

## 公路災害應變作為及搶修對策

### 以台 8 線白沙橋路段大規模崩坍災害為例

廖吳章\*、林文雄\*\*

#### 摘要

台灣位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊斜向聚合帶，地形多山地與丘陵，且地質作用旺盛，加上位處環太平洋西側颱風與地震好發帶，天然災害頻傳。其中台 8 線中橫公路東段通過立霧溪流域太魯閣峽谷，岩質強硬的大理岩與片麻岩受立霧溪切穿，形成峭壁、懸崖、深谷等壯麗景觀，卻為國際媒體評選為全球 22 大危險公路之一，同時為國內最常阻斷的公路之一，可見養護工作之繁重及困難。然近年因生態及環境保護標準提高，為避免施工破壞自然環境，山區公路不易大規模進行改建(線)或闢建隧道，養護工作要求更為嚴密且需適時加快腳步，防救災工作亦不再只是快速搶通道路，更昇華為學習與大自然共處，行車安全與民眾便利平衡點之取捨，以及如何於公路災害發生前適時實施預警性道路封閉，災後除積極搶修外，搶修期間更應思考搶災期間交通管制作為與在地業者、居民通行需求的兼顧與平衡，在在皆反映現代化公路養護的多樣性與全面性。本文以台 8 線 181 k+500 白沙橋附近路段連續的邊坡崩坍的歷程，災害的應變管理、媒體訊息發佈與民眾溝通為案例，探討致災原因以及災後修復重建處理對策，並簡述近期針對山區公路易致災路段調查評估與災害控管計畫在公路養護管理面的概念，提供公路防救災以及相關處理之參考。

#### 一、前言

中央社於民國 103 年 3 月 12 日轉載英國「每日郵報」(Daily Mail)報導，世界衛生組織(World Health Organization, WHO)依據全球 2013 年道路安全現狀報告以及總部設在英國赫特福德郡(Hertfordshire)的「駕駛經驗」(Driving Experiences)公司架設的線上互動地

---

\* 交通部公路總局第四區養護工程處 處長

\*\* 交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段 段長

圖顯示，台 8 線中橫公路名列全球 22 大危險公路之一，尤以太魯閣峽谷路段為甚。報導中描述台 8 線綿延在劇烈起伏和不穩固的地形上，颱風挾帶的暴雨經常將泥土和碎石沖落路面，導致難以通行；加上位於地震好發帶，因此加劇易致災的可能性。

中橫公路，原名為東西橫貫公路，路線分為主線、支線及供應線。「主線」台 8 線西起於台中東勢，東止於花蓮太魯閣，全長 192.8 km(開拓當時里程)；「支線」由梨山北行經武陵而至宜蘭，全長 111.6 km，編定為台 7 甲線公路；「霧社供應支線」台 14 甲線自南投縣仁愛鄉霧社，經鳶峰、昆陽、合歡山，迄花蓮秀林鄉大禹嶺(與主線銜接處)，長約 42.2 km(開拓當時里程)。中橫公路始建於民國 45 年 7 月 7 日，於 49 年 4 月 29 日完工，同年 5 月 9 日正式通車，共費時 3 年 9 個月又 18 天。在物資缺乏的當年開闢公路，多處以手工一斧一鑿打造而成，而施工期間更因地質因素、地震、颱風等天然災害，致工程施作困難，殉難的築路人數高達 226 人(台灣省公路局，1956、1960；國軍退除役官兵輔導委員會，1972)，在台灣的公路修築史上，是一條實至名歸築路人用生命與鮮血完成的「釀碧之路」。

中橫公路開通迄今已逾半世紀，期間交通阻斷超過 240 次，由養護案例與經驗獲知(劉世桐等，2012)，路線屬花蓮縣境部分自大禹嶺(111.9k)經洛韶、天祥、太魯閣至新城(189.7k)，全長約 77.8km，太魯閣國家公園範圍約佔轄線長度 95%，沿線風景秀麗、山嶺挺拔，地質環境敏感不穩定，海拔從 2595 m 高山降至 33 m，其中太魯閣九曲大理岩由於地層堅硬，河流侵蝕的過程中下切侵蝕大於側向沖蝕，曲流河道岩壁上常呈現各式彎曲線型的峽谷，造就今日的世界級峽谷景觀。近年來因觀光旅遊急速發展，致交通流量日增，尤以天祥至太魯閣路段是中橫公路最重要也是車流量最大的路段，更是國際遊客來台必訪景點；惟受限於地形、地質影響，路線彎繞迂迴，多處路段具落石、地滑、大型崩坍災害潛勢，乃中橫公路養護工作最大的考驗。

所幸近年防救災作為以「防災重於救災、離災優於防災」為首要工作。依循此一準則，中橫公路在公路尚未發生重大災害前，鎮密積極執行預警性封路，有效防止人車受災之防救災機制，102 年度公路防救災工作達到零傷亡的最終目標，由此觀之，中橫公路與其他全球 21 大危險公路顯有極大差異。本文以台 8 線 181 k+500 白沙橋附近路段連續的邊坡崩坍的歷程，災害的應變管理、媒體訊息發佈與民眾溝通為案例，探討致災原因以及災後修復重建處理對策，並簡述近期針對山區公路易致災路段調查評估與災害控管計畫在公路養護管理面的概念，提供公路防救災以及相關處理之參考。

## 二、區域地質及工程特性

台 8 線公路自大禹嶺以東大致沿立霧溪及其上游水系而行，包括塔次基里溪、慈恩溪、瓦黑爾溪、大沙溪等。大沙溪於天祥至綠水一帶與瓦黑爾溪匯流後進入太魯閣峽谷，

主流河段即為立霧溪。台 8 線公路沿河岸蜿蜒而行。白沙橋位於台 8 線 181.4k 花蓮縣布洛灣至長春祠之間，係公路跨越立霧溪右岸無名野溪支流的一座簡支梁跨越橋，建於民國 46 年，橋梁線型呈北北西－南南東，花蓮端屬東南側橋台。

## 2.1 區域地質

太魯閣峽谷位於台灣地質分區中的中央山脈東翼，依據經濟部中央地質調查所五萬分之一地質圖－新城圖幅(羅偉等，2009)，白沙橋附近出露的地層主要為晚古生代至中生代之得克利片麻岩、九曲大理岩及階地堆積層。圖1為區域地質圖，各地層岩性說明如下：

- 1.得克利片麻岩(Tr)：主要出露於中部橫貫公路溪畔地區，呈東北至西南方向延伸約 12km。岩體為粗粒顯晶狀變質岩，呈淡灰色至深灰色，其中礦物常集中成凸鏡體或帶狀，黑白兩色或暗淡兩色相間，呈略為平行之條紋狀排列，稱為片麻岩理，有時亦具有不整齊的片理。
- 2.九曲大理岩(Cu)：岩性以大理岩為主，厚層塊狀，並有黑白相間的條紋，偶有夾薄層之綠泥石片岩或雲母片岩。此大理岩幾乎全為方解石所組成，顯微鏡下的方解石多呈等粒狀，顆粒與顆粒間接觸大多為直線接觸，此粒狀變晶組織為大理岩中常見的岩石組織，也是典型的再結晶組織。
- 3.階地堆積層(t)：主要由立霧溪攜帶中、上游的砂、礫、泥，經侵蝕開南岡層及九曲層之接觸帶之基盤岩層，而後再經堆積作用形成。另根據區域地質圖顯示，鄰近本基地之地質構造為「三錐複背斜」，此構造位於中橫公路慈母橋以東九曲洞至白沙橋路段，出露之地層為九曲大理岩。

白沙橋路段恰位於得克利片麻岩與九曲大理岩交界處，邊坡陡峭、東側九曲大理岩節理發達、岩體破碎。依據環境地質基本圖資料顯示(圖 2)，本路段災害潛勢圖分析結果為落石災害高潛勢區，邊坡位處局部具岩屑崩滑潛勢。

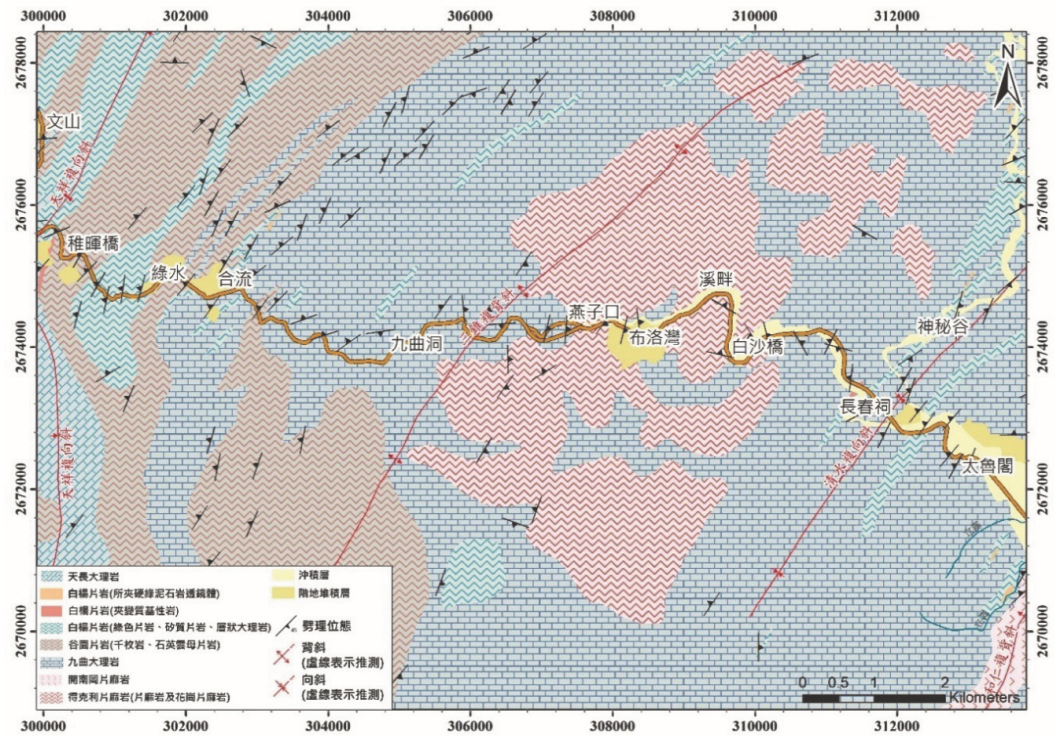


圖 1 工址附近區域地質圖(羅偉等，2009)

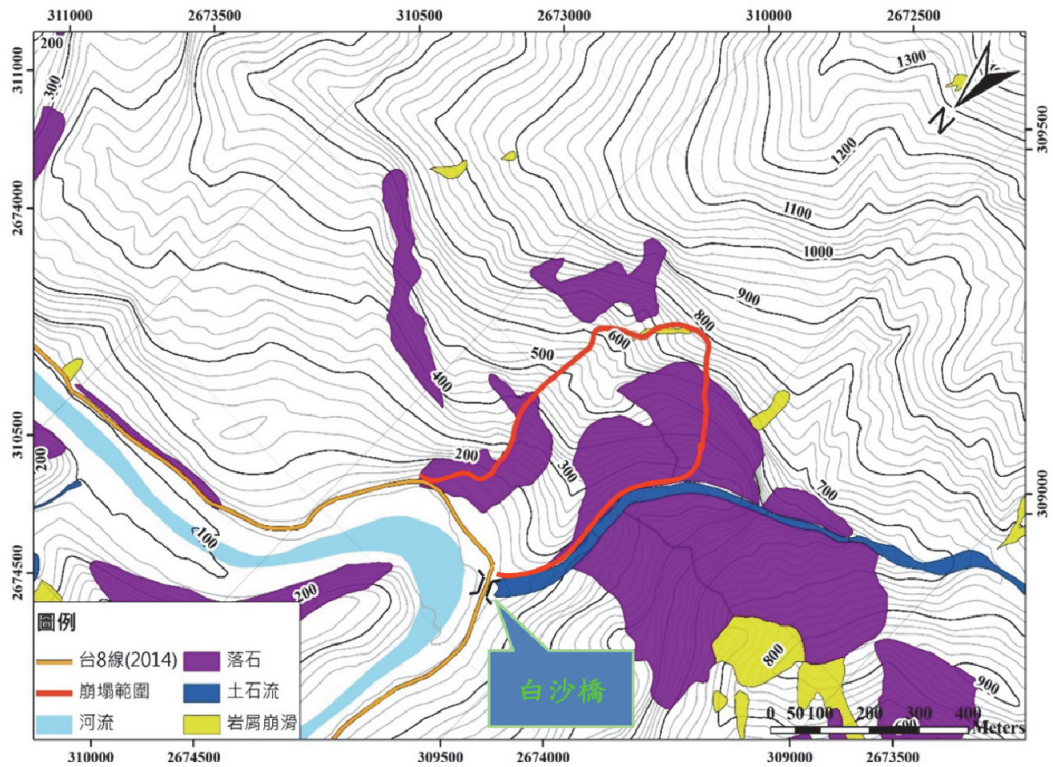


圖 2 工址附近環境地質圖(中央地質調查所，2008)

## 2.2 地形與水系

立霧溪發源於中央山脈的奇萊北峰與合歡山之間，因切割出落差逾千米的太魯閣峽谷而聞名。立霧溪總長約55 km，流域面積616km<sup>2</sup>，平均坡度1:32。支流不多，且集中在其上游區域；而下游區域下切作用旺盛，河水湍急，河蝕地形即國內外著名的太魯閣峽谷。

圖3為立霧河流域與台8線中橫公路東段路線位置。目前立霧溪治理計畫範圍東起河口，西迄錦文橋河段，全長約4.7 km屬中央管河川。錦文橋至長春橋河段屬花蓮縣管河川。至於本文案例台8線里程181 k+400附近河段，目前尚無法定河川治理計畫。



圖 3 立霧河流域與台 8 線中橫公路東段路線

## 2.3 工程特性與常見公路災害類型

片麻岩與大理岩為工址附近最主要的岩性，其中台8線公路沿線出露的大理岩主要分佈在薛家場到太魯閣之間，為公路峽谷最為壯觀的區段。綠水以東的九曲大理岩屬層狀大理岩，易形成峽谷地形及陡峭的崖壁，外觀有灰色、白色或黑白相間清楚的條紋；

受到造山運動的影響，主應力方向呈現多期變換，致使大理岩中夾層片岩、石英的各種褶皺現象，形成多樣化的褶皺干涉圖像(圖4)。而地層厚度及岩性差異的影響，不和諧褶皺、多重和諧褶皺等現象隨處可見。若以區域尺度觀之，大理岩區邊坡陡峭，常呈U型谷；片岩區邊坡較易崩塌後退，常呈V型谷。



圖 4 立霧溪九曲河大理岩形成的峽谷地形及陡峭崖壁，大理岩呈灰色、白色或黑白相間清楚的葉理，並包含各種褶皺現象

案例工址附近地勢由北側河谷(EL.130m)陡升至南側丹錐山(EL.1748.93m)，地形非常陡峭。本文案例崩坍範圍海拔高度約在130-940m上下，高差約810 m，平均坡度約70-80°。鄰近路段近年易發生數個重大災害，其中阻斷公路逾3日以上者包括：

- 1.台 8 線里程 168k+700 天祥附近：98 年 10 月 9 日發生，損毀明隧道 90 m、路基 150 m，土石清運約 5.3 萬立方公尺，道路阻斷 8 天。
- 2.台 8 線里程 178k+500 燕子口附近：100 年 10 月 7 日發生，損毀隧道 30 m、崩坍土石覆蓋路基 100 m，土石清運約 2 萬立方公尺，道路阻斷 4 天。
- 3.台 8 線里程 181k+400 白沙橋附近：102 年 5 月 8 日發生，坍落土石覆蓋路基 250 m，土石清運約 23.7 萬立方公尺(總崩坍土方量約 67 萬立方公尺)，道路阻斷 12 天。102 年 9 月 22 日崩坍範圍擴大，發生坍落再覆蓋路基 150 m，土石清運約 3.7 萬立方公尺，道路阻斷 7 天。前後兩次崩坍土方量合計超過 90 萬立方公尺。

許多報導探討太魯閣峽谷的地質與工程特性(洪如江，1990；羅偉，1992；林銘郎，1992；Turowski et al., 2011; Damien et al., 2011；楊濟豪，2013)。其中林銘郎(1992)指出峽

谷邊坡存在大量平行坡面的不連續面，係河流切割形成河谷地形的發育過程中，兩側岩石因水平方向應力束制解除形成的「河谷解壓節理」。除了解壓節理外，峽谷邊坡常因下列原因導致崩坍災害：

- 1.坡頂開口節理與其他斷裂構造(如斷層、解壓節理)相交，形成可滑動楔形岩塊，加上開口節理中的水壓力作用，易造成大規模的岩塊滑落災害。
- 2.走向與坡面走向大致平行、節理跡不連續的解壓節理，在其他作用力(如地震、工程開炸等)或長期之風化作用下逐漸弱化，發展成連續之節理，造成岩坡漸進破壞。
- 3.坡頂附近水平及垂直兩組解壓節理易聯合構成細小岩塊，在地震力或其他作用力下，形成規模較小但是頻率較高的落石災害。

前述天祥附近、燕子口附近以及白沙橋附近的災害，就區域地質尺度觀之，即與林銘郎(1992)所提相符。

### 三、災害歷程

表 1 整理本文探討白沙橋路段災害的歷程，其中一併臚列數個重要的緊急應變作為。

表 1 白沙橋路段災害的歷程

日期	時間	主旨	內容摘錄
2013.5.3	11:35	接獲落石通報	台 8 線 181.5k 白沙橋路段發生零星落石，現場當時公路上僅有二顆零星落石，直徑約 60 cm。
			段長帶隊勘查，並請同仁監看上邊坡。
			制高點觀察白沙橋上邊坡(崩塌頻率約為 15 分鐘)，高度約 500m 處，岩盤局部剝落，偶有連續性崩塌，研判為「大規模坍方前兆」。
			通報處長及工務段支援，實行機動管制。
	11:55	緊急交通管制	駕公務車橫向停放於路中央，以確實暫時封閉交通。
	12:15	警力協助交管	警力到達協助管制交通。
14:20	警戒管制放行	落石頻率降低，由警力協助車輛疏導每車隔 50m 間距放行通過。	
15:00	發布新聞稿		
18:00	夜間預警性封路	工務段成立緊急應變小組，實施天祥(台 8 線 169 k)至長春祠(台 8 線 184.1 k)夜間預警性封閉道路，禁止甲類大客車進入。	

日期	時間	主旨	內容摘錄
2013.5.4		崩坍部分土石	白沙橋上游繼續崩塌且頻率提高(5-10 分鐘)，且偶有大型岩塊從 500m 邊坡崩落，(約 20*20*20 m 之萬噸以上巨岩)。
2013.5.5	11:00	第一波大規模崩坍	崩坍後產生之煙塵覆蓋厚度約 0.5-2 cm，管制點從 300 m 外，撤退至 1 km 外。
	15:00	恢復機動管制放行	路面清理完成恢復機動管制放行。
2013.5.6	5:30	持續崩塌並封閉道路	現場路面上之崩坍土方量約 700 m <sup>3</sup> 且持續性大小坍方崩落堆積於道路上，立即發布封閉道路(崩塌頻率 5 分鐘以內)。
	7:00	發布道路封閉	發布實施天祥(台 8 線 169 k)至長春祠(台 8 線 184.1 k)道路封閉，預計 5 月 10 日上午 8 時發布預計搶通時間。
	14:00		崩坍土方量已累計約 2,000 m <sup>3</sup>
	18:00	夜間預警性封路	
2013.5.7	06:00	繼續崩坍土石	連續降雨三天未停歇，加速邊坡崩塌。
	14:00		崩坍土方量已累計約 100,000 m <sup>3</sup> ，裸坡高 800m，影響道路長度約 200m。
2013.5.9			5 月 3 日至 5 月 9 日崩坍土方量已累計約 670,000m <sup>3</sup>
2013.5.18			移除坡頂崩坍土石，形成高約 30 m，寬約 50 m 之平台，並降挖路側凹溝作為落石緩衝帶。
2013.5.19		第一階段臨時便道搶通	禁行甲類大客車進入，夜間仍進行預警性封路。
2013.6.29		第二階段臨時便道搶通	禁行甲類大客車進入，夜間仍進行預警性封路。
2013.7.19			每 2 小時放行，上午開放甲類大客車進入，夜間仍進行預警性封路。
2013.7.27		每小時放行	每小時放行，不限制車種。
2013.9.21	09:00	天兔颱風預警封路	
	10:00		關原~太魯閣禁止進入，疏散旅客。
	12:00		關原~太魯閣道路封閉，安全撤離旅客 247 人。



日期	時間	主旨	內容摘錄
2013.9.23		天兔颱風影響造成第二次大規模崩坍	崩坍土方總量約 200,000 m <sup>3</sup> 。 白沙橋遭土石掩埋深約 17 m。 夜間救助病患。
2013.9.24			交通管制會議。
2013.09.27		1700臨時便道搶通	102.09.27 至 102.10.25 整點放行 10 分鐘，上下班彈性機動管制通行，除在地學校、業者持住宿證明外禁行甲類大客車 夜間不管制。
2013.10.26			102.10.26 至 102.11.30 管制時段週二及週五下午 1 時至 2 時，白沙橋路段封閉 1 小時進行搶災路段巨岩爆破(如無進行巨岩爆破，則不管制交通)，其餘時段不管制車種及交通。
2013.12.01		土石清運	機動管制交通每次不超過 25 分鐘。
2013.12.31			開放第三階段中長期道路通行，不管制交通。

### 3.1 第一次大規模崩坍災況(102 年 5 月 3 日至 10 日)

洛韶工務段值日人員於民國102年5月3日11時35分接獲道路清潔人員通報：「台8線181.5k白沙橋路段發生零星落石，小石塊已撿拾乾淨，車輛尚可通行，請求工務段支援機具移除二顆塊石大小約60公分。另外，山後有時有轟隆石頭撞擊聲，但落石未往路面側掉落，天候晴朗」。值日人員轉報段長。段長考量台8線181.5k屬轄線中列管之易致災路段，立即率領當時在辦公室人員攜帶無線電、指揮棒、哨子、交通錐等勘查災害之基本配備前往現場。

抵達現場時發現里程181.6k附近公路上僅有二顆零星落石，直徑約60 cm (圖5)，車輛尚能通過，惟上邊坡不時傳來塊石掉落碰撞聲，未發現落石蹤跡，研判岩塊主要掉落在白沙橋上游。待聲音暫停後，段長請隨行同仁就地監看上邊坡，並對頻測試手持無線電，以利落石、坍方一旦發生即可通報因應。同時，為進一步掌握落石現象，立即通過落石路段另一端(天祥瑞)並攀爬至高程約500 m的制高點處，發現上邊坡大理岩極為破碎，白沙橋南側一局部山脊臨河谷西側半山腰岩塊局部剝落，並造成岩塊向上持續崩落。岩塊剝落處距公路約300 m，落石往白沙橋上游方向(西南向)掉落，因此於公路高程附近無法通視。

考慮邊坡土石間歇崩落週期約15分鐘，偶有連續性崩坍，若繼續向上抽坍可能越過白沙橋南側局部山脊稜線，造成大量土石往公路側崩落。段長隨即研判為「大規模崩坍」前兆，並立即暫時封閉交通，通報工程處並請工務段支援。有關緊急應變之相關作為，將於後續章節中詳細探討。

5月4日現場繼續崩坍，大量土石仍朝向白沙橋上游掉落，週期縮短至5-10分鐘，偶有大型岩塊自高程約500 m邊坡崩落，岩塊體積初步估計逾1萬立方公尺，巨大岩塊撞擊山壁擴大影響範圍，崩落量體快速增加，並有零星落石掉落至公路，因岩壁崩解之邊坡高達千公尺，無法於夜間有效進行監看及交通維持，交通管制方式仍維持5月3日模式，下午6時起實施天祥(台8線169 k)至長春祠(台8線184.1 k)夜間預警性封閉道路，隔日7時視落石情形決定是否恢復通車，日間持續嚴密執行警戒機動管制通行。

5月5日上午11時左右，大規模崩坍帶來轟隆巨響，大量煙塵猶如火山爆發後的飛灰落塵，掩沒白沙橋前後路段約1 km路面，覆蓋厚度約2 cm，公路及周遭皆成白色大地(圖6-1、6-2)。位於白沙橋上、下游300 m外的管制點，被迫暫時撤退至1km外。惟此次落石並未掉落至公路，路面清理於下午3時完成後，恢復機動管制放行，夜間仍維持預警性封閉道路。

5月6日上午5時30分巡查發現，路面上堆積的崩坍土方量約700 m<sup>3</sup>(圖7)，岩壁剝落已越過白沙橋南側局部山脊之稜線，崩落岩塊逐漸往公路側(西北向)堆積，崩坍土石堆積前緣已逼近路面附近且持續性發展，立即發布道路封閉。迄當日下午2時，崩坍土方量累計約2,000 m<sup>3</sup>，所幸已執行預警性道路封閉，有效避免了潛藏的人車傷亡之。

5月7日崩坍持續發生，上午6時左右崩坍土方量累計約10,000 m<sup>3</sup>(圖8)，且花蓮地區自5月3日起連續數日降雨，邊坡崩塌有加速現象。迄下午5時，崩坍土方量累計約100,000 m<sup>3</sup>(圖9)，覆蓋道路長度約250 m，現場崩坍、落石週期縮短至1-2分鐘，甚至時有連續性崩落土石，規模持續擴大，機具無法進入搶修，封路時間亟需再延長。經迅速呈報，交通部葉部長當日即於「102年公路防汛專家座談會」中，針對白沙橋災害應變處理得宜表示肯定。當日下午3時第四區養護工程處會同洛韶工務段及學者專家赴現場會勘，研商後續搶災方案，期能迅速搶修，縮短封路時間。惟限於崩坍落石持續發生，僅能利用邊坡崩坍短暫停歇期間進場搶災。

邊坡崩坍、落石持續數日，迄5月10日始有停歇現象。自5月3日起連續8日，崩坍規模累計達670,000 m<sup>3</sup>，崩崖裸露邊坡高逾800 m(圖10)，係1999年集集地震後發生災害規模最大的公路災害之一。



圖 5 民國 102 年 5 月 3 日掉落於台 8 線 181 k+600 附近的零星落石，路面小石塊已清除，遺留二顆直徑約 60 cm 石塊，為白沙橋路段大規模崩坍的前兆



圖 6-1 民國 102 年 5 月 5 日上午 11 時台 8 線 181 k+400 崩坍後粉塵覆蓋路面，厚度超過 2 cm



圖 6-2 台 8 線 181 k+100 崩坍後粉塵覆蓋路面情形



圖 7 民國 102 年 5 月 6 日上午 5 時 30 分邊坡崩坍逐漸接近公路，坍方土石約 700 m<sup>3</sup>



圖 8 民國 102 年 5 月 7 日上午 6 時公路上邊坡崩坍，坍方土石累計約 10,000 m<sup>3</sup>(拍攝自白沙橋路段東側)



圖 9 民國 102 年 5 月 7 日下午 17 時公路上邊坡崩坍，坍方土石累計約 100,000 m<sup>3</sup>(拍攝自白沙橋路段西(北)側)



圖 10 民國 102 年 5 月 8 日上午 6 時公路上邊坡崩坍之崩崖，裸露坡面高逾 800 m (拍攝自白沙橋路段西(北)側)

### 3.2 第二次大規模崩坍災況(102 年 9 月 21 日至 22 日)

第一次大規模崩坍停歇後，洛韶工務段立即進行搶災作業，於10日後完成便道恢復通行，並持續公路上、下邊坡崩坍堆積土坡的整建工程，將於後續章節中詳細探討。民國102年9月21日強烈颱風一天兔的外圍環境開始影響台灣，中央氣象局、美日等國及國內天氣風險公司皆預測可能帶來豐沛雨量，且循「第五路徑」（圖11）影響台灣的機率最高；若路徑偏北，亦不排除以「第四路徑」侵台。洛韶工務段參考歷年颱風資料，民國90年循第四路徑侵台的利奇馬中度颱風（圖12），及民國92年第五路徑的杜鵑中度颱風（圖13），均帶來東部地區強降雨，並且造成道路阻斷等災害，故預判天兔強烈颱風極可能帶來強降雨，並造成白沙橋路段搶修工程再次崩坍，阻斷道路。



圖 11 歷年颱風侵台路徑分類與機率統計(特殊路徑佔 5.6%)

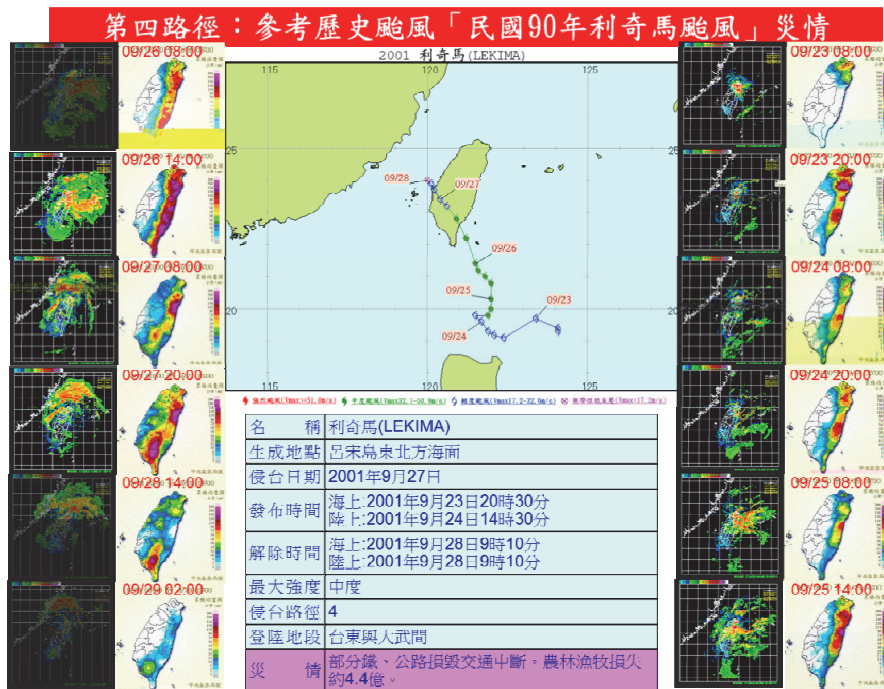


圖 12 民國 90 年第四路徑的利奇馬颱風造成東部強降雨

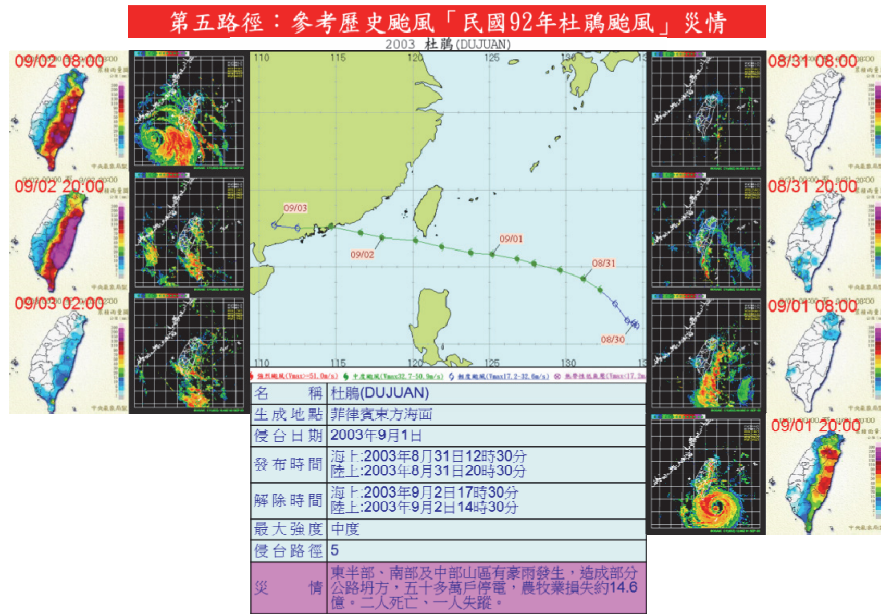


圖 13 民國 92 年第五路徑的杜鵑颱風同樣造成東部強降雨

中央氣象局102年9月20日上午8時30分發布天兔強烈颱風陸上警報，因外圍環流尚未接近花蓮陸地，前一夜以前並未產生較大降雨，且因各國氣象預報天兔颱風中心僅通過巴士海峽，颱風中心並不會登陸台灣，故天祥地區尚有大量旅客留宿，為加強後續勸離旅客之防災工作，已事先詳細掌握天祥地區仍滯留旅客261人，業者工作人員127人，大小車輛82部，天兔颱風外圍環流影響，102年9月21日上午9時許，強降雨侵襲中橫公路，天祥地區雨量站，連續發生三波十分鐘累積雨量超過10釐米以上，且30分鐘累積雨量已達40釐米以上（圖14），且依中央氣象局劇烈天氣監測系統(QPESUMS)，劇烈天氣分析之對流胞集中在東部近海及山區，推判短時間內降雨強度將超過警戒值，且白沙橋災區正處於抗災性較低時，必須立即執行預警性封閉道路，因外圍環流尚未接近花蓮陸地，當日清晨並未產生較大降雨，故天祥地區尚有45部車、247名旅客滯留不願提前離開，經洛韶工務段立即發布於上午10時中橫公路西端自關原(台8線116k+500)，東端至太魯閣口(台8線186k+580)禁止進入(只出不進)，再以最短時間內清查天祥地區旅宿業者，旅客尚有247人，最後經段長親自強力溝通天祥地區旅宿業者，告知強降雨將侵襲中橫公路之情形，並剖析中橫公路白沙橋路段通行中第二階段便道抗災性較低，再遭本次強降雨侵襲極可能發生道路阻斷等嚴重災情，務必撤離所有旅客及車輛完成避災工作，將天祥地區旅客247人於2小時內勸導安全離開中橫公路，同時巡查全線道路，進行道路上人車勸離，並於寧安橋(台8線182k)及慈恩(台8線136k)適逢2輛小客車拋錨，經洛韶工務段協助旅客叫修後安全駛離，在當日12時沿線落石、坍方尚未加劇發生前，完成關原至太魯閣口路段淨空及預警性封閉道路，將公路天然災害對人車危害的影響減至最低。



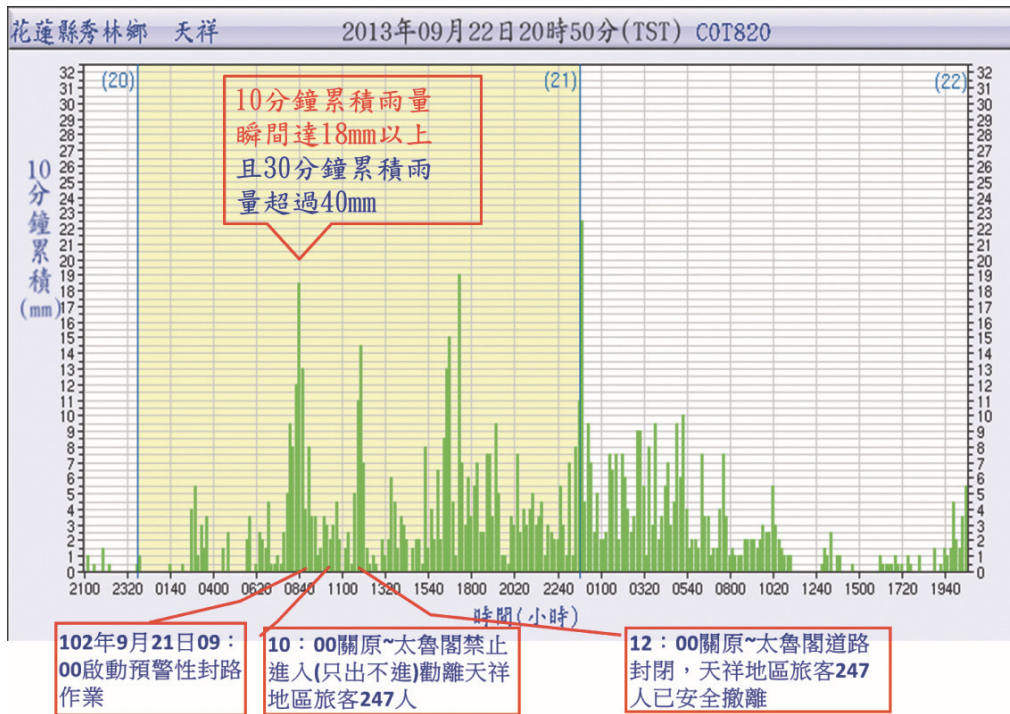


圖 14 天兔颱風十分鐘累積雨量雨量組體圖&預警性封路時機

預警性封閉道路20小時後，24小時累積雨量達670 mm（圖15）。白沙橋路段崩積土石及部份不穩定坡再次崩坍，掩埋橋齡約56年的白沙橋，埋深達17 m，上邊坡崩坍土石覆蓋白沙橋及二端引道長約150 m，合併第一次崩坍計算，總崩坍土石方逾900,000 m<sup>3</sup>，崩崖裸露邊坡逾800 m，形成高度逾150 m堆積坡，覆蓋路基長度逾300m（圖16及圖17）。

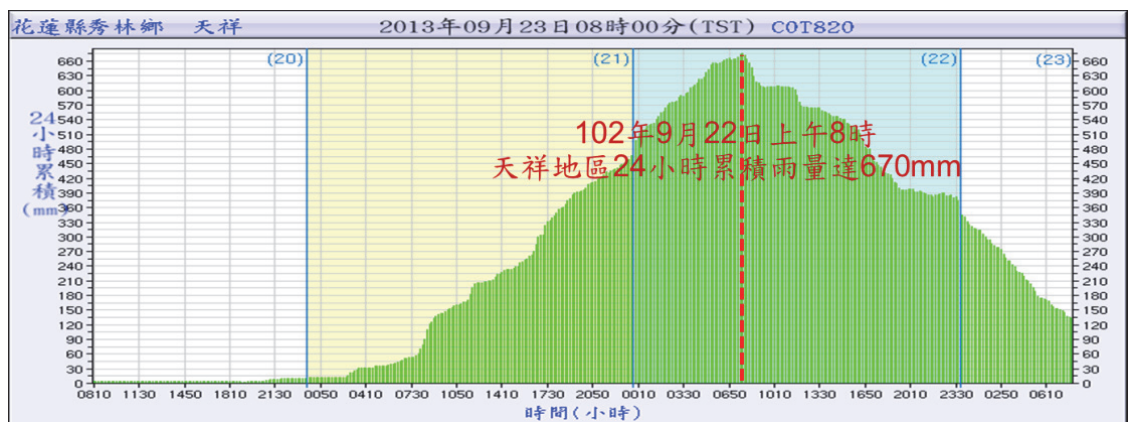


圖 15 中橫公路預警性封路 20 小時後， 24 小時累積雨量達 670 釐米



圖 16 民國 102 年 9 月 22 日上午 6 時白沙橋路段第二次大規模崩坍，白沙橋遭崩坍土石掩埋約 17 m



白沙橋橋面及大梁碎裂  
上圖左側大梁主筋為罕見方形光面鋼筋

圖 17 崩坍土石衝擊荷重造成白沙橋大梁碎裂，左側大梁主筋為罕見的方形光面鋼筋

#### 四、緊急應變作為及搶修對策

本章分為交通管制、搶災、媒體信息發布與民眾溝通三部份，探討白沙橋災害過程

的緊急應變作為及搶修對策。

#### 4.1 交通管制與疏導作為

白沙橋路段因崩坍阻斷而採取的交通管制相關作為包括警戒機動管制通行、預警性封閉道路以及禁行甲類大客車等，各作為的實施時機與配套作為，探討如后。

第一次崩坍災害接獲通報初期(102年5月3日11時35分)，段長偕同工務段人員前往現場，為查明落石蹤跡，由工務段人員攀爬勘查，段長於公路側留守，第一時間獲悉白沙橋南側山脊岩塊局部剝落，研判為大規模崩坍前兆後，立即決定暫時封閉交通。然而當時公路路面僅偶現零星落石，部分用路人急趁崩坍尚未發生，欲駕車強行通過；因僅單人於現場，故於11時55分將公務車橫向停放於路中央(圖18)，立即通報工程處並請工務段、地方警力支援，同時通知開口契約廠商進駐警戒人員、管制交通、調派搶災機具進駐，加強監看警戒。地方警力於12時15分抵達現場協助管制交通後，即由協助進駐警戒人員與地方警力配合，執行機動管制通行(圖19-1、19-2)。

此時大規模崩坍尚未發生，崩落石塊僅見於雲霧中(圖20-1、20-2)，基於專業判斷並考量用路人安全而採取的緊急應變作為，整理如后：

- 1.潛在崩坍影響範圍路段兩端分別建立一道臨時交通管制點，通知工務段立即支援，架設三道管制線。
- 2.電話通報工程處，辦理災害緊急應變訊息通報系統(LBS)發布、資訊可變標誌看板訊息(CMS)、警廣即時資訊系統通報(VPN)等緊急通告事宜。
- 3.洽太魯閣國家公園管理處協助辦理遊覽車資訊平台簡訊發布、遊憩區網頁最新消息等緊急通告事宜。
- 4.通知警力協助交通管制及車輛疏導。
- 5.召開緊急應變會議並通知開口契約商進駐警戒、管制交通、搶災機具進駐，並準備預警性夜間封路管制。
- 6.清查滯留天祥地區遊客並通報夜間預警性封路，考慮交通阻斷極可能長達數日，勸離遊客。
- 7.102年5月3日15時發布新聞稿，18時起夜間預警性封路，隔日上午8時機動管制通行，並禁止甲類大客車進入。
- 8.工務段18時起成立緊急應變小組。

5月4日至5月7日上午，白沙橋南側山脊岩塊持續崩坍過程，僅局部落石掉落至公路路面，日間由工務段人員及開口契約廠商進駐警戒人員配合，執行機動管制，於落石停歇期間由警力指揮疏導，採每車間隔50 m方式通過落石影響路段。夜間因視線不良，實施預警性道路封閉。

5月7日崩坍加劇，迄14時崩坍土石已覆蓋道路約250 m，且崩坍持續至5月10日停

歇，道路完全阻斷。歷經10日搶修，白沙橋路段於5月19日開放便道，採管制通行方式通車，每2小時放行1次，迄6月29日搶修完成第二階段便道；並陸續於6月30日放寬便道管制通行，7月19日解除夜間交通管制，每日中午12時前開放甲類大客車通行；9月1日起改採不定時機動交通管制。

102年9月21日於第二次大規模崩坍災害發生前20小時，已進行預警性道路封閉並強力疏散遊客，有效確保用路人安全，完全避免白沙橋路段邊坡崩坍、落石可能導致的人車傷亡。



圖 18 第一次崩坍初期(102年5月3日11時55分)緊急交通管制



圖 19-1 第一次崩坍初期(102年5月3日12時15分)警力協助管制交通



圖 19-2 第一次崩坍初期(102年5月3日14時20分)崩坍落石停歇後每車間隔50m的機動警戒管制放行作業



圖 20-1 崩坍落石發生於公路上邊坡，高程近千公尺的雲霧之中，轟隆聲響之際偶見崩坍，零星落石掉落至公路路面(近照)



圖 20-2 公路崩坍坡面近千公尺高聳於雲霧之中(遠照)

#### 4.2 搶災策略

白沙橋路段邊坡第一次崩坍災害土方量累計約 $670,000\text{m}^3$ ，裸露之崩崖已超出公路高程的通視範圍，加上不時仍有規模不一的零星崩坍、落石，可能危及搶災人員安全，因此災情程度的掌握仍搶災作業之首要工作。經學者專家建議，乃於崩坍、落石停歇天氣晴朗後，5月9日採用無人載具進行空拍調查(圖21)，除於最短時間掌握災害範圍與狀況外，並發現白沙橋上游溪谷內堆積大量崩坍土石，堆積土石未形成堰塞湖，惟經研判再遭遇強降雨極可能再度發生崩坍；繼而於5月10日採用地面光達掃描(圖22)取得崩崖與堆積土石區地形，計算崩坍土石數量，作為掌握崩坍範圍以及規劃擬訂搶災策略的依據。

基於崩坍土石體積達 $670,000\text{m}^3$ ，土石堆積區遍佈重達千噸以上巨岩，遠超出一般機

具鑿除與運載能力，必須透過開炸方式化大為小，而且開炸作業範圍幾乎遍及整個崩坍堆積區。再者，欲移除全數崩坍土石方曠日費時，費用極為高昂，一時之間亦無法覓得適當的土資場收納。因此，搶災作業以整修崩坍堆積區為主要對策，於堆積區公路高程附近先搶通便道，提供機具進出的施工通路；繼而移除殘留坡面及坡頂的不穩定岩塊，再於坡面相對較穩定、遠離坡趾可能受立霧溪沖刷直接影響範圍外，進行土方作業開闢第二階段便道，同時修整上邊坡坡面，形成約30 m平台，平台略向山側緩傾，提供崩崖不穩定岩塊再度崩落的緩衝帶，並於便道山側降挖凹溝，避免上邊坡修整坡面零星的滑落岩塊直接影響路面。

搶修作業經工程處指導與協助，動員宜蘭、花蓮兩縣之大型挖土機具達15部，在監看及交管人員密切配合下作業。依據無人載具以及地面光達取得的影像及災害地形資料，搶災作業全面展開前得以適當地規劃坡頂平台、路側凹溝的位置，並研擬搶災開炸以及開挖的順序；適時調整施工機具的位置，儘可能避開搶災開挖造成的施工高風險區。搶災過程雖發生多次崩坍堆積岩塊再度崩落、滑落等情況，多數崩滑落岩塊皆為坡頂平台與路側凹溝所攔截(圖23及圖24)，因此即便夜間因難於有效監看，迫使搶災作業無法實施，第二階段便道仍於大規模崩坍後10日完成，為後續復建公路新線建立良好的基礎。

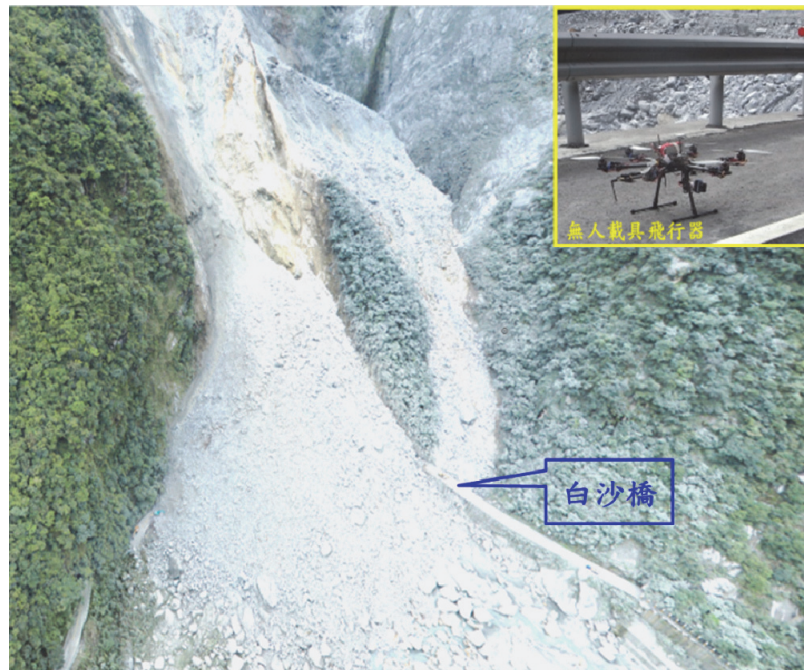


圖 21 應用無人機具進行空拍取得崩坍影像及範圍

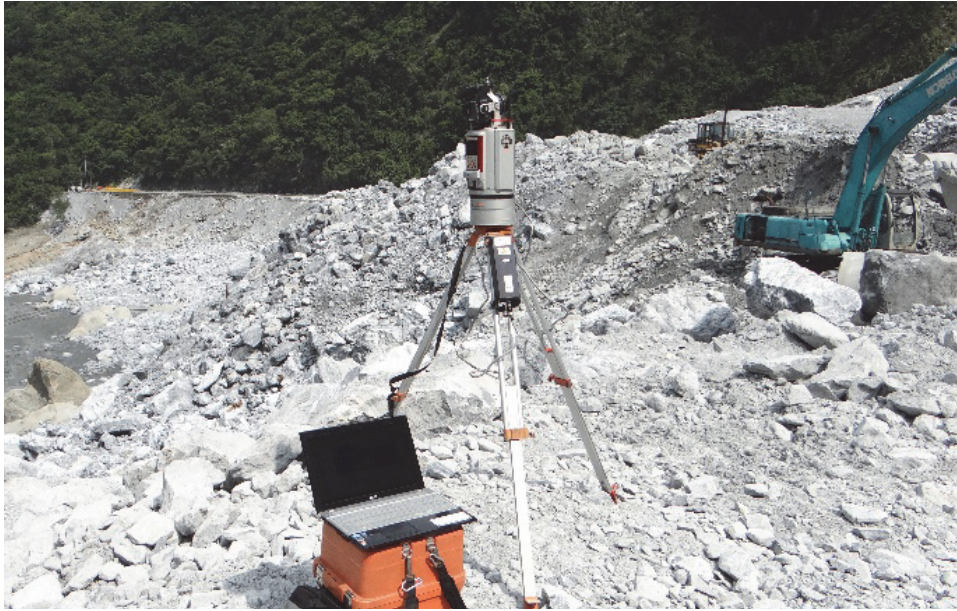
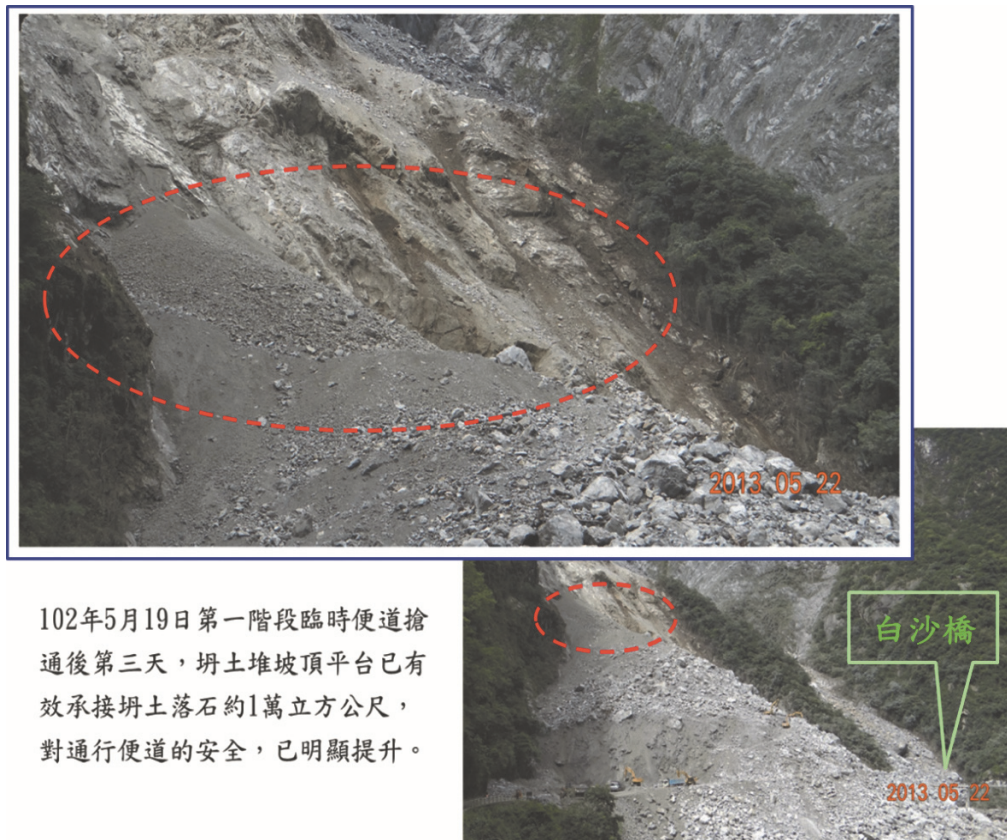


圖 22 應用無人機具進行空拍取得崩塌範圍(左)以及地面光達掃描取得災害地形



102年5月19日第一階段臨時便道搶通後第三天，坍土堆坡頂平台已有效承接坍土落石約1萬立方公尺，對通行便道的安全，已明顯提升。

圖 23 坡頂平台提供搶災作業的緩衝





圖 24 坡頂平台淤滿後進行第二次土石清坍移除作業

#### 4.3 媒體宣導與民眾溝通

白沙橋路段崩坍期間，洛韶工務段多次發布新聞稿與各項訊息，以下例舉1.崩坍初期第一次新聞稿、2.崩坍加劇、研判大規模崩坍即將發生前新聞稿、3.崩坍後搶災期間新聞稿等3次為例說明；4.最後探討第二次大規模崩坍前民眾溝通與疏散相關作為。

##### 1、崩坍初期第一次新聞稿(民國 102 年 5 月 3 日 15 時)

中橫公路白沙橋路段(台 8 線 181.4k)自本(5)月 3 日中午公路旁上邊坡破碎岩壁持續發生崩落至白沙橋上游，公路總局第四區養護工程處洛韶工務段為維護用路人安全，開始執行機動管制通行，並調派人員、機械進駐現場待命搶修，當發生落石、坍方時，期能立即恢復正常通行，因岩壁崩解之邊坡高達千公尺，無法於夜間有效進行監看及交通維持，易危及通過之用路人及管制人員安全，為確保用路人安全，交通管制方式自本月 3 日下午 6 時起實施天祥(台 8 線 169k)至長春祠(台 8 線 184.1k)夜間預警性封閉道路，隔日 7 時視落石情形決定是否恢復通車，日間持續嚴密執行警戒機動管制通行，後續將視落石情形不排除封閉道路或調整交通管制。另因本路段甲類大客車(大型遊覽車)數量多、體積龐大、車速較慢、易被落石擊中，除機關學校提出申請後，由洛韶工務段採戒護通行外，仍暫時禁止甲類大客車通行。

因白沙橋路段旁高達千公尺岩壁，近日發生岩盤崩落規模明顯有擴大趨勢，預期今日車輛停等時間將延長，籲請用路人如非必要盡量避免進入白沙橋路段或事先規劃因應，請用路人配合道路封閉及管制作業，以保障自身生命財產安全。

## 2、崩坍加劇、研判大規模崩坍即將發生前新聞稿(民國 102 年 5 月 6 日上、下午各一則)

中橫公路白沙橋路段(台 8 線 181.4k)，因白沙橋路段破碎岩壁高達千公尺，又逢連夜雨至今尚未停歇，造成邊坡岩壁持續崩落加劇，現場落石頻率約於 5 分鐘以內，甚至 1 至 2 分鐘即接續落石，崩坍土方量由清晨 700 m<sup>3</sup>持續崩落增加中，機具無法接近進行搶修，故尚無法估計搶通時間，今(6)日上午 7 時已發布實施天祥(台 8 線 169k)至長春祠(台 8 線 184.1k)道路封閉，預計本月 10 日上午 8 時發布預計搶通時間。

## 3、崩坍後搶災期間新聞稿(民國 102 年 6 月 26 日)，並邀集媒體參加 6 月 29 日搶災工地記者會

中橫公路白沙橋路段(台 8 線 181.4k)，前於 102 年 5 月 19 日開放通行便道管制放行以來，積極進行第二階段臨時便道搶修，因有 50 噸以上巨石遍布於坍土堆上，經搶災開闢便道後甚至遭遇數顆達千噸以上巨型岩塊，自 102 年 5 月 29 日開始使用炸藥爆破巨岩，連同今天已開炸 9 次，炸藥總使用量 1,060 公斤，搶災進度已大幅提高。今(26)日將再使用炸藥 230 公斤，以開炸大巨石。

公路總局第四區養護工程處，於 102 年 5 月 25 日邀集封閉路段內主要相關單位如太管處、地方政府、當地業者及觀光協會等 13 個單位，召開第三階段搶修及交通管制協調會，並預定 102 年 6 月 29 日往立霧溪河岸(位河道邊緣)搶通第二階段臨時便道，因臨時便道位立霧溪河道內，且該路段位於曲流外側，如遭遇立霧溪較大洪流時，臨時便道極可能遭洪水沖毀流失，且第二階段臨時便道仍緊鄰高約 100m 之坍土堆旁，鬆動之土石隨時可能坍落至便道上，危及用路人安全，故搶通並降挖坍土堆以提高本災害路段安全性有其必要性。

另外，本路段增加每日中午 12 時前(含 12 時)開放甲類大客車(大型遊覽車)通行，但考量工程搶災時施工安全，14 時後除在地學校、業者，持有住宿證明或機關學校外，仍禁止甲類大客車進入，維持每 2 小時放行一次，如上午車多因放行時間過長無法施工時，再改為停工不管制交通，短時間內坍土堆上岌岌可危的大石尚未移除前，對用路人潛在危害極大，夜間仍封閉道路。

管制放行時段：仍維持每 2 小時放行 1 次，預計每日 7 個時段開放(06:00、08:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00)放行一次，其中配合運輸果菜之民生需求彈性調整 05:30~06:00 放行，配合上下班需求彈性調整 07:40~08:00 管制放行，增加每日中午 12 時前(含 12 時)開放甲類大客車(大型遊覽車)通行；14 時後除在地學校、業者，持有住宿證明或機關學校外，禁止其他甲類大客車進入，另因邊坡仍偶有零星落石，短時間內坍土堆上岌岌可危的大石尚未移除前，對用路人潛在危害極大，入夜無法有效監看高邊坡狀況，故夜間仍封閉道路。

#### 4、第二次大規模崩坍前的民眾溝通與疏導

另外，第二次大規模崩坍前一日(102年9月20日)上午8時30分中央氣象局雖已發布天兔強烈颱風陸上警報，然外圍環流尚未接近本島，花蓮地區在此之前降雨不顯著，且外電媒體亦有天兔颱風中心僅通過巴士海峽，可能不會登陸台灣的預測報導。洛韶工務段首先配合太魯閣國家公園管理處及地方警力，調查天祥地區滯留旅客261人，業者工作人員127人，大小車輛82部，以作為防災工作緊急因應所需的基本情資。

102年9月21日上午9時許，強降雨侵襲中橫公路，天祥地區雨量站，連續發生3波10分鐘累積雨量超過10釐米以上，且30分鐘累積雨量已達40釐米以上，中央氣象局劇烈天氣監測系統(QPESUMS)亦提出預警分析，對流胞集中在東部近海及山區。洛韶工務段研判短時間內降雨強度將超過警戒值，並考慮白沙橋路段抗災能力較低，必須立即執行預警性封閉道路。然當時外圍環流仍未接近花蓮陸地，且當日清晨亦無較大降雨，天祥地區尚有45部車、247名旅客滯留不願提前離開。經洛韶工務段立即發布於上午10時中橫公路西端自關原(台8線116k+500)，東端至太魯閣口(台8線186k+580)禁止進入(只出不進)，再以最短時間通知天祥地區旅宿業，並由段長親自強力溝通，告知強降雨將侵襲中橫公路情形，並剖析白沙橋路段通行中第二階段便道抗災性較低，再遭本次強降雨侵襲極可能發生道路阻斷等嚴重災情，務必撤離所有旅客及車輛。所幸獲得旅宿業支持配合，滯留天祥地區旅客247人於2小時內勸導安全離開。另外，洛韶工務段同時巡查全線道路，發現2輛小客車拋錨，立即協助旅客叫修後安全駛離，在當日12時沿線落石、坍方尚未加劇發生前，完成關原至太魯閣口路段淨空及預警性封閉道路，將公路天然災害對人車危害的影響減至最低。

前述崩坍初期第一次新聞稿旨在提出預警，當時雖研判落石為大規模崩坍前兆，然畢竟崩坍尚未發生，如僅於災害緊急應變訊息通報系統(LBS)、資訊可變標誌看板訊息(CMS)發布訊息，太魯閣地區大量觀光人潮將持續湧入，其中搭乘遊覽車遊客的行程多屬預先排定，如未及更改為其他行程，可能增加預警性道路封閉的執行壓力；透過新聞媒體強大的廣播效應，可以有效減少進入太魯閣地區的人車數量。

而崩坍加劇、研判大規模崩坍即將發生前的新聞稿，則係發布已掌握的道路即將阻斷訊息，提供各界參考，特別是旅遊業與遊客。發布新聞稿時(5月6日)尚無法具體預測崩坍規模以及道路搶通的時間，因此僅預告5月10日再公布道路搶通的預測時機，除避免提供錯誤訊息外，亦爭取工務段同仁研擬搶災對策的作業時間。

崩坍後搶災期間發布新聞稿時便道已搶通，但搶災作業施工機具仍需高度仰賴便道進出，然太魯閣地區為東部觀光重地，旅遊業期盼通行的壓力極為強大，因此除了新聞稿外，亦邀請媒體參加工地記者會，重點說明搶災作業狀況，配合宣導管制通行的作為(圖25至27)。

綜觀白沙橋路段災害為 1999 年集集地震後發生災害規模最大的公路災害之一，道路阻斷期間長，加上中橫公路為台灣東部最主要的觀光道路，實施預警性道路封閉及阻斷搶災期間公路總局各級單位及同仁皆可能承受龐大壓力，地方民代、礦石及砂石業者、運輸(旅遊)同業公會業者亦多次關心及提出不同請求，洛韶工務段同仁及搶災施工團隊均能秉持以工程專業並考量經濟性，均採就地土方平衡不外運之原則，除可大幅減省搶修經費外，加速搶通道路，積極協調在地住民及業者、學者、專家及相關機關，以兼顧當地住民及業者等公眾利益、安全為優先，研訂白沙橋最佳搶災及交通管制作為，如考量民生必需提前於清晨 05:30 前清理路面以利運輸果菜車輛通行、持在地旅宿業之大型遊覽車憑訂房證明單通過管制站，兼顧當地業者基本營運生存等配套措施，且能耐心與各界說明與溝通，並主動積極對外界及媒體說明搶修進度及適時禁行甲類大客車、夜間預警性封路等安全措施及兼顧搶修進度等管制作為，有效避免衝突產生，不僅適時執行預警性夜間封閉道路，免除潛在的人車傷亡悲劇，同時達成「無負面新聞」，且提昇機關形象的正面效益，可供參考。

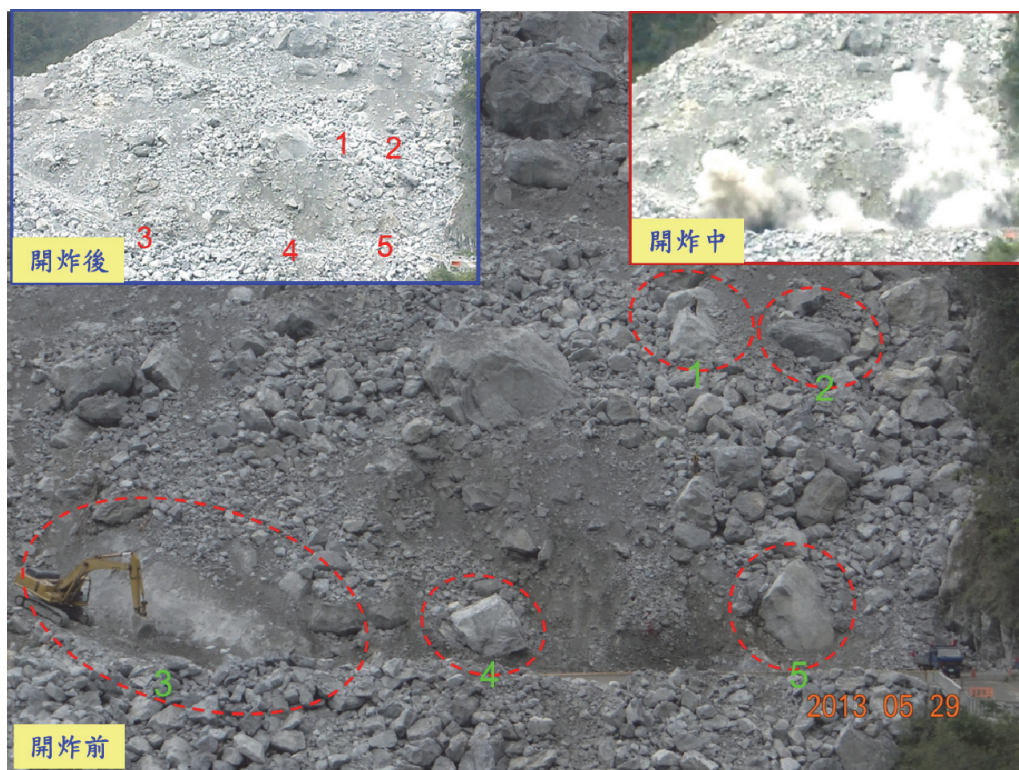


圖 25 民國 102 年 6 月 29 日工地記者會向媒體說明搶災作業規劃



中橫公路白沙橋路段（台8線181.4k），前於5月19日開放通行便道管制放行以來，積極進行第二階段臨時便道搶修，因有50噸以上巨石遍布於坍土堆上，經搶災開闢便道後甚至遭遇數顆達千噸以上巨型岩塊，自5月29日開始使用炸藥爆破巨岩，連同今天已開炸9次，炸藥總使用量1,060公斤，搶災進度已大幅提高。今天上午使用炸藥230公斤，開炸大巨石。

圖 26 民國 102 年 6 月 29 日工地記者會網路轉播之一幕



圖 27 媒體報導白沙橋路段搶災作業

## 五、致災原因與後續處理

白沙橋路段可能的致災原因、後續處理對策與效應，探討如后。

## 5.1 致災原因探討

白沙橋路段附近邊坡陡峭，山溝水系發育，野外調查工作难度大，且大規模崩坍後掩覆大量土石，同時掩蔽公路高程附近大理岩與片麻岩露頭，因此致災原因的探討需仰賴遙測影像判釋、災前災後數值地形模型比對，配合現地調查結果綜合探討。

以(圖 28 及圖 29-1、29-2)為依據 103 年 7 月空載光達雷射掃描儀(Light Detection And Ranging, LiDAR)所測製數值地形，配合掃描過程拍攝航空照片鑲嵌糾正之正射影像，產製 3D 數值地形模型並據以判釋的崩崖、蝕溝與崩坍範圍。光達掃描地形達 1m 精度，透過災後實測地形與正射影像套疊，可清楚窺見崩塌區的地形地貌，繼而透過日照陰影圖比對，可以有效判釋出崩崖、蝕溝與崩坍範圍。

進一步利用購自農林航空測量所的民國 98 年航空照片，透過空中三角測量製作災前 2 m 精度數值地形，繼而比較災前災後的地形高程變化，由(圖 30-1)可知，崩塌範圍(暖色系)崩崖最大高差逾 123 m，堆積範圍(冷色系)淤高最大達 83 m，表示仍有大量崩坍堆積材料殘留在目前通行公路上方邊坡。此外，大規模崩坍範圍裸露的崩崖最高約 815 m，利用高精度光達數值地形判釋的崩崖已逾 1120 m，崩塌區(紅色實線)上邊坡到山脊尚有 200 m 的高差，且由(圖 29-2)可知，崩崖(綠色虛線)已存在，且多條蝕溝(藍色實線)已經向上發育，目前崩坍範圍存在再擴大的可能。

另由(圖 30-1)中取 A-A' (圖 30-2)、B-B' (圖 30-3)兩條剖面比較災前災後高程可知，崩坍深度約 50 m，最深的崩坍滑動面發生在白沙橋東南側局部山脊附近，深度超過 115 m。

民國 103 年 7 月 22 日麥德姆颱風侵襲，夾帶超大豪雨導致立霧溪溪水暴漲，沖刷白沙橋崩坍堆積區坡趾，造成臨時通行便道路基沖毀約 420 m，阻斷道路無法通行，為本路段第三次大規模災害。原本掩埋於堆積覆蓋下的疑似褶皺軸部構造得以出露(圖 31 及 32)，其位置一併標示於(圖 28 至 30-1)中，可提供探討白沙橋路段大規模崩坍致災影響因素的初步佐證。

- 1.崩坍範圍鄰近為九曲大理岩及得克利片麻岩岩性交界帶，地形上常發育狹窄的侵蝕山溝，底部在交界帶附近，崩坍範圍西南側山溝即為一例；且因岩質不同，交界帶容易形成一相對的透水與不透水區，地下水及地表逕流易沿著交界帶附近流通，形成銹染。
- 2.崩坍範圍東側發育多處向源侵蝕，蝕溝相當深，部份已達接近山脊線且形成雙溝同源狀，地形上已顯露邊坡不穩定的徵兆。
- 3.災害高精度地值地形模型判釋結果顯示，山脊處海拔高程約 1,020 m，崩崖多平行坡向，研判係解壓節理發育所致；此等崩崖若與蝕溝聯結，交叉切割邊坡岩體，對於高位邊坡的穩定甚為不利。
- 4.自崩塌後裸露崩崖及崩坍破壞面觀察可見，大理岩節理發達，崩崖上多組節理交

會，形成不穩定岩楔。

5.現地調查結果(圖 31 及 32)顯示，崩塌區趾部大理岩可見一葉理面轉向區，疑似為一摺皺軸部，此區岩體較鄰近相對破碎，有利於地下水入滲，且銹染痕跡已非常明顯；另外，既有崩崖下方高程約 540-550 m 範圍，可見向西傾大理岩葉理面銹染痕跡，顯示此高程曾為地下水流路徑。

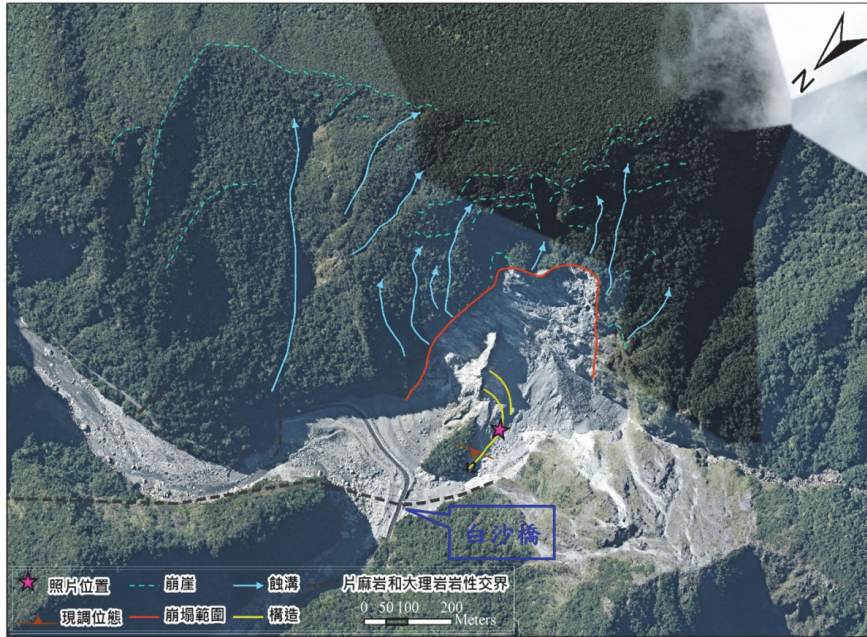


圖 28 依據 103 年 7 月拍攝航空照片鑲嵌糾正之正射影像以及判釋所得崩崖、蝕溝與崩塌範圍

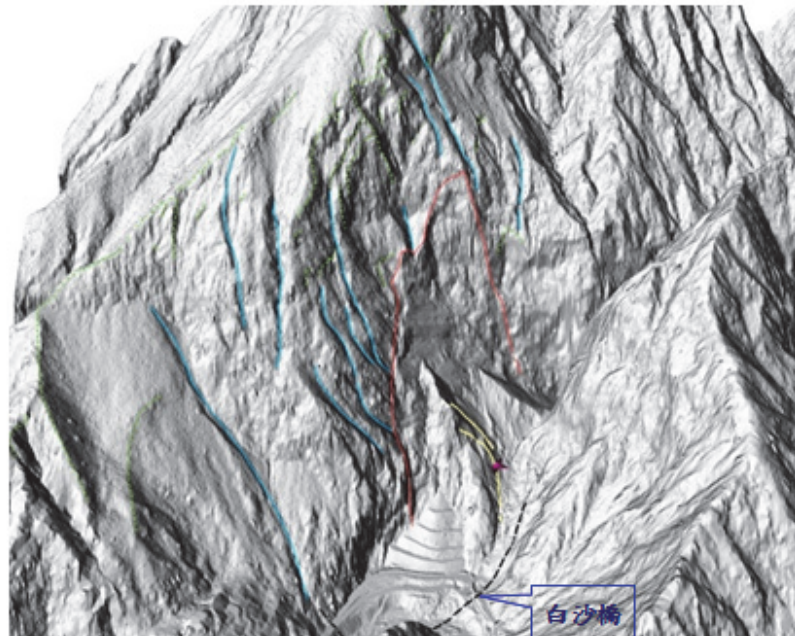


圖 29-1 103 年 7 月空載光達數值地形

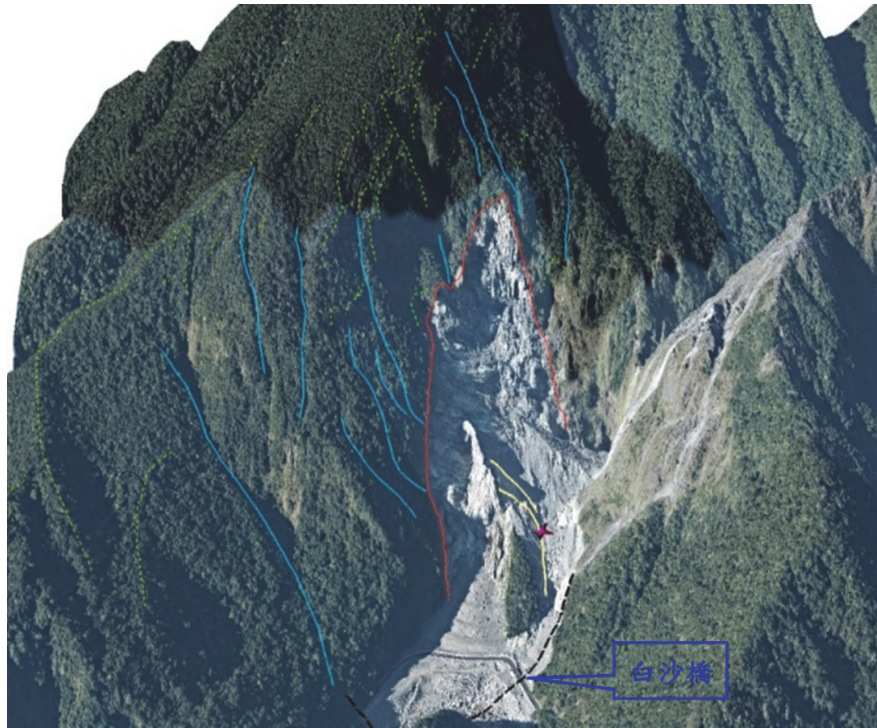


圖 29-2 依據空載光達數值地形套疊於正射影像判釋崩崖、蝕溝及崩坍範圍

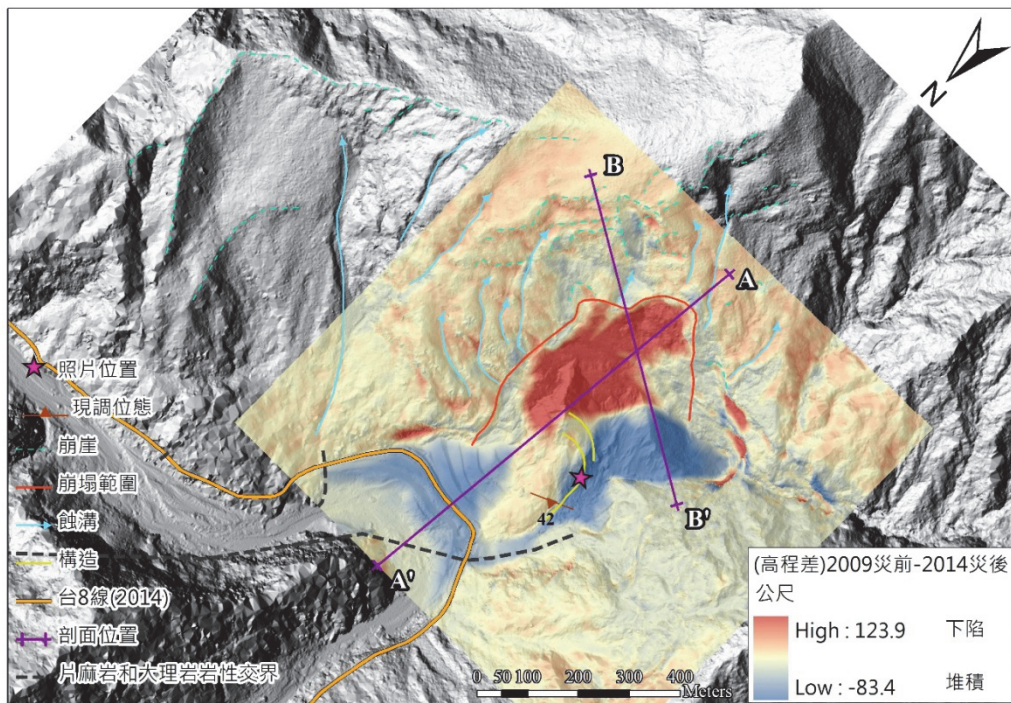


圖 30-1 崩坍範圍高程變化



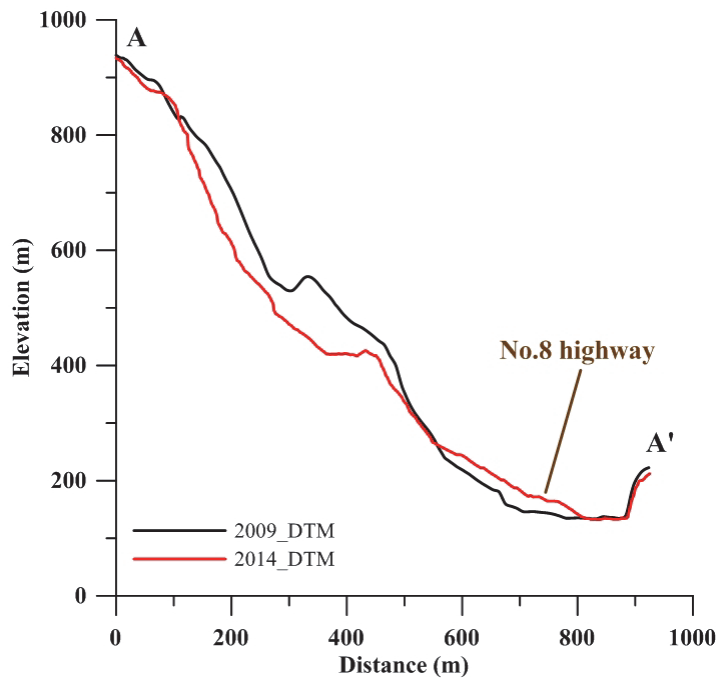


圖 30-2 AA' 崩坍範圍高程變化

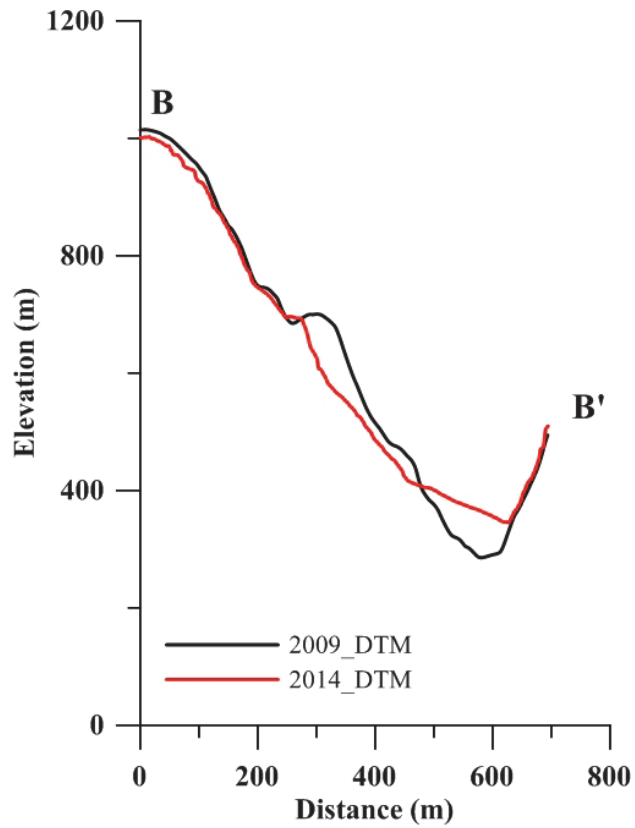


圖 30-3 BB' 崩坍範圍高程變化

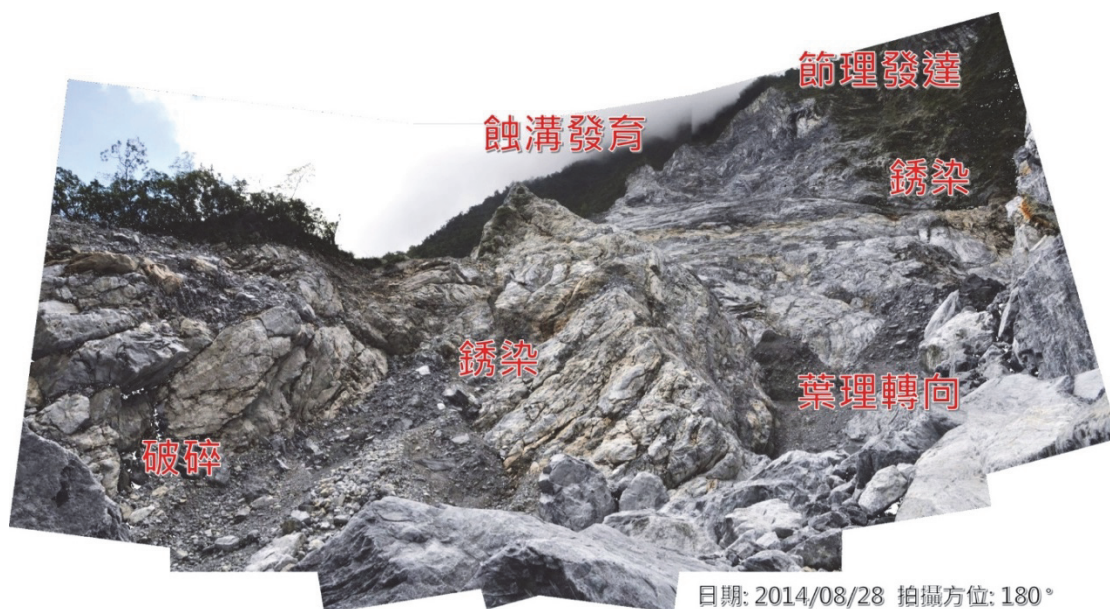


圖 31 現地調查照片之一



圖 32 現地調查照片之二

## 5.2 後續處理對策

白沙橋路段崩坍經洛韶工務段及施工團隊積極搶災，統計動員搶修機具挖土機 2,360 部/次、大型裝載機 472 部/次、小型裝載機 4,472 部/次、運土卡車 944 部/天，施工人員 9,910 人/次，累計申用炸藥量 4,140 kg、雷管 2,949 發，總清除崩坍土石方約 296,344m<sup>3</sup>，順利完成崩坍土石方清理及修坡工作，公路已於 102 年 12 月 31 日搶通，完成第三階段路寬 8 m 便道，可不管制交通提供雙向通行。

惟第三階段便道仍位於白沙橋崩坍堆積坡坡趾，便道雖外移約 35 m 改線闢建，但上方崩崖與高逾 800 m 的裸露邊坡難以保護處理，節理發達、破碎風化，該路段仍存在隨時發生落石、崩坍狀況，抗災能力甚低，屬大規模崩塌高潛勢區，對於下邊坡便道安全性威脅極大。經邀請專家、學者、大地工程技師公會及相關單位現勘，結論略以：「本案工址坡度陡峭、岩層破碎、節理發達，邊坡崩落及土石坍滑之復發性相當高，應立即尋求整體改善之道。有關重建方式，以改線新建橋梁(或可配合隧道穿越對岸山體)跨越立霧溪之方案為宜(圖 33)，並可得截彎取直之效。經討論研商結果：咸認本案重建工程屬「緊急性工程」，應盡速辦理緊急復建工程。因此委託辦理「台 8 線 181k+400 災害路段復原重建委託可行性方案評估、測量、地質探查及設計服務工作」，進行詳細地質調查、評估後，據以辦理後續災害路段緊急搶修工程，使路線避開高崩坍潛勢區，預計於民國 103 年底改線工程發包施工，本路段公路的安全性可望再提升。



圖 33 白沙橋路段改線示意圖

或許有人會好奇的問：「中橫公路是西元 2013 年全球 22 大危險公路之一，那麼這個路段改善後，中橫公路就不危險了嗎？」實則台 8 線中橫公路已闢建 50 年，服務期間已接近現代化土木工程設計年限，加上近年因全球氣候變遷，極端氣候事件規模加劇且週期變短，以致台 8 線 154 k 以東路段公路上邊坡災害頻傳。在本文探討的大規模崩坍邊坡事件鄰近(里程 168 k+700 天祥、178k+500 燕子口附近)，近期(2009-2011 年)亦連續發生邊坡失穩壓毀明隧道事件，所幸也由於災害應變管理得宜，有效避免了傷亡。公

路總局鑑於事先知悉潛在致災位置、瞭解災害發生的可能時間點等為應急管理計畫實施時間的基本資訊，遂推動山區公路易致災路段調查評估與災害控管計畫，包含阻斷頻繁的台 8 線、台 14 甲線、台 9 線、台 7 丙線等部分路段，透過歷年衛星影像與航空照片蒐集與判釋、歷史災害記錄的蒐集整理，嘗試建立邊坡失穩類型以相應的評估準則，並劃設易致災路段以及模擬可能的影響範圍；繼而透過地表地質調查、補充測量與鑽孔探查以及監測作業，瞭解公路沿線邊坡穩定性，逐步修正劃設範圍以及致災門檻值，並探討降雨、地震等外力因素在不同程度衝擊下可能造成的危害，預擬短中長期後續處理對策，俾利山區公路養護工作及早因應，應急管理機制適時實施。

## 六、結論

近年公路總局積極執行流域管理模式及建立公路防災預警應變機制，將轄線橋梁、道路、邊坡劃分歸類為不同監控等級，以供在劇烈天候來臨前，執行預先縝密訂定之雨情管理值，進行預警性封閉道路或各項檢查等預防性措施，各工務段除依「流域及風險管理」辦理公路防救災工作外，並在執行面上確切實踐，每逢颱風、豪雨來臨，及嚴密監看雨情、適時通報並掌握即時路況。近 2 年中橫公路花蓮縣轄內執行預警性封閉道路 21 次，預警性封閉道路後發生災害 16 次，尤以 102 年 9 月 21 日天兔強烈颱風帶來強降雨侵襲前，強力溝通天祥地區旅宿業者，將 247 名滯留不願離開的旅客撤離，成功避免多次人車傷亡之悲劇發生，已將公路災害之發生對人車危害的影響減至最低。

經濟成長與科技發展為 20 世紀下半葉世界各國競相追逐的重點，各種基礎建設包括橋梁、隧道、邊坡以及地工構造物皆達到了高峰，此時期建成的公共資產迄 21 世紀上半葉便面臨逐漸接近設計年限的問題，儘可服務年限通常大於設計年限，但維修與養護工作已成為各國基礎設施必然的課題。偏逢全球氣候變遷的效應日益顯著，地工構造物面臨超越設計值的機率與頻率大增，屆齡且超負荷的基礎設施群如何處理，顯然已非傳統土木工程理論所能精準解析與預測。本文以台 8 線 181k+500 白沙橋附近路段連續的邊坡崩坍過程的災害應變管理、媒體訊息發佈與民眾溝通，並探討致災原因以及災後修復重建處理對策為例，試圖窺探未來可能的方向之一，並簡述近期針對山區公路易致災路段調查評估與災害控管計畫在公路養護管理面的概念，拋磚引玉，謹供參考。

## 致謝

國立台北科技大學資源工程研究所羅百喬小姐協助現地地質調查與圖資整理，王泰典教授協助指導，本文得以順利完成，特此感謝。

## 參考文獻

1. Damien, C., G. Albert, N. Hovius, M. Bickle, A. J. West, M. C. Chen, H. Chapman (2011), Contribution of deep groundwater to the weathering budget in a rapidly eroding mountain belt, Taiwan, *Earth and Planetary Science Letters*, 303(1-2), 48-58.
2. Turowski, J. M., N. Hovius, M. L. Hsieh, D. Lague, M.C. Chen (2008), Distribution of erosion across bedrock channels, *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, 353-363.
3. 中央地質調查所(2014), 地質資料整合查詢, <http://gis.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/index.cfm>.
4. 王泰典、曹孟真、劉世桐、陳志雄、王建智、鄭富書(2014), 邊坡失穩引致營運中隧道崩塌災害過程應急管理與失穩影響因素案例探討, *隧道建設*, 34(增 1), 28-34。
5. 台灣省公路局(1956), 台灣省東西橫貫公路測量總報告, 台北。
6. 台灣省公路局(1960), 東西橫貫公路工程專輯, 台北。
7. 林銘郎 (1992), 河谷解壓節理的研究：以太魯閣大理岩峽谷為例, 國立台灣大學土木工程研究所博士論文, 台北。
8. 洪如江(1990), 中橫公路地質斷裂構造與岩坡穩定性之研究, 國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
9. 國軍退除役官兵輔導委員會 (1972), 台灣省東西橫貫公路開發紀念集, 台北。
10. 楊濟豪(2013), 中橫公路東段沿線邊坡穩定性與其受工程地質特性影響, 國立台北科技大學資源工程研究所碩士論文, 台北。
11. 劉世桐、李佳翰、王泰典(2012), 從中橫公路東段養護經驗探討工程地質特性對公路養護之影響, *土工技術*, 131, 35-46。
12. 羅偉 (1992), 臺灣中央山脈合歡山至天祥地區之地層與構造研究, 國立台灣大學地質研究所博士論文, 台北。
13. 羅偉、劉佳玫、楊昭男、王執明(2009), 新城圖幅及說明書, 五萬分之一臺灣地質圖及說明書, 經濟部中央地質調查所出版。