



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

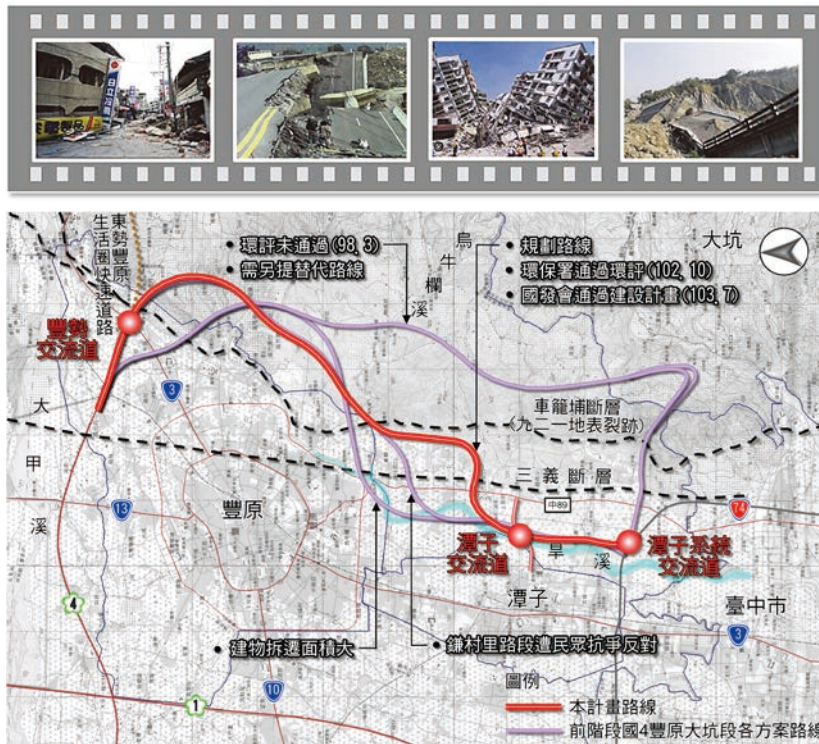


圖 1 國道4號臺中環線豐原潭子段各階段計畫路線示意圖

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）。

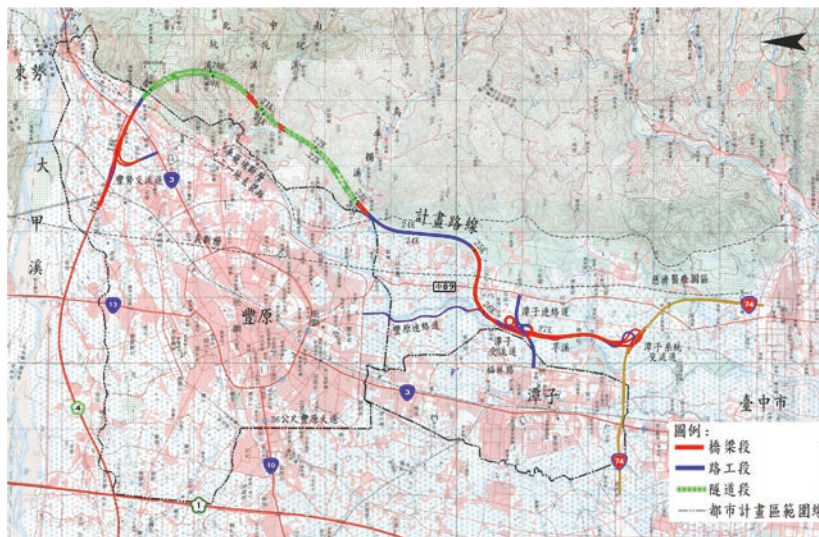


圖 2 國4豐潭段計畫路線示意圖

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

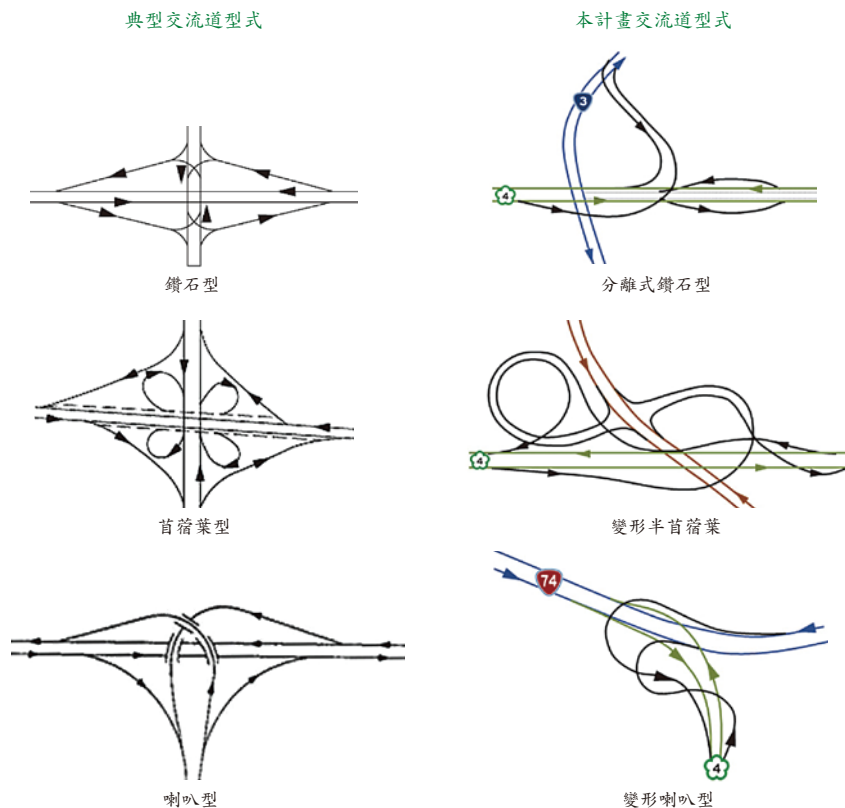


圖 4 國 4 豐潭段交流道型式示意圖

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

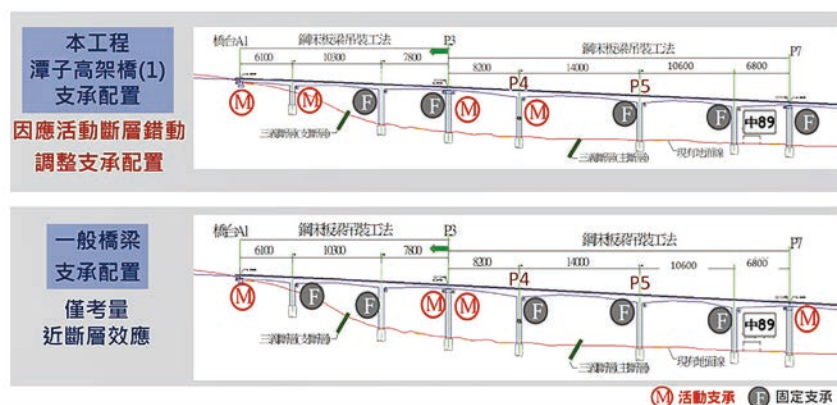
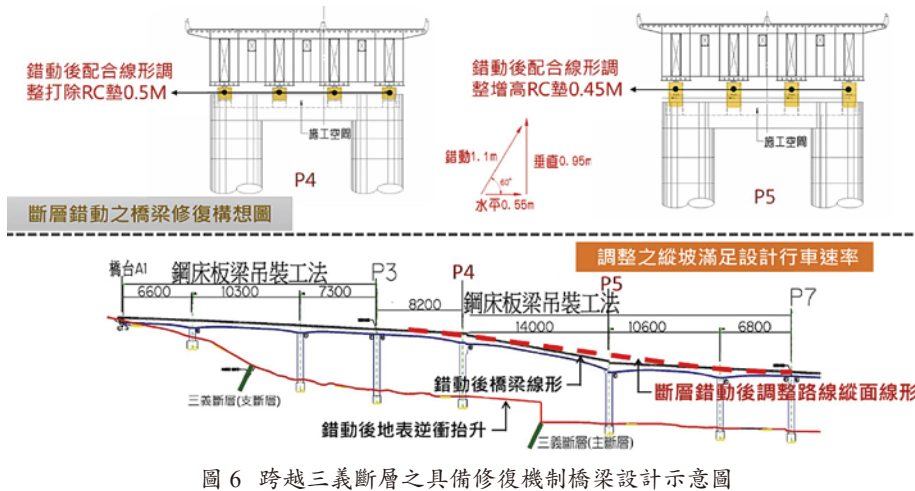


圖 5 跨越三義斷層之橋梁設計示意圖



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

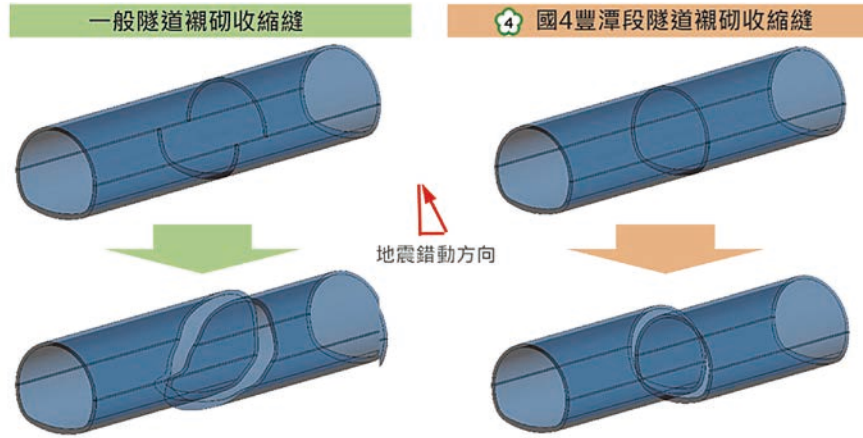


圖 9 國 4 豐潭段隧道襯砌收縮縫設計示意圖

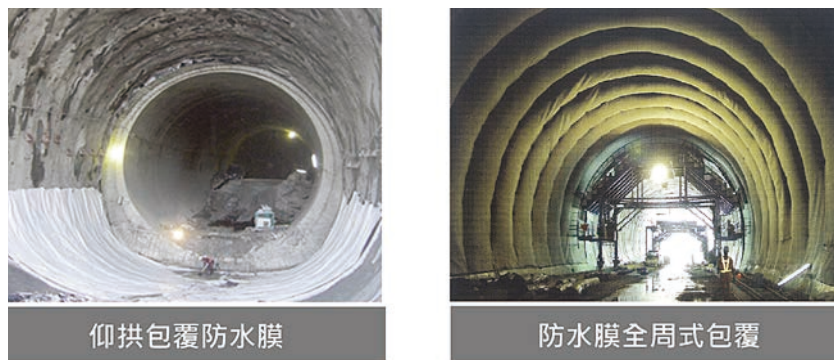


圖 10 本路 3 座隧道採用全周式防水膜示意圖



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。