工程案例回顧與熱門議題報導

台9線蘇花公路山區路段改善計畫~仁水隧道

邵厚潔* 李民政** 李怡德** 張智棟** 林敬智** 蔣光華**

台9線蘇花公路因地質、地理及氣候環境 條件不良,長期以來常受邊坡崩坍影響誦車安 全。為提昇蘇澳花蓮間公路運輸效能,並兼顧 東部地區整體永續發展,交通部公路總局(以 下簡稱公路總局)乃推動「台9線蘇花公路山區 路段改善計畫」(以下簡稱蘇花改),其節圍涵 蓋蘇澳至崇德約77公里路段,針對線形不佳、 落石坍方、路基狹窄等路段做局部改善,改善 路段分別為蘇澳東澳段、南澳和平段及和中大 清水段等三段,全線改善長度約38.8公里(詳 圖一)。

仁水隧道屬蘇花改和中大清水段之南段 (和中清水段平面及剖面如圖二所示),隧道長 2,948公尺,貫穿良里溪溪口南岸至清水地區 之清水斷崖山體。

仁水隧道為蘇花改唯一單孔雙向隧道,未

來完工後並可通行機慢車。隧道開挖斷面高度 約13公尺,寬度約17.5公尺,開挖面積達202 平方公尺,緊急停車彎段開挖面積達250平方 公尺,為目前全台斷面最大之公路隧道,隧道 標準斷面如圖三及圖四。

仁水隧道沿線地形除北側和仁車站一帶 位於低緩小型沖積平原或崩積緩坡外,其餘多 屬高聳險峻山體,地形起伏劇烈且高差甚鉅, 隊道周邊地形如圖五。

仁水隧道主要通過之岩性為片麻岩及大理 岩,最大岩覆約530公尺,另局部夾有白楊片 岩(綠色片岩及矽質片岩為主),至於溪流河床 及溪口一帶則堆積有現代沖積層(未固結礫石 與砂、泥組成)。隧道周邊主要區域性地質構造 有和仁複背斜以及清水複向斜,仁水隧道周邊 區域地質圖及隧道地質剖面詳圖六及圖七。

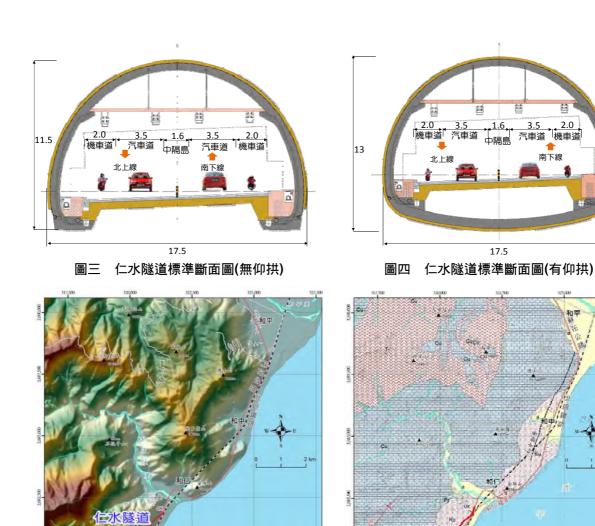


台9線蘇花公路山區路段改善計畫平面圖



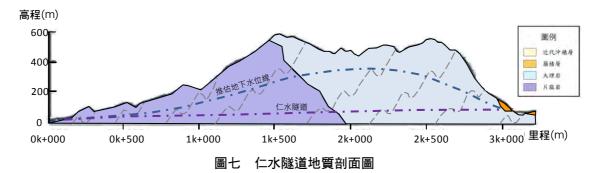
圖二 台9線蘇花公路和中清水段平剖面圖

^{*}交通部公路總局蘇花公路改善工程處 **中興工程顧問股份有限公司



圖五 仁水隧道沿線地形圖

仁水隧道沿線區域地質圖



仁水隧道全區位於太魯閣國家公園內(詳 圖二),加以隧道南段通過富含地下水之大理 岩層(詳圖六及圖七),故如何降低隧道施工對 周遭環境之衝擊並減輕地下湧水對隧道開挖

之影響,為本工程之關鍵課題。此外,交通部 於本工程設計初期新頒「公路隧道消防安全設 備設置規範(2010.12)」,故如何滿足相關規 定以提昇隧道營運安全,亦為一大挑戰。

以下茲就本工程對上述課題所提出之因 應對策進行說明。

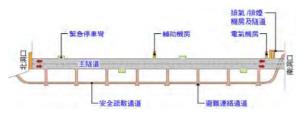
1. 縮減工程規模及施工範圍

針對仁水隧道行經太魯閣國家公園之環 境保護課題,經多方協商及參酌環評承諾事項 後,本工程研擬三項因應對策:

- (1) 隧道採一大一小配置,縮減開挖規 模:為減少隧道開挖量體,並同時滿足「公路 隧道消防安全設備設置規範」需求,仁水隧道 不採雙孔隧道佈設,而以「一大一小隧道」配 置,亦即於主隧道(大隧道,供車輛通行用)之 山側布設安全疏散通道(小隧道,供人員疏散 用),安全疏散通道平剖面如圖八及圖九所示。
- (2) 隧道南口與橋台共構,減少修坡規 模:隊道南口地勢陡峭且緊鄰大清水溪,為避 免洞口大規模修坡致對周遭環境造成過大擾 動,將清水溪橋之橋台及井式基礎設置於隧道 南口內,此除可減少橋台護坡結構量體,亦可 减輕營運階段之土石流沖刷風險,仁水隧道南 口施工照片如圖十所示。
- (3) 由北往南單向開挖,減少擾動範圍:為 縮減隧道施工擾動範圍,仁水隧道由北往南進 行單向開挖,而為滿足2.9公里長之隧道施工通 風需求,經評估及計算通風效能後,將風機安 裝於鄰開挖面之第二處避難聯絡通道(最近一處 作為機具調度使用),並以安全疏散通道作為通 風管道,將新鮮空氣由安全疏散涌道抽送至主 隧道開挖面,另於洞內加設一台送風機往洞口 送風,仁水隧道施工通風規劃如圖十一所示。

2. 減輕湧水風險

經查, 仁水隧道鄰近區域年降雨量達 2,752mm,復以隧道沿線通過地質以大理岩 及片麻岩為主(詳圖六、圖七),為掌握隧道湧 水潛勢,本計畫蒐集鄰近水文地質背景資料, 並考量隧道沿線地表水系、地層及地質構造分 布,據以建立鄰近區域三維水文地質模型(詳 圖十二),進而評估可能遭遇之湧水量。



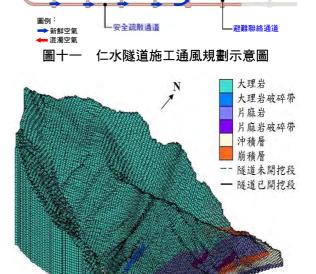
圖八 仁水隧道安全疏散通道平面布置圖



圖九 仁水隧道安全疏散通道斷面圖



仁水隧道南口與橋台共構照片



圖十二 仁水隧道三維水文地質模型

Zx

依據上述評估顯示,隧道整體湧水趨勢並 不高(詳圖十三),然為降低局部湧水之影響, 本計畫於隧道開挖時,仍就可能湧水處進行相 關地質探查,包括前進探查孔、地電阻探查 (RIP)、隧道內震波探測(TSP,詳圖十四)等, 俾供現場地質師研判施工。

經檢視,仁水隧道僅於卡努颱風強降雨期 間(106年10月)有較大湧水情事發生;主隧道 總出水量5,432 L/min(詳圖十五),此與水文 地質分析之趨勢相同。

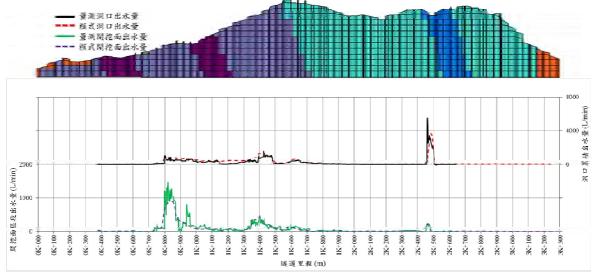
此外,為確實掌握隧道施工對鄰近區域水 資源環境影響,本計畫於施工階段進行一系列 水文地質觀測,並將實際量測值及設計分析進 行比對,結果顯示兩者大致吻合(詳圖十三), 開挖面出水量與模式分析出水量差異在 50L/min以內。

3. 提升隧道營運安全

考量仁水隧道未來允許大貨車及機慢車

通行,為確保用路人安全,本計畫除依據「公 路隧道消防安全設備設置規範(2010.12)」佈 設安全疏散通道外,更參採國際標準,設定車 輛火災熱釋放率為100MW,作為消防、排煙 及火警系統的設計參考係數,據以評估合適之 通風系統與自動化滅火設備。

通風系統部分,仁水隧道係採「複合型點排 式通風系統」,亦即半橫流式通風系統搭配多 點排煙系統設計。在正常及塞車模式(詳圖十六) 下,開啟軸流式風機(axial fan)及開啟排氣/排 煙口,利用風機透過排氣排煙口將廢氣抽至洞 外,進而確保洞內空氣品質。當隧道內發生火 災時(詳圖十七),開啟火災區範圍內之排煙口, 並啟動兩洞口端之軸流式風機(axial fan),將火 災產生之濃煙透過隧道上方之排煙廊道抽排至 洞外。另為控制洞內煙塵以避免擴散,將開啟 火場上游側噴流式風機(正轉)及下游側噴流式 風機(逆轉), 俾提供臨界風速以對火場加壓。



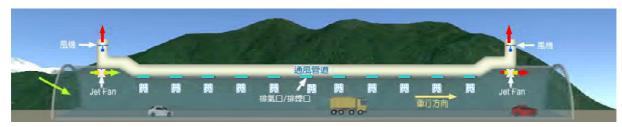
圖十三 仁水隧道開挖面及洞口出水量觀測與分析結果彙整



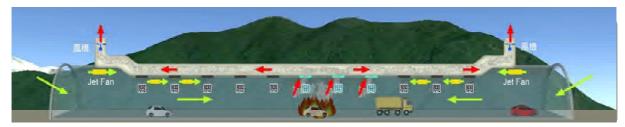
圖十四 仁水隧道 TSP 探測現場作業照片



圖十五 主隧道湧水照片(里程 1k+890)



圖十六 複合型點排式通風系統示意圖(正常+塞車模式)



圖十七 複合型點排式通風系統示意圖(火災模式)

自動化滅火設備部分,經評估自動撒水設 備、水霧滅火設備、泡沫滅火設備、細水霧滅 火設備等四種自動滅火設備之系統功能、建置 與維護成本等因素,並汲取國際隧道工程經驗 後,本計畫決定採用水霧滅火設備,其可限縮 火災區域,防止延燒,並能快速降溫以保護隧 道結構及人員安全。

4. 加強環境保護作為:工程碳管理

為掌握工程施工所造成之碳排放量, 俾利 後續節能減碳作業為施行,蘇花改於2012年6 月啟動碳管理計畫,為國內第一個「以低碳為 訴求、推動碳足跡盤查」之公路計畫,其中仁 水隧道工程於2014年6月辦理啟始會議並啟 動盤查作業(圖十八)。

施工期間,本計畫依循國際碳足跡標準進 行碳盤查工作,將盤查資料登錄於資訊管理系 統,就排碳量進行統計分析及減碳措施之效益 確認。

為確保盤查完整及正確性,本計畫將上 述盤查內容定期委由英國標準協會台灣分公 司(BSI)進行碳排放量查核工作,以確保盤查 完整及正確性,並將碳盤查期間所產出成果 回饋於設計,供後續工程規劃設計參考(圖十 九)。

依碳足跡盤查結構顯示,仁水隧道主要碳 排放來源為工程材料,其次為工程所使用之機 具及工區用電排放,機材運輸與人員出勤逸散 排碳量占比則較低。



圖十八 蘇花改工程碳足跡盤查啟始會議



圖十九 仁水隧道工程碳管理架構

為達節能減碳目標,仁水隧道採用下列三 項作為:(1) 綠色材料:隧道混凝土以一定比 例飛灰爐石粉取代水泥,經計算混凝土減碳比 例約在43%;(2) 綠色工法:隧道採用鋼纖維 噴凝土,較一般混凝土厚度減少約20%;(3) 節能作為:隧道送風機使用變頻設備。

蘇花改從計畫成立至今備受國內各界關 注,其中仁水隧道因位於太魯閣國家公園保護 區內,如何兼顧環境保護與隧道施工需求,考 驗著工程團隊之智慧。

仁水隧道主隧道自2015年4月6日開挖進 洞,採全能工班不停趲趕,歷經1,318天後, 已於2018年11月13日貫通(詳圖二十、圖二十 一,平均開挖進度約67公尺/月)。另安全疏散

通道部分亦已於2018年7月23日貫通(平均開 挖進度約78.5公尺/月)。

仁水隧道之土建工程已接近尾聲,目前正 努力攢趕機電工程,其中「複合型點排式通風 系統」及水霧滅火設備為關鍵所在,相信在(蘇 花改工程處)、承商(大陸工程公司)及設計監造 (中興工程顧問公司)之通力合作下,必能順利 完成,並留下寶貴經驗。



圖二十 仁水隧道貫通



圖二十一 仁水隧道貫通合影