

結合重力與地電阻觀測技術估計地下水含量變化之初步研究

蕭宇伸¹ 施純民¹ 張榮傑¹²

摘 要

本研究結合重力觀測與地電觀測技術，於名竹盆地計算地下水含量變化之可行性評估。重力測量技術可獲得研究區域之地底下質量變化，地電阻觀測技術可得知研究區域地下水面位置。本研究於 2016 年 9 月、12 月，2017 年 3 月、6 月等進行共四次的重力與地電組聯合施測。在重力測量實測方面，本團隊利用絕對重力儀 FG5 和相對重力儀 CG5 來獲取名竹盆地上共 19 個重力點位觀測值；在地電阻實測方面，於濁水溪北岸拉設數條測線，以獲取測區地下水位位置。本研究現階段主要研究課題包括：(1)最佳地質密度差之決定；(2) 評估重力觀測距離對於地下水變化的影響；(3) 評估地下水位變化對重力值的影響；(4)探求地質密度差、地下水變化與重力變化三者間之關係。由模擬結果可得知當地下水位變化達 3 公尺以上時，重力變化值較能被 CG-5 重力儀所測出。

(關鍵字：重力測量、地電阻、地下水)

The Preliminary Study of Estimating Groundwater Change Based on Gravimetry and Electrical Resistivity Tomography

Yu-Shen Hsiao^[1] Chun-Min Shih^[1] Jung-Chieh Chang^{[1][2]}

ABSTRACT

We combine the technologies of gravimetry and electrical resistivity tomography (ERT) to estimate the groundwater content in Minzhu Basin. Gravimetry and ERT can be used to obtain mass variations and groundwater levels, respectively. Four joint surveying missions combined with gravimetry and ERT were carried out in September, December in 2016, and March and June in 2017, respectively. On field surveys of gravimetry, we use the absolute gravimeter FG5 and relative gravimeter CG5 to collect the gravity observations at 19 gravity stations in Minzhu Basin; on field surveys of ERT, we lay surveying profiles on north side of Jhuoshuei River to collect the ERT observations. The main research topics of this study currently include: (1) Determine the best density contrast; (2) Analyze the influence of gravity observation distance on groundwater change;

[1] 國立中興大學水土保持學系

Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

[2] 經濟部水利署第三河川局

Third River Management Office, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, Taichung 413, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail: yshsiao@nchu.edu.tw 2283

(3) Analyze the influence of groundwater level change on gravity values; (4) Explorer the relations between density contrast, groundwater variation and gravity change. Based on the simulated results, the groundwater level changing above than 3m at least can be observed by CG-5 gravimeter.

Keywords : Gravimetry, Electrical Resistivity Tomography, Ground water

前言

台灣地區平均每年約有 2500 毫米的降雨量，為世界平均降雨量的 2.6 倍，水資源應不虞匱乏，但由於台灣地區地狹人稠、河川坡陡流急，降雨集中於夏季，形成許多荒溪型河川，水資源往往迅速流入海洋，無法有效供給台灣地區人民的各種用水，為了盡量保存可用水，興建水庫在台灣的水資源應用上，扮演了非常重要的角色，雖然水庫能有效控制水量，使水資源不會馬上流入海中，供給更多的民生及工業用水，也能減免洪水來臨時對下游造成的衝擊，但其也會使下游地區土壤貧瘠、造成水庫周圍生態衝擊，長期蓄水也有可能使水質優養化等缺點，在興建水庫前須審慎評估其對附近造成之影響，使衝擊降至最低。

台灣目前有八十多座水庫，隨著台灣經濟發展、山坡地的開發利用、上游集水區過度開發，使土壤沖蝕日益嚴重，而水庫的庫容易受單一極端氣候的影響，如 2009 年的莫拉克颱風為曾文水庫帶來的淤積量即達水庫容量的 12%(何幸娟等，2013)，使曾文水庫蓄水量急遽減少，未來若時常發生類似的極端降雨，台灣的水庫將岌岌可危。除了氣候變遷影響水庫壽命之外，早期設計水庫時並未設計排沙道等淤積問題處理(向雲謙，2015)，至始多處水庫蓄水量至今皆不到原本的一半，有些蓄水量甚至已降至 30% 以下，台灣儲水問題令人堪憂。

因應台灣地區水資源有效利用，與水庫庫容日漸減少，可藉由開發新的水庫來解決水資源不足的問題，但由於近年來環保意識抬頭，找尋新的場所興建水庫勢必引起當地民眾反對，如美濃水庫與高屏大湖的開發案在政府與人民間的抗爭至今已 20 年遲遲無法興建，故台灣開始考慮以開發地下水庫的方式來增加水資源利用，其較不會對環境有很大的衝擊，且位於地底下能使地表有效利用，不會占據當地居民的生活空間。本團隊選定濁水溪沖積扇上游一名竹盆地地區為研究區域，因名竹盆地地處濁水溪、清水溪匯流處，河床沖積層厚、透水性佳，又靠近山區時常降雨，使水資源補注豐沛，其地底下有超過 200 公尺厚的礫石層(經濟部中央地質調查所，2014)，壓縮性低，若抽取地下水較不會造成明顯的地層下陷，於名竹盆地隘口處地下拱起的地質構造，如同地底下的攔水壩，使名竹盆地地地下水源不易流失，形成良好的儲水層，為台灣地區最具地下水庫發展潛力的地區之一。

名竹盆地地地下水含量約相當於石門水庫的總蓄水量(聯合報，地下水庫潛力區一名竹盆地像塊大海綿，2013)，選擇此地除了供應台灣中部地區的水資源利用外，另一大主因為濁水溪沖積扇沿海時常抽取地下水供民生及工業用水，造成地層下陷頻繁，尤以雲嘉地區最為嚴重(洪偉嘉等，2015)，有些甚至累積下降了 2 公尺，近年來又有高速鐵路經過，持續下陷將會

影響其安全性，若名竹盆地能成為台灣第一座地下水庫，並與濁水溪沖積扇和集集攔河堰互相配合，增加中南部地區的水資源利用，初估名竹盆地可利用水量每年約 2 億立方公尺以上(經濟部中央地質調查所，2012)，將有效緩解雲嘉地區因超抽地下水而致地層下陷的問題。然而早期測定地下水之水位與其他水文資訊如水質、導電度、溶氧量等，需於現地進行鑿井工程，且需向政府機關申報，評估許可後花費大量人力、金錢與時間才能完成一口井，非常得來不易，且若興建過程中又發生工安意外，更加得不償失。

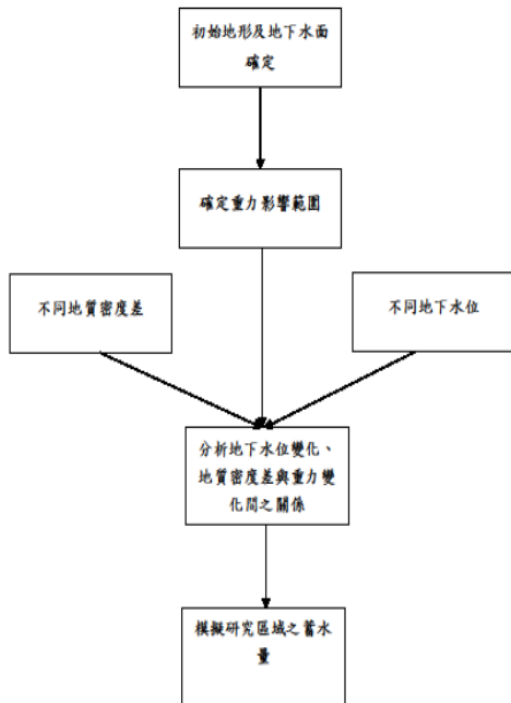


圖 1 研究流程圖。

Fig.1 The flow chart of this study.

本文為科技部三年計畫「地下水庫活化與永續營運—地下水庫活化與永續營運」(計畫編號：MOST 105 - 2221 - E - 009 - 054 - MY3)之初步研究成果之一，即利用重力值會受地面下

質量變化影響的特性，預計以 FG-5 絕對重力儀和 CG-5 相對重力儀觀測名竹盆地部分地區之重力變化，並以地電阻技術觀測名竹盆地部分地區之地下水面變化(此部分資料將由國立中央大學地球科學系近地表地球物理研究室提供)，將重力觀測值與地電阻觀測值結合後，即能推求名竹盆地之地下水含量變化。由於本文僅為初步成果，相關實測重力與地電阻觀測值目前還再進行相關資料處理改正，故本文重點將探討模擬重力變化值、模擬地下水變化值、與地質密度差值等三者間的關係，以評估重力測量與地電阻聯合施測運用於地下水含量變化測量的效益。本文之研究流程如圖 1 所示，首先利用 5 公尺 DEM 與地電阻觀測結果來建立研究用之地下水位面，接著計算重力影響範圍，然後藉由改變地質密度差與改變地下水位來分析重力變化值、地下水變化值、與地質密度差值等三者間的關係，最後模擬在各種不同地下水變化與地質密度差之條件下，此區域所對應之可能蓄水量。

研究方法

1. 研究區域與資料蒐集

本研究區域位於台灣中部濁水溪沖積扇扇頂上游之名竹盆地地區，屬濁水溪中游段，如圖 2 表示。此區域為丘陵與台地圍繞而成，水資源僅有一隘口流出供下游平地使用，其間有東埔蚋溪與清水溪等支流匯流於濁水溪以補注名竹盆地水源，為補注潛勢極高的地區。

本研究為測定地下水位升降變化，在台灣地區水位變化最明顯之時間，即雨季與乾季共進行四次重力與三次地電阻測量外業，觀測時間如表 1，目前相關重力與地電阻觀測值正在進行相關改正中，相關外業測量亦持續進行

中。重力點位與地電阻點位分布如圖 3 所示。由於實測重力與地電阻觀測成果還再進行相關分析，故本研究僅針對模擬重力變化、模擬地下水變化、與地質密度差(雨季與乾季地下水位面化區間之地質密度差值)進行相關討論。文中所指之地質密度乃包含土壤固體顆粒密度和水的密度混合後的總體密度(bulk density)。此外，

本研究利用內政部全台 5 公尺 DEM，擷取名竹盆地區域之範圍(東經 $120^{\circ}36'36'' \sim 120^{\circ}45'00''$ ，北緯 $23^{\circ}45'36'' \sim 23^{\circ}51'36''$)，來進行模擬地下水位之相關計算，5 公尺 DEM 之成果亦如圖 3 所示。

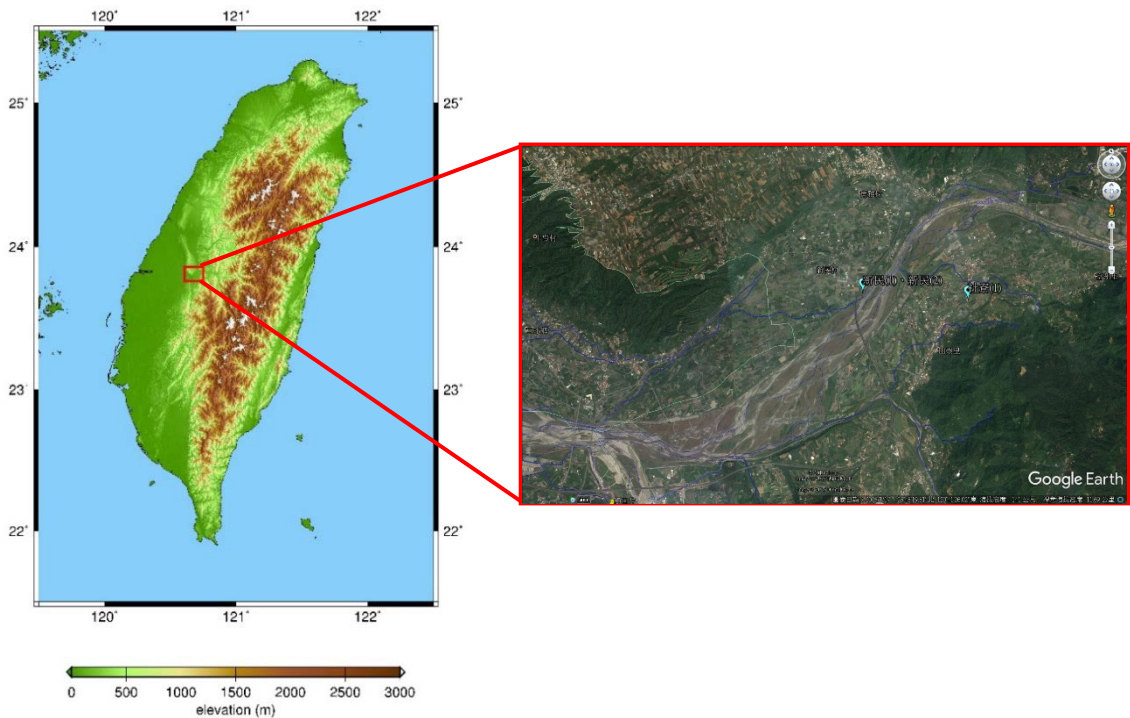


圖 2 名竹盆地研究區位位置圖，紅色方框處為名竹盆地位置，右圖藍色點位為名竹盆地既有水井位置(新民 1、新民 2、社寮 1)。

Fig.2 Left: The location of the Minzhu Basin in Taiwan. Right: A zoom-in view of the Minzhu Basin (source: google earth). The blue dots on the right panel represent the locations of the existing wells (Xinmin 1, Xinmin 2, and Sheliao 1)

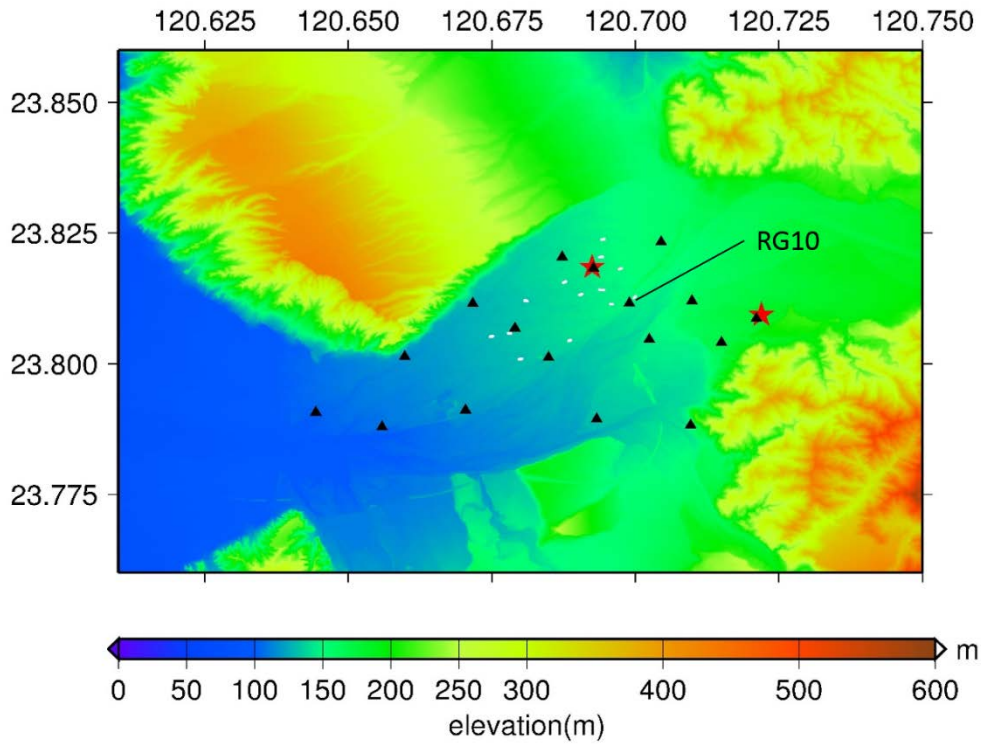


圖 3 名竹盆地地形圖，其中紅色星星為 FG-5 觀測站，黑色三角形為 CG-5 觀測站，白色點位為地電阻觀測站。

Fig.3 The terrain of Minzhu Basin. The red stars, the black triangles and the white points are the FG-5, the CG-5, and the ERT observation stations.

表 1 重力與地電阻觀測任務

Table 1 The gravity and ERT survey missions

期數	任務	重力觀測日期	地電阻觀測日期	備註
第一期	任務一	2016/09/08~ 2016/09/09	無觀測	雨季後
	任務二	2016/12/27~ 2016/12/28	2016/12/26~ 2016/12/30	乾季
第二期	任務三	2017/03/29~	2017/03/27~	雨季開始前
第三期		2017/03/30	2017/03/31	

	任務四	2017/06/14~ 2017/06/15	2017/06/12~ 2017/06/16	雨季期間
--	-----	---------------------------	---------------------------	------

2.2. 重力模擬原理

本研究模擬不同水位面重力值之方式乃根據(Hwang et al.,2007)計算地形效應(terrain effect)之方法,其原理為將乾季水位假設為海平面(0m),計算 P 點對於地下水面自濕季降至乾季造成的重力變化值,其示意圖如圖 4。在 P 點位置,乾濕兩季地下水面間的重力位能變化如下(Heiskanen and Moritz, 1967) :

$$V = G \int_x \int_y \int_{z=0}^h \frac{\rho dx dy dz}{\sqrt{(x-x_p)^2 + (y-y_p)^2 + (z-h_p)^2}} \quad (1)$$

其中, V 為重力位能變化(potential variation),單位為焦耳(joule); ρ 為地質密度差(geological density contrast),即代表兩期地下水面之間的地質密度差距,單位為 kg/m^3 ; G 為萬有引力常數($G = 6.674 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$); 而 V 的梯度的負值即是重力場變化 A_T ,可表示為

$$A_T = - \left(\frac{\partial V}{\partial s} \right) \Big|_{s=h_p} = G\rho \int_x \int_y f(x,y) dx dy \quad (2)$$

其中

$$f(x,y) = \frac{1}{\sqrt{(x-x_p)^2 + (y-y_p)^2 + (h-h_p)^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x-x_p)^2 + (y-y_p)^2 + h_p^2}} \quad (3)$$

一般而言,重力之單位為 mgal ($1 \text{mgal} = 1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$)。(2)式中,若給定一個範圍區間,則(2)式可表達如下之數值積分應用式

$$G\rho \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} f(x,y) dx dy \approx G\rho \sum_{j=1}^M w_j^y \left(\sum_{i=1}^N w_i^x f(x_i, y_j) \right) \quad (4)$$

其中 X_1, X_2, Y_1, Y_2 為計算區間,分別代表計算範圍的西、東、南、北界; w_i^x 和 w_j^y 為權係數;

x_i 和 y_j 為節點座標; M 和 N 為分別在 $[X_1, X_2]$ 與 $[Y_1, Y_2]$ 區間中權係數與節點座標的數

量。本研究中, x_i 和 y_j 即為本研究 5 公尺規則網格 DEM 在 $[X_1, X_2]$ 與 $[Y_1, Y_2]$ 區間中之 X 與 Y 座標(即每 5 公尺一個節點)。若假設 P 點在地下水面下降前後(雨季與乾季)的觀測重力值分別為 $g_d = g_w - A_T$ 與 $g_d = g_w - A_T$, 則兩者觀測重力差值為 $g_w - g_d$, 若可得知研究區域之正確地質密度差 ρ , 則

$$A_T = g_w - g_d \quad (5)$$

由於 $g_d = g_w - A_T$ 與 $g_d = g_w - A_T$ 均為觀測重力值,故只要將不同之地質密度差 ρ 代入(4)式計算,即可找到最符合研究區域之地質密度差值,再配合地電阻技術觀測兩期地下水面,即可推估地下水面變化區間之水含量。目前本研究相關實測重力與地電阻觀測值還在進行相關改正,故本文著重在探討模擬重力變化值、模擬地下水變化值、與地質密度差值三者關聯性。

3. 模擬重力值計算範圍

由(4)式與圖 4 可發現,重力模擬時需要一地下水面水平範圍(即(4)式中之 $[X_1, X_2]$ 與 $[Y_1, Y_2]$ 區間),為了找出最適當的範圍,本研究利用(4)式,分析距離測站不同範圍質量變化對重力變化的貢獻度,其結果如圖 5 所示。由圖 5 可知,重力效應隨著水平距離越長而衰減,大部分重力影響 90%貢獻來自一公里範圍內,約 97%貢獻來自兩公里範圍內,當超過兩公里後計算結果幾乎一樣,此結果與(張翊,2016)於曾文水庫地區分析之結果相同,故本研究後續模擬重力變化值方面,僅計算以重力點為中心,半徑兩公里之內之地下水變化。

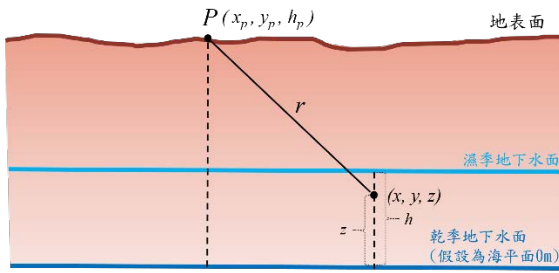


圖 4 地形改正示意圖。

Fig.4 The diagram of terrain correction.

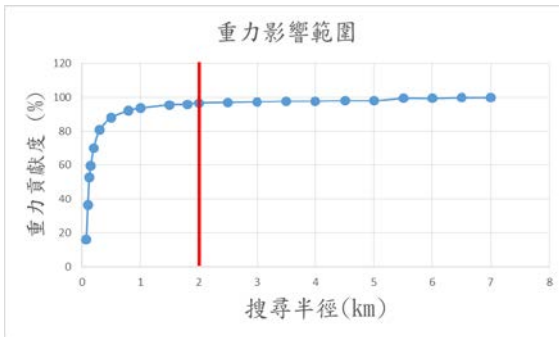


圖 5 重力貢獻度與搜尋半徑之關係

Fig 5 The relation between gravity contribution and search radius.

結果與討論

本文主要研究乃分析模擬重力變化、模擬地下水變化與地質密度差三者間的關係，且根據模擬之地下水位不同假設，分兩種測試例，如表 2 所示：

表 2 測試例之模擬假設

Table 2 Simulation assumptions for test cases

模擬方法	假設
測試例一	- 將地電阻水位與附近地形內插成地下水面。 - 假設乾季水位為海平面 0m。
測試例二	- 地下水面皆為水平。 - 乾季水面為海平面 0m。

以下將分別詳述。

1 測試例一

本文以 RG10 重力站(如圖 3 與圖 6)作為模擬地下水含量之研究區域，選擇 RG10 站原因為此站僅鄰地下水井新民井 1、2，其附近也有地電阻觀測資料，故地下水位之計算會較正確，此外，本文以任務二之地電阻觀測值，作為模擬初始地下水位之資料。RG10 重力站與相鄰地電阻站之位置如圖 6 所示。



圖 6 重力點 RG10 位與地電阻(A、B、C、E、G、F)位置。

Fig 6 The locations of the gravity station (RG10) and the ERT stations (A, B,C,E,G, and F).

而模擬地下水含量之方法如下：

1. 利用名竹盆地 5 公尺規則網格 DEM 內插出 RG10 站之高程值，其高程值為 148.943 公尺，而任務二之各地電阻觀測地下水位值如圖 7 所示。

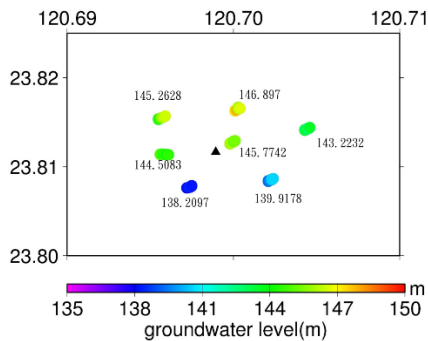


圖 7 任務二之地電阻各測線之觀測地下水位，
黑色三角形為 RG10 測站位置

Fig 7 The observed groundwater levels (in meters) at the ERT stations in the mission 2. The black triangle is the location of the RG10 gravity station. 於 5 公尺規則網格 DEM 上以 RG10 點位為中心，2 公里半徑內將原地形資料挖除，如圖所示

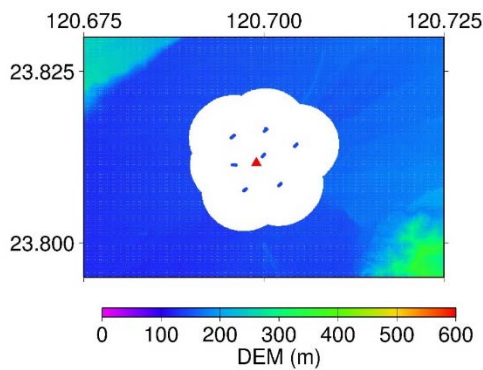


圖 8 挖除地形資料示意圖，

Fig 8 The diagram of excavating the DEM. 確保挖除範圍內無殘留高程，再將地電阻地下水位高程與附近地表高程進行內插，模擬出 RG10 重力點位附近之地下水面，如圖 9 所示。

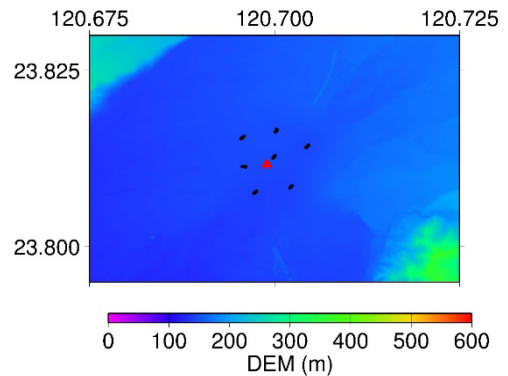


圖 9 模擬之地下水面。

Fig 9 The simulated groundwater surface. 接著將模擬之水位分別下降 0.4m、0.8m、1.2m、1.6m、2m、2.4m、2.8m、3.2m、4m、6m 等深度(如圖 10 所示)，以分析不同深度的地下水面造成的重力值影響為何。以改變地質密度差來模擬出不同的重力值，探討地質密度差、地下水面變化與重力變化三者間的關係，結果如圖 11 所示。

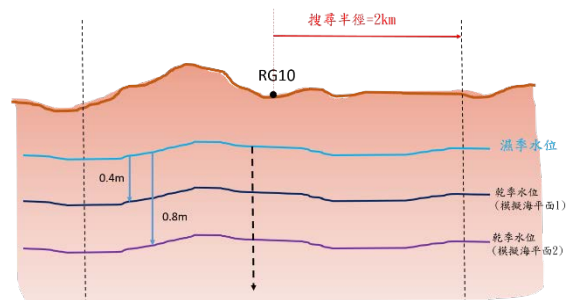


圖 10 不同模擬之地下水位示意圖(測試例一)。

Fig 10 The diagram of different simulated groundwater levels (case 1).

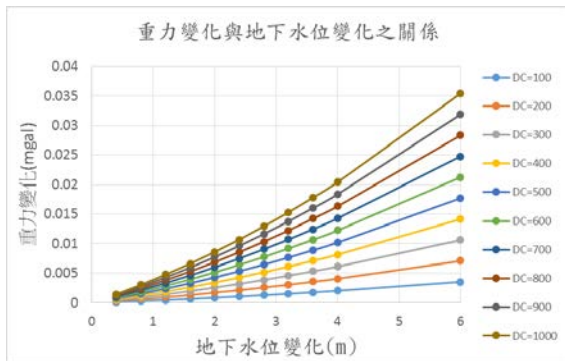


圖 11 重力變化與地下水位變化之關係(測試例一)，其中 DC 為地質密度差(Density Contrast)，單位為 kg/m^3 。

Fig 11 The relationship between gravity change and groundwater level change (case 1), where DC is the Density Contrast and the unit is kg/m^3 .

圖 11 中若地質密度差越接近 1000kg/m^3 ，表示該地層含水量越豐富；若地質密度差越接近 100kg/m^3 ，表示該地層含水量越少。此外，由圖 11 可發現模擬結果符合理論情況，水位變化越大，重力值變化越明顯，而地質密度差越大表示含水量越高，也使重力變化幅度增加，對於周遭地形的高低起伏可能會影響重力值的變化。因本方法為挖除周遭地形後，再內插出模擬區域的地下水面進行計算，當進行重力模擬時可能會因為山脈地形高程被挖除，或高起的地形而使重力值減少，造成模擬重力觀測值有所誤差，然而本研究的模擬地區皆在名竹盆地平坦處，且距離附近山脈較遠，無上述問題之疑慮。

2 測試例二

在測試例二中，模擬地下水含量之方法如下：

1. 以 RG10 重力站作為模擬重力點位，設定

- 2km 單窗半徑，並假設地下水位面皆為水平，如圖 12 所示，模擬水位於乾濕季變化量為 0.5m、1m、1.5m、2m、2.5m、3m、3.5m、4m、4.5m、5m、5.5m、6m。
2. 以不同地質密度差($100\text{kg/m}^3 \sim 950\text{kg/m}^3$) 求出各水位變化時產生的重力變化 (mgal)，其結果如圖 13 所示。

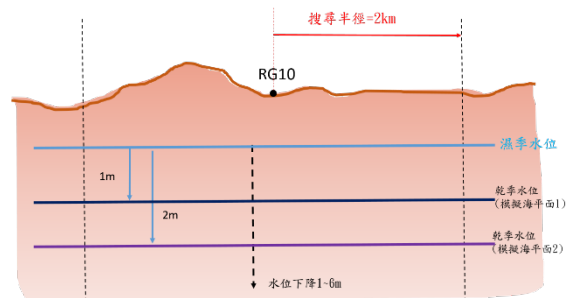


圖 12 不同模擬之地下水位示意圖

(測試例二)。

Fig 12 The diagram of different simulated groundwater levels (case 2).

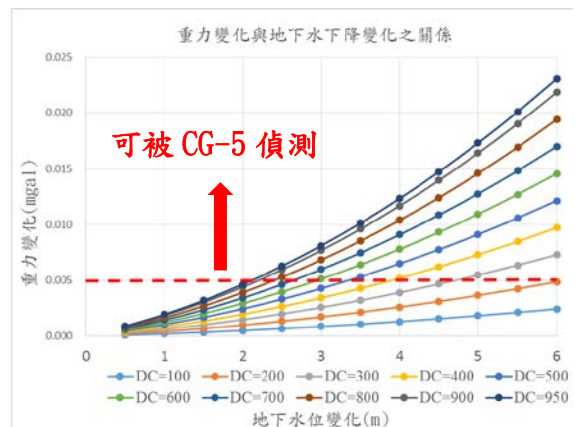


圖 13 重力變化與地下水位變化之關係

(測試例二)，其中 DC 為地質密度差

(Density Contrast), 單位為 kg/m³。

Fig 13 The relationship between gravity change and groundwater level change (case 2), where DC is the Density Contrast and the unit is kg/m³.

由圖 13 可知變化幅度較測試例一來的小，但此模擬更接近理論情況。由於 CG-5 重力儀最佳精度為 0.005mgal，故圖中紅色虛線以上才能被 CG-5 測出，由此圖可得出以下結論：(1)當水位變化為 2.5m 時，地質密度差需大於 800 kg/m³ 才可被 CG-5 測出；(2)當水位變化為 4m 時，地質密度差需大於 400 kg/m³ 才可被 CG-5 測出；(3)當水位變化為 6m 時，地質密度差只需大於 200 kg/m³ 即能被 CG-5 測出。

本研究依據地質密度差、水位變化與重力變化的關係製作以下 3D 模型，其結果如圖 14 所示。根據圖 14 可發現，此 3D 模型更能了解三者間的關係，當地下水位變化越大時，重力變化值受地質密度差的影響將變小。此外，根據名竹盆地地下水位變化僅 1~3m 來看，若水位變化 2m，地質密度差需達 950 kg/m³ 才可被 CG-5 重力儀測出，經式(5)計算含水量為 100%，不符合實際情況；水位變化 3m 時，地質密度差也需要 600 kg/m³，含水量也非常地真實情況，故以名竹盆地而言，以 CG-5 重力儀的精度(0.005 mgal)觀測名竹盆地來求得地下水資源可能稍顯不足，若每個點位都使用 FG-5 進行觀測(FG-5 觀測精度達 0.001 mgal)，必能解決精度不佳的問題，但 FG-5 一個點位需觀測至少 12 小時以上，且須穩定電源與室內空間防止溫度過高，進行一期的重力外業必定要花上數天的時間，會影響觀測數據的精準度，因重力值每天都在變動，且地下水位每天也不盡相同，若觀測時

間過長則每個點位就不是在同一個環境條件下獲得，佈設成重力網形時將衍生出新的誤差，使測量結果變得無意義，故期望未來有精度更高、測量時間快且攜帶方便的重力儀，必定能使相關研究更順利發展，另一方面，地電阻觀測之地下水面精度若能更加提升，也將對此方面的研究有一大進展，使重力模擬分析的成果更加完善。

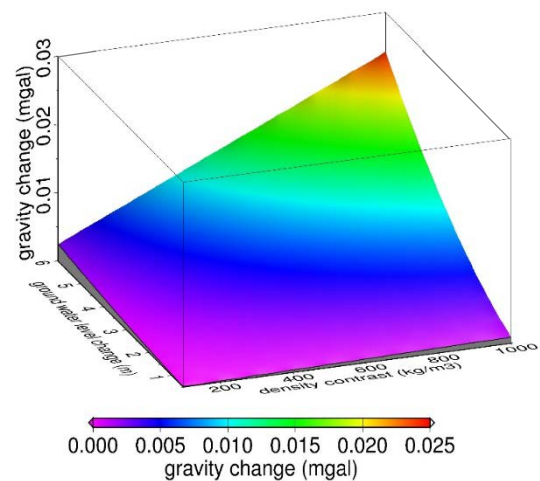


圖 14 地質密度差、地下水變化與重力變化之 3D 模型(測試例二)。

Fig 14 The 3D model of density contrasts, groundwater changes and gravity changes (case 2). 除此之外，為進一步計算地質密度差與蓄水量之關係，本研究以(Bilskie,2001)之方法來模擬研究區域之蓄水量，方法如下：

$$D_m \times \frac{(100-\theta_v)}{100} + 1000 \times \left(\frac{\theta_v}{100}\right) = D_m - DC \quad (6)$$

其中 θ_v 為體積含水量(volumetric water content) (%)； D_m 為名竹盆地地質密度($D_m=1950\text{kg/m}^3$)； DC 為地質密度差(kg/m^3)。

$$v_w = v_t \times \theta_v / 100 = (\pi r^2 \times \Delta h) \times \theta_v / 100 \quad (7)$$

其中 v_w 為蓄水量(m^3)； v_t 為土壤總體積(m^3)； r 為搜尋半徑(2000m)； Δh 為地下水變化(m)。

根據中央地質調查所資料顯示，名竹盆地之地質密度約 1950 kg/m^3 ，吾人選取圖 13 之 CG-5 重力儀可偵測的範圍情況下(即最小地質密度差情況下)，以(6)式與(7)式來計算模擬不同地下水面變化之可能蓄水量，其中(7)式是以半徑 2km 範圍內來計算，其結果如下表 3 所示。

表 3 不同水位變化之可能蓄水量

Table 3 Possible water storages for different water level changes.

地下水變化 (m)	最小地質密度差 (kg/m^3)	可能蓄水量 (萬 m^3)
2.5	800	2645.552
3	600	2380.997
3.5	500	2314.858
4	400	2116.441
4.5	400	2380.997
5	300	1984.164
5.5	300	2182.58
6	300	2380.997

此外，根據雲林科技大學水土資源及防災科技中心於 2013 年之報告中得知，名竹盆地主要含水層面積約為 69.8 平方公里，吾人選取表 3 中較為合理之可能蓄水量，乘上名竹盆地主要含水層面積，得到名竹盆地之可能蓄水量與有效蓄水量相近之水庫進行比較，結果如表 4 所示，由表 4 可發現名竹盆地主要含水層可能蓄水量與石門水庫、基水庫、日月潭水庫與鯉魚潭水庫之有效蓄水相當，若能將其豐富的水源

加以運用，勢必能大幅增加名竹盆地周遭甚至台灣中南部水資源的使用，但此為模擬情況，與實際情形還是有所差異，且每次可抽取的水量使其不會對環境造成影響還需另外討論，若能獲得當地的比出水率則能更進一步確定真實的地下水含量與可抽水量，進行地下水庫可行性評估。

表 4 主要含水層可能蓄水量(乾濕季地下水位變化區間)與相近容量之水庫比較，其中水庫有效容量與有效蓄水量資料來源為

“http://fhy.wra.gov.tw/ReservoirPage_2011/StorageCapacity.aspx”

Table 4 Comparison of the main aquifer with potential storage capacity (groundwater level change interval in wet and dry season) and reservoirs with similar storage capacities, where the sources of effective reservoir capacity and effective storage capacity are from

“http://fhy.wra.gov.tw/ReservoirPage_2011/StorageCapacity.aspx”

水庫	有效容量(萬 m^3)	有效蓄水量(萬 m^3)
石門水庫	20134	17778.57
德基水庫	15000	11723.92
日月潭水庫	12928.67	12181.89
鯉魚潭水庫	11497.53	11537.24
名竹盆地水位	2km 半徑可能蓄水量	主要含水層乾濕季水位變化

變化 (m)	(萬 m ³)	區間內可能蓄 水量(萬 m ³)
3	2380.997	13214.533
3.5	2314.858	12847.462
4	2116.441	11746.248

結論與建議

本研究針對研究測區與模擬結果整理出以下結論與建議：

1. 以重力觀測地下水含量變化，須配合地電阻觀測之地下水面位置與當地地下水井資料才能進行模擬計算。
2. 為能觀測出地下水為變化造成的重力影響，應將觀測點位設於水位變化較大之地區為佳。
3. 模擬地下水面為使用 5 公尺 DEM 於各地電阻觀測點進行內插，與實際地下水面仍有差異，建議以更完整的地下水面來進行重力模擬，使成果更接近真實情況。
4. 以 CG-5 相對重力儀之觀測精度無法觀測名竹盆地 1~3m 的地下水位變化造成的重力影響，須有更高精度的儀器才能完成。
5. 本研究僅能模擬地下水面均值變化造成的重力影響，與實際情況仍有些差異。
6. 重力觀測若成效良好，建議後續研究者可擴大至整個濁水溪沖積扇，分析大範圍之地下水變化情況。

7. 本研究目前於新民井周圍進行現地重力觀測並模擬計算出該地於乾濕兩季水位變化區間之可能蓄水量，可呈現本研究方法之可行性。

誌謝

本文為科技部計畫「地下水庫活化與永續營運－地下水庫活化與永續營運」(計畫編號：MOST 105 - 2221 - E - 009 - 054 - MY3)之研究成果之一，其中地電阻觀測資料由國立中央大學地球科學系近地表地球物理研究室所提供。

參考文獻

1. 雲林科技大學水土資源及防災科技中心(2013)，「名竹盆地地下水資源開發調查規劃」。
2. 經濟部中央地質調查所(2014)，「名竹地下水庫」
<https://www.youtube.com/watch?v=QhwBgMtjspw>
3. 經濟部中央地質調查所(2013)，「地下水庫潛力區－名竹盆地像塊大海綿」，Taiwan Geoscience Portal。
4. 經濟部中央地質調查所(2012)，「彰雲地區缺水問題的救星－名竹盆地地下水庫」，新聞稿。
5. 何幸娟、林伯勳、蕭震洋、冀樹勇、吳俊毅、陳樹群、簡以達、蔡明發(2013)，「曾文水庫集水區莫拉克風災後土砂環境檢查及診斷評估」，社團法人中華水土保持學會年會 102 年度學術研討會。

6. 向雲謙(2015),「重力測量技術估計水庫淤砂量變化：以曾文水庫為例」,國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
7. 洪偉嘉、黃大任、黃金維、張磊(2015),「時域相關點雷達干涉技術應用於雲林嚴重地層下陷區監測」,航測及遙測學刊,19(3), p.225~p.237。
8. 張翊(2016),「重力測量技術應用於估計水庫淤積測量之可行性分析」,國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
9. Heiskanen, W.A.,and Moritz, H. (1967), “Physical Geodesy” WHFreeman and Co, San Francisco.
10. Hwang, C., Hsiao Y.S., Shih H.C., Yang M., Chen K.H., Forsberg R.,Olesen A.V., (2007), “Geodetic and geophysical results from a Taiwan airborne gravity survey: Data reduction and accuracy assessment” Journal of Geophysical Research,112(B04407), DOI:10.1029/2005JB004220.
11. Bilskie J., (2001), “Soil water status: content and potential” Campbell Scientific, Inc.

107 年 04 月 19 日收稿

107 年 04 月 26 日修改

107 年 06 月 26 日接受

水土保持學報 49 (4): 2283–2296 (2017)

Journal of Soil and Water Conservation, 49 (4): 2283–2296(2017)