

與會報導 地工技術第 38 次工程地質研討會

縱橫脊樑山脈賞地質

詹佩臻 王元度 黃韋凱 林榮潤 高振誠 詹尚書 林德洪 潘紹勇 呂家豪 汪俊彥 黃柏鈞 整理

一、活動行程與考察內容

2020年初COVID-19席捲全球，賴於臺灣防疫完備，雖無法踏出國外，但可於國內進行豐富的地質之旅，本次活動範圍包括雪山山脈、脊樑山脈及大南澳太魯閣帶與玉里帶等地質分區。並親臨壯闊的橋隧路工程。沿路線可觀察到頁岩等泥質原岩，經過變質作用，產生葉理狀之變質岩，從低度至高度變質的岩性為：板岩→千枚岩→片岩→片麻岩，其葉理構造及大尺度的褶皺與移位構造，亦是本次活動倍具挑戰的課題之一(如圖一所示)。

活動重點行程及停駐點(表一)如下述：

山月吊橋：山月吊橋橋長196m，橋面寬2.5m，距離溪谷約152m，從布洛灣臺地邊緣跨越立霧溪谷，是太魯閣國家公園跨距最長、距離溪谷落差最大的指標性吊橋。

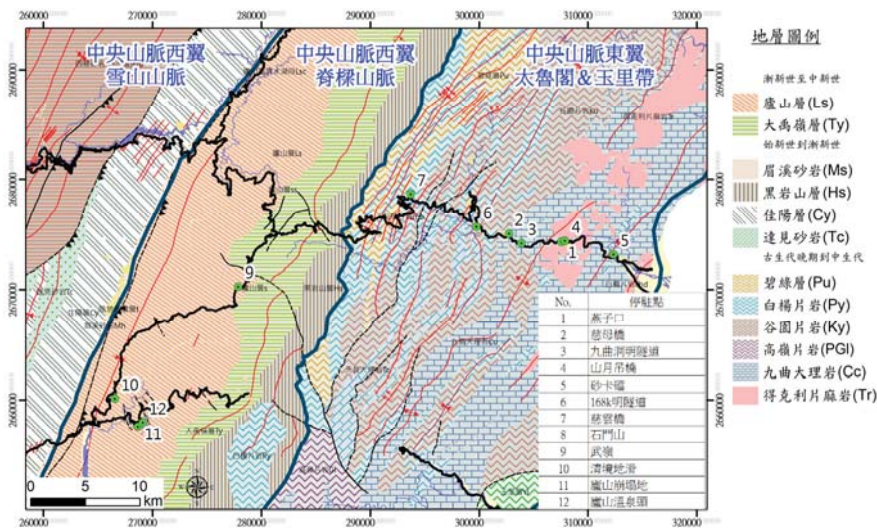
中橫：臺8線東段、臺14甲線沿路正好是臺灣變質岩的脊樑山脈地質區，包含特殊的高山峻嶺、峽谷地形、向源侵蝕、河谷解壓、伴隨落石、山崩、地滑、重力變形等坡體變形破壞現象，常因地質災害而成為經常性阻斷的省

道，顯見公路修築與養護之艱難。

廬山：廬山溫泉開發自日據時代末期，為臺灣四大溫泉之一，然溫泉區北側邊坡，每逢豪大雨或颱風期，屢因大量降雨導致邊坡產生滑動，若大規模崩塌將產生大量人命財產損失。

表一 工程地質研討會～縱橫脊樑山脈賞地質行程表

| 日期 | 停駐點 | 地點 | 考察與討論重點 |
|-------------|-----|-----------------------|--------------|
| 12/3 (四) | | 花蓮火車站集合 | |
| | 1.1 | 燕子口+178K隧道 | 落石型邊坡破壞 |
| | 1.2 | 慈母橋 | 褶皺作用 |
| | 1.3 | 九曲洞隧道 | 落石安全防護 |
| | 1.4 | 山月吊橋解說及參觀 | 合歡越道峽谷工程 |
| 12/4 (五) | 1.5 | 砂卡噹 | 變質岩岩石的故事 |
| | 2.1 | 168K明隧道 | 邊坡與公路 |
| | 2.2 | 慈雲橋 | 鋼桁架橋 |
| | 2.3 | 石門山(克難關及大風口) | 凍融侵蝕與板岩劈理 |
| 12/5 (六) | 2.4 | 工程地質座談 | 座談交流與金質獎工程分享 |
| | 3.1 | 清境地滑 (清境天空步道、清境農場) | 板岩大規模崩塌 |
| | 3.2 | 廬山崩場地 | 災害與觀光權衡 |
| | 3.3 | 廬山溫泉頭 | 地熱及溫泉地質 |
| | | 抵達臺中高鐵站解散 | |



圖一 本次導覽路線區域地質圖

二、178k隧道及燕子口

臺8線沿途風景秀麗，海拔從平地直到3,000m高山，所經地形相當多樣化，其中並行經太魯閣國家公園立霧溪峽谷。太魯閣的美是因為壯麗的地質，但是人類開發橋梁、隧道或道路去靠近或穿越峽谷，受限於地形、地質影響，路線彎繞迂迴，多處路段具落石、崩坍災害潛勢，威脅遊客安全。

太魯閣的精華區為燕子口到九曲洞這段峽谷地形，雄偉的斷崖峭壁，曲折的山洞隧道，令人不得不讚嘆自然與人工的偉大。本隧道於臺8線東段，介於燕子口隧道與溪畔隧道間，緊臨立霧溪右岸關建。周邊主要區域性地質構造為巴達崗斷層，屬逆斷層，大致以東北-西南走向通過燕子口西側500m附近，不屬於地調所公佈之活動斷層。本區域出露得克利片麻岩，為古生代晚期地層，片麻岩為粗粒顯晶狀變質岩，呈淡灰至深灰色，大部份為片麻岩狀組織發達之片麻岩，局部可見發育良好的緊密小褶皺，並有若干石英脈與花崗岩質岩脈穿入(圖二)。

臨側之立霧溪河床高程約200m，河流下切作用劇烈，河谷呈V字型，兩岸坡度陡峭；其南側呈西北-東南走向的稜線標高逾1,050m，峽谷地形導致坡面地質材料產生張力裂隙，並形成落石料源。燕子口步道底的邊坡，可觀察到多種落石防護工法(圖三)。

滾動型之落石成因較適用於被動式攔阻防護工法；而剝離型落石成因則較適用於主動式坡面穩定工法，乃為主要落石常見之兩大類防護工法類型，其簡述說明如下：

1. 主動式：使不穩定邊坡或浮石維持穩定狀態者稱之，經由落石來源區潛勢評估後，選擇開挖、修坡、排水、噴漿、掛網、岩釘、岩栓或系統護網將落石來源區予以穩定。

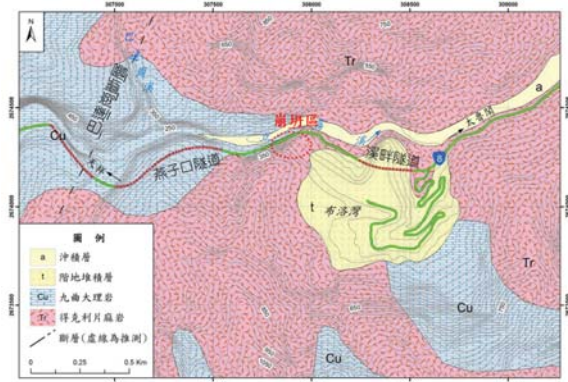
2. 被動式：保護既有結構設施等保全對象不被落石傷害者稱之，於保全對象區上方設置攔石臺階、攔石溝、攔石網、攔石柵或明隧道等攔阻防護結構。

三、慈母橋

位於天祥以東3公里，主要橫跨荖西溪及

立霧溪，兩溪匯流處主要地層有九曲大理岩、谷園片岩及白楊片岩。其岩性可分為：綠色片岩、矽質片岩、黑色片岩與變質石灰岩等，不僅可看到多樣的岩性，且在荖西溪溪谷露頭中，可發現小規模的移位構造、褶皺干涉圖像、及褶曲透鏡體岩塊所形成的新月形褶皺等，彷彿是大地之母為我們留下的岩層萬花筒。

美麗斑斕的變質岩繪製出岩石獨特的外表，如同星座般引人發想，從慈母橋東側橋頭向立霧溪上游望去，一隻墨綠色的青蛙制伏在橋下，有人戲稱為線背白腹的青蛙，而頂上的蘭亭，恰巧成為它的皇冠，這也只有褶曲地層才有的美景(圖四)。



圖二 178K隧道及燕子口區域地質圖(中興工程提供)



圖三 燕子口步道旁落石防護工法(詹佩臻攝)



圖四 立霧溪及荖西溪交會處之青蛙石(詹佩臻攝)

四、九曲洞隧道

九曲洞步道在西洞口景觀明隧道完工後，封閉將近10年得以重新開放，再度成為中橫線上的重要觀光景點。峽谷陡峭地形，經常發生落石及岩屑崩滑等地質災害，西洞口岩壁陡直落差約200m以上，落石衝擊力甚大，防護規劃設計上僅能考慮採用明隧道工法；面對太魯閣國家公園管理處觀光使用及公路總局第四區養護工程處臺8線公路安全等需求，且明隧道空間須提供緊急避難功能，故必須採用大跨度明隧道才能同時解決，設計上如何在觀光及安全間找到平衡點，工程理念及手段就更顯重要。本停駐點講解者邀請到青山工程高振誠經理，說明九曲洞西洞口及步道段興建景觀明隧道之設計理念與施工歷程。西洞口明隧道工程完工後服務功能包含巴士停站供遊客上下、緊急避難空間與迴車空間及管理室、廁所等服務(圖五)。

工程設計理念包括：

1. 將九曲洞意象融入，採用單跨約25m圓拱形RC梁柱系統設計。
2. 明隧道頂部採用斜坡EPS緩衝材設計，提升落石能量消能與改變落石彈跳路徑。
3. 明隧道柱列間距及高度儘可能加大，與大空間環境融合。
4. 明隧道施工範圍上空，採用全面防落石網設計，提高施工安全性。
5. 管理室及廁所，外牆仿九曲洞大理岩峭壁採折板及無頂板設計，使光線及風可以自然導入。

五、山月吊橋解說及參觀

本次活動的一大亮點，邀請到山月吊橋設計者—勇霖工程吳重君技師親臨介紹山月吊橋的前世今生。本路段初期為了1914年日軍之太魯閣戰役新建的軍用吊橋，此為第一代吊橋，橋長154m。第二代吊橋為1930年改建，橋長190m，為當時越嶺古道第一長橋。第三代吊橋因產金道路開路炸山，損毀二代橋，於1941年於上游重建三代橋，近期已經找出橋台遺跡。現今山月吊橋為2018年之第四代吊橋(圖六)。

吊橋一大目的係提供太魯閣一個觀光亮點，險峻壯麗的太魯閣峽谷，每年吸引約477

萬遊客到訪，遊客眾多，活動侷限於中橫公路沿線，造成交通壅塞，需引導分流。另峭壁岩石因自然風化、地震、颱風等因素加劇落石，須採取安全防護或引導遊客至較安全區。

參觀前吳技師安排與會嘉賓於伊斯達廳親自解說，包括工程整體配置、橋塔造型、結構設計及科技施工，在世界級難度中達成世界級景觀，並雙雙獲得金安獎及金質獎肯定。

六、砂卡噹

原稱「神秘谷步道」，於日治末期所建，最初是為了開發立霧溪的水力發電計劃而開鑿的。在砂卡噹溪谷可以一覽中橫主要出露的變質岩。

而這些變質岩的演化歷程，可談到臺灣主要造山運動，第一次『南澳造山運動』，距今六千五百萬到八千萬年前，使得臺灣島形成。第二次『蓬萊造山運動』，距今約二百萬年，除了結構出今日的主要地貌之外，也將地底的變質岩抬升至地表，除大理石之外，片麻岩是砂卡噹溪床上另一種常見的岩石，比起立霧溪主流上純為大理岩地質區的燕子口和九曲洞，砂卡噹溪有著更多變的體態。(圖七)。



圖五 明隧道施工前及完工全景(2012及2018，青山工程，高振誠攝)



圖六 山月吊橋之雲煙繚繞(詹佩臻攝)

七、168K明隧道

臺8線168k明隧道位於天祥附近，該處為立霧溪上游三大支流—大沙溪、瓦黑爾溪以及塔次基里溪三溪匯流處，也是太魯閣國家公園熱門景點之一。因大沙溪在天祥附近自北向南流急彎轉向東北流，再轉向南流匯入立霧溪，中橫公路臺8線因而沿溪呈S型盤繞，經天祥後採稚暉橋跨越大沙溪進入太魯閣峽谷。另在中橫公路臺8線里程168 k附近，1970年代曾因開發立霧溪水力發電資源探查需要，興建一隧道聯接施工道路，因不慎挖破地下水脈，導致蘊含在岩層間的地下水傾洩而下，形成一道道水濺的特殊景觀，隨後立霧溪水力發電計畫終止，此一施工道路經太魯閣國家公園管理處規劃轉型為白楊步道(圖八)。

168k明隧道所通過之區域多屬於白楊片岩，具發達的片理與節理，在其東方有天祥複向斜構造。岩層片理面位態大多呈現北偏東走向，傾向西北，與公路兩側邊坡坡面呈斜交。



圖七 林朝宗所長在豐富的地質教室之中解說，與會者皆聚精會神聆聽



圖八 王泰典教授講解明隧道災害歷史及整治工法(詹佩臻攝)

八、慈雲橋

慈雲橋位於臺8線(中橫公路)149k+550洛韶附近，新舊兩橋並排於瓦黑爾溪谷之上，中橫公路築路初期，因高山地區架橋不便，先使用倍力橋，再於1965-1966的改善工程中改建為鋼桁架橋。鋼桁架橋為美援送來的物資，其鋼材最初並非為了中橫公路而設計，原為法國委託西德製造，專為越南興建一百公分軌距之單線鐵路設計，因法國戰敗退出越南，遂運送至泰國，又因泰國沒有機會使用，這批鋼梁輾轉運送到基隆港碼頭，用來興建中橫公路橋樑。橋身上仍可看出法文書寫之鐵牌橋銘誌。

與一般先設計後施工的順序不同，中橫公路鋼桁架橋樑先有了橋梁主體，才配合橋梁設計，由公路局工程人員逐一丈量構材尺寸，逐一拼裝出50m與25m跨徑的鋼桁架橋各5座。中橫公路現存鋼桁架橋只剩關興橋、慈航橋、慈雲橋、清泉橋等四座。其中慈雲橋與清泉橋於舊橋旁興建鋼筋混凝土新橋，新舊橋並存(圖九)。

九、石門山

易致災路段位於臺灣東部花蓮縣秀林鄉與南投縣仁愛鄉之交界處，位處石門山北側，合歡山管理站往南約2.2km處。公路緊臨石門山及石門山北峰，附近邊坡坡度約35°，坡向朝東至東北向傾，下方主要河流為塔次基里溪，道路通過一漏斗狀之裸露狀崩塌地，長度約650m，寬度約600m，附近露頭岩石破碎且風化嚴重，植被多以草本植物為主，木本植物次之，崩塌地內有多道侵蝕溝發育，使崩塌地之地形起伏明顯且凌亂，崩積材料多堆積於緩坡上(圖十)。

此區段屬古第三紀低度變質之板岩。參考經濟部中央地質調查所出版之五萬分之一地質圖大禹嶺圖幅(1993)顯示，調查點附近出露之地層分別為大禹嶺層及廬山層，大禹嶺層地層組成包括板岩、千枚岩及變質砂岩，廬山層地層組成為厚層砂岩，板岩及薄砂岩板岩互層。臺14甲34k+500位於大禹嶺層範圍內，主要岩性為板岩、千枚岩及變質砂岩，葉理方向為北偏東，傾角約40~60°傾向東南。

十、工程地質座談

活動的重點之一是工程地質座談，本次邀請到中央地質調查所林朝宗所長介紹本次行程地質相關部分(圖十一)、亞新工程游中榮經理介紹地質資料庫、青山工程高振誠經理介紹九曲洞隧道工程。

會議涵蓋了地質、資料及工程，亦可串聯中橫公路的開發歷程，從先天的地質體質，到沿線的地質資料彙整，接著道路通達後，防護地質災害的明隧道工程，學習如何與山相處，進而在安全的用路環境中，提升觀光能力。



圖九 中橫公路上美麗的鋼桁架橋前合影



圖十 石門山上聽地質，前後兩日皆下雨白牆，活動巧遇難得的好天氣



圖十一 林朝宗所長準備精美投影片，闡述地質以今論古

十一、清境地滑

清境之定遠地區位於經濟中央地質調查所公告的山崩與地滑地質敏感區。透過區域地形與地層位態關係，研判區域邊坡大致位於劈理順向坡。但由孔內超音波攝影結果，可發現岩體劈理位態傾向並不一致，甚至有相反的情形，研判區域邊坡可能有重力變形作用，致使岩體有變形現象。

此外，定遠地區邊坡坡趾前緣有大小不等蝕溝發育，且局部已有崩塌裸露情形。若受侵蝕營力長期作用甚至加劇下，邊坡坡趾材料會逐漸流失，甚而降低坡趾支撐力，亦誘使區域邊坡產生不穩定情形(圖十二)。



圖十二 完善的邊坡調查及監測系統可讓民眾親近瞭解山巒，並提升致災預警

十二、廬山溫泉頭

廬山溫泉露頭主要沿溪谷兩岸分布，溫泉徵兆實際上是連續不斷分布，延展之距離長達數公里，測得溫泉熱水溫度自60℃至98℃不等，適合作為溫泉浴熱療。

然本區之北側邊坡，屢因豪大雨或颱風期間大量降雨導致邊坡產生滑動現象，一旦發生地滑災害，將嚴重影響坡趾處溫泉區居民及觀光客之生命及財產安全，因此，南投縣政府已逾2012年公告廢止「廬山溫泉區」(圖十三)。

廬山地區靠近中央山脈核心部份，因受地殼變動影響，至使岩石之節理與岩層之破裂較發達。廬山溫泉為中新世廬山層之地質單位(水裡坑層)，岩性以泥砂岩及頁岩為主。

在本地區，有三條重要的斷層構造，其一斷層通過翠峰，斷層走向約略成北北西方向，其二斷層通過河谷，斷層走向約略成東北方向，初步研判溫泉主要來源是來自東南方深處之地下水沿斷層裂隙上湧至地表淺處形成溫泉露頭。

誌謝

本次活動特別感謝中央地質調查所林朝宗所長擔任總督導旅途中進行解說，並於地質研討會擔任開場進行地質引言，讓地形、地工、地質有更廣泛的交流，並激盪出更璀璨的火花。感謝青山工程高振誠經理、亞新工程游中榮經理於研討會中不吝分享多年的施工經驗及調查細節。最後更感謝聯合大地工程顧問公司、青山工程顧問公司派員青年生力軍參與盛事與鼎力相助。

本活動一直承蒙各界專家學者踴躍的參與，報名更是一位難求。活動過程中熱絡的交流，專業的建議與看法來一同討論，方能讓活動圓滿進行，地工技術基金會林銘郎執行長、領隊董家均教授、基金會全體同仁、地工技術青年軍等一同敬表謝忱。

後話

本活動出發時間為12月3日，活動前3日，11月30日在臺鐵宜蘭線瑞芳－猴硐間路段因連續豪雨造成邊坡滑動，全力搶修後，活動當日12月3日清晨恢復雙線通車，隔天12月4日該路段再次發生大規模邊坡滑動，使得宜蘭線東西正線完全中斷。本次活動得以順利進行有賴天時地利人和，也再次感慨地質體質對交通工程的重要性。

編撰小組服務單位

詹佩臻 王元度 (中興工程顧問股份有限公司)
黃韋凱 林榮潤 (財團法人中興工程顧問社)
高振誠 呂家豪 汪俊彥 (青山工程顧問股份有限公司)
詹尚書 潘紹勇 (聯合大地工程顧問股份有限公司)
林德洪 (富國技術工程股份有限公司)
黃柏鈞 (黃柏鈞應用地質技師事務所)



圖十三 風靡一時的溫泉頭，熱度依舊(黃柏鈞攝)



圖十四 感謝公路總局第四區養護工程處陳麗華段長及其同仁，不吝分享該路段的工程演進，並提供交維協助(攝於慈母橋)



圖十五 感謝勇霖工程吳重君董事長及陳俊吉博士安排於五星級演講廳簡介山月吊橋及現地參訪(攝於山月吊橋)



圖十六 與會者不乏第一次攻頂百岳(攝於石門山)