經濟部

計畫編號：100-5926901000-03-01

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 (3/4)

Hydrogeology investigation and groundwater resource assessment for Taiwan：
Groundwater recharge estimation and model simulation (3/4)

期末報告

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：國立交通大學土木工程系
中華民國一〇〇年十二月

計畫編號：100-5926901000-03-01

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 (3/4)

Hydrogeology investigation and groundwater resource assessment for Taiwan：
Groundwater recharge estimation and model simulation (3/4)

期末報告

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：國立交通大學土木工程系

計畫主持人：張良正

中華民國一〇〇年十二月

摘要

經濟部自民國 81 年起執行「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」，於臺灣地區九個地下水區及恒春和澎湖地區，進行地下水觀測井網建置及水文地質調查研究，執行期程分三期共十七年。此計畫之執行除了建立臺灣地區之地下水觀測系統以及水文地質資料庫外，並進一步釐清了臺灣地區重要地下水區之水文地質架構，且據此初步釐訂濁水溪沖積扇和屏東平原之地下水補注區，惟後者仍有待進一步評估確認。本計畫係依據「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估計畫」（98 年至 101 年）實施進度之規劃，分別進行濁水溪沖積扇及屏東平原地下水區之地下水補注評估與地下水模式建置，本年度為全程計畫之第三年

本年度工作成果如下：(1)完成地下水位資料之品管與檢核，將缺漏及異常水位作適當的補遺及處理，可確保後續分析之品質。(2)完成多項現地補充調查試驗工作包括: (i)二維地電阻調查，由南至北沿扇頂向扇尾方向，分區完成四組二維地電阻影像剖面測線，總長共計 7240 公尺。(ii)水質採樣及化驗，顯示扇頂地下水大都以碳酸氫鈣為主、扇頂區地下水導電度大都小於 700 μS/cm 以及扇頂區地面水及地下水的硝酸鹽濃度都小於 10mg/l。(iii)完成彭厝國小兩口 30 公尺抽水井鑿建與雙井抽水試驗。(3)延續以往類 DRASTIC 之分析，完成高補注潛勢區之評估。(4)綜合補注潛勢評估、二維地電阻調查及水質補充調查結果，完成地下水主要補注區建議。(5)完成屏東平原穩態地下水數值模式建置，並以專家系統輔助完成參數檢定。(6)經穩態模式分析後得屏東平原垂向補注量為 16.70 億噸，上游山邊側向補注量為 1.08 億噸，下游海岸側向補注量為 0.46 億噸，總抽水量為 18.24 億噸。 (7)作業平台建置方面，本年度新增「儲存與載入功能」及「案例設定」等功能與使用介面，以方便不同使用者間的案例交換，並完成屏東平原相關資料之建立。

關鍵字：地下水補注潛勢、地電阻調查、水位歷線法、地下水模式、抽水試驗

Abstract

To facilitate the groundwater management, Ministry of Economic Affairs in Taiwan had established a national groundwater monitoring network for Taiwan area in 1991 to 2008. The accomplishment of groundwater monitoring network had established a data base system with large amount of hydrogeological data. Moreover, both the hydrogeological structure and the high recharge potential zone were defined using the hydrogeological data. Nevertheless, the groundwater recharge requires more study because of the high complexity of hydrogeological conditions. Following the project of 'Hydrogelogical investigation and groundwater resources assessment plan in Taiwan', this project is to define the high groundwater recharge area and develop numerical simulation models for Choshuichi basin and Pintung plain. This year is the 3rd year of the four years projects. The results accomplished in this year are described as follows.

(1) Completed the review and addendum of the hydrological data.

(2) Implemented more field investigation including 2D resistivity image profiling, water quality sampling and multi-wells on site pumping test. .

(3) Estimated groundwater recharge potential based on the DRASTIC analysis.

(4) Defined high groundwater recharge area based on the results of the groundwater recharge potential, 2D resistivity image profiling, and water quality sampling.

(5) Established a steady state groundwater simulation model and used expert system to identify the model parameters.

(6) Estimates the groundwater recharge and pumping rate of Pintung plain. The results show that the vertical recharge rate is 1.67billion ton, the recharge rate from hillside is 0.108 billion ton and the recharge rate from coast is 46 million ton. The total pumping rate is 1.824 billion ton.

(7) Updated the data base including functions extending and data updating.

KEYWORDS: Groundwater recharge, Resistivity image profiling, Groundwater model, Pumping

結論與建議

一、結論

(一) 資料之檢視與補遺

本計畫已全面檢視屏東平原地下水觀測網，自 1999 年至 2010 年間之地下水位資料，發現少數水井存在一定程度之誤差與缺漏，若直接應用將產生相當之誤導，故需進行校正與補遺。資料之缺漏補遺，本計畫係以人工方式配合統計相關分析，逐站進行之。資料之誤差部分，存有一定程度之疑似儀器校正誤差，此種誤差，雖然可由資料明確顯示出，惟卻難以程式自動校正，故以人工方式逐站修正之。

(二) 現地補充調查試驗

i. 地電阻調查分析:

已完成由南至北沿扇頂向扇尾方向，四組數條二維地電阻影像剖面測線，每條二維地電阻影像測線總長度約為 400 公尺。比對一維地電阻數位化與地電阻剖面影像後發現，藉由高解析度(電極間距 10 公尺)左右所進行之側向長距離地電阻施測，可以有效協助補注區之邊界判釋。剖面影像解析亦大致上反映了地質分佈之狀況，因此印證先前我們認為可以利用地電阻剖面影像描繪阻水層分佈之假設。

經由岩芯與觀測井資料對比後，推測本區淺部補注區邊界，應位於扇頂之相當高電阻率(>200 Ohm-m)之礫石層，到低電阻率(具有 50-60Ohm-m 以下電阻率)之砂泥或礫泥互層之邊界上。

ii. 水質調查分析:

水質調查分析部分，今年度進行兩次地下水採樣－以荖濃沖積扇及隘寮沖積扇為主，共 24 站共 52 口井，12 處地面水。含水層溶氧>1mg/l，之溶氧帶由高樹、新南至大響及枋寮等，而硝酸鹽帶的分布再往西、分布更廣（參看圖 6.2-7）。

iii. 抽水井鑿建與抽水試驗:

本(100)年度由於彭厝國小之彭厝站原觀測井深度太深位於受壓層，故新鑽鑿兩口淺層井，以進行複井抽水試驗求取儲水係數，其為 10 吋抽水井(P1)及 8 吋試驗井(W1)。抽水試驗以 Neuman 法分析，考慮以濾水管位置 7~30m 之部分

貫穿，得 T =22.34 m^2/min，S = 0.01013，Sy = 0.1287。

(三) 補注潛勢評估作業與主要補注區劃分

在「地下水補注潛勢」評估作業中，考量「土地利用」、「表層土壤種類」、「降雨與地下水位變化相關性」、「平均年降雨量」、「單位蓄水量變化」、「透水係數」以及「河系密度」等七項補注潛勢影響因子，本計劃以補注潛勢分數 55 分以上時，如圖 4.4-15 中定義出高補注潛勢區，其中北區與二維地電阻所推測的交界面中重疊面積為 94.4%，南區與二維地電阻重疊面積為 97.3%。高補注潛勢區與二維地電阻與水質檢測結果，整合比較後建議出主要補注區範圍。主要補注區分別位於屏東平原南北兩地，北部區域包括高樹鄉、里港鎮、鹽埔鄉、長治鎮及內埔鄉，與少部分之六龜鄉及萬巒鄉，南部區域則包括萬巒鄉、潮洲鄉、新埤鄉及枋寮鄉等地。

(四) 補注量及抽水量推估

本計畫先應用修正型水位歷線法，以屏東平原淺層觀測井 1999~2010 年地下水位資料，進行淺層垂向補注量與抽水量推估，並以此垂向補注量作為屏東平原數值模式建置之用，再進行三維穩態數值模式之檢定，檢定結果可知垂向補注量為 16.70 億噸，上游山邊側向補注量為 1.08 億噸，下游海岸側向補注量為 0.46 億噸，總抽水量為 18.24 億噸，且主要補注區內之抽水量約略與非主要補注區相等，此外從表層至深層含水層均進行相當程度之抽水。

(五) 地下水數值模式建置

本研究所建置之數值模式除推估前述抽水量外，本研究亦將此模式搭配水質模式(MODPATH)，模擬汙染物質自地下水主要補注區進入含水層之流況分析，結果顯示，於 20 年內部分污染物將穿越表層含水層(即 F1)進入深層含水層(即 F2)，其他則滯留於不透水層上，再沿著不透水層移動至下游區域，因此保護主要補注區除了考量此區域為屏東平原之主要補注來源外，亦考量了此區域若遭受污染將使全區深層地下水的使用產生安全上之疑慮，因此建議主要補注區應盡速完成妥善之保育規畫。

(六) 資訊平台更新

本年度工作項目在地下水補注評估作業平台更新方面可分為兩部分，一為「儲存與載入功能」之建立，另一為屏東平原基本資料之建立，目前兩者皆已完成。在「儲存與載入功能」方面，案例設定以視覺化的介面呈現，方便使用

者之重複利用與修改，使不同使用者之間的案例交換更為方便；另外屏東平原的基礎資料已建立完成，並且與之前的濁水溪區域作整合，兩個區域的資料皆更新至 2010 年 12 月 31 日止，使用者可透過平台簡易的在不同區域之間切換，進行後續的計算。

二、建議

(一) 本年度已初步完成屏東平原地下水主要補注區劃設，惟在二維地電阻調查部分，里港至吉洋地區測線分布較為不足，因此在經費許可下，可考量進行補充調查。

(二) 本年度已完成穩態數值模式之建置，惟穩態模式無法反應地下水位隨季節之變化以及含水層之儲蓄效應，因此後續應在穩態模式之基礎上，進行暫態模式之建置。

(三) 上游山區之側向補注量以及主要河川之入滲補注，對整體地下水系統應有相當程度之影響，後續模式建置應對此進行較深入之探討。

(四) 水位歷線法可充分應用既有地下水位觀測資料進行地下水補注量與抽水量之初估，惟其無法直接考量邊界水量之進出，建議擴展延伸水位歷線法之精神，增加可考量邊界條件之作法。

(五) 在九如觀測井附近進行二維地電阻量測時，因九如觀測井附近人口密集，無法取得最佳位置施測，故本團隊在九如觀測井之西北方約 2000 公尺處、南方約 2200 公尺處以及東南方約 3000 公尺處進行量測，得到結果皆為砂之低電阻值，此與九如觀測井之岩心紀錄內出現大量的礫石部分夾泥或沙所顯示的不同，值得進一步驗證。

(六) 地下水位資料時間上之延續性與空間上之完整性，將大為影響後續資料之應用與加值，因此地下水位觀測資料品質之好壞，乃是觀測站網能否發揮其預期效益之關鍵，應持續加強站網之維護與資料蒐集之改善。

(七) 比流出率及儲水係數為地下水歷線法及相關研究之重要參數，建議在經費充足情況下，應增加複井抽水試驗數量，以提高地下水相關分析之可靠度。其中尤以非受壓含水層儲蓄水量之變化量佔整體變化量之絕大部分，因此應優先進行複井抽水試驗

目錄

摘要 I
結論與建議 III
表目錄 X
圖目錄 XII
第一章 前言 1
1.1 計畫緣起及目的 1
1.2 計畫區域概述 2
1.3 計畫工作項目及內容 7
第二章 資料收集及彙整 11
2.1 前期相關研究 11
2.2 研究資料蒐集 30
2.3 地下水位資料品保及品管 37
2.3.1 地下水位資料缺漏及補遺 37
2.3.2 地下水位資料異常及處理 50
2.4 國內外地下水水資源保護現況 51
2.4.1 美國華盛頓州的重要含水層補注區(CARA, Critical Aquifer Recharge Area) 51
2.4.2 喬治亞州的地下水補注區（GRAD, Groundwater Recharge Area District） 56
2.4.3 台灣的地下水保護 58
第三章 現地補充調查試驗 61
3.1 屏東地區扇頂地電阻測勘 61
3.1.1 二維地電阻調查原理 62
3.1.2 二維地電阻現地施測方式 67
3.1.3 二維地電阻現地施測結果 72
3.1.4 一維與二維地電阻資料彙整 86
3.1.5 應用地電阻於補注區初步分析 90
3.2 屏東平原扇頂地面水及地下水水質調查分析 92
3.2.1 水質調查方法與步驟 92
3.2.2 水調查結果與分析 102
3.2.3 綜合分析 125
3.3 抽水井鑿建及複井抽水試驗 126
3.3.1 分級試水 132
3.3.2 雙井抽水試驗 134
第四章 地下水主要補注區與重要保育區範圍評估 137
4.1 主要補注區與重要保育區分析流程 137

4.2 補注潛勢原始屬性建立 144
4.3 補注潛勢分析成果說明 164
4.4 主要補注區範圍評估 174
4.5 資源保育分數原始屬性建立 178
4.6 資源保育分數分析成果說明 182
4.7 保育區範圍評估 186
第五章 水位歷線法於屏東平原之應用 189
5.1 地下水位歷線法理論介紹 189
5.2 地下水位歷線法前期研究 196
5.3 修正型地下水位歷線法理論介紹 206
5.3.1 電腦程式開發 207
5.4 應用水位歷線法於補注量及抽水量初估 210
5.4.1 退水線判斷 214
5.4.2 水位歷線法分析結果 223
第六章 屏東平原地下水數值模式 建置與分析 235
6.1 地下水數值模式發展簡介 235
6.2 地下水數值模式建置流程 236
6.3 屏東平原地下水數值模式建置 237
6.3.1 邊界條件與格網劃分 237
6.3.2 模式資料輸入 241
6.3.3 模式之參數檢定 245
6.3.4 穩態模式參數檢定成果 250
6.4 屏東平原補注量與抽水量統計分析 254
6.5 主要補注區對地下水資源影響分析 259
第七章 地下水補注潛勢評估作業平台更新 265
7.1 地下水補注潛勢評估作業平台系統元件說明 266
7.2 地下水補注潛勢評估作業平台使用流程 268
7.3 核心計算程式 269
7.4 水文地質參數資料庫與 GIS 圖層資料庫建立 270
7.5 系統操作說明 271
7.5.1 補注潛勢評估作業平台操作介面及說明 271
7.5.2 地下水位資訊擷取元件操作介面及說明 284
附錄一 、地下水位缺漏超過 10 天之補遺 297
附錄二、深層地下水位原始資料缺漏時段分類 311
附錄三、本年度工作會議紀錄 317
附錄四、期中報告審查意見及辦理情形 331
附錄五、期末報告審查意見及辦理情形 337
附錄六、地質屏狀圖 343

(資料來源:經濟部中央地質調查所，2000) 343
附錄七、彭厝站抽水試驗分析 349
附錄八、里港(1)是否為非受壓含水層之檢討 359
附錄九、本年度計畫出國研習訪查報告 363

表目錄

表 2.1-1 D 值之範圍及分數等級 12
表 2.1-2 R 值之範圍及分數等級 12
表 2.1-3 A 值之範圍及分數等級 13
表 2.1-4 S 值之範圍及分數等級 13
表 2.1-5 T 值之範圍及分數等級 14
表 2.1-6 I 值之範圍及分數等級 14
表 2.1-7 C 值之範圍及分數等級 15
表 2.1-8 常用水文地質參數之權重表 15
表 2.1-9 濁水溪沖積扇及屏東平原地區地下水位深度評分表 16
表 2.1-10 濁水溪沖積扇及屏東平原地區淨補注量值之範圍及分數等級 16
表 2.1-11 濁水溪沖積扇及屏東平原地區地形坡度之範圍及分數等級 17
表 2.1-12 濁水溪沖積扇及屏東平原地區含水層介質評分表 17
表 2.1-13 濁水溪沖積扇及屏東平原地區土壤介質評分表 17
表 2.1-14 濁水溪沖積扇及屏東平原地區未飽和層影響評分表 18
表 2.1-15 濁水溪沖積扇及屏東平原地區含水層水力傳導特性評分表 18
表 2.1-16 地下水補注潛勢影響因子之權重表(Shaban et al.,2006) 20
表 2.1-17 地下水補注潛勢因子影響能力評估(Shaban et al.,2006) 21
表 2.1-18 地下水管制區評估因子權重表 24
表 2.1-19 屏東平原地下水補注量相關研究成果比較表 30
表 2.2-1 含水層一(F1)47 口地下水觀測井資料列表 31
表 2.2-1 含水層一(F1)47 口地下水觀測井資料列表(續) 32
表 2.2-2、屏東平原複井抽水試驗實測儲水係數 34
表 2.2-3 本計畫蒐集中央氣象局雨量站資訊 35
表 2.2-4 本計畫蒐集圖資資訊 37
表 2.3-1 1999-2010 年淺層水井地下水位原始資料缺漏統計表 38
表 2.3-2 1999-2010 年地下水位原始資料缺漏時段分類列表 39
表 2.3-3 缺漏超過 10 天之觀測井與鄰近其他水井時序資料之間的相關係數列表 48
表 2.3-3 缺漏超過 10 天之觀測井與鄰近其他水井時序資料之間的相關係數列表(續) 49
表 2.3-4 屏東平原淺層地下水觀測井水位之異常時段列表 50
表 2.4-1 環保署公告之屏東縣土壤及地下水污染列管場址 60
表 3.2-1 屏東地區之地下水觀測站 94
表 3.2-2 研究採樣之觀測井 96
表 3.2-3 檢驗方法與儀器偵測極限 100
表 3.2-4 飲用水源及灌溉用水質標準 101
表 3.2-5 地下水之溶氧等基本水質 103
表 3.2-6 屏東地下水觀測站之上部泥層及含水層厚度 107

表 3.2-7 扇頂地下水之主要離子成份（mg/l）..... 108
表 3.2-8 扇頂地下水之主要離子成份百分比..... 109
表 3.2-9 本年度水質採樣地下水之主要離子成份（mg/l）..... 111
表 3.2-10 地面水之基本水質（2011 年）..... 114
表 3.2-11 地面水之硝態氮濃度（mg/l）..... 115
表 3.2-12 主要離子成分..... 116
表 3.2-13 林邊溪與力力溪沖積扇地下水歷年導電度..... 117
表 3.2-14 隘寮溪沖積扇地下水歷年導電度..... 118
表 3.2-15 荖濃溪沖積扇地下水歷年導電度..... 118
表 3.2-16 導電度 Mann-Kendall 趨勢分析結果..... 119
表 3.2-17 林邊溪與力力溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度（mg/l）..... 124
表 3.2-18 隘寮溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度（mg/l）..... 124
表 3.2-19 隘寮溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度（mg/l）..... 125
表 4.1-1 地下水補注潛勢影響因子表..... 140
表 4.1-2 地下水保育分數影響因子表..... 140
表 4.1-3 為本研究藉由 Shaban 建議之方法訂定之因子權重表。..... 142
表 4.2-1 圖資製作工具..... 144
表 4.2-2 95 及 96 年國土利用調查委託製作範圍表..... 145
表 4.2-3 地下水井與鄰近雨量站列表..... 157
表 4.2-4 各井之儲水係數與單位蓄水量變化..... 161
表 4.3-1 土地利用屬性與重新分類表..... 165
表 4.3-2 土地利用重分類屬性代碼與因子分數表..... 166
表 4.3-3 表層土壤分類屬性代碼與因子分數表..... 166
表 4.5-1 地下水出水潛能列表..... 179
表 5.2-1 屏東站年平均雨量與豐枯排序表..... 198
表 5.2-2 屏東平原非受壓含水層流出係數現地試驗表..... 198
表 5.2-3 屏東平原地下水水平衡分析表..... 199
表 5.4-1 屏東平原淺層觀測井列表(47 口井)..... 212
表 5.4-2 屏東平原淺層水井枯水期退水線列表..... 216
表 5.4-3 屏東平原地下水井一期稻作退水線列表..... 222
表 5.4-4 系統水平衡分析表..... 224
表 5.4-5 各井平均年補注量排序列表..... 224
表 5.4-6 單位面積平均年補注量排序列表..... 226
表 5.4-7 各站枯水期與一期稻作退水線斜率列表..... 227
表 5.4-8 各站平均年累積水平淨交換量排序列表..... 229
表 6.4-1 穩態模式參數檢定後各層之淨抽水量與淨補注量..... 255
表 7.3GIS 專案相關軟體清單表..... 270

圖目錄

圖 1.2-1 屏東平原水文地質剖面 3
圖 1.2-2 阻水層分布區示意圖..... 4
圖 1.2-3 屏東平原地下水觀測網站井分布圖..... 6
圖 1.3-1 工作項目關係架構圖 9
圖 2.1-1 在受壓含水層及非受壓含水層之地下水位深度..... 12
圖 2.1-2 地下水補注潛勢相互影響因子概念圖..... 20
圖 2.1-3 屏東平原入滲潛勢分級區域圖..... 23
圖 2.1-4 屏東平原區域補注分級區域圖..... 23
圖 2.1-5 地下水還原系列示意圖(Chapelle,2001)..... 26
圖 2.1-6 水文地質剖面..... 26
圖 2.1-7 地下水導電度分布圖（2001 年）..... 27
圖 2.1-8 地下水硝態氮濃度分布圖（2001 年）..... 28
圖 2.2-2 吉洋站與工作站水位..... 31
圖 2.2-1 含水層一(F1)47 口地下水觀測井分布圖..... 33
圖 2.2-3 中央氣象局屏東平原雨量站位置圖..... 36
圖 2.3-1 地下水位缺漏資料年代分佈圖..... 44
圖 2.4-1 辨別標示出井頭保護帶（圖中紅點為水井、綠圈為井頭保護帶）..... 52
圖 2.4-2 美國 Georgia 州之污染敏感圖..... 53
圖 3.1-1 地電阻探測儀器示意圖..... 63
圖 3.1-2 電流流動示意圖 64
圖 3.1-3 溫奈排列（Wenner Array）排列方式示意圖..... 65
圖 3.1-4 施蘭卜吉排列（Schlumberger Array）排列方式示意圖 66
圖 3.1-5 雙偶極排列（Dipole-dipole Array）排列方式示意圖..... 66
圖 3.1-6 雙極排列（Pole-Pole Array）排列方式示意圖 66
圖 3.1-7 二維地電阻剖面影像探測示意圖..... 67
圖 3.1-8 地電阻輪替式(Roll-along)陣列施測方式示意圖..... 68
圖 3.1-9 地電阻平移式陣列施測方式示意圖..... 68
圖 3.1-10 屏東平原 50 公尺半展距一維地電阻分布圖與本年度地電阻預定測線及推測補注區界線位置圖 70
圖 3.1-11 屏東平原地電阻預定測線位置(觀測井)分佈圖 71
圖 3.1-12 萬隆二維地電阻影像剖面與萬隆觀測井岩芯資料對比結果 74
圖 3.1-13 新埤二維地電阻影像剖面與新埤觀測井岩芯資料對比結果 74
圖 3.1-14 大潭二維地電阻影像剖面與大潭觀測井岩芯資料對比結果 75
圖 3.1-15 萬隆-新埤二維地電阻影像剖面與萬隆觀測井、新埤觀測井岩芯資料對比結果 . 75
圖 3.1-16 萬巒二維地電阻影像剖面與萬巒觀測井岩芯資料對比結果 76
圖 3.1-17 大湖二維地電阻影像剖面與大湖觀測井岩芯資料對比結果 77

圖 3.1-18 新庄二維地電阻影像剖面與新庄觀測井岩芯資料對比結果 77
圖 3.1-19 建興二維地電阻影像剖面與建興觀測井岩芯資料對比結果 78
圖 3.1-20 建興-西勢二維地電阻影像剖面與建興觀測井、西勢觀測井岩芯資料對比結果 . 78
圖 3.1-21 老埤-內埔二維地電阻影像剖面與老埤觀測井、內埔觀測井岩芯資料對比結果 . 79
圖 3.1-22 彭厝二維地電阻影像剖面與萬巒觀測井岩芯資料對比結果 80
圖 3.1-23 九如二維地電阻影像剖面與九如觀測井岩芯資料對比結果 80
圖 3.1-24 屏東平原補注區邊界，觀測井分佈圖。紅色線為初步規劃之補注區邊界，黃色線為新的邊界，分為南、北兩大區域。 81
圖 3.1-25、里港二維地電阻影像剖面與里港觀測井岩芯資料對比結果..... 82
圖 3.1-26 萬巒-萬隆二維地電阻影像剖面與萬隆觀測井、萬隆觀測井岩芯資料對比結果 . 82
圖 3.1-27 潮州二維地電阻影像剖面與潮州觀測井岩芯資料對比結果 83
圖 3.1-28 大響二維地電阻影像剖面與大響二觀測井岩芯資料對比結果 83
圖 3.1-29 海豐-建興二維地電阻影像剖面與海豐觀測井、建興觀測井岩芯資料對比結果 . 84
圖 3.1-30 九如-海豐二維地電阻影像剖面與九如觀測井、海豐觀測井岩芯資料對比結果 . 85
圖 3.1-31 彭厝-海豐二維地電阻影像剖面與彭厝觀測井、海豐觀測井岩芯資料對比結果 . 85
圖 3.1-32 吉洋二維地電阻影像剖面與吉洋觀測井岩芯資料對比結果 86
圖 3.1-33 一維地電阻測點位置(經建版座標 TWD67)..... 87
圖 3.1-34 一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法所獲得之反演資料，左為工研院反演算結果(1995)，右為重新反演結果 (30m)。紅線為推測之補注區邊界，綠線為最後研判之補注 88
圖 3.1-35 屏東平原電性三維影像。綜合圖 3.1-52 之一維資料以及實際量測之二維影像剖面反演後的電性三維影像。圖中上層的網格線為地形檔，此圖給予實際地表上之地形面貌與地下之電性結構。 89
圖 3.1-36 屏東平原補注區邊界。 91
圖 3.2.1 研究區域及採樣井位置 93
圖 3.2-2 美國 Hydrolab 水質測棒..... 94
圖 3.2-3 屏東平原地下水之溶氧與硝態氮濃度分布..... 106
圖 3.2-4 扇頂地下水之主成份三角圖..... 110
圖 3.2-5 地面水之主要離子分類..... 113
圖 3.2-6 林邊溪及力力溪沖積扇地下水歷年導電度..... 120
圖 3.2-7 隘寮溪沖積扇地下水歷年導電度..... 121
圖 3.2-8 荖濃溪沖積扇地下水歷年導電度..... 121
圖 3.2-9 荖濃溪及隘寮溪沖積扇觀測井垂向地下水導電度..... 122
圖 3.2-10 林邊溪及力力溪沖積扇觀測井垂向地下水導電度..... 123
圖 3.3-2 屏東地區地下水觀測站位置圖..... 128
圖 3.3-3 屏東平原隘寮溪隘口－瑪家－新園－海底峽谷之水文地質剖面（地調所,2004）..... 129
圖 3.3-4 彭厝站淺層試驗井(W1)井體構造圖..... 130

圖 3.3-5　彭厝站淺層抽水井(P1)井體構造圖..... 131
圖 4.1-1 主要補注區與重要保育區範圍評估流程圖 137
圖 4.1-3 地下水補注潛勢影響因子關係圖..... 141
圖 4.2-1 屏東平原土地利用計畫分類圖層..... 147
圖 4.2-2 表層土壤種類原始圖層..... 148
圖 4.2-3 屏東平原含水層一(F1)透水係數分布圖..... 150
圖 4.2-4 屏東平原河系圖..... 152
圖 4.2-5 屏東平原雨量站分布圖..... 154
圖 4.2-6 屏東平原平均年降雨量分布圖..... 155
圖 4.2-7 屏東平原地下水位站分布圖..... 156
圖 4.2-8 降雨與地下水位變化相關性分布圖..... 159
圖 4.2-9 單位蓄水量變化分布圖..... 163
圖 4.3-1 土地利用分數分布圖..... 167
圖 4.3-2 表層土壤種類分數分布圖..... 168
圖 4.3-3 降雨與地下水位變化相關性分數分布圖..... 169
圖 4.3-4 1998~2010 年平均年降雨量分數分布圖 170
圖 4.3-5 單位蓄水量變化分數分布圖..... 171
圖 4.3-6 透水係數分數分布圖 172
圖 4.3-7 河系密度分數分布圖..... 173
圖 4.4-1 高補注潛勢區與二維地電阻推測補注交界面圖..... 175
圖 4.4-2 補注潛勢、二維地電阻與水井溶氧量綜合分析圖 176
圖 4.4-3 屏東平原之主要補注區建議範圍 177
圖 4.5-1 非受壓含水層與零位線相對關係示意圖..... 180
圖 4.5-2 受壓含水層與零位線相對關係示意圖..... 180
圖 4.5-3 地下水可開發量分布圖..... 181
圖 4.6-1 地下水主要補注區整體分數分布圖 183
圖 4.6-2 地下水出水潛能分數分布圖 184
圖 4.6-3 地下水資源保育分數分布圖 185
圖 4.7-1 重要保育區分布圖..... 187
圖 5.1-1 地下水水位歷線法計算流程圖..... 189
圖 5.1-2 區域降雨歷線與地下水位歷線起伏變化示意圖..... 190
圖 5.1-3 表層水層之概念模型示意圖..... 190
圖 5.1-4 徐昇氏多邊形..... 191
圖 5.1-5 屏東地區之瑪家觀測井 1999~2001 年水位歷線和枯水期退水線..... 192
圖 5.1-6 降雨事件、補注量與流失量關係示意圖..... 194
圖 5.2-7 屏東平原分割網格圖..... 199
圖 5.2-8 屏東平原 88 年 1 月 1 日地下水位分佈等值圖..... 200
圖 5.2-9 淺層受壓含水層與非受壓含水層分佈圖..... 200

圖 5.2-10 淺層含水層之儲水係數給定分佈圖..... 201
圖 5.2-11 屏東平原民國 88 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖..... 201
圖 5.2-12 屏東平原民國 89 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖..... 202
圖 5.2-13 屏東平原民國 90 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖..... 202
圖 5.2-14 屏東平原民國 91 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖..... 203
圖 5.2-15 屏東平原民國 92 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖..... 203
圖 5.2-16 屏東平原乾旱時期地下水儲蓄量歷線圖..... 204
圖 5.2-17 各年降雨量與補注量分佈柱狀圖..... 204
圖 5.2-18 各年補注量、非颱風期間降雨量與颱風期間降雨量分佈柱狀圖(以 50,000,000 噸/天為門檻值區分)..... 205
圖 5.2-19 各年補注量、非颱風期間降雨量與颱風期間降雨量分佈柱狀圖(以 100,000,000 噸/天為門檻值區分)..... 205
圖 5.3-1 「地下水水位歷線法」電腦程式資料流程架構圖..... 209
圖 5.3-2 「修正型地下水水位歷線法」電腦程式資料流程架構圖..... 209
圖 5.3-3 地下水位歷線法程式計算流程..... 210
圖 5.4-1 淺層地下水觀測井分布與徐昇氏多邊形..... 211
圖 5.4-2 水位歷線及枯水期退水線圖(大樹(1))..... 214
圖 5.4-3 水位歷線、枯水期及一期稻作退水線圖(美濃(1))..... 215
圖 5.4-4 各站枯水期退水線斜率..... 230
圖 5.4-5 各站單位面積平均年補注量..... 231
圖 5.4-6 各站單位面積平均年抽水量..... 232
圖 5.4-7 徐昇氏多邊形水平淨交換量..... 233
圖 5.4-8 場次降雨量與補注量關係圖(1999~ 20010 年)..... 234
圖 5.4-9 年降雨量與年補注量關係圖(1999~ 20010 年)..... 234
圖 6.2-1 地下水數值模式建置流程示意圖..... 237
圖 6.3-1 屏東平原概念分層..... 238
圖 6.3-2 屏東平原地下水區邊界與格網劃分..... 239
圖 6.3-3 屏東平原邊界條件格網劃分..... 240
圖 6.3-4 屏東平原模式第 1 層徐昇式格網分區..... 242
圖 6.3-5 屏東平原模式第 3 層徐昇式格網分區..... 243
圖 6.3-6 屏東平原模式第 5 層徐昇式格網分區..... 244
圖 6.3-7 地下水參數檢定系統架構圖..... 246
圖 6.3-8 參數檢定流程..... 249
圖 6.3-9 第一分層觀測水位與模擬水位等值圖..... 251
圖 6.3-10 第三分層觀測水位與模擬水位等值圖..... 252
圖 6.3-11 第五分層觀測水位與模擬水位等值圖..... 253
圖 6.3-12 觀測水位與模擬水位關係圖..... 254
圖 6.4-1 第一分層抽水量分佈圖..... 256

圖 6.4-2 第三分層抽水量分佈圖..... 257
圖 6.4-3 第五分層抽水量分佈圖..... 258
圖 6.5-1 汙染物於地下水主要補注區注入後之移動情形..... 260
圖 6.5-2 汙染質注入主要補注區對含水層 1 影響範圍..... 262
圖 6.5-3 汙染質注入主要補注區對含水層 2 影響範圍..... 263
圖 6.5-4 汙染質注入主要補注區對含水層 3 影響範圍..... 264
圖 7.1 地下水補注潛勢評估作業平台架構圖..... 265
圖 7.2 地下水補注潛勢評估作業平台使用流程圖..... 269
圖 7.5-1 SuperGIS 開啟畫面 271
圖 7.5-2 地下水補注潛勢評估作業平台安裝程式..... 271
圖 7.5-3 地下水補注潛勢評估作業平台 設定資料庫路徑 272
圖 7.5-4 地下水補注潛勢評估作業平台 版權宣告及登入頁面 272
圖 7.5-5 地下水補注潛勢評估作業平台..... 273
圖 7.5-8 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-抽水量)..... 276
圖 7.5-9 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-水位)..... 276
圖 7.5-10 水位歷線法補注評估成果圖表(逐年資料-累計補注量)..... 277
圖 7.5-11 水位歷線法補注評估成果圖表(逐年資料-累計抽水量)..... 277
圖 7.5-12 水位歷線法補注評估成果圖表(逐年資料-平均水位)..... 278
圖 7.5-13 水位歷線法補注評估成果圖表(滑鼠雙擊圖表可複製圖表至剪貼簿)..... 278
圖 7.5-14 水位歷線法補注評估成果圖表(逐年區域總量圖表)..... 279
圖 7.5-15 水位歷線法補注評估成果圖表（圖表設定） 279
圖 7.5-16 案例設定功能 280
圖 7.5-17 水位歷線法補注評估（使用者自行建立） 281
圖 7.5-18 地下水補注潛勢評估---資料庫自動建立之畫面 281
圖 7.5-19 地下水補注潛勢評估成果 282
圖 7.5-20 地下水補注潛勢評估-使用者自行建立之畫面 283
圖 7.5-21 補注潛勢評估計算結果自動產生之彩色潛勢分數圖 284
圖 7.5-22 水文資料庫自動記錄程式系統開發畫面..... 285
圖 7.5-23 將網頁內容存進資料庫..... 285
圖 7.5-24 水文資料庫自動記錄程式主畫面..... 286
圖 7.5-25 水文資料庫自動記錄程式之測站列表，包括地下水位站井及雨量站..... 287
圖 7.5-26 水文資料庫自動記錄程式下載資料之畫面..... 288
圖 7.5-27 地下水位測站 Access 資料庫畫面..... 288

第一章 前言

1.1 計畫緣起及目的

(一) 計畫緣起

經濟部自民國 81 年起執行「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」，執行期程分三期，共十七年，於臺灣九個地下水區及恒春和澎湖地區進行水文地質調查研究及地下水觀測井建置工作，已完成建立臺灣地區水文地質基本資料、完善之地下水監測系統、開發水文地質資料庫。水文地質調查研究共完成 332 口(岩心總長度 67231 公尺)水文地質鑽探進行岩心分析研究；水文地質資料庫提供儲存和處理各項調查分析結果；研究成果除釐清臺灣地區地下水水文地質架構外，並已初步釐訂濁水溪沖積扇和屏東平原地下水區之地下水補注區，更進一步利用地下水位歷線和地下水層儲水係數，直接進行濁水溪沖積扇和屏東平原地下水抽水量、補注量、蓄水變化量和流失量之評估，認為地下水水位歷線分析法是具體可行的地下水收支分析途徑。

然而為提高地下水天然補注區範圍劃定及補注量評估之精確度，尚需補充建立更詳細之地下水層儲水係數、水文地質基本資料及長期地下水水質和水位觀測數據，再結合地下水水位歷線分析法程式化，進行地下水補注潛勢評估及建立地下水流數值模式；所得成果可供主管機關劃定地下水水源保護區之依據，希望能藉此對於保護區土地利用及水土污染防治提出適當的管制辦法，使地下水資源的管理開始朝向永續利用的目標前進。

(二) 計畫背景

本計畫係依據「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估計畫」（98 年至 101 年）實施進度規劃，進行濁水溪沖積扇及屏東平原地下水區之全區地下水補注潛勢評估與地下水模式建置，逐年建立不同地下水區主要補注區的完整面貌，分析其補注機制、補注潛勢評估、水平衡分析、地下水流模擬、地下水層水文地質參數測定及地下水位水質監測，以提供地下水補注區範圍確認，提高各地下水區水文地質圖製作及地下水資源評估之精度。本「地下水補注潛勢評估與地下水模式建置」調查分析研究工作擬達成下列目標：

(1) 建立地下水區全區之地下水補注潛勢評估作業程序。

(2) 完成濁水溪沖積扇地下水主要補注區劃分。

(3) 完成屏東平原地下水主要補注區劃分。
(4) 完成濁水溪沖積扇地下水補注量、抽水量及補注潛勢評估。
(5) 完成屏東平原地下水補注量、抽水量及補注潛勢評估。

(三) 整體構想

水資源的保育無疑的是國家重要建設一部分，因此保護地下水源是刻不容緩的工作，而研究水文地質及評估地下水資源，分析地下水補注機制與現地水力試驗與監測則為必要的工作。過去之研究經驗顯示，要明瞭各調查區內地下水資源，則必須先掌握地下水位的變化、水文地質參數、補注來源、水質地化背景、概念模型及地下水流模式；而「地下水補注潛勢評估與地下水模式建置」的研究成果對地下水補注區的劃定、補注量的評估、水平衡分析、水質性質與演化及水資源保育管理均有很大的幫助。因此，本計畫擬透過現地試驗及監測、地下水水位歷線分析法、地下水補注潛勢分析及地下水流模式模擬之研究，建立各調查區域之相關基礎數據，作為分析各地下水補注區水文地質的參考依據。

(四) 研究期程及區域

本計畫係依「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估」，規劃自 98 年度至 101 年度止，預計執行 4 年；完成濁水溪沖積扇、屏東平原地下水區之地下水補注區補注機制及地下水流模式的建立與分析工作。各年度工作規劃如下：98 及 99 年度進行濁水溪沖積扇地下水區地下水補注機制研究、地下水流模式建立及地下水補注區劃分；100 及 101 年度進行屏東平原地下水區地下水補注機制研究、地下水流模式建立及地下水補注區劃分。

1.2 計畫區域概述

本計畫規劃自 98 年度至 101 年度止，預計執行 4 年；完成濁水溪沖積扇、屏東平原地下水區之地下水補注區補注機制及地下水流模式的建立與分析工作。預計 98 及 99 年度進行濁水溪沖積扇地下水區地下水補注機制研究、地下水流模式建立及地下水補注區劃分；100 及 101 年度進行屏東平原地下水區地下水補注機制研究、地下水流模式建立及地下水補注區劃分。由於以往十幾年來「台灣地區地下水觀測站網建置整體計畫」的執行，已有相當豐富的研究與成果，以下將對本年度(100 年度)研究區域，屏東平原地下水及水文地質進行摘要描述。

(一) 區域範圍

屏東平原位於臺灣之西南端，北與阿里山山脈的南端相隔，西接嶺口丘陵地，南接臺灣海峽，東以潮州斷層與中央山脈南端大武山山脈相隔，海拔 100 公尺以下之平原地帶面積約 1,130 平方公里。本區域南北長約 50 公里，東西寬約 20 公里，地勢由東北向西南緩斜，內有高屏溪、東港溪及林邊溪流域等主要河川貫穿本區，注入臺灣海峽。

(二) 水文地質架構

屏東平原深約 220 公尺內之水文地質分層，由上而下可劃分含水層一、阻水層一、含水層二、阻水層二、含水層三之 1、阻水層三及含水層三之 2 等七層。含水層極為發達，厚度大且延展遍佈全區；阻水層則間夾於含水層中，厚度遠小於含水層並且僅分布於平原南段，因此含水層只於南側有顯著之分隔，而北及東側則合而為一。依屏東平原之地質鑽探成果及前省水利局美濃和大響觀測井資料，繪製九條水文地質剖面，茲以其中一條剖面如圖 1.2-1 所示，而阻水層分布區示意如圖 1.2-2 所示。

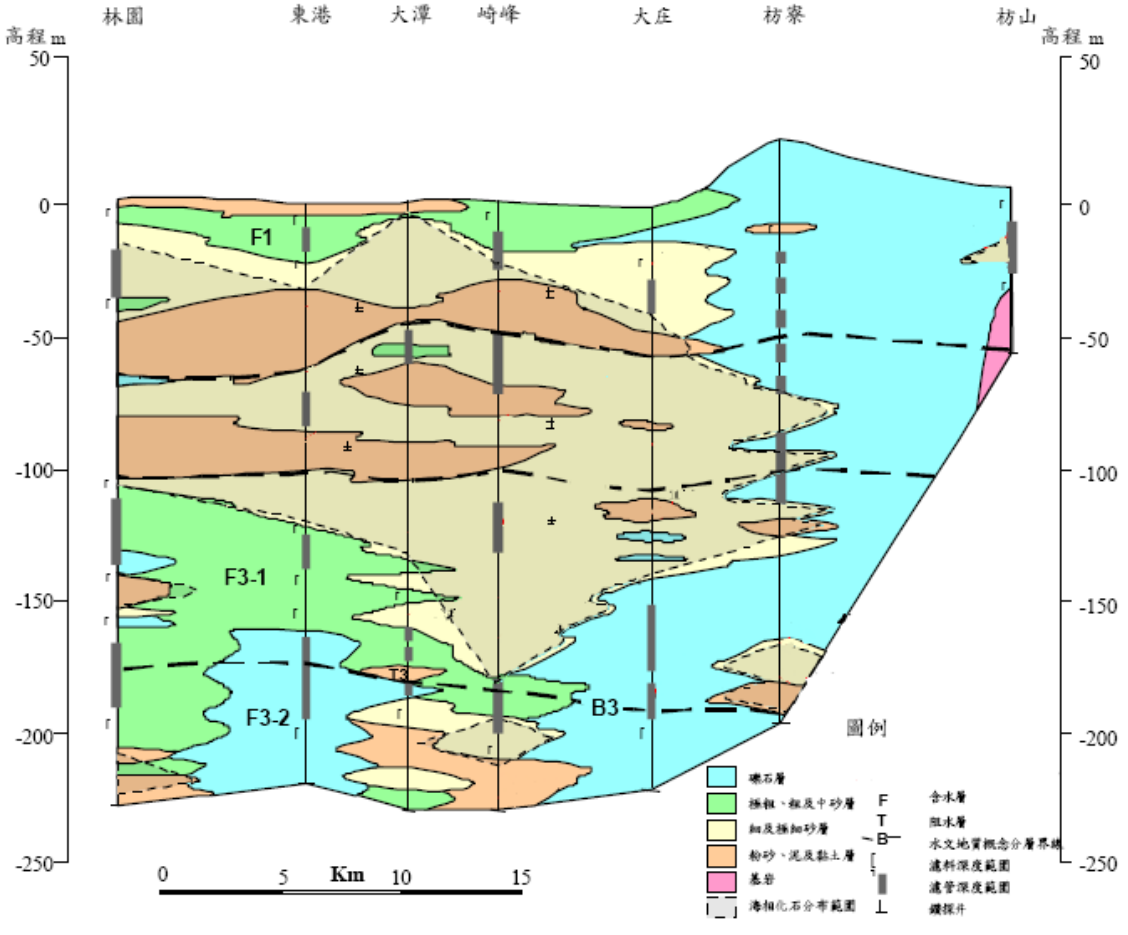


圖 1.2-1 屏東平原水文地質剖面



圖 1.2-2 阻水層分布區示意圖

(三) 地下水觀測

屏東平原屬於「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」的辦理期程之第一階段（81 年度至 87 年度），因該沿海地區地層下陷較為嚴重，因此優先規劃實施。目前已建置地下水觀測站 53 站(132 口)，抽水試驗站 9 站(23 口)，水文地質調查站 52 站。圖 4.1-9 為屏東平原地下水觀測網分布圖。

(四) 水文地質參數

屏東平原大致可區分為扇頂、扇央及扇尾區，扇頂區約位於吉洋、里港、彭厝、建興、赤山、萬隆、德興聯線以東，可稱為聯合沖積扇扇頂，大約是以礫石層頂部之深度為 50 公尺之等厚度線為界線；扇央區位於扇頂層區以西，至九曲、萬丹、崁頂、大庄聯線以東；扇尾區位於扇央區以西至沿海。扇央及扇尾為區域受壓含水層。各層的透水係數 K 除了少數在10^{-5}公尺/秒以外，其餘皆介於10^{-3}~10^{-4}公尺/秒之間，傳導率 T 介於$3*10^{-5}$~$15.1\,m^2/\min$之間，比容量 Q/s 介於 0.004-654.5 cmh/m。含水層特性參數的算數平均值為扇頂大於扇央大於扇尾區，各含水層以含水層一最佳，含水層水力特性以扇頂最佳，扇央次之，扇尾最差。

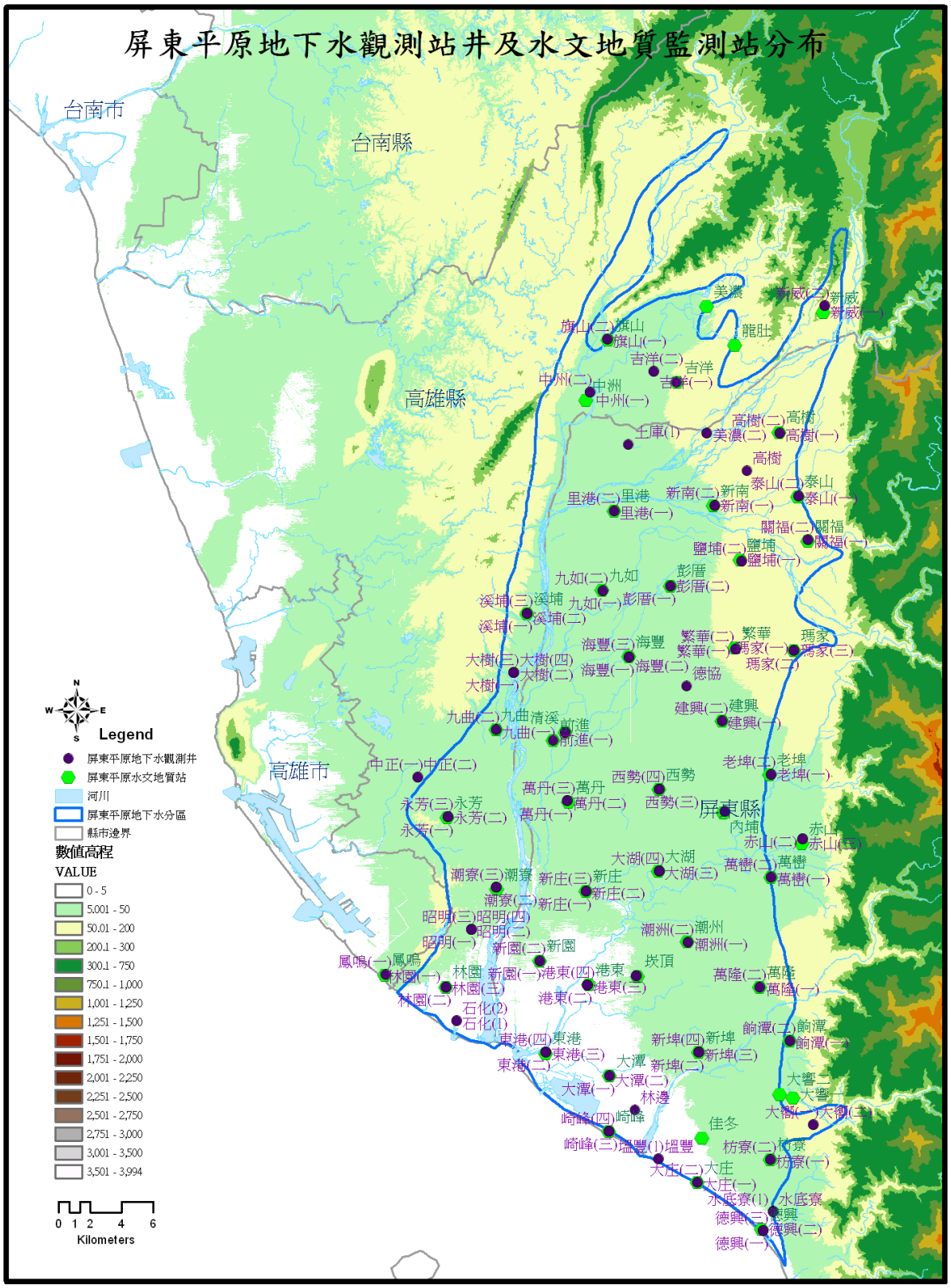


圖 1.2-3 屏東平原地下水觀測網站井分布圖

1.3 計畫工作項目及內容

(一) 100(本)年度工作內容概述：

1. 資料收集及檢核

蒐集屏東平原水文地質調查、地質鑽探、地下水水位、地下水水質、土地利用、雨量、地表地形及河川水系等資料，並對屏東平原地下水位觀測資料進行全面性的校正與補遺，作為建議研究區域重要地下水補注區，及建置地下水流數值模式之參考。

2. 現地補充調查試驗

本項工作以地下水觀測井網現有井作為觀測井，選擇鄰近適當井位，以上部地下水層(F1)為主，鑽鑿抽水井，埋設 8 吋 PVC 管後進行複井抽水試驗，以求取儲水係數；水質調查進行地下水採樣－扇頂 12 站共 26 口井，12 處地面水（每個沖積扇各 3 點、4 個沖積扇共 12 點），共 38 個水樣，旱雨季各一次；地電阻調查方面，利用工研院於 84 年在屏東區域的一維半施蘭卜吉地電阻法探勘結果所得之視電阻率資料，初步分析判定屏東區之補注區邊界。並分區施作四子區域之地電阻平移式測線，總長度共計超過 3 公里。

3. 屏東平原地下水補注潛勢評估

本年度以屏東平原為研究區域，參考相關文獻的作法，配合屏東平原水文地質特性，以土地利用、表層土壤種類、河系密度、透水係數、平均年降雨量、降雨與地下水位變化相關性、單位蓄水量變化等七個因子，完成屏東平原補注潛勢評估。

4. 屏東平原地下水主要補注區初步劃設

本項工作整合前述之屏東平原地下水補注潛勢評估之結果、二維地電阻現地量測及水質補充調查結果，建議出屏東平原地下水主要補注區範圍。

5. 屏東平原補注量及抽水量推估

本項工作為應用修正型地下水水位歷線法，配合民國 100 年屏東平原現地補充試驗調查所得資料，推估屏東平原地下水區補注量及抽水量。

6. 屏東平原穩態地下水數值模式建置與檢定

本年度為屏東平原地下水數值模式建置之第一年，本計畫採用美國地質調

查局(U.S.G.S)發展的 MODFLOW 程式，依屏東平原長期地下水位觀測資料、水文地質架構、水文地質參數及邊界條件等，配合本研究發展之專家系統參數檢定模式，進行穩態模擬模式的建置與檢定。

7. 地下水補注潛勢評估作業平台更新

本項工作將以前兩年度發展之平台為基礎，進行功能新增及更新屏東平原地下水潛勢評估及水位歷線法相關分析所需之資料。

下圖 1.3-1 為前述工作項目之關係架構圖，其中「水文地質架構」為中央地質調查所於屏東平原之調查成果，本計畫於此基礎上推動後續工作之進行，包括「地下水補注潛勢評估」、「現地補充調查試驗」、「數值模式建置」、「補注量及抽水量推估」及「主要補注區之初步劃設」。圖中所描述之各個方塊代表各工作項目，各項目連線尾端之箭頭代表工作項目間之執行先後順序關係，圖中紅色方塊為前述主要工作項目 2 至工作項目 6。由圖可知，在執行「主要補注區初步劃設」前需先進行「地下水補注潛試評估」及「現地補充調查試驗」兩項工作項目，之後才得以利用此兩項目之成果初步劃分出主要補注區；而前述「現地補充調查試驗」工作項目則包含「水質檢測」、「二維地電阻調查」及「複井抽水試驗」三種現地調查試驗項目，其中二維地電阻在施測前，除參考地質調查所之水文地質架構資訊外，亦需參考「地下水補注潛試評估」之分析成果，以規劃出合適之施測地點。本研究提出「地下水保育區」觀點，以另一個面向思考該保護之地下水區除了表層主要補注區域外，應進一步考量含水層內部之水文地質特性，如地下水出水潛能，因此本研究以「主要補注區初步劃設」及「地下水出水潛能」之分析成果，執行「地下水保育區之初步劃設」。在執行「補注量及抽水量推估」時，本研究以「水位歷線法」推估補注量及淺層抽水量，再以「數值模式建置」建立地下水數值模式並推估深層含水層之各層抽水量及後續之水平衡分析，之後再綜合分析兩方法之推估成果。此外本研究利用「數值模式建置」及「主要補注區初步劃設」之分析成果，執行「地下水資源影響評估」，分析當污染物進入主要補注區後對屏東平原地下水資源利用之影響。

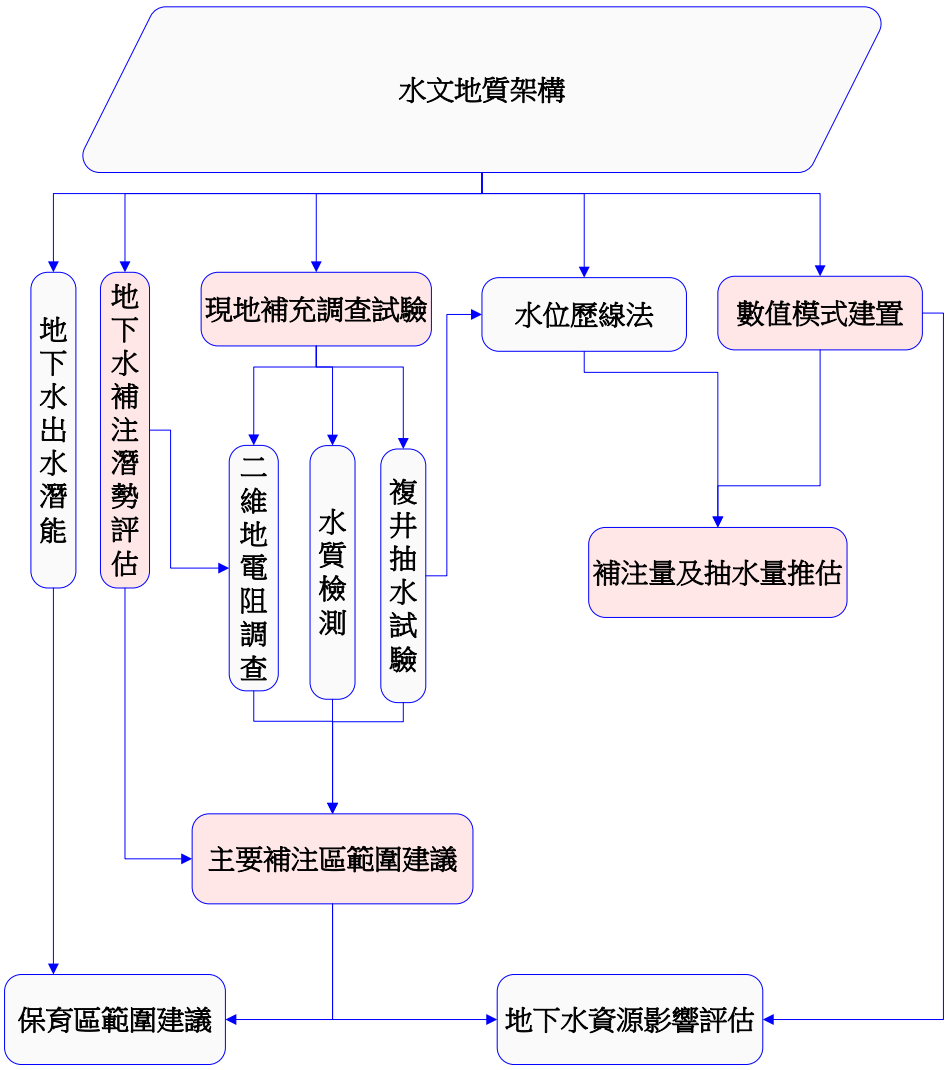


圖 1.3-1 工作項目關係架構圖

(二) 預期成果及交付項目

1. 100(本)年度預期成果

(1). 完成屏東平原地下水區氣象、水文、水資源及水文地質相關資料之蒐集等。
(2). 初估屏東平原地下水區補注量及抽水量。
(3). 初步劃分屏東平原地下水主要補注區。
(4). 完成屏東平原地下水區地下水流穩態數值模式建置與檢定。
(5). 完成地下水補注潛勢評估作業平台屏東平原資料更新。
(6). 完成現地補充調查試驗及分析補注區的水質地化背景。
(7). 完成彭厝站之複井抽水試驗 。完成扇頂區 12 站共 26 口井，12 處地面

水（每個沖積扇各 3 點、4 個沖積扇共 12 點），共 38 個水樣之水質調查。完成屏東平原四子區域之地電阻平移式測線施作，與屏東平原補注區邊界之判定。

2. 工作完成交付項目

(1). 計畫成果報告書 30 本及光碟 30 份。(報告書以 Office Word 格式儲存，圖檔以 jpg 或一般繪圖與影像處理軟體可讀取之儲存格式)。
(2). 地下水補注潛勢評估作業平台屏東平原資料更新。
(3). 現地補充調查資料光碟 30 份。
(4). 以水文地質資料為底圖、列出比例尺劃出屏東平原地下水主要補注區圖。

第二章 資料收集及彙整

本章節將介紹本年度計畫之資料收集及彙整部分，其中包括：2.1 節之前期相關研究；2.2 節之相關資料蒐集，此節將介紹本計畫所蒐集之資料概況及其來源；2.3 節之地下水位資料品管及檢核，將介紹本計畫針對地下水位觀測資料缺漏的補遺方法，以及異常水位的處理方式；2.4 節之國內外地下水水資源保護現況，將介紹國外保護地下水補注區之作法，以為國內目前劃定與保護地下水補注區之參考。

2.1 前期相關研究

本計畫的主要課題乃是地下水補注，而地下水補注的研究又可分為兩個層次，一個乃是半定量的補注潛勢評估，另一個乃是定量的補注量推估，補注潛勢可用以描述一個地區客觀上是否容易補注，然而實際上仍需有如降雨等補注來源才能產生地下水補注，因此補注潛勢並不直接等同於補注量。在潛勢評估方面，最具代表性乃是以 DRASTIC 為代表的一系列以因子權重分析為基礎的研究，至於補注量的推估方法則不一而足，亦將在本章描述之。

(一) DRASTIC

DRASTIC 地下水污染潛勢評估系統是美國水井協會配合美國環保署於 1985 年所提出，原本乃用以評估地區之污染潛勢，計算區域受到污染的可能性大小，高污染潛勢代表該區域客觀上較易受到污染。原 DRASTIC 模式中，乃考慮七項水文地質參數，以評估一地區受污染潛勢之相對大小。由於此七項水文地質參數均可以圖層方式表示，故可結合地理資訊系統(GIS)，將一地區之污染潛勢以圖形顯示。DRASTIC 模式除對一般性污染物提出考慮水文地質參數之權重外，尚針對農業行為提出農業權重。經由 DRASTIC 模式所得之指標值本身並無不是污染發生機會之絕對值，其只在顯示污染潛勢(發生機會)之相對大小。

1. DRASTIC 之水文地質參數及其評分

上述提到水文地質參數有七項，即為 DRASTIC 名稱命名之由來：地下水位深度(Depth to water, D)、淨補注量(Net recharge, R)、含水層介質(Aquifer media, A)、土壤介質(Soil media, S)、地形坡度(Topography, T)、未飽和層影響(Impact of vadose zone, I)與含水層水力傳導特性(Conductivity of the aquifer, C)。此七項水文地質參數皆可用地圖形式來表現。DRASTIC 系統將考慮之七個水文地質參數分別轉換成 0~10 分之分數等級。分別說明如

下:

(1). D (地下水位深度)

在受壓含水層中，D 值為地面至含水層頂部之深度；在非受壓含水層，D 表示地面至地下水位之深度(圖 2.1-1)。一般而言，D 值愈小，則地下水受污染之可能性愈高，其所對應的分數也較高。可從表 2.1-1 得知在實際應用上，D 值範圍及其對應之分數等級。

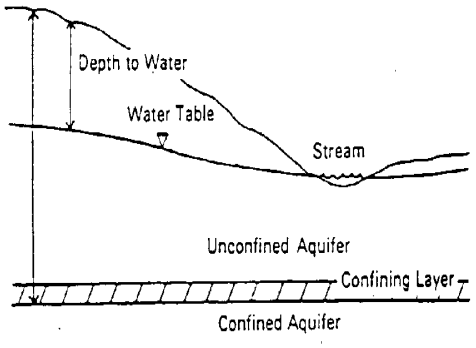


圖 2.1-1 在受壓含水層及非受壓含水層之地下水位深度

(2). R (淨補注量)

污染物質進入地層後，主要係受水之攜帶而移動，故來自地表之補注水量提供了污染物於含水層中傳輸及擴散之能力。其關係可用表 4.1-2 表示。

表 2.1-1 D 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Ratin)
呎	公尺	
0~5	0~1.5	10
5~15	1.5~4.5	9
15~30	4.5~9.0	7
30~50	9.0~15	5
50~75	15~22.5	3
75~100	22.5~30	2
100+	30+	1

表 2.1-2 R 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~2	0~0.6	1
2~4	0.6~1.2	3
4~7	1.2~2.1	6
7~10	2.1~3.0	8
10+	3.0+	9

(3). A (含水層介質)

含水層介質之性質決定地下水於其間的流動能力，更影響到污染物

之傳輸及擴散。大體而言，介質之顆粒愈大或裂縫孔隙愈多，則其滲透性佳且遲滯力愈差，污染可能性就愈高。所對應的分數也相對地高。表 2.1-3 表示主要介質種類及其分數等級。

表 2.1-3 A 值之範圍及分數等級

範　　圍 (Range)	分數等級 (Rating)	典型分數等級 (typical Rating)
塊狀頁岩(Massive shale)	1-3	2
變質/火成岩(Metamorphic/igneous)	2-5	3
風化之變質/火成岩 (Weathered metamorphic/igneous)	3-5	4
薄層砂岩、石灰岩、頁岩層 (Thin bedded sandstone,limestone,shale sequeuces)	5-9	6
塊狀砂岩(Massive sandstone)	4-9	6
塊狀石灰岩(Massive limestone)	4-9	6
砂及礫石(Sand and gravel)	6-9	8
玄武岩(Basalt)	2-10	9
喀斯特石灰岩(Karst limestone)	9-10	10

(4). S (土壤介質)

S 主要指未飽和層最上部生物作用明顯之部份。在 DRASTIC 系統中，一般可指地表 3 呎(約 1 公尺)以內之表土風化層。S 值對污染潛勢之影響主要決定於粘土種類，膨脹/收縮能力，土壤顆粒大小，以及有機質含量，應用上可利用表 2.1-4，來決定其所對應的分數。

表 2.1-4 S 值之範圍及分數等級

範　圍 (Range)	分數等級 (Rating)
薄或無(Thin or Absent)	10
砂礫(Gravel)	10
砂(Sand)	9
收縮及結塊粘土 (Shrinking and/or Aggregated clay)	7

砂質壤土(Sandy loam)	6
壤土(Loam)	5
坋質壤土(Silty loam)	4
粘質壤土(Clay loam)	3
非收縮及非結塊粘土 (Nonshrinking and nonaggregated clay)	1

(5). T (地形坡度)

地表坡度表污染物將很快為地表逕流所帶走，或能有足夠停留時間以入滲至土層中。入滲機會大，則坡度所導致之污染可能性就高。應用上可利用表 2.1-5，來決定其所對應的分數。

表 2.1-5 T 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)
0~2	10
2~6	9
6~12	5
12~18	3
18+	1

(6). I (未飽和層影響)

此處之未飽和層於受壓含水層，其影響包括未飽和層及覆於該含水層以上之飽和層；於非受壓含水層指地下水位以上之未飽和層。生物分解、中和、過濾、化學反應、揮發及延散作用等均是於未飽和層中可能發生之過程。此外，此層並影響到污染物傳輸之時間及量。實際應用可利用表 2.1-6。

表 2.1-6 I 值之範圍及分數等級

範　圍 (Range)	分數等級 (Rating)	典型分數等級 (Typical Rating)
坋/粘土(Silt/Clay)	1-2	1
頁岩(Shale)	2-5	3
石灰岩(Limestone)	2-7	6
砂岩(Sandstone)	4-8	6

層狀石灰岩、砂岩、頁岩 (Bedded limestone, sandstone, shale)	4-8	6
含坋土及黏土之砂與礫石 (Sand and gravel with significant silt and clay)	4-8	6
變質岩/火成岩(Metamorphic/igneous)	2-8	4
砂及礫石(Sand and gravel)	6-9	8
玄武岩(Basalt)	2-10	9
喀斯特石灰岩(Karst limestone)	8-10	10

(7). C (含水層水力傳導特性)

透水係數愈大，污染物愈易自污染源被移走，則地下水受污染之潛能愈大，應用上可利用表 2.1-7。

表 2.1-7 C 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
Gpd/ ft^2	Cmd/m2	
1-100	<4	1
100-300	4-12	2
300-700	12-28	4
700-1000	28-40	6
1000-2000	40-80	8
2000+	80+	10

DRASTIC 系統中除對一般性污染物提出所考慮水文地質參數之一般性權重外，另外農業耕作之施肥及農藥施放方式著重於表土層，對地下水所可造成污染之途徑較明確，故針對農業行為提出農業權重(表 2.1-8)。

表 2.1-8 常用水文地質參數之權重表

水 文 地 質 參 數	一般權重	農業權重
D (Depth to water table)	5	5
R (Net recharge)	4	4
A (Aquifer media)	3	3
S (Soil media)	2	5
T (Topography)	1	3
I (Impact of vadose zone)	5	4
C (Hydraulic Conductivity of the aquifer)	3	2

2. DRASTIC 污染評估指標之決定

決定上述七個水文地質參數之分數值(Rating)及權重值(weighting)後，其相應之乘積和即為 DRASTIC 污染評估指標值，如下式所示：

$$DRASTIC = D_w D_r + R_w R_r + A_w A_r + S_w S_r + T_w T_r + I_w I_r + C_w C_r \quad \text{.....(式 2.1-1)}$$

下標 r 代表分數值(Rating)

下標 w 代表權重值(weighting)

前述指標值僅提供地下水污染潛勢間「相對」程度之大小關係，其絕對數值並無意義。

張良正(1999a)曾採用 DRASTIC 模式進行濁水溪沖積扇與屏東平原之地下水污染潛勢評估，該模式同時考量七項水文地質參數，以評估該地區受污染潛勢之大小。由於 DRASTIC 評估系統中所考慮之水文地質參數有七項，因此將這兩個地區以 2 公里 × 2 公里的格網進行空間切割，並針對這七項參數來給定各格網資料，再參考與修正 DRASTIC 評估系統中所對應之每個參數的權重，經加總後即可得到濁水溪沖積扇及屏東平原每個格網的總分，此分數即代表各網格之污染潛勢，表 2.1-9 至 4.1-15 表為該計畫針對國內資料，重新歸納定義之各參數評分表，各參數之對影響權重則採用表 2.1-8，其中對於一般類評估與農業方面評估有不同之權重數值。各網格之污染潛勢計算如式 2.1-1 所示；之後再利用 MAPINFO 顯示出在這兩個地區的水文地質狀況下，所造成之 DRASTIC 污染潛勢評估指標分佈圖。

表 2.1-9 濁水溪沖積扇及屏東平原地區地下水位深度評分表

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~5	0~1.5	10
5~15	1.5~4.5	9
15~30	4.5~9.0	7
30~50	9.0~15	5
50~75	15~22.5	3
75~100	22.5~30	2
00+	30+	1

表 2.1-10 濁水溪沖積扇及屏東平原地區淨補注量值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~2	0~0.6	1
2~4	0.6~1.2	3
4~7	1.2~2.1	6
7~10	2.1~3.0	8
10+	3.0+	9

表 2.1-11 濁水溪沖積扇及屏東平原地區地形坡度之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)
0~2	10
2~6	9
6~12	5
12~18	3
18+	1

表 2.1-12 濁水溪沖積扇及屏東平原地區含水層介質評分表

含 水 層 介 質	分 數
礫石層	10
極粗、粗、及中砂層	8
細及極細砂層	5
粉砂、泥及黏土層	2

表 2.1-13 濁水溪沖積扇及屏東平原地區土壤介質評分表

土 壤 介 質	分 數
石礫	10
粗砂土、砂土	9
細砂土、壤質粗砂土、壤質砂土	8
壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細砂質壤土	7
極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土	6
壤土	5
坋土、坋質壤土	4
砂質粘壤土	4
粘質壤土、坋質粘壤土	3
坋質粘土	2
粘土	1

表 2.1-14 濁水溪沖積扇及屏東平原地區未飽和層影響評分表

未飽和層介質	分數
礫石層	10
極粗、粗、及中砂層	7
細及極細砂層	4
粉砂、泥及黏土層	1

表 2.1-15 濁水溪沖積扇及屏東平原地區含水層水力傳導特性評分表

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
Gpd/ ft2	Cmd/m2	
1-100	<4	1
100-300	4-12	2
300-700	12-28	4
700-1000	28-40	6
1000-2000	40-80	8
2000+	80+	10

(二) 地下水補注潛勢評估

前述 DRASTIC 雖然原本用以評估地下水之污染潛勢，惟其邏輯分明、架構清楚，可配合地理質訊系統有效率的進行大區域的分析，另外由於基本物理機制的相似，DRASTIC 的分析理念後續被大量應用於補注潛勢評估上，並且被進一步的改善與擴充。

延續 DRASTIC 的精神，Mukherjee (1996)對地下水補注潛勢評估，考量的影響因子包含地形、岩石種類、地質結構、風化程度、裂隙寬度、原生與次生孔隙率、坡度、河系、土地利用、地表覆蓋以及氣候條件等。Jasrotia et al.(2007) 利用遙感探測技術(Remote Sensing)與地理資訊系統(Geographic information system , GIS)等技術，建構一平台做為地下水人工補注潛勢區域(Potential zone for artificial recharge)劃分之用。其劃分依據乃參考兩大類資料進行分析，第一類地表地質相關資料，大部分皆為衛星影像資料處理後得到，包含(1)岩性(Lithology)圖層、(2)地形(Geomorphology)圖層、(3)土地利用/土地覆蓋圖層(Land use/land cover)、(4)水文土壤質地(Hydrologic soil texture)圖層、(5)坡度(Slope)；第二類為含水層參數，其來源為現地資料(如抽水試驗)，包含(6)季風前後之地下水位深度(Depth to water table)、(7)導水係數(Transmissivity)、(8)透水係數(Permeability)、(9)儲水係數(Storativity)、(10)井之比容量(Specific capacity, Q/S)及(11)入滲能力。Jasrotia et al. (2007)再將此兩大類資料藉由地理資訊系統(GIS)之空間分析與整合後產出地下水人工補注潛勢區圖層，配合河系網絡(Drainage network)圖層進行套疊，以此作為執行補注地下水之依據，並用以驗證此圖層之正確性。最後 Jasrotia 等人近一步將此地下水人工補注潛勢圖層之結果配合地形資料找出最適合補注的場址，並建立一最後圖層作為最終成果之展現。Mondal et al. (2004)提出適用於岩石地形的地下水補注潛勢推估方法，

其以降雨與地下水位深度關係得到一相關係數，並考量時間滯延的效應(一個月到四個月的時間滯延)，相關係數越大者代表補注潛勢能力越佳，最後再以此地下水補注潛勢推估方法與一已完成地下水補注區劃分之區域進行比較，發現高補注區者其相關係數大於 0.6，中等補注區者其相關係數介於 0.5 到 0.6 之間，低補注區者其相關係數介於 0.4 到 0.5 之間，而補注貧乏的區域其值小於 0.4。Braun et al. (2003)歸納出降雨(Precipitation)、溫度(Temperature)、土壤種類(Soils)、與土地覆蓋(Land cover)等四項影響地下水補注的顯著因子，再利用地理資訊系統(GIS)將上述顯著因子之圖層進行空間分析再產生三張圖層，分別為滲透(Percolation)、地表逕流(Surface runoff)與根域(Root zone)三張圖層，各圖層個別依影響地下水補注潛勢的能力分為一到十分，最後產出的地下水補注潛勢圖乃由此三張圖層的分數加總即可得到，再依此判斷與劃定研究區域之地下水補注潛勢區域。

Shaban et al. (2006)以岩性(Lithology)、河系(Drainage)、線型構造(Lineaments)、土地利用/覆蓋(Land use/Land cover)、岩溶區域(Karstic domains)等五項影響地下水補注潛勢之重要顯著因子評估黎巴嫩沿海喀斯特地形山區之地下水補注潛勢及全區之補注量。Shaban et al. (2006)依照此五個影響因子間的主要影響關係與次要影響關係訂定因子間之權重比例。根據圖 2.1-2 地下水補注潛勢相互影響因子概念圖給予判定，如各項因子間存在主要影響關係(實線部份)，則給予 1.0 分之權重值；如各項因子間存在次要影響關係(虛線部份)，則給予 0.5 分之權重值。之後再將各因子進行分級，各分級皆有其權重分數(Weight)，最高為 10 分，最低為 1 分，如表 2.1-16 所示。接著再把之前各因子所代表的權重比例(Rate)與因子內部之分級所代表權重(Weight)乘積即可得到該因子內部分級對地下水補注潛勢之影響能力，如表 2.1-17 所示。

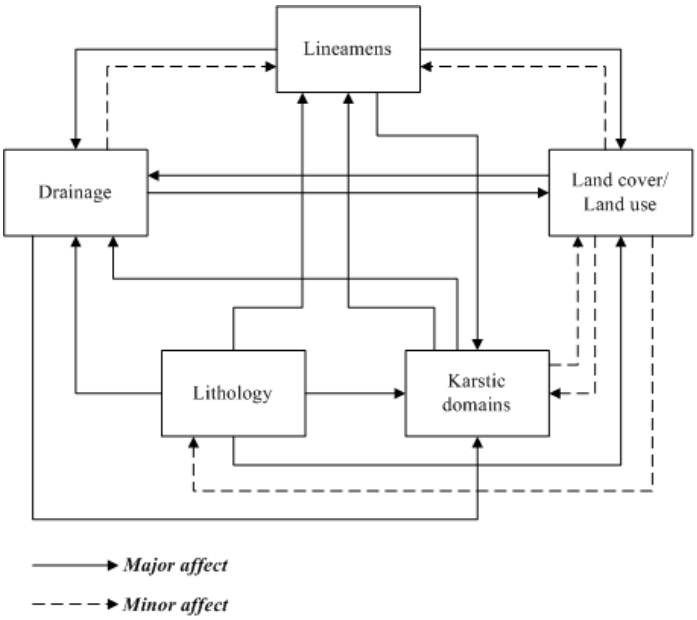


圖 2.1-2 地下水補注潛勢相互影響因子概念圖

表 2.1-16 地下水補注潛勢影響因子之權重表(Shaban et al.,2006)

Factor	Descriptive level	Proposed weight of effect	Domain of effect
Lineaments	Very high	10	>40 (lineament per 25 km^2)
	High	8	35–40
	High–moderate	6.5	30–35
	Moderate	5	25–30
	Non indicative	5	<25
Drainage	High	8	>75 (segment per 25 km^2)
	High–moderate	6.5	75–60
	Moderate	5	60–40
	Moderate–low	3.5	40–30
	Low	2	<30
Lithology	Very high	10	40–50%
	High	8	28–35%
	Moderate	5	10–20%
	Low	2	5–10%
	Very low	1	<5%
Karst	Very high	10	Distinct with lapiez
	High	8	Distinct with sinkholes
	High–moderate	6.5	Developed karst
	Moderate	5	Apparent karst
	Non indicative	5	No karst
Land cover/land use	High–moderate	6.5	Dense vegetation, rural and excavated land
	Moderate	5	Sparse vegetation
	Moderate–low	3.5	Scattered settlements, thin soil cover
	Low	2	Moderately thick soil
	Very low	1	Dense human settlements, compacted soil

表 2.1-17 地下水補注潛勢因子影響能力評估(Shaban et al.,2006)

Factor	Descriptive scale	Weight (a) (1–10)	Rate (b) (1–4)	Weighted rating (a×b)	Total
Lineaments	Very high	10	3	30	104
	High	8		24	
	High–moderate	6.5		20	
	Moderate	5		15	
	Non indicative	5		15	
Drainage	High	8	2.5	20	63
	High–moderate	6.5		16	
	Moderate	5		13	
	Moderate–low	3.5		9	
	Low	2		5	
Lithology	Very high	10	4	40	104
	High	8		32	
	Moderate	5		20	
	Low	2		8	
	Very low	1		4	
Karstic domains	Very high	10	2.5	25	87
	High	8		20	
	High–moderate	6.5		16	
	Moderate	5		13	
	Non indicative	5		13	
Land cover/Land use	High–moderate	6.5	2.5	16	46
	Moderate	5		13	
	Moderate–low	3.5		9	
	Low	2		5	
	Very low	1		3	

Yeh et al. (2009)歸納出岩性(Lithology)、土地利用/覆蓋(Land use/land cover)、線型構造(Lineaments)、河系(Drainage)以及坡度(Slope)等五項影響一完整流域上中下游地下水補注潛勢之重要顯著因子，其因子權重之決定方式與Shaban et al. (2006)近似。另外，Yeh et al. (2008)應用 GIS 軟體將所蒐集的水文及地文資料數位化建立基本資料庫，並針對不同影響因子訂定適當影響分數，最後再利用空間分析功能劃分出研究地區之地下水潛勢補注區。

國內研究方面，江崇榮等人(2005)利用氚、溶氧及硝酸態氮做為地下水之示踪劑，利用三者於水層中之濃度變化進而推估出地下水補注區之分布，其初步研究指出濁水溪沖積扇之主要補注來源，以扇頂為中心，包括八卦台地及斗六丘陵之局部，總面積約 285 平方公里，佔全地下水區面積之 13.7% 。

林俊男(2000)考量八個地下水補注潛勢因子，以鄉鎮為單位推估濁水溪沖積扇內各鄉鎮之地下水補注潛勢，其中八個因子包括(1)增加一公尺水頭之補注率(2)地表入滲潛力(3)定水頭邊界流失率(4)土地利用地表透水率(5)平均年降雨量(6)稻作灌溉計畫水量(7)農業用地百分比(8)降雨日數。

張良正(1999b)對屏東平原之地下水補注進行評估與分級，以飽和入滲率與

地下水位敏感度之乘積推估地下水補注潛勢並以此結果做為屏東平原區域地下水補注分級之依據。其中飽和入滲率為利用土壤的空間分佈與土壤屬性資料(土壤分類)求得，將屏東地區各網格之地表土壤飽和入滲率分為三級(如圖 2.1-3 所示)。圖中分別以紅、淡藍、綠代表高、中、低三類土壤飽和入滲分級。進一步藉由MODFLOW模式計算屏東地區地下水位對於地表入滲之敏感度，並依此敏感度分析結果配合前述地表土壤飽和入滲率評估區域補注潛勢與分級。其評估方式為將地下水位敏感度之正規化值與前述地表入滲率之分級界限值之乘積，該研究分級的原則如下:

1. 若土壤為低入滲率區，則對系統整體之影響為低。
2. 若土壤為高入滲率區，且其敏感度之正規化值為 0.5 以上，則其對系統之影響視為高。

張良正(1999b)根據上述分級標準將屏東平原之區域補注分為高、中、低三級，依序以紅、淡藍、綠表示之，如圖 2.1.4 所示。

本研究將參考上述文獻評估地下水補注潛勢之方法，進行研究區域之地下水補注潛勢評估；在補注潛勢因子之細部評分上，將參考 DRASTIC 之評分方法，對於補注潛勢因子間對於地下水補注潛勢之影響權重，則參考 Shaban et al.(2006)提出之方法，而在空間分析上則應用 GIS 之空間分析功能，綜合前述地下水補注潛勢影響因子之評分標準，估算研究區域之地下水補注潛勢。

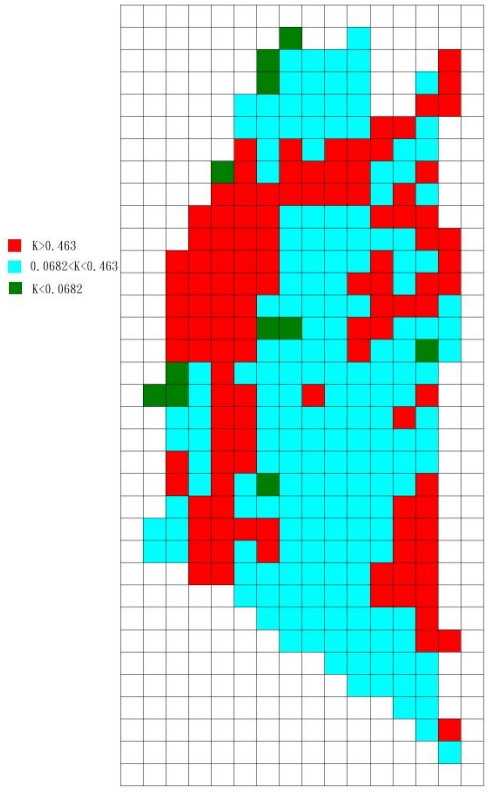


圖 2.1-3 屏東平原入滲潛勢分級區域圖

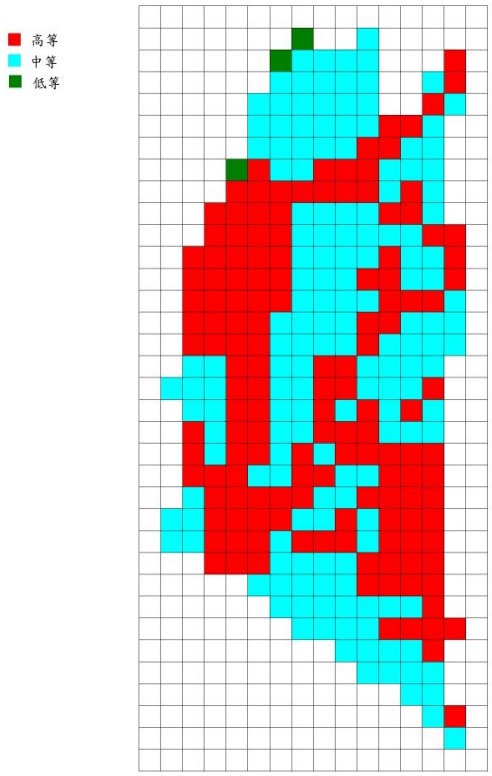


圖 2.1-4 屏東平原區域補注分級區域圖

(三) 地下水相關補注區、保護區或管制區劃定

前述地下水補注潛勢之推估，可為進一步地下水補注區、保護區或是管制區劃定的根據。經濟部主辦之「台灣地區地下水觀測網整體計畫」中，於第一期計畫之濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告(1999)及屏東平原水文地質調查研究總報告(2002)中，皆以水文地質剖面分析的方式劃分地下水補注區，該補注區之劃分乃依水文地質構造劃分，而江崇榮、陳瑞娥、賴慈華與黃智昭(2005) 利用濁水溪沖積扇地下水區水文地質架構、地下水流系統特徵以及阻水層、地下水氚、溶氧和硝酸態氮濃度分布資料，可劃分出在扇頂附近之上部和中部地下水層之共同補注區，面積約 285 平方公里，如圖 2.1-3 所示。但以上研究皆未考量行政區域管理因素，江崇榮與陳瑞娥(2004)建議當正式劃定保護區時，應由主管機關再確認其實際及可行之範圍，必要時可進行水文地質補充調查，以提高保護區界線之精確度。另外，可參考經濟部水利署於民國 97 年 8 月 6 日公佈的「地下水管制區劃定作業規範」，該規範加入行政區域之考量，其劃定步驟可歸納為下列五大步驟：

1. 劃定檢討線：

以水利署最新版臺灣地下水資源圖之地下水區為基準，輔以中央地

質調查所最新地質圖之主要含水層分布區域及最新版臺灣活動斷層分布圖之斷層位置相關資料，綜合評量得到地下水管制區之檢討線。

2. 劃定檢討範圍：

(一)本島地區：檢討線通過之地段，該地段於檢討線內之面積達該地段總面積百分之五十以上者，以該地段在檢討線外之邊界劃定為地下水管制區檢討範圍，未達百分之五十者，則以該地段在檢討線內之邊界劃定為地下水管制區檢討範圍。

(二)離島地區：全部範圍皆定為檢討範圍。

3. 檢討範圍網格化：

將檢討範圍分割為長寬各一公里以下之正方形網格，再採用有參據資料網格之評分數據，經空間內插方法而得其他未有參據資料網格之評分數據。

4. 訂定管制網格：

各網格採用八項因子評分，各項因子最高 100 分，各因子之給分標準在此不贅述，加權總分大於 45 分以上列為管制網格。

表 2.1-18 地下水管制區評估因子權重表

因子名稱	本島權重	離島權重
1.累積下陷量	15%	-
2.地層下陷速率	25%	-
3.地下水位下降幅度	25%	-
4.地下水位低於零水位線面積	15%	-
5.地下水位絕對高程	-	40%
6.地質條件	10%	10%
7.地面高程	10%	-
8.水質條件	-	50%

5. 劃定管制區：

(一)管制網格面積達其鄉（鎮、市、區）檢討範圍面積百分之八十以上時，以檢討範圍為管制區。

(二)管制網格面積未達其鄉（鎮、市、區）檢討範圍面積百分之八十時，以管制網格所在地段之外緣邊界為管制區。

(三)海埔新生地全區域均為管制區。

(四)水質調查前期研究

濁水溪及屏東平原是台灣最重要的地下水資源區，兩者提供了全台超過 60%的地下水抽用量。此兩區大都由沖積扇所組成，扇頂的巨厚礫石層構成了主要的補注區，以濁水溪沖積扇為例，扇頂補注區即佔全區約 57%的地下水補注來源（江崇榮等，2006）。補注區的西邊界約沿著田中、柑園、莿桐、虎溪、及古坑；東邊界應沿著八卦台地及斗六丘陵的分水嶺。扇頂區除了是地下水資源豐富的區域，也是本區地下水的源頭，若有污染滲入，將對地下水資源產生很大的衝擊。許多國家已設立地下水水源保護區，例如美國華盛頓州的 CARA 區（Critical Aquifer Recharge Area）、喬治亞州的 GRAD 區（Groundwater Recharge Area District），但台灣尚在起步階段，所以極需進行此基礎調查研究（City of Issaquah，2009）。

大區域的地下水常有氧化還原帶的分布。缺氧的水體受微生物還原作用，原有之溶氧消耗盡後，因能量多寡，依次會將硝酸鹽、硫酸鹽等還原為氮氣及硫離子，還原反應由溶氧還原至甲烷生成依次發生。地下水由補注區到受壓含水層，水中物質會因空氣被地層隔絕，沿流徑之地層沉積物中有機質因長時間降解(放出電子) ，消耗許多有氧物質(例如溶氧)，故含水層由上游往下游，產生還原帶(Chapelle2001)，例如溶氧還原帶、硝酸鹽還原帶、鐵還原帶、硫酸根還原帶、甲烷生成帶等（圖 2.1-5）。

區域性大範圍的地下水質調查，可以依此分類各還原帶。以濁水溪地區為例：扇頂為地下水補注區，地下水中含溶氧及硝酸鹽，基本上氨及硫離子濃度很微量。扇中及扇尾進入受壓水層，不含溶氧，氨及硫離子濃度升高。進入最扇尾（雲林沿海地區）有些觀測井已可測到甲烷氣。本研究之工作項目之一，即調查地下水之溶氧及硝酸鹽濃度，以釐清溶氧帶及硝酸鹽還原帶之分布位置，以供地下水補注區及保護區劃設之參考。

屏東地區的水文地質概況如（圖 2.1-6），該剖面由東北向西南，顯示深度約 250 公尺內的地質概況(經濟部中央地質調查所，1997)。東北部地層(萬隆)分層較不明顯，主要的阻水層(泥層)可能只有一至二層，地下水上下流通限制較少。西南部地層(港東至林園)分層明顯，大致有二層主要的阻水層(泥層)，地下水上下流通已受限制。若以深度作為分層參考，第一含水層的深度約在 0-60m, 第二含水層的深度約在 60-120m，第三含水層的深度約在 120-250m，第三含水層又可分為兩段，但需注意，不同含水層分層深度隨區域而變。

導電度分布：屏東平原的地下水導電度約 137~50400μS/cm，靠山區的地下水水質較淡，靠海側的地下水有些已經鹽化，如東港、崎峰等（圖 2.1-7）。硝酸鹽濃度：屏東地區地下水的硝態氮濃度也以補注區的地下水中最高（圖 2.1-8）。若以 0.5 mg/L 為界，顯示第一含水層的分布最廣, 達平原的 1/2 面積，往第二含

水層分布面積仍可達 1/3，至第三含水層分布較局限，只有在隘寮溪及林邊溪兩沖積扇的扇頂部份。根據地下水工程處的調查(1961)，本區 40 年前地下水的硝態氮濃度約在 0.2mg/L 以下。近年高濃度的硝酸態氮，可能源自農田化肥、生活污水及畜牧廢水。

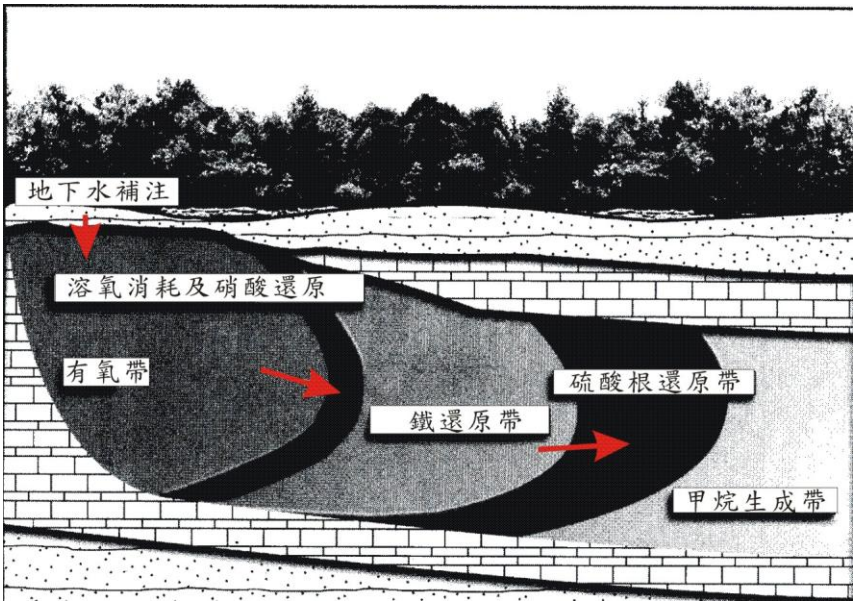


圖 2.1-5 地下水還原系列示意圖(Chapelle,2001)

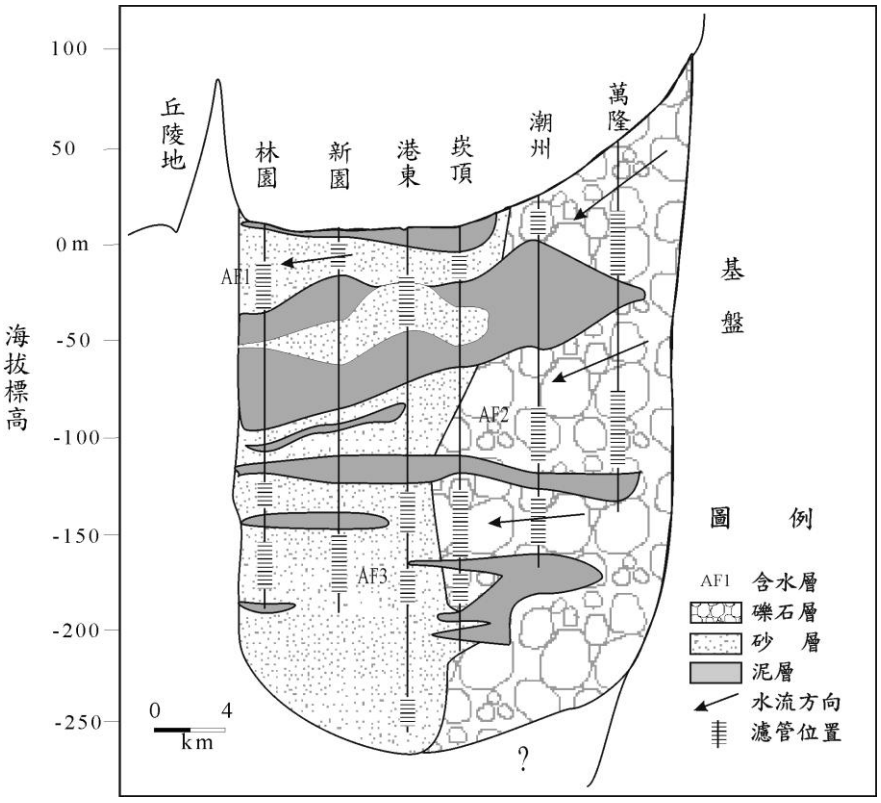


圖 2.1-6 水文地質剖面

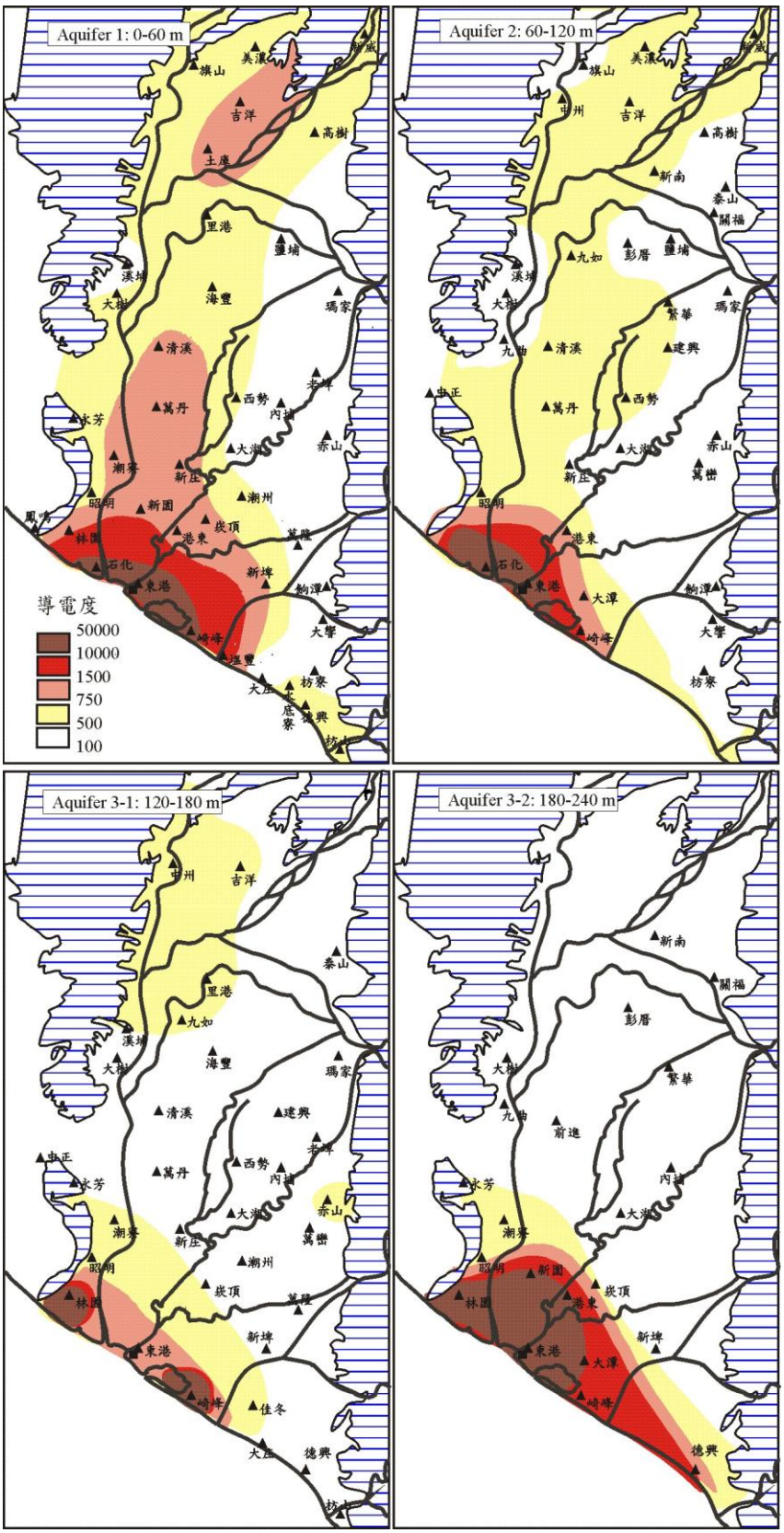


圖 2.1-7 地下水導電度分布圖（2001 年）

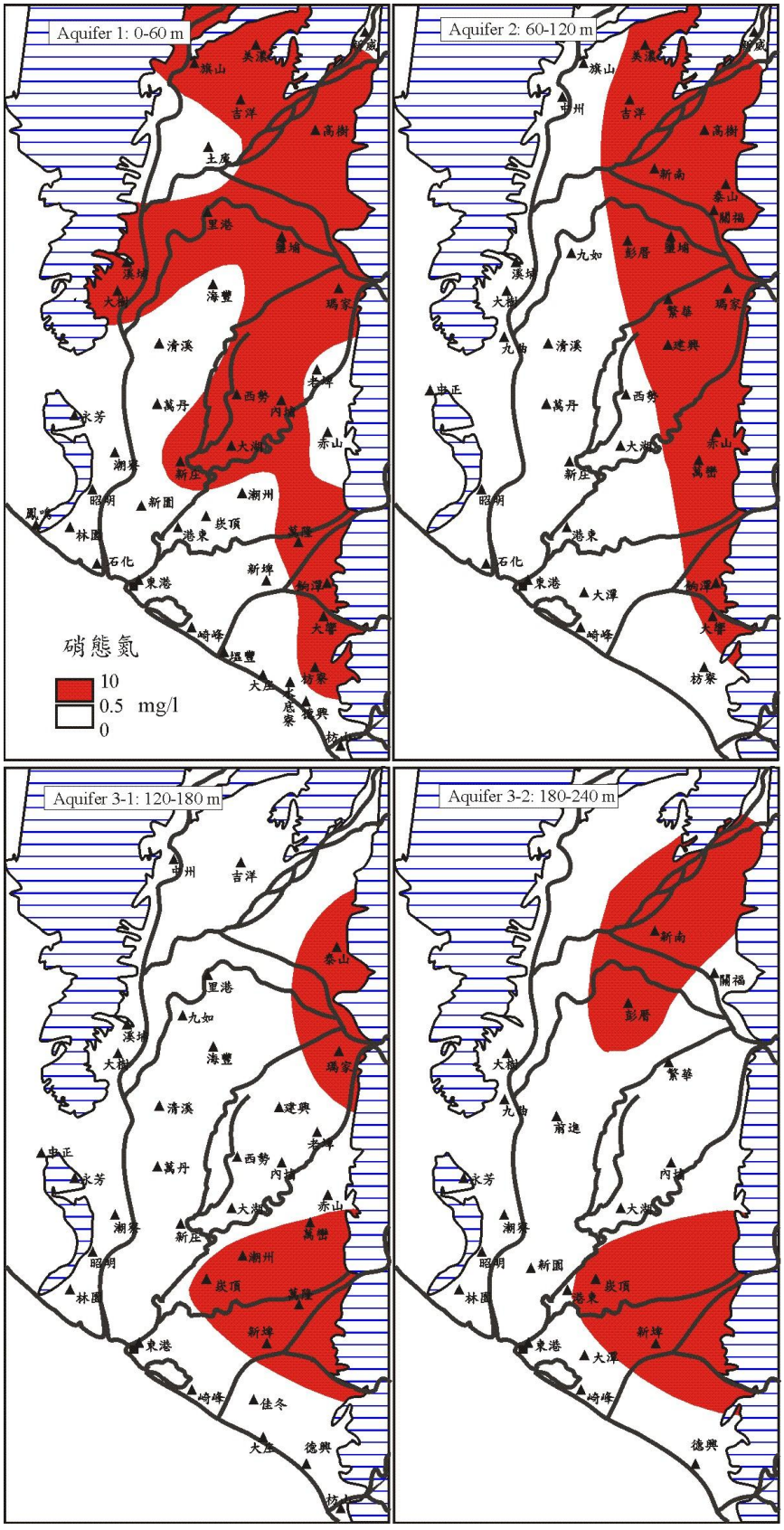


圖 2.1-8 地下水硝態氮濃度分布圖（2001 年）

(五)　屏東平原地下水補注量估計

地下水工程處(1961)利用達西公式及水平衡法估計出本區之補注量約為每年 9.03 億立方公尺。水資會張秉權等(1995)利用水平衡法估算出民國 77 年時地下水年補注量約為 13.15 億立方公尺。

丁澈士(1996、1997)利用「土壤水份收支法」估計屏東平原地下水補注量，該研究以 CROPWAT 程式計算不同的灌溉需水量與蒸發散量反映出屏東平原在乾季約僅 18%得降雨成為逕流，在濕季則高達 77%的降雨成為逕流。

另丁澈士(1997)利用氯離子法將屏東平原分為四個地下水區域，於每個區域選擇一個無灌溉量的非擾動點，開挖取得未飽和層由地表至地下 4 至 6 公尺土壤中各深度的水份氯離子濃度，再由屏東平原地下水觀測井網的水井取水樣，分析各區域飽和地下水的氯離子濃度。由未飽和層土壤水份的平均氯離子濃度，以及飽和地下水由上游至下游的濃度變化，估計各區的地下水補注量。

劉聰桂等(1996)根據核爆氚水與碳十四定年，分析地下水中氚濃度，利用 1960 年代初期核子試爆使水中之氚含量大於大自然背景值的事實，作為過去數十年地下水補注總量的估計，屏東平原整個 200 公尺內含水層年補注量約為 6.4 億立方公尺/年，含當年(民國 71 年)之抽水量 6.2 億立方公尺，推估出屏東平原民國 71 年時之地下水年補注量為 12.6 億立方公尺。

張秉權、曾鈞敏(1995)以 MODFLOW 地下水數值模式，重新評估屏東平原地下水補注量、抽水量與儲蓄變化量。同一時期，水資會也委託美國位世敦國際環保顧問公司進行為期五年的研究計畫(民國 84 年起)，以 FEMWATER 模式建立地下水數值模式作為屏東平原水資源長期管理的評估工具。水資局為整合屏東平原地下水站網已有之研究成果，於民國 87~88 年度委託張良正負責執行本項計畫，評估屏東平原地下水補注分區潛勢，因為考量大部分的地表補注都必須經過非受壓含水層，因此張良正(1999)以 MODFLOW 模式模擬屏東平原最上層之非受壓含水層，並以優選程式(MODFLOWP)來檢定模式的參數，其研究結果顯示民國 86 年 7 月至 87 年 6 月屏東平原含水層一的年地下水降雨及灌溉入滲補注量為 10 億立方公尺。而中央地質調查所(2002)則以水位歷線法評估民國 88~90 年之地表補注，平均年補注量為 20.66 億立方公尺。

表 2.1-19 屏東平原地下水補注量相關研究成果比較表

方法	推算者	範圍	補注量
水平衡法	地下水工程處	屏東平原(面積 1,210km^2 地下水區)	9.03 億噸/年
水平衡法	張秉權	屏東平原(面積 1,210km^2 地下水區)	13.15 億噸/年
氚追蹤與碳十四定年	劉聰桂	屏東平原(200 公尺內含水層)	12.6 億噸/年
土壤水份收支法	丁澈士	屏東平原(面積 1,210km^2 地下水區)	9.43 億噸/年
MODFLOW 數值模擬	張良正	屏東平原(最上層之非受壓含水層)	10 億噸/年
水平衡法	地質調查所	屏東平原(最上層之非受壓含水層)	20.66 億噸/年

2.2 研究資料蒐集

本計畫為了對屏東平原進行補注潛勢評估及補注量推估，蒐集屏東平原各項資料，如地下水位、雨量、儲水係數、透水係數、GIS 圖層等相關資料，詳述如下。

(一) 地下水位、導水係數及透水係數資料

本計畫自臺灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質調查研究總報告，蒐集位於含水層一(F1)深度內之地下水觀測井共 47 口之導水係數、透水係數等資料，並由經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統取得各井每日地下水位資料，整理如表 2.2-1 所示。其各井空間分佈圖如圖 2.2-1 所示。

其中吉洋工作站為替代吉洋站而選用為本計畫應用之觀測井，原因為兩站只相鄰數百公尺，另外吉洋工作站開孔深度為地下 10 米深遠比吉洋站 70 米深來的淺的許多，且兩站水位相當接近如圖 2.2-2，所以由吉洋工作站替代原吉洋站。

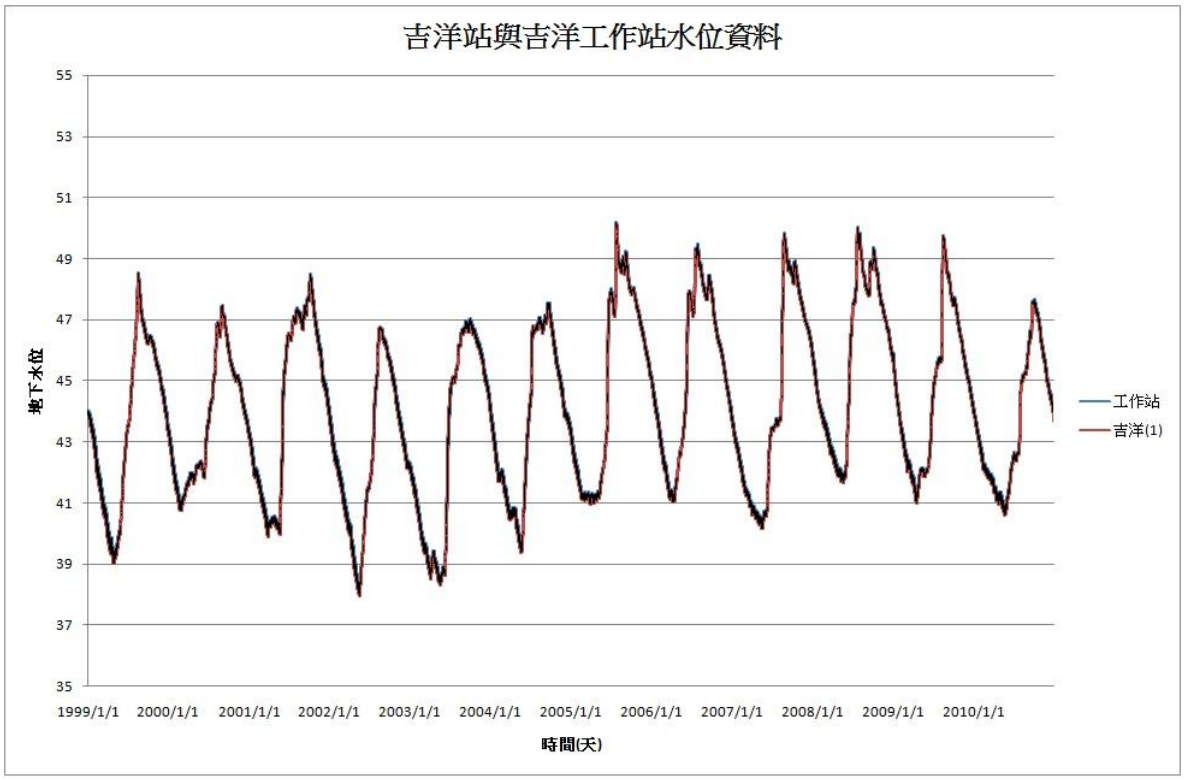


圖 2.2-2 吉洋站與工作站水位

表 2.2-1 含水層一(F1)47 口地下水觀測井資料列表

井名	Tmx	Tmy	T(m^2/min)	K(m/min)	蒐集資料區段
中正(1)	185015	2503504	0.1166	0.006478	1999~2010
石化(1)	187485	2487965	0.2669	0.01019	1999~2010
林園(1)	186809	2490130	0.4032	0.01614	1999~2010
潮寮(1)	190004	2496500	4.072	0.1314	1999~2010
永芳(1)	186942	2500950	0.568	0.03156	1999~2010
昭明(1)	188414	2493802	0.0028	0.0001074	1999~2010
溪埔(1)	191978	2513893	0.7586	0.04212	1999~2010
大樹(1)	191135	2510159	0.859	0.03582	1999~2010
餉潭(1)	208707	2486714	1.7232	0.04788	1999~2010
枋寮(1)	207476	2479160	15.107	0.3522	1999~2010
大庄(1)	202810	2477706	0.0862	0.00261	1999~2010
德興(1)	207000	2474613	1.196	0.03738	1999~2010
新園(1)	192774	2491800	0.7449	0.0441	1999~2010

表 2.2-1 含水層一(F1)47 口地下水觀測井資料列表(續)

井名	Tmx	Tmy	T(m^2/min)	K(m/min)	蒐集資料區段
土庫(1)	198425	2524645	4.63	0.08602	1999~2010
中洲(1)	195993	2528009	0.6914	0.01278	1999~2010
旗山(1)	197100	2531368	0.47	0.0348	1999~2010
吉洋工作站(1)	201510	2528640	8.1103	0.0588	1999~2010
美濃(1)	185015	2503504	0.0144	0.0012	1999~2010
新威(1)	203424	2533457	0.0001	0.0000042	1999~2010
清溪(1)	210915	2533502	0.2733	0.0114	1999~2010
海豐(1)	194408	2506330	2.41	0.1608	1999~2010
潮州(1)	198476	2511130	0.3346	0.1032	1999~2010
東港(1)	202232	2492984	0.6899	0.04056	1999~2010
新庄(1)	193156	2485971	0.7103	0.02088	1999~2010
萬丹(1)	195738	2496246	0.4682	0.01638	1999~2010
繁華(1)	194540	2501970	1.5513	0.0648	1999~2010
九如(1)	196776	2515370	0.9834	0.01788	1999~2010
里港(1)	197514	2520447	1.9041	0.03342	1999~2010
鹽埔(1)	205622	2517240	1.6603	0.1194	1999~2010
彭厝(1)	201104	2515658	1.4629	0.0612	1999~2010
高樹(1)	208068	2525407	2.9	0.03336	1999~2010
泰山(1)	209266	2521392	0.9525	0.02268	1999~2010
新南(1)	203915	2520763	0.5753	0.0636	1999~2010
關福(1)	209883	2518620	1.531	0.02352	1999~2010
赤山(1)	209521	2499542	0.0199	0.004476	1999~2010
建興(1)	204395	2507086	1.5809	0.05268	1999~2010
老埤(1)	207504	2503670	0.4703	0.04554	1999~2010
西勢(1)	200397	2502704	0.2698	0.004956	1999~2010
大湖(1)	200368	2497500	2.0402	0.0726	1999~2010
新埤(1)	202895	2485957	0.1602	0.00798	1999~2010
萬隆(1)	206802	2490112	6.0212	0.1158	1999~2010
大響(1)	210206	2481360	4.2182	0.062032	1999~2010

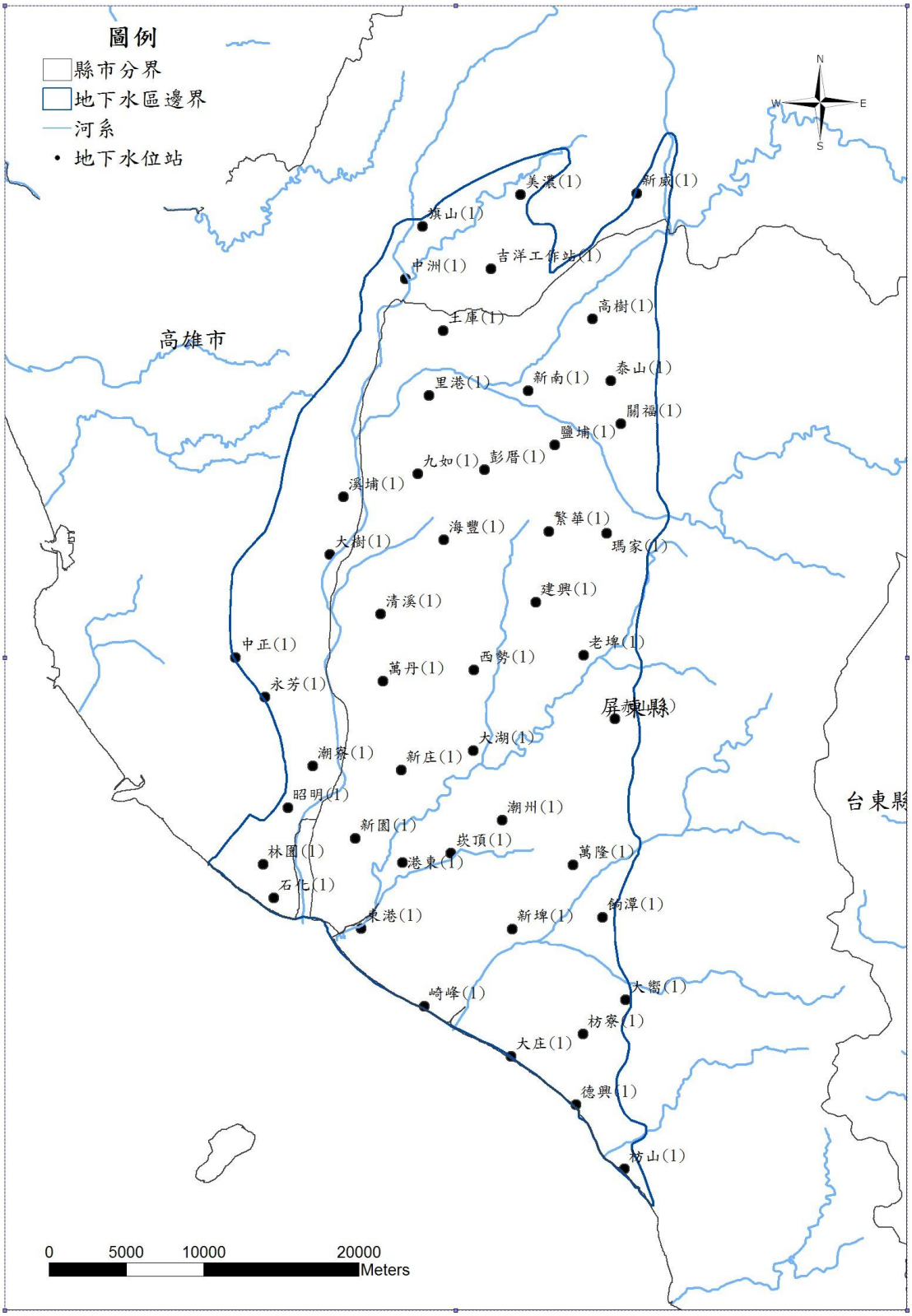


圖 2.2-1 含水層一(F1)47 口地下水觀測井分布圖

(二)　儲水係數資料

本計畫參考江崇榮、黃智昭及陳瑞娥(2004)「中央地質調查所彙刊第十七號」，以及江崇榮、黃智昭及陳瑞娥(2002)「中央地質調查所屏東平原自然補助」之研究，以及屏東平原複井抽水試驗之實測儲水係數資料等。

表 2.2-2、屏東平原複井抽水試驗實測儲水係數

井名	Tmx	Tmy	儲水係數
旗山(1)	197100	2531368	0.193
潮寮(1)	190004	2496500	0.071
大樹(1)	191135	2510159	0.188
大樹(2)	191135	2510159	0.0000429
大樹(3)	191135	2510159	0.000144
大樹(4)	191135	2510159	0.0004
海豐(1)	194408	2506330	0.239
海豐(2)	194408	2506330	0.0000712
海豐(3)	194408	2506330	0.0000974
內埔(1)	204588	2501296	0.00155
內埔(2)	204588	2501296	0.00074
潮寮(2)	190004	2496500	0.00164
潮寮(3)	190004	2496500	0.000636
關福(2)	209883	2518620	0.000294

(三)　雨量資料

中央氣象局於屏東平原設有許多雨量站，可提供詳細的降雨資料。其中中央氣象局於高雄市、屏東縣共有雨量站約 49 站，本計畫蒐集位於屏東平原及上游山區其中 20 站資料，如表 2.2-3 所示，其相關位置圖如圖 2.2-3 所示。

表 2.2-3 本計畫蒐集中央氣象局雨量站資訊

站名	縣市	Tmx	Tmy	蒐集資料區段
旗山	高雄市	197271	2531089	1999~2010
吉東	高雄市	203729	2527039	1999~2010
大津	高雄市	212865	2532181	1999~2010
里港	屏東縣	197497	2522414	1999~2010
新圍	屏東縣	201730	2517140	1999~2010
溪埔	屏東縣	191845	2513576	1999~2010
屏東	屏東縣	198527	2514875	1999~2010
麟洛	屏東縣	203096	2506647	1999~2010
潮州	屏東縣	201825	2492932	1999~2010
南州	屏東縣	199438	2488418	1999~2010
三地門	屏東縣	212160	2512466	1999~2010
大寮	屏東縣	190771	2501461	1999~2010
赤山	屏東縣	209728	2499277	1999~2010
龍泉	屏東縣	208294	2507709	1999~2010
來義	屏東縣	210652	2492200	1999~2010
枋寮	屏東縣	207775	2474398	1999~2010
月眉	高雄市	201978	2541409	1999~2010
古夏	屏東縣	212747	2519047	1999~2010
力里	屏東縣	210882	2481219	1999~2010
春日	屏東縣	210894	2474852	1999~2010



圖 2.2-3 中央氣象局屏東平原雨量站位置圖

(四)　GIS 圖層資料

本計畫進行濁水溪沖積扇補注潛勢評估，需大量地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)圖資，除研究之地下水區基本圖資外，尚需依考量之補注潛勢因子蒐集對應之 GIS 圖資，部分點位資料也藉由內插至各網格製作成圖面之 GIS 圖資，本計畫蒐集之圖資來源如表 2.2-5 所示。

表 2.2-4 本計畫蒐集圖資資訊

圖層	圖資來源	數據來源
土地利用	內政部國土測繪中心(2007 年)	內政部國土測繪中心(2007 年)
表層土壤種類	配合行政院農業委員會農業試驗所(1980 年)之圖層檔案，本計畫自行數化土壤種類後得到	台灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質研究總報告
降雨與地下水位相關性	本計畫製作	降雨量：中央氣象局 地下水位：經濟部水利署
平均年降雨量	本計畫製作	中央氣象局、經濟部水利署
單位蓄水量變化	本計畫製作	地下水位：經濟部水利署 儲水係數：中央地質調查所彙刊第十九號
透水係數	本計畫製作	K 值：台灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質研究總報告
河系密度	經濟部水利署	經濟部水利署

2.3 地下水位資料品保及品管

2.3.1 地下水位資料缺漏及補遺

本年度將資料由 1999 至 2010 年的資料進行檢驗時，發現屏東平原各觀測站淺層水井少量的水井有連續性資料缺漏情況，此情形比濁水溪沖積扇在 1997、2004 及 2005 年皆普遍有長時間且連續短缺資料的情況好很多，如表 2.3-1 所示，表中呈現各水井各年缺漏百分比，可知 1999~2010 年的缺漏百分比大約在 3%以下，整體資料完整度相當好，本計畫進一步將各井缺漏資料的時間以年代分佈圖呈現(圖 2.3-1)，其中縱軸表示水井名稱、橫軸表示年份，而有顏色的色塊表示該井資料缺漏所對應之時段，此資料缺漏年份分布圖，可明白顯示出

1999 至 2010 年資料的缺漏分布。

表 2.3-1 1999-2010 年淺層水井地下水位原始資料缺漏統計表

站名	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
中正(1)	0%	1%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
石化(1)	0%	1%	0%	0%	0%	15%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
林園(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
潮寮(1)	0%	1%	0%	22%	12%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
永芳(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
昭明(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
溪埔(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	12%	0%
大樹(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
中洲(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
旗山(1)	0%	1%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
吉洋工作站(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	5%	14%	12%	15%
美濃(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	12%	28%	16%
新威(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	39%	8%	15%
清溪(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
海豐(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%
潮州(1)	0%	6%	0%	0%	0%	1%	0%	6%	0%	0%	2%	3%
東港(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	2%	0%
新庄(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
萬丹(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
繁華(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	0%
九如(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
土庫(1)	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	1%	0%	1%	3%
里港(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
鹽埔(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
彭厝(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	24%
高樹(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
泰山(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	17%
新南(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

關福(1)	42%	1%	0%	0%	0%	34%	12%	0%	0%	0%	0%	0%
赤山(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	7%	0%
建興(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
老埤(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	5%	0%	0%
西勢(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
大湖(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
新埤(1)	1%	1%	0%	0%	19%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
萬隆(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	7%	13%	0%	0%	0%	0%
大嚮(1)	1%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	8%
餉潭(1)	21%	2%	7%	5%	5%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%
枋寮(1)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
大庄(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	8%
德興(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	8%
新園(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	12%
平均	2%	1%	0%	1%	1%	2%	1%	1%	1%	2%	3%	3%

表 2.3-2 1999-2010 年地下水位原始資料缺漏時段分類列表

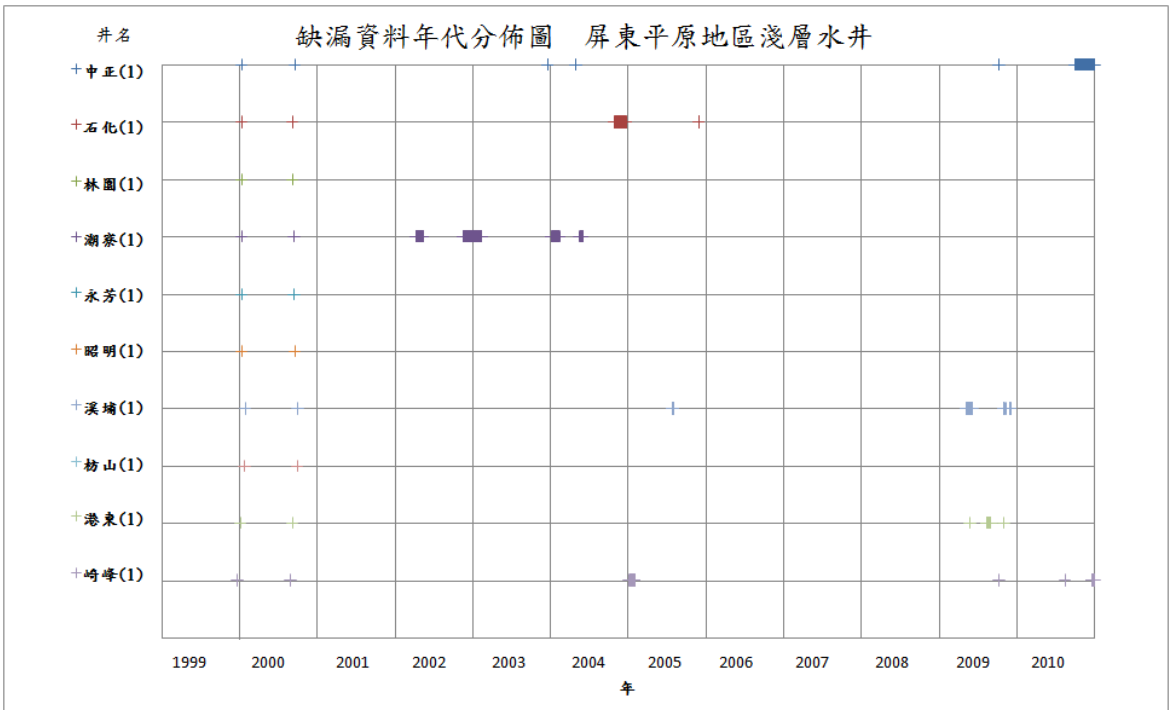
井名	≦10 天	>10 天	缺漏日期及時段
新威(1)	2	5	1998/1/1~1998/7/9、2000/2/2、2000/10/5、2008/3/1~2008/3/11、2008/5/13~2008/7/10、2008/9/2~2008/10/16、2008/12/3~2009/1/31、2010/8/7~2010/9/30
高樹(1)	2	1	2000/2/2、2000/10/5、2009/07/13~2009/0715
泰山(1)	2	3	2000/2/1、2000/10/4、2005/7/20~2005/8/7、2009/7/17~2009/9/3、2010/6/1~2010/7/31
關福(1)	4	12	1998/1/1~1998/7/9、1999/1/21~1999/2/4、1999/3/25~1999/4/8、1999/5/14~1999/5/31、1999/6/10~1999/7/6、1999/7/12~1999/7/15、1999/7/24~1999/8/4、1999/8/9~1999/8/31、1999/9/13~1999/10/20、2000/2/1、2000/10/4、2004/7/2~2004/8/31、2004/10/13~2004/10/17、2004/10/23~2004/12/20、2005/3/22~2005/4/18、2005/6/28~2005/7/11
瑪家(1)	3	2	2000/1/24、2000/9/26、2004/7/29~2004/7/31、2008/8/2~2008/10/1、2010/11/2~2010/12/31
老埤(1)	3	1	2000/1/20、2000/9/25、2000/12/28~2000/12/31、2008/2/11~2008/2/28
赤山(1)	4	2	1998/1/1~1998/7/8、2000/1/18、2000/9/20、2006/3/12、2006/3/20、

			2009/11/3~2009/11/29
萬巒(1)	2	0	2000/1/5、2000/9/5
萬隆(1)	3	3	2000/1/4、2000/9/4、2005/9/7~2005/9/30、2006/6/10~2006/6/26、2006/7/14~2006/7/15、2006/8/3~2006/8/31
餉潭(1)	4	6	1998/1/1~1998/7/8、1999/4/4~1999/4/7、1999/6/10~1999/6/22、1999/8/8~1999/10/4、1999/12/23、2001/6/2~2001/6/26、2002/6/11~2002/6/39、2003/6/18~2003/7/7、2005/4/25~2005/5/1、2005/6/15~2005/6/19
大響(1)	7	4	1998/6/8、1998/7/5~1998/7/10、1999/6/17~1999/6/20、1999/12/21、2000/8/30、2001/5/10~2001/5/25、2004/5/24、2009/07/03~2009/07/30、2009/10/02~2009/11/23、2010/09/20~2010/09/29、2010/10/1~2010/10/21
旗山(1)	2	2	1998/1/1~1998/7/7、2000/1/31、2000/10/2、2001/9/19~2001/9/30
吉洋(1)	4	3	1998/1/1~1998/7/7、2000/1/27、2000/10/3、2009/7/25~2009/8/2、2009/8/6~2009/9/30、2009/10/3~2009/10/7、2009/10/10~2009/10/31
吉洋工作站(1)	2	7	2000/1/27、2000/10/3、2005/7/22~2005/8/2、2007/1/15~2007/1/31、2008/1/18~2008/2/9、2008/8/6~2008/9/3、2009/1/1~2009/2/6、2009/2/14~2009/2/19、2010/2/9~2010/3/3、2010/12/2~2010/12/31
中州(1)	2	0	2000/1/31、2000/10/2
土庫(1)	5	2	2000/1/27、2000/10/3、2006/4/16~2006/5/8、2006/6/1~2006/6/3、2007/6/8~2007/6/9、2009/8/28~2009/8/31、2010/9/27~2010/10/7
美濃(1)	6	7	2000/1/31、2000/10/3、2007/2/4~2007/3/2、2007/3/7~2007/3/31、2007/4/4~2007/4/7、2007/4/19~2007/4/22、2007/10/12~2007/10/15、2008/11/4~2008/12/16、2009/9/5~2009/9/30、2009/10/10~2009/11/29、2009/12/2~2009/12/10、2009/12/16~2009/12/31、2010/01/26~2010/01/31、2010/02/27~2010/04/01
里港(1)	2	0	2000/1/25、2000/9/27
新南(1)	2	1	1998/1/1~1998/7/9、2000/2/1、2000/10/4
鹽埔(1)	2	0	2000/1/24、2000/9/26
溪浦(1)	6	1	2000/1/27、2000/10/2、2005/7/24~2005/8/2、2009/05/07~2009/06/06、2009/10/28~2009/11/2、2009/11/9、2009/11/26~2009/12/1
九如(1)	2	0	2000/1/25、2000/9/27
彭厝(1)	2	3	1998/1/1~1998/7/8、2000/1/25、2000/9/27、2010/1/19~2010/4/1、2010/5/8~2010/5/20
大樹(1)	2	1	1998/1/1~1998/7/7、2000/1/26、2000/9/28
海豐(1)	3	0	2000/1/19、2000/9/21、2009/2/24~2009/3/3
繁華(1)	2	2	1998/1/1~1998/7/8、2000/1/20、2000/9/25、2009/1/11~2009/3/2
九曲(1)	3	0	2000/1/26、2000/9/28、2010/11/20~2010/11/21

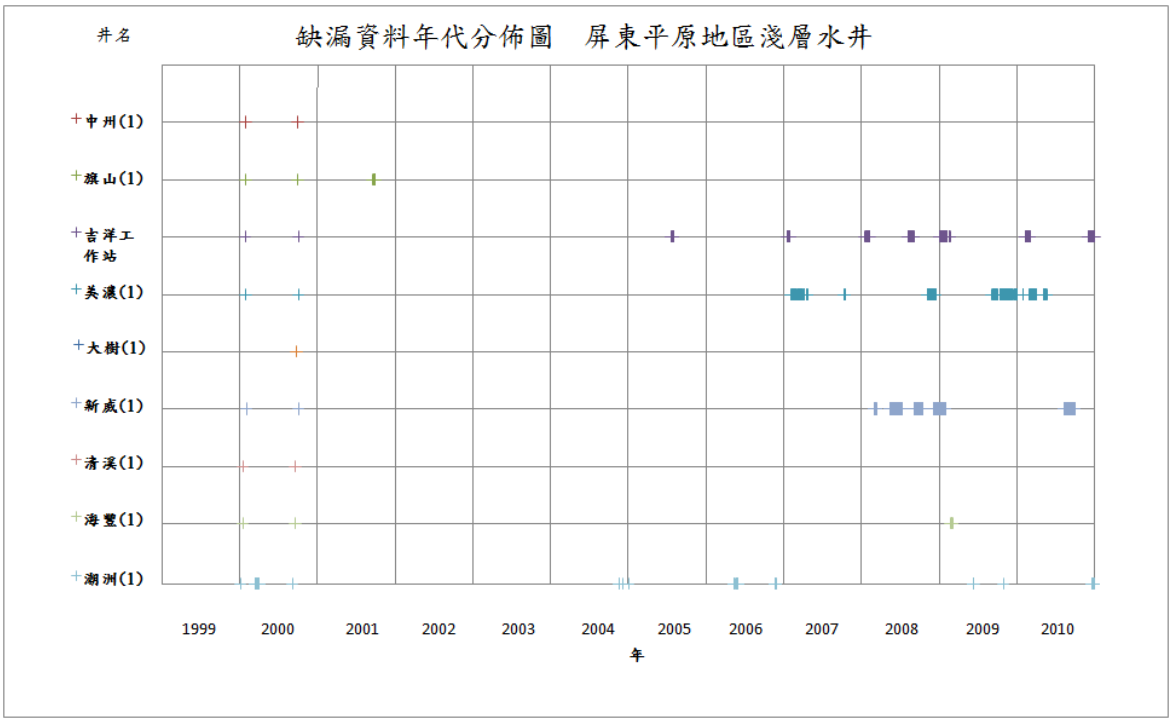
清溪(1)	2	0	2000/1/19、2000/9/21
前進(1)	2	3	1998/1/1~1998/6/27、2000/1/19、2000/9/21、2005/6/30~2005/8/15、2007/9/8~2007/11/26
西勢(1)	2	0	2000/1/17、2000/9/19
內埔(1)	4	3	2000/1/20、2000/9/19、2001/10/9~2002/5/28、2004/7/7~2004/8/8、2005/9/6~2005/10/14、2006/5/2、2006/6/29
中正(1)	5	2	1998/1/1~1998/7/7、2000/1/13、2000/9/18、2003/12/17~2003/12/20、2004/4/30~2004/5/1、2009/10/07~2009/10/08、2010/9/27~2010/12/31
永芳(1)	2	0	2000/1/12、2000/9/14
萬丹(1)	2	0	2000/1/11、2000/9/13
潮寮(1)	2	5	2000/1/12、2000/9/14、2002/4/10~2002/5/13、2002/11/17~2003/2/13、2004/1/17~2004/2/12、2004/5/18~2004/6/1
昭明(1)	2	1	1998/1/1~1998/7/7、2000/1/13、2000/9/18
新庄(1)	4	0	1998/2/7~1998/2/15、2000/1/11、2000/9/13、2008/2/2~2008/2/7
大湖(1)	2	1	1998/1/1~1998/7/8、2000/1/18、2000/9/20
新園(1)	6	2	1998/1/1、1998/10/7~1998/10/13、2000/1/6、2000/9/6、2006/6/9~2006/6/12、2009/12/7、2010/7/15~2010/8/2、2010/12/8~2010/12/31
港東(1)	4	2	1998/1/1~1998/7/7、2006/1/6、2006/9/6、2009/5/25、2009/08/10~2009/08/31、2009/10/31
崁頂(1)	7	0	2000/1/5、2000/9/5、2007/4/12~2000/4/17、2007/8/19~2007/8/22、2008/6/28~2008/6/30、2008/7/18~2008/7/24、2008/7/28~2008/8/4、2010/9/1~2010/9/19
潮州(1)	9	1	2000/1/5、2000/3/15~2000/4/4、2000/9/5、2004/11/20~2004/11/21、2004/12/4、2005/1/2、2006/5/13~2006/5/16、2006/5/22~2006/6/1、2009/6/7~2009/6/11、2009/10/30、2010/12/19~2010/12/28
林園(1)	2	0	1998/1/6~1998/1/11、2000/9/17
石化(1)	3	1	2000/1/10、2000/9/7、2004/10/28~2004/12/21、2005/11/26~2005/11/28
東港(1)	4	0	2000/1/3、2000/8/31、2007/10/31~2007/11/7、2009/6/28~2009/7/4
大潭(1)	3	1	2000/1/3、2006/6/2~2006/6/12、2009/10/28、2010/11/16~2010/11/17
新埤(1)	3	4	1998/2/14~1998/3/2、1999/1/30~1999/2/1、2000/1/4、2000/9/4、2003/6/1~2003/6/30、2003/8/21~2003/9/30、2004/5/3~2004/6/2
崎峰(1)	4	3	1998/1/21~1998/2/6、1999/12/22、2000/8/29、2005/1/5~2005/1/31、2009/10/9、2010/8/16、2010/12/16~2010/12/31
建興(1)	2	0	2000/1/20、2000/9/25
枋山(1)	2	0	1999/12/21、2000/8/28
大庄(1)	3	1	1999/12/22、2006/8/1~2006/8/5、2007/9/21、2010/5/2~2010/5/31
枋寮(1)	3	1	1999/12/23、2000/8/30、2009/4/4、2010/12/8~2010/12/23

井名	≦10 天	>10 天	缺漏日期及時段
德興(1)	11	2	1998/1/1~1998/7/7、1999/12/21、2000/8/28、2009/3/11、2009/3/30、2009/4/4、2009/4/27、2009/4/29、2009/5/2、2009/5/6、2009/5/15、2009/5/24、2010/5/2~2010/5/30

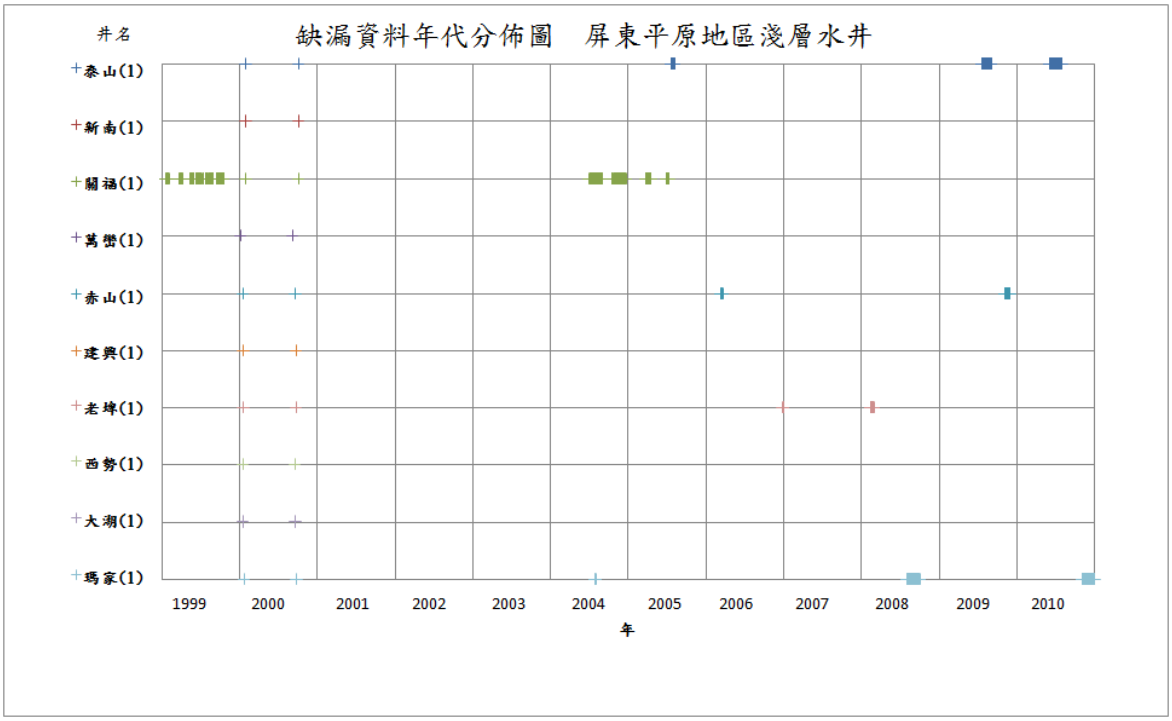
(a)



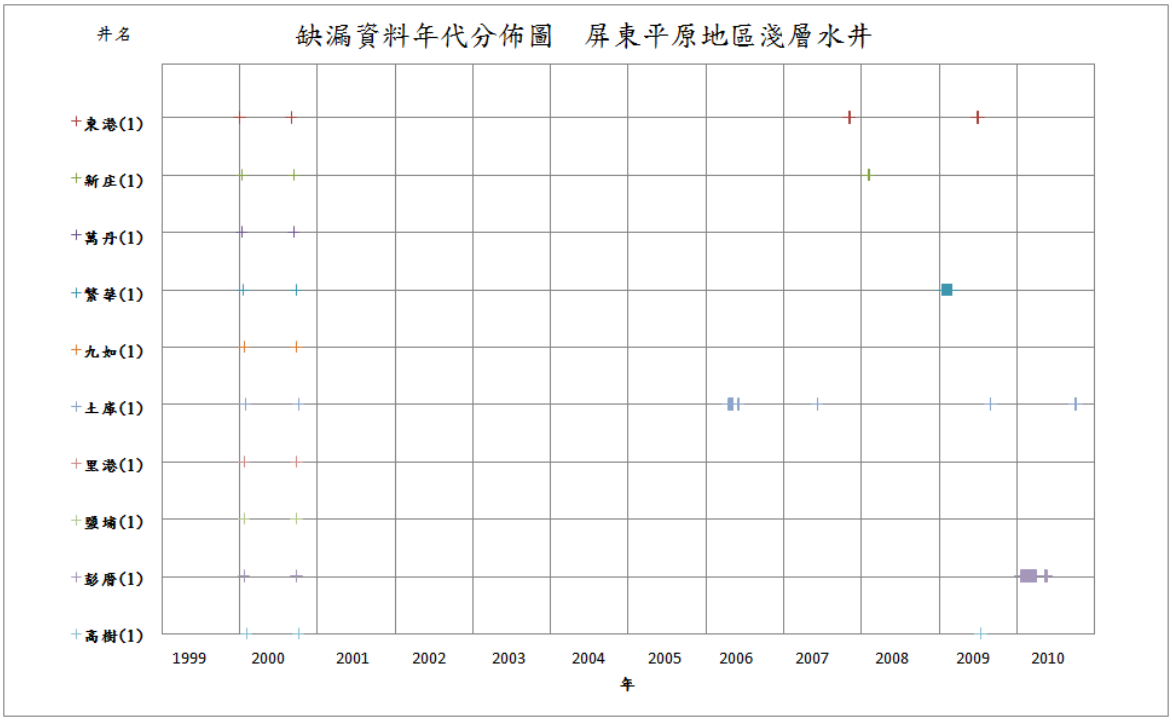
(b)



(c)


缺漏資料年代分佈圖　屏東平原地區淺層水井
井名
泰山(1)
新南(1)
關福(1)
萬巒(1)
赤山(1)
建興(1)
老埤(1)
西勢(1)
大湖(1)
瑪家(1)
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
年

(d)


缺漏資料年代分佈圖　屏東平原地區淺層水井
井名
東港(1)
新庄(1)
萬丹(1)
繁華(1)
九如(1)
土庫(1)
里港(1)
鹽埔(1)
彭厝(1)
高樹(1)
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
年

(e)

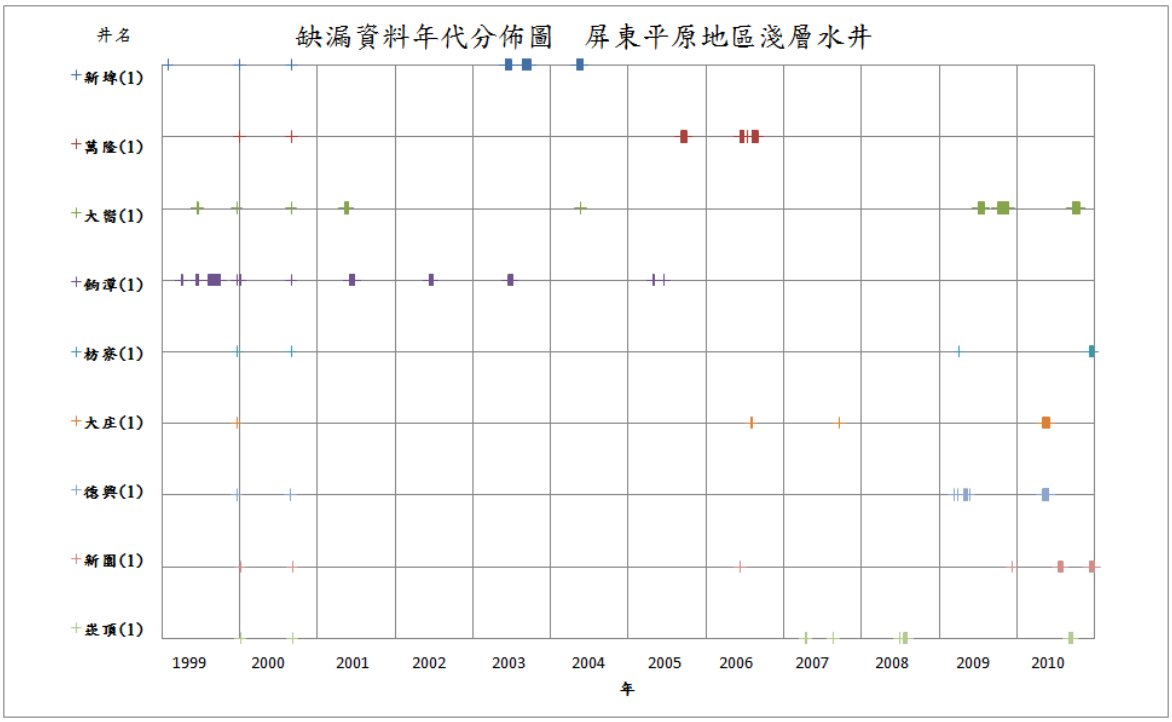


圖 2.3-1 地下水位缺漏資料年代分佈圖

經過前述缺漏統計後，將缺漏資料的天數區分為兩類，並以不同方法進行補遺，分別為：(1)連續缺漏未達 10 天；(2)連續缺漏超過 10 天，如表 2.3-2 所示。分別針對此兩類缺漏進行補遺的情形，說明如下：

(1) 資料連續缺漏未達 10 天：缺漏時段內各點資料以該缺漏段兩端點之資料為準，再以線性內插進行補遺，如圖 2.3-2 所示。

(2) 資料連續缺漏超過 10 天：本年度為資料連續缺漏超過 10 天訂定一標準作業程序，如圖 2.3-3。先將資料篩選，去除可信度較低的資料點，如圖 2.3-4 泰山(1)所示。再與該觀測井同站但不同層之觀測井，或與該觀測井同層之不同相鄰站井進行配對，計算兩兩觀測井觀測資料數列之相關係數如表 2.3-3 所示，藉由相關係數找出水位變化最相近之觀測井，再由線性迴歸方程式進行補遺，如式 2.3-1。

$$x_j^t = a_i^j x_i^t + b_i^j \quad \text{.....(式 2.3-1)}$$

式(2.3-1)中 x_j^t 代表第 j 口觀測井於 t 時刻之觀測資料，x_i^t 代表第 i 口觀測井於相同時刻之觀測資料，a_i^j 與 b_i^j 為兩觀測井間的線性迴歸參數，其可藉由線性迴歸工具求得。

若發現線性迴歸補遺後之水位歷線有不平順的連結，則由兩點內插進行補遺，使得水位歷線不會有驟升或驟降的情況產生，以萬隆(1)為例如圖 2.3-4 所示。圖 2.3-5(a)顯示繁華(1)為線性迴歸補遺後之水位歷線，紅色圓圈部分為補

遺段，該區段兩端點與原始水位連結處產生不平順的情況，此時使用兩端內插的方法，使補遺資料能夠平順且圓滑的呈現，如圖 2.3-5 (b)所示。

(a)　　(b)

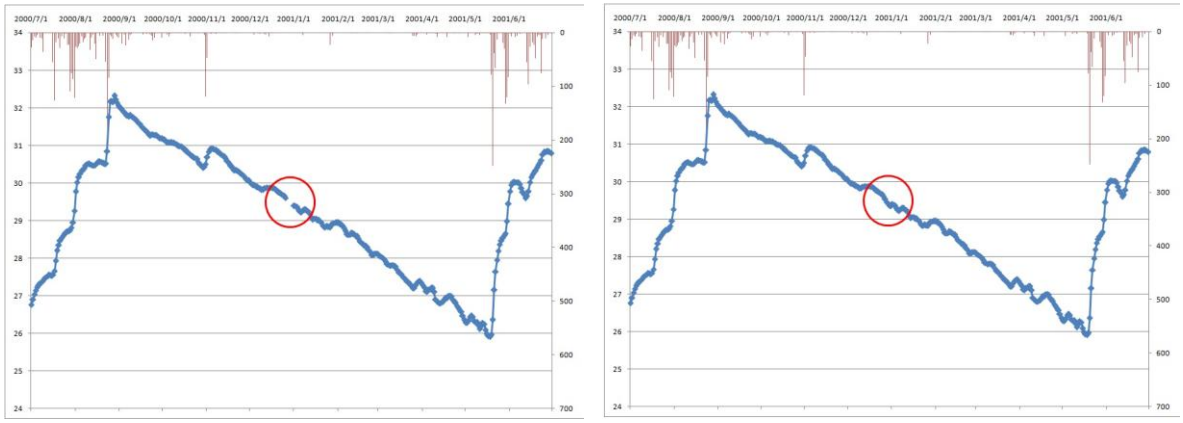


圖 2.3-2 地下水位資料缺漏未達 10 天以缺漏段兩端點為準以線性內插進行補遺，以老埤(1)為例：(a)補遺前；(b)補遺後

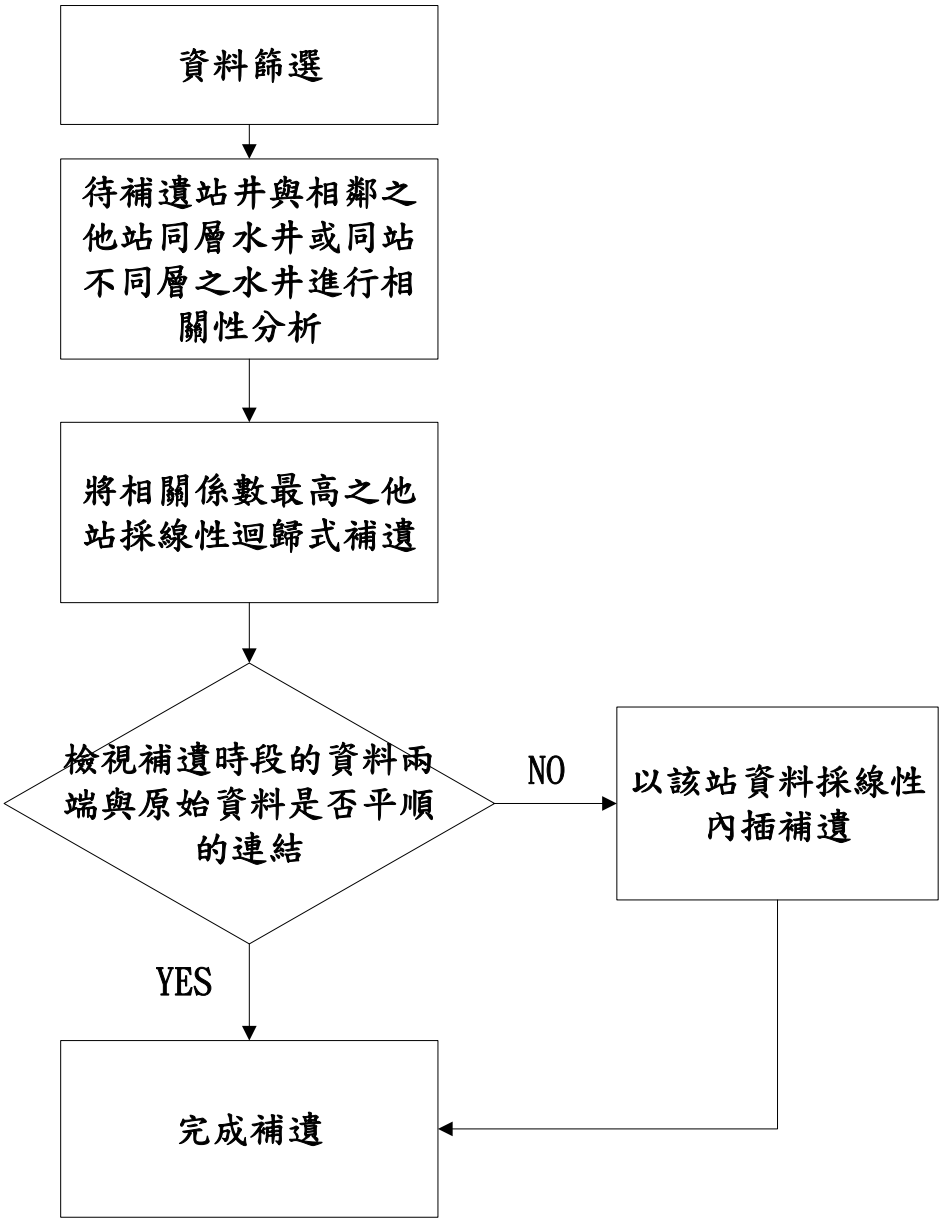


圖 2.3-3 地下水位資料連續缺漏超過 10 天之補遺標準作業程序

(a)

(b)

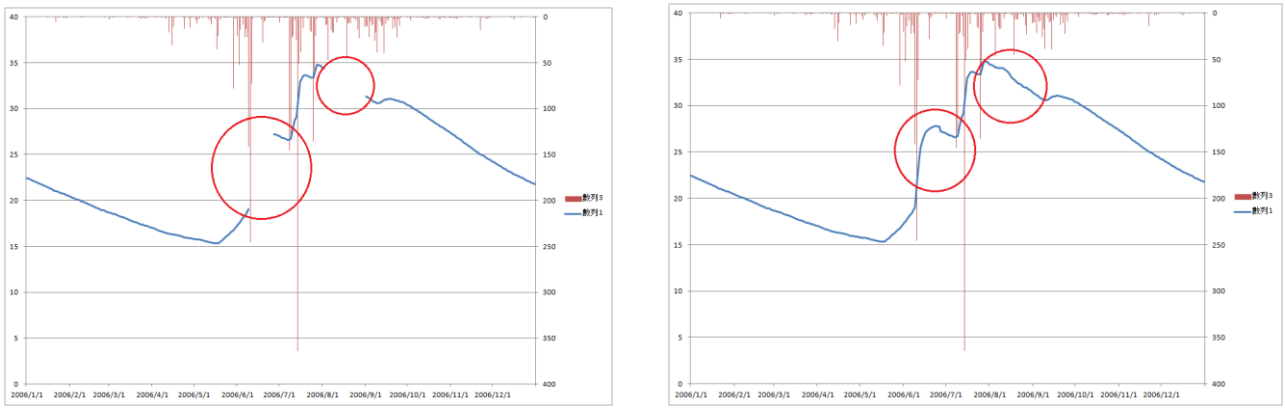


圖 2.3-4 篩選可信度較低的資料點後再以線性迴歸進行補遺以萬隆(1)為例：(a)原始水位；(b)線性迴歸補遺後水位

(a)

(b)

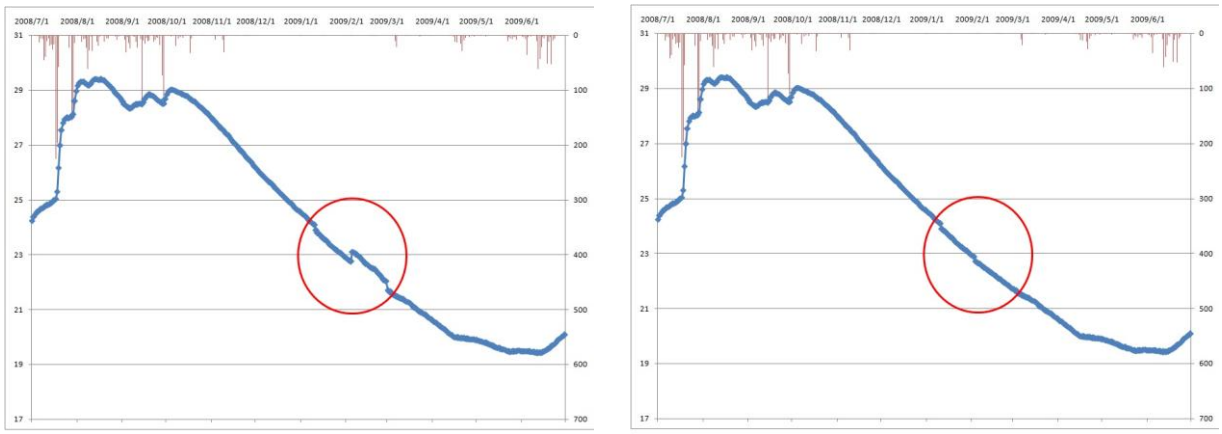


圖 2.3-5 依標準作業流程之水井補遺結果，以繁華(1)為例分別用：(a)線性迴歸補遺；(b)以缺漏段兩端點資料為準進行線性內插補遺

表 2.3-3 缺漏超過 10 天之觀測井與鄰近其他水井時序資料之間的相關係數列表

待補遺觀測井		相關係數最高		同站其他水井		同站其他水井		鄰近水井		鄰近水井		鄰近水井		鄰近水井		鄰近水井	
井號	井名	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數
12210111	新威(1)	旗山(1)	0.71651	新威(2)	0.347525			旗山(1)	0.71651	吉洋(1)	0.507031	美濃(1)	0.505548	高樹(1)	0.444429		
13110211	泰山(1)	泰山(2)	0.999882	泰山(2)	0.999882			關福(1)	0.98784	高樹(1)	0.983224	新南(1)	0.954791				
13110411	關福(1)	關福(2)	0.99951	關福(2)	0.99951			泰山(1)	0.988	鹽埔(1)	0.985314	瑪家(1)	0.949389	新南(1)	0.933816		
13280111	瑪家(1)	瑪家(2)	0.999844	瑪家(2)	0.999844	瑪家(3)	0.999472	關福(1)	0.949389	繁華(1)	0.985919	建興(1)	0.965703	老埤(1)	0.959706		
13130311	老埤(1)	建興(1)	0.992615	老埤(2)	0.982576			建興(1)	0.992615	內埔(1)	0.958339	赤山(1)	0.903608				
13150211	萬隆(1)	萬隆(2)	0.99639	萬隆(2)	0.99639			餉潭(1)	0.965661	新埤(1)	0.696841	潮州(1)	0.569592	萬巒(1)	0.969279		
13150411	餉潭(1)	大響(1)	0.97471	餉潭(2)	0.902077			大響(1)	0.97471	萬隆(1)	0.965661	新埤(1)	0.785055				
13150311	大響(1)	大響(2)	0.999266	大響(2)	0.999266			枋寮(1)	0.908244	餉潭(1)	0.97471	水底寮(1)	0.932739	大庄(1)	0.57137		
12190211	旗山(1)	中州(1)	0.927143	旗山(2)	0.918468			中州(1)	0.927143	吉洋(1)	0.887808	新威(1)	0.71651				
12200311	吉洋(1)	吉洋工作站	0.99898	吉洋(2)	0.957257			吉洋工作站	0.99898								
12200111	吉洋工作站	吉洋(1)	0.99898					吉洋(1)	0.99898								
13090111	土庫(1)	中州(1)	0.980617					中州(1)	0.980617	美濃(1)	0.779662	里港(1)	0.938984	新南(1)	0.860286	吉洋	0.912476
12200211	美濃(1)	美濃(2)	0.999007	美濃(2)	0.999007			土庫(1)	0.779662	高樹(1)	0.78846	吉洋(1)	0.881629				
13060111	繁華(1)	繁華(2)	0.999812	繁華(2)	0.999812			建興(1)	0.990897	海豐(1)	0.931806	瑪家(1)	0.985919	彭厝(1)	0.967061		
13010311	前進(1)	九曲(1)	0.924689					九曲(1)	0.924689	清溪(1)	0.707785	萬丹(1)	0.857635	大樹(1)	0.890473	海豐(1)	0.557769
13130211	內埔(1)	萬巒(1)	0.960155	內埔(2)	0.940357			萬巒(1)	0.960155	老埤(1)	0.958339	赤山(1)	0.922214	建興(1)	0.94646	大湖(1)	0.736086

表 2.3-3 缺漏超過 10 天之觀測井與鄰近其他水井時序資料之間的相關係數列表(續)

待補遺觀測井		相關係數最高		同站其他水井		同站其他水井		鄰近水井		鄰近水井		鄰近水井		鄰近水井		鄰近水井	
井號	井名	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數
13020111	潮州(1)	潮州(2)	0.82381	潮州(2)	0.82381			萬隆(1)	0.569592	大湖(1)	0.619687	崁頂(1)	0.738213	萬巒(1)	0.802595	新庄(1)	0.65639
64110111	鳳鳴(1)	林園(1)	0.972926					林園(1)	0.972926	石化(1)	0.852559	昭明(1)	0.910826	潮寮(1)	0.964514		
12020111	石化(1)	林園(1)	0.900513	石化(2)	0.787732			林園(1)	0.900513	鳳鳴(1)	0.852559	昭明(1)	0.735642	港東(1)	0.557105		
13150111	新埤(1)	大響(1)	0.758534	新埤(2)	0.708163	新埤(3)	0.711661	大潭(1)	0.753316	萬隆(1)	0.586445	餉潭(1)	0.687188	崁頂(1)	0.628391	大響(1)	0.758534
13120211	赤山(1)	赤山(2)	0.993339	赤山(2)	0.993339	赤山(3)	0.743423	內埔(1)	0.922214	老埤(1)	0.903608	萬巒(1)	0.912484				
12040111	溪埔(1)	大樹(1)	0.901239	溪埔(2)	0.811826	溪埔(3)	0.740651	大樹(1)	0.901239	海豐(1)	0.800806	九如(1)	0.893667	九曲(1)	0.832887		
13180211	港東(1)	大湖(1)	0.845568	港東(2)	0.332679	港東(3)	0.450599	新園(1)	0.250253	崁頂(1)	0.414744	東港(1)	0.60265	石化(1)	0.557105	大湖(1)	0.845568
12030111	潮寮(1)	新庄(1)	0.942795					新庄(1)	0.942795	昭明(1)	0.661839	永芳(1)	0.768728	新園(1)	0.824058		
13160311	大庄(1)	大庄(2)	0.80541	大庄(2)	0.80541			枋寮(1)	0.7181	德興(1)	0.093693						
13170111	新園(1)	新庄(1)	0.856697	新園(2)	0.808836			潮寮(1)	0.824058	港東(1)	0.250253	新庄(1)	0.856697				
13100211	彭厝(1)	彭厝(2)	0.999452	彭厝(2)	0.999452			繁華(1)	0.967061	九如(1)	0.680672	鹽埔(1)	0.975843				
13160411	德興(1)	枋山(1)	0.543635	德興(2)	0.381248	德興(3)	0.193344	大庄(1)	0.093693	枋山(1)	0.543635						
12010111	中正(1)	永芳(1)	0.67951	中正(2)	0.645908			永芳(1)	0.67951	九曲(1)	0.318797	潮寮(1)	0.265282				
13190111	崎峰(1)	港東(1)	0.69241	崎峰(2)	0.420742	崎峰(3)	0.304745	大潭(1)	0.492191	塭豐(1)	0.378004	東港(1)	0.459414	港東(1)	0.69241		

2.3.2 地下水位資料異常及處理

本計畫整理了屏東平原淺層水井 1999 年至 2010 年的水位資料，經過前一節所述資料補遺，再次檢視各井之水位歷線圖，可發現某些時段水位的異常突生或突降，並不符合整體連續變化之趨勢，檢討其原因可能為： 儀器校調之偏差。以下表列本計畫整理之異常時段：

表 2.3-4 屏東平原淺層地下水觀測井水位之異常時段列表

推測之異常原因	井名	異常水位之時段
儀器校調之偏差	昭明	2008/11/28~2008/12/28
	中洲	2009/3/22~2009/4/20

水位異常的現象為異常時段兩端的水位驟升或驟降，但兩端點之間的水位變化趨勢卻屬於合理變化的情況，推測其發生原因是由於人為的儀器校調所造成的量測偏差。由於此類水位異常變化明顯非物理機制所造成，處理此異常段時，保留期間之變化趨勢，將驟升或驟降之水位差扣除或加回，當異常段之資料經過處理後，其水位歷線顯然較為合理，如圖 2.3-8 至圖 2.3-12 所示。

(a) (b)

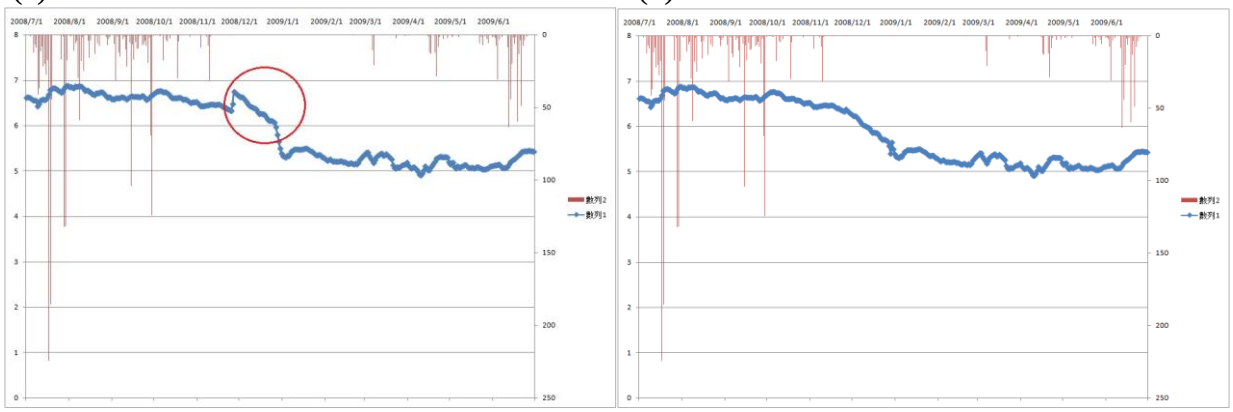


圖 2.3-6 昭明(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後

(a) (b)

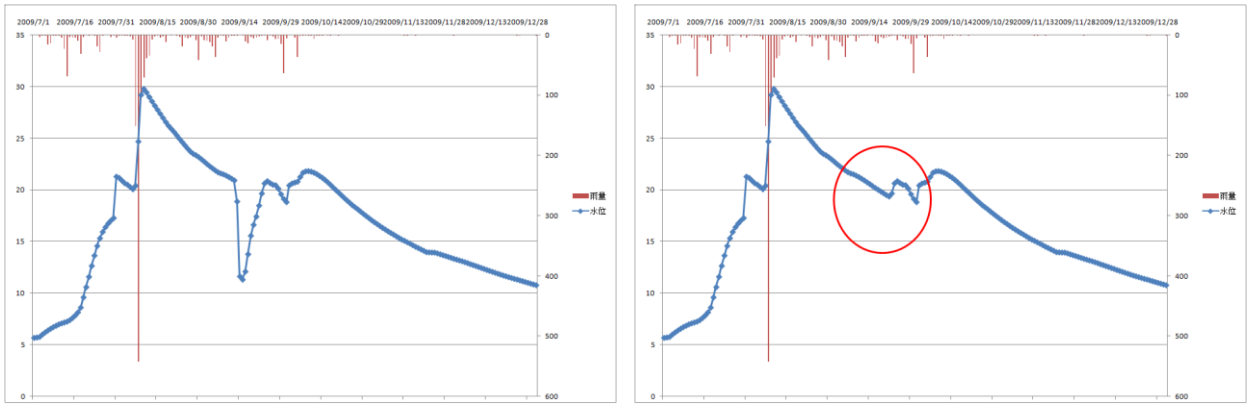


圖 2.3-7 大潭(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後

2.4 國內外地下水水資源保護現況

為了保護珍貴的水資源，許多國家已設立地下水水源保護區，例如美國華盛頓州的 CARA 區（Critical Aquifer Recharge Area）、喬治亞州的 GRAD 區（Groundwater Recharge Area District），以下回顧這些案例，並討論台灣可以借鏡之處。

2.4.1 美國華盛頓州的重要含水層補注區（CARA, Critical Aquifer Recharge Area）

美國華盛頓州「重要含水層補注區」（CARA, Critical Aquifer Recharge Area）的劃設，為保護地下水飲用水源之水質與水量而設。法源依據為「成長管理法」（Growth Management Act），理由為事前的保育比污染事後的清除省錢，美國環保署估計事後的清除費比事前的保育費用高達 5 至 200 倍（USEPA, 1995）。

「成長管理法」明訂各地方政府必需劃設「重要保護區」（Critical Areas），其對「重要含水層補注區」（CARA, Critical Aquifer Recharge Area）的定義為：該地為飲用水源之含水層之補注區域（areas with a critical recharging effect on aquifers used for potable water）。

該含水層及補注區的劃設可經由水文地質調查為之。保護的標的不只是水質，尚包括補注水量，例如水泥鋪面的禁止，以免減少雨水入滲量。保護的優先次序考慮使用現況及未來使用，主事者需親自調查該區的現有水井，並衡量未來的開發需求，以訂出保護的優先次序。

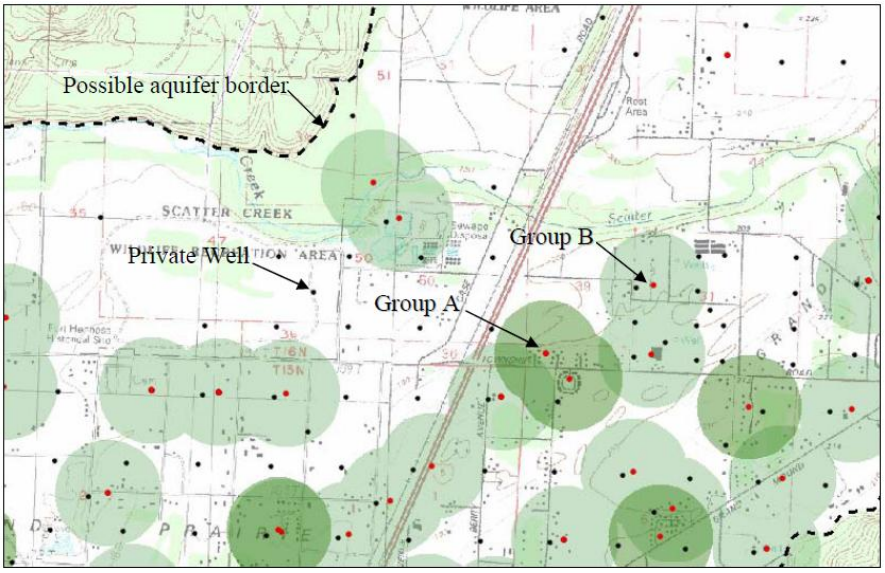


圖 2.4-1 辨別標示出井頭保護帶（圖中紅點為水井、綠圈為井頭保護帶）

步驟：共有 8 個步驟（Morgan, 2005）。

（1）辨別（Identify）：地下水資源在哪裡？水井的分布？井的使用現況？水資源的現況及含水層的分布。針對飲用水水井，標出井頭保護帶（圖 2.4-1）。「安全飲用水法」（SDWA, Safe Drinking Water Act）也提供飲用水水井之保護法源依據。該法規定需調查飲用水源附近之潛在的污染源（potential contamination sources）。除了公有井列為第一順位保護，私有井（家戶使用）也應加以保護。

井頭保護帶（Wellhead Protection Zones）：為一緩衝帶，在該水井為中心之某半徑範圍內設立保護帶。依水井之重要性，以半年、一年、五年、十年的緩衝時間設立保護範圍。即在保護帶外之污染進入含水層後，需夠長的時間才會進到水井中，以保護水源（USEPA, 1989）。

（2）污染敏感度（Susceptibility）：指自然條件是否容易受到污染，例如地下水面、土壤層、含水層、不透水層的分布及水文參數等。區域性的地下水污染敏感圖通常可用 Drastic 方法產生（圖 2.4-2 及圖 2.4-3）。

（3）調查（Inventory）已知的可能污染源： 例如油槽、工廠、洗衣店、農業活動等。

（4）污染潛勢（Vulnerability）：指人為潛在污染源及自然條件加總之污染潛勢。

（5）劃設（Designate）重要含水層補注保護區：明確在地圖上指出範圍，標出潛在的污染區，標出含水層範圍及性質，標出飲用水源水井，並綜合說明劃設此區對飲用水源之重要性（圖 2.4-4）。

（6）保護（Protect）：依各地方政府之行政，進行登記、管制、檢查、處罰等作為。

（7）確實執行（Ensure）保育管理計畫。

（8）水量管理：除了飲用水優先抽用，應維持河川基流量，以維持河川生態。

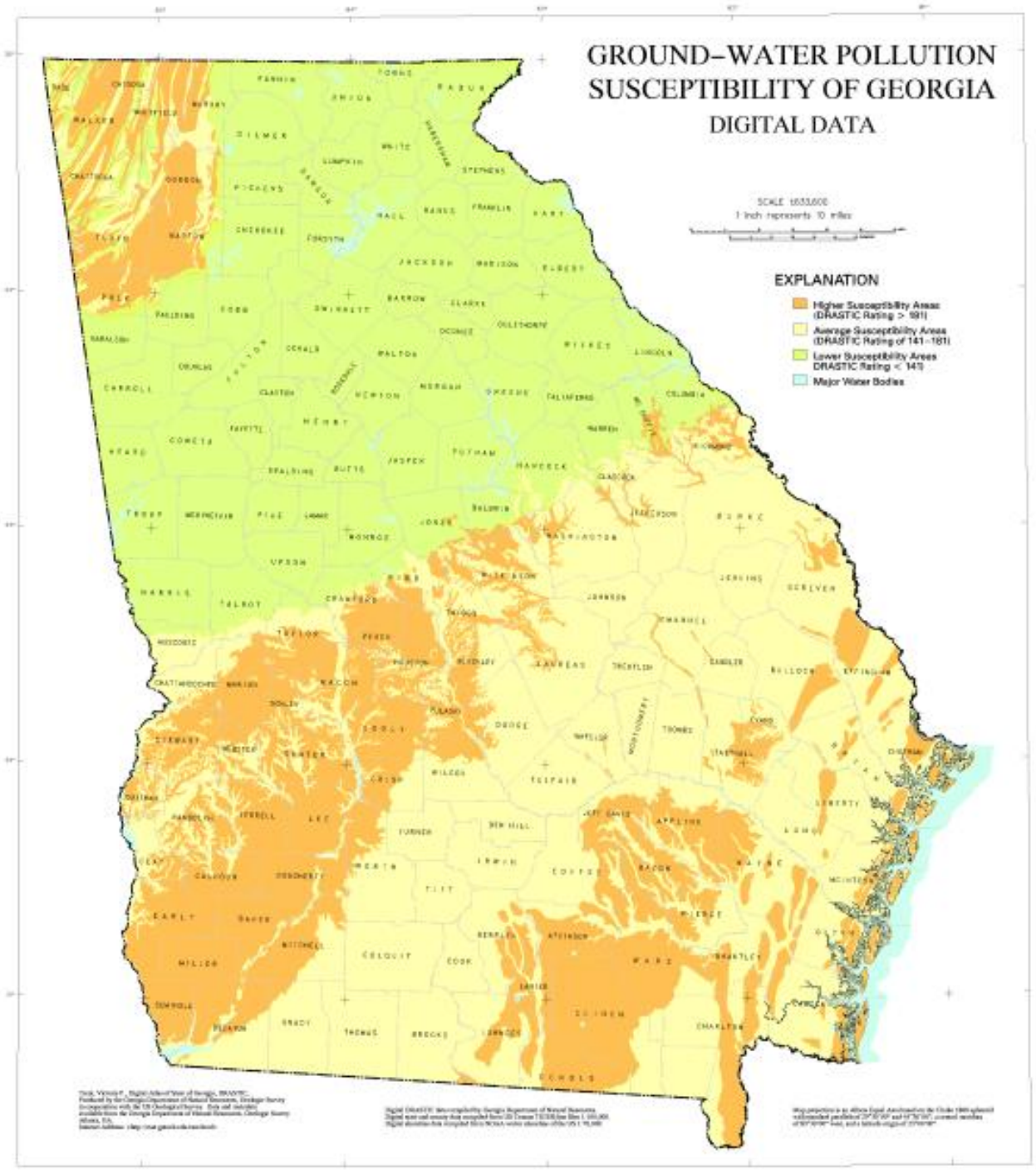


圖 2.4-2 美國 Georgia 州之污染敏感圖

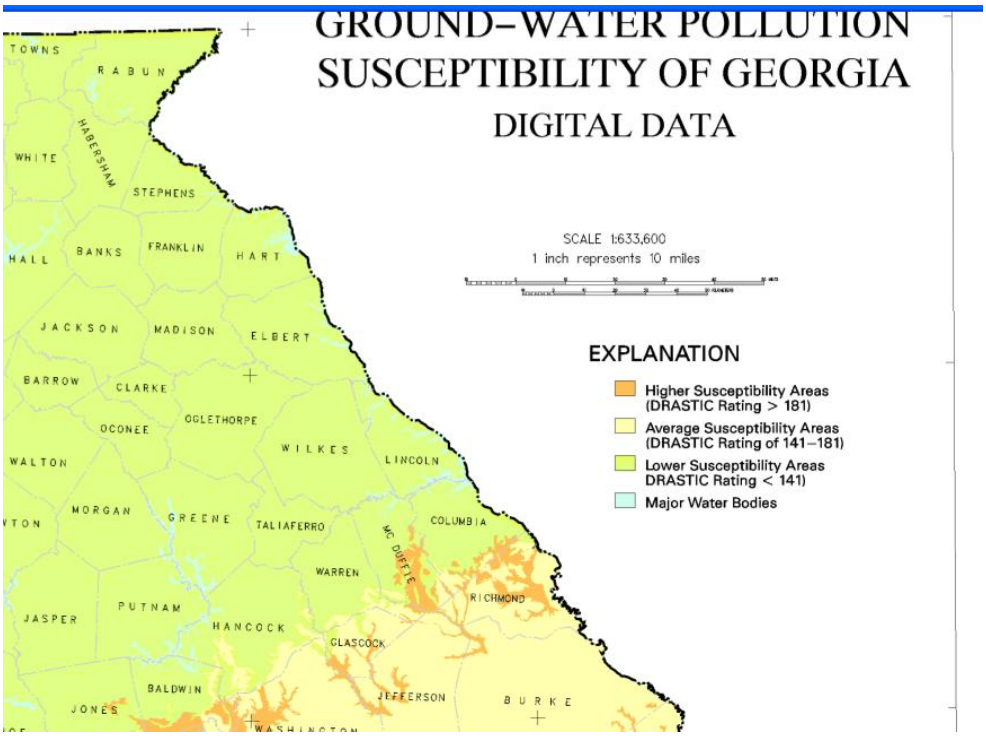


圖 2.4-3 美國 Georgia 州之污染敏感圖局部放大

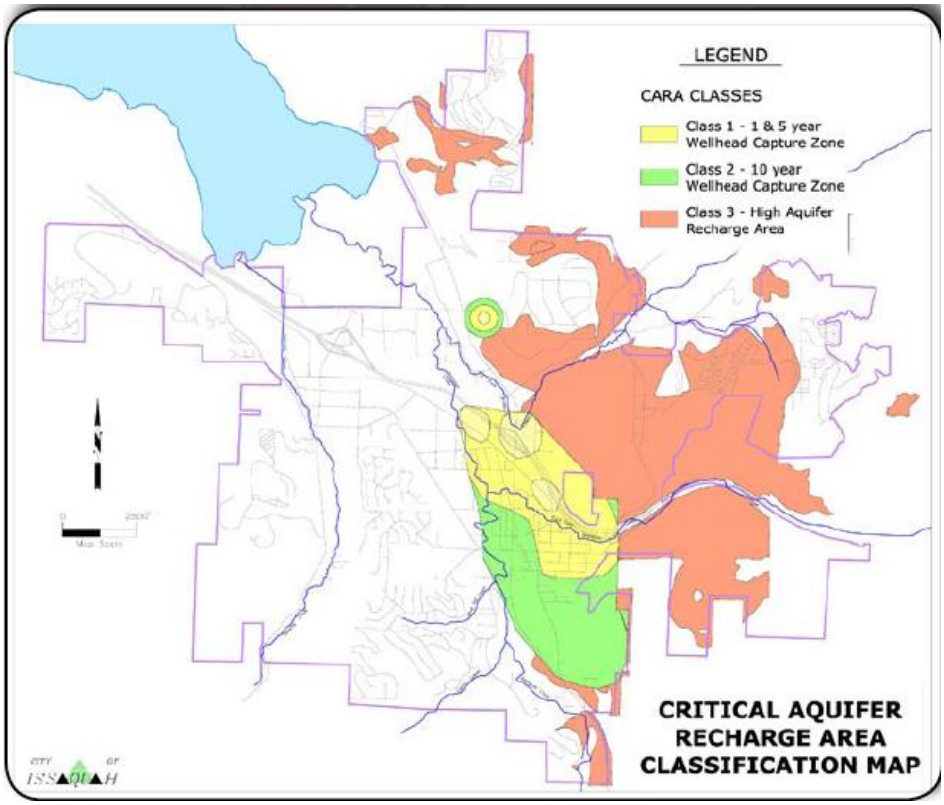


圖2.4-4　重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州 Issaquah市，分成三類：第一區為1-5年的井頭保護區、第二區為10年的井頭保護區、第三區為高補注區。

地方政府的執行層面，圖 2.4-4 為美國華盛頓州 Issaquah 市「重要地下水補注保護區的劃設」，分成三類：第一區為 1-5 年的井頭保護區、第二區為 10 年的井頭保護區、第三區為高補注區。圖 2.4-5 及圖 2.4-6 為華盛頓州 King County「重要地下水補注保護區」的分布圖（King County, 2010）。所有位於第一區及第二區的工商業，持有一定數量以上的危害化學物質，需擬定 BMP（Best Management Practice）計畫，載明化學物質的清單、處理方法、儲存方法、廢棄方法等（City of Issaquah, 2009）。

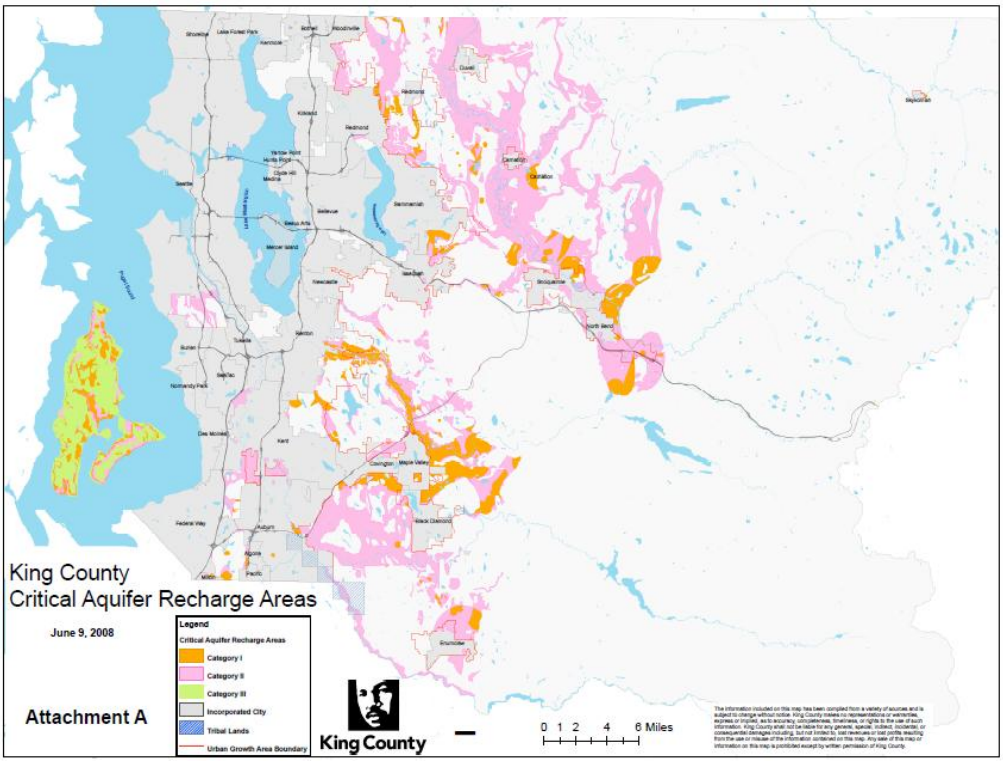


圖2.4-5　重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州King County，也是分成三類。資料來源：http://www.kingcounty.gov/environment/waterandland/groundwater/maps-reports/maps.aspx

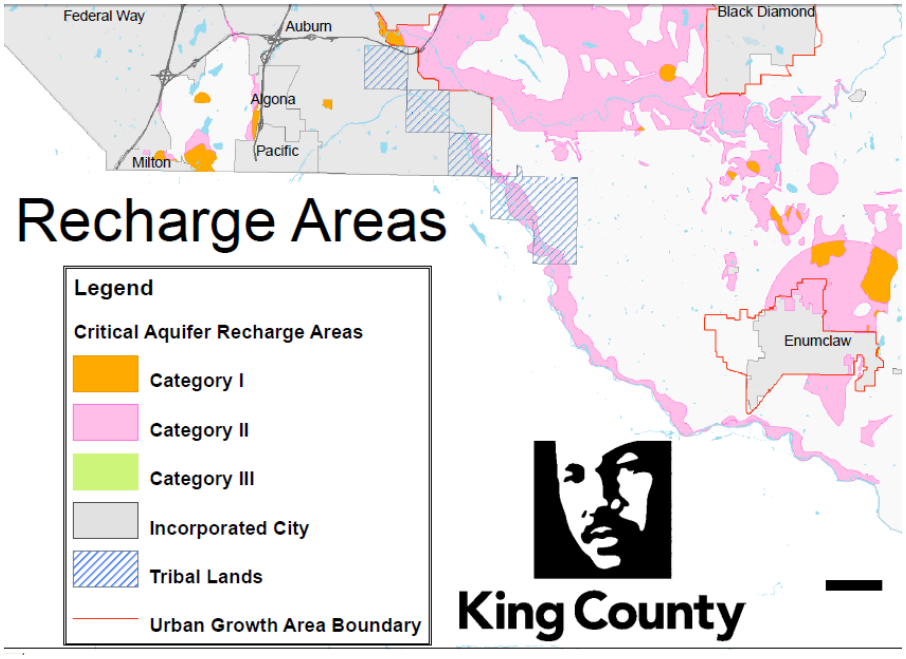


圖2.4-6　重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州King County，局部放大。

資料來源：http://www.kingcounty.gov/environment/waterandland/groundwater/maps-reports/maps.aspx

2.4.2 喬治亞州的地下水補注區（GRAD, Groundwater Recharge Area District）

美國喬治亞州的地下水補注區屬於水資源保護區（Water Resource Districts）的一部份。該州的水資源保護區分為四類：地下水補注區、濕地、水源集水區、河流（Georgia Department of Natural Resources, 2010）。其中地下水補注區的劃設，主要依據喬治亞自然資源部的第 18 號水文圖（Hydrological Atlas 18, 1989 Edition），根據圖上的補注範圍（圖 2.4-7），再依據第 20 號水文圖－地下水污染敏感圖(groundwater pollution susceptibility map)（圖 2.4-8），將地下水補注區分成三類：高危險、中危險及低危險。

第 18 號及第 20 號水文圖的原始比例尺為 50 萬分之一，此兩幅圖已數值化，可上網查詢喬治亞理工學院和美國地質調查所合作數值地圖，網址 http://csat.er.usgs.gov/statewide/。但因比例尺太小，實際上地方政府在執行時，有時邊界並不清楚，州政府建議有疑問時（引起爭議時），地方政府應尋求專業水文地質師進行補查。

地下水補注區之土地使用法規（Georgia Department of Natural Resources, 2010）：

(1) 地上油槽及化學槽，超過 660 加侖，需有預備的空槽（萬一偵測到洩漏時、可緊急接替）。

(2) 農業廢棄物掩埋場需有不透水材料襯墊。
(3) 社區需設污水道及污水處理設施。
(4) 社區若沒有自設污水處理設施，需將污水送至公有污水廠處理。
(5) 污水處理若不合規定，不得核發建照。
(6) 持有危害物(hazardous materials)超過一萬磅，危害物的定義根據 Resource Conservation and Recovery Act 第 312 條，需鋪設不透水材料襯墊，並通過防洩漏及防火之法規。
(7) 新設污水廠需鋪設不透水材料襯墊。

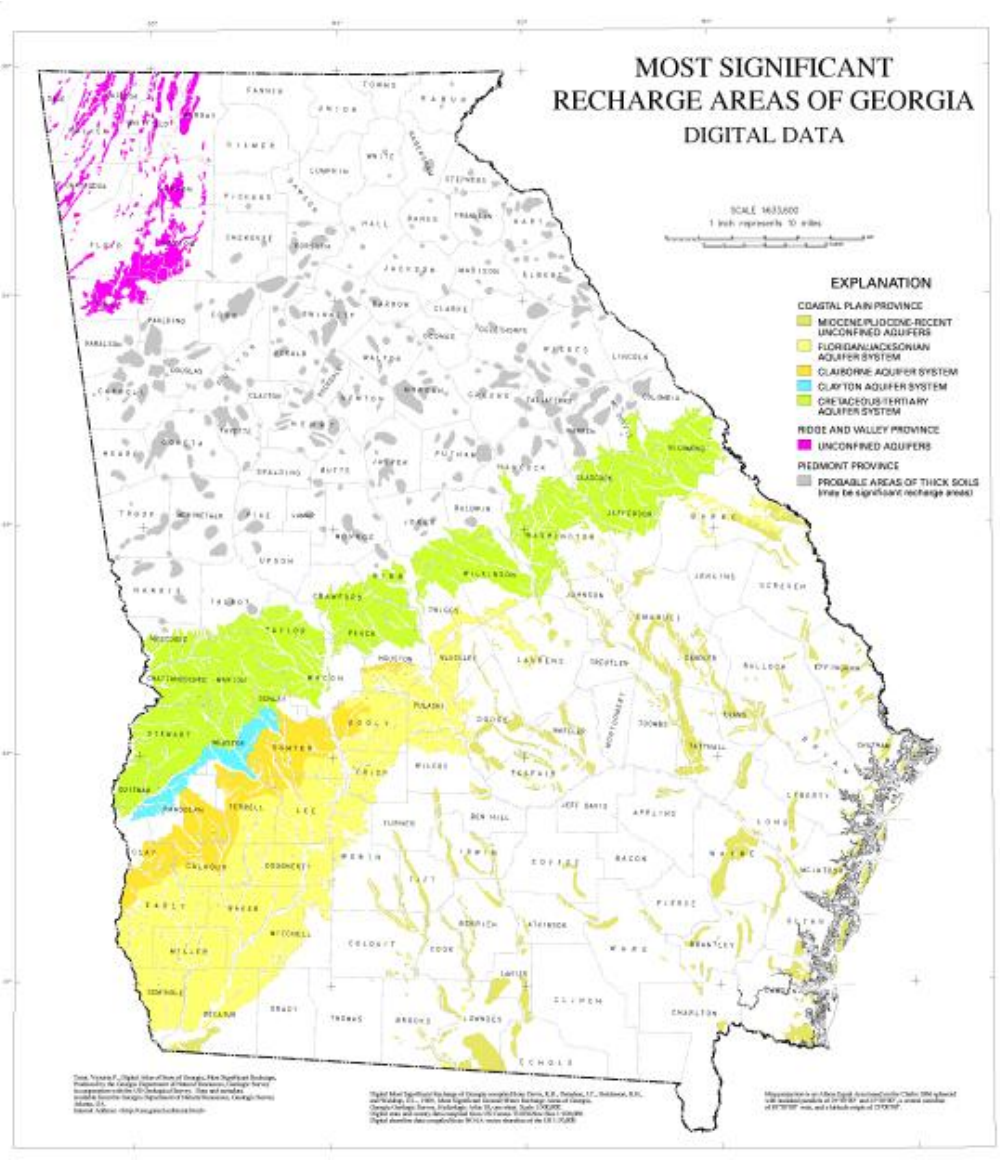


圖 2.4-7　美國喬治亞州的地下水補注區（數值圖來源：美國地質調查所之地圖資料庫 http://csat.er.usgs.gov/statewide/layers/recharge.html）

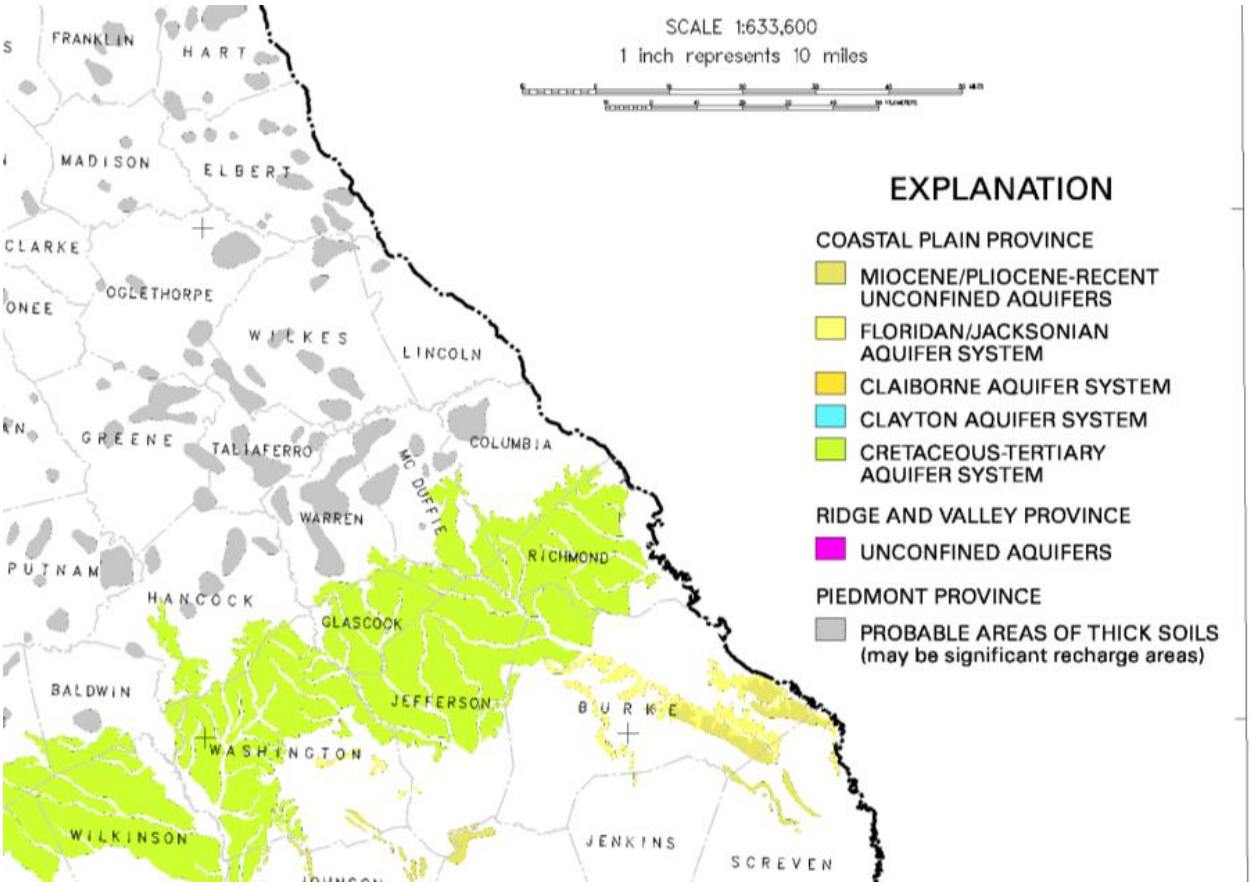


圖 2.4-8　美國喬治亞州的地下水補注區局部放大圖及圖例（數值圖來源：美國地質調查所之地圖資料庫 http://csat.er.usgs.gov/statewide/layers/recharge.html）

2.4.3 台灣的地下水保護

台灣的水源保護以環保署公告之「飲用水水源水質保護區」為之，目前只有公告地面水之保護區，並沒有保護地下水之水源（圖 2.4-9）。

根據環保署土壤及地下水污染整治網的公告 http://sgw.epa.gov.tw/public/index.asp，屏東縣共有 10 處污染列管場址（表 2.4-1），其中位於內埔鄉的場址，即屬於主要補注區的範圍。

為保護珍貴的地下水資源，特別是飲用水的水源，應儘速公告「地下水補注區」或「地下水飲用水水源水質保護區」，並管制其土地利用，防範污染，國外的案例顯示，事後的清理除了曠日費時，其費用也比事前管制高出許多。

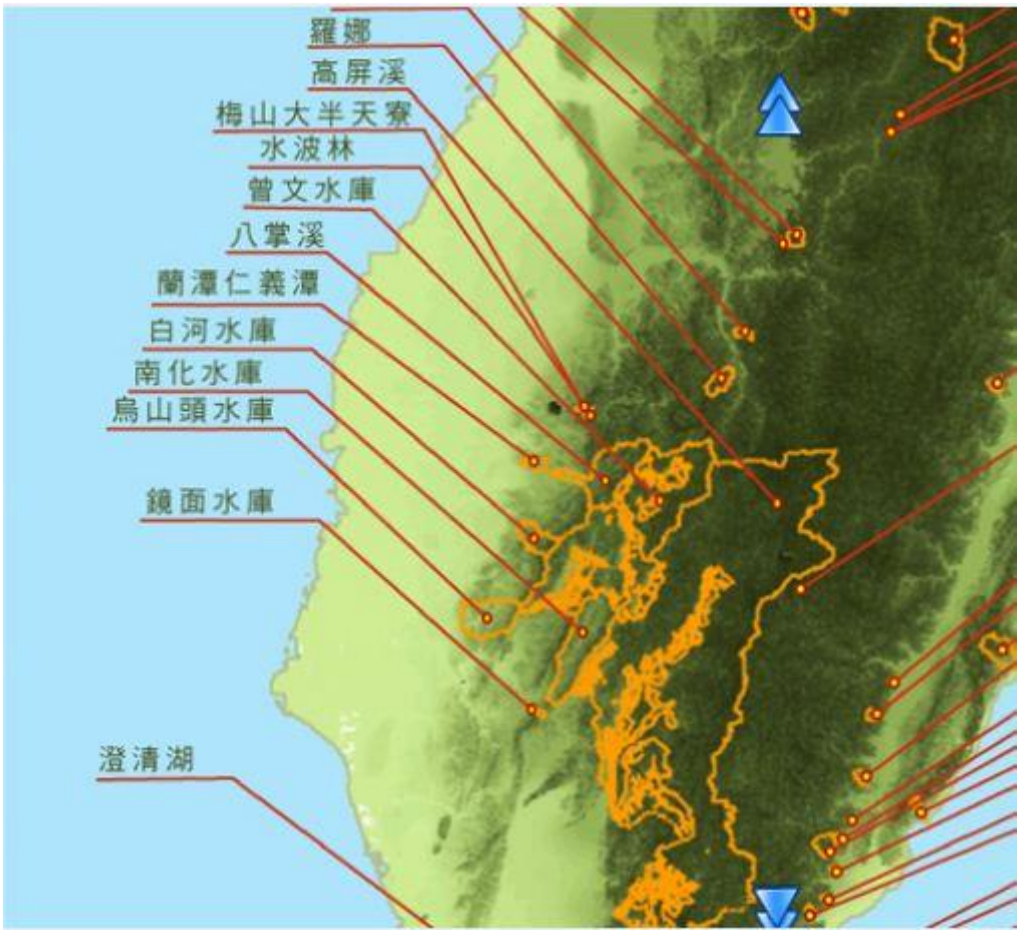


圖 2.4-9　環保署公告之飲用水水源水質保護區，目前並不含地下水水源，網址：http://wsserver.epa.gov.tw/

表 2.4-1　環保署公告之屏東縣土壤及地下水污染列管場址

場址名稱	場址坐標	場址地址	場址種類	公告日期	土壤/地下水污染物
川流加油站	X：203762，Y：2483375	屏東縣佳冬鄉昌隆村大豐路 786 號	加油站	2008/9/4	苯;總石油碳氫化合物/苯;甲苯;奈
加祿加油站	無坐標資料	屏東縣枋山鄉加祿村加祿路 157 號	加油站	2008/11/24	總石油碳氫化合物/無
內埔加油站	無坐標資料	屏東縣內埔鄉東寧村南寧路 422 號	加油站	2008/10/15	總石油碳氫化合物/無
全部實業股份有限公司	無坐標資料	屏東縣麟洛鄉中山路 563 號	工廠	2009/8/21	鉛;總石油碳氫化合物/無
屏東縣九如鄉九清段 1340 地號	無坐標資料	屏東縣九如鄉九清段 1340 地號	農地	2009/6/1	鉻;鎳;鋅;總石油碳氫化合物/無
屏東縣長治鄉長興段 1357-13 號(現為榮興段 161 地號)	X：205075.051951，Y：2508188.99053	屏東縣長治鄉長興段 1357-13 號(現為榮興段 161 地號)	非法棄置場址	2010/4/22	無/苯
屏東縣長治鄉番子寮段 243-110 部分地號	X：204387.241123，Y：2509104.3489	屏東縣長治鄉番子寮段 243-110 部分地號	非法棄置場址	2010/7/13	鉻;鎳;銅;鋅;鉛/無
屏東縣長治鄉榮華段 1682 部分地號	X：204666.8，Y：2508953.1	無	非法棄置場址	2010/7/13	鉻;鎘;鎳;銅;鋅;鉛/無
屏東縣萬丹鄉新安段 1438 及 1439 地號(大鼎飼料廠)	X：197505，Y：2500959	屏東縣萬丹鄉新安段 1438、1439 地號(大鼎飼料廠)	非法棄置場址	2005/11/28	鎘;鎳;鉻;銅;鉛;鋅;/無
屏東縣新園鄉新洋段 325、416、419、428、429、430、431、432-6(部分)地號	X：194390.64，Y：2495493.45	屏東縣新園鄉新洋段 325、416、419、428、 429、430、431、432-6(部分)地號	非法棄置場址	2005/11/28	砷;鉻;銅;汞;鎳;鉛;鋅/無

第三章 現地補充調查試驗

屏東平原是台灣最重要的地下水資源區之一，與濁水溪共同提供了全台超過 60%的地下水抽用量。此兩區大都由沖積扇所組成，扇頂的巨厚礫石層構成了主要的補注區，以濁水溪沖積扇為例，扇頂補注區即佔全區約 57%的地下水補注來源（江崇榮等，2006）。濁水溪沖積扇補注區的西邊界約沿著田中、柑園、莿桐、虎溪、及古坑；東邊界應沿著八卦台地及斗六丘陵的分水嶺。扇頂區除了是地下水資源豐富的區域，也是本區地下水的源頭，若有污染滲入，將對地下水資源產生很大的衝擊。許多國家已設立地下水水源保護區，例如美國華盛頓州的 CARA 區（Critical Aquifer Recharge Area）、喬治亞州的 GRAD 區（Groundwater Recharge Area District），但台灣尚在起步階段，所以極需進行此基礎調查研究（City of Issaquah，2009）。

為了配合地下水補注潛勢研究，增加補注計算及補注區劃定的精度，以提供地下水水質保護區劃定的重要參考，本項工作補充調查分為三大工作：(1)以地球物理探測方法，調查扇頂水文地質分界帶；(2)調查補注區的水質，探討水質地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制；(3)六合站鑿建抽水井及抽水試驗分析，調查相關水文地質參數。

3.1 屏東地區扇頂地電阻測勘

本調查工作採用地電阻調查方法，初步佈線規劃參考補注潛勢分析評估，再由地質鑽井岩心與地表調查等資料判定之屏東平原補注區邊界，由南至北沿扇頂向扇尾方向，分四組完成數條二維地電阻影像剖面測線，每條二維地電阻影像測線總長度約為 400 公尺，以協助補注區之劃設。由於目前一般補注區劃設之工作，均依據鑽井與地質鑽探之資料進行，而鑽井地點與經費之限制，無法由密集之鑽井資料判斷補注區之確切分佈範圍，因此往往造成許多爭議。由於扇頂補注區地質主要為厚層之礫石層所組成，因此常形成良好之入滲通道，使得天水與地表水可沿礫石層較疏鬆之間隙而補注至淺層之非侷限含水層(Unconfined aquifer)，甚至是較深層之受壓侷限含水層(Confined aquifer)；而漸至沖積扇尾地區，近地表之沉積物則逐漸轉變為厚層之泥層，形成良好之難透水層(Aquitard)。由沉積物之導電特性來看，飽和之礫石層與泥層具有截然不同的反應，一般而言，礫石層具有較高之視電阻率(約 10~100 Ohm-m)，而泥層視電阻率則極低(約 1~10 Ohm-m)，依上述礫石層與泥層之電阻特性，因此可由地電阻剖面上辨識出沖積層之礫石與泥層分布之情況，配合已有之鑽井資料，即可快速的協助判斷及確定厚層礫石所形成的補注區域的範圍。預期在四區測線

完成後，配合該區域的鑽井資料，能建立一套快速且經濟的補注區範圍判釋做法標準，並且提供本地區之基礎地下探測資料，協助未來繼續進行補注區域範圍劃設之作業。(圖 3.1.0)

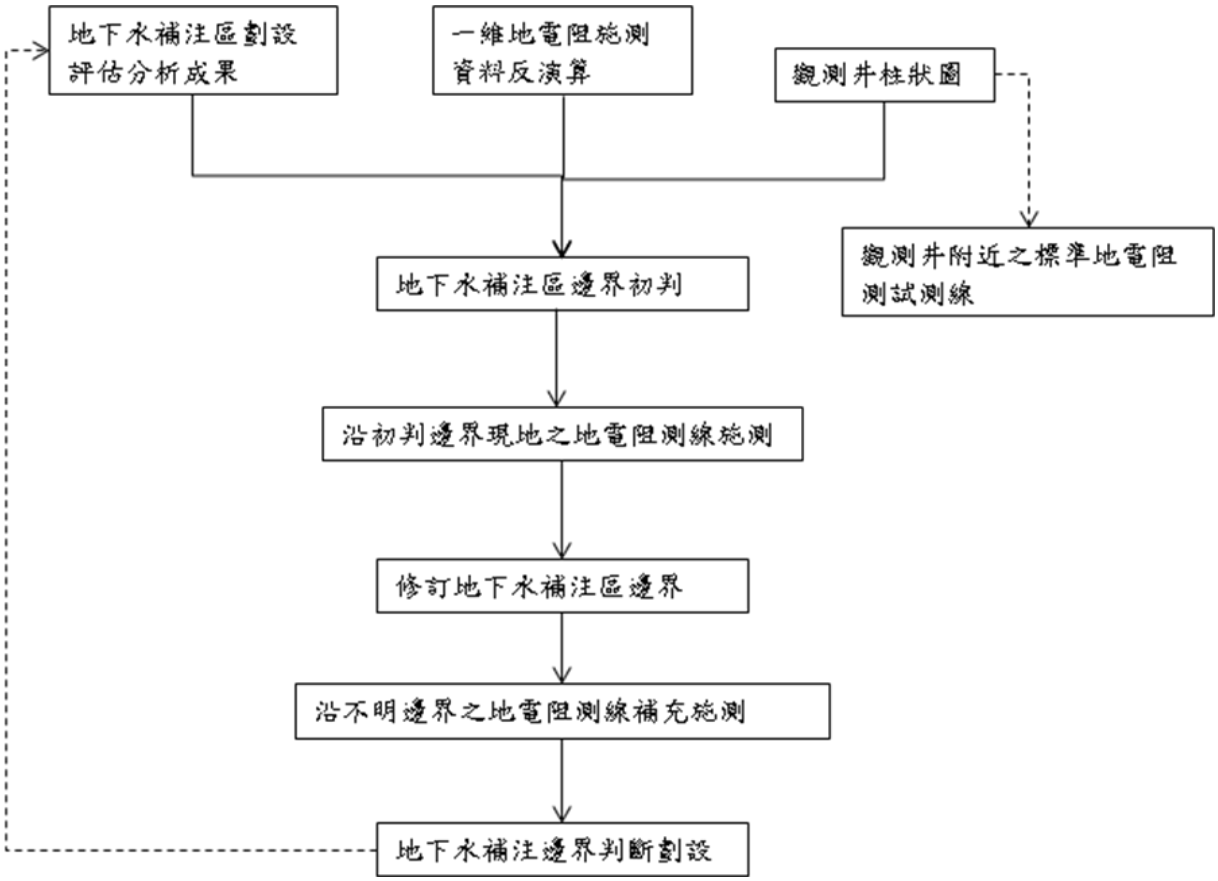


圖 3.1.0 利用地電阻方法補充調查地下水補注區邊界之作業流程示意圖

3.1.1 二維地電阻調查原理

(一)地電阻率測勘原理

一般影響地下地層電阻的因素有岩性、礦物組成、含水量、孔隙率、孔隙水組成及溫度等，當地層層序變化造成明顯的層間電阻率對比，或是欲探測地下不同電阻率目標之存在，例如隧道、埋藏金屬物、未爆彈(UXO)等，就適合用地電阻方法作為探測工具。地電阻法之測勘原理，乃利用直流電或低頻交流電流經由一對電極(A、B)通入地下，於地下建立人工電場，並利用另一對電極(M、N)測量電場在 M、N 間之電位差(如圖 3.1-1)，根據此計算地層的視地電阻率

(Apparent Resistivity)，進而再運用反推計算方法推求地層真實地電阻率(True Resistivity)。

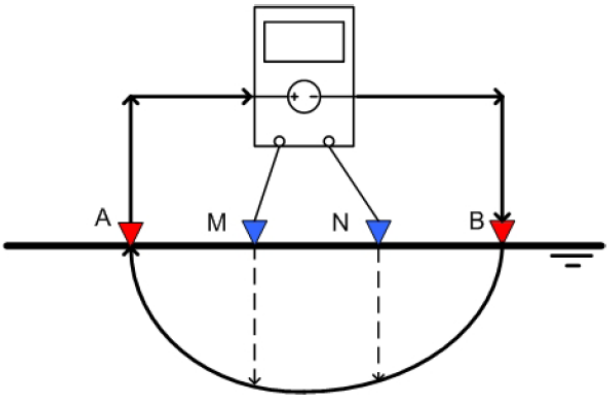


圖 3.1-1 地電阻探測儀器示意圖

根據歐姆定律，電流(I)與電壓(V)成正比，與電阻(R)成反比

V =I R.....(式 3.1-1)

當電流通過不同的地質材料時會因為電阻性質不同，而測得不同的電位差；電阻性質的大小則又決定於電流流過地質材料之流線長度和流線之總截面積，以及物質的內部性質(即電阻率(ρ))有關，可進一步表示為

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \cdots\cdots(式3.1\text{-}2)$$

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad \cdots\cdots(式3.1\text{-}3)$$

上式中，R 為電阻，ρ 為電阻率， l 為電流流線的長度， A 為電流線的總截面積。在任一均質的地表通入電流強度為 I 之直流電，因為空氣為絕緣體，所以電流會由導入點呈放射狀向外流出，成為一個半球面(如圖 3.1-2)體。而電流是等量的分配在每一個地方，故距離通入電流之 r 處，電位(V)也相等，且在均質的地表定義極薄的殼層為 dr。

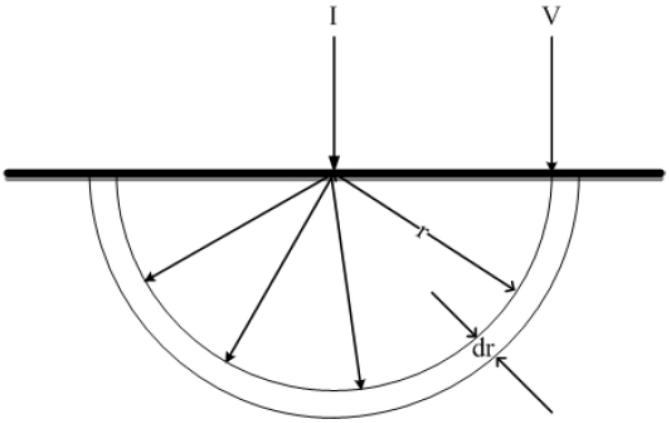


圖 3.1-2 電流流動示意圖

透過歐姆定律(3.1)式定義電位差穿過此殼層電位差為

$$dv = I(R) = I\left(\rho\frac{l}{A}\right) = I\left(\rho\frac{dr}{2\pi r^2}\right) \cdots\cdots\cdots\

$\overline{AM}$、$\overline{BM}$、$\overline{AN}$、$\overline{BN}$ ：電極至電極間的距離，K:幾何排列因子(Geometric Factor)。

但往往視電阻率並不能代表地下地層的真實電阻率(True Resistivity)，而是表示在對應之電極排列下，所有小於此深度的電性地層的綜合效應，而要求得地下地層的真實電阻率及深度需經過反演計算（逆推）的軟體處理才可求得，並繪出地層的電性影像，綜合上述的結果統稱為“地電阻率的剖面影像法”。

(二) 二維地電阻影像剖面

地電阻量測可以藉由改變上述電極排列方式以及施測之位置與順序，以測得不同解析度、不同測深範圍之地電阻率剖面。常見的地電阻測勘的電極排列法甚多，各有其探測上的優點與限制，野外施測所選定使用的方法，則視欲探測目標及施測地點的地形而異。一般基本之常用電極排列有：溫奈排列（Wenner Array）、施蘭卜吉排列（Schlumberger Array）、雙偶極排列（Dipole-dipole Array）及雙極排列（Pole-pole Array）等。

溫奈排列法優點在於其排列方式為對稱，且排列時電位極位於電流極之間，可克服大部分之隨機雜訊(random noisy)，以減少實驗造成的誤差，且施測總展距適當，不會如雙極排列法需將遠端電極拉至施測展距十倍遠，可減少實際在野外測試時候操作性與避免因電極較遠而造成雜訊過大的情形，整體相較之下訊號比較其他方式為高，訊號品質較好。

雙偶極排列法優點在於此法較不受到地形限制，且施測容易，但在施測上相當耗時，主要依加大間距獲取較深層之電性地層資料。一般而言，施蘭卜吉排列與溫奈排列較常應用於地層平緩區域作垂直探勘(Sounding)；雙極排列與雙偶極排列則較常運用於剖面探勘(Profiling)。通常測深與電極間距成正比，但因訊號在深處會衰減，所以以溫奈排列實際可得測線長度五分之一的測深。

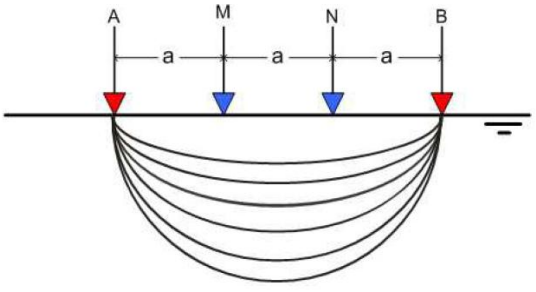


圖 3.1-3 溫奈排列（Wenner Array）排列方式示意圖

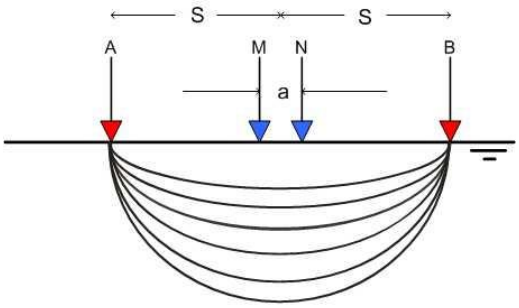


圖 3.1-4 施蘭卜吉排列（Schlumberger Array）排列方式示意圖

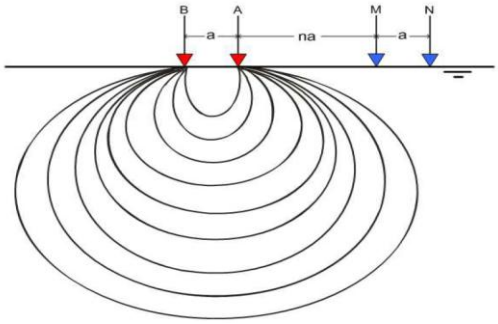


圖 3.1-5 雙偶極排列（Dipole-dipole Array）排列方式示意圖

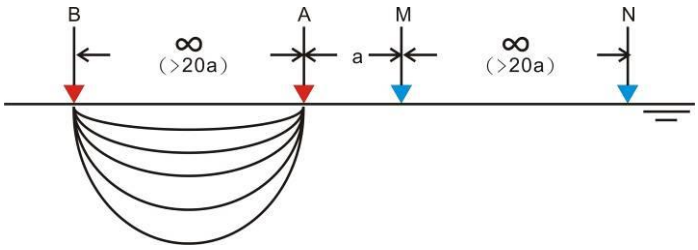


圖 3.1-6 雙極排列（Pole-Pole Array）排列方式示意圖

目前一般現地地電阻測量方式則是運用上述之電極排列法，於地表沿一直線測線，順序改變電極間距與電極位置，如此可以測得沿測線之不同深度、不同位置之視電阻率分佈，此種方法稱之為(二維)地電阻影像剖面法(Resistivity Image Profiling, RIP)。由於地電阻影像剖面法需逐次移動電流與電位之電極，因此施測上往往極為耗費時間。對於中小範圍的環境監測與地下測勘，可以於地

表以一定間距佈設電極，運用地電阻儀器內建之自動調變頻道功能，依預先選定之順序，逐次選用不同位置之四處電極分別作為電流與電位極，如此可大幅減少移動電極之時間，另外可運用反饋疊加訊號，減少訊號中之雜訊並提高解析度與增加施測深度，大幅提高影像解析度。

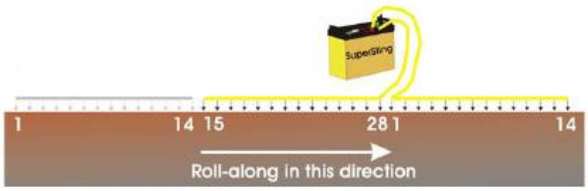


圖 3.1-7 二維地電阻剖面影像探測示意圖

本工作所採用的儀器為美國 Advanced Geosciences, INC.(AGI)公司之 SuperSting R1/IP 地電阻儀，並聯接可由電腦程式控制調變頻道之 SmartCable 系統，此系統可選用特製之水下電極進行湖盆或海底地電阻探測，最多可以同時接連 256 根電極，進行快速、高密度之地電阻影像剖面量測。本研究所採用的反演算數值軟體為 AGI 所開發出之二維地電阻影像逆推反算程式 EarthImager 2DTM。EarthImager 2D/3D 之反算程式可根據各種不同電極排列，與施測位置順序等資料，自動反推計算出半球面空間中的二維地電阻模型，並可根據已知資料如透地雷達測勘資料等，設定起始模型，最後產生地電阻影像剖面模型。

3.1.2 二維地電阻現地施測方式

本調查工作預計採用地電阻調查方法，再由地質鑽井岩心與地表調查等資料判定之屏東平原補注區邊界。沿扇頂區域由北至南調查，各區域均由扇頂至扇尾施作約兩條二維地電阻影像剖面測線。

98 年度工作中曾以輪替式測線之做法調查濁水溪北岸之地下水補注區邊界，輪替式測線之做法是採用兩條固定間距之二維電極陣列(Electrode array)，沿一條測線方向，以交互輪替移動的方式進行施測(如 3.1-8)。由於二維地電阻影像方法之測深決定於電極陣列之長度，因此聯合兩條電極陣列可達之測深遠較單一電極陣列較大，而輪替式的方式則每次移動僅需移動一條電極陣列，在時間上較有效率。輪替式的施測方式，運用單次 400 公尺之施測方式，根據 3.1-8 之做法交替中一半之電極佈設位置，逐漸向測線延展方向進行長距離之施測。如此可以進行一條極長之地電阻測線，以提供補注區範圍劃設之用。

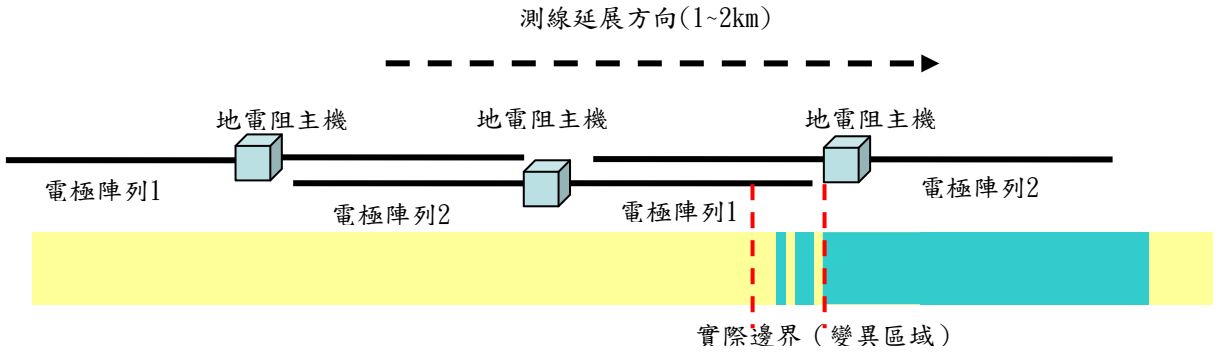


圖 3.1-8 地電阻輪替式(Roll-along)陣列施測方式示意圖

但是根據 98、99 年度於彰化、雲林地區施測之經驗，屏東地區由於人為開發較密集，很難沿連續測線進行施測。故本年度以改良式的平移測線設計，沿扇頂往扇尾方向進行平移式二維施測（如 3.1-9），並視人為構造物分布規劃測區測線以減少不必要的干擾。平移式測線是傳統的二維地電阻影像剖面測線施作方式，但以 98、99 年度彰化、雲林地區工作而言是較有效率的。這種施測方式主要是針對尋找地表下構造或岩性不連續邊界時所使用。初次測點開始進行地電阻施測後，若從反演算影像研判初次測點並未找到地表下變異邊界，則平移方向指向疑似區域進行第二測點之施作。若第二測點之反演算影像特性已和初次測點完全迥異，則平移至第一測點及第二測點連線之中點，藉以包夾、逼近地表下構造或岩性不連續邊界並予以劃定。

預計採用之每條電極陣列之電極間距為 10 公尺，單次施測長度約為 400 公尺，估計測深約可達 50-70 公尺，根據目前本區之鑽探資料顯示，近地表發現之約 10 公尺厚之泥層一般已被視作具有足夠阻水特性之難透水層，因此上述之測線設計應已足夠作為扇頂補注區劃設調查之用。

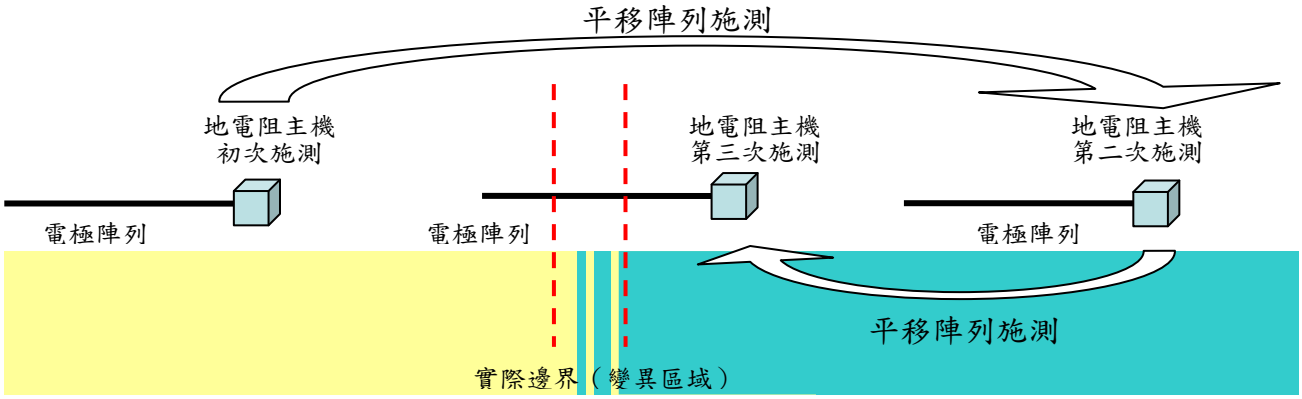


圖 3.1-9 地電阻平移式陣列施測方式示意圖

根據 99 年度之二維地電阻剖面工作成果，發現所研判之補注區邊界，較原先由雲林地區一維地電阻之 50 公尺半展距分佈圖 50 Ohm-m 視電阻率等值線之邊界要更往扇頂靠近，大約相當於 50 公尺半展距分佈圖視電阻率 60 Ohm-m 等值線之分佈位置。因此由過去屏東平原地區一維地電阻、地質鑽探及地下水井井測資料，初步大致沿 50 公尺半展距分佈圖視電阻率 60 Ohm-m 等值線分佈研判本區之扇頂補注區邊界(如 3.1-10)。

但是由於今年度屏東平原有高屏溪、東港溪與林邊溪三大主要河流流貫；根據 98、99 年度於彰化、雲林地區的濁水溪流域工作經驗，若是調查區域僅受單一水系作用，水文地質狀況相對會比多河系作用之區域單純許多。再加上不同區域有相異的地質、地理條件，如 98、99 年度於彰化、雲林地區的濁水溪流域與本年度之屏東平原區域地質環境及沉積物來源完全相異，因此有可能彰化雲林地區與屏東平原的電性地層特徵是差異甚大的。因此為了避免複雜的水文地質條件與電性地層特徵的差異影響本年度的判斷與調查結果，今年度(100)屏東平原的調查工作主要仍沿用 98、99 年度於彰化、雲林地區平移測線方法的設計，但優先於分區測線之主要觀測井旁進行施測，建立分區測線之主要標準觀測井岩芯與二維地電阻剖面的對比，以利資料比對正確性。如此，可在第一時間內確實找出地下水補注區邊界於各區測線內與觀測井的約略相對位置。後續較精確的補注區邊界劃定，仍依照平移式測線施測方法以二維地電阻剖面影像繼續判定求得較精確的邊界位置。

以觀測井為主軸的分區測線規劃與野外二維地電阻資料實測，加上岩芯資料比對驗證，配合工研院一維施蘭卜吉法視電阻率資料與反演算結果，預計可獲得精準的補注區邊界劃定。

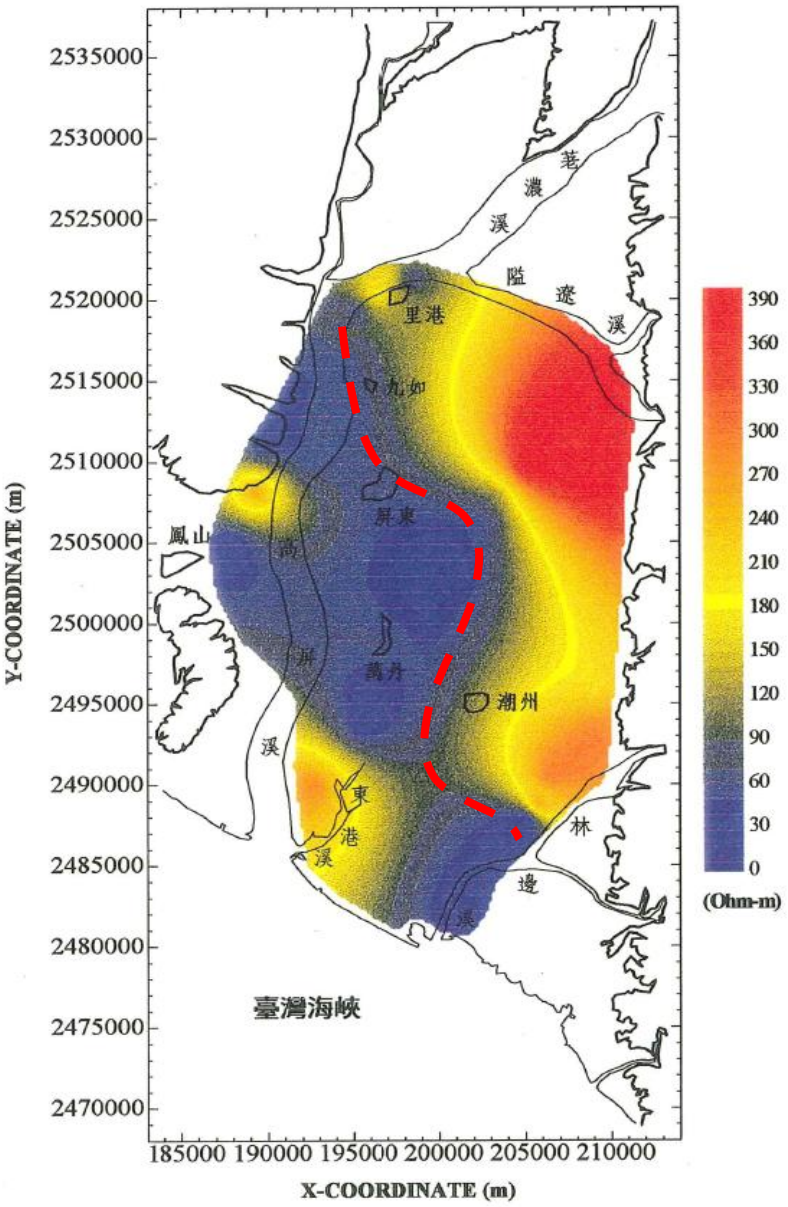


圖 3.1-10 屏東平原 50 公尺半展距一維地電阻分布圖與本年度地電阻預定測線及推測補注區界線位置圖(紅色虛線為由 50 Ohm-m 等值線推測之扇頂補注區邊界)

本年度（100）調查工作預計於屏東平原，於萬隆、新埤、大潭、萬巒、大湖、新庄、建興、西勢、萬丹、鹽埔、彭厝、九如等地下水觀測井測站連線附近(如圖 3.1-11)，進行地電阻施測。

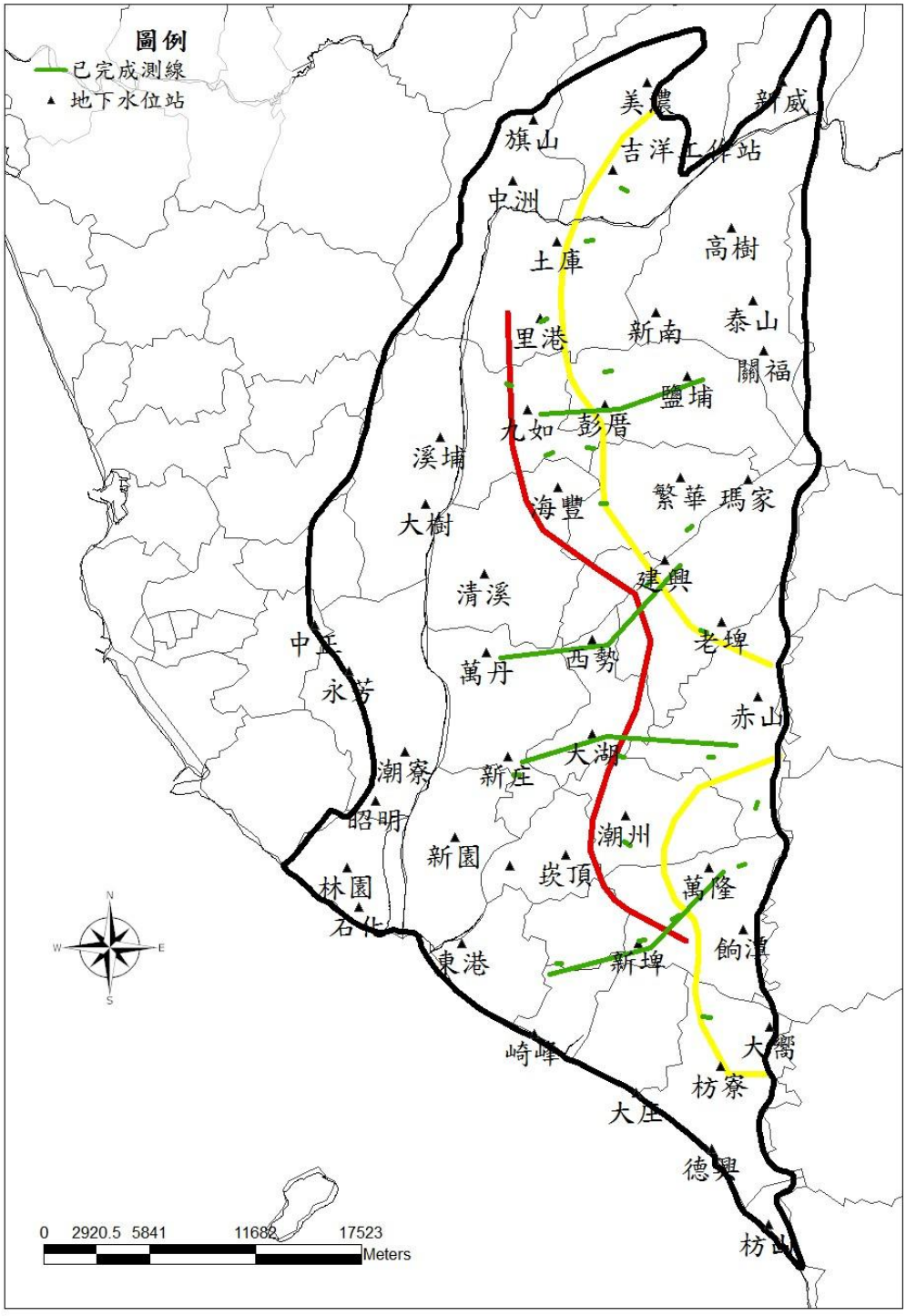


圖 3.1-11 屏東平原地電阻預定測線位置(觀測井)分佈圖

100 年度調查包括以下工作項目:

1. 完成四組地電阻平移測線野外施測:

本年度在屏東平原內，自扇頂往扇尾方向，在初步分析判定之補注區邊界附近施作總長度五公里以上之地電阻平移式測線，測線的延展方向與長度決定，在於觀測井附近進行地電阻施測，取得初步資料，則可了解該組東西向之泥層及礫層分布，再從該測線附近之觀測井規畫下次測點：若從反演算影像研判該測點位於厚層泥層區域，則下次平移方向往扇頂進行施作；若從反演算影像研判該測點位於厚層礫石層區域，則平移方向往扇尾進行之施作。如此以平移測線的方法，包夾、逼近補注區邊界。

2. 重點區域地電阻補充調查:

由於二維測線沿著由扇頂至扇尾方向之測線進行施測調查，因此在邊界分佈之調查中，可能有部分區域之地層分佈須再進行詳察驗證，因此重點區域補充調查係為空間中涵蓋之不足部分或有疑義之部分進行補充，並比對本年度新鑽井與現有觀測井之岩心紀錄，以增加分析之可信度。由地電阻長測線之結果加以分析研判，再針對有疑義之區域進行更詳細之調查，利用較高解析度之地電阻影像協助辨識分析補注區之劃設範圍。

3. 運用沖積扇地電阻率之不同分佈協助劃設補注區之分析:

利用上述之野外工作之成果，配合當地之鑽井與地質鑽探資料，可進一步運用繪出二維與三維之電性空間分布圖，並進一步交叉比對其他水文地質資料，研擬出運用地電阻率之空間分布劃設補注區邊界之標準分析做法。

3.1.3 二維地電阻現地施測結果

本調查工作已於屏東平原完成四組分區測線，總長共計 7240 公尺已超過計畫最低要求，分別為：

1. 南區測線－沿圖 3.1-11 之萬隆-新埤-大潭連線位置，總長度為 1420m 之二維地電阻反演影像剖面量測。分別為萬隆測線(340 m)、新埤測線(340 m)、大潭測線(340 m) 、萬隆-新埤測線(400m)。

2. 中南區測線－沿圖 3.1-11 之萬巒-大湖-新庄連線位置，總長度為 950 m 之二維地電阻反演影像剖面量測。分別為萬巒測線(270 m) 、大湖測線(340 m)、新庄測線(340 m)。

3. 中區測線－沿圖 3.1-11 之建興-西勢-萬丹連線位置，總長度為 1120 m

之二維地電阻反演影像剖面量測。分別為建興測線（340m）、建興-西勢測線（400m），並增加老埤-內埔測線(380 m）以確定邊界。

4. 北區測線－沿圖 3.1-11 之鹽埔-彭厝-九如連線位置，總長度為 1060 m 之二維地電阻反演影像剖面量測。分別為彭厝測線(380 m)、九如測線(300 m)，後來增加里港測線(380 m）以確定邊界。

5. 驗證性測線(南)－沿圖 3.1-11 之中南區連線以南至南區連線以北位置，為驗證所測得之邊界是否正確，施作總長度為 1140 m 之二維地電阻反演影像剖面量測。分別為萬巒-萬隆測線（340 m)、潮州測線（400 m)，以及屏東平原最南端大響二測線（400 m）以確定邊界。

6. 驗證性測線(北)－沿圖 3.1-11 之北區連線以南至中區連線以北位置，為驗證所測得之邊界是否正確，施作總長度為 1540m 之二維地電阻反演影像剖面量測。分別為海豐-建興測線（380 m)、九如-海豐測線（400 m)、彭厝-海豐測線（380 m)，以及屏東平原最北端吉洋測線（380 m）以確定邊界。

(一) 南區(萬隆-新埤-大潭)測線地電阻率剖面與觀測井岩性比對

萬隆觀測井位於新埤鄉萬隆國小內，為減少不必要的干擾及考慮到實際可行測量點位，故在觀測井之東北方約 900 公尺處之空地進行施測。測線向東北沿農用道路延伸約 340 公尺。

依照去年度（99）實作經驗，形成難透水層多為泥層或含泥較多之砂層所組成。而礫石層一般之電阻率(約 50~100 Ohm-m) 較泥層(約 1~10 Ohm-m)為高，萬隆觀測井和萬隆地電阻影像標準剖面在比對後的特徵亦相符。由地電阻剖面可發現，萬隆地區電阻率均在 300 Ohm-m 以上，電阻值明顯比彰化、雲林地區高出極多，但依照基本原理與岩芯比對結果，高電阻率在本區仍代表礫岩。因此本測線可作為距離補注區邊界最近之典型礫石層之代表，以作為與地電阻剖面對比之依據。

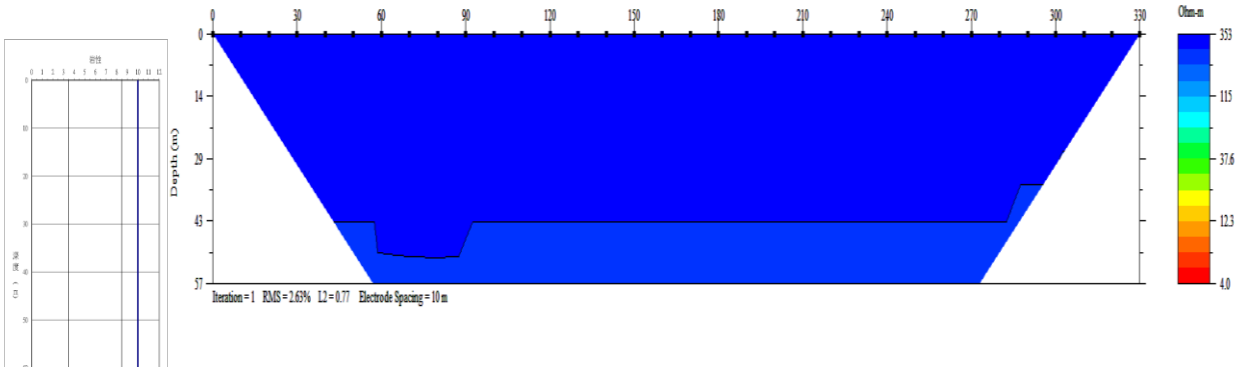


圖 3.1-12 萬隆二維地電阻影像剖面與萬隆觀測井岩芯資料對比結果

另一口觀測井--新埤觀測井位於新埤鄉新埤國小內，標準測線施測於新埤觀測井西北方約 500 公尺的農用道路北側的稻田內。

而圖 3.1-13 則顯示新埤地區之 340 公尺地電阻影像剖面與新埤觀測井岩芯資料。比對新埤觀測井岩芯資料所顯示在其井下僅 12-25 m 處部分為礫石層分佈，礫石層呈局部凸鏡狀體分佈於泥層或砂泥互層之中。

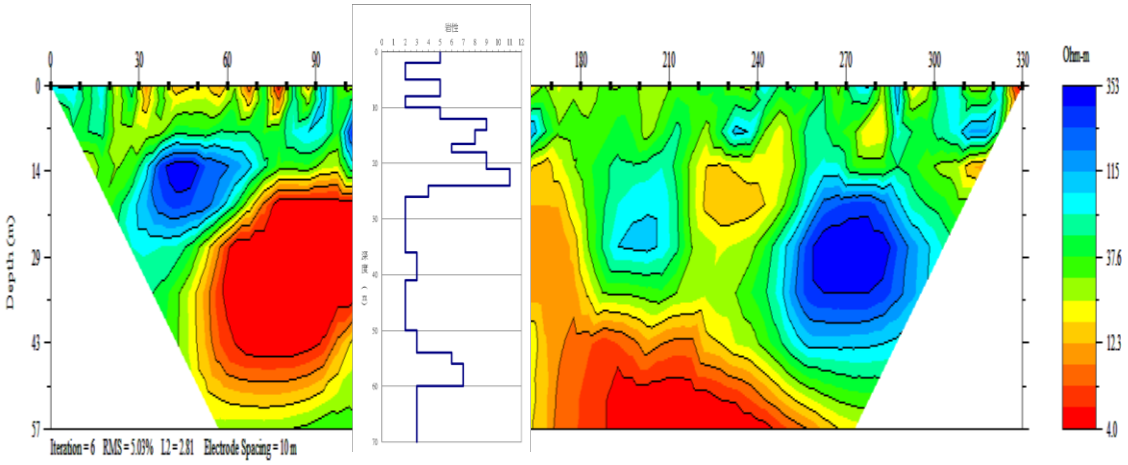


圖 3.1-13 新埤二維地電阻影像剖面與新埤觀測井岩芯資料對比結果

大潭觀測井位於東港鎮大潭國小內。標準測線施測於大潭觀測井東北方約 600 公尺的農用道路北側的稻田內。

而圖 3.1-14 則顯示大潭地區之 340 公尺地電阻影像剖面與大潭觀測井岩芯對比資料。比對大潭觀測井岩芯資料所顯示在其井下 6-12 m 處為砂泥互層，12-36m 處多為砂層。

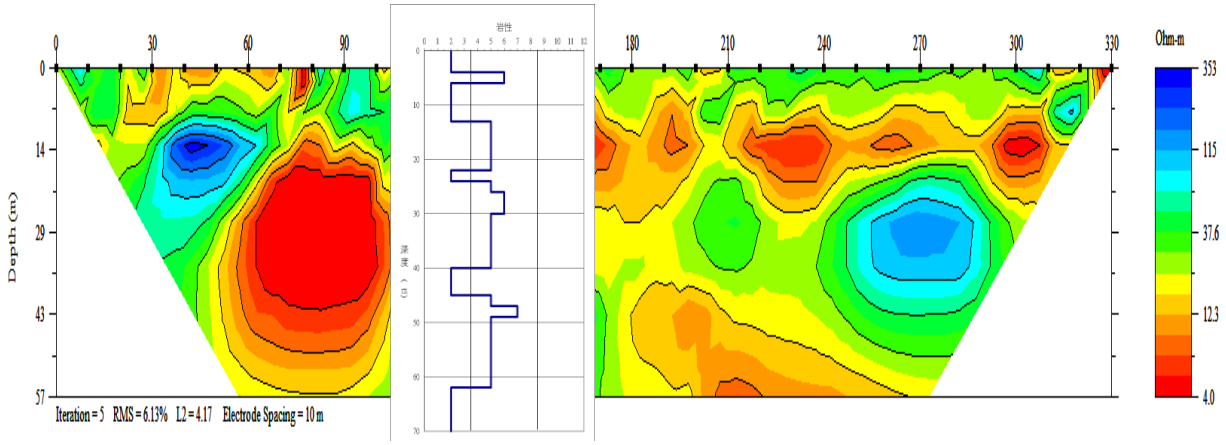


圖 3.1-14 大潭二維地電阻影像剖面與大潭觀測井岩芯資料對比結果

從圖 3.1-12、圖 3.1-13、圖 3.1-14 研判補注區邊界應該介於萬隆測線與新埤測線之間，因此本研究在這萬隆測線與新埤測線間增加測線，預期找出礫石層與砂層交界。萬隆-新埤測線位於萬隆觀測井之西南方約 34000 公尺、新埤觀測井之東北方約 18000 公尺處之農用道路旁。

而圖 3.1-15 則顯示萬隆-新埤地區之 400 公尺地電阻影像剖面與兩側觀測井岩芯對比資料。

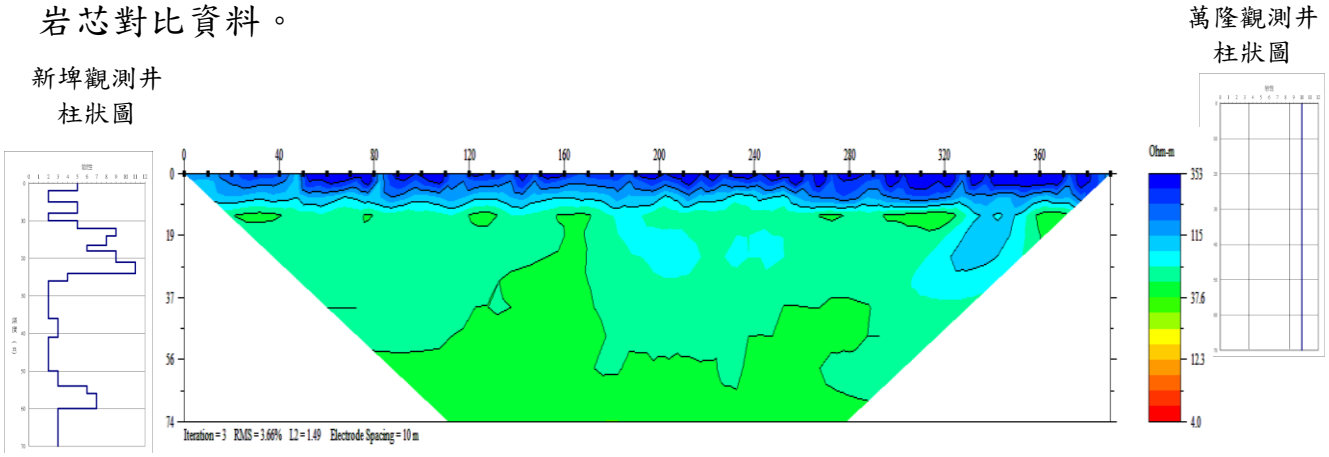


圖 3.1-15 萬隆-新埤二維地電阻影像剖面與萬隆觀測井、新埤觀測井岩芯資料對比結果

(二) 中南區(萬巒-大湖-新庄) 測線地電阻率剖面與觀測井岩性比對

萬巒觀測井位於萬巒鄉佳佐國小內，考慮實際可測量點位後，在觀測井之西南方約 1000 公尺處之土溝進行施測。

而圖 3.1-16 顯示萬巒地區之 270 公尺地電阻影像剖面與新埤觀測井岩芯資料。比對萬巒觀測井岩芯資料所顯示，在井下 8-21 m 處為礫石層分佈，21m-60m 主要為泥層，中間 45-55m 處砂礫互層，而 60-96m 為完整之礫岩。依照去年度（99）實作經驗，泥層或含泥較多之砂層也可形成難透水層。因地電阻測量時對於泥層較礫層敏感，故淺層部分因礫泥夾層可能有影響，而深處則與柱狀圖大致吻合，地電阻率因對泥層較敏感，但又有部分礫層，所以呈現中間值之電阻率剖面。

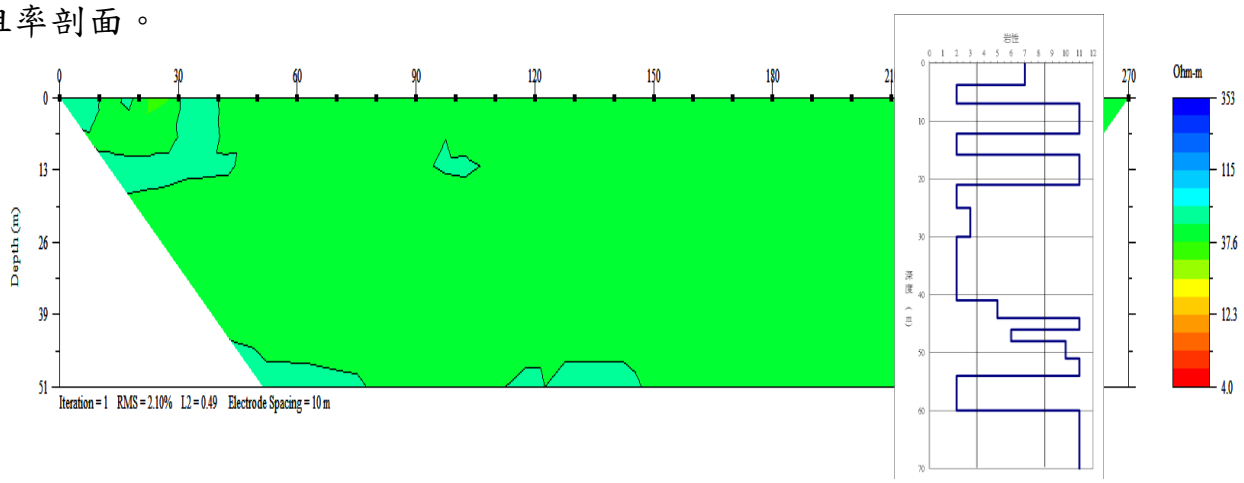


圖 3.1-16 萬巒二維地電阻影像剖面與萬巒觀測井岩芯資料對比結果

大湖觀測井位於竹田鄉大湖國小內，考慮實際可測量點位後，在觀測井之東南方 1000 公尺處的農用道路北側的稻田內進行施測。

而圖 3.1-17 顯示大湖地區之 340 公尺地電阻影像剖面與大湖觀測井岩芯資料。比對大湖觀測井岩芯資料所顯示，皆為砂泥互層。

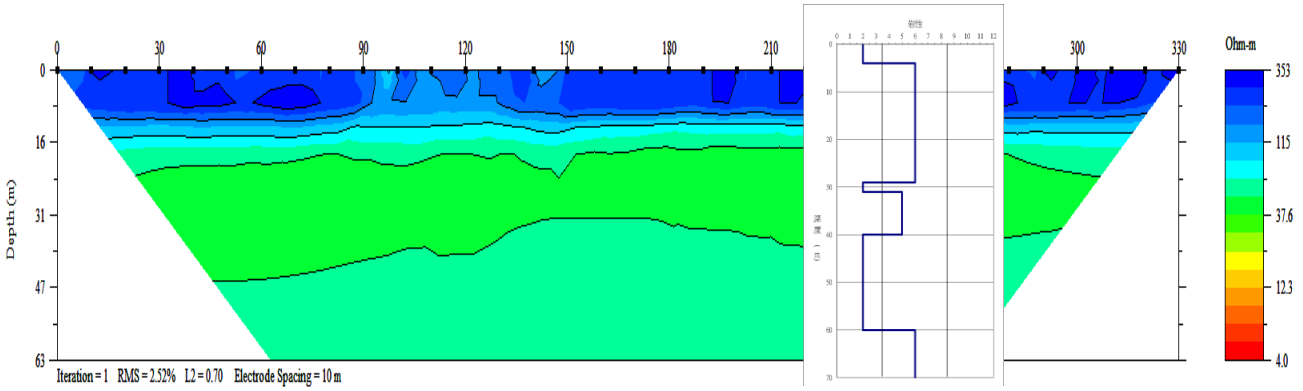


圖 3.1-17 大湖二維地電阻影像剖面與大湖觀測井岩芯資料對比結果

新庄觀測井位於萬丹鄉新庄國小內，考慮實際可測量點位後，在觀測井之西南方 800 公尺處的稻田內進行施測。

而圖 3.1-18 顯示新庄地區之 340 公尺地電阻影像剖面與新庄觀測井岩芯資料。比對新庄觀測井岩芯資料所顯示，僅在 0-14m 及 30-36m 處及為砂層，其餘多為泥層。

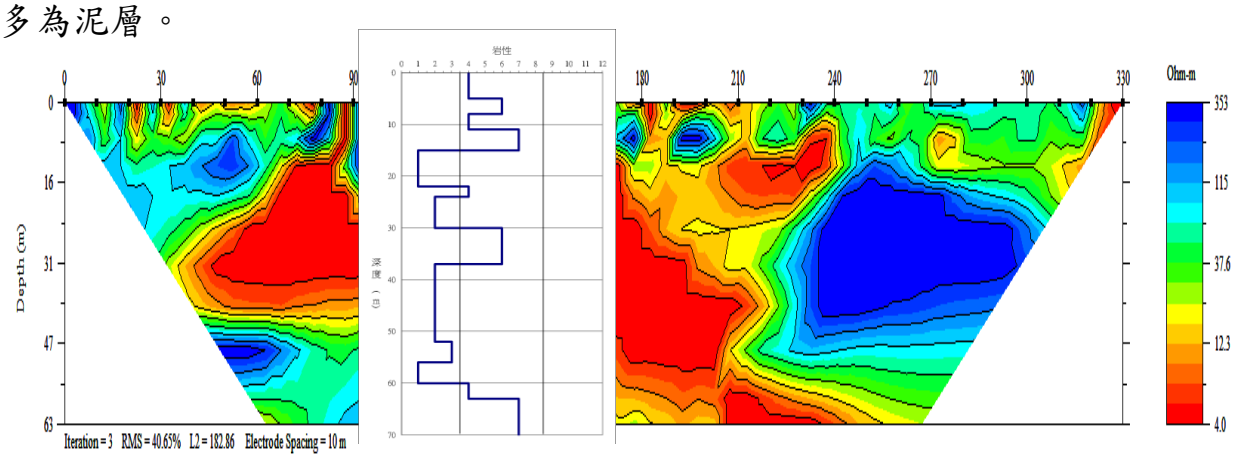


圖 3.1-18 新庄二維地電阻影像剖面與新庄觀測井岩芯資料對比結果

(三) 中區(建興-西勢-萬丹) 測線地電阻率剖面與觀測井岩性比對

建興觀測井位於內埔鄉榮華國小內，考慮實際可測量點位後，在觀測井之東北方約 1000M 處之鳳梨田旁進行施測。

而圖 3.1-19 顯示建興地區之 340 公尺地電阻影像剖面與建興觀測井岩芯資料。比對建興觀測井岩芯資料所顯示，此觀測井皆為礫石層。與建興測線幾近同，同為距離補注區邊界最近之典型礫石層之代表。

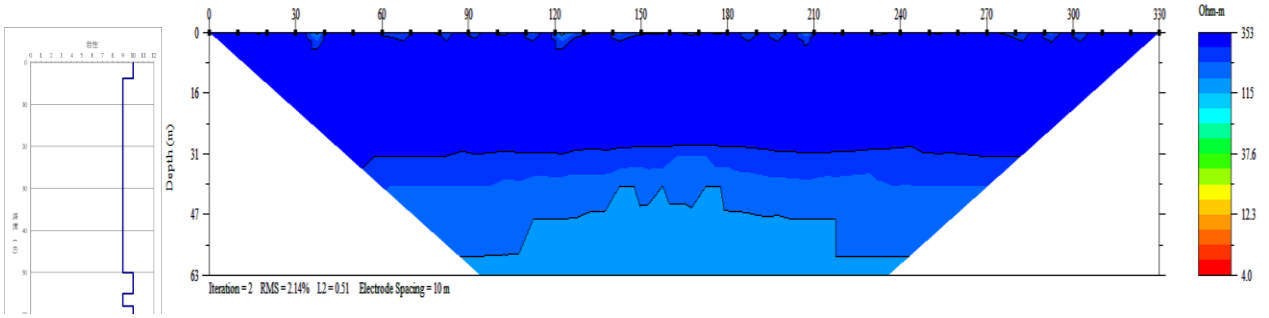


圖 3.1-19 建興二維地電阻影像剖面與建興觀測井岩芯資料對比結果

因建興之西側的西勢觀測井附近，聚落、道路組成複雜無法施測，故直接在建興觀測井與西勢觀測井間佈線，預期找出礫石層與砂層交界。建興-西勢測線位於建興觀測井之西南方約 18000 公尺處、西勢觀測井東北方約 3700 公尺處之道路旁。

而圖 3.1-20 則顯示建興-西勢地區之 400 公尺地電阻影像剖面與兩側觀測井岩芯對比資料。西勢觀測井主要為砂層，48-56m 處有礫石層；而二維地電阻影像剖面也顯示出完整的砂層。

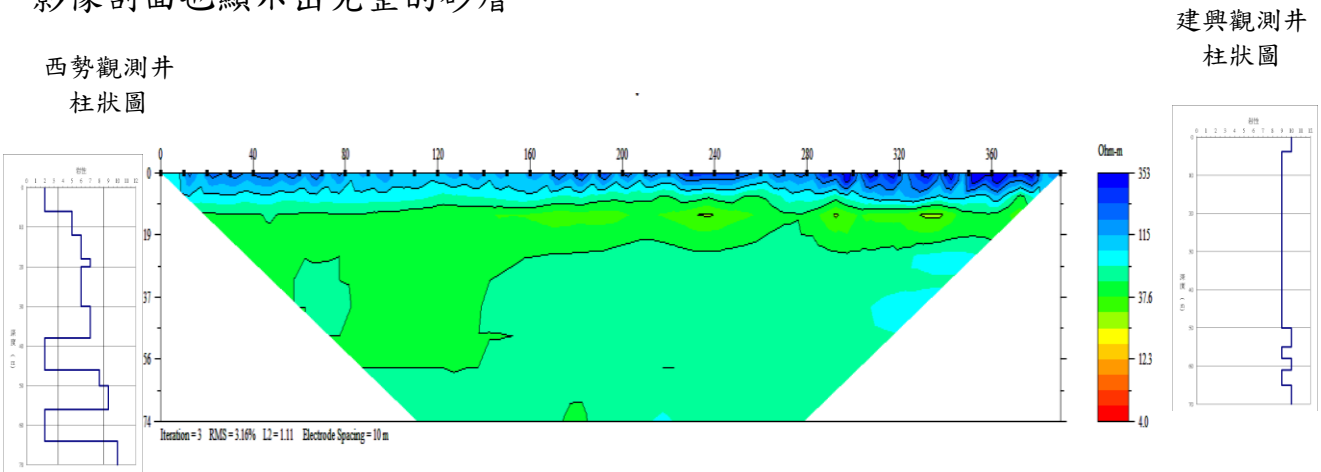


圖 3.1-20 建興-西勢二維地電阻影像剖面與建興觀測井、西勢觀測井岩芯資料對比結果

根據上述測線比對與分析後，提出新的邊界線規劃想法，認為在屏東平原之

補注區邊界可大分為南、北兩區，故在圖 3.1-24 東南方的老埤觀測井與內埔觀測井間佈線，預期找出礫石層與砂層交界，並為北區之補注區邊界之尾端。老埤-內埔測線位於老埤觀測井之西南方約 1500 公尺處、內埔觀測井東北方約 2400 公尺處之農用道路旁。

而圖 3.1-21 則顯示老埤-內埔地區之 380 公尺地電阻影像剖面與兩側觀測井岩芯對比資料。老埤觀測井為礫夾泥；而內埔觀測井除在 24-28m 處，以及 56-70m 有礫石層外，主要為砂層主要為砂層。二維地電阻影像剖面大部分出現完整的礫，但測線 100 公尺的 15-35m 深處及 200 公尺處有一低電阻構造，因現地並無任何干擾物，目前初步認定是地下原有之構造。

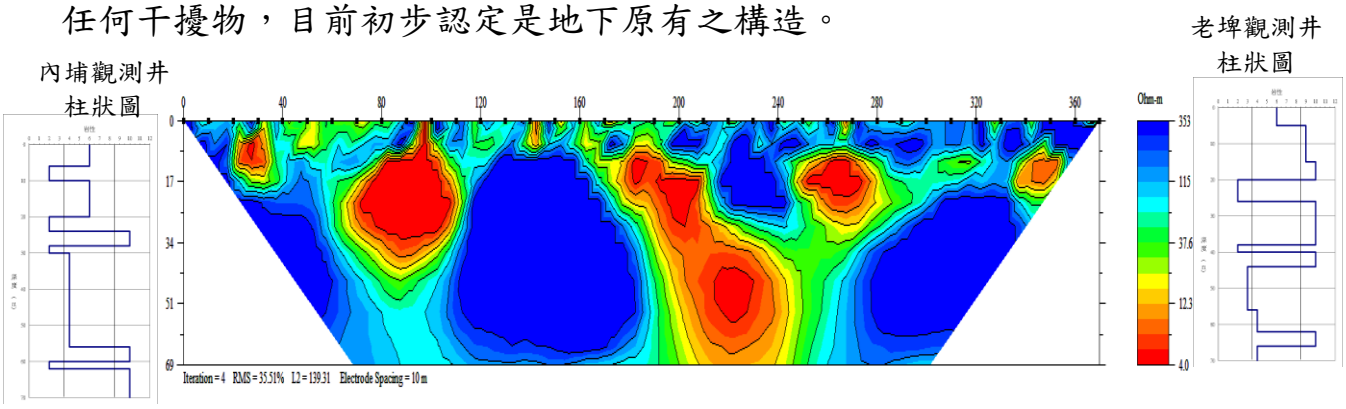


圖 3.1-21 老埤-內埔二維地電阻影像剖面與老埤觀測井、內埔觀測井岩芯資料對比結果

(四) 北區(鹽埔-彭厝-九如) 測線地電阻率剖面與觀測井岩性比對

彭厝觀測井位於鹽埔鄉彭厝國小內，考慮實際可測量點位後，在觀測井之北方約 2000 公尺處之道路旁進行施測。

而圖 3.1-22 顯示彭厝地區之 380 公尺地電阻影像剖面與彭厝觀測井岩芯資料。比對彭厝觀測井岩芯資料所顯示，此觀測井皆為礫石層，但因彭厝之礫石層為細礫石層，故電阻值與上述有所不同，非 300ohm-m 以上，而是較低接近砂層之電阻值約 100ohm-m。

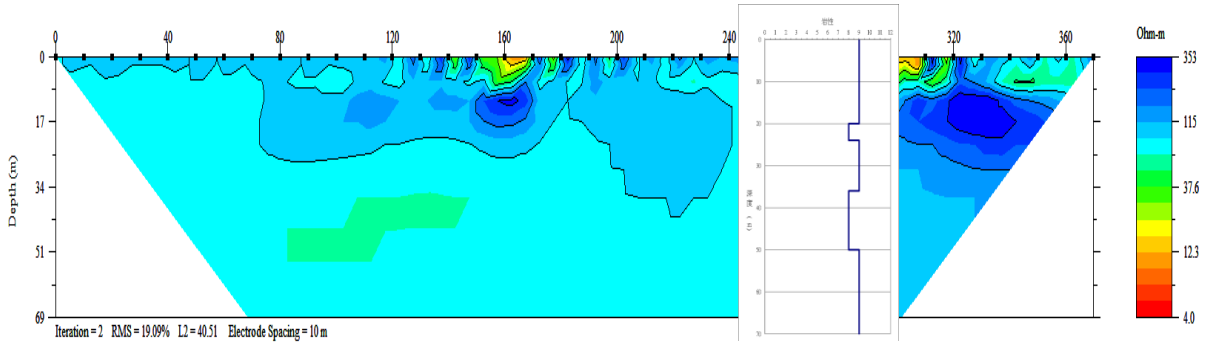


圖 3.1-22 彭厝二維地電阻影像剖面與萬巒觀測井岩芯資料對比結果

九如觀測井位於九如鄉九如國小內，考慮實際可測量點位後，在觀測井之西北方約 2000 公尺處之道路旁進行施測。

而圖 3.1-23 則顯示九如地區之 300 公尺地電阻影像剖面與九如觀測井岩芯資料。比對九如觀測井岩芯資料所顯示，此觀測井主要為礫石層，20-40m 處出現砂，但因九如觀測井在九如測線之東側，而九如二維地電阻影像剖面為砂層之電阻剖面，故本研究判斷此區之補注區邊界應在九如觀測井與九如測線之間，然而由於觀測井與測線間已為大量聚落分佈區域，因此無法進一步施測加以驗證邊界確實位置。

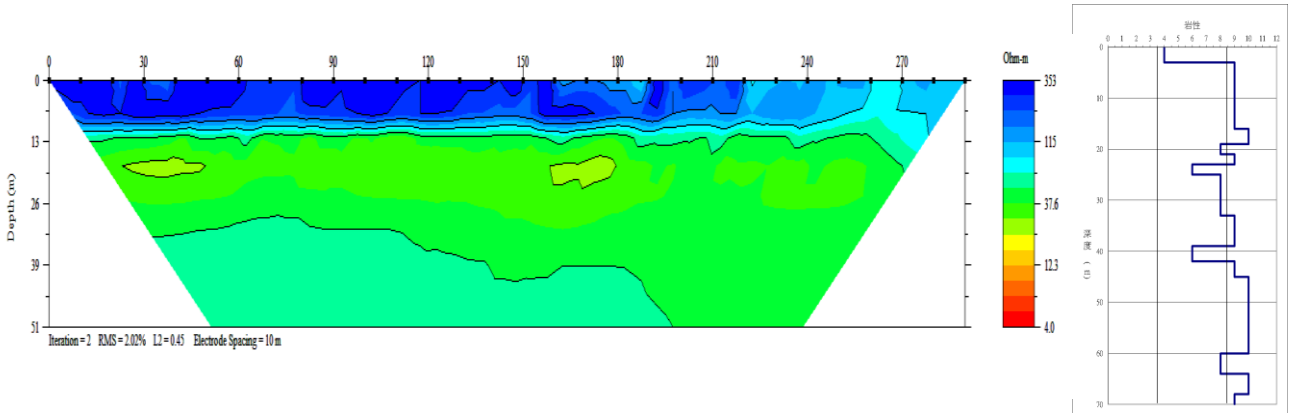


圖 3.1-23 九如二維地電阻影像剖面與九如觀測井岩芯資料對比結果

根據上述測線比對與分析後，本研究認為初步研判的補注區之邊界應做部分修正，屏東平原之補注區邊界可大分為南、北兩個分區，而萬巒、內埔觀測井可能位於兩大分區間之漸變帶，以無砂泥夾層之厚層礫石層出露，作為補注區邊界之判斷依據，邊界之位置會較原先由 60 Ohm-m 視電阻率圖判斷者要再向東退縮約 1~2 公里。因此本研究進一步沿修正後之補注區邊界附近，進行施測

以劃定較準確的邊界位置(圖 3.1-24)，因此接下來的規劃皆位於修正後邊界附近施測，預期找出礫石層與砂層交界。因此本研究往北增加一處里港測線，里港測線位於里港觀測井之西北方約 450 公尺處之河堤外之河濱公園草地。

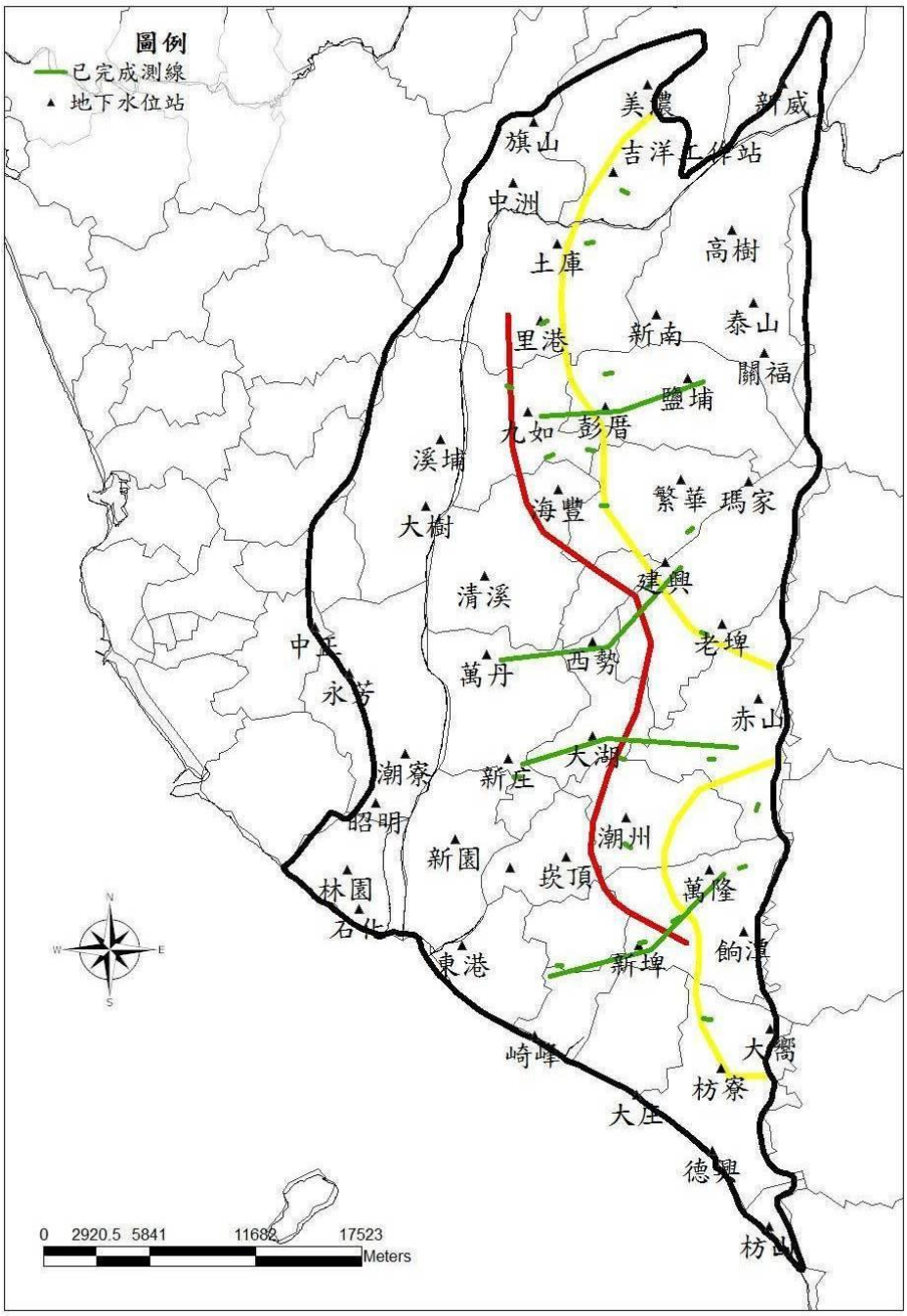


圖 3.1-24 屏東平原補注區邊界，觀測井分佈圖。紅色線為初步規劃之補注區邊界，黃色線為新的邊界，分為南、北兩大區域。

而圖 3.1-25 則顯示里港地區之 380 公尺地電阻影像剖面與里港觀測井岩芯資料。比對里港觀測井岩芯資料所顯示，此觀測井淺層為泥層，15-49m 處出現砂，而深處 50-70m 處為礫層，里港二維地電阻影像剖面與觀測井相符。

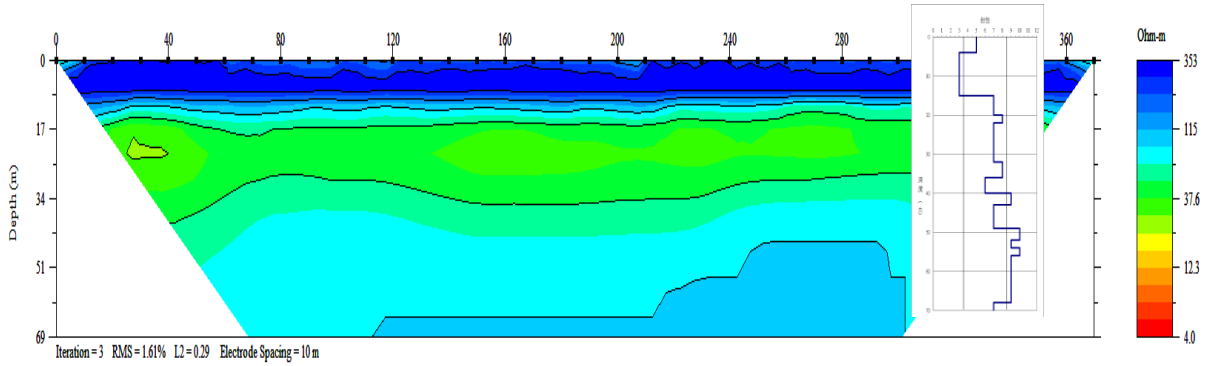


圖 3.1-25、里港二維地電阻影像剖面與里港觀測井岩芯資料對比結果

(五) 驗證性測線(南)測線地電阻率剖面與觀測井岩性比對

由圖 3.1-12 及圖 3.1-16 得知補注區邊界應位於萬巒萬隆之間，依(圖 3.1-24)第二次規劃之補注區邊，在萬巒隆觀測井與萬隆觀測井間增加測線，確定補注區邊界。萬巒-萬隆測線位於萬巒觀測井之東南方約 3300 公尺處、萬隆觀測井東北方約 3800 公尺處之農用道路旁。

而圖 3.1-26 則顯示萬巒-萬隆地區之 340 公尺地電阻影像剖面與萬巒觀測井、萬隆觀測井岩芯資料。比對萬巒觀測井、萬隆觀測井岩芯資料所顯示，萬巒-萬隆地電阻影像剖面電阻率均在 300 Ohm-m 以上，代表礫岩。因此本測線與萬巒觀測井之間即為補注區邊界。

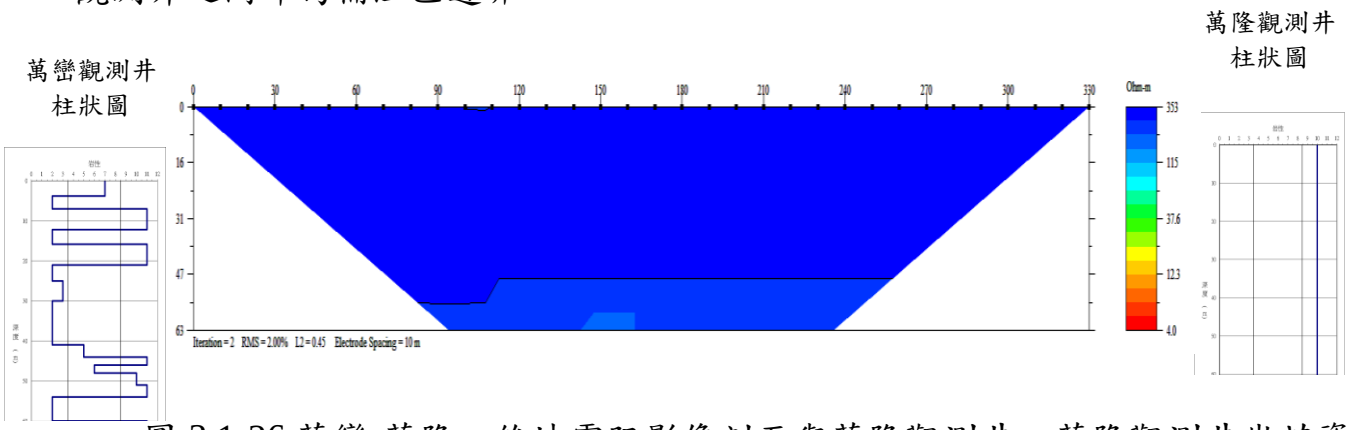


圖 3.1-26 萬巒-萬隆二維地電阻影像剖面與萬隆觀測井、萬隆觀測井岩芯資料對比結果

另一口觀測井—潮州觀測井位於潮州鎮光春國小內，潮州測線施測於潮州觀測井西南方約 1000 公尺的農用道路旁。

而圖 3.1-27 則顯示潮州地區之 400 公尺地電阻影像剖面與潮州觀測井岩芯資料。比對潮州觀測井岩芯資料所顯示在其井下僅 63-66 m 處部分為礫石層分佈，其餘多為泥層，10-26m 則為砂層。

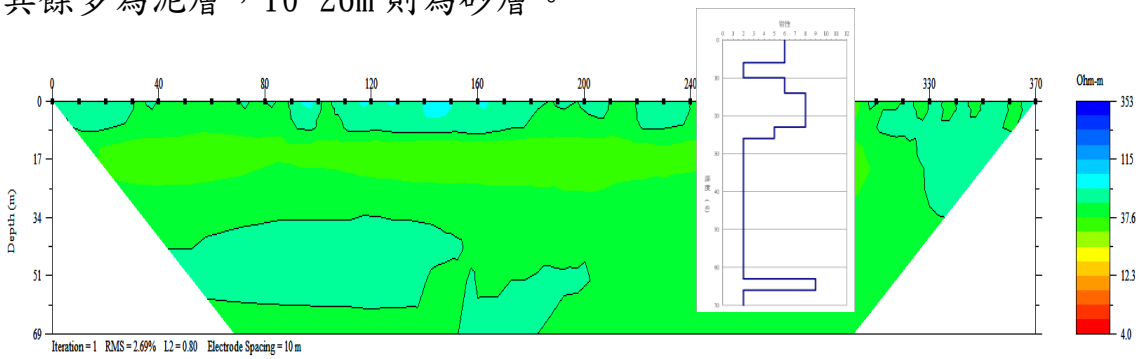


圖 3.1-27 潮州二維地電阻影像剖面與潮州觀測井岩芯資料對比結果

最南端大響二測線位於大響二觀測井西南方約 1700 公尺的農用道路旁。而圖 3.1-28 則顯示大響二地區之 400 公尺地電阻影像剖面與大響二觀測井岩芯對比資料。比對大響二觀測井岩芯資料所顯示在其井下 66-70 m 處為泥層，其餘多為礫石層，與大響二維地電阻影像剖面相符。

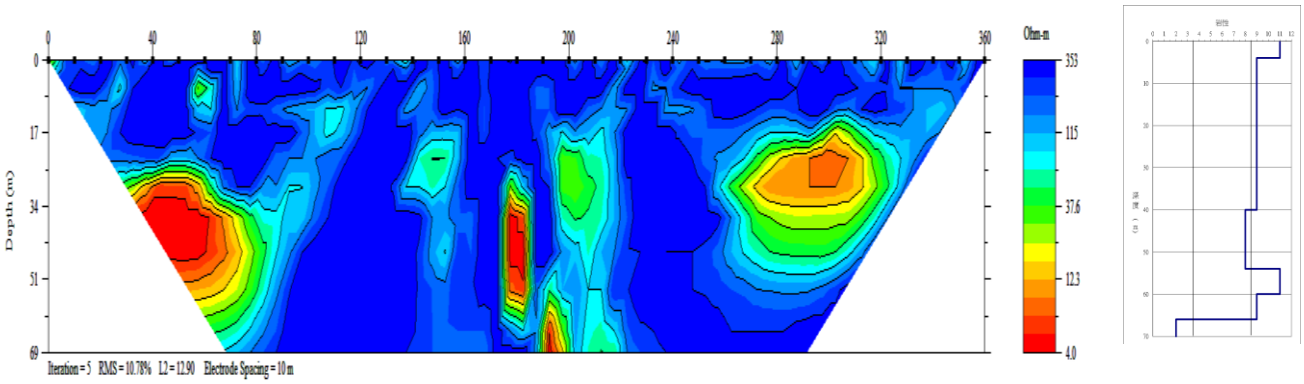


圖 3.1-28 大響二維地電阻影像剖面與大響二觀測井岩芯資料對比結果

(六) 驗證性測線(北)測線地電阻率剖面與觀測井岩性比對

因九如觀測井與建興觀測井之間缺乏資料(圖 3.1-11)，劃定補注區邊界，故在九如觀測井與建興觀測井之間增加測線，依(圖 3.1-24)第二次規劃之補注

區邊，在海豐觀測井附近增加測線，確定補注區邊界。海豐-建興測線位於海豐觀測井之東南方約 1700 公尺處、建興觀測井西北方約 5200 公尺處之農用道路旁。

而圖 3.1-29 則顯示海豐-建興地區之 380 公尺地電阻影像剖面與兩側觀測井岩芯對比資料，這就是本研究要找的砂-礫交界處，補注區邊界將畫過此測線 200 公尺處。

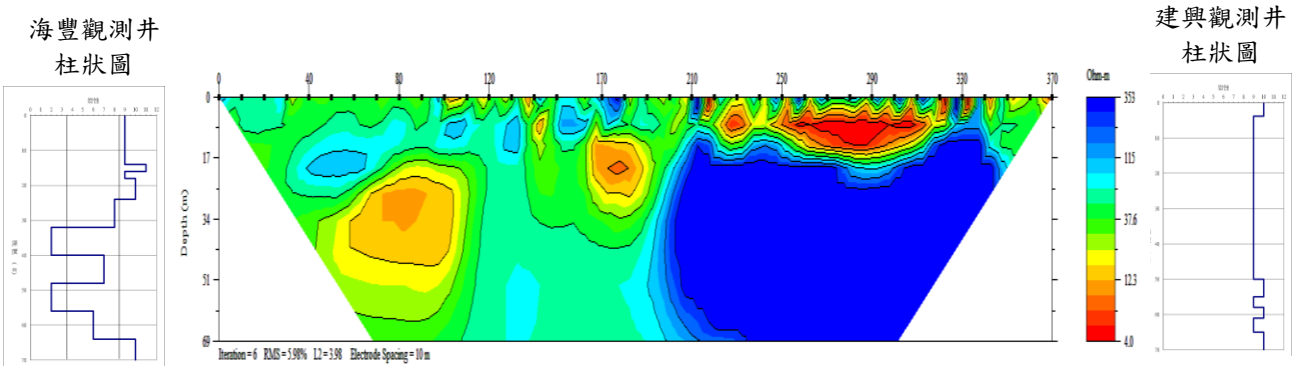


圖 3.1-29 海豐-建興二維地電阻影像剖面與海豐觀測井、建興觀測井岩芯資料對比結果

再往海豐觀測井北側移動，增加九如-海豐之間測線，以確定補注區邊界。九如-海豐測線位於九如觀測井之南方約 2200 公尺處、海豐觀測井西北方約 2300 公尺處之玉米田。

而圖 3.1-30 則顯示九如-海豐地區之 400 公尺地電阻影像剖面與兩側觀測井岩芯對比資料。此測線二維地電阻影像剖面 19-60m 為砂層，60-75m 為礫石層，與期待之補注區邊界有落差，故規畫下次測線往扇頂移動，找出礫與砂之交界。

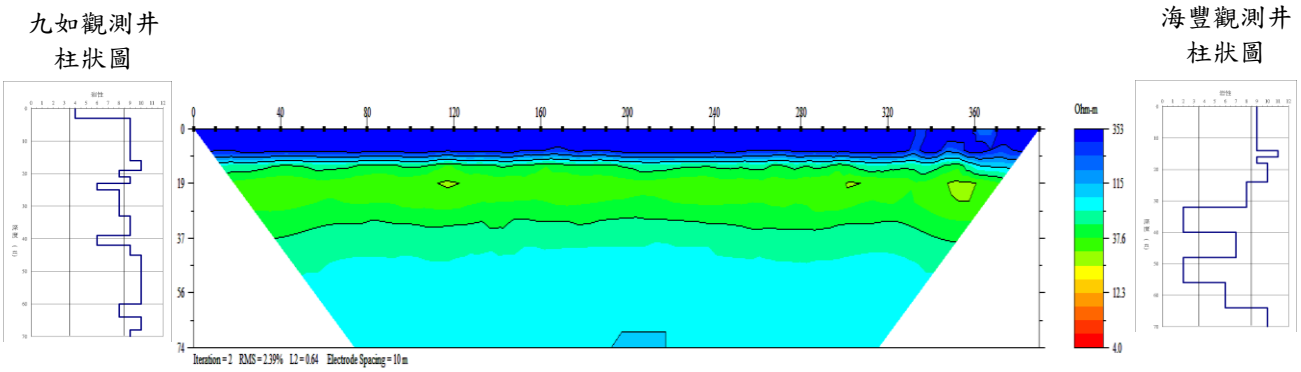


圖 3.1-30 九如-海豐二維地電阻影像剖面與九如觀測井、海豐觀測井岩芯資料對比結果

從圖 3.1-30 研判補注區邊界應該介於彭厝觀測井與海豐觀測井之間，故在這中間增加測線預期找出礫石層與砂層交界。彭厝-海豐測線位於彭厝觀測井之西南方約 25000 公尺、海豐觀測井之東北方約 25000 公尺處之農用道路旁。

而圖 3.1-47 則顯示彭厝-海豐地區之 380 公尺地電阻影像剖面與兩側觀測井岩芯對比資料。此測線二維地電阻影像剖面 20-40m 為砂層，40-70m 為礫石層，故認為補注區邊界位於此測線與彭厝觀測井之間。

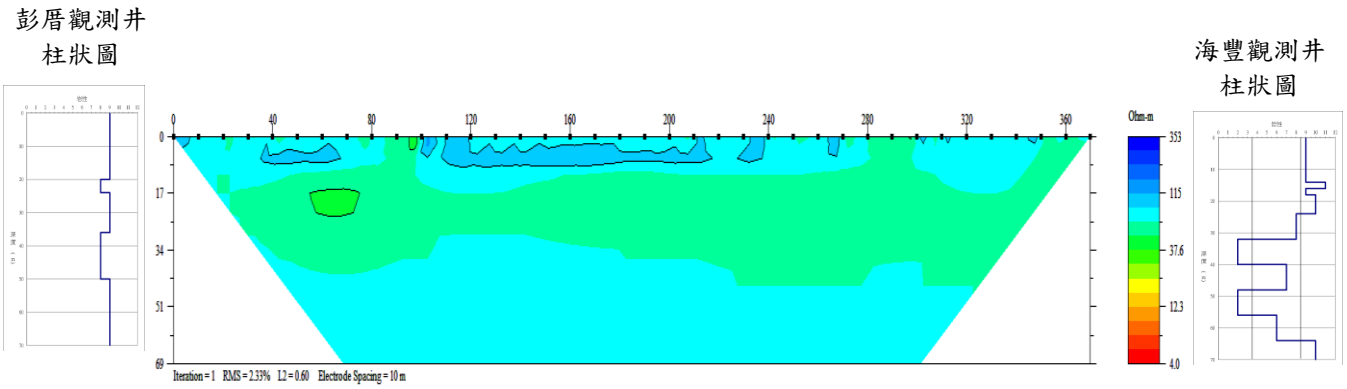


圖 3.1-31 彭厝-海豐二維地電阻影像剖面與彭厝觀測井、海豐觀測井岩芯資料對比結果

最後，在屏東平原之最北端增加一條測線，因前人研究(圖 3.1-10)資料最北端於里港，但以現今之屏東平原之邊界劃定則位於更北端，故在此增加吉洋測線，在吉洋觀測井之南方約 700 公尺處之道路旁。

而圖 3.1-32 顯示吉洋地區之 380 公尺地電阻影像剖面與吉洋觀測井岩芯資料。

比對吉洋觀測井岩芯資料所顯示，皆為礫石層。故屏東平原最北端之補注區邊界應於吉洋測線之西側。

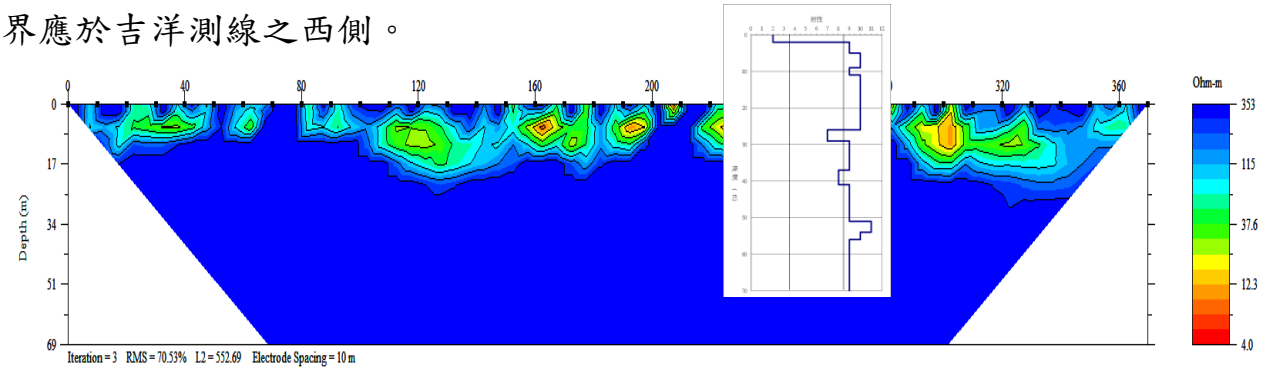


圖 3.1-32 吉洋二維地電阻影像剖面與吉洋觀測井岩芯資料對比結果

3.1.4 一維與二維地電阻資料彙整

工研院曾於 1995 年在屏東平原完成了大範圍的一維地電阻水文地質調查探勘(如圖 3.1-33)，使用施蘭卜吉排列（Schlumberger Array）地電阻法之測勘方法，利用低頻(1Hz~10Hz)交替直流電(Alternative Direct Current)通入地下，並利用電流計量測電流強度。所測量之電位差 V 與通入地下的電流強度 I 及電極之相對位置，而根據下列公式計算地層的電阻率 ρ_a。

$$\rho_a = K(V/I) \quad \cdots\cdots\cdots\

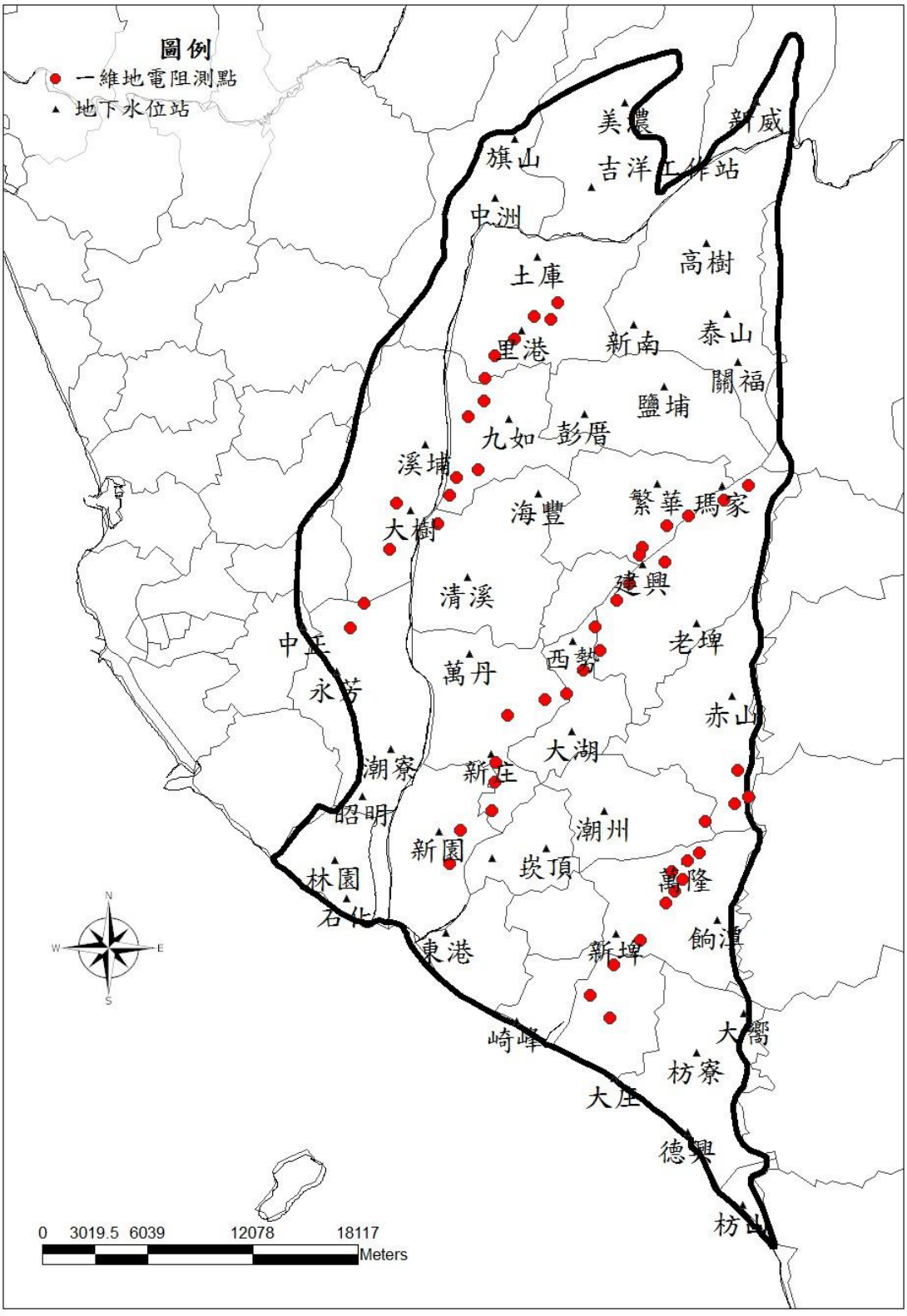


圖 3.1-33 一維地電阻測點位置(經建版座標 TWD67)

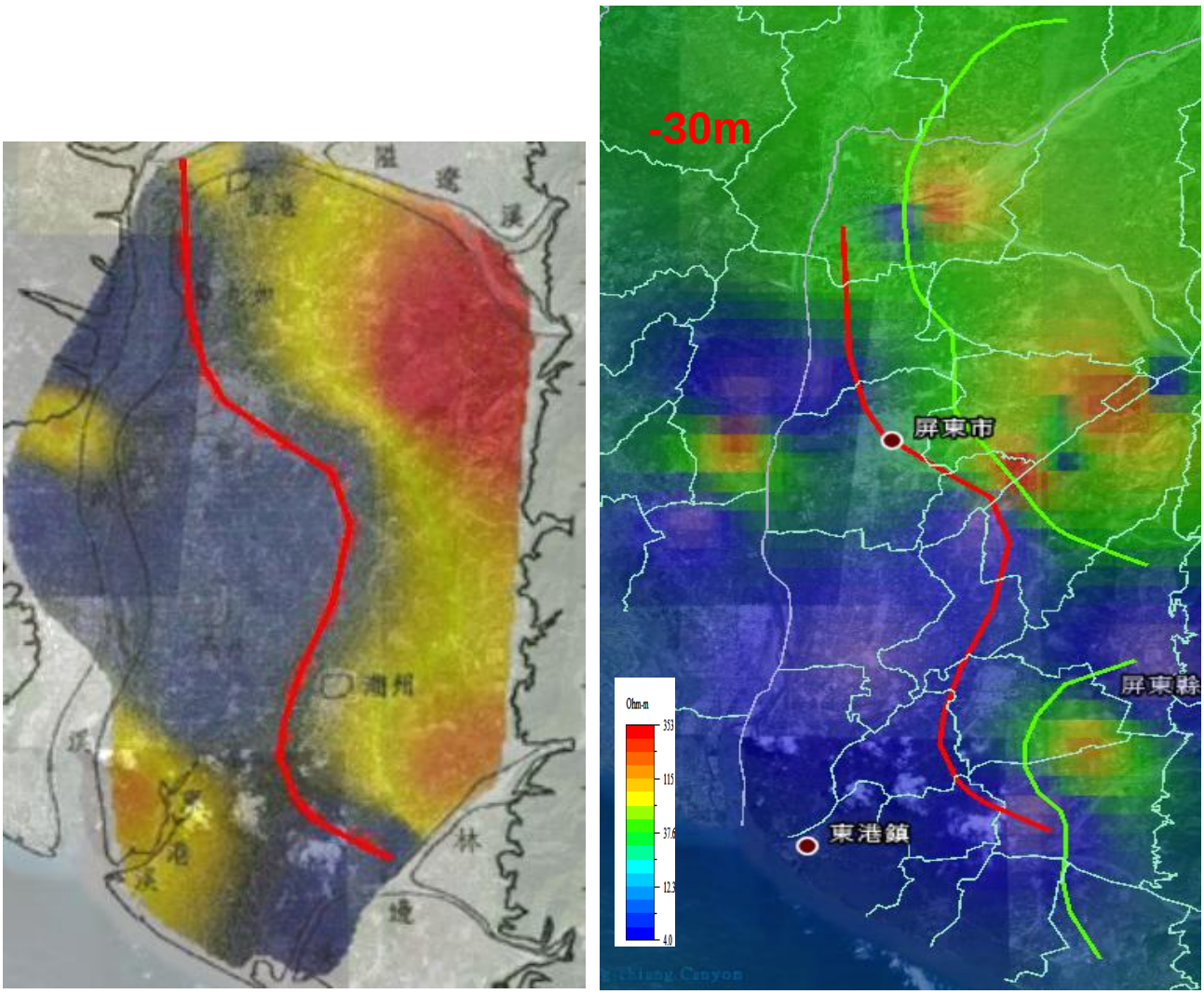


圖3.1-34一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法所獲得之反演資料，左為工研院反演算結果(1995)，右為重新反演結果 (30m)。紅線為推測之補注區邊界，綠線為最後研判之補注區邊界。

一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法的結果（圖3.1-33），與屏東平原補注區邊界以一維地電阻反演資料深度30 m 比較後，大致吻合，與3D影像也幾近相同（圖3.1-34）。

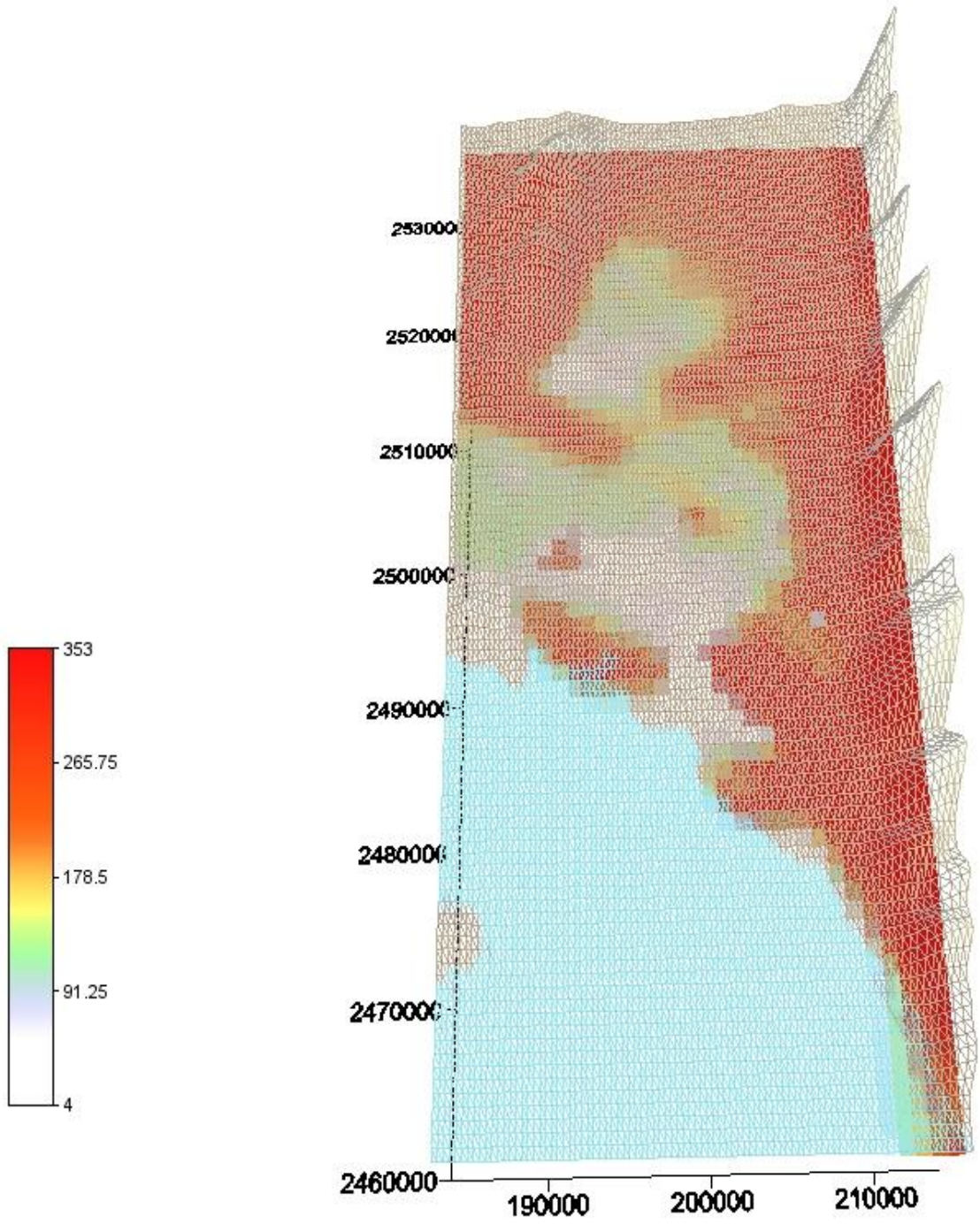


圖 3.1-35 屏東平原電性三維影像。綜合圖 3.1-52 之一維資料以及實際量測之二維影像剖面反演後的電性三維影像。圖中上層的網格線為地形檔，此圖給予實際地表上之地形面貌與地下之電性結構。

3.1.5 應用地電阻於補注區初步分析

比對一維與二維地電阻彙整資料，可發現藉由高解析度(電極間距 10 公尺左右)側向長距離地電阻施測，可以有效協助補注區之邊界判釋。由沉積學上來說，滲透性佳之礫石層，其形狀並非延伸性良好的「單層」水平層，可能為不斷重疊出現或局部尖滅之凸鏡體狀構造。由各處長測線結果來看，高電阻率所代表之礫石層，分布形狀也有類似上述之局部尖滅或重疊出現之構造。因此就剖面影像解析度而言，大致上可反映地質分佈狀況。也因此印證先前本研究認為可以利用地電阻剖面影像，描繪阻水層分佈之假設。依照去年度（99）工作經驗，本研究研判補注區與非補注區間，並不存在一個明顯的界線(boundary line)，而是一個漸變的轉換帶。主要特徵是礫石層出現延續性變差，且斷續出現頻率減少之情形。

由於屏東平原為數個發源於東側中央山脈南段之河流，共同沖積而成，與濁水溪沖積扇相比，本區各個沖積扇空間分布之坡度較陡，範圍均較小，也因此礫、砂、泥分佈之幾何型態，不若濁水溪主要沖積扇沉積物之空間分布規律。往往由很粗之礫石堆積物，在很近的距離間，變化成礫泥或砂泥互層之扇央沉積物，因此經由岩芯與觀測井資料對比後，本區推測淺部補注區邊界，應位於扇頂之相當高電阻率(>200 Ohm-m)之礫石層，到低電阻率(具有 50-60Ohm-m 以下電阻率)之砂泥或礫泥互層之邊界上。因此本區之補注區邊界，北側始於吉洋觀測井之西側與里港觀測井之東邊，往南至九如觀測井之東側、海豐觀測井東側，向東南延續至建興觀測井西側，最後經老埤觀測井西側至扇頂；南側則由萬巒觀測井之南側往西南劃，至潮州觀測井之東側後，從萬隆觀測井與新埤觀測井中繼續往南，最後經大響二觀測井之西方至屏東平原最南側(圖 3.1-36)。

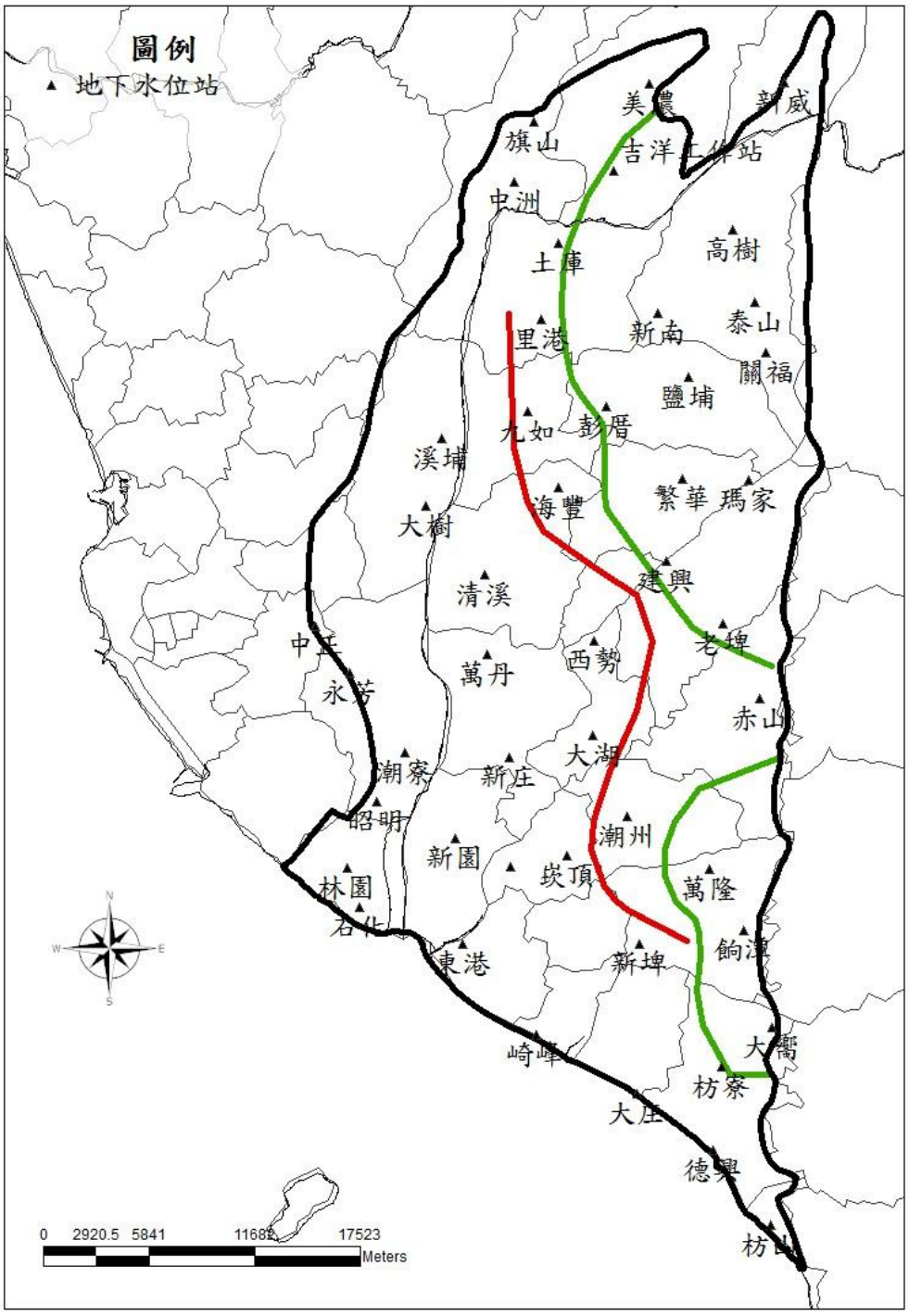


圖 3.1-36 屏東平原補注區邊界。紅色為最初推測之補注區邊界，綠色是綜合一維地電阻反演結果判斷，及實際二維地電阻影像剖面比對後，所得之補注區邊界。

3.2 屏東平原扇頂地面水及地下水水質調查分析

為了配合地下水補注潛勢研究，增加補注計算及補注區劃定的精度，本研究補充調查扇頂補注區的水質，探討水質地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制，以提供地下水補注區劃定的重要參考。本計畫 2009-2010 年調查濁水溪扇頂之地下水水質，今明兩年（100-101 年）將調查屏東之扇頂及邊界地區如圖 3.2-1。

3.2.1 水質調查方法與步驟

地下水採樣與化驗：研究方法為文獻資料收集、統計分析、地下水水質採樣分析、地面水水質採樣分析及水質地化理論探討等。本研究的採樣點，主要為台灣地區地下水觀測網之觀測井(經濟部中央地質調查所，1995，1999，2002；台糖公司地下水中心，1999-2004)。為了瞭解補注區及其邊界的水質變化，預計進行兩次地下水採樣－第一次為扇頂 12 站共 26 口井（表 3.2-1 及表 3.2-2)，12 處地面水（每個沖積扇各 3 點、4 個沖積扇共 12 點)，共 38 個水樣（圖 3.2-1)。第二次為沖積扇的邊界，因經費及人力的限制，本年度先進行荖濃沖積扇及隘寮沖積扇之邊界井。

水質分析項目分為現場量測及室內分析。現場量測項目：溫度、導電度、pH、溶氧、氧化還原電位等。使用美國 Hydrolab 水質測棒，經校正後放入井內濾水管深度量測（圖 3.2-2)。實驗室化驗項目：主要離子有氯離子、碳酸氫根、硫酸根、鈣、鎂、鈉、鉀等陽離子；微量成份有硝態氮、銨離子等（表 3.2-3)，採樣時間為四月（枯水期）及九月（豐水期)。水樣以貝勒管下至濾管深度採取，水樣以冰桶保存，於 24 小時內送回化驗室。初步的水質數據評估，參考環保署飲用水源水質標準及灌溉用水水質標準（表 3.2-4)。

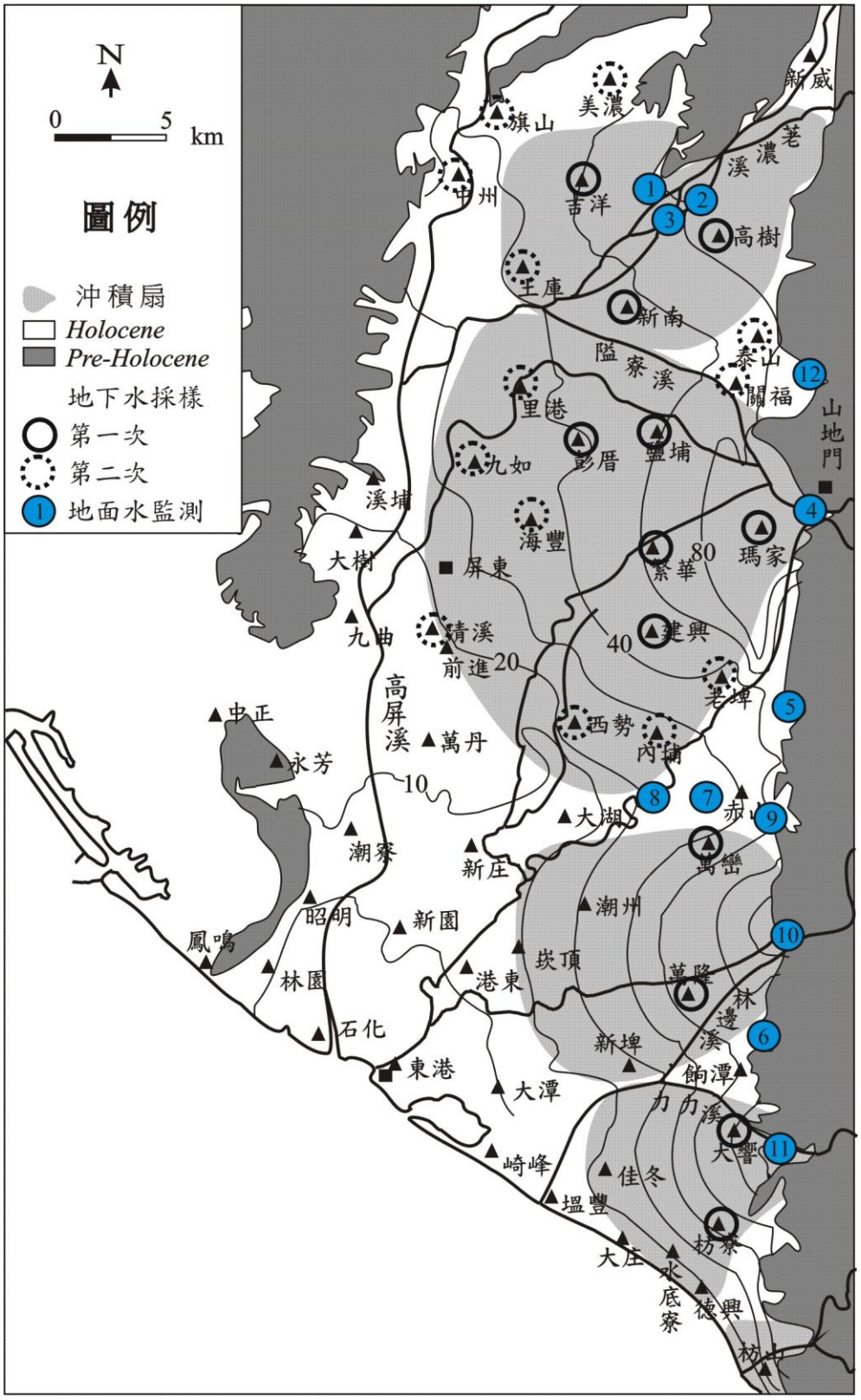


圖 3.2.1 研究區域及採樣井位置



圖 3.2-2 美國 Hydrolab 水質測棒

表 3.2-1 屏東地區之地下水觀測站

編號	年度	縣市	站名	住址
1	84	屏東市	清溪	屏東市清溪里建國路 291 號 (省第七河川局)
2	85	屏東市	海豐	屏東市海豐里海豐街 3 號(海豐國小)
3	87	屏東市	前進	屏東市台糖屏東總廠六塊厝農場(農場內)
4	78	屏東縣	塭豐	屏東縣佳冬鄉塭豐海堤邊側
5	78	屏東縣	水底寮	屏東縣枋寮水底寮天時村
6	79	屏東縣	土庫	屏東縣里港鄉土庫村(三和國小)
7	84	屏東縣	里港	屏東縣里港鄉過江村過江路 41 號 (里港國小)
8	84	屏東縣	瑪家	屏東縣瑪家鄉三和村三和巷 16 號 (瑪家國中)
9	84	屏東縣	建興	屏東縣內埔鄉建興村建興路 216 號 (榮華國小)
10	84	屏東縣	西勢	屏東縣竹圍鄉西勢村光明路 8 號 (西勢國小)
11	84	屏東縣	新庄	屏東縣萬丹鄉新庄村 43 號 (新庄國小)
12	84	屏東縣	新園	屏東縣新園鄉媽祖路 49 號 (新園國小)
13	84	屏東縣	萬巒	屏東縣萬巒鄉佳佐村佳佐路 59 號 (佳佐國小)
14	84	屏東縣	新埤	屏東縣新埤鄉新埤村新華路 165 號 (新埤國小)
15	84	屏東縣	萬隆	屏東縣新埤鄉萬隆村中山路 26 號 (萬隆國小)
16	84	屏東縣	大潭	屏東縣東港鎮大潭里大潭路 93 號 (大潭國小)
17	84	屏東縣	崎峰	屏東縣林邊鄉崎峰村裕後路 2 號 (崎峰國小)
18	85	屏東縣	高樹	屏東縣高樹鄉高樹村華光路 32 號(高樹國小)
19	85	屏東縣	泰山	屏東縣高樹鄉泰山村產業路 225 號(高泰國中)
20	85	屏東縣	鹽埔	屏東縣鹽埔鄉鹽南村光復路 90 號(鹽埔國小)

21	85	屏東縣	九如	九如鄉東寧村九如路二段 226 號(九如國小)
22	85	屏東縣	萬丹	屏東縣萬丹鄉社皮村 73 號(社皮國小)
23	85	屏東縣	老埤	屏東縣內埔鄉老埤村壽比路 116 號(泰安國小)
24	85	屏東縣	內埔	屏東縣內埔鄉內埔村廣濟路 2 號(內埔國小)
25	85	屏東縣	潮洲	屏東縣潮洲鎮光春里光春路 311 號(光春國小)
26	85	屏東縣	崁頂	屏東縣崁頂鄉崁頂村中正路 119 號(崁頂國小)
27	85	屏東縣	大響	屏東縣新埤鄉新力路 830 號(臺糖大響營農場)
28	85	屏東縣	枋寮	枋寮鄉太源村太源路 36 號(東海國小太源分校)
29	85	屏東縣	枋山	屏東縣枋山鄉加祿村會社 28 號(加祿國小)
30	85	屏東縣	東港	東港鎮興東里中正路一段 10 號(東港國小)
31	85	屏東縣	大庄	屏東縣枋寮鄉大庄村下寮遊樂區(海鷗公園)
32	87	屏東縣	赤山	屏東縣萬巒鄉赤山村建興路 40 號(赤山國小)
33	87	屏東縣	德興	屏東縣枋寮鄉枋寮村德興路 197 號(德興國小)
34	87	屏東縣	新南	屏東縣高樹鄉新南村興店路 5 號(新南國小)
35	87	屏東縣	彭厝	屏東縣鹽埔鄉洛陽村七份路 21 號(彭厝國小)
36	87	屏東縣	大湖	屏東縣竹田鄉泗洲村洲中路 40 號(大湖國小)
37	87	屏東縣	關福	屏東縣高樹鄉廣福村中央路 60 號(關福國小)
38	87	屏東縣	餉潭	屏東縣新埤鄉南州糖廠興華農場(農場內)
39	87	屏東縣	繁華	屏東縣長治鄉繁華村水源路 96 號(繁華國小)
40	87	屏東縣	港東	屏東縣崁頂鄉復興路 96 號(港東國小)
41	79	高雄縣	石化	林園鄉仙尾村石化三路(林園石化工業區)
42	79	高雄縣	吉洋	美濃鎮吉東里(高雄農田水利會吉洋工作站)
43	84	高雄縣	溪埔	高雄縣大樹鄉溪埔村 23 號 (溪埔國小)
44	84	高雄縣	九曲	高雄縣大樹鄉九曲村九曲路 15 號 (九曲國小)
45	84	高雄縣	林園	高雄縣林園鄉林園村忠孝西路 20 號 (林園國小)
46	85	高雄縣	中州	高雄縣旗山鎮中洲里(堤防樁 1K+100)
47	85	高雄縣	永芳	高雄縣大寮鄉永芳村鳳林三路 499 號(永芳國小)
48	85	高雄縣	潮寮	高雄縣大寮鄉潮寮路 61 號(潮寮國中)
49	85	高雄縣	美濃	高雄縣美濃鎮東門里民族路 36 巷 2 號(東門國小)
50	87	高雄縣	旗山	高雄縣旗山鎮旗山糖廠(糖廠內)
51	87	高雄縣	新威	高雄縣六龜鄉新興村新威路 212 號(新威國小)
52	87	高雄縣	中正	高雄縣鳳山市勝利路 2 號(中正國小)
53	87	高雄縣	大樹	高雄縣大樹鄉中興南路新立巷 2 號(大樹國小)
54	87	高雄縣	吉洋	高雄縣美濃鎮吉東里(水利會吉洋工作站)
55	87	高雄縣	鳳鳴	高雄縣小港區鳳鳴路 191 號(鳳鳴國小)
56	87	高雄縣	昭明	高雄縣大寮鄉鳳林一路 300 巷 80 號(昭明國小)

表 3.2-2 研究採樣之觀測井

編號	井號	站名	濾水管		靜水位	X	Y	Z	分層
			起點 m	終點 m	m	m	m	m	
1	13250111	枋山一	3	36	3.17	210142	2470440	6.89	1
2	13160411	德興一	6	18	4.27	207000	2474613	3.58	1
3	13160421	德興二	111	126	19.78	207000	2474613	3.58	3-1
4	13160431	德興三	162	174	9.78	207000	2474613	3.58	3-2
5	131613T1	水底寮	28	70	3.57	207650	2475845	7.96	1
6	13160311	大庄一	28	40	11.50	202810	2477706	2.90	1
7	13160321	大庄二	151	193	14.91	202810	2477706	2.9	3-1
8	13160211	枋寮一	40	94	33.11	207476	2479160	31.52	1
9	13160221	枋寮二	111	135	34.70	207476	2479160	31.52	2
10	132113T1	塭豐	31	52	10.38	200355	2479195	2.690	1
11	13190111	崎峰一	14	26	4.43	197199	2480945	3.47	1
12	13190121	崎峰二	51	72	12.17	197199	2480945	3.47	2
13	13190131	崎峰三	114	132	10.43	197199	2480945	3.47	3-1
14	13190141	崎峰四	181	202	4.68	197199	2480945	3.47	3-2
15	132151	佳冬四	156	180	3.97	203012	2479839	7.223	3-1
16	13150311	大響一	47	65	41.78	210206	2481360	44.87	1
17	13150321	大響二	92	110	41.41	210206	2481360	44.87	2
18	13030111	大潭一	48	60	6.75	197221	2484469	3.42	2
19	13030121	大潭二	161	188	2.10	197221	2484469	3.42	3-2
20	13030211	東港一	9	18	2.64	193156	2485971	3.00	1
21	13030221	東港二	72	84	4.99	193156	2485971	3.00	2
22	13030231	東港三	126	138	4.03	193156	2485971	3.00	3-1
23	13030241	東港四	165	195	5.36	193156	2485971	3.00	3-2
24	12020111	石化一	12	47	4.19	187485	2487965	3.99	1
25	12020121	石化二	74	104	4.19	187485	2487965	3.99	2
26	13180211	港東一	30	48	4.45	195798	2490241	4.37	1
27	13180221	港東二	123	141	5.60	195798	2490241	4.37	2
28	13180231	港東三	168	186	6.40	195798	2490241	4.37	3-2
29	13180241	港東四	240	264	6.73	195798	2490241	4.37	4
30	13170111	新園一	6	24	8.92	192774	2491800	5.98	1
31	13170121	新園二	165	189	9.13	192774	2491800	5.98	3-2
32	1202011	林園一	24	42	4.39	186809	2490130	5.04	1

編號	井號	站名	濾水管		靜水位	X	Y	Z	分層
			起點 m	終點 m	m	m	m	m	
33	1202021	林園二	114	138	3.13	186809	2490130	5.04	3-1
34	1202031	林園三	168	192	3.42	186809	2490130	5.04	3-2
35	12030311	昭明一	22	34	2.43	188414	2493802	8.91	1
36	12030321	昭明二	108	132	1.45	188414	2493802	8.91	2
37	12030331	昭明三	174	192	1.59	188414	2493802	8.91	3-1
38	12030341	昭明四	216	228	1.98	188414	2493802	8.91	3-2
39	64110111	鳳鳴一	24	48	9.60	182982	2490949	10.56	1
40	12030111	潮寮一	6	21	8.02	190004	2496500	9.02	1
41	12030121	潮寮二	110	140	8.02	190004	2496500	9.02	3-1
42	12030131	潮寮三	182	194	8.57	190004	2496500	9.02	3-2
43	12030211	永芳一	38	56	10.67	186942	2500950	18.56	1
44	12030221	永芳二	133	145	22.52	186942	2500950	18.56	3-1
45	12030231	永芳三	190	214	23.08	186942	2500950	18.56	3-2
46	12010111	中正一	27	45	9.85	185015	2503504	13.34	2
47	12010121	中正二	89	113	20.58	185015	2503504	13.34	3-1
48	13050111	新庄一	9	36	5.67	195738	2496246	10.67	1
49	13050121	新庄二	67	73	6.77	195738	2496246	10.67	2
50	13050131	新庄三	96	126	6.88	195738	2496246	10.67	3-1
51	13180111	崁頂一	18	30	3.35	198929	2490845	9.26	1
52	13180121	崁頂二	142	166	1.70	198929	2490845	9.26	3-1
53	13180131	崁頂三	186	198	1.46	198929	2490845	9.26	3-2
54	13020111	潮州一	12	24	4.91	202232	2492984	16.66	1
55	13020121	潮州二	118	184	6.45	202232	2492984	16.66	3-1
56	13150111	新埤一	12	24	3.47	202895	2485957	12.28	1
57	13150121	新埤二	122	146	11.78	202895	2485957	12.28	3-1
58	13150131	新埤三	165	177	4.85	202895	2485957	12.28	3-1
59	13150141	新埤四	193	205	10.58	202895	2485957	12.28	3-2
60	13150211	萬隆一	44	66	27.10	206802	2490112	44.78	1
61	13150221	萬隆二	144	168	18.60	206802	2490112	44.78	3-1
62	13120111	萬巒一	66	90	11.01	207502	2497136	29.32	2
63	13120121	萬巒二	124	136	14.62	207502	2497136	29.32	3-1
64	13120211	赤山一	33	45	3.15	209521	2499542	27.03	1
65	13120221	赤山二	84	96	3.52	209521	2499542	27.03	2
66	13120231	赤山三	158	191	0.19	209521	2499542	27.03	3-1

續表 3.2-2

編號	井號	站名	濾水管		靜水位	X	Y	Z	分層
			起點 m	終點 m	m	m	m	m	
67	13140211	大湖一	15	27	4.92	200368	2497500	11.09	1
68	13140221	大湖二	61	73	0.00	200368	2497500	11.09	2
69	13140231	大湖三	132	162	-1.15	200368	2497500	11.09	3-1
70	13140241	大湖四	208	217	-3.46	200368	2497500	11.09	3-2
71	13150411	餉潭一	24	60	19.13	208707	2486714	37.33	1
72	13150421	餉潭二	84	96	16.65	208707	2486714	37.33	2
73	13050211	萬丹一	18	36	9.22	194540	2501970	16.73	1
74	13050221	萬丹二	66	90	9.59	194540	2501970	16.73	2
75	13050231	萬丹三	132	174	10.07	194540	2501970	16.73	3-1
76	13010111	清溪一	9	21	5.53	194408	2506330	19.65	1
77	13010121	清溪二	66	90	5.42	194408	2506330	19.65	2
78	13010131	清溪三	174	198	8.05	194408	2506330	19.65	3-1
79	13010311	前進四	235	247	5.24	193652	2505845	18.25	3-2
80	12040211	九曲一	99	114	23.03	190015	2506507	27.01	2
81	12040221	九曲二	186	198	16.65	190015	2506507	27.01	3-2
82	12040311	大樹一	18	36	13.46	191135	2510159	23.82	1
83	12040321	大樹二	84	108	14.11	191135	2510159	23.82	2
84	12040331	大樹三	141	168	12.23	191135	2510159	23.82	3-1
85	12040341	大樹四	226	244	7.89	191135	2510159	23.82	3-2
86	12040111	溪埔一	15	33	11.85	191978	2513893	29.14	1
87	12040121	溪埔二	68	80	2.55	191978	2513893	29.18	2
88	12040131	溪埔三	120	144	-10.70	191978	2513893	29.18	3-1
89	13130211	內埔一	94	142	3.87	204588	2501296	22.92	3-1
90	13130221	內埔二	187	199	-1.00	204588	2501296	22.92	3-2
91	13140111	西勢一	15	33	3.29	200397	2502704	17.97	1
92	13140121	西勢二	46	52	3.50	200397	2502704	17.97	2
93	13140131	西勢三	67	73	1.91	200397	2502704	17.97	2
94	13140141	西勢四	109	148	1.40	200397	2502704	17.97	3-1
95	13130311	老埤一	24	42	10.34	207504	2503670	35.15	1
96	13130321	老埤二	124	154	8.64	207504	2503670	35.15	3-1
97	13130111	建興一	42	72	9.58	204395	2507086	36.98	2
98	13130121	建興二	118	142	9.21	204395	2507086	36.98	3-1
99	13060111	繁華一	70	94	23.68	205264	2511656	44.22	2

續表 3.2-2

編號	井號	站名	濾水管		靜水位	X	Y	Z	分層
			起點 m	終點 m	m	m	m	m	
100	13060121	繁華二	216	246	23.39	205264	2511656	44.22	3-2
101	13280111	瑪家一	42	72	42.30	208976	2511539	81.75	1
102	13280121	瑪家二	116	134	40.47	208976	2511539	81.75	2
103	13280131	瑪家三	174	192	38.26	208976	2511539	81.75	3-1
104	13010211	海豐一	14	26	4.56	198476	2511130	33.34	1
105	13010221	海豐二	108	144	1.51	198476	2511130	33.34	3-1
106	13010231	海豐三	187	202	5.82	198476	2511130	33.34	3-1
107	13080111	九如一	64	106	7.82	196776	2515370	34.62	2
108	13080121	九如二	180	204	13.21	196776	2515370	34.62	3-1
109	13100211	彭厝一	83	107	3.08	201104	2515658	35.61	2
110	13100221	彭厝二	192	204	2.07	201104	2515658	35.61	3-2
111	13100111	鹽埔一	24	42	15.16	205622	2517240	58.10	1
112	13100121	鹽埔二	106	160	15.59	205622	2517240	58.10	2
113	13090211	里港一	33	36	9.18	197514	2520447	38.41	1
114	13090221	里港二	144	174	10.87	197514	2520447	38.41	3-1
115	13110411	關福一	48	72	12.97	209883	2518620	75.06	2
116	13110421	關福二	162	186	14.21	209883	2518620	75.06	3-2
117	13110311	新南一	86	110	7.89	203915	2520763	52.69	2
118	13110321	新南二	220	238	8.00	203915	2520763	52.69	3-2
119	13110111	高樹一	48	72	36.74	208068	2525407	87.62	1
120	13010121	高樹二	114	138	35.21	208068	2525407	87.62	2
121	13110211	泰山一	62	104	13.86	209266	2521392	67.25	2
122	13110221	泰山二	165	189	18.36	209266	2521392	67.25	3-1
123	13090111	土庫	10	46	2.28	198425	2524645	40.93	1
124	12200111	吉洋	10	35	4.98	201510	2528640	54.10	1
125	12200311	吉洋一	90	120	14.07	200032	2529333	54.53	2
126	12200321	吉洋二	192	216	12.20	200032	2529333	54.53	3-1
127	12190111	中州一	60	114	7.63	195993	2528009	39.44	2
128	12190121	中州二	174	204	7.55	195993	2528009	39.44	3-1
129	12200211	美濃一	30	36	3.88	205000	2533450	54.03	1
130	12200221	美濃二	52	70	3.98	205000	2533450	54.03	2
131	12190211	旗山一	8	20	10.26	197100	2531368	43.8	1
132	12190221	旗山二	62	92	12.10	197100	2531368	43.8	2

續表 3.2-2

編號	井號	站名	濾水管		靜水位	X	Y	Z	分層
			起點 m	終點 m	m	m	m	m	
133	12210111	新威一	12	33	12.36	210915	2533502	151.18	1
134	12210121	新威二	63	81	11.28	210915	2533502	151.18	2

表 3.2-3 檢驗方法與儀器偵測極限

	項　　目	檢　驗　方　法	偵測極限	單位
1	T(水溫)：溫度計法	現地檢測 NIEA W217.50 A	靈敏度 0.1	℃
2	pH：電極法	現地檢測 NIEA W424.50 A	靈敏度 0.01	
3	DO：電極法	現地檢測 APHA(20th) 4500 OG	0.20	mg/L
4	EC：導電度計法	現地檢測 NIEA W203.51 B	靈敏度 0.01	μS/cm
5	Alkalinity：滴定法	NIEA W449.00 B	15	mg/l
6	Cl^-：	NIEA W415.51 B	0.50	mg/l
7	SO_4^{2-}：離子層析法		0.50	mg/l
8	NO_3^--N：		0.05	mg/l
9	Ca：EDTA 滴定法	APHA(20th) 3500-Ca B	0.50	mg/l
10	Mg：EDTA 滴定法	NIEA W208.50 A	0.30	mg/l
11	Na：燄光光度計法	APHA(19th) 3500-Na D	0.50	mg/l
12	K：燄光光度計法	APHA(19th) 3500-K D	0.45	mg/l
13	NH_3-N：納氏比色法	NIEA W416.50 A	0.025	mg/l

NIEA 為台灣環保署公告之標準檢測方法；APHA 為美國公共健康協會公告之標準檢測方法。

表 3.2-4 飲用水源及灌溉用水質標準

檢測項目	單位	環保署飲用水水源水質標準 甲	環保署飲用水水源水質標準 乙	灌溉用水水質標準
1. 水溫 T	℃	-----	-----	<35
2. 氫離子濃度 pH	-----	-----	-----	6.0-9.0
3. 氧化還原電位 ORP	mV(at25℃)	-----	-----	-----
4. 溶氧 DO	mg/L	-----	-----	>3
5. 導電度 (at25℃) EC	μS/cm	-----	-----	750
6. 總溶解固體 TDS	mg/L	-----	500	-----
7. 鈣 Ca	mg/L	-----	-----	-----
8. 鎂 Mg	mg/l	-----	-----	-----
9. 硬度 Hard	mg/L	-----	-----	-----
10. 鉀 K	mg/L	-----	-----	-----
11. 鈉 Na	mg/L	-----	-----	-----
12. 總鹼度 Alk.	mg/L	-----	-----	-----
13. 氯鹽 Cl^-	mg/L	-----	250	175
14. 硫酸根 SO_4^{-2}	mg/L	-----	250	200
15. 硝酸鹽氮 NO_3^--N	mg/L	-----	10.0	-----

*甲類: 自來水、簡易自來水　乙類: 乙1: 盛裝水、公共飲用之連續供水、
乙 2: 社區自設公共給水、包裝水

本計畫收集扇頂區的歷年水質數據，例如早期的地下水勘測隊（1957）、地下水觀測網的新建井水質化驗（謝永旭與蘇苗彬，1994-2003）、水利署的常態性水質監測（台糖公司地下水中心，1999-2004；農業工程研究中心，2007）、加上本計畫所檢驗的數據，以探討水質之時間演變。

趨勢分析：使用 Mann-Kendall 法（Kendall, 1975）。顯著值 S 以公式 3.2-1 定義之：

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k=1}^{n} sign(X_j - X_k) \quad \text{.....(式 3.2-1)}$$

$$sign(X_j-X_k)=1 \text{ 若 } X_j-X_k>0$$

$$sign(X_j\text{-}X_k)=0 \text{ 若 } X_j\text{-}X_k=0$$
$$sign(X_j\text{-}X_k)=\text{-}1 \text{ 若 } X_j\text{-}X_k<0$$

X_j 為時間 j 之數值、X_k 為時間系列之數值（共有 n 個值）。顯著值 S 為正值，表示有增加趨勢；若為負值，表示遞減之趨勢。其顯著性之分布機率 f(z)可由標準化後之統計值（Z 值）及變異數 VAR(S)來推算：

$$VAR(S)=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{p=1}^{g}t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right] \text{.....(式 3.2-2)}$$

n 為數據個數、g 群組數、t_p 為第 p 個群組之數據個數。標準化後之統計值（Z 值）：

若 S=0 則 Z=0

若 S>0 則 $Z=(S-1)/[VAR(S)]^{1/2}$

若 S<0 則 $Z=(S+1)/[VAR(S)]^{1/2}$.....(式 3.2-3)

分布機率 f(z)

$$f(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{\frac{z^2}{2}} \text{.....(式 3.2-4)}$$

一般以 90－95%為顯著水平，本研究以 90%為判斷是否有顯著趨勢。

3.2.2 水調查結果與分析

本年度水質調查結果分成以下六個部份討論：1. 地下水之氧化還原帶；2. 扇頂水質地化特性；3. 地面水之水質；4. 地下水歷年導電度；5. 導電度垂向剖面; 6, 地下水歷年硝酸鹽濃度。

(一)地下水之氧化還原帶

地下水資源相關保護區域的劃設應以地質鑽探的資料為主，沒有上覆泥層、且有巨厚的含水層，應為優先保護的區域。此區域往往也是地下水中的溶氧帶，但並不必然完全重疊。因為溶氧的分布，除了從補注水源攜帶來，也受到地層中的有機質降解而消耗。地質鑽探資料目前並沒有有機質的含量，學界對於地層中有機質含量與溶氧消耗之間的關係研究仍缺乏。

本年度採樣之地下水溶氧及硝酸鹽濃度如表 3.2-5，空間分布如圖 3.2-3。圖

6-2-3 中藍虛線部分為任一層含水層之溶氧>1mg/l，此區域由高樹、新南至大響及枋寮等。硝酸鹽帶的分布再往西、分布更廣。將 0-10m 之上覆泥層厚度、第一含水層及第二含水層的砂礫層厚度整理如表 3.2-6。

表 3.2-5　地下水之溶氧等基本水質

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮
		μS/cm		mg/l	mV	mg/l
8	枋寮一	402	7.23	2.46	75	1.78
9	枋寮二	487	7.30	3.54	91	0.16
16	大響一	415	7.44	6.58	125	3.15
17	大響二	298	7.34	5.47	142	0.67
60	萬隆一	332	7.56	3.52	155	1.11
61	萬隆二	345	7.28	3.32	75	0.19
62	萬巒一	449	7.24	4.12	68	5.21
63	萬巒二	487	7.14	0.03	-154	0.83
64	赤山一	359	7.35	0.32	-167	0.85
65	赤山二	448	7.34	0.21	-178	0.33
66	赤山三	790	7.25	0.05	-214	0.12
76	清溪一	541	7.38	0.37	-172	0.10
77	清溪二	645	7.50	0.21	-191	0.43
78	清溪三	425	7.67	0.45	-126	0.21
80	九曲一	435	7.49	0.31	-149	0.35
81	九曲二	440	7.43	0.18	-146	0.01
82	大樹一	557	6.82	0.58	-57	2.33
83	大樹二	208	6.82	0.35	-134	2.27
84	大樹三	396	7.10	0.26	-172	0.30
85	大樹四	308	7.15	0.09	-191	0.01
86	溪埔一	277	6.55	0.67	60	4.06
87	溪埔二	275	6.83	0.85	75	0.23
88	溪埔三	375	7.20	0.36	-115	1.14
89	內埔一	361	7.43	0.89	85	1.48
90	內埔二	446	7.47	0.23	-148	0.34
91	西勢一	523	7.50	1.15	64	1.66
92	西勢二	472	7.67	0.39	-116	0.73
編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮

		μS/cm		mg/l	mV	mg/l
93	西勢三	822	7.21	0.15	-171	0.32
94	西勢四	555	7.41	0.08	-165	2.92
95	老埤一	195	6.52	4.21	151	2.15
96	老埤二	402	7.42	0.28	-204	0.32
97	建興一	639	7.31	5.63	179	5.85
98	建興二	484	7.52	4.69	112	3.09
99	繁華一	640	7.41	3.65	156	4.63
100	繁華二	460	7.47	3.22	145	0.82
101	瑪家一	594	7.30	3.32	285	2.41
102	瑪家二	481	7.28	3.21	167	2.11
103	瑪家三	310	7.08	1.54	172	1.10
104	海豐一	721	7.42	0.24	-178	0.12
105	海豐二	369	7.50	0.18	-147	1.44
106	海豐三	487	7.47	0.31	-145	0.07
107	九如一	547	7.36	0.27	-148	0.39
108	九如二	685	7.65	0.24	-264	0.06
109	彭厝一	456	7.48	3.58	212	4.62
110	彭厝二	315	7.40	2.87	145	4.11
111	鹽埔一	597	7.48	5.98	147	1.25
112	鹽埔二	421	7.38	4.78	175	3.80
113	里港一	546	7.42	4.98	145	1.88
114	里港二	598	7.55	0.14	-147	0.41
115	關福一	453	7.42	3.57	158	0.84
116	關福二	384	7.48	0.32	-174	0.29
117	新南一	582	7.54	4.65	174	3.19
118	新南二	521	7.76	6.58	199	1.45
119	高樹一	572	7.46	6.45	145	0.77
120	高樹二	539	7.43	2.57	152	1.09
121	泰山一	225	6.97	3.72	188	4.63
122	泰山二	195	7.06	5.44	225	1.37
123	土庫	621	7.28	0.11	-174	0.02
124	吉洋	776	7.65	0.29	-157	3.50
125	吉洋一	597	7.58	0.01	-135	1.05
126	吉洋二	574	7.72	0.23	-174	0.43

續表 3.2-5

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮
		μS/cm		mg/l	mV	mg/l
127	中州一	554	7.53	0.21	-142	1.45
128	中州二	591	7.62	0.24	-124	0.49
129	美濃一	550	7.75	0.61	-87	0.64
130	美濃二	568	7.34	0.24	-75	1.72
131	旗山一	901	7.08	0.35	-144	6.75
132	旗山二	512	7.44	0.25	-114	0.36

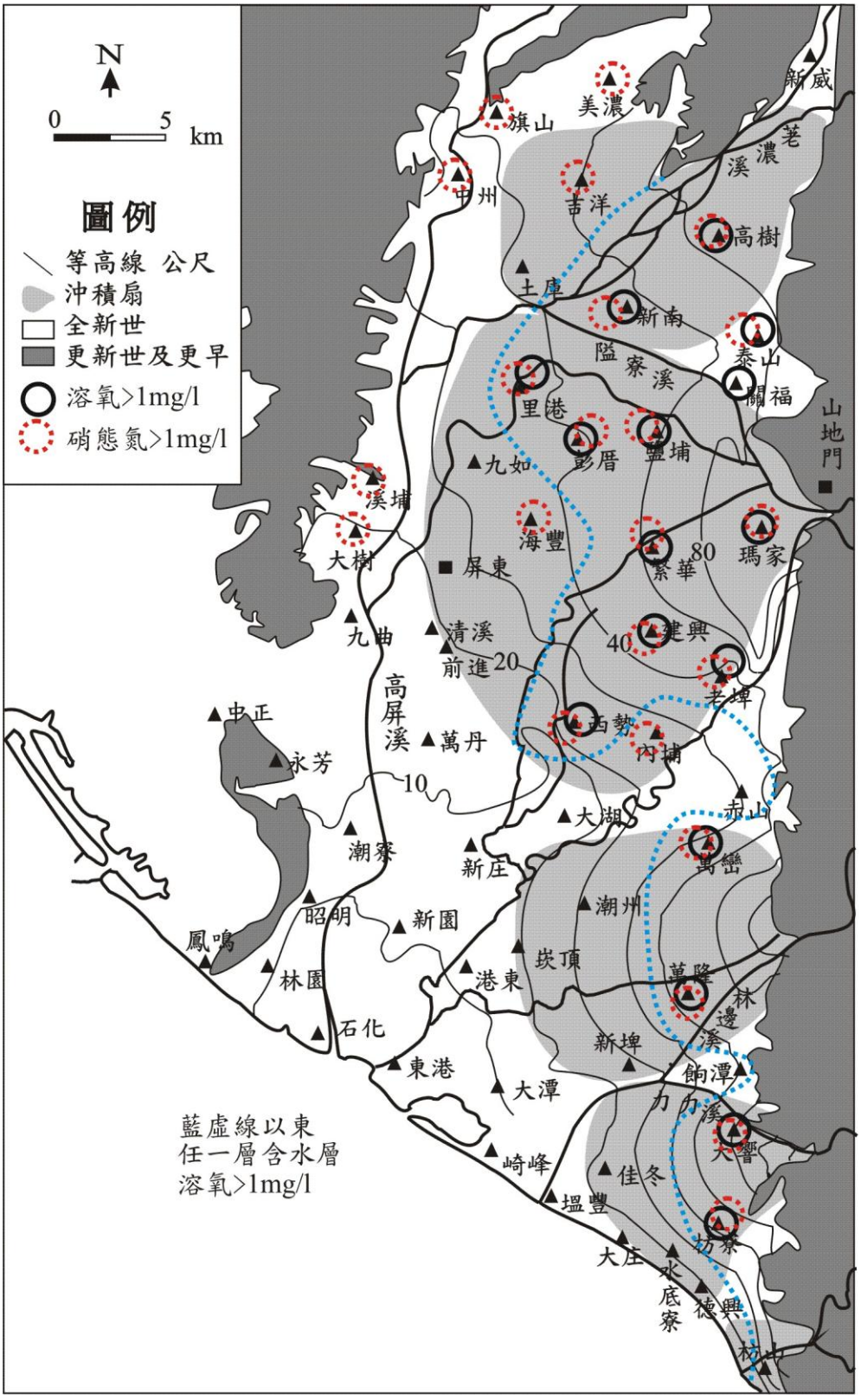


圖 3.2-3 屏東平原地下水之溶氧與硝態氮濃度分布，藍色虛線以東為溶氧大於 1mg/l 的區域

表 3.2-6 屏東地下水觀測站之上部泥層及含水層厚度

編號	站名	泥層厚度 m	第一含水層厚度 m	第二含水層厚度 m	編號	站名	泥層厚度 m	第一含水層厚度 m	第二含水層厚度 m
1	新威	4	45	12	28	赤山	0	27	26
2	美濃	6	20	-	29	大湖	4	37	36
3	旗山	5	35	40	30	萬巒	4	29	50
4	中州	7	43	60	31	新庄	2	25	41
5	吉洋	2	58	60	32	新園	2.5	25	31
6	土庫	1.5	55	55	33	萬隆	0	60	48
7	高樹	0	60	60	34	崁頂	5.5	32	37
8	新南	1	59	60	35	潮洲	4	17	40
9	泰山	0	56	60	36	餉潭	0	15	2
10	關福	0	60	56	37	新埤	3.8	26	12
11	里港	6	44	46	38	港東	1.6	45	15
12	鹽埔	0	56	60	39	永芳	8.5	35	32
13	彭厝	1	59	60	40	潮寮	5	48	51
14	九如	0	58	56	41	中正	4.5	31	35
15	海豐	0	43	58	42	鳳鳴	8	45	0
16	瑪家	0	60	60	43	昭明	1.5	10	24
17	繁華	0	60	58	44	林園	1.5	45	17
18	溪埔	1	50	25	45	大潭	5.0	45	26
19	大樹	0	55	50	46	東港	4	25	32
20	建興	0	60	60	47	大響	0	60	51
21	老埤	0	46	58	48	佳冬	0	40	33
22	前進	0	50	50	49	崎峰	0	40	36
23	清溪	0	50	54	51	大庄	1.5	44	35
24	九曲	8	30	60	52	枋寮	0	55	50
25	西勢	4	48	54	53	德興	0	32	12
26	內埔	5	41	56	54	枋山	0	15	-
27	萬丹	0	50	45					

備註：上部泥層（深度 0-10m）、第一含水層（深度 0-60m）、第二含水層（深度 60-120m）、美濃與枋山無第二含水層（已達基盤）；資料來源：經濟部中央地質調查所（2002）。

(二)扇頂水地化特性

扇頂地下水水之主要離子成份如表 3.2-7，離子百分比如表 3.2-8，本年度採樣之分析結果如表 3.2-9。扇頂地下水總數 26 樣本中大都以碳酸氫鈣水質為主（圖 3.2-4），碳酸氫根約占 50-70%、鈣離子約占 50-75%。只有 4 個樣本有明顯不同，其中枋寮二以碳酸氫鈉為主，碳酸氫根 77%、鈉離子 86%；萬隆二、萬鑾二及吉洋二以以碳酸氫鈣鈉為主，碳酸氫根 70-96%、鈣離子 30-60%、鈉離子 30-50%。

此現象應為陽離子交換的結果。地下水補注後，因流徑變長，水中的鈣離子會與地層中的鈉離子交換，因二價的陽離子，比一價的鈉離子更容易被地層吸附。萬隆二、萬鑾二及吉洋二的深度都比一號井來得深，因此流徑也都比較長，所以可能發生陽離子交換作用

表 3.2-7 扇頂地下水之主要離子成份（mg/l）

編號	井名	導電度	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
8	枋寮(一)	406	197	7.20	39.8	51.9	22.6	9.30	1.90
9	枋寮(二)	416	198	15.8	25.7	9.20	2.70	96.7	2.20
16	大響(一)	260	97	4.30	27.7	36.9	11.80	6.20	2.10
17	大響(二)	260	102	4.40	28.3	35.0	11.40	8.70	2.10
60	萬隆(一)	308	120	4.30	39.2	51.2	11.70	5.50	1.70
61	萬隆(二)	329	132	6.00	33.1	26.6	11.40	33.9	1.30
62	萬巒(一)	456	161	7.70	39.1	68.7	19.80	10.8	3.10
63	萬巒(二)	453	254	4.60	1.80	43.1	10.50	52.4	2.70
97	建興(一)	670	282	8.70	63.4	107	21.10	13.7	1.90
98	建興(二)	431	147	4.90	68.4	76.2	13.00	8.60	2.60
99	繁華一	497	173	6.50	64.5	85.4	15.60	8.00	1.40
100	繁華二	421	166	4.00	59.9	65.2	14.80	14.1	1.60
101	瑪家(一)	428	192	5.80	74.0	62.4	18.40	8.30	1.80
102	瑪家(二)	374	141	4.50	63.3	60.9	13.10	8.40	3.80
103	瑪家(三)	392	133	4.30	68.4	66.5	11.90	8.50	1.60
109	彭厝一	412	134	5.90	57.1	66.7	14.80	8.50	1.40
110	彭厝二	270	94.0	4.90	30.5	40.0	9.30	10.3	1.60
111	鹽埔(一)	382	131	4.10	63.8	63.7	14.10	6.40	1.20
112	鹽埔(二)	339	111	4.40	48.5	51.2	13.70	7.50	1.20
117	新南一	529	198	6.90	92.3	91.3	13.10	14.3	1.70
118	新南二	485	163	5.50	86.9	82.2	14.90	13.3	1.70

119	高樹(一)	588	189	7.50	123	102.1	18.00	15.5	1.60
120	高樹(二)	534	168	6.60	106	90.5	17.00	14.3	3.00
124	吉洋	810	324	11.5	112	148.2	21.30	19.1	3.90
125	吉洋一	516	182	6.90	93.2	83.3	13.10	16.4	1.80
126	吉洋二	534	227	8.50	60.4	70.0	10.40	50.6	3.20

導電度 μS/cm 25℃

表 3.2-8 扇頂地下水之主要離子成份百分比

編號	**井名**	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉鉀離子
8	枋寮(一)	76%	5%	19%	53%	38%	9%
9	枋寮(二)	77%	11%	13%	9%	5%	86%
16	大響(一)	70%	5%	25%	59%	31%	10%
17	大響(二)	70%	5%	25%	56%	30%	14%
60	萬隆(一)	68%	4%	28%	67%	26%	7%
61	萬隆(二)	72%	6%	23%	35%	25%	40%
62	萬巒(一)	72%	6%	22%	61%	29%	10%
63	萬巒(二)	96%	3%	1%	42%	16%	42%
97	建興(一)	75%	4%	21%	69%	23%	8%
98	建興(二)	61%	3%	36%	71%	20%	8%
99	繁華一	65%	4%	31%	72%	22%	6%
100	繁華二	67%	3%	31%	63%	24%	13%
101	瑪家(一)	65%	3%	32%	62%	30%	8%
102	瑪家(二)	60%	3%	36%	66%	24%	10%
103	瑪家(三)	59%	3%	38%	70%	21%	9%
109	彭厝一	62%	5%	33%	67%	25%	8%
110	彭厝二	67%	6%	27%	61%	24%	15%
111	鹽埔(一)	60%	3%	37%	68%	25%	7%
112	鹽埔(二)	62%	4%	34%	63%	28%	9%
117	新南一	61%	4%	36%	69%	20%	10%
118	新南二	58%	3%	39%	69%	21%	10%
119	高樹(一)	53%	4%	44%	70%	20%	10%
120	高樹(二)	54%	4%	43%	68%	21%	11%
124	吉洋	67%	4%	29%	73%	18%	9%
125	吉洋一	58%	4%	38%	67%	21%	12%
126	吉洋二	71%	5%	24%	53%	13%	34%

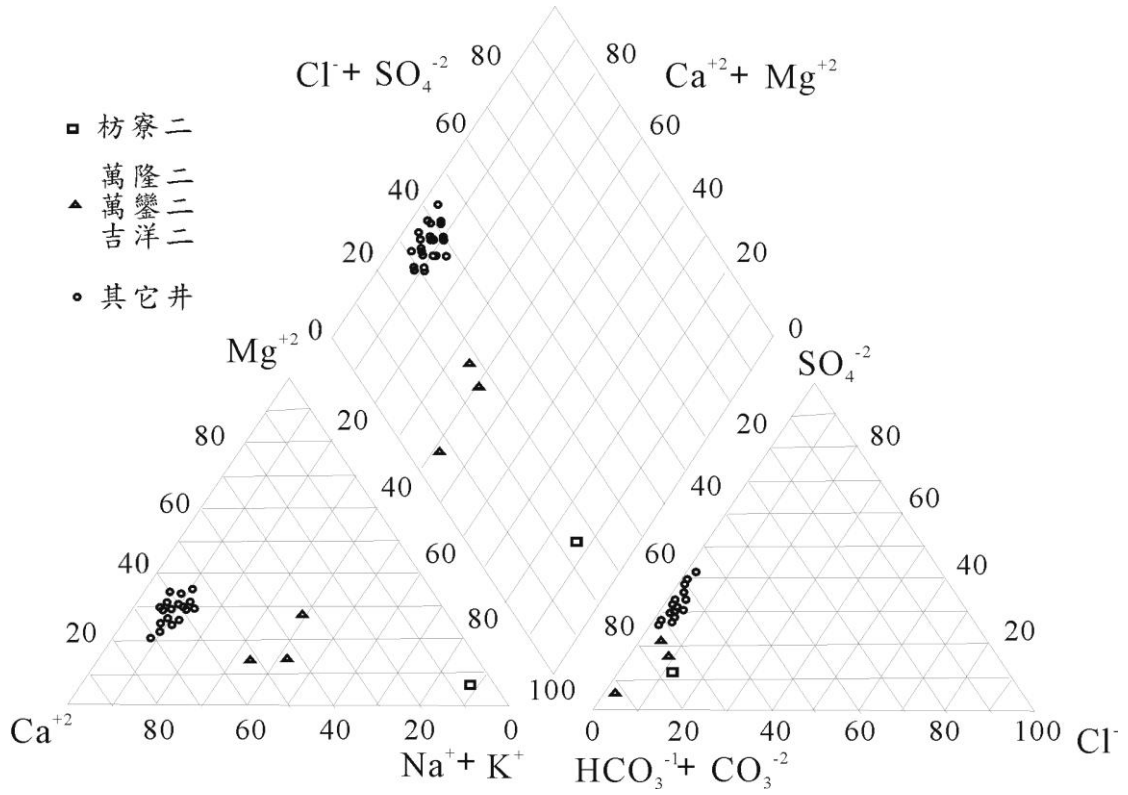


圖 3.2-4 扇頂地下水之主成份三角圖

表 3.2-9 本年度水質採樣地下水之主要離子成份（mg/l）

編號	井名	導電度	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
8	枋寮一	402	185	8.75	35.1	45.1	13.4	11.5	3.5
9	枋寮二	487	209	22.1	23.4	11.4	3.9	95.4	1.6
16	大鬱一	415	175	9.24	31.4	51.6	14.9	9.1	1.4
17	大鬱二	298	115	7.56	30.5	31.4	10.8	8.8	1.7
60	萬隆一	332	105	6.57	49.6	43.1	10.9	7.9	1.4
61	萬隆二	345	150	9.12	38.4	25.1	10.9	35.4	1.4
62	萬巒一	449	160	13.8	39.5	60.4	10.8	8.1	2.9
63	萬巒二	487	255	8.5	0.2	41.6	9.4	50.2	1.8
64	赤山一	359	170	8.5	12.4	20.9	8.1	45.6	1.4
65	赤山二	448	265	9.5	11.4	25.4	10.4	55.8	1.7
66	赤山三	790	367	41.6	35.2	33.7	8.9	123	2.7
76	清溪一	541	213	21.2	57.3	81	15.3	5.9	2.8
77	清溪二	645	261	18.5	54.8	72.1	14.9	42.7	1.75
78	清溪三	425	217	9.3	14.2	42.8	6.2	38.1	2.7
80	九曲一	435	170	16.7	74.2	44.8	14.2	23.8	4.1
81	九曲二	440	128	12	81.1	55	11.2	9.8	1.7
82	大樹一	557	239	21.7	26.8	44.9	24.1	23.7	2.1
83	大樹二	208	135	8.3	3.5	20.1	6.7	14.6	1.8
84	大樹三	396	235	6.6	6.7	50.7	8.3	15.4	1.7
85	大樹四	308	170	6.4	12.8	35.6	8.1	11.8	1.4
86	溪埔一	277	95	7.3	32.4	31.4	8.7	9.4	1.3
87	溪埔二	275	131	8.5	18.7	15.6	11.7	15.5	1.2
88	溪埔三	375	180	7.2	13.4	20.3	19.5	24.2	1.9
89	內埔一	361	144	1.5	45.9	40.2	8.1	25.4	1.5
90	內埔二	446	207	10.6	35.2	41.6	13.5	27.8	2.9
91	西勢一	523	215	15.4	50.3	55.9	17.4	24.3	3.1
92	西勢二	472	195	4.5	49.7	55.5	19.8	5.5	2.7
93	西勢三	822	335	20.5	80.7	95.4	35.2	14.8	2.2
94	西勢四	555	222	5.4	60.8	75.4	20.7	5.5	2.4
95	老埤一	195	90	7.8	15.4	5.5	2.1	30.5	1.7
96	老埤二	402	180	9.5	30.7	17.4	11.6	50.7	1.2

導電度 μS/cm 25℃

續表 3.2-9

編號	井名	導電度	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
97	建興一	639	273	18.5	35.4	70.5	13.7	20.4	15.6
98	建興二	484	195	5.8	45.9	63.3	12.4	15.8	2.9
99	繁華一	640	255	18.7	85.4	85.5	11.3	15.4	8.5
100	繁華二	460	180	10.5	40.3	58.6	11.2	13.7	2.2
101	瑪家一	594	215	11.5	60.8	80.4	14.2	15.8	1.5
102	瑪家二	481	185	11.3	78.2	66.2	10.8	9.5	2.3
103	瑪家三	310	120	3.5	50.7	39.6	7.2	25.4	2.1
104	海豐一	721	295	11.7	70.8	75.5	11.8	64.3	2.1
105	海豐二	369	150	5.6	55.7	35.8	9.5	35.6	2.1
106	海豐三	487	200	3.8	55.7	45.7	7.7	39.1	2.8
107	九如一	547	210	7.5	80.6	65.1	17.3	27.4	1.4
108	九如二	685	244	80.1	15.4	45.6	12.7	50.7	2.6
109	彭厝一	456	158	7.5	68.2	64.5	11.4	11.3	2.6
110	彭厝二	315	125	6.5	38.1	39.4	8.7	15.2	2.7
111	鹽埔一	597	255	9.5	87.2	75.2	12.7	14.7	1.6
112	鹽埔二	421	215	7.7	35.6	53.7	13.1	12.6	3.8
113	里港一	546	188	9.8	98.2	63.3	15.7	16.8	1.7
114	里港二	598	198	9.5	80.6	49.8	3.3	60.4	2.5
115	關福一	453	155	6.2	55.4	59.6	11.2	8.1	1.2
116	關福二	384	120	4.8	60.3	46.5	12.5	10.4	1.5
117	新南一	582	194	5.9	90.2	78.2	15.6	17.9	2.3
118	新南二	521	175	6.8	96.2	72.4	11.9	10.5	2.1
119	高樹一	572	198	9.3	56.7	70.7	12.4	16.5	1.6
120	高樹二	539	217	9.5	80.6	71.2	12.3	12.4	1.5
121	泰山一	225	101	8.1	34.6	25.4	8.7	15.4	0.5
122	泰山二	195	93	7.5	15.4	17.2	8.5	15.1	0.5
123	土庫	621	267	11.4	79.3	95.5	8.9	25.3	1.7
124	吉洋	776	250	12.3	91.3	98.2	15.4	20.1	2.3
125	吉洋一	597	215	9.4	60.3	85.4	13.2	15.2	2.3
126	吉洋二	574	245	10.5	53.3	59.4	9.6	48.5	2.6
127	中州一	554	229	4.01	71.9	65.3	13.5	32.1	2.7
128	中州二	591	250	9.2	55.1	54.3	9.28	42.8	1.82

導電度 μS/cm 25℃

續表 3.2-9

編號	井名	導電度	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
129	美濃一	550	175	14.2	116	47.4	3.58	60.3	2.98
130	美濃二	568	195	9.5	95	65.3	12.6	45.8	2.7
131	旗山一	901	353	9.2	94.3	96.5	19.5	46.7	3.5
132	旗山二	512	190	6.8	95	70.2	12.7	20.3	3.6

導電度 μS/cm 25℃

(三) 地面水之水質

扇頂地下水中的溶氧及硝態氮應來自於地面水，根據本年度的地面水採樣，顯示地面水的溶氧約 3-7mg/l（表 3.2-10）；硝態氮的濃度則以東港溪上游明顯濃度較高，約 1.4-3.3mg/l、其餘都在 1mg/l 以下。

地面水的其他基本水質，溫度約 24-28℃、pH 約 7.3-7.9、氧化還原電位約 196-320mV、導電度約 98-665μS/cm（表 3.2-10）。主要離子成分顯示，以碳酸氫鈣為主（圖 3.2-5），只有萬金、萬巒、西方與來義的鈉離子稍高，前三點的硝酸鹽濃度也高，可能受生活汙水排放影響。

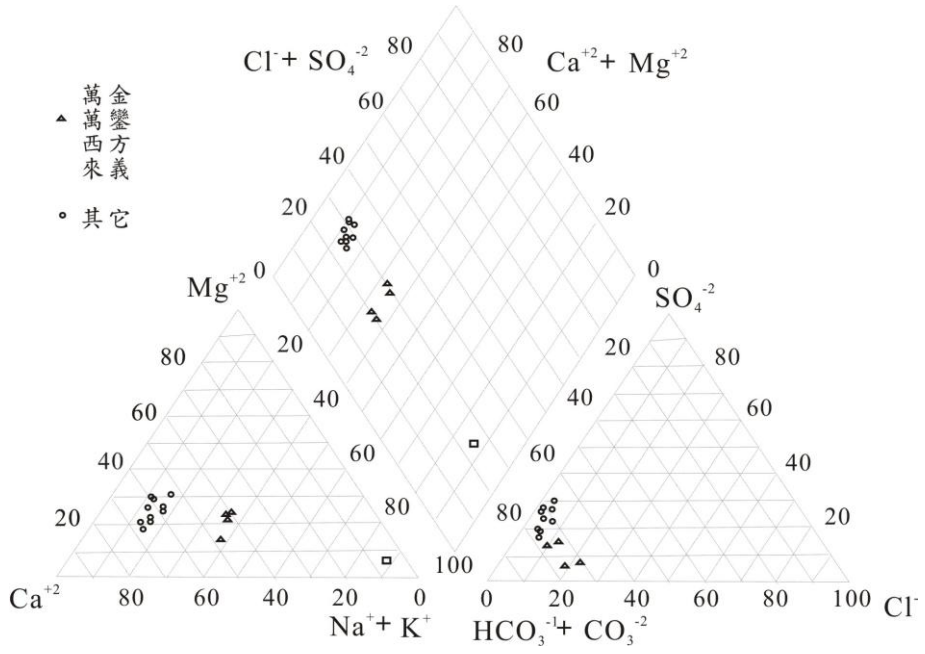


圖 3.2-5 地面水之主要離子分類

表 3.2-10　地面水之基本水質（2011 年）

	站名	溫度℃	pH	氧化還原電位 mV	導電度 μS/cm	溶氧 mg/l	備註
第一次採樣 4 月	1. 高美	26.27	7.56	289	650	5.17	溝渠
	2. 吉安	24.11	7.73	290	530	5.08	溝渠
	3. 福田	26.58	7.79	290	611	5.21	溝渠
	4. 山地門	27.15	7.68	296	578	5.33	隘寮溪
	5. 萬安	24.21	7.34	301	270	3.97	東港溪
	6. 文樂	28.21	7.34	255	98	4.71	林邊溪
	7. 萬金	25.20	7.24	317	765	4.68	東港溪
	8. 萬巒北	25.26	7.19	306	494	4.78	東港溪
	9. 西方	24.32	7.35	303	262	5.04	東港溪
	10. 來義	24.33	7.56	292	432	4.69	林邊溪
	11. 力力	23.11	7.95	273	425	5.04	力力溪
	12. 口社	無水					口社溪
第二次採樣 9 月	1. 高美	27.45	7.32	257	525	6.58	溝渠
	2. 吉安	27.32	7.23	230	493	6.23	溝渠
	3. 福田	26.50	7.62	320	625	5.14	溝渠
	4. 山地門	26.54	7.52	263	554	5.64	隘寮溪
	5. 萬安	25.46	7.48	298	223	4.98	東港溪
	6. 文樂	27.32	7.14	226	178	6.87	林邊溪
	7. 萬金	25.64	7.36	321	665	5.72	東港溪
	8. 萬巒北	25.37	7.26	315	327	5.77	東港溪
	9. 西方	25.96	7.18	249	251	6.42	東港溪
	10. 來義	25.62	7.44	253	391	5.71	林邊溪
	11. 力力	25.63	7.88	196	364	6.41	力力溪
	12. 口社	25.14	7.73	234	162	5.86	口社溪

表 3.2-11　地面水之硝態氮濃度（mg/l）

站名	2011 年 4 月	2011 年 9 月	備註
1.　高美	0.68	0.45	溝渠
2.　吉安	0.12	0.35	溝渠
3.　福田	0.32	0.36	溝渠
4.　山地門	<0.05	<0.05	隘寮溪
5.　萬安	1.44	2.65	東港溪
6.　文樂	0.93	1.23	林邊溪
7.　萬金	3.33	3.54	東港溪
8.　萬巒北	2.72	1.65	東港溪
9.　西方	2.94	3.28	東港溪
10.　來義	0.72	0.26	林邊溪
11.　力力	0.21	0.34	力力溪
12.　口社	無水	0.26	口社溪

表 3.2-12 主要離子成分

	地名	導電度	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
第一次 4 月	高美	650	255	10.6	63.1	85.4	13.4	18.6	2.7
	吉安	530	237	8.1	55.7	71.9	11.4	17.6	2.7
	福田	611	257	11.9	60.3	75.4	13.8	17.2	2.7
	山地門	578	220	12.1	61.5	78.4	13.7	14.8	2.7
	萬安	270	115	12.9	25.9	30.7	11.6	7.1	1.9
	文樂	98	55	3.6	9.4	14.9	1.7	2.9	0.7
	萬金	765	390	14.8	55.4	55.9	22.6	60.7	3.4
	萬巒北	494	256	14.3	31.8	45.2	13.5	45.1	3.7
	西方	262	115	9.9	25.4	35.1	4.8	18.6	2.4
	來義	432	185	9.7	35.7	35.7	11.4	33.1	2.1
	力力	425	185	9.3	30.7	51.4	14.2	9.8	2.4
	口社								
第二次 9 月	高美	525	256	11.8	58.1	66.4	14.8	19.4	3.4
	吉安	493	224	7.16	54.8	61.4	10.7	15.6	1.9
	福田	625	260	12.6	61.8	77.3	15.4	15.7	3.5
	山地門	554	215	11.6	60.1	75.9	12.4	13.9	1.9
	萬安	223	125	13.2	24.9	28.4	10.9	8.5	2.7
	文樂	178	75	5.1	12.9	15.7	7.4	7.6	1.5
	萬金	665	375	15.2	46.5	65.2	21.8	53.4	2.8
	萬巒北	327	176	11.3	15.4	25.9	8.5	22.4	2.6
	西方	251	117	10.6	26.4	16.9	8.5	17.6	1.7
	來義	391	175	11.6	28.6	35.7	11.4	26.7	2.1
	力力	364	177	8.5	25.4	45.3	12.5	10.7	2.3
	口社	162	75	5.6	14.9	15.2	4.3	7.8	0.9

導電度 μS/cm at 25℃、其餘 mg/l

(四) 地下水歷年導電度

地下水歷年的導電度（含本次採樣結果）如表 3.2-13 至表 3.2-15，可分為三部份討論，林邊溪地區導電度約 200-500μS/cm（圖 3.2-6）、力力溪地區導電度約 200-550μS/cm（圖 3.2-6）、隘寮溪地區導電度約 200-700μS/cm（圖 3.2-7）、茄濃溪地區導電度約 400-1000μS/cm（圖 3.2-8）。只有一口井導電度有偏高—吉洋，2011 年的導電度為 776μS/cm，其餘井都小於 750μS/cm（灌溉用水標準）。

經由 Mann-Kendall 趨勢統計，有 2 口井的導電度有增加的趨勢—大響一及瑪家一；有 2 口井的導電度有減少的趨勢—枋寮二及鹽埔二。比照濁水溪扇頂，屏東地區並沒有明顯的鹹化現象。

表 3.2-13 林邊溪與力力溪沖積扇地下水歷年導電度

年	枋寮一	枋寮二	大響一	大響二	萬隆一	萬隆二	萬巒一	萬巒二
1998	506	541	256	234	259	342	380	447
1999	444	489	257	262	326	344	437	444
2000	483	531	259	251	337	357	484	486
2001	393	491	265	274	344	349	373	476
2002	498	497	259	269	322	343	498	467
2003	448	474	260	252	293	328	456	476
2004	470	492	269	257	304	330	460	461
2005	459	463	262	264	317	333	459	455
2007	497	420	325	259	355	334	413	423
2009			177	187	288	309		
2011	402	487	415	298	332	345	449	487

表 3.2-14 隘寮溪沖積扇地下水歷年導電度

年	建興一	建興二	繁華一	繁華二	瑪家一	瑪家二	瑪家三	彭厝一	彭厝二	鹽埔一	鹽埔二
1998	406	541	463	204	361	348	392	472	321	383	374
1999	618	413			418	397	388			424	399
2000	669	459	551	446	525	429	375	433	290	433	430
2001	666	454	544	443	508	444	259	424	283	444	387
2002	623	426	537	408	409	412	250	391	275	396	348
2003	680	438	478	415	438	412	211	404	267	378	344
2004	743	427	469	419	457	412	227	412	270	385	346
2005	646	422	462	398	511	408	386	416	278	386	343
2007			442	314		389	365	376	257	428	292
2009	538	373									
2011	639	484	640	460	594	481	310	456	315	597	421

表 3.2-15 荖濃溪沖積扇地下水歷年導電度

年	新南一	新南二	高樹一	高樹二	吉洋(舊)	吉洋一	吉洋二
1998	459	485	450	425	513	436	439
1999			497	474	771		
2000	589	510	562	496	766	545	569
2001	566	505	553	498	993	513	556
2002	536	503	476	464	749	492	544
2003	432	485	545	481	818	494	522
2004	540	475	511	512	802	515	530
2005	526	468	561	503	806	516	535
2007	566	482	430	446		458	440
2009	490	424			647		
2011	582	521	572	539	776	597	574

表 3.2-16 導電度 Mann-Kendall 趨勢分析結果

井名	數據量	最小值	最大值	S	Z	機率	趨勢
枋寮一	10	393	506	-7	-0.5	0.59	無
枋寮二	10	420	541	-25	-2.1	0.03	減少
大響一	11	177	415	28	2.1	0.03	增加
大響二	11	187	298	9	0.6	0.53	無
萬隆一	11	259	355	3	0.1	0.88	無
萬隆二	11	309	357	-15	-1.1	0.28	無
萬巒一	10	373	498	3	0.18	0.86	無
萬巒二	10	423	487	16	1.3	0.18	無
建興一	10	406	680	7	0.5	0.59	無
建興二	10	373	541	-13	-1	0.28	無
繁華一	9	463	640	-10	-0.9	0.35	無
繁華二	9	204	460	-1	-1.5	0.64	無
瑪家一	9	361	594	18	1.7	0.08	增加
瑪家二	10	348	481	6	0.4	0.65	無
瑪家三	10	211	392	-17	-1.4	0.15	無
彭厝一	9	376	472	-10	-0.9	0.35	無
彭厝二	9	257	321	-14	-1.3	0.17	無
鹽埔一	10	378	597	9	0.7	0.47	無
鹽埔二	10	292	430	-19	-1.6	0.10	減少
新南一	10	432	598	2	0.09	0.92	無
新南二	10	424	521	-16	-1.3	0.17	無
高樹一	10	430	572	9	0.7	0.47	無
高樹二	10	425	539	19	1.6	0.11	無
吉洋	10	513	993	5	0.3	0.72	無
吉洋一	9	436	597	10	0.9	0.34	無
吉洋二	9	439	574	1	0.2	0.95	無

數據時間：1998－2011

S 統計值（Mann Kendall Statistic），S 為正值為增加趨勢；負值為減少趨勢

Z 標準化（Normalized Test Statistic）

趨勢判定：90%顯著區間（level of significance）

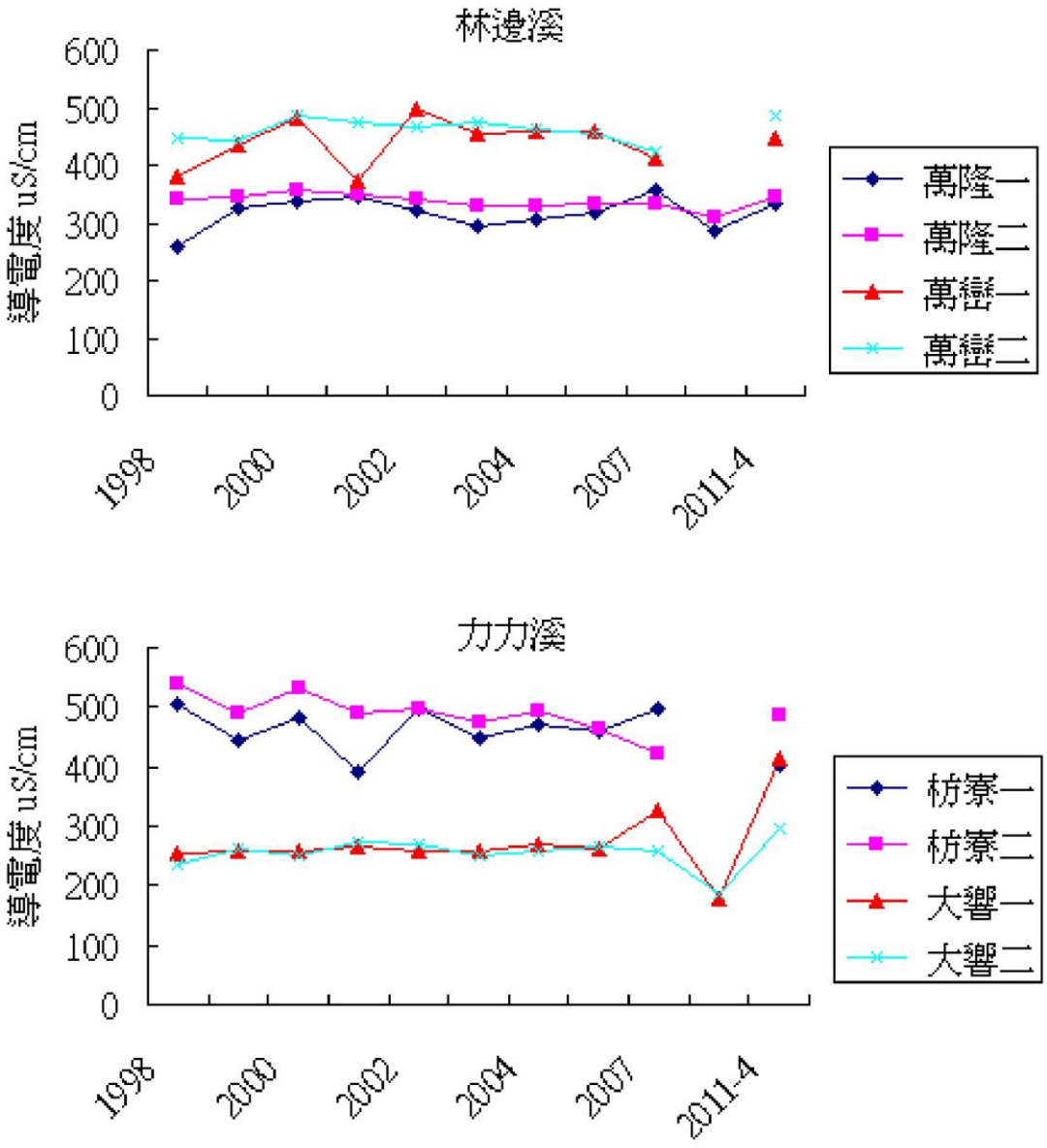


圖 3.2-6 林邊溪及力力溪沖積扇地下水歷年導電度

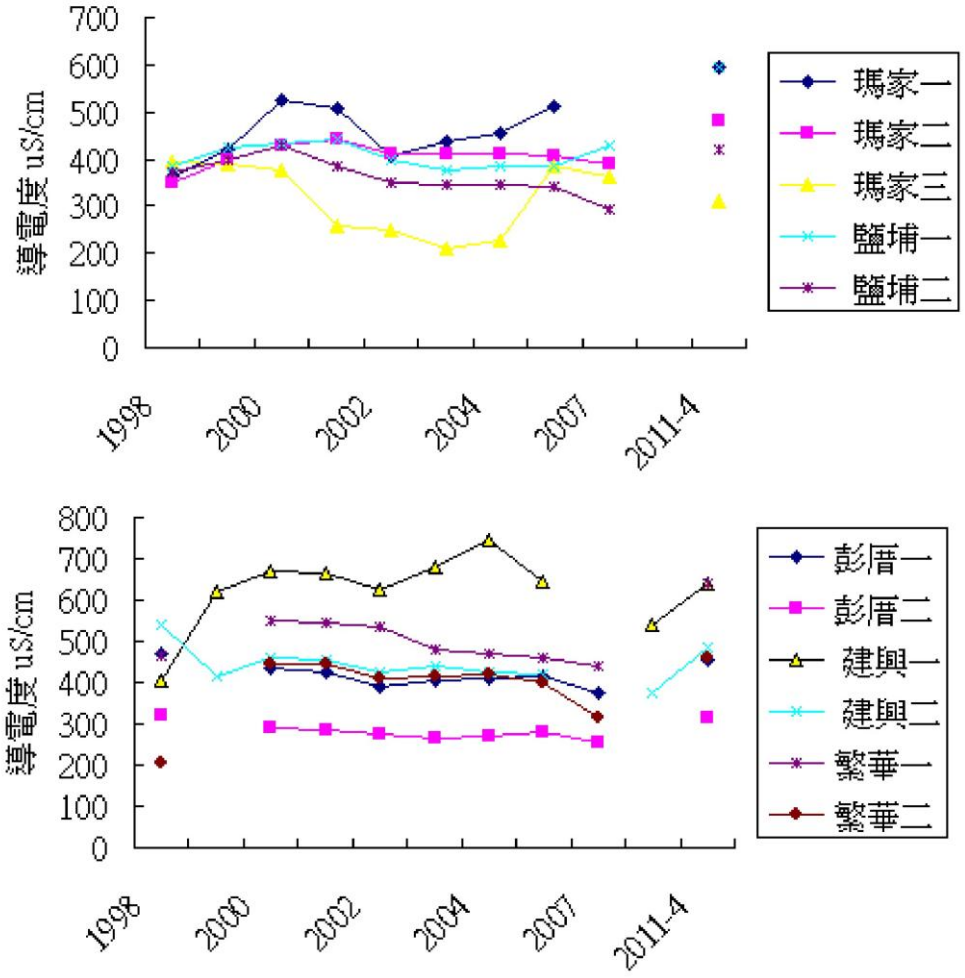


圖 3.2-7 隘寮溪沖積扇地下水歷年導電度

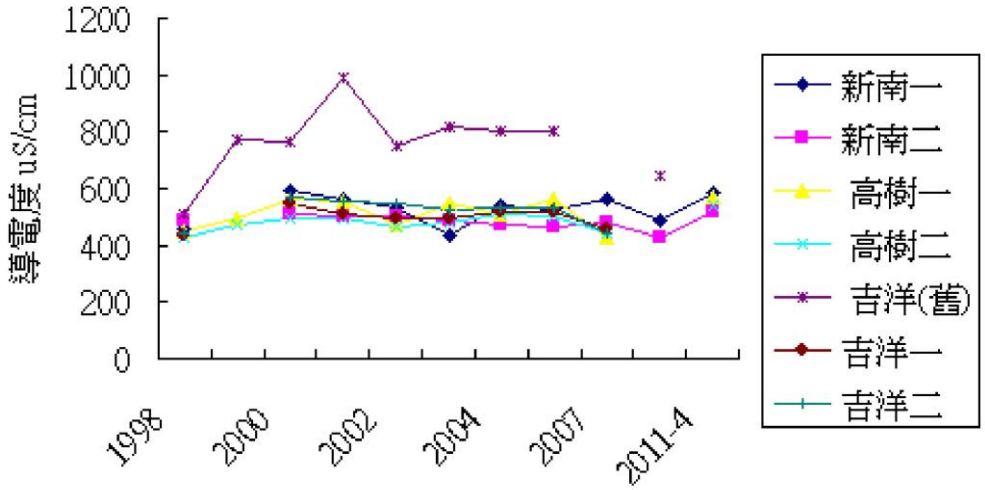


圖 3.2-8 荖濃溪沖積扇地下水歷年導電度

(五) 導電度垂向剖面

觀測井的垂向導電度分布，可能反應出不同的水質來源，茖濃溪地區垂向導電度以高樹二變化最大，導電度約 450-780μS/cm（圖 3.2-9）、隘寮溪地區以鹽埔變化最大、約 300-580μS/cm（圖 3.2-9）、林邊溪及力力溪地區以萬隆二變化最大、導電度約 220-500μS/cm（圖 3.2-10）。屏東地區扇頂區的導電度皆不大。

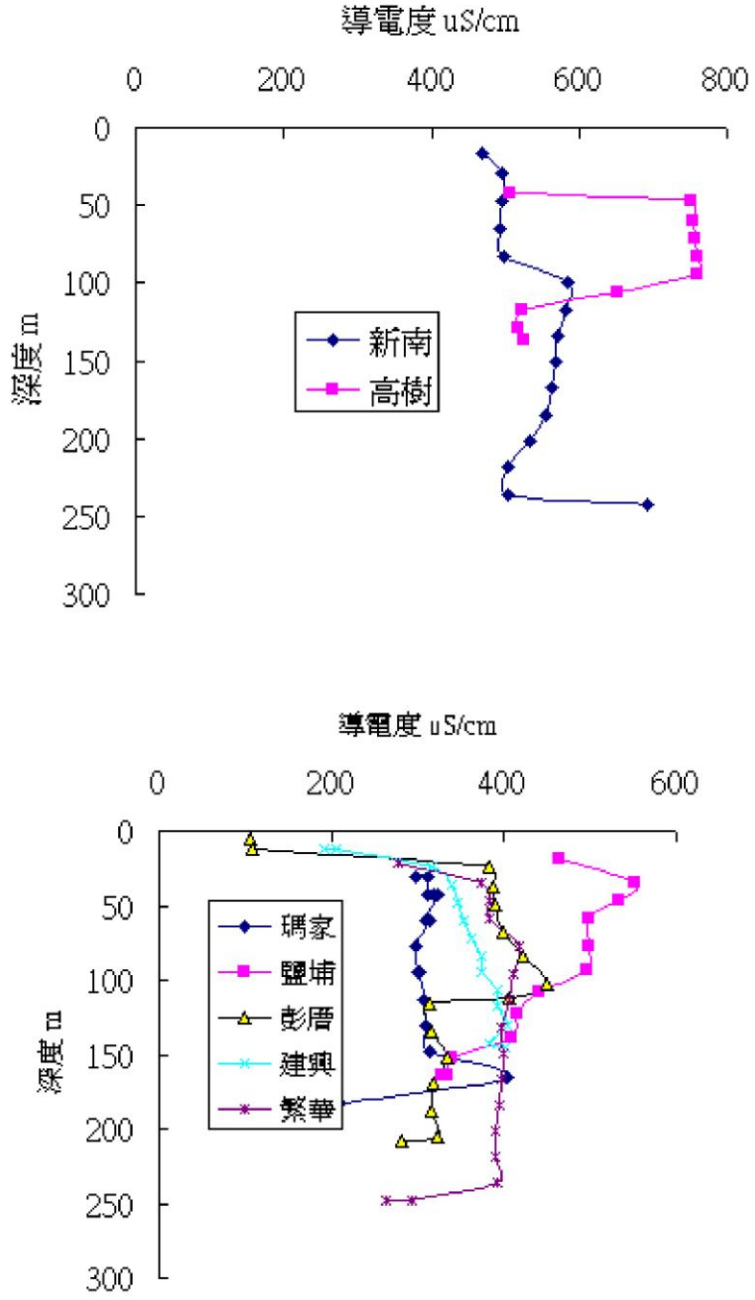


圖 3.2-9 茖濃溪及隘寮溪沖積扇觀測井垂向地下水導電度

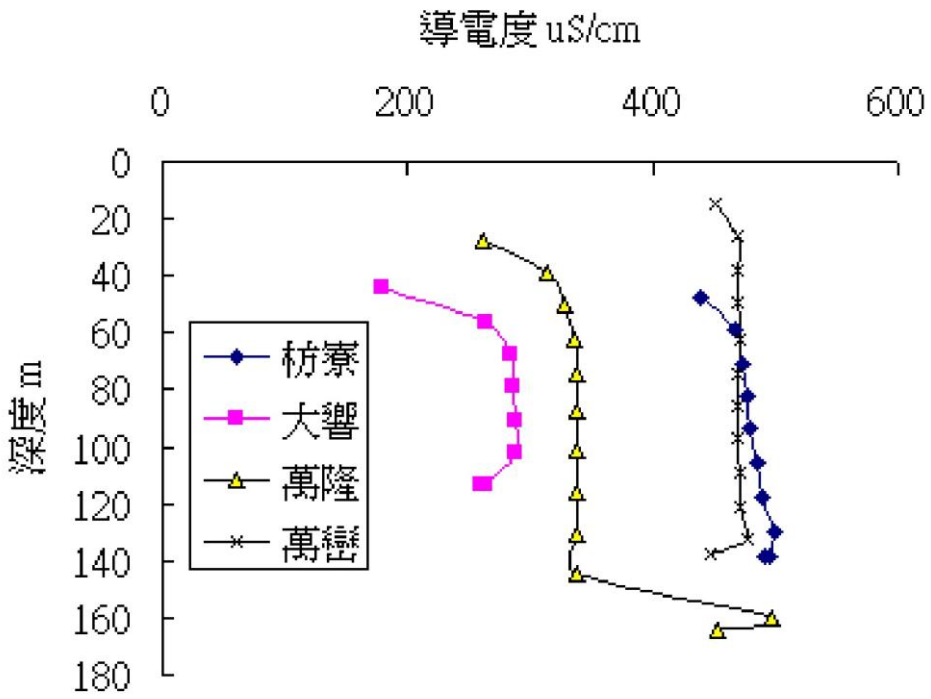


圖 3.2-10 林邊溪及力力溪沖積扇觀測井垂向地下水導電度

(六)地下水歷年硝酸鹽濃度

地下水歷年的硝態氮濃度如表 3.2-17 表 3.2-19。2001 年，林邊溪及力力溪地區以萬巒一最高、濃度為 5.21 mg/l；隘寮溪地區以建興一最高、濃度為 5.85 mg/l；荖濃溪地區以吉洋最高、濃度為 3.50 mg/l。屏東地區扇頂區的硝態氮濃度皆小於 10mg/l（環保署飲用水源水質標準）。

表 3.2-17 林邊溪與力力溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度（mg/l）

井名	枋寮一	枋寮二	大響一	大響二	萬隆一	萬隆二	萬巒一	萬巒二
1998	4.46	2.13	2.84	0.74	2.71	0.36	29.0	0.62
1999	3.68	0.40	0.61	0.78	3.02	0.23	8.41	0.15
2000	5.76		4.85		2.28		9.45	
2001	1.19		0.30	0.36	0.59		2.85	
2002	0.45		2.72	0.99	1.95	<0.05	3.92	<0.05
2003	2.28	<0.2	0.23	0.26	1.16	2.95	8.31	<0.05
2004	2.93	0.85	4.30	0.56	1.39	0.26	9.80	0.19
2005	3.64	0.48	0.75	0.70	1.18	0.16	9.89	0.09
2007	4.96	0.51	3.95	0.75	0.99	0.16	10.5	<0.05
2009	4.86	0.51	1.76	0.83	1.17	0.16	9.49	<0.05
2011	1.78	0.16	3.15	0.67	1.11	0.19	5.21	0.83

表 3.2-18 隘寮溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度（mg/l）

井名	建興一	建興二	繁華一	繁華二	瑪家一	瑪家二	瑪家三	彭厝一	彭厝二	鹽埔一	鹽埔二
1998	8.41	2.51	2.75	0.85	ND	1.12	0.16	3.57	1.48	22.4	23.2
1999	12.5	0.38			2.39	2.59	0.91			1.87	5.98
2000	9.64		6.82	0.55	3.05			4.12	1.65	2.23	
2001	3.69		1.93	0.23	1.43	0.83	0.19	1.90	0.77	1.00	1.30
2002	5.96	2.67	4.33	0.54	1.44	2.09	0	2.61	2.39	1.50	2.34
2003	10.4	3.22	3.25	0.40	1.80	0.16	0	4.82	2.07	0.11	1.37
2004	17.3	2.67	3.38	0.66	3.10	1.69	0.30	6.08	2.75	1.52	2.88
2005	10.43	2.57	5.09	0.70	4.57	1.98	1.27	5.41	2.75	1.64	3.07
2007	6.57	2.71	3.34	0.72		2.57	1.47	4.58	3.99	0.80	3.03
2009	9.01	3.30	3.92	0.69	3.52	2.26	1.41	3.32	7.24	1.68	2.58
2011	5.85	3.09	4.63	0.82	2.41	2.11	1.10	4.62	4.11	1.25	3.80

表 3.2-19 隘寮溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度（mg/l）

井名	新南一	新南二	高樹一	高樹二	舊吉洋	吉洋一	吉洋二
1998	0.27	0.30	1.92	1.95		0.30	0.49
1999			2.39	1.84	8.41		
2000	5.38	1.51	2.72		7.42	2.41	<0.05
2001	1.13	0.61	1.88	0.89	2.14	0.85	
2002	2.18	2.65	1.61	2.15	3.80	1.09	
2003	3.49	1.56	4.53	1.96	5.94	1.81	<0.05
2004	4.05	1.50	2.85	2.96	5.23	1.82	<0.05
2005	3.55	1.41	5.57	2.86	3.93	1.61	<0.05
2007	4.31	1.54	2.38	1.69		4.30	<0.05
2009	3.36	2.04	4.55	1.14		1.37	<0.05
2011	3.19	1.45	0.77	1.09	3.50	1.05	0.43

3.2.3 綜合分析

為了配合地下水補注潛勢研究，增加補注計算及補注區劃定的精度，本項工作補調查扇頂補注區的水質，探討水質地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制，以提供地下水水質保護區劃定的重要參考。今年度進行兩次地下水採樣－以荖濃沖積扇及隘寮沖積扇為主，共 24 站共 52 口井，12 處地面水。上述水質調查結果可進一步進行下列六點綜和分析：

1. 地下水之氧化還原帶：溶氧帶之含水層溶氧>1mg/l，此區域由高樹、新南至大響及枋寮等。硝酸鹽帶的分布再往西、分布更廣（參看圖 3.2-7）。溶氧高可反應由地表補注下來的水量較多，因此溶氧帶可做為本研究地下水主要補注區範圍建議之參考。

2. 扇頂水質地化特性：扇頂地下水水大都以碳酸氫鈣水質為主，只有少數地下水偏碳酸氫鈉，此現象應為陽離子交換的結果。

3. 地面水之水質：地面水的溶氧約 3-7mg/l，硝態氮的濃度則以東港溪上游明顯濃度較高，主要離子成分以碳酸氫鈣為主，只有萬金、萬巒、西方與來義的鈉離子稍高，前三點的硝酸鹽濃度也高，可能受生活汙水排放影響。

4. 地下水歷年導電度：只有一口井導電度有偏高—吉洋，2011 年的導電度為 776μS/cm，其餘井都小於 750μS/cm（灌溉用水標準）。經由 Mann-Kendall 趨勢統計，有 2 口井的導電度有增加的趨勢—大響一及瑪家一；有 2 口井的導電度有減少的趨勢—枋寮二及鹽埔二。與濁水溪扇頂比較，屏東地區並沒有鹹化

現象。

5. 觀測井的垂向導電度分布，可能反應出不同的水質來源，茖濃溪地區垂向導電度以高樹二變化最大，導電度約 450-780μS/cm、隘寮溪地區以鹽埔變化最大、約 300-580μS/cm、林邊溪及力力溪地區以萬隆二變化最大、導電度約 220-500μS/cm。屏東地區扇頂區的導電度皆不大。

6. 地下水歷年硝酸鹽濃度:林邊溪及力力溪地區以萬巒一最高、濃度為 5.21 mg/l；隘寮溪地區以建興一最高、濃度為 5.85 mg/l；茖濃溪地區以吉洋最高、濃度為 3.50 mg/l。屏東地區扇頂區的硝態氮濃度皆小於 10mg/l（環保署飲用水源水質標準）。

地下水水質之適用性

根據飲用水及灌溉用水標準（表 3.2-4），本年度檢測 67 樣地下水中，只有 4 口大於 750μS/cm（灌溉用水標準）：赤山三 790μS/cm、西勢三 822μS/cm、吉洋舊井 776μS/cm、旗山一 901μS/cm（表 3.2-20）。氯鹽、硫酸根及硝酸根的濃度都在管制標準之下。

表 3.2-20 本年度採樣觀測井地下水質監測結果

	總檢測樣本數	評估標準	超過標準樣本數	百分比
導電度	67	750 μS/cm[*1]	4	6%
氯鹽	67	250 mg/L[*2]	0	0%
硫酸根	67	250 mg/L[*2]	0	0%
硝酸鹽氮	67	10 mg/L[*2]	0	0%

註：*1 灌溉用水水質標準；*2 飲用水源標準

3.3 抽水井鑿建及複井抽水試驗

本(100)年度於彭厝站鑽鑿淺層 10 吋抽水井(P1)及淺層 8 吋試驗井(W1)，進行複井抽水試驗以求取儲水係數，各井相關位置如圖 3.3-1。

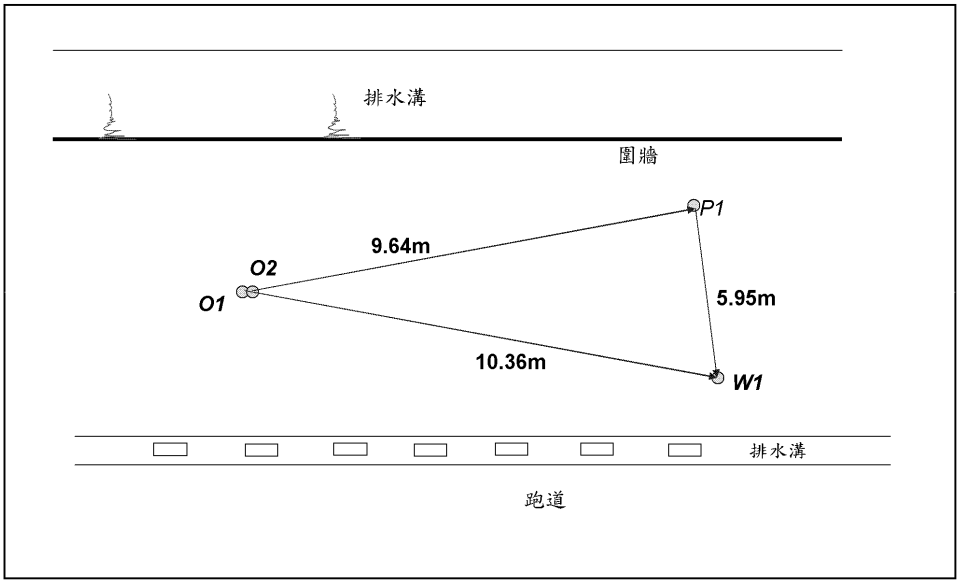


圖 3.3-1　彭厝站各井位置示意圖

(一)區域水文地質概況

屏東平原地下水文區，除了地形平坦之平原區域以外，尚包括位於平原西側之嶺口台地和鳳山丘陵，總面積約 1,236 平方公里。平原中所含未固結沉積岩層主要是由荖濃溪、隘寮溪和林邊溪沖積而成，由地形等高線明顯區分由上述三條河流所沖積成的扇狀地形（圖 3.3-2）。

由水文地質剖面（地調所，2002）(圖 3.3-3)，顯示屏東平原深度約 250 公尺內地下水層分布狀況。由上而下可劃分為含水層一（F1）、阻水層一（T1）、含水層二（F2）、阻水層二（T2）和含水層三之 1（F3－1）、阻水層三（T3）和含水層三之 2(F3－2)；含水層主要由礫石或砂層組成，而阻水層則由泥層組成；剖面圖亦顯示沖積扇頂附近屬於厚礫石層，各地下水層互相連通，平原降雨及山區流下之河水和伏流水於此處補注到各地下水層之中，為各地下水層之共同補注區；而往西南部扇尾地區地層之分層明顯，大致有二~三層主要的阻水層(泥層)，地下水上下流通已完全受到限制。

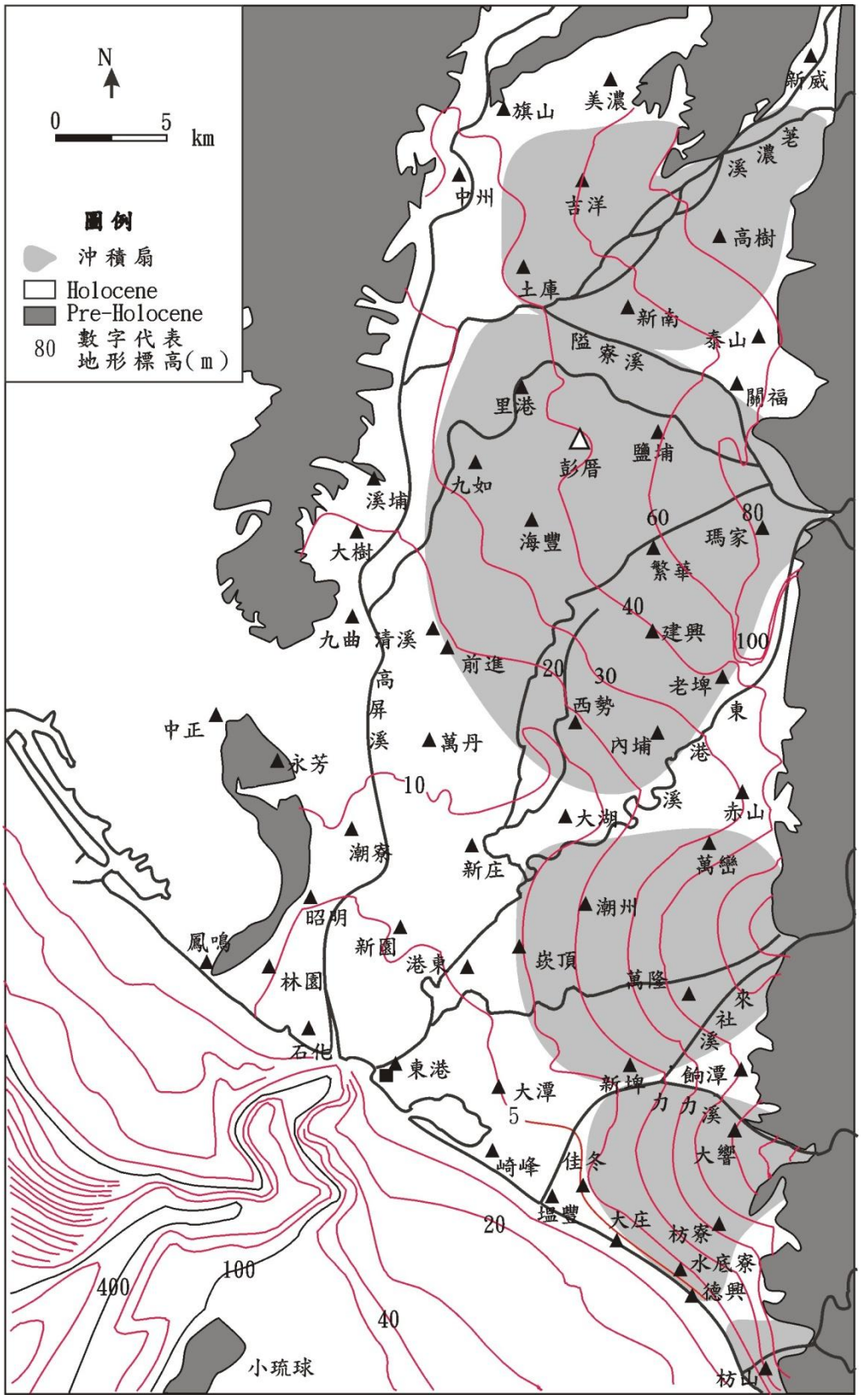


圖 3.3-2　屏東地區地下水觀測站位置圖

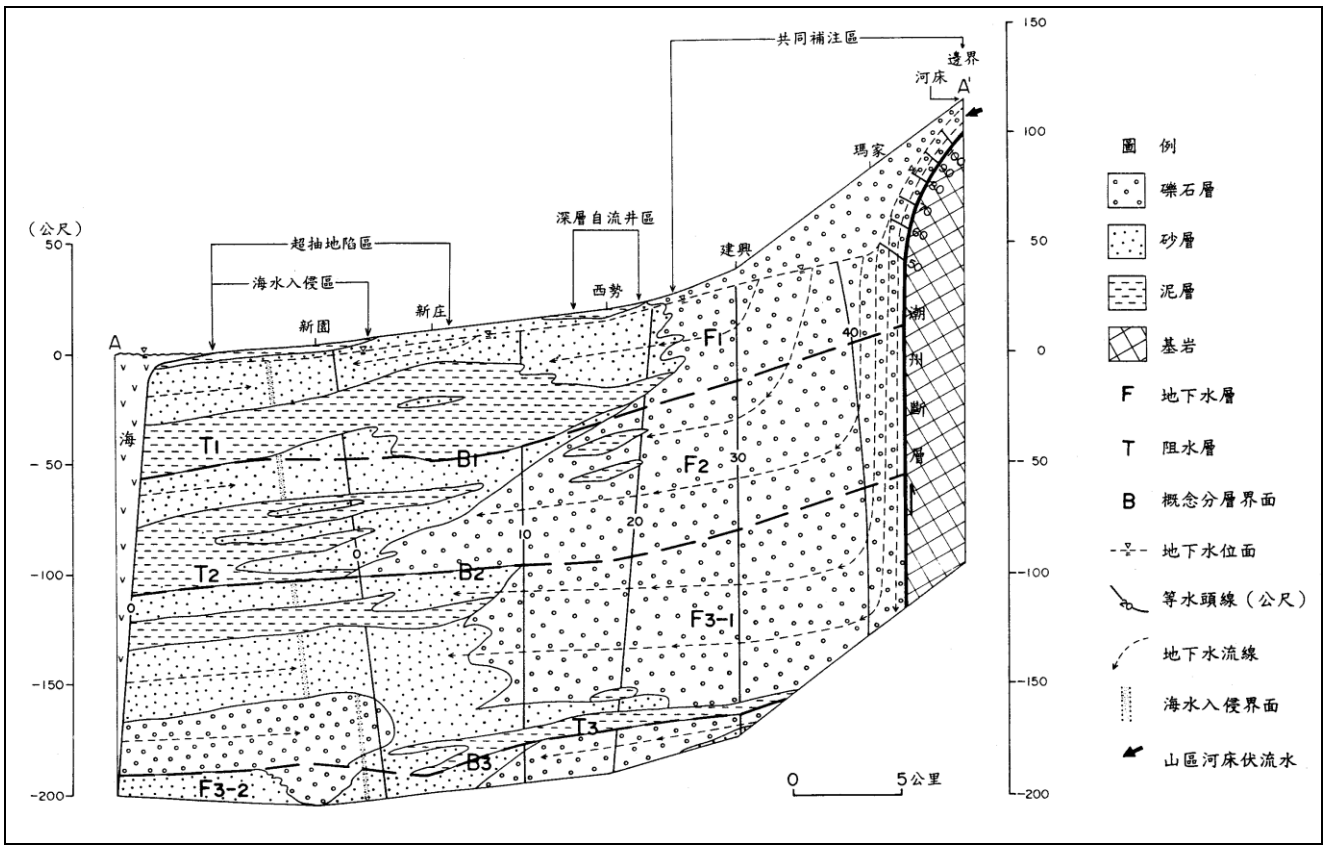


圖 3.3-3 屏東平原隘寮溪隘口－瑪家－新園－海底峽谷之水文地質剖面(地調所,2004)

(二)施工概況

根據民國 87 年鑽探資料顯示，彭厝站之地層以礫石層為主，因此本次觀測井及抽水井之地層取樣工作，為避免淺層鬆散之礫石層在取樣過程產生大量崩落之狀況，故採取以鑽頭鑿碎再以吊泥桶取出砂樣之方式進行。依砂樣資料初步判定地層岩性以礫石層為主，因此鑽至預計深度後，隨即依照井體設計圖進行下管作業(圖 3.3-4、3.3-5)。

下管完成後進行洗井擴水工作，接續安裝抽水機進行試抽工作，俟水色澄清後，準備進行試水工作。

抽水試驗計劃進行抽水井（P1）及試驗井(W1)分級試水各 1 組及複井抽水試驗 1 組，於抽水井（P1）安裝抽水機進行試驗，W1、O1 及 O2 井進行水位觀測。

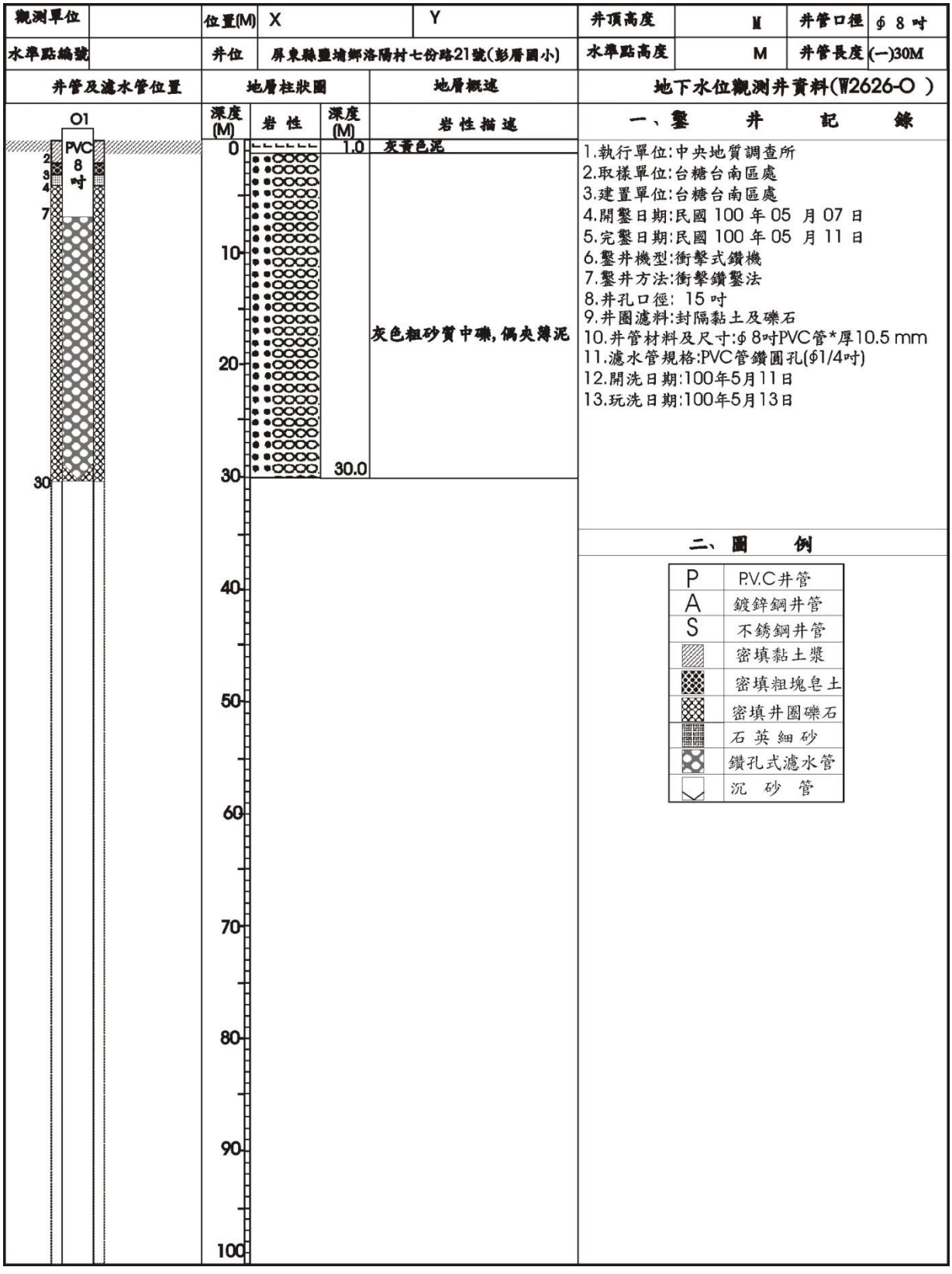


圖 3.3-4　彭厝站淺層試驗井(W1)井體構造圖

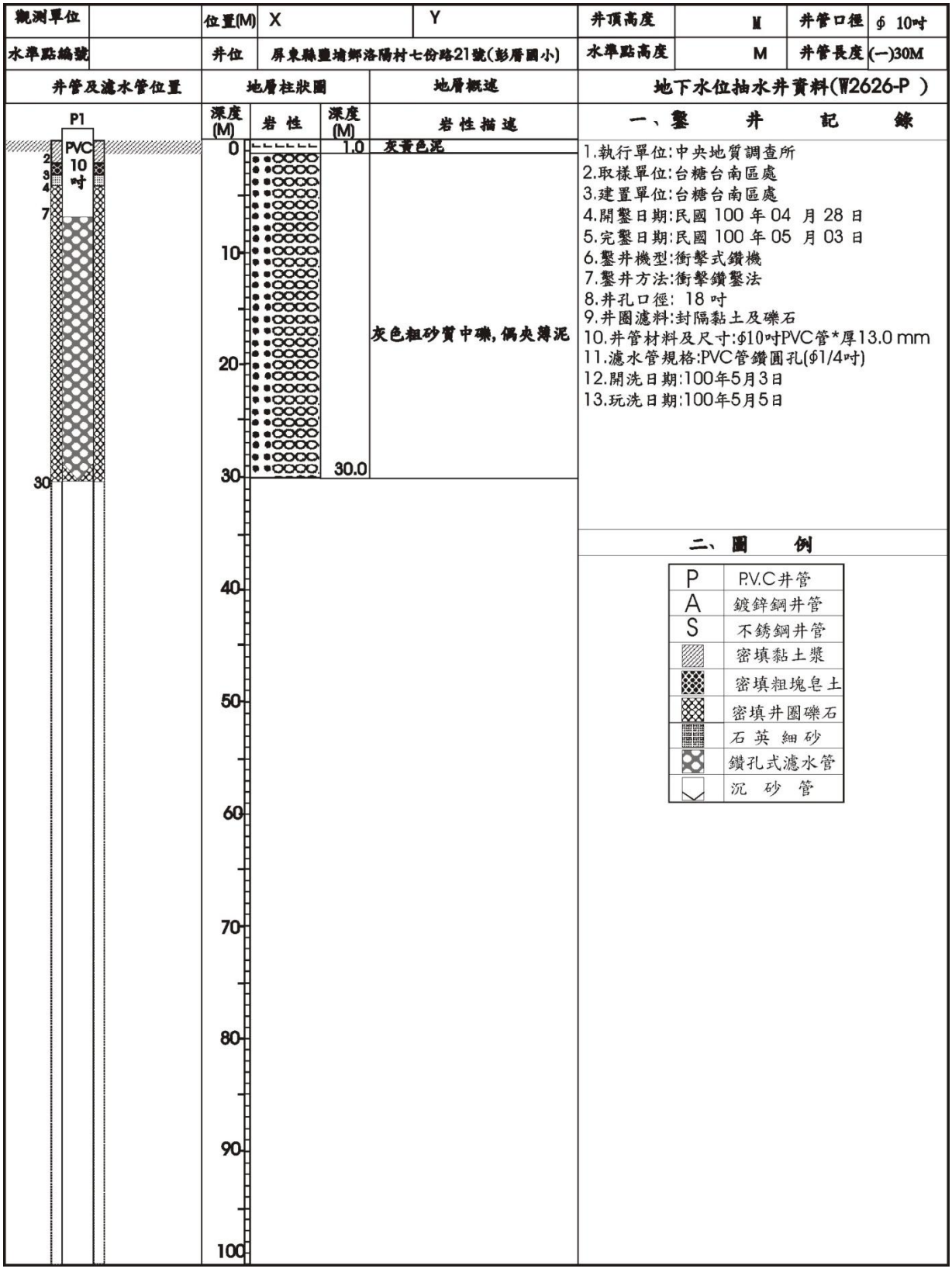


圖 3.3-5　彭厝站淺層抽水井(P1)井體構造圖

3.3.1 分級試水

單井分級試水其目的在於分析觀測井試驗所取的試驗數據，以求取井體單位洩降出水量(Q/s)、井性能曲線式、導水係數(T)等參數。其試驗方法、程序及結果分述如下：

(一) 試驗方法

分級試水採用連續抽水方式辦理。本計畫則將分級試水抽水量(Pumping Rate, Q)分成 5 級抽水量測試，依井中出水狀況作決定。由小而大(亦即 Q1<Q2<Q3<Q4<Q5)，各級抽水量差概略相等(即 Q2-Q1≒Q3-Q2≒Q4-Q3 ≒ Q5-Q4) ，Q5 一般約為 Q1 之 2.5 倍。各級之抽水時間應相等。試驗過程中則利用觀測設備記錄各級抽水量對應之時間(t)及洩降量(drawdown, s)，洩降量為動水位(Dynamic Water Level)與靜水位(Static Water Level)間之差值。每一級試驗約 100 分鐘，再調整抽水量至下一級。

(二) 參數計算與分析

以連續抽水作分級試水時，第 2 級以後各級抽水之洩降因包含之前各級抽水之累計洩降，故各級洩降值，需藉之前各級洩降與抽水時間對數值曲線之延長線予以校正。故依據疊合原理（principle of superposition），第 2 級之洩降，為第 1 級抽水量 $\Delta Q_1 = Q_1$ 所造成洩降，加上第 2 級增加抽水量 $\Delta Q_2 = Q_2 - Q_1$ 所造成之洩降；第 3 級之洩降為第 1 級 ΔQ_1，第 2 級增量 ΔQ_2 和第 3 級增量 $\Delta Q_3 = Q_3 - Q_2$ 所造成洩降之疊合；依此類推可得各級洩降之內部組成，試驗資料分析可由江崇榮（2008a）所推導之相等延時分級抽水試驗資料分解公式，分解成各級單獨抽水試驗資料。

除第一級試水採用實測洩降值 $s(Q_n,t)$ 外，其餘各級由實測洩降值 $s(Q_n,t)$ 計算修正洩降值 $s(Q_n,t')$，其修正方式如下：

$$s(Q_n,t') = s(Q_n,t) - \sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{2.30\Delta Q_i}{4\pi T}\log\frac{(n-i)\Delta t + t'}{t'}\right]$$

$s(Q_n,t')$：各級單獨抽水試驗井水位洩降(m)，Q_n 為第 n 級之抽水量 (m^3/day)，t' 為時間 $(0 \sim \Delta t, min)$

$s(Q_n,t)$：分級抽水試驗井水位洩降(m)，t 為時間 $(0 \sim n\Delta t, min)$

ΔQ_i：各級比前級增加之抽水量 (m^3/day)，$\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$

T：導水係數 (m^2/day)

i：分級抽水試驗第i級，$i=1\sim n$

Δt：各級抽水延時(min)

在分解得單獨抽水試驗資料後，進行井性能曲線(well performance curve)分析，江崇榮(2008b)建議可由 Birschenk(1963)或 Rorabaugh(1953)法分析，其程序為：

1. 先假設$s=BQ+CQ^2$。s為單獨抽水試驗 100 分鐘之井水位洩降。

2. 因$s/Q=B+CQ$，故Q對s/Q作圖應成直線；直線之斜率為C，$Q=0$時之截距為B（Birschenk，1963）。若Q對s/Q諸點分布確實呈直線，則分析工作到此結束。

3. 若Q對s/Q點分布明顯地偏離直線，而是向上彎之曲線，則應採用$s=BQ+CQ^p$型式，以 Rorabaugh（1953）方法重新分析。

4. 因$\log(s/Q-B)=\log C+(p-1)\log Q$，故在雙對數座標上$Q$對$(s/Q-B)$作圖，各點應該呈直線分布。

5. B為未知，必須以 Rorabaugh（1953）方法反覆嘗試求之。其方法是先用步驟 2 求得之B值代入步驟 4 之等式中，計算各組抽水試驗之$(s/Q-B)$值，再點繪於雙對數座標上；若點呈向上彎之曲線，表示B值太小；改用較大B值重複計算和點繪，若得到向下彎之曲線，則表示B值太大；如此反覆試算 3 到 5 次可使各點呈直線分布，其B值為所求。

6. 由直線之斜率，$\dfrac{\log(s_2/Q_2-B)-\log(s_1/Q_1-B)}{\log Q_2-\log Q_1}=p-1$可得$p$值。

$\log Q=\log 1=0$時直線之截距等於$\log C$，故$\dfrac{\log(s/Q-B)-\log C}{\log Q-\log 1}=p-1$，可求得 C 值。

(三)分級試水結果

彭厝站 P1 井分級試水，靜水位為 5.998 m，由第 1 級分級試水之抽水量 Q=83.15 cmh 及洩降差 Δs_1 =0.0129 m/log，以 T_1=20.450 m^2/min 進行分級試水分析，分級試水之第 1 級抽水量 Q=83.15 cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 232.84cmh/m；第 2 級 Q=117.41cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 245.11 cmh/m；第 3 級 Q=145.63 cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 258.21 cmh/m；第 4 級 Q=178.36cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 252.63 cmh/m；第 5 級 Q=205.95 cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 248.13 cmh/m。

以 Birschenk（1963）方法分析，結果得 $B=0.00349$ 及 $C=2.61\times10^{-6}$；其井性能曲線式為 $s=0.00349\cdot Q+2.61\times10^{-6}\cdot Q^2$。

W1 井分級試水，靜水位為 5.639 m，由第 1 級分級試水之抽水量 Q=63.15 cmh 及洩降差 Δs_1 =0.0090 m/log，以 T_1=21.414 m^2/min 進行分級試水分析，分級試水之第 1 級抽水量 Q=63.15 cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 305.07cmh/m；第 2 級 Q=85.51cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 263.92 cmh/m；第 3 級 Q=109.39 cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 231.76 cmh/m；第 4 級 Q=135.20cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 207.04 cmh/m；第 5 級 Q=157.89 cmh，單位洩降出水量（Q/s）為 192.31 cmh/m。

以 Birschenk（1963）方法分析，結果得 $B=0.002$ 及 $C=2.03\times10^{-5}$；其井性能曲線式為 $s=0.002\cdot Q+2.03\times10^{-5}\cdot Q^2$。

3.3.2 雙井抽水試驗

雙井抽水試驗其目的在於分析觀測井試驗所得的試驗數據，以推測含水層屬性，並選擇適當分析模式，求得含水層導水係數(T)及儲水係數（S）等參數。其試驗方法及程序分述如下：

(一) 試驗方法

於試驗含水層建置分層抽水井（P1）及觀測井(W1)，由 P1 裝置抽水機以定量抽水，並由圓縮口流量計控制抽水量；各井以測棒及自記式監測儀紀錄時間與水位關係，以進行雙井抽水試驗。

(二) 試驗程序

雙井抽水試驗程序簡述如下：

1. 分別於觀測井及抽水井安裝測棒並連線至自記式監測儀。
2. 安裝圓縮口流量計。
3. 完成自記式監測儀設定。
4. 啟動抽水機及記錄抽水位，並於 2 分鐘內穩定控制抽水量。
5. 於定量抽水結束，同時停抽及記錄回升水位。
6. 完成試驗，拆除機具及設備。

(三) 分析方法

雙井抽水試驗於非受壓含水層，主要有 Boulton (1954、1963)及 Neuman (1972)等方法， Neuman 考慮水平及垂直方向上的流場，提出徑向、垂直二維的地下水流模式，Boulton 的數學模式使用徑向一維的地下水流控制方程式，一維地下水流控制方程式無法在邊界條件上反應地下水位面變化時垂直方向上重力排水補注的機制，因此 Boulton 在控制方程式中額外加了一源式(source term)來代表地下水位面下降導致重力排水的補注。但 Boulton 對於地下水重力排水的假設與 Neuman 截然不同，Neuman 是假設重力排水的過程中地下水瞬間由孔隙中排出， Boulton 則是假設重力排水時地下水並非瞬間由孔隙中排出，重力排水的過程是會隨著時間的增加而逐漸減少孔隙中排出的水量。Boulton 在源式中使用延滯指數(delay index)代表地下水並非瞬間由孔隙中排出的假設，但延滯指數是一個無實際物理意義的經驗參數，因此在實際應用上較困難及較缺乏說服力。

(四) 雙井抽水試驗結果

彭厝站於 P1 安裝抽水機，於 W1 井觀測水位，以完成一組抽水試驗，茲將雙井抽水試驗結果說明如下（分析圖表參考附錄六）：彭厝站 W1 抽水試驗，W1 靜水位 5.811m，靜水位於試水期間為上升趨勢，以水位上升率為 3.347×10^{-5} m/min 修訂水位，抽水量 Q = 205.95cmh，井距 r = 5.95 m，以 Neuman 法分析，考慮以濾水管位置 7~30m 之部分貫穿，得 T =22.34 m^2/min，S = 0.01013，Sy = 0.1287。

第四章 地下水主要補注區與重要保育區範圍評估

本章節將建立一套完整的地下水主要補注區與重要保育區評估流程。4.1 節說明地下水補注潛勢評估作業程序以及說明「地下水補注潛勢」與「重要保育區」所使用之因子。4.2 節與 4.3 節說明地下水補注潛勢各項因子原始屬性建立以及轉換成因子分數的圖層繪製。4.4 節為依據「地下水補注潛勢」、「二維地電阻」與「水質分析」三者進行主要補注區之結果分析。4.5 節至 4.7 節則為分析地下水重要保育區作業程序之圖層繪製與成果說明。

4.1 主要補注區與重要保育區分析流程

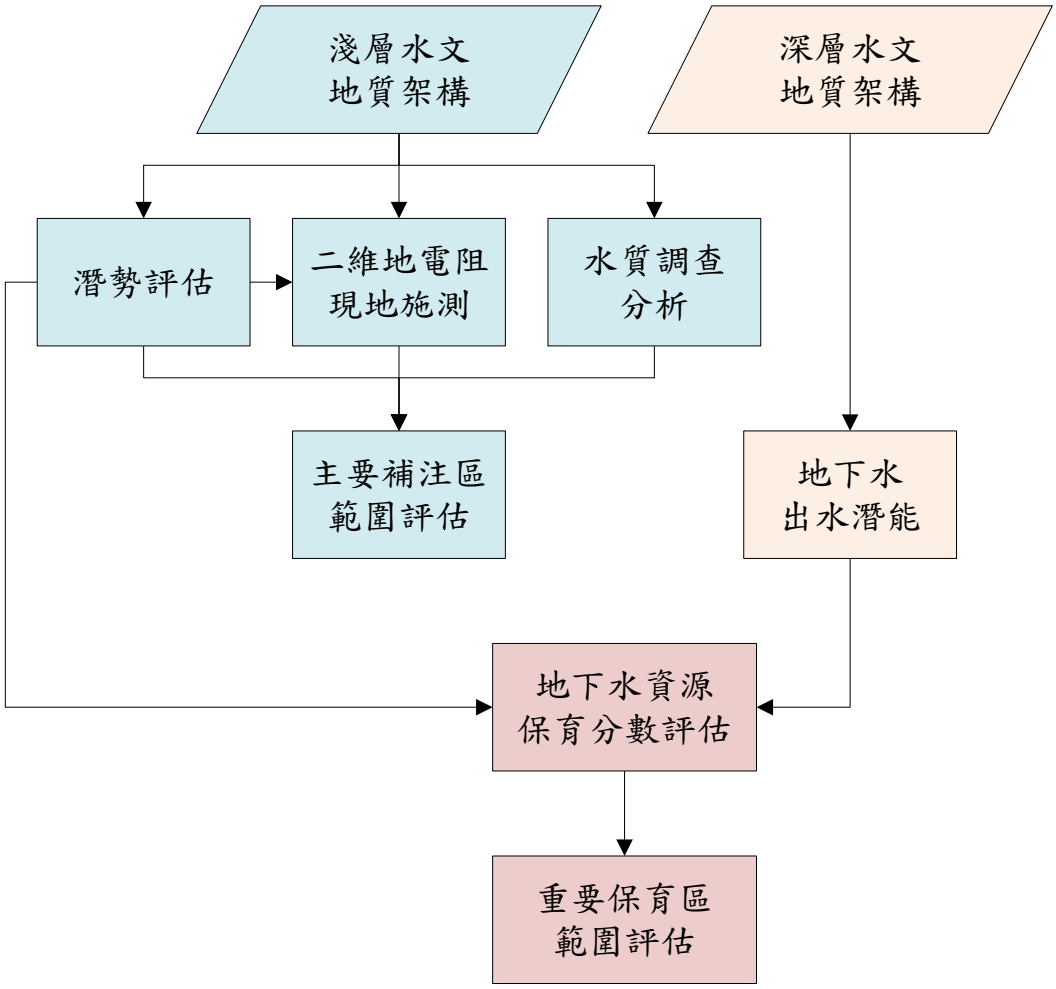


圖 4.1-1 主要補注區與重要保育區範圍評估流程圖

本節在此訂定地下水主要補注區與重要保育區兩者的分析流程，圖 4.1.1 為主要補注區與重要保育區範圍評估流程圖，本流程首先以地質調查所建置之淺層水文地質架構與深層水文地質架構等前期研究為基礎，依據前期研究之鑽探、觀測與調查結果，建立研究區域之補注潛勢或地下水出水潛能等；其次，二維地電阻施測與水質調查分析等現地補充調查，可以淺層水文地質架構及補注潛勢空間分布結果，決定施測或調查地點；接著，綜合補注潛勢、二維地電阻與水質調查分析等不同分析方法之結果，可作為主要補注區範圍評估之依據，不同調查分析方法可提昇補注區範圍評估之可靠度。最後，以淺層之地下水補注潛勢，與深層之地下水出水潛能，綜合可得地下水保育分數，依據保育分數之空間分布，作為重要保育區範圍評估之依據。

地下水補注潛勢評估作業程序如圖 4.1-2 所示，其中需先對補注潛勢定義影響因子，本計畫延續以往之研究成果，採用「土地利用」、「表層土壤種類」、「降雨與地下水位變化相關性」、「平均年降雨量」、「單位蓄水量變化」、「透水係數」以及「河系密度」等七項補注潛勢影響因子(如表 4.1-1 所示)，其考量範圍(深度)為淺層含水層或其上之特性。

本研究先對研究區域蒐集各類點位資料與圖層資料，再將所蒐集之相關資料，經過初步處理後，即為該因子之原始屬性(詳見 4.2 節)。接著，訂定原始屬性與細部分數之轉換規則或轉換表，可將原始屬性轉換為 0 至 100 分之因子分數，此階段以一公里見方之網格呈現。最後，為呈現不同因子對於補注之影響程度，在此需針對因子權重進行訂定，再依據所訂定之權重，進行加權加總之計算，所得即為補注潛勢因子總分。

在因子權重之訂定方面，Shaban et al. (2006) 與 Yeh et al. (2009) 認為各項影響因子之間，具有相依相存之關係，可以「因果關係邏輯圖」呈現該項關係，並顯現各因子影響力之差異，進而訂定因子權重，本計畫以此方式評估不同影響因子間權重比例。圖 4.1-3 為補注潛勢影響因子間的因果關係邏輯圖，其中補注潛勢影響因子互以實線或虛線連接，實線代表主要影響，而虛線則代表次要影響，箭頭方代表被影響方，箭尾方向則代表影響方。

舉例說明，「降雨與地下水位變化相關性」及「單位蓄水量變化」之間有主要影響關係，其方向由「降雨與地下水位變化相關性」指往

「單位蓄水量變化」，代表「降雨與地下水位變化相關性」為因，「單位蓄水量變化」為果。若由物理現象來探討，假設降雨與地下水位變化相關性高時，地下水位將明顯受到雨量之影響，進而明顯地影響其地下水之蓄水量變化。例如當一區域雨量豐沛時，其長期地下水位會較為穩定，若有雨季與旱季之分則其水位變動則較大，因此「降雨與地下水位變化相關性」因子為高相關性時，會影響地下水位之標準差，而「單位蓄水量變化」為地下水位標準差與儲水係數之乘積，因此將到影響，故「降雨與地下水位變化相關性」對於「單位蓄水量變化」的關係視為主要影響。

本計畫針對屏東平原之水文地質特性，參考地下水補注潛勢相關之研究報告與文獻資料，提出地下水補注潛勢評估作業程序，補注潛勢評估之流程架構如圖 4.1-2 所示。

補注潛勢與主要補注區是以淺層水文地質架構作為探討主體，因此為了同時兼顧深層水文地質架構之影響，補注潛勢需與地下水出水潛能結合，分別呈現補注能力與蘊藏量多寡之空間分布，在此以兩者之乘積作為「地下水資源保育分數」(如表 4.1-2 所示)。

表 4.1-1 地下水補注潛勢影響因子表

影響因子	說明
土地利用	地表土地使用性質、植被覆蓋。
表層土壤種類	表層土壤種類分布狀況。
透水係數	透水係數 K 值。
平均年降雨量	長期平均年降雨量。
河系密度	每一網格內河川所佔面積比例。
降雨與地下水位變化相關性	降雨事件期間「降雨量」與「地下水位上升量」迴歸統計之 R^2 。
單位蓄水量變化	長期地下水位變化(標準差)與儲水係數之乘積。

表 4.1-2 地下水保育分數影響因子表

評估因子	說明
地下水補注潛勢	整合地下水補注潛勢因子與因子權重之高補注潛勢區。
地下水出水潛能	以零位線作為基準線，結合地下水位與儲水係數，評估地下水出水能力之依據。

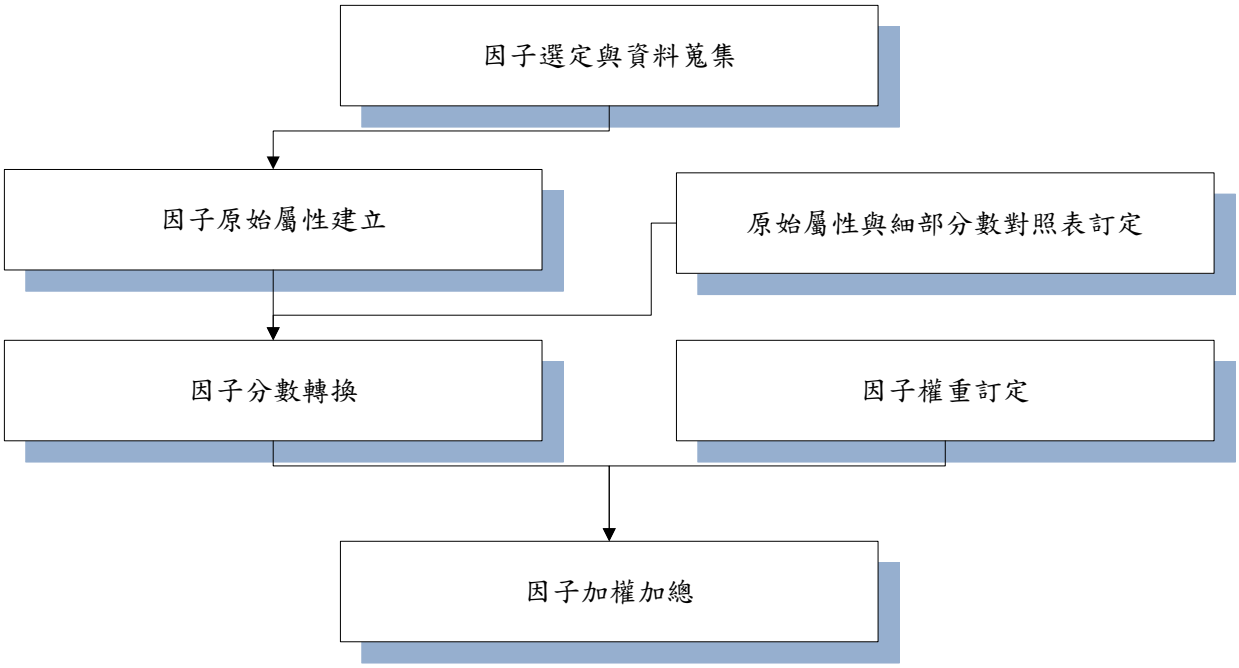


圖 4.1-2 地下水補注潛勢評估作業程序

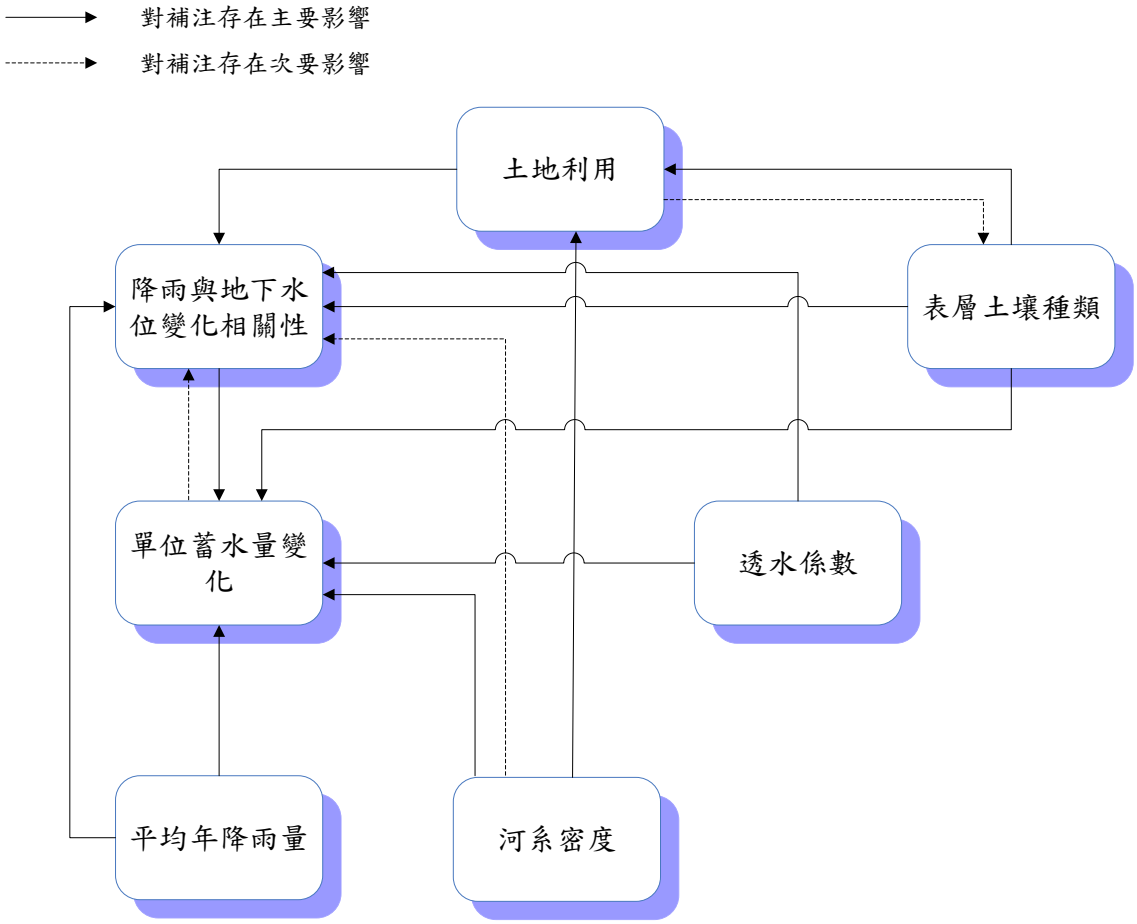


圖 4.1-3 地下水補注潛勢影響因子關係圖

在「單位蓄水量變化」對「降雨與地下水位變化相關性」為次要影響部分，「單位蓄水量變化」為因，「降雨與地下水位變化相關性」為果。「單位蓄水量變化」為地下水位標準差與儲水係數之乘積，而此兩項中僅儲水係數會影響到地下水位，但對於「降雨與地下水位變化相關性」因子而言，此兩項因素皆無法對其明確而直接的影響。比較前述兩種例子，其影響程度有所差異，故分為主要影響與次要影響兩種。由圖 4.1-3 為本研究之補注潛勢影響因子邏輯關係圖，為探討不同影響因子影響力的大小比例，本計畫因為主要影響給予較大的權重值，Shaban 建議主要影響權重應為 1.0，而次要影響權重為 0.5。其計算公式如式 4.1-1 所示。

$$\omega_i = \frac{N_i^{maj} \times 1 + N_i^{\min} \times 0.5}{\sum_{i=1}^{7} (N_i^{maj} \times 1 + N_i^{\min} \times 0.5)} \times 100\% \quad \text{.....(式 4.1-1)}$$

其中，ω_i 代表第 i 種因子的因子權重；N_i^{maj} 與 $N_i^{\min}$ 分別代表第 i 種因子的主要影響關係數與次要影響關係數。

圖 4.1-3 為本研究之補注潛勢影響因子邏輯關係圖，可以明顯表示各項影響因子間之影響關係。以「土地利用」因子為例，其有一個主要影響箭尾與一個次要影響箭尾，因此其權重值即為 1.5。完成定義各影響因子之間的權重後，接下來將定義影響因子內部分類之分數。

表 4.1-3 為本研究藉由 Shaban 建議之方法訂定之因子權重表。

地下水補注潛勢影響因子	計算方式	權重值	權重百分比
土地利用	1(1)+1(0.5)=1.5	1.5	12%
表層土壤種類	3(1) =3.0	3.0	24%
降雨與地下水位變化相關性	1(1)=1.0	1.0	8%
平均年降雨量	2(1)=2.0	2.0	16%
單位蓄水量變化	1(0.5)=0.5	0.5	4%
透水係數	2(1)=2.0	2.0	16%
河系密度	2(1)+1(0.5)=2.5	2.5	20%
	總分	12.5	100%
主要影響(1.0)，次要影響(0.5)			

在因子分數轉換方面，土地利用與表層土壤兩項因子以區塊(Polygon)形式呈現之資料，亦即不同區塊中有其各自之屬性，因此可視屬性對於補注之影響能力給予分數，例如：不透水類之土地利用型態對於補注並無幫助，因此可給予低分甚至零分；反之，水田或裸土類之土地利用型態則有助於補注，應給予高分。如此一來，該區塊之代表分數即可依據屬性進行給分(如式 4.1-2 所示)，然本計劃是以一公里見方之網格呈現，網格中涵蓋不同屬性之多個區塊，因此可藉由區塊面積，進行分數之加權加總(如式 4.1-3 所示)，即可決定網格之代表分數。

除土地利用與表層土壤屬性外之其他因子則多半為連續資料呈現，可透過線性正規化方式將原始屬性轉換成 0 至 100 分之因子分數，例如：平均年降雨量因子可利用最大年降雨量與最小年降雨量進行線性正規化。此外，由於透水係數與單位蓄水量變化兩項因子本身數值因次上差異極大，且分布不均勻，如直接以線性正規化進行轉換，則分數上之分布則亦不均勻，在此則將該因子數值取對數(log10)轉換，在對數值域上再進行線性正規化。

$$G_i^m = \overline{G}_i^k, \quad if \quad F_i^m = \overline{F}_i^k, \quad for \quad k = 1,...,N \quad for \quad i = 1,2 \qquad \text{.....(式 4.1-2)}$$

$$G_{i,j} = \frac{\sum Area_i^m \times G_i^m}{\sum Area_i^m}, \quad m \in Cell_j \qquad \text{.....(式 4.1-3)}$$

$$G_{i,j} = \left[F_{i,j} - F_i^{\min}\right] / \left[F_i^{\max} - F_i^{\min}\right] \times 100 \quad for \quad i = 3,...,7 \qquad \text{.....(式 4.1-4)}$$

其中，$G_{i,j}$ 代表第 j 個網格第 i 種因子的因子分數；F_i^m 代表位於第 m 個區塊中第 i 種因子的原始屬性；$\overline{F}_i^k$ 為第 i 種因子於第 k 組的原始屬性；$\overline{G}_i^k$ 代表第 i 種因子於第 k 組對應的因子分數；$Area^m$ 代表第 m 個區塊的面積，其位於第 j 個網格中；$F_{i,j}$ 代表第 j 個網格第 i 種因子的原始屬性。$F_{i,j}$ 代表第 j 個網格第 i 種因子的原始屬性；$F_i^{\max}$ 與 $F_i^{\min}$ 分別代表 $F_{i,j}$ 數列中的最大值與最小值。

$$RP_j = \sum_{i=1}^{7} \omega_i \times G_{i,j} \qquad \text{.....(式 4.1-5)}$$

最後，式 4.1-5 可用於不同因子分數之加權加總，其結果為補注潛勢。其中，$G_{i,j}$ 代表第 i 種因子於第 j 個網格之的因子分數；ω_i 代表第 i 種因子的因子權重；RP_j 代表第 j 個網格之補注潛勢分數。

4.2 補注潛勢原始屬性建立

本計畫項目所使用之軟體詳列於表 4.2-1。在資料取得方面，其中土地利用、表層土壤種類及河系可直接取得相關之圖層資料；其餘因子則需蒐集研究區域現地觀測之點位資料，並搭配克力金法(Kriging)，將點位資料內插至一公里見方之網格上。以下各小節將針對這三大種類補注潛勢因子說明選取的原因、資料來源及圖層製作處理過程。

表 4.2-1 圖資製作工具

工具類別	軟體名稱
桌上型 GIS 軟體	SuperGIS 2.2
3D 科學繪圖軟體	SURFER 8.0
空間分析模組	Spatial Analyst Extension for SuperGIS
空間統計分析模組	Spatial Statistics Analyst Extension for SuperGIS
TWD 67/97 座標轉換模組	TWD 67-97 Coordinates Transform Extension for SuperGIS

一、土地利用

土地利用是影響地下水補注過程中很重要之因素，此因素包括居住區域分佈以及植被覆蓋。人造建築物如房屋、道路以及堤防等都阻礙了地下水補注(Bou Kheir et al.,2003)，雖然高密度植被覆蓋會增加蒸散率，減少水滲透至地表，但有研究指出另外三項見解，(1)植物根部的生化分解有助於鬆散岩石或土壤，使得水更容易滲透地表，(2)植被區帶可避免土壤水分直接蒸發，(3)植物根部有吸附水分能力，可減少水分隨逕流帶走，故植被覆蓋仍是有效提供地下水補注(Shaban et al., 2006)。綜合考量前述文獻之結論，本計畫將土地利用納入地下水補注潛勢因子。

在圖層建立上，本計畫透過內政部國土測繪中心申請取得之圖層為 TWD 97 之 Shapefile 格式檔案，但本計畫使用的座標系統為 TWD 67，因此需使用 SuperGIS 之 TWD 67/97 座標轉換模組進行座標轉換。由於取得的原始圖層資料是台灣地區的土地利用圖層，且該圖層被分割為數百個大小不等的小範圍圖層，因此該圖層製作時，須

將所有小範圍圖層合併成單一圖層，再以地下水區的圖層裁剪之，即為屏東平原之土地利用圖層(如圖 4.2-1 所示)。又因圖層是國土測繪中心分區委託不同單位製作(如表 4.2-2 所示)，例如本計畫期中報告的水區會包含到高雄與屏東等縣市。國土測繪中心在 95 年度委託亞興測量有限公司製作屏東縣的土地利用圖層，96 年度製作部分高雄縣的土地利用圖層，高雄市與部分高雄縣的土地利用圖層則委託中華民國航空測量及遙感探測學會製作。由於不同製作單位在細部的格式上之處理有所不同，所以在使用上需將檔案轉換或調整，方能順利合併圖層使用。

表 4.2-2 95 及 96 年國土利用調查委託製作範圍表

年度	委託生產單位	範圍
95	台灣世曦工程顧問股份有限公司	第 1 作業區（新竹縣、新竹市、苗栗縣、宜蘭縣）
95	財團法人工業技術研究院	第 2 作業區（嘉義縣、嘉義市、南投縣、部分花蓮縣）
95	亞興測量有限公司	第 3 作業區（屏東縣、臺東縣、部分花蓮縣、澎湖縣）
96	台灣世曦工程顧問股份有限公司	第 1 作業區（臺北縣、臺北市、桃園縣、基隆市）
96	亞興測量有限公司	第 2 作業區（彰化縣、雲林縣、部分臺南縣及部分高雄縣）
96	中華民國航空測量及遙感探測學會	第 3 作業區（臺南市、高雄市、部分臺南縣、部分高雄縣）

二、表層土壤種類

表層土壤種類主要是以顆粒大小的不同來劃分，粒徑大小會造成土石間的孔隙大小不同，同時也會影響降雨入滲到地下水中的效率。故本計畫將表層土壤種類納入地下水補注潛勢因子。本計畫以中央地質調查所繪製之表層土壤分布圖為基礎，由於該資料僅有紙本型式，為了以地理資訊系統進行操作，必須先將該紙本資料數化為數位資料(如 Shapefile 格式)。本研究以該紙本型式之資料，掃描為數位化之照片(JPEG 格式)，再由人工方式描繪分布形狀與給予土壤材質，其中所載資訊包含地表至地表下 30(cm)深度、30(cm)至 60(cm)深

度、60(cm)至 90(cm)深度與 90(cm)至 150(cm)深度土壤分布(如圖 4.2-2 所示)。

此外，由於在河道上並無土壤資料之調查記錄，觀察河道兩側之土壤，由上游往下游逐步從礫轉變為砂，故在此亦以相同的界線，河道上游段則直接補以礫材質，下游段則補以砂材質。此外，屏東市已被人工構造物覆蓋，大鵬灣為瀉湖，故兩者均無土壤調查記錄，由於大鵬灣已位處於下游沿海處，從沖刷特性與區位來看，故補以為泥材質；屏東市部分由於上方已被大量之不透水人工構造物覆蓋，如以此觀點來看，不應被劃入主要補注區內，故在此補以泥材質。

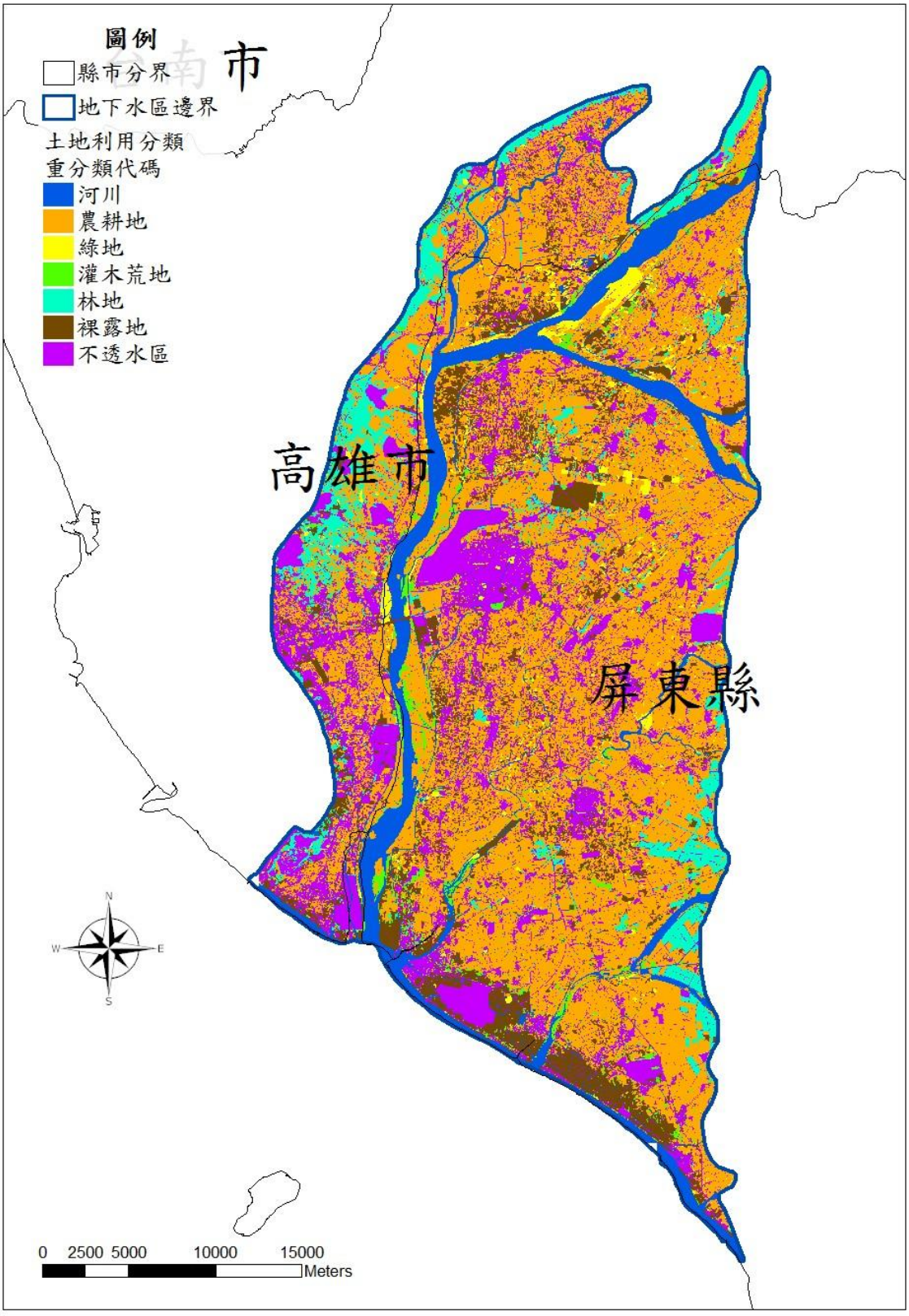
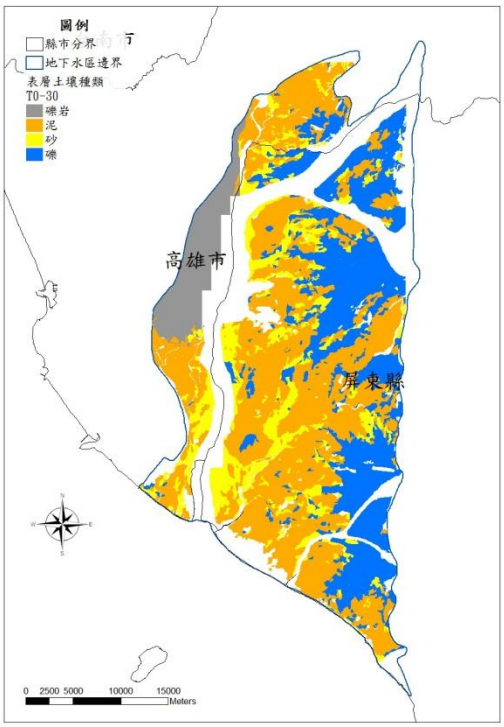
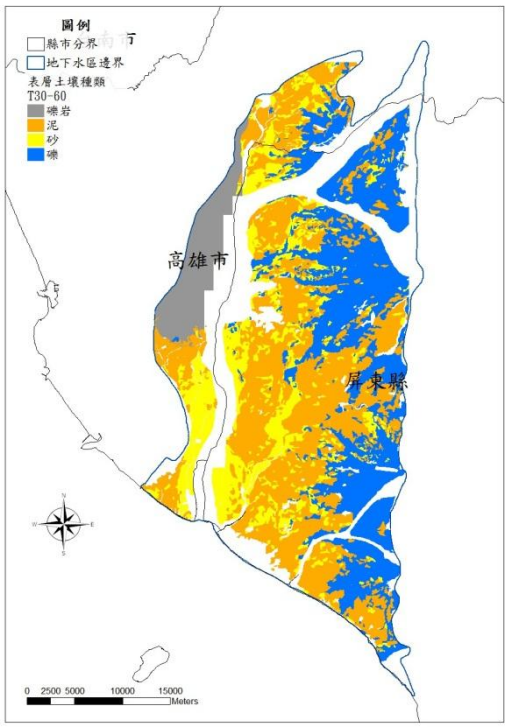


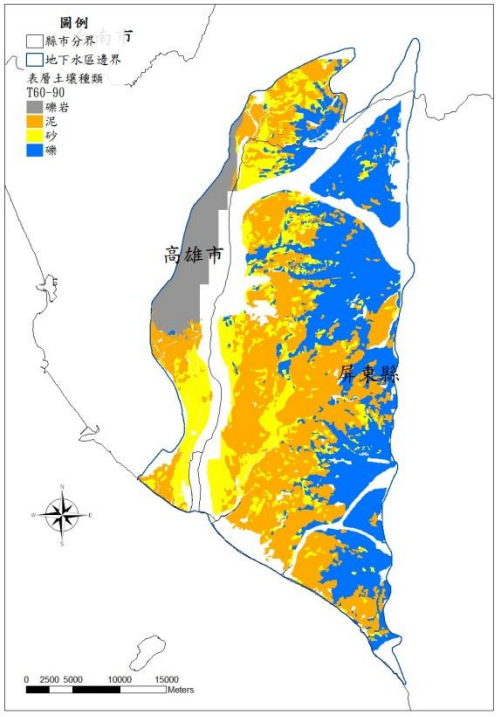
圖 4.2-1 屏東平原土地利用計畫分類圖層



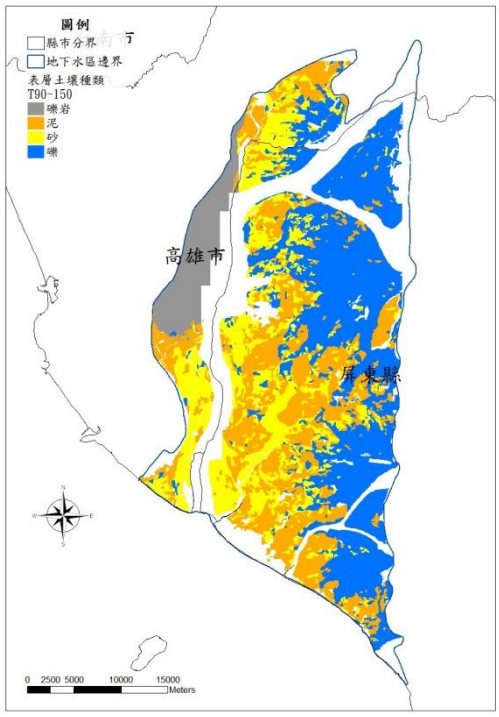
(a)0~30cm 深度土壤種類



(b) 30~60cm 深度土壤種類



(c) 60~90cm 深度土壤種類



(d) 90~150cm 深度土壤種類

圖 4.2-2 表層土壤種類原始圖層

三、透水係數

透水係數 K(hydraulic conductivity)可描述水穿越不同含水層容易程度，於補注機制中扮演相當重要之因素，因此本研究將透水係數列為補注潛勢因子之一。本計畫使用之透水係數 K 值取自「台灣地區地下水觀測網整體計畫：地下水觀測網之建立及運作管理-地下水觀測井建置及相關試驗」，由於地質調查所依據地質鑽探繪製屏東平原水文地質剖面圖，其中將屏東平原之概念分層分為含水層一、二、三與四(F1~F4)及阻水層一、二、三與四(T1~T4)。本工作項目係取出地下含水層一(F1)內之 47 口地下水位觀測井透水係數值，再將各井位之透水系數值以克力金法(Kriging)內插至一公里見方之網格中心，由於透水係數數值之因次相差甚大，最大如枋寮(1)為 0.3522 (m/min)，最小如新威(1)為 0.00000416 (m/min)，且部分網格相較於站井位置屬於外圍，故在空間上已為外插，因此外圍網格容易出現負值，與實際物理現象有異。為解決此一問題，首先以自然對數將站井透水係數進行轉換，其次將站井之對數透水係數進行克力金內插，最後再以指數運算還原為透水係數，如此即可避免外圍網格之內插值為負值之問題。網格化之屏東平原透水係數分布圖如圖 4.2-3 所示。

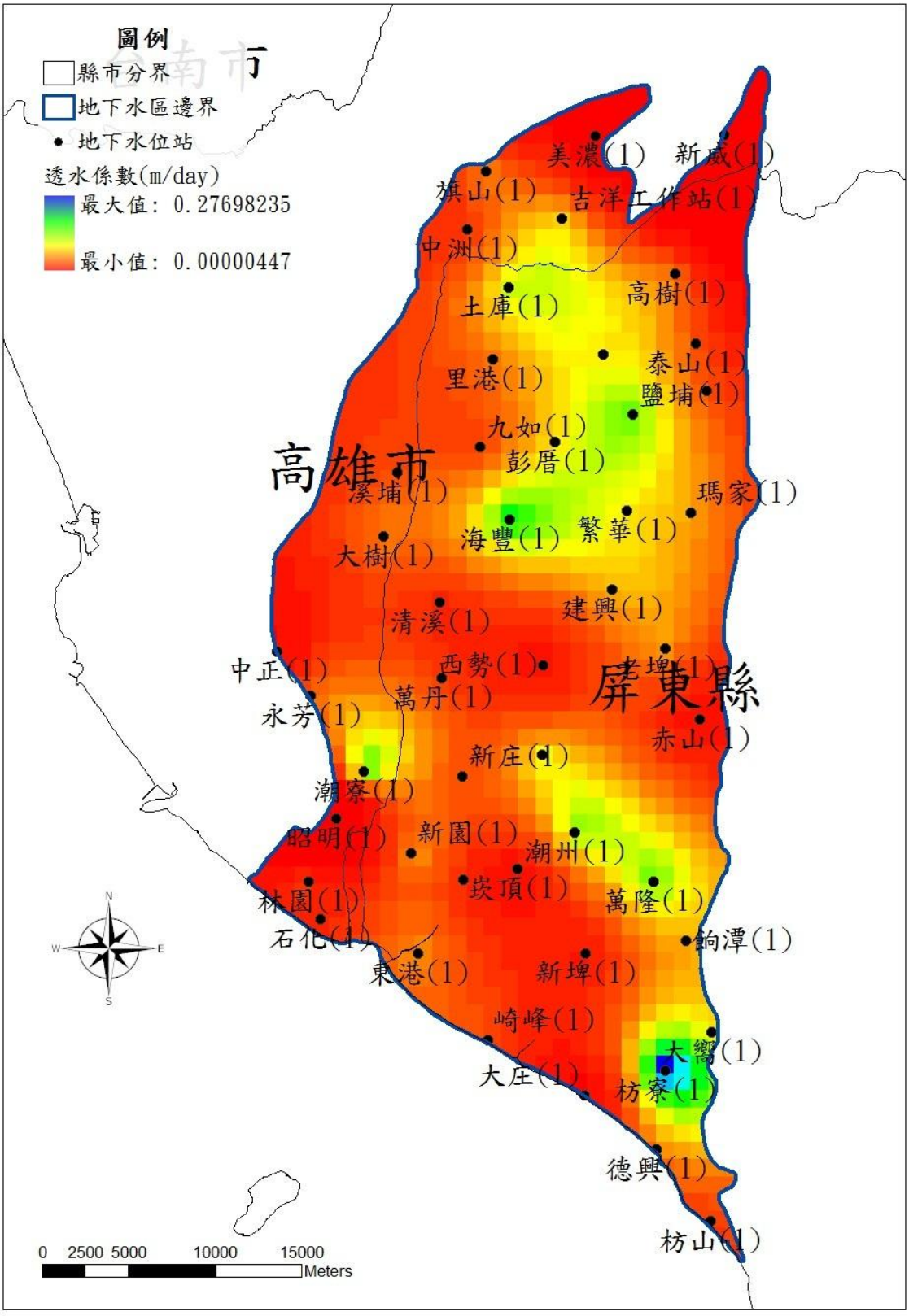


圖 4.2-3 屏東平原含水層一(F1)透水係數分布圖

四、河系密度

屏東平原地下水補注主要來源為降雨與河川補注，因此不能忽視河川補注對此區域地下水補注之重要性。故本計畫亦將河系密度納入地下水補注潛勢因子。本計畫以水系 GIS 圖資(Polyline 線形資料)(如圖 4.2-4)，其因次為單位面積之河系線段長度，由於本研究網格以為一公里見方之正方形，即代表單位面積，故此分別累計網格中的河段長度即可。



圖 4.2-4 屏東平原河系圖

五、平均年降雨量

台灣位在歐亞大陸及太平洋的交界處，獨特的地理位置加上季風、颱風及周遭海流的交互影響，使台灣的降雨一直有著複雜的變化型態。地下水的補注來源主要以天然降雨入滲為主，故本計畫亦將平均年降雨量納入地下水補注潛勢因子。

本計畫雨量資料取自中央氣象局雨量站，選出位於屏東平原及其周圍之雨量站作分析，所選擇之20站如圖4.2-5所示，使用資料為1998-2010 年各年年雨量平均所得之各站平均年降雨量。本計畫以前述 1 公里見方之屏東平原格網為基礎，將各雨量站之平均年降雨量利用克力金法(Kriging)內插到各網格中心，圖 4.2-6 為內插後之平均年降雨量分布圖。

六、降雨與地下水位變化相關性

此補注潛勢因子乃是經由迴歸統計方式，探討該區域之地下水受降雨之影響程度，其作法首先以降雨事件為單位，取出所有降雨事件之「累積降雨量」與「地下水位上升量」，計算兩數列之相關係數。當相關係數值越接近 1 時，表示兩數列越相關，該區域之地下水受到降雨量之影響越大；若為 0 時，則表示兩數列為完全不相關，亦即區域之地下水受到降雨量之影響越小或不受降雨量之影響。

雨量資料採用中央氣象局雨量站，共計20站，如圖4.2-5所示。地下水位資料採用經濟部水利署之地下水井，共計 47 口井，如圖4.2-7 所示。



圖 4.2-5 屏東平原雨量站分布圖

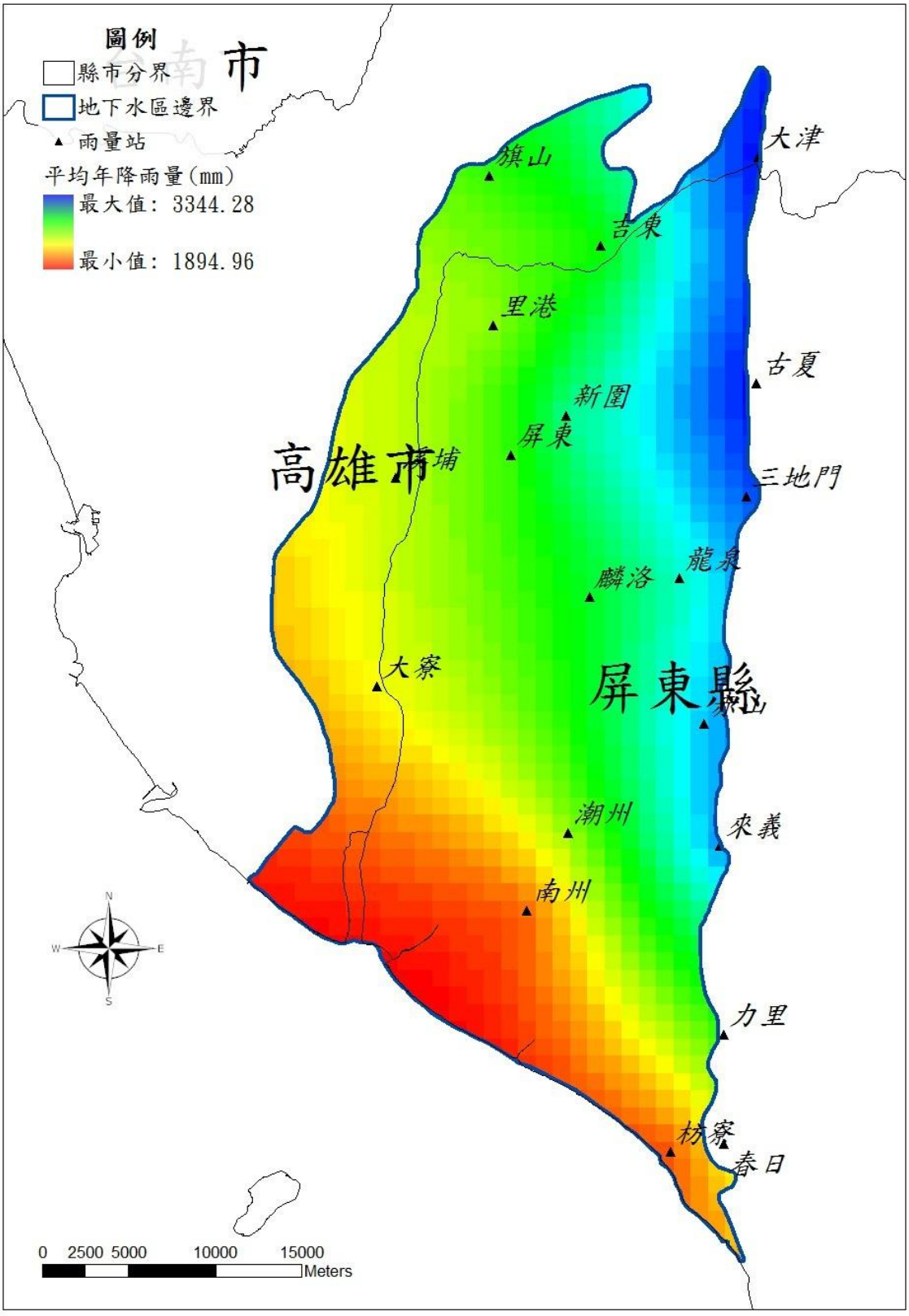


圖 4.2-6 屏東平原平均年降雨量分布圖

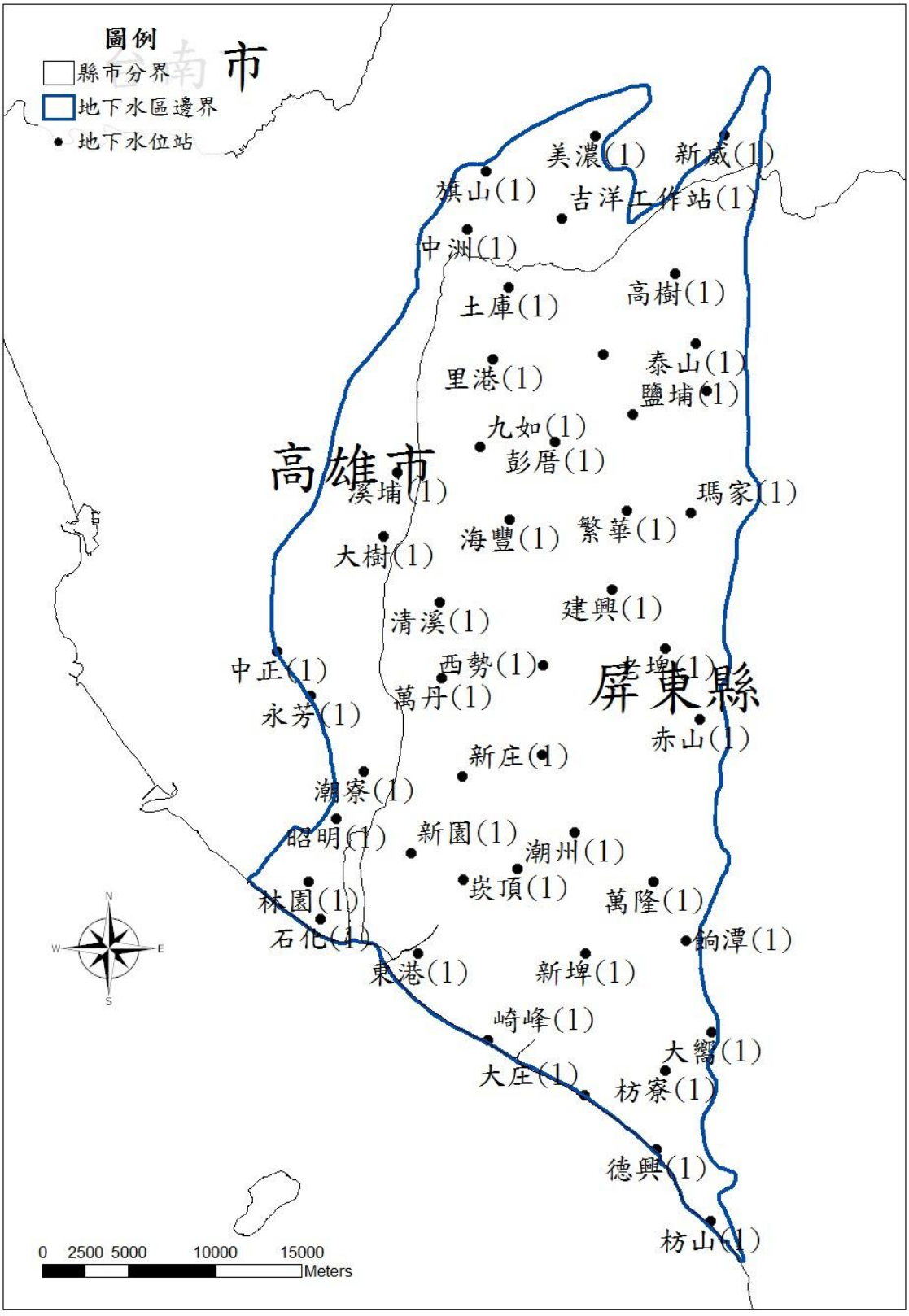


圖 4.2-7 屏東平原地下水位站分布圖

為考量屏東平原降雨量與地下水間之相關性，本研究首先找出空間上最鄰近之雨量站，如表 4.2-3 所示。作法上是將水位站之「地下水位上升量」與最鄰近雨量站之「累積降雨量」進行相關係數分析。以潮寮(1)站為例，該站位於高屏溪下游之屏東縣大寮鄉，屬於非受壓含水層，其最鄰近雨量站為大寮，該站地下水位與降雨相關性為0.923。

得到所有水井地下水位上升量與最鄰近雨量站累積降雨量之相關係數後，再利用克力金法(Kriging)內插至各網格中心，圖 4.2-8 即為降雨與地下水位相關性分布圖。

表 4.2-3 地下水井與鄰近雨量站列表

井號	井名	鄰近雨量站	相關係數	井號	井名	鄰近雨量站	相關係數
12010111	中正(1)	大寮	0.665	13100211	彭厝(1)	新圍	0.838
12020111	石化(1)	南州	0.882	13110111	高樹(1)	吉東	0.868
12020211	林園(1)	大寮	0.933	13110211	泰山(1)	古夏	0.860
12030111	潮寮(1)	大寮	0.956	13110311	新南(1)	新圍	0.563
12030211	永芳(1)	大寮	0.876	13110411	關福(1)	古夏	0.813
12030311	昭明(1)	大寮	0.822	13120211	赤山(1)	赤山	0.400
12040111	溪埔(1)	溪埔	0.957	13130111	建興(1)	麟洛	0.947
12040311	大樹(1)	溪埔	0.872	13130311	老埤(1)	龍泉	0.932
12190111	中洲(1)	旗山	0.924	13140111	西勢(1)	麟洛	0.491
12190211	旗山(1)	旗山	0.961	13140211	大湖(1)	潮州	0.774
12200111	吉洋工作站(1)	吉東	0.883	13150111	新埤(1)	南州	0.409
12200211	美濃(1)	吉東	0.156	13150211	萬隆(1)	來義	0.881
12210111	新威(1)	大津	0.884	13150311	大響(1)	力里	0.665
13010111	清溪(1)	大寮	0.963	13150411	餉潭(1)	來義	0.615
13010211	海豐(1)	屏東	0.929	13160211	枋寮(1)	力里	0.842
13020111	潮州(1)	潮州	0.801	13160311	大庄(1)	枋寮	0.600
13030211	東港(1)	南州	0.768	13160411	德興(1)	枋寮	0.532
13050111	新庄(1)	潮州	0.941	13170111	新園(1)	南州	0.932
13050211	萬丹(1)	大寮	0.925	13180111	崁頂(1)	南州	0.523

13060111	繁華(1)	龍泉	0.948	13180211	港東(1)	南州	0.567
13080111	九如(1)	屏東	0.887	13190111	崎峰(1)	南州	0.739
13090111	土庫(1)	里港	0.933	13250111	枋山(1)	春日	0.678
13090211	里港(1)	里港	0.899	13280111	瑪家(1)	三地門	0.948
13100111	鹽埔(1)	新圍	0.808				

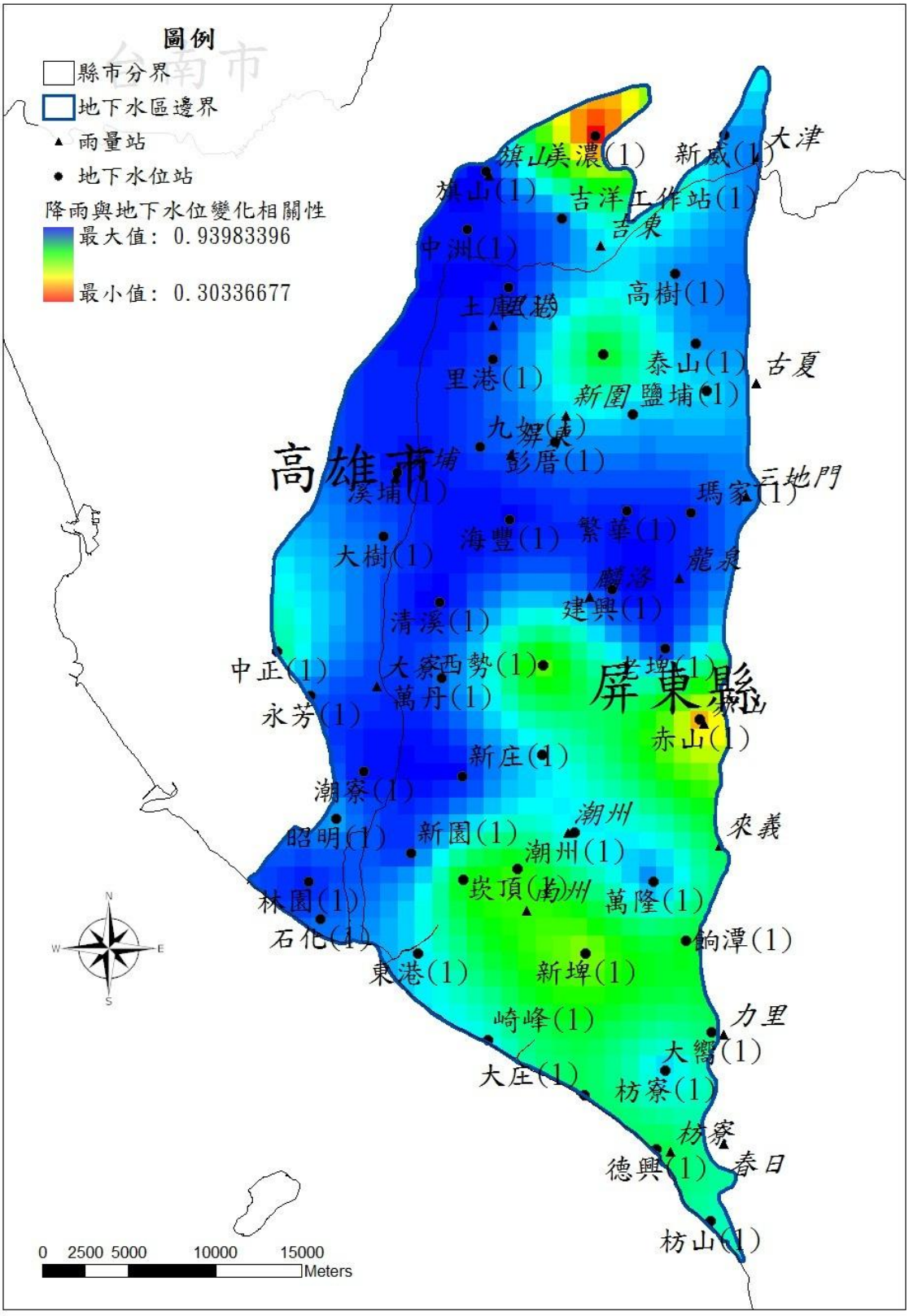


圖 4.2-8 降雨與地下水位變化相關性分布圖

七、單位蓄水量變化

各含水層蓄水量之增減，在非受壓地下水層中，主要是由地下水面之升降，亦即地下水飽和含水體積之增減來儲存或支出；在受壓含水層中，則屬於彈性蓄水，相較於非受壓地下水層而言，其蓄水量變化極小。在地下水蓄水變化量之計算上，水位變化量乘上儲水係數或比流出率，即為含水層蓄水量之變化量。

在水平衡方程式中，控制體積內的蓄水量變化應等於補注量、抽水量與水平交換量等穿越控制表面之流通量，因此在有大量水源流入(如補注量)或流出(如抽水量)之區域，其應有較大幅度之蓄水變化量(亦即較大之水位變化)。換句話說，較大之蓄水變化量區域亦可能為補注量較大之區域。

式 4.2-2 為估算單位蓄水量變化之公式，其計算水位站之歷史觀測水位標準差，再將標準差乘上該站井之儲水係數或比流出率，為單位面積之含水層蓄水體積標準差，在此稱為單位蓄水量變化。

$$\overline{S} = \sigma \times S \quad \text{.....(式 4.2-2)}$$

$\overline{S}$：單位蓄水量變化

σ：地下水位標準差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(h_i - \bar{h})^2}$$

S：受壓含水層為儲水係數(S)，非受壓含水層為比出水率(Sy)

本計畫蒐集屏東平原表層站井(如圖 4.2-7 所示)，水井之儲水係數節錄自中央地質調查所屏東平原地下水自然補注之研究與第十七號彙刊。計算方式分為兩個階段，首先計算出各站之單位蓄水量變化，表 4.2-4 為各站之水位標準差及單位蓄水量變化；其次再以克力金法內插至各格網，由於受壓水層之儲水係數與非受壓水層之比流出率因次上差異極大，因此在單位蓄水量變化上亦有相同之趨勢，因此在部分外圍網格方面，容易有負號之內插值。在此仿透水係數之處理方式，首先將原始數值以自然對數進行轉換，其次再進行內插，最後再以指數運算轉換為單位蓄水量變化。圖 4.2-9 為屏東平原之單位蓄水量變化分布圖，大響(1)及餉潭(1)單位蓄水量變化較高。

表 4.2-4 各井之儲水係數與單位蓄水量變化

井名	S	Sy	水位標準差	單位蓄水量變化 (m)
中正(1)	0.000514	-	2.83	0.000044
石化(1)	-	0.173	0.46	0.0736
林園(1)	-	0.173	0.64	0.1024
潮寮(1)	-	0.071	1.09	0.07739
永芳(1)	0.000514	-	0.97	0.000015
昭明(1)	0.000514	-	0.78	0.000012
溪埔(1)	-	0.173	2.14	0.3424
大樹(1)	-	0.188	1.30	0.2444
中洲(1)	0.000514	-	1.28	0.00002
旗山(1)	-	0.193	1.22	0.23546
吉洋工作站(1)	-	0.173	2.74	0.4384
美濃(1)	0.000514	-	1.74	0.000027
新威(1)	-	0.071	1.35	0.216
清溪(1)	-	0.173	0.88	0.1408
海豐(1)	-	0.239	0.91	0.21749
潮州(1)	0.000514	-	1.41	0.000022
東港(1)	-	0.173	0.27	0.0432
新庄(1)	-	0.173	0.63	0.1008
萬丹(1)	-	0.173	1.20	0.192
繁華(1)	-	0.15	3.25	0.4875
九如(1)	-	0.173	1.34	0.2144
土庫(1)	-	0.173	1.64	0.2624
里港(1)	0.000514	-	1.50	0.000023
鹽埔(1)	-	0.173	3.88	0.6208
彭厝(1)	-	0.173	1.48	0.2368
高樹(1)	-	0.00175	6.62	1.0592
泰山(1)	-	0.173	6.27	1.0032
新南(1)	-	0.123	2.28	0.28044
關福(1)	-	0.123	7.40	0.9102
赤山(1)	0.000514	-	2.31	0.000036
建興(1)	-	0.173	2.30	0.368
老埤(1)	-	0.173	2.02	0.3232
西勢(1)	-	0.173	0.48	0.0768

大湖(1)	-	0.173	0.57	0.0912
新埤(1)	0.000514	-	0.90	0.000014
萬隆(1)	-	0.173	5.89	0.9424
大嚮(1)	-	0.173	8.80	1.408
餉潭(1)	-	0.173	7.81	1.2496
枋寮(1)	-	0.173	5.85	0.936
大庄(1)	0.000514	-	1.90	0.000029
德興(1)	-	0.173	0.18	0.0288
新園(1)	-	0.173	1.26	0.2016
崁頂(1)	-	0.0125	1.76	0.022
港東(1)	0.000514	-	0.44	0.000007
崎峰(1)	-	0.173	0.42	0.0672
枋山(1)	-	0.173	1.06	0.1696
瑪家(1)	-	0.173	5.14	0.8224

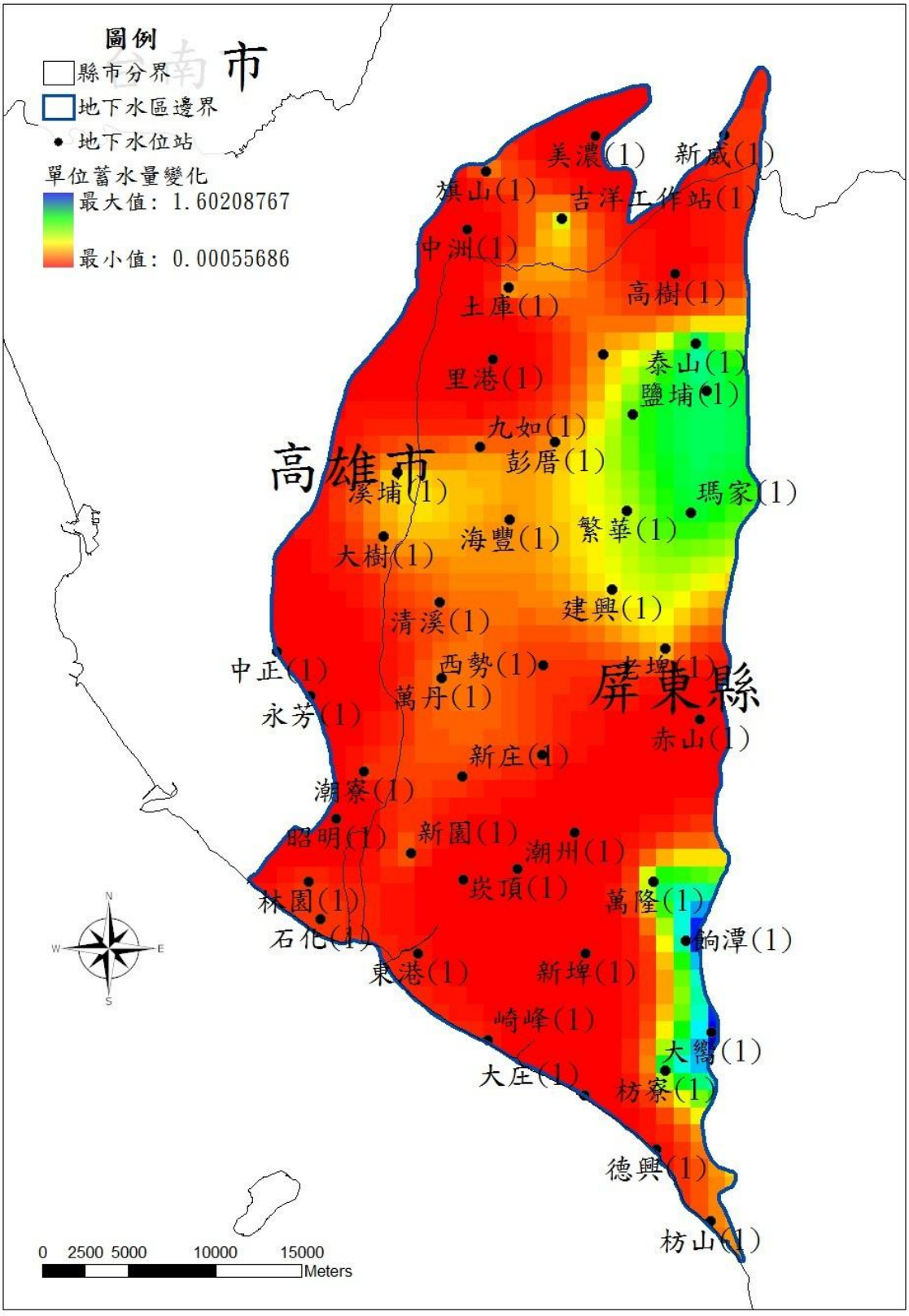


圖 4.2-9 單位蓄水量變化分布圖

4.3 補注潛勢分析成果說明

於 4.1 節已經說明如何由原始屬性決定因子分數，其中式 4.1-2 與 4.1-3 是用於非連續型之因子，例如土地利用與表層土壤，其餘連續型因子則以式 4.1-4 進行線性正規化之計算。4.2 節展示地下水補注潛勢之七種因子原始屬性，後續將依據原始屬性對於地下水補注能力之強弱，給予 0 至 100 之因子分數。

前述 4.2 節已說明土地利用圖層之來源，其中土地利用屬性高達 103 種(如表 4.3-1 所示)，難以直接應用於補注潛勢之估算上，本計劃依據其對補注之特性，歸納為 7 種土地利用重分類類別，重分類類別如表 4.3-2 所示，表中亦同時呈現土地利用分數建議值。表 4.3-3 呈現表層土壤之分類類別與對應之分數建議值，分類類別參考自地調所「台灣地區地下水觀測網第一期計畫：屏東平原水文地質調查研究總報告」。圖 4.3-1 與 4.3-2 分別為土地利用與表層土壤之潛勢分數分布圖。

降雨與地下水位變化相關性、平均年降雨量、單位蓄水量變化、透水係數與河系密度等其他五項因子屬於連續型之資料格式，其中單位蓄水量變化與透水係數兩項因子，由於數值變化因次差異過大，若直接以線性正規化方式給予分數，會造成大量較小數值之水井，其分數分布缺乏鑑別度。為解決此一問題，兩項因子數值先以對數(log10)運算後，再以對數數值進行線性正規化。圖 4.3-3 至 4.3-7 分別為五項因子之潛勢分數分布圖。

表 4.3-1 土地利用屬性與重新分類表

屬性別	原始屬性代碼	重分類代碼	屬性別	原始屬性代碼	重分類代碼
稻作	10101	2	鐵路相關設施	30203	7
旱作	10102	2	國道	30301	7
果樹	10103	2	省道、快速道路	30302	7
廢耕地	10104	3	一般道路	30303	7
水產養殖	10200	6	道路相關設施	30304	7
畜禽舍	10301	6	商港	30401	1
牧場	10302	3	漁港	30402	1
溫室	10401	6	專用港	30403	1
倉儲設施	10402	7	其他港口相關設施	30404	1
農產品展售場	10403	7	河川	40101	1
其他設施	10404	6	減河	40102	1
天然針葉樹純林	20101	5	運河	40103	1
天然闊葉樹純林	20102	5	堤防	40104	1
天然竹林	20103	5	溝渠	40200	1
天然竹針闊葉混淆林	20104	5	水庫	40301	1
人工針葉樹純林	20201	5	湖泊	40302	1
人工闊葉樹純林	20202	5	其他蓄水池	40303	1
人工竹林	20203	5	人工湖	40304	1
人工竹針闊葉混淆林	20204	5	水道沙洲灘地	40400	1
伐木跡地	20301	6	水閘門	40501	1
苗圃	20302	5	抽水站	40502	1
防火線	20303	6	水庫堰壩	40503	1
土場	20304	6	地下取水井	40504	1
機場	30100	7	其他設施	40505	1
一般鐵路	30201	7	防汛道路	40600	1
高速鐵路	30202	7	海面	40700	1
零售批發	50101	7	法定文化資產	70101	7
服務業	50102	7	一般文化設施	70102	6
純住宅	50201	7	其他文化設施	70103	7
兼工業使用住宅	50202	7	公園綠地廣場	70201	3
兼商業使用住宅	50203	7	遊樂場所	70202	7
兼其他使用住宅	50204	7	體育場所	70203	7
製造業	50301	7	礦場	80101	6
倉儲	50302	7	礦業相關設施	80102	6

宗教	50401	7	土石採取場	80201	6
殯葬設施	50402	7	土石相關設施	80202	6
興建中	50403	6	鹽田	80301	6
其他	50404	6	鹽業相關設施	80302	6
政府機關	60100	7	軍事用地	90100	7
幼稚園	60201	7	溼地	90200	6
小學	60202	7	草生地	90300	3
中學	60203	7	灘地	90401	6
大專院校	60204	7	崩塌地	90402	6
特種學校	60205	7	礁岩	90403	6
醫療保健	60300	7	裸露空地	90404	6
社會福利設施	60400	7	灌木荒地	90500	4
氣象	60501	7	災害地	90600	6
電力	60502	7	營建剩餘土石方	90700	6
瓦斯	60503	7	未使用地	90801	6
自來水	60504	7	人工改變中土地	90802	6
加油站	60505	7	測量標	90803	7
環保設施	60600	7			

表 4.3-2 土地利用重分類屬性代碼與因子分數表

代碼	重分類	因子分數
1	河川	100
2	農耕地	90
3	綠地	70
4	灌木荒地	60
5	林地	40
6	裸露地	20
7	不透水區	0

表 4.3-3 表層土壤分類屬性代碼與因子分數表

代碼	分類	細部描述	因子分數
1	礫	石礫	100
2	砂	細砂土，壤質粗砂土，壤質砂土，壤質細砂土，粗砂質壤土，砂質壤土，細砂質壤土，極細砂土，壤質極細砂土，極細砂質壤土	70
3	泥	坋土，坋質壤土，壤土，砂質粘壤土，粘壤土，坋質粘壤土，坋質粘土，粘土	30
4	礫岩	礫岩	30

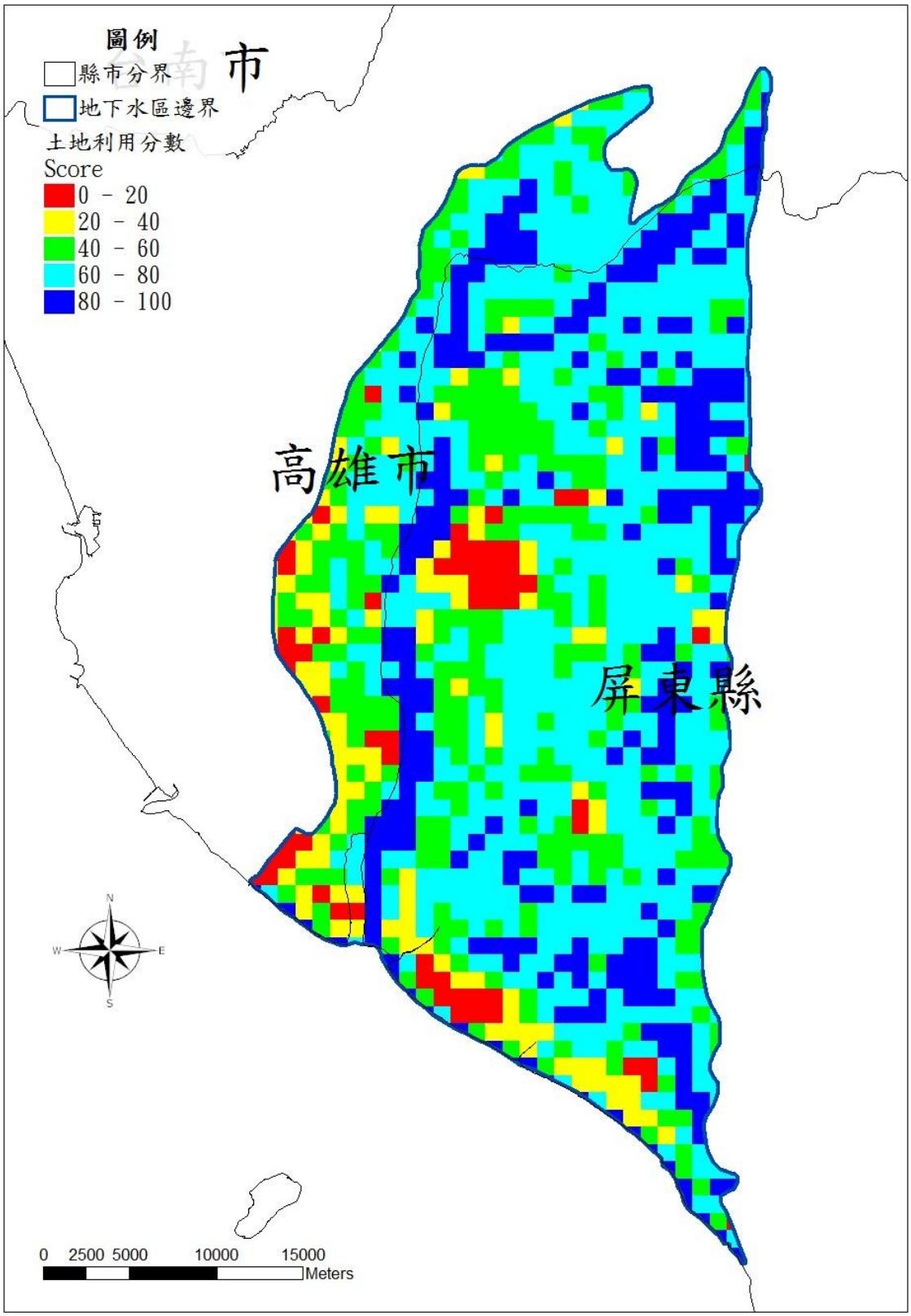


圖 4.3-1 土地利用分數分布圖

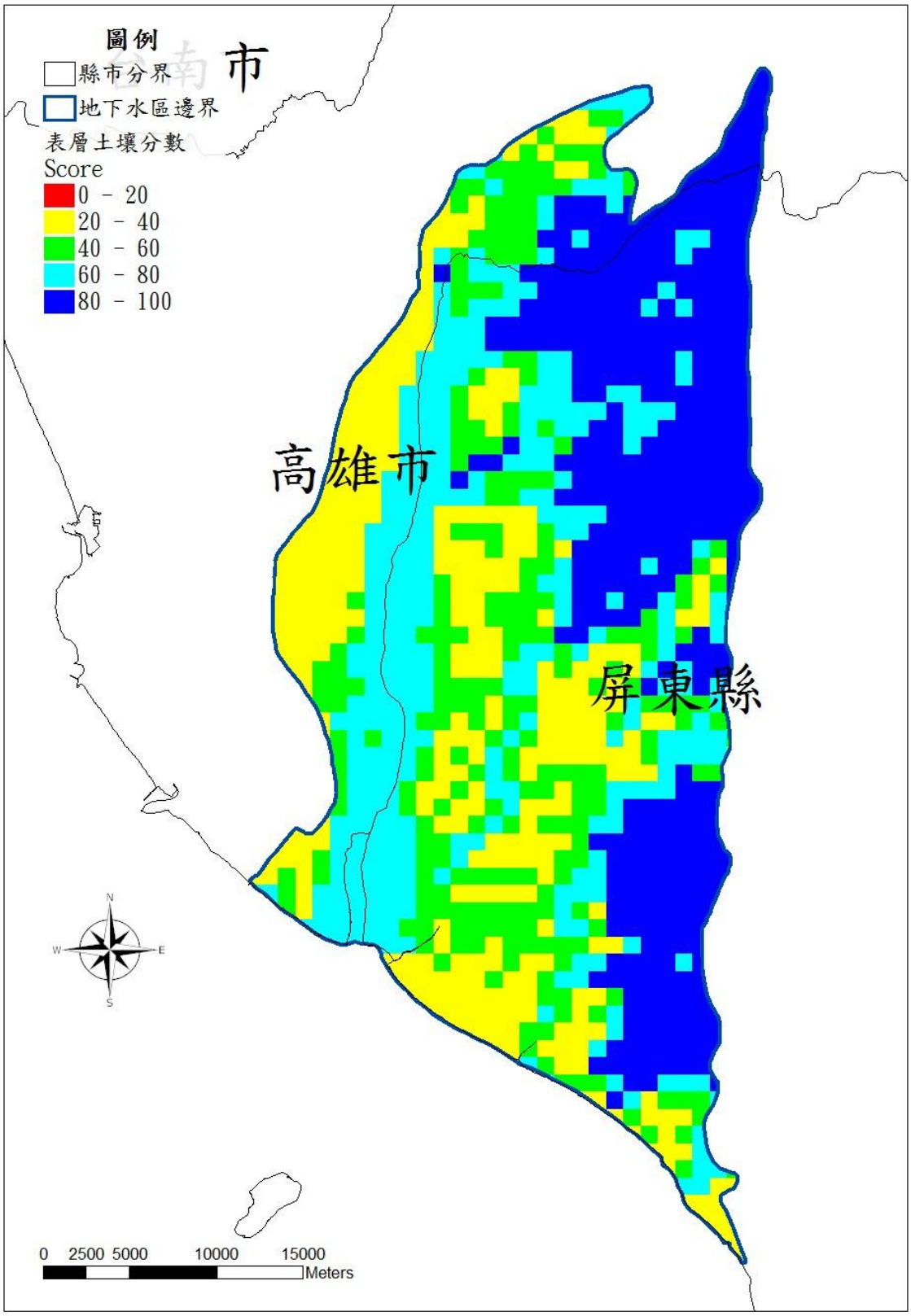


圖 4.3-2 表層土壤種類分數分布圖

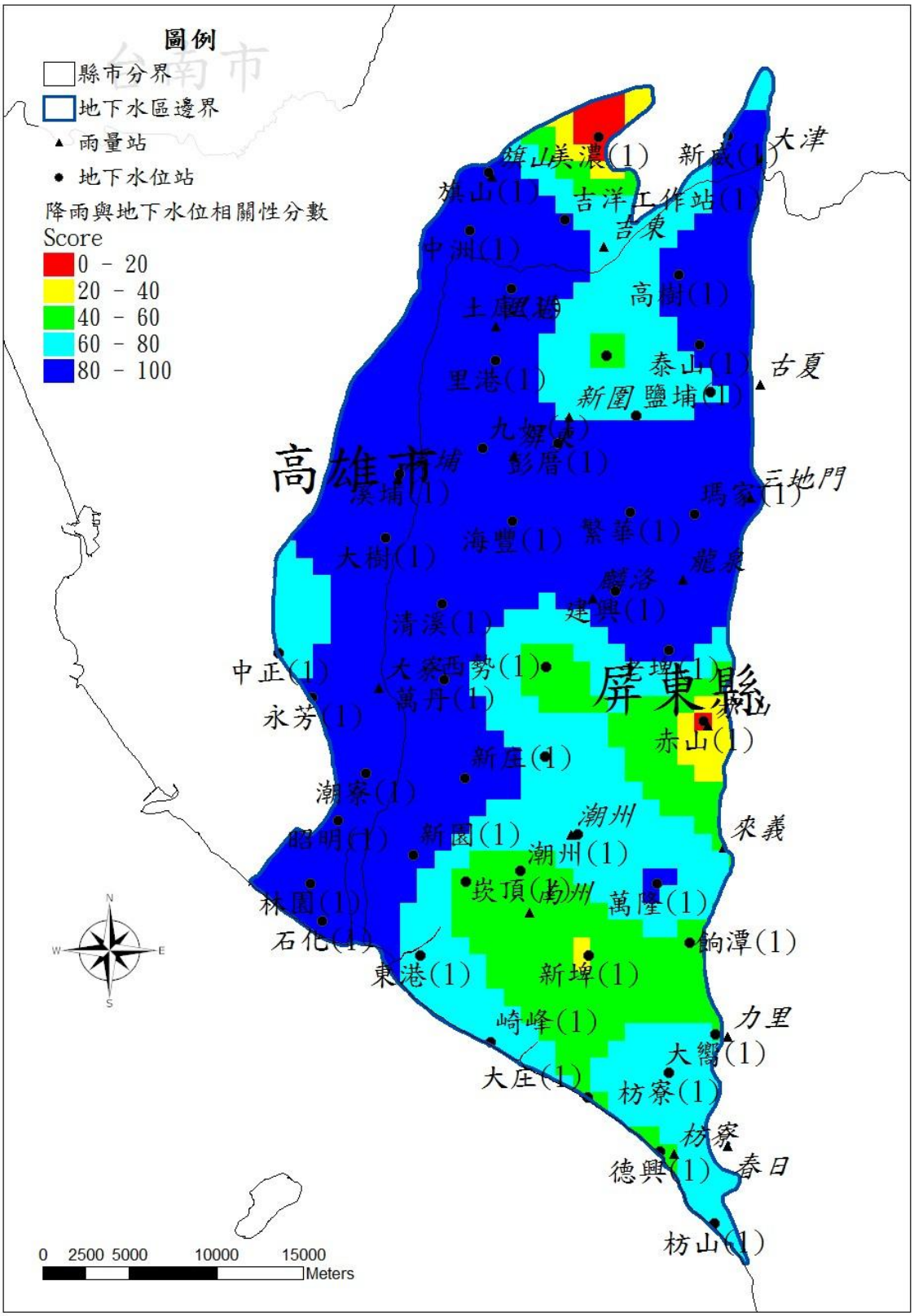


圖 4.3-3 降雨與地下水位變化相關性分數分布圖

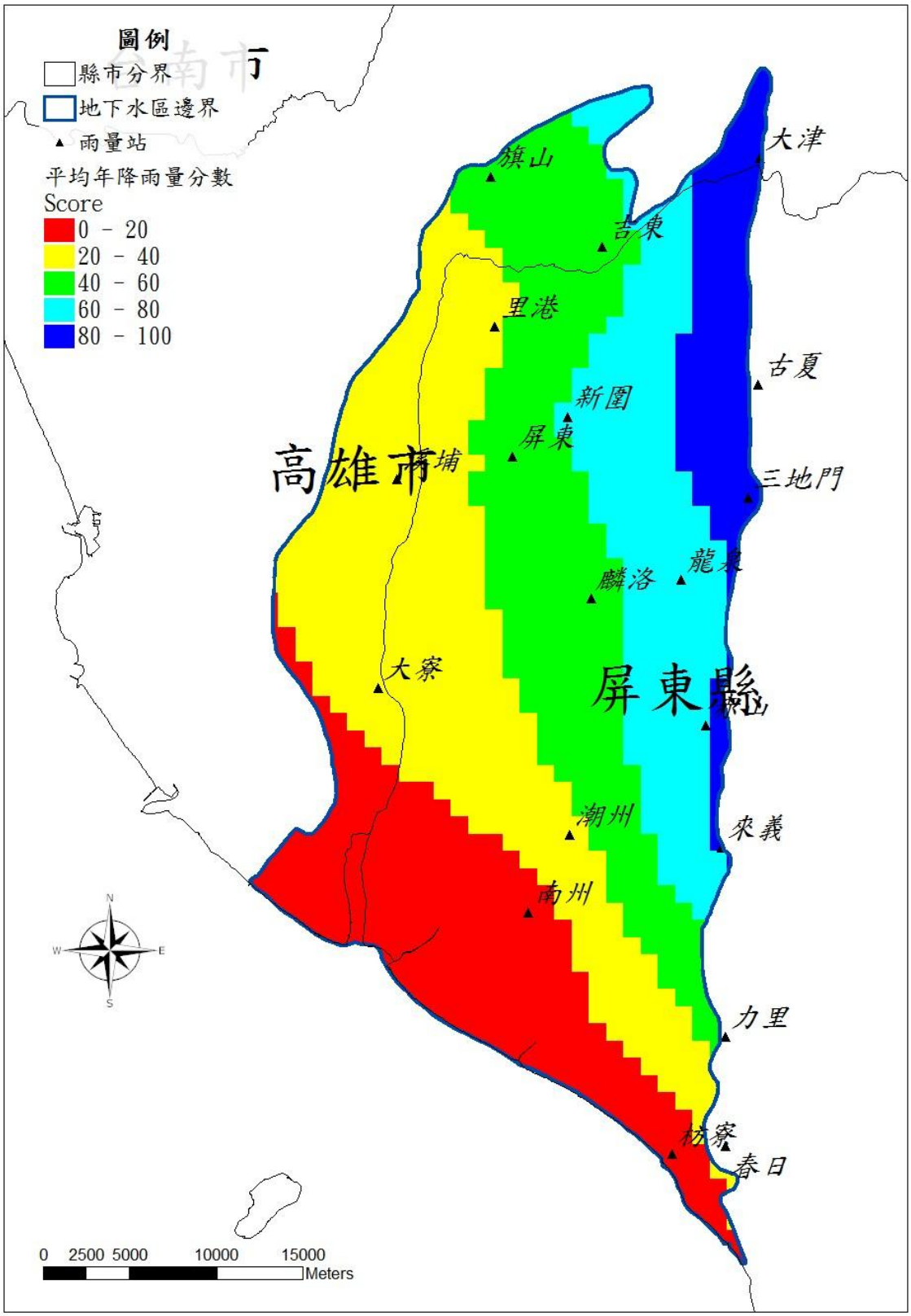


圖 4.3-4 1998~2010 年平均年降雨量分數分布圖

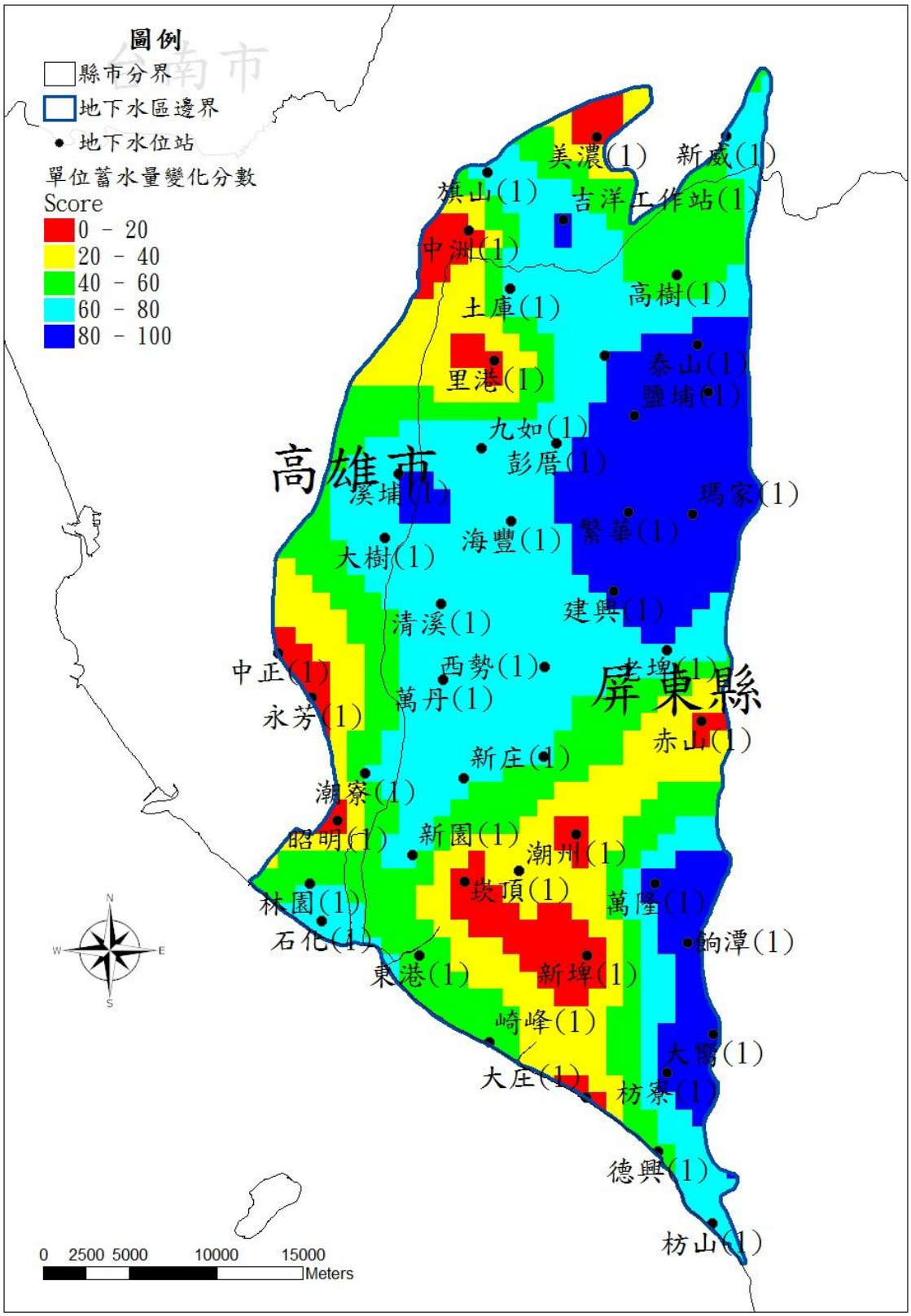


圖 4.3-5 單位蓄水量變化分數分布圖

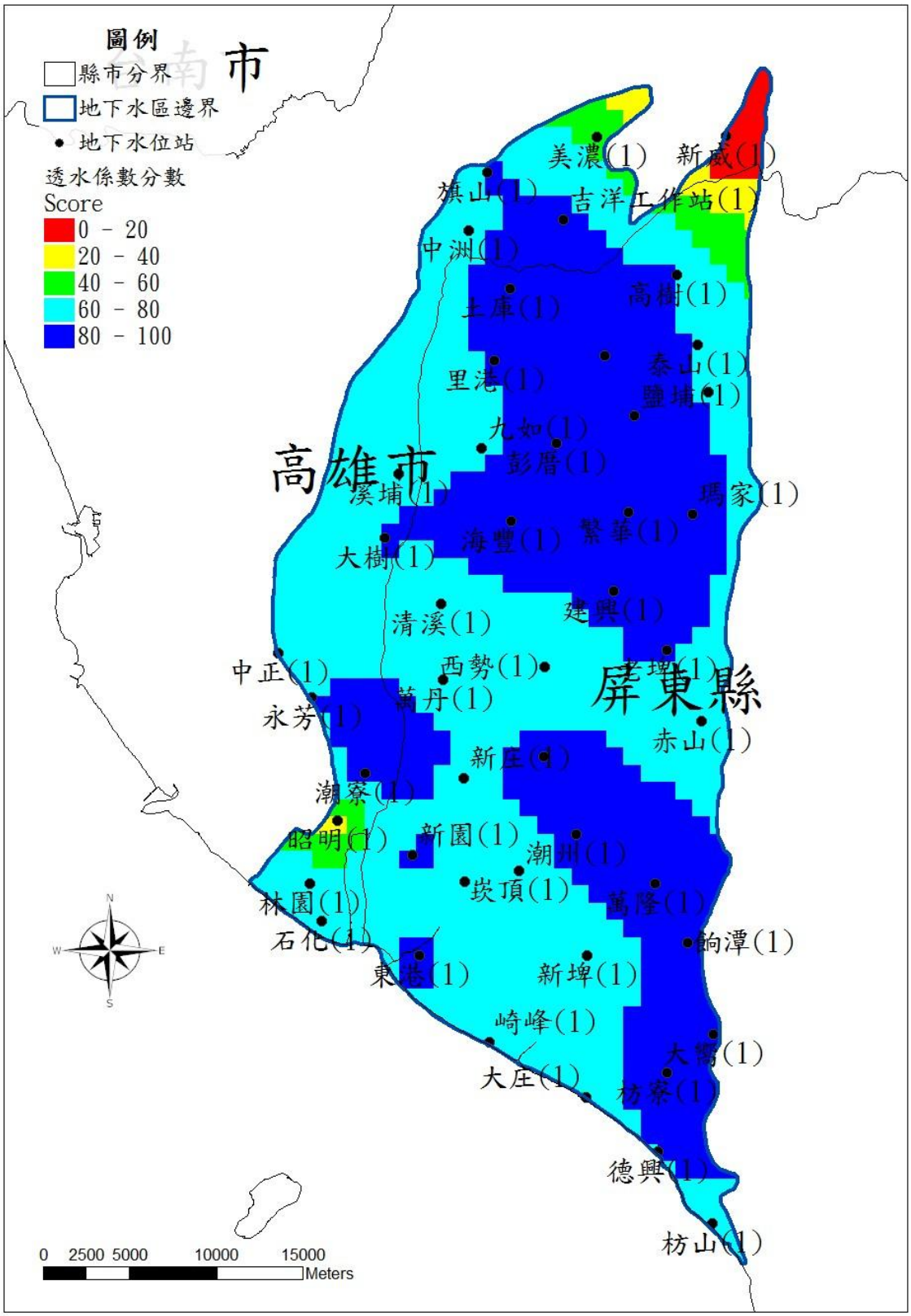


圖 4.3-6 透水係數分數分布圖

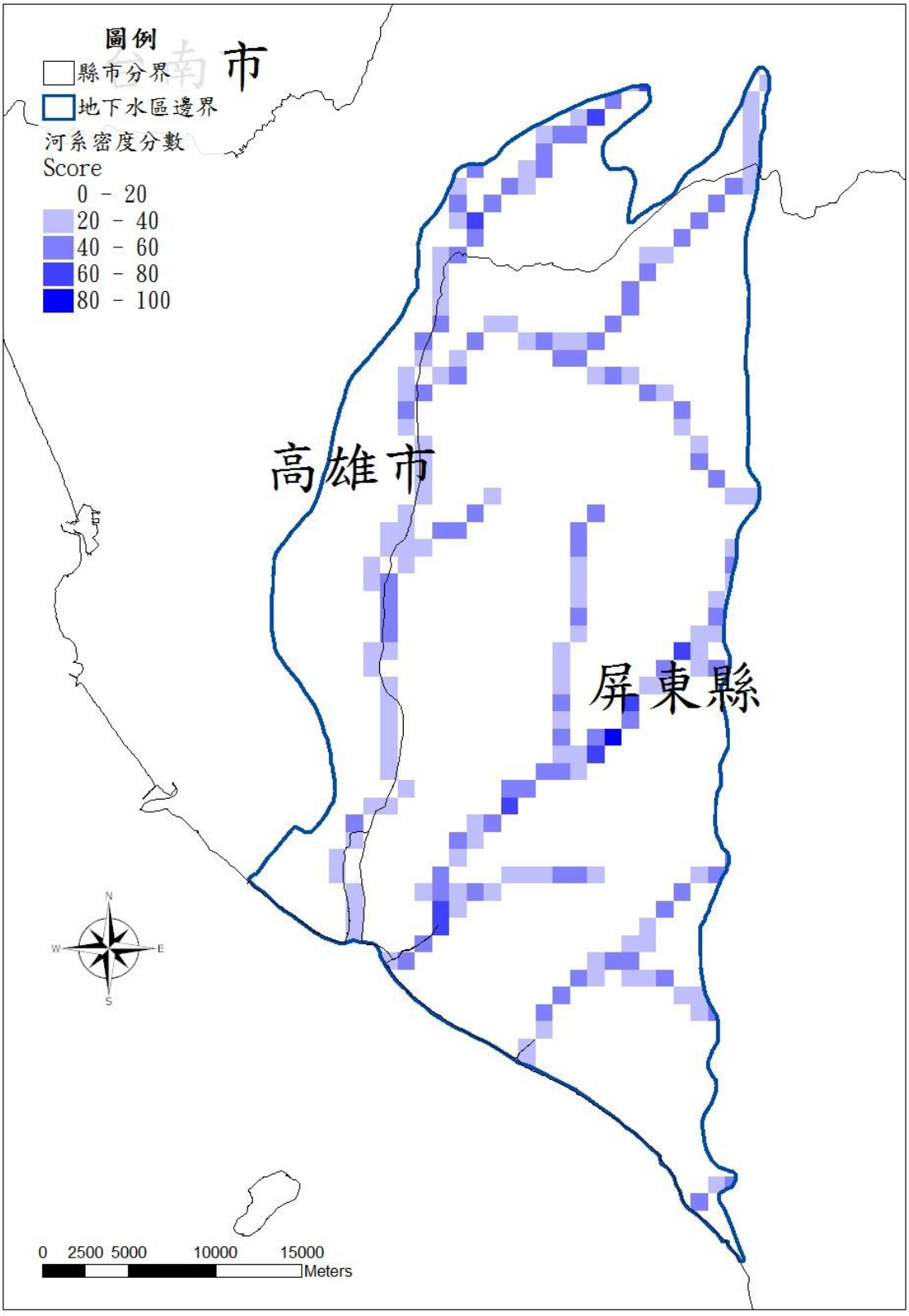


圖 4.3-7 河系密度分數分布圖

4.4 主要補注區範圍評估

前述 4.3 節已完成屏東平原地下水補注潛勢各項因子之估算，將全區總分數作排序，以整體分數之前百分之四十，亦即總分 55 分以上為高補注潛勢區。圖 4.4-1 為屏東平原高補注潛勢區分布圖，紅線所示為二維地電阻推估之補注區邊界。圖中顯示高補注潛勢區與二維地電阻推估交界面極為相近。高補注潛勢區可以分之南北兩個區域，北區包含高樹鄉、里港鎮、鹽埔鄉、長治鎮及內埔鄉，與少部分之六龜鄉及萬巒鄉，南區部分包含萬巒鄉、潮洲鄉、新埤鄉及枋寮鄉等。附錄五之一為地質屏狀圖及附錄五之二為地直剖面圖，當中詳列高補注潛勢區內的水文地質剖面圖，顯示高補注潛勢區內組成多為礫石。

圖 4.4-2 為本計劃各種方法綜合評估後的結果，包含高補注潛勢分數、二維地電阻推測補注交界面及水井水質溶氧量之綜合分析比較。補注潛勢分數 55 分以上時，搭配補注潛勢分佈，可繪出高補注潛勢區，其範圍與二維地電阻所劃定之主要礫石層區域相當一致，若以高補注潛勢區域之空間分布，可區分為北區與南區，其中北區與二維地電阻所推測的交界面中重疊面積為 94.4%，南區與二維地電阻重疊面積為 97.3%，兩者結論極為相似。

由於地下水溶氧量在地下流動時，受到氧化還原等化學反應消耗大量溶氧，因此若無地面水量補注，地下水溶氧量將迅速降低。比較主要補注潛勢區與水質檢測結果，主要補注潛勢區內之水井溶氧量多相對較高，水質結果可證明此區域為屏東平原主要補注來源。里港站與萬巒站位於主要補注潛勢區外，然其溶氧量亦相對較高，若參考兩站之地質柱狀圖與鄰近區域之地電阻施測分析，兩者均有泥質材質土壤覆蓋於含水層上，綜合三者資訊可推測鄰近區域有破碎泥層覆蓋在表層，使得該區域有一定程度之補注量，可維持該水井之溶氧量，但受到破碎泥層之影響，其補注量應遠較通透之礫石層低。

綜合前述補注潛勢分析、二維地電阻施測分析與水質檢測結果，顯示無論是藉由地球物理方面或地球化學方面的證據，所推得之主要補注區域均類似，可降低主要補注區劃設之不確定性，在此本研究以二維地電阻所劃定之主要礫石層區域為基礎，建議屏東平原之主要補注區範圍如圖 4.4-3 所示。

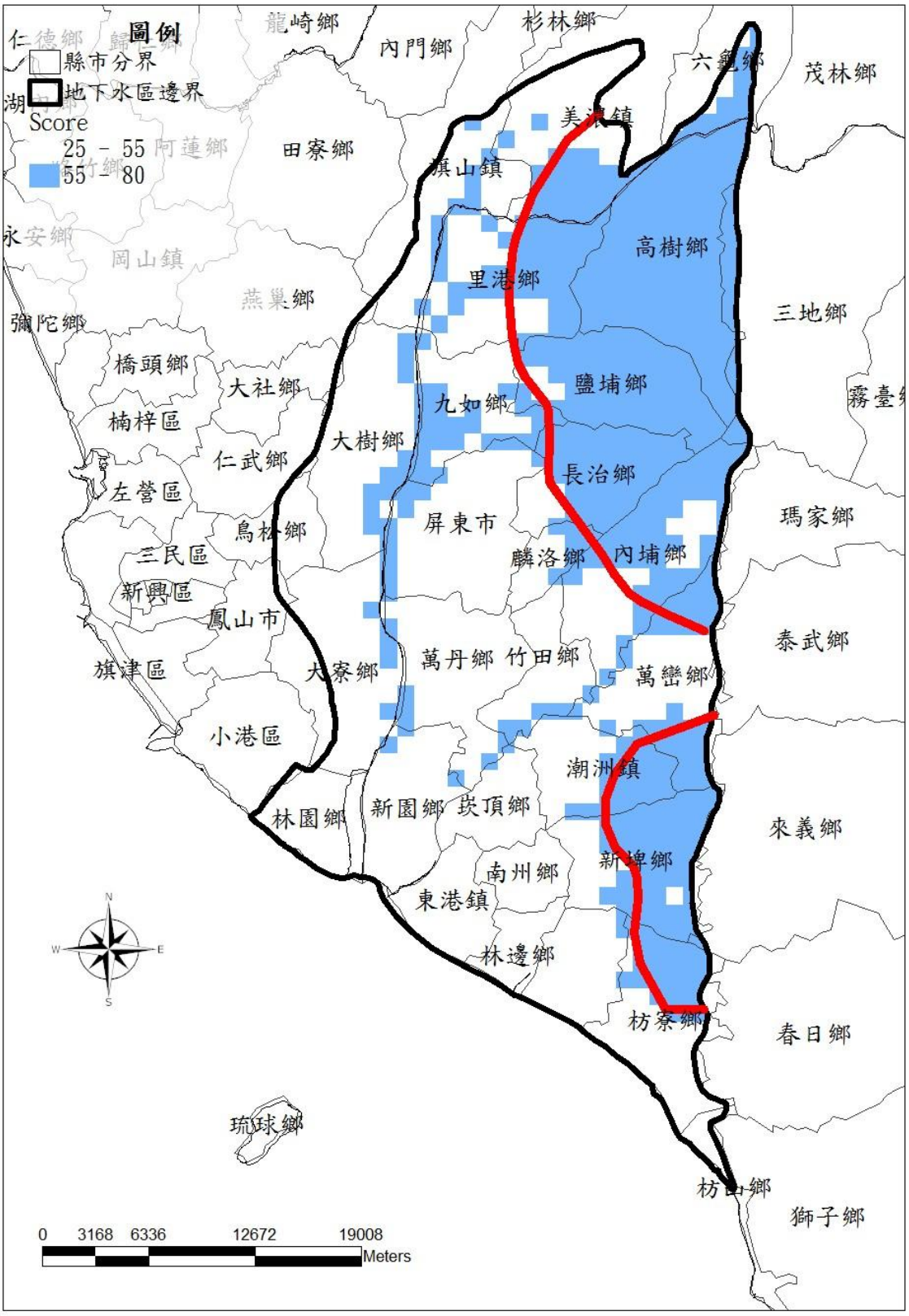


圖 4.4-1 高補注潛勢區與二維地電阻推測補注交界面圖

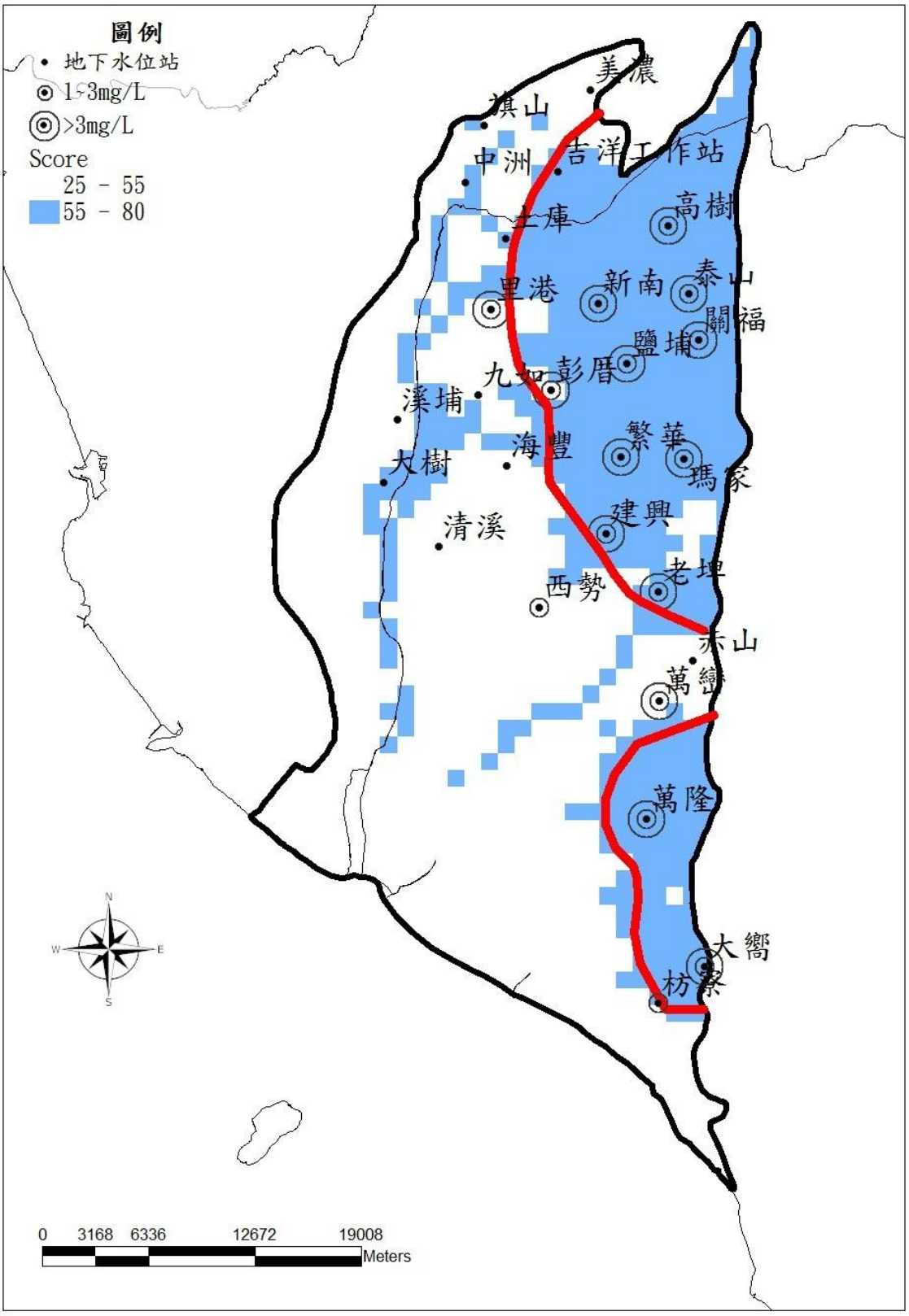


圖 4.4-2 補注潛勢、二維地電阻與水井溶氧量綜合分析圖



圖 4.4-3 屏東平原之主要補注區建議範圍

4.5 資源保育分數原始屬性建立

前述 4.4 節說明了地下水補注區的各項因子以及分數分布，但從保育的觀點，如欲進行保育區域之劃定，應綜合考量地下水補注區域及地下水出水潛能之總量為資源保育分數。以下說明地下水出水潛能之作業流程。

以平均海水面之基準線作為本因子所考量之零位線，以各觀測井之長期平均水位與基準線間之水量作為地下水出水潛能之相對比較基礎，考量零位線與含水層的各種可能情況加以詳細計算。非受壓含水層與受壓含水層兩者各有其估算方式，在非受壓含水層中(圖 4.5-1)，分別為零位線高於地下水位(圖 4.5-1 (a))、零位線位於非受壓含水層中(圖 4.5-1 (b))及零位線低於非受壓含水層底部(圖 4.5-1 (c))三種情況計算地下水可開發量。首先，當零位線高於地下水位時，顯示地下水位過低，故地下水已無多餘之可開發量；其次，當零位線位於非受壓含水層中，意味著零位線位於地下水位下方，地下水可開發量則以地下水位與零位線之高程差，乘上該區域之比出水率(s_y)；最後，當零位線位於含水層下方，地下水可開發空間為地下水位與非受壓含水層下緣之空間。

在受壓含水層中(圖 4.5-2)，分別為零位線高於地下水位(圖 4.5-2 (a))、零位線位於地下水位與受壓含水層頂部(圖 4.5-2 (b))、零位線位於受壓含水層頂部與底部之間(圖 4.5-2 (c))及零位線低於受壓含水層底部(圖 4.5-2 (d))四種情況。首先，當零位線高於地下水位時，顯示地下水位過低，故地下水已無多餘之可開發量；其次，當零位線位於地下水位與受壓含水層頂部之間時，地下水可開發量則以地下水位與零位線之高程差，乘上該區域之儲水係數 (S)；接著，當零位線位於受壓含水層之頂部與底部間，意味著含水層將從受壓型態轉為非受壓型態，因此包含受壓型態的可開發量與非受壓型態的可開發量，受壓型態之可開發量以地下水位與含水層頂部之高程差，乘上儲水係數(S)，非受壓型態之可開發量則以頂部與零位線之高程差，乘上比出水率(s_y)；最後，當零位線位於含水層底部下方，非受壓型態之可開發空間即為含水層頂部與底部間的空間。

表 4.5-1 即為各地下水井之地下水可開發量列表，可應用克力金法(Kriging)推估至各網格中，圖 4.5-3 為地下水出水潛能分布圖。

表 4.5-1 地下水出水潛能列表

井名	地下水出水潛能(m)	井名	地下水出水潛能(m)
中正(1)	0.31	彭厝(1)	5.70
石化(1)	0.00	高樹(1)	10.94
林園(1)	0.25	泰山(1)	9.57
潮寮(1)	0.33	新南(1)	5.73
永芳(1)	0.02	關福(1)	6.99
昭明(1)	0.05	赤山(1)	0.07
溪埔(1)	3.74	建興(1)	0.10
大樹(1)	0.85	老埤(1)	5.09
中洲(1)	0.12	西勢(1)	0.14
旗山(1)	6.80	大湖(1)	1.25
吉洋工作站(1)	7.77	新埤(1)	0.08
美濃(1)	0.03	萬隆(1)	4.10
新威(1)	0.41	大響(1)	2.53
清溪(1)	2.64	餉潭(1)	4.43
海豐(1)	6.95	枋寮(1)	0.55
潮州(1)	0.05	大庄(1)	0.02
東港(1)	0.59	德興(1)	0.25
新庄(1)	0.97	新園(1)	0.04
萬丹(1)	1.73	崁頂(1)	0.29
繁華(1)	4.11	港東(1)	0.30
九如(1)	4.16	崎峰(1)	0.11
土庫(1)	6.21	枋山(1)	0.28
里港(1)	5.34	瑪家(1)	7.61
鹽埔(1)	8.07		

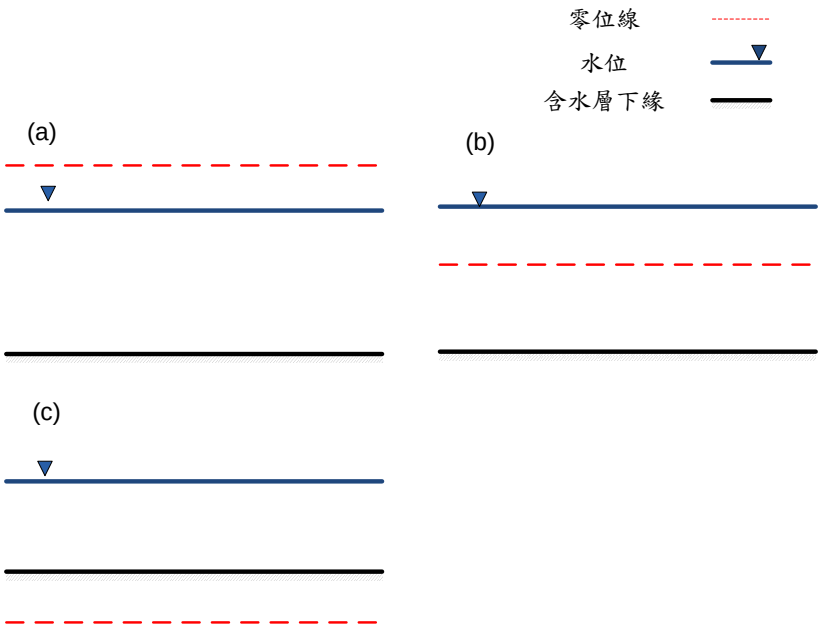


圖 4.5-1 非受壓含水層與零位線相對關係示意圖

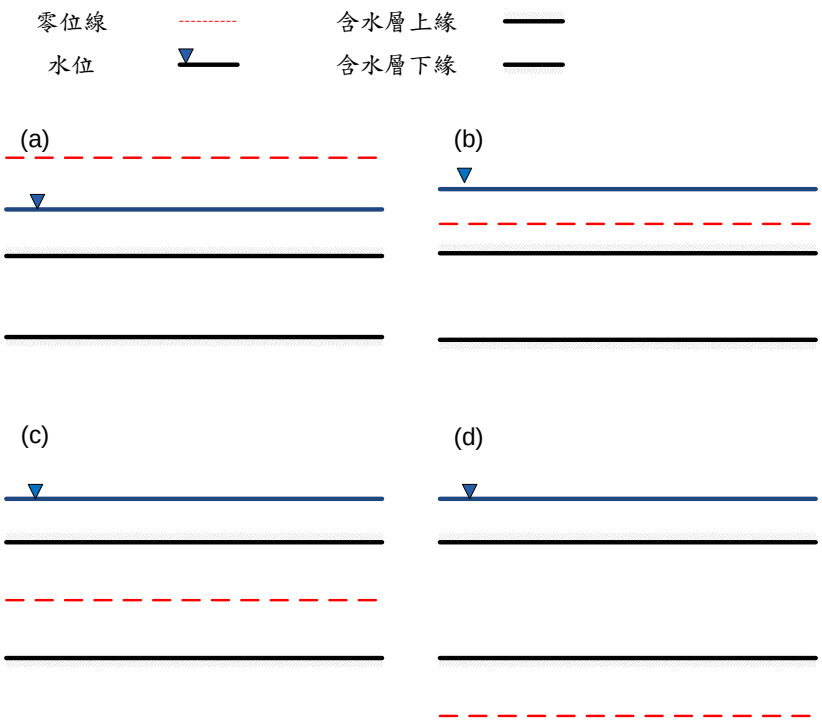


圖 4.5-2 受壓含水層與零位線相對關係示意圖

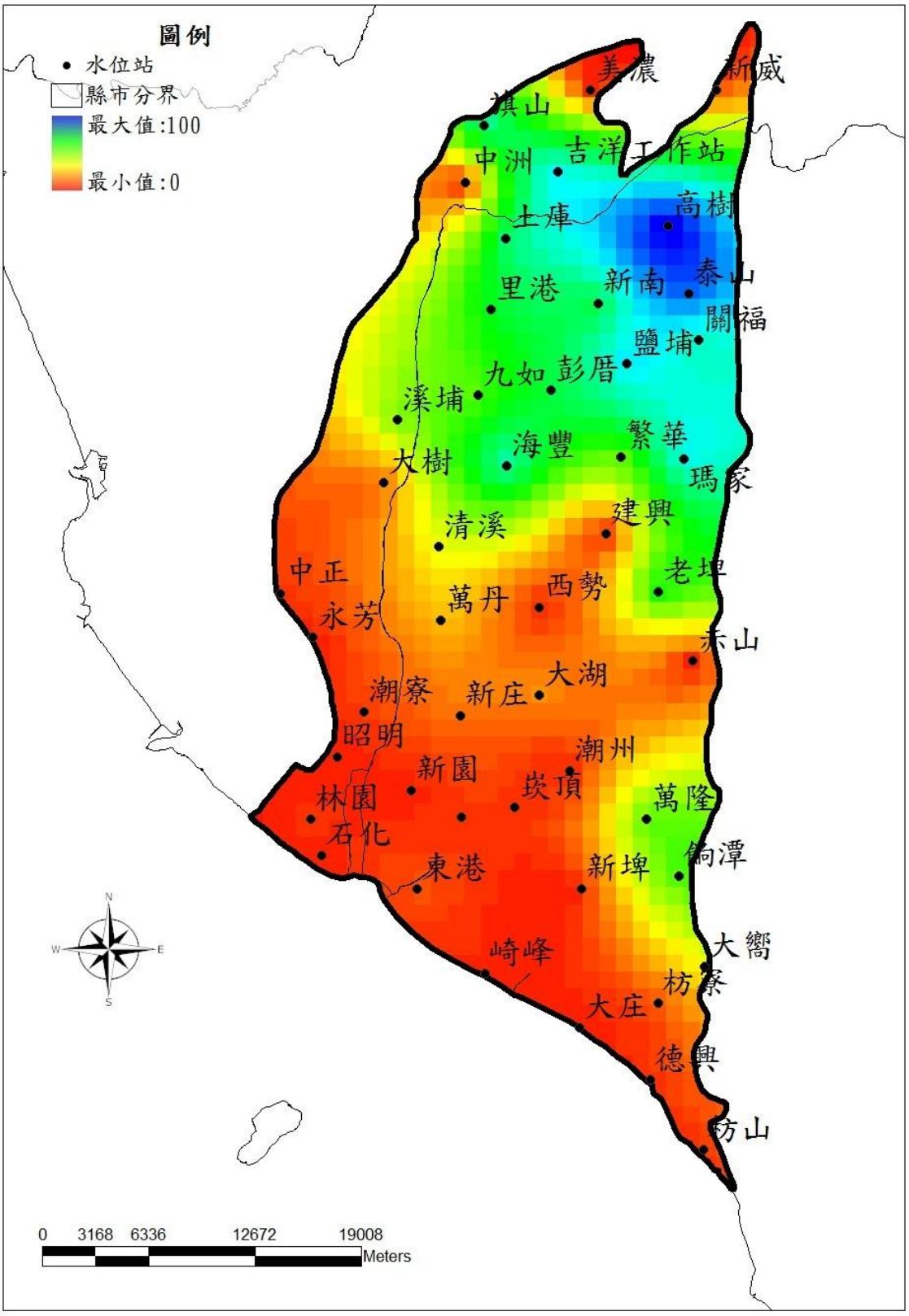


圖 4.5-3 地下水可開發量分布圖

4.6 資源保育分數分析成果說明

由於地下水資源保育分數，係綜合地下水高補注區與地下水出水潛能兩者，於 4.5 節已經展示地下水出水潛能因子的原始屬性，後續將依據原始屬性對於重要保育之重要程度，給予 0 至 100 之因子分數，將兩種因子分數之相互乘積即可表示成為地下水資源保育之保育分數。

依據 4.4 節主要補注區各項因子分數與表 4.1-3 之因子間權重列表，經過各項因子與權重之乘積相互加總可得地下水主要補注區分數，並將其主要補注區分數做等分之後可得圖 4.5-1 為地下水主要補注區整體分數分布圖。在依據 4.5 節之地下水出水潛能的資料，進行線性之正規化轉換後轉換成分數分列。圖 4.5-2 為地下水出水潛能分數分布圖。

最後將兩項因子之分數相乘，兩者乘積即為地下水資源保育總數，其分布如圖 4.6-4 所示，高保育分數分別分布於高屏溪上游和林邊溪上游。

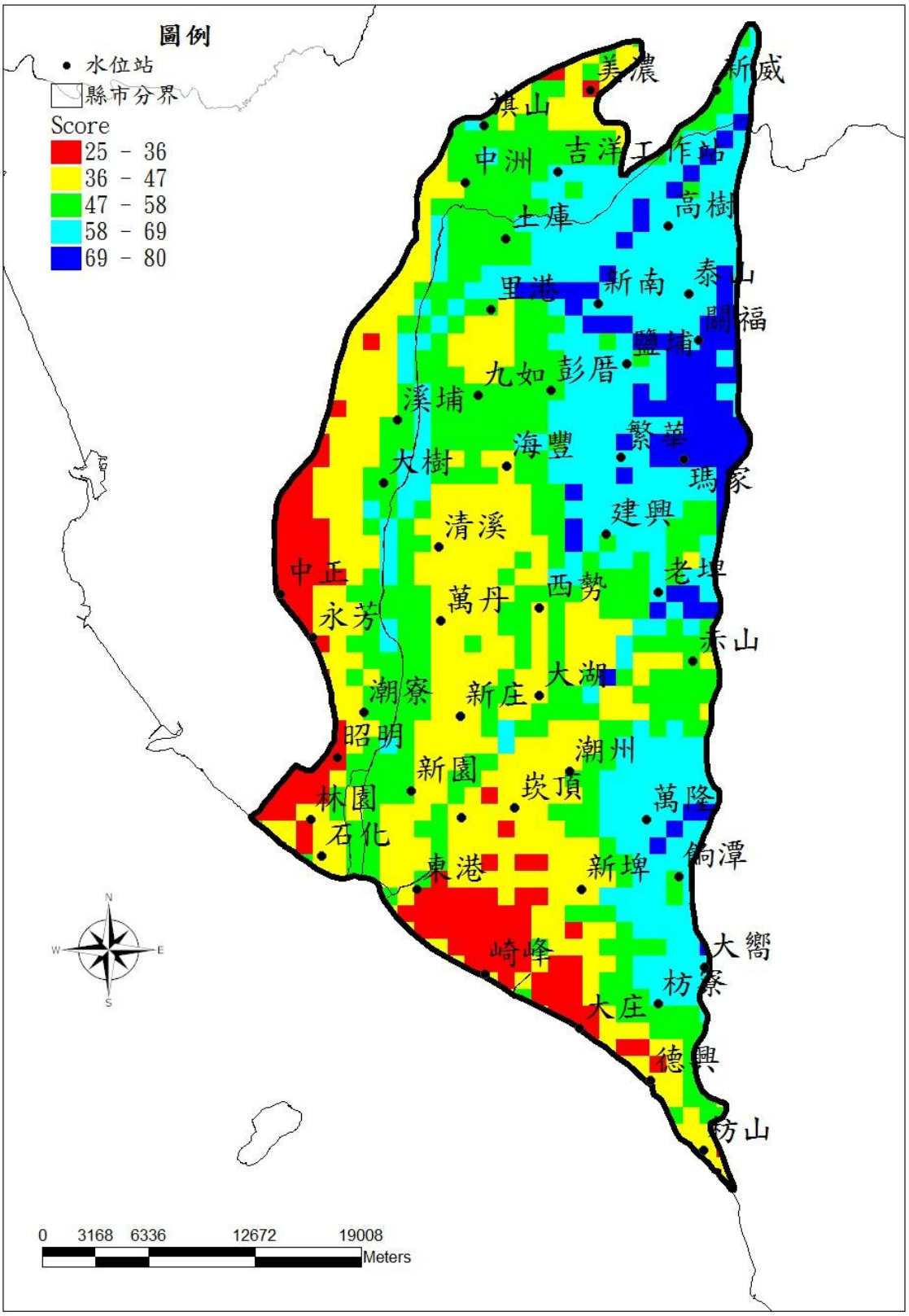


圖 4.6-1 地下水主要補注區整體分數分布圖

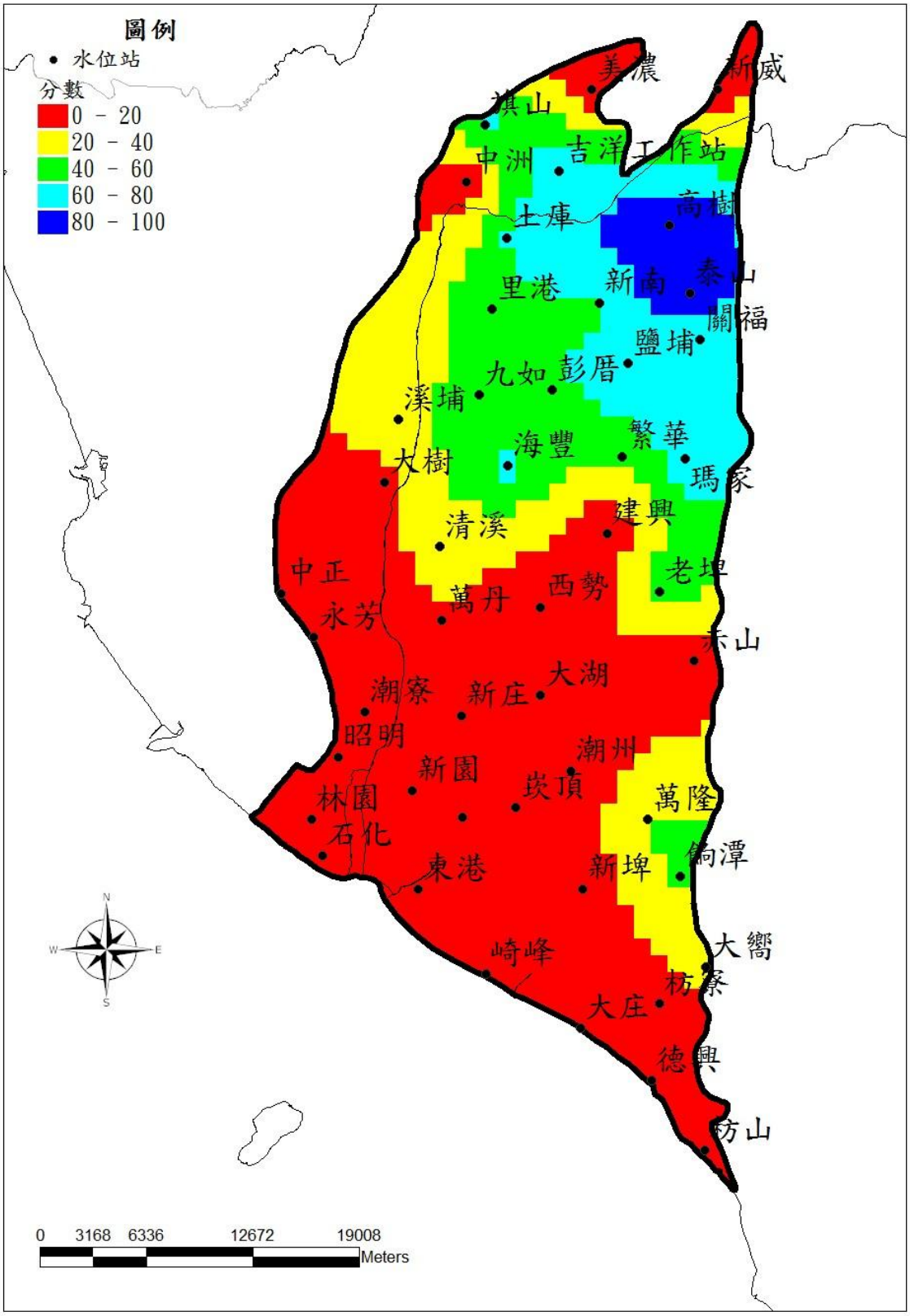


圖 4.6-2 地下水出水潛能分數分布圖

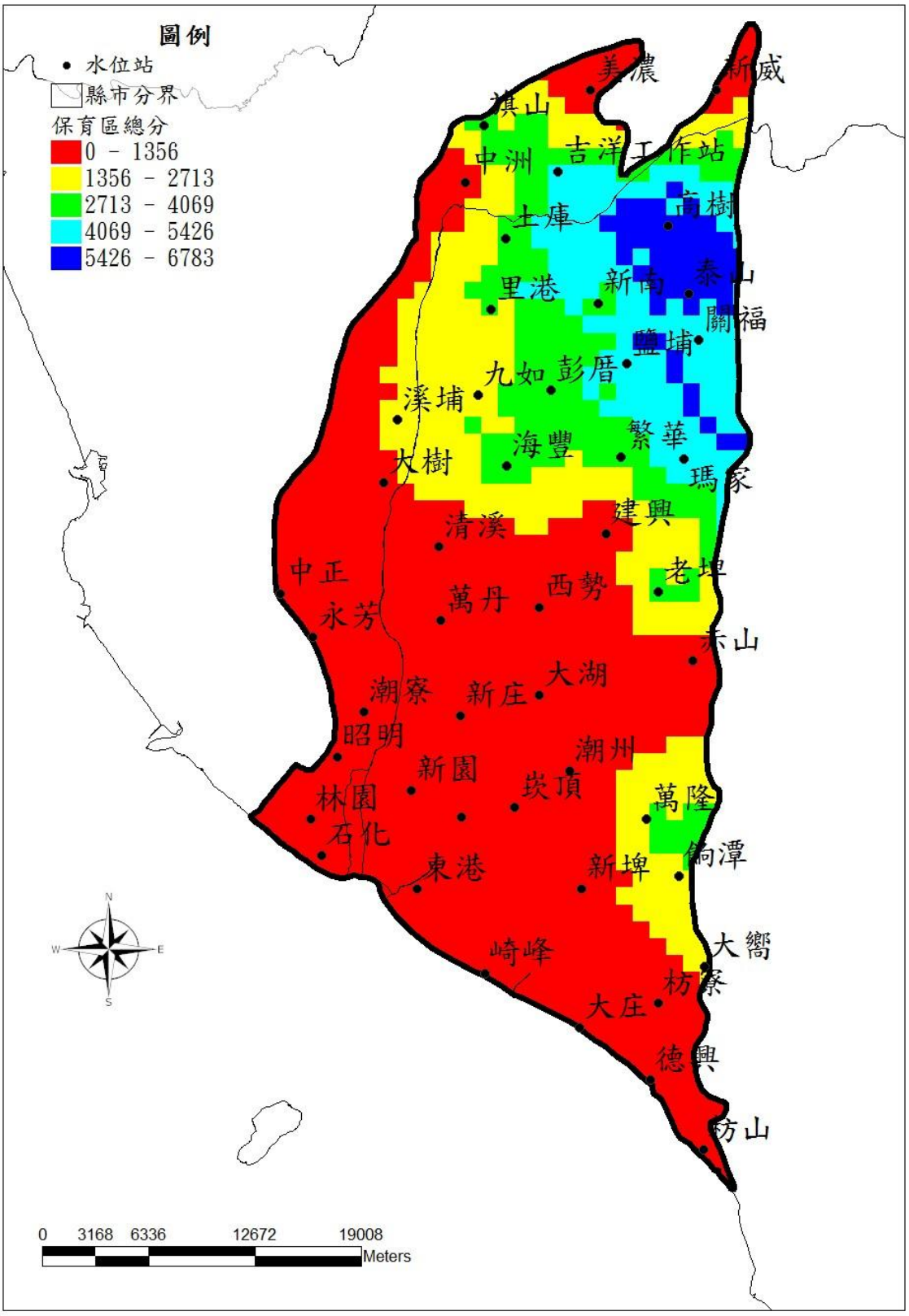


圖 4.6-3 地下水資源保育分數分布圖

4.7 保育區範圍評估

前述 4.6 節已完成屏東平原地下水資源保育分數的估算，將全區總分數作排序，以整體分數之前 40%作為重要保育區範圍評估之門檻，前 40%所對應之地下水保育分數約等於 55 分。

圖 4.7-1 為屏東平原重要保育區分布圖，主要範圍包含屏東平原北區與南區，北區包含旗山鄉、美濃鄉、高樹鄉、里港鎮、鹽埔鄉、長治鎮及內埔鄉，與部分萬巒鄉，南區部分包含萬巒鄉、潮洲鄉與新埤鄉。

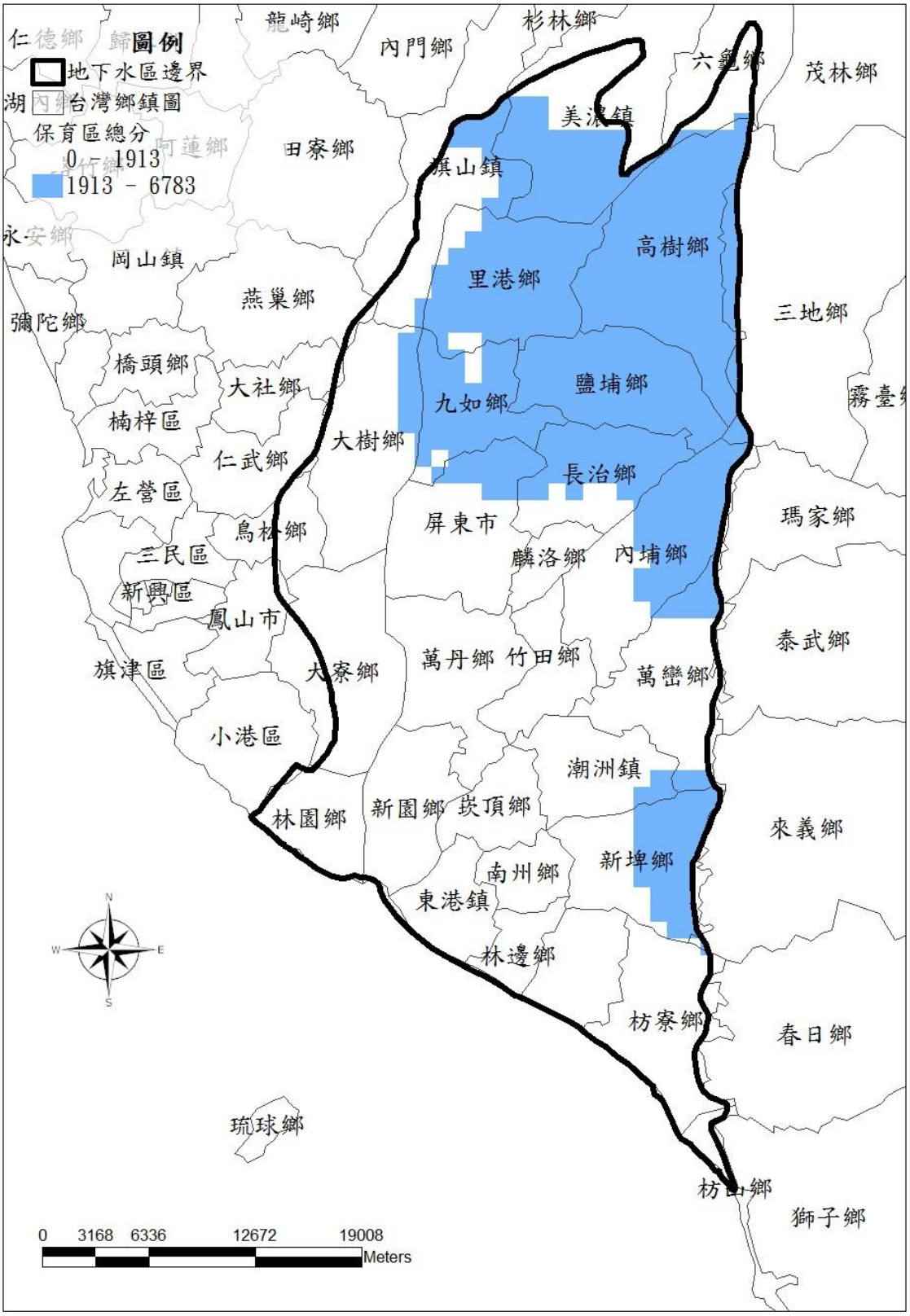


圖 4.7-1 重要保育區分布圖

第五章 水位歷線法於屏東平原之應用

除濁水溪沖積扇之外，屏東平原之地下水位資料在觀測時距與密度上均較其他區域為高，本計畫將以此長期觀測之大量地下水位為基礎，應用地下水位歷線法江崇榮等人(2002)推估區域之補注量與抽水量。

5.1 地下水位歷線法理論介紹

江崇榮等人(2002)提出以地下水位歷線變動與地下水層儲水係數，直接進行抽水量、補注量、蓄水變化量和流失量之評估，該方法曾應用於屏東平原之地下水補注量推估，應用水位歷線法可以有效應用地下水觀測網累積多年之成果。圖 5.3-1 為地下水位歷線法之計算流程圖，其流程主要可以分為五個步驟，首先利用水位歷線配合土壤儲水係數或比流出率計算系統之儲蓄水量歷線，其次利用枯水期之儲蓄水量變化推估平均抽水量，接著應用降雨後之水位變化方式決定系統流出量，再來是以年初年末儲蓄水量決定年度變化量，最後則是以連續方程式推估年補注量。以下將進一步詳細說明：

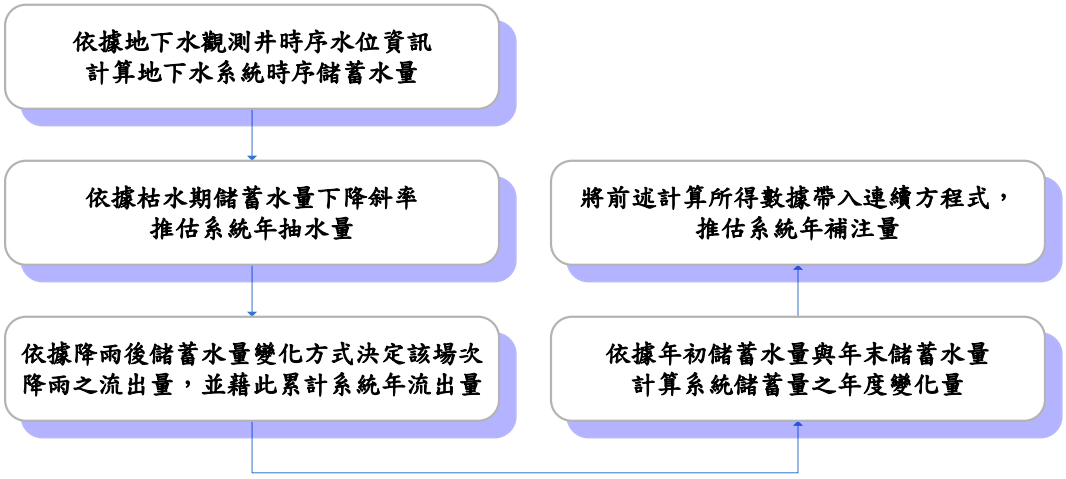


圖 5.1-1 地下水水位歷線法計算流程圖

地下水層平時受到抽水與補注之影響，地下水位歷線隨時間高低起伏，然而分析地下水位歷線與降雨歷線之關係，可以發現地下水位歷線上升或是減緩下降是隨著降雨行為而產生(如圖 5.1-2 所示)，因此可藉由水位歷線與降雨歷線之關係，估算系統平均抽水量與入滲補注量。圖 5.1-3 為表層水層之概念模型示意圖，其中影響水位變化的項目包含抽水量、補注量、與流失量。枯水期時，補注量與流失量皆為零。降雨期間，流失量為零。降雨後，補注量為零。地下水位歷線與降雨歷線由觀測水井與雨量站長期觀測儲存，然其在研究區域上為點位型式分佈，若欲將點位型式之資料涵蓋至整個研究區域，常見處理方法是

透過徐昇氏多邊形或擬徐昇氏多邊形之矩形網格來劃分各觀測水井與雨量站之代表範圍(如圖 5.1-4 所示)。徐昇氏多邊形最重要的特性為徐昇氏多邊形中任意點必與其對應之代表觀測水井或雨量站最接近。

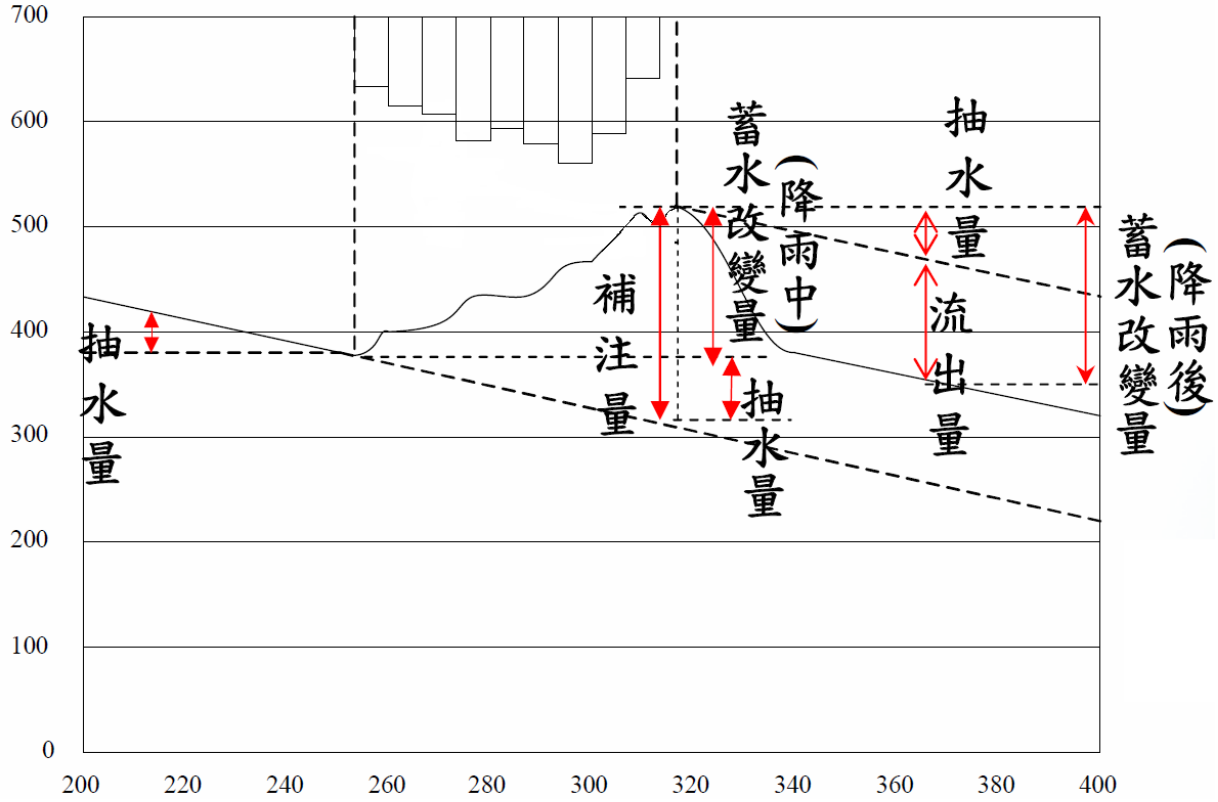


圖 5.1-2 區域降雨歷線與地下水位歷線起伏變化示意圖

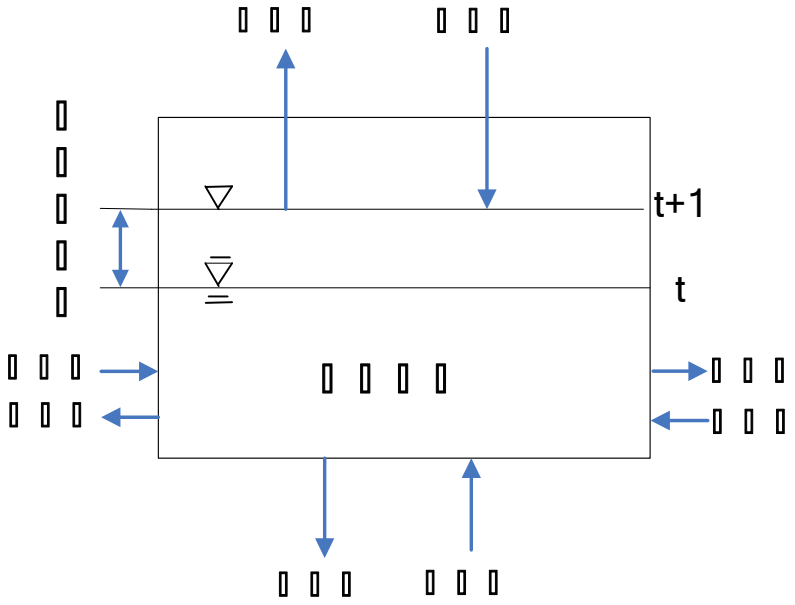


圖 5.1-3 表層水層之概念模型示意圖

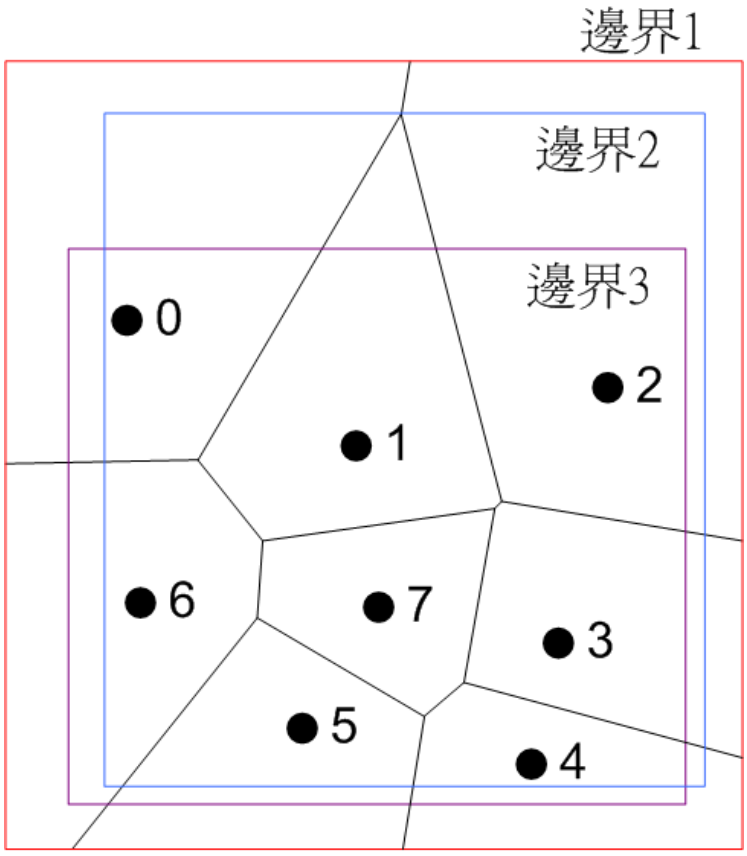


圖 5.1-4 徐昇氏多邊形

降雨行為使得地下水層蓄水量增加，地下水位亦隨之上升；然而地下水位之上升，並不全然代表地下水補注事件，潮汐、地潮、氣壓、地震及停止抽水等，均可造成地下水位之上升或減緩下降。因此，本方法將採用平均日水位進行計算，可以消除潮汐或地潮等引發之短週期水位起伏。基於此一原因，河川流量與降雨資料亦同時採用日平均資料。

觀察台灣地區降雨資料，可以發現從十一月起至次年四月間多為少雨之枯水期，尤其以南部地區最為明顯；從各地下水區地下水觀測資料顯示，在枯水期期間，地下水位歷線以趨近直線的方式下降，以屏東地區之瑪家觀測井為例(如圖 5.1-5 所示)，綜觀 1999~2001 年之枯水期水位變化，從十月至隔年之五月期間，其地下水位之退水斜率極為相近，直至雨季期間地下水位方止跌回升。

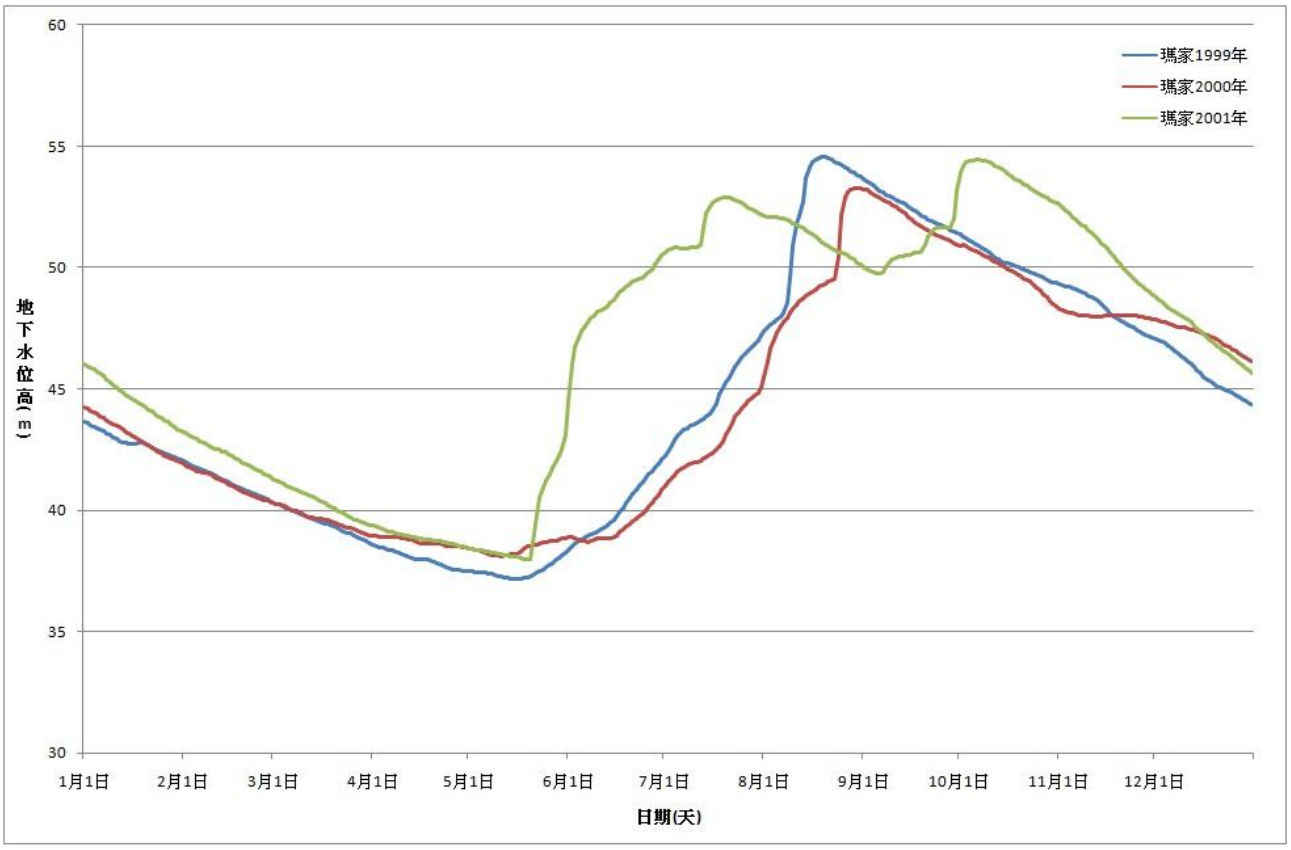


圖 5.1-5 屏東地區之瑪家觀測井 1999~2001 年水位歷線和枯水期退水線

水位歷線法的水平衡方程式可寫為:

$$S_i^t - S_i^{t-1} = I_i^{t,t-1} - O_i^{t,t-1} - W_i^{t,t-1} \quad \text{(式 5.1-1)}$$

其中

S_i^t：代表於時刻 t 於第 i 口水井的地下水儲蓄水量(L^3)

$I_i^{t,t-1}$：代表於時刻 t 與 t-1 間的垂向地下水補注量(L^3)

$W_i^{t,t-1}$：代表於時刻 t 與 t-1 間的地下水抽水量(L^3)

$O_i^{t,t-1}$：代表於時刻 t 與 t-1 間的地下水流出量(L^3)，以圖 5.1-3 所示，即為側向交換量與其他垂向交換量之和。

$$S_i^t = s_y A_i \left(h_i^t - b_i\right) \quad \text{(式 5.1-2a)}$$

$$S_i^t = n_i A_i \left(t_i - b_i\right) + s_s A_i h_i^t = s_s A_i h_i^t + Const. \quad \text{(式 5.1-2b)}$$

式 5.1-2a 及式 5.1-2b 中

s_y：第 i 口觀測井之比流出率。

s_s：第 i 口觀測井之儲水係數。

n_i：第 i 口觀測井之孔隙率。

h_i^t：第 i 口觀測井於 t 時刻之水位。

t_i 與 b_i：第 i 口觀測井含水層頂部與底部高程。

A_i：第 i 口觀測井位代表範圍之面積，可利用徐昇氏多邊形劃分代表範圍。

式 5.1-1 為地下水系統之水平衡方程式，地下水蘊藏之改變量應等於地下水補注量、抽水量與流出量之綜合效應。式 5.1-2a 與 5.1-2b 分別為非拘限含水層與拘限含水層之地下水儲蓄水量估算公式，非拘限含水層之公式為為非拘限含水層之厚度、代表面積與比流出率之乘積，其中非拘限含水層厚度等於水位減含水層底部；拘限含水層之儲蓄水量，概念上可分為兩種，第一種為水層孔隙空間之蓄水量，其數值應為含水層體積乘上孔隙率，其本身不隨水位之變化而變，亦即不隨時間改變，可視為一常數值，第二項則為因水位變化所引起之土層及水體變形而增減之儲蓄水量，其為水位變化量與土層面積及儲水係數之乘積。由於水位歷線之估算上，是以前後兩時刻之儲蓄水量差值進行計算，在差值估算方程式中，第一種儲蓄水量因為定值而互相抵消可忽略不計。如搭配圖 5.1-3 之水平衡關係，式中之流出量($O_i^{t,t-1}$)即代表側向交換量與其他垂向交換量之和。

本方法以枯水期之儲蓄水量退水曲線推估系統長期之平均單日抽水量，由於枯水期長期沒有下雨，因此式中的地下水補注量($I_i^{t,t-1}$)可假設為零。此外，若假設式 5.1-1 中之地下水流出量($O_i^{t,t-1}$)可忽略不計 。因此原始地下水收支平衡式(式 5.1-1)可進一步簡化為式 5.1-3。因此，藉由枯水期之水位歷線變化可全然視為抽水造成之影響，前後兩時刻之地下水儲蓄水量差值，即可代表該時段之地下水抽水量。

$$S_i^t - S_i^{t-1} = -W_i^{t,t-1}$$ （枯水期之水平衡方程式）.....(式 5.1-3)

如果以單日作為時刻長度，因此計算前後兩日的蓄水儲蓄量差值，即代表當日之抽水量，式 5.1-4 乃以 5.1-3 式為基礎所估算之退水期間平均抽水量，該數值之含意亦為枯水期間的蓄水儲蓄量退水斜率，本計畫並將此值作為系統全年之平均抽水量，而不局限於枯水期。

$$\overline{W_i} = \frac{\sum_{t=1}^{N} W_i^{t,t-1}}{N-1}$$ （枯水期之平均抽水量）.....(式 5.1-4)

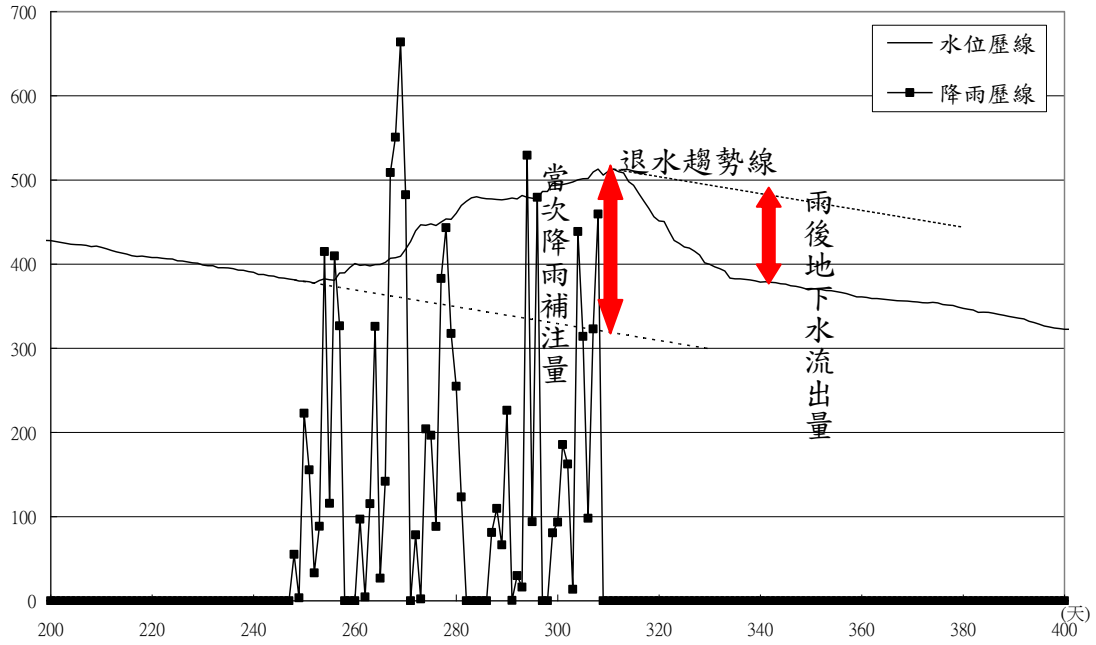


圖 5.1-6 降雨事件、補注量與流失量關係示意圖

如欲利用長期的日水位資料與日降雨資料，結合水位歷線法估算各日補注量，可依據下列方式估算。首先，利用日降雨資料擷取出各降雨事件之發生時段，將所有時刻分成降雨期間、降雨後數天內與非降雨期間三種情況。其次，不同降雨時段，以不同方式分別估算補注量、流出量與抽水量三者。以抽水量而言，在降雨後數天內與非降雨期間之單日抽水量可直接以前述之平均抽水量($\overline{W_i}$)給定，但在降雨期間部分需水量可能直接以降雨量直接滿足，因此降低抽水比例，因此在降雨期間的抽水比例(C_r)應在 0%至 100%之間，在程式中設定為降雨時C_r為 0%而非降雨時期C_r為 100%。

$$W_i^{t,t-1} = \begin{cases} C_r \overline{W_i} & raining \\ \overline{W_i} & dry \end{cases}$$ .....(式 5.1-5)

在補注量與流出量方面，由於單日抽水量與該日儲蓄改變量均已決定，故可將方程式改寫如式 5.1-6，已知數置放於等號右方，而等號左方則為未知的單日補注量與單日流出量。在降雨期間(如圖 5.1-6 所示)，地下水儲蓄量會隨降雨事件之發生而持續上漲，在此假設該段期間之反應皆是因為補注量之影響，故

降雨期間的單日補注量與單日流出量可分別由式 5.1-7 與 5.1-8 估算。

$$I_i^{t,t-1} - O_i^{t,t-1} = S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} \quad \text{(式 5.1-6)}$$

$$I_i^{t,t-1} = S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} \quad \text{(式 5.1-7)}$$

$$O_i^{t,t-1} = 0 \quad \text{(式 5.1-8)}$$

在降雨後數天內，觀察水位反應行為，部分場次之水位並未在雨停後即時下降，仍有少許上升情形，顯示雨後數天內仍有補注產生。因此，本研究則依據式5.1-7估算，如等號右方項次大於零，則將數值歸於補注部分，反之則歸於流出部分(如式 5.1-9 與 5.1-10 所示)。

$$I_i^{t,t-1} = \begin{cases} S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} & if \quad S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} > 0 \\ 0 & if \quad S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} < 0 \end{cases} \quad \text{(式 51-9)}$$

$$O_i^{t,t-1} = \begin{cases} 0 & if \quad S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} > 0 \\ -\left(S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1}\right) & if \quad S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} < 0 \end{cases} \quad \text{(式 5.1-10)}$$

在非降雨期間，如水位與儲蓄水量有其他異常之升高或降低，由於並無明顯之補注源，因此直接將此改變量歸於流出量部分。

$$O_i^{t,t-1} = -\left(S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1}\right) \quad \text{(式 5.1-11)}$$

由於如欲以年度為單位，估算特定年度之補注量等相關分析，則可依據前述所得之單日補注量、流出量與抽水量，進行累加即可求得年抽水量、年補注量與年流出量。同理，如欲計算以場次為單位之水平衡分析，亦可以相同之方式進行累加計算。前述估算方式均是以各地下水觀測站為主體，所得之補注量、抽水量與流出量僅代表該站之資訊。如欲評估整體系統之各項數據，則可將各站資訊累加，即代表全區之補注量、抽水量與流出量。

另外，對於如僅欲求得全區之補注量，亦可預先將各站之水位歷線資訊，轉換並累加成全區之儲蓄水量(如式 5.1-12 所示)，其次再直接以全區之儲蓄水量計算各時刻之補注量、抽水量與流出量等資訊。比較前述之逐站計算方式與全區統一計算方式，逐站計算方式除了可以求得全區之資訊外，仍可明確得到各站之空間分佈。逐站計算方式因為直接以各站之儲蓄水量進行計算，因此對於各站水位或儲蓄水量歷線要求較高，各站水位歷線必須能明確找出枯水期之

退水曲線。

$$S^t = \sum_{i=1}^{N} S_i^t \quad \text{.....(式 5.1-12)}$$

影響補注量推估之精確程度，多在於地下水位歷線與雨量歷線資料之收集，目前台灣地區之雨量站分佈涵蓋全台，其分佈稠密度已足夠提供補注量之估算；然而地下水觀測資料，則有賴地下水觀測井網方足以提供，台灣地區僅濁水溪沖積扇、屏東平原與蘭陽平原等地區能提供足夠之觀測密度，因此若裕應用水位歷線法於其他地區補注量之推估則仍有待評估。

5.2 地下水位歷線法前期研究

經濟部水利署之「多元化水源開發綱領計畫報告」曾以屏東平原為研究區域，應用地下水位歷線法進行地下水補注量之推估，該計畫以民國 88 年至民國 92 年為估算期距，收集當地之站井資料與雨量觀測資料，資料精度為日資料，地下水位站分佈如圖 5.2-11 所示。表 5.2-1 係採用屏東雨量站之民國 43 年至民國 92 年之歷史雨量資料進行排序分析，其排序分別佔 50 年之為第 11、38、3、47 與 40 順位，已涵蓋枯水年、平水年與豐水年三者。

研究區域以$1000m \times 1000m$之矩形網格涵蓋整個研究區域，其分佈範圍如圖 5.2-7 所示，將前述收集之地下水位資料與雨量資料，其為點位型態之資料，而研究區域則需要將點位型態之資料變換為面型態之資料，因此以克利金內插法內插至各個網格中，亦即每一個內插值為座落於網格正中央之推估值，並以此推估值代表整個網格，民國 88 年 1 月 1 日之地下水位分佈等值圖如圖 5.2-8 所示。

接著，計算整個研究區域的總地下水儲蓄量與總降雨量，總降雨體積為降雨強度乘上面積，即為總降雨體積；而總地下水儲蓄量則是以蓄水高度乘上儲水係數再乘上面積。蓄水高度則是以網格之地下水位扣除底層高程，由於後續計算年抽水量、年補注量等利用不同時刻之總地下水儲蓄量差值進行計算，因此底層高程會彼此抵銷，故在此直接選用一固定係數代表所有網格之底層高程。

儲水係數之選定則根據屏東平原淺層受壓含水層與非受壓含水層之分佈給定，其分佈範圍如圖 5.2-9 所示，所給定之數值如圖 5.2-10 所示。其數值係參考「屏東平原地下水自然補注之研究」，報告中表列地質調查所與台糖地下水中心在旗山、潮寮、大樹與海豐等地區所做之現地調查(如表 5.2-2 所示)，周邊網格則直接以現地調查數值給定。其餘周邊無現地調查數據之網格，則從上列數值中選定數組現地數據進行分析，分析結果顯示以潮寮站之 0.106 之推估結果

最佳，且其現地調查數值屬於合理範圍之內，因此選用該數值。

$$P_{total} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} P_{i,j} \times Area_{i,j} \quad \text{.....(式 5.2-13)}$$

其中

P_{total} ：總降雨體積(L^3)

$P_{i,j}$ ：網格(i,j)之降雨強度(L)

$Area_{i,j}$ ：網格(i,j)之面積(L^2)

繪製民國 88 年至 92 年間之總降雨量歷線與總地下水儲蓄量歷線圖(如圖 5.2-11 至 5.2-15 所示)，由圖上可以發現地下水儲蓄量歷線之變化隨降雨事件產生而增加；此外，當枯水期長期未降雨，地下水儲蓄量歷線則呈現線性下降，符合前述章節之定義。

圖 5.2-16 為屏東平原乾旱時期地下水儲蓄量退水曲線，在此選用前一年度之 11 月至隔年度 4 月，在此視為乾旱時期，計算該線段之下降斜率，利用線性回歸計算斜率，其斜率為 $-3{,}857{,}297(m^3/day)$，代表每日之抽水量近 4 百萬噸。

另外，利用觀察各降雨事件發生始末(如圖 5.2-11 至 5.2-15 所示)，地下水儲蓄量會隨降雨事件之產生持續往上漲，當降雨事件結束後方停止上漲之趨勢。因此擷取每一降雨事件之始末時間點，計算地下水儲蓄量之差值，並假設降雨期間持續抽水，以此差值再加上這段時間的抽水量，即為該場降雨事件之補注量，加總全年度之補注量，即為該年之年補注量。表 5.2-3 為屏東平原於民國 88 年至 92 年之地下水水平衡分析表。

圖 5.2-17 為各年度之降雨量與補注量之分佈柱狀圖，各年度之降雨量與補注量比值約 2 至 5 倍之間，多數年份之降雨量遠大於補注量。由於颱風期間之豐沛雨量，由於在時間上過度集中，因此造成龐大之地表逕流量，而地下水補注量並無實質增加，因此在此分別以 50,000,000(噸/天)與 100,000,000(噸/天)為門檻值，大於門檻值則視為颱風期間或豪大雨期間之雨量，分年加總；反之，則視為一般時期之降雨量。圖 5.2-18 與圖 5.2-19 分別繪出補注量、颱風期間年降雨量與非颱風期間之年降雨量，圖形上兩者差異並不大，在此以 100,000,000(噸/天)，為門檻值進行判斷。觀察圖 5.2-17，2003 年降雨量僅大於 2002 年之降雨量，然其補注量卻是五年之冠；再觀察圖 5.2-19，扣除豪大雨後之雨量排序名次已大幅提昇，由此可知若僅以年降雨量進行各年補注量之判斷，容易受到全年在時間上與空間上之分佈影響，由此可解釋各年度之補注量排序名次與降雨量排序名次不盡相同之原因。

表 5.2-1 屏東站年平均雨量與豐枯排序表

年份	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
項次	41	16	19	24	21	4	10	9	42
年平均	1586.72	2313.51	2169.14	2071.83	2131.95	2707.14	2409.79	2534.58	1586.47
年份	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
項次	46	45	26	25	22	23	36	34	43
年平均	1108.53	1315.01	2041.5	2042.84	2127.46	2125.95	1785.5	1804.22	1462
年份	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
項次	1	31	5	12	28	2	37	13	49
年平均	3609.6	1914.51	2694.9	2361.21	1966.21	3380.52	1770.53	2360.4	878.83
年份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
項次	8	30	14	33	18	35	27	17	39
年平均	2548.21	1930.69	2333.87	1846.75	2284.44	1790.83	2016.41	2305.82	1716.93
年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
項次	20	32	29	50	6	48	44	7	15
年平均	2157	1902	1957	856	2579	930	1434	2550	2332
年份	1999	2000	2001	2002	2003				
項次	11	38	3	47	40				
年平均	2385	1742	2860	978	1618				

表 5.2-2 屏東平原非受壓含水層流出係數現地試驗表

地點	地質調查所	台糖地下水中心
旗山	0.193	0.272
潮寮	0.071	0.106
大樹	0.188	0.053
海豐	0.239	0.397
(節錄自「屏東平原地下水自然補注之研究」)		

表 5.2-3 屏東平原地下水水平衡分析表

年份	年補注量	年抽水量	年流失量	儲蓄改變量	年降雨量
1999	663,000,000	-332,000,000	-275,000,000	56,100,000	4,080,000,000
2000	534,000,000	-292,000,000	-261,000,000	-19,200,000	4,190,000,000
2001	740,000,000	-372,000,000	-362,000,000	6,210,000	5,310,000,000
2002	456,000,000	-367,000,000	-179,000,000	-89,900,000	2,230,000,000
2003	793,000,000	-377,000,000	-429,000,000	-12,500,000	2,890,000,000
單位:噸					

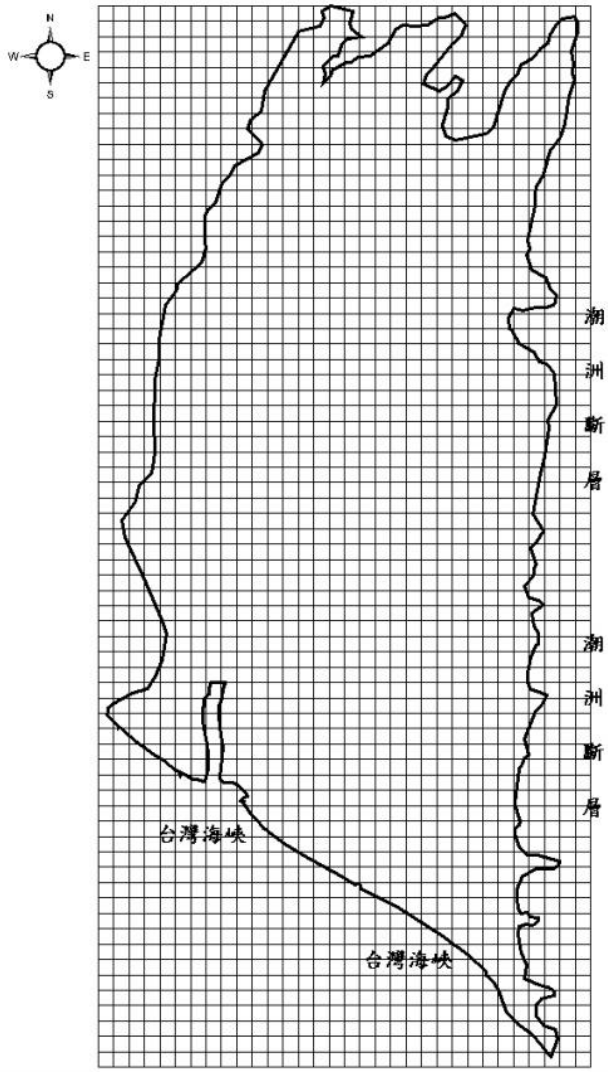


圖 5.2-7 屏東平原分割網格圖

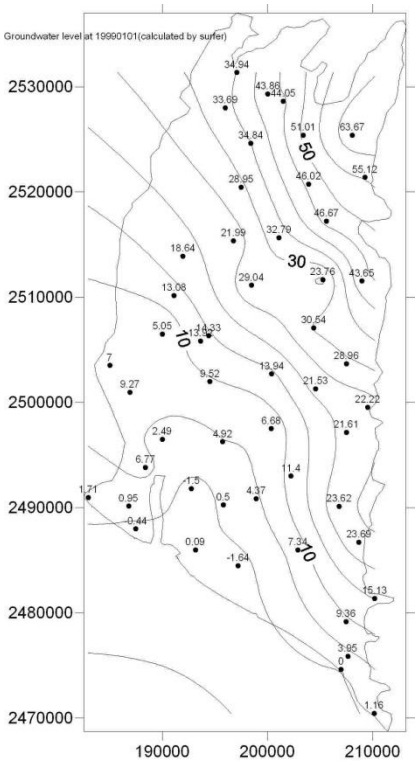


圖 5.2-8 屏東平原 88 年 1 月 1 日地下水位分佈等值圖

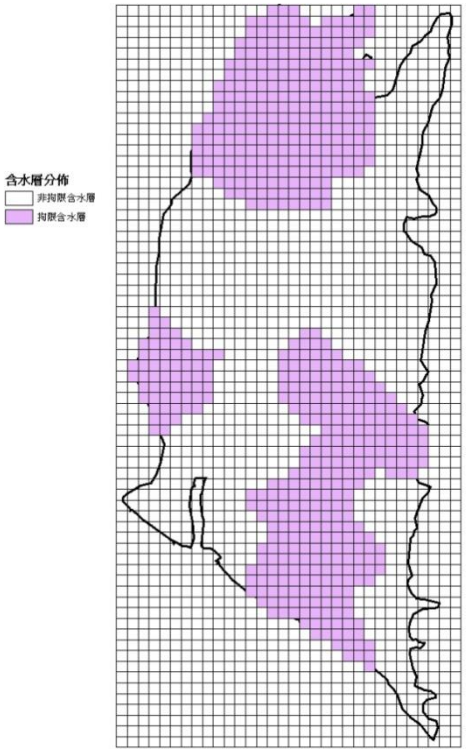


圖 5.2-9 淺層受壓含水層與非受壓含水層分佈圖

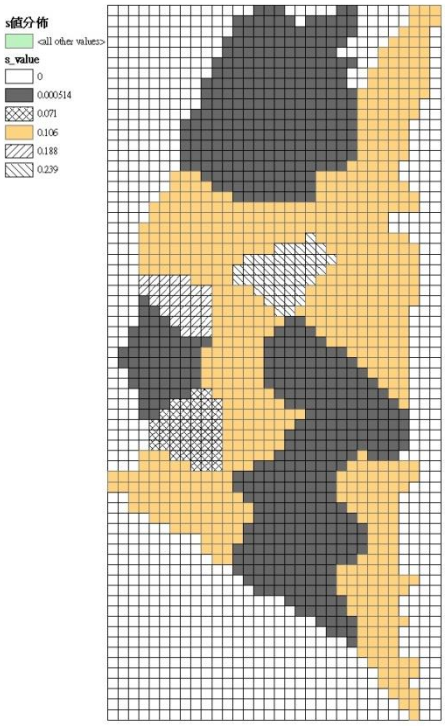


圖 5.2-10 淺層含水層之儲水係數給定分佈圖

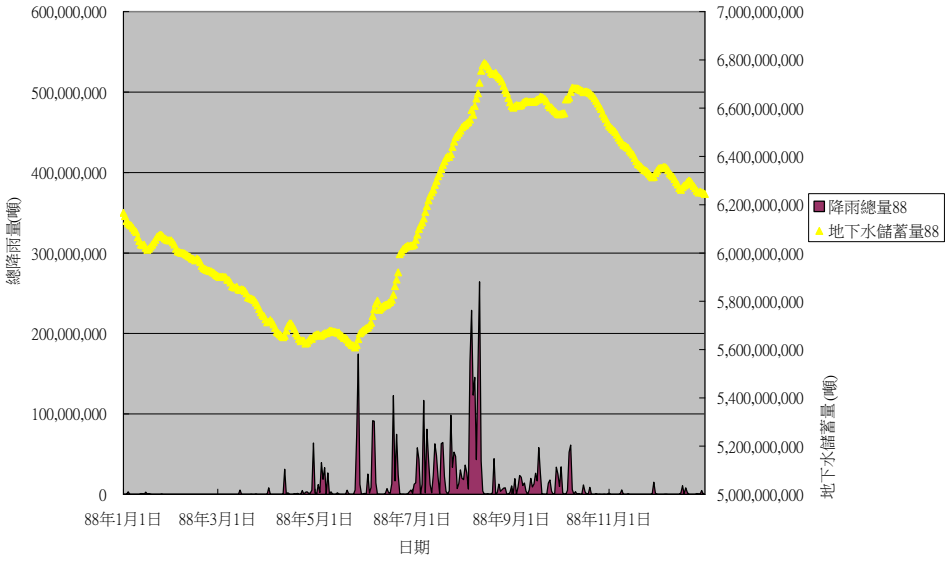


圖 5.2-11 屏東平原民國 88 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖

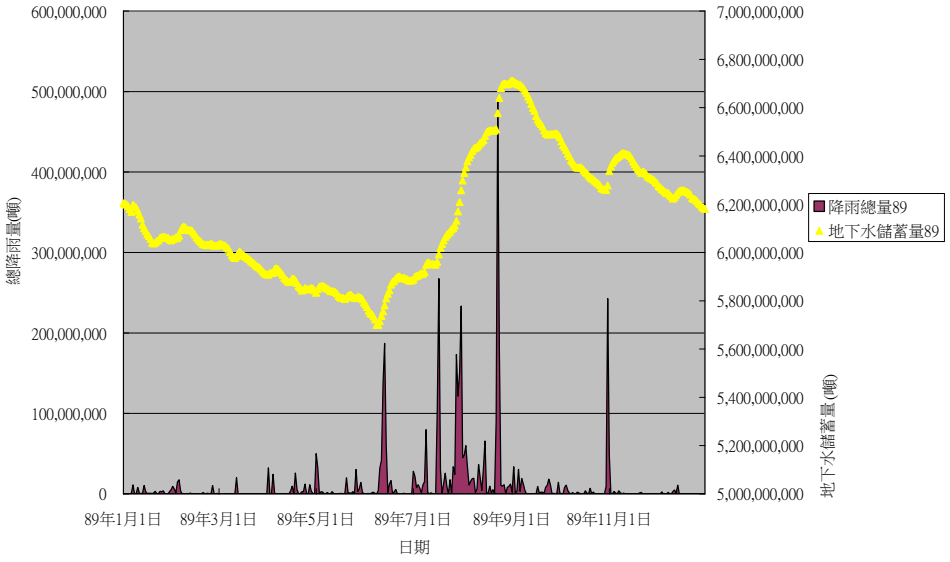


圖 5.2-12 屏東平原民國 89 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖

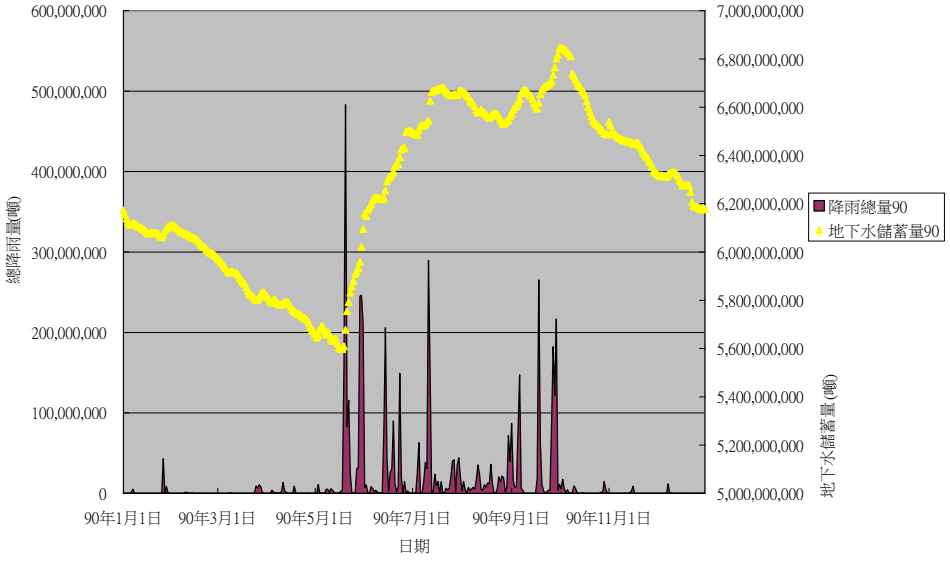


圖 5.2-13 屏東平原民國 90 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖

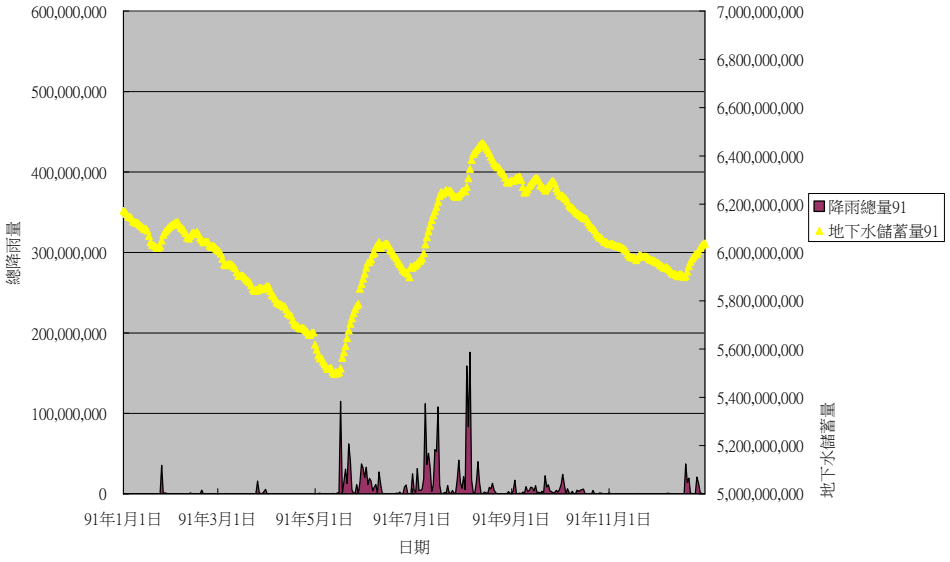


圖 5.2-14 屏東平原民國 91 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖

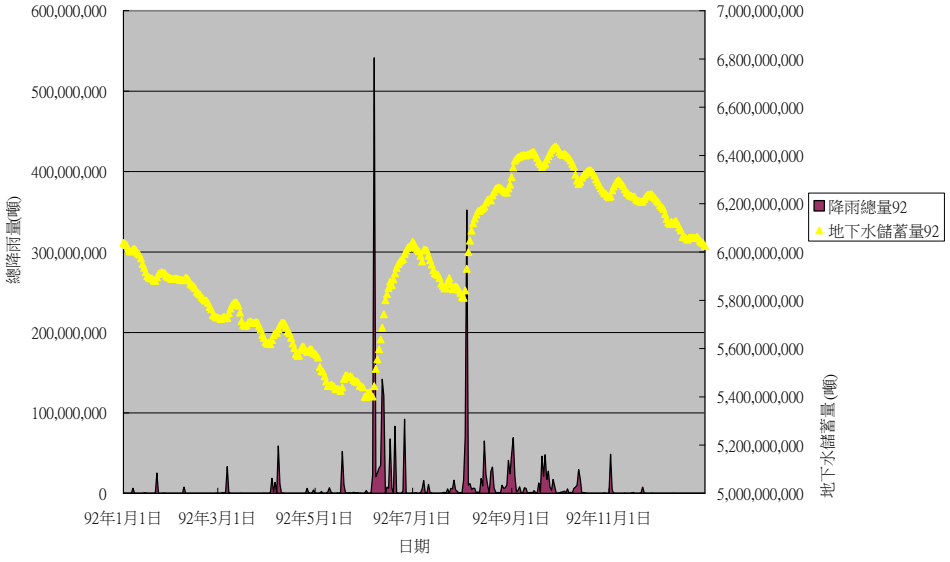


圖 5.2-15 屏東平原民國 92 年之降雨量與地下水儲蓄量歷線圖

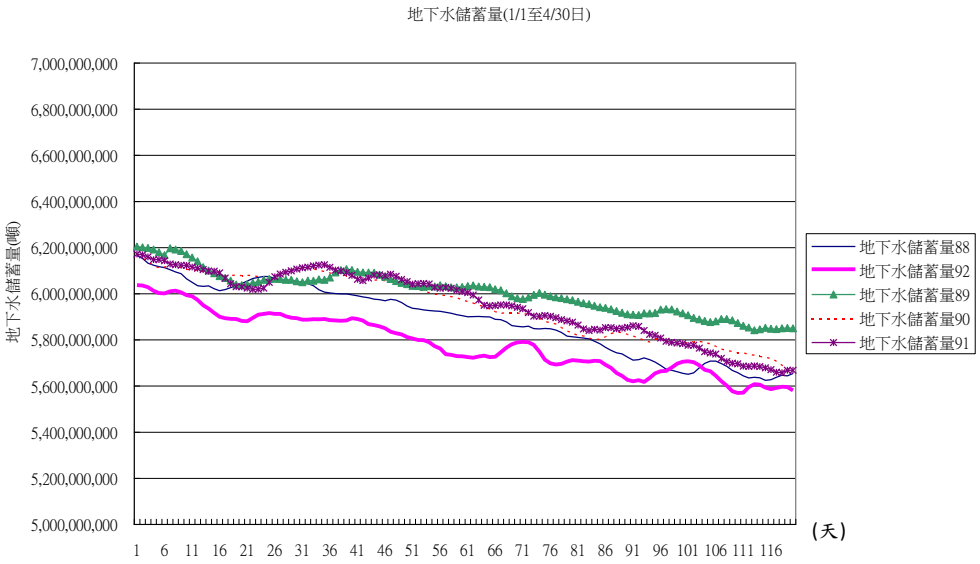


圖 5.2-16 屏東平原乾旱時期地下水儲蓄量歷線圖

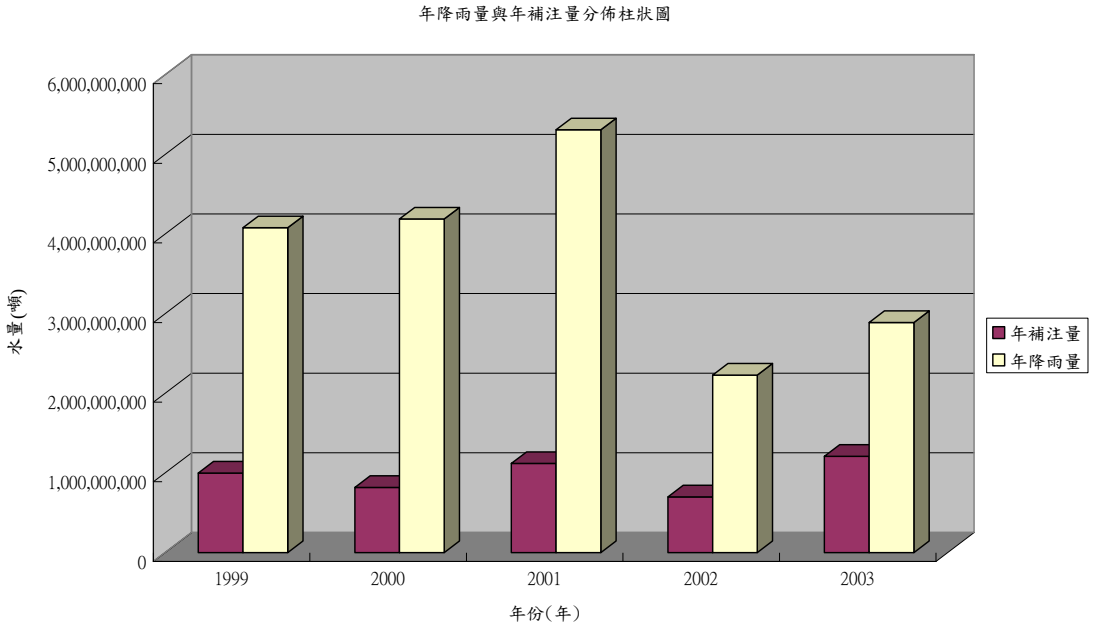


圖 5.2-17 各年降雨量與補注量分佈柱狀圖

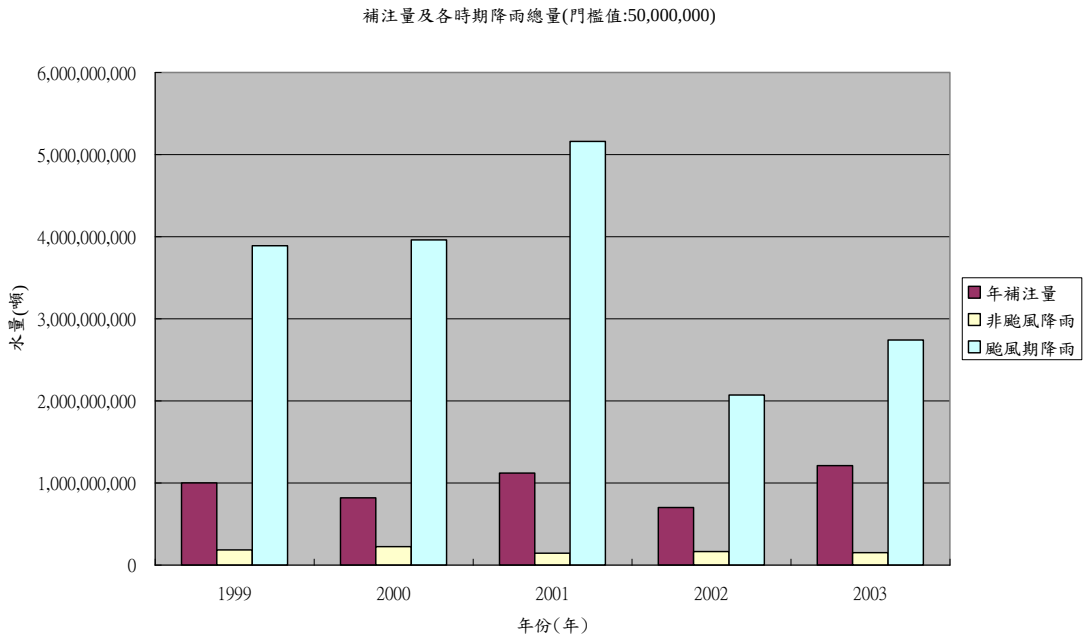


圖 5.2-18 各年補注量、非颱風期間降雨量與颱風期間降雨量分佈柱狀圖(以 50,000,000 噸/天為門檻值區分)

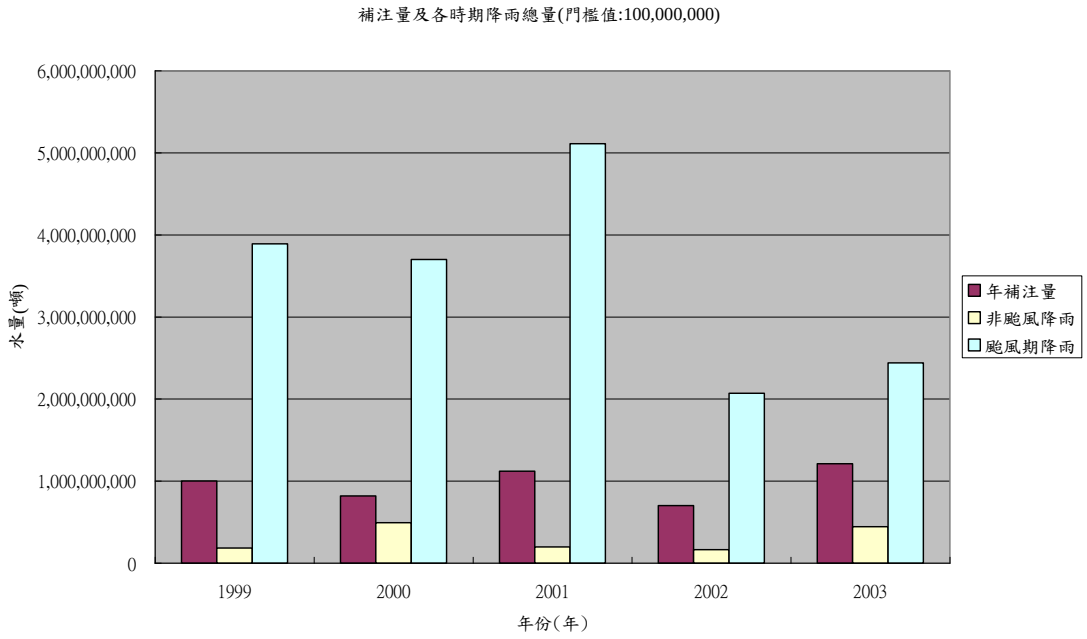


圖 5.2-19 各年補注量、非颱風期間降雨量與颱風期間降雨量分佈柱狀圖(以 100,000,000 噸/天為門檻值區分)

5.3 修正型地下水位歷線法理論介紹

前述章節已經提及地下水位歷線法之基礎理論與概念，其以各地下水觀測井資訊作為系統地下水儲蓄量之推估依據，藉由豐枯水期與降雨後之不同水位變化特性，藉此推估系統抽水量、補注量與流出量三者。也提及計算上可分為逐站計算與全區統一計算兩種方式，如欲以逐站計算方式計算特定水區之補注量與抽水量等，前述計算方式是以該站地下水儲蓄量進行計算，其變化同時受到側向交換量之影響，因此前述計算之流出量即為側向交換量與其他垂向交換量之綜合影響（如圖 5.1-3 所示）。

本章節將提出修正型地下水水位歷線法，側向交換量則以達西公式估算，藉以釐清其數值。地下水位歷線法需配合徐昇氏多邊形定義地下水觀測井之代表範圍，由於徐昇氏多邊形之特性，相鄰兩觀測井之連線必與多邊形邊線垂直，因此搭配達西公式(Darcy's Law)估算穿越邊線之穿越水量，式 5.3-1a 與 5.3-1b 為加入達西定律之連續方程式，其為顯示法型式之連續方程式。其中，式 5.3-1a 適用於非受壓含水層，穿越厚度為水位高程與含水層底床高程之差值，而式 5.3-1b 則適用於受壓含水層，其穿越厚度直接以含水層厚度計算。

$$S_i^t - S_i^{t-1} = \sum_{j=1}^{M}\left(-\overline{K}_{ij}\frac{h_j^t - h_i^t}{l_{ij}}L_{ij}\left(\overline{h}_{ij}^t - \overline{b}_{ij}\right)\right) + I_i^{t,t-1} - V_i^{t,t-1} - W_i^{t,t-1} \quad \text{..... (式 5.3-1a)}$$

$$S_i^t - S_i^{t-1} = \sum_{j=1}^{M}\left(-\overline{K}_{ij}\frac{h_j^t - h_i^t}{l_{ij}}L_{ij}\left(\overline{t}_{ij} - \overline{b}_{ij}\right)\right) + I_i^{t,t-1} - V_i^{t,t-1} - W_i^{t,t-1} \quad \text{..... (式 5.3-1b)}$$

式中

S_i^t：代表於時刻 t 於第 i 口水井的地下水儲蓄水量(L^3)

$I_i^{t,t-1}$：代表於時刻 t 與 t-1 間的垂向地下水補注量(L^3)

$W_i^{t,t-1}$：代表於時刻 t 與 t-1 間的地下水抽水量(L^3)

$V_i^{t,t-1}$：代表於時刻 t 與 t-1 間的其他垂向交換量。

$\overline{K}_{ij}$：代表第 i 區塊與第 j 區塊之等效透水係數

h_i^t：代表第 i 觀測井於時刻 t 之水位

l_{ij}：代表第 i 觀測井與第 j 觀測井之距離

L_{ij}：代表第 i 區塊與第 j 區塊之邊線長度

$\overline{h_{ij}^t}$：第 i 區塊與第 j 區塊之平均水位

$\overline{t}_{ij}$：第 i 區塊與第 j 區塊之含水層平均頂部高程

$\overline{b}_{ij}$：第 i 區塊與第 j 區塊之含水層平均底部高程

在修正型之估算上，首先仍需由枯水期之退水曲線，進行平均抽水量之估算，在此假設枯水期因長期無降雨，因此並不存在補注量與其他垂向交換量等。此外，在側向交換量上，各站枯水期水位並不一致，依據水往低處流之特性，顯示枯水期中各站與相鄰站間存在側向之交換，從式 5.3-1a 與 5.3-1b 所示，平均抽水量可藉由儲蓄改變量扣除側向交換量後計算之。

在單日抽水量、補注量與流出量之估算上，在抽水量之估算上沿用前述之方式給定。而在補注量與流出量之估算公式，因為側向交換量之加入，應由式 5.1-5 修改為式 5.3-2a 或 5.3-2b，並依據不同之降雨情境來估算補注量與流出量。

$$I_i^{t,t-1} - V_i^{t,t-1} = S_i^t - S_i^{t-1} - \sum_{j=1}^{M}\left(-K_{ij}\frac{h_j^t - h_i^t}{l_{ij}} L_{ij}\left(\overline{h_{ij}^t} - \overline{b_{ij}}\right)\right) + W_i^{t,t-1} \quad \text{..... (式 5.3-2a)}$$

$$I_i^{t,t-1} - V_i^{t,t-1} = S_i^t - S_i^{t-1} - \sum_{j=1}^{M}\left(-K_{ij}\frac{h_j^t - h_i^t}{l_{ij}} L_{ij}\overline{B}_{ij}\right) + W_i^{t,t-1} \quad \text{..... (式 5.3-2b)}$$

5.3.1 電腦程式開發

本研究將依據前述流程，採用 FORTRAN 語言撰寫，其流程將於下節說明。圖 5.3-1 與 5.3-2 分別為「地下水位歷線法」與「修正型地下水位歷線法」之資料流程架構圖。在「地下水位歷線法」中，程式需給定三類資料，第一為每日之地下水觀測井水位變化資料與降雨量資料，第二為各觀測井之儲水係數或比流出率，以及該觀測井之代表面積等相關資訊，第三由於部分水區之抽水型態較為複雜，需要給定各年度一、二期稻作之耕作面積，由於濁水溪沖積扇明顯受到一二期稻作之抽水影響，因此觀察該地之全區儲蓄水量歷線，發現從以約在一月底前後為界，可分為兩種斜率之退水曲線，藉由兩曲線之斜率差即可找出一期稻作之單日平均抽水量，然二期稻作耕作期間，因為處於豐水期間，因此退水曲線不明顯，故藉由一、二期稻作的耕作面積比，計算二期稻作之單日平均抽水量。在「修正型地下水位歷線法」中，除了前述資訊外，由於必須利用達西公式計算各控制體積間的交換水量，則需給定以兩觀測站為端點之連結，提供連結相關資訊，包涵連結之距離與穿越之面積等資訊。在輸出資料部分，兩程式可以計算出每日之補注量、平均抽水量與每日流出量。除此之外，「修正型地下水位歷線法」還可輸出內部之穿越水量。

在計算流程方面如圖 5.3-3 所示，首先依據需求選擇所要計算之模組，「地下水位歷線法」或「修正型地下水位歷線法」。圖中分為左右兩區塊，左方為

「地下水位歷線法」之運算流程，而右方則為「修正型地下水位歷線法」之運算流程，分別輸入各自之輸入資料，輸入資料可區分為三大類，包含「時序資料」、「水文地質參數」與「觀測井拓樸關係」三類資料，其中「時序資料」即為地下水位時序資料與降雨量時序資料；「水文地質參數」則包含儲水係數、比出水率與透水係數；「觀測井拓樸關係」則包含觀測井之代表範圍、相鄰觀測井之距離與相鄰觀測井間之穿越面積等，此類資訊可藉由地理資訊系統(GIS)建立提供。

比較「地下水位歷線法」與「修正型地下水位歷線法」之輸入資料，由於「修正型地下水位歷線法」會利用達西公式來計算穿越水量，因此較「地下水位歷線法」必須多輸入透水係數、相鄰觀測井之距離與相鄰觀測井間之穿越面積等資訊。

兩模組之計算順序則如圖 5.3-3 所示，其中可區分為數個步驟，依序如下所述：

(a) 交換水量可由式 5.3-1a 或 5.3-1b 之達西公式計算得。

(b) 利用各時刻之水位資料，乘上儲水係數或比流出率，以及代表之區塊面積，此乘積即為該時刻之地下水儲蓄水量(如式 5.1-2 所示)，而不同時刻之差值即為儲蓄變化量，因此由年初與年末水位差值，即可計算得年度儲蓄變化量。

(c) 依據枯水期之退水曲線即可得到平均抽水量(如式 5.1-4 所示)。

(d) 藉由降雨時序資料分辨各降雨場次，由此計算該降雨場次之降雨延時，將前述平均抽水率乘上降雨延時，即等於該場次期間之抽水量。

(e) 由於降雨期間假設抽水行為不因降雨與否而改變，因此場次之補注量即等於降雨事件結束與起始之地下水儲蓄量差值，再加上場次期間之抽水量。

(f) 各降雨場次之地下水流出量可利用降雨結束後之水位變化曲線判定，將降雨事件結束當日與結束後數日，以抽水斜率分別畫上虛擬線，兩虛擬線之差值即為該場次之地下水流出量。修正型地下水位歷線法則考量期間之穿越水量。

(g) 累計年度內之補注量與流出量，即可計算該年度之年補注量與年流出量。

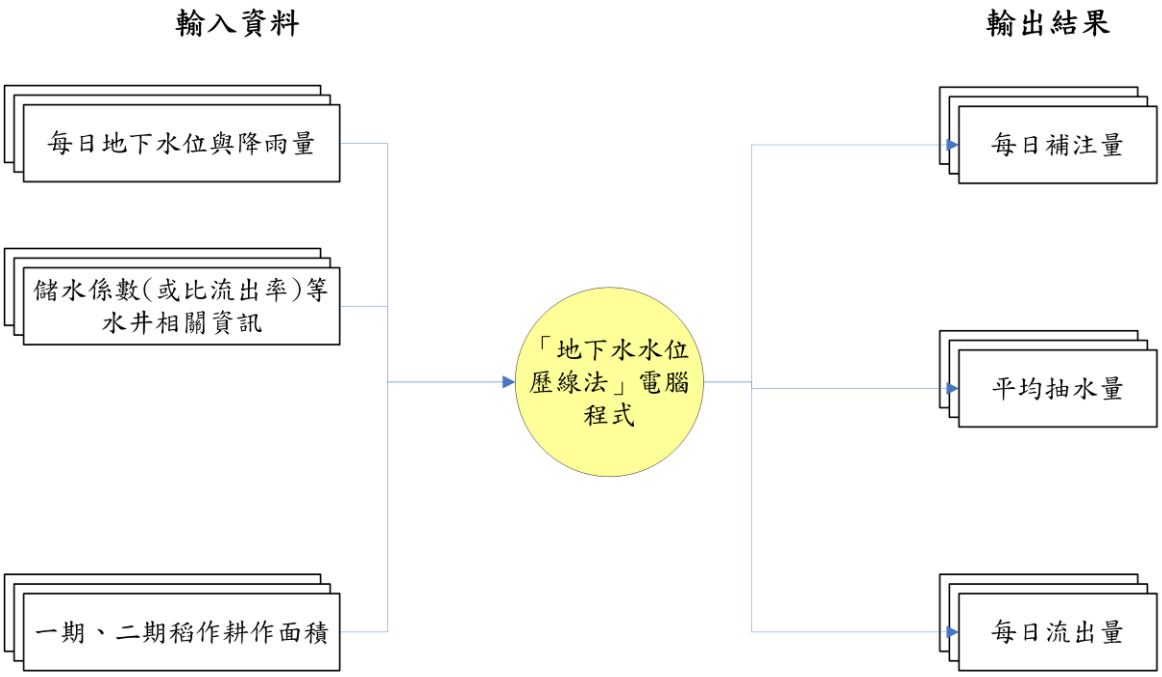


圖 5.3-1 「地下水水位歷線法」電腦程式資料流程架構圖

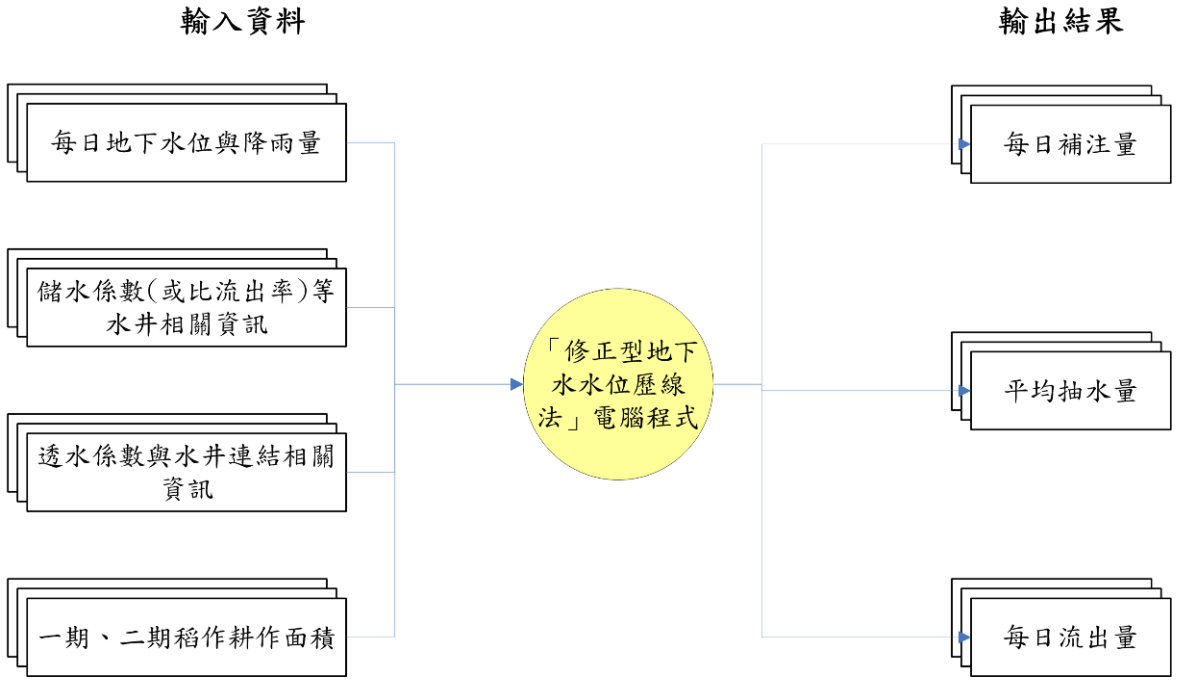


圖 5.3-2 「修正型地下水水位歷線法」電腦程式資料流程架構圖

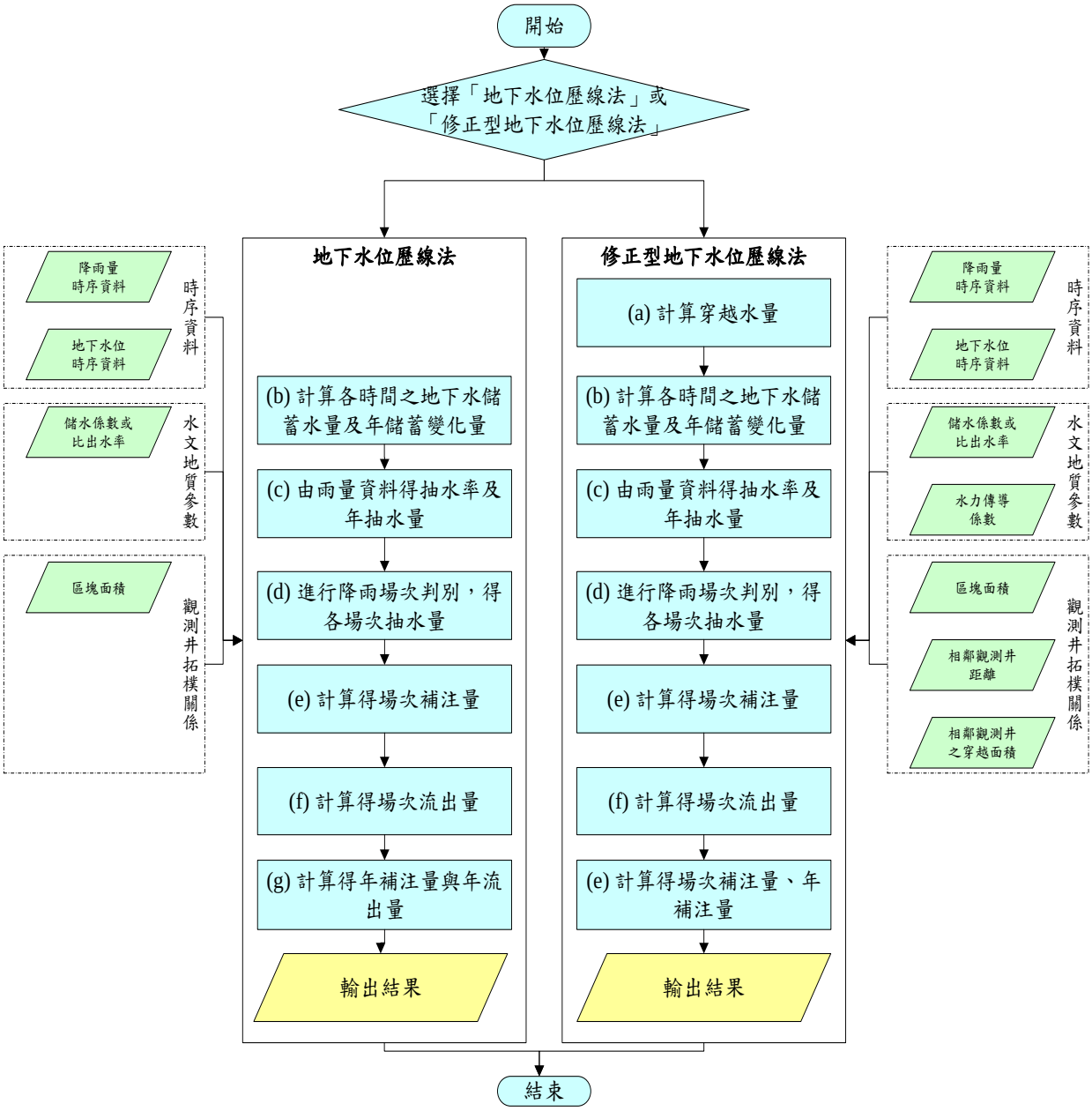


圖 5.3-3 地下水位歷線法程式計算流程

5.4 應用水位歷線法於補注量及抽水量初估

前述第二章已蒐集了屏東平原 F1 含水層 47 口表層地下水觀測井，水位資料已於 2.3.1 小節進行資料檢視、補遺與校正，以下將以補遺校正後之 1999~2010 年水位資料，應用水位歷線法進行補注量與抽水量等之分析。圖 5.4-1 為地下水井與對應的徐昇氏多邊形圖。

表 5.4-1 為 47 口井之列表，其中包含各井之儲水係數與透水係數，在透水係數部分由於試驗較為簡單，因此各井在營運前均透過單井抽水(試水)試驗取

得現地透水係數。而儲水係數部分，則由於雙井試驗較為複雜，因此並非所有觀測井均有現地試驗值，如加上本計畫本年度於彭厝(1)完成之雙井試驗，亦僅有七口水井有現地試驗值，其數值列於表 5.4-1(以※符號標註)。

其餘水井之儲水係數必須藉由現有的試驗值，搭配經驗判斷加以補齊。首先，針對其餘水井以拘限與非拘限進行分類。其次，水井之儲水係數以同分類水井之試驗平均值給定，拘限水井包含內埔(1)、內埔(2)、海豐(2)、潮寮(2)、潮寮(3)、關福(2)、旗山(2)、大樹(2)、大樹(3)與大樹(4)，其試驗值分布於 4.29×10^{-5} 至 1.55×10^{-3} 之間，其平均值為 5.14×10^{-4}，其餘水井即直接給予 5.14×10^{-4}；非拘限水層儲水係數試驗值從 0.07 至 0.23 之間變化，平均值為 0.16，即以平均值給定。

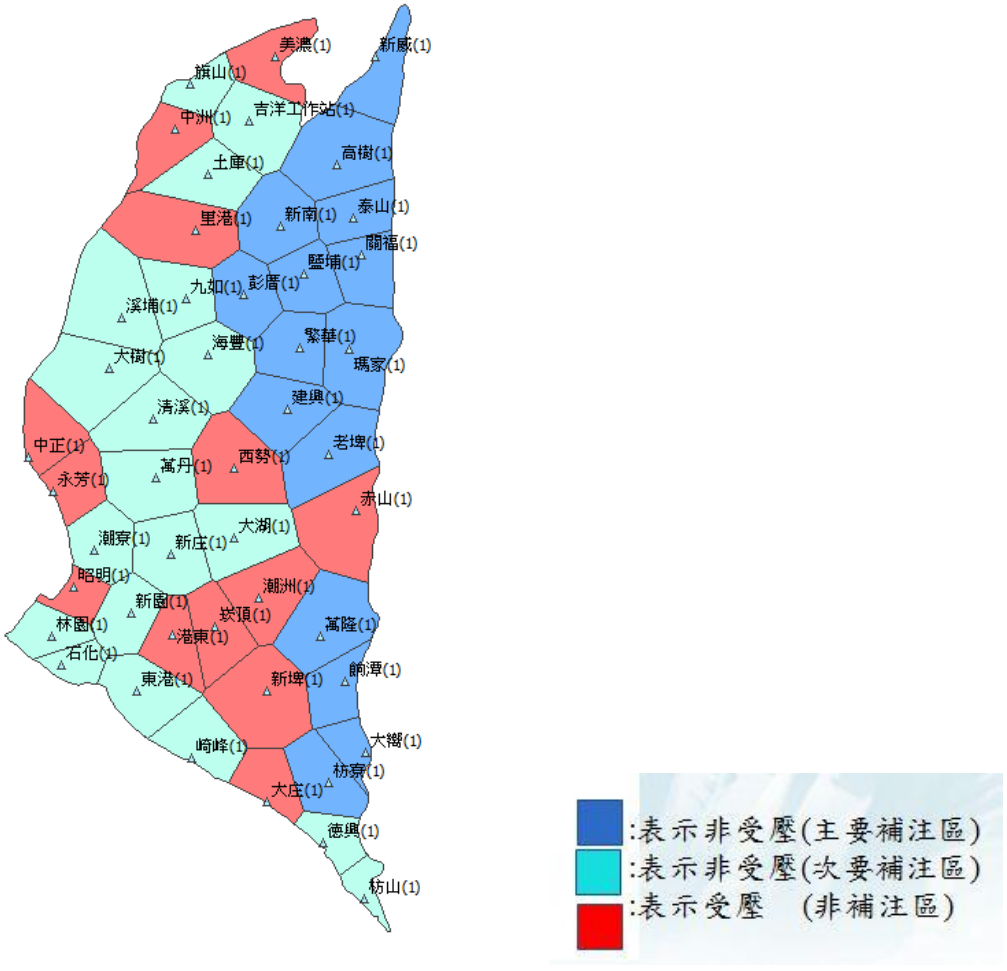


圖 5.4-1 淺層地下水觀測井分布與徐昇氏多邊形

表 5.4-1 屏東平原淺層觀測井列表(47 口井)

井號	井名	儲水係數(-)	控制面積(m^2)	透水係數(m/day)	含水層種類 (0:非受壓;1:受壓)
12010111	中正(1)	0.000514	20427849.1	9.32832	1
12020111	石化(1)	0.16	11273894.1	14.6736	0
12020211	林園(1)	0.16	16634660.7	23.2416	0
12030111	潮寮(1)	※0.071	22423733.4	189.216	0
12030211	永芳(1)	0.000514	18626625.3	45.4464	1
12030311	昭明(1)	0.000514	11637166.7	0.154656	1
12040111	溪埔(1)	0.16	43926003	60.6528	0
12040311	大樹(1)	※0.188	40774318	51.5808	0
12190111	中洲(1)	0.000514	22542885	18.4032	1
12190211	旗山(1)	※0.193	13996845.7	50.112	0
12200111	吉洋工作站(1)	0.16	31686171.4	84.672	0
12200211	美濃(1)	0.000514	22067446.4	1.728	1
12210111	新威(1)	0.006	21755176.9	0.0059962	0
13010111	清溪(1)	0.16	33484605.9	16.416	0
13010211	海豐(1)	※0.239	34116340.6	231.552	0
13020111	潮洲(1)	0.000514	30486432.9	148.608	1
13030211	東港(1)	0.16	27891154.2	58.4064	0
13050111	新庄(1)	0.16	27988722.5	30.0672	0
13050211	萬丹(1)	0.16	33213049.9	23.5872	0
13060111	繁華(1)	※0.15	24012717.3	93.312	0
13080111	九如(1)	0.16	24488526.8	25.7472	0
13090111	土庫(1)	0.16	26458621.5	123.8688	0
13090211	里港(1)	0.16	42223156.9	48.1248	0
13100111	鹽埔(1)	0.16	21955445.3	171.936	0
13100211	彭厝(1)	※0.1287	24506579.4	88.128	0
13110111	高樹(1)	0.16	42638016.4	48.0384	0
13110211	泰山(1)	0.16	20689272.1	32.6592	0
13110311	新南(1)	0.16	29535189.5	91.584	0
13110411	關福(1)	※0.123	22306339.1	33.8688	0
13120211	赤山(1)	0.000514	36360627.3	6.44544	1
13130111	建興(1)	0.16	29987463.2	75.8592	0
13130311	老埤(1)	0.16	35289795.3	65.5776	0
※：代表為現地複井試驗成果					

井號	井名	儲水係數(-)	控制面積(m^2)	透水係數(m/day)	含水層種類 (0:非受壓;1:受壓)
13140111	西勢(1)	0.16	36729856	7.13664	0
13140211	大湖(1)	0.16	33064315	104.544	0
13150111	新埤(1)	0.000514	42245061.7	11.4912	1
13150211	萬隆(1)	0.16	31797878	166.752	0
13150321	大嚮(1)	0.16	10773819.6	89.32608	0
13150411	餉潭(1)	0.16	18647831.7	68.9472	0
13160211	枋寮(1)	0.16	25120358.9	507.168	0
13160311	大庄(1)	0.000514	17842331.6	3.7584	1
13160411	德興(1)	0.16	13698809.5	53.8272	0
13170111	新園(1)	0.16	22358802	63.504	0
13180111	崁頂(1)	0.000514	23478693.7	7.27488	1
13180211	港東(1)	0.000514	19833785.2	19.0944	1
13190111	崎峰(1)	0.16	23939728	33.264	0
13250111	枋山(1)	0.16	8662258.57	24.7104	0
13280111	瑪家(1)	0.16	36668135.8	65.4048	0
※：代表為現地複井試驗成果					

5.4.1 退水線判斷

本計畫以 Fortran 電腦程式語言建立水位歷線法之電腦程式，在執行上本程式可以逐站計算各站的抽水量、補注量與流出量等資訊，再進一步加總累計成全區之抽水量、補注量與流出量等；除此之外，本程式亦可直接以全區之儲蓄水量歷線進行計算。計算上，首先必須依據各水井之退水線，求得各水井控制範圍之平均抽水率。本研究在此以人工方式預先判斷，並可一併針對現地資料進行檢視與分析。觀察區域內各水井之水位歷線，可將水位歷線變化分類為以下二大類，如下所示：

1、枯水期退水線：於枯水期間，約十月至隔年一、二月間，其水位歷線筆直地向下遞減，如圖 5.4-2 所示，大樹(1)於 2008 年間底至隔年年初，即為此類退水線，在此稱之為枯水期退水線。

2、一期稻作退水線：除了枯水期退水線外，部分水井在三月至四月期間，亦有另一條退水線存在，且其退水線斜率比枯水期退水線更陡，如圖 5.4-3 所示，美濃(1)於 2001 年初即具備所述之退水線。該段時間為一期稻作期間，由於水稻需要大量水源供灌溉使用，亦即透過該退水線，亦可決定稻作所需之水量。

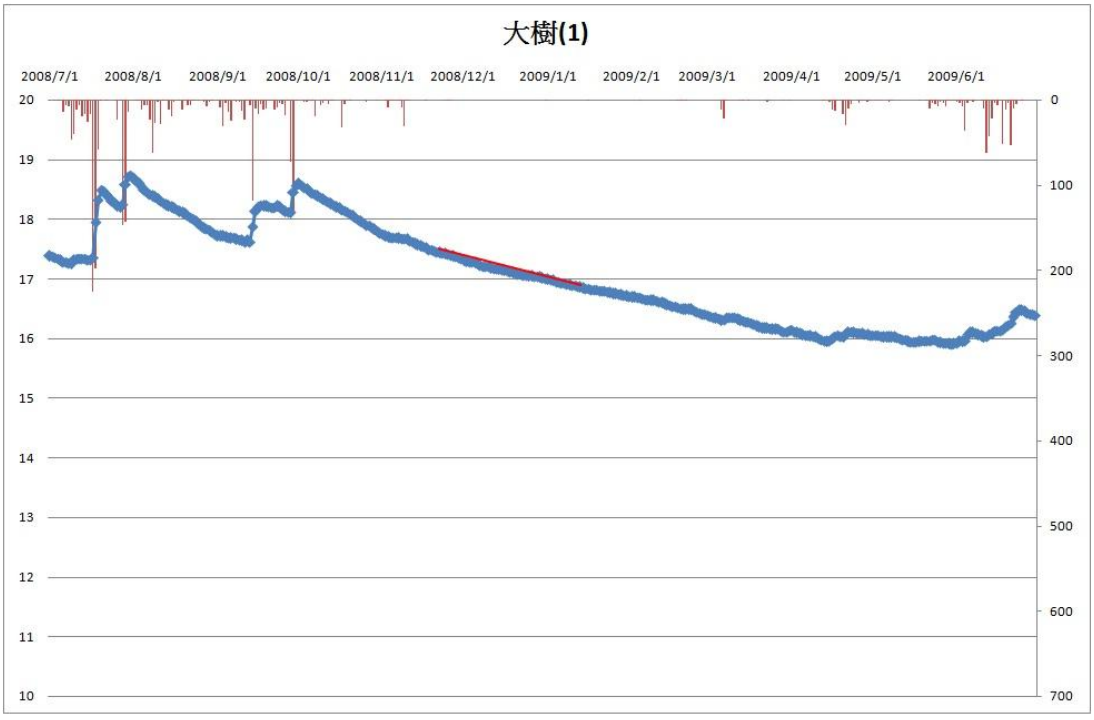


圖 5.4-2 水位歷線及枯水期退水線圖(大樹(1))

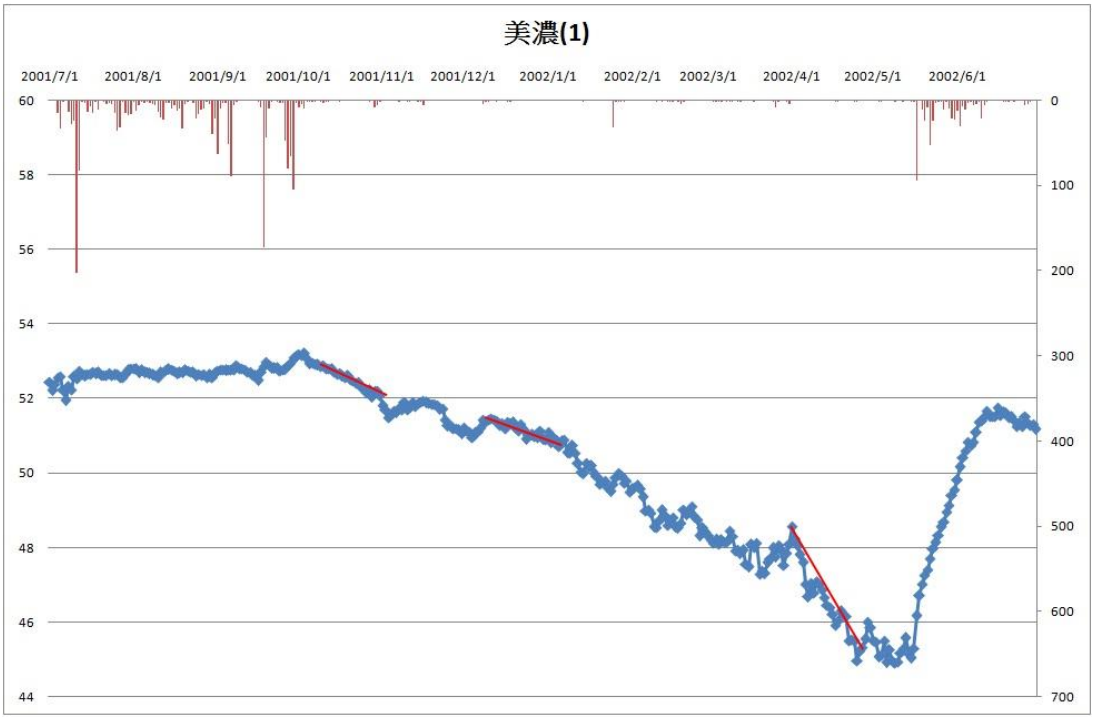


圖 5.4-3 水位歷線、枯水期及一期稻作退水線圖(美濃(1))

表 5.4-2 屏東平原淺層水井枯水期退水線列表

井號	井名	1999	2000	2001	2002	2003	2004
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
13080111	九如(1)	1999/10/17,1999/12/3	2000/11/7,2001/1/25	2001/10/4,2002/1/15	2002/9/22,2002/12/18	2003/11/3,2004/1/15	2004/9/29,2004/11/28 2004/12/8,2005/2/16
		2005/10/12,2005/12/29	2006/9/26,2006/11/18	2007/10/12,2007/11/26	2008/11/5,2009/12/27	2009/10/8,2009/11/25	2010/10/23,2010/12/5
13160311	大庄(1)	1999/10/21,2000/1/5	2000/11/3,2000/11/18 2000/1214,2001/1/10	2001/10/8,2001/11/4	2002/10/30,2002/11/18	2003/12/28,2004/3/3	2004/12/9,2005/3/12
		2005/10/6,2006/3/2	2006/11/1,2007/2/6	2007/1012,2007/11,19 2007/12/3,2008/2/14	2008/10/17,2008/11/5	2009/10/9,2010/5/26	2010/10/23,2010/11/27
13140211	大湖(1)	1999/10/20,2000/1/28	2000/11/2,2001/1/24	2001/10/12,2001/12/15	2002/12/28,2003/1/5	2003/11/4,2004/2/11	2004/10/3,2004/12/1
		2005/10/12,2005/12/26	2006/9/27,2006/12/12	2007/10/16,2007/11/24	2008/11/11,2009/1/1	2009/10/6,2010/1/23	2010/10/25,2010/11/29
12040311	大樹(1)	1999/10/29,1999/11/28 1999/12/16,2000/2/17	2000/11/15,2001/1/9	2001/10/3,2002/12/20	2002/9/26,2002/12/8	2003/11/5,2004/2/2	2004/9/28,2004/12/1
		2005/10/12,2005/1/22	2006/9/24,2006/11/26	2007/10/8,2007/12/24	2008/11/9,2009/3/4	2009/10/6,2010/4/22	2010/10/25,2010/12/31
13090211	里港(1)	1999/10/18,1999/12/1	2000/11/4,2001/1/18	2001/11/14,2001/12/21	2002/10/15,2002/12/15	2003/11/6,2004/1/31	2004/9/29,2004/11/30
		2005/10/11,2005/11/20	2006/10/1,2006/11/20	2007/10/7,2007/11/24	2008/11/10,2008/12/1	2009/10/13,2010/1/18	2010/10/25,2010/12/31
13150311	大響(1)	1999/10/21,2000/1/30	2000/11/3,2001/1/26	2001/10/24,2002/1/24	2002/9/15,2002/12/19	2003/11/6,2004/1/28	2004/10/1,2004/11/28
		2005/10/7,2006/1/12	2006/10/1,2007/1/3	2007/12/1,2008/1/2	2008/11/10,2009/1/12	2009/10/10,2010/1/23	2010/10/26,2010/12/31
12030211	永芳(1)	1999/10/20,2000/2/4	2000/9/26,2001/1/27	2001/10/1,2002/1/20	2002/9/18,2003/1/3	2003/11/3,2004/1/16	2004/9/29,2005/1/3
		2005/10/11,2005/12/23	2006/9/30,2007/1/2	2007/10/8,2008/1/11	2008/11/10,2008/12/22	2009/10/12,2009/12/15	2010/10/30,2010/12/1
12200111	吉洋工作站(1)	1999/10/18,2000/2/4	2000/9/29,2000/10/25	2001/10/3,2002/5/03	2002/10/2,2002/12/15	2003/11/4,2004/2/4	2004/9/24,2004/11/26
		2005/10/13,2006/3/20	2006/9/25,2007/3/5	2007/10/11,2008/3/20	2008/11/9,2009/4/12	2009/10/10,2010/2/8	2010/10/26,2010/12/31

(續前頁)

井號	井名	1999	2000	2001	2002	2003	2004
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1314 0111	西勢(1)	1999/12/19,2000/2/2	2000/11/12,2001/1/10	2001/10/14,2002/1/21	2002/10/15,2002/12/18	2003/11/6,2004/3/23	2004/9/26,2004/11/29
		2005/10/12,2005/12/25	2006/11/23,2006/12/8	2007/10/22,2007/11/24	2008/11/18,2009/2/26	2009/12/25,2010/4/13	2010/10/27,2010/12/31
1303 0211	東港(1)	1999/11/4,2000/1/3	2000/11/9,2000/12/12	2001/10/9,2002/12/15	2002/10/10,2002/10/30	2003/11/3,2004/1/8	2004/10/17,2004/11/14
		2005/10/6,2005/11/6	2006/10/5,2006/12/11	2007/11/15,2007/12/24	2008/11/15,2009/1/24	2009/10/7,2009/11/8	2010/11/1,2010/12/4
1316 0211	枋寮(1)	1999/10/21,2000/2/5	2000/11/6,2001/3/26	2001/10/6,2001/1/24	2002/10/3,2002/12/18	2003/11/2,2004/4/7	2004/10/9,2004/11/30
		2005/10/12,2006/4/12	2006/10/6,2007/3/25	2007/1012,2007/11,21	2008/11/10,2009/3/5	2009/10/15,2010/4/23	2010/10/27,2010/12/31
1202 0211	林園(1)	1999/10/20,2000/1/10	2000/11/2,2001/1/14	2001/10/14,2001/12/31	2002/10/8,2002/12/15	2003/11/4,2004/1/10	2004/10/6,2004/12/1
		2005/10/2,2006/1/12	2006/9/22,2006/12/4	2007/10/8,2007/11/18	2008/11/9,2009/1/13	2009/10/7,2010/1/2	2010/10/27,2010/12/31
1309 0111	土庫(1)	1999/10/22, 2000/2/18	2000/11/5,2001/1/17	2001/10/31,2002/5/5	2002/9/8,2002/12/30	2003/11/4,2004/3/21	2004/10/1,2004/12/1
		2005/10/7,2006/3/12	2006/10/22,2007/5/6	2007/11/28,2008/5/12	2008/11/12,2009/3/1	2009/10/7,2010/4/21	2010/10/26,2010/12/8
1202 0111	石化(1)	1999/10/20, 2000/3/1	2000/11/2,2001/3/19	2001/10/11,2002/1/8	2002/9/11,2003/3/5	2003/12/15,2004/3/25	2004/9/29,2004/11/26
		2005/10/6,2006/4/5	2006/9/23,2007/2/20	2007/10/10,2008/3/16	2008/11/16,2009/2/10	2009/11/7,2010/2/1	2010/10/31,2010/12/31
1313 0111	建興(1)	1999/10/25, 2000/3/25	2000/11/5,2001/3/22	2001/10/4,2002/1/21	2002/10/14,2002/12/15	2003/11/25,2004/1/18	2004/9/29,2004/12/1
		2005/10/11,2006/4/8	2006/9/29,2007/5/20	2007/10/10,2008/5/16	2008/11/11,2009/3/4	2009/10/5,2010/4/18	2010/10/27,2010/12/31
1203 0311	昭明(1)	1999/10/20, 2000/4/16	2000/11/7,2001/3/19	2001/10/5,2002/1/24	2002/10/16,2002/12/1	2003/11/5,2004/1/17	2004/12/5,2005/2/13
		2005/10/10,2005/11/15	2006/10/6,2006/12/20	2007/10/7,2007/12/20	2008/11/9,2009/1/4	2009/10/11,2010/4/12	2010/10/27,2010/12/3

(續前頁)

井號	井名	1999	2000	2001	2002	2003	2004
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1201 0111	中正(1)	1999/10/23, 1999/11/13	2000/11/27,2000/12/7	2001/12/18,2001/12/30	2002/11/10,2002/11/16	2003/12/3,2003/12/14	2004/10/25,2004/11/28
		2005/12/4,2006/1/13	2006/9/24,2007/5/11	2007/10/24,2007/11/2	2008/11/10,2009/3/5	2009/10/12,2009/11/15	2010/10/24,2010/11/30
1313 0311	老埤(1)	1999/10/24, 2000/4/4	2000/11/7,2001/5/16	2001/10/3,2002/5/8	2002/10/17,2003/5/14	2003/11/4,2004/3/21	2004/9/25,2005/2/11
		2005/10/20,2006/4/6	2006/9/24,2007/3/26	2007/10/10,2008/4/5	2008/11/10,2009/4/8	2009/10/12,2010/4/22	2010/10/26,2010/12/31
1312 0211	赤山(1)	1999/10/22, 2000/3/26	2000/11/13,2001/3/18	2001/10/9,2002/5/10	2002/10/17,2003/2/28	2003/11/24,2004/3/19	2004/10/5,2005/2/10
		2005/10/15,2006/3/21	2006/10/17,2007/3/18	2007/10/7,2008/5/19	2008/11/8,2009/4/9	2009/10/9,2010/2/17	2010/10/28,2010/12/31
1220 0211	美濃(1)	1999/10/22, 1999/11/26	2000/11/6,2000/12/29	2001/10/1,2002/1/23	2002/10/17,2002/12/19	2003/11/3,2004/2/2	2004/9/27,2004/11/26
		2005/10/15,2006/2/17	2006/10/14,2006/12/18	2007/10/7,2008/1/5	2008/11/8,2009/1/2	2009/10/13,2010/1/25	2010/10/27,2010/12/31
1318 0111	崁頂(1)	1999/10/15, 1999/11/22	2000/11/4,2000/11/29	2001/10/14,2001/11/10 2001/12/11,2002/1/13	2002/10/7,2002/11/11	2003/11/3,2004/3/10	2004/12/5,2005/1/7
		2005/10/12,2005/11/8	2006/10/24,2007/2/18	2007/10/10,2007/10/25	2008/11/10,2008/12/12	2009/10/6,2009/11/2	2010/10/26,2010/11/12
13110 211	泰山(1)	1999/10/16, 2000/3/7	2000/11/14,2001/3/23	2001/10/4,2002/5/11	2002/10/16,2003/3/5	2003/11/3,2004/5/11	2004/10/1,2004/11/29
		2005/10/10,2006/4/4	2006/10/4,2007/05/12	2007/10/14,2008/5/21	2008/10/19,2009/4/12	2009/10/9/2010/5/15	2010/10/28,2010/12/31
1301 0211	海豐(1)	1999/10/19, 2000/4/1	2000/11/5,2001/5/15	2001/10/18,2002/5/8	2002/10/7,2002/12/15	2003/11/4,2004/5/12	2004/10/2,2004/12/2
		2005/11/24,2006/3/28	2006/10/8,2007/5/5	2007/11/30,2008/5/15	2008/11/12,2009/3/5	2009/10/10,2010/5/19	2010/10/28,2010/12/31
13110 111	高樹(1)	1999/10/21,2000/2/20	2000/11/12,2001/3/22	2001/10/11,2002/3/18	2002/10/17,2003/4/4	2003/11/3,2004/3/22	2004/10/3,2005/2/12
		2005/10/15,2006/4/10	2006/9/27,2007/5/10	2007/10/15,2008/5/11	2008/11/10,2009/4/6	2009/10/19,2010/5/7	2010/10/26,2010/12/31

(續前頁)

井號	井名	1999	2000	2001	2002	2003	2004
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1319 0111	崎峰(1)	1999/10/20,1999/12/30	2000/11/15,2000/12/19	2001/10/12,2002/1/19	2002/9/24,2003/1/19	2003/11/3,2004/3/13	2004/10/24,2004/11/28
		2005/12/2,2006/3/28	2006/10/4,2007/2/12	2007/10/12,2008/3/11	2008/11/25,2009/3/22	2009/10/9,2010/2/9	2010/10/29,2010/11/11
1301 0111	清溪(1)	1999/10/22,2000/3/29	2000/11/3,2001/5/14	2001/10/8,2002/1/18	2002/10/10,2003/5/17	2003/11/4,2004/5/14	2004/10/24,2005/2/18
		2005/10/2,2006/4/10	2006/9/22,2007/3/21	2007/10/13,2008/5/16	2008/11/13,2009/3/2	2009/10/7,2010/5/16	2010/10/26,2010/12/31
1310 0211	彭厝(1)	1999/10/18,2000/3/27	2000/11/2,2001/3/8	2001/10/6,2002/5/15	2002/10/16,2003/5/28	2003/11/5,2004/5/13	2004/9/30,2004/11/30
		2005/10/7,2006/4/5	2006/9/27,2007/5/6	2007/10/11,2008/5/17	2008/11/12,2009/4/11	2009/10/7,2010/4/5	2010/10/27,2010/12/31
1318 0211	港東(1)	1999/10/21,1999/11/28	2000/11/4,2001/1/5	2001/10/8,2002/1/14	2002/10/6,2002/12/19	2003/11/5,2004/1/2	2004/12/5,2005/1/7
		2005/10/5,2006/1/17	2006/9/30,2007/1/5	2007/10/14,2008/1/13	2008/11/14,2009/1/16	2009/10/17,2010/1/17	2010/10/26,2010/12/31
1305 0111	新庄(1)	1999/10/19,2000/1/19	2000/11/6,2001/1/9	2001/10/4,2002/1/19	2002/10/15,2002/12/17	2003/11/8,2004/1/7	2004/9/29,2004/12/3
		2005/10/5,2006/1/12	2006/9/27,2007/1/11	2007/10/11,2008/1/24	2008/11/10,2009/1/14	2009/10/19,2010/1/23	2010/10/26,2010/12/31
13110 311	新南(1)	1999/10/18,2000/3/30	2000/11/3,2001/5/13	2001/10/5,2002/5/11	2002/10/18,2003/6/1	2003/11/5,2004/5/11	2004/12/4,2005/5/1
		2005/10/9,2006/4/3	2006/9/24,2007/5/12	2007/11/27,2008/5/14	2008/11/12,2009/4/12	2009/10/9,2010/5/15	2010/10/26,2010/12/31
1221 0111	新威(1)	1999/11/30,1999/12/4	2000/10/30,2000/11/8	2001/10/5,2001/10/25	2002/11/16,2002/11/26	2003/11/1,2003/11/12	2004/10/22,2004/10/30 2004/12/20,2004/12/28
		2005/11/15,2005/11/28 2005/12/11,2005/12/18	2006/10/30,2006/11/14	2007/10/10,2007/10/31	2008/12/3,2009/1/29	2009/12/5,2010/1/17	2010/11/10,2010/12/31
1315 0111	新埤(1)	1999/10/18,1999/11/23	2000/11/1,2000/12/11	2001/10/4,2001/11/6	2002/10/5,2002/11/12	2003/10/13/2003/10/29	2004/10/1,2004/11/22
		2005/10/9,2005/11/9	2006/11/2,2006/11/17	2007/10/11,2007/10/30	2008/11/10,2009/2/24	2009/10/12,2010/4/22	2010/10/26,2010/12/31

(續前頁)

井號	井名	1999	2000	2001	2002	2003	2004
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1317 0111	新園(1)	1999/10/28,2000/2/5	2000/11/9,2001/1/22	2001/10/8,2002/1/16	2002/10/4,2002/12/16	2003/11/23,2004/3/28	2004/10/11,2004/12/1
		2005/10/19,2006/3/2	2006/10/3,2007/3/21	2007/10/15,2008/2/1	2008/11/12,2009/3/1	2009/10/11,2010/2/2	2010/10/26,2010/12/31
1204 0111	溪埔(1)	1999/10/21,2000/3/2	2000/11/13,2001/3/16	2001/10/14,2002/5/8	2002/10/9,2003/5/30	2003/11/3,2004/4/5	2004/10/3,2005/2/8
		2005/10/10,2006/4/11	2006/10/1,2007/3/9	2007/10/16,2008/5/13	2008/11/10,2009/2/27	2009/10/18,2010/3/15	2010/10/26,2010/12/31
1305 0211	萬丹(1)	1999/10/22,2000/4/1	2000/11/7,2001/5/12	2001/10/9,2002/5/10	2002/10/14,2003/6/1	2003/11/23,2004/5/10	2004/10/13,2005/4/8
		2005/10/8,2006/4/10	2006/9/28,2007/5/9	2007/10/13,2008/5/16	2008/11/10,2009/5/15	2009/10/14,2010/4/26	2010/10/26,2010/12/31
1315 0211	萬隆(1)	1999/10/24,2000/3/23	2000/11/17,2001/3/21	2001/10/9,2002/5/1	2002/10/15,2003/5/7	2003/11/13,2004/5/8	2004/12/13,2005/5/6
		2005/10/17,2006/4/7	2006/9/25,2007/4/28	2007/10/13,2007/11/23 2007/12/5,2008/5/14	2008/11/12,2009/4/16	2009/10/16,2010/5/2	2010/10/26,2010/12/31
1219 0211	旗山(1)	1999/10/24,2000/2/2	2000/11/7,2001/3/17	2001/10/13,2002/1/23	2002/10/14,2002/12/8	2003/11/2,2004/3/20	2004/10/5,2005/2/12
		2005/10/11,2005/12/7	2006/9/28,2007/3/30	2007/10/14,2008/3/2	2008/11/10,2009/3/1	2009/10/13,2010/3/20	2010/10/26,2010/12/31
1328 0111	瑪家(1)	1999/10/25,2000/3/9	2000/12/14,2001/3/21	2001/10/9,2002/5/6	2002/10/15,2003/4/15	2003/11/26,2004/3/31	2004/10/5,2004/12/1
		2005/10/17,2006/4/3	2006/10/11,2007/5/13	2007/11/28,2008/4/15	2008/11/13,2009/3/1	2009/10/11,2010/5/22	2010/10/26,2010/12/31
1315 0411	餉潭(1)	1999/10/27,2000/4/1	2000/12/1,2001/3/19	2001/10/16,2002/5/1	2002/10/16,2003/4/29	2003/11/18,2004/5/5	2004/10/4,2004/11/30 2004/12/17,2005/5/2
		2005/11/21,2006/4/7	2006/10/3,2007/5/13	2007/12/9,2008/5/19	2008/11/15,2009/4/3	2009/10/15,2010/5/24	2010/10/26,2010/12/31
1316 0411	德興(1)	1999/11/5,1999/12/29	2000/11/7,2001/1/19	2001/11/13,2001/11/24	2002/11/3,2002/12/15	2003/11/3,2004/2/3	2004/10/4,2004/11/29
		2005/10/7,2005/12/20	2006/10/5,2007/2/11	2007/11/29,2008/3/10	2008/11/12,2009/1/27	2009/10/16,2010/1/4	2010/10/27,2010/11/22

(續前頁)

井號	井名	1999	2000	2001	2002	2003	2004
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
13020111	潮州(1)	1999/10/21,2000/1/10	2000/11/18,2001/1/26	2001/10/16,2002/1/15	2002/10/22,2002/11/13	2003/11/5,2004/1/18	2004/10/27,2004/11/22
		2005/11/25,2006/2/5	2006/10/13,2006/12/18	2007/11/29,2008/1/26	2008/11/12,2009/1/23	2009/10/6,2009/11/9	2010/10/26,2010/12/31
12030111	潮寮(1)	1999/10/22,2000/3/30	2000/11/4,2001/1/25	2001/10/6,2002/1/19	2002/10/8,2002/12/8	2003/10/15,2003/11/21	2004/10/2,2004/12/1
		2005/10/11,2006/3/4	2006/9/24,2007/3/21	2007/10/16,2008/5/8	2008/11/9,2009/2/20	2009/10/5,2010/2/10	2010/10/26,2010/12/31
13060111	繁華(1)	1999/10/21,2000/4/12	2000/11/4,2001/5/14	2001/10/10,2002/5/12	2002/10/13,2003/5/31	2003/11/1,2004/5/20	2004/10/5,2005/5/6
		2005/10/4,2006/4/2	2006/10/5,2007/5/6	2007/10/19,2008/4/25	2008/11/11,2009/4/13	2009/10/8,2010/5/17	2010/10/26,2010/12/31
13110411	關福(1)	1999/10/20,2000/3/27	2000/11/16,2001/4/20	2001/10/15,2002/5/12	2002/10/17,2003/6/2	2003/11/21,2004/5/12	2004/12/12,2005/4/20
		2005/10/12,2006/3/26	2006/10/17,2007/4/28	2007/11/28,2008/4/12	2008/11/9,2009/4/9	2009/10/9,2010/5/19	2010/10/26,2010/12/31
13100111	鹽埔(1)	1999/10/19,2000/4/1	2000/11/11,2001/4/29	2001/10/13,2002/5/10	2002/10/18,2003/5/25	2003/11/7,2004/5/7	2004/12/15,2005/4/15
		2005/10/9,2006/4/2	2006/10/10,2007/5/12	2007/12/1,2008/5/8	2008/11/9,2009/4/2	2009/10/12,2010/5/19	2010/10/28,2010/12/31
13250111	枋山(1)	1999/10/21,2000/1/15	2000/11/17,2001/1/22	2001/10/12,2001/12/25	2002/9/30,2002/12/5	2003/11/4,2004/2/2	2004/10/2,2004/12/1
		2005/10/5,2006/1/18	2006/10/1,2007/2/1	2007/11/29,2008/1/8	2008/11/11,2009/2/2	2009/10/9,2010/1/18	2010/10/27,2010/12/31

表 5.4-3 屏東平原地下水井一期稻作退水線列表

井號	井名	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1220 0211	美濃(1)	1999/3/23,1999/4/10	2000/1/24,2000/2/17	2001/1/17,2001/1/25	2002/4/1,2002/4/25	2003/3/9,2003/4/3	2004/4/18,2004/5/05
		2005/4/3,2005/4/11	2006/3/2,2006/3/20	2007/3/8,2007/3/21	2008/4/1,2008/4/8	2009/3/31,2009/4/15	2010/4/27,2010/5/2
1302 0111	潮州(1)	1999/3/24,1999/3/29	2000/4/16,2000/420	2001/3/14,2001/3/25	2002/3/2,2002/3/9	2003/2/13,2003/2/18	2004/3/4,2004/3/9
		2005/3/3,2005/3/7	2006/3/7,2006/3/13	2007/4/19,2007/4/28	2008/4/2,2008/4/20	2009/3/12,2009/3/23	2010/4/30,2010/5/21
1315 0111	新埤(1)			2001/4/14,2004/4/22	2002/2/21,2002/3/21	2003/3/10,2003/3/17	2004/3/31,2004/4/7
		2005/2/28,2005/3/10	2006/3/1,2006/3/9	2007/4/7,2007/4/15	2008/3/26,2008/4/6	2009/3/12,2009/3/19	2010/5/2,2010/5/13
1318 0111	崁頂(1)		2000/2/6,2000/2/15	2001/3/11,2001/3/22	2002/4/1,2002/4/9	2003/3/10,2003/3/18	2004/4/20,2004/5/4
		2005/4/1,2005/4/11	2006/3/3,2006/3/12	2007/4/4,2007/4/29	2008/4/1,2008/4/8	2009/3/9,2009/3/22	2010/5/1,2010/5/16
1318 0211	港東(1)					2003/3/12,2003/4/3	2004/4/9,2004/4/14
		2005/4/1,2005/4/10	2006/3/3,2006/3/10	2007/3/8,2007/3/15	2008/3/25,2008/4/20	2009/3/11,2009/3/18	2010/1/4,2010/1/17

5.4.2 水位歷線法分析結果

本計畫應用之水位歷線法包含了水平流通量之計算，表 5.4-4 為系統水平衡分析表。分析十二年中相對豐水年(2005)之年雨量為 3411(mm)，相對枯水年(2002)之年雨量為 1360(mm)，而所對應 2005 年之補注量為 18.99 億噸、抽水量為 10.65 億噸，2002 年之補注量為 11.28 億噸、抽水量為 11.89 億噸，十二年之平均年補注量為 15.05 億噸、年抽水量約 11.01 億噸。表 5.4-5 為各站平均年補注量之排序可發現補注量大者均為上游的區域。另外表 5.4-6 為單位面積年補注量之排序配合，圖 5.4-5 看出高補注區域的範圍。圖 5.4-6 為單位面積年抽水量區域，抽水量主要分佈靠近東北高補注區域及東南高補注區域，圖表 5.4-7 為各井枯水期與一期稻作退水線斜率列表，顯示退水線斜率較陡者為關福(1)、萬隆(1)、大嚮(1) 、高樹(1)與餉潭(1)，其斜率分別為-0.143、-0.129、-0.121、-0.108 與-0.1(m/day)。如圖 5.4-4 顯示了退水斜率大小的分佈情況，退水線的大小代表該區域水位枯水期下降的快慢，顯示上游各水井在枯水期時其水位與豐水期水位會有相當的差距。

表 5.4-8 為各徐昇氏多邊形的的平均年水平淨交換量列表，其平均年水平淨交換量約在正負數百萬噸間，圖 5.4-7 是以顏色呈現紅色代表正交換量與綠色代表負交換量，圖中顯示負交換量多邊形多位於上游處，負交換量表示水量向外流出，符合上游往下游流動之特性。顯示出上游區域多為側向流出，下游區域多為側向流入，此與上游區域為主要補注區之結論相符。

表 5.4-4 系統水平衡分析表

年份	年儲蓄改變量	年抽水量	年補注量	年流出量	降雨量
1999	0.23	10.28	15.14	4.63	2752
2000	0.16	11.23	13.18	1.80	2320
2001	0.34	10.28	18.21	7.59	3067
2002	-2.49	11.89	11.28	1.89	1360
2003	1.33	11.24	13.20	0.64	1727
2004	0.37	11.31	13.65	1.96	1765
2005	0.53	10.65	18.99	7.81	3411
2006	-0.71	11.14	14.86	4.43	2584
2007	2.06	10.91	17.30	4.33	2902
2008	-0.35	11.00	17.05	6.40	3086
2009	-1.45	11.57	13.71	3.58	2215
2010	0.71	10.60	14.02	2.72	2753
平均	0.06	11.01	15.05	3.98	2526
水量單位：10^8 (m^3)；降雨量單位：(mm)					

表 5.4-5 各井平均年補注量排序列表

順位	井名	儲水係數	平均年抽水量 ($10^6 m^3$/year)	平均年補注量 ($10^6 m^3$/year)
1	高樹(1)	0.16	140.53	174.79
2	萬隆(1)	0.16	127.76	119.18
3	關福(1)	0.123	76.04	113.13
4	瑪家(1)	0.16	80.09	104.13
5	餉潭(1)	0.16	58.11	96.57
6	大響(1)	0.16	40.53	77.97
7	泰山(1)	0.16	65.76	74.92
8	枋寮(1)	0.16	59.54	60.81
9	新南(1)	0.16	29.77	58.25
10	建興(1)	0.16	36.67	50.95
11	吉洋工作站(1)	0.16	41.32	50.00
12	海豐(1)	0.239	16.78	48.62
13	鹽埔(1)	0.16	36.74	48.26
14	大湖(1)	0.16	7.03	43.96

15	老埤(1)	0.16	29.32	43.84
16	溪埔(1)	0.16	34.18	42.72
17	大樹(1)	0.188	26.60	32.04
18	里港(1)	0.16	29.38	29.58
19	繁華(1)	0.15	33.03	28.11
20	土庫(1)	0.16	25.25	23.78
21	東港(1)	0.16	5.33	22.15
22	崎峰(1)	0.16	7.06	19.64
23	清溪(1)	0.16	9.17	18.72
24	九如(1)	0.16	17.28	18.56
25	萬丹(1)	0.16	11.57	15.81
26	新園(1)	0.16	7.79	15.47
27	旗山(1)	0.193	13.72	13.41
28	新庄(1)	0.16	9.56	11.09
29	枋山(1)	0.16	5.81	11.08
30	彭厝(1)	0.129	11.41	8.16
31	林園(1)	0.16	5.46	7.42
32	德興(1)	0.16	2.04	7.10
33	潮寮(1)	0.071	5.46	4.89
34	石化(1)	0.16	2.69	4.43
35	新威(1)	0.006	0.80	2.24
36	崁頂(1)	0.000514	0.21	1.24
37	永芳(1)	0.000514	0.02	0.92
38	美濃(1)	0.000514	0.21	0.42
39	新埤(1)	0.000514	0.34	0.33
40	中正(1)	0.000514	0.17	0.05
41	赤山(1)	0.000514	0.18	0.04
42	大庄(1)	0.000514	0.05	0.04
43	昭明(1)	0.000514	0.02	0.03
44	潮洲(1)	0.000514	0.45	0.03
45	中洲(1)	0.000514	0.04	0.01
46	西勢(1)	0.000514	0.04	0.01
47	港東(1)	0.000514	0.06	0.00
				年份：1999~2010 年

表 5.4-6 單位面積平均年補注量排序列表

順位	井名	控制面積 (m^2)	單位面積抽水量(m/year)	單位面積補注量(m/year)
1	大嚮(1)	10773819.6	3.7616	7.2366
2	餉潭(1)	18647831.7	3.1163	5.1785
3	關福(1)	22306339.1	3.4089	5.0714
4	高樹(1)	42638016.4	3.2958	4.0994
5	萬隆(1)	31797878.0	4.0179	3.7481
6	泰山(1)	20689272.1	3.1783	3.6213
7	瑪家(1)	36668135.8	2.1842	2.8398
8	枋寮(1)	25120358.9	2.3703	2.4207
9	鹽埔(1)	21955445.3	1.6734	2.1979
10	新南(1)	29535189.5	1.0080	1.9723
11	建興(1)	29987463.2	1.2229	1.6992
12	吉洋工作站(1)	31686171.4	1.3039	1.5779
13	海豐(1)	34116340.6	0.4917	1.4251
14	大湖(1)	33064315.0	0.2125	1.3295
15	枋山(1)	8662258.6	0.6708	1.2793
16	老埤(1)	35289795.3	0.8309	1.2424
17	繁華(1)	24012717.3	1.3756	1.1708
18	溪埔(1)	43926003.0	0.7782	0.9726
19	旗山(1)	13996845.7	0.9804	0.9577
20	土庫(1)	26458621.5	0.9543	0.8988
21	崎峰(1)	23939728.0	0.2948	0.8203
22	東港(1)	27891154.2	0.1912	0.7941
23	大樹(1)	40774318.0	0.6524	0.7858
24	九如(1)	24488526.8	0.7056	0.7578
25	里港(1)	42223156.9	0.6958	0.7005
26	新園(1)	22358802.0	0.3486	0.6919
27	清溪(1)	33484605.9	0.2738	0.5589
28	德興(1)	13698809.5	0.1488	0.5181
29	萬丹(1)	33213049.9	0.3483	0.4761
30	林園(1)	16634660.7	0.3285	0.4464
31	新庄(1)	27988722.5	0.3416	0.3962
32	石化(1)	11273894.1	0.2386	0.3933

33	彭厝(1)	24506579.4	0.4657	0.3331
34	潮寮(1)	22423733.4	0.2436	0.2182
35	新威(1)	21755176.9	0.0366	0.1028
36	崁頂(1)	23478693.7	0.0089	0.0529
37	永芳(1)	18626625.3	0.0012	0.0494
38	美濃(1)	22067446.4	0.0093	0.0190
39	新埤(1)	42245061.7	0.0080	0.0077
40	昭明(1)	11637166.7	0.0015	0.0027
41	中正(1)	20427849.1	0.0084	0.0024
42	大庄(1)	17842331.6	0.0029	0.0024
43	赤山(1)	36360627.3	0.0051	0.0012
44	潮洲(1)	30486432.9	0.0148	0.0009
45	中洲(1)	22542884.8	0.0016	0.0004
46	西勢(1)	36729856.0	0.0010	0.0003
47	港東(1)	19833785.2	0.0031	0.0002
年份：1999~2010 年				

表 5.4-7 各站枯水期與一期稻作退水線斜率列表

站號	井名	X	Y	枯水期退水斜率(m/day)	一期稻作退水斜率(m/day)
12010111	中正(1)	185015	2503504	-0.08466	
12020111	石化(1)	187485	2487965	-0.00769	
12020211	林園(1)	186809	2490130	-0.01058	
12030111	潮寮(1)	190004	2496500	-0.01768	
12030211	永芳(1)	186942	2500950	-0.01018	
12030311	昭明(1)	188414	2493802	-0.01472	
12040111	溪埔(1)	191978	2513893	-0.02507	
12040311	大樹(1)	191135	2510159	-0.01788	
12190111	中洲(1)	195993	2528009	-0.01631	
12190211	旗山(1)	197100	2531368	-0.02618	
12200111	吉洋工作站(1)	201510	2528640	-0.04200	
12200211	美濃(1)	203424	2533457	-0.02576	-0.1079883
12210111	新威(1)	210915	2533502	-0.02613	
13010111	清溪(1)	194408	2506330	-0.00882	
13010211	海豐(1)	198476	2511130	-0.01060	

13020111	潮洲(1)	202232	2492984	-0.02278	-0.1998014
13030211	東港(1)	193156	2485971	-0.00616	
13050111	新庄(1)	195738	2496246	-0.01100	
13050211	萬丹(1)	194540	2501970	-0.01122	
13060111	繁華(1)	205264	2511656	-0.04726	
13080111	九如(1)	196776	2515370	-0.02273	
13090111	土庫(1)	198425	2524645	-0.03074	
13090211	里港(1)	197514	2520447	-0.02241	
13100111	鹽埔(1)	205622	2517240	-0.05390	
13100211	彭厝(1)	201104	2515658	-0.01860	
13110111	高樹(1)	208068	2525407	-0.10811	
13110211	泰山(1)	209266	2521392	-0.09100	
13110311	新南(1)	203915	2520763	-0.03247	
13110411	關福(1)	209883	2518620	-0.14283	
13120211	赤山(1)	209521	2499542	-0.05070	
13130111	老埤(1)	204395	2507086	-0.03347	
13130311	建興(1)	207504	2503670	-0.03150	
13140111	西勢(1)	200397	2502704	-0.00965	
13140211	大湖(1)	200368	2497500	-0.00685	
13150111	新埤(1)	202895	2485957	-0.03470	-0.0716813
13150211	萬隆(1)	206802	2490112	-0.12941	
13150321	大響(1)	210206	2481360	-0.12116	
13150411	餉潭(1)	208707	2486714	-0.10038	
13160211	枋寮(1)	207476	2479160	-0.07635	
13160311	大庄(1)	202810	2477706	-0.02870	
13160411	德興(1)	207000	2474613	-0.00479	
13170111	新園(1)	192774	2491800	-0.01123	
13180111	崁頂(1)	198929	2490845	-0.03465	-0.0868201
13180211	港東(1)	195798	2490241	-0.00859	-0.0355090
13190111	崎峰(1)	197186	2480959	-0.00949	
13250111	枋山(1)	210142	2470440	-0.02161	
13280111	瑪家(1)	208976	2511539	-0.07035	
年份：1999~2010 年					

表 5.4-8 各站平均年累積水平淨交換量排序列表

井號	井名	水平淨交換量 $(10^6 m^3)$	井號	井名	水平淨交換量 $(10^6 m^3)$
13100211	彭厝(1)	74.36	12020111	石化(1)	0.53
13060111	繁華(1)	42.32	12010111	中正(1)	0.15
13090111	土庫(1)	39.01	12030311	昭明(1)	-0.03
13160211	枋寮(1)	37.97	13250111	枋山(1)	-0.22
13090211	里港(1)	23.81	13050211	萬丹(1)	-0.34
13080111	九如(1)	20.94	13030211	東港(1)	-0.46
13130311	建興(1)	17.58	12020211	林園(1)	-0.58
13020111	潮洲(1)	12.97	12200211	美濃(1)	-0.64
12190211	旗山(1)	10.82	13050111	新庄(1)	-0.75
13160411	德興(1)	9.96	12200111	吉洋工作站(1)	-0.99
13110211	泰山(1)	9.57	12210111	新威(1)	-1.28
12040311	大樹(1)	7.67	13130111	老埤(1)	-1.54
13180211	港東(1)	4.40	13180111	崁頂(1)	-1.59
13140111	西勢(1)	3.93	13010211	海豐(1)	-1.96
13140211	大湖(1)	3.33	12030211	永芳(1)	-1.99
13170111	新園(1)	2.99	13110311	新南(1)	-7.59
12030111	潮寮(1)	2.88	13150411	餉潭(1)	-7.89
12040111	溪埔(1)	2.66	13100111	鹽埔(1)	-11.54
12190111	中洲(1)	2.31	13150211	萬隆(1)	-15.87
13160311	大庄(1)	2.20	13280111	瑪家(1)	-27.56
13010111	清溪(1)	1.94	13150321	大響(1)	-45.36
13120211	赤山(1)	1.50	13110411	關福(1)	-98.08
13150111	新埤(1)	1.46	13110111	高樹(1)	-112.13
13190111	崎峰(1)	1.13			
年份：1999~2010 年					

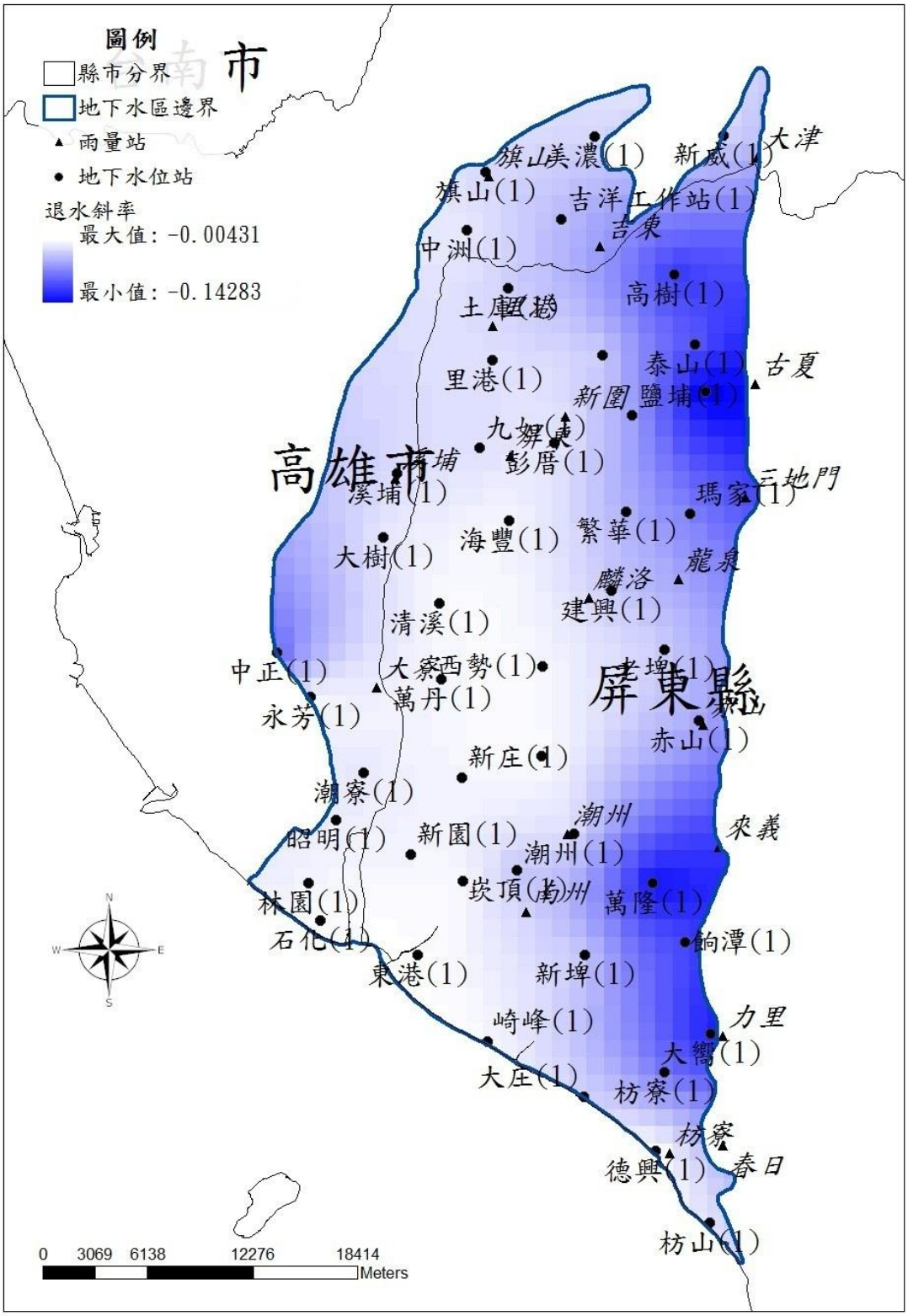


圖 5.4-4 各站枯水期退水線斜率

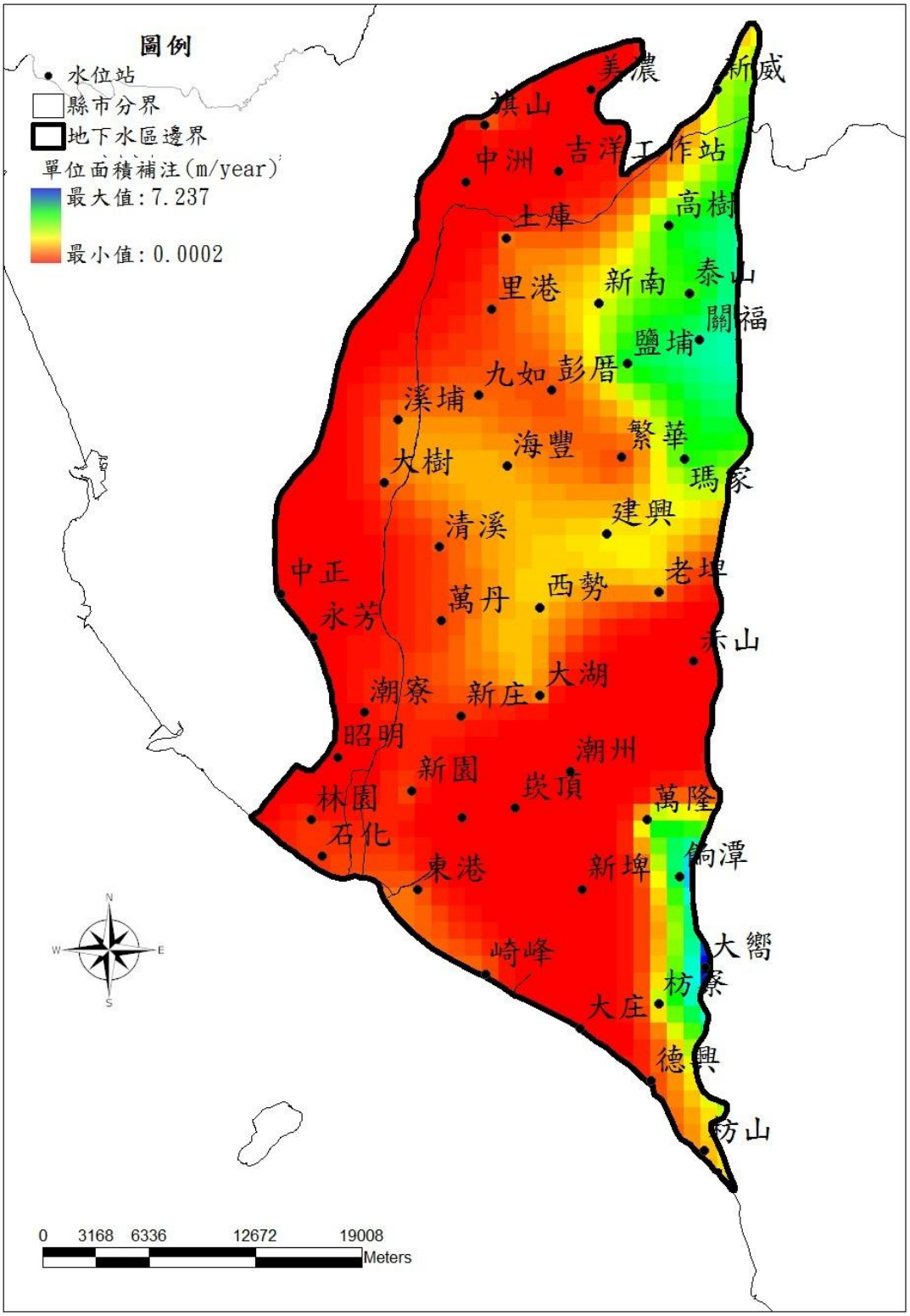
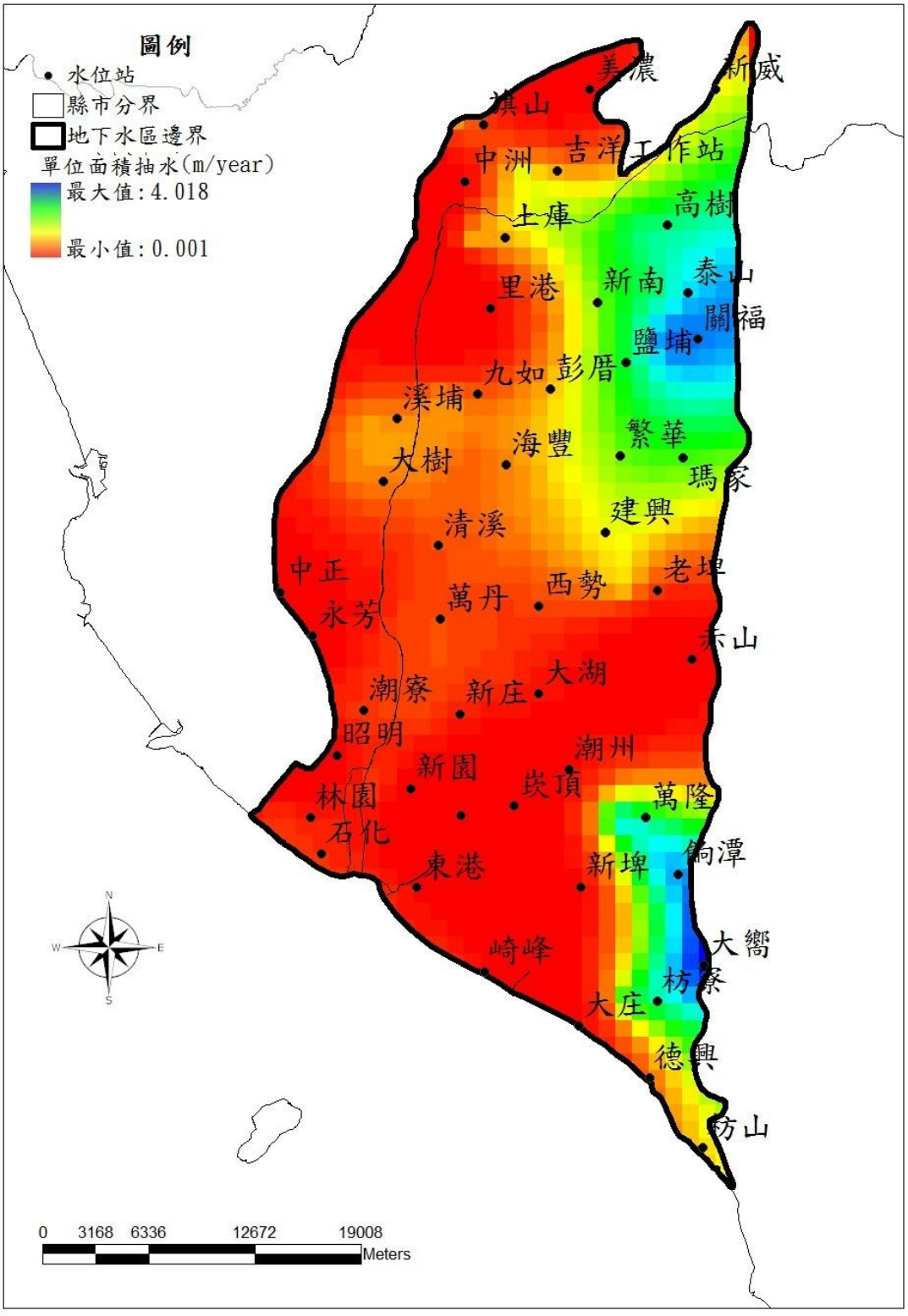


圖 5.4-5 各站單位面積平均年補注量



.

圖 5.4-6 各站單位面積平均年抽水量

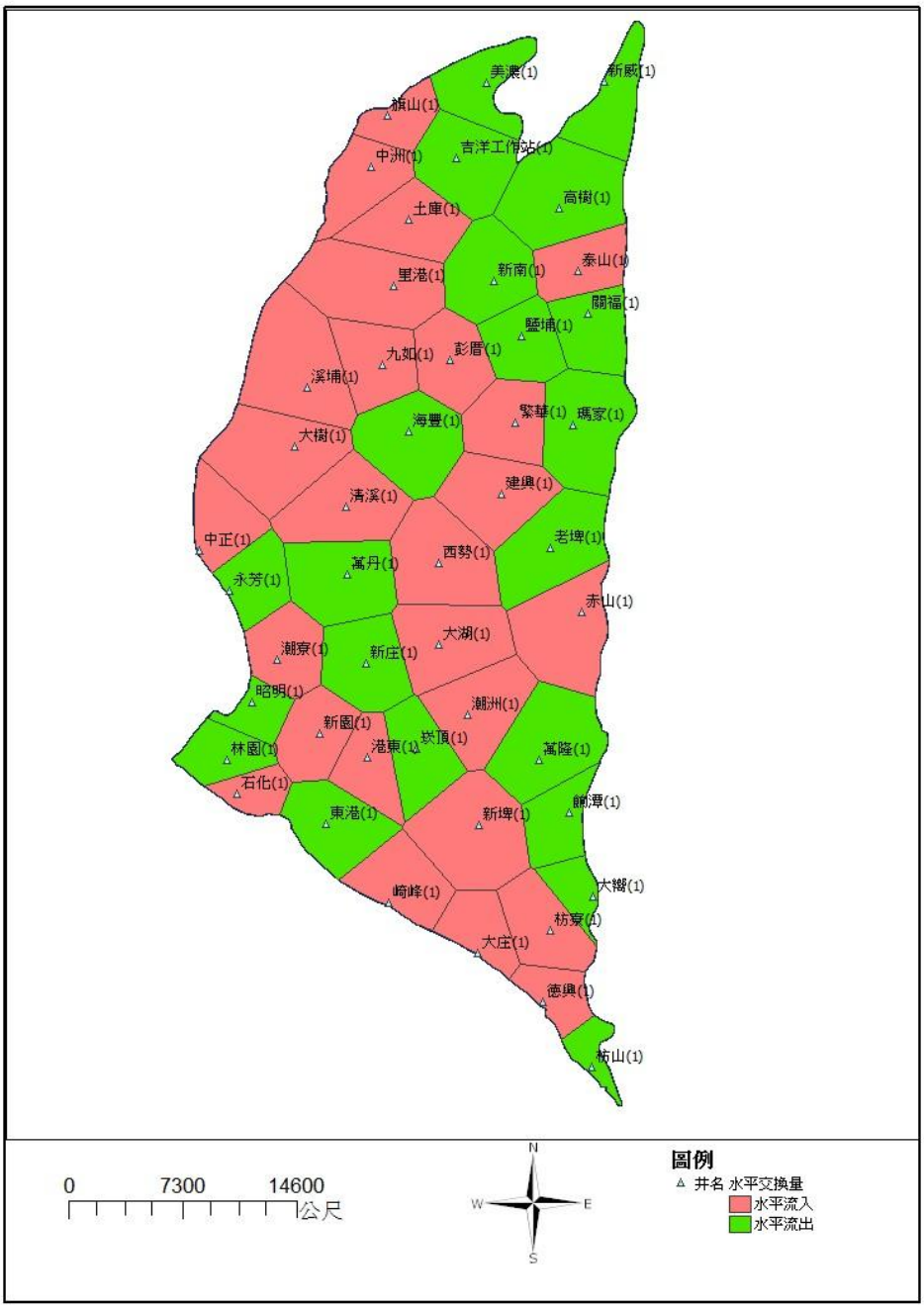


圖 5.4-7 徐昇氏多邊形水平淨交換量

如依據降雨事件統計各降雨場次對應的補注量、降雨量，圖 5.4-8 則呈現水位歷線法推估結果之降雨量及降雨天數對補注量關係圖，從圖面顯示降雨量與補注量呈現二次之關係。圖 5.4-9 則呈現水位歷線法計算年補注量與年降雨量關係圖，兩者趨勢為正相關。

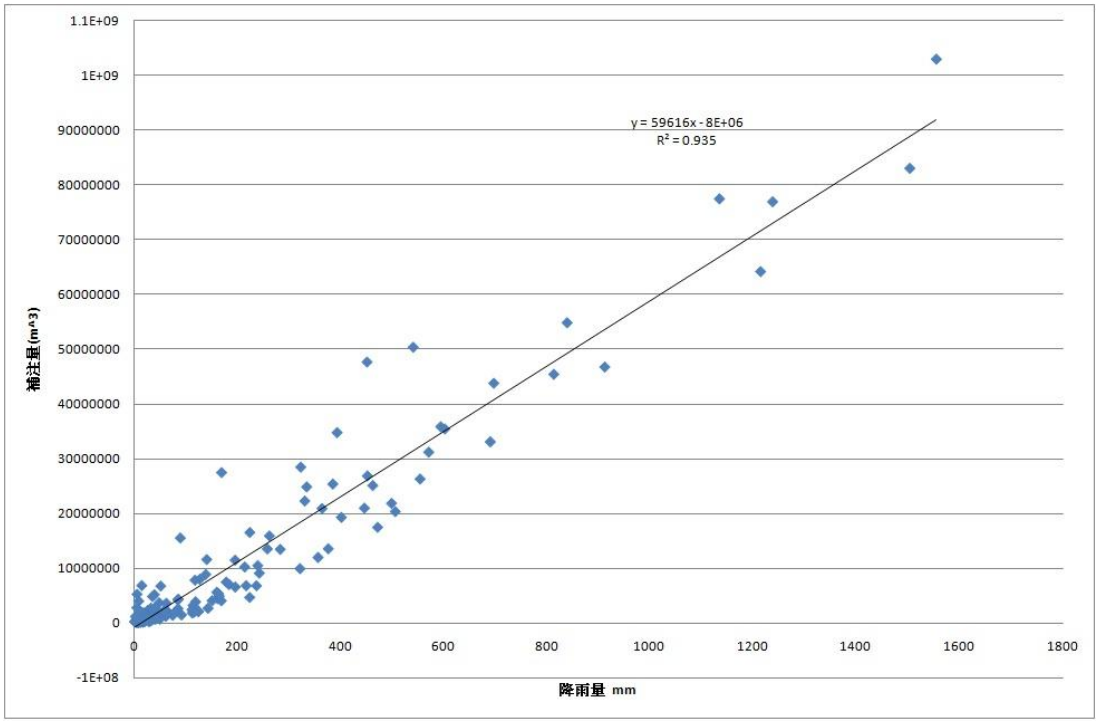


圖 5.4-8 場次降雨量與補注量關係圖(1999~ 20010 年)

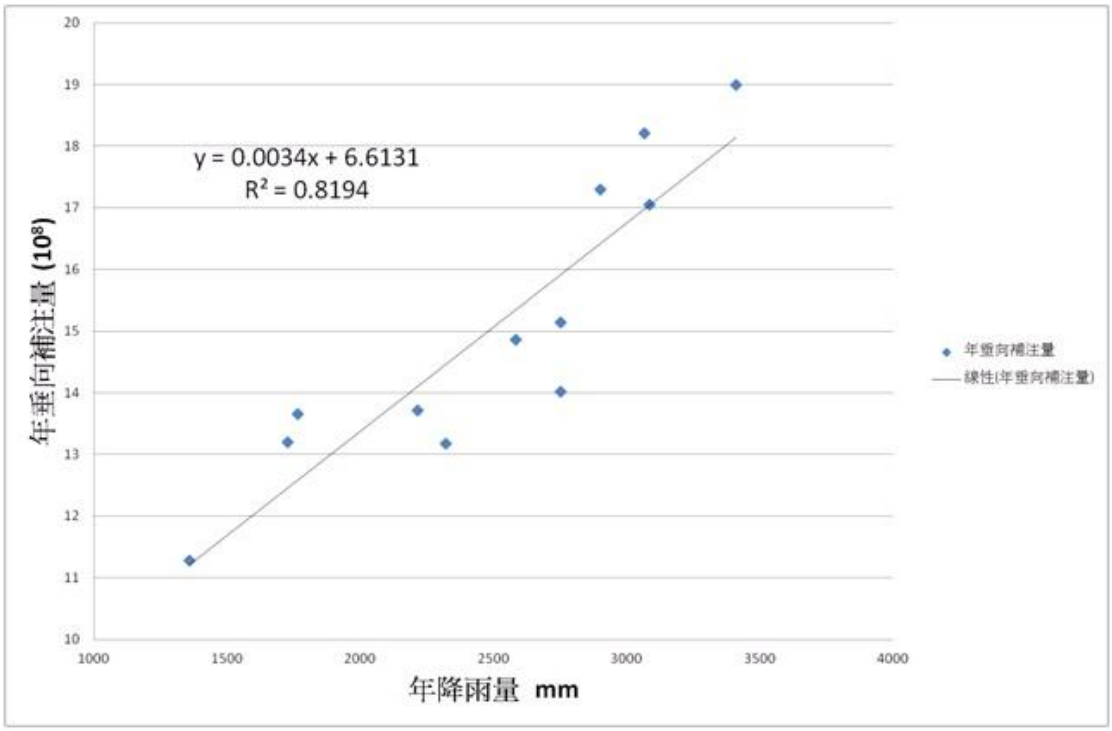


圖 5.4-9 年降雨量與年補注量關係圖(1999~ 20010 年)

第六章 屏東平原地下水數值模式建置與分析

本章將說明屏東平原之地下水數值模式建置流程及步驟。首先在 6.1 節簡介本計劃所採用之地下水數值模式 MODFLOW 之發展歷程，6.2 節說明本計劃地下水數值模式之建置流程及步驟，另於 6.3 節展示屏東平原之地下水模式建置及參數檢定成果。在 6.4 節中對檢定完成之模式進行補注量與抽水量之統計分析，最後於 6.5 節將建置完成之穩態地下水流模式搭配 MODPATH 之污染質傳輸模式，分析主要補注區域受汙染時，對整體地下水資源之影響。

6.1 地下水數值模式發展簡介

地下水數值模擬模式自 1950 年代末期推出一維地下水模式後，即不斷推陳出新，電腦硬體效能大幅成長與數值方法不斷改進，於 1970 年代中期即發展出包括可以同時模擬非飽和層與飽和層變化之三維地下水水流數值模擬程式。

MODFLOW 是美國地質調查局(U.S.G.S)發展之地下水模擬程式，該程式可求解二維及三維之飽和層地下水流問題，含水層種類可分為自由、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，並可搭配 MODPATH、MOC3D、MT3D 及 MT3DMS 等水質模式，可進行水質傳輸模擬。另外，亦可搭配 MODFLOWP、PEST 及 UCODE 等參數優選模式(Inverse modeling)，藉以檢定由 MODFLOW 所建立之地下水流模式中的水文地質參數。美國地質調查局於 1983 年提出 MODFLOW 初版，至 1987 年更新為 MODFLOW 88 版本，再於 1996 年再更新 MODFLOW 96 版本，而最新版本為 MODFLOW-2005。MODFLOW 由於其程式具備概念簡明、架構具彈性、易於添加其它功能模組，以及程式源碼公開等優點，因此成為目前使用最廣之地下水流模擬程式，有多種支援其前後端資料處理的套裝軟體，其中較著名的有 PM(Processing MODFLOW)、Visual MODFLOW、Groundwater Vistas 及 GMS 等。

本計畫目前使用 Groundwater Vistas 6.0 進行 MODFLOW 模式建立。Groundwater Vistas (GV)由 Environmental Simulations International (ESI)所開發，其為一套圖形使用者介面軟體，用以幫助使用者建立

3D 地下水模式，目前使用版本可支援至 MODFLOW2005。

當在 GV 上建置地下水模式後，可將 GV 的檔案格式轉換為 MODFLOW 所使用的檔案格式，並執行 MODFLOW 程式進行模擬。而 MODFLOW 的模擬結果，亦可再傳回 GV 進行後端處理，並可分析計算結果及以圖形檔案格式輸出。

以區域地下水資源的觀點而言，任何地表入滲的水量，均至少要能到達區域的淺層含水層，才是對地下水系統有效的補注量，從另一觀點而言，大部份地表補注皆需經過非受壓含水層，而欲完整描述此種流動機制與過程，必須借重地下水數值模式之模擬，因此本年度將採用美國地質調查局(U.S.G.S)發展的 MODFLOW 程式，先建立屏東平原數值模式之架構，再配合修正型地下水位歷線法推估之補注量，作為數值模式之輸入值。

6.2 地下水數值模式建置流程

MODFLOW 的輸入資料包括一般地下水模式必需包含的初始條件、邊界條件與地下含水層地文參數（透水係數、含水層厚度等）。輸出項則主要為每一層地下含水層之水頭分佈，其他細節部分則包含了特定位置的洩降、模式水平衡等。茲將本模式所需之重要工作流程整理條列分為三大項：邊界條件與格網劃分、模式之輸入資料及參數檢定(如圖 6.2-1 所示)。

本計劃在今年度將先建置屏東平原之地下水數值模式，下一節將說明建置此模式所需之工作內容。

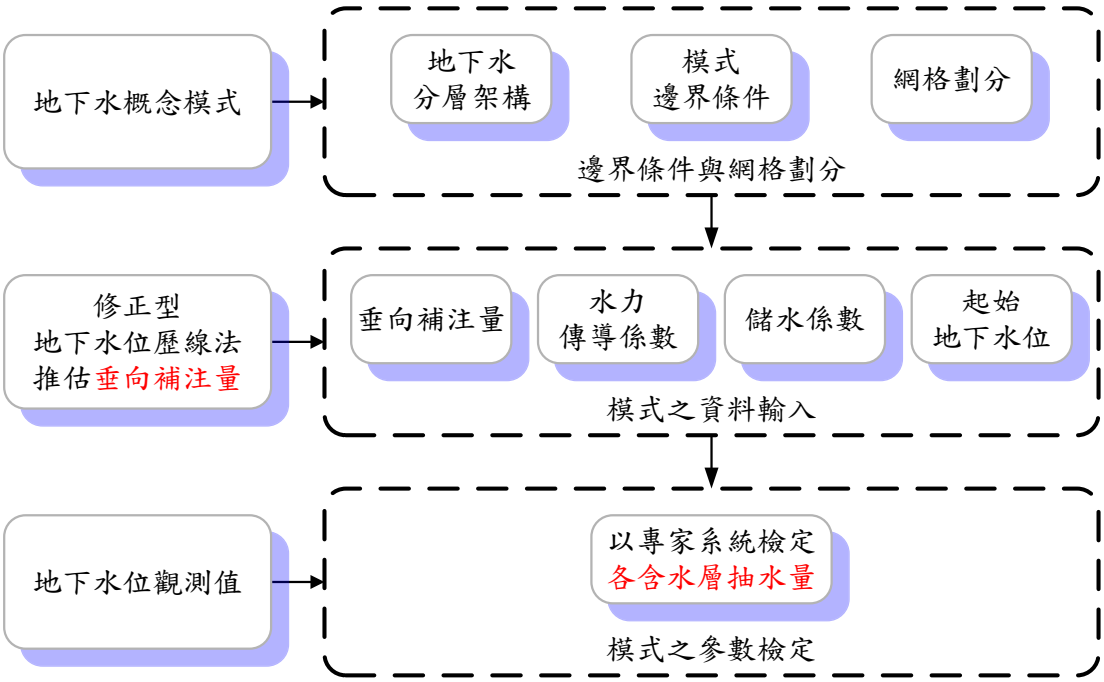


圖 6.2-1 地下水數值模式建置流程示意圖

6.3 屏東平原地下水數值模式建置

6.3.1 邊界條件與格網劃分

1.地下分層架構

MODFLOW 模擬的設定上，可將含水層型態設定為拘限含水層或非拘限含水層，並需分別輸入各分層之上部高程和底部高程。本研究參考中央地質調查所於民國 91 年完成之「台灣地區地下水觀測網第一期計畫屏東平原水文地質調查研究報告」中，以屏東平原 53 站地層柱狀圖，完成水文地質剖面一至十三（深度最深至 300 公尺左右），劃分出屏東平原概念分層，依深度分別為含水層一、阻水層一、含水層二、阻水層二、含水層三之一、阻水層三及含水層三之二，屏東平原模式共分為第一至七分層，如圖 6.3-1 所示，本章將含水層一視為淺層含水層，含水層二以下之含水層視為深層含水層。

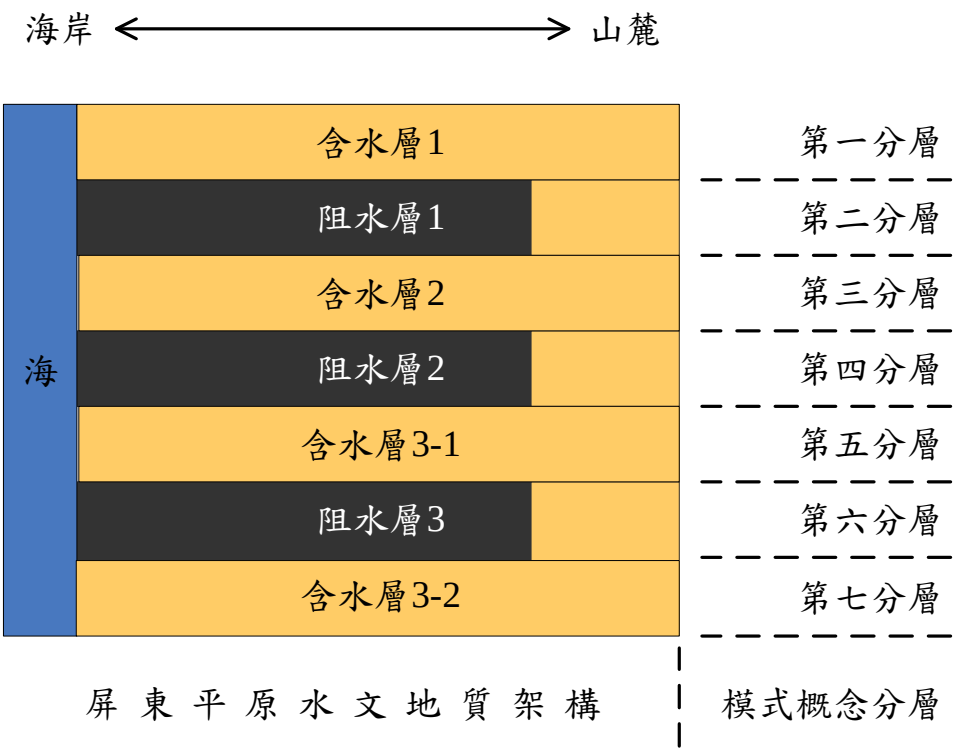


圖 6.3-1 屏東平原概念分層

2.模式邊界條件與格網劃分

就平面上而言，本模式研究區域大抵以中央地質調查所劃定之底岩分布區域為界，忠實描述平原之地下水分區特性。模式北以旗山溪及荖濃溪上游一帶之低山為界；西界為高屏溪西岸之丘陵；東接中央山脈南端之西斜面，走向大致上與潮州斷層一致，南界為海洋，面臨台灣海峽。

格網的劃分上，南北方向將模擬區域分為 78 列，東西方向分為 30 行。考量資料密度及計算精度，本研究採用 1 公里乘 1 公里之等間距格網，此外由於第七分層（含水層 3-2）因觀測井數量僅 11 口，且集中於屏東平原南部區域，因此無論在地質參數或是水位資訊上均不足以提供建模所需，故本研究只取第一分層至第五分層建置數值模式，其中第一分層包含部分非受壓含水層與部分受壓含水層，第二分層以下均為受壓含水層，地下水區邊界設定與格網劃分如圖 6.3-2 所示。

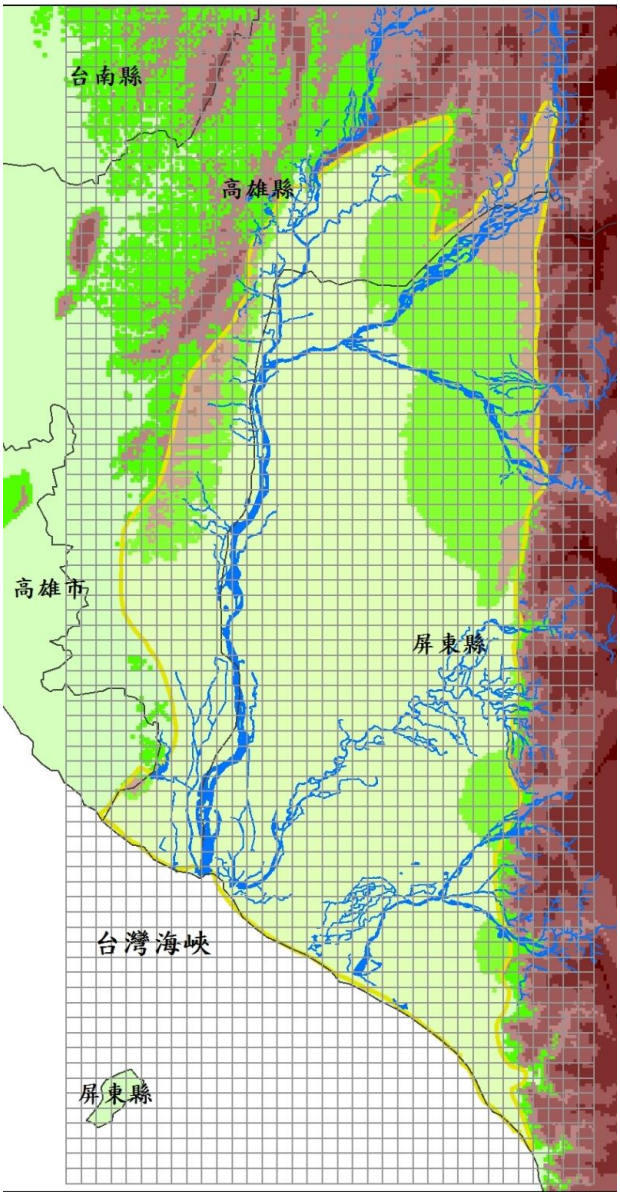


圖 6.3-2 屏東平原地下水區邊界與格網劃分

邊界條件設定上假設東、西與北之區域邊界其地質特性無水流流動，設定為零流量 (No flow)邊界(Neumann boundary condition)，但在東側部分因與潮州斷層相鄰，有大量山邊側流量流入，故在右方邊界河流出山口處以定水頭方式模擬山邊側流量，並假設出山口處之總水頭高為最近之觀測井的水頭高加上兩處間之高層差，因此設定口社溪出山口為 65 公尺，隘寮溪出山口為 60 公尺，萬安溪出山口為 39 公尺，來社溪出山口為 44 公尺，力力溪出山口為 14 公尺，鳳山水庫為 44 公尺；南方邊界以海拔負 10 公尺等高線作為邊界，設為定水頭邊界，其數值設定為 0，邊界條件設定如圖 6.3-3 所示，白色部分為模擬區域，灰色網格設定為零流量，藍色網格設定為定水頭。

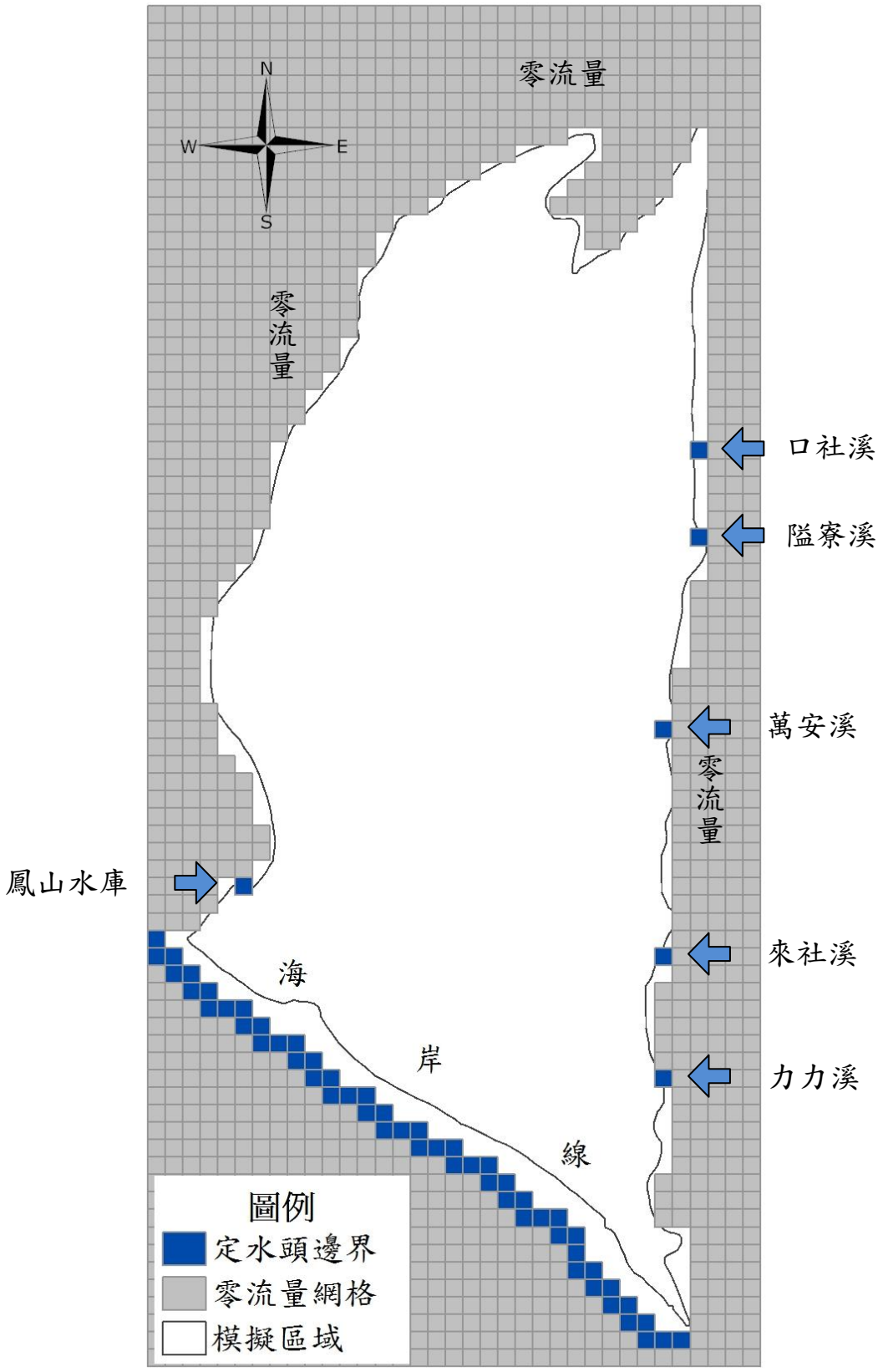


圖 6.3-3 屏東平原邊界條件格網劃分

6.3.2 模式資料輸入

模式之輸入資料包括透水係數、垂向透水係數、儲水係數、起始地下水水位、補注量及抽水量等。以下將說明建置屏東平原地下水模擬模式(MODFLOW 模式)，其模式架構所需之地下水力學參數及源匯項輸入資料。各輸入資料敘述如下：

1.水力傳導係數

觀測站網建置時，各觀測井必進行單井或複井抽水試驗，因此幾乎各觀測井於不同含水層均擁有其透水係數（Transmissivity，T 值）現地試驗值，但因 MODFLOW 模式所需參數為水力傳導係數(Hydraulic Conductivity，K 值)，因此台灣地區地下水觀測網第一期計畫所得之透水係數，再除以含水層厚度（b）即可轉換求得水力傳導係數，後續再以徐昇氏法分區將點位型式之數值推估至整個屏東平原，圖 6.3-4~圖 6.3-6 分別為模式第 1、3 及 5 分層之徐昇氏網格分區圖。而概念分層中之第 2 及 4 分層為阻水層，其分布範圍位於平原下游區域，模式於平原下游區域阻水層之水力傳導係數乃參考 Schwartz 與 Zhang（2003)中建議之值域，在此設定為 4×10-3 (公尺/天)。此外，由於抽水試驗所得結果為水平向之水力傳導係數，垂向水力傳導係數在此假設為水平向之 1/10。

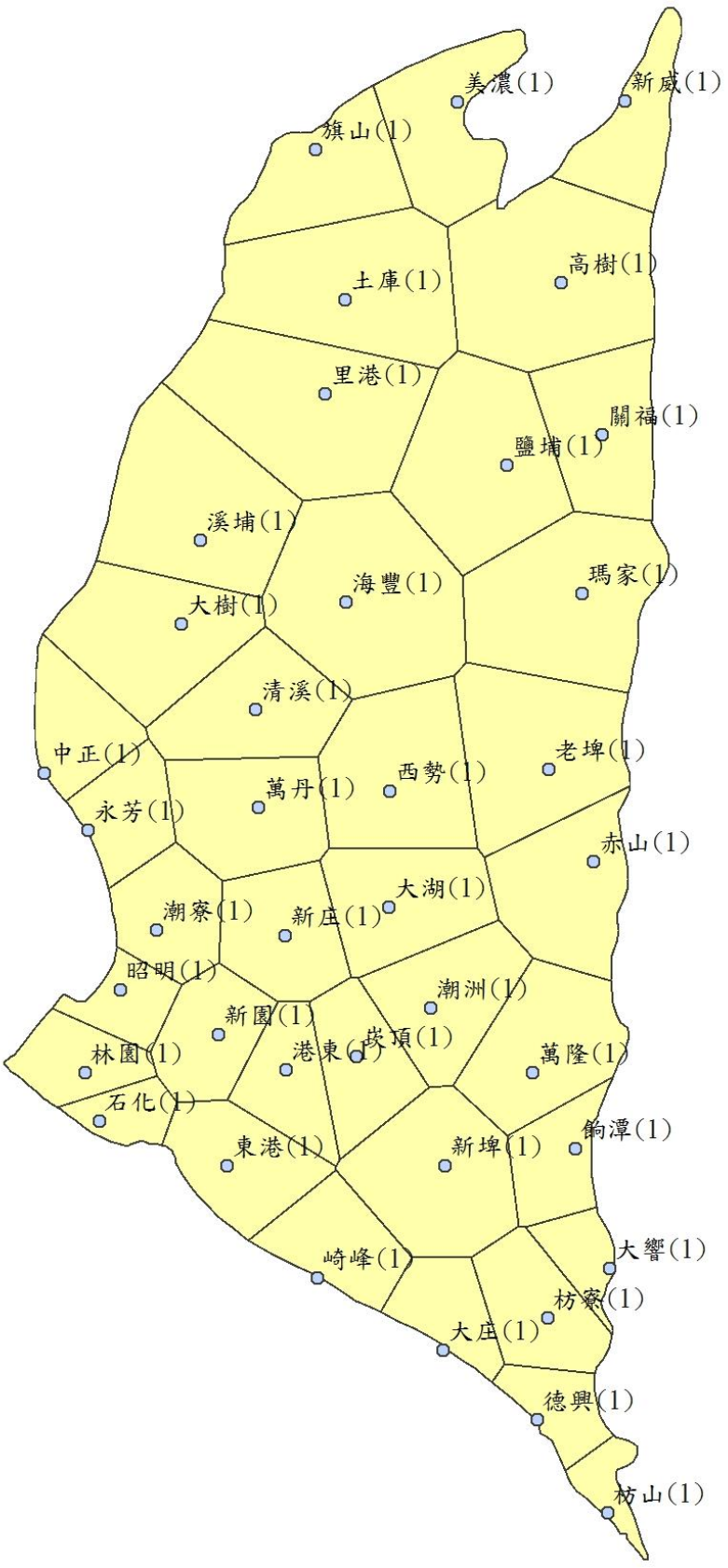


圖 6.3-4 屏東平原模式第 1 層徐昇式格網分區

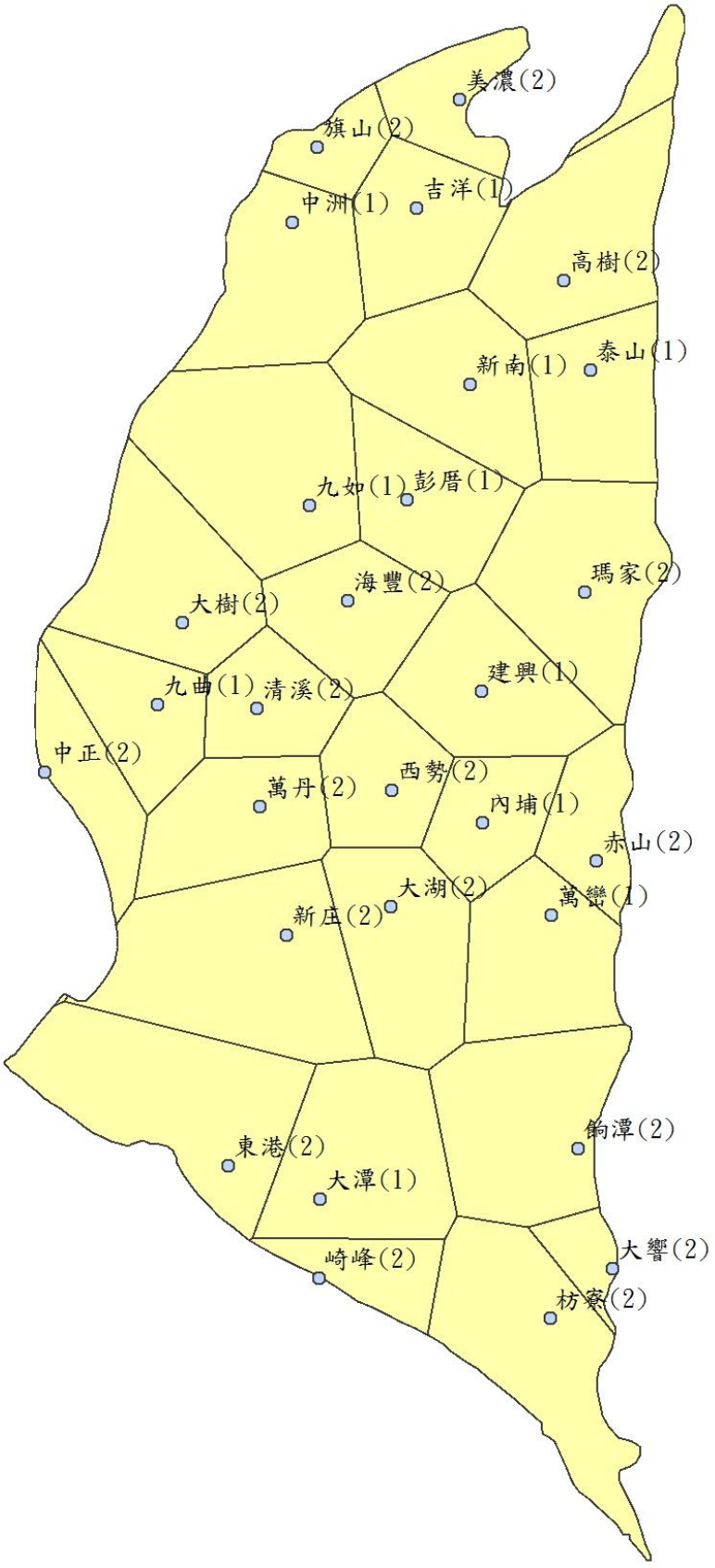


圖 6.3-5 屏東平原模式第 3 層徐昇式格網分區

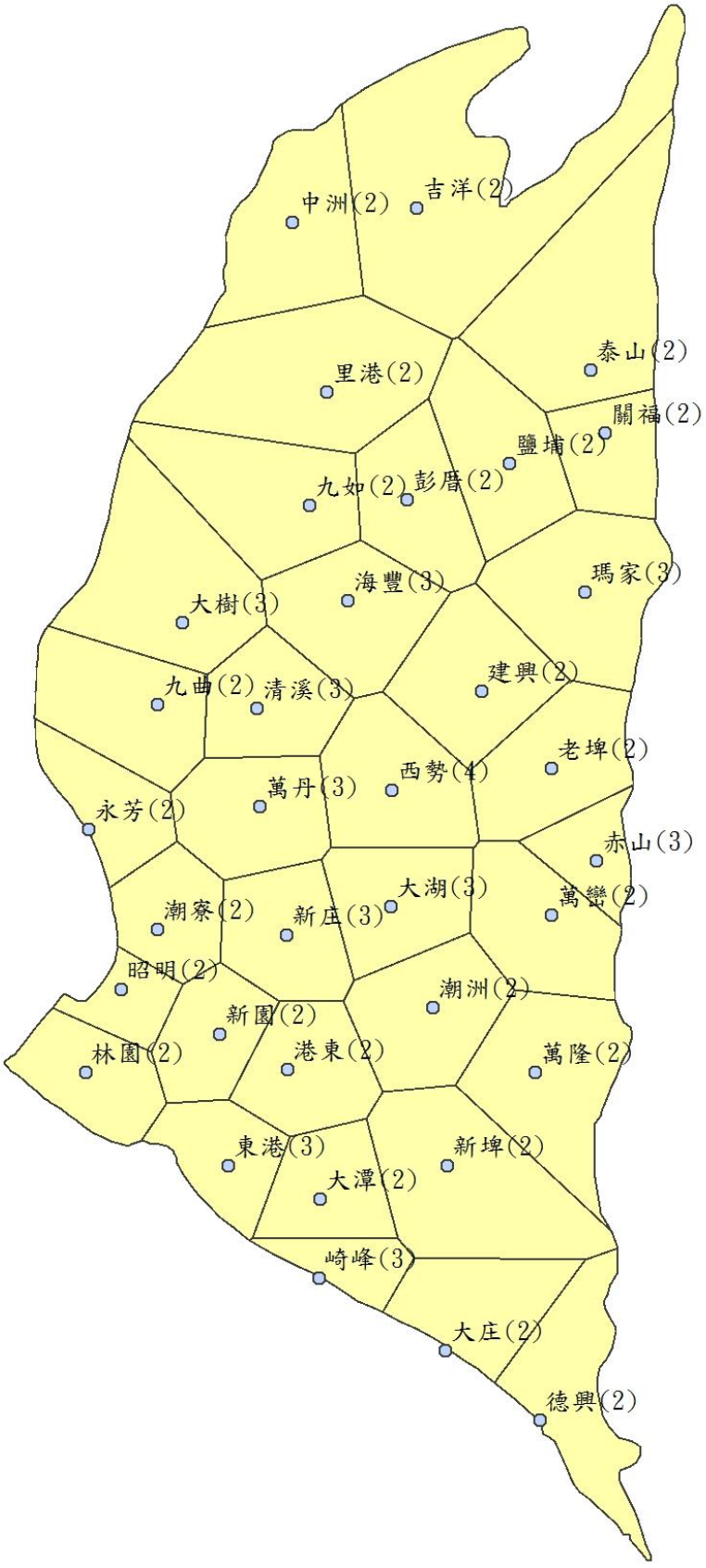


圖 6.3-6 屏東平原模式第 5 層徐昇式格網分區

2.儲水係數

由於儲水係數必須進行複井抽水試驗才能求得，但在觀測站網建置時，僅有少量觀測井進行複井抽水試驗，故其數值遠較水力傳導係數資料少，所以將綜合考量試驗所得之觀測值與過去相關研究，配合分區或空間內插方法分配至各分區，並於後續模擬時，進行儲水係數之參數檢定與校正。由於本年度先進行穩態模式建構，所以尚不需要輸入儲水係數，將於後續年度計畫中進行暫態模擬時，予以設置並檢定。

3.起始地下水水位

由於穩態模擬之初始地下水位，僅作為求解前之初始猜值，對於模擬結果而言影響極小，因此在本模式中所有分層之初始地下水位皆給定為地表高層。

4.抽水量、補注量

由於現地抽水量資料並不足夠，本計畫將結合修正型地下水位歷線法模式推估結果，作為模式抽水量與補注量之初始輸入值，再進行抽水量與補注量參數檢定，完成穩態模式模擬。

6.3.3 模式之參數檢定

1.參數檢定方法介紹

建立地下水模式之過程中，參數檢定乃必要的步驟，而一般的參數檢定方法可分為「人工參數檢定」與「自動參數檢定」。人工參數檢定在推估參數時，過程不但複雜、冗長，且需要花費許多時間，進行檢定的人員除了需具備相關地下水知識外，亦須具有參數檢定之經驗與技巧。此外，如何將一位專家的參數檢定知識轉移給其他需進行人工參數檢定之人員也是相當不易。人工參數檢定雖有上述缺點，惟其在進行參數推估時，參數的修正常存在定性上的邏輯或經驗的判斷，檢定的過程中人與模式的不斷互動，因此人工參數檢定雖然繁瑣且費時費工，但檢定本身除了可對問題有更深入的了解外，檢定者若是一個有經驗的專家，其結果往往較不易發生孛離現地物理特性的情形。

自動化參數檢定通常是將地下水模式結合優選法來進行檢定，雖

然可免去人工參數檢定的煩瑣，但使用者難以參與參數變動過程，往往只能被動的接受最後的檢定結果，而因為地下水模式甚至優選模式本身，因受限於參數之維度數目，往往皆對問題本身有相當程度的簡化，自動參數檢定所得之結果亦可能產生不符物理條件的狀況。

本年度計畫採用專家系統進行參數檢定，期能在保有自動化參數優選檢定的快速及方便的同時，亦能保有人工參數檢定之彈性，並能累積整合專家之經驗，使得參數檢定的工作更易進行。由於專家系統與地下水模擬 MODFLOW 系統之資料使用格式不同，必須透過檔案格式之轉換，使屏東平原地下水模式之資訊，能在此兩種系統中流通使用。圖 6.3-7 為參數檢定之系統架構，可瞭解資訊在兩種系統中傳遞的情形。

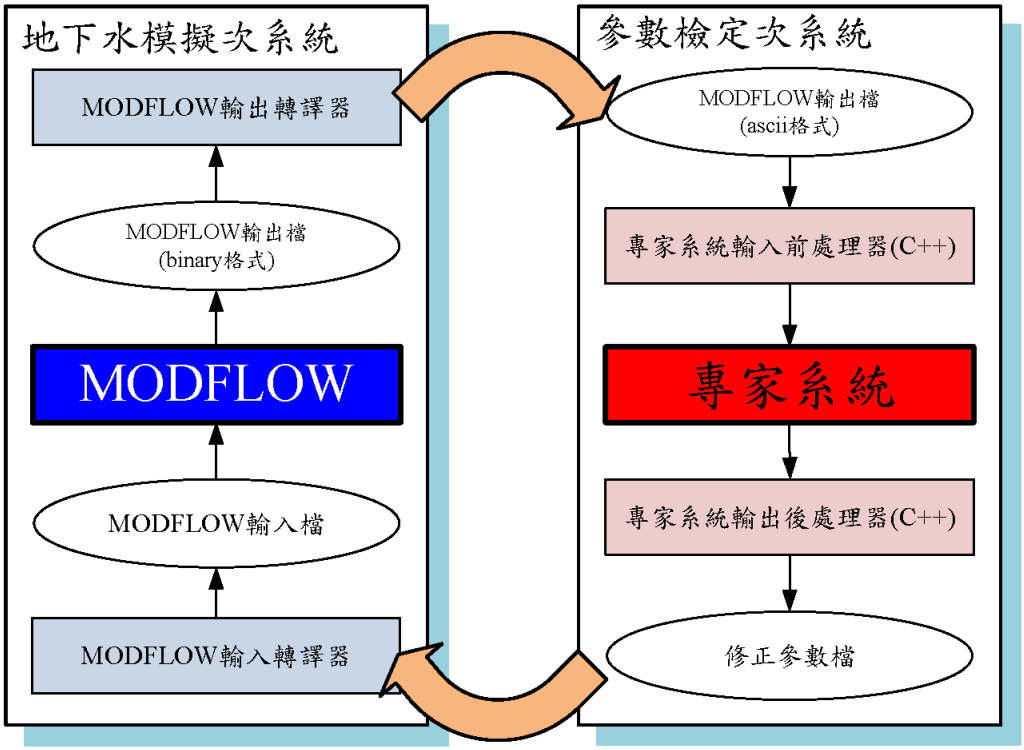


圖 6.3-7 地下水參數檢定系統架構圖

2.專家系統介紹

專家系統為一模仿人類專家且具有決策能力的智慧型電腦系統，本年度計畫採用 CLIPS(C Language Integrated Production System)建立地下水模式參數檢定專家系統，CLIPS 為一方便採用物件導向概念，用以建立專家系統之工具。在本計畫中，地下水模式以分區為概

念進行參數檢定，一個分區即為一個物件，在 CLIPS 中則以建立實例(instance)的方式應用物件導向概念。在每個實例(物件)中，則有若干屬性(slot)代表各分區的特性，如水力傳導係數值、所在分層、淨補注量或抽水量、模擬水位與觀測水位誤差及各種參數調整依據。

建立之專家系統，乃將熟悉地下水模式參數檢定之人類專家所具有之經驗及知識轉換成規則(Rule)並將之存放於知識庫(Knowledge Base)，當專家系統對地下水模式進行參數檢定時，專家系統依據所輸入之情況並透過推理機(Inference Engine)對知識庫內之規則進行規則推論(Rule Inference)，其推理結果即為所輸入問題之答案。

3.知識庫之規則建立

在建立專家系統之前，必須先擷取參數檢定之經驗及知識。對於一般參數檢定之經驗，可歸類為以下：

a. 一般地下水流模式中，由於受到流線的影響，使得上游進行調整時，會對下游影響較大；而下游進行調整時，對上游影響較小。因此模式大多會從上游開始往下游調整。

b. 在多層地下水模式檢定中，由於表層補注量的大小對於下層含水層抽水量有顯著的影響，因此進行人工檢定時，通常會先進行表層抽水、補注量檢定，再依序往下層進行抽水量檢定。

c. 在人工檢定地下水模式時，通常會以迭代方式來回調整各分區參數，使各區之檢定誤差逐漸縮小。

基於上述概念，經由反覆測試，將其歸納成更具體的參數調整原則，詳細說明如下所示：

a. 在進行參數調整前，各分區應先設定初始修正量，作為參數調整幅度之基準。

b. 開始調整時，需判別修正方向。當觀測水位大於模擬水位時，往正方向調整，即增加水量；當觀測水位小於模擬水位時，往負方向調整，此時應減少水量。

c. 判別修正方向後，接著應判斷修正量，其判斷方法為比較本次檢定與上次檢定時之修正方向。若修正方向相同，表示參數修正持續向同方向進行，則修正量不變；若修正方向相反，表示

參數調整震盪，則修正量減半。

d. 經多次調整後，參數修正量會逐漸縮小，然而因多分區同時進行調整，各分區會受相鄰分區影響，可能使得調整量縮小過快，造成檢定速度趨緩，若此時，各分區之最大誤差仍大於容許誤差，則將各分區調整量設定為同時放大一定倍數。

4.參數檢定流程

利用專家系統進行參數檢定流程如圖 6.3-8 所示，在參數檢定開始後，系統首先初始化參數值，即淨補注量及抽水量，並讀入相關參數的設定資訊，如分區設定、觀測井位置、觀測水位等。在完成初始參數設定後，接著執行地下水模式 MODFLOW，獲得各個時刻之模擬地下水位，下一步則判斷第一個時刻各分區之觀測水位與模擬水位之誤差(以下稱為檢定誤差)是否均小於容許誤差，本計畫以 2 公尺為容許誤差。

當有一分區之檢定誤差超過容許誤差，則會取出各分區的相關資訊，傳入專家系統進行推論分析。專家系統依據知識庫中之規則集合(Rules)，並搭配推理機(Inference engine)之運作，而推論出各區的參數修正量。當各區待檢定之參數，由專家系統分析出修正量後，再將各修正量依據 MODFLOW 輸入檔格式，對 MODFLOW 輸入檔進行更新。接著再次執行 MODFLOW，計算出更新參數後的模擬地下水位，再次判斷第一個時刻各分區檢定誤差是否均小於容許誤差，若是則進入下一個時刻的參數檢定，若否則反覆執行上述步驟，直至該時刻所有分區檢定誤差均小於容許誤差。當所有時刻的各分區檢定誤差均小於容許誤差，則完成參數檢定的流程。

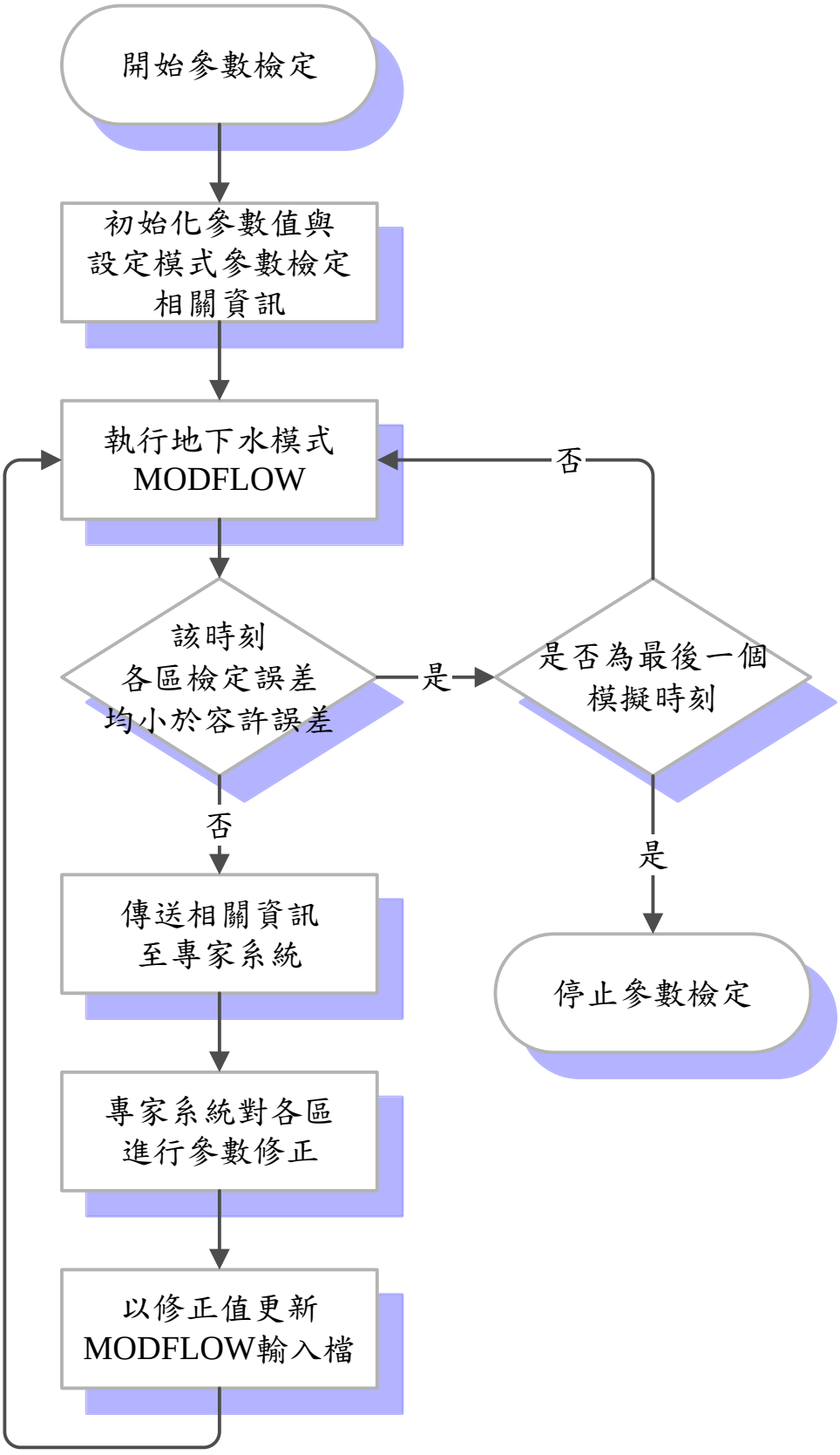

開始參數檢定
初始化參數值與
設定模式參數檢定
相關資訊
執行地下水模式
MODFLOW
該時刻
各區檢定誤差
均小於容許誤差
是
是否為最後一個
模擬時刻
否
否
是
傳送相關資訊
至專家系統
停止參數檢定
專家系統對各區
進行參數修正
以修正值更新
MODFLOW輸入檔

圖 6.3-8 參數檢定流程

6.3.4 穩態模式參數檢定成果

本年度穩態模式模擬，以民國 88 年至民國 99 年屏東平原各觀測井之觀測水位平均值，作為穩態模式之參照水位，設定各分區最大容許誤差值為 2 公尺進行參數檢定，檢定後全區均方根誤差為 0.764 公尺，以下將以各分層水位空間分布及數值分析進行說明。

1.檢定成果之空間分布

此部份主要呈現檢定結果在空間上的分佈。圖 6.3-9 ~ 6.3-11 分別為屏東平原第一分層、第三分層與第五分層之觀測水位與模擬水位等值圖，其中藍色實線為觀測水位，黑色虛線則是檢定後之模擬水位，等值線的間距為 5 公尺。圖中顯示觀測水位與模擬水位值相近，且空間分佈幾乎一致。

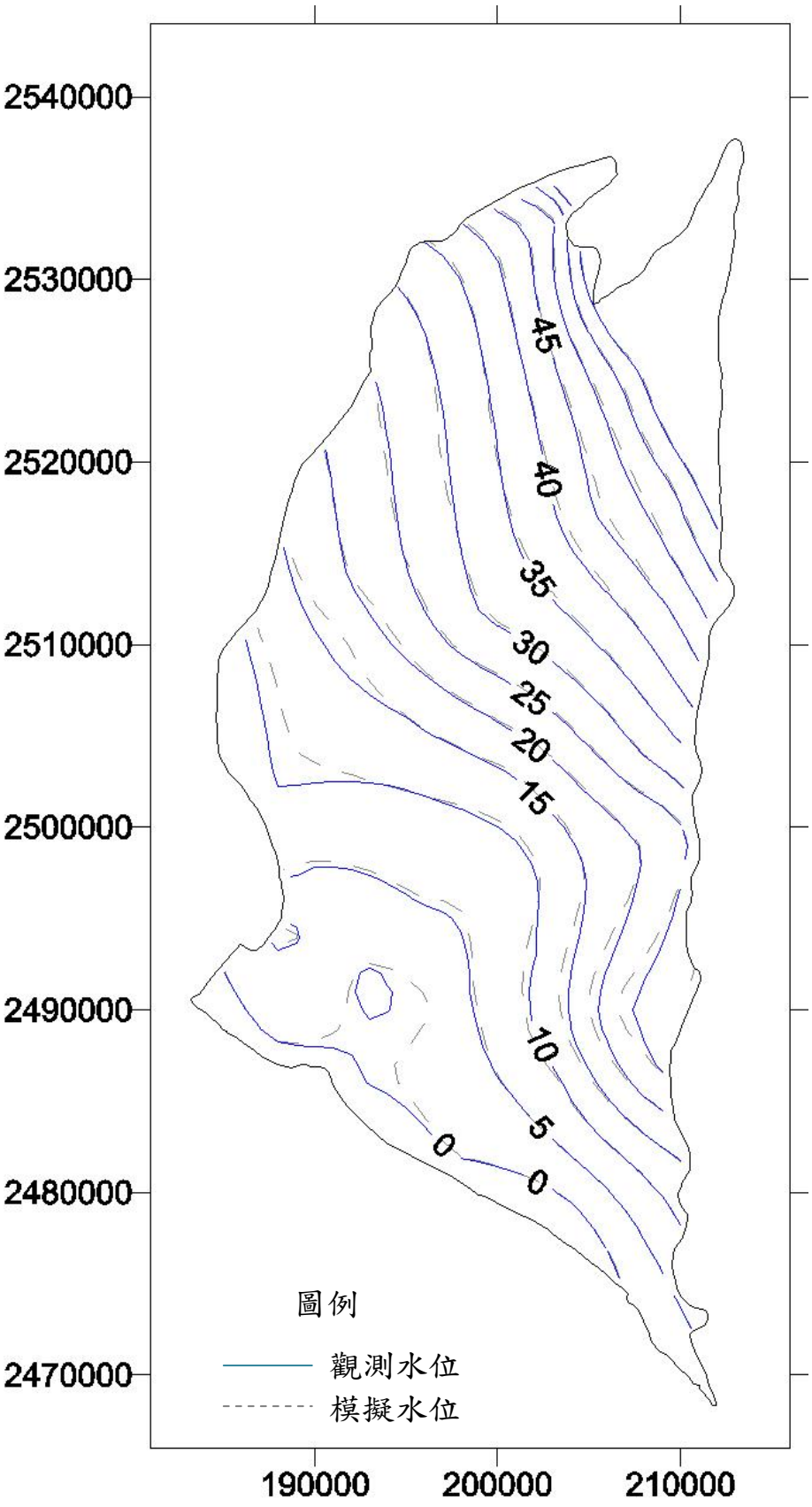


圖 6.3-9 第一分層觀測水位與模擬水位等值圖

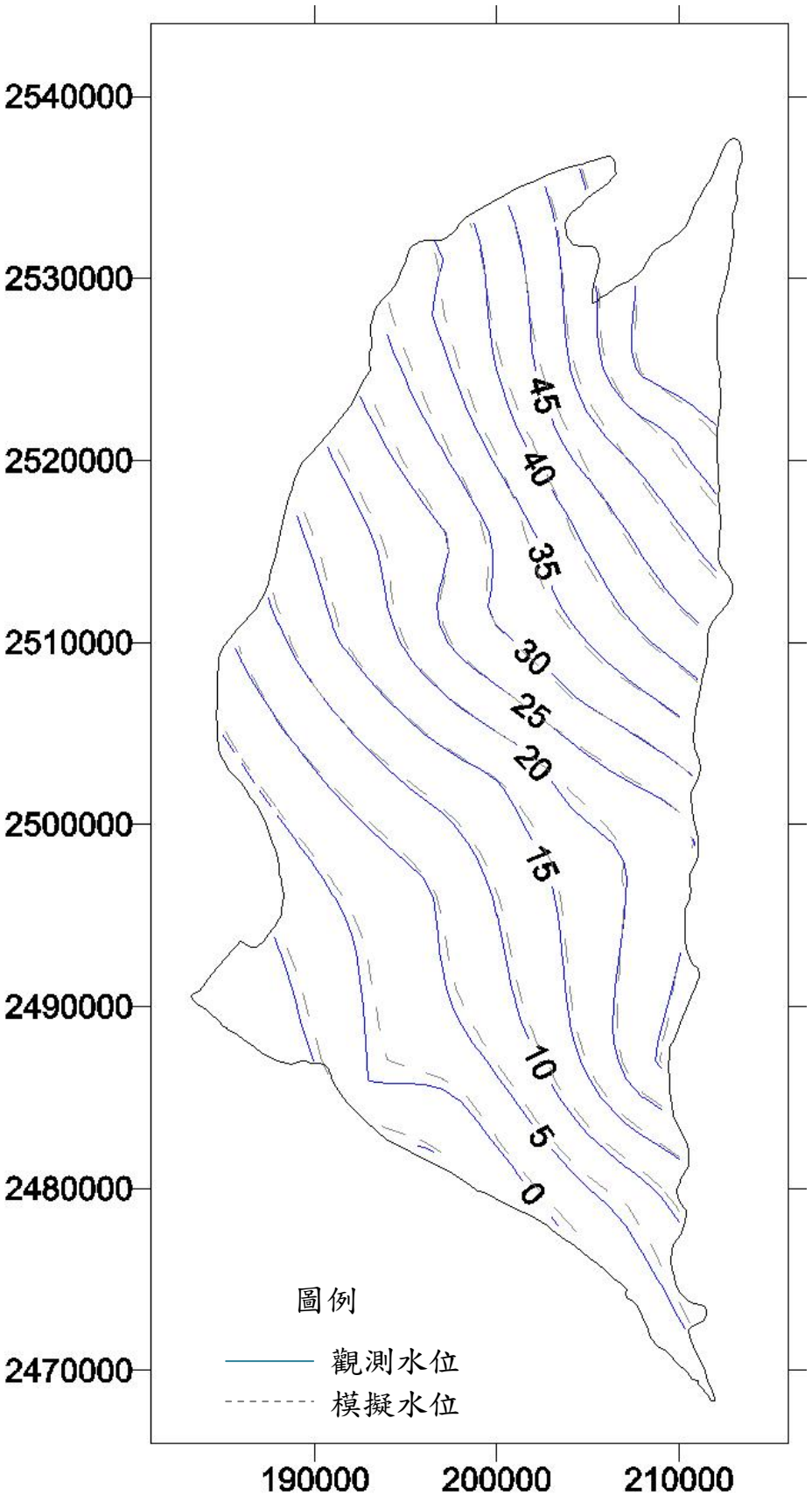


圖 6.3-10 第三分層觀測水位與模擬水位等值圖

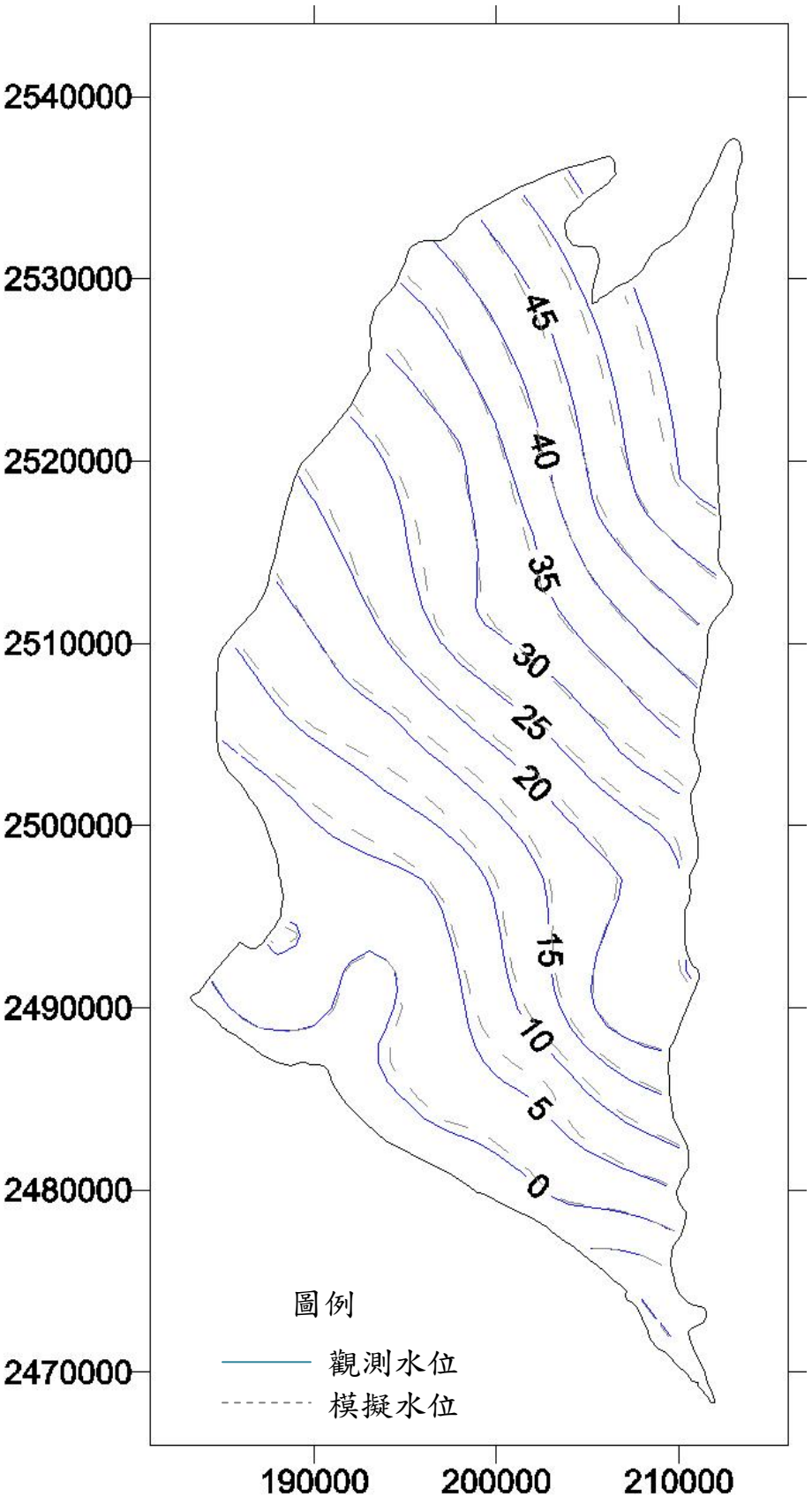


圖 6.3-11 第五分層觀測水位與模擬水位等值圖

2.檢定成果之數值分析

如將觀測水位與模擬水位同時畫於圖面上，橫座標為觀測水位，縱座標為模擬水位，如圖 6.3-12 所示，圖中各點之分佈皆接近於 x=y 之直線上，檢定成果良好。

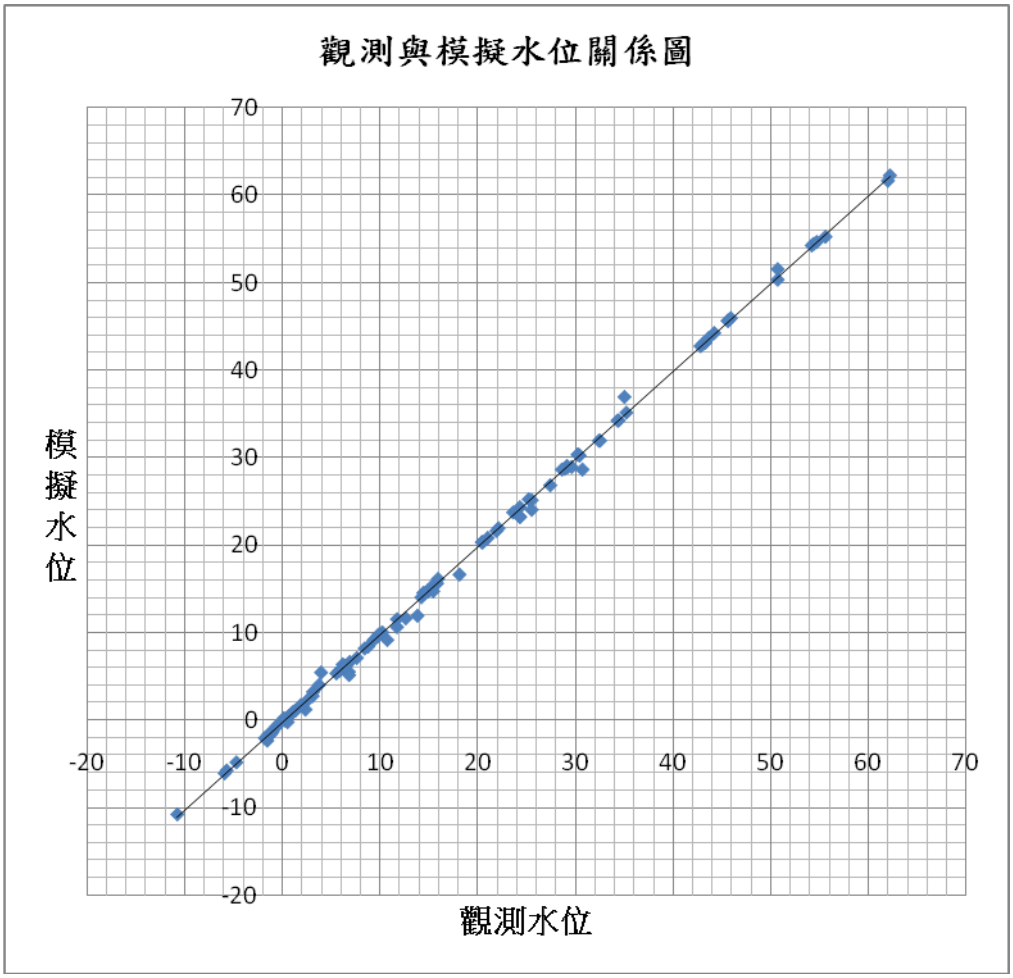


圖 6.3-12 觀測水位與模擬水位關係圖

6.4 屏東平原補注量與抽水量統計分析

本節將對模式各分層補注量及抽水量進行統計並說明水量分配情形，接著呈現抽水量於各分層空間分佈。表 6.4-1 分別統計各分層抽水量與補注量，其中垂向補注量為前章利用水位歷線法所求得之補注量(L^3/T)換算成補注率(L/T)，再代入模式所得。由於數值模式(MODFLOW)在邊界處理上需繪製完整正方形網格，因此模式模擬區域總面積略大於地下水區邊界，故以前述補注率代入模式後所得之垂向補注量略大於水位歷線法推估之補注量。另外表中所列海岸側向補

注量為沿海各定水頭流入或流出之總和，若將其分別計算，則海岸流入水量為 0.54 億噸，流出水量為 0.05 億噸。

表 6.4-1 穩態模式參數檢定後各層之淨抽水量與淨補注量

垂向 補注量	山邊側向 補注量	海岸側向 補注量	總補注量
16.70	1.08	0.46	18.24
91.6%	5.9%	2.5%	100%
第一層抽水量	**第三層抽水量**	**第五層抽水量**	**總抽水量**
8.67	5.52	4.05	18.24
47.5%	30.3%	22.2%	100%

(單位：億噸/年)

將推估之垂向補注量、山邊側向補注量及海岸側向補注量分別取其相對於總補注量所占百分比，第一層補注量為 91.6%，山邊側向補注量為 5.9%，海岸側向補注量為 2.5%，顯示屏東平原補注量以垂向補注為主。取各分層抽水量相對於總抽水量之百分比，第一層抽水量占 47.5%，第三層抽水量占 30.3%，第五層抽水量占 22.2%，由此推判屏東平原抽水分佈以淺層含水層為主。

圖 6.4-1 ~ 6.4-3 分別為屏東平原第一分層、第三分層與第五分層之抽水量分布圖，其中顏色愈深表示抽水量愈大。由圖 6.4-1 ~ 6.4-3 可知第一分層抽水量主要分佈在東方及東南方之主要補注區及西北方丘陵地區附近；第三分層抽水量主要分佈在北方之主要補注區及南方沿海地區；而第五分層抽水量主要分佈在北方主要補注區。

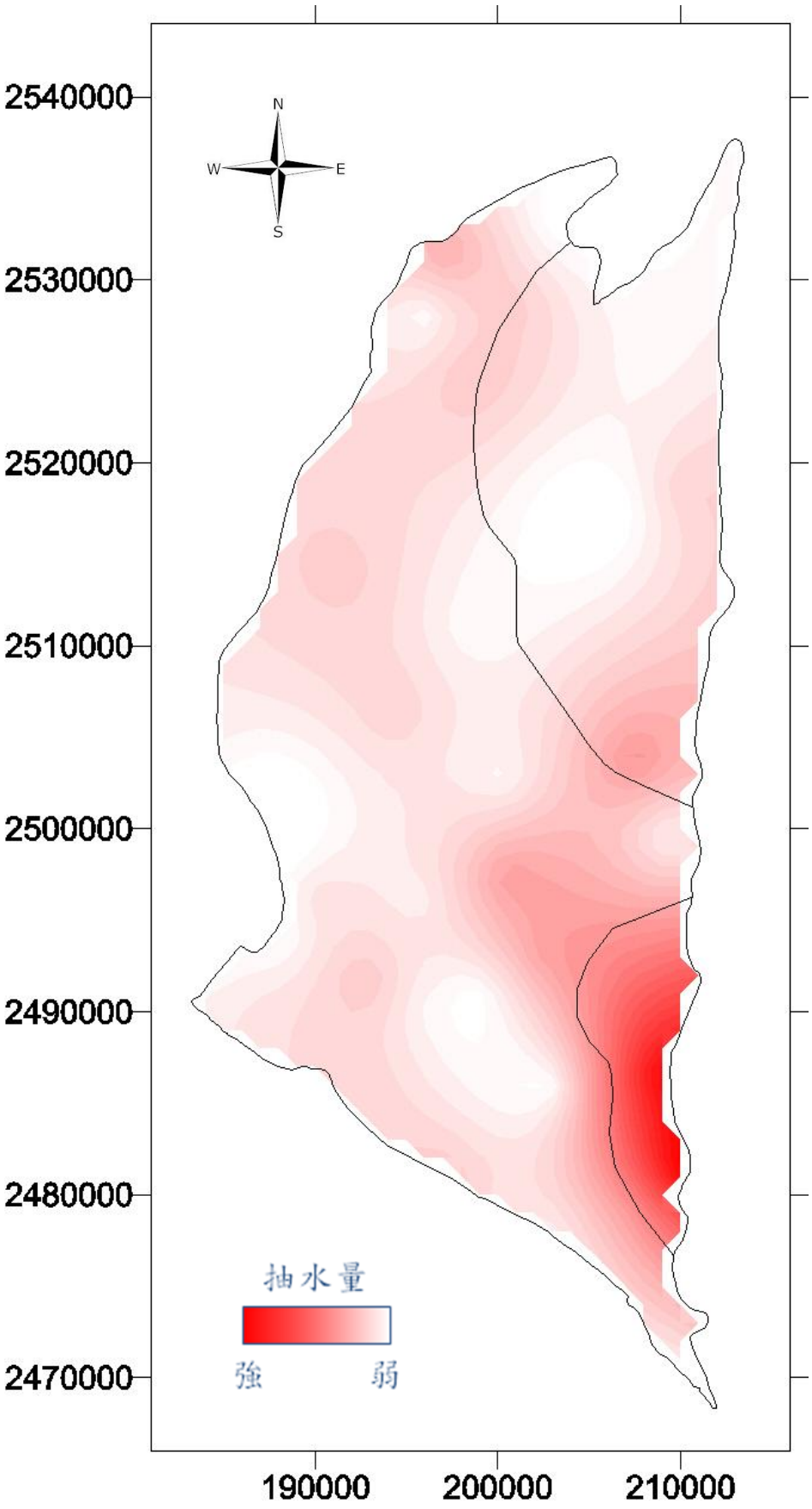


圖 6.4-1 第一分層抽水量分佈圖

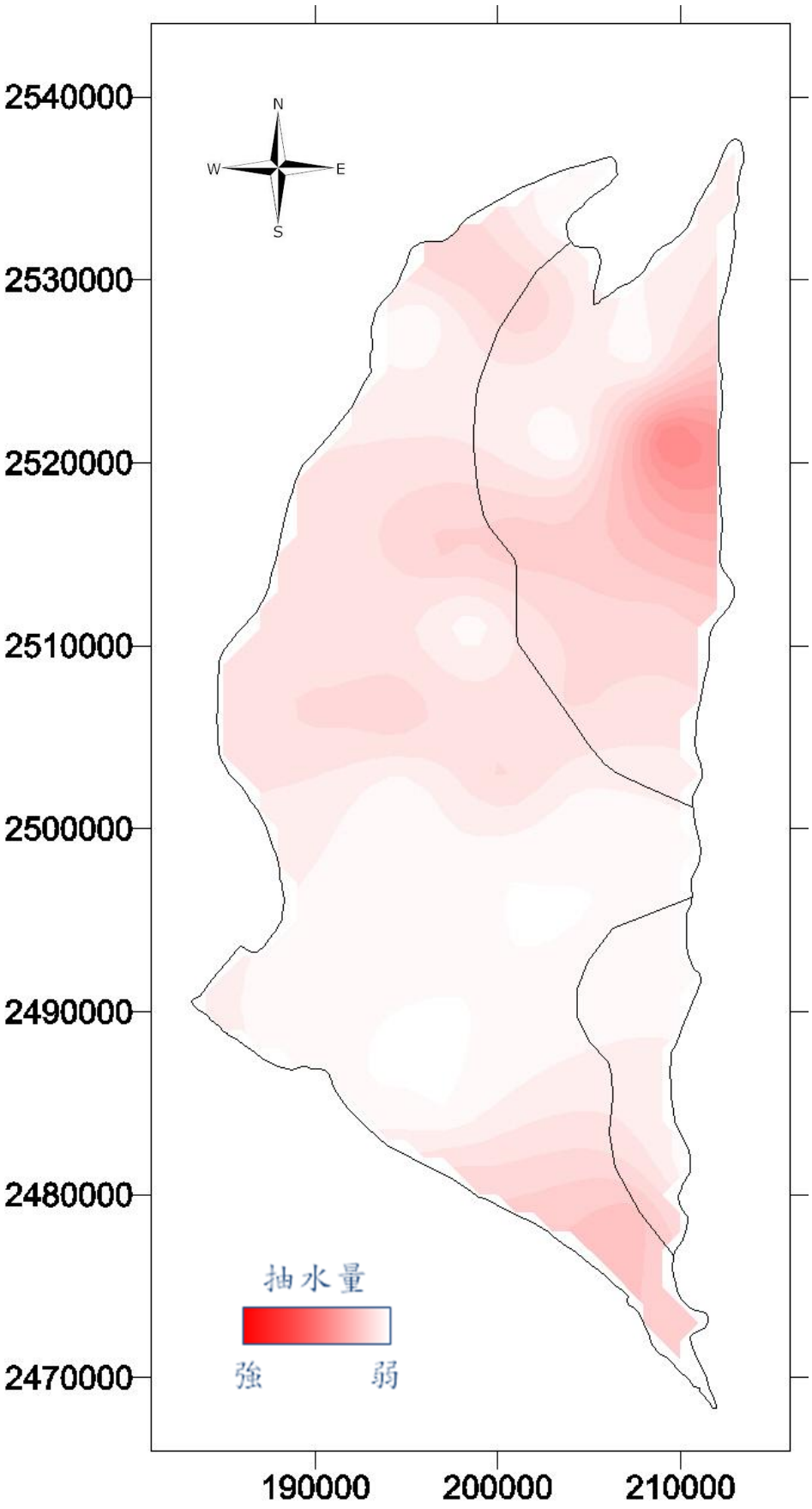


圖 6.4-2 第三分層抽水量分佈圖

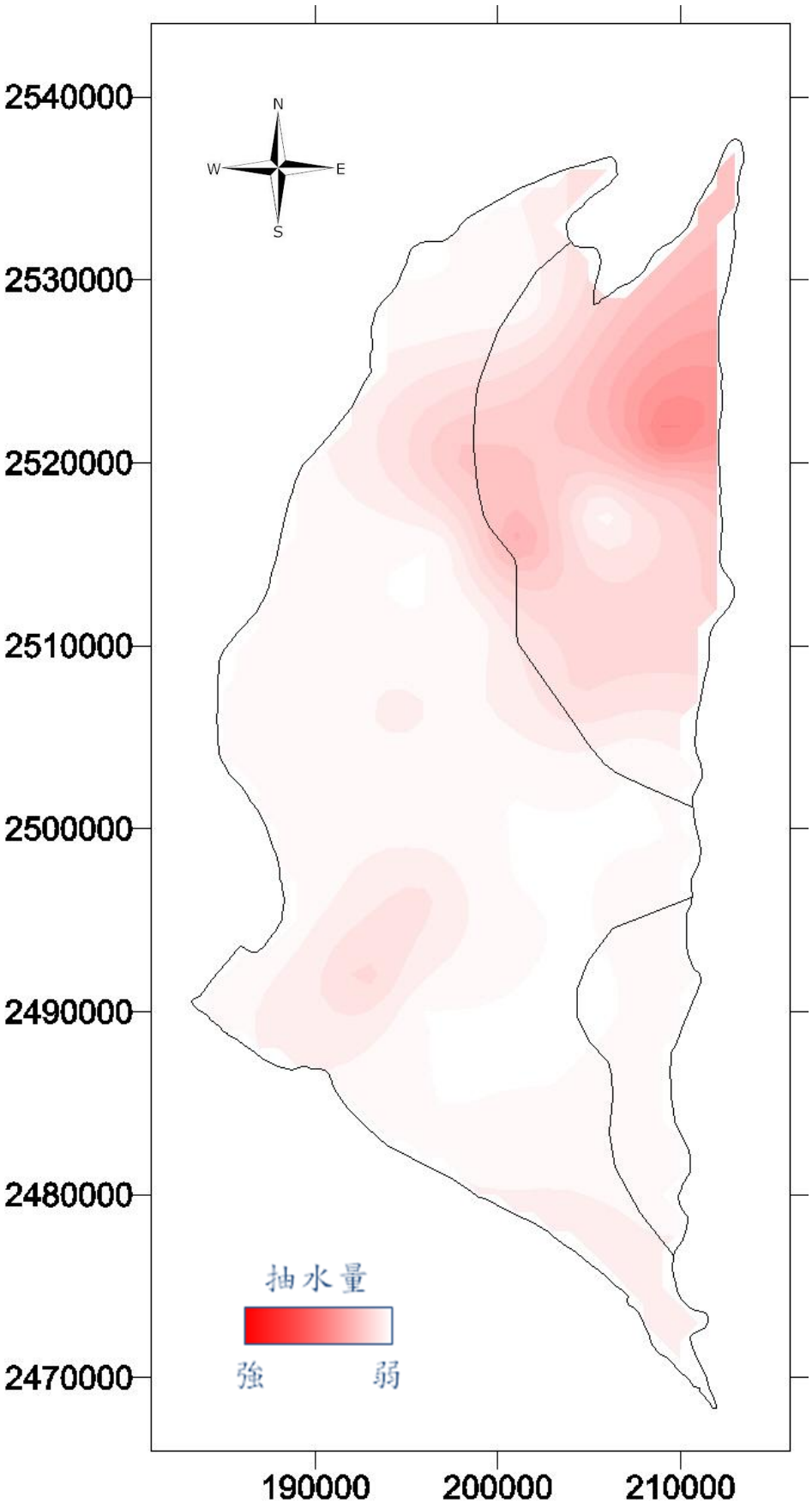


圖 6.4-3 第五分層抽水量分佈圖

6.5 主要補注區對地下水資源影響分析

完成穩態地下水數值模式建置後，可利用此模式搭配 MODPATH 水質模式，進行水質傳輸模擬。MODPATH (Pollock, 1994)亦是由美國地質調查局(U.S.G.S)所開發，其為 MODFLOW 模式之後置處理程式，因其利用水流模式計算後之水頭分佈推算流場分佈，再追蹤質點移動之路徑，故 MODPATH 有助於追蹤污染質之移動路徑。由於 MODPATH 假設不考慮汙染物質於地下水中之擴散及土壤吸附力等效應，且模擬質點傳輸時，質點將隨水流移動且不影響流場(蔡英傑，2006；陳祐誠，2009)。

本計劃已完成屏東平原穩態地下水數值模式之建置，以下將應用該模式以及 MODPATH 程式評估主要補注區受污染後，污染質對各含水層之影響範圍，其說明如下：

為評估主要補注區內概略水流流向，故先於主要補注區中設定少量污染質注入點，並於模擬時間 100 年內持續由地表處注入汙染質，其注入點位置及模擬結果如圖 6.5-1 所示，由圖可知各質點之移動情形，黑色實線所包圍之區域為地下水主要補注區，紅色流線代表汙染物質位於含水層 1，綠色流線代表汙染物質位於含水層 2，藍色流線代表汙染物質位於含水層 3。分析各流線顏色之變化可知，汙染物質約於 20 年內會下降至深層或不透水層上方，再沿著不透水層往下游移動。

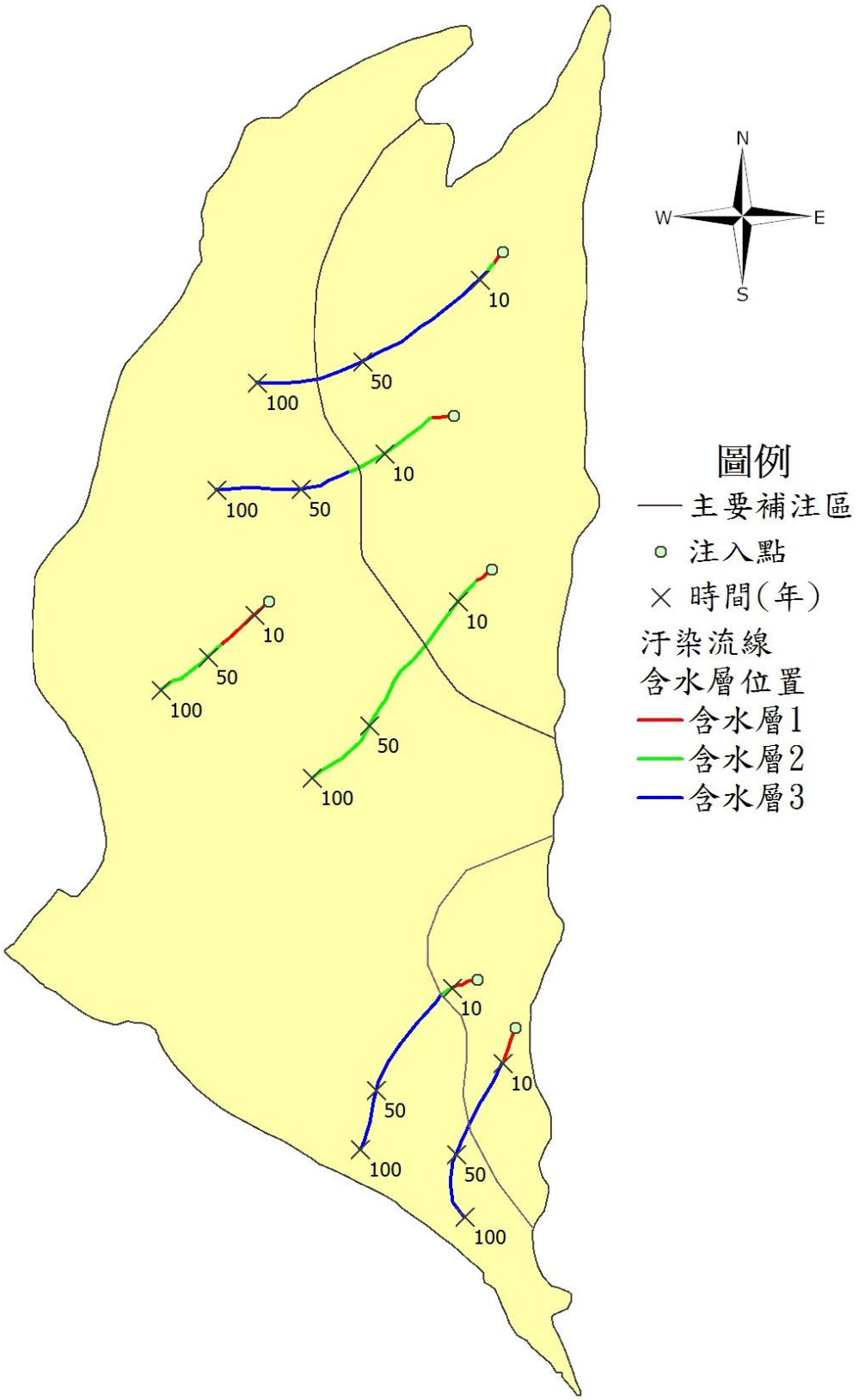


圖 6.5-1 汙染物於地下水主要補注區注入後之移動情形

為評估主要補注區受污染後對地下水資源之影響，本計畫於主要補注區內表層各格網上設定汙染質注入點，模擬時間為 100 年，並設定模擬時間內持續注入汙染質，以推估污染質可能傳輸之範圍，模擬結果如圖 6.5-2 ~ 圖 6.5-4 所示，紅線畫分區域為主要補注區，綠色區域為 10 年後汙染質影響範圍，藍色區域為 100 年後汙染質影響範圍，由圖可知 10 年後汙染質從主要補注區逐漸向外擴散並且向深層含水層移動，此時因汙染質從主要補注區表層持續注入，故含水層 1 之主要補注區內均受影響，且部分汙染質向外蔓延。在深層含水層部分，僅垂向流速較快區域汙染質進入含水層 3，被影響範圍較少。然當模擬至 100 年後，含水層 1 汙染質雖仍然持續向外蔓延，但與深層含水層相比，其影響範圍相對較小，而進入深層含水層之汙染質向外蔓延區域相對較廣。

由以上水質模擬可概略了解汙染物質進入屏東平主要補注區後，因該區無阻水層阻隔、含水層多為通透性良好之礫石層以及深層地下水抽取等原因，使得大部分汙染質逐漸往深層地下水層移動，並向下游區域蔓延，僅少部分汙染質在淺層含水層中流動，此情形將使全區深層地下水的使用產生安全上之疑慮，因此建議主要補注區應盡速完成妥善之保育規劃。

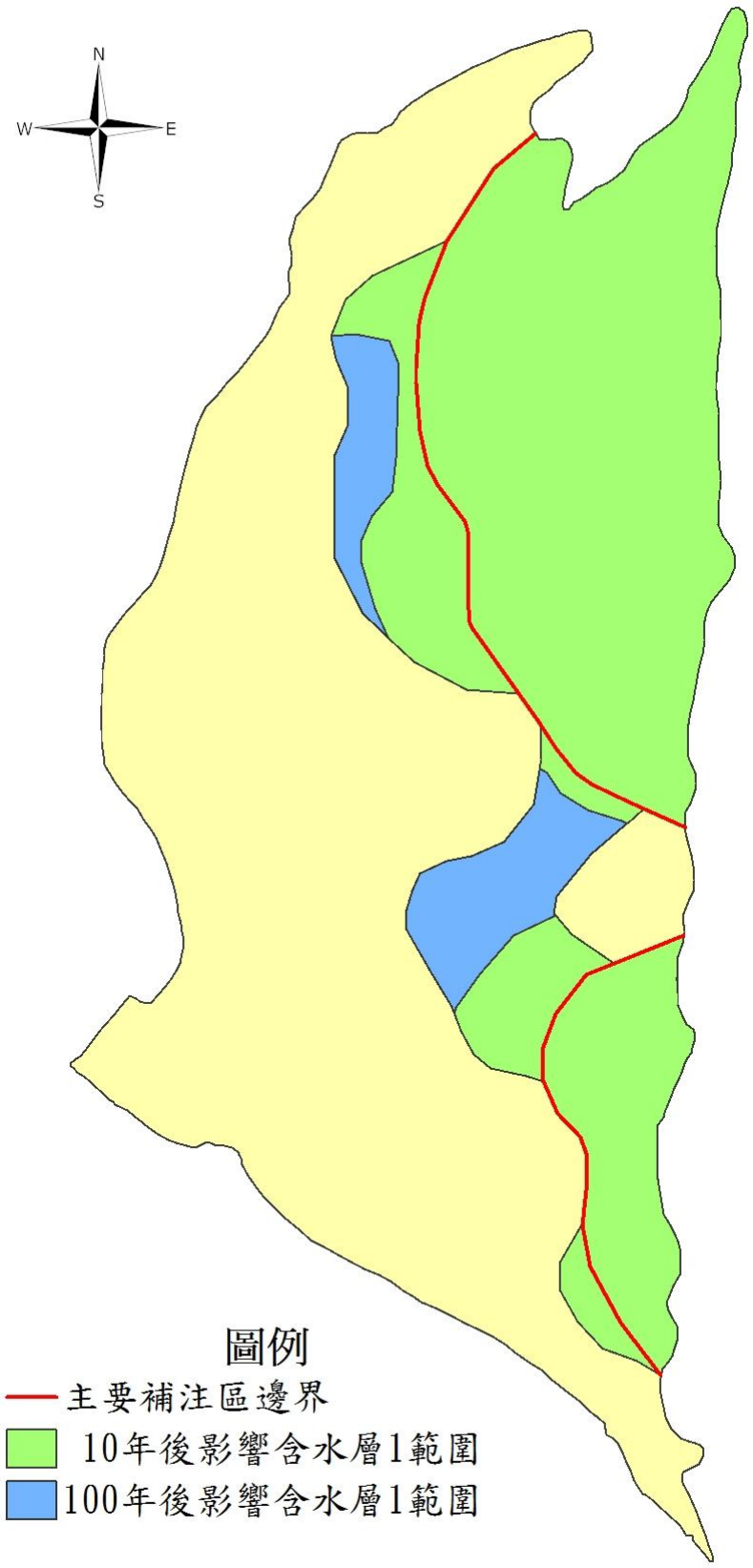


圖 6.5-2 汙染質注入主要補注區對含水層 1 影響範圍

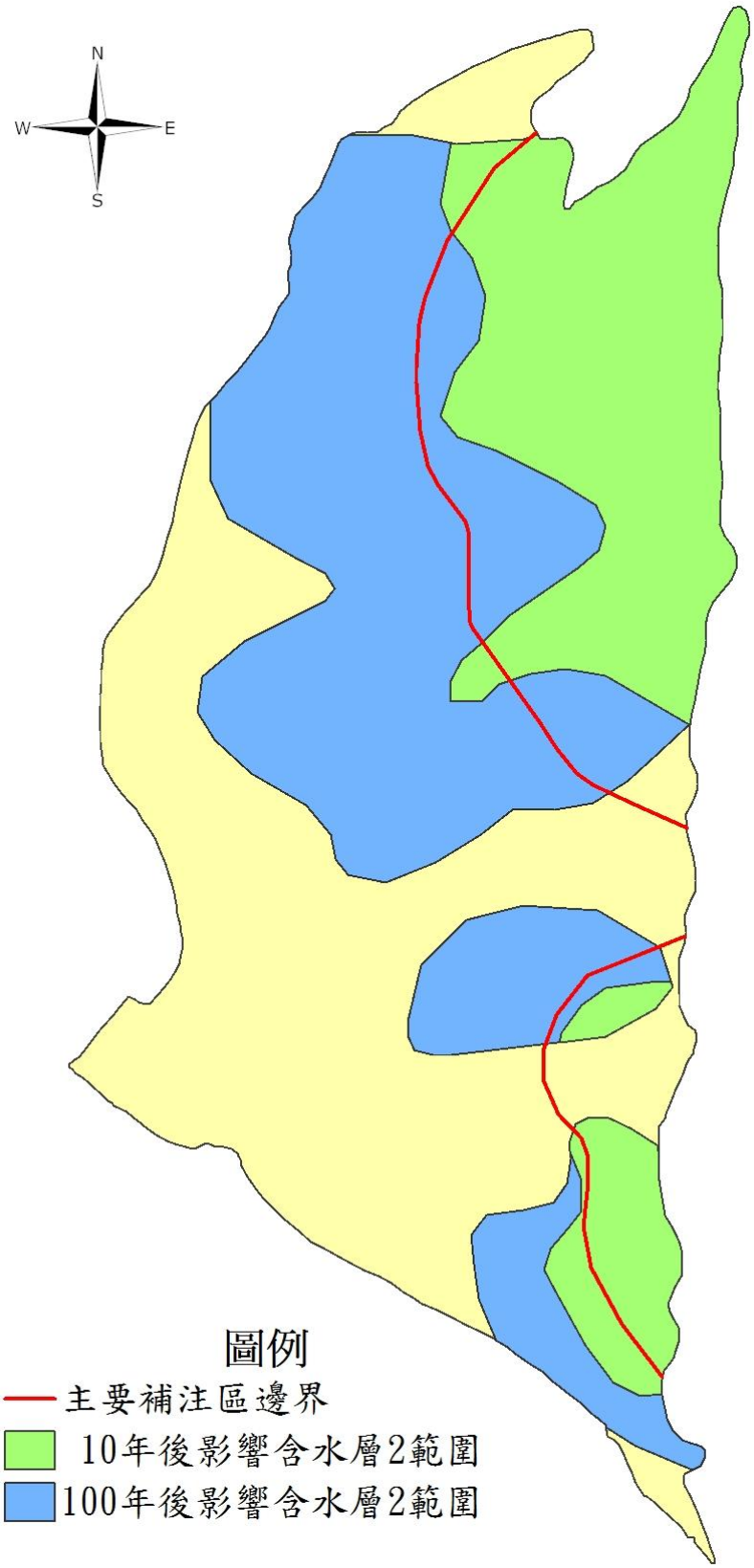


圖 6.5-3 汙染質注入主要補注區對含水層 2 影響範圍

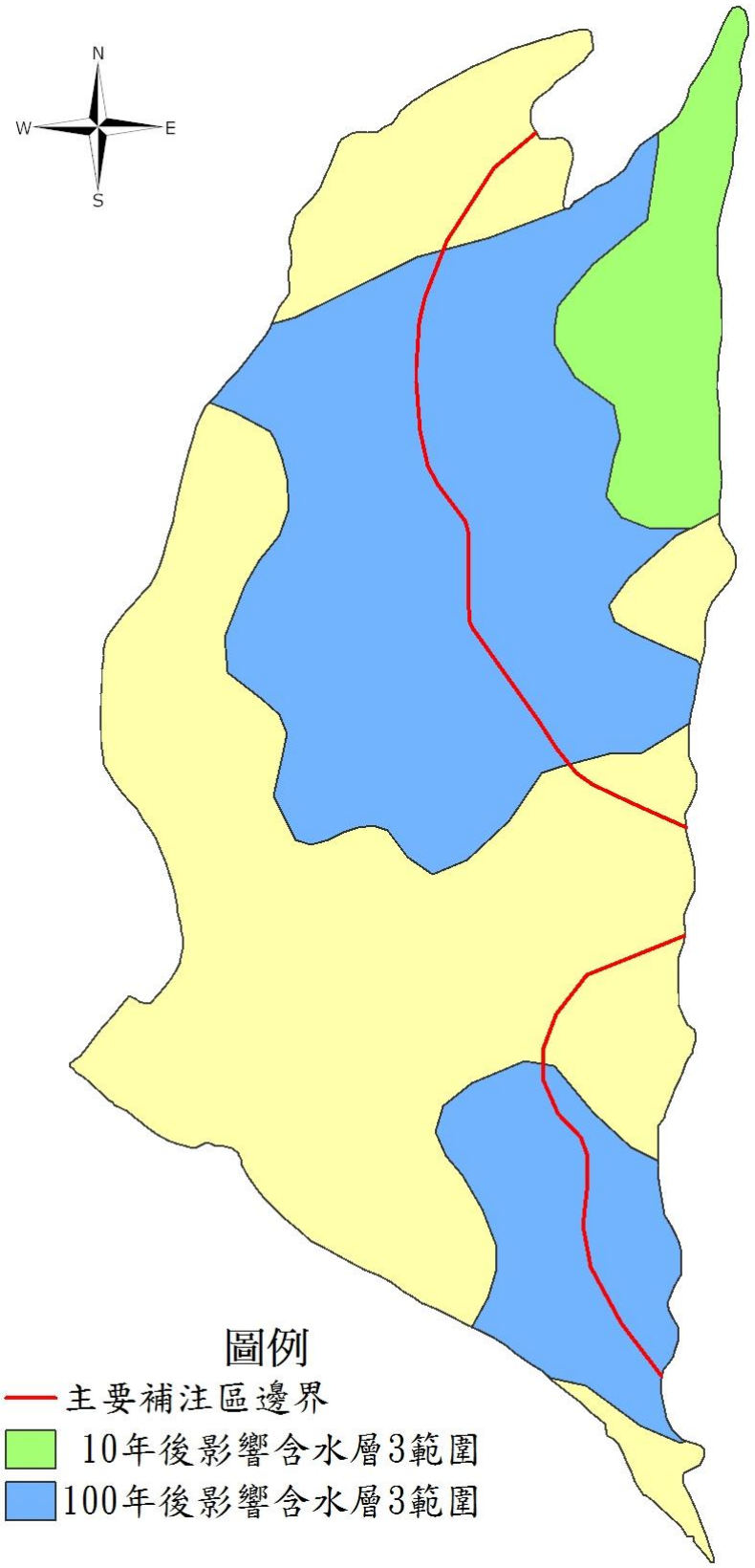


圖 6.5-4 汙染質注入主要補注區對含水層 3 影響範圍

第七章 地下水補注潛勢評估作業平台更新

「地下水補注潛勢評估作業平台」是提供使用者進行地下水補注區劃分之輔助工具，因此本平台除可進行相關評估計算外，以視覺展示方式呈現不同區位補注能力強弱，令使用者能迅速掌握補注潛勢在空間上之差異，乃是本平台最重要之功能及目的。圖 7-1 為地下水補注潛勢評估作業平台之系統架構圖，其中包括十項元件(詳述如 7.1 節)。

本年度工作項目在地下水補注評估作業平台建置方面可分為兩部分，一為「儲存與載入功能」之建立，另一為屏東平原基本資料之建立，目前兩者皆已完成。在「儲存與載入功能」方面，案例設定以視覺化的介面呈現，方便使用者之重複利用與修改，使不同使用者之間的案例交換更為方便；另外屏東平原的基礎資料已建立完成，並且與之前的濁水溪區域作整合，兩個區域的資料皆更新至 2010 年 12 月 31 日止，使用者可透過平台簡易的在不同區域之間切換，進行後續的計算動作。

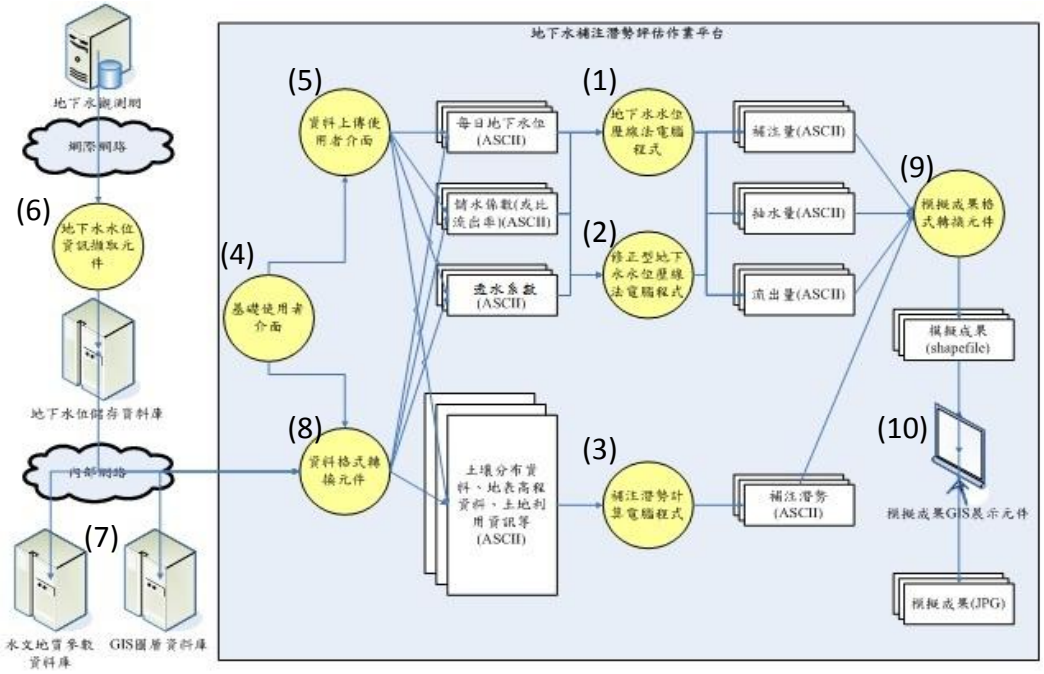


圖 7.1 地下水補注潛勢評估作業平台架構圖

7.1 地下水補注潛勢評估作業平台系統元件說明

本平台由十項元件所組成，共分為三大類：第(1)至第(3)項元件為本平台之核心計算程式；第(4)至第(8)項元件則與使用者介面及輸入檔建立有關；而第(9)及第(10)項元件則是與電腦程式之輸出檔有關，作為視覺化呈現計算成果之用。系統十大元件分別為：

(1) 地下水水位歷線法電腦程式。
(2) 修正型地下水水位歷線法電腦程式。
(3) 補注潛勢計算電腦程式。
(4) 基礎使用者介面
(5) 資料上傳使用者介面。
(6) 地下水水位資訊擷取元件。
(7) 地下水位儲存資料庫、水文地質參數資料庫與 GIS 圖層資料庫。
(8) 資料格式轉換元件。
(9) 模擬成果格式轉換元件。
(10) 模擬成果 GIS 展示元件。

第(1)至第(3)項元件之電腦程式為本計劃之核心工作項目，主要以 FORTRAN 程式語言進行撰寫開發，其輸入檔必須預先整理為 ASCII 文字檔，輸入檔內資料則需依特定格式排列。「地下水位歷線法電腦程式」之輸入資料包含研究區域之每日地下水位與儲水係數或比流出率，而「修正型地下水位歷線法電腦程式」則需再增加該地區之透水係數；「補注潛勢計算電腦程式」之輸入資料則需要研究區域各網格之表層土壤種類、土地利用、河系分布比例與面積、透水係數、平均年降雨量因子、降雨與地下水位相關性因子與單位蓄水量變化因子等考量之補注潛勢因子資訊。

第(4)項元件之「基礎使用者介面(Basic user interface)」係提供使用者決定待計算之電腦程式，依據選定之電腦程式不同，所需之輸入資料亦為不同，接著使用者仍須決定準備使用之資料輸入流程，如欲使用第一類輸入流程，其後則自行啟動第(5)項之「資料上傳使用者介面」；如欲使用第二類輸入流程，使用者可用勾選的方式選擇研究區域與時段，系統將透過第(8)項之「資料格式轉換元件」，其將自第(7)項之「地下水位儲存資料庫、水文地質參數資料庫與 GIS 圖層資料庫」取得所需資料，並儲存為後續電腦程式之輸入檔。

第(5)項元件之「資料上傳使用者介面(Data upload user interface)」為第一類輸入流程所需之上傳介面，使用者需要依據各電腦程式定義之格式，自行建立輸入檔，再由本介面上傳。

第(6)項之「地下水位資訊擷取元件」可由系統管理者定期啟動，自地下水觀測網網站上取得研究區域各水位觀測井之水位更新資料。

第(7)項之「地下水位儲存資料庫、水文地質參數資料庫與 GIS 圖層資料庫」則可建置於貴所內部網域中，儲存本平台所需之各類資料，包含研究區域之日地下水位資料、各項水文地質參數與相關所需之 GIS 圖層，其中「地下水位儲存資料庫」與「地下水水位資訊擷取元件」搭配使用，以儲存「擷取元件」所解析之地下水位更新資料；「水文地質參數資料庫」則儲存研究區域內各觀測井與其代表範圍所對應之透水係數與儲水係數等相關水文地質參數；「GIS 圖層資料庫」則儲存研究區域內相關所需之 GIS 圖層，其中包含表層土壤種類分布圖、土地利用圖與河系等圖層。

第(8)項之「資料格式轉換元件」則負責從第(7)項之各項資料庫中取得所需資料，並將資料依據第(1)至第(3)項之「電腦程式」所定義之格式輸出，自動建立輸入檔。因此第二類資料輸入流程需搭配第(6)至第(8)項元件運作，如此使用者僅需要勾選所需啟動之研究區域、時段與功能，系統將自行準備程式之輸入檔，再啟動電腦程式運算。

第(9)項之「模擬成果格式轉換元件」是將電腦程式輸出之 ASCII 格式模擬成果，包含補注量、抽水量、流出量、補注潛勢與地下水位等空間分布資訊，透過克利金(Kriging)或線性內插等內插方法，將點位資料轉換為平面資料，在此以地理資訊系統(GIS)作為空間資料展示之介面，因此選用 GIS 地理資訊系統檔案格式，此外由於國內常使用之 GIS 流通格式為 Shapefile(.shp)格式，因此 Shapefile 將是系統之內建檔案格式。

第(10)項之「模擬成果 GIS 展示元件」則以地理資訊系統軟體開啟瀏覽「模擬成果格式轉換元件」所製作之 Shapefile 檔案，由於 Shapefile 檔案為向量式圖檔，因此在地理資訊系統中，使用者可以任意的縮放圖面。此外，在顯示上亦可以任意搭配其他現有的圖層，例如縣市鄉鎮圖、土地利用圖、土壤分布圖、河川水系圖或道路路線圖等。另外，地理資訊系統軟體內建的匯出(Export)功能，

可將模擬成果繪製成 JPG 形式之圖檔，方便使用者使用於文件或提高檔案交換的流通性。

7.2 地下水補注潛勢評估作業平台使用流程

地下水補注潛勢評估作業平台第(4)項元件「基礎使用者介面」與第(5)項「資料上傳使用者介面」兩者，均為評估作業平台之前處理使用者介面(User Interface, UI)。本計劃以崧旭資訊公司之 SuperGIS 軟體為基礎，介面表單開發使用 SuperGeo 客製化 VBA 開發工具，建立地下水補注潛勢評估作業平台，其中依功能可區分為「水位歷線法補注評估」及「地下水補注潛勢評估」等計算模組，架構如圖 7.2 所示。在「基礎使用者介面」、「資料上傳使用者介面」與「資料格式轉換元件」方面，由於視窗版本之圖形化使用者介面與網際網路功能為其主要門檻，在此以 Visual Basic (VB)程式語言撰寫。

上述兩種計算模組中均有「資料庫自動建立」與「使用者自行建立」兩類輸入方式：

一、 「資料庫自動建立」:該介面提供使用者簡易的幾項參數設定選項，選取後，作業平台則會自動透過電腦程式由前述建立之資料庫，補足計算所需之所有資料。

二、 「使用者自行建立」:該介面則是提供使用者開啟自行製作之輸入檔，給予程式進行計算之用，藉此在使用方便性與模擬彈性兩者間取得平衡。輸入檔之資料格式必須完全依照程式規範。

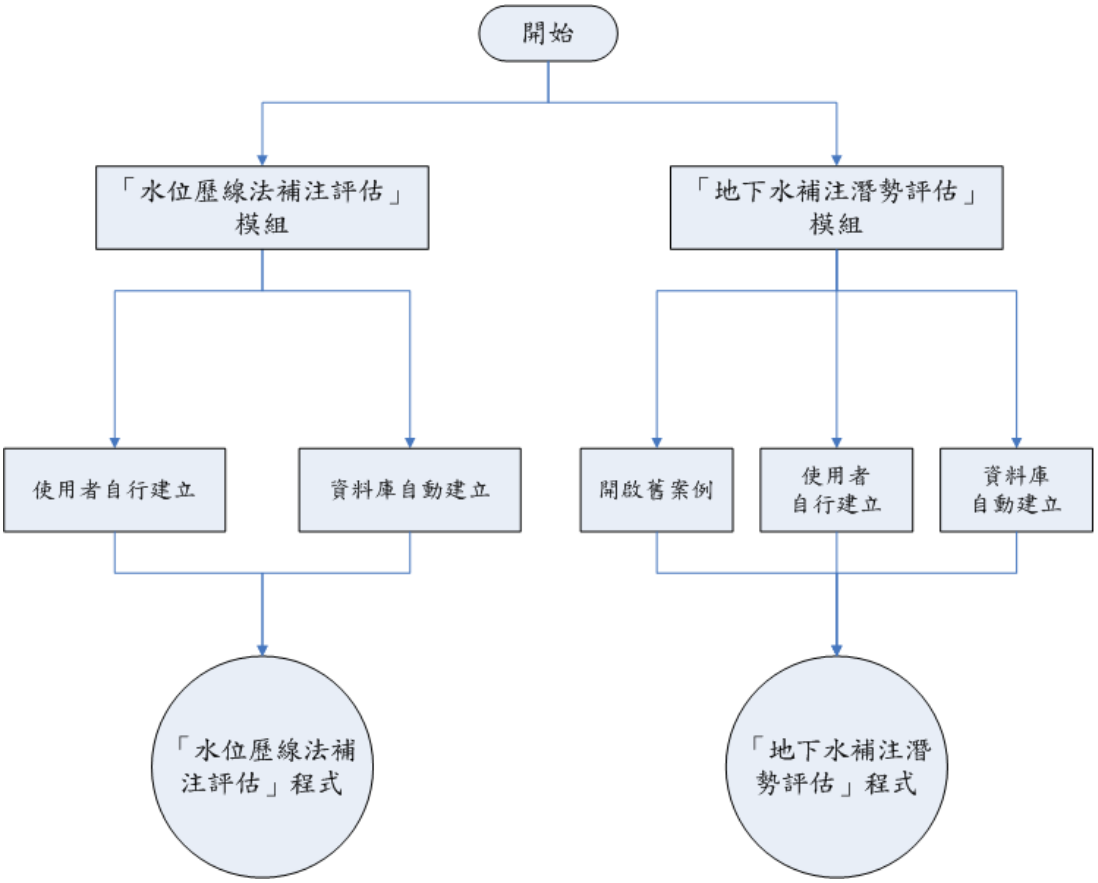


圖 7.2 地下水補注潛勢評估作業平台使用流程圖

7.3 核心計算程式

本評估作業平台最重要的核心即為「地下水水位歷線法電腦程式」、「修正型地下水水位歷線法電腦程式」與「補注潛勢計算電腦程式」三支電腦程式，其計算類型近似傳統土木水利領域之數值計算，而 FORTRAN 語言為傳統土木水利領域常用之程式語言，對於數值計算較為方便迅速，故本平台之核心計算程式皆採用 FORTRAN 語言撰寫，目前皆已開發完成。

因應核心計算程式所需之空間數據，以及在補注潛勢模擬成果展示方面，使模擬成果可以迅速地從畫面上一目了然，需有其他擴充模組以達到需求 (空間內插及其他系統相關需求)，因此除了「桌上型 GIS 軟體」外(崧旭資訊公司的 SuperGIS 軟體)，尚包含了「Spatial Analyst 空間分析模組」、「Spaital Staitistics Analyst 空間統計分析模組」與「67/97 座標轉換模組」，如表 7.3 所示。

表 7.3GIS 專案相關軟體清單表

項次	項目
1	桌上型 GIS 軟體（網路版權）
2	GIS 軟體擴充模組-Spatial Analyst 空間分析
3	GIS 軟體擴充模組-Spaital Staitistics Analyst 空間統計分析
4	GIS 軟體擴充模組-67/97 座標轉換

執行成果以 SuperGeo 空間分析元件 SGSA2.dll 做為成果展示工具。該元件可將離散的點位值，以內插方式(Interpolation)，計算出區域內的未知網格值。本案以反距離權重法(Inverse Distance Weight, IDW)為演算內插計算的方法。相關資訊如以負值呈現，該元件亦支援負值運算，不必另行處理。

計算的結果值，再以顏色表示數值的變化，便於以圖像方式，表達空間數值。透過顏色變化的呈現方式，輔助瞭解地下水位的分佈變化。在 GIS 中，相同的數值，也可以再利用等值線法(isopleths Map ,Contour Map)來表示。對於後續的相關疊圖分析(Overlay Analysis)，本元件提供了網格圖層之間計算的功能。可針算不同圖層，設定參數後，再輸出結果圖層。

7.4 水文地質參數資料庫與 GIS 圖層資料庫建立

一、 水文地質參數資料庫

本計劃今年度將收集屏東平原水文地質參數，如地下水井之座標、儲水係數及透水係數等，依各站建立對應之相關水文地質參數，供後續計算評估使用。

二、 GIS 圖層資料庫

本計劃今年度將收集屏東平原地下水區之所有 GIS 圖資，其中包含該區域的水區邊界圖及網格圖，以及土地利用、表層土壤種類、河系、平均降雨量、降雨與地下水位變化相關性、透水係數、單位蓄水量變化等七種圖層，其分別對應前述之七種補注潛勢影響因子，在此建立 GIS 圖層資料庫。方便後續使用者從系統中載入該區之地下水區各種 GIS 圖資，以利各水區之 GIS 圖資之儲存、管理與分享。

7.5 系統操作說明

7.5.1 補注潛勢評估作業平台操作介面及說明

一、開啟平台工具 SuperGIS 3.0 版



圖 7.5-1 SuperGIS 開啟畫面

二、系統安裝

為方便使用者安裝，本系統已將其安裝步驟精簡，使用者只須依照動作指令操作，便可輕鬆安裝。如圖 7.5-2。

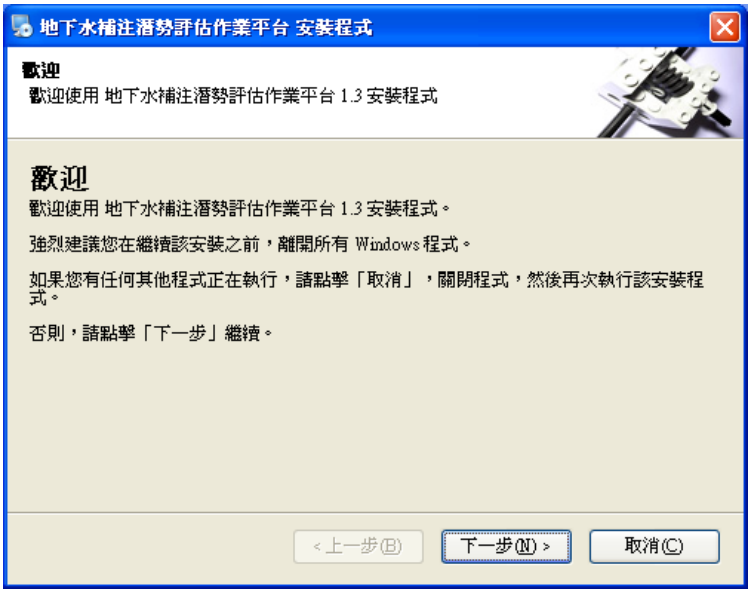


圖 7.5-2 地下水補注潛勢評估作業平台安裝程式

設定資料庫路徑，本作業平台內含計算及分析功能，須從資料庫內抓取相關資料方能計算，因此作業平台須連結至資料庫才可使用。於安裝步驟中，可自行選擇安裝後立即設定路徑，或是在之後啟動作業平台時再另行設定。

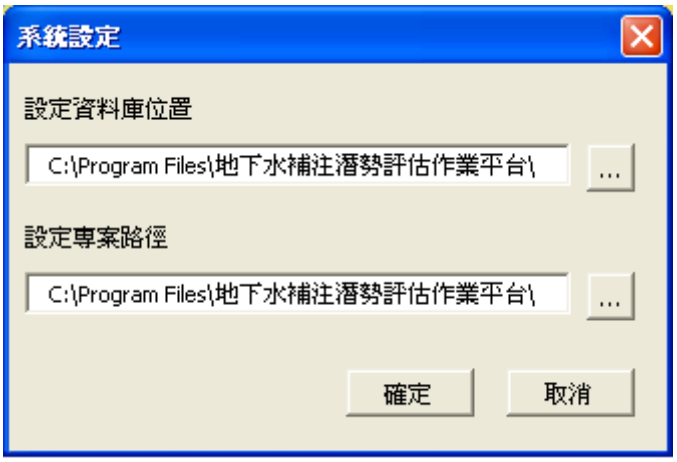


圖 7.5-3 地下水補注潛勢評估作業平台 設定資料庫路徑

三、系統操作

系統開啟時將顯示版權宣告及登入頁面，如圖 7.5-4。



圖 7.5-4 地下水補注潛勢評估作業平台 版權宣告及登入頁面

評估作業系統之版權屬於經濟部中央地質調查所，使用者名稱及密碼目前預設可使用 guest 及 guest 登入。平台之基本圖層分為濁水溪沖積扇地下水位測站、濁水溪研究區域、屏東平原地下水位測站、屏東平原研究區域、縣市界圖層等五種。如圖 7.5-5。

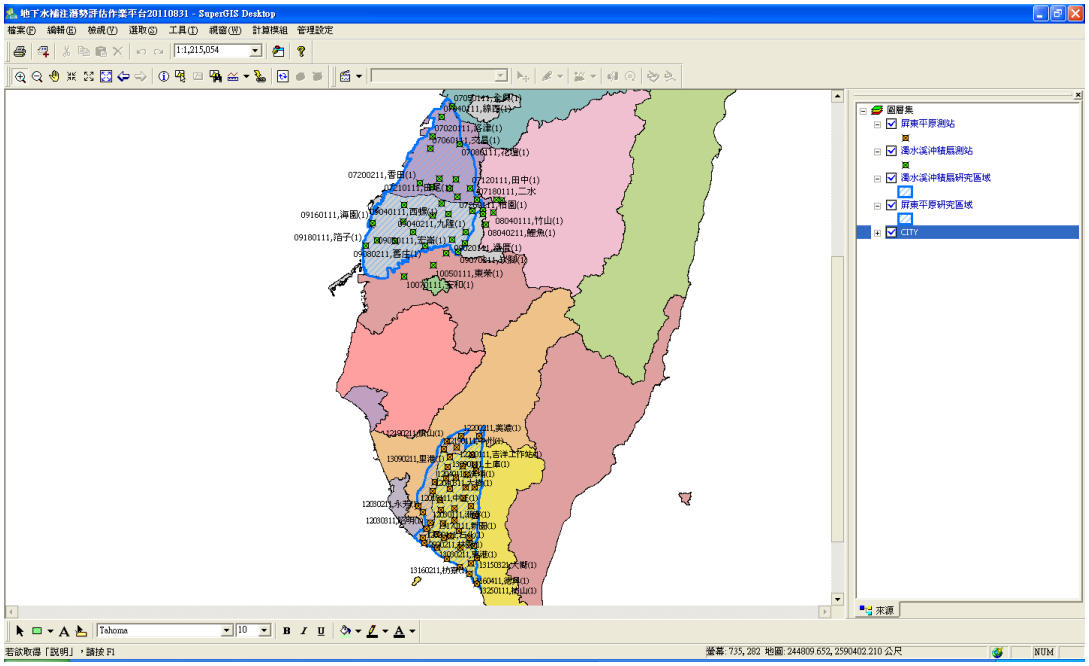


圖 7.5-5 地下水補注潛勢評估作業平台

四、選取「水位歷線法補注評估」

水位歷線法補注評估---資料庫自動建立：

本平台提供兩類資料輸入方案，第一類係由使用者提供定義所需之輸入檔，第二類則由系統平台自動準備其輸入檔。使用者若採取第二類資料輸入流程則在取得與更新地下水位資料上可有效減少工作量。當選擇**資料庫自動建立**時，操作方式需要由使用者以下拉式選單及勾選方式分別輸入「案例設定」、「地下水井井號設定」、「雨量資料設定」。如圖 7.5-6。

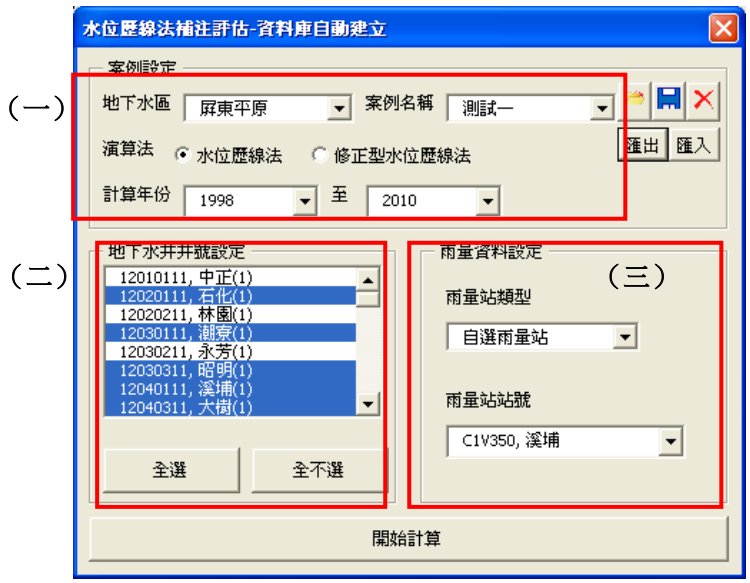


圖 7.5-6 水位歷線法補注評估-資料庫自動建立畫面

操作說明：

（一） 案例設定：選擇「地下水區」，下拉式選單內可自行選擇「濁水溪沖積扇」或「屏東平原」，另外輸入自訂之案例名稱。選擇「演算法」，可依需求勾選「水位歷線法」或「修正型水位歷線法」。以下拉式選單選取「計算年份」，年份設定自 1998 至 2010 年。

（二） 地下水水井井號設定：自行選取內部建置之井號，可單獨選取亦可直接全部選取。

（三） 雨量資料設定：選取雨量資料之類型，內建「全區平均雨量」、「山區平均雨量」、「平原區平均雨量」及「自選雨量站」，若於雨量站類型欄位選取「自選雨量」，則可自行選取雨量站站號。

（四） 開始計算：計算結果產生成果圖表。如圖 7.5-7。

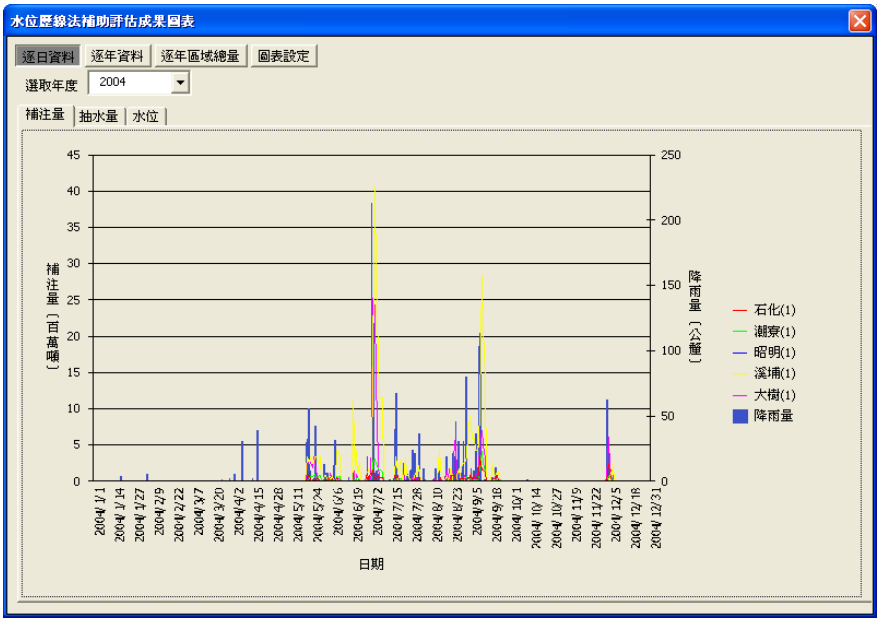


圖 7.5-7 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-補注量)

（五） 成果圖表可分為資料類型(逐日資料、逐年資料、逐年區域總量)與圖表類型(補助量、抽水量、水位、累計補助量、累計抽水量、平均水位)，如圖 7.5-8～7.5-12。

（六） 於圖表畫面中，使用者可將游標移置圖表上並雙點擊圖表，系統將自動將其圖表複製並存放於剪貼簿，如圖 7.5-13。

（七） 水位歷線法補注評估成果圖表逐年資料中除了水位資料為平均值外，其餘的資料如累積補注量、累積抽水量、累積水平流通量皆為整年累積之統計值。

（八） 逐年區域內累積總量，以表格方式呈現，如圖 7.5-14。

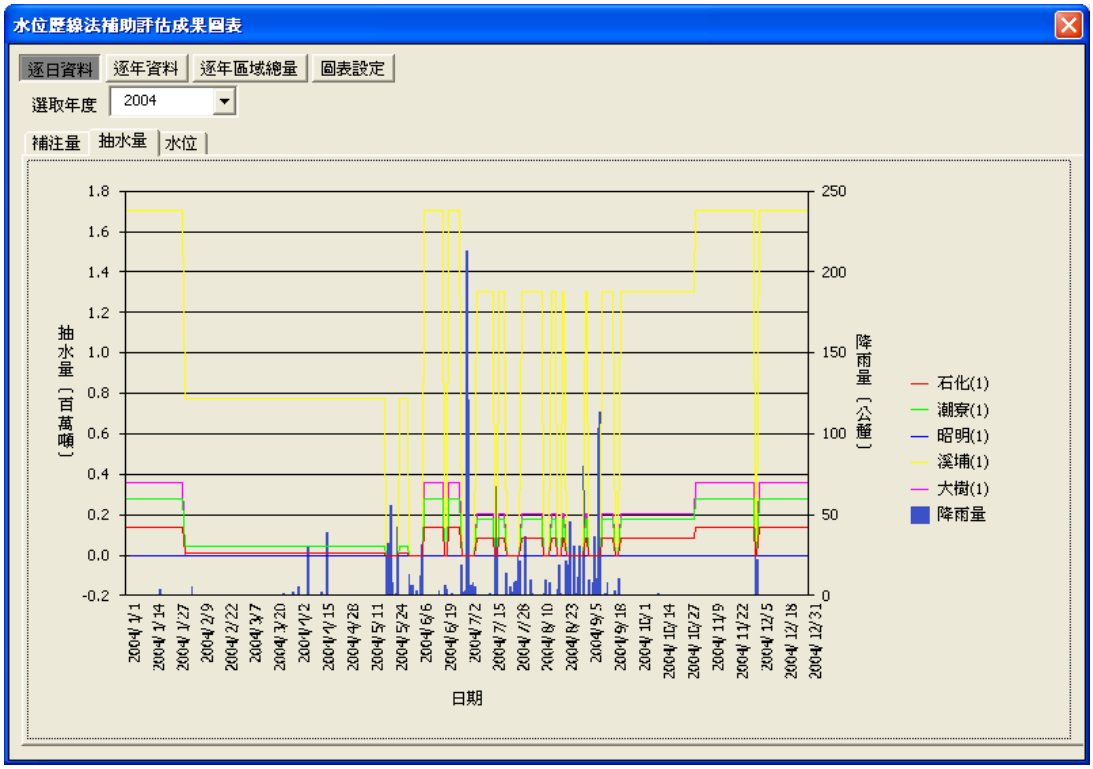


圖 7.5-8 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-抽水量)

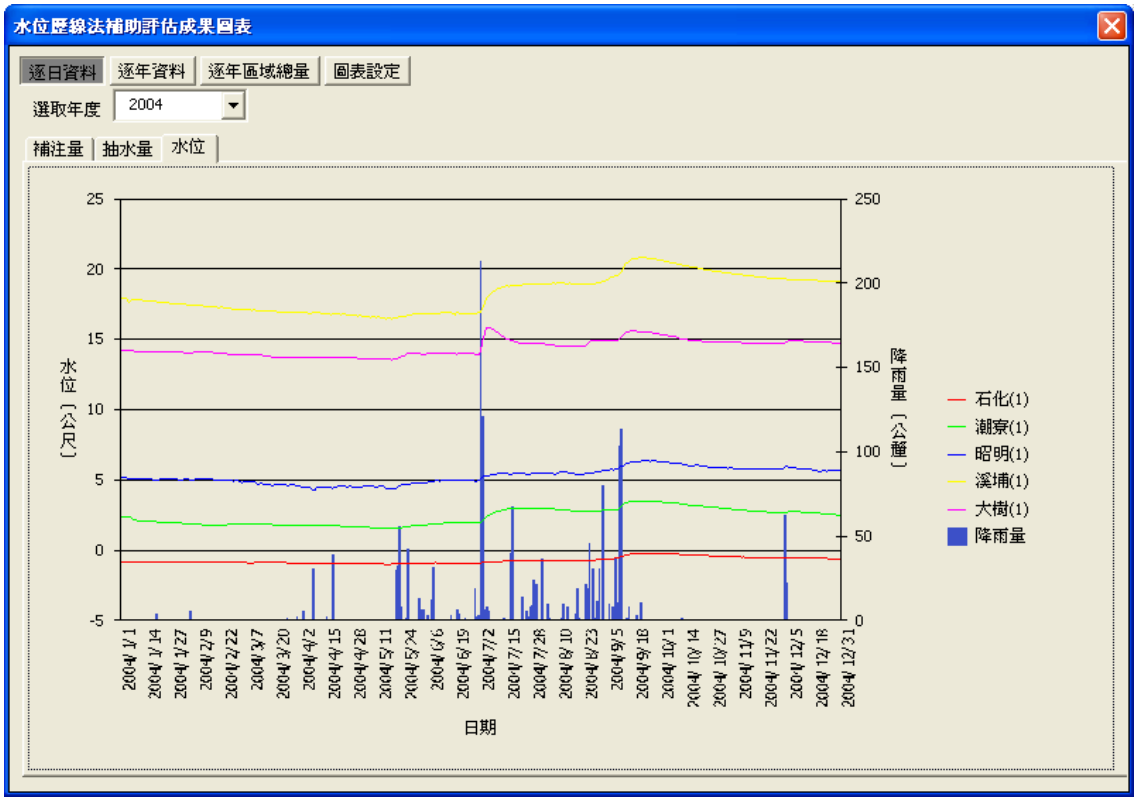


圖 7.5-9 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-水位)

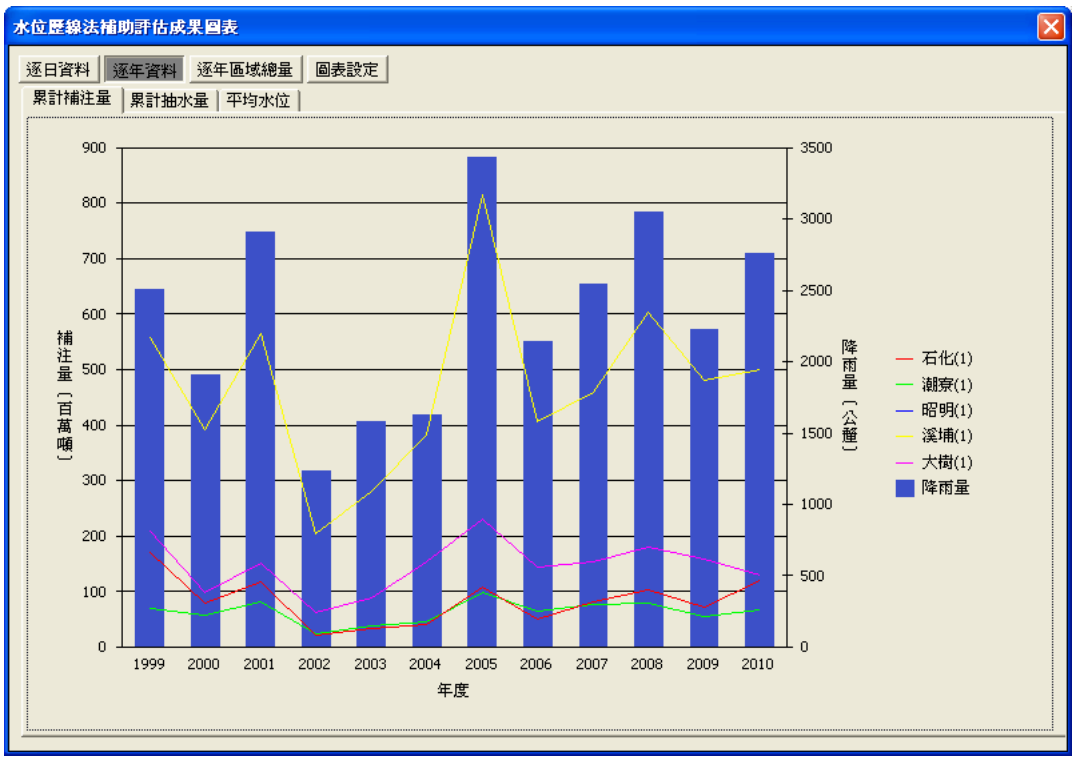


圖 7.5-10 水位歷線法補注評估成果圖表(逐年資料-累計補注量)

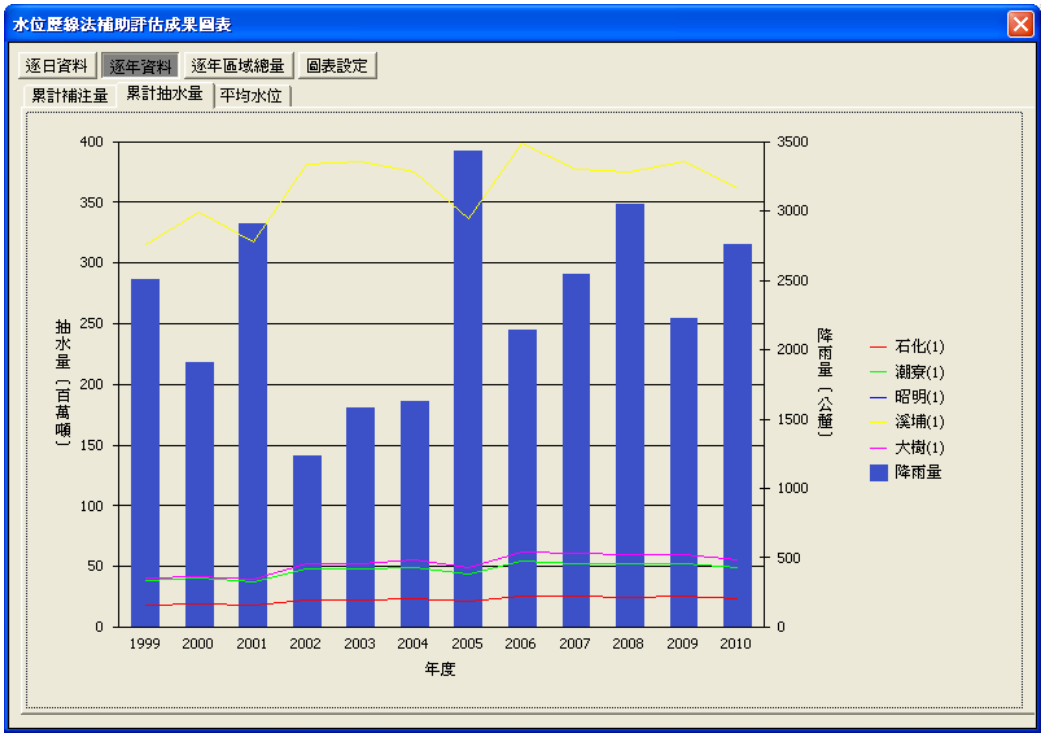


圖 7.5-11 水位歷線法補注評估成果圖表(逐年資料-累計抽水量)

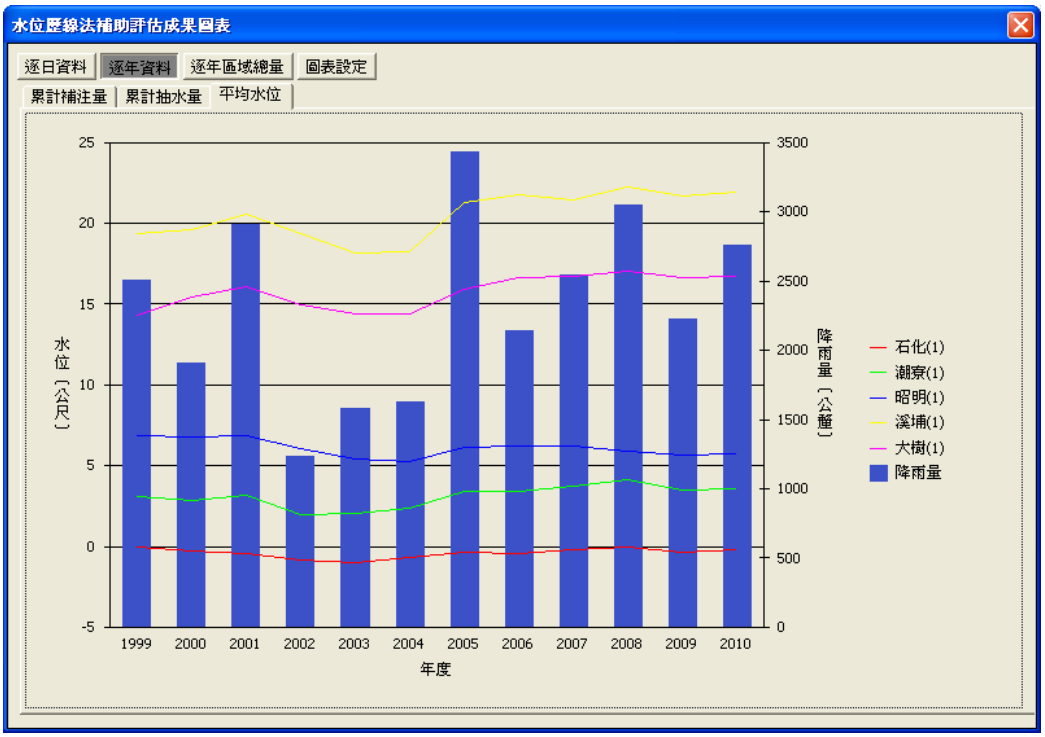


圖 7.5-12 水位歷線法補注評估成果圖表(逐年資料-平均水位)

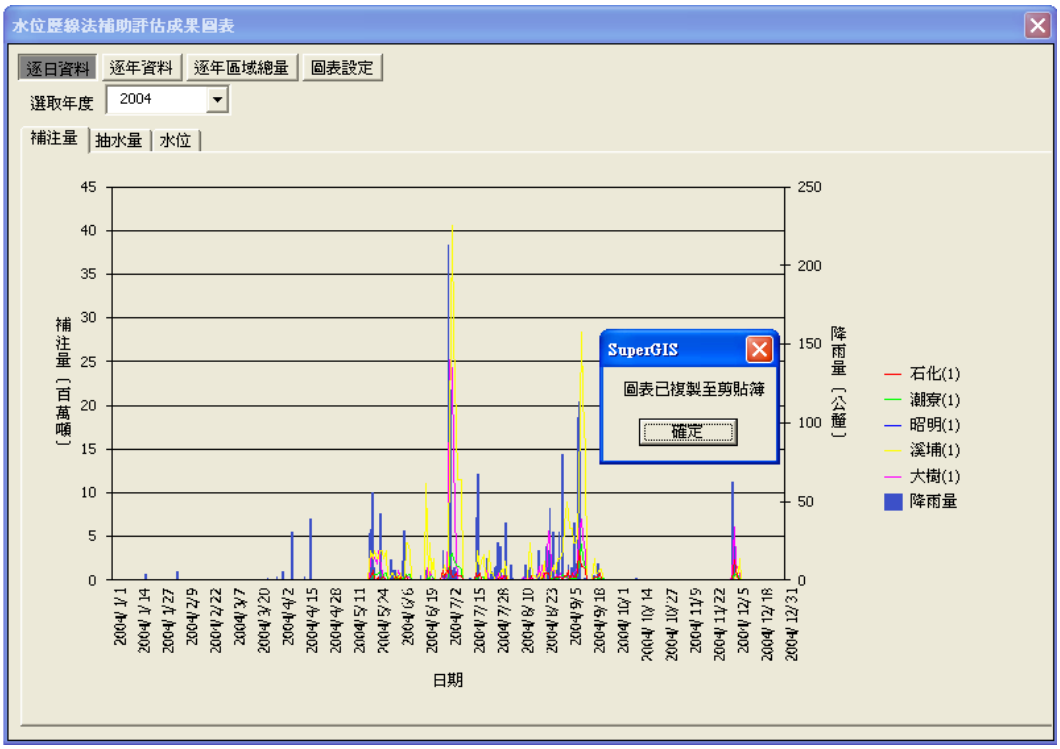
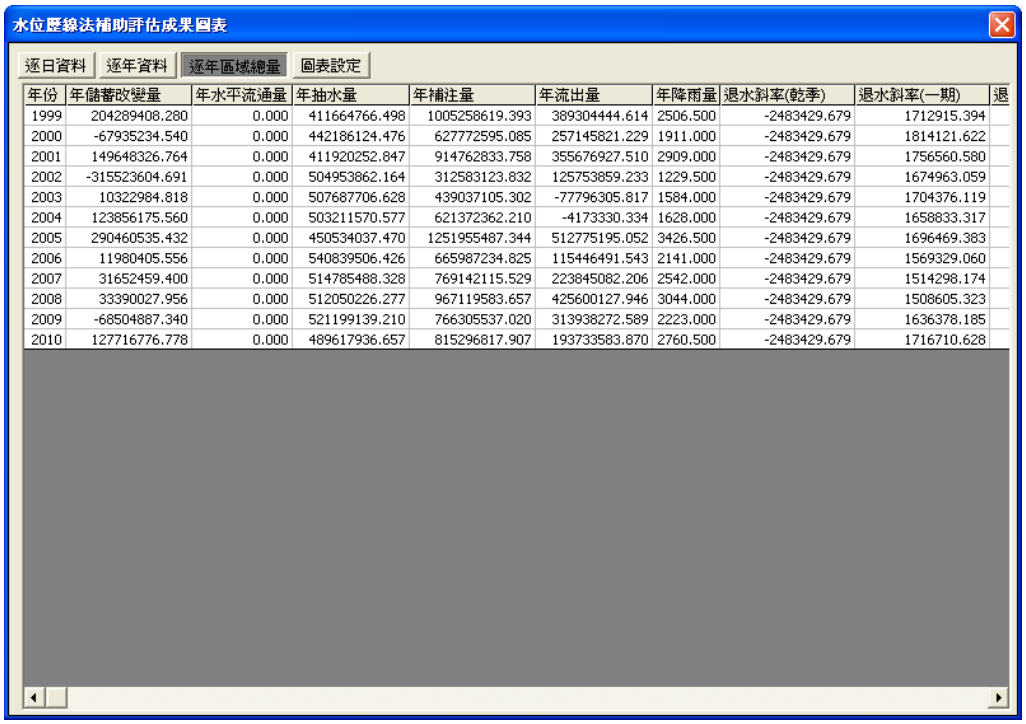


圖 7.5-13 水位歷線法補注評估成果圖表(滑鼠雙擊圖表可複製圖表至剪貼簿)



年份	年儲蓄改變量	年水平流通量	年抽水量	年補注量	年流出量	年降雨量	退水斜率(乾季)	退水斜率(一期)	退
1999	204289408.280	0.000	411664766.498	1005258619.393	389304444.614	2506.500	-2483429.679	1712915.394	
2000	-67935234.540	0.000	442186124.476	627772595.085	257145821.229	1911.000	-2483429.679	1814121.622	
2001	149648326.764	0.000	411920252.847	914762833.758	355676927.510	2909.000	-2483429.679	1756560.580	
2002	-315523604.691	0.000	504953862.164	312583123.832	125753859.233	1229.500	-2483429.679	1674963.059	
2003	10322984.818	0.000	507687706.628	439037105.302	-77796305.817	1584.000	-2483429.679	1704376.119	
2004	123856175.560	0.000	503211570.577	621372362.210	-4173330.334	1628.000	-2483429.679	1658833.317	
2005	290460535.432	0.000	450534037.470	1251955487.344	512775195.052	3426.500	-2483429.679	1696469.383	
2006	11980405.556	0.000	540839506.426	665987234.825	115446491.543	2141.000	-2483429.679	1569329.060	
2007	31652459.400	0.000	514785488.328	769142115.529	223845082.206	2542.000	-2483429.679	1514298.174	
2008	33390027.956	0.000	512050226.277	967119583.657	425600127.946	3044.000	-2483429.679	1508605.323	
2009	-68504887.340	0.000	521199139.210	766305537.020	313938272.589	2223.000	-2483429.679	1636378.185	
2010	127716776.778	0.000	489617936.657	815296817.907	193733583.870	2760.500	-2483429.679	1716710.628	

圖 7.5-14 水位歷線法補注評估成果圖表(逐年區域總量圖表)

（九） 當選取的測站太多時，圖表區只會顯示前十個測站的圖表，可以在「圖 表設定」欄位選取欲顯示的測站，如圖 7.5-15。



圖 7.5-15 水位歷線法補注評估成果圖表（圖表設定）

（十） 案例名稱右方的五個按鈕可用來管理案例設定參數，包含地下水區、演算法、計算年份、地下水井設定、雨量站設定等。第一個按鈕是讀取已儲存的案例設定，第二個按鈕是儲存目前的設定，第三個按鈕是刪除已儲存的案例。另外還有提供匯出/匯入功能，供使用者將單一案例設定匯出成檔案，並將該案例分享給其它使用者匯入使用，如圖 7.5-16。

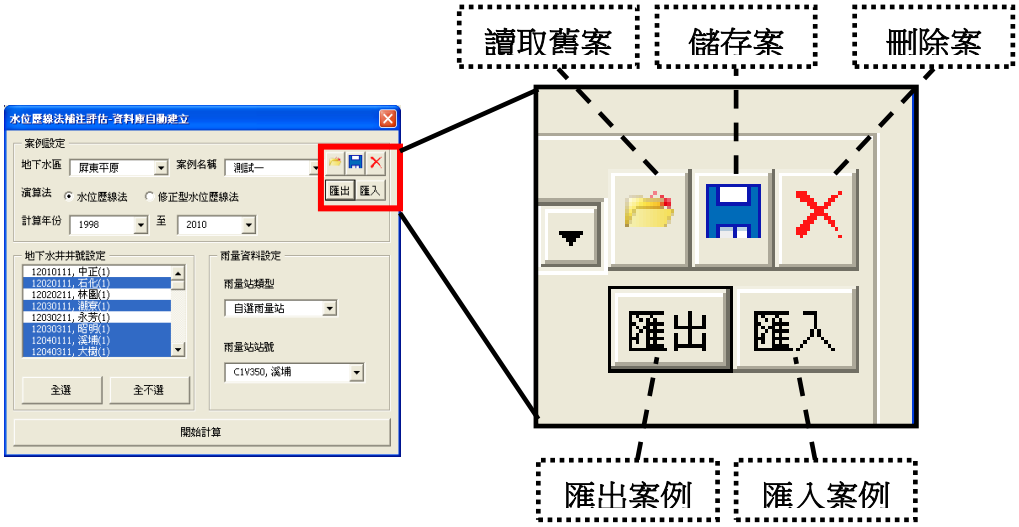


圖 7.5-16 案例設定功能

水位歷線法補注評估---使用者自行建立：

當選擇**使用者自行建立時**，操作方式需要由使用者分別輸入「案例設定」及「輸入資料」，按下「開始計算」，如圖 7.5-17 所示。

操作說明：

（一） 案例設定：選擇「地下水區」，下拉式選單內可自行選擇「濁水溪沖積扇」或「屏東平原」，另外輸入自訂之案例名稱。

（二） 輸入資料：依序輸入「水井資料」、「時序資料」、「相鄰水井資料」、「每年一二期稻作面積資料」。

（三） 開始計算：計算結果以圖表方式呈現。

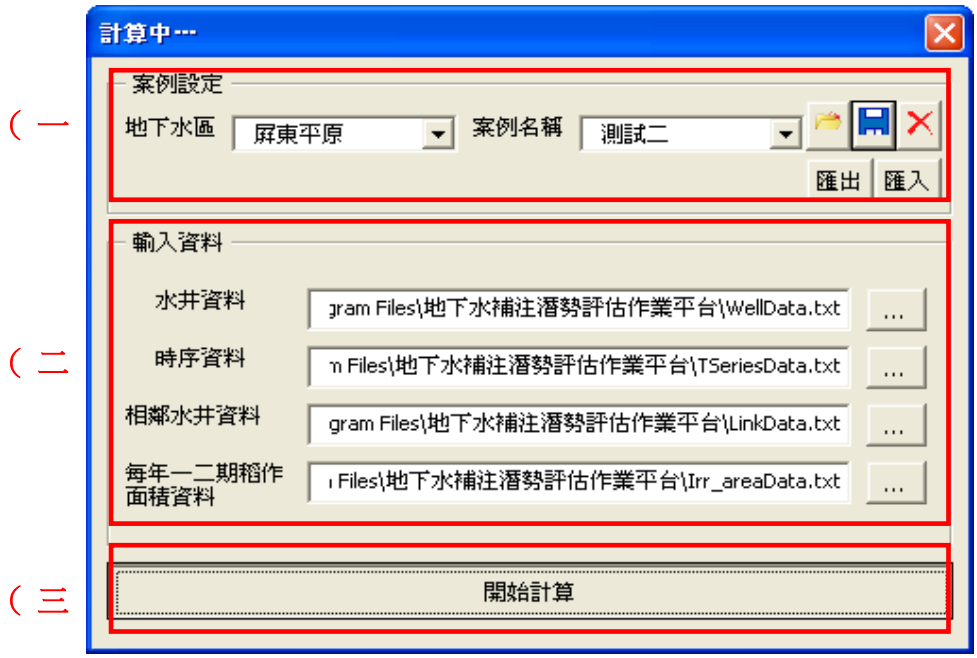


圖 7.5-17 水位歷線法補注評估（使用者自行建立）

五、選取「地下水補注潛勢評估」

地下水補助潛勢評估---資料庫自動建立

資料庫自動建立提供使用者簡易地勾選所需之因子，由系統於背景中自動準備所需之輸入檔，包括「案例設定」、「因子選用設定」及「因子權重設定」，如圖 7.5-18 所示。

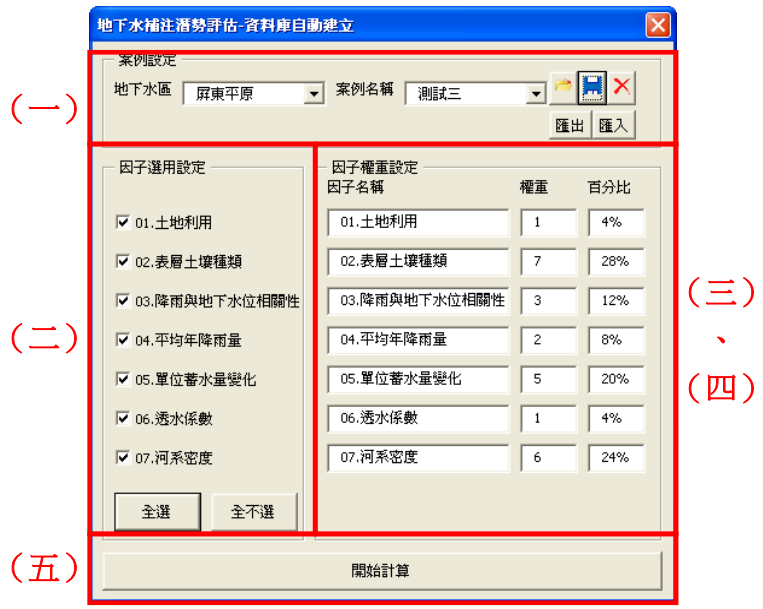


圖 7.5-18 地下水補注潛勢評估---資料庫自動建立之畫面

操作說明：

（一） 案例設定：選擇「地下水區」，下拉式選單內可自行選擇「濁水溪沖積扇」或「屏東平原」，並輸入案例名稱（目前僅提供濁水溪區域）。

（二） 因子選用設定：直接勾選內建之因子選項，可同時覆選多個項目。

（三） 因子權重設定：設定各因子之權重值；

（四） 更新百分比：根據各因子所佔之權重，自動計算其權重百分比。

（五） 開始計算：計算結果產生彩色潛勢分數圖。

地下水補注潛勢評估之成果，系統將其計算結果以地圖方式呈現，並於子畫面中將其計算分數以不同顏色分級表示。如圖 7.5-19。計算結果資料及網格檔案將自動存放於資料夾中。

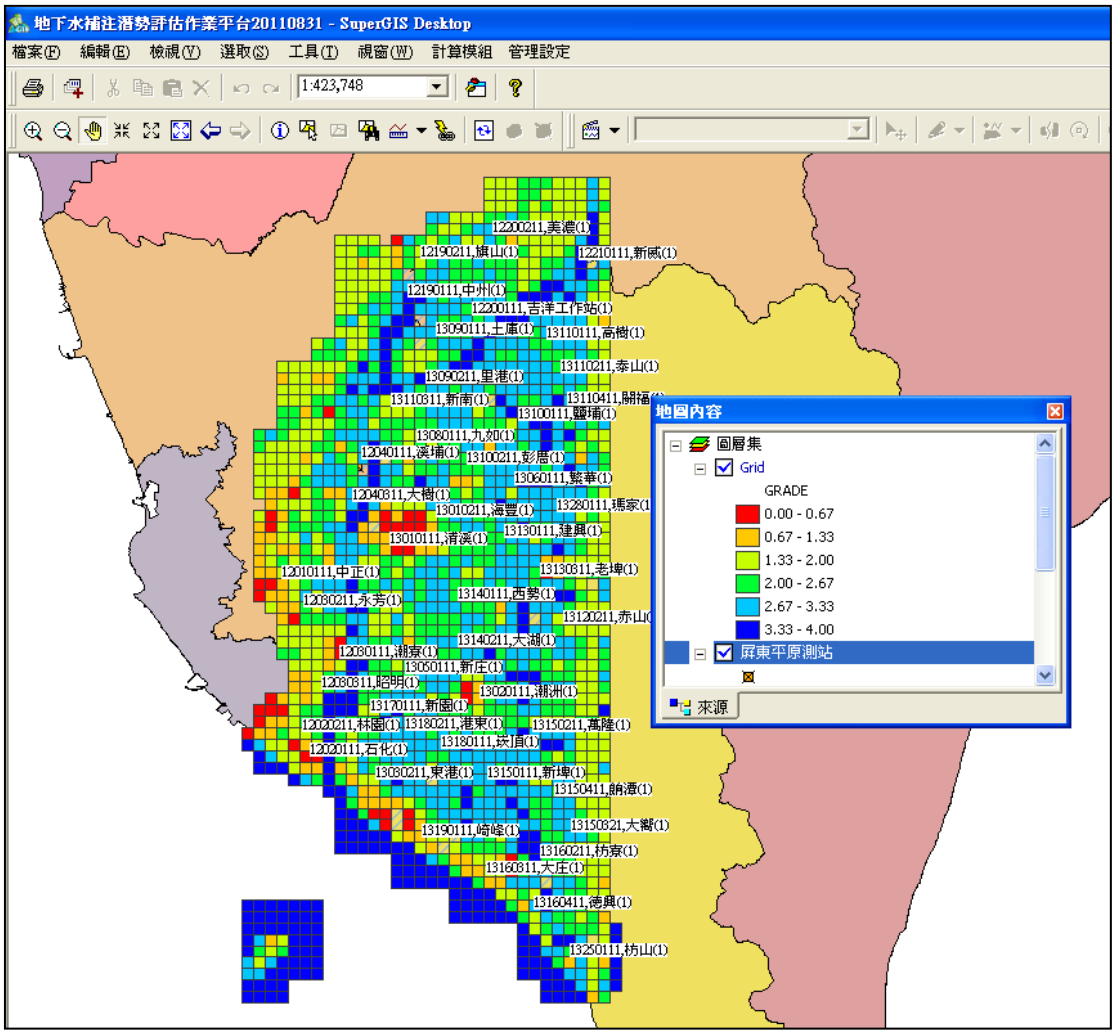


圖 7.5-19 地下水補注潛勢評估成果

地下水補注潛勢評估-使用者自行建立

使用者需自行輸入「案例名稱」、「網格圖層」、「因子名稱」、「因子分數表」、「權重」等，如圖 7.5-20 所示。

操作說明：

（一） 案例名稱：輸入自訂之案例名稱。

（二） 網格圖層：開啟使用者自行準備之網格圖層 shapefile 檔。

（三） 因子名稱：自行輸入因子名稱，最多可增加至 10 組因子。

（四） 因子分數表：選取使用者自行準備之因子分數表。

（五） 因子權重設定：設定各因子之權重值。

（六） 更新百分比：根據各因子所佔之權重，自動計算其權重百分比。

（七） 開始計算：計算結果產生彩色潛勢分數圖，如圖 7.5-21 所示。



圖 7.5-20 地下水補注潛勢評估-使用者自行建立之畫面

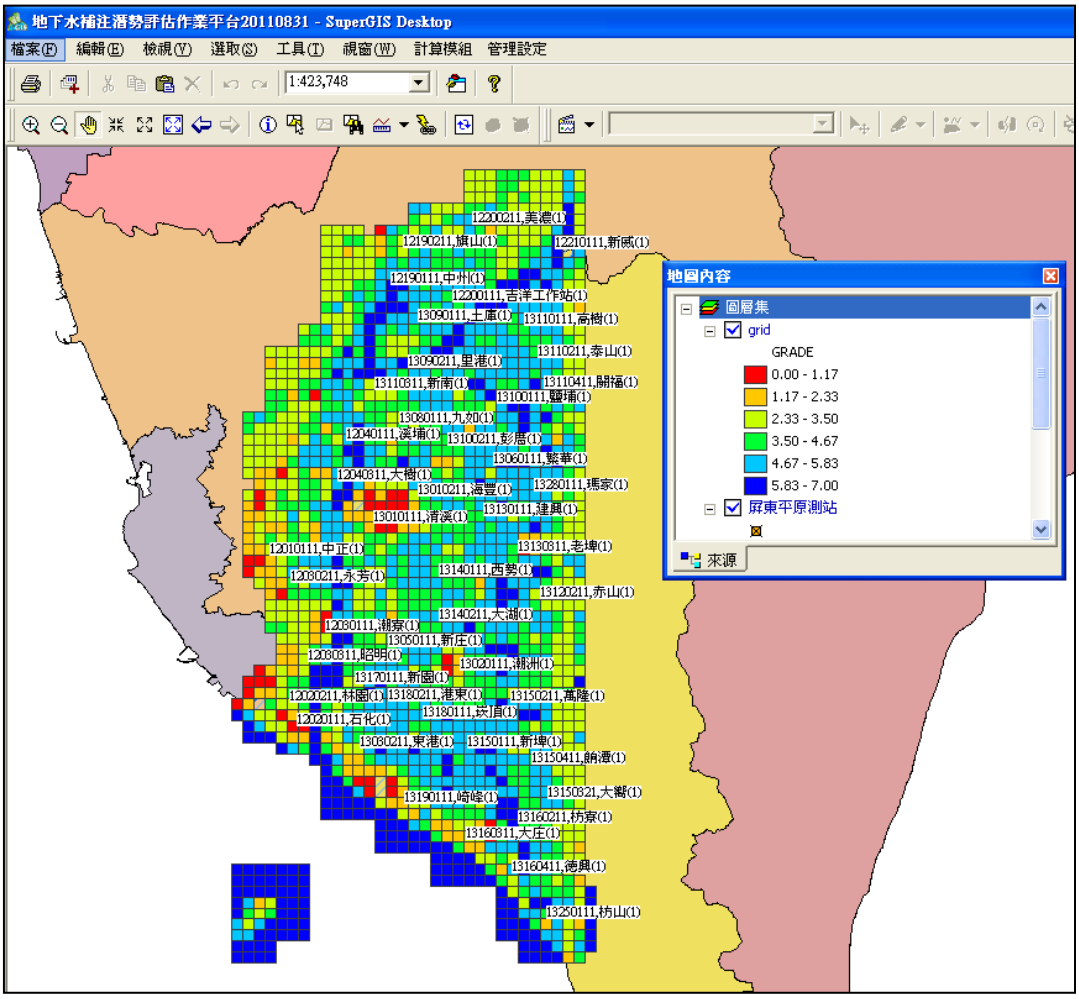


圖 7.5-21 補注潛勢評估計算結果自動產生之彩色潛勢分數圖

7.5.2 地下水位資訊擷取元件操作介面及說明

為自動取得歷年地下水水位及雨量資訊，便於準備推估地下水補注模式之程式所需之資料，另以 Microsoft Visual Studio 2005 開發環境，開發應用系統。以自動化方式，取得經濟部水利署所公開「水文水資源資料管理供應系統」（http：//gweb.wra.gov.tw/wrweb/）所公開的地下水水位及雨量資訊之資料。使用 Microsoft Visual Studio 2005 提供 Web Browser 控制項為一 ActiveX 元件，主要可以控制 Microsoft Internet Explorer 的網頁內容，系統開發畫面如圖 7.5-22 所示。該程式設計之介面，包含使用者點選的動作，以便模擬人工按鈕的作業模式，達到自動化下載水文資料庫的目的，概念圖如 7.5-23。

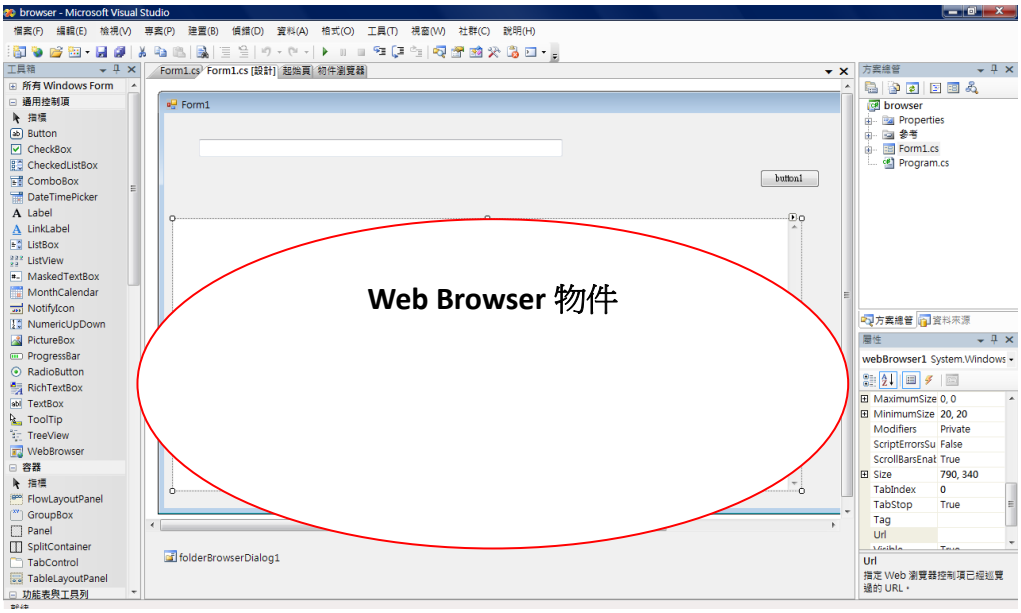


圖 7.5-22 水文資料庫自動記錄程式系統開發畫面

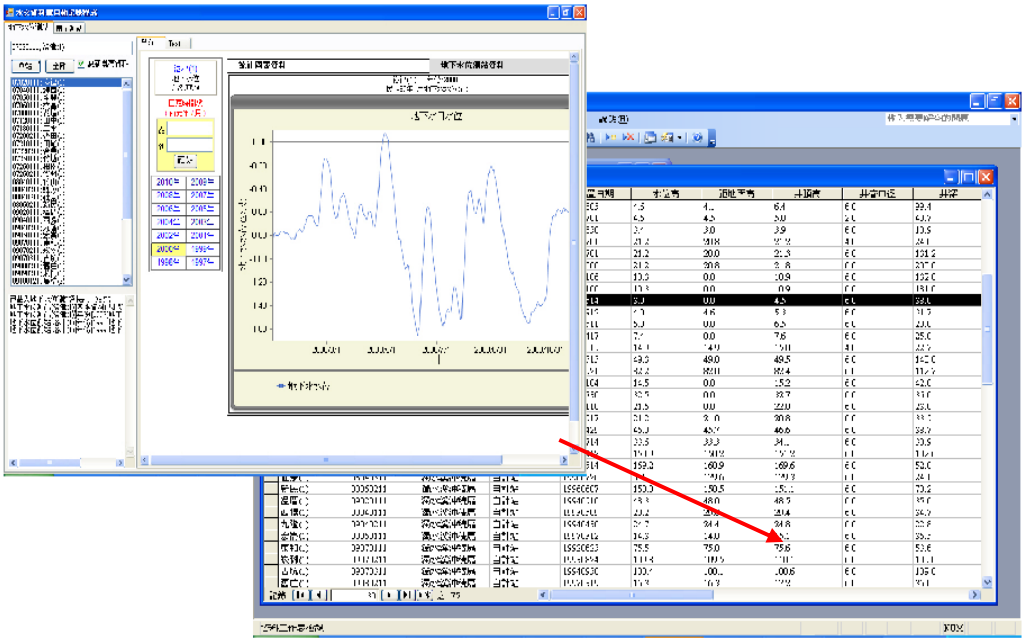


圖 7.5-23 將網頁內容存進資料庫

水文資料庫自動記錄程式操作流程說明

執行地下水位資料下載程式之後，本程式自動將指定的測站的歷年地下水位資料，存進資料庫，減少人工資料輸入的作業。對於本專案執行所需要之基礎資料的自動獲取，有相當效率上的提昇。

一、 開啟水文資料庫自動記錄程式，如圖 7.5-24 所示。

二、 選擇下載測站資料類型：選擇地下水位測站或是雨量測站，在下方列表中顯示水利署水文水資源資料管理供應系統中的測站名稱，如圖 7.5-25 所示。

三、 從測站列表中點選要下載的站台，並點擊「單站」開始下載水文資料，如圖 7.5-25 所示。測站的基本資料(如測站坐標、管徑、井深等)及各年份的逐日水位資料會自動依續下載。若欲下載的測站不在列表之中，可以自行輸入站號及站名以進行下載，資料庫中會自動新增該站台資料，需注意若水利署網站沒有對應的站號，則無法下載。若欲一次下載所有測站之資料，請點選「全部」，但考量伺服器主機處理負載，應避免使用此方法。

四、 下載的資料會存進 Access 資料庫中，如圖 7.5-27 所示。地下水位測站資料存於「DB_UndW.mdb」、雨量測站資料存於「DB_Rainfall.mdb」。測站的基本資料存於資料表「地下水位基本測站資料」中，逐日水位資料則存於以對應之測站編號為命名的資料表中，如「07020111」。

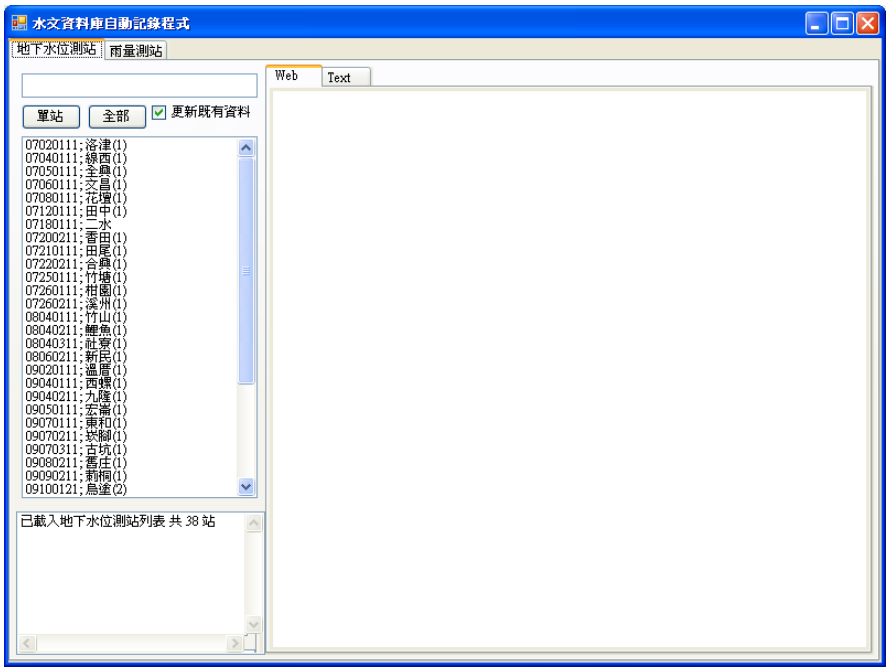


圖 7.5-24 水文資料庫自動記錄程式主畫面：區塊 1 為測站列表，區塊 2 為處理狀態訊息，區塊 3 為目前網頁狀態。

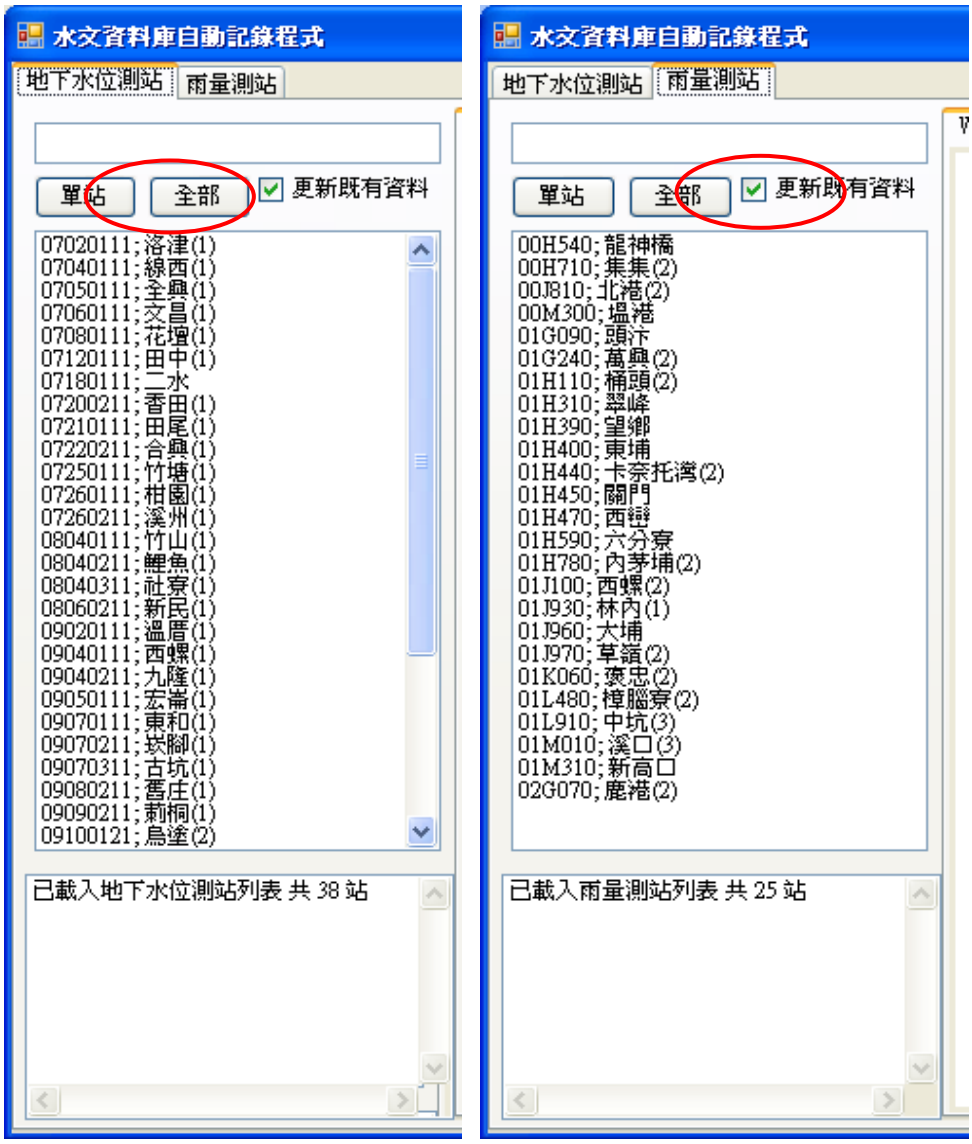


圖 7.5-25 水文資料庫自動記錄程式之測站列表，包括地下水位站井及雨量站

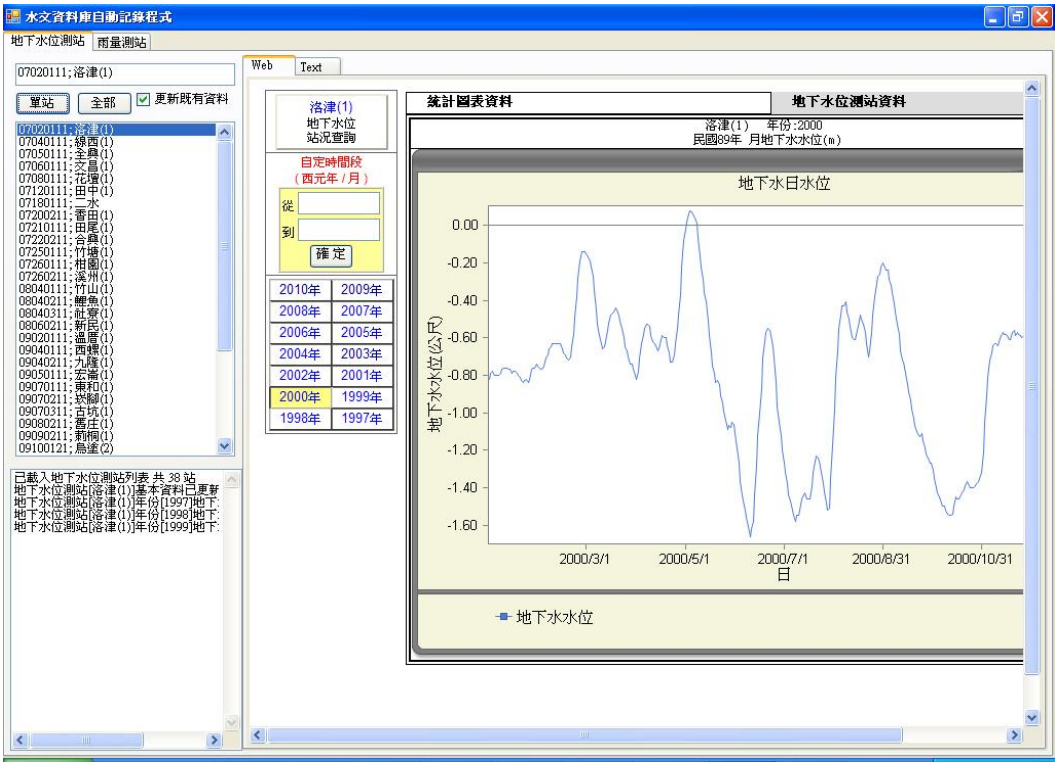


圖 7.5-26 水文資料庫自動記錄程式下載資料之畫面

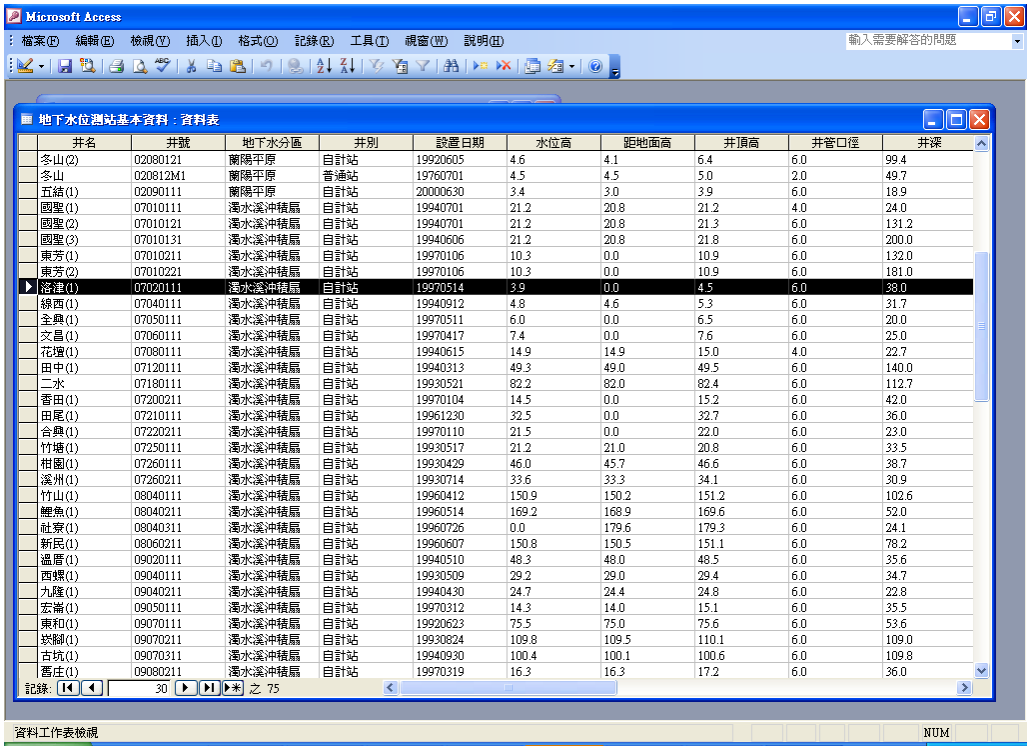


圖 7.5-27 地下水位測站 Access 資料庫畫面

備註：

本專案所使用之地下水水位及雨量資訊皆來自經濟部水利署「水文水資源資料管理供應系統」所公開之地下水水位及雨量資訊資料，唯該網站已於去年中旬改版，所有公開的地下水水位及雨量資訊皆變更為付費購買的模式（詳情請參閱水文資訊申請網：http://gweb.wra.gov.tw/HydroApplication/index.aspx），往後若需更新本平台的水文資料庫，必須以購買的方式取得，無法再透過自行開發的「水文資料庫自動記錄程式」進行下載更新。

參考文獻

1. APHA (1998) Standard methods for the examination of water and waste water, 20th ed., American Public Health Assoc., Washington, DC., 413-426.
2. Anderson, M,P. (2005) Heat as a ground water tracer. Ground Water 43/6, 951-968.
3. Barlow, P.M. and Moench, A.F. (1999) WTAQ- a computer program for calculating drawdowns and estimating hydraulic properties for confined and water-table aquifers. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4225, 74p.
4. Bierschenk, W.H. (1963) Determining well efficiency by multiple step-drawdown tests. International Association Science Hydrology No. 64, Berkeley, CA. pp.493-507.
5. Bou Kheir R., A. Shaban, M-C. Girard, M. Khawlie, and C. Abdallah (2003) Caract´erisation morpho-p´edologique des zones karstiques du Libansensibilit´e des sols `a l'´erosion hydrique. S´echeresse 14:4.
6. Bromley, J., W. M. Edmunds, E. Fellman, J. Brouwer, S. R. Gaze, J. Sudlow,and J. D. Taupin (1997) Estimation of rainfall inputs and direct recharge to the deep unsaturated zone of southern Niger using the chloride profile method, Journal of Hydrology, Vol. 188-189, P.139-154.
7. Britt, S.L. (2005) Testing the In-Well Horizontal Laminar Flow Assumption with a Sand. Tank Well Model. Ground Water Monitoring and Remediation 25/3, 73-81.
8. H. Ii, Y. Ohtsuka, N. Mori, T. Inagaki and S. Misawa(1996) Effective porosity and specific yield of a sedimentary rock determined by a field tracing test using tritium as a tracer. Environmental Geology, Volume 27, Number 3, 170-177.
9. Jasrotia, A.S.,R. Kumar,A. K. Saraf (2007) Delineation of groundwater recharge sites using integrated remote sensing and GIS in Jammu district, India, International Journal of Remote Sensing, Volume 28 , Issue 22 , Pages 5019-5036,November.
10. Johnson, A.I. (1967) Specific yield- compilation of specific yields for various materials. U.S.G.S. Water-Supply Paper, 162-D, 74p.
11. Kendall, M.G. (1975) Rank correlation methods. 4th ed. Charles Griffin, London.
12. Kruseman, G.P. and D.e. Ridder NA (1991) Analysis and evaluation of pumping test data. International Institute for Land Reclamation and Improvement Publication 47, The Netherlands, 377p.
13. Lebuc, C., G. Favreau, and P. Schroeter (2001) Long-term rise in a Sahelian water table: the Continental Terminal in southwest Niger, Journal of Hydrology, Vol. 243, P.43-54.

14. McNeely RN, Neimanis VP, Dwyer L. (1979) Water quality sourcebook – A guide to water quality parameters. Inland Waters Directorate, Water Quality branch, Ottawa.
15. Moench , A.F. (1994) Specific yield as determined by type-curve analysis of aquifer-test data. Ground Water 32/6, 949-957.
16. Moench, A.F. (2001) Accurate estimates of specific yield: are long-term aquifer tests really necessary? American Geophysical Fall Meeting 2001, abstract #H11E-02.
17. Mondal, N. C. and V. S. Singh (2004) A new approach to delineate the groundwater recharge zone in hard rock terrain,Current Science, Vol. 87, 5, 10.
18. Morgan L (2005) Critical aquifer recharge areas guidance document, Washington State Department of Ecology, Water Quality Program, 69p.
19. Michalski, A., 1989. Application of temperature and electrical-conductivity logging in ground water monitoring. Ground Water Monitoring Remediation. 9/3, 112–118.
20. Mukherjee, S. (1996) Targeting saline aquifer by remote sensing and geophysical methods in a part of Hamirpur-Kanpur, India, Hydrology Journal, 19, 53-64.
21. National Water Well Association,"DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings",USEPA,May 1985.
22. Nwnkwor, G.I., Gillham RW, Kamp, G., and Aindunni, F.F. (1992) Unsaturated and saturated flow in response to pumping of an unconfined aquifer. Field evidence of delayed drainage. Ground Water, 30, 690-700.
23. Parkhurst, D.L. (1995) User's guide to PHREEQC – a computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations: Water-Resource Investigations Report, 95-4227, U.S. Geological Survey, Lakewood, Colorado.
24. Rorabaugh, M.I. (1953) Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well. Proc. Sep. No. 362, ASCE. Vol. 79.
25. Schwartz, F.W., and Zhang, H. (2003) Fundamentals of ground water, John Wiley & Sons, New York.
26. Shaban, A., M. Khawlie, and C. Abdallah (2006) Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: the case of Occidental Lebanon, Hydrogeology Journal, 14: 433-443.
27. U.S. EPA. 1989. Wellhead Protection Programs: Tools for Local Governments. EPA 440/6-89-002. Washington D.C.: Office of Groundwater Protection, U.S. Environmental Protection Agency.
28. U.S. EPA, 1995. Benefits and Costs of Prevention: Case Studies of

Community Wellhead Protection, EPA 813-B-95-005, 74 pp.
29. Washington Dept. of Community Trade and Economic Development, 2003. Critical Areas Assistance Handbook – Protecting Critical Areas within the Framework of the Washington Growth Management Act, 83 pp. http://qa.cted.wa.gov/DesktopModules/CTEDPublications/CTEDPublicationsView.aspx?tabID=0&alias=CTED&lang=en&ItemID=976&MId=944&wversion=Staging
30. Washington Dept. of Community Trade and Economic Development, 2004. GMA Update: Issues to Consider When Reviewing and Evaluating Critical Areas Regulations and Natural Resource Lands Designations, 3 pp. http://cted.wa.gov/DesktopModules/CTEDPublications/CTEDPublicationsView.aspx?tabID=0&alias=CTED&lang=en&ItemID=1022&MId=944&wversion=Staging
31. Yeh, H.F., Lee, C.H., Hsu, K.C., and Chang, P.H. (2008) GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. Environ. Geol., Vol. 58, 185-195.
32. 土木科技研究發展文教基金會，1997，地層下陷防治推動綜合計畫子計畫九－雲嘉地區安全出水量之估算，經濟部水資源局。
33. 工研院能源與資源研究所，1994，地球物理探測及地層對比之應用，台灣地區地下水觀測網第一期計畫，水文地質調查研究及建檔，八十三年度報告，經濟部中央地質調查所。
34. 工研院能源與資源研究所，1995，地球物理探測及地層對比之應用，台灣地區地下水觀測網第一期計畫，水文地質調查研究及建檔，八十四年度報告，經濟部中央地質調查所。
35. 工研院能源與資源研究所，1996，濁水溪沖積扇地球物理探測及地層對比，台灣地區地下水觀測網第一期計畫，水文地質調查研究及建檔，八十五年度報告，經濟部中央地質調查所。
36. 中興工程，1998，濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用第二階段－濁水溪沖積扇地下水人工補注計畫規劃報告，經濟部水利處。
37. 中興工程，2006，濁水溪沖積扇地面地下水聯合運用管理模式建立與機制評估，經濟部水利署。
38. 平成股份有限公司，1996，濁水溪中游地區地下水補注調查與評估。中興工程顧問股份有限公司。
39. 田巧玲、張炎銘、林維侃、蔡明坤，1996，濁水溪沖積扇之地下水水文概況。濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集，第207－221 頁。
40. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥，2002，屏東平原之地下水補注區，經濟部中央地質調查所彙刊，第十五號，第 17-47 頁。
41. 江崇榮、陳瑞娥，2004a，屏東平原地下水水源保護區劃定之芻議，

經濟部中央地質調查所彙刊，第十七號，第 1-19 頁。
42. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥，2004b，屏東平原地下水補注量及抽水量之評估，經濟部中央地質調查所彙刊，第十七號，第 21-51 頁。
43. 江崇榮、陳瑞娥、賴慈華、黃智昭，2005，濁水溪沖積扇地下水區之補注區與補注源探討，經濟部中央地質調所彙刊，第十八號，第 1-28 頁。
44. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥，2006，以地下水歷線分析法評估濁水溪沖積扇之地下水收支，經濟部中央地質調查所彙刊第十九號，第 61-90 頁。
45. 江崇榮，2008a，相等延時分級抽水試驗資料分析之原理與方法。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十一號，第 1-21 頁。
46. 江崇榮，2008b，不等延時分級抽水試驗資料分析之原理與方法。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十一號，第 23-41 頁。
47. 李昭順、吳景濂，1996，濁水溪沖積扇之抽水試驗，濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集，第 165-179 頁。
48. 李天浩、林國峰、劉振宇，1997，濁水溪沖積扇扇頂平原地區地表垂向補注量估計，台灣省水利處，96P。
49. 林朝棨，1957，台灣地形。台灣省文獻會，共 423 頁。
50. 林再興，1998，彰化地層下陷區地下水入滲補注及安全出水量之評估，經濟部水資源局。
51. 林俊男、賈儀平，2000，濁水溪沖積扇地下水補助區之劃定及保育原則之研討，經濟部水資源局。
52. 吳景濂（1998）屏東平原之地下水抽水試驗，屏東平原地下水及水文地質研討會論文集，第 189-204 頁。
53. 地下水勘測隊，1957，大濁水沖積扇地區地下水源勘查報告，中國農村復興聯合委員會出版，共 206 頁。
54. 地下水工程處，1961，屏東平原地下水源勘查報告，共 74 頁。
55. 地下水工程處，1973，濁水溪南岸雲林地區地下水源調查報告，經濟部水利署。
56. 柯亭帆，丁澈士，吳峰誼，1996，屏東平原地下水變動立體化模擬及補注量估算之研究，土木水利，Vol.22, No.4, pp.35-45。
57. 陳文福、林文勝、張國強、秦啟文、蔡克敏，2003，彰雲地下水補注區之溶氧與硝酸鹽氮濃度，經濟部中央地質調查所彙刊第十六號，第 125-139 頁。
58. 陳文福、呂學諭，2009，沖積扇補注區地下水之硝酸鹽污染，經濟部中央地質調查所彙刊，第 22 號。
59. 張秉權、曾鈞敏，1995，屏東平原地下水數學模式之應用分析，

經濟部水資源統一規劃委員會。
60. 張誠信，1996，雲林地區地下水流三維數值模擬，台灣大學農業工程研究所碩士論文。
61. 張良正、歐國隆、單信瑜，1999a，濁水溪沖積扇及屏東平原之地下水污染潛勢評估分析，八十八年度農業工程研討會，pp.369-376。
62. 張良正、蔡威平、陳宇文，1999b，屏東地區地下水補注量推估及分級，第三屆地下水資源及水質保護研討會，pp.65-76
63. 簡錦樹，1991，濁水溪沖積扇地表地質材料粒徑分析及現地入滲試驗研究。經濟部中央地質調查所。
64. 謝永旭、蘇苗彬，1994-2003，地下水基本水質試驗分析研究，經濟部水利署與中興大學環境工程研究所出版。
65. 姜儷安、歐陽湘，1996，雲林地區地下水與水平衡初步分析，濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集，181-206 頁。
66. 簡金龍，1996，富含礫石土壤水力特性之研究。國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
67. 劉聰桂，1993-2001，地下水定年分析，經濟部水利署出版。
68. 劉聰桂，1996，臺灣地區地下水觀測網第一期計畫，觀測網之建立及運作管理八十五年度子計畫報告，地下水定年分析研究：水利局，第 1-1 至 8-43 頁。
69. 劉振宇、李天浩、林國峰、蘇明道，1998，濁水溪沖積扇扇央與扇尾平原地區地表垂向補注量評估，經濟部水資源局，69P。
70. 曹敏中，丁澈士，陳秋楊，1997，新園地區地下水污染防治之研究，技職學刊，Vol.12, No.1, pp.159-169。
71. 葉文工，1998，台灣沿海地區地下水超抽改善方案研擬與評估，經濟部水資源局。
72. 經濟部中央地質調查所，1995，濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告，共 102 頁。
73. 經濟部中央地質調查所，1997，屏東平原水文地質調查研究報告，共 163 頁。
74. 經濟部中央地質調查所，1999，濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告，共 129 頁。
75. 經濟部中央地質調查所，2002，臺灣地區地下水觀測網第一期計畫屏東平原水文地質調查研究總報告。
76. 經濟部中央地質調查所，2002，屏東平原地下水自然補注之研究。
77. 經濟部水資源局，1996、1997，台灣地區地下水觀測網第一期計畫-濁水溪沖積扇地下水觀測井建置及相關試驗八十五、八十六年度報告。

78. 經濟部水資源局，1999，台灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告。
79. 經濟部水資源局，1999，臺灣水文年報。
80. 經濟部水利署，2007，規畫設計、監造「95 年度地層下陷區地下水觀測站井建置維護計畫」專題報告(1/2):規劃設計及監造工作。
81. 臺糖公司地下水中心，1999-2004，台灣地區地下水觀測網水質調查分析，經濟部水利署出版。
82. 農業工程研究中心，2007，96 年度台灣地區地下水質檢測分析與評估計畫，經濟部水利署出版。
83. 經濟部水利署，2002，地下水資源整體營運規劃與綜合評估。
84. Anderson MP (2005) Heat as a ground water tracer. Ground Water 43/6, 951-968.
85. 經濟部、行政院農委會、內政部，2005，彰化雲林地區地層下陷防治計畫。
86. 農業工程研究中心，2000，濁水溪沖積扇地下水補注區之劃定及保育原則之研訂。經濟部水資源局出版。

網頁部分：

環保署全國環境水質監測網（2009）, http://wqshow.epa.gov.tw/。

City of Issaquah (2009) Doing business in a wellhead protection area, http://www.ci.issaquah.wa.us。

Georgia Carrollton (2002) Water resource districts, http://www.carrollton-ga.gov/。

Georgia Department of Natural Resources (2010), http://www.gadnr.org/。

King County (2010) , http://www.kingcounty.gov/environment/waterandland/groundwater/maps-reports/maps.aspx

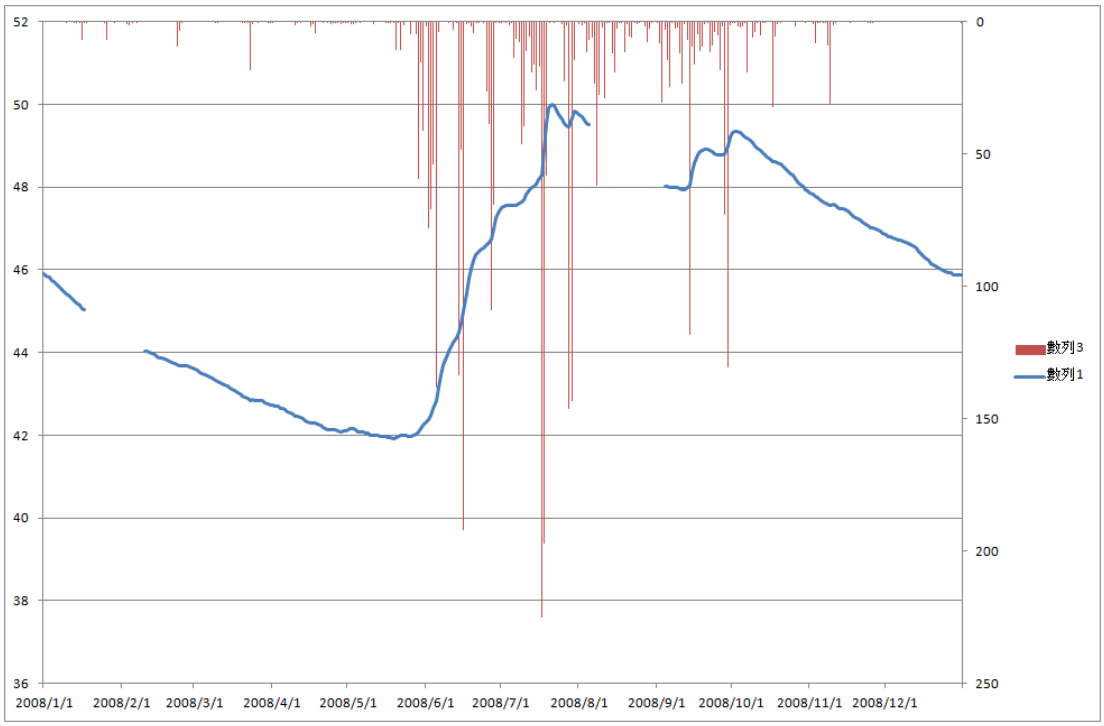
Washington Dept. of Community Trade and Economic Development, 2003. Critical Areas Assistance Handbook – Protecting Critical Areas within the Framework of the Washington Growth Management Act, 83 pp. http://qa.cted.wa.gov/DesktopModules/CTEDPublications/CTEDPublicationsView.aspx?tabID=0&alias=CTED&lang=en&ItemID=976&MId=944&wversion=Staging

Washington Dept. of Community Trade and Economic Development, 2004. *GMA Update: Issues to Consider When Reviewing and*

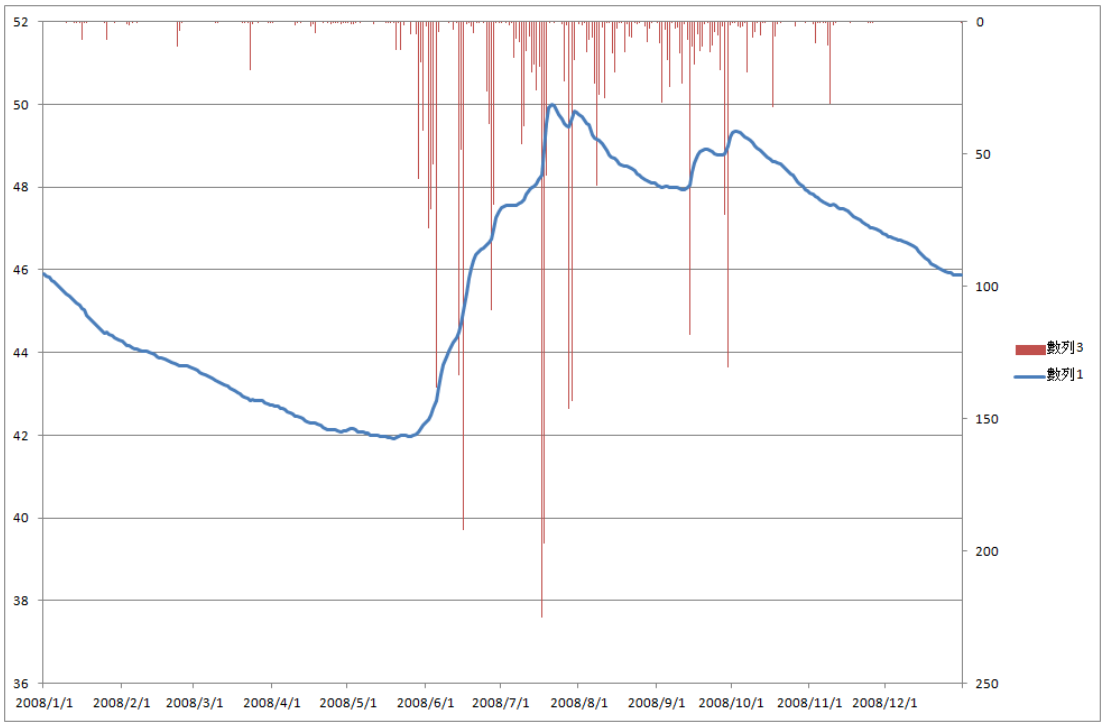
Evaluating Critical Areas Regulations and Natural Resource Lands Designations, 3 pp. http://cted.wa.gov/DesktopModules/CTEDPublications/CTEDPublicationsView.aspx?tabID=0&alias=CTED&lang=en&ItemID=1022&MId=944&wversion=Staging

附錄一 、地下水位缺漏超過 10 天之補遺

(a)

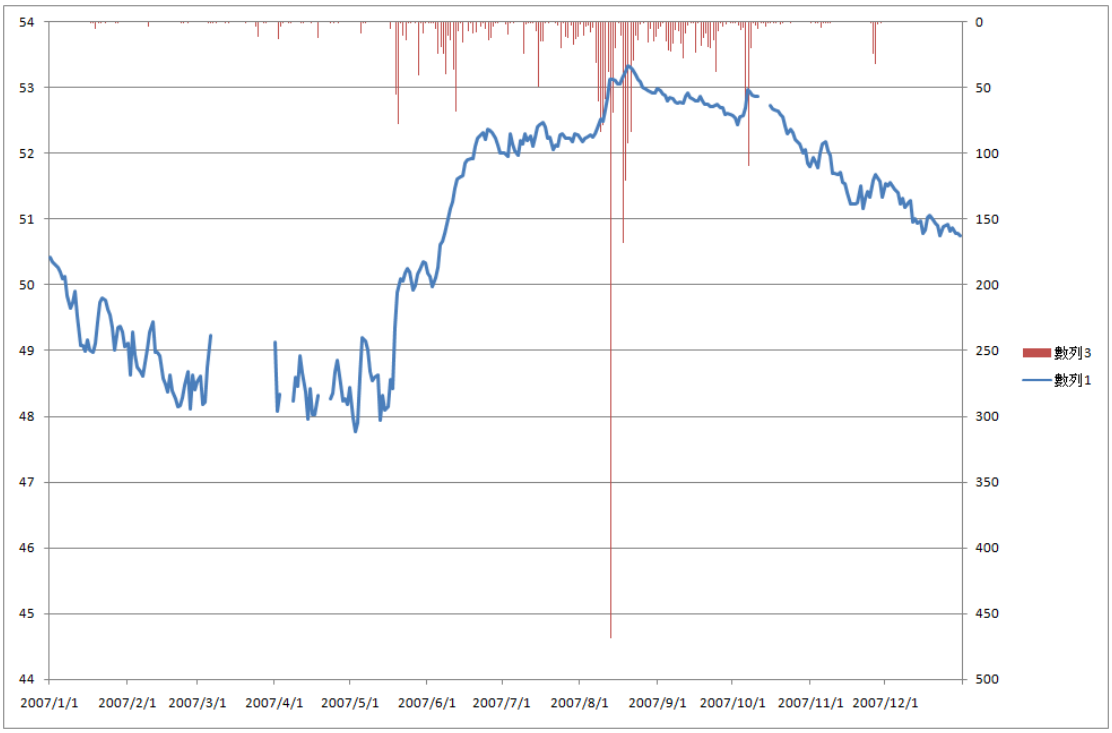


(b)

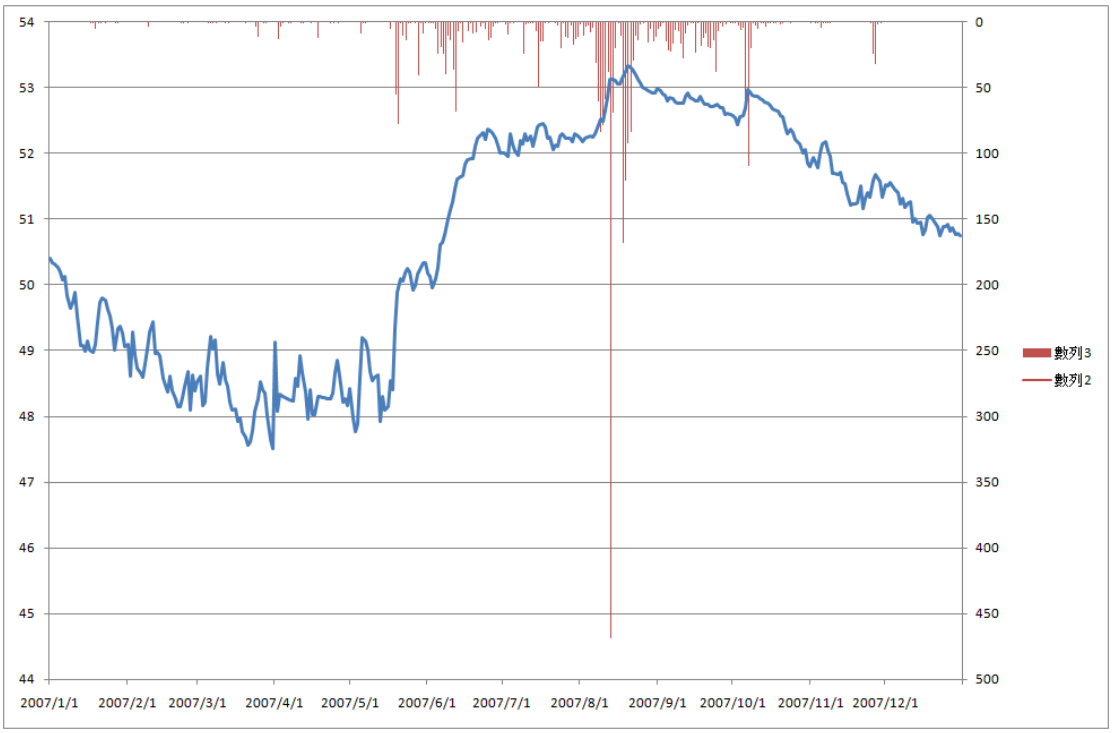


圖一 吉洋工作站(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

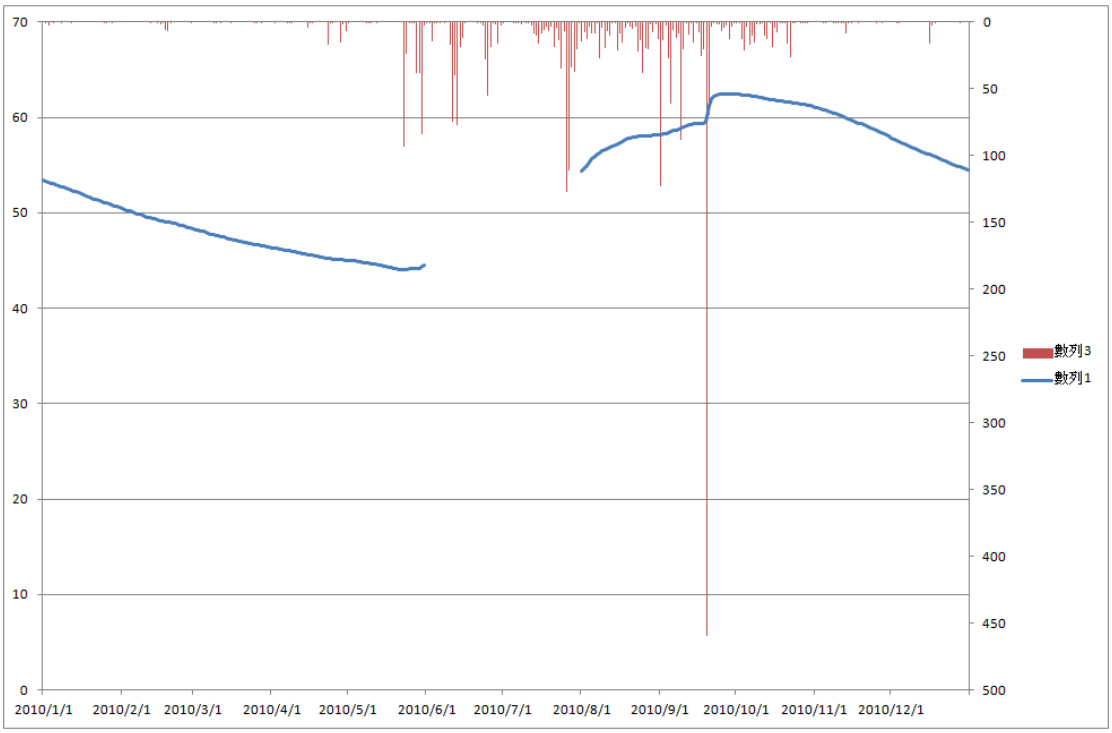


(b)

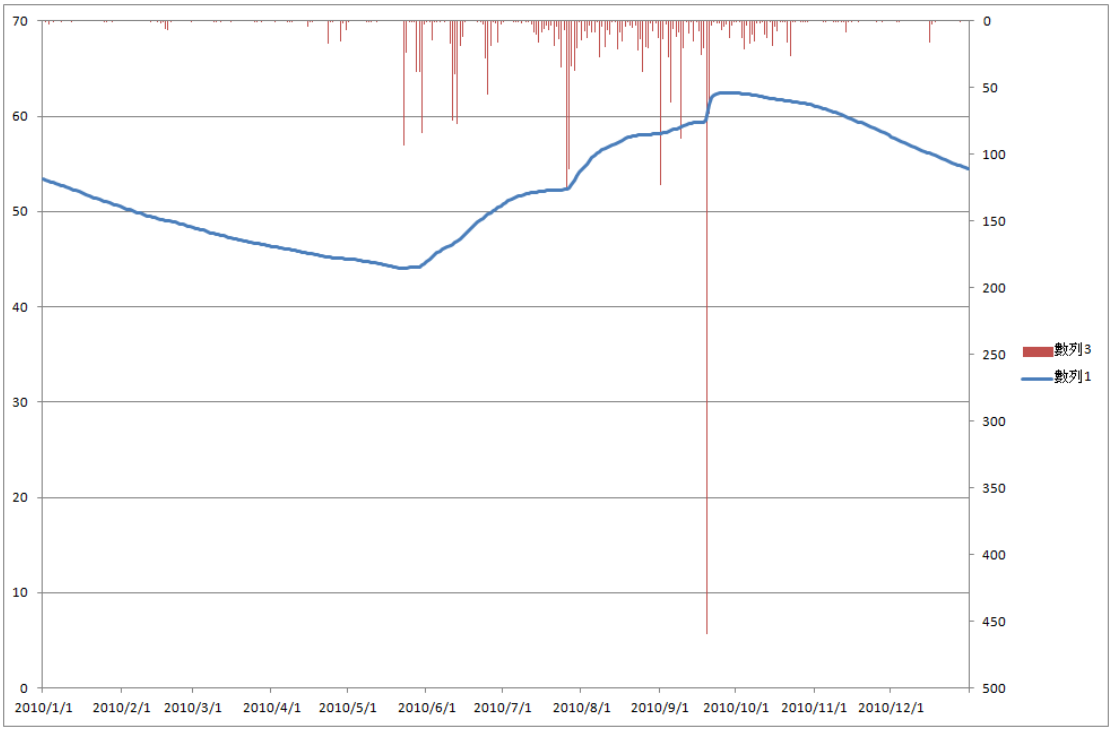


圖二 美濃(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

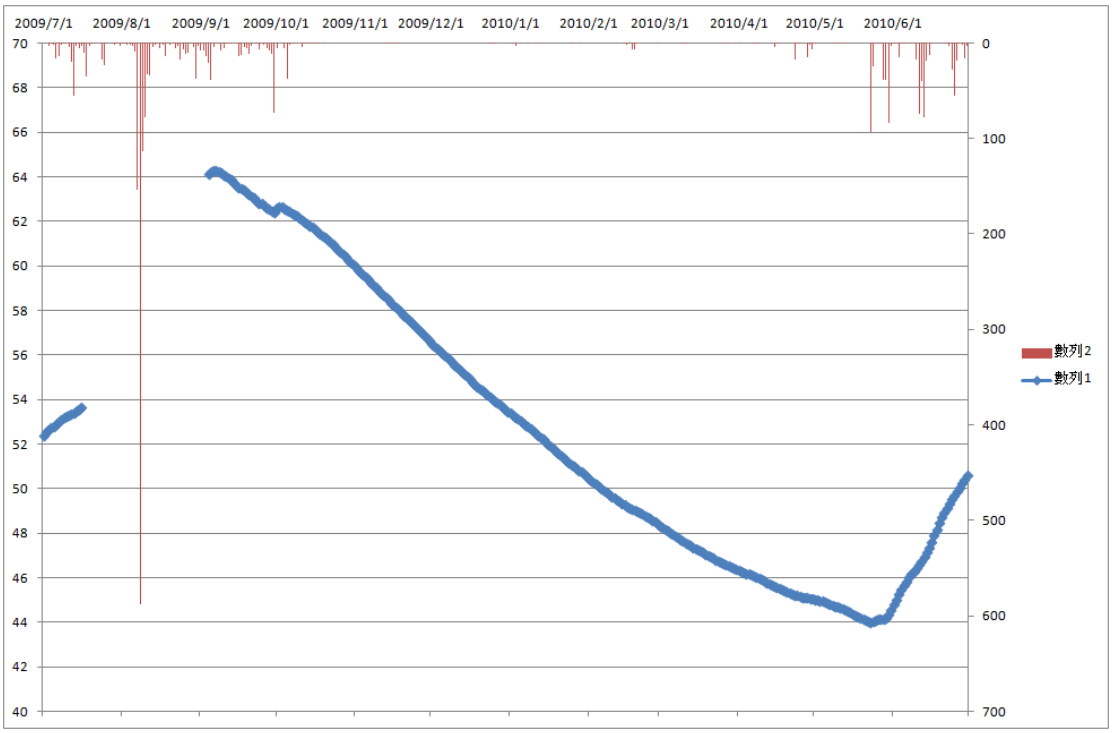


(b)

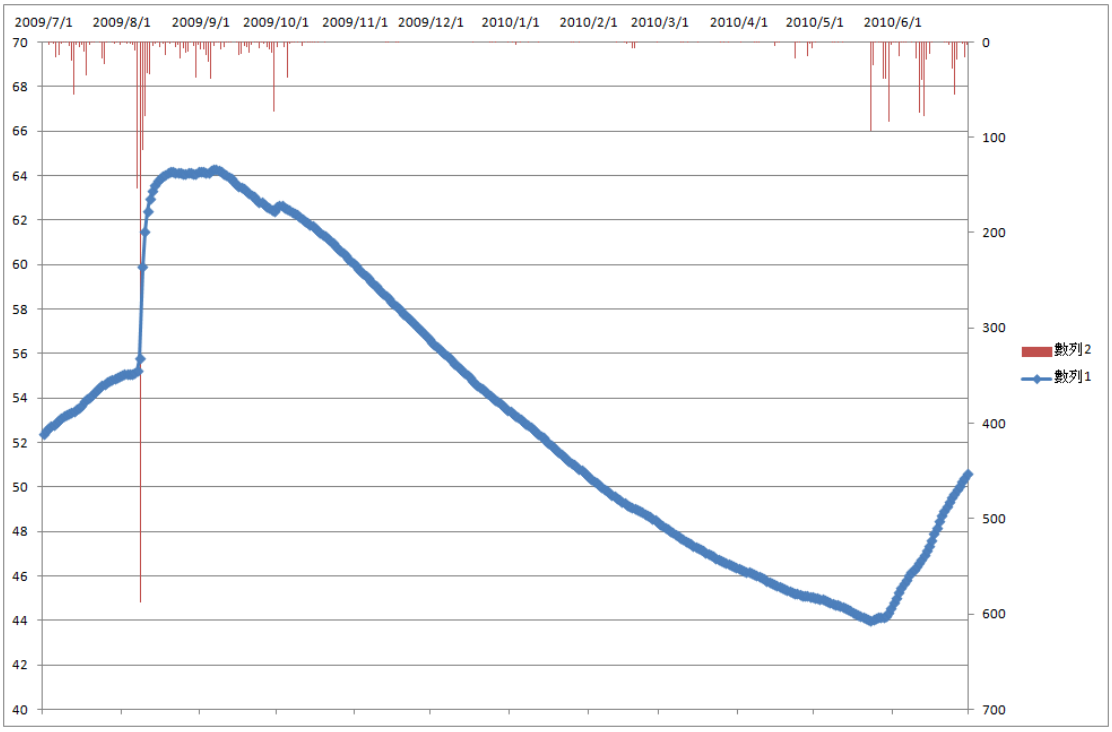


圖三 泰山(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

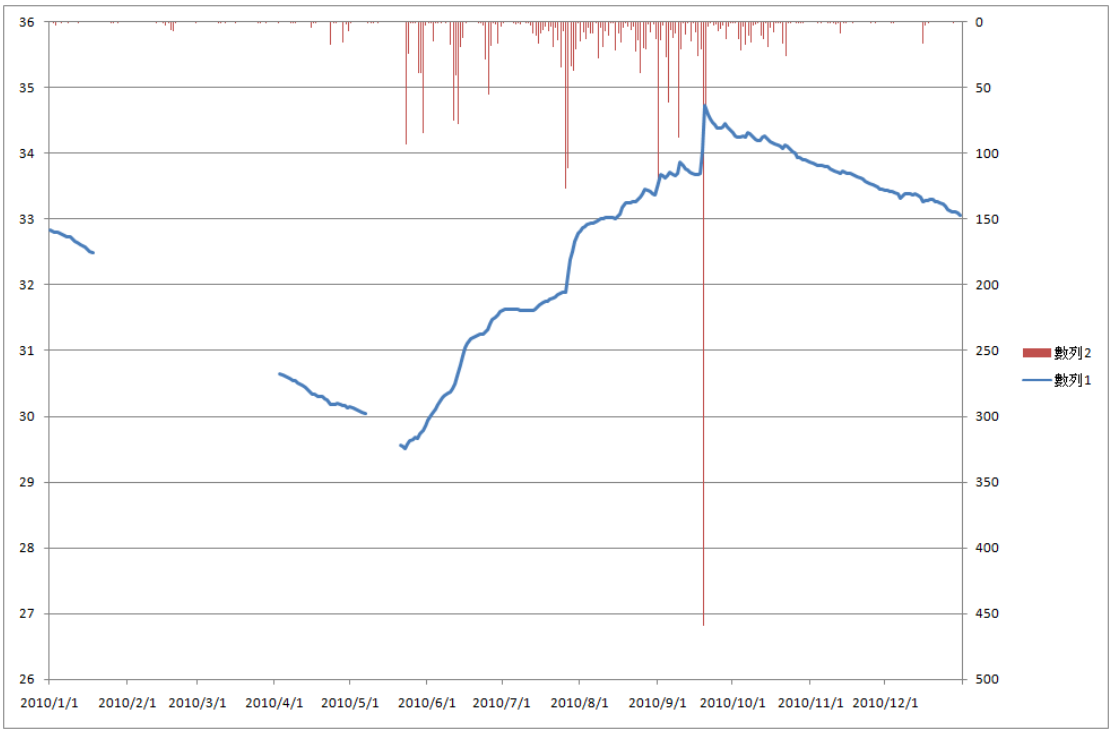


(b)

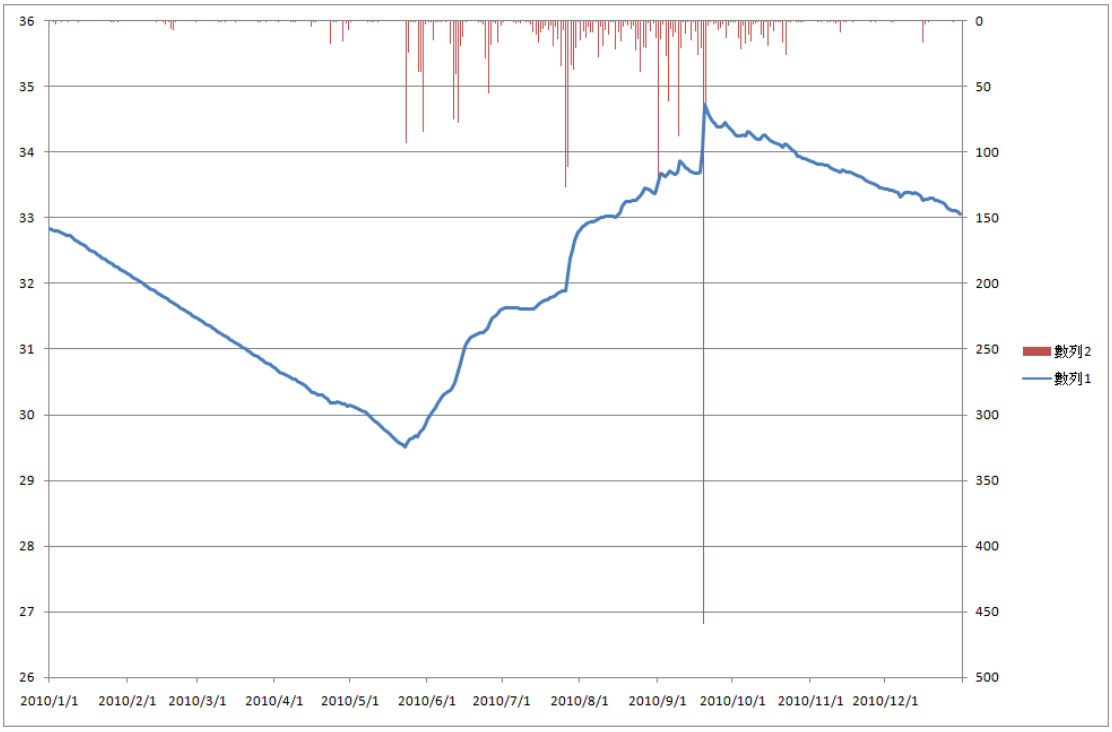


圖四 泰山(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

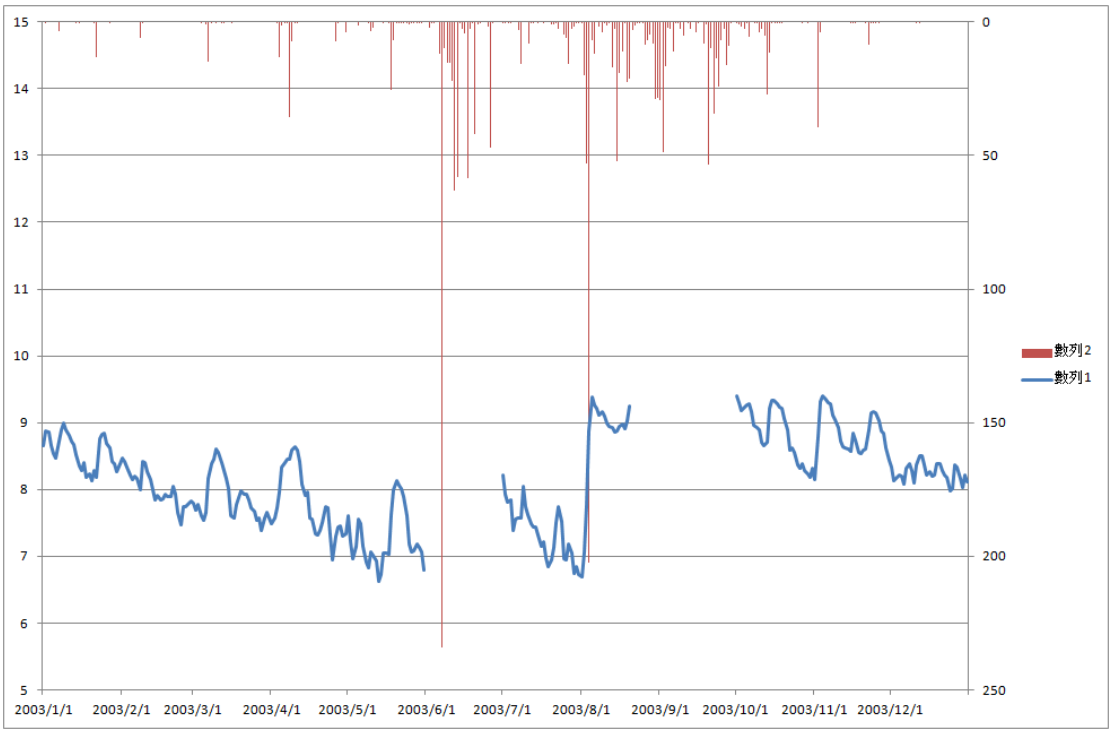


(b)

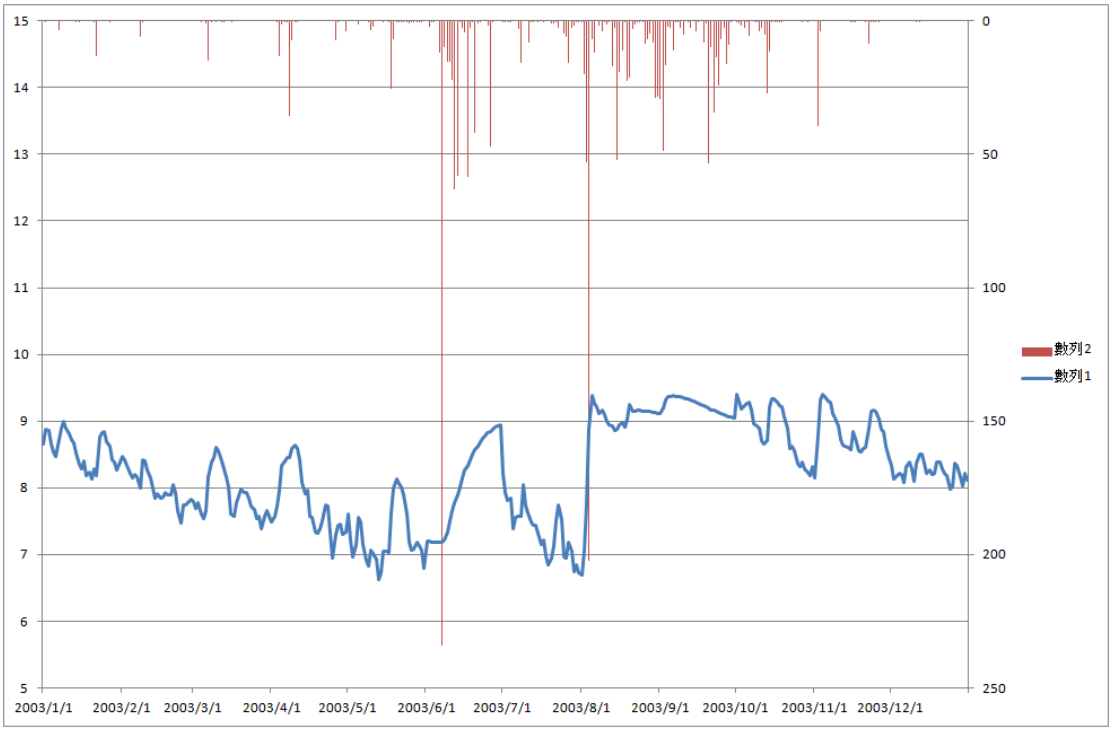


圖五 彭厝(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)



(b)

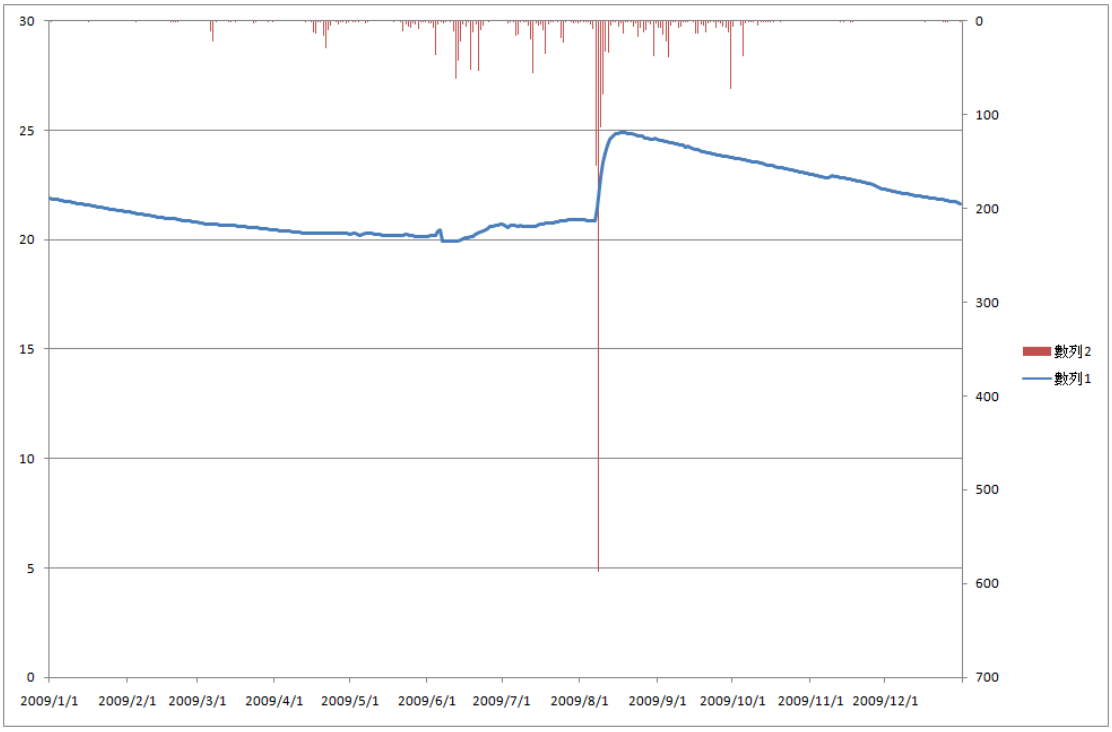


圖六 新埤(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

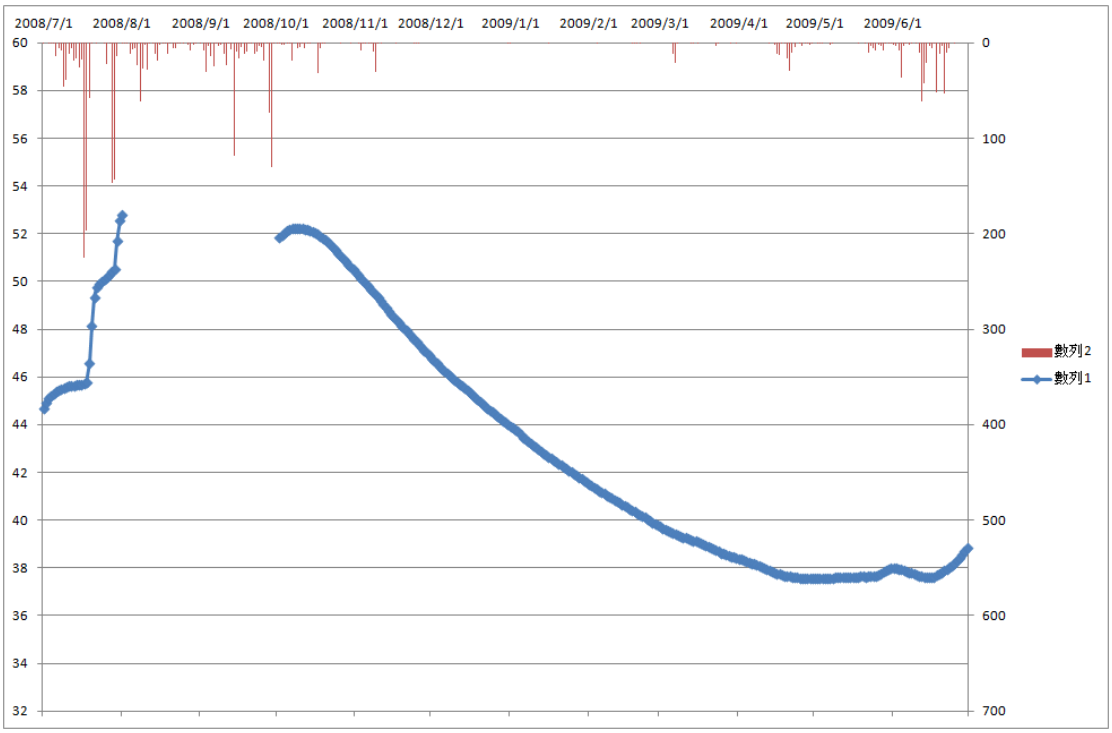


(b)

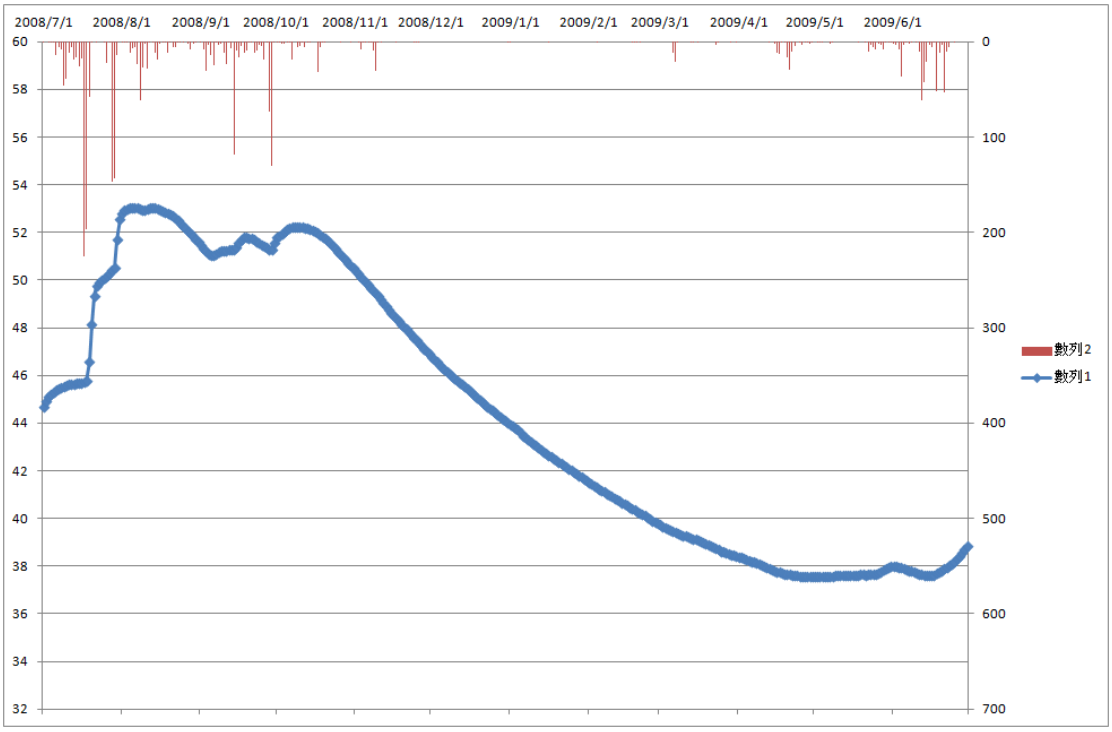


圖七 溪浦(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

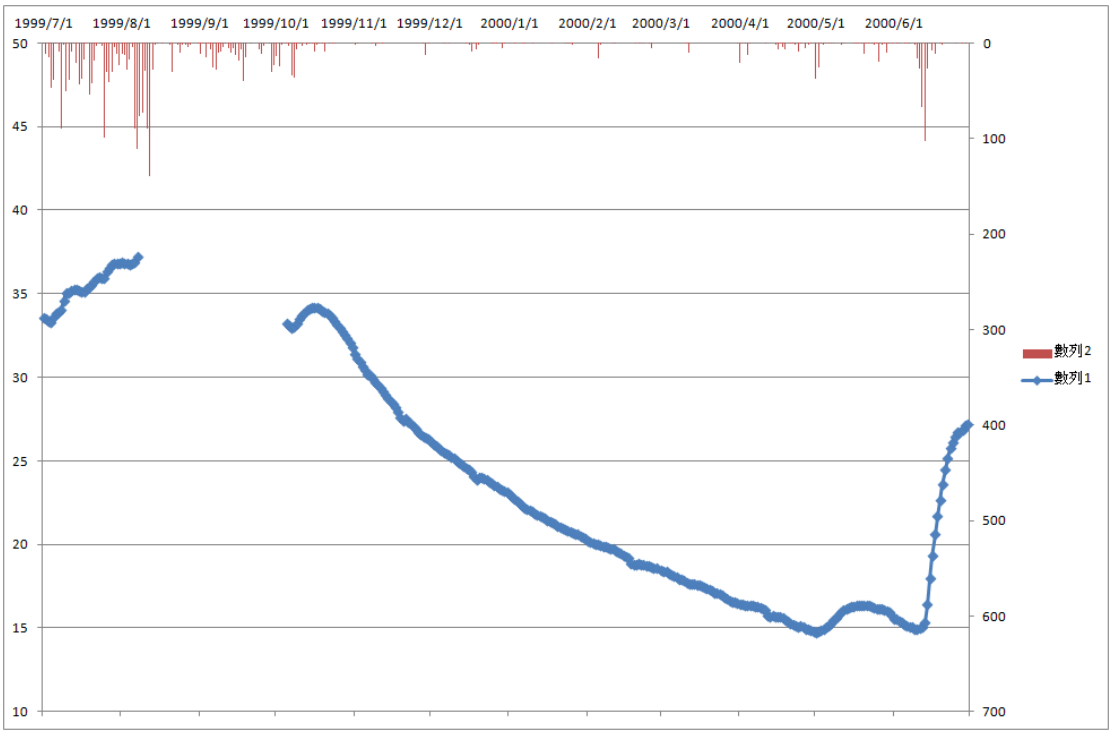


(b)

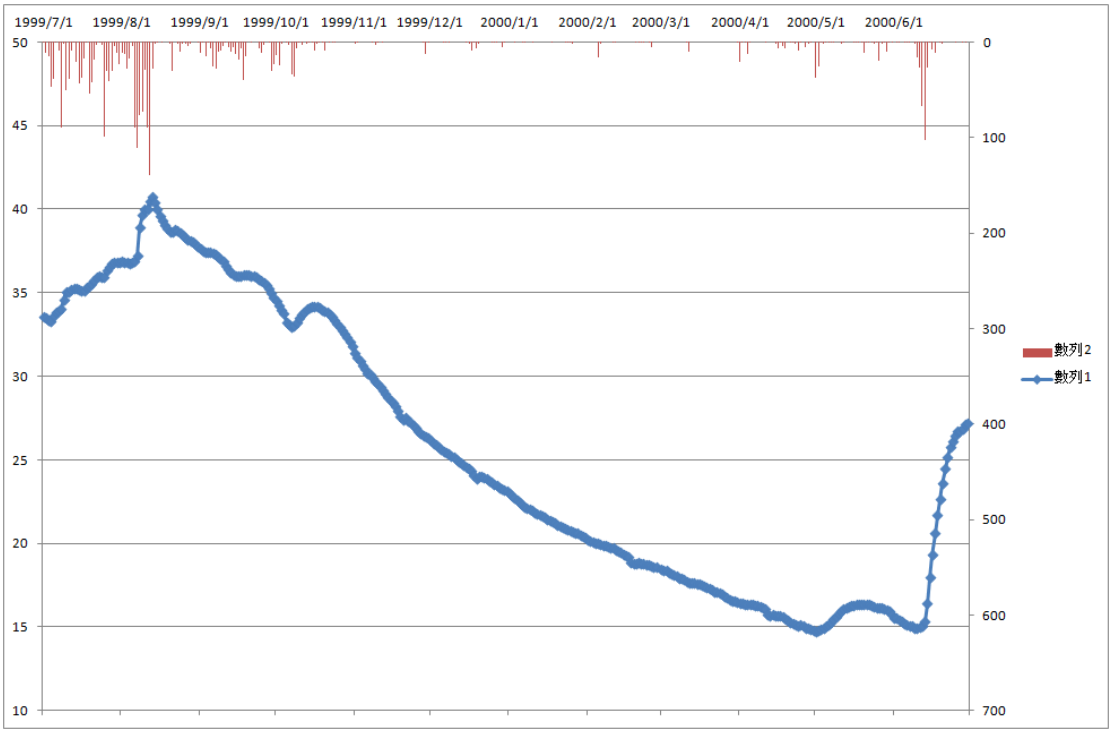


圖八 瑪家(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

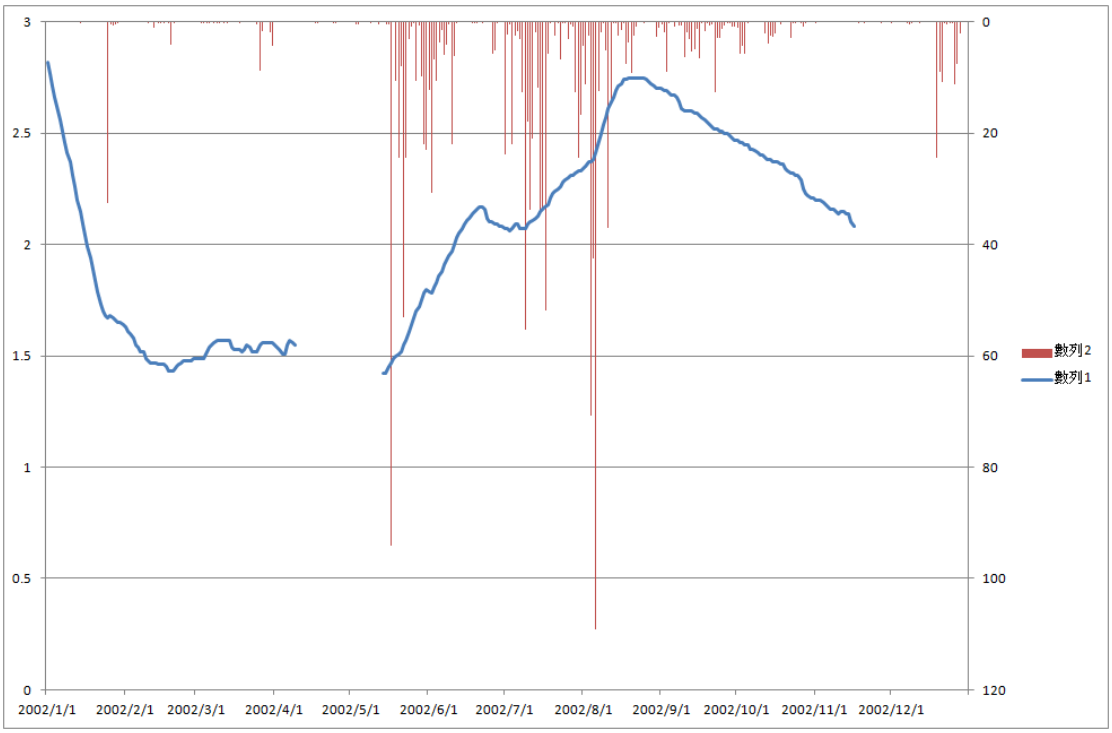


(b)

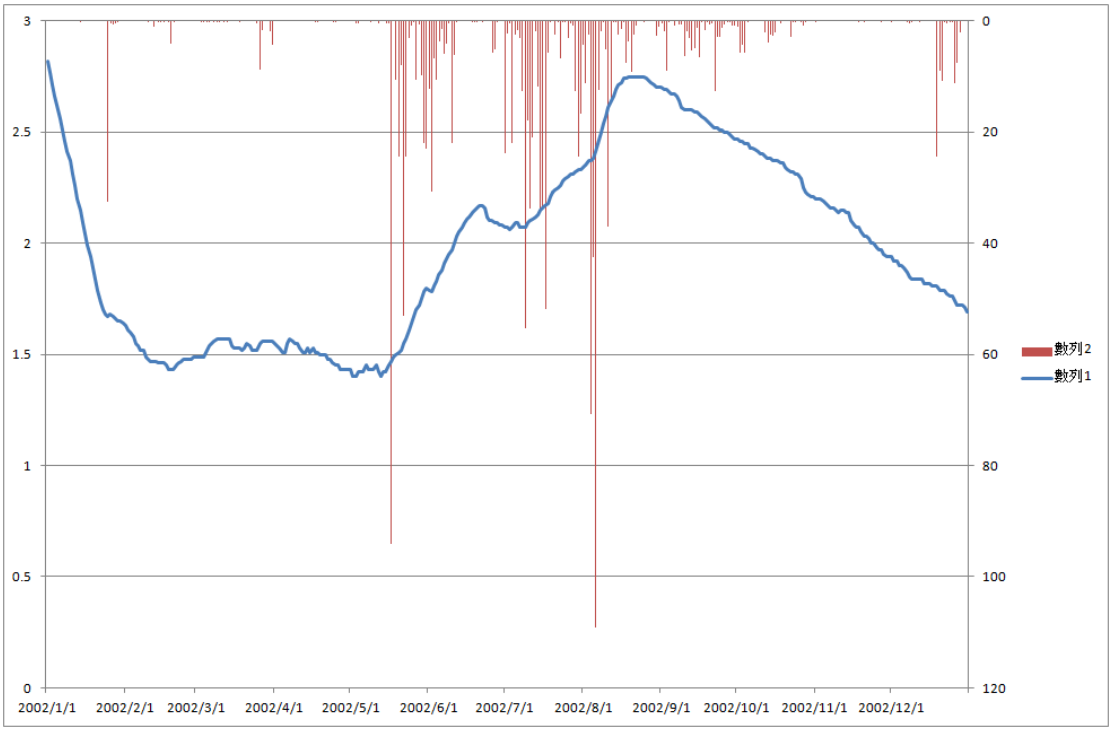


圖九 餉潭(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

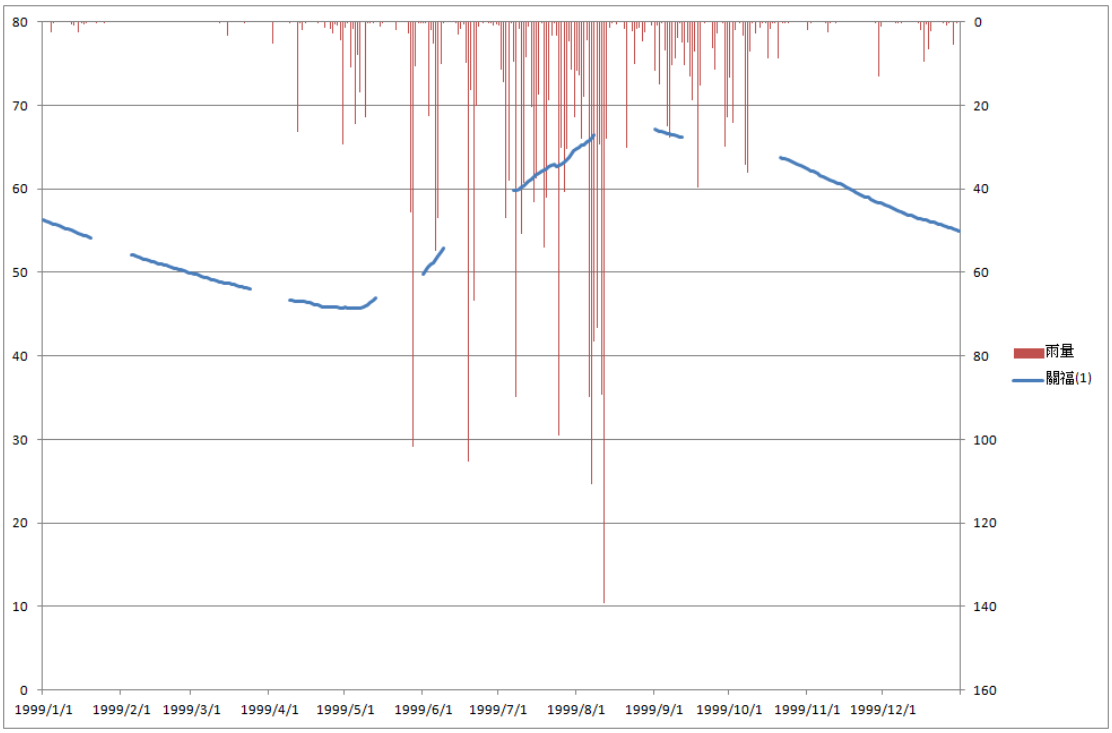


(b)

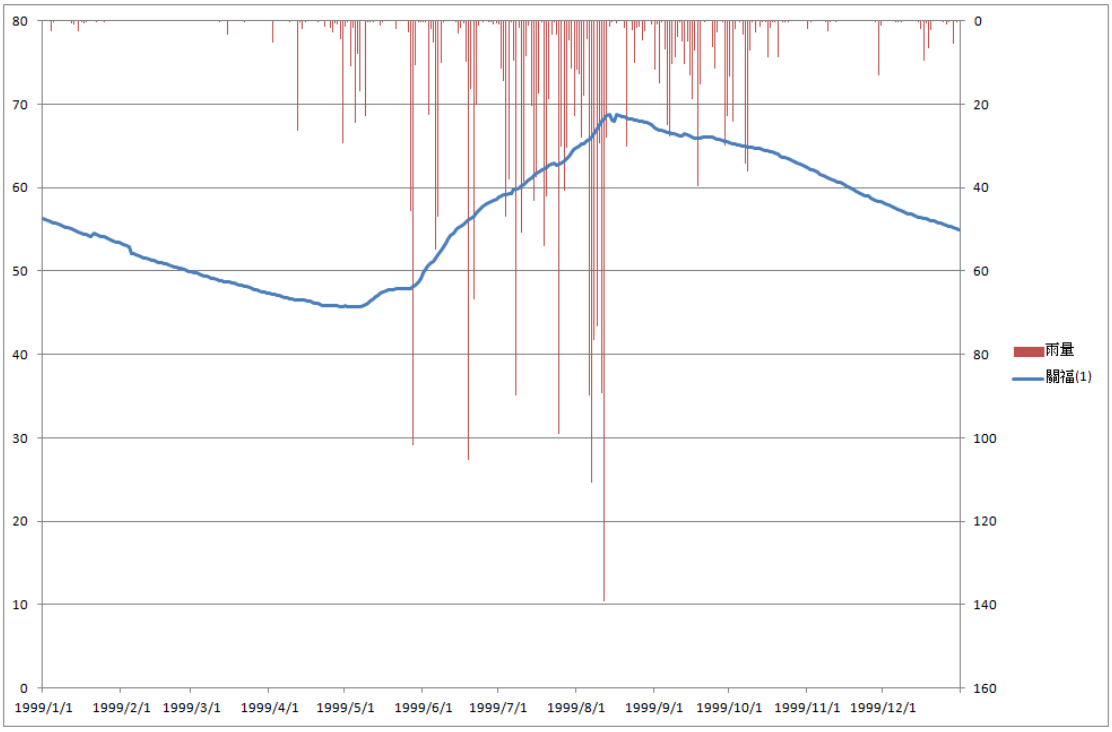


圖十 潮寮(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)

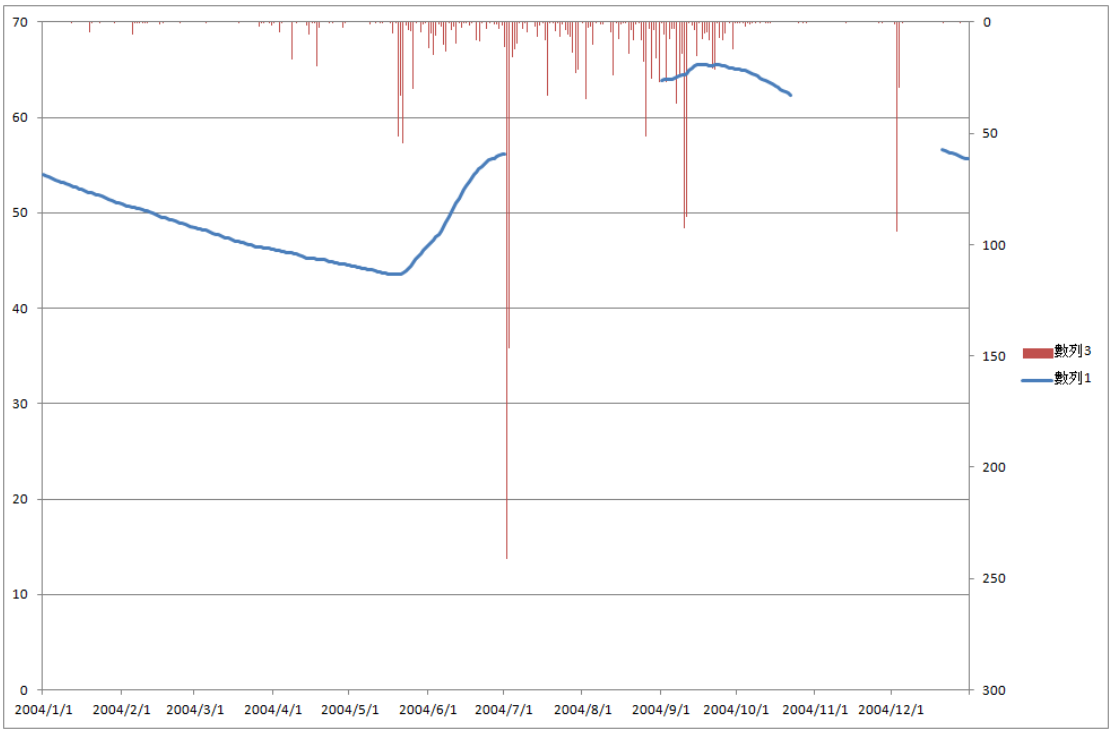


(b)

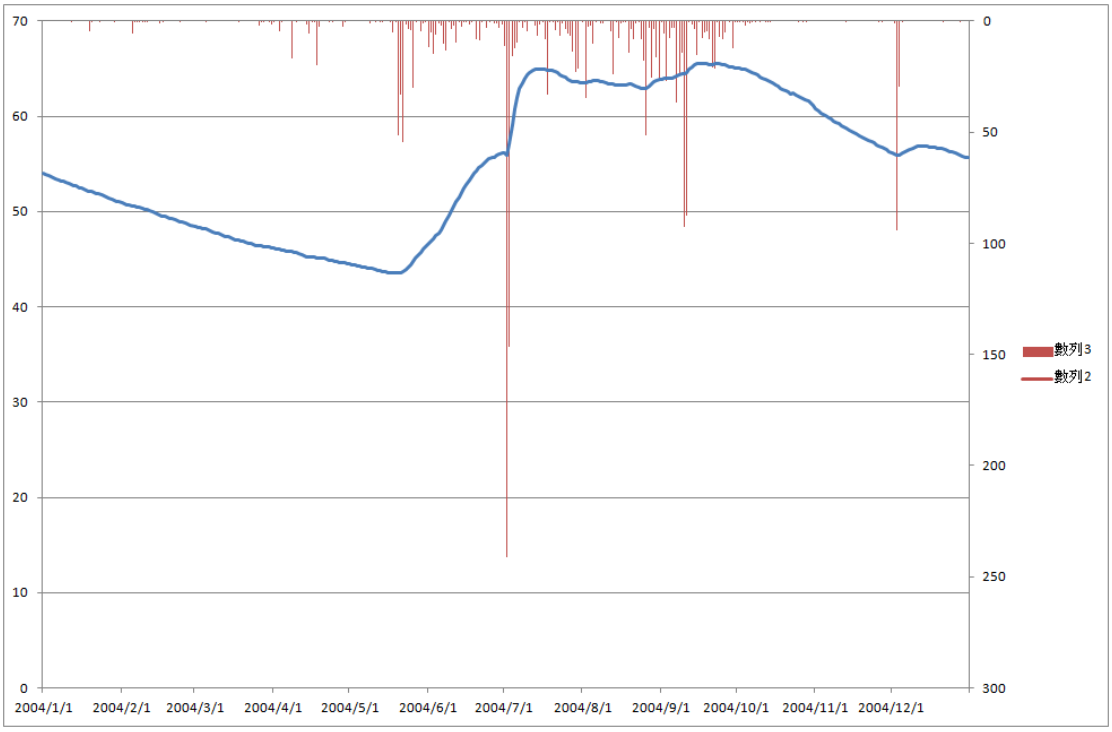


圖十一 關福(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

(a)



(b)



圖十二 關福(1)：(a)補遺前；(b)補遺後

附錄二、深層地下水位原始資料缺漏時段分類

屏東平原深層地下水位原始資料缺漏時段分類列

分區	井名	≦10 天	>10 天	缺漏日期及時段
	中州(2)	1	0	2000/1/31
	旗山(2)	2	2	1998/1/1~1998/6/27、2000/1/31、2000/10/2、2004/8/20~2004/9/16
	美濃(2)	2	3	2000/1/31、2000/10/3、2010/1/5~2010/1/31、2010/3/9~2010/4/1、2010/5/4~2010/5/20
	吉洋(2)	2	1	1998/1/1~1998/6/27、2000/1/27、2000/10/3、
	新威(2)	0	3	1998/1/1~1998/6/27、2004/11/2~2004/12/7、2005/5/14~2005/8/15
	清溪(2)	2	0	2000/1/19、2000/9/21
	清溪(3)	2	0	2000/1/19、2000/9/21
	海豐(2)	2	2	1998/1/1~1998/6/1、2000/1/19、2000/9/21、2010/11/2~2010/12/31
	海豐(3)	2	2	1998/1/1~1998/6/1、2000/1/19、2000/9/21、2009/2/12~2009/2/28
	潮洲(2)	4	2	1998/1/1~1998/6/1、2000/1/5、2000/9/5、2005/6/3~2005/6/16、2009/10/30、2010/12/19~2010/12/23
	大潭(2)	4	1	1998/1/15~1998/1/19、2000/1/3、2007/8/19~2007/8/25、2010/1/8~2010/2/24、2010/5/6~2010/5/11
	東港(2)	3	1	2000/1/3、2000/8/31、2007/8/8~2007/8/19、2010/9/10~2010/9/19
	東港(3)	3	0	2000/1/3、2000/8/31、2010/7/23~2010/8/1
	東港(4)	3	1	2000/1/3、2000/8/31、2005/12/6~2006/1/19、2010/7/23~2010/8/1
	新庄(2)	5	4	1998/2/7~1998/3/7、1999/7/8~1999/7/19、1999/8/14~1999/8/19、2000/1/11、2000/9/13、2003/9/6~2003/9/8、2003/9/29、2003/10/5~2003/10/20、2005/11/3~2005/12/6
	新庄(3)	3	1	1999/6/21~1999/7/29、2000/1/11、2000/9/13、2010/11/17
	德興(2)	7	7	1998/1/1~1998/7/7、1998/10/27~1998/11/3、1999/7/8~1999/8/2、1999/12/21、2007/6/29~2007/7/2、2007/7/31、2007/8/1、2007/8/2、2009/5/5~2009/7/2、2009/9/8~2009/10/8、2009/10/27~2009/12/2、2010/1/6~2010/2/8、2010/5/10、2010/5/11、2010/7/3~2010/7/30
	德興(3)	2	1	1998/1/1~1998/6/26、1999/12/21、2000/8/28
	新園(2)	3	2	1998/1/1、2000/1/6、2008/2/21~2008/3/2、2008/3/16~2008/3/31、2008/4/4~2008/4/17
	崁頂(2)	2	3	1998/1/1~1998/6/2、2000/1/5、2000/9/5、2005/5/3~2005/12/13、2009/8/4~2009/9/9
	崁頂(3)	1	2	1998/1/1~1998/6/21、1999/5/31~1999/6/8、2000/1/5
	港東(2)	2	1	1998/1/1~1998/6/26、2000/1/6、2000/9/6
	港東(3)	3	4	1998/1/1~1998/6/26、2000/9/6、 2001/8/14、2004/7/10~2004/8/9、2004/11/11~2004/12/29、2010/9/1~2010/9/19、2010/11/13~2010/11/15

港東(4)	1	2	1998/1/1~1998/6/26、2001/8/14、2010/9/1~2010/9/19
崎峰(2)	2	8	1998/1/21~1998/2/6、1999/12/22、2000/8/29、2008/11/12~2008/11/30、2009/11/1~2010/1/6、2010/2/27~2010/3/15、2010/5/1~2010/6/1、2010/7/1~2010/7/4、2010/10/30~2010/11/1、2010/12/16~2010/12/31
崎峰(3)	4	6	1999/12/22、2000/8/29、2000/11/5~2000/12/4、2001/6/8~2001/7/2、2004/3/28~2004/4/6、2004/10/18~2004/11/9、2005/6/5~2005/6/8、2005/9/20~2005/10/5、2005/12/20~2006/2/6、2010/12/24~2010/12/31
崎峰(4)	6	4	1998/11/6、1998/11/7、1999/12/22、2000/8/29、2001/3/11~2001/4/27、2003/4/4~2003/4/11、2005/9/20~2005/10/5、2005/12/14~2005/12/24、2009/8/6~2009/8/31、2010/12/24~2010/12/31
瑪家(2)	3	3	2000/1/24、2000/9/26、2004/1/2~2004/2/3、2006/6/8~2006/6/11、2007/1/2~2007/2/11、2008/9/6~2008/10/1
瑪家(3)	2	1	2000/1/24、2000/9/26、2008/8/2~2008/9/4
萬丹(2)	2	0	2000/1/11、2000/9/13
萬丹(3)	4	0	2000/1/11、2000/9/13、2005/6/17~2005/6/20、2005/6/26~2005/7/4
繁華(2)	2	2	1998/1/1~1998/6/27、2000/1/20、2000/9/25、2009/2/5~2009/3/2
九如(2)	2	1	2000/1/25、2000/9/27、2010/1/1~2010/10/31
里港(2)	2	1	2000/1/25、2000/9/27、2006/8/5~2006/9/6
鹽埔(2)	2	3	1998/10/6~1998/11/7、2000/1/24、2000/2/16~2000/3/4、2000/9/26、2008/8/7~2008/9/3
彭厝(2)	2	4	1998/1/1~1998/6/27、2000/1/25、2000/9/27、2004/8/19~2004/9/22、2009/12/2~2010/4/1、2010/5/8~2010/5/20
高樹(2)	3	0	2000/2/2、2000/10/5、2010/5/29~2010/6/6
泰山(2)	2	0	2000/2/1、2000/10/4
新南(2)	3	3	1998/1/1~1998/6/27、2000/2/1~2000/2/2、2000/10/4、2004/8/5~2004/9/8、2007/8/16~2007/8/17、2010/3/4~2010/4/6
關福(2)	3	4	1998/1/1~1998/6/27、1999/1/21~1999/2/4、1999/8/15~1999/8/16、2000/2/1、2000/10/4、2003/3/26~2003/4/14
萬巒(2)	4	0	2000/1/5、2000/9/5、2009/4/5、2010/5/19~2010/5/22
赤山(2)	3	4	1998/1/1~1998/6/26、2000/1/18、2000/9/20、2006/1/18~2006/2/3、2007/1/14~2007/1/31、2007/4/19~2007/4/22、2008/11/3~2008/12/16
赤山(3)	4	6	1998/1/1~1999/4/13、2000/1/18、2000/9/20、2005/10/2~2005/11/1、2006/8/6~2006/8/31、2008/8/13~2008/9/3、2009/8/8~2009/11/1、2010/9/3~2010/10/4、2010/10/28~2010/10/31、2010/12/4~2010/12/5
建興(2)	2	2	2000/1/20、2000/9/25、2010/1/1~2010/9/30、2010/12/1~2010/12/31
內埔(2)	1	3	1998/1/1~1998/6/20、2003/12/2~2004/1/3、2005/8/6~2005/9/11、2006/1/18~2006/1/19、

老埤(2)	4	4	1998/1/1~1998/6/20、1999/3/8~1999/4/12、2000/1/20、2000/9/25、2004/9/26~2004/10/11、2005/6/27~2005/7/1、2005/7/24~2005/8/1、2008/8/2~2008/9/15、
西勢(2)	2	1	2000/1/17、2000/9/19、2009/5/8~2009/5/31、
西勢(3)	2	1	2000/1/17、2000/9/19、2004/7/7~2004/7/31、
西勢(4)	1	2	1999/2/2~1999/3/3、2000/1/18、2005/4/3~2005/4/30、
大湖(2)	2	2	1998/1/1~1999/4/13、2000/1/18、2000/1/19、2005/10/8~2005/11/1、
大湖(3)	2	1	1998/1/1~1999/4/13、2000/1/18、2000/1/19、
大湖(4)	1	1	1998/1/1~1998/6/19、2000/1/18、
新埤(2)	9	3	1998/2/14~1998/3/2、2000/1/4、2000/9/4、2001/3/2~2001/3/9、2004/4/17~2004/5/1、2008/6/9~2008/7/2、2009/11/26~2009/12/1、2009/12/31~2010/1/4、2010/2/27~2010/2/28、2010/3/27~2010/4/1、2010/5/26~2010/6/1、2010/12/29~2010/12/31
新埤(3)	2	0	2000/1/4、2000/9/4
新埤(4)	3	2	1999/3/29~1999/3/31、2000/1/4、2000/9/4、2001/5/4~2001/6/6、2004/2/2~2004/3/1、
萬隆(2)	3	1	2000/1/4、2000/5/8~2000/5/21、2000/9/4、2007/7/25~2007/8/2、
大嚮(2)	6	8	1998/6/8、1999/6/16~1999/6/20、1999/12/21、1999/12/23、2000/8/30、2001/4/29~2001/4/30、2001/5/10~2001/5/25、2005/2/7~2005/3/1、2006/7/4~2006/10/23、2007/7/3~2007/8/18、2009/7/3~2009/8/2、2009/10/2~2009/11/23、2010/9/21~2010/10/10、2010/10/23~2010/12/13、
飽潭(2)	2	3	1998/1/1~1998/6/26、1999/4/19~1999/5/4、1999/8/4~1999/8/23、1999/12/23、2000/8/30、
枋寮(2)	6	1	1999/12/23、2000/8/30、2004/7/13~2004/7/16、2006/12/27~2007/1/2、2007/8/8~2007/8/12、2007/9/21、2010/12/8~2010/12/23、
大庄(2)	1	3	1998/1/1~1998/6/9、1999/12/22、2000/10/2~2000/11/4、2001/1/2~2001/1/16、
中正(2)	0	2	1998/1/1~1998/6/27、2010/9/27~2010/12/31
石化(2)	5	1	2000/1/10、2004/10/28~2004/10/31、2004/11/1~2004/11/5、2005/8/27~2005/8/31、2005/9/6~2005/9/9、2010/9/5~2010/9/29
林園(2)	3	0	1998/1/6~1998/1/11、2000/1/10、2000/9/7
林園(3)	3	0	2000/1/10、2000/9/7、2010/2/21-2010/2/26
潮寮(2)	2	0	2000/1/12、2000/9/14
潮寮(3)	2	1	2000/1/12、2000/9/14、2004/8/17~2004/12/21

	永芳(2)	2	0	2000/1/12、2000/9/14
	永芳(3)	5	0	2000/1/12、2000/9/14、2007/8/14~2007/8/23、2010/7/2~2010/7/5、2010/8/14~2010/8/20
	昭明(2)	2	1	1998/1/1~1998/7/8、2000/1/13、2000/9/18
	昭明(3)	4	2	1998/1/1~1998/6/26、2000/1/13、2000/9/18、2000/11/10~2000/11/30、2000/12/1~2000/12/4、2010/7/21~2010/7/26、2010/10/1~2010/10/5
	昭明(4)	4	3	1998/1/1~1998/6/26、2000/1/13、2000/9/18、2000/11/10~2000/12/4、2002/10/10~2002/10/11、2003/5/8~2003/5/15、2005/5/3~2005/6/4、2010/10/27~2010/11/2
	溪埔(2)	1	2	1998/1/1~1998/6/1、2000/10/2、2004/7/5~2004/12/23
	溪埔(3)	2	0	2000/1/27、2000/10/2
	九曲(2)	3	1	2000/1/26、2000/9/28、2000/10/2~2000/11/17、2007/1/5~2007/1/10
	大樹(2)	3	4	1998/1/1~1998/6/26、2000/1/26、2000/9/28、2007/3/14~2007/3/31、2009/3/3~2009/3/31、2009/8/9~2009/9/6、2010/11/19~2010/11/24、2010/12/7~2010/12/12
	大樹(3)	3	3	1998/1/1~1998/6/26、1998/8/2~1998/8/17、2000/1/26、2000/9/28、2009/2/17~2009/3/2、2009/6/2~2009/6/4
	大樹(4)	1	2	1998/1/1~1998/6/26、2000/9/28、2002/4/10~2002/5/28

附錄三、本年度工作會議紀錄

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(3/4)

第 1 次工作會議記錄

一、 時間：100 年 4 月 14 日　下午 2:00

二、 地點：國立交通大學　工程二館 329 教室

三、 主持人：張良正 教授

四、 出席單位及人員：中央地質調查所、交通大學、張竝瑜教授、台糖公司

五、 主席致詞：略　　記錄：陳祐誠

六、 工作報告：張良正教授(略)、張竝瑜教授(略)、台糖公司(略)

七、 會議結論：

(一)、屏東平原邊框範圍與地調所認定範圍有部份出入，將進行調整。

(二)、屏東平原之土壤種類資料，可參考地調所提供之圖檔，進行缺漏資料補遺。

(三)、屏東平原之 Sy 值可參考台糖提供之研討會資料。

(四)、屏東平原北區之主要補注區邊界，需會同海洋大學團隊與地調所討論。

(五)、彭厝之抽水試驗將原本 130m 試驗井更換為兩口 30m 試驗井(篩孔開在 24m)，進行抽水試驗。

(六)、預計期中報告前可完成之工作：

單位	期中報告前預計可完成之工作項目
交通大學	1. 完成屏東平原資料的人工檢視及補遺工作。 2. 完成屏東平原補注量及抽水量推估。 3. 屏東平原地下水補注潛勢評估。
海洋大學	1. 地電阻施測及成果展示。
台糖公司	1. 彭厝鑿井及抽水試驗工作。。
嘉南藥理科大	1. 地下水採樣 2. 觀測井溫度及導電度剖面

(七)、本年度工作會議預定時間：

- 期中報告前

1. 預定於 5 月底(暫定 5 月 12 日)進行第二次工作會議，討論目前進度。

- 期中報告

1. 預計在 5 月底或 6 月初辦理期中簡報，一週前需提出期中報告書 15 本供委員審查，因此於 5 月 20 日前繳交期中報告內容，彙整後於 5 月 27 日左右寄送地調所。(開會時再另準備簡報資料)。

- 期末報告前

1. 於 9 月初(暫定 9 月 1 日)進行第三次工作會議。
2. 於 10 月底(暫定 10 月 20 日)進行第四次工作會議。

➢ 期末報告

1. 預計在 11 月底辦理期末簡報，一週前需提出期末報告書初稿 15 本供委員審查，因此於 11 月 5 日前繳交期末報告內容，彙整後於 11 月 15 日左右寄送地調所。(開會時再另準備簡報資料)。

八、15：30 散會

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(3/4)

第一次工作會議

一、 時間:100 年 4 月 14 日 下午 14:00

二、 地點:國立交通大學 工程二館 329 會議室

三、 主持人:張良正教授

四、 出席單位及人員簽到

單位	簽名
經濟部中央地質調查所	王詠絢
	蕭智昭
	潘榮城
嘉南藥理科技大學	王仁亨 陳文祝
台灣糖業公司	李明州、陳水振、王德宜

海洋大學	陳欣琦
	張鈞凱
	吳佳珊
	吳坤峯
崧旭資訊股份有限公司	
交通大學	張良正
	陳宇文
	陳衍誠
	邱繼賢
	孫仁君
	王宏卿
	鄭文炯
	蕭仲良
	張翊舜
	許國陞
	陳建儒

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(3/4)

第 2 次工作會議記錄

一、時間：100 年 5 月 19 日　下午 13:30

二、地點：經濟部中央地質調查所　第二會議室

三、主持人：張良正 教授

四、出席單位及人員：中央地質調查所、交通大學、嘉南藥理科技大學藥陳文福教授、國立台灣海洋大學張竝瑜教授、台糖公司

五、主席致詞：略　　記錄：林彥勳

六、 工作報告：張良正教授(略)、陳文福教授(略)、張竝瑜教授(略)、台糖公司(略)

七、會議結論：

1. 討論石化 土庫 吉洋工作站等站是否使用?期中報告後再進行討論。
2. 表層土壤缺漏部分，河道上游補礫、下游補砂。屏東市補泥，大鵬灣補泥。鳳山丘陵之礫岩補注性差，故給予低分。
3. 台糖方面討論抽水試驗時間，交大將會同地調所與海大方面進行會勘。
4. 已完成地面水水質採樣及化驗地下水部分尚有幾點持續進行中，期中前會完成預期進度
5. 期中報告各單位可完成工作項目整理：

單位	期中報告前預計可完成之工作項目
交通大學	1. 完成地下水位資料的人工檢視及補遺工作。 2. 完成屏東平原補注量及抽水量推估。 3. 地下水補注潛勢評估標準作業程序之初步檢討與修訂
崧旭資訊公司	1. 地下水補注潛勢評估作業平台功能擴充-開啟舊案例功能。
海洋大學	1. 1.5 月上旬完成一維施蘭卜吉地電阻反演資料內差修正作圖與反演算初始模型層數調整，於 30m 獲得阻水層 T0 與 T1 約略位址，並分析可能原因以供野外測線規劃 2. 完成屏東縣中區建興、西勢、萬丹三處現場測勘，並依照人為建物分佈調整測線位址。
台糖公司	1.完成彭厝鑿井及抽水試驗工作。
嘉南藥理科大	1. 完成第一次地面採樣 2. 完成第一次地下水採樣 3. 地下水水質地化初步結果

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)

第二次工作會議 簽到表

一、 時間：100 年 5 月 19 日 下午 13:30

二、 地點：國立交通大學 工程二館 208 會議室

三、 主持人：張良正教授

四、 出席單位及人員簽到

單位	簽名
經濟部中央地質調查所	黃智昭
	潘曉城
	邊振中
臺灣海洋大學	張良正
	張哲訓、吳佳琳
	呂欣津
台灣糖業公司	李明明
	王德宜
嘉南藥理科技大學	王仁亨
交通大學	張良正
	陳宇文
	王仁亨
	陳尚誠
	邱逸賢
	許國隆
	張淑愛
	楊深恩

經濟部中央地質調查所 100 年度委辦計畫

「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(3/4)」
期中簡報會議紀錄

一、開會時間：100 年 6 月 10 日（星期五）上午 9：30

二、開會地點：地質調查所第二會議室

三、主席：江副所長崇榮　　記錄：陳瑞娥

四、出（列）席單位及人員：詳如會議簽名單

五、主席引言：略

六、主辦單位說明：略

七、承辦廠商簡報：略

八、綜合討論：略

九、委員綜合意見：

（一） 本計畫研究方向正確，內容資料豐富，分析完整，已達預訂進度目標。

（二） p.12 表 2.1-2R，10+公尺應對應 3.0+公尺，請修正；p.4 導水係數 T，介於 $3x10^{-5}$~15.1 平方公尺/秒，比重量 Q/S 為 Specific Capacity 單位洩降出水量，譯為比容量是否合適?請再確認。

（三） p.3 及 p.4 圖 1.2-1 及 1.2-2 圖示不清，請修正。

（四） p.97 圖 3.4-5 圖例請補單位，並注意有效位數；單位面積補注大小其色塊，請用不同顏色表示以利辨識。

（五） 內文請統一「計畫」用字；另所引用文獻 Yeh et al. 年份應為(2009)而非(2008)請更正；專有名詞英文註解請統一大小寫方式。

（六） 1999 年到 2010 年地下水歷線法推估水平衡，降雨量與補注量之相關性並非單純正相關，請檢討原因。

（七） 請討論屏東平原補注區之劃分方法之適用性及與濁水溪沖積扇劃分之比較。

（八） p.99，3.4.3 關於里港(1)是否為非受壓含水層之檢討，由於原始岩芯 10 公尺內之岩芯取樣有缺漏，未來建議以地電阻探勘資料加以補充分析。

（九） p.111 圖 4.2-1 可否進一步將農耕地區分為水田及旱田?請加以考量

（十） 地下水補注潛勢整體分布圖請補列相關水文地質剖面圖以供比對

（十一）p.117，4.2.3 綜合因素，針對降雨與地下水變化相關性，建議繪製相關係數圖或將其相關係數列表說明

（十二）p.127，4.3 地下水補注潛勢分析成果之說明，請說明本計畫對於決定每一因子給定權重或評分方式；另外，圖 4.3-8 地下水補注潛勢整體分數分布圖中，分數較大區域似乎為河系分布，請再加以檢核分數計算方式是否有誤

（十三）本區伏流水之水量可否利用水平衡方法加以評估?

（十四）在作水平衡分析時，本區河川的下滲補注量是否已列入計算?或是否需列入考慮?如何與降雨直接垂直入滲補注量區分?請加以說明

（十五）以各站之地下水位可以推得總抽水量，將屏東平原視為一個地下水庫，也可以計算出來，但是這兩種不同的計算方式，其數值之差異可能需要進一步比對說明

（十六）屏東平原形成機制與過程為多條河川複合沖積形成，其較濁水溪沖積扇複雜，利用本計畫整體屏東平原均一標準評估處理方式，是否可滿足原先補注潛勢評估概念，建議請思考是否可依河系來區分，配合不同河系區位地下水補注潛勢討論之，爾後在整體屏東平原探討，以滿足本計畫劃分地下水補注區之目標

（十七）濁水溪沖積扇及屏東平原等於涵蓋大部分的農業區面積，故兩區之水文地質應能綜覽全貌，不只是概念模式之建立，其成果也能應用於實際水資源的經營管理

（十八）期中報告書的撰寫看不出四個子計畫的整合，請於期末報告書中改進，並加強和區域水文地質原有成果的比對

（十九）二維地電阻剖面影像法、電極排列、施測程序，請再加強說明；二維地電剖面可增加井測地電阻及自然伽瑪圖進行比對

（二十）地電阻剖面圖與岩芯資料的比對不清楚，請改進報告書中圖資的品質

（二十一） 井水溶氧資料請納入期末報告

（二十二） p.188 表 6.2-7 氧化還原電位是否為 SHE 之標準電位?請加以釐清

（二十三） 屏東平原之水質調查重點應以鹽化及氨氮為主，若經費許可建議於

扇尾地區加強調查。

（二十四） p.198 圖 6.3-1 之圖說及等高線請補正

（二十五） 水質調查位置，建議亦考慮於沖積扇邊緣之觀測井進行監測，以提供主要地下水補注區劃分之依據

（二十六） 彭厝雙井抽水試驗結果，請考慮局部貫穿之分析方法，並增加 Boulton 遲滯排水分析方法，目前初步分析之 Sy =0.062，似偏低

（二十七） W1 觀測井採用 8 吋之口徑之依據為何?請加以說明

十、結論：

（一）期中報告及簡報內容及進度符合契約書規定，請檢具工作進度表、經費收支表及收據，向本所辦理本案第 2 期款的申請與撥付事宜。

（二）請參照委員綜合意見配合辦理後續工作，並將處理結果之說明，詳列於期末成果報告書附錄，以利查核。

十一、散會（上午 12 時 10 分）。

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(3/4)

第 3 次工作會議記錄

一、時間：100 年 10 月 4 日(二)　上午 9:30

二、地點：國立交通大學 工程二館 329 會議室

三、主持人：張良正 教授

四、出席單位及人員：中央地質調查所、交通大學、嘉南藥理科技大學藥、國立台灣海洋大學、台糖公司

五、主席致詞：略　　記錄：陳祐誠

六、 工作報告：張良正教授(略)、陳文福教授助理(略)、張竝瑜教授助理(略)、台糖公司(略)

七、會議結論：

1. 地電阻數據分析協助畫設補注區邊界：劃定於荖濃溪之南邊與高屏溪之東邊，統整為兩大系統：北側自里港觀測井東側，往南至九如觀測井之西側、海豐觀測井東側，向東南延續至建興觀測井西側，最後經老埤西側至扇頂；南側則由萬巒觀測井之南側往西南劃，至潮州觀測井之東側後，從萬隆觀測井與新埤觀測井中繼續往南，最後經大響二觀測井之西方至屏東平原最南側。 9 月初進行荖濃溪之北邊場勘，欲增加二維地電阻剖面資料，以增加資料來劃定屏東平原之北側之補注區邊界。
2. 預計在 11 月底辦理期末簡報，一週前需提出期末報告書初稿 15 本供委員審查，因此各廠商於 11 月 12 日前繳交期末報告內容，交大彙整後於 11 月 18 日左右寄送地調所。（開會時再另準備簡報資料）。
3. 期末報告各單位可完成工作項目整理：

單位	期末報告前預計可完成之工作項目
交通大學	1. 完成地下水位資料的人工檢視及補遺工作。 2. 完成屏東平原補注量及抽水量推估。 3. 地下水補注潛勢評估標準作業程序之初步檢討與修訂 4. 完成地下水資源潛能評估。 5. 預計完成地下水重要保育區劃設。 6. 完成穩態數值模式建置與檢定。
崧旭資訊公司	1. 地下水補注潛勢評估作業平台功能擴充-開啟舊案例功能。 2. 整合測試濁水溪及屏東平原交互查詢。

海洋大學	1. 完成一維施蘭卜吉反演高 程校正結果，並與未進行高程校正之反演算結果比較。 2. 完成屏東平原 4 條測線，繪出水文地質交界過渡帶。
台糖公司	1. 完成彭厝鑿井及抽水試驗工作。 2. 單井及複井抽水試驗現地工作。
嘉南藥理科大	1.完成第一次地面採樣 2.完成第一次地下水採樣 3.地下水水質地化初步結果 4.完成第二次地下水採樣、水質化驗、水溫剖面量測以利對照乾季情形

八、12：00 散會

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(3/4)

第三次工作會議 簽到表

五、 時間:100 年 10 月 4 日 早上 9:30

六、 地點:國立交通大學 工程二館 329 室

七、 主持人:張良正 教授

八、 出席單位及人員簽到

單位	簽名
交通大學	張良正
交大	陳宇文
交通大學	蔡琇琳
交通大學	陳筱城
	彭建穎
	王雲直
	徐仁君
	蕭仲良
	楊深惠
	劉鎧榮
	王宏卿
	周奕淳

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(3/4)

第三次工作會議 簽到表

一、 時間:100 年 10 月 4 日 早上 9:30

二、 地點:國立交通大學 工程二館 329 室

三、 主持人:張良正 教授

四、 出席單位及人員簽到

單位	簽名
臺灣海洋大學	
台灣糖業公司	
嘉南藥理科技大學	
崧旭資訊	

附錄四、期中報告審查意見及辦理情形

期中簡報暨期中報告書審查會議意見及處理情況

日期：100 年 6 月 10 日(星期五)上午 09 時 30 分

地點：地質調查所第二會議室

主席：江副所長崇榮　　記錄：陳瑞娥

四、出（列）席單位及人員：詳如出(列)席簽名單

五、主席引言：略

六、主辦單位說明：略

七、承辦廠商簡報：略

八、綜合討論：略

九、委員綜合意見：

審查意見	意見回覆
地下水補注潛勢評估及平台建置	
1. p.12 表 2.1-2R，10+公尺應對應 3.0+公尺，請修正；p.4 導水係數 T，介於 $3x10^{-5}$~15.1 平方公尺/秒，比重量 Q/S 為 Specific Capacity 單位洩降出水量，譯為比容量是否合適?請再確認。	期末報告已修正。
2. p.3 及 p.4 圖 1.2-1 及 1.2-2 圖示不清，請修正。	期末報告已修正。
3. p.97 圖 3.4-5 圖例請補單位，並注意有效位數；單位面積補注大小其色塊，請用不同顏色表示以利辨識。	期末報告已修正。
4. 內文請統一「計畫」用字；另所引用文獻 Yeh et al. 年份應為(2009)而非(2008)請更正；專有名詞英文註解請統一大小寫方式。	期末報告已修正。
5. 1999 年到 2010 年地下水歷線法推估水平衡，降雨量與補注量之相關性並非單純正相關，請檢討原因。	圖 5.4-9 繪出年降雨量與年補注量關係圖，兩者趨勢呈現正相關。
6. 請討論屏東平原補注區之劃分方法	屏東平原補注區之劃分，乃是綜合比較

之適用性及與濁水溪沖積扇劃分之比較。	潛勢評估、地電阻調查與水質調查等而得，應有相當高的適用性。屏東平原與濁水溪沖積扇皆為河川沖積平原，本研究分析方法一致，惟仍能反應各區之水文地質特性。
7. p.99，3.4.3 關於里港(1)是否為非受壓含水層之檢討，由於原始岩芯 10 公尺內之岩芯取樣有缺漏，未來建議以地電阻探勘資料加以補充分析。	經現地場勘後，觀測井鄰近區域無法進行長測線的施測，故移至里港觀測井之西北方約 450 公尺處之河堤外之河濱公園草地。該長測線顯示里港區域為非受壓含水層。
8. p.111 圖 4.2-1 可否進一步將農耕地區分為水田及旱田?請加以考量	土地利用方面採內政部國土測繪中心提供之資料，其可區分出水田與旱田，但因為各類土地利用區分極細，如完整呈現各種土地利用，圖面變為雜亂無章，故出圖上重歸納為農耕地。
9. 地下水補注潛勢整體分布圖請補列相關水文地質剖面圖以供比對	已增列於期末報告附錄六。
10. p.117，4.2.3 綜合因素，針對降雨與地下水變化相關性，建議繪製相關係數圖或將其相關係數列表說明	已增列於期末報告表 4.2-3。
11. p.127，4.3 地下水補注潛勢分析成果之說明，請說明本計畫對於決定每一因子給定權重或評分方式；另外，圖 4.3-8 地下水補注潛勢整體分數分布圖中，分數較大區域似乎為河系分布，請再加以檢核分數計算方式是否有誤	因子權重係以 Shaban et al. (2006)建議之影響因子關係圖(圖 4.1-3)來估算。一般而言，河床長年有水沖蝕，相較於非河床區域，泥質細顆粒難以沈積，其入滲率往往較高，基於此一考量，河道給予高分，受到河系密度因子之影響，故補注潛勢在河道上亦呈現高分。
12. 本區伏流水之水量可否利用水平衡方法加以評估?	水平衡法係以區域地下水觀測資料進行估算，因此基本上只能評估區域地下水相關資訊。若伏流水已進入含水層中，對區域地下水位有所影響，則會視為一補注源，呈現於補注量一項中。
13. 在作水平衡分析時，本區河川的下滲補注量是否已列入計算?或是否需列入考慮?如何與降雨直接垂直入滲補注量區分?請加以說明	估出來的補注量是用水位差反映出來，所以我們的補注量是函蓋了所有的量，並無另外區分出來入滲的量值
14. 以各站之地下水位可以推得總抽水量，將屏東平原視為一個地下水庫，	概念上，整體估算與分區估算均是以區域觀測水位，搭配水平衡方程式來進行

也可以計算出來,但是這兩種不同的計算方式,其數值之差異可能需要進一步比對說明	估算,基於質量守恆的原則,兩種估算方式的總抽水量應差異不大。 另外,相較於整體孤算,分區估算可進一步提供抽水量的空間分布。
15. 屏東平原形成機制與過程為多條河川複合沖積形成,其較濁水溪沖積扇複雜,利用本計畫整體屏東平原均一標準評估處理方式,是否可滿足原先補注潛勢評估概念,建議請思考是否可依河系來區分,配合不同河系區位地下水補注潛勢討論之,爾後在整體屏東平原探討,以滿足本計畫劃分地下水補注區之目標	由於計劃的尺度是屏東平原整體,因此整合探討應不違背計畫目的與補注潛勢評估概念,依河系區分討論之結果將增列於期末報告中
16. 濁水溪沖積扇及屏東平原等於涵蓋大部分的農業區面積,故兩區之水文地質應能綜覽全貌,不只是概念模式之建立,其成果也能應用於實際水資源的經營管理	本研究已針對濁水溪沖積扇及屏東平原水文地質進行了解,後續計畫可針對應用於實際水資源的經營管理作為參考。
17. 期中報告書的撰寫看不出四個子計畫的整合,請於期末報告書中改進,並加強和區域水文地質原有成果的比對	謹遵辦理。
地電阻測勘	
1.二維地電阻剖面影像法、電極排列、施測程序,請再加強說明;二維地電剖面可增加井測地電阻及自然伽瑪圖進行比對	謹遵辦理。
2.地電阻剖面圖與岩芯資料的比對不清楚,請改進報告書中圖資的品質	謹遵辦理。
地下水水質調查	
1. 井水溶氧資料請納入期末報告	謹遵辦理。
2. p.188 表 6.2-7 氧化還原電位是否為 SHE 之標準電位?請加以釐清	儀器量測時已自動校正為標準氫電極(SHE)之電位
3. 屏東平原之水質調查重點應以鹽化及氨氮為主,若經費許可建議於扇尾地區加強調查	已增加扇尾地區之調查

4. p.198 圖 6.3-1 之圖說及等高線請補正	謹遵辦理。
5. 水質調查位置，建議亦考慮於沖積扇邊緣之觀測井進行監測，以提供主要地下水補注區劃分之依據	已增加扇央及扇尾地區之調查
抽水試驗	
1. 彭厝雙井抽水試驗結果，請考慮局部貫穿之分析方法，並增加 Boulton 遲滯排水分析方法，目前初步分析之 Sy =0.062，似偏低	謹遵辦理
2. W1 觀測井採用 8 吋之口徑之依據為何?請加以說明	因 W1 觀測井施作分級試水，故採用 8 吋之井管以利安裝抽水機。
結論	
期中報告及簡報內容及進度符合契約書規定，請檢具工作進度表、經費收支表及收據，向本所辦理本案第 2 期款的申請與撥付事宜	謹遵辦理。
請參照委員綜合意見配合辦理後續工作，並將處理結果之說明，詳列於期末成果報告書附錄，以利查核	謹遵辦理。

十、散會（上午 12 時 10 分）。

附錄五、期末報告審查意見及辦理情形

期末簡報暨期末報告書審查會議意見及處理情況

日期：100 年 11 月 29 日(星期二)上午 09 時 30 分

地點：地質調查所第二會議室

主席：江副所長崇榮　　記錄：陳瑞娥

四、出（列）席單位及人員：詳如出(列)席簽名單

五、主席引言：略

六、主辦單位說明：略

七、承辦廠商簡報：略

八、綜合討論：略

九、委員綜合意見：

審查意見	意見回覆
地下水補注潛勢評估及平台建置	
1.摘要應整合所有工作成果，並請補充英文摘要	謹遵辦理。
2. p206，圖 5.1-2 地下水位歷線法項目與圖 5.1-3 表層水層之概念模型項目宜互相比對加強說明及整合。	謹遵辦理。
3. 地下水流模式，宜納入荖濃溪、隘寮溪、來社溪、力力溪等河床補注之功能，較符合沖積扇頂河床補注之自然特性。	本計劃之地下水流模式主要乃以觀測水位為檢定參照值，而觀測水位是各種補注及抽水綜合反應的結果，因此模式雖未納入河流，但檢定後亦有包含河床補注之效果。而由於現有河川水位量測站不多，且河川水位不穩定，難以線性方式將水位分配至整條河流，會與地形產生矛盾，故於模式中設定河床補注目前仍在嘗試階段中。
4. 建議由地下水流模式進一步評估海水每年入侵量及入侵移動情形。	目前模式檢定出海岸邊界補注量為每年 0.46 億噸，而入侵移動情形則由於海水比重較大，以及鹽類於水中之擴散效應等，較難單純以水流流場評估。

5. 所推估之補注量與抽水量是否有何方法可加以比較或驗證？	於第二章，表 2.1-19 列出過去文獻各種方法推估結果,本計劃推估之補注量與抽水量與過去文獻比較,介於其間應屬合理範圍。
6. p125，表 5.2-3 列出之地下水年流出量與第六章模式所模擬出之地下水流出量，其次在屏東平原沿海地區之 Submarine Groundwater Dischange（SGD）水量，請比較並標示於屏東平原概念模式之邊界區內。	本計劃僅使用水位歷線法推估表層之補注量與抽水量,但屏東平原除表層抽水外，深層亦有大量抽水，因此水位歷線法推估之流出量,除流進海中的地下水量外，亦包含深層抽水量，而地下水模式模擬包含淺層及深層抽水,因此流出量為流入沿海定水頭之水量。已於文中第六章分別計算沿海定水頭之流入量及流出量並加以說明。
7.建議未來重要保育區範圍之判定，可參考保育脆弱度概念來建置,同時對脆弱度內涵因子選定，加以評估。	此項建議於後續計劃中會加以考量。
8.圖 4.5-3，請區別地下水可開發量與地下水資源保育分數。	地下水可開發量為地下水出水潛能中各層含水層開發深度,綜合地下水補注潛勢與地下水出水潛能才可表示成地下水資源保育分數。
9. p195，「海拔零位線」零位線宜定義清楚；p197，示意圖內之符號宜再改進，以免水位與含水層下、上邊界無法區分	修正於期末完稿 4.5 節。
10. steady 與 unsteady(or transient)建議翻譯為恆定與非恆定(或暫態)，以便與 stable(穩定)及 unstable(不穩定)做區隔	經資料蒐尋,大部分關於地下水流模式之文獻，steady model 均翻譯成穩態模式，應已是慣例，不會有混淆之情形。
11. 地下水位資料補遺以 10 天為時間門檻,分為利用自站與鄰近水位站之資料進行補遺似無必要,建議直接利用鄰近水位站之資料進行補遺,如無鄰近水位站資料可用,再用自站水位資料進行補遺。	本計劃在此分為以鄰近站井與同站不同層水井進行「線性迴歸補遺」，及自站「線性內差補遺」兩種方式。 若直接以線性迴歸進行補遺,其銜接段常出現不規則跳動,影響後續水位歷線法之補注量與抽水量推估結果,故需要人工檢視與輔以其他方法。 相對於線性迴歸補遺之缺點,自站線性內差是以自站缺漏段之前後數據為端點，直接以直線方式補足缺漏數據，故銜接上則顯得平順,可消弭前述因補遺

	造成不規則跳動之問題。但是對於較長之缺漏段，例如超過半年以上之缺漏，若直接以線性內差補遺，則補遺數據則缺少地下水豐枯變化特性，故在此仍以十日為門檻，以兩種方式分別進行補遺。
12.地下水出水潛能計算之零位線，應說明其物理定義及如何決定零位線之位置。	修正於期末完稿 4.5 節。
13. 第 II 頁，T 的單位應為 m2/min；圖 1.2-1、圖 1.2-3、圖 3.1-10 等圖中的文字標示不清，請修正；p205，5.1 之參考文獻請改為：江崇榮等人（2002）；報告書中圖名及表一的格式請統一；p198，地下水可開發量圖例宜註明單位；各章之章首置於奇數頁，3.1 的標題字體宜大於 3.1.1 之標題字體大小，3.2 之標題字體宜大於 3.2.1…。3.3 宜大於 3.3.1…；整體編排上可再做改進，以利閱讀	謹遵辦理。
14.p275，6.5 節討論污染物對補注區及中下游水質之影響，建議分析下游東港地區海水入侵對地下水水質鹽化之影響	由於地下水流場為汙染物移動之重要依據，所以在未設定汙染質情況下，可單純以流場評估影響範圍，而海水入侵移動情形需考量海水比重以及鹽類於水中之擴散效應等，較難單純以水流流場評估，與實際情形會有落差。
地電阻測勘	
1.P65，常用四種電極排列法之優缺點及適用時機宜加強說明。	謹遵辦理
2.請對高透水區域或低透水區表示顏色，如一般地電阻常用紅色於水資源各圖中代表高透水，或者建議於前言中加強說明表示緣由。	謹遵辦理
3.請說明地電阻測勘之精確度，並配合附圖比例尺說明之。	謹遵辦理

地下水水質調查	
1.地下水水質之適用性請加強說明。	已補充說明
2. p120，溶氧與硝酸鹽氮濃度可否作為定義氧化還原帶在地下水中之分佈，請再加以討論	已補充說明
3.建議未來地下水調查時應納入深層水質調查及海岸地區地下水鹽度平面與垂直分佈調查,以了解該地下水受到人為汙染及海水入侵之範圍	預計納入明年工作
4.請說明各項水質指標(如溶氧等)在地下水補注或污染傳輸之意義	已補充說明
抽水試驗	
1. 抽水試驗洩降修訂之理由及方法，宜加強說明	謹遵辦理。
2.抽水試驗以 Boulton 和 Neuman 兩種分析法所得之結果不同,請加以分析比較	謹遵辦理。
3.彭厝站抽水測驗 5 級之資料，請整合於同一張圖內,以利了解其是否達到各級穩定狀態。	謹遵辦理。
4. 補充彭厝站觀測井、抽水試驗井及原地下水觀測井三者之相對位置示意圖。	謹遵辦理。
結論	
期末簡報內容本所同意備查,請執行單位依據委員意見及建議事項修正報告書內容。審查意見之回覆說明，請列於期末成果報告書的附錄，以利查核	謹遵辦理。
請執行單位於期末報告書修正完後,行	謹遵辦理。

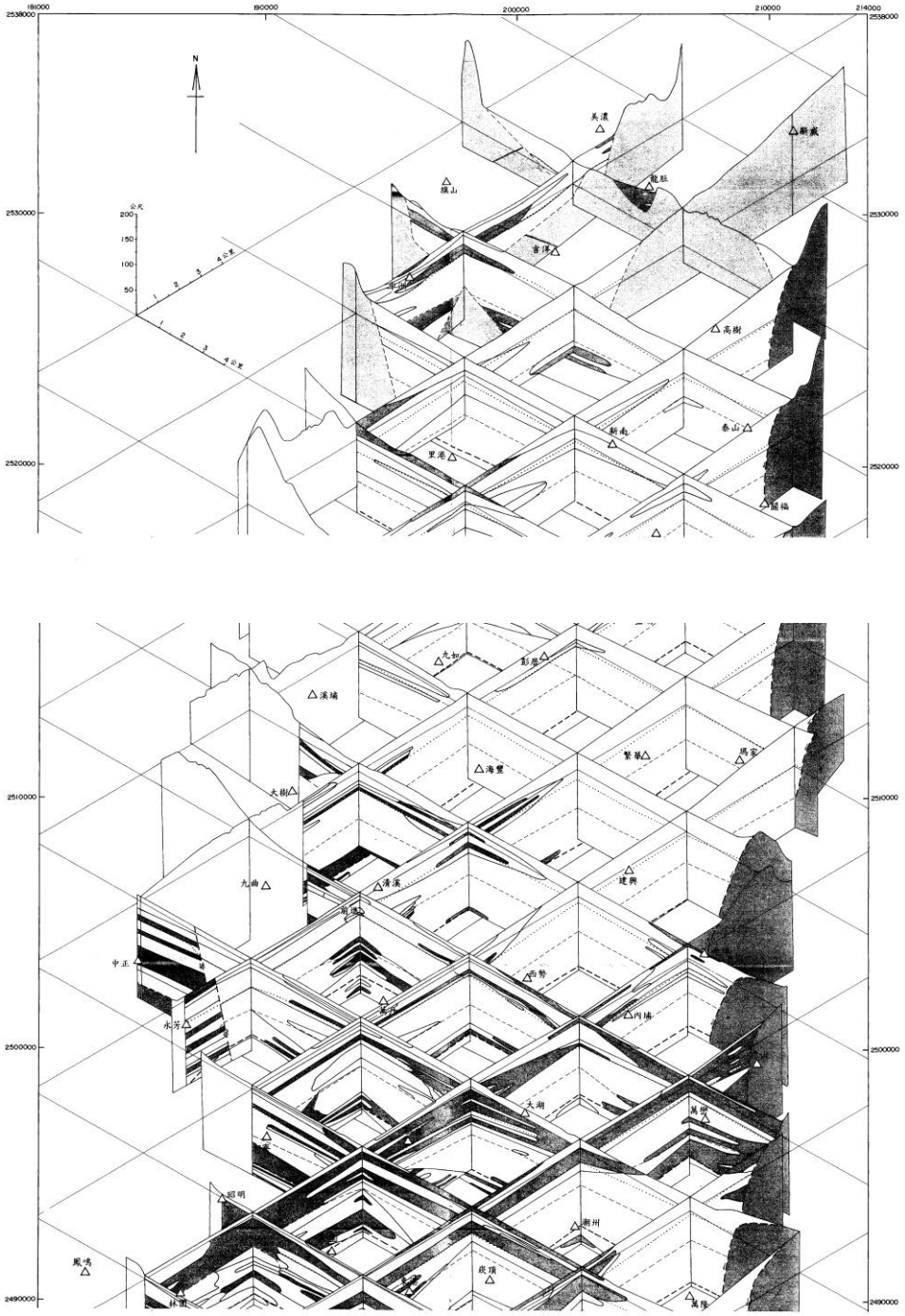
文提送成果報告書以辦理本年度驗收事宜，驗收完成後，始得依據契約書相關規定來函申請撥付尾款	
本次會議共 7 位委員出席，經委員審查一致同意執行單位向本所提交次(101)年度服務建議書，經評選委員會審議通過後，即可辦理「優先議價」之審查決議。請計畫主持人儘速提交 101 年度服務建議書，以辦理後續程序	謹遵辦理。

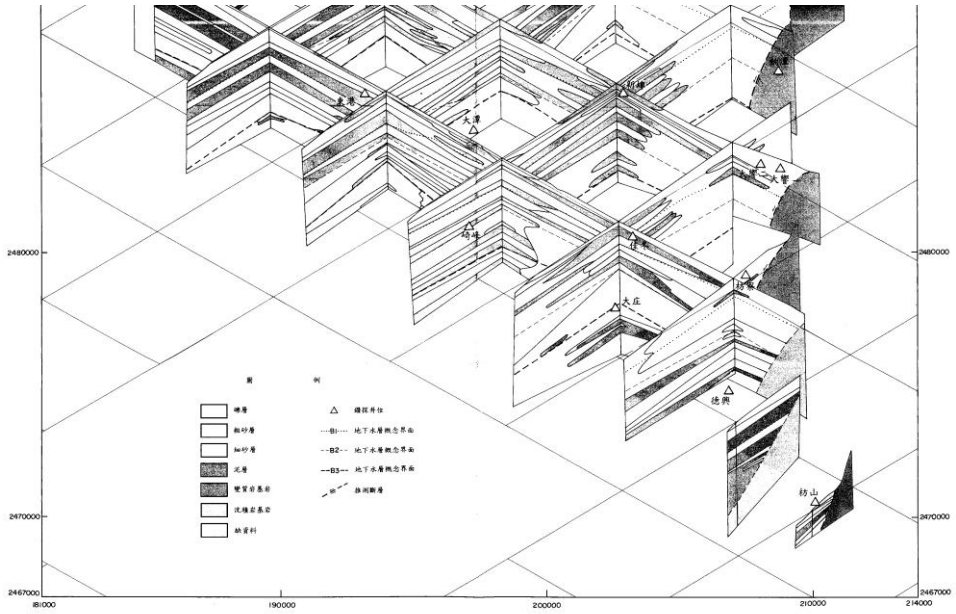
十、散會（上午 12 時 10 分）。

附錄六、地質屏狀圖

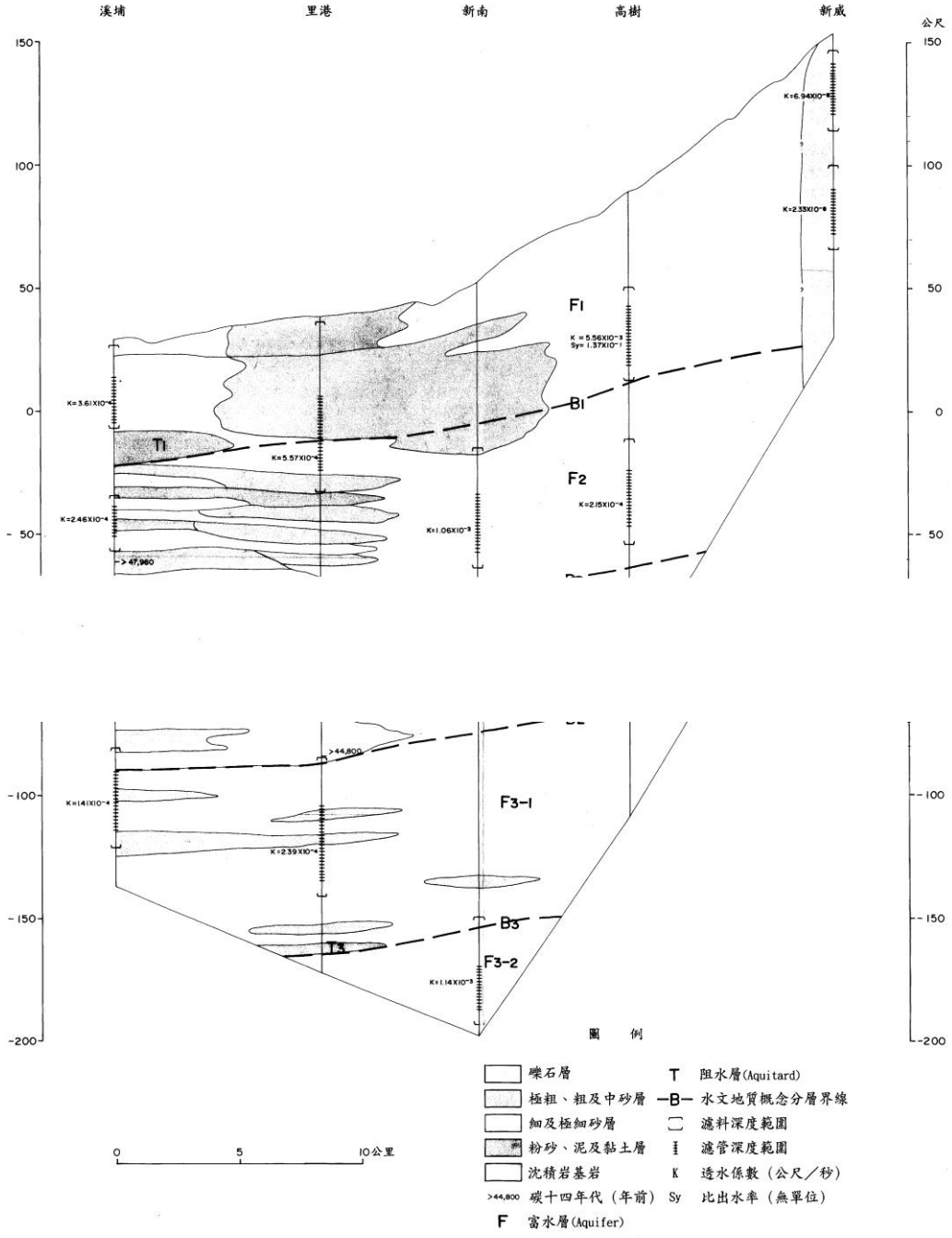
(資料來源:經濟部中央地質調查所，2000)

附圖(四) 水 文 地 質 屏 狀 圖

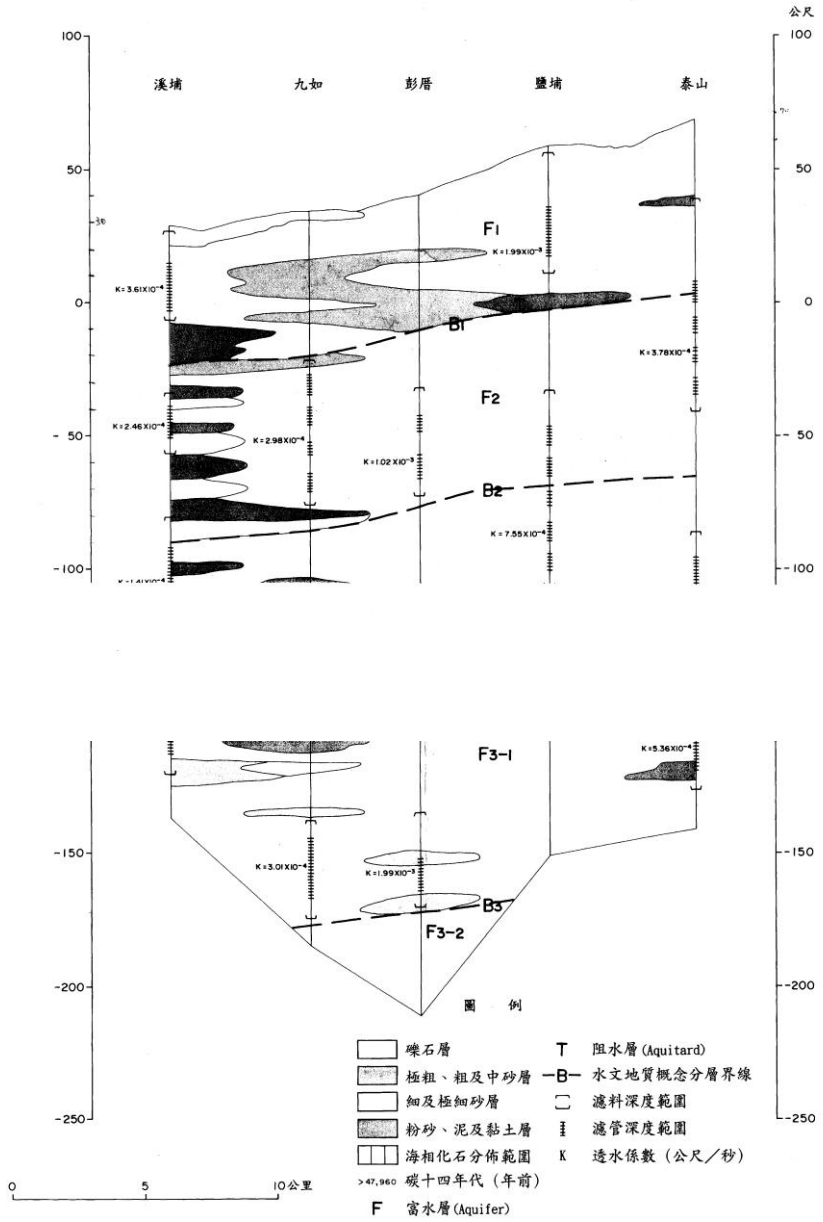



2480000
2470000
2467000
185000
190000
200000
210000
214000
大唐
大管
大庄
杨埠
杨山
图例
地下水层概念界面
地下水层概念界面
地下水层概念界面

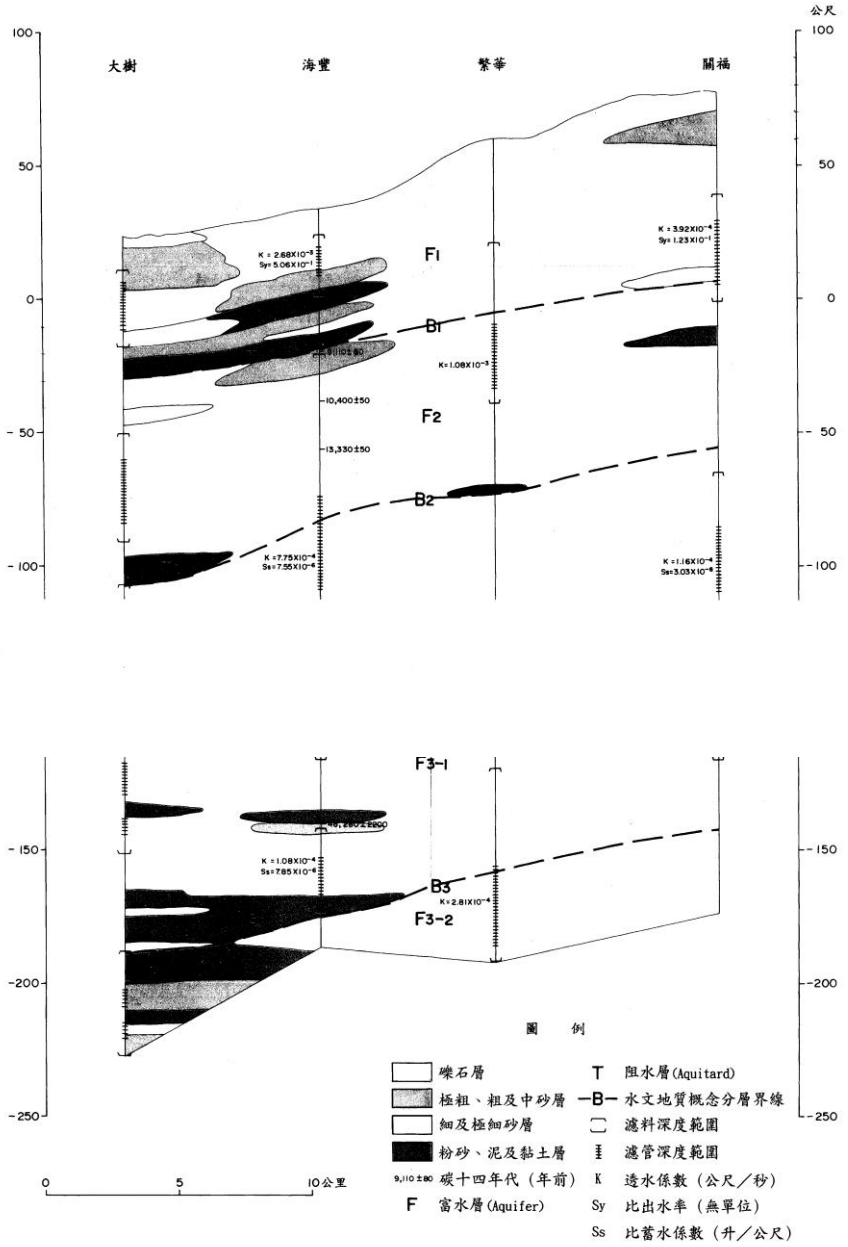
水文地質剖面圖 （資料來源: 經濟部中央地質調查所，2000）



屏東平原水文地質剖面圖十三(經濟部中央地質調查所, 2000)



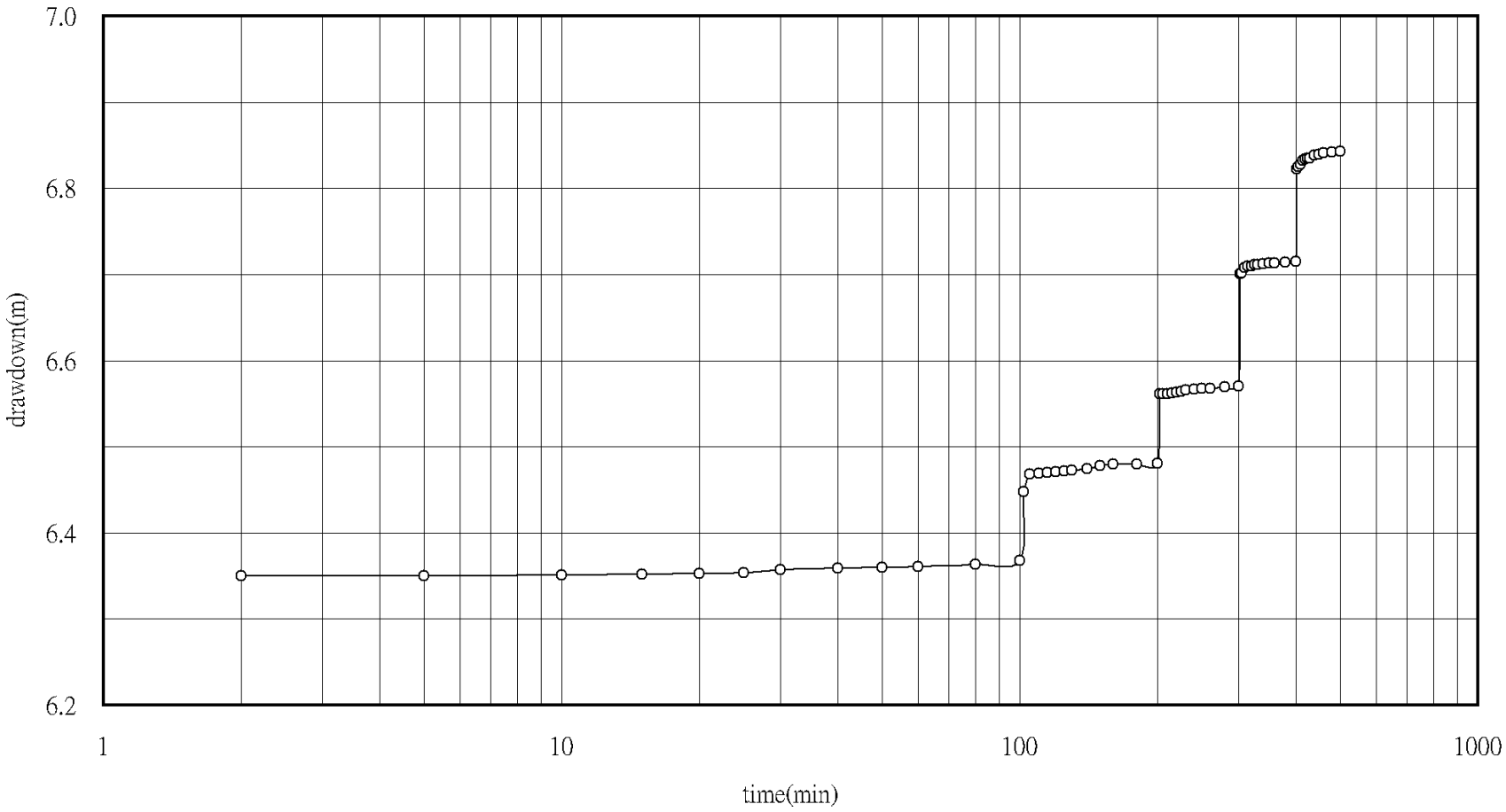
屏東平原水文地質剖面圖十二(經濟部中央地質調查所, 2000)



屏東平原水文地質剖面圖十一(經濟部中央地質調查所, 2000)

附錄七、彭厝站抽水試驗分析

彭厝P1-分級試水



彭厝抽一　分級試水　　圓縮口：ϕ8"~ϕ6"　　date：100/5/24　time：15:00

	第1級		第2級		第3級		第4級		第5級	
Q (cmh)	86.15		117.41		145.63		178.36		205.95	
靜水位 (m)	5.998		5.998		5.998		5.998		5.998	
time (min)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)
2	6.350	0.352	6.448	0.450	6.561	0.563	6.701	0.703	6.822	0.824
5	6.350	0.352	6.468	0.470	6.561	0.563	6.702	0.704	6.825	0.827
10	6.351	0.353	6.469	0.471	6.561	0.563	6.708	0.710	6.828	0.830
15	6.352	0.354	6.470	0.472	6.562	0.564	6.710	0.712	6.832	0.834
20	6.353	0.355	6.471	0.473	6.563	0.565	6.710	0.712	6.834	0.836
25	6.354	0.356	6.472	0.474	6.564	0.566	6.711	0.713	6.835	0.837
30	6.357	0.359	6.473	0.475	6.566	0.568	6.711	0.713	6.835	0.837
40	6.359	0.361	6.474	0.476	6.567	0.569	6.712	0.714	6.838	0.840
50	6.360	0.362	6.478	0.480	6.568	0.570	6.713	0.715	6.839	0.841
60	6.361	0.363	6.480	0.482	6.568	0.570	6.713	0.715	6.841	0.843
80	6.363	0.365	6.480	0.482	6.569	0.571	6.714	0.716	6.842	0.844
100	6.368	0.370	6.481	0.483	6.570	0.572	6.715	0.717	6.843	0.845

彭厝P1 分級試水洩降資料ΔQ_i式分解表

t' (min)	1級(m)	2級（m）		3級（m）		4級（m）		5級（m）		分解係數			
	$s(Q_1,t)$	$s(Q_2,t)$	$s(Q_2,t')$	$s(Q_3,t)$	$s(Q_3,t')$	$s(Q_4,t)$	$s(Q_4,t')$	$s(Q_5,t)$	$s(Q_5,t')$	$\log\frac{400+t'}{t'}$	$\log\frac{300+t'}{t'}$	$\log\frac{200+t'}{t'}$	$\log\frac{100+t'}{t'}$
2	0.352	0.450	0.428	0.563	0.529	0.703	0.658	0.824	0.767	2.303	2.179	2.004	1.708
5	0.352	0.470	0.453	0.563	0.536	0.704	0.668	0.827	0.781	1.908	1.785	1.613	1.322
10	0.353	0.471	0.458	0.563	0.541	0.710	0.680	0.830	0.792	1.613	1.491	1.322	1.041
15	0.354	0.472	0.461	0.564	0.545	0.712	0.686	0.834	0.800	1.442	1.322	1.156	0.885
20	0.355	0.473	0.463	0.565	0.548	0.712	0.688	0.836	0.805	1.322	1.204	1.041	0.778
25	0.356	0.474	0.465	0.566	0.550	0.713	0.691	0.837	0.809	1.230	1.114	0.954	0.699
30	0.359	0.475	0.467	0.568	0.554	0.713	0.693	0.837	0.810	1.156	1.041	0.885	0.637
40	0.361	0.476	0.469	0.569	0.556	0.714	0.696	0.840	0.816	1.041	0.929	0.778	0.544
50	0.362	0.480	0.474	0.570	0.559	0.715	0.699	0.841	0.820	0.954	0.845	0.699	0.477
60	0.363	0.482	0.477	0.570	0.560	0.715	0.700	0.843	0.823	0.885	0.778	0.637	0.426
80	0.365	0.482	0.477	0.571	0.562	0.716	0.703	0.844	0.827	0.778	0.677	0.544	0.352
100=Δt	0.370	0.483	0.479	0.572	0.564	0.717	0.706	0.845	0.830	0.699	0.602	0.477	0.301
Q_i (cmh)	86.15	117.41		145.63		178.36		205.95		$\Delta s=\frac{s(Q,t_2)-s(Q,t_1)}{\log t_2-\log t_1}$			
ΔQ_i (cmh)	86.15	31.26		28.22		32.73							
T (m^2/min)	20.450									以第1級 Q=86.15 cmh 分析			
$\frac{2.30\Delta Q_i}{4\pi T}$ (m)	0.01285	0.00466		0.00421		0.00488				得 $\Delta s=$ 0.0129			
										$T=\frac{2.30Q}{4\pi\Delta s}=$ 20.450			

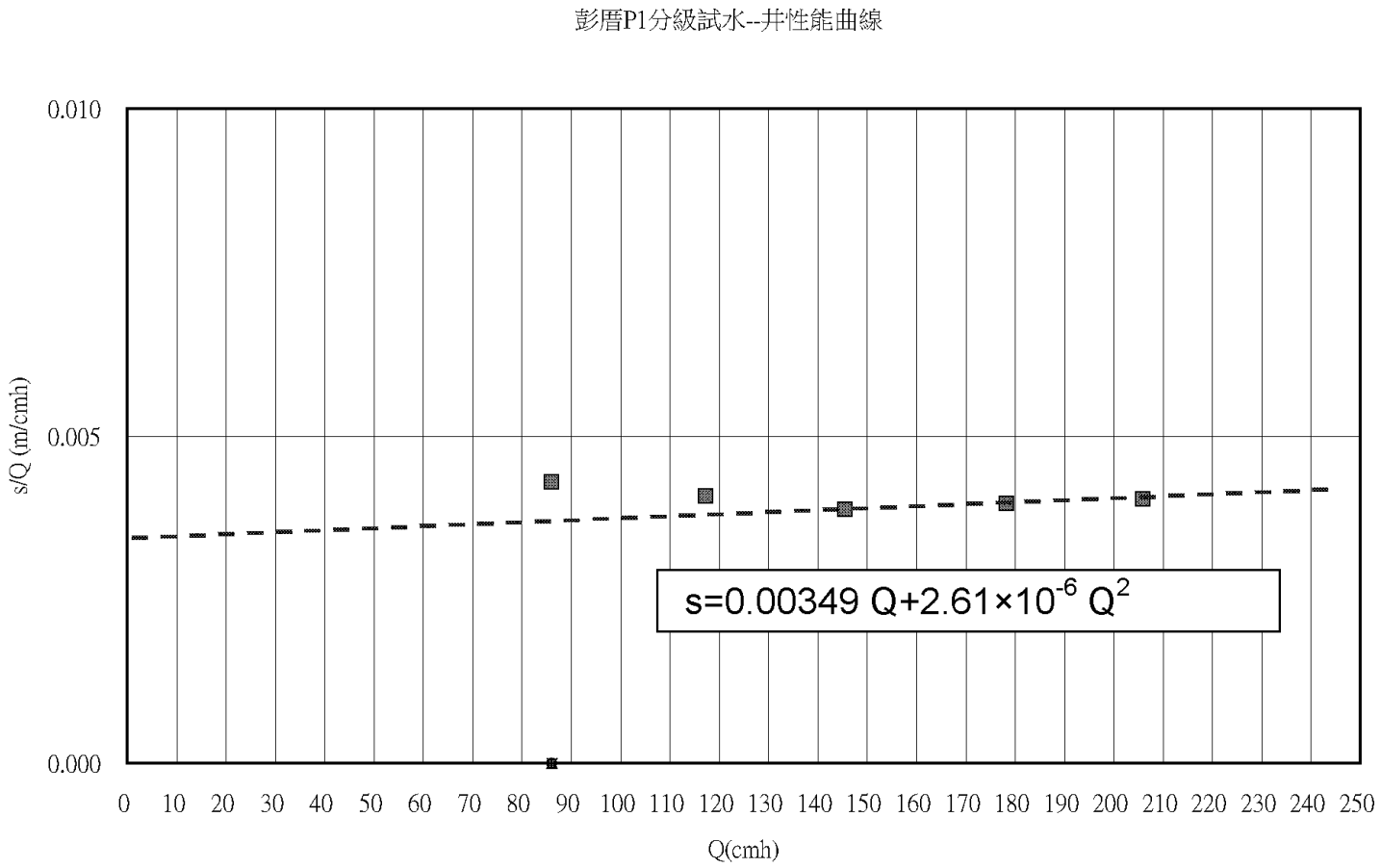
$$s(Q_n,t')=s(Q_n,t)-\sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{2.30\Delta Q_i}{4\pi T}\log\frac{(n-i)\Delta t+t'}{t'}\right]$$

2級 $s(Q_2,t')=s(Q_2,t)-\left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T}\log\frac{100+t'}{t'}\right]$

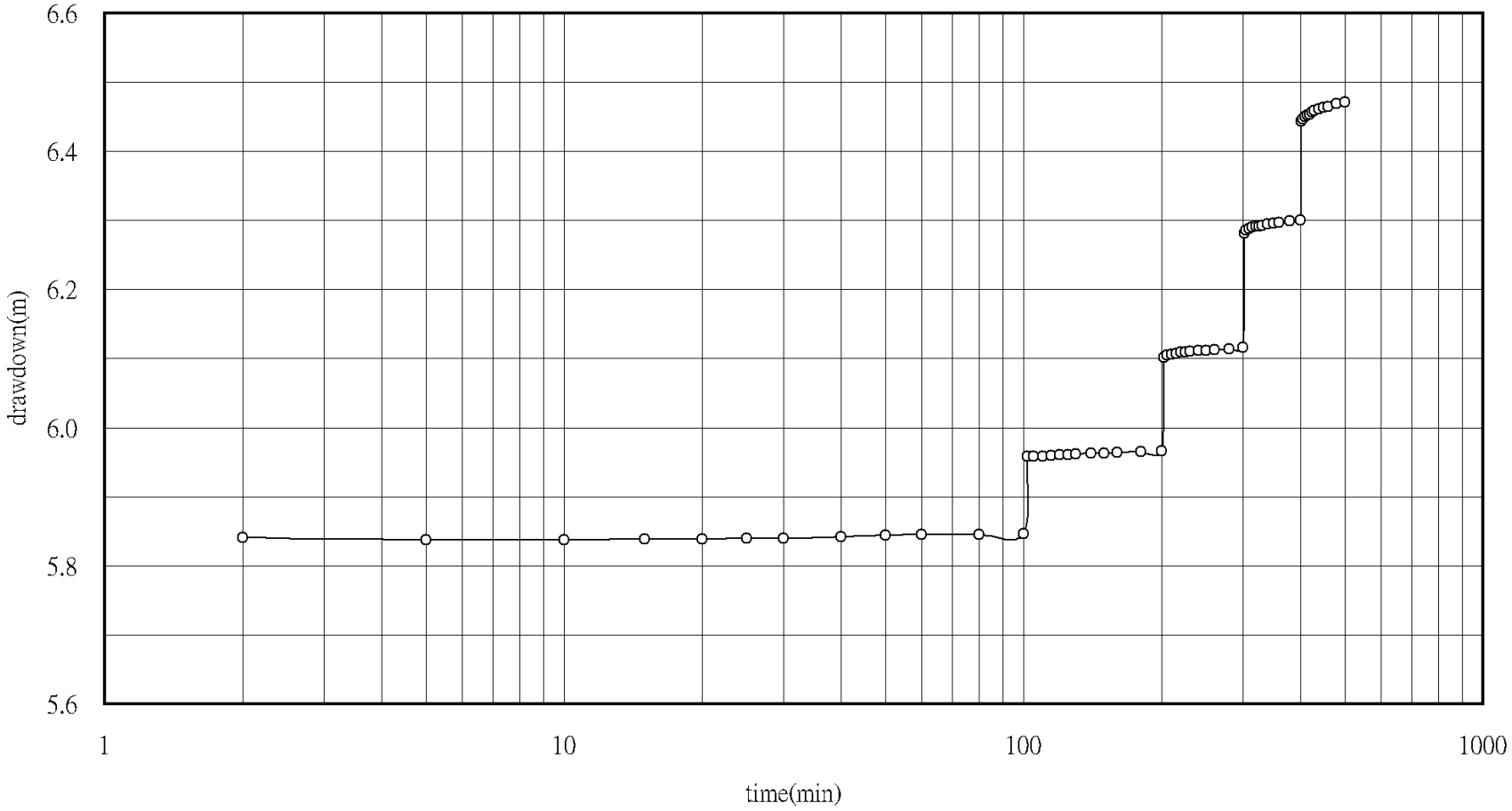
3級 $s(Q_3,t')=s(Q_3,t)-\left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T}\log\frac{200+t'}{t'}+\frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T}\log\frac{100+t'}{t'}\right]$

4級 $s(Q_4,t')=s(Q_4,t)-\left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T}\log\frac{300+t'}{t'}+\frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T}\log\frac{200+t'}{t'}+\frac{2.30\Delta Q_3}{4\pi T}\log\frac{100+t'}{t'}\right]$

5級 $s(Q_5,t')=s(Q_5,t)-\left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T}\log\frac{400+t'}{t'}+\frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T}\log\frac{300+t'}{t'}+\frac{2.30\Delta Q_3}{4\pi T}\log\frac{200+t'}{t'}+\frac{2.30\Delta Q_4}{4\pi T}\log\frac{100+t'}{t'}\right]$


彭厝P1分級試水--井性能曲線
0.010
0.005
0.000
s/Q (m/cmh)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250
Q(cmh)
s=0.00349 Q+2.61×10-6 Q2

彭厝W1-分級試水



彭厝W1　分級試水　　圓縮口：ϕ6"~ϕ5"　　date：100/6/4　time：08:30

	第1級		第2級		第3級		第4級		第5級	
Q (cmh)	63.15		85.51		109.39		135.20		157.89	
靜水位 (m)	5.639		5.639		5.639		5.639		5.639	
time (min)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)
2	5.841	0.202	5.958	0.319	6.102	0.463	6.281	0.642	6.443	0.804
5	5.838	0.199	5.959	0.320	6.105	0.466	6.286	0.647	6.447	0.808
10	5.838	0.199	5.959	0.320	6.106	0.467	6.288	0.649	6.450	0.811
15	5.839	0.200	5.960	0.321	6.107	0.468	6.290	0.651	6.452	0.813
20	5.839	0.200	5.961	0.322	6.109	0.470	6.291	0.652	6.454	0.815
25	5.840	0.201	5.961	0.322	6.109	0.470	6.292	0.653	6.457	0.818
30	5.840	0.201	5.962	0.323	6.110	0.471	6.293	0.654	6.459	0.820
40	5.842	0.203	5.963	0.324	6.112	0.473	6.295	0.656	6.461	0.822
50	5.844	0.205	5.963	0.324	6.112	0.473	6.296	0.657	6.463	0.824
60	5.845	0.206	5.964	0.325	6.113	0.474	6.297	0.658	6.465	0.826
80	5.845	0.206	5.965	0.326	6.114	0.475	6.299	0.660	6.469	0.830
100	5.846	0.207	5.966	0.327	6.116	0.477	6.300	0.661	6.471	0.832

彭厝W1 分級試水洩降資料ΔQ_i式分解表

t' (min)	1級(m)	2級（m）		3級（m）		4級（m）		5級（m）		分解係數			
	$s(Q_1,t)$	$s(Q_2,t)$	$s(Q_2,t')$	$s(Q_3,t)$	$s(Q_3,t')$	$s(Q_4,t)$	$s(Q_4,t')$	$s(Q_5,t)$	$s(Q_5,t')$	$\log\frac{400+t'}{t'}$	$\log\frac{300+t'}{t'}$	$\log\frac{200+t'}{t'}$	$\log\frac{100+t'}{t'}$
2	0.202	0.319	0.304	0.463	0.440	0.642	0.610	0.804	0.763	2.303	2.179	2.004	1.708
5	0.199	0.320	0.308	0.466	0.447	0.647	0.621	0.808	0.775	1.908	1.785	1.613	1.322
10	0.199	0.320	0.311	0.467	0.452	0.649	0.628	0.811	0.783	1.613	1.491	1.322	1.041
15	0.200	0.321	0.313	0.468	0.455	0.651	0.632	0.813	0.789	1.442	1.322	1.156	0.885
20	0.200	0.322	0.315	0.470	0.458	0.652	0.635	0.815	0.793	1.322	1.204	1.041	0.778
25	0.201	0.322	0.316	0.470	0.459	0.653	0.638	0.818	0.798	1.230	1.114	0.954	0.699
30	0.201	0.323	0.317	0.471	0.461	0.654	0.640	0.820	0.801	1.156	1.041	0.885	0.637
40	0.203	0.324	0.319	0.473	0.464	0.656	0.643	0.822	0.805	1.041	0.929	0.778	0.544
50	0.205	0.324	0.320	0.473	0.465	0.657	0.646	0.824	0.809	0.954	0.845	0.699	0.477
60	0.206	0.325	0.321	0.474	0.467	0.658	0.648	0.826	0.812	0.885	0.778	0.637	0.426
80	0.206	0.326	0.323	0.475	0.469	0.660	0.651	0.830	0.818	0.778	0.677	0.544	0.352
100=Δt	0.207	0.327	0.324	0.477	0.472	0.661	0.653	0.832	0.821	0.699	0.602	0.477	0.301
Q_i (cmh)	63.15	85.51		109.39		135.20		157.89		$\Delta s = \frac{s(Q,t_2) - s(Q,t_1)}{\log t_2 - \log t_1}$			
ΔQ_i (cmh)	63.15	22.36		23.88		25.81							
T (m^2/min)	21.414									以第1級 Q=63.15 cmh 分析得 Δs = 0.0090			
$\frac{2.30\Delta Q_i}{4\pi T}$ (m)	0.00900	0.00319		0.00340		0.00368				$T = \frac{2.30Q}{4\pi\Delta s}$ = 21.414			

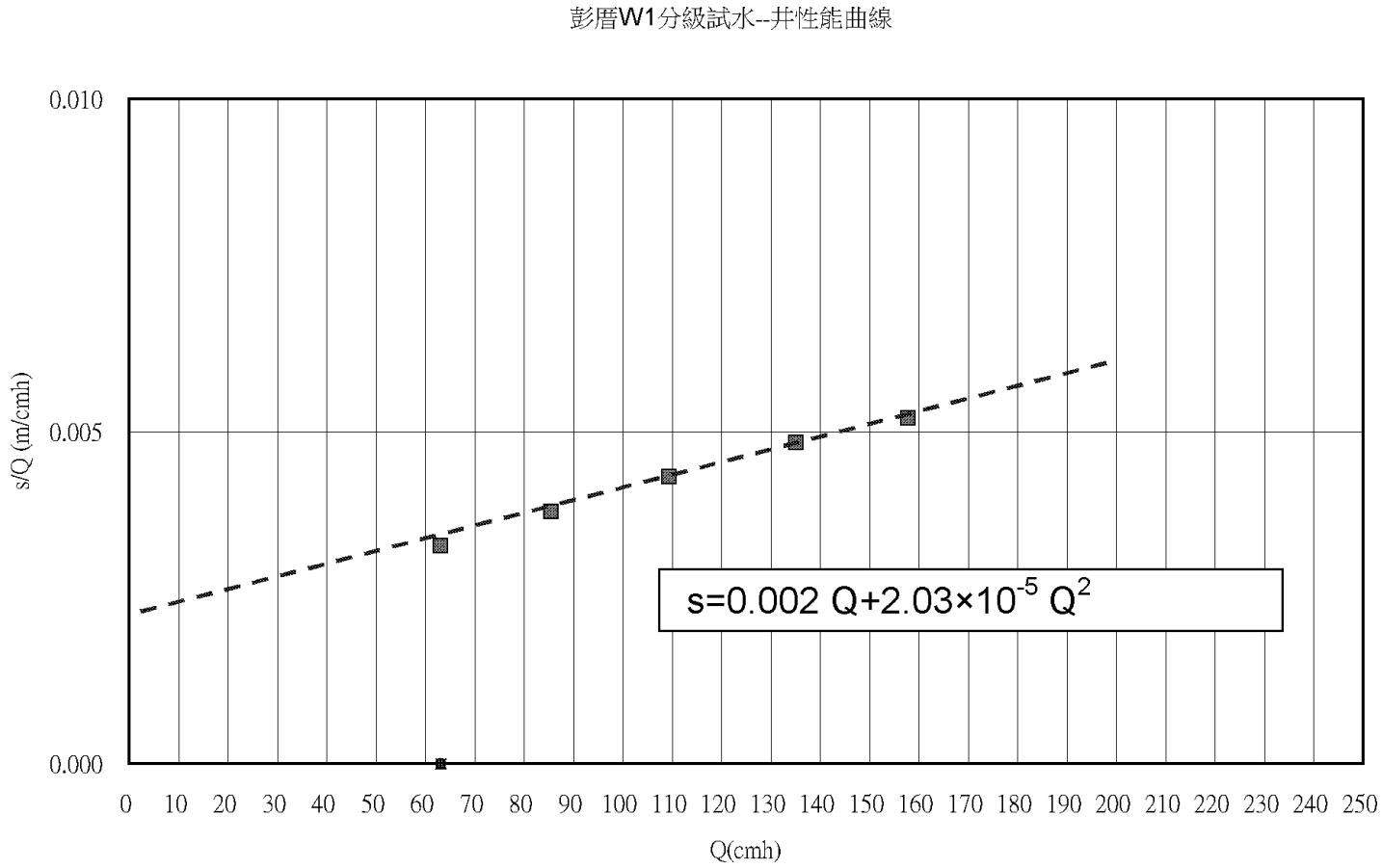
$$s(Q_n,t') = s(Q_n,t) - \sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{2.30\,\Delta Q_i}{4\pi T}\log\frac{(n-i)\Delta t+t'}{t'}\right]$$

2級 $s(Q_2,t') = s(Q_2,t) - \left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T}\log\frac{100+t'}{t'}\right]$

3級 $s(Q_3,t') = s(Q_3,t) - \left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T}\log\frac{200+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T}\log\frac{100+t'}{t'}\right]$

4級 $s(Q_4,t') = s(Q_4,t) - \left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T}\log\frac{300+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T}\log\frac{200+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_3}{4\pi T}\log\frac{100+t'}{t'}\right]$

5級 $s(Q_5,t') = s(Q_5,t) - \left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T}\log\frac{400+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T}\log\frac{300+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_3}{4\pi T}\log\frac{200+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_4}{4\pi T}\log\frac{100+t'}{t'}\right]$


彭厝W1分級試水--井性能曲線
0.010
0.005
0.000
s/Q (m/cmh)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250
Q(cmh)
s=0.002 Q+2.03×10-5 Q2

彭厝站 W1 抽水試驗分析

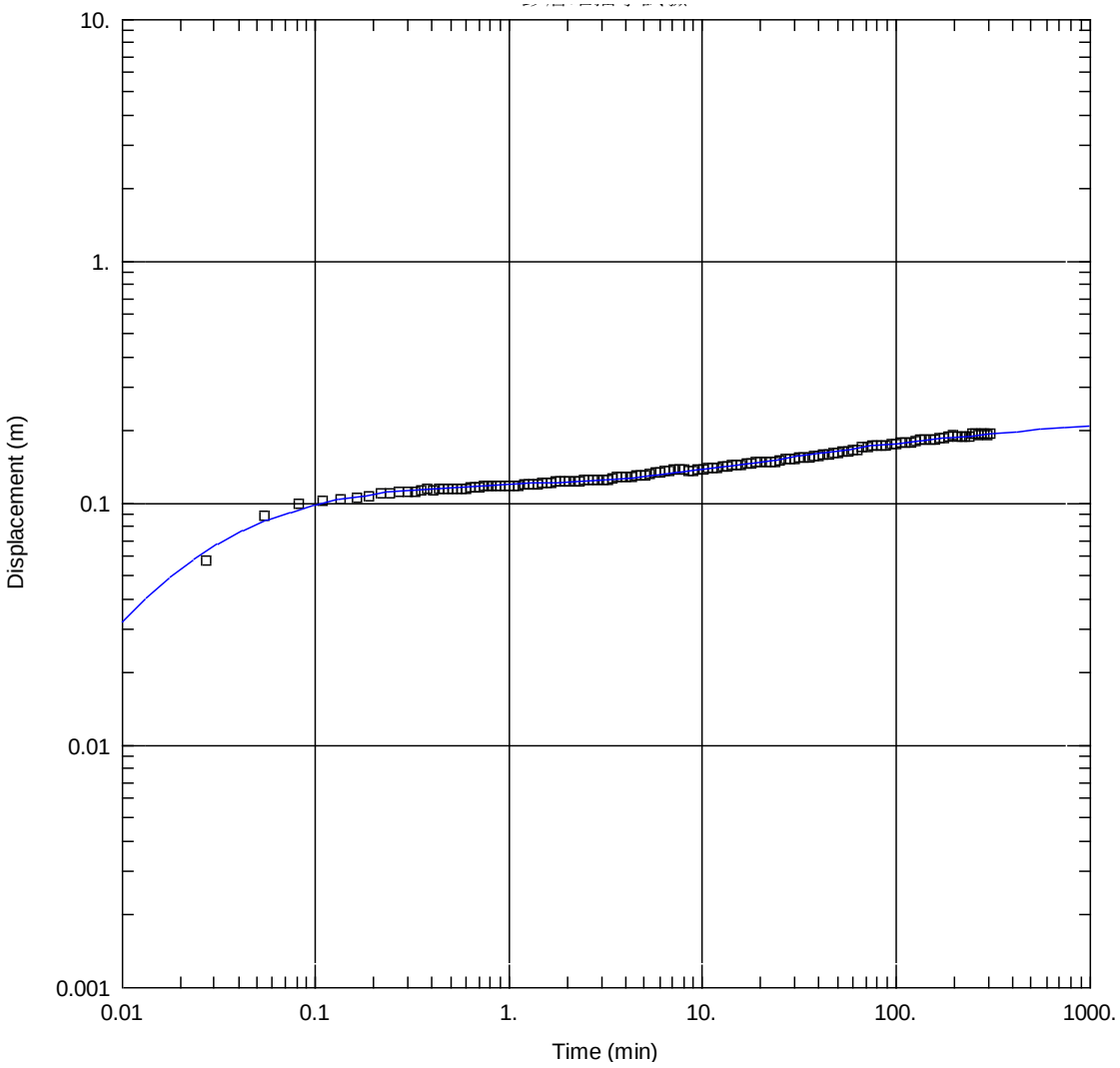
Client：經濟部中央地質調查所

Company：台糖公司台南區處

抽水井：P1

抽水量 Q = 205.95 cmh

井距 r = 5.95 m（P1 ~ W1）



SOLUTION

Aquifer Model：Unconfined

Solution Method：Neuman(Partial Penetration)

T =22.34 m^2/min

S = 0.01013

Sy=0.1287

附錄八、里港(1)是否為非受壓含水層之檢討

另外，由於受壓含水層之水位變化實際上為含水層中的水壓力變化，相較於非受壓含水層之水位面實質上下移動，其反應往往較為敏感，容易受到鄰近抽水井之影響。故觀察觀測水位之變化形式亦可作為受壓與否之評判。

圖 5 為里港站之水文地質剖面圖，圖上顯示里港站地表處有 15 米之泥層存在，故前期研究均判定為受壓含水層。然若觀察其水位變化，其水位變化則與非受壓含水層較為相近，圖 1 與圖 2 分別為 2001 年與 2002 年於里港(1)之觀測水位，圖 3 與圖 4 為同年度於港東(1)之觀測水位，港東(1)位於高屏溪下游，屬於受壓含水層，港東(1)之水位變化顯得跳動劇烈，容易受到鄰近抽水或其他因素之影響；反之，里港(1)之水位變化則顯得和緩，顯示除了受到季節性之降雨變化外，較不受到抽水之影響。

為何在觀測水位與水文地質剖面圖上有相反之結論？由於水文地質剖面圖之繪製係以鑽探資料作為參考依據如圖 5，因此里港(1)之鑽探資料雖顯示有 15 米之泥層存在，但是其水平分佈範圍與破碎與否等資訊，則需由額外之資料來補足。由水位變化顯示，里港站的上方雖有 15 公尺的泥層，其涵蓋範圍應不大或有破碎。

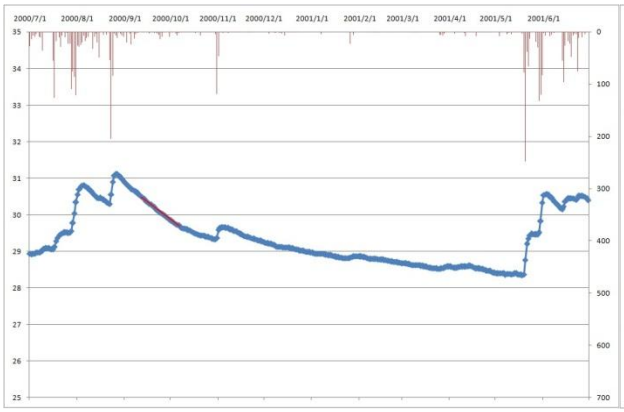


圖 1 里港 2001 年水位資料

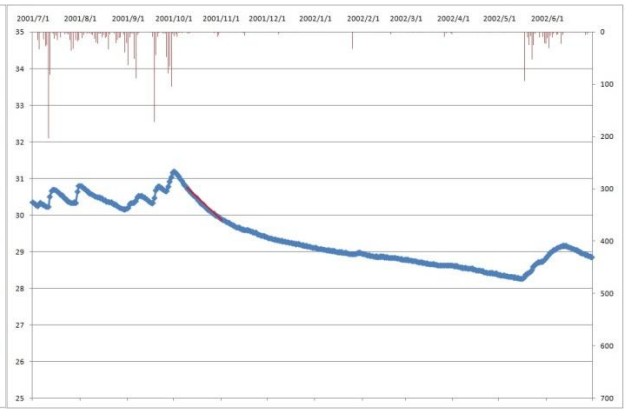


圖 2 里港 2002 年水位資料

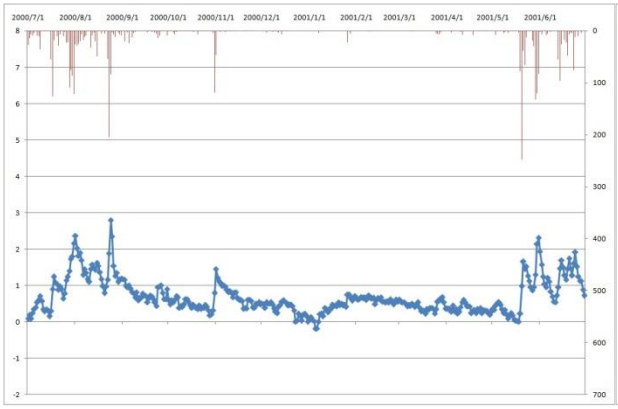


圖 3 港東 2001 年水位資料

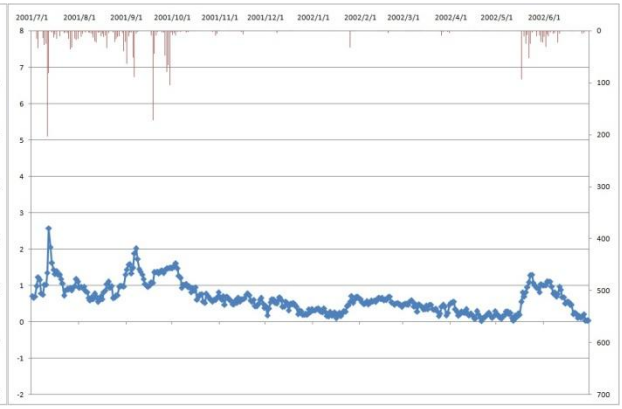


圖 4 港東 2002 年水位資料

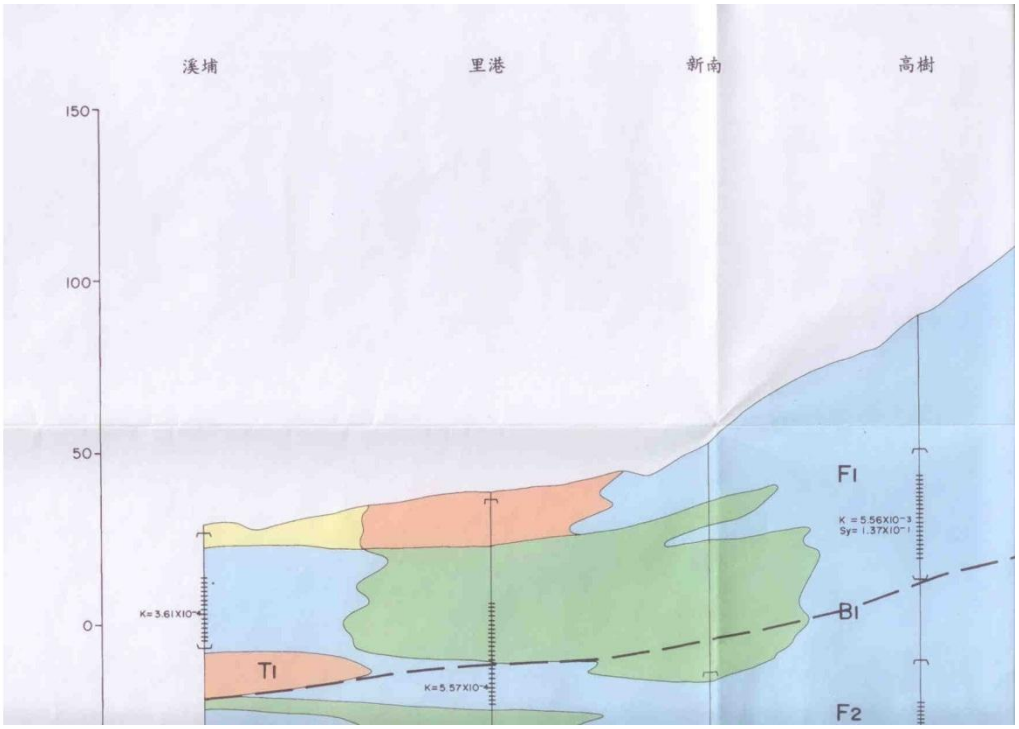


圖 5 里港站水文地質剖面圖

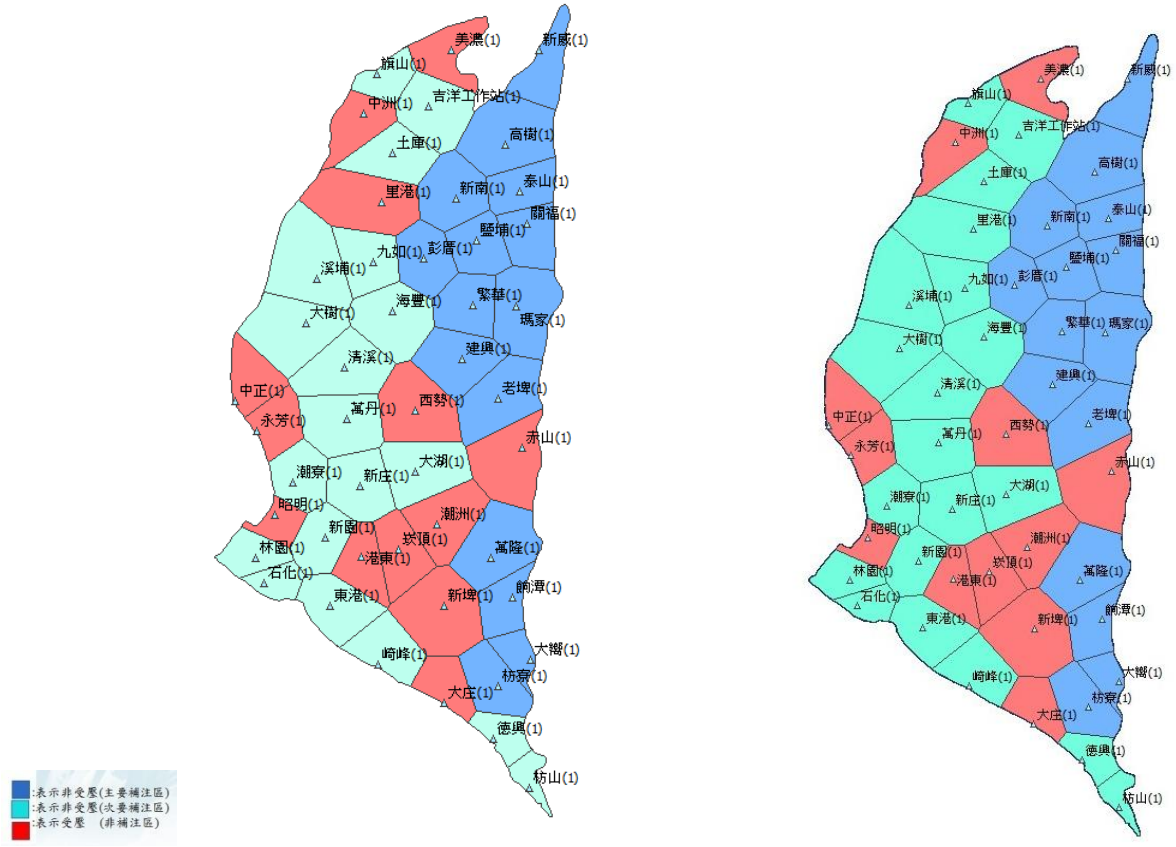


圖 6 屏東平原受壓分區修正里港前後差別

附錄九、本年度計畫出國研習訪查報告

出國報告(出國類別：開會)

赴美國參加 2011年 AGU Fall Meeting

服務機關：國立交通大學

姓名職稱：張良正教授

派赴國家：美國(舊金山)

會議日期：100年 12月05日至 12月09日

目錄

目錄..... 1

摘要..... 2

壹、前言..... 3

貳、行程..... 4

參、工作內容..... 4

肆、心得與建議..... 16

摘要

美國地球物理聯盟秋季會議 (AGU Fall Meeting)是地科領域全球最大的國際會議之一，每年皆有數萬人參加，且每年均在舊金山舉行，今年發表的口頭報告及海報張貼本共有 18,000 篇論文， 包括的議題很廣，共有 28 個主題。

本團隊本次發表的文章中有兩篇為本計畫之研究成果，其題目為: 「應用專家系統發展一穩健型參數檢定模式」(Applying Expert System on the Development of a Robust Model for Groundwater Parameter Identification)及「應用專家系統於地下水模式參數檢定」(Automatic Parameters Identification of Groundwater Model using Expert System)，其中第一篇為檢定參數為抽水率，第二篇為檢定水文地質參數水力傳導係數與比出水量。

壹、前言:

美國地球物理聯盟秋季會議 (AGU Fall Meeting)是地科領域全球最重要且最大的國際會議之一，每年皆有數萬人參加，且每年均在舊金山舉行，今年發表的口頭報告及海報張貼本共有 18,000 篇論文， 包括的議題很廣，共有 Union、Atmospheric Sciences、Atmospheric and Space Electricity、Biogeosciences、Cryosphere、Earth and Planetary Surface Processes、Earth and Space Science Informatics、Education and Human Resources、Geodesy、Geomagnetism and Paleomagnetism、Global Environmental Change、Hydrology、Mineral and Rock Physics、Natural Hazards、Near-Surface Geophysics、Nonlinear Geophysics、Ocean Sciences、Paleoceanography and Paleoclimatology、Planetary Sciences、Public Affairs、Seismology、SPA-Aeronomy、SPA-Solar and Heliospheric Physics、SPA-Magnetospheric Physics、Study of Earth's Deep Interior、Tectonophysics、Volcanology、Geochemistry and Petrology 等 28 個主題。

AGU Fall Meeting 最大的特色之一，為除了口頭報告之外還有大量的海報展示，相對於其它研討會，海報展示相當受到重視。大量的海報，使得身處會場的人有如於海報的汪洋中，從而感受到人類無止盡的創意。

貳、會議行程:

2011 年 AGU Fall Meeting 的正式會議日期為 12 月 05 日至 12 月 09 日，並在 12 月 04 日有接待活動，除了論文的發表外，並有各種主題的小組會議與互動性質的活動，會場並有大量廠商及學校的展示攤位。

參、工作內容:

本團隊本次發表的文章中，與本計畫相關有兩篇論文，其內容如下:

Applying Expert System on the Development of a Robust Model For Groundwater Parameters Identification

KS Hsu[1] , LC Chang[2] , CJ Chiang[3], CC Huang[4], JE Chen[5] , YW Chen[6] , JP Tsai[7] and PS Chang [8]

1. KuoSheng Hsu, Master student of the Department of the Civil Eng., National Chiao-Tung University, pheonix9352@gmail.com
2. LiangCheng Chang, Professor of the Department of the Civil Eng. , National Chiao-Tung University, lcchang31938@gmail.com
3. ChungJung Chiang, Deputy Director of the Central Geological Survey, chiang@moeacgs.gov.tw
4. ChihChao Huang, Division Chief of the Central Geological Survey, hjj@moeacgs.gov.tw
5. JuiEr Chen, Technician of the Central Geological Survey, tina@moeacgs.gov.tw
6. YuWen Chen, Post Doctoral Researcher of the Department of the Civil Eng. , National Chiao-Tung University, bsjacky@gmail.com
7. JuiPin Tsai, Post Doctoral Researcher of the Department of the Civil Eng, National Chiao-Tung University, skysky2cie@gmail.com
8. PiShun Chang , Master student of the Department of the Civil Eng., National Chiao-Tung University, lafaka@gmail.com

Introduction

1. Groundwater simulation models are widely used to analyze groundwater problem.

2. Conventional methods for identification of groundwater parameters could be categorized into manual and automatic identification of parameters.
3. This study used a rule-based expert system (CLIPS) and a groundwater simulation model, MODFLOW 2000, to develop an automatic system for identification of groundwater parameters.

Methodology

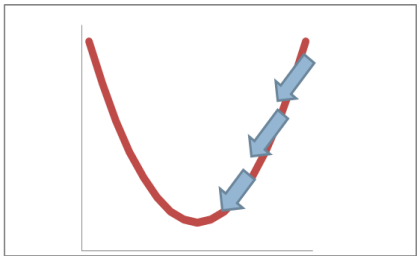
Groundwater model

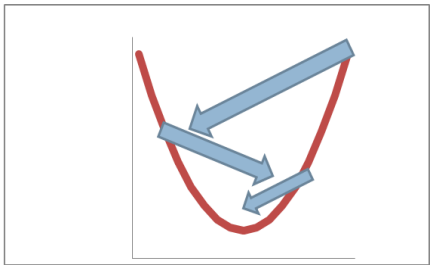
Base on the investigation of well drilling , we define the hydrogeology , hydraulic conductivity and storage coefficient of the groundwater model .

Expert System

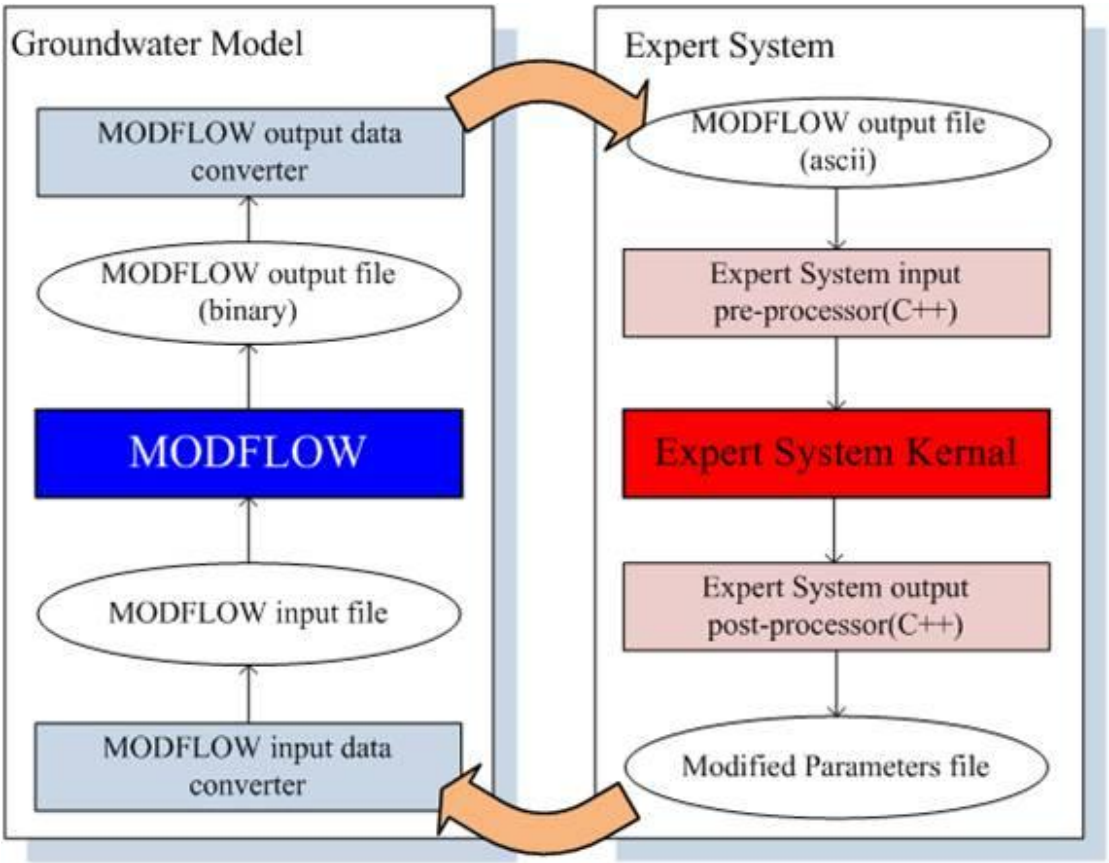
Principles of calibration :

1. Decide the direction of pumping rate If simulated water level is higher than observed water level, then increasing the pumping rate .
2. Decide the corrected value of pumping rate Compare the direction of pumping rate at this time step with previous one :
   i. If the direction are the same ,then keep the corrected value
   ii. If the direction are opposite,then half the corrected value.



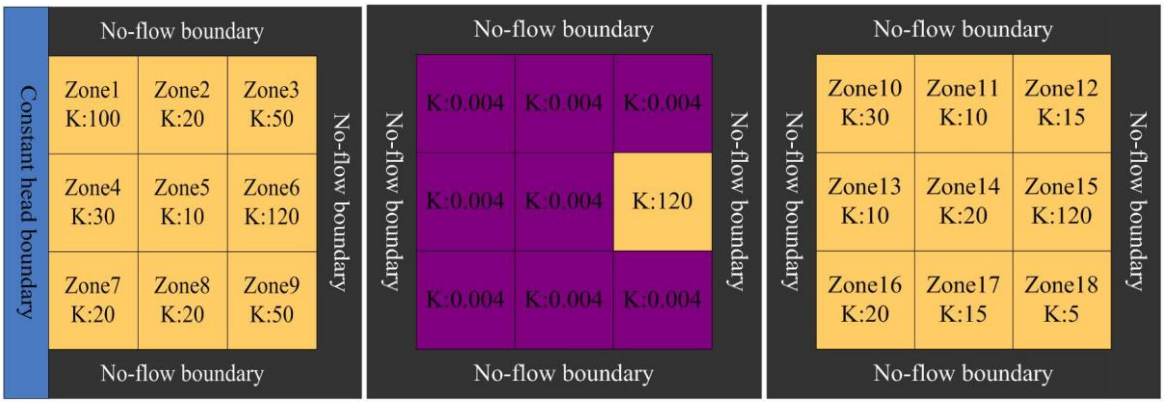


3. When the corrected value is lower than a small value, with whole system error is not convergent.
   Then multiply all the corrected value by 5.



Ideal Case

The ideal case demonstrates the accuracy of the proposed system which develops a steady state simulation model and estimates steady recharge rates.

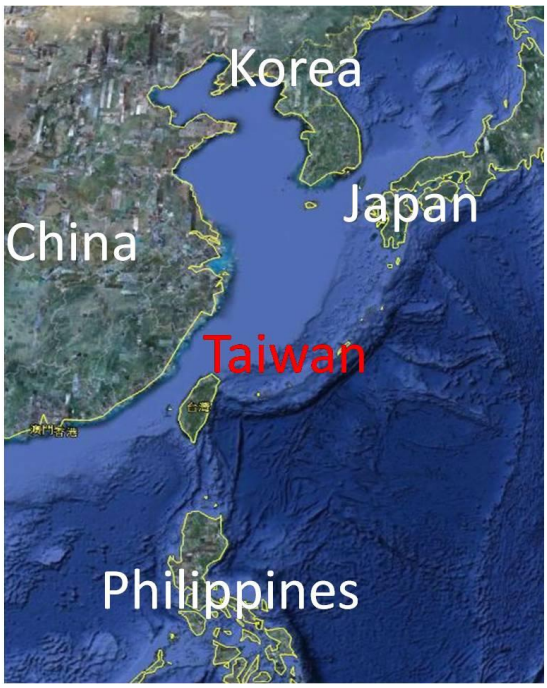


K: m/day

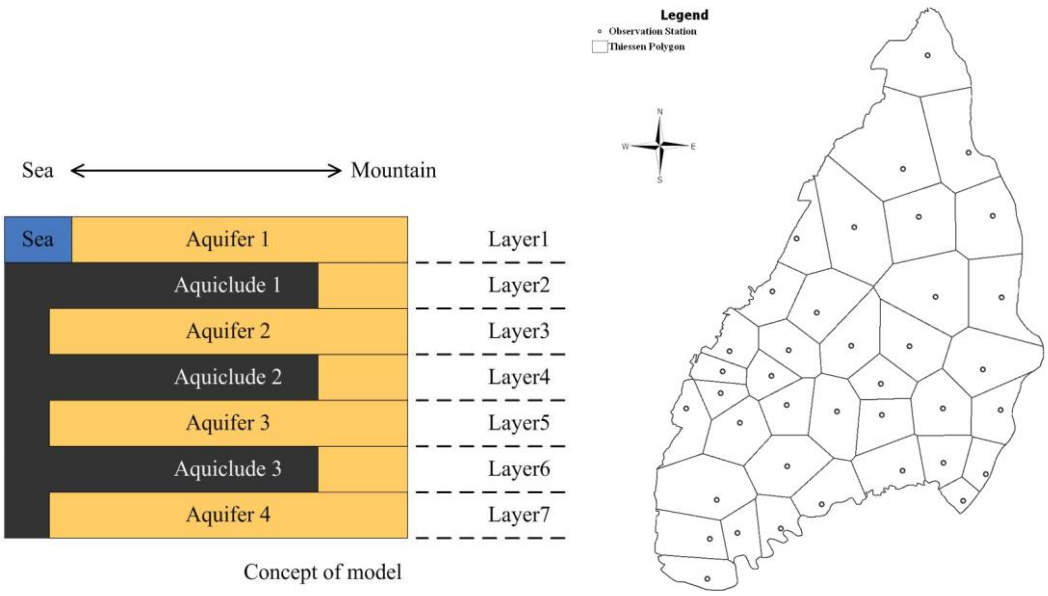
Layer 1					Layer 3				
Zone	Initial Q	Target Q	Final Q	Error	Zone	Initial Q	Target Q	Final Q	Error
1	2000	-2100	-2181	-0.015	1	-2000	-2000	-1999	-0.006
2	2000	-4500	-4484	0.081	2	-2000	-1000	-1001	0.009
3	2000	6000	5996	0.013	3	-2000	-500	-500	0.021
4	2000	-6000	-6024	0.004	4	-2000	-1700	-1701	-0.045
5	2000	-4000	-4000	0.005	5	-2000	-1500	-1484	0.03
6	2000	25000	24312	-0.028	6	-2000	0	-0.2	-0.026
7	2000	-4500	-4497	0.051	7	-2000	-1500	-1500	-0.005
8	2000	-1500	-1499	0.031	8	-2000	-1000	-1000	0.035
9	2000	6000	5996	0.083	9	-2000	-500	-495	0.016
							Q : cms		1st Period

Field Case – Choshuihsi Alluvial Fan

- Choushuisi Alluvial Fan is one of the most important groundwater zones in Taiwan and the usage of groundwater there plays a vital role for regional water supply.
- Using zonation method (Thiessen Polygon) to defined the zone of parameter in the groundwater model.



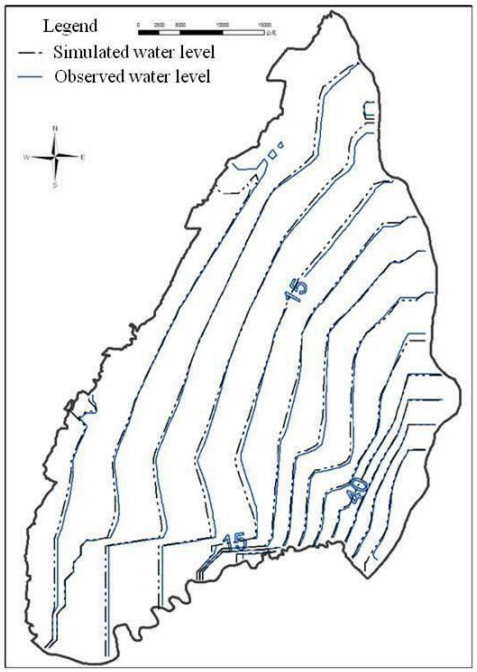


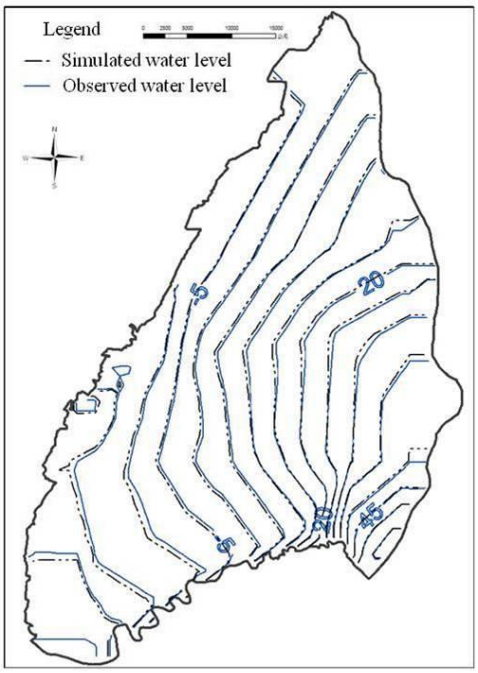


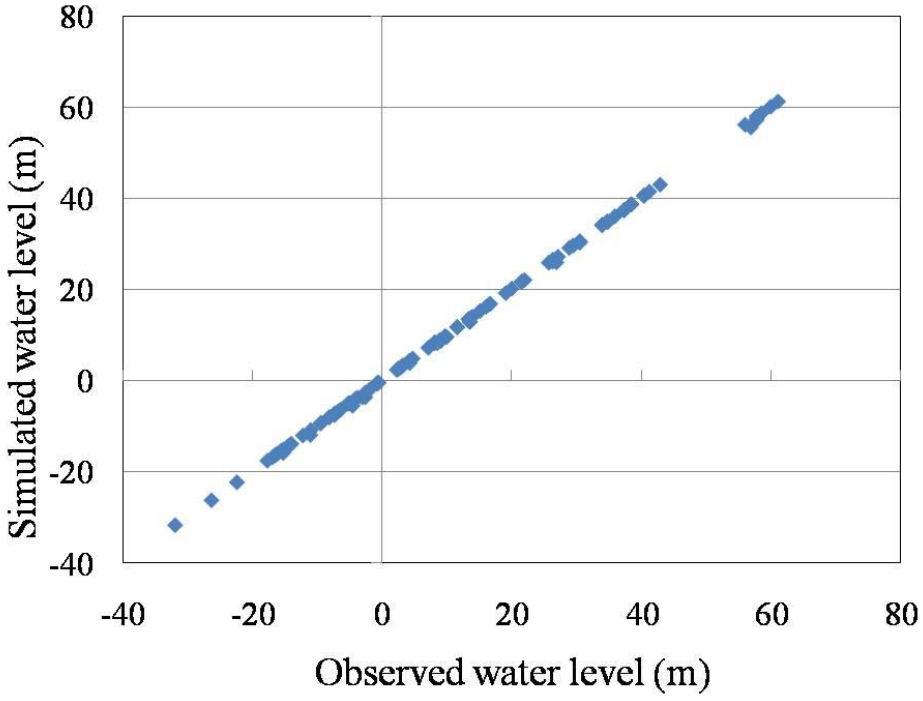
Concept of model

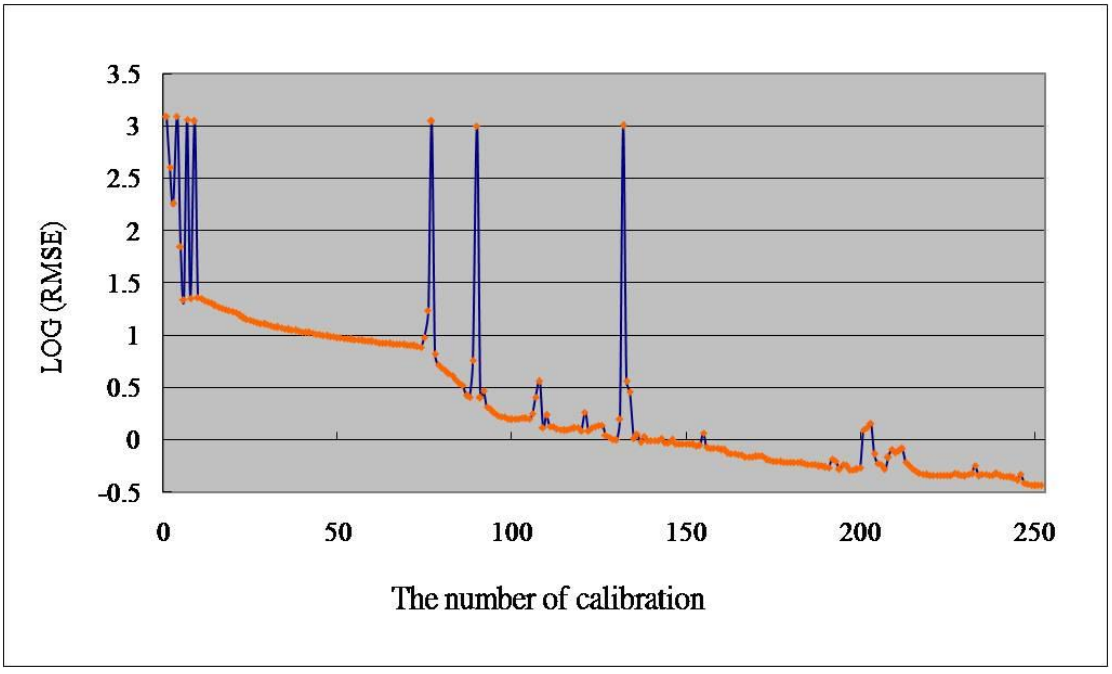
Result

The result indicates the capability of solving a large field problem with the tolerant error in 1 meter .






Simulated water level (m)
80
60
40
20
0
-20
-40
-40
-20
0
20
40
60
80
Observed water level (m)


LOG (RMSE)
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
0
50
100
150
200
250
The number of calibration

Automatic Parameters Identification Of Groundwater Model Using Expert System

JP Tsai [1] , LC Chang[2] , YW Chen[3]

1. JuiPin Tsai, Post Doctoral Researcher of the Department of the Civil Eng, National Chiao-Tung University, skysky2cie@gmail.com
2. LiangCheng Chang, Professor of the Department of the Civil Eng. , National Chiao-Tung University, lcchang31938@gmail.com
3. YuWen Chen, Post Doctoral Researcher of the Department of the Civil Eng. , National Chiao-Tung University, bsjacky@gmail.com

Introduction

1. Conventionally, parameters identification of groundwater model can be classified into manual parameters identification and automatic parameters identification using optimization method.

Manual parameters identification

It requires heavily interaction with the modeler.

It is a complicated and time-consuming work.

It requires groundwater modeling practice and parameters identification experiences to performing the task.

The identified parameters value is interpretable by the modeler.

Automatic parameters identification

The parameters search in the optimization approach can not directly interactive with modeler and one can only examine the final results.

It relies on the initial guesses when calibrating a model with high-dimensional parameters.

It is more efficient and convenient comparing to the manual one.

2. This study integrates a rule-based expert system and a groundwater simulation model, MODFLOW-2000, to develop an automatic groundwater parameters identification system.

It can automatically search the parameters values according the rules that are specified by modeler.

Since the rules are easy to modify and adding, the system is flexible and can accumulate the expertise experiences.

It can calibrate hydraulic conductivity and specific yield now, and is named RBMS.

Methodology

1. To develop the knowledge base of expert system

Knowledge base is the core component of an expert system.

To obtain the rules of parameters identification by Knowledge acquisition：

By eliciting expertise from groundwater experts.

By disturbing the parameters of simulation model, and then analyze the system response.

2. To examine the validity and capability of RBMS

This study designed a case that includes target model and testing model to examine the validity and capability of RBMS.

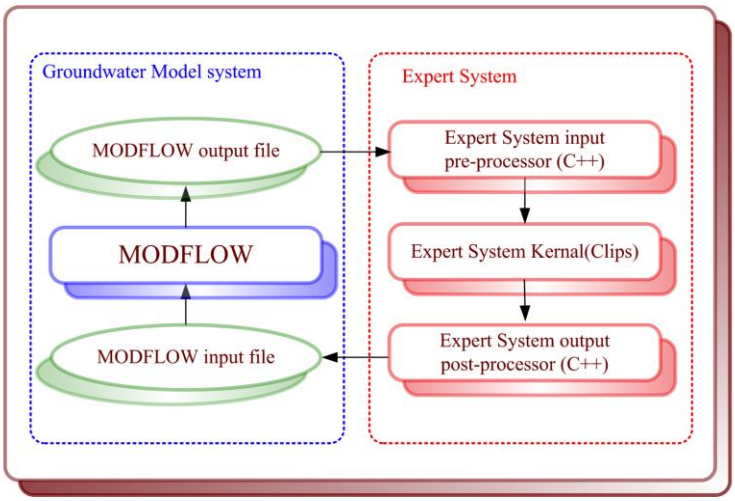
The target model generates the hydraulic head that will be used as observation data for the testing model.

The testing model then tries to identify the parameters values of the target model.

Except for parameters values, both models have the same setup.

To validate the RBMS model, the parameters values identified by the testing model are compared with the parameters values of the target model.

System Architecture



Expert system

3. Applying Clips software to develop an expert system that can calibrate the parameters of groundwater model.
4. Knowledge acquisition

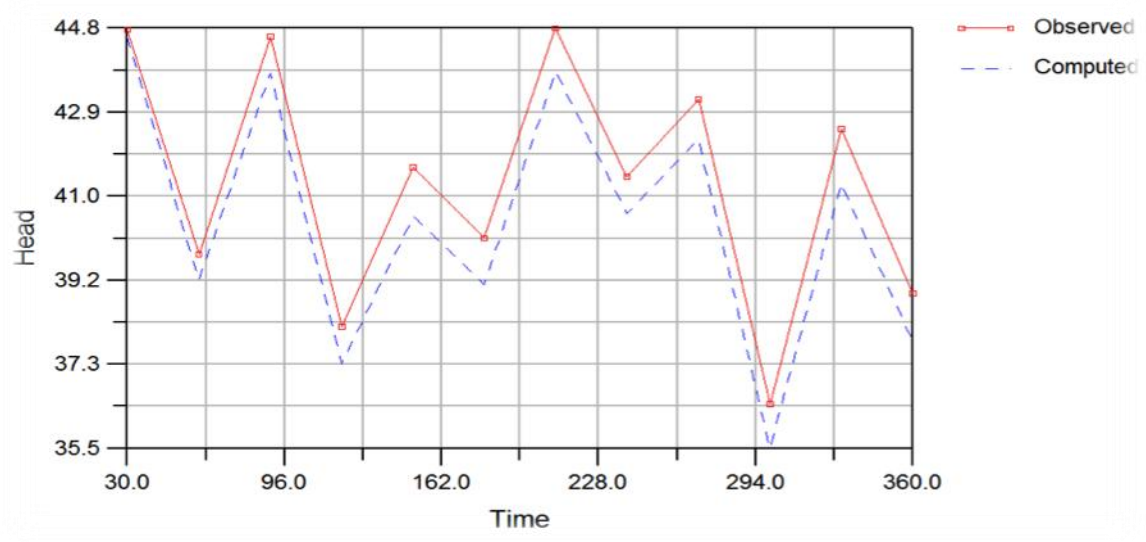
By eliciting expertise from groundwater experts：

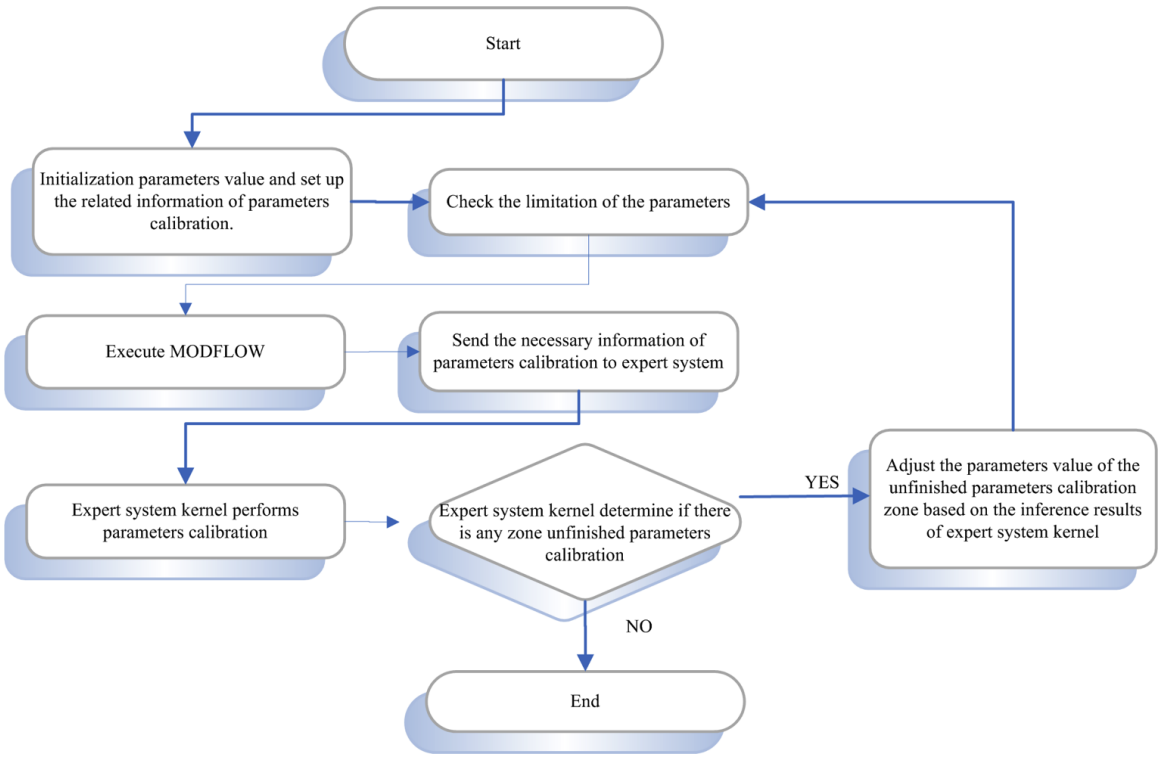
Example1: The calibration sequence of zones in simulation model is based on

zones' average hydraulic head.

By disturbing the parameters of simulation model, and then analyze the system response：

If the sum of flux is less than 0, the simulation head will lower than the original head while increasing hydraulic conductivity.





Calibration Procedure

Case and Results

1. Model setup

Transient simulation.

Time step: 5 days.

Simulation period: 200 days.

Top layer elevation: 50 meters.

Bottom layer elevation: 0 meters.

Simulation area: 2200m by 2200m.

Initial heads: 50 meters.

2. System validation

The parameters values identified by the testing model are compared with the parameters values of the target model.

Test parameters

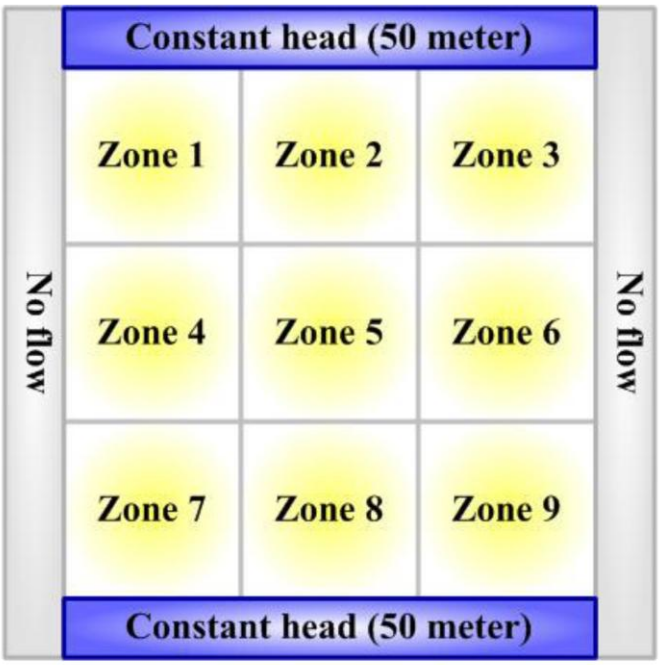
Hydraulic conductivity(K).

Specific yield(Sy).

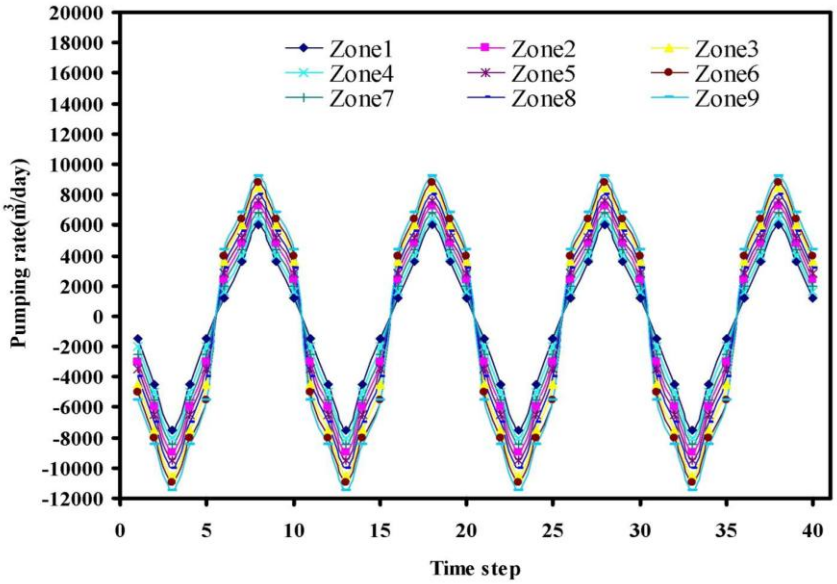
Convergent criteria

RMSE < 0.3.

Iteration number < 500.

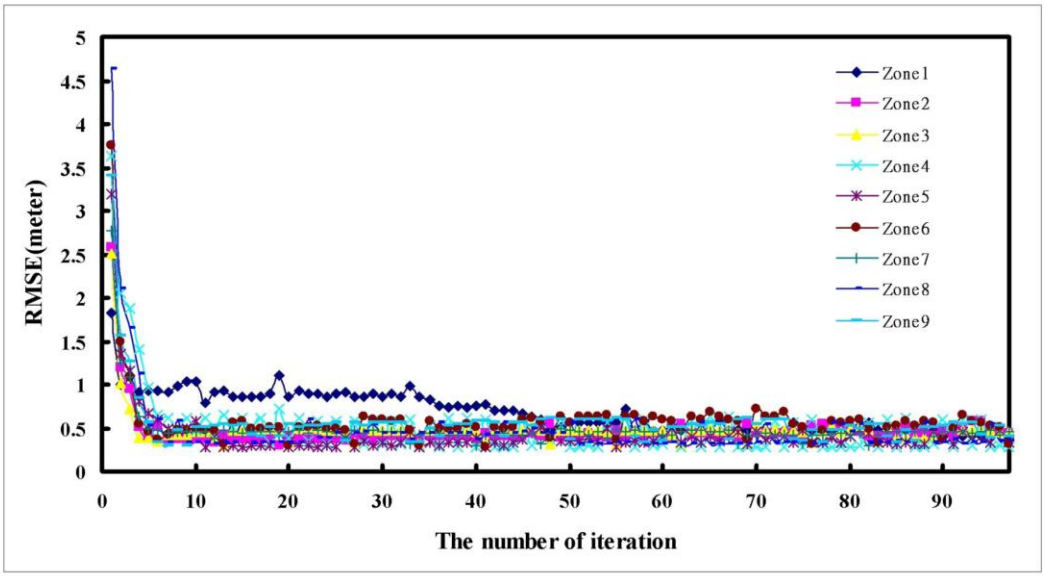


The spatial distribution of the zones and boundary conditions of ideal case

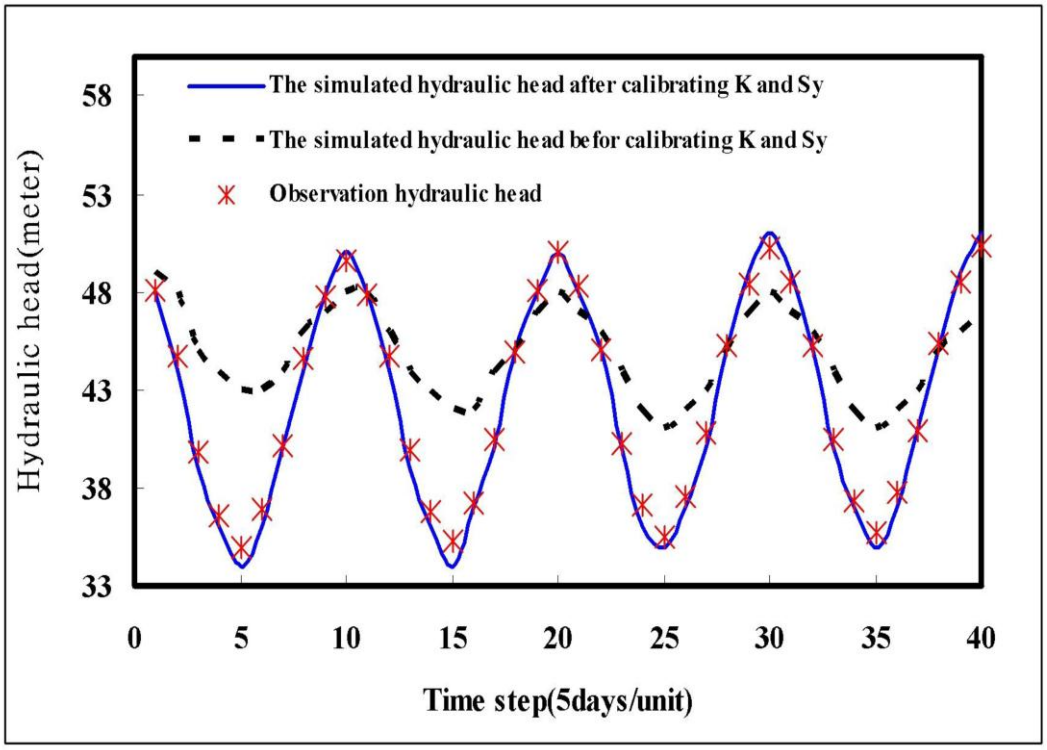


The pumping rate pattern of each zone

3. Results



The decrease of RMSE in each zone during calibration



The final calibration results of Zone 6

Zone number	Target K (m/day)	Initial K value(m/day)	Calibrated K value(m/day)
Zone 1	40	60	40.9
Zone 2	15	22.5	13.3
Zone 3	25	37.5	23.2
Zone 4	13	19.5	11.9
Zone 5	35	52.5	36.4
Zone 6	15	22.5	13.6
Zone 7	35	52.5	36.2
Zone 8	12	18	12.2
Zone 9	42	63	43.6

The results of calibrating *K*

Zone number	Target Sy (m/day)	Initial Sy value(m/day)	Calibrated Sy value(m/day)
Zone 1	0.3	0.5	0.28
Zone 2	0.23	0.1	0.23
Zone 3	0.25	0.5	0.26
Zone 4	0.22	0.1	0.22
Zone 5	0.26	0.5	0.26
Zone 6	0.25	0.1	0.26
Zone 7	0.28	0.5	0.27
Zone 8	0.2	0.1	0.2
Zone 9	0.32	0.5	0.32

The results of calibrating *Sy*

Conclusion

1. Simulation results demonstrate that using only 6 classes of rules, the model can efficiently identify hydro-geological parameters, hydraulic conductivity , and specific yield .
2. Calibrating rules can be added to the knowledge base one by one without reprogramming or revising the system architecture.
3. It is easy to increase and accumulate the expertise of the RBMS.

肆、心得與建議:

AGU Fall Meeting 國際會議歷史悠久且參與人士眾多，向為國際上地球科學領域最重要的會議之一，其中亦包括水文、地下水及水資源等相關領域，本次的會議中，本團隊與其它研究相互交流亦有豐碩的收獲。

另外，由會議安排的主題與發表之論文中可以發現。氣候變遷仍為目前氣象、水文與水資源方面的重大議題，本次大會其亦為重點之一，惟其它基礎而重要的研究工作成果仍相當多。由於發表的文章眾多幾乎可以滿足各種不同議題及不同興趣的人，整個會場就像人類智慧的寶庫一般，事前若能先做規劃選定議題，必可滿載而歸。