

宜專一線公路10.8K地層滑動監測 與規劃治理之介紹

文/圖 林滸貞 ■ 林務局羅東林區管理處處長
林秉謙 ■ 林務局羅東林區管理處育樂課技佐
林浩然 ■ 林務局羅東林區管理處治山課技正
吳重君 ■ 勇霖工程顧問有限公司技師
林志明 ■ 林務局羅東林區管理處治山課課長(通訊作者)

一、前言

林務局羅東林區管理處(以下簡稱羅東處)所轄宜專一線公路(以下簡稱宜專一線)，為太平山國家森林遊樂區唯一聯外道路，宜專一線路基歷經90年納莉與94年海棠等歷年颱風之豪雨侵襲，造成宜專一線7K(中間解說站)、10.8K、12.5K及13.5K等路段，陸續發生地層滑動與邊坡崩塌等路基災害。

羅東處於97年起辦理宜專一線沿線地質鑽探與地滑監測作業，並依據每年度鑽探監測成果，分年分期辦理各工區治理工程在案。此外，100年度起鑒於國道三號七堵路段99年4月發生嚴重的走山意外，為防止類似道路災害發生進行邊坡崩塌及地錨設施之評估調查工作。

羅東處依據先期調查規劃成果，於100年辦理「宜專一線10.8K工區周邊地滑潛勢與路基整治工程」(以下簡稱本工程，基地位置與交通動線圖詳圖1)，以防止地滑潛勢加劇、避免災害擴大、保障遊客通行安全、保全蘭台苗圃與林業設施。鑑於本工程規劃設計周延與施工品質優良，榮獲農業委員會101年度優良農建工程獎，故撰文分享調查監測與規劃設計心得。

二、基地環境分析

(一)區域地質

根據基址地表地質勘查與相關文獻彙整，宜專一線10.8K工區附近出露的地層主要為廬山層，屬板岩或硬頁岩為主的中新世中期地層，

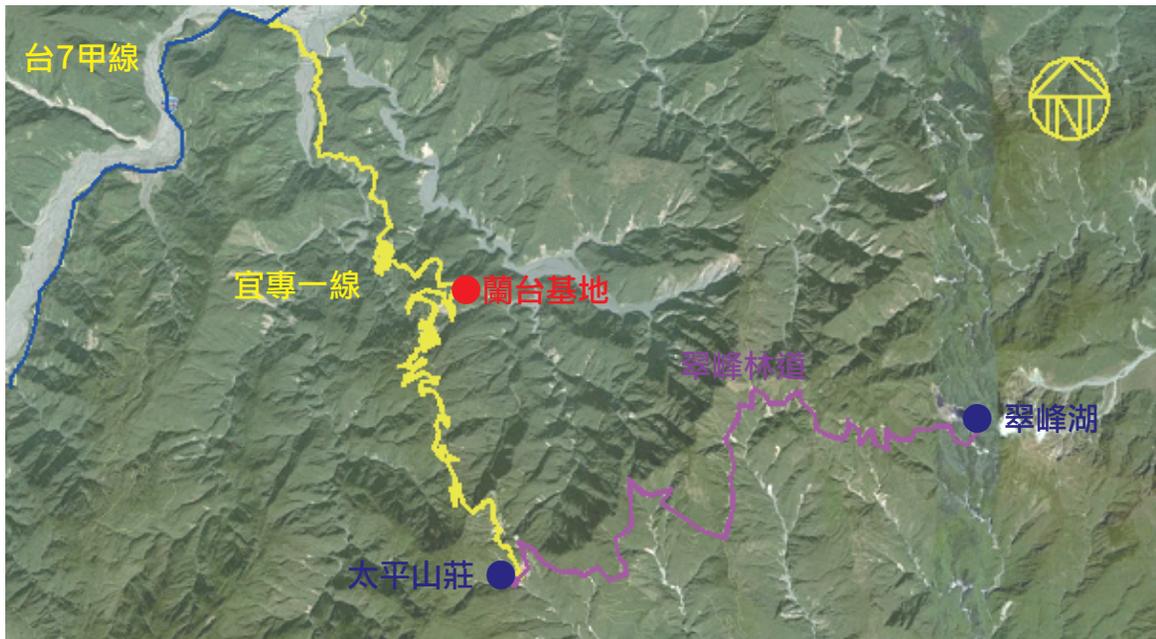


圖1 基地周邊交通動線圖(航照圖摘自GOOGLE EARTH網站)

廬山層由下而上細分為清水湖段與仁澤段。本案基址主要座落於仁澤段，分佈於仁澤沿東北方向延伸至清水溪中游地區，以淺灰色至灰色硬頁岩，或硬頁岩與薄層變質砂岩的互層為主。

(二)區域雨量

根據民國78至102年之24年間雨量紀錄(詳圖2)，平均年雨量為4,104mm，96年為全年雨量最大年度，全年雨量達6,050mm，為年平均雨量1.47倍，98至100等三年雨量明顯偏低，101年雨量恢復至平均值以上。

97年9月強烈颱風辛樂克及薔蜜颱風侵台，單月降雨量2,529mm，佔97年降雨量5,805mm之44.6%，為月累積雨量之記錄值。此外，101年年雨量達5189mm，其中101年7月30至8月2日蘇拉颱風四日累積雨量達1921mm，超過200年再現期值。

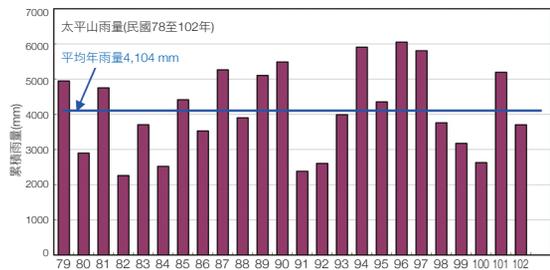


圖2 太平山雨量站之年雨量統計圖(資料來源：中央氣象局)

(三)歷年路基災害演進

宜專一線起點台七甲線家源橋，終點為太平山莊，全長25.6公里，在民國88年以前較無發生大型路基災情，但88年南投集集921大地震規模為芮氏規模7.3，幾乎把國內山上土層震鬆，宜專一線公路也不例外，以致90年納莉與94年海棠等颱風豪雨侵襲，造成1K、7K中間解說站、10.8K、13.5K等路段，發生路基流失、地層滑動與邊坡崩塌等災害(現況詳圖3)，造成太平山遊樂區休園各達壹年左右，嚴重影響宜

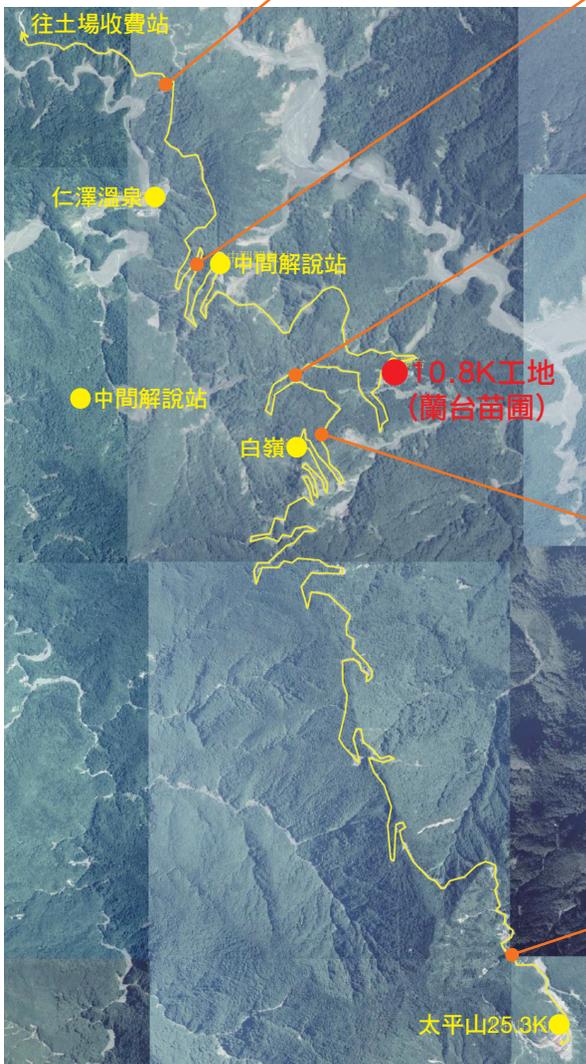


圖3 宜專一線沿線90年至94年路基災害與邊坡崩塌災情

蘭觀光旅遊產業發展。

羅東處有鑑於氣候變遷與極端降雨威脅，從民國97年起每年皆辦理宜專一線路基安全檢視、地滑潛勢區鑽探與監測工作，運用防災、減災、避災觀念來維護路基，以「災前」之長期鑽探監測評估與積極治理，取代「災後」之交通阻斷與搶修復建，並以長期鑽探監測以確認地滑潛勢機制與深度，評估復建方案、治理工法、經費概算與預估成效，98年起路基災害規模與災損呈現明顯下降趨勢，連101年7月蘇拉颱風之1921mm極端降雨，沿線災情相對輕微，顯現整治成效。

三、前期鑽探監測工作成果

宜專一線10.8K工區緊鄰蘭台苗圃(詳圖3)，羅東處100年整治工程前先於98至99年辦理先期調查監測工作，包括監測系統規劃設置、長期監測、後續整治工程規劃、方案評估與分年分期計畫、經費概算等工作。

C9傾斜管變位量與深度之關係(主軸)
變化量mm

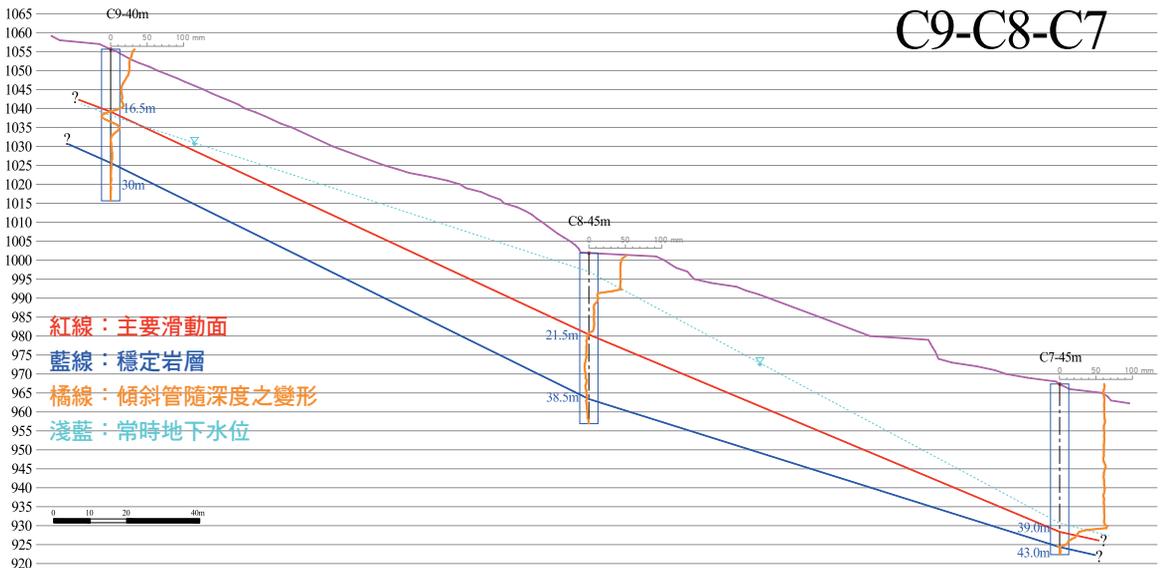
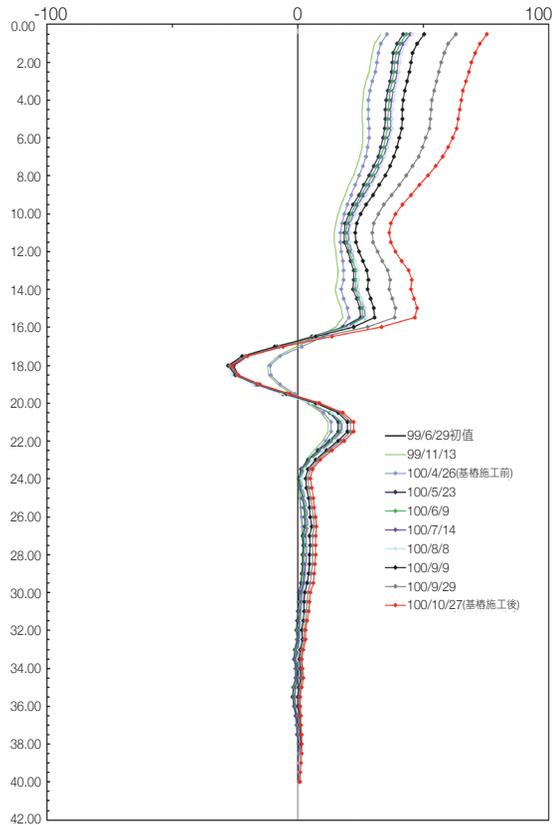


圖4 宜專一線10.8K工區整治前之C7-C8-C9軸線地滑潛勢斷面圖

宜專一線10.8K工區岩層分佈，表層為棕黃至棕灰色崩積層或回填層，第2層為黑灰至灰色之極度至中度破碎硬頁岩層，常夾剪裂泥薄層，厚度介於12.9m至16.1m間，最下層至最大鑽探深度30.0m止為輕度至完整硬頁岩層，常夾破碎岩層。

地滑潛勢監測成果彙整：C7-C8-C9軸線之地滑潛勢詳圖4(軸線位置則詳圖5)，由觀測結果顯示，C7孔明顯滑動層面位於深度39m處，C8孔深層滑動面位於地下21.5m處，深度10m處出現明顯淺層滑動面，C9孔於深度16.5m處出現一明顯向外滑移，並伴隨土層向下擠壓，因此形成傾斜管深度16.5m以上向外偏移，以下則扭曲變形，管口甚至有凸出地面現象(C9監測成果詳圖4小圖)。

根據圖5之歷年10.8K區域路基災害演進照片，10.8K與10.9K兩處路面曾發生嚴重隆起(研判為地層滑移且上邊坡滑移量大於路面區，擠壓致路面隆起)，11.7K處常有橫向路面裂縫且曾路基下陷，11.5K至11.7K常有縱向弧狀路面裂縫，10.8K上邊坡坡面有陷落崖與裂縫等地滑跡象，顯示10.8K區域有地滑範圍擴大與滑移速度加速惡化之虞。

四、宜專一線10.8K整治規劃與優良農建獎肯定

由圖5宜專一線10.8K周邊歷年明顯地滑跡象，且監測成果顯示部分觀測值變形已達警戒值以上，顯示10.8K周邊為一大型地滑潛勢區，故急需研擬治理工程以防災害擴大。

(一)地滑整治工法評估

地滑潛勢區若單以淺層之護坡與擋土工法

整治(如植生、掛網護坡、擋土牆等)，整治效果低與事倍功半。常見大型地滑整治工法有以下四種：(A)抗滑樁工法：直接以RC排樁支承下滑岩體。(B)水平集水管與集水井等排水工法：導排滑動層面地下水與增加有效應力，提高岩體強度與滑動層面穩定性。(C)預力地錨工法：於滑動層面上方施加荷重，提高滑動層面摩擦力與穩定性。(D)複合型：複合施作抗滑樁、排水與預力地錨等工法。

10.8K地滑潛勢整治工法評估分析(詳表)，建議採用「抗滑樁工法搭配邊坡水平集水管之排水工法」，工法評比成果說明如下：(A)抗滑樁工法已應用於周邊之13.5K與12.5K地滑整治，目前整治成效良好。(B)工區內C8與C10孔常時地下水位約於地表下2至7m間，此路段規劃打設水平集水管等淺層排水工法之可行性、經濟性與效能較高。(C)除前揭10.8K路段常時地下水位較淺外，其餘苗圃外圍地下水常位於20m以下，若採集水井工法需40m深井，施工費用高。(D)10.8K上邊坡無既有擋土牆面施作預力地錨，若採地錨工法需新築擋土牆或坡面RC版，地錨工法之可行性與經濟稍低，且對周邊景觀影響高。

(二)宜專10.8K工區整治規劃

1. 規劃宜專一線10.8K工區100年整治大綱有以下四項：(A)施作抗滑樁(全套管鑽掘式基樁，詳圖6)控制深層地滑，(B)基樁帽梁施作130T預力地錨控制基樁樁頂變位，(C)上邊坡規劃施作水平集水管，(D)重建路面邊溝以截除逕流匯入地滑區。

2. 圖7為宜專10.8K工區之辛樂克災後、施工階段與完工復育之連續照片，顯示規劃設計「抗

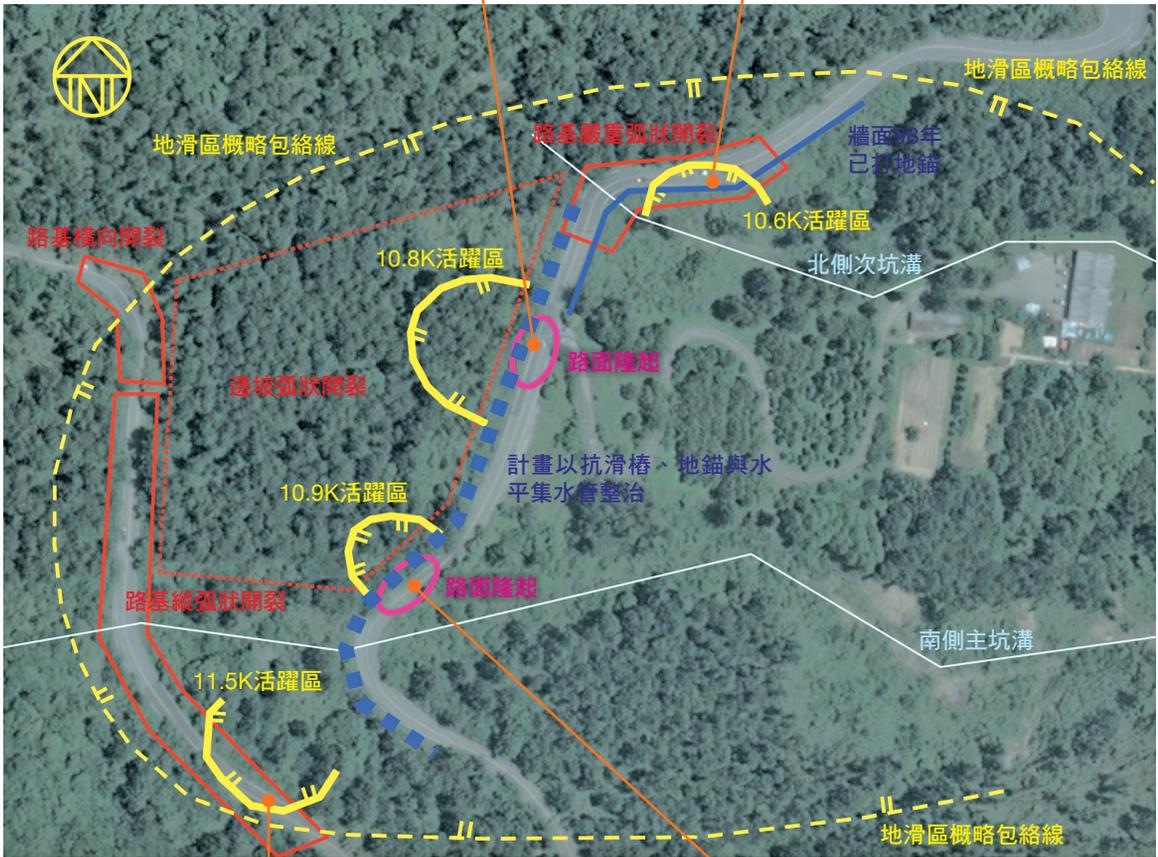


圖5 宜專一線10.8K周邊歷年地滑跡象與路基災害彙整圖

表 10.8K地滑潛勢整治工法評估分析表

工法 評比項目	●抗滑樁工法：直接以RC排樁支承下滑岩體	●水平集水管與集水井等排水工法：導排地下水與增加有效應力	●預力地錨工法：於滑動層面上施加荷重，提高摩擦力與穩定性
工法實例	宜專一線13.5K、12.5K與藤枝林道2K周邊。	宜專一線7K周邊	宜專一線7K周邊
工法限制	樁長者效益低，適用保全對象重要者，本案保全對象為路基與苗圃。	深集水井價高，設計需高度技術經驗，本區屬地下水控制者成效可期。	本案地錨長度長效益低與衰減快，邊坡增建RC版景觀差。
鑽探與監測需求	需求次高，目前資料已足夠。	急需探查地下水位、流向流速，本案稍不足。	需求稍低，目前資料已足夠。
基地岩盤條件	承載層岩盤需破碎性低與强度高，本案OK。	導排層需破碎高、地下水豐富與透水性高，OK。	錨定層岩盤需破碎性低與强度高，本案OK。
地下水位	影響低	10.0K水位淺，苗圃與10.6K-10.8K深，需深井。	無影響
結構性質	剛性結構，RC力學特性明確，岩體下滑驅動力稍具不確定性。	以排導地下水方式提高摩擦力與減輕地滑驅動力，成效不確定性稍高。	半剛性結構，地錨加載荷重衰減與岩體下滑驅動力稍具不確定性。
抗滑強度	基樁間距密則抗滑效果強，成效可預估與量化。	非直接以結構物抗滑，成效不確定性高，集水或排水阻塞時成效降低。	短期抗滑強度佳，長期抗滑力會隨時間衰減。
施工單價	全套管D100cm樁徑1.6萬/m，半套管樁1.2萬/m。	集水井D350cm約15萬/m，集水管600元/m。	可複拉70T地錨*50m約5萬/支，傳統式3萬/支。
總工程經費估算	基樁1,300m+地錨15支+90支集水管=2,279萬，次高。	4座集水井*H40m+90支集水管=2,724萬，最高。	600支地錨@9m ² +RC版+90支集水管=2,124萬，最低。
工期長短	現地鑽掘澆置基樁，支數多時工期長。	視集水井深度與集水管數量而定，工期最長。	可同時多部鑽機鑽孔，依工區選擇機具，工期較具彈性。
施工技術	施工技術要求稍低，大型機具需築便道。	大型集水井施工技術要求最高，工班最少。	施工技術要求稍低，工班最多。
維護成本	無需維護，定期檢視即可。	排水速度隨時間遞減，偶需補孔，維護成本高。	荷重需長期監測、維護與補強，維護成本最高。
路基穩定	完工即可發揮穩定功效	成效需時間累積，視整體坡面排水成效而定。	施拉完成即可發揮穩定功效，但穩定性會衰減。
交通維持	可路外或路下闢建便道施工，交通影響小。	常在路外邊坡施工，交通影響最小。	檔土牆旁施工，視機具型式進行必要交通管制。
總評	建議方案(抗滑樁+水平集水管)	次佳方案	

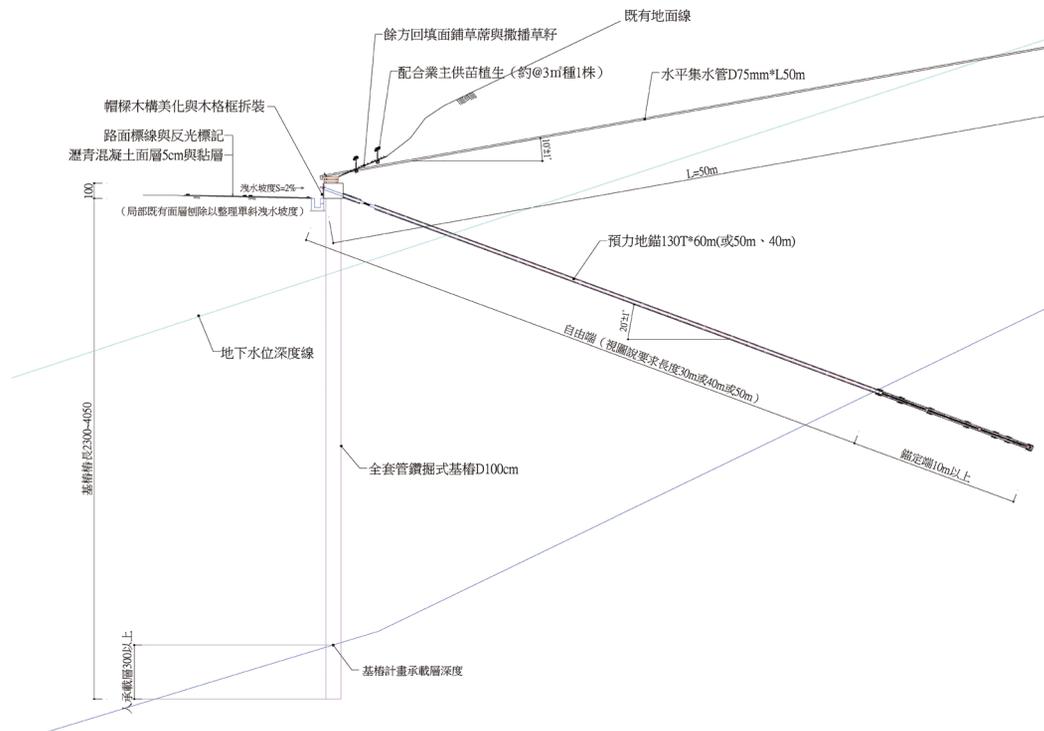
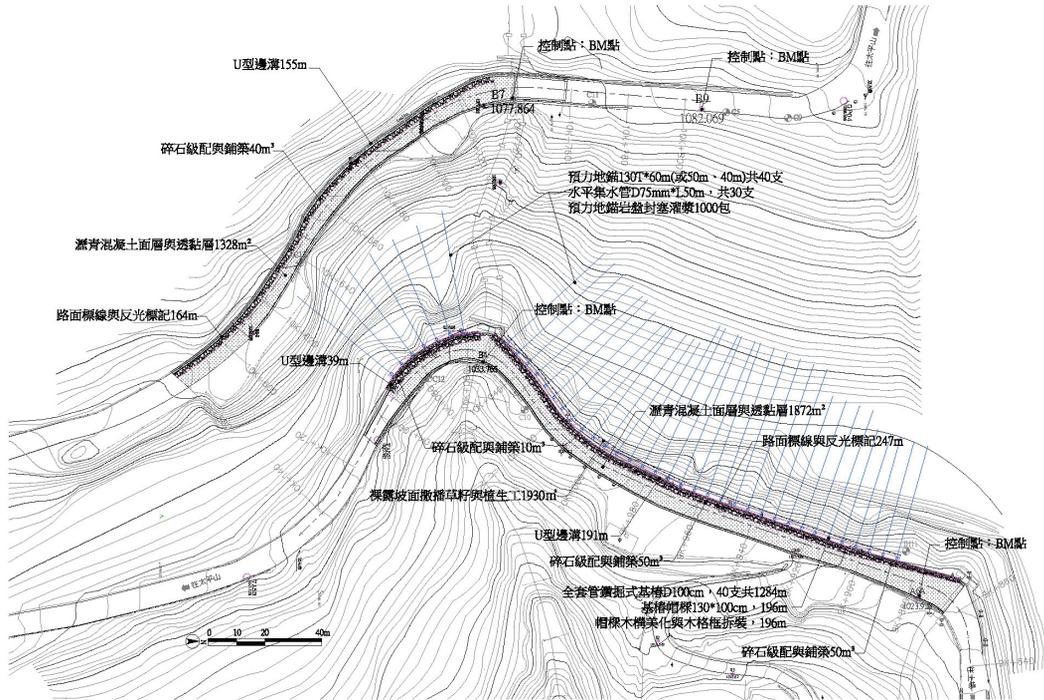


圖6 宜專一線10.8K工區100年整治工程之平面與標準断面圖

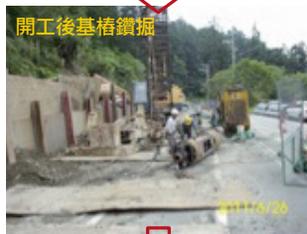


圖7 宜專10.8K工區辛樂克災後、施工階段與完工復育連續照片



圖8 全套管鑽掘式基樁之連續施工照片

滑樁與水平集水管」工法之整治成效良好。

3.本工程於規劃設計階段，即吸取先前辦理周邊宜專一線12.5K與13.5K工區之另案地滑潛勢區治理經驗，基樁鑽掘改以全套管工法施工，避免發生鑽掘時崩孔阻礙施工，並提高基樁施工品質與工進穩定，圖8為全套管鑽掘式基樁之連續施工照片。

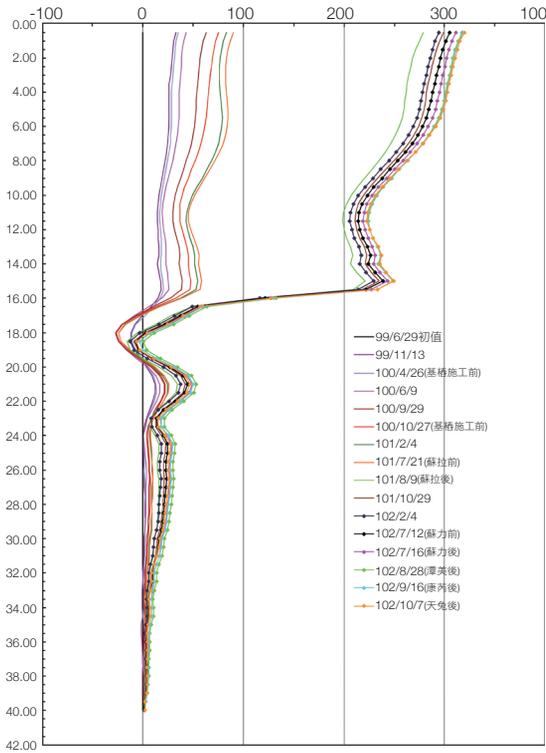
4.本工程由於規劃設計具備周延性、挑戰性與創新性等優點，以及施工品質優良與監造作業落實，榮獲行政院農業委員會101年度優良農建工程獎。

五、地滑整治成效及後續監測成果

(一)101年蘇拉颱風7月30至8月2日，太平山四日累積雨量達1921mm，24、48、72小時雨量皆超過200年再現期雨量值，顯現蘇拉極端降雨對100年工程治理成效是嚴苛考驗。

(二)宜專一線10.8K工區整治前地滑活躍，100年施工後岩層漸趨穩定，蘇拉豪雨後路基與邊坡大致穩定，災後檢視僅有局部路面輕微損壞，顯示100年工程有發揮預期功效。

C9傾斜管變位量與深度之關係(主軸)
變化量mm



(三)既有設施101至102年間仍持續辦理監測，圖

9顯示C9孔滑動深度位於19m處，施工前地表滑移量約8cm，完工後滑動原趨於穩定，蘇拉豪雨引致地表變位增至28cm，且蘇拉颱風後C9孔再次趨於穩定，顯示抗滑樁確有發揮效用，但極端降雨期間穩定度仍不足，故羅東處102年已辦理後續補強工程。

(四)蘇拉極端降雨101/7/27至101/8/9期間，平

均滑動速率曾高達16.1mm/日，蘇拉災後在101至102年間雖仍遭遇數次颱風豪雨，雨季平均速率為0.36至1.46mm/日，乾季平均速率降為0至0.08mm/日，顯示整治與補強工程有明顯成效。

六、結語與建議

(一)宜專一線歷經90年納莉與94年海棠等歷年颱

風之豪雨侵襲，造成數處路段發生地層滑動

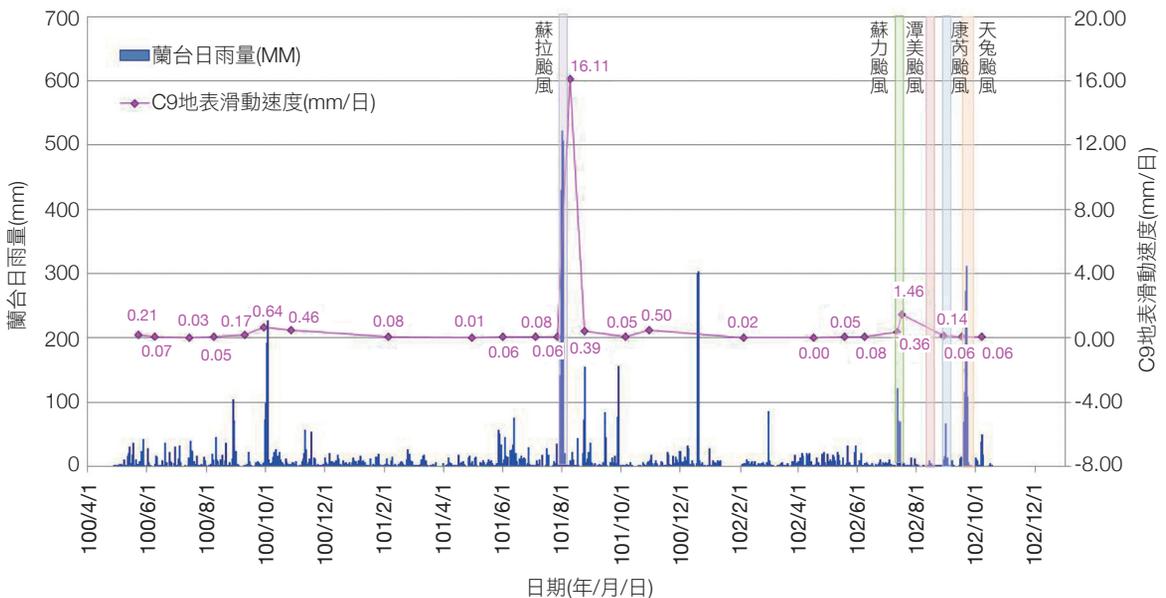


圖9 後續傾斜管C9變位圖、地表滑動速率與雨量關係圖

與邊坡崩塌等路基災害，自從97年起羅東處運用防災減災避災觀念，以「災前」之長期鑽探監測評估與積極治理，取代「災後」之交通阻斷與搶修復建，長期鑽探監測以確認地滑潛勢機制與深度，評估復建方案、治理工法、經費概算與預估成效，98年起災害與災損呈現明顯下降趨勢，成效顯著。

- (二)本文以羅東處宜專一線10.8K工區為例，透過先期邊坡監測探查地滑潛勢區之滑動機制，據以規劃適宜之分期整治工法，提供林業工作同仁於道路維護與地滑整治參考。
- (三)評選適合工區之地形限制、岩層分布、鑽掘機具、施工性之整治工法，深層地滑用抗滑樁與地錨工法，搭配地下水排除之複合式整治，若單用淺層之護坡與擋土工法(如植生、掛網護坡、擋土牆等)效果低。
- (四)創新性、挑戰性與周延性：土層滑移以抗滑樁、地錨與水平集水管等複合工法抑制，帽梁RC露面以疏伐杉木裝飾美化，輔以苗木植

生與加速回填坡面自然復育，且在狹隘空間進行全套管基樁施工，配合上邊坡型鋼臨時擋土措施與規劃原下山車道單線雙向通車，施工計畫周詳及管制得宜。此外，規劃設計前即先期進行鑽探與監測，以掌握確切地滑機制與深度等設計參數，取代傳統僅憑災害特徵或經驗之設計。

- (五)工程效益分析：(A)保全10.8K路基與遊樂區聯外通行安全，每年約35萬遊客與7萬車輛。(B)保全羅東處蘭台苗圃、房舍與工作人員安全。(C)以鄰近之中間解說站94年海棠颱風路基災害為例，搶修與復建經費累計兩億元以上，遊樂區封園半年影響收益也達一億元以上，因此類推本工程提高防災效益達數億元以上，單以半年遊樂區收益概估本工程之益本比即達3.6，可謂效益顯著。▲

參考文獻(請逕洽作者)