編者的話

蕭富元

主題：裂隙岩體水文地質在大地工程的應用與發展

水孕育了生命，我們的生活離不開水，需要飲水、用水，卻又需要治水、防水，自古以來對於水的調查與研究從未停過。水文學(Hydrology)為研究地球上有關水的生成、循環、分佈、流動及其物理化學特性的學科，而地下水與其流經地層(地質體)關係的研究則屬於水文地質學(Hydrogeology)的範疇，水文地質簡而言之就是「地質」與「地下水」關係的研究。透過水文地質的研究，可瞭解各地區地下水的補注來源、儲存環境、流動、蘊藏量及其管理應用等。應用領域廣泛，包括：坡地工程(岩屑崩塌、地滑)、隧道工程(開挖滲湧水，高水壓)、場址(污染物傳輸、核廢料儲存)、資源探勘(地下水資源、地熱)、捷運工程(區域抽水沉陷)、CO2減碳(二氧化碳地質封存)、蓄水構造物(大壩滲流分析)、海岸地區(海水入侵問題)、地層下陷等。近年來在極端氣候變遷及乾淨水資源匱乏的衝擊下，可應用於地下水資源開發與管理的水文地質學逐漸受到重視，在國際間已是一個熱門的學科。

水文地質學所研究的「地質體」可概分為土體與岩體兩種，土體主要為淺層的地下含水層，地下水沿著土體孔隙介質流動，而岩體地下含水層的通水路徑則包含岩石孔隙、裂隙(包括節理、片理等)、溶隙(石灰岩或大理岩等可溶解性岩石，受地下水長期溶蝕，所產生的溶隙或溶洞)。對於裂隙或溶隙發達的岩體(裂隙岩體)，地下水流路徑與流速將受裂隙長度與寬度所控制，由於裂隙的長度與內寬並非固定不變，裂隙與裂隙間亦不必然連通，導致裂隙岩體地下水流常具有異質(heterogeneity)與異向(anisotropy)特性，加深裂隙岩體地下水問題研究的難度。本領域的研究課題，包括水在裂隙岩體中運動的規律及其受環境(應力、溫度等)影響，從單一裂隙或裂隙組的室內試驗，進展到現地裂隙水力試驗，並透過設備的開發精進，試驗深度逐漸加深；此外亦由場址裂隙幾何特性調查，發展到裂隙統計分析與裂隙網絡水力學模型建立；在分析模擬部分，則透過等效滲透張量與離散裂隙優勢水流的研究，進行區域或場址的地下水流場研究。

裂隙岩體水文地質技術在臺灣仍持續發展當中，其應用除於山區地下水資源開發管理與地下水環境保育之外，在大地工程領域亦有諸多應用，例如山岳隧道開挖出水推估與因應處理、岩坡滲水滑動、放射性廢料地下儲置、CO_2地下封存等，這幾年在臺灣已有一些具體的應用成果，因此本期地工技術乃構思編輯「裂隙岩體水文地質在大地工程的應用與發展」主題，希望與讀者分享臺灣在此領域的進展，並期盼能在既有基礎上持續深化技術。

本期專輯的編輯，感謝產官學各界的熱心參與與協助，共有6間業界企業、7個政府單位、5間學術與研究單位，各自針對所執行計畫或研發成果進行撰稿分享。專輯的第一篇由成功大學資源工程系的李振誥特聘教授、大地資源研究中心林宏奕博士、臺灣中油股份有限公司李禎常先生共同著作。本文提綱挈領裂隙岩體水文地質在臺灣的發展、回顧與展望，由裂隙水文地質的基礎概念談起，進而綜整相關重要研究成果與進程，包括裂隙參數調查分析、破裂岩體滲透試驗、離散裂隙模式分析、有效裂隙網路與優勢水流分析等。文中強調目前雖已有許多商業化的數值模型可供使用，惟分析人員仍需具備裂隙岩體專業知識，以確保分析成果具合理性與適用性。同時亦提醒裂隙岩體因具有高度異質特性，裂隙網路水流路徑難以精確掌握，多方面評估與風險掌握有其必要性。

第二篇著作由財團法人中興工程顧問社的水文地質研究團隊莊伯禹等人共同發表「裂隙岩體水文地質特性調查新思維」，文中介紹三項新調查技術的發展與應用，包括：1.利用無人飛行載具結合質點影像測速法，應用於廣域範圍的滑動體地表岩體特徵及活動性判釋；2.利用可加裝於熱脈衝流速儀的封塞裝置，針對關切重點區段進行地下水流速量測，排除非觀測區段的地下水流影響，以提高試驗精度；3.利用地球化學井測技術，調查地下水的溫度、酸鹼值、溶氧與氧化還原電位的垂直向分布變化，可用以判斷地下含水層位置、地下水流動及水質組成，結合地物井測技術，可擴增探測應用範圍與精度。

第三篇亦為調查技術領域著作，由青山工程顧問股份有限公司的宋家宇等人與行政院農委會水土保持局臺北分局的白朝金先生共同發表「地電阻探測於崩塌地地下水調查之應用」，本篇論著介紹可用於大面積及大深度的地電阻探測技術，以實際案例說明地電阻探測規劃與調查成果。文中並再說明地電阻探測與其他地下水調查技術的搭配結合，可提供崩塌地地下水整治具體參考。由第二篇及第三篇論著，可發現不同水文地質調查技術的搭配結合，可發揮一加一大於二的成效。

第四篇著作由中正大學地球與環境科學系的劉台生教授與曾冠綸先生共同發表「裂隙岩體地下水流數值模擬技術～以格林元素法與其應用為例」，本篇著作係介紹格林元素法(Green element method, GEM)數值分析模擬技術。文中透過岩體離散裂隙網路地下水流數值模擬概念與各種分析模式的介紹，引出作者所提出之格林元素法，此方法係對模擬區域進行空間離散化與細化，雖將增加分析計算量，但透過網格端點模擬介質異質性，可計算裂隙內部水頭變化，期待本方法的實際應用與進一步發展。

在水文地質調查與研究，地下水位為重要且容易被直覺化理解的數據資料，但地下水位的變化除與含水層特性有關外，亦常受季節降雨補注影響。經濟部中央地質調查所林燕初、臺灣海洋大學河海工程學系許世孟教授、財團法人中興工程顧問社陳耐錦等人共同著作「山區季節性地下水位變動潛勢分析」，文中介紹地調所在臺灣中段山區所設置之40座水位觀測井，透過在2017年11月至2019年10月的長期觀測資料，進行乾濕季地下水位變動分析，並檢視地下水位與地層及岩性關係，探討山區地下水的時空動態行為，可提供山區地下水資源評估與開發利用參考。

接著三篇著作均為水文地質在山岳隧道工程的應用情形，涵蓋設計到施工不同階段。交通部鐵道局的高耀宏、陳錦勝與台灣世曦工程顧問股份有限公司的林衍丞等人，以臺灣北部規劃中的鐵道隧道計畫為例，撰寫「山岳隧道規劃階段水文地質調查與湧水量分析案例探討」，文中敘述案例隧道沿線水文地質調查成果，包括遙測判釋、地表地質調查、地電阻探測、鑽孔探查、孔內攝影及地下水氚定年分析，隧道湧水評估係採用經驗法與解析解推估。文中提出隧道可採用全周式防水層設計，以減少隧道營運出水量，降低對周圍地下水環境的影響。

公路總局蘇花公路改善工程處李宗仁、吳明恩、項授青、中興工程顧問社團隊共同著作「山岳隧道施工出水量推估與鄰近地下水資源影響研究」，本篇論著係以具高出水潛勢的蘇花改東澳隧道施工為對象，介紹東澳隧道複雜的水文地質條件，施工時建構三維水文地質概念模式，並配合隧道施工進度，滾動檢討、率定修正模式的適用性，透過情境模式分析，推估隧道未開挖區段200公尺範圍內隧道可能出水量規模，提供施工預先因應準備。本文並說明隧道周遭地下水位的長期監測與水文地質模式分析，探討隧道施工對鄰近區域地下水資源變化，結果顯示隧道施工雖曾一度造成鄰近地下水位出現明顯洩降，但開挖貫通及混凝土襯砌澆築後，在隧道出水量減少及豐沛降雨補注下，地下水位已大致回復。本篇著作的研究前後長達8年時間(2012年~2020年)，研究成果及完整度有高度參考價值。

第三篇工程案例則為臺灣南部的雙車道隧道通風豎井，由台灣世曦工程顧問股份有限公司詹尚書等人、臺灣大學土木系王泰典教

授、交通部公路總局西濱南工程處羅國峯與蘇文崎共同著作之「裂隙岩體水文地質調查防治豎井施工湧水之應用」。本篇論著的通風豎井鄰近溪流匯流處，地下水量豐富，開挖過程遭遇明顯出水問題，乃委託研究單位辦理詳細的地表裂隙調查及鑽孔水文地質試驗，本著作特點為將調查的豎井場址裂隙特徵化，判釋優勢水流路徑，據以提出湧水防治對策，包括岩屑層止水灌漿、裂隙岩體止水灌漿、抽水井設置等。豎井施工期間並進行地下水位觀測、豎井開挖地質與出水量紀錄，提供預測模型回饋及佐證，本篇著作為一個具代表性的隧道豎井水文地質調查與應用案例。

灌漿地盤改良為工程遭遇湧水問題時常採用的技術，目前市場上常用的灌漿材料包括超微細水泥、水玻璃、聚氨酯、環氧樹脂等灌漿材，各有其特點與適用性。本期邀請臺灣西卡股份有限公司陳東揚及新加坡商諾力昂股份有限公司王聖宗、王聖元共同發表「大地材料灌注新技術～奈米二氧化矽基於水文地質的應用」。文中介紹奈米二氧化矽材料，透過其低黏度滲透性、可控凝膠時間、凝膠耐久性與環境親和力等特點，引出奈米二氧化矽材料在水文地質領域的應用。本文並概略說明奈米二氧化矽在芬蘭核廢料最終儲存場、美國Brookhaven國家實驗室、瑞典Törnskog隧道止水灌漿、臺灣淡江大橋案例的應用情形。

工業技術研究院為國內重要的研究機構，本期特別情商工研院綠能與環境研究所陳俊榕等人針對可用於大區域岩層與構造含水層分布調查的大地電磁法，發表「雪山與脊樑山脈大地電磁剖面與裂隙構造探測」。文中以一橫切臺灣北段山區主要構造帶的長剖面與一小區域的短剖面，藉由大範圍與小範圍的電阻分佈，瞭解聲頻大地電磁法於不同尺度的地層分析上之特性。結果顯示雪山山脈與脊梁山脈變質岩區電阻率相對較高，地層儲水性主要由裂隙控制，而若要瞭解更細緻的裂隙分佈，則需在小區域範圍內進行加密量測，以獲得解析度較高的地電阻分佈行為。

富國技術工程股份有限公司曾豊升、何樹根及達欣工程股份有限公司譚國豪等人共同著作「臺中卵礫石層全套管樁之施工性及地下水影響探討案例」，本著作係以臺中某開挖地下10層的逆打建築工程為案例，介紹全套管樁工法在臺中地區大粒徑且高硬度的卵礫石施作情形，工區內並進行鑽孔取樣探查、垂向跨尺度微水試驗、地下水流速流向量測、簡易抽水試驗等水文地質探查，探討地下水對卵礫石層中全套管逆打基樁之影響及其他的施工問題的處理對策。

本期的「薪傳」訪問國內地工界的前輩李建中博士，介紹李博士多變跑道的豐富資歷，分享李博士在各個職位的付出與心得經驗，李博士期許後輩要終身學習、熱誠與企圖心，同時亦不忘品德教育，值得吾人借鏡學習。

地工技術即將屆滿40年，將舉辦一系列地工40照片巡迴展。本期特別將國內近年重要的跨海大橋-金門大橋建設計畫的地工照片，包括海上鑽探平台、樁載重試驗、頂升式平台船施工、鋼箱圍堰等珍貴照片，分享讀者。

本專輯很榮幸獲得長年致力於推動岩體不連續面水文地質研究的李振誥教授惠賜贈言，從臺灣的水文地質環境談起，引出臺灣水文地質遭遇的問題與技術要點，並為未來的發展提出期許，具有「傳承啟航」、「奠石深耕」精神。最後感謝總編輯、編輯委員會及各篇審查委員的細心審閱，逐字斧正，亦感謝基金會編輯群的費心排版、耐心校稿，本專輯方能順利付梓，在此致上編者的由衷謝忱。