

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 48 卷 第 7-8 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 48 No.7-8 Aug. 2022

交通部公路總局

中華民國 111 年 8 月 15 日



封 面 說 明

台9線-新豐平橋

王富生 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 48 卷 第 7-8 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

陳文瑞

社長

林聰利

總編輯

李志隆

總幹事

李崇堂

編輯

鄧文廣 陳進發

李忠璋 蔡宗成

劉雅玲 陳松堂

葉双福 李順成

陳俊堯 劉世桐

吳昭煌 林文雄

郭清水 詹益祥

江金璋 李宗仁

王韻瑾

實務報導

台 8 臨 37 線 17.2k 鋼便橋遭巨石撞擊之受損機制及修復策略探討
.....鄧文廣、翁孟嘉、袁宇秉、呂正安、黃國峰、溫子漢... (2)

「標線改造，南投好行」交通工程經驗分享

.....蔡宜宏、許朝勝、洪懋修、簡台穎、陳韻盛... (31)

台 8 臨 37 線 17.2k 鋼便橋遭巨石撞擊之 受損機制及修復策略探討

鄧文廣¹、翁孟嘉²、袁宇秉³、呂正安⁴、黃國峰⁵、溫子漢⁶

摘要

中橫公路上谷關至德基段受民國88年921集集大地震及93年敏督利颱風重擊，故行政院核定「休生養息」，而後基於人道考量，於101年修建台8臨37線供基本維生通行。104年至107年辦理8標中期安全提升工程，於17.2k易遭土石流攻擊路段，採用鋼便橋。111年2月遭遇巨石重擊致橋梁嚴重變形，一方面在千瘡百孔下迅速研判橋損情形下如何及時搶通，與詳細橋檢規劃如何經濟安全地復建；另一方面，進行邊坡巨石崩落行為分析、結構受損破壞機制之模擬等。本文將現地受損情形、落石衝擊機制、搶通方式及復建作法等，深入淺出詳實探討，可供山區橋梁養護單位搶修應變、設計單位分析橋址合理性、山區橋梁抵抗落石衝擊及防護規劃等參考，具有高度實務及學術價值。

關鍵字：台8臨37線、鋼便橋、落石衝擊機制、復建

一、前言

88年921集集大地震重創中橫公路上谷關至德基段，之後復建遭93年敏督利颱風（或稱72水災）重擊，行政院綜合各方意見核示此路段進入「休生養息」，採暫緩修復策略，俟地質狀況穩定後再予評估規劃 [1]。因梨山居民不斷陳情、立法院考察及基於人道考量而辦理搶通計畫 [2]，於91年修建一條供救護及基本維生功能之道路，並編為「台8臨37線」（又稱「中橫便道」，以下用此詞）。而為強化通行安全，乃進行

¹ 交通部公路總局 總工程司

² 國立陽明交通大學土木工程學系 教授

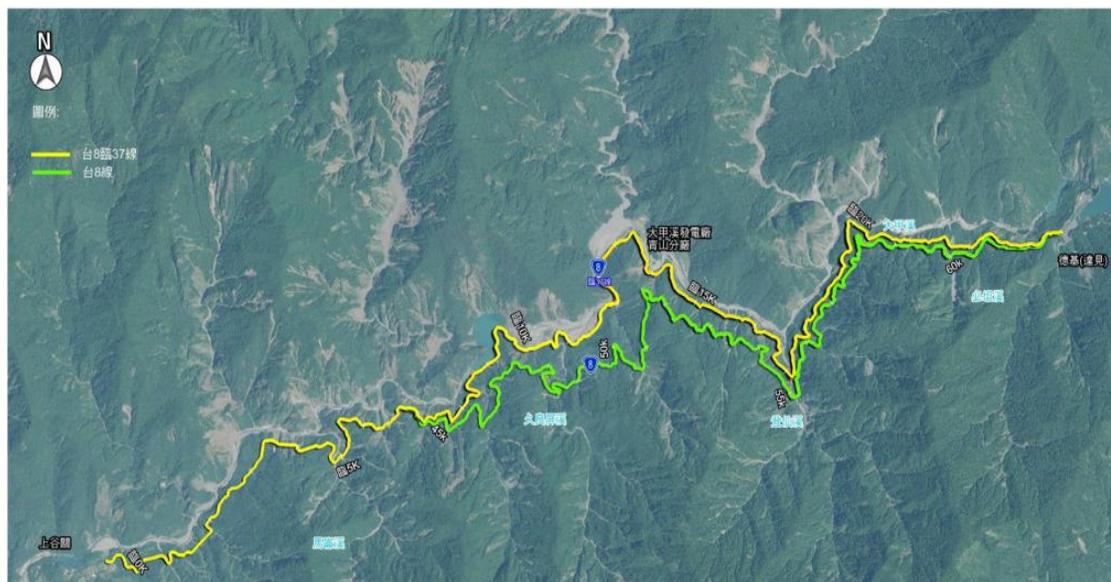
³ 國立陽明交通大學土木工程學系 副教授

⁴ 國立中興大學水土保持工程學系 博士生
交通部公路總局第二區養護工程處-產管科 科長

⁵ 黎明工程顧問股份有限公司 組長

⁶ 國立陽明交通大學土木工程學系 博士候選人

上谷關至德基段地貌變異分析，指出：中橫便道屬敏感性地質區域且尚未恢復穩定，現階段不宜大規模整建，針對分析獲悉土砂災害高潛勢區及道路巡檢已知之落石頻繁區，建議優先進行安全強化 [3]。



出自：台 8 線 36k~62k(含台 8 甲線)谷關至德基段復建可行性研究

圖 1 中橫公路上谷關至德基路段路線圖

94 年起針對中橫便道 23 處高危害潛勢路段進行安全提升工程設計 [4]，考量屬便道水準，故設計係依據交通部 100 年 4 月頒佈之「公路路線設計規範」為設計標準，採五級山嶺區道路，設計速率為 30 公里/小時；針對環境造成劇烈衝擊或經費劇增時，其最低設計速率得採用 20 公里/小時，或以不低於現況為設計標準。工程標分為 8 標，所需經費約為 9.2 億元，克服人力困乏、地形險峻、氣候變異、運輸不便及容易災害阻斷等諸多高難度挑戰 [5]，方完成改善路基缺口損壞 3 處、土石流與道路交會路段 1 處、易坍方落石路段 11 處、危險邊坡路段 8 處等。107 年工程標完成，有效提升中橫便道安全性、降低通行風險、減少災害阻斷時間，由 101 年封閉約 200 天至近年不到 50 天；又經安全評估審查路段通行安全，針對路寬不足部分由年度開口契約採 F 型護欄方式予以加寬 [6]，方促成 921 地震後停駛之公共運輸於 107 年 11 月 16 日復駛谷關至梨山 [7]。

公路總局第二區養護工程處所做地貌變異分析指出[8]：倘若之後未有強降雨或強地動事件，預計 114 年中橫便道可進入崩塌變遷推估曲線之安定期，而目前尚在回復期。顯示，雖已進行安全提升工程，然 921 地震之效應，加之近年地震頻繁、極端氣候及長期風化等效應，本路段崩塌落石之頻率仍屬偏高。以近 3 年而言曾發生嚴重大規模崩塌或無預警落石擊中通行車輛事件，如：108 年 5 月 18 日強降雨致中橫便道嚴重坍方 17 處；109 年 6 月 12 日天氣晴朗，於 22.5k 德基路段發生大規模無預警崩塌 [8]；

110年11月27日陰天，於20.5k德基路段無預警落石擊中豐原客運865路，幸無人傷亡。而今(111)年2月20日夜間於17.2k登仙溪上鋼便橋路段，發生巨石從距橋梁上方逾300m處落石擊毀防護鋼棚，再撞擊橋面板致鋼梁嚴重變形破壞。

複雜多變的斷層和褶皺系統與岩性特徵組合的地質條件，形成本路段崩塌災害的內在因素，921地震造成岩塊鬆動則為主要外在因素。震災後的數次風災帶來的豪雨宛如崩塌地災害的推手，將集水區內的不穩定土石向下坡處運送，造成不斷發生不同型式之工程地質災害[11]。其中，在登仙溪路段，因右岸邊坡長時間為裸露狀態，區域內多條蝕溝發育，其主要蝕溝已發育至近坡頂，坡面上浮石多堆積於蝕溝內，在近乎垂直的坡面上，更是人力所無法處理。雖經公路總局於107年完成鋼便橋跨越登仙溪、111年初完成落石防護鋼棚，然超乎設計粒徑之巨石撞擊橋梁，仍造成中橫便道阻斷。幸賴緊急勘查確認搶通策略、搶修廠商動員迅速，終於在5天內即緊急搶通；其後進行3D空拍建模分析、詳細調查探討受損機制，有效掌握崩塌落石源及彈跳路徑、鋼棚架掘曲及鋼橋嚴重變形之行為，作為短期修復、中長期復建之重要依據。

本文將此罕見之橋梁災害詳實紀錄，再精闡闡述就如何緊急搶通、應變處置、邊坡分析、結構補強等，供工程界參考借鏡，期能安然迅速處理災變、因地制宜診察處置邊坡、對症下藥處理結構復建補強。

二、邊坡崩塌機制

2.1 崩塌區之工程地質

本次落石發生區為白冷層下段的達見砂岩，岩性以厚層塊狀之石英變質砂岩為主；區域構造為光明橋複背斜(圖2a及2b)，複背斜軸部在光明橋或大勇橋以西岩層向西緩傾，導致邊坡岩體節理發達。



a. 落石來源區域地質



b. 光明橋複背斜樣貌

圖2 本次落石崩塌區域地質特性



a. 88年邊坡情形



b. 89年邊坡情形



c. 91年邊坡情形



d. 101年邊坡情形



e. 109年邊坡情形



f. 111年本次崩塌後之邊坡情形

圖3 本次落石崩塌區之歷年影像

本路段自 88 年起之影像如圖 3 所示，明顯可見，邊坡位於登仙溪右岸，長時間為裸露狀態，區域內多條蝕溝發育其主要蝕溝已發育至近坡頂。98 年 8 月莫拉克風災後，於近道路上下邊坡有多處崩塌，其後逐漸有植生復育，而坡面上浮石多堆積於蝕溝內，且青山上線路面產生崖錐堆積。

量測落石來源區之岩盤位態，如圖 4，節理面位態透過擷取點雲特徵及分析結果顯示：地形坡度 60°坡向 280°，包含 3 組不連續面。第一組節理傾向為 345°、第二組節理傾向為 232°，構成楔型岩體，此兩組高角度節理皆有利於雨水入滲至岩層內部，岩塊由於第三組節理傾向為 110°貫穿破裂，沿第一組節理滑動，滑動方向傾向 290°與傾角 40°。



a. 落石來源岩盤

b. 落石來源弱面位態分析

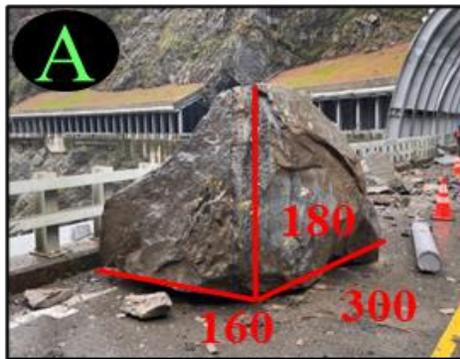
圖 4 本次落石崩塌區之岩盤弱面位態分析

2.2 PFC 3D 落石災害模擬

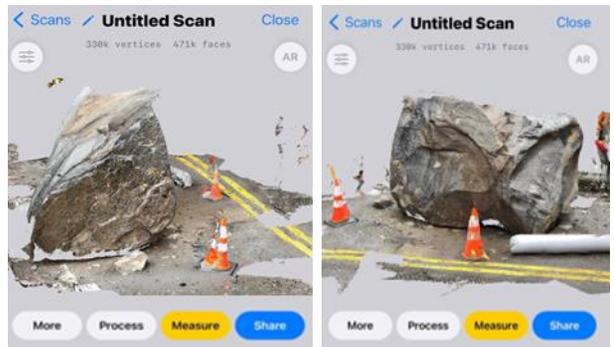
為了探討落石與鋼便橋之間的互制行為以及落石運移過程，使用落石災害模擬軟體 PFC 3D 進行落石模擬。PFC 基於離散元素法 (DEM) 軟體，透過顆粒間的鍵結行為模擬地質材料，藉以探討地質材料受力後的位移與鍵結變化。根據牛頓第二運動定律，它適用於描述落石的墜落和衝擊。數值模型中，落石發生區為兩塊完整岩塊，「現場調查量測」落石尺寸 A 岩塊為 3×1.6×1.8m³、B 岩塊為 3×2.8×1.7m³，並利用「手機光學雷達掃描儀 (LiDAR)」定量落石表面形狀並匯出點雲重建 3D 模型，落石幾何資訊如表 1。最後由「無人機航攝產製 DSM」作為災後之地表地形，整體過程如圖 5。

表 1 落石塊體幾何資訊

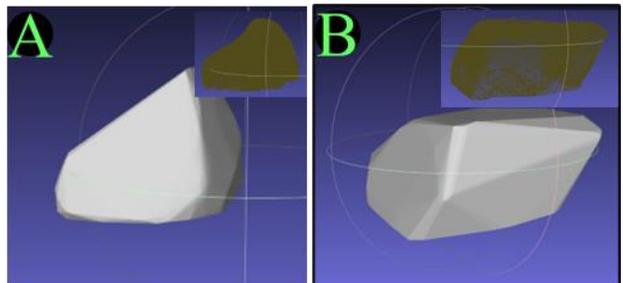
基礎資訊		數值	資料來源
落石尺寸[m] (x,y,z)	A	3.0*1.6*1.8	現場測量，發生區與道路高差 320[m]
	B	3.0*2.8*1.7	
落石質量[ton]	A	15.0	參數計算，單位重 2600 [kg/m ³]
	B	33.9	
落石體積[m ³]	A	5.76	3D 模型測量
	B	13.04	



a. 利用捲尺量測崩落橋上之岩塊尺寸



b. 利用 IPHONE13 PRO 手持方式掃描塊體

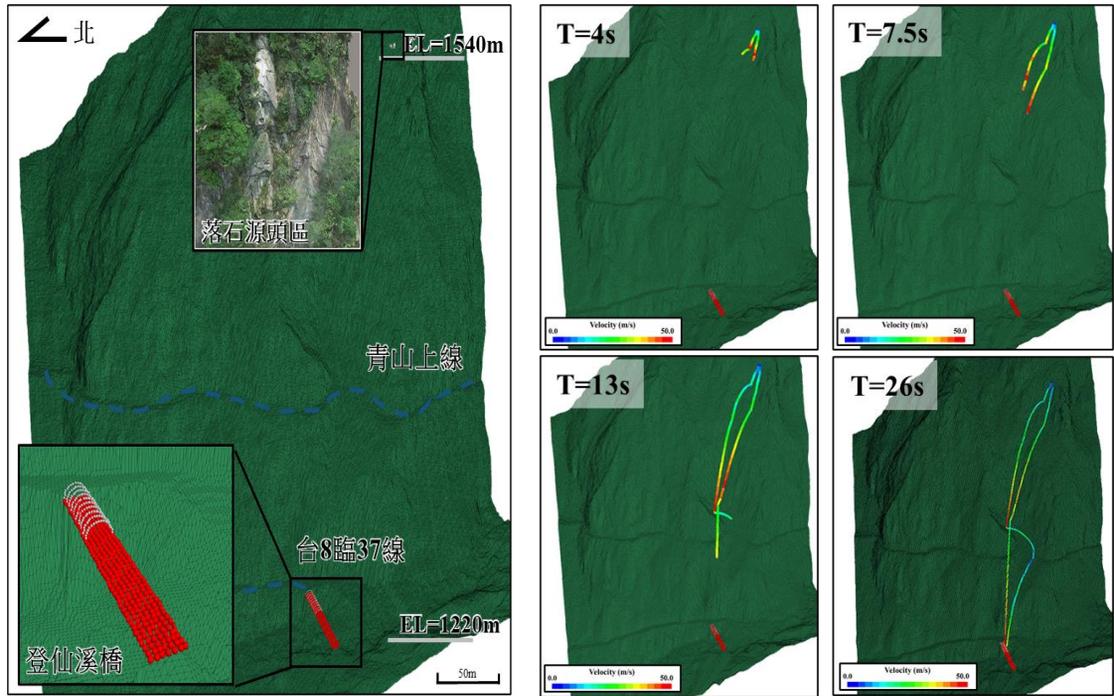


c. 將光達產生的點雲檔案建模

圖 5 建置 PFC 3D 程式中本次落石塊體數值資訊

根據現地坡面地質及橋上落石資訊，於 PFC 3D 中模擬落石源頭區為兩完整岩塊，隨後以自由落體方式崩落。其中 A 塊體運動過程中在 5 秒時，遭遇第一次撞擊；在 11 秒時，遭遇第二次撞擊；在 17 秒時，落石撞擊橋面。B 塊體運動過程中在 4 秒時，遭遇第一次撞擊，並沿著坡面彈跳；在 12 秒時，遭遇第二次撞擊並改變方向；在 17 秒左右發生在青山上線遭遇第三、四次撞擊；在 25 秒時，落石擊毀鋼拱，整體落下過程如圖 6。落石模擬之最終位置，與落石實際位置十分接近；且透過 109 年災前與 111 年災

後 3D 模型進行地貌特徵比較，比對出運移路徑通過的撞擊坑位置，與空拍影像中現地撞擊凹陷或擦痕，程式模擬與套疊比對結果相近，因此該模擬可信度高，可作為後續二次落石預測之基本模型。



a. 模擬本次事件之全區

b. 模擬落石崩落之時間序路徑

圖 6 PFC 3D 程式模擬本次落石塊體崩落過程

進一步解析本次落石衝擊情形，如圖 7。A 塊體撞擊橋面時最大速度 56.7m/s，動能為 54,492 KJ；B 塊體遭遇第二次撞擊時最大速度 49.5m/s，動能為 18,377KJ，撞擊橋面時速度 37.0m/s，動能為 10,268KJ。雖然 B 塊體質量大於 A 塊體，但 B 塊體撞擊橋面的動能較小，係因 B 塊體於坡面經過多次彈跳最後撞擊鋼拱側邊掉落橋面，其過程中有減速消能情形，又撞擊鋼拱能吸收剩餘能量再減慢塊體速度，發揮重要作用。然最終因巨石重創橋梁結構多處受損，橋面板破洞最大範圍約 4m，另 B 塊體撞擊處大梁致產生塑性應變及大梁嚴重挫屈變形，且整支大梁永久形變之撓度達約 30cm。

由於本路段之地形陡峭，仍存在多處倒懸岩塊，坡面上浮石多堆積於蝕溝內，可能為潛在落石來源，未來仍易發生落石災害。因此進一步模擬和評估潛在落石運移路徑，現場勘查發現附近有兩塊倒懸岩體，第一塊尺寸約為 17.3 m×9.8 m×5.5m，質量約 1282 噸；第二塊尺寸約為 6.8 m×6.1 m×3.8 m，質量約 185 噸，兩個塊體運移過程沿著坡面彈跳最後落在登仙溪上游側應不會擊中橋梁。

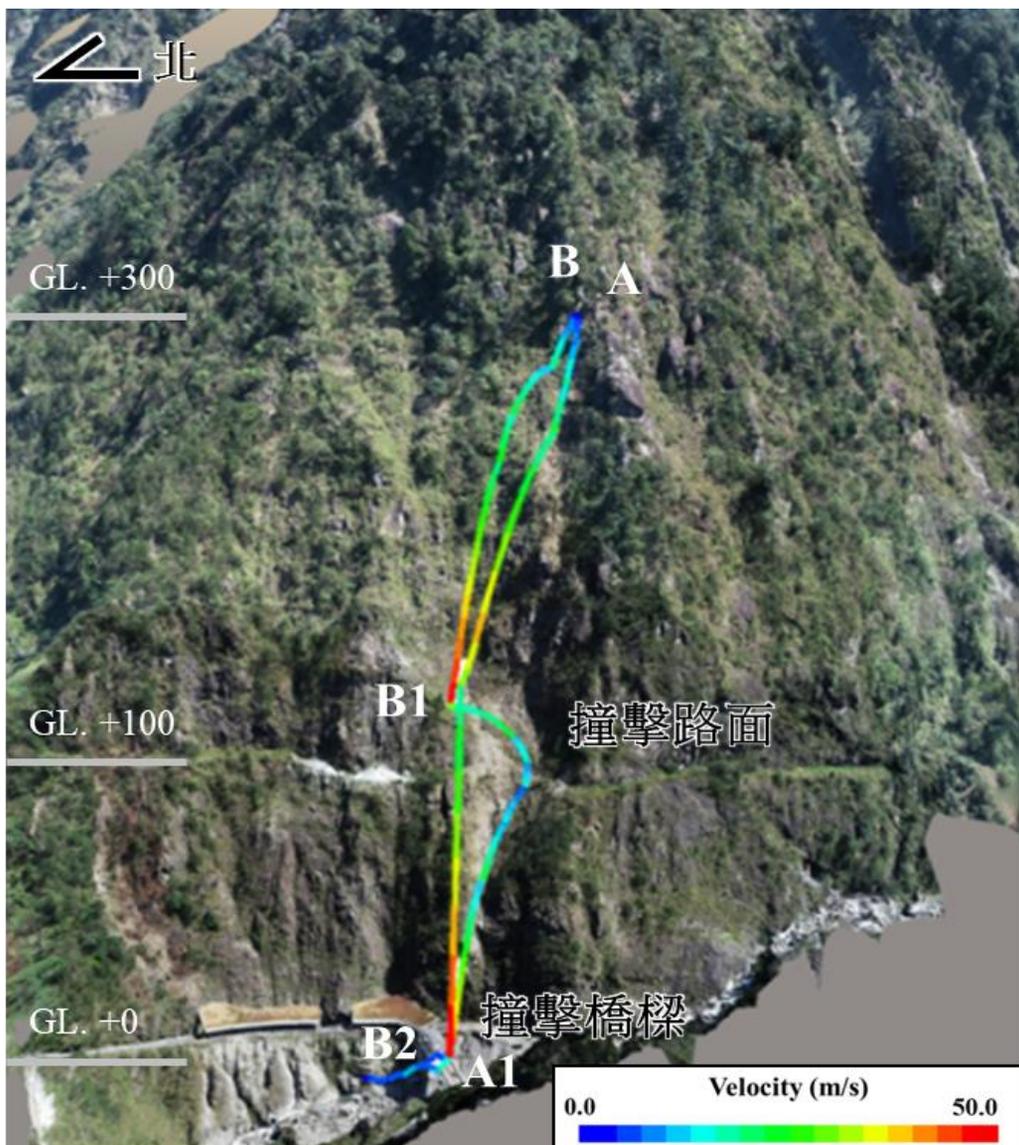


圖 7 PFC 3D 程式模擬本次落石塊體衝擊速度變化

三、落石衝擊橋梁結構受損機制

3.1 落石與結構體的數值模型

為了模擬落石塊體撞擊橋體的結構行為，根據橋梁結構圖建立橋梁的三維有限元素模型。結構體可分為鋼便橋（圖 8a）以及防護鋼棚（圖 8b）。混凝土橋面板使用線性固體元素模擬，鋼筋部分則是使用線性桁架元素模擬。如表 2 結構構件細節所示，橋體與防護鋼棚的鋼材由不同厚度的鋼板構成，構件 BH、SC1、SK1/SB1 以及 GA 使用具有有限膜應變的線性四邊形殼元素模擬，而橋體的橫梁及側向支撐 L 使用線性梁元素模擬。

橋梁的三維有限元素模型如圖 9 所示。

表 2 結構構件細節

編號	構件	鋼構斷面	材料
BH	橋梁	鋼板梁 - 1900×600×12×35	
L	橋樑的橫樑和側向支撐	角鋼 - 100×100×10	A572GR50
SC1	防護鋼棚	工字梁 - 488×300×11×18	steel
SK1/SB1	防護鋼棚的側梁	工字梁- 300×300×10×15	$f_y = 345 \text{ MPa}$
GA	防護鋼棚支撐梁	箱型梁 - 1800×950×19×22	

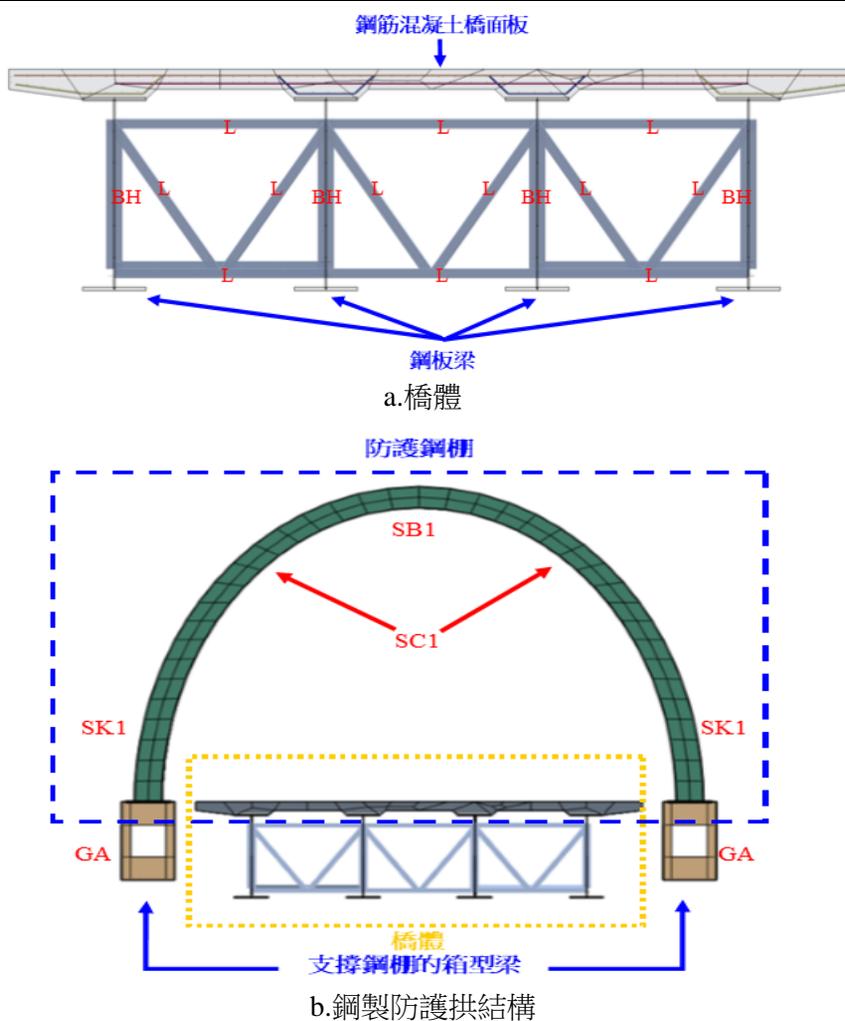


圖 8 有限元素模型結構圖

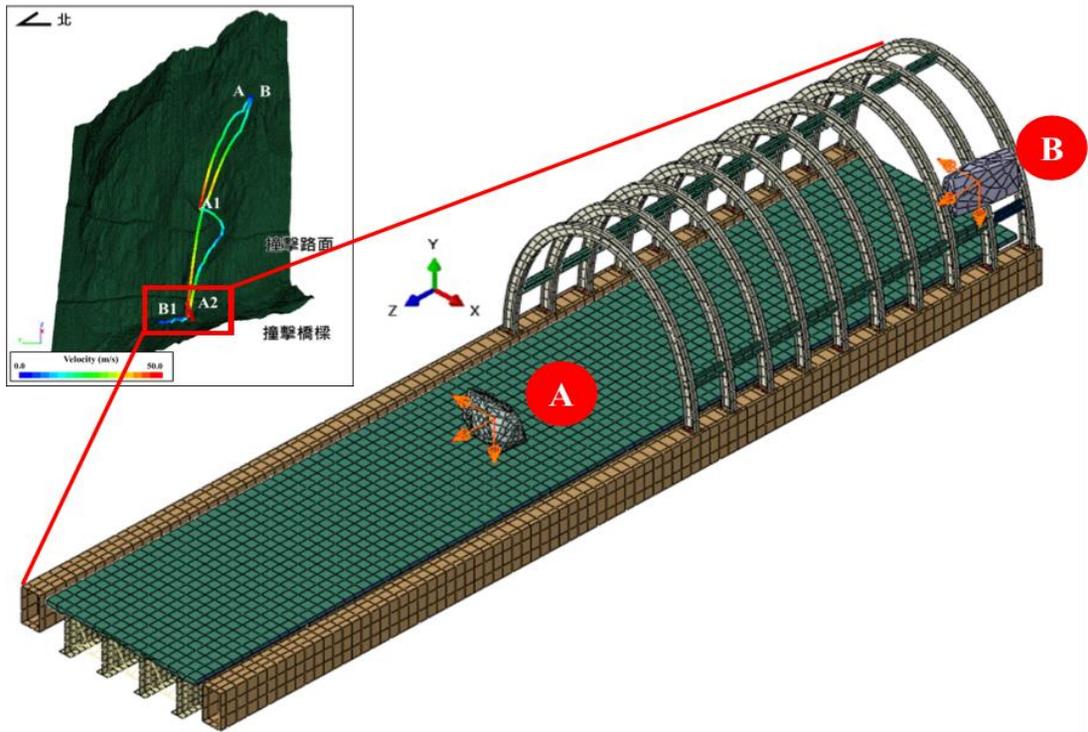


圖 9 橋梁三維有限元素模型

橋面板使用嵌入式約束 (embedded constraint) 模擬鋼筋與混凝土之間的交互作用，橋面板則是透過綁定約束 (tie constraint) 將底部的節點與鋼板梁 BH 頂部的節點相連，橫梁及側向支撐 L 同樣使用綁定約束與鋼板梁 BH 相連。為了模擬剪切斷裂，使用特殊連接元件 join connectors 如圖 10，模擬連接箱型梁 GA 與東側前三座防護鋼棚工字梁 SC1 的螺栓。根據 ASTM A307-M42 錨栓的特性，當剪力或拉力分別達到 278kN 或 463kN 時，每個連接器就會失效，SC1 將與 GA 分離。

落石塊體相對於結構體具有較高的剛度，因此在有限元素模擬中使用幾何中心具有質量 M 以及慣性矩 I_{ij} 的剛體建模 (表 3)。根據落石分析，計算出 A 塊體、B 塊體的衝擊位置與速度，進一步模擬撞擊防護鋼棚及橋面板。

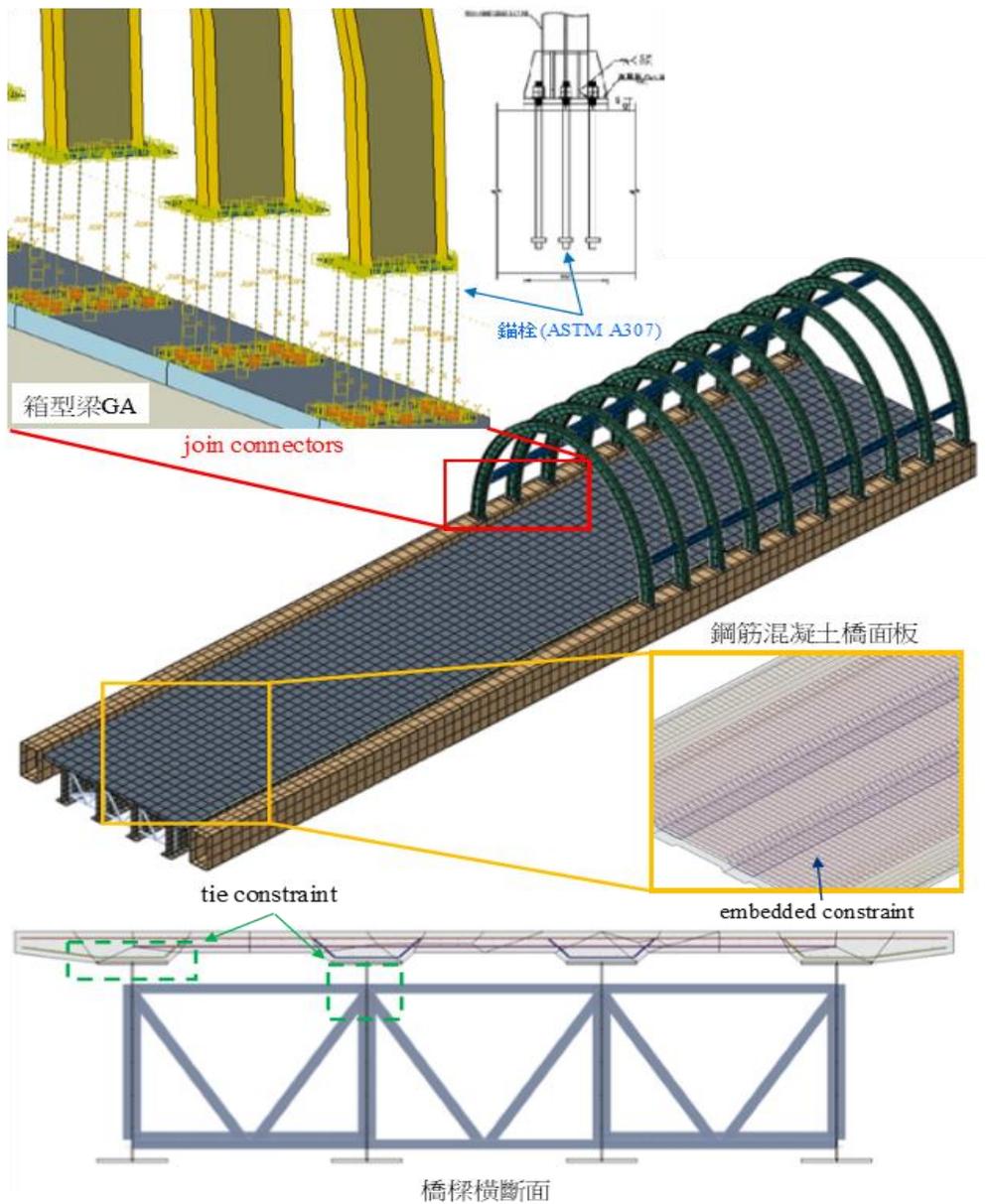


圖 10 橋梁模擬詳細情形

表 3 A 塊體與 B 塊體之質量 and 慣性矩

	M (ton)	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}	I_{xy}	I_{yz}	I_{xz}
		(ton·m ²)					
A 塊體	15	6.01	10.2	10	0.067	-0.58	-1.24
B 塊體	33.9	28.3	41.9	25.9	0.51	2.11	0.52

3.2 組成律

為了模擬落石衝擊過程中結構體的高應變率變形，使用與應變率相關的 Johnson-Cook (JC) 組成律模擬鋼材的損傷演進。JC 模型的硬化規則如下：

$$\bar{\sigma} = \sigma^0(\bar{\epsilon}^{pl})R(\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}) \quad (3.1)$$

$$\dot{\bar{\epsilon}}^{pl} = \dot{\epsilon}_0 \exp\left[\frac{1}{C}(R(\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}) - 1)\right] \quad \text{for } \bar{\sigma} \geq \sigma^0 \quad (3.2)$$

公式中 $\bar{\sigma}$ 為非零應變率下的降伏應力； $\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}$ 為等效塑性應變率； $\sigma^0(\bar{\epsilon}^{pl})$ 為靜態降伏應力； $\dot{\epsilon}_0$ 及 C 為材料參數； $\dot{\epsilon}_0$ 為參考應變率； $R(\dot{\bar{\epsilon}}^{pl})$ 為非零應變率下降伏應力與靜態降伏應力的比值。結合公式 (3.1) 和 (3.2)，與速率相關的降伏應力可以表示為

$$\bar{\sigma} = \left[A + B(\bar{\epsilon}^{pl})^n\right] \left[1 + C \ln \frac{\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}}{\dot{\epsilon}_0}\right] \quad (3.3)$$

其中 A 、 B 和 n 為材料參數。

當等效塑性應變 $\bar{\epsilon}^{pl}$ 達到由式 (3.4) 計算的 $\bar{\epsilon}_D^{pl}$ 時，材料開始損壞：

$$\bar{\epsilon}_D^{pl} = \left[d_1 + d_2 \exp\left(d_3 \frac{p}{q}\right)\right] \left[1 + d_4 \ln \frac{\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}}{\dot{\epsilon}_0}\right] \quad (3.4)$$

其中 p 是靜水壓力， q 是 Mises 等效應力。 d_1 、 d_2 、 d_3 和 d_4 為材料參數。根據 [9] 對降伏應力 $f_y = 345$ MPa 之鋼材進行 JC 模型的校準結果，本研究使用的材料參數總結於表 4。

表 4 結構用鋼材料參數

A (MPa)	B (MPa)	n	$\dot{\epsilon}_0$	d_1	d_2	d_3	d_4
356	760	0.62	1	0.296	1.184	-1.465	0.005

橋面板的鋼筋使用為理想彈塑性材料模擬，直徑 13 mm 和 16 mm 的鋼筋降伏強度分別為 $f_{sy} = 280$ MPa 以及 420 MPa。而混凝土使用損傷塑性組成律—modified Barcelona 組成律[10]模擬現場調查中觀察到的混凝土損傷和破碎。混凝土真實的應力應變曲線由 (3.5) 計算

$$\sigma = (1 - d)\mathbf{D}_0^{el} : (\boldsymbol{\epsilon} - \boldsymbol{\epsilon}^{pl}) \quad (3.5)$$

其中 $\boldsymbol{\epsilon}$ 是總應變張量， \mathbf{D}_0^{el} 為原始材料的勁度張量。由裂紋及損傷引起的勁度退化由 $(1 - d)\mathbf{D}_0^{el}$ ，其中 $(1 - d)$ 取決於壓縮和拉伸塑性應變引起的損傷變量 d_c 和 d_t ，

分別為

$$(1 - d) = (1 - s_c d_c)(1 - s_t d_t) \leq 1 \quad (3.6)$$

本研究採用透過損傷應變和塑性應變之間的關係來控制損傷變量的演變，即 $\varepsilon_{c/t}^d = b_{c/t} \varepsilon_{c/t}^{pl}$ ，其中下標 c/t 分別表示壓縮應變或拉伸應變。塑性降伏和塑性應變 ε^{pl} 的演變由下列降伏面 F 和藉由有效應力空間 $\bar{\sigma}$ 表示的非關聯流動勢 G 控制：

$$F = \frac{1}{1-\alpha} \left[\sqrt{3} \bar{J}_2 + \alpha \bar{I}_1 + \beta(\bar{\varepsilon}_p) \langle \bar{\sigma}_{max} \rangle - \gamma \langle -\bar{\sigma}_{max} \rangle \right] - c(\bar{\varepsilon}_p) \quad (3.7)$$

$$G = \sqrt{\bar{J}_2 + (e f_t(\bar{\varepsilon}_p) \tan \psi)^2} + \bar{I}_1 \tan \psi \quad (3.8)$$

其中 $\bar{I}_1 = \bar{\sigma}_{ii}$ 以及 $\bar{J}_2 = \frac{1}{2}(\bar{\sigma}_{ij} - \bar{\sigma}_{kk} \delta_{ij}/3)^2$ 是不變靜水壓力以及有偏應力的第二不變量 $\bar{\sigma}$ ； $\bar{\varepsilon}_p$ 為等效塑性應變； β 和 c 為硬化和軟化參數。 β 可由單軸抗壓強度與單軸抗拉強度的比算出， c 為混凝土抗壓凝聚力。材料參數 α 和 γ 為無因次常數，分別控制偏平面和子午平面中降伏面的形狀。表 5 總結混凝土模型採用的材料參數。

表 5 混凝土模型材料參數

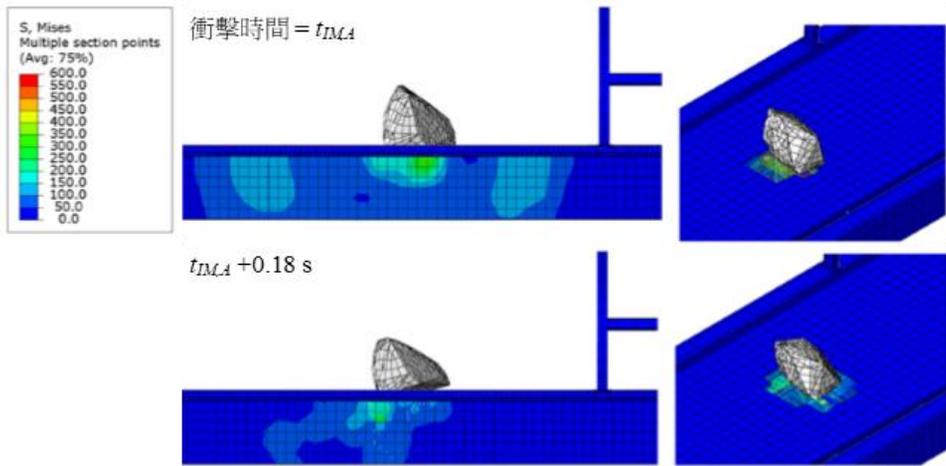
抗壓強度	抗拉強度	楊式模數	波松比	降伏面		流動勢		損傷			
f_{cc}	f_t	E_c	ν	α	γ	e	ψ	b_c	b_t	s_c	s_t
(MPa)	(MPa)	(GPa)									
28	1.64	26.7	0.2	0.12	3	0.1	30°	0.5	0.1	1	0

3.3 有限元素模擬結果

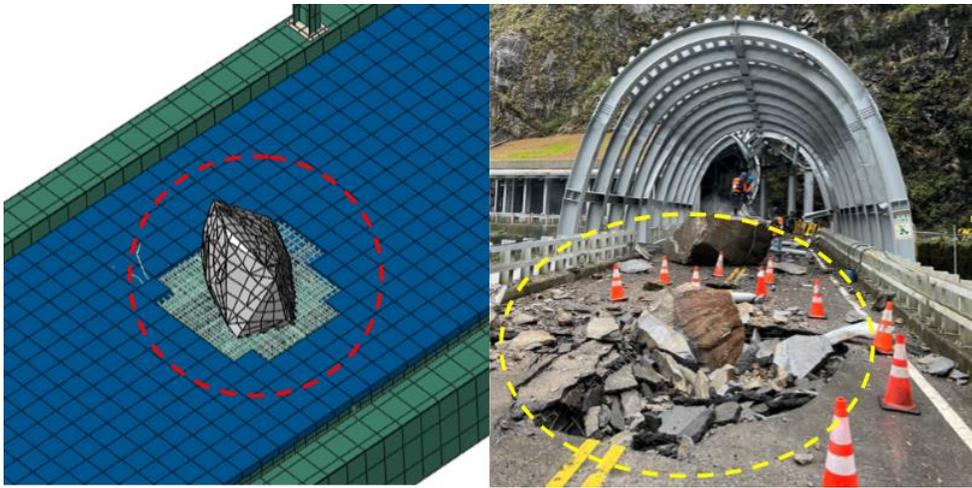
橋梁的三維有限元素分析能夠成功的模擬出結構體受到 A 塊體與 B 塊體衝擊的損傷，模擬中的損傷定義為等效塑性應變 (PEEQ)，如下：

$$\bar{\varepsilon}^{pl} = \int_0^t \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\varepsilon}^{pl} : \dot{\varepsilon}^{pl}} dt \quad (3.9)$$

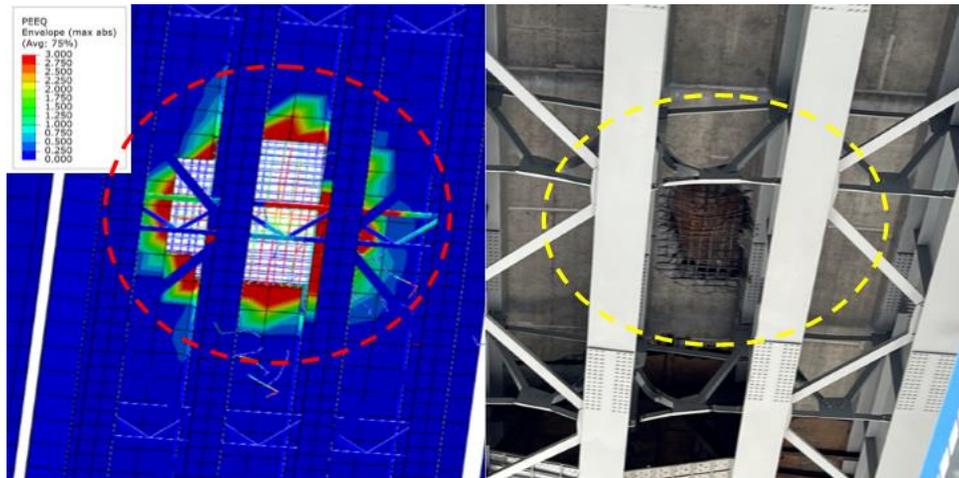
從圖 11a 可以看到結構體模擬受 A 塊體衝擊時，橋體的 Mises 應力分佈。透過從模擬結果圖 11b 可以看到橋梁中跨附近的橋面嚴重損毀，混凝土橋面被完全壓碎、鋼筋發生嚴重塑性變形。不僅橋面損毀，塊體穿透橋面板後也造成橋面板下方鋼板梁出現凹痕形式的局部塑性變形、橫梁附近的斜向支撐也嚴重的挫曲、斷裂，如圖 11c。



a. 結構體受衝擊時的 Mises 應力分佈



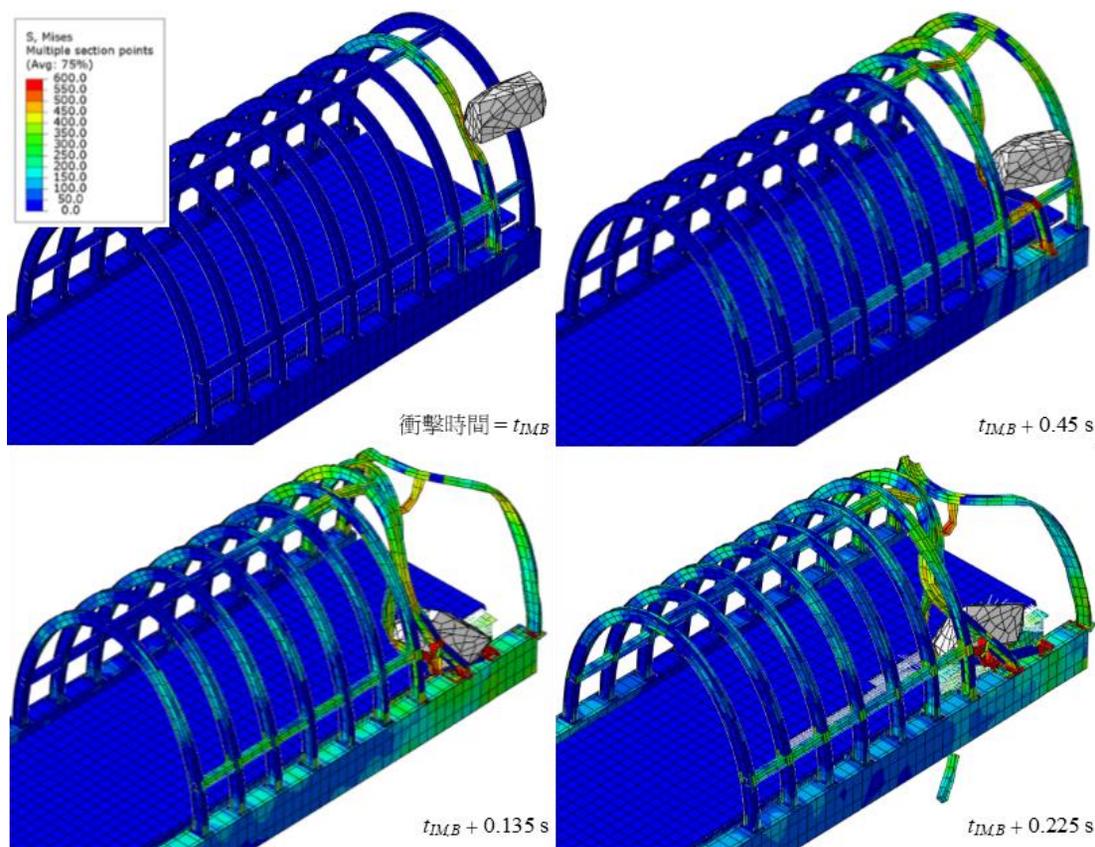
b. 橋面板壓碎



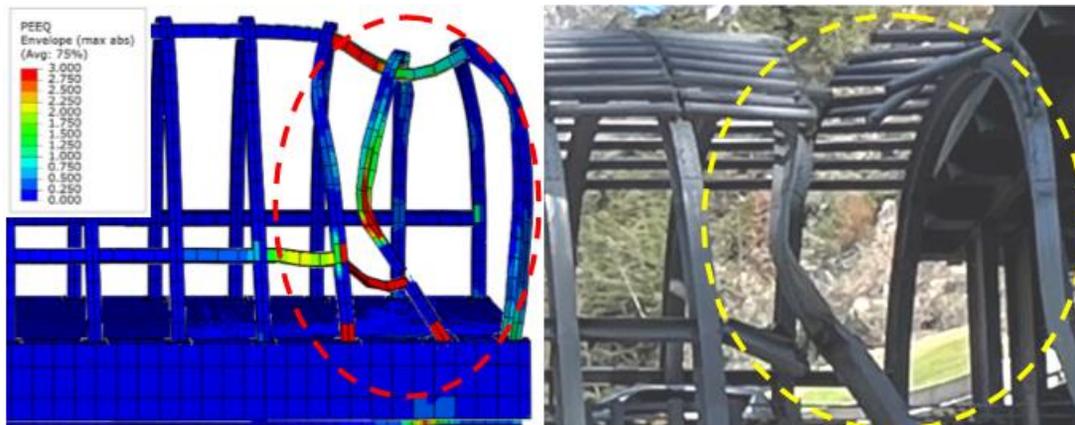
c. 鋼板梁、斜向支撐塑性變形

圖 11 結構體受 A 塊體衝擊破壞之模擬結果

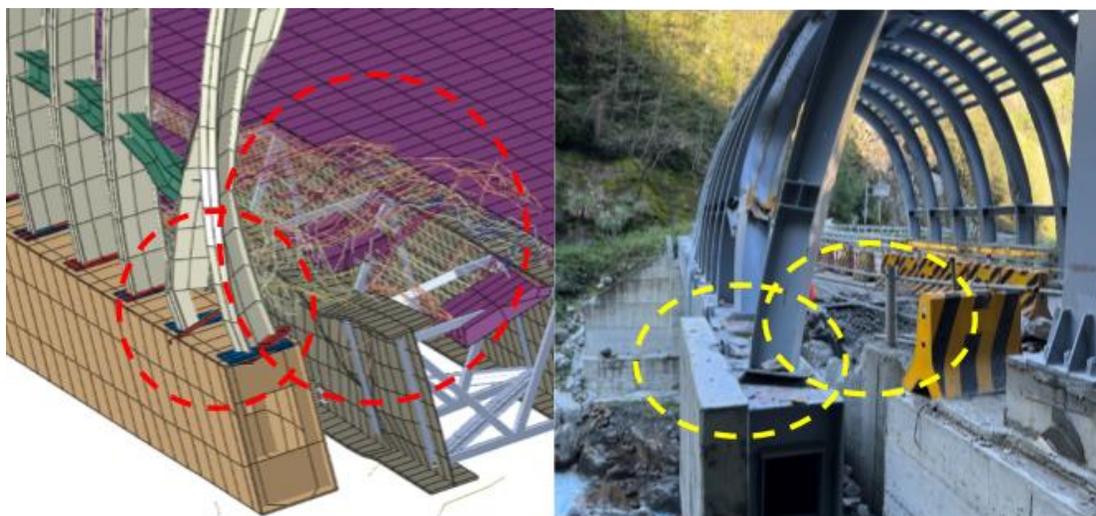
從圖 12 可以觀察到 B 塊體衝擊橋體前先穿透防護鋼棚，而防護鋼棚無法消散落石夾帶的大量動能，落石的衝擊造成東側第二座拱結構 SC1 挫曲，如圖 12b，連接鋼棚的側梁 SB1 與 SK1 受到瞬間的拉力而斷裂，第二座拱結構 SC1 因為側梁 SB1 的拉力與落石的衝擊扭轉，衝擊點附近連接箱型樑 GA 與東側前三座拱結構工字梁 SC1 的螺栓因為衝擊瞬間的剪力與拉力使得錨栓接頭剪切斷裂（圖 12c），失效的防護鋼棚無法防止落石侵入橋體，落石衝擊橋面時能攜帶大量動能造成橋面板嚴重損毀。受衝擊區域被完全壓碎、鋼筋變形（圖 12c），支承橋面板的鋼板梁 BH 也因為落石衝擊產生凹痕形式的塑性變形（圖 12d）。



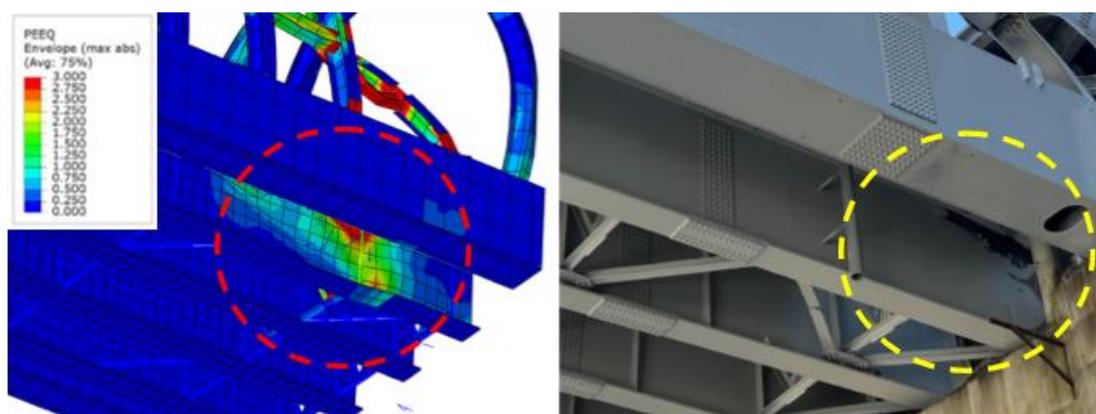
a. 結構體受衝擊時的 Mises 應力分佈



b. 拱結構 SC1 挫曲



c. 錨栓接頭剪切破壞與橋面板破碎



d. 鋼板梁塑性變形

圖 12 結構體受 B 塊體衝擊破壞之模擬結果

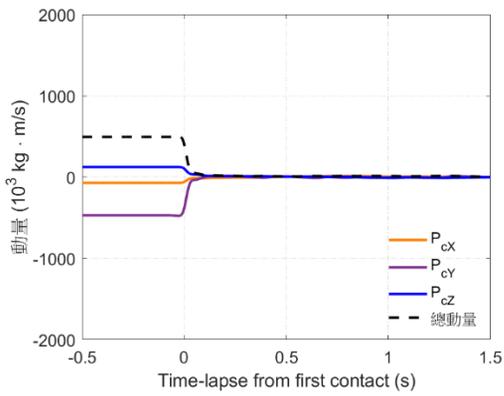
3.4 衝擊力分析

落石為本路段預期的自然災害，因此建立防護鋼棚避免橋體受到落石的衝擊以及保護路人的安全。然而鋼棚在本次災害中雖能降低衝擊能量，唯因衝擊力遠超乎設計，故造成橋體受到嚴重的損害。落石衝擊的衝擊力向量可以透過兩種方法計算：(1) 將總接觸面積 A_c 的接觸應力 σ_{ji} 積分(公式 3.10)以及(2)計算岩石動量的變化率(公式 3.11)

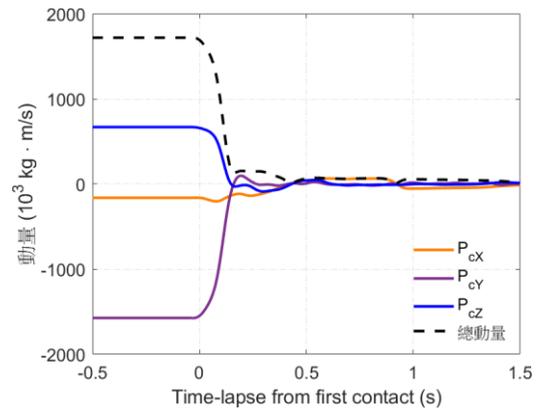
$$F_{ci} = \int \sigma_{ji} \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{n}_j \cdot \mathbf{n}_n dA_c = \sum_j \int \sigma_{ji} \mathbf{n}_i dA_{cj} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{F}'_{ci} = \dot{\mathbf{P}}_{ci} = m \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} \quad (3.11)$$

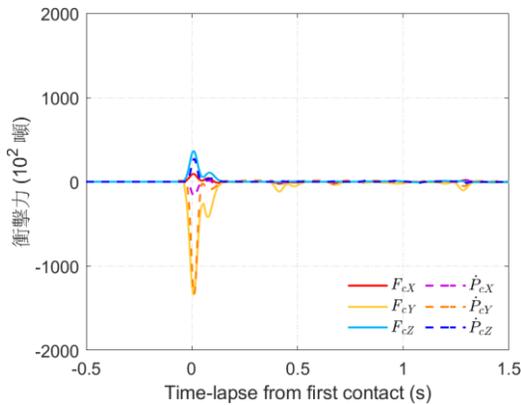
公式中 $\mathbf{n}_i = n_x, n_y, n_z$ 為卡式座標上的單位向量； \mathbf{n}_n 為面積 dA_c 上的法向量而 dA_{cj} 為 dA_c 在 \mathbf{n}_j 上的投影面積； m 為岩石的質量而 \mathbf{v}_i 為瞬間的速度。如圖 13a 及 b 所示，本次災害中兩顆落石在衝擊結構體大約 0.2~0.3 秒的瞬間把自身夾帶的動量分別為 $0.503 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 及 $1.745 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 傳遞到結構體，如此龐大的動量在短時間對結構體產生強大的衝擊力。A 塊體和 B 塊體產生的最大衝擊力分別為 141 噸及 207 噸，如圖 13e 和 f 所示。鋼棚的設計可以承受 45 噸的衝擊力，然後 B 塊體對鋼棚造成的實際衝擊力為原設計的 4.5 倍。預期外的高衝擊力可能是造成鋼棚和橋梁結構嚴重損壞的原因



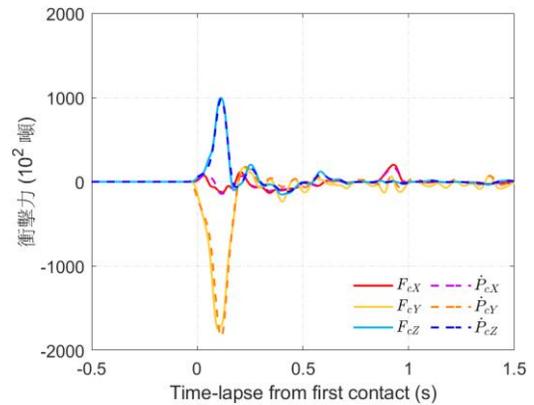
a. A 塊體在撞擊結構體期間的動量變化



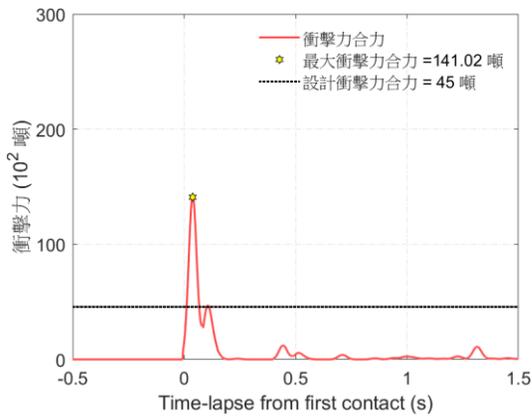
b. B 塊體在撞擊結構體期間的動量變化



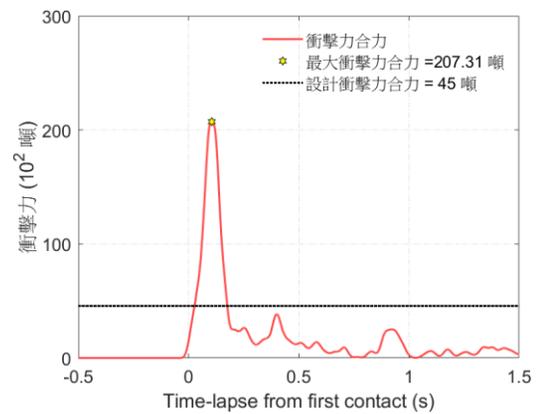
c. A 塊體衝擊力分量



d. B 塊體衝擊力分量



e. A 塊體的設計與模擬衝擊力合力之比較



f. B 塊體的設計與模擬衝擊力合力之比較

圖 13(a) A 塊體和 B 塊體之衝擊力模擬結果

四、災損調查及基本維生搶通

災後第一時間，谷關工務段即抵達現場進行災害調查，落石主要撞擊點有兩處，第一處靠近 A2 端上游側之鋼構保護架，貫穿四支拱肋後撞擊至橋面板，橋面受損位置偏上游側車道，裂損寬度約 3m×2m；第二處直接撞擊橋面，受損位置為橋中央分向限制線上，裂損寬度約 4m×4.2m，橋梁受損情形如圖 14 所示。



圖 14 橋梁受損情形

由於 2 月 21 日災損，228 連假中橫便道需提供大梨山居民返鄉，搶通壓力甚大。然而橋梁受損十分嚴重，故公路總局第二區養護工程處劉處長即帶領勘災及檢視橋梁受損狀況（如圖 15）。指示於現場搭設前進指揮所並研擬搶通對策後，發佈新聞稿說明受損情形及預計 2 月 28 日恢復基本維生通行。

其後，橋檢團隊經現場橋梁目視檢測及空拍機自橋下詳細飛行，掌握全橋受損狀況：兩側橋台各支承墊均有局部破損、梁間隔梁構件斷裂或扭曲變形、G2 及 G3 大梁挫屈變形、G3 大梁與橋面板分離，大梁鉚道斷裂等，如圖 16。另搶通期間，公路總局總工程司親臨現場視察搶通進度，針對諸多後續復建關鍵議題提供重要決策，如緊急維生搶通策略、中期安全修復方式、受損大梁再利用之可行性...等，皆為十分寶貴且切合現地，詳下節。

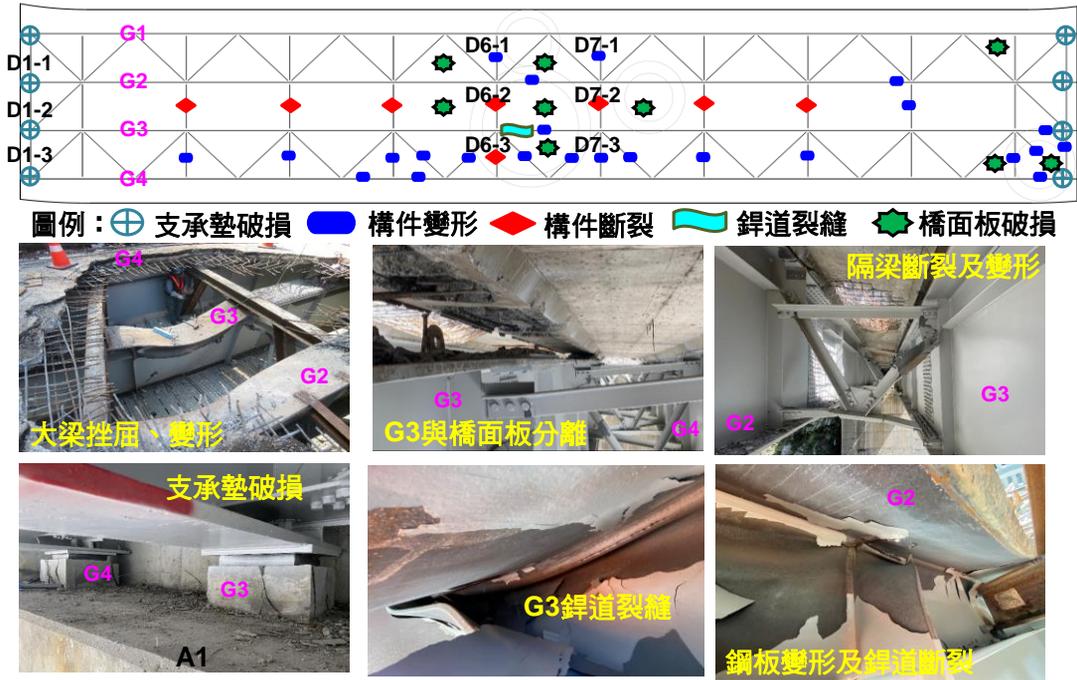


圖 15 初步檢視橋梁劣化對應位置及照片

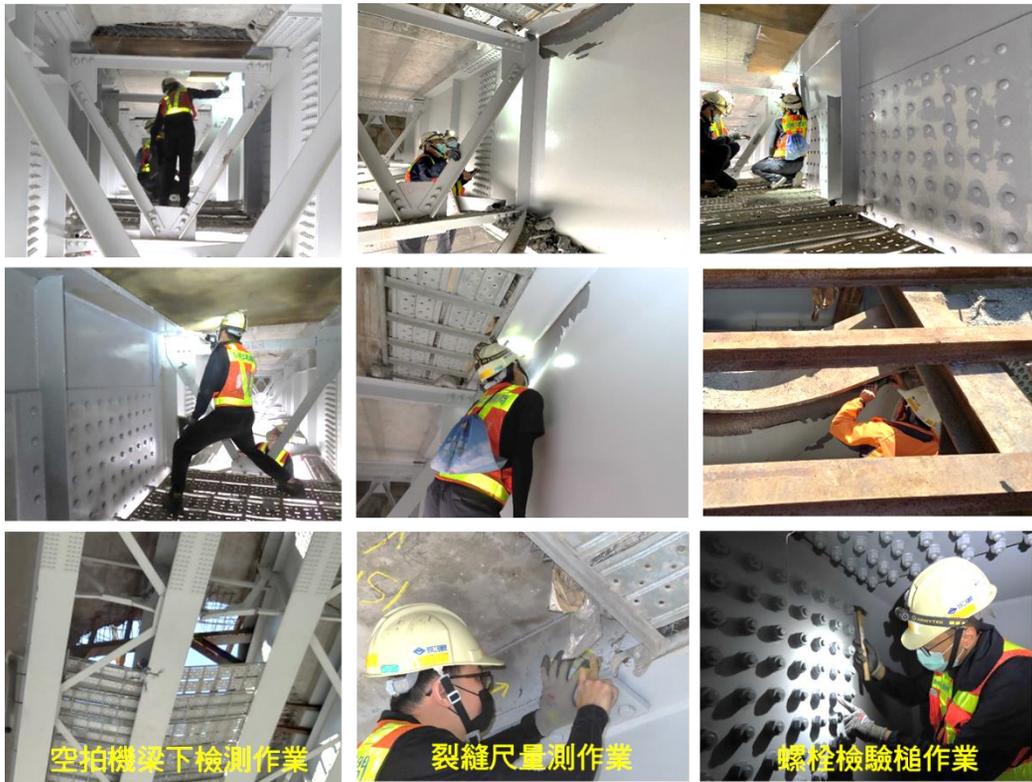


圖 16 空拍機檢測及目視檢測作業

擬定搶通策略後，即安排各種工班、排定時程、風雨無阻積極調度，期能提前搶通。首先將橋上碎石清除，再進行巨石裂解；其後橋面坑洞進行修補，包含局部大梁受損嚴重，於變形處之大梁上方架設鋼梁支撐並鋪設鋼板，如圖 17。再於搶通恢復基本維生前，進行安全檢查，並決策不宜一次開放到中橫便道可通行之最高車重（17 噸之前後單軸貨車），而採逐步修復、階段性逐步放寬通行車重，以確保通行安全。經搶通團隊運作積極順暢，較原訂提前 2 日恢復小型車及市區客運乙類大客車（豐原客運 865 路）通行，並發佈新聞稿及辦理地方說明會對外說明，獲大梨山居民肯定搶通效能佳，能在 228 連假前即恢復通車，讚許久久不絕。另交通部政次、公路總局局長等，特別前來慰勉辛苦搶通團隊，如圖 18。

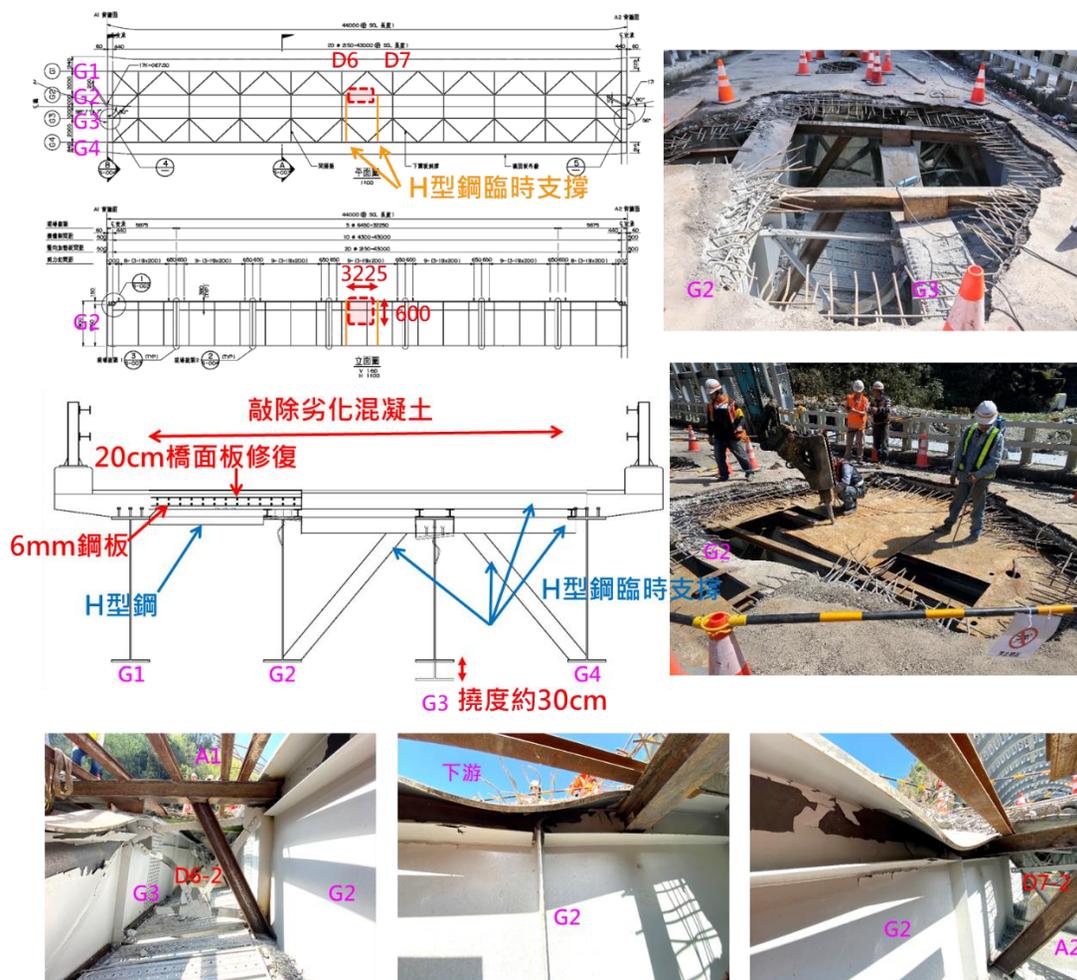


圖 17 鋼梁臨時搶修圖及作業情形



a. 陳政次及陳局長視察後與二工處及谷關段同仁合影



b. 陳政次致贈慰問禮品



c. 鄧總工程司赴現地視察指導



d. 辦理地方說明會說明搶通策略



e. 搶通有成獲民代及民眾讚許

圖 18 搶通期間各方之慰勉、指導及肯定

五、中期復建及安全強化

5.1 中期復建關鍵課題

復建工程所採工法需能兼顧中橫便道通行，否則會衝擊大梨山地區基本維生及民生運輸。由於本次受災鋼便橋跨越登仙溪，如以交維改道方式於上游側設置通行便道（橋），復建期間如遇汛期或颱風，跨河段便道遭沖毀之風險高，如圖 19。故在評估橋梁安全可供通行空間後，捨另逐便道而採半半施工方式進行橋梁修復。



圖 19 鋼便橋上下游登仙溪之流況

公路總局鄧總工程司於 111 年 3 月 2 日親臨現場視察，針對如何復建之關鍵議題，仰觀邊坡情形、俯察登仙溪流況及勘查橋梁受損狀況後裁示：

1. 第一階段先以下游側 G1~G2（連結外側鋼箱梁）維持通車。
2. 切除挫屈鋼梁，以重新加鉚鋼板方式修復 G2 受損橋梁段。
3. 新設 G3~G4 大梁，並評估拆下來的鋼梁作為 G2、G3 間增設鋼 I 梁之用。
4. 後續新設橫隔梁，採鉚接方式連接。
5. 新製鋼板板材採 A572 Gr.50。
6. 研擬採吊車或於兩端橋梁架設門架方式進行吊梁。
7. 鋼構保護架延長為全橋架設，縱向加勁採加設 2 支縱梁，另穹頂增設高強度加勁混凝土。
8. 加勁混凝土研擬至少從 A2 端 1/2 橋長範圍內全周閉合，其他區段上游側閉合，下游側縱梁以下開孔方式，增加採光性。

因修復程序十分繁複，總工程司十分關切本次橋梁損壞如何周延妥適修復，應工程處之邀，於 3 月 23 日再進一步針對鋼構保護架結構分析及吊梁規劃等研商後指示：

1. 鋼構保護架增設 20 公分碳纖維混凝土，需提出該纖維混凝土施工及檢驗方式，

且相關纖維材料不應有限制競爭情形。

2. 鋼構保護架纖維混凝土由兩端澆置形成整體拱結構後，再向中央澆置。澆置混凝土時先設立臨時支撐，以維施工階段穩定。
3. 鋼箱梁需校核承受各階段載重時是否需增設加勁構造。
4. 原鋼箱梁之支承配合鋼構保護架載重檢核修復，需配合設計防止落橋措施及緩衝材以吸收衝擊力；意即支承於承受常時載重時皆維持正常運作，於衝擊力發生時，可容許局部變形破壞，以達消能。
5. 修復鋼 I 大梁施工吊裝方式，可採現地門架或吊車兩種方案。
6. 設計活載重比照 21k+700 鋼橋之標準 (H20)。

5.2 第一階段復建-下游側補強及拓寬

基本維修搶通後，僅供 3.5 噸以下小型車及市公車中巴通行，尚需補強結構到供 17 噸以下貨車通行，避免大梨山果農運輸需繞行台 14 甲合歡山路段。考量現況橋寬僅 8m、上游側兩支大梁嚴重受損非短期可修復，規劃利用下游側損傷較不嚴重之 G1 及 G2 大梁與外側 GA 鋼箱梁連結，俾益拓寬供通行空間。又考量需掌握受損補強後之橋梁結構行為，規劃於鋼箱梁下翼板、修復鋼 I 梁下翼板及腹板兩側等裝設應變計，如圖 20。

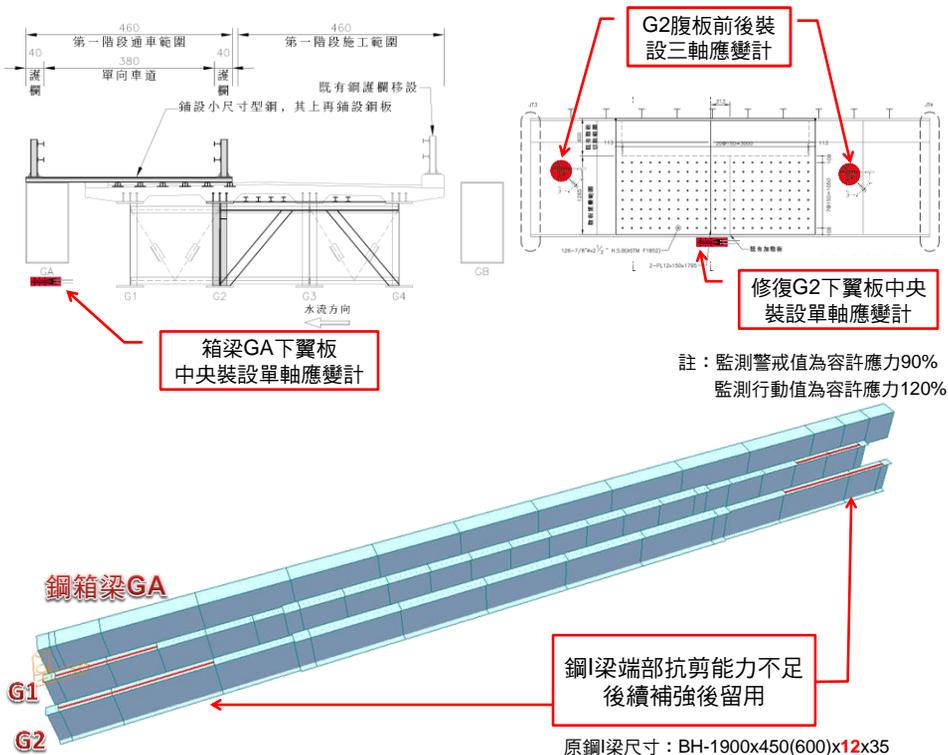


圖 20 採下游側拓寬及裝設應變計監測結構行為

依據公路橋梁檢測及補強規範，採 AASHTO Guide Specifications for Strength Evaluation of Existing Steel and Concrete Bridges (1989) 辦理橋梁承載能力評估，分析結果修復後尚可承載 21 噸大貨車，達到中橫便道進出車輛管制 17 噸以下大貨車通行之標準。本階段復建主要需將 G2 大梁嚴重變形段（上翼板及腹板局部）予以切除（ $3\text{m}\times 0.6\text{m}$ ），再與新製作之 T 型鋼梁接合修復，其後再組搭主橋下游側連結外側鋼箱之小梁系統，如圖 21。



圖 21 G2 大梁修復及下游側上構補強拓寬後可供通行情形

5.3 第二階段復建-全橋修復

考量 G3 及 G4 大梁受損程度十分嚴重，修補不具效益，採重新製梁；另評估拆卸後尚可使用之單元，整併為一支 G2'大梁，佈設於 G2 與 G3 之間。如此，除可提升整體橋面結構強度外，亦可於半半施工時作為臨時支撐使用，具高度效益。又詳細檢查大梁間之橫梁，多數已局部變形、斷裂或掘曲，故新設之橫梁改採鋼板橫梁系統，強化力量傳遞機制及整體勁度。全橋修復步驟如圖 22：利用下游側供民車通行，修復上游側上構；其後切換，修復下游側上構。

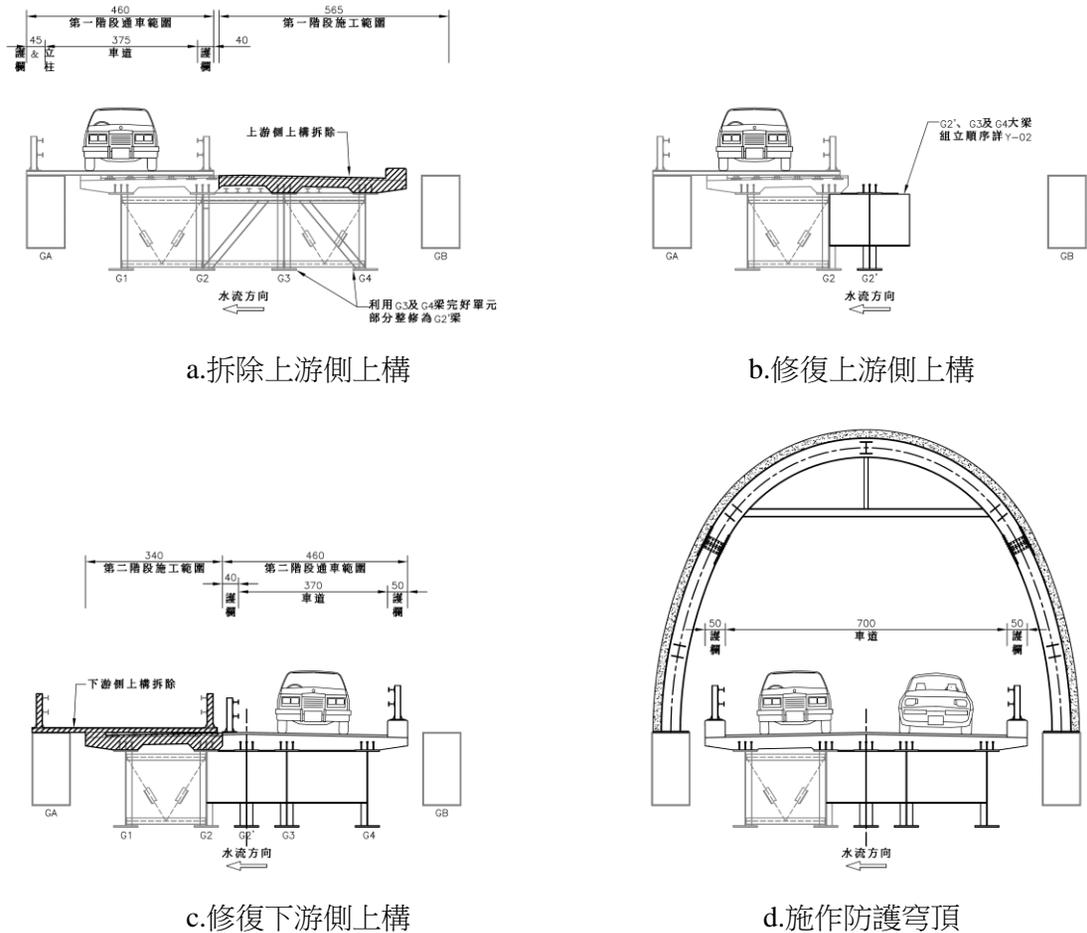


圖 22 半半施工順序示意圖

為提升鋼構保護架之防護力，乃由原 18 公尺延伸為全橋設置，並強化穹頂勁度；為提升穹頂混凝土耐衝擊性能，乃向臺北科技大學李有豐教授請益，其提出目前混凝土中加入碳纖維之研究顯示 [11]：透過短纖維可在混凝土中隨機均勻分布，於發生細微裂縫時即產生橋接作用（圖 23），達到抑制大型裂縫產生之情形，以降低破壞機率。一般常被應用於剛性路面、碼頭鋪面、機場跑道或受塊石撞擊之結構物。其材料特性除

高強度外，亦有耐疲勞及及抗衝擊力之優點，於本案之鋼構保護之頂板採用具相備高效益。

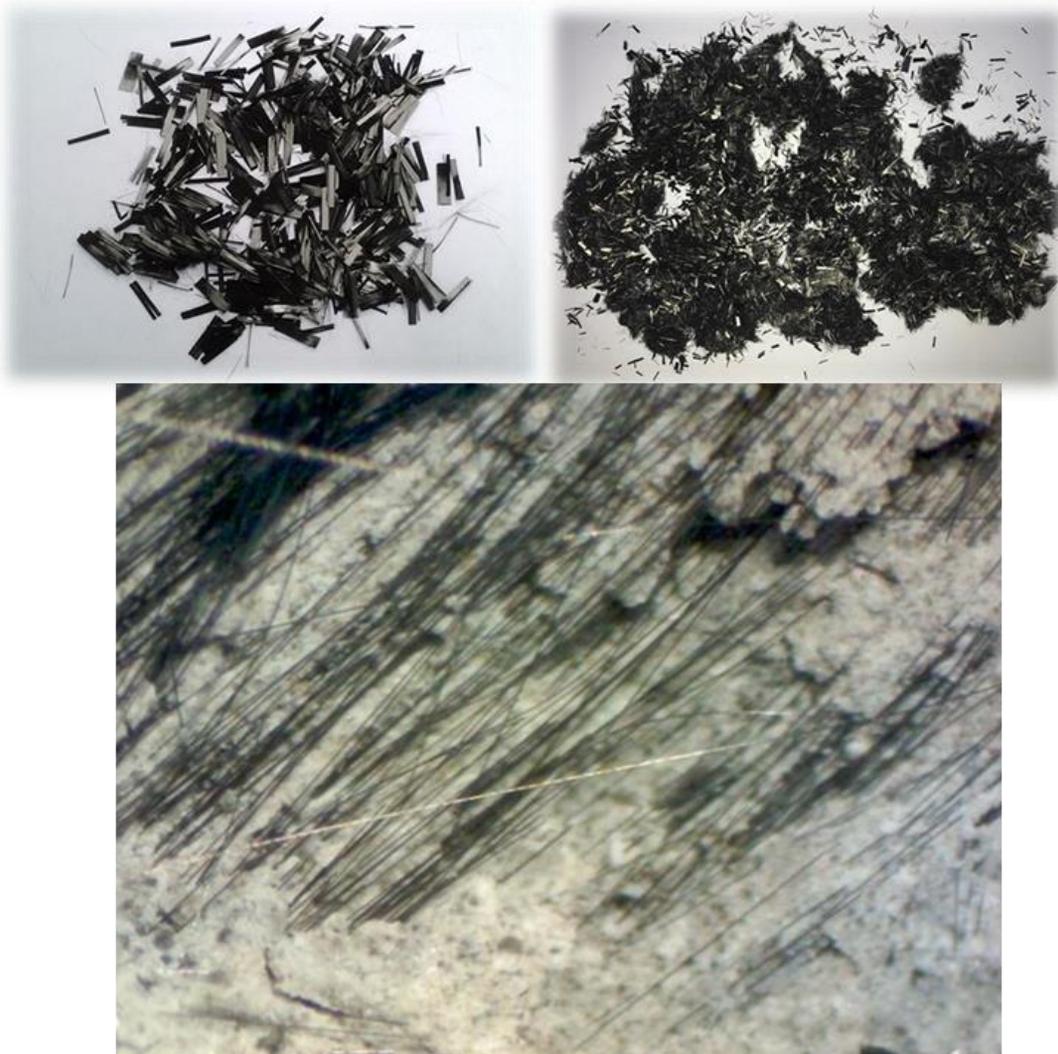


圖 23 碳纖維混凝土拉裂短纖橋接照片 [11]

全橋上方之拱形鋼構保護架上灌置碳纖維混凝土板所增加之靜載達約 420 噸，經分析如採一次澆置，則既有拱肋構件無法有效承載，故設計採三階段對稱澆置：由兩端往中央方向閉合，每階段大約澆置 13.7m~16.6m 範圍。如此，可確保拱肋構件不會在澆置過程發生局部挫屈。另為採光，設計於近 A1 端部分採鋼構保護架兩側對稱各開 5 孔，如圖 24。經分析，穹頂經碳纖維混凝土加勁後，鋼構保護架容許落石載重可由 50 噸提升至 290 噸，落石防護力提升近 6 倍，大幅提升抗落石防護能量，強化本路段用路安全。

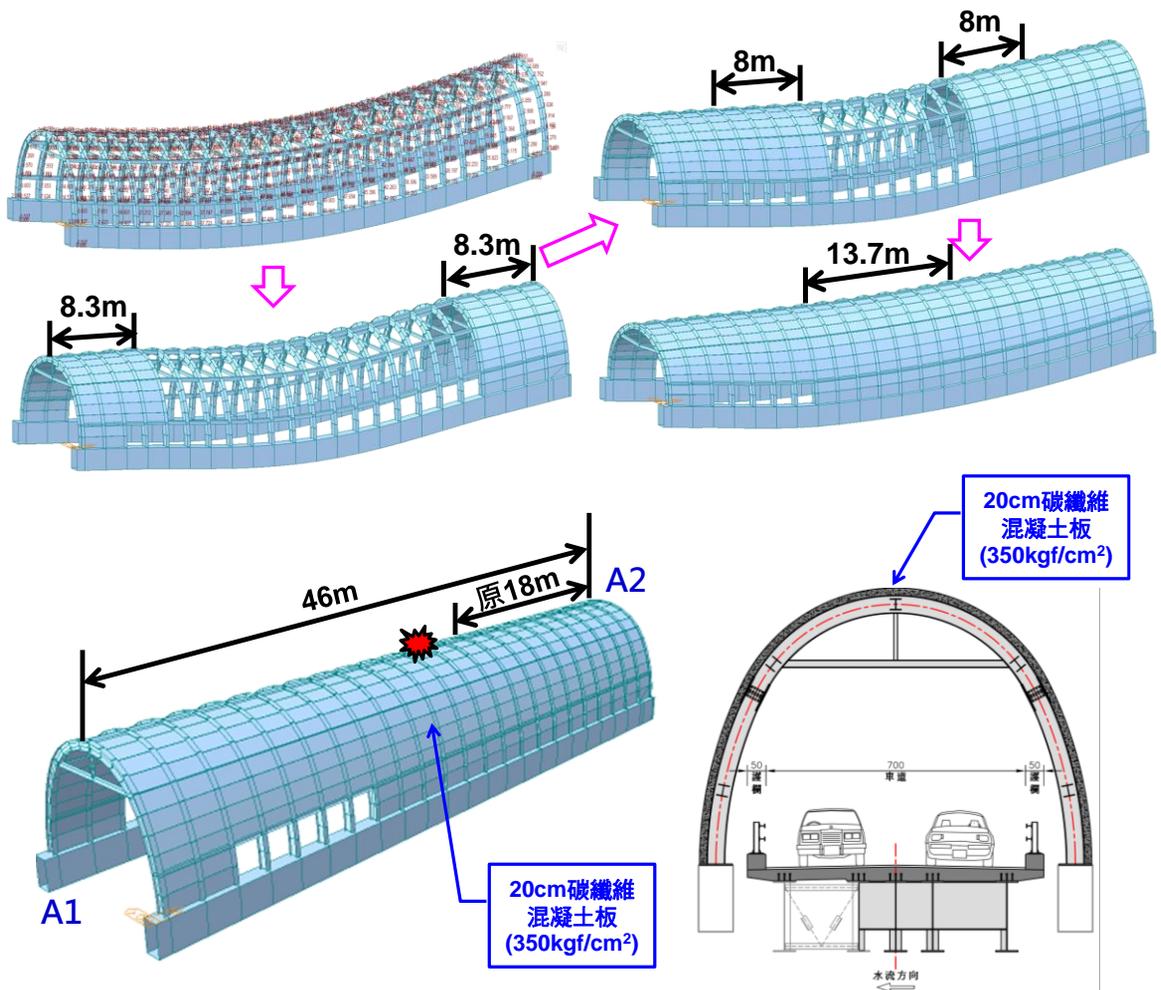


圖 24 碳纖維混凝土板澆置順序分析模型

六、結論與建議

危聳邊坡下之橋梁上方鋼構保護架，由原 18m 延伸為 46m、澆置碳纖混凝土以強化穹頂勁度，得以提升整體耐落石之衝擊能力。另修復策略上，詳加調查橋梁受損情形，再觀察登仙溪之流況，捨棄河中便道搭配全橋一次修復，而採半半施工以兼顧通行需求，可降低汛期沖毀便道而全面阻斷無法通行之風險。各項決策皆契合現地需求，可謂結構概念運用到位且實務經驗豐富的決策。而山區路段落石風險始終都在，結構物之佈設、用路防護等，建議應通盤周延考量通行需求、周圍邊坡地質、道路橋梁受損情形及野溪沖刷等，方能構建出經濟安全可行之優選方案。

七、誌謝

本次橋梁嚴重受損之搶修，二工處劉處長世桐不辭寒風降雨，前往勘查律定搶通策略，又每日追蹤進度及通車前再詳細履勘；力邀公路總局鄧總工程司文廣視察及迅速審定復建方案。對各個過程皆悉心運籌帷幄而掌握有度，在此獻上誠摯感謝之意。

八、參考文獻

1. 交通部公路總局，「中橫公路台 8 線及台 8 甲線谷關至德基路段便道搶通計畫」，97 年 6 月。
2. 交通部公路總局，「中橫公路谷關至德基便道搶通修正計畫書」，99 年 8 月。
3. 交通部公路總局第二區養護工程處，「中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全與可行性評估、探討服務工作（第 1 期）報告」，105 年。
4. 交通部公路總局第二區養護工程處，台 8 臨 37 線（中橫便道）易致災路段復建工程委託設計成果，104~106 年。
5. 陳嘉盈、呂正安，「中橫公路復建工程設計及管理之經驗分享」，107 年 3 月，公路工程第 44 卷第 3 期，P.2~P.32。
6. 呂正安、林進基，「山區公路採 F 型鋼護欄增加路幅案例分享」，Engineers Times，第 1169 期，108 年 5 月。
7. 陳嘉盈、呂正安、盧勇廷，「中橫便道開放市區客運乙類大客車通行安全評估暨通車整備分享」，臺灣公路工程，第 45 卷，第 3 期，2-29 頁，108 年 3 月。
8. 劉世桐、邵維國、呂正安、張博翔，「中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全性評估」，臺灣公路工程，第 47 卷，第 7-8 期，33-52 頁，110 年 8 月。
9. Ying Li、Weiguo Wu、 Haiqing Zhu、 Zhen Wu，「The Influence of Different Pre-Formed Holes on the Dynamic Response of Square Plates under Air-Blast Loading」，Engineering Failure Analysis 2017, 78, 122–133.
10. J Lubliner、J Oliver、S Oller、E Oñate，「A Plastic-Damage Model for Concrete」，International Journal of Solids and Structures 1989, 25, 299–326.
11. Yeou-Fong Li、Kun-Fang Lee、Gobinathan Kadagathur Ramanathan、Ta-Wui Cheng、Chih-Hong Huang、Ying-Kuan Tsai，「Static and Dynamic Performances of Chopped Carbon-Fiber-Reinforced Mortar and Concrete Incorporated with Disparate Lengths」，MDPI，Materials 2021, 14,972。

「標線改造，南投好行」交通工程經驗分享

蔡宜宏¹、許朝勝²、洪楸修³、簡台穎⁴、陳韻盛⁵

摘要

公路與用路人最直接相關的就屬於交通工程，而交通工程又細分為標線、標誌、號誌及照明等項目，「標線」用以管制交通，係表示警告、禁制、指示之標識，以線條、圖形、標字或其他導向裝置劃設於路面或其他設施上。標線依循「需要性、醒目性、易讀性及一致性」之基本要求，在 AC 路面這塊畫布上作畫，導引用路人行進方向。

爰此，南投段為減少事故、改善車流使通行順暢，藉由肇事紀錄統計分析、道安單位會勘意見、交通量數據、導入科技運用 UAV(無人飛行載具)，調查路口設施、觀測車流動線，再借鏡國外經驗及其他縣市的優點，認為交通工程也需要與時俱進，為朝人本理念規劃公路環境，因而著手規劃交通工程之標線改造，希藉由本文分享改善案例，以期能精益求精。

關鍵字：交通工程、標線、槽化設計、UAV、圓環、車道瘦身

一、前言

南投段轄管 8 條省道，養護里程計 135.384 公里，其中台 3 線南北縱貫公路，串聯草屯鎮、南投市、名間鄉及竹山鎮，台 14 線中潭公路連結國姓通往埔里、日月潭、清淨及合歡山風景區，台 14 乙線為南投市要道，台 16 線是通往集集、水里及信義重要道路，轄區省道可謂是南投觀光大縣門戶的大動脈(如圖 1-1 所示)。

依據路口交通量科學數據、定期與不定期辦理巡查以及用路人回饋，再參照他山之石，工務段認為交通工程也需要與時俱進；有鑑於此，本著從用路人的角度出發來優化設施疏解交通，期能提供用路人更安全、舒適、便捷的行車環境。

¹ 交通部公路總局第二區養護工程處南投工務段 段長

² 交通部公路總局第二區養護工程處南投工務段 副工程司

³ 交通部公路總局第二區養護工程處南投工務段 工程員

⁴ 交通部公路總局第二區養護工程處南投工務段 工程員

⁵ 交通部公路總局第二區養護工程處交通管理及控制中心 幫工程司

公路總局第二區養護工程處南投工務段轄區路線圖

110.02.25



圖 1-1 南投工務段轄區路線圖

二、問題分析與改善流程

2.1 改善緣由

近年交通違規檢舉風氣盛行，復以報章媒體多有報導現況車道配置與標線劃設，有易造成用路人混淆或疏於注意交通規則而被檢舉開單或行車事故發生，讓人注意到並思考因應現今社經發展、公路網絡建構、交通量成長、車轉向需求的改變，對現行車道標線的劃設，有無改善優化的可行性(如圖 2-1 所示)。



台人超愛「開左轉道卻直行」？網無奈：走到底才知變左轉道

2020-10-30 16:49 聯合新聞網 / 綜合報導



有網友抱怨不少用路人會佔用左轉車道直行，但他也認為台灣的交通標誌設計出問題，許多用路人也時常搞不清楚狀況。圖為示意圖。聯合報系資料照片／記者洪敬詠攝影

圖 2-1 現況車道標線面臨的交通問題

未注意左轉車道停等紅燈 苗栗3車連環撞釀3傷

發佈時間：2019/10/14 16:18
新聞來源：TVBS NEWS



圖 2-2 現況車道標線面臨的交通問題

圖 2-2 為常見路口型態，其報載 3 車連環撞事故為內側直行車 B 車未注意左轉車道 A 車停等紅燈，反應不及追撞 A 車肇事；直行車 B 車為閃避左轉停等 A 車切往外車道，擾亂行車動線又與外車道直行 C 車側撞肇事；直行 B 車外切跨越雙白線變換車道又屬違規行為（依據道路交通管理處罰條例第 45 條，處新臺幣六百元以上一千八百元以下罰鍰），易被檢舉開單及發生事故。站在公路人與用路人的角度思考，於是南投段針對左彎車道路口標線進行優化處理，期能提升路口行車安全與順暢。

2.2 問題省思

左轉車道為保護左轉車輛停等安全之設計，若設計不良，恐增加交通安全隱憂，可能會發生情況如下：

1. 無左轉車道保護設計，造成後方車流追撞
2. 路口漸變長度不足，左彎車易影響直行車
3. 直行車臨時轉出，易與其他車輛發生擦撞
4. 誘使駕駛違規，遭檢舉達人舉發而開單

2.3 改善作業流程



圖 2-3 標線改造作業流程

首先清查轄區省道路口，挑選主要幹道如台 3 線、台 14 線、台 16 線等，其左轉車流量高的路口及易肇事路段路口進行標線改造。

現勘與測繪，我們導入科技運用來改造路口，利用 UAV(無人飛行載具)測繪，拍攝時能快速調查路口設施、觀察車流動線，全面檢視路口行車動線衝突點及改善策略，並利用車道線分別為線段 4 公尺、間距 6 公尺，作為最佳比例尺，由此可計算出圖面與實際長度的比例，比傳統式的測量作業，可節省會勘次數並更精準。



圖 2-4 利用 UAV 觀察道路幾何條件與車流動線

國內尚未對左轉車道漸變設計有明確規範，在標線優化方案的研擬，我們借鏡日本經驗，經參考日本「交通工学研究会—路面標示設置の手引」右轉車道(圖 2-5)，因地制宜，應用於南投段轄區各路口改善，漸變區長度原則採 80M(特殊情況例外)，前後漸變長度由現場情形及左轉車比例數量調整。

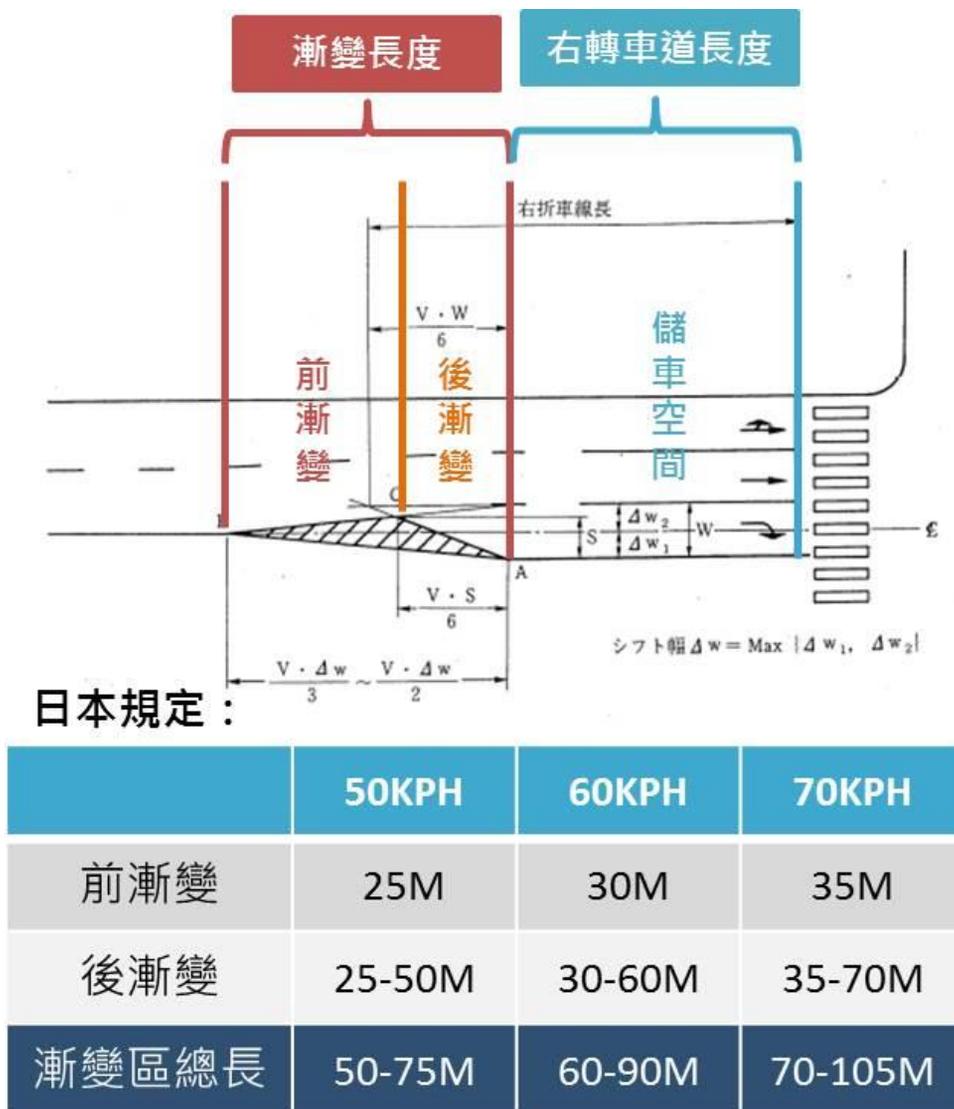


圖 2-5 日本「交通工学研究会—路面標示設置の手引」右轉車道

標線改造具有以下優勢：

1. 標線施工快速，造價成本較低。每 m² 約 180-220 元，與標誌號誌相比最低。
2. 標線可主動導引車輛動線，限縮行駛範圍，交通更有秩序，減少違規。
3. 車道瘦身，可誘使車輛減速慢行，提升行車安全。
4. 標線槽化設計可廣泛應用於左轉車道、槽化島、圓環等路口改善設計，以確立明確的交通分流動線。

現場施工前，先行與廠商就標線改造內容進行詳細的說明與討論，並會同現場確認施工放樣後劃設，施工後持續關注車流動線與交通秩序，以及用路人意見回饋，必要時予以酌修。以下提供代表性路口的標線槽化改造成果，與各位先進分享改善經驗。

三、南投草屯台 3 線草溪路與省府路口

3.1 台 3 線草溪路車道偏心槽化設計

台 3 線草溪路與省府路口位置如圖 3-1，問題分析如下：

- 1.台 3 線草屯往中興新村及國 3 中興交流道左轉車流量高。
- 2.T 字路口位於彎道處，台 3 線草屯直行往南投方向常有車輛擦撞分隔島。
- 3.路口槽化島右轉車道寬度過大，行車動向不明確。



圖 3-1 台 3 線草溪路與省府路口位置圖

南投縣草屯鎮台 3 線草溪路 203K 至 208.5K 逾 5 公里的道路，由於管線單位施工頻繁，導致路面出現多處修補的補丁，影響行車品質與安全，成為用路人最不樂見的「跳動路面」，南投段便積極推動路平專案，要求路面孔蓋全數配合下地，不僅路面刨除重鋪柏油，同時調整該路段車道標線劃設方式，特別強化路口左轉專用道與車道預告設施，要讓路口車行更順暢。

草溪路改善工程除了瀝青路面刨除重新鋪設，也根據「公路路線設計規範」，調整該路段車道標線劃設，來提升交通安全與車流效率：

- 1.沿線路段車道瘦身，內側車道寬改採 3.25 公尺，外側混合車道寬採 3.5 公尺。
- 2.鄰近路口段，路幅足夠規劃左轉專用道時，採上游偏心車道設計導引，以利分流左轉車及直行車。

3. 強化路口左轉專用道與車道預告設施：左彎保護時相路口，左轉專用車道縮減寬度採 3 公尺；原雙白實線改劃內虛外實白線(容錯設計)，並於上游車道增劃指向箭頭，用以加強預告前方道路車道配置情形，同時改善直行車輛占用或借道通行違規情形。
4. 過路口段增設內側槽化，調整路口上下游車道動線一致，避免內側直行車輛過彎不及擦撞分隔島。

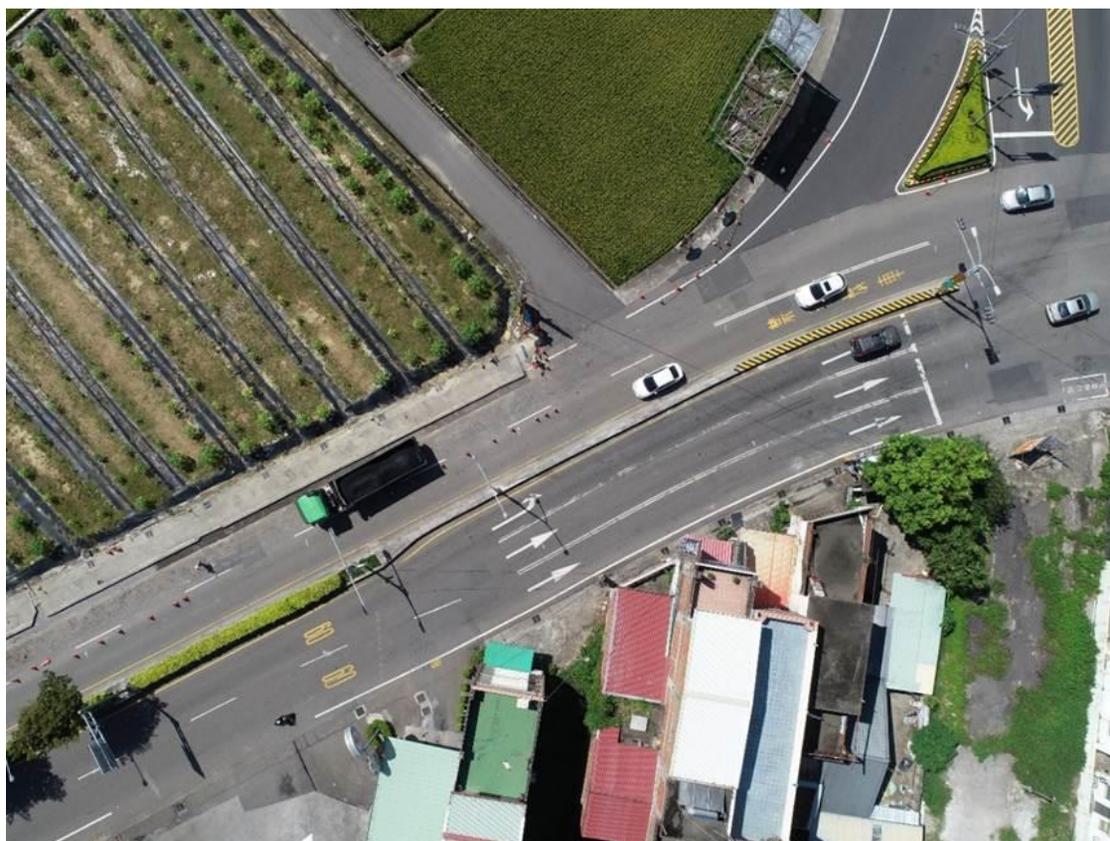


圖 3-2 台 3 線草溪路左轉車道標線改善前空拍



圖 3-3 台 3 線草溪路左轉車道標線改善後空拍

表 3-1 公路路線設計規範部分條文修正對照表（車道寬）

修訂條文		現行條文		修訂說明
表 2.2.1 設計速率與每車道寬		表 2.2.1 設計速率與每車道寬		1 本條文修訂係依據本部道路交通安全督導委員會第 222 次會議討論營建署專案報告-「市區道路車道寬度及配置對交通安全與車流效率之影響評估」結論辦理。 2 三級路(含)以下市區主、次要公路,當設計速率 60 公里/小時時,本規範與「市區道路及附屬工程設計標準」最小設計車道寬分別為 3.25 及 3 公尺。 3 修訂本規範之車道寬標準與「市區道路及附屬工程設計標準」一致,於本規範表 2.2.1 增加備註如下:「三級路(含)以下市區主、次要公路,當設計速率 60 公里/小時且因空間受限時,最小車道寬得採 3 公尺。」
設計速率 V_d (公里/小時)	每車道寬 W (公尺)	設計速率 V_d (公里/小時)	每車道寬 W (公尺)	
$V_d \geq 80$	3.50~3.75	$V_d \geq 80$	3.50~3.75	
$50 < V_d < 80$	3.25~3.50 (註1)	$50 < V_d < 80$	3.25~3.50	
$V_d \leq 50$	3.00(註2)~3.50	$V_d \leq 50$	3.00(註)~3.50	
註1: 三級路(含)以下市區主、次要公路,當設計速率60公里/小時且因空間受限時,最小車道寬得採3公尺。 註2: 設計速率低於30公里/小時,受地形或空間限制之路段,最小車道寬得採2.75公尺。		註: 設計速率低於30公里/小時,受地形或空間限制之路段,最小車道寬得採2.75公尺。		



圖 3-4 台 3 線草溪路路面刨鋪，同時調整車道標線劃設



圖 3-5 台 3 線草溪路路面刨鋪，同時調整車道標線劃設



圖 3-6 劃設槽化線藉以調整路口前後車道動線一致

3.2 省府路車流交織衝突，影響台 3 線主線

另南投段養路巡查注意到該 T 字路口，支線道省府路槽化右轉車輛於匯入幹線道台 3 線草溪路時，有嚴重的干擾幹線道車流情形(如圖 3-7)。爰此，為利路口行車安全，主動於 109 年 5 月 27 日邀集道安相關單位現勘研擬改善方案。

經會勘結果，支線道省府路槽化右轉車道有必要加以號誌管控，以隔離幹線道與支線道匯入車流的交織衝突，相關改善措施如下：

1. 支線道右轉槽化車道增繪停止線；右轉槽化車道過寬，增繪內槽化線縮減路寬，由於支線道為草屯鎮公所維護管理，為一併辦理改善，經協調由南投段代為繪設。
2. 支線道右轉槽化車道增設預告號誌，近燈改為 T 桿分供支線道直線及右轉槽化車道使用，支線道右轉槽化車道前增設號誌遠燈(紅、黃、圓綠、右箭綠)4 燈頭、燈箱附掛於前方中央分隔島處桿柱或視需要增設號誌桿。
3. 調整本路口號誌時制，支線道右轉(箭綠燈)專用時相設定與台 3 線路口時相 2(幹線道左保)、時相 3(機車二段式+上林派出所)共用，時相 4(省府路)則同亮圓綠燈，以上號誌改善由南投段辦理。



圖 3-7 台 3 線與省府路口標線改善前空拍圖

路口標線改造後成效分析(如圖 3-8)：

1. 支線道右轉槽化車道增繪了停止線及調整時相，增加右轉安全性，亦避免支線道車流干擾幹線道外側車流。
2. 車道縮減避免車輛並排搶道，減少車輛交織及擦撞事故發生。
3. 輔以預告號誌，以利用路人應變及提升交通安全性。

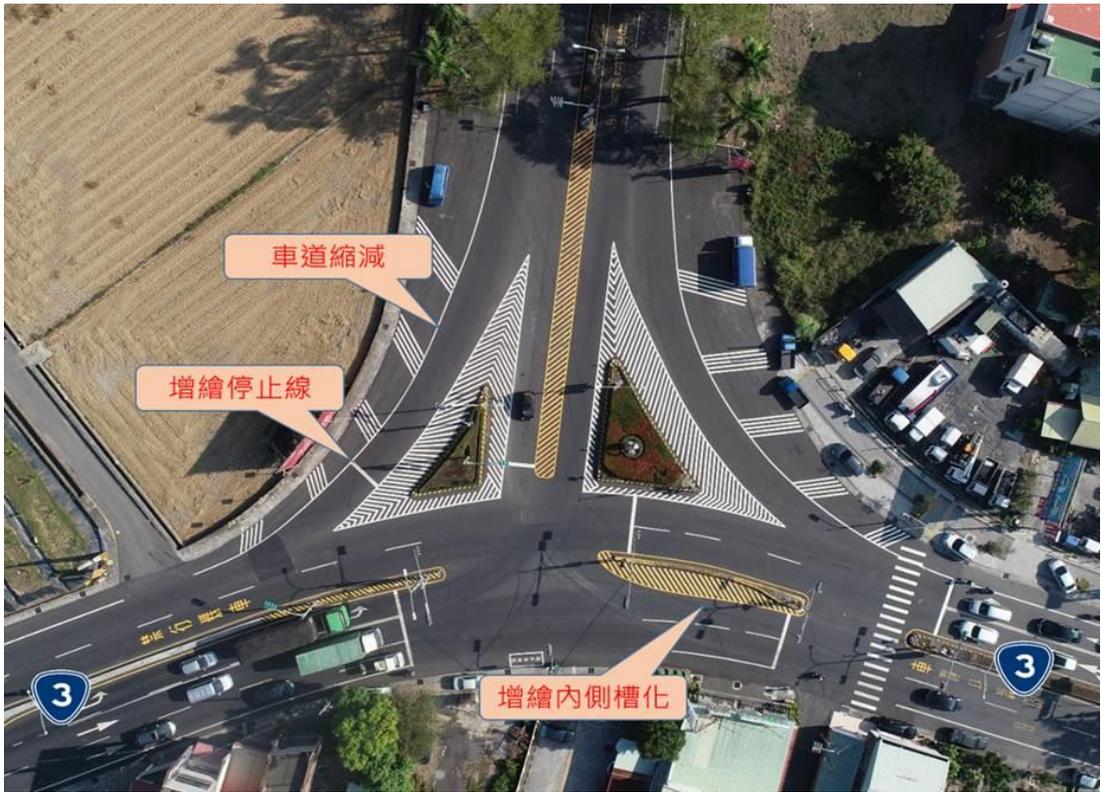


圖 3-8 台 3 線與省府路口標線改造後空拍圖

3.3 台 3 線草溪路段及省府路口更安行

1. 台 3 線草溪路增設左轉專用道及偏心漸變設計。
2. 省府路口右轉車道縮減及槽化加寬，配合號誌劃設停止線。
3. 台 3 線內側分隔島槽化加寬，路口前後車道對齊，直行車流更安行。



圖 3-9 台 3 線路段與省府路口看見標線改造



圖 3-10 台 3 線路段與省府路口重整交通秩序

四、台 3 線與 139 乙線名松路口左彎車道改善

4.1 台 3 線北向左轉 139 乙線路口卡卡

南投名間鄉省道台 3 線往南投市區方向，位在連接松柏嶺的縣道 139 乙線路口，因轉彎、直行車流量大，過去常因左轉車輛在路口停等，導致後方車輛回堵，形成交通瓶頸點，直行車被待轉車擋住，就會切往外側車道，但因車流量大，往往容易造成危險。南投名間台 3 線與 139 乙線名松路口位置如圖 4-1，交通問題分析如下：

1. 路口位於國 3 名間交流道與名間市區間，交通量大，且大型車輛比例高。
2. 縣道 139 乙線名松路，是連接松柏嶺風景區的重要道路。
3. 台 3 線北向，左轉銜接縣道 139 乙線需求及交通量高。
4. 原為單向 2 車道，內側車道設左轉專用道，直行車遇左轉停等車輛易生事故或阻礙車流，跨越雙向線變換車道或借道左轉專用道直行都屬違規行為。
5. 本路段線型筆直，車輛行駛速度快。



圖 4-1 台 3 線與 139 乙線名松路口位置圖



圖 4-2 台 3 線北向近 139 乙線名松路口之原車道配置

4.2 台 3 線增設左轉專用車道變順暢

在路幅評估後，認為可透過車道調整，再增加一個待轉的專用車道，經過路面刨鋪與標線改造，往來行車狀況順暢不少，於連續假期可望有效疏解從玉山台 21 線新中橫公路，以及日月潭、集集景點北向的龐大車流，並可提供安全順暢的行車環境。

南投段主動優化標線，增設左轉車道，讓左轉車輛有專用車道停等，其餘直行車則維持 2 線道通行，標線改善後，行車變順暢了，讓用路人相當有感，直呼「早該改了！」。

標線改造成果效益如下：

- 1.增加車道提供左轉車安全停等空間，避免影響直行車流。
- 2.偏心槽化車道設計，導引分流左轉車及直行車，增加路口車流效率。
- 3.車道寬度縮減，使用路人不自主降速，降低事故。



圖 4-3 台 3 線與 139 乙線路口車道重新配置及標線改造成果



圖 4-4 台 3 線與 139 乙線路口車道重新配置及標線改造成果



圖 4-5 台 3 線與 139 乙線路口車道重新配置及標線改造成果

五、台 14 乙線與仁德路、光榮西路之路口動線改善

5.1 左轉車易影響後方直行車續進

台 14 乙線中正路於中興新村路段為雙向各一車道配置，於仁德路與光榮西路為不對稱支線道路口，二 T 字路口均為號誌管制路口，地方陳情中正路/光榮西路口與中正路/仁德路口，二路口相距僅約 50 公尺(如圖 5-1 及圖 5-2 所示)，車輛行駛至該二路口間欲待左轉時，常因幹道中正路車流多而無法於幹道綠燈時間內左轉，直至幹道紅燈後左轉而違反交通規則，建議道路管理機關應設法改善此情形，南投段為改善交通瓶頸，提升行車安全與順暢，故辦理該路口轉向標線優化處理。

該不對稱路口交通問題分析如下：

1. 主線左轉支道車流眾多，容易影響主線車流。
2. 北側為學校及市場，南北兩側地方支道間穿越主線車流量及需求高。
3. 鄰近校園及市場行人通行量高。



圖 5-1 台 14 乙線與仁德路、光榮西路位置圖



圖 5-2 台 14 乙線與仁德路、光榮西路位置圖

5.2 增設一左轉專用道增加容量及分流

經邀集相關單位於 109 年 12 月 9 日會勘結果，台 14 乙線於仁德路與光榮西路間之車道配置，增設一左轉專用道提供停等空間，即為雙向三車道(二出一進)，雙黃線改為月牙槽化並增繪指向線，導引分流左轉車及直行車；近路口前改劃槽化線偏移導引直行車流，可避免直行車藉對向左轉車道續行，避免對向衝撞，增加安全性；該路段二側劃

設紅線禁止臨停，以提升車流順暢。另因應光榮國小師生導護需要，仍維持原二號誌管制路口運作。

標線改造後成效說明(如圖 5-3 及圖 5-4 所示)：

- 1.增設左轉專用道，提供安全停等庇護空間。
- 2.增設槽化線，改善車流動線。
- 3.重新調整車道路口處，指向線預告直行與轉向分流。
- 4.畫設紅線，減少違停車輛。



圖 5-3 台 14 乙線與仁德路、光榮西路標線改造成果空拍

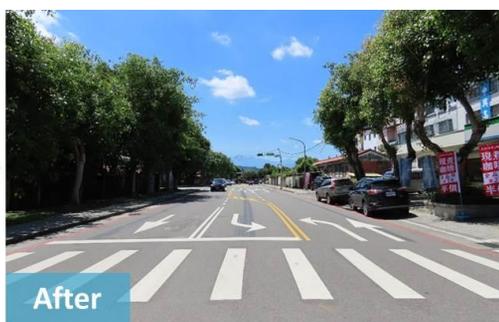


圖 5-4 台 14 乙線與仁德路、光榮西路標線改造成果

六、台 14 乙線中興新村圓環標線改造

6.1 交通問題分析

民國 45 年臺灣省政府從臺北市遷移至南投中興新村落腳，並於民國 46 年參考英國都市計畫設計完成建造。在中興新村主要進入處，可以看見插滿國旗牌樓建築及鐘樓圓環路口，為重要代表性地標。

隨著年代發展、城鎮向外擴張及私人運具普及，中興新村地區及圓環交通量也在持續增加，而近年來經常接獲警方反映中興新村圓環交通事故發生，民眾也陳情建議修正台 14 乙線圓環標線，圓環位置及周邊道路如圖 6-1 及圖 6-2 所示。

南投段於 108 年 5 月 8 日邀集相關單位辦理會勘，就以中興新村圓環交通改善作為重點工作，經事故分析及車流觀察，發現圓環為五岔路口組成，道路範圍過大，導致交通動線不明確及衝突點多。再者周邊停車場出入口多，與圓環進出動線有所衝突。



圖 6-1 台 14 乙線中興新村圓環位置及周邊道路圖



圖 6-2 台 14 乙線中興新村圓環標線改善前空拍圖

交通問題分析：

1. 路口圓環內範圍過大，路口動線衝突點多。
2. 周邊停車場出入口多，與圓環動線有所衝突。
3. 圓環半徑太小、外圍無明顯界線。
4. A2 肇事數：108 年 8 件(多為擦撞)

6.2 歷史兼容及標線改造

南投段於 108 年 5 月 8 日邀集相關單位辦理會勘結果如下：

1. 台 14 乙線中興新村圓環，重新規劃圓環內交通動線，使車流順暢，並依標誌、標線循序前進，與會相關單位均認為該圓環轉彎處如有汽機車臨停將影響交通動線，現有「禁止臨時停車線」保留設置，以維車輛進出安全。
2. 於各岔路口欲進入該圓環前方 50 公尺處設置圓環警告標誌(警 24)，用以促使車輛駕駛人注意慢行，禮讓內環車輛優先通行，由各權責機關辦理增設，光華路、省政府大樓省府路往圓環方向由國家發展委員會中興新村活化專案辦公室辦理，虎山路往圓環方向由南投縣政府辦理，台 14 乙線省府路、中正路往圓環方向由南投工務段辦理。
3. 圓環周邊及環內槽化、車道標線由南投工務段規劃辦理。
4. 駕駛人如未依標誌、停讓標線循序前進者，請警察局中興分局加強取締。

經委託交通專業顧問公司評估改善方案後，南投段於 108 年 10 月 8 日邀集南投縣政府、道安會報、警察局、國家發展委員會中興新村活化專案辦公室等單位，再次辦理台 14 乙線中興新村圓環道路標線評估方案會勘。

考量圓環內鐘樓建築(圖 6-3)超過 60 年歲月，伴隨大家成長的歷史文物資產，在規劃期間也曾發想過採人行空間(方案 1)及實體分隔(方案 2)等方式設計改善(如圖 6-4、圖 6-5)。因中興新村內多數公共設施屬於文化資產，且管轄單位不同，不宜採大興土木改建進行改善，最終選擇採標線槽化方式(方案 3)，透過軟性交通工程手段改善(如圖 6-6)，另各單位建議圓環內維持雙車道運行，併請顧問公司納入規劃設計(如圖 6-7)。

1. 進入圓環前槽化及劃設雙黃線，分流導引進出車輛行駛動線，減少停車場車輛影響。
2. 圓環內槽化加大，限縮及確立車輛行駛空間，減少交通衝突情形
3. 設置標誌牌面，籲請駕駛禮讓圓環內線車輛先行。

圓環路口標線改善於 109 年 4 月完成(如圖 6-8、圖 6-9)，工程改善僅花費公帑約 10 萬元，參考交通部運輸研究所統計，每發生 1 起 A2 事件，所衍伸社會成本(車輛毀損、人員受傷及工作經濟損失)約為 79 萬元，其實標線改善具有相當高的效益。

標線改造後動線說明：

1. 於五岔路口非行車路徑間劃設槽化線使路口縮小，導引車輛進入圓環行駛動線避

- 免交織，可減少車輛停留路口時間，增加安全性。
2. 設置警示標誌，籲請駕駛禮讓圓環內線車輛先行。
 3. 圓環標線槽化，加大半徑，減少交通衝突範圍；圓環內維持雙車道，增加箭頭指向。
 4. 近路口雙黃線防止逆向進入停車場，並於入口設置遵行標誌。



圖 6-3 台 14 乙線中興新村牌樓與圓環內鐘樓建築



圖 6-4 方案一、實體人行空間+標線改善



圖 6-5 方案二、實體分隔改善



圖 6-6 方案三、標線槽化改善



圖 6-8 台 14 乙線中興圓環標線槽化成果空拍



圖 6-9 台 14 乙線中興圓環標線改造前後之空拍對照圖

6.3 中興圓環標線改造再進化

依據道路交通管理處罰條例第 45 條，汽車駕駛人，爭道行駛有下列情形之一者，處新臺幣六百元以上一千八百元以下罰鍰：「...七、行至無號誌之圓環路口，不讓已進入圓環之車輛先行。八、行經多車道之圓環，不讓內側車道之車輛先行。...」。南投段已於圓環明顯之處，設置圓環遵行方向標誌「遵 21」及「外環車禮讓內環車先行」告示標誌，用以告示車輛駕駛人駛近圓環時，外環車輛應該禮讓內環車輛優先通行，左轉車輛應繞行圓環，以維行車安全(如圖 6-10~6-12)。

經持續的觀察，雖然已設置標誌牌面告示，但仍有許多外側車輛並未禮讓內側圓環車輛情形，為強化圓環路權觀念，復於 110 年 7 月再改善圓環標線導引，於匯入圓環前增加劃設「讓路線」，用以警告車輛駕駛人前有幹線道應減速慢行，或停車讓幹線道車先行，籲請用路人建立「尊重他人路權，就是保障自身路權」的觀念，多一分禮讓，少一分危害。



圖 6-10 台 14 乙線中興圓環加劃讓路線空拍圖



圖 6-11 台 14 乙線中興圓環歷次標線改造成果圖



圖 6-12 台 14 乙線中興圓環標線改造成果

七、民眾感受及意見交流

7.1 標線改造，南投好行

基於提升轄區省道交通安全與行車順暢、減少行車事故及違規檢舉情事發生，南投段積極改善交通工程，以標線改造方式調整車道配置及提升導引效果，在所有道路交通設施中，標線是最為便宜的一項，且施工方便及快速，比起瀝青路面重鋪及土木興建等動輒花費上百、千萬的工程，在養護經費有限情況下，是改善方案 CP 值最高的。截至目前，南投段已改善逾 85 處路口標線改造，未來仍將持續優化轄區交通工程，並依改善成效及用路人回饋意見研議精進，讓「南投好行」。

擬定目標・解決問題



圖 7-1 南投段轄區省道標線改造目標

改造地點挑選

- 3 台 3 線：草屯-竹山 47 處(主要幹道)
- 3 台 3 甲：8 處
- 14 台 14 線：草屯 7 處
- 14 台 14 乙：草屯-南投 18 處(主要幹道)
- 16 台 16 線：名間-集集 5 處

總計改造 85 處路口

統計期間 109.04.20~110.04.30

標線改造 南投好行 to be continued 持續改造



圖 7-2 南投段轄區省道標線改造路口

7.2 媒體正面報導

現今網路充斥各種形態的社交管道及臉書社群，資訊流通迅速，民眾自由發表意見，交流更便利即時，在標線改造期間，或許引起地方鄉親及網路上熱烈討論，造成民眾困擾，但希望大家保持理性進行意見交流，各種反對及支持的建言，南投段都將虛心受教與檢討精進，也願意與大家說明道路標線改造中設計理念及改善目標。



南投工程段指出，若接近路口的路幅足夠規劃左轉專用車道時，就會採取偏左車道設計，導引直行車輛過勢前行，避免臨到路口才發現開進轉彎車道，同時以劃設槽化線方式，調整路口車道動線一致。



草屯鎮台3線草溪溪路改善後，以劃設槽化線方式，調整路口車道動線一致。(南投工程段提供)



台3草溪溪路省府路口(偏左處理及路口槽化)

圖 7-3 台3線與省府路口標線改造



圖 7-4 台3線與139乙線路口標線改造

7.3 社團交流

媒體披露及用路人臉書上分享南投標線改善成果，引起網路上廣大迴響，臉書社團-「公路邦」及「標線改造台灣路」等社團提出訪談意向，遂邀總局及工程處考工於 110 年 5 月 5 日在南投段座談，進行意見交流及經驗分享，學習國內外交通工程案例。一群交通人相聚一堂就是為了能讓國人走上更好的路而努力，經過彼此意見交流，全員相談甚歡，感覺真有一股「愛臺灣，從路開始」的熱血。



圖 7-5 南投段與社團座談相互交流分享經驗



圖 7-6 南投段與社團座談相互交流分享經驗

7.4 民眾感受

交通改善最直接反應就是用路人的感受，目前本段標線改善可以算是國內前段班，用路人分享後引起廣大網友回響，總算臺灣也有國際化的標線了！

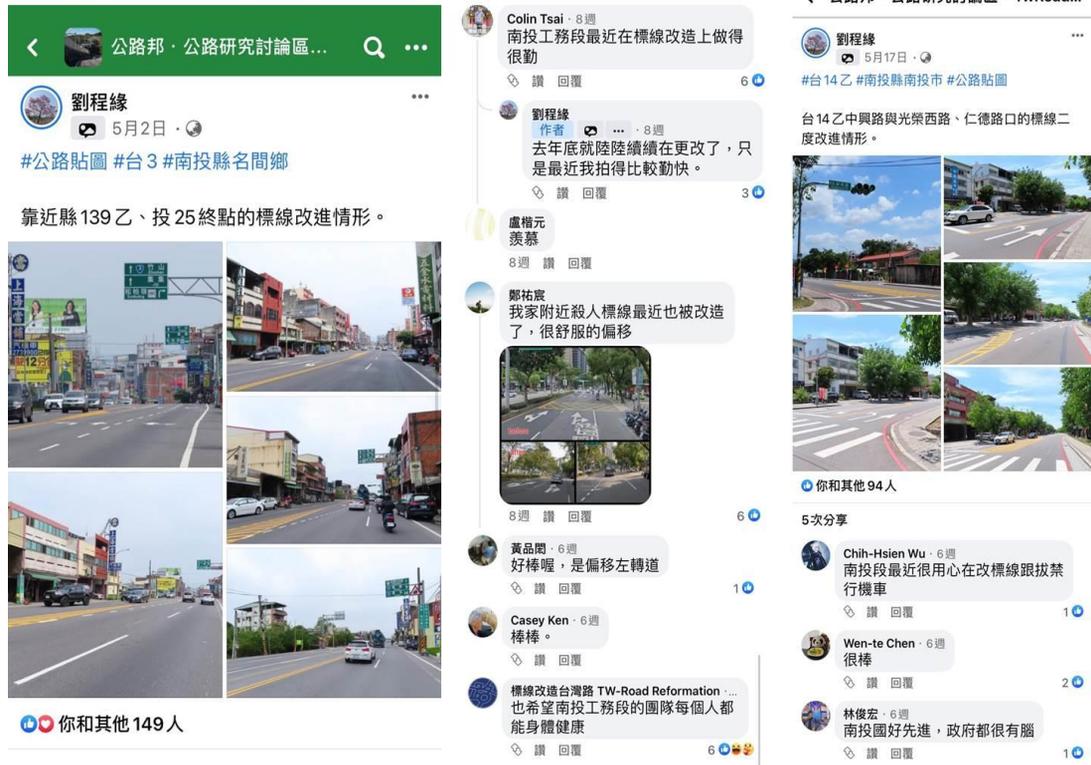


圖 7-7 民眾臉書心得分享標線改善成果

7.5 強化交安與路權觀念

交通管理的 3E (Engi-neering、Education、Enforcement)，包括交通工程、交通教育，以及交通執法，是有效改善交通安全、抑制交通事故的三大方法，目前國內比較注重工程與執法，在教育方面仍顯不足，南投段可以持續改善交通工程、優化行車環境及交通安全宣導，但用路人自身對交通安全及路權優先的觀念，如能跟著提升及落實，一定能對交通安全的改善，產生顯著的加乘效果。

八、結語

8.1 空間規劃好，交通秩序好

標線改造，讓道路空間重新定義，有效改善交通秩序，目前標線改善經驗可提供各界參酌：

一、車道瘦身

1. 路段中車道瘦身，藉由減少車道寬度，達到誘使駕駛人不自主降速，降低事故嚴重性。
2. 鄰近路口車道瘦身，或可再增設左轉車道可作為左轉車(專用避車)空間，減少直行車回堵，可提高路口車流效率。

二、槽化處理

1. 路段中分向限制線，雙黃線改為寬槽化線，可增加與對向車道間橫向安全淨空。
2. 過大的路口或圓環，藉由槽化處理，可簡化車統動線，減少車流衝突及交織，降低事故率。
3. 偏心式槽化導流，可安全引導車流依槽化線邊緣及引導線直行或左轉。

8.2 實施效益及適用性

一、標線改造成效佳

1. 標線施工快速，造價成本較低。(每 M² 約 180-220 元，與標誌號誌相比最低)
2. 使用年限可達 1.5-2.5 年間 (視交通量情形變化)。
3. 具備高性價比(CP 值)隱形成效。

二、槽化設計應用廣

1. 可廣泛使用於道路改善設計。(例：左轉車道、圓環及槽化島等)
2. 具視覺引導及空間分流，行車更有秩序。
3. 限縮範圍，誘使車輛減速，提升安全

三、左轉漸變安全行

1. 漸變區長度原則採 80M，動線提前分流，有效用路。
2. 路口車道寬度縮減，設置左轉專用道，提升安全。
3. 借鏡日本設計，因地制宜，推廣於國內交通改善。



圖 8-1 其他路段標線改造成果空拍圖

九、參考文獻

1. 「道路交通標誌標線號誌設置規則」，110 年 1 月 29 日交通部、內政部會銜修正發布。
2. 「道路管理處罰條例」，110 年 6 月 9 日修正公布。
3. 「公路路線設計規範」，109 年 8 月 19 日交通部頒布。
4. 「台 14 乙線中興新村圓環道路標線評估改善工作」簡報，道勤工程顧問有限公司，109 年 4 月。
5. 「標線改造台灣路」案例分享，TW-Road Reformation，facebook 社團
6. 「公路邦」案例分享，facebook 社團

臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 111 年 8 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：社團法人中華民國領航弱勢族群創業暨就業發展協會

地 址：10859 臺北市萬華區西園路二段 261 巷 12 弄 44 號 1 樓

電 話：(02)2309-3138

中華民國 111 年 8 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123 轉 8008)

半年新臺幣 150元
一年新臺幣 300元
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)
帳號(共14碼)：1 2 2 9 7 1 0 2 1 0 8 0 1 9
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN2004100003

定價新臺幣30元