

與會報導 地工技術第 42 次工程地質研討會

阿里山與林鐵~追尋林鐵足跡 重現百年風華

曾孝欽¹ 佘巧妤¹ 整理

一、前言

阿里山林業鐵路(簡稱阿里山林鐵)為世界聞名高山鐵路之一,具備著重要之文化意義與保存價值,2009年莫拉克颱風重創林鐵,因沿線多處地質災害以致尚有部分路段至今仍無法營運。阿里山林鐵及文資處持續辦理修復工程,如今42號隧道為復建最後一哩。沿線另有二座重建車站,包括木構建築的神木車站、以及鋼構建築的祝山車站,各具特色並深具豐富文化底蘊。

阿里山公路與林鐵工程地質研討活動於2023年6月29日~7月1日舉辦,由陽明交通大學廖志中教授擔任領隊(圖一),行程規劃包含座談會、林鐵與崩場地整治工程參訪等(活動行程詳表一),同時邀請林鐵處沈宜慶課長、兆豐公司陳婷技師、國家地震中心黃有志副研究員進行專題分享;另邀請利德公司汪世輝主任、蕭富元博士、黎明工程邱子軒技師協助解說42號隧道工程,嘉義林管處陳新發課長解說二萬坪整治工程,沈明信技師解說神木車站暨週邊整治工程,大將作公司葉慶書特助解說祝山車站重建工程等,活動內容十分豐富精彩。

二、工程地質座談會

本次活動以阿里山林鐵為主軸,行程穿插工程參訪與林鐵體驗等,因此將研討座談會安排在活動的一開始,讓所有與會者體認林鐵價值後,於後續的行程中更容易深入感受林鐵所蘊藏豐富的歷史文化氣息。

2.1 阿里山林鐵價值

阿里林鐵為臺灣第一個重要文化景觀,也是18處臺灣世界遺產潛力點之一。其各路線主要位於嘉義市與嘉義縣境內,該鐵路乃是日治時代為了將阿里山林場產出之林木向外輸送而

¹亞新工程顧問股份有限公司

建設;林場砍伐業務結束後,客運與觀光成為該鐵路的主要功能。

本活動首先邀請林鐵處沈宜慶課長開場(圖二),針對阿里山林鐵價值進行詳盡介紹。最初,日本人希望建立鐵路系統,以便更有效地運輸木材。然而鐵路建設需要克服地形的挑戰,例如蜿蜒的山路、陡峭的坡度和鐵軌的彎



圖一開場引言(陽明交大廖志中教授)

表一 研討活動行程表

日期	停駐點	研討重點
6/29	觸口工作站	工程地質研討會 1. 阿里山林鐵價值 2. 二萬坪監測治理 3. 阿里山地震觀測
	42號隧道	42號隧道工程簡介與工地參訪
6/30	二萬坪車站	二萬坪災害與工程歷史
	神木車站	車站整修、神怡橋野溪整治工程
	祝山車站	車站特色、施工特點與困難處理對策



圖二 分享阿里山林鐵價值(林鐵處沈宜慶課長)

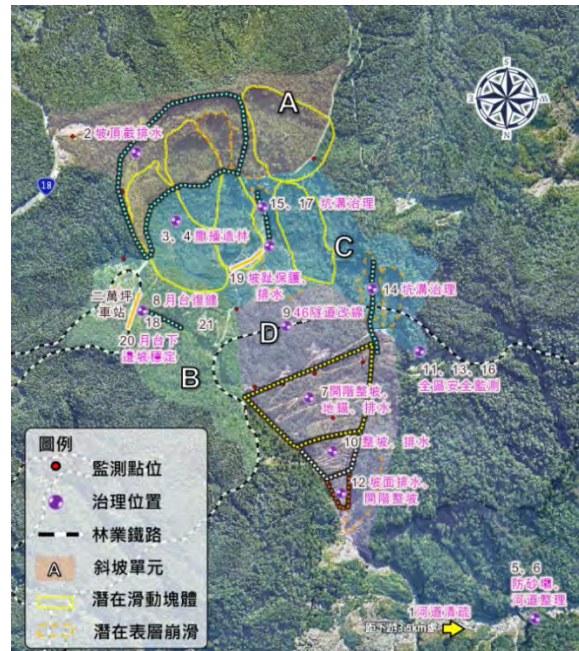
曲半徑，為的是適應特殊地形，而發展出不同種類的鐵軌設計，如：馬蹄彎、螺旋形和自製型。其中特別提到一種特殊類型的火車，它被設計用於應對陡峭的山地鐵路。這種火車具有獨立直立式的氣缸和小型型號，以確保它在陡峭的坡道上能夠提供足夠的動力。

另外早期日治時代所建立之木材加工處、製材所也成為了現在著名的觀光景點，不只舉辦各種表演合音樂活動，也設立許多特色商店，帶動了當地的觀光，也讓觀光客們可以瞭解到早期工業的歷史。而在建築物修復的課題上，也遇到許多挑戰，修復工程涉及到木材、鋼銅架、鋼筋、馬龍等材料的使用，以確保建築物的耐久性和外觀。此外，因長期的排水問題導致了車站的基礎受到影響而變形，需要進行修復工作，如地盤改良和地壓板等等，基地的灌注和排水就是需要關注的課題。

現在阿里山鐵路與各界都有相關的活動及合作，涵蓋了展示、合作、教育和產品開發等多個範疇，旨在讓觀眾瞭解火車及其相關活動的多個方面。文化的成功代表著人類和自然的融合，是歷史的產物。這種人與自然的互動和環境無論如何完成都是文化生存的一部分。而42號隧道也預計在2023年底完成，並將鋪設軌道，以便2024年6月或7月正式通車。這是一個期待已久的時刻，希望明年全面通車，再一次帶動相關的產業。

2.2 二萬坪監測治理

「二萬坪」—日治時期，因日本人開採木材時，所見其占地面積而得名，但後來在鐵路的發展及崩塌等因素影響下，如今面積剩下約4,000多平方米，其中以2009年莫拉克風災為最大規模的崩塌事件，造成了二萬坪地區130公頃的大規模圓弧型崩塌，森鐵數十處路段的路基損失、二萬坪車站嚴重受災，及連外道路中斷。因此在後續年度規劃了一系列的整治及復舊工程(圖三)，也針對區域內排水的部分進行調查，包含坑溝及渠道等處，確認是否能負荷較大的災害。而在復舊工程當中，地層分佈以莫拉克風災為分界，分為舊崩積層和新崩積層，岩層部分主要為砂岩互層，偶有較厚的砂岩出現。新崩積層主要堆積於坡腹及坡趾



圖三 二萬坪崩塌區歷年整治工程位置圖

處，未來調查方向以界面是否有滑動可能、新舊崩積層之間的變化量及水位的蓄積等等進行，以這樣的方式進行評估，不太會再次發生像莫拉克風災這樣一次性的的大規模崩塌。但在坡面上仍有一些不穩定的大區域塊體，主要的保全對象為鐵路、月臺、連外道路、青年活動中心及阿里山公路，因此未來需要針對這些保全對象進行維護管理的工作。

經近10年整治後整體坡面已趨於穩定，由於二萬坪工區範圍廣大，為更進一步補足鑽探與調查，將二萬坪崩場地藉由「集水區重疊法」劃分多個斜坡單元(圖四)，再將多期判釋結果再由斜坡單元中再圈繪出可能的崩塌潛勢區。

透過LiDAR資料，可將崩塌潛勢區分為潛在表層崩滑及潛在滑動塊體。通常表層崩滑可再分為蝕溝型與與坡面型：蝕溝型的特徵有弧形或圓弧形的崩崖面，下方連接著坑溝，坑溝則有上下游較為寬闊，中段束縮的溝寬特徵，下游堆積區則呈現扇狀地型，例如二萬坪工區大多數的表層崩滑潛勢區皆為蝕溝型；坡面型的特徵有大片的崩崖面，下游堆積區為土石流扇狀地型。此兩類的最大差異為，蝕溝型的路徑較長，崩落物可能會堆積在坑溝或路徑上，如有一次性較大之崩塌，則會將路徑上的堆積物直接帶往下游；坡面型則路徑較短，崩落物的量體通常一次性的堆積於下游或坡腳，坡面

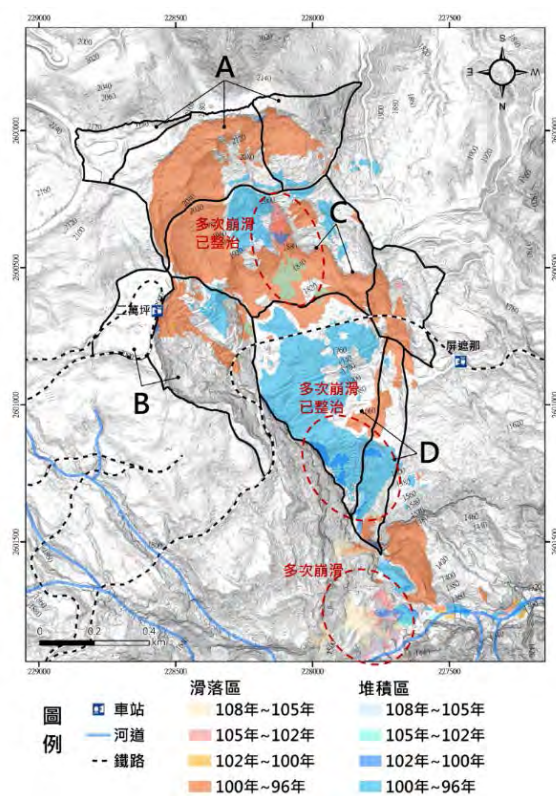
殘留物較少。滑動塊體為大於深度10公尺為主，由於本工區順向坡且崩積層較厚，通常有2種潛在滑動塊體，平面型與圓弧型：此兩種類型在地形判釋上較難區分，需透過鑽探與監測資料研判，目前二萬坪初步定義之潛在滑動塊體無上述兩種區分。滑動塊體的地形特徵主要為，有明顯的崩崖面、平坦的頭部，腹部有堆積或隆起地形特徵。經由這些特徵將崩塌區進行分區，以利後續機關針對不同類型的崩塌形式，採用監測、UAV等方式進行維護及管理。

除此之外，也在崩塌潛勢區佈設地中監測及水位管理，從監測值顯示，多年下來崩塌潛勢區整體上已趨於穩定的狀況，保全對象也採用強度較高的工程進行維護處理，除了在坡腹測傾管所量測到的數值有些微的變化，但在評估後認為處於合理範圍，未來也會持續關注。

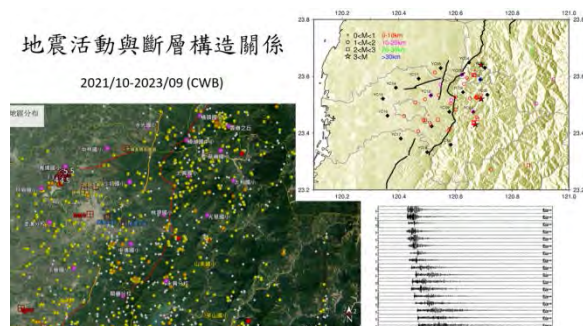
2.3 阿里山地震觀測

臺灣地區的活動斷層與地表變形，不僅位於板塊縫合帶的花東縱谷，以及造山帶變形前緣的西部麓山帶和西部平原交界，同時也是地震危害高潛勢區。根據歷史地震資料，臺灣平均每30至40年發生大規模災害地震。值得關注的是，西部平原人口密集的都會區，地表鬆軟的沖積層除了會放大地震波，同時也容易伴隨土壤液化等災害。儘管在921地震後，政府提升了建築物的耐震規範，並逐漸強化政府機關和學校等公共建築的耐震性，但是大多數民眾的老舊房屋仍未進行耐震補強，存在潛在的地震災害風險。

雲嘉地區的麓山帶有複雜的斷層系統，包括逆衝斷層、橫移斷層和盲斷層，不同類型斷層的破壞形式與導致的災情特性不同。因此，需要進行長期監測(圖五)，評估每條斷層的活動程度以及之間的關聯性。目前梅山斷層、大尖山斷層和九芎坑斷層，在地表沿線300公尺寬的條帶範圍內，已公告為活動斷層地質敏感區。其中梅山斷層的錯動以右移為主，經調查發現斷層帶的寬度可達400至500公尺，推估活動週期約為一百多年。地震也可能伴隨山崩及土石流等次生災害，務必隨時做好地震防災準備工作，以減輕地震造成的傷害和損失。



圖四 二萬坪崩場地斜坡單元



圖五 雲嘉地區地震長期監測

三、42號隧道工程參訪

42號隧道位於阿里山山脈南緣，臺灣地質分區上屬西部麓山帶地質區，計畫範圍廣泛分布於南莊層，岩性主要為淡青灰色厚層砂岩、條帶狀之砂頁岩互層及深灰色頁岩。

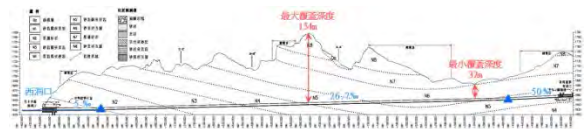
2015年9月28日阿里山森林鐵路受杜鵑颱風影響，於路線第42號隧道，發現有兩處大型災害(如圖六所示)。一處位於東洞口200公尺處，約有40公尺路基流失；另一處為西洞口內240公尺起約有15公尺損壞，兩處損壞合計約55公尺。

主要致災崩塌區自921大地震以來即發生多次崩塌情形，造成本計畫崩塌區致災因素主要為因本計畫區地形地質先天條件(岩性差異、層理位態)下受過往地質營力影響趨於脆弱，在臺灣山區多屬幼年期河谷地形形態而言，在強降雨及野溪侵蝕等自然營力作用下導致邊坡不穩定發生崩塌並造成計畫區鐵路損毀。

本隧道全長約1,104公尺；起點由42號隧道西洞口前方邊坡入洞，終點約在43號隧道東側於隧道內銜接(圖七)，依據沿線地質條件，採全斷面開挖，並採新奧工法(NATM)理念設計施工。隧道開挖施工於一般段採鑽炸工法施作，在洞口段(距洞口30~50公尺)，因地形或淺覆蓋及岩層單壓強度較低等因素，改採機械開挖。



圖六 崩塌範圍示意圖



圖七 隧道平縱斷面圖

四、二萬坪崩場地參訪

二萬坪地區原為一處古崩場地，座落於向西北方向傾斜的陡峭邊坡上，邊坡坡趾處為阿里山溪之溪谷，1980年之判釋結果顯示坡面上已有蝕溝發展，且有崩崖地形，直至2008年莫拉克風災發生前稜線附近有明顯崩崖倒退的情形，雖由影像來看地表植被無明顯裸露，且林相茂密，然二萬坪坡面上之蝕溝及崩崖皆有持續發展的現象。直至莫拉克風災，因豐沛的雨量使得排水不及，嚴重的地表沖蝕，且疏鬆的崩積層受降雨及地表逕流入滲、浸潤後，土體重量增加使抗滑力不足，進而引發大規模之滑動破壞，造成130公頃的大規模圓弧型崩塌，森鐵數十處路段路基損失，使得連外道路中斷。

二萬坪災後復建之治理工作主要分為三大方向進行，分別為崩場地整治、鐵路與車站搶災復建工作及植生復育。嘉義林管處陳新發課長(圖八)細細解說災後如何應對這種災害，保護部落和人們的生命財產，透過清理土石流、修復水道、建立排水系統，以及採取其他措施來恢復當地的生活。同時動用直升機和無人機來監測受影響區域，以確保安全。整個過程需要協調不同的單位和團隊，以迅速行動應對災害的嚴重性。



圖八 嘉義林管處陳新發課長詳細解說

五、神木車站、神怡橋參訪

阿里山神木車站位於臺灣阿里山的山腳，座落於山區的環境中，該車站擁有獨特的自然風光和豐富的生態資源，車站整修計畫旨在保留車站的歷史價值和文化特色，同時提升其功能和舒適度，工址特性將充分考慮車站所在的自然環境，並與周邊景觀融合。

尊重原有的建築風格和歷史元素，以確保

車站的獨特性和文化價值得以保留。透過修復和保護歷史建築結構、裝飾和細節，車站將展現出悠久的歷史魅力，讓遊客感受到時光的流轉。在工程設計中，將尋找能夠減少對生態環境影響的解決方案，並將生態保育納入整修計畫的考慮範圍。透過重新設計月臺和候車區域(圖九)，遊客可以更舒適地欣賞阿里山的美景，感受大自然的吸引力，吸引更多國內外遊客前來體驗這片美麗的山區風光。

神怡橋整修計畫緣起於神木車站附近的神怡橋下野溪，因坡度陡峭、流水湍急，長年累月的沖刷使得溪床淘空，對神怡橋和神木車站路基構成威脅，甚至影響到森鐵軌道的位置。

整修工程的工址位於阿里山國家森林遊樂區內，鄰近神木車站的神怡橋下野溪。該地點地勢陡峭，施工難度較高。工區兩側還有兩棵超過500年的檜木，整修工程的特色在於使用了生態工法進行施作，該工程採用天然塊石搭配漿砌工法砌築護岸及固床工程，利用固床工和階梯式植石護坦等設計，減少了落差，降低了沖蝕能量(圖十)。透過運用生態工法的設計和施作，整修工程成功地穩固了溪床，保護了神怡橋、神木車站路基和森鐵軌道的安全。該工程獲得了109年度優良農建工程治山防災類特優獎的殊榮，也是阿里山國家森林遊樂區內的重要改善工程之一。

六、祝山車站工程參訪

祝山車站以改建概念，保留既有月臺之弧度，於既有月臺範圍拆除重建(圖十一)。保留原大樓梯RC結構，於既有階梯上構築新設主要樓梯，色彩計畫採取材質真實顏色，大地色系，低調環境融合阿里山周圍環境。為配合迎接曙光必須將環境光害降至最低，故控光於站區內，無藍光危害，生態影響低。規劃以取得鑽石級綠建築標章為目標，並已獲得鑽石級候選綠建築證書核定。待祝山車站完工後將會是全臺唯一弧形造型月臺的車站，也是全臺海拔最高的車站(海拔2,451公尺)，此外更是全臺第一個月臺下方設置雨水回收池的車站(圖十二)。



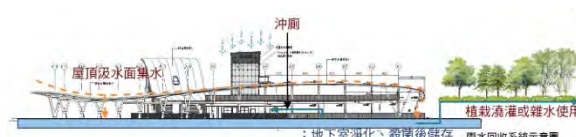
圖九 阿里山神木車站



圖十 神怡流瀑



圖十一 祝山車站弧形月臺



圖十二 祝山車站雨水回收示意圖

新建工程包括新建月臺與景觀平臺及管理中心，管理中心為地下一層及地上二層之RC建築物，月臺及景觀平臺為地上二層之SS建築物，結構系統皆為特殊抗彎矩構架(SMRF)之系統，以抵抗垂直載重及水平地震，基礎採用聯合基礎、版式基礎及基樁，能將建築物重量均勻傳遞至承載層上，較不易產生不均勻沉陷。結構依規定進行韌性設計及強柱弱樑設計，控制塑性鉸發生位置，以吸收更大地震能量。設計上避免短柱效應發生，提高抗震能力。

施工過程不只需克服高山氣候的問題及山區施工不易導致缺少工班的狀況，更為了維護生態，採取適合的工法進行施工，為求天花表面完整及美觀，引進專門後製清水模的日本菊水工法，以無釘方式施作；為了減少屋面版搭接，採現場成型加工之方式進行；施工過程中以科學修枝法修剪屋頂周邊紅檜枝條，方便施工及避免後續碰撞受損，妥善規畫植栽的遷移及養護。並利用BIM技術檢討施工介面、降低施工誤差率。

七、誌謝

此行完美結合土木工程知性、阿里山日出與林鐵的感性體驗，在此特別感謝廖志中教授、阿里山林業鐵路與文化資產管理處、農業

部林業及自然保育署嘉義林區管理處、兆豐工程顧問公司、黎明工程顧問公司、利德營造公司以及大將作工業公司協助行程安排，以及詹佩臻、陳婷、黃有志、曾孝欽等青年軍的規劃與協助，好讓一群人在帶著心靈滿足感中畫下完美句點(圖十三~十五)。



圖十三 觸口工作站大合照



圖十四 42號隧道大合照



圖十五 二萬坪大合照