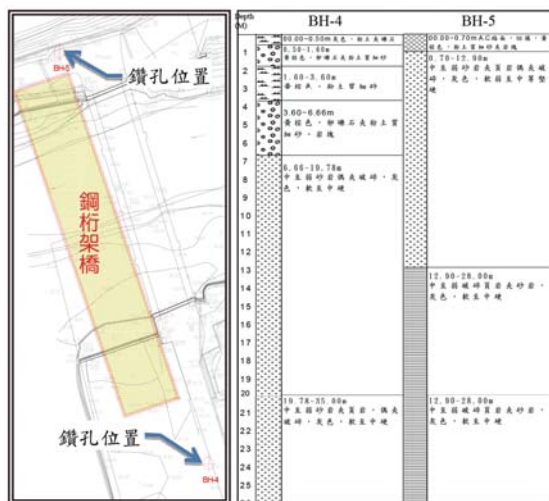


圖 6 HS20-44 標準貨車活載重

B. 設計地震力

根據橋址地質鑽孔資料，如圖 7 所示，並依公路橋梁耐震設計規範計算工址地表下 30 m 內之土層平均剪力波速  $V_{S30}$ ，可判得本案工址屬第一類地盤。



$$V_{S30} = \frac{30}{\sum (d_i/V_{si})} = 281 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow 281 \text{ m/s} > 270 \text{ m/s} \approx 270 \text{ m/s}$$
 屬第一類地盤

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum (d_i/V_{si})} = 270 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow 270 \text{ m/s} > V_{S30}(=270) \text{ m/s} \approx 180 \text{ m/s}$$
 屬第一類地盤

圖 7 鑽孔位置圖與土層分類判斷

本橋經載重分析可得自重  $W = 835 \text{ T}$  (鋼重) +  $1,300 \text{ T}$  (附加靜重) =  $2,135 \text{ T}$ ，分析之週期分別為  $T_x = 0.228 \text{ s}$ 、 $T_y = 0.536 \text{ s}$ 、 $T_z = 0.495 \text{ s}$ ，其中  $x$  表軸向 (行車方向)、 $y$  表側向 (垂直行車方向)、 $z$  表垂直向 (重力方向)。依公路耐震設計規範計算各方向之地震力，分別為  $EQ_x = 0.202 W$ 、 $EQ_y = 0.196 W$ 、 $EQ_z = 0.211 W$ 。

工址所在地	新北市	瑞芳區
地盤種類	1	$\alpha_y = 1.70$
橋墩型式	縱向	側向
	壁式橋墩	壁式橋墩
	$R = 2.000$	$2.000$
	$R_a = 1.667$	$1.667$
	$\sqrt{2R-1} = 1.732$	$1.732$
	$\sqrt{2R_s-1} = 1.528$	$1.528$
構材設計法	鋼結構構材容許應力設計法	
週期 (sec)	縱向	側向
	0.228	0.536
		垂直向
		0.495

$N_A^D S_s^D$	$N_V^D S_1^D$	$N_A^M S_s^M$	$N_V^M S_1^M$	區域別
0.6	0.35	0.9	0.55	一般工址

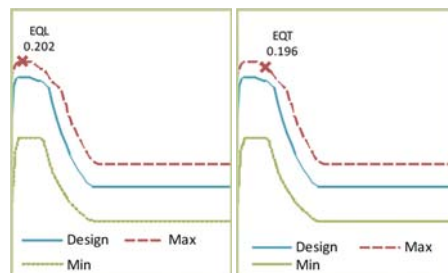


圖 8 規範靜力地震力計算

C. 結構內力與檢核

圖 9 為主要弦桿構件自重的軸力圖，圖 10 為主要構件所有載重組合應力檢核之應力比；最大值為 0.97，位於中央處之上弦桿 U1 及端部垂直桿 V1。

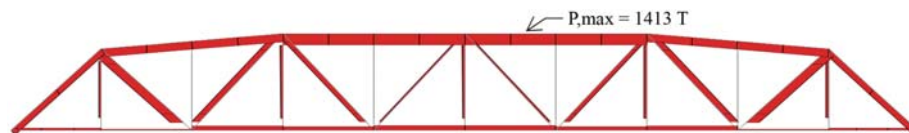


圖 9 主要弦構件自重軸力圖

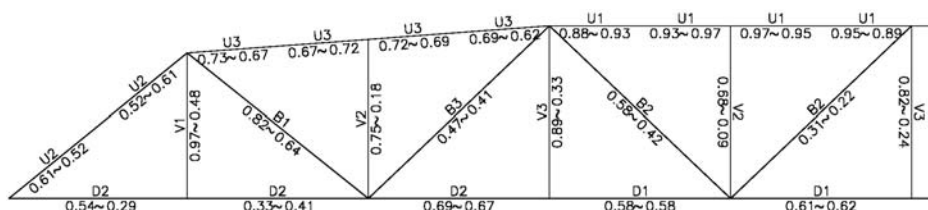
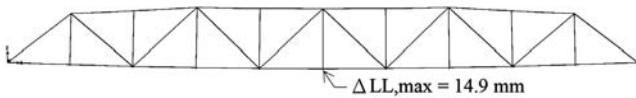


圖 10 構件應力檢核



#### D. 結構變形與拱度

依「公路橋梁設計規範」第 9.1.7 節之規定，因活載重引致之主梁最大變位，應不大於跨度之千分之一；本橋在分析活載重下之最大撓度為 14.9 mm，符合前述應小於限制活載重撓度 =  $L/1000 = 101$  mm 之規定。



### 施工概述

#### 施工期間交通維持方案

本工程施工工期為 16 個月，考量節省交維便橋經費，採近域改建方式辦理。即於原橋下游側施作新橋，施工時車輛仍行駛於既有國芳橋；於新橋完工後再將車輛改道至新橋行駛，並拆除舊橋。可在無需施作交維便橋情況下，維持當地既有交通；並減少施工作業與當地交通之互相干擾、降低對周邊交通衝擊。

本工程改建橋梁型式採鋼桁架橋且河中不落墩，施工時利用架設之施工便橋進行相關吊裝作業，施工便橋設置於改建橋梁下游側，由承包商配合施工機具、進出動線考量，規劃實際設置需要寬度、範圍及結構型式。橋梁吊裝期間，施工機具利用南岸進入施工便橋，並於便橋施作，除特殊狀況外，均無占用舊橋面空間施作之情形，可維持既有交通。圖 11 顯示施工期間，原橋、改建橋梁及施工便橋同時存在之情況。

#### 動員期準備

本工程因跨越基隆河，動員期間即依臨時施工便橋及支撐架配置，進行一維水理分析。透過水理分析的計算，基地前後渠段為亞臨界流流況，最大壅水高度為 0.11 m，基地出水高為 1.18 m，小於原出水高 10%，且壅高後出水高仍有 1.07 m 之餘裕；分析結果顯示臨時施工便橋、支撐架搭設後仍可確保施工及鄰近河段防汛安全。

另外，改建之國芳橋橋長 101.3 m，為跨度超過 50 m 以上之橋梁工程，屬「危險性工作場所審查暨檢查辦法」中丁類營造工地危險性工作場合；動員期間亦按規定於施工前辦理丁類營造工地危險性工作場合評估作業，以降低施工風險、提升施工安全。

#### 工程品質及進度掌控

本工程主體工程為鋼桁架橋，主要項目及數量包含 1.5 m $\phi$  全套管基樁 15 支；鋼橋弦桿、橫梁、立面斜桿、垂直桿、斜撐等共 184 根桿件；A325 強力螺栓約 56,700 支，總綱重約 855 公噸，結構配置示意如圖 12。基於能掌握主體工程品質及進度，即可確保如期、如質完成本工程之理念，監造團隊特別針對主要工項之品質及施工進度進行嚴格之查驗及要求。例如，針對基樁施作各階段停留點，均派員進行品質查驗，圖 13 為監造單位辦理查驗情形；本工程以鋼構為最大宗，且從製造至施工均為要徑工項，因此施工期間，監造團隊配合鋼構製作階段至鋼構廠進行查驗，並參與討論各項工序時程安排，及落實各項品質檢查。在

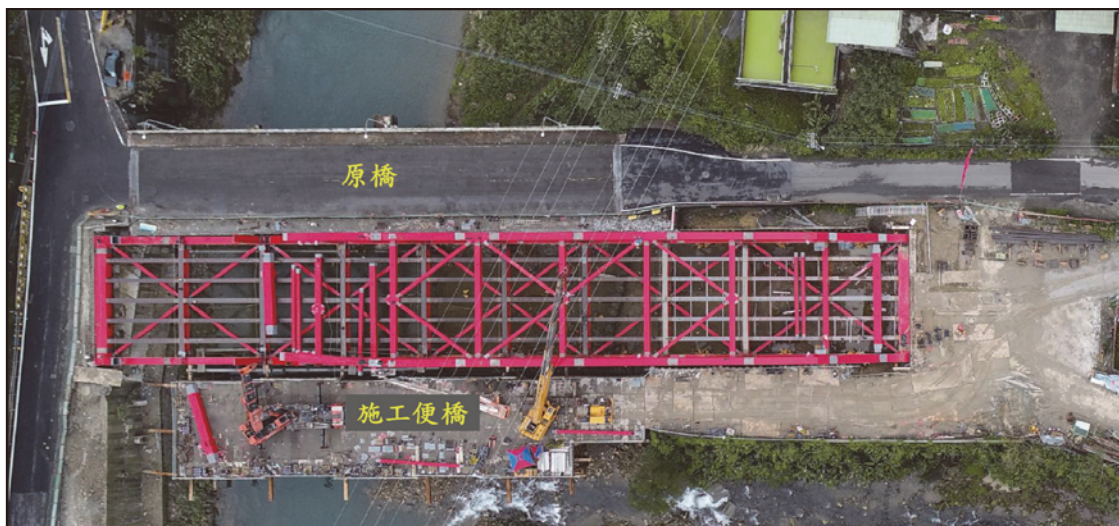


圖 11 國芳橋原橋、新橋及施工便橋





圖 12 國芳橋橋梁結構配置圖

鋼構廠製作時，特別要求鋼構製作精度，也使得試拼裝過程相當順利，圖 14 為監造單位至鋼構場進行查驗情形。而在工地現場吊裝時則特別要求注意結構穩定性，並嚴格管控鋼梁拱度，讓後續橋面板及 AC 鋪築無須過多額外的高程調整作業。

由於本工程施工團隊嚴格管理及落實各項管制作業下，因此鋼橋現場吊裝作業得以提前順利完成。也因鋼橋吊裝作業提前完成，使後續河中施工工項，如施工便橋及臨時支撐架之拆除工作，在 106 年度汛期到來前即已完成，大幅地降低了汛期施工之風險。

### 施工風險管理

本工程之全套管基樁施作、基礎擋土開挖支撐及鋼構吊裝等之施工過程，為本工程之主要施工風險來源。其中，A2 橋台因鄰近既有道路，基礎開挖前設置沉陷點，密切監控開挖過程中道路是否有龜裂、沉陷等狀況，確保道路安全。在鋼構吊裝上，由於工區上方有台電輸電線路 69 KV 八堵 ~ 瑞芳線（八堵 ~ 頂坪線）#19 ~ #20 管線通過，為避免造成感電危害，在架設中央部分桁架構件時，向台電申請停電，同時派監視人員全程監控吊裝過程，以確保人員之施工安全。圖 15 為本工程部分全套管基樁施工、橋台基礎開挖及鋼構吊裝現場施工圖，圖 16 為國芳橋主構件吊裝完成照片。



圖 13 基樁施工查驗情形



圖 14 鋼構施工查驗情形





圖 15 國芳橋現場施工照片



圖 16 國芳橋主構件吊裝完成照片

## 結語

國芳橋改建工程係配合基隆河治理計畫辦理之橋梁工程，改建後橋梁長度由 60 公尺（2@30 m）加長至單跨 101 公尺，且河中不落墩，可符合基隆河 200 年洪水頻率之防洪需求。橋型採用近年來國內較少使用之桁架橋，係為配合當地礦業台車意象，以創造特色地標。其結構行為上與一般梁橋不同，特性為軸力構件，故設計重點在力量集中並轉換之節點分析與設計。本橋無論在橋型選擇、分析設計及施工上，均屬難得之工程經驗。

本文簡略說明桁架橋之規劃考量，並針對橋型特性進行探討與分析，同時分享本工程的施工過程。本工程於 105 年 3 月 31 日開工，在施工團隊努力下，預期可在 106 年 7 月如期、如質完成，冀望藉由本文可將相關經驗傳承，供工程界參考。

## 參考文獻

1. 日本道路協會，「道路橋示方書」（2002）。
2. 交通部，「公路橋梁設計規範」（2009）。
3. 交通部，「公路橋梁耐震設計規範」（2008）。







# 結構工程

用技術落實對安全及永續的執著

## SINOTECH

淡江大橋橫跨淡水河口，主跨長450公尺是全世界最長的單塔不對稱斜張橋，單塔位於夏至時夕陽沒入水中的淡水側，不僅保護八里端濕地不受影響，且提供最佳之淡水夕照景觀。單塔與燈柱造型整體設計構想，乃是發想自雲門舞者的舞姿；在夜間，由於燈光的效果，大橋宛如「寧靜的舞者」，展現優美迷人的身影。又單塔造型有如雙手合十，象徵「祈福」。該橋是由中興工程顧問公司、德國Leonhardt公司、英國Zaha Hadid建築師事務所共同負責設計與監造。





# 美濃地震 台86線24號橋 震後災害橋梁 橫移復位 介紹

黃炳勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部資深協理

蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部技術經理

陳彥豪／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部正工程師

2016年2月6日凌晨發生於高雄美濃規模6.6的地震，對台南部分地區造成相當大的災情，而在距離震央約24公里之省道台86線24號橋，大梁結構在P7伸縮縫處向外錯位最大達到59cm，且多處支承受損。24號橋盤式支承因採用舊規範的設計標準，且本次地震力亦超過舊規範的規定值，故有明顯的破壞發生。公路總局第五養護工程處隨即應變，封閉受損嚴重的東行線，緊急委由台灣世曦進行復建及補強設計；經過工程人員全力投入，遂於5月20日修復達通車標準並開放通行。本文主要說明在震後的調查及緊急復建工作中盤式支承更換、大梁頂升復位的規劃及耐震補強方案的選擇。

## 前言

2016年2月6日凌晨發生於高雄美濃地震，於台南地區產生之震度達到5級以上，而新化測站更是測到7級震度（圖1）。本次地震造成距離震央約24公里之省道台86線24號穿越橋受損（圖2），原東西行線分離的橋面板結構由中央分隔護欄向外錯位最大達到59cm（圖3），當天經公路總局第五區養護工程處新化工務段緊急會勘後發現多處支承嚴重受損，伸縮縫橋墩RP7的支承更因過大的橫向位移而陷落，支承嚴重受損集中於東行線RP5~RP9及西行線LP5~LP9，LP8橋墩上方則是因盤式支承錯位導致大面積的保護層混凝土掉落。工程處在考量橋梁結構嚴重受損及維護用路人行車安全下，隨即封閉側向位移嚴重的東行線，並緊急以重型支撐架臨時加固。台灣世曦在2月19日銜命辦理本橋之緊急復建及耐震補強工程之設計工作，同時國家地震工程研究中心（以下簡稱：國震中心）則受託進行震後橋梁特別檢測及車輛載重試驗。

本工程須儘快確認橋梁結構安全及儘早恢復通車為目標，設計時程非常的急迫，因此在國震中心進行詳細

目視檢測同時，復建及耐震補強工程便同步進行。台灣世曦在進行細設前即進行必要的檢測，以釐清橋梁損傷是否達到重建的程度。考量本案時程及現場施工的可行性，施工分為兩階段進行，第一階段為受損的盤式支承更換作業及大梁復位限期完工，並在通車前由國震中心進行車載試驗，以確認上部結構的安全性，而第二階段則是進行耐震能力補強工作。

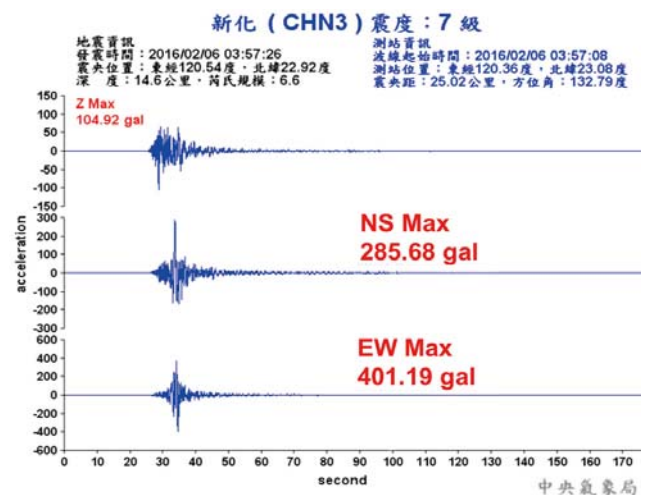


圖1 中央氣象局高雄美濃地震新化測站地表加速度紀錄



圖 2 美濃地震震央與台 86 線 24 號橋位置示意圖



圖 3 大梁向外位移現況照

## 24 號橋結構配置

24 號橋為東西行線分離的結構系統，共有 4 個振動單元，每個單元為 7 跨連續的預力箱型梁，橋梁上部結構為梁深 2.0 m 之預力箱型梁，一般斷面採單箱室設計，靠近 A2 橋台側變橋寬則採雙箱室配置。橋跨

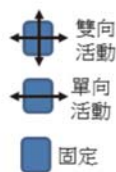
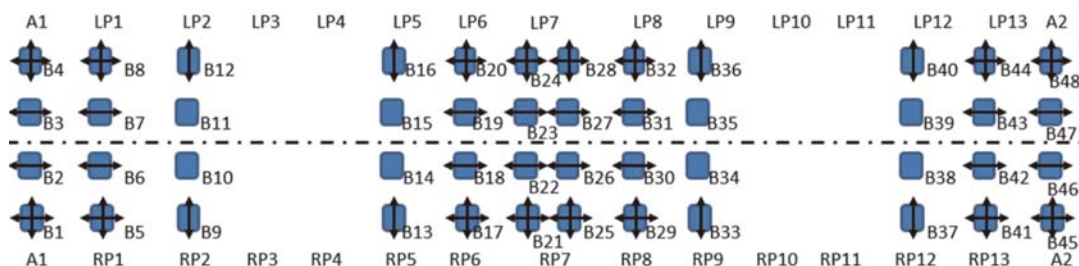
徑配置由 A1 橋台 (16k + 080) 依序為西行線 5 @ 40 + 2 @ 37.5 = 275.0 m，2 @ 37.5 + 2 @ 40 + 50 + 40 + 35 = 280.0 m；東行線 7 @ 40 = 280.0 m，3 @ 40 + 50 + 3 @ 35 = 275.0 m，全橋長為 555.0 m。各單元皆為 M-M-H-R-R-H-M-M 的支承配置方式，在行車方向由 4 根橋柱承受水平力，而橫向水平力則由各墩分擔，各橋墩的支承配置如圖 4 所示。

下部結構為單柱橋墩，墩柱標準斷面為 1.5 m × 3.0 m，柱高約為 4.5 ~ 7.0 m，基礎型式為全套管式基樁。

## 橋梁災害調查

受本次地震影響橋梁上部大梁有明顯的橫移破壞，東行線及西行線橋梁盤式支承皆有程度不一的損傷，且於上下部結構發現多處裂縫。以東行線 RP7 伸縮縫處的支承損害最為嚴重，支承全面破壞並且大梁有陷落的現象。經國震中心現地測量結果顯示東行線大梁最大偏移量為 49.6 cm，西行線大梁最大偏移量約為 9.1 cm，詳表 1 及圖 5。

台灣世曦在地震發生後配合細部設計需求，必須檢視橋梁主要損傷狀況，因此著重於受力最大處結構的損傷狀況的調查，而全橋詳細檢視則由國震中心另案辦理。透過橋梁受損橫移的現況可以反算構件的內力 (圖 6)；根據變位可知在固接橋墩 P4 及 P10 處存在最大內力，現場損傷調查亦在此處發現較明顯的結構損傷 (圖 7)，且裂縫方向與受力方向吻合，而嚴重損壞支承則分佈於 P4 ~ P10 之間 (圖 8)。



支承編號	型式	設計軸力(T)	橋軸方向力(T)	橋橫方向力(T)
B2, B3, B22, B23, B26, B27	單向活動	300	0	60
B1, B4, B21, B24, B25, B28	雙向活動	300	0	0
B9, B12, B13, B16, B33, B36	單向活動	500	100	0
B6, B7, B18, B19, B30, B31, B46, B47	單向活動	500	0	100
B5, B8, B17, B20, B29, B32, B45, B48	雙向活動	500	0	0
B10, B11, B14, B15, B34, B35	固定	500	100	100
B42, B43	單向活動	800	0	160
B37, B40	單向活動	800	160	0
B38, B39	固定	800	160	160
B41, B44	雙向活動	800	0	0

圖 4 24 號橋支承配置



表 1 24 號橋東行線與西行線支承位移統計表

橋墩	RP5	RP6	RP7	RP8	RP9
最大位移	14.4 cm	30.7 m	49.6 cm	26.9 cm	12.6 cm
橋墩	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9
最大位移	-2.1 cm	6.7 cm	9.1 cm	5.2 cm	0.3 cm

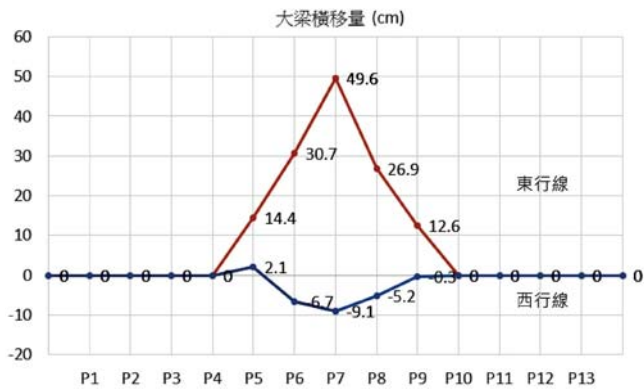


圖 5 24 號橋東行線上部結構位移示意圖

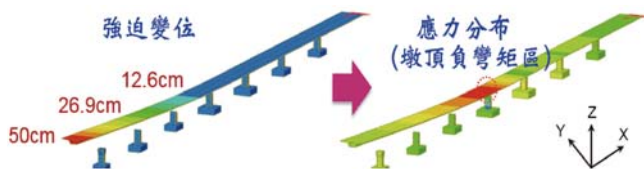


圖 6 最大變位下橋梁內力結構分析示意圖

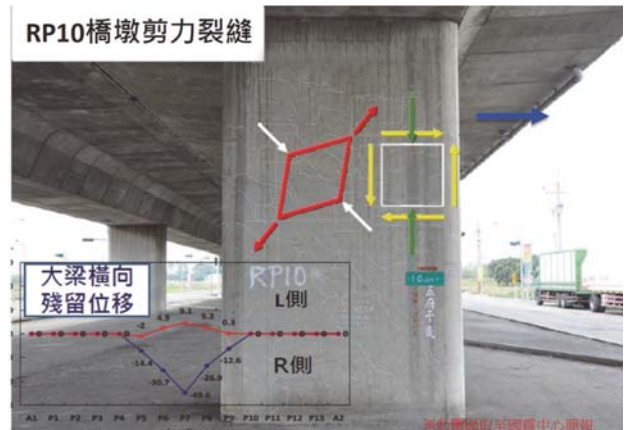
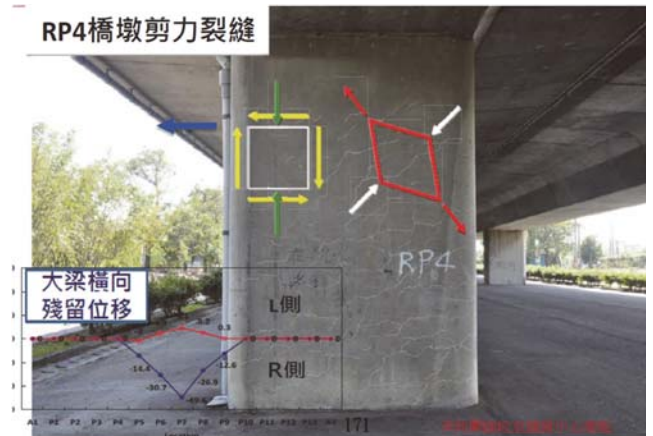


圖 7 下構裂縫與受力狀況研判



照片 1 RP7 單向活動支承嚴重破壞



照片 2 RP7 雙向活動支承嚴重破壞



照片 3 RP7 單向活動支承嚴重破壞



照片 4 RP7 雙向活動支承嚴重破壞



照片 5 LP7 支承墊破壞



照片 6 LP7 支承墊破壞

圖 8 橋梁損傷照片

## 盤式支承更換設計考量

根據竣工圖說進行檢核發現盤式支承的設計軸力符合需求，但設計水平力皆不符最新規範的要求。24號橋設計完成年代為民國 85 年，所採用的設計規範雖有參考 84 年版橋梁耐震設計規範，但研判支承的設計水平力仍沿用 76 年版公路橋梁設計規範，因設計水平力僅為垂直力的 10 ~ 15%，屬於弱支承的設計考量。84 年版的公路橋梁耐震設計規範開始導入韌性設計的觀念，允許橋柱產生塑鉸消能，支承則需以強支承的方式設計，以便塑鉸可以順利產生。各時期規範支承的設計目標差異如圖 9 所示。

有鑒於支承的水平抵抗力存在明顯的差異，新設置的支承若要滿足現行規範的規定，下錨定板螺栓的數量及深度皆會大幅度增加，大梁端的上錨定螺栓亦需補強，因此採用功能性分散的方式設計新的盤式支承；新設置的盤式支承採用雙向活動，僅承受垂直力，而水平力則全部由新設置的鋼製止震塊承受。此方案可大幅度減少柱頭打除的深度，更可避免大梁支

規範	kh	盤式支承設計目標	材料強度
76年	0.120	設計水平力：ZSICW	0.55F <sub>y</sub>
		地震力係數C：0.15	
		震區：中震區	
84年	0.153	設計水平力： min[ <b>塑鉸力</b> ， <b>彈性地震力</b> ]	F <sub>y</sub>
		震區係數Z：0.23	
		震區：第二區	
現行(98年)	0.193	設計水平力： min[ <b>塑鉸力</b> ， <b>彈性地震力</b> ]	F <sub>y</sub>
		震區：歸仁區(Z=0.28)	
		設計水平譜加速度係數 S <sub>S</sub> <sup>p</sup> =0.7；S <sub>I</sub> <sup>p</sup> =0.4	

圖 9 各版本規範支承設計目標的差異

承處的補強工作，且新設置的鋼製止震塊可先於工廠加工製作，縮短現場作業的時程。新設置的鋼製止震塊配置另詳圖 10 所示。

## 大梁頂升橫移規劃

頂升復位工作必須先確認在目前變位下，大梁的損傷仍屬輕微可復舊為前提，因此在現場調查則著重於 RP3 ~ RP5 及 RP9 ~ RP11 受拉側腹板的裂縫調查，另外，透過結構分析模型檢視支承損壞後橋梁變形與受力的情形。因為大梁配置了預力鋼腱，大梁的內力應保留施工階段之內力，再進行支承系統變更與強制變位等步驟。根據分析結果，斷面上的應力值部分超過開裂應力，但大梁垂直撓度初步檢視並無發現異常，因此有必要在大梁橫移復位後，透過國震中心的車載試驗檢視預力是否有受損。

結構模擬分析中，於 RP7 處之上部結構指定強迫變位量，除可觀察其他相關位置之位移量是否與現實相符，用以佐證分析過程之準確性，亦可藉由分析成果反推橋梁復位所需之回推值（約為圖 11 所示之主梁橫向剪力值 V）。爰此，規劃強迫變位值以每 5 cm 為間隔，最大至現況所發生之 50 cm 變形，相關評估結果詳如表 2 所示。由表 2 可知，當 RP7 上方主梁強迫變位 50 cm 時，於 RP6 及 RP5 所產生之橫向變位為 28.2 cm 和 10.4 cm，比對表 1 所示之現場量測結果（31 cm 及 14 cm）顯示，兩者雖有些微差異，但數值分析成果仍可供修復時之參考依據。另觀察因強迫變位所產生之主梁橫向剪力中，當 RP7 上方主梁橫向位移 5 cm 時，上部結構約受 10.2 tf 之橫向剪力；若主梁橫向位移 50 cm 時，上部結構則約受 101.8 tf 之橫向剪力，因構件內力仍在彈性範圍內，因此可預期將來移除已損傷之支承系統時，主梁會緩慢彈性復位，但仍可能留存殘餘

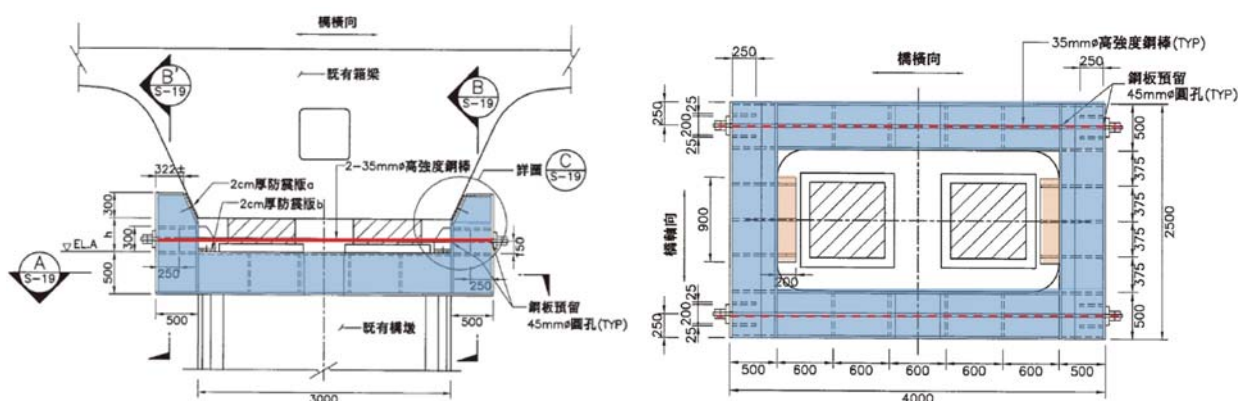


圖 10 水平抵抗裝置（鋼止震塊）配置示意圖



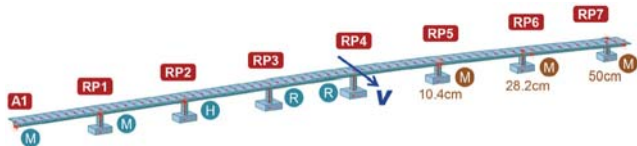


圖 11 橋梁橫向變形與受力示意圖

表 2 數值分析結果比較表

橋墩	RP7	RP6	RP5	橋墩	RP4
主梁 橫向 位移 (cm)	5	2.8	1.0	主梁 剪力 (tf)	10.2
	10	5.6	2.1		20.4
	20	11.3	4.2		40.7
	30	16.9	6.2		61.1
	40	22.6	8.3		81.4
	50	28.2	10.4		101.8

變形。透過此分析成果，亦可快速推算上部結構可能之內力，並作為千斤頂橫移時的重要考量因素。

在規劃頂升橫移工作尚存在一些不確定因素，以致於增加了施工的困難度。主要不確定主因有三：1. 結構物損壞程度；2. 邊界不確定性；3. 橫移系統的選擇。根據上述不確定因素分述如下：

1. 結構物損壞程度：因為混凝土結構本身並非均質等向性材料，施工過程、老劣化等皆會引致裂縫，而此次地震部分應力亦超過開裂應力，大梁結構的受損狀態初步無法完全掌握，以致於結構物受損後勁度折減不確定。
2. 邊界不確定性：大梁在 P7 伸縮縫處向外變位，P7 ~ P5 及 P7 ~ P9 的支承破壞，甚至於 P7 處大梁有陷落的狀況。整體的變形猶如懸臂梁，而在 P4 及 P10 亦發現柱身有明顯的扭剪裂縫（圖 7），故固接橋墩對大梁的拘束力無法完全掌握。損壞的支承與破碎的支承墊摩擦力亦無法量化，且地震前支承是否已經存在損傷皆不確定，因此，結構模擬分析無法完全與實際狀況吻合。
3. 橫移系統（設備）的選擇：目前常見的頂升橫移設備都是處理剛體移動的案例，被移動的物體並不存在內力，為剛體平移的運輸過程，然而本案橋梁受損後因為陷落及損壞盤支的拘束，導致頂升橫移設備不止需承受被移動結構體本身的重量，尚須承受額外的拘束力，因此頂升橫移設備如何支撐導引或機具量能亦會影響頂升橫移的進行。

根據上述不確定因素，頂升橫移最後決定採用頂升自復位移的方式修復，當清理受損支承、釋放拘束力後，藉由大梁本身的彈性變形回到穩定位置，因為上述諸多不確定因素，最終穩定位置理論上不會正好

在原設計的橋墩中心軸，而不回推至墩柱中心軸則主要是考量永久釋放因地震導致的額外內力。而在規劃頂升復位的施工步驟則是要考慮逐步釋放力量，以期施工的安全性，相關施工步驟規劃如下，配置規劃示意圖如圖 12 所示：

上構頂升橫移工作：

1. 先安裝橋梁前後兩側之垂直重型支撐架（現場支撐架型式如圖 13），並順利轉移垂直力至重型支撐架系統後進行東行線（R 側）P5 ~ P9 水平反力座安裝，將大梁兩側以千斤頂固定，水平力由千斤頂傳遞至墩柱結構。
2. RP7 橋面伸縮縫拆除。
3. 垂直千斤頂向上頂升 1.0 cm 或支承達脫離狀況，千斤頂須保持均勻受力，油壓表之總反力參考表 3 所示，並於各墩配置位移監控裝置。（頂升及橫移回推仍以位移做為主要監測及檢核值，千斤頂承壓力為輔助數據，承包商仍需依說明之要求執行橫頂回推工作）
4. 清除 RP7 單側（UNIT1）損傷支承後，水平千斤頂（T1 & T2）回油解壓，使大梁自行緩慢復位，待千斤頂已無持續變位即可再將千斤頂固定。
5. 依序清除 RP6（UNIT1）損傷支承後，水平千斤頂（T1 ~ T4）回油解壓，使大梁自行緩慢復位，待千斤頂已無持續變位即可再將千斤頂固定。
6. 同步驟 5，清除 RP5（UNIT1）損傷支承後，水平千斤頂（T1 ~ T6）回油解壓，使大梁自行緩慢復位，待千斤頂已無持續變位即可再將千斤頂固定。
7. 檢視殘餘的變形量，根據表 3 水平力與殘餘變位建議之水平力緩慢施加於各橋墩，並紀錄回復量並檢視殘留變形量。若水平總推力已達表 3 建議值，但大梁尚未復位則不得再強行回推，最終將水平千斤頂（T1 ~ T6）固定。
8. 同理，參照步驟 4. ~ 7. 進行 UNIT2 的橫移工作。
9. 根據橫移後最終的橋梁線型放樣支承位置，打除柱頭支承墊並配筋。
10. 更換新的盤式支承。
11. 待盤支基座養護完成後，垂直千斤頂解壓，將力量轉換至新設盤式支承。
12. 水平千斤頂裝置待鋼製止震塊安裝完畢後即可拆除。
13. 同理，重複步驟 4. ~ 12. 進行西行線（L 側）的上構橫移及支承更換工作。原則上西行線橫移過程中交通仍保持暢通，不進行 LP7 伸縮縫拆除。因西行

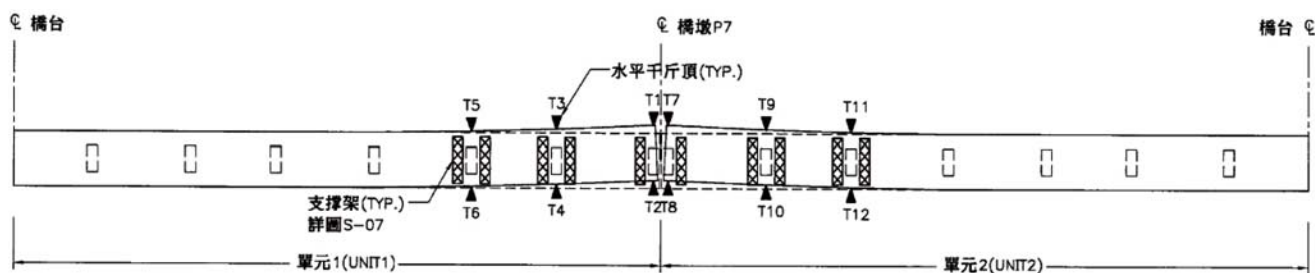


圖 12 支撐架及水平千斤頂配置示意圖



圖 13 現場設置之重型支撐架系統

線變位較小，承包商得根據千斤頂系統的附載能量調整，可考慮兩個單元（UNIT1 & UNIT2）同時橫移，惟橫移的方式仍以回油解壓進行。橫移過程中若遭預阻礙需打除伸縮縫，需通知設計單位及工地工程司會勘後裁示辦理。

### 耐震補強方案研析

由設計規範沿革可以發現既有橋梁耐震能力恐無法滿足現行規範規定，本橋配合盤支更換及橫移工作一併進行耐震能力補強工作。根據公路總局 98 年 12 月「公路橋梁耐震能力評估及補強準則」（草案）進行本橋的耐震能力詳細評估及補強設計。考量到橋梁耐震能力不足可運用系統補強的方式提升，故補強工作配合盤支更換提出了 3 個可行方案，並根據優選排序選擇了方案 A。（雙向活動支承 + 外加止震塊 + 鋼板補強）作為最後細設提送的方案。以下簡述各方案的內容：

方案 A.（雙向活動支承 + 外加止震塊 + 鋼板補強）：損壞支承改採雙向活動支承可以減少大梁支承處補強及柱頂支承的水刀鑿除範圍，其工期、工程經費、施工難易度皆為最佳方案。

表 3 垂直及水平千斤頂施力表

橋墩編號	千斤頂油壓施力總值 (靜載重條件下) (tf)
RP5、LP5	800
RP6、LP6	800
RP7、LP7 (單側)	400

垂直千斤頂總反力值

P7 上構殘留 位移 Δ (cm)	水平千斤頂 總推力 (tf)
50	100
40	80
30	60
20	40
10	20

水平千斤頂施力對應表

方案 B.（原設計支承配置 + 外加止震塊 + 鋼板補強）：採用與既有配置相同的支承條件會導致錨定的螺栓數量與深度增加，錨定於大梁的支承上錨定螺栓亦會因為地震需求提高而需補強，將會額外增加施工工期，且施工難易度較高。

方案 C.（雙向活動支承 + 反力分散裝置 + 鋼板補強）：藉由整體系統補強，以反力分散裝置（圖 14）使原本活動端的支承一併抵抗水平力將可



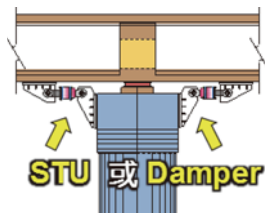


圖 14 反力分散裝置示意圖

以提高橋梁整體的耐震性能，且反力分散裝置額外提供的阻尼亦可使整體的耐震性能提升，但因為工程經費較高故不採用。

各種補強方案評選的比較表如表 4 所示。

### 結語

台 86 線 24 號橋在設計過程中針對頂升橫移進行許多討論，惟考量專業承商各有其獨特的橫推設施，故將重點放在規定頂升橫移過程的安全性，儘可能在頂升橫移步驟中闡述注意事項。實際執行時，專業承商頂升橫移設備為同一個系統設備，因此當受損支承由 P7 橋墩處逐墩清除，便可觀察到大梁因自身的彈性變形緩慢復

表 4 補強方案初步評估比較表

方案	方案A(設計圖方案) 雙向活動支承 外加止震塊 鋼板補強	方案B 原設計支承配置 外加止震塊 鋼板補強	方案C 雙向活動支承 反力分散裝置 鋼板補強
恢復通車時間	預計5/25	再增加20天(約6/15)	預計5/25
工期	1.00	1.16	1.15
經費	1.00	1.20	1.30
施工難易度	低	高	中
耐震能力	1.00	1.00	1.10
主要工作	雙向活動降低鉗定數量 增加施工性 鋼止震塊承受100%水平力 橋柱韌性補強	地震力需求大幅提高 支承鉗定數量、長度增加 鋼止震塊承受部份水平力 橋柱韌性補強	雙向活動減少敲除部位 反力分散至所有橋墩 耐震能力可再提升 橋柱韌性補強

建議方案

位。更新的盤式支承考量施工性改採雙向活動，並配合新設置的鋼製止震塊縮小既有結構鑿除的範圍，確實達到縮短施工時程，在預定時程內完成工作。

台 86 線 24 號橋為國內第一座通車中震損橋梁橫移復舊的案例。補強設計皆以短期恢復通車為主要考量，故相關設計仍有改進的空間；惟本次橫移復位工法的寶貴經驗可提供工程界參考，以期未來針對類似破壞能更有效掌握橋梁的行為及修復方向。

# 106年水土保持 創新教具徵選活動



水土保持與  
農村再生教育網

即日起開始收件 **6/30** 截止  
活動詳情請至水土保持及農村再生教育網查詢

### 參賽資格

- 校園組：全國國中小、高中(職)及大專院校學生(需具備在學學生身分或為應屆畢業生)。
- 社會組：教具開發出版社、遊戲開發公司、對教具開發有興趣之民眾...等。
- 可以個人或團隊方式參賽。

### 作品主題

作品主題及教學概念須與水土保持、土石流防災或農村再生相關。

- 徵件類型：依教具設計功能，區分為遊戲操作類、講解模型類。
  1. 遊戲操作類：動態教具如互動式教具、認知教具、桌遊、繪本教具等。
  2. 講解模型類：如靜態模型教具。
- 作品規格：
  - 須符合教具定義：指專為搭配水土保持、土石流防災或農村再生教學活動所研發、設計或本身可自成水土保持教育活動之實體器材，不含一般任何教學過程中所需之器具、材料包、平面繪本以及虛擬之電腦軟體。



### 辦理時程



### 報名方式

請至水土保持與農村再生教育網  
(<http://learning.swcb.gov.tw>)  
填寫報名資料，上傳報名表。  
報名截止日至106年6月30日止。



團隊報名者，請自行擇定一人為團隊代表人。  
(為使資料傳送無誤，請於報名時填入經常使用之E-mail信箱，主辦單位將會以此信箱傳送競賽相關消息)

電話：04-23580613 #51馬小姐、#32吳小姐  
傳真：04-23581143

洽詢時間：週一至週五上午9時至下午5時  
活動專用電子信箱：[swcbstory@gmail.com](mailto:swcbstory@gmail.com)





# 高架鐵路咫尺現

## 新塑臺中天際線

豐原站

栗林站

潭子站

頭家厝站

松竹站

太原站

精武站

臺中站

五權站

大慶站

臺中車站

廣告



交通部鐵路改建工程局  
Railway Reconstruction Bureau, MOTC







# 工程碳足跡 盤查發展及成果介紹

## — 以臺9線南迴公路安朔草埔段 為例

陳保展／交通部公路總局西部濱海公路南區工程處處長

黃炳勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部資深協理

蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部技術經理

劉 珊／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部副理

湯允中／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部計畫經理

許肇安／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部工程師

節能減碳已成為順應世界潮流及政府政策目標，交通部公路總局於 2012 年即發展「工程碳管理架構與機制」，以工程生命週期之碳管理為目標，作為未來我國工程設計規劃減碳考量依據。「臺9線南迴公路安朔草埔段工程」即於此架構與機制下，並依據 ISO 14067（或 PAS 2050）全生命週期產品碳足跡規範，以及行政院環保署 2014 年頒布之基礎建設碳足跡產品類別規則（CFP-PCR），於工程施工期程，進行分標段、分年度之實質盤查工作，並於工程竣工時，以數據資料充足且完整的碳足跡盤查報告，向合格的驗證機構提出查驗申請並取得碳足跡聲明證書。最終目標期望依據實際盤查結果，瞭解「臺9線南迴公路拓寬改善後續計畫安朔草埔段工程」生命週期之整體碳排放量，及建立本土化之產品碳排放係數及工程碳足跡參數。並建議本工程於施工期間進行減碳作為，展現整體工程減碳成效。

本文將就臺9線南迴公路安朔草埔段新建工程之碳盤查內容，實際作為與初步成果進行說明，包含細部設計成果之碳排放量推估、實際工程碳足跡輔導及盤查、查證、工程碳排放量彙整及碳匯變化量調查；最後依實際碳足跡盤查及碳匯變化量調查結果，提出本工程全生命週期碳排放量盤查報告，以供各工程先進及類似橋梁或隧道案例作參考。

### 前言

由於氣候異常、地球暖化現象日益加劇，世界各地均遭逢因氣候變遷所帶來之環境變化挑戰。對於大自然的反撲，世界各國紛紛加強溫室氣體排放之制約。2015 年聯合國氣候變化綱要公約第 21 次締約國會議（COP21）「巴黎氣候協議」（UNFCCC, 2015）決議，在 21 世紀結束前，要將地球暖化程度控制在攝氏 2 度內（目標 1.5 度內）。目前臺灣制訂的「溫室氣體減量及管理法」，則要求 2050 年的溫室氣體排放量，將回到 2005 年 2.45 億噸的 50% 以下。所有作為都具體顯示須對溫室氣體排放加以盤查、管制，並藉由碳足跡盤查，

尋找出具成效之減碳計畫。簡言之，碳足跡、碳揭露、碳中和等作為，已成為全球環境議題上的重點課題。

行政院於 2008 年揭示「永續公共工程 - 節能減碳政策白皮書」為公共工程辦理節能減碳之指導方針，後續於 2009 年頒訂「振興經濟擴大公共建設投資計畫節能減碳執行方案」，則明定公共工程執行預算需考量一定比例之綠色內涵經費，2010 年更直接將「推動節能減碳公共工程」列為國家節能減碳總計畫的十大標竿之一。另交通部亦於 2010 年公告「交通部節能減碳規劃設計參考原則」，提出於公共工程執行各階段，由規劃、設計、施工乃至營運階段，各階段當遵循之節能減

碳作為。運研所亦於 2011 年完成「交通運輸工程碳排放量推估模式建立」研究案（中興工程顧問股份有限公司, 2012），初步訂出公共工程中工程項目之排碳係數，供各界執行碳排放計算之參考。

公路總局為順應世界潮流及政府節能減碳之政策目標，亦於 2012 年發展「工程碳管理架構與機制」，以工程生命週期之碳管理為目標，並作為未來國內工程設計規劃減碳考量之依據。因此「臺 9 線南迴公路安朔草埔段工程」碳足跡盤查工作，即建立於此架構與機制下。於工程施工期程，進行分年度之實質盤查工作，並於工程竣工時，以數據資料充足且完整的碳足跡報告，向合格的驗證機構提出查驗申請並取得碳足跡聲明證書。

本文標的之工程名稱為台 9 線南迴公路安朔至草埔段 C1 橋梁標及 C2 隧道標新建工程，位於臺 9 線台東縣與屏東縣界，總長約為 11 公里，截至 2016 年底 C1 標施工進度約為 57.88%，C2 標則約為 42.97%。

本文首先闡述細部設計完成後針對細設資料進行碳排放量推估工作，並於各項工程施工階段與實際盤查結果進行比較與修正，以期日後提供資料庫參採使用。

## 工程簡介

### 概述

「臺 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫安朔草埔段工程」起點於既有臺 9 線新樁號 443k + 000（即為本工程起點里程 0k + 000）岔出，於既有臺 9 線樁號 459k + 300 附近銜接回原線（如圖 1），全長約 11 公里。自工程起點至隧道北口（里程 6k + 300）為 C1 橋梁標，主要內容為路堤填築及橋梁工程。其中路堤段約 1.47 公里，含相關配合之擋土牆工程，橋梁工程包括高架橋雙向合併段約 4.45 公里，雙向分離段約 0.39 公里，並於隧道北洞口前設置迴車道橋，橋梁段配合工址條件規劃採用場鑄逐跨工法、支撐先進工法及場鑄懸臂工法等工法施工，工期計約 49 個月。自隧道北口（里程 6k + 300）至工程終點，主要內容為隧道工程及橋梁工程，其中隧道工程為雙孔單向隧道各約 4.6 公里，主要採水平鑽炸工法施工，配合隧道通風需求於主線里程 8k + 900 附近設置一處豎井，豎井採沉井工法施工，另於隧道南洞口端雙向各配置一單元之鋼箱型梁橋，採吊裝工

法施工。另為配合環評承諾，隧道開挖之剩餘土石方需運至大武漁港南側養灘，工期計約 60 個月。

### 地質概況

工址範圍之地層現代以沖積層為主，除了回填土層外，由中細粒至巨礫岩塊及砂土構成，里程 2k + 600 以後覆蓋層厚度逐漸變薄。岩層部份屬潮州層，主要由硬頁岩所構成，偶夾細粒薄層石英砂岩。褶皺則為本區域主要之地質構造型態；沿線緊密拖曳褶皺構造相當普遍，沿板劈理面之剪裂帶發育亦相當普遍，也造成本區域地層不連續面變化較大與岩層的破碎；主要之褶皺為計畫路線西端之草埔背斜，數條中視規模尺度之褶皺。



圖 1 盤查標的工程位置圖

## 國內外工程碳足跡及工程碳管理發展 碳足跡盤查之發展

自 1992 年聯合國氣候變化綱要公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）通過後，各國政府與民間組織持續推動溫室氣體減量與能源管理相關措施。重要之締約國（COP）年會對於全球碳管理趨勢如圖 2 所示；整體發展係由組織型溫室氣體管制開始，再逐漸將盤查的範圍擴展至相關供應鏈，重視產品與服務碳足跡盤查。在完成產品或服務碳足跡盤查，並量化碳排放數據後，則透過碳揭露



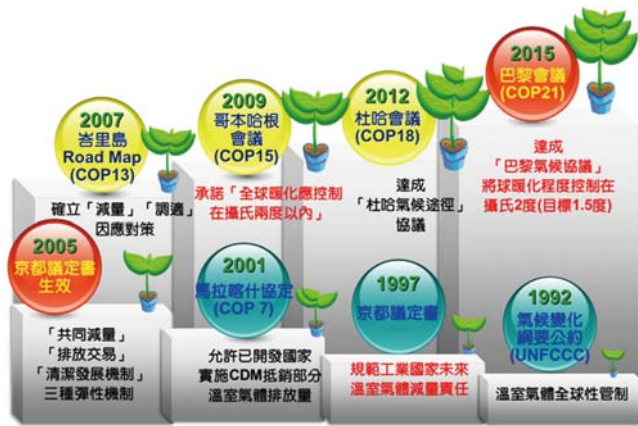


圖 2 國際碳管理趨勢

方式公開組織或產品與服務之碳排放資訊，作為社會溝通、訂定減量目標與減量承諾的基礎。而後為達成減量目標，應執行減碳專案或碳削減措施，再透過國際規範或自願性減碳的碳抵換（Carbon Offsets）與交易機制，抵減無法透過減量降低的碳排放量，達到特定邊界內整體零淨排放（即排碳量不再增加）或稱碳中和的境界。

有關 UNFCCC 第 21 次締約國會議已於 2015 年 11 月 30 日在法國巴黎召開，達成之「巴黎氣候協議」（UNFCCC, 2015）是繼京都議定書之後，最具有約束力的全球溫室氣體減量新協議，成功凝聚 195 個參與國史無前例地無異議一致通過協定內容。要控制全球升溫在 2 度內，並淘汰所有的化石燃料，致力於乾淨並且安全無虞的再生能源。「巴黎氣候協議」（UNFCCC, 2015）決議的要點如下：

1. 西元 2100 年前，限制全球溫度漲幅在與前工業化時期相比攝氏 2 度之內，更進一步的遠程目標為控制在 1.5 度之內。
2. 要求 2020 年檢討各國目標，接著每五年檢討，並將 INDC（國家預期自主貢獻）模式轉換為更強化之 NDC（國家自主貢獻）機制進行；另外，同步辦理全球暖化控制進度盤點。
3. 參與國須致力將人類活動排放的溫室氣體，在下半個世紀降低到能與大自然吸收量平衡的程度。
4. 2020 年前，已開發國家每年投入 1000 億美元的氣候資金，資金配置隨著國家減排目標定期檢討，2025 年產生新的資金目標。
5. 許多國家將因氣候變遷蒙受損失，但不會因為協議而產生任何法律責任或賠償要求。

## 國際碳足跡盤查規範

碳足跡的定義與評估方法，最早付諸於文字、形成規範，是在英國標準協會（BSI）、碳信託（Carbon Trust）和英國環境、食品與農村事務部（Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra）聯合發佈的 PAS 2050：2008（BSI,2008）商品和服務生命週期溫室氣體排放評估規範（Specification for the assessment of the life cycle green house gas emissions of goods and services）中。PAS 2050 的定位屬於公開可取得規範（Publicly Available Specification），為英國國家標準或國際標準制訂前的暫行性標準，通常三年後會再審查以確認下一個三年是否該重新修訂為國家標準或撤銷，屆時若未成為正式的英國國家標準（BS）將不再具指引效力。然而在碳足跡議題的持續發燒，而國際標準仍然無法推出的狀況下，英國標準協會遂於 2011 年 10 月份參考碳足跡國際標準草案（ISO 14067（DIS），推出 PAS 2050：2011（BSI, 2011），作為國際標準通過前，與未來的國際標準不至於差異過大的碳足跡評估參考標準。

PAS 2050 的內容重點與準則規範彙整如表 1，其特色在於以標準化的方法，作為產品和服務之生命週期溫室氣體排放量的內部評估依據，並在產品和服務生命週期溫室氣體排放基礎上，輔助評估替代產品之配置、採購和生產方法、原材料和供應商的選擇，提昇評估結果的可信度及可比較性。目前國際間推動產品碳足跡查證與規範之制定，主要即參考 PAS 2050 而訂，該指引亦為國際標準組織制定產品碳足跡標準 ISO 14067 之重要參考。

表 1 PAS 2050 準則摘要說明

內容重點	準則內容
適用對象	適用於所有產品與服務
計算對象	IPCC 所列之溫室氣體，包括：CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、HFCs、PFCs、SF <sub>6</sub> 、HFEs、CFCs、HCECs、PFPE，含溴的鹵化烴類（海龍）、碳氫化合物及其他
計算範疇	Cradle to Grave（搖籃至墳墓）及 Cradle to Gate（搖籃至大門）
引用標準	ISO 14040、ISO 14044（生命週期評估原則與框架）
計算方式	ISO 14064（溫室氣體排放與減）
數據要求	其他補充要求文件（如：ISO 14025 環境宣告之產品類別標準）
分配方法	特定活動碳足跡 = 活動強度（體積、耗能量、燃料用量、距離、時間等）× 排放係數（每單位活動之二氧化碳當量排放量）
溝通方法	遵照 ISO 14044，包含：時間、地理特性、技術規範、正確性、精確度、完整性、一致性、再現性、資料來源

此外，國際標準組織（ISO）對於溫室氣體排放評估規範發展由 ISO 14064-1（ISO, 2006）之組織型碳盤查，逐步結合 ISO 14040 生命週期評估和 ISO 14044 產品與服務生命週期溫室氣體排放，發展至 ISO 14067 產品碳足跡之規範。藉由組織型溫室氣體管制開始，再逐漸將盤查的範圍擴展至相關供應鏈，重視產品與服務碳足跡盤查，發展為完整之碳足跡規範。

目前 ISO 14067 產品碳足跡量化與溝通之要求與指引（Greenhouse gases Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication），已於 2013 年 5 月正式公告為國際技術規範 ISO/TS14067：2013（ISO, 2013）；預期正式之 ISO14067 標準，將於本（2017）年公告。故工程若已竣工並完成碳足跡盤查總結報告及查證程序，但 ISO 14067 尚未公告，則以取得 PAS 2050 查證聲明取代之。

### 碳足跡盤查準則：產品類別規則（PCR）

目前國際間開發共同的產品類別規則是國際組織 GEDnet 努力的目標，為整合各國現有 EPD（環境產品宣告）系統，瑞典發起國際產品環境宣告系統：International EPD® System，目的在促進各國的第三類環境宣告一致化，以利全球產品能一致且正確地依循經過驗證的 PCR 進行產品生命週期評估、提出具有國際代表性的 EPD，減少未來出口其他國家時遇到不必要的貿易障礙，並避免因各國方法不同而造成製造商的人、物力消耗。

本計畫分別依循道路及橋梁二個 PCR 辦理，首先是瑞典運輸管理局（The Swedish Transport Administration）於 2014 年 2 月 28 日經由國際 EPDs 系統正式公告公路、街道及道路 PCR（PRODUCT GROUP: UN CPC 53211 HIGHWAYS（EXCEPT ELEVATED HIGHWAYS），STREETS AND ROADS）為最高準則。內容包含：總則、產品定義、功能單位宣告、內容聲明、單位及數量、系統邊界、截斷原則、分配原則、數據描述及數據質量要求、環境產品宣告內容、環境產品宣告之有效性、本 PCR 修改等 12 節。本道路 PCR 宣告單位為：公里 — 主要道路 — 一年，其生命週期邊界自原料開採／製造（含運輸）階段、施工階段、營運管養階段之所有過程皆須納入盤查，至於運輸服務及工程拆除階段，則排除於邊界條件外。

其次為義大利 R.T.I. NIER 工程公司及 LCA 實驗室於 2013 年 12 月 20 日經由國際 EPDs 系統正式公告橋梁及高架道路 PCR（PRODUCT GROUP: UN CPC 53221 BRIDGES AND ELEVATED HIGHWAYS），目前為國際上橋梁碳盤查之最高準則。內容同樣包含：總則、產品定義、功能單位宣告、內容聲明、單位及數量、系統邊界、截斷原則、分配原則、數據描述及數據質量要求、環境產品宣告內容、環境產品宣告之有效性、本 PCR 修改等 12 節。本橋梁 PCR 宣告單位為：公尺 — 一年（參考服務年限），其生命週期範圍與前述道路 PCR 相同。

### 我國碳足跡產品類別規則（CFP-PCR）

行政院環保署於 2014 年 5 月 30 日核准基礎建設 — 道路、隧道、橋梁等三種工程類型之碳足跡產品類別規則（PCR）。內容定義包含基礎建設之系統邊界、生命週期範圍。原料取得階段、施工建造階段及管理營運階段之一級數據、二級數據之來源與情境皆有詳列規範，以作為未來基礎建設 — 道路、隧道、橋梁等工程計算碳足跡之依據。其中橋梁及隧道工程（Tunnel Infrastructure）CFP-PCR 核定之正式文件名稱與適用範圍說明分述如下：

1. 橋梁工程：我國各種類型之橋梁工程，包含木橋、鋼筋混凝土橋、鋼構橋梁及組合式橋梁等各種類型橋梁。功能為提供各類型載具跨越地形，連結河流或山谷兩側，並包含滿足此功能之交控、照明與其他必要附屬設施。本產品的功能單位定義為每公里 - 寬度之橋梁之修建（包含橋梁設備與其他必要附屬設施），以及未來 50 年之營運。
2. 隧道工程：我國各種類型之隧道工程，包含公路、鐵梁、人行、水流及捷運等各種隧道類型。功能為提供車輛通行或輸送物資穿越山岳、平地或海底之通梁，並包含滿足此功能所需之環控、照明與其他必要附屬設施。本產品的功能單位定義為每公里 - 斷面積之隧道之修建（包含隧道設備與其他必要附屬設施），以及未來 50 年之營運。

### 碳管理計畫工作內容

本案例之工作內容，包含：文獻資料蒐集與盤查制度建立、本計畫各標工程細部設計成果之碳排放量評估、實際工程碳足跡輔導及盤查、查證、工程碳排放量



彙整及碳匯變化量調查，最後依實際碳足跡盤查及排放量推估結果，配合碳匯變化量調查結果等如圖 3。其詳細之工作內容說明如後：

1. 工程細部設計成果之碳排放量評估：建立本工程之排碳資料庫、工程碳排放量計算及工程節能減碳效益評估檢討等。
2. 實際工程碳足跡輔導及盤查、查驗及查證：本工程所使用之產品（材料、半成品、成品及設備等）碳排放活動數據資料調查或收集及各類施工活動碳足跡實際盤查、查驗及查證。盤查範圍包含 ISO/TS 14067、PAS 2050 及環保署制訂之我國「產品與服務碳足跡計算指引」所定義之材料、機具、運輸、廢棄物、水電及燃料等，及碳匯變化、人員運輸以及施工範圍之外的組織型盤查亦涵蓋在內。
3. 計算工程碳排放總量：經由實際碳足跡盤查結果，計算本工程碳排放總量。
4. 總體碳匯變化量調查：調查本工程用地範圍內之碳匯變化量。
5. 碳排放量評估及減碳成效成果：由本計畫文獻資料之蒐集與盤查制度建立，依實際碳足跡盤查、推估及碳匯變化量調查結果，彙整完成本計畫之整體碳排放量評估及減碳成效，以呈現整體執行成果。



圖 3 施工階段盤查標的及範圍

## 碳足跡計算方式

基於碳足跡計算規範要求與目前國際碳管理趨勢，排碳係數需採用生命週期係數；完整的生命週期係數定義為考量其原物料開採提煉、運輸、製造、使用及廢棄階段之碳排放量。此外，為提升盤查結果代表性，亦應以本土化係數為優先。依此原則，本案例排碳係數選用來源及原則說明如後：

### • 排放係數來源

排放係數蒐集之主要來源有以下 5 種：

1. 供應商配合本計畫盤查所得之產品碳足跡係數。
2. 環保署公告或供應商提供之產品碳足跡係數。
3. 結合國內公告係數與係數資料庫計算而得之生命週期係數。
4. 國內外生命週期資料庫。
5. 國內外文獻刊載之排放係數。

### • 係數選用原則

由於相同類型項目可能有數種排放係數，本計畫之排放係數選用將根據下列原則進行篩選，包括：盤查範疇、生命週期盤查方式、技術性、地理性與時間性。

## 計算之溫室氣體種類

本案例計算之溫室氣體種類除二氧化碳外，包括 IPCC 2007 年第四次評估報告中所列之所有溫室氣體，包括：二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、甲烷 (CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮 (N<sub>2</sub>O)、氫氟碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs)、六氟化硫 (SF<sub>6</sub>) 及蒙特婁議定書所管制之物質等。

## 系統邊界

以工程生命週期考量，碳足跡計算範圍包括時間邊界及地理邊界。

### • 時間邊界

時間邊界考量施工建造階段及營運管理階段之碳排放量，如圖 4 所示。

施工建造階段 — 資料蒐集期間參考公共工程三級品管制度表單填報要求，以工程開工日至竣工日為原則。由本案例蒐集未來工程營運能耗、維護修繕之相關資料，以推估方式計算其排碳量。營運管理階段之交通排碳量無論於國際或我國之道路、橋梁產品類別規則，均已將其排除，故本案亦將交通排碳量排除營運管理階段之計算範圍中。



圖 4 碳足跡計算邊界示意圖

● 施工建造階段之地理邊界

本計畫之盤查以施工建造階段為主，盤查範圍以地理邊界界定。

考量涵蓋範圍之完整性，碳足跡盤查範圍包括兩大部份：1. 工程主體及 2. 施工管理。

工程主體包含本隧道工程之施工過程中所有投入物料、能資源之製造及使用之排碳量，所使用機具或建物其製造或建造排碳量不列入計算，此設定可符合 PCR 系統邊界設定之要求。施工管理則主為專用於本工程各標工程之管理及監造之活動。

**碳排放量計算方式**

碳足跡計算以排放係數法進行，由該活動各種溫室氣體活動數據，乘以該活動單位溫室氣體排放或移除係數，再乘以所排放之溫室氣體的全球暖化潛勢 (GWP) 所得之合計量，以二氧化碳當量 (CO<sub>2</sub>e) 表示。

碳排放量 (CO<sub>2</sub>e) = Σ 活動強度 i × (Σ 溫室氣體排放或移除係數 ij × 全球暖化潛勢 ij)

其中：i 為活動種類；j 為溫室氣體種類。

GWP 值以 IPCC 2007 年第四次評估報告為主。

**細部設計推估**

**細設推估的目的**

交通部公路總局推展之「工程碳管理架構與機制」，最終目標為建立公共工程之碳管理資料庫，細設推估之目的如引言所述，為與各項工程施工階段與實際盤查結果進行資料庫比較與修正，可提供未來工程於規設階段，即可以規設圖說、數量進行碳排放量推估並且不致產生過大誤差。

**推估方式**

依據本計畫細設成果，先行將設計成果中各工項數量轉換為主要活動數據計算碳排放量，並以經費比例分析無法由設計成果呈現之排碳源；至於排碳係數之決定，將同步參考國內外各政府單位、學會相關資料，以及生命週期軟體如 Simapro 所連結之環境資料庫，進行各項工程材料碳排放係數之參照引用。例如能源係數使用環保署公用碳足跡資料庫，鋼筋及混凝土使用國內已通過查證的碳足跡係數。

**推估成果 — C1 橋梁標**

本工程屬橋梁工程，其工作項目高達 476 項，扣除臨時工項 (假設工程)、施工工項及以費用為計價工項後之活動數據約 181 項，經由現階段碳排放係數資料庫中搜尋，可尋求碳排放係數之工程材料工項約 166 項，再就上述工程材料，乘以其對應之碳排放係數，再將各該工項碳排放量加總，初步估算碳排放量為 153,769 TCO<sub>2</sub>e。另再依工程預算金額比例，計算該等已知碳排放係數之工項，其所佔金額約為工程材料工項總計之 85.4%，來推算本計畫工料部份之總碳排放量約為 180,038 TCO<sub>2</sub>e。

以上推估數據僅就本標工程材料部分加以估算，對於施工機具之直接排放量推估，則依據交通部運輸研究所 2012.05「交通運輸工程排碳量推估模式建立與效益分析之研究」報告，有關對公路總局蘇花改工程各標之研究案例，經比對與本標工程規模相當之標別，其施工機具之直接排放量約佔總工程排放量之 16%，由此推算本標工程之總碳排放量約為 214,331 TCO<sub>2</sub>e。如再引用歐盟文獻，對於營運管養階段之設施操作維護排碳量約佔施工階段之 14% 推估，則本標全生命週期之總碳排放量約為 244,338 TCO<sub>2</sub>e，計算流程詳圖 5 所示。

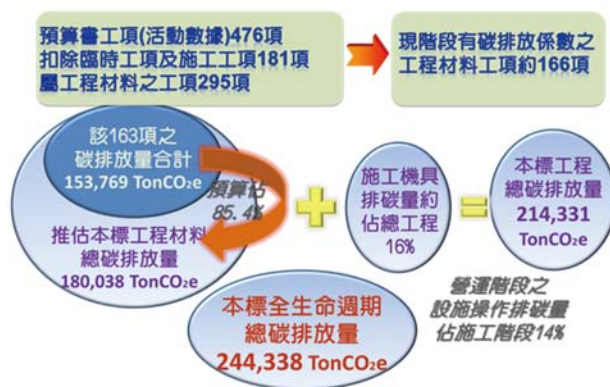


圖 5 C1 標細設推估計算流程圖

**推估成果 — C2 隧道標**

本標工程主要為隧道工程，其工作項目高達 900 餘項，扣除臨時工項 (假設工程)、施工工項及以費用為計價工項後之活動數據約 200 餘項，經由現階段碳排放係數資料庫中搜尋，可尋求碳排放係數之工程材料工項約 275 項，再就上述工程材料，乘以其對應之碳排放係數，再將各該工項碳排放量加總，初步估算碳排放量為 127,621 TCO<sub>2</sub>e。另再依工程預算金額比例，計算該等已



知碳排放係數之工項，其所佔金額約為工程材料工項總計之 84.1%，來推算本計畫工料部份之總碳排放量約為 151,800 TCO<sub>2</sub>e。

以上推估數據僅就本標工程材料部分加以估算，對於施工機具之直接排放量推估，則依據交通部運輸研究所 2012.05「交通運輸工程排碳量推估模式建立與效益分析之研究」報告，有關對公路總局蘇花改工程各標之研究案例，經比對與本標工程規模相當之標別，其施工機具之直接排放量約佔總工程排放量之 16%，由此推算本標工程之總碳排放量約為 180,700 TCO<sub>2</sub>e。如再引用歐盟文獻，對於營運管養階段之設施操作維護排碳量約佔施工階段之 14% 推估，則本標全生命週期之總碳排放量約為 206,000 TCO<sub>2</sub>e，計算流程詳圖 6 所示。



圖 6 C2 標細設推估計算流程圖

## 盤查輔導作業原則

### 作業流程

工地現場盤查輔導工作為本計畫執行核心，其工作流程將先由承包商進行活動數據蒐集彙整及單據表單留存建檔，上傳至碳管理資訊平台後，再由盤查單位進行碳足跡量化；期間透過承包商及監造單位（駐地工程師）進行內部查核，以及盤查單位書面及現場查核等程序，可確保資料品質。活動數據蒐集資料將定期彙整，再對應已匯入資料庫中之碳排放係數相乘後，即可成為排放清冊。本計畫盤查輔導流程將依據核定之盤查標的、範圍及邊界等，執行盤查輔導工作，如圖 7 所示。

### 活動數據蒐集

施工排碳量計算係由工程活動數據乘上碳排放係數而得，如何完整及正確蒐集活動數據，有賴於盤查表單之妥善制定。



圖 7 盤查輔導流程圖

依據實際執行流程規劃，本作業施工活動數據紀錄（包含施工碳管理日誌及施工碳管理登錄表），須由承包商依實際施工情形每日記錄，並完整蒐集相關單據或佐證資料。本計畫之盤查輔導單位並定期統計施工活動數據，彙集成月報及年報資料，並於每年度由查證單位完成成果預審，以分年度查證方式逐步統計各年度碳排放量，直至工程完工後再做最後階段查證，以克服隧道工程施工工期長之問題。

## 排放係數選定

碳足跡排放係數選用正確與否，影響碳足跡估算成果甚鉅，為提昇本計畫之一級數據佔比，以及符合碳足跡查證需求，本計畫先以細部設計成果資料，針對主要工程項目所列之各項材料及能資源使用，先行率定碳排放係數高之材料，於施工階段在製造廠進行該項材料之產品碳足跡盤查。且為確保係數選用之正確性，本計畫規劃碳足跡相關排放係數蒐集及選用程序如圖 8 所示，並說明如下：

本計畫蒐集各項可能之碳排放係數來源，並從中挑選切合本工程特性之排放係數，以建立本土化工程用碳排放係數資料庫為目標。首先，進行工程用材料及能資源碳排放係數之擇定，依照資料來源之針對性以及數據品質之掌握性，將蒐集碳足跡之資料來源優先順序排序如下：

1. 本計畫盤查原物料供應商之本土係數
2. 本計畫盤查單位曾執行盤查之係數
3. 國內業者自行盤查之係數
4. 國內環保署公告各項碳足跡排放係數
5. 內政部公告之建築材料碳排放係數
6. 國內外研究文獻產出之工程材料碳足跡排放係數
7. 國內外生命週期評估軟體資料庫內之碳足跡係數



圖 8 碳足跡排放係數選用流程說明

### C1 標施工階段碳排量計算

C1 橋梁標自 2014 年 5 月開工，至 2016 年底為止，實際進度約 57.88%，以下各節將分就各年度之工料、機具、公務運輸、用水及用電、廢棄物及植栽碳匯變化進行說明。

### C1 標 2014 年度試算結果

C1 標 2014 年度工程材料使用為 7,999.46 TonCO<sub>2e</sub>，工程材料運輸為 513.94TCO<sub>2e</sub>，各種材料類別使用量如表 2。

表 2 C1 標 2014 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
熱軋竹節鋼筋	3195.28	39.94%
混凝土類	2559.37	31.99%
噴凝土類	887.40	11.09%
其他	1424.03	16.97%
合計	7,999.46	100.00%

C1 標 2014 年度施工機具使用為 556.26TCO<sub>2e</sub>，而施工機具運輸為 23.34TCO<sub>2e</sub>，各種機具類別使用量如表 3。

表 3 C1 標 2014 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
挖土機類	221.31	39.79%
發電機空壓機	142.55	25.63%
打樁機類	67.56	12.15%
吊車類	64.81	11.65%
鑽掘類	31.49	5.66%
卡車類	26.54	4.77%
破碎機類	1.32	0.24%
其他類	0.66	0.12%
合計	556.26	100.00%

C1 標 2014 年度公務運輸使用為 47.10 TCO<sub>2e</sub>，用水使用為 0.53 TCO<sub>2e</sub>，而用電使用為 218.94 TCO<sub>2e</sub>，用電位置及度數如表 4。

表 4 C1 標 2014 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
臨時辦公室 2F-1	6,408	4.42
臨時辦公室 1F-1	1,836	1.27
臨時辦公室 2F-2	4,376	3.02
臨時辦公室 1F-2	10,027	6.92
宿舍與辦公室	1,538	1.06
C1 標監造工務所用電	7,113	4.91
高南二段辦公室用電	7,940	5.48
西濱南工程處用電	278,071	191.87
合計	317,309	218.94

C1 標 2014 年度植栽變化碳匯為 333.02 TCO<sub>2e</sub>，廢棄物及化糞池逸散為 9.16 TCO<sub>2e</sub>，計算方式如表 5。

表 5 C1 標 2014 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
逸散	工地人員化糞池	人天	10,781	3.79
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	51.52	5.21
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	567.85	0.16
小計				9.16

C1 標 2014 年度工程施工碳排放量為 9,714.25 TCO<sub>2e</sub>，其中工料使用佔比超過 82%，其次為工料運輸與機具使用，約各佔 5.5%，各項排放源之排放量統計如表 6。

表 6 C1 標 2014 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
工料使用	7,999.46	82.35%
工料運輸	526.44	5.42%
機具使用	556.26	5.73%
機具運輸	23.34	0.24%
公務運具使用	47.10	0.48%
用電	218.94	2.25%
用水	0.53	0.01%
廢棄物	5.37	0.06%
人員化糞池逸散	3.79	0.04%
碳匯變化	333.02	3.43%
工程總量	9,714.25	100.00%

### C1 標 2015 年度試算結果

C1 標 2015 年度工程材料使用為 50,999.50 TCO<sub>2e</sub>，而工程材料運輸為 1,876.63 TCO<sub>2e</sub>，各種材料類別使用量如表 7。



表 7 C1 標 2015 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
混凝土類	26,875.31	52.70%
熱軋竹節鋼筋	17,605.56	34.52%
噴凝土類	4,889.49	9.59%
桁架	669.07	1.31%
其他	960.06	1.88%
合計	50,999.50	100.00%

C1 標 2015 年度施工機具使用為 3,308.97 TCO<sub>2e</sub>，而施工機具運輸為 13.87 TCO<sub>2e</sub>，各種機具類別使用量如表 8。

表 8 C1 標 2015 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
挖土機類	1086.56	32.84%
其他類	1051.06	31.76%
發電機類	673.26	20.35%
空壓機類	335.58	10.14%
打樁機類	88.09	2.66%
鑽掘機類	74.41	2.25%
合計	3308.97	100.00%

C1 標 2015 年度公務運輸使用為 67.76 TCO<sub>2e</sub>，用水使用為 0.97 TCO<sub>2e</sub>，而用電使用為 126.16 TCO<sub>2e</sub>，用電位置及度數如表 9。

表 9 C1 標 2015 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
臨時辦公室	2,402	1.59
工務所 -1	52,440	34.61
工務所 -2	15,000	9.90
C1 標監造工務所用電	34,957	23.07
高南二段辦公室用電	12,172	8.03
西濱南工程處用電	74,173	48.95
合計	191,144	126.16

C1 標 2015 年度廢棄物及化糞池逸散為 23.38 TCO<sub>2e</sub>，計算方式如表 10。

表 10 C1 標 2015 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
逸散	工地人員化糞池	人天	30,396	9.70
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	26.41	13.34
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	1,452.78	0.34
小計				23.38

C1 標 2015 年度工程施工碳排放量為 56,594.04 TCO<sub>2e</sub>，其中工料使用占比超過 90%，其次為機具使用及工料運輸，總計約佔 9%，各項排放源之排放量統計如表 11。

表 11 C1 標 2015 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
工料使用	50,999.50	90.11%
工料運輸	1,876.63	3.32%
機具使用	3,308.97	5.85%
機具運輸	13.87	0.02%
公務運具使用	67.76	0.12%
用電	126.16	0.22%
用水	0.97	0.00%
廢棄物	13.68	0.02%
人員化糞池逸散	9.70	0.02%
碳匯變化	177.82	0.31%
工程總量	56,595.04	100.00%

### C1 標 2016 年度試算結果

C1 標 2016 年度工程材料使用為 51,281.25 TCO<sub>2e</sub>，而工程材料運輸為 922.37 TCO<sub>2e</sub>，各種材料類別使用量如表 12。

表 12 C1 標 2016 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
混凝土	32782.45	63.93%
熱軋竹節鋼筋	12670.48	24.71%
預力材料	3967.57	7.74%
噴凝土	1072.77	2.09%
其他	787.98	1.54%
合計	51281.25	100.00%

C1 標 2016 年度施工機具使用為 1,731.53 TCO<sub>2e</sub>，而施工機具運輸為 16.28 TCO<sub>2e</sub>，各種機具類別使用量如表 13。

表 13 C1 標 2016 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
挖土機	486.50	28.10%
吊車	221.02	12.76%
發電機	470.48	27.17%
其他	553.53	31.97%
合計	1731.53	100.00%

C1 標 2016 年度公務運輸使用為 128.92 TCO<sub>2e</sub>，用水使用為 0.47 TCO<sub>2e</sub>，而用電使用為 210.23 TCO<sub>2e</sub>，用電位置及度數如表 14。

表 14 C1 標 2016 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
工務所 -1	33000	21.45
工地臨時用電 -1	1370	0.89
工地臨時用電 -2	99	0.06
工務所 -2	153080	99.50
工地臨時用電 -3	842	0.55
C1 標監造工務所	48569	31.57
高南二段辦公室用電	17845	11.60
西濱南工程處用電	68626.10	44.61
合計	323431.10	210.23

C1 標 2016 年度廢棄物及化糞池逸散為 26.22 TCO<sub>2</sub>e，計算方式如表 15。

表 15 C1 標 2016 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)
逸散	工地人員化糞池	人天	31152	11.12
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	29.16	14.72
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	1603.70	0.38
小計				26.22

C1 標 2016 年度工程施工碳排放量為 54,348.36 TCO<sub>2</sub>e，其中工料使用占比超過 94%，其次為機具使用與工料運輸，總計約佔 5%，各項排放源之排放量統計如表 16，而一級數據占比約為 3.87%，如表 17 所示。

表 16 C1 標 2016 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	佔比
工料使用	51,281.25	94.36%
工料運輸	922.37	1.70%
機具使用	1,762.61	3.24%
機具運輸	16.28	0.03%
公務運具使用	128.92	0.24%
用電	210.23	0.39%
用水	0.47	0.00%
廢棄物	15.10	0.03%
人員化糞池逸散	11.12	0.02%
碳匯變化	0.00	0.00%
工程總量	54,348.36	100.00%

表 17 C1 標 2016 年一級數據佔比分析表

一級數據排放源	一級數據碳排放量 (ton CO <sub>2</sub> e)	一級數據佔比 (%)
機具使用	1762.61	3.24
公務運具	128.92	0.24
水電	210.70	0.39
總量	2102.23	3.87

## C2 標施工階段碳排放量計算

C2 隊道標自 2013 年 7 月開工，至 2016 年底為止，實際進度約 42.97%，以下各節將分就各年度之工料、機具、公務運輸、用水及用電、廢棄物及植栽碳匯變化進行說明。

### C2 標 2013 年度試算結果

C2 標 2013 年度工程材料使用為 1,767.33 TonCO<sub>2</sub>e，工程材料運輸為 249.83TCO<sub>2</sub>e，各種材料類別使用量如表 18。

表 18 C2 標 2013 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	佔比
混凝土類	1,320.49	74.72%
普特蘭水泥	131.13	7.42%
水電物料	123.51	6.99%
管罌鋼管	90.66	5.13%
熱軋竹節鋼筋	71.47	4.04%
其他	30.07	1.7%
合計	1,767.33	100.00%

C2 標 2013 年度施工機具使用為 218.08TCO<sub>2</sub>e，而施工機具運輸為 15.68TCO<sub>2</sub>e，各種機具類別使用量如表 19。

表 19 C2 標 2013 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	佔比
其他類	2.78	1.27%
震動破碎機類	9.97	4.57%
吊車類	11.48	5.26%
鑽堡類	24.60	11.28%
發電機空壓機	83.13	38.12%
挖土機類	86.13	39.49%
合計	218.08	100.00%

C2 標 2013 年度公務運輸使用為 41.47 TCO<sub>2</sub>e，用水使用為 0.01 TCO<sub>2</sub>e，而用電使用為 33.85 TCO<sub>2</sub>e，用電位置及度數如表 20。

表 20 C2 標 2013 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)
草埔辦公室用電	33,312	22.99
北口工區用電	1,922	1.33
北口辦公室用電	2,993	2.07
監造工務所用電	2,727	1.88
高南二段辦公室	4,865	3.36
西濱南工處臨時辦公室	3,236	2.23
合計		33.85

C2 標 2013 年度植栽變化碳匯為 9.92 TCO<sub>2</sub>e，廢棄物及化糞池逸散為 5.22 TCO<sub>2</sub>e，計算方式如表 21。

表 21 C2 標 2013 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)
逸散	工地人員化糞池	人天	6,770	2.16
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	5.88	2.97
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	323.57	0.09
小計				5.22

C2 標 2013 年度工程施工碳排放量為 2,341.39 TCO<sub>2</sub>e，其中工料使用佔比超過 75%，其次為工料運輸與機具使用，約各佔 10%，各項排放源之排放量統計如表 22。



表 22 C2 標 2013 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
工料使用	1,767.33	75.48%
工料運輸	249.83	10.67%
機具使用	218.08	9.31%
機具運輸	15.68	0.67%
公務運具使用	41.47	1.77%
用電	33.85	1.45%
用水	0.01	0.00%
廢棄物	3.06	0.13%
人員化糞池逸散	2.16	0.09%
碳匯變化	9.92	0.42%
工程總量	2,341.39	100.00%

### C2 標 2014 年度試算結果

C2 標 2014 年度工程材料使用為 26,972.16 TCO<sub>2e</sub>，而工程材料運輸為 1,103.65 TCO<sub>2e</sub>，各種材料類別使用量如表 23。

表 23 C2 標 2014 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
混凝土類	17,836.09	66.13%
噴凝土類	4,678.69	17.35%
普特蘭水泥	892.65	3.31%
鋼纖維	694.44	2.57%
熱軋竹節鋼筋	644.96	2.39%
桁架	521.51	1.93%
先撐鋼管	278.25	1.03%
其他	1424.03	5.29%
合計	26,972.16	100.00%

C2 標 2014 年度施工機具使用為 2,290.55TCO<sub>2e</sub>，而施工機具運輸為 23.04TCO<sub>2e</sub>，各種機具類別使用量如表 24。

表 24 C2 標 2014 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
出土車類	6.10	0.27%
震動破碎機類	9.75	0.43%
發電機空壓機	21.12	0.92%
鑽堡類	21.56	0.94%
吊車類	59.37	2.59%
鏟裝機類	71.05	3.10%
挖土機類	772.88	33.74%
豎井辦公室用電	624.84	27.28%
南口辦公室用電	291.54	12.73%
北口隧道工區用電	412.34	18.00%
合計	2,290.55	100.00%

C2 標 2014 年度公務運輸使用為 150.56 TCO<sub>2e</sub>，用水使用為 0.8 TCO<sub>2e</sub>，而用電使用為 619.73 TCO<sub>2e</sub>，用電位置及度數如表 25。

表 25 C2 標 2014 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
草埔辦公室用電	138,902	95.84
北口辦公室用電	118,320	81.64
北口辦公室用電	200	0.14
專用預拌廠用電	202,920	140.01
監造工務所用電	9,395	6.48
高南二段辦公室用電	11,322	7.81
西濱南工程處用電	417,106	287.80
合計	898,165	619.73

C2 標 2014 年度廢棄物及化糞池逸散為 40.50 TCO<sub>2e</sub>，計算方式如表 26。

表 26 C2 標 2014 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
逸散	工地人員化糞池	人天	50,864	16.75
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	45.63	23.05
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	2,510	0.7
小計				40.50

C2 標 2014 年度工程施工碳排放量為 31,200.98 TCO<sub>2e</sub>，其中工料使用佔比超過 86%，其次為機具使用、工料運輸與用電，總計約佔 13%，各項排放源之排放量統計如表 27。

表 27 C2 標 2014 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
工料使用	26,972.16	86.45%
工料運輸	1,103.65	3.54%
機具使用	2,290.55	7.34%
機具運輸	23.04	0.07%
公務運具使用	150.56	0.48%
用電	619.73	1.99%
用水	0.80	0.00%
廢棄物	23.75	0.08%
人員化糞池逸散	16.75	0.05%
碳匯變化	0.00	0.00%
工程總量	31,200.98	100.00%

### C2 標 2015 年度試算結果

C2 標 2015 年度工程材料使用為 26,972.16 TCO<sub>2e</sub>，而工程材料運輸為 4,595.61 TCO<sub>2e</sub>，各種材料類別使用量如表 28。

表 28 C2 標 2015 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	佔比
噴凝土	13,762.98	39.78%
混凝土類	6,515.49	18.83%
水玻璃	3,801.56	10.99%
其他類	3,461.85	10.01%
先撐鋼管	2,249.82	6.50%
普特蘭 II 型水泥	1,567.87	4.53%
熱軋竹節鋼筋	1,305.99	3.77%
鋼纖維	1,011.78	2.92%
桁架	921.47	2.66%
合計	34,598.80	100.00%

C2 標 2015 年度施工機具使用為 7,859.30 TCO<sub>2</sub>e，而施工機具運輸為 6.46 TCO<sub>2</sub>e，各種機具類別使用量如表 29。

表 29 C2 標 2015 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	佔比
吊車類	107.53	1.37%
出土車類	45.76	0.58%
挖土機類	1,723.43	21.93%
破碎機類	59.93	0.76%
鏟樁機類	369.53	4.70%
其他類	2.17	0.03%
豎井辦公室用電	2,197.60	27.96%
南口辦公室用電	2,009.40	25.57%
北口隧道工區用電	1,343.96	17.10%
合計	7,859.30	100.00%

C2 標 2015 年度公務運輸使用為 193.35 TCO<sub>2</sub>e，用水使用為 0.74 TCO<sub>2</sub>e，而用電使用為 531.59 TCO<sub>2</sub>e，用電位置及度數如表 30。

表 30 C2 標 2015 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)
草埔辦公室用電	191,280.00	126.24
北口辦公室用電	181,920.00	120.07
專用預拌廠用電	347,640.00	229.44
監造工務所用電	18,811.00	12.42
西濱南工程處用電	56,602.00	37.36
高南二段辦公室用電	9,182.65	6.06
合計	805,435.65	531.59

C2 標 2015 年度廢棄物及化糞池逸散為 50.37 TCO<sub>2</sub>e，計算方式如表 31。

表 31 C2 標 2015 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)
逸散	工地人員化糞池	人天	62,670	19.99
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	58.66	29.62
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	323.57	0.76
小計				50.37

C2 標 2015 年度工程施工碳排放量為 47,836.21 TCO<sub>2</sub>e，其中工料使用占比超過 72%，其次為機具使用與工料運輸，總計約佔 26%，各項排放源之排放量統計如表 32，而一級數據佔比約為 56.86%。

表 32 C2 標 2015 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	佔比
工料使用	34,598.80	72.33%
工料運輸	4,595.61	9.61%
機具使用	7,859.30	16.43%
機具運輸	6.46	0.01%
公務運具使用	193.35	0.40%
用電	531.59	1.11%
用水	0.74	0.00%
廢棄物	30.38	0.06%
人員化糞池逸散	19.99	0.04%
碳匯變化	0.00	0.00%
工程總量	47,836.21	100.00%

## C2 標 2016 年度試算結果

C2 標 2016 年度工程材料使用為 40,679.17 TCO<sub>2</sub>e，而工程材料運輸為 3,276.43 TCO<sub>2</sub>e，各種材料類別使用量如表 33。

表 33 C2 標 2016 年材料類別使用統計表

材料類別	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	佔比
混凝土	11,107.71	27.31%
熱軋竹節鋼筋	1,964.72	4.83%
水玻璃	4,479.15	11.01%
先撐鋼管	2,007.34	4.93%
桁架	675.69	1.66%
鋼橋	780.05	1.92%
噴凝土	13,342.99	32.80%
其他	6,321.52	15.54%
合計	40,679.17	100.00%

C2 標 2016 年度施工機具使用為 11,901.26 TCO<sub>2</sub>e，而施工機具運輸為 12.43 TCO<sub>2</sub>e，各種機具類別使用量如表 34。

表 34 C2 標 2016 年機具類別使用統計表

機具類別	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	佔比
挖土機	1774.63	14.74%
吊車	5.22	0.04%
鏟裝機	382.78	3.18%
出土車	44.98	0.37%
其他	654.33	5.44%
豎井辦公室用電	4321.66	35.91%
南口辦公室用電	3314.94	27.54%
北口隧道工區用電	1537.58	12.77%
合計	12036.12	100.00%



C2 標 2016 年度公務運輸使用為 173.31 TCO<sub>2e</sub>，用水使用為 0.11 TCO<sub>2e</sub>，而用電使用為 381.85 TCO<sub>2e</sub>，用電位置及度數如表 35。

表 35 C2 標 2016 年用電類別使用統計表

供電用途	耗電量 (度)	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
草埔辦公室用電	212,160	137.90
北口辦公室用電	249,480	162.16
監造工務所用電	20,934	13.61
西濱南工程處用電	64,743.1	42.08
高南二段辦公室用電	40,151.8	26.10
合計	587,468.89	381.85

C2 標 2016 年度廢棄物及化糞池逸散為 70.85 TCO<sub>2e</sub>，計算方式如表 36。

表 36 C2 標 2016 年廢棄物及化糞池逸散統計表

排放類別	排放項目	單位	數量	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )
逸散	工地人員化糞池	人天	84168	30.05
廢棄物	一般生活廢棄物焚化	ton	78.78	39.78
	一般生活廢棄物運輸	Ton km	4332.97	1.02
小計				70.85

C2 標 2016 年度工程施工碳排放量為 56,630.27 TCO<sub>2e</sub>，其中工料使用佔比約為 72%，其次為機具使用與工料運輸，總計約佔 27%，各項排放源之排放量統計如表 37，而一級數據佔比約為 45.32%，如表 38 所示。

表 37 C2 標 2016 年工程施工碳排放量統計表

排放源	碳排放量 (TCO <sub>2e</sub> )	佔比
工料使用	40,679.17	71.83%
工料運輸	3,276.43	5.79%
機具使用	12,036.12	21.25%
機具運輸	12.43	0.02%
公務運具使用	173.31	0.31%
用電	381.85	0.67%
用水	0.11	0.00%
廢棄物	40.80	0.07%
人員化糞池逸散	30.05	0.05%
碳匯變化	0.00	0.00%
工程總量	56,630.27	100.00%

表 38 C2 標 2016 年一級數據佔比分析表

一級數據排放源	一級數據碳排放量 (ton CO <sub>2e</sub> )	一級數據佔比 (%)
鋼筋	1,964.72	3.47
混凝土	11,107.71	19.61
機具使用	12,036.12	21.25
公務運具	173.31	0.31
用電	381.96	0.67
總量	25,663.82	45.32

表 39 與表 40 分別顯示 C1 標及 C2 標各年度各項排放源佔比趨勢，各標各年度之主要排放源均為工程材料，但可觀察出 C2 隧道標施工機具使用所佔比例明顯高於 C1 橋梁標，故進行設計推估時應有所區別。

表 39 C1 標各年度排放源佔比趨勢圖

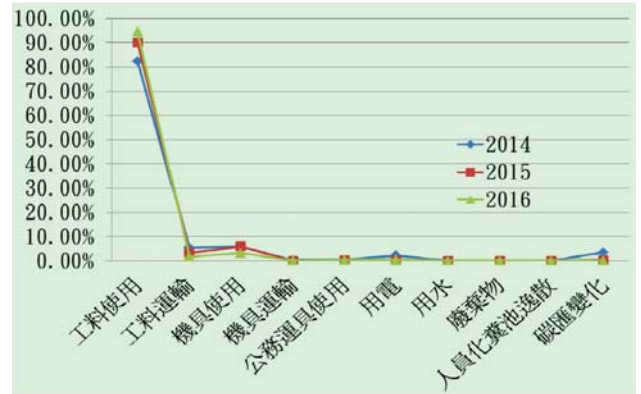
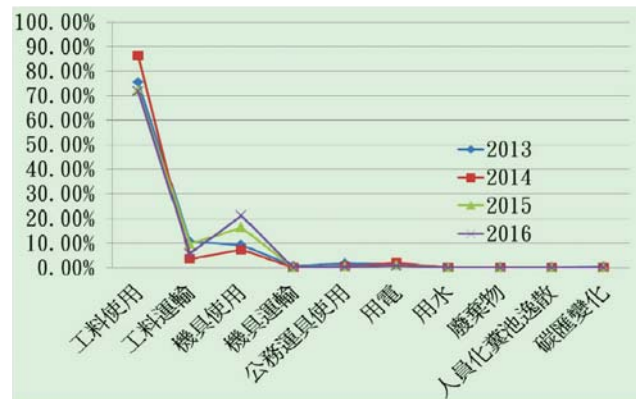


表 40 C2 標各年度排放源佔比趨勢圖



## 加值分析

本計畫除進行上述活動數據蒐集及排放係數律定之外，亦針對盤查結果進行額外分析，如單位工程進度排放量、各類工程單位長度排放量等，茲說明如下。

## 單位工程進度排放量

本計畫每半年針對工程進度、當期碳排放量與細設成果推估進行比較，除可掌握每一期單位進度排放量之變化，亦針對細設推估之成果提出推估模式或參數之修正，期能回饋至工程開工前對工程碳排放量提出更為準確之預估。詳細結果表列於表 41 及表 42，C1 標除 2014 年主要進行路堤工程，其後工進主要為基礎、下構及上構施工；C2 標除 2013 年主要進行洞口整地開挖之外，其餘工進主要為隧道內鑽炸施工、支保組立及噴漿作業。

表 41 C1 標單位工程進度碳排放量統計表

統計期間	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	當期工程進度 (%)	單位進度碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e/%)
2014.05-2014.12	9,714.25	5.2	1,868.13
2015.01-2015.12	56,595.04	26.55	2,131.64
2016.01-2016.12	54,348.36	26.13	2,079.92
合計	120,657.7	57.88	2,084.62
設計階段推估	214,331	100	2,143.31

表 42 C2 標單位工程進度碳排放量統計表

統計期間	碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	當期工程進度 (%)	單位進度碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e/%)
2013.07-2013.12	2,341.39	0.94	2,490.84
2014.01-2014.12	31,200.98	14.49	2,153.28
2015.01-2015.12	47,836.21	13.37	3,577.88
2016.01-2016.12	56,630.27	14.17	3,996.49
合計	138,008.9	42.97	3,211.75
設計階段推估	180,700	100	1,807.00

由上表可知，C1 標目前實際碳排放量與設計階段推估約略相符，而 C2 標則高於細設推估量，最主要原因應與上節所述相同，即 C2 隧道標之施工機具所耗能源較推估時預測值更高，本案將在完工時針對隧道及橋梁分別提出不同之機具能耗量，可供將來公共工程參考之用。

### 本工程單位長度排放量

為了解本工程各類結構工項每單位行進米之碳排放量，以便於規劃設計時參考用以選擇最適方案，本計畫亦統整開工日起至 2016 年底各結構工項施作長度及總碳排放量，計算結果如表 43 所示（不含襯砌施工）。

表 43 本工程不同分區類別單位碳排放量統計表

使用分區類別	排放量 (TCO <sub>2</sub> e)	項目	長度 (m)	每進行米碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e)
120cmφ 基樁	220.87	鋼筋、混凝土等 (含樁帽)	220	1.00
150cmφ 基樁	12,035.20	鋼筋、混凝土等 (含樁帽)	5,642	2.13
主隧道 (北上)	33,572.28	開挖、支保、噴凝土等	3,210.3	10.46
主隧道 (南下)	41,376.28	開挖、支保、噴凝土等	2,965.0	13.95
豎井	3,059.23	開挖、支保、噴凝土等	144.5	21.17
養灘	15,426.67	土方堆置、消波塊	425.0	36.30
人行連絡道	2,139.54	開挖、支保、噴凝土等	111.4	19.21

並針對本計畫主隧道不同岩層性質之排碳量進行比較，比較結果如表 44 所示，由目前統計結果，第 VI 類岩層之碳排量約為第 IV 類岩層之 1.5 倍。


表 44 隧道不同岩層性質排碳量比較表

岩層類別	岩體性質	施作長度 (m)	單位碳排放量 (TCO <sub>2</sub> e/m)
主隧道 (岩層 IV)	較堅硬	4566.35	9.32~12.94
主隧道 (岩層 V)	↕	909.90	13.12~15.15
主隧道 (岩層 VI)	較軟弱	699.05	15.48~18.10

### 結論與建議

- (1) 本文涵蓋作業內容為：細部設計碳排放量推估、施工階段工程碳足跡盤查輔導（活動數據蒐集與排放係數律定）、資料統整與分析等。
- (2) 經統計 2013 至 2016 年間之排碳量分析，隧道工程材料碳排放量之佔比約為總量之 72~86%，橋梁工程則高達 82~94%，顯示工程材料為整體工程生命週期之大宗碳排放源；其中又以鋼筋、混凝土及噴凝土之碳排放量佔材料排放之 50% 以上，為碳排放熱點。
- (3) 配合施工期程，目前主隧道工程單位碳排放量之計算分析包含範圍僅至噴凝土部分；未來尚須將襯砌、仰拱、路面結構（含排水）等計入；橋梁部分則逐步納入下構及上構計算。
- (4) 本工作短期目標為取得本工程碳足跡查證聲明書，而長期目標為建立區域性工程碳管理資料庫，日後提供各類工程依照性質、規模、工法等參數，即可於規劃設計階段評估出更準確的碳排放量。

### 參考文獻

1. 中興工程顧問股份有限公司 (2016), 「西濱快速公路 WH77-A 標鹽埕交流道新建工程碳足跡盤查報告」。
2. 中興工程顧問股份有限公司 (2012), 「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」, 「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」。
3. 台灣世曦工程股份有限公司 (2016), 「臺 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫安朔草埔段委託工程碳管理暨碳足跡盤查輔導及查證服務工作 104 年度年末進度報告書」。
4. BSI (2008). "Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services".
5. BSI (2011). "PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services".
6. ISO (2006). "ISO/CNS 14064. Greenhouse gases Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals".
7. ISO (2013). "ISO/TS 14067. Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication".
8. UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2015). "Paris Agreement". 





# 新北市淡水河流域 跨河休憩景觀橋 工程 — 新月橋及星光橋 設計與施工

## *The Construction of Scenic bridges over Tamsui River, New Taipei City — Design and Construction of Crescent Bridge and Starlight Bridge*

楊政儒／林同棧工程顧問股份有限公司 結構部組長  
吳彥毅／林同棧工程顧問股份有限公司 星光橋監造主任  
顏伸和／林同棧工程顧問股份有限公司 新月橋監造主任  
袁正平／林同棧工程顧問股份有限公司 工務部經理  
劉敬德／林同棧工程顧問股份有限公司 副總經理

淡水河流域跨河休憩景觀橋興建計畫為新北市政府大台北黃金雙子城 - 「淡水河曼哈頓計畫」之重要子計畫，本計畫共規劃四座專供行人徒步與自行車通行之跨河休憩景觀橋，以提供民眾優質的休閒環境。大漢溪新月橋及基隆河星光橋為本計畫首座及第二座執行之景觀橋，其中大漢溪新月橋主橋採不對稱雙鋼繫拱橋，跨徑配置採 100 m + 200 m，拱高分別為 25 m 及 50 m，橋面板採變寬及部分開孔設計，橋型線條輕巧簡潔，展現猶如新月般優美曲線；基隆河星光橋為單斜塔斜張橋，塔高達 70 m，採單跨 126 m 直接跨越基隆河，結合橋面線形採曲線及變寬設計，整體橋型充分展現結構力美學。本文旨在以此兩座特色人行自行車休憩景觀橋為例，說明橋梁規劃考量、設計施工重點及現場執行狀況，期與工程界分享經驗及未來類似工程之參考。

The construction of scenic bridges over river is an important sub-project of big-taipei golden twin city – Tamsui River Manhattan project. There are four scenic bridges over river that are designed for pedestrians and bikes and that provide the public with quality and casual environment. Crescent Bridge over Dahan River and Starlight Bridge of Keelung River are the first and second scenic bridges of the project.

Crescent Bridge using unsymmetrical tied arch has two spans which is 100m and 200m respectively. The height of arch is 25m and 50m. The bridge line is concise and flowing elegantly, a crescent-like appearance to show beautiful curve due to the design of wider and partial open bridge deck. Starlight Bridge is a cantilever spar cable-stay bridge with 126m single-span and 70m height across the Keelung River. The whole appearance of the bridge exhibits a tension structure esthetic because of curving bridge alignment and variable bridge deck width.

This paper takes these two pedestrians/ bicycles bridges as examples to elaborate the planning considerations, design-construction details and on-site execution for scenic bridge design. Furthermore, the purpose is to share experiences with engineering field and to be used as future reference for similar projects.

### 前言

隨著國內經濟蓬勃發展，國人益加重視生活品質及休閒生活，新北市政府擘畫打造具備國際化形式與規模的

大台北黃金雙子城 - 「淡水河曼哈頓計畫」，「淡水河流域跨河休憩景觀橋梁新建暨河岸景觀改善工程」為其中重要子計畫，規劃於河面上設置特色休憩景觀橋梁，採『以人



為本、專用路權』理念，提供行人及自行車使用者舒適悠閒、安全便捷之行走騎乘動線，除可讓左右兩岸更直接、便捷的互動，並可成為淡水河流域之創意新地標。

此外，並結合周遭地區性之公共建設、高灘地景觀、生活商圈與公園等，營造具有景觀生態及休憩機能的水岸休憩環境，形塑充滿浪漫與幸福的感覺，打造「四水一治水、親水、清水、透水」新都市，達到新北

市「大河之都」之目標。

其中首座動工之大漢溪新月橋位於浮洲橋及新海橋間，串聯板橋及新莊，主橋橋型為不對稱雙鋼繫拱橋，橋型線條輕巧簡潔，外觀展現尤如新月般優美曲線。基隆河星光橋工程為第二座執行之景觀橋，橋址位於汐止基隆河長安橋下游約 750 公尺處，橋型為單斜塔斜張橋，橋梁整體外觀充分展現結構力與美。



圖 1 大漢溪新月橋位置示意圖



圖 2 基隆河星光橋位置示意圖



## 工程規劃構想

### 整體規劃考量

新北市大漢溪新月橋及基隆河星光橋之工程規劃構想概要說明如下：

1. 新建跨河休憩景觀橋連結兩岸完善河濱自行車道，建構大台北都會區優質河濱自行車道路網，同時串連兩岸河濱綠地、公園、特色景點，形成一永續休閒生活遊憩網，除可提高市民休閒運動之樂趣，達到遊憩資源共享之目的，亦可活絡觀光旅遊產業。
2. 新建跨河景觀橋梁係以「專用路權」之概念，保障使用自行車通勤、通學或遊憩者有一條安全便捷之騎乘動線，此一「以人為本」的用路環境，將可提高民眾使用綠能交通工具之意願，達到節能減碳之成效。
3. 透過鮮明意象之景觀橋梁，形塑淡水河流域特色新地標，帶動地方觀光發展，配合兩岸高灘地環境景觀營造，可結合河岸文化特色，建構良好環境景觀，促進水岸土地合理利用、提升水岸社區土地價值。
4. 本計畫新建獨特性休憩景觀橋，結合河岸景觀與在地觀光遊憩資源，藉由城市水岸綠色行銷，將可大幅提昇新北市國際能見度，創造無國界廣大商機。

## 橋型配置概述

### 大漢溪新月橋

大漢溪新月橋全長約 720 m，主橋橋型採「不對稱雙鋼繫拱橋」，長 300 m，2 跨徑長分別為 100 m 和 200 m，以大跨徑配置及輕量化的結構，減輕對大漢溪通洪排水之影響。橋梁平面線形為直線佈設，與堤線夾角約 77 度跨越大漢溪河道，配合橋面設置四處觀景休憩平台，橋面寬採 8 ~ 18 m 變化設計，主跨中央橋面採鏤空設計減輕自重，並配置 60 m 長透明強化玻璃天空步道，更增加行走趣味性。

橋面結構採用雙箱梁，大梁深 1.5 m，每隔約 2.5 m 以橫梁連結，可增加橋梁勁度及抗扭性，降低柔性結構易產生的振動現象。主橋兩拱高 25 m 及 50 m，拱肋深度採 1 ~ 3 m 變化，拱肋結構為鋼箱形梁斷面，平面立面皆為連續拋物線之組合，總共配置 56 條垂直吊索連結橋面鋼箱梁結構，跨徑兩端為雙拱腳漸變至跨徑中央合併為單拱結構，拱肋造型立體富有變化性。新月橋橋型模擬示意圖如圖 3 所示，橋梁結構平面圖及立面圖如圖 4 及圖 5 所示。



圖 3 大漢溪新月橋橋型模擬示意圖

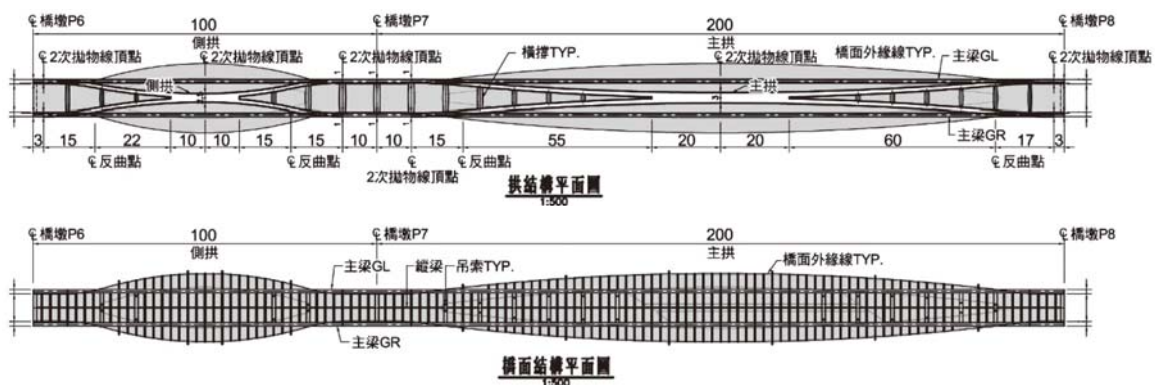


圖 4 大漢溪新月橋結構平面圖

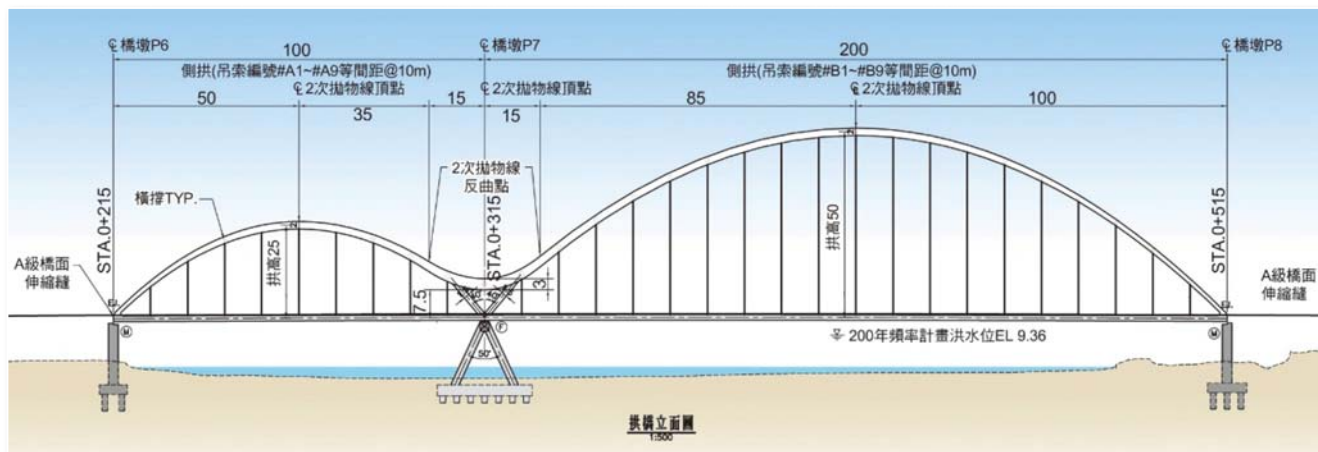


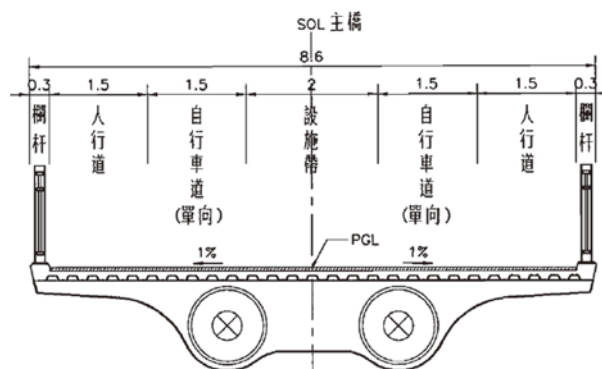
圖 5 大漢溪新月橋結構立面圖

### 基隆河星光橋

星光橋位於新北市汐止區跨越基隆河，橋型採「單斜塔斜張橋」。汐止舊名水返腳，此地名之源起乃因為基隆河受潮汐影響，潮漲至於此，故稱「水返腳」。與汐止息息相關的基隆河，經過長年整治後，不再是過去令人害怕的洪流，已成為人們願意親近的美麗後花園，因此藉由斜塔造型與張力斜拉索，形塑昂首蓄勢、振翅待飛的基隆河新生意象。

星光橋採大跨徑配置及輕量化的結構，主跨徑長約 126 m，無落墩於基隆河深槽區，邊跨則採不對稱 40.25 + 36.25 m 配置，橋梁平面線形為 Y 形曲線佈設，橋寬 8.6 ~ 9.1 m 變化，主跨橋面結構採用梁深 1.2 m 雙圓形鋼管梁設計（如右圖所示），每隔約 2 m 以橫梁連結，搭配橋面曲線線形，外觀猶如巨龍一般，線條流暢優美。

橋塔高 70 m，軸線與水平線夾角 70 度往北方傾斜設計，橋塔擺脫一般方正鋼構型式，採圓形斷面尺寸變化設計，橋塔底部至頂部圓斷面直徑依序採 4 m 漸變至



2.5 m 再變化至 3 m，外部並環繞配置 12 支鋼管（鋼管桁架直徑由 4 至 5.5m 變化），展現結構空間美感，橋塔頂部並設計有一圓球形空間桁架，妝點橋梁獨特造型。橋梁主吊索採 10 條 31T 配置，橋塔背拉索採 5 條 43T 配置，北岸左、右牽引道各採 3 條 12T 吊索配置，於 4 個不同方向共配置 21 條吊索，橋梁整體造型立體極富變化性，充分展現斜張橋張力之美。星光橋橋型模擬示意圖如圖 6 所示，結構平面圖及立面圖如圖 7 及圖 8 所示。



圖 6 基隆河星光橋橋型模擬示意圖



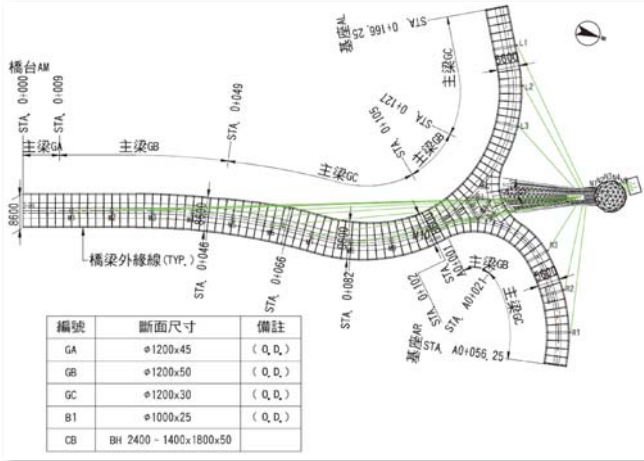


圖 7 基隆河星光橋結構平面圖

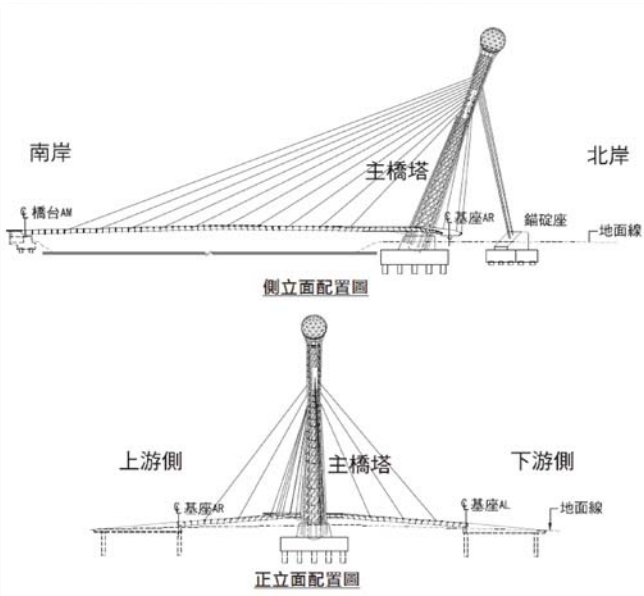


圖 8 基隆河星光橋結構立面圖

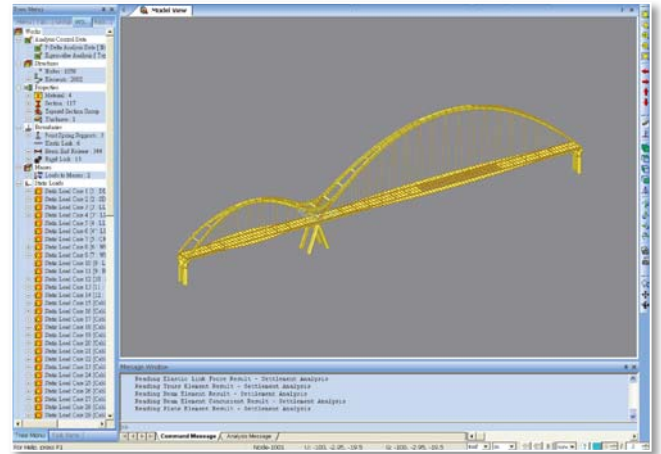


圖 9 新月橋橋梁結構 3D 分析模型圖

### 基隆河星光橋

星光橋單斜塔斜張橋橋梁型式乃藉由橋塔及主吊索負擔主橋面荷重，背拉索將力傳至錨碇座，橋塔則承受壓力，藉以達成穩定平衡之橋梁結構。基於整體造型考量，配置單斜橋塔，藉由多面吊索懸吊橋面鋼梁以承受橋面荷重，橋面結構特採 2 支縱向鋼管梁，外觀呈現魚骨狀外形，造型獨特優美。橋梁主跨跨徑達 126 m，鋼管梁深最小僅 1.2 m 深，故橋面及橋塔結構須具有足夠之斷面強度與挫屈穩定性，經濟性與安全性相併考量係本橋設計關鍵重點。

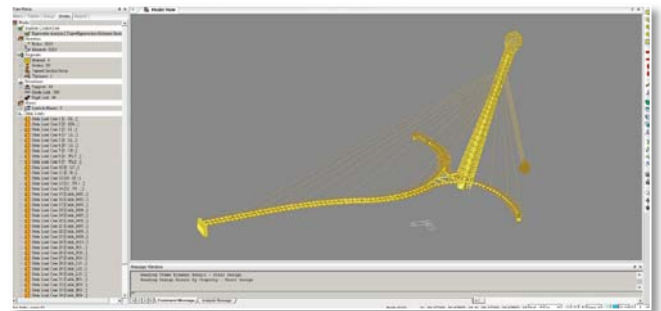


圖 10 星光橋橋梁結構 3D 分析模型圖

## 橋梁結構分析設計

### 結構系統特性

#### 大漢溪新月橋

下路式繫拱 (Tied Arch) 橋梁型式乃藉由拱體承受壓力，主縱梁承受拉力以平衡外力作用，具備有高結構效率，大漢溪新月橋即為此橋型之延伸。基於整體造型考量，配置不對稱雙連拱肋，藉由兩跨高低拱以吊索懸吊橋面鋼梁構成全橋勁度骨幹。橋面結構 2 支縱向主梁可承擔拉力，大小拱肋則承受壓力，考量本工程為人行、自行車專用橋梁，結構量體須輕巧簡潔並有流線感，主跨跨徑達 200 m，拱肋深度最小僅 1 m 深，故新月橋之鋼拱須具有足夠之斷面強度與挫屈穩定性係本橋設計關鍵重點。

### 吊索型式及設計

新月橋共配置 28 對吊索，包括 200 m 主拱配置 19 對吊索，100 m 側拱配置 9 對吊索，吊索最大標稱長度約 50.23 m。星光橋吊索配置為 5 條 43T 吊索作為背拉反力錨碇於背錨碇座，主橋面設置 10 條 31T 吊索沿橋梁中線佈設，吊索最大標稱長度約 139 m，左右兩牽引道各配置 3 條 12T 吊索。單根熱擠高密度聚乙烯 (HDPE) 護層之鍍鋅鋼絞線，依設計需求多根併攏後成束，並在其外熱擠包覆 HDPE 外套管護層，HDPE 外

套管係雙色雙層同時射出完成，外套管並具備有抗風雨振之截雨線功能。

新月橋吊索最大設計載重包含初始預力約 92tf，使用 13T-15.2 mmφ 之鋼絞索，破斷強度至少 310 tf；星光橋背拉吊索最大設計載重包含初始預力約 329 tf，使用 43T-15.2 mmφ 之鋼絞索，破斷強度至少 1131 tf，吊索系統安全係數 > 3，亦依 PTI 規範規定，通過 200 萬次反覆載重之疲勞及極限應力試驗。

吊索主要將橋面載重傳遞至鋼拱肋或鋼橋塔，上端以眼桿 (Eye Bar) 穿樞軸 (Pin) 吊掛於拱肋鋼板或橋塔面鋼板，下端延伸入鋼箱梁或鋼管梁間橫梁錨碇，吊索於底部錨碇端施加預力，藉以調整結構桿件內力分佈，並依據各階段施拉步驟進行橋梁構件應力檢核，確保施工架設至完工啟用皆能承受所有設計載重。

### 橋梁結構設計

新月橋及星光橋橋面結構系統特性鋼構材除承受雙向彎矩外，尚有軸向力，其斷面應力分析應組合三向應力作檢核，新月橋鋼拱及星光橋鋼橋塔為主要承受軸壓力構材，除檢核其斷面強度外，並需檢核其挫屈穩定性。

#### (1) 鋼梁應力檢核

依據「公路橋梁設計規範」表 9.8 結構鋼材之容許設計應力，使用 ASTM A709 Gr.50 鋼材，降伏強度  $F_y = 3500 \text{ kgf/cm}^2$

容許之軸向拉應力  $F_a = 0.55F_y$

容許鋼梁之軸向壓應力  $F_a = 0.472F_y$

#### 1. 三向合應力檢核：

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$$

其中

$F_{bx}$  = 容許之 X 軸彎曲應力

$F_{by}$  = 容許之 Y 軸彎曲應力

$f_{bx}$  = 計得之 X 軸彎曲應力

$f_{by}$  = 計得之 Y 軸彎曲應力

檢核結果，所有鋼梁三向合應力比值組合皆小於 1，具備足夠結構強度。

#### 2. 剪應力檢核：

$$\text{垂直剪應力 } f_{vs} = \frac{V_2}{(2 \times t_w \times D_w)}$$

$$\text{扭轉剪應力 } f_{vt} = \frac{T}{(2 \times A_m \times t_w)}$$

$$\text{總剪應力 } f_v = f_{vs} + f_{vt} \leq F_v$$

其中

$V_2$  = 箱梁垂直應力

$T$  = 箱梁扭矩

$F_v$  = 容許剪應力

$t_w$  = 箱梁腹板厚度

$D_w$  = 箱梁腹板深度

$A_m$  = 箱梁包圍面積

檢核結果，所有鋼梁總剪應力檢核皆小於容許剪應力，滿足規範要求。

#### (2) 鋼拱斷面應力檢核

$$\text{鋼拱斷面容許軸向壓應力 } F_a = \frac{F_y}{2.12} \left[ 1 - \frac{(KL/r)^2 F_y}{4\pi^2 E} \right]$$

鋼拱斷面容許軸向拉應力  $F_a = 0.55F_y$

鋼拱斷面容許彎曲應力  $F_b = 0.55F_y$

鋼拱斷面容許剪應力  $F_v = 0.33F_y$

鋼拱斷面三向合應力檢核公式

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \leq 1.0$$

其中

$f_a$  = 鋼拱斷面計得之軸向應力

$f_b$  = 鋼拱斷面計得之最外纖維彎曲合應力

$$F'_e = \frac{\pi^2 E}{2.12(KL/r)^2}$$

$C_m = 0.85$

檢核結果，所有鋼拱斷面三向合應力比值組合皆小於 1，具備足夠強度。

#### (3) 鋼橋塔斷面應力檢核

$$\text{鋼橋塔斷面容許軸向壓應力 } F_a = \frac{F_y}{2.12} \left[ 1 - \frac{(KL/r)^2 F_y}{4\pi^2 E} \right]$$

鋼橋塔斷面容許軸向拉應力  $F_a = 0.55F_y$

鋼橋塔斷面容許彎曲應力  $F_b = 0.55F_y$

鋼橋塔斷面容許剪應力  $F_v = 0.33F_y$

鋼橋塔斷面三向合應力檢核公式



$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \leq 1.0$$

其中

$f_a$  = 鋼橋塔斷面計得之軸向應力

$f_b$  = 鋼橋塔斷面計得之最外纖維彎曲合應力

$$F'_e = \frac{\pi^2 E}{2.12(KL/r)^2}$$

$C_m = 0.85$

檢核結果，所有鋼橋塔斷面三向合應力比值組合皆小於 1，具備足夠強度。

### 橋梁風洞試驗

大漢溪新月橋拱高達 50 m，橋面寬度僅有 8 ~ 20 m，斷面屬瘦高型結構，主跨橋面板另有部分開孔以及

變斷面的橋面；基隆河星光橋為一座特殊曲線形之單斜塔斜張橋，橋面板為漸變斷面，橋面寬度則僅有約 9 m，且由雙鋼管梁形成特殊斷面形狀，並有左右延伸引道形成一 Y 型幾何造形，橋塔高達 70 m，上有光雕球狀造型桁架結構。

新月橋及星光橋兩座景觀橋因橋梁的特殊幾何造型及結構系統，可能在設計風速之內發生危害結構的空氣不穩定現象，因此設計階段特別委託專業機構辦理橋梁風洞試驗，亦即透過對橋梁幾何尺寸及結構動力特性等相關資料進行風洞試驗縮尺模擬，執行斷面模型及全橋模型風洞試驗，以評估其在設計風速下之顫振穩定性、抖振及渦致振動反應，試驗結果顯示新月橋及星光橋在設計風速範圍內，並無空氣動力不穩定性的現象。此外，在舒適度評估方面，在半年回歸期設計風速（ $U = 10.7 \text{ m/s}$ ，橋面板位置）作用下之振動加速度，亦符合德國人行橋梁設計指引之人行橋舒適度第一級等級之要求。



圖 11 大漢溪新月橋風洞試驗模型



圖 12 基隆河星光橋風洞試驗模型



圖 13 風洞模型於紊流邊界層流場之架設

## 橋梁施工規劃

### 大漢溪新月橋

新月橋因跨大漢溪常時河槽約 270 m，採大跨徑以減少落墩。本段河道屬感潮區，施工時需特別考量感潮段水位變化大之影響，常時高水位約 EL.2 m，需架設施工便橋及構台供橋梁結構施工，施工方式為由新莊端往板橋端方向架設施工便橋，打設圍堰及構台施作基樁，基樁完成後即接續基礎開挖，配合開挖支撐及接續基礎結構施作。

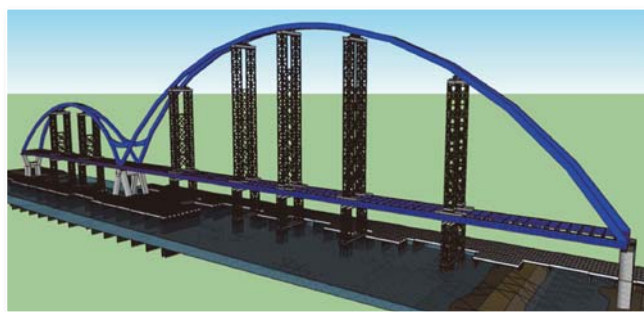


圖 14 新月橋施工便橋、構台、臨時支撐配置示意圖

下部結構主橋墩編號為 P6 ~ P8，其中 P6 及 P8 位於兩側低水岸邊，P7 位於主河道深槽區，其外型為倒 V 形施工最為特殊，因 V 形柱體傾斜 64.5 度，考量墩柱施工中為避免傾倒風險，因此針對每一節塊鋼模澆置中之穩定性、柱體向上發展及墩柱側向穩定、外側主筋承受拉力等進行結構分析後，規劃柱體分七個昇層澆置，每個節塊單元高度 2 m，以確保施工中結構安全性及穩定性。

新月橋上部結構鋼梁施工主要分為主橋段、新莊堤外牽引道、板橋堤外牽引道、板橋國中堤內牽引道及碧江堤內牽引道共 10 單元節次，總計 217 節塊。主橋吊裝採全場撐吊裝工法施作，於現場先行施作施工棧橋，經地組安裝後組立鋼箱梁及澆置橋面板，全長 300 m 雙跨鋼拱肋拆分 7 組臨時支撐架組吊，施工於搭設支撐架後先行吊裝 100 m 跨徑之拱橋主體上拱結構，再重複同一步驟進行 200 m 拱橋主體吊裝，依續完成整體橋梁吊裝作業。

上部結構鋼拱最高達 60 m 吊裝高度，需藉由詳細分析計算施工中撓度，並考慮製造與吊裝時氣候溫度狀況，每一鋼構節塊現場吊裝精準度需高度要求，每一焊接點誤差控制在 3 mm 範圍內，且工廠假組立與現場吊裝精度要求相同，嚴格控制支撐架頂部及各段鋼梁接合點精度，吊裝時並每天進行各點之 3D 座標複測，以確



雙層圍堰打設



雙層圍堰填築不透水材料



P6 低水岸側墩



P7 深槽河道主墩

圖 15 新月橋下部結構施工照片

認拱度位置無偏移。吊索安裝施工以鋼拱跨徑中央為中心點，採由遠端往近端施拉，並先行安裝施拉側跨吊索後，再安裝施拉主跨吊索。

### 基隆河星光橋

星光橋跨越基隆河橋址處河槽寬度約 120 m，鋼橋塔及背拉索錨碇座則位於北岸高灘地，北岸高灘地另設置兩座牽引道。星光橋橋梁基礎皆採樁基礎設計，基礎互為獨立可分別施作，僅橋塔影響後續鋼結構吊裝之主要徑結構，礙於北岸高灘地狹長形工址，施工首先於北岸高灘地施作橋塔基樁後，打設鋼板樁構造物開挖及基礎構築，構造物回填後整平高灘地作為鋼結構運輸及吊裝動線，並由北岸往南岸打設施工便



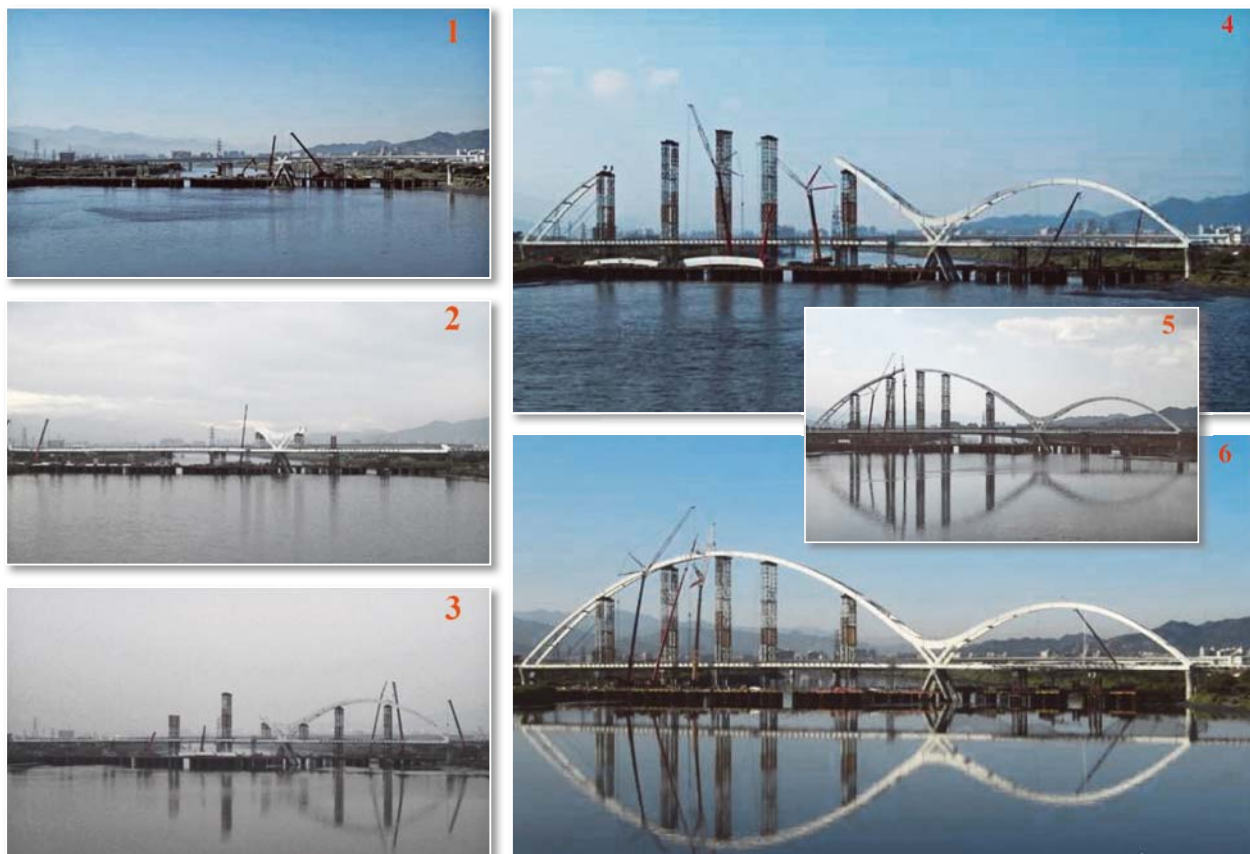


圖 16 新月橋上部結構施工照片

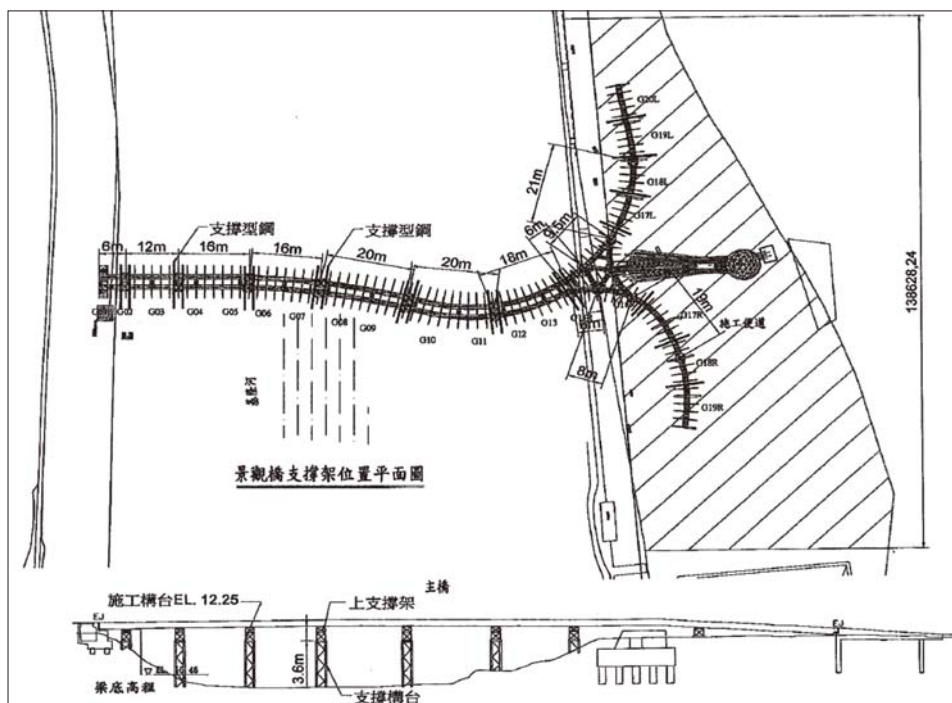


圖 17 星光橋施工臨時支撐配置示意圖

橋、構台及跨河鋼梁臨時支撐架，供鋼梁吊裝、現場銲接、吊索安裝、預力施拉及橋面板澆置使用。橋塔基礎結構分為基樁、樁帽及橋塔混凝土護座三部分，

橋塔底部鋼錨錠構架配合樁帽安裝施工，護座於鋼橋塔完成 4.5 m 後施作，施工臨時支撐配置及橋塔基礎施工照片如圖 17 及圖 18 所示。



圖 18 星光橋橋塔基礎施工照片

橋塔結構則分為 9 個單元製作及吊裝，橋塔外側鋼節管配合前者第 3 至第 9 單元高度分割，每層再切割成 4 單元產製，共計 28 產製單元。橋塔總高度約為 70 m，施工時塔底第 1 單元第一節柱體含錨錠構架藉由 24 支高拉力螺栓鎖固於橋帽結構，第 2 單元以上於吊裝時設置接合鋼板以高張力螺栓假固定，再施以全滲透銲接，外側裝飾管則配合橋塔柱單元分割施作，並配合橋塔柱單元依序吊裝，最後吊裝頂部空間桁架球。

星光橋橋面鋼管梁結構分為跨河段主橋 13 單元、北岸平台區 2 單元，及北岸牽引道兩側共 10 單元節

塊。橋面鋼管梁吊裝由鋼橋塔第三節之繫梁往外延伸，其中高灘地牽引道鋼管梁採兩至三單元於地組成一鋼梁節塊後吊裝，配合梁節暫撐於高灘地臨時支撐架。跨河段主橋鋼管梁則於施工便橋、構台及臨時撐架打設完成後，於施工構台將廠製兩單元預組後由北岸銜接平台梁往南岸吊裝。吊索除 43T 吊索採現場組裝外，12T 及 31T 吊索均為成束到場直接安裝，吊索安裝施拉區分為四步驟，首先吊裝主跨及背拉吊索並施拉初始預力，之後安裝施拉兩側牽引道吊索，最後將索力調整成設計預力值，並確保索力平均。

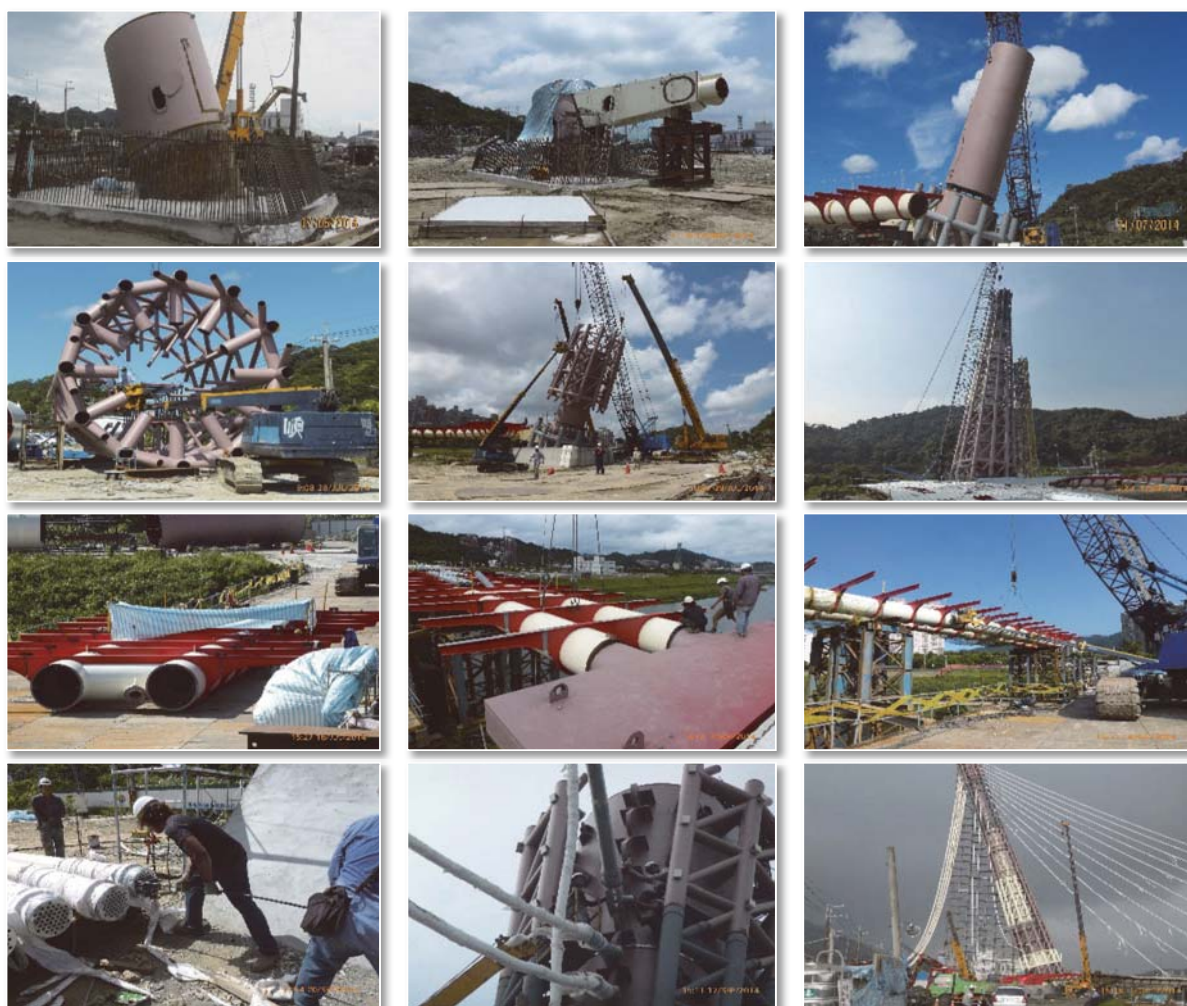


圖 19 星光橋橋塔、橋面鋼管梁及吊索施工照片



## 結論

### 大漢溪新月橋

1. 新月橋為國內首座不對稱雙連拱鋼繫拱橋，其結構系統及特殊造型具備橋型創新之指標性意義，優美的鋼拱外型綴以光雕美化照明，完工後已然成為大漢溪之新地標，更是週休二日休憩的新去處，達到遊憩資源共享及活絡地方觀光旅遊之目的，亦代表新北市政府致力推展「四水新都」積極作為，展現工程建設與地方發展相輔相成之非凡意義。
2. 新月橋橋拱線條簡潔輕巧，予人清爽、俐落、圓潤之感，整體造型立體富有變化，並可融入城市景觀創造自明性與獨特性，搭配夜間光雕照明設計，無論白天或夜晚都已成為新北河岸的新亮點，提供民眾更優質的遊憩空間，創造屬於市民的幸福水岸。

3. 新月橋跨越大漢溪感潮段河道，施工採全場撐吊裝工法，藉由縝密完善規劃設計及有效施工品質與進度管控，如期如質達成工程任務。施工期間遭遇4次颱風侵襲及多次石門水庫洩洪干擾，鋼橋吊裝仍於預定期限2個月內完成，施工經驗可做為日後汛期期間鋼構橋梁施工之參考。
4. 新月橋展現高度之橋梁設計與施工技藝水準，完成之品質深獲各界肯定，包括民國103年第14屆「公共工程金質獎特優」、台灣混凝土學會103年「非建築類工程優良獎」及新北市政府103年「公共工程優質獎」等多項殊榮肯定，皆代表工程團隊戮力用心的表現。








## 基隆河星光橋

1. 星光橋單斜塔斜張橋獨特結構系統及特殊造型具有創新之指標性意義，優美的鋼管魚骨梁外型綴以明亮之紅白色塗裝，已然成為基隆河畔特色新地標，星光橋展現斜張吊索張力之美，橋面採弧線設計，橋身倒映水面姿態更增優美，讓城市尺度中的橋梁化身為河岸的公共藝術，展現獨有的風情。
2. 星光橋特別著重夜間風貌，光雕整體設計以點光源如星光般自然隱現變化為「璀」之主題表現，橋塔則使用淡雅彩光，以「粹」的印象映襯星點光芒，傳達「星光橋」之主題意念，夜間透過動態展演的趣味光影，讓光影跟橋梁產生互動，營造出迷人的夜間景觀。
3. 基隆河汐止景觀橋施工採全場撐鋼構吊裝工法，橋面鋼梁雙跨拆分 25 個單元組裝，鋼橋塔拆分為 9 個單元吊裝施工，現場最高達 70 m 吊裝高度更增施工難度，特殊造型鋼斜塔及橋面曲線雙圓鋼管梁施工相關經驗，可做為日後斜張橋梁施工之參考。

4. 星光橋於民國 104 年 10 月 31 日正式完工，工程展現高度之橋梁技藝水準，完成之品質深獲肯定，工程團隊藉由縝密完善的規劃設計及有效的施工品質與進度管控，成功打造屬於汐止的在地新風貌，啟用後提供民眾優質的休閒環境，創造屬於市民的幸福水岸，達成新北市政府重大工程任務，打造新北市成為「大河之都」之願景。

## 參考文獻

1. 王如鈺、王雲程，「鋼橋文化叢書 2 - 橋梁吊索講義」，憬藝企業出版，(1996)。
2. 王如鈺、王雲程，「鋼橋文化叢書 4 - 拱橋」，憬藝企業出版，(1996)。
3. 蔡俊鏡，「斜張橋」，九樺出版社，(1999)。
4. 社團法人日本道路協會，「道路橋示方書 (II 鋼橋篇)」，日本，(平成 2 年)。
5. 交通部，「公路橋梁設計規範」，台灣，(2009)。
6. 交通部，「公路橋梁耐震設計規範」，台灣，(2009)。
7. HiVoSS (Human induced Vibrations of Steel Structures), Design of Footbridges Guideline, 德國，(2008) 





# 台9線蘇花改 白米景觀橋之設計與施工

邵厚潔／交通部公路總局蘇花公路改善工程處 處長

林廷彥／交通部公路總局蘇花公路改善工程處設計科 科長

王正中／中興工程顧問公司結構工程部 技術經理（簽證技師）

林煒龍／歲肯工程顧問公司 副總經理（施工技術顧問）

劉永輝／中興工程顧問公司淡江大橋工程處 副理（前蘇澳東澳段工程處蘇澳工務所監造主任）

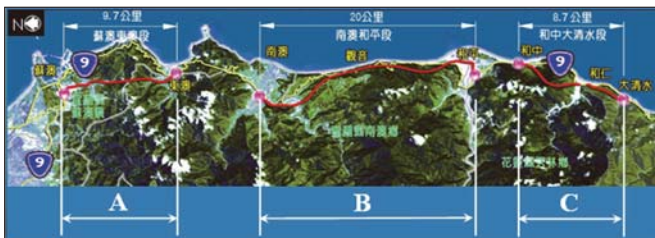
王志軒／榮工公司蘇澳永樂施工所 主任

本文係就交通部公路總局蘇花公路改善工程處『台9線蘇澳-永樂段新建工程』（A1標）所屬橋梁工程中之白米景觀橋規劃設計構想理念與施工關鍵重點進行相關展現與闡釋，旨在以國內橋梁工程首次採用之具有波形鋼腹板脊背橋為案例，針對該橋工程特色、規劃設計重點、若干施工關鍵議題與工程施工規劃及執行概要等等，進行說明與經驗回饋，可增進橋梁工程領域之產、官、學界等相關人士對本橋型設計理念上與施工操作執行上之瞭解，精進提升國內橋梁新工規劃設計與施工工藝之水準。

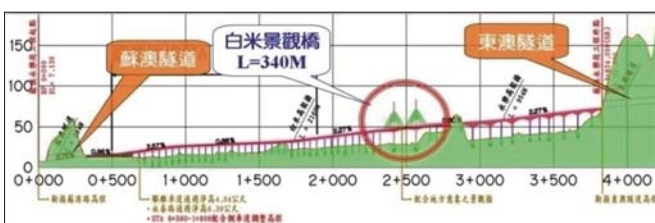
## 前言

花東台9線蘇花公路蘇澳至花蓮路段，為東臺灣北半部之重要公路幹道，因所處環境容易致災，安全性不佳備受質疑，早有改線新建構想；經地方人士、環保團體與交通建設主辦機關等各方協商溝通達成共識，遂另有台9線蘇花公路改善工程之成案，其工程範圍如圖1所示。

本文標的白米景觀橋跨越蘇澳溪，為臺灣第一座含波形鋼腹板之脊背橋，橋梁跨度配置為  $1@95\text{ m} + 1@150\text{ m} + 1@95\text{ m} = 340\text{ m}$ ，採雙橋塔、外側雙索面混合形斜索系統配置，係屬前述工程A標之子標A1標白米高架橋之一部份，其中主橋塔P38與P39採白米造型，高達56m；本橋定位為特殊景觀橋型，由中興工程顧問公司設計、監造，由榮工工程股份有限公司承攬施工。



(a) 總平面



(c) A1 標縱面



(b) A1 標平面

圖1 台9線蘇花公路改善工程

## 工程特色

### 台灣首例

白米景觀橋（完成預想模擬如圖 2）是一座具有波形鋼腹板之脊背橋（Extradosed Bridge with Corrugated Steel Webs），橋型新穎世界少見，日本既有案例亦不多，完工後將是國內首例新脊背橋型，極具本土橋梁工程規劃、設計與施工技術提升之指標性意涵。



圖 2 白米景觀橋（完成預想模擬）

### 橋梁建設尊重環境呼應在地文化

橋梁以單跨 150 m 跨越蘇澳溪，河床內不落墩（如圖 3），完工後對河川現況干擾極小，亦對日後所需整治作為無影響，充份尊重環境與落實永續理念；橋塔造型設計形塑在地白米石之具體意象，傳承延續文化並提示地方歷史特色與產業形成地標（如圖 4）。

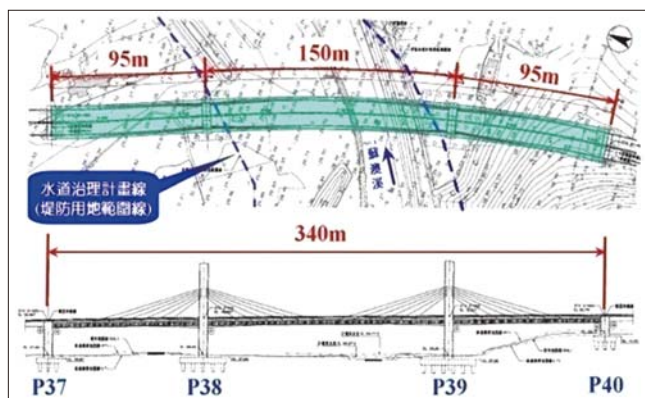


圖 3 蘇澳溪中不落墩<sup>[1,2]</sup>

P.16

### 歷史淵源

**山勢如壘、白石如米**  
清光緒，登仕郎、王家驥奉派駐守蘇澳金字山一帶，登高遠眺，發現山谷下一條溪河蜿蜒流穿，溪谷磊磊白石狀似白米粒，因此稱此溪為白米溪，又因三面環山、形勢如壘，故稱為「白米壘」。

SINOTECH

P.17

### 造型發想

**白米 → 一粒白米**

SINOTECH

P.18

### 造型發想

**圓潤而優美之橋塔**  
**白米石之造型意象**  
**歷史特色形成地標**

SINOTECH

圖 4 文化歷史與造型發想<sup>[2]</sup>

### 視覺焦點之景觀橋梁

橋梁全長 340 m，配置 150 m 大跨度，橫越蘇澳溪上，橋面以上矗立兩座約 32 m 高橋塔，其兩側分別配置混合形外置預力斜索各 6 對，以蒼翠山巒為襯托地景，自然融入環境之中（如圖 5）。

橋址附近為臺鐵北迴線由蘇澳南下花蓮之門戶，或由花蓮北上經蘇澳往臺北之入口，均將吸引鐵路乘客之目光；復以鄰近白米壘社區等遊憩景點，完工後亦增添一絕佳駐足停留賞景之處。



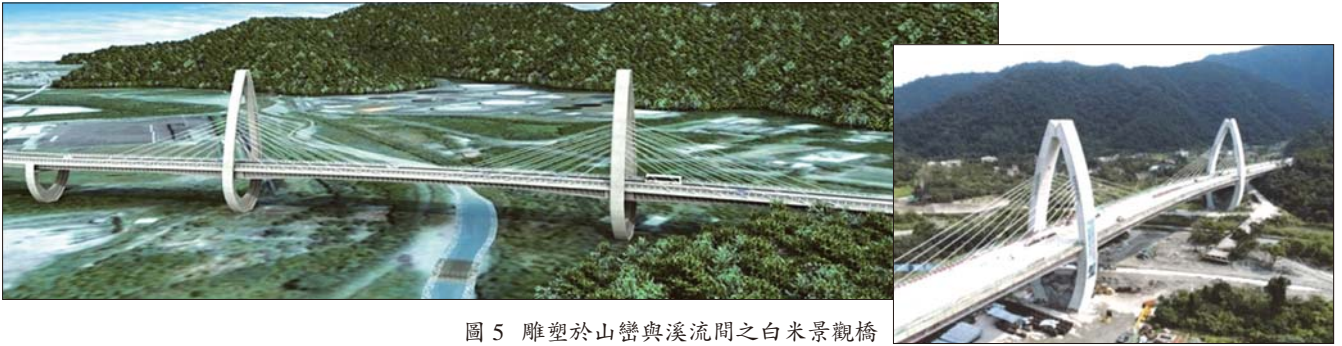


圖 5 雕塑於山巒與溪流間之白米景觀橋

### P38 & P39 橋塔高達 56 公尺施工具挑戰性

橋梁 P38 與 P39 主塔幾何造型特殊，設計採就地支撐方式施工，衡量國內施工技術與經驗，就橋梁工程而言並不多見，尤其施工自河床中塔底面起高達約 56 m（如圖 6），並且涉及高空吊裝錨碇鋼箱與橋塔頂部閉合等分項作業，故如何選擇適當支撐系統、模板系統與研擬周延之施工計畫辦理施工，以確保安全與工進，在在均為承建廠商所需面臨之挑戰。

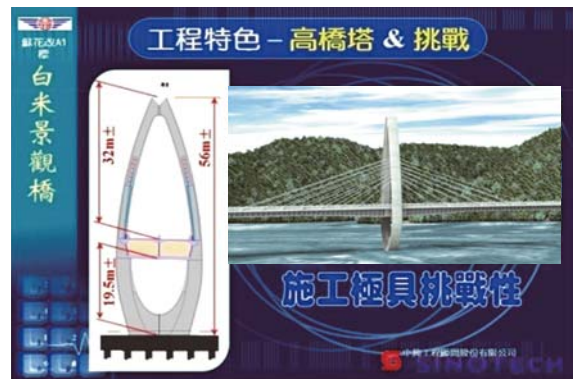


圖 6 造型橋塔高達 56 m<sup>[2]</sup>

### P38 & P39 橋墩中隔梁規定二次施工

因主橋墩（塔）橫向為曲線造型，基於下塔墩柱斷面結構設計需求，致 P38 與 P39 主橋墩處中隔梁（柱頭板）必須採二次施工方式辦理（如圖 7）以有效導入橫向設計預力量，並因而須對下塔 2 支橋墩柱橫向施行預拱施工。相關作業已明確於設計圖說中定義，據以要求承建廠商遵行，並無一般允許承建廠商得以視其需要變更施工程序之彈性，此為本工程施工較為特別之處。

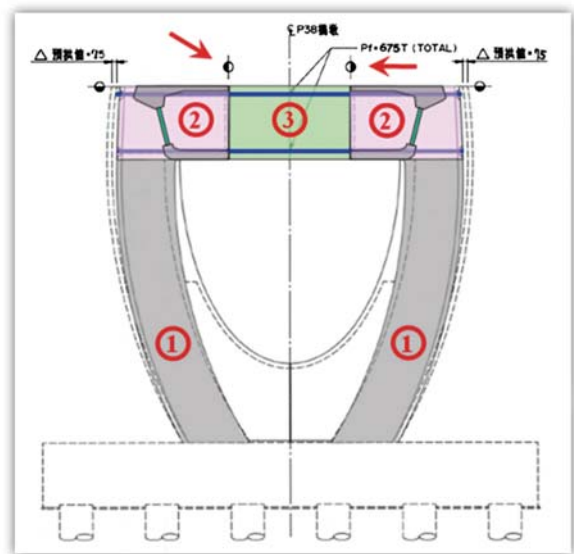


圖 7 主橋墩中隔梁二次施工

## 規劃設計重點

### 設計認知

因應白米高架橋跨越蘇澳溪之河川治理議題，須採大跨度橋梁直接橫越，以期一勞永逸；為考量在地歷史、人文、景觀等訴求需要，須研提景觀橋型配合；為提升國內橋梁工程規劃、設計及施工技術水準，故特別考量特殊橋型；對於橋型為國內首例，須秉持專業及自信迎接挑戰、克服困難，如期如質達成計畫所預定之建設目標。

### 橋梁工料應以自給自足為原則

因應工期需要與綠色永續工程之世界潮流，以國內可產製之 ASTM A709 Gr.50W 橋梁專用鋼材設計上

部結構箱形斷面腹板（含大梁間隔梁與橋塔內之錨碇鋼箱），配合採用國內常見高強度（ $f'_c = 420\text{kgf/cm}^2$ ）、高性能（低鹼、第二型水泥添加高爐石粉）之混凝土為箱形斷面頂、底板材料，建構一複合式箱形斷面。

上部結構所需其他一般型鋼（鋼管）採用 ASTM A36（CNS STK400）、接合螺栓採用 ASTM A325 Type3、剪力釘依國內 CNS4689 之規格；此外，鋼筋與預

力鋼腱則分別採用符合國內 CNS 標準為業界常用之 SD420W 及 SWPR7BL 規格，此些規格產品均為國內常用材料，無供應風險，取得容易，承商熟悉、施工可行；至於下部結構橋墩（含橋塔）則採用於國內運用成效良好之自充填式混凝土（SCC）為建構材料，依實例經驗顯示：「生產製造與施工並無技術瓶頸」。

基樁採一般全套管機械化施工，脊背橋橋墩與橋塔設計建議採就地支撐工法，複合斷面節塊採平衡懸臂式自動工法場製施工推進，均應為本地廠商能力所及。惟有波形鋼腹板之壓製施工，因國內經驗尚屬有限，應規劃考量適當充裕之工期，以利承建廠商及早構想因應。

### 主跨長度應足以解決蘇澳溪治理議題

橋梁配置 150 m 主跨，墩址位於水道治理計畫線（堤防用地範圍線）之外，採用平衡式懸臂工法施工，施工中對河川現況干擾最小，同時可使橋梁於完工後，對縣管蘇澳溪日後之治理作為無其他應辦配合事項，可確保通車營運不受影響。

### 上構箱形複合斷面應施工可行

採既有日本經驗為參考，衡量國內施工技术與經驗，選擇波形鋼腹板壓製單元（波長 1,600 mm、波幅 430 mm、波高 220 mm，如圖 8）與其上下接頭（上側：角鋼式聯結物與 RC 頂板接合，如圖 9；下側：直接埋入式與 RC 底板接合，如圖 10），以確保國外經驗得以於本土落實呈現，不致於施工階段有所疑慮，造成延誤工進。

波形鋼板之縱向續接已併同考量結構設計需求，既有日本類似案例經驗與國內施工廠商之相關建議及經驗回饋辦理，應可以確保施工安全可行。

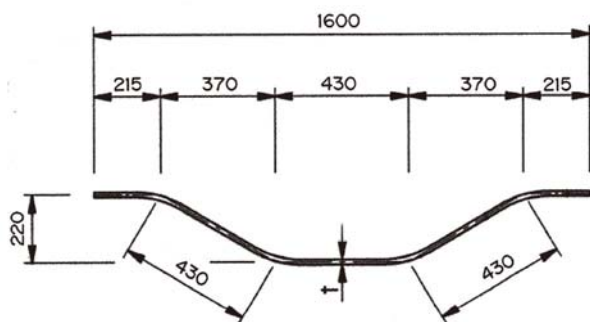


圖 8 波形鋼腹板標準單元 [4]

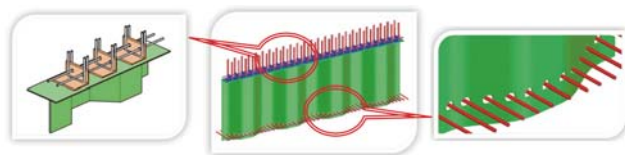


圖 9 上部接頭

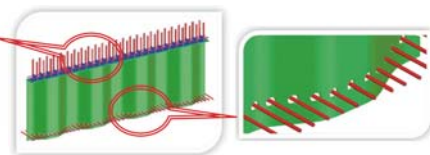


圖 10 下部接頭

### 脊背橋斜拉索錨碇系統為設計重點

箱形斷面外之斜拉索應特別注意錨碇設計，於橋塔端依國內既有案例經驗採分離錨碇式系統，設計考量一體成形之錨碇鋼箱，採現場吊裝埋置於塔柱混凝土內，以供二側拉索錨碇。鋼箱之尺度須考量可容納 31-15.2 mm  $\phi$  鋼絞索於其內錨碇施工，因受大集中應力作用，設計以 3D-FEM 辦理應力檢核（如圖 11），結果顯示：「鋼板應力非設計控制因子，使其周圍橋塔混凝土之斷面應力小於破裂模數（Fracture modulus）以避免開裂，此為板厚決定之主要條件（如圖 12）」。

橋塔端鋼箱內部錨碇處加勁板位置之幾何佈置至為重要，須配合斜拉索端點之幾何計算成果辦理設計與放樣施工。斜拉索於橋面端錨碇（吊點）處，須設計相當勁度之鋼製間隔梁以期加勁橫斷面並傳遞吊張力，已於間隔梁設計時詳予考量（如圖 13）。

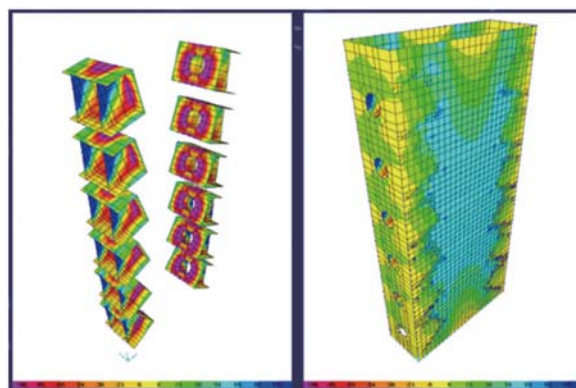


圖 11 錨碇鋼箱 3D-FEM 分析 [1]

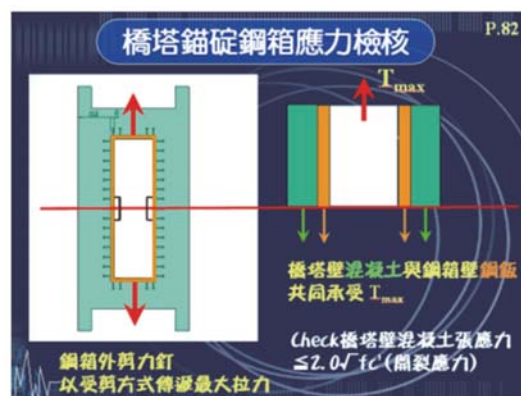


圖 12 鋼箱及橋塔混凝土共同承載斷面張力 [2]



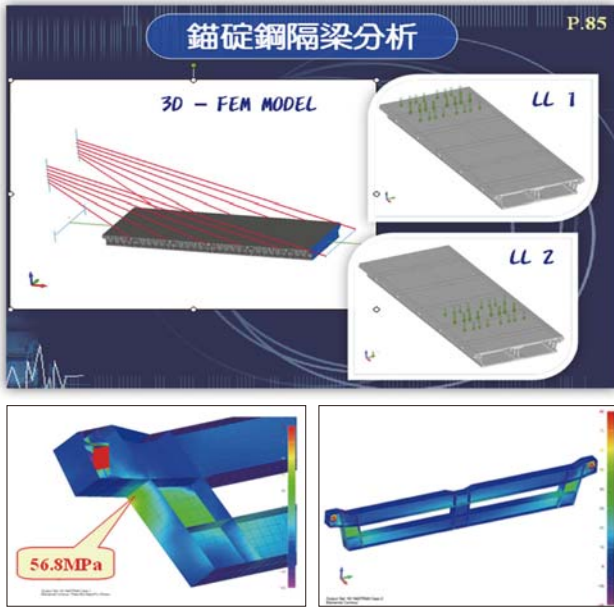


圖 13 鋼間隔梁 3D-FEM 分析<sup>[1,3]</sup>

### 上構箱內外置預力應妥予規劃

為期補足縱向所需設計預力量，橋梁須於斷面箱內設置外置預力，因本橋路線區位非位於直線線形上，為期提供外置預力鋼腱轉向或穿過，須對各鋼製間隔梁下側鋼梁之腹板予以開孔；為簡化施工，設計上採規格化為原則，故於設計圖定義該類鋼腱於各型式間隔梁處之幾何放樣位置，以供承攬廠商據以辦理施工。

因外置預力於水平與垂直向均有轉向之現象，其力學行為較一般傳統直線橋外置預力之轉向機制複雜許多，設計上採鋼管與管外配置加勁板予以加勁（如圖 14）。

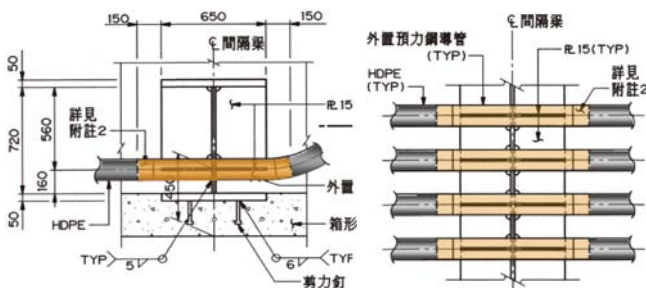


圖 14 箱內外置預力經間隔梁之加勁<sup>[1,4]</sup>

### 鋼製間隔梁設計應特別重視

鋼製間隔梁 (Steel Shell Intermedia Diaphragm)，主要用以加勁箱形斷面、傳遞斜拉索張力並為底板正彎矩外置預力鋼腱提供垂直轉向提吊需求，於橋梁 3D 系統

中係屬重要 2D 平面子系統（如圖 15），本身為平面剛構架（如圖 16），設計上應考量垂直面上之力量承載與傳遞，尤以斜拉索錨碇點處之應力傳遞為主，設計應採 3D-FEM 進行檢核（詳見圖 13）。

為顧及其於橋梁系統中之角色扮演，對其剛度之需求而言，有必要以較保守之觀點進行設計。施工則建議以三部份分別預製後，於現場配合節塊推進施工及斜索施拉，以吊裝方式定位，並採 A325 強力螺栓續接成型。

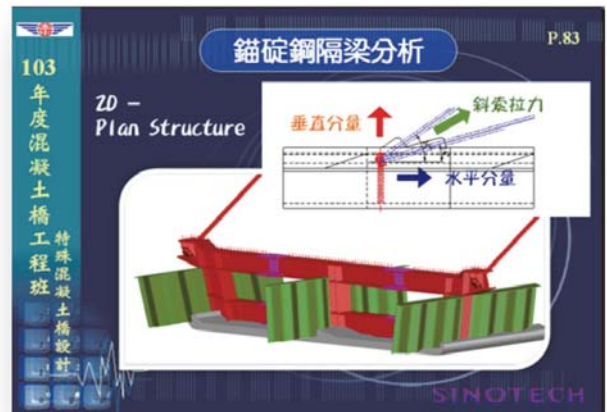


圖 15 3D 系統中之 2D 間隔梁<sup>[3]</sup>

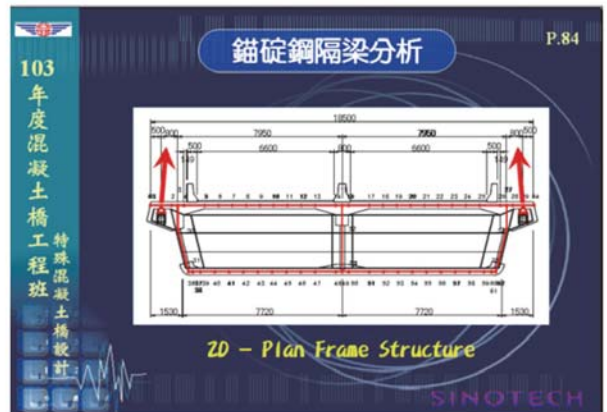


圖 16 間隔梁之 2D 分析模式<sup>[3]</sup>

### 橋墩與橋塔幾何有不利設計因子應予排除

本橋主橋墩（塔）P38 與 P39 設計為白米粒造型，橫向為圓弧組合形構造，當大梁端傳遞垂直剪力及斜索傳遞橋塔錨碇端之垂直分力時，其於橋柱底部斷面橫向將產生一永久性自重向外側偏心彎矩，增加不少柱底設計載重。此一設計上不利因素，應予排除。

設計係考量對中隔梁設置橫向預力（如圖 17），並須採二階段施工程序（即先行施築中隔梁兩端，保留中央段於施拉預力後再行澆置施工）以有效導入預力量，

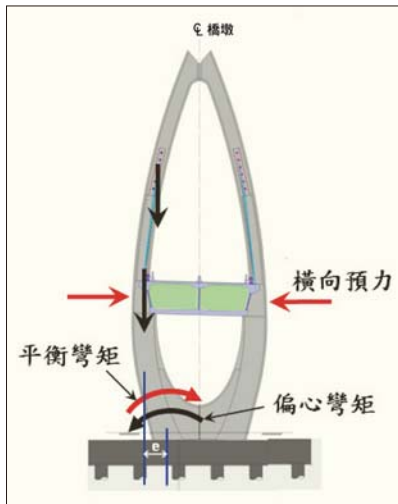


圖 17 中隔梁施加橫向預力<sup>[4]</sup>

平衡前述自重偏心彎矩。因施拉橫向預力對橋墩柱而言有相應之變形發生，承商須依一般拱度概念，進行橫向預拱，以維持完工後之原設計外型。此應為承建廠商之專業認知，惟為求審慎，仍於設計圖說詳予明確定義。

### 注意橋面淨高

本橋斜拉索設計採外側雙索面，因橋塔幾何變化與橋梁線形位於反向平曲線段及豎曲線上，斜拉索線形十分複雜，設計應將其兩端明確定義，包括拉索端點相對於橋塔與橋梁節塊、橋梁控制線之位置與各角度等，除於設計圖說明確定義外（如圖 21），並須要求施工廠商辦理二次驗算確認，以求慎重。

面端吊點訂定時須特別審慎。經將拉索橫向外移（如圖 19），橋面淨高需求方得以確保（如圖 20）。

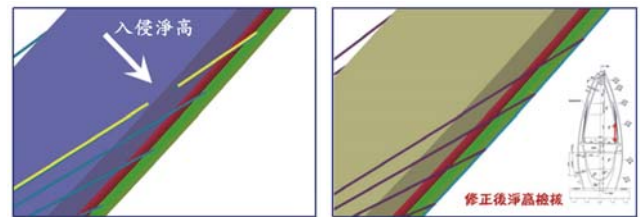


圖 18 拉索入侵淨高範圍

圖 20 拉索 3D-CAD 檢核

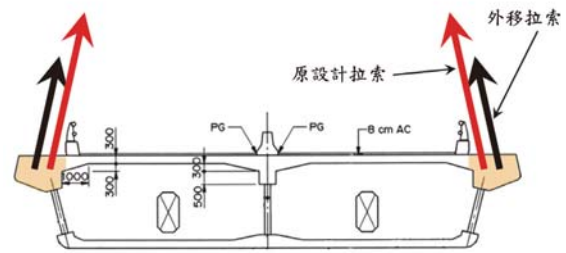


圖 19 斷面加寬拉索外移<sup>[4]</sup>

### 斜拉索線形複雜應先予定義

本橋斜拉索為外側雙索面，因橋塔幾何變化與橋梁線形位於反向平曲線段及豎曲線上，斜拉索線形十分複雜，設計應將其兩端明確定義，包括拉索端點相對於橋塔與橋梁節塊、橋梁控制線之位置與各角度等，除於設計圖說明確定義外（如圖 21），並須要求施工廠商辦理二次驗算確認，以求慎重。

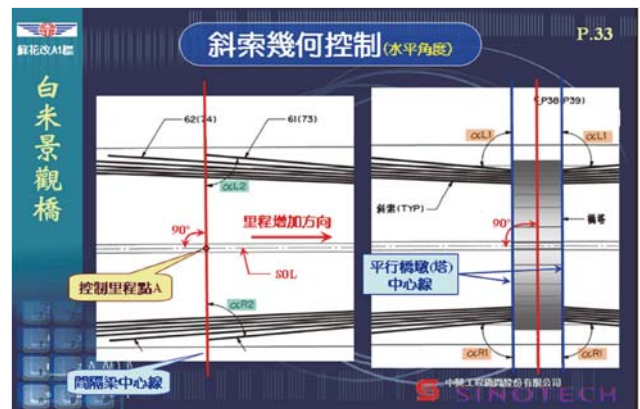
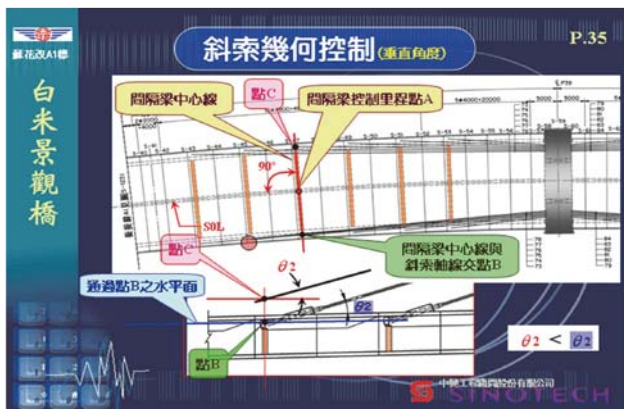
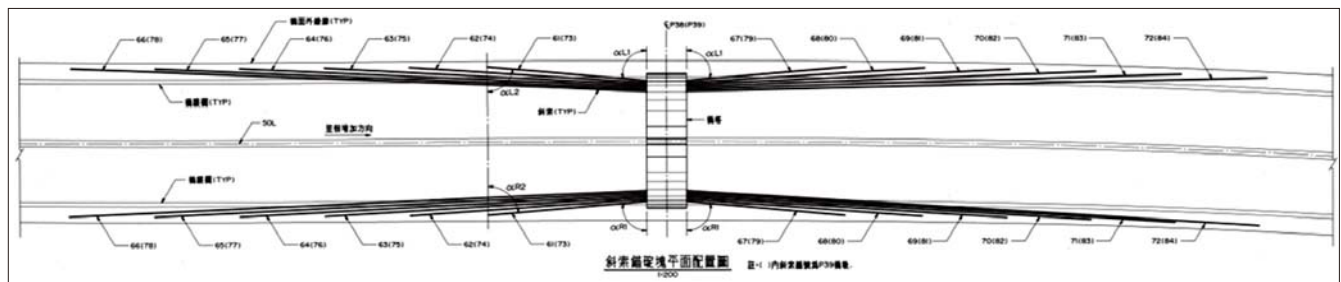


圖 21 斜拉索幾何須審慎明確定義<sup>[1,2]</sup>



### 防蝕耐久考量

評估本橋橋址位於東部，鄰近宜蘭縣蘇澳鎮永樂地區，距海岸線約 2 公里，屬中度鹽害區，且其東側有標高約 200 公尺以上之山巒阻隔，環境尚非嚴峻惡劣。

有關鋼製波形腹板、鋼製間隔梁與橋塔內錨碇鋼箱，除基材考量使用 ASTM A709 Gr.50W 外，表面部份再採鋼橋等級之塗裝方式辦理防蝕；附屬設施如 A 型伸縮縫、橋面鋼管欄杆、橋面洩水孔等等則採行熱浸鍍鋅方式辦理；盤式支承則由專業製造商考量選擇以鉗熔射之方式辦理。外置斜拉索與箱內外置預力鋼腱則採一般常用系統所提供之多重保護概念辦理防蝕。

有關鋼筋混凝土構件之耐久，除一般規定之保護層最小需求厚度外，設計採用第二型抗硫水泥，並添加高爐石粉（卜作嵐材料）增加其緻密性；另為期因應東部骨材料源特性，設計採用低鹼水泥等，均係以達成確保橋梁耐久永續為目標。

### 維修養護考量

本橋斜拉索於橋塔上設置錨碇鋼箱，須設計預留施工時與日後檢測、養護維修所需之作業空間與相關動線，經研商共識後建議以高空作業車配合橋塔塔柱內側面人孔（如圖 22）及錨碇鋼箱內之不銹鋼爬梯處理；橋面部份則依一般巡檢慣例辦理，另於本橋端跨鄰近 P37、P40 處設置底板人孔，箱內動線主要將以此為入口，經中隔梁開孔可通達全橋箱內。

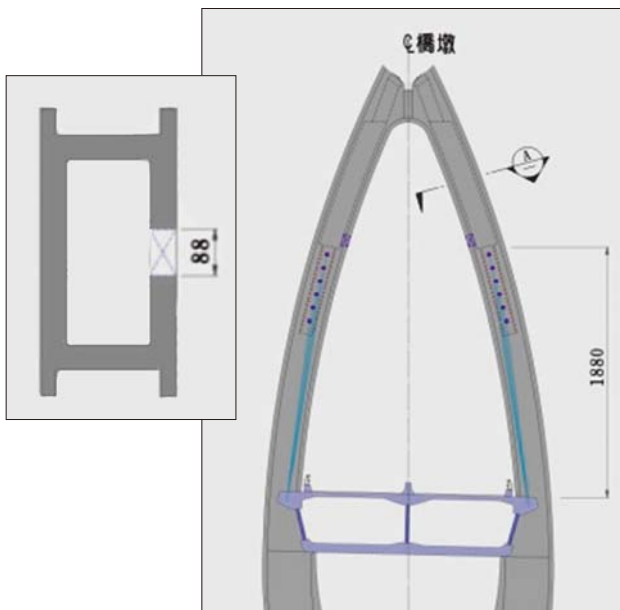


圖 22 橋塔檢測維修人孔

### 施工關鍵重點

本橋之特色為波形鋼腹板複合外置預力斜索脊背橋，為全國首例。其橋塔造型設計融合當地人文文化，採用白米米粒之意象，更增添施工上之難度；以下說明若干施工關鍵重點。

### 橋墩 P38 與 P39 中隔梁橫向預力施拉

施工期間，首先須面臨之議題為主橋塔 P38 與 P39 橋墩中隔梁之橫向預力施拉。因設計圖說規定須採二階段施工之程序，並給定目標預力量及相應之墩柱頂部水平預拱參考值，故俟橋塔兩腳混凝土施作完成後（含頂部中隔梁兩側部份），再分階段同步監測橫向預力施拉值與相應之橋墩頂部相對位移量，以漸進方式逐次控制施工成果逼進設計有效預力量與相應之拱度需求。各階段施工均須依核定之施工計畫辦理預力量監測與各控制點位之高程與變位檢測，如圖 23 所示，用以確認各階段性成果係朝向目標設定值，符合預期並同時兼可確保施工安全。

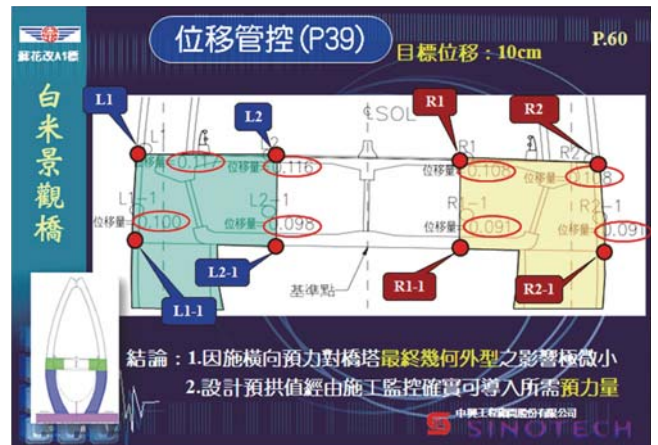
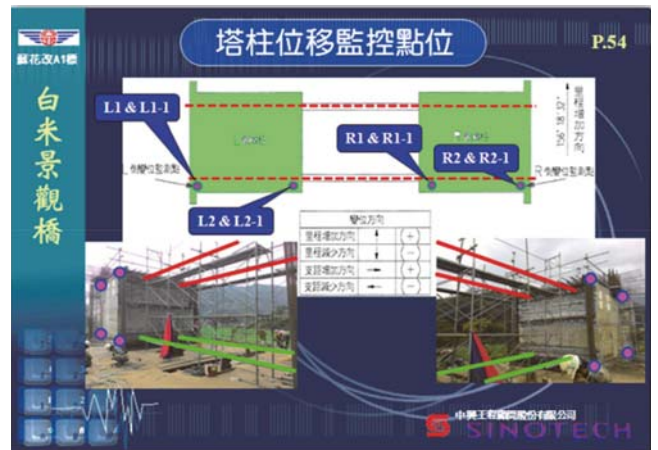


圖 23 施工中位移監測<sup>[6]</sup>

結論：1. 因施橫向預力對橋塔最終幾何外型之影響極微小  
2. 設計預拱值經由施工監控確實可導入所需預力量

### 橋塔臨時閉合

為期攢趕工進，施工團隊建議須於 P38 與 P39 橋塔頂部未閉合前，提前配合橋梁節塊推進之施作辦理先施拉 3 對外置預力斜拉索。因應此施工策略，乃規劃採設置一臨時橫向支撐系統（鋼製桁架），其兩側分別與二

塔柱鉸接聯結，以進行橋塔臨時性閉合作業，如圖 24 所示，使橋塔暫時形成一穩定結構，如此則可將水平向節塊平衡懸臂施工與垂直向之橋塔柱升層施工一併同步進行，大幅提升施工效率；此系統俟橋塔頂部完成實質永久閉合後，方得移除。

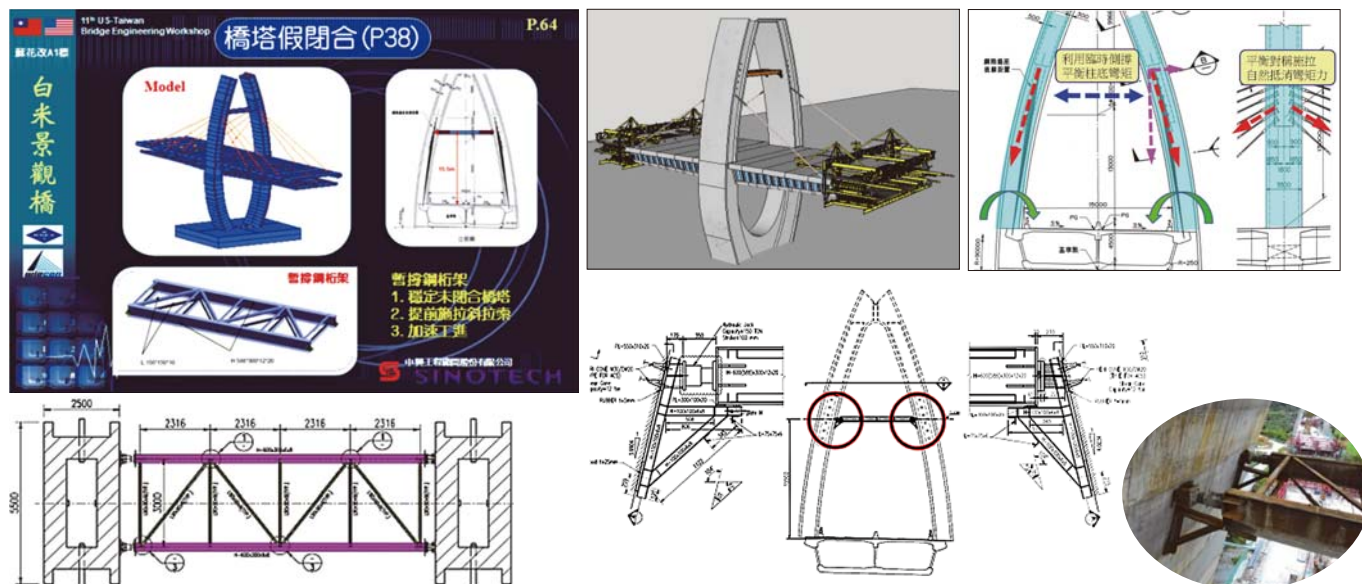
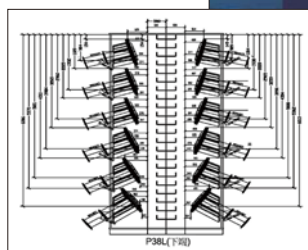
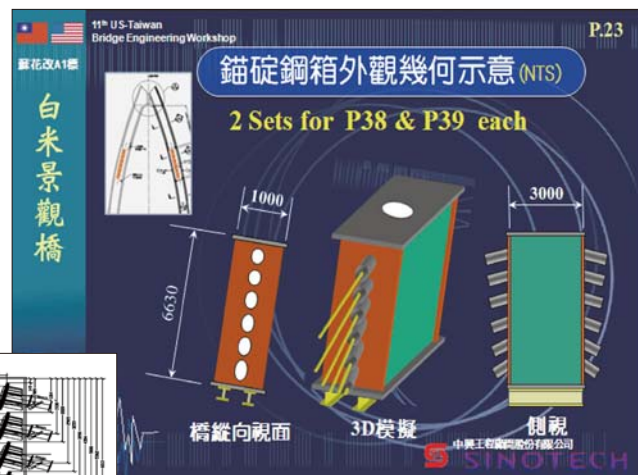


圖 24 橋塔臨時閉合措施 [7, 崑崙顧問公司]

### 橋塔錨碇鋼箱鋼導管及錨碇座角度精度控制

因本橋梁座落於克羅梭曲線反向變化段上，且因橋塔特殊造型關係，橋塔錨碇鋼箱各根斜索之三維角度皆不相同，施工製造上確實有相當之複雜性。除參考設計圖說所標示之斜拉索相關幾何線形資料及錨碇鋼箱 2D 圖面外，輔以 3D 立體繪製錨碇鋼箱各部施工構件圖，並利用雷射水平儀精準放樣各板片之座標位置，同時複測各斜索導管之 3D 角度值，以確保各端錨碇板角度符合設計位置，如圖 25 所示。施工成果顯示：「斜拉索之錨碇安裝施工與後期之預力導入，均符合設計預期需求，施工團隊於此工作有極佳之展現。」



錨碇座定位放樣



橋塔錨碇鋼箱鋼導管



錨碇座與鋼導管中心點定位測量



圖 25 橋塔錨碇鋼箱施工精度控制 [7, 榮工工程公司]



### 橋塔錨碇鋼箱之定位安裝

橋塔錨碇鋼箱尺寸為長 6.63 m、寬 3.0 m、深 1.0 m，採預製組裝後一體成型一次吊裝。因橋塔上部為米粒弧形之造型，故吊放鋼箱時易受其底部預定位置之橋塔下側升層主筋位置及傾斜角度關係影響，無法以鉛垂吊放方式辦理，此外，鋼箱重心亦位於地面上約 40 m 處高空，因而更增加了施工之挑戰性，施工過程如圖 26 所示。



橋塔錨碇鋼箱吊放  
施工中



錨碇鋼箱吊放完成  
(尚未施設臨時橫撐)

圖 26 橋塔錨碇鋼箱吊裝施工

為免除現場高空吊裝安裝時錨碇鋼箱角度之調整，故於工廠製造時，在錨碇鋼箱底部銲接一經設計預製之錨碇調整座，該調整座頂部與水平之夾角  $\theta$  已考量錨碇鋼箱設計縱軸線與鉛垂之夾角  $\theta$ ，只要座底所預留之錨栓孔與預留於橋塔混凝土升層頂之錨栓得以吻合對位，如圖 27 所示，則施工僅須辦理水平位置校準調整後鎖固，則錨碇鋼箱可自動定位於其設計軸線上，免除於高空辦理錨碇鋼箱角度調整作業，從而大幅縮減施工時間，進而減少高空調整作業之危險性。

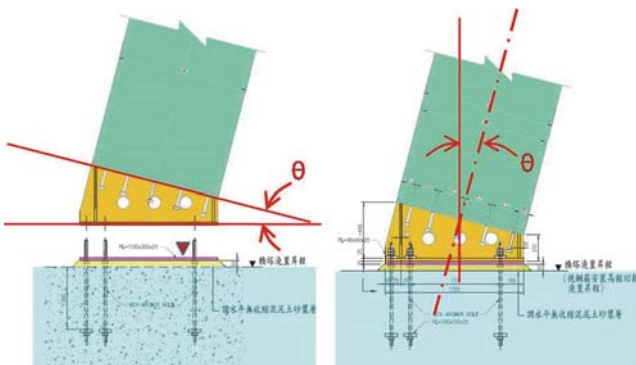


圖 27 橋塔錨碇鋼箱之定位

### 波形鋼腹板本土化製程研發

傳統波形鋼腹板之製程，據瞭解國內外既有案例均係以專用之壓床機（如圖 28 所示）經冷彎壓軋製造而成；然專用壓床為特定進口機具，成本高，採購時間無法配合工進需求，其成品亦將受壓床機尺寸大小之限制，復以其設備投資或委託加工費用均甚高，故本案之彎折施工未能配合使用。為期因應此一不利施工情勢，本橋經評估後改採以冷彎加工方式（非壓床式）製造，如圖 29 所示，採用正、反彎折之方式，輔以 1:1 全尺度波鋼樣板，如圖 30 所示，亦成功製造出精度相當高之波形鋼腹板，此為國內首次針對波形鋼腹板所研發之新製程，因其於本橋之施工評價極為正面，值得回饋予相關業界參考。



圖 28 專用壓床機



圖 29 本工程採用冷彎加工機具

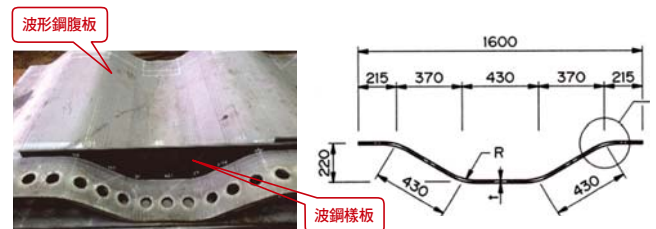


圖 30 本工程波鋼腹板單元

### 施工規劃與執行

國內首座雙塔波形鋼腹板脊背橋，全長為 340 m（95 m + 150 m + 95 m），結合鄰近白米社區意象，橋塔具有「米粒」造型，如圖 31 所示，曲線結構在施工上頗具難度與挑戰。

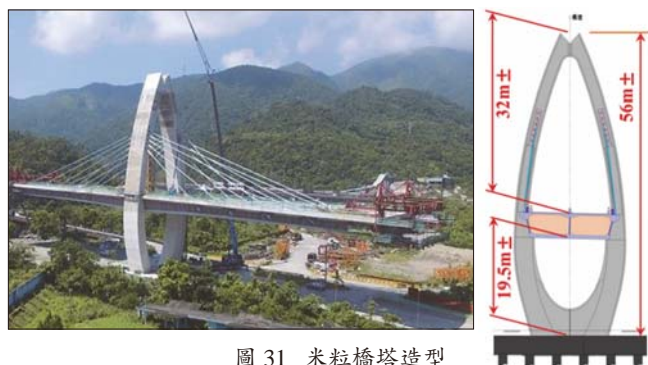


圖 31 米粒橋塔造型

本橋施工規劃分下部結構及上部結構兩部份，前者施工主要為單橋塔（P38 / P39）常見之 30 - 2 m  $\phi$  全套管基樁施工、24.8 m (L)  $\times$  30 m (W)  $\times$  4 m (D) 基礎樁帽施工、19.5 m 高下塔柱、32 m 高上塔柱施工；後者施工分為鋼構件工廠製造及現場施工二大部份，以下僅就上部結構二大部份分述之。

### 鋼構件工廠製造

本工程鋼構件生產主要有波形鋼腹板、鋼製間隔梁、外置斜索錨碇鋼箱三種。

#### 波形鋼腹板

本工程波形鋼腹板材質採用 ASTM A709 Gr.50W，厚度為 9 mm ~ 22 mm，利用 3D 建模繪製施工圖，共生產 297 片，數量為 336 噸。

##### ● 加工製造

本鋼構件加工製造之重點在於彎折，有別於國內已往工程案例之加工彎折多使用專用特製壓床，採沖壓成形，本案則因故未能配合使用。為符合加工彎折之施工精度需求，經專業評估研擬，另以油壓壓剪床首度採分刀逐漸壓剪成形；經多次測試並以全比例 1 : 1 樣板檢測，其結果係均可符合規範要求精度；製造流程詳圖 32 所示。

##### ● 檢驗標準及公差

本工程波形鋼腹板配合鋼板厚度及角度設計需求，共分 99 組波形鋼腹板，每組 3 片共生產 297 片，生產尺寸之檢驗因須配合設計波形，其彎折半徑 R 值與厚度均有變化，不易檢驗；因此利用 CAD 電腦繪施工圖以製作波形鋼腹板樣板，樣板採用 3 mm 鋼板，利用 CNC 電離子切割，製作精度高且不易變形。每片波形鋼腹板之樣板，須會同監造及承商編號簽名確認，共製造 99 片樣板。波形鋼腹板生產時檢驗，使用標準樣板量測其相關尺寸，以確保波形彎折符合製作精度及公差。

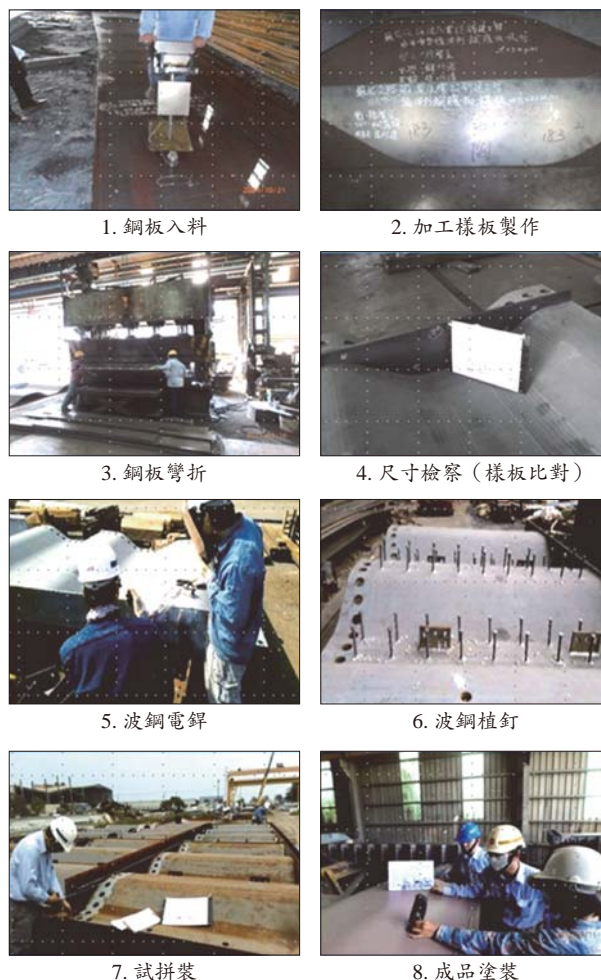


圖 32 波形鋼腹板產製加工流程

#### 鋼製間隔梁

本工程鋼製間隔梁材質採用 ASTM A709 Gr.50W，利用 3D 建模繪製施工圖，共有 26 組，其中 24 組用於傳遞斜拉索張力，另 2 組用於不平衡節塊。構件配合運輸每組間隔梁區分 3 塊構件，每塊構件重量從 7.3 噸至 14.5 噸不等，如圖 33 所示，共生產 78 塊，數量為 886 噸；間隔梁製作整體施工程序如圖 34 所示。

#### 外置斜索錨碇鋼箱

本工程外置斜索錨碇鋼箱材質採用 ASTM A709 Gr.50W，利用 3D 建模繪製施工圖，米粒造型雙橋塔共有 4 組外置斜索錨碇鋼箱，每組構件重量達 35 噸，其組成如圖 35 所示，總數量為 140 噸；錨碇鋼箱之整體製作施工程序如圖 36 所示。本組件製作之關鍵為由 40 mm ~ 50 mm 厚鋼板所電鍍組裝而成之錨碇座，每一錨碇鋼箱內計 12 組，因斜拉索角度均不一致，故每一組均須審慎依斜拉索線形幾何計算成果放樣製作，無法以模矩概念量產。



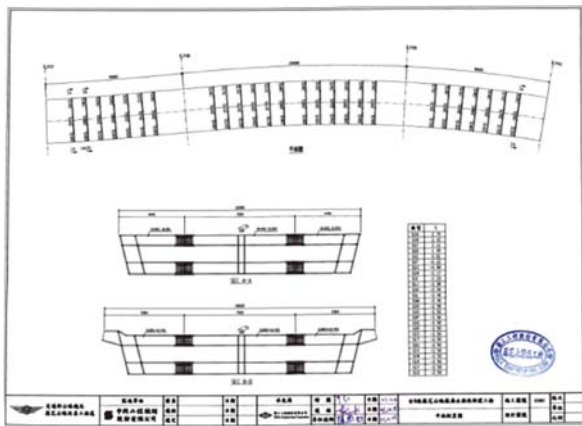
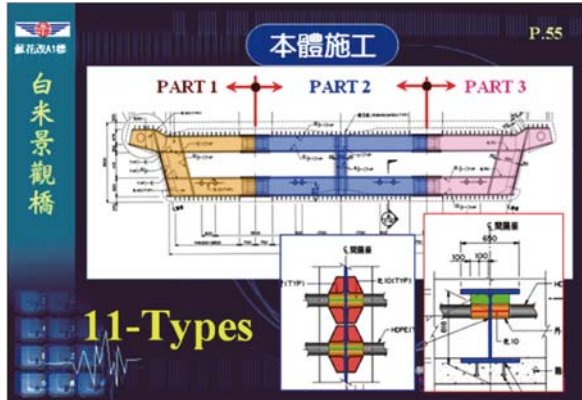


圖 33 鋼製間隔梁

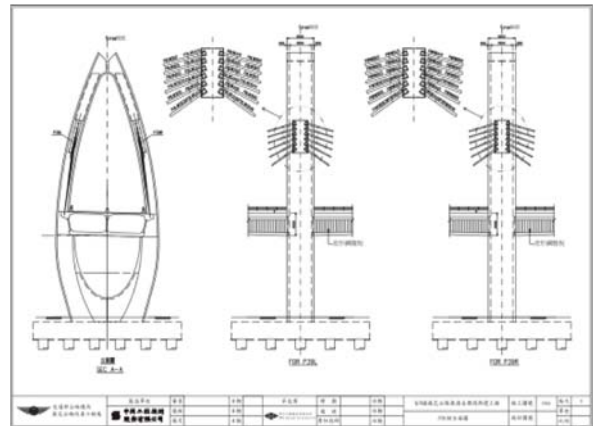
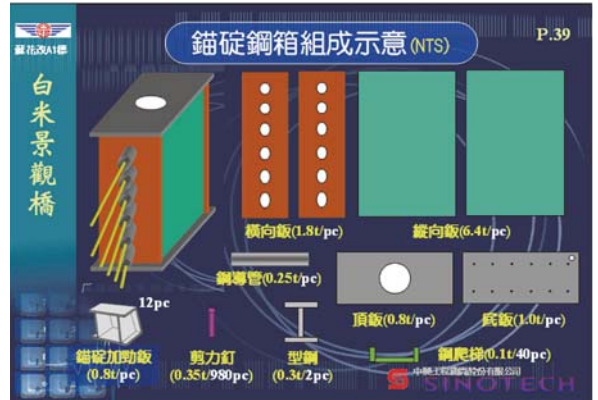


圖 35 錨碇鋼箱組成



圖 34 鋼製間隔梁產製加工流程



圖 36 錨碇鋼箱產製流程

### 脊背橋現場施工

現場施工區分為兩大工項：上塔柱施工及箱形複合節塊（RC 頂底板與波形鋼腹板）施工。

#### 上塔柱施工

主要工作為：鋼筋綁紮、模板組立與塔柱內 4 座錨碇鋼箱安裝。

##### ● 柱頭板施工

橋塔 P38、P39 上塔柱施工前，須完成柱頭板平台（即中隔梁）。柱頭板之施工（含柱頭橫向預力施拉作業），須依設計圖說之規定採分階段澆鑄施工，其程序如圖 37 所示。

##### ● 上塔柱施工

俟前述柱頭板平台完成後，即可依一般程序辦理上塔柱施工。其程序如圖 38 所示，施工時另須配合升層進度吊裝錨碇鋼箱，詳圖 39 所示。

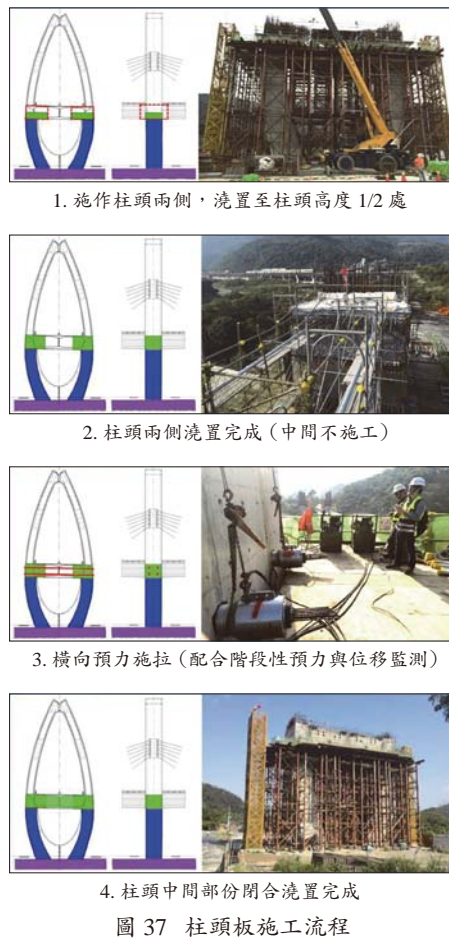


圖 37 柱頭板施工流程

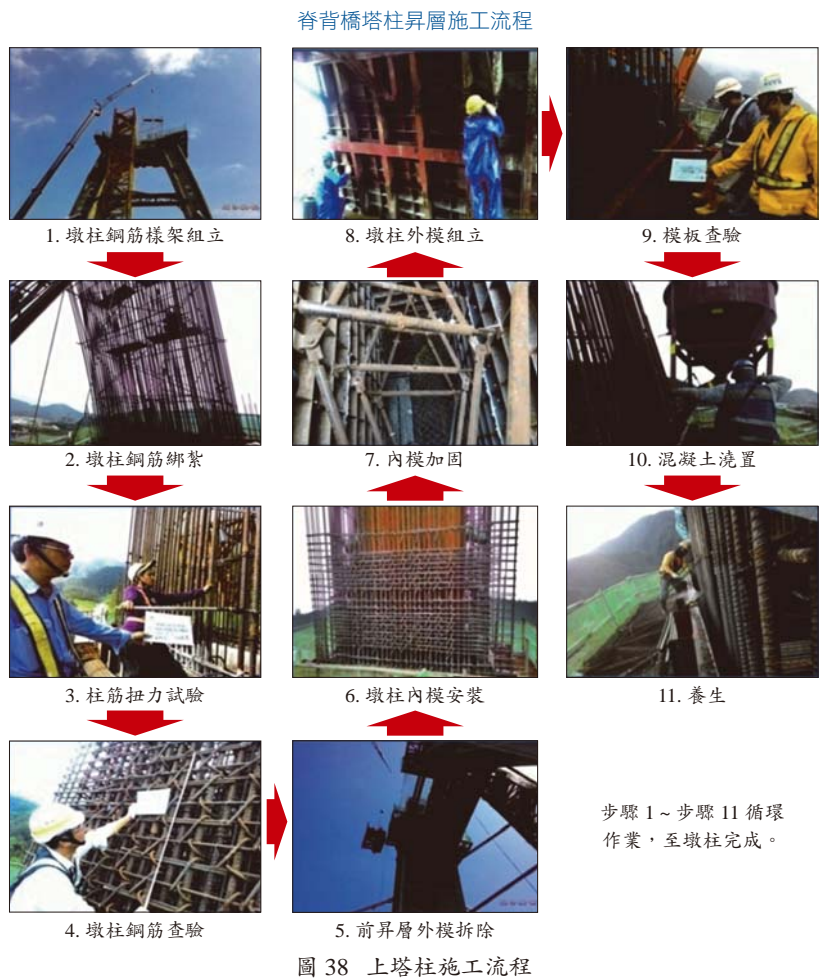


圖 38 上塔柱施工流程

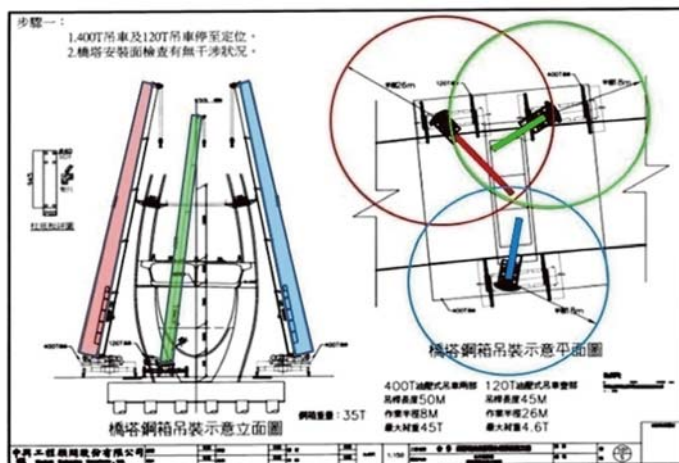


圖 39 錨碇鋼箱吊裝施工作業空間規劃



● 錨碇鋼箱施工

1. 召開吊裝作業虛擬計畫會議

吊裝前將相關施工計畫之作業流程及安全注意事項整編成作業虛擬計畫，召集相關工作成員開會說明虛擬計畫流程及安全注意事項。

2. 吊裝作業規劃

吊裝作業需要 3 部大型吊車同步作業，相關作業空間規劃（如圖 39 所示）、任務分配及控制程序等均需事前規劃。

3. 施工作業流程

由錨碇鋼箱底部混凝土升層頂部之預埋件安裝檢測起，進場後於吊裝前須先行辦理端錨安裝作業，相關主要流程如圖 40 所示。

懸臂工作車平衡節塊施工

上部結構複合箱形梁節塊之平衡懸臂施工方式與一般相同，如圖 41 所示，其最大相異處為波形鋼腹板與鋼製間隔梁係須配合節塊推進施工，由地面吊裝定位後，再與 RC 頂底板一體澆置，完成一具有波形鋼腹板之預力混凝土箱形結構。主要施工程序如圖 42 所示。



圖 41 平衡懸臂施工

結語

本橋梁之規設新建為國內創舉、台灣首例，設計作業充份汲取交通部臺灣區國道新建工程局於「台中 4 號生活圈」計畫中第 C707 標「旱溪橋」、C708 標「大里溪橋」與 C709A 標「草湖溪橋」等國內首次設計與施工經驗，並且借重日本 Fuji P.S 公司（東京分公司）對波形鋼腹板橋施工之顧問經驗與規劃、檢核技術，同時應主辦機關交通部公路總局蘇花公路改善工程處要求，將細設成果提請結構外審，並通過行政院國家實驗研究院地震工程研究中心之審查。設計團隊於波形鋼腹板橋之規設技術、相關施工經驗均有不足之狀況下，由原點起步，兢兢業業順利完成本橋之細部設計工作，成功交出國內首座具有波形鋼腹板之脊背橋設計成果。

因本橋為國內首次施作波形鋼腹板複合外置預力斜索脊背橋，於國內營建施工上有一定之困難度與挑戰性，惟經建設計畫執行機關之全力督導、施工監造團隊與承建廠商共同努力下，相關施工關鍵議題逐一克服解決，目前本橋主體工程均已完成，如圖 43 所示，全橋即將如期如質竣工。本文將首次國內本土化之獨立施工成功經驗回饋分享予國內產、官、學界，期許對國內橋梁工程設計與施工技術水平提升有所助益，並為國內橋梁工程界歷史寫下嶄新的一頁！



圖 40 錨碇鋼箱吊裝施工流程

脊背橋節塊作業施工流程

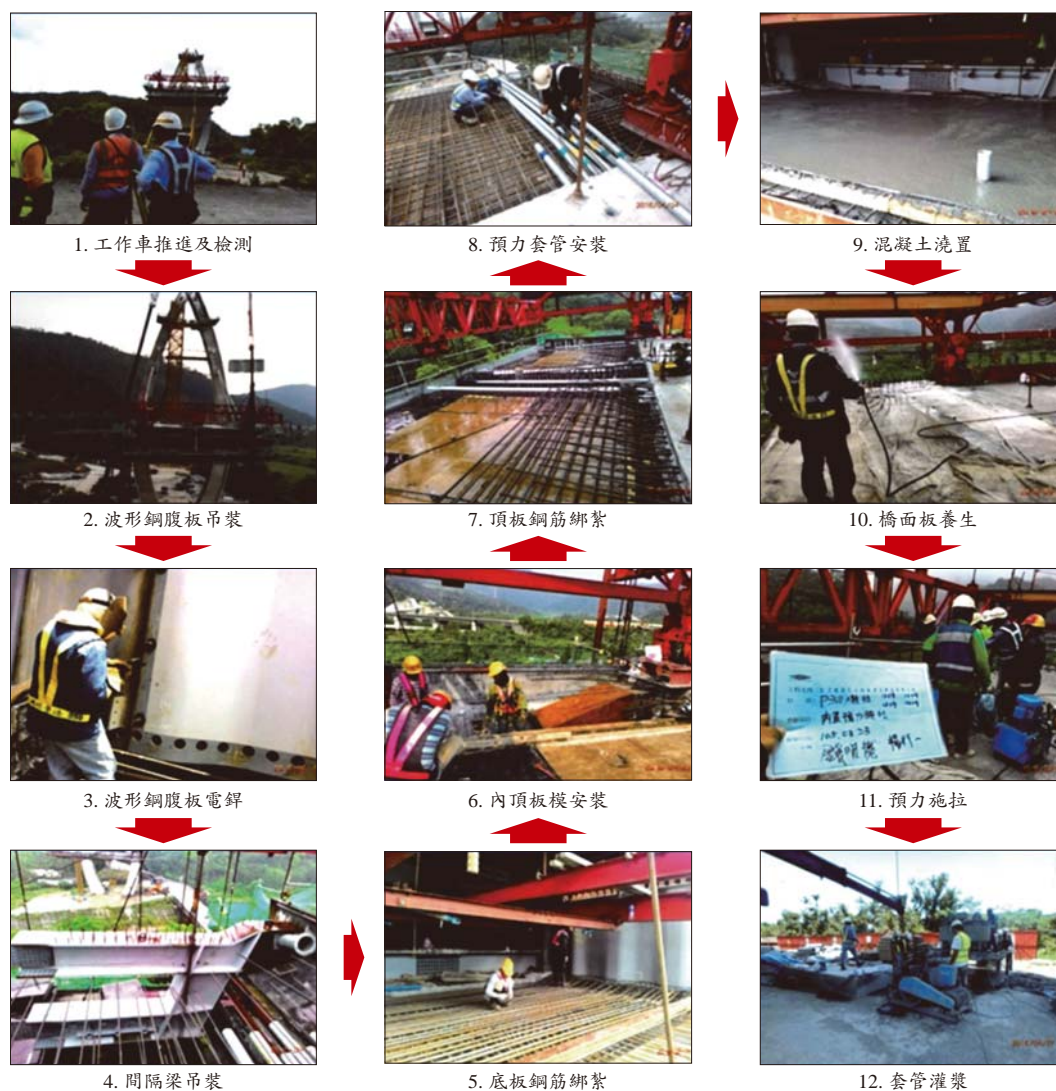


圖 42 平衡懸臂施工主要流程



圖 43 全橋完成主體結構空照

參考文獻

1. 中興工程顧問有限公司,「台9線蘇花公路蘇澳永樂段新建工程」,細部設計圖與設計計算書,台北(2012)。

2. 中興工程顧問有限公司,「白米景觀橋工程特色與施工注意事項」,102年內部人員培訓講義,蘇澳(2013.12.26)。

3. 交通部公路總局中部人員訓練中心,「特殊混凝土橋設計」,103年混凝土橋梁訓練班講義,南投(2014.05.15)。

4. 王正中,「台9線蘇花公路白米景觀橋」,中興工程,第124期,第93-100頁,財團法人中興工程顧問社,台北(2014.07)。

5. 王正中,「台9線蘇花公路白米景觀橋新建工程特色與設計實務」,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,論文編號0201,高雄市,2014年8月27~29日。

6. 王正中,第3屆蘇花改工程技術論壇,「白米景觀橋之設計與施工中監測」,公路總局蘇花公路改善工程處,台北市,(2016.09.08)。

7. Cheng-Chung Wang, Yong-Huei Liou, Hou-Jie Shau, Ting-Yan Lin, 「Design and Construction Monitoring of Bai-Mi Landscape Bridge (for Su-Hua Provincial Highway No.9)」, The 11th US-Taiwan Bridge Engineering Workshop, Taipei, Taiwan, R.O.C. Oct. 20th ~ 21th, 2016.





# 雙索面脊背橋之規劃與設計案例介紹

## Planning and Design of Extradosed Bridge with Cables on Both Sides

蔡伯中／萬鼎工程服務股份有限公司 土建工程部主任工程師

賴順政／萬鼎工程服務股份有限公司 土建工程部经理

孫維政／萬鼎工程服務股份有限公司 土建工程助理總工程師

本計畫路線位於屏東縣車城鄉西側，沿海岸線佈設，包含福安大橋及龜山大橋兩座橋梁，屬「屏東生活圈道路交通系統建設計畫」之一環，完工後將作為台 26 線之替代道路，以期有效疏緩例假日遊客來往墾丁所造成之車流壅塞情形。萬鼎工程承蒙內政部營建署委託，進行「屏東縣車城鄉海口至射寮龜山沿海道路景觀橋及景觀綠美化工程」規劃設計，其工作內容包括福安大橋及龜山大橋。

福安大橋及龜山大橋分別跨越四重溪及保力溪，鄰近河流出海口，橋址環境開闊，且附近海岸觀光資源豐富，路線終點即可到達國立海洋生物博物館，考量景觀需求及減少河道落墩，福安大橋及龜山大橋結構型式分別採二跨及三跨之脊背橋，橋長分別為 210.96 公尺（105 m + 105.96 m）及 315 公尺（90 m + 135 m + 90 m），為國內首座將塔柱設置於橋面二側之「雙索面脊背橋」。本橋橋塔造形融入海洋節肢動物意象，橋塔及纜索設置夜間景觀照明，並於橋面鄰海側設置人行及自行車道，完工後此兩座景觀橋將成為當地重要觀光景點，帶動區域經濟發展。本文將針對橋梁之結構設計、施工規劃及景觀照明等摘要說明，作為日後類似橋型之設計參考。

### 前言

鑑於墾丁、鵝鑾鼻遊客日漸增多，每逢假日恆春至墾丁之屏鵝公路常有塞車情形，現有道路拓寬或新替代道路之開闢刻不容緩。本計畫「車城鄉海口至射寮龜山沿海道路工程」屬「屏東生活圈道路交通系統建設計畫」之一環，位於屏東縣車城鄉西側，沿海岸線佈設，包括橫跨四重溪及保力溪之福安大橋及龜山大橋。計畫道路緊鄰海岸線，附近海洋資源豐富，故朝景觀橋方向進行規劃，以期成為本路段之觀光景點，與路線起點的福安宮及終點的國立海洋生物博物館相銜接，建立觀光旅遊新動線，促進計畫範圍內相關產業，並使車城鄉之交通系統、觀光資源及遊憩據點得以有效的串聯，計畫路線詳圖 1 所示。

計畫工程起點為車城鄉福安村海墘路，與第一期道路銜接（民國 94 ~ 97 年完成），沿線橫跨四重溪及保力溪，至射寮龜山與屏 153 道路銜接，全長約 2,071 m，計畫寬度 25 m，主要工程項目包括平面道路及跨越四重溪、保力溪之福安大橋及龜山大橋。橋梁型式考量建造及維護成本、當地環境（鄰海洋特性），且需兼具景觀需求，經業主核定採預力混凝土脊背橋，本文主要針對此兩座橋屬「脊背橋」單元之規劃及設計過程進行說明及探討。

### 結構配置

#### 福安大橋

本橋跨越約 170 m 寬之四重溪及其左右岸防汛道路，結構配置考量要點包括：跨四重溪梁底高程須高於



圖 1 計畫路線平面圖

計畫堤頂高程 (EL.6.00)，左右岸防汛道路淨高需求，橋墩柱底高程須位於低水河槽區最低處及計畫河床高以下，盡量減少河中落墩採大跨徑配置。依據水理及景觀需求，福安大橋之橋跨配置採  $2@30\text{ m} + 105\text{ m} + 105.96\text{ m}$

m (STA. 0 + 365 ~ 0 + 635)，其中北側之  $2@30\text{ m}$  引橋段採 PCI 型梁橋，主橋段  $105\text{ m} + 105.96\text{ m} = 210.96\text{ m}$  採 PC 箱型梁 (雙箱室) 配合施拉外置預力斜索之「二跨脊背橋」，詳圖 2。

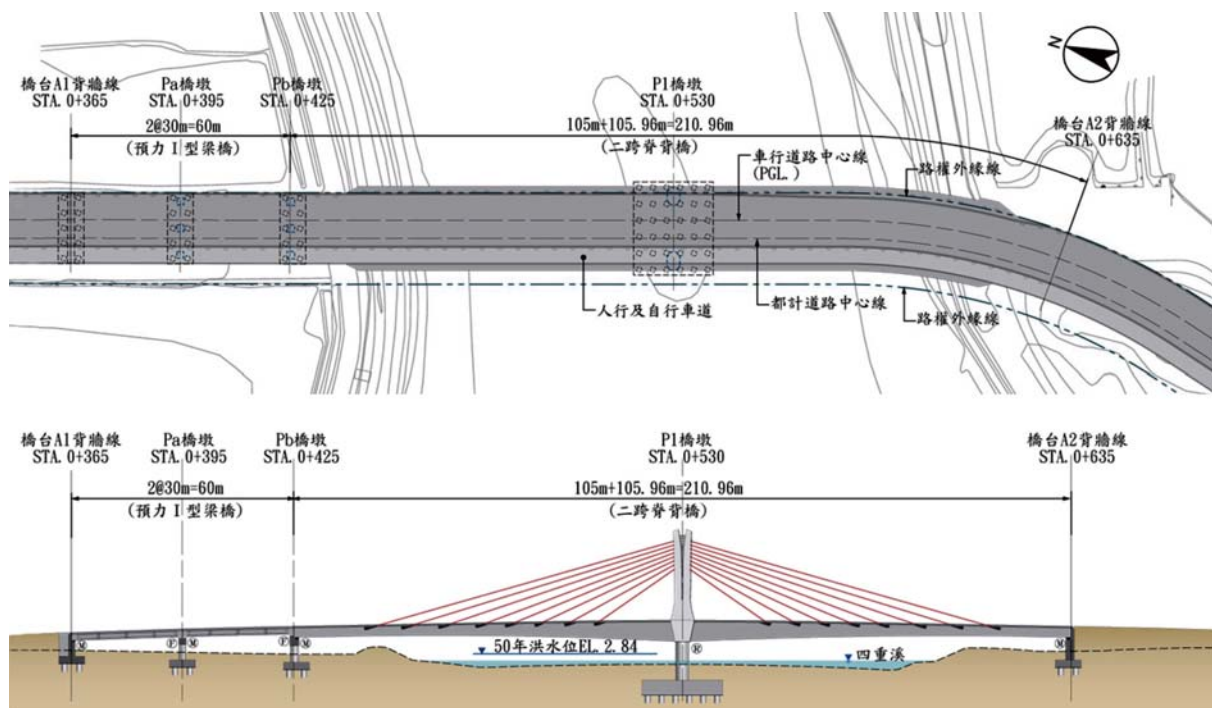


圖 2 福安大橋平立面圖



### 龜山大橋

本橋跨越約 300 m 寬之保力溪河川治理計畫用地範圍，結構配置考量要點包括：跨保力溪梁底高程須高於上游現況堤頂高程 (EL.3.70)，橋墩柱底高程須位於低水河槽區最低處及計畫河床高以下，盡量減少河中落墩採大跨徑配置。依據水理及景觀需求，龜山大橋之橋跨配置為 30 m + 90 m + 135 m + 90 m (STA. 1 + 355 ~ 1 + 700)，其中北側之 30 m 引橋段採 PCI 型梁橋，主橋段之 90 m + 135 m + 90 m = 315 m 採 PC 箱型梁 (雙箱室) 配合施拉外置預力斜索之「三跨脊背橋」，詳圖 3。

### 道路線形及橫斷面配置

本計畫路段屬都市計畫道路，依據屏東縣車城鄉都市計畫樁位資料進行道路平面線形佈設，計畫道路總長度約 2,071 公尺，路權寬度 25 公尺。

道路線形部分，縱坡線形考量跨越計畫堤頂高程及滿足計畫洪水位之出水高度需求，整體規劃福安大橋引道段最大縱坡度為 3.58% (< 8%)，龜山大橋引道段最大縱坡

度為 2.71% (< 8%)，平面線形福安大橋於南側約 59 m 之範圍配合路線線形佈設 R = 168 m 之平曲線 (> 150 m)，龜山大橋平面線形則屬直線段。考量本計畫橋梁型式為脊背橋，橋梁設計時須配合路線線形檢核外置預力斜索下方之車道淨高需求。

橫斷面配置部分，道路平面段需銜接前期道路，故於路權寬度內規劃東側 15 m 之主車道 (雙向各一線快車道及一線混合車道) 及西側 10 m (鄰海側) 之景觀綠帶，詳圖 4。引道段及橋梁段考量本計畫整體建設經費，結構體全寬較路權寬度縮減 1.9 m ~ 5.5 m，配合平面段亦於東側佈設 15 m 之主車道，西側則考量推動觀光旅遊之需求，規劃 2.5 m 寬腳踏車道及 2 m 寬人行道，詳圖 5 及 6。

基於前述橋梁段橫斷面配置之非對稱性，若脊背橋塔柱設置於中央，將會產生橋面車道配置不對稱，或上部結構單側懸伸較大之情形，經綜合研析後本計畫脊背橋將塔柱設置於橋面二側，使整體橋梁結構力學行為更為妥適，也因此本計畫橋梁成為國內首座之「雙索面脊背橋」。

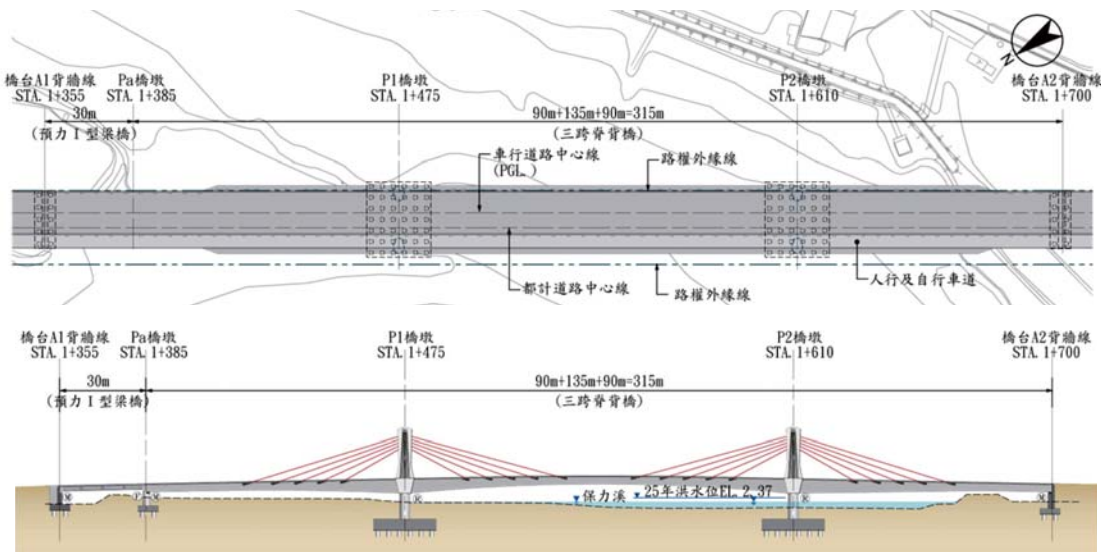


圖 3 龜山大橋平立面圖

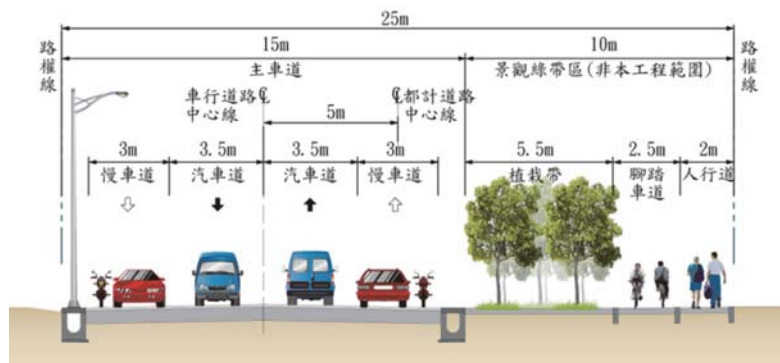


圖 4 平面路段車道配置橫斷面圖

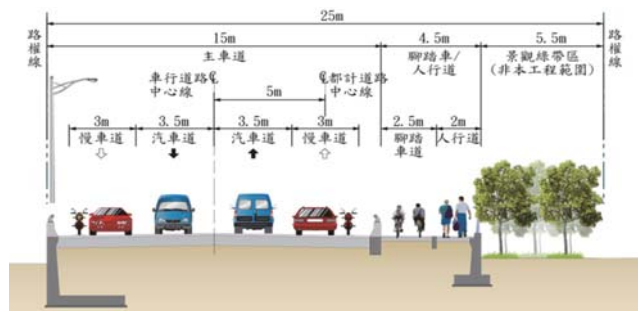


圖 5 引道段車道配置橫斷面圖

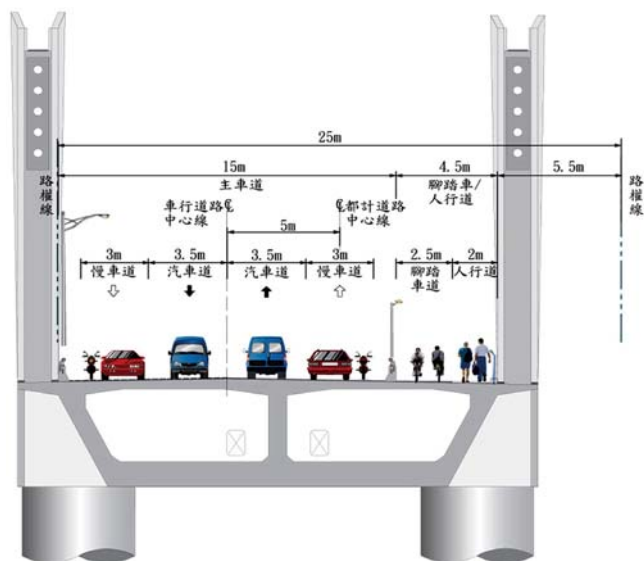


圖 6 橋梁段車道配置橫斷面圖

## 結構設計

### 脊背橋整體結構分析

本計畫橋梁採用 MIDAS 及 RM 結構分析軟體分別進行設計及檢核，配合施工規劃於各階段施拉內置預力鋼腱及外置預力斜索（詳圖 7）。地震力加載部分，除進行靜力及反應譜分析外，亦選用靠近橋址附近測站（KAU038、KAU039 及 KAU081）於 2006 年 12 月 26 日恆春地震所收錄之地震資料，經調整符合「公路橋梁耐震設計規範」之規定後進行地震歷時分析。上部結構分析結果，施工及服務階段之混凝土容許應力檢核（詳圖 8），皆符合公路橋梁設計規範規定。

相關設計成果如表 1 所示，橋墩為雙柱式長橢圓型橋柱，基礎採樁基礎，樁長配合承載層位置（卵礫石偶夾砂礫石層）逐墩考量，兩座脊背橋之梁深／橋長及塔高／橋長比值約為 1/27 ~ 1/31 及 1/7.2 ~ 1/7.9，與國內外脊背橋工程案例之統計結果 1/25 ~ 1/35 及 1/8 ~ 1/15 大致相符。此外，由於計畫橋梁斜索施設於橋面兩側，故於橋梁斜索錨碇處之箱梁內皆設置隔梁，以利應力傳遞。

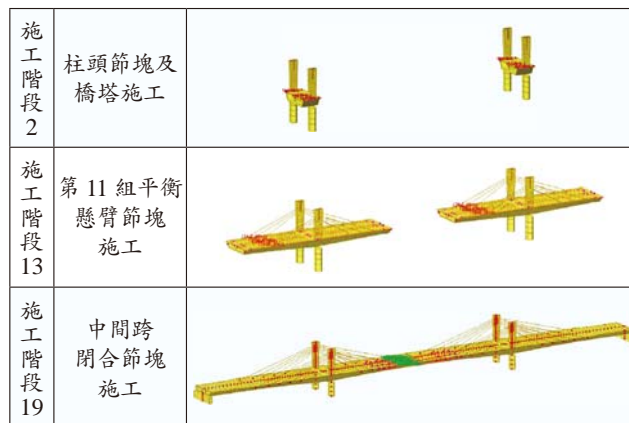


圖 7 龜山大橋各施工階段 3D 分析模型

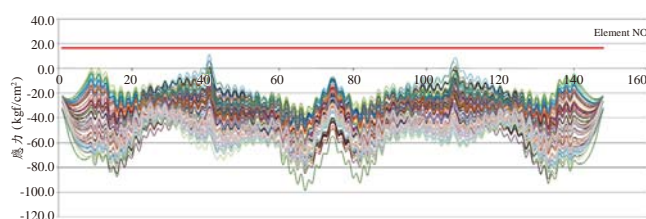


圖 8 龜山大橋服務階段所有載重組合之大梁頂版應力圖

表 1 脊背橋設計成果表

項目	福安大橋（脊背橋段）	龜山大橋（脊背橋段）
跨徑	105 + 105.96 = 210.96 m	90 + 135 + 90 = 315 m
主梁	PC 箱型梁（雙箱室） （梁寬：23.1 m， 梁深：2.8 ~ 5.5 m）	PC 箱型梁（雙箱室） （梁寬：23.1 m， 梁深：2.8 ~ 5 m）
橋墩	雙柱式長橢圓形橋柱 （5 m × 3.5 m × 10.5 m）	雙柱式長橢圓形橋柱 （5 m × 3.5 m × 9 m）
橋墩基礎	樁型礎 （25.5 m × 21.75 m × 4 m）	樁型礎 （25.5 m × 21.75 m × 4 m）
橋墩基樁	全套管基樁 （φ1.5 m，樁長 46 m）	全套管基樁 （φ1.5 m，樁長 50/56 m）
橋塔高度	24 m	17 m
外置預力斜索	2 索面 × 16 束 × 31T-15.2 mmφ	4 索面 × 10 束 × 31T-15.2 mmφ
內置預力鋼腱	19T-15.2 mmφ（單束）	19T-15.2 mmφ（單束）
梁深／橋長*	約 1/31	約 1/27
塔高／橋長*	約 1/7.2	約 1/7.9

\* 本表橋長係指外置預力斜索施拉範圍內之橋梁總長。

### 橋塔鋼殼有限元素分析

分析過程針對橋塔鋼殼進行完全剛接與單元結構間無焊接套疊（Metal touch）等兩種狀況進行有限元素分析，確保結構安全性能。依幾何尺寸設計結果，以有限元素分析軟體 ANSYS 模擬及求解此切割獨立結構塊體之三維應力問題，取得加載與局部變形關係、應力及應變分佈圖等相關資料，最後根據 Von Mises 降伏準則詳細計



算各元素的安全係數，作為鋼結構設計結果判別依據。

本計畫橋梁採 31T-15.2 mmφ 外置預力斜索，故以單束斜索最大預力值加載為 494.76 tf (0.6 Pu) 進行分析，且不考量鋼殼外部包覆鋼筋混凝土對橋塔勁度之貢獻。此外，於 Metal touch 之有限元素分析中，為考量鋼板在接合橫切面的平整度與施工中可能產生的誤差，在各馬鞍型單元結構間假設只有三點接觸，並存在最大 0.5 mm 的間隙，用以模擬結構分析中最不利情形。

本計畫橋梁之橋塔鋼殼採 ASTM A709 GR.50 鋼材，參照「Von Mises 降伏準則」及日本「本州四国連絡橋公団鋼上部構造の設計に FEM 解析き適用するためのガイドライン(案)」，依下列公式判別各元素之安全係數是否足夠，並作為加勁材設計依據：

$$\begin{cases} \sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \leq \frac{1.1\sigma_a}{FS_1} \\ \sigma_1 \leq \frac{\sigma_a}{FS_2} \\ \sigma_a = 0.8\sigma_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} FS_1 = \frac{1.1\sigma_a}{\sigma_e} \\ FS_2 = \frac{\sigma_a}{\sigma_1} \end{cases}$$

其中： $\sigma_y$  及  $\sigma_a$  為鋼板之降伏及容許應力， $\sigma_e$  為結構分析結果之 Von Mises 降伏應力， $\sigma_1$  及  $\sigma_2$  為結構分析結果之最大及第二主應力， $FS_1$  及  $FS_2$  則為安全係數，檢核元素應力之安全係數皆須大於 1.0，鋼殼尺寸、有限元素模擬及分析結果，詳圖 9~14 所示（以福安大橋為例）。



圖 9 鋼殼完全剛接之有限元素

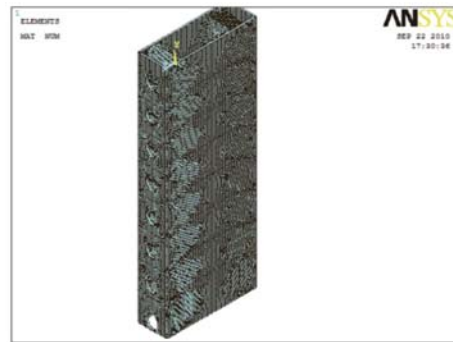


圖 10 鋼殼 Metal touch 之有限元素

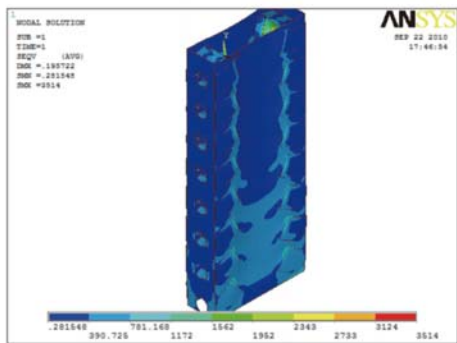


圖 11 鋼殼等應力線分佈圖(完全剛接)

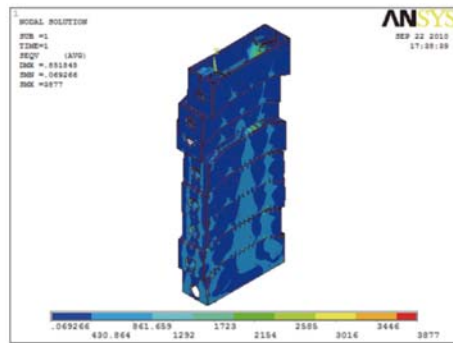


圖 12 鋼殼等應力線分佈圖(Metal touch)

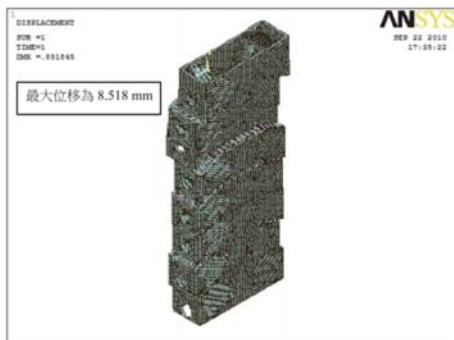


圖 13 鋼殼整體位移分佈圖(Metal touch)

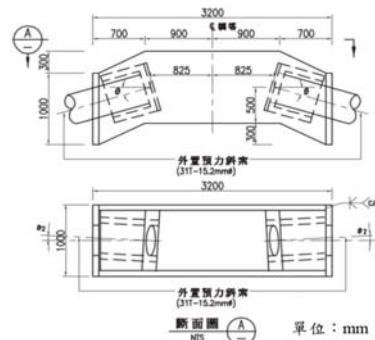


圖 14 鋼殼標準單元尺寸圖

### 外置預力斜索應力檢核

施工及服務階段之所有載重組合，外置預力斜索應力應小於  $0.55f'_s = 10450 \text{ kgf/cm}^2$  (詳圖 15 ~ 16)。疲勞應力 200 萬次反覆載重其上限應力為極限抗拉強度之 55%，應力範圍為  $140 \text{ N/mm}^2 = 1427.1 \text{ kgf/cm}^2$ ，使用 DIN CODE 進行鋼索疲勞應力檢核，檢核公式如下，檢核結果皆符合規範規定。

$$\alpha_f < \alpha_{fa}$$

$$\alpha_f = \alpha_d + 0.5\alpha_{l,max}$$

$$\alpha_{fa} = \begin{cases} \alpha_d = 6400 \text{ kgf/cm}^2 & k \geq 0.681 \\ \frac{500}{1 - 0.895k} & k < 0.681 \end{cases}$$

$$k = \frac{\alpha_d + 0.5\alpha_{l,min}}{\alpha_d + 0.5\alpha_{l,max}}$$

其中： $\alpha_f$  及  $\alpha_{fa}$  為斜索疲勞應力及容許應力， $\alpha_d$  為 DL 作用下斜索應力， $\alpha_{l,max}$  及  $\alpha_{l,min}$  分別為 LL 作用下最大及最小應力。

### 施工規劃

本計畫橋梁型式皆屬脊背橋，除三跨脊背橋另需澆置中央跨閉合結塊外，施工方式大致相同，茲以福安大橋(二跨脊背橋)為例，主要施工步驟如表 2 所示，施工照片詳圖 18 ~ 25，另摘要說明如下：

1. 橋梁下構：架設施工便橋，採圍堰方式施築基樁、基礎及墩柱等結構。
2. 塔柱：採造型鋼製模板施築，塔柱混凝土澆置需分二次施作，橋塔埋設鋼殼段以上之部分區域(詳圖 17)，須於步驟 IV 進行第二次澆置，避免外置預力斜索施拉後塔柱混凝土產生裂紋。
3. 預力箱型梁：施工採懸臂工法節塊推進完成，外置預力斜索配合節塊施工進度佈設，部份邊跨以場鑄方式施工。

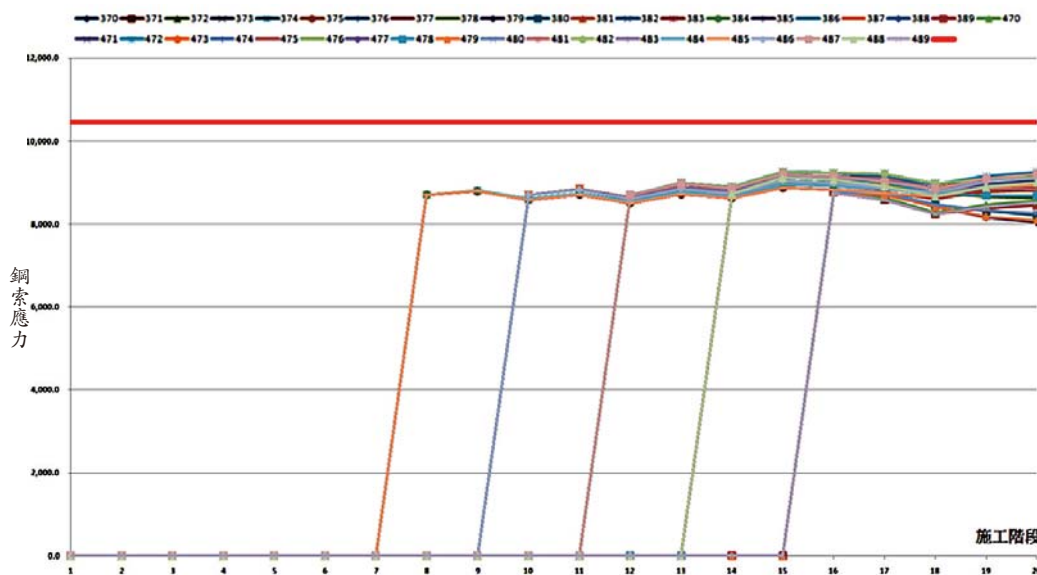


圖 15 龜山大橋施工階段斜索應力檢核

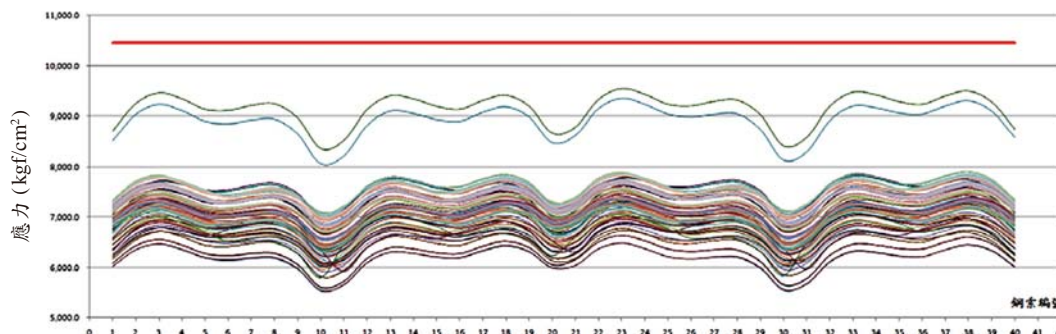
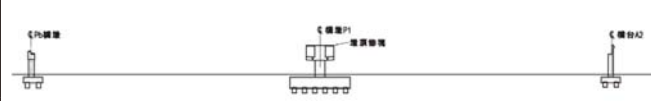
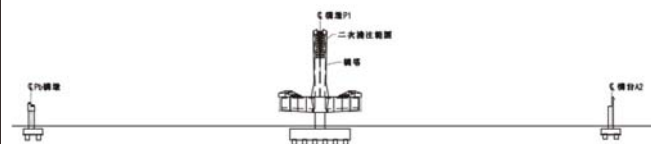
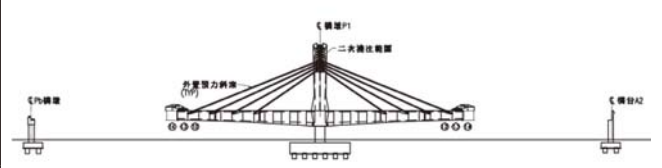
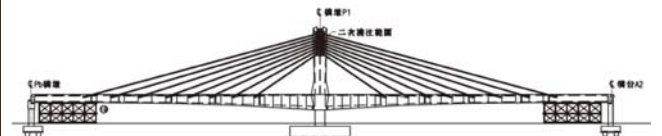
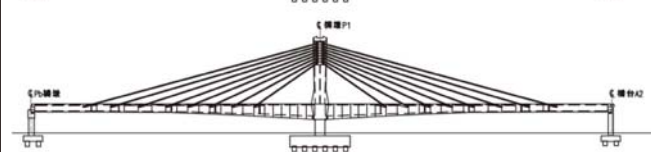


圖 16 龜山大橋服務階段斜索應力檢核



表 2 福安大橋主要施工步驟

施工步驟示意圖	說明
	I 1. 架設施工便橋，施築圍堰 2. 完成橋墩基樁、基礎、墩柱及柱頭節塊等施工
	II 1. 架設懸臂工作車 2. 平衡對稱依序施築兩側節塊 3. 完成塔柱施工
	III 1. 工作車構築含斜索外置預力節塊時，於工作車推進後未施築下一節塊前，施拉本節塊之前一節塊外置預力斜索
	IV 1. 邊跨場鑄段施工 2. 外置預力斜索全部施拉錨碇後，施築橋塔第二次澆置範圍
	V 1. 拆除邊跨支撐架 2. 橋面附屬設施施築 3. 完工

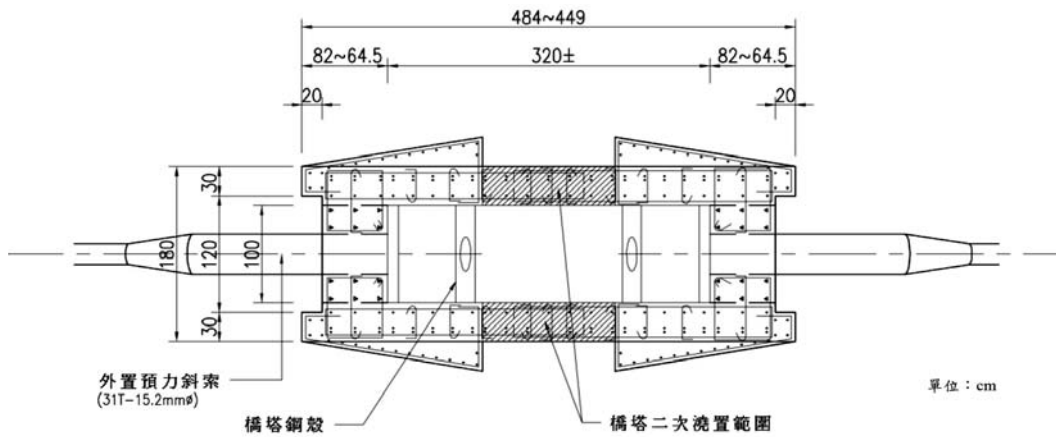


圖 17 橋塔二次澆置範圍示意圖



圖 18 圍堰及基礎開挖



圖 19 基樁及基礎施作



圖 20 橋墩施築



圖 21 橋塔鋼殼於鋼構廠假組立



圖 22 橋塔施築及平衡懸臂工法施作



圖 23 施設外置預力斜索



圖 25 橋梁段完成



圖 24 邊跨場鑄段施工

### 景觀、照明及綠色內涵

本計畫橋梁除提供道路運輸功能外，橋體本身屬大型量體之建物，所採用之雙索面脊背橋其獨特造型於日間將成為本地區之地標，為強化地方特色，於夜間增設景觀照明系統，除可進一步顯示建築及結構力

學之美，也能讓民眾感受到都市繁榮意象，增加來往遊客特殊印象。

本計畫路線緊鄰海岸線，橋塔造型特別融入海洋節肢動物意象，與橋址環境之自然生態相呼應，詳圖 26 ~ 27。

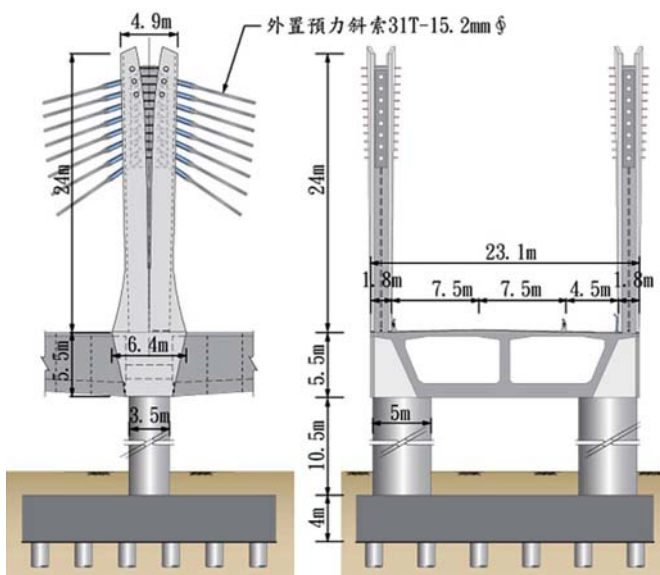


圖 26 福安大橋橋塔斷面圖

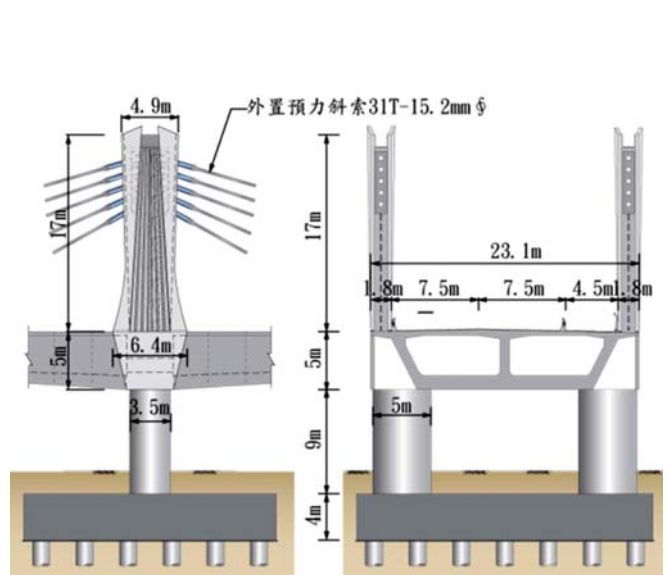


圖 27 龜山大橋橋塔斷面圖



夜間景觀照明部分，於橋梁上配置 LED 線性燈（斜索）及投射燈（橋塔），運用色光及層次變化，可於夜間進行光雕秀，打造橋梁新特色，並利用照明系統之時程控制器，調節照明、控制展演時段、區分節奏及韻律。平常日時，照明系統僅燈光顏色逐漸明暗變化（詳圖 28），例假日時，再配合燈光之律動，營造熱鬧迎賓氣氛（詳圖 29）。

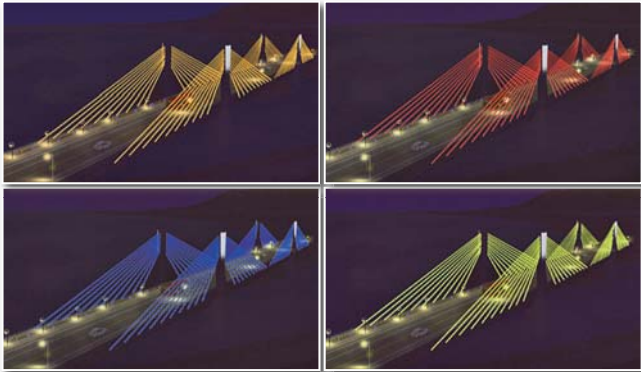


圖 28 景觀照明系統色光變化模擬圖

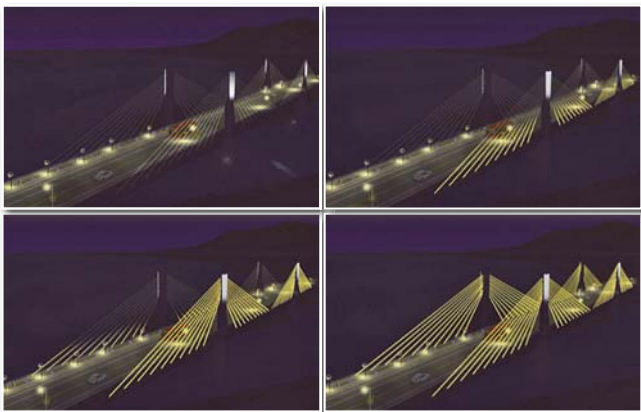


圖 29 景觀照明系統燈光律動模擬圖

本計畫於節能減碳、營造綠色環境及使用綠色能源或工法部分，於工程設計、施工及服務階段皆完整考量，其項目包括：

1. 綠色環境。平面道路單側保留 10 m 寬景觀綠帶（依設計階段審查結論，由車城鄉公所辦理），可種植喬木、草皮，提供人行、自行車道及遊客休憩空間。並於龜山大橋引道段設置生物廊道（穿越箱涵），供招潮蟹等近海動植物使用。
2. 綠色工法。橋體結構多採用 350、420 kgf/cm<sup>2</sup> 混凝土，混凝土採用爐石混凝土，添加爐石粉，減少水泥用量，增加耐久性。
3. 綠色材料。使用回收材料，包括再生級配碎石鋪築道路底層，再生瀝青混凝土鋪築道路面層，照明系

統則採用 LED 燈組（詳圖 30），降低服務階段養護單位之維護費用。



圖 30 福安大橋景觀照明系統竣工照片

## 結語

本工程業已於民國 103 年 1 月竣工，完工照片詳圖 31 及 32 所示，主要特色在於福安大橋及龜山大橋為國內首座「雙索面脊背橋」，設計過程除針對橋塔鋼殼及外置預力斜索等分析設計需特別考量外，由於福安大橋南側佈設 R = 168 m 之平曲線，設計時以 3D 模型檢核車輛動態包絡線是否與斜索衝突，做整體行車空間之檢討。此外，本工程亦完整思考整體景觀、夜間光雕照明、工程綠色內涵及服務階段之維護需求等，可作為日後類似工程案例之參考，並祈各界工程先進不吝賜教。




圖 31 福安大橋全景照片



圖 32 龜山大橋全景照片

## 參考文獻

1. 日本本州四國連絡橋公團，「鋼上部構造の設計に FEM 解析き適用するためのガイドライン（案）」（平成 5 年九月）。
2. 萬鼎工程服務股份有限公司，內政部營建署「屏東縣車城鄉海口至射寮龜山沿海道路景觀橋及景觀綠美化工程」細部設計報告書（2010）。



# 臺北捷運建設30年



計畫整合  
與  
管理技術

路網規劃  
技術



興建期間的  
營建管理與  
監造技術

臺北捷運  
核心技術

機電系統  
基本設計  
施工安裝與  
整合測試技術



都市計畫  
用地取得與  
聯合開發技術

土建水環  
固定設施設計  
施工管理技術







# 橋梁工程與藝術美學之關係

李仲彬 / 臺中市結構工程技師公會 理事長

隨著現代社會日常生活審美觀點多樣化的趨勢，使得橋梁設計不再是單純的結構計算，而必須融入更多的藝術美學與文化特質等相關元素，也因為橋梁工程與私有建築不同，橋梁具有公共性的特殊魅力，可以沒有階級限制的為每位用路人提供服務，因此優雅的橋梁型態將成為現代城鎮本身展現自我意識的象徵。

## 前言

現代橋梁景觀設計競爭激烈，設計團隊通常由結構土木工程師、建築師、藝術家以及景觀和環境方面的專家組成，將工程技術與美學藝術密切結合，所呈現的景觀橋梁本身就是一座完整的藝術品。由於橋梁工程所面對的力學、材料、結構、施工等技術問題相當複雜，而這些問題是一般藝術品創造過程中不可能遭遇到的，所以橋梁設計領域主要仍屬結構土木工程專業，應由結構土木工程技師來主導整合設計團隊。本文僅就個人近年來之設計作品「虹起龍騰」、「鳳凰來儀」、「沙鹿之翼」、「鄒族圖騰」、「山川琉璃」、「泰雅彩虹」等六座景觀橋梁為例，分享橋梁與宗教、文學、藝術、美學元素融合之規劃設計經驗提供參考。

建本觀光大橋以促進地方繁榮。

北港溪觀光大橋於西元 2000 千禧年也是中國庚辰年（龍年）開始著手設計工作，橋體設計即以虹起龍騰為主題，「龍」為我國傳統文化與民間宗教信仰之吉祥象徵，而地理位置恰於北港朝天宮前方，更象徵著媽祖座前之守護神。因此主橋結構採三孔紐爾遜式提籃型鋼拱橋，藉由拱圈及鋼索之鱗片造型，孕育出虹起龍騰之美感，利用三拱自然曲線之起伏韻律，結合吊索力學之美，化身祥龍，生生不息，加上夜間的燈光照明效果，更可表現出祥龍獻瑞之閃爍動感。

景觀照明設計上為展現獨特的宗教性，故規劃與節慶、季節變化、人文活動相調合。藉由夜間照明的表現，讓北港朝天宮在白晝與夜間呈現完全不同的風

## 虹起龍騰（雲林北港溪觀光大橋）

北港溪觀光大橋位於雲林縣與嘉義縣之交界，北端北港朝天宮（媽祖廟）為一歷史悠久之二級古蹟，根據統計資料，平均每年約有五百多萬人次之信徒及觀光客前來朝聖，祈求北港媽祖庇佑。雲林縣政府為考量每年媽祖遶境活動及延續北港古鎮觀光發展，乃興



圖 1 北港溪觀光大橋位於雲林縣與嘉義縣之交界

貌。因此在景觀照明設計上將考量下列因素：

- (1) 橋軸動線視覺變化。
- (2) 河堤上遠望該橋時的視覺震撼。
- (3) 悠遊橋上之視覺觀感。
- (4) 以夜色為背景襯託出橋拱之龍的造形。
- (5) 以點狀光源藉由河水映射營造出閃動鱗片的效果。



圖 2 原設計 3D 模擬圖 (一)



圖 3 原設計 3D 模擬圖 (二)

為尋求橋體設計與宗教元素結合，特於閉合之拱圈上開有圓孔，每於日正當中時，便有圓束光環自天空降臨，意謂「灌頂」。「灌頂」乃源自印度國王傳位的儀式。當老國王退位傳給新王時，先用寶瓶盛以海水澆太子之頭，名曰「灌頂」。太子受此「灌頂」儀式後，便貴為人王。然後才施行政，無不從心。所以於藏文，「灌頂」的正義就是授權的意思。漢人的「灌頂」儀式有數種意義：

- 加持：令受灌者得到上師及本尊的加持。
- 隨許：授權予弟子觀想自己為本尊、持咒及作本尊手印等之修持。
- 授記：令受灌者種下在未來成為本尊、證悟佛境的意思。
- 淨化：清淨受灌者之身、語、意罪障。

北港溪觀光大橋自 2003 年完工啟用迄今，由於雲林縣政府預算有限，一直未有機會進行養護工作，因 2017 年北港燈會之賜，整座橋重新上漆養護並重置燈光，加上「百鳥朝鳳」的裝置藝術，讓這媽祖座前的守護神，起伏韻律之美再度燦爛耀眼。



圖 4 閉合之拱圈上開有圓孔隱含「灌頂」之宗教儀式



圖 5 每於日正當中時拱圈上之圓孔便有圓束光環自天空降臨意謂「灌頂」

### 鳳凰來儀（台中國際機場人行陸橋）

台中國際機場人行陸橋位於台中市沙鹿區之台 10 線與台 10 乙線交叉路口乃為台中國際機場之入口門戶，平時交通量極大。因路口東南側設有公明國中，且此處亦有規劃將來與自行車道串連，經地方居民熱烈反應，為顧及民眾通行安全，此路口確實有需要進行相關改善措施，因此興建本座陸橋，不僅保障人行交通之公共安全，亦為台中國際機場打造一座具國際級之入口新地標。





圖 6 鳳凰來儀陸橋地理位置位於台中國際機場之入口

台中國際機場人行陸橋於 2010 年開始著手規劃設計工作，由於橋址位於國際機場入口，設計團隊內部經過相當程度之衝撞與激盪的討論過程，最後決定將我國固有的文學元素隱喻於橋梁形體上，展現出內斂的橋梁美學，因此「鳳凰來儀」嫣然誕生。四書五經為我國儒家最重要之經典著作，四書包含：論語、孟子、大學、中庸。五經則包含：詩經、尚書、禮記、周易、春秋。

而尚書·益稷：「簫韶九成，鳳凰來儀」，意指有鳳來儀，乃國運呈祥之意，故設計團隊藉由結構型體表達出祈求天佑台灣「風調雨順、國泰民安」之深切意涵。而橋體型態之靈感則發想來自藝術大師楊英風先生的雕塑作品「鳳凰來儀」，寄希展現出如同歐美各國藝術作品納入日常生活之中，呈現我國人文、藝術與工程技術結合特色，建立具有相當代性之國際門戶地標。

為尋求與當地環境地景取得和諧，於靠近台中國際機場圍牆外側設置中央橋塔，單塔式雙跨斜張橋，橋塔主要由分化的兩支鋼構形體組成，主梁以極簡主義式箱梁搭配隱藏的線型光源、垂直的類格柵欄杆，表現出輕盈、細膩變化的觀感，不僅外觀顯得輕巧，極簡主義的幾何造型，以樸素細膩形態應合周邊環境的千變，且不致對於整體環境景觀造成太大的視覺衝擊。「鳳凰來舞而有容儀」，古代為祥瑞的預兆，藉由展翅飛翔的形體敘說吉祥的徵兆，除意味著台中之人文、科學、產業等蓬勃發展之外，也象徵著祈求國家順遂的未來。



圖 7 尚書·益稷「簫韶九成，鳳凰來儀」意指有鳳來儀，乃國運呈祥之意



圖 8 無論從各個角度觀賞均可感受到橋體展翅飛翔的意象

## 沙鹿之翼（臺中市臺灣大道人行陸橋）

沙鹿之翼位於臺中市臺灣大道與台 10 號省道交叉路口為臺中市通往台中港、台中國際機場、中山高速公路及第二高速公路間之必經路段，路口之尖峰時段交通量相當大，且與竹林國小、沙鹿高工、弘光科技大學及靜宜大學相鄰，學生穿越本段道路時，在部分動線規劃不完善之情況下，部分學生須平面穿越道路而屢生危險，地方反映對於此路口之改善聲浪一直持續不斷，乃興建本陸橋以改善交通現況並確保用路者之安全，創造順暢之交通環境，並建立具地方特色與國際接軌之景觀地標，以現代科技表現於橋梁型式上，同時配合周邊環境綠美化，提供民眾休憩場所，橋梁工程從 2006 年 8 月起動工，2008 年元月完工啟用。

以往，斜張橋總以其巨大的身影倏地出現在環境當中，無論在海上、在山谷中，或者人群聚集的都市，斜

張橋藉由其獨特的造型設計及其突出的量體吸引旁觀者的目光；但一味競逐高大、爭奇鬥艷，反倒少與其所處環境做較深刻的考量，其結果往往是不自覺地成為環境景觀的殺手。因此，為尋求與當地都市地景取得和諧，於三民公園設置中央橋塔，雙塔式雙跨斜張橋，橋塔以輕巧之三根圓型鋼管組成，主梁以簡潔箱梁搭配造型助板及欄杆，表現出輕盈富變化的感覺，不僅外觀顯得輕巧，幾何造型亦較富於變化，且不致遮蔽視野。

輕捷的斜張橋形，構築起的質量感是輕柔的力度，而曲線形的橋梁主體，具有比直線形體更嬌柔的姿態，但卻不致於過份的扭曲，企圖裂解橋梁巨大且笨重的呆板意象，更加強斜張懸掛的驅動張力，雖具動態感，而非粗暴狂野，保持其先天力學所具有的美好平衡姿態。橋塔的重量與強度，透過將主體的拆解，分解成三圓柱式的橋塔，適度的顯示橋塔的結構強度，亦削減 36 公尺高大橋塔的強勢量體感，在具有

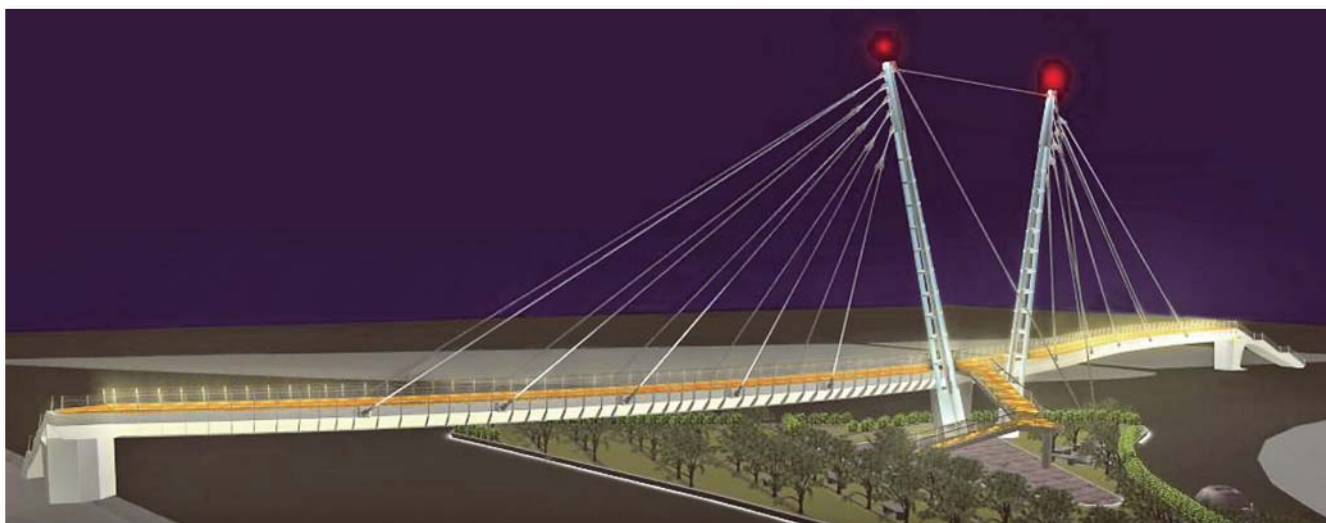


圖 9 橋塔以輕巧之三根圓型鋼管組成，主梁以簡潔箱梁搭配造型助板，表現出輕盈富變化的感覺（原設計 3D 模擬圖）



圖 10 曲線形的橋梁主體具有比直線形體更柔和的姿態



圖 11 橋塔之圓形光環意象代表天使，兩側張開的鋼纜意謂著天使的翅膀，守護本路口所有學童與行人的安全



足夠的地標彰顯作用之下，避免對都市景觀的強烈干涉，適度禮讓出天空與地景等自然景觀。

陸橋於設計期間，因為一位小學低年級學童，放學回家穿越本路口時，由於路口長秒差短，尚未到達對面，號誌燈即已變化，在心生恐懼的情形下，反而奔跑折回，就在當時，來向車輛已達路口，學童當場往生。因此，設計團隊即以橋塔之圓形光環意象代表天使，而兩側張開的鋼纜意謂著天使的翅膀，守護本路口所有學童與行人的安全，陸橋完成後經網路票選命名為「沙鹿之翼」。

### 鄒族圖騰（嘉義阿里山福美吊橋）

2009年8月8日莫拉克颱風挾帶超大豪雨重創南臺灣，成為臺灣五十年來最嚴重的一次水災。位於嘉義縣阿里山鄉山美村達娜伊谷外緣之善美吊橋，亦遭到無情大水沖毀，居民只能以流籠渡河，險象環生。災難發生之後，中華民國紅十字會全面動員參與災後緊急救援及各項重建工作，善美吊橋的重建經費則全數由大陸紅十字會善款捐助，於2011年10月正式重建完成，並重新命名為「福美吊橋」，以紀念兩岸攜手重建之佳話。



圖 12 福美吊橋長度 175 公尺是當時國內跨徑最長的人行吊床式吊橋

福美吊橋屬吊床式吊橋型式，橋面兩側藉由垂吊索懸掛在主索下方，設計團隊的目的是刻意呈現主索、索夾、吊耳及錨座等結構元素，展現出吊橋結構力學與美學結合的量體，並增加吊橋本身的穩定性，隱藏在橋面下的兩條防震索，對於吊橋整體穩定效果的確發揮相當大的作用，抗風索線型則與水平線約呈 30 度夾角，整體配置恰當，即使通行典禮當天同時約二百多人在橋面上行走亦不覺得搖晃。



圖 13 吊橋刻意顯露結構原件呈現結構力學與美學結合的量體

紅、藍、黑三色是鄒族圖騰基本原色，因此，舉凡吊橋纜索顏色、橋面護欄、花崗石地坪等之造型及色彩語彙元素皆發想於鄒族的圖騰，既能與環境相互融合又能凸顯當地原民特色，吊橋優美的弧線劃過山際，跨越過曾文溪峽谷，構成一幅美麗的畫面令人感動。



圖 14 福美吊橋融入鄒族圖騰基本色彩顯現原民特色風貌



圖 15 錨碇基座馬賽克面飾創作圖像由山美國小提供



福美吊橋設計期間，透過山美社區發展協會協助，向當地山美國小的小朋友邀稿，取得四幅美麗圖畫，入選作品分別是「鄒族神話故事－哈莫神造人」、「鄒族神話故事－小米女神」、「夢見達娜伊谷－山美大橋溪谷」及「夢見達娜伊谷－達娜伊谷賞魚」等。吊橋揉合了藝術與工程，一改原吊橋基礎混凝土的風貌，在錨碇基座表面進行馬賽克面飾工作，由於山美國小小朋友們的協助，吊橋週邊得以譜繪出希望與感動之創作圖像，讓眾人愛的力量在達娜伊谷傳頌，為山美、茶山與新美村民構築一條安全的回家之路，更為當地居民記錄著永不放棄的重建故事。

### 山川琉璃（屏東三地門吊橋）

2009年8月8日莫拉克風災所有重建工程最後終於在2015年12月26日以屏東三地門鄉「山川琉璃吊橋」劃下完美的句點。山川琉璃吊橋懸吊於青山綠水之間，全長263公尺，距離河床平均高度45公尺，散發著濃濃的部落文化之美。吊橋啟用後，可連結屏東瑪家鄉和三地門鄉間，行走於橋上，除了瞭望周邊的山巒疊嶂，站在橋身上更可一睹屬於部落的24面故事牌，細數著原住民的過往，而橋身所鑲嵌的琉璃珠及裝置藝術，足以讓人回味再三，無怪乎有人要說山川琉璃吊橋是屏東最美的一景。

2015年山川琉璃吊橋以263公尺刷新了臺灣吊床式吊橋最長跨徑的紀錄，也超越了同樣出自本團隊所設計曾經是全國最長的阿里山福美吊橋175公尺跨徑。這次設計整合了橋梁工程力學與原民藝術美學，期盼除了提供災民可長久安全使用的吊橋，更揉合了原民藝術元素於其中，突顯原民特色，尊重族群融合。吊橋設計團隊更邀請了當地排灣族藝術工作者參與，共同創作琉璃故鄉的裝置藝術，讓遊客沿著橋面看見原民祖先流傳的美麗琉璃珠故事。而橋體結構則是藉由懸吊式力學原理，讓吊橋結構元件與遊客更親近可一覽無遺，再加上每根抗風支



圖 16 行走於橋上可瞭望周邊的山巒疊嶂



圖 17 橋面上可目睹屬於部落美麗故事的琉璃珠裝置藝術



圖 18 吊橋每根抗風支索的斜拉角度均經過精心規劃設計讓橋面更加穩定（下方為舊三地門吊橋）





圖 19 吊橋設計整合了橋梁工程力學與原民昂首百步蛇的藝術美學



圖 20 山川琉璃吊橋藉由簡單的夜間橋面琉璃珠光雕增添浪漫氣氛

索的斜拉角度均經精心規劃採最佳化設計，讓橋面更加穩定，即使完工前夕經歷二次強颱考驗，橋身也不致有明顯搖晃情形。

設計團隊與當地藝術工作者共同創作琉璃故鄉的裝置藝術，讓遊客沿著橋面看見原民祖先流傳的美麗琉璃珠故事、昂首百步蛇護欄及夜間橋面琉璃珠光雕。山川琉璃吊橋自 2015 年 12 月 26 日起至 2016 年 1 月 23 日試營運期間，造訪遊客人數已超過 12 萬人次（平均每天超過 4,000 人次），若以每人當日消費金額 500 元計算，一個月內所創造的商機金額已超過吊橋建造成本。山川琉璃吊橋已成為地方部落族人夢寐以求的生活轉機，期盼將來能結合原住民文化園區之資源，加強地方特色推動整合觀光計畫，創造觀光商機，提升觀光實力。

## 泰雅彩虹（桃園新溪口吊橋）

新溪口吊橋於 2016 年 8 月完工，跨越石門水庫集水區上游之大漢溪，為目前國內跨徑最長的人行吊床式吊橋，長達 303 公尺，除了提供大漢溪兩岸之「角板山」與「溪口台地」居民往來，同時亦連結角板山公園與溪口台地風景區週邊景點，帶動觀光產業發展，展現泰雅族原住民之人文特色與風貌。

「新溪口吊橋」被山巒包圍，層巒疊嶂，景色秀麗的天成美景，大漢溪河面靜止如湖，吊橋橋影靜靜的倒映在水面上，即將成為極富魅力的觀光勝地。

橋址居民以泰雅族原住民為主，其歌舞、民俗、生活典藏著濃厚的人文氣息，藏有深度的文化資產。根據泰雅族部落傳說，相信人要走向永生的世界，須通過



圖 21 新溪口吊橋長度 303 公尺為目前國內跨徑最長的人行吊床式吊橋



圖 22 吊橋橋影靜靜的倒映在水面上即將成為極具魅力的觀光勝地



一座橋，在橋的一頭有七色彩虹橋日夜把關，無人能夠僥倖過關，把關者的任務是審判人們在世時的行為與心思，彩虹橋高大壯觀與天頂相接，非常亮麗，而在橋的下深淵，有一條怒濤澎湃的大河穿越，橋的起點，有一審判者等待著過橋者，不論男人或女人，只有良善正義的人才可以通過。設計團隊就透過光學原理，利用光的RGB（紅綠藍）三原色塑造彩虹意象，當日光與山嵐交會時，河面將蘊出一道令人驚艷的七色彩虹。



圖 23 吊橋橋體利用 RGB 紅綠藍三原色塑造彩虹意象



圖 24 當日光與山嵐交會時，河面將蘊出一道令人驚艷的七色彩虹

新溪口吊橋結構型式亦採吊床式構造為主體，利用兩端的地錨將錨碇座穩穩的固著在兩岸岩盤上，再將吊橋主索懸掛在兩岸錨碇座，由於橋梁工程所面對的力學、材料、結構、施工等技術問題相當複雜，而這些專業問題均屬結構土木工程領域，吊橋施工期間即使面臨攝氏零度的寒流來襲，設計監造技師仍親臨現場主導整合設計與施工團隊，追求精緻且安全的施工品質。



圖 25 吊橋施工期間即使面臨攝氏零度的寒流來襲，設計監造技師仍親臨現場主導整合設計與施工團隊

另為尊重本地部落的文化，利用泰雅族常用的色系、語彙與對自然山林的崇敬，來打造主索、防震索、抗風索的色系，並利用原木來打造橋面板及護欄，來呼應山林自然元素，而兩岸錨碇座上的「祖靈之眼」守護著吊橋，祈求新溪口吊橋在祖靈的庇佑下，部落子孫及遊客們可以長長久久的安全使用。

### 結語

結構力學與藝術美學是橋梁工程的兩大生命主軸，也惟有透過力學與美學的揉合才能豐富橋梁的靈魂，橋梁設計師與藝術家、作家和音樂家一樣，都會有一種風格及專業上的堅持，惟有透過這種堅持方能將想像力延伸發揮到極致，有時候為了實現夢想中完美的橋梁工程，往往必須與許多大自然或人為的外在因素衝撞或妥協，即便如此，只要保持強烈的熱情，才能夠成就一座結合勇氣與智慧的動人作品。





# 大跨度曲線人行橋之設計與施工 — 高美濕地景觀橋

闕山仁／揚盛工程顧問股份有限公司 負責人

郭中天／揚盛工程顧問股份有限公司 技師

長期以來，橋梁主要功能是作為交通連繫的生命線，但隨著時代演進，人們漸漸賦予它更多不同型的角色及意義，讓橋梁不再只是冷冰冰的結構量體，更希望它能連結當地歷史、文化、景觀及生態，作為融入周邊環境的公共藝術，並進而推動地方觀光與產業的發展。本橋位於臺中市清水區高美濕地，為配合市政府推動海線雙星的觀光發展政策，並呼應當地特有生態環境與景觀特色，經討論採用雙弧線、雙橋塔之斜張橋設計，為國內首創之橋型。由於造型頗為特殊，相關的載重、結構配置及分析都必須詳加考量，設計時不僅要考量橋梁結構安全外，更須考量當地風力載重下之行為檢核。特別是本工程位於濱海區域，冬季時當地東北季風相當強烈，因此特別委託其他單位作了橋梁風洞試驗，以確保相關結構之安全性。

本工程由於工區緊鄰生態保護區域，施工期間除須掌握橋梁結構特性以外，更要謹慎作好相關環境監測作業，並於瞭解現場施工條件下，研擬出最妥適的施工對策。本文為介紹高美濕地景觀橋之設計與施工考量，以及設計、施工期間對於結構特性所獲得之經驗與心得，提供各界作為參考。

## 計畫緣起

本工程計畫緣起說明如下：

1. 為保護高美濕地並發展海洋國家政策及落實藍帶發展構想，台中市政府選定台中港北側之清水及高美等地區規劃休閒遊憩區及聯外道路，並在 95 年 3 月公告『變更台中港特定區計畫（配合濱海遊憩公園及高美濕地周邊公共服務設施整體規劃）』。
2. 為加強該區域建設，目前正積極推動「高美濕地周邊公共服務設施整體規劃」及「特 8-50」道路等公共設施，為能配合前開建設整體景觀意象，計畫將沿公 68 西側及北側之現有海堤路美化改善，並興建景觀橋將跨越清水大排，打造屬於高美濕地之濱海景色。

因此台中市政府推動「興建景觀橋暨海堤路景觀美化改善工程」（即本工程），來達成前述之遠期目標。

## 工程位置及內容

本計畫工址位於台中市清水區，如圖 1 所示，工程內容主要分為兩大項，說明如下：

1. 「景觀橋工程」計畫興建供人行及自行車使用之景觀鋼橋，跨越清水大排，設計之造型將考量與海景前後呼應，維持觀賞濱海景色，營造出融入大自然之景觀橋梁。
2. 因現有沿河道路海堤路為柏油路面，為考量高美濕地遊客中心興建完成後整體景觀能延伸至清水大排，故「海堤路景觀美化改善工程」計畫辦理道路鋪面、欄杆、街道家具等景觀美化，並配合公 68 打造整體景觀視覺饗宴。

本工程總預算約為 2.3 億元，包含設計監造費、工程費等，屆時可將沿公 68 西側及北側之既有海堤路美化改善總長約 900 公尺，並透過景觀橋將跨越清水大

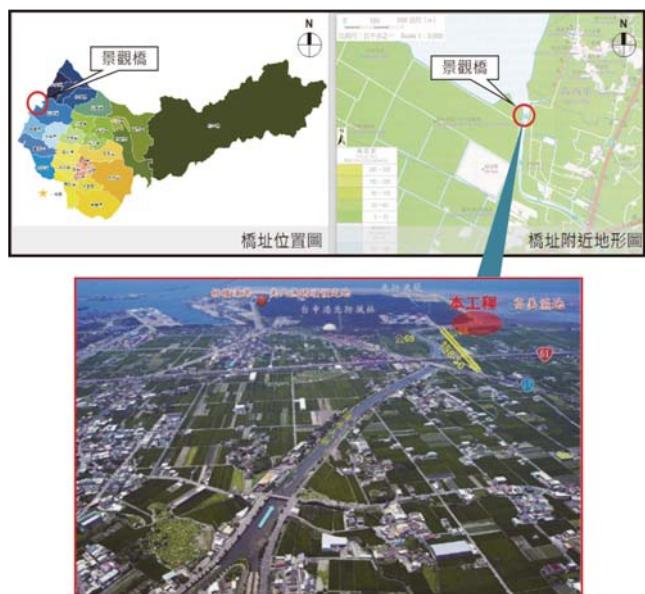


圖 1 工程位置圖

排，打造屬於高美濕地之濱海景色，建立完整自行車路網與遊憩觀景空間。於 103 年 6 月 16 日開工，於 105 年 3 月 31 日完工，並於 105 年 9 月 1 日辦理啟用典禮。另本案景觀橋工程參加國家卓越建設獎評選，榮獲「2016 年最佳規劃設計類—公共建設金質獎」殊榮。

## 橋梁景觀特色考量

本橋梁在景觀上設定環境課題之四大目標，說明如下：

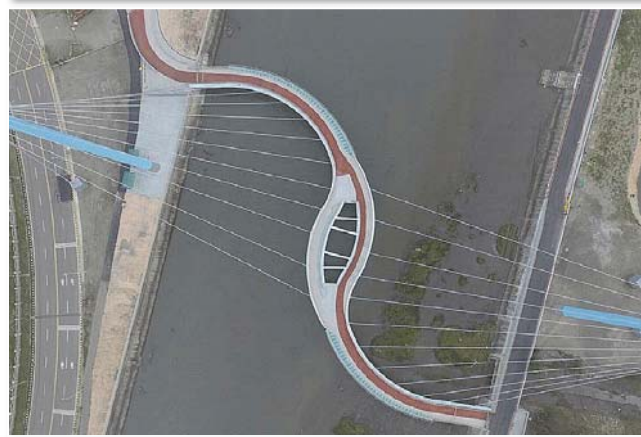
1. 河岸空間與生態景觀之連結性：自行車道串連視覺景觀與河岸生態景觀之連結性。
2. 營造地方化的生態景觀：推廣低衝擊無污染的生態遊憩網路，透過主題性的設計思維營造地方化的生態景觀。
3. 溼地環境合宜的生態互動環境設施：溼地的保育與生態教育的雙向推廣，環境標示系統的建構，親近水域棧道，多向度高程的觀景橋面平台。
4. 友善的人文生態知性空間：低生態衝擊、因地適宜之友善的人文生態空間設計，環境教育的培育場所與社區希望種子培訓。
5. 疏通聯外路網、降低交通衝擊。

因此橋梁在建築美學與創意設計上，以「高美浮橋+森林海



圖 2 橋梁完工後模擬圖及空拍現況照片

堤」的空間情境，感受陽光、海岸、溼地、自然生態的有機場域走進高美浮橋中，體驗漫遊在生態溼地上方的空中浮島，感受環狀無邊際的河岸景觀，漫遊森林海堤，穿梭在日光海岸與有機森林交織的水綠空間。將橋梁視為象徵生態環境的一部分，隱喻觀賞者走進生態環境中，橋面提供人行跨越、海口觀景平台、自行車道串連等功能。利用景觀橋串連兩側河岸景觀空間的人行動線，並成為區域遊憩景觀的路徑，圖 2 為橋梁完工後模擬圖及空拍現況照片。



## 設計原則及考量因素

橋梁結構型式參研工程範圍內之各項相關因素與必要資料（如地上及地下物、相關工程、地質資料等），除符合安全、景觀與施工性等需求外，並考量下列因素：

1. 於符合橋梁結構安全目標下，滿足整體景觀造型之需求。
2. 施工期間及完工後，須避免影響附近之濕地生態保護區。



3. 考量道路之交通動線及串連周邊自行車道之功能需求，以發揮觀光效益。
4. 橋梁位處清水大排排出口，以不落墩為原則，以降低水理衝擊。
5. 施工條件及工期、施工界面及時程等。
6. 施工期間之交通維持（包括運輸暢通、安全及對鄰近環境影響）。
7. 考量當地風力效應及其橋梁動力行為。

### 結構系統配置考量

由於工址緊臨高美濕地生態保護區，並跨越清水大排排出口，為考量生態、環境及水道水理特性等需求，高架橋採用整跨跨越，水中不落墩之鋼結構系統，以降低對地區周邊環境，及生態保護區之影響及衝擊，並未增加行水區內之阻水面積，可維持水道排水功能以符合相關水利法規要求。另外，為考量工區位處排出口，冬季東北季風相當強勁，因此橋梁斷面配置採用流線形封閉箱型梁斷面，以降低風力紊流效應影響。至於在景觀造型上，橋梁線形為曲度相當大的雙弧線結構，鋼梁扭矩效應須要作特別考量。因此，除了採封閉式斷面來增大箱梁扭轉慣性矩，以降低扭矩生成之剪應力之外，於橋梁跨距中央鋼纜配置於鋼梁兩側，以減輕扭矩力量。另外於橋梁端部兩側處，將鋼箱梁直接伸入 RC 橋台內部，形成固接的邊界條件行為，此設計方式可使箱梁兩端部較為穩固，大幅減小扭轉變位。於橋跨中央以兩側鋼纜平衡情形下，橋台兩端又提供穩固的固定端支撐，曲線橋梁扭

轉效應的不利因素因而有效降低。倘若，橋梁端部採用一般支承系統之邊界條件，支承必會產生拔力，必須設置抗拉拔裝置，該系統在人行活載重與風載重的長期振動之下，將引致後續橋梁支承、抗拉拔裝置等附屬結構之更換與維修等問題，因此不建議採用。至於下部結構部分，本工區土壤主要由回填土及粉土質砂土所組成。經綜合整理研判後，依照本次地層調查結果顯示，工區地層在鑽探深度內，由上而下可歸納成下列三個主要層次，茲分別將各層次之主要性質描述如下表：

表 1 工區土壤分層性質

層次	厚度 (m)	土層說明	N 值	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	$w_p$ (%)	e	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (deg.)	$k_p$ (t/m <sup>3</sup> )
I	0.0 ~ 0.7	SF	-	1.90*	-	-	0.5*	30*	-
II	0.7 ~ 3.2	SM	3 ~ 6 (5)	1.84	24.3	0.81	0.5*	27*	750
III	3.2 ~ 20.0	SM	6 ~ 20 (12)	1.96	24.0	0.69	0.5*	30*	1800

\* 為建議值    ( ) 為平均值

經分析本工程建議採用 1.5 m 直徑全套管基樁作為橋台、橋塔之基礎。

### 結構分析設計概述

本工程為雙塔雙弧線形斜張橋，橋梁平、立、斷面圖詳見圖 3 ~ 圖 5，其結構型式簡述如下：

#### 1. 橋梁基本資料：

- 橋梁曲線長度約 200 公尺，若包含中間雙弧曲線部分約為 265 公尺，水中不落墩。

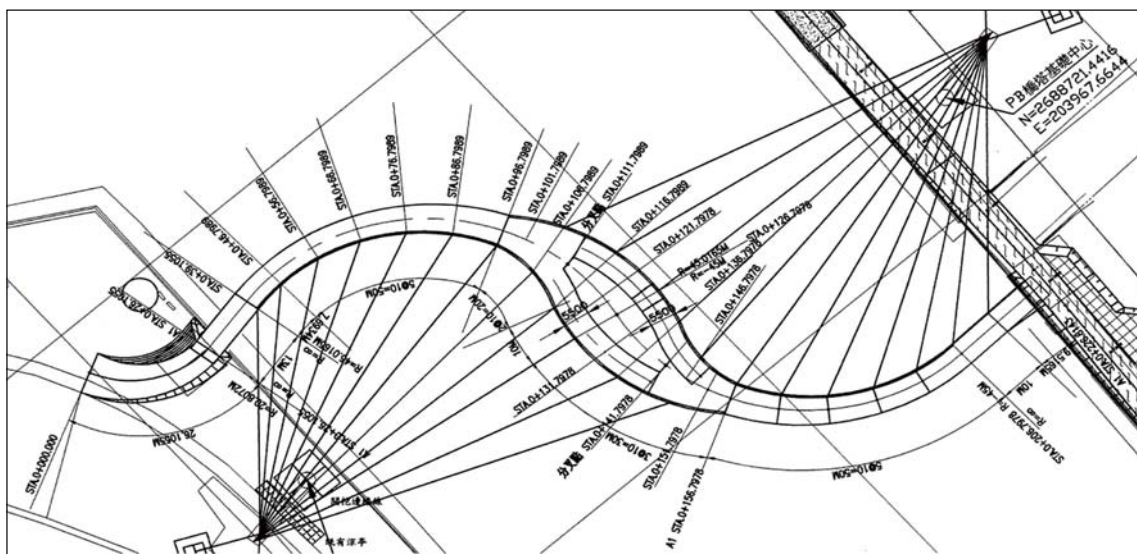


圖 3 橋梁平面圖

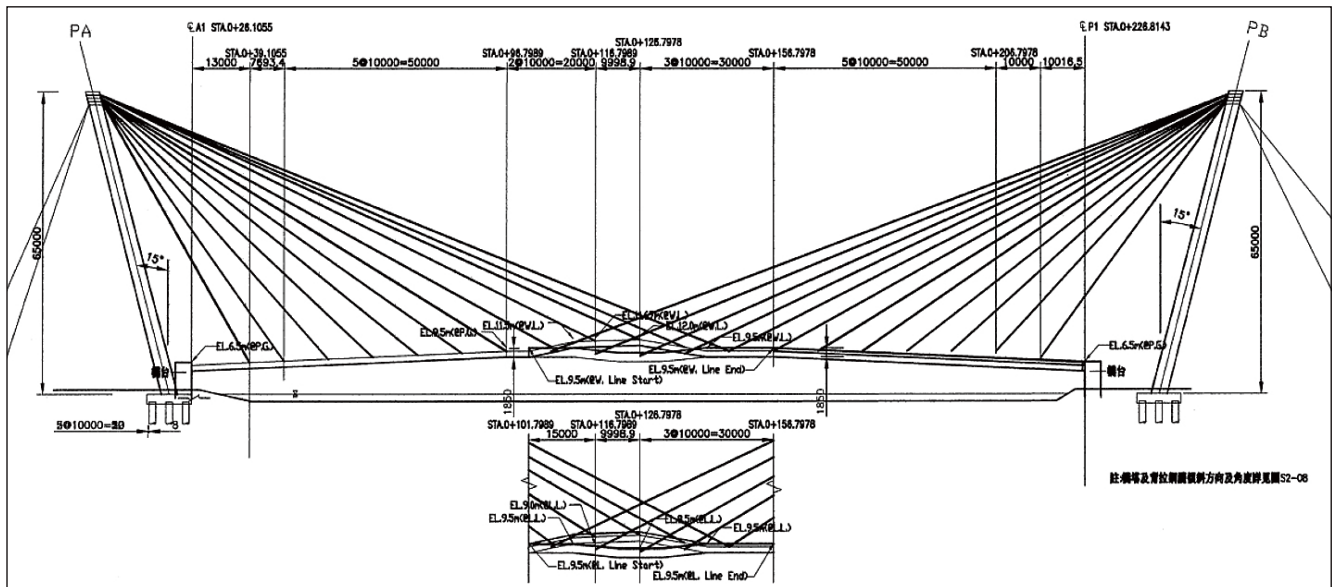


圖 4 橋梁立面圖

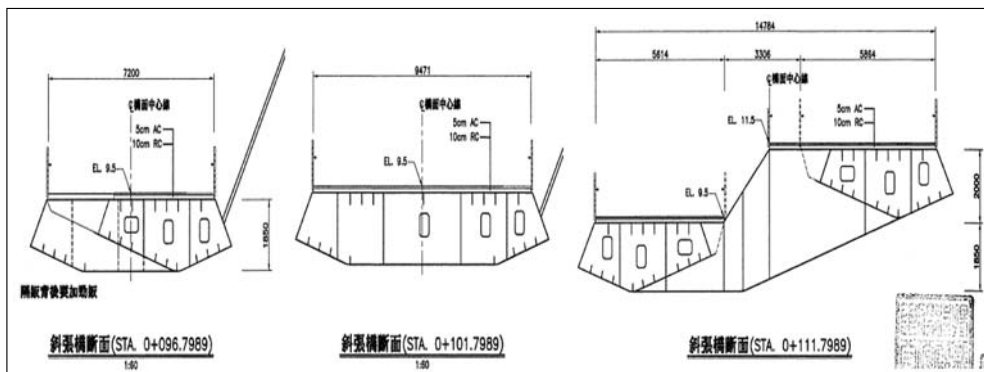


圖 5 橋梁斷面圖



圖 6 橋塔實景

- 主梁為封閉式鋼箱型梁斷面，深 1.85 公尺，若含 RC 橋面版及鋪面則有 2.0 公尺。部分托梁處設置玻璃地坪，橋面寬度為 5.76 公尺 ~ 14.78 公尺，採場撐方式吊裝施工。鋼梁起迄點預埋於橋台，該處鋼梁則開孔多處以利橫向、豎向鋼筋穿越，該鋼筋並與橋台及基樁鋼筋互相連結、焊接，以確保固接行為。
  - 橋塔為圓柱型斷面，外徑 3.0 ~ 3.5 公尺，橋塔向外後仰 15 度。此外，配合周邊風力電塔高度，橋塔之垂直高度自基礎版頂面至橋塔頂為 65 公尺，圖 6 為橋塔實景現況照片。
  - 橋面鋼纜為 19 股 15.2 mm  $\phi$  鋼絞線，因受腹地限制錨座基礎位置受限，橋塔背拉鋼纜線形較為陡直，為 114 股 15.2 mm  $\phi$  鋼絞線。鋼纜外套管為高密度聚乙烯 (HDPE) 包覆，並採螺旋紋路以降低風雨所形成之鋼纜振動。
2. 由於鋼梁預埋固接於橋台，並於橋梁跨徑中央部分配置左右側鋼纜，有效地降低了鋼梁的扭矩效應，經分析鋼梁扭轉角度及扭轉應力相當微小，不但減少了斷面分析的困擾，亦增加施工期間鋼梁的安全、穩定性，此一構想於施工期間充份得到驗證。
  3. 由於鋼梁在橋台兩端固接，溫度效應將使鋼梁的曲度產生變化，導致桿件內力（橫向彎矩）增加，經分析尚在容許應力範圍內。惟該鋼梁變形將使橋面欄杆、橋面板產生擠壓、拉伸等效應，所以橋面板及橋面欄杆每 5 ~ 6 公尺即配置伸縮縫，以避免上述行為產生破壞。本橋梁於冬天氣溫尚低時閉合，至今年夏天 6 月為止，尚未發現橋面欄杆、橋面板有破壞行為，如圖 7、圖 8 所示。
  4. 由於鋼梁在橋台固接原因，鋼梁在固接端會有較大





圖 7 橋面板伸縮縫



圖 8 欄杆伸縮縫

負彎矩產生，為消除此一不利狀況，經多次調整鋼纜預力值，使鋼梁彎矩分布較為均勻，其中靠近橋台處的 2~3 根鋼纜其拉力較其他鋼纜力量為大。

5. 橋梁分析結果包括結構分析模式 (圖 9)、靜重 + 鋼纜力變位 (圖 10)、靜重 + 鋼纜力構件之變化及彎矩、扭矩分布 (圖 11~圖 14) 等。

6. 依據動力分析，得到結構振態模式如圖 15~圖 18。

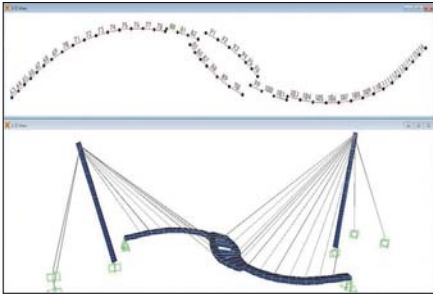


圖 9 結構分析模式

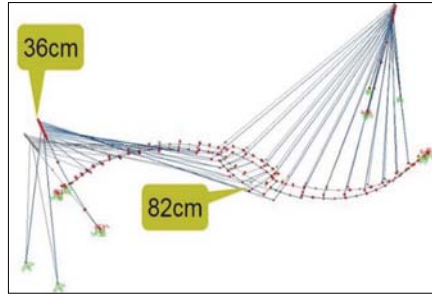


圖 10 靜載重變位

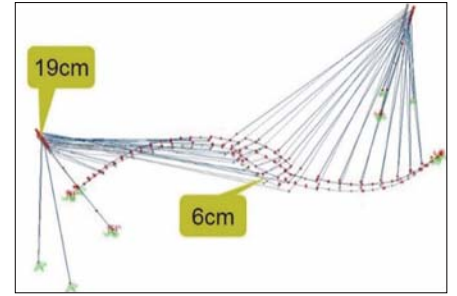


圖 11 靜重 + 鋼纜力變位

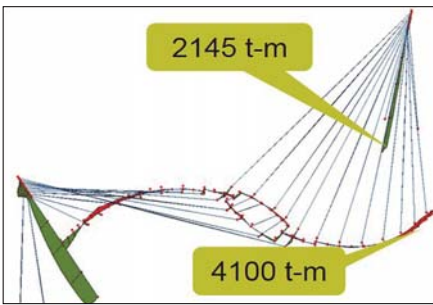


圖 12 靜重 + 鋼纜力豎向彎矩分布

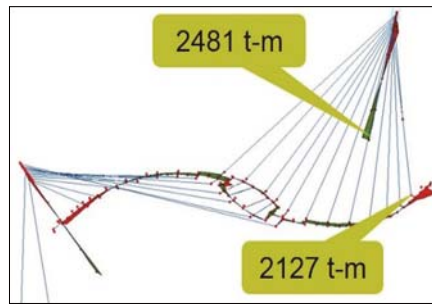


圖 13 靜重 + 鋼纜力橫向彎矩分布

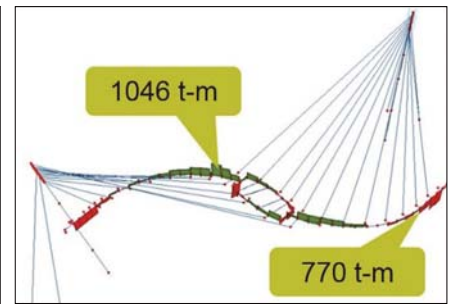


圖 14 靜重 + 鋼纜力扭矩分布

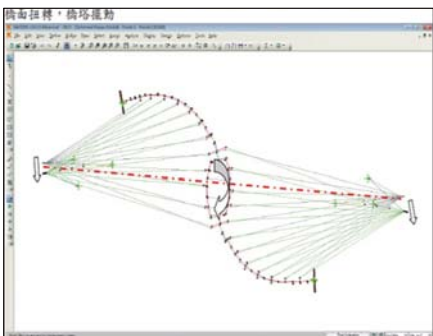


圖 15 第一振態變位圖

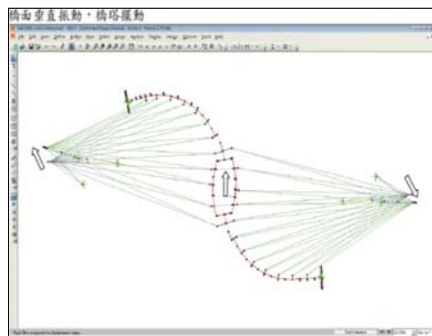


圖 16 第二振態變位圖

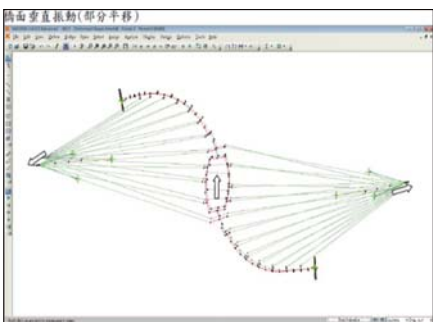


圖 17 第三振態變位圖

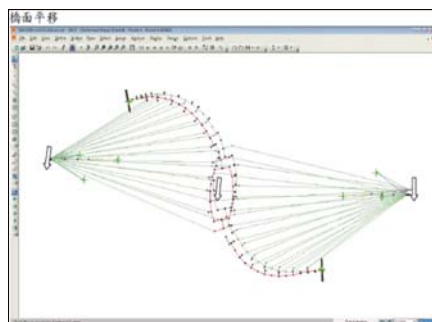


圖 18 第四振態變位圖

表 2 各振態頻率

模態	符號	頻率 (Hz)
一階豎彎	$f_{v1}$	0.5213
二階豎彎	$f_{v2}$	0.6809
一階側彎	$f_{h1}$	0.4818
二階側彎	$f_{h2}$	2.2658
一階扭彎	$f_{t1}$	1.2042
二階扭彎	$f_{t2}$	1.8512

7. 對於鋼梁斷面變化處，所有腹板、下翼板及加勁板都在截斷點處作適當延伸，使鋼梁應力可以平順傳遞，避免鋼板形成應力集中現象，如圖 19 所示。

8. 為使橋塔應力降低，橋塔背拉鋼纜位置、大小非常重要，經多次調整使背拉鋼纜之水平合力大小、方向，大約等於橋塔

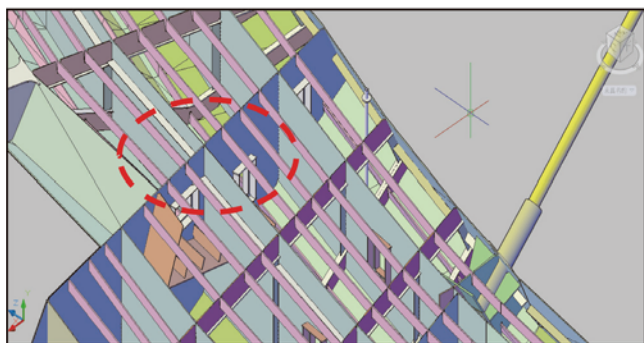


圖 19 鋼梁斷面變化處施工圖

前面所有鋼纜（與主梁連結）之總水平合力，以降低橋塔因不平衡力量引致的應力。

9. 由於橋梁造型因素，鋼纜於橋塔或鋼梁處之錨碇加勁板形狀、配置較為特殊，故其力量傳遞方式亦相對複雜，因此透過有限元素分析來瞭解其中機制，確定是否有應力集中現象。經過分析，鋼纜錨碇區元素之 vonMises 應力、軸壓力等皆小於容許應力，詳如圖 20 ~ 圖 23 所示。

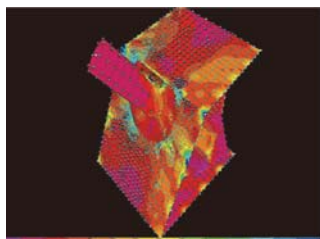


圖 20 主梁錨碇應力分布 (一)

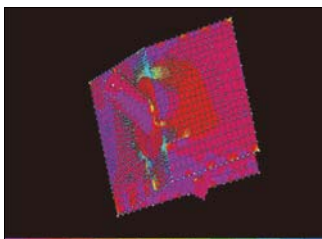


圖 21 主梁錨碇應力分布 (二)

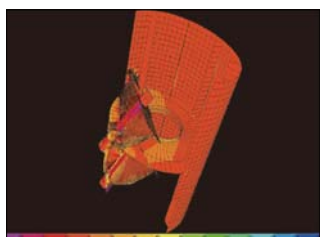


圖 22 橋塔錨碇應力分布

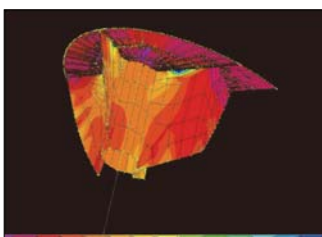


圖 23 橋塔背拉錨碇應力分布

10. 高美濕地景觀橋由於結構形式特殊，橋塔及主梁對風的作用敏感。同時由於結構設計特殊、設計標準高（按 100 年重現期），結構風載重動力效應沒有明確可依循的規範，從結構抗風角度考慮必須進行斜張橋的顫振穩定性、非線性靜風穩定性分析，以便採取相應的抗風措施。為確保橋梁的抗風安全性，委託上海同濟大學土木工程防災國家重點實驗室，進行橋梁的抗風性能及模型試驗專題研究，以檢驗橋梁設計方案的動力和靜力抗風穩定性，並採取措

施使非破壞性風載重振動（渦激振動及抖振）仍在允許振幅範圍內。本研究工作具體研究內容如下：  
（圖 24 為風洞試驗模型照片）

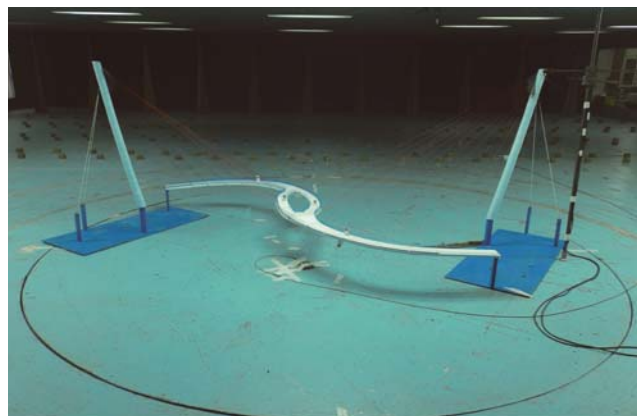


圖 24 橋梁風洞試驗模型

- (1) 建立全橋成橋運營狀態有限元模型，並計算相應結構動力特性。
- (2) 設計製作了幾何縮尺比為 1：60 的全橋氣彈模型，類比了全橋成橋運營狀態；其中流場涉及均勻流場和紊流場，攻角包括 0°、-3° 和 +3° 攻角，風偏角範圍 0° ~ 180°（間隔 15°）。風洞試驗共完成了 30 個吹風試驗工況。
- (3) 通過全橋氣彈模型風洞試驗對結構成橋運營狀態顫振穩定性能進行了測試和檢驗。
- (4) 通過全橋氣彈模型風洞試驗對全橋成橋運營狀態的風致位移回應進行了測試和分析。

針對橋梁結構成橋狀態，根據不同的風偏角和不同的風攻角，共進行了 30 個工況下的全橋氣彈模型風洞試驗，各工況顫振臨界風速如表 3 所示。試驗結果顯示上述 30 個工況下，結構成橋狀態的顫振臨界風速均高於該橋的顫振檢驗風速，因此結構在成橋狀態顫振穩定性能滿足設計要求。

在橋梁結構成橋狀態於均勻流場和紊流場風洞試驗中，均未觀測到明顯主梁豎彎渦振和扭轉渦振現象。在紊流場中，風偏角分別為  $\beta = 0^\circ \sim 180^\circ$ （間隔 15°）時，主梁跨中和左、右四分點的豎向、X 向、Y 向和扭轉位移回應，其中，設計基準風速 32.4 m/s 時，所有工況下，主梁跨中、左四分點、右四分點、塔頂最大位移匯總如表 4 所示。扭轉位移單位為「°」，其他位移單位為「m」。



表 3 成橋狀態模型風洞試驗工況及顫振臨界風速

工況編號	結構狀態	流場	風偏角 $\beta$	風攻角 $\alpha$	顫振風速 (m/s)		實橋檢驗風速 (m/s)
					模型	實橋	
C-1	成橋狀態	均勻流	0°	+3°	> 9.0	> 69.7	49.4
C-2			0°	0°			
C-3			0°	-3°			
C4 ~ C14			15° ~ 165°	0°			
C15			180°	+3°			
C16			180°	0°			
C17			180°	-3°			
C18 ~ C30		紊流	0° ~ 180°	0°	\	> 55.5	

表 4 成橋狀態、各偏角、設計基準風速作用下位移回應最大值 (紊流場)

風偏角	風攻角	跨中位移				左四分點位移				右四分點位移				塔頂位移	
		豎向	X向	Y向	扭轉	豎向	X向	Y向	扭轉	豎向	X向	Y向	扭轉	X向	Y向
0°	0	.0757	-.0431	.0160	-.090	.0941	-.0406	.0058	.113	.0472	.0381	-.011	.2564	.0340	.0675
15°	0	.0830	.0198	-.050	-.099	.0940	-.0268	.0433	-.111	.0512	.0328	.0363	.2388	-.034	.0573
30°	0	.0765	.0355	.0448	.1296	.1023	.0230	.0429	.123	-.0525	-.019	.0414	.1540	-.048	.0593
45°	0	.0718	-.0586	-.011	.1474	.0983	-.0531	.0088	-.126	-.0695	-.057	-.011	.1298	-.056	.0510
60°	0	.0694	.0335	-.058	.1448	.0999	.0338	-.046	.127	-.0697	.0391	-.045	.1896	-.067	.0446
75°	0	.0630	-.0206	-.046	.1235	.0807	-.0109	-.038	.102	.0493	-.011	-.060	.2013	-.064	.0364
90°	0	.0404	-.0413	-.009	.1163	.0606	-.0298	.0105	-.07	-.0519	-.031	-.019	.2015	-.059	-.031
105°	0	.0360	.0289	-.029	.0973	.0512	.0310	-.023	.076	-.0477	.0373	-.020	.1496	-.049	-.032
120°	0	-.0263	-.0060	.0285	.0728	.0324	.0072	.0253	.049	-.0352	-.010	.0318	.0905	-.037	-.024
135°	0	0.0293	-.0203	.0091	.0650	.0335	-.0193	.0140	.064	-.0282	-.014	-.013	-.045	-.029	-.026
150°	0	-.0447	-.0287	-.015	.0688	.0537	-.0287	-.016	.059	.0305	-.025	-.017	-.082	-.030	-.030
165°	0	-.0513	-.0130	-.036	.0811	-.056	.0114	-.032	.074	-.0408	-.020	.0390	.0720	-.035	-.034
180°	0	.0538	.0280	.0243	.0853	.0619	-.0194	-.027	-.127	.0488	-.023	.0283	-.085	-.028	-.031

### 工程施工概述

本橋基礎工程都規劃在清水大排之堤後坡施工，因此施工期間不受防汛期影響，亦無阻水問題，因此基礎施工部分尚屬順暢，如圖 25 和圖 26 所示。此外，施工期間為避免對溼地生態保護區造成衝擊，對於周邊環境的水質、噪音及生態物種皆有作定期監測管控，使影響降至最低。

在鋼構廠製作部分，由於鋼梁外形變化頗為複雜，因此施工圖製作採用 3D 電腦立體軟體繪製，經與設計及施工單位互相檢查討論，並確定沒有構件衝突及界面銜接問題之後，才去作展開圖及電腦放樣切割，以確保後續作業不會發生重大的錯誤。至於現場吊裝時，係利用施工便橋及臨時支撐架進行架設，施工人員並於現場進行測量作業以管控精度，並即時回饋鋼構廠，隨時修正微調後續施工圖，以確保後續鋼構吊裝的施工精度。由於鋼構現場吊裝部分係都在夏

季進行，此段期間工址風力都不強，相關作業亦尚屬順暢。至於橋塔吊裝施工部分，由於橋塔節塊採現場焊接作業，考量高空作業之危險性及風速等原因，橋塔節塊接頭採內側單邊開槽方式，焊接人員於橋塔內部作業施工，可確保人員安全，並防止高空風力過強影響現場焊道品質，如圖 27 ~ 圖 31 所示。惟本項施工作業期間，曾遭遇梅姬颱風的侵襲考驗，其最大陣風達十七級風，打破以往的最大風速記錄，所幸施工團隊確實作防颱安全措施，並未造成任何損害。

至於鋼纜安裝部分，由於施工當時為冬季東北季風最為強烈期間，套管及鋼纜安裝並不順利（如圖 32 所示），往往因風速過大而停工。不過，套管及鋼纜安裝完成後，後續施拉過程就相當順利，不到 5 天內即施拉調整完成。至於後續橋面板、欄杆、裝修及 AC 鋪設等，皆能依計畫順利如質完成（如圖 33 和圖 34 所示）。

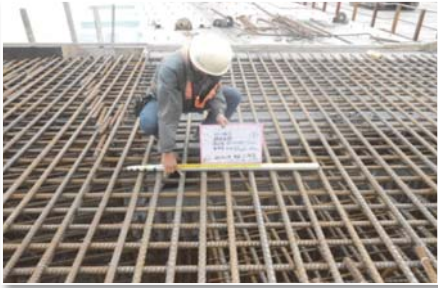


圖 25 橋台基礎鋼筋



圖 26 橋塔基礎錨座



圖 27 鋼構假安裝



圖 28 鋼梁吊裝施工 (一)



圖 30 橋塔吊裝

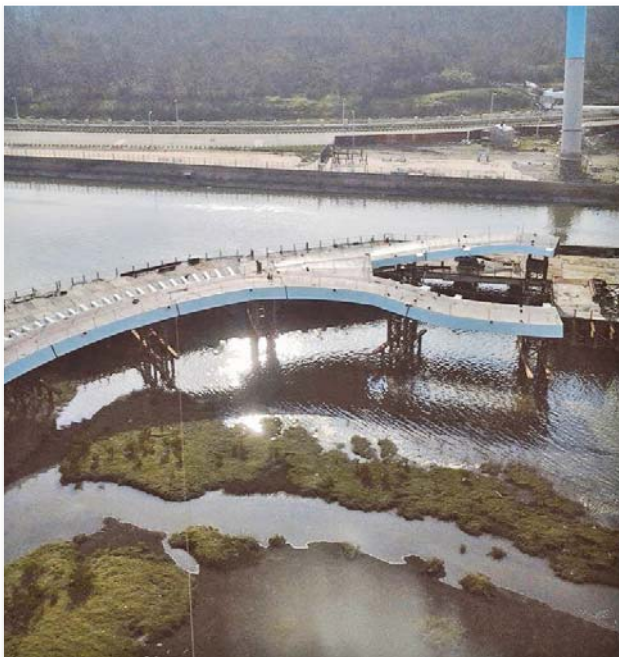


圖 29 鋼梁吊裝施工 (二)



圖 31 鋅鋁熔射補漆



圖 32 鋼纜安裝







圖 33 橋面板施工



圖 34 橋面 AC 及欄杆施工

### 結論

因為時代的演進，未來橋梁的景觀造型需求將益形重要，如何兼顧結構安全、美觀及創意，是橋梁工程相當重要的課題之一。本橋由於景觀造型特殊，因此在結構設計及施工上必須要有特別的考量，包括如何克服鋼梁扭矩效應、風載重之動力行為掌握、鋼構局部應力的加勁補強及鋼構施工安裝精度等等。本文希望藉由本工程設計及施工其間所獲得的一些經驗分享，作為工程界的參考，也希望各位同業先進不吝指教。

### 參考文獻

1. 揚盛工程顧問股份有限公司，「興建景觀橋暨海堤路景觀美化改善工程」細部設計圖（2013）。
2. 上海同濟大學土木工程防災國家重點實驗室，「興建景觀橋暨海堤路景觀美化改善工程抗風性能研究主橋結構氣彈模型風洞試驗研究成果報告」（2014）。
3. 日本土木學會第 57 回年次學術演講會，「鋼斜張橋的獨立塔部材の座屈耐荷力および有効座屈長に関する研究」。



**MWH**  
美華集團

now  
part of



**Stantec**

## 全球頂尖的全方位綜合服務企業

專注於服務全球「涉水基礎建設」(Wet Infrastructure) 的大型技術與管理顧問集團。我們提供客戶綜合性解決方案，包括策略規劃、可行性研究、規劃、設計、工程管理、工程建設、操作與營運管理、資產管理、災後重建、風險管理、財務與法務、稽查與評估等服務，業務範圍涵蓋水、污(廢)水、水資源、環境、生態、土壤與地下水、工業、水力、石油與天然氣、礦業、港灣、交通等專業領域

- 上下水道系統規劃設計
- 管線檢視修繕
- 污、廢水處理工程
- 漏水控制與用水削減
- 工業用水與廢水處理
- 履約管理督導與專案管理
- 管線資產管理系統規劃
- 地面水體污染防治規劃
- 生態水質淨化工程
- 水資源管理與規劃
- 土壤及地下水污染
- 工業與有害廢棄物處理



**#1**  
Top International Design Firm  
Wastewater Treatment  
2015 Global Sourcebook,  
Engineering News-Record



**#1**  
Top International Design Firm  
Sewer & Solid Waste  
2015 Global Sourcebook,  
Engineering News-Record



**#1**  
Top Firms  
Water  
NCE Consultants File 2015  
New Civil Engineer



**#3**  
Top International Contractor  
Wastewater Treatment  
2015 Global Sourcebook,  
Engineering News-Record







## 不銹鋼螺紋錨栓

產品全段鎖鍵力，緊固有保障。無膨脹摩擦應力，短邊距適用。  
 群錨使用間距短，堅固更美觀。開裂區淺埋設計，施工更容易。  
 倒吊區內牙設計，省時更便利。磚造結構體可用，螺紋可退牙。





# 山區災害復建橋梁之 設計與施工實務探討

葉昭雄／前公路總局 局長

林永福／嘉義縣政府建設處 處長

楊世仲／仲冠工程顧問有限公司 土木技師

台灣地區目前有 1705 條土石流潛勢溪流，許多山區道路橋梁跨越這些溪流，一旦洪害發生時，沖毀道路橋梁，造成交通中斷，亟需搶救。山區道路等級分佈甚廣，由省道至產業道路不一而足。

科子林橋工區附近為長上坡段，現場仍有多處土石流及野溪侵襲，選址以避災為最高考量；不只以不落墩之鋼拱橋跨越河道，為求施工時效，避免支撐架被沖毀，結構設計採拱梁分離形式，施工時以拱肋先閉合，迅即拆除支撐架再施作橋面系。

如意吊橋採用混凝土橋塔及鋼桁架橋面系，橋面寬設計為 2.5 m，採用原木面板加設車道花紋鋼板，當為緊急避難逃生及農作物小型搬運之運輸道路。

山美大橋為追求景觀效果並提供遊客遊覽空間，橋型研選單拱肋鋼拱橋，以提供遊客寬廣的視野，並搭配諸多景觀附屬設施，成為交通、景觀兼顧的範例。

沙沙歐橋路線不向山側移動，反而向河側偏移，以與高陡之上邊坡保持距離，避免坍方落石攻擊。南側橋台採墩式橋台設計，延長復建路段仍以擋土牆填築路堤之經濟方案辦理，未來若再度致災時，則墩式橋台背牆拆除後可直接向上游側繼續延長高架橋。

## 前言

台灣位處歐亞板塊和菲律賓板塊之交界處，南北縱長約 395 公里，東西寬度最大約 144 公里，含屬島面積約 35882.6258 平方公里。台灣山多而陡，為世界地勢高度第四高的島嶼，丘陵地帶則大多在北部與靠近山脈地區，這些山地與丘陵共約佔臺灣總面積的三分之二；而山區道路蜿蜒於山峰山谷之間，因此山區道路多有橋梁。

臺灣經常有颱風侵襲，6 月至 9 月是颱風季，每年夏、秋兩季平均都有三到四個颱風侵襲臺灣。颱風為臺灣提供了豐沛的水分，但由於降雨空間和時間分布十分不均，容易引發洪水與土石流等災害。根據農委會水土保持局資料，截至民國 105 年底，台灣地區目前有 1705 條土

石流潛勢溪流，許多山區道路橋梁跨越這些溪流，一旦洪害發生時，沖毀道路橋梁，造成交通中斷，亟需搶救。

山區道路等級分佈甚廣，由省道至產業道路不一而足。其中橋梁設施平時除維持交通及經濟活動功能外，更在災害期間提供住民疏散避難及救災之功能。而山區橋梁復建時，一般依下列原則考量復建方案：

- 道路等級及經濟效益
- 災害規模及避免二次致災
- 住民數及交通需求（人行或車行？車道數？活載重需求？）
- 道路功能（是否為唯一進出道路？）
- 其他需求（景觀、風景區等）

本文以嘉義縣政府阿里山區颱風災害復建橋梁為例，以橋型分類，探討山區災害復建橋梁之工作實務，提供淺見供參。

### 科子林橋

橋梁種類	鋼桁架拱肋鋼拱橋
道路等級	鄉道—嘉 155 線
橋梁分類	跨河車行橋 L=115 m
跨越溪流	科子林溪
工程經費	約 133,000 仟元
竣工年月	103.09

嘉 155 線向南穿越阿里山溪上游，可連結 169 線直達奮起湖，又可避開地質脆弱的太和路段，是來吉部落居民重要的聯外道路之一（圖 1）。莫拉克風災時，上游沿線大量邊坡地質破碎區遭受此次連續之高累積雨量衝擊之後，導致土石鬆軟、土體坡面崩塌，崩落土石使河床不斷淤高，河水高漲開始向兩岸侵蝕，大量土石傾瀉而下，將嘉 155 線道路及科子林橋完全沖毀。原橋址兩岸距離由原本的 20 公尺左右擴大至 80 公尺以上，增大了 4 倍，如下圖 2 所示。



圖 1 嘉 155 線及其附近之橋梁



圖 2 科子林橋沖毀前後

本案在勘查時，瞭解到工區附近為長上坡段，野溪兩岸道路高差甚大，越往下游甚至高差達 10 公尺以上。道路邊坡仍有多處坍方，現場可以看見仍有多處土石流及野溪侵襲，地形條件十分惡劣。選址時考量兩個方案，方案一橋長較長，但線形較佳，且避開土石流潛勢區，如下圖 3 方案一；方案二橋長最短，但線形較差，且需面對大型崩坍地整治問題，如下圖 3 方案二。經過評估後，仍以避災為最高指導原則，選擇方案一為新橋橋址。

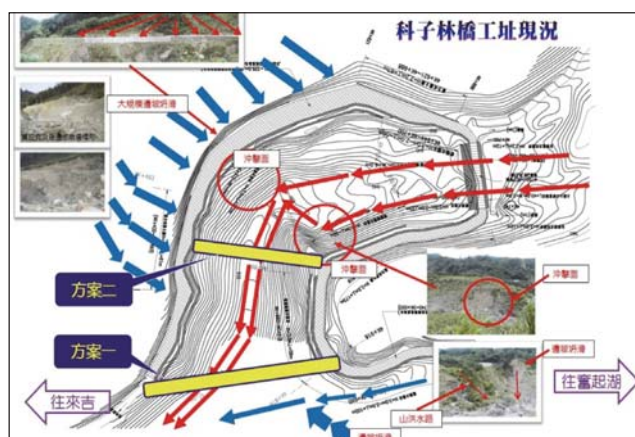


圖 3 復建方案一與方案二

因工址河道坡陡流急，遇雨時常山洪暴發，避災之考量不只以不落墩之鋼拱橋跨越河道，為求施工時效，避免支撐架被沖毀，結構設計採拱梁分離形式，拱端設置 PIVOT 支承，橋面系採格子梁設計；施工時以拱肋先閉合，迅即拆除支撐架，然後架設吊索再架設橋面系，最後打設橋面板，為國內極少見之鋼拱橋型態。（圖 4）

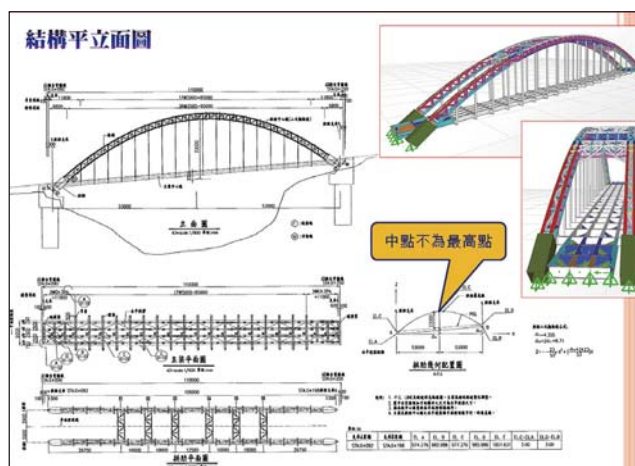


圖 4 考慮避災及工址後的設計





考量山區地盤堅實，且運輸道路寬度不足，兩端橋台基礎設計為  $D = 6\text{ m}$  井筒基礎，小型機具即可施工。因鋼結構應力大量集中在拱肋，為減輕鋼重，拱肋設計為鋼桁架形式，最長不超過  $7.5\text{ m}$  以利山區運輸。且設置三方向接頭，以符合熱浸鍍鋅作業尺寸。因此鋼構作業精度極高，所幸鋼構廠加工十分精準，現場吊裝時三方向接頭螺栓穿鎖均順利完成。(圖 5)

本工程位於偏遠之原住民部落，施工條件惡劣，運輸路線長。為降低未來維護成本，全橋採用 ASTM A709 熱浸鍍鋅結構鋼料，且未上面漆，保留原色。本橋完工後，成為國內最長之鋼桁架拱肋鋼拱橋，不僅克服了嘉 155 線最困難之復建路段，亦提供了部落居民一條安全回家的路。(圖 6)

圖 5 施工過程



圖 6 新建的科子林橋 — 國內最長之鋼桁架拱肋鋼拱橋

資料來源：仲冠工程顧問有限公司



## 如意吊橋

橋梁種類	小規模懸索橋
道路等級	產業道路
橋梁分類	跨河車行橋 L=108 m
跨越溪流	乾坑溪
工程經費	約 28,000 仟元
竣工年月	101.09

如意吊橋位於嘉義、雲林、南投三縣交界之阿里山鄉豐山村中心嶺部落聯絡道，跨越乾坑溪。本工址原為過水路面，屬溪流之凹岸，易受水流攻擊，莫拉克颱風造成流量大及湍急的逕流，夾帶大量土石，產生極大衝擊力，使本路段路基整個被掏空，道路為之中斷。(圖 7)



圖 7 豐山村地理位置及道路掏空中斷狀況

中心嶺部落聯絡道狹小，局部路寬僅 2~3 m，本橋服務人口不多，亦非唯一進出道路。復建時考量避災與經濟效益，採用小規模車行吊橋為復建方案。

小規模吊橋（懸索橋）其特性為總造價較低，施工期較短，利用少量材料即可跨越長距離，且施工簡便，不需溪底支撐，可直接在空中利用索道架設橋面系，大幅降低施工風險；缺點為抗風性不佳，且規模小時承載力隨之縮小，而且國內專業設計、施工廠商甚少。

台灣山區吊橋原本就甚多，但多年久失修，且大部分為人行吊橋，車輛無法通行。原住民出入或部落間聯絡係以步行、機車及小型車（如小發財車）為主，莫拉克風災後構思興建小型車行吊橋，當為緊急避難逃生及農作物小型搬運之運輸道路。依「道路交通安全規則」規定，小型車係指 3.5 噸以下車輛，小型車（含客貨車）最大寬度為救護車之 1.9 m，因此兩側各加 0.25 m，以淨寬 2.4 m 為設計標準。另依日本道路協會（社團法人）「小規模吊橋指針（含解說）」，其寬度為 1.0 m 以上，2.5 m 以下，設計總荷重為 5 噸，前輪荷重 1 噸、後輪荷重 1.5 噸。（參見莫拉克風災後陸續造成台 20 線桃源復興段及其周邊聯絡道路之災損勘查，葉昭雄，臺灣公路工程第 38 卷第 12 期，民國 101 年 12 月）

因中心嶺聯絡道狹小，本橋採用混凝土橋塔及鋼桁架橋面系，以避免過大鋼構件無法運輸之問題。有別於底部鉸接之鋼橋塔，本橋混凝土橋塔設計為四柱抗彎構架，主索在塔頂固接，由橋塔抵抗所有水平力及彎矩。基礎採用小口徑全套管基樁，橋入口處刻意降低橋塔橫梁高度，並設置車阻，以阻擋過大及超載車輛進入，配合國土維安。(圖 8)



圖 8 如意吊橋鋼橋塔



平立面配置圖及橋塔圖如圖所示(圖9), 橋塔高度 18.7 m, 使主索傾角維持在 32.5°左右。橋面寬設計為行車淨距 2.5 m, 抬高至安全位置, 採用原木面板加設車道花紋鋼板, 以降低橋面靜載重; 橋面護欄以鋼索連結鋼網形成柔性護欄。橋兩側設置抗風索以解決側向抗風勁度不足之問題, 所有鋼索均以 HDPE 包覆, 以增加耐久性。(圖 10)

吊橋另一特性為背拉錨定座, 常時即受巨大拉力, 為各類橋梁構造中少見; 抗風索錨座則是僅受拉不受壓, 風力來時方有受力。本橋混凝土背拉錨定座除配設基樁外, 另打設地錨作為加強。(圖 10)

本橋完工後成效良好, 於多次颱風時充分發揮防、避災之功能, 符合居民需求, 為山區小規模吊橋之實用性作了最好的示範。(圖 11)

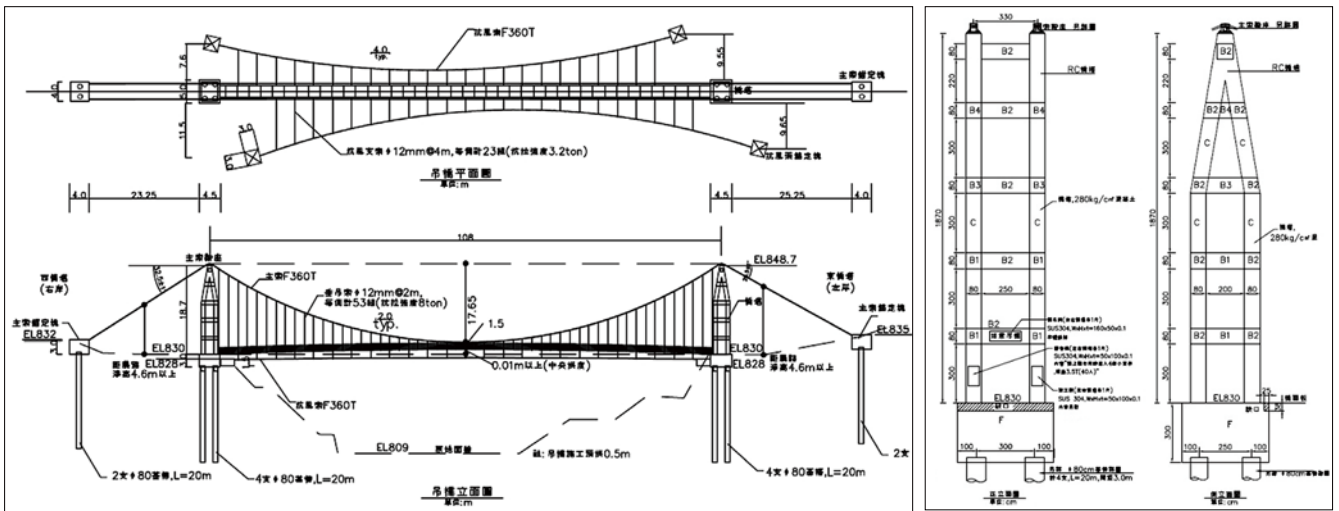


圖 9 如意吊橋平立面配置及橋塔圖



圖 10 施工過程



圖 11 完工後的如意吊橋充分發揮防、避災功能，成為山區小規模吊橋的最好示範。

資料來源：葉昭雄、奕通工程顧問股份有限公司，台聯工程顧問有限公司

## 山美大橋

橋梁種類	鋼拱橋
道路等級	鄉道—嘉 129 線
橋梁分類	跨河車行橋 L = 115 m
跨越溪流	曾文溪
工程經費	約 185,000 仟元
竣工年月	102.10

嘉 129 線雖為鄉道等級，但為阿里山鄉南三村（山美、新美、茶山）唯一進出道路，重要性高。舊山美橋位於知名生態景點達娜伊谷入口前，長度僅 40 公尺，橫跨中央管河川—曾文溪主流，該河段原就坡陡流急，受到上游大規模洪水夾帶土石沖擊，全橋完全被沖毀消失。

莫拉克風災發生後，台灣大哥大基金會主動捐款一千七百萬，委託民間志工造橋團體—嘉邑行善團，協助重建山美大橋，重建之山美大橋長 90 公尺，為簡支 PCI

梁結構，中央橋墩高達 21 公尺，兩端橋台以河道砂石填築，高度達 15 ~ 20 公尺左右，兩側以翼牆保護。後發生右岸下游側橋台翼牆倒塌意外，橋台背填土由翼牆破裂處傾洩而出，下方正施作河床保護工之一輛吊車因而被掩埋，所幸無人員傷亡（圖 12）。該橋經台灣省結構技師公會辦理結構安全鑑定，結果認為結構強度不足，建議拆除或補強。幾經波折後，決議新建跨河橋。



圖 12 受莫拉克颱風肆虐後的山美大橋



本橋選址時，考量下列因素：

1. 為避免二次致災，應採用大跨度橋梁，河中不落墩。
2. 本復建工程迭生災害，又因嘉邑行善團施工延宕，應考量縮短工期，建議以鋼橋為佳。
3. 橋址選定儘量避開土石流或野溪沖刷之處。
4. 大跨度橋梁單價甚高，須考量經費，妥善規劃橋長。
5. 配合橋長及現有河道保護工，妥善研擬橋台位置及其相關保護工程。
6. 位於知名景點入口，應考量景觀性。

因現地地形地貌複雜，又有多項其他工程干擾，為避免二次致災，本橋選址時以出露岩盤為目標，並避開行善團橋址之土石流潛勢區，將道路改道至下游側，方案如圖 13 所示。

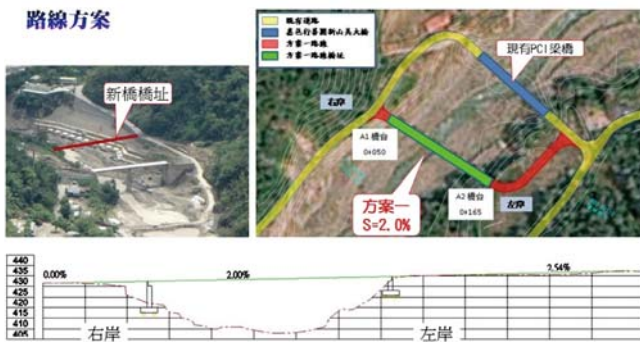


圖 13 新建跨河橋選址

本橋所在之鄒族山美社區，首創全台灣第一紙的河川自治公約，長期經營達娜伊谷自然生態園區，全台知名，是一個組織綿密、高度自治的社區。不同於傳統原住民部落，本地住民對於地方事務十分關心。本工程與山美社區發展息息相關，不論在路線、用地、景觀工程部分均須考量住民需求，充分與社區溝通，甚至讓住民參與，才能切合實際。本橋設計時，召開住民說明會，並與住民達成下列共識：(1) 須具備原住民意象，展現鄒族精神。(2) 創造景點，並與周邊景點串連。

為追求景觀效果並提供遊客遊覽空間，橋型研選時排除傳統雙拱肋鋼拱橋，改選單拱肋鋼拱橋，以提供遊客寬廣的視野（圖 14）。單拱肋鋼拱橋需具備足夠橋寬方可穩定，本橋橋長 115 m，拱肋高約 30 m，橋寬 15.7 m，拱肋及三線主梁寬均定為 2.5 m。



電腦示意圖

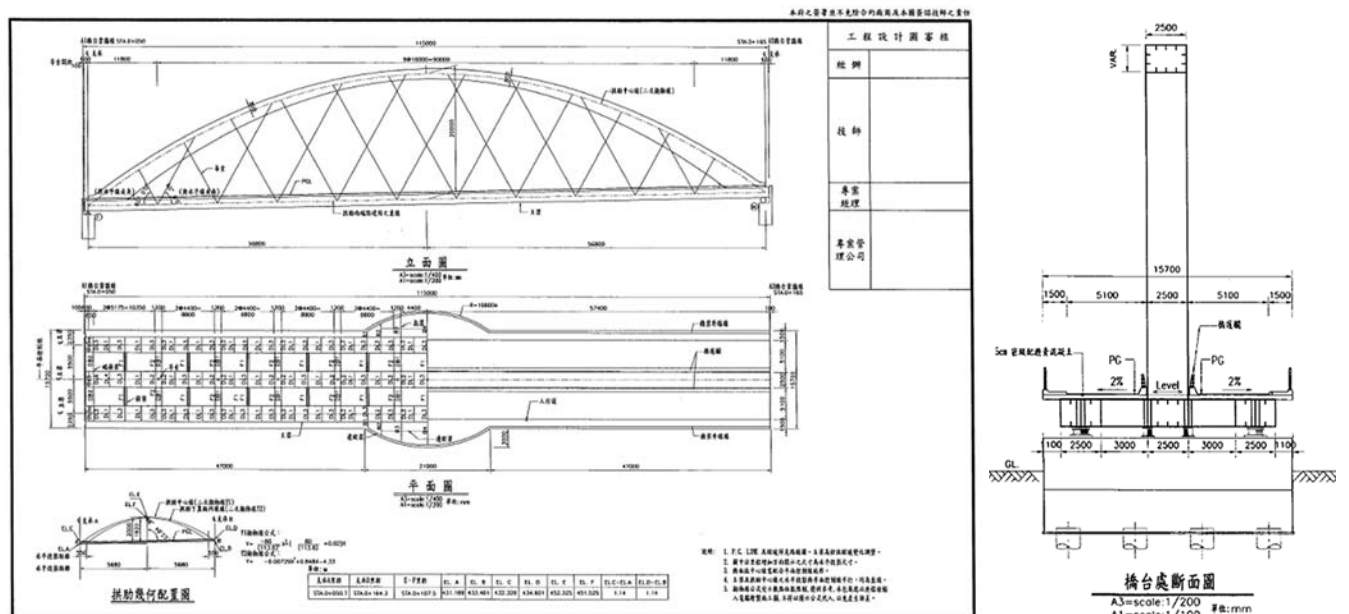


圖 14 重建山美大橋電腦示意圖及結構設計圖

本橋施工採傳統吊裝工法，由溪底向上吊裝，由於施工期長達 18 個月，吊裝適逢汛期，所幸防汛計畫發揮功能，並未造成損害（圖 15）。

本橋附屬設施計有：

- 橋兩側增設人行道，橋中央設置觀景平台，護欄提供原住民彩繪空間
- 左岸橋入口設置大型廣場，提供充分停車空間
- 原木河岸護欄及休憩座椅
- 設置大型公共藝術 — 圖騰柱及原住民休憩涼亭（圖 16）

本橋之完工，成為國內最長之單拱肋鋼拱橋（圖 17），完成了嘉 129 線復建之最後一塊拼圖，提供阿里山鄉南三村堅實安全的通行道路，更為達娜伊谷創造了新的景點，與周邊的達娜伊谷吊橋、福美吊橋共同提供了新的達娜伊谷「橋之旅」遊程，受到政府及住民的共同肯定，也是交通、景觀兼顧的範例。



圖 15 施工過程



圖 16 山美大橋的附屬設施



圖 17 新建的山美大橋 — 國內最長之單拱肋鋼拱橋

資料來源：仲冠工程顧問有限公司



## 沙沙歐橋

橋梁種類	高架鋼梁橋
道路等級	縣道－149 甲線
橋梁分類	車行高架橋 L=245 m
跨越溪流	未跨越，平行阿里山溪
工程經費	約 98,000 仟元
竣工年月	104.03

來吉村位於嘉義縣東北端，梅山鄉與阿里山鄉交界處，位置偏遠。來吉部落旁於阿里山溪，海拔高度約 800 ~ 900 公尺。與來吉部落直接連結的 149 甲線，路線在部落南北兩側均沿阿里山溪右岸通行，因位於河道凹岸，此河段於莫拉克風災時造成大量淤高、加寬，造成道路中斷。經以擋土牆復建後，復於 101 年因泰利颱風造成路側擋土牆沉陷倒塌，道路再次中斷（圖 18）。

因本道路屬於雲林嘉義之重要聯絡道，因此採永久復建方案規劃。考量河道受岩盤傾斜影響，河水不斷向凹岸沖刷，而道路路線無法閃避。因本路段位於河道凹岸長達 1.2 公里，莫拉克風災復建時因考量河道、邊坡均尚未穩定，採中期復建方案規劃，並非永久復建，護岸座落於崩積砂石上，二次致災乃意料中事。（圖 19）

本案經評估後以不與河爭地為原則，以高架鋼梁橋為復建方案。本案復建之評估，考量二次致災路段僅約 240 m，尚有局部路段並未受災。未受災路段予以永久改建則規模龐大，亦不符經濟效益；最後訂定復建原則如下：

- 以原路線復建為佳，但需與上邊坡及崩坍地拉開距離。
- 二次致災路段（240 m±）高程抬高，採永久復建方案，不與河爭地，保留橋下空間供溪水流通。
- 上游側應延長並抬高銜接路段（270 m±），填築路堤，採中期復建修復方式因應，以節省工程經費，並可為日後後續復建路段預作銜接準備。

最後定案之復建方案如圖 20 所示，特殊之處有下列兩點：

1. 高架橋梁路線不向山側移動，反而向河側偏移，以與高陡之上邊坡保持距離，避免坍方落石攻擊。
2. 高架橋南側橋台採墩式橋台設計，延長復建路段仍以擋土牆填築路堤之經濟方案辦理，未來若再度致災時，則墩式橋台背牆打除後可直接向上游側繼續延長高架橋。



圖 18 149 甲線道路多次受災中斷受損嚴重



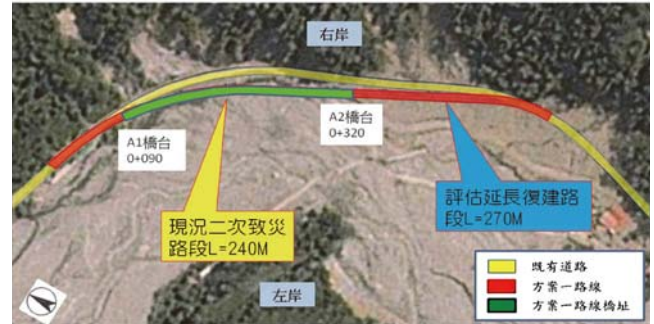


圖 20 定案之復建方案

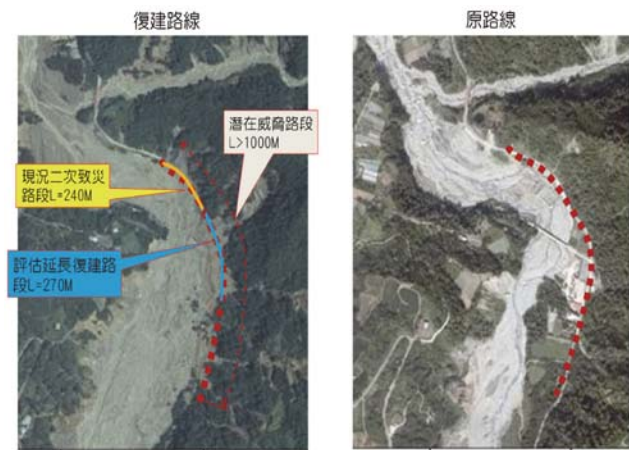


圖 19 復建路線圖

路線平立面圖如下圖所示，四跨連續漸變鋼 I 梁配置為  $55 + 70 + 70 + 50 = 245 \text{ m}$ ，梁深為  $2.0 \text{ m} \sim 3.5 \text{ m}$ 。為避免洪水攻擊，橋墩採大口徑單柱式橋墩，並包覆防撞鋼板；下部結構採全套管基樁，另為避免基樁裸露，於基樁頂部設置包覆鋼板，且外部配置鋼筋，萬一河床劇烈沖刷下降導致基樁裸露時，可以立即將鋼筋彎出，與基礎保護工鋼筋共同綁紮，延長使用壽命；基礎板埋深  $4 \text{ m}$ ，加上  $5 \text{ m}$  基樁鋼板包覆，合計提供  $9 \text{ m}$  沖刷深度，已幾乎達到岩盤（圖 21）。

本橋施工及完工照片如下圖所示（圖 22），完工後使用情形良好。

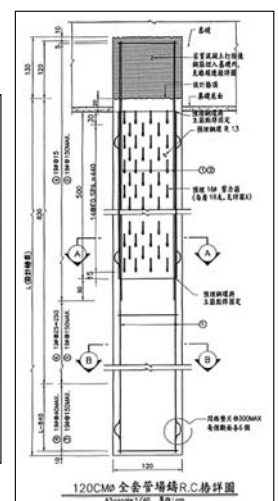
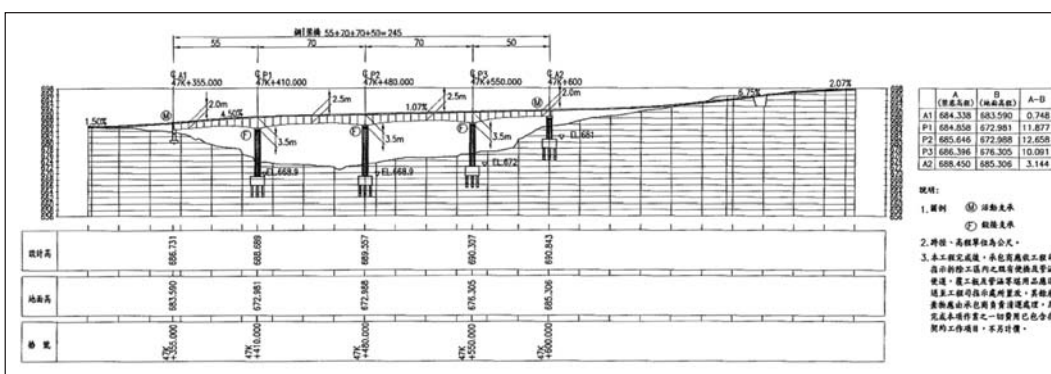
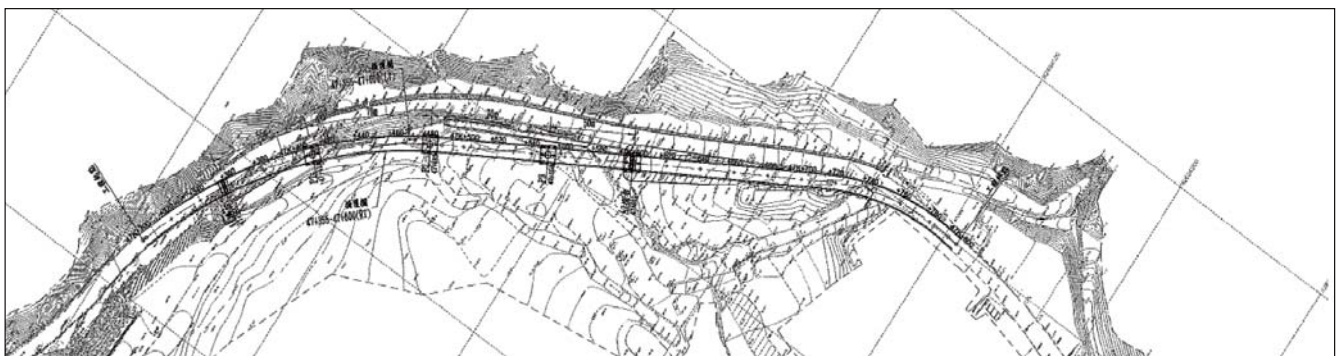


圖 21 復建路線之平立面配置圖





圖 22 施工中及完工後之沙沙歐橋

資料來源：葉昭雄、仲冠工程顧問有限公司

## 結論

山區道路橋梁之復建工程變化性高，有時必須打破成規，唯有詳盡調查、用心設計方可成事。綜歸幾項心得如下：

- 橋梁之選線務必以橋台座落於岩盤為不二法門。
- 坍方、土石流潛勢區務必避開，應予防治或作結構保護工，不可不理。
- 復建規模應妥善規劃，道路不需百分之百原線重建，應以防、避災為最高宗旨，局部改線、改道均可納入考量。
- 跨河橋能抬高就要盡量抬高，能不落墩就不落墩，不要輕忽洪水、土石流的威力。
- 沖蝕溝、野溪很可能在一次災害就擴大數倍寬度，一般兩岸都已存在崩積土，調查時務必詳查崩積範圍，以免橋長不足。
- 山區河道很多以前都是 V 型河谷，淤積後河水向兩

岸侵襲，變成平底鍋型，下方岩盤有可能深度變化很劇烈，地質調查務必要詳實。

- 山區橋梁之施工性一般均不佳，假設工程經費不可忽視，以免無法施工或造成紛爭。
- 局部利用率極低之產業道路復建應考量經濟性，過水路面、箱涵均可考量，甚至即壞即修亦為復建，或以便道維持，俟地形地貌穩定後再辦理永久復建。
- 除公路系統外，其他產業道路、部落聯絡道宜以當地交通需求考量，調查車輛車型需求，不必然以公路系統之標準設計，以符實際。以本文之如意吊橋及山美大橋為例，前者為產業道路，橋寬 2.5 m，通行小型車輛即可滿足居民需求，而後者為公路系統，橋寬 15.7 m，需符合國家規範；前者造價 28,000 仟元，後者造價 185,000 仟元（主橋約 150,000 仟元），橋長只差 7 公尺，造價卻相差不只 5 倍。設計者需因地制宜以符合經濟效益。🏗️



# 曾文水庫防淤隧道

曾文水庫防淤隧道工程全長 1266.78 公尺，為全台首座新建防淤隧道，  
完工後預計年排砂量 104 萬立方公尺，節省傳統抽泥船清淤所需費用 6.93 億元，  
並增加水庫防洪能力 995 立方公尺 / 秒，有效降低原水濁度並補充下游河道砂源。



經濟部水利署南區水資源局 廣告

▶ 最新消息

## 防颱準備好 災損自會少

請留意水庫洩洪資訊

經濟部水利署南區水資源局

台南  
32°~34°  
14:00

### 因應颱風來襲曾文水庫將進行調節性放水

### 請民眾做好防颱準備

廣告





# BIM 在橋梁工程的應用

## — 以家源橋為例

王茲為／建業工程顧問有限公司 結構技師

石晉方／中華大學營建管理系副教授 土木技師

廖吳章／交通部公路總局第四區養護工程處 處長

「建築資訊模型」(Building Information Modeling, BIM) 是從建築工程中發展起來，近年來建築設計導入 BIM 也越來越普及。但在橋梁工程的應用，仍尚在起步階段。本文藉由「台 7 甲線家源橋改建工程」設計專案的執行為例，將 BIM 導入橋梁設計各階段。藉由本案導入過程，了解 BIM 現有軟體之極限及套用在橋梁工程之侷限與效益，並回饋至業主、設計顧問、承包商及軟體開發商，以期對未來公共工程推動 BIM 之導入提供實用參考。

### 前言

「建築資訊模型」(Building Information Modeling, BIM) 之概念源自 1970 年代 Charles Eastman 所提出之「建築描述系統」(Building Description System, BDS)。1980 年代後，由美國逐漸開始發展其技術於營建產業。BIM 的目標在於工程相關人員可從單一整合的 BIM 模型中得到工程設計圖、3D 透視圖、工程數量及成本分析等。若工程變更，僅需於 BIM 模型中修改，所有工程相關資訊都能自動連結變動。由於 BIM 是以建築物為基礎所發展的技術，故國內目前大多應用於建築工程；相較於前者，其他如橋梁、道路等土木工程，則相對稀少。

然而，營建產業普遍認同隨著相關技術發展，BIM 將會對整體營建產業產生巨大衝擊，國內營建產業勢必無法置於此股浪潮外。有鑑於此，近年來行政院公共工程委員會積極推動 BIM 在公共工程領域的應用，以提升國內之工程技術及品質。

為配合政府政策，「台 7 甲線 3 k + 505 家源橋改建工程」是公路總局在橋梁工程應用 BIM 的第一個案例。由本案導入 BIM 過程，可了解 BIM 現有軟體之極限及套用在橋梁工程之侷限與效益，並回饋至業主、設

計顧問、承包商及軟體開發商，對未來公共工程推動 BIM 之導入將有極大效益。

### 工程概述

本案位於宜蘭縣大同鄉台 7 甲線 3 k + 505 路段，現況家源橋為 7 跨預力混凝土 I 型梁橋，跨距為 37 m，橋長約 259 m，分別於民國 48 及 79 年竣工。橋梁跨越蘭陽溪，因恰在河道束縮位置，溪水流速快，橋墩受冲刷而導致橋基裸露情形嚴重(圖 1)，故家源橋被公路總局列為全省 48 座重點監測橋梁之一。重點監測雖能



圖 1 家源橋現況

即時反映河川與橋梁狀況，以作為是否封橋的參考依據，但對於養護單位之人力、經費及心理負擔皆至為沉重。故橋梁管理機關擬於既有家源橋下游另建新橋方式以保障用路人的生命財產安全。

## BIM 模型建立方法

本計畫之 BIM 模型建置採用 Autodesk Revit 2016 軟體搭配 CIVIL 3D 進行建置作業。先將測量資料匯入建立地形，再依據道路及橋型設計成果建置整體模型，並利用 Navisworks 進行 4D 漫遊及視覺檢討。結構分析軟體則採用 MIDAS CIVIL 2016。選用 Autodesk 系列產品原因除考量 Revit 為目前市佔率最高的 BIM 軟體，且 MIDAS CIVIL 2016 提供了與 Revit 轉換的銜接程式，預計可減少未來不同程式轉換間的障礙。建置流程詳圖 2。

此外，本案在現地測量階段即採用光達掃描，現地地形經後處理轉換成點雲圖（圖 3），不但可提供精確大地座標，亦可供未來 BIM 模型情境模擬之用。



圖 2 BIM 模型建立流程示意圖



圖 3 測量點雲圖

## 設計原則階段

本案在設計原則階段主要為確定路線及橋型，BIM 模型建置重點在於將各種方案研擬以視覺化的方式表現，並且使所有工程參與人員能了解工程與周遭環境。因此於本階段將工程範圍及其周遭的地貌及地物皆建置

於模型中，並配合測量所得之地形及點雲圖，使工程人員可透過模型了解各橋型方案與周遭環境關係及對景觀影響，從而選擇最適合之橋型。因本階段目標為確定路線及橋型，橋梁之各部尺寸（如跨度、梁深及橋墩尺寸等），乃橋梁工程師依自身經驗初步決定，尚未經詳細結構分析，故 BIM 模型乃由橋梁工程師與 BIM 工程師溝通協調後，由 BIM 工程師使用 Revit 及 Civil 3D 發展橋梁及道路模型。模型建立完成並調整至符合大地座標後（圖 4），便可匯入點雲圖，使橋型與現地環境結合。另外此階段若有管線單位提供之資料，亦可匯入模型，納入工程檢討範圍（圖 5）。

本案於此階段提出兩種路線（截彎取直或緊鄰原橋址）及兩種橋型（鋼箱型梁橋及混凝土箱型梁橋）並分別提出 11 m 及 12 m 之設計橋寬，在考量行車安全、橋梁沖刷及景觀等因素後，綜合各方意見確定改建橋梁橋型定為 330 m 四跨預力混凝土箱型梁橋，設計寬度為 12 m。其它工程內容包括兩側引道長度分別為 35 m 及 15.5 m 及單跨 15 m 鋼筋混凝土版橋（圖 6）。



圖 4 BIM 模型符合大地座標

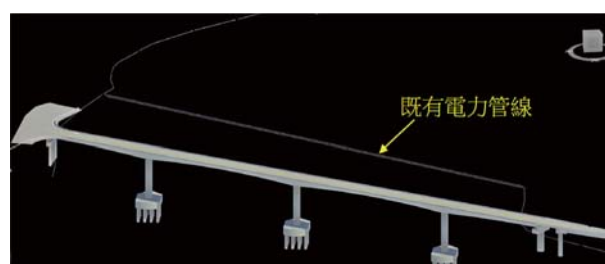


圖 5 既有管線匯入 BIM 模型示意圖

## 初步設計階段

於前階段橋型決定後，初步設計主要是將前階段之 BIM 模型繼續深入建置，配合測量圖及點雲圖，將工程範圍內橋梁、地上物、及橫交路口等項目建置後，可使管理單位於此階段便可了解未來橋梁完成後之模擬情形，進而提早協調。尤其，位於工程終點丁字路口處，有多處指示牌面，將牌面建置於 BIM 模型後，可使各



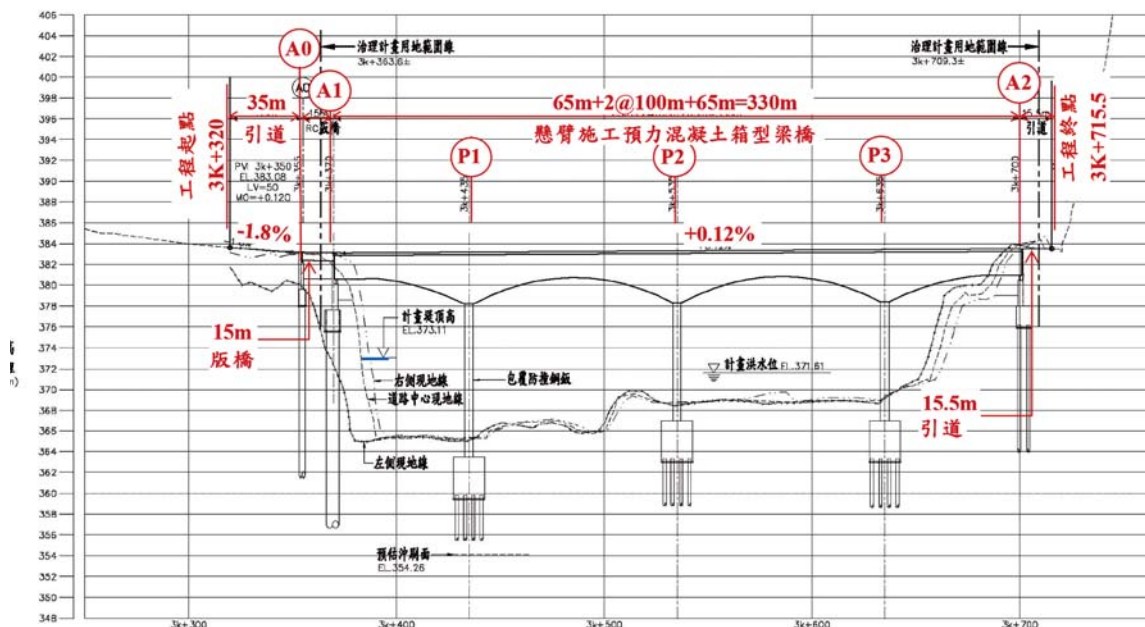


圖 6 橋梁平面及縱斷面圖

單位於模型展示時一目瞭然，進而討論後續牌面移設位置，此為本案導入 BIM 之一大優點（圖 7）。本階段亦可將路權及野生動物保護區套疊至模型中（圖 8），以了解工程區域與周遭法定區域的關係。配合完工道路，可將點雲圖樹林與完工道路衝突部份移除（圖 9）。

本階段需使用結構分析軟體（MIDAS CIVIL），方可初步確認橋梁之各部尺寸及工程數量（鋼筋、混凝土及預力鋼腱等）。本案橋梁斷面除梁深漸變，版厚亦為漸變，考量若直接參考工程師設計之 2D 圖面，以 Revit 建置，將耗費大量作業時間。因此，設計團隊嘗試以 MIDAS CIVIL 軟體商所開發的 Revit 轉換程式將結構分析模型導入 Revit 模型中。經轉換後，發現模



圖 7 丁字路口交通牌面檢討

型雖可導入 Revit，但斷面資料已流失，僅能顯示標準 I 型斷面（圖 10）。研判原因應是本案橋型為變斷面，而 Revit 沒有相對應的內建元件。查閱相關文獻，即使

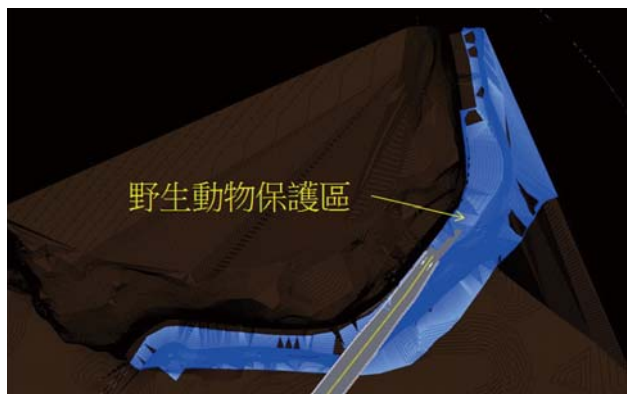


圖 8 工程範圍與野生動物保護區套疊



圖 9 點雲圖配合完工狀態刪除不必要點

採用與 Revit 同開發公司旗下結構軟體 (Robot)，亦會產生相同狀況 (Johansen, 2013)。為使結構模型可順利導入 Revit，另將結構模型轉換為 DXF 檔 (DXF 檔為 Autodesk 制定的開放性資料交換格式，適用於 CAD 工程圖之檔案交換)，再將 DXF 檔匯入 Revit 檔，結果可順利匯入。因本案擬採懸臂施工法，預先考慮未來繪製施工動畫時，須展現各施工階段情境，故於此階段便將各施工節塊建立成元件，以供未來細部設計使用。計有 72 個施工節塊，每塊節塊長度為 2.75 ~ 4 m (圖 11)。

初步模型建立後，除可展現橋梁模型，亦可透過模型檢視於非典型之結構物件。例如，本案之擋土牆屬於不規則形狀，在 2D 圖面上較難直接呈現，透過模型可於各角度檢視的特性，可使工程人員快速了解本案擋土牆設計情形。

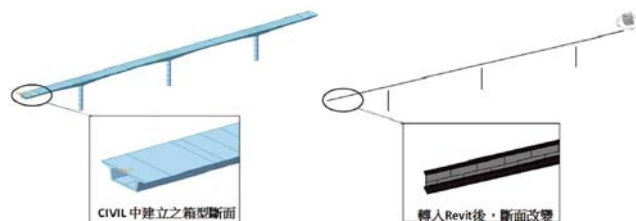


圖 10 MIDAS CIVIL 轉換至 Revit 示意圖

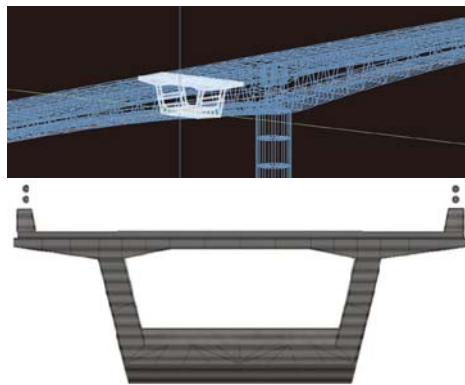


圖 11 DXF 檔轉換至 Revit 示意圖

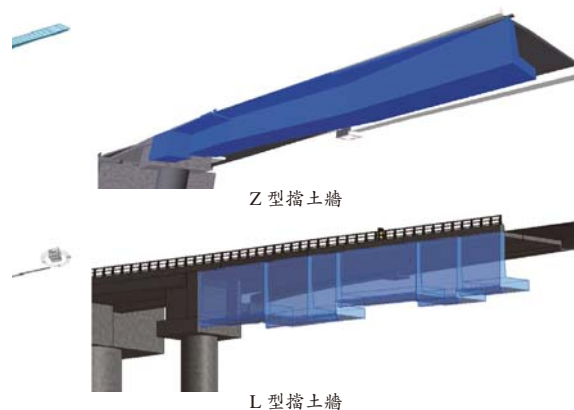


圖 12 擋土牆 BIM 3D 視覺展示圖

### 細部設計階段

在細部設計階段除將前階段模型再深化，需將各構件相關設計資料，如構件之名稱、編號、性質、材料規格及高程等資料，皆建入模型，並預留擴充施工階段建置施工履歷過程等各項資料。另針對三處局部複雜結構體之內部元素 (如鋼筋及預力鋼腱) 以 Autodesk Inventor 建立 BIM 模型 (圖 13)，以檢討配筋複雜處與預力鋼腱和管線衝突處。選用軟體前，曾評估 SolidWorks、Inventor、PROE 等業界在繪製元件時常用軟體，考量 Inventor 與 Revit 均為 Autodesk 系列，且亦可達到細部模型的標準需求，故採用 Autodesk Inventor 建置局部 BIM 模型。

各構件指定材料性質及規格後，即可透過 Revit 明細表功能，彙整 BIM 模型數量與細部設計數量 (挖填



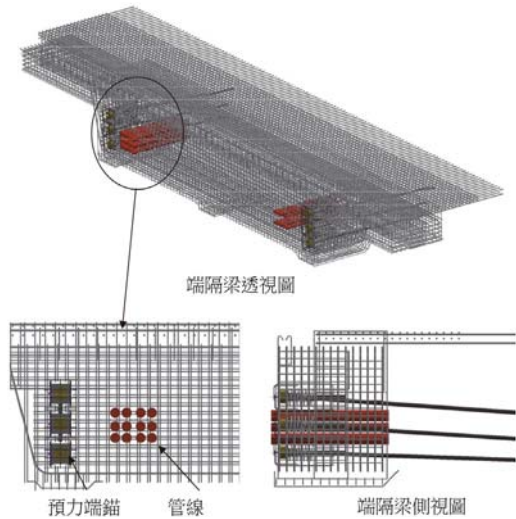


圖 13 局部複雜結構體模型

方量及混凝土體積)作比對。因僅局部複雜結構體配置鋼筋，故尚未能以模型檢討整體鋼筋量。檢討結果發現：

- (1) 計算挖填方數量有明顯差距，其原因為 Revit 挖土方式只限垂直向下，而不能在 Revit 上進行斜開挖，且無法呈現施作基樁所造成的出土量
- (2) 混凝土數量大致與細設數量差異不大，但模型中未能反映出材料損耗及基樁劣質混凝土打除兩部分。
- (3) 鋼筋數量部分模型可得到準確數量，部分則落差較大，研判與建立鋼筋模型時，部分鋼筋未計入有關。
- (4) BIM 模型建置完成後，即可利用 Navisworks 貼附點雲圖提供交維模擬動畫(圖 14)、施工動畫(圖 15)及全線道路虛擬實境巡航檢核(圖 16)。

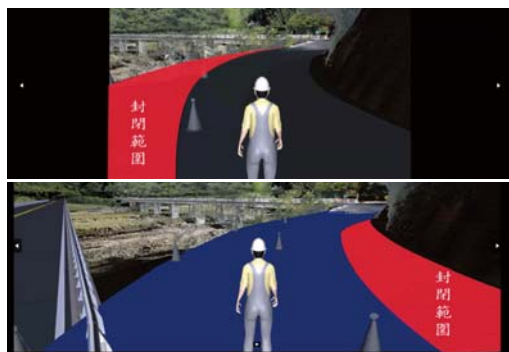


圖 14 二階段交維動畫示意圖



圖 15 施工動畫示意圖



圖 16 巡航模擬動畫示意圖

## 結論與建議

國內橋梁工程導入 BIM 尚不廣泛，本案以「台 7 甲線家源橋改建工程」為案例導入 BIM 技術，設計各階段建立 BIM 工作內容整理如圖 17。在實施過程中得到以下結論與建議：

- (1) 本案先以光達掃描得到現地測量資料，並轉換成點雲圖模擬原始情境。再依據道路及橋型設計成果建置整體模型，並匯入地形資料。本案利用 Revit 檢討設計上之空間衝突，並用 Civil 3D 協助引道設計，同時利用 Navisworks 做 4D 漫遊、施工排程動畫及視覺檢討。
- (2) 本案設計方式先於 MIDAS CIVIL 中建置結構分析模型，再匯入 Revit，建置 BIM 模型。因橋型為變斷面預力箱型梁橋，梁深沿車行方向變化，非屬 Revit 資料庫中之標準斷面，故轉換後無法於 Revit 中顯示出正確模型。解決方式為將 MIDAS CIVIL 結構分析模型匯出為 DXF 格式，再將 DXF 檔匯入 Revit，可得到相同之斷面形狀。
- (3) 使用 BIM 輔助檢核工程數量時，因 Revit 之土方挖填功能有所限制，因此計算挖填方數量有明顯差距，其原因為 Revit 挖土方式只限垂直向下，不能在 Revit 上進行斜開挖；混凝土數量大致與細設數量差異不大；鋼筋採用 Inventor 繪製，部分數量檢核尚稱合理，與模型建立精細程度有關。
- (4) 建築物工程範圍較小，地形資料單純，故以等高線圖建立 BIM 即已足夠。然而，土木工程施作範圍廣大，僅以敷地模型，不足以清楚了解工作範圍內地貌地物。以地面光達或空拍光達所獲得之點雲圖，清楚地將工程範圍內地貌及地物整體展現，且可立即對設計道路與現地環境關係進行檢討，對於 BIM 模型建立與展示相當實用。
- (5) 目前 BIM 技術在橋梁工程的應用尚在初期，實務上仍需從 2D 圖面轉換到 3D 模型。但良好的應用仍可提升專案效率以及達到未來施工整合的功能。隨著

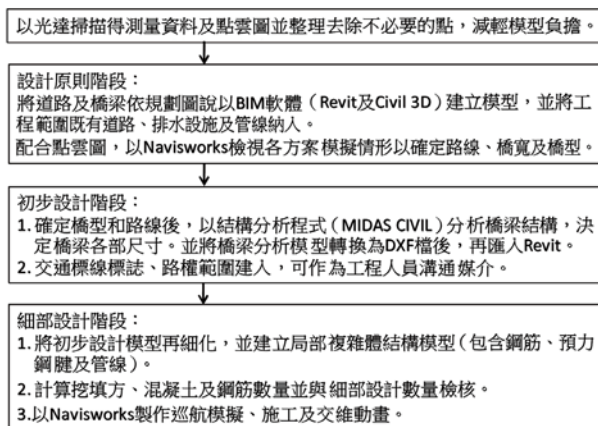


圖 17 各階段 BIM 工作內容

技術及軟硬體的逐漸成熟，最終目標則是各專業可在雲端整合作業。

- (6) BIM 是從建築工程演化而來，導入到土木工程橋樑道路設計於國內則尚在起步階段，由於現有 BIM 軟體大多為建築所設計，而土木工程所涉及之大地環境較多也較不規則。故針對橋梁工程之工程資訊模型尚需後續軟體開發及提高檔案的共通性，以提高使用便利性。

- (7) 橋梁工程之設計者，大多為結構或土木工程師，和建築工程由建築師主導不同，因此設計的流程方式及思考邏輯亦顯著不同。故軟體的開發應考量設計者習慣。以 Revit 為例，原本就是專為建築工程所開發，其模型建立方式及內建元件（如門窗等元件）也大部分專為建築工程所使用，而非橋梁工程。大部分橋梁設計者習慣使用橋梁結構分析軟體建立橋梁模型（如 MIDAS CIVIL、SAP2000 或 RM Bridge 等），結構分析完成並確定尺寸後，再進行圖面繪製。極少一開始就使用 Revit 或其他 BIM 軟體建立模型。雖然 Revit 同開發公司旗下亦有結構軟體（Robot），但非專為橋梁分析所開發，且尚未經國內技師公會認證。若未來 BIM 軟體開發能考慮如何與結構分析軟體模型銜接，相信會對 BIM 在橋梁工程的應用有莫大的助益。

參考文獻

1. Johansen, J., "BIM in Bridge Design", Norwegian University of Science and Technology, Department of Structural Engineering (2013)
2. 許坤榮, 「建築資訊模型發展道路圖」, 台灣建築學會會刊第 81 期, 第 12-18 頁 (2016)



# 榮工工程股份有限公司

## RSEA Engineering Corporation

CONSTRUCTORS & ENGINEERS

### 亞翔集團

新北市汐止區大同路一段175號13樓  
13F., 175, Sec. 1, Datong Rd., Xizhi Dist., New Taipei City  
22145, Taiwan, R.O.C  
TEL : (886)2-8691-7366 FAX : (886)2-8691-7866








信譽卓著 品質保證  
專業團隊 與您夢想起飛




www.rseaec.com.tw





# 土木工程與古文明生死關鍵的個案分析

## 六、土木工程與希臘文明的生死關鍵

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系名譽教授，中國土木水利工程學會會士

### 引言

要了解西方文明，必須先了解希臘古典文明與基督教文明。希臘古典文明對西方文明的影響，數也數不清。直接民主、議會政治、文學、哲學、數學、戲劇、繪畫、雕刻、運動（奧林匹克運動會）、工程、等等。

希臘位於巴爾幹半島南端，其西北至東北分別與阿爾巴尼亞、馬其頓、保加利亞、土耳其等為鄰，其東為愛琴海（Aegean Sea），其西為愛歐尼安海（Ionian Sea），其南為克里特海（Crete Sea，也是愛琴海的一部分）和地中海（Mediterranean Sea）。目前國土面積 131,957 平方公里，國民約 1,100 萬人。希臘領海之中，約有 1,200 個島嶼（一說 6,000 個），其中約 230 個有人居住。最大的島嶼與最大的群島，都在愛琴海（面積 214,000 平方公里）。克里特島（Crete，面積約 8,300 平方公里），基克拉澤斯群島（Cyclades，約 220 個島嶼，30 多個島嶼有人居住）。參見圖 1。

希臘沒有大河，也沒有寬廣的洪積平原，但有相對平靜的地中海與愛琴海，具發展「海權」與「海洋經濟」的條件。又因東接貫穿歐亞大陸的「絲路」，西跨愛歐尼安海與義大利相對應，左右逢源。

### 希臘古典文明興起的前奏

#### 興起於克里特島的邁諾安（Minoan）古文明時代

約 7000BC，來自東方（亞洲）印歐人（Indo-Europeans）進入「克里特島」。約 3500BC 建立聚落；

A 雅典 (Athens) 基克拉澤斯群島 (Cyclades)  
 C-C 科林斯運河 (Corinth Canal) K 諾索斯宮 (Knossos) 廢墟  
 M 邁錫尼 (Mycenae) 廢墟 邁諾安古文明首都  
 S 古斯巴達 (Sparta)



圖 1 希臘愛琴海簡化示意圖（洪如江編圖）

約 3000BC，諾安文明誕生。活版陶字（圖 2）與圓盤式陶質泥版書（圖 3）所顯示的文字及書寫歷史，成為邁諾安文明存在的證據。

約 2500BC，在克里特島北岸首都建宏偉的「諾索斯宮」（Knossos；Chapman's Homer 的 *The Iliad*（伊里亞德）一書中為 Knossus；Oxford World's Classics Homer 的 *The Iliad* 一書中為 Cnossus）。





圖 2 「邁諾安」古文明中的活版陶字，大小相當於我國人所用的圖章（洪如江攝於克里特島 Iraklion 博物館）



圖 3 「邁諾安」古文明，用陶質活字所印之泥版經燒烤之後成為官文書，由外圈向內閱讀（洪如江攝於克里特島 Iraklion 博物館）

2100BC ~ 1500BC，邁諾安文明高峰時期，海權及貿易擴及整個地中海，甚至於遠達埃及，並以強大的海軍及商船隊伍稱霸整個地中海。

1650BC（一說 1600BC ~ 1550BC），克里特島北方的「昔拉島」（Thera；今之「聖多里尼」，Santorini）火山爆發，昔拉島的大部分且沉入海中，克里特島北

岸遭海嘯高浪侵襲而受重創，集中在北岸的海軍及商船幾乎全滅，邁諾安國力迅速衰落。約 1475BC，地震摧毀諾索斯宮；約 1450BC，希臘半島上的城邦「邁錫尼」（Mycenae，其位置參見圖 1）乘機入寇，進一步焚燒已經嚴重損傷的神廟及宮殿，但取得邁諾安人的「線型文字 A」，並將之改良為「線型文字 B」為自用。「邁諾安文明」於 1380BC（一說 1400BC）滅亡。其存在，只剩荷馬（Homer）遊唱的故事在流傳。

1899，英國考古學家 Arthur Evans（一個荷馬迷）挖到「諾索斯宮」廢墟之後，才證實荷馬的故事，並非完全虛構。壁畫之一（圖 4），運動壁畫（圖 5），石灰岩彩繪（圖 6），大地女神陶質塑像（圖 7），金器（圖 8），與大型陶器（圖 9），為 Evans 開挖諾索斯宮廢墟出土的小部分古文物代表。圖 10 示諾索斯宮復原模型，圖 11 與圖 12 示開挖後之諾索斯宮廢墟局部。圖 13 與圖 14 示開挖後經過整修的諾索斯宮房間，主要在顯示其建築結構。



圖 4 「邁諾安」古文明之「諾索斯」宮壁畫之一（洪如江攝於克里特島 Iraklion 博物館）



圖 5 「邁諾安」古文明「諾索斯」宮的運動壁畫（洪如江攝於克里特島 Iraklion 博物館）

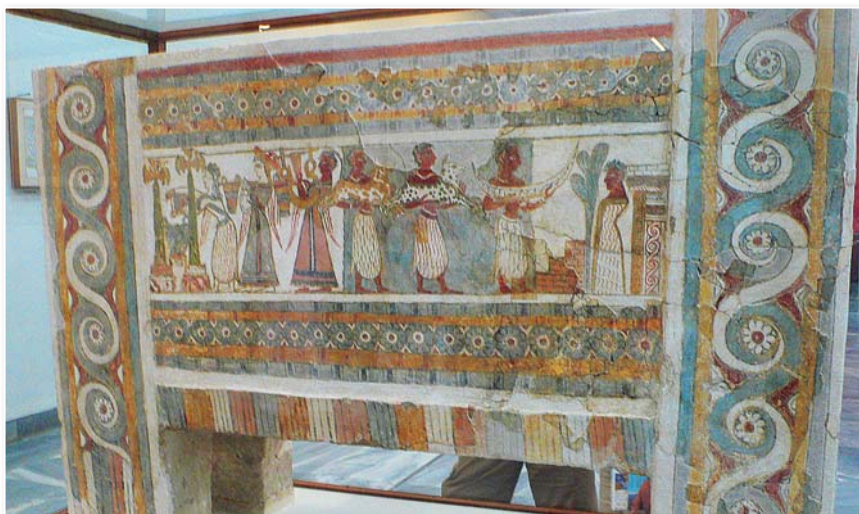


圖 6 「邁諾安」古文明之石灰岩彩繪（洪如江攝於克里特島 Iraklion 博物館）↑

圖 7 「邁諾安」古文明之「諾索斯」宮廢墟出土之大地女神陶質塑像（洪如江攝於克里特島 Iraklion 考古博物館攝）→







圖 8 「邁諾安」古文明考古開挖出土之金質飾物 (洪如江攝於克里特島 Iraklion 博物館)



圖 9 高與人齊的大型陶器，製作精美，表面雕像也很精緻 (洪如江攝於克里特島 Iraklion 博物館)



圖 11 「邁諾安」古文明之「諾索斯」宮廢墟之一角 (1) (洪如江攝)

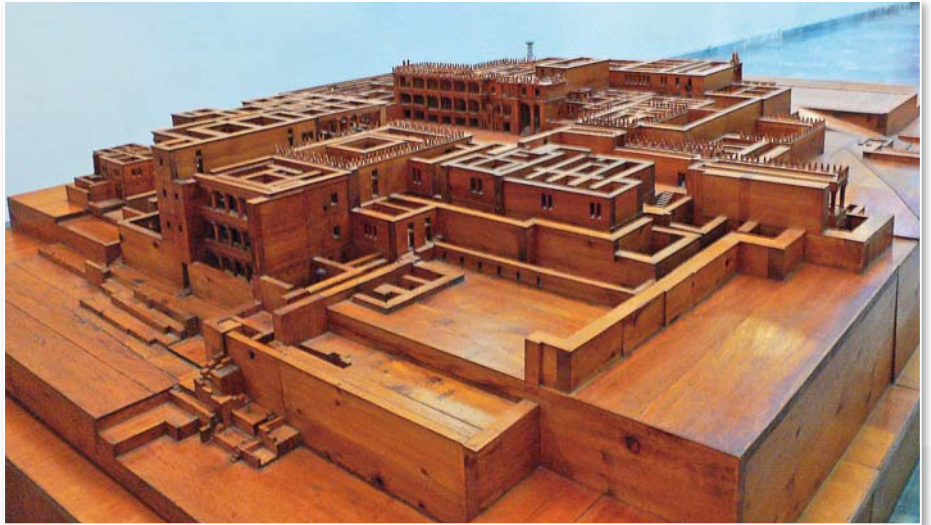


圖 10 「邁諾安」(Minoan) 古文明之「諾索斯」(Knossos) 宮復原模型 (洪如江攝)



圖 12 「邁諾安」古文明之「諾索斯」宮廢墟之一角 (2) (洪如江攝)



圖 13 整修過的一個房間，充分展示「邁諾安」古文明「諾索斯」宮的建築構造方式 (洪如江攝)



圖 14 「邁諾安」古文明之「諾索斯」宮廢墟中一個復原裝修過的房間 (洪如江攝)



## 邁錫尼 (Mycenaeans) 古文明時代

約 1450BC，邁錫尼 (Mycenae) 滅邁諾安文明之後，稱霸希臘。

大約在 1250BC 或稍早，希臘諸城邦借口「斯巴達」(Sparta) 國王 Menelaus 的王后海倫 (Helen) 被「特洛伊」(Troy，位居當時東西交通及貿易的孔道，富裕引起窺覬) 王子巴里士 (Paris) 拐走，由邁錫尼國王 Agamemnon，也是 Menelaus 的兄長，統帥希臘海、陸各邦聯軍，戰船約一千艘 (邁錫尼提供 100 艘，每艘戰士約 120 人) 進攻特洛伊。特洛伊附近的海上城市 (邦) 與陸上城市 (邦) 各十個以上被希臘大軍屠滅；希臘眾將領瓜分所擄獲的大量美女及財寶。希臘統帥 Agamemnon 強奪大將 Achilles 所擄獲的美女及財寶而引起 Achilles 不滿，以至於久攻特洛伊城不下，達 10 年之久；最後，採納奧德賽的「木馬計」，一舉消滅

特洛伊。希臘城邦聯軍，回國途中，在愛琴海遭遇狂風暴浪，損失極為慘重，埋下衰弱滅亡的遠因。

Agamemnon 凱旋回國之後不久被刺殺死亡。邁錫尼文明逐漸走下坡，終被北方的 Dorian 人所滅亡 (時約 1100BC)。邁錫尼古文明的城堡，被戰亂，可能加上地震，逐漸被埋沒地下，後人在其廢墟之上再加蓋。邁錫尼文明逐漸被希臘人所遺忘，只剩下「荷馬」遊唱故事 (曾被一再重寫)，留下黃金之國的傳說，世人半信半疑。1870 年，德國商人 Schliemann (一個荷馬迷，也是特洛伊的第一個開挖者) 動工開挖之後，邁錫尼城堡廢墟 (圖 15 至圖 20)、Agamemnon 地下墳墓廢墟 (圖 21 至圖 23)、黃金器物 (圖 24，圖 25)、陶器 (圖 26)、石雕 (圖 27)，逐漸出土；世人才認為「荷馬」伊里亞德 (Iliad) 與奧德賽 (Odyssey) 二書所敘述的故事，並非全屬想像。



圖 15 仰望希臘「邁西尼」(Mycenae) 古文明之廢墟 (洪如江攝)



圖 16 「邁錫尼」城堡入口附近的城牆 (洪如江攝)



圖 17 「邁錫尼」城堡之城門 (稱為獅子門，Lion Gate) 正面 (洪如江攝)





圖 18 「邁錫尼」城堡大門門楣的雙獅雕刻 (洪如江攝)



圖 19 「邁錫尼」城堡廢墟頂端局部 (洪如江攝)



圖 20 「邁錫尼」城堡廢墟外圍的圓形墓園近照 (洪如江攝)



圖 21 「邁錫尼」城堡廢墟附近一個地下墳墓入口，疑為 Agamemnon 之王陵，建於約 1250BC (洪如江攝)



圖 22 疑為「邁錫尼」Agamemnon 王陵之圓錐形內部 (洪如江攝)



圖 23 疑為古「邁錫尼」Agamemnon 王陵圓錐形內部的頂部尖端，由下向上拍攝 (洪如江攝)





圖 24 「邁錫尼」城堡廢墟出土之金器。中上為 Agamemnon 王之死亡面具 (Death Mask of Agamemnon) (洪如江攝於雅典國家考古博物館)



圖 25 「邁錫尼」城堡廢墟出土含金、銀及青銅之牛頭雕塑 (1550 ~ 1500BC) (洪如江攝於雅典國家考古博物館)



圖 26 「邁錫尼」城堡廢墟出土之「戰士瓶」(1200BC) (洪如江攝於雅典國家考古博物館)



圖 27 「邁錫尼」城堡廢墟出土之石雕船形壺 (1600 ~ 1560BC) (洪如江攝於雅典國家考古博物館)

## 過渡時期 (黑暗時代, 約 1250BC ~ 800BC) 的希臘

邁錫尼城邦霸權滅亡(時約 1100BC)之後,希臘進入所謂的「黑暗時代」(有稱之為無政府時代)至 800BC 左右。在此時期,軍閥互相爭戰,民不遑生,許多希臘人向外移民,甚至於在義大利等地建立殖民地,將希臘文化傳播到羅馬及許多歐洲地區。

在希臘國內,神話興起:天神 Uranus,地神 Gaia,12位巨神 Titans,神山 Olympus,眾神之王 Zeus(12巨神之一),神后 Hera,海神 Poseidon,太陽神 Apollo,戰神 Ares,月神 Artemis,愛與美之神 Aphrodite(羅馬人稱之謂維納斯 Venus),主管智慧、工

藝與戰爭之神雅典娜(Athena),訊息使者(Hermes),等等,逐漸成為希臘人的獨特文化。專業技術及藝術人才的中產階級與經商致富者興起於「雅典」(Athens),軍閥勢力逐漸式微。

## 希臘古典文明時代(800BC ~)

希臘古典文明的重心在雅典。

雅典領先在 507BC 建立西方世界的第一個民主議會政治。從此之後,希臘文化百花齊放,百家爭鳴,大思想家輩出,例如:畢達哥拉思(Pythagoras, 570BC ~ 490BC?),柏拉圖(427BC ~ 347BC)、雅理斯多德(384BC ~ 322BC)、蘇格拉底(Socrates, 470BC ~ 399BC)、等等。



土木工程觀察重點之一在雅典衛城 (Acropolis)。  
圖 28 示其 Google Earth 影像；圖 29 為其側景。

衛城中最早建設工程為 Erechtheion 神廟 (430sBC ~ 406BC 建)，圖 30 為其廢墟。

但衛城中最重要的工程為巴特農神廟 (Parthenon, 437BC ~ 432BC 建，獻給雅典守護神**雅典娜**，Athena)，圖 31 為其廢墟正面。在雅典平地也建有雅典娜神廟，圖 32 為其遠景，圖 33 為其近照。

巴特農神廟成為被後代抄襲最多的一棟建築，但只是神廟正面雄偉的列柱與三角門楣型態的抄襲 (imitation of forms)，沒有「開放」、「民主」、「自由」、與「平等」的思想。台北的 228 和平公園內的台灣博物館 (圖 34) 與貴陽街的法院大廈 (圖 35)，也有同樣的正面與三角門楣。大英博物館 (圖 36 為其正面) 以軟體 (免費進館觀賞、拍照) 展現開放思想。



圖 28 希臘雅典衛城 (Acropolis) 的 Google Earth 影像



圖 29 希臘雅典衛城 (Acropolis) 側景 (洪如江攝)



圖 30 希臘衛城的 Erechtheion 神廟 (建於 430sBC ~ 406BC) (洪如江攝)





圖 31 希臘雅典衛城的巴特農神廟 (Parthenon, 建於 447BC ~ 432BC) 廢墟 (洪如江攝)



圖 32 希臘雅典平地的雅典娜神廟遠景 (洪如江攝)



圖 33 希臘雅典平地的雅典娜神廟近照 (翁作新攝)

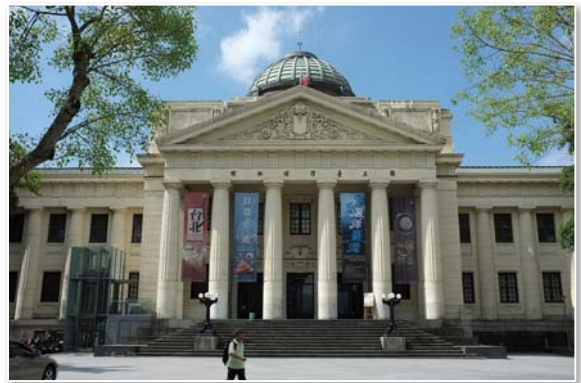


圖 34 台灣博物館正面 (洪如江攝)



圖 35 法院大廈，台北市貴陽街 (洪如江攝)



圖 36 大英博物館大門 (洪如江攝)

戲劇和運動，也是希臘基礎建設 (Infrastructure) 的重點。圖 37 為雅典衛城坡腳的 **Dionysos 劇場** (325BC 建成，17,000 座位) 廢墟。**Epidavros 劇場** (圖 38)，建於西元前第四世紀，其觀眾席 (14,000 個座位)，形狀具喇叭擴音功效，石灰岩建材吸收低頻的觀眾噪音而彰顯演員 (或歌者) 高頻聲音，音響絕佳。

**奧林匹克運動會場** (圖 39，圖 40)，也是開放

式，多次維修，多次用於辦理奧林匹克運動會，包括 2004 年那次。

**科林斯運河** (Corinth Canal, 圖 41)，使得集中在希臘半島東岸的主要城邦 (雅典、斯巴達、邁錫尼、等等) 與愛琴海近百個島嶼城邦，能夠迅速與 Ionian 海、地中海、羅馬 (今義大利) 來往。



圖 37 希臘雅典衛城坡腳的一開放式劇場 (洪如江攝)



圖 38 古希臘的開放式劇場 (Theater of Epidavros, 建於 300 ~ 400BC) (洪如江攝)



圖 39 希臘雅典奧林匹克運動會場 (329BC ~) 全景 (洪如江攝)



圖 40 希臘雅典奧林匹克運動會場 (329BC ~) 內部 (洪如江攝)

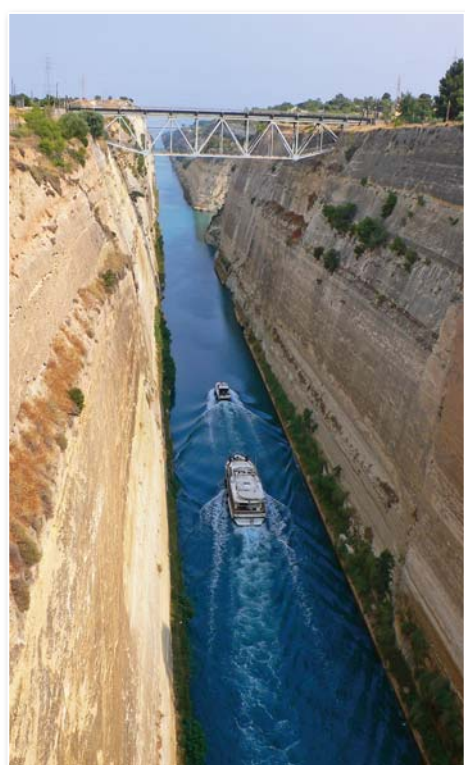


圖 41 科林斯運河 (洪如江攝)





圖 42 希臘神話中的眾神之王宙斯的神廟 (Temple of Zeus) 廢墟 (洪如江攝於希臘雅典)

## 土木工程與希臘文明生死關鍵的分析


希臘的土木工程，多以巨石建造，即使毀於地震或人力破壞，也還能以廢墟型態長留後世，並在後代的全世界，廣泛複製。**雅典娜神廟**的造型，尤其是正面的列柱及三角形門楣，幾乎可以在世界上多數國家的多數城市中看到。其**露天劇場與奧林匹克運動會場**，永遠被許多國家複製。**科林斯運河**，何嘗不是許多後代運河（例如蘇伊士運河、巴拿馬運河、歐洲內陸運河）建設的靈感所出。

愛琴海、希臘大陸、與土耳其一帶，常發生災難性地震，也發生火山爆發及海嘯，是**天然因素**。圯工結構型態不耐地震，是**工程因素**。邁諾安文明的首都諾索斯宮 (Knossos)，斯巴達 (Sparta)，科林斯 (Corinth)，伊色佳 (Ithaca)，甚至於眾神之王宙斯 (Zeus) 的神廟，也被地震摧毀成廢墟 (圖 42)。

敵人侵略，將整個城邦，甚至於整個文明古國，

加以消滅，是**人為因素**。面對敵人侵略，希臘的防衛縱深嚴重不足，也缺乏堅強的城堡、長城。197BC，希臘被羅馬所征服，成為羅馬的一省；後來又被土耳其帝國統治至 1821 希臘獨立戰爭為止。但希臘所創造出來的文明，不但成為西方文明的主要支柱之一，也被許多與國家所效法。

## 參考文獻

1. Kerrigan, Michael (2001), *Ancient Greece and the Mediterranean*, BBC Worldwide. 其漢文本由許瓊瑩譯，時報文化出版，台北市。
2. Liddel, Peter (2006), *Ancient Greece, Part 1 of The Rise and Fall of the Classical World, 2500BC-600AD*, 2nd Book of *The History of Europe*, The General Editor: John Stevenson, Published by Mitchell Beazley, London.
3. McIntosh, Jane ; Twist, Clint (2001), *Civilizations: The Ten Thousand Years of Ancient History*. BBC Worldwide. 其漢文本由余幼珊、郭乃嘉、朱孟勳譯 (2003)，時報文化出版，台北市。
4. Wikipedia, the free encyclopedia. 





# 亞洲土木工程聯盟

## 第三十二屆執行委員會 32<sup>nd</sup> ECM

### 尼泊爾加德滿都會議紀實

謝啟萬／國際關係委員會 主任委員、國立屏東科技大學 教授

王華弘／國際關係委員會 副主任委員、明新科技大學 教授

鄭錦桐／財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 副主任

包括我國在內的五個土木工程學會所創立的亞洲土木工程聯盟 (Asian Civil Engineering Coordination Council, 簡稱 ACECC), 自 2016 年起由日本土木工程學會擔任為期三年的主席團。今年於 4 月 22 ~ 25 日假尼泊爾首都加德滿都的「雅安亞提飯店」(Yak & Yeti Hotel), 首次由尼泊爾工程師協會 (Nepal Engineers' Association, NEA) 擔任主辦單位, 辦理第 32 屆執行委員會 (32<sup>nd</sup> ECM)。在目前十三個會員國中, 除了澳洲代表因個人簽證問題缺席之外, 其他十二國、超過四十位代表出席與會。本次會議與歷年相比, 最特別的活動就是在會議正式議程之前, 由我國所主辦的「未來領袖論壇」(Future Leader Forum, FLF) 活動, 以及在大會重要議程結束之後為期半天的第 21 項技術委員會 (TC-21), 以「以跨領域技術建構防災復原的決策機制」(Trans-disciplinary Approach for Building Societal Resilience to Disasters - Scientific Knowledge Based Decision Making Schemes for Disaster Reduction) 為主題, 在尼泊爾當地辦理研習, 吸引當地產官學研各界參加。

亞洲土木工程聯盟 13 個代表不同經濟地域 (Economic Region) 的會員, 包括美國土木工程學會 (American Society of Civil Engineers, ASCE)、台灣的土水學會 (Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering, CICHE)、澳洲工程師協會 (Engineering Australia, EA)、印尼土木結構工程師協會 (Indonesian Society of Civil and structural Engineers, HAKI)、印度土木工程學院 (Institution of Civil Engineers-India, ICE (I))、孟加拉工程師學院 (Institution of Engineers-Bangladesh, IEB)、巴基斯坦工程師學院 (Institution of



圖 1 CICHE 會員合影

Engineers-Pakistan IEP)、日本土木工程師學會 (Japan Society of Civil Engineers, JSCE)、尼泊爾工程師協會 (Nepal Engineers' Association, NEA)、蒙古土木工程師協會 (Mongolian Association of Civil Engineers, MACE)、菲律賓土木工程師學會 (Philippine Institute of Civil Engineers, PICE)、韓國土木工程師學會 (Korean Society of Civil Engineers, KSCE) 與越南土木工程協會聯盟 (Vietnam Federation of Civil Engineering Associations, VFCFA) 等共同組成。過去三年來不斷地積極邀請包含: 新加坡、泰國、馬來西亞及斯里蘭卡等國家之土木工程師組織加入。由於亞洲土木聯盟含括的範圍廣闊, 預期未來俄羅斯及中國大陸等專業工程師組織也將陸續受邀加入, 對於我國創始會員國身份權益的影響, 值得各方持續關注。

除了每三年一次的 CECAR 大會外, ACECC 本身每年召開二次為期 2 天的例行會議, 一次約在年初, 一次約在年尾。會議地點為兼顧各會員國參與的公平性, 今年首次在人均所得僅 700 美元的尼泊爾舉行。我國不但為正式會員, 且定期繳納會員費用, 長期以來參與的深

度仍需要向日本看齊。下一次大會（33<sup>rd</sup> ECM）已規劃今年 9 月 21 ~ 23 日在蒙古的首都烏蘭巴托舉行，繼 33<sup>rd</sup> ECM 在烏蘭巴托之後，2018 年 4 月份將在越南河內舉行 34<sup>th</sup> ECM、2018 年的 9 月份在澳洲雪梨舉行 35<sup>th</sup> ECM。2019 年的 4 月，將會由日本土木工程師學會在日本東京承辦第八屆 CECAR8，預期在 2019 年東京奧運之前，將掀起各項工程建設參觀的高潮。我國不但為創始會員國，歷年來均積極貢獻，踴躍出席會議從未缺席，本次會議亦不例外，除了今年多了一位青年工程師代表徐梓隆先生參加「Future Leader Forum」(FLF) 之外，本次大會更有目前任職於中興工程顧問社擔任防災科技研究中心副主任鄭錦桐博士，同時也兼具台灣防災產業協會秘書長身份，除應邀於 TC-21 研習活動擔任演講者，也積極建立人脈網絡尋求國內防災產業的海外市場拓展機會。而本學會延續過去多項技術委員會提案的優良傳統，今年度由國立屏東科技大學謝啟萬教授，向大會申請成立第 23 項技術委員會。這項以「地工合成材料應用於各項土木工程之領域」

(Application of Geosynthetic for Various Civil Engineering Disciplines) 為題的 TC-23 技術委員會，預期在未來三年期間，分享我國相關地工合成材料的實驗及研發成果，在國家新南向政策的架構下，獲得向亞洲土木工程聯盟各會員國的技術缺口需求調查及技術轉移商機。

## 4 月 21 日「未來領袖論壇」 (Future Leader Forum, FLF) 活動

有鑑於亞洲土木工程聯盟自 1998 年成立以來，不但組織已趨成熟，會員國及歷年參加會議代表都相當資深，但對於青年一代工程師參與發展國際組織的機會甚少。為力求國際組織長遠發展，由我國在 2013 年 2 月 22 日在台北舉行第 18 屆「規劃委員會會議」(PCM) 會議時，正式以「培育新一代工程師委員會」(Cultivating the Generation of Engineers Committee) 為名成立委員會，由王華弘教授擔任主任委員，並於第 24 屆執行委員會會議委員會獲准成立。2014 年我國曾派六位青年工程師參加在日本東京舉行的大會，2015 年我國更組團由 17 位青年工程師前往韓國群山參加會議，增加青年學生參與國際組織運作的觀摩機會，成效受到國際高度肯定。就在 2016 年 8 月底夏威夷會議中決定，支持王華弘主任委員辦理跨國青年工程師正式的交流。於是委員會自去年 10 月起向 13 個會員國徵求提名選派青年工程師代表，在今年年初共獲得 10 個國家回應。最後，在 4 月 21 日晚間，



圖 2 「未來領袖論壇」(Future Leader Forum, FLF) 合影

安排青年工程師領袖齊聚一堂，除了每一位代表就各自的專業發表十分鐘演說，更將在未來集結各國的青年工程師，針對亞洲土木工程聯盟的網頁製作、網路聯繫以及未來如何增加國際組織之影響力。此次參加的青年工程師代表，均使出渾身解數。最後，由於辦理成效良好，所有青年工程師代表應邀在最後一天會議結束前，向全體執行委員會成員發表演說。由我國的代表徐梓隆先生，透過製作精美的投影片，不但介紹所有青年工程師與會成員，更總結了此次會議所學，在大會結束之前便已經創立了網路臉書社團，各國工程師代表將持續在網路上保持聯繫。

## 4 月 22 日 ACECC 21<sup>st</sup> TCCM、24<sup>th</sup> PCM

亞洲土木聯盟執行委員會會議開議的第一天，首先召開第 21 次「技術協調委員會會議」(TCCM)，由日籍 Masaaki Nakano 主持，首先聽取目前 8 項正在進行的技術委員會 (Technical Committee) 的代表以口頭方式作進度報告。本學會目前參與的 8 項技術委員會中，由國立台灣大學謝尚賢教授擔任第 13 項「建築資訊模型」(TC-13 Building Information Modeling, BIM) 技術委員會之共同主持人，與韓國代表負責推廣相關技術的研發和進展。目前由美國提出的第 14 項「永續基礎建設」(Sustainable Infrastructure) 技術委員會，計畫廣徵參與夥伴，請學會會員凡對此一議題有興趣深入參與者請逕洽學會秘書處。而過去本學會也曾參與多項技術研究案，對於會員國家共同發展議題的關注，提供了技術移轉和人才培育等多重貢獻。為了強化本學會貢獻並且增加在聯盟裡的重要性，今年度由謝啟萬教授向大會書面申請成立「地工合成材料應用於各項土木工程之領域」技術委員會，事實上是將我國及謝教授個人目前已經在國際地工材料聯盟獲得的人脈和資源貢獻給大會，因此





圖 3 我會代表國際關係委員會主任委員謝啟萬教授及鄭錦桐博士於議場合影

獲得當場全體委員投票一致通過，成為大會第 23 項技術委員會。這項技術委員會提案意義非凡，不但是近十年來首次由本學會主導的委員會，服膺當前國家新南向的政策，更重要的是本學會歷經 2007 年曾經在台北市辦理 CECAR4 之後，透過主動提案再次顯示重返亞洲土木工程聯盟，並且逐漸擴大在聯盟影響力的宣示。

下午舉行第 24 屆「規劃委員會」(PCM)，會議由日籍的 Mitsu Okamura 教授擔任主席，除了針對「培育下一代工程師」(Cultivating the Next Generation of Engineers Committee) 委員會此次辦理的成功當眾獲得各界的肯定之外，未來各會員國將持續支持擴大參與。目前已經和下一屆辦理會議的蒙古代表確認，將在今年 9 月 20 日於首都烏蘭巴托舉行第二次的青年領袖論壇，透過這篇記錄分享的同時，也鼓勵凡有意願參與的 40 歲以下年輕工程師直接與王華弘主任委員連繫。本次會議中有兩個議案爭議最大，其一是由美國主導的下一屆「評獎委員會」，在未來頒發亞洲土木工程聯盟大獎時，是否依照申請專案國家的經濟規模區分，並是否考慮所有提名者全都獲獎等細節，最後並未做出完整結論。主要原因是在 13 個聯盟經濟體中，明顯地依照世界銀行公佈的國民生產毛額來看，包括我國在內的台、美、澳、日、韓等五國同屬一定規模以上開發的國家，歷年來因為美國及澳洲都不在亞洲建設，所以無案可提；因此每屆獲獎都是由台、日、韓等三國輪流，致使其他八個國家毫無機會獲獎。未來在評獎委員會的工作，大會賦予一項極重要的任務，便是規劃出合適其他經濟體參與的申請計畫規格，並且公平地讓亞洲土木工程聯盟獲獎的殊榮，能夠讓所有會員有機會。

## 4 月 23 日 ACECC 32<sup>nd</sup> ECM

第 32 屆執行委員會會議在現任日籍主席 Osamu Kusakabe 教授的帶領下，除了通過前一天所決議的事項之外，也通過了去年 CECAR7 的總結報告、東京 CECAR8 的籌備狀況、祕書處的會務報告等。最重要、同時也是爭議最大的議題便在未來亞洲土木工程聯盟組織的發展

(Future ACECC Organization)。這個議題又分為兩項，第一是主席請問大家是否支持每一個經濟體，只有一個投票權。這個問題的表面是很合理的，但是事實上議題下有另外一層意義。長久以來，在亞洲土木工程聯盟內，代表印度的其實並不是被認為是具備代表性的學會，反而是一所遠距教學並授予學位的私人學院所代表。過去無論是美國或是日本，已經不只一次前往最具代表性的印度工程師學會 (India Engineer Institute, IEI) 拜會，邀請 IEI 成為亞洲土木工程聯盟印度的代表組織，但是這樣的做法容易在未確定 IEI 加入意願之前，可能影響現在自認代表印度的組織反感而悍然退出。因此，檯面上討論「一個經濟體，有一個投票權」的絃外之音，就是默許一個經濟體，將可以容許兩個以上的組織代表一個經濟體，而無論有多少同一經濟體內的組織參加亞洲土木工程聯盟，聯盟本身都不排除接受。主席萬萬沒有想到，在投票的討論過程中，所有會員國表態清一色支持現在代表印度的學院，也讓主席很沒面子。事實上，這項議題最終也將影響我國，因為在許多國際上「一個中國」的政策認知，將來對台灣特別是本學會在聯盟內的影響不容小覷。依據可靠資訊來源顯示，日本和美國也多次向對岸大陸招手，計畫邀請中國大陸進入亞洲土木工程聯盟。其實，亞洲土木工程聯盟倘若沒有最大經濟體加入，說真的其代表性也會受到質疑；然而，眾所周知，即使在非政府組織為基本原則的任何國際組織，一旦對岸介入下，會先讓本學會的權益受到影響。在此藉本報導分享大會資訊真正的目的之一，也在廣泛地呼籲各產官學研界廣泛的認知這個潛在問題的變化。另一項議題是主席團計畫，依照現有的憲章架構下，捨去 13 個會員國的決策機制、而成立真正的常務執行委員會。換句話說，在現有的 13 個會員國開會的情況下，幾乎所有的行政效率都耗費在冗長的背景說明或是解釋上，當整體國際組織朝向越來越龐大，所牽涉的組織越來越多，即使討論的議題不變，在一個經濟體一票的情況下，重大關鍵議題的投票便很難超過大多數而獲得通過。日本主席團期待能更有效地運用決策機制，透過既有憲章內的條文，建立由五個國家組成的常務執行委員會來主導議題，原意良善但是溝通不足，導致未獲得大多數國家的同意而擱置。在這項議題的處理上，看得出日本操之過急的心態，又未能拉下身段私下溝通運作，導致整個議案遭到否決，留待未來再議。整個執行委員會準時在中午十二時結束之前，所有會員聆聽青年工程師代表的演說，在全體大合照後互道珍重再見。



圖 4 亞洲土木工程聯盟 32<sup>nd</sup> ECM 全體出席代表大合照

## 4 月 24 日 TC-21 Symposium

TC-21 成立宗旨是希望能跨領域合作與思考，期能建構抗災的韌性社會結構。科學家、工程師、社會學家、心理學家、政策決策者 … 多方的整合與合作進行災害管理，包括災前整備、災中應變、平時減災與災後重建等工作。希望促進跨領域參與防災，建構良好的科學知識基礎的防災決策合作程序。

這次 TC-21 Symposium 以 “Scientific Knowledge-Based Decision-Making (KBDM) Schemes for Disaster Risk Reduction” 為主題。4 月 24 日早上 TC-21 舉辦尼泊爾韌性社區 (resilience community) 參訪後的利害關係人 (stakeholder) 討論會議，由尼泊爾籍目前任教於日本愛媛大學 (Ehime University) 的 Prof. Netra Prakash 擔任主席，邀請中央、地方、軍隊、大學教授、NGO 團體與社區里民、共同討論 2015 年後尼泊爾地震的重建課題。尼泊爾地震災害重建，目前遭遇的問題重點如下：

1. 災害發生後，災區資源分配不均勻，資源需求盤點不容易，甚至物資仍無法送達災民。目前為止，失業人口仍持續增加，民生生計恢復困難。
2. 目前道路與維生管線尚未恢復，道路品質十分惡劣。飲用水管線系統正在進行佈建中，進度十分緩慢，導致於現況道路交通阻塞問題嚴重與塵土飛揚。
3. 居民房屋倒塌後，很多自行原地重建，仍以磚造房子為主，是否符合新建築法規仍存疑。受限於尼泊爾當地營建技術，即使建築法規修訂，還是難以落實與審核。工程耐震設計規範可以更新，但是老舊結構物如何補強？民眾會有意願補強嗎？

4. 防災社區營造必須自己的村落內有防災意識，外來協助的人不被信任。
5. 軍隊救災時設備仍不足，經驗也不夠，需要再加強訓練，期望各國救災經驗可以協助尼泊爾。
6. NGO 目前可以救急，但是無法救窮，如何創造災區的經濟活絡是一大挑戰。
7. 科學家有歷史地震災害事件威脅尼泊爾的認知，但是政府與民眾的地震防災教育與防災意識仍不普及。
8. 許多古蹟於 2015 年地震後倒塌，如何修復古蹟，以及針對古蹟進行結構物補強，目前仍十分困難。

依據 4 月 24 日上午的討論，TC-21 成員更加瞭解目前尼泊爾的重建需求以及遭遇困難，下午時間於 TC-21 會議中邀請巴基斯坦、日本、越南、印尼、菲律賓、台灣專家進行韌性社區之重建經驗分享。許多亞洲國家同樣遭受極端氣候的威脅嚴重，發生颱風與坡地災害的強度與頻率也增加，並且近期亞洲各國地震災害頻仍，天災已然是亞洲國家共同的挑戰。



圖 5 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心鄭錦桐博士，其代表台灣 (CICHE) 參與 TC-21 會議的籌辦與各國成員合影



因為各國之經濟與工程技術水平不一致，但是大部分災害重建困難的地區，大多發生在基礎建設相對不足的偏鄉以及相對貧窮之地區，尤其面對原住民的生活文化差異，重建的技術也必須要因地制宜；另外面對世界文化遺產古蹟重建與保存，其重建與耐震課題也是一大考驗。巴基斯坦、日本、越南、印尼、菲律賓等各國分享之重點節錄如下：

1. Dr. Salosh H. Lodi 分享巴基斯坦在 2005 Kashmir Earthquake 後重建之困難，當地民眾必須要以自己的建築特色方式重建，所以科學家與工程師必須協助如何重建以滿足災民的需求。
2. Dr. Kien Hoang Pham 分享越南國家因海岸線 3,000 餘公里長，近年受到氣候變遷影響，威脅 31% 人口以及 48% GDP 的經濟活動，暴潮以及侵蝕嚴重，是其防災重要課題。
3. Dr. Harkunti Rahayuz 分享印尼因為近期極端氣候下，都會地區於清晨通勤時間，突然上游暴雨造成下游都會地區洪水暴漲，塞車嚴重以及汽車泡水拋錨之獨特災害特行問題，早期都市開發區域排水設計不足，河流通流斷面也不足。
4. Mr. Masaru Arakida 分享日本熊本地震興建於 1604 年，2016 年熊本地震倒塌後，希望能遵照古法進行重建，同時將古城石牆，每一石塊能回復原來的位置。目前日本許多城堡的古蹟磚瓦已經編號以及數位化模型建檔，避免後續災害後無法維持原來資產而重建。
5. Mr. Leonard Tedence 分享菲律賓於 2013 年遭受近代記錄最強的強烈海燕颱風，造成一百萬戶受損，6 千餘人死亡以及 1 千餘人失蹤，重建尚在進行，遭遇科學與工程、中央與地方民意整合問題。
6. 鄭錦桐博士以 CICHE 名義代表台灣參與 TC-21 會議，分享台灣於 2009 年面對莫拉克颱風重大衝擊的新山村與禮納里兩個村落的抗災與重建經驗：
  - (1) 建立新山村的抗災韌性社區：莫拉克颱風重創了南投縣水里鄉新山村，有 800 公尺路基流失，壽山橋坍塌 250 公尺，更造成 21 戶民宅掉落溪水，10 餘戶懸空。所幸因為平時的防災專員（村長林美玲）訓練充實，加上汛期前整備工作村民參與演練確實，養成居民防災意識，加上村長林美玲提前半夜 2:00am 逐戶勸離疏散至安全避難處所，因而避免

了半夜 3:00am 強降雨下的重大災情發生前。

- (2) 居民參與禮納里的災後重建：因為面對莫拉克颱風災害重大的衝擊後，瑪家村和好茶村，以及大社村遭受嚴重損失，家園無法恢復，三個村子內有泰雅族與魯凱族，有其各自文化與信仰，該災區重建由世界展望會協助規劃與設計，其兼顧生活、生計、生態、文化、宗教的需求，過程由下而上的討論，雖然花了 200 天的時間，比起其他重建村落多了一倍的時間，但是獲得民眾極高評價，讓災民真正安全與安心。

4 月 24 日下午 TC-21 針對會議主題經各國分享後，講者於台前與各位與會來賓座談，摘錄重要結論如下：

1. 為了達成跨領域（Transdisciplinary）投入防災必須要先尊重災害（原住民）的意識，由下而上的充分討論與溝通，逐步瞭解需求很重要。災民的生活必須與土地產生感情。
2. 建議成立國家層級長期的防災決策組織，必須遴選公正受信賴的跨產官學研領域的專家參與，彼此互相尊重專業，定期召開會議，制訂國家防災政策白皮書。專業應該涵蓋科學家、工程師、社會學家、NGO、醫療人員、消防人員、政策法律人員、企業工協會代表、中央層級與地方層級代表…等等。
3. 國家制訂災害防救相關法案，定義各部會之災害管理權責，非只有救災功能，必須要有定義政府組織的災害風險管理（災前整備、平時減災、災中應變、災後復救）功能。



圖 6 TC-21 會議現場約有 250 名聽眾，聽眾問題熱烈。



鄭錦桐博士演講會後與 TC-21 共同主席 Dr. Kuniyoshi Takeuchi 合影。



圖 7 尼泊爾 2015 年震區復建工程參訪

4. 科學家研究各項天災之上游端資訊（災害潛勢圖，淹水、地震、山崩 …），研究各項天災的發生地點、規模、頻率後，工程師可以根據保全對象暴露（exposure）狀況，進而風險辨識與評估其風險程度，提出減災策略。然而工程設施無法解決所有天災造成之威脅，災不能防（prevention）但是可以減（reduction），必須部分由工程設計阻擋常見的災害。另一方面，透過社會學家一同參與潛在災區的民眾防災意識培養（防災社區教育），以及風險轉移（保險）達成降低損失。政策決策者，必須要能協助各角色的防災分工，並且立法讓防災有補助誘因以及利害關係人的責任。
5. 大規模災害發生後，災區的物資配送管理，警消醫療角色之分工，以及 NGO 的管理 … 等等，都是十分重要的課題。
6. 與會來賓都希望各國的防災跨領域合作，以及防災決策組織合作之經驗可以持續分享讓大家參考。

## 學會長期經營的優勢與發展


當前政府積極推動新南向政策，並且陸續擬定了「政策綱領」、「推動計畫」以及「細部工作計畫」。就在東南亞和南亞地區，世界銀行已經宣布這些新興是未來的世界經濟動能，而這些個地區對台灣的工程產業並不陌生，透過非政府的專業工程師組織，台灣應該可以在新興國家成長的關鍵時機扮演重要的角色。許多學校以「加強國際交流」成為近年招收外籍生或是提升競爭力的策略，而多年來行政院公共工程委員會也推動「促進產業全球化」方案，如今這個亞洲土木工程聯盟的平台，不但是前輩所搭橋鋪路建立既有的平台，更是當前對岸工程師組織尚未著墨的處女地。

站在學會的立場，不但強化亞洲土木工程聯盟的

參與是積極支持政府施政方針的行動，事實上，透過學會多年來建立的成熟人脈資源，更能有效地推動工程產業國際化。正當過去一年兩度的會議不斷持續進行，看見許多國家如日本、美國和韓國等大國，從主導議程和發展方向，十足發揮其影響力。我國更在亞洲的地緣便利，在國際組織裡，常常聽見各國代表仰慕台灣技術的進步，對於工程界的成就讚譽有加，因此我國應當更加緊腳步在民間專業、學術和工程技術的交流上，盡上一份國際組織成員的義務。

## 海外市場變化的觀察與建議

本文的分享也冀望學會內成員，積極投入國際組織各技術委員會的運作，將亞洲土木工程聯盟所提供的國際舞台，成為工程界爭取東協十國相關商機和國際交流建立人才培育的資源。針對台灣工程顧問業海外市場經營之戰略建議：

1. 日本工營積極參與國際事務（如 TC-21），透過擔任國際重要學協會職務，可以與各國學術界與政府聯繫，進而蒐集開發中國家的最新防災工程產業的相關情報，廣結國際夥伴，其做法非常值得國內工程顧問公司學習，建議後續應積極拓展東南亞各國工程顧問公司的 MOU，並有實質的互訪交流，進一步積極促成實質業務合作。
2. 日本政府獲得東南亞國家商機情報之後，透過日本國際協力機構（Japan International Cooperation Agency, JICA）的經費支持，讓日本工程顧問業（如：日本工營）有許多工程業務之機會。建議未來國內工程顧問公司，可與日本一同進行海外業務之合作。
3. 日本目前於亞洲地區事務參與度僅次於中國大陸，對於國內顧問公司海外業務發展屬重要合作對象，藉由日本大型顧問公司之既有國際人脈與經驗，協助台灣工程顧問業發展海外業務，為目前較為可行方案之一。
4. 透過本次參訪，讓隨行之年輕工程師可增進國際視野與建立國際專業人脈，對於國內工程顧問業之國際業務與溝通能力提升，具有非常大之助益。
5. 建議工程顧問公司提供各大專院校的東南亞國家外籍生參與研究專案，提早建立建教合作關係，並且辦理參訪國內工程之營隊或辦理訓練課程，預先培養未來我國前進東南亞潛在工程產業的國際人才。 





# BRAVO!

## Nepal FLF! READY TO GO!

徐梓隆 / 中鼎工程股份有限公司台中LNG專案工地控制 經理

### Background

The story was started from a FB message from my teacher Prof. Edward Wang, who is the vice committee chairman of Commission of Youth Engineer. Then I realized there will be an event (FLF, future leader forum) which would be held in Nepal where the country I would like to visit. After sending the application form to the host then I got the acceptance inform and invitation when was four months before the event.

### FLF Purpose and Our Responsibility

The purpose of the FLF is to encourage young engineers whose participants from ACECC's 14 countries (Taiwan, Japan, Korea, USA, and etc.) ,young engineers can get together and learn from one another, moreover the youths can use our creativity and youths' way to make ACECC become more well and have more continuous cooperation in the near future. I am on the behalf of Taiwan and convener of the participants. In order to contact more easily, therefore I used FB to create a FLF's fan's club (Fig. 1), and most of participants has been contacted.

### The Best Speeches

Most of participants are engineers, researchers, professor and we have to prepare a 10 minutes presentation in the event's beginning. My presentation's topic is "Working in LNG site as a control engineer" (Fig. 2) which introduced my background and growth from a student majored in construction management becoming a site control engineer. It was my first time to give speech before more than 50 foreign senior people thus I hope the contents can be interesting which can leave deep impression to my listener, therefore I share the features about my project like utilizing BIM to do simulation of scaffolding for reducing the cost or simulating the construction progress of piling with 4D, and choosing modular equipment to reduce the installation and hoisting risk. I share my really practical experiences like how to achieve a successful project in the construction team by "Cooperation", "Information Integration", "Communication", and "No Pain No Gain". In the end, I share Taiwanese site cultures and the site reunion which held by me.

In addition I also learned priceless speeches from other participants such as their "Researching Experience", "Volunteer to Rescue Sea Disaster House", the "Global PPP project about Bridge from Turkey to Europe" and etc. The most inspired speech was presented by the chair of ACECC Prof. Osamu



Fig. 1 Fans club of FLF



Fig. 2 Presentation: Working in LNG site as a control engineer

Kusakabe (Fig. 3) whom introduced the "Career Development and Job Hunting Tips for graduating students and young professionals". He talked about all of his working, studying, designing, practical, and living experiences in his lifetime. I can't understand how he can arrange his life such meaningful, verified, hardworking and beautiful! At last, he shared his "4" living realization philosophy. The first is "Young people should know the future trend". The second is "Find a mentor who can lead your life". The third is "Find something which the important in your life". The last is "Share to society what you can contribute". Until now, I really feel appreciated I can join tonight's speech, I don't know how to live exactly before, in the past, I used to keep working and working. Now, I know I should take more efforts on increasing working experience, I also find our choices are also important, and I can realize I am able to share to our society from now on!



Fig. 3 Presenter Ariful from ASCE and Best speech by Prof. Osamu Kusakabe

### Site Survey

The event's agenda was around 3 days (2017/4/22 ~ 2017/4/24) and really intensive, the first day we had a Site survey to Sundarijal (Kathmandu) water treatment plant (Fig. 4), this project will supply the 510 MLB of drinking water to the Kathmandu Valley 3 million people through 2030. Phase 1 of the project will bring in 170 MLD by September 2017.

From the site survey we learned the importance about Nepal water supply issue, and how this project team managed and control the site's progress, QC, HSE. Provision of safe drinking water will address current adverse health, social, cultural, environmental and economic impacts caused by the critical shortage of safe drinking water. I feel familiar with site's any conditions because I work in site and construct the infrastructure as well, if the project can't be finished on time the citizens' life will be affected. I also experience the site's management differences from Nepal and Taiwan, this is such a good lesson to me!



Fig. 4 Site survey Sundarijal water treatment plant project

### Together we built, by all Future leaders

After the site survey we went to the NEA (Nepal Engineer's Association) central office (Fig. 5), the NEA engineers prepare a good reception banquet to us. We introduced ourselves' background and working experience to one another to cross boundaries, and we discussed what our future expectations would be. We conclude that our destination is to have a platform to gather our countries' young people continuously. Everyone shared own ideas, we hoped this platform can share knowledge, working experiences, interesting civil phenomenon any involved with civil engineering.



Fig. 5 Antendee's card, NEA office, group photo with future leaders

The 2nd day, we joined the 21TCCM and 26 PCM as observers (Fig. 6). In the evening, we had a dinner reunion and exchanged our well-prepared gifts. And so on, we discussed our ideas with Prof. Edward Wong who organized the FLF. Prof. Wong totally agreed our opinions and he encouraged us to prepare a presentation to all representatives in tomorrow morning. Therefore, we became a team we distributed the tasks for the presentation, someone contributed the ideas, someone integrated the slides. The most touched part was Ariful (from Bengal), Cris (from Philippine) and I stayed up late for making the slides, we shared our feedbacks and try to conclude how meaningful of this event. Ariful said he would like to share this experience to his students and Cris also mentioned what he learned from the seniors. Around 3 am, finally we finished the slides and enjoyed some snacks with the soccer game to celebrate the completeness.

The last day, all FLF attendees delivered their feedbacks to the ACECC's representatives, and we also gave a successful presentation.

Ali and I were on the behalf of the FLF attendees to present our feedbacks and future expectations (Fig. 7). About the feedbacks, the first was what do we build, the answer is "Networking", we exchanged our name cards during these days, and we can keep in touch with each other no matter where we are through the email, facebook and apps. The



Fig. 6 Joined meeting as observer





Fig. 7 Sharing the stories, suggestions and review our experiences

second was what do we gather, the answer is “knowledge”, we exchanged our opinions and kept absorbing the experiences from the seniors. The last was what do we find, the answer is “Inspiration”, we had many chances to associate with senior engineers, they encouraged us keep thinking, trying, and doing, if we do our best to contribute ourselves and we will gain and see the more beautiful world. We had 3 future expectations which was “reinforce e-community” to keep associate with internet, “have local engineering student chapters” to understand and discuss the local engineers’ working culture and share experiences, “create more leaders through FLF program” to let more and more young people join us and do our best to have a better world!

### Multi-culture Experience

The Nepal culture is much different from Taiwan like language, food, building and religions (Fig. 8), but we still have similar culture! Let’s take a look!

The sincere language: I had a good reception from the NEA partner from the word “Namaste”. Namaste is the way of

greeting in Nepal, the word is said with palms of the hands held together, with fingers pointing up and touching the chin and with a slight bow. And you can see people smile sincerely with Namaste in Nepal.

The special food: The Nepalese usually eats the masala, before I visited Nepal, I thought Nepalese only eats curry, but actually curry is only a kind of masala which hot and spicy, lots of Nepalese masala dishes are very mild and use yogurt or cream. We also tried the food called momo which similar the Taiwanese steamed dumpling.

The amazing tour: The NEA partners also arranged some famous tourism spots for us like Bauddhanath, Swayambhunath, Kathmandu and Bhaktapur Durbar Square.

### Conclusion

I really cherish the friendships we get through FLF (Fig. 9), also the new partners from Taiwan as experts from different background. Most of all, I get priceless experiences from this event, and I learn how to communicate and connect people with a variety of ways.

During this event, I get so many encouragements from my partners and senior engineers, I still remember after our presentation that one of Japan engineers who told me that our results are better than his expectations even more than 100 times, and he said he is really happy to know young people have the passion to make our future become better! Last but not the last, I want to thank NEA local friends who treating us like the families, and a million thanks will be never enough for me to thank NCCES and CICHE hold this event to us! Bravo! Nepal FLF!



Fig. 8 The beauty of Nepal culture: Building, food, and religions



Fig. 9 Group photos with senior Taiwan engineers and All Nepal FLF





茲附上廣告式樣一則  
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致  
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊  
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登地位	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

44.4  44.5  44.6  45.1  45.2  45.3 共 次  
(8月) (10月) (12月) (2月) (4月) (6月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；  
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據  
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)  
商號

負責人：

地 址：

廣告聯絡人：

電 話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: mandy@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款 帳號	0	0	0	3	0	6	7	8	金 額 新台幣 (小寫)	仟	萬	拾	萬	仟	佰	拾	元
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

報名費  
 繳納 \_\_\_\_\_ 研討會  
報名費 \_\_\_\_\_ 元

繳納會費  
 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本)  
 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版)  
請留 email: \_\_\_\_\_  
 初級會員年費 300元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期  
 新台幣 1,800元  
自第 \_\_\_\_\_ 卷第 \_\_\_\_\_ 期起，\_\_\_\_\_ 年期雙月刊 \_\_\_\_\_ 份

訂閱中國土木工程學刊，一年四期  
 國內·會員 新台幣 800元  
 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元  
 國外·個人 美金 40元  
 國外·機關團體 美金 100元  
自第 \_\_\_\_\_ 卷第 \_\_\_\_\_ 期起 \_\_\_\_\_ 年期學刊 \_\_\_\_\_ 份

收款戶名 社團法人中國土木工程學會

寄 款 人 主管：

姓 名

地 址

電 話

經辦局收款戳

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

◎ 寄款人請注意背面說明  
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名

存款金額

電腦紀錄

經辦局收款戳



# 社團法人中國土木工程學會

## 信用卡繳納通知書

姓名		款別 注：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費， <u>入會費一人僅需繳交一次</u>	報名費 <input type="checkbox"/> 繳納_____研討會 報名費_____元
會員證號碼			繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本) <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版) 請留 email: _____
身分證號碼			<input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元
卡別 <input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
信用卡卡號			訂閱中國土木水利工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
信用卡簽名欄最後三碼			白天聯絡電話
信用卡有效期限 (月/年)			通信地址
信用卡簽名			
繳費金額			

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

### 郵政劃撥存款收據

#### 注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

### 請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m<sup>2</sup> 模) 保管五年 (拾大)



# 中華工程股份有限公司

BES Engineering Corporation

● 福澤利人 創新價值

● 以人為本 至善生活

● 和諧 ● 至善 ● 共生



營造希望 建設幸福



<http://www.bes.com.tw>

TEL:886 2 8787-6687 台北市松山區東興路 12 號 6 樓 Add: 6F,12,Tunghsing Rd.,Taipei,Taiwan,R.O.C.



# 上益營造有限公司<甲級>

本公司在實事求是，按步就班，穩定成長的經營模式中，已獲得業界之肯定，並與業主（客戶）、供應商及銀行維持良好互動，相信再經過幾年的投注本業經營方式，將能在南台灣營造業界佔有一席之地。

本公司為求永續之經營，針對內部員工特別著重各項資歷完整訓練及新進員工的傳承，在具備各項營建證照下，要求各級幹部及員工隨時汲取新的工法，施工技術及營建管理技巧。如此造就多功能的服務態度及技能，以達到事半功倍的高效率營建施工組織，隨時保持戒備狀態，創造永續經營之基礎。

**業務範圍：**道路、橋涵、土方整地、工業區開發、下水道工程、土地改良、水土保持、水利工程（專營淨水廠及伏流水工程）、科技廠房、辦公大樓。

## 近年實績：



高屏堰上游傍河取用伏流水工程



高雄港前鎮商港區MCC倉庫聯絡道路新建工程



坪頂淨水場改善工程



高雄地區增設伏流水工程 — 竹寮集水管



台中市精機園區四萬噸配水池工程



台灣先進複材中心 (TACC-19) 廠房新建工程



高屏堰上游傍河取用伏流水模場工程



豐原場新設初沉池工程\_土建部份



屏東縣禮納里公共建築第一、三期工程



取得經濟部 103 年度公共工程優質獎 — 土建工程類



台灣世界展望會感謝狀

人力資源發展：冀望引進年輕，有企圖心土木、水利相關科系畢業者，歡迎加入本公司營建團隊。可具履歷自傳寄至本公司（或電洽），將會儘速與您聯絡。

## 上益營造有限公司

TEL：07-716-6180

FAX：07-716-6190

地址：高雄市苓雅區中正一路 120 號 8 樓之 4



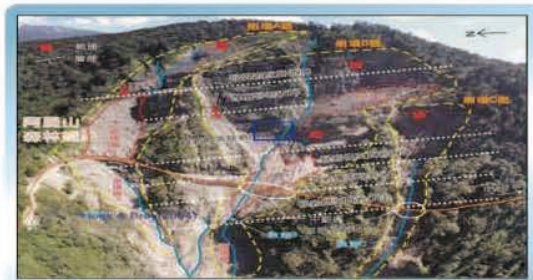


### 服務項目：

- 水利工程計畫之調查、測量、規劃、設計、監造  
Projects of Hydraulic Engineering
- 河川污染整治工程之調查、測量、規劃、設計、監造  
Stream Pollution Control Engineering
- 道路及橋樑工程之調查、測量、設計、監造  
Projects of Highway and Structure Engineering
- 環境保護工程及環境影響評估之調查、測量、規劃、設計、監造  
Environmental Protection Engineering and Environmental Impact Assessment
- 自來水及下水道工程之調查、測量、規劃、設計、監造  
Water Supply and Sewage Engineering
- 河海新生地工程之調查、測量、規劃、設計、監造  
Newborn Land Engineering in the Stream and Seashore
- 土地重劃工程之調查、測量、規劃、設計、監造  
Land Reform Engineering
- 地質調查及地質鑽探  
Geological Survey、Drilling and Testing
- 水工機械工程之規劃設計監造  
Hydraulic Structure and Mechanics
- 水土保持工程之調查、測量、規劃、設計、監造  
Water and Soil Conservation Engineering
- 景觀工程之調查、測量、規劃、設計、監造  
Landscape Engineering



曾文水庫防淤隧道工程



阿里山森林鐵路 58k+710~880 災害段地質調查復建規劃



河靜鋼大地沉陷監測計畫

臺中市東山路縣道 129 線 (D 標末至中興嶺段) 拓寬工程  
榮獲 105 年度公共工程品質優良獎 - 佳作

中庄調整池工程計畫 - 攔河堰工程  
榮獲 2015 年度公共工程金質獎水利類優等獎 優等



**黎明工程顧問股份有限公司**  
LIMING ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD

台灣台中市 408 南屯區大墩十七街 137 號 3 樓  
TEL : 886-4-23208051  
FAX : 886-4-23208025  
Http://www.limi.com.tw  
e-mail : limi@ms7.hinet.net

**黎明 (越南) 建設設計顧問有限公司**  
LIMING (VIET NAM) CONSULTANTS ARCHITECTURE COMPANY LIMITED  
12F 04A 184 LE DAI HANH ST.11TH DIST.HOCHIMINH CITY,VIET NAM  
TEL : +84-8-39621961

**黎明 (柬埔寨) 建設設計顧問有限公司**  
LEIBING (CAMBODIA) ENGINEERING CONSULTANTS COMPANY LIMITED  
No.515 Monivong Blvd, Boeung Keng Kong2,ChamKarmon PhnomPenh Cambodia  
TEL : +855-11666090



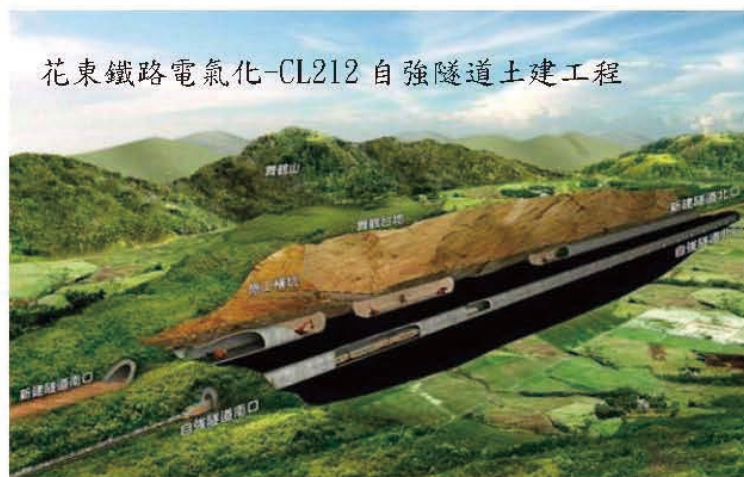
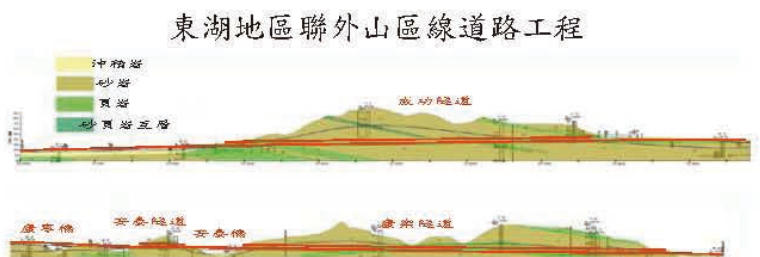
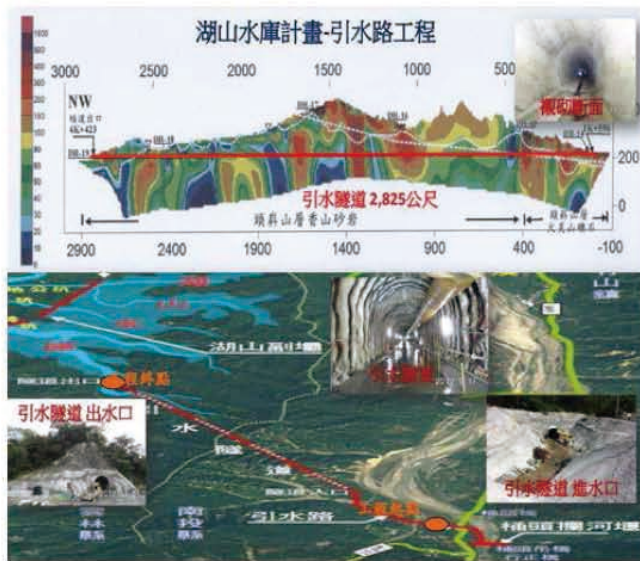


# 福清營造

FORTUNE CONSTRUCTION CO., LTD.

【多元服務 ● 基業長青】

64年創立至今，三十多年來秉持著基本專業，建立完善品質制度。



## 專業項目

- 古蹟修護、土木建築、高級別墅
- 工業廠房、辦公大樓、隧道工程
- 建築廢棄物處理工程

地址：11490 臺北市內湖區民權東路六段 160 號 10 樓

網址：<http://www.for-tune.com.tw> / 電話：(02)2796-3949 / 傳真：(02)2791-4241