



編者的話

楊智堯

主題：跨越活動斷層構造的工程與維護

臺灣位於歐亞大陸板塊以及菲律賓海板塊的交界處，受到劇烈的板塊運動影響，地震活動頻繁，地質構造複雜，斷層密布，其中不乏仍持續活動的活動斷層，導致在臺灣的工程開發(尤其是帶狀的交通工程或管線工成)鄰近或跨越斷層構造亦是在所難免。因此有關工址跨越或鄰近斷層之調查以及配合之設計與施工規劃，甚至在營運養護上都必須詳加考量，以確保工程施工階段以及營運階段之安全。

本期主題為「跨越活動斷層構造的工程與維護」，內容規劃希望能從臺灣活動斷層的調查演進、模型建立到工程的工址調查、規劃設計、施工以及後續營運維護，共有10篇專業論文，深入淺出地帶領讀者，進行一連串的探討與相關案例經驗分享，內容相當精彩，編者有幸先睹為快，也摘要式的整理各篇論文重點，提供讀者參考。

第一篇是由東京大學謝沛宸博士生與臺灣大學土木系林銘郎教授團隊等共同撰寫之「工程設施如何面對與因應調適近斷層錯動～過去、現況、未來」，文章中回顧了國內外工程設施該如何面對與因應近斷層錯動調適等案例，將工程設施因應近斷層錯動之對策，分為「面對它、接受它、處理它、監測它」等四大面向，透過調查掌握活動斷層土岩變形帶的特性，評估活動斷層可能造成的損害、衝擊與風險，後再以因應活動斷層錯動時工程設施調適與減災的方法來處理，並採取長期定期觀察與監測重要活動斷層的變形活動性，以掌握長期地震災害潛勢的動態發展。文章中並彙整我國與日本針對活動斷層調查方式之演進，經由比較發現，日本之耐震設計除考量地震之加速度之震動效應之外，也同時

考量因斷層錯動可能直接導致地表變形而影響設施安全，可做為我國未來耐震設計規範修訂精進之參考。

第二篇為經濟部中央地質調查所的林燕慧技正與林啟文組長撰寫之「臺灣活動斷層調查方法與演進」，綜整我國自1980年代開始進行活動斷層學術研究，1995年日本阪神地震後開始由中央地質調查所進行活動斷層調查，1998年公布第一版臺灣活動斷層分布圖，期間再經過921大地震的災害調查，於2000年公布第二版臺灣活動斷層分布圖(精確度可達二萬五千分之一)，後因檢討部份存疑性活動斷層僅具地形特徵，缺乏曾經在更新世晚期(據今約十萬年前)曾經發生錯動之地質證據，故而暫時移除，於2012年彙整出版第三版臺灣活動斷層分布圖，此版圖說有第一類活動斷層20條、第二類活動斷層13條；2021年再增加初鄉斷層、口宵里斷層以及車瓜林斷層3條活動斷層，並將斷層分布圖修正至斷層跡之處，更進一步提升斷層分布圖之精確度。而上述活動斷層調查之精進則主要受惠於近年之調查工具與技術快速發展之賜，例如利用光達(LiDAR)技術可以更快速、更細緻的觀察微地形變化，追蹤斷層之地形特徵，再搭配GNSS測量、合成孔徑雷達(InSAR)等技術進行地表變形觀測，可再進一步掌握斷層與地表變形之相對關係，增進對斷層變形行為的瞭解。

第三篇為國家災害防救科技中心柯明淳先生和臺灣大學地質系陳文山教授等人共同撰寫之「臺灣活動構造三維數值模型建置與應用」，文章中利用其所蒐集之野外地表調查資料、地質岩心鑽探資料、地質平衡剖面研究成果、地球物

2 編者的話

理探測資料、歷史地震事件紀錄以及地震層析影像等活動構造調查，利用SKUA-GOCAD以及Mira Geoscience Mining Suite等軟體，將各二維地質平衡剖面建置成為三維的地質構造，包括地層介面與斷層面，完成後再轉換為如ArcGIS等常用之地理資訊系統格式使用，整合成三維地質構造數值模型(3D geological structure model，簡稱為GSM)，目前成果已應用於地震事件的地質構造解釋、協助新竹科學園區地震韌性評估、初步地震災損模擬，其所呈現的三維空間分布可提供公共工程建設選址選線時可能所面臨到的破裂帶參考資訊，同時整合根據數值模型所進行的地震震度評估之資訊，提供公共工程建設選址規劃之參考。

第四篇為黎明工程顧問顏呈仰協理等所共同撰寫之「屯子腳斷層及三義斷層對輸水工程影響調查評估」。文章中以鯉魚潭第二送水管及大安大甲溪聯通管工程通過屯子腳斷層及三義斷層活動斷層之地質敏感區為例，介紹包括藉由資料蒐集、地表地質調查、鑽探、地電阻影像探測(RIP)等方式，針對送水管工程之活動斷層影響範圍進行調查，並介紹工程設計上的處理對策。在設計上考量一般輸水管段不直接抵抗斷層錯位的剪切力，儘量以允許管線變位吸收地震變形。而直接穿越斷層帶部分，因斷層錯位造成管段錯斷若不可避免，設計時以未來可方便、快速修復為考量重點。故於大安溪大甲溪聯通管工程跨越斷層處，以軟弱填充材包裹並加上柔性接頭同時吸收地震力或斷層活動錯位量，再規劃以多段橋接方式，使震後可快速修復。而鯉魚潭場第二送水管工程則規劃於后里運動公園旁，於人煙稀少處跨越屯子腳斷層處，降低管線損壞衝擊，並採明挖覆蓋工法，在明挖段的上下游側各留設可撓管及遮斷閥，以控制斷層錯動之破壞範圍，利於快速斷水進行災後搶修。

第五篇為富國技術工程丁權與李正兆先生所共同撰寫之「活動斷層穿越預定開發建物之調查～以新竹斷層為例」。文章中以新竹某建築案為例，經由詳實之地質調查後，基地內有明

顯之地形崖，其下地層呈南陡北緩之形貌為新竹斷層之分支斷層所造成，且應具有與新竹斷層相同之活動性；此外，由岩相分析結果，厚層礫石層與中間所夾之堰塞湖相之砂泥互層均為可能為年代較老之沉積層，證實了活動斷層切過調查基地之中央位置。考量當新竹斷層發生地震時，研判斷層跡的上盤會產生地表大範圍的褶皺變形，屬於不均勻抬升之模式，因此無法單以主要斷層線兩側作為建物退縮距離之基準，應至少須在整個構造擾動帶範圍之外。建商考量整體開發利益與社會責任後，最終選擇放棄開發。

第六篇為交通部鐵道局陳錦勝組長與中興工程顧問吳東錦先生等人，所共同撰寫之「花東鐵路工程池上斷層調查與因應」。由於花東鐵路東里站至池上站工程位於花東縱谷內，大多行經池上斷層活動斷層地質敏感區，故文章內容主要綜整藉由地形判釋、地表調查、地球物理探測、地質鑽孔探查等調查成果，配合既有文獻資料，釐清工址鄰近池上斷層地表位置。另依據池上斷層活動特性，以及與計畫路線相對空間關係，對於鐵路營運安全提出設計與營運階段因應對策。經評估本路段線形難以避免與活動斷層交會，因此不考慮採用大幅改線來完全避開池上斷層。故於與池上斷層交會或極接近位置，採平面段或路堤段為主，以因應斷層錯動並利於震後快速修復。

第七篇為公路總局蘇花改工程處李宗仁處長及台灣世曦工程顧問詹尚書等人所共同撰寫之「變質岩隧道遭遇斷層剪裂帶之調查與對策～以蘇花改工程南澳和平段為例」，蘇花改工程南澳和平段沿線地質變異程度高，多次褶皺構造與斷層剪裂帶均發達，且不同成因之地質弱帶同時出露，並常伴隨湧水，隧道施工困難度高。文章內容以隧道施工發生抽坍事件附近區域之地質構造，進行地質構造分類與肇因探討，發現致災性地質構造與片理異向性、岩石材料之劈理領域厚度、褶皺波長及部位、移位構造、風化條件及後造山期張裂構造等具有相關性，也因施工現地構造尺度及地下水富集程度等條

件，使每次抽坍事件都具有獨特性。而抽坍處理以穩固抽坍面、快速恢復隧道支撐確保隧道結構安全、儘速回填抽坍防止坍落面積擴大為原則，並依據不同規模之地質弱帶，建議採用排水孔導排，封面噴凝土及打設前進鋼管輔助隧道開挖通過弱帶；或採環狀開挖、留置土心、封面噴凝土、增設岩栓、固結或止水灌漿配合排水孔導排及管幕工法。相關施工處理經驗可提供後續類似案例參考。

第八篇為臺北市政府新建工程處劉家銘總工程司及亞新工程顧問黃慈銘先生等人所共同撰寫之「隧道遭遇斷層之設計與施工探討～以信義快速道路為例」。本工程以文山隧道穿越拇指山及象山山區，成福斷層為主要地質構造線。比對設計階段地質調查所推估成福斷層帶之位置與寬度，與實際隧道開挖地質測繪資料頗為接近。以本案為例，遭遇斷層前地質探查，建議至少於預估斷層位置約50公尺前開始以不取岩心探查孔，探查開挖面前方可能之斷層破碎帶性質及位置；並於得知可能遭遇斷層破碎帶時，改採取岩心鑽孔探查，以瞭解隧道開挖面前方之地質特性及地下水狀況。施工對策則以縮短輪進長度、選擇適當支撐形式，必要時採固結灌漿強化地盤穩定性，並透過計測系統掌握隧道施工安全。

第九篇為臺灣大學土木工程系楊國鑫教授等人所共同撰寫之「以柔性加勁基礎減緩逆斷層錯動引致之地表變形」。主要以國道4號臺中環線豐原-潭子路段加勁擋土牆橫跨車籠埔斷層為啟發，透過物理模型試驗評估平面加勁基礎及外包加勁砂柱基礎對於減緩逆斷層錯動引致地表變形之效果，並探討相關力學機制。試驗結果顯示平面加勁基礎於逆斷層錯動量較小時效果較佳；外包加勁砂柱則透過阻斷效應與樁身下拉摩擦效應，大幅降低逆斷層錯動引致之最大地表角變量。

第十篇為交通部高速公路局陳國隆副局長以及台灣世曦工程顧問蕭秋安協理等人所共同撰寫之「國道受構造及大地變位影響調查與養護經驗」。文章內容以分享國道3號田寮3號

高架橋及中寮隧道自2000年通車迄今，歷年養護與維修的辛苦歷程。從不知為何本路段結構每年持續變形損壞原因，到利用大地監測與補充調查方式，確認因跨越活動斷層或其他特殊地質構造之因素，而產生每年有6~8公分的持續變位。然而因上述潛變為人為無法消除之自然因素，不得已情況下，將原本的橋梁及隧道拆除，改用較為柔性、易維修並對大地變形具較高容受度的路堤與路塹形式通過活動斷層變位帶，屬於國內針對跨越活動斷層養護改善之特殊案例。

除上述十篇與斷層構造相關之論文之外，本期還有2篇投稿論文，其一是中央大學土木工程系黃俊鴻教授所撰寫之「離岸風機基樁軸向承载力計算方法之比較研究：(I)均勻土層」。文章中針對鋼管樁之軸向受壓極限承载力，比較API, ICP, UWA, NGI, Fugro等五種方法，結果顯示目前臺灣離岸風場所採用的設計方法ICP法，低估基樁底部點承力，在設計上相對較為保守。

另外一篇則是臺北捷運局余旭洲先生所撰寫之「臺北捷運萬大線CQ850區段標雙中折潛盾機選型及施工規劃」。文章中介紹針對都會區急轉彎潛盾隧道之需求，評估採用雙中折式潛盾機之課題與檢討，可以作為後續相關案例之參考。

本期很榮幸邀請臺灣大學土木工程系林銘郎教授提供「贈言」，林教授是我所認識最致力於將現地實務與理論相互結合印證的老師之一，經常舉辦與參與工程現地調查，藉由與工程師在現場針對不同環境特性與條件，討論最合適的處理方案與方法，除了理論之外，也提供學生瞭解實務情況之條件限制，跳脫只從書本中學習知識的窠臼，本期贈言標題「轉化災害為知識、與災害風險共存」更是畫龍點睛的精準切重本期內容之目的。

最後，感謝本期各位作者、審稿人、贈言人以及幕後默默為期刊編撰付出心力的編輯群，謝謝大家的無私貢獻，能讓地工技術能持續成為大地工程界的技術交流平臺。