編者的話

林銘郎

主題：大地工程困難案例

「前事不忘、後事之師」，大地工程能成功面對地質之變異施行工程，困難案例經驗之累積與彙整為非常重要之前提。2003年地工技術叢書之六「大地工程困難案例」之出版，為台灣大地工程界對困難案例開始重視的里程碑。該書由中華民國大地工程學會編輯出版，地工技術研究發展基金會發行，書中以簡單扼要之方式，介紹百餘個本土化的大地工程災變及困難案例，內容包括調查、困難施工案例、整治方法及安全監測等；工程之範圍則涵蓋邊坡、基礎、隧道、擋土結構及液化等問題。2009年再次由中華民國大地工程學會編輯出版，並由地工技術研究發展基金會發行之地工技術叢書之八「捷運大地工程困難案例」，書中共介紹63個捷運大地工程案例所遭遇的困難與其克服方式，更成為大地工程師在進行實務工程設計與施工時之另一重要參考文獻。有鑑於捷運深開挖及潛盾隧道工程涉及之因素非常複雜，且深受地層特性影響而具高風險性。故無論於大型都會區台北或高雄之捷運工程，均曾發生不少困難及災變之案例，且大多數均與大地工程有著密切關係。

造成大地工程困難案例的原因很多：

1.可能是都會區中施工空間受限，必須與其他設施或結構物緊鄰或交會，除考量近接施工外，亦須時時檢核營運中重要關聯結構物對於變形的容許能力；

2.可能是因工址特殊的地質條件，例如石灰岩岩溶地質、卵礫石地質及豐沛地下水地質狀態等；

3.可能是颱風地震災後復建工程，其必須在災後面對仍持續變動且困難地質雙重環境下，找到對策並進行復建補強；

4.可能是要設法克服「頭痛醫頭、腳痛醫腳」等無法根治之陳年舊疾，找出病因及其機制，尋求對症下藥。

上述眾多困難案例之克服，需藉著引進新的調查技術、材料、工法，乃至新的觀念，步步為營，終於有成；但也經常是知其然，但不知其所以然之。因此，如何在克服困難完成工程任務後，仔細從頭回顧其中細節、找出克服困難之關鍵課題，提出未來面對類似問題時之處理對策或創新研發方向，實為為大地工程技術能夠永續發展之重要關鍵。

編者有幸承蒙好友前任總編輯董家鈞教授的支持鼓勵，得以有機會編輯本期「大地工程困難案例」專輯。在規劃邀稿之初，即期盼本專輯能夠涵蓋多樣之地工專業層面，也期許作者群能夠老幹新枝、引進專業有成的中、新生代之工程師與業主們，一同撰文以光版幅。

本期共收錄論文十篇，第一篇為蕭富元等六人所著「建築基地位於二條潛盾隧道上方之基礎設計及近接施工案例」，且二條潛盾隧道幾乎都是由基地中央通過，部份基樁必需施作於兩條隧道之間，在狹小空間除了需考量各種減少影響營運中隧道之措施，並需規劃基樁施工初期，須先進行地層擾動測試，在基樁邊安裝監測儀器，以全程量測施工過程中對地層的擾動狀況，進而依監測成果檢討各項施工程序，在不影響隧道營運狀況下，順利施工完成之案例經驗。

第二篇為陳蒼賢等四人所著「岩溶石灰岩之大壩隔幕灌漿案例探討」，這是一個在岩溶石灰岩地質區大壩蓄水工程止漏灌漿維護補強的珍貴案例經驗。高度226m的宏都拉斯El Cajón壩為世界著名的高拱壩，壩基座落於岩溶石灰岩地層，有四個高角度主要斷層通過壩址。自從1985年水庫完工初始蓄水以來，曾發生壩基上揚水壓和總滲漏量顯著激增狀況，已經過二次補充灌漿處理。2009年5月28日，宏都拉斯北部之加勒比海區域發生規模M_w=7.5之地震，正逢最高水庫水位時發生地震，造成下游河谷及廊道一度出現滲漏水含泥，以及壩基水壓力上升、滲漏水量增加及新滲漏點出現等情形，研判是斷層Ⅲ及N45°E斷層有新的滲流路徑產生，使既有灌漿隔幕應產生破損。因此於2014~2017年進行所謂的MOS特別維修工程(第三次補強灌漿工程)。本工程係針對N45°E斷層及岩溶石灰岩地層，特別是大孔隙(洞)處理、高水頭以及高湧水孔段等艱困條件下進行灌漿作業，工程結果顯示大孔隙(洞)及高水頭湧水孔段的灌漿，若僅靠漿液本身實無

地工技術

法止水，需另外鑽設較大口徑灌孔，配合填入其他級配粒料及特殊材料，順利地將壩座滲漏量降低的成功案例。

第三篇為徐力平等五人所著「地質調查於邊坡破壞機制判定之應用案例」，九份係國內外知名之觀光旅遊景點，區內建築林立老舊聚落雜陳，惟排水系統雜亂，加上近年因坡地開發增加，配合九份地區地形崎嶇陡峻與該區域破碎複雜之地質狀況，造成九份地區之路面及建物產生龜裂與地層滑動之現象。自2000年象神颱風造成顯著滑動事件以來，雖歷經近二十年的監測與治理，但其大範圍的變形、地下水流況與破壞機制仍未能徹底釐清掌握。本案例說明地質調查對於區域規劃與坡地穩定評估，有著至關重要之影響。因為有效的地表及地下監測實施，包括鑽孔孔位配置及大地工程分析及地工監測儀器設置，皆需藉由完善之地質調查成果與正確的地質模式方能進行之，以確實掌握地下水流況及邊坡變形特色與各變形分區滑動面可能位置及區域及分區之坡地破壞機制。

第四篇為林四川等六人所著之「兼顧安全與生態景觀之邊坡整治案例探討」。本文旨在介紹發生於2001年9月29日國立臺北藝術大學網球場邊坡坍滑災害復建整治之規劃設計理念與成效。本案例有別於以往之邊坡災害復建工程，於整治工程規劃之初，即融入環境景觀重塑及生態工法之理念，學習順應自然、尊重自然，嘗試將整治工程與景觀生態及設施復建與經常維護作為作妥適的結合；近二十年來，校方用心安全維護、邊坡安全得以確保、坡面植生復原演替，足為國內邊坡災害復建整治新思維與作為的參考案例。

第五篇為黃崇仁等六人所著「特殊條件下大型地下洞道減滲及穩定處理」。本文說明大甲溪發電廠谷關分廠的地下廠房，及隧道復建工程的成功案例。在2003年至2007年期間，歷經多次颱風暴雨事件之影響(2000年多次暴雨、2001年7月桃芝颱風、2004年敏督利颱風)，於災後大甲溪河床大量淤高、河床變遷快速及兩岸邊坡仍持續變動之困難地質環境下，進行本工程之復建補強設計與施工，終能順利完成減滲及穩定處理措施的寶貴經驗。

第六篇為王慶雄等六人所著「山區道路複合災害之設計與施工～以台20線勤和至復興路段中期道路為例」，本工程為「莫拉克風災修復工程的最後一哩路」，因此區域環境非常不穩定，本中期工程設計方案旨在順應自然，故設計準則與傳統考量標準不盡相同，經多方面評估崩塌、淤積、洪水及土石流等複合式災害潛勢及其影響，透過工址流域內崩塌地、河道變遷長期穩定性評估，訂定中期工程方案預定使用年期約為10~15年。其中以「序率分析推估中期淤高潛勢，疊加洪水演算」作為設計考量標準，實屬設計之新觀念。在施工過程中歷經2017年0602豪雨達1,171mm雨量的考驗，成效良好；且由於進度管控得宜，終在惡劣環境下，順利於2017年4月完成最艱難的B1標明霸克露橋，提前5個月於汛期前通車。

第七篇為楊偉文等六人所著「長距離大口徑管道水平導向鑽掘工程案例探討」，本文介紹水平導向鑽掘(horizontal directional drilling，HDD)工法(或稱潛鑽工法)之基本設計原理及施工機具，與其成功應用於中油公司台中廠至烏溪隔離站21.8公里26吋輸氣陸管工程，並探討施工遭遇困難課題與突發狀況之解決對策，包括：長距離HDD設計施工、穿越結構與路面沉陷管理、HDD於卵礫石層及泥岩層中穿越課題與對策(如：卵礫石層中鑽掘之套管隔離輔助工法、對接穿越技術、泥岩層中鑽掘之鑽頭包泥現象)。目前台灣大型的HDD工程案例不多，本土施工廠商大多僅能執行小口徑短距離穿越一般土層之工程規模，而未來國內離岸風力發電近岸海纜施工，大多將採用大口徑之HDD工法。雖管串作業(銲接、慣性定位測量及清管試壓等)可由本地廠商承接施作，惟大口徑長距離的HDD主體工程本土化與專業人才培訓上仍有很大的發展空間。

第八篇為羅國峰等四人所著「台9線南迴公路安朔草埔段隧道異常湧水案例」，本文介紹台9線南迴公路拓寬改善後續計畫安朔－草埔段的C2標隧道工程。在施工過程中，於北口南下線第688輪開挖面右側下方遭遇突發性異常湧水，最大湧水量逾27ton/min，超過20ton/min歷時逾30天，已經危及開挖面穩定並嚴重阻礙工進的處理經驗進行撰文說明。經緊急處置、補充地質探查成果，待掌握地質概念模型及湧水影響因素後，體認本案例所在之潮州層(或類似硬頁岩地層)由於岩性單調，分佈廣泛，在地質圖上大面積範圍呈單一色調、紋理，標示的斷層、褶皺等地質構造不多，加上因為是變質岩，PCCR系統

地工技術

屬A岩類特性－預期其破壞機制是地質構造控制、岩楔掉落及抽坍等，非圍岩變形與支撐受力破壞等相對軟弱B岩類之隧道行為。但事實上在隧道開挖面仍常有明顯不同變質程度的砂岩、頁岩及其互層，以及剪裂帶，其實這些位置的圍岩反應仍可能為B岩類之狀況。NS-T688輪的湧水案例中，剪裂帶A造成湧水位置恰為硬頁岩(Arg)與變質砂岩(SS1)交會附近，剪裂帶B的一部分沿砂頁岩互層(SS/Arg)與變質砂岩(SS2)界面，然這些地質變異處之岩體解壓弱化與隧道支撐受力變形，常於開挖面遠離開挖寬度後才滯後發生，故未來遭遇類似地質條件時，其支撐需求宜視開挖面之地質特性以適時檢討修正，即時加強避免圍岩弱化，才能滿足新奧工法的支撐理念。

第九篇為張世賢等五人所著「鄰近邊坡大型地下洞室挑戰與處理對策～以曾文水庫防淤隧道為例」，曾文水庫防淤隧道出口段鄰近邊坡自由面可能遭遇偏壓與淺覆蓋問題。本文介紹設計分段之理念調整、施工中即時分析與因應偏壓影響岩體達瀕臨破壞的緊急處置，強調即時採用LiDAR掃瞄作為開挖岩體之弱面調查與變位監測，輔以數值分析，進而確實掌握處理對策之有效性，終能研擬出最合適對策工法並順利完工。

第十篇為林保宏及鄭旭成所著「井式基礎工法應用於卵礫石層之精進方案案例介紹」，本文為「台中捷運CJ920區段標工程」之大規模採用井式基礎為個案之案例研究，介紹在人口稠密、用地受限等環境因素的台中都會區，須同時進行共315支井式基礎工程的工法選定與施工難題克服的成功案例，文中檢討說明現今傳統井式基礎職安、環保缺失，及其分析改進與防止對策。本案例採全套管鑿井工法，有別一般噴凝土或鋼襯環，改採場鑄混凝土套環方式施工，全程規格化、系統化，彈性配合抽降水措施及其他輔助擋土工法，有效降低噪音、揚塵及增加安全性、工率、提高施工品質並可節省及環保直接維護成本。

本期專輯特別邀請大地工程界一致推崇學經歷十分傑出的張文城董事長提供「贈言」，張董事長曾參與雪山隧道實務長達十五年，從設計科科長、主任、主任工程司、副處長及完工時的處長等，秉持工程師的專業與堅持，以堅定的毅力與耐心，一路面對各種困難的地質條件與社會紛紛擾擾的環境，步步為營，「水裡來，火裡去」，終於帶領團隊完成因困難地質條件而舉世聞名的雪山隧道，成就國際級一流工程，為國家留下百年大計的重要工程建設，嘉惠國人與後代子孫。

本期的「薪傳」專欄則有幸訪問到兼具學術與實務、享譽國際，可謂臺灣大地工程界的教父～亞新顧問公司董事長莫若楫博士。編者個人於1982年大學部三年級暑假時，於土木工程實務實習課程曾被分配到該公司進行實習，當時認識了在亞新服務的林永光、鄭在仁、游坤等前輩，耳聞了胡邵敏博士、莫若楫博士大名。因此，大四開學後迫不急待地修習了當時仍在亞新服務歐晉德老師的基礎設計與施工課程，啟發了對大地工程的興趣與熱誠。此次得此機會，參與了地工技術基金會對莫若楫博士的薪傳專訪與對談，倍感興奮與親切，也私下作了功課。整體專訪過程非常順利愉快，亞新公司的周忠仁、黃建忠、蘇鼎鈞三位作者皆作了詳實且完整之記錄，對讀者您所不知道的莫博士畢生絕學及其成就娓娓道來，韋編三絕仍有如沐春風之感受。

本期專輯「分享餐會」的與會報導是由陳江淮董事長整理。分享餐會邀請了轟動地工界武林的廖銘洋與謝玉山兩位處長擔綱，其分別就台灣軟土潛盾隧道及山岳隧道的畢身經驗進行分享，並說明工程師如何能因地制宜軟硬兼施的與生動大地進行對話，彷彿身處台灣四十年來隧道發展史之時光隧道，並看到隧道貫通後曙光。大地工程界老中青三代、產官學好友共同與會，聽得過癮，喝得痛快，此與會報導留下了寶貴的成果，分享給無法出席的地工同好，留下美好的活動軌跡。

本刊能順利出刊，編者首先衷心感謝全體作者在百忙之中撰稿共襄盛舉，不但分享工程經驗與研究成果，讓寶貴的困難案例經驗得以交流與傳承，同時引進新的調查技術、材料、工法，乃至新的觀念，對厚植國內大地工程技術與永續發展盡心盡力。本期專輯，企劃委員會主委張文城董事長期許編者要協助封面及底面廣告贊助商之爭取，編者因此要特別衷心感謝青山工程顧問公司及陳昭維兄、中興工程顧問公司及李民政兄、台北市土木技師公會及洪啟德兄、互助營造公司及郭鑑智兄的鼎力相助，協助編者完成個人視為最艱鉅之任務。最後，編者仍要特別感謝周功台董事長、總編輯歐章煜教授、副總編輯吳建宏教授的督導、審查委員們細心且嚴謹地把關，李碧霞副執行長以及馨瑤的美編與校稿，使得本期期刊得以如期付梓，在此一併致上最大的謝意。