

建構服務導向之地下水模擬輔助資訊系統

Development of Groundwater Modeling Support System Based on Service-oriented Architecture

國立交通大學土木工程學系

私立中州科技大學資訊管理學系

碩士生

博士後研究員

教授

副教授

王又田

蔡瑞彬

張良正

蕭金財

Yu-Tien Wang

Jui-Pin Tsai

Liang-Chang Cheng

Chin-Tsai Hsiao

摘要

地下水數值模擬目前已成為地下水資源評估及管理上的必備步驟，目前雖有不少單機版本的模式建置前後端處理軟體，來輔助並減輕模式建置的負擔，惟這些單機輔助軟體多無資料與模擬成果集中管理與網路分享的功能，以致目前每個模擬案例，皆是獨立完成，因此不論是單位內部或是跨單位間，皆難以做到地下水資料與知識(模擬案例)有系統的集中管理與再利用。故本研究乃以服務導向架構為基礎，以使用率最高之 MODFLOW 模式為核心，結合資料庫與各種建模輔助之網路服務，發展一個資料與成果集中管理，且能在網路上共同使用之網路共用型地下水建模輔助系統。本系統由於原始資料乃是統一透過資料庫管理，除了易於管理累積外，亦更能有效的發展建模輔助功能，其中除了基本的資料查詢功能外，尚包括人工剖面圖自動數位化、水位資料補遺輔助、成果圖表展示、以及最重要的由資料庫自動產生 MODFLOW 輸入檔等功能。本系統採用服務導向架構建構，並透過網路服務來實作各輔助功能，目前已可有效的提供遠端建模輔助，由於系統具有高度延伸彈性，後續可以此建模輔助為核心，擴充建置情境模擬分析及知識庫管理等，以更有效的集中管理各個寶貴的模擬案例，並使各模擬案例知識能被再利用。

關鍵詞：地下水，地下水數值模式，服務導向架構

Abstract

Groundwater simulation has become an essential step on the groundwater resources management and assessment. There are many stand-alone pre and post processing software packages to alleviate the model simulation loading, but the stand-alone software do not consider centralized management of data and simulation results neither do they provide network sharing function. The model buildings are still implemented independently case to case when using these packages. Hence, it is difficult to share and reuse the data and knowledge (simulation cases) systematically within or across companies. Therefore, this study develops a centralized and network based groundwater model developing system to assist model simulation. The system is based on service-oriented architecture and allows

remote user to develop their modeling cases on internet. The data and cases (knowledge) are thus easy to manage centralized. MODFLOW is the modeling engine of the system, which is the most popular groundwater model in the world. Other functions include the database management and variety of model developing assisted web services including auto digitalizing of geology profile map、groundwater missing data recovery assisting、graphic data demonstration and auto generation of MODFLOW input files from database that is the most important function of the system. Since the system architecture is service-oriented, it is scalable and flexible. The system can be easily extended to include the scenarios analysis and knowledge management to facilitate the reuse of groundwater modeling knowledge.

Keywords: Groundwater，MODFLOW，Service-oriented architecture

一、前言

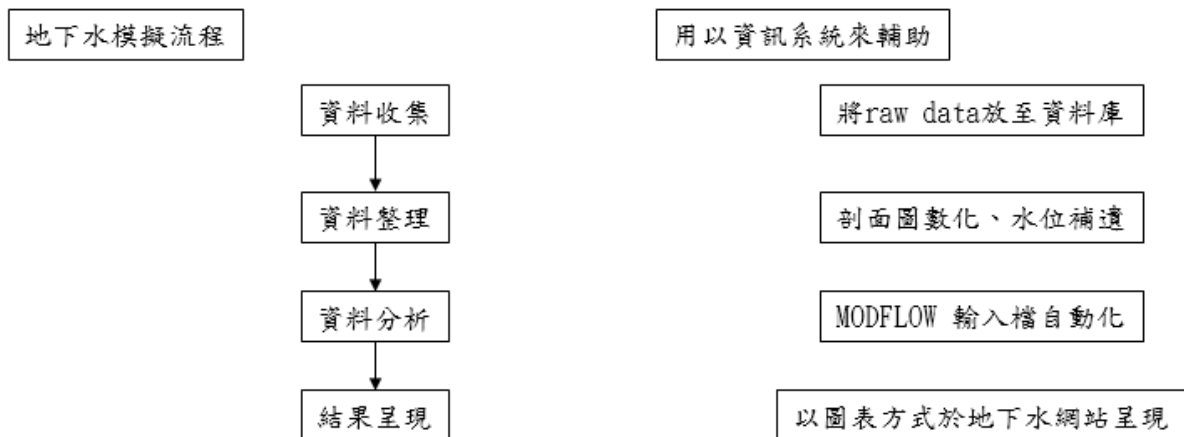
地下水數值模擬目前已成為地下水資源評估及管理上的必備步驟，目前雖有不少單機版本的模式建置前後端處理軟體，來輔助並減輕模式建置的負擔，惟這些單機輔助軟體僅提供輔助建置，大多無資料與模擬成果集中管理與網路分享的功能，以致目前每個模擬案例，皆是獨立完成，無法透過以往的資料與知識(模擬案例)快速建置模式，因此本研究希望能讓單位內部或是跨單位間地下水資料與知識(模擬案例)，有系統的集中管理與再利用。綜合前述，本研究以服務導向架構為基礎，以地下水數值模擬領域中使用率最高之 MODFLOW 模式為核心，結合資料庫與各種建模輔助之網路服務，發展一個資料與成果集中管理，且能在網路上共同使用之網路共用型地下水建模輔助系統。本系統由於原始資料乃是統一透過資料庫管理，除了易於管理累積外，亦更能有效的發展建模輔助功能，其中除了基本的資料查詢功能外，尚包括人工剖面圖自動數位化、水位資料補遺輔助、成果圖表展示、以及最重要的由資料庫自動產生 MODFLOW 輸入檔等功能。

二、系統架構與開發技術

本研究以地下水數值模擬為主軸，結合資料庫與各種建模輔助之網路服務，發展一個資料與成果集中管理的系統，為因應地下水數值模擬的不同模擬案例，且增加系統持續開發的彈性，本研究所採取的架構為服務導向架構，將各種建模輔助之網路服務分別封裝，成為可提供線上服務的功能元件，當出現較為特殊的模擬案例，系統便能快速因應開發。

1. 系統架構

圖一為地下水模擬流程與系統對照圖，本研究依據以往建構模擬模式的經驗，所歸納出地下水模擬流程，根據各階段中較為花費時間與人力的部分，透過資訊系統的實作，來輔助整個流程加速與成果重現，本系統採取服務導向架構建構，並透過網路服務來實作各輔助功能。



圖一為地下水模擬流程與系統對照圖

2. 開發技術

2.1 服務導向架構(Service Oriented Architecture, SOA)概念

SOA (Service Oriented Architecture)為 Gartner Group 於 1996 年所提出之新一代資訊技術架構，此架構將企業服務與技術兩者進行切割，將軟體依照企業之服務單元(unit)所需進行服務(service)包裝，並依循著企業流程(business process)將多個服務進行組裝，形成鬆散耦合(loosely coupled)的系統架構，而此種開發型態，亦可使服務與系統的再用性(reuse)大幅提高，且當企業流程進行改變時，也不需重新開發新型系統，僅需將服務流程進行修改即可；另一方面，服務的開發也不需再考慮協定及異質平台等問題，SOA 期望達到不論利用何種開發技術及通訊協定，皆能進行整體系統之組裝，因此亦大幅降低系統開發之成本。(藍元宏 2009)

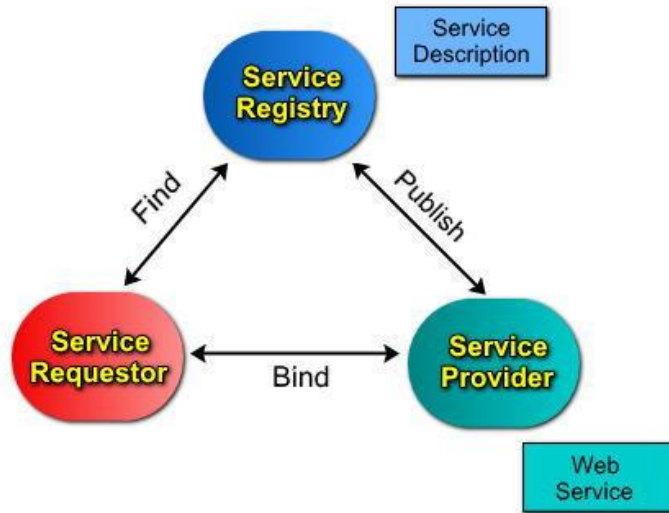
SOA 的產生實際上與資訊架構的發展息息相關，在資訊架構的發展中，從原始的(1)程序導向(Procedure-Oriented)開發方式，轉化為增加用性能力的(2)物件導向(Object-Oriented, OO)開發方式，並隨著資訊環境的發展與需求，進而衍生出提供分散式運算能力的(3)元件導向(Component-Oriented)開發型態，最後為補強元件導向開發型態之不足，而發展出(4)服務導向(SOA)架構，由此可看出 SOA 實為資訊架構，而非屬任一種資訊技術。(藍元宏 2009)

典型的 SOA 架構有以下三個角色：

服務提供者：亦稱為服務，一般有定義好的介面，且是平臺和語言中立；介面的描述資訊可被發佈到服務註冊中心(服務註冊表)，這樣就可以讓服務被發現與調用。

服務需求者：在需要某服務時，會先查詢服務註冊中心，得到此服務的相關描述資訊，之後動態綁定到此服務。

服務註冊中心：可稱為服務註冊表或服務目錄，使服務提供者和服務需求者連結的橋樑，服務提供者可以向它註冊服務；服務需求者藉由通過它查詢服務描述資訊，處於中心位置提供了展示服務的功能。服務需求者通過向目錄中心查詢，找到感興趣服務的介面資訊。



圖二為 SOA 架構圖(資料來源: IBM)

2.1.1 網路服務(Web Service) (Peckham et al. 2013)

Web Service 為 SOA 的一種實作技術，官方(W3C 2004)定義 Web Service 為一可透過 URI 來標示位置的軟體系統，此系統的公開介面是透過 XML 來定義與描述，並可被其它的軟體系統所查詢。而這些系統間的溝通，是在網際網路的通訊協定上傳送以 XML 為格式的資訊。

早期軟體元件是以函式庫(library)的方式來包裝與建構，對於跨平台或跨網域的需求，則有其侷限。相對於早期軟體元件的概念，Web Service 以 XML 來傳遞訊息，藉由定義之標準介面，可提供外界存取的操作介面。Web service 之所以能夠適用異質平臺下的資料通信，與使用的一系列技術是相關聯的。如利用 WSDL 描述服務資訊，WSDL 是 XML 格式；利用 UDDI(Universal Description Discovery and Integration)提供搜尋與整合的服務，UDDI 是統一描述、發現和集成的縮寫，它是個基於 XML 的跨平台描述規範，可以使世界範圍內的服務提供者在網際網路上發佈自己的服務，或是讓服務需求者查找服務；用 SOAP 執行服務調用，此協定採用的是一種基於 XML 的訊息格式當作傳輸規範，可經由 SMTP 和 HTTP 等應用層傳輸協定進行資料傳輸。由於資料是以標準化且可分析的結構傳遞，所以能夠直接被第三方站點所利用，因此用 SOAP 訊息溝通，就產生了 Web Service 的應用機制 (Wikipedia,2012)。本研究藉由 Web Service 規範標準封裝數個應用程式成為網路服務，再藉由服務的組裝達到系統功能需求。

2.1.2 視窗通訊基礎介面 (WCF)(陳德權 et al. 2008)

WCF(Windows Communication Foundation)為微軟開發的一組資料通訊的應用程式開發介面(API)，並於 .NET Framework 3.0 開始引入。在 .NET Framework 3.0 以前，微軟開發 Web Service (SOAP with HTTP communication)、.NET Remoting (TCP/HTTP/Pipeline communication)等分散式架構相關技術，對於開發人員來說，必須學習多種方式進行開發，而 WCF 將微軟 .NET Framework 中分散式架構相關技術整合。

WCF 具有的優勢如下。統一性，WCF 為 ASMX、.NET Remoting、Enterprise Service、WSE、MSMQ 等技術之整合。互通性，WCF 的基本通信機制是 SOAP，在不同系統之間只要支持標準的 Web Service，如 J2EE 即可相互通信。安全性，WS-Security、WS-Trust 和 WS-SecureConversation 均被添加到 SOAP 中，以確保用戶認證、數據完整性及隱私性。兼容性，使用 WCF 並不會影響原有的技術，如 ASMX、.NET Remoting 等，仍可直接進行溝通。

三、系統實作

本系統之電腦版網址如下：<http://www.gwater.cv.nctu.edu.tw>

本系統之行動版網址如下：<http://www.gwater.cv.nctu.edu.tw/gwMApp>

本系統採用 ASP.NET 之 MVC 技術開發。目前系統依據圖一來做實作地下水模擬輔助資訊系統，有基本服務與進階服務兩部份，基本服務為會員管理、資料維護，進階服務為模擬模式、檢驗模式、文件管理模式、水位補遺及地下水模式(MODFLOW)輸入資料之自動化，其他之功能陸續開發中。以下針對此網站之服務說明如下：

3.1 基本服務

目前基本服務為會員管理、資料維護，在電腦版與行動版皆有實作。以下針對基本服務說明如下：

電腦版：

3.1.1 會員管理

雖然本網站設計之目的為無償分享於有興趣之人員，然由於部分網頁涉及水利相關資料的維護及管理，因此對於敏感性頁面仍進行權限管制，具有權限之人員始能進行操作之安排。對於權限管理本網站有三種角色，角色之說明如圖 3。



The screenshot shows the 'Administrator' page of the website. It features a blue header with the site name '交通大學土木工程研究所地下水實驗室' and navigation links for 'Logout', 'Admin', 'Data Maintain', 'Simulation', 'Calibration', and 'Literature'. Below the header, the title 'Administrator' is displayed. A text block states: '本網站有三種角色，以Rank數值區分：'. Below this is a table with three columns: '角色', 'Rank', and '功能'. The table lists four roles: Administrator3 (Rank 3, 帳號管理), Manager (Rank 2, 資料維護), Reader (Rank 1, 資料閱讀), and Guest (Rank 0, 參觀).

角色	Rank	功能
Administrator3	3	帳號管理
Manager	2	資料維護
Reader	1	資料閱讀
Guest	0	參觀

圖 3 為會員管理角色權限說明

3.1.2 資料維護

本功能目前針對地下水水井資料及雨量站資料進行維護，這些資料皆來自政府相關單位。由於未來研究所需，資料的管理維護則交由後端之資料庫進行管理，由於目前尚屬開發階段，因此資料庫選用 MSSQL 2012 Express 版本。網站設

計全部採用部分更新之觀念，強調使用者能舒適的使用網頁而不致造成資料之破壞，且各網頁間亦能達到視覺一致性之目標。

3.1.2.1 井基本資料

圖 4 為井基本資料維護頁面。如圖 4，使用者於左邊的地下水分區，可選擇想要維護的地下水分區，並選擇觀測水井的井別，當選擇後，按查詢按鈕則可根據井號呈現水井的基本資料，且右邊資料空格中均有相關之 javascript 程式，準備聽取使用者之命令。當使用者於文字框格中更新資料，則此資料即立刻以非同步的方式更新至資料庫中。如使用者不知道井號，可採用井名的方式操作，只要按井號、井名文字連結，即可於井號井名間切換。

本網站對於觀測井距離之相關性，特別設計一相距按鈕，使用者只要選擇井號後，執行相距之+、-符號即可得到相距井號之所有觀測井。

圖 4 為井基本資料維護頁面

3.1.2.2 水位資料維護:

本頁面為維護觀測井基本資料。由於使用者對於現有資料庫，某一口井資料之儲存情形可能不甚瞭解，因此本頁面設有，針對欲維護井資料之檢核功能。欲檢核某一口井資料時，需選擇日或時資料，資料別為 rawData 或 modifiedData，當選定後，執行檢核，即可得到觀測井於資料庫之儲存情形。當了解資料後，可選擇更新或新增，並將所欲維護之資料以文字檔的方式準備好，文件檔的格式可參考頁面所附範例。

欲維護資料時執行選擇檔案按鈕並將檔案上傳，同時所維護之資料亦同步更新或新增至資料庫中。另外本頁面亦提供井資料之下載功能，下載時，可選擇需下載多井資料或全部分區之水井資料一齊下載。當選擇多井下載時，需點選頁面所出現之水井，並執行頁面下方之 Get Values 方可下載多井資料。



圖 5 為水位資料維護頁面

3.1.3 水位歷線:

水位歷線頁面更細分有日資料、月平均資料及資料比較。使用者選擇欲繪製之時間區間，及資料格式後，即可繪製水位歷線，圖 6 為蘭陽平原 02010111 之日歷線圖。由於水井之觀測資料應具有地域性，相同區域之水井可能會有相同趨勢之水位特性，因此本網站更貼心的針對日資料部分讓使用者可根據水井之不同距離分析繪製其水位歷線圖。

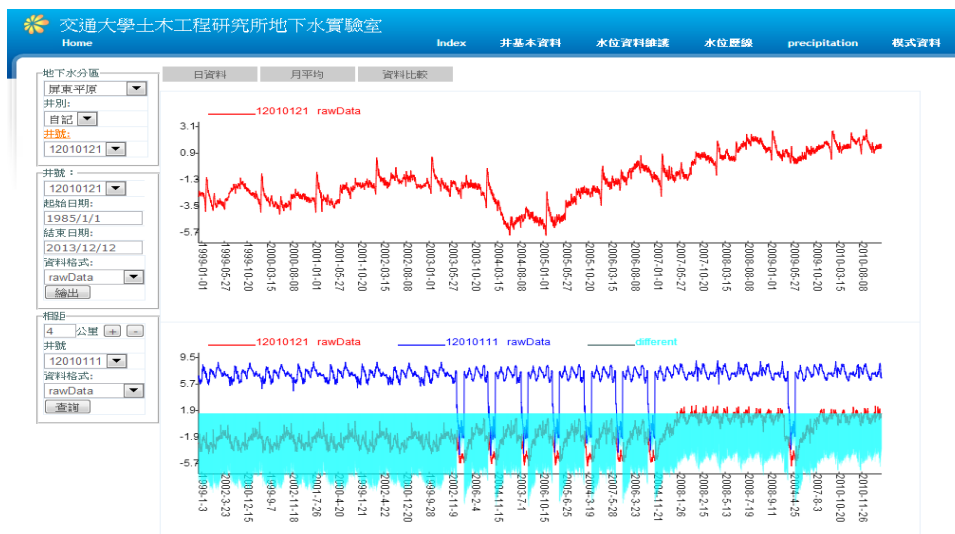


圖 6 為 12010121 日歷線及與 12010111 日歷線比較圖

圖 8~圖 11 為行動版之操作示意圖。



圖 8 為行動版首頁



圖 9 為地下水分區



圖 10 為水井編號及水井名



圖 11 為水井基本資料表

3.2 進階服務

目前進階服務為模擬模式、檢驗模式、文件管理模式、水位補遺及地下水模式(MODFLOW)輸入資料之自動化，僅在電腦版實作。礙於篇幅以下僅針對水位補遺及地下水模式(MODFLOW)輸入資料之自動化服務說明如下：

3.2.1 水位補遺(張良正 et al. 2010)

在執行水利計畫時，將資料由 1997 至 2009 年的資料進行檢驗時，發現濁水溪沖積扇各觀測站淺層水井在 1997 及 2004 普遍有長時間且連續短缺資料的情況，若直接使用原始資料進行分析，易因資料連續性不足造成分析結果誤差過大，故在未使用本系統的做法為缺漏資料的天數區分為兩類，以不同方法進行補遺，分別為：

(1)連續缺漏未達10天，以線性內插進行補遺；(2)連續缺漏超過10天，以標準作業程序，如圖12進行補遺。使用本系統後可大幅降低人力，故而皆採取(2)做法，也可使水位補遺後資料精度提升。

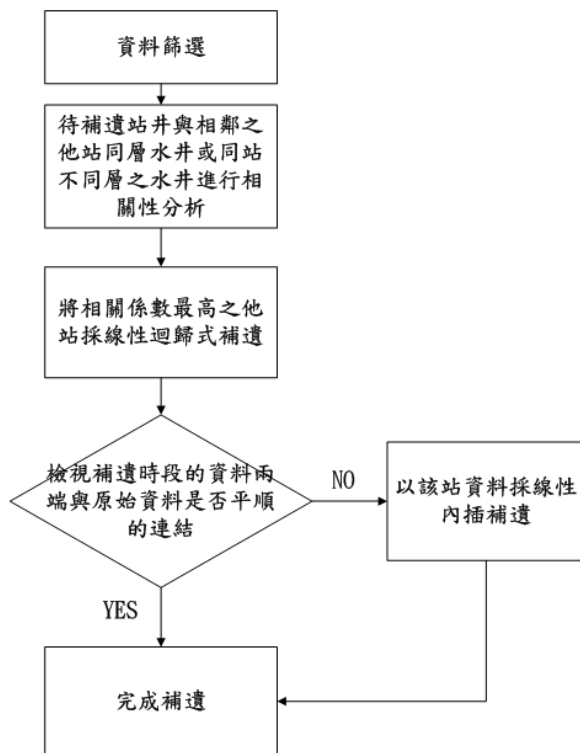


圖12 為地下水位資料連續缺漏超過10天之補遺標準作業程序

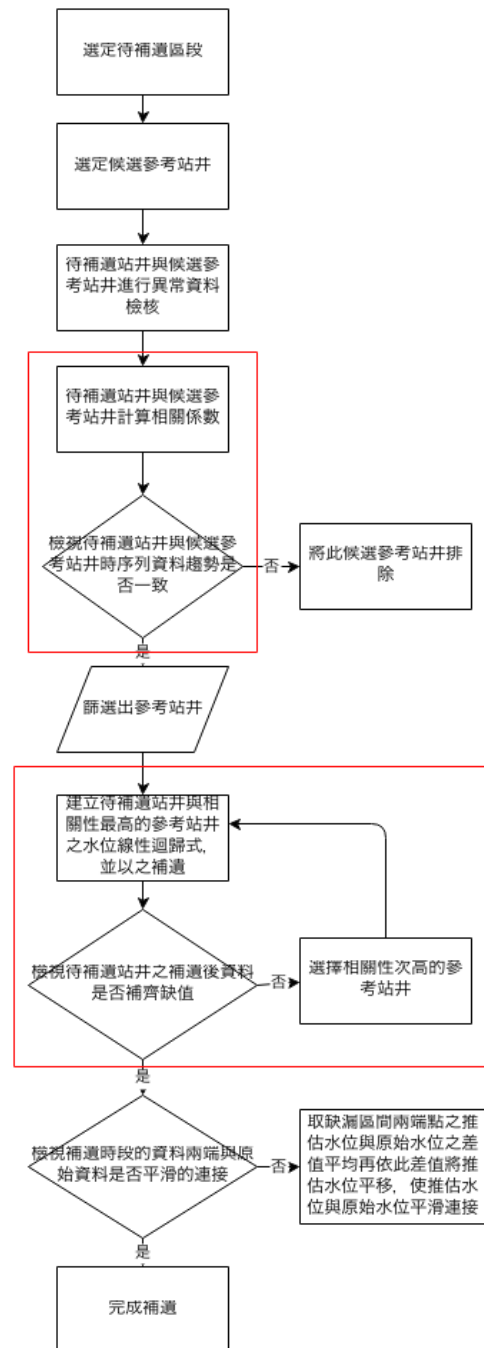


圖13 為地下水模擬輔助資訊系統之補遺示意圖，紅框為程式輔助之部分

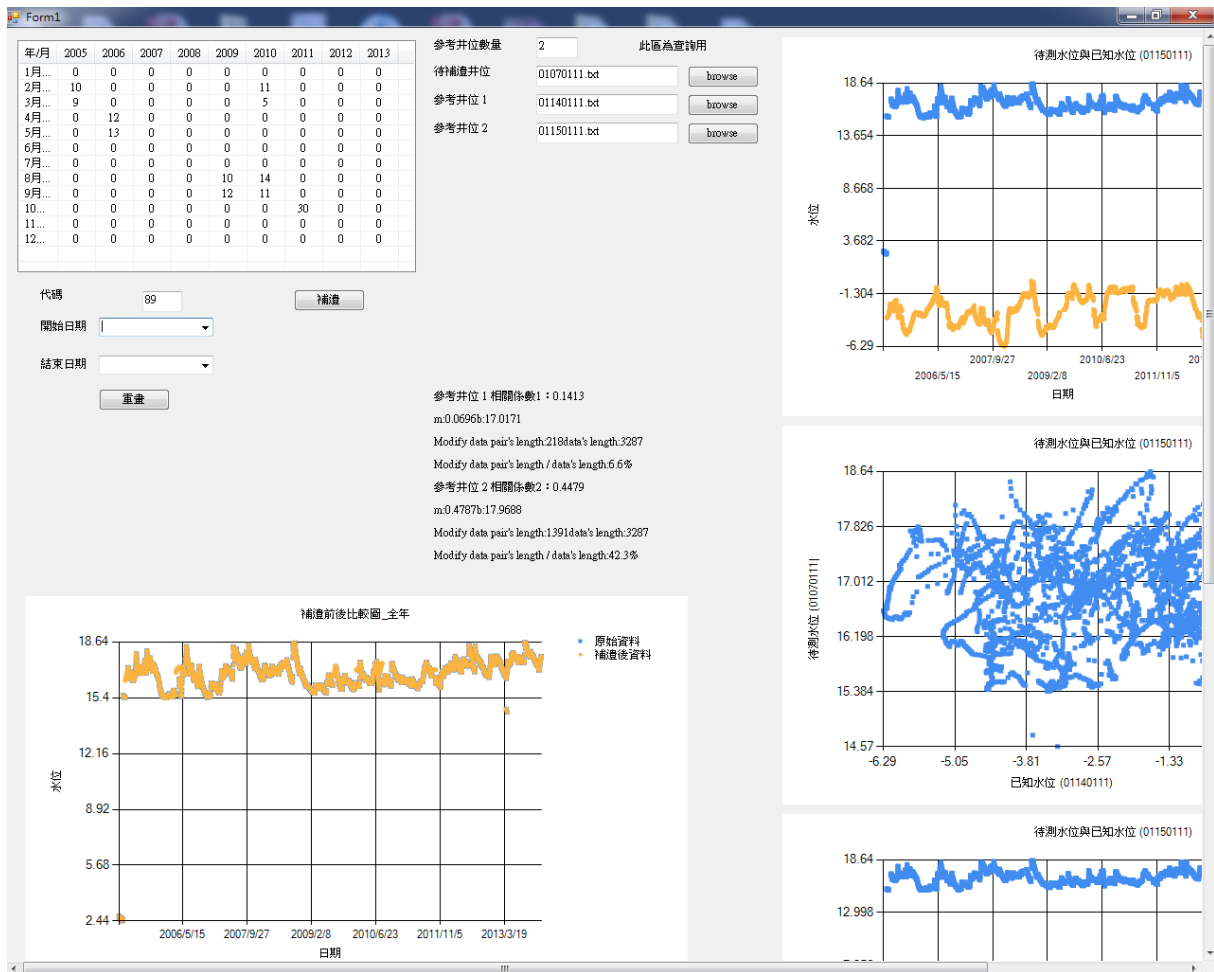


圖 14 為水位補遺操作介面

3.2.2 地下水模式(MODFLOW)輸入資料之自動化(Argent 2004; Clark et al. 2006; Del Barrio et al. 2006; Facchi et al. 2004; Goodall et al. 2011; Granell et al. 2010; Huang et al. 2011; Liu et al. 2013)

3.2.2.1 MODFLOW 簡介

本研究採用之地下水流模擬模式，乃採用美國地質調查局(U.S.G.S)發展之 MODFLOW 程式。該程式可解二維及三維之地下水流問題，含水層之種類可為自由、受壓、半受壓含水層，依地質特性分類可為均質、非均質及等向性、非等向性含水層。MODFLOW 程式乃利用有限差分法(Block Centered Finite Difference Approach)解水流控制方程式，計算機數值求解方法乃採用兩種疊代技巧強制隱式法(SIP)及鬆弛疊代法(SSOR)。程式包括之重要單元有水井、區域性補注量、蒸發散、河川之滲流及定水頭邊界。以下就對 MODFLOW 程式發展作一介紹：

三維地下水流在孔隙介質中的運動行為可以下列之偏微分方程式來表示：

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

其中 k_{xx}, k_{yy}, k_{zz} : 沿主軸 X, Y, Z 方向的透水係數(Hydraulic

Conductivity)(LT^{-1})

h：管壓水頭(Potentiometric Head) (L)

W：單位體積的體積流率(Volumetric Flux)，代表源匯項
(Sources/Sinks)(T^{-1})

Ss：孔隙介質的比儲水量(Specific Storage) (L^{-1})

t：表時間(T)

上述式(1)若結合了含水層系統邊界情況、起始條件等資訊，可組成一地下水系統之數學表示式，而此模式已有 MODFLOW 可資利用，本研究利用 Web Service 包裝 MODFLOW 數值模式成為一個雲端上可以呼叫的服務，藉由開放此服務，在後端伺服器可做大量複雜的數學運算，待運算結束後，再回傳結果給服務需求者做進一步資料分析或直接傳回可利用資訊。

3.2.2.2 輸入檔之自動化產生

由於使用 MODFLOW 建構地下水模式時，工程師必須熟悉所模擬之地下水區域，且必須建置 MODFLOW 模擬時所需之輸入檔，而建置這些輸入檔常為整個模擬模式最核心之部分，且因應這些輸入要求，已有許多相對的工具可以使用，譬如 Processing MODFLOW (PM)套裝軟體或 Matlab，然而這些輸入工具皆針對單機版之模擬模式而建置，當工程師使用這些工具準備好輸入檔後，再啟動 MODFLOW 以執行地下水之模擬，當模擬之過程發現錯誤或執行之結果不甚理想時，則需重新建置輸入檔及執行 MODFLOW，並反覆執行這個過程，直到模式收斂為止。圖 15 為 MODFLOW 之模擬過程示意圖。

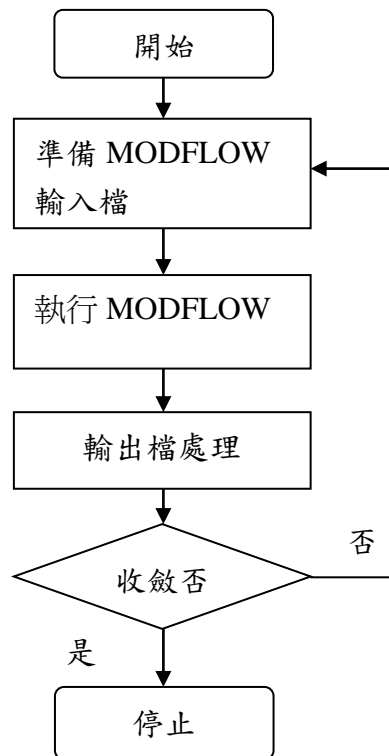


圖 15 為 MODFLOW 之模擬過程示意圖

由圖 15 所示之模擬過程可以清楚了解這個過程非常耗費時間，且收斂與否之判斷需另外由工程師自行處理與判斷，因此對於初學者而言並非友善。本研究對於這個過程提出系統改善方法，即建置輸入檔介面，經分析 MODFLOW 所需之輸入檔共有 8 個，其副檔名分別為 *.bas, *.dis, *.lps, *.zone, *.wel, *.chd, *.oc, *.pcg，本研究將一一完成輸入檔與輸入檔建置工具之整合，使工程師能夠快速的完成 MODFLOW 之模擬過程。

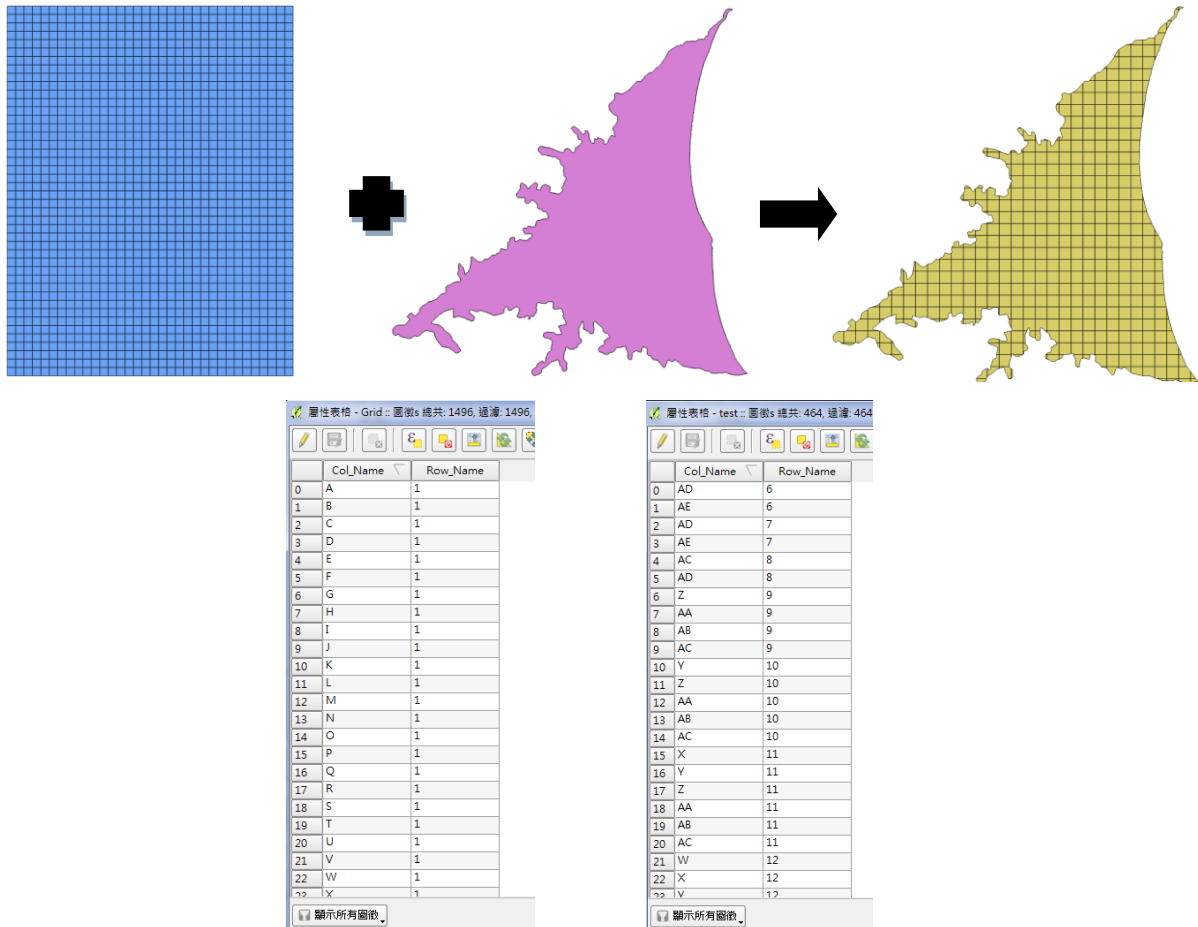


圖 16 為本系統產生 *.zone 之過程

四、結論與建議

本研究已成功完成地下水模擬輔助資訊系統之雛形，後續可以依建模輔助為核心，擴充建置情境模擬分析及知識庫管理等，以更有效的集中管理各個寶貴的模擬案例，並使各模擬案例知識能被再利用。再者，地下水問題相當複雜且有不確定性，譬如資料來源格式的不一致、如何將地質結構分層等問題，如何在資訊系統進行自動化，來協助研究人員快速獲得所需資料，為本研究未來欲進行之目標。

參考文獻

- Argent, R. M. 2004. "An overview of model integration for environmental applications—components, frameworks and semantics," *Environmental Modelling & Software* (19:3), pp 219-234.
- Clark, J. S., and Gelfand, A. E. 2006. "A future for models and data in environmental science," *Trends in Ecology & Evolution* (21:7), pp 375-380.
- Del Barrio, G., Harrison, P., Berry, P., Butt, N., Sanjuan, M., Pearson, R., and Dawson, T. 2006. "Integrating multiple modelling approaches to predict the potential impacts of climate change on species' distributions in contrasting regions: comparison and implications for policy," *environmental science & policy* (9:2), pp 129-147.
- Facchi, A., Ortuani, B., Maggi, D., and Gandolfi, C. 2004. "Coupled SVAT-groundwater model for water resources simulation in irrigated alluvial plains," *Environmental modelling & software* (19:11), pp 1053-1063.
- Goodall, J. L., Robinson, B. F., and Castronova, A. M. 2011. "Modeling water resource systems using a service-oriented computing paradigm," *Environmental Modelling & Software* (26:5), pp 573-582.
- Granell, C., Díaz, L., and Gould, M. 2010. "Service-oriented applications for environmental models: Reusable geospatial services," *Environmental Modelling & Software* (25:2), pp 182-198.
- Huang, M., Maidment, D. R., and Tian, Y. 2011. "Using SOA and RIAs for water data discovery and retrieval," *Environmental Modelling & Software* (26:11), pp 1309-1324.
- Liu, Y., Sun, A. Y., Nelson, K., and Hipke, W. E. 2013. "Cloud computing for integrated stochastic groundwater uncertainty analysis," *International Journal of Digital Earth* (6:4), pp 313-337.
- Peckham, S. D., and Goodall, J. L. 2013. "Driving plug-and-play models with data from web services: A demonstration of interoperability between CSDMS and CUAHSI-HIS," *Computers & Geosciences* (53), pp 154-161.
- W3C 2004. "Web Services Glossary, W3C Working Group Note."
- 張良正, 陳文福, 張竝瑜, and 劉興昌 2010. "臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估-地下水補注潛勢評估與地下水模式建置 (2/4)."
- 陳德權, 鄔群勇, and 王欽敏 2008. "基于 WCF 的分布式地理信息系統研究," *測繪信息與工程* (33:3), p 3.
- 維基百科編者 "Rest," 維基百科, 自由的百科全書.
- 維基百科編者 "響應式網頁設計," 維基百科, 自由的百科全書.
- 藍元宏. 2009. *適用於異質行動設備之以 SOAP 為基礎之領域 Web 服務中介平台*, 屏東科技大學.