

與會報導 地工技術第 40 次研討會

台灣特殊地質構造的工程挑戰

黃有志¹ 丁權²整理

時 間：2022 年 10 月 19 日 9:00~16:30
 地 點：台灣大學應用力學研究所(國際會議廳)
 講題及主講人：

講 題	主講人	主持人
致 詞		王泰典
工程設施如何面對與因應調適近斷層錯動~過去、現況、未來	林銘郎	楊智堯
臺灣活動構造三維數值模型建置與應用	柯明淳	
屯子腳斷層及三義斷層對輸水工程之影響調查評估	顏呈仰	
隧道遭遇斷層之設計與施工探討	劉家銘	
國道受構造及大地變位影響調查與養護經驗	陳國隆	
變質岩隧道遭遇斷層剪裂帶之調查與對策	詹尚書	
貓纜 T16 塔柱下邊坡整治後之地錨荷重觀測和預力複拉	鄭世豪	黃文昭
輕度變質岩帶潛在崩塌區地質模型精進與加值應用	林錫宏	
奇岩山順向坡開發後之地形變化與歷次災害整治調查	葉家志	
地電阻探測於崩塌地地下水調查之應用	白朝金	蕭富元
山岳隧道施工出水量推估與鄰近地下水資源影響研究	蕭富元	
綜合討論 (全體講員)		

綜合討論

與會者(富國工程 丁權)

想請問柯明淳助理研究員，有些地方沒有畫斷層但有地震發生，是否暗示有活動斷層存在？另外林錫宏科長提到的剪裂帶，是山崩或是潛移所造成的結果？還是地體構造中的剪裂帶？請葉家志地質師說明，如何區分奇岩山順向坡的地層層序有三層？是依照沉積環境或是岩性等特性？最後請教白朝金主任秘書，如果鑽孔數量不足的話，如何從地電阻測量結果，分辨低電阻是水、黏土或是其他地質構造？

主講人(柯明淳助理研究員)

剛剛演講時有提到，目前主要做的還是活動斷層的部分，雖然還是有很多地震是發生在沒有

畫活動構造的位置。之前跟臺大地質系退休的陳文山教授討論過，將沒有畫活動斷層，但地震活動較為密集的区域畫成地震帶，會不會在地震帶畫上活動構造或是命名方式，會再進行討論。目前還是依照中央地質調查所公告的36條活動斷層為主，再配合一些海域的構造，進行標定及資料庫的建置。未來地震帶，不會以「面」表示，會是以帶狀或塊體繪製，切地質剖面時，也會一起標示出來。

主講人(林錫宏科長)

您提到板岩帶之中常看到一些剪裂帶，或是傳統所說的斷層帶。至於怎麼區分是近期因山體變形所形成的剪裂帶，或是原本就存在的斷層帶，目前仍無法很好的回答此問題。有些準則在相關參考文獻上都有描述，也問過發表

¹ 國家地震工程研究中心 ² 富國技術工程股份有限公司

文章的作者在現地如何區分？但仍眾說紛紛。就經驗上，假如看到剪裂帶之中有黃色風化，或是受到地下水所鏽染，通常代表的是比較近代岩體滑動所導致的剪裂帶。但是在個人經驗中，常在岩心裡看到灰色的剪裂帶，並沒有受到近期地下水風化及鏽染影響，我仍然認為應該是受到近期山體變形的剪裂帶。可以從地形判斷是否為重力變形現象的地區？或是從裂隙及剪裂作用後的顆粒排列是否有定向？這些是在現地比較好的判斷準則。但是實際上並沒有這麼單純容易，剪裂帶等構造通常會受到近期的地質作用多次影響，所以並沒有絕對的答案，需要在現地討論及意見交流。

主講人(林銘郎教授)

這個問題受到大家的關心，因為斷層泥造成很多隧道工程的問題，我曾經做過斷層泥的研究，採過隧道及深井岩心中的斷層泥。發現其實只要在地下水位面以下，沒有氧化的環境，斷層泥都是灰色的。如同黃文昭教授的碩士論文研究成果，發現地體構造中的斷層泥呈現高密度，烘乾後的密度大於 2.2g/cm^3 。所以假如測得的密度是 1.6 或 1.8g/cm^3 ，代表斷層泥經過解壓，可能是山崩作用所造成。但是重力變形導致的山崩，很少做深鑽取岩心來分析斷層泥的密度。如果可以從剪裂帶是否具有特定的方向性，及分析斷層泥的乾密度來做綜合判斷，或許可以獲得一些答案。

主講人(葉家志地質師)

關於陽明大學的奇岩山順向坡，在野外中看到三組比較厚的砂頁岩互層，在不同地區看到，有可能被認為是同一地層。但是在經過岩心比對及野外判識，發現在砂頁岩互層的下方有厚層砂岩，再根據砂頁岩互層的頁岩和砂岩比例差異，及砂岩之中有無交錯層等特徵，來判斷是哪一組砂頁岩互層。例如從鑽井岩心發現，編號1的地層層序，在砂頁岩互層下方是巨厚的砂岩且無交錯層，上方的砂岩則是有交錯層紋理。從地形上也發現，這三組砂頁岩互層的高程位階並不相同。白色砂岩是木山層典型的岩石特徵，其來源主要來自中國，石英與長石含量高；相較於錦水層和卓蘭層，其來源則是來自臺灣的中央山脈，含泥量相對較高，

所以呈現青灰色。

主講人(白朝金主任秘書)

當潛在的崩塌地面積相當大時，通常佈設的鑽孔數量有限，現場會先做地下水來源的調查。經過這幾年很多案例的調查經驗，發現山區的地質材料其實非常複雜，區域地層變化相當多元，很難簡易的判斷地下水流向。依據個人的經驗，山區的地下水流向，應該先從地表水來研判。當降雨後，地表水會順著地形，匯流到地勢較低的地方，過程之中會對地層產生侵蝕與切割。所以從集水區的侵蝕溝分布，可以先掌握地表水的流動過程；再從實地踏勘，發現地表是否有滲水現象，以了解可能的地下水動線。但因山坡地的地質相當複雜，也影響了地下水的分布與流動動線。從實際施工過程發現，地下水的流動並沒有想像中簡單，動線比較像是網絡型。因此有些位置雖然研判含水，在打設橫向集水管後，剛開始有地下水湧出；但是假如在附近持續打設集水管，剛好有更大的地下水湧出時，可能會造成原本有湧水的位置，水會消失不見。可以了解地下水分布並不是均勻的，網絡相當複雜；隧道施工時，也會碰到類似的狀況。因此可透過地電阻的探測，加上施工時，鑽堡在鑽掘過程中，所記錄到地層及出水量的變化，及地表水的流動動線等資訊，綜合研判後能更精確的掌握地下水網絡，才有機會順利的把崩塌地的地下水排除。

與會者(富國工程 周家瓊協理)

想請教林銘郎教授，活動斷層的再現週期通常是數百年，假如斷層剛錯動過，工程設計還需要考慮此斷層或是鄰近斷層的影響嗎？譬如車籠埔斷層在20多年前錯動，但是顏呈仰協理提到的大甲溪和大安溪的輸水管線，仍然考慮車籠埔斷層可能對輸水管線仍有數公分錯動之影響。另外陳國隆副局長提到，國道三號中寮隧道及田寮三號橋，受到旗山及車瓜林斷層潛移之影響。如同車瓜林斷層在經過多年觀測及研究後，才定義為活動斷層，再想辦法試著克服其影響。因此想了解，目前臺灣面對突發的地質災害事件，假如工程設計單位仍需經過調查、規劃、設計、審查、施工及發包的龐長過程，行政流程會拖延太久，無法儘速恢

復交通動線。不知國內是否有像美國在大型災害發生後，能快速啟動相關緊急搶救、儘速復原的機制，以縮短影響的時間。

主講人(林銘郎教授)

依據陳文山教授在車籠埔斷層沿線挖了十幾條槽溝，推測其再現週期約為345年，那麼在集集地震之後，車籠埔斷層沿線的房屋是否就適合居住？相較於長度較短的活動斷層，發現其再現週期也較短，例如：米崙斷層約為67年，玉里斷層約為71年。所以大致可歸納出，斷層長度在10公里內，再現週期可能小於一百年；斷層長度50公里，再現週期可能約三百年；斷層長度100公里，再現週期可能達一千年。但是同一條斷層，每次地震會錯動的長度無法確定，與應力的累積及釋放多寡有關。至於大臺北都會區最關心的山腳斷層，從中央地質調查所的槽溝發現，地表的沖積層在一萬年內並沒有錯動，所以認為山腳斷層的活動性相對較低。雖然目前山腳斷層歸納為第二類活動斷層，但是越久沒有錯動，不就更危險嗎？因此想更了解每條斷層的活動性，就應投入更多的經費與心思去深入探討。

主講人(顏呈仰協理)

我要接續林銘郎教授的說法，一條斷層要一次全部錯動，造成大規模地震，需要很長的時間累積應力。相對的，假如同一條斷層只錯動一部分，代表應力沒有累積到最大就先活動。以九二一地震而言，地表破裂長度總共約80公里，從槽溝的資料推估應力累積(再現週期)約三百多年。但是以大甲溪和大安溪的輸水管線的工程設計而言，並沒有要使用三百多年，因鋼管壽命頂多只能使用一百年。以臺灣第一條輸水鋼管為例，是八田與一先生設計興建的烏山嶺隧道舊送水鋼管，至今使用近百年就已鏽蝕不堪使用。所以假設工程的任務及壽命為50~100年，就已達到極限；但硬是規劃必須面對再現週期約三百多年的九二一地震，這樣會造成工程設計過度保守。因此大甲溪和大安溪的輸水管線的工程設計為50年，假設2070年強迫附近的車籠埔斷層產生錯動，但是因應力累積只有70年，所以理論上發生的地震規模會小於九二一地震。因工程設計所有的

考量因素都必須量化，雖然推算的過程不一定完全正確，但至少有個參考依據。

主持人(楊智堯經理)

有關道路受到斷層、地震等天然災害的損壞而中斷，能否簡化行政流程儘速修復？理論上應由陳國隆副局長以工程行政角度回答較為恰當。但就我的觀察，臺灣應該是有迅速啟動災害應變的機制，期望能儘快恢復交通動線。以國道三號的中寮隧道及田寮三號橋為例，隧道曾經因地震造成襯砌龜裂，及橋樑伸縮縫不斷擠壓的情況。高公局每年都耗費相當多的人力及資源，編列經費進行維護，但卻陷入了持續不斷修復的無止境循環，造成相當大的困擾。另一方面，之前的高公局長官，不見得每位都有很深的工程背景，認為只要將損壞的部分修復，不影響行車安全即可。直到曾大仁先生擔任高公局局長，他是位地工專家，發現隧道及橋樑修復後仍持續變位，認為影響的因素並不單純，想試著找出原因並提出解決方案。原本認為可能是邊坡滑動或是地下水的影響，但處理後並未獲得明顯的改善。後來認為可能是旗山斷層的影響，但是經過調查後發現，斷層沿線主要的地表變形，只集中在國道三號的中寮隧道，所以不認為單純是旗山斷層的問題。另外附近的車瓜林斷層(早期名為龍船斷層)，地表變形就不只集中在國道三號的田寮三號橋，斷層沿線都有發現錯動現象。所以影響國道三號的中寮隧道及田寮三號橋變形的機制，應該歸因於許多綜合因素所造成。以高公局的立場，只要調查出主要變形的位址及長期趨勢，對於具有高風險、受影響的設施持續進行修復，並提出解決方案以維護行車安全，避免災害發生。此案例的確相當特殊，全臺灣目前尚未發現變形量可達每年垂直抬升8公分、水平擠壓6公分；造成路面及機房的垂直高程差逐漸加大，所以陸續還是會碰到一些問題必須解決。

主持人(王泰典教授)

除了剛剛楊智堯經理回答的長期監測以外，周家瓊協理是想了解重大災害事件後，國內是否可以不用經過繁瑣的採購程序，即可立即搶修；且迅速搶修復原後，還有獎金獎勵的機制？不曉得在座的與會先進，是否有相關經驗可以分享？

主持人(楊智堯經理)

本公司曾經參與過很多救災的經驗，如同白朝金主任秘書報告中提到的台9甲線(烏來聯外道路)的10.2公里，曾因颱風挾帶豪雨發生土石流，造成交通中斷。當時公路總局的作法是先請開口合約廠商，搶修便道維持通行。再採取緊急採購方式，請各工程顧問公司儘速參與投標，並提出設計及解決方案，在確定執行的可行性後，由最低價格的廠商得標。因此在災害發生的三個月內，本公司就協助完成設計，公路總局在執行採購及招標。至於此作法及流程是否能改善精進？個人覺得機會不大。因為目前臺灣的工程，普遍採用統包方式執行，對於災害緊急搶救，可縮短整個時程。至於是否能直接指定廠商進行災後緊急搶救，以臺灣現行政府採購機制及相關法令等規定，困難度較高、可行性低。

主講人(顏呈仰協理)

2020年臺灣的降雨驟減，造成2021年遭遇百年大旱，需要緊急鑽井與取伏流水，及設置初級的自來水淨化設施，當時自來水公司是直接邀標，尋求本公司的協助。其實採購法之中是有邀標的相關規定與機制，所以本公司所提出的緊急設計，當時自來水公司也是只找一家廠商直接議價、施工。

主持人(王泰典教授)

就我了解，當緊急災害事件發生時，不只採購法有相關特殊之規定，公路法及災害防救法也有。但是就公路法而言，高公局就無法請交通部直接指定邀標的廠商；災害防救法也有特定的時期與啟動機制，並不需要再考慮到採購法之規定。因為採購法規範的是政府與廠商之間的關係，主管機關可以在災害發生的緊急時期，直接依相關法規啟動救災。個人猜測，臺鐵在猴硐的邊坡坍方事件，及高鐵在苗栗通霄路段的邊坡崩塌，應該是沒有時間、依照一般採購法的流程，來啟動緊急應變救災。關於緊急災害事件的啟動機制與流程，不知道在座的與會先進可否補充？

與會者(水利署南水局工務課 劉俊杰課長)

其實在採購法裡是有緊急啟動的機制與

規範，可在工程會的優良廠商名單之中篩選，直接指定廠商邀標，尤其是曾獲得金安獎與金質獎的廠商。至於2021年乾旱鑿井的部分，是採用複數決先決標方式，意為不限定邀標的廠商家數，有可能所有參與標案的廠商，只要有能力都可參與此工程標案。另外在河川局及水庫營運管理，一般是有開口合約廠商。至於緊急或是逾期事件，理論上是可以透過緊急採購程序辦理。只是本機關似乎未曾碰過非常緊急的事件，必須採取緊急採購程序，直接指定廠商參與標案，但依法應該是可行的。

主講人(白朝金主任秘書)

通常在年初時，各行政主管機關會訂定一些項目，發包尋求開口合約廠商。所以當災害發生時，會啟動緊急處理之程序，以減輕災害之影響。在災害發生地點，第一時間會請開口合約廠商，確保維生通道的暢通與進行復原。對於緊接著可能發生的二次災害，也必須優先考量處理。另外，因應當年突發的緊急災害事件，處置的經費來源通常會動用到中央及地方政府的災害準備金。所以災害事件的處理流程，首要是確保基本維生通道的暢通，及避免二次災害的發生。至於長期的復建工程需要大筆金額，通常在事件發生後第二年才會開始，進行工程顧問公司的選商、設計審查及招標，相對就沒有那麼急迫。

與會者(前國道新建工程局大地課 李友恒課長)

國道新建工程局(國工局)在九二一地震之後，曾經受委託興建南投縣的兩座橋梁及一座隧道的復建工程。當時是以限制性招標及統包方式，在4個月之內完成兩座橋，及另外4個月內完成一座隧道。所以當時的交通部長郭瑤琪，曾多次到工地發獎金慰勉同仁的辛勞，但應該不是趕工獎金。

與會者(前國道新建工程局大地課 李友恒課長)

關於貓空纜車T16塔柱的下邊坡整治，地錨是採取複拉方式處理；當複拉失敗時，再採取加打地錨方式。想請問地錨複拉失敗的原因，有可能是那些因素所造成？

主講人(鄭世豪助理教授)

其實臺灣地錨複拉的案例並不多見，尤其

是必須同時複拉600隻地錨，更是罕見。我想貓空纜車T16塔柱的下邊坡整治，應該是第一個案例。簡報中有提到，地錨複拉有兩個必要條件，第一個是地錨不能鏽蝕，第二個是錨碇的狀態良好。地錨複拉過程中，會受施工品質等因素影響，所以不一定全部都會成功。以貓空纜車T16塔柱的下邊坡整治為例，地錨複拉過程中約有7~8%會失敗；大部分是地錨拉脫，少部分是鋼絞線拉斷。至於地錨複拉失敗的原因，可能與施工品質有關。

與會者(富國工程 周家瓊協理)

想請教白朝金主任秘書和蕭富元組長有關水的問題。白朝金主任秘書報告中提到，崩塌地在打設橫向集水管後，雖然能順利將水引導排除，但是出水狀況會有所改變，之後會由誰負責持續監測，直到崩塌地穩定？另外蕭富元組長提到隧道開挖時，在考量地質構造及了解可能的出水界面後，可較為準確預估隧道施工時的出水量。雖然可推估高、中、低三條出水量趨勢線，但是對於實際隧道施工時，會產生大量出水的位置及時間點，目前似乎還是很難掌握？

主講人(白朝金主任秘書)

剛剛報告的幾個崩塌地案例，在打設橫向集水管後，剛開始的確都可以順利排水。但是時

間久了，橫向集水管可能會塞管，造成無法排水。所以整個崩塌地的排水監測，確實需要持續；尤其是大面積的崩塌地，相關監測設備在架設之後，資料可能會難以彙整。假如有保全對象，但無法搬遷又相當重要時，持續監測絕對有其必要性。當監測過程發現地下水位上升，就有可能是橫向集水管因細顆粒泥砂或化學作用造成塞管。以日本的經驗，當發現橫向集水管塞管時，會以高壓水柱清洗，希望能將水順利排出，降低地下水位，以確保保全對象的安全。除了在颱風、豪雨時做監測設備的巡檢之外，當發現地下水位面及排水狀況逐漸偏向穩定時，也會拉長定期監測報告的繳交時間。

主講人(蕭富元組長)

岩層地下水流極為複雜，與水文地質環境及季節補注變化有關，隧道施工也可能改變周圍水文地質環境，由於岩層裂隙的走向與延伸無法完全掌握，只能從已有的水文地質資料，推估隧道施工可能出水量。以我們的立場，會考慮權責問題，隧道施工出水量預估不是計畫原本的契約工作項目，所以我們會偏向保守，僅提供高、中、低三條出水量趨勢線，不會做每個位置的出水量預估，以避免施工廠商因此輕忽，寧可讓廠商知道每個區段預估的最高出水量，以備妥對應的施工對策與材料。



「台灣特殊地質構造的工程挑戰」研討會綜合討論 (2022.10.19)



顏呈仰協理、劉家銘總工程司、林銘郎教授、王泰典教授、陳國隆副局長、林朝宗所長、楊智堯經理、柯明淳助理研究員、林錫宏科長(由左至右)



林銘郎教授、顏呈仰協理、柯明淳助理研究員、楊智堯經理、詹尚書工程師、黃文昭教授、王泰典教授、鄭世豪助理教授、林錫宏科長、葉家志工程師、白朝金主任秘書、蕭富元組長(由左至右)

地工技術第 40 次研討會主持人及主講人合影(2022.10.19, 台灣大學應力所國際會議廳)