

莫拉克風災台 18 線 71K 道路復建工程(芙谷峩橋)設計與施工

The Design and Construction of FKUO Bridge at Provincial Highway No 18 Near 71k After Morakot Typhoon

林曜滄¹ 曾榮川² 林正偉³ 林彥君³ 蔡建民³ 陳政君⁴ 賴世寶⁵ 蔡宗成⁶

1 台灣世曦工程顧問股份有限公司，第一結構部協理

2 台灣世曦工程顧問股份有限公司，第一結構部技術經理

3 台灣世曦工程顧問股份有限公司，第一結構部正工程師

4 台灣世曦工程顧問股份有限公司，第一結構部正工程師，dorit@ceci.com.tw

5 交通部公路總局第五區養護工程處，嘉太工務所主任

6 交通部公路總局第五區養護工程處，處長

摘要

近年來侵襲台灣地區之颱風常挾帶超紀錄的超大豪雨，導致山坡地崩塌、土石流侵蝕或是洪水沖刷，對橋梁及道路災害之破壞頻傳，嚴重影響民眾之生活與安全。2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風來襲，台灣南部山區受到颱風引進外圍環流的超大豪雨影響，橫跨嘉義縣番路鄉、竹崎鄉、阿里山鄉之台 18 線道路多處山壁崩塌、路基淘空流失，其中 71k 附近受到大規模順向坡滑動或圓弧型滑動損毀。由於該路段為台 18 線通往奮起湖、阿里山、玉山等區域之重要道路，沿線居民均仰賴該道路進出與運送農產品。因此，一條可讓沿線居民安全回家及維持生計的永久性道路是不可或缺的。災後配合永久性復建需求，於 71K 處跨越嚴重崩塌路段，配合地形地貌、地質條件及工期與經費等因素綜合考量，採用半穿式鋼拱橋(取名為芙谷峩橋)橋型，除景觀橋梁設施創造地標，也讓本道路行車動線更為順暢，達到確保區域道路的長期使用安全。由於該路段原有道路不寬，且位於崩塌區域，施工期間不僅要維持原有行車動線外，陡峭的山壁增加鋼梁吊裝施工的難度，惟在各單位不屈不撓的努力下，完成了本工程之架設，並於 2013 年元月通車。本文除對該路線方案及橋梁型式研選作說明外，主要係針對本跨越橋的結構設計及鋼構製作與現場吊裝施工進行探討及介紹，以提供未來道路災害復建之參考。

關鍵字：台 18 線、莫拉克、芙谷峩橋、半穿式鋼拱橋、颱風災害

前言

台灣位處環太平洋地震帶及颱風路徑要衝，在地震造成山坡地地表崩裂鬆動，及颱

風豪雨侵襲等反覆作用下，加上極端氣候之影響，全球的極端氣候影響，近年來台灣地區遭受颱風挾帶之超紀錄的豪雨侵襲，導致山坡地崩塌、土石流侵蝕或是洪水沖刷，對橋梁及道路災害之破壞頻傳，嚴重影響民眾之生活與安全。2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風來襲，台灣南部山區受到颱風引進外圍環流的豪大雨影響，造成台 18 線道路多處山壁崩塌、路基淘空流失，其中於里程 71k 附近為沿山壁繞行的山區道路，其位置如圖 1 所示，受到大規模順向坡滑動及圓弧型滑動損毀致使道路中斷。本路段自明隧道出口後，經由轉彎段後銜接沿岸壁之登山道路，彎曲轉折且縱坡大。由於山壁崩坍範圍大且路基大量坍落，造成該路段無法通行，崩塌情況如圖 2 所示。災後台 18 線該路段雖以臨時便道維持通行，但由於路基為不穩定崩積土，恐無法抵擋颱風季節豐沛雨量之沖刷與侵襲。而台 18 線係通往奮起湖、阿里山、玉山等區域之重要道路，沿線居民均仰賴該道路進出與運送農產品，故維持本道路暢通、確保行車安全為本工程重要的任務。

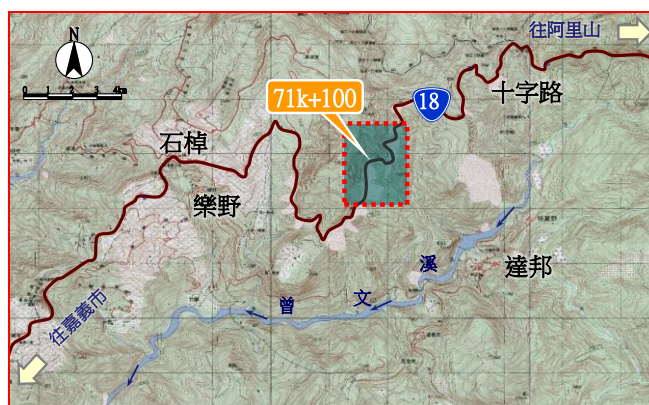


圖 1. 台 18 線 71K 位置示意圖



圖 2. 台 18 線 71K 崩塌相片

復建方案研選原則考量

為完成本路段復建工程，設計期間研擬了五個復建構造型式方案，包括一個路工方案、兩個橋梁方案及兩個隧道案。其中，路工方案係配合現況，依既有臨時便道施作，其配置如圖 3 所示。橋梁方案則為避開明隧道西端三個侵蝕溝，路線於侵蝕溝前之轉彎處即以右轉之圓偏離路線，其配置如圖 4 所示。隧道方案則是為了避開明隧道東側大規模坍塌區域，隧道方案一為較短隧道，隧道起點為明隧道東端，隧道東洞口則位於台 18 線 71k+500 道路下方，隧道東洞口將以一短跨橋梁跨越台 18 線 71k+500 旁之侵蝕溝，再以棧橋或路堤方式沿台 18 線道路下邊坡漸次爬升至台 18 線下一個近乎直角轉彎處銜接回台 18 線。隧道方案二為較長隧道，隧道起點為明隧道西端侵蝕溝旁，隧道東洞口位置接近隧道方案一位置，同樣地隧道方案二也將以橋梁跨越台 18 線 71k+500 旁之侵蝕溝，再以棧橋或路堤方式沿台 18 線道路下邊坡漸次爬升至台 18 線下一個近乎直角轉彎處銜接回台 18 線，其配置如圖 5 所示

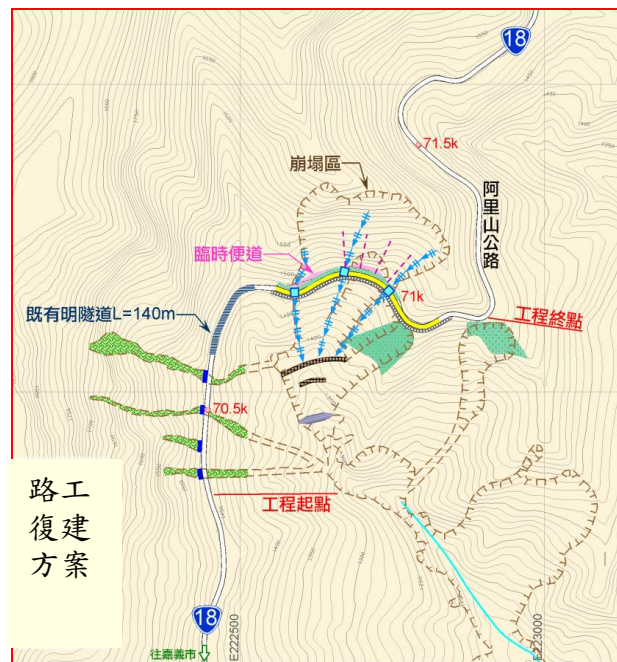


圖 3 規劃階段路工復建方案

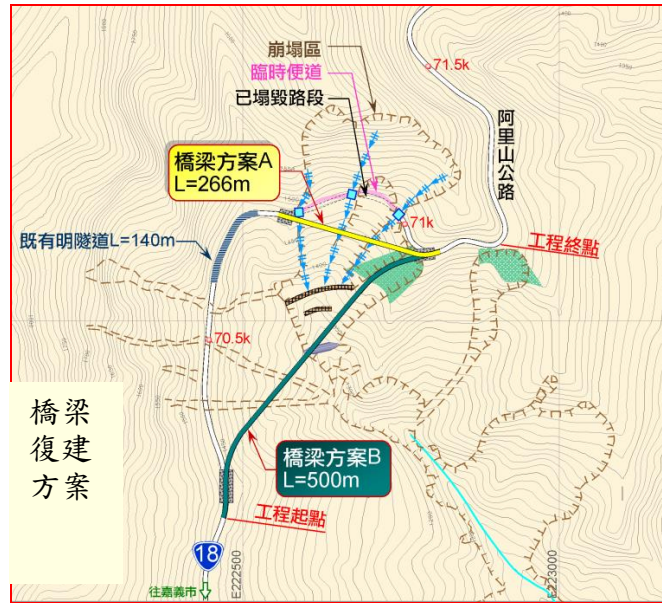


圖 4 規劃階段橋梁復建方案



圖 5 規劃階段隧道復建方案

各復建方案比較如表 1 所示，其中路工方案路線與既有便道相近，唯 71k 附近上邊坡崩積層厚達 20~30m 左右，需進一步評估其整治工法，且未來可能再發生坍塌的風險性較高。隧道方案於 70k+395 之前需填築路堤以提高道路高程銜接隧道洞口，其工期較長且工程費較高。而橋梁方案之東西兩側橋台(墩)皆座落於岩盤上，只需針對其上、下

邊坡之護坡進一步處理，初估工期可符通車時程需求且工程費較省。

表 1 71k 路段各構造型式復建方案之比較

說明 \ 方案	路工方案	隧道方案	橋梁方案
運輸需求及居民進出需求	佳	中	中
生態保護	中	佳	佳
復育及防災	中	佳	佳
復建工期	短	長	中
復建經費	低	高	中

各復建方案之優劣點經評估後，在各項限制條件下，最後採用橋梁方案。

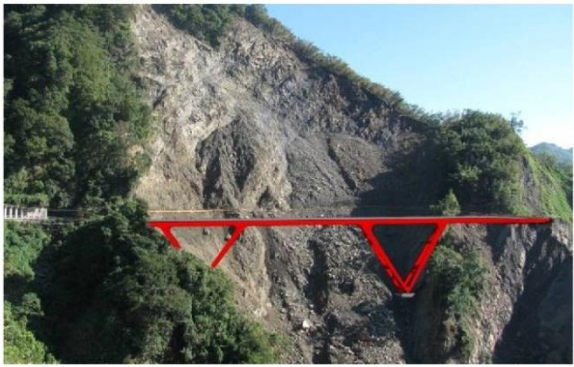
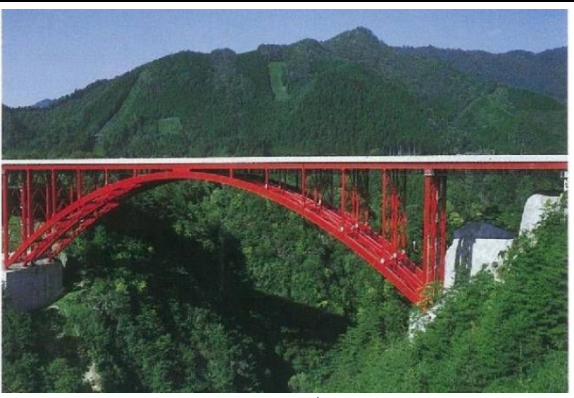
橋梁方案說明

為減低本道路再次發生災害的風險，除應避免於地質敏感區落墩外，宜採用大跨徑橋梁跨越崩塌區，減少再受衝擊的機率。經綜整工址之崩塌區範圍、地形地貌、初步地質研判、材料供應與運輸條件、施工架設條件及與現有台 18 線之銜接等因素，本復建橋梁需考量下列因素與條件：

- 崩塌範圍大，適宜落墩之距離約達 300m
- 可設置橋墩之位置距離預定道路路面高度約 50~60m。
- 運輸距離長，且設置預拌混凝土廠困難，宜儘量減少混凝土之使用量。
- 崩塌區具深谷之地貌，橋型需考量施工與吊裝架設條件。
- 為減少基礎施工對現有地質擾動及傳遞至地層之力量，同時提升橋梁之抗災能力，宜儘量減輕上部結構之靜載重。
- 為縮短工期，以符民意之期待，宜採用施工快速之橋型與工法。
- 工址位於山巒疊翠、景色優美之地區，橋型選擇宜簡單、輕巧，融入周遭景色為佳。

本路段道路彎曲繞行，橋梁段兩端皆位於曲線上，且銜接至明隧道，本路線方案須配置採曲線鋼梁方式克服。因此，配合工址地形及環境，研擬了 4 種橋型方案，如表 2 所示。其中方案 1 的 π 型鋼橋、方案 2 的 V 型橋墩鋼橋及方案 3 的半穿式鋼拱橋為配置於橋梁方案路線 A，橋梁長度為 266 公尺。方案 4 的上承式單孔鋼拱橋則配置於橋梁方案路線 B，其橋梁跨度為 500 公尺。

表 2 71k 路段橋梁構造復建方案

	
1、π 型鋼橋(配合橋梁方案路線 A)	2、V 型橋墩鋼橋(配合橋梁方案路線 A)：
	
3、半穿式鋼拱橋(配合橋梁方案路線 A)	4、上承式單孔鋼拱橋(配合橋梁方案路線 B)

各橋梁方案結構概要及特性簡述如下。

● 橋梁方案 1： π 型鋼橋

- 橋長 266m，橋面淨寬為 9m，主橋跨徑配置為 30m+50+86m+55m+45m。
- 上部結構採用兩根鋼箱梁，下部結構橋墩採用鋼箱型斜撐柱。
- 本橋型常見於跨越山谷、溪流，造型融合山谷地景、簡潔優美。

- **橋梁方案 2：V 型橋墩鋼橋**

- 橋長 266m，橋面淨寬為 9m，跨徑配置為 30m+50m+70m+50m+45m+21m。
- 上部結構採用兩根鋼箱梁，橋墩採用 V 型漸變斷面之鋼箱型柱。
- 斜鋼橋柱與上部結構剛接，有效縮短跨徑、減低橋梁量體視覺，並展現力與美的結合。
- 本橋型常見於跨越山谷、溪流，與峽谷地勢輝映，具流暢與現代之美感。

- **橋梁方案 3：半穿式鋼拱橋**

- 本橋採用拱跨徑 215m 之半穿式鋼拱橋，側跨分別為 30m 及 21m，拱高約 45m，橋面淨寬為 9m。
- 提高橋墩基礎位置，有效減少下部結構施築及吊裝架設之困難度。
- 採用對稱向外傾斜箱型鋼拱肋，增加支承橫向間距，提升橋梁側向穩定性。
- 本橋型常見於跨越山谷、溪流，優美的拱弧搭配吊索懸吊橋面，結構外型線條顯得相當優雅簡淨。

- **橋梁方案 4：上承式單孔鋼拱橋**

- 橋長 500m，橋面淨寬為 9m，主橋採用上承式單孔鋼拱橋，配合橋梁方案路線 B，拱跨徑配置為 275m，以跨越深谷及避開崩塌潛勢區。
- 上部結構採用鋼 I 型梁，並以加斜撐之門型架支撐上部結構。
- 採用對稱向外傾斜之箱型鋼拱肋，增加支承間距，提高側向穩定性。
- 本橋型常見於跨越山谷、溪流，與山巒起伏之地景相映，造型穩重宏偉。

細部設計時綜合考量上述各項因素與施工條件，最後採用半穿式鋼拱橋，配合其兩端曲線線形配置，側跨配置為 19 公尺，主跨徑為 160 公尺，上部結構採鋼箱型梁，同時鋼拱肋箱梁採對稱往內傾斜方式配置，大幅增加其穩定性，並增加其美觀，其配置圖如圖 6 所示。

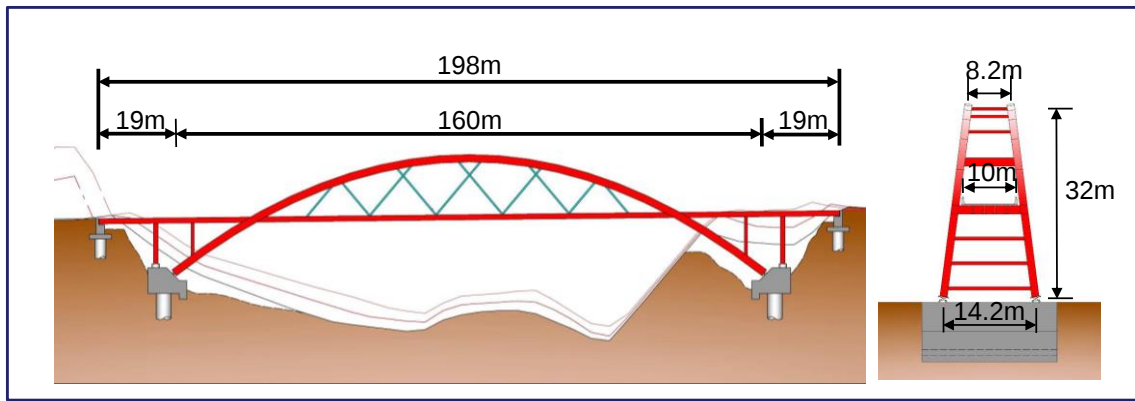


圖 6 半穿式鋼拱橋配置示意圖

本橋經採 3D 結構分析模式，如圖 7 所示，進行結構分析及構件檢核後，完成了本座橋梁的構件設計。惟構件之設計除須考量應力檢核外，對於高山上的施工，構件的運輸及吊裝更顯其重要性，須配合構件尺寸、重量及運輸、吊裝的可及性加以配置，如圖 8 所示。

本橋設計所採用之主結構鋼板為 ASTM A709 Gr.50，並採用 ASTM A325 TYPE I 強力摩擦式螺栓。拱肋下方各配置 1200 噸的 PIVOT 鑄鐵支承，以作為鋼拱橋拱肋承受較大軸力而不承受彎矩的特性。另於鋼筋混凝土材料上，採第 1 種卜特蘭水泥，最小抗壓強度用於橋面版、橋墩基座及橋台之大於 280kgf/cm^2 ，用於擋土牆、基礎之最小抗壓強度大於 245kgf/cm^2 。

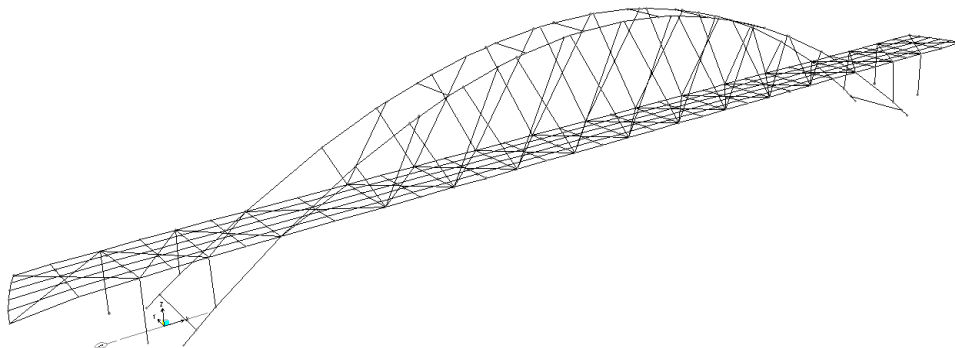


圖 7 結構分析模式

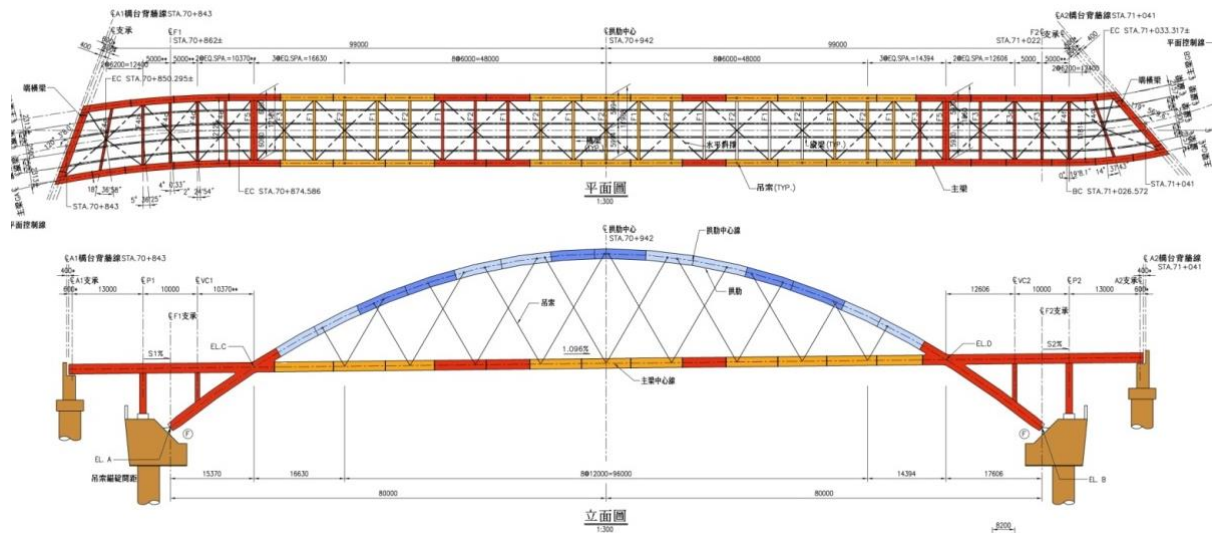


圖 8 鋼拱橋平面、立面圖

鋼構製作

鋼構工程乃是專業工廠一貫作業製造，因此，鋼構廠製作的準備，如工程內容及設計理念的了解，針對本工程特性詳加規劃施工方式，始能達到事半功倍之成效。本工程鋼構之製作，先完成小單元構件之組裝，再完成大單元構件之組合，最後配合正確之定位完成整體結構，詳細製造流程如圖 9 所示。

有鑑於本工程為山區復建橋梁，工區環境險峻，施工難度較一般平地高，故於設計階段配合現地的地質條件，規劃適切的線型。考量山區運輸條件的受限，減少各個節塊之尺寸及重量，研擬合適之施工方法，並作綜整的考量。其中主梁全長 198m，惟其側跨部分位於曲線段，左右兩側主梁略有不同，總共分為 26 節塊，最長節塊為主梁與拱肋交叉處節塊，長約 10.1m，重約 45 噸，其餘部分為 9m~10m，重約 20 噸；拱肋全長約為 176m，扣除主梁與拱肋交叉處節塊後，左右拱肋再細分為 18 節塊，配合隔板及接頭位置，節塊長度約為 8m~10m，最重節塊約為 20 噸。

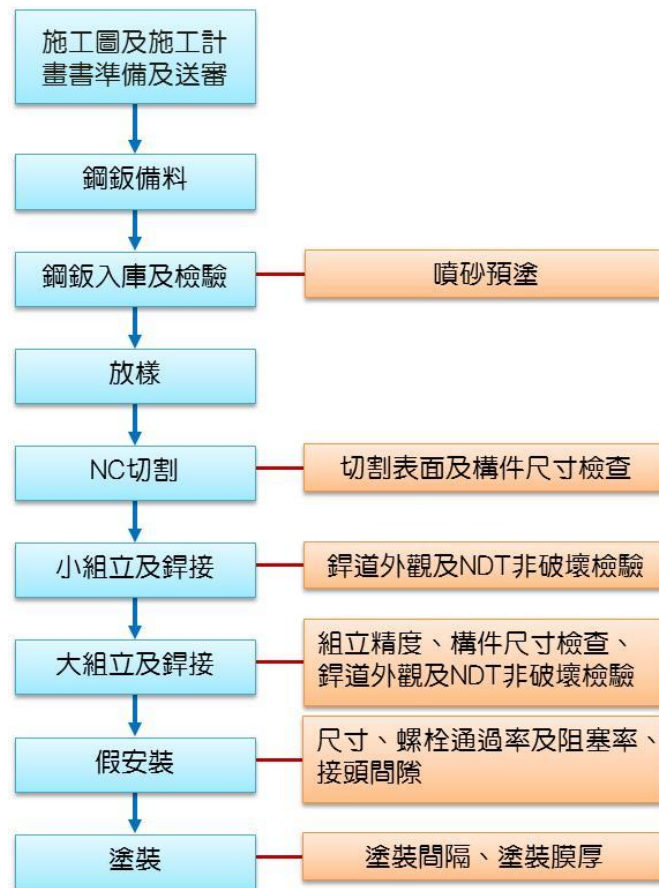


圖 9 鋼構製造流程圖

本工程鋼構製作係由中堡鋼構股份有限公司製造，總鋼重約 1,931 噸。但由於本工程為半穿式鋼拱橋，鋼箱型梁與拱肋構成結構體，構件複雜性較一般箱型梁橋高。因此，構件製造精度要求甚高，同時須配合工地現場施作、構件運輸、吊裝及儲放等條件，對於構件製造順序及進場順序更須妥善規劃，才能達到如期、如質完工之目標。其製作流程如圖 10 所示。

本工程鋼結構製作施工期間，配合工地施工進度，監造單位進行了多項監造檢查及抽驗作業，包含了施工前之焊工考試、焊道目視檢查，焊道的非破壞檢驗查如 UT、MT 及 RT 的檢查，試拼裝的拱度及高程檢測，螺栓的貫通率檢查及噴砂的粗糙度檢查及膜厚檢查等，如圖 11 所示。

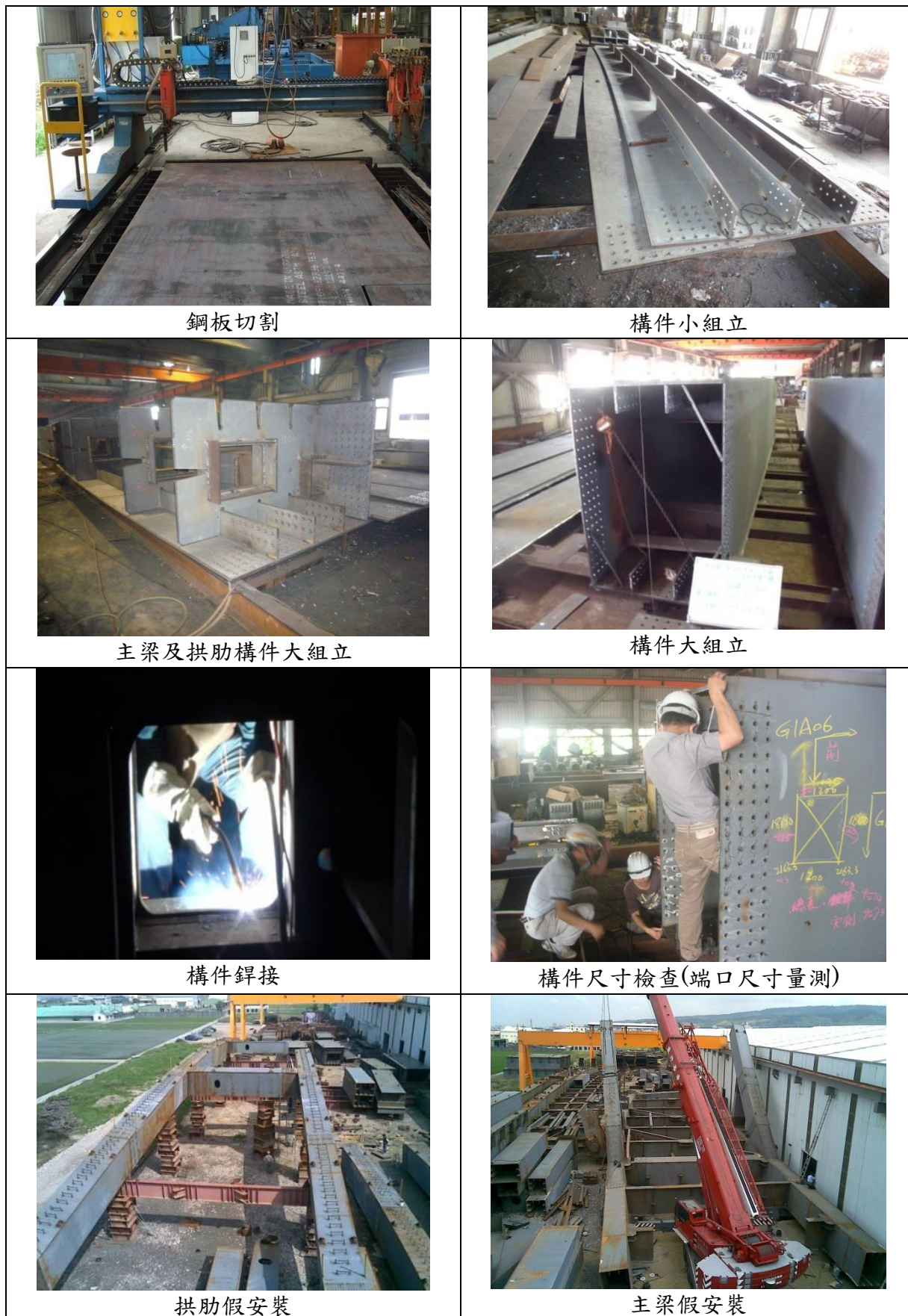


圖 10 鋼構製造施工相片



施工前焊工考試



焊道目視檢查



鋼構件焊道 UT 檢查



鋼構件焊道 MT 檢查



試拼裝拱度檢測



試拼裝高程檢測



試拼裝貫通率檢查



塗裝膜厚檢查

圖 11 鋼構製造施工期間檢驗作業相片

橋梁現場吊裝施工

為利本計畫橋梁標工程順利施工，本工程特另提前辦理 71k 附近既有臨時道路拓寬工程，加寬既有臨時道路寬度，作為橋梁施工時交維及材料運輸需求使用。本鋼拱橋因橋型特殊，在考量各施工廠商的施工設備、機具及施工技藝等因素，於設計圖說中提供 2 種吊裝工法供施工廠商參考，如圖 12 所示，以期施工廠商能提早規劃並因應相關的施工作業。最後施工廠商採用了方案二臨時支撐架工法來完成本鋼構的吊裝作業。

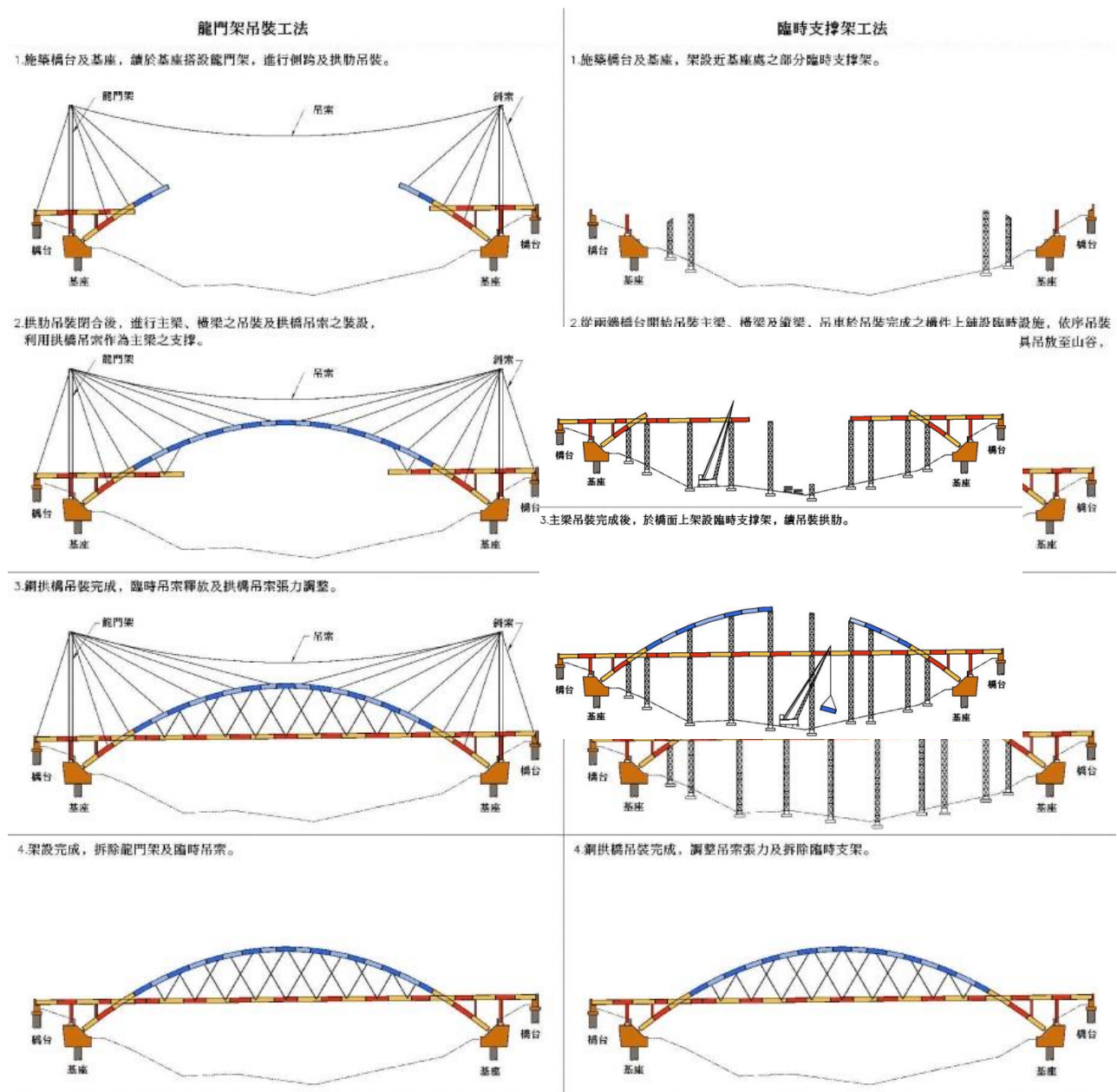


圖 12 橋梁架設工法示意圖

本鋼橋鋼重約 1,931 噸，各構件於鋼構廠製作完成並完成假安裝步驟後，始將構件運至工地進行吊裝，各構件於工地之接合方式，依採高強度螺栓接合方式辦理，除可增加工地施工的安全性外，亦可加速工地的組裝。本工程鋼橋總長 198m。主梁依據設計圖於廠內製作時，將其拆解成 46 鋼箱梁，主拱圈拆解成 36 個鋼箱梁，運送至工地以螺栓接合方式將各構件組成。各構件之組裝，須考量施工廠商之施工機具、設備及技藝，配合其所提送之吊裝計畫進行吊裝，始可順利完成本工程吊裝。由於本工程橋梁位置距臨時支撐處高度較高，須配合施作較高的支撐架，以施築臨時支撐並作為吊車施作場所。

鋼橋安裝工作通常分為構材在工地組裝及構材間之接頭接合兩種；構材在工地組裝包括構材搬運、組立、安裝、焊接及固定等工作，須使用起重設備及臨時支撐。構材間接頭接合計有鉚接及栓接及焊接三種，於組裝完成後實施。本工程採用構材間之接頭接合，以栓接方式施工，於廠內製作時將橋樑分成數個節塊，運送至現場使用起重設備及臨時支撐，以螺栓及連接板將各節塊結合，吊放至定位，完成組裝。

本工程作業主階段分為鋼橋主梁及拱肋兩大部份，在構件進場吊裝作業上，主要為構件運輸、進場後地組，在確定螺栓鎖斷檢查，開始進行構件的吊裝作業，如圖 13 所示。主構件的吊裝作業先進行鋼橋主梁及橫梁吊裝作業，如圖 14 所示。主梁吊裝完成後再進行拱肋吊裝，如圖 15 所示。主梁及拱肋吊裝完成後，在安裝各鋼構件後，同時架設鋼索後續施拉預力，如圖 16 所示，完成本鋼橋吊裝。



構件節塊運輸



構件節塊運至工地



構件節塊地組



螺栓鎖斷檢查

圖 13 構件節塊工地之吊裝作業



主梁吊裝(一)



主梁吊裝(二)



主梁吊裝(三)



主梁吊裝(四)



主梁吊裝(五)



主梁吊裝(六)



主梁吊裝(七)



主梁吊裝(八)

圖 14 主梁吊裝施工



拱肋吊裝(一)



拱肋吊裝(二)



拱肋吊裝(三)



拱肋吊裝(四)



拱肋吊裝(五)



拱肋吊裝(六)



圖 15 拱肋吊裝施工

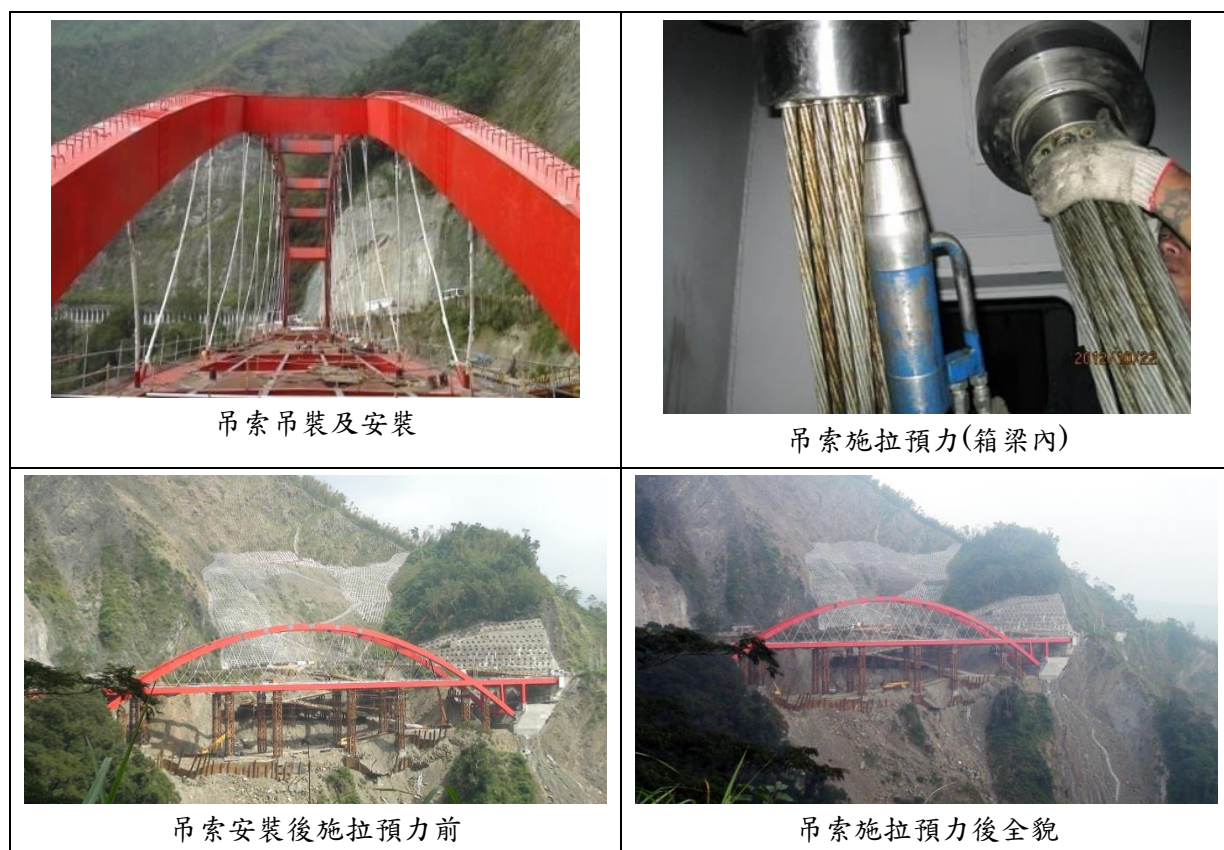


圖 16 鋼索吊裝施工

結論

鋼結構橋梁具有材質均勻、耐震性能良好、施工快及低污染等優點，近年來已廣泛使用於台灣地區的橋梁工程；而鋼結構本身因材料強度高、結構輕巧、造型較不受拘束等特性，更是擬採用大跨度或特殊造型橋梁不可或缺的選擇。此外，鋼結構橋梁在高山地區運輸條件差或現場施工條件不良之情形，更具獨一無二之優勢。一般而言，災區之施工環境不良，運輸條件較差，受限原有橋基跨度配置不易，橋梁深度受限，材料供應

困難，並須避免影響其他原有道路的通行。本工程主橋採半穿式鋼拱橋，橋長 198 公尺，主跨 160 公尺，橋面淨寬為 9 公尺，對稱微向內傾的優美拱弧搭配斜向吊索懸吊橋面，結構外型優雅簡潔。由於工址位於海拔 1,450m 之高海拔地區，下午過後易起霧且冬季山區天候濕冷，每天可施工之時間短，致施工工率較低，但在鋼橋在專業吊裝團隊的努力下，順利地完成了本復建工程，其完成後相片如圖 17 所示。

本橋橋名是鄒族吉祥樹山芙蓉之語音 FKUO 命名「芙谷峩橋」，意味著滿山遍野的「山芙蓉」。橋身彩繪代表鄒族的紅色，在綠色山巒中格外醒目，為大阿里山地區增添美麗勝景。本特殊橋位於阿里山公路 71K 附近，在國內海拔高達 1,450m 之高山地區辦理橋梁工程建設均屬少見，其完工後儼然成為本公路進入阿里山風景區之顯著門戶，在翠綠山巒及雲霧飄渺間，更顯得壯觀秀麗，美不勝收。

本工程施工期間在公路總局各級長官的督導及參與本工程之所有工作夥伴們齊心努力下，完成本工程之建設，特為文將設計與施工過程作一說明供各界參考。





圖 17 芙谷峨橋完工相片