



台灣山區地下水資源探勘 — 潛藏台灣山區地下的保命水

許世孟／財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心水文地質調查組組長

柯建仲／財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心水文地質調查組研究員

冀樹勇／財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心經理

林燕初／中央地質調查所資源地質組技士

黃智昭／中央地質調查所資源地質組科長

王詠絢／中央地質調查所資源地質組組長

水資源是二十一世紀人類所面臨最重要的課題之一，聯合國於 2009 年 3 月發表世界水資源開發報告（World Water Development Report）[1] 指出，人口激增、氣候變遷、不顧後果的灌溉方式和長期性浪費，對世界的水資源供給造成威脅。若水資源變成難以取得，將導致貧窮和爭奪，增加發生動亂與衝突的可能性。因此，水資源日漸匱乏的問題必須提早加以因應。被聯合國列為世界排名第十八位缺水國家的台灣更須正視此問題。台灣目前面臨到的水資源危機主要來自水庫興建受阻、既有水庫之庫容與使用年限日減及平原區地下水的不當使用等。這些不利因素將導致國家長遠經濟發展停滯、人民生活用水匱乏、地層下陷災害、洪水與土石流災害。除了加強水資源的管理外，另外在台灣山區佔了全島面積的三分之二的條件下，屬於平原區重要補注來源的山區，究竟蓄涵多少地下水資源，是否有可以替代性之水資源，並成為在無其他水資源可利用情況下，維繫台灣之保命水，值得進一步研究。

山區地下水資源的重要性

在過去，臺灣地區通常針對區域天然地下水資源進行評估時，多以「可開發利用之地下水資源」的觀點來進行分區。理所當然地，所進行之地下水資源評

估或是估算，也是僅止於平原地區，對於山區甚至於麓山地帶，則根本是忽略不計的。水資會 [2] 將臺灣地區之地下水資源，按區域概況分成九區，而其區域範圍則皆以平原地區為主，或有包括部份麓山帶、丘陵區者。然而，地下水資源之蘊含潛能，山區則扮演著相當重要的角色，尤其全臺灣地區內有 2/3 的面積是屬於山區。黃金山（1995）「地下水經營的演變及今後的策略」中亦明白指出 [3]：今後對地下水的關心不能僅注重在平原地區，尤其在平原的河川及地下水均遭污染而不復適合當作吾人飲用水水源時，對於山區，特別是未受污染的地下水應早日加以切實的保護，以保障今後國民的民生用水不虞匱乏。

在國外，許多國家在進行區域地下水資源評估時，於山區部份皆有諸多的考量，例如：美國、俄羅斯、中國大陸等國家。中國水利電力部水文局（1987）[4] 於「中國水資源評價」中所提及：『… 山區計算面積為 6,790,906 平方公里，水資源量估計為 6,762 億立方公尺，平原區計算面積為 1,983,802 平方公里，水資源量為 1,873 億立方公尺 …』。由此可見，存在於山區的天然水資源量並不亞於平原地區，甚至有超出平原區者。

在現代工商產業高度發展，各標的用水需求增加，而平原地區又因遭受人為嚴重污染的情況之下，

對於山區地下水資源應需儘早掌握，瞭解其水文特性及可歷久使用而不致產生任何影響之前提下，可能永續使用之最佳質與量。因此，評估區域天然地下水資源的蘊含量，除了平原區之地下水資源的蘊含量，山區的地下水資源蘊含量的評估乃為區域天然地下水資源評估工作的一個重要課題。

台灣山區水文地質調查研究的重要性，由近年的一些研究成果及地下水引致之困難工程案例，更加凸顯出來，且同時顯示出此項工作的急迫性。據估計台灣全區天然地下水資源，在總蘊含量 17,332 百萬立方公尺內，有 72% 是屬於在山區蘊含的部分，而在平地的地形區則只有不到三成的蘊含量；雪山隧道是在台灣山區開鑿的隧道，遭遇到嚴重地下水問題的一個最典型的案例，該隧道每天之湧水量平均高達 8,640 噸，在施工過程中曾經發生之最大湧水量更曾高達每小時 540 噸，可見山區原生的地下水條件，可能會嚴重牽制重大工程建設的進度 [5]；另外，由屏東平原不同地下水層之補注研究資料發現 [6]：單由山區河水補注的比例即佔 33.1 ~ 53.8%，且越是深層的含水層，由山區河水補注的比例越高，由此可知，對於地下水補注區的保護，山區確是不能忽視的重要區域。近幾年在經歷夏天的颱風豪雨屢次造成的邊坡滑動、土石流等天然災害之後，提醒國人應提高山區國土保育的意識，其實山區的淺層地下水在這些邊坡滑動、土石流災害案例中，通常扮演關鍵的角色；最近溫泉熱潮開啟後大量深層溫泉孔的鑽鑿，更是近年讓我們不得不加強關注山區地下水的來龍去脈。如果不儘早開始山區水文地質的調查研究工作，不僅無法採取有效防治災害發生、避免工程災難出現的前瞻手段，更可能因為欠缺相關的基礎資料與知識，而無法善盡保育與守護水土資源的責任。

國內山區地下水資源調查研究的現況

針對山區地下水資源調查與評估工作，政府於「96 年度政府科技計畫優先推動計畫首長協調會議」，已建議將「台灣山區地下水資源調查研究計畫」列入經濟部優先推動計畫；並於 96 與 97 度委託中央地質調查所辦理 2 年「台灣山區地下水資源調查研究先期計畫」。其中，先期計畫在兩年內分別選擇清水溪集水

區及眉溪集水區為試驗區，進行水文地質調查及地下水資源評估研究。計畫初步成果指出 [7,8]：(1) 山區豐沛地下水資源常蓄積於山間盆地內，山區地下水資源蘊含區域應持續追蹤調查；(2) 西部台地地區，因由膠結程度較差的砂礫石層組成，雨水易入滲蓄積豐量的地下水，且地勢對比於西邊的平原區，成為區域性地下水位高區，此區地下水的蘊含量及對平原區的側向補注機制，為日後研究的重點；(3) 山區麓山帶上、中新世岩層具孔隙、裂隙介質特性，由先期計畫於清水溪試驗區調查結果，初步概略岩層水力特性的調查方法及水文地質參數範圍，目前麓山帶岩層其地下水儲蓄及流動水力特性等資料缺乏，須加強調查以釐清麓山帶岩層水力特性；(4) 山區變質岩區除於岩體不連續面出現稍高的滲透性外，整體滲透性極低，局部可因構造或裂隙發達而具有地下水蘊含潛勢，值得進一步研究，並探討地質構造對地下水流場的影響；(5) 整體山區淺部岩層因受應力及風化作用，形成一淺部破碎帶，提供山區雨水入滲、蓄涵及流通的空間，並穩定滲出成為河川基流量之來源，對河川生態支撐及平原區地下水水量之補注具有重要地位，此項地下水資源，可藉由調查伏流水潛勢區並設置集水廊道予以取用。依據兩年先期計畫研究成果，中央地質調查所於 98 年度向經濟部提出 12 年分區分期之「台灣山區地下水資源調查研究整體計畫」，並已獲得經濟部支持第一期之計畫（計畫執行期間：99 ~ 102 年）。該計畫針對台灣中段山區進行調查研究，規劃四項分支計畫，內容包括基礎資料調查、週期性觀測資料建立、資訊分析評估與模擬，以及資料庫建置工作，此計畫推動主要達成目標為：(1) 瞭解台灣山區地下水系統之調蓄功能；(2) 瞭解地表水與地下水交互作用，藉以評估山區地下水資源補注源與補注效益；(3) 瞭解麓山帶與平原區地下水之交互作用；(4) 建構山區水文地質及地下水資源基礎資料庫；(5) 綜整分析山區各種調查與試驗成果，繪製中部山區水文地質圖；(6) 評估山區地下水資源及具開發潛能之區域，以供水資源調配及開發策略之用。因此，國內已針對此研究課題，開始展開調查工作，未來有機會帶動國內產、官、學、研投入能量進行山區水文地質與地下水相關研究，解決水資源取用匱乏的問題。

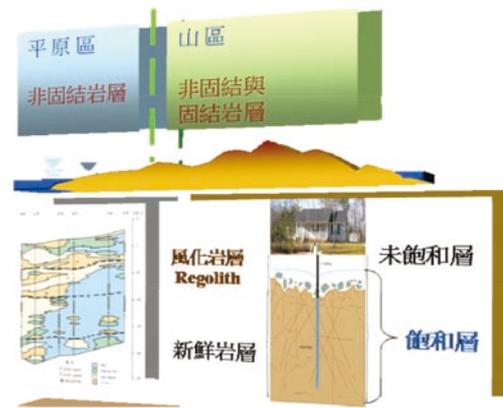
平原區與山區地下水資源調查技術的差異

儲存地下水之含水層位置，依其岩性及水文地質特性，可分為非固結岩層（Unconsolidated rocks）與固結岩層（Consolidated rocks）兩種。非固結岩層為未膠結而鬆散的岩層，彼此顆粒與顆粒間未膠結，包括：黏土、砂、礫石及紅土等，分佈於現代沖積層、河階地及台地堆積等地區；固結岩層為膠結甚固之岩層，岩層可能受到成岩作用或變質作用等，包括：沈積岩（砂岩、頁岩、礫岩及石灰岩等）、變質岩（板岩、硬頁岩、千枚岩、片岩及大理岩等），以及火成岩（安山岩、花崗岩及玄武岩等）。一般而言，未固結岩層之地下水主要儲存於顆粒間的孔隙中，而固結岩層之沈積岩亦是；在固結岩層中，變質岩、深成岩等，地下水則主要儲存於風化岩層（Regolith）、斷層、裂隙及部分孔隙等 [9]。

過去臺灣地區之地下水研究多著重在於平原之九大地下水區，對於山區地下水資源的相關研究則甚少。賦存在山區之地下水的水文流場與產狀非同於平原區，通常流竄於岩石孔隙與裂隙中，尤其台灣山區地質環境複雜，地質構造（例如斷層）對地下水流動特性往往也扮演主宰角色，故山區地下水資源調查與評估方法將有別於平原地區，包括基礎調查內容、現地調查技術、地下水評估模式、水文地質圖幅呈現方式、地下水觀測站網布置方式與重要探討議題方向等。

水文地質調查站布置

在山區透過地質鑽探，設置水文地質調查站，可以瞭解地表下水文地質狀況，進而規劃孔內相關水文試驗與後續山區地下水觀測井網的建置。由於山區幅員遼闊，在有限的經費下要達到如平原區地下水觀測網的設站密度，在進行新興的研究議題初期階段有其困難，以台灣中段山區地下水資源調查研究整體計畫（1/4）為例，99 年度計畫範圍面積約為 1530 平方公里，由於計畫經費的限制，水文地質調查站數量，僅能規劃 26 處，遠不及平原地區設站的密度。因此，站址布置工作亦顯重要。規劃原則應盡量使每一挑選站址之設置功能與目的性提高。配置重點包括：(1) 涵蓋

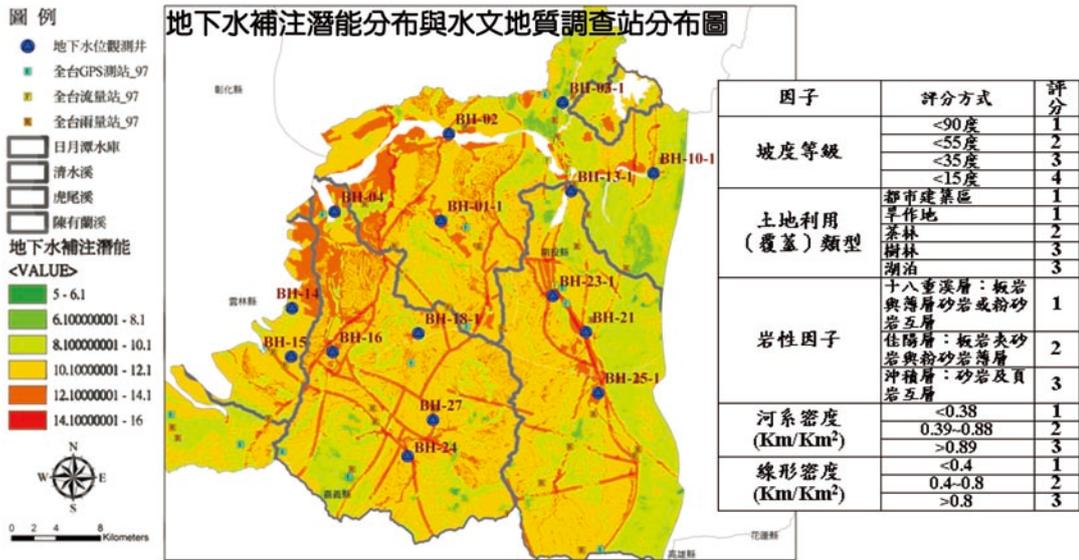


含水層分層特性差異

	平原區	山區
尺度與單位	● 9 大平原區	● 集水區流域
水文地質調查與評估	基礎調查內容	● 岩心紀錄 ● 岩心紀錄及地表地質調查相輔 ● 另著重裂隙弱面之量測 ● 地層對比與研究 ● 不同水文地質單元調查 ● 風化岩層厚度調查 ● 風化岩層、新鮮岩盤之分層調查
	試驗技術	● 地球物理井測 ● 抽水試驗、微水試驗 ● 封塞試驗、孔內裂隙位態、波速及地下水流速調查 ● 沈積物、孢粉與化石等分析 ● 礦物 X 光繞射與薄片等分析 ● 衛星影像熱紅外光波段，判釋湧泉位置
	評估模式	● 含水層與阻水層之分層研究 ● 飽和層與裂隙含水層之劃分與調查 ● 河道伏流量量測、集水廊道評估 ● 等效孔隙介質模式 (EPM) ● 等效孔隙介質模式 (EPM) 與地下岩層裂隙分布離散破裂面網路 (DFN) 混合模式分析
	圖幅	● 水文地質剖面圖 ● 水文地質房狀圖 ● 水文地質單元劃分 ● 山區水文地質圖
地下水觀測站網建置	● 井或田字布置 ● 沖積層地下水觀測深度及分層研究	● 考量流域上至下游、及不同地質單元等原則布置 ● 風化層與岩層之分層觀測
重要議題	● 重要地區地下水調查與補注試驗 ● 地層下陷監測研究 ● 地下水與海水交互作用之研究	● 重要地質構造之水力特性研究 ● 麓山帶與平原區之側向補注研究 ● 地面水、地下水及深層含水層之交互作用 ● 地下水動態行為分析 ● 山區水資源開發潛能評估與保育

平原區與山區地下水資源調查方式與研究課題之差異

較多地層及特殊地質構造區域；(2) 結合其他監測資料站之區域，例如：雨量站、流量站及 GPS 測站等，以便日後建立降雨量、河川流量及地表位移量與地下水位變化之關係等延伸性研究；(3) 考量河川流域單元，依流域上游至下游平均配置，可瞭解地下水位在流域內不同區域動態行為變化及 (4) 結合計畫區域內地下補注潛能分區圖，評估富含地下水高潛勢區域。最後再透過現地調查檢核施作可行性，包括交通可及性、施工作業用地及用水、用地取得、站址安全性（是否暴露於土石流、山崩及洪水等災害區域與易遭受人為蓄意破壞的站址）等問題。

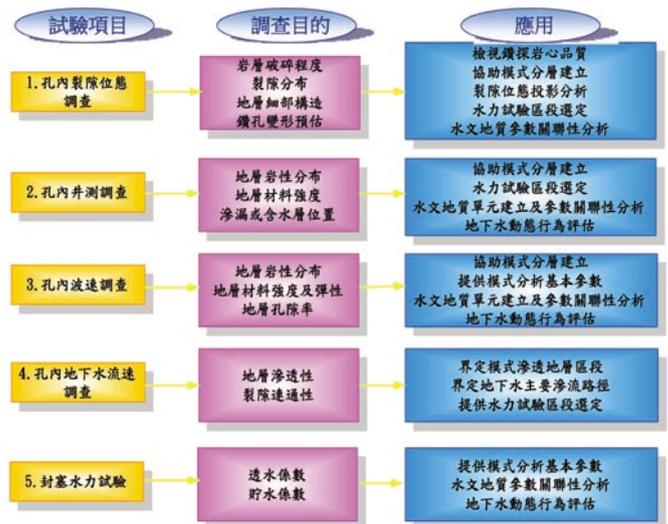


應用 GIS 技術結合不同地下水位補注影響因子，製作研究區域內之地下水補注潛能分布圖，評分大於 12 分視為地下水補注來源較豐富地區

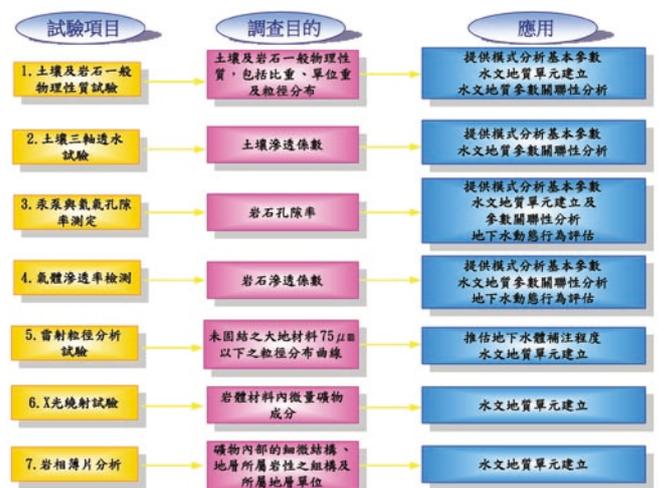
山區岩層水力特性調查

山區地下水資源潛勢調查首要且關鍵工作，即是透過山區地下岩層水力特性之調查，藉以瞭解地下水在裂隙岩體之流動特性及各種岩層儲水能力，進而利用地下水資源分析模式評估潛在地下水資源蘊含量。由於台灣山區之地質構造複雜，岩層部分之岩質脆硬且受大地應力擠壓效應，致岩體破裂、節理發達，山區水文地質特性往往較平原地區複雜，在進行相關調查工作須要運用適合於山區的調查技術。

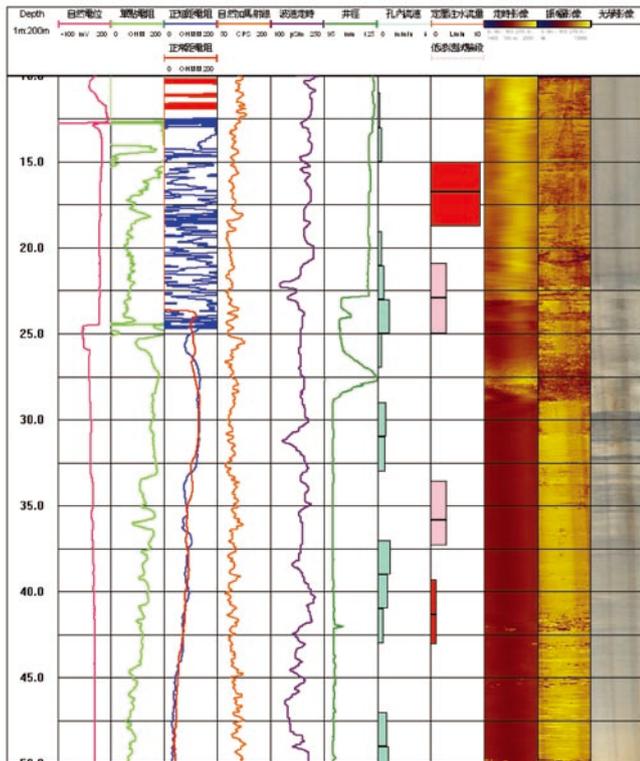
首先，經由地質鑽探取樣作業所鑽取之未固結與固結材料，進行室內試驗分析，包括土壤與岩石一般物理性試驗、土壤三軸透水試驗、汞泵與氮氣孔隙率測定、氣體滲透率檢測、雷射粒徑分析試驗、X 光繞射試驗以及岩相薄片分析等，藉以瞭解地層中固結與未固結土岩材料之水文地質參數，並進一步針對研究範疇內區域地層之地下水體動態與均衡、儲水空間與補注能力，進行通盤性的了解，作為後續相關研究之依據。此外，由於山區地層存在諸多複雜構造及岩性差異，往往導致所對應的水文地質特性也隨之不同，如能透過試驗的探測來獲取水文地質參數，除可降低水文地質的不確定性外，亦提升了後續模式在分析上之準確度。有鑒於此，每一個水文地質試驗場址可規劃進行多項孔內水文地質試驗，包括孔內裂隙岩體位態調查、孔內井測調查、孔內波速調查、孔內地下水流



孔內水文地質試驗項目、調查目的與應用說明



室內試驗項目、施作目的與應用說明



不同井下探測方法之成果整合

速流向調查、以及封塞水力試驗等，對於瞭解地表下水文地質狀況，提供水文地質模式分析使用、協助地下水觀測井層次與深度研訂等皆有很大幫助。最後藉整合以上多項試驗結果，可進行試驗資料綜合分析，藉以評估台灣山區之水文地質特性，瞭解水文地質參數與風化岩層厚度、不同地質單元、地質構造及孔隙率間之關聯性，並可提供山區水文地質單元建立與重要地質構造水力特性分析模擬之用，期能更準確達成山區水資源之探查工作。

山區地下岩層水文地質單元建立

水文地質系統中地下水流動之模擬，通常需根據現場地質特性及水文地質邊界條件建構場址之概念模式，以作為地下水流動模擬之基礎。為能成功轉換概念模式成為數學或物理模式模擬之基礎，必須有一精度與數量均能滿足模擬需要之資料庫，以提供相關水文地質條件，包括水文地質單元 (Hydrogeologic units) 以及水文地質參數，包括水力傳導係數 (Hydraulic conductivity) 與儲水係數 (Storage coefficient) 的空間變化等。一般而言，水文地質單元之劃分主要依據地質單元 (Geological units) 劃分之結

果，具有相同水文地質特性之單元，則可合併成為單一水文地質分區 (Domain)。根據國內、外相關調查程序與準則，可透過以下工作項目，進行建立山區地下岩層水文地質單元：(1) 現地野外露頭之地質調查：野外地質調查工作於鑽孔位置周圍之地表露頭，進行岩層的調查以及岩石裂隙的紀錄與量測，並將地調所五萬分之一地質圖與野外調查成果進行整合；(2) 岩石礦物組成之分析：由現地取樣之岩石標本，進行室內之岩象薄片分析與雷射粒徑試驗，以獲取各地質單元之岩石礦物成分、組織及粒徑大小等分析成果；(3) 水文地質特性之試驗與分析：將現地岩石採樣之標本進行岩心取樣，透過室內汞泵與氮氣孔隙率測定試驗，以及現地孔內波速度量測，以獲取各岩樣之孔隙率。此外，透過相關水力試驗，以求取井出水率及滲透係數等水文地質參數；(4) 水文地質鑽探岩心紀錄與含水層厚度之劃分：透過水文地質鑽探之岩心鑑定與紀錄，詳細記錄岩心沈積物分類、顏色代號、岩石組成、岩石品質標準 (RQD)，及裂隙描述等，並由孔內井測成果，獲取各鑽孔位置之地下含水層厚度，以利相關地層柱狀圖之繪製等工作；(5) 地下水蘊含量：根據試驗分析之孔隙率、含水層厚度及相關抽水試驗等成果，初步推估各鑽孔地下水蘊含量，以作為水文地質單元劃分之參考依據；(6) 水文地質單元之建立：整合地質單元與各項水力特性之調查與分析成果，包括：岩性、岩石礦物組成、地下岩層孔隙率、含水層厚度、地下水蘊含量、水文地質參數 (水力傳導係數與儲水係數) 之成果，以建立水文地質單元，並描繪各水文地質單元之屬性，包括分類、編號、符號、水文特性及岩石描述等。



水文地質單元建立流程

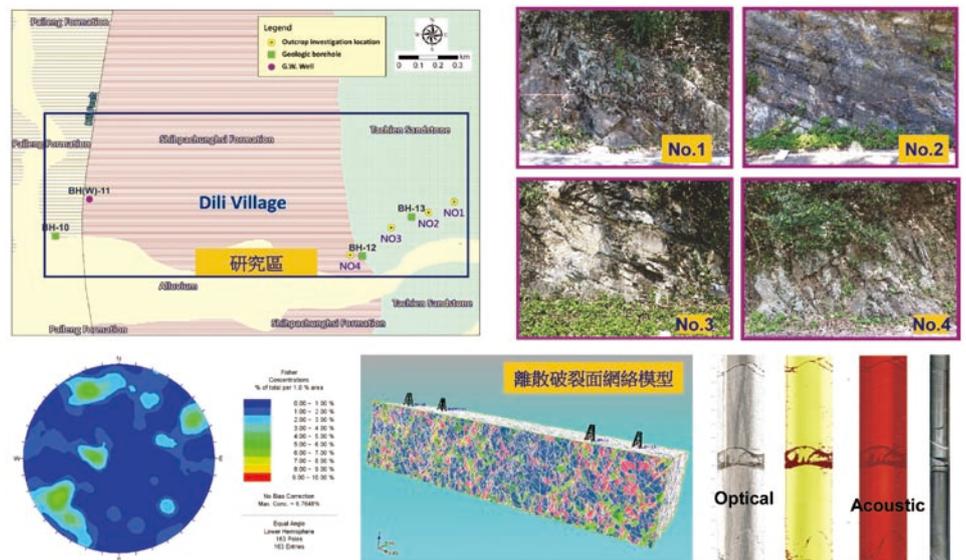
山區重要地質構造水力特性分析與評估

由於台灣山區地質環境複雜，地質構造對地下水流動特性往往扮演主宰角色，在山區地下水資源開發應是相當重要的一環，因此地質構造對於地下水蘊含量與流動行為之影響有詳細瞭解的必要。此分析工作須仰賴完整的地質露頭調查與現地試驗及孔內水文地質調查資料進行分析建模，若能掌握地質露頭調查技術與現地試驗技術，即可建立符合現地情況下之地下岩層離散破裂面網路模型，進而分析地下水流路徑與孔隙水蘊含量等水力特性。各項分析與評估工作項目流程分述如下：(1) 地表與重要地質構造裂隙位態調查：於重要地質構造區域選擇一範圍進行地表露頭之位態調查，包含：裂隙位態、組數、裂隙痕跡線長度、間距等資料，並利用孔內攝影與孔內波速調查獲取重要地質構造區之裂隙岩體的位態、間距、孔隙率等資料。(2) 含水層厚度：於重要地質構造區鑽孔處，利用孔內井測進行調查，由調查成果獲取重要地質構造區含水層之位置與厚度。(3) 水文地質參數調查：利用封塞水力試驗、孔內攝影調查、孔內流速與流向調查之成果，獲取重要地質構造區之地下岩層水文地質參數。(4) 風化岩層厚度 (Regolith thickness) 調查：針對在重要地質構造區鑽孔所獲取之岩心來求取風化岩層厚度。(5) 離散破裂面網路模式 (Discrete Fracture Network, DFN)：利用第 1 ~ 3 項之調查成果，搭配裂隙岩體模擬分析程式 FracMan 之模組產生符合現地真實地下岩層裂隙分布之離散破裂面網路 (DFN)。(6) 等效孔隙介質模式 (Equivalent Porous Media, EPM)：利用第 4 項獲取之風化岩層厚度，以 FracMan 程式產生風化岩層之等效孔隙介質模式 (EPM)。(7) 建立混合分析模式 (Hybrid approach)：整合離散破裂面網路與等效孔隙介質模式來建立重要地質構造區之混合分析模式，此模式主要結合風化岩層與地下

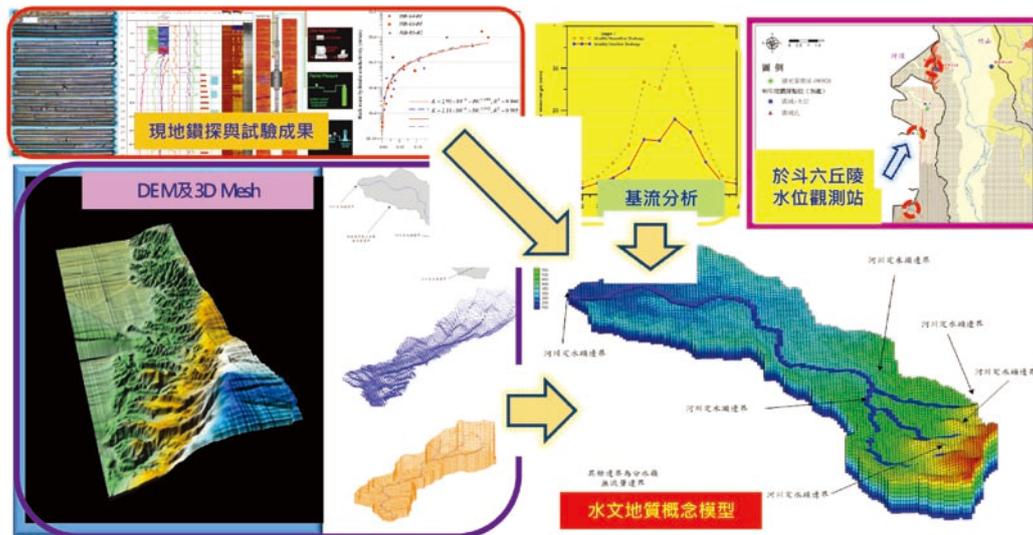
裂隙岩層之分布來建立，藉由此模式，可探討風化岩層與裂隙含水層間的地下水流動機制。(8) 重要地質構造區之地下水流動機制：利用流速與流向調查、孔內井測成果，搭配 FracMan 程式建立之混合分析模式，探討地下水流動機制，包括：風化岩層與裂隙含水層間之地下水互動機制、地下水孔隙蘊藏量與重要地質構造對地下水流動機制之影響。

重要水文地質邊界地下水流動行為分析與評估

進一步釐清山區至平原區地下水文循環的全貌為山區地下水資源調查研究的重點。為切確掌握山區至平原區之邊界 (重要水文地質邊界) 地下水交換行為，須於研究範圍內進行水文地質鑽探與地下水位觀測井建置，透過鑽探與現地試驗成果，並配合觀測井水位變化建構地下水分析模式，可將調查成果由點狀分布擴展至面或是空間分布，以確認調查範圍內之地下水流動特性。以台灣中段山區地下水資源調查研究整體計畫 (1/4) 為例，位於麓山帶與平交界之斗六丘陵為此議題重要的研究區域，藉以瞭解其對平原區側向補注行為與補注量體。各項分析與評估工作項係透過既有水文地質調查成果資料，結合水文地質邊界條件、水文地質概念模式、與水文地質參數率定成果，再利用三維流動分析模式，進而探討重要水文地質邊界地下水流動特性、流場分布、及含水層之側向補注與層間補注之機制。



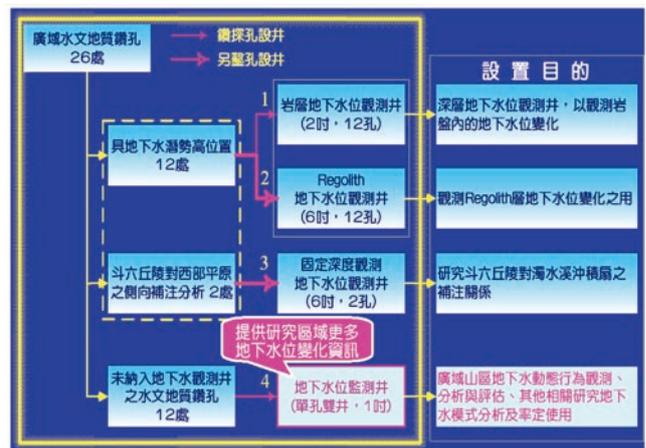
透過露頭調查與孔內攝影調查資料及 FracMan 程式產製離散破裂面網路模型



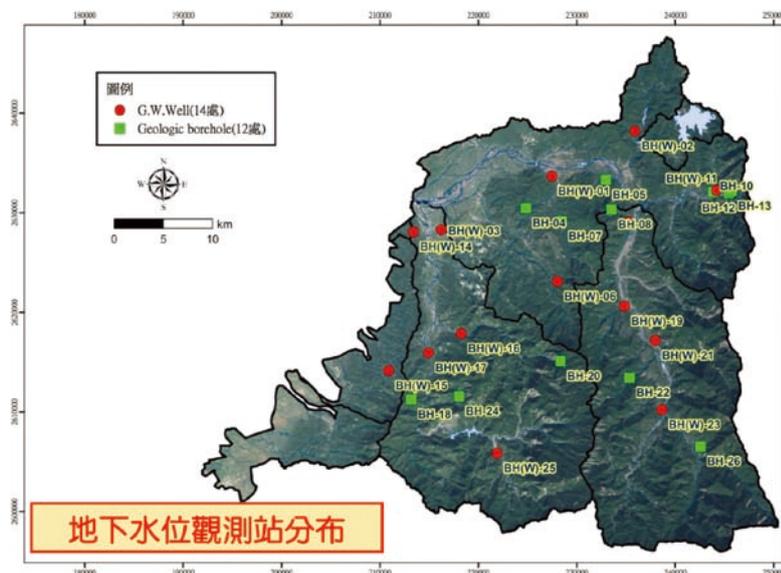
斗六丘陵之水文地質概念模型建立流程

山區地下水位觀測井建置

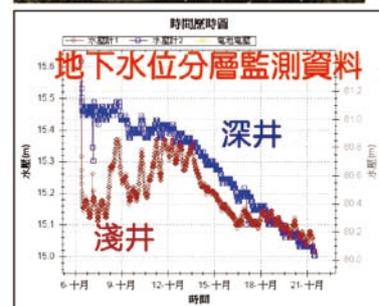
地下水位觀測井建置之主要目地為建構山區地下水資源觀測井網，藉此監測山區地下水資源，同時瞭解山區降雨對地下水補注的影響、地下水成分的交互影響、水質的穩定度及地下水季節性的波動。其監測範圍與建置深度，係針對台灣山區與麓山帶地區，分別對風化岩層和裂隙基岩層之地下水位進行監測作業。因此，於研究區域監測範圍內之地下水高潛勢區域進行鑽探，以取得山區不同地層的風化岩層深度與新鮮岩盤位置，再利用抽水試驗獲取含水層的水理參數，進而分析含水層屬性特徵，並結合各地質單元做



台灣中段山區地下水資源調查研究整體計畫 (1/4)，地下水位觀測井布置概念



台灣中段山區地下水資源調查研究整體計畫 (1/4)，99 年度地下水位觀測井分布、站體及地下水位分層監測資料



關聯性分析，最後建置成為地下水觀測站。以台灣中段山區地下水資源調查研究整體計畫（1/4）為例，99年度共於研究區域範圍內 26 處鑽孔依據不同目的建置分層地下水位觀測井。

未來展望

受到全球氣候劇烈變化，台灣的地面水文環境產生極大的變化，極端水文事件頻率增加，以致水資源之利用更加困難，水資源匱乏現象愈加明顯，而地下水環境也受到影響。山區是否有替代性之地下水資源，其與平原地下水資源之互相關聯性質，均是亟需進行調查與研究的課題。

透過山區水文地質調查與評估、山區地下水觀測站井建置，可以釐定山區水文地質架構，並據以評估地下水資源的蘊含外，進一步能掌握其與平原區的地下水系統的交互關係；建構山區水文地質資料庫，並評析出山區地下水資源取用潛勢、區位及方式，以研擬永續經營策略，有助於提早因應氣候劇烈變遷對台灣水資源所引致之影響。

台灣山區地下水資源整體調查工作，除了本身以探查山區地下水潛在蘊藏量為目的外，山區水文地質調查所建立基礎資料成果（例如：地下水位、風化岩層厚度、地下水層層數與厚度、岩層孔隙率、岩性、岩體破碎程度與導水係數、儲水係數、單位洩降出水量等水文地質參數）於工程應用上，有助於瞭解山區岩盤開挖工程面臨可能因地下水引致之工程災害，提供施工單位擬定因應策略。此外，二氧化碳地質封存研究中關切的岩層孔隙率與透水性等基本資料，山區水文地質調查成果也可提供其研究分析使用。

國內已針對山區地下水資源調查此研究課題，開始展開調查工作，並累積山區地下水資源調查所需之人力、設備、技術、與經驗。但畢竟國內的專業人力，甚少具有執行類似計畫的經驗、專精於山區水文地質與水力學方面的研究，未來除利用國內產官學界的人力資源外，並可藉由已具有的合作關係，引進國外的先進技術與經驗；藉由邀請具有山區地下水資源調查、開發經驗之國外專家學者參與計畫，以迅速解決國內在此方面有關人力與經驗不足的問題，並提升我國山區地下水資源調查技術。

參考文獻

1. UNSCO, "Water in a challenging world," The United Nations World Water Development Report 3, London, United Kingdom, pp. 1-394 (2009).
2. 經濟部水資源規劃委員會，「台灣地下水文地質圖」（1986）。
3. 黃金山，「地下水經營的演變及今後的策略」，地下水資源及水質保護研討會，第 185-200 頁（1995）。中國水利電力部水文局，1987，中國水資源評價。
4. 中國水利電力部水文局，「中國水資源評價」（1987）。30. 交通部台灣區國道新建工程局，2000 年，北宜高速公路施工階段坪林隧道湧水問題評估調查服務工作 — 第三期評估調查報告。
5. 交通部台灣區國道新建工程局，「北宜高速公路施工階段坪林隧道湧水問題評估調查服務工作 — 第三期評估調查報告」（2000）。
6. 江崇榮、汪中和，「以氫氧同位素組成探討屏東平原之地下水補助源」，經濟部中央地質調查所彙刊，第 15 期，第 49-67 頁（2002）。
7. 財團法人成大研究發展基金會，「臺灣山區地下水資源調查研究先期計畫 96 年度計畫 — 水文地質鑽探及孔內水文試驗分析研究計畫」，經濟部中央地質調查所（2007）。
8. 財團法人成大研究發展基金會，「臺灣山區地下水資源調查研究先期計畫 97 年度計畫 — 水文地質鑽探及孔內水文試驗分析研究計畫」，經濟部中央地質調查所（2008）。
9. Singhal, B. B. S. and Gupta, R. P., Applied hydrogeology of fractured rocks, Kluwer Academic Publishers, p. 400 (1999).
10. Daniel, C. C. III and Dahlen, P. R., Preliminary hydrogeologic assessment and study plan for a regional ground-water resource investigation of the blue ridge and piedimont provinces of North Carolina, USGS, Water-Resources Investigations Report 02-4105, p. 60 (2002).