

地工程回顧 技術

阿里山森林鐵路隧道復建工程

劉弘祥* 廖俊逸* 魏銘輝* 連祥益** 廖一光**

一、前言

國寶級的阿里山森林鐵路是全世界著名的高山鐵路之一，2009年8月8日之莫拉克颱風重創南臺灣，嘉義阿里山區之累積雨量高達 3,000 mm 以上，造成數十處路段之上、下邊坡整體崩滑，鐵道路基流失，迫使森林鐵路中斷行駛。其中以 Sta.49k+780~50k+100(以下簡稱「多林段」)及 Sta.60k+550~61k+450(以下簡稱「屏蔽那段」)兩路段最為嚴重，多林段崩塌最大橫向寬度約 550 m，鐵道遭上方邊坡崩落巨石掩埋及損毀如圖一所示；屏蔽那段崩坍區縱向長度達 2 km，最大橫向寬度達 800 m，崩坍範圍內鐵道 Sta.60k+500~61k+300 路基全數流失如圖二所示。

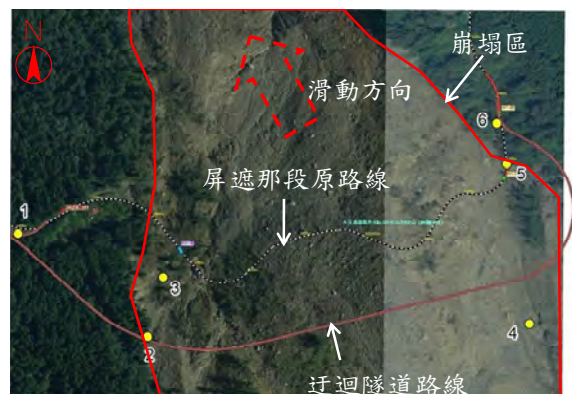
為使阿里山森林鐵路能全線安全復駛，復建工程以「順應自然、尊重自然、不對抗自然」為原則，採取迂迴隧道方式避開大型崩塌區，調整後之隧道路線如圖一及圖二所示，其中多林段隧道總長約 487m，最大覆蓋厚度約 100 m，屏蔽那段隧道總長約 1,165 m，最大覆蓋厚度約 80m，隧道穿越之地層主要為崩積層、砂岩及砂頁岩互層等性質不同之地層。其中多林隧道採單邊開挖，自 2012 年 8 月進洞，至 2013 年 7 月貫通；屏蔽那隧道採雙邊開挖，自 2013 年 4 月進洞，至 2014 年 2 月貫通。

上述二座隧道西口之崩積層段(DIII類)分別長達 109.8m 及 99m，為國內外罕見之崩積層長隧道，經配合先撐管幕鋼管、桁型鋼支保及鋼纖維噴凝土等支撐方式，得以避免發生大規模抽坍，順利完成此一困難段之開挖工作。於隧道開挖過程中，配合伸縮儀及收斂釘等監測儀器，以計測回饋資料調整支撐設施，結果

顯示，除屏蔽那隧道 Sta.60k+418~60k+476 之 DIII 類崩積層段於 2013 年 5 月因受豪大雨影響，致使變位達入侵值，經 2013 年 7 月增設岩栓及 2013 年 9 月施作固結灌漿補強後，變位值隨即趨於穩定而收斂如圖三所示(圖中 L：沉陷點、D：收斂釘之斜拉尺、H：收斂釘之水平拉尺、E：伸縮儀)，其餘斷面變位值皆為控制範圍內之正常值。



圖一 多林段崩塌區空照圖



圖二 屏蔽那段崩塌區空照圖

* 中興工程顧問股份有限公司

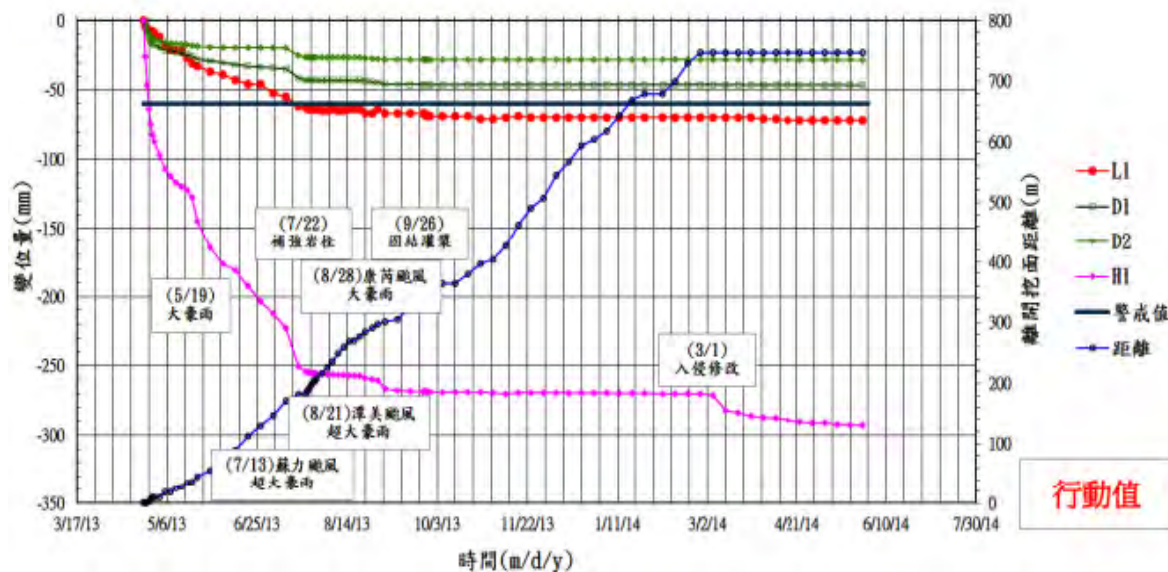
**行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處

本案先以台灣岩體分類與隧道支撐系統(PCCR系統)建議之岩盤分類與支撐工關係，進行支撐設計，再於施工階段採用安全監測及回饋分析等措施，適時調整支撐工數量及

施作時機，由於各單位密切配合才能使森林鐵路得以順利貫穿，施工照片集錦如圖四至圖七所示。

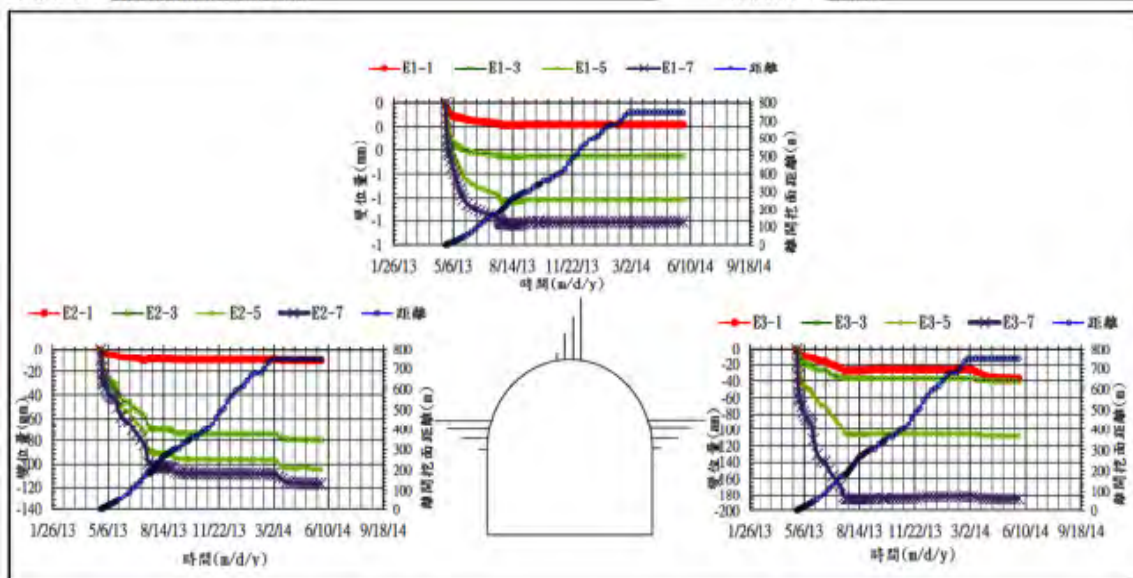
沉陷及收斂歷時曲線圖

監造單位：中興工程顧問股份有限公司	編號：W-002	預估變形量：100(mm)
承包商：利德工程股份有限公司	結構物：隧道	正常值：0<變位量≤60(mm)
安裝日期：102年04月22日	岩體類別：DIII類	警戒值：60<變位量≤80(mm)
安裝位置：STA. 60k+440 (W027輪)	岩體評分：崩積層	行動值：80<變位量≤100(mm)



伸縮儀歷時曲線圖

監造單位：中興工程顧問股份有限公司	編號：W-002
承包商：利德工程股份有限公司	結構物：隧道
安裝日期：102年04月22日	岩體類別：DIII類
安裝位置：STA. 60k+440 (W027輪)	岩體評分：崩積層



圖三 森林鐵路60k+550~61k+450路基修復工程之DIII類崩積層段之變位情況圖

土工技術



步驟一：管幕鋼管先撐保護頂拱



步驟二：假洞口段架設鋼支撐



步驟三：噴佈鋼鐵纖維噴凝土



步驟四：假洞口段襯砌及回填

圖四 隧道西洞口開挖支撐施工情形



步驟一：鑿岩機開挖



步驟二：組立桁型鋼支撐



步驟三：噴佈鋼鐵纖維噴凝土



步驟四：鑽設管幕鋼管

圖五 隧道內開挖支撐施工情形

地工技術



步驟一：鋪設全封閉式防水層



步驟二：組立襯砌鋼筋



步驟三：澆置襯砌混凝土



步驟四：襯砌完成段

圖六 隧道內襯砌施工情形



填土區齒墩型排水溝



填土區消能井



填土區回填及植生



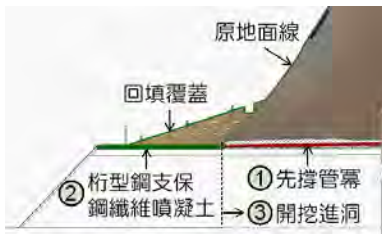
西洞口格梁護坡

圖七 隧道洞口及填土區施工情形

另本工程於設計及施工方面之突破項目如下：

1. 隧道洞口不開挖邊坡

洞口崩積層較厚，傳統洞口工程為先將崩積層削挖，再配合邊坡保護設施，但是多林段隧道及屏遮那段隧道之西洞口直接由既有坡面上鑽設先撐管幕鋼管，以增加頂拱穩定性，再於洞外架設鋼支保及噴佈鋼纖維噴凝土形成假洞，部分覆土培厚，以避免發生偏壓現象。當內部襯砌完成後，再將洞口造型為斜坡面，最後於假洞上方覆土植生。以此種工法施工結果，可大量減少露天明挖部分之開挖量，提高洞口邊坡的穩定性，完工後為綠化的景觀坡面，可增加觀光價值，如圖八所示。



圖八 洞口不開挖邊坡直接進洞工法

2. 克服崩積層之鬆散地質

多林段隧道及屏遮那段隧道之西口崩積層(DIII類)開挖段分別長達 109.8m 及 99m，一般隧道少有如此長之崩積層開挖段，本隧道工程崩積層開挖段支撐係採用新奧工法之理念，由先撐構件管幕鋼管配合鋼支保及鋼纖維噴凝土提供圍束作用，將周圍岩盤形成一承受應力之拱環，承受開挖所造成之岩盤變形與應力變化，以維持隧道之安全與穩定，如圖九所示。

3. 充分利用既有隧道

將多林段隧道東口由距離既有 35 號隧道東口約 70 m 處匯入，形成交叉段，如圖十所示。將新建多林隧道匯接至既有結構良好的 35 號隧道，除了減少新建多林隧道之總長度之外，亦無需新建隧道東洞口。減少工程費及工期，並保留既有 35 號隧道東口結構物，亦不破壞邊坡生態環境。

4. 工區內設置填土區

由於隧道開挖作業所產生之土石方量大，考量土方外運所費不貲，同時大量砂石車

進出對於阿里山公路交通將造成嚴重衝擊，故於工區內尋找適宜之填土區作為棄土地點，可節省運輸及土資場費用，並減輕運土造成之污染及交通影響。以多林隧道為例，配合施作排水箱涵及地表排水渠道，以維持既有山溝的排洪量，相關之水土保持設施完成後，除可減緩地面坡度及原山溝溪床淘刷現象，亦可增加坡面穩定性，如圖十一所示。

嘉義阿里山森林鐵路完工至今已逾百年，2009 年受八八風災重創，沿線產生四百餘處災損，其中森林鐵路主線之多林段與屏遮那段，因產生大規模崩塌造成鐵路路基嚴重損毀，修復工程極具挑戰性，為避免重複致災，本修復工程規劃、設計及施工之特色如下：

1. 原有多林段及屏遮那段之阿里山森林鐵路主線即位於崩塌土層上，後因莫拉克颱風之超大豪雨導致主線上下邊坡大量崩塌，造成部分路段路基嚴重破壞，為使阿里山森林鐵路能全線安全復駛，復建工程以「順應自然、尊重自然、不對抗自然」為原則，採取迂迴隧道方式避開大型崩塌區。

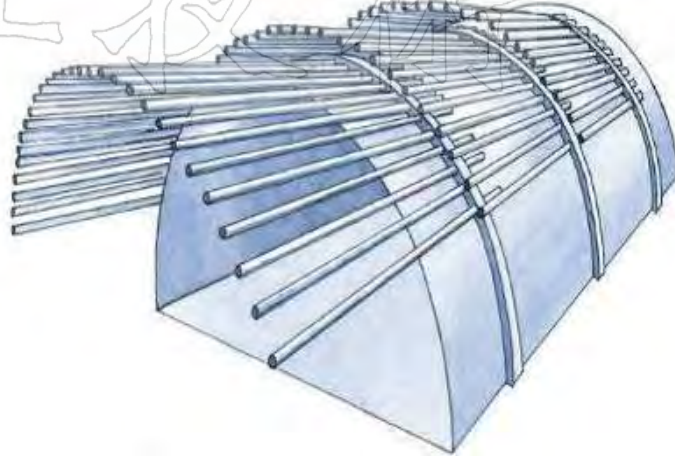
2. 考量本次隧道開挖斷面較小，隧道中每 200 m 設置一長度 10 m、寬度 1.4 m 之避車道及寬 4 m、長 5m 之迴車洞，以利施工機具避車及迴車使用。

3. 隧道支撐系統以 PCCR 系統岩體分類法作設計，採用支撐材料包括先撐管幕鋼管、桁型鋼支保、鋼纖維噴凝土及自鑽式岩栓等。

4. 隧道崩積層(DIII類)開挖段支撐採用新奧工法之理念，由先撐構件管幕鋼管配合鋼支保及鋼纖維噴凝土提供圍束作用，將周圍岩盤形成一承受應力之拱環，承受開挖所造成之岩盤變形與應力變化，以維持隧道之安全與穩定，顯示先撐管幕鋼管為適用於崩積層開挖段支撐之良好工法。

5. 本案在業主(農委會林務局嘉義林區管理處)、設計及監造(中興工程顧問股份有限公司)與施工(華洲營造股份有限公司及利德工程股份有限公司)單位共同努力下，已榮獲農委會民國 102~103 年度優良農建工程獎及中華民國隧道協會 103 年度優良隧道工程獎。

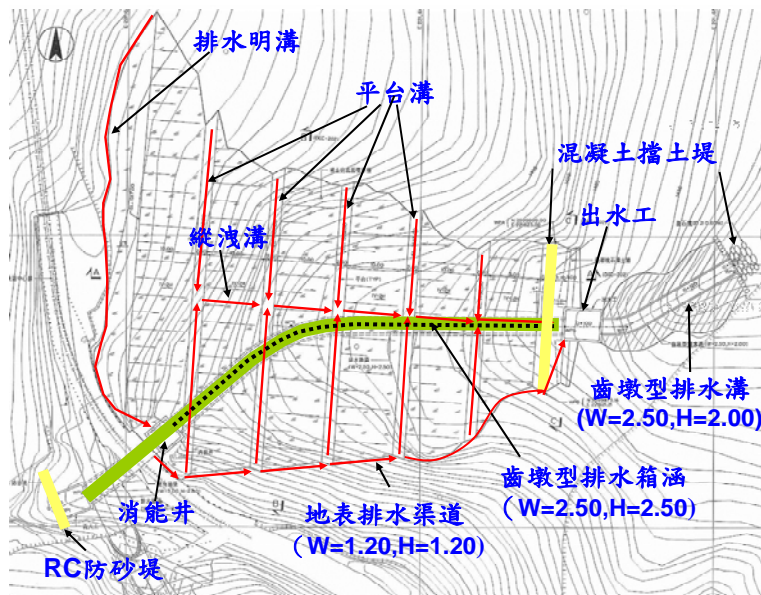
地工技術



圖九 管幕鋼管配合鋼支保及鋼纖維噴凝土提供圍束作用



圖十 新建多林隧道匯接至既有結構良好的35號隧道



圖十一 多林隧道西洞口填土區平面及排水佈置圖