

山區農村部落環境資源永續發展之調查研究-以雲林縣古坑鄉為例

林榮潤*許世孟**黃俊傑*

摘要

隨著全球氣候的變遷，各地區天然災害發生頻繁；此外，由於極端氣候的影響，使得降雨量在時空分布上更不均衡，故淹水與乾旱等災害著實影響農業的發展，以及危害農村社區居民的生命安全與財產。有鑑於此，為促進農村社區永續發展，除了軟硬體的建設方面，其相關的環境地質與水資源等基礎調查與監測，應有完善的調查與研究，以提供農村社區整體規劃之參考。

本研究區選在雲林縣古坑鄉，其行政邊界東西向橫跨北港溪上游平原區、斗六丘陵、以及清水溪草嶺區段的山區，使得古坑鄉的人文與自然資源豐富，因此當地農村居民仰賴地方特色，在平原區摘種許多葡萄柚、柑桔、鳳梨等果樹，其中生產的柳丁產量也位居全省之冠，故別名「橙之鄉」。而古坑鄉有名的咖啡，則分布在丘陵地，尤其是荷苞山，其海拔約 300 公尺，環境及氣候均非常適合咖啡生長，近來雲林縣政府積極鼓勵台灣種植咖啡的產業，得以讓當時享譽一時的咖啡風華再現。另外，在山區的草嶺以「竹」與「石」聞名，陡峭峻石成為草嶺特色風景區，也可常見居民精心製作的竹編石雕手工藝，且草嶺地區濕度高，非常適合種茶與苦茶樹，亦成為該地區重要的農特產品。

然而，草嶺地區因歷年來的地震與風災等自然災害，造成草嶺地區觀光旅遊與社區產業嚴重受創，且受全球氣候變遷的影響，極端氣候與降雨分布不均，亦使得丘陵地區有許多落石、岩屑崩滑與順向坡等地質災害，著實影響古坑鄉居民的生命財產與產業發展。此外，古坑鄉大部分地區位於海拔 100 公尺以上的山區，其自來水管線等設備無法落實到各社區，故社區多仰賴河川或地表水來當作飲用水或灌溉用水，其水源可能無法提供穩定的用水量，且水質亦有可能遭受污染而影響居民飲用水的衛生與安全。有鑑於此，山區農村部落如何落實環境地質的安全與水資源的調查，將是農村永續發展的重要課題之一。

關鍵詞：農村社區、永續發展、環境地質、水資源、地質災害

* 財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 助理研究員

** 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

壹、前言

過去台灣經濟起飛的時代，為追求均衡發展，採取以農業培養工業，以工業發展農業的策略。因此，農業為主所建構的農村社會，在台灣經濟的發展歷史中，扮演著重大的貢獻。而隨著台灣社會經濟結構的改變，農業在整體經濟的比重逐漸下降，農業的競爭力減弱，使得更多年輕有勞動力的人口往都市湧進，造成城鄉發展差距增大。為促進農村永續發展及農村活化再生，改善基礎生產條件，維護農村生態及文化，提升生活品質，建設富麗新農村，政府於中華民國九十九年八月四日特制定與公布「農村再生條例」。然而，隨著全球氣候的變遷，各地區天然災害發生頻繁；此外，由於極端氣候的影響，使得降雨量在時空分布上更不均衡，故淹水與乾旱等災害著實影響農業的發展，以及危害農村社區居民的生命安全與財產。有鑑於此，為促進農村社區永續的發展，除了軟硬體的建設方面，其相關的環境地質與地下水資源等基礎調查與監測，應有完善的調查與研究，以提供農村社區整體規劃之參考。

貳、研究區域概況

本研究區選在雲林縣古坑鄉，其行政邊界東西向橫跨北港溪上游平原區、斗六丘陵、以及清水溪草嶺區段的山區，使得古坑鄉的人文與自然資源豐富，因此當地農村居民仰賴地方特色。茲以下分別說明研究區域概況：

一、地理位置與水文

古坑鄉為雲林縣最東邊的行政區(圖一)，由西往東經斗六丘陵則進入山區，與南投縣相鄰。水系方面，斗六丘陵為古坑鄉的河川分水嶺，丘陵的西側為北港溪上游集水區，主要河流有：海豐崙溪、崙子溪、雲林溪、大湖口溪、石榴班溪等；丘陵的東側則為清水溪部分區段的集水區。

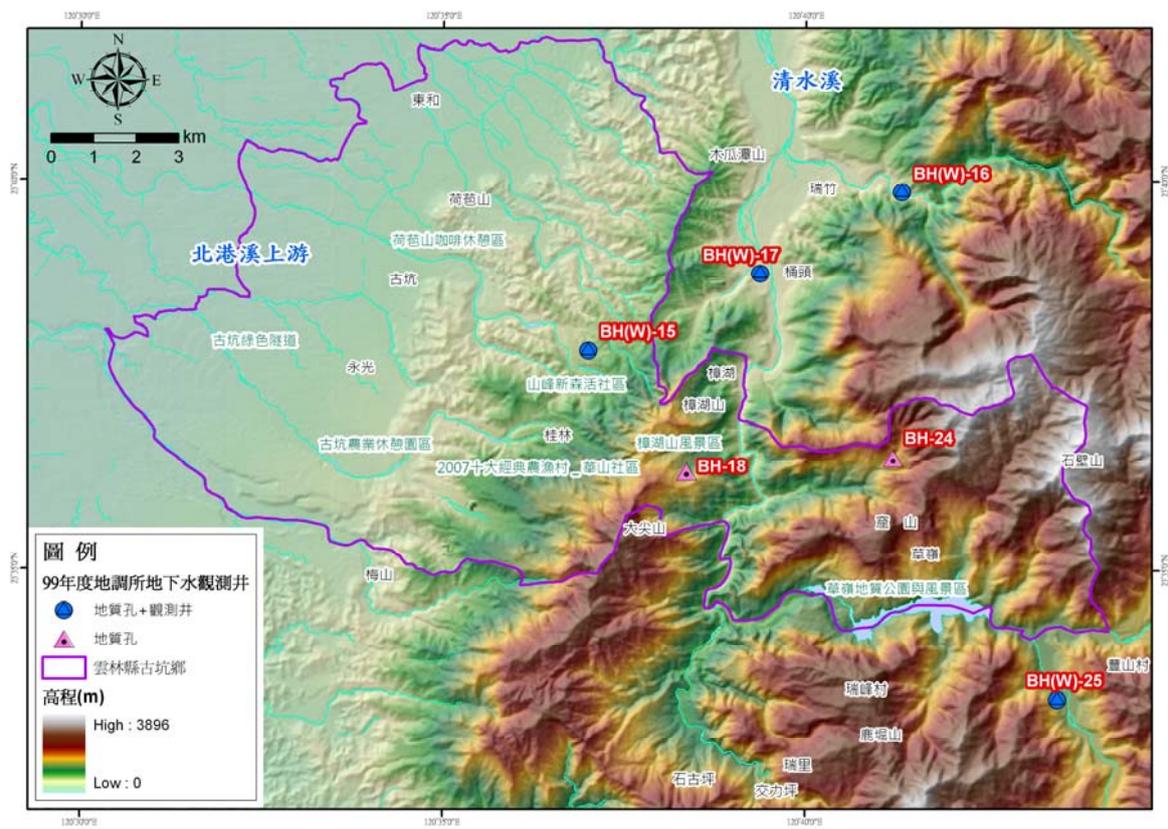
二、區域地質

研究區域地質圖中(圖二)，地層年代由東向西較為新，分布的地層有中新世至全新世的南莊層(Nc)、桂竹林層(Kc)、錦水頁岩(Cs)、卓蘭層(CI)、頭嵙山層(Tk)、紅土台地堆積層(It)，以及沖積層(a)等。地質構造方面，主要分布在古坑鄉的山區，於斗六丘陵與清水溪山區之間，有大尖山斷層經過，而丘陵與山區間，有東西向的橫移斷層；

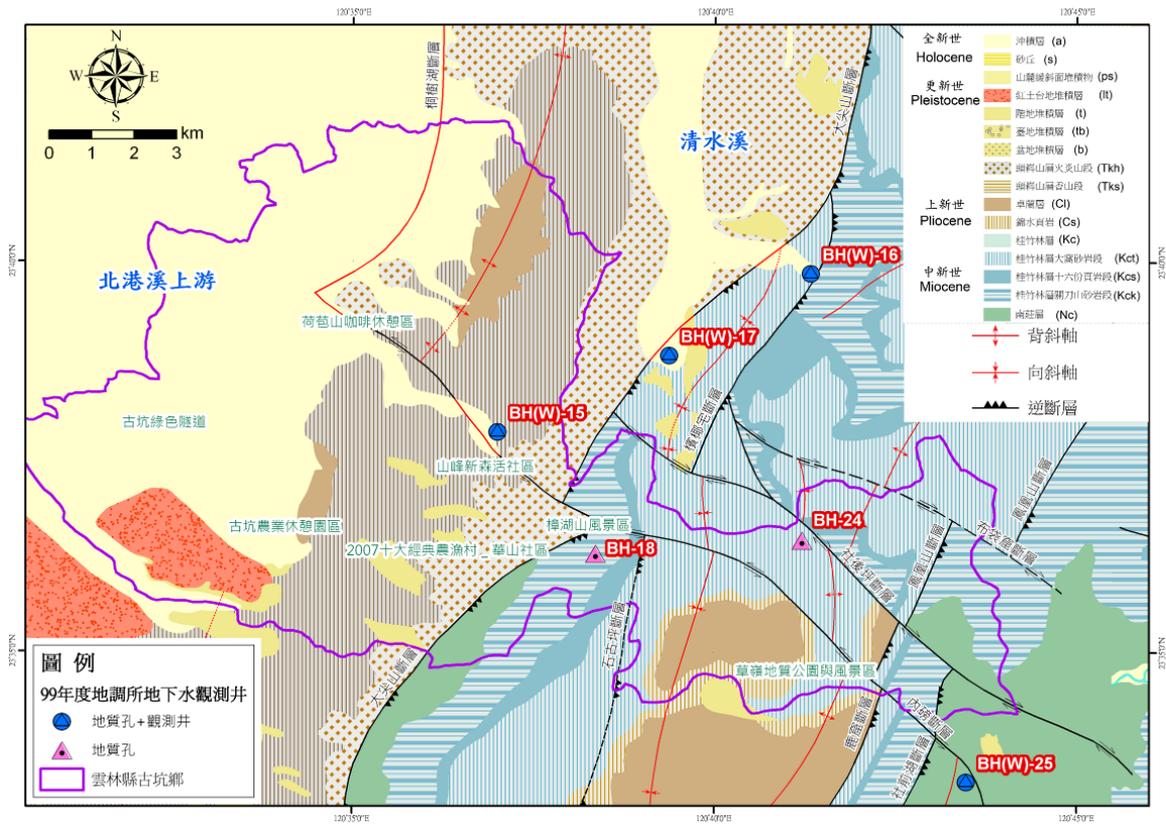
受大地應力的擠壓，區域內地層多有褶皺構造，使得地層呈現彎曲的現象。因此，古坑鄉山區的地質條件複雜且受河川的侵蝕，使得地勢陡峭與順向坡的地區，山崩、落石與地滑等地質災害頻繁，尤其係草嶺崩坍地影響古坑鄉特別嚴重。

三、土地使用

古坑鄉的土地面積約有 166.61 平方公里，約有 16600 公頃，而非都市用地面積則約為 14392 公頃，係古坑鄉的土地面積的 86.7%；其中，由表一可知，古坑鄉非都市用地當中，農牧用地的面積最大，其次為國土保安用地。



圖一、研究區地理位置、水系與地方特色分布圖



圖二、研究區地質、地質構造與地方特色分布圖

表一、古坑鄉非都市用地一覽表

非都市用地	面積(公頃)	百分比(%)
甲種建築用地	51.18	0.4
乙種建築用地	182.34	1.3
丙種建築用地	69.46	0.5
丁種建築用地	8.5	0.1
農牧用地	8456.66	58.8
林業用地	771.15	5.4
養殖用地	0.63	0.0
交通用地	380.7	2.6
水利用地	271.32	1.9
遊憩用地	695.07	4.8
國土保安用地	2182.59	15.2
墳墓用地	38.6	0.3
特定目的事業用地	145.58	1.0
暫未編定用地	1138.87	7.9
總和	14392.65	100.0

資料來源：雲林縣主計處(98年底)

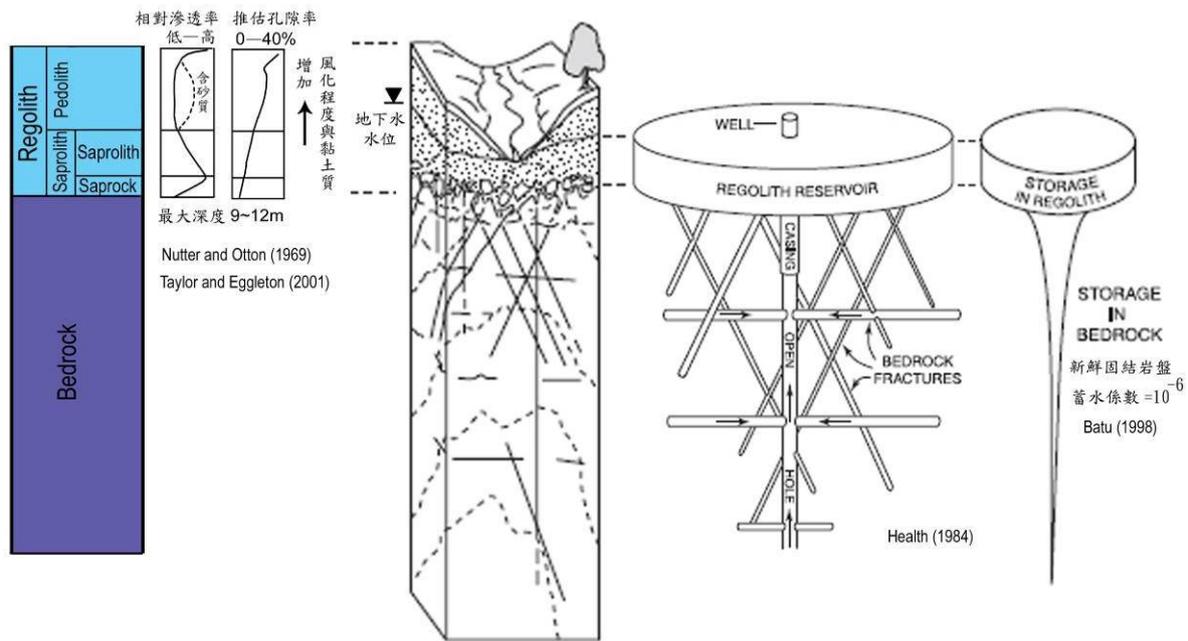
四、產業發展

在古坑鄉的平原區摘種許多葡萄柚、柑桔、鳳梨等果樹，其中生產的柳丁產量也位居全省之冠，故別名「橙之鄉」。此外，古坑鄉有名的咖啡，則分布在丘陵地，尤其是荷苞山，其海拔約 300 公尺，環境及氣候均非常適合咖啡生長，近來雲林縣政府積極鼓勵台灣種植咖啡的產業，得以讓當時享譽一時的咖啡風華再現。另外，在山區的草嶺以「竹」與「石」聞名，陡峭峻石成為草嶺特色風景區，也可常見居民精心製作的竹編石雕手工藝，且草嶺地區濕度高，非常適合種茶與苦茶樹，亦成為該地區重要的農特產品。相關古坑鄉著名的地方特色分布如圖一所示。

叁、山區水文地質架構

由於過去農村社會多以築水巢而居，顯示農村發展多仰賴水資源為重。山區地下水系統中(圖三)，主要的水文地質概念模型為岩屑層(Regolith)與裂隙岩體(Fractured bedrock)。岩屑層主要由：(1)母岩風化而來的岩屑，或(2)受因自然與人為等外在因素所堆積而成的未固結岩層，可提供地下水流通與蘊藏之含水層，在山區地下水系統上扮演著重要的角色之一。另外，根據 ISRM(1981)的風化等級(I)，岩質新鮮，無可見岩質風化跡象，或僅在主要不連續面(節理)有輕微氧化鐵銹染變色，即為新鮮岩盤(Bedrock)，受區域地質構造的影響，使得岩盤裂隙網絡發達，亦可稱為裂隙岩體(Fractured bedrock)。

水力特性方面，由圖三可知，由母岩風化所產生的岩屑層，其厚度可達 9~12 公尺，然而隨著不同的區域與環境，或於岩盤之上覆蓋其它的地質材料，其岩屑層厚度可能有所差異。岩屑層的相對滲透率隨深度而有所變化，其中表層、含砂質較高的區段，以及岩屑層與岩盤交界處的過渡帶，其滲透率較高，而孔隙率平均約 40% 以下，隨深度逐漸遞減。蓄水係數方面，岩屑層的蓄水係數較岩盤高出許多，亦隨著深度而遞減。因此，地下水主要在岩屑層流通與蘊藏，然而裂隙網絡發達的岩盤，地下水流亦可順著裂隙作為流通管道。



圖三、山區水文地質架構與各分層水力特性圖

肆、調查方法

為落實山區農村部落環境資源永續發展，必須先瞭解村落的水文地質架構，進而進行相關的地下水調查與地下水監測等工作。本研究的調查工作有：(1)地表地質調查、(2)水文地質鑽探與岩心紀錄、(3)室內岩心基本物性試驗、(4)孔內井測與封塞水力試驗，以及(5)地下水位觀測井建置與監測等。

一、地表地質調查

地表地質調查可瞭解調查區域的地質概況，以提供鑽探布孔規劃與後續的水文地質單元劃分之參考依據。由於調查目的主要探討岩層的水文地質特性，故除了一般的露頭 (Outcrop) 地表地質特性調查，亦包含其裂隙特性與滲水狀況，以及相關的水文特性調查，如鄰近的地表逕流、泉水位置與土地使用等，以作為初步評估鑽探場址的可行性。此外，順向坡、山崩、土石流等地質災害調查，亦可提供農村社區相關的規劃之參考。

二、水文地質鑽探與岩心紀錄

水文地質鑽探(圖四)主要以 HQ 規格之自轉式鑽機，配合劈管取樣器、薄管取樣器及岩心取樣器採樣，運用水洗旋轉式鑽進全程取樣法進行作業，其所取得之岩心依序排放於岩心箱中，並拍攝高解析度彩色照片以茲建檔。在鑽探過程中，相關試驗有：

土層於每隔 1.5m 或地層變化處進行標準貫入試驗 (S.P.T.依照 ASTM D1586 規範) 求得土壤 N 值，以判定土壤之軟弱緊密程度，而在具代表性的區段採取土樣與岩樣，以供室內土壤及岩石物理性質和力學試驗；此外，各區段應記錄鑽探的迴水率，以大致瞭解該地質的破碎或軟弱泥質的滲漏情形，亦可在特殊區段施作呂琴(Lugeon)試驗以瞭解該區段的透水性。



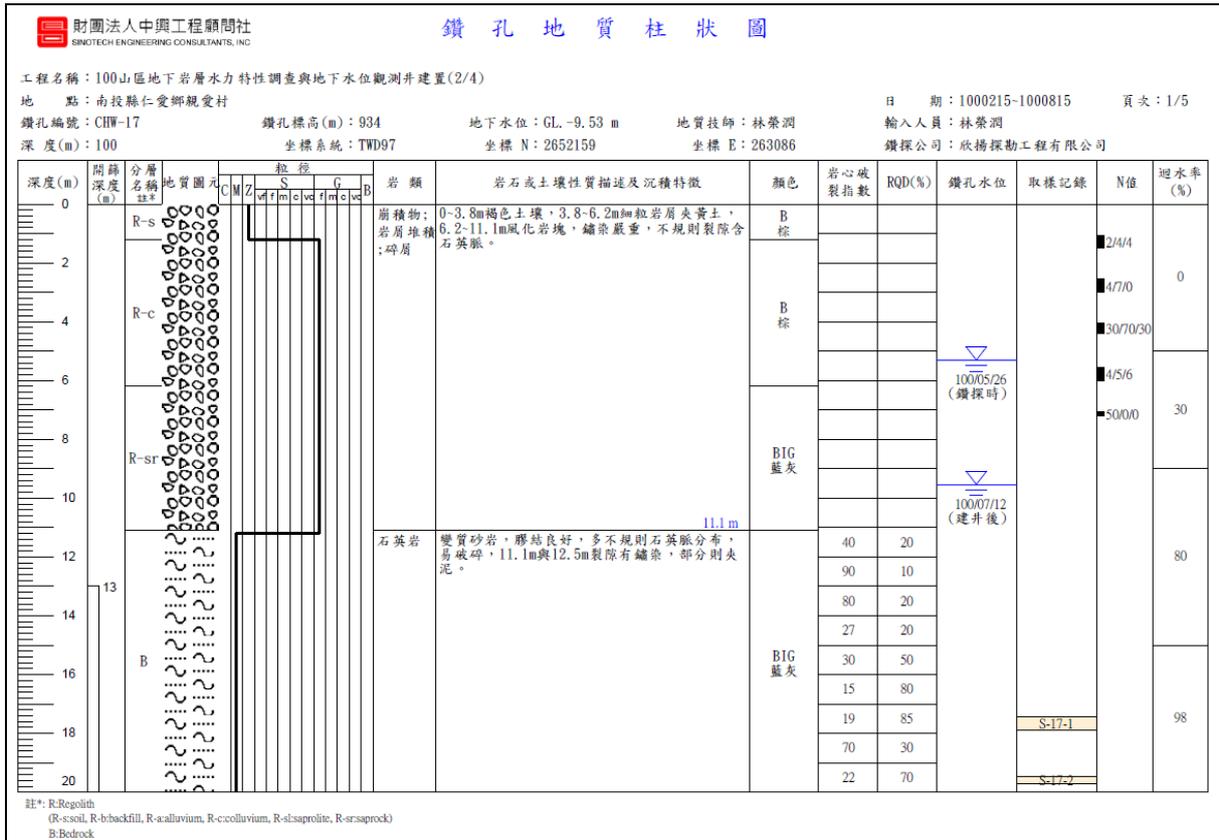
圖四、水文地質鑽探現地施作情形

岩心紀錄方面，經由上述水文地質鑽探取樣作業所鑽取之未固結及固結土岩材料，乃採用一定標準化的鑑定方式，以得到具嚴謹且可信度較高的成果，其中未固結土岩材料係根據依經濟部中央地質調查所「未固結沉積物之分類及地質鑽探岩心紀錄規範」；若屬固結岩層岩心，則依「工程地質探勘資料庫地質鑽探岩心紀錄規範」為原則進行描述。本研究岩心紀錄(表二)，除了針對岩層的岩性方面作判釋，弱面的特性亦為重要的紀錄項目，例如：原生構造與次生構造、以及裂隙數量等；此外，鑽孔的地質單元分層為水文地質單元的基本架構，故在岩心判釋上應詳盡記錄之（20公分記錄一筆為原則），以利後續的分層作業。

三、室內岩心基本物性試驗

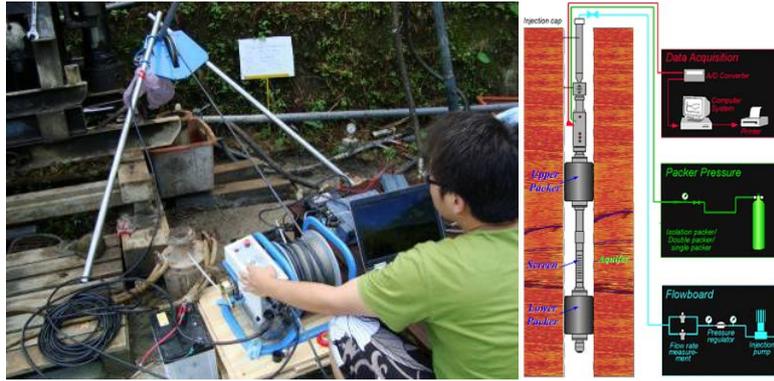
鑽探所獲取之岩心除用以進行相關地質描述外，可進行一系列之室內試驗，包括土壤與岩石一般物理性試驗、土壤三軸透水試驗、汞泵與氬氣孔隙率測定、氣體滲透率檢測、雷射粒徑分析試驗、X光繞射試驗以及岩相薄片分析等。試驗所獲取之參數除可用以瞭解研究區域地層所屬岩性、礦物組成、物理及水力特性外，亦可作為後續模式分析、水文地質單元及關聯性建立之重要依據。

表二、岩心紀錄成果表

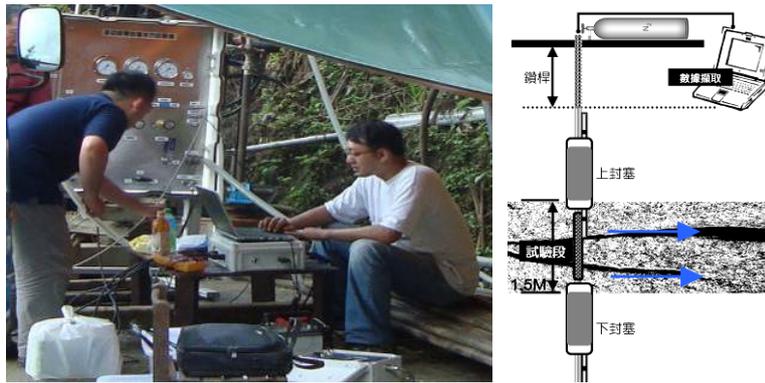


四、孔內井測與封塞水力試驗

台灣受板塊構造作用的影響，區域的地質變化複雜，使得所對應的水文地質特性也隨之不同，透過孔內井測試驗(圖五)與封塞水力試驗(圖六)，以獲取水文地質參數，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。試驗項目有：孔內裂隙岩體位態調查、孔內井測調查、孔內波速調查、孔內地下水流速與流向調查，以及封塞水力試驗。調查方式係將各式探測儀置於鑽孔中，並在吊放及拉升過程測錄不同物理訊號來判定地層特性。其探測所得之各項參數結合岩心紀錄，即可作為後續水文地質單元劃分與基本資料的建置。



圖五、井測試驗



圖六、封塞水力試驗

五、地下水位觀測井建置與監測

根據上述的水文地質調查試驗與分析成果，建置地下水位觀測井(圖七)，以進行定量抽水試驗與地下水位監測等工作，由此可獲得區域內的水資源蘊涵量以及地下水位的變動。本研究之地下水位觀測站體系依據經濟部水利署(2004 與 2005)地下水觀測井建置與維護作業規範之標準作業流程。此外，為全盤瞭解山區地下水的特性，本研究建井方式乃採取深井與淺井之雙井分層觀測，其中深井方面乃配合鑽探深度 100 公尺而設計，而淺井則需考量上述的試驗與分析成果，故深度需包含岩屑層的厚度以及其下裂隙較為連通且發達的區段為主，以達到分層觀測之目的。



圖七、地下水觀測站體

伍、調查成果

一、場址概況與觀測井建置

本研究於古坑鄉與鄰近鄉鎮共布設 6 處的試驗場址，如圖二所示，相關試驗場址資料如表三所示。本研究水文地質鑽探深度有 100 公尺，試驗完成後，建置成一吋或兩吋的地下水位觀測井（深井）；然而，由於經費的考量，BH(W)-15 等 4 處的場址另外建置成六吋的地下水位觀測井（淺井），而 BH-18 與 BH-24 兩處的場址則另外建置一吋的地下水位觀測井，其深度因地質條件而有所不同，相關資料如表四所示。

表三、試驗場址基本資料表

場址編號	井名	TWD97_X	TWD97_Y	高程(m)	集水區域-次集水區	行政區	地層
BH(W)-15	山峰	210890	2614141	312	北港溪.松柏坑溪	雲林縣古坑鄉荷苞村	頭崙山層香山砂岩(Tks)
BH(W)-16	瑞龍	218254	2617880	280	清水溪.加走寮溪	南投縣竹山鎮坪頂里	桂竹林層大窩砂岩(Kct)
BH(W)-17	桶頭	214927	2615944	227	清水溪	南投縣竹山鎮桶頭里	桂竹林層大窩砂岩(Kct)
BH-18	樟湖	213172	2611252	631	清水溪.筍寮	雲林縣古坑鄉樟湖村	桂竹林層關刀山砂岩(Kck)
BH-24	草嶺	218025	2611566	756	北港溪.三疊溪	雲林縣古坑鄉草嶺村	桂竹林層大窩砂岩(Kct)
BH(W)-25	仁和	221887	2605847	712	清水溪.阿里山溪	嘉義縣梅山鄉太和村	南莊層(Nc)

表四、研究區地下水位觀測井試驗成果一覽表

觀測井種類	場址編號	井名	高程(m)	深井			淺井		
				管徑	深度(m)	開篩(m)	管徑	深度(m)	開篩(m)
Type A	BH(W)-15	山峰	312	兩吋	-	-	六吋	150	102-108, 117-123
Type A	BH(W)-16	瑞龍	280	兩吋	100	73-79, 82-88	六吋	42	27-39
Type A	BH(W)-17	桶頭	227	兩吋	100	73-79, 88-91, 94-97	六吋	50	35-47
Type B	BH-18	樟湖	631	一吋	100	64-68, 72-76, 84-88	一吋	45	27-39
Type B	BH-24	草嶺	756	一吋	100	76-88	一吋	39	22-34
Type A	BH(W)-25	仁和	712	兩吋	100	69-81	六吋	40	25-37

註：由於 BH(W)-15 場址位於斗六丘陵，礫石層堆積較厚，故場址深度為 150 公尺，試驗完後，只建置成一處六吋的地下水位觀測井。

二、水文地質單元劃分

由於試驗成果資料繁多，為精簡與具體呈現研究成果，本研究依據前人研究，將相關的岩心紀錄、地質單元分層，以及水文地質試驗等成果，劃分成水文地質單元，以提供吾人瞭解鑽孔的水文地質柱狀圖，以及其水力特性。劃分方法如下：

(一) 地質單元分層

根據岩心紀錄與判釋，並配合井測等物理訊號，將鑽孔的岩層進行地質單元的分層作業，以作為岩層水文地質單元的基礎架構。

(二) 水力特性與地下水產能分級

透過各現地場址的封塞水力試驗與抽水試驗，以求取各深度區段的岩層水力特性，如透水係數、蓄水係數、導水係數，以及井出水量等參數。完成相關試驗後，根據 Struckmeire 與 Margat(1995)的含水層與地下水產能分級方式(表五)，將地質單元劃分成四種等級，以作為地表下的含水層或水文地質單元。

(三) 岩層水文地質單元劃分與簡稱

結合地質單元與水力參數，即可完成劃分岩層水文地質單元之工作，而該水文地質單元的簡稱，岩屑層可劃分成一層，簡稱為 R。而岩盤方面，主要可由岩層與含水層分類等級來命名，例如：M1。岩層方面，本研究場址主要的岩層有兩大類，分別為：(1)上新世～更新世的礫石和泥岩，簡稱 H，以及(2)漸新世～上新世的砂岩、板岩和硬頁岩，簡稱 M；含水層方面，根據表五可分層四級，故依序給予 1~4 的簡稱。

表五、含水層與地下水產能等級分類表[修改自 Struckmeire 與 Margat(1995)]

含水層分類	地下水資源產能等級與簡稱	導水係數 (m ² /min)	透水係數 (m/s)	井出水量 (L/min)	比出水量 (cmh/m)
Class 1	高(H) ：區域性供水，抽水量可提供城鎮與灌溉所需。	>0.05	>4E-5	>600	>3.6
Class 2	中等(M) ：地方性供水，抽水量可提供小社區與地方灌溉所需。	3E-3~0.05	2E-6~4E-5	60~600	0.4~3.6
Class 3	低，部分地區較佳(L) ：局部地方性供水，抽水量只可提供個人所需。	3E-5~3E-3	2E-8~2E-6	0.6~60	4E-3~0.4
Class 4	微量(P) ：地下水資源缺乏。	<3E-5	<2E-8	<0.6	<4E-3

(四) 各場址岩層水文地質單元劃分成果

本研究六處場址中，除了 BH(W)-15 山峰場址位於斗六丘陵，其岩層分類為上新世～更新世的礫石和泥岩(岩層簡稱 H)，其它場址皆為漸新世～上新世的砂岩、板岩和硬頁岩(岩層簡稱 M)。表六為各場址岩層水文地質單元調查成

果，表中包含各單元的分層深度與試驗數據，以及觀測井開篩深度，而岩心紀錄與井測試驗的成果彙整於水文特性描述一欄位。由表六可知，岩屑層的厚度約在 1.7~20 公尺，而岩盤的地表下岩層水力特性中，地下水產能高的等級之含水層多分布在岩屑層之下的區段，例如：BH(W)-16 瑞龍、BH-18 樟湖、BH(W)-24 草嶺、BH(W)-25 仁和等場址，其深度分布約在 10~40 公尺。故區域內之地表下 40 公尺的範圍，為地下水蘊藏與流通較佳的區段，亦即本研究布設的淺井觀測井之深度。另外，值得注意的係，BH(W)-25 仁和場址的地表下水文地質單元種類較且變異性大，此乃因該地層為南莊層之砂頁互層的岩性，地層層面與解理發達，且受鄰近的斷層構造影響，使得該地區岩層裂隙發達且連通，故其岩層的水力特性變異性大。

表六、各場址岩層水文地質單元調查成果一覽表

BH(W)-15				水文特性描述	雙封塞		單封塞		抽水試驗 井出水量 (L/min)	岩層水文 地質單元	深井開篩 區段(m)	淺井開篩 區段(m)
起	訖	地質 單元	岩類		透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S	透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S				
0	1.7	R-s	土壤		岩屑層，極差的自由含水層；淡黃棕砂質土壤，膠結差。現地推估孔隙率約30~60%，透水性極差，無地下水跡象。							
1.7	32.0	B	砂泥岩互層	3.2×10 ⁻⁹	1.2×10 ⁻⁶	1.3×10 ⁻⁸	1.3×10 ⁻⁶	22.8	H4			
32	48.4	B	砂岩	9.5×10 ⁻¹⁰	3.7×10 ⁻⁶				H3			
48.4	57.8	B	泥岩	6.4×10 ⁻⁸	2.0×10 ⁻⁶							
57.8	66.0	B	砂頁岩互層	8.0×10 ⁻⁹	5.3×10 ⁻⁵	1.3×10 ⁻⁸	1.0×10 ⁻⁶					
66	72.0	B	砂頁岩互層									
72	85.2	B	砂頁岩互層									
85.2	90.0	B	泥岩	1.6×10 ⁻⁸	6.9×10 ⁻⁶							
90	110.2	B	砂岩									
110.2	117.0	B	砂岩	4.6×10 ⁻⁸	8.1×10 ⁻⁶	1.8×10 ⁻⁹	5.2×10 ⁻⁷		H3		102-108	
117	134.2	B	砂岩									
134.2	138.2	B	砂頁岩互層	1.5×10 ⁻⁸	2.0×10 ⁻⁵							
138.2	140.0	B	砂岩									
140	147.0	B	砂岩									
147	148.4	B	泥岩									
148.4	150.0	B	砂岩									

更新世頭嵙山層香山砂岩，較差的受壓含水層（含泥質成份多）；灰色中至細砂岩或灰色頁岩，部分區段互層，淘選度良好，膠結差，含貝殼化石、碎片與薄礫層，有塊狀砂岩相(Sm)與泥岩相(Mm)，甚至沈積受擾動而有波狀紋裡砂岩相(Sw)，現地推估孔隙率約30~60%，透水性上層極差，58~62m、68~72m、82~86m及90~100m地下水循環潛明顯。

BH(W)-16				水文特性描述	雙封塞		單封塞		抽水試驗 井出水量 (L/min)	岩層水文 地質單元	深井開篩 區段(m)	淺井開篩 區段(m)
起	訖	地質 單元	岩類		透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S	透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S				
0	1.5	R-s	土壤		岩屑層，良好的自由含水層；灰色砂岩岩屑與岩塊堆積，波遠走時推估孔隙率約10~30%，底層有鏽染，亦為初始地下水水位處，故透水性較佳。							
1.5	4.2	R-c	崩積物;岩屑 堆積;碎屑					6.8	R			
4.2	8.0	R-sl	崩積物;岩屑 堆積;碎屑									
8	17.8	R-sr	崩積物;岩屑 堆積;碎屑									
17.8	20.0	B	砂岩	6.2×10 ⁻⁵	1.4×10 ⁻³					M1		
				5.5×10 ⁻⁷	1.5×10 ⁻⁶							
20	38.6	B	砂岩	1.4×10 ⁻⁷	1.5×10 ⁻⁶						27-39	
				1.3×10 ⁻⁶	1.5×10 ⁻⁶							
38.6	49.4	B	砂岩			5.4×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁶					
49.4	67.8	B	砂岩									
67.8	76.4	B	砂岩								73-79	
76.4	100.0	B	砂岩	1.2×10 ⁻⁸	1.5×10 ⁻⁶							
				1.8×10 ⁻⁵	1.5×10 ⁻⁶					82-88		

中新世至上新世桂林層大窩砂岩，良好的受壓含水層；灰色砂岩，含泥質，現地推估孔隙率約10~30%，裂隙發達，含

中新世至上新世桂林層大窩砂岩，較差的受壓含水層；灰色砂岩，含泥質，有貝殼化石與生痕化石，裂隙較多，岩體較為破碎，現地推估孔隙率多低於20%，孔底向上有小幅度的地下水循環潛勢，透水性較差。

表六、各場址岩層水文地質單元調查成果一覽表（續）

BH(W)-17		地質單元	岩類	水文特性描述	雙封塞		單封塞		抽水試驗 井出水量 (L/min)	岩層水文 地質單元	深井開篩 區段(m)	淺井開篩 區段(m)
起	訖				透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S	透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S				
0	0.7				R-s	土壤	岩屑層，極差的自由含水層；黃棕色砂質土壤與岩塊堆積，裂隙夾泥，含鏽染，現地推估孔隙率約20~45%，透水性極差。					
0.7	5.4	R-sr	崩積物;岩屑堆積;碎屑					M4				
5.4	8.6	B	泥岩									
8.6	30.0	B	砂岩			3.6×10^{-10}	1.2×10^{-2}					
30	54.0	B	砂岩			1.0×10^{-8}	5.3×10^{-3}			35-47		
54	96.0	B	砂岩			9.0×10^{-8}	5.0×10^{-4}		M3			
96	100.0	B	砂岩	中新世至上新世桂林層大窩砂岩，極差的受壓含水層；灰色砂岩，含泥質成分高。淘選度與膠結皆良好，裂隙與剪裂泥較多，現地推估75~93m的孔隙率介於20~45%，52~75m及93~100m以下則多低於20%，40~54m及68~78m區段具強烈的地下水循環潛勢，但整體透水性極差。					M4	73-79, 88-91, 94-97		

BH-18		地質單元	岩類	水文特性描述	雙封塞		單封塞		抽水試驗 井出水量 (L/min)	岩層水文 地質單元	深井開篩 區段(m)	淺井開篩 區段(m)
起	訖				透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S	透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S				
0	0.4				R-s	土壤	岩屑層，良好的自由含水層；黃棕色次圓狀細顆粒岩屑與泥土，以及暗灰色砂岩岩塊堆積，裂隙夾泥，含鏽染，現地推估孔隙率約10~40%，初始地下水水位較深，透水性較佳。					
0.4	4.6	R-sl	崩積物;岩屑堆積;碎屑									
4.6	20.0	R-sr	崩積物;岩屑堆積;碎屑									
20	37.6	B	砂岩	1.8×10^{-4}	1.5×10^{-6}					27-39		
37.6	42.4	B	砂岩	1.3×10^{-4}	1.5×10^{-6}				M1			
42.4	46.6	B	砂頁岩互層	9.1×10^{-5}	1.5×10^{-6}							
46.6	55.4	B	砂岩									
55.4	65.9	B	頁岩	3.4×10^{-5}	1.5×10^{-6}							
65.9	70.0	B	砂岩							64-68		
70	76.0	B	砂岩							72-76		
76	79.0	B	砂頁岩互層						M2			
79	82.0	B	砂岩	1.6×10^{-7}	1.5×10^{-6}	9.3×10^{-7}	2.3×10^{-6}					
82	100.0	B	砂頁岩互層							84-88		

BH-24		地質單元	岩類	水文特性描述	雙封塞		單封塞		抽水試驗 井出水量 (L/min)	岩層水文 地質單元	深井開篩 區段(m)	淺井開篩 區段(m)
起	訖				透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S	透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S				
0	3.0				R-c	崩積物;岩屑堆積;碎屑	岩屑層，良好的自由含水層；黃棕色角狀崩積岩屑與砂岩岩塊堆積，現地推估孔隙率約15%以內，透水性較佳。					
3	6.0	R-sr	崩積物;岩屑堆積;碎屑									
6	17.5	B	砂岩	1.5×10^{-5}	1.3×10^{-3}				M1			
17.5	21.5	B	砂岩	5.2×10^{-5}	1.5×10^{-6}							
21.5	34	B	砂岩	8.9×10^{-6}	1.5×10^{-6}				M2	22-34		
34	53.0	B	頁岩			4.2×10^{-8}	1.6×10^{-6}					
53	57.9	B	砂岩									
57.9	60.5	B	砂岩			2.7×10^{-8}	1.0×10^{-6}		M2			
60.5	75.3	B	砂頁岩互層	1.8×10^{-9}	8.6×10^{-5}					76-88		
75.3	79.5	B	砂岩							76-88		
79.5	100.0	B	砂頁岩互層									

BH(W)-25		地質單元	岩類	水文特性描述	雙封塞		單封塞		抽水試驗 井出水量 (L/min)	岩層水文 地質單元	深井開篩 區段(m)	淺井開篩 區段(m)
起	訖				透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S	透水係數 K (m/s)	蓄水係數 S				
0	12.0				R-c	崩積物;岩屑堆積;碎屑	岩屑層，中等良好的自由含水層；棕灰色角狀崩積岩屑與岩塊與藍灰色砂岩岩塊堆積，波達走時推估孔隙率約40%以內，透水性較佳。					
12	17.5	R-sr	崩積物;岩屑堆積;碎屑	6.1×10^{-5}	1.5×10^{-6}							
17.5	22.5	B	砂岩									
22.5	26.2	B	頁岩	1.2×10^{-5}	1.5×10^{-6}				M1			
26.2	32.8	B	砂岩	2.9×10^{-4}	1.5×10^{-6}					25-37		
32.8	53.6	B	砂頁岩互層	3.9×10^{-7}	1.5×10^{-6}	6.0×10^{-6}	5.4×10^{-6}		M3	25-37		
53.6	60.6	B	砂岩						M2			
60.6	64.4	B	砂頁岩互層						M3			
64.4	66.0	B	砂岩	2.3×10^{-6}	1.5×10^{-6}	4.2×10^{-6}	5.3×10^{-6}		M2			
66	86.0	B	砂岩	7.0×10^{-8}	1.5×10^{-6}				M3	69-81		
86	96.4	B	砂頁岩互層	8.4×10^{-8}	1.5×10^{-6}							
96.4	100.0	B	砂岩						M2			

三、山區地下水資源調查

本研究於六吋的淺井，進行抽水試驗，以求得各場址的井出水量與導水係數，且依據 Struckmeire 與 Margat(1995)的地下水產能分級(表五)，進而探討山區農村部落的地下水資源。由表七可知，BH(W)-25 仁和等場址為本研究場址中，抽水量最多的一處場址，每分鐘高達 310 公升之多，在地下水產能分級當中屬於中等等級，可提供小社區與地方灌溉所需。該場址位於清水溪上游集水區，海拔高程約有 712 公尺，仁和社區約有 462 人，行政區域屬於嘉義縣梅山鄉，受地震與颱風等天然災害之影響，其山區的天然災害頻繁，且交通道路路況不佳，因此影響此社區的發展。然而，仁和社區發展協會不畏惡劣的天然環境，近年來積極地發展社區特色，例如：茶葉、水果與觀光。透過本研究在仁和場址探測出地下水資源，係足以提供該社區與地方發展之所需，因此如何維持穩定與乾淨的地下水資源，係山區部落永續發展的重要課題之一。

另外，BH(W)-15 山峰場址為頭嵙山層香山砂岩，其抽水量每分鐘約有 22.8 公升，而同樣桂竹林層大窩砂岩且鄰近的 BH(W)-16 瑞龍與 BH(W)-17 桶頭場址，其抽水量每分鐘分別約有 6.8 與 0.6 公升，此三處的場址之地下水產能等級皆屬於低，部分地區較佳的等級，可能局部地方性供水或提供個人所需。由此調查結果可知，場址的高程與地層等條件相同，但因不同的地形或地區，其抽水量亦有所不同。然而，BH(W)-25 仁和場址的井出水量較多的原因，由表六仁和場址的水文地質單元可知，該場址淺井深度為 40 公尺，開篩深度為 25~37 公尺，該區段主要為 0~17.5 公尺的岩屑層，以及 17.5~32.5 公尺 M1 水文地質單元，該含水層或地下水產能等級屬於高等級，因此整體淺井深度皆落在較佳的含水層，發達的裂隙岩體有助於地下水的流通與蘊藏，且場址源頭有集水區等匯集，故該場址有較多的井出水量。

表七、各場址井出水量與地下水產能分級一覽表

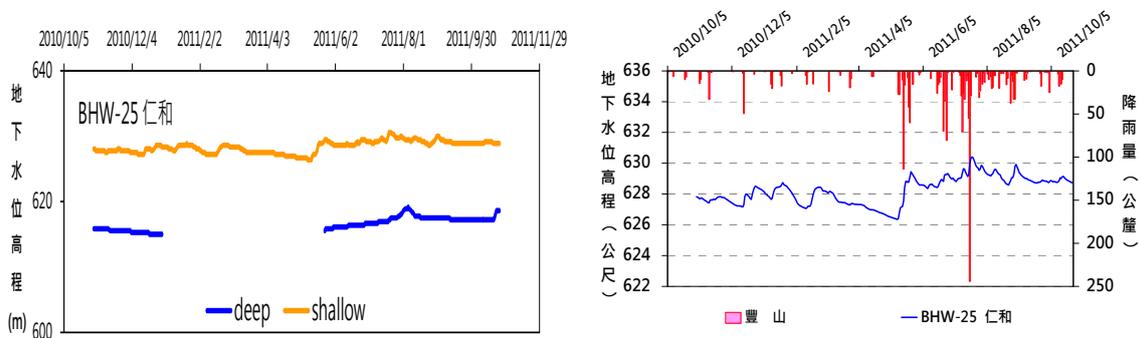
場址編號	井名	高程(m)	地層	抽水量	導水係數	地下水產能分級*
				(L/min)	(m ² /min)	
BH(W)-15	山峰	312	頭嵙山層香山砂岩(Tks)	22.8	6.3×10 ⁻⁴	低
BH(W)-16	瑞龍	280	桂竹林層大窩砂岩(Kct)	6.8	2.44×10 ⁻³	低
BH(W)-17	桶頭	227	桂竹林層大窩砂岩(Kct)	0.6	2.6×10 ⁻³	低
BH(W)-25	仁和	712	南莊層(Nc)	310	5.2×10 ⁻³	中

註：*Struckmeire 與 Margat(1995)

四、地下水位監測成果

地下水觀測井如同地下水的聽診器，為使地下水資源永續利用，地下水的觀測井的建置與監測係重要的調查與研究之一。在完成地下水位觀測井的所有作業項目後，對於暴露於地表的井頭部分，建置保護設備予以保護；建置完成的井頭保護設備即為地下水觀測站，除做為保護觀測井之完整與方便日後管理外，更進行自記式水壓計安裝作業，以長期並自動化監測且記錄每個週期之地下水位的變化狀況。根據地下水位變化可隨時了解其水資源即時流失與補助，釐清山區水文地質架構。此外，藉由每月至現地蒐集資料的同時，並檢視站體之內外部之完整性及監測儀器，如有任何缺失則立即連絡修復，以達到後續維護管理作業之要求。

圖八為 BH(W)-25 仁和場址一年的地下水位觀測成果，由觀測的成果可知，該場址深井的地下水位較淺井深，且逐日的地下水位變動趨勢相近，惟淺井的地下水位易受降雨與人為抽水等事件而影響，例如：2011 年五月的降雨事件，使得淺井的地下水位抬高約有 4 公尺之多。



左圖為深井與淺井的地下水歷線圖；右圖為淺井水位與降雨量之比對圖。

圖八、BH(W)-25 仁和場址地下水位觀測成果

五、地下水水資源聯合運用與分析

雲林縣由於地面水不足，導致區域水資源分配不均，故居民多仰賴地下水為主，然而沿海養殖業興起，用水需求量增加，故不斷地鑿井取水，其超抽的情形造成地層下陷。由於地層下陷問題嚴重，政府已對養殖漁業等採取禁抽地下水的政策；此外，縣內的新興工業區逐漸發展，因此民生用水及工業用水將面臨分配不均、甚至短缺的困境。如何積極尋求更多的水資源並以最有效率的使用及分配已成為當前要務。

本研究主要著重於古坑鄉開發出之山區地下水蘊藏量，討論其週邊山區水資源可供使用之水量，進而探討此水資源量對古坑鄉及其周邊各項用水之貢獻。由表七的四處地下水位觀測站之抽水量總和，並以每年可提供之水資源量計算： $(22.8+6.8+0.6+310)(L/min) \times 60(分鐘) \times 24(小時) \times 365(日) \times 10^{-3} = 178809.1(公噸/年)$ ，本研究四處場址每年所能提供的地下水量約為 178809.1 公噸，約相當於 490 CMD。此調查成果若分別應用於民生、農業、工業與觀光用水，其分析成果如下：

(一) 民生用水方面

古坑鄉計有 20 村、363 鄰、10352 戶、35024 人，若將本研究調查之水資源應用於民生用水方面，水利署所提供之平均標準為每人每天平均用水量為 250 公升，所以表示此四處地下水位觀測站每日所提供之水資源可供應約 2000 人使用，而古坑鄉之人口數為 35024 人，要供應全鄉人口明顯不足，且古坑鄉由 20 個村鎮所組成，水資源之分配較難平均，因此，可考慮將此水資源編列為緊急民生備用水源，應用於乾旱缺水或其他災害發生時之緊急調配，但若將此水資源應用於民生日常用水並無法得到最有效率的使用方式。

(二) 農業用水方面

古坑鄉位於海拔 60 至 1750 公尺間，向西傾斜，境內地形高低起伏大，區內山多、平地少，其耕地面積約 8973 公頃，其餘為山林地，故林產豐富，竹筍、鳳梨、茶葉、柳丁、咖啡等作物聞名全省。

在古坑鄉之農業用水包括灌溉用水、畜牧用水及養殖用水，其中灌溉用水佔農業用水為最大宗；在茶葉灌溉用水方面，因台灣整年度雨量分配不均，多有旱季發生，不穩定的雨量將導致其品質不佳；咖啡、柳丁的特性也相當類似，均為需要固定雨量且不宜過多。因此，為防止旱害發生，實施灌溉為最有效的方法，可在乾旱季節來臨時發揮救旱的效果。山坡地灌溉水的來源多從山澗或地下水抽取，找尋固定水源乃實施灌溉首要工作，若將本研究調查之水資源利用其中，集中供應給乾旱時期之各式作物做調節灌溉，以維持固定水量，即可提高其作物品質，並使本研究所調查之水資源有更佳的使用效率，也可減少水資源因過度的分配而有多餘且不必要的損失。

(三) 工業或觀光用水方面

台灣地區之工業用水可分為自行取水、自來水系統及工業專用系統供應三類，自行取水以抽取地下水及自河川引水或向水庫自行購水等為主。而工業用水按工業用地供給體系，可分為都市計畫區工業用水、非都市地區之丁種建築用地工業用水以及經濟部編定開發工業區用水等三類。

根據行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局(2009)「中部科學工業園區第四期(二林園區)開發計畫—用水計畫書」，其中第四章之節約用水計畫於園區內建立一機能性管理機制—「水資源管理小組」，目的為維持穩定安全的供水，避免因停水或缺水所造成產業損失，並負責乾旱資訊搜集及預警，建立各階段限水之園區供水管理制度，以因應園區供水各種可能情況，協助園區有效管理水資源。

有鑑於此，山區水資源若能提供工業區使用調配，使工業區能獲得更多配套措施以維持安全穩定供水，更可促進此園區的工業發展；同樣地，山區水資源若能提供山區部落觀光用水，亦可促進地方觀光產業之發展。

陸、結論

本研究於古坑鄉與鄰近的地區進行六處的水文地質調查與地下水觀測井建置等工作，於其中四處場址進行抽水試驗。試驗結果可知，清水溪上游的仁和社區，場址井出水量高達每分鐘約有 310 公升之多，古坑鄉山峰社區則每分鐘約有 22.8 公升，差異性非常地大，此乃因台灣山區地質條件複雜，使得山區水文地質架構與地下水系統亦較為複雜且變異性大。

此外，古坑鄉大部分地區位於海拔 100 公尺以上的山區，其自來水管線等設備無法落實到各社區，故社區多仰賴河川或地表水來當作飲用水或灌溉用水，其水源可能無法提供穩定的用水量，且水質亦有可能遭受污染而影響居民飲用水的衛生與安全。爰此，有效地掌握山區的地下水資源，有助於山區農村部落的民生、農業、觀光產業等發展。山區農村部落如何落實環境地質的安全與水資源的調查，將是農村永續發展的重要課題之一。

柒、致謝

本研究經費來源主要為經濟部中央地質調查所之 99 年度「台灣中段山區地下岩層水力特性調查與地下水觀測井建置」計畫，在此特別感謝。

參考文獻

1. 行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局，2009，中部科學工業園區第四期(二林園區)開發計畫－用水計畫書
2. 經濟部水利署，2004，規劃、設計及監造「93 年度地下水觀測站井建置維護計劃」與地下水試驗分析，中興工程顧問股份有限公司。
3. 經濟部水利署，2005，設計、監造「94 年度地下水觀測站井建置維護與調查試驗」計畫，華義水文地質技師事務所，第 A-1~A-27 頁。
4. 經濟部中央地質調查所，2009，台灣中段山區地下水資源調查研究整體計畫-台灣中段山區地下岩層水力特性調查與地下水位觀測井建置(1/4)，財團法人中興工程顧問社。
5. ASTM D1586-11, 1984. Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.
6. Batu V., 1998. Aquifer hydraulics: a comprehensive guide to hydrogeologic data analysis, Wiley, New York, pp. 211-222.
7. ISRM, 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring (ed. E. T. Brown), Pergamon Press, Oxford.
8. Nutter, J.L., and E.G. Otton, 1969. Ground-water Occurrence in the Maryland Piedmont: Maryland Geological Survey, Report of Investigations, no. 10. Baltimore, MD: pp.56.
9. Richard A. Eggleton, 2001. The regolith glossary, Cooperative Research Centre for Landscape Evolution and Mineral Exploration.
10. Struckmeier, W. F., and Margat, J., 1995. Hydrogeological Maps - A Guide and a Standard Legend: Hannover, Germany, International Contributions to Hydrogeology, IAH publication, v. 17, Verlag Heinz Heise.
11. Taylor, O.J., Hood, J.W., and Zimmerman, E.A., 1983. Plan of study for the regional aquifer systems analysis of the Upper Colorado River Basin in Colorado, Utah, Wyoming, and Arizona: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 83-4184, pp.23.