

工程案例回顧與熱門議題報導

臺鐵猴硐崩塌事件特別報導

柳鈞元* 黃韋凱* 李璟芳* 翁孟嘉**

2020年12月4日早上8點半，臺鐵東部幹線瑞芳-猴硐區間發生岩體滑動災害事件，大量崩積材料掩蓋鐵路，使臺鐵東部幹線雙向中斷，經多日搶修才得以恢復單線通行。本次崩塌事件雖無造成人命傷亡，然東部重要交通幹線之中斷，使該處山崩成為社會焦點。鑒此，本文針對此災害相關資訊，特於第一時間進行現地調查、蒐集相關資料予以簡要報導。

一、災害事件

在12月4日臺鐵猴硐崩塌事件前，11月30日的新聞報導指出，臺鐵猴硐車站北方1.3公里處，於該日清晨6點發生邊坡失穩(本文稱為前期事件)，臺鐵人員發現該路段的擋土牆外推與電車線電桿傾斜使鐵路淨空不足(圖一)，東部幹線一度被迫中斷，經緊急搶修與噴漿護坡處理後，瑞芳-猴硐區間以單線雙向恢復運行，且加派人員24小時監測該邊坡狀況。然而12月4日清晨時，臺鐵人員發現噴漿護坡變形、開裂，隨後樹木傾倒碰觸至電車線再度迫使臺鐵東部幹線中斷，後於早上8點半時發生中等規模邊坡滑動(本文稱為主要事件)。崩塌災害後空拍成果顯示，此次崩塌範

圍呈兩道節理切割之楔型塊體(圖二(a))，崩塌範圍南北長近80公尺，東西寬約70公尺，坡高約35公尺，坡址南側堆積區材料為風化岩屑(圖二(b))，北側則有岩塊滑落之狀況，大量銹染砂岩塊體散佈於鐵道上(圖二(b)和(c))。

二、區域地質與地形

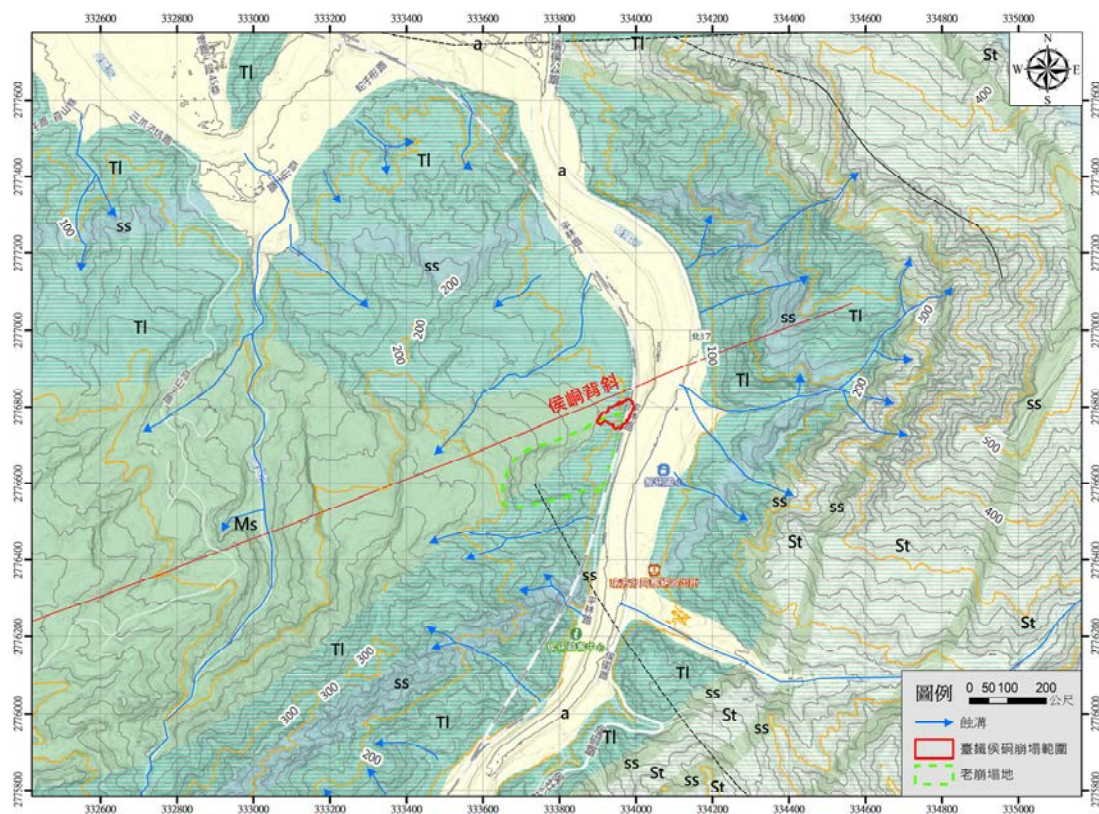
參考經濟部中央地質調查所的五萬分之一地質圖-雙溪圖幅(經濟部中央地質調查所，1988)，此次崩塌位置鄰近於侯硐背斜軸部區域(圖三)，地層屬於大寮層(T1)，大寮層為海相地層，沉積環境屬於大陸棚堆積，富含海相化石(黃與謝，1991；游與鄧，1999；潘，2019)，年代屬於早中新世地層，下接木山層(Ms)，上覆石底層(St)，均為整合接觸。傳統上將大寮層依砂、頁岩比例劃分為上、中、下三段，其中最著名的即為出露於野柳岬和八斗子忘幽谷的中段砂岩，大寮層中段砂岩厚約60公尺，主要為厚層青灰色石灰質砂岩所組成(何，1964)，因石灰岩質基質為良好的膠結材料，因此岩體強度較高，在地形上常成一高陡岩壁，在野外可作為良好層位指標，大寮層上段與下段岩層則以厚層頁岩為主，夾數層中層砂岩。



圖一 11月30日臺鐵瑞芳-猴硐區間發生邊坡失穩，電桿傾斜，且可見擋土牆裂縫已有植生



圖二 臺鐵東部幹線瑞芳至猴硐區間發生山崩災害 (改繪自交通部長林佳龍臉書，2020)

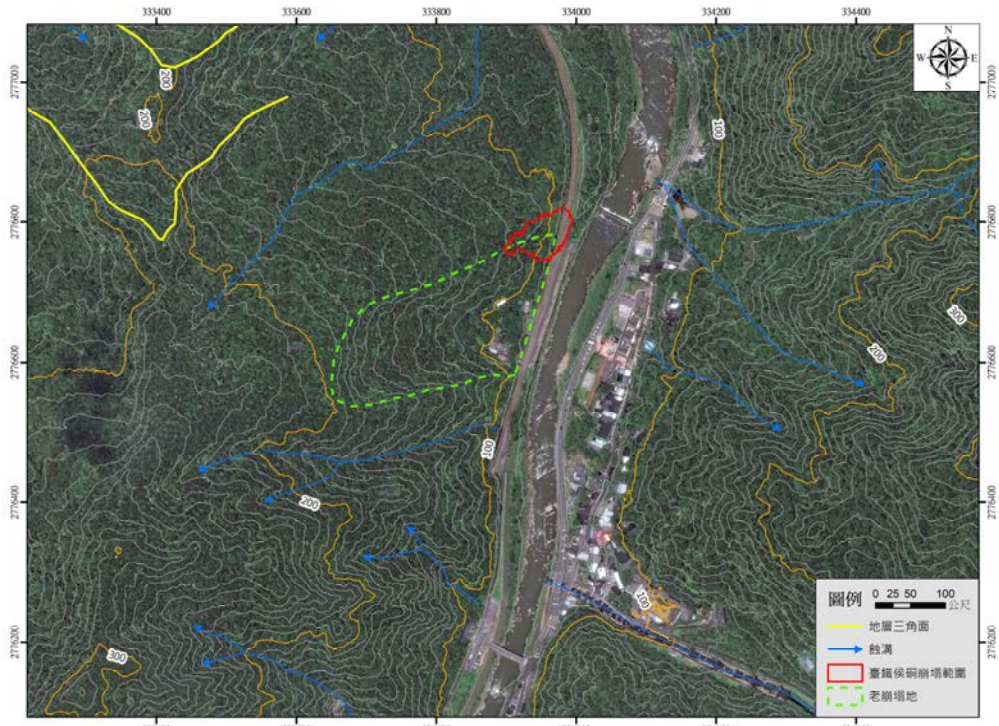


圖三 五萬分之一地質圖-雙溪圖幅(經濟部中央地質調查所，1988)

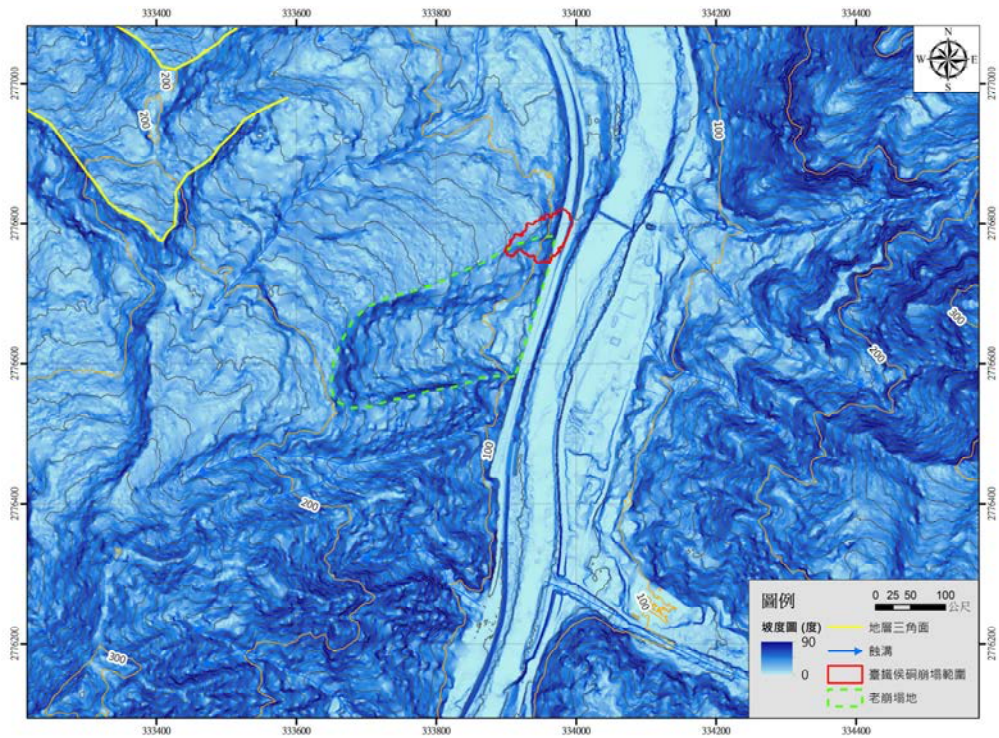
其中，前述之侯硐背斜為一向東北東方傾沒的背斜構造，南、北兩翼地層層面則多呈40~60度往南、北傾，軸部區域傾角則較緩，多為10~20度向東北傾；岩層出露狀況，軸部西側有木山層出露，瑞芳至猴硐之間的基隆河兩岸則為大寮層，軸部東側大粗坑地區則屬石底層，其中基隆河右岸的陡峭岩壁約略為大寮

層中段砂岩出露處，以中段砂岩為界，此次臺鐵猴硐崩塌位於基隆河左岸，層位屬於大寮層下段岩層，岩性以砂岩、頁岩互層為主。

研究區域之地形、地貌部分，利用高解析度衛星影像以及新興LiDAR測繪技術，除可迅速瞭解崩塌裸露狀況，亦可利用LiDAR穿透植生獲取之林下地形資料之特性，去除植被



圖四 臺鐵猴硐崩塌區域災前正射影像(2020年6月WorldView衛星影像)



圖五 臺鐵猴硐崩塌區域LiDAR地形圖

產製高解析度的地形圖。從2020年6月的WorldView高解析度衛星影像(圖四)顯示，猴硐區域地表植生茂密，尚無新生崩塌地或異常明顯線型，LiDAR地形圖(圖五)上則可見此次臺鐵猴硐崩塌位於一面朝東北方的緩坡上，崩塌範圍西南側則可見一馬槽狀、陷落地形，臆

測為一老舊崩塌地之地貌且並無明顯蝕溝於該地貌中發育，然崩塌事件則恰位於老崩塌地之北側邊界，兩者之關聯性尚待後續詳查後釐清；續往猴硐崩塌之西北側位置，則可見朝向北邊的地形三角面，反映出侯硐背斜北翼的砂岩層分布趨勢。

三、降雨

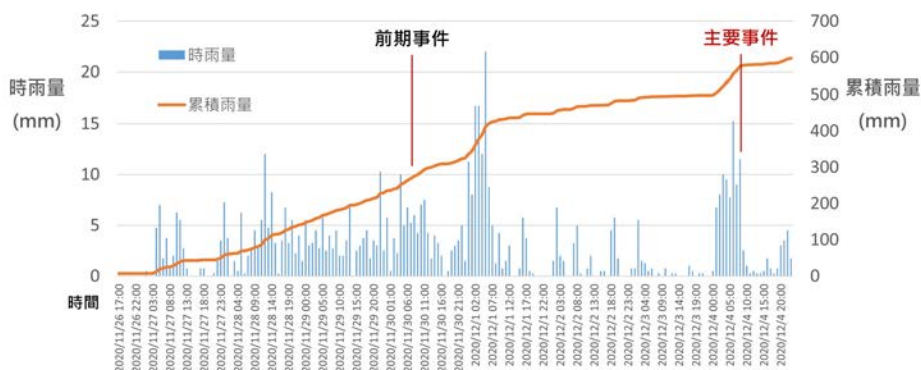
本次崩塌事件最鄰近雨量站為瑞芳測站距離3.5公里，惟考量該站近期雨量資料尚不完整，且山區地形易引致複雜之降雨空間分布，在距離因素與地形因素下，本文改以中央氣象局的劇烈天氣監測系統(QPSUMS)獲取此次崩塌區域的雨量紀錄(圖六)。雨量資料顯示，東北季風帶來之連日降雨，迄至11月30日清晨小規模崩塌(前期事件)發生時，3小時平均降雨強度(I₃)僅7.3毫米，24小時累積雨量(R₂₄)僅96.8毫米，最大時雨量則僅有12毫米；12月4日凌晨有另一波降雨，隨後於早上8點半發生岩體滑動(主要事件)，此波降雨最大時雨量15毫米，I₃為11.9毫米，R₂₄達81.8毫米。參照中央氣象局定義24小時內累積雨量

達80毫米，或時雨量達40毫米即為大雨，本次崩塌災害在6小時內即達80毫米的降雨量，已達大雨等級，但尚未達豪雨標準。長時序的降雨，使大量降水依地形匯聚並滲入坡體形成豐沛的地下水來源造成水壓驅動崩塌塊體滑移，可能為此次崩塌的肇因之一。

四、山崩災害歷程與現地調查

根據2016年的Google地圖街景照片顯示，本次崩塌災害發生前，邊坡擋土牆就已存有水平橫向裂隙(圖七)，該徵兆集中於擋土牆結構腹部，從植生、青苔生長狀況推測擋土牆破壞狀況可能已存在多年，並非近年內才迅速惡化。2020年11月30日清晨，臺鐵人員發現電車線電桿有明顯傾斜(圖一(a))，搶修過程中將傾斜電

	時間	I _n : n小時降雨強度(mm/hr)			R _n : n小時累積降雨 (mm)		
		I ₃	I ₆	I ₁₂	R ₂₄	R ₄₈	R ₇₂
前期事件	11/30 06:00	7.3	4.7	4.6	96.8	194.5	244.5
主要事件	12/04 08:30	11.9	10.5	6.5	81.8	113.8	150.5



圖六 臺鐵猴硐崩塌雨量組體圖-取自QPESUMS



圖七 Google地圖的街景照片顯示老舊擋土牆無排水孔，且有大量水平裂縫，裂隙都已夾雜植生，中央的電桿即為前期事件中傾倒的電桿，街景照片攝於2016年3月

桿與部分開裂擋土牆拆除(圖一(b))，顯現出牆後中度風化之砂岩層，並針對邊坡裸露區域進行浮落石清除與施作掛網噴漿護坡工程。12月4日清晨，掛網噴漿補強位置出現開裂現象，伴隨零星落石、樹木傾倒，早上8點半左右則發生邊坡破壞，從現場人員拍攝的影片可見滑動初期有大量噴凝土塊掉落，鋼絲掛網扯斷，老舊擋土牆則由前期已開裂位置逐漸推出、崩落，隨後看到砂岩層滑出，左側(南邊)的滑動剪出線高於鐵軌面約兩公尺，右側(北邊)的剪出線則僅略高於鐵軌面數十分，南側滑動的砂岩層厚度高過老舊擋土牆，推測該砂岩層厚度應達3公尺以上，塊體大致向東滑動約10公尺，滑動方向與鐵軌約略正交，而剪出線位置南高北低，反映著砂岩層層面與坡向有一夾角，底部可能存有一摩擦力較低之相對軟弱層(例如頁岩層)作為滑動面。

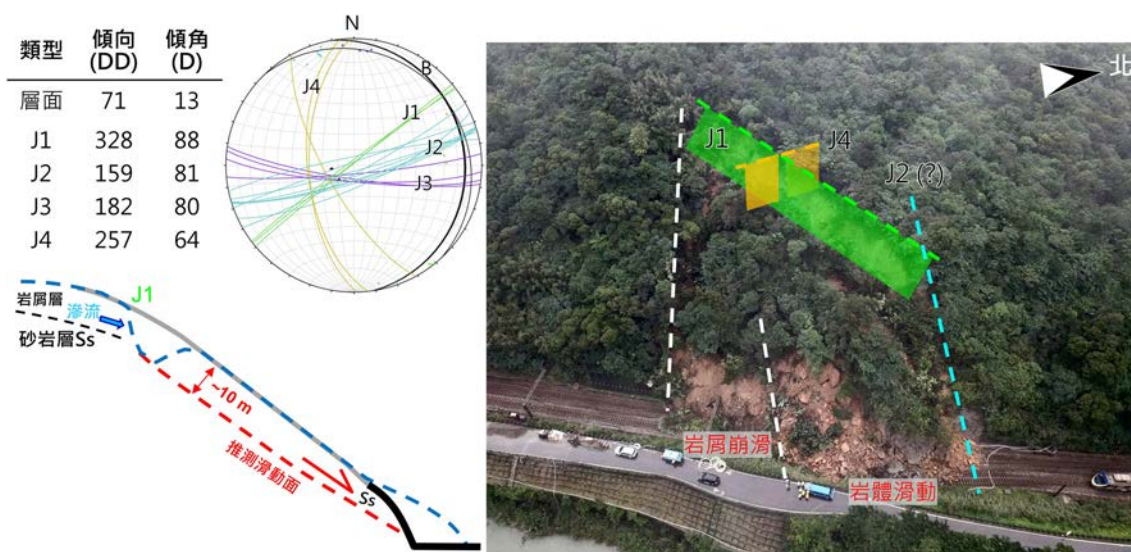
災後空拍照片成果顯示，此次崩塌範圍約為一楔型(圖二(a))，滑動塊體內的植生完整，顯示塊體整體一同運移，坡頂則存一斜向張力裂隙，裸露的岩屑層厚餘5公尺，並可見許多銹染砂岩塊體夾雜其中。南北兩側為直線型邊

界，南側的崩落距離較短量體亦較少，仍可見東正線的鐵軌，而北側滑動距離較遠量體較多，東、西正線均被掩埋，細看可見北端鐵軌明顯被向東推擠，偏離約一公尺，鐵軌上方的崩積土方最大厚度應超過7公尺，且北側的堆積厚度明顯高於南側。

本團隊於災後3日(12月7日)至現場調查，當時滑動塊體植生與岩屑層多已清除，坡頂位置出露一層之青灰色砂岩層(圖八)，該砂岩層內無明顯層理，砂岩層與岩屑層的介面相當平順，土岩介面的位態為071/13(傾向/傾角)，砂岩層可量得4組節理，J1: 328/88, J2: 159/81, J3: 182/80, J4: 257/64，砂岩層中則可見一寬約2公尺的高角度高度風化帶(圖八(a))，內夾有新鮮植物根系與垂直銹染紋，岩屑層厚約6至8公尺，其中夾有大量風化砂岩塊體，在距地表5公尺深的位置有大量地下水滲出(圖八(b)、(c))，北側坡址處有大量銹染的節理塊體(圖八(f))，即為災害影片中滑落的砂岩所堆積，現場目視南側擋土牆與基隆河堤防無損壞跡象(圖八(g)、(h))，南側擋土牆上方樹林內則為風化土層夾雜砂岩塊，無岩層出露(圖八(i)、(j))。



圖八 臺鐵猴硐崩塌現地調查位置



圖九 不連續面分布與破壞機制研判

從影片記錄與現場調查成果來看，崩塌區域北側有明顯的岩體滑動特徵(圖二(c))，南側擋土牆未有破壞跡象，僅見淺層材料崩滑(圖二(b))，研判南側為岩體滑動過程中伴隨的岩屑崩滑，亦即本次滑動的砂岩層可能在崩塌塊體中間形成地層尖滅並無延伸至南側，然此一砂岩層側向延伸中斷之現象與西南側老舊崩塌地的關聯性值得再行深究探討。

綜整前述資料成果，繪製本次臺鐵猴硐崩塌機制示意圖(圖九)，考量現場砂岩層空間分布與節理組性質尚未明朗之狀況下，本次崩塌事件較不宜直接稱為順向坡破壞，以較廣義的平面型破壞稱之較為合適，實際滑動面材料性質與深度，仍需待後續地質鑽探以確立較趨近現況之地質概念模型，以便進行運動學分析與力學分析，除釐清促崩因子與破壞機制，亦可回饋予復建工程單位進行整治設計作業。

誌謝

感謝臺灣鐵路管理局、經濟部中央地質調查所、公路總局、聯合大地工程顧問股份有限公司、秋森萬工程顧問有限公司於災害第一時間提供相關圖資與現場調查的協助，感謝瑞竣科技提供WorldView衛星影像。

參考文獻

- 交通部臺灣鐵路管理局 TRA 臉書 (2020), <https://www.facebook.com/TaiwanRailwayAdministration/photos/2846019765680230> (2021年1月18日)。
- 交通部長林佳龍臉書 (2020), <https://www.facebook.com/forpeople/photos/a.576074065783815/3712101955514328> (2021年1月18日)。
- 何春蓀 (1964), 「臺灣北部沿海區之地質及煤礦資源」, *臺灣省地質調查所彙刊*, 第15號, 第1-46(中文), 1-23(英文)頁。
- 游能悌、鄧屬予 (1999), 「臺灣北部大寮層石底層之沉積環境」, *經濟部中央地質調查所彙刊*, 第12號, 第99-132頁。
- 黃鑑水、謝凱旋 (1991), 「由一口鑽井岩心的觀察探討木山層與大寮層交界附近的沉積環境變遷與地層界線」, *地質*, 第11卷, 第2期, 第147-154頁。
- 經濟部中央地質調查所 (1988), 「五萬分之一地質圖-雙溪圖幅」, 經濟部中央地質調查所出版。
- 潘宇彥 (2019), 「新屬種深居彎型生痕化石 *Pennichnus formosae* 於臺灣東北海岸中新世大寮層的訂立與介紹」, 碩士論文, 臺灣大學地質科學研究所。