



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）。

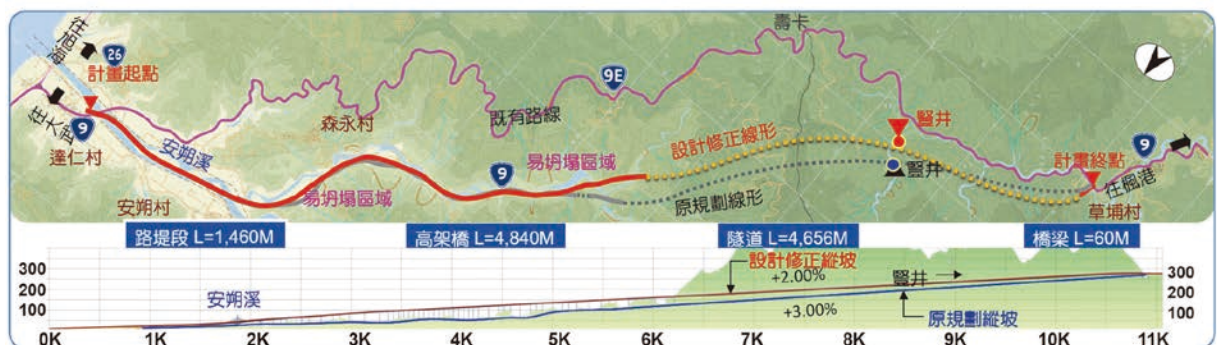


圖 2 安朔草埔段工程範圍及內容



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

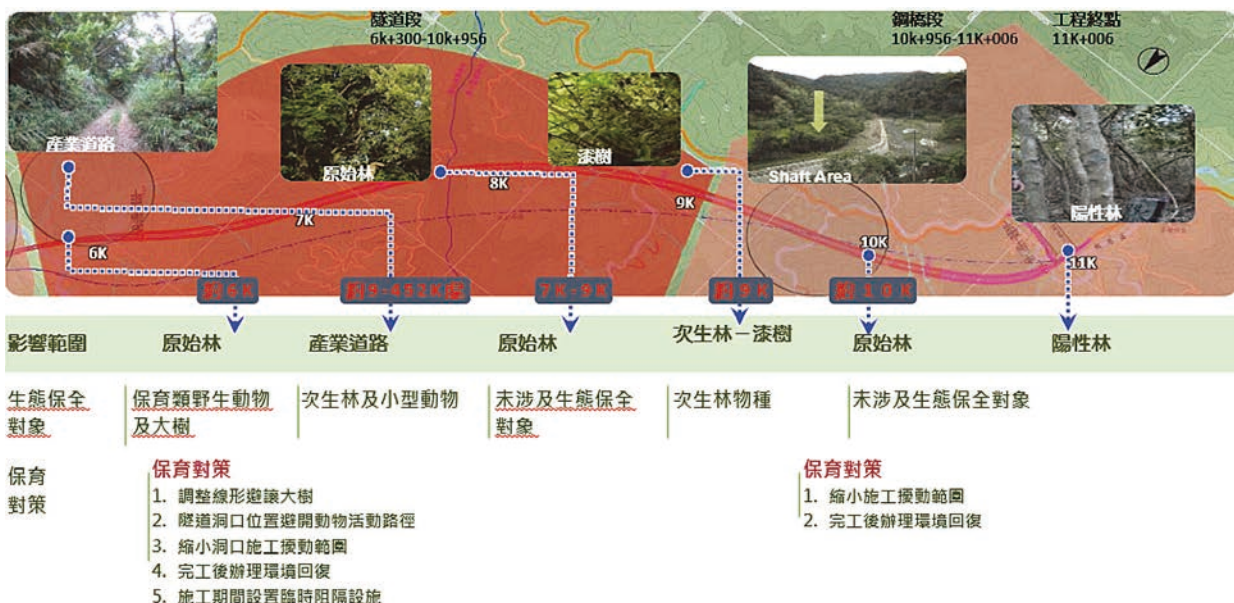


圖 4 隧道段環境保護設計原則與措施



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

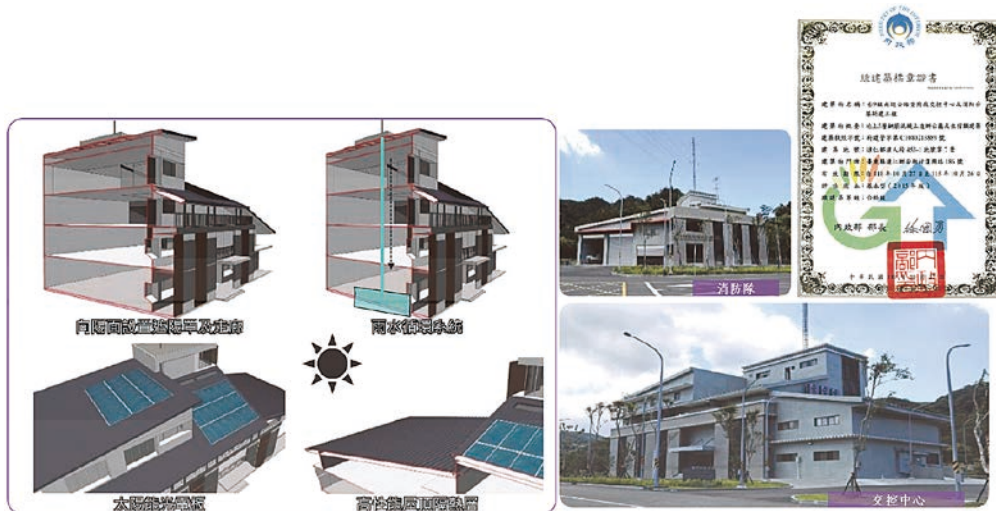


圖 6 導入 LEED 綠建築設計標準



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。

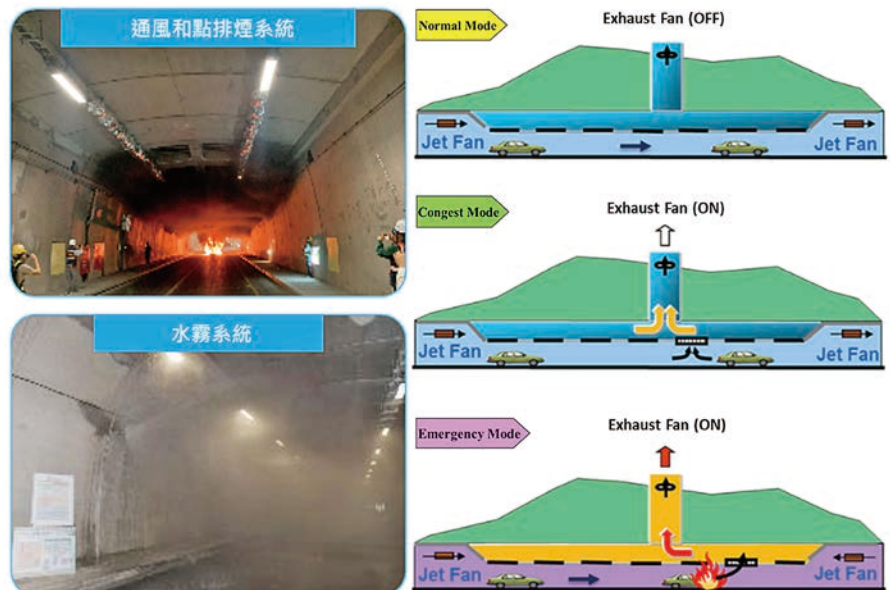


圖 9 先進隧道火災緊急應變和救援系統

### 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 CO<sub>2</sub>，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 TonCO<sub>2</sub>e（公里－寬度）
- 功能單位：C2 標（隧道工程）為 115,509.1 TonCO<sub>2</sub>e（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<br>提升材料強度  | 低碳混凝土  | 卜作嵐材料<br>（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<br>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<br>雨水回收再利用 | 土方回用  | 路堤回填<br>海灘復育    | 光電節能產品 | 太陽能板<br>LED 燈具<br>隧道 LED 照明 |
| 加勁式擋土牆 | 自然生態系<br>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 <sub>2</sub> e/kg              |
| 2  | 2017 | C1    | 00 水泥花蓮廠 | 第二型卜特蘭水泥                    | 0.935 kgCO <sub>2</sub> e/kg              |
| 3  | 2015 | C2    | 00 混凝土廠  | 350 kgf/cm <sup>2</sup> 混凝土 | 258.69 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> |
| 4  | 2018 | C1、C2 | 00 鋼鐵    | 鋼桁架支撐、岩栓                    | 0.722 kgCO <sub>2</sub> e/kg              |
| 5  | 2018 | C3    | 00 電工    | 電力線路配線與電纜                   | 6.310 kgCO <sub>2</sub> e/kg              |
| 6  | 2018 | C1    | 00 瀝青    | 瀝青混凝土                       | 131.96 kgCO <sub>2</sub> 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台灣世界級工程實力。



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。