贈 言

啟航傳承 奠石深耕

李振誥

李振誥先生，民國六十九畢業於國立成功大學礦業及石油工程學系，民國七十九年獲得美國亞利桑那大學博士學位，同年返國任教於國立成功大學資源工程系，先後擔任副教授、教授、系主任、所長等職。李博士的研究領域涵蓋水文地質、地下水、工程地質、裂隙岩體工程與隧道工程、土木水利工程等，尤其在國內大力推動岩體不連續面地下水流研究與教學，在國際SCI期刊及國內學術期刊所發表論文逾200篇，研討會文章亦超過200餘篇，同時亦出版2本英文學術專書及1本章節專書，被參考引用次數累計超過千餘次，學術成就深獲肯定，民國九十九年獲聘為成功大學特聘教授。李博士在教學與研究之餘，亦熱心推動產學合作與校務發展，民國九十二年擔任系主任期間，同時兼任財團法人礦冶文教基金會秘書長，民國一O一年亦再兼任國立成功大學附設高工校務主任，積極鼓勵學生參與各類檢定與競賽，成效卓越。在極端氣候衝擊之下，臺灣水資源供應穩定性變得脆弱，地下水資源的開發與應用逐漸受到重視，李教授在民國九十八年擔任成大大地資源研究中心主任，著重於地下水資源與岩土水三者互制作用的研究發展，並協助經濟部中央地質調查所推動執行臺灣山區地下水資源調查研究，量化評估臺灣山區地下水資源儲量與可利用量，李教授對臺灣裂隙岩體地下水流研究貢獻殊為楷模。

承蒙地工技術邀約，為「地工技術」第171期專輯主題「裂隙岩體水文地質在大地工程的應用與發展」專寫贈言倍感榮幸，在此與大家分享一些有關裂隙水文地質學的回憶資訊。

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓板塊交接帶，地質環境特性複雜，不同地區具有不同水文地質特性，地下水形成、賦存與循環變化、勘查、開發與保育措施不盡相同，特別在山區的地質構造，往往對整個地下水區域的水壓(水位)、入滲補注及流動起著控制作用。大斷裂或剪裂帶經常將一個地區分割為岩性、構造及地貌差別很大的不同部分，使地下水的形成與分布具有不同的格局，而成為地下水分區的導水通道或阻水的天然邊界。不同形態的褶皺與斷裂，由於組成空間規模不同，形成構造封閉條件不一的地下水含水層，使的各區地下水水量與水質的形成與分布也各具特色。

臺灣在歷經工業與經濟發展，以及全球氣候變遷之下，地下水資源的超限利用，使得地下水在水量或水質方面，均頻臨深層危機，例如，雲彰地區與高屏平原地區地下水的長期超量使用，產生嚴重地層下陷，影響部分區域高速鐵路運行，亦導致濱海地區海水入侵與土壤鹽化等問題。其次，板塊互相擠壓摩擦產生高溫高壓，使地熱長期累積在山區岩體，加上臺灣地區擁有豐沛雨量，雨水降到地面後沿著裂隙或破碎的岩層滲入地下，經過異常地溫梯度或岩漿餘溫加熱，產生了溫泉等豐富地熱資源，然而有些溫泉區的人為超限利用，導致溫泉量減少。再者，臺灣島主幹的中央山脈岩區或其他山區，受板塊縫合帶大地應力擠壓或剪切，易產生裂隙、剪裂帶或斷層，加上降雨入滲，可能導致地層滑移、錯動或形成地下水流通，對所進行鐵路、公路、隧道或沿線邊坡穩

定工程等，造成工程災害或不穩定。

地下水是珍貴的自然資源，要充分合理利用且有效防治的關鍵課題，就是地質與地下水。水文地質學(hydrogeology)是研究形成、埋藏、水質水量和流動於地面下不同深度土層與岩石空隙分布規律的水科學。水文地質學常把地質材料區分為孔隙介質(例如砂岩、泥岩、礫岩等)、裂隙介質（例如板岩、片岩、玄武岩等）與岩溶介質(例如大理岩、石灰岩、鹽岩等)等三種介質，配合含水層與阻水層劃分，來討論地下水的賦存、分布和運動特點。由於地質中有許多斷層、節理、裂隙、不整合面等，統稱為不連續面(discontinuity)或構造面(structure plane)，或稱為裂隙(fracture)或弱面(weak plane)。正是這些不連續面存在的裂隙岩體或地質，使水在裂隙流動中的岩石力學、被稱岩石水力學(Rock Hydraulics)，其相對於水文地質則被稱為裂隙水文地質學(fracture hydrogeology)。裂隙水文地質學是研究地下流體在裂隙地質之它們作用，是水文地質學的一分支。其相對岩石水力學是研究水在裂隙岩石(fractured rock)中運動規律的科學，是岩石力學的一個分支。

臺灣有關水文地質學，早期以抽取地下水的淺層含水層為主，而對於整體水文地質的研主要係起自於1992年至2008年經濟部水利署與中央地質調查所共同推動「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」，分為三期17年，辦理全臺主要地下水區之地下水觀測網建置與維護、水文地質調查、水位觀測與水質監測等，地下水觀測系統與長期觀測，但此階段成果主要集中於平原與丘陵區域；自2000年至2021年間，經濟部中央地質調查所於進行「臺灣山區地下水資源調查研究整體計畫」分北、中、南段三期，進行山區水文地質調查與地下水觀測站建置，以瞭解臺灣山區地下水系統之調蓄功能、瞭解麓山帶與平原區地下水之交互作用、評估山區地下水資源及具開發潛能之區域、建構山區水文地質及地下水資源基礎資料庫，同時，對理論成果的檢驗，通過試驗求得裂隙岩石有關水力學參數，已有豐碩成果，以作為山區水資源調配、保育管理及永續經營策略運用之依據，於此開始對裂隙水文地質學重視。

無論與學界或實務大地工程界，對於岩體滲流分析，常使用土體滲流理論來概念化處理水文地質裂隙岩體中的地下水運動規律問題。由於土體滲流基本理論，是把土體視為孔隙介質且視為連續介質，是附在連續介質的概念上的，然而對岩體而言，完整岩塊(intact rock)滲流的滲透係數大致很小，水在岩體中的運動主要是在裂隙中的流動，惟自然岩體中存在這些不連續面，使其力學與水力行為呈現異質性(heterogeneity)與異向性(anisotropy)，當岩體受孔隙壓力作用，導致有效應力降低，造成剪力破壞，而應力之作用則會造成裂隙閉合或膨脹，而影響岩體與裂隙兩者之間滲流量互相耦合，此種裂隙水流常造成大地工程分析與相關工程設計的困難。

1940年代的蘇聯學者針對地下水在裂隙岩石中的運動進行縫隙水力學試驗研究，其後西方學者，如Snow於1966年進行裂隙透水介質的平行板模型研究，Louis於1967年在德國卡爾斯魯大學完成有名的裂隙岩石三段壓水試驗專利。20世紀80年代以後，歐美國家對岩石裂隙水力學的研究形成，至今經久不衰，目前國際對此方面的研究除基本理論外，應用領域主要偏重於水資源及環境問題，臺灣此方面研究相對較晚，本期地工技術以「裂隙岩體水文地質之大地工程」為主題，我們看見臺灣當代學者與專家，從裂隙岩體水文地質角度，提出在臺灣大地工程的運用發展、回顧與展望，內容包括大地電磁與地電阻探測技術於臺灣山脈裂隙構造探測、山區地下水資源調查評估、隧道與豎井於裂隙岩體水文地質之湧水調查、地下水流數值模擬技術、裂隙網絡灌注新技術等，相當具有實務見解。臺灣位於板塊交接帶，裂隙必然存在，尤其變質區岩石存在甚多裂隙構造面，加上豐富的降雨量，這些對岩石大地工程行為影響甚大，冀望在可見的未來，裂隙水文地質專業將需求日增，國內能採取積極的有計畫的調查、研究與分析，對於存在裂隙構造之臺灣山區水文地質環境，能建立整體架構建立清晰的輪廓，經由整合地質與水力特性資料，達成有效管理與永續經營的目標，謹以此文與大家共勉。