



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。

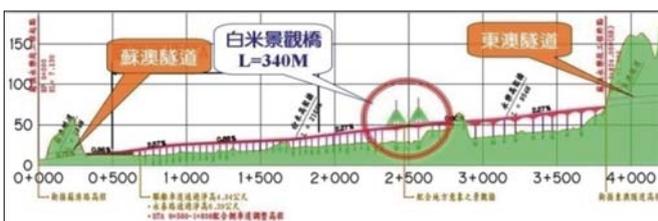
前言

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）。

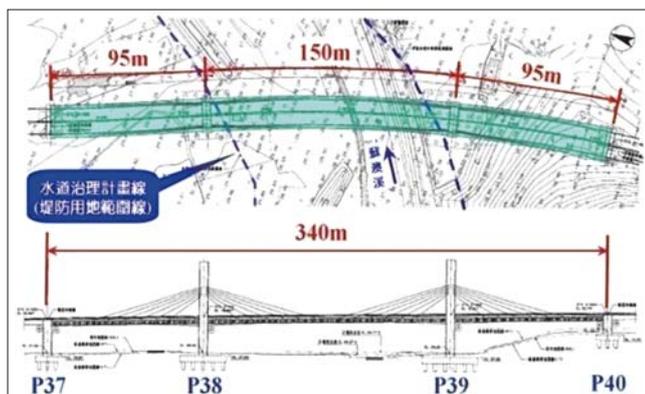


圖 3 蘇澳溪中不落墩^[1,2]

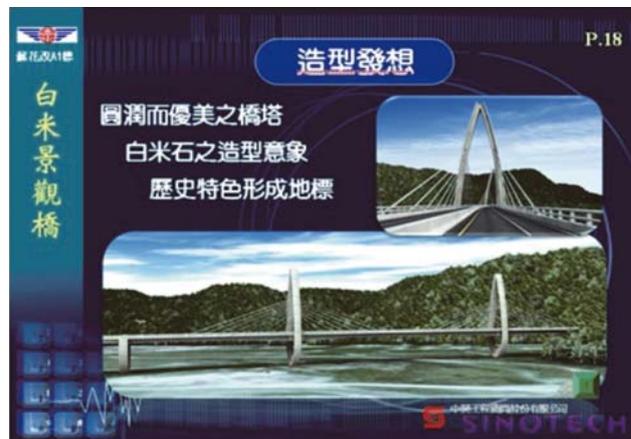
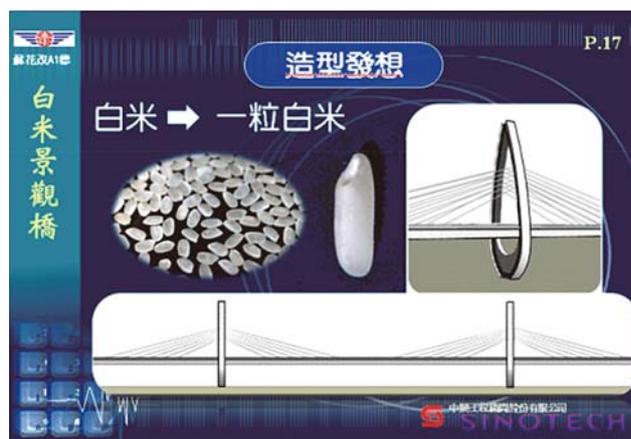
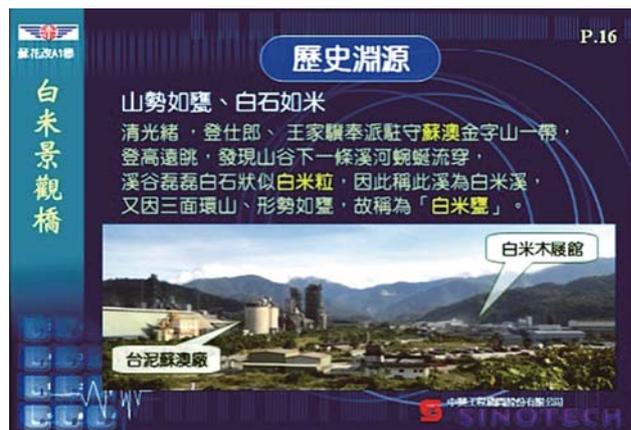


圖 4 文化歷史與造型發想^[2]

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；復以鄰近白米甕社區等遊憩景點，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。

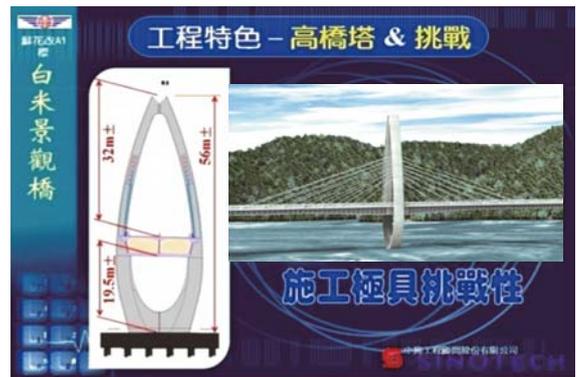


圖 6 造型橋塔高達 56 m^[2]

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。

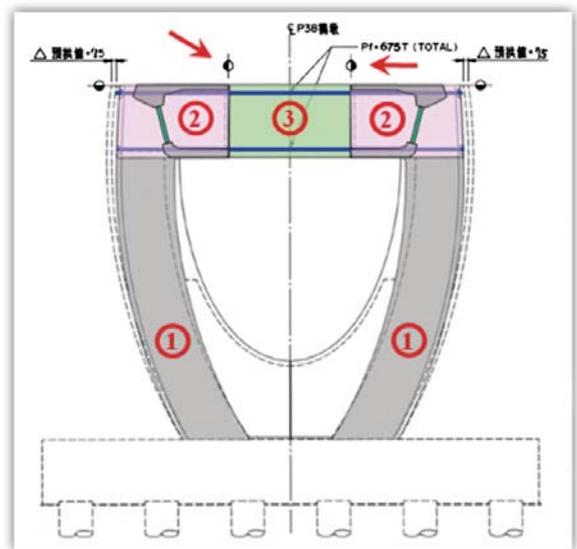


圖 7 主橋墩中隔梁二次施工

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

力鋼鍵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，衡量國內施工技術與經驗，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。

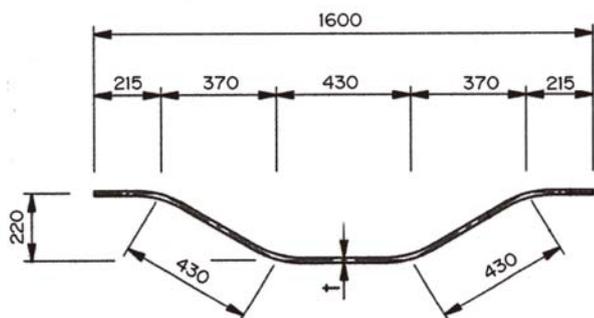


圖 8 波形鋼腹板標準單元 [4]

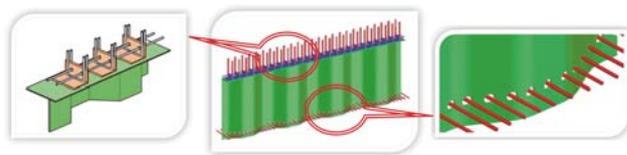


圖 9 上部接頭

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 ϕ 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）。

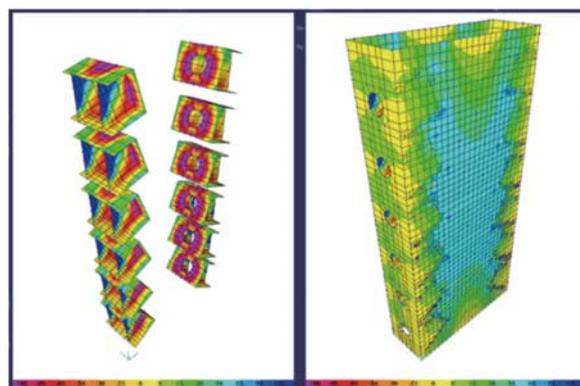


圖 11 錨碇鋼箱 3D-FEM 分析 [1]

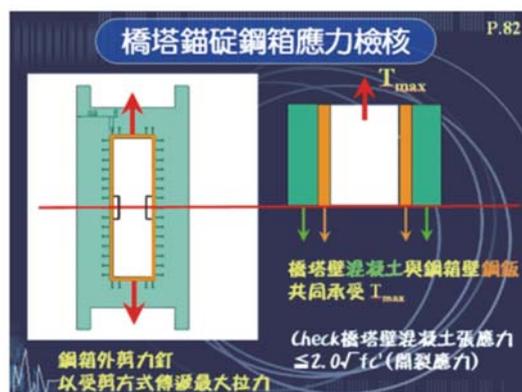


圖 12 鋼箱及橋塔混凝土共同承載斷面張力 [2]

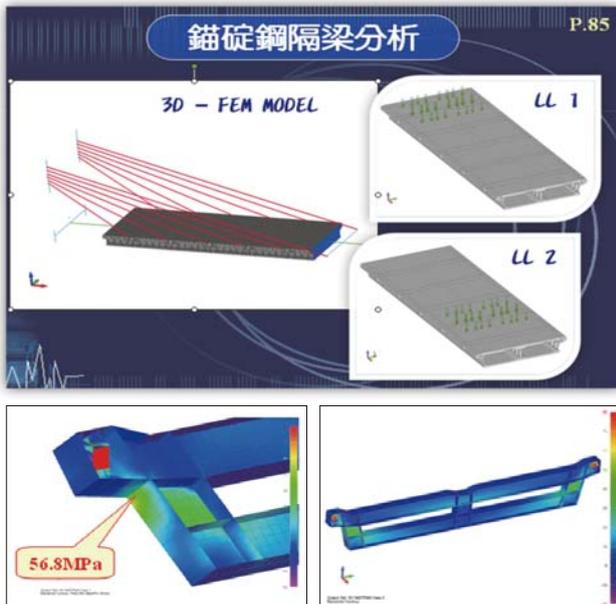


圖 13 鋼間隔梁 3D-FEM 分析^[1,3]

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）。

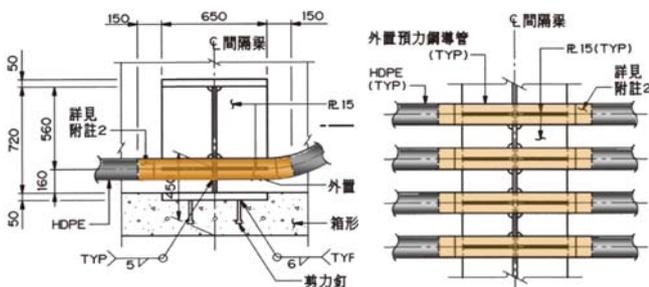


圖 14 箱內外置預力經間隔梁之加勁^[1,4]

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。

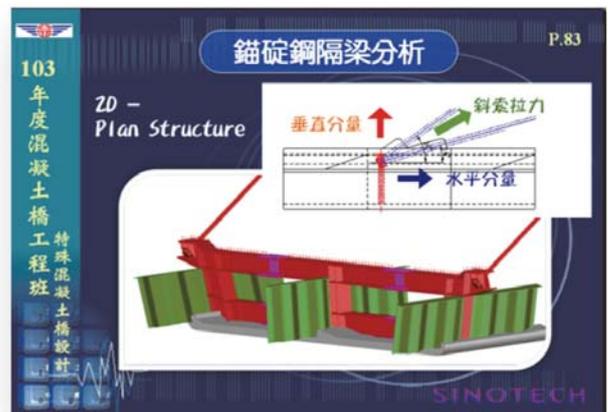


圖 15 3D 系統中之 2D 間隔梁^[3]

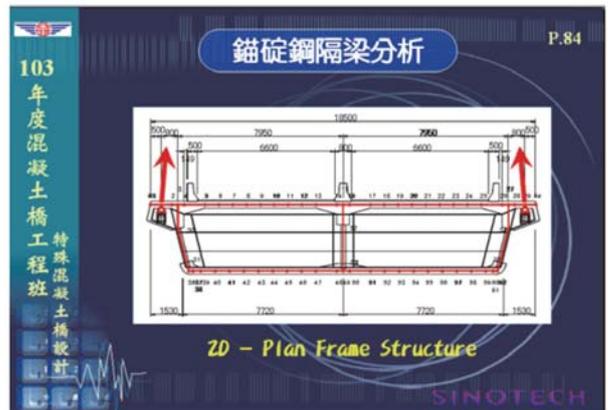


圖 16 間隔梁之 2D 分析模式^[3]

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，

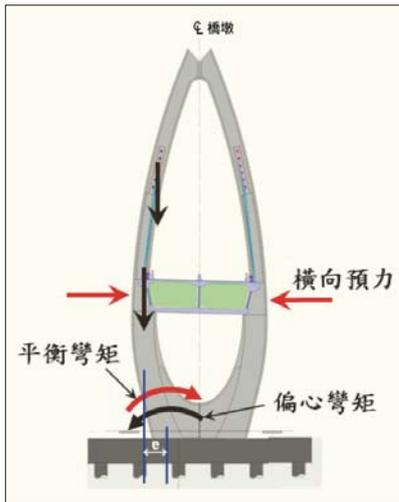


圖 17 中隔梁施加橫向預力^[4]

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）。

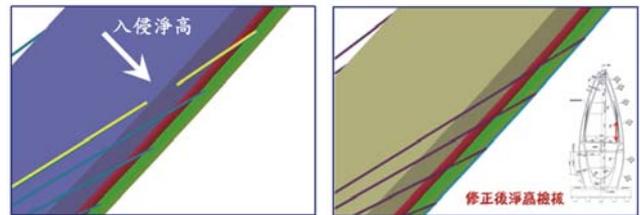


圖 18 拉索入侵淨高範圍 圖 20 拉索 3D-CAD 檢核

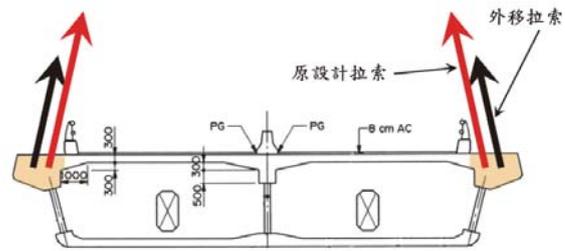


圖 19 斷面加寬拉索外移^[4]

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。

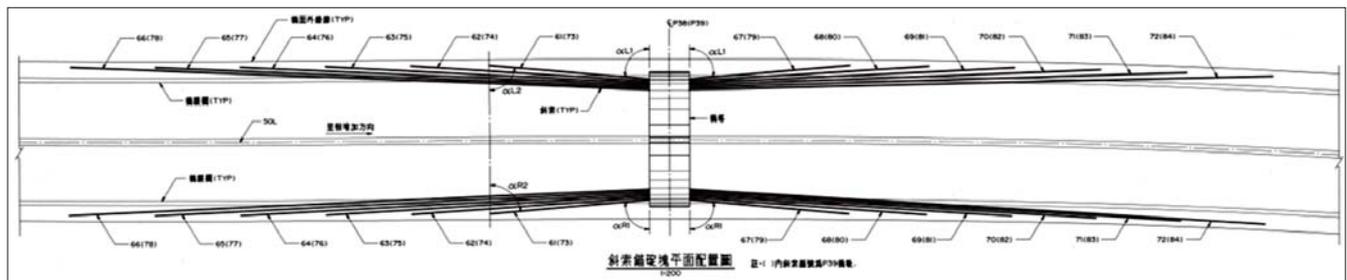


圖 21 斜拉索幾何須審慎明確定義^[1,2]

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。

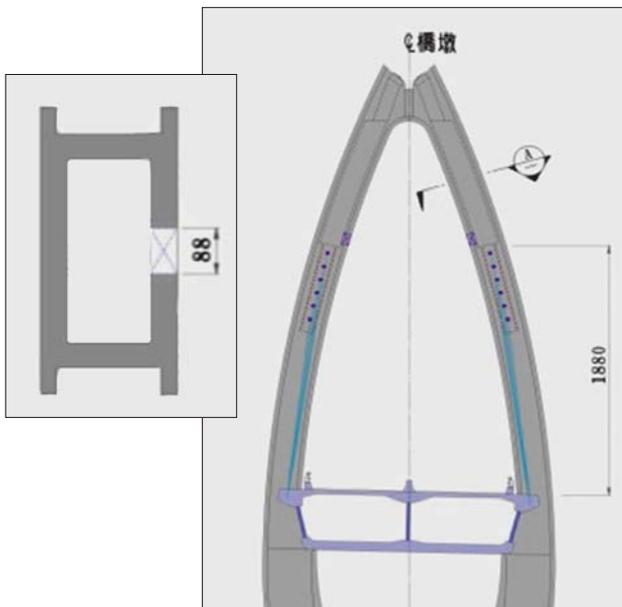


圖 22 橋塔檢測維修人孔

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。

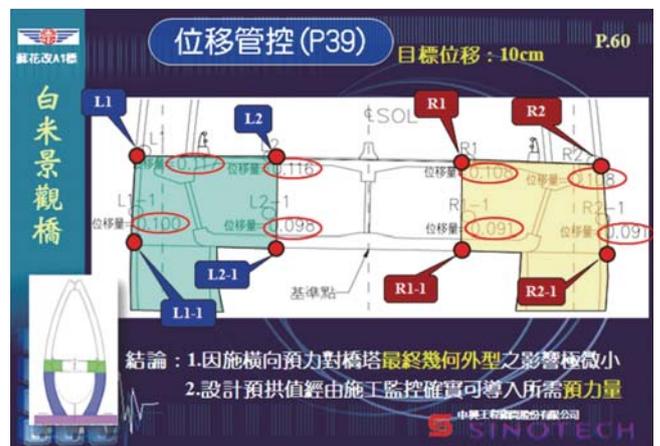
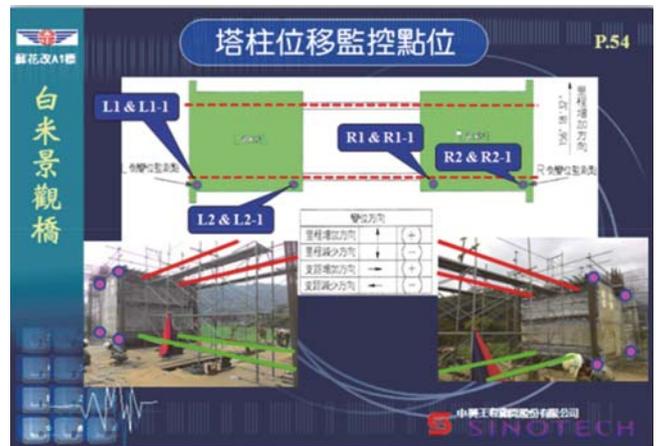


圖 23 施工中位移監測^[6]

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。

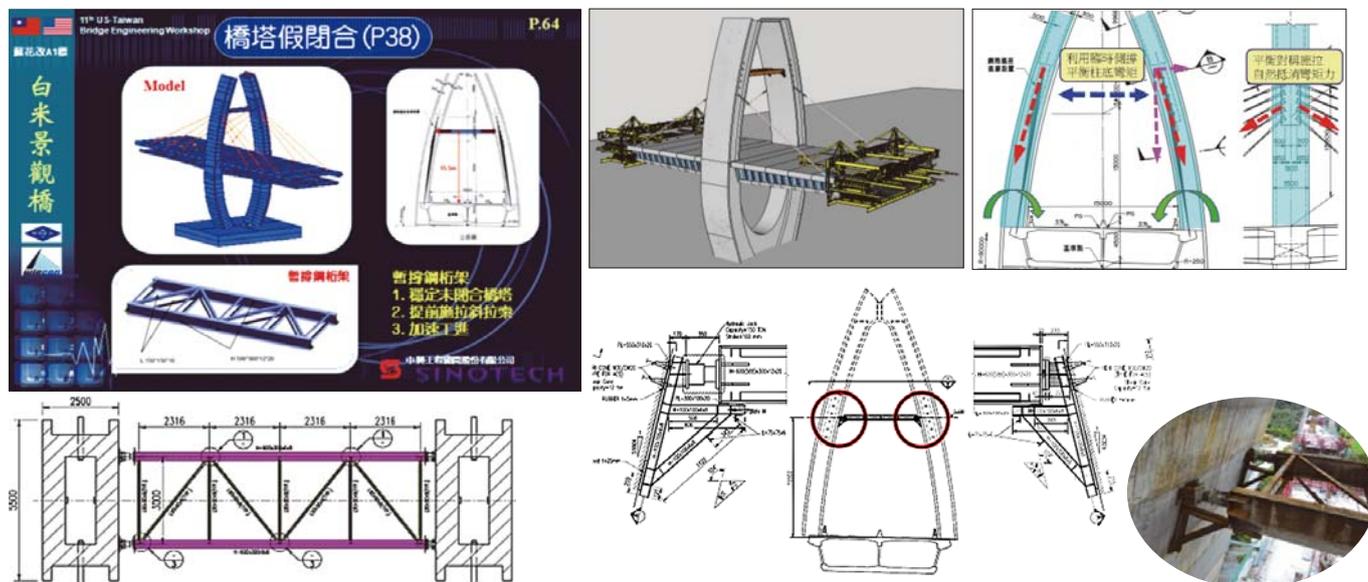
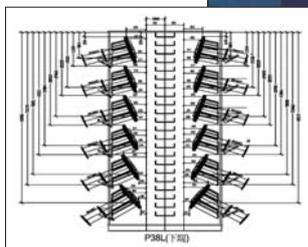
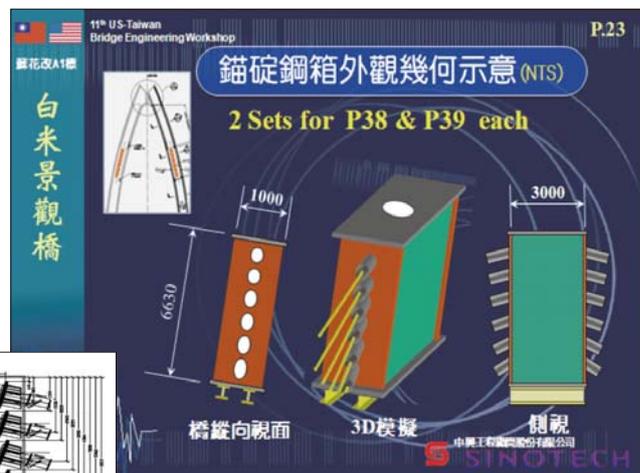


圖 24 橋塔臨時閉合措施 [7, 威肯顧問公司]

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 θ 已考量錨碇鋼箱設計縱軸線與鉛垂之夾角 θ ，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。

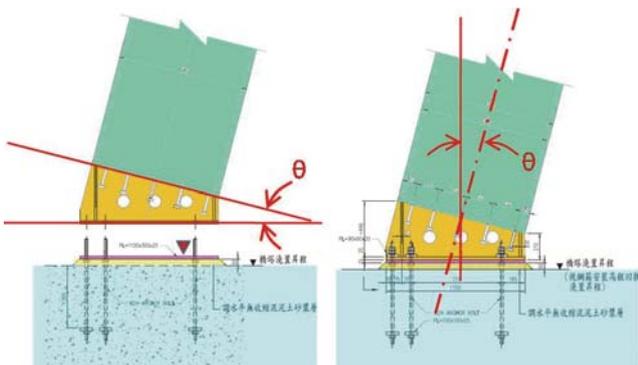


圖 27 橋塔錨碇鋼箱之定位

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

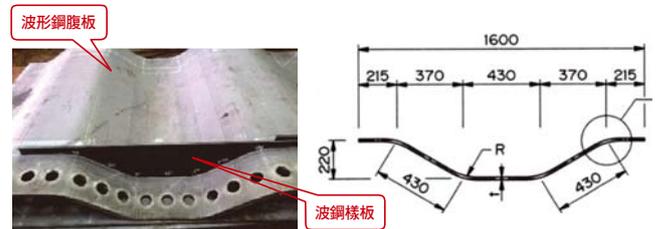


圖 30 本工程波鋼腹板單元

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 ϕ 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。

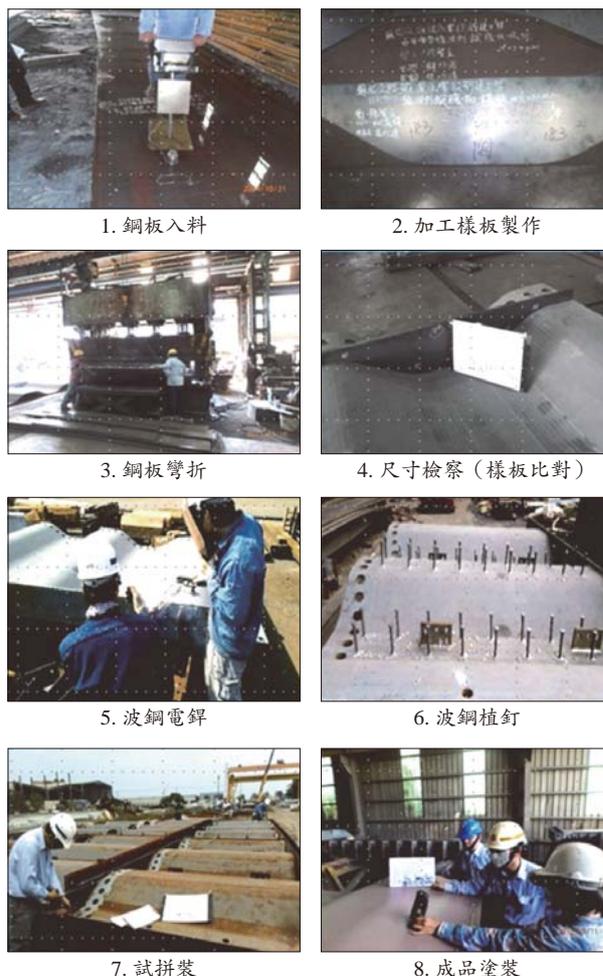


圖 32 波形鋼腹板產製加工流程

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。

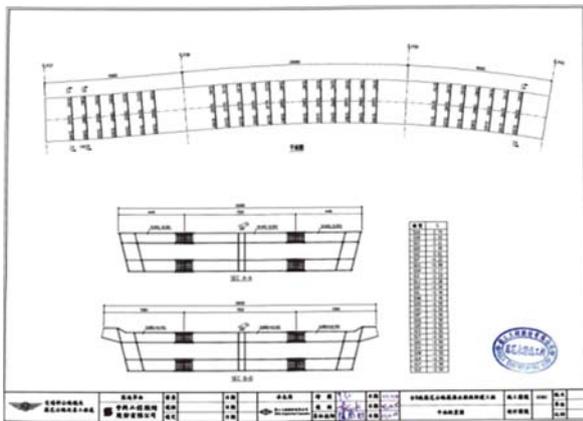
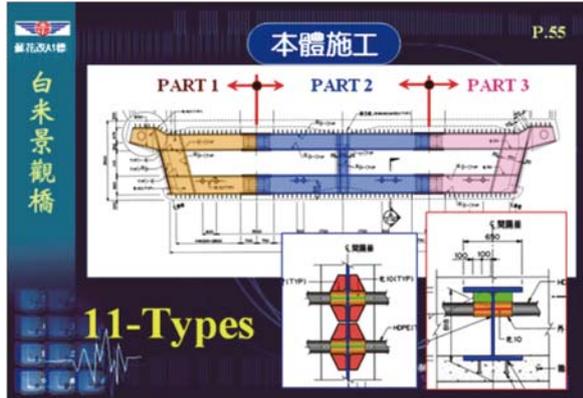


圖 33 鋼製間隔梁

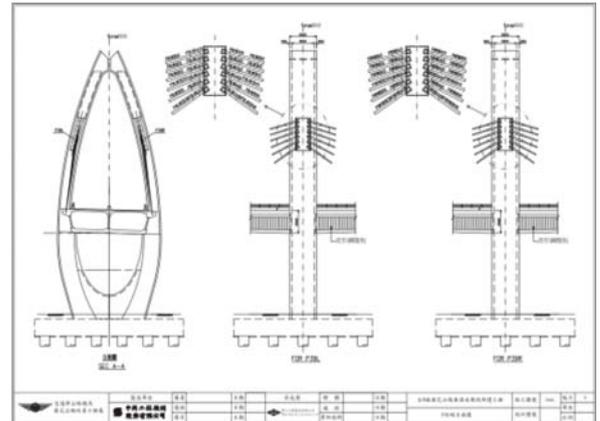
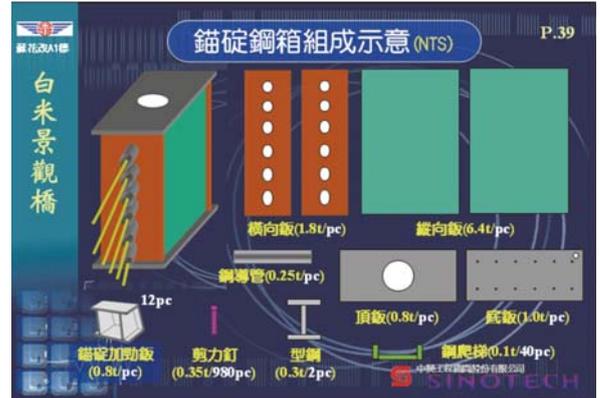


圖 35 錨碇鋼箱組成

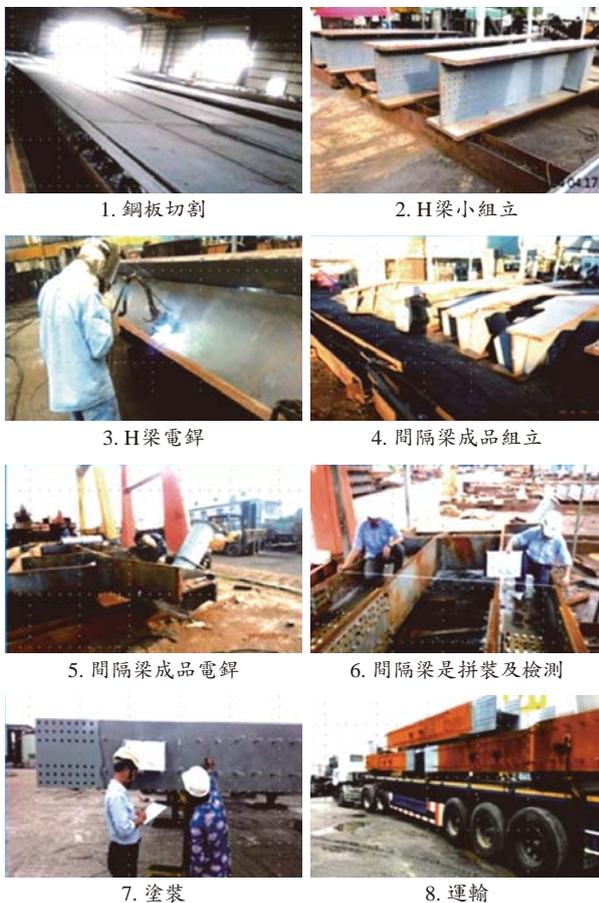


圖 34 鋼製間隔梁產製加工流程



圖 36 錨碇鋼箱產製流程

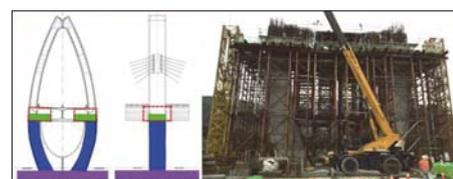
脊背橋現場施工

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。

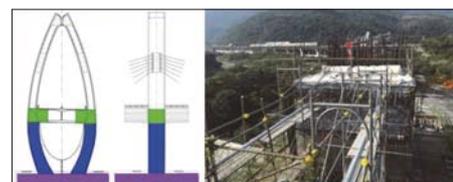
上塔柱施工

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。

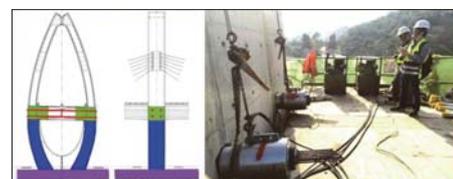
● 柱頭板施工



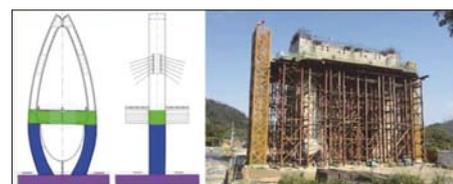
1. 施作柱頭兩側，澆置至柱頭高度 1/2 處



2. 柱頭兩側澆置完成（中間不施工）



3. 橫向預力施拉（配合階段性預力與位移監測）



4. 柱頭中間部份閉合澆置完成

圖 37 柱頭板施工流程

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。

脊背橋塔柱昇層施工流程



1. 墩柱鋼筋樣架組立



2. 墩柱鋼筋綁紮



3. 柱筋扭力試驗



4. 墩柱鋼筋查驗



8. 墩柱外模組立



7. 內模加固



6. 墩柱內模安裝



5. 前昇層外模拆除



9. 模板查驗



10. 混凝土澆置



11. 養生

步驟 1 ~ 步驟 11 循環作業，至墩柱完成。

圖 38 上塔柱施工流程

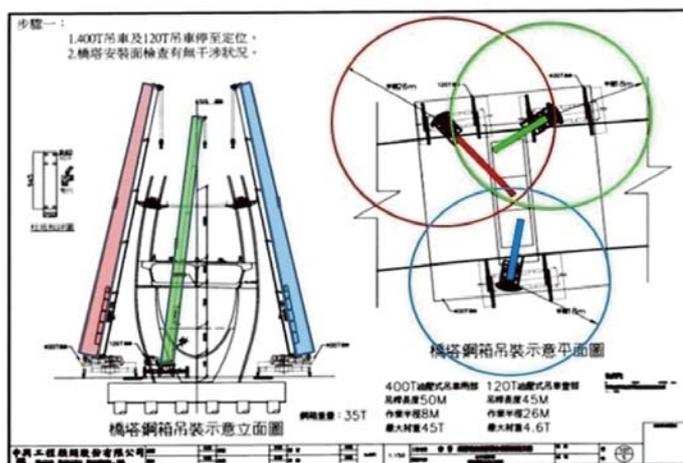


圖 39 錨碇鋼箱吊裝施工作業空間規劃

● 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.