

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

April
2026

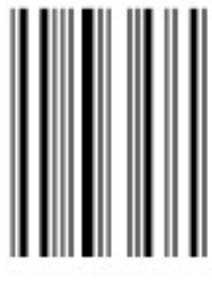


**公路工程專案
參加國際競賽獲獎
經驗傳承與未來展望**

ISSN 0253- 3804



NT\$350



Volume 53, No. 2

社團法人
中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

寧靜的舞者：
從永續觀點看淡江大橋

永續土木工程

專 輯

公路工程專案
參加國際競賽獲獎
經驗傳承與未來展望

夢想和幸福

零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，
戮力建設出每一項希望的工程。



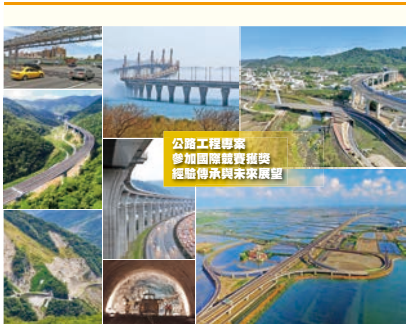
Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw



公路工程專案參加國際競賽獲獎
經驗傳承與未來展望

土木水利



社團法人中國土木工程學會會刊

發行人：謝尚賢

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：黃炳勳 (台灣世曦工程顧問股份有限公司總經理、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：363001苗栗縣公館鄉石埕村石埕 305-1 號

電話：(037) 230469

社團法人中國土木工程學會第二十七屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：謝尚賢

常務理事：朱惕之 林子剛 莫仁維 黃炳勳

理事：王宇睿 李政安 林其璋 林祐正 林聰利 邱建國 胡宜德

莊均緯 許泰文 陳仲賢 黃一平 楊正君 楊亦東 歐善憲

蔣啟恆 賴建信 謝震輝 嚴世傑

常務監事：高宗正

監事：呂良正 吳瑞賢 宋裕祺 沈景鵬 邱琳濱 楊偉甫

先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

出版活動

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

中國土木工程學會任務

1. 研究土木工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第 518 號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第 0248 號

「公路工程專案參加國際競賽獲獎經驗傳承與未來展望」專輯

- 📖 專輯序言：公路工程專案參加國際競賽獲獎經驗傳承與未來展望 蘇育民／林彥宇／黃三哲 3
- 📖 CECI／高公局（前國工局）五楊拓寬高架工程 陳宏仁／蔡宗描／蔣啟恆／吳嘉文／陳光輝／楊偉良／吳劭威 6
- 📖 遠通電收以ETC打造「車經濟」讓世界看見「臺灣解方」 張永昌／賴建偉 16
- 📖 西濱快八棟寮至九塊厝新建工程碳管理參賽經驗分享 林俊和／周武雄／許珮蓓 22
- 📖 蘇花改計畫 邵厚潔／李宗仁／翁贊鈞／楊家正／吳嘉文／劉鳴錚／廖惠美／程慶寧 29
- 📖 臺9線南迴公路安朔草埔段工程 蔣啟恆／湯允中／練健勳 41
- 📖 金門大橋工程 陳明谷／蔣啟恆／郭呈彰 50
- 📖 韌性南橫：從莫拉克災後重建到智慧韌性管理之轉型全紀錄 王慶雄／許書凱／李坤哲 59
- 📖 國道4號臺中環線豐原潭子段計畫 一條靠近活動斷層、綠色永續的高速公路 郭呈彰／蔡宗描／卓涼華／廖惠美／黃鴻毅 67

永續土木工程

- 📖 寧靜的舞者：從永續觀點看淡江大橋 周南山 74

學會資訊看板

- 📖 2026.6.27 建築物耐震能力動力歷時分析上機課程 報名中 封底裡

廣告特搜

- 志成橡膠廠股份有限公司 — 臺灣最專業的港灣碰設施製造商 為航海運輸提供最可靠的防護 封底
- 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 夢想和幸福 零距離的接軌 封面裡
- 義力營造股份有限公司 — 義呈實諾 力呈卓越 封底裡
- 交廣工程顧問有限公司 — 誠信 創新 品質 服務 永續發展 封底裡



公路工程專案參加國際競賽獲獎 經驗傳承與未來展望

專輯序言

專輯客座主編 蘇育民* / 國立高雄科技大學土木工程系 助理教授、國際道路協會 會士 (IRF Fellow)
林彥宇 / 國立高雄科技大學營建工程系 助理教授
黃三哲 / 交通部公路局副總工程司 (退休)

臺灣的公路工程在過去十年來，不斷地有卓越的交通基礎建設專案參與國際競賽，在主要國際競賽中，包含國際道路協會 (International Road Federation, IRF) 年度的全球道路成就獎 (Global Road Achievement Awards, GRAA) 以及亞澳道路協會 (Road Engineering Association of Asia and Australasia, REAAA) 競賽中獲獎。藉由本期「土木水利雙月刊第 53 卷第 2 期」的專輯，期望介紹八項揚名國際，榮獲世界大獎的指標性工程，分享工程創新特色、獲獎經驗傳承、以及未來展望。

在民國 104 年，「國道五股楊梅段拓寬高架工程」由當時的臺灣區國道興建工程局 (國工局於民國 107 年於高速公路局合併) 及台灣世曦工程顧問公司合作，榮獲了 2015 年 IRF 全球道路成就獎設計類首獎 (IRF GRAA in Design)，為臺灣工程界寫下輝煌新頁。在工程創新特色上，在每日車流高達 25 萬輛次的嚴苛條件下啟動設計計畫。其中，為了避開林口地區的敏感地質，首創單側雙層橋的特殊橋梁設計，大幅縮減了原地

表破壞；同時，為了維持既有國道通行，全面導入了自動化橋梁施工法，如預鑄節塊、支撐先進與懸臂工法等。其中最令人驚豔的，是在跨越既有國道主線時，獨創了「旋轉工法」，使大跨徑鋼橋於夜間精準旋轉閉合，完全不需在中央分隔帶落墩；在環境友善方面突破傳統，首創以「設定地上權」方式取得橋梁用地，減少建物拆遷，並大規模進行樹木移植、設置生態池、與動物逃生坡道，徹底實踐了生態永續。最後更是透過精細的設計與時程管控，工程不但提前 22 個月完工，更大幅節省了工程預算，是兼顧經濟與環保的重大成就。

在民國 105 年，遠通電收公司與高速公路局共同完成的「遠通電收 ETC 計畫」，榮獲 2016 年 IRF 全球道路成就獎智慧交通與管理類首獎 (IRF GRAA in Traffic Management and Intelligent Transportation Systems)。這項成就歸功於遠東集團、遠通電收股份有限公司、以及高速公路局的頂尖團隊。本計畫的工程創新特色在於，它成功將臺灣的國道轉型為全球第一個全面採用「多車道自由流 (MLFF)」電子計程收費的路網，總長度達 926 公里於當時位居世界之冠；技術層面上，有別於國外常見的雙門架或三門架系統，

* 通訊作者，yuminsu@nkust.edu.tw



本計畫團隊獨家研發出「單門架系統」，僅需一座門架即可精準完成車輛偵測與扣款，並首創「雙走道、模組化」的鋼構門架，讓維護人員無需封閉車道即可進行檢修；此外，本計畫領先全球將 RFID (eTag) 技術大規模應用於收費，結合 AI 車牌辨識系統，達成了高達 99.99% 以上的辨識正確率。ETC 不僅減少了 14.7% 的交通事故，更將此套創新技術成功輸出至泰國，並延伸至 AI 智能客服與市區停車等服務，充分展現我國在數位交通轉型上世界級的實力。

在民國 108 年，交通部公路局以及中興工程顧問公司以「西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程」之碳管理及環境減輕策略，榮獲 2019 年 IRF 全球道路成就獎減輕環境影響衝擊類首獎 (IRF GRAA in Environmental Mitigation)。本工程最大的工程創新特色在於，它是臺灣榮獲 ISO/TS 14067 與 PAS 2050 雙重碳足跡查證聲明首件完工的重大公共工程，奠定了國內公共工程碳管理的基石。在推動減輕環境影響衝擊的策略上，計畫團隊首創「線上碳盤查資訊系統」，並落實綠色低碳工法，包含高比例使用飛灰與爐石粉替代水泥、使用場電取代柴油發電機，以及採用多孔滲瀝青混凝土鋪面等策略。最終透過碳盤查，其中工程整體減碳量達 6.4 萬噸二氧化碳當量，營運階段每年亦有交通影響之減碳量約 1,600 噸二氧化碳當量，徹底將節能減碳落實於公路建設的全生命週期中。

在民國 109 年，交通部公路局、台灣世曦工程顧問公司、以及中興工程顧問共同攜手，以「蘇花公路改善工程」於 2020 年再次獲得全球道路成就獎設計類首獎 (IRF GRAA in Design)，為近十年來第二次獲得此類別獎項。面對東部險峻且破碎的高風險地質，本計畫的工程創新特色表現於縝密的防災與避災設計上；同時為加速長隧道開挖，團隊極具巧思地活化利用舊北迴鐵路廢棄隧道作為施工橫坑，並創新運用鐵路運輸來清運土石方，大幅減少了傳統公路運輸帶來的交通與空污衝擊；值得一提的是串聯兩座隧道的「鼓音橋」，則採用推進工

法架設，並裝設防側風的遮光構件，將對幽谷環境的干擾降至最低；此外，在長隧道內全面建置了主動式消防水霧與點排式通風排煙系統，確保營運期的防災功能與安全；當工程南口發掘出距今約 1,800 年的「漢本遺址」時，團隊毅然啟動停工變更設計機制，成功實踐了現代交通工程與珍貴史前文化資產的原址共存的絕佳典範。值得一提的是，蘇花改計畫為國內第一個執行完整工程碳管理之公共工程，並於民國 108 年 1 月取得國內第一張公共工程 ISO 14067:2018 碳足跡查證聲明書，全計畫共獲得 7 張聲明書，落實國內促進淨零排放目標，完整建立碳管理制度；蘇花改計畫也提供諸多國內工程碳足跡參數，對國內在地化碳排放資料庫建立具重大意義。

在民國 110 年，交通部公路局與台灣世曦工程顧問公司以臺 9 線南迴公路安朔草埔段工程，是贏得 2021 年亞澳道路協會第二屆 Mino 最佳工程獎的首獎 (REAAA 2nd Mino Best Project Award)。在工程創新特色方面，本計畫為了保護東部珍稀的生態環境，採用「藏橋於林」的設計，將原本 16.2 公里的蜿蜒山路截彎取直為 11 公里，消除了 67 個危險彎道；施工階段，高架橋基礎導入了「竹削擋土工法」與井式基礎，將開挖量降至最低；橋梁上部結構則採用自動化施工，減少對地表森林的破壞；針對長隧道，配備了世界先進的點排式縱向氣流排煙系統與自動水霧滅火系統，為用路人提供最高規格的防災保障；更具指標意義的是本工程率全國之先，依據 ISO 14067 標準辦理全生命週期碳足跡盤查，為本土化工程碳排係數資料庫增添更多於南部與東部區域的指標；更值得一提的是，隧道開挖剩餘土方回用並未棄用，透過鐵路運輸至臺東地區成功地創造 21 公頃的沙灘新生地，完美達成了經濟發展與生態保育的雙贏。

在民國 113 年，交通部高速公路局與台灣世曦工程顧問公司以「金門大橋工程」於 2024 年 IRF 全球道路成就獎設計類首獎 (IRF GRAA in Design)，為近十年來第三次獲得此類別獎項。金門大橋全長達 5.4 公里，是臺灣首座大規模深水跨海大橋。其工程創新特色克服了 23 公



尺海洋深槽區、強勁海流、與花崗岩盤深度極度不均的「海象、地象、氣象」三大挑戰；施工團隊國內首創採用「懸吊式套箱圍堰」技術進行深水基礎施工，免除了傳統鋼板樁的危險與困難；在上部橋梁結構施工方面，採用預鑄節塊工法，在 260 公里外的高雄興達港預鑄後，透過精準的海上運輸與高空吊裝，完成閉合；大橋橋塔獨創「高粱穗心」造型，成為象徵金門地區最耀眼的景觀地標；此外，考量極嚴重的鹽害環境，大橋導入耐久性設計，包含高抗硫水泥、鍍鋅鋼筋、以及佈設 33 個微型腐蝕感測器，進行全生命週期健康監測，奠定了台灣海事以及橋梁工程的國際競爭力。

在民國 113 年，交通部公路局以及黎明工程顧問公司以「台 20 線南橫公路重建計畫」，贏得 2024 年 IRF 全球道路成就獎資產保存及維護管理類首獎（IRF GRAA in Asset Preservation & Maintenance Management）。自莫拉克風災重創以來，南橫公路歷經長達 13 年的艱辛修復。其工程創新特色在於實施了「時間分階段、空間分區域」的短中長期分階段重建策略；在科技維管上，全面引進空載光達（LiDAR）、干涉合成孔徑雷達（InSAR）、與無人機（UAV）技術，建立高精度數值地形模型，全天候監測邊坡微小位移以進行預防性養護；在營運管理端，我們導入了自動車牌辨識系統與 QPSUM 微氣象降雨預警機制，落實人、車、路、災的整合管理；更值得一提的是在南橫公路上推行了「每週二、四不開放」的生態休息日，並優先聘用原住民擔任巡護員，不僅恢復了山區經濟命脈，更締造了工程韌性與台灣黑熊等野生動物永續共存的國際奇蹟。

在民國 114 年，交通部高速公路局與中興工程顧問公司以「國道 4 號臺中環線豐原潭子段計畫」榮獲 2025 年亞澳道路協會第三屆 Mino 傑出工程計畫的首獎（REAAA 3rd Mino Best Project Award），是近十年第二次獲得此類別獎項。本工程歷經 25 年淬鍊，其最受矚目的工程創新特色是面對車籠埔與三義兩大活動斷層的威脅時，設計出國際首座「遭遇斷層錯動後具備快速修復機

制」的高速公路橋梁，透過鉸接設計與可置換的 RC 支承墊，橋梁能承受高達 1.1 公尺的斷層錯動而不落橋；同時，本路段是台灣首例於公路橋梁導入「多螺箍橋墩」，不僅提升抗震能力，更實現營建自動化與減碳；在隧道工程中，團隊採用「全周式防水膜」打造不排水隧道以保護地下水資源，並設置「全周式收縮縫」釋放地震能量；橋梁工程同時採用搭配使用水庫淤泥製作的輕質混凝土與高比例爐石飛灰配比，打造出一條兼具極致抗震韌性與循環經濟的永續高速公路。

回顧近十年八項獲得國際最高殊榮的公路工程建設，我們不僅看到了在規劃、設計、與施工上在技術實力上的飛躍，更體會到近十年來工程創新特色的核心，已從早期的「克服地形、快速建造」，全面提升為「智慧監測」、「防災韌性」、與「生態永續」等關鍵要素。在面對近斷層與極端氣候的威脅時，我們學會了與大自然柔性共存：從五楊高架的避讓敏感地質、國道 4 號近斷層錯動快速修復橋梁，到蘇花改保護漢本遺址與南橫公路「以退為進」的避災式復建，展現了工程師對大自然無比的敬畏；數位科技的導入成為近十年的最大亮點：無論是遠通 ETC 以多車道自由流的智慧交通技術、南橫公路運用的空載光達與干涉合成孔徑雷達衛星雷達進行預防性邊坡監測、還是蘇花改長隧道內建置的 3D 水文模擬與智慧排煙系統，都證明了國內已經具備打造「智慧數位公路」的卓越能力。同時，因應全球氣候變遷及氣候調適策略，淨零碳排已深植於工程 DNA 中：從蘇花改、南迴公路、西濱快速公路率全國之先導入 ISO 14067 碳足跡盤查，到廣泛使用飛灰、爐石粉等再生材料，我們正用行動向世界證明工程界落實生態永續的決心。最後，感謝所有前線揮汗如雨的工程人員、堅持專業的長官與工程師、與不斷研發創新的學界夥伴，是大家的努力與奉獻成就了這些揚名國際的榮耀。相信未來大家會更努力持續地分享經驗、傳承專業、以及不斷嘗試輸出更多讓世界驚豔的「臺灣之光」，攜手為下一代構築更智慧、更永續、更安全回家的路。🇹🇼



IRF 2015 Global Road Achievement Awards (GRAA)
全球道路成就獎「設計類」唯一獲獎

CECI／高公局（前國工局）

五楊拓寬高架工程

陳宏仁／交通部高速公路局 副局長

蔡宗描／交通部高速公路局規劃組 組長

蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司土建事業群 副總經理

吳嘉文／台灣世曦工程顧問股份有限公司運輸土木部 資深協理

陳光輝／台灣世曦工程顧問股份有限公司管理部 協理

楊偉良*／台灣世曦工程顧問股份有限公司運輸土木部 技術經理

吳劭威／台灣世曦工程顧問股份有限公司運輸土木部 計畫經理

國道五股楊梅段拓寬高架工程由民國 102 年完工通車，迄今已逾十年，所有用路人早已習以為常這項道路工程所帶來的便利性；但回想本工程由規劃設計到施工完成，面臨了諸多不同以往的困難與挑戰，但參與的工程師們將各種挑戰當成試鍊，帶來了各項工程成就，包括了各式橋梁自動化工法應用、不同工法材料廣泛納入充分發揮國內營造能量；工程執行過程中亦重視環境生態的永續共存，包括設計避開了林口敏感地質、施工初期大規模的樹木移植、大量構台施作避免地表破壞；工程完成後大幅改善了北部壅塞交通，節省了行車時間、燃油成本、空氣污染等各項效益。

綜上各項實績使本工程各標別屢屢獲得國內各項獎項肯定，包括公共金質獎特優（C904A、C909）、中國工程師學會工程優良獎（C901、C903、C909）等；其時蘇育民教授身為國際道路協會（IRF）委員，感於此一卓越工程不應僅限於國內獎項，建議應更積極爭取國際相關獎項，讓台灣的卓越工程在國際上發光發熱。本工程遂在國內無前例的狀況、蘇教授的指導下，於民國 104 年申請國際道路協會（IRF）辦理之全球道路成就獎（GRAA），並獲得設計類獎項唯一殊榮。此一得獎首例印證了台灣工程的品質與實力，亦鼓勵了後續優秀工程的參選與接續獲獎。謹以本計畫相關特色及參選經驗再次分享。

關鍵詞：五楊拓寬、五楊高架、單側雙層橋、旋轉工法、生態設計、設定地上權、全球道路成就獎（GRAA）

計畫背景

台灣於 90 年代經濟突飛猛進，尤其是北部包括台北、桃園到新竹不論是產業發展、生活圈串連，帶動了

北部區域的交通量快速成長，也造成了當時中山高速公路北部各路段之常時壅塞，如何紓解此交通動脈困境為重要課題；經各單位針對本路段壅塞主因檢討包括：交流道過密、聯絡道容量不足、短程跨區混流、替代性道路缺乏等狀況，研擬採沿既有國道兩側高架拓寬，並以服務中長程交通旅次為主（計畫平面示意如圖 1）。

* 通訊作者，yjoyce@ceci.com.tw



圖 1 五楊拓寬路段及斷面示意

計畫挑戰

時程緊迫、工區施工性困難

全線拓寬路段位於全台交通最繁忙區段，其時每日達 25 萬車次，如何安排各項作業包括設計與工法配置、用地取得、廠商進場、施工協調等，各環節緊密相扣推動，以達如期完工之目標。

另工程緊鄰有國道路段之兩側，狹長工址沿線可及性差，且施工中仍須維持正常通車，施工不容一絲閃失；故於設計階段即須考量各式橋梁上構自動工法，加速施作及減少支撐；且高架施工須嚴格避免掉落物，甚至部分施工須於夜間非交通尖峰時施作；又其時收費尚為主線收費方式，故於泰山收費站區段之施工交維為夜間施工，以為日間正常通車。

工區自然度高、工程避免環境影響

既有國道路段於民國 63 年通車，兩側諸多路堤路塹之邊坡，歷經 30 餘年已形成綠意盎然之自然生態；兩側施工避免環境破壞為設計施工之共同課題。



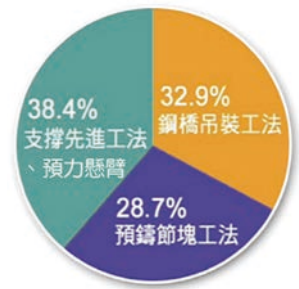
包括於施工前期即展開全線樹種調查及大規模樹木移植，以保存既有植生；另在工程上採高架橋配置、橋梁上構自動化工法外，為抵達各橋墩施築下部結構，預先施作大量構台，避免施工道路破壞植被。

工程規模大、引入國內營造能量

本案 40 公里路段長之兩側高架橋工程，又有限期完工之壓力，須考量國內各式營造能量是否充足；故於設計階段即先行調查國內鋼構與混凝土產能、各式橋梁自動化機具之可用數量，如懸臂工作車、支撐先進工作車等特殊設備。

再依工址條件採鋼橋吊裝、預力支撐先進、預力懸臂、預鑄節塊等不同橋型工法。

均勻分配龐大施工量如期完工，達成原計畫擴大內需、提昇經濟景氣之上位目標。



創新策略與工法 / 技術

本計畫在前述各項嚴苛條件下，不論在計畫推動、工程技術及環境關照上，均在執行期間有諸多創新策略與工法 / 技術的採用。

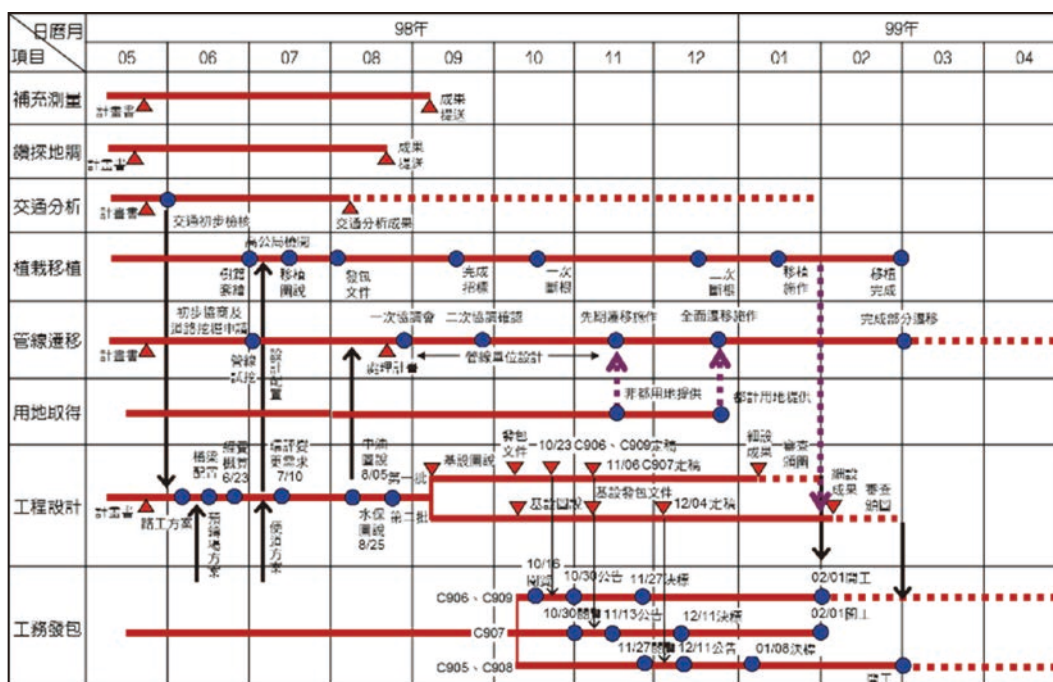
設計進度與品質管控

整體計畫之急迫亦將設計時程有所壓縮，包括中壢楊梅段（後稱南段）約 12 公里路段優先設計與施工，另在北段、中段各 14 公里路段則採基本設計發包，而在設計進度與品質有所要求與達成。

工程現場之順利關鍵亦取決於設計階段是否已奠定良好基礎。

本計畫於五股林口段（後稱北段）／林口中壢段（後稱中段）採基本設計發包先行動工，針對橋梁上構如配筋等細節則於施工期間再行頒圖。並搭配各項關聯作業包括測量、地調、植栽移植、管線遷移、用地取得等工作訂定整體作業流程如表 1，顯見設計作業時程極為緊迫。為能如期如質完成設計發包，作業亦設置專案組織，以期達成上下游零時差、零誤差之協同作業，減少反覆工作與縮減作業時程；並組成設計品質管控小組進行成果審查，達成確保品質目標。

表 1 設計階段關聯作業整體進度管控



因應與既有國道區隔短程與中長程旅次，相關車道數、進出交流道設置示意如圖 2。

橋梁設計與工法之創新與進階

拓寬計畫之主要工項在橋梁工程，為計畫順遂之關鍵之一；本案由於工進要求、施工可及性、跨越各式地物（含國道既有交流道匝道）、兩次斜交跨越國道主線以避免環境敏感區等各式條件，為順利符合各項限制，研擬諸多創新設計與進階作法如后說明。

橋梁上構自動化工法研析及選用

本計畫橋梁型式與工法為設計重點，而為工進推動及環境保護等因素，橋梁上構大幅採用自動化工法為必然方向。其中中壢楊梅段已優先設計及施作採預鑄節塊工法執行，該工法於預鑄場製作後現場吊裝，不受天候影響，品質與進度管控佳。

接續之北段與中段設計亦以預鑄節塊工法先行研議其可行性研究，經研析重點如下：



圖 2 各路段車道配置及進出示意

1. 適合之預鑄場用地不易尋得，偶有適當公有用地或廢棄之廠房用地與工址起吊點相距較遠，節塊運送代價大；
2. 北段部分與中段全段為三車道路段，橋面寬度 16 公尺較南段二車道為寬，節塊拖運不便；
3. 二路段有頗高比例屬丘陵地形，不若南段之平原地形；節塊起吊點難覓，甚或無適當道路可運抵；又節塊運送路徑部分經較寧靜之郊野鄉道，運送時之交通管制及噪音預期將遭遇頗高地方阻力。

故依主觀配置及客觀環境而言，北段與中段橋梁不適宜採行預鑄節塊工法，並研議其他因地制宜之工法，經檢討北段以鋼橋吊裝為主，中段則以預力橋為主，其中支撐先進工法又為施作之大宗為主。有關橋梁工法調整作業如圖 3 所示。

特殊橋型與工法說明

各橋梁大宗路段如前述搭配工法採行等斷面或變斷面配置；惟亦有配合特殊條件之特殊橋型，包括原兩側高架配置，於林口段北側為避開地質敏感區採單邊配置，且須兩次斜交大跨徑跨越國道主線，平面示意如圖 4；相關之創新設計及工法說明如下：

1. 長約 2.9 公里於單側採雙向上下層之雙層橋型

該工址狹長、施工條件嚴苛，為不影響既有車流及縮減原地表破壞，採雙向上下層之雙層橋型，在考量減少地震力與下構尺寸，採鋼箱型梁上構，並以工作車逐跨架設工法，有施工快速、起吊點少、用地及地表擾動小等優點（林口雙層高架橋施工及完工照片如圖 5）。

又因應本項雙層橋高度及不對稱橋型斷面，下部橋墩亦有不同於以往之分析與設計，包括不對稱 RC 單柱，高



圖 3 橋梁上部結構工法研析作業



圖 4 林口段避開北側地質敏感區之橋梁配置



圖 5 林口段雙層橋配置及上構鋼梁吊裝

強度混凝土 $f'_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$ ，柱內設置 H400 型鋼，墩柱及帽梁均施加預力（墩柱最多束 19T-15.2 mm ϕ 、帽梁最多 18 束 19T-15.2 mm ϕ ，設計及施工照片示意如圖 6）。

2. 跨越既有國道採大跨徑不落墩設計及施工

兩處跨越既有國道之橋梁，考量平面線形需求而採小角度斜交跨越；為避免於中央分隔帶落墩，採三跨連續之鋼床板變斷面鋼箱型梁橋（135 + 216 + 135 = 486 m），並在不影響既有交通之前提下，林口段跨越橋採行獨創之旋轉工法施作；其施作步驟如下（示意如圖 7）：

- (1) 設置軌道梁（假設工程，完工後拆除）。
- (2) 將旋轉段鋼梁安裝於國道兩側之橋墩及軌道梁上。
- (3) 分邊旋轉：北側端旋轉 15° ，橫移 23 m，約 7 hr；
南側端旋轉 23° ，橫移 42 m，約 7 hr。
- (4) 推進及主跨閉合：前推 2.3 m，作業時間約 7 hr。
- (5) 邊跨安裝及閉合。

因應現地環境之橋梁細節

除前述特殊橋梁工法外，由於橋梁緊鄰大量交通車道旁，為用路人常時觀賞之行車景象，故亦有相關細節

之考量，如跨越國 2 之主線橋梁因既有機場系統交流道皆為預力箱型梁橋，為景觀一致性由諸多橋型中仍選擇採變斷面預力箱型梁橋，惟下構墩柱則研討採 V 型橋柱，以為進出機場展翼與迎賓之意象。又針對不同上構型式如鋼橋與預力混凝土橋交接面，包括梁深、梁寬等不同尺寸，予以漸變銜接（示意如圖 8）。

全方位關照之環境友善工程

本工程工址主要位於通車 30 餘年之邊坡區域，丘陵地形自然度高；然高架工程又緊鄰既有車道或交流道旁，不論橋梁景觀或施工干擾，均對大量用路人有所影響；又部分區段相鄰住宅、廠房、工業區等建物，用地取得亦有必然衝擊。以上各類環境狀況均於當初設計及施工階段有充分的關照，可謂當時國道的典範工程，亦為先進橋梁技術之外，參選 GRAA 獎項之重要表達事項。就各分類環境之友善作為擇要說明如后。

環境生態友善工程

針對工址所在區域長年未干擾之自然邊坡，各項友善作為包括現地樹木保護、施工中生態保育及景觀維護、生態廊道串連與補償、生態友善設計度等項目（如圖 9）。

1. 現地樹木保護作為

劃設施工非擾動區，避免施工人員進入，降低環境干擾；採施工棧橋取代整地便道，加速生態復原；盡量保留臨既有國道第一排路樹，維持原有植生（如圖 10）。

針對相鄰之珍貴樹種，如機場系統交流道南側之開南大學校園內高聳之檸檬桉，經協調校方另提供用地作為施工道路後，保留工區內檸檬桉，避免移除（如圖 11）。

另針對擾動區樹木進行全面調查評估，擬定移植計畫，於施工前先行移植至經協調之合適地點（如圖 12）。

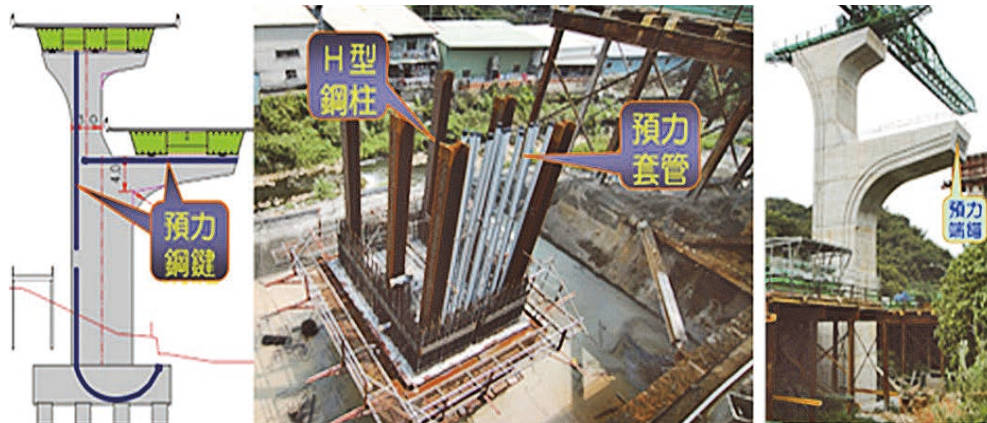
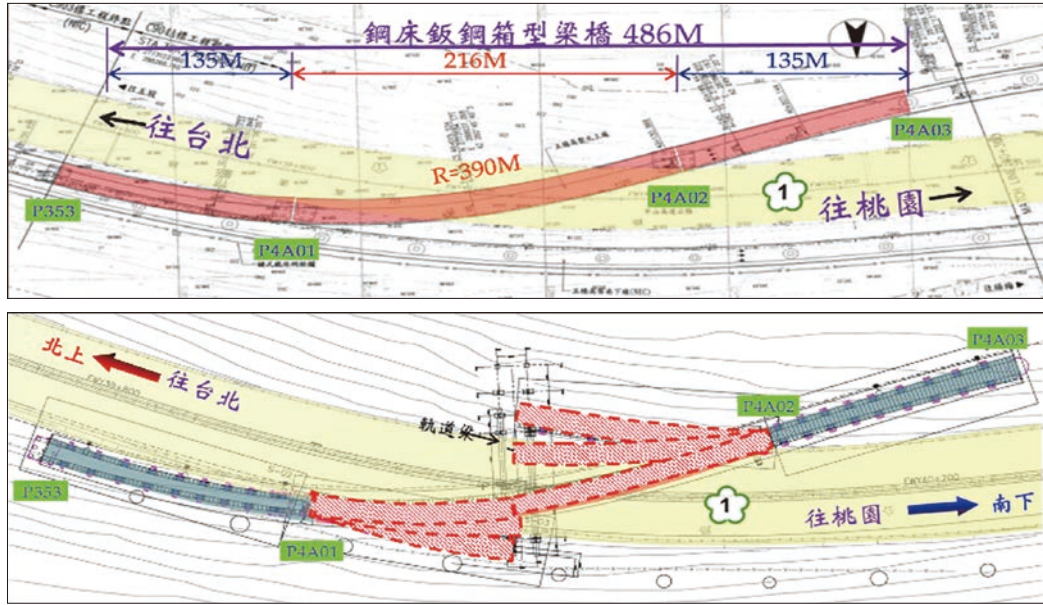


圖 6 雙層橋下構創新設計及施作



主梁組裝完成置於永久橋墩及軌道梁上，尚未旋轉



兩側主梁均旋轉後，尚未推進閉合(間距2.3m)



圖 7 林口段跨越橋配置及旋轉工法施作

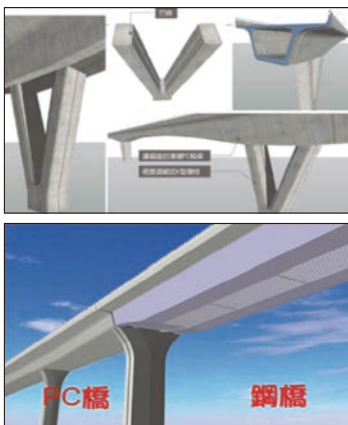


圖 8 因應環境結構細節 (機場系統 V 型橋及橋型銜接)

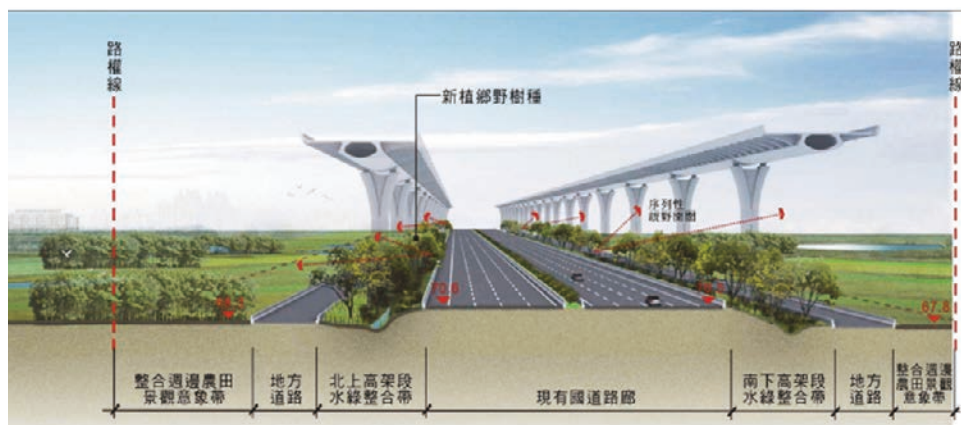


圖 9 兩側高架融合既有景觀之整體植生構想



圖 10 工址施工減少植生影響以維自然生態



圖 11 開南大學珍貴樹種經協調保存



圖 12 全區樹木移植作業與成果

2. 自然生態豐富區域之補償與串連

工址鄰近部分區域包括溪流、埤塘等自然生態豐富等區域，除降低影響外，影響部分則予以補償，並予以串連鄰近環境，形成更完整之生態空間。

如右圖為大窠坑溪半月彎生態廊道串連與補償示意。

另於機場系統匝環道形成之封閉區域，亦已考量生態跳島方式予以串連周邊既埤塘，營造不同水深及多樣水生緩衝植物(如圖 13)。

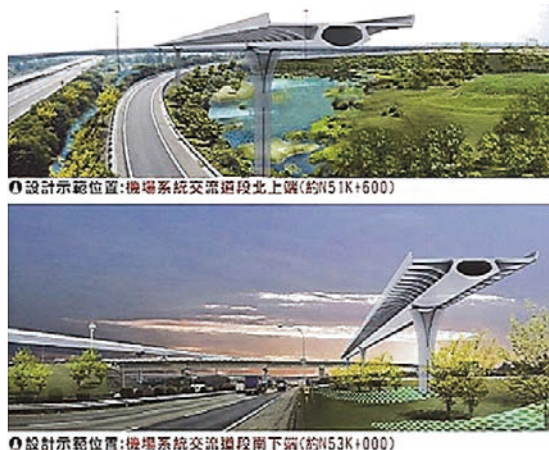
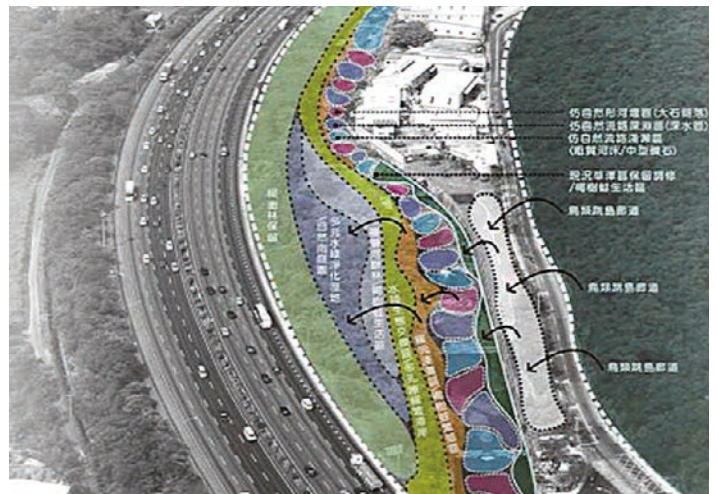


圖 13 機場系統交流道以生態跳島串連周邊環境

3. 生態友善設計

除工址施工影響之環境友善作為外，亦由工程面依環境條件主動進行相關生態友善設計，以提高更有效之生態作為，包括動物逃生通道、橋柱蝙蝠巢箱、雨生淨化池、種子庫表土保存；期待工程可對環境生態帶來更正面的價值，各項友善設計示意如圖 14。

人居環境影響之友善措施

工址所在空間除前述自然環境外，部分區段鄰近廠房（如中壢工業區污水處理廠、區內國瑞汽車、統一麵包、張國周製藥、資生堂公司等國內知名大廠）、住宅（如泰山香草部落格）等，如按一般用取得及拆遷，將造成產業及人居影響，必然衍生抗爭及工程障礙。故於本案突破以往國道用地取得作法，針對橋梁用地引入設定地上權方

式，減少拆遷與影響；當然與各地主切身有關之新作法，於執行階段與每一用戶個別及多次說明及協調，最終獲致共贏之局面，甚或部分用戶對工程人員之努力多所感謝（統一麵包與香草部落格分示意如圖 15 及圖 16）。

執行成果

五楊拓寬工程無論在計畫規模、工程技術及環境關照上，均為當時極具代表性的重大工程，自推動之初即為社會關注之焦點；在前述各項努力下，亦在各方面均有實質的豐碩成果。舉其大者包括：

1. 工程面的成本與工期

整體計畫之橋梁型式由規劃階段之鋼橋為主，迄設計階段考量國內各類工程資源，調整為鋼橋與預力混凝土橋並重，有效降低整體工程成本，將原核定



圖 14 大坑溪各項生態友善設計

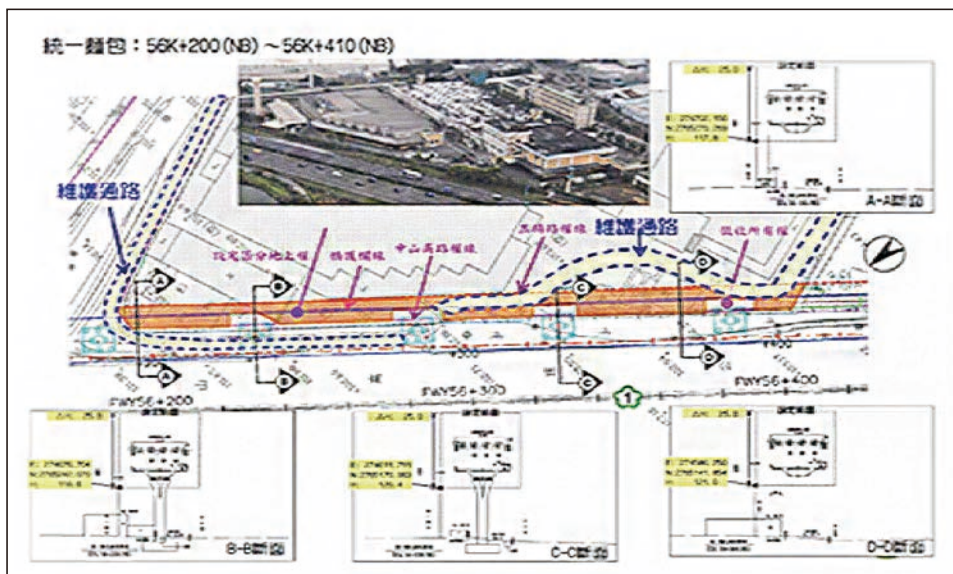
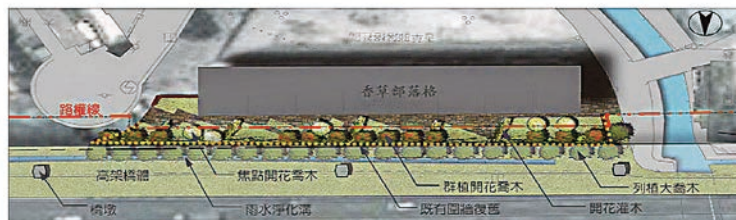


圖 15 設定地上權（統一麵包）減少用地阻力

❖ 香草部落格環境補償與加值

- 居民使用空間的回復 - 路權至圍牆範圍仍為居民庭園使用空間
- 原有視覺景觀意象的回復與強化
- 國道與圍牆空間綠化處理



▪ 國道與圍牆空間綠化處理

- 清爽空間氛圍營造
 - 列植大喬木 - 高架量體視覺緩衝綠帶
 - 草生緩坡 - 順勢既有地形環境綠化整理

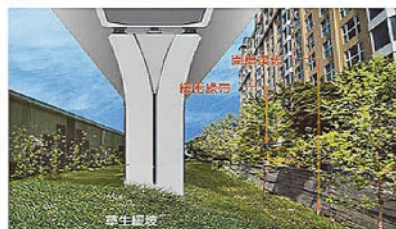


圖 16 泰山段高架橋緊鄰香草部落格採設定地上權及各項友善措施

預算 883 億元降低為 587 億元，節省了約三分之一 的預算。另在工期上有賴各項完善之前置作業及所有參與團隊的無縫協調原規劃為 6 年，最終縮短為 4 年 2 個月，提前約 22 個月完工，及早紓解了國道北部交通動脈之壅塞狀況。此一執行成效在大型公共工程是相當少見的典範。

2. 工程技術提昇及帶動國內營造工程動能

本案不論在道路、橋梁、基礎、景觀等各項均有不同於以往之進展及應用，且不同工法充分應用各類自動化機具設備，充分發揮與帶動國內營造產業之能量。

3. 綠色內涵辦理成果

本工程在各項環境面的努力，在當時以綠色內涵量化檢視如圖 17：

4. 整體經濟效益

如前述本工程完工通車紓解了既有國道之交通壅塞，帶來的實質效益如下：

(1) 提升國道路段服務水準

原中山高尖峰壅塞路段行駛速率約 40 KPH，五楊通車後已提升至 70 KPH 以上，五

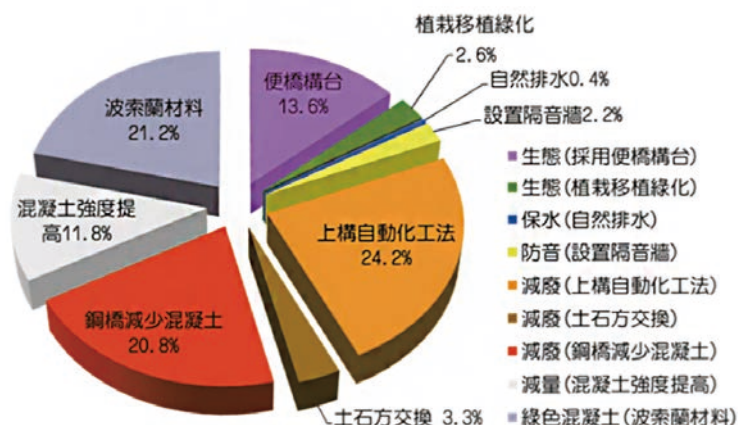
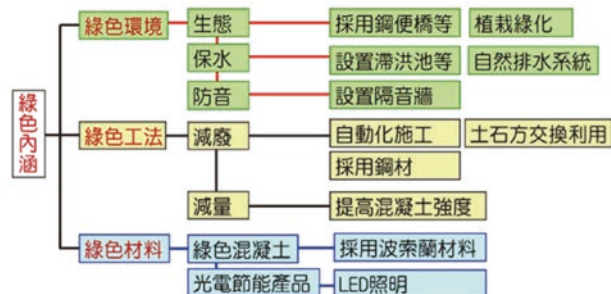


圖 17 整體計畫辦理綠色內涵成果

楊高架則在 90 KPH 以上；整體縮短行駛時間達 40%。

(2) 節省旅行時間成本

全年時間節省效益將達 23.8 億元。

(3) 節省燃油消耗環境成本

全年節省燃油消耗環境成本，效益達 5.48 億元。

(4) 減少路段空氣污染

有效減少溫室效應氣體排放 (CO2 減少 89T/日)。

5. 國內外各類獎項肯定

五楊工程之卓越成果也獲致了各類獎項肯定。

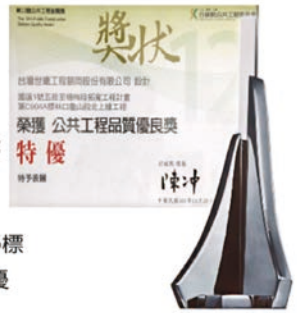
未來展望

五楊拓寬工程在所有參與團隊努力下，獲致了卓越成果與肯定。也記得當時施工階段的勉勵標語就是「日以繼夜 全力以赴」，相信所有人員均會以曾參與本計畫為榮。也有幸獲蘇教授指導與推薦，為國內首次參選全球道路成就獎 (GRAA) 之競逐，並獲得殊榮，印證了台灣工程的品質與實力，亦鼓勵了後續優秀工程的參選與接續獲獎。

五楊拓寬工程完工已超過十年，近年國內工程不論在工程技術或環境關照上都有了更長足的進展；也

◆ 國內工程界難得之普遍獎勵：

- 公共工程金質獎：
第12屆C904A標特優
第13屆C909標特優
- 中國工程師學會工程優良獎：
102年度C903標
103年度C901標、C909標
- 交通部金路獎：103年度C906標
- 農委會中央紅火蟻防治—特優



◆ 除國內獎項外，並獲得國際肯定：

- 於2015年國內首次申請國際道路協會 (IRF) 辦理之全球道路成就獎 (GRAA)，獲得設計類獎項唯一殊榮
- 於2016年申請獲亞洲土木工程聯盟 (ACECC) 所頒發傑出工程獎



相信按五楊拓寬工程的執著經驗、工程師務實精進的態度，各項工程不斷再創卓越成均是必然發生的。

得獎照片 (攝於土耳其伊斯坦堡 2019) – 高應大土木系蘇育民老師提供



臺灣代表團與國際道協執行長與副總會面

IRF 執行長 Mr. Patrick Sankey (居中) 及副總 Mr. Magid Elabyad (照片左)、臺灣代表團成員包含：交通部政務次長曾大仁、交通部國工局張純青副局長、橋梁科羅財怡科長、交通部高公局陳煜熏主任、台灣世曦李建中董事長、王炤烈副總、李元唐副總、劉念平資深協理 (IRF Fellow)、林曜滄協理、楊世琛協理、華光工程顧問管長青董事長、以及高應大土木系蘇育民老師 (IRF Fellow)



交通部曾大仁政務次長 (左三) 與台灣世曦李建中董事長 (左二) 上台與各國代表合照



IRF 2016 Global Road Achievement Awards (GRAA)
全球道路成就獎「智慧交通類」首獎

遠通電收以 ETC 打造「車經濟」 讓世界看見「臺灣解方」

張永昌／遠通電收股份有限公司 執行董事兼總經理

賴建偉*／遠通電收股份有限公司 專案經理

臺灣在 2013 年底正式推動國道多車道自由流電子計程收費系統 (Electronic Toll Collection, 簡稱 ETC), 在政府、民間與廣大用路人的共同協力下, 成功挑戰三項「世界第一」, 引起國際智慧交通領域的高度關注:

1. 全球第一個國道系統全面採用電子收費。
2. 全球第一個成功由傳統「人工計次」轉換為「無柵欄電子計程收費」。
3. 計程收費路網總長度達 926 公里的規模, 位居全球之冠。



圖 1 臺灣多車道自由流電子收費系統示意圖

榮耀起點：2016 年獲頒 IRF 全球道路成就獎的使命與意義

2015 年, 臺灣 ETC 以 99.9% 的電子收費交易正確率、99.97% 可收費成功率, 以及 10 個月內完成 319 座電子收費門架等實績於國際大放異彩, 相繼獲頒國

際橋梁隧道及收費公路協會 (IBTTA) 及智慧運輸系統世界年會 (ITS World Congress) 年度最高榮譽首獎肯定。



圖 2 遠通電收獲頒 2016 GRAA 全球道路成就獎智慧交通類首獎, 遠東集團董事長徐旭東 (圖左) 及遠通電收總經理張永昌 (圖右) 一同受獎。(圖中為 IRF 執行副總裁 Magid Elabyad)

* 通訊作者, franklai@fetc.net.tw

時隔一年，ETC 再獲國際道路協會（IRF）頒發「全球道路成就獎」智慧交通與管理類首獎。時任 IRF 總裁暨執行長 Mr. Patrick Sankey 盛讚臺灣 ETC 是領先業界的先進系統，不僅在技術上取得突破，更為用路人打造了更安全便利的行車環境（交通事故率降低 14.7%）。評審團亦給予肯定，認為臺灣 ETC 是極為成功的 BOT 典範，能透過彈性費率有效管理車流，對永續交通與智慧城市之建構深具意義。

遠東集團徐旭東董事長在領獎時曾表示，ETC 是在 PPP（公私協力）模式下，各方集思廣益、克服重重挑戰的碩果，不僅達成財政永續，更創造顯著的社會價值。遠通電收總經理張永昌亦以此勉勵團隊，榮譽背後代表的是更大的責任，ETC 應轉化為智慧城市的服務平台，攜手臺灣產業共同躍升。

技術優勢：臺灣 ETC 與國際之差異比較

相較於國際間常見的電子收費系統，臺灣 ETC 在門架設計、技術應用與稽核驗證上展現了獨特優勢：

- 單門架系統 vs. 雙 / 三門架：國外多車道自由流系統早期因偵測設備限制，多需前、後相隔約 12 公尺的雙門架或三門架才能完成車輛識別。臺灣則研發出「單門架系統」，僅需一座門架即可完成車輛偵測、車牌識別與 eTag 讀取，大幅降低維護與施工成本。
- 前、後走道維運設計：國外門架多無設置走道，更換設備須動用高空作業車並封閉車道，對交通衝擊極大。臺灣獨創「雙走道、模組化」鋼構門架，讓維運人員可直接在走道上作業，無須影響正常車流行駛。
- RFID 技術領先：臺灣領先全球成功將 RFID（eTag）大規模應用於計程電子收費。與傳統昂貴的 OBU 車載機（如紅外線或 DSRC 技術）相比，eTag 標籤製作成本低、安裝簡便，配合後台虛擬帳戶儲值，讓 ETC 利用率在極短時間內由 40% 躍升至 94% 以上。



圖 3 國外多車道自由流電子收費門架案例



圖 4 遠通電收 EPC 工程師進行門架設備養護



圖 5 新式車牌型 eTag 安裝作業

- 智慧化稽核與驗證：臺灣系統結合「雷射偵測器」進行精準車輛掃描與分類，並整合 RFID 數位訊號與車牌辨識影像（ALPR），確保收費正確率達 99.9% 以上。

關鍵階段：從 ETC 1.0 到 4.0 的演進之路

國際 ETC 系統的發展歷程可依技術成熟度歸納為四個階段。臺灣現行採用的 MLFF（Multi-Lane Free-Flow，多車道自由流）系統，被公認為目前全球最先進的 ETC 4.0 典範，亦成為各國紓解交通壅塞、推動智慧城市轉型的重要參考範本：

- ETC 1.0（停車靠卡）：車輛進入 ETC 專用收費車道後，須完全停止靠卡繳費，待柵欄升起後方可放行。此模式仍具備物理障礙，如馬來西亞部分路段。
- ETC 2.0（減速感應）：車輛進入 ETC 車道時須減速至時速約 20 公里，透過車載設備與系統感應完成繳費，柵欄隨即升起。此階段雖減少停等，但仍有限速與安全距離之限制，如日本、韓國、香港。
- ETC 3.0（無柵欄專用道）：ETC 專用車道不再設置柵欄，車輛可透過感應扣款直接通過。雖無物理阻礙，但仍需切換至專用車道並維持約時速 70 公里之速限，如臺灣早期的「計次收費」階段。
- ETC 4.0（全自由流）：這是目前電子收費的最高層次。全線無收費站與柵欄，車輛完全不需減速或切換車道，在正常行駛速度下通過 ETC 門架即可完成即時感應扣款。這正是臺灣現行引領全球的「計程收費」系統實績。



圖 6 泰山收費站 ETC 專用車道



圖 7 臺灣 ETC MLFF 多車道自由流雙向共構門架

克服挑戰：技術、營運與民意的多重關卡

在推動 ETC 這場交通變革的過程中，遠通面對極具難度的綜合挑戰，仍透過堅實的營運骨架（Operation Backbone）與不斷迭代與優化（DevOps）——克服：

- 技術韌性：系統須在車速高達時速 160 公里的自由車流中，達成高達 99.99% 以上的辨識準確率，並精準處理三階段變動費率的複雜帳務。
- 基礎設施轉置：在不影響國道運作的前提下，於夜間極短時限內完成全台 300 多座收費門架的吊裝與系統測試。
- 環境應變力：面對地震、颱風等自然變數，路側設備（RSU）須耐受高溫高濕、強風雷擊，維持長期穩定運作。
- 社會責任與信任：遠通電收藉由永續經營的核心理念與高度責任感，以穩健的營運與服務績效回應質疑，逐步贏回及鞏固全民信任。



圖 8 車輛行經 ETC 門架互動示意



圖 9 夜以繼日，319 座 ETC 門架如期如質於 10 個月內完工，且零工安事件發生



圖 11 eTag POINTS 可折抵國道通行費與停車費，節省開車旅行車支出及減碳

數位轉型：以數位科技優化服務，落實以人為本的創新

遠通電收於 IRF 獲獎至今恰好十年，期間持續攜手子公司遠創智慧秉持服務初衷，擁抱數位科技，將經營重點由「技術達標」深化為「以人為本」。除了連續 12 年取得 ETC 營運績效評估委員會給予「營運績效極佳」的成績，亦獲得用戶肯定，eTag 申辦率穩定提升至 95%，更創造出高達 97% 的高客戶滿意度。

遠通電收在「營運服務、資安治理、技術精進」三大核心面向之創新成效如下：

- 營運服務面：導入 AI 智能客服系統，進線客服平均等待時間縮短 54%；利用 AI 影像辨識技術，積極配合公部門推動「淨牌專案」，即時比對資料庫並攔查偽變造車牌、欠稅及報廢車輛，偽冒提報車輛數減少 63%。創新推出「eTag POINTS」，行駛國道和停車都能累積點數，點數可再折抵通行費、停車費與加油金，創造行車綠循環。



圖 10 國道電子計程收費，eTag 用戶整體滿意度達 97%

- 資安治理面：ETC 作為國家關鍵基礎設施，遠通持續強化資安韌性，致力達成『連年零資安事件』的目標。為確保最高標準的安全防護，系統已取得 ISO 27001（資訊安全管理）、BS 10012（隱私資訊管理）及 ISO 22301（營運持續管理）等多項國際認證。更透過嚴謹的三級稽核制度，及建立多層次全方位防禦機制，確保每日千萬筆交易與用路人個資獲得最高規格保護。
- 技術精進面：運用 AI 數位科技，讓國道 ETC 系統效能再升級。透過智慧辨識與韌性維運，每日辨識車牌超過 1,700 萬個，錯誤率低於 0.005%。更開發出「AIoT 高速公路維運決策支援系統」，結合微型氣象站實現預測性維修，顯著提升路側設備安全性，確保系統在極端氣候下仍能穩定運行。後續將以 SAE J3217 國際標準為核心，結合臺灣現行 ETC 系統實務，規劃「5G CV2X 電子收費架構」，兼容現行並銜接未來。

輸出海外：從「臺灣練功」走向「世界解方」

早期臺灣引進電子收費系統時，關鍵技術幾乎全仰賴國外；近年，由遠通電收及子公司遠創智慧領軍，攜手臺灣世曦、研揚科技、四零四科技、福鄉通商、凌群電腦、與大世科等夥伴，專長涵蓋科技、資通訊、金流與 AI 業者所組成的「ETC 臺灣隊」成功輸出海外。其所仰賴的不僅是技術成熟，而是背後有一整套臺灣自製的整體解決方案。遠通目前核心系統自

製率已達 90%，掌握了從辨識到帳務的核心技術，這套在臺灣磨練出的實績，是從全球競爭對手中脫穎而出的關鍵。

其中，最具代表性的除了自 2022 年起協助泰國曼谷 M9 外環高速公路建置「M-Flow」（多車道自由流電子收費）系統之外，曼谷全長 96 公里的 M81 快速道路收費系統與交通控制中心，已於 2026 年正式通車營運，而全長 196 公里的 M6 高速公路預計將於 2028 年開放全線通車與開始收費，為臺灣電子收費系統整案輸出的重要里程碑。

海外拓展不僅是硬體輸出，更是市場經營與文化的交融。藉此機會分享經驗如下：

- 精準對接市場需求：深入調研目標國家的交通政策與基礎設施條件。例如泰國對紓解壅塞的強烈需求，正是導入 ETC 的最佳契機。
- 技術在地化與適應性：針對不同國家的車牌格式進行 AI 模型優化。遠通在泰國的辨識準確率已達 98.22%，並能彈性整合當地多元支付系統。
- 在地合作與資源整合：組建在地團隊並與強而有力的當地夥伴（如泰國 BGSR 聯營集團）建立長期合作關係，確保項目順利落地並落實知識轉移。
- 法規遵循與持續創新：嚴格遵守各國法律並結合當地技術標準，同時將 AI 技術延伸至動態地磅、智慧邊境管理等多元服務，提升城市治理水平。
- 品牌建立與影響力擴張：積極參與 ITS World Congress、IBTTA、IRF 等國際論壇，透過技術實力展示與媒體宣傳，建立「Taiwan Solution」的專業國際形象。



圖 12 遠通電收與子公司遠創智慧，攜手 ETC 臺灣隊，將 ETC 整案輸出至泰國



圖 13 由遠通電收倡議籌組之「亞太道路收費聯盟」2026 年再迎接新加坡與馬來西亞加入

智慧城市：ETC 從國道深入都市，uTagGo 從停車便利生活

民眾的生活不只在高速公路上，也要停車、用餐和旅遊。遠通電收旗下的 uTagGo 停車扣繳服務，是 ETC 技術的城市延伸與創新應用，服務範疇涵蓋食、宿、遊、購、行。目前會員數突破 450 萬，也就是每 2 位車主中，就有超過 1 位是 uTagGo 會員。合作停車場超過 3,500 座，而且支援全臺各縣市（含離島金門）之路邊停車格自動扣繳。

車主透過 uTagGo 即可完成「找車位、導航、扣款、報帳」一站式服務，免掃碼、免繳費、免等待。更與餐廳、百貨、觀光景點串連合作，導入「停車即服務（PaaS）」與「出行即服務（MaaS）」概念。此外，uTagGo 正結合 AI 與共享經濟推出「車位共享」模式，並擴展至機場接送、洗車、電動車充電與共享



圖 14 金門縣自民國 115 年元旦起，正式啟用「uTagGo 路邊停車自動扣繳」服務



圖 15 全臺已有超過 3 千 5 百座 uTagGo 合作停車場導入「eTag 停車扣繳」服務



圖 16 uTagGo 會員到日本旅遊也享有專屬優惠

車異地租還。更提供企業客戶如新竹貨運、酷澎、順豐速運等，採用遠通提供之「企業路邊停車費代繳方案」，集中停車帳務，不僅避免逾期繳費而受罰，更大幅提高行政效率。

永續成果：實踐社會價值與綠色交通展望

遠通電收不僅追求技術領先，更致力於透過數位行車服務，將「低碳轉型」融入民眾日常，與全體用路人共創深遠的社會永續效益。截至目前，相關實績如下：

- 交通與效率的顯著躍升：自實施計程電子收費以來，臺北至高雄的南北行車時間節省約 15%。透過無柵欄的自由流通行，每日為全臺用路人節省高達 2,250 萬分鐘（約 42.8 年）的時間成本，將時間還給用路人，提升整體社會生產力。
- 社會與經濟價值的體現：ETC 實施至今累計創造超過 20 億美元的社會經濟效益。



圖 17 遠通電收、遠創智慧雖非上市公司，仍自主申請通過 ISO 14064-1：2018 溫室氣體查證

● ESG 永續貢獻的具體實踐：

- (1) 在臺灣：數位化浪潮徹底取代了傳統紙本。截至 2025 年，ETC 已累計減少印製 693 億張回數票（疊加高度相當於 1.3 萬棟臺北 101 大樓）；在節能減碳方面，累計節省燃油 12 億公升（可填滿 483 座奧運標準泳池），並減少 283 萬噸碳排放，綠化貢獻約等同 7,644 座大安森林公園的年吸碳量。此外，eTag 停車扣繳服務也展現強大綠實力，單在 2025 年即減碳逾 4.5 萬公噸，持續拓寬綠色交通的願景。
- (2) 在海外：根據泰國公路局（Department of Highways, DOH）統計，M9 高速公路 M-Flow 系統的「效益成本比」高達 6.94，意即每一分技術投入皆創造近七倍的社會收益，每年約可減少 59.7 億泰銖的交通擁塞損失；每年協助節省 1,391 萬公升燃油、減少 3.6 萬噸二氧化碳排放；通行效率提升至傳統收費的 5 倍，每年為泰國用路人節省了 333 萬小時的旅運時間。

「AI 與大數據讓遠通電收能更快回應民眾需求，這正是智慧交通最核心的精神—以人為本」。遠通電收總經理張永昌強調，未來將以 MaaS 為中心，持續打造完整「車經濟」生態圈。

遠通電收始終相信，智慧交通不只是科技的展現，更是服務人群與改善環境的工具。2026 年遠通堅守以下四大使命，與各界夥伴並肩前行，將臺灣累積的智慧交通能量持續轉化為世界級的解方，繼續讓世界看見臺灣！

1. 成為政府信賴的夥伴，共同推動臺灣智慧交通。
2. 不斷服務創新，為客戶提供更優質的體驗。
3. 擁抱數位科技、提升競爭力、打造車經濟生態圈。
4. 配合政府新南向政策，持續推動海外輸出。



IRF 2019 Global Road Achievement Awards (GRAA)
全球道路成就獎「環境減輕類」首獎

西濱快 八棟寮至九塊厝新建工程 碳管理 參賽經驗分享

林俊和／公路局南區公路新建工程分局 分局長
周武雄／中興工程顧問股份有限公司園區路航部 總監
許珮蓓*／中興工程顧問股份有限公司園區路航部 組長

因應我國 2050 淨零排放的目標，公共工程的減碳作為至關重要。交通部公路局自 2012 年開始執行西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程碳管理計畫（以下簡稱本計畫），期能建立碳管理制度及本土碳排放係數，回饋工程規劃設計階段即能落實減碳工作。本計畫於執行過程中建立完整的碳足跡盤查作業流程，包括訂定碳盤查邊界、建立管理組織與線上盤查資訊系統，並辦理人員教育訓練及提供承包商、協力廠商及供應商現場諮詢，對於工程主要材料如水泥、鋼筋及瀝青混凝土等進行碳盤查，並辦理國際論壇及研討會以精進碳管理作業程序及盤查資訊系統。2016 年西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程（以下簡稱本工程）成為我國第一個獲得 ISO/TS 14067：2013 及 PAS 2050：2011 碳足跡查證聲明雙認證之公共工程，並於 2017 年全線完工後，在 2019 年榮獲國際道路協會（International Road Federation, IRF）「全球道路成就獎」（Global Road Achievement Awards, GRAA）「環境減輕類」首獎肯定。

工程建造係以提供便利生活為目標，並須因應氣候變遷造成之影響，但工程於前期之可評及規劃設計階段即已大致決定未來之碳排放量，如何於規劃設計階段即納入碳排放管理的理念為重要議題。因此，以生命週期碳排放架構評估工程碳排放，除工程建造本身之蘊含碳，若能納入工程之營運碳、外部碳影響及負碳貢獻，更能完整評估工程對於減碳之貢獻，加速工程生命週期減碳，共同為國家 2050 年淨零排放努力。

前言

國際上之減碳工作由 1997 年通過之《京都議定書》，採取由上而下之減量責任分配，要求其「附件一」的國家於承諾期內達成減量開始；到 2016 年生效的《巴黎協定》則是希望努力將升溫限制在 1.5°C 之內，要求各締約國必須每 5 年提交國家自主自定貢獻（Nationally Determined Contributions, NDCs），且每一版都必須比前一版更具野心。為了達成《巴黎協定》

將升溫限制在 1.5°C 以內的目標，全球已形成 2050 淨零排放的共識，各國減碳壓力日益增大。而我國亦因應此趨勢，將 2015 年 7 月 1 日公告之《溫室氣體減量及管理法》（以下稱溫管法）第 4 條僅訂定 2050 年較 2005 年減碳 50% 的目標；續於 2023 年 2 月 15 日修正公告並更名為《氣候變遷因應法》第 4 條將 2050 年達成淨零排放納入國家溫室氣體長期減碳目標，積極推動減碳。

而在推動我國 2050 淨零排放的路徑上，公共工程扮演著「領頭羊」與「市場創造者」的關鍵角色。行

* 通訊作者，peichien@mail.sinotech.com.tw

政院於 2008 年核定「永續公共工程 - 節能減碳政策白皮書」，啟動我國公共工程節能減碳工作。交通部於 2010 年公告「節能減碳規劃設計參考原則」，要求於規劃設計階段即應納入減碳考量，積極推動交通運輸工程之節能減碳。為能了解工程溫室氣體排放特性，並建立本土工程碳排放參數，以利做為推動減碳之參考基礎。公路局於 2012 年 6 月起啟動包含台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫、西濱快速公路八棟寮至九塊厝、台 9 南迴等工程碳管理及碳盤查計畫，逐步建構工程碳排放資訊，並透過盤查了解工程碳排放特性與減碳潛力，完備工程生命週期碳管理基礎資料。

本工程及碳管理計畫概述

本工程內容

本工程自台 61 線 297K+300 至 305K+750 止，包括 WH77-A、WH77-B 及 WH77-C 三標，全長約 8.45 公里；主要工程內容為高架橋梁，主線雙向雙車道，標準寬度 22.8 m；匝道單向單車道，標準寬度 7.5 m，主要工程範圍及型式如圖 1。工程項目包括：主線高架橋梁、鹽埕交流道、七股溪橋段、九塊厝交流道及擋土牆等工程。本工程於 2012 年 1 月第一個標開工開始，至 2017 年 9 月第三個標竣工完成，同年 11 月全線通車。

碳管理計畫（本計畫）概述

本計畫全名為「西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程碳管理暨碳足跡盤查輔導及查證服務」，於 2012 年啟動，為我國西部第一個推動道路工程碳足跡管

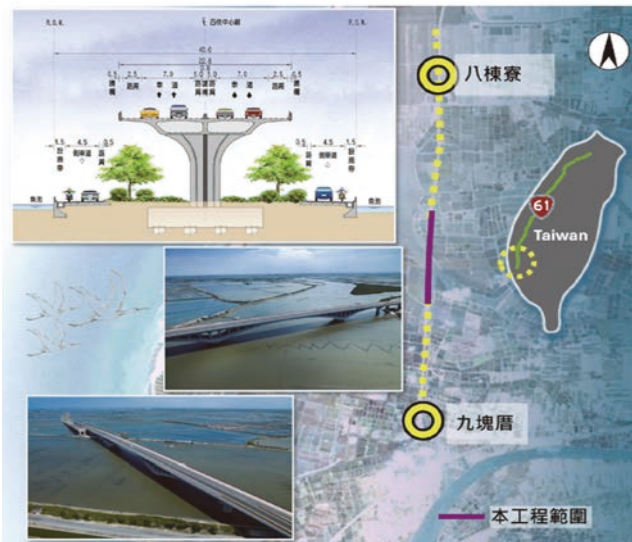


圖 1 本工程位置及內容示意圖

理、盤查及取得查證聲明之公共工程案例，由中興工程顧問股份有限公司（以下簡稱中興公司）執行。

本計畫經由訂定碳盤查邊界與碳管理程序、表單與線上資料收集系統建立、教育訓練、每月現場資料確認、提供承包商、協力廠商與供應商現場諮詢、每年第三方預審、專諮會與國際論壇辦理及供應商盤查等工作，建立制度、精進碳管理作業程序及確保資料之有效性。

工程碳足跡範疇考量完整生命週期，包含施工建造及營運管理階段，如圖 2 所示。施工建造階段即本計畫盤查輔導重點，包括工程施工過程之工程材料、機具與運具之使用燃料、現場能資源使用、廢棄物處理等，以及管理單位之活動，為工程活動實際之碳排放量；營運管理階段則為本工程橋梁未來 50 年營運管理階段之操作、維護 / 重置之材料使用、機具與運具燃料及能資源使用之碳排放量，該期間係以假設條件進行碳排放量推估。

本計畫工程碳足跡盤查組織架構如圖 3 所示，包括主辦機關（時為西濱南工處，現為南區公路新建工程分局）、輔導 / 查證團隊（中興公司 / 英國標準協會，bsi）與工區方（監造 - 西濱南工處工務段、承包商及其協力廠商與供應商），另本計畫契約未包含照明工程，為考量完整的評估邊界，亦將照明設備商納入組織成員，以使本工程之碳足跡評估更為完整。

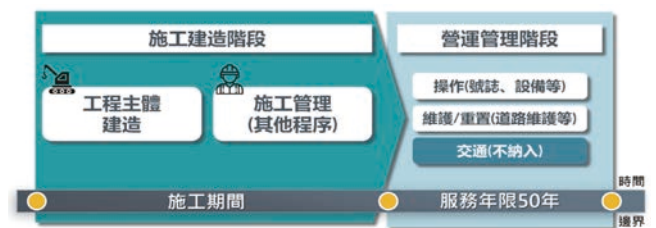


圖 2 本工程考量之工程生命週期碳排放量範圍

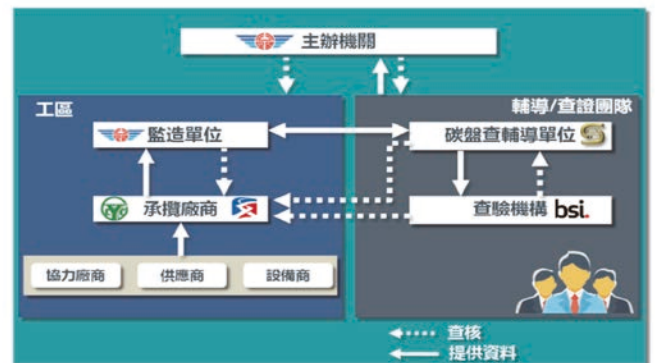


圖 3 本工程碳足跡盤查組織架構

面臨的問題與解決方案

公路局於 2012 年研擬工程生命週期碳管理架構（如圖 4 所示），係於規劃設計階段進行碳排放量的推估，作為了解可能的碳排放量、主要的碳排放源，以及提出減量方案的基礎；再以低碳為考量，進而在道路各項條件（安全性、經濟性等）皆可行的情況下，評估優先採行方案。

由於國際因應氣候變遷相關工作與時俱進，國內亦依據國際進程與國內減量需求，逐步擴大及加嚴相關減碳工作。國內自 2012 年推動工程碳管理及碳盤查作業，當時由於國內過去並無相關工程碳足跡盤查經驗，致不同階段皆有所需面對之挑戰，包含盤查初期制度尚未建立，無碳足跡盤查須依循之碳足跡產品類別規則（Carbon Footprint of Product - Product Category Rules, CFP-PCR）、缺乏本土係數需參考國際係數資料庫、無盤查工具與方法可供參考，且國內查驗機構亦無相關查證經驗。因此，本計畫執行過程亦須同步建立相關機制與工具，並逐步建立本土化參數。

建立制度及產品類別規則（PCR）

本計畫建立整體工程碳盤查程序、組織、表單及執行流程。另因當時 PAS 2050 及 ISO/TS 14067 等國際碳足跡標準要求碳足跡盤查須有依循之 PCR 或 CFP-PCR，國內當時並無相關文件可供參考，且國外的 PCR 尚在發展中，故中興公司結合蘇花改碳管理計畫量能，協助公路局建立國內第一批工程類型（道路、隧道及橋樑基礎設施）碳足跡產品類別規則（CFP-PCR），於 2013 年 7 月向環境部（時為環保署）提出申請，通過技術小組審議會之審查後，於 2014 年 5 月 30 日核准並正式公告在環境部台灣產品碳足跡資訊網。

供國內同類型之公共工程於執行碳足跡計算及盤查工作時參考使用，爾後並依據規定定期進行修訂或展延。

建構本土化碳足跡係數

我國溫管法於 2015 年 7 月才開始實施，因此在國內 2012 年推動工程碳管理初期，並無相關法規要求；即使溫管法實施後亦無量化碳足跡之規定，致工程碳盤查初期使用國外生命週期軟體之碳足跡係數比例高。故本計畫在執行過程中把握溫管法之施行，由機關（時西濱南工處）發函要求供應商配合提供碳排放資訊，針對主要碳排放來源，如鋼筋、水泥、預拌混凝土、瀝青混凝土及預力鋼腱等執行供應商碳盤查，藉此建立本土化係數。

由於本計畫供應商盤查之執行，將本工程一級數據（特定廠址數據，即可掌握之碳排放量）比例由 4.9% 提升至 60.7%，大幅提升數據之可信度，並符合碳足跡標準要求。

另經查證後的本土化工程材料之碳足跡係數，亦提供環境部碳足跡資料庫，包含鋼筋 2 筆、各型預拌混凝土 20 筆、瀝青混凝土 7 筆及預力鋼腱 1 筆；其中 2 筆鋼筋係數亦由本計畫協助鋼筋廠商取得鋼胚及鋼筋之 ISO/TS 14067 碳足跡查證聲明書，並於供應商同意下，率先於 2017 年將此產品碳足跡成果於環保部係數平台公開，供其他工程使用。

線上資料收集平台

由於碳盤查所需蒐集資料繁雜，故依據碳盤查需求，建置及設計碳足跡盤查活動資料蒐集系統（盤查資訊系統，運作模式如圖 5 所示）及係數資訊子系統，以增進盤查效率及增加盤查資料價值。在工程碳管理資訊系統下，除計畫前期已完成的係數資料庫、



圖 4 工程生命週期碳管理架構及當年遭遇問題

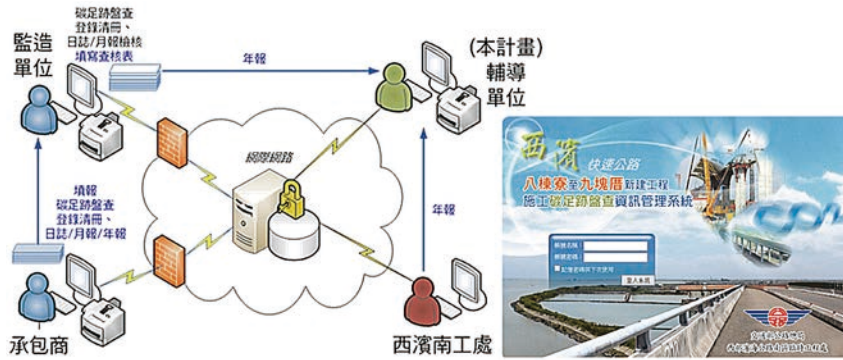


圖 5 碳足跡盤查活動資料蒐集系統

盤查資訊資料庫、碳足跡資料庫及工項分析資料庫等內容，隨著工程活動量及碳排放係數資料的收集，亦逐步完備其他自動化分析、報表及清冊產出等功能。

碳足跡盤查執行成果

整體工程碳排放分析

本工程施工建造階段碳排放量係依據 ISO/TS 14067 進行盤查，並推估營運管理階段碳排放量，整體工程生命週期碳排放量為 351,365 tonCO₂e，以施工階段的土木工程碳排放量占 92% 最高，營運管理階段之碳排放約占 7%，其中以鋪面 / 標線為主要碳排放來源約占 5%，如圖 6 所示。

施工建造階段之碳排放源占比如圖 7 所示，以工程材料使用為主要碳排放來源，約占整體土木工程碳排放量 93%，機具與運具燃料使用及運輸各為 3%，管理單位 1%，工區人員逸散及廢棄物僅約 0.1%；進一步分析工程材料使用之碳排放來源，以混凝土及鋼筋占比最高，分別為 63% 及 24%。

橋梁工程單位碳排放量分析

本工程以橋梁工程為主並含不同之上構施工工

法，本計畫分析各橋梁由基樁、基礎、橋墩至上構之碳排放量，彙整為橋梁單位面積碳排放量（如圖 8）。由分析結果顯示，除匝道外橋梁工程係以上構為碳排放熱點，上構之規格及材料配置為影響整體碳排放量主因。各工法之單位碳排放量以場鑄懸吊（跨河段）最高為 2.95 tonCO₂e/m²，其次場鑄懸臂為 1.63、1.78 tonCO₂e/m²，場鑄逐跨由於不同型式配置造成差異，單位面積排碳介於 1.16 ~ 2.05 tonCO₂e/m²。

工程減碳效益評估

依據歐盟綠色採購「公路設計、建造與管理」文件指出，道路工程節能減碳措施包括：使用再生材料、耐久性鋪面、材料運輸碳排放要求及交通壅塞減緩等。本工程應用之減碳措施以低碳設計及低碳工法進行分析，可量化的部分包含低碳設計之以飛灰及爐石粉替代水泥、導入多孔隙瀝青混凝土鋪面、匝道採用加勁式擋土牆、種植樹木與植被及紅樹林復育、營運期間交通改善影響等；另施工期間機關要求承包商以使用場電替代柴油發電機，確實有超過 50% 的減碳效果。關於本工程之整體減碳效益彙整如圖 9 所示。



圖 6 本工程生命週期碳排放量分析

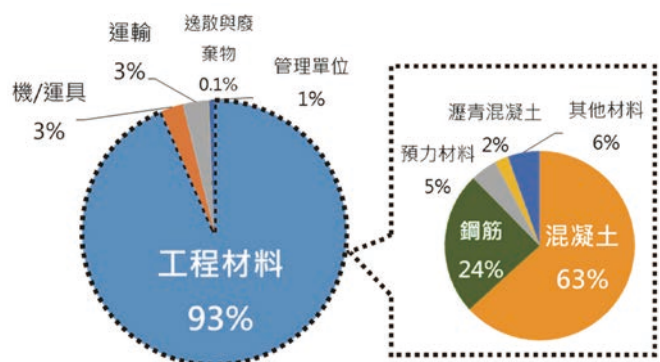


圖 7 本工程施工建造階段碳排放源分析

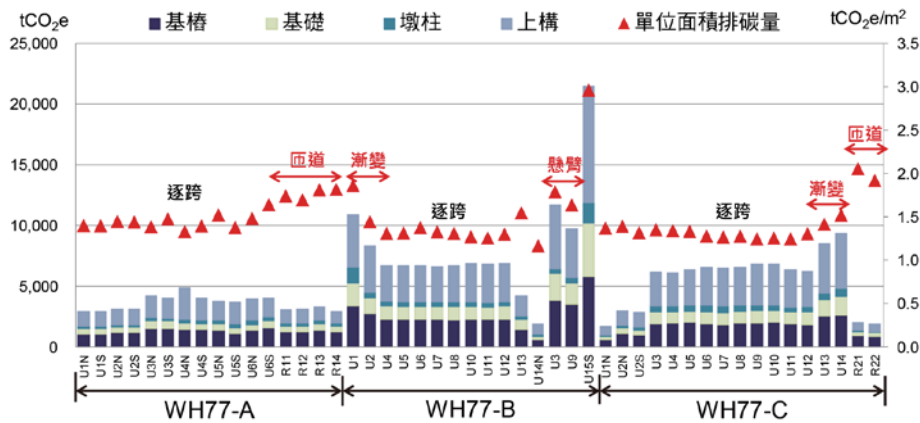


圖 8 橋梁工程構件及整體碳排放量分析



圖 9 本工程減碳效益評估結果

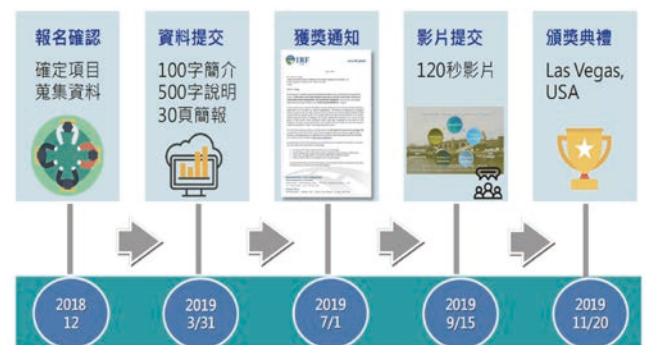


圖 10 本案申請 IRF GRAA 獎項歷程

IRF 參賽經驗

參賽歷程

交通部公路局自 2012 年啟動工程碳管理計畫，並在 2016 年由本計畫之執行取得國內第一張道路公共工程碳足跡查證聲明書，而後於 2018 年完成整體計畫，共取得 ISO/TS 14067 : 2013 及 PAS 2050 : 2011 兩項國際碳足跡標準，包括各標及整體工程共 8 張查證聲明書。為展現執行成果及讓世界看到臺灣對於環境議題的重視，公路局於 2018 年 12 月確定報名爭取 2019 IRF GRAA 之環境減輕類別首獎，並邀請中興公司一同列名，以「西濱快速公路八棟寮至九塊厝工程碳管理及環境減輕策略」為名（以下簡稱本案），共同著手蒐集及準備參獎資料。

本案參賽歷程如圖 10 所示，本團隊於 2019 年 3 月 31 日依據本工程特性，提出英文版之 100 字簡介、500 字說明及 30 頁簡報，期間召開多次會議討論計畫特色及提交資料內容，並由國立高雄科技大學蘇育民及林彥宇教授提供意見及協助潤飾；而後於 2019 年 7 月初

由大會通知本案獲得該獎項，但尚不能公布消息，必須等待頒獎後才能發布相關訊息；確定獲獎後，尚要準備 120 秒之得獎影片介紹，以在頒獎典禮上播放；在 9 月 15 日提交影片同時，受獎團隊成員亦逐一確認，由公路局、中興公司及高科大兩位教授，組成 12 人之受獎團。

本案於 2019 年 11 月 20 日在 IRF 於美國拉斯維加斯舉行之「國際道路協會全球 R2T 研討會與博覽會 (IRF Global R2T Conference & Exhibition)」的晚宴中獲頒獎項，由時任交通部公路總局局長陳彥伯及碳管理執行單位中興公司副總經理習良孝代表領獎；頒獎前得獎影片在現場播放，臺灣道路工程在節能減碳及環境減輕策略的執行成果讓世界看見。

本工程得獎特色概要

由於本案申請類別為「環境減輕類」，除以碳管理為主軸外，亦於參賽資料中納入本工程以高架橋梁工程穿越臺灣南部沿海環境敏感區，為了減輕環境影響，致力於落實環境保護措施之設計理念，為此提出以全生命週期觀點進行碳管理與環境減輕措施作為（如圖 11）。

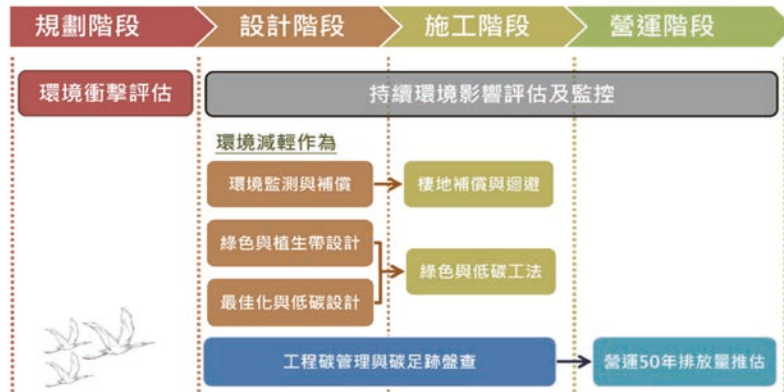


圖 11 工程生命週期考量兼顧環境減輕

於規劃設計階段即考量之環境減輕措施包括環境監測、棲地補償（含既有紅樹林保護）、綠化植披、最佳化與低碳設計（加勁擋土牆、滲流溝、綠帶設施與多孔隙瀝青混凝土等）等，相關作為於建造過程徹底執行，並透過實際盤查與第三方查證，以了解工程與碳排放量之關係，建立工程材料與各項橋梁及高架道路工項碳排放參數，做為未來公路工程碳排放評估之參考。另為了檢討工程施作與後續車流轉移所產生之排放量，更分析不同設計對碳排放之影響，如路線變化、替代材料、結構體調整等。

未來展望

本計畫執行之碳管理模式，持續應用在行政院公共工程委員會（以下簡稱工程會）推動的 20 個碳估算示範案例，包括水利工程及下水道工程之簡易調查等；另由盤查輔導建立之相關成果，包括本土化工程材料碳排放係數及工項碳排放資訊等，亦回饋國家碳足跡係數資料庫，並應用於後續如淡江大橋等工程設計參考，使臺灣碳管理制度及碳排放參數資料更臻完備，進而可有效制定減碳策略、達成整體工程生命週期減碳及環境減輕目標。時至今日，國內已累積龐大之工程碳排放資料，大致已足供工程單位估算工程本身蘊含碳排放需求。後續除持續累積相關碳排放係數外，須朝向工程一開始萌芽之可行性研究及規劃階段，逐步導向更全面之工程全生命週期碳管理機制。

為配合國家減碳目標，工程會規劃工程碳管理採「循序漸進、分階段落實」策略，推動公共工程節能減碳；於 2024 年起請辦理工程之部會如交通部、經濟部、內政部及農業部依工程特性研訂「減碳作業指引」，涵蓋建築、下水道、水利、公路、國道、軌道及

水土保持 7 大類工程，建立以全生命週期為核心之減碳管理架構。此項減碳作業指引之研訂，亦引用過去十幾年來各部會執行碳足跡盤查或調查之成果，建立公共工程以全生命週期進行考量，量化各階段碳排放量，並將減碳列為考量因子，研提減碳策略及方案，評估公共工程之減碳潛勢並據以執行；7 大類工程之減碳作業指引已於 2025 年底全數完成，並預計擴大管理工程類別，及加強盤查力道，使工程整體價值鏈成員（資產擁有者、設計者、施工者及供應商）確實落實減碳作為。

整體工程生命週期碳管理流程願景如圖 12 所示。以公路工程而言，計畫階段將依據僅有之工程規模以標準斷面初估工程碳排放量、營運碳排放量及外部貢獻（如交通改善等）評估計畫可行性，進行不同路廊方案比較，提供決策參考；在路廊方案確認後，於規劃階段依據可取得之資訊或常用組件概估工程碳排放量（基線）、並納入營運及外部碳，以比較不同方案之碳排放量；並於細部設計階段基於機關訂定之減碳目標納入低碳設計，完成碳預算；發包階段則透過相關規範規定，要求廠商落實設計之減碳要求，進行碳揭露及碳調查，確保達成減碳目標，並完成碳決算。

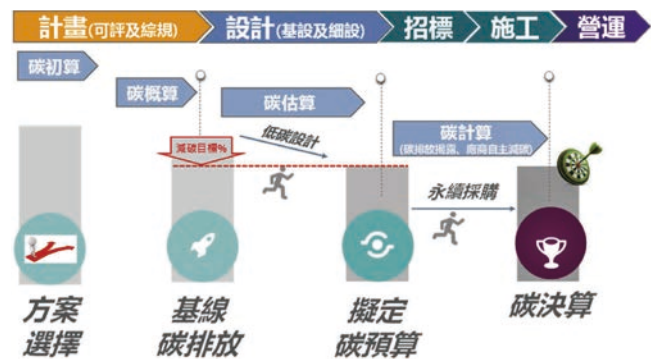


圖 12 工程全生命週期碳管理流程

交通部由於自 2012 年起執行數個重大計畫之工程碳管理及盤查輔導計畫，在此基礎上，部屬機關如公路局、高公局及鐵道局亦於 2025 年底完成 PAS 2080 建築及基礎設施碳管理標準之第三方驗證，並同步於 2026 年 1 月 1 日起開始執行，邁向交通工程減碳新里程。除 PAS 2080 工程碳管理之執行外，未來國內工程仍可參考歐盟綠色採購及英國、挪威等零排放工地之管理模式，朝向工程淨零排放之目標前進。



照片 3 臺灣代表團大合照

(右 4 為時任公路總局局長陳彥伯局長、右 5 為中興公司習良孝副總經理，其餘由右至左依序為時任西濱南工處溫宏發主工、中興公司黃崇仁副總經理、公路總局黃三哲副總工、中興公司許珮蓓計畫主任、公路總局曾乙庭正工、公路總局高任璋工程司、中興公司林舜元組長、公路總局洪明澤科長、高科大林彥宇教授)

領獎照片

本獎項由時任公路總局局長陳彥伯及中興公司副總經理習良孝代表領獎（如照片 1），頒獎典禮後代表團於會場中進行合影留念（如照片 2 ~ 照片 3）。



照片 1 本案頒獎照片

(時任公路總局局長陳彥伯(右)及中興公司副總經理習良孝(左)代表領獎)

照片 2 頒獎後臺灣代表團合影

(右 4 為時任公路總局局長陳彥伯局長、右 5 為中興公司習良孝副總經理，其餘由右至左依序為時任西濱南工處溫宏發主工、中興公司黃崇仁副總經理、公路總局黃三哲副總工、中興公司許珮蓓計畫主任、公路總局曾乙庭正工、公路總局洪明澤科長、公路總局高任璋工程司、中興公司林舜元組長)



參考文獻

1. 溫室氣體減量及管理法 (2015)，民國 104 年 7 月 1 日華總一義字第 10400077011 號令。
2. 氣候變遷因應法 (2023)，民國 112 年 2 月 15 日華總一義字第 11200010681 號令。
3. 行政院公共工程委員會 (2008)，永續公共工程 - 節能減碳政策白皮書 (核定本)。
4. 交通部 (2010)，節能減碳規劃設計參考原則 (修正版)。
5. European Commission, (2016), Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance, Technical Report and Criteria Proposal.
6. National Highways, (2021), Net zero highways: our 2030 / 2040 / 2050 plan.
7. Oslo Kommune, (2019), Climate and environmental requirements for the City of Oslo's construction sites (Version 1.0).





IRF 2020 Global Road Achievement Awards (GRAA)
全球道路成就獎「設計類」首獎

蘇花改計畫

邵厚潔／蘇花公路改善工程處 前任處長（已退休）
李宗仁／蘇花公路改善工程處 現任處長
翁贊鈞*／台灣世曦工程顧問股份有限公司運輸土木部 副理
楊家正／台灣世曦工程顧問股份有限公司運輸土木部 副理（已退休）
吳嘉文／台灣世曦工程顧問股份有限公司運輸土木部 資深協理
劉鳴錚／中興工程顧問股份有限公司園區及路航工程部 計畫經理
廖惠美／中興工程顧問股份有限公司園區及路航工程部 計畫經理
程慶寧／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 技術經理

蘇花公路改善工程於民國 109 年榮獲國際道路協會（International Road Federation, IRF）「全球道路成就獎（Global Road Achievement Awards, GRAA）」設計類首獎。計畫團隊以「永續公共工程」為核心理念，貫穿規劃、設計至施工各階段，透過嚴謹之環境調查與周延之公民參與機制，系統性掌握地質與水文條件，並進行路線最佳化配置與隧道工法精進。同時整合施工衝擊減緩、土方鐵路運輸、彈性停工機制、長期環境監測、生態與文化資產保護，以及在地部落溝通等多元配套措施。

於營運階段，進一步導入先進防災機電系統與智慧交通控制技術，建構兼具安全性、環境友善與智慧化之全生命週期山區公路建設典範。施工期間亦推動工程碳盤查制度，並依環境影響評估承諾設置環境保護監督小組，落實資訊公開與社會監督機制，展現公共工程於社會對話與治理透明之深化成果，並樹立國內重大公共建設推動之重要標竿。

關鍵詞：蘇花公路改善計畫、抗災韌性、隧道工程、智慧運輸系統、蘇花公路安全提升計畫

計畫背景

蘇花公路為臺灣東、北部間之唯一聯外交通樞紐，因路廊傍海且地形險峻，既有道路線形彎陡且屢遭崩塌阻斷，對沿線交通與產業運輸造成重大影響（圖 1）。考量東部環境之敏感性，本計畫秉持「永續環境發展」

理念，優先針對災損及肇事熱點進行改善，落實工程減量、環境友善及強化抗災韌性等目標。

為降低對環境生態之衝擊，本計畫以隧道與橋梁為工程主體。總改善里程約 38.4 公里，涵蓋 8 座隧道（23.3 公里）及 13 座橋梁（8.3 公里）。面對規模龐大、地質條件嚴苛及社會高度關注等挑戰，計畫關鍵課題包含：地質水文掌控、環境與既有交通維持、隧道施工控管、民眾與部落溝通及營運期之防災安全。

* 通訊作者，tcweng@ceci.com.tw

計畫團隊藉由嚴謹之調查選線、研訂精進施工策略、建置先進防災系統，並積極導入公民參與，確保工程順利推展。本計畫於 109 年 1 月全線通車，有效提升東部路廊之運輸安全與效益，達成健全國土區域安全管理之願景。



圖 1 蘇花公路

蘇澳東澳段 (圖 2)

本路段全長約 9.3 公里，主要工程內容包含 3 座隧道（總長約 3.8 公里）、4 座橋梁（總長約 4.6 公里）及路堤段約 0.9 公里。其中，線形優雅之白米景觀橋不僅為本段代表性工程地標，亦融合在地社區文化意象，兼具景觀與人文價值。本段關鍵控制工程為東澳隧道，全長 3,381 公尺，採雙孔單向配置。由於路線通過斷層帶、破碎岩體帶及具擠壓性之軟弱岩盤等複雜地質區域，施工條件嚴峻，對開挖穩定控制與支撐工法提出高度挑戰。

南澳和平段 (圖 3)

本路段全長約 20.0 公里，涵蓋 3 座隧道（總長約 13.1 公里）、6 座橋梁（總長約 4.0 公里）及路堤段約



圖 2 蘇澳東澳段

2.9 公里。其中，總長達 12.6 公里之隧道群（觀音隧道與谷風隧道）為本段核心，兩隧道間以長約 60 公尺之鼓音橋銜接，形成連續長隧道系統。

為提升施工效率與作業彈性，工程團隊創新運用鄰近既有之舊北迴鐵路廢棄隧道，作為施工運輸便道並拓展工作面。隧道南口漢本高架橋施工期間，發掘出可追溯至青銅器時代之漢本考古遺址文化層，本段工程除基礎建設外，亦承擔文化資產保存與研究之重要責任。

和 中 大 清 水 段 (圖 4)

本路段全長約 9.1 公里，包含 2 座隧道（總長約 7.7 公里）、2 座橋梁（總長約 0.2 公里）路堤段約 1.2 公里。其中，中仁隧道全長 4,774 公尺，最大覆土深度達 1,226 公尺。施工期間需穿越多處斷層構造，並面臨颱風季節可能引發之高壓湧水風險，施工條件極為嚴峻。對此，工程團隊於規劃階段即針對地質風險與水文不確定性研擬專屬防制策略，並於施工過程中落實嚴謹之監測與應變機制，以確保工程安全、品質及進度之有效控管。



圖 3 南澳和平段

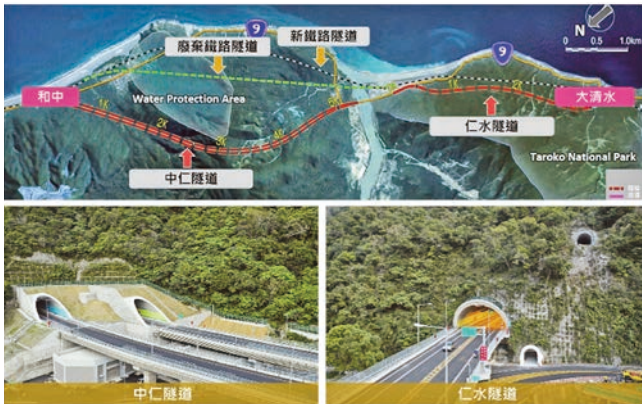


圖 4 和中大清水段



圖 6 蘇花改監測資訊公開

計畫挑戰

環境保護

臺灣東海岸擁有獨特且多樣之自然景觀，孕育豐富之生態系統與歷史文化資產。本計畫之核心目標，除提供東部地區安全、穩定之聯外運輸廊道外，亦著重於生態保育與環境永續之兼顧，以符合國家整體永續發展之長遠利益。基此，路線設計標準定位為省道等級，並以隧道及橋梁為主要構造型式（約占全線里程 82%），藉以有效降低傳統平面道路對地形地貌之切割與干擾。另於工程設計中導入生態友善理念，沿線規劃生態廊道與人工微棲地（如設置鳥巢箱等），以維繫道路周邊之生物多樣性與棲地連續性（圖 5）。



圖 5 高架橋下方鳥槽箱

為落實環境影響評估承諾及相關環保法規要求，計畫自初期即建置完整之環境監測系統（圖 6），針對地下水文、空氣品質及動植物生態等指標進行長期且系統性觀測。導入航空攝影測量技術，建立三維地形與景觀之航測資料庫，不僅可即時掌握施工區域之地貌變遷，亦可作為防災預警與災害應變之重要決策支援工具。實務經驗顯示，此類科技化監測機制對於降低天然災害衝擊及提升工程風險管理效能具有顯著成效。

本計畫於降低施工環境衝擊方面，亦採取創新之運輸與資源管理策略。其中，以鐵路運輸取代部分傳統公路運輸為重要作法（圖 7）。以南澳和平段為例，工程團隊活化利用既有閒置之舊北迴鐵路隧道作為施工動線（圖 8），並將隧道開挖產生之土石方改由臺鐵貨運列車運輸，大幅減少施工期間行駛於省道之重型車輛數量。此舉除有效降低交通負荷與行車風險外，亦配合「臺鐵北迴線貨運運能提升計畫」，促進既有公路礦砂運輸之轉移，具體回應社會對蘇花路廊「礦砂車減量」之期待。

此外，隧道開挖產出之土石材料亦落實資源化再利用，妥善運送至鄰近地區，供水泥製造、混凝土拌合及工程填築使用，充分體現循環經濟與永續資源管理之理念。



圖 7 鐵路運輸取代公路運輸



圖 8 施工利用舊北迴鐵路隧道

於重大公共工程推動過程中，爭取環境保育團體與社會大眾之信任與支持，為計畫成功之關鍵基礎。本計畫團隊自先期規劃階段即主動與環保團體代表、民間組織及專家學者展開多元對話，透過舉辦公開論壇與說明會，針對工程安全、環境影響及替代方案等核心議題進行充分溝通與專業交流。亦建置專屬資訊公開平台（圖 9），即時揭露施工進度與環境監測成果，確保資訊傳遞之即時性與透明性，建立公眾溝通機制。

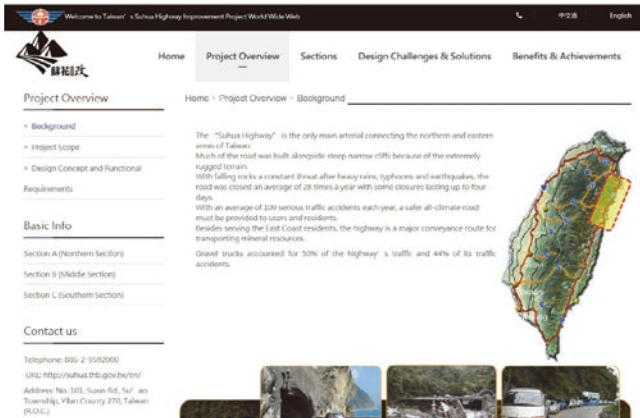


圖 9 蘇花改專屬網站

本計畫秉持工程建設與自然環境及人文資產共榮之理念，致力於迴避並降低對周邊生態與文化資產之影響。施工期間，於谷風隧道南口路段發掘距今約 1,800 年的漢本考古遺址，出土大量裝飾性骨角器與陶偶等珍貴文物，具高度考古與歷史價值。為確保文化資產之完整保存，洞口區域工程停工啟動搶救機制，工程主辦機關與考古學界展開密切之跨領域合作，進行系統性保存與研究；同時，為落實遺址原址保存原則，主動進行隧道口橋梁基礎、機房建築及通風管道工程等設施調整變更（圖 10）。



圖 10 漢本遺址

克服複雜的地質與水文條件

臺灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊之碰撞帶，造山運動活躍，致使東部海岸山勢陡峭且地質條件多變。蘇花路廊之地質構造受長期構造擠壓影響，岩體節理裂隙發達且破碎程度高，整體穩定性相對不佳；於豪雨或地震作用下，易誘發落石、崩塌及邊坡失穩等災害。受太平洋季風及地形抬升效應影響，本路廊為全臺降雨量最為豐沛之區域，於極端氣候下之長延時強降雨，進一步提高地下水壓與邊坡含水量，顯著加劇地質不穩定性及致災風險。

為因應前述嚴峻之自然條件，計畫團隊於先期規劃階段即系統性蒐集並整合國內外 38 座隧道工程之地質條件與施工經驗資料，作為風險評估與設計參考基礎（圖 11）。另針對計畫路廊進行高密度之水文地質調查，並結合長期地下水監測與探測作業，以精確掌握地下水脈分布及潛在湧水來源。基於上述完整之調查成果，進一步建置三維地質與水文數值模型（圖 12），整合歷時性監測資料，進行地下水入滲、流動及湧出行為之動態模擬。此一科學化評估架構，不僅有效支援隧道施工防災策略之研擬，亦作為路線選定與工程配置之關鍵決策依據，顯著降低隧道開挖期間遭遇突發性湧水災害之風險。



圖 11 新舊永春隧道施工照片與東澳隧道區位套繪

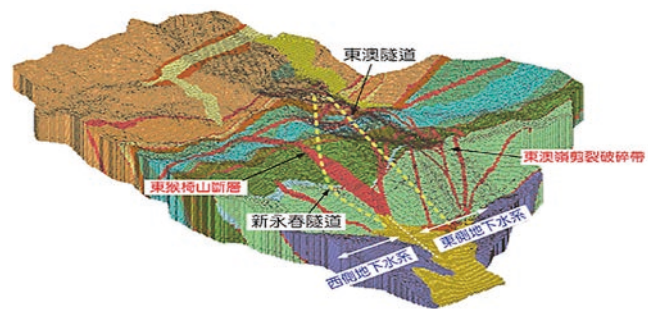


圖 12 3D 水文地質模式分析示意圖

創新策略與工法 / 技術

彈性合約應對變更

鑑於隧道工程具高度地質不確定性，本計畫導入具彈性之契約機制，允許承包商依施工期間實際遭遇之地質條件，適時調整最適施工工法與支撐措施。此一動態風險分攤與管理策略，不僅有效降低因地質差異所引發之履約爭議，亦減少設計變更之頻率，進而提升工程執行效率與進度掌控能力，達成縮短整體工期之目標。

舊北迴鐵路隧道活化利用

南澳和平段之觀音（7.9 公里）及谷風隧道（4.7 公里）以 60 公尺鼓音高架橋銜接，形成長達 12.6 公里封閉隧道段。為突破長隧道施工瓶頸，創新活化鄰近之舊北迴閒置隧道，並自該隧道開闢 3 處施工橫坑，藉以增闢 10 處開挖工作面，總計 14 個工作面。此一多工作面同步施工策略，顯著提升整體開挖效率，使該段長隧道工程工期縮短約 18 個月（圖 13）。

配合舊鐵路隧道再利用，計畫團隊於設計階段即全面檢核施工動線之運輸需求與容量配置，針對既有隧道空間進行局部擴挖、針對舊隧道結構進行系統性檢測與必要補強，設置避車彎及會車空間，提升施工期間重型機具運輸之安全性與運作效率。

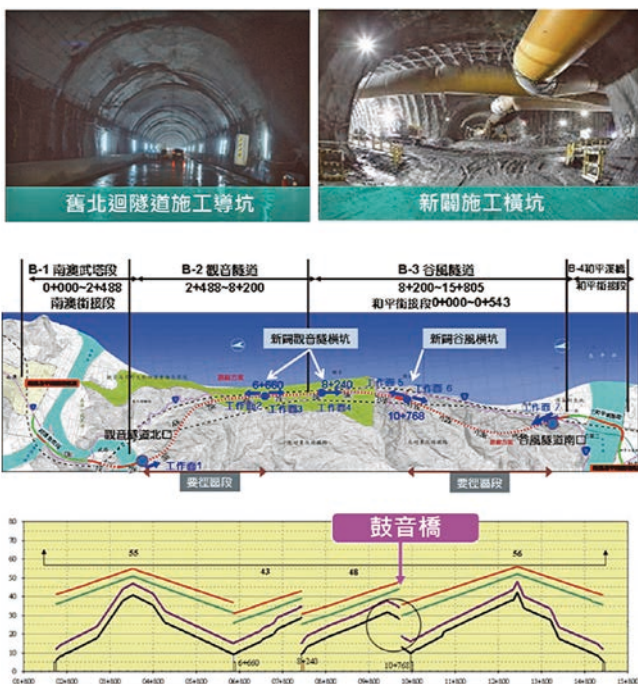


圖 13 利用舊北迴鐵路隧道施作施工橫坑

鼓音橋設計施工

串聯觀音隧道與谷風隧道之鼓音橋，為本計畫具代表性之創新工程之一。該橋採雙管圓柱形鋼骨框架構造，並運用推進工法，自隧道洞口由內向外逐節推進完成架設。此工法可避免於觀音谷地設置臨時支撐與施工平台，達成減少地表擾動與降低環境衝擊之目標（圖 14）。

另於橋體外側設置鋼製百葉遮光構件，可有效降低側風對行車穩定性之影響，並改善駕駛人於短距離進出隧道時之視覺適應問題，兼顧行車安全與景觀協調，展現工程技術與環境融合之設計理念（圖 15）。

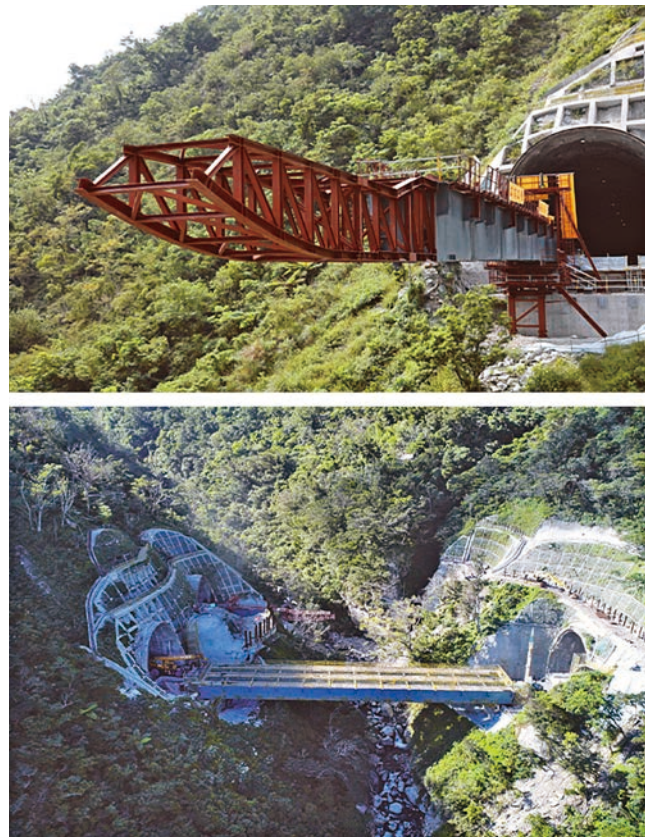


圖 14 鼓音橋採推進工法施工

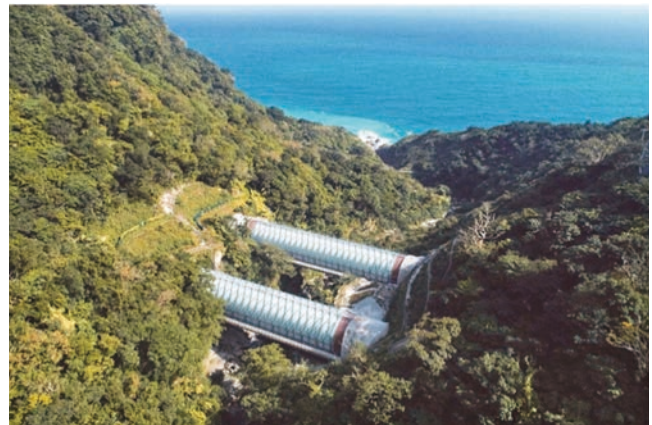


圖 15 鼓音橋

先進長隧道防災及安全營運系統

本計畫共有 8 座隧道，且有 4 座超過 3 公里的長隧道，鑑於隧道空間具封閉性與災害擴散風險，防救災系統之整體規劃與動線設計尤為關鍵，旨在有效因應各類突發事件，並確保用路人得以迅速、安全地進行避難與疏散。在避難設施配置方面，本計畫也依照交通部於 99 年頒布「公路隧道消防安全設備設置規範」規定，隧道內每 350 公尺設置人行避難連絡通道、每 1,400 公尺設置車行避難連絡通道（圖 16），以利事故發生時人員車輛可立即避難，且救援車輛也可以用連絡通道通行與救援。另基於重貨車比高達 50%，於長隧道前設置地磅站、重貨車專用道及儀控設施，管控車間距 50~150 公尺，提升隧道群整體營運安全。

除縝密土建救災空間設計，並導入先進點排式通風系統（Point Extraction System）、水霧系統及智慧交控設施，且針對隧道災害情境進行 CFD 模擬分析及完工驗測，並研擬緊急應變計畫及建構救災組織，除將意外風險降至最低，並確保事故發生時可有效救援與救災（圖 17）：

1. 主動式消防系統：可於事故初期迅速啟動，侷限火源熱區並抑制火勢擴散，有效防止延燒，進而提供用路人安全避難之時間與空間，同時營造有利於消防單位進場處置之作業環境。
2. 點排式通風系統：採獨立排煙管道設計，於火災發生時可將高溫煙氣與有毒煙霧控制於事故區段內，避免煙流沿隧道縱向擴散，顯著提升人員存活率與逃生成功機率。

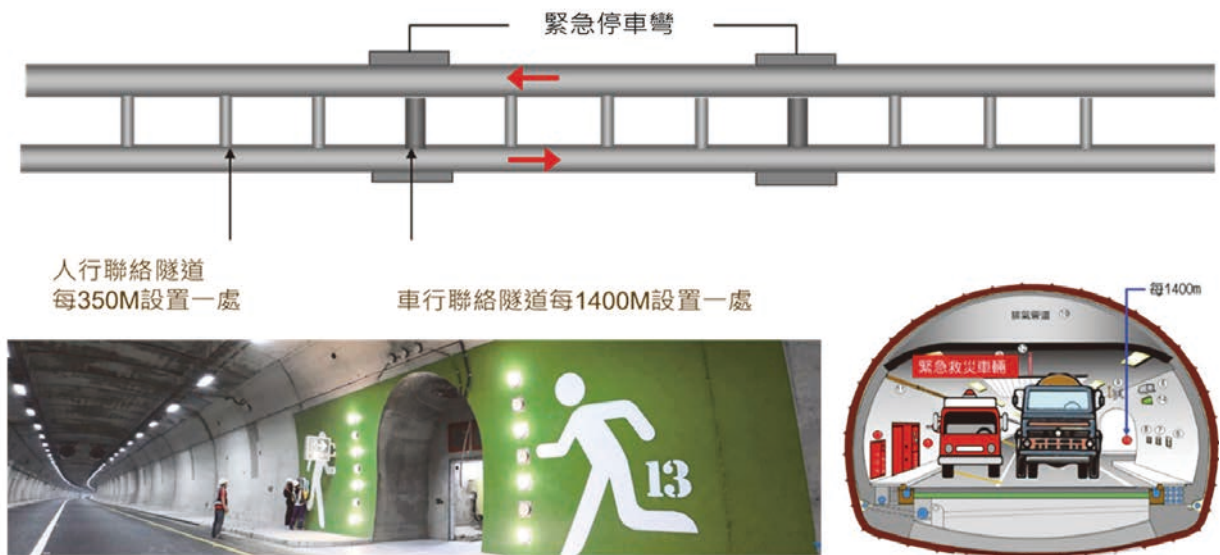


圖 16 先進隧道安全救災空間

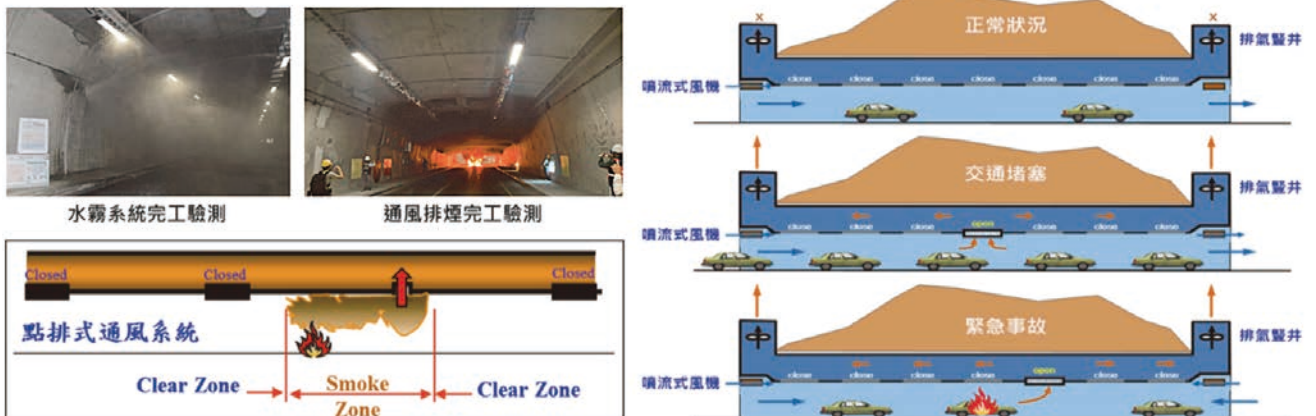


圖 17 點式排煙系統與主動式消防系統

隧道營運安全智慧管理

考量蘇花改路線長且有隧道群，有救援路線較長、路型封閉等特性，行車安全需要特別考量，因此針對營運階段之隧道安全採用智慧管理。具體作為包含：(1) 著重設置大貨車儀控管制系統（圖 18），控制貨車車流量，降低長隧道發生事故機率。(2) 建置安全運輸交通資訊管理系統（圖 19），提供駕駛者充分路況。(3) 隧道內交控監測設備，即時掌握交通壅塞狀況，以

利交通管制。(4) 建置路廊蘇花改及既有蘇花公路之安全運輸交通資訊管理系統，提供用路者充分路況資訊，並依據各種情境進行導引及管制作為（圖 20）。

另外，考量長隧道交通安全及阻塞課題，隧道洞口前方設置地磅管制站，除進行重貨車載重及車間距管制，並透過隧道內交控監測設備，即時掌握交通壅塞狀況，俾進行端點交通管制。



圖 18 大貨車儀控管制系統示意圖



圖 19 交通資訊管理系統示意圖

事件	入口控制策略
路段壅塞	顯示警示訊息
隧道單車道封閉	利用號誌時制調節進入之車流量
下游隧道封閉	封閉路段入口

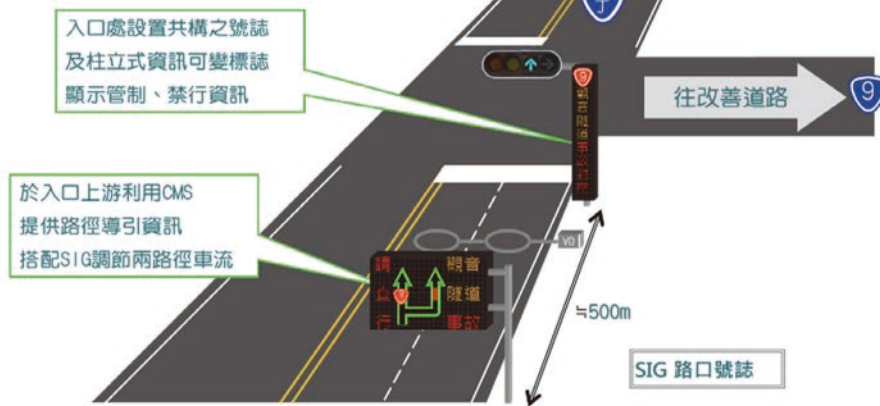


圖 20 蘇花改及既有蘇花公路之交通資訊管理系統示意圖

施工碳盤查國內先例

蘇花改計畫為國內第一個執行完整工程碳管理之公共工程，並於 108 年 1 月取得國內第 1 張公共工程 ISO 14067:2018 碳足跡查證聲明書，全計畫共獲得 7 張聲明書，包含台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫蘇澳東澳段工程、蘇澳永樂段新建工程（A1 標）、東澳隧道新建工程（A2 標）、東澳東岳段新建工程（A3 標）、和中大清水段工程、中仁隧道接續工程（C1 與 C1A 標）、仁水隧道新建工程（C2 標）等，落實國內促進 2050 淨零排放

目標，完整碳盤查制度建立；且蘇花改計畫也提供諸多國內工程碳足跡參數，對國內在地化碳排放資料庫建立具重大意義（圖 21、圖 22）。

本計畫工程節能減碳效益具體作為包含：

1. 飛灰及爐石粉替代水泥減碳效益：

蘇花改工程以中聯爐石經查證公告的高爐石粉碳足跡：0.0522 kgCO₂e/kg，英國的乾、濕燃煤的飛灰碳足跡：0.004 kgCO₂e/kg，及本計畫進行水泥廠盤查之係數：0.940 ~ 0.966 kgCO₂e/kg，

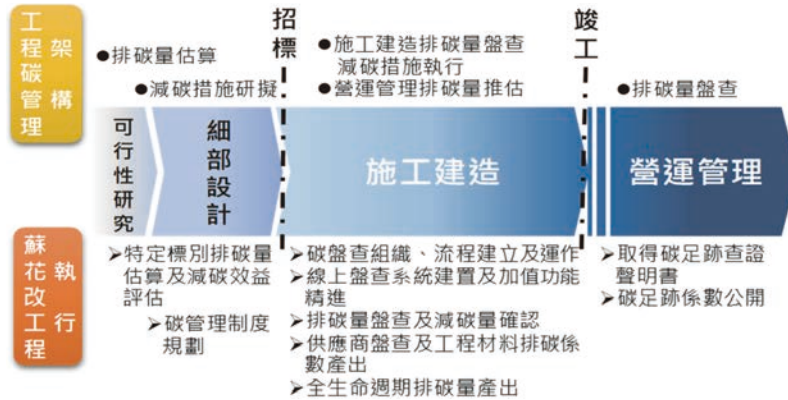


圖 21 工程全生命週期碳管理架構及蘇花改執行情形



圖 22 蘇花改工程取得碳足跡查證聲明書

進行本工程飛灰與爐石粉替代水泥之減碳量估算。各標別使用飛灰及爐石粉替代水泥約 15% ~ 45%，可得減碳率約 14 ~ 44%，且減碳效益與配比有關。

- 火車載運土石方減碳效益：鐵路替代公路進行土方運輸，可減少卡車數量與空污排放，有效減碳。公路運輸，蘇花改東澳隧道（A2 標）自 104 年 1 月起開始紀錄南北口所有土方運輸傾卸車之里程數，故依此計算兩工作面傾卸車運輸排碳係數；鐵路運輸，則參考交通部運研所「行車成本調查分析與交通建設計畫經濟效益評估之推廣應用」（2010）所載之係數 77.5481 gCO₂e/tkm。

經盤查東澳隧道南、北口開挖產出之渣料，南、北口單位土方減碳量分別為 4.27 及 1.89 公斤二氧化碳當量 /ton。

- 場電取代發電機用油之減碳效益：一般施工區常使用柴油發電機，蘇花改隧道工程則要求以場電

作為機具動力來源。參考東元柴油引擎發電機之單位油耗 0.27 L/kWh（30-250 KW）及 0.29 L/kWh（350 KW）及環保署公告 2016 年固定源柴油係數 3.35 kgCO₂e/L，計算發電機單位發電量之排碳量為 0.90 kgCO₂e/kWh 及 0.97 kgCO₂e/kWh；場電碳排放係數則採用環保署公告之 0.66 kgCO₂e/kWh（2016 年）。經過盤查，確實達到減碳效益。

- 基樁工程圍束區箍筋工法減碳效益評估：蘇花改工程 A1 標於基樁工程之圍束區箍筋綁紮採用之工法與原設計之閉合彎鉤工法不同，係採焊接工法，確實具有減碳效益。原基樁圍束區箍筋採閉環彎鉤形式，後改以焊接進行綁紮，每圈可減少 60 公分之彎鉤竹節鋼筋，整體約有 47.40 tCO₂e 的減碳效益。

蘇花改計畫於施工階段，透過：土石方載運採用火車運輸、以飛灰及爐石粉替代水泥、以場電取代柴油發電機等具體措施有效減少碳排放。經估算，施工減碳約 33.2 萬噸二氧化碳當量，相當於 859 座大安森林公園的年固碳量（圖 23）。

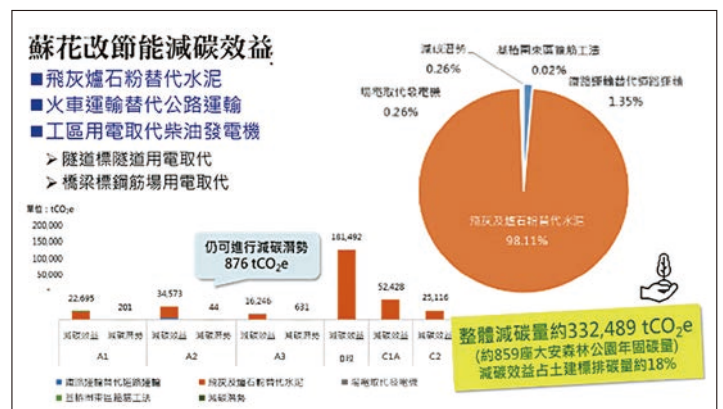


圖 23 蘇花改施工期間之實質減碳效益示意圖

融入周遭環境

蘇花路廊行經生態敏感之山區，沿線動植物資源豐富。為落實環境永續與生態保護之目標，本計畫於導入具體之生態友善措施。透過系統性規劃生物廊道及人工微棲地之營造，不僅有效維持公路周邊之生態連續性與棲地功能，亦顯著降低線性工程對生物多樣性所造成之棲地切割效應，實踐工程開發與自然環境之協調共存（圖 24）。

於橋梁工程設計方面，高架橋構造特別強調量體輕量化與景觀協調性，以降低大型工程設施對周遭自然景觀之視覺衝擊；對於具指標性之橋梁，則進一步融入在地文化意象與建築語彙，使工程設施兼具功能性與地域識別性。

1. 白米景觀橋：位於蘇澳白米社區旁，全長約 340 公尺。橋梁採雙塔設計，兩座高約 56 公尺之白色橋塔線形流暢，塔頂開口造型隱喻在地白米飽滿意象，展現工程與地方文化之融合（圖 25、圖 27）。
2. 南澳北溪橋：位於南澳地區，全長約 360 公尺，採單索面脊背橋（Extradosed Bridge）結構型式。其雙橋塔造型猶如托舉之雙手，象徵守護用路人安全之意涵，兼具結構效率與景觀象徵性（圖 26、圖 27）。



圖 25 白米景觀橋



圖 24 邊溝生物逃生通道及反折防止入侵



圖 26 南澳北溪橋



圖 27 白米高架橋及南澳北溪橋紀念郵票

執行成果

蘇花改工程通車

本改善計畫自民國 100 年起分階段推動，歷經長期規劃設計與施工團隊之全力投入，逐步克服地質條件嚴峻、施工環境受限等多重挑戰。其中，蘇澳東澳段率先於 107 年 2 月完工通車（圖 28）；其後南澳和平段及和中大清水段亦於 109 年 1 月相繼通車（圖 29），標誌蘇花公路改善計畫全線正式進入營運階段。



圖 28 東澳北溪橋



圖 29 南澳北溪橋

計畫效益

本計畫以提升東部路廊之抗災能力與運輸服務品質為核心目標，其完工後整體效益可歸納如下：

1. 建構安全可靠之抗災維生路廊：

既有蘇花公路受限於破碎地質條件，多處路段屬落石與邊坡崩塌之高潛勢區。本計畫以橋梁與隧道為主體構造，自通車以來有效降低極端氣候下之交通阻斷風險，確保運輸服務之穩定性與持續性。新闢路線與既有台 9 丁線形成互補備援路網，配合既有道路之邊坡防護與預警機制，使整體路廊之阻斷頻率與災損規模均顯著降低，大幅提升東部聯外交通之安全性與可靠度。

2. 既有路廊空間活化與景觀重塑：

蘇花海岸擁有世界級之山海地景。隨本計畫完成，穿越性車流及重型車輛大幅轉移至新線，促使既有公路（台 9 丁線）之道路功能得以重新定位。透過交通分流，新線（台 9 線）承擔抗災維生與高效率運輸之主體功能；既有台 9 丁線則逐步轉型為兼具在地交通服務與觀光遊憩價值之景觀道路，實現道路空間之多元利用與價值再生。

3. 帶動區域經濟與國土均衡發展：

本計畫顯著改善花東地區對外交通條件，降低區域運輸成本與時間阻抗，強化城鄉間之連結性。其交通可及性提升所帶動之外溢效益，促進沿線聚落及花東地區觀光產業發展、土地利用活化與就業機會增加，為東部經濟發展注入動能，進一步推動國土均衡發展之政策目標。

國際道路協會 2020 全球道路成就獎

本計畫憑藉卓越之專案治理能力與多項技術創新成果，於民國 109 年榮獲國際道路協會（International Road Federation, IRF）頒發之「全球道路成就獎（Global Road Achievement Awards, GRAA）」設計類首獎（圖 30）。

工程自規劃、設計至施工階段，全面落實永續公共工程理念，包含嚴謹之環境調查、完善之公民參與機制，以及創新推動之工程碳盤查制度，並設立獨立之環境保護監督機制。此一國際肯定不僅為臺灣公路工程發展之重要里程碑，亦彰顯我國在大型基礎建設領域中，兼顧工程品質、技術創新與環境永續之整體實力。



圖 30 台灣世曦黃炳勳副總經理（右三）代表受獎

未來展望

蘇花安計畫

蘇花改通車後，顯著提升蘇花路廊之整體運輸安全與服務品質。然而，既有台9線中仍有東澳－南澳、和平－和中及大清水－崇德等三處路段尚未納入改善範圍。上述路段受限於地形陡峻與空間條件，道路幾何線形標準偏低，雖於一般天候下可維持通行功能，但於颱風或短延時強降雨等極端氣候影響下，仍面臨高潛勢之落石與邊坡崩塌風險，致使交通管理機關需頻繁啟動預警性封閉措施。相關路段之防災韌性與運輸服務水準仍有顯著提升空間，亟待進一步系統性改善。

為澈底消弭前述交通瓶頸，契合地方民意期盼與國土長遠發展願景，交通部平衡民意訴求與國土長遠發展，提出「台9線蘇花公路安全提升計畫」（簡稱蘇花安）。其中，東澳-南澳段及和平-崇德段之可行性研究報告，業於民國108年12月20日獲行政院核復「原則同意」，並隨即展開綜合規劃與環境影響評估等前置作業（圖31）。

本計畫近期已完成多項重要行政節點。環境影響說明書定稿本於民國113年10月7日獲環境部備查，整體建設計畫亦於114年8月13日奉行政院核定。後

續將依循法定程序，持續推動細部設計及主體工程施工。透過路線優化與防災設施強化，預期可顯著降低極端氣候下預警性封路之發生頻率，進而實現提供東部地區全天候、安全且穩定之運輸服務目標。

綜合而言，「蘇花公路改善計畫」及後續推動之「蘇花安全提升計畫」，係臺灣面對高風險地質環境下重大交通基礎建設之關鍵實踐案例。透過橋隧化工程策略、系統性地質風險評估、智慧運輸系統（ITS）導入，以及完善之防災與避難設計，成功大幅提升蘇花路廊之運輸安全性、服務穩定度與整體防災韌性。同時，計畫亦兼顧環境保育與文化資產保存，透過生態友善設計、公民參與機制及跨領域協作，展現大型公共工程於永續發展面向之整合能力，具體樹立工程建設與自然環境、人文資產共存之典範。

領獎照片

線上會議頒獎典禮

「蘇花公路山區路段改善計畫工程」於民國109年榮獲國際道路協會（International Road Federation, IRF）「全球道路成就獎（Global Road Achievement Awards, GRAA）」設

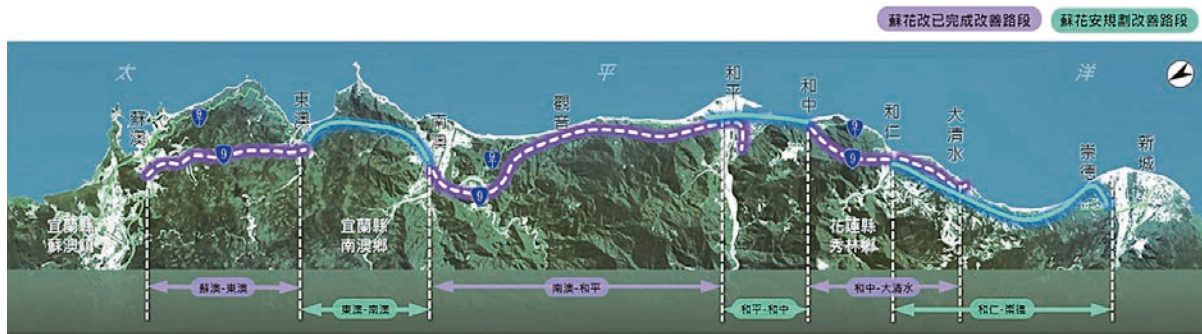


圖 31 蘇花公路安全提升計畫



計類首獎，同年 11 月 20 日於美國休斯頓舉行之 IRF 國際道路協會國際會議中頒發。受新冠疫情影響，本次會議採虛擬線上會議型式舉行頒獎典禮（圖 32），由交通部政務次長陳彥伯、公路總局局長許鈺漳、蘇花公路改善工程處處長邵厚潔、設計單位台灣世曦工程顧問股份有限公司董事長施義芳及中興工程顧問股份有限公司副總經理黃崇仁率工程團隊共同參與此一榮耀時刻（圖 33、圖 34）。



圖 32 線上會議舉行頒獎典禮



圖 33 陳政次長與公路局及台灣世曦團隊合照



圖 34 陳政次長與公路局及中興工程團隊合照

實體頒獎典禮

2020 國際道路協會研討會暨全球道路成就獎（GRAA）頒獎典禮於 2021 年 11 月 9 日在阿拉伯聯合大公國（下稱阿聯酋）杜拜邦西方賈達夫酒店（Occidental Al Jaddaf）隆重舉行。本次中華民國受獎代表團由交通部公

路總局蘇花改工程處主任工程司林燦輝率領，成員涵蓋產官學界代表，包括公路總局工務組正工程司洪宗亨、台灣世曦工程顧問股份有限公司副總經理黃炳勳，以及中興工程顧問有限公司經理程慶寧與副理廖惠美等人（圖 35）。



圖 35 中華民國代表團合影
（左起廖惠美、洪宗亨、林燦輝、黃炳勳、程慶寧）

本次出訪行程承蒙國立高雄科技大學教授（兼任中華民國道路協會理事與青年工程師委員會主委）蘇育民之協助規劃以及外交部駐杜拜臺北商務辦事處的安排，代表團除出席受獎外，亦順利拜會阿聯酋政府官員，雙方特別針對「自駕式公共運輸系統」之發展與應用進行深度交流，並成功締造兩國後續進一步對話與互訪之契機。此外，代表團亦實地考察杜拜與阿布達比之重大道路與橋樑基礎建設，積極汲取國際前瞻工程經驗。

此次出訪適逢全球新冠肺炎（COVID-19）疫情嚴峻期間，代表團無畏跨國移動之高風險與檢疫限制，克服重重挑戰遠赴海外受獎，將臺灣工程的榮耀展現於國際舞台。代表團於返國後亦嚴格格遵防疫規範，依法完成 14 日隔離作業，不僅展現工程人員之毅力，更圓滿達成此次外交與技術交流之重大使命。

參考文獻

1. 交通部公路總局台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫可行性研究報告（98 年 12 月）。
2. 交通部公路總局台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫工程規劃報告（99 年 12 月）。
3. 交通部公路總局台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫設計書（99 年 12 月）。
4. 交通部公路總局台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫環境影響說明書（100 年 1 月）。
5. 交通部公路總局蘇花公路改善工程處台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫施工中暨營運階段指標生物研究計畫報告（108 年 3 月）。
6. 交通部公路總局蘇花公路改善工程處台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫水文地質模式及水資源環境影響評估報告（108 年 4 月）。
7. 交通部公路總局蘇花公路改善工程處台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫施工期間工程碳管理成果報告書（110 年 10 月）。





2021 The 2nd REAAA Mino Best Project Award - High Volume Road
亞澳道路工程協會 第2屆 Mino 最佳工程獎「高容量道路」第1名

臺9線 南迴公路 安朔草埔段 工程

蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司 副總經理

湯允中*／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部技術經理

練健勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部副理

南迴公路為省道台9線之一部分，位於台灣屏東及台東縣，橫跨本島西部與東部沿海地區，沿線經過景緻優美的山區、深切河谷，以及富含自然美景、原住民族文化與珍稀野生動物的崎嶇海岸線。南迴公路為該區主要幹道，對區域經濟與周邊聚落民生具有關鍵重要性；原有安朔至草埔路段受高路堤與陡坡限制，平面線形狹窄蜿蜒且縱坡陡峭，長期受自然災害崩塌與人為交通事故中斷影響；然而，若以拓寬方式改善，將對周邊環境造成災難性衝擊。因此自2009年起啟動新建方案，規劃以長隧道與高架橋系統建立更安全且更友善環境的新路線，將路線長度由16.2 km縮短至11.0 km，並消除危險彎道。新線規劃設計聚焦於：最佳化線形以避開生態敏感區及易崩塌地帶、保育生態與野生動物棲地、導入創新施工與減量技術，以及依據ISO 14067辦理本計畫各標段工程碳足跡盤查及查證作業。本計畫設計階段即推動環境減輕策略，以促進綠色環境、綠色工法與綠色材料之落實；施工期間以環境友善與資源永續為優先，採取多元作法，例如：將隧道開挖剩餘土方回用於路堤段，以及用於東岸海灘復育（養灘工程）；山坡地施工遵循最高水土保持標準；並以棧橋避免侵入森林環境。此外，導入創新之碳盤查表單管理系統，在施工階段執行碳足跡盤查與查證，不僅取得第三方國際標準之查證聲明，亦有助建立本土化碳排係數資料庫。其成果可使未來更有效率地採用減碳施工方法與低碳材料。最後，本工程於2019年通車後，除透過交通改道提升行車安全並兼顧環境效益外，亦藉由增加原住民族就業機會與吸引遊客帶動地方經濟，縮小台灣東西部走廊之經濟落差。

本篇主要介紹本計畫於設計階段之環境減輕策略及友善環境之創新技術與作法為主，並且說明綠色工程及工程碳足跡盤查在本計畫的落實，以及本計畫完工後對於環境衝擊減輕及行車安全、經濟發展的成果。最後，本案有幸參加亞澳道路工程協會（Road Engineering Association of Asia and Australasia, REAAA）第2屆「Mino最佳工程獎項—高容量道路類（Mino Best Project-High Volume Road）競賽並榮獲第1名，於此一併記載。

關鍵字：南迴公路、工程碳足跡、永續工程、亞澳道路工程協會

工程概述

南迴公路位於台9線南段，路線由東部台東縣延伸至西部屏東縣（圖1）。此山區景觀道路行經陡峭山區、深谷與崎嶇海岸，沿線環境兼具自然景觀、原民

文化與珍稀野生動物。過去天然災害常引發邊坡崩塌，致原線多處交通中斷；原有路線為狹窄蜿蜒道路，線形不良且縱坡陡峭，並受高路堤及邊坡限制，若採拓寬改善將對環境造成災難性衝擊。因此規劃新路線，以長隧道與高架橋方式消除危險彎道並將環境影響降至最低。

* 通訊作者，tangyc@ceci.com.tw



圖 1 安朔草埔段工程位置圖

因此自 2009 年啟動更安全、舒適且便利之新路線設計，本路段改善前長度約 16.2 公里，寬度約 7.0 公尺，改善後以高架橋及長隧道等先進工程技術將路線截彎取直長度約 11.0 公里，並拓寬為 20.5 ~ 23.0 公尺之雙向共四車道，總工程經費約新台幣 150 億元，並於 2019 年 12 月完工（圖 2）。

設計階段環境減輕策略

本計畫針對設計階段環境減輕所採取原則與措施如下：

1. 線形最佳化：將路線遠離生態敏感區，並使高架橋橋墩與隧道口避開潛在崩塌區。

為配合本工程環境保護措施，線形最佳化之設計原則分別就高架橋段與隧道段說明。

(1) 高架橋段

高架橋線形沿溪谷布設，跨越河川及崩塌地；考量橋梁施工對敏感棲地與森林之影響，沿既有溪谷採用大量施工便橋／棧橋設計，以降低對地表生態之破壞。

高架橋結構採中長跨徑配置，儘量避開既有生物覓食路徑，以降低對區內保育動物生態之干擾（如圖 3）。

(2) 隧道段

隧道口周邊生態豐富，於隧道口上邊坡設置生態防護柵，以避免營運期間動物誤入隧道；另外，隧道口及施工便道之設計需避開「大樹及珍稀植物」，並強化綠化、增加綠帶範圍、提升綠覆率（如圖 4）。

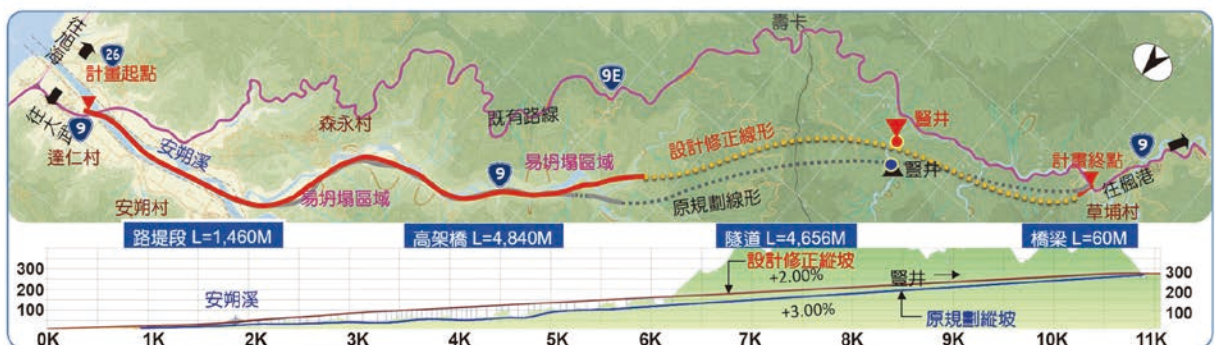


圖 2 安朔草埔段工程範圍及內容



圖 3 高架橋段環境保護設計原則與措施

2. 生態保育：設計前採 24 小時主動式紅外線偵測進行生態調查與環境監測，盤點並保全野生動物棲地。

(1) 生態調查

蒐集周邊陸域與水域資料，以及野生動物之活動規律與行為；並使用 24 小時主動式紅外線偵測技術（圖 5）觀察與調查動物覓食路徑。

工區周邊珍稀及受保護植物豐富。設計階段邀請生態保育人員以 24 小時紅外線攝影完成調查，辨識動物活動路徑並標記植物，以降低施工對生態之影響。

(2) 環境監測

以提升生態永續為目的，執行工區環境中空氣與水質等之監測；若監測數據超出法規標準，則啟動改善機制。另外，施工期間於隧道內將污水與地下水分流，以降低污水處理量並回收潔淨水。

(3) 野生動物（含瀕危物種）保護

本計畫範圍位於因族群量下降而受法令保護之環頸雉殘留棲地之一，保育作法包括：完成族群分布調查、確認工區無環頸雉出現、鑑別工區周邊環頸雉之遺留族群，並推動其保育工作。至於工區內

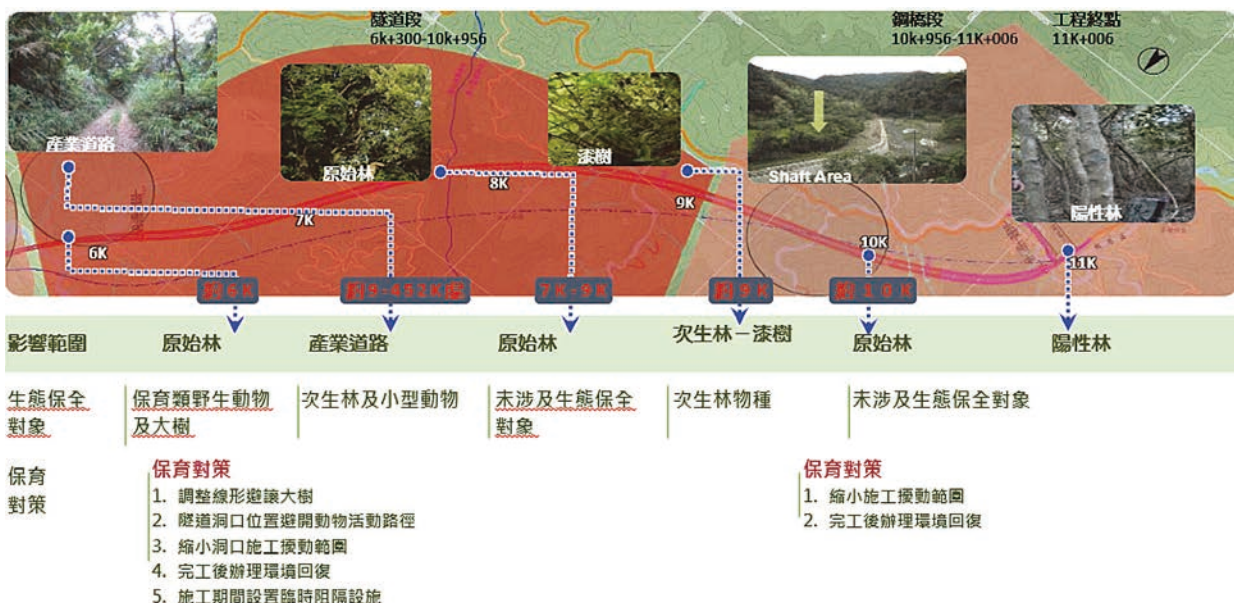


圖 4 隧道段環境保護設計原則與措施



圖 5 24 小時主動式紅外線偵測系統觀察

其他多樣性物種（如猴、松鼠、靈貓、山羌、長鬃山羊、貂等），採取措施如下：設計前以 24 小時紅外線監測系統辨識覓食路徑並觀察活動型態；以圍籬避免動物誤闖工區；高架橋採中大跨配置，並於覓食路徑上方設置棧橋式高架以維持通行。

3. 導入 LEED：建築設計除與周邊景觀融合外，並遵循 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) 綠建築設計標準，採用綠建材（圖 6）。

友善環境之創新技術與作法

橋梁自動化施工技術

本計畫之中大跨徑高架橋採自動化施工（圖 7），以避免環境破壞；上部結構採用懸臂施工法以利地表

植生復育及提升施工安全，下部結構採預組裝構件與支架以提升高橋墩施工速度與安全，相關假設工程搭配施工棧橋之設置以有效降低生態衝擊。

創新地工施工技術

高架橋基礎位於邊坡處，採井式基礎與「竹削擋土工法」（圖 8）將開挖量降至最小，並可降低對生態與環境之影響、保護原始景觀、提升施工安全與經濟性、縮短工期。

先進隧道火災緊急應變和救援系統

本計畫隧道工程採世界最先進之點排式縱向氣流排煙隧道通風系統，該系統旨在最大限度地減少火災發生時對周圍森林環境的影響，並為用路人提供最佳的逃生

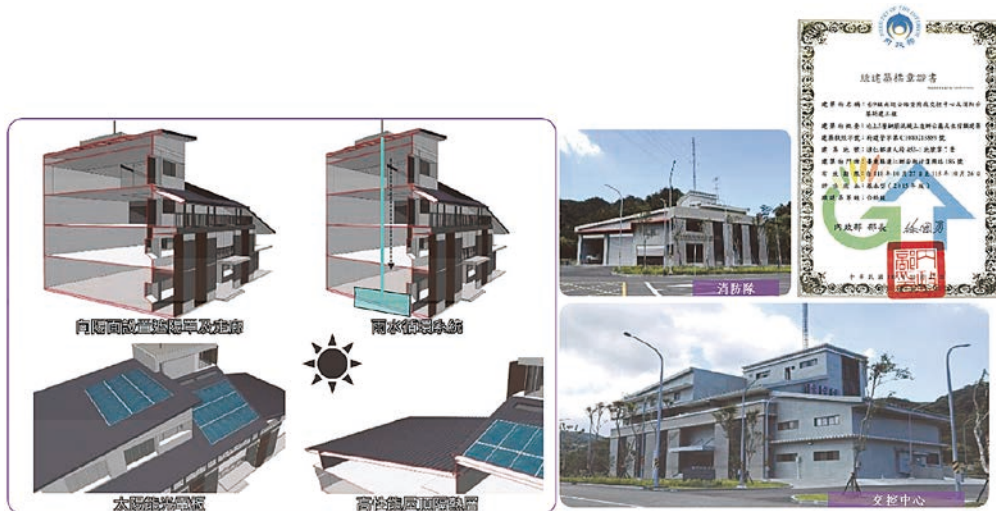


圖 6 導入 LEED 綠建築設計標準



圖 7 橋梁自動化施工

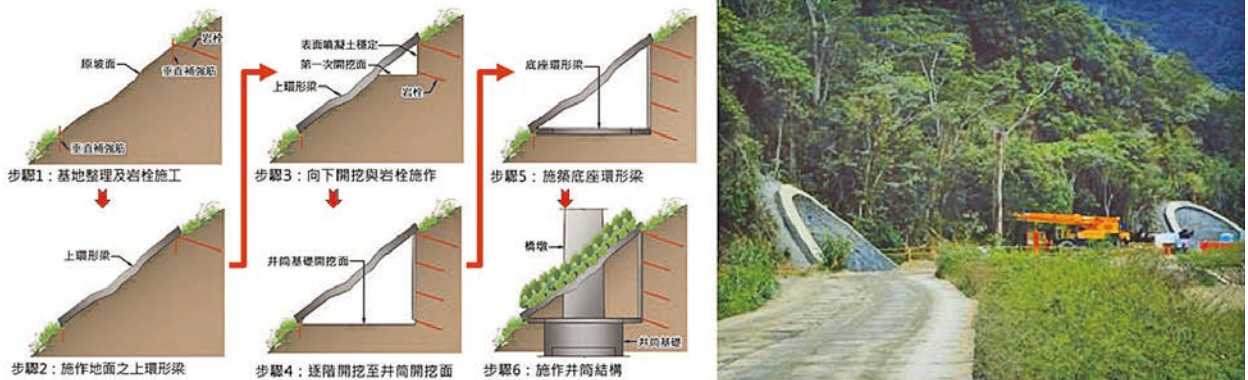


圖 8 井基及竹削工法施工

和避難場所。在火災發生之緊急情況下，兩個主要子系統將啟動：(1) 自動水霧滅火系統：熱釋放率 (HRR) 為 100 MW；(2) 整合式隧道通風和點排煙系統啟用 (圖 9)。

隧道與高架橋土方再利用

隧道與高架橋開挖剩餘土方除供路堤回填外，亦用於海灘養護工程，以保護海岸線並營造 100 公尺寬沙灘 (新增 21 公頃土地) (圖 10)，確保公路路基安全。

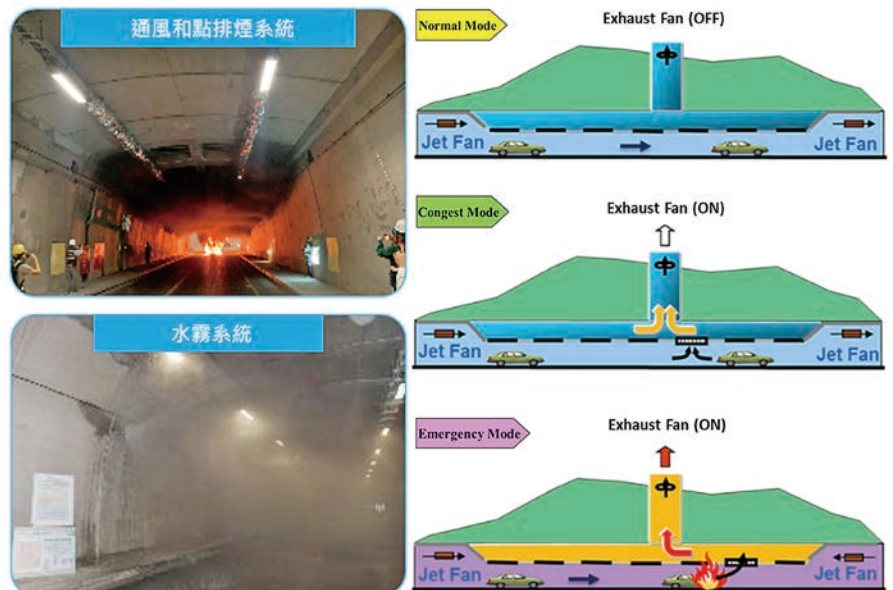


圖 9 先進隧道火災緊急應變和救援系統

遵循最高水土保持標準（圖 11）

路堤段：施工期間設置臨時排水溝、沉砂池及坡面覆蓋等；完工後設置永久排水溝、箱涵及擋土設施。

高架橋段：施工期間設置臨時排水溝、棧橋與施工便道等；完工後設置橋下排水及坡面噴植等護坡綠化。

施工便道與棧橋之創新與友善環境運用

本計畫採行作法包括：利用河岸道路並拓寬既有道路作為施工便道；設計階段要求採棧橋以避免破壞森林環境；並於工程契約文件中規範施工廠商須設置臨時便橋或棧橋，以確保動物覓食／通行路徑。（如圖 12）

工程碳足跡盤查及查證

本計畫依據 ISO 14067 全生命週期產品碳足跡規範，以及環境部 2014 年頒布之基礎建設碳足跡產品類別規則（CFP-PCR），於工程施工期程，進行分標段、分年度之實質盤查工作，並於工程竣工時，以數據資料充足且完整的碳足跡盤查報告，向合格的查證機構提出查驗申請並取得碳足跡查證聲明書。最終目標為依據實際盤查結果，瞭解「臺9線南迴公路安朔草埔段工程」生命週期之整體碳排放量，及建立本土化之產品碳排放係數及工程碳足跡參數。並建議本工程於施工期間進行減碳作為，展現整體工程減碳成效。



圖 10 台灣東部海岸線養灘工程



圖 11 最高水土保持標準



圖 12 施工臨時便橋與棧橋

綠色工程架構與減碳目標

為保護環境並降低對周邊之衝擊，本工程建構整合「綠色環境、綠色工法、綠色材料」之綠色工程架構（表 1）；此外導入低碳設計原則約可節省 72,600 噸 CO₂，約相當於台北市大安森林公園 189 年之固碳量。

設計階段減碳策略

設計階段減碳策略包括：妥善規劃施工便道與棧橋以降低環境衝擊；邊坡處之橋墩採「竹削」工法以縮小基礎開挖面積；以高爐石與飛灰降低水泥用量；高架道路與隧道採節能 LED 照明設備；隧道南口跨溪段採鋼橋設計；採用地工合成材料加勁擋土牆替代 RC 結構；提升隧道襯砌混凝土強度以降低厚度、進而減少水泥用量；回用剩餘土方於路堤段及東岸海灘復育等。

施工階段溫室氣體（GHG）盤查

施工階段溫室氣體盤查作法包括：持續蒐集施工活動資料，並要求施工廠商逐日填報碳盤查表單，並整合工程活動數據資料庫；同時對施工機具及設備進行持續測試以追蹤單位時間燃油耗用。另配合每月定期現勘與會議，由盤查團隊輔導工地盤查作業並研採最適當之碳排係數；並與查證機構協調，按月與各年度編製盤查報告辦理預先查證作業。

一級碳排放係數蒐集與盤查原則

為加強一級活動數據之佔比，本計畫也邀集鋼筋、混凝土、桁架支撐構件、預鑄電纜溝等材料供應商，於材料製造廠端進行一級碳排放係數盤查作業。本案屬國際上少數於設計與施工全程蒐集排放資料、用以建置與分析本土化碳排係數資料庫（表 2）之先驅工程之一，可作為未來其他工程碳排放量估算之基礎。

工程材料之溫室氣體排放資料蒐集，係依 ISO 14067 標準取得可靠且可查證之數據。

碳足跡生命週期盤查成果

本計畫取得第三方國際認證之工程碳足跡查證聲明書，證明數據具高度可靠性，並在我國之碳排係數資料庫建立上扮演關鍵角色。相關成果如下：

C1 標（高架橋工程）一級碳排放係數占比約 56%。

- 功能單位：C1 標（高架橋工程）為 30,016.3 TonCO₂e（公里－寬度）
- 功能單位：C2 標（隧道工程）為 115,509.1 TonCO₂e（公里－橫斷面）
- GHG 排放結果：工程材料 / 施工機具占比約為 92/6（高架橋工程）；84/14（隧道工程）。
- GHG 排放結果：施工 / 營運占比約為 84/16（高架橋工程）；69/31（隧道工程）。

表 1 綠色工程架構

綠色環境		綠色工法		綠色材料	
降低能源消耗	調整隧道縱坡／線形	最小化尺度	竹削工法 提升材料強度	低碳混凝土	卜作嵐材料 （火山灰質材料）
生態保護	生態迴避設計	自動化工法	自動化施工 提升施工效率	被動反光材料	採用綠色標誌材料
保水滯洪	設置生態草溝 雨水回收再利用	土方回用	路堤回填 海灘復育	光電節能產品	太陽能板 LED 燈具 隧道 LED 照明
加勁式擋土牆	自然生態系 邊坡綠化				

表 2 本土化碳排係數資料庫

序號	適用年份	標別	供應商	碳足跡盤查產品	碳排放係數
1	2015	C2	00 鋼鐵桃園廠	鋼筋（SD420W）	0.907 kgCO ₂ e/kg
2	2017	C1	00 水泥花蓮廠	第二型卜特蘭水泥	0.935 kgCO ₂ e/kg
3	2015	C2	00 混凝土廠	350 kgf/cm ² 混凝土	258.69 kgCO ₂ e/m ³
4	2018	C1、C2	00 鋼鐵	鋼桁架支撐、岩栓	0.722 kgCO ₂ e/kg
5	2018	C3	00 電工	電力線路配線與電纜	6.310 kgCO ₂ e/kg
6	2018	C1	00 瀝青	瀝青混凝土	131.96 kgCO ₂ e/T

計畫成果

實踐環境減輕策略

1. 設計階段策略：
 - 高性能材料的應用：包括使用飛灰、爐石材料取代部分水泥、採用高性能混凝土以及減少結構體積。
 - 高性能結構系統的應用：包括應用高強度、高效率的支撐系統以及應用可再生和高效率材料。
 - 避開生態敏感區域並增加生態空間：包括將對生物路徑的干擾降至最低的臨時結構，以及避開生態敏感區域的永久建築。
2. 施工階段策略：
 - 施工自動化方法的應用：包括使用侵入性較小的先進支撐和懸臂施工方法，以及高架橋墩和隧道襯砌的自動化模板施工方法。
 - 專案規模縮減：包括縮減專案區域並保護自然環境，使用棧橋而非施工便道。
 - 施工機械能源使用減少：包括在部分施工機械中使用電力取代燃料，提高能源效率和清潔度，並仔細規劃施工機械的使用和方法。
3. 營運階段策略：
 - 減少車輛碳足跡：包括保持路線和路面平整以減少車輛燃油消耗，保持相同的車速以減少碳排放。
 - 優化營運管理：包括加強維護營運管理機制和模式，建立完整詳細的評估機制並制定設施生命週期延長計畫。
 - 減少營運系統碳足跡：包括加強隧道照明、通風和消防系統的節能，設置機械設備室以提高供電效率。

促進地方社會福利

1. 改善台灣東西部走廊經濟發展平衡：

新完工之主線道路顯著緩解了台灣相對不發達東部地區交通基礎設施的不足，並透過增加行車便利性，在屏東和台東之間建立了「一小時生活圈」。
2. 為台灣東部原住民創造更多就業機會：

本計畫道路為當地原住民部落創造更多就業機會，當地經濟也將因越來越多的遊客湧入而受益。
3. 將原路線交通流量轉移至新路線，顯著提高道路安全：

新道路線形消除了 67 個彎道和 104 個易發生山崩的邊坡，更使單次旅行時間減少 20 分鐘，並成功將高達 90% 交通量轉移到新路線。

獲獎經過

本工程由台灣世曦工程顧問公司辦理設計及監造，榮獲亞澳道路工程協會（Road Engineering Association of Asia and Australasia, REAAA）第 2 屆「Mino 最佳工程獎項－高容量道路類（Mino Best Project-High Volume Road）第 1 名；再次於國際間展現台灣世曦公司在工程設計監造之堅強實力，揚名國際。

亞澳道路工程協會第 16 屆大會於 2021 年 9 月 15 日下午閉幕典禮上公布 Mino 獎項獲獎名單，採網路連線方式辦理頒獎（圖 13），Mino 獎係由該協會第 10 任（1998 年至 2000 年）主席 Sadamu Mino 博士捐贈，於 2016 年成立 Mino 基金會，旨在表彰在亞澳地區新建的傑出道路及橋梁工程。本次第 2 屆是選拔 2016 ~ 2020 年間完成的傑出工程，計有日本、韓國、泰國、馬來西亞、印尼、越南、菲律賓等實力堅強的工程團隊參賽，台灣世曦公司獲此殊榮，實屬不易；交通部公路總局特別邀請設計及施工廠商等工程團隊一起與會觀禮，分享得獎喜悅。本次獲獎是台灣工程技術再次榮獲國際大獎，希望藉由本計畫路段卓越的成果，讓台灣公路工程得以躍登國際舞台，也讓世界看見臺灣與認識臺灣世界級工程實力。



圖 13 「藏橋於林」保留原始生態與林相、Mino 最佳工程獎線上頒獎典禮



圖 14 (左) 台灣世曦公司設計團隊出席領獎、(右) 公路局邀請工程團隊觀禮及大合照

台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫 - 安朔草埔段由於路廊環境險峻，考量原有道路設計標準偏低、道路線型不佳、縱坡起伏大及路寬不足等限制，改以新建橋梁及隧道方式截彎取直進行改善，全長約 11 公里，包括隧道 4.6 公里、橋梁 4.8 公里、路堤 1.5 公里，為南台灣近年最具工程規模、技術指標且施工艱鉅的公路建設，完工通車後，大幅提升南部及東部路廊整體運輸安全、服務水準、道路容量與效益。

本計畫是以「安全、永續、人本、景觀、發展與新技術」為核心，從修正規劃、設計到施工，歷經嚴謹的環境調查與綿密的公民溝通；並掌握地質水文，克服隧道通過地質破碎帶產生的抽坍及大湧水，同時以最佳化選線及精進隧道工法，減緩施工衝擊；再利用隧道開鑿的剩餘土石方於大武漁港南側海岸線進行養灘，不僅有效利用剩餘的土石方，也節省土方運距時間及油耗，達到保護海岸線與減碳的雙重功效；此外，本工程亦進行長期環境監測及友善生態，辦理赤腹鷹、環頸雉及白鼻心等生態調查，以及符合 ISO 14067 之工程全生命週期碳足跡盤查作業，獲國際第三方查證單位頒發合理保證等級之查證聲明書；並導入先進防災機電及智慧交控營運，建構出安全、環保與智慧的全生命週期工程典範。

為共同見證此項國際殊榮，交通部公路局特別邀請參與本計畫之設計及施工廠商等工程團隊齊聚一堂，不僅共同觀禮、分享得獎喜悅，更透過大合照（圖 14）留存這份屬於台灣工程界的集體榮耀。以下為當日與會之工程團隊代表：

左側照片由左至右依序為：湯允中／台灣世曦工

程顧問股份有限公司第二結構部技術經理、黃炳勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司總經理、許鈺璋／前交通部公路局局長、蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司副總經理。

右側照片前排左起依序為葉雙福／交通部公路總局副總工程司、黃三哲／交通部公路總局前副總工程司、林福山／交通部公路局局長、林聰利／交通部公路局副局長、許鈺璋／前交通部公路局局長、江金璋／前交通部公路局南區公路新建工程分局分局長、黃炳勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司總經理、黃義芳／前根基營造股份有限公司總經理、李群英／前互助營造前副總經理；後排左起依序為劉雅玲／交通部公路局副總工程司、顏召宜／公路總局材試所前所長、許振文／根基營造股份有限公司技師、羅國峰／前交通部公路局南區公路新建工程分局科長、楊凱麟／交通部公路局中區養護分局副分局長、黃品嘉／交通部公路局南區公路新建工程分局第七工務段段長、蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司副總經理、陳偉文／根基營造股份有限公司經理、湯允中／台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部技術經理、郭健智／互助營造副總經理、鄭英玲／互助營造處長。

參考文獻

1. 交通部公路總局 2010 省道台 9 線南迴公路拓寬改善工程環境影響說明書。
2. 交通部公路總局 2011 省道台 9 線南迴公路拓寬改善工程綜合規劃報告。
3. 交通部公路總局 2011 省道台 9 線南迴公路拓寬改善工程建設計畫。
4. 交通部公路總局 2021 省道台 9 線南迴公路安朔草埔段工程碳足跡盤查工作成果報告書。



IRF 2024 Global Road Achievement Awards (GRAA)
全球道路成就獎「設計類」首獎

金門大橋 工程

陳明谷* / 台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部 協理

蔣啟恆 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司 副總經理

郭呈彰 / 交通部高速公路局 總工程司

金門大橋跨越金門港道銜接大、小金門島，橋梁全長約 4.77 公里，工址海域水深達 23 公尺，為台灣首座大規模跨海橋梁，工程設計、施工歷經約十三年完成，期間遭遇許多困難，經業主、設計監造團隊及施工團隊共同努力陸續克服，本工程於 2024 年榮獲國際道路協會全球道路成就獎 (IRF-GRAA) 設計類首獎，為國際道路橋梁工程指標性獎項，實屬難得。本文主要針對金門大橋工程計畫挑戰、創新策略與工法、執行成果及未來展望等各面向與讀者分享。

計畫背景

金門大橋工程範圍西起烈嶼（小金門）后頭地區、東迄於金寧鄉湖下地區，路線全長 5.414 公里，其中約 4.5 公里位於海上，大橋跨越金門港道銜接大、小金門島，提供烈嶼與金門地區全天候的交通聯繫，並肩負提升觀光的效益，工程相關位置如圖 1 所示。金門大橋為國內首座大規模之跨海橋，且為國內首次於深水域花崗岩施作基樁，完成後亦為國內最大跨徑脊背橋，設計新穎、施工條件困難，工址環境條件艱鉅，為近期臺灣指標性橋梁工程。

計畫挑戰

複合功能需求

本工程除滿足交通功能以外尚須具備景觀地標意象並凝聚地方共識，建設一景觀橋梁，以促進金門觀光發展。規劃採用之景觀橋造型獨特，具 3 維曲線外型多種斷面變化施工極為複雜，必須妥善設計並配合縝密施工規劃。

險峻水深及堅硬地質

本工程路線於烈嶼端陸域為緩坡地形之紅土台地；向東進入烈嶼端海域後為礁岩地形之海域，海床起伏大；再向東約位於金門港道的中央，此段為深槽區水深約 23 公尺，深槽區寬度約 1,800 公尺，工址水深地形變化大詳見圖 2。

工址基盤為花崗岩，其上層為沖積層，依據補充鑽探成果顯示，於深槽區同一墩位布設 2 孔鑽孔，兩孔間水平方向距離約 25 公尺，岩盤深度差異竟達 10 公尺以

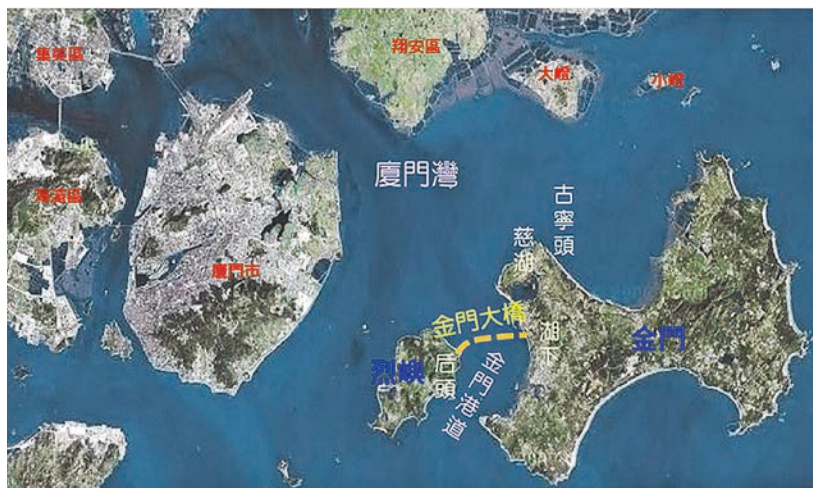


圖 1 工程位置示意圖

* 通訊作者，cmk46019@ceci.com.tw

上，顯示工址花崗岩層深度變化大，另於鑽孔柱狀圖亦可發現各深度的花崗岩風化程度亦變化大，詳見圖 3，於基礎設計時須特別考量此工址地質特性，也使本工程基礎施工特別困難。

惡劣海象、氣候

潮汐

金門地區潮汐為半日潮為主，最大潮位差達 6.3 公尺（如圖 4）。

波浪

民國 99 年 6 月 ~ 8 月於計畫路線鄰近海域進行波浪調查，調查結果顯示工址鄰近海域之波高為 0.1 ~ 0.3 公尺佔 70%，最大示性波高 0.64 公尺。於颱風波浪資料，本工程採用颱風深海波浪作為入射條件，受金門天然地形及淺灘影響，數值模式計算至工址橋墩區示性波高最大約為 0.33 公尺 ~ 1.32 公尺。

海流

本工程利用丹麥 DHI 水力數值模擬軟體之 HD 模組進行金門地區海域流況模擬。工址漲潮階段水流係由外海向廈門灣流動，而退潮時則方向相反，其中以金門島與烈嶼之間的金門港道及金門島東北側靠近圍頭灣附近之東北水道流速較大，在漲潮時流速約達 1.4 ~ 1.6 公尺 / 秒；退潮時流速則超過 1.6 公尺 / 秒（如圖 5）。

氣象

每年 10 月至次年 3 月東北季風強勁，3 月至 5 月易有濃霧，經統計每年約有 2 個颱風侵襲（如圖 6）。

距離遠人、機、料運補困難

金門島距離台灣約 220 公里，工程人員須離鄉背井，參與意願低。大型施工機具、物料須採海運，運輸達 8 ~ 10 小時，且易受天候影響，物料上金門料羅港後仍須島內陸運運輸至工區，對於物料的管控及配合要求甚高。

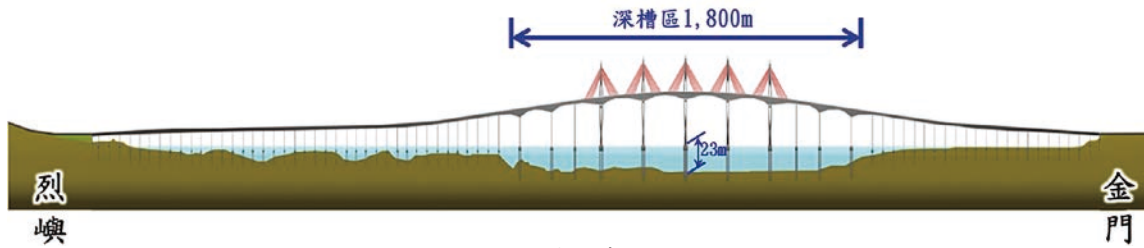


圖 2 水深地形圖

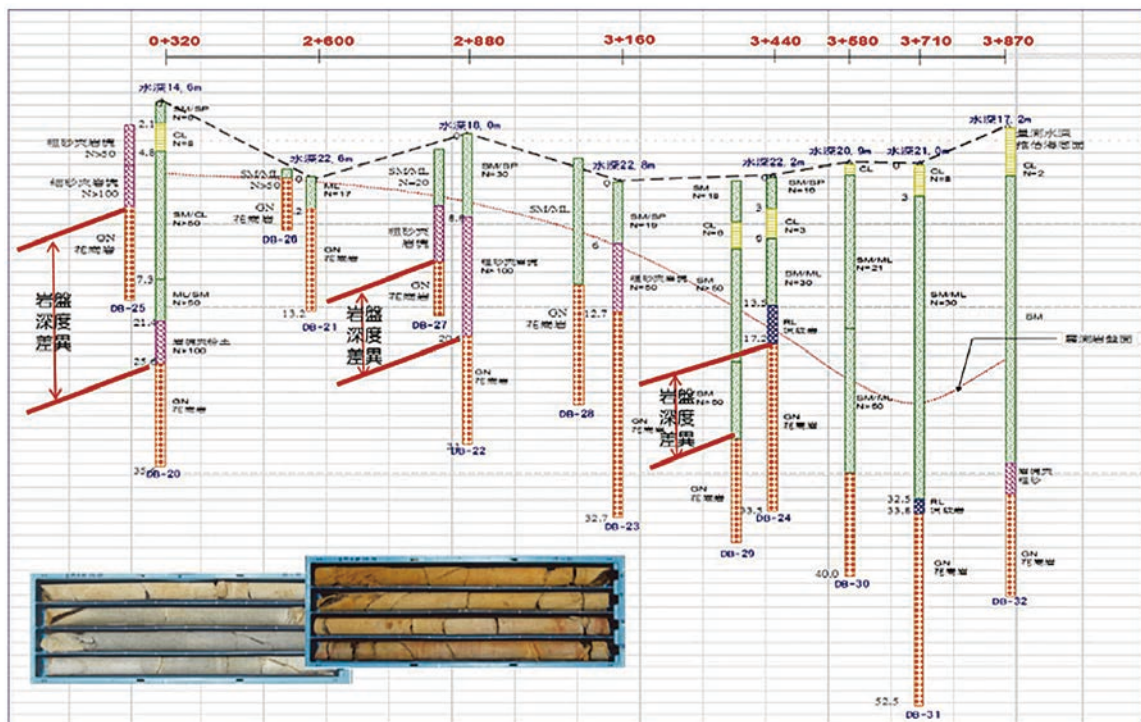


圖 3 岩盤深度及風化程度差異



構台處退潮狀況



構台處漲潮狀況

圖 4 工址漲、退潮情形

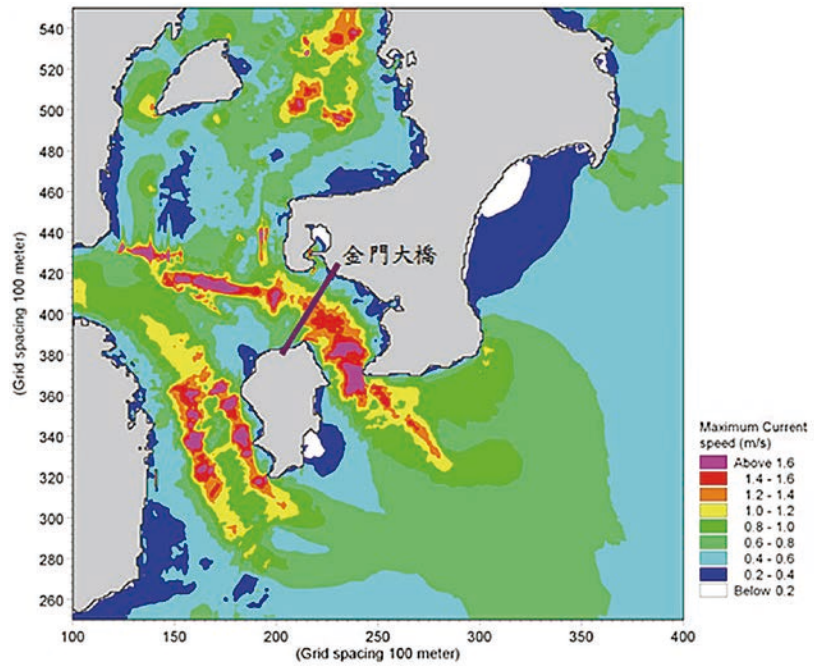
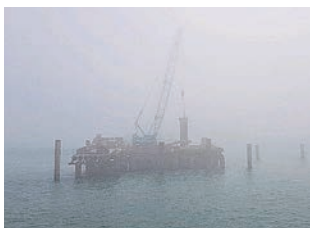


圖 5 金門地區最大流速分布圖



工址濃霧狀況



颱風侵襲

圖 6 工址濃霧及颱風侵襲情形

創新策略與技術

景觀橋梁規劃

本工程為呼應「三分交通、七分觀光」的建設宗旨，希望建構具景觀意象之跨海橋梁，故於較宏觀的道路平面線形，設計時於海上採三組半徑 2,000 公尺以上的反向圓

曲線搭配緩和曲線而成，避免長直線的布設導致線形單調，提供用路人行經橋梁時動態視覺感受，也可有效避免東西向道路長時間受日照眩光的影響。道路縱面設計考量二次爬升，兼顧經濟性與金門港口航道淨高需求、陸域地形的順暢銜接、橋梁之景觀性等，詳見圖 7。

橋梁型式考量位於海域之水深區分為主橋段、邊橋段及引橋段（詳圖 8），於跨越深水區域採用超大跨徑橋梁，減少深水域橋墩數，另於兩側較淺水域範圍則考量施工性與經濟性採一般跨徑，整體跨徑配置由小至大漸進優美變化（詳圖 9）。

主橋段主要跨越通航航道及深槽區海域，主橋橋梁型式除考量航道淨寬及淨高需求外，尚須考量塑造金門地區另一新的優美地標，提昇金門觀光資源，且須考量

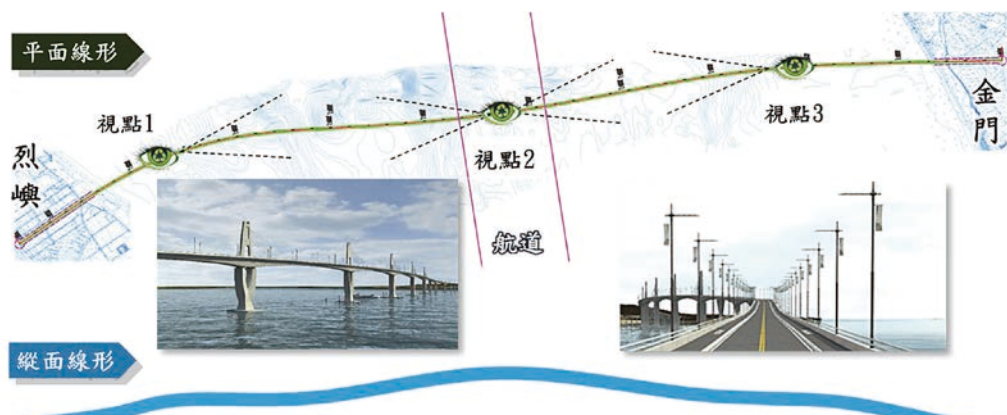


圖 7 平立面線型規劃示意圖

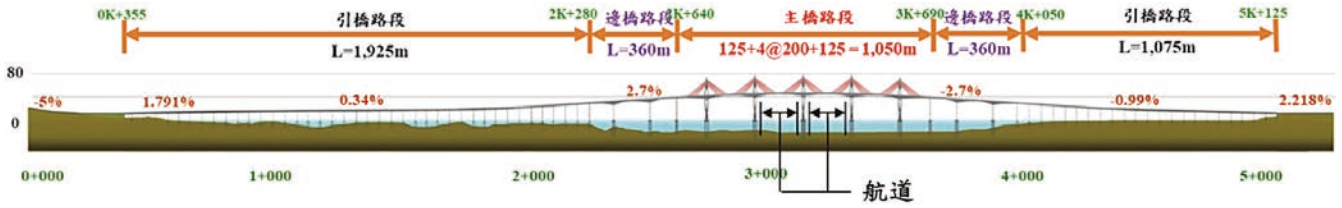


圖 8 橋梁配置圖



圖 9 橋梁跨徑漸進優美變化

施工性、經濟性、景觀性等因素。主橋段配合 5000GT 客貨輪航道寬度需求，及考量深槽急流區域之施工困難度，主跨配置 200 公尺，儘量減少於深水區域內落墩，研議採用預力混凝土箱型梁脊背橋型式，採懸臂工法施工。橋塔造型配合金門縣政府要求採縣民票選決定，故研提五種造型方案（詳圖 10），包含橋塔配置於橋面中央與配置於橋面兩側之型式，經票選結果採演繹自高粱穗心的橋塔造型，呈現之語彙為「穗心傳語、風情再現」，造型獨特優美深具景觀自明性（詳圖 11）。

深水基礎規劃

本工程橋梁基礎型式之選擇，除考量地形、地質狀況、水位、施工條件、施工環境、荷重條件、基礎特性及經濟性等研擬適用之基礎型式。

跨海橋梁基礎依施工、結構方式不同，可分為樁基礎、沉箱基礎、鋼管板樁井筒基礎等類型（詳圖 12），本工程考量，由於工址岩盤深度差異大沉箱基礎穩定性不佳，且須配合深水作業施工風險高；鋼管板樁井筒式則考量基礎板樁需打設入岩，施工困難且風險亦高；樁

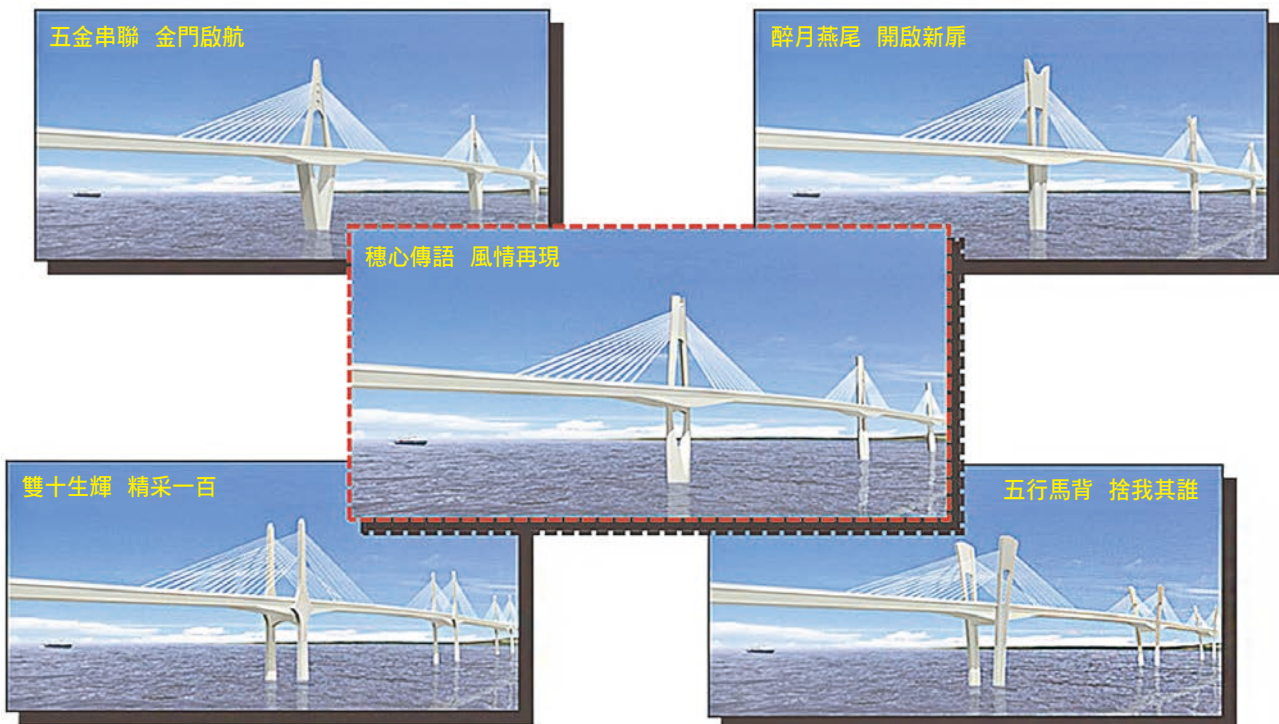


圖 10 供縣民票選之主橋橋塔造型方案

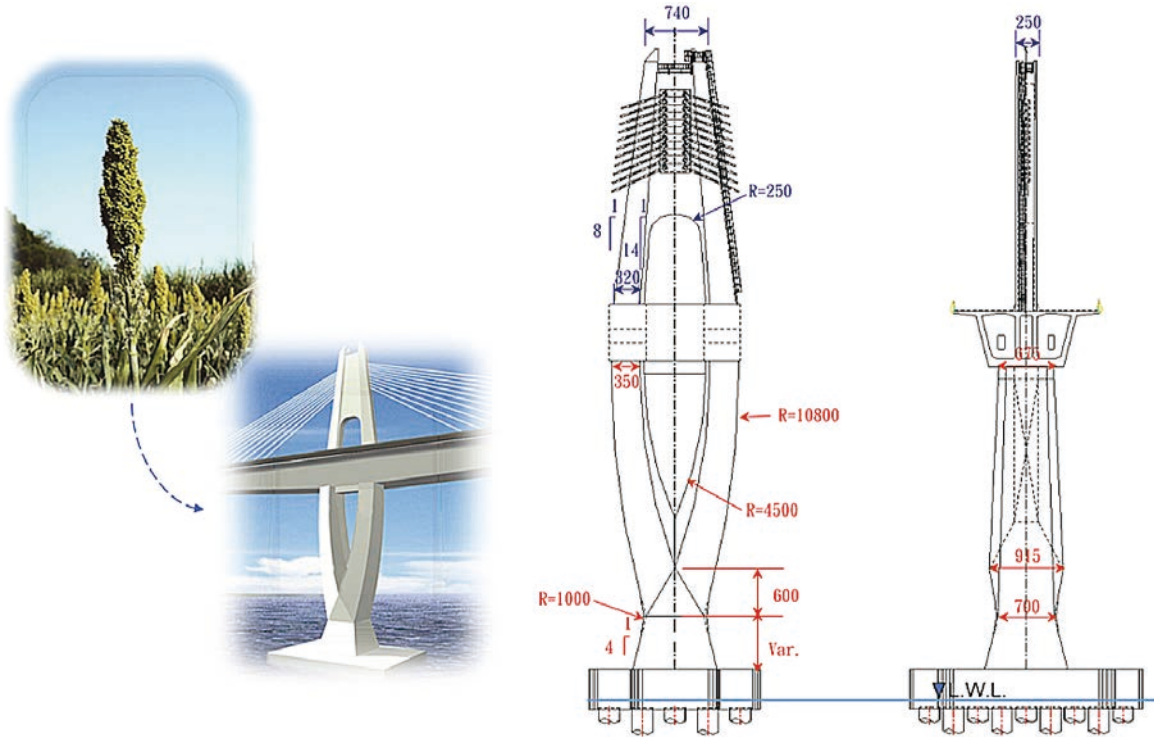


圖 11 高梁穗心橋塔造型方案

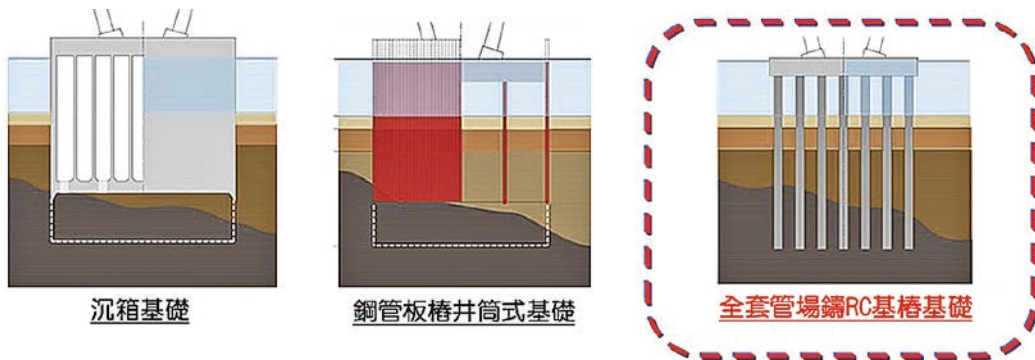


圖 12 基礎型式示意圖

基礎型式無需人員於水下作業，近年來大口徑基樁施工機具取得相對容易，且樁基礎易因應地盤變化調整，故本工程經評估採樁基礎型式較易因應工址地質變化。另於樁帽高程之規劃，須綜合考量施工性、景觀性、耐

久性及維護性等，本工程設計階段經與各相關單位討論後，樁帽高程之訂定於引橋段以退潮時不露出樁帽為原則，主橋與邊橋段以退潮時露出樁帽但不露出基樁為原則（詳圖 13）。



圖 13 各橋段樁帽高程配置

考量深槽區水深達 23 公尺，傳統鋼板樁形式圍堰因巨大水壓已不可行，故規劃改採懸吊式套箱圍堰（為國內首座案例），另綜整全橋段墩位水深，訂定當橋墩樁帽底距海床面達 1.3 公尺以上時，建議亦配合採懸吊式套箱圍堰施工，套箱圍堰懸吊於基樁外套鋼管（詳見圖 14），套箱圍堰於海面以上組裝完成後配合千斤頂同步下放，配合於圍堰底板封底止水後，抽水、架設內支撐系統，即可提供乾式施工環境，另規劃適當之施工監測系統，如支撐應變計及反光規標等，大幅提升施工安全並降低費用。

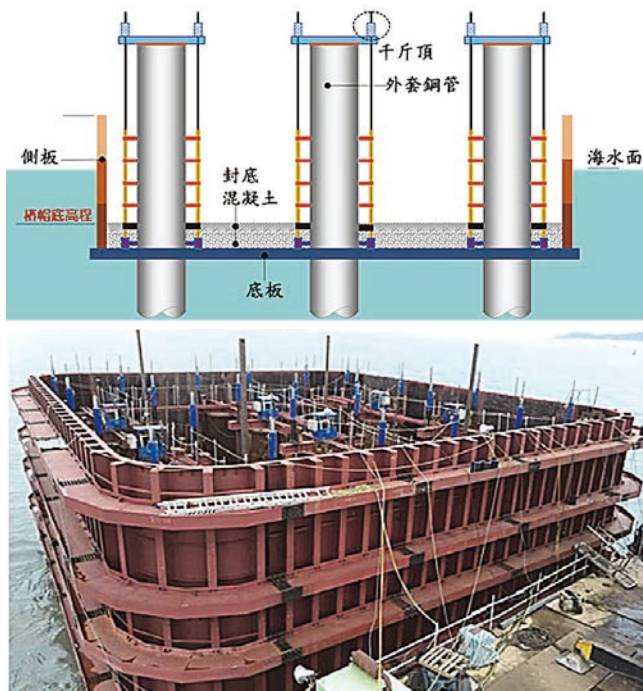


圖 14 懸吊式套箱圍堰

考量本工程之樁基礎類似座落於海中之柱體，因柱體之阻礙影響周遭之水流，致使鄰近底床剪力增大，將產生海床淘刷情形，為避免深槽區域墩位因海床受淘刷加大基樁裸露長度，本工程於深槽區範圍橋墩 P42 至橋墩 P50 設置防淘刷保護工（詳圖 15），以避免完工後發生刷深現象。但仍須考量施工過程中受海流影響而發生淘刷之可能，本計畫配合水工模型試驗驗證結果，在無保護工之情況下，海床將產生淘刷，且淘刷將於基樁套管打入海床後 48 小時內完成，若配置防淘刷保護工則無受損（詳圖 16），故本設計除以水工試驗之結果驗證外，另配合妥善研擬防淘刷保護工之施作時機，於施工規範要求於打設外套鋼管之前須先拋放第一層袋裝 e 卵石，以避免鋼管打設後即時的淘刷產生。

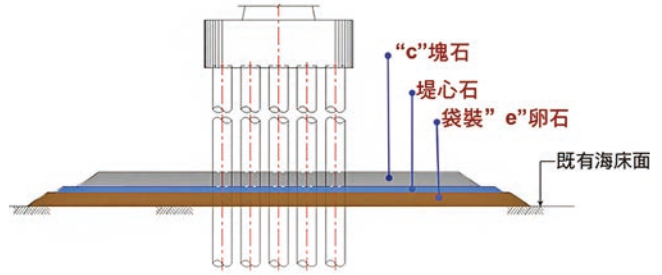


圖 15 防淘刷保護工配置

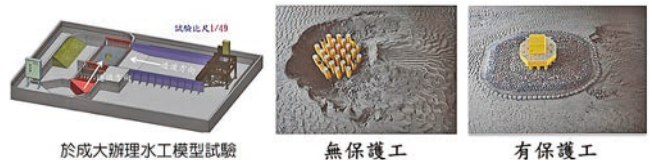


圖 16 水工模型試驗結果

上部結構預鑄節塊施工規劃

為降低上部結構現場施工風險及縮減工期需求，本工程主、邊橋段上部結構採預鑄節塊配合遠距運輸及海上節塊吊裝方式施工。預鑄場之選址，原則上優先考量運輸便利性、場地取得、設場面積需求、承載條件等因素進行綜合評估，由於工區內及鄰近工址之金門地區皆無合適之預鑄場地，幾經權衡折衷後，本工程預鑄場址最終選定於高雄市茄萣區興達港北側區域，完成之預鑄節塊配合海運方式運至金門工址進行吊裝作業。

本工程主、邊橋預鑄單元除隔梁節塊須於橋墩柱頭場鑄外，總計須於預鑄場產製 376 個箱梁節塊，節塊預鑄完成後，運輸路徑及所使用設備詳如圖 17 所示，預鑄場區內主要使用提梁機完成運輸工作，工區外則使用多軸板車載運節塊至興達港區臨時裝運碼頭，預鑄場距離工址約 260 公里，每航次需 40 ~ 48 小時，運輸作業期間需嚴密監控天候及海象條件，確保運輸安全。

預鑄節塊運至金門工區後，每一節塊重量約 75 噸至 268 噸，需利用大型起吊設備進行吊裝，於 47 公尺高空接合，吊裝作業前須精密計算大梁拱度變化，施工期間則須配合現場測量回饋調整，確保最終節塊能順利閉合。另因現場吊裝作業平穩度易受強陣風影響，施工控制須注意配合管控，相關施工作業採 24 小時連續進行（詳圖 18）。

耐久性考量

本工程採預力混凝土箱型梁橋，工址位於海水中及近海岸，易受海水飛沫之影響，屬極嚴重鹽害區，基於耐久性考量，混凝土使用 C3A 含量適度之 TYPE II 水泥添加高爐石粉或飛灰等卜作嵐材料或 IS (MS) 高爐中



圖 17 運輸路徑及相關設備



圖 18 海上預鑄節塊吊裝

度抗硫水泥、IP (MS) 卜作嵐中度抗硫水泥，限制混凝土之最大水膠比，另適當提昇混凝土強度，可增加其水密性，並要求辦理混凝土抗氯離子穿透能力試驗，要求使用之配比須符合 56 天齡期混凝土符合 CNS 14795 等級為「低」以下標準。在上構結構設計要求達到 0 張應力，以避免裂縫產生，有助於鋼筋防蝕。下部結構鋼筋採鍍鋅鋼筋，以提昇防蝕效果。基礎施工為防制裂縫產生，若採分層澆置時，要求澆置施工縫需配合施工規範相關要求處理後方可澆置下一昇層混凝土，位於外露面之接縫須作防水處理以杜絕可能的腐蝕因子，混凝土養護期最短 14 天，且養護期間應以適當措施控制其冷卻速率，養護期間混凝土表面溫度每 24 小時之累計溫降不超過 11°C。另亦配合現行規範相關規定，依環境等級加厚混凝土保護層。脊背橋使用之外置預力斜索採同步射出高密度聚乙烯 (HDPE) 內套管並灌注油脂之鍍鋅單根鋼絞線 (Co-extruded mono-strand)；並配合高密度聚乙烯 (HDPE) 材質外套管具四層防蝕保護功能。

監測計畫

為掌握工址腐蝕條件對於大橋鋼筋、混凝土之影響，及橋梁結構特性，故於大橋設計時亦納入監測工作，相關工作內容及目的說明如下：

長期材料腐蝕試驗與橋墩腐蝕監測

預計進行金門大橋所使用混凝土之相關材料特性之探討，包括基本材料力學性質、耐久性、長期體積穩定性與水中磨耗特性等，並以所獲得之性質，回饋橋梁管理單位進行未來橋梁之維護與監測參考之用；同時安裝腐蝕監測計於部份橋墩處，一旦腐蝕情況發生即可迅速掌握並進行相關後續處置。

本計畫預計進行之項目為配合施工廠商提送使用之材料配比製作混凝土試體，進行室內加速試驗，探討混凝土中性化與氯離子入滲之關係。並於工址橋墩 P44、P48 處之箱型梁頂板中央適當位置各施作 1 個尺寸為 0.6 m × 0.6 m × 0.6 m 之鋼筋混凝土塊，其鋼筋採用一般鋼筋，及橋墩 P41、P51 基礎上方適當位置各施作 4 個尺寸

為 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 之立方鋼筋混凝土塊，4 個鋼筋混凝土塊中，2 個配置一鋼筋，另 2 個配置防蝕處理鋼筋，配置如圖 19 所示，後續配合鑽心取樣用以掌握橋梁混凝土及鋼筋狀況。

另於引橋位置 P10、P25、P60、P70 之橋墩，邊橋位置之 P41、P51，主橋位置 P44、P46、P48 之橋墩，每個橋墩的潮間帶（平均低潮位以下 1 公尺處）、飛沫區（平均高潮位以上 1 公尺處）與飛沫區之上（設計潮位以上 5 公尺處）各一個斷面，每個斷面裝設 1 個腐蝕感測器，其中 P25、P41、P44、P46、P48 及 P51 位置則再額外多裝 1 個腐蝕感測器於海平面以下位置（最低潮位以下 3 公尺處），共計 33 個腐蝕感測器，每個腐蝕感測器將量測腐蝕電位、電流、相對溼度，以提供腐蝕程度之判斷，相關配置如圖 20 所示，後續配合以檢測員每年 1 次之定期資料讀取方式進行。

配合施工時之橋梁部分構件初始值之量測

於橋梁施工過程中，進行部分重要構件之監測儀器安裝佈設，以利為該構件完工後之初始值之量測，以及回饋橋梁設計單位對於日後其他相關設計所需之修正。主要針對環境影響因素（風速、溫度、雨量、濕度）、鋼纜索力、外置預力錨碇塊應變、主橋橋塔傾斜量及橋體位移、主橋箱梁及基樁應變等進行初始值量測。

完工時之橋梁結構初始值之量測

針對甫完工且尚未開放通車之時，進行載重實驗以及環境振動量測，將可量測各項構件初始狀態之數值，以輔助日後以監測結果對於橋梁健康狀況之判定。主要辦理主橋段之動、靜態載重試驗、橋體結構微振量測、鋼纜微振量測以及全橋三維雷射掃描，以達紀錄橋梁在通車前之橋體應變狀態、模態振型、自然頻率與影響線之建立，並延續施工階段所監測之鋼纜索力變化，以及全橋之三維空間座標之建立。

完工後之完整監測系統規劃

本計畫為整體監測系統之初步階段，僅進行後續完整監測系統之規劃及各項儀器所需管線之設計分配與預埋規劃，依照本計畫所建構之金門大橋監測系統架構，未來可預期針對索力、基樁應變以及橋跨之應變反應進行監測及預警作業。

執行成果

1. 金門大橋於民國 111 年（2022 年）10 月正式完工通車。其具體成果如下：
 - (1) 台灣跨海橋梁里程碑：成功完成全長 5.41 公里海域水深達 23 公尺之跨海橋梁，為台灣首座大規模跨海大橋，且為國內最大跨徑脊背橋，透過本工

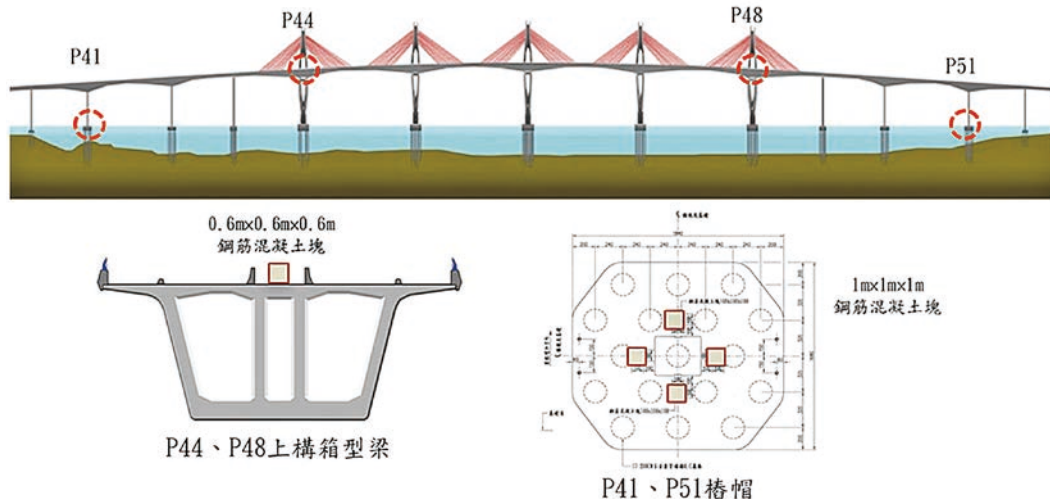


圖 19 長期鋼筋混凝土材料腐蝕試驗配置示意圖

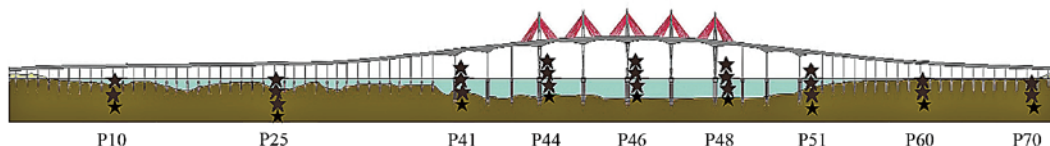


圖 20 橋墩腐蝕監測配置示意圖

程經驗，可提昇國內海上橋梁工程的設計及施工技術水準。

- (2) 技術標準建立：透過本工程建立了台灣本土化的跨海橋梁造價資料與施工技術規範，特別是在深水域花崗岩施作基樁的寶貴經驗。
- (3) 大、小金門陸運連結：提供烈嶼鄉與金門地區全天候交通聯繫，除可解決大小金門間物資運送、緊急醫療及居民往來不便之現況外，更可有效促進金門地區觀光遊憩系統之開發，達到改善當地居民交通、人道救援及提昇整體觀光價值之綜合效益。
- (4) 獲獎肯定：本計畫卓越的工程品質獲得下列榮譽獎項

- 民國 109 年 勞動部金安獎 A 組優等
- 民國 109 年 公共工程委員會公共工程金質獎土木類設計、監造特優
- 民國 110 年 大地工程學會優良大地工程獎
- 民國 110 年 交通部公共工程優良獎
- 民國 112 年 中華民國熱浸鍍鋅協會優良熱浸鍍鋅工程獎特優
- 民國 112 年 中華民國結構工程學會結構工程技術獎
- 民國 112 年 中國土木水利工程學會工程環境與美化獎
- 民國 113 年 交通部年金路獎傑出工程類第一名
- 2024 年度國際道路協會 (IRF) 全球道路成就獎 (Global Road Achievement Awards, GRAA) 「設計」類大獎

2. 全球道路成就獎獲獎過程

「金門大橋」榮獲 2024 年度國際道路協會 (IRF) 全球道路成就獎 (Global Road Achievement Awards, GRAA) 「設計」類大獎，該獎項是全球道路與交通領域中最具權威的獎項之一，評選過程極為嚴格，來自全球各地的道路與交通領域菁英專家組成的評審團，針對世界各國引以為傲的參選項目進行評比，並選出每一類別中最为傑出的單一工程。「金門大橋」能夠在眾多優秀的競爭者中脫穎而出，獲得「設計」類別的大獎，此一殊榮無疑是對該項目卓越設計與創新精神的



圖 21 2024 IRF GRAA 頒獎合影照片，由左至右分別為：陳明谷／台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部協理、柯明佳／前台灣世曦工程顧問股份有限公司中工處經理、蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司副總經理、黃炳勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司總經理、蘇育民／國立高雄科技大學土木工程系助理教授、施義芳／前台灣世曦工程顧問股份有限公司董事長、郭呈彰／交通部高速公路局總工程師、張震宇／交通部高速公路局第二新建工程分局主任、馮焱明／交通部高速公路局規劃組科長。

高度肯定。頒獎儀式於 2024 年 12 月 12 日，在美國奧蘭多舉行的 IRF 全球道路與明日會議 (R2T Conference & Exhibition) 年會上正式頒發。

當天頒獎典禮配合於晚宴舉行，晚宴前主辦單位精心安排雞尾酒茶會，讓各國得獎團隊能有交流的時間。「金門大橋」榮獲之「設計」類獎項安排於第二順位頒獎，大會安排於介紹影片撥放結束後由授獎代表上台領獎，會後獲獎團隊合影詳見圖 21。

未來展望

金門大橋完成後成為金門新地標，大橋的連結促進兩島資源共享並擴展金門旅遊資源的深度，除了可吸引更多遊客到訪以外，更可帶動大、小金區域發展，提昇在地經濟效益。另透過本工程建置之監測系統所累積的數據、通車後之維管經驗，將成為台灣未來耐久性設計與本土化維護管理的關鍵參考資料。金門大橋的完成為台灣海事工程奠定了堅實基礎，可供後續如離岸風電、其他跨海交通建設計畫參考，提升國內海事工程的國際競爭力。🇹🇼

IRF 2024 Global Road Achievement Awards (GRAA)
全球道路成就獎「資產保存及維護管理類」首獎

韌性南橫：從莫拉克災後重建到 智慧韌性管理之轉型全紀錄

王慶雄／交通部公路局南區養護工程分局 副分局長

許書凱*／黎明工程顧問股份有限公司 結構部經理

李坤哲／黎明工程顧問股份有限公司 副總經理

台 20 線南橫公路橫越台灣中央山脈、連接東西兩岸的重要命脈。2009 年莫拉克颱風帶來的極端降雨，對南橫公路造成毀滅性的破壞，導致全線中斷長達 13 年。為恢復這條具備觀光、農業運輸與原住民部落往來功能重要幹道，交通部公路局實施了為期十年的「維護、修復與重建計畫」。

本計畫採取「分階段、分區域」的重建策略，結合光達 (LiDAR)、干涉合成孔徑雷達 (InSAR) 及無人航空載具 (UAV) 等先進科技監測手段，並落實人、車、路、災的整合防災管理。在工程修復的同時，公路局南區養護工程分局 (以下簡稱公路局南分局，前為交通部公路總局第三區養護工程處) 亦高度重視生態平衡，推行「週二、週四不開放」的生態休息日制度，並優先進用在地原住民參與公路巡護。計畫最終不僅於 2022 年達成全線有條件復通，更顯著提升了公路對氣候變遷的韌性。這項卓越的工程成就與資產管理經驗，讓南橫公路榮獲 2024 年國際道路協會 (IRF)「全球道路成就獎」資產保存及維護管理類首獎，向世界展現了台灣工程界的堅韌實踐力及工程軟實力。

計畫背景

南橫公路的歷史價值與地位

台 20 線南橫公路全長 204 公里，是橫越台灣中央山脈的三條橫貫公路之一。現存路線大致為過去原住民部落間的聯絡古道，詳圖 1。南橫公路開闢歷史可追溯至 1957 年的路線探勘，從 1968 年正式動工後歷經 4 年的開闢，完成路基土石方 411 萬立方公尺，橋梁 64 座，隧道 16 座，護坡及駁坎 15 萬平方公尺，並於 1972 年正式完工通車^[1]。

1. 1957 年：展開首度路線踏勘。在缺乏現代航空攝影與衛星地圖的年代，先導團隊憑藉徒步與基礎測繪設備，在人跡罕至的高山峻嶺中探索可能的

通行路徑。

2. 1964 至 1967 年：為應對複雜的地貌，先後進行了第二次與第三次路線測量。這些測量不僅是為了選線，更是為了在堅硬岩體與破碎板塊之間尋求結構穩定性的平衡點。
3. 1968 年：正式動工。工程師與施工團隊在高海拔、低氧且溫差極大的極端環境下執行任務，克服了數以千計的邊坡坍方風險。
4. 1972 年：全線正式通車。這標誌著台灣南部跨山路網的里程碑，徹底改變了高雄與台東間的時空距離。

南橫公路的觀光自然資源

公路最高點位於海拔 2,722 公尺的埡口，沿途景觀壯麗，擁有豐富的自然觀光資源，如溫泉、水庫、登山

* 通訊作者，hskevin821@li-mi.com.tw

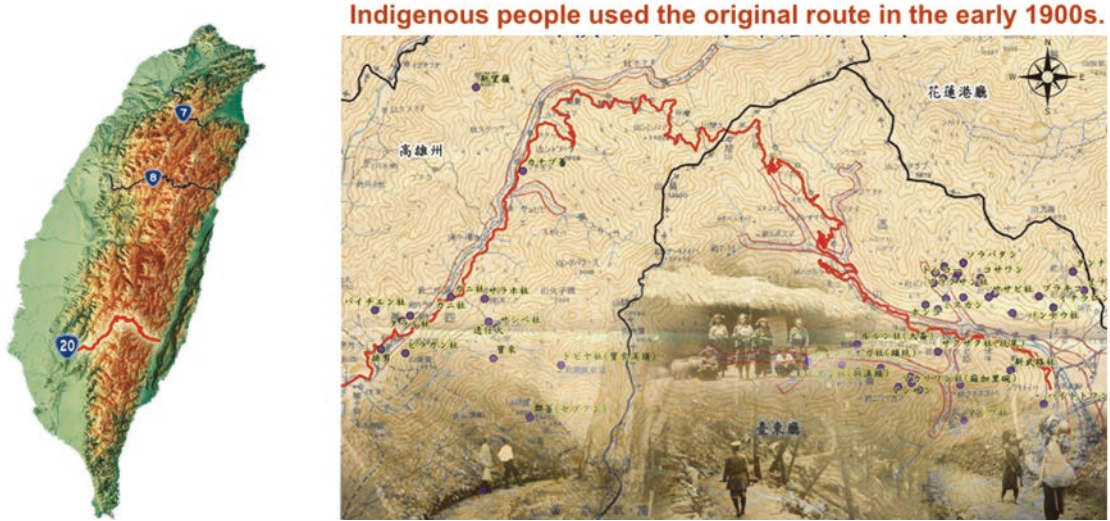


圖 1 南橫公路以原住民古道為雛形開闢

健行步道，以及著名的埡口雲海與霧鹿峽谷，詳圖 2。對於南部及東部地區而言，南橫不僅是極富盛名的旅遊動線，更是南台灣東西兩端農產運輸及沿線原住民部落往來、生計所繫的唯一命脈。

莫拉克颱風的毀滅性重創公路

2009 年 8 月 7 日，莫拉克颱風重創台灣，帶來了破紀錄的降雨。在南橫山區，單一天氣事件累積雨量高達 3,060 毫米，24 小時降雨量亦達到 1,290 毫米，皆打破世界級紀錄。極端降雨造成南橫公路發生災難性的破壞，災情主要包括：路基流失與沉陷：超過 12 公里的路段完全消失。橋梁斷裂：沿線多達 24 座橋梁毀損或崩塌。地質災害：引發大規模坍方、土石流、河

床淤高及邊坡滑動，詳圖 3。這次災難迫使南橫山區路段局部封閉，形成長達十餘年的復建長征^[2]。

南橫公路重建計畫挑戰

南橫公路的復建過程面臨著極為嚴峻的環境與地質挑戰，包括地質、地形、交通及生態等議題：

複雜破碎的地質環境

南橫公路跨越中央山脈，地處歐亞板塊與菲律賓海板塊擠壓運動的交界帶，地質構造極為複雜且極度破碎，詳圖 4。頻繁的地殼變動導致岩層穩定性差，每逢豪雨便極易發生坍方與落石，這使得工程團隊在進行邊坡加固與隧道挖掘時，隨時面臨地質不確定的風險。



圖 2 南橫公路沿線觀光資源

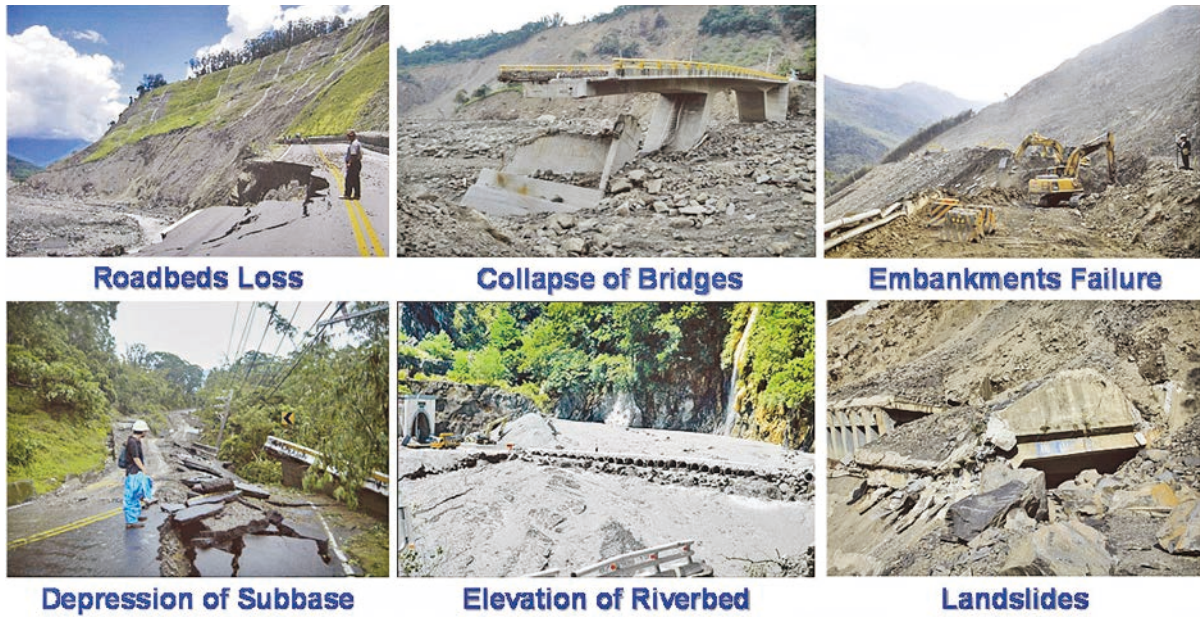
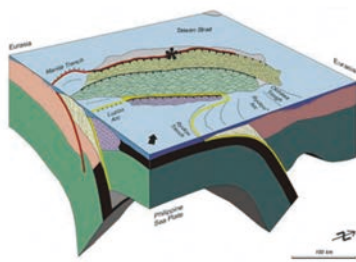


圖 3 南橫公路莫拉克風災公路災害



■ There are more than 10 different geological formations with complex structures of faults and folds.

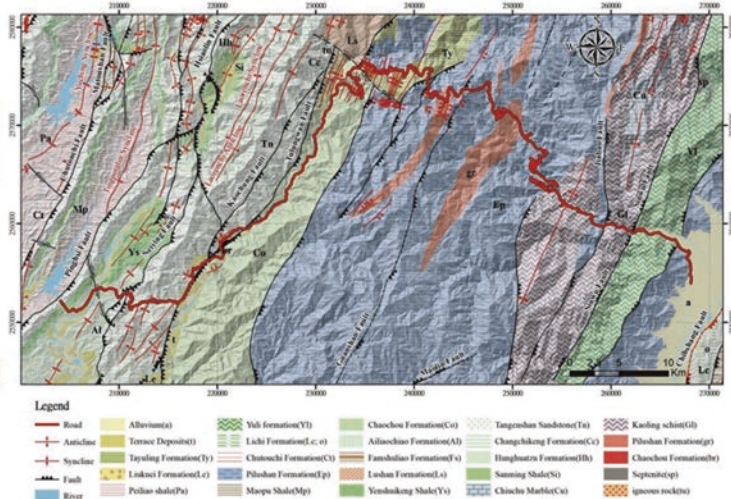


圖 4 南橫公路沿線地質

險峻地形與高度限制

公路橫跨中央山脈，海拔落差大，最高達 2,722 公尺。地形險峻導致重型機械與材料運送極為困難。此外，山區氣候多變，常有濃霧、低溫及突發性豪雨，一年中可施工的天數受限，嚴重影響工程進度。

無替代道路的空間限制

南橫公路屬於帶狀開闢，全線缺乏替代路線。由於莫拉克災後道路斷點極多，且許多路段狹窄甚至完全流失，施工機具無法多點同時進場，僅能採取從「東西兩端」逐步向中間推動修復的空間策略，這大大增加了計畫的時間成本。

生態保存的平衡需求

南橫中段部分路段（梅山至埡口）位於玉山國家公園範圍內，生態極度敏感。如何在恢復交通功能的同時，保護台灣黑熊、黃喉貂、台灣水鹿及藍腹鷓等保育類動物的棲息地，並達成山林永續，是工程團隊必須兼顧的艱難目標。

創新策略與工法 / 技術

為了應對上述挑戰，公路局南分局重建南橫公路的決策核心在於「風險分級管理」，面對無法完全排除的自然災害，擬定了「時間面向的分階段策略、空間

面向的推動策略、人車路災先進管理策略、科技應用於預防性養護」四大核心策略，旨在尋求一個公路通行安全與自然共存的平衡策略：

時間面向的分階段復建策略

復建計畫分為短、中、長期三個階段，以確保資源的高效配置，詳圖 5：

1. 短期應急搶通策略 (2009-2017)：聚焦於緊急搶修與路段疏通，針對東西兩端的民生路段進行緊急搶通。此階段的目標是建立最低限度的運輸鏈，確保工程人員能進入核心災區，並為在地原住民部落提供基本的物資補給線。
2. 中期結構強化策略 (2017-2022)：在基礎通行的道路基礎上進行結構強化任務，包括加固路堤、防護易落石路段，並透過邊坡固結及植生綠化恢復受損坡面，預防二次災害。
3. 長期韌性重建策略 (2022 年起)：針對極端致災點實施「以退為進」的避災式復建，興建具備高抗災能力的大跨距「橋梁」與被動防落石「明隧道」，取代。

空間面向的復建推動策略

受限於地形，復建工程由西側（高雄端）與東側（台東端）同步向中心點（埡口）挺進，詳圖 6。2020 年先行開放「梅山口（105k）至天池（130k）」路段，2022 年完成最後的「天池（130k）至向陽（149k）」段，達成全線有條件復通的里程碑。

人、車、路、災先進管理策略

南橫公路自從 2009 年莫拉克風災重創後，在全線開放通車前需確保人車路災各項整備完善，才能開放用路人一個安全的通車環境，針對各項整備也導入了先進的管理策略，取代一般傳統的人力管理，以提升管理效率及精準度^[3]。

1. 自動車牌辨識系統：針對有條件開放路段，導入車牌自動紀錄系統。這不僅將管制點的車輛處理時間從手動紀錄的 120 秒大幅降至 4 秒，更能精確確保所有進入車輛在管制時間（下午 5 時）前全數安全離場，提升搜救與應變效率。



圖 5 時間面相的分階段復建策略

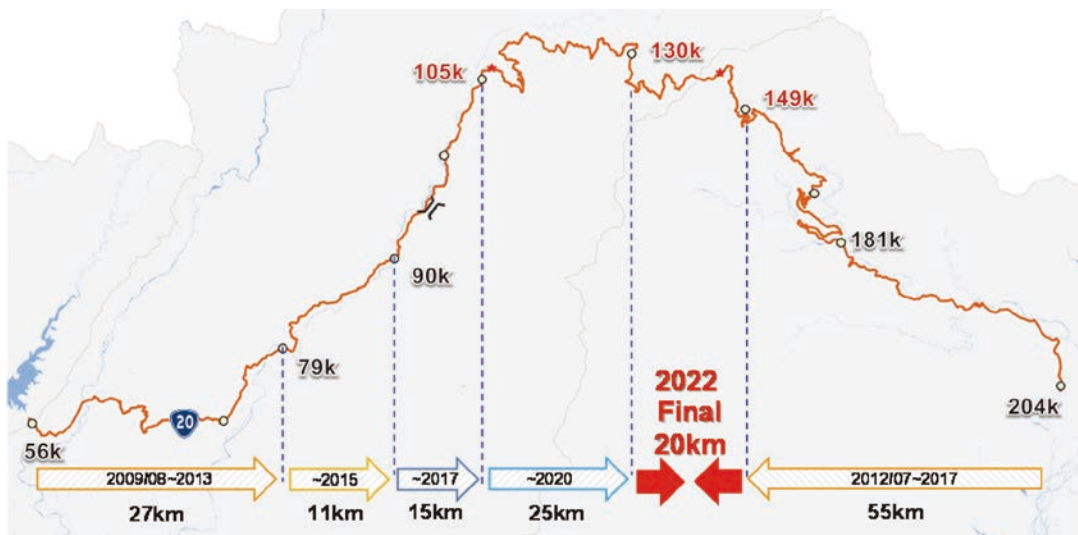


圖 6 空間面相的復建推動策略



2. 搶修及復建工程：自 2009 年莫拉克重創南橫公路，造成沿線緊鄰山崖構築的路基及山區內跨河搭建的橋梁，遭受坡地崩場所引致之土石流衝擊而覆沒，洪流的淘刷更造成護岸潰堤，河道擴張，總計造成橋梁損毀計 22 座、路基淘空流失達 12,000 公尺及百餘處的災情，公路局平均每年約投入 10 億元的復建經費逐步恢復省道通行功能，歷經約 13 年至 2022 年 5 月 1 日全線復通。
3. QPSUM 降雨監測：結合中央氣象署的多感測器定量降雨估計系統，即時監控山區極端天氣，決定是否預警性封路，詳圖 7。
4. 強化的通訊基礎設施：沿線協調橫向電力及通訊單位增加部署 26 座 5G 基地台與不斷電系統 (UPS)，確保災害發生時訊息傳遞不斷鏈。
5. 應變資源優化：在中段管制區 (梅山至向陽) 設置 4 個緊急應變小組駐點，配置專業機具，確保災害發生時能迅速反應。

科技應用於預防性養護

本計畫導入多項前瞻數位科技進行精準管理^[4]：

1. 空載光達 (LiDAR)：建立跨度達 100 公里、包含 12 處致災熱點的高精度「數值地形模型 (DEM)」，詳圖 8，用於研判潛在滑坡與崩塌風險。
2. 干涉合成孔徑雷達 (InSAR)：利用衛星雷達穿透雲層與植被的特性，進行全天候、大範圍的地表變形解算，觀測邊坡的微小位移或潛變，作為災害預警參考，詳圖 9。
3. 無人航空載具 (UAV)：部署 UAV 進行人力難以抵達的上下邊坡巡檢，掃描並建立「數位表面模型 (DSM)」，即時掌握道路即時路況，詳圖 10。

重建開放通車具體成果

經過十餘年的努力，南橫公路復建計畫在軟硬體方面取得了輝煌的成果：

硬體設施的全面恢復

1. 工程量體：重建了超過 12 公里的路基、24 座長跨距橋梁以及 15 座新型明隧道。
2. 邊坡復原：完成了超過 72 公頃的受損坡面整治與植生復育。



圖 7 防災預警機制

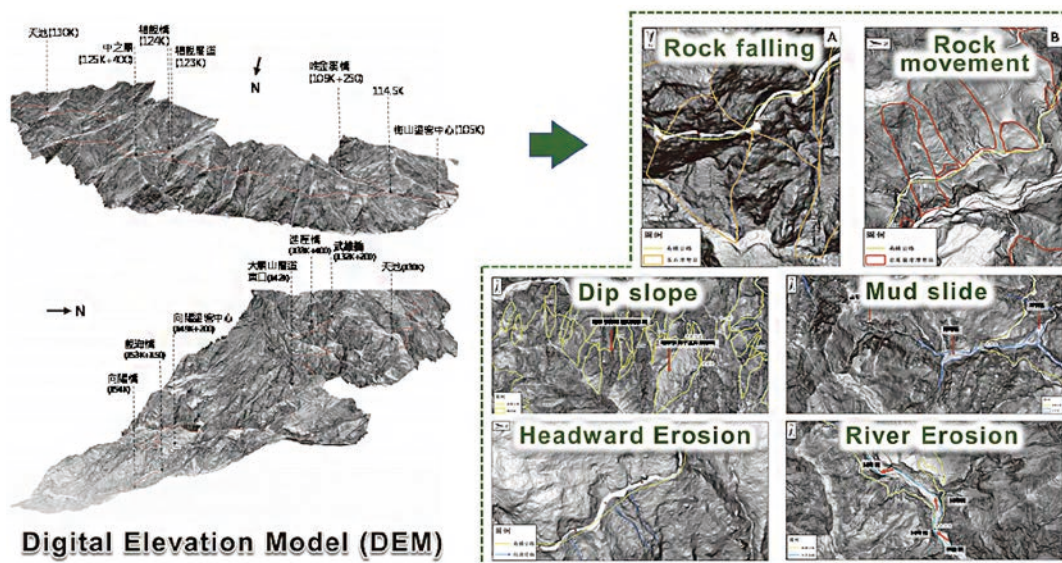


圖 8 高精度數值地形 (DEM) 及微地形判釋



圖 9 DEM 及 InSAR 應用於復建工法決策



圖 10 UAV 應用於邊坡科技巡檢



圖 11 復通後南橫公路最高點垭口觀光人潮

社會與經濟效益

1. 觀光振興：2022 年復通後，年交通量從施工期間的零成長，躍升至 2022 年的 60.5 萬車次，並於 2023 年進一步成長至 69.2 萬車次。
2. 經濟回溫：道路的暢通復甦了沿線的溫泉業、休閒農業及登山旅遊，帶動區域經濟活絡，圖 11 為南橫公路最高點垭口平台的觀光人潮。

生態與社區和諧

1. 環境共融：推行「生態休養日」，並透過科技監控觀察到台灣黑熊、黃喉貂等動物頻繁出現在公路沿線，證明交通與生態平衡可以共存。
2. 在地參與：優先雇用當地原住民擔任公路巡護、守門員及行政人員，落實社區參與並增加在地就業機會。

國際榮譽肯定

公路局南分局將此十年的復建管理經驗彙整提報國際道路協會 (IRF)，在競爭激烈的「全球道路成就獎 (GRAA)」中，擊敗眾多參賽國，獲得「資產保存及維護管理類」首獎。這是國際工程界對台灣在極端環境下展現的復建韌性與智慧化管理的高度認可。

未來展望

南橫公路的成功復建開放通車並非終點，而是「韌性養護」的新起點。

持續的韌性強化

公路局承諾將持續投入預算進行常態性的維護與加固。結合人工智慧 (AI) 分析 LiDAR 與 InSAR 的長期大數據，建立更精準的災害風險預測模型，以應對未來更趨極端的氣候挑戰。

智慧公路的深化

未來將計畫擴大智慧化交通管理 (ITS) 的應用，提供用路人更即時的路況資訊與導覽服務，並強化偏鄉急難救助的數位支援能力。

永續發展與山林保存

在確保安全通行的前提下，將繼續堅持生態優先的原則，南橫公路通車後，仍可見台灣黑熊、黃喉貂、台灣水鹿及藍腹鷓鴣在公路附近活動，詳圖 12。透過定期舉行的淨山活動、環境教育，以及與玉山國家公園的緊密合作，守護這片脆弱卻珍貴的中央山脈生態系，讓南橫公路成為一條人與自然和諧共處的「世界級綠色公路」。



圖 12 南橫公路生態多樣性



國際道路協會理事長合影



國際道路協會執行長合影

圖 13 美國奧蘭多領取傑出道路成就獎照片

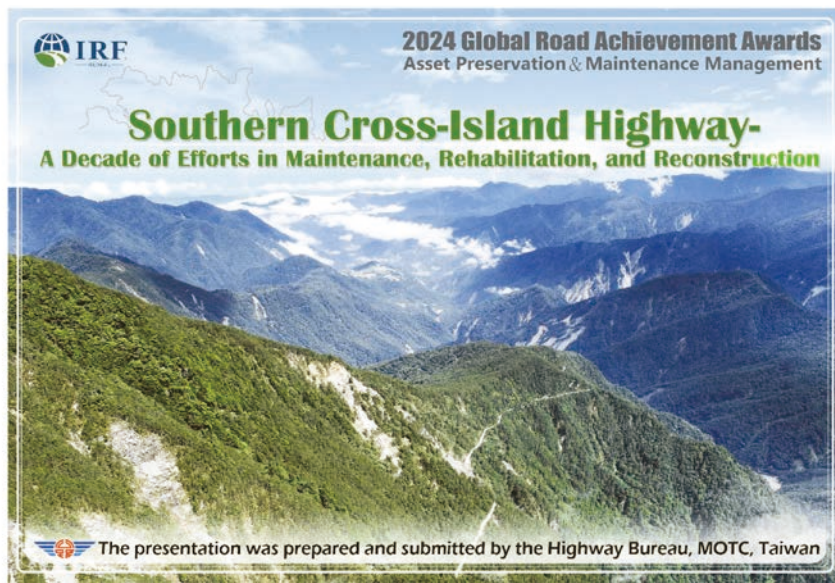



圖 14 2024 年全球道路成就獎 (GRAA) 參賽資料

南橫公路的十年復建之路，不僅修復了地表上的裂縫，更體現了人類面對大自然挑戰時，以智慧、科技與謙卑態度重建和諧關係的典範。計畫最終不僅於 2022 年達成全線有條件復通，更顯著提升了公路對氣候變遷的韌性。這項卓越的工程成就與資產管理經驗，讓南橫公路榮獲 2024 年國際道路協會 (IRF)「全球道路成就獎」資產保存及維護管理類首獎，並於 2024 年 12 月由公路局林聰利副局長率領公路局南分局甲仙工務段黃碩偉副段長、關山工務段副段長 (現任大武工務段段長) 邱民豐，以及自莫拉克後即參與南橫復建工程及相關科技應用於維運管理的黎明工程顧問股份有限公司黃貞凱董事長及結構部許書凱經理，前往美國佛羅里達州奧蘭多領獎，詳圖 13。參賽資料封面以南橫公路最高點的風景，詳圖 14，向世界展現了台灣工程界的堅韌實踐力及工程軟實力。

誌謝

南橫公路歷經從開通、中斷、重建、復通之數十年，是歷經許多公路人一點一滴的貢獻堆砌始能完成，本文僅將所有的功勞與榮譽獻給所有曾經為南橫公路付出的先賢先進及工程團隊。

參考文獻

1. 交通部公路總局第三區養護工程處 (今公路局南區養護工程分局) (2009) 埡口之巔 - 南橫青山在。
2. 黎明工程顧問股份有限公司 (2018)，台 20 線 52K_208K 南橫公路路廊安全調查初評服務工作。
3. 公路局南區養護工程分局甲仙工務段 (2024)，113 年度交通部服務獎參獎申請書。
4. 黎明工程顧問股份有限公司 (2019)，台 20 線梅山至向陽易致災路段科技應用調查及評估作業工作。 



2025 The 3rd REAAA Mino Best Project Award - High Volume Road
亞澳道路工程協會 第3屆 Mino 最佳工程獎「高容量道路」第一名

國道4號 臺中環線豐原潭子段 計畫

一條靠近活動斷層、 綠色永續 的高速公路

郭呈彰／交通部高速公路局 總工程司
蔡宗描／交通部高速公路局規劃組 組長
卓涼華／中興工程顧問公司園區及路航工程部 技術經理
廖惠美*／中興工程顧問公司園區及路航工程部 計畫經理
黃鴻毅／中興工程顧問公司台電台區工程處 經理

國道4號臺中環線豐原潭子段建設計畫串聯國1、國3、國4、台74線等，是台灣中部地區高速公路網的最後一哩路，自可行性研究開始至施工完工通車歷經25年，實集眾人努力汗水方成就的艱鉅高速公路工程之一。完成後紓解國1與國3臺中路段之交通壅塞，改善豐原和潭子地方交通，帶動大臺中都會東側區域經濟全面發展。

全段路線長約11公里，包含3處交流道與2條各長約1.2公里與2.2公里的連絡道。因應艱困環境通過車籠埔斷層921地表裂跡、三義斷層，透過重大公共工程建設，研發創新多項國際與國內首例技術之設計策略與工法，並於2025年獲得亞澳道路工程協會（REAAA）第三屆傑出建設計畫（Mino Best Project Award）。

計畫背景

自民國87年9月交通部臺灣區國道新建工程局（國工局）辦理「國道4號臺中環線豐原霧峰段」工程設計開始，至民國102年6月及103年7月「國道4號臺中環線豐原潭子段」（國4豐潭段）計畫先後通過環評審查與建設計畫，前後歷經約16年歲月；於105年完成國4豐潭段工程設計進入施工階段，至112年1月16日下午3時開放全線通車止，又再經歷9年，自可行性研究開始至完工通車總計約25年的時間，可知一條公路的完成是需要多年的努力與眾人的汗水方能

開花結果。

計畫執行過程中，曾歷經多次路線更替（圖1）。從最早之豐原霧峰段路線，縮小規模為豐原大坑段路線，再因環評審查意見而改線之豐原大坑段替代方案路線，以及說明會後遭遇民眾陳情抗爭與5次路線變更，最終局部調整鎌村里路段而成為今日之豐原潭子段路線。期間更曾經歷世紀地震—921集集大地震、以及七二水災等重大災害之考驗與洗禮，對大自然的力量以及極端氣候所可能造成的災害，再一次深刻體驗與省思。因此，國4豐潭段成為著重道路韌性、遇災可快速修復、保護環境綠色永續的公路。

* 通訊作者，huimei.liao@gmail.com

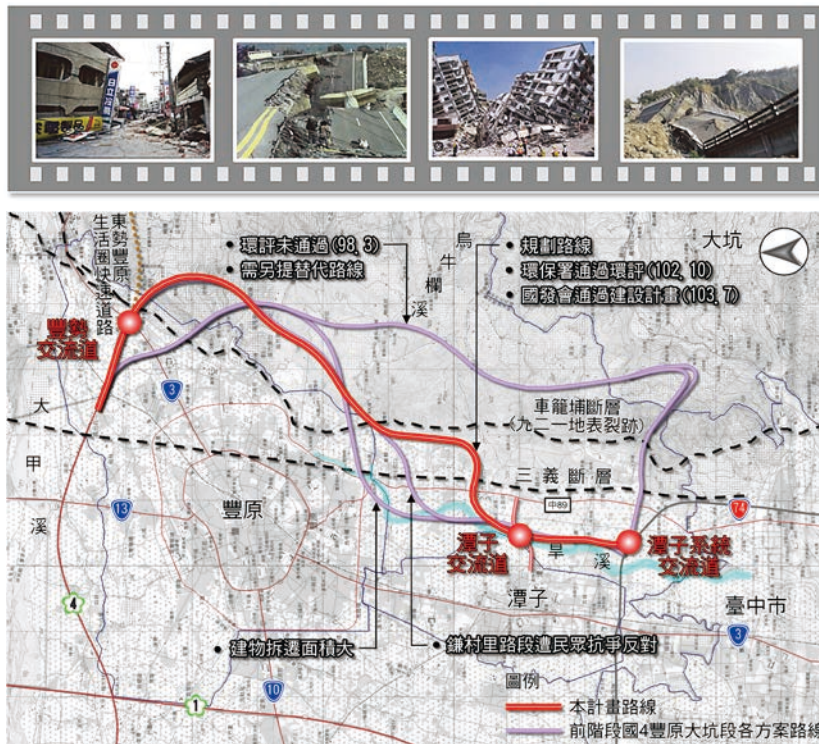


圖 1 國道4號臺中環線豐原潭子段各階段計畫路線示意圖

計畫挑戰

完善大臺中都會區高速公路網最後一哩路、振興台中東側區域經濟發展

自1998年起，本路遭遇921集集大地震（Jiji earthquake）、敏督利颱風水災（Mindulle Typhoon）、民眾抗爭與5次路線變更等，歷經25年的規劃興建，才於2023年1月16日通車，帶動大臺中都會東側區域經濟全面發展。

國4豐原潭子段串聯國1、國3、國4、台74線等，是台灣中部地區高速公路網的最後一哩路，完成後紓解國1與國3臺中路段之交通壅塞，改善豐原和潭子地方道路台3線及中89線的交通服務水準，帶動大臺中都會東側區域經濟全面發展。本路段路線長約11公里，並包含豐勢、潭子、潭子系統等3處交流道、長約1.2公里潭子連絡道與2.2公里豐原連絡道（圖2）。

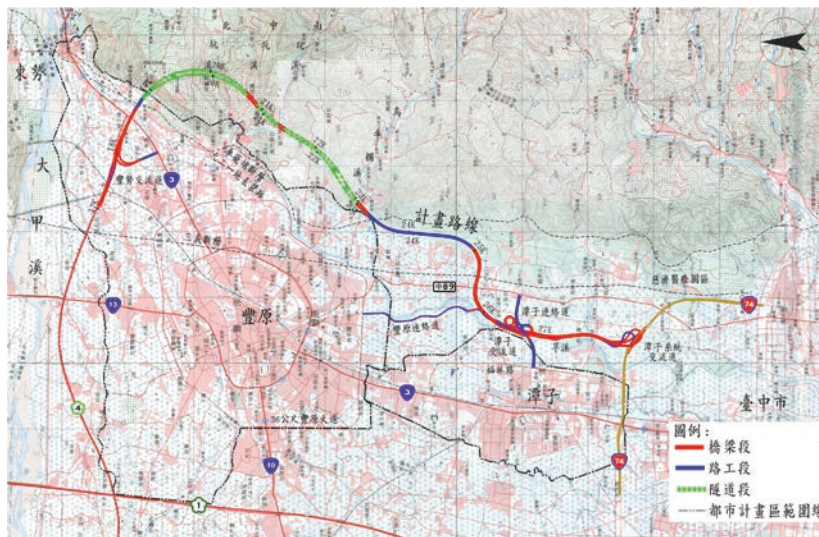


圖 2 國4豐潭段計畫路線示意圖

尊重自然與活動斷層共存、新材料新工法的首例應用

計畫路廊選線儘量使用公有地、減少民房拆遷，以及避免穿越已發展完整的大型社區，因此路線須沿著豐原及潭子東側的淺山區域往南延伸，不得不以路堤路塹橫交車籠埔活動斷層 (Chelongpu Active Fault) 2 次、以橋梁橫交三義活動斷層 (Sanyi Active Fault) 1 次，以 3 座隧道經過山區、橋梁通過平原區 (圖 3)。本路經過烏牛欄溪左岸之車籠埔活動斷層地質敏感區，路

面與地表相距 20 公尺，採用加勁路堤可吸收地震波並減少位移。

另外，為服務地區交通方便進出國道系統，於建物密集及有限空間布設 3 處複合型交流道：豐勢交流道是分離式鑽石型及半直接式匝道、潭子交流道是結合 8 字型與分離式鑽石型之變形雙苜蓿葉、潭子系統交流道是變形 Y 型等 (圖 4)。



圖 3 國 4 豐潭段計畫路線平面地質圖

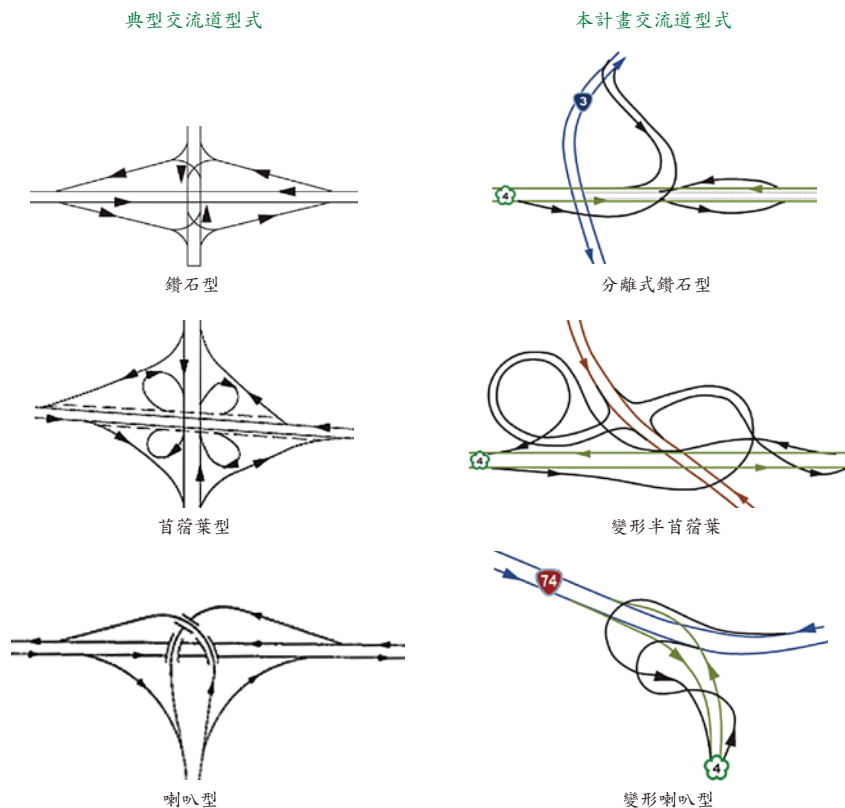


圖 4 國 4 豐潭段交流道型式示意圖

為維護行車安全，工程設計時使用 CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) 進行三維落石彈跳測試，模擬分析山區路段需要設置落石防護柵欄區位，且隧道洞口採用倒竹削式洞門，提升整體安全。1 號隧道洞口外與車籠埔活動斷層地表裂跡最近距離約 100 公尺，隧道襯砌設置全周式收縮縫，保留隧道側向位移自由度，減輕斷層錯動的損害。

本路為國際首座具快速修復機制之橋梁，亦是臺灣首次採用採大跨徑高性能鋼板 (High Performance Steel) 之鋼床板箱形連續梁橋，跨越三義活動斷層，以耐震不落橋為原則；梁柱接合採鉸接 (hinge connection) 型式，能承擔 1.1 m 斷層錯動量，可利用 RC 支承墊調整橋面高程。

本路亦為國際首例高速公路橋梁採用多螺箍橋墩，橋墩除可營建自動化施工以外且抗震性佳，側向位移比為 8% 時強度才折減，傳統墩柱則為 5%；抗彎強度安全係數比傳統墩柱高 10%。

落實環境友善、堅韌永續的高速公路

國 4 豐潭段於環評階段就考慮環境保護與民眾權益，考量保護地下水資源，設計為臺灣首條不排水隧道之高速公路，避免因隧道開通而造成地下水流失、損傷地表民眾農作，且考量極端氣候豪大雨，避免隧道內大量湧水、危害行車安全。

為落實環評承諾，橋梁不落墩於旱溪，將豐原連絡道橋設計為斜張橋，主跨徑長 138 m，配合河邊環境造景與燈光設計，形成區域性地標；潭子連絡道則設計橋梁主跨長 118 m，且將箱形梁混凝土腹板改為波形鋼腹板，可減輕自重 25%、增加耐震性，並減少基礎尺寸規模、避免破壞旱溪河堤，維護區域防洪排水。

本路為臺灣首例執行綠道路 2.0 版資格認證，也是高速公路辦理工程碳盤查的最先例，系統性導入環境保護思維，以工程永續指標量化績效評估，並於 2017 年 12 月取得綠道路先導計畫認證。

考量資源有限、環境永續，將橋梁耐用年限提升為 100 年，採用爐石粉 + 飛灰替代水泥之比率高達 45%，全計畫的減碳率約 22.3 ~ 25.9%、有效減碳約 16.7 萬噸 CO₂e，等同於約 11,232 公頃樹林。另外，原國 4 豐原端既有高架橋之 12 支橋墩與基礎也保留再利用，新建橋面板採用 $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ 輕質混凝土，重量較一般混凝土輕 25%、減輕橋面板重量，且使用臺灣石門水庫淤泥製作，作為循環經濟的最佳案例。也使用多孔隙瀝青混凝土鋪面，減少噪音 3 ~ 7 分貝並加速鋪面排水，友善道路周圍環境、提升道路整體安全。

創新策略與工法

1. 具修復機制之耐震橋梁

本路的潭子高架橋為國際首座針對遭遇活動斷層錯動位移後之具備修復機制的橋梁設計，亦為臺灣首次採用大跨徑高性能鋼板 (High Performance Steel) 之鋼床板箱形連續梁橋，跨越三義活動斷層，以耐震不落橋為原則；橋柱接合採鉸接 (hinge connection)，能承擔 1.1 m 斷層錯動量，若發生地震錯位將可利用 RC 支承墊調整橋面高程 (圖 5、圖 6、圖 7)。

2. 營建自動化多螺箍橋墩

本路潭子系統交流道之高架橋為國際首例採用多螺箍橋墩應用於高速公路橋梁 (圖 8)，完全符合現今營建自動化之世界潮流，且抗震性佳、橋墩側向位移比為 8% 時強度才折減，傳統墩柱則為 5%。除可減少現場鋼筋綁紮工人、舒緩缺工問題

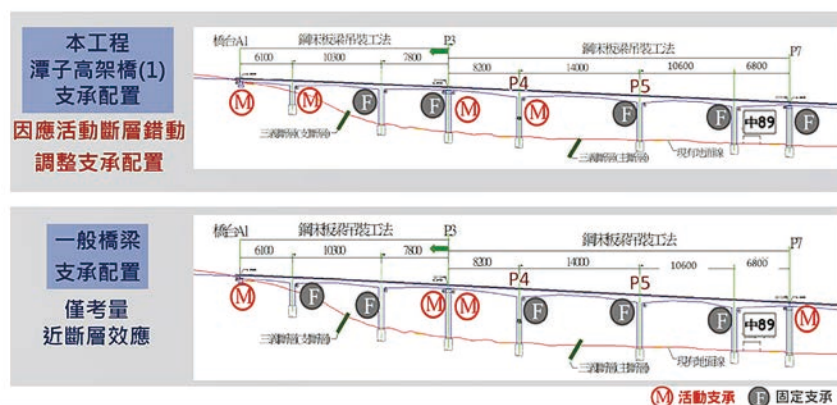
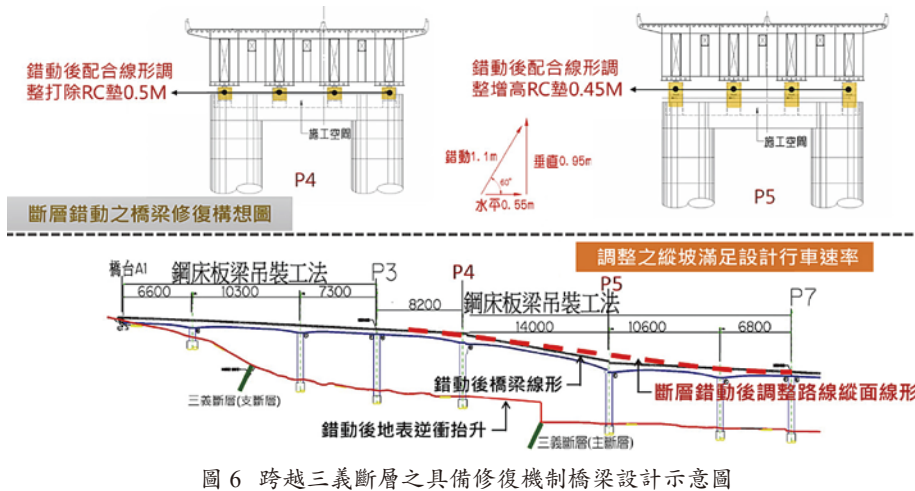


圖 5 跨越三義斷層之橋梁設計示意圖



外，並可減少箍筋用量（約少 15%）、有效節能減碳，現已為國內各大公共工程推廣的重要工法。

3. 加強隧道結構、減少地震破壞

豐原 1 號～豐原 3 號等 3 座隧道將襯砌厚度增加 25%～50%，且採用全周式收縮縫（圖 9），若受活動斷層錯動影響，隧道將自收縮縫處整齊斷裂，可減少破壞與維護內部人員安全。

4. 預防極端氣候、保護環境

本路為臺灣首條不排水隧道之高速公路，共有 3 座隧道、總長約 3.8 km，採用全周式防水膜（圖

10），預防隧道內大量湧水，避免地下水滲入隧道內而流失。落實環評承諾，橋梁不落墩於河川，避免影響區域防洪排水，其中豐原連絡道橋採用主跨 138 m 斜張橋，形成區域性地標（圖 11）。

5. 環境友善、資源再利用

本路為臺灣首例執行綠道路 2.0 版資格認證（Greenroads Pilot Project）的計畫，也是高速公路第一次辦理工程碳盤查（Carbon Footprint Verification），系統性導入環境保護思維。

為有效節省資源、環境永續，將橋梁耐用年限提升為 100 年，採用爐石粉 + 飛灰替代水泥之比率

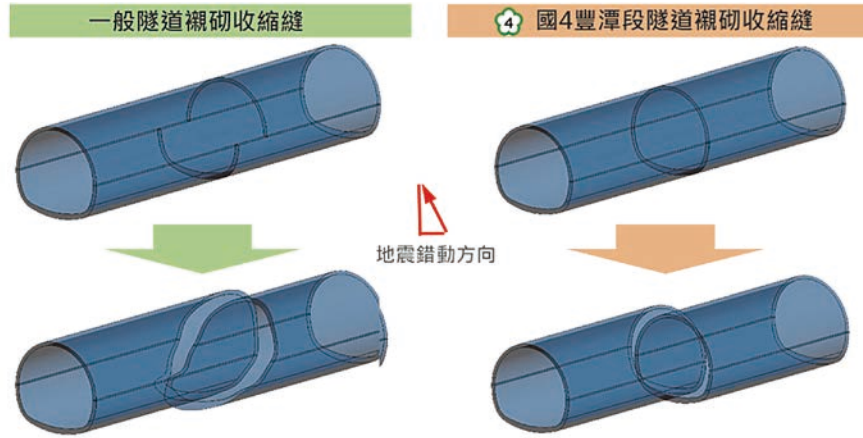


圖9 國4豐潭段隧道襯砌收縮縫設計示意圖

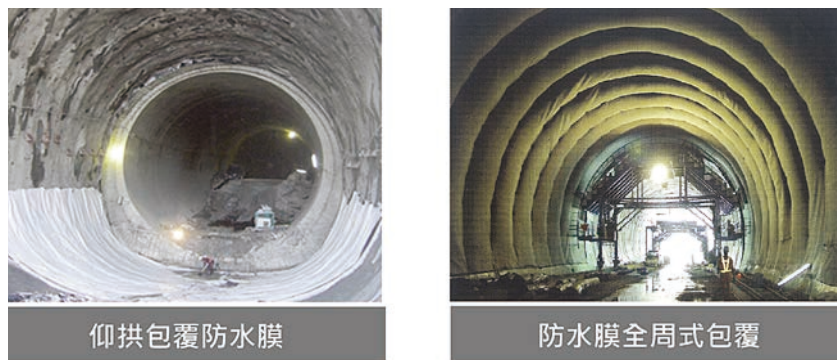


圖10 本路3座隧道採用全周式防水膜示意圖



圖11 豐原連絡道斜張橋照片

達 45%，全計畫有效減碳約 16.7 萬噸 CO₂e。既有高架橋之 12 支橋墩與基礎保留再利用，新建橋面板採 $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ 輕質混凝土，重量較一般混凝土輕 25%，且使用水庫淤泥製作，為循環經濟最佳案例。

執行成果

1. 促進國家與區域的經濟發展

(1) 加速地方發展、振興大臺中東側區域經濟

民國 88 年的 921 集集大地震後，本路不僅提供臺中東側地區便捷交通服務，更能促進地區發展、



本計畫領獎代表，左起：高公局陳文瑞局長、中興工程顧問卓涼華技術經理、頒獎人日本道路協會副會長 Katsuji HASHIBA、高公局第二新建分局卓高端副分局長，最右側為 HWANG Award 領獎人一起合影。



本計畫參加亞澳道路工程協會 2025 年在韓國高陽市舉行大會的相關人員，左起：中興工程顧問卓涼華技術經理、高公局第二新建分局林文旭主任、高公局規劃組羅財怡副組長、高公局陳文瑞局長、高公局第二新建分局卓高端副分局長、高公局規劃組黃育洲工程司、高公局交管組黃郁凱工程司、中興工程顧問廖惠美計畫經理等。

振興經濟。其中，臺中市政府也在潭子交流道旁設置「潭子聚興產業園區」(Tanzi Juxing Industrial Park)，預計完後可以引進就業人數 900 人，總投資金額達 40.5 億元。

(2) 完善大臺中都會區高速公路網、解決大臺中東側交通問題

本路串聯國 1、國 3、國 4、台 74、中 89 線等，是大臺中都會區高速公路網最後一哩路，解決臺中東側地區長期缺乏高速公路，並紓解國 1、國 3 交通壅塞問題。

2. 改善道路交通與運轉效率

(1) 本路長約 11 公里、設有 3 處交流道，民國 112 年通車後，分攤國 1 交通量約 11%、國 3 交通量約 3%。預期 2041 年時，將可分攤國 1 交通量 20%，國 3 交通量約 6%，提升整體公路網服務績效。

(2) 配合地方發展所需，設有 2.2 km 豐原連絡道與 1.2 km 潭子連絡道，台 3 線交通量減少 12%，中 89 線交通量減少 22%。

(3) 預計民國 130 年時，大臺中公路網每日將可減少總交通旅行時間 12,100 小時、減少總旅行距離 10,900 公里。

3. 提升道路整體交通安全

(1) 本路於民國 112 年通車 4 個月後，轉移國 1 交通量、有效降低事故率約 40.7%，通車前事故率 32.8 輛/百萬車，通車後事故率 19.5 輛/百萬車；事故件數減少 293 件，肇事成本節省約 US\$1.8 百萬元。

(2) 本路經過烏牛欄溪左岸之車籠埔活動斷層地質敏感區，路面與地表相距 20 公尺，採用加勁路堤可吸收地震波並減少位移。

(3) 使用 CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) 進行三維落石彈跳測試，設置落石防護柵欄，隧道洞口採倒竹削式洞門，增進安全。

4. 亞澳道路工程協會第三屆傑出建設計畫 (Mino Best Project Award)

本計畫有多項創新技術並有效達成區域交通改善，獲得亞澳道路工程協會 2025 年第三屆傑出建設計畫 (Mino Best Project Award)「傑出建設計畫」(Mino Best Project Award) 之高流量道路類 (high-volume road)，主題為鄰近活動斷層之永續公路 (Fengyuan-Tanzi Section, National Freeway No. 4, Low-carbon highway design near active faults)。本計畫自規劃、設計至施工階段，全面落實永續公共工程理念，包含活動斷層調查與資料蒐集、因應地震之韌性設計與災害緊急應變機制、環境友善設計與循環經濟之資源再利用... 等，落實國內機關辦理公共工程兼顧工程品質、技術創新與環境永續之整體實力。

未來展望

因應本路興建，研發創新多項工程技術與工法，尤其針對跨越活動斷層的橋梁設計與工法、營建自動化的多螺箍橋墩、循環經濟的飛灰爐石與輕質混凝土等，期能廣泛的推廣至國內各工程，為國家推動環境保護、綠色永續資源盡一份心力。



寧靜的舞者： 從永續觀點看淡江大橋

周南山／中國土木水利工程學會工程永續與環境美學委員會 主委、國立臺灣大學土木工程系 兼任教授

淡江大橋即將通車，引起廣大注目。這幾天開放日，每天都有約十萬民眾去瞧橋。

淡江大橋可能是近三十年來最受矚目的公共工程，也是繼雪山隧道之後，困難度最高的工程之一。在台灣眾多重大公共工程之中，淡江大橋無疑是一項兼具技術突破與人文意涵的永續工程代表作。

永續土木工程十大指標

若以劉泰儀博士、陳柏翰教授與筆者（2019）所提出之「永續土木工程十大指標」加以檢視，包括**工程效益**、**工程安全與可靠度**、**減碳**、**生態保護**、**節能**、**減廢**、**工程耐久性**、**景觀**、**人文**以及**創新**十大面向，

淡江大橋幾乎全面達標，尤其在工程效益、景觀、人文方面，更可謂表現卓越、令人驚艷。

從技術言，它突顯了台灣橋梁設計理念和施工能力的一次躍升。然而，若僅以交通建設視之，仍不足以說明其真正價值。更重要的是，它在工程實踐中如



淡江大橋連結淡水與八里，交通及觀光效益顯著。

何回應「永續」這一時代命題，從施工、設計到景觀與維護，皆展現出工程與自然、人文之間深層的對話。

設計及施工團隊

淡江大橋其造型概念由 Zaha Hadid Architects (ZHA) 提出，結構設計與監造則由中興工程顧問團隊負責，並結合德國橋梁專家 Leonhardt, Andra and Partner (LAP) 加以深化，最終由工信工程股份有限公司完成施工。

筆者曾擔任中興工程顧問公司總經理，但中興團隊得標時，我已退休，因此無緣參與，但與有榮焉。在橋梁施工期間曾經帶領中央大學研究生前往現場學習圍堰施工，也曾二度前往淡江大橋願景館參訪，前幾天更親臨現場走完全橋。

下面是筆者對於淡江大橋符合永續土木工程指標的一些觀察與淺見：

永續指標之一：工程效益

連結淡水與八里的捷徑

連接淡水區與八里區，為省道台 61 線（西部濱海快速公路）最北端的路段，並同時承載輕軌、公車、機車、自行車和人行道專用道。預期可舒緩原有之關

渡大橋與淡水區南進臺北市及板橋等城鄉的交通流量，串聯桃園航空城、臺北港、北海岸，且帶動淡海新市鎮、八里區與臺北港發展。

永續指標之二：創新

世界最長之單塔不對稱斜張橋

主橋採用長跨徑單塔斜張橋 (Cable-Stayed Bridge) 配置，為世界最長之單塔不對稱斜張橋，設計與施工難度極高。在當初國際競圖評選中，多數團隊採雙塔斜張橋方案，然而雙塔可能對「淡江夕照」此一台灣重要景觀資產造成遮蔽或干擾。中興團隊選擇單塔設計，並透過精密分析，確認在一年四季不同時段均不致遮擋夕陽，因而獲得評審委員高度肯定。事後證明，此一決策不僅在工程上可行，更在景觀上達到與自然相互輝映的效果。

這一關鍵選擇顯示，現代工程已不再只是技術判斷，而是對自然與文化價值的回應。

永續指標之三：人文

雲門舞者的旋律

在現場觀察中，筆者印象較深的是橋面燈柱與斜張索之間的關係。燈柱與傳統橋梁不同，不是直立，而是傾斜且與鋼索平行排列，避免交錯干擾，使整體視覺極為純淨。隨著鋼索角度變化，形成節奏與律動，



淡江大橋採用單塔不對稱斜張橋，橋塔不致於遮蔽或干擾夕陽。

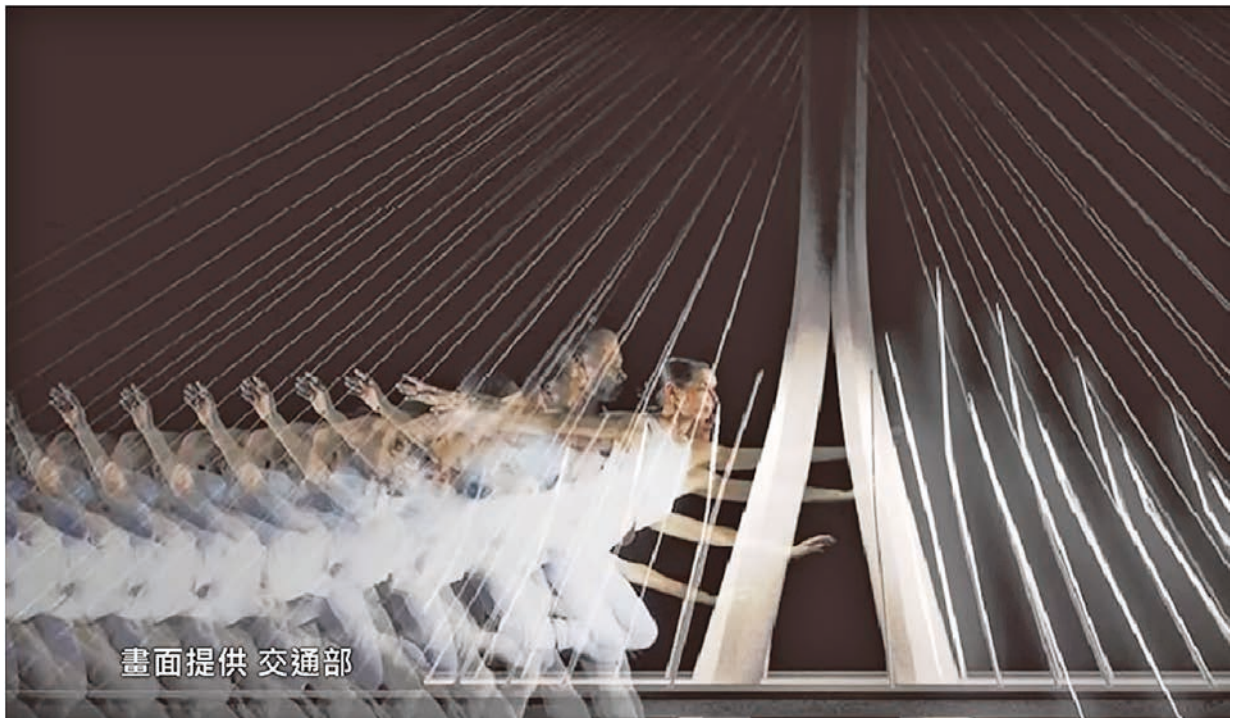
彷彿呼應雲門舞者的舞動旋律。主塔則呈現一種靜謐而內斂的姿態，如同一位在河口迎風而立的舞者。力學在此轉化為人體藝術，結構亦成為舞蹈的延伸。

淡江大橋之所以廣受矚目，亦在於其文化意涵。橋址鄰近雲門劇場，即雲門舞集所在地。雲門舞集長期

強調身體與自然之間的關係，其舞蹈語彙充滿張力、流動與平衡。這種精神，在橋梁設計中得到具體轉化。主塔與斜張索構成一種動態平衡的姿態，宛如舞者的身體延展；鋼索與燈具的節奏排列，則如舞蹈中的韻律與呼吸。工程結構在此超越功能，成為一種文化表達。

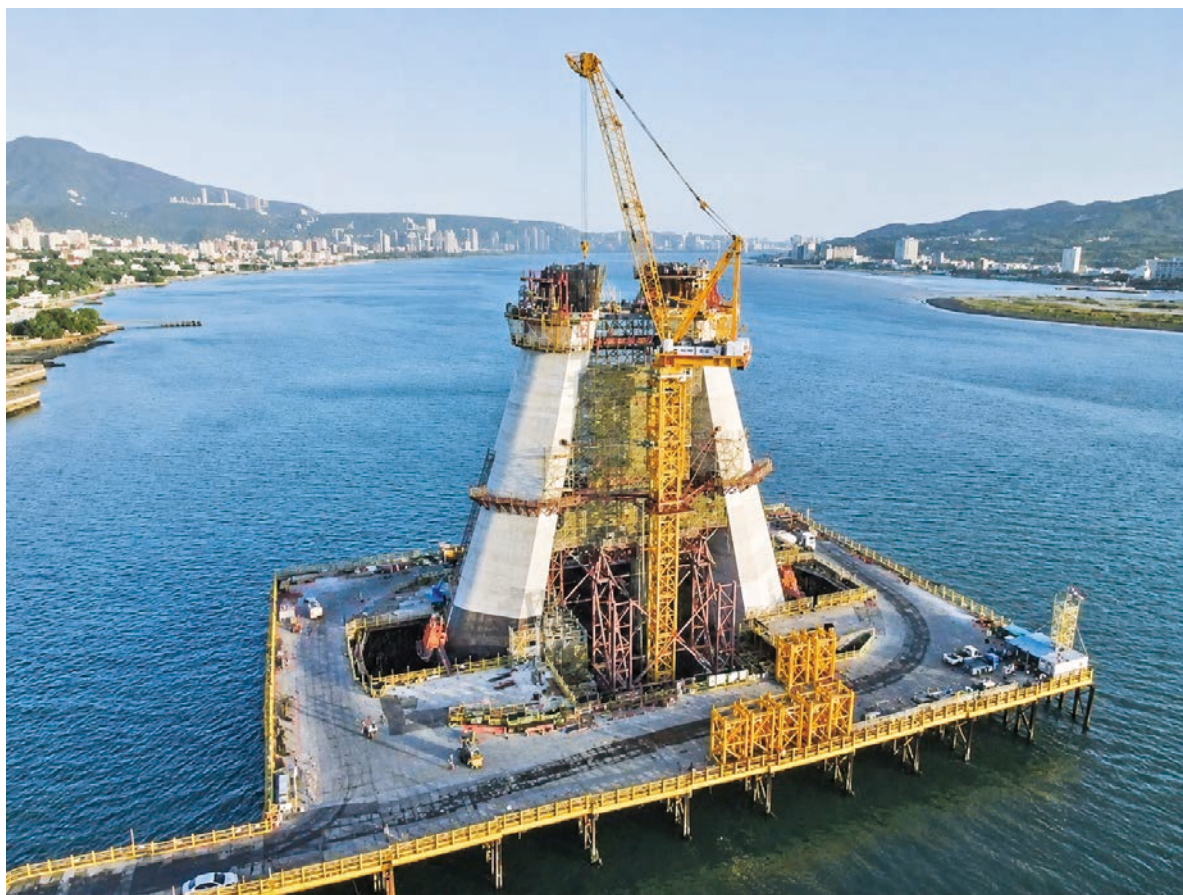


燈柱與傳統橋梁不同，不是直立，而是傾斜且與鋼索平行排列。



畫面提供 交通部

隨著鋼索與燈柱角度變化，形成節奏與律動，彷彿呼應雲門舞者的舞動旋律。



圍堰工程施工困難，也是主塔的基礎。

永續指標之四：工程減災與可靠度 高難度的圍堰施工

從工程本質來看，淡江大橋最大的挑戰並不僅在上部結構，而在基礎工程。橋址位於淡水河口，地層為厚層沖積土，承載力不足，加上潮汐變化劇烈、水流沖刷頻繁，使水中施工極為困難。為建立橋墩，施工團隊需設置圍堰，將河水隔離並抽乾，形成乾式作業空間。然而，在此類河口環境中，圍堰須同時承受水壓、流速衝擊以及滲流與沖刷的複合作用，施工風險極高。

面對這些挑戰，工程團隊採取多重對策，包括使用雙層鋼板樁構築高強度圍堰結構，結合止水接頭與灌漿技術降低滲漏；於圍堰外側設置拋石護床以防沖刷；並透過分段施工方式減少一次性風險。此外，施工期間亦持續進行水位、變形與濁度監測，以確保工程安全與環境影響控制在可接受範圍內。這些措施顯示，現代基礎工程已不再只是結構問題，更是環境管理與風險控制的整合體現。

永續指標之五：碳排 單塔及窄梁降低隱含碳

完成艱難的基礎施工後，橋梁本體設計更展現其永續價值。單塔斜張橋可大幅減少水中橋墩數量，使主跨得以跨越主要航道，不僅有利航運安全，也降低對水流與河床的干擾。從結構角度而言，斜張橋透過斜索將荷載直接傳遞至主塔，使梁體得以減薄，材料用量降低，亦即隱含碳排放隨之減少。這種設計不僅有效率，更符合低碳工程的發展方向。

永續指標之六：景觀 夕陽光影的載體

從景觀角度觀之，較薄的梁體與簡潔的結構線條，使橋體在夕陽餘暉下顯得輕盈而不突兀。工程在此不再是主體，而是成為襯托自然的媒介。

更具深意的是，橋梁設計刻意避免遮擋淡水夕照。透過單塔配置與精準定位，使橋塔不落於主要觀景軸線之上，保留完整的日落景觀。當夕陽西下時，

橋體反而成為光影的載體，與天空與水面共同構成一幅流動的畫面。工程不再干擾自然，而是融入自然，這正是景觀永續的核心精神。

永續指標之七：生態

淡水河口的棲地保護

在生態層面，淡江大橋亦展現環境意識。淡水河口為重要生態棲地，包含魚類洄游路徑與水鳥活動區域。橋梁設計透過減少橋墩數量、控制施工濁度、避開敏感時期施工，以及降低夜間光害等方式，減少對生態系統的影響。這顯示現代工程已從「避免破壞」進一步邁向「與自然共存」。

永續指標之八：耐久性

錨定防蝕與橋梁結構健康監測系統

然而，對於一座位於海口附近的斜張橋而言，真正的考驗往往發生在完工之後。鹽分環境中的氯離子，會對鋼材造成長期腐蝕，尤其斜張橋的關鍵構件，即斜索與錨定系統，更是維護的重點。錨頭區域因承受最大應力，一旦發生腐蝕或劣化，將直接影響整體結構安全。近年來發生多次的橋梁破壞案例，如蘇澳港大橋即因錨頭腐蝕而倒塌。因此，淡江大橋在設計上必須採取多重防護措施，包括使用鍍鋅鋼絞線、外覆高密度聚乙烯（HDPE）護套、內填防蝕油脂，以及設置密封錨頭與除濕系統等。透過控制內部濕度與隔絕外界水氣，可大幅延緩腐蝕速率。

此外，橋梁亦配置結構健康監測系統，持續追蹤索力、振動與環境變化。從永續工程的觀點來看，「可維修性設計」與「長期監測」的重要性，甚至不亞於初期設計本身。唯有能在百年尺度中持續安全運作的結構，才真正符合永續的意涵。

淡江大橋之設計年限為 120 年。本橋是世界最長的不對稱單塔斜張橋，因為不對稱的關係，兩側受力不同，每根鋼索承受的張力也都不一樣，且可能受到車輛載重、超強地震及材料的腐蝕與疲勞而發生變化。但本案都經過詳細的設計與嚴格的施工監造，且編列了維護預算，加上在淡水端設置了橋梁管理中心進行長期監測，相信它的耐久性應該可以超過設計年限。


結語：

永續、工程、自然與人文之間的深層對話

綜合而言，淡江大橋的價值，在於它同時回應了多重層面的需求：它是一項高難度工程，成功克服河口施工挑戰；是一座高效率橋梁，兼顧結構與減碳；是一件公共藝術，融入舞蹈與文化；也是一種景觀承諾，讓夕陽成為主角。從工程到人文，從理性到感性，淡江大橋展現出當代土木工程新的可能。

或許可以這樣說：淡江大橋不只是跨越淡水河的一座橋，而是在夕陽與海風之下，靜靜佇立的一位舞者。它所連結的，不只是兩岸的交通，民眾的熱情，更是永續、工程、自然與人文之間的深層對話。

參考文獻

1. Liu, T.Y., Chen, P.H., and Chou, N.S. (2019). "Comparison of Assessment Systems for Green Building and Green Civil Infrastructure." *Sustainability* 2019, 11, 2117. 

淡江大橋工程 小百科

淡江大橋工址：台灣新北市淡水河出海口

計畫目的：• 連接淡水與八里交通

• 紓解關渡大橋交通壓力

• 串聯台 61 線（西濱快速公路）

橋型：單塔不對稱斜張橋

建築材料：鋼（橋梁）、鋼筋混凝土（橋墩）

全長：920 公尺

寬度：44~71 公尺

高度：211 公尺

最大跨度：450 公尺

跨數：6

橋下淨空：20 公尺

車道數：4+2，設有大眾運輸專用道（先期為公車專用道，遠期按需求轉為輕軌線道）

設計壽命：120 年

開工日期：2019 年 2 月 23 日

正式通車：2026 年 5 月 12 日

淡江大橋及其連絡道路 5k+000-7k+035 新建工程

主辦機關：交通部公路局北區公路新建工程分局

督導單位：交通部公路局北區公路新建工程分局第三工務段

設計單位：中興工程顧問股份有限公司

監造單位：中興工程顧問股份有限公司淡江大橋監造工程處

承攬廠商：工信工程股份有限公司

建築設計：Zaha Hadid Architects

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓名		款別 註：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費， <u>入會費一人僅需繳交一次</u>	繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200 元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300 元
會員證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 國內・個人會員 新台幣 300 元 <input type="checkbox"/> 國內・非會員及機關團體 新台幣 1,800 元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
身分證號碼			訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期 <input type="checkbox"/> 國內・個人會員 新台幣 1,600 元 <input type="checkbox"/> 國內・非會員及機關團體 新台幣 3,600 元 <input type="checkbox"/> 國外・個人 美金 80 元 <input type="checkbox"/> 國外・機關團體 美金 200 元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
卡別	<input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB		白天聯絡電話
信用卡卡號			通訊地址
信用卡末三碼			
信用卡有效期限	(月/年)		
信用卡簽名			
繳費金額			

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據

注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)



本橋系統交通道、開通！號增設南下出口及北上入口匝道
交通部、2025金鐘獎 傑出工程類第一名
台灣建築師學會、2024 混凝土工程優良獎

義承實諾 力呈卓越

義力營造創立於民國八十三年，甲等綜合營造業
深耕台灣，致力鑽研土木、環境、建築、區段徵收、開發工程
秉持追求全員工安、品質提升的精神
在誠信踏實的經營態度之下，堅守營建道德崗位
各項工程實績屢獲優良工程金安獎、公共工程金質獎



中沙大橋 | 全國最大跨河橋梁圍堰改水換底補強
金質獎特優 / 金安獎優等

土木 工程

機場、整地、道路、排水橋梁
護坡、植生景觀、管線工程

環境 工程

掩埋廢棄物分類清除、土壤污染改良
污水處理、復育工程、廢棄物分類機械製造

建築 工程

辦公大樓、廠辦新建
特殊建築、集合住宅

區段 徵收

區段徵收工程
土地重劃、公設工程施工

開發 工程

工業園區開發
社區開發、租售管理



臺中中區東區東區東區東區東區

網站: www.earthpower.com.tw

電話: 04-2219-0568

傳真: 04-2219-0569

地址: 04-2219-0569

卓越 | 誠信



交廣工程顧問有限公司

誠信 | 創新 | 品質 | 服務 | 永續發展

【專業技術整合，橫跨多元領域】

交廣工程顧問秉持「誠信、創新、品質、永續發展」理念，整合結構、土木、排水、橋梁與耐震補強等專業技術服務，深度參與國內重要公共工程，累積豐富實績。

【投入公共參與，重視社會連結】

長期投入公會事務、災後勸災與社會公益，展現對社會的責任與參與。我們致力打造前瞻、安全、永續的工程環境，與夥伴攜手共創價值。

【前瞻創新應用，引入AI與數位工具】

因應數位轉型，公司積極導入AI模型檢核與智慧作業平台，提供AI輔助的室內空間資訊優化服務，實現結構智慧安全。

服務 項目

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 01. 公共工程規劃設計 | 05. 水土保持工程設計規劃 |
| 02. 私有建物耐震弱層補強 | 06. 自來水及下水道工程設計規劃 |
| 03. 大型規模現況與安全鑑定 | 07. 盾盾隧道施工規劃與線型控制 |
| 04. 捷運工程相關調查與鑑定 | |

台北總公司

桃園分公司

☎ 02-2709-0716

☎ 03-357-2323

🌐 www.jgce.com.tw

🌐 www.jgce.com.tw

📍 台北市大安區忠孝東路三段52號2樓

📍 桃園市桃園區莊二街24號7樓

建築物耐震能力 動力歷時分析上機課程

Practical Training on Dynamic Time History Analysis



課程時間：

115/06/27/(六)
09:00 - 17:40

課程地點：

國立臺北科技大學
土木館 1F 電腦教室
Google Meet 全程直播
分享螢幕操作，即時問答

報名費用：

實體課程：8000元 
(含教材、講義與午餐)

線上課程：8000元 
(含電子檔教材、講義)

耐震評估的終極武器

壹：結構模擬無界限

深入 SERCB 理論，完美應對高層與不規則建築分析盲區

貳：雙向塑鉸自動化

透過SERCB_TOOLS 實現自動化建模，精準掌握結構耐震行為

參：軟體除錯零時差

深化 ETABS / MIDAS 操作，解決建模瓶頸與軟體設定細節。

肆：決策分析更精準

實戰案例深度剖析，提升對動力分析結果的判讀力，確保模擬品質



網路報名

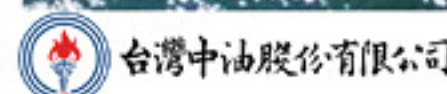
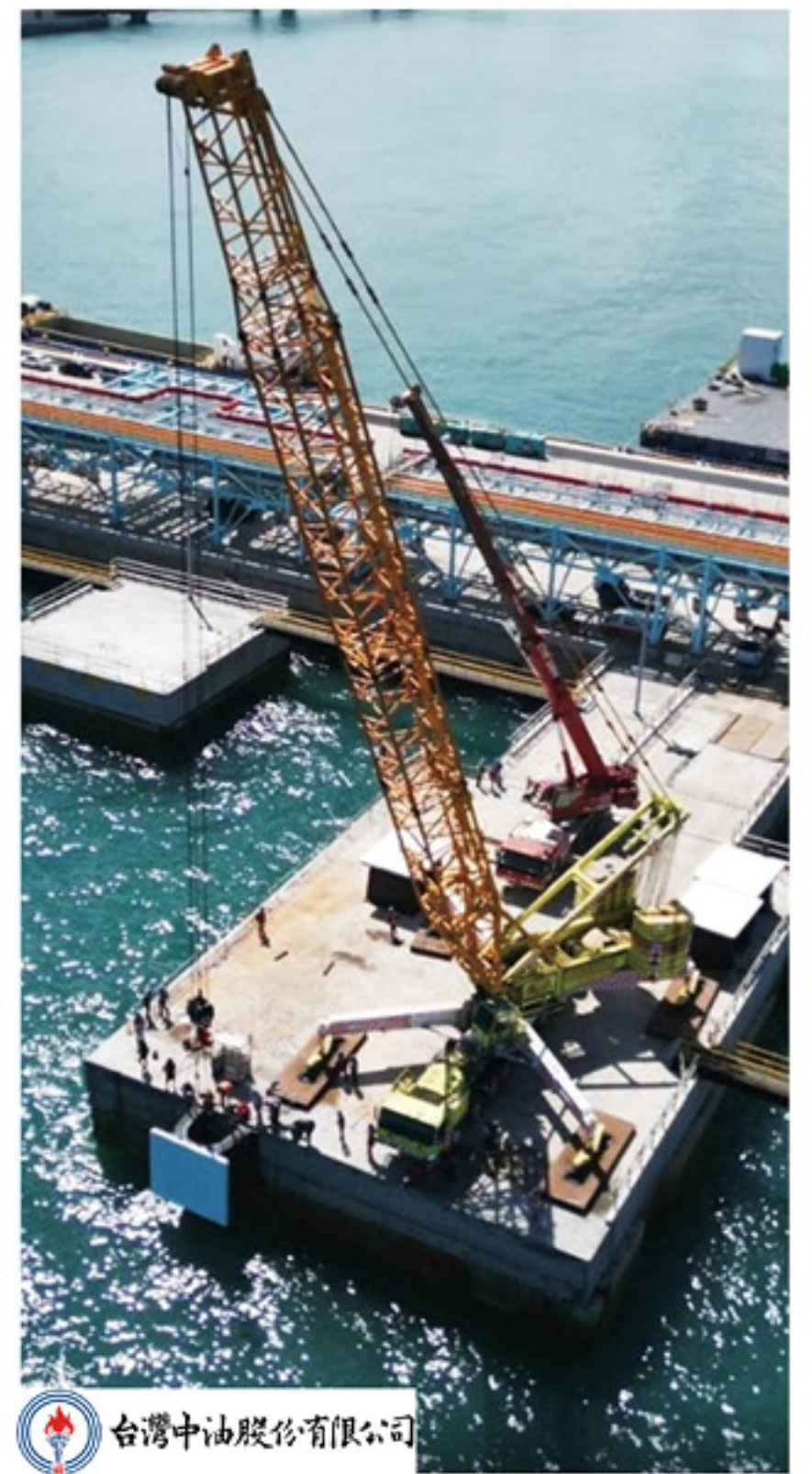
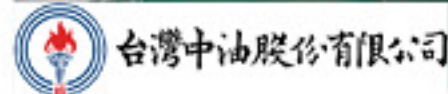
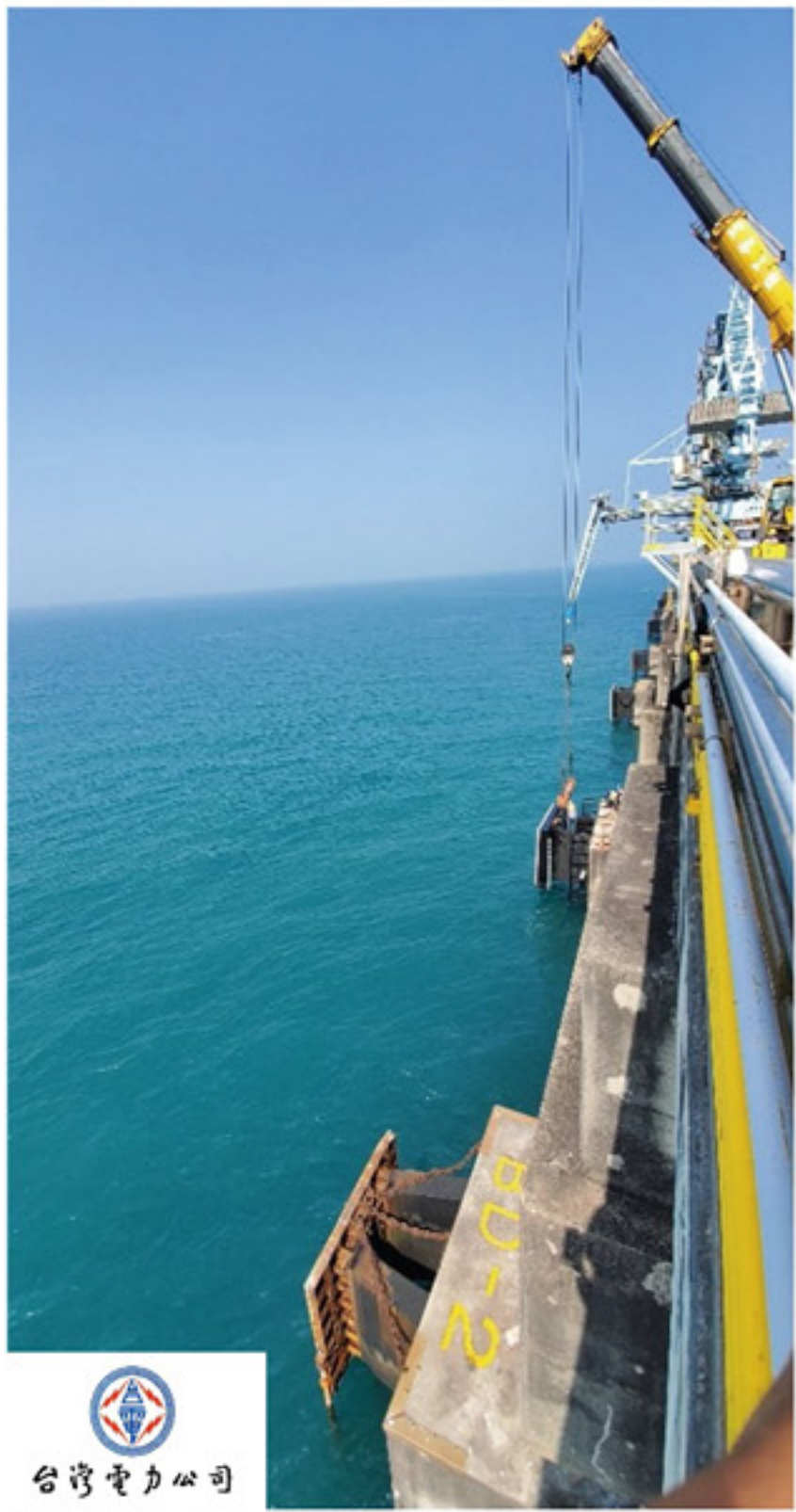
開課門檻：達 40 人以上即開課
主辦單位：中國土木水利工程學會、國立臺北科技大學





志成橡膠廠股份有限公司

CHIH CHENG RUBBER FACTORY CO., LTD

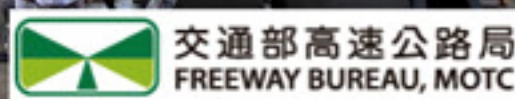


臺灣最專業的港灣碰壁設施製造商 為航海運輸提供最可靠的防護

本公司針對不同港灣條件，設計及製造符合特性的防護碰墊。由於產能與機具領先同業，完全可滿足大型船舶的防護性能及其他特殊需求。產品規格齊全，使用年限長，是航商最經濟的選擇。

嘉義縣民雄鄉興南村工業二路 3 號
TEL : 05-2211126

E-mail : chihcheng168@gmail.com
FAX : 05-2218914



2016.08.12 10:21