大地美脊工藝
—脊背橋

關鍵詞(Key Words)：脊背橋(Extradosed Bridge)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／資深協理／黃炳勳 (Huang Ping-Hsun) ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／經理／陳新之 (Chen Hsin-Chih) ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／經理／蔣啟恆 (Chiang Chi-Heng) ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／副理／陳傳興 (Tan Thuang-Heng) ❹
台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／副理／劉珊 (Liu Shan) ❺
台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／計畫副理／陳明谷 (Chen Ming-Ku) ❻

摘　要

隨著科技快速發展、工藝精進，橋梁工程已由傳統小跨、簡支橋梁，轉而以中大跨度、多跨連續，甚至景觀地標橋梁為需求主流。於結構減量及環保意識高漲之際，如何使結構斷面更為輕巧，提供較大的空間，同時符合景觀需求，降低環境衝擊等，已為橋梁工程師必須考量的重點。隨著橋梁施工技術大幅精進、工程材料不斷創新、科技的輔助，於橋梁結構整體分析能力，近年來有大幅的提昇，也提供橋梁工程師更多的橋型選擇。當橋梁跨徑介於100～200公尺間時，若布設傳統梁橋，其上構量體偏大且景觀性不佳，而選用斜張橋型式雖可縮減梁深，但工程費偏高，且於橋梁淨高限制或有航高限制條件時亦不適合。故於此限制下發展出將部分預力鋼索配置於大梁上方之脊背橋，除可兼顧縮小梁深、減小量體外，亦相對能提供較斜張橋經濟之另外選擇。本文並藉由本公司實際已完成之脊背橋：新豐平橋、永安交流道脊背橋、金門大橋、旗山橋、南澳北溪橋等五座實例脊背橋做一初步介紹。

Craftwork of Earth Ridge - Extradosed Bridge

Abstract

With the rapid development of science and technology, traditional bridge works in small span, simply supported structure are transferred to the large span, continuous multi-span structure, and even landscape landmark. Therefore, more factors should be considered for bridge engineers, such as reducing the bridge scale, meeting the landscape requirements, decreasing the environment impact, etc. Due to the help of bridge construction technology progress, materials innovation, analysis tool support, there are great improvement in capabilities of bridge analysis in recent years, and bridge engineers have more choices for selecting bridge type. While the bridge span is between 100 to 200 meters, traditional girder bridge will cause the structure quantity too large to be accepted. Cable-stayed bridge can obviously reduce the girder depth, but the cost is much higher and the tall tower cannot be fitted to any cases, such as bridge clearness or height is limited. A new bridge type named “extradosed bridge” is taken into account then. This paper illustrates the new bridge choice-Extradosed Bridge, and five successful cases about extradosed bridges designed by CECI are introduced.

壹、前言

隨著科技快速發展、工藝精進，橋梁工程已由傳統小跨、簡支橋梁，轉而以中大跨度、多跨連續，甚至景觀地標橋梁為需求主流。國內橋梁工程發展雖晚於歐美先進國家，惟歷經國道一號、三號洗禮，及六年國建計畫中各類型橋梁的完成，經數十年橋梁工程經驗累積，國內於橋梁設計工藝，已隨著各項交通建設完成而快速提昇。今各顧問公司對一般傳統預力混凝土橋梁之設計及施工技藝均已達一定水準。而隨著環保意識抬頭，使用者除了要求安全、便捷之交通建設外，對於景觀協調、環境衝擊議題益發重視。因此，在設計大跨度地標性橋梁時，如何在兼顧安全便捷、尊重環境等原則下，適度縮減結構斷面、提供更大的空間，同時符合景觀需求，降低環境衝擊等，是橋梁工程師必須面對的挑戰。

橋梁跨徑介於100～200m 時，若布設傳統型式梁橋，其上構量體偏大景觀性不佳；而選用斜張橋型式雖可縮減梁深，但工程費偏高，且於橋梁淨高限制或有航高限制條件時亦不適合。故於此限制下發展出將部分預力鋼索配置於大梁上方之脊背橋(圖1)，除可兼顧縮小梁深、減小量體外，相對能提供較斜張橋經濟、降低未來管養負荷之另外選擇。此外，脊背橋亦能展現力學效果及地標美學。本文擬先就脊背橋之發展歷程及結構特性進行初步介紹，最後以本公司負責設計之脊背橋實例進行分享，分別是花蓮台九新地標-新豐平橋、與漁港呼應之御風長揚-永安交流道脊背橋、串連大小金門之高梁穗心-金門大橋、重現「蕉城」旗尾秋蒐-旗山橋、蘇花公路上新焦點-南澳北溪橋等五座，分別說明在設計階段，如何將橋梁與現地景觀、環境結合。

圖1 脊背橋(木曾川橋)
(參考自 http://www.showa.co.jp/br/br37.html)

貳、發展歷程

脊背橋(Extradosed bridge)名稱的使用，各國習慣不同(詳下表)。台灣一般使用「脊背橋」或「斜索外置預力橋」，各國使用名稱詳如表1：

表1 脊背橋各國使用名稱

國家	使用名稱
台灣	脊背橋、斜索外置預力橋
美國	Extradosed bridge
日本	エクストラドーズド橋(Extradosed bridge)
大陸	部分斜拉橋、矮塔斜拉橋

脊背橋最早出現的實例，可追溯到19世紀初美國德州 Barton Creek Bridge (詳圖2)，該橋梁運用了脊背橋的原理設計，目前橋梁已損毀，原橋址仍保存部分舊有結構。第一座仍提供使用的脊背橋，為瑞士工程師Christian Menn 於1980年完成之Ganter Bridge (詳圖3)，惟當時將這種橋梁稱為hollow box cable-stayed bridge，並未稱為「Extradosed bridge」。而首次出現「Extradosed bridge」概念，是法國工程師麥斯威特(Mathivat)於1988年首先提出之橋梁方案，該方案為跨徑100公尺之塔梁固接預力混凝土箱型梁(詳圖4)。日本則於1994年建成第一座脊背橋(小田原港橋，詳圖5)，跨徑配置為74＋122＋74公尺，其後本橋型於日本快速發展，至今已有30餘座。大陸於2000年建成第一座脊背橋(蕪湖長江大橋，詳圖6)，但本座為鋼梁橋，而預力混凝土橋則為2001年建成之漳州戰備大橋

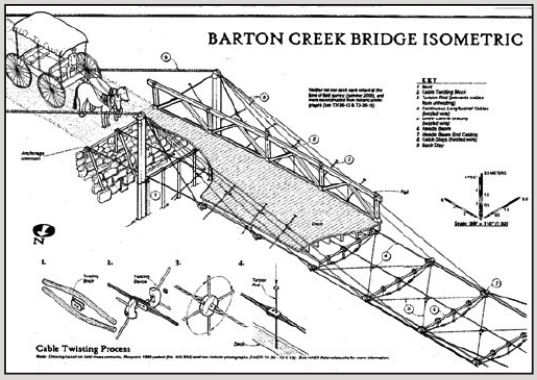


圖2 Barton Creek Bridge
(參考自http://www.historicbridgefoundation.com/ipages/texas/hillcountry/travis/barton.html)

圖3 Ganter Bridge
(參考自http://en.structurae.de/structures/data)

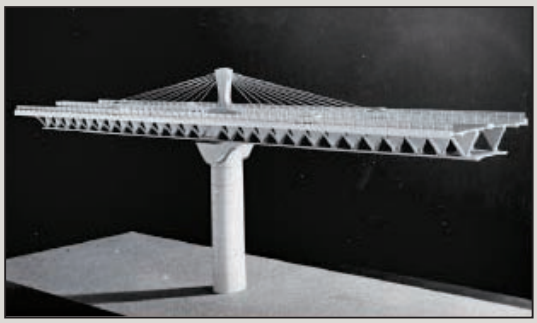


圖4 Mathivat提案(來源：網路)

圖5 小田原港橋(參考自http://ja.wikipedia.org/wiki/)

圖6 蕪湖長江大橋
(參考自http://www.tuniu.com/places/8858)

圖7 漳州戰備大橋
(參考自http://bridge.tongji.edu.cn/qiaoliang/bridgeaided/album/subject/SUBJECT7/2.htm)

(詳圖7)，跨徑配置為80.8＋132＋80.8公尺，至今也已有數十座，而台灣則已有多座脊背橋完工通車的作品。

脊背橋經過十餘年發展，預力箱型梁最大跨徑已達230公尺(中國2006年，荷麻溪大橋，跨徑配置125＋230＋125公尺，詳圖8)，鋼與混凝土混合梁則達275公尺(日本2001年，木曾川橋，跨徑配置160＋3@275＋160公尺，詳圖1)，而橋長與跨數方面，採預力箱型梁之最大規模為黃河特大橋(中國2006年，跨徑配置85＋6@140＋85＝1010公尺，詳圖9)。日本於近期更發展出採波形鋼腹板與預力混凝土主梁混合型式之脊背橋(日本，2003年，日見夢大橋，跨徑配置92.5＋180＋92.5公尺，詳圖10)，主要考量在於降低上構自重並增加橋梁整體景觀性。

圖8 荷麻溪大橋
(參考自http://www.crccg.com/Article_Show.asp?ArticleID=5900)

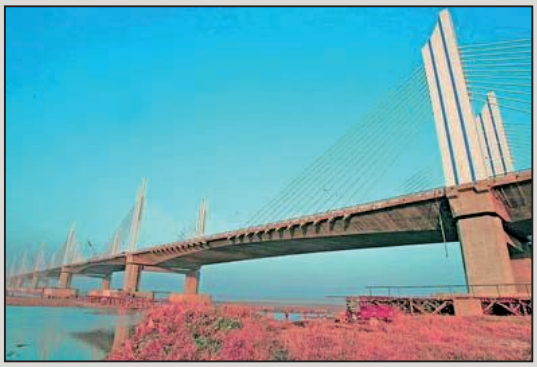


圖9 黃河特大橋
(參考自http://www.zixuncity.com/info.jsf?id=200611152013586b48f659af8311f94d0f5674e494299a03dcaaad)

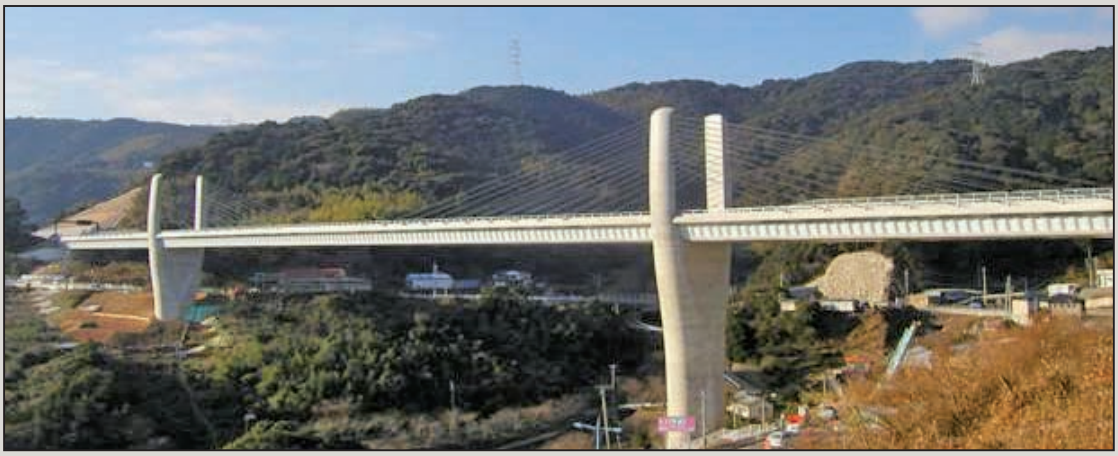


圖10 日見夢大橋-波型鋼腹板脊背橋
(參考自http://www.haltec.co.jp/development/aps/aps3.html)

參、結構特性

脊背橋外觀近似斜張橋，但構造特性接近梁橋，整體剛度由梁體提供，斜索有如梁橋之外置預力作用，除對主梁提供垂直分力外，亦提供較大軸壓力，使梁能承受彎矩，因此斜索之傾角較小，塔高亦不能太高，圖11為梁橋、脊背橋及斜張橋結構型式示意圖。因塔高不高，施工較容易且剛度較大，塔頂水平位移小，不用配置如斜張橋之限制塔頂水平變位之端錨索。主梁深度因斜索之加強作用，比一般梁橋淺，可營造輕巧之意象。

本橋型相較於梁橋有下列特點：(1)可降低梁深、(2)避免造成壓迫感、(3)結構新穎景觀性佳、(4)可配置較大跨徑。另和斜張橋比較，則有下列特性：(1)鋼索因活重造成之變動應力幅度較小；(2)有較矮之橋塔，適用於塔高限制地區，換索容易且剛度大，塔頂位移小，適用多跨配置；(3)可採傳統懸臂工作車施作上構，施工簡便；(4)塔頂錨碇可採用貫通式鞍座；(5)勁度高可供作鐵路橋；(6)耐風穩定性佳；(7)主梁剛度大變形小，施工預拱控制較為容易；(8)主梁為變斷面，工作車施工較為不易。

本橋型是由塔、墩、梁及斜索等四種基本構件組成，斜索及梁主要承載跨徑中載重後，再分別傳至橋塔及橋墩，最後透過橋墩及基礎將力量分散至大地中。跨徑配置可採用雙跨、三跨或多跨配置，因本橋型剛度較大，解決了

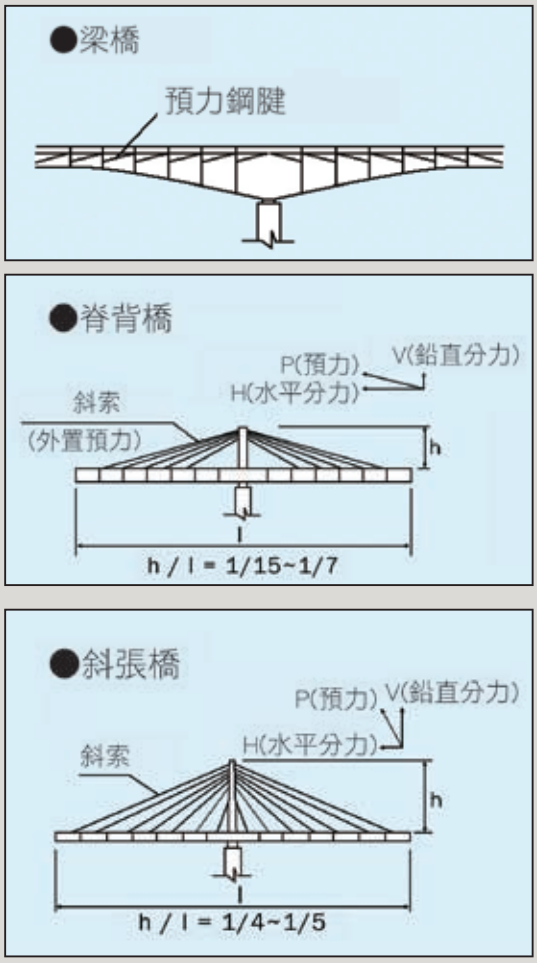


圖11 三種橋型結構示意圖

圖12 加拿大Rapid Transit Bridge
(參考自http://www.flickr.com/photos/bctransit/2474913017/)

斜張橋多跨配置中之中間跨剛度較小變形過大問題，其跨徑配置甚為靈活。本橋型適用時機為(1)跨度超過一般梁橋而建斜張橋不經濟時；(2)對剛度要求較大如鐵路橋或多跨斜張橋；(3)塔高受限時，如航高限制(圖12加拿大Rapid Transit bridge)。

肆、本公司設計實例介紹

一、新豐平大橋

(一) 緣起

花東縱谷位於中央山脈與海岸山脈之間，兩側壯麗的山景、其間蜿蜒的溪流構成一幅秀麗的景緻，在滿布綠意的平原間散布著田園、農牧場等觀光景點，讓花蓮成為國內外遊客流連忘返之世外桃源。省道台9線貫穿花東縱谷，串連縱谷周邊遊憩景點，聯絡東部地區主要鄉鎮，與東部幹線鐵路形成花蓮兩大交通命脈。配合政府推動之觀光倍增計畫及花蓮縣政府積極打造之「洄瀾夢土」計畫，花蓮地區之觀光旅次逐年增加，本段道路彎曲、視線不佳，交通事故頻繁，故建議道路拓寬並改線避開人口密集區，截彎取直使路線縮短約1.7公里(詳圖13)，除可改善交通品質外，更可有效解決年節

圖13 新豐平大橋工程位置圖

塞車問題，降低車禍發生機率。

(二) 印象

本工程路段景觀特色包含山林所構成的天際線、山景、橋梁、河川、溪流、渠道、農田、混合林、人工綠地、市鎮、大型廠房建築等景觀特色類型(詳圖14)。農業地景區域開闊，視域開放，農作隨季節變化，除具賞景價值外，更能感受人與天地間相互依存之豐富情境。

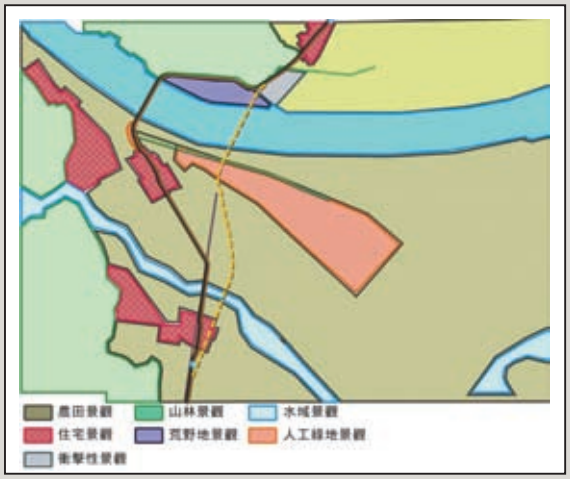


圖14 工程鄰近範圍景觀元素種類分析圖

路段跨越壽豐溪處需新建橋梁，所行經環境景觀元素主要為水域景觀，另有少許荒野地及農田景觀，而壽豐溪河寬約600公尺，河域面積寬廣，河床滿布礫石，景觀壯闊。新建橋梁位於舊橋下游約1,300公尺處，由於河面相當開闊，由舊橋及兩岸堤防處均可遠眺新橋景緻(詳圖15)。

(三) 發想

由於本區為花東旅遊必經路線，橋梁若可納入當地秀麗之山形及壯闊之河景等資源，以具有環境特色之景觀橋梁為主軸設計，除可提升交通功能外，亦可發展區域景觀、塑造橋體與環境和諧之美，以提供人文地景、紀念性與自然景觀等多樣性遊憩體驗。

由整體環境分析，建議橋梁型式可由當地景觀資源發想，規劃主題分別以「山巒疊翠」及「銀河飛鳥」出發，以融入環境特色。

■ 山巒疊翠

擷取鄰近山巒起伏與倒映於溪水之線條，轉化為山型線、交疊之弧形線，可充分展現東部地形之特色，運用於橋梁主結構及附屬設施設計。在色彩上，以與環境相容之灰色、白色為基調，在特殊造型結構上可以黃色、淡綠色反映鄰近田園與山的色彩(詳圖16)。

圖15 開闊之壽豐溪

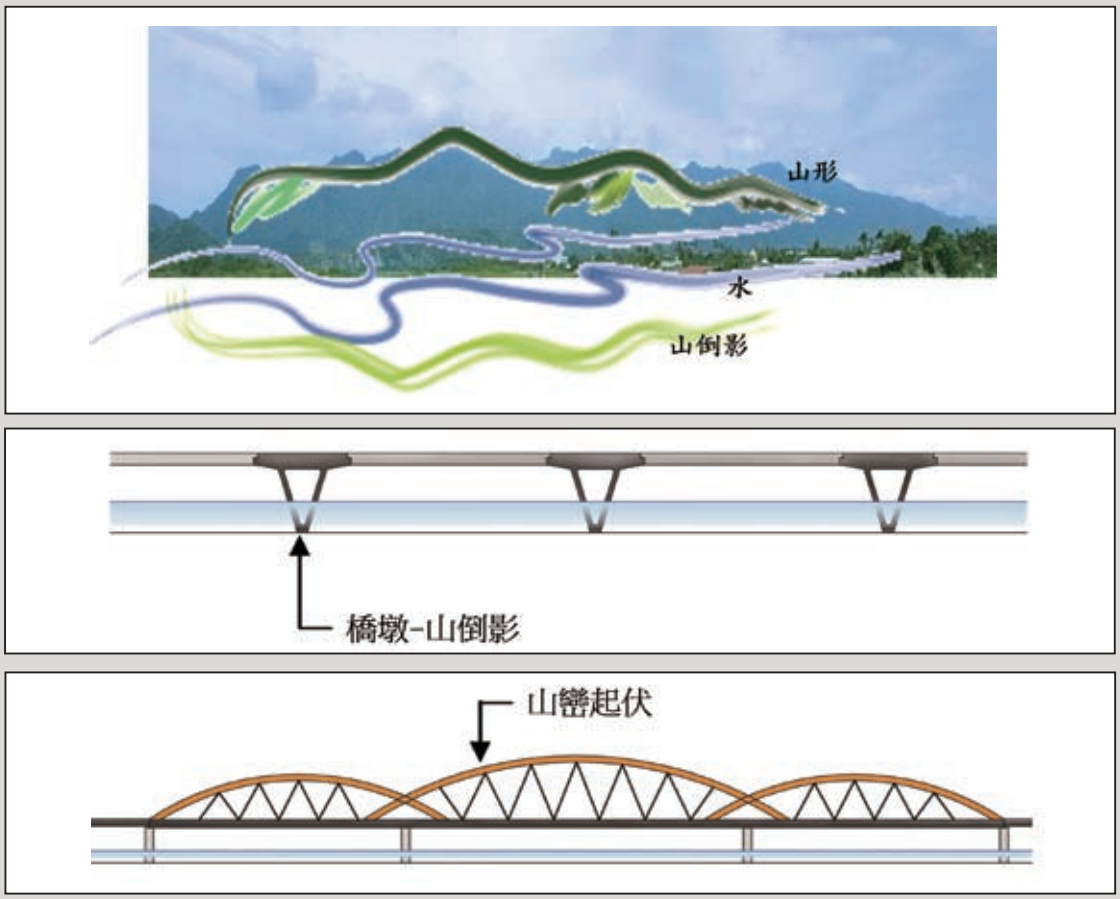


圖16 山巒疊翠方案構想

■ 銀河飛鳥

以環境背景山嵐、白鷺鷥為主題，將山腰的薄霧裊裊、鳥之雙翼，轉化為彎拱與曲弧語彙，運用於橋體及結構設計，代表諧和、飛翔，並以水波紋為立面欄杆造型，呈現優雅、安靜之溪流景觀，使橋與環境融為一體(詳圖17)。

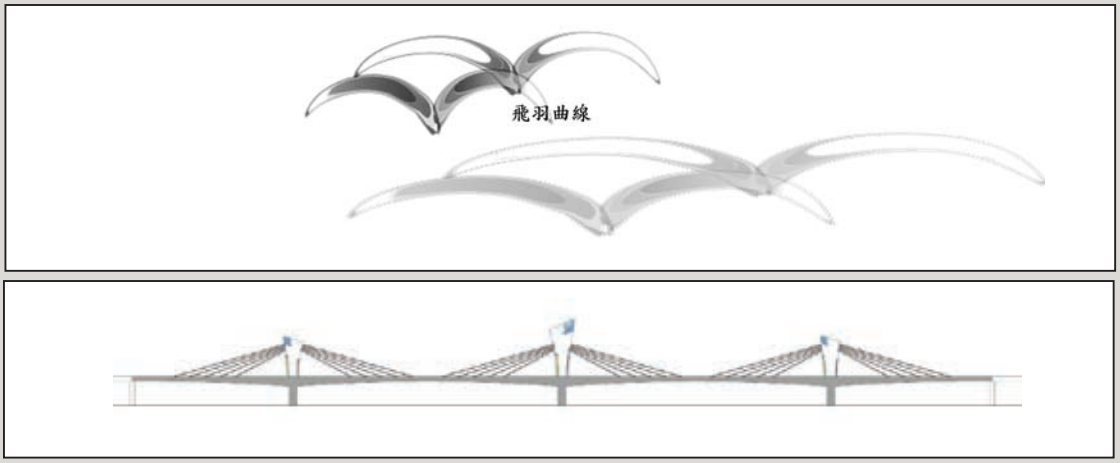


圖17 銀河飛鳥方案構想

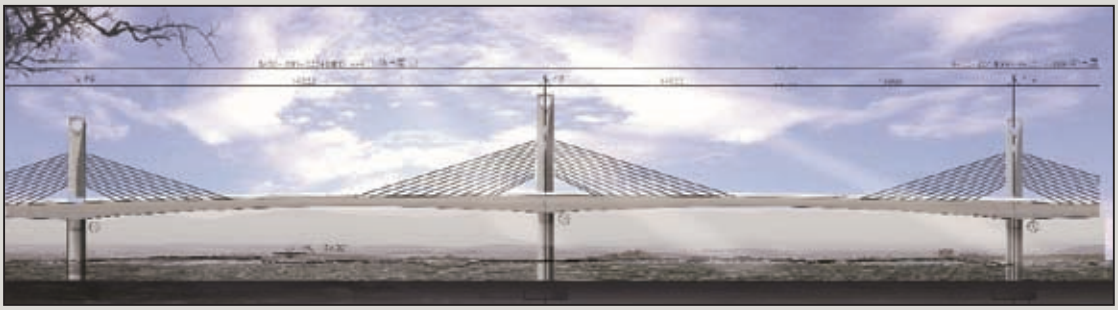


圖18 橋梁立面圖

(四) 形塑

綜整規畫構想，由於本工程工址環境景觀自然，行經路線周邊多為鄉間田園景色，故主橋以當地常見之河川、田間生態常留鳥白鷺鷥作為主題語彙，融入整體橋梁設計。壽豐溪河寬近600公尺，景觀開闊，為減少河槽內落墩，主橋跨徑配置84＋2@140＋84公尺，全長448公尺，為國內首座三塔連續脊背橋(詳圖18)。

橋梁上部結構採弧線變梁深預力箱型梁，配置斜拉鋼索，可有效降低梁深需求，擺脫混凝土橋梁厚重的形象。中央橋塔配置11組斜索，兩側橋塔則配置各10組斜索，配合橋面弧形縱坡設計，橋梁中央橋面及橋塔益顯高聳，搭配白色的斜索，氣勢相當宏偉。橋塔配置於橋面中央，為減少對行車之壓迫感，故儘量縮減橋塔橫向尺寸，也可有效減少橋梁寬度，橋塔鋼纜錨碇處配合採鋼殼與混凝土之複合構造，橋塔鋼纜採分離式錨碇，使橋塔橫向全寬度縮減至2.2公尺，配合橋塔橋面以上全高30公尺，使橋塔呈現纖細之視覺感受。

(五) 雕琢

一般橋塔造型多以矩形設計，本工程之橋塔結構斷面外形以不規則多邊形設計，以稜線構成多角度切面，無論在日間或是夜間，在不同光線方向下，多重之光影變化營造出橋塔立體雕塑美感，橋塔兩側之凹槽更巧妙的修飾了斜索錨碇段，透過整體建築的設計手法，讓橋梁呈現了細膩優雅的面向(詳圖19)。

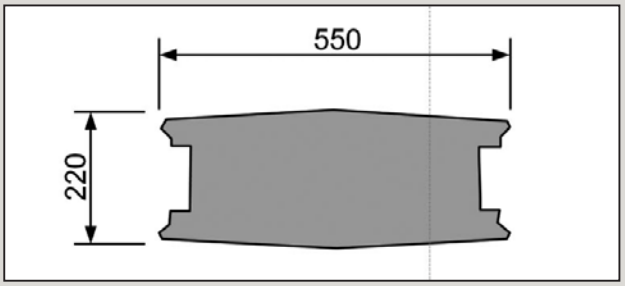


圖19 橋塔斷面設計

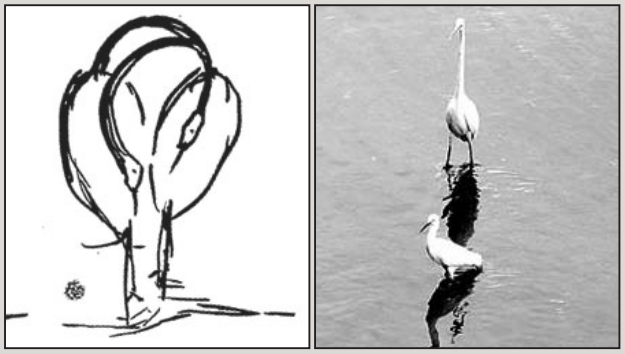


圖20 橋梁方案構想-「氛圍」

橋塔頂部配合工址自然環境，以白鷺鷥作為設計主軸。白鷺鷥繁殖期間，雌雄共同築巢、孵卵及育雛，橋塔設計方案構想為「氛圍」，希望傳達繁殖期間，雌雄白鷺鷥交頸的情誼，同時代表花蓮在地的濃濃的人情味與地方認同感，使得冷硬的交通設施也能有感性的表情(詳圖20)。

橋塔造型斷面以三維變化設計，造型特殊，施工技術困難度極高。為忠實呈現設計構

圖21 橋塔完工實景

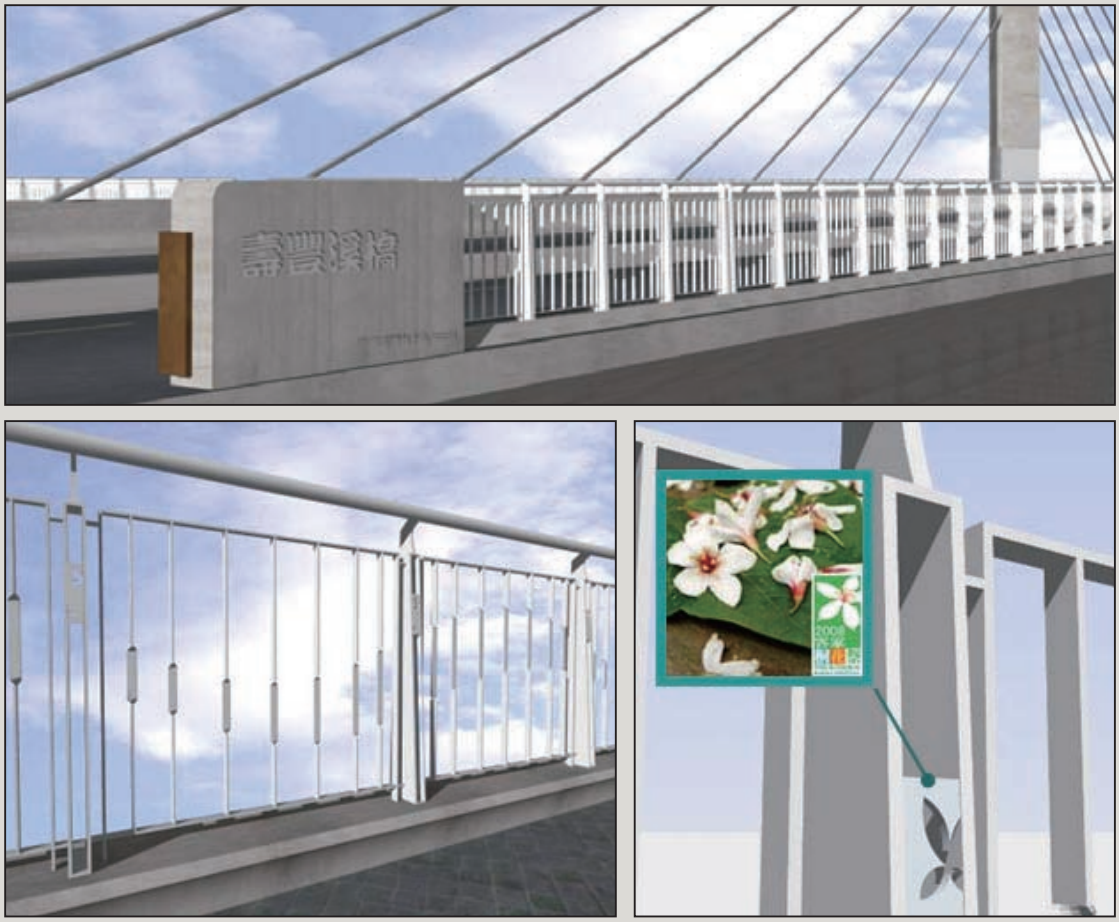


圖22 橋欄杆造型設計

想，施工前先製作縮尺之木、石模型，確認橋塔造型及細節，施工時更以三維模擬製作造型模板，現場施作精密控制，使完成橋塔細緻美觀，線條變化流暢(詳圖21)。

橋欄杆立面搭配白鷺鷥意象，融入水波紋造型，鋁合金欄杆以不同彎折方式，營造水波流動之感受，以呈現優雅、安靜之溪流景觀，使橋與環境融為一體。由於橋梁連結花蓮壽豐鄉及鳳林鎮，鳳林鎮客家人口眾多，設計時於欄杆細部鏤刻桐花圖案，可更加深在地客家印象(詳圖22)。

配合整體橋梁設計意象，於兩側橋頭設置

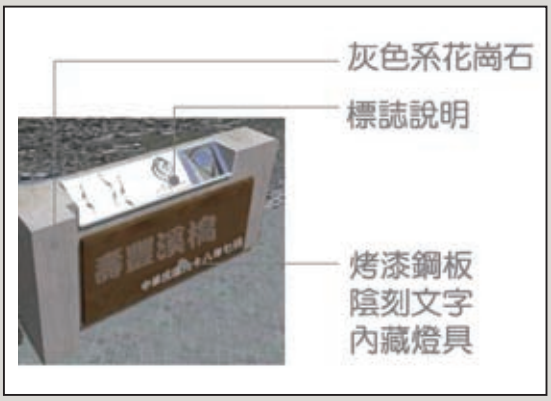


圖23 橋名柱造型設計及完工實景

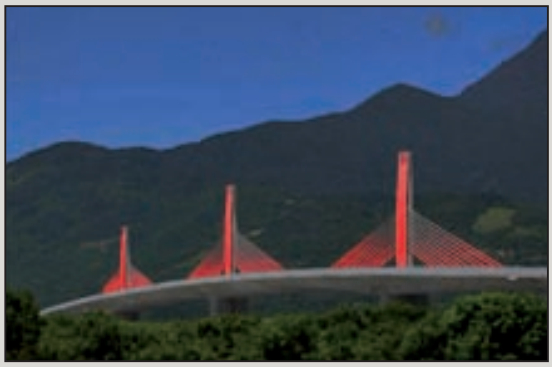


圖24 景觀照明模擬(平日)

圖25 景觀照明模擬(節慶)

橋名柱，除標示橋梁名稱外，在橋名柱上方加設標誌說明，以傳達橋梁設計主題，內容包含白鷺鷥圖型、橋塔方案「氛圍」之手繪圖樣及橋塔圖型等。遊客行經橋梁停留休憩賞景時，可同時瞭解本橋之設計意涵。橋名柱以花崗石為底，表面配合烤漆鋼板設計，將橋名鏤空於鋼板，內面加設LED條形照明，夜間微微透出光線，以低調方式呈現設計之美感(詳圖23)。

(六) 光影

本工程路段屬於花東縱谷國家風景區範圍，且為國家級景觀道路，橋梁完工後可串聯附近景點，自身更可提供民眾新的遊憩體驗，帶動觀光事業發展，活絡地方經濟。夜間加設景觀照明，可利用光的質感，打造天際線亮麗視覺，強調結構美感，提供遠觀的人們不同的景緻，拉近水與人之間的關係，賦予橋梁、水

岸動態的感覺。

景觀照明色彩配合橋梁整體造型呈現，平日之燈光表現以簡單為原則，每日以不同顏色呈現，使每天之色彩都有其日期意義，整點時刻則以當日之色系做淡入淡出燈光效果，表現出大自然生生不息的意念(詳圖24)。

為增加花蓮地區觀光遊憩之趣味性，吸引遊客停駐觀景，於特殊節慶或假日時，更增加不同形式之燈光表演，以多樣之色彩變化，同時以稍快節奏的明暗律動交錯搭配讓整個燈光內容呈現熱鬧的感受並呈現歡欣的氣氛(詳圖25)。

(七) 構築

本工程之興建規劃，結合當地自然環境、風土人文等資源，以景觀美質、生態設計之手法，將整體環境美學及生態保育觀念，納入工程設計規劃中，成為結合現代科技及地域景觀特色之完美作品(詳圖26)。細緻的設計加上優異

圖26 新豐平大橋完工照片

的施工品質，完工後除大幅紓解交通流量、提升行車安全交通外，其地標意象亦成為花蓮地區新的遊憩景點，提升當地之觀光產業。

二、永安交流道脊背橋

(一) 緣起

政府為因應快速的經濟發展而引致大量的交通需求，配合高、快速公路建構台灣西部走廊之快速公路網路，藉由西濱快速公路之興建，可有效紓解兩條高速公路交通之負荷、縮短城鄉發展差距、開發沿海資源、促進濱海村鎮繁榮，以謀求區域全面均衡發展。

圖27 永安交流道脊背橋工程位置圖

本工程於跨越114線處設置交流道，考量114線為通往永安漁港之重要通道，且假日遊客眾多，可考量設立一特殊景觀之地標橋梁，成為永安漁港之門戶意象，並能夠與相鄰港區內觀海橋(彩虹橋)相互呼應(詳圖27)。

(二) 印象

本計畫道路中有著田野風貌的景緻，夾雜著特有的客家聚落風貌；也有著海濱特有的防風林風貌以及紅樹林特殊生態，配合自行車綠色遊憩的導入，加以視覺無明顯阻礙，透露著土地紋理所呈現出來的風貌(詳圖28、29)。建議本道路的景觀整體風貌維持原有的田野風格，融入本地的客家風、休閒的遊憩風以及這裡特有的海風，加上快速道路所帶來的便利，為一條「御風而行」、「有起承轉合節奏」的道路。

(三) 發想

西濱快速道路沿海而行，串聯多個濱海遊憩區，臨海、觀海、親海，傾聽著水鳥的細語，貝殼的留言，撩動起風的撥弦，船的遐想。沿線“追風”的映像，連結著無際的海天，引導出一段段的情境故事，為每一段的道路、橋梁，除工程的形塑外，再蘊釀出「情境美學」。

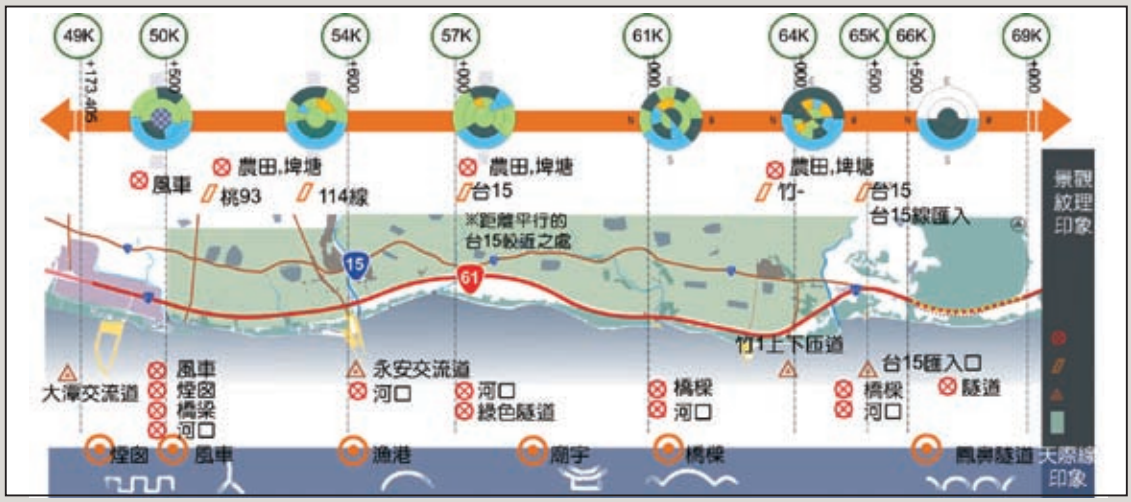
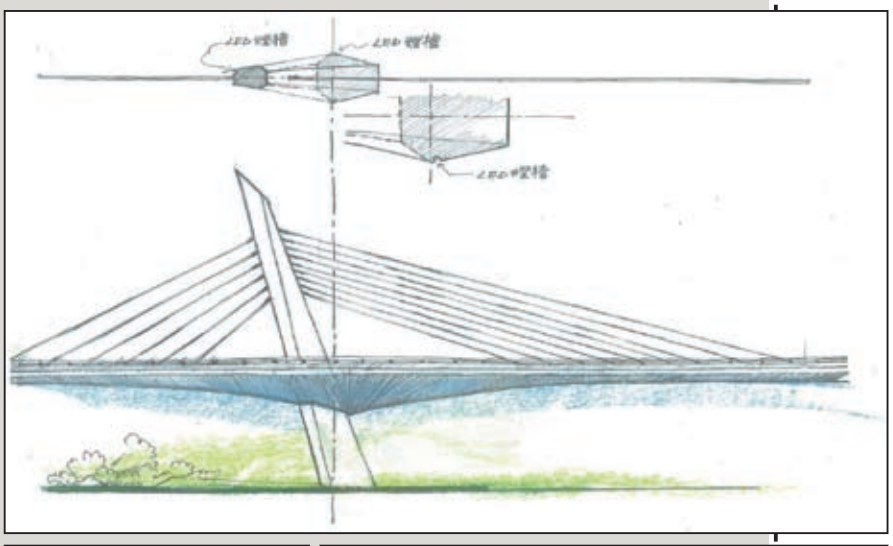


圖28 景觀視覺分析

圖29 鄰近景觀資源

濱海的風車機組，座落出自然的節奏，迎風舞動；綿延的海岸線，遊人戲水弄潮，觀海看日落。漁港為觀光休憩景點，港內漁船泊佈，碼頭區設有漁貨買賣及各式海味美食，予人輕鬆觀海、大啖魚蠱之觀感。由海邊的風與浪出發，以“御風船身輕，漁獲千里外”為情境想像，營造「御風長揚」與「長風舞浪」的主題意象。



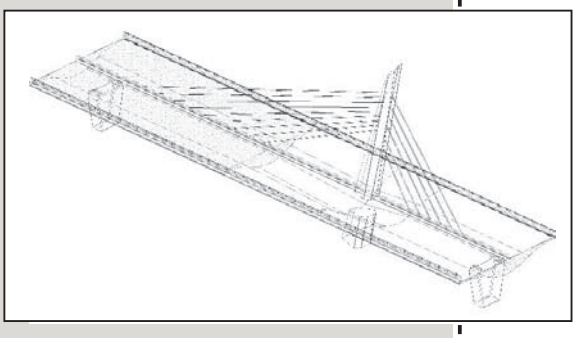


圖30 御風長揚方案構想

■ 御風長揚

以單塔不對稱脊背橋設計，將橋塔以變斷面多面斜切進行構築，配合塔身兩側不對稱鋼纜所引發之視覺變化，營造“飛鳥迎風”亦或“高桅長纜、揚帆破海”等意象，提供橋上及橋下用路人對於高架道路不同之感受。此外，更藉由橋塔指向大潭工業區之概念，進一步帶入迎風及轉動風車的想像空間，使得整體區域圖象拓印與風情隱喻意念，達到相互呼應之效(詳圖30)。

■ 長風舞浪

以提籃式鋼拱橋設計，橋拱以“弧波意象”構築，有“浪起濤湧”之態，亦有“乘長風，破萬浪”意象，營造遊客交織穿梭，人潮如波濤，有如港埠嘉年華的情境想像。提籃式鋼拱橋之垂直及斜向繫材，在上拱輕巧、下拱厚實的視覺效應下，強化了整體波形的律動(詳圖31)。

(四) 形塑

綜整規畫構想並考量後續維護，採取高桅長

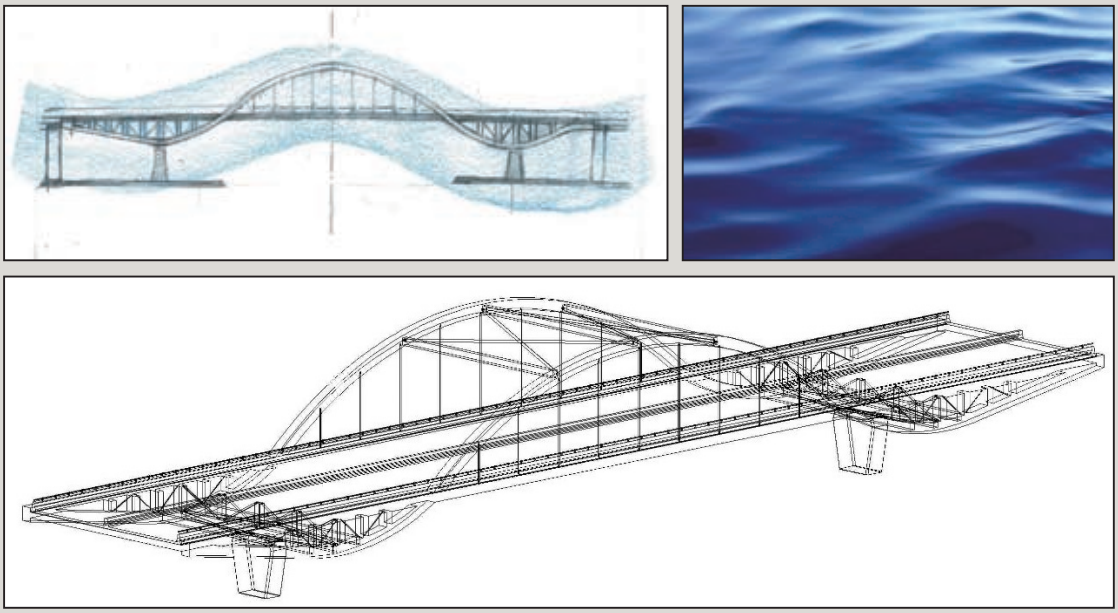


圖31 長風舞浪方案構想

圖32 橋梁透視圖

纜、揚帆破海之意象融入橋梁設計。本橋主跨徑須跨越114線橫交道路及下田溪，考量114線為通往永安漁港重要道路，避免造成交通影響，另為免除河中落墩或河道內場撐之問題，配置主跨徑90公尺，邊跨70公尺，並以懸臂工法施工。

橋塔自橋面至塔頂約為28m，高聳的橋塔氣勢磅礴，塔身往短跨端傾斜，斷面尺寸由3.42m×3.45m變化至3.8m×6.3m，橋塔造型簡潔美觀且可滿足結構力學需求。橋梁的短跨與長跨端各設有6根43T及2x7根27T之外置預力，由斜索不對稱預力配合橋塔斜度以減少偏心載重，如何達到整體力平衡系統為本結構設計之主要重點。橋面寬度27m，以加肋預力梁設計，橋面懸臂板寬達5.5m，有效減少下方側車道之壓迫感。上部結構為三箱室箱型梁，梁深為2.8m～5.0m漸變，鋼纜錨碇於斜塔與主梁之中間箱室(詳圖32)。

(五) 雕琢

一般橋塔造型多以矩形設計，本工程之橋塔結構斷面外形以為多面斜切之六邊形設計，以變化之斜面搭配稜線細節，勾勒出結構線條，更加強光影變化之美感(詳圖33)。

由於本工程緊鄰永安漁港，橋塔構思呈現燈塔造型意象，於橋塔斜索上方設置橫向方管鋼格柵，中央可透出微微光暈，指引漁船方向，頂部並配合橋塔微傾之角度斜切，與遠方大潭工業區風力電塔遙相呼應(詳圖34)，

(六) 構築

本工程為克服跨越道路及河川之大跨徑需求，並考量鄰近漁港風景區之遊憩觀光，以特殊之不對稱斜塔脊背橋設計。橋梁造型考量融合周邊環境，橋塔並以建築手法精心雕琢，完工後除可達到快速公路順暢分流的交通目標外，亦為當地營造景觀地標，成為永安漁港之入口門戶意象(詳圖35)。

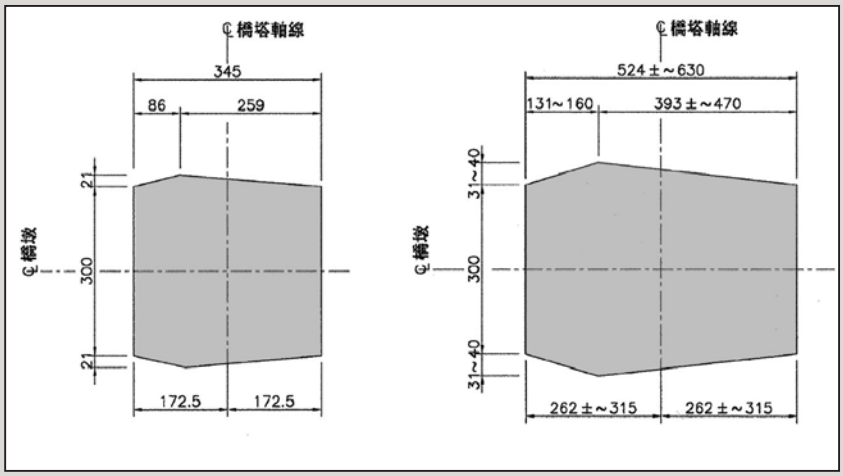


圖33 橋塔斷面設計

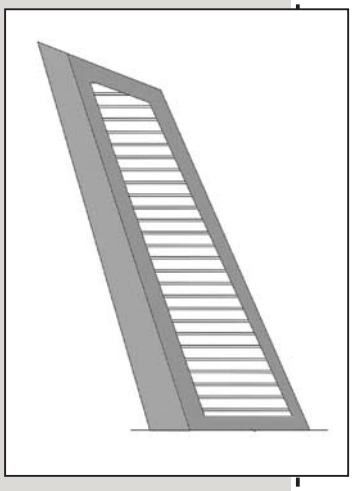


圖34 橋塔頂部造型設計

圖35 永安交流道脊背橋完工模擬圖

三、金門大橋

(一) 緣起

金門地區自民國81年結束戰地政務時期後，逐步邁向地方自治的民主常軌，鑑於民生設施與戰地設施的需求不同，金門縣政府與中央政府便積極推動各項公共設施及民生基礎建設，為結合大小金門之土地使用，提升金門地區民眾生活品質，以帶動金門整體經濟發展，積極推動聯結大小金門之金門大橋建設計畫(詳圖36)。

(二) 印象

本計畫為銜接金門與烈嶼之跨海橋梁興建計畫，全長約5.4公里，其跨海橋梁約為4.78公里，陸域段則約有560公尺。橋梁橫跨金門港道，四周環海，大小金門沿岸多為寬闊地勢，

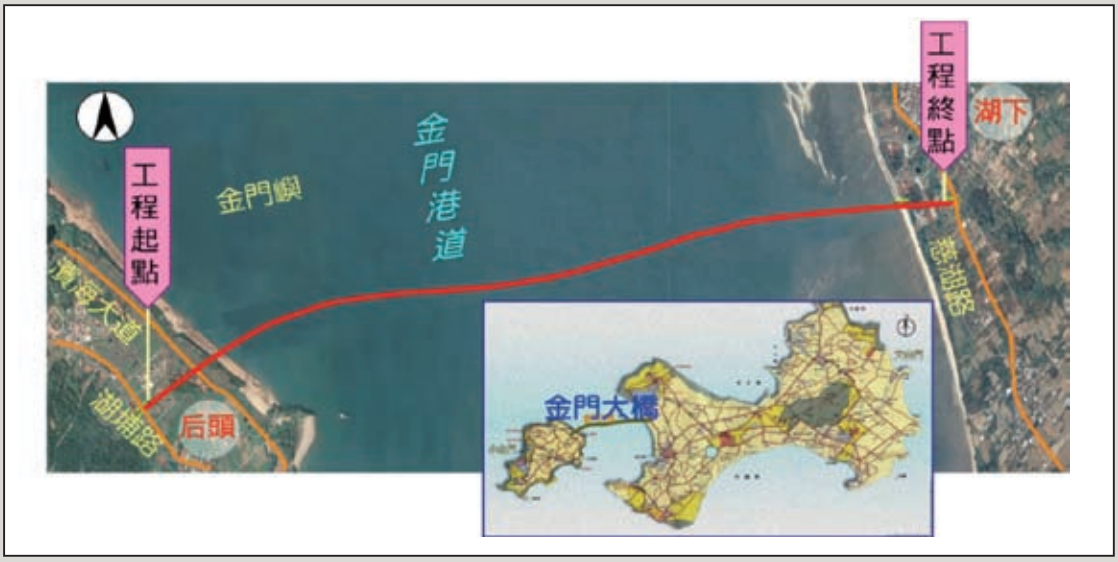


圖36 金門大橋工程位置圖

圖37 工程鄰近範圍景觀分析圖

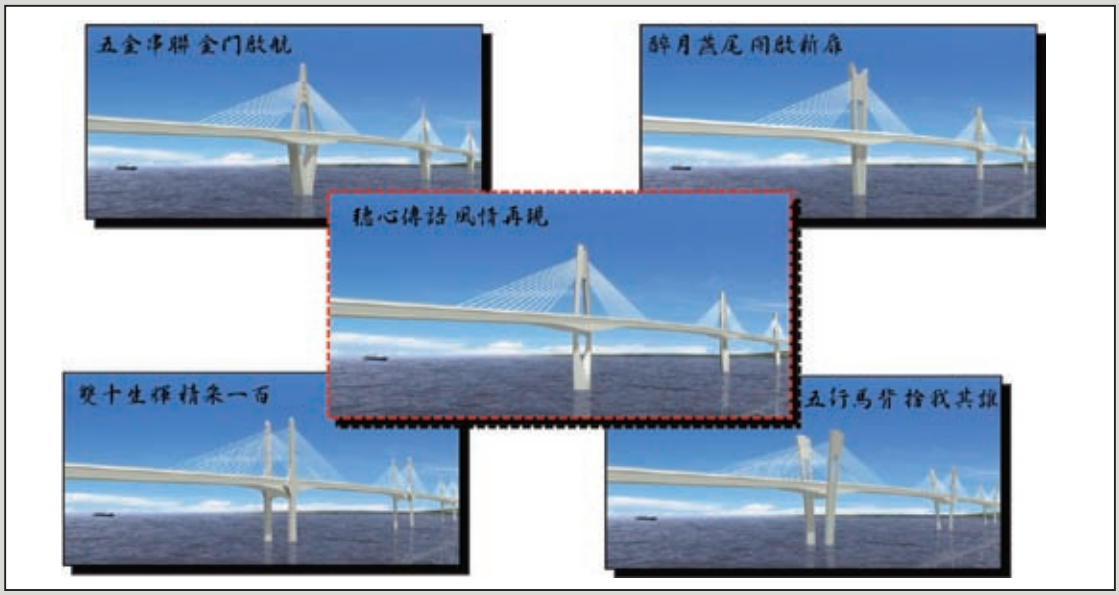


圖38 橋塔造型方案

因此景觀視域開闊，且鄰近海岸高地具極佳視覺景觀，可瀏覽優美的沙灘及植被風貌，周圍無大型量體設施影響環境美質，整體景觀品質優良(詳圖37)。

(三) 發想

為呼應本計畫「三分交通、七分觀光」的建設宗旨，金門大橋在橋型設計上，加入金門特有文化元素，整體線型則參考了西湖蘇堤“長橋臥波”的美學概念，集交通、觀光於一體，以蜿蜒的大橋給人最直觀「美」的感受，行車或步行於橋上，視覺隨平、縱線形推展，時時處處皆有不同令人驚嘆的景觀感受，優美而協調的曲線浮在浩瀚的海面上，結合活潑的橋型讓道路使用者行車時產生移行換景的愉悅感受。

橋梁設計須兼顧美觀、安全、經濟等原則，為期使大橋完工後能成為當地之地標意象，橋梁造型經與金門縣政府多次討論，依基設階段裁定之脊背橋橋梁型式提出5種橋塔造型方案，經由金門縣鄉親票選，五種造型規劃主題分別以「五金串聯 金門啟航」、「醉月燕尾 開啟新扉」、「穗心傳語 風情再現」、「雙十生輝 精采一百」、「五行馬背 捨我其誰」出發，以融入環境特色(詳圖38)。經票選決定之高粱穗心形橋塔造型演繹自在地高粱酒特產之高粱穗心意象，傳頌金門高粱酒的「香」與「醇」，並將金門特色行銷更廣更遠；5座橋塔，藉由斜索緊緊串聯在一起，象徵金門5鄉鎮攜手向前行。本橋梁期以「穗心傳語、風情再現」之語彙，為金門地區的國際觀光與整體開發，描繪出一道希望的彩虹，

(四) 形塑

本工程整體景觀設計概念，藉金門大橋工程技術之植入，結合風土文化與環境意象之景觀設計，塑造一嶄新景觀焦點，豐富特殊多元的景觀環境。本工程橋梁跨越金門港道銜接金門與烈嶼，依海域水深區分為主橋段、邊橋段及引橋段，主橋為一個橋單元配置於通航航道及深槽區，橋跨配置為125＋4@200＋125＝1,050公尺，主橋兩側各配置一個邊橋單元，橋跨配置皆為100＋150＋110＝360公尺，考量跨徑配置之漸進連續性，避免相鄰跨徑有較大差異，銜接主橋端之邊跨配置110公尺，銜接引橋

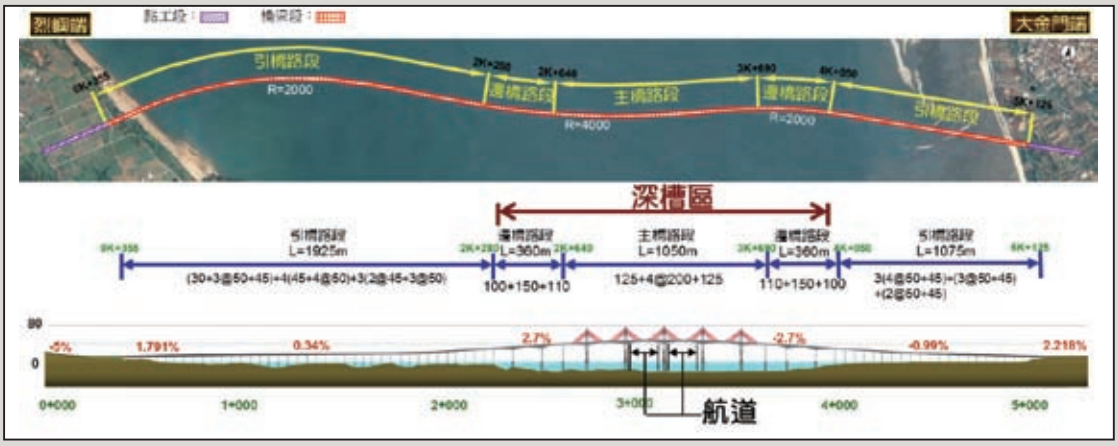


圖39 橋梁平立面圖

端之邊跨配置100公尺，兩側引橋則配置中等跨徑銜接至陸域(詳圖39)。主橋段為為國內首座五塔連續脊背橋，且為國內最大主跨之脊背橋。

(五) 雕琢

一般橋塔造型多以矩形設計，本工程經票選決定之高梁穗心形橋塔造型為3維變化之曲線外形，構斷面外形以不規則多邊形設計，以稜線構成多角度切面，無論在日間或是夜間，在不同光線方向下，多重之光影變化營造出橋塔立體雕塑美感，橋塔兩側之凹槽更巧妙的修飾了斜索錨碇段，透過整體建築的設計手法，讓橋梁呈現了細膩優雅的面向(詳圖40)。

配合整體設計意象，於兩側引道起終點設置橋名景觀牆，除標示橋梁名稱外，亦考量其所在地域之自明性，且能相互輝映配合。於金門端設置以配合金門在地著名之風獅爺作為大橋入口之橋名景觀牆，烈嶼端之大橋入口橋名景觀牆則改採具在地特色之風雞意象造型(詳圖41)。

(六) 光影

為營造金門大橋夜間景觀地標，並呼應金門推動觀光旅遊之需求，主橋塔夜間景觀照明

圖40 高梁穗心形橋塔造型

採用光雕效果呈現，以可程式化之燈光控制、搭配節能、壽命長、程式化之全彩變色LED燈，以程式控制方式，可依需求區分季節、節慶、平日、假日、時段等作多元性之燈光計畫，營造主體橋塔多樣之夜間風貌(詳圖42)。

(七) 構築

金門大橋為國內第一座大規模跨海大橋，橋梁跨越水深超過20公尺深槽區範圍約1.8公里，工址地盤為堅硬花崗岩，且岩盤面深度變化大，橋梁造型演繹於高梁穗心造型，施工難度高。期待透過本工程連結大、小金門，並提供用路人驚嘆的景觀感受(詳圖43)。

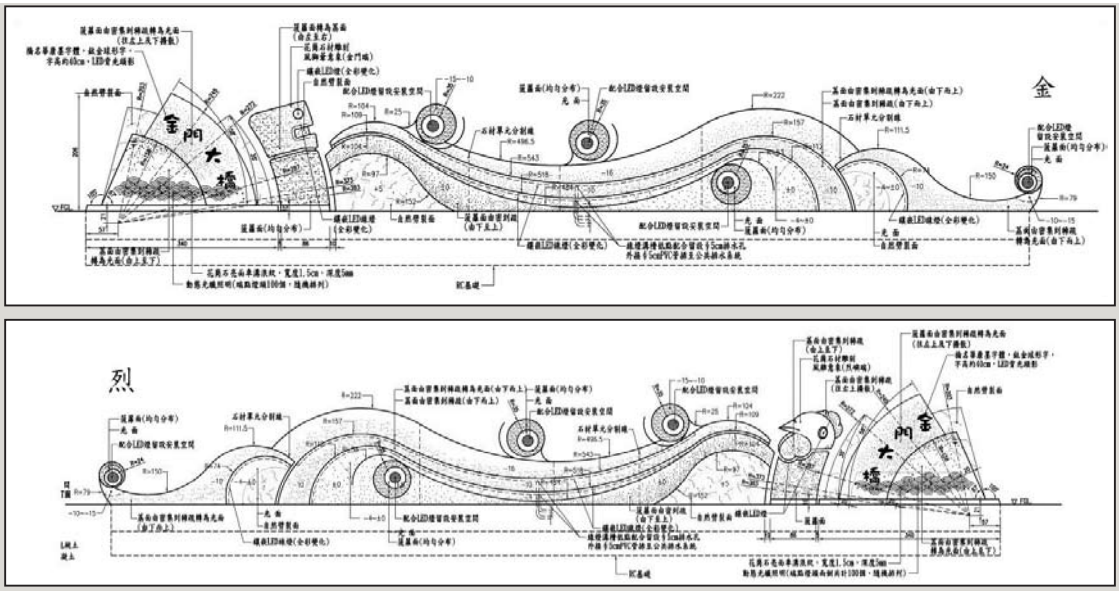


圖41 橋名景觀牆設計

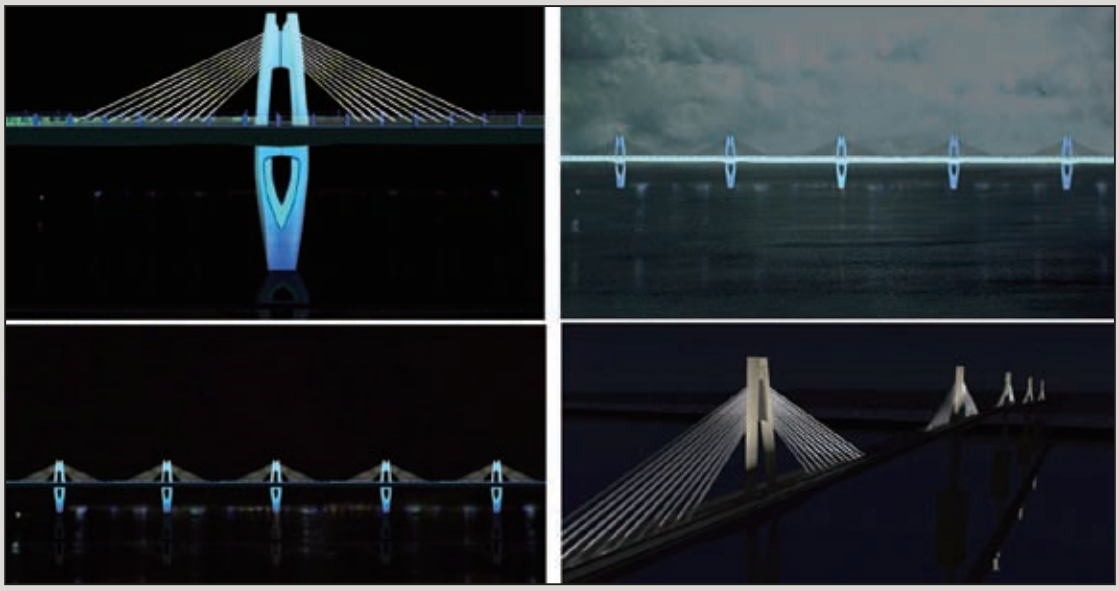


圖42 景觀照明模擬

圖43 金門大橋完工模擬圖

四、旗山橋

(一) 緣起

隨著全省東西向十餘條快速公路逐段通車，並與現有國道一號、國道三號銜接後，台灣整體性交通路網主軸遂逐漸成形。為發揮路網交通運輸功能，實繫於區域性暢通的道路聯繫。既有道路於旗山溪河川區域內由西側旗山橋、中央高灘地路堤及東側旗尾橋組成，因橋梁老舊、通水斷面嚴重不足，經常因豪雨導致河水上漲，導致緊急封橋之交通斷絕，被列為公路總局50座首批老舊橋梁改建目標之一。本工程為提昇道路橋梁之抗災能力以確保地區性便利之交通運轉所提出之橋梁改建工程。橋址位於高雄市旗山區台28線省道上，跨越旗山溪，為旗山與美濃間最主要之聯絡要道(詳圖44)。

圖44 旗山橋工程位置圖

(二) 印象

工址位於旗山鎮之重要交通樞紐，並橫跨旗山溪(楠梓仙溪)，串聯東西二岸。旗山境內山脈錯縱，地形起伏，其中以旗尾山最為著名，並有「聖山」之稱。本工程橫跨之旗山溪溪谷，經多年的農業開發，早已成為旗山鎮重要經濟作物-香蕉之作物區。溪谷中香蕉園遍布，已形成當地之特有鄉土風情。溪谷高灘地中，除了香蕉園外，還有部分竹林、檳榔，以及部分廢耕農田。而低灘地則以洪氾漫淹植被為主，以芒草為大宗，並包含部份先驅性喬木構樹。在水際線附近則有風車草、芋頭等水生植物。

旗山溪為高屏溪重要支流，惟因多年河床淤積，主河道已向東偏移，主河道以西為高灘地，跨越河川段全長約須500公尺。工址之上游自行車道橋、下游台3線旗山橋及兩側堤岸處均可遠眺新橋景緻(詳圖45)。

(三) 發想

考量工址地理及人文環境，於橋梁規劃階段解構傳統建築元素，揉合現代橋梁建築之精神，延續傳統建築景觀特色，應用傳統舊鐵橋結構意象與空間特質，結合現代結構模式，創造具有地方特色之橋型與空間特色，重現古鎮風華，帶領遊客重新體驗古空間。期望工程設計能結合現有產業景觀，配合保留原旗山橋側高灘地上自行車系統，並串聯多樣交錯的果園景觀及人文景觀資源，由點、線、面之空間串連與轉換手法，提供遊客豐富、恣意的遊憩體驗。橋址處於地形開闊，視野穿透性極佳的區位，並可遠眺旗尾山山巒，鄰近旗山糖廠及河濱公園。因此，橋型之設計，考量周邊文化特色與降低視覺環境衝擊，在遠山藍天之背景襯托下，融入整體景觀之中。

由整體環境分析，建議橋梁型式由當地景觀資源發想，規劃主題分別以「山林延伸」、「山林意象」出發，以融入環境特色。

圖45 旗山溪河道

■ 山林延伸

擷取鄰近山巒起伏與倒映於溪水之線條，轉化為山型線、交疊之弧形線，拱橋系列橋梁，其拱肋部份圓弧之造型，可與當地群山環抱之景緻相呼應(詳圖46)。

■ 山林意象

橋塔與鋼纜的搭配形成『山巒』的氣勢，可與附近丘陵地形相互調合，且橋塔配置於橋面中央，可使用路人有開闊的視野欣賞藍天與遠山(詳圖47)。

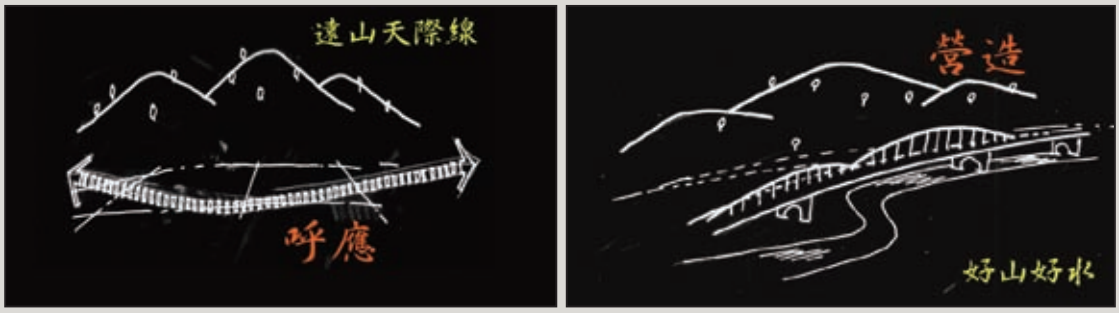


圖46 山林延伸方案構想

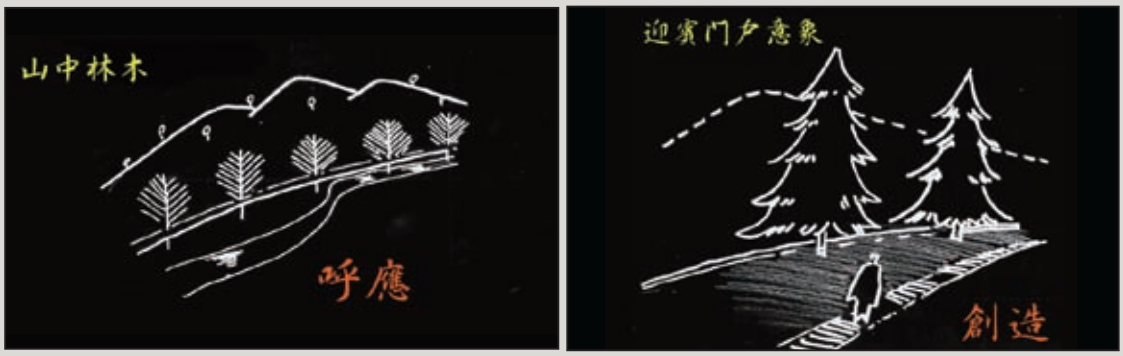


圖47 山林意象方案構想

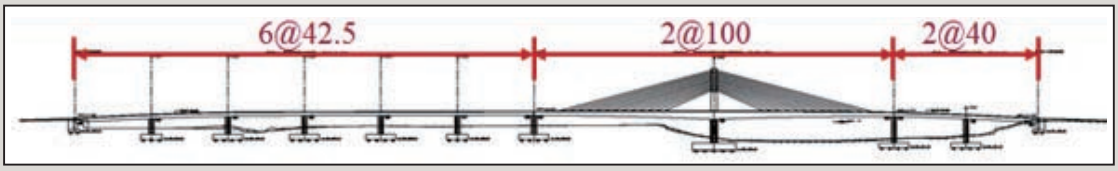


圖48 橋梁立面圖

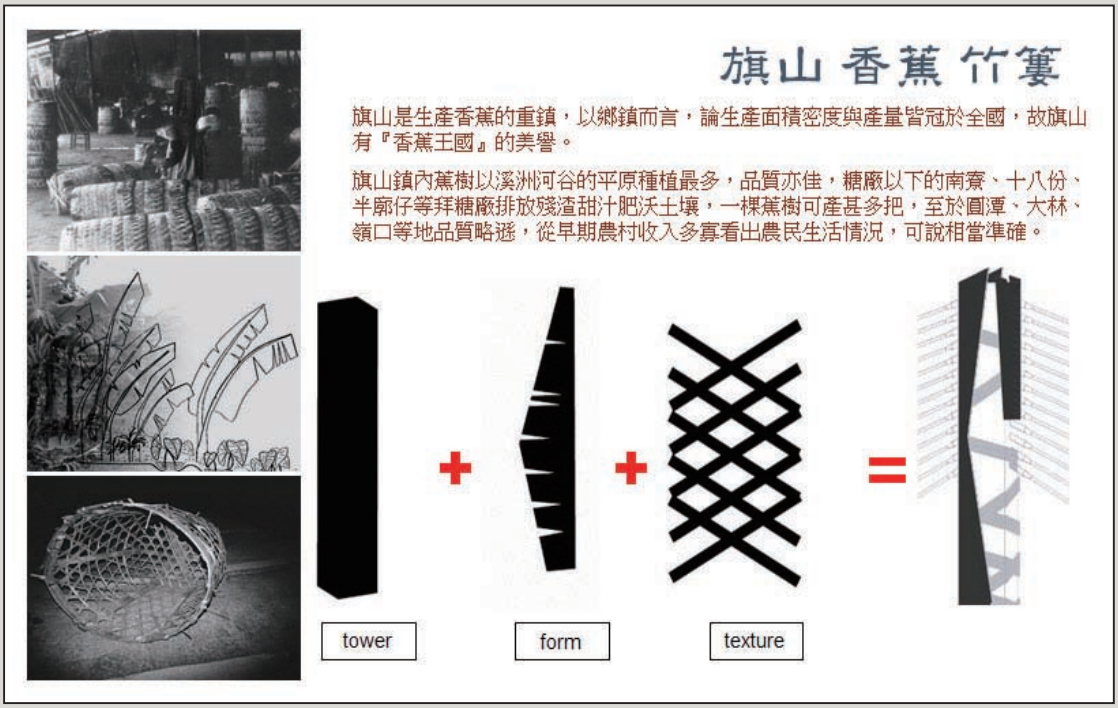


圖49 橋塔方案構想

(四) 形塑

綜整規劃構想，考量橋梁結構之優美主要在於上部結構線條之流暢與連續，再配合下部結構造型美化，方可襯托出立體結構之整體美。另為減少橋墩柱及帽梁量體尺寸，考量將上部結構採大懸臂板加勁梁方式布設下，帽梁及墩柱尺寸可配合縮減。為減少河槽內落墩，2跨各100公尺脊背橋，採變梁深預力混凝土箱型梁，搭配懸臂工法施作。主橋採單柱橋塔脊背橋，橋塔高約26m，配置於橋面中央(詳圖48)，提供用路人開闊視野。斜張鋼索配合箱梁節塊施作。橋塔與鋼纜形成『山巒』的氣勢，可與附近丘陵地形相互調合，特殊橋梁造型更可成為旗山鎮新地標及進入茂林國家風景區主要入口意象。

(五) 雕琢

為優化及美化脊背橋橋體結構，橋梁造型及色彩應與周圍環境相融合，造型採用簡約型式為主，搭配力學運用呈現簡單輕巧之造型。橋梁之比例、視覺之連續性及力學構造，以重複之元素創造節奏感，並將橋身、梁柱等以統一之材質型式及色彩美化。橋塔的造型設計，融合當地旗山最為著名之香蕉產業文化，以造型模板方式，分別由內而外，呈現旗山香蕉、旗山香蕉葉，及早期裝載香蕉之竹簍等三大要素(詳圖49)，利用造型模厚度差異，白天藉由太陽光照射陰影，於橋塔外觀勾勒出立體的香蕉文化意象；夜晚則藉由本工程設計之LED燈光照射，展現出融合在地文化特色的地標性橋梁(詳圖50)。

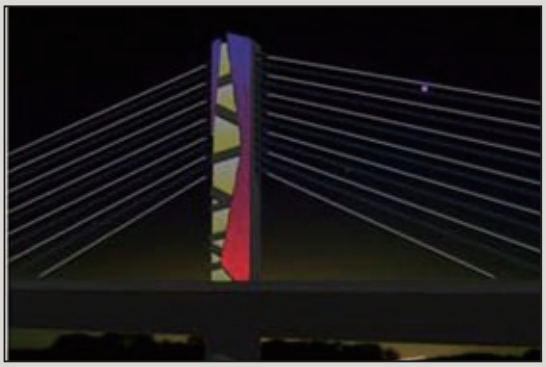


圖50 橋塔設計

圖51 橋塔完工實景

橋名柱造型設計

橋塔之造型特殊，施工技術困難度極高。為忠實呈現設計構想，施工前先製作縮尺之木、石模型，確認橋塔造型及細節，施工時更以三維模擬製作造型模板，現場施作精密控制，使完成橋塔細緻美觀，線條變化流暢(詳圖51)。

另考量橋梁附屬設施優化，工址附近之旗尾山海拔314公尺，形勢巍峨，峻峭秀麗，遠眺好似無數旗幟飄搖著。清朝曾把它列為台陽八景之一，所謂「旗尾秋蒐」就是指此，故本工程橋頭兩端之橋名柱造型，擬以旗尾山原貌為

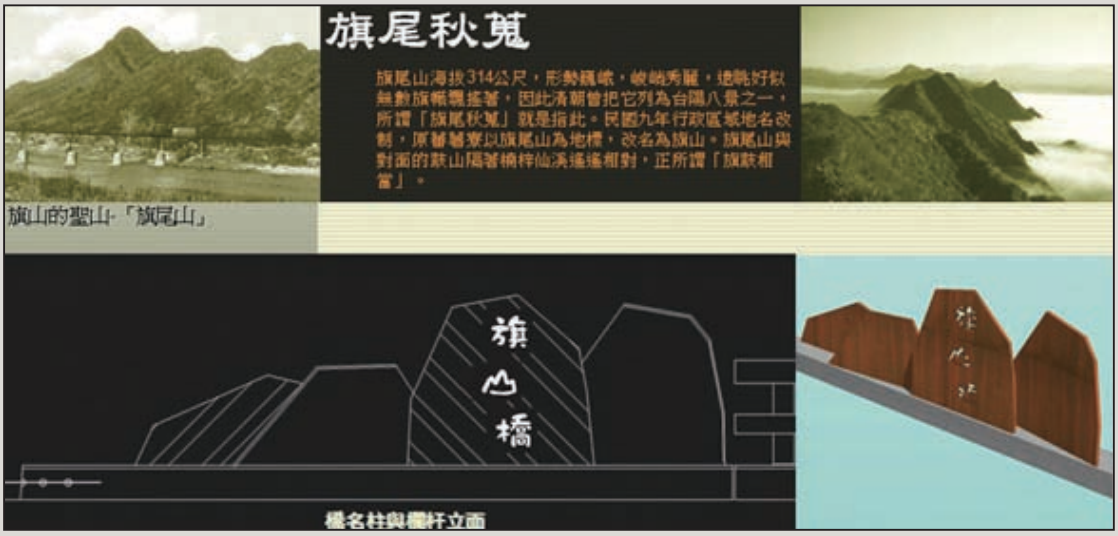


圖52 橋名柱造型

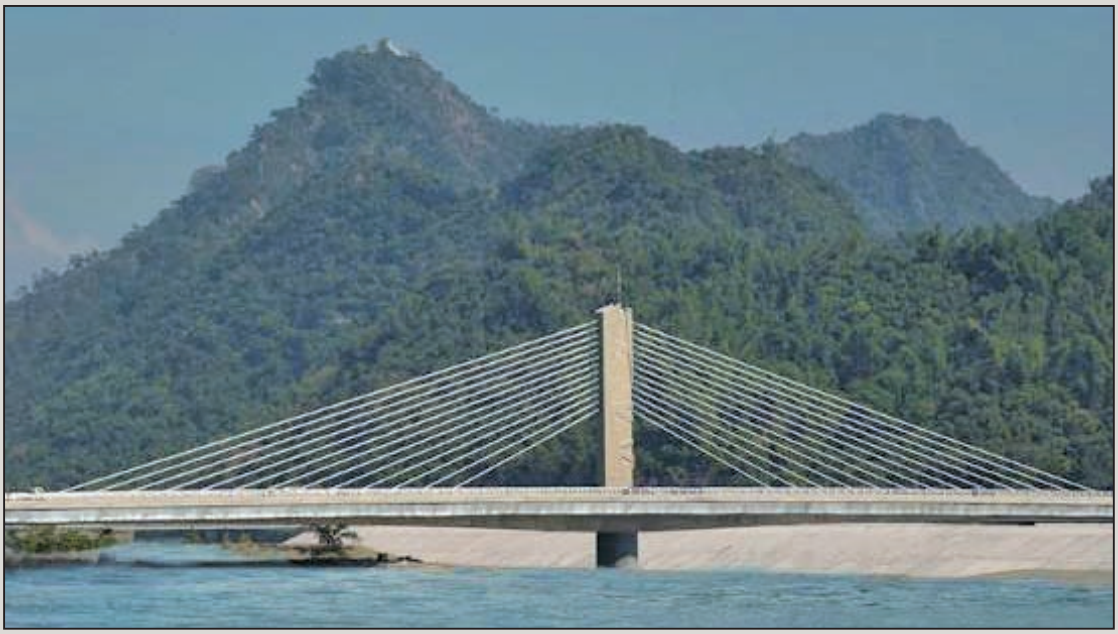


圖53 旗山橋完工照片

造型參考，以薄鋼板組合成鋼箱立面，勾勒出現地山巒連綿的景緻，呼應旗尾山與對面的鼓山隔著楠梓仙溪遙遙相對之景緻(詳圖52)。

(六) 構築

本橋梁為省道老舊橋梁改建之一，亦為其中少數景觀橋梁。本工程之興建規劃，結合當地自然環境、風土人文等資源，將整體環境美學及生態保育觀念，納入工程設計規劃中。本工程自98年2月開工後，施工期間曾遭逢莫拉克風災摧殘，原有通車並做為施工中道路使用之既有旗山橋及旗尾橋皆遭沖毀，施工環境及條件更為險峻及不便，但仍於99年12月底前完工通車，創下國內大型景觀橋快速施工的紀錄(詳圖53)。

五、南澳北溪橋

(一) 緣起

蘇花路廊地勢險峻，因地質條件與濱臨太平洋，因此，一直面臨岩石風化與剝落之窘境，故現況維護與改善一直是公路總局持續辦理之重要工作。但對於以原路的改善方式，是無法大幅提昇其抗災能力。考量花東環境敏感性，改善計畫推動係以安全、可靠運輸服務及強化維生幹道抗災性為目標。行政院96年核定東部永續發展綱要計畫，期望建設東部為具備多元文化特質、自然生態景觀、優質生活環境與國際級觀光景點之區域永續發展典範。本工程即為蘇花公路改善計畫中一環，工址位於蘇花改南澳蘇花公路南澳武塔路段起點，跨越南澳北溪(詳圖54)。

(二) 印象

本路段工程起點為南澳聚落南緣，該區位於南澳溪沖積平原，地勢平坦開闊，計畫自端點路口向南延伸以南澳北溪河川橋跨過南澳北溪後沿南澳南溪畔以路堤布設。本路段地景為開闊平原、粗獷河川與險峻山區交會點，地景韻律豐富(詳圖55)。南澳北溪河川橋位於南澳社區南側，跨越南澳北溪，橋址東側有現有台9線橋梁，西側有北迴鐵路橋，視野景觀佳。

(三) 發想

考量南澳北溪河川橋工址位置，河道開闊、視野景觀佳，並配合鄰近既有台9線及北迴鐵路提供用路人絕佳視覺角度，故適宜採用景觀橋設計，經研擬採用脊背橋，並配合工址環境研提橋塔造型方案。

圖54 南澳北溪橋工程位置圖

圖55 南澳北溪河道

■ 擴柱式橋塔

以橋塔及鋼纜隱喻秀麗山勢，橋塔如雙手托天，有對上天表達敬意及尊重自然環境之意(詳圖56)。

■ 山林型橋塔

以橋塔及鋼纜隱喻秀麗山勢，立體化鑽石型橋塔豐富用路人視覺感受(詳圖57)。

■ 直柱式橋塔

以橋塔及鋼纜隱喻秀麗山勢，並以原住民傳統幾何語彙妝點有如搗杵之橋塔隱喻祈福及豐收之意(詳圖58)。

圖56 擴柱式橋塔方案構想

圖57 山林型橋塔方案構想

圖58 直柱式橋塔方案構想

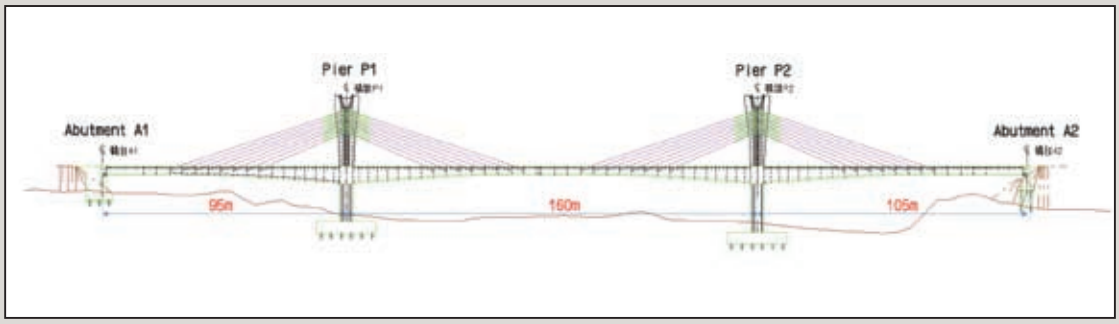


圖59 橋梁立面圖

(四) 形塑

綜整規劃構想，南澳北溪橋採用三跨95＋160＋105M配置之雙橋塔單索面脊背橋(詳圖59)。採擴柱式橋塔，橋塔造型配合線條如雙手托天，隱喻對上天表達敬意及尊重自然環境之意。在橋梁造型美向度，配合橋梁結構力學之尺度比例，研擬設計橋塔高度與跨度比之協調性、橋體色彩肌理質感與環境之融合意像美為設計考量重點。完成之橋塔外觀造型及斜拉鋼索與當地山勢地形及湛藍天際相融合，加上橋塔兩側扇形配置之外置預力斜拉鋼索襯托出典雅穩重，及白色之外套管顯現天空若隱(融合)若現(提顯)之動態效果，能提顯橋梁結構張力，更將脊背橋之外型纖細輕巧、幾何造型多變優美橋型呈現，成為南澳新地標並點亮蘇花改。

(五) 雕琢

為美化脊背橋橋梁色彩與周圍環境相融合，橋梁型式及基本外型尺寸經結構分析確認後，考量工址周遭之自然度，為使完成後之橋量能與周遭環境配合，亦特別針對斜拉鋼索進行選色分析(詳圖60)，評估建議斜拉鋼索採純白色系辦理(詳圖61)。

1. 針對工址環境進行研析，萃取現地風土色系，以工址環境之天空色系、植被色系及大地色系為主，研擬7種斜拉鋼索顏色方案。
2. 透過視覺模擬，模擬視角分別採橋外視點、橋面上視點來進行斜拉鋼索之色彩模擬。

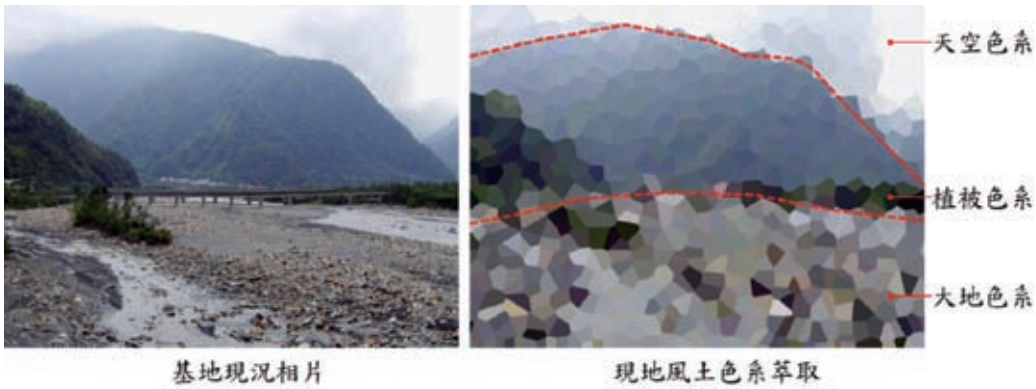


圖60 色彩分析

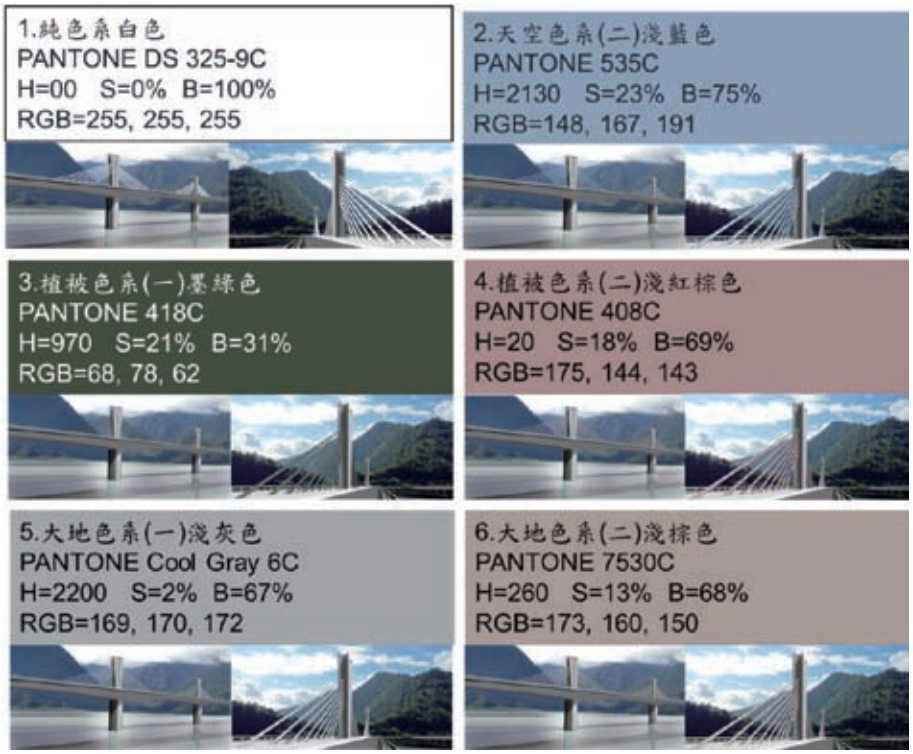


圖61 色彩視覺模擬

3. 考量生態有善，評估橋梁主體結構以混凝土為主，斜拉鋼索佔整體比例約10%，從環境的開闊性、斜拉鋼索套管尺寸、材質(非透明材質)與構造(非細網構造)來判斷，各方案顏色的選用應不致增加鳥類撞擊的機會。

4. 色彩方案應與環境協調為主要目的，避免過於突顯色系弱化橋梁上部混凝土立柱主體造型語彙。

橋塔之外型尺寸變化，且須勾勒出外形線條，研擬橋塔造型凹槽並配合變化段，確保施工性(詳圖62)。

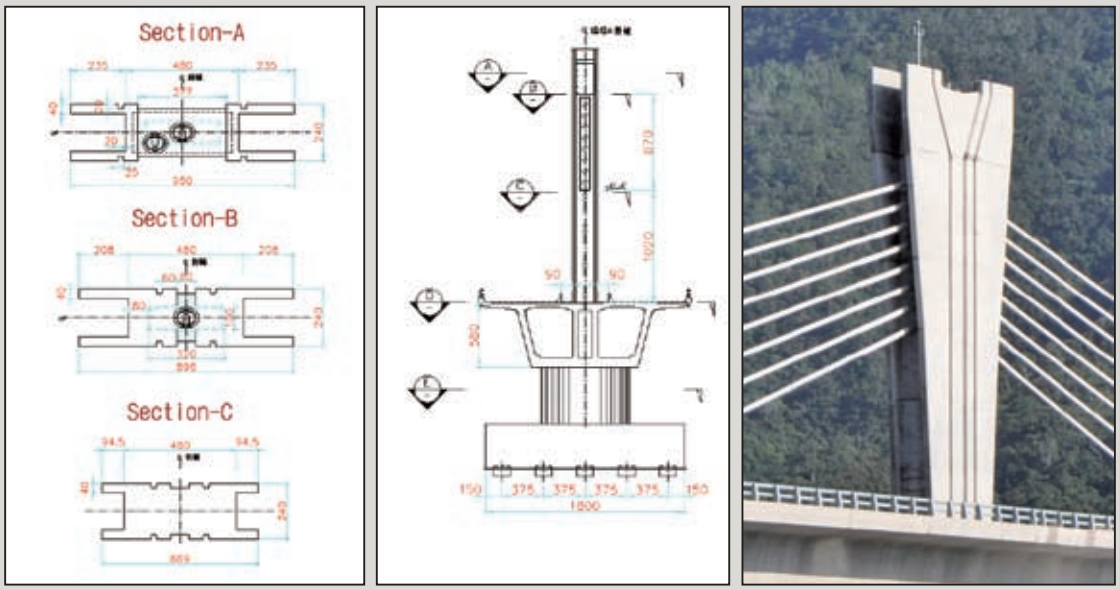


圖62 橋塔尺寸及完工實景

圖63 南澳北溪橋完工照片

(六) 構築

台9線蘇花公路自清代初建古道起，多沿崖壁開鑿擴建，相關維護及改善工程亦持續不斷進行著，然因複雜地質條件加上濱臨太平洋，蘇花公路一直面臨地震、颱風、爆雨導致的落石、坍方與土石流，蘇花公路亟需改善早為社會共識。為回應東部民眾「安全回家的路」的訴求，交通部從社會正義觀點切入，並兼顧環境生態保育的理念，期待蘇花公路改善工程為東部民眾提供一條安全且永續的運輸要道。

蘇花公路改善工程全線通車後，除可提供東部民眾往來北部地區之長期安全、可靠聯絡道路，亦可大幅縮短宜蘭蘇澳至花蓮行車時間，屆時西部民眾將有更多元運輸方式的選擇，體驗東部奇特景觀及悠閒的生活型態，進而促進東部地區達程多元文化特質、自然生態景觀、優質生活環境與國際級觀光景點之永續發展特(詳圖63)。

伍、結論

脊背橋兼具斜張橋及連續梁橋的雙重力學特性，分析上類似於外置預力橋，一般不用考慮風力穩定問題，且因斜索應力變動幅度小，設計時可採較大之容許應力，相較於斜張橋其分析設計較為簡易。另因梁深不大、橋型美觀、跨徑布設靈活及施工方便，在跨徑100～200m間具有很大之優越性，可提供國內於地標橋型另一選擇。

參考文獻

1. 台灣世曦，「斜索外置預力橋結構特性及分析設計之研究」，95年研發計畫成果報告(2006)。
2. 呂介斌、陳國隆、羅財怡、張荻薇、黃炳勳、張廷犖、陳明谷，「金門大橋工程介紹」，土木水利，第三十九卷第三期(2012)。
3. 張運鴻、薛讚添、黃炳勳、陳新之、劉珊，「台9線新豐平大橋之設計與施工」，土木水利，第三十九卷第三期(2012)。

4. 張荻薇、蔣啟恆、張廷犖，「脊背橋結構特性及分析設計之介紹」，中華民國第九屆結構工程研討會(2008)。

5. 陳國隆、羅天健，「國道六號脊背橋設計理念」，公路研討會(2005)。

6. 鄭一峰、黃僑、張宏偉，「部分斜拉橋斜拉索設計方法研究」，公路，第2期，第27～31頁，第5期，第52～56頁(2005)。

7. 社団法人プレストレストコンクリート技術協会，「PC斜張橋・エクストラドーズド橋設計施工規準(案)」，社団法人プレストレストコンクリート技術協会(2000)。

8. 川崎秀明、松下博通，「2径間高塔型エクストラドーズド橋の構造特性」，土木学会論文集，No.669，V-50，第233～242頁(2001)。

9. Jessica Binns, “Bridge Design: Extradosed Bridge Distinguishes Tollway Project in India”, Civil Engineering-ASCE (2005).

10. Michel Virlogeux, “New Trends in Prestressed Concrete Bridge”, Transportation Research Record 1696，Paper No.5BO135(2000).