



台 1 線潮州高架橋 工程特色與設計實務

湯秉勳 結構技師／台灣世曦工程顧問公司正工程師

蔣啟恆 土木技師／台灣世曦工程顧問公司經理

黃炳勳 結構技師／台灣世曦工程顧問公司協理

摘要

高雄市區鐵路地下化工程完工後，為確保臺鐵車輛維修之需求，既有高雄機廠、南區供應廠、高雄港檢車分段須另遷他處，經協商後，將緊鄰「臺鐵潮州車輛基地」區域之台糖用地挪為高雄機廠遷建之廠址，統稱為「臺鐵潮州機廠開發計畫」。由於機廠與檢車分段中間隔著台 1 線，考量台 1 線交通量及行車安全，該平面路段須配合高架化，本文「台 1 線潮州高架橋工程」即為開發計畫之配合工程。

為確保橋下之列車淨高需求，高架橋主橋採跨徑 120m 之鋼拱橋設計。因高架橋施工期間，兩側仍為台糖農地，為增加施工工作面及確保施工中台 1 線行車安全，特租用台 1 線東側台糖土地作為改道便道，使本工程能全面施工。復配合機廠規劃之鐵道博物館，主橋定位為景觀橋，採特殊單肋造型之鋼拱橋，拱肋造型由橋端單拱肋至橋中央分叉又為雙拱肋，為國內首見之拱橋橋型。橋面板採鋼床板設計以減低鋼橋梁深，高架橋使用 GUSS 瀝青混凝土，提昇鋼床板耐蝕能力及行車舒適性。

近年來氣候變遷日益加劇，公路總局為順應世界潮流及政府節能減碳政策，本工程特將工程碳管理暨碳足跡盤查及查證工作納入，期望配合主體工程施工期程，進行實質盤查工作，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。

一、前言

臺鐵高雄機廠遷建潮州後，鐵路車輛進出機廠橫交台 1 線 418K~419K 路段，該路段須高架化以確保鐵路之行車安全，稱為「台 1 線潮州高架橋」。本工程位於屏東縣潮州鎮，北接萬巒，南往枋寮，工址東側為台糖農地與潮州機廠 A 區，西側為臺鐵潮州基地與潮州機廠 B 區，工址及現況照片如圖 1 所示。

計畫路線位處屏東平原，屏東平原北與阿

里山山脈的南端相連，西接嶺口丘陵地，南接台灣海峽，東以潮州斷層與中央山脈南端大武山脈相隔，地勢由東北向西南緩斜。屏東平原內有高屏溪、東港溪及林邊溪等主要河川，工址區域之地層主要為沖積扇群沈積體系，以北部荖濃溪沖積扇礫石分布最廣，隘寮溪及林邊溪沖積扇上游亦有不少礫石分布，由東北往西南粒度由粗變細，泥層漸多漸厚。

依據區域地質圖(圖2)，計畫路線出露之地層主要為全新世之現代沖積層，以粘土、粉土、中細砂及卵礫石所組成。依據地質探查的結果，本區地層分為五個層次(見圖3)，由上而下為：

- (一) 回填土層：深度約 0~1.2 公尺，為表土層，地下水位於地表下 1.3~1.7 公尺
- (二) 粉土質黏土偶夾砂：深度約 1.2~23 公尺，N 值介於 4~10
- (三) 粉土質砂偶夾黏土：深度約 23~36 公尺，N 值介於 10~27
- (四) 粉土質黏土偶夾砂：深度約 36~55 公尺，N 值介於 5~15
- (五) 砂質礫石、粉土質砂及粘土互層：深度約 55~70 公尺，N 值介於 23~33

台 1 線係為地區性主要幹道，為減少施工

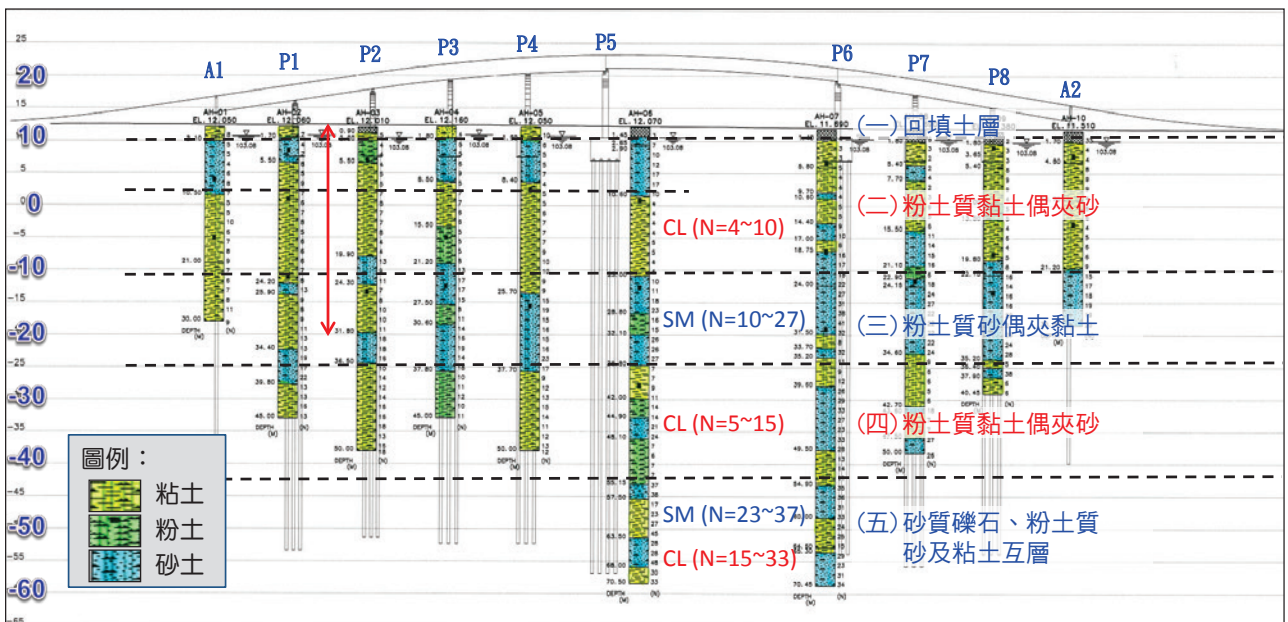
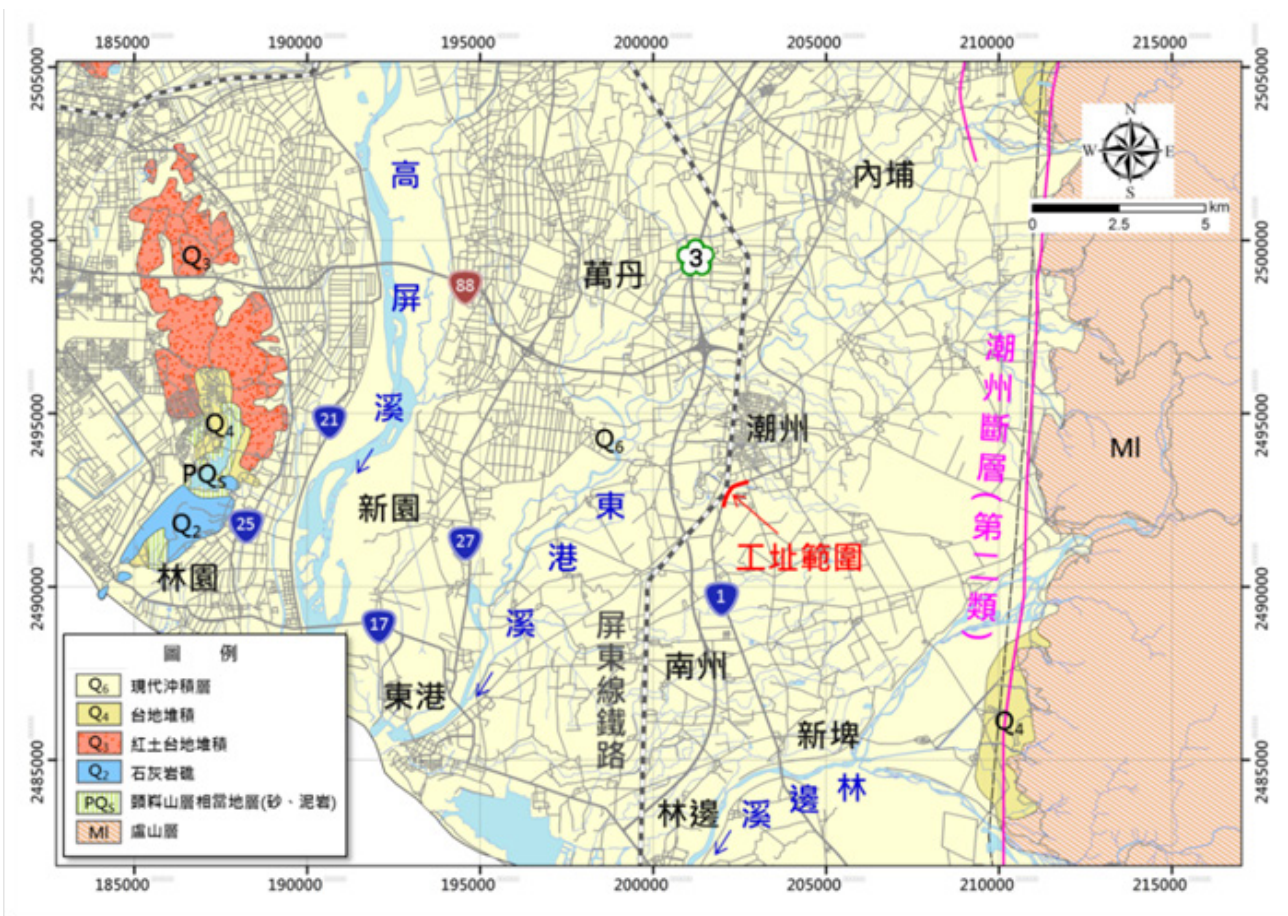
中交通衝擊及提供足夠工程施作空間以加速工進，利用工址東側之台糖農地及尚在細部設計階段之潮州機廠用地作為改道便道，以使本工程能全面展開施工。改道便道採雙向各 2 快車道及 1 慢車道配置，便道寬度約 25 公尺、長度約 816 公尺，設計速率採每小時 40 公里。改道便道完工後照片如圖 4 所示。



圖 4 改道便道現況照片



圖 1 工址位置及現況照片圖



二、橋梁結構配置

考量高架橋下須供鐵路車輛足夠淨空及兩端引道銜接南北兩側路口，橋梁配置分為三單元，總長 440m。為將北側公路總局第三區養護工程處及南側環西道路路口之路面重新創鋪以順接橋梁引道高程，工程範圍起點定於 418K+040，終點定於 418K+980。橋梁之 A1 橋台里程為 418K+270，A2 橋台里程為 418K+710，其中，第一單元、第三單元為預力混凝土箱型梁橋，橋跨配置分別為 5@40=200m 及 3@40=120m，搭配單柱式混凝土橋墩。第二單元為主橋，跨越鐵路進廠線，軌道面以上滿

足 6.5m 以上之淨高。橋梁配置跨度 120m 之鋼拱橋，主橋段於橋面兩側設置人行道及景觀平台，供行人穿越與休憩，下部結構為框架式橋墩。主橋下方為鐵路車輛穿越，依據臺鐵鐵路設施防護辦法，於橋梁外側增設 1.5m 延伸版以防止物品掉落，橋梁下方設置接地系統，拱肋上方安裝避雷針，以確保鋼拱橋安全。

第一單元、第三單元下部結構為單柱式橋墩，第二單元為配合鋼拱橋箱梁支承位置，採框架式橋墩，詳見圖 5。橋梁基礎皆採 150cm 全套管基樁，南、北兩側橋下設置汽車迴轉道及人行樓梯。結構立面圖詳見圖 6，標準斷面

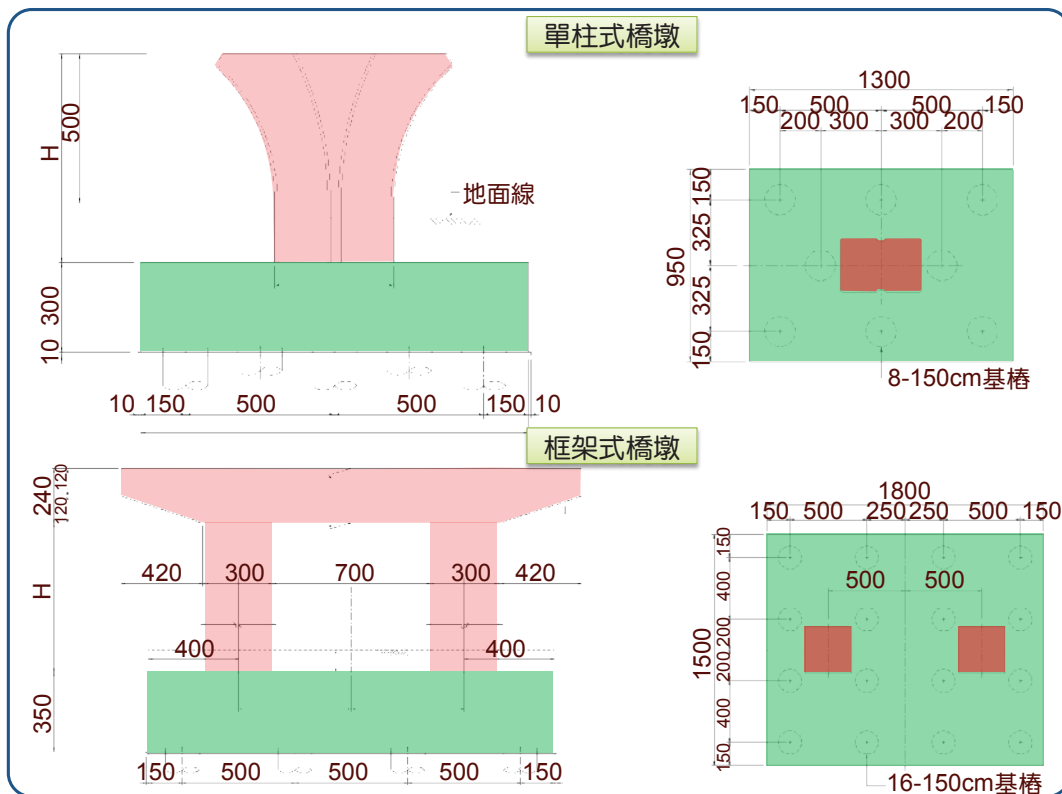


圖 5 下部結構平立面圖

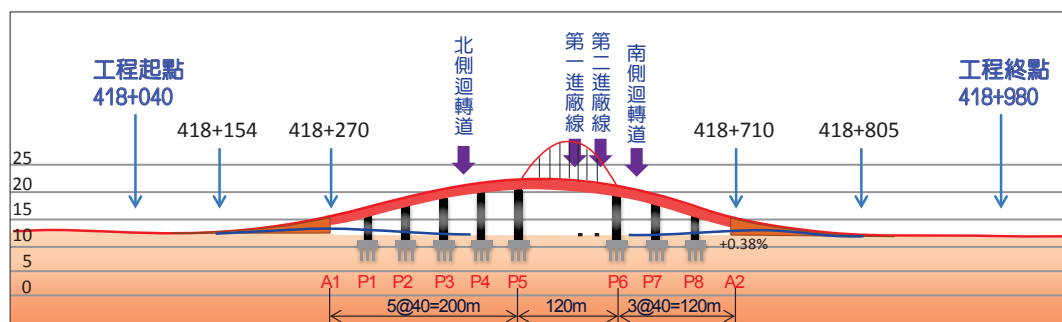


圖 6 結構立面圖

台 1 線潮州高架橋工程特色與設計實務

圖見圖 7~ 圖 8，鋼拱橋平面圖見圖 9。

第一單元及第三單元均採用場鑄逐跨工法施作，梁深控制為 2.4m。橋梁總寬自橋台處 20.6m 變化至 24.4m 而與第二單元鋼拱橋斷面順接，箱型梁則由單箱室變化至雙箱室。為減少結構量體沉重感，於箱型梁頂板採用加勁梁

以撐托橋面懸臂板，除可縮減中央箱室寬幅，更可利用加勁梁營造陰影韻律的效果，使橋型簡約流暢。預力系統採用 19T-15.2mm ϕ 內置預力鋼絞線，外腹板各配置 10 股預力鋼腱，內腹板配置 6 股鋼腱，內腹板鋼腱於箱室變化處中隔梁進行錨定。

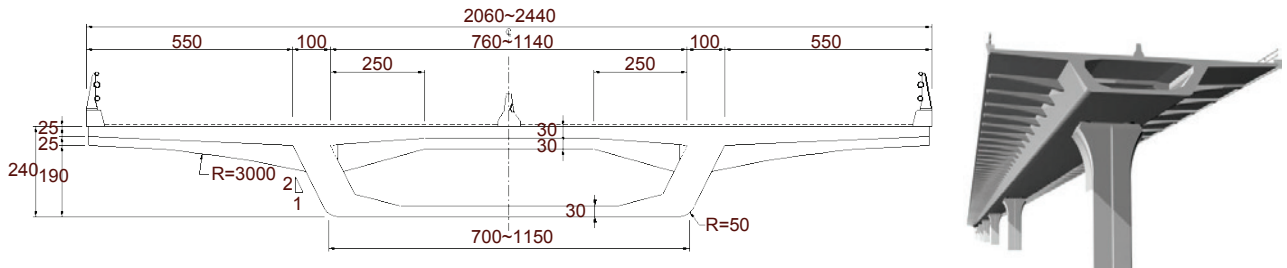


圖 7 第一、第三單元標準斷面圖

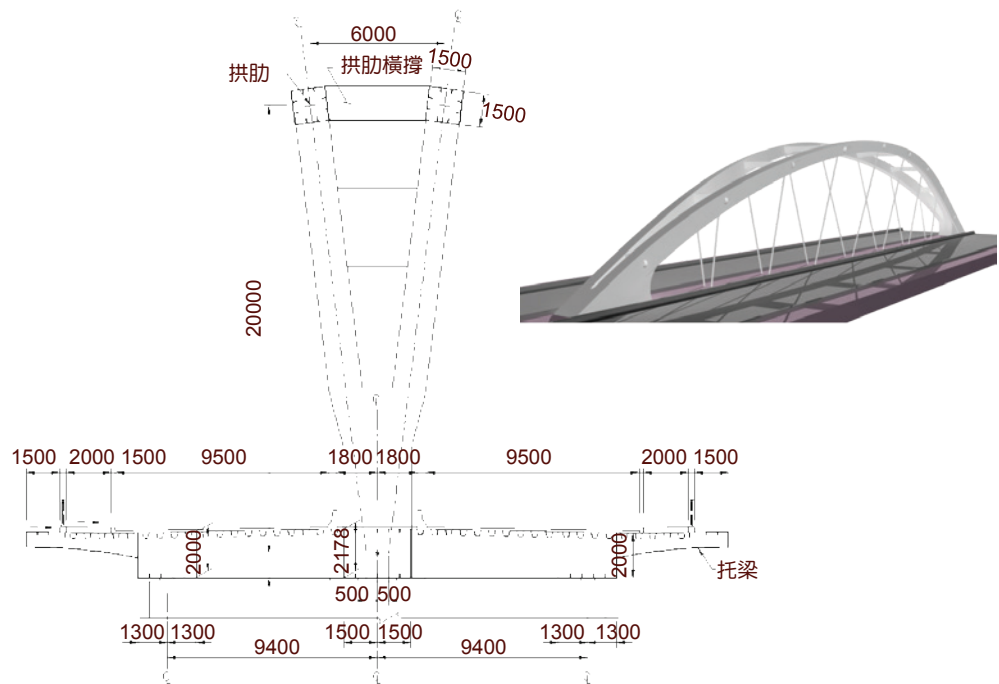


圖 8 第二單元標準斷面圖

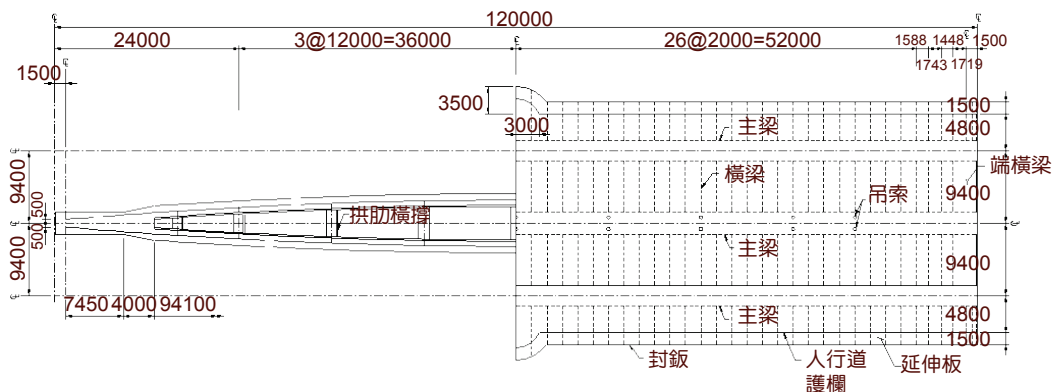


圖 9 鋼拱橋主橋及拱肋平面圖

三、鋼拱橋設計

3.1 橋型規劃

台 1 線潮州高架橋工程之主橋採鋼拱橋設計，拱肋造型係為端部單拱肋隨拱高漸變為雙拱肋之外傾式鋼拱橋，拱橋跨距 120m，橋面寬 31.4m，橋面配置為雙向四車道、慢車道及人行道。拱肋高 20m，拱高與跨徑比約為 1：6；拱肋採用拋物線線形鋼箱斷面，斷面在拱橋兩端拱腳處為變寬斷面。兩拱肋以 1：8 外傾為提籃式拱橋，拱頂兩拱肋中心距約 6m。吊索配設於橋面中央箱梁處，吊索往上連接拱肋，提籃式拱橋之外傾雙拱肋各有 9 根鋼索（見圖 10）。拱肋採用方形斷面鋼箱梁，而於雙拱肋拱腳漸變為單一拱肋；橋面採用鋼床板系統，共配置三支主鋼箱 GA、GB、GC 梁，於橋面端部以鋼箱型橫梁連接；與拱肋相接之中央主鋼箱 GB 梁寬為 3 m、梁深 2.18m，兩外側之鋼梁 GA 與 GC 寬為 2.6 m、梁深 2 m，主鋼箱梁中心間距為 9.4 m。

3.2 結構系統力學特性

鋼拱橋系統為洛澤 (Lohse) 式拱橋，拱肋與主梁共同承擔外力引致之斷面力。拱肋之功能為利用吊索將橋面結構重量轉化為軸壓力傳至拱橋兩端支承，而主梁之功能為提供平衡拱肋水平推力，以降低拱橋兩端基礎之負擔。因拱肋布設於橋面中央，考量橋面寬度較大，故須在兩側配置縱向主梁，維持橋面結構穩定性，

主梁連接橫梁，使整個橋面系統形成較強之整體勁度，對於提高穩定性與提升耐震性能具相當之助益。

吊索之作用為連接主梁與拱肋，將橋面受力分擔至拱肋，也縮減拱肋面內無側撐長度，提高拱橋面內勁度與穩定性。本工程採用垂直之吊索配置，拱肋於拱腳附近為單拱肋之變斷面箱型鋼梁。

鋼拱橋由於材料的輕量化，跨徑的超長化，橫向穩定問題特別重要，因此在設計中需考慮加強拱肋的橫向勁度。增加橫向勁度的方法除了加大拱橋的寬跨比外，另一就是加強橫向結構構造，例如增加橫撐數量及勁度，或拱肋採用傾斜方式配置，以提高橫向穩定度。

鋼拱橋結構分析之有限元素模型（如圖 11）中，拱肋、主梁、橫梁、橫撐等均以三度空間梁元素模擬，鋼索以二力桿件元素模擬。首先，進行靜力分析，拱橋之拱肋與主梁在靜載與活載作用下，拱肋與主梁之軸力變化量均大致均勻，拱肋全斷面受壓，軸力約在 3,200~3,600 ton 之間，拱頂最小，拱腳最大。

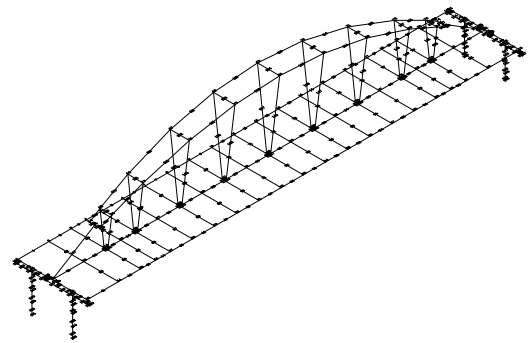


圖 11 有限元素分析模型

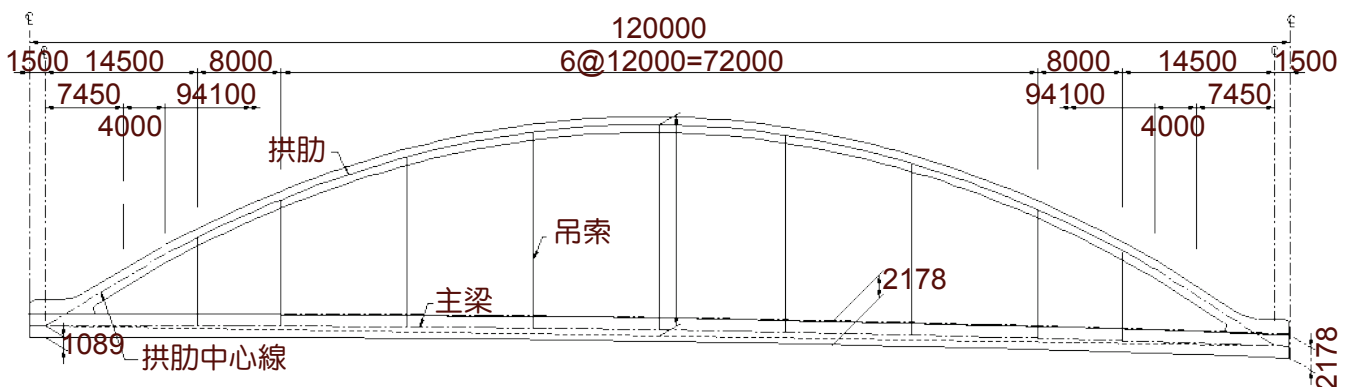


圖 10 拱肋及吊索立面圖

橋面主梁 GB 全斷面受拉，拉力約 1,450 ton，主梁 GA 與 GC 全斷面受拉，拉力約 850 ton；面內彎矩變化方面，拱肋最大正彎矩發生在拱腳約為 1,263 ton-m，另在 1/10 跨處附近有負彎矩峰值，主梁之最大彎矩峰值約在跨徑 1/4 處，約為 1,450 ton-m，屬正彎矩；面外彎矩變化方面，拱肋最大彎矩發生在拱腳約為 2,900 ton-m，主梁之面外彎矩峰值最大在端部約為 2,760 ton-m；剪力最大值 120 ton 則發生在拱梁接合處。

支承位於拱肋與主梁接合處下方，可使拱肋軸向力直接傳遞至支承，由於本工程鋼拱橋係採中央拱肋配置，除中央拱肋外，橋面兩側亦配置主梁 (GA、GC) 承受橋面載重，橋面端橫梁因此得承受由拱肋與主梁 GB 之軸力，其面外方向最大彎矩 3,900 ton-m，剪力 840 ton。

鋼床板之拱橋屬特殊橋，主橋及拱肋之主要施工關鍵過程如下所示：

- (1) 鋼構廠繪製詳細製造圖，並進行假安裝。
- (2) 鋼床板、主梁及拱肋焊接過程，應注意殘餘應變及預拱值。
- (3) 架設支撐及吊車吊裝位置、能量。
- (4) 吊索施拉順序。

施工前由承商提送各施工計畫書、鋼構製造圖、支撐計算書等，經工地工程司審核後施作，以維護施工安全，並使結構滿足設計要求。

3.3 穩定性分析

拱橋之拱肋係為主要之承壓結構體，當拱肋所承受之軸壓力達到臨界值時，整個拱肋就會失去平衡而發生挫屈。拱肋挫屈有兩種形式，一種為發生在拱軸線所在之平面內，稱為拱的面內挫屈。另一為拱的面外挫屈。一般而言，對於單拱，拱的面內勁度大於面外勁度，故易造成面外失穩。

本文以靜載與活載為基準，計算本文鋼拱橋之穩定安全係數，以 SAP2000 程式進行挫屈分析，第一挫屈模態為豎向反對稱挫屈模態之安全係數為 16.68，而橫向之第一挫屈模態之安全係數為 24.9，可見本橋之橫向穩定度遠高於豎向穩定度，但兩者之安全度均在安全範圍內。

3.4 鋼床板鋪面

第二單元鋼拱橋橋面板採用鋼床板，鋪面採 GUSS 瀝青混凝土及改質瀝青混凝土。鋼床板重量較一般混凝土橋面板重，鋼床板構造相對而言也較軟，當承受車輛載重時變形較大，故鋼床板鋪面必須有較佳的抗撓能力與黏著力，以提供行車舒適性，並保護鋼床板免於磨損及鏽蝕。GUSS 瀝青混凝土起源於歐洲，主要是以粗骨材、細骨材及填充料加入特殊瀝青黏結，在高溫下混合而成。GUSS 瀝青混凝土在高溫下具有流動性，可與鋼床板緊密結合，具不透水性，鋪設完成後形成一不透水層，有效隔絕雨水的滲透，防止鋼床板的鏽蝕。本工程於鋼床板上鋪設 4cm GUSS 瀝青混凝土及 4cm 改質瀝青混凝土，如圖 12 所示。

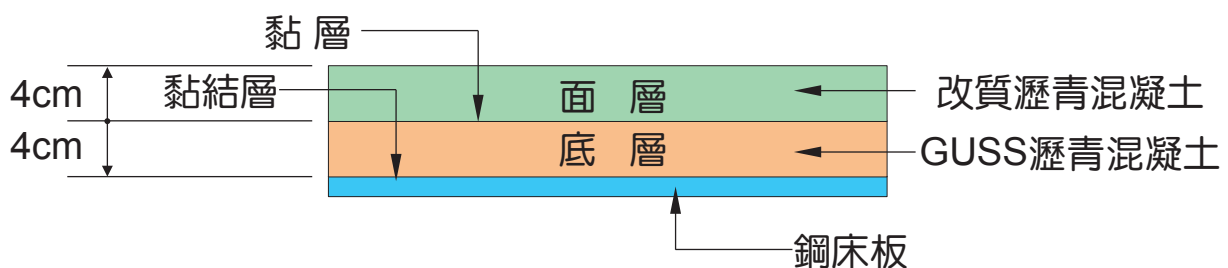


圖 12 橋面板瀝青鋪設斷面圖

四、景觀設計及工程碳管理

4.1 景觀設計

本工程完成後，搭配臺鐵潮州機廠的廠區、綠帶及鐵道博物館，鋼拱橋將成為當地之地標。鋼拱橋之拱肋由橋端之單一拱肋分叉為雙拱肋，為國內首見之拱橋造型，橋上人行道欄杆及橋名柱（詳圖 13），配合當地意象，營造優良之景觀。橋名柱以花崗石搭配火車頭意象，以融入附近鐵路機廠之景觀，人行道欄杆則以遠處山巒起伏之意象，以呼應橋梁東側之大武山。

鋼拱橋之塗裝顏色，依據公路總局作業程序，提出色彩計畫，邀請專家學者召開選色會議。會議結論以「融合環境色彩」為主調，採用低彩度中明度之自然色系，強調融入整體環境背景，並降低鋼橋量體感達到視覺上輕量化效果。為呼應本路段大面積藍天的色彩特質，

並達到與周遭環境調和效果，決議以藍白色為本橋之顏色。

透過電腦模擬，呈現未來完工後的透視圖，詳見圖 14 及圖 15。

橋梁除滿足車行的機能動線，也能提升城市美觀與形塑城市新焦點，橋梁造型在考量結構安全的同時，並以優美曲線的彎拱造型搭配對稱的吊索，呈現力學的結構美感，並藉由夜間光雕的規劃，為潮州地區增添一處可供欣賞取景的城市亮點。

近年來夜間橋梁景觀照明成為趨勢，本工程於維護費用允許之情況下，將設置景觀照明。以多元的彩度塑造地標，迎合生態作息的時序編程，並採節能環保的 LED 燈光計畫。利用電腦控制，每天各時段展現不同顏色，亦可於節慶時搭配燈光展演，於拱肋上呈現全彩燈光變化，提昇整體精緻度。LED 燈配置示意圖如圖 16 所示，燈光模擬效果如圖 17 所示。

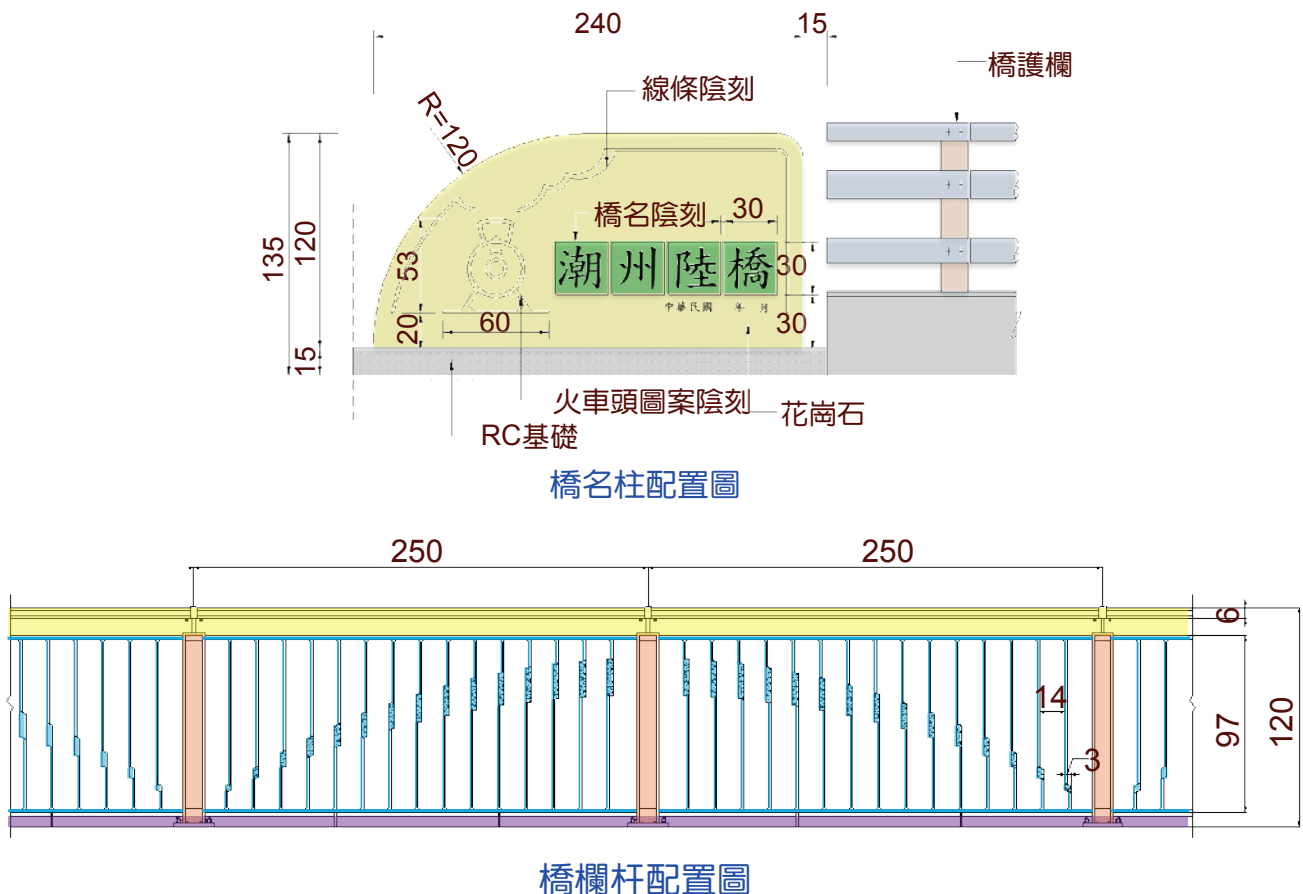


圖 13 橋面柱與欄杆配置示意圖



圖 14 高架橋與潮州機廠完工模擬圖



圖 15 橋上及橋下視覺景觀模擬圖

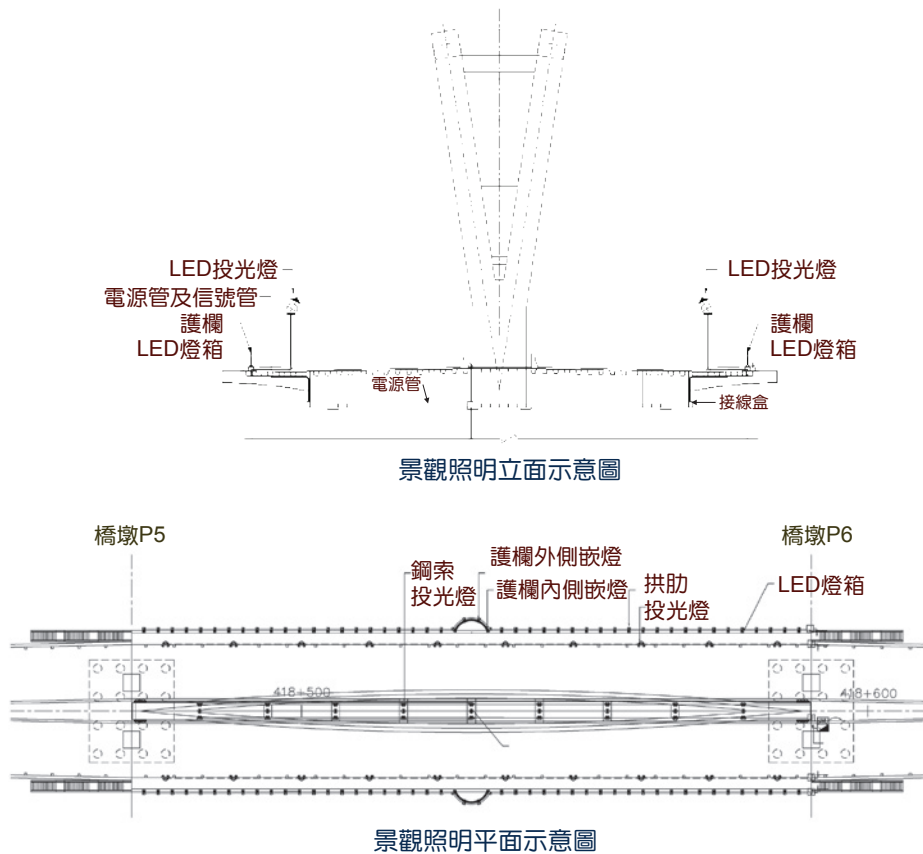


圖 16 景觀照明配置示意圖

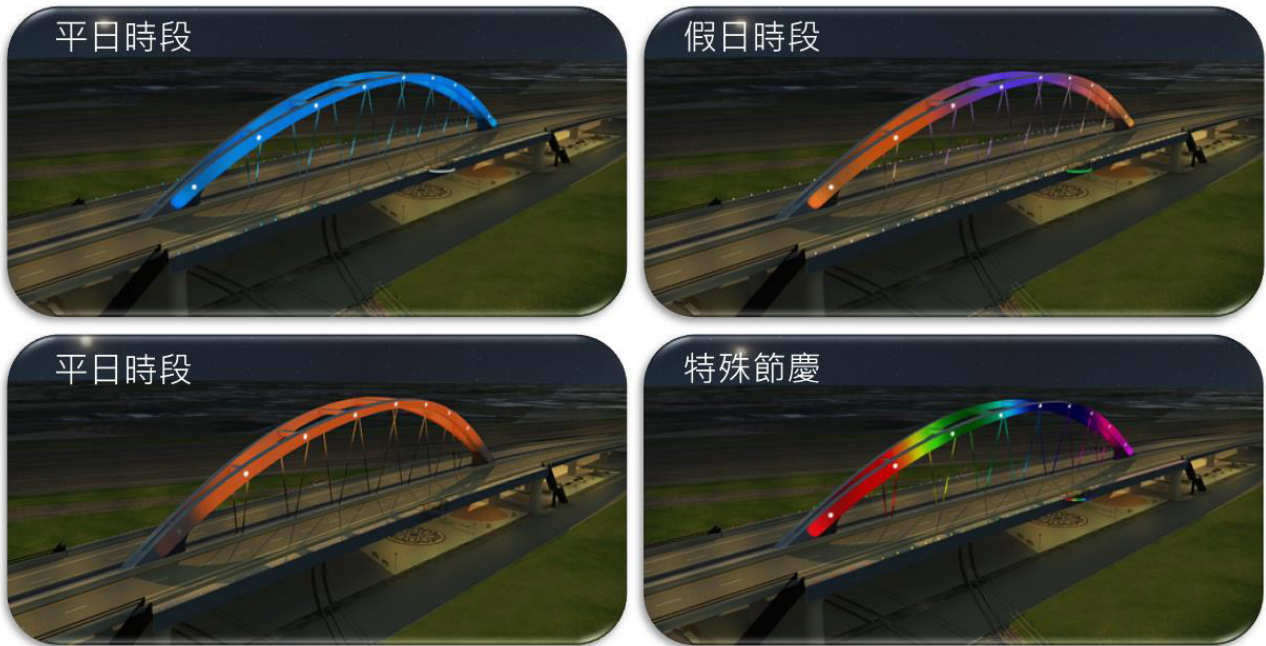


圖 17 景觀照明模擬圖

4.2 工程碳管理

身為地球村的一份子，台灣於保衛地球環境的決心與行動，亦不落人後。早自民國 83 年行政院即成立「全球環境變遷政策指導小組」，近年來陸續於 95 年通過「溫室氣體減量法」草案，於 97 年揭示「永續公共工程-節能減碳政策白皮書」為後續公共工程進行節能減碳之指導方針，更於 98 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」，明訂公共工程執行預算需考量一定比例之綠色內涵經費，99 年直接將「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 99 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。

本工程特將工程碳管理暨碳足跡盤查及查證工作納入，期望配合主體工程施工期程，進行實質盤查工作，並於工程竣工後，提出完整的碳足跡報告，向驗證機構提出查驗申請並取得碳足跡聲明證書。

本計畫整體構想及目標如圖 18，說明如下：



圖 18 碳盤查計畫整體構想及目標

- 一、首先於資料蒐集分析及制度建立課題，由國內外資料蒐集確認本計畫工程盤查輔導邊界、程序、內涵及制度；另可考量由本計畫執行經驗，對於我國工程碳足跡盤查作業程序提出建議，提供國內橋梁工程碳足跡計算的一致標準。
- 二、對於碳足跡盤查輔導及查證課題，經由實際盤查數據建立我國橋梁工程等活動資料；並由生命週期軟體、資料庫及材料供應商配合盤查提供之數據，建立我國工程碳足跡計算之本土化參數資料庫。相關資料取得及確認後，進一步量化本工程碳足跡；於工程完工後，經由查驗機構查證並取得

碳足跡查證聲明書。

三、最後在整體計畫執行長期目標，透過計畫執行，掌握工程重大碳排放源，由碳排放量與工程特性關連性瞭解工程碳足跡影響因子，將可供其他工程計畫於規劃設計階段進行排碳量或減碳量推估之參考，並作為後續工程施工及採購規範擬定參考。

由本計畫之執行，預期達到以下成果：

- 一、建立道路工程生命週期碳排放量推估基準及施工期間盤查作業程序。
- 二、完成台 1 線潮州高架橋工程施工期間碳足跡盤查作業。
- 三、取得台 1 線潮州高架橋工程標案之碳足跡查證聲明書。
- 四、建置本土道路工程施工階段碳足跡計算參數資料庫。
- 五、依據實際盤查結果，以瞭解台 1 線潮州高架橋工程碳足跡，及計畫整體工程之碳排放量。
- 六、建議台 1 線潮州高架橋工程施工期間減碳作為，展現整體工程減碳成效。

五、結論

台 1 線潮州高架橋工程屬臺鐵潮州機廠開發計畫之配合工程，相關工程費由臺鐵局支付，委由公路總局代辦執行。於工程預算金額內，本工程採用了大跨度的鋼拱橋，以提供橋下鐵路車輛行進的空間與淨高之需求，同時考量搭配潮州機廠整體景觀，採具地標意象之鋼拱橋。本工程施工期間為降低交通之干擾，利用台 1 線東側的台糖農地作為改道便道，以維持台 1 線之交通順暢與行車安全，並提供全面的施作空間，俟完工後再復原農地交還台糖公司。

本工程完成後，可融入臺鐵潮州機廠規劃的廠區、綠帶及鐵道博物館的地物之中，藉著拱橋景觀照明，塑造本橋梁為台 1 線進出潮州地區的地標門戶，並可促進地方之觀光與經濟發展。另外，藉由施工階段之碳足跡盤查，於完工後取得碳足跡聲明證書並建置本土道路工

程施工階段碳足跡計算參數資料庫，以供未來國內同類型之公共工程於執行碳足跡計算及碳盤查工作時參考使用，以達到公共工程節能減碳、永續發展的目標。

參考文獻

- [1] 行政院交通部「公路橋梁耐震設計規範」，民國 98 年 6 月。
- [2] 日本道路橋示方書同解說，II 鋼橋編。
- [3] 行政院環保署「產品與服務碳足跡查證技術指引」，民國 100 年。
- [4] 行政院交通部「節能減碳規劃設計參考原則」，民國 99 年。🔗