

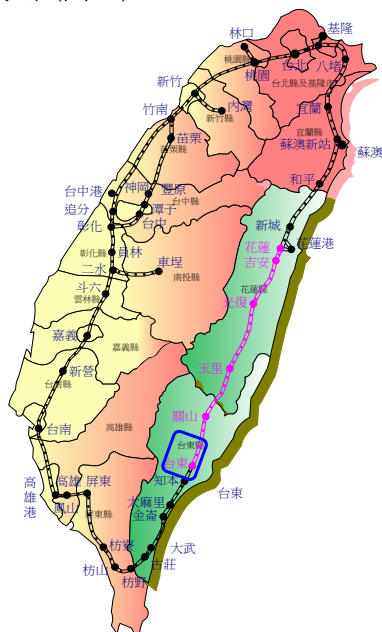
工程案例回顧與熱門議題報導

東部鐵路山里隧道工程概述

許健宏* 林敬智** 李民政** 李怡德**

山里隧道屬「花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫」(圖一)之一部分，隧道貫穿花東縱谷南端卑南溪右岸之卑南山台地東緣(圖二)；花東縱谷地處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊碰撞帶，南段由卑南溪等河川交織成綿密的水系(圖三)。

山里隧道長度約5,300m，沿線除洞口及淺覆蓋段為沖積層或崩積層，其餘均位處第四紀卑南山礫岩(圖四)，為台灣地區少見之純礫岩隧道案例。



圖一 花東線鐵路電氣化計畫及山里隧道位置



圖三 山里隧道附近區域地形及河川水系圖



圖二 山里隧道位置圖



圖四 卑南山礫岩

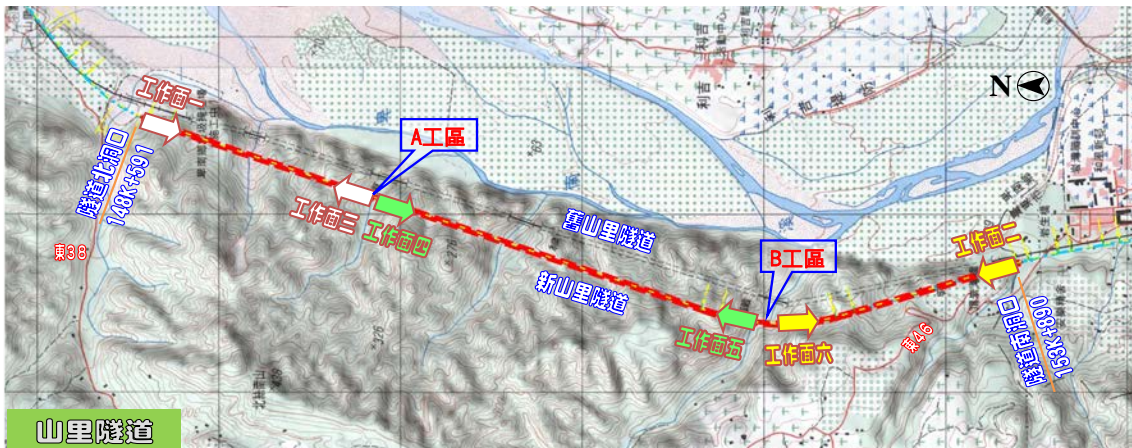
* 交通部鐵路改建工程局東部工程處 ** 中興工程顧問股份有限公司

山里隧道沿線所經之卑南山礫岩(圖五) 主要由來自臺東縱谷西邊中央山脈變質岩區膠結不佳的礫石及砂、泥組成，礫石材料主要為變質砂岩、石英片岩、結晶石灰岩、變質基性火成岩等，岩體常夾有裂隙，滲透係數k值較大(透水試驗結果k值約 1.1×10^{-6} m/s)，含水量高時易軟化。依行政院公共工程委員會「台灣地區隧道岩體分類系統(PCCR)」，隧道沿線屬D₁至D_m岩類。卑南山礫岩層位於利吉層上方，並受卑南山斷層與花東縱谷斷層影響，岩層中存在較多剪裂面，致使礫岩層原已膠結部份受到擾動而多鬆散，開挖時易掉落。

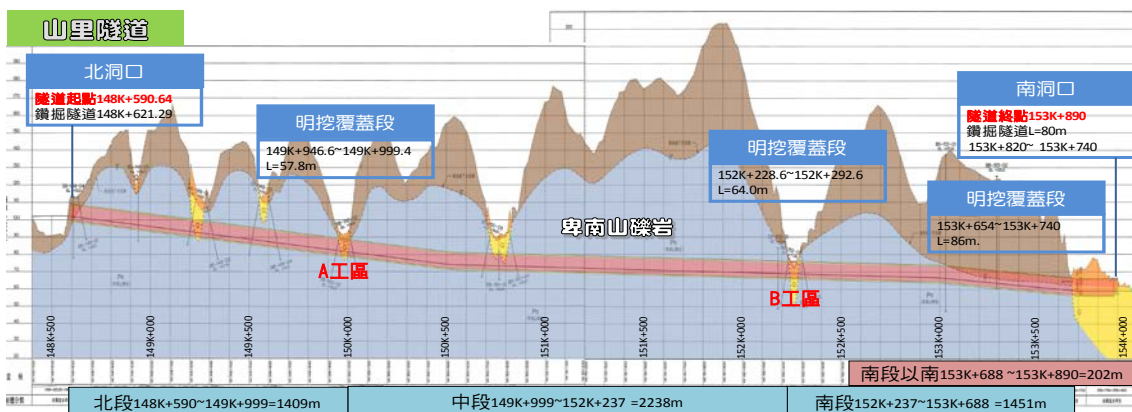
舊山里隧道由7座短隧道組成，其間以過河段及明挖段結構銜接。在新山里隧道設計階段，考量洞口及淺覆蓋段均位處土石流潛勢溪流警戒區，行車安全易受雨季影響，且存在落石潛勢，故為提升行車安全，並減低工程開發對周遭環境之衝擊，於舊隧道西側新建隧道(圖六)，並降低隧道高程使其成為一座長隧道(圖七)，充分落實永續工程之目標。



圖五 山里隧道附近區域地質圖



圖六 山里隧道平面及工作面配置圖



圖七 山里隧道縱剖面圖

早期台鐵雙軌隧道之淨寬約8.14m，再於兩側設避車洞，然避車洞壁龕應力集中不利施工開挖，且施作防水膜較易失敗，故山里隧道設計時不設置避車洞，改於兩側電纜槽上方增加維修步道，除有利於整體結構安全與隧道施工外，亦可保護隧道內之電車線、電訊與號誌行車設備，增加行車安全。

隧道襯砌結構採排水隧道設計，斷面配合開挖型式分為無仰拱及有仰拱等兩種，頂拱襯砌厚度0.3m(圖八)。隧道斷面防水設計為隧道頂拱及側壁鋪設防水層，防水層底部設置縱向盲溝收集隧道外地下水。

隧道開挖支撐系統採用新奧工法(NATM)之施作理念，隧道沿線岩體區分為D_I、D_{II}及D_{III}三類，並擬定對應之開挖支撐系統。設計階段亦將鋼纖維噴凝土、桁型鋼支保等快捷工法納入隧道標準開挖支撐，以提昇隧道施工效率。

山里隧道原規劃開闢南、北兩個開挖面，而為減少洞口開挖規模及擾動邊坡，南、北洞口採直接進洞方式開挖，並搭配管幕工法(AGF)等輔助工法先撐後挖方式分階施工。

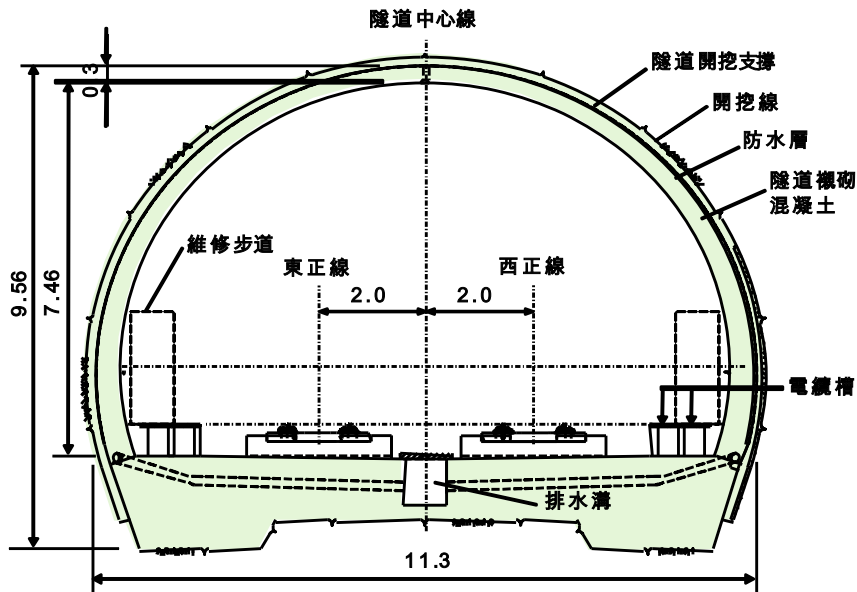
然而，南洞口因用地及邊坡施工等因素暫緩進洞開挖，故99年7月時僅北洞口單一工作面施作。復因卑南溪有多條野溪匯流，汛期時水流湍急，隧道施工期間歷經多次颱風、豪雨造成卑南溪溪水暴漲，沖毀卑南溪右岸高灘地

施工便道，致施工運輸路線中斷。

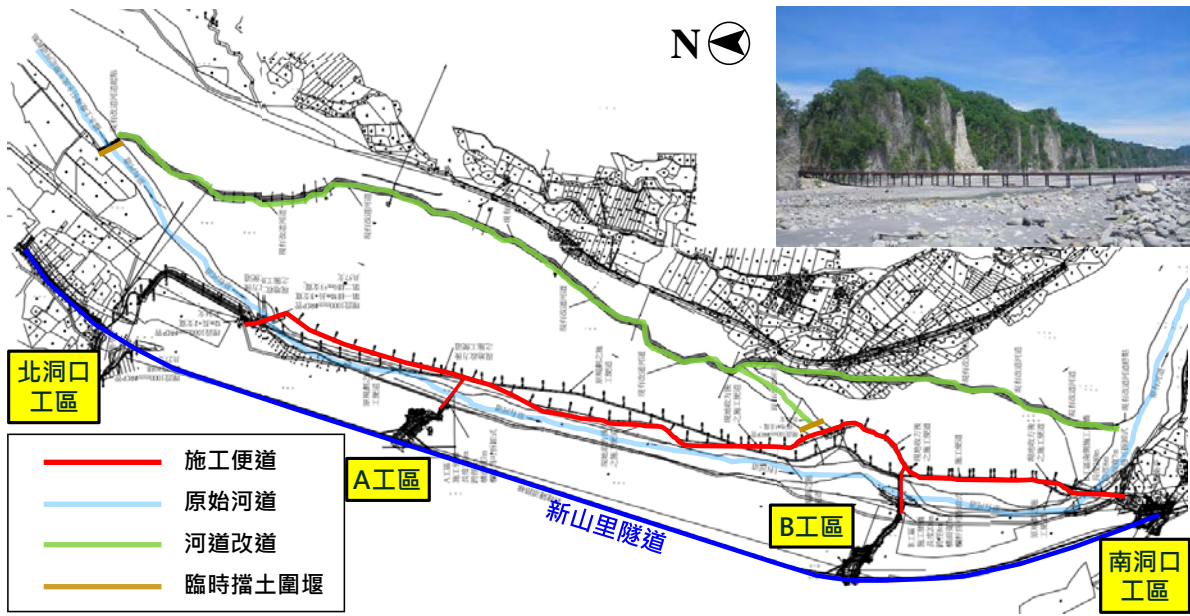
經考量，為避免大規模破壞原始環境與生態，並減少後續施工便道受溪流之影響，改沿卑南溪右岸河床高灘地及兩條支流，以鋼棧橋型式設置施工便道至A、B兩工區附近(圖九)，並增設兩個施工橫坑。橫坑自99年10月進行開挖，並於99年12月到達主隧道，至此含北洞口共計5個工作面進行趕工，至於南洞口工作面則於100年9月後展開。

針對隧道過河段A、B工區(圖九)，兩處野溪上游地勢陡峭，每遇暴雨時洪流迅速宣洩並挾帶大量土石，為確保該區段於汛期之施工安全並提高施工效率，採用上半明挖下半鑽掘之頂蓋工法(圖十)進行半半施工。另於卑南溪工址上游鸞山大橋處裝設超音波水位自動水位觀測系統(圖十一)，並與水利署第八河川局建立防汛聯防機制，透過網路回傳數據至工務所，如遇颱風、豪大雨或卑南溪溪水異常暴漲超過警戒水位值時，立刻通告施工人員撤離，確保汛期施工安全；山里隧道於施工期間曾成功通知撤離施工人員共計6次。

此外，考量過河段A、B工區之隧道覆蓋較淺，且受土石流潛勢威脅，故於該區段之隧道上方新建3處固床工(圖十二、圖十三)及攔砂壩工程，其中固床工下方以全套管基樁保護隧道結構(圖十二、圖十四)，減少淺覆蓋處之沖刷，使行車更加安全。



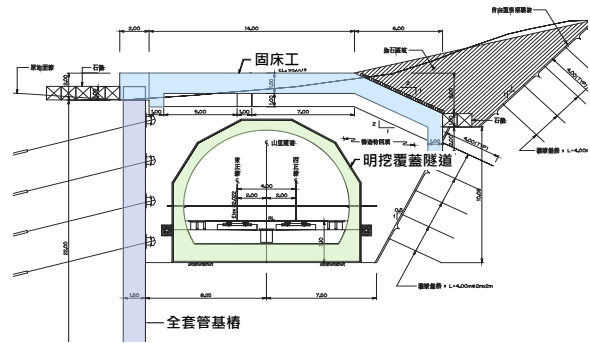
圖八 山里隧道標準段斷面(無仰拱)



圖九 卑南溪右岸高灘地打設鋼棧便橋方式設置施工便道



圖十 山里隧道A工區過河段頂蓋工法施工



圖十二 隧道過河段固床工示意圖



圖十一 鸞山大橋自動水位監測系統



圖十三 隧道過河段固床工施工及完成情形



圖十四 隧道過河段固床工之全套管基樁



圖十五 新山里隧道機械鑽掘開挖



圖十六 新山里隧道施工中前進探查鑽孔



圖十七 山里隧道上半斷面開挖遭遇抽坍

在隧道工法方面，為減少隧道開挖對鄰近地層及舊山里隧道之擾動，新山里隧道以機械鑽掘開挖方式(挖掘機及破碎機，圖十五)進行開挖工作；另考量開挖斷面較大，開挖時以分階開挖工法施作。

隧道開挖時，搭配進行施工中前進探查鑽孔(圖十六)以提高開挖面前方地質條件之掌握度，另配合現場地質師即時給予之建議進行施工，並佈設系統化之隧道監測系統以掌握地盤變化行為，進行On-going Design，預防隧道災變及提升施工安全。隧道上半斷面開挖施工期間曾遭遇6次抽坍(圖十七)，推估係因岩盤開挖解壓、地下水入滲致岩盤軟化等影響所致。

山里隧道各開挖工作面平均月進度約70~85m，於101年3月15日全線上半斷面貫通(圖十八)，貫通時程超前約3個月；北、中、南段陸續貫通後，隨即進行後續之台階及仰拱開挖工作。針對隧道各區段之開挖進度，若扣除抽坍處理時間，一般區段之平均開挖月進度達100m。山里隧道於99年3月2日開工，103年4月16日完工，工期共計1,507日曆天。

「花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫」工作範圍涵蓋花蓮及台東地區，幅員遼闊、介面複雜，整合殊為不易，新建工程執行過程中，設計團隊常不時奔波於花蓮和台東等地現勘及工程研討。工程開工以來，山里隧道經業主(鐵工局東工處)、承商(大陸工程公司)及設計監造(中興工程顧問公司)通力合作，終能順利完成，並留下台灣礫岩層隧道之寶貴經驗！



圖十八 101年3月15日山里隧道全線貫通