



行政院環境保護署

107 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開 發與模場驗證 期末報告（定稿）

主辦單位：  行政院環境保護署
專案執行單位： 國立中央大學／應用地質研究所
專案主持人： 倪春發 教授
專案執行期間： 107 年 01 月 10 日起至
107 年 11 月 30 日止

中 華 民 國 107 年 12 月 印製



107 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案申請書

一、專案基本資料表

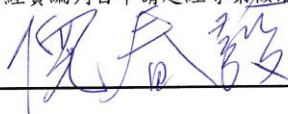
申請編號：

專案性質	☐ 實驗性質 ☒ 非實驗性質		專案類別(單選)	☒ 研究專案 ☐ 模場試驗
研究主題	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他			
申請機構系所	國立中央大學應用地質研究所			
機構地址	32001 桃園市中壢區中大路 300 號			
專案主持人	倪春發	職等/職稱	教授	
協同主持人	李奕賢	職等/職稱	助理研究員	
專案名稱	中文	土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證		
	英文	Development and site-scale verification of web-based platform for soil and groundwater modelling and management.		
	關鍵字	土壤地下水、智慧管理、網頁平台開發、模場驗證		
執行期程	自民國 107 年 01 月 10 日起 至民國 107 年 11 月 30 日止			
專案主持人	姓名：倪春發	E-mail：nichuenfa@geo.ncu.edu.tw	專線：034227151 #65874 手機：0989483898	
專任助理	姓名：	E-mail：	專線： 手機：	
經費分析總表	專案預估總經費		第一年申請金額	第一年申請金額
	1.	人事費用	302,129	(1~5 項相加之 50%為限)
	2.	貴重儀器使用含維護費		(與計畫實驗相關)
	3.	消耗性器材與主要費用	572,725	(與計畫主體相關)
	4.	其它研究相關費用		(差旅與租賃費用)
	5.	雜項費用	45,146	(1~6 項相加之 5%為限)
	6.	行政管理費		(1~5 項相加之 10%為限)
專案計畫申請總金額		920,000	總金額：920,000	

說明：

1. 本署以部份補助為原則，得指定不補助項目，不補助項目應為自籌款項，應自行核銷不得申請。
2. 非實驗性質之專案，若第一項費用編列金額超出比率，須於申請時向本署專簽說明，俾利審查。
3. 補助專案經費編列自申請起經專案核准後，經費編列中各項費用單價與需求只可減少與下修。

專案主持人：




(簽名及蓋章)

日期：

12/2

(請蓋上申請單位大小章)



摘 要

快速與正確判斷、評估、預測地下水及污染傳輸機制，為污染場址管理、污染事件應變以及場址整治成功的關鍵因素之一。本計畫將延續前期計畫成果，建置以物理模式為基礎的線上分析平台，結合環保署與外部單位開放資料，達到與使用者互動、即時與快速分析觀測資料空間分布與污染團遷移的目的。分析平台將考量跨作業系統、跨網頁平台操作，使相關領域調查及研究人員能在網路聯結情形下，使用辦公室或行動裝置，進行線上分析評估與模擬。為提高分析成果的空間資訊理解與評估，平台將使用 Mapbox 模組做為平台基礎架構，結合政府單位開放資料，開發資料庫介接模組、大數據資料傳輸技術、空間資料統計分析、污染團遷移物理模式分析模組及視覺展示等。在此架構下，使用者能藉由地圖資訊做為條件門檻，查詢分析與調查區位既有資料；亦可依據潛在土壤地下水污染場址通報資訊，即時以物理模式推估污染團的歷史遷移與空間分布。成果將有效率地結合既有土壤地下水管理系統與其他相關部門與機構開放資料，協助土壤地下水領域產、官、學、研相關工作推動與執行。

關鍵詞：地下水流、污染傳輸、互動地圖平台、開放資料、模擬、空間資料分析



Abstract

Efficient identification, assessment, and prediction of groundwater flow and contaminant transport behaviors have become the key process for site management, strategy design of emergency events, and site remediations. This study aims to develop an interactive online map platform for spatial data analysis and flow and transport modeling in soil groundwater systems. The physical-based analysis and modeling was expected to integrate available data in soil groundwater management (SGM) system and other government open sources. In this study the platform was developed to compatible with different operation systems and web platforms and was allowed to operate with office and mobile devices. To improve the usefulness and understanding of analysis and modeling results for users, the map platform uses the Mapbox map for results visualizations. The users can consider map information as the criteria for data mining and spatial data analysis. Additionally, the map information also provides the base map for physical-based interactive flow and transport modeling. With the available SGM data and other data sources, the data analysis and flow and transport modeling integrated in the developed platform are expected to be efficient for most cases proposed by fields of soil groundwater contamination in industries and government and research agencies.

Key words: groundwater flow, contaminant transport, interactive map platform, open sources, modeling, spatial data analysis



目 次

摘要.....	i
Abstract.....	ii
(一) 前言.....	1
(二) 研究目的.....	3
(三) 文獻探討.....	8
3.1 MODFLOW 數值模式.....	8
3.1.1 控制方程式.....	8
3.2 現地污染場址背景.....	14
3.2.1 區域地形描述.....	16
3.2.2 現地水文地質特性.....	17
3.2.3 現地水文特性.....	19
(四) 研究方法與過程.....	20
4.1 資料庫規格改善與重製.....	20
4.2 模式平台架構與前後端連結.....	24
4.3 應用資料蒐集與開拓.....	27
4.4 計算引擎演算法—空間資訊數值插值、地下水流與污染傳輸控制 方程式.....	28
4.5 實際場址案例驗證.....	32
(五) 結果與討論.....	35
5.1 使用者帳號管理.....	35
5.2 地理資訊平台.....	35
5.3 時序資料庫創建.....	39
5.4 圖層管理系統.....	41
5.5 空間插值.....	48
5.6 網格生成模式.....	51



5.7	地下水流場模擬.....	54
5.8	列管場址相關試驗與圖資展示.....	55
5.9	結論與建議.....	63
5.10	後續執行工作項目說明.....	63
(六)	參考文獻.....	65

附件一 專案成果績效自評表

附件二 專案申請計畫書各階段審查意見表

附件三 研討會發表目錄

.

.



圖 次

圖 1	Groundwater Assessment Platform, GAP.	4
圖 2	Geospatial Data and Services Platform, Geo platform.....	5
圖 3	National Groundwater Information System, NGIS.	5
圖 4	離散後含水層系統示意圖（McDonald and Harbaugh, 1988）。	9
圖 5	水流與兩格網元素間關係示意圖（McDonald and Harbaugh, 1988）	10
圖 6	三維空間中各格網元素間之相對位置圖（McDonald and Harbaugh, 1988）。	10
圖 7	反向差分求解法示意圖（McDonald and Harbaugh, 1988）。	13
圖 8	永康污染場址分區。	14
圖 9	計劃場址之分區以及觀測井之空間分布，其中黃色點為過往計劃建置過之觀測井位置。	15
圖 10	場址附近之地體構造與高程空間分布，其中場址周圍的黃色區域為此次計劃所使用的模擬範圍（單位：公尺）。	17
圖 11	本計畫所使用場址周圍之地質鑽探井位置圖。	18
圖 12	臺南台地周圍之地質柵狀圖（翁淑卿, 2002）。	18
圖 13	場址周圍之排水系統空間分布。	19
圖 14	本研究平台分析架構與資料流程示意圖。	20
圖 15	全台村里邊界與基本資料案例展示。	21
圖 16	政府開方資料網之村里界圖網頁。（ https://data.gov.tw/dataset/7438 ）	21
圖 17	USGS 即時監測地下水井	22
圖 18	USGS 單一監測井資訊	22
圖 19	監測水井建井與觀測歷程資訊	23
圖 20	監測水井水位統計資料	23
圖 21	歷年日水位資料.....	23
圖 22	本研究平台分析架構與資料流程示意圖。	24
圖 23	使用者端與前端溝通知程示意圖。	25



圖 24	前端關鍵技術架構。	26
圖 25	平台內各功能之圖層與使用者關係。	26
圖 26	距離反比 (Inverse distance) 插值演算流程。	29
圖 27	觀測點與多邊形頂點三角形網格。	29
圖 28	自行開發地下水流場與傳輸模擬執行流程	31
圖 29	計劃場址位置、分區與歷年計畫之監測井位置	33
圖 30	場址於 2016 年 1 月進行之二氯乙烯濃度空間分布調查結果	33
圖 31	花蓮 2014 平均地下水水位等水位線分佈	35
圖 32	本平台大尺度地下水觀測井位置圖 (現存站)。	36
圖 33	本平台小尺度地下水觀測井位置圖 (現存站)。	36
圖 34	單一地下水觀測井細部資料屬性。	37
圖 35	不同單位點資料同時呈現。	38
圖 36	地下水水位時序資料。	38
圖 37	雨量站時序資料。	38
圖 38	地下水水位時序資料 (月與年資料)。	39
圖 39	水利署觀測井各含水基本資料與時序圖按鈕。	40
圖 40	桃園福興觀測站 4 層含水層歷時水位觀測數據	40
圖 41	桃園福興觀測站第 1 層含水層小時與日水位資料。	41
圖 42	圖層管理介面。	41
圖 43	新增資料庫網頁控制區。	41
圖 44	平台操作工具。	42
圖 45	點圖層繪畫工具。	42
圖 46	線圖層繪畫工具。	42
圖 47	面圖層繪畫工具。	42
圖 48	框選既有資料庫圖層繪畫工具。	42
圖 49	刪除圖層繪畫工具。	42



圖 50	新增 2 層點圖層。	43
圖 51	新增 2 層線圖層。	43
圖 52	新增 2 層面圖層。	44
圖 53	點圖層參數設定啟動介面。	44
圖 54	點圖層參數設定啟動介面。	45
圖 55	線圖層參數設定介面。	45
圖 56	面圖層參數設定介面 (Physical Properties)。	46
圖 57	面圖層參數設定介面 (Aquifer Elevation and Calibrations Data)。	47
圖 58	面圖層參數設定介面 (Physical Properties)。	48
圖 59	Inverse Distance 操作介面按鈕。	48
圖 60	地下水井地理高程空間插值 (Inverse Distance)。	49
圖 61	新增資料庫與框選工具按鈕。	50
圖 62	框選工具建立多邊形。	50
圖 63	挑選資料庫內特定參數	51
圖 64	非結構化多邊形空間插值	51
圖 65	蘭陽平原幾何外型圖層。	52
圖 66	網格生成操作按鈕。	52
圖 67	蘭陽平原單一多邊形三角網格生成。	53
圖 68	蘭陽平原多個多邊形網格生成。	53
圖 69	執行圖層管理介面 (網格生成)。	54
圖 70	流場模擬操作按鈕。	54
圖 71	測試例概念模式。	55
圖 72	測試例穩態流場模擬結果。	55
圖 73	桃園市沿海地區整治場址。	56
圖 74	整治場址地下水井空間配置。	56
圖 75	整治場址井群中央 P-02 井抽水試驗報告。	57



圖 76	P-02 井跨孔抽水試驗報告。	57
圖 77	P-02 井單井 Slug 試驗報告。	58
圖 78	台南永康整治場址地下水流場分佈；(a) GMS 模擬結果、(b) 為平台數 值模擬結果.....	59
圖 79	TCE 空間插值（填滿）結果。	60
圖 80	12DCE 空間插值（等值線）結果；(a) GMS 模擬結果、(b) 為平台數值 模擬結果。	61
圖 81	模擬 2160 天 12DCE 濃度分佈。；(a) GMS 模擬結果、(b) 為平台數值 模擬結果。	62



表 次

表 1	台灣與國際水文地質相關網路展示平台	6
表 2	工作執行甘特圖.....	34



(一) 前言

為預防及整治土壤及地下水污染，並確保土地及地下水資源永續利用、改善生活環境與維護國民健康，政府於 2000 年制定並推動「土壤及地下水污染整治法」(後文簡稱土污法)。除土污法外，尚陸續建構許多相關法令與規章，如土壤污染管制標準、地下水污染管制標準或地下水污染監測標準等，並與民間單位共同致力土水整治業務的推動，將土壤與地下水污染整治工作整合達到具法律性與見效性之系統。根據環保署公告之資料，國內目前尚在控制中場址有 3263 筆，整治場址有 101 筆，公告地下水受污染限制使用地區及限制事項有 40 筆(資料來源：土壤及地下水污染整治基金管理會網站 <http://sgw.epa.gov.tw>; 2018.10 查詢)。此數據逐年逐月攀升，顯示污染場址調查與整治的工作需求大，既有的控制、整治場址及污染限制區域，需仰賴繁重且精確的調查與監測技術。其中，如何有效地判斷、評估與預測地下水污染物傳輸機制，成為整治成功的重要關鍵。然而，於土壤和含水層間流動及傳輸之污染物不似地面污染容易察覺，許多污染場址從開始污染至通報場址列管往往積日累久，污染源頭及污染範圍界定不易，若無法準確描述土壤地下水污染傳輸時空背景，將導致場址整治工作事倍功半，歷日曠久亦將直接或間接造成社會與民生衝擊。

目前土壤地下水相關調查工作普遍以現地調查數據(土壤採樣及地下水體之物理及化學量測)輔以各類調查方法(例如：地球物理探測、統計分析、化學分析、水井水力學分析、污染擴散移流延散分析、數值模擬等方法(Li and McLaughlin, 1991; Li and McLaughlin, 1995; Bair and Lahm, 1996; Simmons and Narayan, 1997; Vieux, et al., 1998; Harman, et al., 2001; Barry, et al., 2002; Mehl and Hill, 2002, 2004; Prommer, et al., 2002; Bachu and Adams, 2003; Pruess, 2005; Fadlelmawla and Dawoud, 2006; Mao, et al., 2006; Xu, et al., 2006; Dickinson, et al., 2007; Farajzadeh, et al., 2007)推估污染物分布，以界定污染來源及含水層整治方向。然地下水水質優劣與人類活動息息相關，除自然界本體之污染源，如地質沉積物之滲出液，增加地下水中氯化物、硫化物、硝酸鹽、鐵或其他無機化合物的濃度外，其主要污染源大部分來自廢棄物處置或意外洩漏之相關活動設施，如工業上排放廢水、儲槽/管線之洩漏、廢棄物堆放或掩埋；都市的家庭污水、下水道管路及化糞池破損外洩的污水、掩埋場滲出水洩漏；農業及畜產養殖業上所排放之化學肥料、農藥殘餘物質、改良土壤的藥劑等，皆為直接或間接污染地下水之根源，而污染物於含水層中隨地下水擴散與遷移，無法從單方面之檢測有效分析與推估含水層之污染。一般來說，地下水的污染事件大部分皆未能事先查覺，直到飲用或使用到受到污染之地下水並產生危害後才警示到地下水已遭受污染。地下水由於流速緩



慢而導致污染物需要經歷長久的時間（十幾年或數十年）才會在某一特定的使用區或採樣區被偵測到。污染物經過地下水十幾或數十年的流動，將有充分之時間於含水層中遷移，歷時長久加上污染範圍的擴大，往往已無法確知其污染源頭以及污染源系統（如任意排放源、多重排放源、持續排放污染源或已結束排放），且若污染物之排放源若已移除或轉換，更增加整治執行及後續法務處置困難度。

既有土壤地下水污染觀測資料應蒐集整合過去台灣各地常時監測與場址資料，除了土壤地下水管理資訊系統，亦應涵括其他單位如內政部地理資訊平台、環境水質監測資訊網、經濟部中央地質調查所水文地質資料庫、水文資訊網整合系統、經濟部水利署地理資訊倉儲中心等，整合及應用於土壤地下水污染的調查、分析、研究與管理相關議題。因此，各資料庫跨平台資料整合呈現，可將既有資料價值最大化。若再輔以空間資料分析與即時互動傳輸模擬，可在既有資料庫的資源下，提供土壤地下水相關產業評估、調查與管理分析工具。



(二) 研究目的

目前台灣於污染防治或是土水資料展示網路平台計有 TGOS 地理資訊圖資雲服務平台、全國環境水質監測資訊網、土壤及地下水污染整治網、經濟部中央地質調查所水文地質資料庫、水文資訊網整合服務系統、經濟部水利署地理資訊倉儲中心；而國外較為知名之相關平台系統則例如有瑞士聯邦理工學院水產科學與科技所開發之全球地下水評估平台 (Groundwater Assessment Platform, GAP) (圖 1)、布加勒斯特土木工程科技大學地下水工程研究中心所開發之城市地下水管理地理空間圖資與服務平台 (Geospatial Data and Services Platform, Geo platform) (圖 2)、澳大利亞政府所建構之國際地下水資訊系統 (National Groundwater Information System, NGIS) (圖 3)，相關資訊如表 1 所示。

上述的土壤與地下水或水文地質資料相關網路平台僅能夠以展示資料為主，或進行簡易之環域分析及資料統計分析，然資料點資訊蒐集與建立有其時間與空間之限制，無法展現如地下水位之流場狀況、水文地質參數之空間分布等；再進一步，以地下水污染為例，通常以觀測井（點位）資訊之觀測值表示為該區域的受污染狀況，但污染物之傳輸並非以點對點，而為具時空變遷特性之面型（或考慮深度之三維體）污染。為提昇國內產、官、學、研在土壤及地下水整治、預防與管理能量，本研究將建構土壤及地下水網路地圖整合平台，除展示國內已公佈開放資料，可經由此平台將資料庫自料提取特定空間資料，進行空間資料分析及地下水流場與傳輸模擬。其中，空間資料分析除提供基本統計資料參數外，亦將開發空間資料相關性分析模組如空間資料地質統計分析 (geostatistical analysis) 及空間迴歸及插值分析 (regression or interpolation) 等，土壤地下水流動與污染傳輸模擬則先考慮飽和含水層的流動與傳輸數值模式分析模組建構。本研究所開發資料庫平台，預期可以將數位資料透過各圖層展示於網路地圖平台介面，並設計模組式接口，可允許持續擴充多元資料庫、空間資料分析及流傳模擬模式，可讓專業空間分析或模式開發者測試與推廣及其模式。平台將提供一溝通媒介，透過群體合作方式，結合不同領域的土壤及地下水相關人員能量，建構國內處理土壤地下水污染問題之判別、應變、規劃與管理產業結合鏈。

隨著網路使用的普及，線上通報、線上資料反饋與線上分析可以擴大資料來源與使用者群。為了能使一般使用者能以任意裝置使用線上平台，智慧化與模組化的模式應以跨作業系統、跨瀏覽器與跨行動裝置此三大方向作為規劃目標。本研究所開發的土壤與地下水線上分析平台可整合地下環境相關參數資料，以不同事業單位開放資料為基礎，建置環境參數資料庫供土壤地下水相關領域人員使用、進行線上瀏覽與分析，提升調查規劃效率。線上空間資料分析與模擬平台可讓既



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

有資料庫系統中，點線面的資訊做最大化應用，提供土壤地下水相關領域人員針對特定資料，特定資料屬性進行空間分析與插值，協助土壤地下水調查、整治與管理；此外，透過地下水流與污染傳輸的物理模式介接，分析平台還可提供做為預測，結合既有資料庫進行整治與管理策略研擬，提供未來智慧環境監測與管理。前期計畫已成功將平台結構初步完成，除展示國內已公佈開放資料，可經由此平台從資料庫提取特定之空間參數，進行空間資料插值分析、地下水流場模擬、污染傳輸模擬、質點溯源追蹤與路徑預測。

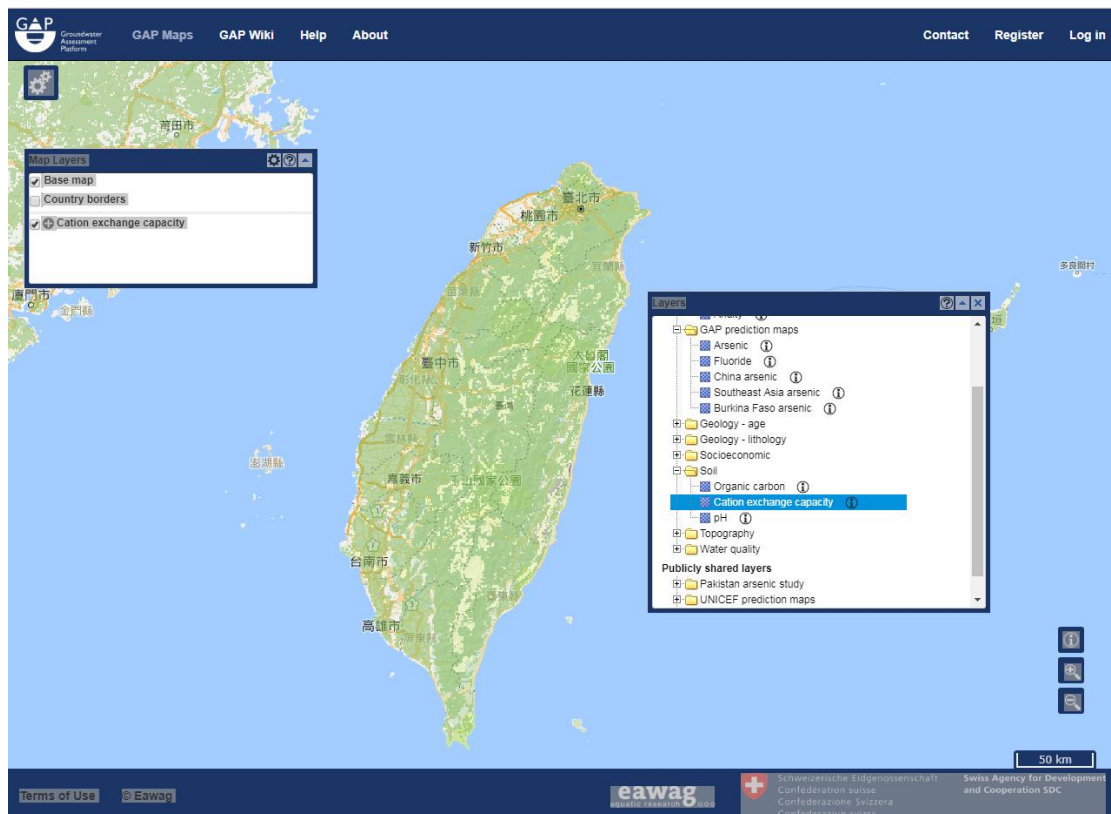


圖 1 Groundwater Assessment Platform, GAP.



(二) 研究目的

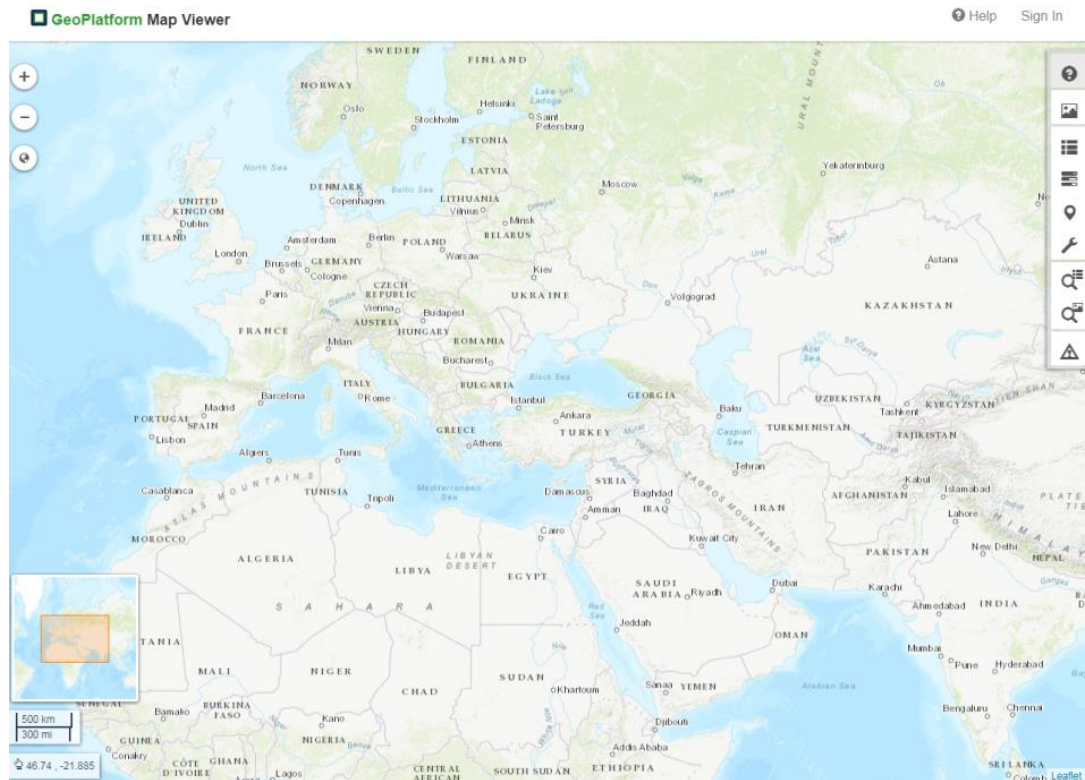


圖 2 Geospatial Data and Services Platform, Geo platform

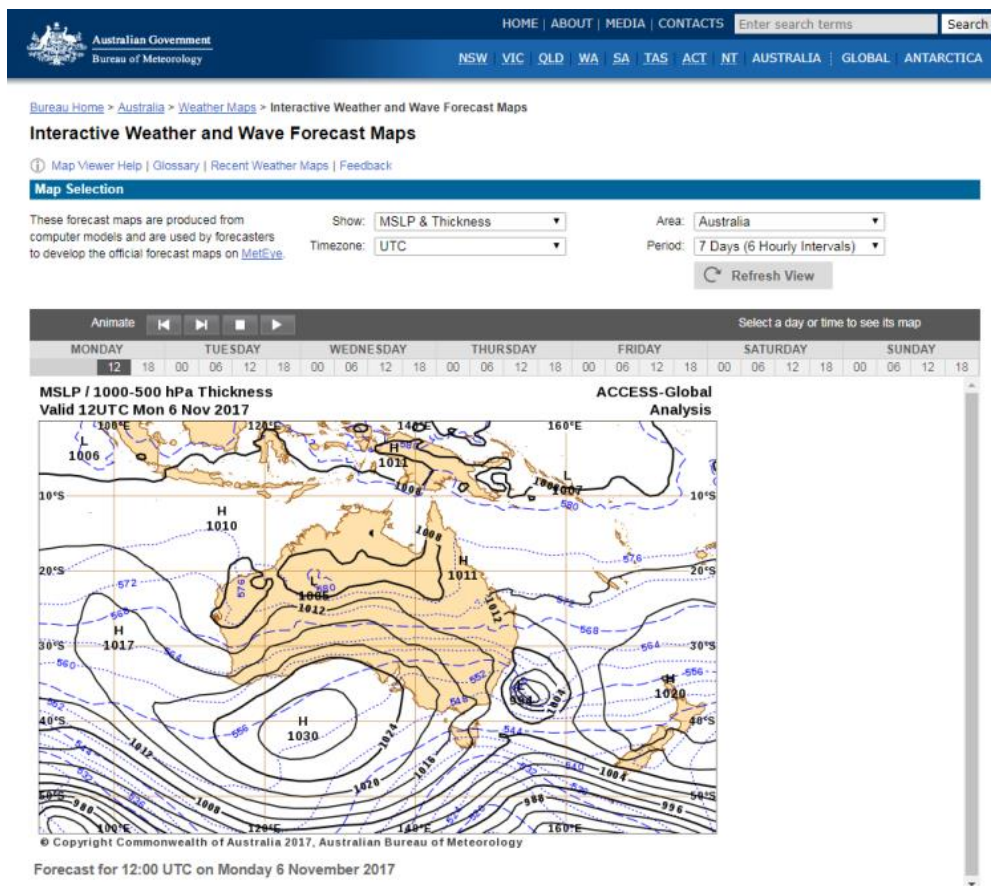


圖 3 National Groundwater Information System, NGIS.

表 1 台灣與國際水文地質相關網路展示平台

平台名稱	屬性	研發/管理單位
TGOS 地理資訊圖資雲服務平台 (http://tgos.nat.gov.tw/tgos/web/tgos_home.aspx)	所有政府開放地理空間相關資料	內政部資訊中心
全國環境水質監測資訊網 (http://wq.epa.gov.tw/Code/?Languages=)	水質資訊，涵蓋河川、水庫、海域、地下水、海灘等	環保署
土壤及地下水污染整治網 (http://sgw.epa.gov.tw/public/ContaminatedSitesMap/Default.aspx)	土壤品質查詢、地下水品質查詢、區域性監測井查詢等	環保署
水文地質資料庫 (http://hydro.moeacgs.gov.tw/index.htm)	地下水分區鑽探資料、岩心影像、井柱狀圖等	中央地質調查所
水文資訊網整合服務系統 (https://www.wra.gov.tw/lp.asp?CtNode=7339&CtUnit=321&BaseDSD=7)	歷史水文、即時水文、水文分析等	水利署
水利署地理資訊倉儲中心 (http://gic.wra.gov.tw/gic/HomePage/Index.aspx1)	河川水文、地下水文、水庫保育、防洪排水、環境資源等	水利署
Groundwater Assessment Platform, GAP (http://www.gapmaps.org/gap.protected/)	涵蓋全球性氣候、水情與地質圖資	瑞士聯邦理工學院 水產科學與科技所
Geospatial Data and Services Platform, Geo platform (https://www.geoplatform.gov/)	地下水位分析、水質化學分析、水文地質分析等	布加勒斯特土木工程科技大學地下水工程研究中心
National Groundwater Information System, NGIS (http://www.bom.gov.au/water/groundwater/ngis/)	國際含水層結構、水情資訊、水文活動等	澳大利亞政府



(二) 研究目的

依照研究目的，本計畫將進行工作規劃項目如下：

(1) 蒐集地下環境相關參數資料，建置環境參數資料庫

延續上年度計畫，本平台已完成蒐集許多開放資料，其中包含環保署土壤地下水管理資訊系統（SGM）中結構性資料為基礎，更函請外部單位提供開方資料如水利署與地質調查所。由於各單位資料格式皆無法統一，本研究需要統整資料格式，並且設計未來可以擴充其他格式資料。將工作重點放在平台架構開發以及與分析模擬模式介接，在此開發完成的架構下，未來可進一步應用其他分析模式於此平台上。

(2) 建構創新網路版土壤及地下水資訊展示平台

過去已有需多單機版使用介面模擬平台建置，但鮮少有研究致力於開發網路版模擬平台。在這個數據爆炸的世代，巨量數據的計算資源需求，已經無法要求單機為了局部模擬區域，而準備龐大儲存空間設置全台灣完備資料庫；且類似水位、污染物濃度、土地使用狀況以及土地列管狀況等資料，屬於時空資料，絕非單一時間點空間資料，資料量更是龐大。因此，為了讓既有資料作多面向的應用，應發展具有處理巨量數據的網路平台作為首要任務。本研究以地圖資訊平台為基礎，開發具有創新技術的網路資料蒐尋與擷取技術，除了改善以往利用 Google 地圖既有繪畫點、線、面資料傳輸技術瓶頸，亦提供快速呈現空間資料分析與地下水水流與溶質傳輸模擬結果。

(3) 開發線上空間資料分析平台

空間資料統計分析已是成熟技術，然目前國內已知的資料平台多僅作為資料結果空間點的呈現，此亦為資料呈現的最基本形式，對於資料的後端使用者，往往需要進一步獲得資料的統計資訊與分布結構，作為判斷分析的依據。本研究將在既有空間資料分析技術的基礎上，介接外部資料分析模組，再配合適當演算法，建構空間資料分析平台。

(4) 開發線上地下水水流與污染傳輸模擬平台

本計畫中，預期建構的地下水水流與污染傳輸模擬平台將具有：(1) 介接國際上常用的開放源分析程式，如美國地質調查所（USGS）開發的 MODFLOW 公用模式模擬地下水流動，美國環保署（USEPA）開發的 MT3DMS 作為傳輸分析模組。(2) 多元模式分析接口模組，模組可提供相關模式開發者，測試其開發模式快速連結平台所建置的環境參數資料庫，將模式應用於真實污染場址。(3) 跨系統跨平台分析架構，此跨平台架構可允許多數辦公室及行動裝置使用，提高土壤地下水相關工作者分析與使用的自由度。



(三) 文獻探討

3.1 MODFLOW 數值模式

MODFLOW 模式為美國地質調查所發展之地下水模式，模式求解地下水流控制方程式時，採用有限差分法（block-centered finite-difference approach）之計算方式模擬三維地下水流系統，並具有模組結構擴充性佳。MODFLOW 模式為「模組化三維地下水流模式」(Modular three-dimensional groundwater flow model)，其求解方法採用迭代運算技巧，有強制隱式法（strongly implicit procedure, SIP）、片式連續鬆弛法（slice-successive over relaxation, SSOR）及預置共軛梯度法 II（preconditioned conjugate-gradient 2, PCG2）等多種方法。

MODFLOW 依據每一格網元素（cell）之水文地質特性設定為均質、非均質以及等向性、非等向性等類型之含水層，以數個模組（modules）所組合而成之模組群（packages），進行各種水文地質條件下水流模式模擬。在 MODFLOW 程式中含水層的类型可以設定為：

侷限含水層（Confined Aquifer）

非侷限含水層（Unconfined Aquifer）

侷限-非侷限含水層（Confined/Unconfined Aquifer，Constant Transmissivity）

侷限-非侷限含水層（Confined/Unconfined Aquifer，Variable Transmissivity）

含水層型式（1）+半侷限層（semi-confining layer）

含水層型式（2）+半侷限層（semi-confining layer）

含水層型式（3）+半侷限層（semi-confining layer）

含水層型式（4）+半侷限層（semi-confining layer）

3.1.1 控制方程式

根據達西定律（Darcy's Law），於固定密度下，含水層三維地下水流之流動控制方程式可表示為：

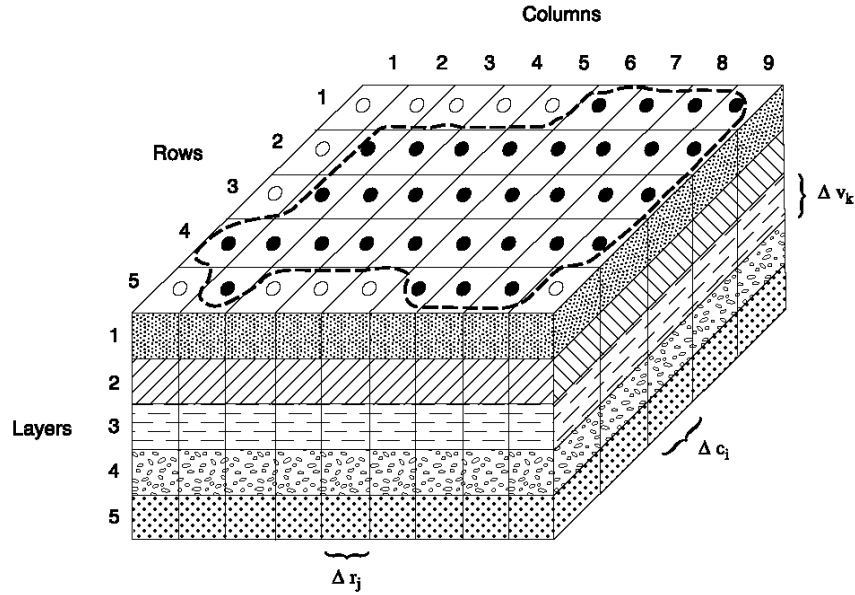
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

其中 K_{xx} 、 K_{yy} 和 K_{zz} 分別為沿著 x 、 y 、 z 方向上的水力傳導係數（Hydraulic conductivity）； h 為水頭； W 為水之補注或流出單位體積的體積流通量； S_s 為孔隙介質之比儲水率（specific storage）， t 為時間。



(三) 文獻探討

公式(1)顯示水頭 h 為時間項函數，因此對連續性之時間進行離散之技巧。本研究以有限差分法進行地下水流動分析，以塊狀網格之格網元素表示，其描述為列 (Row)、行 (Column) 及層 (Layer)，示於圖 4。



———含水層邊界；●有作用之格網元素；○無作用之格網元素

Δr_j 格網元素列之量綱； Δc_j 格網元素行之量綱； Δv_k 格網元素垂直方向之量綱

圖 4 離散後含水層系統示意圖 (McDonald and Harbaugh, 1988)。

於每一格網元素、每一列的間距為 Δc_j ，每一格網元素、每一行之間距為 Δr_j ，而層方向上每一格網元素之間距則定為 Δv_k 。同時根據水流連續性方程式，水流入格網元素之量等於流出格網元素之量和格網元素內貯存量之變化率之總和。可表示為：

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (2)$$

其中 Q_i 為水流入格網元素之水流率 [$L^3 T^{-1}$]； S_s 為格網元素之比貯水率 [L^{-1}]； ΔV 為格網元素之體積 [L^3]； Δh 為在 t 時段內水頭的變化 [L]。

公式(2)中，以正值之 Q_i 代表水流流入格網元素之水流率，以負值之 Q_i 代表水流流出格網元素之水流率。根據以上所述，在 $Cell(i, j-1, k)$ 和 $Cell(i, j, k)$ 間，根據達西定律 (Darcy's Law)，由 $Cell(i, j-1, k)$ 流至 $Cell(i, j, k)$ 之流量為 $q(i, j-1/2, k)$ ，示於圖 5，則其方程式可表示為：

$$q_{i, j-1/2, k} = K R_{i, j-1/2, k} \Delta c_j \Delta v_k \frac{h_{i, j-1/2, k} - h_{i, j, k}}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (3)$$



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

其中 $h_{i,j,k}$ 為 Cell(i, j, k) 之水頭值[L]； $h_{i,j-1,k}$ 為 Cell($i, j-1, k$) 之水頭值[L]； $q_{i,j-1/2,k}$ 為通過 Cell($i, j-1, k$) 和 Cell(i, j, k) 之間的面，由 Cell($i, j-1, k$) 流至 Cell(i, j, k) 之流量[L³T⁻¹]； $KR_{i,j-1/2,k}$ 為沿著 Cell($i, j-1, k$) 和 Cell(i, j, k) 的列方向上之透水係數[LT⁻¹]； $\Delta c_j \Delta v_k$ 為垂直 Cell($i, j-1, k$) 和 Cell(i, j, k) 間列方向上之截面的面積[L²]； $\Delta r_{j-1/2}$ 為 Cell($i, j-1, k$) 體心和 Cell(i, j, k) 體心間的距離[L]。

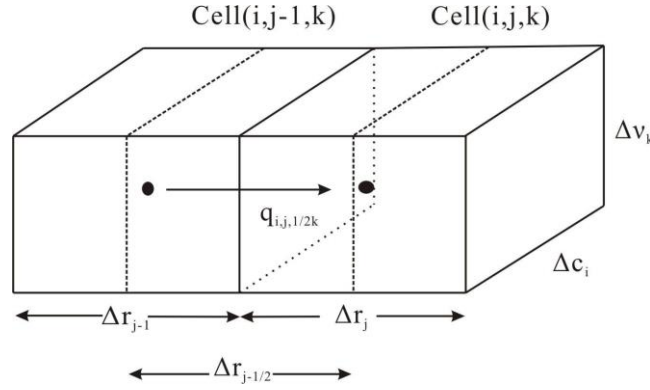


圖 5 水流與兩格網元素間關係示意圖 (McDonald and Harbaugh, 1988)

若針對 Cell(i, j, k)，在三維之空間中除 Cell($i, j-1, k$) 外，另有 Cell($i, j+1, k$)、Cell($i-1, j, k$)、Cell($i+1, j, k$)、Cell($i, j-1, k$)、Cell($i, j, k+1$) 等其他五個格網元素與 Cell(i, j, k) 格網元素有水流進出之交互作用，其格網元素之三維空間關係圖示於圖 6。

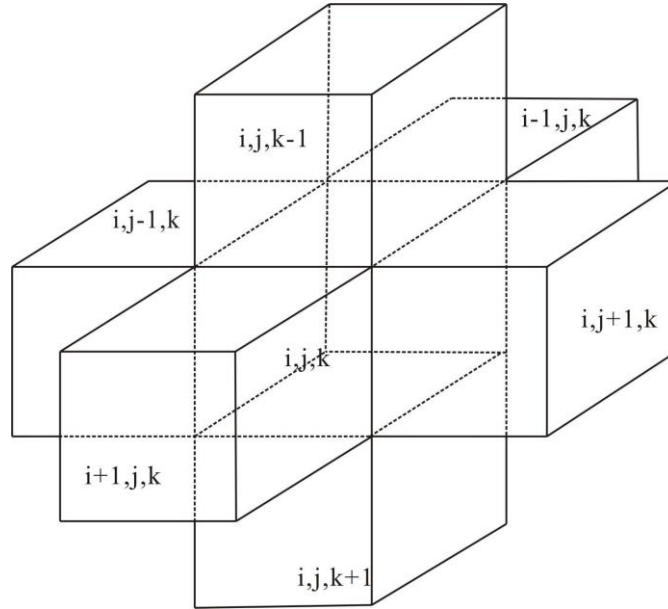


圖 6 三維空間中各格網元素間之相對位置圖 (McDonald and Harbaugh, 1988)。

依據公式 (3) 則可推導出流進、流出 Cell(i, j, k) 流量之關係式：

$$q_{i,j+1/2,k} = KR_{i,j+1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{h_{i,j+1/2,k} - h_{i,j,k}}{\Delta r_{j+1/2}} \quad (4)$$



(三) 文獻探討

$$q_{i+1/2,j,k} = KC_{i+1/2,j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}}{\Delta c_{i+1/2}} \quad (5)$$

$$q_{i-1/2,j,k} = KC_{i-1/2,j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}}{\Delta c_{i-1/2}} \quad (6)$$

$$q_{i,j,k+1/2} = KV_{i,j,k+1/2} \Delta r_j \Delta c_i \frac{h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}}{\Delta v_{k+1/2}} \quad (7)$$

$$q_{i,j,k-1/2} = KV_{i,j,k-1/2} \Delta r_j \Delta c_i \frac{h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}}{\Delta v_{k-1/2}} \quad (8)$$

其中 $KC_{i-1/2,j,k}$ 為沿著 Cell($i-1, j, k$) 和 Cell(i, j, k) 的行方向上之透水係數 [LT^{-1}] ; $KV_{i,j,k-1/2}$ 為沿著 Cell($i, j, k-1$) 和 Cell(i, j, k) 的層方向上之透水係數 [LT^{-1}] 。

為了簡化上述公式(4)至(8)，引入水力傳導率常數 (Hydraulic Conductance) CR, CC, CV ，是經由合併格網元素量網和透水係數而得。

$$CR_{i,j-1/2,k} = \frac{KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (8)$$

其中 $CR_{i,j-1/2,k}$ 為在第 i 列、第 k 層中，Cell($i, j-1, k$) 和 Cell(i, j, k) 間之水力傳導率 [L^2T^{-1}] 。

$$CR_{i,j+1/2,k} = \frac{KR_{i,j+1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k}{\Delta r_{j+1/2}} \quad (9)$$

$$CC_{i-1/2,j,k} = \frac{KC_{i-1/2,j,k} \Delta r_j \Delta v_k}{\Delta c_{i-1/2}} \quad (10)$$

$$CC_{i+1/2,j,k} = \frac{KC_{i+1/2,j,k} \Delta r_j \Delta v_k}{\Delta c_{i+1/2}} \quad (11)$$

$$CV_{i,j,k-1/2} = \frac{KV_{i,j,k-1/2} \Delta r_j \Delta c_i}{\Delta v_{k-1/2}} \quad (12)$$

$$CV_{i,j,k+1/2} = \frac{KV_{i,j,k+1/2} \Delta r_j \Delta c_i}{\Delta v_{k+1/2}} \quad (13)$$

將公式(8)至(13)分別代入公式(4)至(8)中，得

$$q_{i,j-1/2,k} = CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) \quad (14)$$

$$q_{i,j+1/2,k} = CR_{i,j+1/2,k} (h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) \quad (15)$$



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

$$q_{i-1/2,j,k} = CC_{i-1/2,j,k} (h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) \quad (16)$$

$$q_{i+1/2,j,k} = CC_{i+1/2,j,k} (h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) \quad (17)$$

$$q_{i,j,k-1/2} = CV_{i,j,k-1/2} (h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) \quad (18)$$

$$q_{i,j,k+1/2} = CV_{i,j,k+1/2} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \quad (19)$$

公式(14)至(19)為計算在 Cell(i, j, k)附近六個格網元素流入 Cell(i, j, k)內之流量。為計算內部過程到含水層間流入格網元素之水量，此時則必須考慮其他流量。這些流量可能與格網元素內水頭值具有相關性，但與含水層中之水頭值無關，亦或許這些流量與在格網元素內之水頭值完全無關。因此對一格網元素受外部含水層影響之水流變化量為：

$$a_{i,j,k,n} = (p_{i,j,k,n} h_{i,j,k}) + q_{i,j,k,n} \quad (20)$$

其中 $a_{i,j,k,n}$ 為第 n 個內部源流入 Cell(i, j, k)之流量 [L^3T^{-1}]； $p_{i,j,k,n}$ [L^2T^{-1}] 與 $q_{i,j,k,n}$ [L^3T^{-1}] 為常數。

通常，若有 N 個內部源對單一格網 k 元素造成影響時，則其總流量可表示為：

$$QS_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N a_{i,j,k,n} = \sum_{n=1}^N (p_{i,j,k,n} h_{i,j,k}) + \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n} \quad (21)$$

$$\text{令 } P_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n}, \quad Q_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n}$$

則公式(21)可改寫為：

$$QS_{i,j,k} = p_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} \quad (22)$$

根據水流連續性方程式，公式(2)之定義，為將其應用於有限差分法之模擬系統中將其改寫為：

$$\begin{aligned} & q_{i,j-1/2,k} + q_{i,j+1/2,k} + q_{i-1/2,j,k} + \\ & q_{i+1/2,j,k} + q_{i,j,k-1/2} + q_{i,j,k+1/2} + \\ & QS_{i,j,k} = Ss_{i,j,k} \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k \end{aligned} \quad (23)$$

將公式(15)至(19)和公式(22)代入公式(23)，得



(三) 文獻探討

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) + CR_{i,j+1/2,k} (h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) + \\
 & CC_{i-1/2,j,k} (h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i+1/2,j,k} (h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) + \\
 & CV_{i,j,k-1/2} (h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k+1/2} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) +
 \end{aligned} \quad (24)$$

$$P_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = Ss_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t}$$

考慮水頭值隨著時間變化，MODFLOW 為容許較大之時間間隔 (Δt) 進行數值之求解，故採用反向差分法 (Backward Difference Approach) 進行對各時段 (Time Step) 水頭值之計算，示於圖 7，其求解方法如下：

$$\left(\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \right)^m = \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t_m - t_{m-1}} \quad (25)$$

其中 t_m 為公式 (24) 中水流在第 m 時段被估計時所代表之時間； t_{m-1} 為 t_m 之前一個時間。 $h_{i,j,k}^m$ 與 $h_{i,j,k}^{m-1}$ 為 Cell(i, j, k) 分別於 t_m 為 t_{m-1} 時間所對應之水頭值；

$\left(\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \right)^m$ 為在第 m 時段之 $\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t}$ 值。

則在 t_m 與 t_{m-1} 之時間間距內，公式 (24) 可改寫為：

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+1/2,k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & CC_{i-1/2,j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+1/2,j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & CV_{i,j,k-1/2} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+1/2} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = Ss_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{\Delta h_{i,j,k}^m - \Delta h_{i,j,k}^{m-1}}{t_m - t_{m-1}}
 \end{aligned} \quad (26)$$

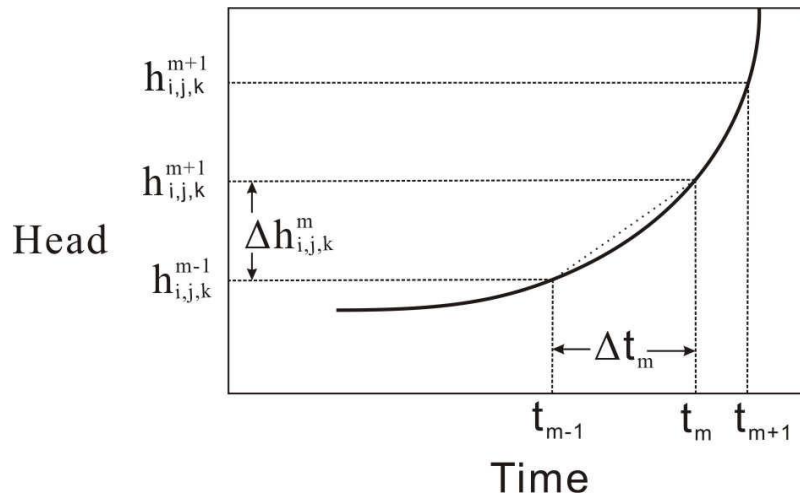


圖 7 反向差分求解法示意圖 (McDonald and Harbaugh, 1988)。



公式 (26) 之反向差分方程式即為 MODFLOW 利用有限差分法模擬地下水流所得之基本控制方程式。

3.2 現地污染場址背景

本驗證場址位於國道一號永康交流道南下出口西方約 200 公尺處，為住商混和區域。民國 90 年行政院環境保護署執行「地下水潛在污染源調查計畫」時，發現本場址地下水內之三氯乙烯 (trichloroethylene, TCE)、順-1,2-二氯乙烯 (dichloroethylene, cis-1,2- DCE) 以及氯乙烯 (Vinyl chloride, VC) 超出地下水第二類污染管制標準。根據隨後數年之調查計畫設計，本場址可分為四個區域 (如圖 8 所示)，其中 A 區為 94 年度「永康市鹽行段 1418 等 34 筆地號之地下水受污染使用限制地區應變措施計畫」(簡稱 94 計畫) 之研究區域、B 區為 94 計畫中超出範圍的污染源分布區域、C 區為 94 計畫中另外發現之獨立污染事件之潛在高風險區域，而 D 區則為污染團前端或下游，但仍未發現污染之區域。其中高氯數污染物之污染源位於 B 區與 C 區，B 區之污染物質以 TCE、DCE 為主，並向下游之 A 區擴散，而 C 區則以 TCE、DCE 與 VC 與其降解產物等污染物質為主，並向北側擴散。

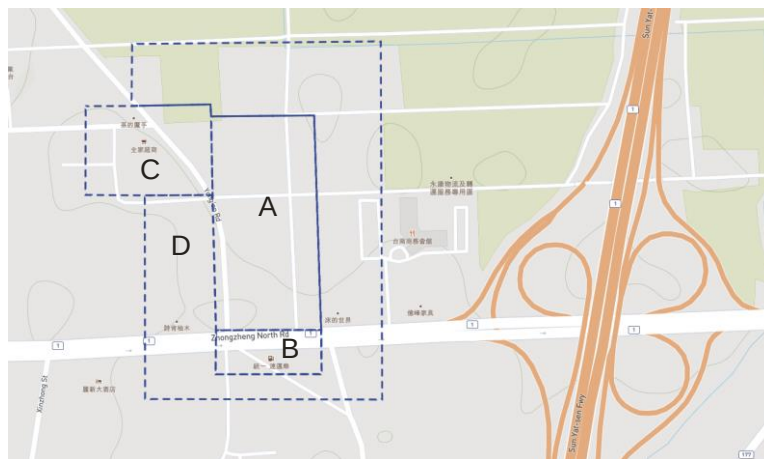


圖 8 永康污染場址分區。

本計畫選定永康場址周圍做為地下水流與污染傳輸的模擬區域。為了決定模擬區域的模擬範圍與邊界形態，本計畫首先擴大模擬範圍以進行地下水流模擬，並藉由模擬結果決定場址尺度的模擬區域。模擬區域決定後，本計畫將利用採用現地地質鑽探資料進行模擬區域之建模，建模完成後本計畫將利用地下水位觀測資料與模擬資料進行含水層系統相關參數率定。含水層參數率定完成後，本計畫將利用率定完成之模型進行不同情境下之污染模擬傳輸，並探討污染團於本場址內之分布情形。

本場址位於台南市永康區物流及轉運重劃區內，約位於國道一號永康交流道



(三) 文獻探討

南下出口約 200 公尺處，場址內依照前期計劃區分為四個區域，相關位置如圖 8 所示。前期計劃於本區共建置有 71 口地下水觀測井，觀測井位置如圖 9 所示。



圖 9 計劃場址之分區以及觀測井之空間分布，其中黃色點為過往計劃建置過之觀測井位置。

場址周圍為台灣西南部台南前陸盆地與馬尼拉海溝增積岩體的構造轉換帶，首先東寧造山運動蓬萊期（約 260 萬年前）的地體構造運動使古亭坑層隆起，並形成了中洲背斜、大灣向斜與台南背斜（陳于高, 1993）。此構造運動造成河流帶來的陸地沉積物於台南台地附近堆積，除了造成台南台地的高起外(Hsieh, 1972)，並形成了台南台地的基盤二重溪層。約 11000 年前由於冰河期的結束，海水面上升直到台南期（約 6000-8000 年前），海水面上升至中洲台地附近，大灣低地由於台南沙洲的存在而形成潟湖，並開始台南層的沉積（張瑞津 et al., 1996），沉積物其中泥質物主要來自古亭坑層，而砂質物主要來自風成海砂或河流帶來的崎頂層石英砂。除了沉積物持續堆積外，此時造山性構造運動又再度活動（Wu, 1992），此活動造成後甲里斷層的張裂，斷層的位移並造成台南台地約 4mm/yr 的上升速率直至今日（Chen and Yang, 2012; 李德河 et al., 2005）。但後甲里斷層至今仍未出露，僅在淺部地層造成擾動，因此仍被視為是盲斷層（李錫堤, 2002; 翁淑卿, 2002）。本研究所關注之含水層為自大湖期（約 3500 年前）海退以來，河流持續沖積而成，由於過去曾文溪曾數次在鹽水溪和將軍溪間遷徙(張瑞津 et al., 1996)，造成本區含水層分層錯綜複雜（吳樂群, 2004）。

由本區域的地史發展脈絡，推測場址周圍地質具有下列特徵：

1. 受台南台地的抬升影響，場址東南側的地層將較西北側為高。



2. 受大灣低地影響，場址內基盤位置較深，較不需考慮古亭坑層構造對地下水流場產生的影響。
3. 本工作所探討含水層深部主要由海相的細質沉積物組成，並有向海側尖滅的可能。淺層部份則由於河道更換頻繁，分層將錯綜複雜。

3.2.1 區域地形描述

為了確保能得到正確的地下水數值模擬結果，建立良好的概念模式為最重要的步驟之一。對於大尺度流場而言，地下水流動除了受制於水文及土壤條件外，地表坡度變化是控制其流動行為的重要因素。本計畫在此使用內政部公布的 20 公尺數值地形資料作為建立概念模式的依據，並利用資料點插值的方法獲得模擬區域的地表高程。圖 10 為本工作所使用之數值地形，其中可看出場址周圍有數種不同地形構造，根據（林朝榮, 1957），場址周圍由東至西可分為中洲台地、大灣低地、台南台地與安平平原四個區域，分述如下：

1. 中洲台地位於大灣低地與麓山帶丘陵間，軸部成北北東至南南西方向，長約 33 公里，寬約 10 公里（林耕霈, 2012），其形成乃受到麓山帶丘陵區西緣上升影響而抬昇之台地，與其下之中洲背斜無直接關係（林大耀, 2001）。
2. 大灣低地由位於中洲背斜與台南台地之間，長度約十二公里，寬約三公里，標高大部分在十公尺以下，為後甲里斷層與東側六甲店斷層所造成之陷落低地，低地軸向約為北北東至南南西，西側以台地崖與台南台地相接。
3. 台南台地由台南背斜所形成，為一長約 12 公里，寬約 4 公里，方向約為北偏東 20 度之橢圓狀台地，北邊為鹽水溪、南端為三爺宮溪，東側與大灣低地間有明顯的台地崖，為後甲里斷層之所在，台地最高點約位於東北方，西側則逐漸降與安平平原同高。
4. 安平平原為自大湖期後沉積的海岸平原，發育於台南台地西方。西緣為隆起砂洲，砂洲線西側則有狹長的海埔新生地。除砂洲線外，本平原高度均維持在海拔 2 至 3 公尺左右之高度。



(三) 文獻探討

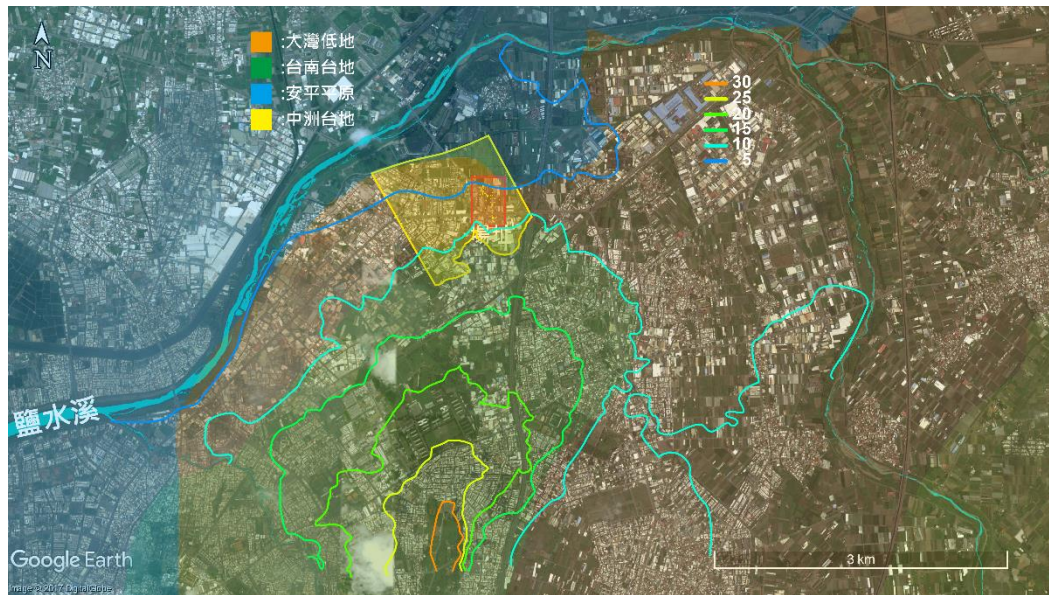


圖 10 場址附近之地體構造與高程空間分布，其中場址周圍的黃色區域為此次計畫所使用的模擬範圍（單位：公尺）。

3.2.2 現地水文地質特性

本計畫蒐集過往「交通部高速路局-中山高速公路麻豆至高雄段拓寬工程」、「中山高速公路新營-關廟段拓寬工程」、「臺南市永康地區污水下水道系統第一期工程」等 11 口地質鑽探記錄，以及前期計畫施作共 22 口地質調查岩心，共 33 口地質資料進行分析，其鑽探岩心空間分布如圖 11 所示。分析結果顯示構成本區地質的材質主要為砂、粉砂與黏土，且含水層的空間分布不定，常有尖滅的狀況出現。然本計畫所使用岩心鑽探深度僅 10 到 25 公尺，根據圖 12 翁淑卿(2002)所繪台南台地地質柵狀圖與吳樂群(2004)對基盤的研究成果，場址附近的主要基盤主要為經壓密脫水之泥岩或細砂泥質的古亭坑層。受到台南背斜與大灣向斜兩個構造控制的狀態下，本區域的基盤深度約為 30 到 60 公尺左右(Chen and Yang, 2012)。而基盤深度的變化也造成本區域的地下水流向為自台南台地流往大灣低地，與前期計劃調查所得場址周圍的流向為東南往西北相符。



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

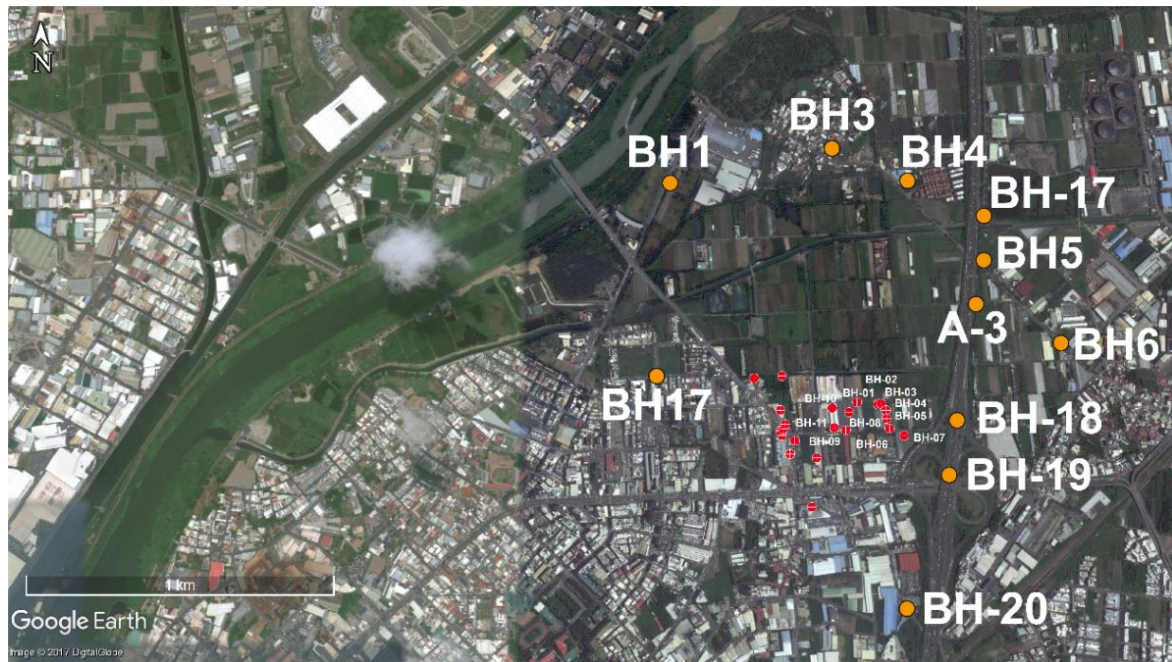


圖 11 本計畫所使用場址周圍之地質鑽探井位置圖。

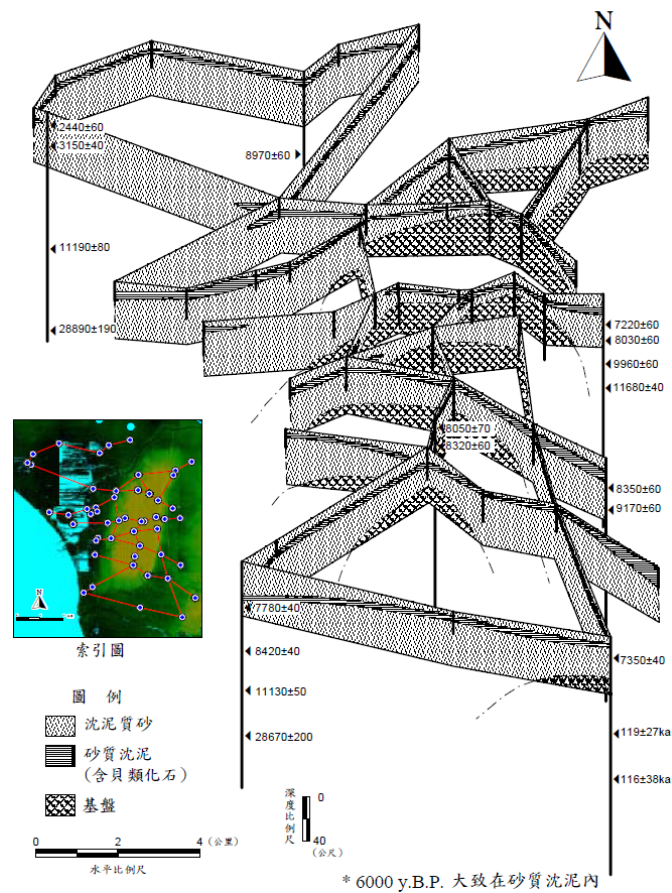


圖 12 臺南台地周圍之地質柵狀圖 (翁淑卿, 2002)。



3.2.3 現地水文特性

為了能順利進行數值模擬，場區周圍的水體分布是本公司進行模擬的重要邊界參考依據。距離本計畫場址最近之主要地表水體為中央管河川鹽水溪。鹽水溪距離場址約 3 公里，位置如圖 10 所示，其流向主要由本計畫場址之東北側流往西北側。根據 104 年臺灣水文年報(經濟部水利署, 2015)，鹽水溪主流長度約 41.3 公里，主流河床平均坡降 1/295，流域面積 339.74 平方公里，歷年平均年雨量約 1,776 公釐；鹽水溪代表站新市之歷年年平均流量 5.95 立方公尺 / 秒，歷年紀錄最大洪峰流量為 3.36 立方公尺 / 秒，歷年紀錄最枯流量為 0.34 立方公尺 / 秒。

本計畫場址附近之排水系統如圖 13 所示，主要為計畫區東北角之蔦松中排二以及永安路之大竹林支線，均屬區域排水支線。大竹林支線集水面積較小，為沿著永安路之排水溝渠，流經本計畫場址西側區域後，最終匯入永康大排。

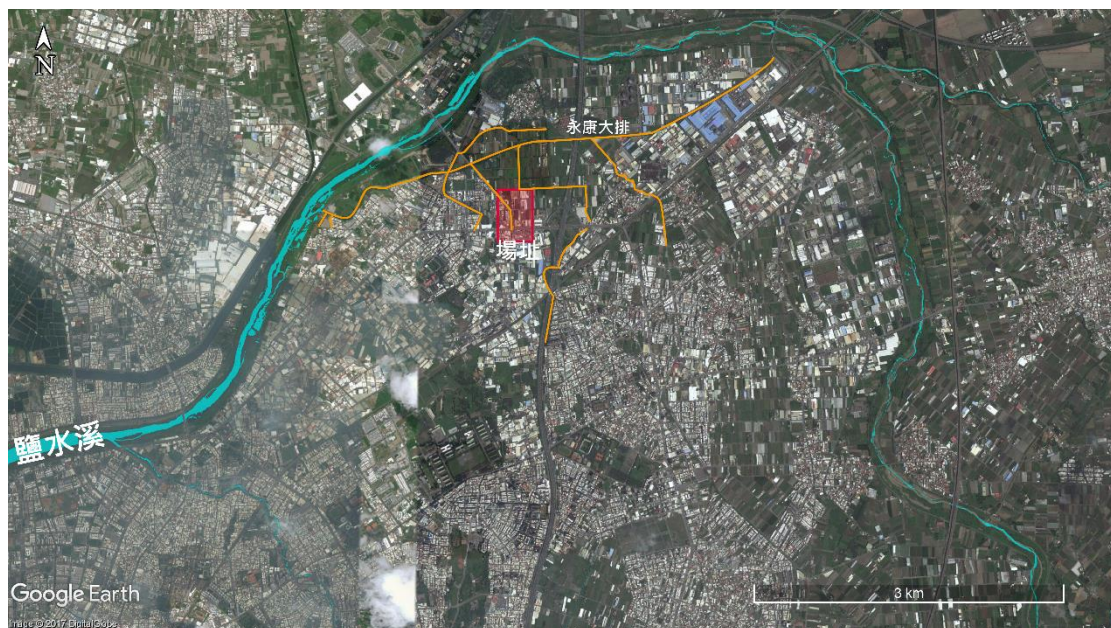


圖 13 場址周圍之排水系統空間分布。



（四） 研究方法與過程

本研究延續過去研究成果，結合地理空間資料系統與地下水數值模式兩大研究領域。提供資料管理階層儲存既有資訊，並且立即展示空間與時間資訊；學術研究者可以透過平台索取相關資訊，作為研究基礎設定或是模式開發驗證所需；環保署與環境整治業者藉由平台可以瞭解目前政府單位監測數據，亦可利用平台模擬功能初步判斷污染溶質過去與未來移動路徑，執行決策與整治規劃。

本計畫於本年度將繼續進行巨量資料庫系統、複合程式語言計算引擎以及瀏覽器網頁介面之規劃工作，內容將包括資料庫格式規格化與重製、計算引擎演算法新增與改良，以及實際場址案例驗證等，工作流程概念如圖 14 所示。

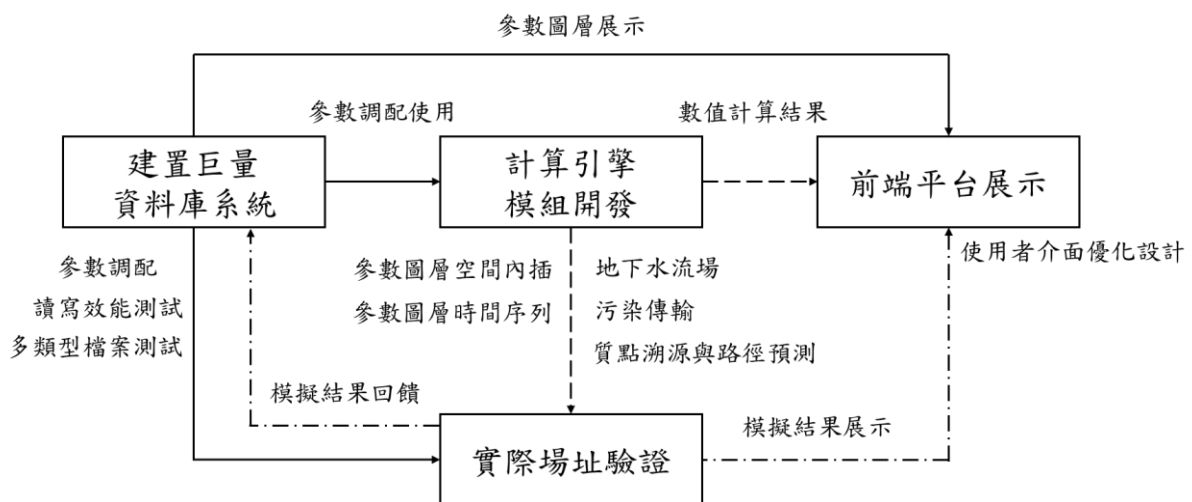


圖 14 本研究平台分析架構與資料流程示意圖。

4.1 資料庫規格改善與重製

本計畫雖為前期計畫之衍伸，然為針對密集巨量資料的使用以及運算參數叢集調配需要，勢必將既有之資料庫進行改善或重製以因應未來需求。資料庫係為了資料便利取用與分類而電子化之資料櫃，使用者可以對檔案中的資料進行新增、擷取、更新以及刪除等操作；本平台因考量配合計算引擎與使用者模式之發展，除既有之開放資料外，尚有使用者搭配自有之參數輸入以及數值模式所產生之資料結果，對於數值演算數據之產生，必須提供足夠之容量來儲存，並且能夠達到快速應用擷取及管理，整理成為前後端可解讀之資訊。

本年度計畫除原本 GIS 領域常用資料格式(如*.shp, *.xml, *.csv, *.kml 等)，可以匯入於本平台資料庫與展示於網頁平台，並且藉由數位資料壓縮技術，可以節省網路傳輸所耗費時間與電腦計算資源。例如圖 15 為全台村里邊界，檔案格



(四) 研究方法與過程

是為 SHP 格式，資料可以透過政府開方資料平台獲得，其下載網頁如圖 16。在這個網頁所下載的原始資料約 33MB，就目前任何一種瀏覽器，在下載如此大的網頁資料勢必會導致瀏覽器失效，而且地圖網頁並無法直接使用 SHP 檔案格式。

基於以上原因，本計畫已完成可以將目前單機版 GIS 軟體常用檔案格式，轉換為目前較通用 *.json 檔案紀錄格式。檔案格式可區分為 ASCII 與 BINARY，雖然內容意義是相同的，但是檔案大小卻是截然不同。平台可以於轉換檔案格式同時，儲存為檔案較小 BINARY 格式。最後在這組全台村里界圖，可以獲得僅剩下 8MB 檔案，並且完成平台成果展示。

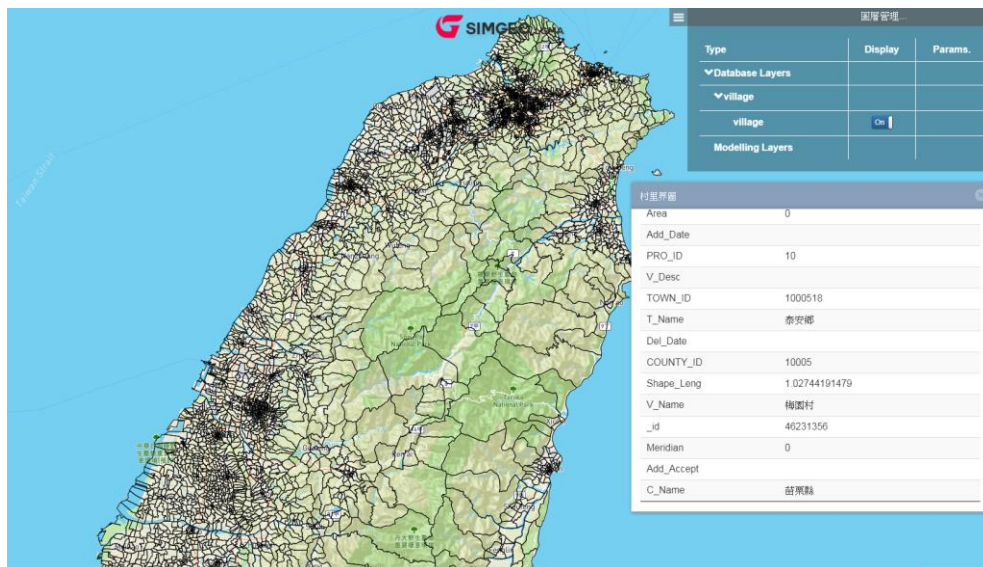


圖 15 全台村里邊界與基本資料案例展示。

政府資料開放平臺
DATA.GOV.TW

全部資料集 互動專區 最新消息 諮詢小組 關於平臺 ENGLISH

首頁 > 資料集 > 村里界圖(TWD97經緯度)

村里界圖(TWD97經緯度)

資料集評分: ★★★★★
平均 3.6 (12 人次投票)

資料集描述: 各縣市村(里)界

主要欄位說明: ESRI SHP格式

資料資源: [SHP](#) [檢視資料](#) 村里界圖(TWD97經緯度)

提供機關: 內政部國土測繪中心

提供機關聯絡人: 吳震隆 先生 (04-22522966#305)

更新頻率: 每日

授權方式: 政府資料開放授權條款-第1版

計費方式: 免費

上架日期: 2014/03/13

資料集類型: 系統介接程式

註釋資料更新時間: 2018/05/30 14:00

關鍵字: [村里](#) [村里界](#) [村里界圖](#) [村里界線](#)

主題分類: 其他

服務分類: 公共資訊

相關網址: http://tgos.nat.gov.tw/tgos/Web/MetaData/TGOS_MetaData_View.aspx?MID=TW-07-30100...
http://tgos.nat.gov.tw/tgos/Web/MetaData/TGOS_MetaData_View.aspx?MID=TW-07-30100...

備註: 授權說明網址: <http://data.gov.tw/license>

瀏覽次數: 46667 下載次數: 7361 意見數: 20

圖 16 政府開方資料網之村里界圖網頁。(https://data.gov.tw/dataset/7438)



雖然目前已有許多網站可以提供公開資訊並且會定期更新，但對於地下水資訊而言，若是可以獲得即時水文地質資訊，則可以作為污染傳輸數值模擬基礎，例如我國政府開放資料網。美國地質調查局（U.S. Geological Survey）提供即時全美監測井地下水相關資訊。圖 17 為全美即時監控地下水水位空間分佈，更可以藉由平台觀看特定監測井水位如圖 18，更可以透過連結查看水文地質參數與過去水位統計資訊，包含水井空間位置與地質描述（圖 19），歷年平均日水位（圖 20 與圖 21），所紀錄的長度單為英尺，高程參考基準為國家大地測量垂直基準面（NGVD, National Geodetic Vertical Datum）。

本計畫目前正在規劃開放資料的定期串接資料，以及即時規劃資料庫儲存格式與修正過去已儲存資料，其內容包含空間資訊與時序資料。由於這樣的開方資料，其檔案格式大多需屬於常見資料格式，但在於此資訊爆炸時代，可以使用媒介則會越來越多元，包含影像、影片與聲音等。這些工作在本年度並無法完成，但會持續掌握國內外資料庫建置與專業發展進程，改進本研究結果。

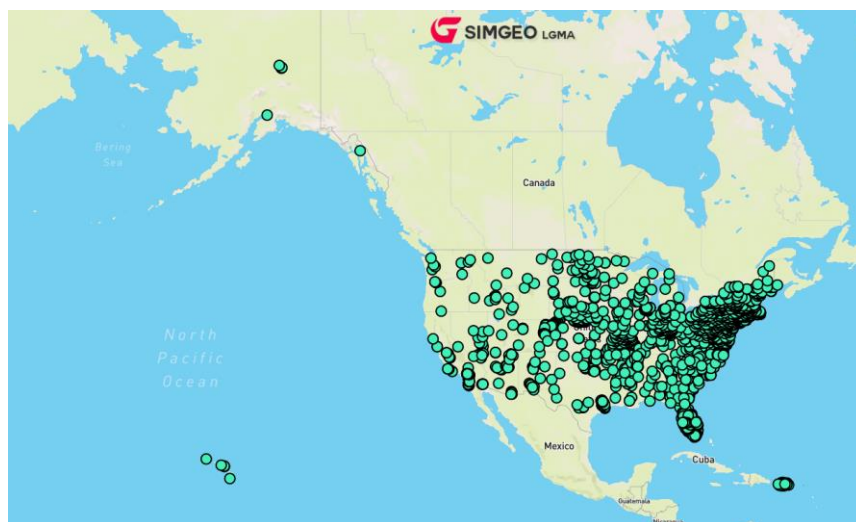


圖 17 USGS 即時監測地下水井

地下水水位(時)US	
屬性	數值
Name	15S 18W 28CAC 01 SCHOENCHEN WELL T-11
tessellate	-1
extrude	0
visibility	-1
description	384259099195801 Type - Real-time Well Last Measurement - 4/19/2018 Most Recent Measurement: 1902.33

圖 18 USGS 單一監測井資訊

(四) 研究方法與過程

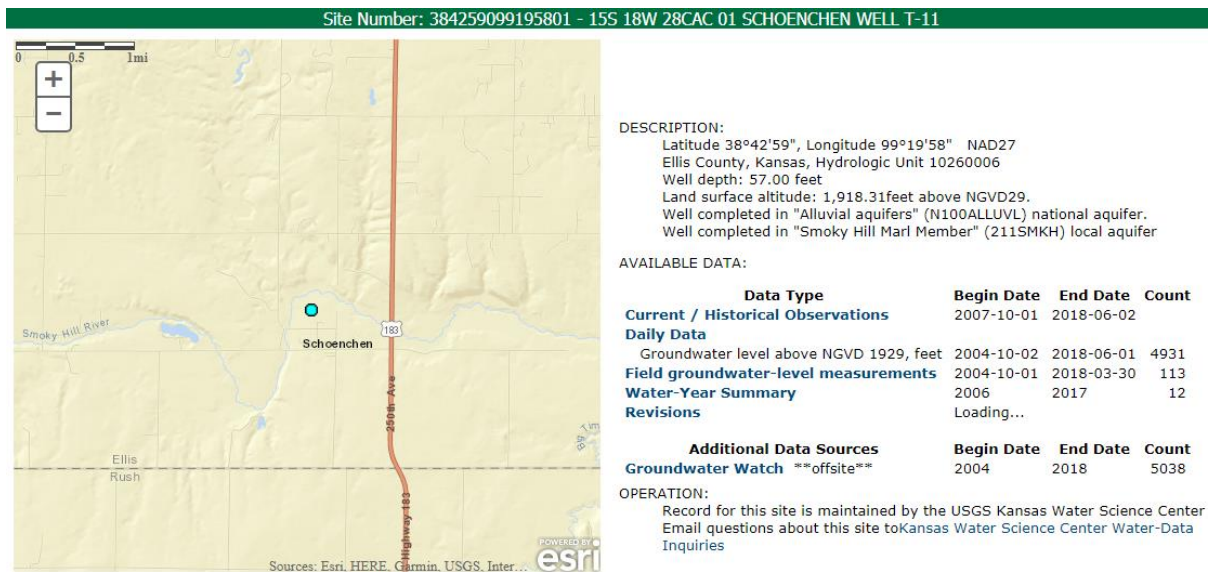


圖 19 監測水井建井與觀測歷程資訊

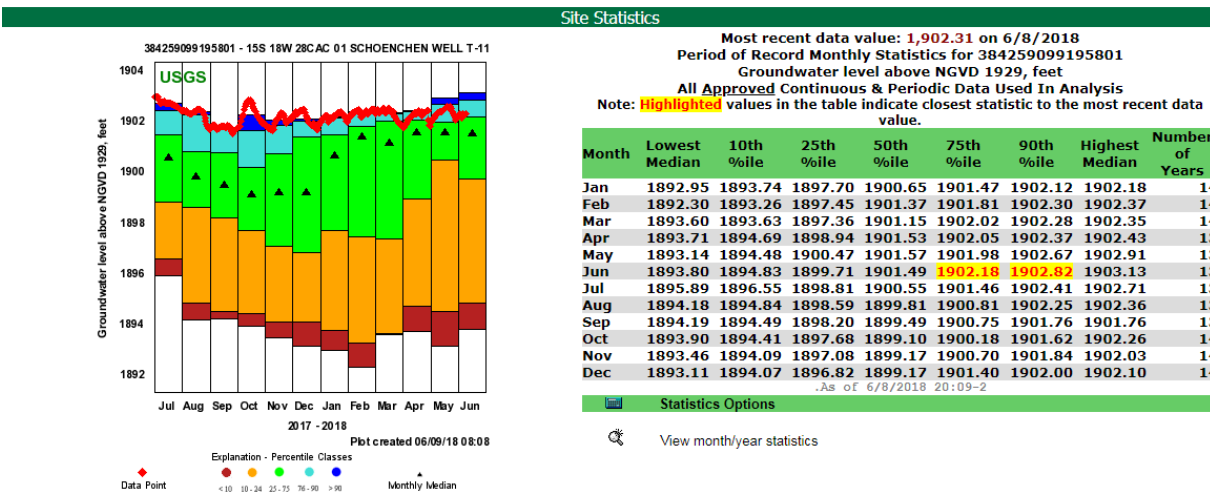


圖 20 監測水井水位統計資料

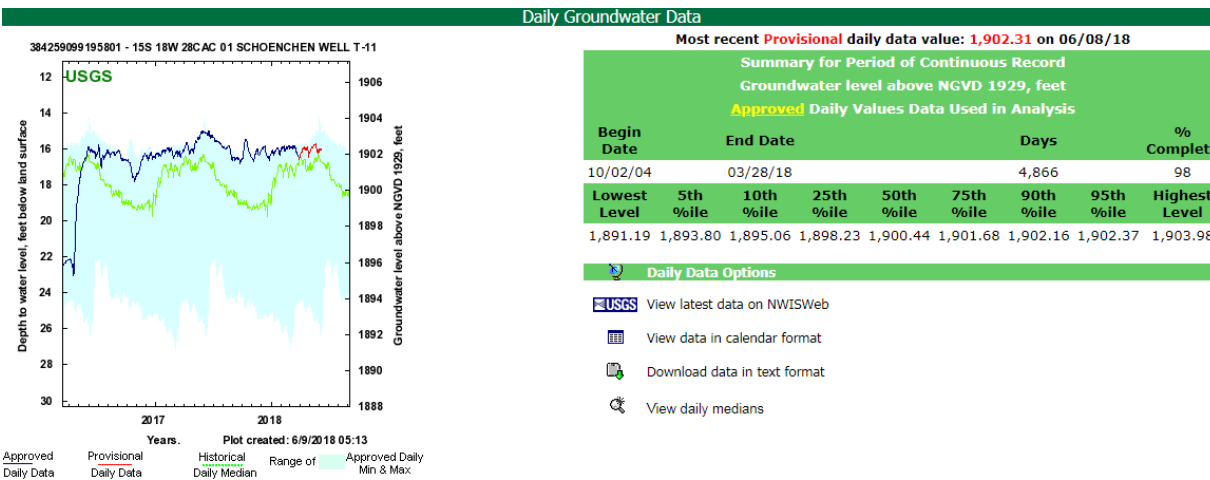


圖 21 歷年日水位資料



4.2 模式平台架構與前後端連結

本研究設計為可以提供專業人士與一般民眾使用，基於此考量，一般使用者能以任意裝置使用此線上平台，本計畫將以跨作業系統、跨瀏覽器與跨行動裝置此三大方向作為平台之規劃目標。

圖 22 為本研究初步規劃的平台架構圖，在平台架構中共分為 8 個子區域，其中有些區域是互相溝通，但也有單向式傳遞資訊。其中各區域之工作則可分為（1）使用者操作介面溝通、GIS 圖層資料庫搜尋資料、圖層可視化與使用者介面設計；（2）前端與後端部份：資料庫參數空間插值與統計分析、網格離散化、執行地下水水流與污染團溶質傳輸模擬程式與模式輸出模擬結果等項目。

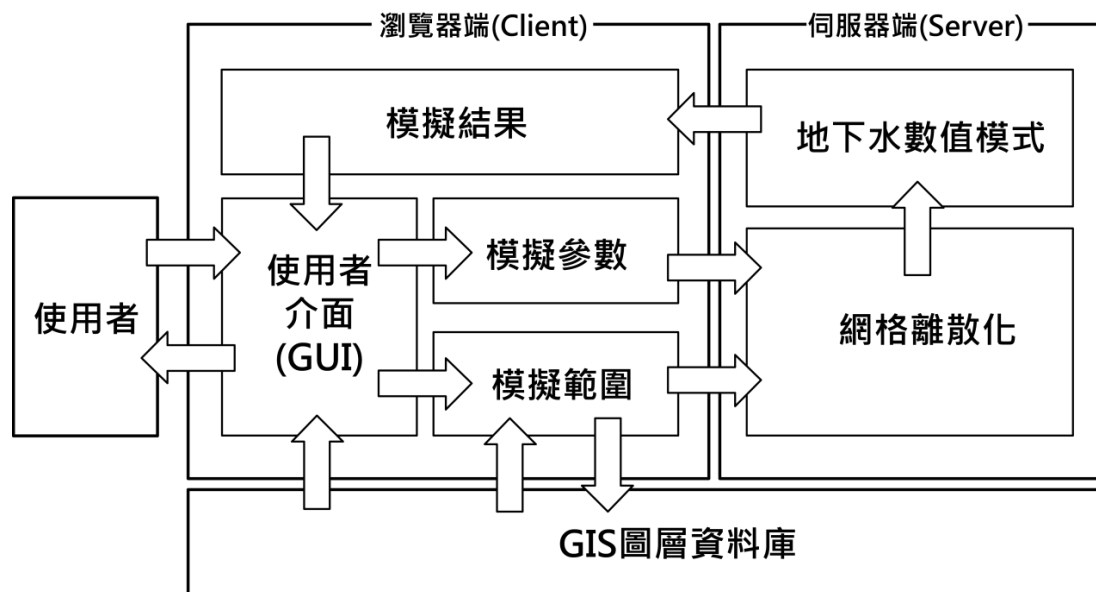


圖 22 本研究平台分析架構與資料流程示意圖。

由於本研究為達到對使用者友善所設計的平台屬於跨系統、跨平台、與跨瀏覽器，使用者只須開啟瀏覽器連線到系統瀏覽網頁並進行操作即可。當然為完成此功能，在前端網頁引擎（Web Engine）必須考量許多重結構與功能。在瀏覽器中，亦須根據使用者的操作要顯示網頁給使用者。網頁引擎會根據需求將從後端取得之 HTML、CSS、JS 檔案以及結合 WebGL 技術將網頁呈現（render）出來呈現給使用者。Web Engine 的工作則用來呈現標記語言（HTML）以及格式化資訊（CSS）產生出網頁頁面呈現給使用者。

在此前端系統指的是使用者直接接觸到的部份，亦即使用者所看到接觸到的網頁的部分，這部分的程式運行僅在使用者的電腦端上執行，消耗的是使用者電腦的資源，負責呈現出頁面給使用者，因此本研究將會透過前端網頁分析技術，減少使用者電腦資源消耗，本研究中使用使用者與前端架構關係將如圖 23 所示。



(四) 研究方法與過程

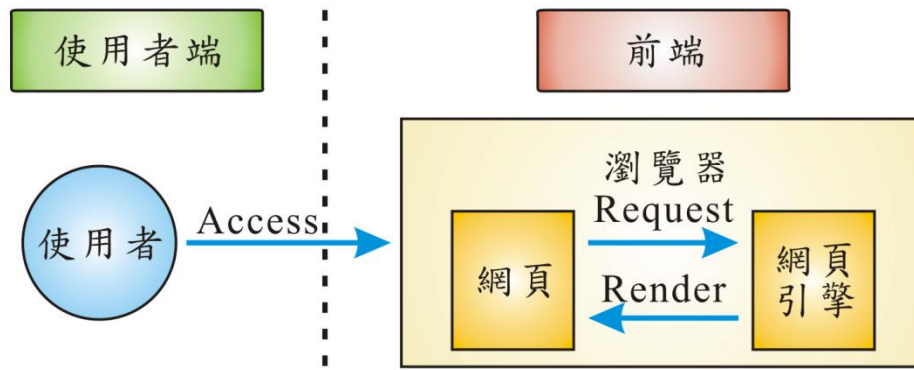


圖 23 使用者端與前端溝過程示意圖。

此系統前端需呈現地圖給使用者，由於國內許多開放資料多屬二度分帶座標 (TWD67 或 TWD97)，但是要讓使用者能夠清楚看到資訊位置，必需要搭配類似 MapBOX map 的網路資源。因為需要將資料庫的座標進行轉換，讓 MapBOX 的經緯度座標與開放資料二度分帶座標能夠相互套疊。故須使用 MapBOX Map API，透過 MapBOX Map API 不但可以將 MapBOX Map 嵌入到自己的頁面中，更可以在地圖上自行開發應用程式。在前期計畫中，本研究已完成既有資料庫所有空間座標轉換模組，可讓分析平台同時存有二度分帶座標與經緯度座標，使用者無需擔心座標轉換細節。

另外，此系統除了運用 HTML5、CSS 來呈現網頁，還使用了 JQuery 這一套 JavaScript 函式庫，來解決跨瀏覽器的 JavaScript 相容性問題以加速開發速度。JavaScript 是一種網頁描述語言 (script language)，通常建構在 HTML 之中，並在用戶端電腦執行，當瀏覽器讀取與解譯 HTML 標記語言時，也必須同時讀取與解譯 JavaScript 程式。但因不同瀏覽器解譯 JavaScript 的方式不一樣，故使用 JQuery 來解決這個不同瀏覽器解譯的問題。

過去的資料庫展示平台在進行 GIS 資料呈現時，通常不需要考慮 Google 地圖太多標記物件時 (約 1000 個) 所造成的效能緩慢問題。因為過去的資料庫展示平台，在前端部份只需要將資料展示，不需持續與後端溝通。本研究中所規劃的即時分析平台在架構上與過去的資料庫展示平台有極大的不同，在執行地下水水流與溶質傳輸模擬時，模擬歷程並非單一個時間點，而是持續一段時間，且每一模擬時間間距都需傳輸大量網格資訊如地下水水位與污染團濃度變化分布，前端與後端的溝通會因模式設定持續消耗資源。當 Google 地圖上有太多標記物件時 (約 1000 個) 會造成效能緩慢的問題，若僅使用 Google Map 標記繪圖，則會因為使用者記憶體不足而導致程式無法執行。為解決此困難，本研究捨棄以往較易開發的 Google API 方式，預計採用較創新且參考資源較少的 WebGL 技術進行結果繪圖。WebGL 是一項利用 JavaScript API 進行繪製二維 (2D) 及三維 (3D)



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

圖像之技術，可相容任何的網頁瀏覽器，無需加裝外掛程式。透過 WebGL 的技術，只需要撰寫 JavaScript 即可實現 2D 及 3D 圖像，其前端關鍵技術架構與關係圖如圖 24 所示。

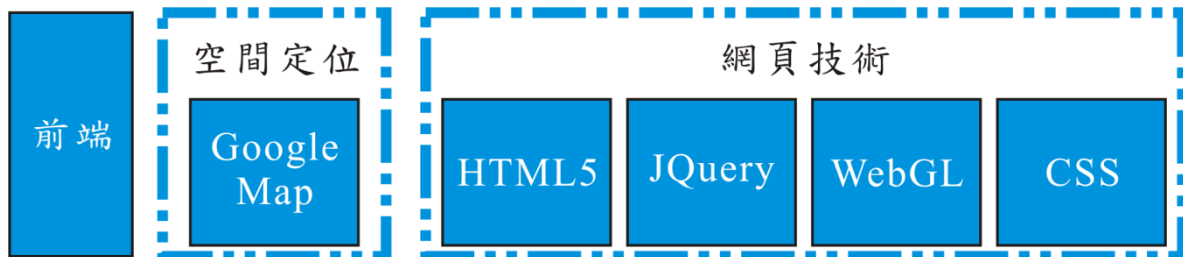


圖 24 前端關鍵技術架構。

為了實現地下水資料庫系統整合與模擬結果視覺化，本計畫實作各項參數巨量資料系統整合與視覺化流程將如圖 25 所示。我們將 Groundwater Model 功能元件與 GIS Layer database server 整合在 Mapbox Map Visualization Platform。

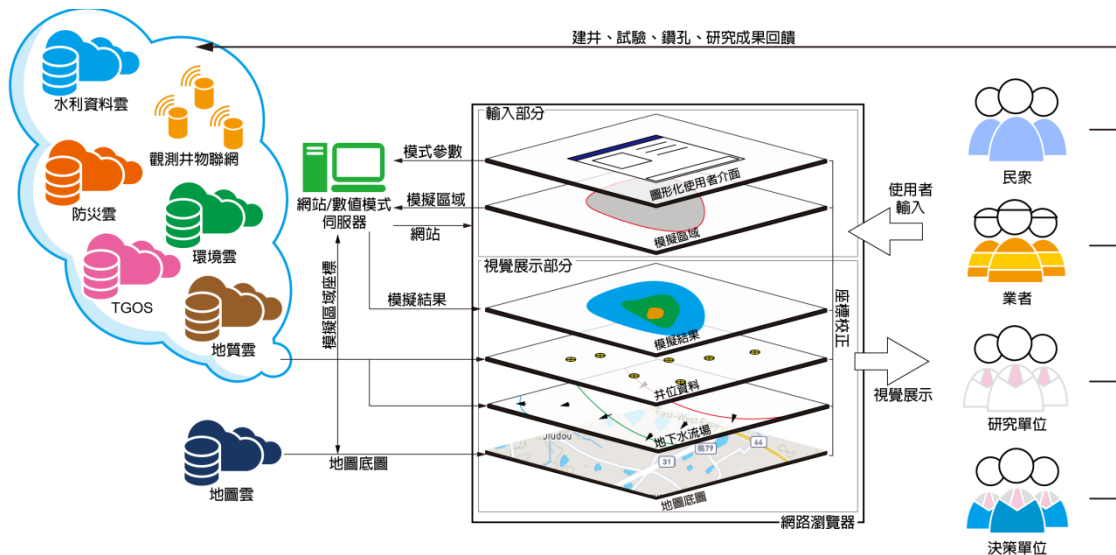


圖 25 平台內各功能之圖層與使用者關係。

使用者透過 Mapbox Map Visualization Platform 的圖形化使用者介面查詢與檢視目前最新的土壤地下水相關公開資料，為了實現此一目標，本計畫使用之相關技術如下：

(1) GIS Database Server

在電子三維資料儲存資料庫的選擇方面，本計畫採用微軟關聯式資料庫 (MS SQL)，它具有全新的 OLTP 記憶體運算技術引擎，提高可靠的關鍵任務應用程式效能，平均可將交易效能提升 10 倍，查詢速度更可高達傳統解決方案的 100 倍。



(2) Mapbox Map Visualization Platform

使用者透過平台的 Mapbox Map 視覺化使用者介面查詢與檢視地下水資料庫中之 GIS 資料。考慮近年來行動裝置蓬勃發展，且為了實現跨系統之目標，本計畫選定以網頁當作視覺化呈現介面。在系統整合與網頁視覺化的技術選擇上，我們採用 Apache HTTP 伺服器+ PHP + JavaScript + Bootstrap + Mapbox Maps JavaScript API 作為系統整合與視覺化平台的框架與工具。

(3) Apache HTTP

PHP 是一個應用範圍很廣的語言，特別是在網路程式開發方面。透過執行 PHP 的程式碼來跟後端 HTTP 伺服器溝通產生網頁資料提供給前端瀏覽器讀取。

(4) JavaScript

主要目的是讓一般的 HTML 的網頁能夠成為動態網頁，藉此強化與客戶端間的互動功能，而且支援各種瀏覽器。

(5) Bootstrap

簡潔，直覺，強大的行動設備優先前端框架，讓網頁開發更快速更簡單，且支援響應式網頁。

(6) Mapbox Maps JavaScript API

使用 Mapbox Map API 抓取圖資、wgs84 經緯度位置，並將結果在 Mapbox Map 上呈現。

4.3 應用資料蒐集與開拓

本計劃其中進度包括所執行之資料展示與數值模擬乃建立於既有單位如環保署 SGM、水利署、地調所等之資料庫數據，並輔以科學角度及學術理論所建立之數值模式進行資料點差分視覺化。相關之資料庫數據如為 MySQL、SQL Server、MS Access 等 DBMS 可開啟之形態皆無相容性之困難，而非上述 DBMS 可開啟之資料，本執行團隊亦會為其進行解碼及數位化編入平台資料庫，以下簡述本平台所蒐集之資料與其形態：

(1) 環保署 SGM 資訊系統

SGM 系統涵蓋大量土水環境資料，內容包括地下水位、水質、水力傳導係數、水井資料、土壤品質、列管污染源等等。資料內容已納入 DBMS 系統，可直接與本平台建立資料庫橋接，不須經過系統轉換處理。

(2) 水利署地理資訊倉儲中心



擁有全國最豐富且最新之水利地理資料與網路地圖服務，提供多元化供應管道及 GIS API 功能模組，內容包括各項水資源之 GIS 與 GML 資料。GIS 資料以 *.shp 型態為主，內容包括資料本體點線面圖資可供平台背景資料庫資訊使用，而本執行端亦會將 *.shp 二進位資訊轉譯解碼納入 DBMS 系統；GML 資料以開放之格式描述具有時間、空間及主題屬性之各類地理現象，本平台可直接嫁接於 GUI 使用者介面上，以提升在使用者端之互操作性。

(3) 地質調查所水文地質資料庫

水文地質資料庫具有全台 11 地下水區之鑽井資料，包括井位資訊及井柱資訊，可提供平台資料展示及計算引擎調配水力參數使用。

4.4 計算引擎演算法—空間資訊數值插值、地下水流與污染傳輸控制方程式

土壤及地下水環境資料庫皆屬於特定空間點所紀錄的寶貴數據，為瞭解場址的背景資料，盡可能獲得更密集的空間資訊，則可提供明確資訊協助於整治或調查工作。但通常事與願違，由於計畫經費所限或是避免造成二次污染，無法對完整場址執行全面空間採樣。本計畫基於此理由，發展利用有限空間資訊，設計模擬平台具有空間插值模組。透過空間插值模組，可以應用於計算水力傳導係數、地表高層、初始水位分佈與污染物濃度分佈等資訊。故此模組則可以應用於針對每口監測井歷時濃度監測，分析當時污染物分佈，進而判斷不同污染物濃度分佈情形、地下水流向，並應用於推估未來設定地下水模式使用。

前期工作以地下水水流與污染傳輸之計算程式做為本平台之地下水流場以及污染傳輸模式之計算引擎，雖其兩者係為已經過眾多產官學研單位使用及驗證之模式，但依舊有其使用上之限制，其演算控制方程式以及功能固定且難以擴充，無法充分運用至現地複雜的地下水流與污染傳輸模擬上，例如非飽和層/飽和層之流場與傳輸、污染物化學反應、多相流溶質遷移與反應，甚至是生物反應等種種可能機制。為應付未來現地場址可能需要解決之問題，計算引擎之控制方程式演算法需要有以下幾種考量：(1)需建立於地下水流與污染傳輸傳統控制方程式上；(2)方程式演算法需介接資料庫參數調配系統，以及前端使用者參數輸入；(3)可分別建構於有限元素及有線差分法數值網格演算法上；(4)控制方程式之解析演算具高度擴充性，如水力或化學等機制之變形。計算引擎演算法為需長期開發、優化以及維護之作業，需要經過不斷測試與偵錯，並與各項既有之計算數值程式進行驗證，且同時需要兼顧計算效率與效能消耗。針對於本項目，本年度之重點開發工作除自主編譯適合本平台模擬作業之地下水流與污染傳輸計算引擎外，並會對所開發之演算法與既有之地下水流數值模式 MODFLOW、FEMWATER，污



(四) 研究方法與過程

染傳輸模式 FEMWATER、MT3D，進行基礎案例分析，評估本平台所開發之演算法之正確性。

(1) 距離反比法 (Inverse distance)

此模組提供使用者可以設定特定多邊形，依據多邊形內空間觀測點數據，設定多邊形內網格密度，即可獲得重要參數空間分佈。本模組執行細節如，圖 26 (a) 首先利用資料庫展示既有空間資訊；圖 26 (b) 設定多邊形頂點位置與連接順序；圖 26 (c) 使用者設定網格密度，系統則會自動辨識位於多邊形內網格，此案例紅色實線網格屬於位於多邊形內，反之黑色虛線網格則是不參與插值計算的網格；最後圖 26 (d) 則是展示 Inverse distance 插值結果。

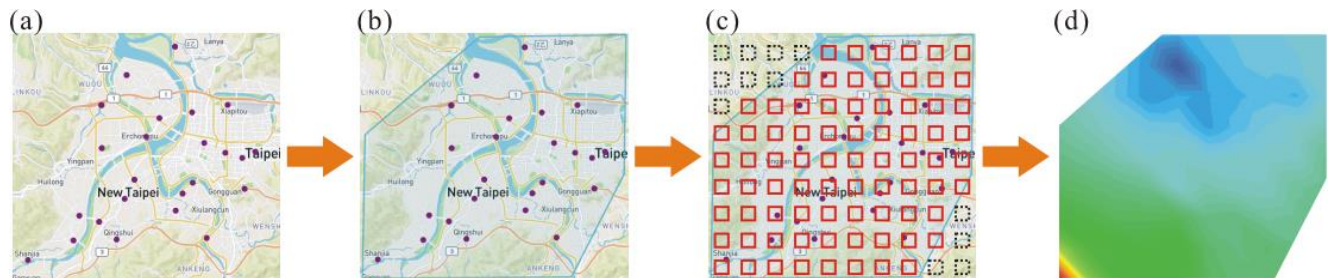


圖 26 距離反比 (Inverse distance) 插值演算流程。

(2) 三角網格線性插值 (Triangulation with Linear Interpolation)

此演算法需要建立兩種關鍵技術，其一為自動三角網格生成，另一為三角形網格線性插值。本研究採用 Delaunay 三角化技術 (Lee and Ni, 2015)，利用多邊形節點與連接順序作為網格生成邊界條件，再逐點加入多邊形內部觀測點，目的在於使得多邊形頂點與觀測點產生連結，如圖 27。

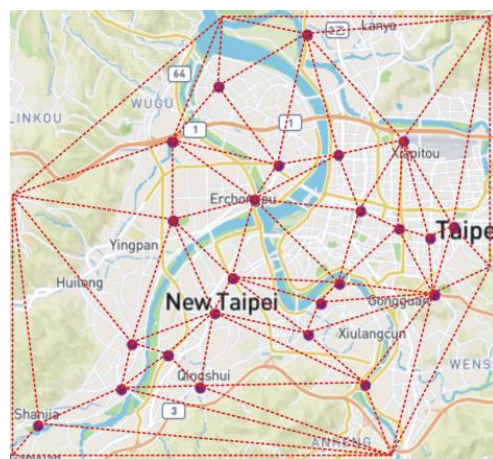


圖 27 觀測點與多邊形頂點三角形網格。



為完成此演算法，三角形每個節點必須都存在觀測值，但使用者在框選多邊形時，多邊形頂點通常未必是觀測點，因此必須先計算多邊形頂點觀測值，才可運算此演算法。本研究預先設定多邊形頂點的觀測值，利用 Inverse distance 對原始觀測點進行空間插值。至於線性插值演算法說明如下：

假定每個網格的特定參數（ h ）是依循線性關係，求解變數可由各節點權重關係求解，此關係可以表示為：

$$h(x) = \sum_{\alpha=1}^3 h_{\alpha} N_{\alpha}(x) \quad (28)$$

其中 N_{α} 為形狀函數（shape function），其形狀函數可表示如下：

$$h(x) = \sum_{\alpha=1}^3 h_{\alpha} N_{\alpha}(x) \quad (29)$$

其中 a_0 與 a_i 是形狀函數的係數，本研究透過以下方程式計算每個三角網格的形狀函數係數：

$$\{a_0\} = \frac{1}{J} \begin{Bmatrix} x_{12}x_{23} - x_{13}x_{22} \\ x_{13}x_{21} - x_{11}x_{23} \\ x_{11}x_{22} - x_{12}x_{21} \end{Bmatrix} \quad (30)$$

$$\{a_1\} = \frac{1}{J} \begin{Bmatrix} x_{22} - x_{23} \\ x_{23} - x_{21} \\ x_{21} - x_{22} \end{Bmatrix} \quad (31)$$

$$\{a_2\} = \frac{1}{J} \begin{Bmatrix} x_{22} - x_{23} \\ x_{23} - x_{21} \\ x_{21} - x_{22} \end{Bmatrix} \quad (32)$$

其中 $J=2 \times A$ ， A 代表單一個三角網格面積[L²]； x_{ij} 為節點座標值[L]， i 為方向指標，1 與 2 分別表示 x 與 y 方向； j 為單一個網格內節點編號。

(3) 自行開發地下水流場與傳輸模式

本研究為提昇地下水溶質傳輸數值模式，提供污染源溯源追蹤歷史資訊以及未來溶質傳輸影響路徑。因此本研究主要目的在於發展利用過去巨量時序監測數據作為模擬背景設定，開發具有科學演算能力地下水流場與溶質傳輸模式。假定傳輸溶質為保守性污染物，不考慮降解、吸附作用以及遲滯因子的情況下，其水流及溶質傳輸控制方程式如（33）、（34）。



(四) 研究方法與過程

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (33)$$

$$\frac{\partial (\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C^j}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n \quad (34)$$

其中 K 代表三維方向水力傳導係數[LT⁻¹]; h 為水頭; W 代表地下水流場源匯項[L³T⁻¹L⁻³]; S_s 為比儲係數[L⁻¹]; C^k 代表 k 物種溶質濃度[ML⁻³]; θ 為孔隙率; t 為時間; D 為延散係數[L²T⁻¹]; v 為孔隙流速[LT⁻¹]; q 為源匯項流速[T⁻¹]; 為源匯項之濃度[ML⁻³]; R_n 為化學反應項[ML⁻³T⁻¹]。

此模組富有靈活與彈性使用能力，可提供具有專業地下水數值模擬背景使用者，設定任意多邊形設定為模擬區域，任意建構點（抽/注水井）、線（山稜線與河川）、面（水庫、湖）作為天然水文地質邊界條件，或是經由使用者設計假想模擬情境，執行水流與傳輸模擬。若為一般環保從業人員，對於地下水數值模擬較不熟悉，本模組可以提供使用者直接查詢不同地下水分區歷時地下水水位空間分佈，並獲得該模擬區域的地下水梯度，如此使用者可於空間中設置污染團，獲得溶質時序空間分佈。本模組執行流程如圖 28 所示：



圖 28 自行開發地下水流場與傳輸模擬執行流程



4.5 實際場址案例驗證

本研究所建構之網路平台，係為一土水環境工作使用者取向所設計之模擬與展示結構系統，以不同單位開放資料為基礎，建置環境參數資料庫供土壤地下水相關領域人員使用、進行線上瀏覽與分析，提升調查規劃效率。針對污染場址之調查、分析而至後續之整治與管理，本平台皆可提供初步至進階之應用功能，為更完善相關使用者之應用條件，本計畫除計算引擎之學理驗證外，另擘劃一實際場址案例之使用程序，從最初之資料庫調閱、邊界規劃、數值網格內插、模擬參數設定、而至後續之地下水流場、污染溯源以及污染傳輸等，並以現有之場址調查報告進行交互驗證，檢定本平台開發之程式對於現有狀況之適用性與準確性。

本計畫目前初步選定一以公告污染場址作為本計畫發展平台之驗證目標場址，將蒐集該場址所調查之環境參數與現有條件，進行地下水流場、質點追蹤與污染傳輸數值模式模擬，並將平台與 MODFLOW、FEMWATER 及 MT3D 的模擬結果，以及現有的調查資料進行互相比較與驗證。驗證場址位於國道一號永康交流道南下出口西方約 200 公尺處，屬於工商混合區域，其位置如圖 29 所示。該場址於民國 90 年經行政院環境保護署所執行之「地下水潛在污染源調查計畫」時，發現該區地下水內之三氯乙烯 (TCE)、二氯乙烯 (DCE) 以及氯乙烯 (VC) 超出地下水第二類污染管制標準。根據隨後數年之調查計畫設計，本場址可分為四個區域，並有共有 70 餘口污染監測井 (如圖 29 所示)，其中 A 區為 94 年度「永康市鹽行段 1418 等 34 筆地號之地下水受污染使用限制地區應變措施計畫」(簡稱 94 計畫) 之研究區域、B 區為 94 計畫中超出範圍之污染源分布區域、C 區為 94 計畫中另外發現之獨立污染事件之潛在高風險區域，而 D 區則為污染團前端或下游，但仍未污染之區域。其中高氯數污染物之污染源位於 B 區與 C 區，B 區之污染物質以 TCE、DCE 為主，並向下游之 A 區擴散，而 C 區則以 TCE、DCE 與 VC 與其降解產物等污染物質為主，並向北側擴散，如圖 30。為與平台模擬結果進行驗證，本研究將利用平台對研究場址進行傳輸模擬，並設定數口觀測井之模擬濃度與本計畫所蒐集之現地歷年濃度觀測結果進行比較，以驗證平台於傳輸模擬上之可靠性。



(四) 研究方法與過程



圖 29 計劃場址位置、分區與歷年計畫之監測井位置



圖 30 場址於 2016 年 1 月進行之二氯乙烯濃度空間分布調查結果

表 2 工作執行甘特圖

工作項目		107 年月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
持續蒐集各單位開放資料										※			※
巨量資料庫規格建立										※			※
資料庫效能測試與改善										※			※
距離反比法插值演算法建構與展示										※			※
三角網格線性插值演算法建構與展示										※			※
地下水流數值計算引擎建構與展示										※			※
污染傳輸數值計算引擎建構與展示										※			※
基準案例分析										※			※
實際場址環境參數資料蒐集										※			※
平台數值模擬與分析										※			※
與實際調查資料比對驗證分析修正										※			※
報告撰寫；成果彙整投稿期刊										※			※
工作進度估計百分比（累積數）			10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%
預定查核點	期中	※完成資訊展示平台、線上模擬平台參數設定、完成期中成果報告。（符合進度）											
	期末	※完成 NOSQL 資料庫建置、線上地下水水流與傳輸模擬平台、彙整研究成果投稿國際期刊、完成期末成果報告。											
說明：													
1、 工作項目請視專案性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起迄日期。													
2、 「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：（1）工作天數，（2）經費之分配，（3）工作量之比重，（4）擬達成目標之具體數字。													
3、 「預定查核點」，請在條形圖上標明※符號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。													



(五) 結果與討論

5.1 使用者帳號管理

對於網路平台設置，資訊安全必定屬於基本條件，因此本研究設計可以依據個別帳號設定使用平台模組的限制，包含登入、執行、修改、新增與刪除資訊。目前平台使用者都需要輸入帳號與密碼，經由系統管理者，透過實體電腦控制管使用者帳號權限。其權限包含：新增/刪除既有資料庫圖層，圖層包含點、線、面不同種類圖層，且各圖層細部資料查詢也可以控管，包含水位空間插值結果，如圖 31。

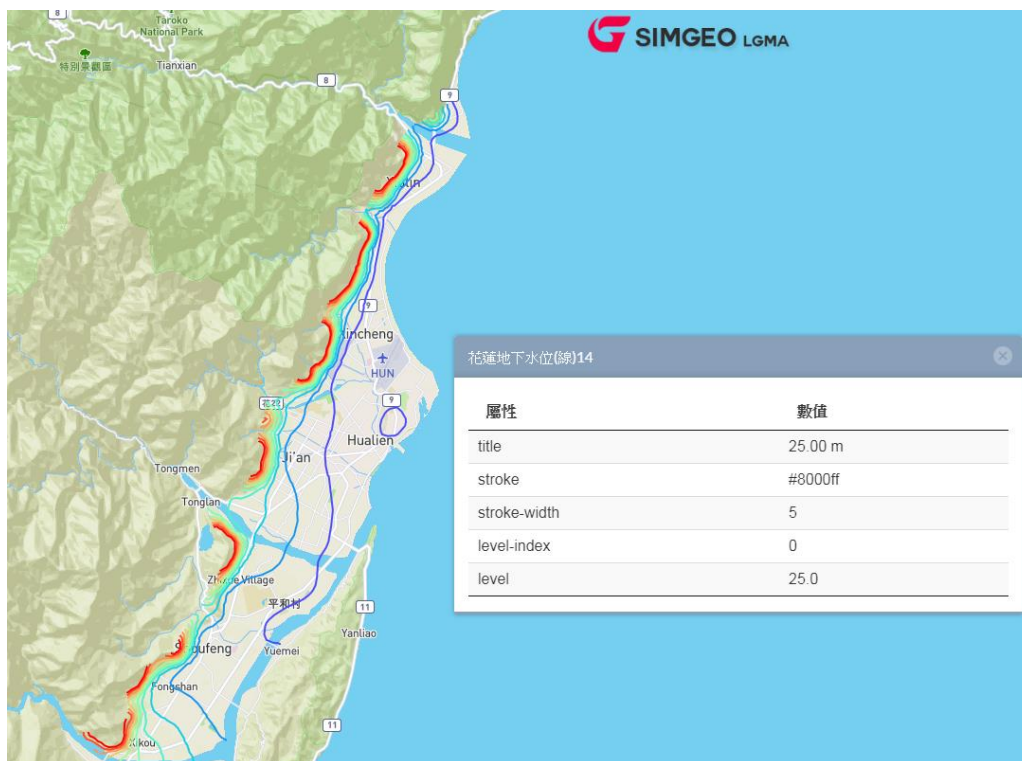


圖 31 花蓮 2014 平均地下水水位等水位線分佈

目前本平台為提昇網路資訊安全等級，使用者密碼設定原則建議為長度至少 8 個字元，且包含 5 文數字等。可採用包含大寫及小寫字母、數字、標點符號、特殊字元之組合以增加複雜度，密碼之設定不得與帳號相同。

5.2 地理資訊平台

為達到能夠迅速完成展示空間資料，無論是經由儀器調查資料、政府開放資料（點、線、面資料），或是使用者經由操作平台產生模擬結果圖層，都必須能夠流暢呈現，依據使用者目標展示合適尺度圖資套疊，並且需要克服瀏覽器展示巨量資料完整、可任意縮放與移動的特性。目前已有許多網路展示平台，大多以



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

呈現空間點、線、面資料。

本研究目前採用 WebGL 技術，可以讓瀏覽器快速呈現空間資料，如圖 32 與圖 33 分別為不同尺度，現存地下水觀測井空間位置分佈圖。這些資料皆屬於點資料，由於在資料庫建置時，可以儲存每個資料的其他參數與屬性，因此本研究可以使用滑鼠在資料點上查閱細部資料，如圖 34。由於本研究所取得資料庫內個欄位皆有預設名稱，在此並未修改資料庫名稱，因此在圖 34 可以看到各屬性內的文字即為此資料細部資料重要欄位。本研究可以在管理者介面中，依據管理者設定欄位名稱以及開放或關閉欄位，藉由使用者權限等級，開放合適資訊。

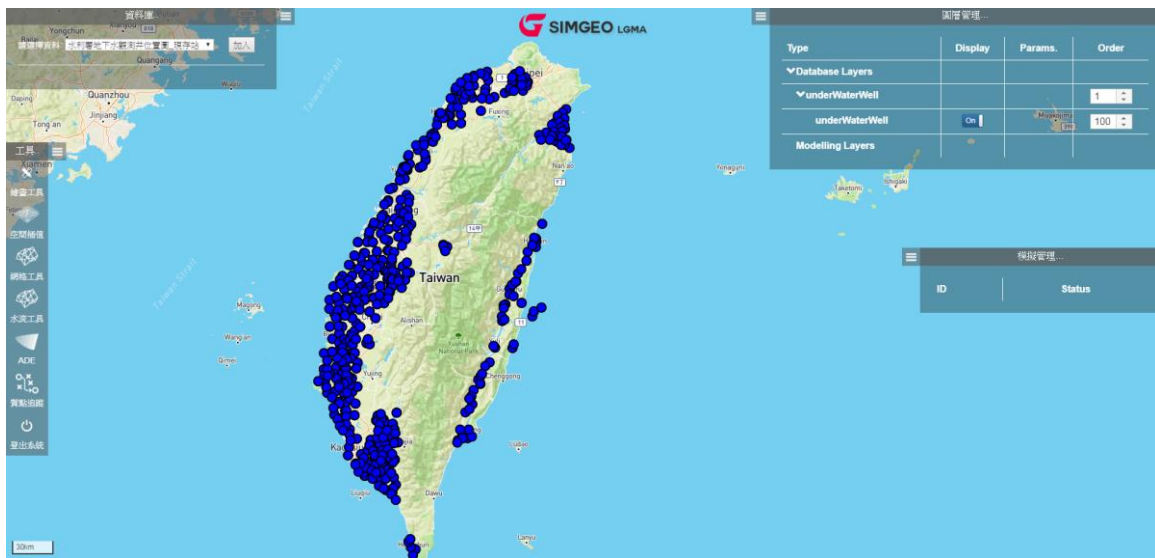


圖 32 本平台大尺度地下水觀測井位置圖（現存站）。



圖 33 本平台小尺度地下水觀測井位置圖（現存站）。



(五) 結果與討論

水利署地下水觀測井位置圖_現存站	
屬性	數值
deptid	2
layer	1
r_well	6
well	蘆竹
ApproveNam	990824_桃園縣政府核准公函
Oele	0.07
fin_date	20060905
TM_X97	277859.264328
welltype	2
TM_Y97	2771326.137506
StaticLe	0
ApproveDat	2010/8/24 上午 12:00:00
wr_di_name	北原

圖 34 單一地下水觀測井細部資料屬性。

目前本平台以完成不同單位全台點資料同時呈現，在於上述觀測井資料屬於單點資料，這些資料可能在於建置時或日後維護時所建置，並非持續記錄時序型資料，但是在於地球科學領域，有許多資料皆需要有空間與時序資料並存的資料。因此在於圖 35 則可以同時呈現點資料與該點之時序資料。目前在圖 35 中，則另外呈現水利署地下水觀測井與雨量站資料。

圖 36 與圖 37 是圖 35 中，單一地下水觀測井與雨量站時序資料。本平台可以自動判斷時序資料的時間與觀測值值域，完成合適時序圖展示。例如圖 36 為地下水水位，在此本研究以完成經由每小時資料計算日、月與年資料，使用者可以依據成果展示需求，選擇時、日、月與年資料呈現。如圖 38 則是僅呈現此地下水觀測井月與年水位資料，因此可以發現在水位縱軸值域隨著月與年水位資料而改變。



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

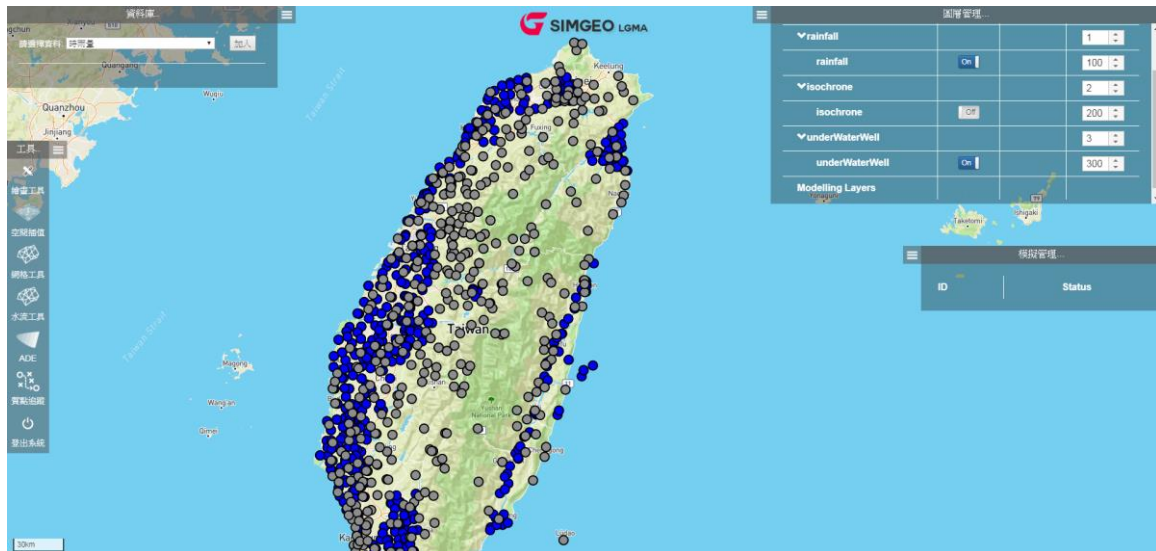


圖 35 不同單位點資料同時呈現。



圖 36 地下水水位時序資料。

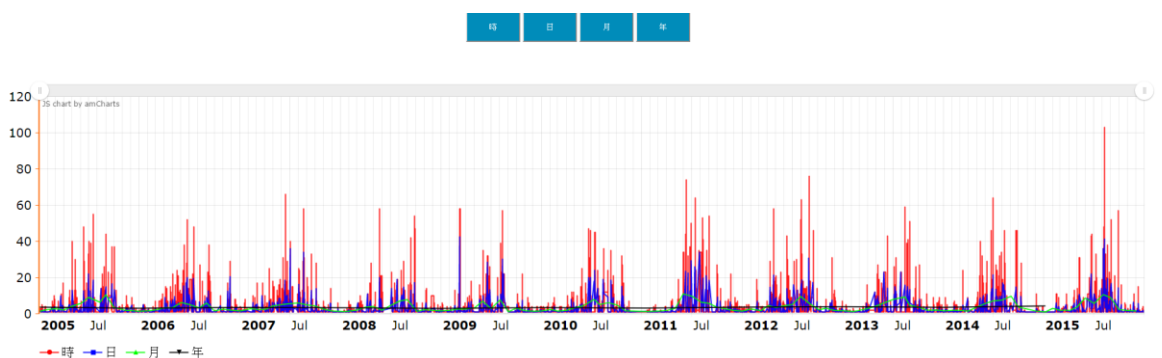


圖 37 雨量站時序資料。



(五) 結果與討論

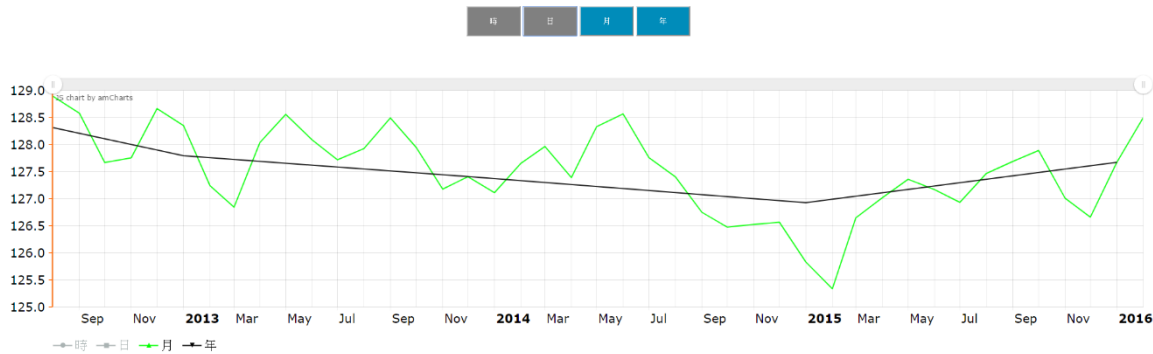


圖 38 地下水水位時序資料（月與年資料）。

5.3 時序資料庫創建

地下水污染傳輸，往往主導因素都是在於地下水流向，若要得知地下水水位，則可以透過地下水觀測井量測。目前水利署具有高密度地下水觀測網，以及環保署設置區域性地下水水質監測井，屬於第一層含水層地下水觀測井。水利署所建立地下水時序水位資料，依照含水層而建立，雖然於地理資訊系統是同一個位置點，但是因為不同層資訊，因此使用傳統方式則需要使用者自行區隔資料庫，如此才可以使用各含水層水位資料。本研究在此經由水利署觀測井設置規則，若有不同層的觀測井，其中文站名會利用（1）（2）...代表，並且每一口地下水觀測站皆有不同編號，例如西港（2）觀測井，編碼為 07240222，前四碼：0724 表彰化縣大城鄉，第 5 碼：02 表該鄉第二個地下水觀測站，第 7 碼：2 表觀測井（二），第八碼：2 表經第一次重鑿之觀測井（汰舊換新）。然而透過後台伺服器計算，並將所有全台觀測井進行統一識別，即可利用平台點選單一位置，確認觀測井含水層個數。

圖 39 呈現本平台展示水利署地下水觀測站，此觀測站位於桃園福興，具有 4 層含水層。各自含水層具有特定屬性數值，使用者可以利用滑鼠點選 1, 2, 3 與 4 含水層，即可獲得該含水層屬性資料。更可以透過滑鼠點選時序圖按鈕，展開新視窗呈現特定含水層時序資料，如圖 40。



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證



圖 39 水利署觀測井各含水基本資料與時序圖按鈕。

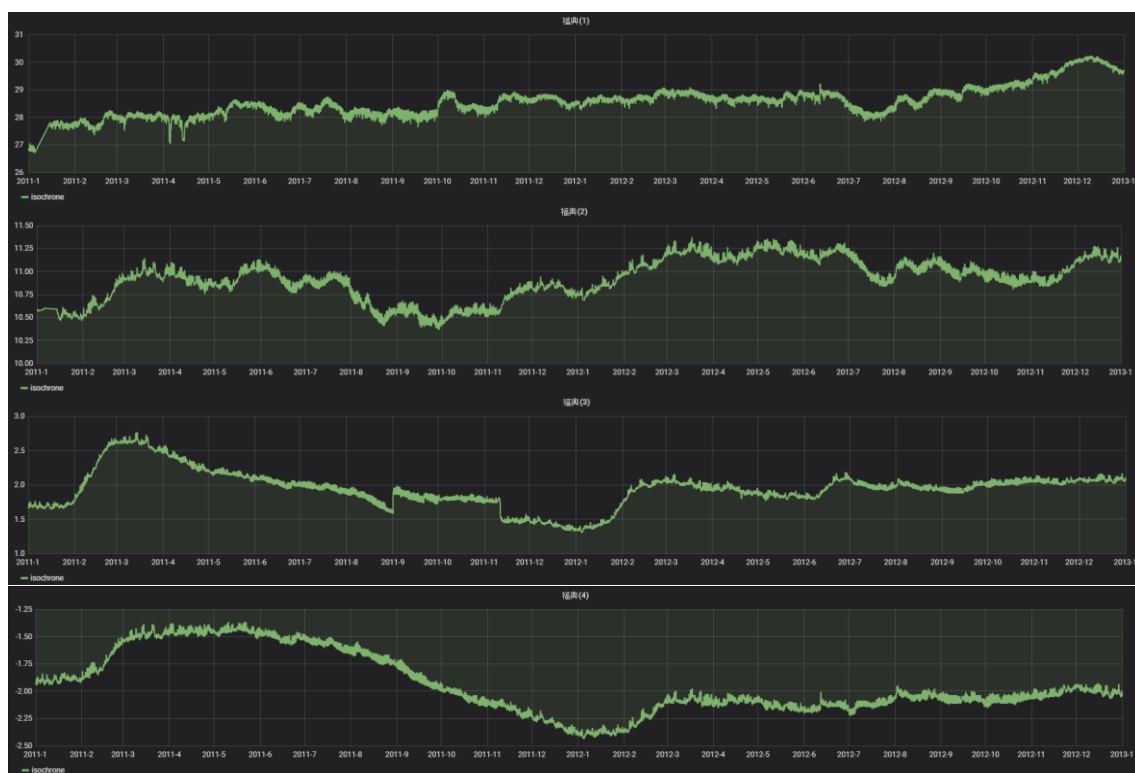


圖 40 桃園福興觀測站 4 層含水層歷時水位觀測數據

圖 41 呈現福興站第一層含水時資料與日水位資料，利用後端伺服器藉由時水位資料計算平均 1 日水位資料，並利用相同網頁頁面展示，使用者可任意框選特定時間的水位資料展示。



(五) 結果與討論



圖 41 桃園福興觀測站第 1 層含水層小時與日水位資料。

5.4 圖層管理系統

空間資料的呈現主要需要透過圖層的套疊，經由地圖座標系統使不同的圖層能夠完成同時展現。本年度研究工作修改了圖層設定與展示的方式，依然將圖層的種類可區分為點、線與面三種圖層。但為簡便使用者操作圖層的規則，目前將所有圖層設定為既有資料庫與模擬圖層，圖 42 是本平台預設圖層管理介面，此圖表是使用者並未增加任何圖層。

圖層管理...			
Type	Display	Params.	Order
Database Layers			
Modelling Layers			

圖 42 圖層管理介面。

在使用者進入平台後，平台左上方為本平台新增既有資料網頁控制區（如圖 43），目的在於讓使用者選擇新增至圖層管理介面，並且展示於平台，目前資料庫圖層的樣式依舊包含點、線與面。



圖 43 新增資料庫網頁控制區。

主要操作工具，可分為繪圖工具、科學模擬與登出，如圖 44。經由繪圖工具與科學模擬工具，皆會產生新增圖層，而新增圖層則會出現於展示圖層分類（圖 35）中。



圖 44 平台操作工具。

本研究設計 5 種繪畫工具，可提供使用者透過滑鼠與平板裝置新增與刪減圖層，此 5 種工具包含點圖層繪畫工具、線圖層繪畫工具、面圖層繪畫工具、框選圖層繪畫工具與刪除圖層工具，其圖示如圖 45-49。以下將針對每種繪圖工具進行詳述：

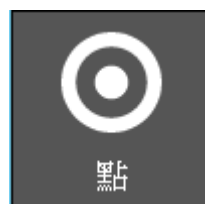


圖 45 點圖層繪畫工具。



圖 46 線圖層繪畫工具。



圖 47 面圖層繪畫工具。



圖 48 框選既有資料庫圖層繪畫工具。



圖 49 刪除圖層繪畫工具。



(五) 結果與討論

現地有著地下水井、露頭、採樣點或是氣象觀測站等，這些資料皆可設定微點圖層資料。在圖 50 中測試新增 2 個點圖層，預設滑鼠左鍵標示後呈現橘色，未被標示呈現藍色，而在右側圖層管理介面則可發現新增點-1 與點-2 圖層。

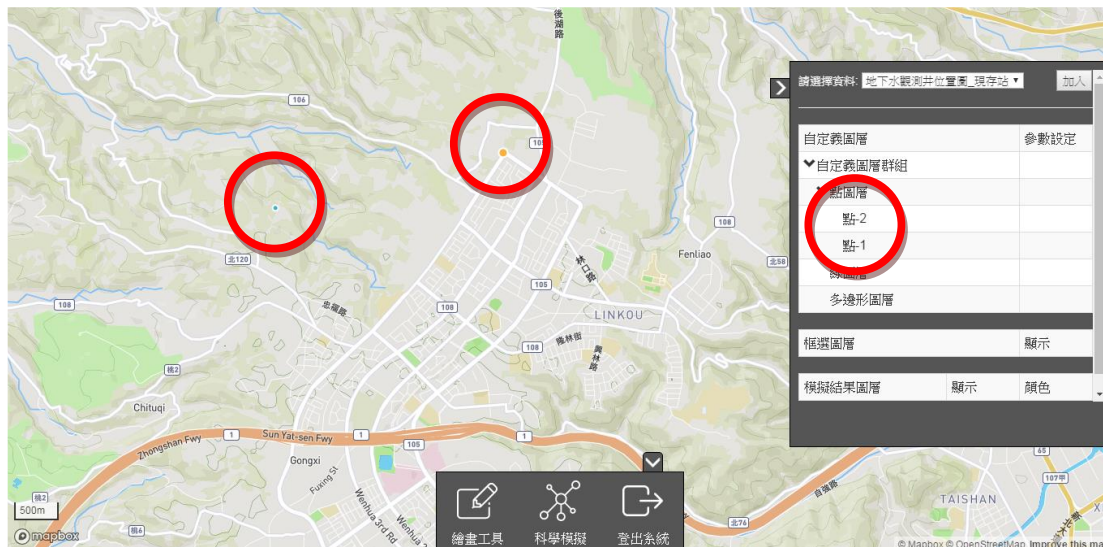


圖 50 新增 2 層點圖層。

河川、山稜線或是海岸線，這些天然地理構造在概念模式，通常可能利用折線代表。圖 51 則是本研究測試新增 2 層折線圖層，如同點圖層，若利用滑鼠標是後會呈現橘色，反之則為藍色。本研究並無設定每條折線最大頂點個數，並且可以接受在構造較複雜區域加密，透過折線頂點表現地質構造。

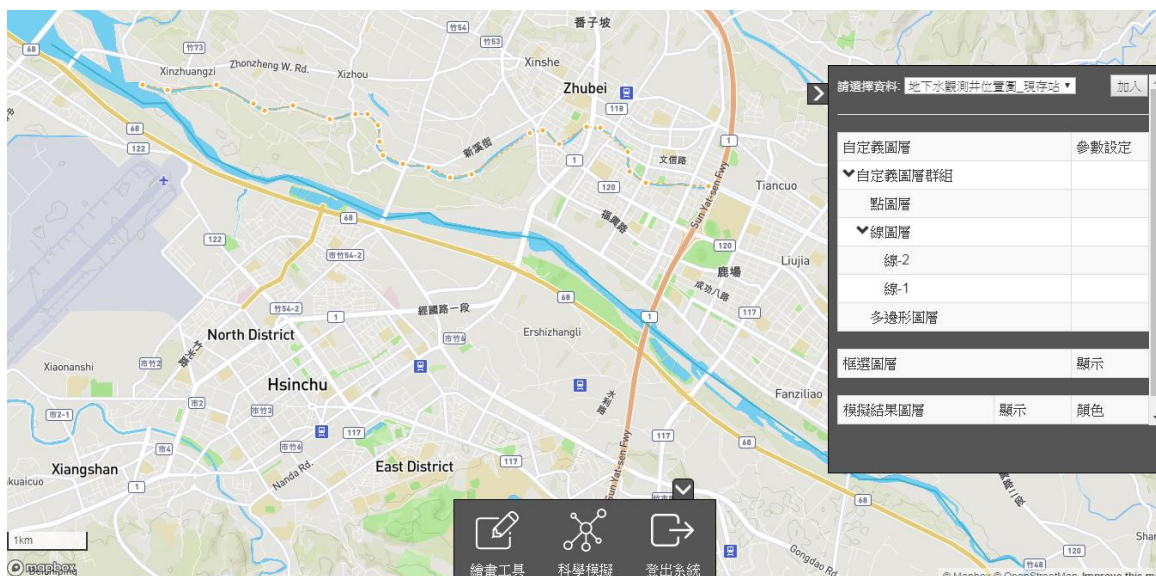


圖 51 新增 2 層線圖層。

為確定模擬範圍，必定要設定模擬範圍區域，在此我們通常設定多邊形區域作為模擬範圍，或是為劃分集水區、地下水分區、河道或是沖積扇等區域，皆會使用面的空間圖層表示。圖 52 新增兩層多邊形圖層示意。



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

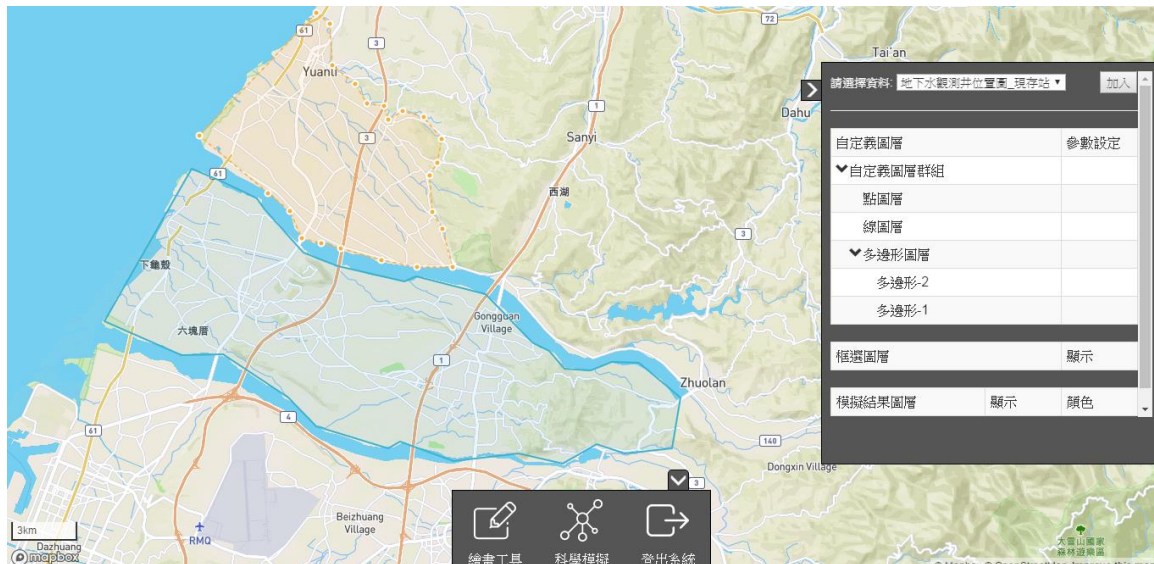


圖 52 新增 2 層面圖層。

執行地下水數值模式須經由水文地質空間資料作為參數設定，因此本研究在點、線與面圖層皆可設定不同參數，並且依據使用者權限開放或關閉設定各種參數。

無論是點、線或面圖層參數設定皆使用相同啟動介面，其啟動介面的操作如圖 53，滑鼠左鍵點選圖層名稱，即可出現參數設定啟動介面。

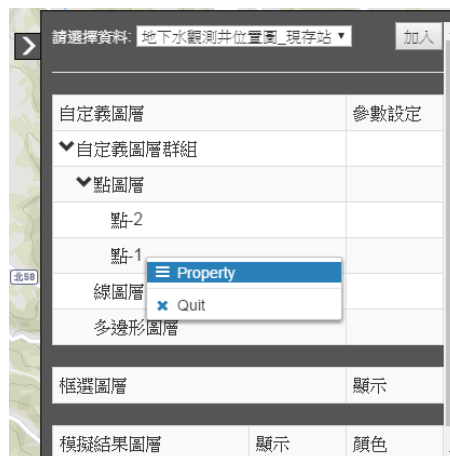


圖 53 點圖層參數設定啟動介面。

圖 54 為本模式設計點圖層參數為地下水井的設計，可以控制為觀測井、抽水井，固定或不固定流率，固定或不固定濃度等設定。在此預設為每個點圖層皆為觀測井，並不會影響流場與溶質濃度。



(五) 結果與討論

圖 54 點圖層參數設定啟動介面。

圖 55 定水頭邊界條件、水頭與地表高層相同、變水頭設定或是 River 或 Drain 模組。

圖 55 線圖層參數設定介面。

設定地下水數值模式之前，必須先設定概念模式，其中不同含水層幾何位置、空間座標。因此本研究將考量未來使用性，擴展圖層未來程式銜接延展性，設計面圖層的較多參數，本研究將參數分為 3 種分類，可區分為 Physical Properties、Aquifer Elevation and Calibrations Data 與 Source and Sinks。

圖 56 表列出面圖層 Physical Properties 參數設定介面，使用者可以設定含水層眾多參數，例如水力傳導係數，並設定及其單位。本研究可設定水平與垂直異向性，每個參數皆設定合理預設值，這個部份可以設定使用者權限，限制使用者



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

是否可以修改每個參數。

Zone Properties

Physical Properties Aquifer Elevation and Calibrations Data Source and Sinks

☒ Conductivity 1 m/day

☐ Kx/Ky 1

☐ Kx/Kz

☐ Orientation of AnisF in XY degree

☐ Orientation of AnisF in XZ degree

☐ Retardation Factor

☐ Partitioning-Kd m³/g

First Order Decay

☐ Decay Coeff

☐ Half Life

☐ Soil Particle Density g/m³

☐ Specific Yield 0.0e0

☐ Specific Storage 0.0e0 1/m

☐ Effect Porosity 0.3

Molecular Diffusion

☐ D^{xx} 0.0e0 m²/day

☐ D^{yy} 0.0e0 m²/day

☐ D^{zz} 0.0e0 m²/day

☐ Orient_XY 0.0e0 degree

☐ Orient_XZ 0.0e0

Local Dispersion

☐ Long. 1.0e0 m

☐ Trans. 1.0e0 m

☐ Vert. 0.0e0 m

圖 56 面圖層參數設定介面（Physical Properties）。

圖 57 則是設定含水層垂直方向幾何形狀與座標，包含含水層頂部高程、底部高程或含水層厚度。在圖中可以看到，本研究設計使用者如果設定底部高程時，則無法設定含水層厚度，由於這兩項設定屬於相依，因此必須透過介面操作時必須作此設定。也可以設定校正參數，包含總水頭、溶質濃度與水力傳導係數。若設定地下水模式為暫態時，則在此必須使用設定含水層初始總水頭。



(五) 結果與討論

Zone Properties ✕

Physical Properties
Aquifer Elevation and Calibrations Data
Source and Sinks

Aquifer Elevation
☐ Top Elevation -10 m
☐ Bot Elev/Thickness

☒ Bottom Elevation -50 m
☐ Thickness 40 m

Calibration Data
☐ Head 0.0e0 m
☐ Concentration 0.0e0 ppm
☐ Conductivity 0.0e0 m/day

Attribute Elevations
☐ Z-Upper -10 m
☐ Z-Lower -50 m

☐ Starting Head -10 m

圖 57 面圖層參數設定介面 (Aquifer Elevation and Calibrations Data)。

本研究設計可以使用面圖層作為源匯項設定，因此在 Source and Sinks 參數設定如圖 58。可以設定抽注水與溶質，並且設定固定流率或是不固定流率。對於溶質可以設定瞬間或持續增加溶質，若是持續增加溶質也可以設定不固定質量注入。或是設定為河流的型態，設定為定水頭或變水頭，以及固定質量或不固定質量注入。但若設定為河流型態時，則必須設定河流底部高程，在此也可以設定與地表高層相同。經由 Drain（排水）介面可以設定排水率，在此必須設定於模式中排水位置。經由 Prescribed Head 可以設定以含水層的單位，其中每個網格皆設定定水頭邊界條件，其數值可固定為某一數值，或與初始水頭相同。



Zone Properties

Physical Properties Aquifer Elevation and Calibrations Data Source and Sinks

☐ Rech 0.0e0 m/day ☐ Transient

☐ RchC 0.0e0 ppm ☐ Transient

Source Concentration

☐ Instantaneous 0.0e0 ppm

☐ Continuous 0.0e0 ppm ☐ Transient

☐ **River**

Riv Stage 0.0e0 m ☐ Transient

☐ Riv C 0.0e0 ppm ☐ Transient

River Bottom

☒ Constant -30 m

☐ Same as surface elevation

☐ **Drain**

Leakance 1 1/day

Drain Elev

☒ Elevation 0.0e0 m

☐ Same as Top elevation

☐ **Prescribed Head**

☒ Const 0.0e0 m

☐ Same as Starting Head

☐ **General Head Dependent Leakage**

☐ HDEP Conc 0.0e0 ppm

Leakance 0.0e0 m/day

Source Head 0.0e0 m

圖 58 面圖層參數設定介面（Physical Properties）。

5.5 空間插值

無論地下水井觀測網如何建置，仍不可能達到無止境的精細；或是污染物追蹤使用極高密度採樣或設置觀測井，若污染物因地下水流場移動，則會造成更無法掌控情勢發生。因此憑借人類有限的能力，藉由蒐集空間與時間資訊，推估該關鍵數值的時空分佈，其關鍵數值包括地下水流場或污染物濃度等。

目前本研究以初步完成 Inverse Distance 的插值方法，使用者可以依據需求，設定目標插值的網格密度、關鍵參數與插值空間範圍，操作按鈕如圖 59。

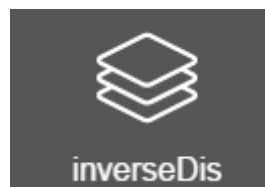


圖 59 Inverse Distance 操作介面按鈕。

圖 60 為本研究測試 Inverse Distance 模式空間插值結果，此資料為地下水觀測網水井高程作為觀測數據，共計 23 口水井。使用者可以自行設定計算插值範圍網格間隔，本研究預設分割方式為等間距切個 51 個網格節點。



（五）結果與討論

此資訊可應用於計算水力傳導係數、地表高層、初始水位分佈與污染物濃度分佈等資訊。獲得此資訊後，可以應用於判斷歷史污染物濃度分佈情形、地下水流向，並應用於推估未來設定地下水模式使用。

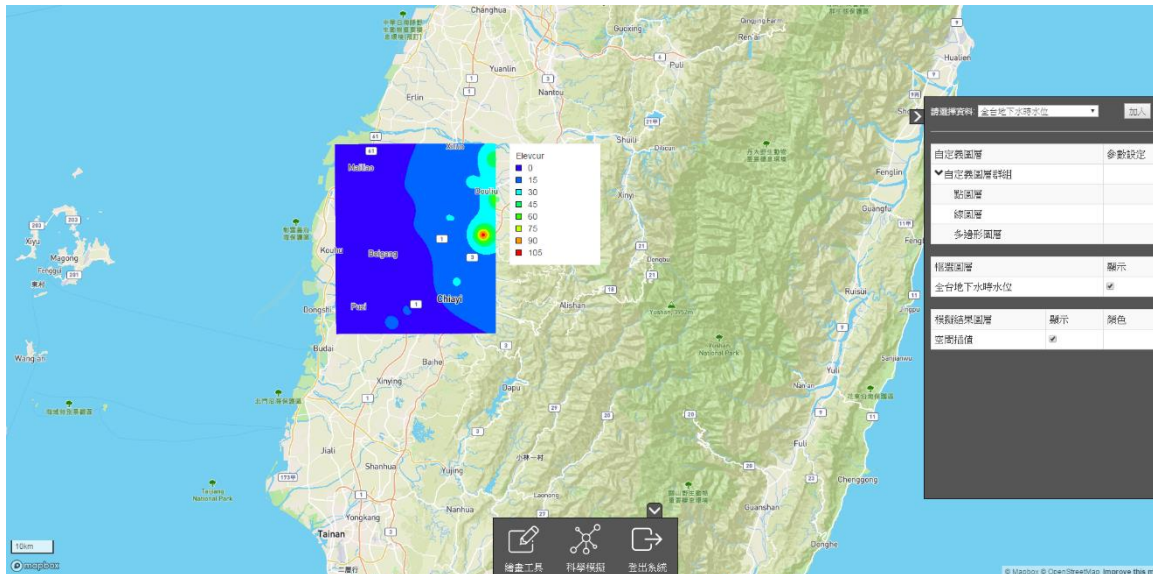


圖 60 地下水井地理高程空間插值 (Inverse Distance)。

許多污染場址整治實務都會需要界定不同行政區域內，或是特定關注範圍內污染物濃度空間分佈。上節所提供的空間插值功能，僅限於將關注範圍（插值計算區域）設計為矩形，因此本研究改進此功能，結合非結構化網格生成技術，使用者可以利用平台框選工具，圈選地圖上任意多邊形，再進行挑選資料庫中特定參數插值。以下將詳述本平台執行方式。

第一步驟，使用者需要先藉由新增資料庫圖層選單，挑選目標資料庫，並且完成新增。於圖 61 中，使用者可利用滑鼠利用選單功能，新增圖層至平台展示介面。經由新增功能，即可將資料庫伺服器將資料庫，暫存至計算伺服器，作為之後模擬工具計算輸入資料。

第二步驟，使用者則是利用繪圖工具群組中，使用框選工具，如圖 61。再者則是利用滑鼠於地圖平台介面建立關注目標區域，如圖 62。如此，則可以將原本資料庫內的數據，進行細部分離，以利後續計算流程。

第三步驟，於第二步驟框選區域，計算伺服器則會自動產生非結構化網格，並且經由使用者挑選特定參數，執行空間插值。

第四步驟，計算伺服器完成空間插值數值模擬後，將數據轉換為 GEOJSON 格式，傳送至使用者前端瀏覽器，並空間插值成果展示，如圖 64。



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證



圖 61 新增資料庫與框選工具按鈕。

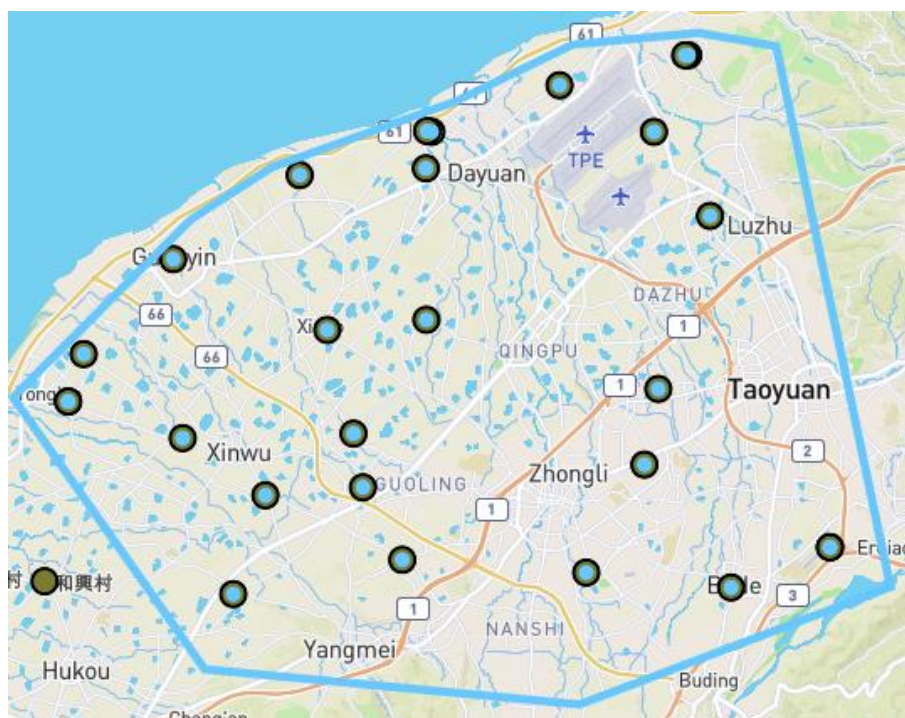


圖 62 框選工具建立多邊形。



(五) 結果與討論

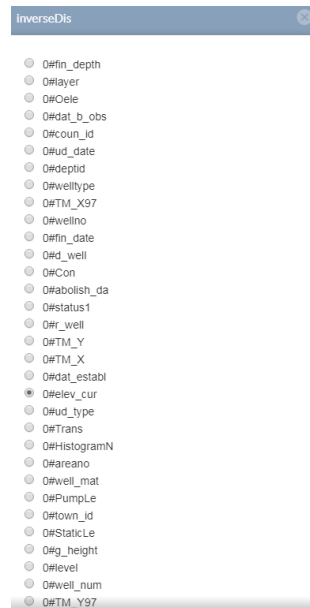


圖 63 挑選資料庫內特定參數

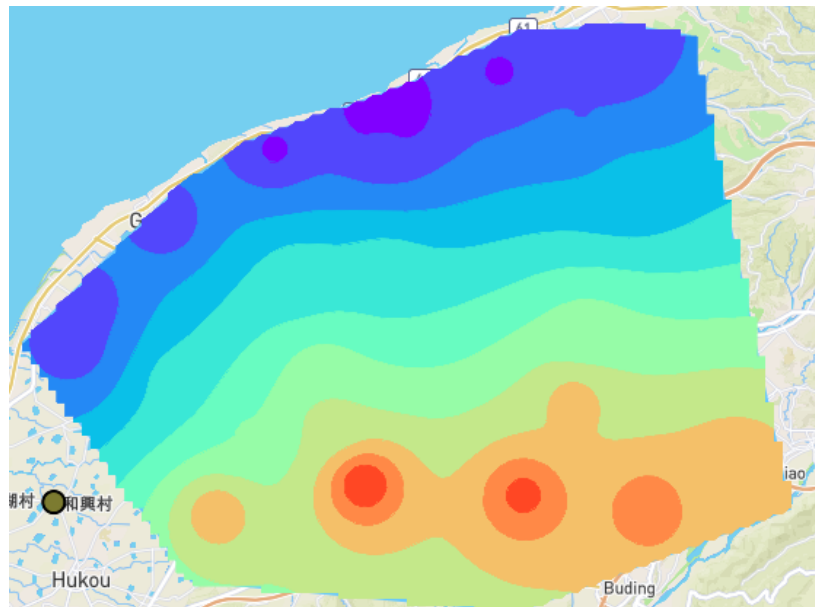


圖 64 非結構化多邊形空間插值

5.6 網格生成模式

為描述現實狀況的含水層範圍或是模擬區域，通常屬於不規則多邊形，並非使用簡易幾何圖形（正方形、圓形、長方形、梯形或三角形等），即可完成描述。因此本研究中藉由 Delaunay 三角化技術（Lee and Ni, 2015），使用者可以設計任意多邊形，無論是否有交錯與重疊，皆可完成三角網格生成。

本研究首先透過多邊形繪圖工具，描繪出蘭陽平原幾何大致外型，建構好幾何外型後，則會於圖形管理介面新增一層面的圖層，如圖 65。建構此多邊形的面圖層之後，即可使用本平台所開發網格生成模組，操作按鈕如圖 66



圖 67 則是執行網格生成模式後網格分佈結果，為清楚展示每個網格形狀，在此設定較疏鬆網格大小，其每個節點的點密度皆可開放使用者設定。本研究設定在執行網格生成後，模式會自動判斷面圖層的位置，在每個面圖層繪製其顏色，協助使用者判別多邊形圖層與網格相對位置，如此可辨別面圖層，協助設定多邊形面圖層參數。圖 68 則是在蘭陽平原內增設兩個多邊形，其 3 個多邊形面圖層共同作為網格生成模式初始設定條件，圖中可以看出三個多邊形外型以及每個三角網格資訊。

最後在執行網格生成後，使用者可以控制繪圖資訊，透過圖層管理介面（如圖 69），可以設定僅有網格線段、多邊形面填色，以及網格與多邊形顏色皆展示或一同不展示。

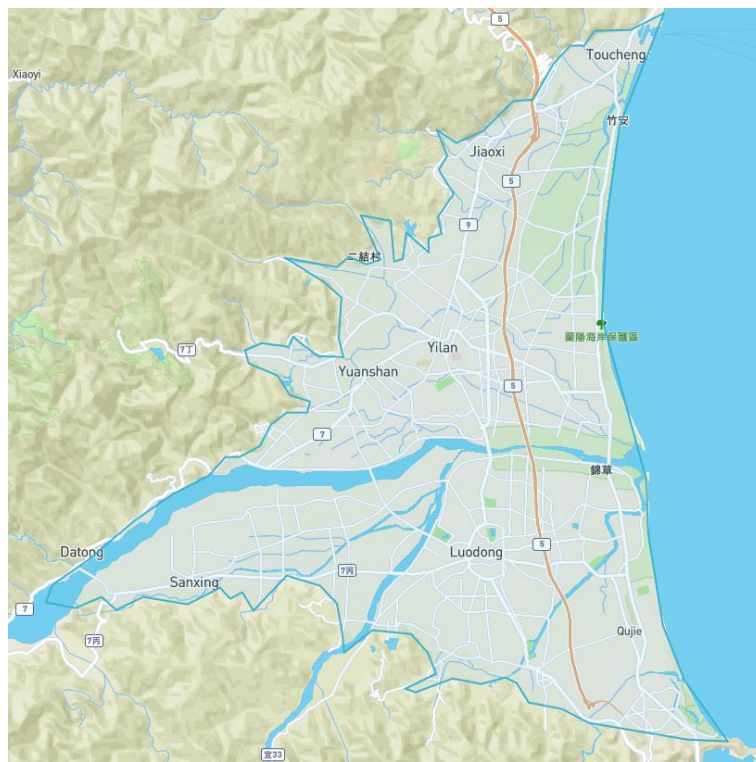


圖 65 蘭陽平原幾何外型圖層。



圖 66 網格生成操作按鈕。



(五) 結果與討論

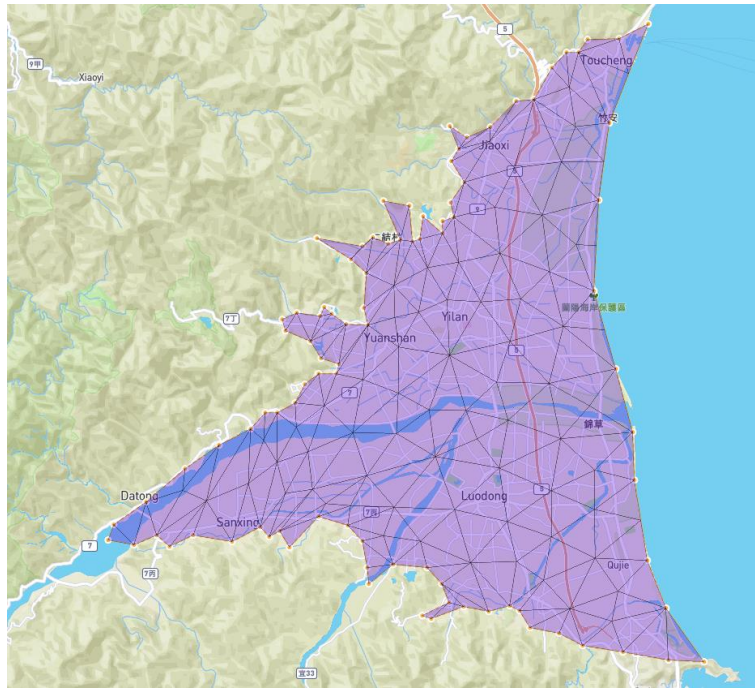


圖 67 蘭陽平原單一多邊形三角網格生成。

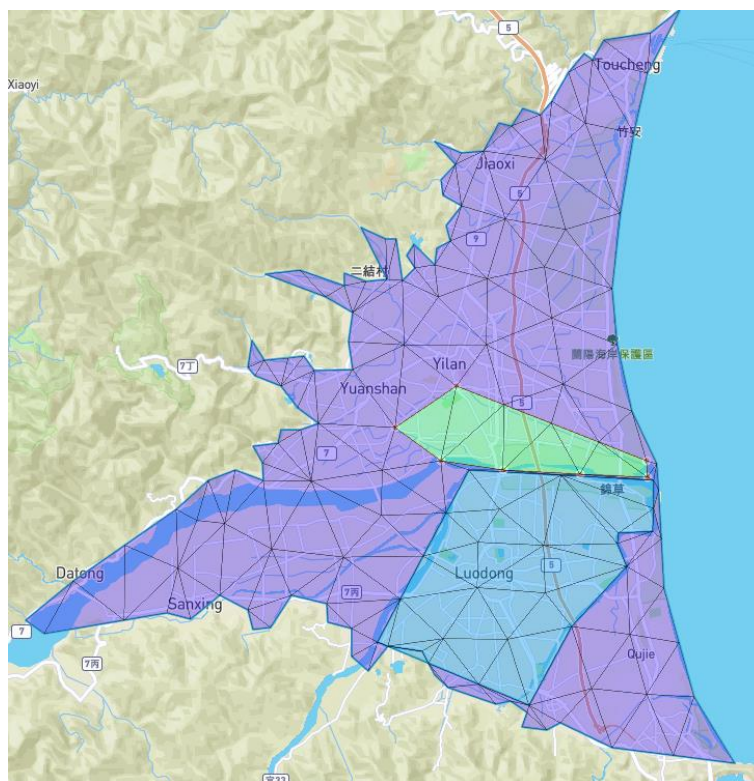


圖 68 蘭陽平原多個多邊形網格生成。



請選擇資料: 地下水觀測井位置圖_現存站 ▼ 加入

自定義圖層	參數設定
▼自定義圖層群組	
點圖層	
線圖層	
▼多邊形圖層	
多邊形-1	

框選圖層	顯示
模擬結果圖層	
三角網格	☒

模擬結果圖層	顯示	顏色
三角網格	☒	☒

圖 69 執行圖層管理介面（網格生成）。

5.7 地下水流場模擬

執行地下水流場模擬則必須先完成概念模式設置，此部份需經由點、線與面繪畫圖層所新增圖層，設定相關含水層參數，如此即可執行地下水流場模擬，本平台設定流場模擬操作按鈕如圖 70 所示。



圖 70 流場模擬操作按鈕。

本報告透過以下測試案例，說明本研究所開發地下水流場模擬設定與模擬結果。在此這測試案例中，設計 5 層面的圖層，並設定其水力傳導係數，並且於左上角與右下角設定兩直線作為定水頭邊界條件，在本模式預設邊界條件為不透水邊界條件，概念模式設定如圖 71。



(五) 結果與討論

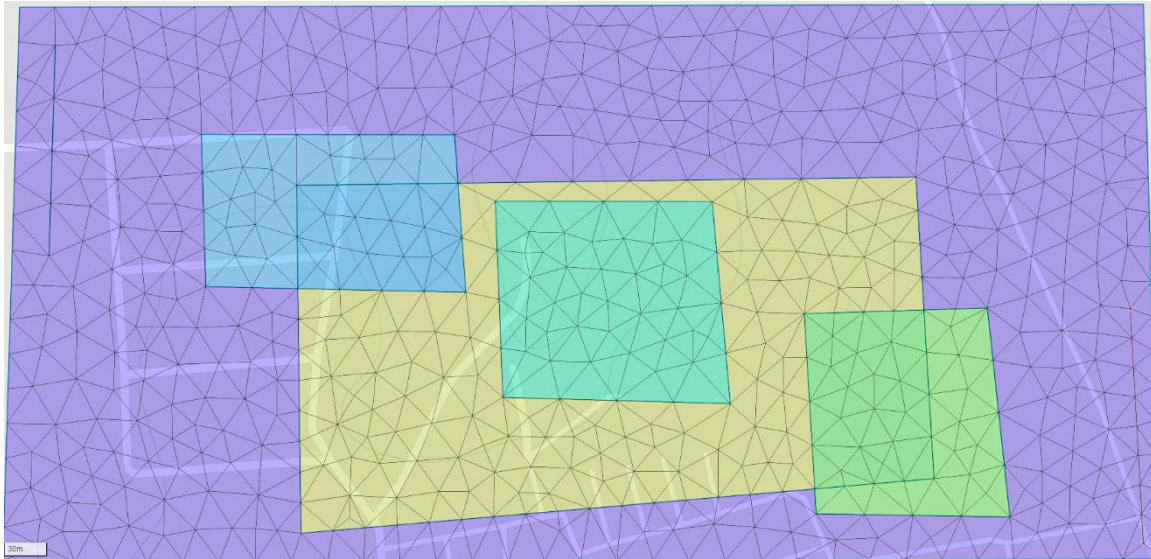


圖 71 測試例概念模式。

因為此測試例中設定兩直線作為定水頭邊界條件，地下水流場主要流動方向必定依循高水頭向低水頭，故經由圖 72 則可以發現左上角的總水頭最高，右下角的總水頭最低。

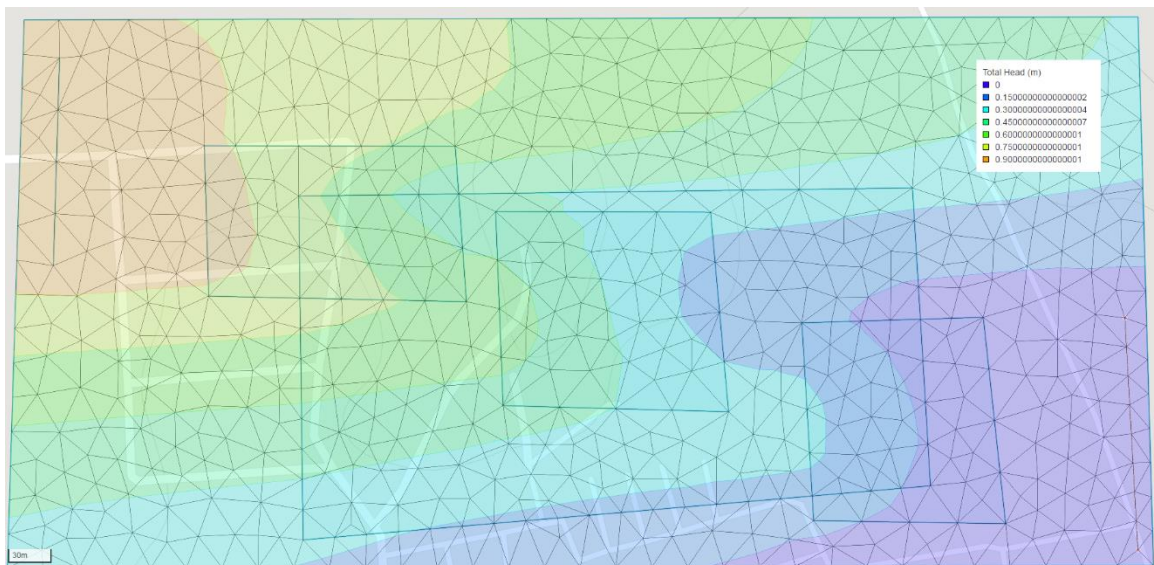


圖 72 測試例穩態流場模擬結果。

5.8 列管場址相關試驗與圖資展示

本研究所開發的網路平台，其最主要目的在於協助環保人員對於整治環境瞭解，以及節省施作時間與經費。因此，本年度依據所收集的場址資訊，介接至平台資料庫，完成過去試驗資訊展示。

(1) 桃園市沿海地區整治場址

本計畫為呈現多元場址資料，藉由收集過去整治資料，將不同監測井與抽水



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

試驗井報告彙整至本平台。圖 73 為桃園市沿海地區整治場址，此區域內共有 19 口地下水井，空間分佈圖如圖 74。



圖 73 桃園市沿海地區整治場址。

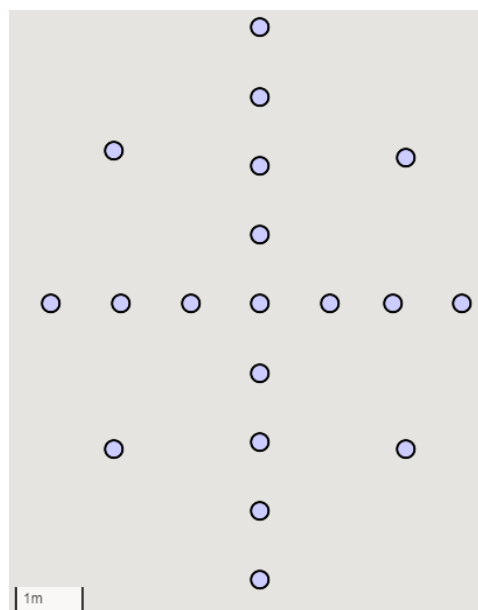


圖 74 整治場址地下水井空間配置。

場址完成鑽井後，必定需要完成岩心判讀與抽水試驗，推估場址水文地質參數。往往土壤水力傳導係數異質性決定污染物流動方向，故掌握地質參數空間分佈，必然決定整治成效與效率。此試驗場址完成許多抽水試驗，以下將針對數個試驗報告進行成果展示連結。圖 75 為整治場址井群中央 P-02 井相關資料連結網頁。其中包含跨孔多井抽水試驗、TWD97 二度分帶座標、水力傳導係數、單井



(五) 結果與討論

Slug 試驗。並且可以透過網頁的超連結，取得相關報告，如圖 76 與圖 77。

觀音東陽抽水試驗

屬性	數值
description	pumping test report(P-02)
TW_X	262829.01867399935
TW_Y	2772041.47613
K	0.0005611 m/min
description(slug)	slug test report
#well	P-02

圖 75 整治場址井群中央 P-02 井抽水試驗報告。

1. 場址介紹

本場址位於桃園市觀音工業區內，產業類別為汽車及其他零件製造業。工廠廠區內進行採點採樣作業，調查結果顯示地下水三氯乙烷檢測值超過第二類地下水污染管制標準，目前廠區內已著手進行相關整治作業前之水文地質調查工作，完成主要抽水井、監測井以及氧化棒預設井，其中井配置如下圖 1.1 所示，各井資訊如列表 1.1。

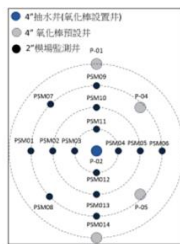


圖 1.1 本廠區內水力試驗場址配置圖。

表 1.1 場址內設井資訊(25.056729, 121.127325)

井編號	尺寸(吋)	深度(m)	平均水位深度(m)	備註
P-01	4	13.550	3.41	水力試驗觀測井、氧化棒預設井
P-02	4	13.550	3.32	水力試驗觀測井、氧化棒預設井
P-03	4	13.550	3.32	水力試驗觀測井、氧化棒預設井
P-04	4	13.550	3.35	水力試驗觀測井、氧化棒預設井
P-05	4	13.550	3.33	水力試驗觀測井、氧化棒預設井
PSM-01	2	13.550	3.33	水力試驗觀測井、模場監測井
PSM-02	2	13.550	3.42	水力試驗觀測井、模場監測井
PSM-03	2	13.550	3.42	水力試驗觀測井、模場監測井
PSM-04	2	13.550	3.32	水力試驗觀測井、模場監測井
PSM-05	2	13.550	3.38	水力試驗觀測井、模場監測井

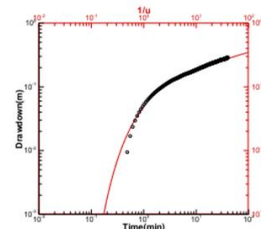


圖 2.8 觀測井 PSM-11 與 Neuman(1975) 曲線擬合套疊結果

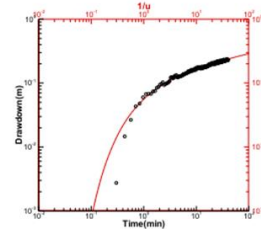


圖 2.9 觀測井 PSM-13 與 Neuman(1975) 曲線擬合套疊結果

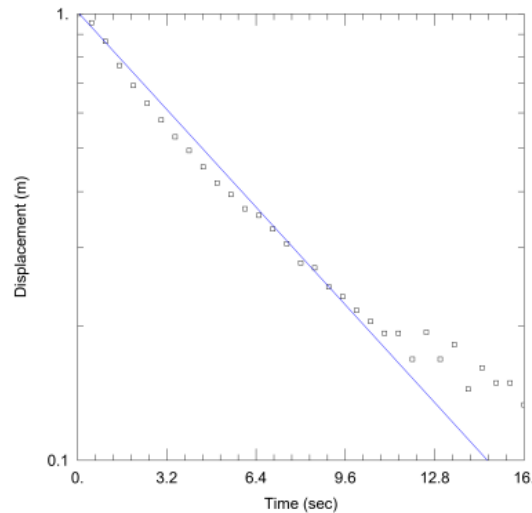
2.2 復井試驗—P-03

本試驗以 P-03 為抽水井，P-01、P-05 做為水位潛降觀測井，抽水井以變頻器控制頻率達到定量抽水，抽水率約為 2.437cmh，共連續抽水 40 分鐘。圖 2.10 至圖 2.12 為抽水井與觀測井之水位潛降隨時間變化圖，表 2.3 為抽水資訊表。

圖 76 P-02 井跨孔抽水試驗報告。



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證



WELL TEST ANALYSIS	
Data Set: E:\slug_test\0423\AQTS_Fitting_all\0423_P02all.aqt	Time: 13:47:18
Date: 04/26/18	
AQUIFER DATA	
Saturated Thickness: 11.29 m	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.
WELL DATA (P02)	
Initial Displacement: 3.4 m	Static Water Column Height: 11.29 m
Total Well Penetration Depth: 11.29 m	Screen Length: 11.29 m
Casing Radius: 0.127 m	Well Radius: 0.508 m
SOLUTION	
Aquifer Model: Unconfined	Solution Method: Hvorslev
K = 0.0005611 m/min	y0 = 1.011 m

圖 77 P-02 井單井 Slug 試驗報告。

(2) 台南市永康整治場址

本計畫以既有之場址進行單機版地下水數值模式 GMS 模擬與平台數值模擬結果驗證：

1. 地下水位模擬

為了確認模擬範圍與邊界形態，本計畫首先進行大尺度流場模擬，其模擬範圍為柴頭港溪與鹽水溪所包圍的集水區範圍。為了能得到大尺度的初始水位，本計畫使用歷年計劃所建置 71 口地下水測站平均觀測資料做為邊界水頭值。模擬結果顯示場址內之地下水位約在海平面 3-8 公尺左右。此大尺度水位模擬結果決定的模擬範圍之空間分布如圖 78 所示，其中北邊界設定為永康大排，邊界上水頭值與永康大排水位相同；南邊界設定為定水頭 10 公尺，位置則與大尺度模擬水位 10 公尺處相同；而東西兩邊界由於與水流方向平行，水流不會穿透，便設定為不透水邊界。本研究收集相關研究成果，彙整其歷年研究成果，可以得知該區監測井地下水水位（圖 78）與不同污染物於各監測井內的濃度檢驗值。

2. 污染傳輸模擬



(五) 結果與討論

過本研究所開發的空間插值技術，針對監測井的特定污染物皆可計算濃度空間分佈情形，如圖 79 利用等值區填滿呈現 TCE 濃度分佈，圖 80 則是利用等值線呈現 12DCE 濃度分佈情形。

本研究藉由目前收集監測井濃度分佈，作為本研究開發溶質傳輸初始濃度分佈設定（圖 80），加上場址地下水總水頭分佈（圖 78），如此則可以模擬未來溶質於場址內濃度變化。本研究設定模擬目標時間為 2160 天，觀測的溶質為 12DCE，圖 81 即為本平台模擬 12DCE 濃度分佈情形。

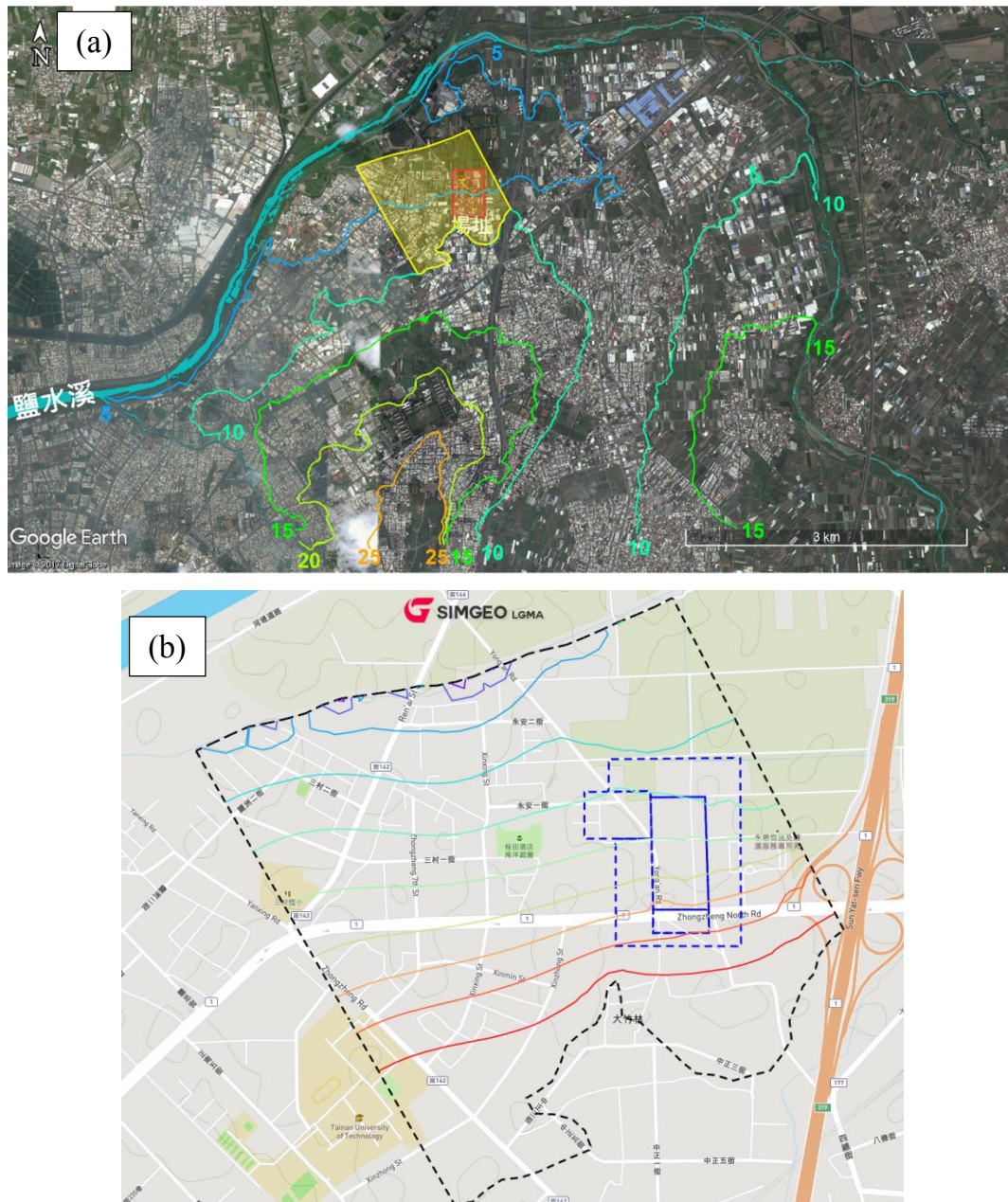


圖 78 台南永康整治場址地下水流場分佈；(a) GMS 模擬結果、(b) 為平台數值模擬結果



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

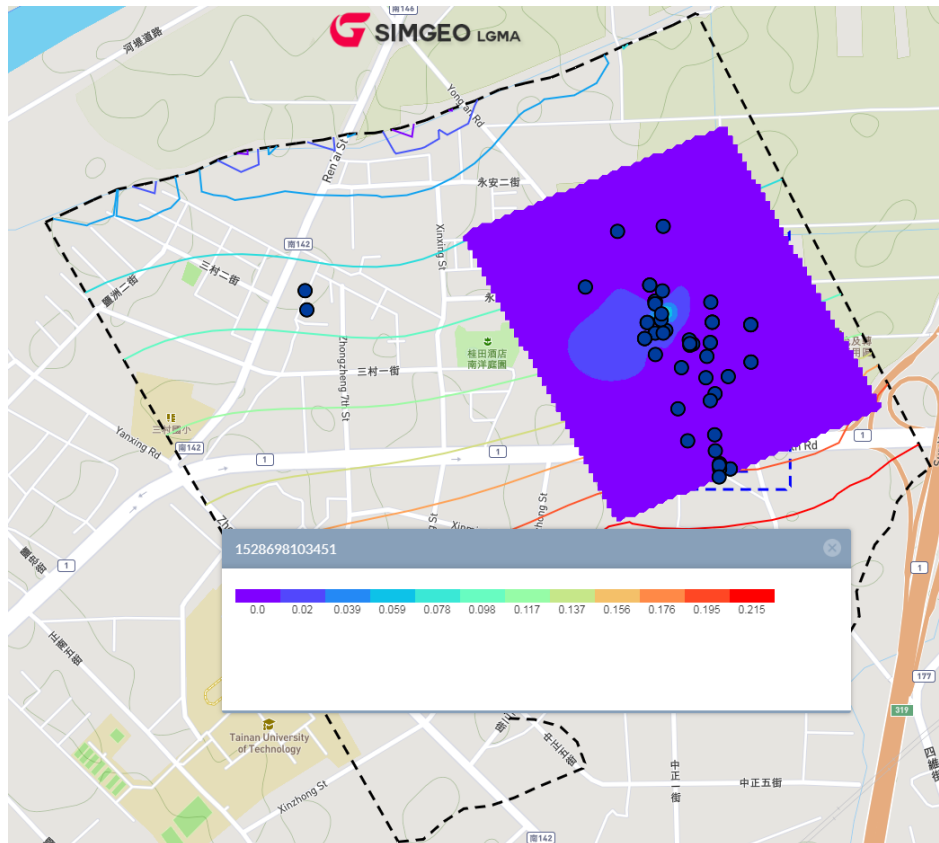


圖 79 TCE 空間插值（填滿）結果。



(五) 結果與討論

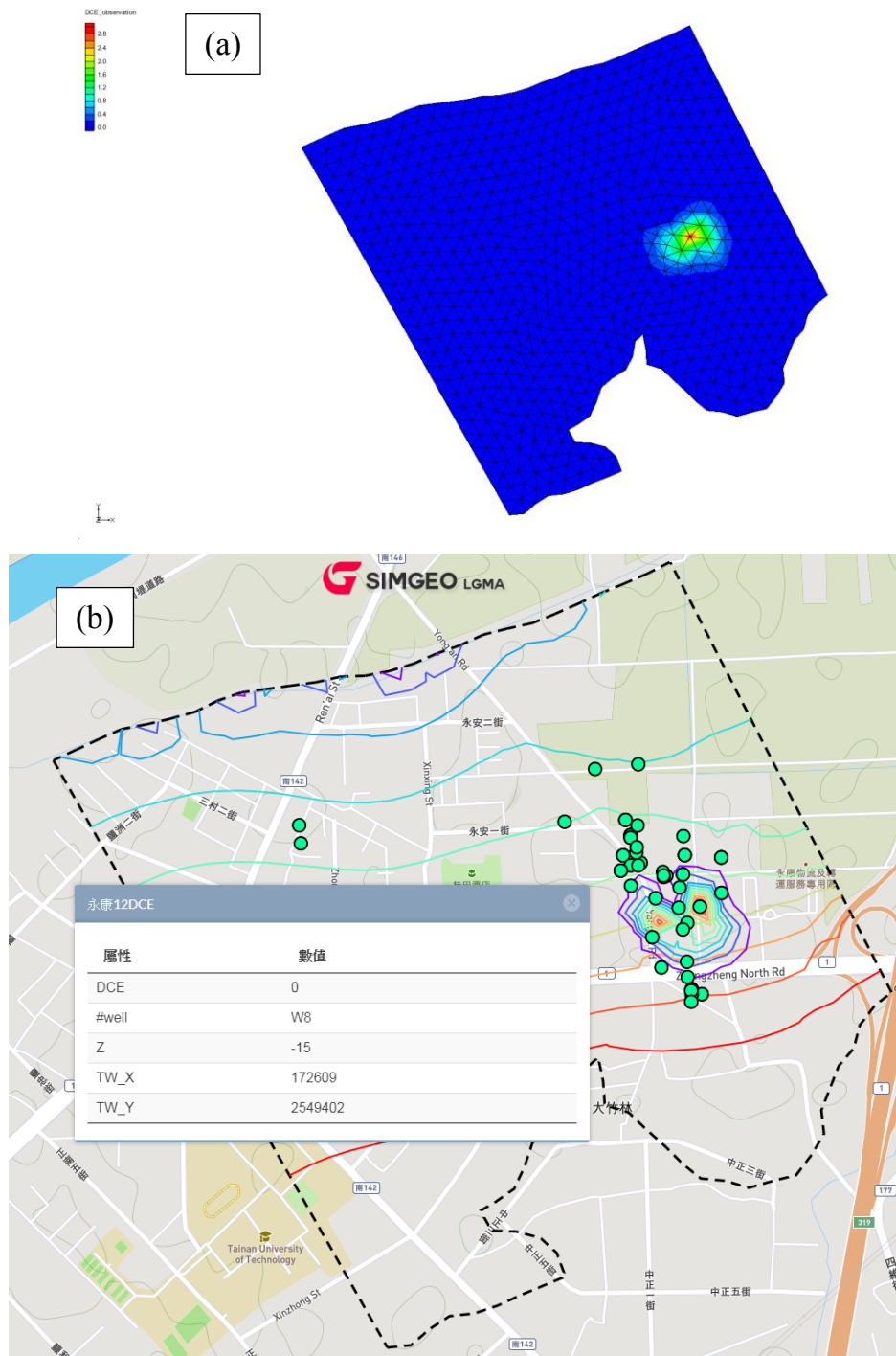


圖 80 12DCE 空間插值（等值線）結果；(a) GMS 模擬結果、(b) 為平台數值模擬結果。



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

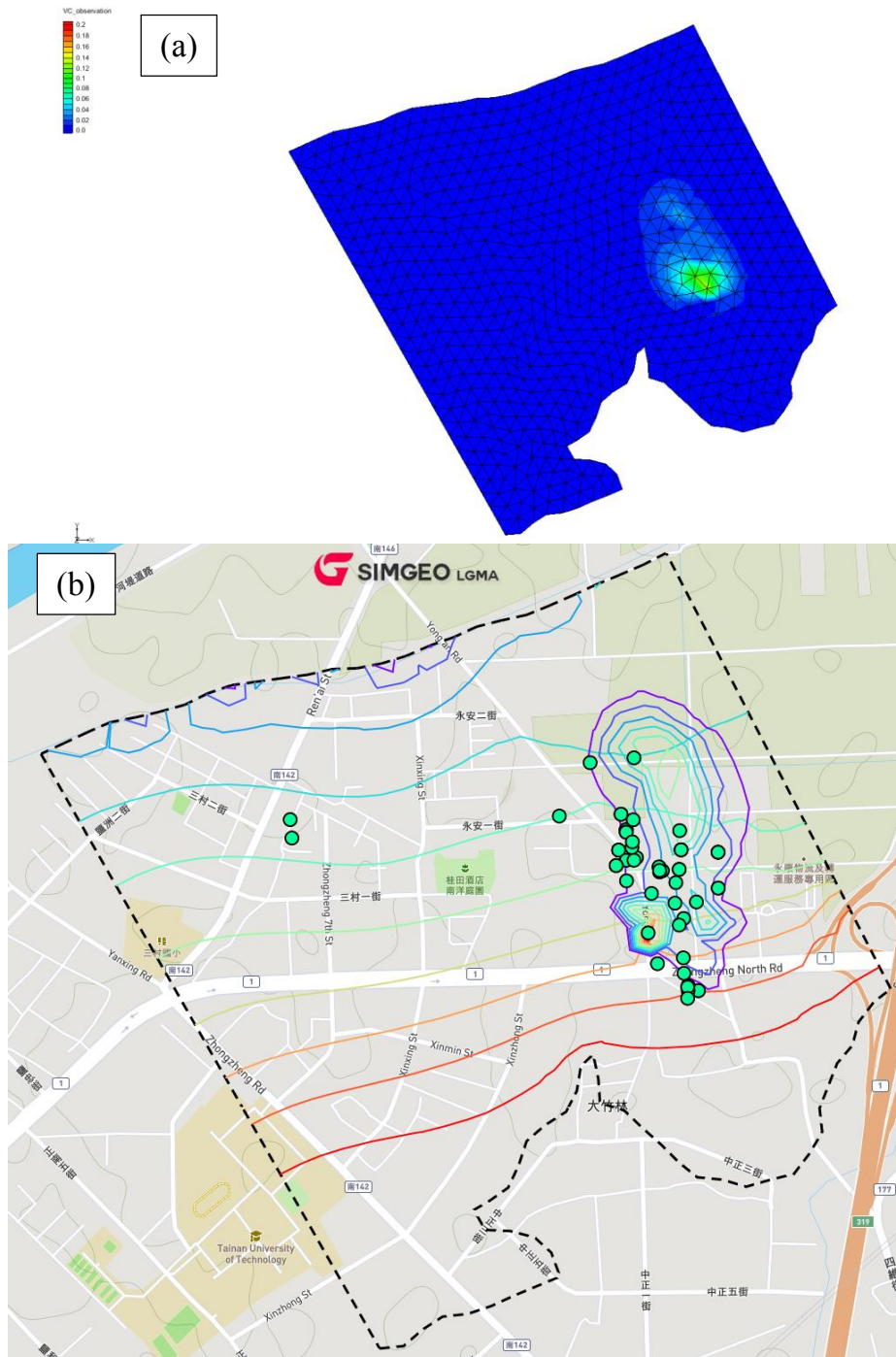


圖 81 模擬 2160 天 12DCE 濃度分佈。；(a) GMS 模擬結果、(b) 為平台數值模擬結果。



5.9 結論與建議

本計畫於期末執行工作符合本計畫整體預定進度，研究成果之結論與建議如下列所述：

- (1) 本計畫已蒐集環保署、水利署以及地質調查所近 50 種以上之空間圖層與時序資料，其中包括地下水文、河川水文、水資源保育、水庫防洪、自然資料、污染物等特性之資料。
- (2) 本計畫已完成資料展示平台介面與圖型化設計，並且將部分圖資資料庫列表與平台介面架接，成功於平台展示圖資與其屬性值。
- (3) 本研究彙整政府開放資料，水利署地下水觀測網水位站與時序水位資料，過去需要使用者自行比對含水層資料，再予以銜接不同含水層資訊，目前本研究已改善不同含水層水井資訊與時序圖展示介面。
- (4) 本計畫已完成資料展示平台基本繪圖功能，包括點、線及面之二維平面圖形規劃工具。
- (5) 本計畫已透過既有資料庫進行初步數值模擬測試，成功將觀測井內部屬性值（如地下水水位）進行差值分析，並且成功開發數值模式模擬結果繪圖工具，完成初步模擬平台圖型化結構。
- (6) 本研究已完成任意多邊形空間插值模式，利用本平台開發非結構化網格生成模式與空間插值技術，可以銜接資料庫伺服器內任意資料庫，非文字類參數，透過後端伺服器計算特定空間插值，最後可以藉由使用者瀏覽器呈現等值面與等值線插值結果。

5.10 後續執行工作項目說明

- (1) 為讓本研究開發平台介面可以更為人性化，提昇使用者操作意願。因此本研究預計招聘專業前端網頁計算與美工設計人員，改善網頁所需計算資源，以及按鈕、邊框與圖形配合等美術設計。
- (2) 污染團溯源追蹤模式與圖形介面開發：目前本工作團隊已架構好污染團數值模式之演算法。於後工作將著重於該數值模式之編譯、驗算以及移植至平台計算引擎並且圖像化，污染團溯源追蹤模擬結果將提取台灣現有之案例作為驗證。
- (3) 本研究利用網路即時計算平台，測試環保署提供污染場址測試案例，並且完成污染團遷移趨勢驗證。
- (4) 國際 SCI 期刊撰寫與投稿：本計劃團隊為將工作內容及成果展示增加可



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

見度與知名度，除研討會文章外，另將撰寫國內期刊以及國際相關領域之 SCI 期刊發表。



(六) 參考文獻

- [1] ArcGIS (2012) 10.1 Help.
- [2] Bachu S, Adams JJ (2003) Sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change: capacity of deep saline aquifers to sequester CO₂ in solution. *Energy Conversion and Management* 44: 3151-3175.
- [3] Bair ES (1991) Delineation of travel time-related capture areas of wells using analytical flow models and particle-tracking analysis. *Ground Water* 29, no. 3: 387-397
- [4] Bakr MI and Bulter AP (2004) Worth of head data in well capture zone design: deterministic and stochastic analysis. *Journal of Hydrology* 290 202-216.
- [5] Bakr MI and Bulter AP (2005) Nonstationary stochastic analysis in well capture zone design using first-order Taylor's series approximation. *Water Resource Research*. Vol.41, W01004.
- [6] Bear J and Jacobs M (1965) On the movement of water bodies injected into aquifer. *Journal of Hydrology* 3 NO.1: 37-57.
- [7] Barry DA, Prommer H, Miller CT, Engesgaard P., Brun A., and Zheng C. (2002) Modelling the fate of oxidisable organic contaminants in groundwater. *Advances in Water Resources* 25: 945-983.
- [8] Bonton A, Bouchard C, Rouleau A, driguez M J, and Therrien R. (2012) Calibration and validation of an integrated nitrate transport model within a well capture zone. *Journal of Contaminant Hydrology* 128: 1-18.
- [9] Council, N.R. (1995) On the Full and Open Exchange of Scientific Data, National Research Council, Committee on Geophysical and Environmental Data.
- [10] Dickinson JE, James SC, Mehl S, Hill MC, Leake SA, Zyvoloski GA, Faunt CC, Eddebbarh A-A (2007) A new ghost-node method for linking different models and initial investigations of heterogeneity and nonmatching grids. *Advances in Water Resources* 30: 1722-1736.
- [11] Franz T and Guiguer N (1990) , FLOWPATH, two-dimensional horizontal aquifer simulation model. *Waterloo Hydrogeologic Software*, Waterloo.
- [12] Fadlelmawla AA, Dawoud MA (2006) An approach for delineating drinking



- water wellhead protection areas at the Nile Delta, Egypt. *Journal of Environmental Management* 79: 140-149.
- [13] Farajzadeh R, Barati A, Delil HA, Bruining J, Zitha PLJ (2007) Mass Transfer of CO₂ Into Water and Surfactant Solutions. *Petroleum Science and Technology* 25: 1493-1511.
- [14] Fenech C, Nolan K, Rock L, Morrissey A (2013) An SPE LC-MS/MS method for the analysis of human and veterinary chemical markers within surface waters: An environmental forensics application. *Environmental Pollution* 181: 250-256.
- [15] Ferrante M, Mazzetti E, Fiori A, Burini M, Fioriti B, Mazzoni A, Schirò G, Vacca G, Brunone B, Meniconi S, Capponi C (2015) Delineation of Wellhead Protection Areas in the Umbria Region. 1. A simplified Procedure. *Procedia Environmental Sciences* 25: 90-95.
- [16] Ferrante M, Mazzetti E, Fiori A, Burini M, Fioriti B, Mazzoni A, Schirò G, Vacca G, Brunone B, Meniconi S, Capponi C (2015) Delineation of Wellhead Protection Areas in the Umbria region. 2. Validation of the Proposed Procedure. *Procedia Environmental Sciences* 25: 96-103.
- [17] Franzetti S and Guadagnini A (1996) . Probabilistic estimation of well catchments on heterogeneous aquifers. *Journal of Hydrology* 174: 149-171.
- [18] Great Britain. Committee of Enquiry into the Handling of Geographic, I. (1987) Handling geographic information : report to the Secretary of State for the Environment of the Committee of Enquiry into the Handling of Geographic Information / chairman, Lord Chorley, H.M.S.O, London.
- [19] Guadagnini A and Franzetti S (1999) . Time-related capture zones contaminants in randomly heterogeneous formations. *Ground Water* 97 (2) :253-260.
- [20] Guadagnini A. et al, (2003) . Mean travel time of conservative solutes in randomly heterogeneous unbounded domains under mean uniform flow. *Water Resource Research*. 39, 1050, doi: 10.1029/2002WR00181
- [21] Haitjema H., et al. (1994) . “WHAEM: Program documentation for the wellhead analytic element model”, EPA/600/R-94/210. Washington, DC: U.S. EPA, Office of Research and Development.
- [22] Harman WA, Allan CJ, Forsythe RD (2001) Assessment of potential



- groundwater contamination sources in a wellhead protection area. *Journal of Environmental Management* 62: 271-282.
- [23] Ian, H. (2010) *An introduction to geographical information systems*, Pearson Education India.
- [24] Lathrop, D. and Ruma, L. (2010) *Open Government: Collaboration, Transparency, and Participation in Practice*, O'Reilly Media.
- [25] Javandel I and Tsang CF (1987) Capture-zone type curves: a tool for aquifer cleanup. *Ground Water*, 24 (5) : 616-625.
- [26] Kinzelbach W et al. (1992) . Determination of groundwater catchment areas in two and three spatial dimensions”, *Journal of Hydrology*. 134, 221-246.
- [27] Klammler H, Hatfield K, Mohamed MM, Perminova IV, Perlmutter M (2014) Capture and release zones of permeable reactive barriers under the influence of advective–dispersive transport in the aquifer. *Advances in Water Resources* 69: 79-94.
- [28] Kompani-Zare M, Zhan H, Samani N (2005) Analytical study of capture zone of a horizontal well in a confined aquifer. *Journal of Hydrology* 307: 48-59.
- [29] Kunsrmann H. and Kinelbach M. (2000) . Computation of stochastic wellhead protection zones by combining the first-order second-moment and Kolmogorov backward equation analysis. *Journal of Hydrology*. 297 (3-4) :127-146.
- [30] Kunstmann H, Kastens M (2006) Determination of stochastic wellhead protection zones by direct propagation of uncertainties of particle tracks. *Journal of Hydrology*, Vol. 323, 215-229
- [31] Li, S., Dragicevic, S. and Veenendaal, B. (2011) *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications*, CRC Press.
- [32] Li S-G, McLaughlin D (1991) A nonstationary spectral method for solving stochastic groundwater problems: Unconditional analysis. *Water Resour Res* 27: 1589-1605.
- [33] Li SG, McLaughlin D (1995) Using the nonstationary spectral method to analyze flow through heterogeneous trending media. *Water Resources Research* 31: 541-551.
- [34] Li SG, et al. (2004). Stochastic modeling of complex nonstationary groundwater



- systems. *Advances in Water Resources*.
- [35] Longley, P. (2005) *Geographic Information Systems and Science*, Wiley.
- [36] Lu Z and Zhang D (2003). On stochastic study of well capture zones in bounded, randomly heterogeneous media. *Water Resources Research*, Vol. 39, NO.4, 1100.
- [37] McDonald MG and Harbaugh AW. (1998) . *A modular three dimensional finite-difference ground-water flow model*. USGS Techniques of Water Resources Investigations Book 6, Ch. A1, 586p.3
- [38] Mao X, Prommer H, Barry DA, Langevin CD, Panteleit B, Li L (2006) Three-dimensional model for multi-component reactive transport with variable density groundwater flow. *Environmental Modelling & Software* 21: 615-628.
- [39] Mehl S, Hill MC (2002) Development and evaluation of a local grid refinement method for block-centered finite-difference groundwater models using shared nodes. *Advances in Water Resources* 25: 497-511.
- [40] Mehl S, Hill MC (2004) Three-dimensional local grid refinement for block-centered finite-difference groundwater models using iteratively coupled shared nodes: a new method of interpolation and analysis of errors. *Advances in Water Resources* 27: 899-912.
- [41] Miralles-Marco A, Harrad S (2015) Perfluorooctane sulfonate: A review of human exposure, biomonitoring and the environmental forensics utility of its chirality and isomer distribution. *Environment International* 77: 148-159.
- [42] Molson JW, Frind EO (2012) On the use of mean groundwater age, life expectancy and capture probability for defining aquifer vulnerability and time-of-travel zones for source water protection. *Journal of Contaminant Hydrology* 127: 76-87.
- [43] Ni C.F. and Li S.G. (2005) . Simple closed form formulas for predicting groundwater flow model uncertainty in complex, heterogeneous trending media. *Water Resources Research*. 41 (11) , W11503.
- [44] Ni C.F. and Li S.G. (2006) . Modeling groundwater velocity uncertainty in nonstationary composite porous media. *Advances in Water Resources* 29 (12) , 1866-1875.
- [45] Ni C.F., Li S.G. (2008) . Efficient conceptual framework to quantify flow



- uncertainty in large-scale, Highly nonstationary groundwater systems. *Journal of Hydrologic Engineering*.
- [46] Olyazadeh, R., Sudmeier-Rieux, K., Jaboyedoff, M., Derron, M.H. and Devkota, S. (2017) An offline-online Web-GIS Android application for fast data acquisition of landslide hazard and risk. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 17 (4) , 549-561.
- [47] Paradis D. et al. (2007) Comparative study of methods for WHPA delineation. *Ground Water*, Vol 45, No.2, 158-167.
- [48] Prommer H, Barry DA, Davis GB (2002) Modelling of physical and reactive processes during biodegradation of a hydrocarbon plume under transient groundwater flow conditions. *Journal of Contaminant Hydrology* 59: 113-131.
- [49] Pruess K (2005) *ECO2N: A TOUGH2 fluid property module for mixtures of water, NaCl, and CO2* Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley
- [50] Pollock DW (1998) . Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U.S. Geological Survey modular three dimensional finite-difference ground-water flow model. *USGS Open-File Report* 89-381. Reston, Virginia: Office of Ground Water.
- [51] Riva M. et al. (2006) . Assessment of uncertainty associated with the estimation of well catchments by moment equations. *Advances in Water Resources* 29: 679-691.
- [52] Rock G and Hans K (2002) . Numerical delineation of transient capture zones. *Journal of Hydrology* 269: 134-149.
- [53] Rowan JS, Black S, Franks SW (2012) Sediment fingerprinting as an environmental forensics tool explaining cyanobacteria blooms in lakes. *Applied Geography* 32: 832-843.
- [54] Samani N, Zarei-Doudeji S (2015) *A General Analytical Capture Zone model: A Tool for Groundwater Remediation*. IFAC-PapersOnLine 48: 234-239.
- [55] Schafer DC (1996). "Determining 3D capture zone in homogeneous, an isotropic aquifer" *Ground Water* 34 (4) :628-369.
- [56] Shafer J M (1990) . *GWPATH. Version 4.0 Champaign*, Illinois State Water Survet Division.



- [57] Shan C (1999) . “An analytical solution for the capture zone of two arbitrarily located wells”. *Journal of Hydrology* 222: 123-128.
- [58] Simmons CT, Narayan KA (1997) Mixed convection processes below a saline disposal basin. *Journal of Hydrology* 194: 263-285.
- [59] Stauffer F, Guadagnini A, Butler A., Franssen, HJ H., Van De Wiel, N, Bakr, M, Guadagnini L (2005) . Delineation of source protection zones using statistical methods. *Water Resources Management* 19, 163-185.
- [60] Stauffer F (2005) . Delineation of source protection zones using statistical methods. *Water Resources Management*, 19 (2) , 163-185.
- [61] Stichler W, Maloszewski P, Bertleff B, Watzel R (2008) Use of environmental isotopes to define the capture zone of a drinking water supply situated near a dredge lake. *Journal of Hydrology* 362: 220-233.
- [62] Todd DK (1980) *Groundwater Hydrology*, 2nd ed. New York: John Wiley.
- [63] U.S. EPA. (1991) . *WHPA A modular semi-analytical model for the delineation of wellhead protection zones*. Office of Groundwater Protection, Washington, DC.
- [64] U.S. EPA. (1994) *Ground water and wellhead protection handbook*. EPA-625/R-94-001. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of water.
- [65] Van Leeuwen, M, Chris BM, Bulter AP., and Jacob AT, (1999) . Stochastic Determination of the Wierden (Netherkands) Capture zones. *Ground Water* 37, 8-17.
- [66] Vieux BE, Mubarak MA, Brown D (1998) Wellhead protection area delineation using a coupled GIS and groundwater model. *Journal of Environmental Management* 54: 205-214.
- [67] Xu X, Chen S, Zhang D (2006) Convective stability analysis of the long-term storage of carbon dioxide in deep saline aquifers. *Advances in Water Resources* 29: 397-407.
- [68] Yeo, I.-A. and Yee, J.-J. (2016) Development of an automated modeler of environment and energy geographic information (E-GIS) for ecofriendly city planning. *Automation in Construction* 71, Part 2, 398-413.
- [69] Zarei-Doudeji S, Samani N (2014) Capture zone of a multi-well system in



- bounded peninsula-shaped aquifers. *Journal of Contaminant Hydrology* 164: 114-124.
- [70] Zhang C and Bennett GD (2002) . *Applied Contaminant Transport Modeling*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [71] Zhang D and Lu Z (2004) . Stochastic delineation of well capture zones. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 18 (1) : 39-46.
- [72] Zhan H (1998) Analytical and numerical modeling of a double well capture zone” *Journal of Mathematical Geology*, 31 (2) : 175-193.
- [73] Zhan H (1999) Analytical study of capture zone to horizontal well. *Journal of Hydrology* 217: 46-54.
- [74] Chen, W.-S., Yang, H.C., 2012. Shoreline changes of Taiwan since the Last Glacial Maximum.
- [75] Hsieh, S.-H., 1972. Subsurface Geology And Gravity Anomalies Of The Tainan And Chungchou Structures Of The Coastal Plain Of Southwestern Taiwan. *Petroleum Geology of Taiwan* 10, 17.
- [76] McDonald, M.G., Harbaugh, A.W., 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. US Geological Survey Reston, VA.
- [77] Wu, D.-J.C., Yue-Gau;Liu, Tsung-Kwei, 1992. Sedimentary History And Neotectonic Implications Of Tainan Formation On Tainan Tableland. *Ti-Chih* 12, 167-184.
- [78] 吳樂群, 2004. 朴子、佳里及台南五萬分之一地質圖幅測製計畫. 中國文化大學.
- [79] 李德河, 鐘廣吉, 古志生, 2005. 新竹、苗栗與台南都會區地下地質與工程環境調查研究. 國立成功大學公共工程中心.
- [80] 李錫堤, 2002. 後甲里斷層槽溝探查工作成果報告.
- [81] 林大耀, 2001. 嘉南平原南部(台南至高雄北部)之電性地層學研究, 地球物理研究所. 國立中央大學.
- [82] 林耕霈, 2012. 利用永久性散射體差分干涉法探討台南地區之地殼形變, 地球物理研究所. 國立中央大學.
- [83] 林朝榮, 1957. 台灣地形. 台灣省政府.



土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證

- [84] 翁淑卿, 2002. 台南台地暨鄰近地區之台南層及其構造運動, 應用地質研究所. 國立中央大學.
- [85] 張瑞津, 石再添, 陳翰霖, 1996. 台灣西南部台南海岸平原地形變遷之研究. 國立台灣師範大學地理學系, 地理研究報告, 19.
- [86] 陳于高, 1993. 晚更新世以來南臺灣地區海水面變化與新構造運動研究, 地質學研究所. 國立臺灣大學.
- [87] 經濟部水利署, 2015. 中華民國 104 年臺灣水文年報. 經濟部水利署.



附件一、 專案成果績效自評表



**行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會
土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案**

107 年度專案成果績效自評表

一、專案基本資料

填表日期：107 年 10 月 29 日

專案性質	☐ 實驗性質 ☒ 非實驗性質	專案類別	☒ 研究專案 ☐ 模場試驗
研究主題	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		
申請機構系所	國立中央大學應用地質研究所	計畫主持人	倪春發
專案名稱	土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證		
專案執行期程	☐ 申請階段 ☐ 期中 ☒ 期末		

二、成果績效自評

「計畫總預估數」應與計畫審查核定值相符，請執行單位依實際達成之量化成果填寫於「結案達成數」欄位中。

(一) 學術面

項目		目標達成程度	申請 預估 數	工作進度 達成數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
A 學術產出及活動	1.國內投稿 (篇數)	(1) 論文	0	0	0	0	100%	
		(2) 研討會論文	7	7	7	0	100%	
	2.國外投稿 (篇數)	(1) 期刊論文	1	1	0	1	100%	
		(2) 研討會論文	2	4	1	3	200%	
	3.報告 (篇數)	(1) 技術報告	0	0	0	0	-	
		(2) 研究報告	2	2	1	1	100%	
	4.專著 (本數)							
	5.辦理學術 會議(場數)	(1) 研討/說明會	0	0	0	0	-	
		(2) 成果發表會	0	0	0	0	-	
		(3) 論壇	0	0	0	0	-	
B 人才培	6.研發改良 技術(項數)	(1) 已開發技術	1	1	1	1	100%	
		(2) 技術平台	1	1	1	1	100%	
	7.研發人員 (人數)	(1) 碩士	3	3	3	3	100%	
		(2) 博士	1	1	1	1	100%	
	8.研究團隊 (個數)	(1) 跨領域團隊	0	0	0	0	-	



項目 \ 目標達成程度			申請 預估 數	工作進度 達成數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
育		(2) 跨機構團 隊	0	0	0	0	-	
		(3) 形成研究 中心	0	0	0	0	-	
		(4) 形成實驗 室	0	0	0	0	-	
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						

(二) 產業面

項目 \ 目標達成程度				申請 預估 數	工作 進度 達成 數	期 中 達 成 數	期 末 達 成 數	結 案 達 成 率	備 註 (說明未達成原因或專 利、技術轉移相關詳細資 料)
A 智慧 財產 權	1.專利 (件數)	已 核 准	發明	0	0	0	0	-	
			新型/設計	0	0	0	0	-	
			合計	0	0	0	0	-	
		申 請 中	發明	0	0	0	0	-	
			新型/設計	0	0	0	0	-	
			合計	0	0	0	0	-	
B 研 發 技 術 轉 移	2.先期技術 成果移轉	件數	0	0	0	0	-		
		授權金(仟元)	0	0	0	0	-		
		衍生利益金(仟 元)	0	0	0	0	-		
	3.技術移轉 (專利)	件數	0	0	0	0	-		
		授權金(仟元)	0	0	0	0	-		
		衍生利益金 (仟元)	0	0	0	0	-		
	4.技術移轉 (應用技 術)	件數	0	0	0	0	-		
		授權金(仟元)	0	0	0	0	-		
		衍生利益金(仟 元)	0	0	0	0	-		
	5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)	1	0	0	0	-		
		(2)品種/系(件 數)	0	0	0	0	-		



項目 \ 目標達成程度			申請 預估 數	工作 進度 達成 數	期中 達成 數	期末 達成 數	結案 達成 率	備註 (說明未達成原因或專利、技術轉移相關詳細資料)
C 產 學 研 合 作	6.促成合作研究	件數	0	0	0	0	-	
		金額 (仟元)	0	0	0	0	-	
	7.促成投資	件數	0	0	0	0	-	
		投資金額 (仟元)	0	0	0	0	-	
	8.促成取得業界科專	件數	0	0	0	0	-	
		業界投資金額 (仟元)	0	0	0	0	-	
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						

(三) 政策面

目標達成程度			申請 預估 數	工作 進度 達成 數	期中 達成 數	期末 達成 數	結案 達成 率	備註 (說明未達成原因或 其他詳細資料)
項目								
A 服 務 便 民	1.技術服務	次數	1	0	0	1	100%	
		收入(仟元)	0	0	0	0	-	
	2.諮詢服務	次數	1	0	0	1	100%	
		收入(仟元)	0	0	0	0	-	
B 支 援 合 作	3.協助政府制 定 (件數)	(1) 政策	0	0	0	0	-	
		(2) 法規	0	0	0	0	-	
		(3) 規範	0	0	0	0	-	
		(4) 標準	0	0	0	0	-	
D 社 會 效 益	4.獲得認證(件數)		0	0	0	0	-	
	5.獲得獎項(件數)		0	0	0	0	-	
	6.提升能源效率(%)		0	0	0	0	-	
	7.節能減碳效率(%)		0	0	0	0	-	
8.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						



三、請依學術成就、技術創新、經濟效益、社會影響等方面，評估研究成果對現況或本署之學術或應用價值。

目前國內外土壤地下水相關領域的資料展示與平台應用，主要著重於資料呈現。進階者，雖然可呈現物理模式分析結果，作法仍以先設定好的多種條件，先離線分析可能的所有條件，再將所有分析結果以圖片形式儲存於資料庫，使用者端只能在限制的設定條件下，由資料庫抽出分析成果，依坐標貼回地圖，達到線上分析目的。針對土壤地下水污染或傳輸問題，因發生位置、時間與區域水文地質條件複雜，無法再以先設定好的所有條件，預先執行可能情境的模式分析結果，等著使用者挑選適用條件。使用線上即時分析的方式，是必要而且最能彈性因應不同事件。本研究建置以物理模式為基礎的線上分析平台為一新的創舉，此線上分析平台，結合環保署與外部單位開放資料，達到與使用者互動、即時與快速分析觀測資料空間分布與污染團遷移的目的。透過資料即時展示、空間統計、流動傳輸模擬與預測，相關領域調查及研究人員，能藉由地圖資訊做為條件門檻，查詢分析與調查區位既有資料，有效率地結合既有土壤地下水管理系統與其他相關部門與機構開放資料，協助土壤地下水領域產、官、學、研相關工作推動與執行。未來在即時監測資料可獲得的條件下，平台更可發揮即時資料呈現、分析與模擬。透過專業管理人員調控門檻值，可達到智慧災害通報與警示的附加功能。



附件二、
專案申請計畫書各階段審查意見表



行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會

107 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

計畫書審查意見表

專案主持人：倪春發	服務單位：國立中央大學應用地質所	研究類 15
專案名稱：土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證		
委員一 1. 仍建議以氮氮或砷作為傳輸流佈研究為主要標的物質。 2. 本研究過去建置相關研究基礎，其耗材偏高宜建議調降。	回覆說明 1. 感謝委員建議。有關於特定物種污染物之宿命與傳輸行為乃是本研究平台計算引擎結構之發展目的之一，然本年度工作目標係為建構具高度擴充性之數值模式演算法，故前期建構階段皆以保守性污染物為主，並且視發展進程持續加入如化學反應演算等模組，以適應未來各種污染物傳輸情境。 2. 感謝委員建議。本研究雖然為前期計畫之成果延伸，然今年度之工作目標為資料庫重新架構、計算引擎演算法重組與建構、以及平台前端使用者體驗優化等，皆須高度仰賴計算機的高度效能，並且需要提升其硬體與軟體設備，其估價費用皆以實際工作經驗所編列。	
委員二 1. 主持人（執行團隊）的學術研究能力與技術發展能力足以勝任本計畫 2. 主持人（執行團隊）近五年研究與技術發展績效佳 3. 本專案對未來土壤及地下水污染調查及整治工作推動的貢獻仍待本計畫未來執行成果的呈現與說明 4. 本專案預估之成果績效主要為論文發表（研討會或期刊論文） 5. 本研究計畫書撰寫具體 6. 本研究計畫書所擬定的研究方法可行 7. 本研究計畫書所擬定的研究內容與所預期的研究成果，對未來土壤或地下水污染場址調查整治（或評估）的實場應用性仍待說明	回覆說明 1-2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員建議。本專案對未來土壤及地下水污染調查及整治工作推動的貢獻將於未來執行成果報告中呈現。 4-6. 感謝委員肯定。 7. 感謝委員建議。針對本研究計畫書的實場應用性將補述於5.1節；前期研究成果應用以及與本計畫之差異與擬提升部分補述於3.2與3.3節。 8-9. 感謝委員肯定。 10. 感謝委員建議。本部分將補述於5.1節。 11. 感謝委員建議。本部分將補述於3.1節。 12. 感謝委員建議。本部分將補述於5.1節。 13. 感謝委員肯定。	



(計畫書中對研究成果的實務應用性的說明仍不具體) (本計畫為延續性計畫, 前期研究成果的應用尚未具體說明, 本計畫與前期計畫間的差異與擬提升的部分建議明確說明) (如何應用?) 8. 本研究計畫書的文獻蒐集尚完整, 對國內外本研究領域現況了解 9. 本研究專案執行期限合理 10. 本研究計畫書中對研究的預期成果已說明, 但對實務應用性的說明卻不具體 11. 本計畫為延續性計畫, 前期成果的實務應用建議說明 12. 本研究計畫對預期成果的呈現說明以學術發表為主, 對實務應用性的說明不具體 13. 本研究計畫已依原計畫構想書的審查意見修正	
委員三 1. 自評中產業面列有可移轉產業技術 1 件, 政策面列有服務便民技術服務 1 次, 以及諮詢服務 1 次, 應於計畫中有對應之說明。	回覆說明 1. 感謝委員建議。本部分將補述於 5.1 節
委員四 1. 本計畫之平台開發與模場驗證之機制, 除考量建置相關資料庫中之地質、水文資料外, 相關污染物之化性分析結果, 亦宜列入開發平台之資料庫。 2. 實場案例分析與驗證之方法, 說明不甚清楚, 如何能驗證模擬結果之正確性? 建議應有實場之相關污染物分析結果。 3. 本計畫預期達成追蹤污染之來源, 熱傳輸途徑可進行模擬外, 相關污染物之代謝途徑, 是否亦列入於本計畫之中? 以提昇本平台之應用性。	回覆說明 1. 感謝委員建議。相關污染物之化性分析結果為本平台欲加入資料庫之資料。 2. 感謝委員建議。本部分將補述於 4.2.3 節。 3. 感謝委員建議。污染物之代謝途徑為屬於化學反應之一, 本平台所建立之演算法將先以物理模式輔以基本之化學反應模組進行開發, 而對於更高階之反應變化為未來演算法擴充目標。

**本署意見**

1. 未編列行政管理費。
2. 請補上專任助理薪資對照表。
3. 請將審查意見表置於計畫書首頁後。

回覆說明

1. 本計畫屬於環保署補助案，依據本校規定可不編列行政管理費。
2. 感謝貴署建議，將如照辦理。
3. 感謝貴署建議，將如照辦理。



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☒期中報告
☐修正計畫書 ☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	107 年度	計畫類型	☒ 研究計畫 ☐ 模場試驗
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		主持人：倪春發
計畫名稱	土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一 1. 本案績效自評表預估論文及報告數達 12 篇，期中完成數為 9 篇，雖未全數完成，但已難能可貴，值得肯定。未完成者（包括便民），請再努力。 2. 工作執行甘特圖，雖工作項目詳盡，但未有圖示說明及預定查核點（※註記），請修正，並說明進度是否符合。 3. 本研究已完成地理資訊平台（已有資安管理），圖層管理系統，初步完成空間插值及網格生成模式，並構築地下水流場模擬，並以桃園市沿海地區及永康整治場址為案例，實際展示資訊平台，成果非常具體，值得肯定。 4. 後續工作尚為繁重，請戮力完成。		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員意見，工作執行甘特圖將進行修正，見如期中報告修正稿表 2。 3. 感謝委員肯定。 4. 感謝委員鼓勵，我方將戮力完成本計畫。	
委員二 1. 實際進度符合預定進度。 2. 專案基本資料表請簽名及基本資料表與自評表填日期，自評表執行期程請改為期中，並附申請計畫審查委員回覆情形。 3. 已發表之論文及研究報告，請於自評表備註及附報告附錄。		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員意見，專案基本資料表及基本資料表與自評表將依規定修正。 3. 感謝委員建議，相關發表論文將於期末報告統一交付。	
委員三 平台已逐漸成熟完備，應著重於推廣應用。		感謝委員意見，本平台將於完成後致力推廣及應用。	
委員四 1. 已完成以下成果		1~2. 感謝委員肯定。	



(1) 收集環保署、水利署及地質調查所近 50 種以上圖資。 (2) 初步完成資料展示平台介面與圖形化設計，將部分圖資料列表與平台介面架接，展示於圖資及各屬性。 (3) 完成展示平台基本繪圖功能。 (4) 已逕行初步數值模擬測試，可觀測井內部屬性值進行差值分析與繪圖工作。 2. 已完成期中查核點之工作項目。	
委員五 1. 本案擬結合土壤地下水污染觀測資料與各部會之相關資料庫，應用於土壤地下水污染的調查、分析、研究與管理相關議題。 2. 本案的物理分析模式採用 Darcy's Law 為基礎。惟污染源的擴散涉及許多其他因素（如吸附作用、化學反應等），建議補充說明這些因素對於污染傳輸模擬與預測之影響。 3. 本案自行開發地下水流場與傳輸模式假定傳輸溶質為保守性污染物，不考慮降解、吸附作用以及遲滯因子的情況下，未來是否能擴充考量這些因子的影響。 4. 請補充說明未來跨部會資料庫的建置方法（如所需資料數據），是否可根據本案之研究成果進行整合。	1. 感謝委員肯定。 2~3. 本案目前所開發之地下水流與傳輸模式係先以物理機制傳輸為主，不考慮污染物之生化反應，故無進行此方面之模擬。未來之模式計算將考慮與擴充本些因子。 4. 感謝委員意見。目前本研究所使用之資料皆為開放資料，未來若可行於各部會間執行應用當直接以既有資料庫串接為主，然各部會所蒐集之資料格式各有差異、資料庫結構不同、前端接口各自獨立等，故跨部會整合為一相當龐大之工程。本案之研究成果將可提供各部會趨勢資料建立與加值應用使用，並已針對即時傳輸資訊進行改良與建立，以期符合未來應用性。



委員六

1. 臺南市永康鹽行段及鹽東段地下水污染場址自92年度計畫起即有污染調查資料，94年度及99年度亦有模式模擬污染擴散。是否可運用早期（如94年度）污染狀態為起點，以本計畫模式模擬105年1月時之各種污染物分布，可與永康前期計畫之調查結果比對驗證。
2. p.61，圖71~圖74，虛線範圍（模擬範圍？）如何決定？有直線、有曲線，而主要模擬之永康場址區為何不是在模擬區中間？
3. P.34，本計畫自行開發地下水傳輸模式屬於污染物隨水流擴散之方程式，然本計畫選用臺南市永康鹽行段及鹽東段地下水污染場址，其污染物為四氯乙烯、三氯乙烯，其特性為污染物具有生物降解反應，如何應用，請說明。

1. 感謝委員肯定。
2. 感謝委員提供本計畫未考量到之方法，然現場不同年份之污染觀測井位置與觀測方法皆有許多的變動或遺漏，且該場址已經過多次抽注整治，加上必須考慮污染物本身之生化降解作用，以上皆為本平台目前模式未臻完善之處，將於未來持續對這些功能進行發展。
3. 在模擬污染團之前，本研究已對該場址周圍進行大尺度流場模擬如下圖。其左上邊界為永康大排，而右下邊界則為定水頭10公尺位置，左右兩邊界則因與流場垂直而設為不透水邊界。



4. 感謝委員指教，目前本平台之模式僅開發至保守污染物，具生化降解或化學反應作用之污染物行為乃本平台未來發展重點之一。

專案主持人：



(簽名及蓋章)



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☐期中報告

☐修正計畫書 ☒期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	107 年度	計畫類型	☒ 研究計畫 ☐ 模場試驗
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他	主持人：倪春發	
計畫名稱	土壤地下水智慧管理及網頁模擬平台開發與模場驗證		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一 1. 成果績效自評全數完成，國外研討會論文達成率 200%，值得肯定。 2. 本計畫已蒐集 50 種以上空間圖層等資料，完成資料展示平台基本繪圖功能，及初步模擬平台圖形化結構，成果非常具體，值得肯定。 3. 後續尚有美術設計，污染團溯原追蹤模式開發，測試案例等工作，期待成果。		感謝委員肯定。	
委員二 1. 計畫預定工作項目均已完成，達成原訂目標。 2. 計畫成果已發表國內研討會論文及國外期刊研討會論文，請於備註發表處，納入定稿本。 3. 請補充說明目前平台的使用情形，包括申請帳號的人數。		1、3. 感謝委員肯定，本計畫平台研發目前因屬於研發階段，雖已完成豐碩的研究成果，然仍著重於更加完善之前後端與引擎之開發與改善，因此目前除本專案外尚無發表於其他平台，故無開放使用者申請。 2. 感謝委員建議，遵照辦理。	
委員三 1. 本計畫已執行多年，平台開發貴在使用與推廣，應加強說明目前之平台功能已可提供使用之對象及使用可解決的問題，與適用範圍及限制。 2. 應說明目前除開發單位以外，申請使用(試用)之人數與使用狀況及意見回饋。 3. 計畫中實際場之案例驗證為現今土基會正在進行之「台南永康不明場子地下水改善計畫」，本計畫已經開發之平		1. 感謝委員建議。相關說明將納入修正稿第五章。 2. 感謝委員建議，本平台由於目前仍在建立網路安全機制階段，故尚無提供使用者申請。 3. 感謝委員意見，本平台以台南永康作為驗證場址，係為以實際監測資料與平台計算成果做結合，然並不對該案做後續立論與建議。	



台系統是否可對該計畫在調查、工法設計、驗收驗證上提供具體助益？	
委員四 1. 計畫成果確實已達研究目的各項成果。 2. 研究成果已考慮地下水污染源的擴散涉及許多地下層與環境因素之影響，建立計算引擎演算法，發展不同模式模擬污染物分布並驗證於污染區實場。 3. 由自行開發地下水流場與傳輸模式去驗證台灣各地區不同污染物實場之分佈與變化，建議未來開發更彈性之模式？ 4. 計畫主持人對 107 案專案成果績效自評表放報告最後面。 5. 建議期末報告通過。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員建議，本研究未來將建立開放源模組，提供各種計算引擎植入平台計算使用，以因應各種污染傳輸機制。 4. 感謝委員建議，將行修正。 5. 感謝委員肯定
委員五 1. 本案擬結合土壤地下水污染觀測資料與各部會之相關資料庫，應用於土壤地下水污染的調查、分析、研究與管理相關議題。 2. 本案研究成果的展現需有賴於跨部會資料庫的建置，建議本案之研究成果可以與其他相關計畫的成果進行整合。 3. Ⅲ 染源的擴散涉及許多其他因素(如吸附作用、化學反應等)，建議補充說明如何藉由這些因素達到預警的目的地。 4. 本案自行開發地下水流場與傳輸模式假定傳輸溶質為保守性污染物，不考慮降解、吸附作用以及遲滯因子的情況下，未來是否能擴充考量這些因子的影響。 5. 建議未來能進一步對於本計畫預測的結果進行驗證，以確認本案所提模式的妥適性。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，此為本平台未來推廣與精善之重點項目。 3. 感謝委員建議，不同污染物種具有不同之擴散與遷移行為，本研究目前尚以物理機制進行探討，而無討論化性傳輸部分。 4. 感謝委員建議，未來將擴充本項功能。 5. 感謝委員建議，驗證須以實際場址為主，然此項將建議署方提供協助。

**委員六**

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. 本計畫建置的模擬平台已完成蒐集國內各單位資料庫資料，彙整出與土水污染管理有關的資訊，並已有視覺化效果呈現。2. 由研究流程與驗證案例顯示，本研究係針對 Modflow 商業軟體之模擬結果，進行前端輸入資料的資料庫介接、及後端模擬結果的展示查詢，因此對於模式使用者或整治業者甚為便利。然而對於管理者或甚至民眾而言，因模擬結果還需加上成果描述，建議於報告中增加相關描述。3. 污染場址初期監測數據不足時，本研究之平台如何提醒使用者模擬結果具有誤差或無法模擬之功能。4. 建議可以將本計畫永康案例以平台操作的部分，做成示範案例，各步驟包含如何由平台蒐集永康地區附近相關國內資料庫資料，由既有資料庫分析出與場址有關之水文地質資料，最後再結合環保機關相關之污染調查資料進行污染傳輸模擬。5. 本研究成果因具備多項功能，建議能探討未來推廣應用方式，或考慮產學合作將之商品化，提升土水整治產業技術。6. 報告 P.34 表 2 應屬章節排版錯誤。 | <ol style="list-style-type: none">6. 感謝委員肯定。7. 感謝委員建議。模擬結果與使用者之相關知識息息相關，一般而言於概念模式設定、參數輸入、插值選擇等以可使使用者自行理解模式功能，針對成果描述則為其使用範圍內。8. 感謝委員建議，本平台並不提醒使用者模擬結果誤差，係因本平台所使用之參數皆為可蒐集之資料，如數據不足而造成模擬誤差或是無法模擬則須仰賴監測資料之蒐集。9. 感謝委員建議，本工作將納入未來工作選項。10. 感謝委員建議，本工作為未來重點考量之一。11. 感謝委員建議，將修正。 |
|--|--|



附件三、 研討會發表目錄



Yun-An Wu; Chuen-Fa Ni; I-Hsien Lee; Shao-Yiu Hsu; Liang-Cheng Chang; Cezary Larmoski; Krzysztof Slaminski; Hui-Chun Chiang (2018, Apr). Use CT images to assess the scale effect and variations of porosity and permeability in the rock sample in Kueichulin Formation in western Taiwan. EGU 2018.

Hui-Chun Chiang, Chuen-Fa Ni, Chi-Ping Lin, Yun-An Wu The influence of trans-basin water allocation on regional water balance in Taoyuan tableland in north Taiwan EGU General Assembly 2018, April 2018

Yu-Huan Chang, Chuen-Fa Ni, Chih-Yi Chen, Chun-Yu Yang, I-Hsien Lee, Chi-Ping Lin, Wi-Ki Li (2018, November). Characterize preferential flow paths and heat transport in a shallow aquifer system by utilize hydraulic and heat tracer tests. GSA 2018.

Chih-Yi Chen; Chuen-Fa Ni; Yu-Huan Chang; I-Hsien Lee; Chi-Ping Lin; Chun-Yu Yang; Wei-Ci Li (2018, Dec). Development of the Quasi-3D Tomographic Model to Improve Predictions of Flow and Transport in a Shallow Aquifer System. AGU 2018.

Yu-Huan Chang, Chuen-Fa Ni, Chih-Yi Chen, Chun-Yu Yang, I-Hsien Lee, Chi-Ping Lin, Wi-Ki Li (2018, December). Hydraulic and heat tracer tests to characterize preferential flow paths and heat transport in a shallow aquifer system. AGU 2018.

Chun-Yu Yang, Chuen-Fa Ni, Shih-Jung Wang, Chi-Ping Lin, Yu-Huan Chang, Wei-Ci Li, Chih-Yi Chen and I-Hsien Lee (2018, December). Integration of index overlay and numerical methods to assess interactions of river water and groundwater in a basin-scale aquifer system. AGU 2018.

Wei-Ci Li; Chia-Wei Chang; Chuen-Fa Ni; Chih-Yu Kuo (2018, Mar). Numerical analysis of TCE transport in a groundwater remediation site in southern Taiwan: implementation of open source finite element module FreeFem++. VACI 2018.



陳芝儀；倪春發；林淇平；張侑瑛；李唯祺；楊淳聿；莊順；林賢宗 (2018 年 8 月)。TCE 污染實場整治前期調查與規劃(II)-含水層特徵參數反推估。第十屆地下水資源及水質保護研討會暨 2018 海峽兩岸地下水與水文地質應用研討會。

林淇平；倪春發；張侑瑛；李唯祺；陳芝儀；楊淳聿；莊順；陳宏碩 (2018 年 8 月)。TCE 污染實場整治前期調查與規劃(I)-地物探測與水力試驗。第十屆地下水資源及水質保護研討會暨 2018 海峽兩岸地下水與水文地質應用研討會。

楊淳聿；倪春發；林淇平 (2018 年 8 月)。宜蘭清水溪流流域伏流水取水規劃-試驗與數值分析。第十屆地下水資源及水質保護研討會暨 2018 海峽兩岸地下水與水文地質應用研討會。

伍韻安、倪春發、李奕賢、許少瑜 利用 CT 影像推估台灣西部地區砂岩之孔隙率與滲透率的尺度效應 第十屆地下水資源及水質保護研討會暨 2018 海峽兩岸地下水與水文地質應用研討會，8 月 2018 年

江慧群、倪春發、林淇平、伍韻安 以桃園台地探討跨流域水資源分配對區域水平衡的影響 第十屆地下水資源及水質保護研討會暨 2018 海峽兩岸地下水與水文地質應用研討會，8 月 2018 年

伍韻安，倪春發，李奕賢，許少瑜，張良正，Cezary Larmoski, Krzysztof Slaminski 利用 CT 影像推估台灣西部地區砂岩之孔隙率與滲透率的尺度效應 2018 中華民國地質學會與地球物理學會聯合研討會，5 月 2018 年

江慧群、倪春發、林淇平、伍韻安 以桃園台地探討跨流域水資源分配對區域水平衡的影響 2018 中華民國地質學會與地球物理學會聯合研討會，5 月 2018 年