

土工技術

工程地質研討會專欄

土工技術工程地質研討會(25) 阿里山地質及鐵公路復建工程 與會報導

鄧源昌* 黃俊鴻*

一、活動行程與內容

阿里山森林鐵路為世界聞名之高山鐵路之一，有其重要之文化意義與保存價值。但在 98 年莫拉克颱風之高降雨強度及長降雨延時侵襲下，造成阿里山鐵路數十個路段邊坡坍塌、路基流失，致使阿里山鐵、公路無法正常通行。後續相關復建工程隨即如火如荼的展開，復建工程中又以多林與二萬坪大規模崩場地之整治與對應之鐵路隧道設計施工對策為特色。故土工技術基金會特於 103 年 4 月 17 日至 18 日於阿里山地區舉辦本次研討會，由台灣大學土木系林銘郎教授擔任領隊，並邀請嘉義大學森林暨自然資源學系李嶸泰教授及中興工程顧問公司劉弘祥工程師與蕭丁槐地質師擔任解說，參與學員一行共 38 人。感謝主辦單位充分準備、解說老師除精闢闡述崩場地與隧道之工程地質與介紹相

關土工技術，亦在自然人文方面多加著墨，使各學員不僅工程知識滿載而歸，人文氣息更上層樓。

本次探訪行程首先 4 月 17 日早上於嘉義高鐵站集合，搭遊覽車前往阿里山二萬坪青年活動中心，入住用完中餐後，續於活動中心之會議室進行復建工程之研討會議。會後前往屏遮那隧道參觀工地現況，於現場研討該崩場地之滑動機制與相關工程地質問題。現地研討後回活動中心進行胡邵敏博士所主講之潮州湖崩塌歷史、監測調查及整治座談會議。次日凌晨前往阿里山火車站搭乘小火車至祝山觀日平台觀看阿里山日出。日出後則漫步於阿里山遊樂園區，徜徉阿里山風光。之後回到青年活動中心辦理離宿後，前往奮起湖用中餐。用餐後則搭車至多林崩場地及隧道段參觀並研討鐵路復建及隧道施工問題。本次行程表如表一，停駐點如圖一所示。



圖一 阿里山地區 Google earth 影像與本次行程停駐點

* 國立中央大學土木工程學系

表一 工程地質研討會(25)~阿里山地質及鐵路復建工程參訪行程表

| 日期 | 停駐點 | 地點 | 時間 | 考察與討論內容 |
|-------|---------|------------|-------------------------------|--|
| 四月十七日 | - | 台北高鐵站 | 7:48 | 出發, 車次 1615, 台北 7:48-嘉義 9:12 |
| | - | 嘉義高鐵站 | 9:30 | 搭車前往阿里山二萬坪青年活動中心, 途中講述阿里山地質, 各學員分享此次參與研討會之目的及欲觀察之物。 |
| | 1 | 二萬坪青年活動中心 | 11:30 | 辦理入住與午餐 |
| | 1 | 二萬坪活動中心會議室 | 13:00 | 屏東那及多林崩場地之工程地質、復建工程規劃、施工狀況等工程簡報及安全告知 |
| | 2 | 屏東那段 | 13:30 | 參觀項目: 屏東那隧道工程參觀(支撐、襯砌鋼模、斷面、填土區); 屏東那崩場地之地質解說(崩場地地質分布、滑動機制、生痕化石) |
| 四月十八日 | 1 | 二萬坪活動中心會議室 | 16:30 | 專家座談, 潮州湖之地質及地形分布、崩塌歷史、滑動機制及監測整治方法。 |
| | 1,3,4 | 二萬坪青年活動中心 | 03:45 | 集合搭車至阿里山車站, 並搭乘小火車至祝山站之觀日平台看日出 |
| | 3,4,5,6 | 阿里山森林遊樂區 | 06:00 | 森林浴(步行下山), 途經小笠原山觀景台、姐妹潭、永結同心、沼平公園及車站、受鎮宮, 最後搭車返回活動中心, 並前往奮起湖老街用餐。 |
| | 7 | 多林段 | 13:30 | 阿里山鐵路多林段之工程整體進度報告, 參觀新舊隧道交會段之處理、防水膜鋪設、既有西口無襯砌之隧道裸岩段。 |
| | 6 | 奮起湖車站 | 15:00 | 搭車回嘉義高鐵站與車上座談分享 |
| - | 嘉義高鐵站 | 17:30 | 賦歸, 車次 724, 嘉義 17:34-台北 19:00 | |

二、阿里山地質及鐵路復建工程簡介

98年莫拉克颱風重創臺灣, 造成阿里山森林鐵路多處路段之邊坡坡體大規模崩塌。行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處(以下簡稱嘉義林管處)選定鐵路沿線內災害較嚴重之路段為委外調查規劃之重點區, 並進行復建工程之細部設計, 及相關施工作業發包, 目前復建工程皆順利進行中。為使阿里山森林鐵路能全線安全復駛, 復建工程以「順應自然、尊重自然、不對抗自然」為原則, 採取迂迴隧道方式避開大型崩塌區。本次參訪之阿里山森林鐵路屏東那及多林路段皆屬復建工程範疇, 主辦機關皆為嘉義林管處, 設計及監造單位皆為中興工程股份有限公司。屏東那隧道段之工程名稱為森林鐵路60k+550~61k+450路基修復工程, 承攬廠商為利德工程股份有限公司, 契約金額為369,600,000元, 隧道總長為1,140公尺; 多林隧道段之工程名稱為森林鐵路49k+780~50k+100路基修復工程, 承攬廠商為華洲營造工程有限公司, 契約金額為137,100,000元, 隧道總長為487公尺。

三、多林與二萬坪崩場地概況及現地考察

二萬坪崩場地崩坍及堆積高程由 2,200m 至 1,350m, 高差達 850m, 寬度約 800m, 面積廣達 130 公頃, 平均崩塌深度約為 10m, 崩坍量約 1,300 萬立方公尺; 多林崩場地崩坍



圖二 屏東那段考察發現之生痕化石

及堆積高程由 1,700m 至 1,350m, 高差達 350m, 寬度約 550m, 面積廣達 28 公頃, 平均崩塌深度約為 8m, 崩坍量約 220 萬立方公尺。

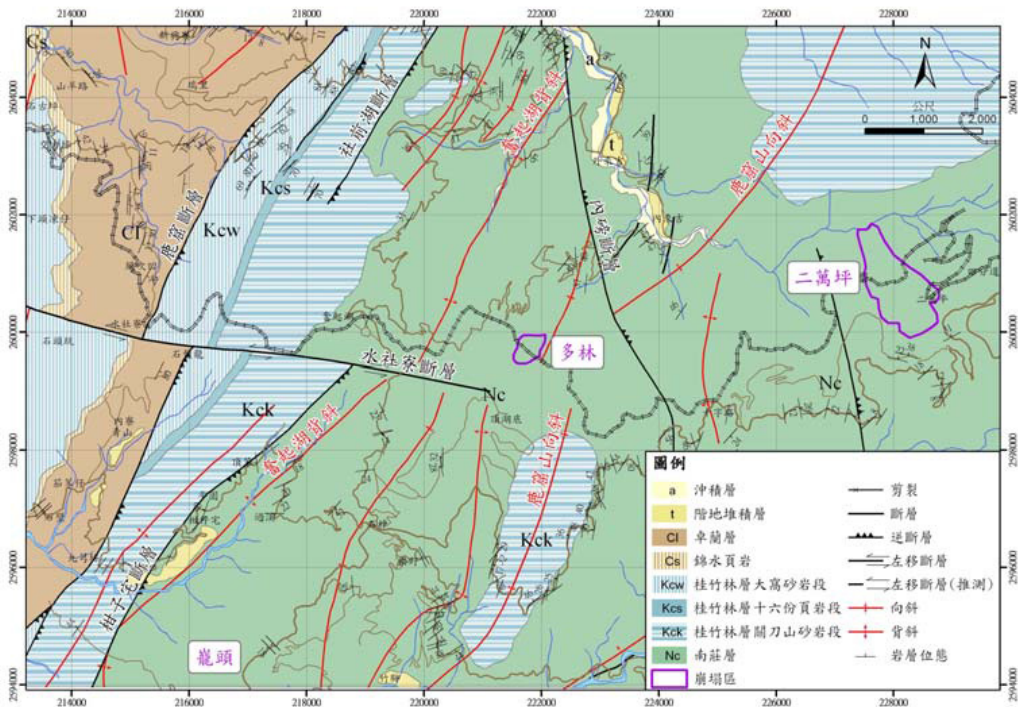
多林與二萬坪崩場地皆位於南莊層, 主要為淡灰色厚層砂岩間夾砂頁岩互層或薄層灰黑色頁岩。二萬坪崩場地考察時發現生痕化石(圖二), 初步研判為生物活動時所留下之痕跡。至於痕跡逃生通道或是其他現象, 則取決於個人解讀, 見仁見智。多林崩場地考察發現其塊石較二萬坪所看到的更大, 可顯示該處局部有厚砂岩。

多林隧道位處向斜西翼, 屏東那隧道附近則無構造線通過。現地褶皺軸研討時, 得知當圖上標示不明, 則可用當地出露之岩層位態與褶皺軸之相對位置來判斷向斜或背斜。相關地質岩性及構造線分布參照圖三。多林崩場地之

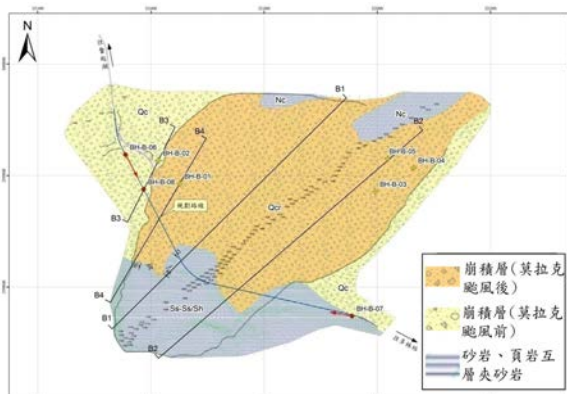
岩層位態約為 $N68^{\circ}\sim 74^{\circ}E/32^{\circ}\sim 34^{\circ}S$ ，向東南傾向山體，與坡向相反，形成逆傾坡，兩組主要節理，由於地勢陡峭，且節理發達、連續性佳，易與層面及坡面形成岩楔，造成岩體鬆動，崩落於坡面，而於下邊坡堆積成規模不等之崩積層，厚度約 35~50 公尺，崩積層主要岩性為崩積塊石夾砂土，局部夾大塊石，最大粒徑可達 6m；屏遮那段層面位態約呈 $N54^{\circ}\sim 68^{\circ}E/22^{\circ}N$ ，略與坡面走向平行，形成順向坡，崩積層厚度約 20~50 公尺，崩積層主要岩性為崩積塊石夾砂土，局部夾大岩塊，最大粒徑可達 5m 以上。崩積層分布如圖四~五。解說過程亦談及厚崩積層之原因為莫拉克颱風造成之新生崩坍堆積於舊有崩積層上。依

據隧道附近之既有透水試驗成果及鑽孔地下水位觀測資料，地下水約位於地表下 30~45m。

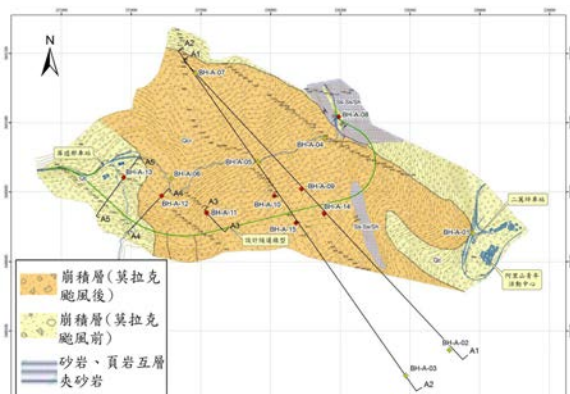
二萬坪崩塌地在豪大雨條件下，受到順向坡、坡面排水能力不足、疏鬆崩積層等潛在不利因子影響，研判破壞機制為崩積層滑動及逕流沖蝕之複合型破壞；多林崩塌地則受到疏鬆崩積層、岩盤節理發育且連續性佳，並與坡面形成岩楔等不利潛勢因子影響，研判破壞機制為岩盤解壓崩解、崩積層滑動及逕流沖蝕之複合型破壞。現地研討論及屏遮那崩塌地位處阿里山溪支流之向源侵蝕坡面，亦有向源侵蝕機制之影響，隧道路線選線已避開侵蝕溝(圖六)，減少對新隧道穩定性之影響。



圖三 多林崩塌地與二萬坪崩塌地附近之區域地質圖



圖四 多林段隧道地質平面圖



圖五 屏遮那段隧道地質平面圖

四、阿里山森林鐵路隧道-屏遮那段與多林段之設計施工暨參觀紀實

屏遮那隧道與多林隧道為相同隧道斷面設計，規格為倒 D 型、內空高度為 4.6m、內空寬度為 4.2m。屏遮那隧道線型如圖五，線型以直線及曲線(曲率半徑為 50~110m)串接；多林隧道線型如圖四，線型以直線及曲線 $R=80\sim 120m$ 串接，最後以曲線半徑 $R=50m$ 進入既有 35 號隧道，兩者最後皆銜接既有鐵路。因洞口施工腹地狹小、交通運輸不便、沿線地質較破碎等因素，故崩積層使用鑿岩機工法、岩盤段採鑽炸工法。

兩隧道沿線地質主可分為崩積層段、砂岩段、砂頁岩互層段，依 PCCR 岩體分類系統之分類，崩積層屬 DIII 類，其餘岩盤段屬 BIII、BIV 類及 BV 類。採用 NATM 進行各種支撐如鋼纖維噴凝土、桁型鋼支保及岩錨之設計。但崩積層段基於開挖易造成抽坍，故先以管幕工法增加頂拱支承力，再進行後續開挖及支撐架立。在防水膜鋪設部分，兩隧道皆採全斷面鋪設(包含仰拱)。二次襯砌部分在崩積層段之厚度為 40 公分，在岩盤段厚度為 30 公分，此次參觀亦見到二次襯砌鋼模組立完成之情況(圖七)，十分難得。目前兩隧道皆已全線貫通，屏遮那隧道正欲進行防水膜鋪設作業，多林隧道正持續進行防水膜鋪設及二次襯砌鋼筋組立。

本工程特色主可分成洞口段施工、防水膜鋪設、棄渣填土區設置、多林隧道新舊隧道交會段處理及洞門巧思。兩隧道進洞施工，由於隧道洞口崩積層厚度較厚，且為減少破壞洞口生態環境，避免開挖，隧道洞口均直接由既有坡面上鑽設先撐管幕鋼管，進行假洞組立，再進洞開挖，最後回填坡面及進行植生，增加坡面穩定性及回覆自然景觀。目前雖假洞上方尚未回填坡面及補充植生，但觀察原坡面之自然景觀幾乎無破壞，顯示減少開挖策略之正確，假洞完成狀況如圖八。防水膜施工部分需防止既有岩錨或二次襯砌之鋼筋破壞防水膜，此次多林隧道參觀到仰拱部分需在防水膜鋪設完畢後，在其上打設鋪面混凝土，再進行二次襯砌鋼筋組立；側壁之岩栓亦須將凸出之頭部去



圖六 舊有屏遮那隧道之基底淘刷(高秋振先生提供)



圖七 二次襯砌鋼模組立完成(進洞前)



圖八 屏遮那隧道西洞口之假洞情形



圖九 多林段新設與既有隧道交會段暨襯砌鋼筋組立(何樹根先生提供)

除並用橡膠罩覆蓋其上，並於內部填充水泥砂漿，使隧道壁較為平順，以免傷及防水膜。相關圖片如圖九、圖十。

本次參觀屏遮那隧道途中亦經過隧道棄渣填土區，在工區內設置填土區主要原因為：
1. 土方平衡，隧道開挖土石不外運；2. 節省運輸及土資場費用，減輕運土造成之污染及交通影響；3. 水土保持設施完成後，除可減緩地面坡度及原山溝溪床淘刷現象，亦可增加坡面穩定性，有多重效益。但在途經屏遮那填土區時，各專家亦發現下邊坡呈現不穩定狀況，須注意後續維護工作。

隧道東西洞口設置部分，屏遮那隧道為新設東、西兩個洞口。多林隧道部分基於前期現勘發現既有 35 號隧道部分區域為無襯砌，呈現裸岩狀況，裸岩經調查為良好岩盤(圖十一)。頓時靈光一閃將此既有良好隧道段與新設隧道結合，並將既有 35 號隧道東洞口作為新設之東洞口，達到省工且省時之效。但有新舊隧道交會段部分需處理，交會段由於斷面加大，需做局部岩錨補強，但調查發現既有隧道之襯砌後方呈現空心狀態，故需先進行背填灌漿，再進行支撐補強，以防舊有襯砌損害。

五、無水之湖 - 潮洲湖、奮起湖

潮洲湖位於阿里山公路之新里程 56.6 - 57.2K 處，奮起湖即阿里山森林鐵路奮起湖車站一帶。兩湖皆為無水之湖，皆三面環山，一面開口端，整體地形呈現一畚箕或漏斗狀(圖十二、圖十三)，中間實為低窪的盆地地勢，可作為農墾、聚落分布之用。閩南話稱盆地為「湖仔」，因而有潮洲湖及奮起湖之地名產生。潮洲湖地區從清朝至今仍持續移動，為老崩場地。該區之漏斗狀開口由關刀山砂岩之山脊組成，該開口阻擋持續向外之土石，使潮洲湖區域不致消失。持續滑動之潛在原因可能為開挖公路破壞坡趾與台 18 公路之箱涵排水及自然排水造成邊坡溝渠密布，在排水不易之情況下易引發侵蝕溝及地滑。從台 18 線下邊坡及農墾區之下邊坡透過傾斜管量測資料顯示持續位移，呈現複合型滑動狀態。目前已採排水溝及集水管等處理，措施經莫拉克颱風檢驗，此區無重大災害發生。



圖十 屏遮那隧道支撐完工貌



圖十一 既有多林隧道之無襯砌裸露岩盤段 (高秋振先生提供)



圖十二 阿里山潮洲湖之整體地形呈畚箕貌



圖十三 阿里山奮起湖之整體地形呈畚箕貌

奮起湖位處八掌溪之水源，海拔 1,405 公尺。在日治時代已為阿里山鐵路之重要樞紐。在清朝及日治時期之官方文件皆因整體地形似畚箕，故記載為畚箕湖。除此區域外，全台共有 14 個地區亦稱為畚箕湖，但只有阿里山被稱為奮起湖。此可追溯到日治時期藤田組開發阿里山森林，認為文字不佳，藉由改名可達趨吉避凶之效，故在民間流傳為奮起湖。民國以來沿用至今，其區之奮起湖文史館仍記載有關阿里山森林鐵路及區域開發歷史，百年鐵道與老街風光交織復古情懷，杉林棧道之清幽令人流連忘返。

六、阿里山風光 - 五奇一艷

阿里山著名之五大奇景分別為鐵路、森林、日出、雲海及晚霞。本次行程感恩天時、地利、人物之因緣會合，成功地將四奇盡收眼底，獨缺晚霞實屬可惜。第一奇為阿里山鐵路，為世界文明的三條高山鐵路之一，本次除了透過參訪多林及屏遮那隧道了解此奇之建造過程，並於阿里山車站搭乘小火車前往祝山觀日平台欣賞日出，遙想日治時期伐木運林之過往(圖十四)。第二奇為日出，天公作美，皇天不負苦心人，阿里山的曙光乍現，晨曦景致變化萬千，為所有生命注入新的力量(圖十五)。第三奇為雲海，於小笠原山觀景平台發現，但只有輕微點綴，未看到澎湃之狀，殊為可惜。之後漫步於第四奇之阿里山森林中，森林浴之芬多精令人精神愉悅，元氣十足。在森林浴的路途中，看到聞名之姐妹潭(圖十六)，亦見識到各種珍奇巨木如四姐妹、金豬報喜及永結同心。除此之外，阿里山由於光害少，且此次研討會天氣清爽無雨，整個夜空被許多星斗點綴，十分美麗(圖十七)。

一艷即為阿里山櫻花，由於研討會時間已值花季之末，無緣見到滿山滿谷的櫻花，但仍看到普賢象櫻熱情綻放，舒緩未見櫻海之憾(圖十八)。在這兩天之研討活動中，只要到戶外，就可以見到各式各樣美麗之花草，其中最特別的屬於阿里山十大功勞及一葉蘭。野生之一葉蘭雖因部分商人在原產地濫採，導致一株難尋，在尋找半天後，卻在布滿苔蘚的岩壁上發現芳踪，可謂清雅脫俗(圖十九)。在森林浴



圖十四 阿里山鐵道暨小火車(何樹根先生提供)



圖十五 祝山日出



圖十六 姐妹潭之姊潭



圖十七 阿里山之夜空星軌(曝光 30 分鐘，感謝何樹根先生提供)

過程中，亦發現阿里山十大功勞之蹤跡，一開始倍覺名字奇異，但查明即為保育類藥用植物「黃柏」，具觀賞及藥物之用。這些大自然的珍寶需大家一同攜手保護，使萬物生生不息，永續共存。

七、結語

本次研討會雖以工程專業知識為主軸，但人文史蹟及大自然美麗風光亦點綴其中，整體交織出一次人生難忘的旅程。工程上面對未來氣候變遷之不確定性升高，應體認工程技術有其限度，復建及新建工程規劃應多面向思考，過去「人定勝天」的觀念，經檢討反省，應改以「順天應人」為指導原則，與大自然和諧相處，使工程、人文與自然共存，達到永續發展之目的。

最後感謝地工技術基金會及與會人員之辛勞付出，共同為此次工程地質研討會奏成一曲完美之樂章。透過討論及解說，使得學員在工程技術及設計概念得以啟發了解，同行好友擁有美好事物亦不藏私，充分展現獨樂樂不如眾樂樂之熱情，相信此無私精神將引領地工界的後學朝向美好前景前進。相關活動照片及大合照如後所列。

參考文獻

- 中興工程顧問股份有限公司(2011)，「阿里山森林鐵路災害路段地質調查及復建規劃成果報告」，行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處，嘉義。
- 李嶸泰、蕭丁槐、黃崇仁、楊宏志、沈宜慶(2012)，「阿里山森林鐵路災害調查及復建規劃」，中華水土保持學報，第43卷，第2期，第123-138頁。
- 胡邵敏(2014)，「95年曾文集水區-潮洲湖地區地層滑動調查、監測、分析及治理對策規劃簡報」，經濟部水利署南區水資源局，嘉義。
- 經濟部中央地質調查所網頁(2012)，2萬5千分之一區域地質圖。
- 劉弘祥、廖俊逸、李嶸泰、黃崇仁、沈宜慶、廖一光(2012)，「阿里山森林鐵路隧道工程之規劃與設計」，2012岩盤工程研討會，台灣苗栗。
- 劉澤民(2011)，嘉義縣竹崎鄉奮起湖地名探源，台灣文獻-別冊39，第48-64頁。



圖十八 阿里山森林遊樂園區之普賢象櫻
(高秋振先生提供)



圖十九 阿里山青年活動中心外之野生一葉蘭
(高秋振先生提供)



圖二十 蕭丁槐技師地質解說(高秋振先生提供)



圖二十一 研討會議(何樹根先生提供)



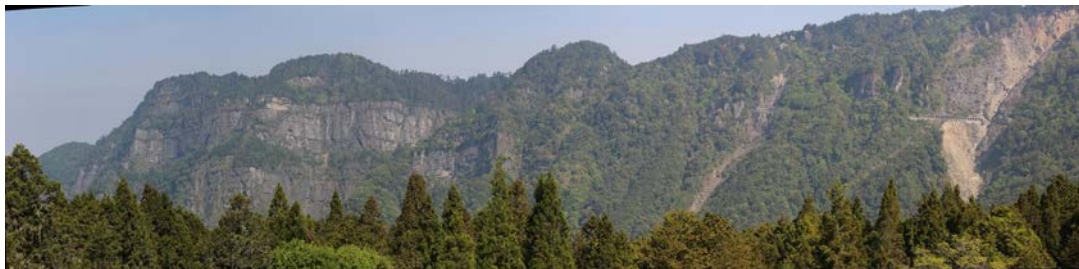
圖二十二 多林隧道工區簡報(高秋振先生提供)



圖二十三 屏遮那隧道西洞口大合照(何樹根先生提供)



圖二十四 二萬坪崩塌區(孫漢豪先生提供)



圖二十五 泯月線明隧道(孫漢豪先生提供)



圖二十六 本次參與工程地質研討會人員大合照(廖美嬌小姐提供)

地工技術

地工技術工程地質研討會(25)~阿里山地質及鐵公路復建工程 問卷調查回覆分享

(1)請問您參加本次研討會之動機：20% 公司委派；**70% 對於主題有興趣**；10% 其他(喜歡地工技術活動)

(2)請問本次是您第幾次參加工程地質研討會：22% 第1次；22% 第2次；11% 第3次；**45% 3次以上**

(3)您認為本研討會的內容：**90% 非常務實**；10% 宜做調整:可增加背景及參考資料，兼顧學術研究

(4)您認為本次研討會對您工作之幫助：**56% 很大**；33% 普通；11% 無

(5)您認為本次研討會中那一部份對您的工作有所幫助：

- 地質與解決方案
- 崩塌地現勘及設計理念等
- 隧道棄土就地回填凹台
- 隧道設計
- 鐵公路復建工程
- 鑽到崩積層時，是鑽到大孤石，還是鑽到岩盤。
- 認識業界朋友，相互交流
- 文明與精神的洗禮

(6)您認為本研討會的天數：**100% 適當**

(7)您認為本研討會在活動行程安排上：22% 緊湊；**78% 適當**

(8)您認為本研討會之會議資料內容：**100% 豐富**

(9)您認為此次餐飲品質：**78% 好**；22% 普通

(10)您建議還有哪些地點適合舉辦工程地質研討會：

國內：◎ 馬祖、台東知本、雪山冰河地質及地形

◎ 可配合公共工程參觀行程，以結合實務方面：

- 最近很夯的北宜直鐵路廊(了解沿線可能遇到的地質困難，探討有建設的必要性嗎?)
- 雲林湖山水庫(截水牆若缺了一角，會有什麼問題?了解水庫的選址等)…等
- 南橫公路地質及復建工程
- 小林村地質及重建工程

國外：冰川、黃山地質及地形、雲南石林岩溶峰林國家地質公園

(11)綜合而言，您認為本研討會之評價：**100% 非常有價值**

(12)其他建議：

- ◎感謝主辦單位之用心、用力，讓活動近乎完美，期待下次活動。
- ◎希望能多舉辦與此次相似之國內地質之旅，讓年輕人在經濟及時間上皆允許情況下，多多參與，並能跟前輩、先進多多學習。謝謝!(感謝地工所有辛苦的工作人員)
- ◎站在工程人員角度，建議亦可安排一些失敗案例或不恰當的設計施工案例，以供後續引用。
- ◎考量在職的朋友及老師，建議增加背景及參考資料，俾增加實用及論述引證依據。當然希望也能兼顧休閒及聯誼。
- ◎建議名額應增加