



# 山區災害復建橋梁之 設計與施工實務探討

葉昭雄／前公路總局 局長

林永福／嘉義縣政府建設處 處長

楊世仲／仲冠工程顧問有限公司 土木技師

台灣地區目前有 1705 條土石流潛勢溪流，許多山區道路橋梁跨越這些溪流，一旦洪害發生時，沖毀道路橋梁，造成交通中斷，亟需搶救。山區道路等級分佈甚廣，由省道至產業道路不一而足。

科子林橋工區附近為長上坡段，現場仍有多處土石流及野溪侵襲，選址以避災為最高考量；不但不落墩之鋼拱橋跨越河道，為求施工時效，避免支撐架被沖毀，結構設計採拱梁分離形式，施工時以拱肋先閉合，迅即拆除支撐架再施作橋面系。

如意吊橋採用混凝土橋塔及鋼桁架橋面系，橋面寬設計為 2.5 m，採用原木面板加設車道花紋鋼板，當為緊急避難逃生及農作物小型搬運之運輸道路。

山美大橋為追求景觀效果並提供遊客遊覽空間，橋型研選單拱肋鋼拱橋，以提供遊客寬廣的視野，並搭配諸多景觀附屬設施，成為交通、景觀兼顧的範例。

沙沙歐橋路線不向山側移動，反而向河側偏移，以與高陡之上邊坡保持距離，避免坍方落石攻擊。南側橋台採墩式橋台設計，延長復建路段仍以擋土牆填築路堤之經濟方案辦理，未來若再度致災時，則墩式橋台背牆拆除後可直接向上游側繼續延長高架橋。

## 前言

台灣位處歐亞板塊和菲律賓板塊之交界處，南北縱長約 395 公里，東西寬度最大約 144 公里，含屬島面積約 35882.6258 平方公里。台灣山多而陡，為世界地勢高度第四高的島嶼，丘陵地帶則大多在北部與靠近山脈地區，這些山地與丘陵共約佔臺灣總面積的三分之二；而山區道路蜿蜒於山峰山谷之間，因此山區道路多有橋梁。

臺灣經常有颱風侵襲，6 月至 9 月是颱風季，每年夏、秋兩季平均都有三到四個颱風侵襲臺灣。颱風為臺灣提供了豐沛的水分，但由於降雨空間和時間分布十分不均，容易引發洪水與土石流等災害。根據農委會水土保持局資料，截至民國 105 年底，台灣地區目前有 1705 條土

石流潛勢溪流，許多山區道路橋梁跨越這些溪流，一旦洪害發生時，沖毀道路橋梁，造成交通中斷，亟需搶救。

山區道路等級分佈甚廣，由省道至產業道路不一而足。其中橋梁設施平時除維持交通及經濟活動功能外，更在災害期間提供住民疏散避難及救災之功能。而山區橋梁復建時，一般依下列原則考量復建方案：

- 道路等級及經濟效益
- 災害規模及避免二次致災
- 住民數及交通需求（人行或車行？車道數？活載重需求？）
- 道路功能（是否為唯一進出道路？）
- 其他需求（景觀、風景區等）

本文以嘉義縣政府阿里山區颱風災害復建橋梁為例，以橋型分類，探討山區災害復建橋梁之工作實務，提供淺見供參。

### 科子林橋

橋梁種類	鋼桁架拱肋鋼拱橋
道路等級	鄉道—嘉 155 線
橋梁分類	跨河車行橋 L=115 m
跨越溪流	科子林溪
工程經費	約 133,000 仟元
竣工年月	103.09

嘉 155 線向南穿越阿里山溪上游，可連結 169 線直達奮起湖，又可避開地質脆弱的太和路段，是來吉部落居民重要的聯外道路之一（圖 1）。莫拉克風災時，上游沿線大量邊坡地質破碎區遭受此次連續之高累積雨量衝擊之後，導致土石鬆軟、土體坡面崩塌，崩落土石使河床不斷淤高，河水高漲開始向兩岸侵蝕，大量土石傾瀉而下，將嘉 155 線道路及科子林橋完全沖毀。原橋址兩岸距離由原本的 20 公尺左右擴大至 80 公尺以上，增大了 4 倍，如下圖 2 所示。



圖 1 嘉 155 線及其附近之橋梁



圖 2 科子林橋沖毀前後

本案在勘查時，瞭解到工區附近為長上坡段，野溪兩岸道路高差甚大，越往下游甚至高差達 10 公尺以上。道路邊坡仍有多處坍方，現場可以看見仍有多處土石流及野溪侵襲，地形條件十分惡劣。選址時考量兩個方案，方案一橋長較長，但線形較佳，且避開土石流潛勢區，如下圖 3 方案一；方案二橋長最短，但線形較差，且需面對大型崩坍地整治問題，如下圖 3 方案二。經過評估後，仍以避災為最高指導原則，選擇方案一為新橋橋址。



圖 3 復建方案一與方案二

因工址河道坡陡流急，遇雨時常山洪暴發，避災之考量不只以不落墩之鋼拱橋跨越河道，為求施工時效，避免支撐架被沖毀，結構設計採拱梁分離形式，拱端設置 PIVOT 支承，橋面系採格子梁設計；施工時以拱肋先閉合，迅即拆除支撐架，然後架設吊索再架設橋面系，最後打設橋面板，為國內極少見之鋼拱橋型態。（圖 4）

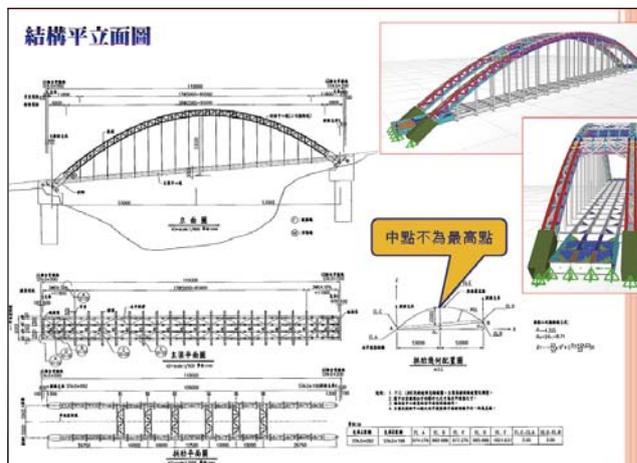
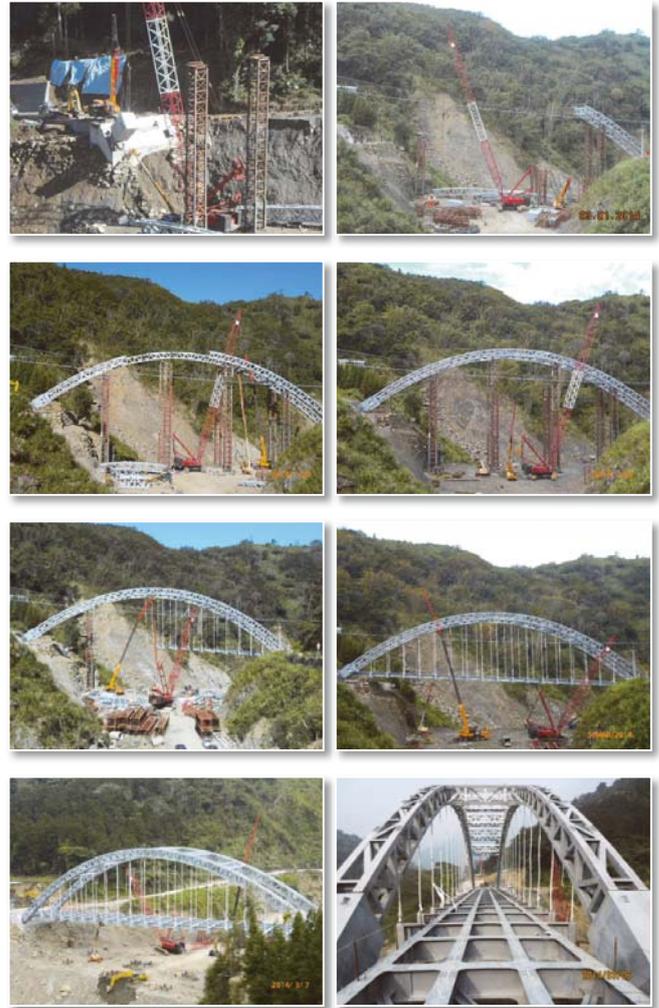


圖 4 考慮避災及工址後的設計



考量山區地盤堅實，且運輸道路寬度不足，兩端橋台基礎設計為  $D = 6\text{ m}$  井筒基礎，小型機具即可施工。因鋼結構應力大量集中在拱肋，為減輕鋼重，拱肋設計為鋼桁架形式，最長不超過  $7.5\text{ m}$  以利山區運輸。且設置三方向接頭，以符合熱浸鍍鋅作業尺寸。因此鋼構作業精度極高，所幸鋼構廠加工十分精準，現場吊裝時三方向接頭螺栓穿鎖均順利完成。(圖 5)

本工程位於偏遠之原住民部落，施工條件惡劣，運補路線長。為降低未來維護成本，全橋採用 ASTM A709 熱浸鍍鋅結構鋼料，且未上面漆，保留原色。本橋完工後，成為國內最長之鋼桁架拱肋鋼拱橋，不僅克服了嘉 155 線最困難之復建路段，亦提供了部落居民一條安全回家的路。(圖 6)

圖 5 施工過程



圖 6 新建的科子林橋 — 國內最長之鋼桁架拱肋鋼拱橋

資料來源：仲冠工程顧問有限公司

## 如意吊橋

橋梁種類	小規模懸索橋
道路等級	產業道路
橋梁分類	跨河車行橋 L=108 m
跨越溪流	乾坑溪
工程經費	約 28,000 仟元
竣工年月	101.09

如意吊橋位於嘉義、雲林、南投三縣交界之阿里山鄉豐山村中心嶺部落聯絡道，跨越乾坑溪。本工址原為過水路面，屬溪流之凹岸，易受水流攻擊，莫拉克颱風造成流量大及湍急的逕流，夾帶大量土石，產生極大衝擊力，使本路段路基整個被掏空，道路為之中斷。(圖 7)



圖 7 豐山村地理位置及道路掏空中斷狀況

中心嶺部落聯絡道狹小，局部路寬僅 2~3 m，本橋服務人口不多，亦非唯一進出道路。復建時考量避災與經濟效益，採用小規模車行吊橋為復建方案。

小規模吊橋（懸索橋）其特性為總造價較低，施工期較短，利用少量材料即可跨越長距離，且施工簡便，不需溪底支撐，可直接在空中利用索道架設橋面系，大幅降低施工風險；缺點為抗風性不佳，且規模小時承載力隨之縮小，而且國內專業設計、施工廠商甚少。

台灣山區吊橋原本就甚多，但多年久失修，且大部分為人行吊橋，車輛無法通行。原住民出入或部落間聯絡係以步行、機車及小型車（如小發財車）為主，莫拉克風災後構思興建小型車行吊橋，當為緊急避難逃生及農作物小型搬運之運輸道路。依「道路交通安全規則」規定，小型車係指 3.5 噸以下車輛，小型車（含客貨車）最大寬度為救護車之 1.9 m，因此兩側各加 0.25 m，以淨寬 2.4 m 為設計標準。另依日本道路協會（社團法人）「小規模吊橋指針（含解說）」，其寬度為 1.0 m 以上，2.5 m 以下，設計總荷重為 5 噸，前輪荷重 1 噸、後輪荷重 1.5 噸。（參見莫拉克颱風後陸續造成台 20 線桃源復興段及其周邊聯絡道路之災損勘查，葉昭雄，臺灣公路工程第 38 卷第 12 期，民國 101 年 12 月）

因中心嶺聯絡道狹小，本橋採用混凝土橋塔及鋼桁架橋面系，以避免過大鋼構件無法運輸之問題。有別於底部鉸接之鋼橋塔，本橋混凝土橋塔設計為四柱抗彎構架，主索在塔頂固接，由橋塔抵抗所有水平力及彎矩。基礎採用小口徑全套管基樁，橋入口處刻意降低橋塔橫梁高度，並設置車阻，以阻擋過大及超載車輛進入，配合國土維安。(圖 8)



圖 8 如意吊橋鋼橋塔

平立面配置圖及橋塔圖如圖所示(圖9), 橋塔高度 18.7 m, 使主索傾角維持在 32.5°左右。橋面寬設計為行車淨距 2.5 m, 抬高至安全位置, 採用原木面板加設車道花紋鋼板, 以降低橋面靜載重; 橋面護欄以鋼索連結鋼網形成柔性護欄。橋兩側設置抗風索以解決側向抗風勁度不足之問題, 所有鋼索均以 HDPE 包覆, 以增加耐久性。(圖 10)

吊橋另一特性為背拉錨定座, 常時即受巨大拉力, 為各類橋梁構造中少見; 抗風索錨座則是僅受拉不受壓, 風力來時方有受力。本橋混凝土背拉錨定座除配設基樁外, 另打設地錨作為加強。(圖 10)

本橋完工後成效良好, 於多次颱風時充分發揮防、避災之功能, 符合居民需求, 為山區小規模吊橋之實用性作了最好的示範。(圖 11)

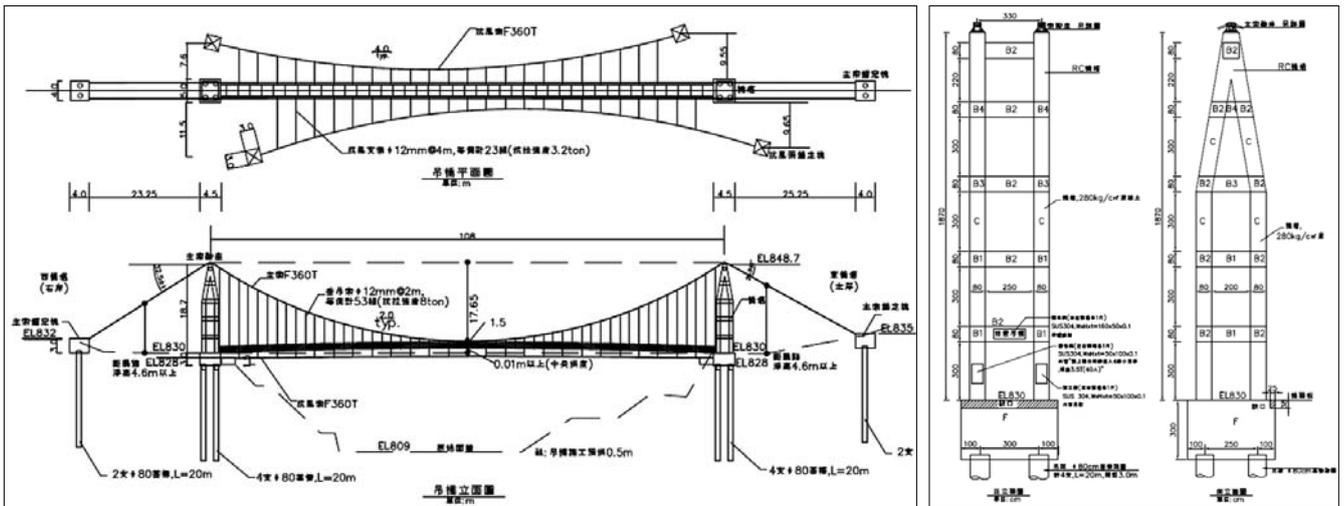


圖 9 如意吊橋平立面配置及橋塔圖



圖 10 施工過程



圖 11 完工後的如意吊橋充分發揮防、避災功能，成為山區小規模吊橋的最好示範。

資料來源：葉昭雄、奕通工程顧問股份有限公司，台聯工程顧問有限公司

## 山美大橋

橋梁種類	鋼拱橋
道路等級	鄉道—嘉 129 線
橋梁分類	跨河車行橋 L = 115 m
跨越溪流	曾文溪
工程經費	約 185,000 仟元
竣工年月	102.10

嘉 129 線雖為鄉道等級，但為阿里山鄉南三村（山美、新美、茶山）唯一進出道路，重要性高。舊山美橋位於知名生態景點達娜伊谷入口前，長度僅 40 公尺，橫跨中央管河川—曾文溪主流，該河段原就坡陡流急，受到上游大規模洪水夾帶土石沖擊，全橋完全被沖毀消失。

莫拉克風災發生後，台灣大哥大基金會主動捐款一千七百萬，委託民間志工造橋團體—嘉邑行善團，協助重建山美大橋，重建之山美大橋長 90 公尺，為簡支 PCI

梁結構，中央橋墩高達 21 公尺，兩端橋台以河道砂石填築，高度達 15 ~ 20 公尺左右，兩側以翼牆保護。後發生右岸下游側橋台翼牆倒塌意外，橋台背填土由翼牆破裂處傾洩而出，下方正施作河床保護工之一輛吊車因而被掩埋，所幸無人員傷亡（圖 12）。該橋經台灣省結構技師公會辦理結構安全鑑定，結果認為結構強度不足，建議拆除或補強。幾經波折後，決議新建跨河橋。



圖 12 受莫拉克颱風肆虐後的山美大橋

本橋選址時，考量下列因素：

1. 為避免二次致災，應採用大跨度橋梁，河中不落墩。
2. 本復建工程迭生災害，又因嘉邑行善團施工延宕，應考量縮短工期，建議以鋼橋為佳。
3. 橋址選定儘量避開土石流或野溪沖刷之處。
4. 大跨度橋梁單價甚高，須考量經費，妥善規劃橋長。
5. 配合橋長及現有河道保護工，妥善研擬橋台位置及其相關保護工程。
6. 位於知名景點入口，應考量景觀性。

因現地地形地貌複雜，又有多項其他工程干擾，為避免二次致災，本橋選址時以出露岩盤為目標，並避開行善團橋址之土石流潛勢區，將道路改道至下游側，方案如圖 13 所示。



圖 13 新建跨河橋選址

本橋所在之鄒族山美社區，首創全台灣第一紙的河川自治公約，長期經營達娜伊谷自然生態園區，全台知名，是一個組織綿密、高度自治的社區。不同於傳統原住民部落，本地住民對於地方事務十分關心。本工程與山美社區發展息息相關，不論在路線、用地、景觀工程部分均須考量住民需求，充分與社區溝通，甚至讓住民參與，才能切合實際。本橋設計時，召開住民說明會，並與住民達成下列共識：(1) 須具備原住民意象，展現鄒族精神。(2) 創造景點，並與周邊景點串連。

為追求景觀效果並提供遊客遊覽空間，橋型研選時排除傳統雙拱肋鋼拱橋，改選單拱肋鋼拱橋，以提供遊客寬廣的視野（圖 14）。單拱肋鋼拱橋需具備足夠橋寬方可穩定，本橋橋長 115 m，拱肋高約 30 m，橋寬 15.7 m，拱肋及三線主梁寬均定為 2.5 m。



電腦示意圖

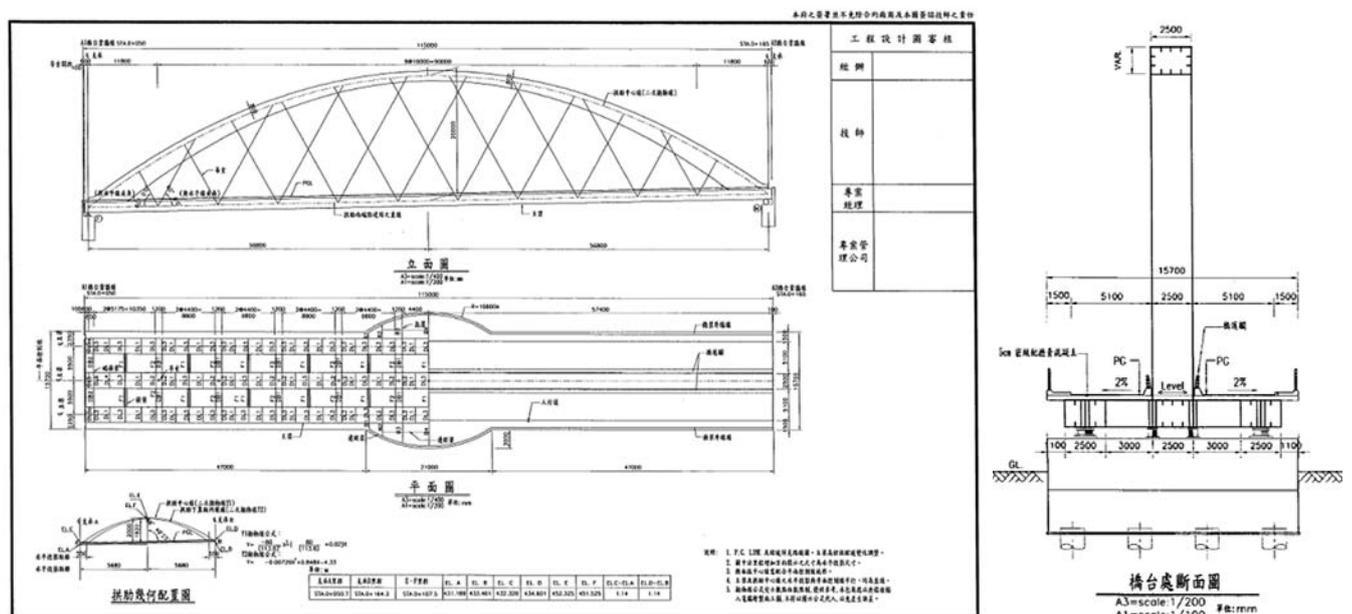


圖 14 重建山美大橋電腦示意圖及結構設計圖

本橋施工採傳統吊裝工法，由溪底向上吊裝，由於施工期長達 18 個月，吊裝適逢汛期，所幸防汛計畫發揮功能，並未造成損害（圖 15）。

本橋附屬設施計有：

- 橋兩側增設人行道，橋中央設置觀景平台，護欄提供原住民彩繪空間
- 左岸橋入口設置大型廣場，提供充分停車空間
- 原木河岸護欄及休憩座椅
- 設置大型公共藝術 — 圖騰柱及原住民休憩涼亭（圖 16）

本橋之完工，成為國內最長之單拱肋鋼拱橋（圖 17），完成了嘉 129 線復建之最後一塊拼圖，提供阿里山鄉南三村堅實安全的通行道路，更為達娜伊谷創造了新的景點，與周邊的達娜伊谷吊橋、福美吊橋共同提供了新的達娜伊谷「橋之旅」遊程，受到政府及住民的共同肯定，也是交通、景觀兼顧的範例。



圖 15 施工過程



圖 16 山美大橋的附屬設施



圖 17 新建的山美大橋 — 國內最長之單拱肋鋼拱橋

資料來源：仲冠工程顧問有限公司

## 沙沙歐橋

橋梁種類	高架鋼梁橋
道路等級	縣道－149 甲線
橋梁分類	車行高架橋 L=245 m
跨越溪流	未跨越，平行阿里山溪
工程經費	約 98,000 仟元
竣工年月	104.03

來吉村位於嘉義縣東北端，梅山鄉與阿里山鄉交界處，位置偏遠。來吉部落旁於阿里山溪，海拔高度約 800 ~ 900 公尺。與來吉部落直接連結的 149 甲線，路線在部落南北兩側均沿阿里山溪右岸通行，因位於河道凹岸，此河段於莫拉克風災時造成大量淤高、加寬，造成道路中斷。經以擋土牆復建後，復於 101 年因泰利颱風造成路側擋土牆沉陷倒塌，道路再次中斷（圖 18）。

因本道路屬於雲林嘉義之重要聯絡道，因此採永久復建方案規劃。考量河道受岩盤傾斜影響，河水不斷向凹岸沖刷，而道路路線無法閃避。因本路段位於河道凹岸長達 1.2 公里，莫拉克風災復建時因考量河道、邊坡均尚未穩定，採中期復建方案規劃，並非永久復建，護岸座落於崩積砂石上，二次致災乃意料中事。（圖 19）

本案經評估後以不與河爭地為原則，以高架鋼梁橋為復建方案。本案復建之評估，考量二次致災路段僅約 240 m，尚有局部路段並未受災。未受災路段予以永久改建則規模龐大，亦不符經濟效益；最後訂定復建原則如下：

- 以原路線復建為佳，但需與上邊坡及崩坍地拉開距離。
- 二次致災路段（240 m±）高程抬高，採永久復建方案，不與河爭地，保留橋下空間供溪水流通。
- 上游側應延長並抬高銜接路段（270 m±），填築路堤，採中期復建修復方式因應，以節省工程經費，並可為日後後續復建路段預作銜接準備。

最後定案之復建方案如圖 20 所示，特殊之處有下列兩點：

1. 高架橋梁路線不向山側移動，反而向河側偏移，以與高陡之上邊坡保持距離，避免坍方落石攻擊。
2. 高架橋南側橋台採墩式橋台設計，延長復建路段仍以擋土牆填築路堤之經濟方案辦理，未來若再度致災時，則墩式橋台背牆打除後可直接向上游側繼續延長高架橋。



圖 18 149 甲線道路多次受災中斷受損嚴重



圖 20 定案之復建方案



圖 19 復建路線圖

路線平立面圖如下圖所示，四跨連續漸變鋼 I 梁配置為  $55 + 70 + 70 + 50 = 245 \text{ m}$ ，梁深為  $2.0 \text{ m} \sim 3.5 \text{ m}$ 。為避免洪水攻擊，橋墩採大口徑單柱式橋墩，並包覆防撞鋼板；下部結構採全套管基樁，另為避免基樁裸露，於基樁頂部設置包覆鋼板，且外部配置鋼筋，萬一河床劇烈沖刷下降導致基樁裸露時，可以立即將鋼筋彎出，與基礎保護工鋼筋共同綁紮，延長使用壽命；基礎板埋深  $4 \text{ m}$ ，加上  $5 \text{ m}$  基樁鋼板包覆，合計提供  $9 \text{ m}$  沖刷深度，已幾乎達到岩盤（圖 21）。

本橋施工及完工照片如下圖所示（圖 22），完工後使用情形良好。

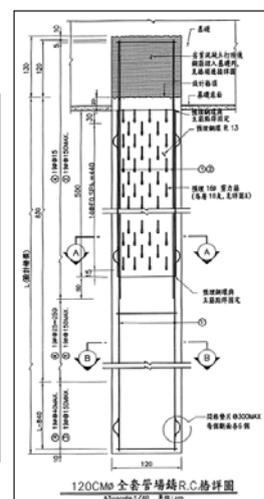
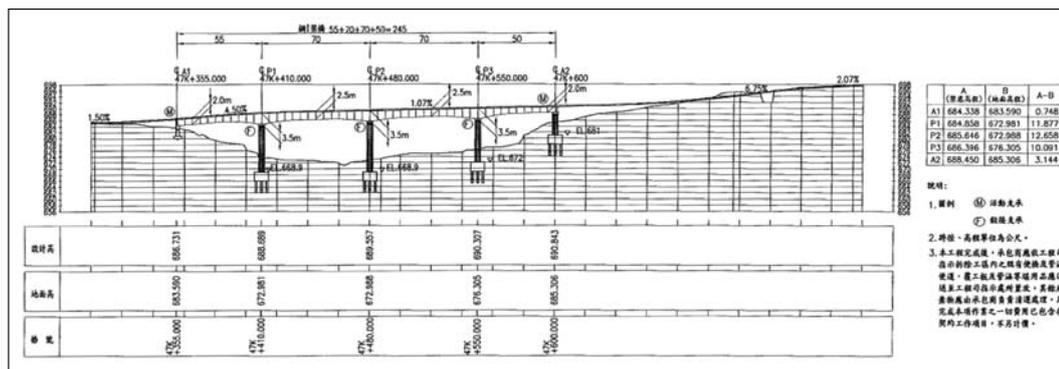
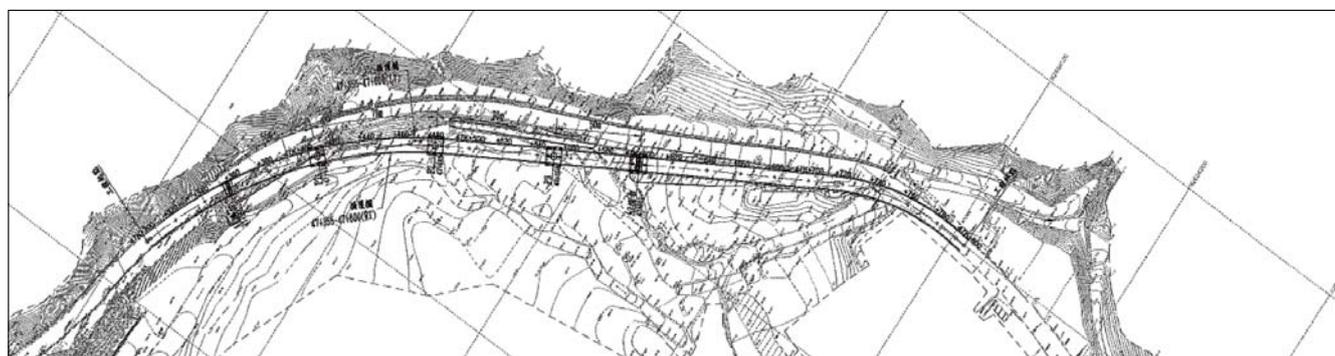


圖 21 復建路線之平立面配置圖



圖 22 施工中及完工後之沙沙歐橋

資料來源：葉昭雄、仲冠工程顧問有限公司

## 結論

山區道路橋梁之復建工程變化性高，有時必須打破成規，唯有詳盡調查、用心設計方可成事。綜歸幾項心得如下：

- 橋梁之選線務必以橋台座落於岩盤為不二法門。
- 坍方、土石流潛勢區務必避開，應予防治或作結構保護工，不可不理。
- 復建規模應妥善規劃，道路不需百分之百原線重建，應以防、避災為最高宗旨，局部改線、改道均可納入考量。
- 跨河橋能抬高就要盡量抬高，能不落墩就不落墩，不要輕忽洪水、土石流的威力。
- 沖蝕溝、野溪很可能在一次災害就擴大數倍寬度，一般兩岸都已存在崩積土，調查時務必詳查崩積範圍，以免橋長不足。
- 山區河道很多以前都是 V 型河谷，淤積後河水向兩

岸侵襲，變成平底鍋型，下方岩盤有可能深度變化很劇烈，地質調查務必要詳實。

- 山區橋梁之施工性一般均不佳，假設工程經費不可忽視，以免無法施工或造成紛爭。
- 局部利用率極低之產業道路復建應考量經濟性，過水路面、箱涵均可考量，甚至即壞即修亦為復建，或以便道維持，俟地形地貌穩定後再辦理永久復建。
- 除公路系統外，其他產業道路、部落聯絡道宜以當地交通需求考量，調查車輛車型需求，不必然以公路系統之標準設計，以符實際。以本文之如意吊橋及山美大橋為例，前者為產業道路，橋寬 2.5 m，通行小型車輛即可滿足居民需求，而後者為公路系統，橋寬 15.7 m，需符合國家規範；前者造價 28,000 仟元，後者造價 185,000 仟元（主橋約 150,000 仟元），橋長只差 7 公尺，造價卻相差不只 5 倍。設計者需因地制宜以符合經濟效益。🏡