



## 編者的話

譚家瑞

### 主題：軌道工程的土工新挑戰

現代土壤力學之父Mr. Terzaghi於1939年參與芝加哥地鐵計畫，對土壤力學的應用發展產生了極大的影響與貢獻，包括配合監測觀察及優化施工順序，減少開挖造成的地表沉陷量；量測開挖支撐之應力值以了解軟黏土在不排水剪力之行為；全尺寸的大型試驗以發展更經濟的隧道襯砌設計方法等，迄今仍然應用在實際的工程計畫中。

國內最近30年的軌道建設亦提供了許多大地工程的研究、調查、設計、施工及營運維護計畫，尤其台灣都會區多屬地下水位的軟弱沖積層，高難度的工程條件下，培養了軟弱地盤深開挖與隧道工程的人才與技術，成功進入東南亞的軌道工程市場與國際工程團隊分庭抗禮。

近年來的軌道工程建設重心已從北部擴展至中南部地區，由盆地中央的蛋黃區往周邊的蛋白區發展。所遭遇的地質條件從軟弱沖積層到軟硬兼具的複合地層，甚至穿越變異性極高的地質構造；再加上都市維生系統建置的複雜地下管線系統，更增加了大地工程設計與施工的困難度。

本期「軌道工程的土工新挑戰」主題共11篇高挑戰性大地工程專業論文，透過實際案例或研究，分享大地工程師面對新挑戰，如何發揮的智慧與創意，成功克服困難達成目標的寶貴經驗。

第一篇論文是由日商三信設計開發股份有限公司王錦伍等人所撰寫的「雙環塞灌漿工法應用案例經驗分享」，雙環塞灌漿工法已成功地使用於國內與泰國捷運工程於困難地質條件中施工案例。本文介紹雙環塞灌漿工法的特性，藉由施作完成的聯絡通道與封底灌漿成功案例，說明正確的施工步驟、材料配比、鑽孔偏斜量、灌注率、灌注壓力等重要參數。藉此以了解此工法於施工中應考量的事項及可能存在的風

險，以確保地盤改良的品質與效果，供後續類似工程的參考。

第二篇為中興工程顧問股份有限公司張正憲等人所著「深開挖設計自動化與施工回饋智慧化之挑戰」，記錄中興公司的團隊自2016年起針對深開挖設計作業進行全面的資訊轉型工作，藉由管理階層高瞻遠矚的支持、領導者的創新思維引領及年輕工程師的創意與執行力，選擇走向一條不一樣的道路，所以獲得突破性的豐碩成果。本文詳細說明深開挖設計平台智慧化流程構想及BIM模型自動化建置及加值應用。設計平台更進一步與施工中的重要查驗點記錄與地質資料介接，將龐大的數據資料，轉化為系統性的資訊，可以做為危害預警決策及回饋分析的重要依據，相關成果可透過平台進行知識累積與經驗傳承，發揮智慧化平台的最大效益。

第三篇為亞新工程顧問股份有限公司宋士豪等人所著「混合地層開挖擋土設計案例」，本論文以高難度的信義線東延案R03車站工程為例，從規劃設計的角度，說明台北盆地邊陲山麓側混合地層開挖擋土設計的多重挑戰。R03車站開挖區南北兩側之軟弱粘土層及岩盤存在明顯高差變化，遭遇明顯之偏壓情形。施工階段回饋之岩心試驗結果顯示單壓強度劇烈變化介於30kgf/cm<sup>2</sup>至1,000kgf/cm<sup>2</sup>以上。設計團隊透過BIM監測管理系統創新平台，納入施工階段補充地質調查資料，建立場址之數位地質模型，並結合監測資料進行參數回饋分析模擬，以檢核原設計之適當性，透過增加調查密度並結合BIM監測管理系統平台應用，提高對開挖區周邊地層變化的掌握度，確保開挖擋土及建物保護措施之安全及經濟性。

第四篇論文為駿馳工程股份有限公司李明書等人所著「地盤改良於軌道道版加固頂

## 2 編者的話

昇之應用～以輕軌運輸系統為例」。國內首次引進槽狀鋼軌及彈性隔離材扣件系統，配合混凝土道版直接鋪設於夯實處理的土壤基層上。營運中的輕軌軌道發生非預期的沉陷變形，經過補充鑽探調查、透地雷達探測及綜合評估研析，決定針對土壤基層採用加固頂昇工法回復軌道的縱坡與平整度。本文詳細說明加固頂昇工法的灌漿技術、材料、工序與配置，採取深層路基先改良、淺層路基加固、分段頂昇與分段填充等方式逐步改善土壤基層，並配合精密的灌漿壓力與變位監測。道版加固頂昇作業完成後，再透過剪力波速探測以確認改良後道版下方地層達到足夠強度。

第五篇論文為臺北市政府捷運工程局第二區工程處陳俊宏等人所著「捷運信義線東延段大地工程施工課題與對策」，本文從施工的角度說明台北捷運30年史上最困難的信義東延段工程的關鍵課題，包括工區鄰近台北盆地邊緣丘陵，道路狹窄緊臨民宅，且道路下方管線密佈，R03車站及潛盾隧道段，座落於臺北斷層次要破碎帶上，淺層土壤極為軟弱，深層岩盤硬度超出預期4倍，複合的障礙因素造成深開挖與潛盾隧道工程推進困難。工程團隊透過檢討與回饋分析，大幅改善複合地層擋土工法的工率達60%以上，並透過調整潛盾機到達工序及永久底版提前封築來克服地下水入滲的問題。施工廠商研發垂直土石方輸送設備，大幅提昇出土工率及降低施工噪音，使夜間施工不影響周邊住戶，能順利進行。工程團隊不斷的研討精進，突破舊有框架及思維順利推動工程，多項創新工法及技術，值得未來困難施工條件的都會區大地工程參考與借鏡。

第六篇論文為臺北市政府捷運工程局第一區工程處王怡仁等人所著「都會區潛盾隧道施工遭遇地下障礙物之衝突分析、風險評估與脫困記錄」，本文記錄潛盾機鑽掘過程與通水中污水系統的下部假設工程結構發生嚴重衝突之案例，工程團隊面對前所未有的三大困難挑戰，包括：1.鋼板及鋼筋混凝土強化沉箱刃口結構障礙物、2.長達4個月的非技術因素受

困(停止鑽掘)時間及3.穿越通水中污水幹管系統作業。透過團隊的持續溝通努力，總算化解營運機構及外審單位的疑慮，同意復工鑽掘；配合前進探查精確掌握衝突範圍、進行安全分析與風險評估擬定最佳施工方案，全面建置自動化安全監測系統確保通水中的污水系統的安全。潛盾機採慢削緩磨方式，透過嚴密的監控掘進率、推力及切刃溫度，共花費約30天的時間，順利通過總長僅5.2公尺的障礙物區段。創下兩個成功的工程記錄，包括人孔的最大傾斜量控制在1/300以內及潛盾機切刃及水封受損情形降至最低，確保污水系統通水不受影響，且潛盾機順利脫困成功掘進至到達工作井。

第七篇論文為交通部鐵道局北部工程處郭林堯等人所著「機場捷運中壢市區隧道工程與桃園鐵路地下化共構之界面整合」，藉由機捷主線CU02A標穿越高度敏感機場段工程於卵礫石地層、砂岩、複合地層之深開挖、NATM擴挖及8部潛盾鑽掘成功經驗，回饋應用於本工程之近接潛盾隧道、卵礫石/岩層複合地層、深開挖等設計及施工規劃。有鑑於傳統鑽探無法完整掌握卵礫石的特殊工程性質，本工程特別採用全套管鑽機進行大口徑鑽探取樣及現地篩分析掌握卵礫石粒徑分佈，提供潛盾機切刃配置及加泥材配比設計，增加礫石流動性及減少切刃磨耗，降低潛盾機切刃過度磨耗受困的風險，更成功加長了無須更換切刃齒之掘進距離達71%左右，大幅提昇整體掘進工率。並於中壢市高度開發的商業中心，成功完成多項高風險的近接施工作業。本工程所累積的複合地層設計模式、隧道施工掘進參數及近接隧道安全監測數據，已進一步回饋給目前正進行中的桃園綠線、三鶯延伸線等後續捷運路網做為設計與施工規劃的依據。

第八篇論文為台灣世曦工程顧問股份有限公司高雄工程處江明珊等人所著「臨軌開挖施工對鐵路營運安全維護之挑戰」，本文說明臺南及高雄鐵路地下化工程，位於人口稠密地區且緊臨營運中鐵路，地質條件屬地下水軟弱地層，同時要面對各式管線、箱涵、高架橋及

地下道等障礙物。施工危害包括坍塌、沉陷、隆起等影響軌道路基、侵入淨空、撞擊、感電等較一般都會區深開挖作業沒有之風險，設計與施工規劃必須考量額外之管制措施確保施工人員的安全及鐵路營運不受影響。本文以多項高風險的橫交平交道地下化工程案例，說明臨軌都市隧道施工之風險因子及危機處理方式，介紹現地調查、安全評估、工法選擇、地中障礙物處理、安全監測佈設及緊急應變措施的整備，完整的配套措施及寶貴的施工經驗可供工程界參考。

第九篇論文為台灣高速鐵路股份有限公司楊恆偉等人所著「鐵道結構漸變段長期功能性檢核與路堤補強方案探討」，本文說明鐵道結構柔性路堤與剛性橋梁漸變段常因垂直勁度陡變造成軌道不平整的問題，尤其剛性橋台附近由於土方施工控制不易，往往容易發生差異沉陷問題，當列車由剛性橋梁通至柔性路堤，將因差異沉陷，產生額外衝擊與路堤振動，長期效應為影響軌道平整度與額外差異沉陷，影響列車運行的舒適度與平穩性，增加維護的困難度與成本。本研究綜合不同監測數據檢驗路堤與路塹漸變段反應的差異，建議在路線通過谷地具有高地下水位與地層鬆軟之區段，應考量地質改良及設置地下水導排設施。除了一般的沉陷調查外，亦應監控結構漸變段結構勁度折減的趨勢，以掌握造成軌道不平整的真正原因。最後建議整合軌道調整與工程改善可分成軌道調整、工程改善、與改善後軌道再調整等三步驟進行。

第十篇論文為臺灣科技大學營建工程系李宇軒等人所著「小應變彈塑性模式於捷運工程深開挖分析之研究」，研究團隊多年來投注大量心力在開挖破壞機制及地盤沉陷預測的研究上，所建立的模式及分析方法能夠可靠的預測開挖引致之地盤沉陷，其準確度及使用的方便性超過歐美等先進國家，讓國際上見證台灣在都會區深開挖工程的實力，協助國內的工程團隊成功參與東南亞的捷運工程建設。本研究透過探討軟弱黏土採用硬化土壤模式(hardening soil model, HS model)與小應變

硬化土壤模式(hardening soil small-strain model, HSS model)兩者分析結果差異，以及統整出HSS model之小應變參數敏感度的關係，無論是壁體最大變位、壁底位移或開挖面隆起量，HSS model能更準確描述開挖行為，更能合理經濟地設計敏感建物的保護工法，達到有效的工程資源分配。

第十一篇論文為交通部高速公路局林生發等人所著「國道既有橋梁直接基礎地盤改良抗液化工法設計與試灌成果探討」，本文說明，國道3號彰化和美交流道橋墩基礎型式為直接基礎，所在地層依現行耐震規範評估具高度液化潛能，為確保安全全面改採深基礎補強將增加巨額工程費用。工程團隊進一步發揮專業與創意，針對液化潛勢程度的不同，採取更細緻的補強工法規劃，包括「地質改良」、「地中壁圍束」或「增樁托底」等工法，大服幅減少經費達76.7%左右。為確保品質與成效，初期先於工區進行試灌作業，以分別驗證採用之補強工法之成效。試灌後確認改良體成型效果，並輔以自動化監測儀器以確保橋梁墩柱結構之安全。本工程可供後續橋梁補強工程案例參考。

本期的薪傳專欄特別訪問鄭文隆董事長，鄭董事長以大地工程師專業背景歷經「產、官、學、研」不同領域的職場生涯，對於國內工程技術提升及產業發展，都具影響深遠且有開創性的貢獻。1990年任職於國道新建工程局負責推動第二高速公路及北宜高新建工程，對國道網的建構影響最為深遠，任內共完成45座隧道貫通，在隧道工程紀錄中開創數項國內外先例。2005年進入高雄市政府，負責化解棘手的捷運工程的紛擾及工安意外，是高雄市重大建設幕後的重要推手。鄭董事長目前出任台船董事長，扛起總統蔡英文「國艦國造、潛艦國造」的重責大任。鄭董事長勇敢面對艱難的挑戰，勇於承擔，永遠保持正面積極的態度，終能開創台灣工程史上多項傲人的成就，值得吾輩做為借鏡、深思與學習。