



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

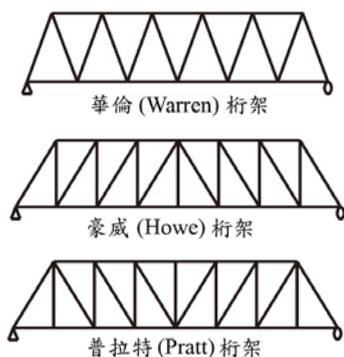


圖 2 常見桁架型式

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。

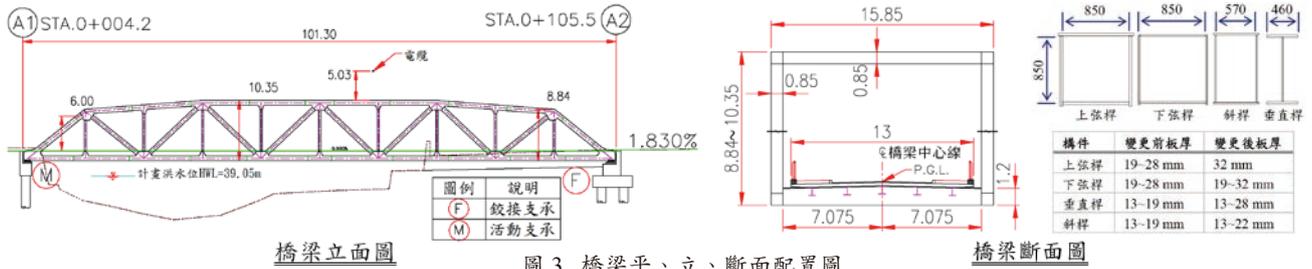
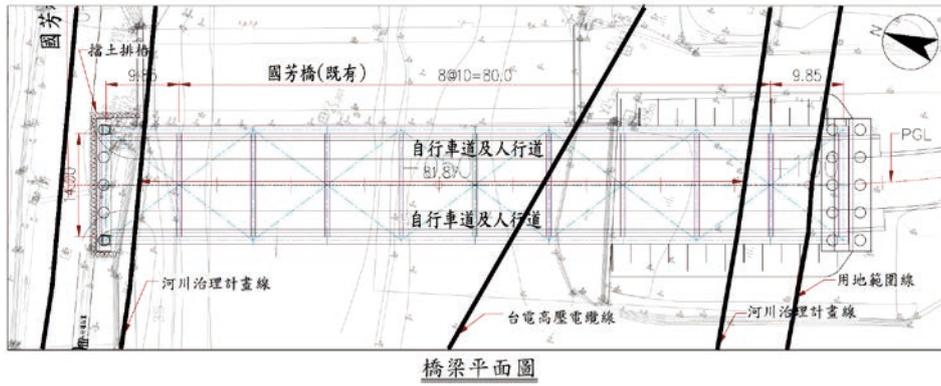


圖 3 橋梁平、立、斷面配置圖

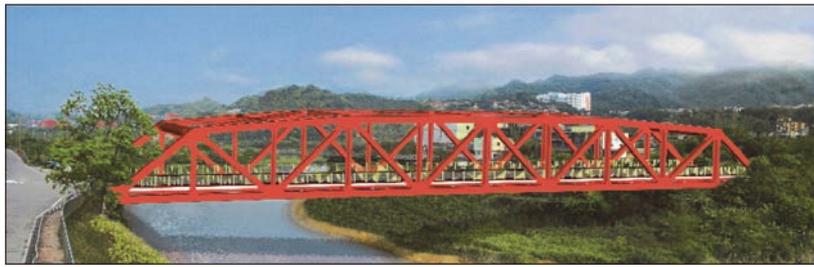


圖 4 橋梁完工透視圖

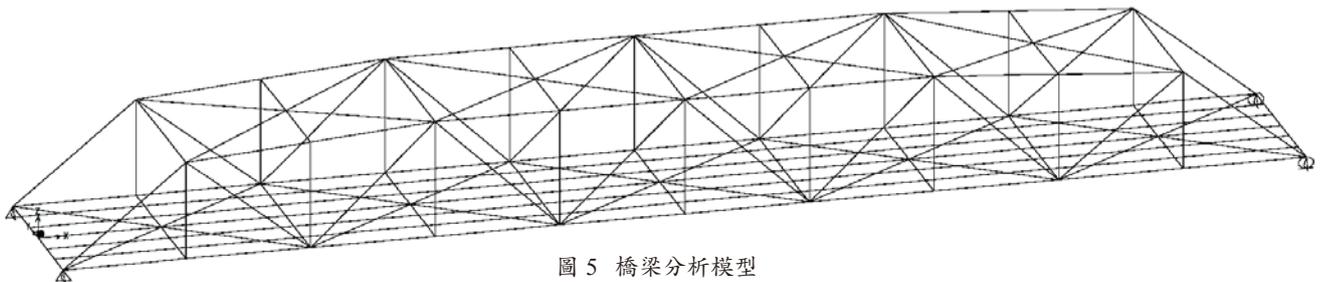


圖 5 橋梁分析模型

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/m²。

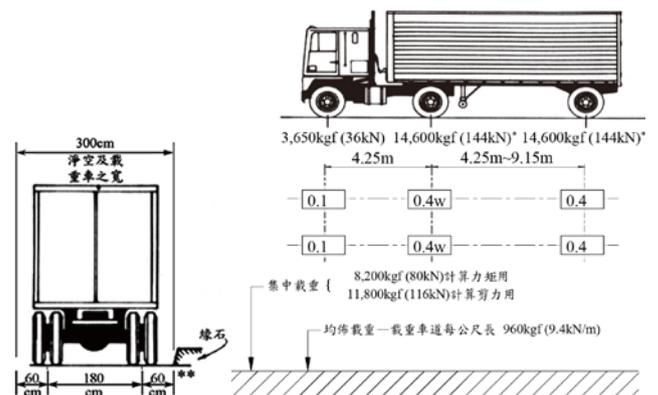
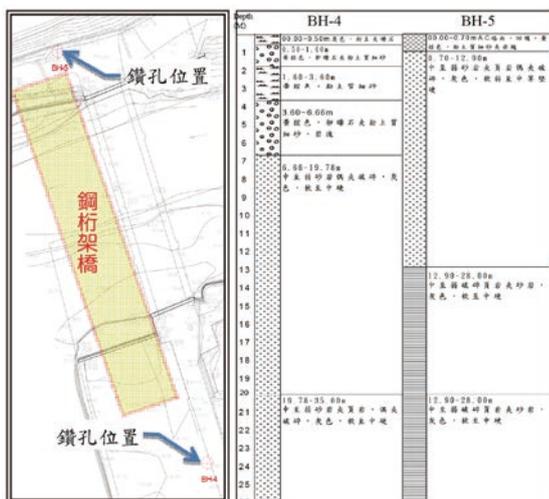


圖 6 HS20-44 標準貨車活載重

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。



鑽孔位置: BH-5 (A1橋台)

H_j	d_i	N_i	Type _i	V_{si}	d_i/v_{si}
0.7	0.7	1	回填	100.00	0.0070
12.9	12.2	50	砂質土	294.72	0.0414
30.0	17.1	50	砂質土	294.72	0.0580

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

→ $V_{S30}(=281) \text{ m/s} \geq 270 \text{ m/s}$
屬第一類地盤

鑽孔位置: BH-4 (A2橋台)

H_j	d_i	N_i	Type _i	V_{si}	d_i/v_{si}
0.5	0.5	1	回填	100.00	0.0050
3.6	3.1	13	砂質土	188.11	0.0165
6.6	3.0	50	砂質土	294.72	0.0102
30.0	23.4	50	砂質土	294.72	0.0794

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

→ $270 \text{ m/s} > V_{S30}(=270) \text{ m/s} \geq 180 \text{ m/s}$
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	
	$\sqrt{2R_a-1} = 1.528$	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	垂直向
	0.228	0.536	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

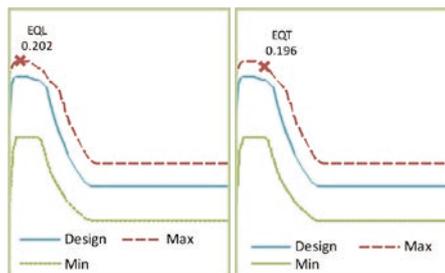


圖 8 規範靜力地震力計算

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；最大值为 0.97，位於中央處之上弦桿 U1 及端部垂直桿 V1。

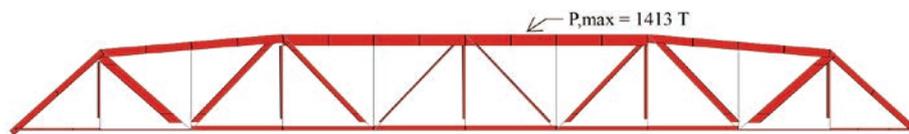


圖 9 主要弦構件自重軸力圖

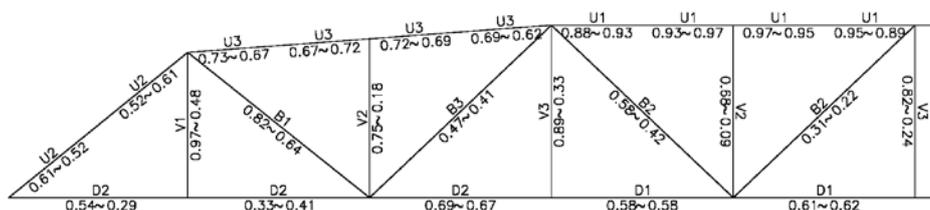
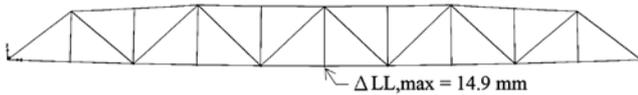


圖 10 構件應力檢核

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 = $L/1000 = 101 \text{ mm}$ 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 ϕ 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

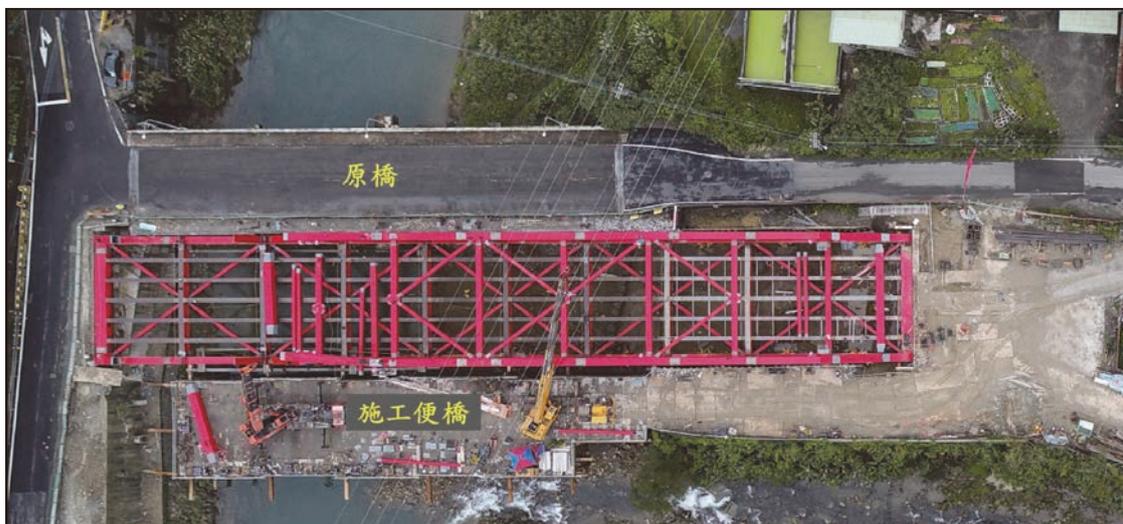


圖 11 國芳橋原橋、新橋及施工便橋



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)。

