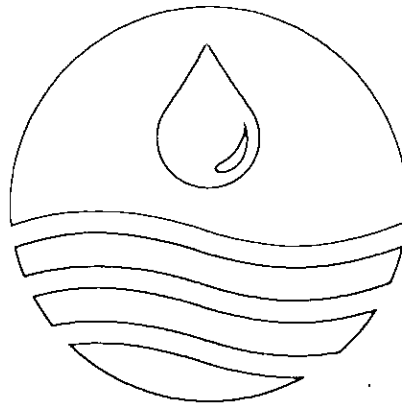




海岸地區地陷潛能與危險評估技術(2/3)

Assessment on Risk and Potential of Land-Subsidence in Coastal Area (2/3)



主辦機關：經濟部水利署

執行單位：國立交通大學防災工程研究中心

中華民國九十一年十二月

海岸地區地陷潛能與危險評估技術(2/3)

主辦單位：經濟部水利署

執行單位：國立交通大學防災工程研究中心

中華民國九十一年十二月

海岸地區地陷潛能與危險評估技術(2/3)

參與工作人員

- 計畫主持人：楊錦釗 交通大學土木工程學系教授
- 協同主持人：黃良雄 台灣大學土木工程學系教授
- 專任研究人員：蔡東霖 交通大學防災工程研究中心研究助理教授
- 兼任研究人員：湯有光 香港科技大學土木工程學系教授
- 張哲豪 台北科技大學土木工程學系副教授
- 李良輝 高雄應用科技大學土木工程學系副教授
- 許榮庭 台南成大水工試驗所副研究員
- 宋長虹 台南成大水工試驗所副研究員
- 張胤隆 交通大學土木系博士班研究生

謝 誌

本研究之成立執行，承蒙經濟部水利署專案補助。研究期間，承蒙水利署張科長國強、曾科長鈞敏提供諸多實務高見與行政支援，使得本研究得以順利進行。諸位審查委員先進不吝給予指正，在此謹致誠摯謝忱。

摘 要

台灣地區發生地層下陷之區域大多分布於西南沿海地區，其造成主要原因乃肇於不當之土地利用及水資源無法有效管制使用所致。由於地下水超抽導致台灣海岸地區相繼發生地層下陷現象，並因地勢沉陷衍生暴潮溢淹與水土資源永久性傷害等問題，使社會付出巨大成本。為有效防患地層下陷之潛在危機，除了持續進行長期性的系統性監測工作以掌握地層下陷動態外，對於嚴重地層下陷區與下陷潛勢區，亟需進一步建立地陷潛能與危險評估技術，以提供執行地層下陷區防護管理措施之參考。

「海岸地區地陷潛能與危險評估技術」研究計畫包括區域性地下水文平衡最佳推估模式、大區域分區分層地層下陷計算、地層下陷資料之地理資訊決策支援系統、以及地層下陷及地下水優化模式等四個研究子題。其最終目標係藉由地理資訊決策支援系統，整合其他三個模式，發展一套最佳地層下陷趨勢預測模式，以提供地層下陷潛勢區之判別方法及下陷量預測、水資源利用與管理等技術。

本研究分三年逐步實施，各年度之預期成果如下：

1. 第一年：模式之發展、建立與測試及單機版地下水平衡模式與地層下陷模式整合系統之開發與測試。
2. 第二年：應用第一年發展、建立及測試完成之模式，加強模式之功能，並以第一年蒐集較完整之資料予以驗證。另外將地理資訊決策支援系統由單機版轉換至網際網路。
3. 第三年：建立完整之地層下陷潛能與危險評估技術。

目 錄

謝誌	0-1
摘要	0-2
目錄	0-3

【總論】

目錄	I
表目錄	II
圖目錄	III
第一章 前言	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究方法與步驟	1
1.3 完成之工作項目	2
第二章 地層下陷管理模式整合系統雛形	7
2.1 系統設計與開發	7
2.1.1 系統目標	8
2.1.2 主要作業流程	9
2.1.3 功能需求分析	11
2.2 應用案例展示	13
2.2.1 案例設計	13
2.2.2 參數轉換輸入	14
2.2.3 模擬結果說明	16
第三章 結語與後續工作	17

【第一部份 區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題】

目錄	I-I
表目錄	I-III
圖目錄	I-X
第一章 前言	I-1
1.1 研究目的	I-1
1.2 計畫工作項目與目前工作進度	I-2
第二章 往昔研究方法回顧	I-6
2.1 地下水流數值模擬方法	I-6
2.2 含水層補注量與抽水量推估方法	I-7
2.3 濁水溪沖積扇地下水文平衡往昔研究成果	I-9
第三章 數值模式與分析流程之建立	I-18
3.1 地質水文數據空間延展模式	I-18
3.2 三維多層地下水流數值模式之建立	I-20
3.3 邊界水平側向流量推估方法	I-22
第四章 地質水文資料收集與分析	I-25
4.1 地下水抽水井分布	I-25
4.2 含水層結構與地質水文參數	I-26
4.3 歷年地下水抽水量調查與推估值	I-27
第五章 地表入滲量計算流程修正與應用	I-30
5.1 地表入滲量計算流程之修正	I-30
5.2 地表水文時序列條件合理設定	I-31
5.3 土地利用形態與土壤分層數據基本網格數據之建置	I-31

5.4 任意點位土壤分層模式之製作與驗證	I-32
5.5 一維垂向地表入滲量修正後計算結果	I-33
5.6 地表入滲量與田間灌溉減水深觀測值之比較	I-34
5.7 地表入滲量推估結果與往昔計算結果之比較	I-34
第六章 空間延展模式之應用與邊界水平側向流量推估	I-36
6.1 水文數據空間延展模式之改良與驗證	I-36
6.2 計算領域含水層水位內插與延展計算	I-39
6.3 邊界水平側向流量推估流程	I-42
6.4 邊界水平側向流量推估結果	I-43
第七章 三維多層地下水流模式之驗證	I-45
7.1 侷限含水層Theis(1935)解析解驗證	I-45
7.2 阻水層非穩定態水頭垂向變化	I-45
7.3 多層侷限含水層解析解驗證	I-46
第八章 結語	I-51
8.1 第一年度工作成果與主要結論	I-51
8.2 本年度工作成果與結論	I-52
8.3 後續辦理工作	I-54
參考文獻	I-55

【第二部分 大區域分區分層地層下陷計算研究子題】

目錄	II-I
表目錄	II-III
圖目錄	II-IV

第一章 前言	II-1
1.1 研究目的.....	II-1
1.2 工作項目.....	II-2
1.3 完成之工作項目.....	II-2
第二章 文獻回顧.....	II-4
2.1 地層下陷研究方法之分類.....	II-4
2.2 一維非耦合地層下陷計算.....	II-5
2.3 三維耦合地層下陷計算.....	II-7
2.4 地層下陷計算之進一步考慮因素.....	II-8
2.5 求解方法.....	II-9
第三章 國內相關地層下陷研究資料之蒐集.....	II-11
第四章 研究方法與模式之建立.....	II-18
4.1 理論基礎.....	II-18
4.2 地下水流計算.....	II-23
4.3 垂向土體位移計算.....	II-26
4.4 初始條件.....	II-29
4.5 邊界條件.....	II-29
4.6 控制方程式之無因次化.....	II-32
4.7 數值方法.....	II-34
4.8 模擬所需輸入之資料.....	II-37
第五章 一維耦合地層下陷模式之分析與探討.....	II-38
5.1 兩阻水層中間夾一含水層之測試案例.....	II-38
5.2 兩含水層中間夾一阻水層之測試案例.....	II-40
5.2.1 下層含水層抽水案例.....	II-40
5.2.2 上層含水層抽水案例.....	II-42
5.3 土體上浮現象之數學證明.....	II-43
第六章 濁水沖積扇地層下陷模擬.....	II-46

6.1 區域概況.....	II-46
6.2 所需資料之蒐集與處理	II-49
6.3 模擬結果.....	II-53
6.4 地層下陷潛能分析.....	II-54
第七章 結語	II-56
參考文獻	II-58
附錄 一維非耦合地層下陷模式之建立	II-66

【第三部份 地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題】

目錄	III-1
表目錄	III-II
圖目錄	III-III
第一章 前言	III-1
1.1 研究目的.....	III-1
1.2 工作項目	III-3
1.3 工作進度.....	III-6
第二章 系統文件維護	III-8
2.1 模擬系統規格修正.....	III-8
2.2 使用手冊建置.....	III-10
2.3 維護手冊規劃.....	III-11
第三章 整合系統功能更新	III-13
3.1 三維視覺展示.....	III-13
3.2 模式輸出.....	III-17
3.3 網路版與單機版改版.....	III-18
第四章 網際網路版本開發	III-20
4.1 網際網路地圖伺服器架構	III-20

4.2 現階段成果.....	III-22
4.3 未來規劃與展望.....	III-23
第五章 結語及後續工作項目	III-26
5.1 目前完成工作項目	III-26
5.2 未來工作方向.....	III-26
參考文獻	III-27
附錄一 期中報告審查意見處理情形.....	附-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形.....	附-8

總 論

目 錄

目錄	I
表目錄	II
圖目錄	III
第一章 前言	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究方法與步驟	1
1.3 完成之工作項目	2
第二章 地層下陷管理模式整合系統雛形	7
2.1 系統設計與開發	7
2.1.1 系統目標	8
2.1.2 主要作業流程	9
2.1.3 功能需求分析	11
2.2 應用案例展示	13
2.2.1 案例設計	13
2.2.2 參數轉換輸入	14
2.2.3 模擬結果說明	16
第三章 結語與後續工作	17

表 目 錄

表 1-1 預定進度表	18
表 2-1 背景圖資系統之資料分類	19
表 2-2 各項圖資轉換功能對應	19
表 2-3 Control.dat — 格網及模擬時間參數	20
表 2-4 hcghcm.dat — 地質參數	20
表 2-5 gridph.dat — 水平方向格網點性質	20
表 2-6 gridpv.dat — 垂直方向邊界條件	21
表 2-7 source.dat — 抽水量與補注量	21
表 2-8 boundh.dat — 水平邊界條件	21
表 2-9 boundv.dat — 垂直邊界條件	21
表 2-10 Depth.dat — 各含水層厚度	21
表 2-11 waterd.dat — 非侷限含水層水深	21
表 2-12 init.dat — 各含水層初始水位	22
表 2-13 outp.dat — 需要輸出之網格點	22
表 2-14 outt.dat — 需要輸出之模擬時刻	22

圖目錄

圖 1-1 總體計畫流程圖	23
圖 1-2 各研究子題相互支援圖	24
圖 1-3 大區域分區分層地層下陷計算研究子題工作流程.....	25
圖 1-4 區域地下水文平衡最佳推估模式研究子題工作流程.....	26
圖 1-5 地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題工作流程..	27
圖 1-6 地層下陷及地下水優化模式研究子題工作流程.....	28
圖 1-7 工作團隊組織圖	29
圖 2-1 地陷模擬整合系統系統架構圖	30
圖 2-2 研究區背景資料.....	30
圖 2-3 研究區域分層厚度與深度之定義	31
圖 2-4 平面分區與編輯子系統功能架構圖.....	31
圖 2-5 地陷模式操作子系統功能架構圖	32
圖 2-6 案例一示意圖	32
圖 2-7 案例二示意圖	33
圖 2-8 案例一沈陷量平面圖	33
圖 2-9 案例一沈陷量立體圖	34
圖 2-10 案例二沈陷量平面圖	34
圖 2-11 案例二沈陷量立體圖	35

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

台灣地區發生地層下陷之區域大多分布於西南沿海地區，其造成主要原因乃肇於不當之土地利用及水資源無法有效管制使用所致。由於地下水超抽導致台灣海岸地區相繼發生地層下陷現象，並因地勢沉陷衍生暴潮溢淹與水土資源永久性傷害等問題，使社會付出巨大成本。為有效防患地層下陷之潛在危機，除了持續進行長期性的系統性監測工作以掌握地層下陷動態外，對於嚴重地層下陷區與下陷潛勢區，亟需進一步建立地陷潛能與危險評估技術，以提供執行地層下陷區防護管理措施之參考。

本研究之目的在利用地理資訊決策支援系統，整合區域性地下水文平衡最佳推估模式、大區域分區分層地層下陷計算模式、以及地層下陷及地下水優化模式，發展一套地層下陷管理模式整合系統。藉由地理資訊決策支援系統之整合，使得地層下陷管理模式具有通用性及容易操作之特點。區域性地下水文平衡最佳推估模式、大區域分區分層地層下陷計算模式與地層下陷及地下水優化模式之結合，不但可以有效且精確地預測地層下陷量及判別地層下陷潛勢區，更可以進行最佳地下水資源調配方案之演練，以作為執行地層下陷區防護管理措施之參考。

1.2 研究方法與步驟

「海岸地區地陷潛能與危險評估技術」研究計畫包括區域性地下水文平衡最佳推估模式、大區域分區分層地層下陷計算、地層下陷資料之地理資訊決策支援系統、以及地層下陷及地下水優化模式等四個研究子題。研究之流程圖與各子題相互支援圖，分別如圖 1-1 與圖 1-2 所示。

本研究係利用區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題所推估之入滲量、邊界側流量以及抽水量，作為大區域分區分層地層下陷計算研究子題發展之含孔隙率時變性一維地下水超抽引致地層下陷模式所需輸入之相關水文平衡參數。地層下陷及地下水優化模式研究子題，則可提供決策者作為地下水資源管理與利用之分析工具，該模式係利用響應矩陣法所建立，而響應係數則由大區域分區分層地層下陷計算研究子題發展之地層下陷模式計算。藉由上述三個研究子題所發展模式之結合，將可完整模擬選定地區地下水之行為，包括入滲量與抽水量之推估、地下水位以及地層下陷之變化等，並且藉由優化模式訂定最佳化之水資源管理與利用方針，以達到充分掌握地下水及地層下陷變化並且合理利用地下水資源之目標。

上述三個研究子題應用時所需輸入、處理與輸出之資料相當龐大，如鑽探岩心、地質分層分區、地下水位資料與地層下陷資料等。藉由地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題之整合，使用者將可經由圖形化以及視覺化之使用介面，非常容易地操作及應用本研究計畫所發展之各種模式。本研究計畫分三年逐步實施，各研究子題之工作流程分別如圖 1-3 至圖 1-6 所示，研究團隊組織圖如圖 1-7 所示。

1.3 完成之工作項目

上年度(計畫之第一年)，區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題完成地表入滲與河床滲漏模式之建立與驗證，並初步應用於濁水溪沖積扇之現地模擬。大區域分區分層地層下陷計算研究子題初步完成含孔隙率時變性一維地下水超抽引致地層下陷模式之建立與驗證，並蒐集國內相關地層下陷研究資料，分別將所應用之理論基礎、採用之模式、模擬範圍、所需輸入資料以及使用之土壤參數值加以整理列表分析。地層下陷及地下水優化模式研究子題，以響應矩陣法完成地下水及地層下陷優

化模式之建立，模式驗證後應用於濁水溪沖積扇地區最佳抽水量之初步推估。此外，地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題完成單機版地陷模式的輸出入控制與輔助、地下水平衡模式的整合規劃與雛型開發、以及網路版地陷模式規劃與測試。

今年為計畫之第二年，各研究子題之工作項目，分別如下：

(一) 區域地下水文平衡最佳推估模式研究

1. 水文資料空間延展研究方法之收集整理。
2. 區域地下水流場邊界條件合理設定方式。
3. 含水層地下水空間延展模式之改良與驗證。
4. 改良與驗證三維地下水流模式。

(二) 大區域分區分層地層下陷計算

1. 利用現場調查所獲之抽水量資料，推估水井分層出水比例。
2. 應用第一年的新地層下陷程式。
3. 土壤參數之研究。

(三) 地層下陷資料之地理資訊決策支援系統

1. 訂定地下水平衡模式與地陷模式線上整合之系統標準。
2. 網路版地下水平衡模式與地陷成果整合系統開發。
3. 研究區圖形與屬性資料庫轉換至網際網路。
4. 網路版整合系統使用手冊與維護手冊編寫。
5. 訂定地質統計模式與地陷模式整合之系統標準。

(四) 地層下陷及地下水優化模式研究與應用

5. 繼續選定區域之檢定驗證。
6. 不確定分析架構之建立。
7. 反應係數不確定性評估。

8. 機率優化管理模式之建立。

本年度，由於計畫執行程序問題，地層下陷及地下水優化模式研究與應用之工作項目延至第三年執行，其它三個研究子題完成之工作項目內容摘要如下。

(一) 區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題

加入地表土地利用形態、地表下1.5公尺內之土壤特性，以及濁水溪河床高程下降等因素之考量，應用第一年所發展之一維垂向地表入滲量推估模式重新模擬地表入滲量。結果顯示，上年度彰化地區與雲林地區1998年之入滲推估量分別為12.5億噸與9億噸，而本年度入滲量重新推估值則分別為7.19億噸與5.45億噸。地表入滲模式經由本年度之修正後，不僅能反應出枯水期間地下水因為土壤蒸發散而造成之損失量，以及枯水期間經由持續積水區域所產生之補注量，亦可以更真實反應出地表水文變化對於地下水入滲補注量之影響。

完成Kriging空間內插延展模式之修正並應用於研究區域含水層地質水文數據之延展。此外，邊界側向流量之推估結果顯示，1998年濁水溪沖積扇東側邊界含水層1年側向流量介於0.669億噸至0.7億噸之間，含水層2年側向流量介於0.622億噸至0.645億噸之間，含水層3年側向流量介於0.357億噸至0.383億噸之間，合計三含水層年側向流量約為1.649億噸至1.729億噸，不同含水層之間側向流量之差距在0.3億噸左右。

(二) 大區域分區分層地層下陷計算研究子題

大區域分區分層地層下陷計算研究子題，對於應用第一年的地層下陷程式工作項目，已改良上年度一維耦合地層下陷模式建構方式並重新無因次化控制方程式，不但使模式更通用化外，亦解決以往為避免數值計算不穩定、時間間距不能太小之缺點，並且具有模擬阻水層貯蓄現象

之能力。研究中以兩個簡單案例，深入分析與探討，一維非耦合模式以及考慮浮體重力一維耦合模式之差異性，並且提出土體上浮現象之數學證明。

完成濁水溪沖積扇地層下陷模擬，並執行地層下陷潛能分析。模擬時，水田灌溉入滲與旱地降雨入滲兩者之總和入滲量資料，採用本計畫區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題所推估之結果，達到初步整合目的。模擬結果發現，耦合與非耦合模式之地下水位模擬結果相近。另外，非耦合與耦合模式地層下陷模擬結果皆與實測值之趨勢吻合且量階相同。然而，耦合模式所計算之地層下陷量大都略小於非耦合模式，這可能是耦合與非耦合理論上之差異，且耦合模式考慮土體膨脹效應(彈性體之 0.15)所致。在上述地層下陷模擬所使用之抽水量下，分別於各鄉鎮市增加一定抽水量，根據所引發之下陷增加量，評估地層下陷潛能區域。結果顯示，彰化縣大城鄉以及雲林縣口湖鄉、褒忠鄉與元長鄉是地層下陷潛能區。

此外，模擬時分層抽水比例之給定，本研究利用簡易分層抽水比例推估方法所得之抽水比例為初始猜測值，配合試誤法率定分層出水比例。結果發現，在某些鄉鎮市中，由簡易分層抽水比例推估方法以及試誤法所獲得之分層抽水比例相當接近，但有些鄉鎮市卻有較大差異。

至於土壤參數研究工作項目，除了繼續蒐集國內相關地層下陷研究資料外，本年度回顧地層下陷之研究文獻，包括地層下陷研究方法之分類、一維非耦合地層下陷計算、三維耦合地層下陷計算、地層下陷計算進一步考慮因素以及求解方法等。

(三) 地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題

第一年的計畫成果中，已經建立了整合系統介面的整體流程。然而，

在設計上要從單機版轉換到網路版的過程中，許多設計上都必須重新思考更為通用的方式，諸如應用到不同的研究區域，同時多個專案管理的機制，參數輸入形式更為彈性等，都需要相當程度的更新。因此，研究中首先更新單機版使用手冊與維護手冊，同時作為網路版系統文件的初稿設定，擬透過整體流程文件化方式，以完成系統更新時的整體規劃。

配合系統文件更新的同步進行，整合系統介面也因應重新定義配合相關流程，如三維視覺介面的功能擴充，包括井柱地層展示與計算輸出展示等。且為配合地層下陷模式改版，重新設計系統的輸入與輸出，並透過圖形展示功能，示範測試案例。

網際網路版本已經進行了相關的整體規劃與建置。研究中已經自行開發出網際網路地圖控制的元件，透過系統程式的演練實例，目前已經能夠接受多種電子地理圖資格式，達到基本操作的功能要求。網際網路版本的地圖元件也已經開發完成，已經將原單機版的背景圖資管理系統功能，移植到網際網路版本上。

由上述可知，本計畫各研究子題皆在計畫執行期限內，完成委辦計畫書預期進度與目標(見表 1-1)。

第二章 地層下陷管理模式整合系統雛形

2.1 系統設計與開發

根據水利署第二期地層下陷防治執行方案計畫中，已經設定了下列主要執行方向：

1. 辦理健全推動組織架構與協調機制。
2. 落實地層下陷區土地防護管理。
3. 依據區位條件合理發展產業。
4. 加速推動區域水資源調配與管理。
5. 加速消滅洪澇災害損失。
6. 持續教育宣導與訓練。

在這整體地層下陷防治方案中，包含了土地、水資源、與災害應變的綜合管理，特別需要多元化的空間資訊輔助。其中，關鍵性的資訊項目為地下水潛能量、地層下陷範圍、與沉陷量。區域內整體地下水量的平衡，是地下水管理的主要數據，用以調配利用或是水權管理。至於地層下陷範圍與數量的資訊，則是反應相關管理決策對於地下水環境的影響評估。

以目前科技應用技術而言，對於地下水量與地層下陷量主要是透過物理模式的估算。經過完整的環境資料收集，量化出各個環境參數後，則可以相關的地下水模式或地層下陷模式，計算出區域內地下水潛能量與地層下陷量。不過地層下陷模式的物理機制，仍然尚未有成熟的商業軟體版本推出。由於相關物理模式包含的機制複雜，應用介面上大多需要人員有專業背景的訓練，具有高學習門檻的特性。針對地層下陷範圍與數量模擬的需求，本研究計畫提出了如第一章所述的完整構想，以資訊系統方式結合四個子研究計畫，其任務導向分別為：

1. 地層下陷模式：開發模擬計算主要核心
2. 水平衡模式：精確定義模擬環境輸出入參數與邊界條件
3. 優化計算：提供多面向管理方案的量化評估
4. 地理資訊系統輔助：
 - (1) 建立使用者介面
 - (2) 解決複雜資料處理問題

根據此系統初始構想，以濁水溪沖積扇為研究區域，展開下述各項系統設計基礎，茲分別說明如後。

2.1.1 系統目標

在系統設計初始，主要在於規畫與開發互動式的資訊分析環境，整合地下水平衡模式及地陷模式兩項主要計算功能的電腦輸出入資料，以克服兩者模式間複雜的圖資處理與格式交換等技術問題；並同時配合兩者子計畫相關基本資料收集，建立研究區基本背景的资料庫。以協助使用者能夠以此二者技術的整合應用，將各地陷防治對策以較迅速而合理的方式參數化，進而推求評估其環境效應並展現成果，縮短方案擬定與決策過程時間。

系統中整合地層下陷模式與地下水平衡模式的方式，是以前者為主體，後者在於提供研究區域必要的抽水量、入滲量、及側流量之分析數據。因此，地層下陷模式的輸入為系統主要的資料需求。地下水平衡模式中則因為需要大量的基本資訊輔助，研究中將其相關資料納入系統中，整理轉換格式後，匯入資料庫及圖形檔案，以協助使用者充份掌握研究區之背景資料。

地下水平衡模式部份資料，整理完成包括研究區雨量、流量、水位、淺層土壤、與觀測井柱資料。如圖 2-1 所示，已分別將其位置輸入於地理

資訊系統的圖檔內。

2.1.2 主要作業流程

系統功能如圖 2-2，主要流程是從井柱分層開始，系統將原始已經分好含水層和阻水層的資料，製作成井柱位置圖。接下來使用者利用外部工具，把井柱資料分區，再匯入系統利用編輯點位、區塊的方式，將研究區的分區地圖完成。再來是依使用者的需求產生格網點，然後針對各格網點所需參數依三大處理原則：分區、井柱距離、邊界條件，分別利用適當的方式給定格網點參數。最後的流程是將各格網點的參數，依照模式輸入資料的檔案格式存檔，如此才可以利用地陷模式計算成果。以下將詳細說明各功能之目的：

1. 層區設定：地層下陷模式的基本資料部份，岩心的地層分類與資料建檔均已完成，依照含水層與阻水層的性質差異，其含水層與阻水層之深度與厚度定義可如圖 2-3 之說明。為能讓使用者瞭解並分析各岩心資料的詳細資訊，以便於日後能正確製作出各地層三維平面圖與分區、分層的岩心柱狀圖，並作適當的編輯處理，使用者可以透過本功能來查詢或編輯系統內部儲存的岩心資料，並且依據岩心資料的位置來繪製岩心資料分佈地圖。
2. 三維地層：本功能為以三度空間的立體化視覺模擬出地層的實際情況。三維地層等位面功能在運用岩心井柱資料各垂直分層特性分析與分區結果，配合完成岩心位置地圖繪製之岩心井柱資料，以三角網方式建構每個透水層與阻水層的等位面，取得建立三維地層所需要的檔案。三維地層是以三度空間的方式展現各層分佈，並運用虛擬實境技術提供三度空間瀏覽，讓使用者可以自由在畫面上觀看各種角度的地層情況。
3. 平面分區：模擬地層下陷程式中，對於模擬區內不同的地層分層

處，需要定義出不同的平面分區。因應使用者在分區上需配合前述三維的岩心資料研判，工作中需結合三維想像與平面分佈，十分不易。系統設計以鄰接區的自動畫分，提供使用者直接區隔出平面區與區間的界線，並提供使用者輔助工具以進行平面分區編輯步驟。系統流程如圖 2-4 所示。

4. 模式格網與參數：地層下陷模擬程式的計算架構為計算格網的設定與產生，許多輸入參數如地質參數、抽水量、入滲量、水位等，都必需以計算格網的點位置來產生輸入檔案。使用者可以自訂模擬格網大小，系統會自動產生格網，並且計算內插井柱厚度與判斷格網邊界形式等，而使用者也可以利用系統提供的查詢與輸入工具，進行參數查詢或更改的工作。
5. 模式操作：地陷模擬整合系統的最終目的，就是要執行地陷模擬程式，因此這個子系統將提供檢視地陷模式所需檔案功能，系統會將格網參數按照模式輸入檔案的分類與格式，自動模式輸入檔案。在確定所有模式所需檔案都建立後，使用者就可執行地陷模式並繪製模式成果或檢視模式輸出資料檔案。模式操作子系統功能架構圖如圖 2-5。
6. 背景圖資系統：地下水平衡模式之背景圖資非常繁複，項目包括土壤、河川水位、雨量、流量、蒸發量、地下水水位、地下水井柱(Logging)、抽水量(Pumpage)、入滲(Infiltration)、河床入滲(percolation)、側流量(Lateral)與河川斷面等資料項目，詳細的資料分類、圖徵型態(feature type)與圖表型態詳列於表 2-1。使用者在面對龐大而複雜的資料檔案往往不知道該如何管理資料，依據表 2-1 分類與系統整體設計概念，設計一背景資料檢視系統，可以讓使用者以在很有條理的情形下，同時檢視各種原始資料、說明文件、圖形與地圖，以省卻進出不同應用系統的程序，並有

助於龐大的背景資料管理。本系統將提供使用者從檔案總管中匯入系統內建目錄功能，並且提供資料匯出功能，將所有資料依據目錄結構封裝在一個檔案後，可以在另一套相同的系統中匯入這個封裝檔案，以便於各單位間資料交換。除了資料管理功能外，使用者最常需要的功能就是將資料與地圖連結在一起，本系統提供自動製圖功能，在檢視資料時，可按下功能按鈕，就可整個目錄內資料的檔頭資料取出，自動製作成本系統支援的 ArcView Shape 檔案格式，以便於將資料與地圖自動連結。許多背景資料，如果僅從檔案內含的文數字資料本身，無法看出其特性，因此，本系統除了檢視資料檔案功能外，亦提供資料自動繪圖功能，可依據資料特性之不同，繪製各種時序圖、長條圖或井柱圖，以便於使用者更瞭解資料特性。

2.1.3 功能需求分析

本系統所整合的地下水平衡模式及地陷模式，不論原始資料或是經過模式計算所得到的資料，均是純文字格式的檔案。輔助系統設計主要在提供使用者較具親和力之人機介面，因此，直接應用原有之純文字檔案的使用方法，就必須有所調整。研究中擬結合地理資訊系統的地圖處理與展示功能，系統除需要設計相關的圖形輔助功能，尚需由圖層資料連帶之屬性中，歸納或計算得到各輸入參數的數值。對於前節所規劃作業流程，其相關的圖資轉換功能需求可展開說明如表 2-2 所示。因此，本系統最重要的功能便是圖形處理介面，建構文字與圖形之間的關係，讓使用者能輕易地在系統中處理相關的資料與參數。以下將針對各功能說明所需的圖形處理功能。

1. 井柱資料：地陷系統所需輸入原始井柱資料，並不是原始鑽井所記錄的地質分類資料，而是經過專家整理，將鑽井數據變為阻水層與含水層分層的資料。而此功能目的在於將這些已經整理好的

資料，以地理座標的屬性轉換成圖形，即以地理資訊系統的方式，在地圖上標示出井柱點的位置，讓使用者能對各井柱點的相關位置一目了然，以便於平面分區的進行。

2. 平面分區：目前鄰域分析功能，即運用空間分析之設定鄰接區 (Zones of Proximity) 方法，由已經完成分區之井柱資料自動產生內邊界，並與使用者點選的外邊界做計算，自動劃分區域。故系統除需要利用資料分層屬性的不同，劃分出內邊界的功能外，也要能讓使用者在地圖上，利用地理資訊系統的工具點選外邊界點。目前自動化產生內邊界點的功能是利用徐昇多邊形法則 (Thiessen Polygon)，並配合外邊界自動產生各個分區圖形。
3. 模式格網與參數：主要的功能在於依照使用者的需求，在地圖上產生格網點，提供查詢的功能，並能夠修改各個格網點的屬性。由於地陷模式輸入的資料內容眾多，系統除了提供內插計算功能，利用原始井柱資料產生所需參數外，亦利用圖形介面，提供使用者使用單點修改、選定範圍輸入參數、圖層輸入方式，將各種的參數輸入至格網點內。
4. 模式計算：將所有模式所需要的參數都輸入格網點後，在啟動模式前，必須將這些在格網點中的參數，依照模式輸入檔案的格式，依序輸出產生所需要的檔案。經過模式計算的結果，依然是文字檔案，故我們可以利用圖形處理，將沈陷量以圖形的方式表達，讓使用者面對的不再是硬梆梆的文字，而是一目了然的圖形。
5. 模式結果輸出：地陷系統的目的除了以圖形的方式表達模式輸出的結果之外，也提供圖形的互動介面與更具代表性的動畫功能。如使用者可直接點選地點查詢該地點之沈陷量；可在 3D 等位面上選取任意切線剖面或可將 2D 等位線與地圖結合等。

2.2 模擬案例展示

在今年，地陷模式有了大幅度的更新，不僅改變了資料屬性的基本單位，也增加了許多更具彈性的控制方式。舊版的地陷模式，因為部份的參數無法由使用者定義，故在整體的規劃設計上都是針對單一案例。經過新版本的改良，地陷模式可以更廣泛地應用，不再侷限於濁水溪沖積扇，甚至可以自行設計不同的模擬案例，讓使用者能夠快速地學習地陷模式。

2.2.1 案例設計

目前為了讓使用者能夠熟悉地陷模式中，各個參數檔案的輸入方式，並產生模式運算的結果，進而練習由井柱分層開始，經過內插、平面分區等計算至展示計算成果。故設計兩個地陷模式案例，案例一是個簡單的範例，案例二則是設計比較複雜的地層與分區，藉以區隔不同，且可以讓使用者漸進學習。以下將說明兩個案例的基本條件：

案例一設定為擁有三個地層的區域，依序為含水層、阻水層、含水層，且不分區，每層厚度為 50m，水頭邊界為 10m，上邊界與下邊界皆沒有入滲，即為侷限含水層。在格網大小與時間的設定方面，取 21x21 大小的格網，間距為 1000m， Δt 是 86400s，長度為 100 天。此案例預設的抽水井位於格網點(11,11)的含水層一，及格網點(6,11)、(16,11)的含水層二，總共三個抽水點，如圖 2-6。

案例二則是擁有五層的區域，但是分為三區，第一區依序為含水層、阻水層、含水層、阻水層、含水層；第二區依序為含水層、阻水層、含水層；第三區依序為含水層、阻水層、含水層、阻水層、含水層。本案例擁有虛擬井柱，總共有 15 個井柱，且每個井柱皆有其各層的厚度，也就是必須利用內插計算，才能轉換成模式輸入參數。與案例一相同的是水頭邊界為 10m，上邊界與下邊界皆沒有入滲，即為侷限含水層。在格

網大小與時間的設定方面，取 31x31 大小的格網，間距為 200m， Δt 是 86400s，長度為 30 天。此案例預設的抽水井位於第一區格網點(6,16)的含水層一、二、三；第二區格網點(16,16)的含水層二；第三區格網點(26,16)的含水層一、三，總共六個抽水點，如圖 2-7。

2.2.2 參數轉換輸入

為配合格網參數轉換成模式輸入資料的格式，模式輸入資料皆改為以格網點位置為依據，可避免不必要的資料轉換計算，且在格網點上輸入參數的思考流程更為順暢。為能夠清楚說明地陷模式的相關輸入參數，以下將系統輸入檔案內容分述說明其數值內容及參數特性。

1. control.dat(格網及模擬時間參數)：為了讓使用者可以自訂格網大小、模擬時間，故將所有相關參數放置於此檔案中，方便控制地陷模式的基本條件。如表 2-3。
2. hcgsc.dat(地質參數)：地質參數是依據地層性質的不同，以分層分區的方式給定不同的參數，使用者可以透過系統提供的工具進行給定參數的工作。如表 2-4。
3. gridph.dat(水平方向格網點性質)：主要為記錄每個格網點的性質與邊界條件，目前判定格網點性質的工作是由圖形處理來控制的，即利用之前所產生的分區圖及格網點圖，透過 GIS 的工具做分析判斷，自動判定格網點屬性。如表 2-5。
4. gridpv.dat(垂直方向邊界條件)：主要為記錄此格網點的水層是侷限含水層或是非侷限含水層，進而定義邊界形式是 Dirichelet 或是 Neumann。若是侷限含水層，則不考慮邊界形式。如表 2-6。
5. source.dat(抽水量與補注量)：抽水量與補注量整合在此檔案中，正值代表抽水，負值代表入滲補注，若同一格網點中有抽水量也有入滲量，則正負相加為結果。資料內容包括在各格網點中，分

層的年抽水量或入滲量。如表 2-7。

6. boundh.dat(水平邊界條件): 定義格網點中, 各含水層的觀測水位, 且只需輸入非侷限含水層的格網點, 即在 gridpv 中定義為 0 的格網點。如表 2-8。
7. boundv.dat(垂直邊界條件): 記錄格網點上邊界與下邊界的入滲量。如表 2-9。
8. depth.dat(各含水層厚度): 以格網點為單位, 以內插的方式計算出每個格網點的含水層厚度。如表 2-10。
9. waterd.dat(非侷限含水層水深): 紀錄每個格網點含水層(第一層)的初始水深。如表 2-11。
10. init.dat(各含水層初始水位): 紀錄每個格網點中, 各含水層的初始水深, 初始水深為含水層水位和海平面的差。如表 2-12。
11. outp.dat(需要輸出之格網點): 控制使用者想要輸出之格網點的資料, 即水位與下陷量。如表 2-13。
12. outt.dat(需要輸出之模擬時刻): 控制使用者想要輸出的模擬時刻。如表 2-14。

系統中所提供的背景圖資介面, 主要針對地陷系統輸出入圖資的瀏覽與疊合。對於模式輸入部分, 主要是應用或開發空間計算函式, 從原有圖資中萃取或內插產生, 並提供使用者相關輸入工具輸入: 如逐點修正、圈選範圍給定參數、匯入圖層的方式為主。至於原系統中所包含的背景圖資, 在模擬案例的階段中, 對於模式執行過程並沒有實際需要。但對於濁水溪模擬研究案例時, 則提供作為地陷模式的輸入之外, 並包含部份水平衡模式的背景圖資。由於地陷模式及水平衡模式的基本應用面比例不同, 二者對於資料分類精粗也有差異, 所以資料格式並非完全相同, 包括了井柱資料、抽水量、入滲量等, 均提供於背景圖資中作為

展示。

2.2.3 模擬結果說明

地陷模式輸出的結果包含了水位與下陷量，同樣的輸出結果一樣為文字檔案，但是可以透過地陷系統利用工具產生立體的沈陷量圖形，讓使用者一目了然測試案例的結果，以下將分述兩個案例的模擬結果。

利用 surfer 的繪圖工具，可以輕易地將模式輸出的結果繪成圖形展示，如圖 2-8 為案例一的沈陷量平面圖，圖 2-9 為沈陷量立體圖。可以很輕易地看出，只要設定為抽水點的位置，都因為抽水而產生下陷，代表此案例在設定上很適當，明白地讓使用者看到模式計算後的成果與輸入參數的相關性，有了實際操作案例一的經驗，相信對於瞭解地陷模式的方法會有很大的幫助。

案例二的沈陷量圖如圖 2-10 與 2-11，對照圖 2-7 案例二的抽水點位置，也可以很明白地看出沈陷量產生的位置與抽水點的相關性。因為在此案例中，每一點的抽水量都是相同的，所以也可清楚看出抽水點數與沈陷量成正比關係。

設計此兩個案例的目的就是讓使用者學習使用地陷模式，因為讓地陷模式能夠適用於大部分的地區，故在參數輸入方面便需要多方考量，也就造成有許多的控制參數必須去瞭解、輸入。雖然以文字檔案控制的方式對於使用者而言是不便的，但是透過地陷系統的幫助，以圖形計算與 GIS 介面幫助使用者快速完成參數檔案的建立，在效率上便可以增進許多，達成本研究的目的。

第三章 結語與後續工作

「海岸地區地陷潛能與危險評估技術」研究計畫之目的在利用地理資訊決策支援系統，整合區域性地下水文平衡最佳推估模式、大區域分區分層地層下陷計算模式、以及地層下陷及地下水優化模式，發展一套地層下陷管理模式整合系統，並進行地層下陷量預測、地層下陷潛勢區判別以及最佳地下水資源調配方案演練，以作為執行地層下陷區防護管理措施之參考。

本研究計畫分三年逐步實施，本年度為計畫之第二年。計畫執行至目前為止，區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題，完成地表入滲量、河床滲漏量以及邊界側向流量等推估模式之建立與濁水溪沖積扇現地模擬。大區域分區分層地層下陷計算模式研究子題，完成一維耦合地層下陷模式之建立與濁水溪沖積扇現地模擬。地層下陷及地下水優化模式研究與應用研究子題，完成模式之建立與初步濁水溪沖積扇應用模擬。地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題，已整合大區域分區分層地層下陷計算模式研究子題，完成地層下陷管理模式整合系統雛形，並編寫操作手冊及維護手冊。初步完成之地層下陷管理模式整合系統已具有通用性，可應用於不同地區之模擬，且具有操作容易之特點。

本研究後續主要工作項目是將地層下陷及地下水優化模式納入地層下陷管理模式整合系統雛形中，並根據大區域分區分層地層下陷計算模式研究子題所完成之濁水溪沖積扇模擬率定結果，進行最佳地下水資源調配方案演練，達到充分掌握地下水及地層下陷變化並且合理利用地下水資源之目標，以作為執行地層下陷區防護管理措施之參考。

表 1-1 預定進度表

工作項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	年別	民國 91 年											
	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(A)-1 利用現場調查所獲之抽水量資料，推估水井分層出水比例		■	■	■	■	■	■	■					
(A)-2 應用第一年的新地層下陷程式			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
(A)-3 土壤參數之研究			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
(A)-4 資料蒐集		■	■	■	■	■	■						
(B)-1 水文資料空間延展研究方法之收集整理		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
(B)-2 區域地下水流場邊界條件合理設定方式						■	■	■	■	■			
(B)-3 含水層地下水空間延展模式之改良與驗證		■	■	■	■								
(B)-4 改良與驗證三維地下水流模式							■	■	■	■	■	■	■
(C)-1 單機版本地陷模式與地下水文平衡模式整合系統開發		■	■	■	■								
(C)-2 單機版整合系統使用手冊與維護手冊編寫				■	■	■	■						
(C)-3 網際網路版地陷模式系統開發				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
(C)-4 研究區圖形與屬性資料庫轉換至網際網路版本				■	■	■	■						
(C)-5 訂定地質統計模式與地陷模式整合之系統標準									■	■	■	■	
撰寫報告						■	■					■	■
預定進度累計百分比%		6	12	23	34	46	59	67	75	83	90	95	100

註：(A)：大區域分區分層地層下陷計算研究子題

(B)：區域地下水文平衡最佳推估模式研究子題

(C)：地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題

表 2-1 背景圖資系統之資料分類

總類	分項	目錄名稱	圖徵型態	圖表型態	備考
水文	水位	河川水位	點	時序圖	
	雨量	雨量	點	時序圖	
	流量	流量	點	時序圖	
	蒸發量	蒸發量	點	長條圖	
地下水	水	水位	點	時序圖	
	井	井柱	Logging	點	井柱圖
	抽水量	Pumpage	點	長條圖	
計算成果	入滲	Infiltration	區塊		
	河床入滲	percolation	區塊		
	側流量	Lateral	線條		
河川斷面	河川斷面	河川斷面	線條		
基本圖	鄉鎮界	基本圖	區塊	無	
	河流	基本圖	線條	無	
	湖泊	基本圖	區塊	無	

表 2-2 系統作業流程中的各項圖資轉換功能對應

功能 流程	製作地圖	3D 井柱圖	圖形計算	參數處理	3D 互動介面	地理資訊系統	圖層輸出入	資料輸出入
井柱資料	✓	✓			✓	✓		✓
平面分區			✓			✓	✓	
格網參數				✓		✓	✓	
模式計算				✓				✓
結果輸出					✓	✓	✓	

表 2-3 Control.dat — 格網及模擬時間參數

層數	X 方向網格數	Y 方向網格數	X 方向網格 間距(m)	Y 方向網格 間距(m)
總模擬時刻 (sec)	模擬時間間距 (sec)			

表 2-4 hcghcm.dat — 地質參數

x-grid	y-grid	水力傳導係 數(LayerI)	Lmae constant(G) (LayerI)	Lmae constant (LayerI)

表 2-5 gridph.dat — 水平方向格網點性質

x-grid	y-grid	格網點位置 (GP)	邊界形式 (GPH)
		0(外部點)	0(內部)
		1(內部點)	1(平下)
		3(邊界點)	2(平上)
		2(區間交界點)	3(垂右)
			4(垂左)
			5(左上角)
			6(右上角)
			7(左下角)
			8(右下角)

表 2-6 gridpv.dat – 垂直方向邊界條件

x-grid	y-grid	unConF	GPU	GPB
		0(ConF)	0(Dirichelet)	0(Dirichelet)
		1(unConF)	1(Neumann)	1(Neumann)

表 2-7 source.dat – 抽水量與補注量

x-grid	y-grid	Layer i	Layer ii	Layer iii	Layer iv	Layer v

表 2-8 boundh.dat – 水平邊界條件

X-grid	Y-grid	LayerI	LayerII	LayerIII	LayerIV	
-1	-1					Stop

表 2-9 boundv.dat – 垂直邊界條件

x-grid	y-grid	UB(上邊界)	BB(下邊界)

表 2-10 Depth.dat – 各含水層厚度

x-grid	y-grid	LayerI	LayerII	LayerIII

表 2-11 waterd.dat – 非侷限含水層水深

x-grid	y-grid	LayerI

表 2-12 init.dat – 各含水層初始水位

X-grid	Y-grid	LayerI	LayerII	LayerIII

表 2-13 outp.dat – 需要輸出之網格點

x-grid	y-grid	GWO(水位)	GSO(下陷量)
		0	0
		1(output)	1(output)

表 2-14 out5.dat – 需要輸出之模擬時刻

模擬時刻	GWOT(水位)	GSOT(下陷量)
	0	0
	1(output)	1(output)

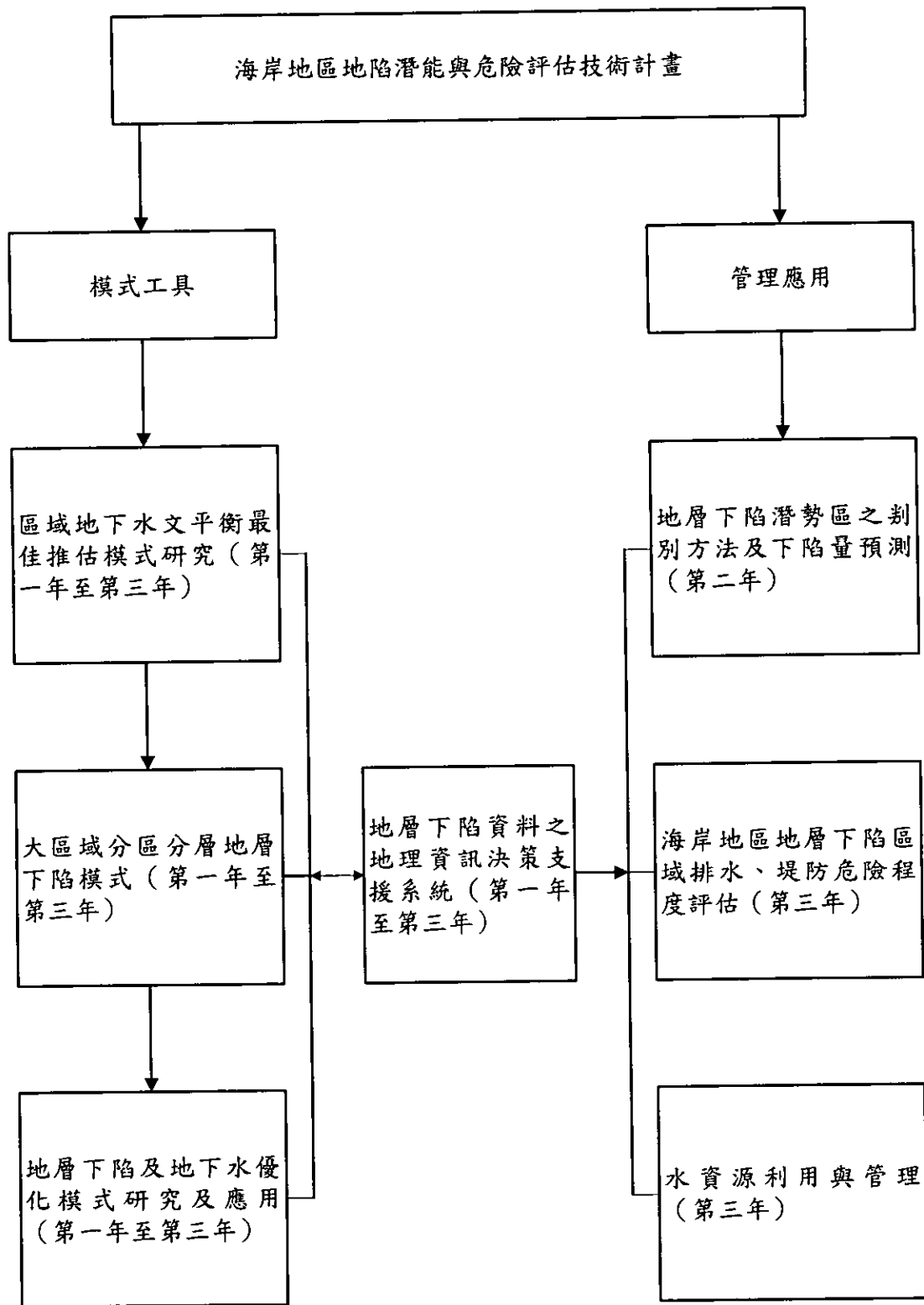
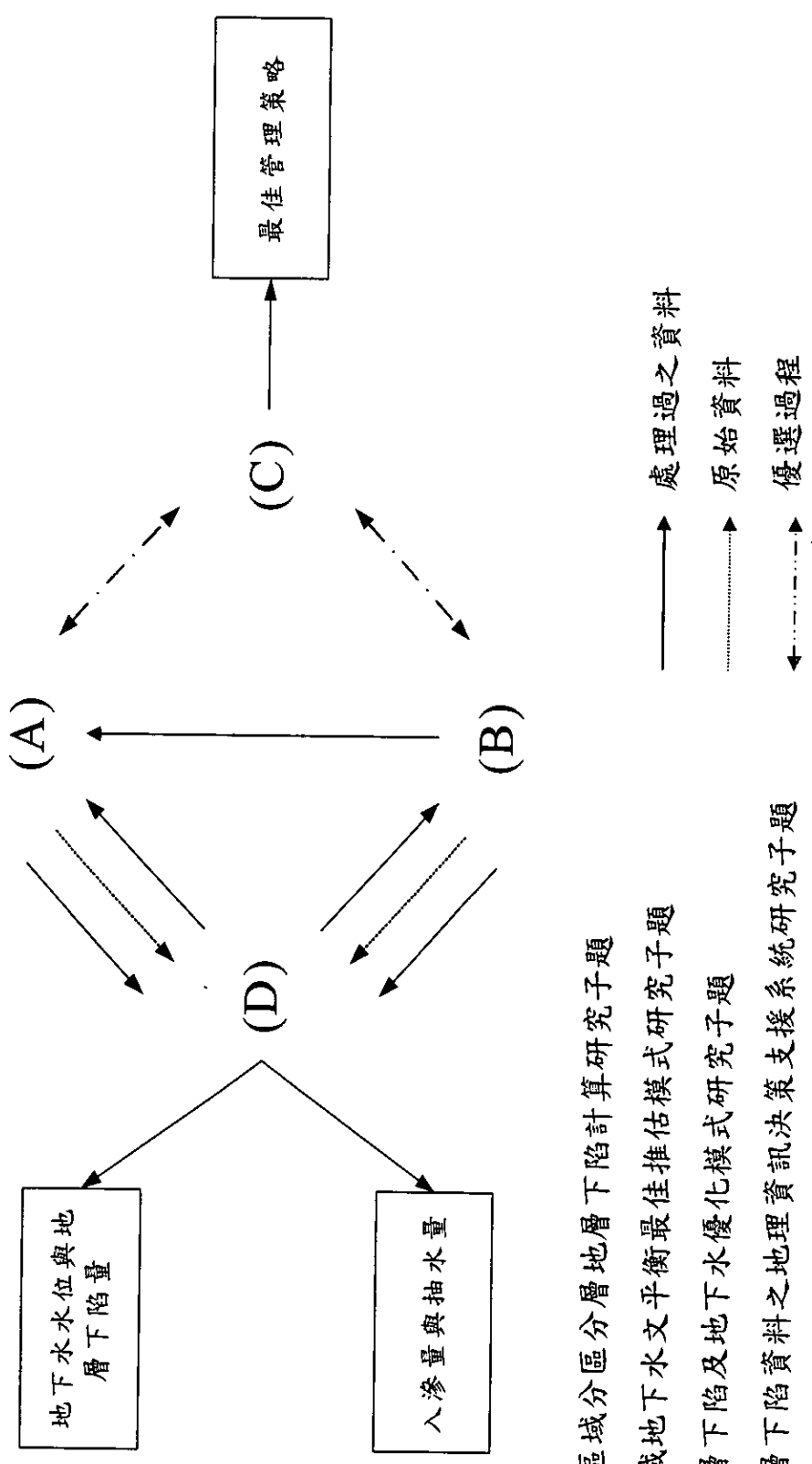


圖 1-1 總體計畫流程圖



- (A)大區域分區分層地層下陷計算研究子題
- (B)區域地下水文平衡最佳推估模式研究子題
- (C)地層下陷及地下水優化模型研究子題
- (D)地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題

圖 1.2 各研究子題相互支援圖

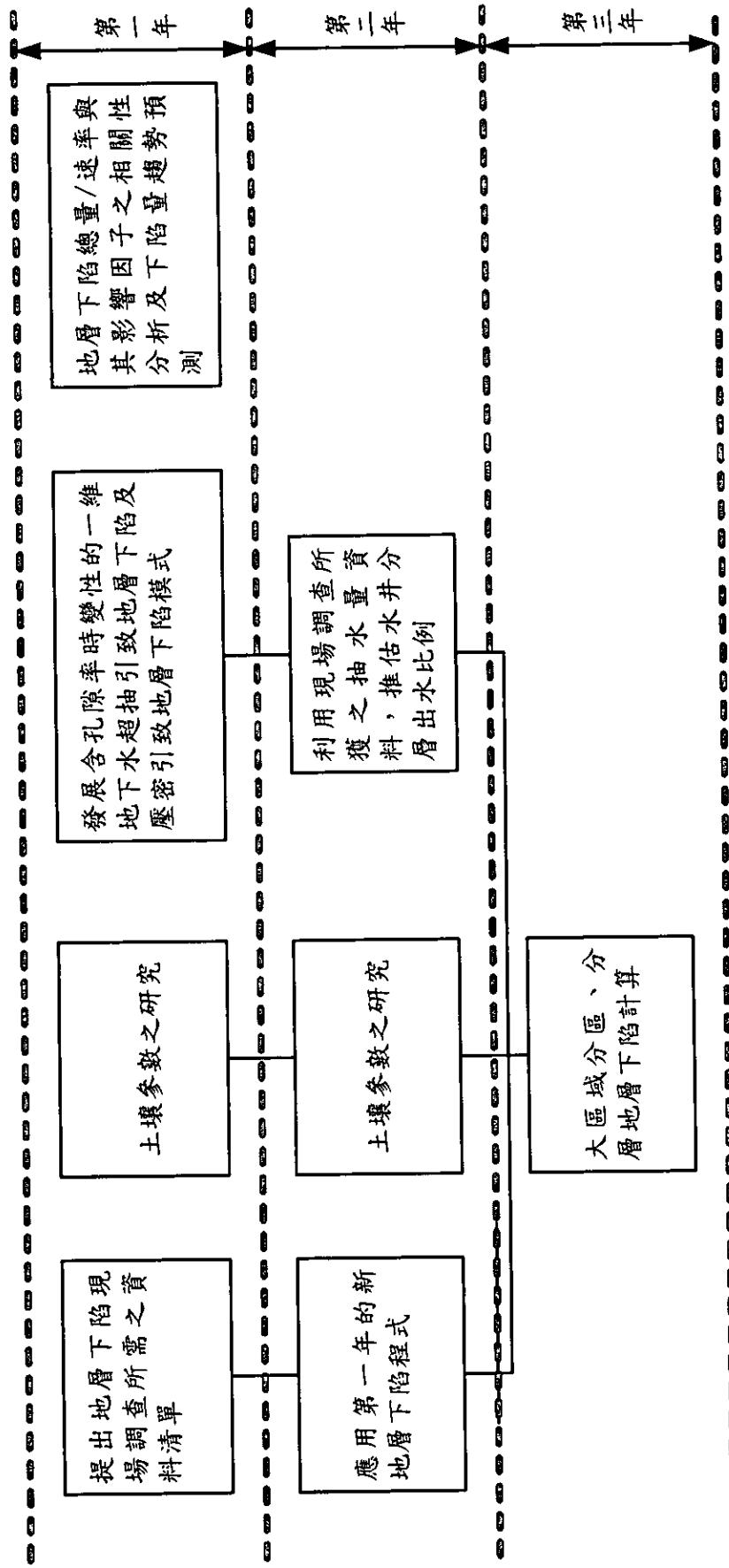


圖 1.3 大區域分區分層地層下陷計算研究子題工作流程

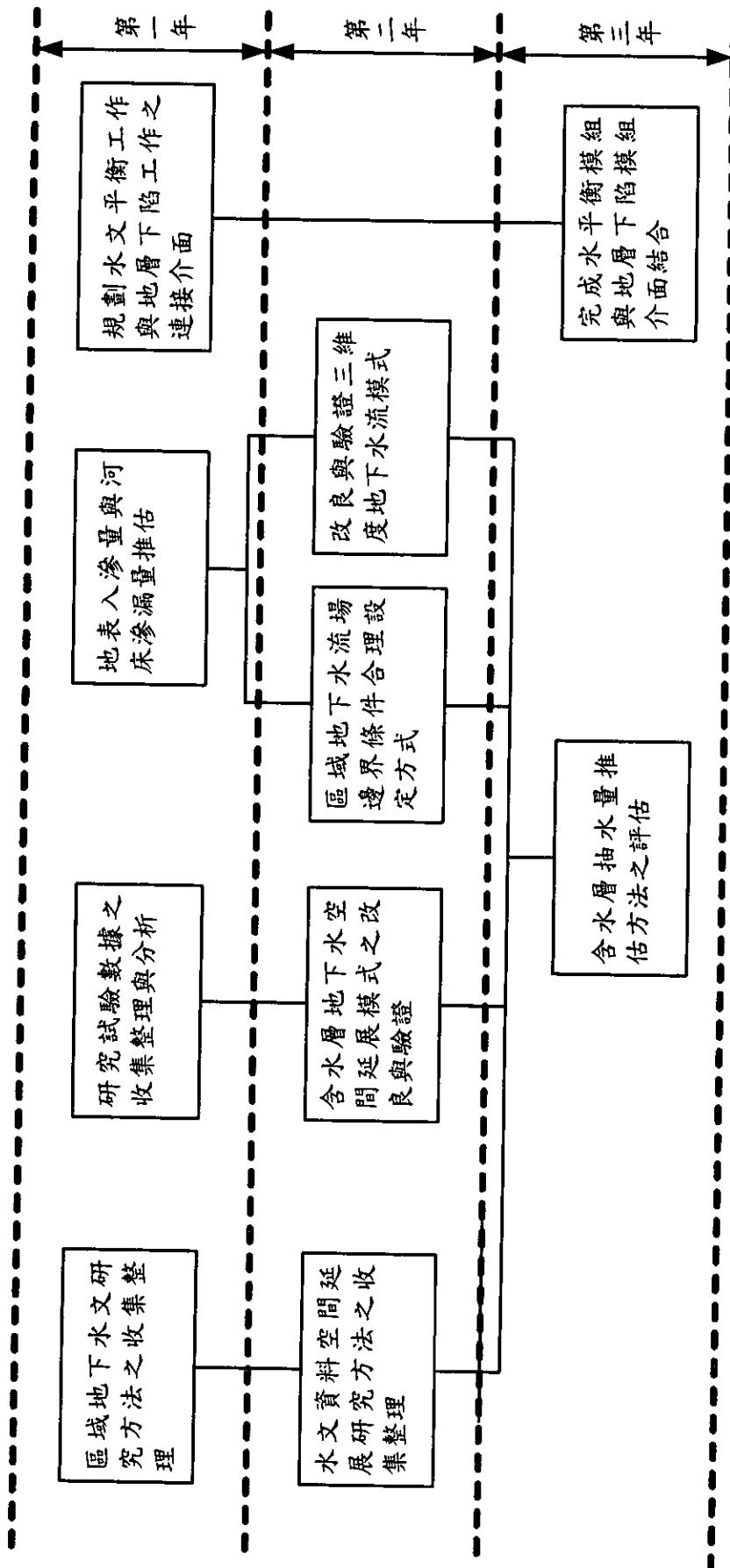


圖 1.4 區域地下水文平衡最佳推估模式研究子題工作流程

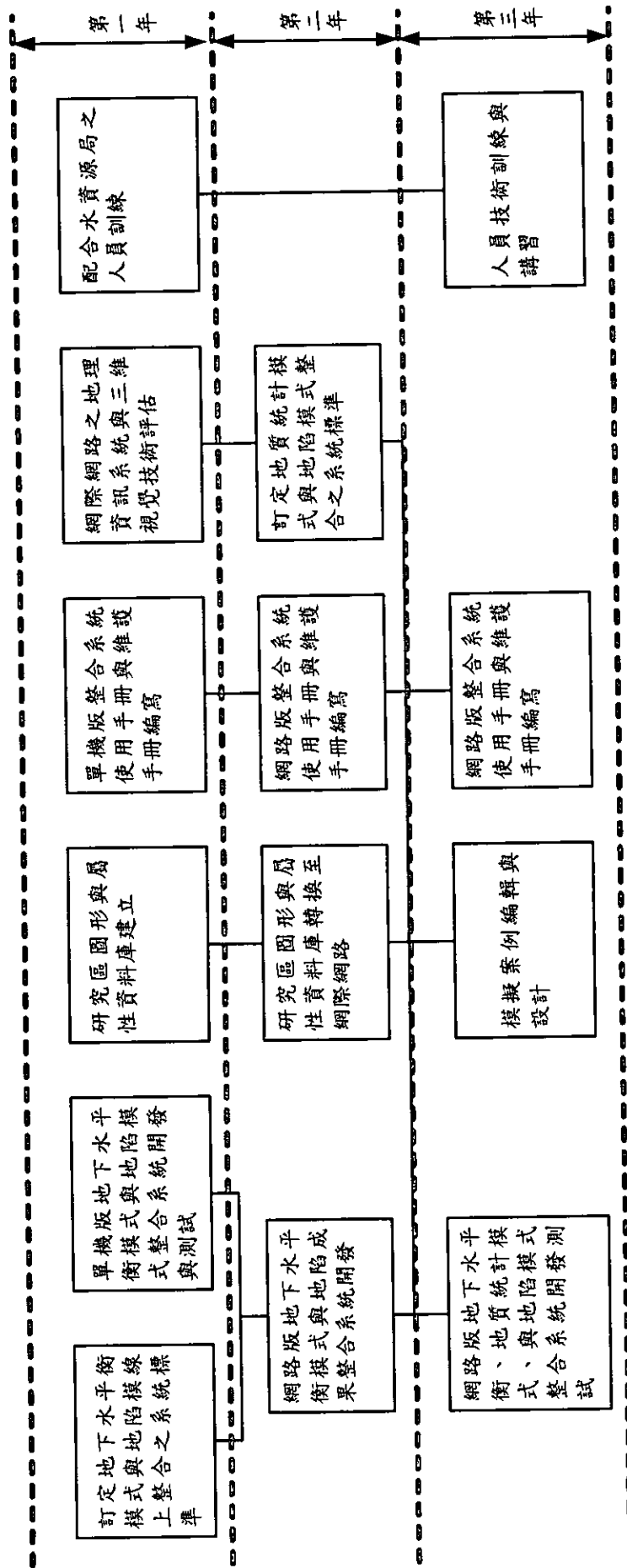


圖 1.5 地層下陷資料之地理資訊決策支援系統研究子題工作流

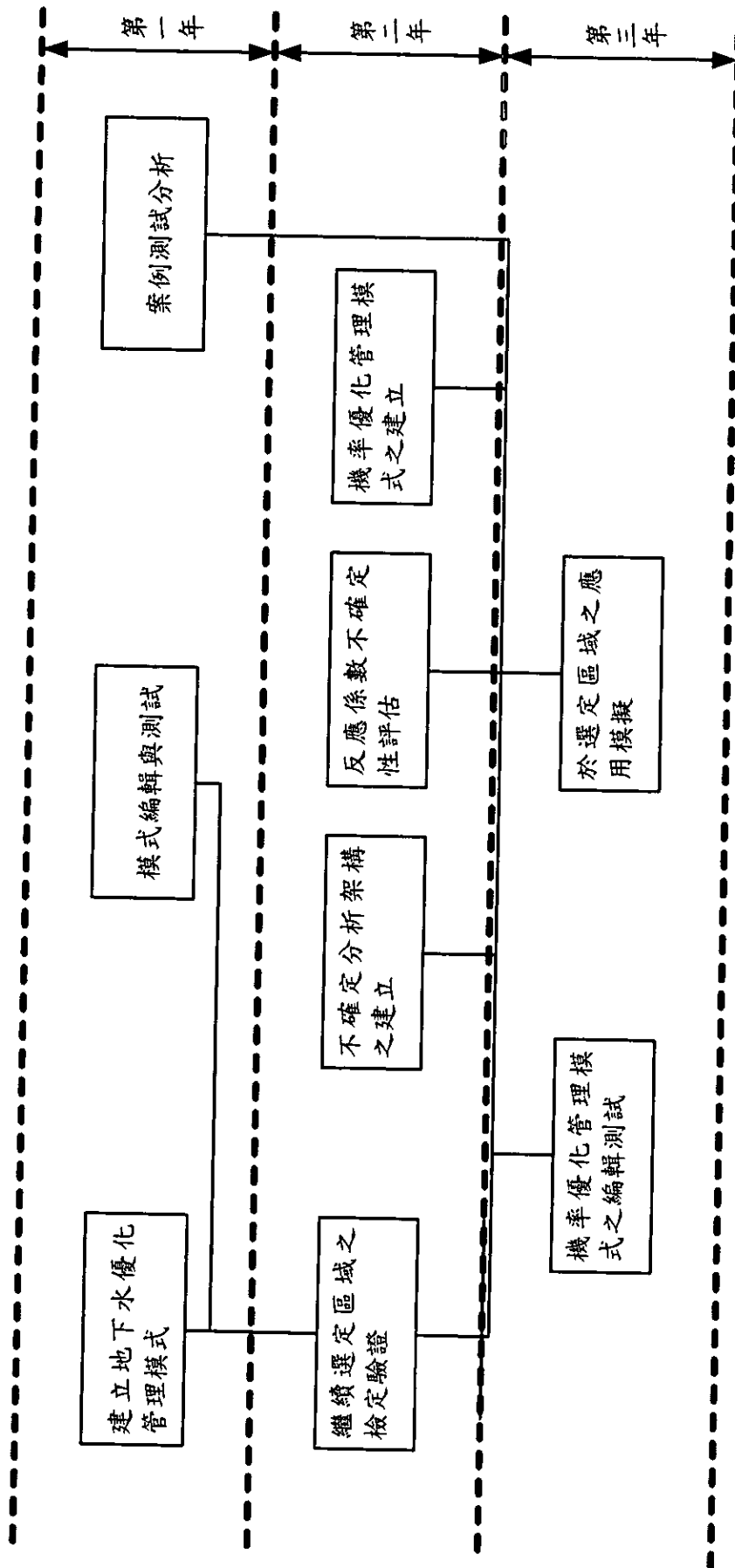


圖 1.6 地層下陷及地下水優化模式研究子題工作流程圖

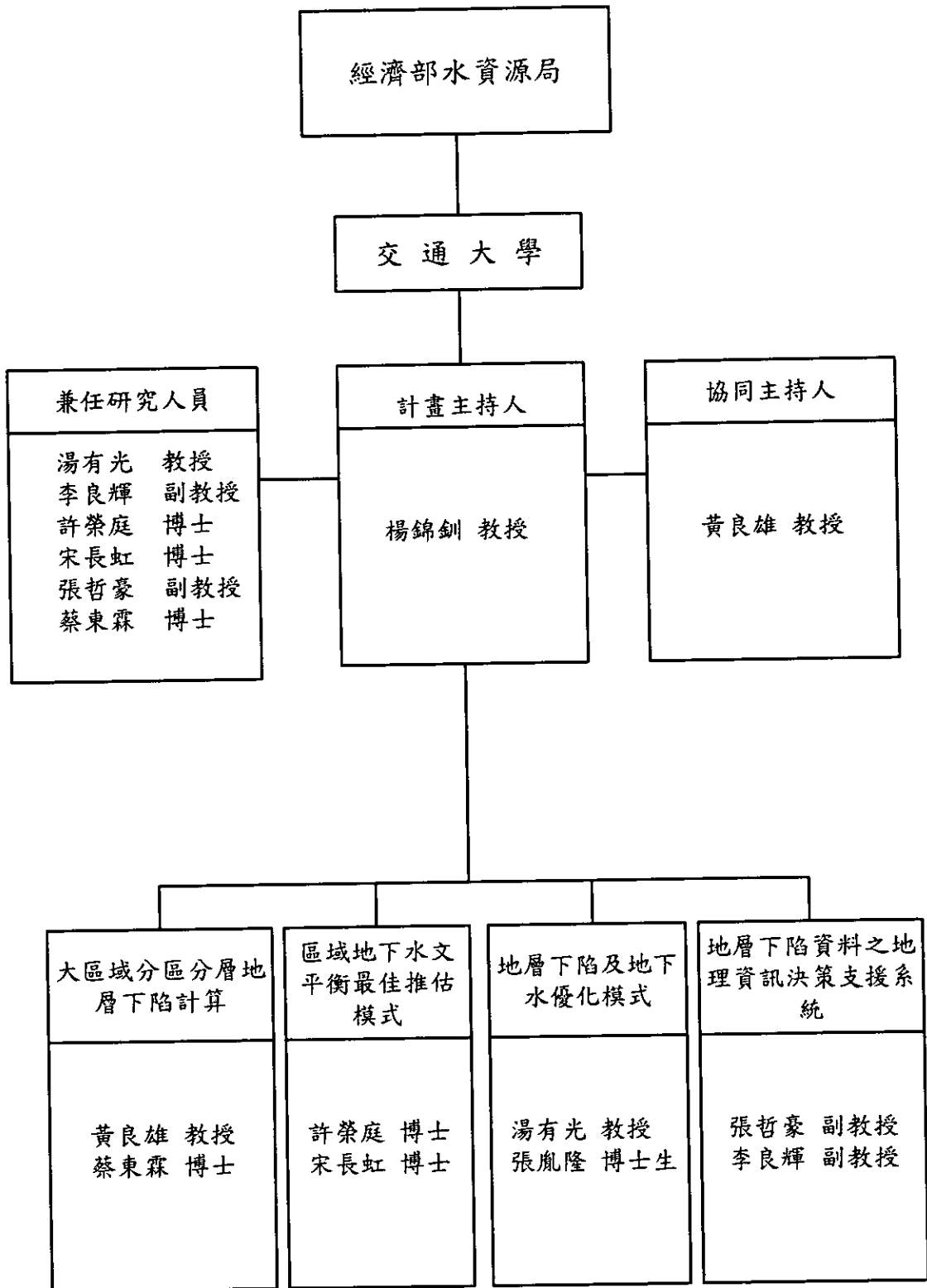


圖 1-7 工作團隊組織

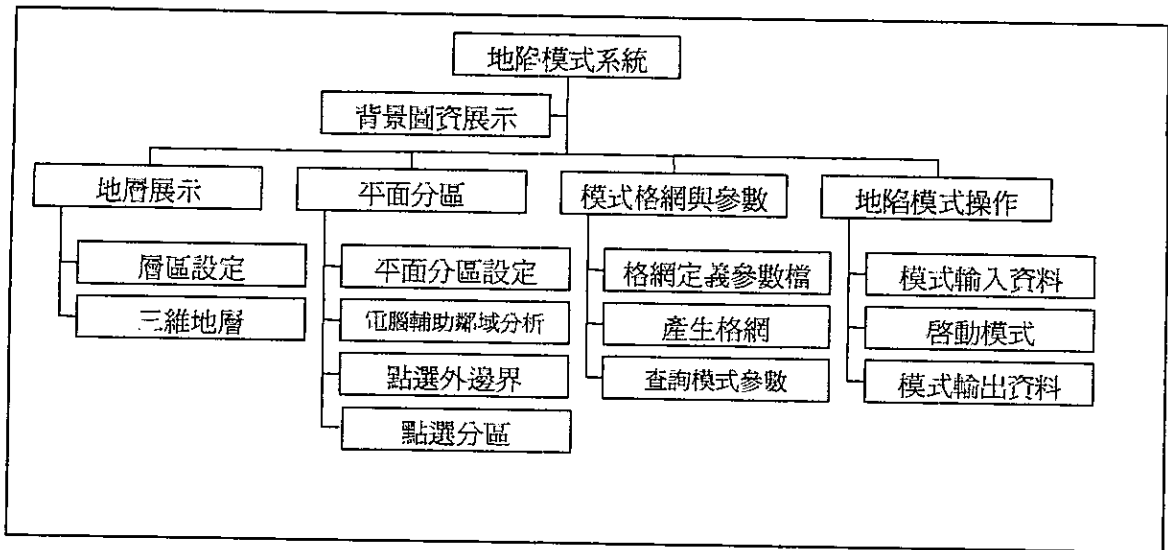


圖 2-1 地陷模擬整合系統系統架構圖

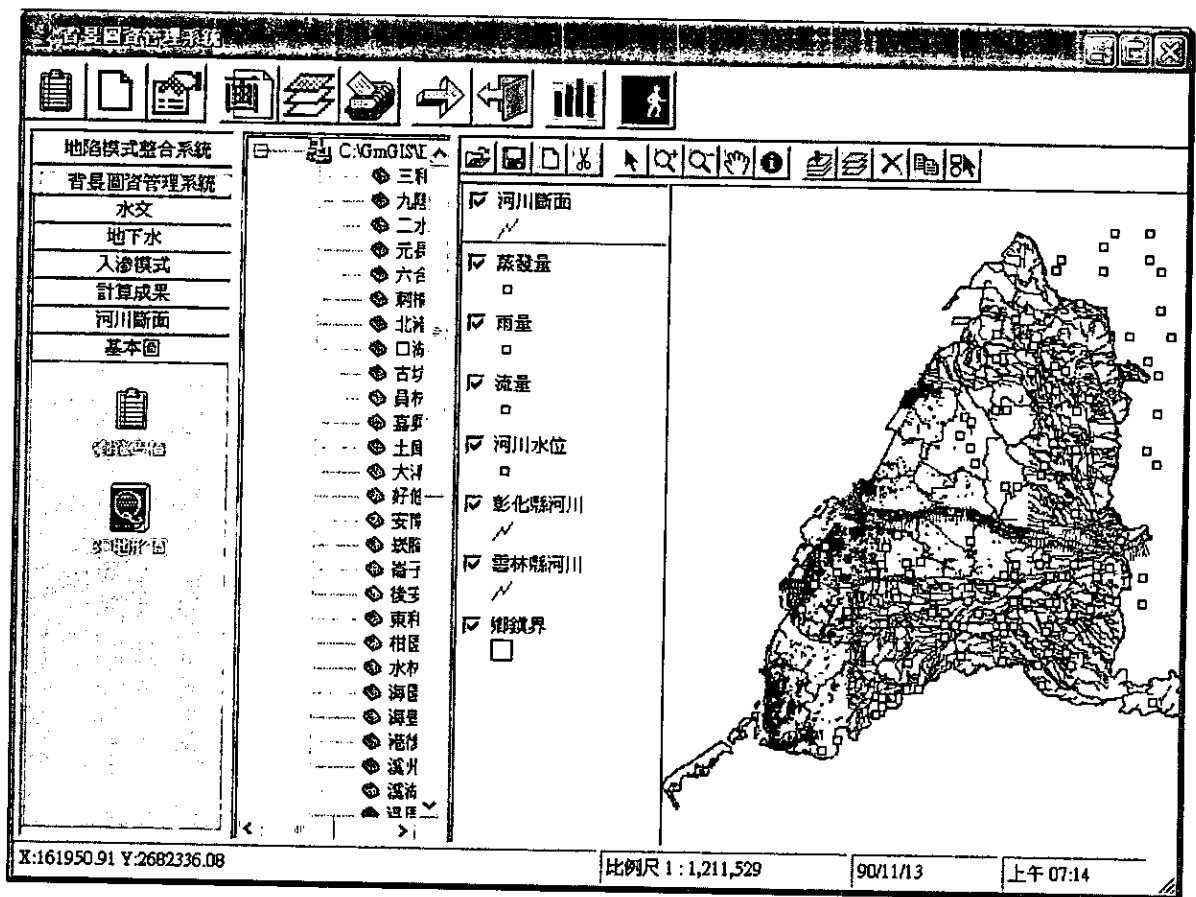


圖 2-2 研究區背景資料

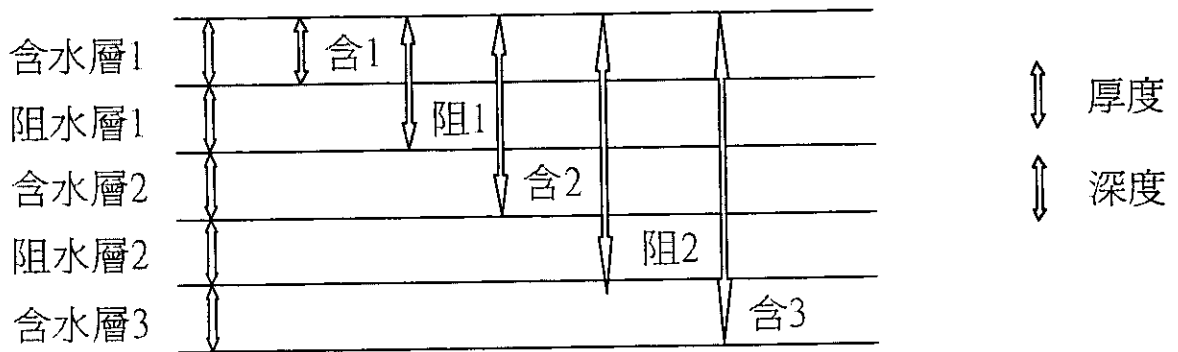
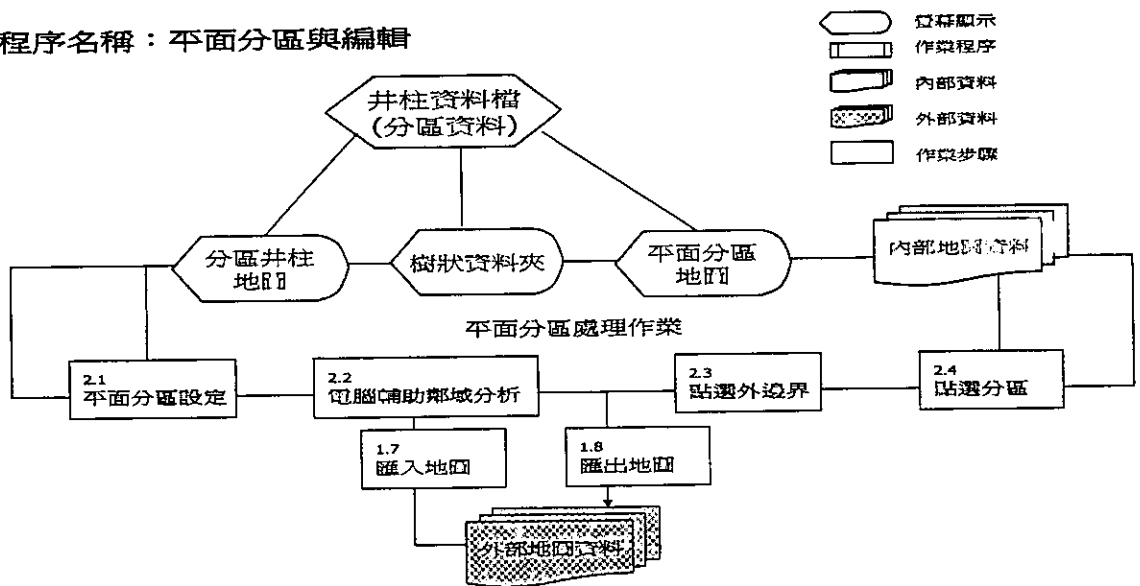


圖 2-3 研究區域分層厚度與深度之定義

程序名稱：平面分區與編輯



程序代號：2.0

圖 2-4 平面分區與編輯子系統功能架構圖

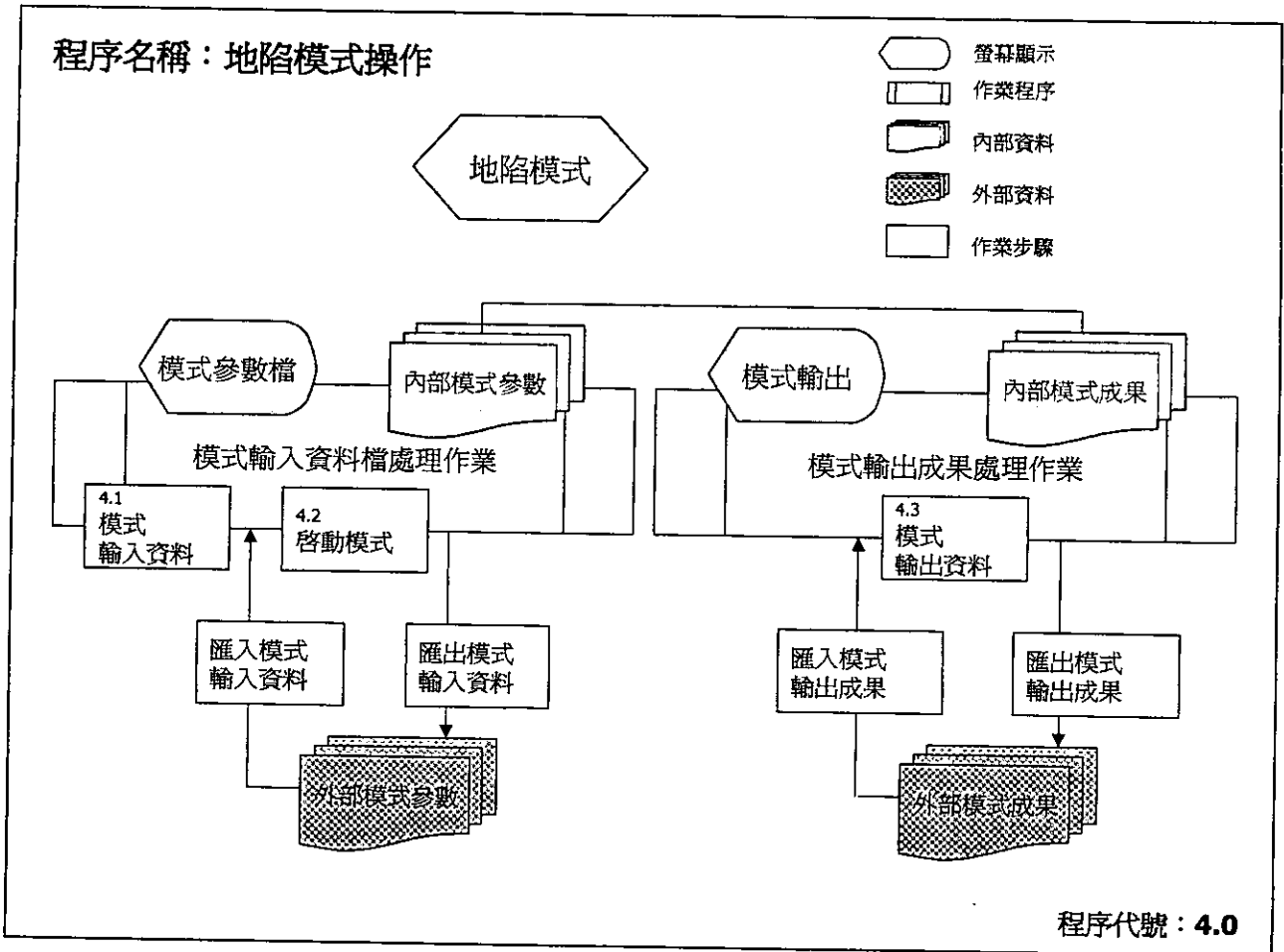


圖 2-5 地陷模式操作子系統功能架構圖

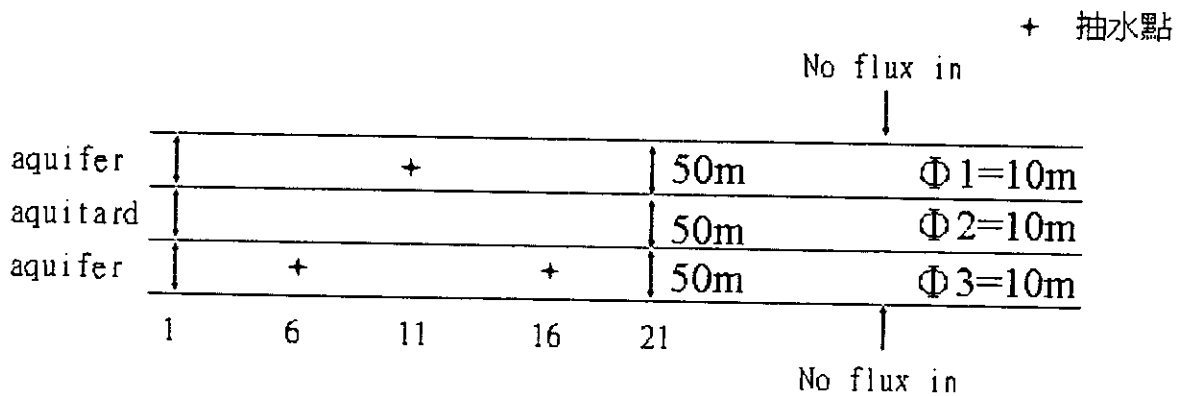


圖 2-6 案例一示意圖

								+ 抽水點
↓	FER	+	FER	+	FER	+		
↓	TAR		TAR		TAR			
↓	FER	+	FER	+	FER			
↓	TAR		FER	+	TAR			
↓	FER	+	FER	+	FER	+		
1	6	11	16	21	26	31		

圖 2-7 案例二示意圖

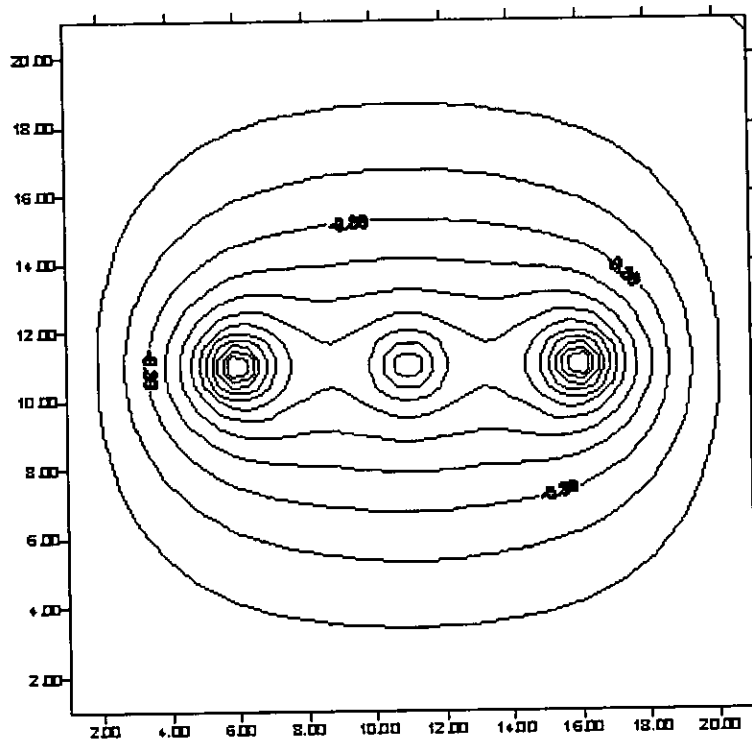


圖 2-8 案例一之沈陷量平面圖

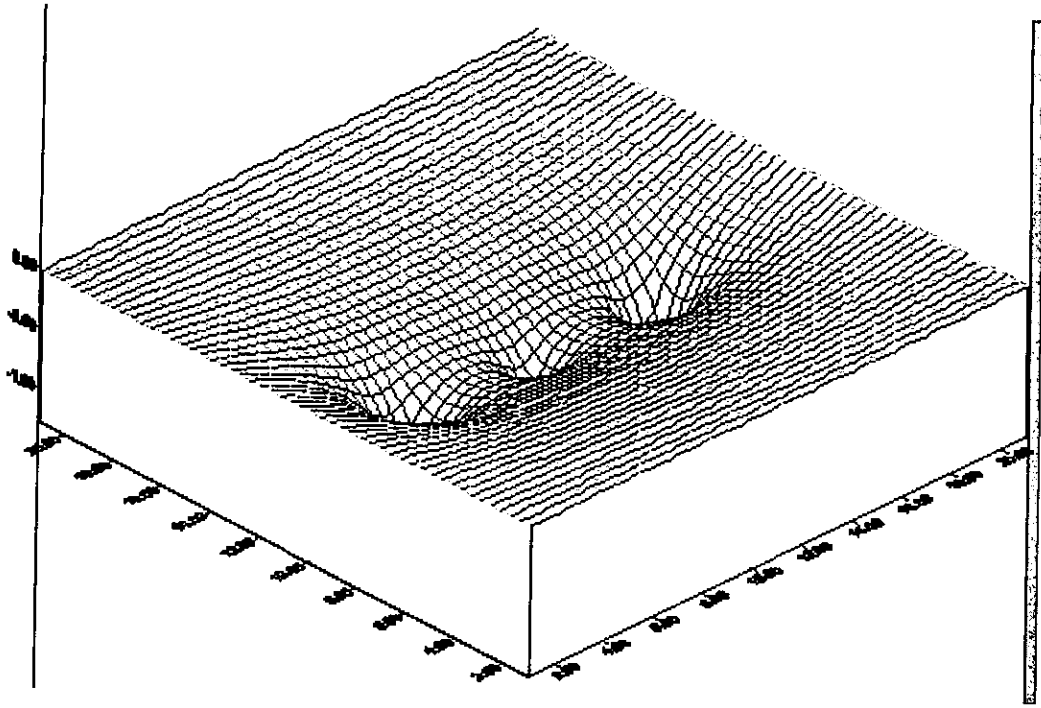


圖 2-9 案例一沈陷量立體圖

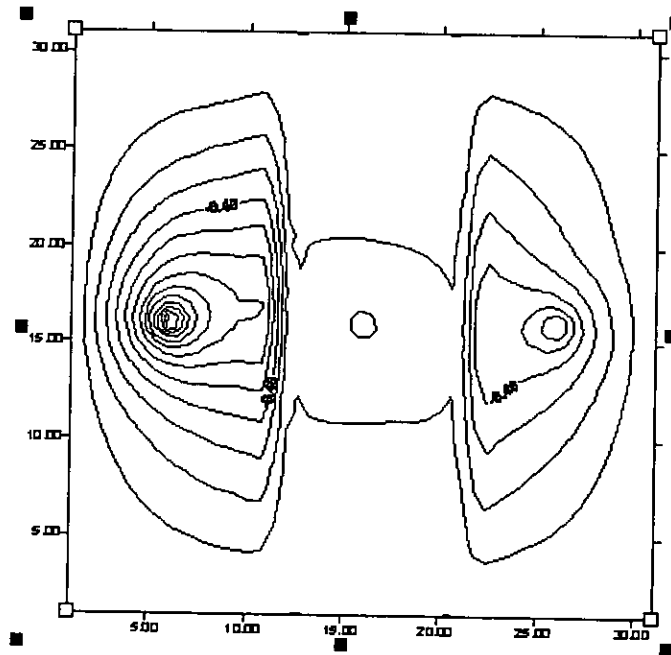


圖 2-10 案例二沈陷量平面圖

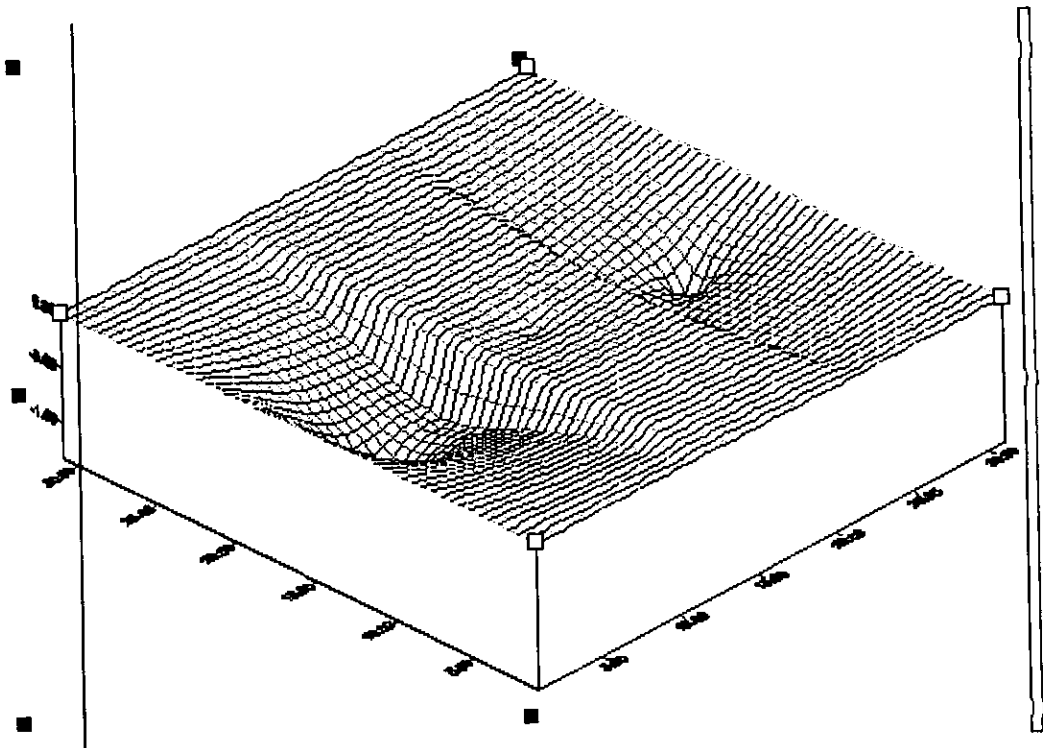


圖 2-11 案例二沈陷量立體圖

第一部分

區域性地下水文平衡最佳推估

模式研究子題

目 錄

目 錄	I-I
表目錄	I-III
圖目錄	I-IX
第一章 前言	I-1
1.1 研究目的.....	I-1
1.2 計畫工作項目與目前工作進度.....	I-2
第二章 往昔研究方法回顧	I-6
2.1 地下水流數值模擬方法.....	I-6
2.2 含水層補注量與抽水量推估方法	I-7
2.3 濁水溪沖積扇地下水文平衡往昔研究成果	I-9
第三章 數值模式與分析流程之建立	I-18
3.1 地質水文數據空間延展模式.....	I-18
3.2 三維多層地下水流數值模式之建立	I-20
3.3 邊界水平側向流量推估方法.....	I-22
第四章 地質水文資料收集與分析	I-25
4.1 地下水抽水井分布.....	I-25
4.2 含水層結構與地質水文參數.....	I-26
4.3 歷年地下水抽水量調查與推估值	I-27
第五章 地表入滲量計算流程修正與應用	I-30
5.1 地表入滲量計算流程之修正.....	I-30
5.2 地表水文時序列條件合理設定.....	I-31

5.3	土地利用形態與土壤分層數據基本網格數據之建置	I-31
5.4	任意點位土壤分層模式之製作與驗證	I-32
5.5	一維垂向地表入滲量修正後計算結果	I-33
5.6	地表入滲量與田間灌溉減水深觀測值之比較	I-34
5.7	地表入滲量推估結果與往昔計算結果之比較	I-34
第六章	空間延展模式之應用與邊界水平側向流量推估	I-36
6.1	水文數據空間延展模式之改良與驗證	I-36
6.2	計算領域含水層水位內插與延展計算	I-39
6.3	邊界水平側向流量推估流程.....	I-42
6.4	邊界水平側向流量推估結果.....	I-43
第七章	三維多層地下水流模式之驗證	I-45
7.1	侷限含水層Theis(1935)解析解驗證	I-45
7.2	阻水層非穩定態水頭垂向變化.....	I-45
7.3	多層侷限含水層解析解驗證.....	I-46
第八章	結 語	I-51
8.1	第一年度工作成果與主要結論.....	I-51
8.2	本年度工作成果與結論.....	I-52
8.3	後續變理工作.....	I-54
參考文獻	I-55

表目錄

表4-1	濁水溪沖積扇地下水位監測井概況與含水層抽水試驗成果.....	I-66
表4-2	濁水溪沖積扇觀測井位置含水層厚度設定值.....	I-71
表4-3	濁水溪沖積扇觀測井位置含水層水力傳導係數設定值.....	I-74
表4-4	濁水溪沖積扇觀測井位置含水層比儲水係數設定值.....	I-77
表4-5	濁水溪沖積扇民國84年度自來水地下水抽水量統計表.....	I-80
表4-6	彰化地區水井普查之抽水量統計表.....	I-81
表4-7	雲林地區水井普查結果之水井年抽水量推估值.....	I-82
表4-8	濁水溪沖積扇民國84年度養殖抽水量推估值(逢甲大學,1997).....	I-83
表4-9	濁水溪沖積扇地下水年抽水量推估結果(葉文工,1998).....	I-85
表4-10	民國84濁水溪沖積扇各區位分層抽水量推算結果(中興公司,1997).....	I-87
表4-11	民國85濁水溪沖積扇各區位分層抽水量推算結果(中興公司,1998).....	I-87
表4-12	彰化雲林地區民國80年至民國85年地下水抽水量統計表.....	87
表4-13	數值模式法與水平衡法估算各區補注及抽水量比較表(中興公司,1998).....	I-88
表4-14	濁水溪沖積扇地下水年抽水量推估值(中興公司,1998).....	I-89
表5-1	濁水溪沖積扇行政分區土地利用百分比(彰化地區).....	I-90
表5-1	(續)濁水溪沖積扇行政區土地利用百分比(雲林地區).....	I-91
表5-2	彰化縣1997-1998年地表入滲量推算結果(鹿港).....	I-92

表5-2	(續1)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(線西).....	I-92
表5-2	(續2)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(伸港).....	I-93
表5-2	(續3)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(彰化).....	I-93
表5-2	(續4)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(和美).....	I-94
表5-2	(續5)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(福興).....	I-94
表5-2	(續6)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(埔鹽).....	I-95
表5-2	(續7)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(秀水).....	I-95
表5-2	(續8)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(花壇).....	I-96
表5-2	(續9)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(大村).....	I-96
表5-2	(續10)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(溪湖).....	I-97
表5-2	(續11)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(永靖).....	I-97
表5-2	(續12)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(田尾).....	I-98
表5-2	(續13)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(埔心).....	I-98
表5-2	(續14)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(芳苑).....	I-99
表5-2	(續15)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(二林).....	I-99
表5-2	(續16)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(大城).....	I-100
表5-2	(續17)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(竹塘).....	I-100
表5-2	(續18)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(碑頭).....	I-101
表5-2	(續19)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(北斗).....	I-101
表5-2	(續20)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(田中).....	I-102
表5-2	(續21)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(社頭).....	I-102
表5-2	(續22)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(二水).....	I-103

表5-2	(續23)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(溪州).....	I-103
表5-2	(續24)彰化縣1998年地表入滲量推算結果(員林).....	I-104
表5-3	雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(麥寮).....	I-105
表5-3	(續1)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(二崙).....	I-105
表5-3	(續2)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(崙背).....	I-106
表5-3	(續3)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(西螺).....	I-106
表5-3	(續4)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(莿桐).....	I-107
表5-3	(續5)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(林內).....	I-107
表5-3	(續6)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(台西).....	I-108
表5-3	(續7)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(斗六).....	I-108
表5-3	(續8)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(土庫).....	I-109
表5-3	(續9)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(虎尾).....	I-109
表5-3	(續10)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(褒忠).....	I-110
表5-3	(續11)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(東勢).....	I-110
表5-3	(續12)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(斗南).....	I-111
表5-3	(續13)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(四湖).....	I-111
表5-3	(續14)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(元長).....	I-112
表5-3	(續15)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(大埤).....	I-112
表5-3	(續16)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(口湖).....	I-113
表5-3	(續17)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(北港).....	I-113
表5-3	(續18)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(水林).....	I-114
表5-3	(續19)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(古坑).....	I-114

表5-4	彰化地區1997年每月地表入滲補注深度推估結果.....	I-115
表5-5	彰化地區1997年每月地表入滲補注總量推估結果.....	I-116
表5-6	雲林地區1997年每月地表入滲補注深度推估結果.....	I-117
表5-7	雲林地區1997年每月地表入滲補注總量推估結果.....	I-118
表5-8	彰化地區1998年每月地表入滲補注深度推估結果.....	I-119
表5-9	彰化地區1998年每月地表入滲補注總量推估結果.....	I-120
表5-10	雲林地區1998年每月地表入滲補注深度推估結果.....	I-121
表5-11	雲林地區1998年每月地表入滲補注總量推估結果.....	I-122
表5-12	彰化地區1998年每月地表入滲補注深度推估結果-第一年度 .I-123	
表5-13	彰化地區1998年每月地表入滲補注總量推估結果-第一年度 .I-124	
表5-14	雲林地區1998年每月地表入滲補注深度推估結果-第一年度 .I-125	
表5-15	雲林地區1998年每月地表入滲補注總量推估結果-第一年度 .I-126	
表5-16	雲林西螺工作站72年一期作實測入滲量-饒平Ⅲ	I-127
表5-16 (續1)	雲林西螺工作站72年一期作實測入滲量-車新社Ⅱ	I-127
表5-16 (續2)	雲林西螺工作站72年一期作實測入滲量-振興Ⅰ	I-127
表5-16 (續3)	雲林西螺工作站72年一期作實測入滲量-義和Ⅱ	I-127
表5-17	雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-荊桐Ⅰ	I-128
表5-17 (續1)	雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-鹿場Ⅲ	I-128
表5-17 (續2)	雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-頂南Ⅱ	I-128
表5-17 (續3)	雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-孩沙里Ⅲ	I-128
表5-17 (續4)	雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-東興Ⅱ	I-129
表5-17 (續5)	雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-甘厝Ⅲ	I-129

表5-18 雲林西螺工作站72年二期作實測入滲量-饒平Ⅲ	I-129
表5-18 (續1)雲林西螺工作站72年二期作實測入滲量-車新社Ⅱ	I-129
表5-18 (續2)雲林西螺工作站72年二期作實測入滲量-振興Ⅰ	I-130
表5-18 (續3)雲林西螺工作站72年二期作實測入滲量-義和Ⅱ	I-130
表5-19 雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-荊桐Ⅰ	I-130
表5-19 (續1)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-鹿場Ⅲ	I-130
表5-19 (續2)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-頂南Ⅱ	I-131
表5-19 (續3)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-孩沙里Ⅲ	I-131
表5-19 (續4)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-東興Ⅱ	I-131
表5-19 (續5)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-甘厝Ⅲ	I-131
表5-20 雲林各工作站72年一期作平均實測入滲量	I-132
表5-21 雲林各工作站72年二期作平均實測入滲量	I-132
表5-22 不同研究方式對於彰化地區地表入滲量推估結果之比較	I-133
表5-23 不同研究方式對於雲林地區地表入滲量推估結果之比較	I-134
表5-24 地表入滲量本研究推估值較大之鄉鎮	I-135
表5-25 地表入滲量本研究推估值較小之鄉鎮	I-135
表6-1 濁水溪沖積扇分層傳輸係數與儲水係數設定值	I-136
表6-2 不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(員 林至田中段)	I-139
表6-2 (續1)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結 果(田中至二水段)	I-140
表6-2 (續2)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結	

果(二水至烏塗段).....	I-141
表6-2 (續3)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(烏塗至石榴段).....	I-142
表6-2 (續4)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(石榴至古坑段).....	I-143
表6-2 (續5)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(古坑至崁腳段).....	I-144
表6-3 考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(員林至田中段).....	I-145
表6-3 (續1)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(田中至二水段).....	I-146
表6-3 (續2)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(二水至烏塗段).....	I-147
表6-3 (續3)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(烏塗至石榴段).....	I-148
表6-3 (續4)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(石榴至古坑段).....	I-149
表6-3 (續5)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果(古坑至崁腳段).....	I-150
表6-4 1998年濁水溪中積平原東側邊界側向流量推估結果(不考慮含水層蓄水體積變化).....	I-151
表6-4 (續)1998年濁水溪中積平原東側邊界側向流量推估結果(不考慮含水層蓄水體積變化).....	I-151

圖目錄

圖3-1	三維多層地下水流模式架構示意圖.....	I-152
圖4-1	濁水溪沖積扇地理分區圖.....	I-153
圖4-2	彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHA分區).....	I-154
圖4-2	(續1)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHB分區).....	I-155
圖4-2	(續2)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHC分區).....	I-156
圖4-2	(續3)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHD分區).....	I-157
圖4-2	(續4)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHE分區).....	I-158
圖4-2	(續5)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHF分區).....	I-159
圖4-3	雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLA分區).....	I-160
圖4-3	(續1)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLB分區).....	I-161
圖4-3	(續2)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLC分區).....	I-162
圖4-3	(續3)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLD分區).....	I-163
圖4-3	(續4)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLE分區).....	I-164
圖4-3	(續5)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLF分區).....	I-165
圖4-3	(續6)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLG分區).....	I-166
圖4-3	(續7)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLH分區).....	I-167
圖4-3	(續8)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLI分區).....	I-168
圖4-4	濁水溪沖積扇地質結構分析剖面線位置.....	I-169
圖4-5	濁水溪沖積扇含水層1地下水位監測井位置.....	I-170
圖4-6	濁水溪沖積扇含水層2-1地下水位監測井位置.....	I-171

圖4-7	濁水溪沖積扇含水層2-2地下水位監測井位置	I-172
圖4-8	濁水溪沖積扇含水層3地下水位監測井位置.....	I-173
圖5-1	地表入滲量實地推算作業流程.....	I-174
圖5-2	濁水溪沖積扇雨量站及蒸發站位置圖.....	I-175
圖5-3	濁水溪沖積扇土地利用形態分布圖	I-176
圖5-4	彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(鹿港).....	I-177
圖5-4	(續1)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (線西).....	I-177
圖5-4	(續2)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (伸港).....	I-178
圖5-4	(續3)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (彰化).....	I-178
圖5-4	(續4)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (和美).....	I-179
圖5-4	(續5)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (福興).....	I-179
圖5-4	(續6)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (埔鹽).....	I-180
圖5-4	(續7)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (秀水).....	I-180
圖5-4	(續8)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (花壇).....	I-181
圖5-4	(續9)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果	

	(大村).....	I-181
圖5-4	(續10)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (溪湖).....	I-182
圖5-4	(續11)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (永靖).....	I-182
圖5-4	(續12)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (田尾).....	I-183
圖5-4	(續13)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (埔心).....	I-183
圖5-4	(續14)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (芳苑).....	I-184
圖5-4	(續15)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (二林).....	I-184
圖5-4	(續16)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (大城).....	I-185
圖5-4	(續17)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (竹塘).....	I-185
圖5-4	(續18)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (埤頭).....	I-186
圖5-4	(續19)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (北斗).....	I-186
圖5-4	(續20)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (田中).....	I-187
圖5-4	(續21)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果	

(社頭).....	I-187
圖5-4 (續22)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (二水).....	I-188
圖5-4 (續23)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (溪州).....	I-188
圖5-4 (續24)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (員林).....	I-189
圖5-5 雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(麥寮).....	I-190
圖5-5 (續1)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (二崙).....	I-190
圖5-5 (續2)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (崙背).....	I-191
圖5-5 (續3)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (西螺).....	I-191
圖5-5 (續4)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (莿桐).....	I-192
圖5-5 (續5)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (林內).....	I-192
圖5-5 (續6)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (台西).....	I-193
圖5-5 (續7)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (斗六).....	I-193
圖5-5 (續8)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (土庫).....	I-194

圖5-5 (續9)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (虎尾).....	I-194
圖5-5 (續10)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (褒忠).....	I-195
圖5-5 (續11)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (東勢).....	I-195
圖5-5 (續12)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (斗南).....	I-196
圖5-5 (續13)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (四湖).....	I-196
圖5-5 (續14)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (元長).....	I-197
圖5-5 (續15)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (大埤).....	I-197
圖5-5 (續16)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (口湖).....	I-198
圖5-5 (續17)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (北港).....	I-198
圖5-5 (續18)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (水林).....	I-199
圖5-5 (續19)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果 (古坑).....	I-199
圖5-6 民國86年濁水溪沖積扇全年地表入滲量推估結果.....	I-200
圖5-7 民國87年濁水溪沖積扇全年地表入滲量推估結果.....	I-201

圖6-1	濁水溪沖積扇地表高程取樣點	I-202
圖6-2	最佳化Kriging空間延展模式計算流程	I-203
圖6-3	最佳化Kriging模式進行地表高程空間內插與延展結果	I-204
圖6-4	直接以最佳化Kriging模式進行空間內插之變異元函數模 擬值	I-205
圖6-5	配合延展趨勢計算之最佳化Kriging空間延展模式計算流程 ..	I-206
圖6-6	實際計算領域座標與貼壁座標系統轉換邊界對應圖	I-206
圖6-7	第一類空間延展迴歸分析之貼壁座標系統	I-207
圖6-8	觀測點位於第一類貼壁座標系統中座標對應值	I-208
圖6-9	第一類貼壁座標系統中觀測變量之空間延展迴歸分析曲線 ...	I-209
圖6-10	經第一類空間延展後，以最佳化Kriging模式進行空間內 插之變異元函數模擬值	I-209
圖6-11	配合第一類空間延展分析後，以最佳化Kriging模式進行 地表高程空間內插與延展結果	I-210
圖6-12	第二類空間延展迴歸分析之貼壁座標系統	I-211
圖6-13	第三類空間延展迴歸分析之貼壁座標系統	I-212
圖6-14	觀測點位於第二類貼壁座標系統中座標對應值	I-213
圖6-15	觀測點位於第三類貼壁座標系統中座標對應值	I-214
圖6-16	第二類貼壁座標系統中觀測變量之空間延展迴歸分析曲線 ...	I-215
圖6-17	第三類貼壁座標系統中觀測變量之空間延展迴歸分析曲線 ...	I-215
圖6-18	經過三次延展趨勢曲線迴歸後之地表高程空間延展趨勢	I-216
圖6-19	合併三次延展趨勢與最佳化Kriging模式後之地表高程	I-217

圖6-20 濁水溪沖積扇地下水含水層2之觀測井位置.....	I-218
圖6-21 第四類空間延展迴歸分析之貼壁座標系統.....	I-219
圖6-22 第五類空間延展迴歸分析之貼壁座標系統.....	I-220
圖6-23 含水層1水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間延 展迴歸分析曲線	I-221
圖6-24 含水層1選擇性水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之 空間延展迴歸分析曲線	I-221
圖6-25 含水層1水位觀測值於第五類貼壁座標系統中之空間延 展迴歸分析曲線	I-222
圖6-26 含水層2水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間延 展迴歸分析曲線	I-222
圖6-27 含水層1選擇性水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之 空間延展迴歸分析曲線	I-223
圖6-28 含水層2水位觀測值於第五類貼壁座標系統中之空間延 展迴歸分析曲線	I-223
圖6-29 含水層3水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間延 展迴歸分析曲線	I-224
圖6-30 含水層3選擇性水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之 空間延展迴歸分析曲線	I-224
圖6-31 含水層3水位觀測值於第五類貼壁座標系統中之空間延 展迴歸分析曲線	I-225
圖6-32 直接以最佳化Kriging內插計算後之變異元函數模擬值	I-226
圖6-33 經第四類空間延展分析後，以最佳化Kriging內插計算後	

之變異元函數模擬值	I-227
圖6-34 經第四類與第五類空間延展分析後，以最佳化Kriging內插計算後之變異元函數模擬值	I-228
圖6-35 不同形態延展趨勢配合Kriging內插模式之水位等值線計算結果(含水層1).....	I-229
圖6-35 (續1)不同形態延展趨勢配合Kriging內插模式之水位等值線計算結果(含水層2).....	I-230
圖6-35 (續2)不同形態延展趨勢配合Kriging內插模式之水位等值線計算結果(含水層3).....	I-231
圖6-36 利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年1月15日).....	I-232
圖6-36 (續1)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年2月15日)	I-233
圖6-36 (續2)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年3月15日)	I-234
圖6-36 (續3)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年4月15日)	I-235
圖6-36 (續4)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年5月15日)	I-236
圖6-36 (續5)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年6月15日)	I-237
圖6-36 (續6)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年7月15日)	I-238
圖6-36 (續7)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層	

水位等值線分布(1998年8月15日)	I-239
圖6-36 (續8)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層	
水位等值線分布(1998年9月15日)	I-240
圖6-36 (續9)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層	
水位等值線分布(1998年10月15日)	I-241
圖6-36 (續10)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水	
層水位等值線分布(1998年11月15日).....	I-242
圖6-36 (續11)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水	
層水位等值線分布(1998年12月15日)	I-243
圖6-37 濁水溪沖積扇扇頂區域邊界側向流量計算節點與格網分布...	I-244
圖6-38 邊界側向流量統計分區位置	I-245
圖6-39 邊界側向流量計算流程圖	I-246
圖6-40 濁水溪沖積扇含水層傳輸係數等值線(含水層1).....	I-247
圖6-40 (續1)濁水溪沖積扇含水層傳輸係數等值線(含水層2)	I-248
圖6-40 (續2)濁水溪沖積扇含水層傳輸係數等值線(含水層3)	I-249
圖6-41 濁水溪沖積扇含水層儲水係數等值線(含水層1).....	I-250
圖6-41 (續1)濁水溪沖積扇含水層儲水係數等值線(含水層2)	I-251
圖6-41 (續2)濁水溪沖積扇含水層儲水係數等值線(含水層3).....	I-252
圖7-1 單層抽水洩降數值解與Theis理論解之比較	I-253
圖7-2 阻水層垂向流量模擬示意圖	I-254
圖7-3 阻水層內部垂向水頭變化歷程	I-255
圖7-4 阻水層邊界垂向流量變化歷程	I-256

圖7-5	三層含水層抽水模擬示意圖	I-257
圖7-6	三層含水層抽水模擬距離抽水井100公尺處水位計算值 與解析值之比較	I-258
圖7-7	三層含水層抽水模擬距離抽水井200公尺處水位計算值 與解析值之比較	I-259
圖7-8	三層含水層抽水模擬距離抽水井500公尺處水位計算值 與解析值之比較	I-260
圖7-9	三層含水層抽水模擬距離抽水井1000公尺處水位計算值 與解析值之比較	I-261
圖7-10	三層含水層抽水模擬距離抽水井2000公尺處水位計算值 與解析值之比較	I-262

第一章 前言

1.1 研究目的

台灣地區發生地層下陷之區域大多分布於西南沿海地區，其造成主要原因乃肇於不當之土地利用及水資源無法有效管制使用所致。由於地下水超抽導致台灣海岸地區相繼發生地層下陷現象，並因地勢沉陷衍生暴潮溢淹與水土資源永久性傷害等問題，使社會付出巨大成本。為有效防患地層下陷之潛在危機，除了持續進行長期性的系統性監測工作以掌握地層下陷動態外，對於嚴重地層下陷區與下陷潛勢區，亟需進一步建立地陷潛能與危險評估技術，以提供執行地層下陷區防護管理措施之參考。經濟部水利署為推動「水資源科技發展方案－水資源防災新科技計畫」，爰辦理「海岸地區地陷潛能與危險評估技術」計畫，除有效掌握地層下陷總量、地層下陷速率與其影響因子之相關性外，並將發展適合本土性之地層下陷預測模式，建立地層下陷潛勢之判別方法及潛能下陷量之預測技術，提供下陷潛勢區防範措施之參考。

本項計畫總目標在於結合區域地下水文平衡量分析模式、大區域分區分層下陷模式以及地下水優化管理模式等分析決策模組，進而發展最佳地層下陷趨勢預測模式，並藉著地理資訊決策支援系統之建立，提供地層下陷潛勢區之判別方法及地層下陷量預測、海岸地區地層下陷區域排水及堤防危險程度評估、水資源利用與管理等技術。過去十年中台灣地區地下水觀測網整體計畫之規劃與執行，基本上已經可以提供地下水抽取量管制方案量化工作所需要之基本數據，而目前國內許多單位研發或採用之地下水分析模式或許可以提供管制方案量化參考數據，然而這些分析工具與應用模式仍缺乏完整之整合系統。由地表入滲、河床滲漏、邊界入流量等水文平衡量之推估，地層下陷量預測乃至資料庫連結應用，仍需仰賴龐大時間與人力的支援。

由於開發區域地下水資源的基本原則取決於地下水文平衡，當地下水開發量超過平衡使用量時，將迫使地下水位下降土壤產生壓密進而發生地層下陷問題。從過去三十年的地層下陷觀測數據，顯示地層下陷後縱使地下水位回復至地層下陷前高程，地表高程亦無法回復至原來水平。因此，就地層下陷問題而言，若能有效控制區域水文平衡，那麼地層下陷問題的處理與決策方式將較為單純。本項工作目的即是配合地層下陷預測與地下水優化管理模式，提供模式運用與決策過程中所需要之區域地下水文平衡量化數據以及必要之分析工具模式。

1.2 計畫工作項目與目前工作進度

本計劃預定工作期程為三年，第一年工作重點在於建置地表補注量推估模式，其中主要包含一維垂向地表入滲量與二維垂向河床滲漏量推估模式。為了實際展示模式應用成果，本計劃選定濁水溪沖積扇為研究區域。茲將第一年度工作成果摘要整理如下：

1. 一維垂向地表入滲量推估模式建立與驗證

地表入滲量推估工作分為一般土地入滲量與河床滲漏量，一般土地入滲量推估模式採用一維垂向飽和與未飽和地下水流方程式，與隱式有限差分法建置推估模式。數值模式建立完成後則分別採用Broadbridge&White(1988)之解析解，與Perroux(1981)現地試驗值進行一維地表入滲模式之驗證。

2. 二維垂向河床滲漏量推估模式建立與驗證

河床滲漏量推估模式採用穩定態二維垂向飽和與未飽和地下水流方程式，並且配合有限元素法與坡地滲流處理技巧建立模式。數值模式驗證過程採用Rulon等人(1985)之坡地滲流試驗結果，同時驗證水位面與滲流量計算結果。

3. 一維垂向地表入滲模式實地應用

一維垂向地表入滲模式實地應用上，選擇彰化地區與雲林地區各鄉鎮地理中心作為計算點位，依據降雨量觀測值、蒸發量觀測值與農田灌溉水量紀錄製作成計算點位之地表水文歷線，以作為計算上之地表邊界條件。入滲量計算上所需要之土壤底部邊界條件則採用濁水溪沖積扇地下水位監測井之觀測結果，利用最佳化kriging空間內插模式得到計算點位置之淺層地下水位變化歷線。地表入滲量推估結果，得到1998年彰化地區全年地表入滲量約12.5億噸，雲林地區為9億噸。

4.二維垂向河床滲漏模式實地應用

二維垂向河床滲漏量推估模式主要應用於濁水溪河床滲漏量之推估工作，計算上所需要之河床水位變化歷線利用濁水溪河道斷面量測值以及彰雲大橋流量觀測值進行渠道迴水演算後而獲得。計算斷面南北兩側之地下水位歷線則利用濁水溪沖積扇地下水位監測結果，配合本計劃之最佳化kriging空間內插模式而得到。河床滲漏量推估結果，統計不同特性之河床滲漏量後得到：西濱大橋至自橋大橋區間每年滲漏量約19萬立方公尺；自強大橋至中沙大橋河段每年滲漏量約-44萬立方公尺，即地下水回流至河川每年約44萬立方公尺；中沙大橋至彰雲大橋之間為主要床滲漏量補注地下水區域，每年河床滲漏量約12053萬立方公尺，即每年補注地下水約1.2億噸。

由於第一年度入滲量推估工作中，並未考慮地表土地利用形態、地表1.5公尺內之土壤特性，以及濁水溪河床高程下降等影響因素，因此第二年(本年度)工作內容中，將承續第一年工作中所發展與建立模式，更新與修正第一年推估工作中輸入數據後，並且修正地表入滲量計算結果。除此之外，本年度將評估與發展地質水文資料最佳之時間與空間延展方法，建立與驗證含水層地下水水文觀測數據空間延展模式，進而推估區

域地下水流場邊界條件最合理設定值，配合三維度地下水流模式的建立與應用，進行最完整之區域地下水文平衡分析工作。綜合本年度工作分項如下：

1. 水文資料空間延展研究方法之收集整理。
2. 區域地下水流場邊界條件合理設定方式。
3. 含水層地下水空間延展模式之改良與驗證。
4. 改良與驗證三維地下水流模式。

為達成區域地下水文平衡最佳推估模式之建置與應用，本年度工作內容中，將由下列途徑完成計畫工作分項。

1. 改良目前普遍被採用之Kriging空間內插模式，其修正方向為加入空間平均趨勢、地形與地層特性之影響。該模式將作為含水層地下水位之空間分布、地質水文觀測數據以及含水層地下水蓄水量等推估工作之分析工具。
2. 利用前項工作中所發展之空間內插模式，配合座標系統轉換推估研究區域邊界水平側向流量。
3. 建立三維多層地下水流模式，於下一年度(第三年度)工作中，將結合地表入滲量推估結果、邊界水平側向流量推估結果以及維多層地下水流模式進行不同含水層之空間水文平衡量推估。

至民國91年5月底為止，本項計劃工作實際完成之工作內容如下：

1. 一維垂向地表入滲量推估模式計算流程修正。
2. 考慮地表土地利用形態與淺層土壤分布後，修正第一年度中彰化地區與雲林地區1998年地表入滲補注量計算結果，並增加1997年全年地表入滲量推估結果。
3. 修正Kriging空間內插延展模式。

4.應用Kriging空間內插延展模式建立研究區域含水層地質水文數據。

5.建立三維多層地下水流模式。

本年度後續持續進行之工作內容如下：

- 1.修正二維垂向河床滲漏量模式，並採用民國88年與民國90年濁水溪河床斷面高程為輸入數據，修正濁水溪河床滲漏量推估結果。
- 2.應用空間內插延展模式製作不同含水層地下水位變化，並且配合地質水文觀測數據與含水層結構，推估含水層儲水量變化。
- 3.結合空間內插延展模式與地下水流連續方程式，推估合理之邊界水平側向流量。
- 4.三維多層地下水流模式之驗證。

第二章 往昔研究方法回顧

2.1 地下水流數值模擬方法

從物理模型之觀點，地下水流數值模式可以區分為完全飽和地下水流數值模式以及部分飽和地下水流數值模式兩類。而完全飽和地下水流數值模式中又有近似解析方法，如Warrick and Lomen (1974)、Gambolati (1976)，與離散化數值方法(如有限元素法、有限差分法、有限解析法等)的主要差別。從含水層分層的水文觀點上，完全飽和地下水流模式又可以區分為滲流模式與多層模式，滲流模式採用實際地質分布作為計算條件，而多層模式則經由人工修正將實際地質條件分層後作為計算條件。由往昔研究文獻中可以看出完全飽和地下水流滲流模式應用上主要有兩種限制：(1)含水層中自由水位面位置必須藉疊代方法重複計算修正，(2)非穩定流況計算上邊界隨著自由水位面而移動。由於這些計算上限制使得完全飽和地下水流滲流模式漸被多層模式，或者滲流與分層混合模式所取代。

部分飽和地下水流模式或飽和與未飽和地下水流模式將數值計算邊界固定在土壤表面或者不透水層邊緣，以改進飽和地下水流模式中自由水位面變化之缺點。在此種考慮下，自由水位面將被隱藏於計算領域中。然而自由水位面的變動影響土壤含水量，進而使土壤物理性質改變；亦即說，由於自由水位面之變動，使得部份區域土壤由飽和狀態變成未飽和狀態，或者由未飽和狀態變成飽和狀態。以Freeze(1971a,b)之研究內容而言，其將飽和及未飽和地下水流模式多方面應用於坡地滲流、三維多層透水層井流計算和三維土壩滲流計算上，此類應用即是改進了完全飽和地下水流模式的主要缺點。儘管如此，飽和及未飽和地下水流模式在計算上仍有兩種限制：

- 1.必需處理複雜的非線性疊代問題。
- 2.必需給予未飽和土壤水分函數持水曲線數據。

地下水流數值模之驗證過程通常可以利用解析方法與實驗量測結果來進行。其中解析方法通常僅能針對某些特定計算條件，列如當土壤水分函數利用特定函數加以描述後，可以在一維非穩定流況或三維軸對稱穩定流況配合特定邊界條件下，應用解析方法得到計算領域內水位或張力水頭分布，Brandt et al.(1971)、Narasimhan et al.(1978)和Mckeon and Chu(1987)等人即是利用解析方法驗證數值模式計算結果。至於垂直立面二維流況或三維非穩定流條件，目前仍無法由解析方法求解。在無法得到解析解情況下，一般均借助於實驗的觀測結果來檢測及驗證模式的準確性，如 Niebber and Walter(1981)，Luthin et al.(1975)，Tang and Skaggs (1977)，Niebber and Walter(1981)和 Rulon et al.(1985)等。

2.2 含水層補注量與抽水量推估方法

民國88年前經濟部水資源局委託中國農業工程學會，完成了濁水溪沖積扇平原往昔研究報告與學術論文之收集與綜整，對濁水溪沖積扇地下水環境之研究方法與研究成果均做了相當完整之說明。一般而言，地下水抽水量受到用水型態、季節性水源豐枯狀態以及用水水質要求而有所不同。亦即說，地下水抽水量不僅受人為影響極大，同時亦深深受到自然環境影響，而以往受到調查技術與人力不足之限制，因此無法得知實際之地下水抽水量，以至於無法有效管理地下水資源，造成地下水資源使用不當，並且衍生許多地下水土資源保育問題。

依據經濟部水資源局彙編之「台灣地區地下水—濁水溪沖積扇篇」(經濟部水資源局,1999)，國內往昔進行地下水補注量與抽水量之方法主要可以分為三類：現場調查法、水收支平衡法與地下水數值模式反向推估法。茲將此三種方法之特性與優劣點說明如下。

1. 現場調查法

現場調查法主要係依據調查或訪問方式取得抽水井的資料，在依據抽水井資料計算抽水量，此即是估算地下水抽水量最直接方式。理論上，現場調查法所推算結果應是最符合實際地下水使用量，然而以濁水溪沖積扇地區而言，該地區地下水水井數(包括無水權登記者)總數估計約在十萬口上下，且地下水井開鑿年代、井深、井徑、濾水管位置、使用電力用量、抽水時間等資料，因為違法水井普查不易、資料登載不全或資料隨時間變異性大，以致無法取得詳細正確資料，因此調查結果之可信度難免令人質疑，然而在缺乏儀器以及先進技術支援下，以人力補足技術上之不足不失為一種可行方法。

2. 水收支平衡法

應用水收支平衡法推估抽水量，主要考慮含水層內地下水流動量、水體積變化量以及自然或人工補注量，此三項水文量可以表示如下式(水利處，1997a)。

$$D = R + (GI - GO) - \Delta S / \Delta t \quad (1)$$

其中， D 是地下水抽水量， R 是地下水補注量， GI 是邊界流入量， GO 是邊界流出量， $\Delta S / \Delta t$ 是含水層內地下水體積年變動量。

3. 地下水數值模式反向推估法

地下水抽水量直接反應於地下水位變化上，尚多寡對模式模擬結果之水位分佈的影響相當靈敏，而抽水量的時空與數量分佈則與地面上人類之活動有直接關係，在複雜人類活動條件下，對模式中抽水量的輸入值做合理的推估係一必要的重大假設。若應用模

式進行抽水量推估前，使用長期正確的地下水水位資料先進行校正(Calibration)與驗證(Verification)，則所求得推估值具較高可信度。同理，因為模式在任何情形下總是會計算出一組結果，若使用者不是非常有經驗，容易作出錯誤的判斷，使用飽和地下水模式法逆推估計地下水的錯誤風險較高。

2.3 濁水溪沖積扇地下水文平衡往昔研究成果

濁水溪沖積扇地下水補注量與抽水量之推估，早期調查方法大部份採用地下水位坡降法與水文收支平衡法，即依據地下水位變化以及地表水文觀測量(降與、灌溉、蒸發量等)推算地下水補注量與抽水量。這方面研究成果有：

1. 地下水勘測隊

在「大濁水沖積扇平原地下水勘察報告(1957)」中，利用達西公式計算出濁水溪沖積扇深層地下水自然補注量每年約為9.18億噸。

2. 地下水工程處

於「大濁水沖積扇地區地下水源複勘報告(1963)」中，推算地表下60至80m之拘限含水層最低年補注量為2.96億噸。另外，在「濁水溪南岸雲林地區地下水源調查報告(1973)」，推算濁水溪沖積扇南岸雲林地區地下水的年補注量約為4.54億噸，而年抽水量約4.37億噸，兩者約成平衡狀態。

3. 嘉義農專

嘉義農專(1989)調查雲林地區水井約有73,815口，年總抽水量約為9.86億立方公尺，其中合法井佔9,351口，非法井佔111,339口，合法井與非法井數量之比約為1:12。另外，民國72年調查結果(嘉義農專，1991)得到濁水溪沖積扇地下水年補注量，於彰化縣部份為6.86億噸，雲林縣部份為4.54億噸，兩者合計為11.4億噸。水井與

抽水量調查結果得到彰化縣約有46,889口水井，年總抽水量約為12.85億立方公尺。另外，依據彰化縣及雲林縣民國74年至79年各鄉鎮之水井口數調查結果，估計年總抽水量約為21.02億噸。

民國80年以後計算機運算能力大幅度地提高，於此相同時期國外已經有許多研究成果被提出，如三維飽和未飽和水流模式、地質水文參數最佳推估模式、抽水量反向推估模式等等。而國內的相關研究工作直到台灣地區地下水監測井網計畫進入規劃與運作後，始有較多的研究成果被提出。表2-1與表2-2分別整理出民國85年以後濁水溪沖積扇地下水相關研究中，對於濁水溪沖積扇地下水補注量與抽水量推估結果，這些研究成果推算濁水溪沖積扇全區域地下水年補注量約介於8至11億噸之間，每年地下水抽水量則介於7至21億噸之間，平均每年約13.26億噸。於抽水量推估工作上，經濟部水資會(1995)估算雲林地區地下水年總抽水量約為7.57億噸，水利處(1997a)以水平衡收支法推估濁水溪沖積扇民國84年全區地下水抽水量約在14.1至8.6億噸之間。茲將本計畫所收集之相關研究文獻內容扼要說明如下。

1. 李清水(1994)

李清水(1994)使用2DFEWA模擬濁水溪沖積扇之地下水流，並且以試誤法反向推估地下水抽水量，得到年總抽水量約為10.47億噸。

2. 張誠信(1996)

採用美國賓州大學葉高次教授所發展之三維有限元素法地下水流模式3DFEWA(Yen, 1993)模擬雲林地區三維地下水流，該論文主要依據地質鑽探結果，將雲林中部與西部地區，區分為深層之侷限及淺層之非侷限含水層，東部區域則完全為非侷限含水層，經由參數檢定與驗證後，進行地下水邊界補注量、抽水量、流速、流向及地下水年代之模擬推估。張誠信(1996)所採用之邊界條件

中，係假設西側對於侷限、非侷限含水層之邊界為海岸線、南北兩側以濁水溪、北港溪及模擬區域底部，定為已知水頭邊界，而在東側斗六丘陵山區附近邊界，定為已知流量邊界，模擬區域內之自由水面設為自由水面邊界，其抽水量數據則以試誤法調整而得到。其模擬結果顯示雲林地區每年邊界補注量約為4.9億噸，深、淺層之抽水量約為6.6億噸。

3.張良正和龔誠山(1996)

該文獻乃參照經濟部水資會屏東平原地下水數值模式之應用分析報告(1995)，處理入滲量時，分為水稻田灌溉入滲與旱地降雨入滲。水稻田生長期灌溉入滲量，乃蒐集彰化、雲林及嘉義三縣各鄉鎮農作物種植面積之統計資料，並將水田分為單期與雙期作田，其生長期分別為110天及200天，且估計自由層與受壓層水稻田之入滲率分別為15mm/day及5mm/day，以水田面積、生長期及入滲率推求各鄉鎮之灌溉入滲量。至於旱地入滲量與雨量大小及降雨入滲補注係數有關，當水稻田於非灌溉時期，其入滲量與降雨有關，所以此時期之水稻田當作旱地處理。根據土壤性質與年平均雨量給定自由層與受壓層之降雨入滲補注係數分別為0.15及0.1，由雨量資料、旱地面積及降雨入滲補注係數推估各鄉鎮之旱地補注量。最後求得彰化總入滲量約4.85億噸，雲林約4.70億噸，嘉義約1.47億噸，合計約11.02億噸，而由八卦山脈、斗六丘陵以東至車籠埔斷層等補注區的入滲量約為1.71億噸，所以推估得濁水溪沖積扇之年補注約為12.73億噸。

4.姜儷安、歐陽湘(1996)

該文獻將地下水的補注來源分為三類：包括降雨剩餘水入滲量、地下水自然補注與農業灌溉滲漏量等。其中降雨剩餘水入滲則考慮降雨量、蒸發量與土壤保水力三者之間關係，計算出降雨入滲

至地下之水量，再乘以行政區域面積，以獲得入滲量。而地下水自然補注上，必須估計補注區之水力坡降、導水係數與流幅寬度等，以達西公式來估算出補注量。至於農業灌溉滲漏量，則採用0.9mm/day作為農地的平均滲漏率，再乘以灌溉面積而得到灌溉滲漏量。其推估結果顯示雲林地區每年地下水補注量約為4.66億噸。)於抽水量推算上，依據雲林水利會民國77年至民國79年之統計資料，得到雲林地區年平均農業地下水抽水量約為2.27億噸，並推估民國84年雲林地區年平均農業地下水抽水量約為5.19億噸。

5. 劉聰桂(1996)

採用測定水中溶解無機碳之碳十四年代，以及水中的氡濃度，來探討濁水溪沖積扇的長程平均補注量。其由核爆氡之示蹤與碳十四年代，估算過去四十年間進入扇頂區之平均年補注量約為5.5億噸，而進入扇央、扇尾之自由含水層平均年補注量約為3.5億噸，所以整個進入濁水溪沖積扇的平均年補注量共計9.0億噸。

6. 中興工程公司(1996)

分別採用現場調查法、地下水收支平衡法與地表水收支平衡法推估了濁水溪中游地區地下水補注量。由現場調查法得到濁水溪中游地區地下水年補注量等於台地入滲量、平地入滲量、河流滲漏量與地下水側向流入量總和，此數量合計約1.61億噸。由地下水收支平衡法得到濁水溪中游地區地下水年補注量等於地下水向下游流出量與地下水開採量總和，合約1.35億噸。由地表水收支平衡法得到地下水年補注量等於降雨量與河川流入量總和，扣除河川流出量與蒸發散量得到1.41億噸。

7. 逢甲大學(1997)

逢甲大學(1997)與農委會合作，建立行政機關、學術團體、研究機

構、民間單位等現有的水資源、水文地質、土地利用及使用電量等資料庫系統，再利用資料庫各項資料內容交叉推算各目的事業或不同土地使用型態地下水抽用量，此推算結果得到濁水溪沖積扇養殖業年總抽水量介於7.1至8.9億立方公尺之間，自來水抽水量約為1.6億立方公尺，此一估算值與往昔之推算值比較，似乎高估地下水抽水量。

8. 潘國樑(1997)

該報告中估算地下水之入滲補注來源主要有降雨入滲、灌溉入滲及河川補注等。其中降雨入滲之估算，採用水平衡的觀點，所考慮之因素包括降雨量、蒸發量、降雨強度(降雨時數)及地表土壤滲透特性等。當降雨入滲強度大於地表最大可能入滲率時，雨水即會造成地表逕流而流失，所以取兩者中較小者作為可能發生之降雨入滲值，再乘以降雨時數即可求得降雨入滲量。而灌溉入滲則以張良正(1995)之推估方法，依據雲林各鄉鎮農作物種植面積之統計資料，並且假設兩期水田、單期水田及早田之灌溉水深分別為2500、1500及500公厘，其損失(入滲)率分別為10%、15%及30%，分別以此求得各鄉鎮之灌溉入滲量。至於河川補注量部份，沿用農工中心「海水入侵數學模式之建立」(1990)曾估算過濁水溪與北港溪之年入滲補注量，並根據濁水溪南北岸水文地質特性予以分配，以求得雲林地區之河川補注量。綜合上面三項所估算之入滲補注量，即可獲得雲林地區歷年之平均補注量約為5.32億噸。

9. 林再興(1998)

該報告根據沈振榮等(1992)所提出之入滲係數，假設降水量中有78%會因植被的遮蔽、截流或蒸發散等阻礙入滲因素，則視剩下的22%為地區淺層土壤之補注量。在只考慮降雨、蒸發散及土壤性質等三項因素，而不考慮河川與側向補注條件下，利用土壤入滲評

估方法論來進行推估。求得彰化地區地表入滲量約為4.02億噸，若另外以濁水溪下游彰雲大橋以西至自強大橋間河流滲漏補注值之1/2(約3.0億噸)，視為彰化地區河川滲漏補注地下水量，則濁水溪沖積扇彰化部分地下水補注量約為7.02億噸。另外，林再興等人(1998)以MODFLOW模擬彰化地區地下水流，並且以試誤法反向推估彰化地區1995及1996年總抽水量每年約11億噸。

10. 涂根源(1998)

採用一維垂向未飽和水流模式，結合土地利用分布推估濁水溪沖積扇扇頂244平方公里面積內之地下水補注量，該研究內容依照土地利用電子檔資料，將濁水溪沖積扇扇頂地區分為透水面積、不透水面積、靜止水體以及河道與渠道等土地利用型態，並且利用一維未飽和層長期水文模式，以及水文氣象條件、降雨量、灌溉量作為未飽和土層的邊界條件，推估民國八十四年與八十五年逐月之地下水入滲補注量。涂根源(1998)之研究結果顯示，以Saxton (1986)經驗公式估計土壤飽和水力傳導度，得到民國84年濁水溪沖積扇扇頂的地表年自然補注量約為2.13億噸，民國85年的地表年自然補注量約為3.04億噸。於推估地下水補注量方法上，涂根源(1998)將地下水補注方式分為三類：水田入滲補注量、旱田與其他可透水土地利用入滲補注量以及河道、渠道與靜止水體入滲補注量。其中對於水田入滲補注量的估計係假設水田在田間浸水的情形下，入滲率接近土壤飽和水力傳導係數可視為一個常數，因此不需要未飽和層數值模式的模擬。而旱田與其他可透水土地利用入滲補注量估計上，必須利用蒸發散、未飽和土壤水分滲流模擬，以及地表、地下耦合長期水文模擬的方法，此一過程即是求解一維長期未飽和水流模式。至於河道、渠道與靜止水體入滲補注量的估計，係假設全年均被水體所覆蓋區域，其入滲

率為一固定值1.51mm/hr，以此推估河渠道與靜止水體面積之入滲量。

11. 劉振宇等人(1998)

採用與涂根源(1998)相同分析方法，推算濁水溪沖積扇扇央與扇尾部分之地下水補注量，其研究結果顯示在沒有灌溉量及缺乏長時間連續降雨條件下，根據一維未飽和層長期水文模式模擬結果，降雨量在雨後會暫存於土壤中並且增加土壤水份含量，然而這部分的土壤水分大部份均被蒸發散所消耗，而無法形成有效的地下水補注，於在靜止水體、河渠道以及長期保持灌溉的農作區域，才可能有較為顯著的地下水補注量。劉振宇等人(1998)推算結果，得到民國84年濁水溪沖積扇扇央與扇尾部分的地表自然補注量約為9.3億噸，民國85年的地表自然補注量約為8.9億噸。其中彰化縣800平方公里該兩年的補注量分別為1.9億噸與3.0億噸，雲林縣1173平方公里該兩年的補注量則分別為7.4億噸與5.9億噸。若將涂根源(1998)研究結果與劉振宇等人(1998)推算結果結合，得到民國84年濁水溪沖積扇全區域之地下水天然補注量約為11.43億噸，民國85年的地表自然補注量約為11.94億噸。

12. 陳進發(1998)

同樣採用一維未飽和水流模式推算彰化地區未飽和層地下水補注量，在不同降雨時數條件下，地下水補注量約介於3.81億噸至6.15億噸之間。該推算結果係假設(1)未飽和層內土壤飽和呈均一性分佈，(2)土壤蒸發散量與飽和程度呈線性關係，而得到之推估結果。

13. 葉文工和楊淑麗(1998)

採用美國地質調查所發展之地下水流模式MODFLOW來模擬研

究區內之地下水流況，其計算領域依據中央地質調查所調查結果，北側邊界以烏溪為界、南側至朴子溪、東側至車籠埔斷層、西側至海岸線外海約25公里處，此一領域最主要優點是所有邊界皆架設為零流量邊界。於地下水模擬上採用區塊理論(zonation method)將濁水溪沖積扇分為數區，每一區賦予一固定參數值，地下水流模擬過程中，模式所檢定之參數包括了含水層水力參數、地下水抽水量及地下水補注量。抽水量亦以分區的方式檢定，分區的方法依鄉市邊界劃分。地下水補注量的檢定同樣以一鄉市為一區的方式處理，扇頂區透過濁水溪河床對含水層的補注亦一併納入補注量估算。經由模式檢定後此研究結果得到濁水溪沖積扇全區年抽水量約10億噸，全區年地下水補注量（包括田區補注及河川補注）約為8.97億噸，該數量可以分成扇央、扇尾的田區年補注量6.67億噸，以及扇頂區濁水溪與清水溪河床的河川年補注量2.3億噸。

14. 中興工程公司(1998)

利用水文收支平衡法與MODFLOW地下水流模式推算地下水補注量，當採用以水文收支平衡法時，估算濁水溪沖積扇地下水年補注量約為5.25億噸，年地下水抽取量為7.44億噸。而採用MODFLOW地下水流模式時，得到年補注量約為8.18億噸，年地下水抽取量約為9.25億噸。中興工程公司(1998)的模擬區域東側沿八卦山脈及斗六丘陵定為零流量邊界，南側沿北港溪定為零流量邊界，西側沿外海15公里位置設為零水位固定水頭邊界，東側二水隘口定為移動水頭邊界，其水頭依附近觀測站逐日之觀測水位資料，以克利金(Kriging)插值法求出邊界水位。數值模擬過程中所調整的參數為抽水量、地下水補注量、水力傳導度、儲水係數及垂向滲漏係數，其中抽水量與地下水補注量係根據實際現況土

地使用及抽水型態為參考依據，水力傳導度數、儲水係數及垂向滲漏係數等水文地質參數則參考濁水溪沖積扇實測的水文地質參數。

15.能邦科技公司(2000)

其估算方法與張良正(1996)類似，分別考慮灌溉、靜止水體與降雨入滲來推估補注量。使用前台灣省地政處於民國八十一年七月一日起至八十四年六月三十日止，所實施調查之台灣地區土地利用現況之資料，將土地利用分類為水稻田、旱作、廢耕地、漁塭、其他靜止水體及其他可透水區等六類。考慮水稻田、靜止水體、漁塭在長期浸水的情形下，其入滲率接近土壤的飽和入滲率，採用大陸水利電力部水文局與水利局陳尚及李德滋的經驗公式來推估土壤飽和入滲率，利用期作方式、浸水期間的訂定、土地利用分類與土壤的飽和入滲率，估算浸水區塊之地下水入滲補注量。而推估旱田與其他可透水面積之降雨入滲量所需的降雨入滲係數，系採用大陸水利電力部水文局所分析的結果，藉由雨量資料、土地利用分類與降雨入滲係數，推估非浸水區塊之地下水入滲補注量。飽和入滲率以陳尚、李德茲的經驗公式估算，則濁水溪沖積扇豐、平及枯年之地下水垂向入滲補注量分別為14.29億噸、13.81億噸及12.55億噸；若以大陸水利電力部之建議值，則豐、平及枯年之垂向入滲補注量分別為6.45億噸、5.97億噸及4.71億噸。

第三章 數值模式與分析流程之建立

進行區域地下水文平衡分析所需要之數值模式與分析方法，於第一年度工作中已經完成了地表入滲量推估模式，本年度除了修正上一年度數值模式計算流程外，將繼續進行區域地下水抽水量與邊界水平側向流量推估工作上所需要之數值模式與分析方法之建立，並且進行驗證與合理性分析。該項工作實際內容包含地質水文與地下水位觀測數據之空間與時間延展模式，以及三維多層地下水流模式。

3.1 地質水文數據空間延展模式

於進行區域地下水文分析工作上，所採用之數據包含地質鑽探分層資料、水井抽水試驗資料以及監測井水位觀測數據等等，均是點的觀測值，於數值模式分析計算上必須將這些點的觀測值延展成面與三度空間數據，才能進行數值分析工作。因此本項計畫工作於進行含水層水量平衡分析工作前，特別探討地質水文空間延展方式，以確定數值分析過程中輸入數據之合理性。

考慮內插數值空間變化與差異特性，本計畫將採用Kriging空間插值方法為主體架構，並且結合正交座標系統轉換與空間平均趨勢分離等技巧，嘗試建立符合區域特性之空間內插延展模式。由於Kriging空間插值方法最主要依據是變異元函數，因此本文整理往昔文獻中所採用之變異元函數，並且選擇了較適合於地下水問題之四種變異元函數。

1. 冪次形(power)

$$v(r) = \begin{cases} 0, & r = 0 \\ C_0 + r^c, & r > 0 \end{cases} \quad (2)$$

2.指數形(exponential)

$$v(r) = \begin{cases} 0, & r = 0 \\ C_0 + C(1 - e^{-r}), & r > 0 \end{cases} \quad (3)$$

3.球面形(spherical)

$$v(r) = \begin{cases} 0, & r = 0 \\ C_0 + \frac{1}{2}C(3r - r^3), & 0 < r < 1 \\ C_0 + C, & r \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

4.高斯形(gaussian)

$$v(r) = \begin{cases} 0, & r = 0 \\ C_0 + C(1 - e^{-r^2}), & r > 0 \end{cases} \quad (5)$$

於上述變異元函數中 $r=x/x_R$ ， x 代表內插點位與內插基本點位之距離， x_R 是影響距離， C 與 C_0 均是係數，其中 C 代表變異元函數隨距離之變化， C_0 是影響區域之局部變異數。當 C_0 大於零時，區域局部變異將顯示出來，此時空間內插結果趨於平滑，但是內插基本點位之誤差量將偏大。

進行空間內插計算過程所需要之數據為基本內插點位之 (x,y,z) 值，其中 (x,y) 是二度分待座標值 z 是內插變量，就土壤地層分層而言，此設定值代表土壤類別。本計劃所建立之Kriging空間插值模式中，亦結合了優選過程，當變異元函數中係數無法決定時，可以選擇優選過程讓模式自動尋找最佳值，此優選過程是配合下節所敘述之參數推估方法，此計算過程中Kriging模式之變異元係數輸入值將被視為起始推估值，而優選過程

中將保留內插基本點位其中一個點位作為推估值，利用其餘內插基本點位輸入數據，以Kriging空間插值方法計算保留點位之推估值。

3.2 三維多層地下水流數值模式之建立

由於三維模式地下水流模式計算上，所要求解之矩陣維度隨著節點數目的增加而變得相當大，而本計畫所要進行之含水層水量平衡分析推估工作，將利用水流模式模擬監測井之水位變化，進而推估含水層水量變化。

三維度飽和地下水流連續方程式依Darcy定理得，

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_z \frac{\partial h}{\partial z}) + q = S_0 \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (6)$$

其中， K_x, K_y, K_z 分別代表 x, y, z 主軸方向之水力傳導係數， h 為土壤中水分之勢能水頭， q 為單位體積之抽水量或補注量， S_0 稱為比儲水係數 (Specific storativity)。

$$S_0 = \rho g(\alpha + n\beta) \quad (7)$$

其中， $\alpha = \frac{1}{1-n} \frac{\partial n}{\partial p}$ 是土壤壓縮率， $\beta = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial p}$ 是水的壓縮率， n 是土壤孔隙率， $p = \rho gh$ 是土壤中水的壓力。

在三維多層地下水流數值模式中，假設兩層含水層中間夾著一層滲透率遠小於含水層之阻水層(一般假設差兩個級數)，如圖3-1所示，於此條件下將(6)式之地下水流連續方程式於含水層垂直方向積分後，拆解成水平二維方向之侷限含水層(或非侷限含水層)地下水流方程式與一維垂直方向滲漏含水層(leakage aquifer)水流方程式。於水平二維方向之地下水

流方程式如下所描述：

1. 侷限含水層：

$$\frac{\partial}{\partial x}(T_x \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(T_y \frac{\partial H}{\partial y}) - q_p + l_U - l_D = S_s \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (8)$$

於侷限含水層中， $T_x = \int_{Z_D}^{Z_U} K_x dz$ ， $T_y = \int_{Z_D}^{Z_U} K_y dz$ 代表含水層於 x 、 y 方向之流通係數(transmissivity)， Z_D 與 Z_U 是含水層底部與頂部高程， q_p 是單位面積之水井抽水量或人工補注量， l_U 及 l_D 分別是含水層上層與下層阻水層之垂直方向滲漏量。 S_s 稱為蓄水係數(storage coefficient)，

$$S_s(x, y) = \int_{Z_D}^{Z_U} S_0(x, y, z) dz \quad (9)$$

2. 非侷限含水層：

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}[K_x(H - Z_p) \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[K_y(H - Z_p) \frac{\partial H}{\partial y}] \\ - q_p + \gamma_s - l_D = S_y \frac{\partial H}{\partial t} \end{aligned}, \quad (10)$$

上式中 Z_p 是非侷限含水層之底部高程， H 是自由水位面高程， q_p 是單位面積抽水量， γ_s 是單位面積地表入滲量， l_D 是非侷限含水層下方阻水層之垂向滲漏量， S_y 稱為比出水係數(specific yield)，其中

$$S_y(x, y) = \int_{Z_p}^H S_0(x, y, z) dz, \quad (11)$$

由於阻水層滲透率遠小於含水層之滲透率，而水流通量決定於勢能水頭梯度與通水面積。於阻水層內水平方向勢能水頭梯度遠小於垂直方向，且數值離散化過程中，水平方向之尺度通常遠大於垂直方向之尺度，此條件下使得阻水層內垂直方向流通量遠大於水平方向之流通量，因此計算阻水層內之水流連續方程式時忽略水平方向流動量。依據此一原則得到阻水層內之水流連續方程式為下式：

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_0 \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (12)$$

上式上下端之邊界條件分別為，

$$h(z_1, t) = H_1(x, y, t), \quad (13)$$

$$h(z_2, t) = H_2(x, y, t), \quad (14)$$

其中 H_1 與 H_2 分別代表位於阻水層上方與阻水層下方之侷限或非侷限含水層水位。

在多層地下水流數值模式建立上，本文利用有限元素法求解非侷限與侷限含水層內地下水位變化，而阻水層內垂直方向流通量則採用穩定態或非穩定態之有限差分法，以計算因為阻水層上下方含水層水位梯度而引起之阻水層滲漏量。

3.3 邊界水平側向流量推估方法

將(8)或(10)式水流連續方程式，依Galerkin之殘差理論對計算領域 Ω 取加權積分後，得

$$\iint_{\Omega} W_i \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) - S_s \frac{\partial H}{\partial t} - q_p + l_u - l_D \right] dx dy = 0, \quad (15)$$

或

$$\iint_{\Omega} W_i \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x H_B \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y H_B \frac{\partial H}{\partial y} \right) - S_y \frac{\partial H}{\partial t} - q_p + \gamma_s - l_D \right] dx dy = 0, \quad (16)$$

上式中 $H_B = H - Z_p$ 。將勢能水頭 H 離散化後，代入(15)式或(16)式中，整理得下面之矩陣式。

$$[G_A^*][\hat{H}] + [G_B^*] \left[\frac{\partial \hat{H}}{\partial t} \right] = [B_C^*], \quad (17)$$

其中大域組合矩陣 $[G_A^*]$ 和 $[G_B^*]$ 之計算如下：

$$G_{A_{ij}}^* = \sum_{\Omega_e} \iint \left(T_x \frac{\partial W_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + T_y \frac{\partial W_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) \|J_{B_{xy}}\| d\xi d\eta, \quad (18a)$$

$$\text{或 } G_{A_{ij}}^* = \sum_{\Omega_e} \iint \left(K_{S_x} H_B \frac{\partial W_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + K_{S_y} H_B \frac{\partial W_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) \|J_{B_{xy}}\| d\xi d\eta, \quad (18b)$$

$$G_{B_{ij}}^* = \sum_{\Omega_e} \iint S_s W_i N_j \|J_{B_{xy}}\| d\xi d\eta, \quad (19a)$$

$$\text{或 } G_{B_{ij}}^* = \sum_{\Omega_e} \iint S_y W_i N_j \|J_{B_{xy}}\| d\xi d\eta, \quad (19b)$$

$$B_{C_i}^* = \int_{\Gamma} W_i q_n \cdot d\bar{\ell} - \iint_{\Omega} W_i q_p dx dy - \iint_{\Omega} W_i l_D dx dy, \quad (20)$$

$\|J_{B_{xy}}\|$ 代表從大域座標系 (x, y) 轉換至元素座標系 (ξ, η) 之直角座標轉換矩陣行列式值， Ω_e 是元素之定義域。當有限元素面積遠小於含水層邊界

流動面積時，可以合理地忽略含水層與其上下層阻水層之間垂直方向總滲漏量 l_D 、地表入滲補注量 γ_s 與計算領域內部之抽水量或補注量 q_p 。此假設條件下，載重向量矩陣為，

$$B_C^* = \int_{\Gamma} W_i q_n \cdot d\bar{\ell} , \quad (21)$$

此即是邊界節點之源流項或沉流項。亦即說，當每個節點之水頭 H 已知時，可以由(21)式反向計算 $[B_C^*]$ ，進而得到計算領域每一個邊界節點之入流量或出流量。於(21)式中， $[G_A^*][\hat{H}]$ 與 $[G_B^*][\partial\hat{H}/\partial t]$ 分別表示由於勢能水頭 H 於空間上之水力梯度而產生之與源流或沉流，以及勢能水頭 H 於時間上變化所產生之與源流或沉流量。亦即說，前者係依循達西定理而產生之結果，後者係依循含水層中水體積之質量守恆定理而產生者，於本研究中，前者代表水位坡降所產生之邊界側向流量，而後者則可以視為飽和水體積變動所產生之邊界側向流量。

第四章 地質水文資料收集與分析

本年度所要進行之資料收集工作主要是濁水溪沖積扇區域內，地下水含水層水量平衡資料，包含地層特性、含水層地質參數、水井位置、觀測水位與含水層抽水量調查結果。依據農業工程研究中心於彰化雲林地區之地下水井GPS定位調查成果報告，濁水溪沖積扇平原區域內私有水井密度相當高，此條件下對於地下水抽水量推估結果與實際用水量之間誤差無法評估。然而，地層下陷之控制主要取決於地下水位的變化，因此本計畫仍將利用地下水位觀測結果，進行含水層水量平衡推估工作。茲將對於此項推估工作所需要之地質水文數據，整理與分析如后。

4.1 地下水抽水井分布

濁水溪沖積扇水源分為地表水源及地下水源，地下水源使用量佔彰化縣與雲林縣總需水量之27%至39%左右，其中灌溉用水量中約有10%至50%係使用地下水，而禽畜及養殖用水為了降低成本大多抽取地下水。另外，估計工業用水中亦有90%左右是取自地下水。由於彰化與雲林縣缺乏水庫供水，因此生活用水大多抽取地下水供應，而地表水主要用於農田灌溉及部份生活與工業用水。

依據民國79年彰化地區與民國78年雲林地區水井調查統計表，於該年度調查中彰化地區地下水井約有57,740口，雲林地區約有地下水井73,815口。此項水井調查結果亦將地下水井主要用途分為灌溉用水、養殖用水、公共給水與工業用水，其中灌溉用途水井數目於彰化地區約佔51.7%，雲林地區約佔82.3%，養殖用途水井數目於彰化地區約佔38.9%，於雲林地區約佔12.8%。該次調查成果中濁水溪沖積扇約有92%之水井無水權登記，顯見濁水溪沖積扇地下水管理問題嚴重性。

水井調查工作中農田水利會、台糖公司與自來水公司等單位之地下水井資料較為完整。於濁水溪沖積平原區域，彰化水利會約有80口左右

灌溉水井，且大都集中於大城鄉、彰化市與鹿港鎮等區域；而雲林水利會之灌溉水井則超過600口，且灌溉水井於整個雲林分布相當密集且均勻。除了農田水利會灌溉水井之外，台灣省自來水公司與台糖公司水井資料亦有較為完整紀錄，由於此兩各單位之水井位置均位於淨水場或所屬農場區域內，為了方便查詢研究區域內水井密度與觀測井位置，將濁水溪沖積扇分為15個小分區，其中彰化分為地區6個小分區，雲林地區則分為9個小分區，如圖4-1所示。農田水利會所屬灌溉水井、監測井網位置、台灣省自來水公司與台糖公司農場位置則標示小分區中，如圖4-2與圖4-3所示。

4.2 含水層結構與地質水文參數

江崇榮等人(1985)利用濁水溪沖積扇地下水監測井地質鑽探結果，將濁水溪沖積扇地下水分層結構編組為八條剖面線，爾後中央地質調查所(1999)依據更完整之地質鑽探結果，繪製了15條水文地質剖面如圖4-4所示。依據地質鑽探資料，經濟部水利處(1996)將濁水溪沖積扇地下水含水層分為含水層1、含水層2-1、含水層2-2與含水層3，而中央地質調查所(1999)則將含水層分為4層富水層與4層阻水層。

本文依據經濟部水利處(1996)之含水層分層方式，將濁水溪沖積扇地下水位監測井所屬各分層位置整理如表4-1，並且標示如圖4-5至圖4-8。於表4-1中亦同時則整理出濁水溪沖積扇監測井，水文參數試驗結果與水井基本資料，其顯示二水、田中、柑園、竹塘、溪洲、虎溪、六合等區位之水力傳導係數均超過 $0.1\text{cm}/\text{sec}$ ，是濁水溪沖積扇含水層滲透率最佳區域。大致上而言，含水層1於沖積扇扇頂區域內之水力傳導係數可以達到 $0.05\text{cm}/\text{sec}$ 至 $0.15\text{cm}/\text{sec}$ 左右，而扇央位置之水力傳導係數介於 $0.05\text{cm}/\text{sec}$ 至 $0.1\text{cm}/\text{sec}$ 之間，扇尾位置之水力傳導係數則低於 $0.05\text{cm}/\text{sec}$ 。

進行含水層邊界水平側向流量與三維多層地下水流模式所需要之含水層輸入數據包括：地表高程、含水層厚度、含水層水力傳導係數或傳

輸係數以及含水層比儲水係數或儲水係數。利用表4-1之地質結構剖面資料與水文參數，分別計算監測井位置不同含水層之含水層厚度、阻水層厚度水力傳導係數與比儲水係數，其結果整理如表4-2至表4-4。

4.3 歷年地下水抽水量調查與推估值

濁水溪沖積扇地下水抽水量，除了農田水利會、台糖公司以及公共用水(如自來水公司等)有抽水量紀錄之外，大部分的民井以及無水權登記之工業用水均沒有抽水紀錄。往昔部分報告內容中雖然有統計或推算濁水溪沖積扇之地下水抽水量，但是統計內容均以年總抽水量方式，對於抽水量逐月或逐旬之時間序列變化均沒有於報告中說明詳細。基於區域地下水文平衡分析上之需求，本計畫除了收集往昔之抽水量推估結果，亦收集了彰化以及雲林水利會灌溉水井抽水量資料、自來水公司抽水量以及台糖公司水井抽水量紀錄。統計彰化水利會與雲林水利會1994年至1998年期間灌溉抽水量，得到彰化水利會每年地下水總抽水量約一千萬立方公尺，而雲林水利會每年地下水總抽水量約八千萬立方公尺，約為彰化水利會地下水抽水量八倍多。

表4-5是台灣省自來水公司民國84年於彰化與雲林地區之地下水抽水量統計表，其抽水量逐月變化量相當小，足見自來水公司對於地下水之需求無季節性之差異。表4-5亦同時得知台灣省自來水公司每年於彰化地區地下水使用量約九千萬噸，其中以彰化市、員林市以及鹿港鎮等人口密集地區使用量最大。另外，台灣省自來水公司每年於雲林地區之地下水使用量約七千萬噸，其中以斗六市與虎尾鎮用水量最大。

為比較往昔對於濁水溪沖積扇地下水抽水量之推算結果，本計畫收集近十年中之研究成果，表4-6是嘉義農專進行彰化地區水井普查統計結果，其顯示民國80年彰化地區各類別地下水抽水量總量約為18.1億噸，其中灌溉用水約為13.15億噸，約佔總抽水量之68.65%。表4-7亦是嘉義農專所進行之水井普查結果，此結果顯示民國78期間雲林地區之地下水年總

抽水量約7.79億噸，其中農業灌溉用水約為6.37億噸，約佔總抽水量之81.8%。

除了嘉義農專採用水井普查方法調查水井數量與推估抽水量之外，逢甲大學(1997)採用漁塭養殖面積與不同魚種需水量，推算養殖用途地下水抽水量，其估算方法乃是利用三種不同方案之養殖魚種單位面積需水量，配合養殖面積分布而推估養殖用途抽水量，其抽水量推算結果如表4-8所列。依據逢甲大學(1997)之推算結果，濁水溪沖積扇養殖用途年總抽水量約介於7至9億噸之間，彰化地區年總抽水量介於3至4億噸之間，佔濁水溪沖積扇總量之45%左右，雲林地區年總抽水量介於4.2至4.9億噸之間，佔濁水溪沖積扇總量之55%左右，各鄉鎮區域中以鹿港、口湖、麥寮抽水量最大，每年養殖用抽水量均超過一億噸。

葉文工(1998)利用反向推估方法，得到濁水溪沖積扇年地下水抽水量約為10億噸，同時亦推算濁水溪沖積扇各分層地下水抽水量與地表補注量，其結果如表4-9。由葉文工(1998)之推算結果，含水層1與含水層2-1是主要抽水層，含水層2-2為次要抽水層，而較深層之含水層3抽水量最小。表4-9抽水量推算結果中，芳苑、二崙與崙背是含水層1地下水用量最多區域，大城、伸港、鹿港、二林、福興、麥寮、褒忠等地區是含水層2-1地下水使用量最多區域，這些區域幾乎都是彰化縣與雲林縣沿海鄉鎮。另外，鹿港鎮、芳苑與福興則是含水層2-2使用量最大區域特別是鹿港鎮。

中興公司(1997,1998)利用民國84年與民國85年之水文觀測數值，推算濁水溪沖積扇各計算分區之水文平衡分量，其對於各分區抽水量推算結果整理如表4-10與表4-11。由中興公司(1997,1998)之抽水量推算結果，濁水溪沖積扇年平均抽水量約7.4億噸。中興公司亦依據土地使用方式與需水量推算彰化縣與雲林縣民國80年至民國85年地下水抽水量，如表4-12所示。表4-12下水年抽水量變化趨勢，顯示彰化縣地下水年抽水量約為3.9

億噸，而雲林縣地下水年抽水量約4.8億噸，且自民國80年以後彰化縣年抽水量呈現上昇趨勢，而雲林縣地下水抽水量則反而呈現下降趨勢。以水平衡與土地利用方式所得到之地下水抽水量作為推算基礎，中興公司(1998)利用MODFLOW模式修正各分區分層地下水抽水量，以滿足地下水位變化趨勢，其抽水量推算結果整理如表4-13，此結果顯示主要地下水抽水層為含水層2-1與含水層2-2，而含水層3之抽水量最小。中興公司(1998)利用水平衡方法所得到之全區年抽水量約為7.4億噸，年補注量約為5.2億噸，而經過MODFLOW模擬修正後之年抽水量為9.3億噸，年補注量為8.2億噸。就全區地下水總抽水量而言，中興公司(1998)與葉文工(1998)推算結果9.1億噸相當接近。年補注量方面，葉文工(1998)推算全區年補注量約為6億噸，中興公司(1998)推算結果為8.2億噸。中興公司(1998)將全區抽水量推算值換算成各鄉鎮抽水量，其結果如表4-14所示，此推算結果顯示彰化縣芳苑、二林、大城、麥寮等鄉鎮，以及雲林縣口湖、四湖、台西、二崙、斗六、古坑、虎尾、西螺、土庫等鄉鎮是抽水量較大區域。

第五章 地表入滲量計算流程修正與應用

5.1 地表入滲量計算流程之修正

本計劃於第一年度工作中所建立之垂向一維地表水入滲模式，雖然具有模擬不同形態地表邊界條件之功能，然而實際應用於推估地表入滲量時，仍必須結合土地利用形態、地表土壤植被與淺層土壤分布等資訊，以設定計算上適當之邊件條件。當計算工作上所採用之空間解析度愈高時，所獲得之計算結果愈能符合實際地形，然而所需要之計算機時間相對提高。於此一顧慮下，第一年度計算工作上並未結合土地利用形態、地表土壤植被與淺層土壤分布等資訊。

為了修正地表入滲量計算流程，本年度進行一般土地入滲量計算工作前，先配合數值高程(DTM)解析度，以40m×40m之空間解析度設定計算區域之地表高程、土地利用形態、淺層土壤垂向剖面類別等分布。於土地利用形態設定上，區分計算類型為地表持續性積水區域(如魚塭、湖泊及水塘等)、地表非持續性積水區域(如水田)、透水區域(如旱田、草地等)與不透水區域(即建築用地、道路等)等四大類，且於製作土壤分層資料時，分別加入地表1.5公尺內淺層土壤數據以及地質鑽探數據。圖5-1表示地表水入滲量修正後之計算工作流程，推估入滲量各項步驟說明如下：

1. 散佈計算點位：依據所需之空間解析度製作計算點位。
2. 整理不同計算類型所需之地表水文變化量：包含降雨、蒸發與灌溉。
3. 建立地表高程、土地利用與淺層土壤分層(包含地表1.5公尺深度內土壤資料)數據檔。
4. 製作土壤分層結構：其中地表1.5公尺深度內採用土壤分布數據。大於1.5公尺深度則採用淺層土壤分層數據。
5. 利用一維垂向未飽和模式計算土壤不同深度流通率。

- 6.當計算區域解析度大於DTM解析度時，利用統計原則計算區域內之土地利用百分比，以獲得總地表入滲量。
- 7.將淺層土壤底部流通率計算結果視為地表入滲量對地下水之補注量。

5.2 地表水文時序列條件合理設定

第一年度地表入滲量計算工作，選擇彰化與雲林地區各鄉鎮轄區之中心位置作為計算點位，並忽略土地利用形態之影響。為了得到更合理地表入滲量，並且有效率地執行計算工作，本年度選擇計算區域解析度為1公里×1公里，亦即每一計算區域中包含25×25個基本網格數據。依據每一計算區域之地理位置分布以及入滲量計算結果，可以進一步轉換成各鄉鎮之地表入滲量。

依據不同地表形態之區別，於地表持續性積水區域推估入滲量僅需要土壤飽和水力傳導度，為了反應地表持續積水之狀態，進行計算上需要設定其降雨強度大於土壤飽和水力傳導度之降雨量時序列檔案，以進行魚塢或水池入滲量之推估。地表非持續性積水區域(如水田)，所需之地表水文量較複雜，包含降雨量、灌溉量與蒸發量等，降雨量方面，採用徐昇氏多邊形法進行各計算點位降雨量之推求。依據彰化及雲林水利會之農作灌溉資料，顯示本研究區域主要以雙期、三年二作或單期作為水田之主要耕作方式，因此將彰化及雲林地區之灌溉用水量，設定在每年二至四月與七至九月兩個階段為灌溉期間，並進一步設定平均灌溉水深以模擬灌溉量。地表蒸發量設定於彰化地區採用萬興農場觀測值，雲林地區則採用虎尾農場觀測值。透水區域(旱田)所需之地表水文量僅為降雨量與蒸發量，其設定方式與地表非持續性積水區域相同，降雨量採用徐昇氏多邊形內插而獲得，蒸發量則採用萬興農場或虎尾農場觀測值。地表入滲量計算工作之雨量站與蒸發量觀測站位置標示如圖5-2所示。

5.3 土地利用形態與土壤分層數據基本網格數據之建置

對地表水入滲過程而言，不同土地利用形態形成不同地表覆蓋情形，於地表水入滲過程是相當重要因子。依據內政部於民國84年所建立之台灣地區土地利用現況資料庫，目前土地利用現況共分為三級，利用該資料庫之分級，並依地表入滲量計算工作上之需求，將研究區域地表土地利用形態分類為地表持續性積水區、地表非持續性積水區、透水區與不透水區等四大類型，利用該資料庫內容統計彰化雲林地區各鄉鎮之土地利用百分比列表與分布圖，其結果整理如表5-1與圖5-3。

淺層土壤特性影響地表水入滲至地下水含水層速率快慢與水量多寡。利用行政院農委會農業試驗所製作之彰化與雲林縣淺層土壤質地分布數位化資料，將地表下1.5公尺深度內之土壤質地分布分為4層，分別為地表至地表下30公分之第一層，30至60公分之第二層，60至90公分之第三層及90至150公分之第四層。

由於行政院農委會農業試驗所製作土地利用與淺層土壤分層資料均為ARC/INFO軟體之數位化檔案數據格式，而本文地表入滲模式無法直接讀取該數據檔案內容，因此透過ARC/INFO軟體將土地利用形態與淺層土壤數據轉成40m×40m之空間解析度，並且結合數值高程(DTM)，轉儲成ASCII文字檔以方便地表入滲模式之使用。

5.4 任意點位土壤分層模式之製作與驗證

對於任意位置土壤質地變化分布之推算流程並無進一步之修正，其推估方式與第一年度相同：

1. 將濁水溪沖積扇地下水監測井之地質柱狀圖土層類別分為黏土層、泥與粉土層、細砂層、中砂層、粗砂層、及粗砂層、細礫石層、中礫石層與粗礫石層等九類，並將土層深度位置土壤類別數位化建檔，且設計類別指標以進行土壤質地分層內插準備工作。

2. 利用Kriging插值法計算推估點位置與地表下特定深度之土壤指標，並且將土壤指標換算為土壤類別。
3. 由於第一年度並未考慮淺層土壤質地變化，因此本年度以建立完成之淺層土壤資料庫，修正地表至地下1.5公尺處任意計算點位之土壤質地分布，以獲得更完整之土壤分層數據。

5.5 一維垂向地表入滲量修正後計算結果

一維垂向地表入滲量計算工作依據計算點位土壤分層結果作為其土壤條件，地表邊界條件則依據不同之計算類型，給定所需之降雨量或灌溉量統計值。此外，土壤蒸發散量計算則利用台糖萬興農場與虎尾農場之自由水面蒸發量觀測值。

依據上述計算條件，於濁水溪沖積平原選擇面積為1公里×1公里之計算區域，以計算區域中心點作為計算點位，推估各點位之淺層土壤底部流通率並將此推算結果視為地表入滲量，最後統計各鄉鎮所函蓋之格點數，整理出各鄉鎮於1997年至1998年之地表入滲量，其結果如表5-2與表5-3所示。比較本年度計算1997年至1998年與上一年度計算1998年之各月份入滲量推估結果與降雨量，可以看出本年度地表入滲量之推估與去年度最大差別，在於考慮地表土地利用與淺層土壤質地變化，並將計算格點由每鄉鎮選擇單一點位修正為空間解析度為1公里×1公里之計算區域。當地表無降雨量亦無灌溉水量時，由於蒸發散量之影響使得淺層土壤水分往上移動並牽動淺層地下水損失量，此結果於11月份特別顯著，至於地表無降雨量亦無灌溉水量時，所產生之地下水補注量乃是因為魚塭或水池所產生之入滲量大於蒸發散量所產生之結果。表5-4至表5-15依據鄉鎮分別統計1997年、1998年與上一年度計算1998年之各月份平均地下水補注量，由表可以看出無論1997年或1998年，11月份之地表降雨量與灌溉水量小於土壤蒸發散量，因此無地下水補注量時計算結果為負值，表示該月份淺層地下水因蒸發散而損失。圖5-4與圖5-5分別是彰化、

雲林地區各鄉鎮本年度與第一年度各月份入滲量月平均值推估結果之折線圖，圖中顯示淺層土壤底部流通率月平均值隨著月平均降雨量之變化情形，當降雨量較多之月份(六、七及八月)，其地下水補注量亦較大，降雨量較少之月份(十、十一及十二月)，其地下水補注量隨著變小，而本年度推估1998年各鄉鎮地下水補注量大部分亦較第一年度所推估1998年各鄉鎮小。

經由以上之說明，可以看出本入滲模式經過本年度修正後，不僅能反應出枯水期間地下水因為土壤蒸發散而造成之損失量，亦可以反應枯水期間經由持續積水區域所產生之地下水補注量，可以更真實反應出地表水文變化對於地下水入滲補注量之影響。

5.6 地表入滲量與田間灌溉減水深觀測值之比較

利用雲林水利會西螺及荊桐兩工作站之減水深觀測結果來說明蒸發散量及入滲量大小。經由實測之減水深觀測值與實測之蒸散量，推算出實際之地表入滲量，表5-16及表5-17分別為西螺及荊桐工作站不同輪區72年水稻一期作之減水深觀測結果，其實際之入滲量約在1(mm/day)至8(mm/day)之間。而表5-18及表5-19則分別為西螺及荊桐工作站不同輪區72年水稻二期作之減水深觀測結果，其實際之入滲量約在-1(mm/day)至12(mm/day)之間，其中荊桐工作站甘厝III輪區於分蘗期時，出現實測減水深小於蒸散量之情形，因此入滲量為負值。表5-20及表5-21分別為72年一期作及二期作之減水深觀測結果總平均值，其中兩者之入滲量平均值差異不大，但是二期作蒸散量觀測值則大於一期作蒸散量觀測值，此乃因為二期作從九月開始整田之故，所以蒸散量較大。

5.7 地表入滲量推估結果與往昔計算結果之比較

表5-22是本文計算結果與張和龔(1996)、能邦科技公司(2000)推估結果之比較，於彰化地區張和龔(1996)推估全區域每年地表水入滲補注量為

5.47億噸，能邦科技公司(2000)利用兩種不同參數推估入滲補注量，分別得到6.82億噸與2.47億噸，本研究上一年度推估1998年之入滲量為12.5億噸，而本年度推估1997年與1998年之入滲量，分別為5.63億噸與7.19億噸，由此可知本年度考慮地表土地利用與淺層土壤分類，並修正計算範圍之空間解析度後，使得本年度之推估結果較接近張和龔(1996)與能邦科技公司之推估結果。表5-23是雲林地區推估結果之比較，其中張和龔(1996)推估全區域每年地表水入滲補注量為5.12億噸，能邦科技公司(2000)利用兩種不同參數推估入滲補注量，分別得到5.4億噸與2.63億噸，本研究上一年度推估1998年之入滲量為9億噸，而本年度推估1997年與1998年之入滲量，則分別為6.18億噸與5.45億噸。由表5-22與表5-23顯示，1997年彰化地區之入滲補注量小於1998年之入滲補注量，而雲林地區1997年之入滲補注量則大於1998年之入滲補注量，此乃因為兩年度降雨量大小不同所產生之結果。不同年度濁水溪沖積扇地表年補注量之分布，如圖5-6與圖5-7所示。

分別統計本研究與能邦科技公司於濁水溪沖積扇不同土地利用形態之地表入滲量百分比，統計結果顯示能邦科技公司之地表入滲量百分比分別為水田78%、旱田17%及魚塭5%，而本研究地表入滲量百分比分別為水田56%、旱田41%及魚塭3%。由此可知，能邦科技公司地表入滲量推估方法之主要入滲量來源為水田入滲，因此，若鄉鎮區域內之土地利用形態以水田為主，其入滲量之計算結果則較大，反之則計算結果較小。而表5-24與表5-25為本研究與能邦科技公司入滲量推估結果差異性較大之鄉鎮與其地表土地利用概況，由表5-24顯示，水田土地利用百分比較小之鄉鎮，其入滲量計算結果較小於本研究之計算結果，而表5-25顯示，水田土地利用百分比較大之鄉鎮，其入滲量計算結果較大於本研究之計算結果。

第六章 空間延展模式之應用與邊界水平側向 流量推估

6.1 水文數據空間延展模式之改良與驗證

以濁水溪沖積扇地下水觀測井與地質鑽探點位置作為取樣點(如圖6-1所標示)，利用DTM數據製作取樣點位置之地表高程作為觀測變量，並且採用前面所建立之Kriging空間內插模式進行濁水溪沖積平原地表高程空間內插與外插展延。為了取得Kriging模式中最佳之變異元函數以及變異元函數中之參數，本文結合優選理論與Kriging模式，此即是本文所發展之最佳化Kriging模式，其計算流程如圖6-2所示。於發展最佳化Kriging模式中，本文亦建構凸多邊形模組以作為建立變異元函數模擬區域之基礎。其中變異元函數之初始模擬值，係利用距離平方加權方法進行內插後而得到，其後之變異元函數模擬值則經由優選方法與疊代方法而修正。利用此最佳化Kriging模式進行地表高程內插與展延，其結果如圖6-3所示，而理論變異元函數與計算結果之變異元函數則繪如圖6-4所示，地表高程內插展延計算結果顯示Kriging模式於內插計算上具有正確之描述能力，然而於地表坡度較大區域計算結果較不理想。

為了改良地表高程內插與外插展延結果，於地表坡度較大區域不理想之計算結果，因此本文乃設法於進行最佳化Kriging之前，以座標轉換映射方式去除觀測量之平均值，然後採用去除平均值後之殘差變量進行最佳化Kriging內插計算，圖6-5說明此一改良工作之計算流程，改良計算流程主要方式是經由座標轉換計算展延趨勢，再利用去除展延趨勢後之殘差量進行最佳化Kriging分析，以得到合理之空間展延數值。茲將空間展延趨勢迴歸過程中相關座標轉換理論說明如下。

在實際計算領域之直角正交座標系統中，將計算領域的邊界分割為

$\Gamma_1(x, y)$ 、 $\Gamma_2(x, y)$ 、 $\Gamma_3(x, y)$ 與 $\Gamma_4(x, y)$ 等四段區域，其分別映對至新座標系統，且令 $\eta_1 = \Gamma_1(x, y)$ 、 $\eta_2 = \Gamma_2(x, y)$ ，令 $\xi_1 = \Gamma_3(x, y)$ 、 $\xi_2 = \Gamma_4(x, y)$ ，如圖6-6所示。此一座標系統轉換中，即是將實際計算領域自變數 (x, y) 映對至應變數 (ξ, η) ，並建立其互相轉換關係。在 (ξ, η) 計算領域中，其計算領域可以等間隔的分割成若干小正方格，進而將複雜之邊界形狀簡化成為直線形狀，此即是物體形調座標系統轉換，或稱貼壁座標系統轉換(body-fitting coordinate system)。於實際計算領域與貼壁座標系統之間的轉換控制方程式可以採用如下之波森方程式，

$$\xi_{xx} + \xi_{yy} = P(\xi, \eta), \quad (22a)$$

$$\eta_{xx} + \eta_{yy} = Q(\xi, \eta), \quad (22b)$$

其邊界條件為，

$$\xi = \xi_1(x, y), \quad \eta = \eta_1(\text{常數}), \quad \text{在 } \Gamma_1 \text{ 邊界上,}$$

$$\xi = \xi_2(x, y), \quad \eta = \eta_2(\text{常數}), \quad \text{在 } \Gamma_2 \text{ 邊界上,}$$

$$\xi = \xi_3(\text{常數}), \quad \eta = \eta_3(x, y), \quad \text{在 } \Gamma_3 \text{ 邊界上,}$$

$$\xi = \xi_4(\text{常數}), \quad \eta = \eta_4(x, y), \quad \text{在 } \Gamma_4 \text{ 邊界上。}$$

經座標轉換為計算領域後(22a)及(22b)式改寫為，

$$\alpha X_{\xi\xi} - 2\beta X_{\xi\eta} + \gamma X_{\eta\eta} = J^2(X_{\xi}P + X_{\eta}Q), \quad (23a)$$

$$\alpha Y_{\xi\xi} - 2\beta Y_{\xi\eta} + \gamma Y_{\eta\eta} = J^2(Y_{\xi}P + Y_{\eta}Q), \quad (23b)$$

$$X = X_1(\xi, \eta_1), \quad Y = Y_1(\xi, \eta_1), \quad \text{在 } \Gamma_1^* \text{ 邊界上,}$$

$$X = X_2(\xi, \eta_2), \quad Y = Y_2(\xi, \eta_2), \quad \text{在 } \Gamma_2^* \text{ 邊界上,}$$

$$X = X_3(\xi_1, \eta), \quad Y = Y_3(\xi_1, \eta), \quad \text{在 } \Gamma_3^* \text{ 邊界上,}$$

$X = X_4(\xi_1, \eta)$, $Y = Y_4(\xi_2, \eta)$, 在 Γ_4^* 邊界上 ,

其中 $\alpha = X_\eta^2 + Y_\eta^2$, $\beta = X_\xi Y_\eta + Y_\xi Y_\eta$, $\gamma = X_\xi^2 + Y_\xi^2$, $J = X_\xi Y_\eta - X_\eta Y_\xi$ 。在貼壁座標計算系統中 , 由於 $\Delta\xi$ 和 $\Delta\eta$ 均設定為等間距 , 因此使用有限差分的二階中央差分法計算(23a)與(23b)式 , 可以採用如下之差分式。

$$(f_\xi)_{i,j} = (f_{i+1,j} - f_{i-1,j})/2 , \quad (24a)$$

$$(f_\eta)_{i,j} = (f_{i,j+1} - f_{i,j-1})/2 , \quad (24b)$$

$$(f_{\xi\xi})_{i,j} = (f_{i+1,j} - 2f_{i,j} + f_{i-1,j}) , \quad (24c)$$

$$(f_{\eta\eta})_{i,j} = (f_{i,j+1} - 2f_{i,j} + f_{i,j-1}) , \quad (24d)$$

$$(f_{\xi\eta})_{i,j} = (f_{i+1,j+1} - f_{i-1,j+1} - f_{i+1,j-1} + f_{i-1,j-1})/4 , \quad (24e)$$

若定義 $XE = X_{i+1,j}$, $XW = X_{i-1,j}$, $XN = X_{i,j+1}$, $XS = X_{i,j-1}$, 則(23a)與(23b)方程式可改為如下之差分計算式。

$$X_{\xi\xi} = (XE - 2XP + XW) , \quad (25a)$$

$$X_{\eta\eta} = (XN - 2XP + XS) , \quad (25b)$$

$$Y_{\xi\xi} = (YE - 2YP + YW) , \quad (25c)$$

$$Y_{\eta\eta} = (YN - 2YP + YS) , \quad (25d)$$

$$X_p^{(N+1)} = \frac{1}{2(\alpha + \gamma)} \left[\alpha(YE + YW) + \gamma(YN + YS) - 2\beta Y_{\xi\eta} + J^2(PY_\xi + QY_\eta) \right]^{(N)} , \quad (26)$$

$$Y_p^{(N+1)} = \frac{1}{2(\alpha + \gamma)} \left[\alpha(YE + YW) + \gamma(YN + YS) - 2\beta Y_{\xi\eta} + J^2(PY_\xi + QY_\eta) \right]^{(N)} , \quad (27)$$

$$X_p^{(N+1)} = (1 - \omega)X_p^{(N)} + \omega X_p^{(N+1)} , \quad (28)$$

$$Y_p^{(N+1)} = (1 - \omega)Y_p^{(N)} + \omega Y_p^{(N+1)} , \quad (29)$$

上式中 ω 係加權係數，本文使用S.O.R. (Successive over relaxation)疊代法計算差分式，其加權係數 ω 取1.7，對一正方形格形之計算領域做運算，直到 $X_p^{(N)} X_p^{(N+1)} Y_p^{(N)} Y_p^{(N+1)}$ 收斂為止，而疊代計算過程之起始值設定為四周邊界之線性內差值。

圖6-7是第一類空間延展迴歸分析座標轉換領域，實際觀測點位於第一類轉換座標中之觀測點位置如圖6-8所示。圖6-9是第一類座標系統中地表高程之空間延展迴歸多項式曲線，圖6-10則是Kriging插值模式過程中之變異元函數模擬值，比較圖6-10與圖6-4可以明顯發現去除空間延展趨勢後，可以大幅度增加Kriging插值計算結果中變異元函數之準確度。圖6-11係經過一次空間延展趨勢迴歸後，利用去除延展趨勢後之殘差量進行最佳化Kriging計算，並合併Kriging內插值與空間延展趨勢值後之地表高程分布。比較圖6-3與圖6-11可以發現經過空間延展趨勢迴歸分析後之計算結果，似乎可以更正確描述邊界地表高程分布。為了進一步了解多次空間延展趨勢迴歸後，是否可以進一步提昇空間外插延展結果準確度，乃增加另外兩類之空間延展迴歸分析座標轉換領域，如圖6-12與圖6-13所示，實際觀測點位置於第二類與第三類轉換座標系統中之觀測點位置則標示於圖6-14與圖6-15中。於第二類與第三類座標系統中之空間延展趨勢迴歸值與觀測變量殘差值如圖6-16與圖6-17所示，圖6-18顯示合併三類空間延展趨勢後之空間延展趨勢合成值，圖6-19則是合併坑間延展趨勢與殘差量之Kriging空間內插計算結果後之地表高程分布。比較圖6-3、圖6-11與圖6-19，可以發現結合延展趨勢與Kriging模式後，的確可以增加空間內插之合理性。另外，採用適當之延展趨勢後，可以大幅度提昇Kriging模式於外插延展計算結果之正確度。

6.2 計算領域含水層水位內插與延展計算

本文利用含水層水位計算邊界水平側向流量，因此必須取得含水層水位於計算網格上之時間序列數據，其製作方式即是利用含水層觀測水

位經由前一節所建立之空間內插延展模式，進行計算領域之水位內插與延展工作。於圖4-5至圖4-8中標示出濁水溪沖積扇含水層1、含水層2-1、含水層2-2與含水層3之水位觀測井位置，本計畫地層下陷模式計算上將含水層2-1與含水層2-2合併為含水層2，其水位觀測井位置如圖6-20所示，其中含水層2之觀測水位則取含水層2-1與含水層2-2之平均值。由濁水溪沖積扇地下水位觀測值，顯示扇頂區域靠近彰雲橋隘口段是濁水溪沖積扇地下水位最高位置，然而斗六丘陵區域地下水位卻又高於彰雲橋隘口段地下水位。依據地下水位觀測數據於空間之分布，另外兩類貼壁座標系統以進行空間延展趨勢迴歸分析，此即是第四類與第五類貼壁座標系統，如圖6-21與圖6-22所展示。

為了說明不同組合條件下，延展趨勢與空間插值模式計算結果之差別，茲選擇1998年4月之觀測水位平均值進行分析與探討。經由第四類貼壁座標系統轉換觀測井位置，並且進行空間延展趨勢迴歸分析後，含水層1之空間延展趨勢迴歸曲線如圖6-23所示。於圖6-23中，x座標介於20至25之間水位觀測值明顯大於迴歸曲線值，經比對後發現這些位置觀測點位均位於斗六丘陵西側區域，即古坑、崁腳、東和、溫厝、三合等觀測點位。位得到更理想之空間延展趨勢迴歸曲線，於第四類座標轉換系統中選擇性將古坑、崁腳、東和、溫厝、三合等觀測點位屏除於繪歸數據外，進而得到如圖6-24之觀測水位空間延展趨勢迴歸曲線，將圖6-24中觀測水位去除迴歸值後，利用此殘差值於第五類貼壁座標系統中進行第二次空間延展趨勢分析，其結果如圖6-25所示，此結果已經進一步描述斗六丘陵西側觀測水位對於空間延展趨勢之影響。對含水層2採用相同之分析步驟，其結果如圖6-26，圖6-27與圖6-28所示，由空間延展趨勢迴歸曲線分析結果，顯示含水層2之觀測水位於空間之變化差異較不規則，由於含水層2目前仍是主要抽水層位置，因此其地下水位於空間上變化較劇烈。圖6-29圖6-30與圖6-31係採用相同步驟後，得到含水層3之空間延展

趨勢曲線迴歸結果，由於斗六丘陵西側僅東和一處觀測井，使得經由第五類座標系統轉換結果進行空間延展趨勢迴歸結果並不理想(圖6-31)，因此於含水層3之水位空間插值計算工作上，不考慮第五類空間延展趨勢。

為了比較空間延展趨勢對於水位空間插值之影響，將空間插值計算工作中，最佳化Kriging模式所得到之變異元函數理論值與模擬值繪如圖6-32至圖6-34。其中圖6-32之變異元函數係不考慮空間延展趨勢，而直接以觀測水位進行最佳化後所得到之結果，由變異元函數之理論值與模擬值可以發現距離越大時，兩者之差距也越大。圖6-33是經由第四類座標系統去除空間延展趨勢後之變異元函數模擬值與理論值，其中含水層2之空間延展趨勢迴歸結果較不理想，使得其變異元函數模擬值與理論值之間有較大差距，而含水層1與含水層3均則具有不錯之模擬結果。圖6-34是經由第四類與第五類座標系統去除空間延展趨勢後之變異元函數模擬值與理論值差距，此分析結果與圖6-33類似。

上述工作中，經由不同計算條件所得到之地下水位空間內插延展結果如圖6-35所示，此結果顯示斗六丘陵區域於含水層1與含水層2位置，呈現一明顯之補注區域，而含水層3則不明顯。此外，地下水位空間插值計算結果，顯示經由空間延展趨勢分析後，其地下水位具有較平滑分布特性。為了說明不同時間地下水位空間插值計算結果，茲選擇1998年進行分析計算，並繪出1998年每月15日之地下水位空間分布推算結果，如圖6-36所示。於圖6-36中同時顯示3個含水層之空間延展趨勢推估值、地下水位內插值與兩者之差距。空間延展趨勢與地下水位觀測量之間差距，顯示濁水溪沖積扇地下水位與扇頂邊界補注水位之間平衡互動關係，當地表水補注量等於地下水抽取量時，其地下水位與地下水位空間延展趨勢之間可以維持特定平衡關係，使得兩者之間差距於空間分布上呈現隨機平衡。而圖6-36所呈現之結果，顯示濁水溪沖積扇地下水含水層大部份區域均處於供需不平衡狀態。

6.3 邊界水平側向流量推估流程

推估邊界位置含水層水平側向流量可以採用水位梯度法、地下水定年法或示蹤劑等方法，其中以水位梯度法最便利最經濟。因此廣被採用。計算水位梯度方法包羅萬象，本文採用有限元素法理論，藉著對計算網格積分方式，以發散理論(divergence)推估邊界流量。為了降低邊界水位梯度計算上之誤差，將濁水溪沖積平原邊界側向流量推算位置由彰雲橋隘口段往西移動至地下水位觀測位置內域，其計算位置標示如圖6-37，北端點起自員林與田中之間區段，沿田中、二水、烏塗、石榴、東和、古坑至崁腳，全長約35公里。為了統計邊界側向流量計算結果，將計算區域分為六個區段。分別為員林田中段、田中二水段、二水烏塗段、烏塗石榴段、石榴古坑段與古坑崁腳段，如圖6-38所示。

本文推算邊界側向流量方法已於第三章中明，圖6-39係邊界側向流量之計算流程，茲將此計算流程說明如下。

1. 選擇邊界側向流量推算位置

為了降低邊界水位坡降計算上，因為考慮山區地下水位而產生之錯誤結果，邊界側向流量推算位置應該儘量選擇平原區域外圍，以及選擇地下水位觀測位置之內域。

2. 有限元素節點與格網之製作

由於側向流量推估方式係採用有限元素法之積分理論，因此必需於推算位置設計適當網格，以進行計算工作。

3. 計算節點不同含水層之地質水文參數

於邊界側向流量推算位置，利用前述建立之空間插值模式推算含水層地質水文參數。表6-1是濁水溪沖積扇地質鑽探點位與水位觀測井位置之地質水文參數試驗值，利用此試驗值配合空間插值模式計算濁水溪沖積扇不同含水層之傳輸係數與儲水係數分布，其

結果如圖6-40與圖6-41所示。

4. 計算節點之地下水位

此步驟即前一節中之地下水位空間內插與延展計算。

5. 利用有限元素積分理論計算節點平衡水量

當計算節點之地下水位與含水層地質水文參數設定完成後，即可利用第三章中所述之邊界側向流量推算方法，經由積分理論推算節點之水流平衡量。由於推算節點係位於邊界上，倘若忽略該點位之抽水量與地表補注量，則其水流平衡量等於邊界側向流量。

6.4 邊界水平側向流量推估結果

前述邊界水平側向流量推估方法中，於有限元素網格積分工作上，有兩種選擇：其一是忽略含水層之蓄水體積變化，其次是考慮含水層蓄水體積變化。當所選擇之計算網格含水層體積變化率遠小於側向流量變化率時，可以忽略含水層體積變化率，此條件下即是所謂穩態流量。表6-2即是濁水溪沖積扇東側邊界區域1998年各月份側向流量推估結果，其中計算編號CASE代表不考慮空間延展趨勢，直接以最佳化Kriging模式進行水位空間內插後之邊界側向流量計算結果，CASE1是經過第四類座標轉換後以最佳化Kriging模式進行水位空間內插後之邊界側向流量計算結果，CASE2則是經過第四類與第五類座標轉換後以最佳化Kriging模式進行水位空間內插後之邊界側向流量計算結果。

於表6-2計算結果中，顯示含水層1邊界側向流量以烏塗石榴段最大，不同推估模式所得到之年流量介於0.21至0.42億噸之間；其次是二水石榴段，不同推估模式所得到之年流量介於0.18至0.30億噸之間；而古坑炭腳段流量最低，不同推估模式所得到之年流量均小於0.01億噸；員林田中段次之其年流量介於0.02至0.04億噸之間。

含水層2邊界流量以石榴古坑段最大，不同推估模式所得到之年流量

介於0.25億噸至0.39億噸之間；其次是二水烏塗段，然而CASE0推估值僅0.042億噸，CASE1與CASE2推估值分別達到0.19億噸與0.11億噸。

含水層3邊界流量亦以石榴古坑段最大，不同推估模式所得到之年流量介於0.097億噸至0.099億噸之間；其次是員林田中段，不同推估模式所得到之年流量介於0.045億噸至0.091億噸之間；於二水烏塗段之間，CASE0推估值為-0.02億噸，而CASE1與CASE2推估值分別達到0.071億噸與0.068億噸。

上述推算結果顯示考慮空間延展趨勢值之分布，的確可以較合理掌控邊界側向流量推算結果，以二水烏塗段之側向流量推算結果為例，不考慮空間延展趨勢時，含水層3地下水位於彰雲橋隘口段將形成一局部補注錐，此時利用水位梯度計算邊界側向流量時，將得到逆向流量。

表6-3是考慮含水層體積變化率時，利用不同推估模式計算不同含水層邊界側向流量結果，比較表6-2與表6-3顯示於考慮空間延展趨勢條件下，推估邊界側向流量時可以忽略含水層體積變化率。

表6-4是1998年濁水溪沖積扇東側邊界側向流量推估結果之年流量統計值，以CASE2之推算結果，含水層1年側向流量介於0.669億噸至0.7億噸之間，含水層2年側向流量介於0.622億噸至0.645億噸之間，含水層3年側向流量介於0.357億噸至0.383億噸之間，合計三含水層年側向流量約為1.649億噸或1.729億噸，不同含水層之間側向流量之差距在0.3億噸左右。若以CASE0推估結果而言，含水層1年側向流量介於1.126億噸至1.091億噸之間，含水層2年側向流量介於0.639億噸至0.617億噸之間，含水層3年側向流量介於0.206億噸至0.18億噸之間，合計三含水層年側向流量約為1.889億噸或1.972億噸，不同含水層之間側向流量之差距達0.9億噸左右。比較此結果，顯示經由空間延展趨勢分析後，再配合最佳化Kriging插值模式，可以使邊界側向流量推估結果於不同含水層之間具有較好協調性。

第七章 三維多層地下水流模式之驗證

7.1 侷限含水層Theis(1935)解析解驗證

Theis(1935)假設抽水井抽水後對含水層水位洩降影響範圍在無限遠域，進而得到如下之含水層水位洩降量理論解：

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy, \quad (30)$$

$$s(r,t) = \frac{\theta}{4\pi t} W(u), \quad (31)$$

$$u = \frac{r^2 S_s}{4Tt}, \quad (32)$$

上式中， $W(u)$ 稱為水井函數(well function)， s 是水位洩降量， r 是觀測井與抽水井距離， S_s 是蓄水係數， T 是傳輸係數， t 是抽水時間。

數值模式首步驗證工作，即採用Theis(1935)理論值與數值計算結果作比較。假設一侷限含水層厚度50m，水力傳導係數為 $K_x = K_y = 1 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ ，比儲水係數 $S_0 = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ ，換算得到傳輸係數為 $T = 0.005 \text{ m}^2/\text{sec}$ ，蓄水係數 $S_s = 0.005$ 。抽水井以持續穩定抽水量 $0.0216 \text{ m}^3/\text{sec}$ 抽取含水層地下水，於此條件下距離抽水井100公尺、200公尺與500公尺位置水位洩降量之Theis(1935)理論解，以及數值模式模擬結果如圖7-1所示，此結果顯示數值解於單一侷限含水層中，可以得到正確計算結果。

7.2 阻水層非穩定態水頭垂向變化

三維多層地下水流模式主要假設論點在於阻水層內之水流只有垂向流動，而含水層只有水平方向流動，而由往昔文獻中，對於阻水層與含

水層之間垂向流通量，一般有兩種處理方式。其一是採用穩定態，其次是採用非穩定態。穩定態假設條件下，位於阻水層上下層含水層之間滲漏量與兩含水層水頭差成正比，而無時間延遲效應。然而非穩定態條件下，阻水層將扮演流通量儲蓄與延遲效應兩種角色。如圖7-2所示，假設一位於河口地區侷限含水層水位不受其上方潮汐水位影響，則於潮汐漲潮與退潮期間，分別以有限差分法及有限元素法模擬阻水層內部之水顯變化，其結果如圖7-3所示，當潮汐水位為0時，阻水層內部水頭不等於0，此即是延遲效應。圖7-4顯示對於穩定態與非穩定態垂向流通量歷程之差別，其中上邊界流量即是 $z=10\text{m}$ 位置之流量，下邊界流量，即是 $z=0\text{m}$ 位置之流量，其中FDM(有限差分法)與FEM(有限元素法)所得到結果相同，而採用穩定態時，流量計算結果與潮位有相同之相位(phase)，採用非穩定態時，流量與潮位約有1個小時左右之相位差。同時，由圖7-4亦可以發現採用非穩定態解時，流量歷線有較大之振幅，反之採用穩定態時，流量歷線振幅較小。

7.3 多層侷限含水層解析解驗證

在建立多層三維地下水流數值模式後，為驗證模式之正確性，乃利用圖7-5所示之互層地下水層結構，計算上下兩層侷限含水層於抽水後之水位洩降變化，其中上下層侷限含水層厚度均為50公尺，水力傳導係數為 $K_x = K_y = 1 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ ，比儲水係數為 $S_o = 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ 。兩侷限含水層之間是厚度10公尺之阻水層，其水力傳導係數為 $K_z = 1 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ ，比儲水係數為 $S_o = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ 。於下層侷限含水層內設置一抽水井，抽水量為 $0.0216 \text{ m}^3/\text{sec}$ 。對於圖7-5之三層互層含水層抽水後之水位洩降，Hantush (1967)與Neuman (1969) 分別採用變數轉換分離法得到水位洩降值解析值，對於Hantush(1967)與Neuman(1969)之假設條件與解析值說明如下：

一、Hantush (1967) 解析解

Hantush (1967)以Laplace以及Hankel轉換方法，得到圖7-5三層互層條件下抽水井抽水後之含水層水位洩降值。此解析解如下：

$$s_1(r,t) = \frac{Q_2}{4\pi(T_1 + T_2)} [W(u) - W(u, \beta)] \quad (33)$$

$$s_2(r,t) = \frac{Q_2}{4\pi(T_1 + T_2)} [W(u) + \delta_1 W(u, \beta)] \quad (34)$$

上式中， s_1 是上層侷限含水層水位洩降值， s_2 是下層侷限含水層水位洩降值， Q_2 是下層侷限含水層水井抽水量， T_1 與 T_2 分別是上層與下層侷限含水層傳輸係數， u 的定義與(32)式相同， β 、 δ_1 與 δ_2 是含水層參數，定義如下：

$$\begin{aligned} \delta_1 &= T_1/T_2, \quad \delta_2 = T_2/T_1, \\ \beta_1 &= \frac{r}{\sqrt{T_1/(K'/b')}}, \quad \beta_2 = \frac{r}{\sqrt{T_2/(K'/b')}} \quad \beta^2 = \beta_1^2 + \beta_2^2, \end{aligned} \quad (35)$$

其中， K' 是阻水層之水力傳導係數， b' 是阻水層厚度。

$W(u, \beta)$ 是阻水層條件下之水井函數，其定義如下：

$$W(u, \beta) = \int_0^\infty \exp\left(-y - \frac{\beta^2}{4y}\right) \frac{dy}{y} \quad (36)$$

二、Neuman(1969)解析解

Neuman(1969)採用類似Hantush(1967)之變數轉換分離法得到圖7-5

三層互層含水層條件下之解析解，Neuman(1969)與Hantush(1967)兩者所得到理論解最大差異在於對阻水層內部水頭變化條件的假設不同。Hantush(1967)假設阻水層水頭變化為穩定態，而Neuman(1969)則考慮阻水層水頭變化延遲效應，即阻水層垂向水頭變化為非穩定態。Neuman(1969)所得到之解析解如下：

$$s_1(r,t) = \frac{Q_1}{4\pi T_1} \int_0^\infty (1 - e^{-y^2 \tilde{t}}) \{J_0[\omega_1(y)] + J_0[\omega_2(y)]\} \frac{dy}{y} \quad (37)$$

$$s_L(r,z,t) = \frac{Q_1}{4\pi T_1} \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^\infty \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi z}{b'} \int_0^\infty \left[1 - e^{-n^2 \pi^2 \tilde{t}} + \frac{e^{-n^2 \pi^2 \tilde{t}} - e^{-y^2 \tilde{t}}}{1 - y^2 / (n^2 \pi^2)} \right] \cdot \{ [(-1)^n - 1] J_0[\omega_1(y)] - [(-1)^n + 1] J_0[\omega_2(y)] \} \frac{dy}{y} \quad (38)$$

$$s_2(r,t) = \frac{Q_1}{4\pi T_1} \int_0^\infty (1 - e^{-y^2 \tilde{t}}) \{J_0[\omega_1(y)] - J_0[\omega_2(y)]\} \frac{dy}{y} \quad (39)$$

上式中， s_L 是阻水層內部垂直方向水頭變化， $J_0(x)$ 是零階Bessel函數， \tilde{t} 是無因次時間變量， $\omega_1(y)$ 與 $\omega_2(y)$ 是含水層無因次參數，當上下侷限含水層之水力參數相同時，各無因次參數之計算如下：

$$\tilde{t} = \frac{Kt}{S_0 r^2} (r/B)^4 (4\beta)^2 \quad (40)$$

$$G(y) = M(y)/F(y) \quad (41)$$

$$\omega_1^2(y) = \frac{1}{2} [N(y) + F(y)] \quad (42)$$

$$\omega_2^2(y) = \frac{1}{2} [N(y) - F(y)] \quad (43)$$

$$F(y) = \frac{2(r/B)^2 y}{\sin y} \quad (44)$$

$$N(y) = \left[\frac{2(r/B)^4}{(4\beta)^2} \right] y^2 - 2(r/B)^2 y \cot y \quad (45)$$

$$r/B = r \sqrt{K'/Kbb'}$$

$$\beta = \frac{r}{4b} \sqrt{\frac{K'S_0'}{KS_0}} \quad (46)$$

其中， K' 是阻水層水力傳導係數， K 是侷限含水層水力傳導係數， b' 是阻水層厚度， b 是侷限含水層厚度， S_0' 是阻水層比儲水係數， S_0 是侷限含水層比儲水係數。

三、數值解與理論解之比較

利用本文所建立之三維多層地下水流數值模式，計算距離抽水井100公尺、200公尺、500公尺、1000公尺與2000公尺位置，上下兩含水層水位洩降值，並且與Hantush(1967)、Neuman(1969)以及Theis(1935)理論解比較，其結果如圖7-6至圖7-10所示。由圖7-6中水位洩降結果說明了下層含水層在100公尺處的水位洩降量遠大於上層含水層之水位洩降量，此計算例亦可以看出阻水層在上下兩層含水層之間的水流傳輸上扮演了一個儲水及延遲效應，使得下層含水層抽水後對於水位洩降的影響沒有及時地傳遞到上層含水層，而上層含水層經過阻水層而流到下層含水層的流通量亦產生延遲效應，亦即在下層含水層抽水後經過一段時間後才開始有明顯之水位洩降，此即三維多層地下水流表現三維度地下水流的特色所在，亦即實際表現出地下水於複雜之地層結構中之流動，但是節省了三維地下水流模式的計算時間。

於圖7-6至圖7-10中，當阻水層內部水頭變化視為穩定態時，上下兩層含水層水位洩降較非穩定態條件大，此結果顯示了阻水層蓄水效應。亦即說，Hantush(1967)的假設條件忽略了阻水層的蓄水效應，亦即阻水層不扮演蓄水角色，此時含水層抽取水量全部來自侷限含水層。而

Neuman(1969)之阻水層非穩定流條件下，阻水層亦釋放部份水量成為地下水抽水量。由圖7-6至圖7-10計算結果中，亦可以看出Theis(1935)水位洩降值約等於上下兩侷限含水層水位洩降累加值，此說明了在多層含水層結構條件下，上下含水層共同分擔了含水層總洩降量。

第八章 結語

8.1 第一年度工作成果與主要結論

本計劃於第一年期間所完成之實際工作成果如下：

1. 收集與整理濁水溪沖積扇地下水補注量研究方法與分析結果。
2. 收集與整理彰化與雲林地區1996年至2000年地下水監測井水位觀測值，1996年至2000年降雨量、蒸發量觀測值，以及1996年至1998年農田水利會灌溉用水量統計值。
3. 製作一維垂向未飽和地下水流模式以進行地表入滲量推估工作，並且將模式改良成視窗化介面，以嵌入地理資訊系統中。
4. 一維垂向未飽和地下水流模式之解析解驗證與驗地觀測值驗證。
5. 製作最佳化kriging空間內插模式，以及任意點位土壤分層模式，並且驗證土壤分層結果之可信度。
6. 地表入滲量實地應用於彰化地區與雲林地區。
7. 製作二維垂向飽和與未飽和地下水滲流模式，並且利用Rulon等人(1985)之試驗結果驗證地下水位面以及滲流量計算結果。
8. 將二維垂向飽和與未飽和地下水滲流模式，實地用於濁水溪河床滲漏量之推估。

第一年工作內容中所達成之主要結論如下：

1. 一維垂向未飽和地下水流模式，採用Broadbridge&White(1988)之解析解，並且與Perroux(1981)之現地試驗值中土壤含水量剖面進行比較，此驗證過程顯示以土壤含水量作為計算變數時，有較佳之含水量平衡，若採用土壤張力水頭作為計算變數時，於短時期計算過程中雖無法有較佳水體平衡，但是經過較長時期後仍有不錯之

水體平衡。

- 2.一維垂向入滲實地應用結果，於彰化地區推估得到全區域每年地表水為12.5億噸，於雲林地區為9億噸。比此結果明顯高於張和龔(1996)與能邦科技公司(2000)之推算結果，其主要原因係本文上未考慮空間解析度與地表土地利用型態對於入滲之影響所造成。
- 3.河床滲漏量推估結果，統計不同特性之河床滲漏量後得到：西濱大橋至自橋大橋區間每年滲漏量約19萬立方公尺；自強大橋至中沙大橋河段每年滲漏量約-44萬立方公尺，即地下水回流至河川每年約44萬立方公尺；中沙大橋至彰雲大橋之間為主要床滲漏量補注地下水區域，每年河床滲漏量約12053萬立方公尺，即每年補注地下水量約1.2億噸。

8.2 本年度工作成果與結論

本項計劃工作於本年度實際完成之工作內容如下：

- 1.一維垂向地表入滲量推估模式計算流程修正。
- 2.考慮地表土地利用形態與淺層土壤分布後，修正第一年度中彰化地區與雲林地區1998年地表入滲補注量計算結果，並增加1997年全年地表入滲量推估結果。
- 3.利用座標轉換方法推估空間觀測變量之空間延展趨勢，藉以配合修正Kriging空間內插延展模式。
- 4.應用Kriging空間內插延展模式建立研究區域含水層地質水文數據，並配合有限元素法積分過程推估濁水溪沖積扇東側邊界水平側向流量。
- 5.建立與驗證三維多層地下水流模式。

依據工作成果，將本年度結論整理歸納後，條列說明如后。

- 1.由於第一年度入滲量推估工作中，並未考慮地表土地利用形態、地表1.5公尺內之土壤特性，因此本年度承續第一一年工作中所發展與建立模式，更新與修正第一一年推估工作中輸入數據後，並且修正地表入滲量計算結果。修正地表入滲數據後，重新計算彰化雲林地區地表入滲量並且與往昔研究結果比較，其結果顯示彰化地區張和龔(1996)推估全區域每年地表水入滲補注量為5.47億噸，能邦科技公司(2000)利用兩種不同參數推估入滲補注量，分別得到6.82億噸與2.47億噸，本研究上一年度推估1998年之入滲量為12.5億噸，而本年度推估1997年與1998年之入滲量，分別為5.63億噸與7.19億噸，由此可知本年度考慮地表土地利用與淺層土壤分類，並修正計算範圍之空間解析度後，使得本年度之推估結果與張和龔(1996)與能邦科技公司之推估結果較有一致性。於雲林地區地表入滲量推估結果，張和龔(1996)推估全區域每年地表水入滲補注量為5.12億噸，能邦科技公司(2000)利用兩種不同參數推估入滲補注量，分別得到5.4億噸與2.63億噸，本研究上一年度推估1998年之入滲量為9億噸，而本年度推估1997年與1998年之入滲量，則分別為6.18億噸與5.45億噸。
- 2.結合延展趨勢與Kriging模式，並且利用DTM地表高程數據加以驗證，其計算結果顯示空間內插延展模式經過此一改良與修正後，的確可以增加空間內插之合理性。另外，本文亦證明了採用適當之延展趨勢後，可以大幅度提昇Kriging模式於外插延展計算結果之正確度。
- 3.本文以有限元素法之積分理論配合地下水位與地質水文參數之空間插值結果，推估1998年濁水溪沖積扇東側邊界側向流量。推估結果顯示經由空間延展趨勢分析後，再配合最佳化Kriging插值模式，可以使邊界側向流量推估結果於不同含水層之間具有較好協

調性。

4.1998年濁水溪沖積扇東側邊界側向流量推估結果顯示，含水層1年側向流量介於0.669億噸至0.7億噸之間，含水層2年側向流量介於0.622億噸至0.645億噸之間，含水層3年側向流量介於0.357億噸至0.383億噸之間，合計三含水層年側向流量約為1.649億噸或1.729億噸，不同含水層之間側向流量之差距在0.3億噸左右。

8.3 後續辦理工作

本計畫於第三年度中，將持續進行之工作內容規劃如下：

- 1.將採用水井觀測水位作為目標函數，以優選模式反向推估抽水量。推估過程中，因為水位與抽水量之間呈現線性反應將使得抽水量推估結果呈現不合理結果，因此本研究將朝建立抽水量區域分配函數與時間分配序列函數兩方面，降低推估參數數目，以進行有效地抽水量推估工作。
- 2.利用地下水平衡模式，配合地表水入滲量、河床滲漏量、邊界條件值以及抽水量推估結果，模擬分層地下水位變化，以驗證本研究成果之可信度。
- 3.製作地下水文平衡與地層下陷模式數據傳輸與轉換介面模式，並將水平衡模式進一步視窗化，以達到資訊整合之整體目標。
- 4.將配合地層下陷模式輸入數據之規格要求，將水平衡計算結果於保持區域整體平衡之基礎上，利用水文數據空間與時間重新取樣技巧製作數據轉換介面程式，以達到不同模組數據傳輸之需求。

參考文獻

1. 許榮庭、馮秋霞(2000)，“區域地下水文平衡模擬與預測(一)”，經濟部水利處水利規劃試驗所，235P。
2. 許榮庭(2000)，“區域地下水文平衡模擬與預測(二)”，經濟部水利處水利規劃試驗所，198P。
3. 許榮庭、劉長齡(1998)，“應用參數推估法推求互層坡地滲流之土壤水力特性函數”，中國土木水利工程學刊，第十一卷，第二期，pp.243-248。
4. 劉長齡、許榮庭、陳亦詮(1997)，“山坡道路邊坡地下水滲流之研究”，第二屆地下水資源及水質保護研討會，成功大學，台南，pp.511-522。
5. 許榮庭、劉長齡(1996)，“參數推估於降雨入滲應用上之探討”，中國土木水利工程學刊，第八卷，第二期，pp.231-239。
6. 劉長齡、余進利、許榮庭、陳亦銓 (1992)，“山坡降雨與地下水位變化之研究”，第六屆水利工程研討會，交通大學，新竹，pp.810-821。
7. 許榮庭，劉長齡，(1989)，“應用雙步驟優選過程推估在連續水井水位觀測下之入滲深度”，台灣水利季刊，Vol.37，No.1，pp.24-32。
8. 曹以松，許榮庭，(1987)，“地下水安全出水量線性模式之應用”，中國農業工程學報，Vol.33，No.2，pp.28-35。
9. 曹以松，許榮庭，(1985)，“地下水抽水量反向推求模式之研究與應用”，中國農業工程學報，Vol.31，No.4，pp.1-18。
10. 曹以松，許榮庭，(1984)，“地下水抽水量反向推求法數學模式導論”，台灣水利季刊，Vol.32，No.4，pp.1-11。
11. 劉長齡，許榮庭，王信權，(1990)，“地下水與地面水之間水流與水質傳輸現象之分析(一)”，行政院國家科學委員會科技研究報告(NSC-79-0410E-006-11)，1990年7月。

12. 劉長齡，許榮庭，(1991)，“地下水與地面水之間水流與水質傳輸現象之分析(二)”，行政院國家科學委員會科技研究報告(NSC-80-0410E-006-25)，1991年7月。
13. 涂根源，(1998)，“長期水文模式推估地下水補注量之研究—以濁水溪沖積扇扇頂為例”，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
14. 經濟部水資源局，(1999)，“彙編「台灣地區地下水—濁水溪沖積扇篇」”，經濟部水資源局，民國八十八年六月。
15. 地下水勘測隊(1957)，“大濁水溪沖積扇平原地下水勘查報告”，45P。
16. 地下水工程處(1963)，“大濁水溪沖積扇地區地下水源複勘報告”，109P。
17. 地下水工程處(1973)，“濁水溪南岸雲林地區地下水源調查報告”。
18. 中興大學土壤學系(1975)，“雲林縣土壤調查報告”。
19. 台灣省水利局、國立嘉義農專(1987)，“地下水安全出水量調查研究報告”，行政院農業委員會，125P。
20. 沈向白(1989)，“雲林地區地下水安全出水量調查研究”，嘉義農工學報，第八期，pp.11-31。
21. 嘉義農專(1991)，“濁水溪沖積扇地區地下水資源調查”，嘉義農專報告。
22. 劉聰桂、田巧玲、邱等輝、張炎銘(1996)，“濁水溪沖積扇之地下水資源—碳十四與氡定年/示蹤研究”，濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集，pp.145-164。
23. 江崇榮、賴典章、黃智昭、賴慈華、陳利真(1996)，“濁水溪沖積扇之水文地質與地下水系統概念模型”，濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集，pp.127-143。
24. 劉聰桂(1996)，“濁水溪沖積扇之地下水資源—碳十四與氡定年/示蹤研究”，濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集，經濟部水利局，台北，pp.181-206。

25. 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,90P。
26. 林國峰、李天浩、陳家洵、蔡惠峰、劉振宇、劉聰桂、謝正倫、譚義績及歐陽湘(1996),“濁水溪沖積扇地下水補注工作架構之規劃與推動”,雲林縣政府,253P。
27. 潘國樑(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,116P。
28. 逢甲大學(1997),“地下水及地盤下陷調查—濁水溪沖積扇地下水資源之合理推估(一)”,行政院農業委員會,65P。
29. 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。
30. 水利處(1997a),“台灣地區地下水觀測網第一期計畫--地下水觀測網之建立作管理八十六年子計畫報告--濁水溪沖積扇扇頂平原地區地表垂向補注量估計”,經濟部水資源局。
31. 水利處(1997b),“台灣地區地下水觀測網第一期計畫--濁水溪沖積扇地下水水文初步分析”,經濟部。
32. 中興工程顧問股份有限公司(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開發及營運管理可行性規劃—濁水溪沖積扇地下水營運管理規劃報告”,114P。
33. 中興工程顧問股份有限公司(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規劃報告附錄”,343P。
34. 中興工程顧問股份有限公司(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—濁水溪沖積扇地下水人工補注環境影響評估報告”,103P。
35. 中興工程顧問股份有限公司(1998),“台灣地區南部水資源綜合發展計畫—專題報告—地下水資源經營管理初步規劃”。

36. 林再興、陳時祖、李振誥(1998)，“地層下陷防治綜合計畫子計畫四—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。
37. 劉振宇、李天浩、蘇明道、林國峰(1998)，“地層下陷防治推動綜合計畫子計畫九—濁水溪沖積扇扇央及扇尾平原地區地表垂向補注量評估”，經濟部水資源局，69P。
38. 葉文工、楊淑麗(1998)，“台灣沿海地區地下水超抽改善方案研擬與評估(II)”，水資源局，130P。
39. 中興工程顧問股份有限公司(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”，台灣省水利處，223P。
40. 陳進發(1998)，“彰化地區未飽和層水平衡分析研究”，成功大學資源工程學研究所碩士論文。
41. 成功大學水工試驗所(1991)，“雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析—基礎工業區上游地區排水調查與排水能力分析”，經濟部工業局。
42. 成功大學水工試驗所(1993)，“雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析—基礎工業區上游地區排水調查與排水能力分析”，經濟部工業局。
43. 台灣省水利會(1976)，“台灣旱作灌溉立地區分計畫報告”。
44. 馮秋霞、許榮庭、呂榮一、周昱志、許勝雄(1995)，“地下水及地盤下陷調查-嘉南地區水田灌溉對地下水補注影響之調查與評估(I)”，成功大學水工試驗所研究試驗報告第一七二號。
45. Brandt, A., E. Bresler, N. Diner, I. Ben-Asher, J. Heller and D. Goldberg, (1971), “Infiltration from a Trickle Source : I. Mathematical Models”, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol.35, pp. 675-682.

46. Brooks, R.H. and A.T. Corey, (1964), "Hydraulic Properties of Porous Media", Hydrology Papers, Colorado State University, Fort Collins, Colorado No.3
47. Brutsaert, W.(1968), "A Solution for Vertical Infiltration into a Dry Porous Media", W.R.R., Vol.4, No.5, pp.1031~1038.
48. Campbell, G.S. (1985), "Soil physics with BASIC", Elsevier, New York.
49. Carr, R.S., (1985), "A Finit Element Stream-Aquifer Model", Ph.D. Dissertation, Iowa State University, Ames, Iowa.
50. Celia, M.A. and G.F. Pinder, (1986), "An Alternating-Direction Collocation Solution for Unsaturated Flow Equation", VI International Conference on Finite element in Water Resource, Lisboa, Portugal, pp.395-410.
51. Childs,E.C. and N. Collis-George, (1950), "The Permeability of Porous Materials", Proc. Roy. Soc. London, A, Vol.201, PP.392-405.
52. Chow, V.T., D.R.Maidment and L.W.Mays, 1988, "AppliedHydrology", McGraw-HillBookCo., pp.1-12.
53. Cooley, R.L., (1971), "A Finite Difference Method for Unsteady Flow in Variably Saturated Porous Media: Application to a Single Pumping Well", Water Resources Research, Vol.7, No.6, pp.1607-1625.
54. Cooley, R.L., (1983), "Some New Precedures for Numerical Solution of Variably Saturated Flow Problems", Water Resources Research, Vol.19, No.5, pp. 1271-1285.
55. Eagleson, P.S., (1970), "Dynamic Hydrology", McGraw-Hill, New York.
56. Freeze, R.A., (1971a), "Three-Dimensional, Transient, Saturated-Unsaturated Flow in a Groundwater Basin", Water Resources Research, Vol.7, No.2, pp.347-366.

57. Freeze, R.A., (1971b), "Influence of the Unsaturated Flow Domain on Seepage Through Earth Dams", *Water Resources Research*, Vol.7, No.4, pp.929-941.
58. Gambolati, G., (1976), "Transient Free Surface Flow to a Well : An analysis of Theoretical Solutions", *Water Resources Research*, Vol.12, No.1, pp. 27-39.
59. Gill, M.A., (1985), "Bank Storage Characteristics of A Finite Aquifer due to Sudden Rise and Fall of River Level", *J. Hydrol.*, Vol.76, pp.133-142.
60. Green, W.H. and G.A. Ampt, (1911), "Studies of Soil Physics Part I. The Flow of Air and Water through Soils", *J. of Agriculture Science*, Vol.4, pp.1-24.
61. Hantush, M.S., (1960), "Modification of the Theory of Leaky Aquifers", *J. of Geophysical Research*, Vol. 65, No. 11, pp.3713-3725.
62. Hantush, M.S., (1967), "Flow to Wells in Aquifers Separated by a Semipervious Layer", *J. of Geophysical Research*, Vol. 72, No.6, pp.1709-1720.
63. Higgins, D.T., (1980), "Unsteady Drawdown in 2-D Water Table Aquifer", *J. of the Irrigation and drainage Division, ASCE*, Vol.106, No.IR3, pp.237-251.
64. Horton, R.E., (1933), "The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle", *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol.14, pp.446-460.
65. Horton, R.E., (1939), "Analysis of Runoff Plat Experiments with Varying Infiltration capacity", *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol.20, pp.693-711.
66. Jorgensen, D.G., D.C. Signor and J.L. Imes, (1989a), "Accounting for Intracell Flow in Models with Emphasis on Water Table Recharge and Stream-Aquifer Interaction 1. Problem and Concepts", *Water Resources Research*, Vol.25, No.4, pp.669-676.

67. Jorgensen, D.G., D.C. Signor and J.L. Imes, (1989b), "Accounting for Intracell Flow in Models with Emphasis on Water Table Recharge and Stream-Aquifer Interaction 2. A Procedure", Water Resources Research, Vol.25, No.4, pp.676-684.
68. Kondolf, G.M., L.M. Maloney and J.G. Williams, (1987), "Effects of Bank Storage and Well Pumping on Base Flow, Carmel River, Monterey County, California", J. Hydrol., Vol.91, pp.351-369.
69. Luthin, J.N., A. Orhun and G.S. Taylor, (1975), "Coupled Saturated-Unsaturated Transient Flow in Porous Media: Experimental and Numerical Model", Water Resources Research, Vol.11, No.6, PP.957-965.
70. Mckeon, T.J. and W.S. Chu, (1987), "A Multigrid Model for Steady Flow in Partially Saturated Porous Media", Water Resources Research, Vol.23, No.4, pp.542-550.
71. Mualen, Y., (1976), "A New Model for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media", Water Resources Research Vol.12, , No.3, PP.513-522.
72. Narasimhan, T.N. and P.A. Witherspoon, (1976), "An Integrated Finite Difference Method for Analyzing Fluid Flow in Porous Media", Water Resources Research, Vol.12, No.1, pp.57- 64.
73. Neuman, S.P. and P.A. Witherspoon, (1969), "Theory of Flow in a Confined Two Aquifer System", Water Resources Research, Vol.5, No.4, pp.803-816.
74. Neuman, S.P., (1981), "Delayed Drainage in A Stream-Aquifer System", J. of the Irrigation and drainage Division, ASCE, Vol.107, No.IR4, pp.407-410.
75. Nieber, J.L. and M.F. Walter, (1981), "Two-Dimensional Soil Moisture Flow in a Sloping Rectangular Region : Experimental and Numerical Studies", Water Resour. Res., Vol.17, No.6, pp.1722-1730.

76. Parker, J.C., J.B. Kool and M. TH. van Genuchten , (1985), "Determining Soil Hydraulic Properties from One-Step Outflow Experiments by Parameter Estimation: II. Experimental Studies" Soil Sci. Soc. Am. J. Vol.49, PP.1354-1359.
77. Philip,J.R., (1957), "The Theory of Infiltration : 1.The Infiltration Equation and Its Solution", Soil Science, Vol.83, PP.345-357.
78. Pinder, G.F. and S.P. Sauer, (1971), "Numerical Simulation of Flood Wave Modification due to Bank Storage Effects", Water Resources Research, Vol.7, No.1, pp.63-70.
79. Raudkivi, A.J., (1979), "Hydrology", Pergamon Press, Oxford.
80. Richards,L.A. , (1931), "Capillary Conduction of Liquids Through Porous Medium" Physics, Vol.1, PP.318-333.
81. Ross, P.J. and K.L. Bristow(1990), "Simulating Water Movement in Layered and Gradational Soils Using the Kirchhoff Transform", Soil Sci. Soc. Am. J., Vol.54, pp.1519~1524.
82. Rovey, C.E.K., (1975), "Numerical Model of Flow in a Stream-Aquifer System", Hydrology Paper No.74, Colorado State University.
83. Rulon, J.J., R. Rodway and R.A. Freeze, (1985), "The Development of Multiple Seepage Faces on Layered Slopes", Water Resources Research, Vol.21, No.11, pp.1625-1636.
84. Russo, D., (1988), "Determining Soil Hydraulic Properties by Parameter Estimation on the Selection of a Model for the Hydraulic Properties", Water Resources Research, Vol.24, No.3, PP.453- 459.
85. Sharp, J.M., (1977), "Limitations of Bank-Storage Model Assumptions", J. Hydrol., Vol.35, pp.31-47.
86. Singh, K.P., (1968), "Some Factors Affecting Base Flow", Water Resources Research, Vol.4, No.5, pp.985-999.

87. Singh, K.P., (1969), "Theoretical Baseflow Curves", J. Hydraulics Division, ASCE, Vol.95, No.HY6, pp.2029-2048.
88. Sposito, G., (1986), "The Physics of Soil Water Physics", Water Resources Research, Vol.22, No.9, pp.83S-88S.
89. Tang, Y.K. and R.W. Skaggs, (1977), "Experimental Evaluation of Theoretical Solutions for Subsurface Drainage and Irrigation", Water Resources Research, Vol.13, No.6, PP.957-965.
90. ten Berge, H.F.M., K. Metselaar, M.J.W.Jansen, E.M. de San Agustin(1995), "The SAWAH riceland hydrology model", W.R.R., Vol.31, No.11, pp.2721-2732.
91. Theis, C.V., (1935), "The Relationship between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well using Ground Water Storage", Trans. Amer. Geophys. Union, Vol.16, pp.519.
92. van Genuchten, M. Th., (1980), "A Closed-Form Equation for Predicting Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils", Soil Sci. Soc. Am. J. Vol.44, PP.892-898.
93. Verma, R.D. and W. Brutsaert, (1970), "Unconfined Aquifer Seepage by Capillary Flow Theory", J. Hydraulics Div., ASCE, Vol.96, No.HY6, pp.1331-1343.
94. Warrick, A.W. and D.O. Lomen, (1974), "Seepage Through a Hillside: The Steady Water Table", Water Resour. Res., Vol.10, No.2, PP.279-283.
95. Woolhiser, D.A. and H.B. Osborn, 1985, "A Stochastic Model of Dimensionless Thunderstorm Rainfall", Water Resources Research, Vol.21, No.4, pp.511-522.

表2-1 濁水溪沖積扇年平均抽水量相關研究比較

方 法	估 算 人	範 圍	抽 水 量
MODFLOW 數值模擬法	葉文工 (1998)	濁水溪沖積扇	10.0億噸/年
3DFEWA 數值模擬法	張誠信 (1996)	雲林	6.6億噸/年
MODFLOW 數值模擬法	林再興 (1998)	彰化	11.12億噸/年
MODFLOW 數值模擬法	中興工程 (1998)	濁水溪沖積扇	8-9億噸/年
2DFEWA 數值模擬	李清水 (1994)	濁水溪沖積扇	16.44億噸/年
現地調查	水資會 (1992)	濁水溪沖積扇	21.02億噸/年
水平衡法	中興工程 (1998)	濁水溪沖積扇	7.44億噸/年
水平衡法	水利會 (1997a)	雲林	7.57億噸/年
水平衡法	水利會 (1997a)	濁水溪沖積扇	14.1或8.6億噸/ 年
平均		濁水溪沖積扇	13.26億噸/年

表2-2 濁水溪沖積扇年平均補注量相關研究比較

方法	估算人	範圍	補注量
MODFLOW 數值模擬	葉文工 (1998)	濁水溪沖積扇	8.97億噸/年
MODFLOW 數值模擬	林再興 (1998)	彰化地區	8.07億噸/年
MODFLOW 數值模擬	姜儷安 (1996)	雲林地區	4.66億噸/年
碳十四定年與氙示蹤	劉聰桂 (1996)	濁水溪沖積扇	9億噸/年
現場調查法	嘉義農專 (1991)	濁水溪沖積扇	11.40億噸/年
MODFLOW 數值模擬	土木科技 (1997)	雲林	5.32億噸/年
MODFLOW 數值模擬	中興工程 (1998)	雲林	5.25億噸/年
非飽和層一維 長期水文模式	劉振宇等 (1998)	濁水溪沖積扇	10.06億噸/年(1996) 10.48億噸/年(1997)
水平衡法	陳進發 (1997)	彰化	4.43億噸/年
3DFEWA數值模擬	張誠信 (1996)	雲林	4.88億噸/年
平均		濁水溪沖積扇	10.24億噸/年

表4-1 濁水溪沖積扇地下水水位監測井概況與含水層抽水試驗成果

編號	測區編號	井名	電碼編號	X (m)	Y (m)	井頂高 (m)	井管深度 (m)	含水層 層別	含水層質地	傳輸係數T (m ² /min)	水力傳導係數 (m/day)	靜水位 (m)	濾管位置 (m)	自記水位 資料起迄	備註
1	050	圓蓋(1)	07010111	2053365	2665558	6.55	20.00	1				8-14	24-30	84/01/09-	
2	050	圓蓋(2)	07010121	2053365	2665558	21.30	130.00	2-1	中砂	0.008	1.92	7.46	120-126	83/11/23-	
3	050	圓蓋(3)	07010131	2053365	2665558	21.62	200.00	2-2	細砂泥互層	0.005	0.6	185-197		86/01/01-	83/06/18(184-196),靜水位自噴高46m
4	050	象牙(1)	07010211	1999550	2662265	10.90	131.00	2-2	粗礫	0.65	39	11.99	101-125	86/07/31-	
5	050	象牙(2)	07010221	1999550	2662265	10.90	180.00	3	粗礫	0.51	61.2	12.25	162-174	86/06/25-	
6	050	象牙(3)	07020111	191220	2661365	4.51	37.00	1	細砂	0.04	6.4	5.25	25-34	86/07/31-	
7	050	海菜(2)	07020121	191220	2661365	4.42	126.00	2-2	細礫	0.8	96	9.96	108-120	86/07/26-	
8	050	海菜(3)	07020131	191220	2661365	4.37	204.00	3	粗中礫	0.6	48	8.94	180-198	86/07/26-	
9	050	綠面(2)	07040111	195062	2669966	5.42	31.00	1	中細砂	0.26	31.2	2.28	10-16	83/11/30-	
10	050	綠面(3)	07040121	195062	2669966	5.29	75.00	2-1	細礫	0.51	61.2	7.01	55-71	84/01/01-	
11	050	綠面(4)	07040141	195062	2669966	5.31	120.00	2-2	細礫	0.28	16.8	7.69	158-170	83/08/20(104-116)	
12	050	全聚(1)	07050111	199630	2674365	6.55	20.00	3	粗中砂			8-17		83/11/30-	
13	050	全聚(2)	07050121	199630	2674365	6.45	126.00	2				102-120		86/07/31-	
14	050	全聚(3)	07050131	199630	2674365	6.53	198.00	3				183-192		86/07/31-	
15	050	全聚(4)	07050141	199630	2674365	6.44	238.00	3				240-252		86/07/26-	
16	050	文旦(1)	07060111	190120	2656250	7.63	23.00	1	細砂	0.15	18	3.69	5-17	86/06/24-	
17	050	文旦(2)	07060121	190120	2656250	7.63	66.00	2-1	粗中礫	0.67	80.4	9.72	18-60	86/07/31-	
18	050	文旦(3)	07060131	190120	2656250	7.63	126.00	2-2	細礫	0.86	103.2	11.12	108-120	86/06/24-	
19	050	文旦(4)	07060141	190120	2656250	7.64	210.00	3	細礫	0.65	52	10.44	186-204	86/07/31-	
20	050	花籃(1)	07080111	202725	2658257	15.48	23.00	1				8-20		83/10/17-	
21	050	花籃(2)	07080121	202725	2658257	15.51	71.00	2-1	細礫	0.04	3.2	6.81	44-56	83/06/26(44-56,59-75)	
22	050	花籃(3)	07080131	202725	2658257	15.50	136.00	2-2	粗中礫	0.65	52	16.38	112-130	83/10/17-	
23	050	花籃(4)	07080141	202725	2658257	15.30	300.00	4	細礫細砂	0.11	8.8	14.57	264-276	86/06/11-	86/02/26(264-276)
24	050	員林(1)	07100111	205885	2649930	26.84	72.00	2-1	細礫	0.32	25.6	9.59	51-69	83/10/03-	
25	050	員林(2)	07100121	205885	2649930	26.80	124.00	2-2	中礫	0.39	35.4	12.65	90-96	83/07/14(91-97,103-121)	
26	050	員林(3)	07100131	205885	2649930	26.79	143.00	2-2				134-140		83/10/17-	
27	050	員林(4)	07100141	205885	2649930	26.80	204.00	3	細礫	0.31	24.8	15.05	180-198	83/10/17-	
28	050	溪湖(1)	07110111	196133	2649778	18.92	72.00	2-1	細礫	0.75	90	8.85	57-69	83/10/04-	
29	050	溪湖(2)	07110121	196133	2649778	18.92	106.00	2-2	粗中砂	0.24	26.8	9.73	91-103	83/08/15-	
30	050	溪湖(3)	07110131	196133	2649778	18.90	230.00	3	粗中礫	1.75	60	13.09	188-224	83/08/15-	
31	050	田中(1)	07120111	207088	2639188	49.56	140.00	1-2-2	粗礫	1.17	46.8	11.48	98-134	83/10/17-	83/04/28(176-200,203-209,212-224)
32	050	田中(2)	07120121	207088	2639188	49.68	266.00	3-4	粗礫	1.26	151.2	14.29	248-260	83/03/19(97-133)	
33	050	好修(1)	07140111	194052	2656100	10.82	69.00	2-1	粗中砂	0.84	100.8	5.73	48-54	86/06/24-	
34	050	好修(2)	07140121	194052	2656100	10.81	126.00	2-2	細中砂	0.78	93.6	10.49	102-108	83/10/04-	
35	050	好修(3)	07140131	194052	2656100	10.76	210.00	3	粗砂	0.56	33.6	10.4	174-186	83/11/23-	
36	050	好修(4)	07140141	194052	2656100	10.77	284.00	4	細礫	1.17	70.2	11.4	254-278	83/11/23-	
37	050	二水	07180111	210242	2634428	82.44	114.00	1-4	粗礫	4.18	167.2	39.15	72-108	86/07/18-	
38	050	越甲(1)	07200111	187624	2648441	12.82	86.00	2-1	細礫	0.67	80.4	11.75	65-74	83/01/01-	二水(-)82/09/01
39	050	越甲(2)	07200121	187624	2648441	12.80	121.00	2-2	細礫	0.85	68	11.75	97-115	83/04/27(65-71,77-83)	
40	050	越甲(3)	07200131	187624	2648441	12.83	204.00	3	細礫	0.84	67.2	11.1	180-198	83/08/15-	
41	050	香田(1)	07200211	185725	2641405	15.23	39.00	1	粗中砂	0.62	20	7.3	15-33	83/08/15-	
42	050	香田(2)	07200221	185725	2641405	15.23	39.00	1	粗中砂	0.62	20	7.3	15-33	86/07/31-	
43	050	香田(3)	07200231	185725	2641405	15.23	39.00	1	粗中砂	0.62	20	7.3	15-33	86/06/24-	
44	050	西尾(1)	07210111	201045	2643280	32.78	36.00	1	細礫	0.91	72.8	7.07	12-30	86/07/31-	
45	050	西尾(2)	07210121	201045	2643280	32.79	243.00	3	粗礫	0.6	28.8	18	210-240	86/06/25-	
46	050	合興(1)	07220211	194000	2643600	22.02	24.00	1	細礫			4-24		86/07/31-	

表4-1 (續2)濁水溪沖積扇地下水水位監測井概況與含水層抽水試驗成果

編號	測區編號	井名	電網編號	X (m)	Y (m)	井頂高 (m)	井管深度 (m)	含水層 層別	含水層質地	傳輸係數T (m ² /min)	水力傳導係數 (m/day)	靜水位 (m)	邊界位置 (m)	自記水位 資料起址	備註
90	050	芬草(2)	09030221	185350	2624184	16.00	130.40	2	極細砂	1.55	53.14	7.36	8-14 24-30	83/06/16-	81/06/03(76-100,106-124)
91	050	西螺(1)	09040111	194891	2632723	29.49	44.00	1	細砂	1.03	82.4	4.82	20-38	82/10/21-	
92	050	西螺(2)	09040121	194891	2632723	29.44	120.00	2	細中砂	2.59	62.16	4.94	54-114	82/10/06-	
93	050	九股(1)	09040211	191168	2627781	24.85	23.50	1	細砂	0.65	78	4.92	8-20	82/10/06-	
94	050	九股(2)	09040221	191168	2627781	24.94	118.50	2	細中砂	1.01	80.8	7.94	97-115	82/10/19-	
95	050	九股(3)	09040231	191168	2627781	24.91	197.50	3	細砂	0.25	30	12.18	179-191	82/11/22-	
96	050	莿寮(1)	09050111	182680	2620675	15.16	34.00	1	中細砂	0.42	40.32	5.8	13-19 22-31	86/06/24-	
97	050	莿寮(2)	09050121	182680	2620675	15.16	224.00	3	細砂	0.06	9.6	17.55	209-218	86/07/10-	
98	050	北港(1)	09060111	177919	2608767	9.02	109.00	2-1	砂泥互層	0.62	24.8	23.1	61-76 85-103	82/10/04-	82/07/13(61-79,85-103)
99	050	北港(2)	09060121	177919	2608767	9.02	186.00	2-2	細中砂	0.55	44	25.96	162-180	82/10/04-	
100	050	東和(1)	09070111	205251	2620504	75.67	60.40	1	細砂與細礫	0.14	6.72	14.43	21-33 39-52	81/11/26-	81/05/11(120-150)
101	050	東和(2)	09070121	205251	2620504	75.59	120.40	2	細中砂	1.8	86.4	15.88	72-102	81/11/26-	81/05/30(39-57)
102	050	東和(3)	09070131	205251	2620504	75.41	238.00	3	細中砂	0.12	5.76	50.52	222-232	86/07/12-	
103	050	成淵(1)	09070211	202021	2612378	110.11	108.00	1	細砂	0.07	3.9	53.62	78-102	81/03/01-	
104	050	成淵(2)	09070221	202021	2612378	110.30	163.00	2-1	細細砂	0.27	16.2	53.18	133-157	81/03/01-	
105	050	吉坑(1)	09070311	204980	2615932	100.67	108.00	1	細礫	0.18	21.6	47.52	66-102	83/11/22-	
106	050	嘉樂(1)	09080111	194034	2616371	30.93	73.50	2-1	細砂	0.16	12.8	21.32	58-70	83/10/06-	83/07/10(57-69)
107	050	嘉樂(2)	09080121	194034	2616371	31.29	146.90	2-2	細砂			128-140		84/01/01-	
108	050	嘉樂(3)	09080131	194034	2616371	30.89	212.50	3	細砂	0.6	72	23.62	194-206	83/10/19-	83/06/20(193-203)
109	050	豐莊(1)	09080211	188020	2614870	17.20	34.00	1	中細砂	0.25	20	3.76	10-28	86/06/20-	
110	050	豐莊(2)	09080221	188020	2614870	17.28	70.00	2-1	細中砂	0.06	9.6	21.08	55-64	86/07/20-	
111	050	豐莊(3)	09080231	188020	2614870	17.19	110.00	2-2	中細砂	0.14	22.4	22.16	95-104	86/07/11-	
112	050	豐莊(4)	09080241	188020	2614870	17.28	204.00	3	細中砂	0.05	4	22.13	180-198	86/07/11-	
113	050	豐莊(5)	09080251	188020	2614870	16.80	300.00	4	細砂與細礫	0.07	4.2	20.89	270-294	86/07/11-	
114	050	六和(1)	09090111	204584	2629706	56.02	60.00	1	細中砂	2.77	132.96	17.2	24-54	86/07/11-	
115	050	六和(2)	09090121	204584	2629706	56.19	120.40	2-1	細細砂	2.72	130.56	13.13	84-114	82/10/06-	
116	050	六和(3)	09090131	197886	2628381	37.62	38.50	1	中礫	1.33	106.4	6.45	14-32	81/11/26-	
117	050	封坑(2)	09090221	197886	2628381	37.61	142.50	2-1	中礫	1.6	54.86	6.07	76-88 94-106 112-124 130-136	83/10/06-	
118	050	高港(1)	09100121	208141	2629528	72.31	100.00	1-1	細細砂	2.32	61.87	29.26	40-94	83/03/01-	
119	050	順口(1)	09100211	212782	2629816	113.44	99.00	1-2-1	細細砂	0.1	3.8	8.62	35-53 71-89	86/03/14-	
120	050	順口(2)	09100221	212782	2629816	112.88	150.00	2-2-1	細細砂	0.02	0.96	3.76	144-174	87/06/08-	
121	050	坪頂(1)	09100311	212545	2628234	297.72	174.00	1-3	細礫	0.0018	0.09	95.77	144-150 156-162 168-174 180-186 192-1	86/01/01-	
122	050	港寮(1)	09110111	187220	2632820	18.64	70.00	2-1	極細砂	0.33	39.6	6.6	52-64	82/10/06-	
123	050	港寮(2)	09110121	187220	2632820	18.66	146.00	2-2	極細砂	1.08	37.03	7.84	86-98 104-116 122-140	82/10/06-	
124	050	港寮(3)	09110131	187220	2632820	19.01	215.00	3	中細砂	0.48	46.08	13.35	195-210	86/06/20-	
125	050	港寮(4)	09110141	187220	2632820	19.01	274.00	3	細砂與細砂	0.74	35.52	13.55	232-244 250-268	86/07/12-	
126	050	豐寮(1)	09120111	178954	2632222	9.20	51.00	1	中砂	0.62	24.8	3.78	12-48	82/10/23-	
127	050	豐寮(2)	09120121	178954	2632222	9.16	100.00	2-1	細中砂	0.84	50.4	10	73-97	82/10/23-	
128	050	豐寮(3)	09120131	178954	2632222	9.33	180.00	2-2	細中砂	0.22	6.6	9.86	126-174	82/10/23-	
129	050	佳寮(1)	09130111	171197	2632096	2.06	110.00	2-1	細砂	0.64	17.07	20.78	50-104	82/08/30-	
130	050	佳寮(2)	09130121	171197	2632096	1.76	179.00	2-2	細砂	0.18	6.17	22.3	126-150 156-174	82/08/30-	82/05/24(125-149,155-173)
131	050	興化(1)	09130211	176695	2628849	8.35	69.80	2-1	細砂	0.48	57.6	10.55	54-66	83/10/07-	
132	050	興化(2)	09130221	176695	2628849	8.35	118.00	2-2	細砂	0.27	32.4	10.6	103-115	83/11/22-	
133	050	興化(3)	09130231	176695	2628849	8.32	203.80	3	細砂	0.81	97.2	12.22	185-197	83/11/22-	
134	050	埤寮(1)	09130311	170273	2629402	3.07	76.80	2-1	細砂	0.31	37.2	15.5	52-58 64-78	83/10/07-	83/08/23(52-58,64-70)
135	050	埤寮(2)	09130321	170273	2629402	3.03	184.80	3	細砂	0.32	38.4	17.73	166-178	83/10/19-	

表 4-1 (續 3) 濁水溪沖積扇地下水水位監測井概況與含水層抽水試驗成果

井號	測深碼號	井名	電磁碼號	X (m)	Y (m)	井頂高 (m)	井管深 (m)	含水層 層別	含水層質地	標稱值訂正 (m ² /min)	水力梯度係數 (m/day)	靜水位 (m)	透水管位置 (m)	自來水供水 料號	備註
136	050	安南(1)	09140111	172567	2622644	7.23	116.90	2	粗砂	1.1	32.8	14.56	80-110	83/07/01-	
137	050	安南(2)	09140121	172567	2622644	7.24	201.90	3	粗砂	0.35	14	15.52	159-195	81/12/04-	
138	050	田寮(1)	09150111	178717	2624989	10.74	42.40	1	粗中砂	0.91	43.68	2.68	6-36	82/06/01-	
139	050	田寮(2)	09150121	178717	2624989	10.56	103.40	2	粗中砂	0.89	30.51	9.55	55-97	82/06/09-	
140	050	田寮(3)	09150131	178717	2624989	10.49	280.00	4	粗砂	0.1	11.52	15.17	262-274	86/06/20-	
141	050	埤園(1)	09160111	165467	2624551	2.37	48.90	1	粗砂	0.15	18	11.66	30-42	81/12/04-	
141-1-上		埤園(1-)													
142	050	埤園(2)	09160121	165467	2624551	2.36	104.90	2	粗中砂	0.46	22.08	13.9	68-98	81/12/04-	
143	050	埤園(3)	09160131	165467	2624551	2.42	202.90	3	粗中砂	0.33	13.2	18.06	160-196	81/12/04-	
144	050	埤園(4)	09160141	165467	2624551	2.01	202.00	4	粗砂	0.31	49.6	12.72	267-276	86/08/05-	
145	050	和豐(1)	09160211	169999	2626544	2.69	126.00	2	粗中砂互	0.8	19.2	20.26	60-120	82/09/01-	82/05/19(61-121)
146	050	和豐(2)	09160221	169999	2626544	2.67	226.00	3	粗中砂	0.29	23.2	20.41	203-220	82/09/01-	82/04/09(203-221)
147	050	崙子(1)	09170111	183331	2611929	14.20	99.80	2-1	粗砂	0.14	8.4	22.4	57-63	83/08/18-	83/02/04(57-63,66-72,81-93)
148	050	崙子(2)	09170121	183331	2611929	14.18	188.80	2-2	粗中砂	0.45	27	18.57	152-170	83/08/18-	83/01/27(152-170,176-182)
149	050	元東(1)	09170211	178788	2616961	9.58	84.80	2-1	粗砂	0.81	64.8	14.26	57-69	83/11/22-	75-81
150	050	元東(2)	09170221	178788	2616961	9.71	129.80	2-2	粗砂	0.51	40.8	14.08	108-126	82/10/06-	82/08/18(37-61)
151	050	孺子(1)	09180111	162598	2614898	2.18	66.00	1	粗中細砂	0.3	18	11.36	36-60	82/10/06-	82/09/01(17-147)
152	050	孺子(2)	09180121	162598	2614898	2.21	152.00	2	粗砂	0.2	9.6	17.28	116-146	82/10/06-	82/09/04(177-207)
153	050	孺子(3)	09180131	162598	2614898	2.33	212.00	3	砂至互層	0.22	10.56	17.62	176-206	83/10/06-	83/03/06(51-57,61-79)
154	050	崙仔(1)	09180211	169500	2612504	5.21	86.80	2-1	粗砂	0.34	20.4	19.87	52-58	83/10/19-	83/02/24(123-141,144-162)
155	050	崙仔(2)	09180221	169500	2612504	5.25	169.80	2-2	粗砂	0.14	5.6	20.7	124-142	86/06/20-	145-163
156	050	明德(1)	09180311	167485	2617020	6.74	54.00	1	粗砂	0.1	12	10.23	36-48	86/06/20-	
157	050	明德(2)	09180321	167485	2617020	6.71	120.00	2-1	粗中砂	0.28	22.4	17.98	96-114	86/07/10-	
158	050	明德(3)	09180331	167485	2617020	6.74	168.00	2-2	粗砂	0.16	19.2	19.42	150-162	86/07/10-	
159	050	明德(4)	09180341	167485	2617020	6.72	222.00	3	粗砂	0.14	11.2	18.11	198-216	86/07/10-	
160	050	東光(1)	09180411	174905	2616870	7.70	32.00	1	粗中砂	0.38	45.6	8.08	17-29	86/06/20-	
161	050	東光(2)	09180421	174905	2616870	7.66	84.00	2-1	粗砂	0.62	50.88	20.02	111-126	86/07/10-	
162	050	東光(3)	09180431	174905	2616870	7.69	132.00	2-2	粗砂	0.53	44.8	18.95	166-175	86/07/10-	
163	050	東光(4)	09180441	174905	2616870	7.66	181.00	3	粗砂	0.35	33.6	17.51	243-258	86/06/24-	
164	050	東光(5)	09180451	174905	2616870	7.58	264.00	4	粗砂	0.37	22.2	24.32	66-90	86/07/09-	
165	050	東光(6)	09190112	166296	2604660	1.98	96.00	1	粗砂	0.14	13.44	31.9	150-165	86/06/24-	
166	050	東光(7)	09190122	166296	2604660	1.99	171.00	2-2	粗砂	0.2	19.2	23.24	200-215	86/07/09-	
167	050	東光(8)	09190132	166296	2604660	1.96	219.00	3	粗中砂	0.07	7.8	25.34	249-261	86/07/09-	
168	050	東光(9)	09190142	166296	2604660	1.98	261.00	4	粗砂	0.42	50.4	25.05	60-66	83/10/07-	72-78
169	050	東光(10)	09200011	172216	2608151	4.34	81.80	2-1	粗砂	0.07	16.8	28	191-197	83/10/07-	83/07/01(190-196)
170	050	東光(11)	09200021	172216	2608151	4.32	200.80	3	粗砂	1.16	92.8	19.65	55-73	84/01/01-	
171	050	東光(12)	09200031	168595	2607406	2.17	79.80	2-1	粗砂	0.3	24	22.78	195-213	84/01/01-	83/09/04(195-203)
172	050	東光(13)	09200041	168595	2607406	2.00	219.80	3	粗砂	0.3	24	22.78	195-213	83/10/07-	83/02/25(61-73)
173	050	東光(14)	09200051	168219	2602115	1.85	174.80	2-2	粗中砂互層	0.19	15.2	37.05	150-168	83/10/19-	
174	050	東光(15)	09200061	168219	2602115	1.70	80.50	2-1	粗中砂	0.44	52.8	7.91	28-40	82/10/20-	
175	050	東光(16)	10040111	196915	2611594	45.67	46.00	1	粗砂	0.19	6.84	35.2	157-169	83/03/01-	82/9/22(158-170)
176	050	東光(17)	10040121	196915	2611594	45.82	176.00	2-2	粗砂	0.06	6.84	34.68	36-48	86/07/11-	
177	050	東光(18)	10050111	191545	2606340	27.32	54.00	1	粗中砂	0.04	4.8	43.77	150-162	86/07/21-	
178	050	東光(19)	10050121	191545	2606340	27.35	168.00	2	粗中砂	0.05	6	43.86	198-210	86/07/21-	
179	050	東光(20)	10050131	191545	2606340	27.34	216.00	3	粗中砂	0.05	6	43.86	198-210	86/07/21-	
180	050	東光(21)	10050141	191545	2606340	27.32	288.00	4	粗砂	0.14	11.2	36.58	264-282	86/07/21-	

表4-1 (續4)濁水溪沖積扇地下水水位監測井概況與含水層抽水試驗成果

編號	測區編號	井名	電磁編號	X (m)	Y (m)	井頂高 (m)	井管深度 (m)	含水層地層層別	含水層質地	傳輸係數T (m ² /min)	水力傳導係數 (m/day)	靜水位 (m)	建管位置 (m)	自記水位資料起迄	備註
181	050	安和(1)	10070111	178980	2601660	12.79	58.00	1	細砂	0.07	8.4	10.16	40-52	86/07/15~	
182	050	安和(2)	10070121	178980	2601660	12.74	96.00	2-1	細砂	0.07	5.6	25.32	72-90	86/07/22~	
183	050	安和(3)	10070131	178980	2601660	12.83	162.00	2-2	細砂	0.25	30	28.04	144-156	86/07/22~	
184	050	安和(4)	10070141	178980	2601660	12.76	284.00	4	細砂	0.0078	0.62	28.18	260-278	86/07/22~	
185	050	東石(1)	10090111	162790	2595720	1.52	88.00	2-1	細砂		0		70-82	86/07/17~	
186	050	東石(2)	10090121	162790	2595720	1.55	163.00	2-2	細砂	0.11	13.2	37.51	145-157	86/07/17~	
187	050	東石(3)	10090131	162790	2595720	1.53	243.00	3	細砂	0.14	22.4	24.26	228-237	86/07/17~	
188	050	東石(4)	10090141	162790	2595720	1.56	306.00	4	中細砂	0.04	4.8	20.33	288-300	86/07/17~	
190	040	梧棲	060613T1	201703	2682248	6.88	300.00						180-193 230-235 293-298	74/07/09~	
191	040	溝墘	061812M2	217897	2658236	80.44	40.00					34-38		77/06/01~	
192	040	湓尾	080211M2	244628	2654588	437.25	30.00					24-29		83/08/01~	
193	040	菓山	190812M2	219711	2674136	122.03	60.00					43-47		76/05/28~	
194	050	頂番	070213M3	196740	2664730	7.81	50.00					34-37		76/05/30~	
195	050	烈序	070215T1	191670	2663590	4.55	300.00					113-125 221-226 260-266		73/07/20~	
196	050	田中	071211M2	207088	2639188	49.19	50.00					42-47		75/01/01~	
197	050	番置	072211M2	194900	2645085	21.47	50.00					45-50		73/06/24~	
198	050	竹塹	072511M2	190948	2639823	21.78	70.00					55-60		76/06/01~	
199	050	斗六	090111M2	201600	2622630	46.82	60.00					不詳		71/08/01~	
200	050	灣寮	090812M1	193250	2614830	30.29	30.50					295-302		68/06/05~	
201	050	中山	091311M2	172160	2632960	3.84	103.00					95-99		76/07/01~	
202	050	金湖(1)	09190211	162471	2608474	2.63	55.00					17-47		81/01/08~	
203	050	金湖(2)	09190221	162471	2608474	2.41	150.00					89-143		80/08/01~	
1000		清水溪(一)							極粗礫	0.0056	1.34	2.63	3-9		
1001		清水溪(二)							極粗礫	0.0005	0.12	2.65	21-27		
1002		清水溪(三)							極粗礫	0.0003	0.07	2.29	40-46		
1003		清水溪(四)							極粗礫	0.0002	0.05	2.34	58-64		

表4-2 濁水溪沖積扇觀測井位置含水層厚度設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 (m)	阻水層1 (m)	含水層2 (m)	阻水層2 (m)	含水層3 (m)
全興	199630	2674365	19.0	23.0	90.0	17.0	75.0
線西	195062	2669966	28.0	10.0	84.0	21.0	58.3
頂番	196740	2664730	35.0	7.0	86.0	24.0	61.9
東芳	199950	2662265	33.0	10.0	92.0	24.0	65.0
花壇	202725	2658257	30.0	12.0	90.0	28.0	52.4
員林	205885	2649930	21.0	18.0	115.0	12.0	57.1
田中	207088	2639188	46.0	5.0	120.0	5.0	60.0
漢寶	183282	2656147	43.0	14.0	80.0	26.0	30.0
洛津	191220	2661365	38.0	16.0	77.0	19.0	70.0
文昌	190120	2656250	42.0	5.0	86.0	19.0	65.0
好修	194052	2656100	40.0	5.0	85.0	36.0	53.1
溪湖	196133	2649778	40.0	6.0	94.0	23.0	65.0
芳苑	179990	2646954	28.0	22.0	99.0	23.0	17.0
路上	180841	2643909	34.0	15.0	92.0	47.0	34.0
趙甲	187624	2648441	25.0	22.0	90.0	46.0	51.3
原斗	190880	2643767	31.0	19.0	85.0	45.0	57.0
溪州	198371	2639267	27.0	8.0	84.0	10.0	40.0
柑園	201662	2635696	39.0	5.0	105.0	5.0	48.8
二水	210242	2634428	47.6	5.0	83.0	5.0	52.0
西港	176799	2639978	47.0	24.0	62.0	27.0	56.0
潭墘	182705	2637176	44.0	10.0	86.0	23.0	28.6
永安	185839	2639467	31.0	11.0	88.0	36.0	34.4
竹塘	190948	2639823	34.0	5.0	93.0	36.0	29.8
合興	194000	2643600	40.0	6.0	86.0	34.0	70.0
田尾	201045	2643280	35.0	19.0	98.0	20.0	65.0
國聖	205365	2665558	38.5	15.2	93.2	23.2	50.0
香田	185725	2641405	31.2	12.6	89.2	41.3	40.0

表4-2 (續1)濁水溪沖積扇觀測井位置含水層厚度設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 (m)	阻水層1 (m)	含水層2 (m)	阻水層2 (m)	含水層3 (m)
顏厝	191670	2663590	37.2	15.3	79.9	19.7	64.2
崙豐	194900	2645085	39.8	8.8	87.6	31.7	69.5
海豐	170273	2629402	41.0	16.0	65.0	18.0	47.5
後安	171197	2632096	44.0	16.0	71.0	16.0	26.3
興化	176695	2628849	48.0	16.0	69.0	18.0	25.0
豐榮	178954	2632222	42.0	16.0	65.0	18.0	24.0
港後	187220	2632820	25.0	26.0	89.0	25.0	22.5
九隆	191168	2627781	26.0	15.0	102.0	11.0	36.0
西螺	194891	2632723	40.0	12.0	103.0	5.0	22.5
荊桐	197886	2628381	50.0	12.0	116.0	5.0	48.0
六合	204584	2629706	57.0	5.0	105.0	5.0	56.0
烏塗	208141	2629528	66.0	5.0	104.0	5.0	58.0
海園	165467	2624551	47.0	23.0	62.0	17.0	51.2
和豐	169999	2626544	44.0	15.0	64.0	19.0	40.0
安南	172567	2622644	51.0	19.0	61.0	20.0	46.3
田洋	178717	2624989	22.0	33.0	87.0	35.0	58.9
馬光	182193	2624602	29.0	23.0	85.0	35.0	55.0
芳草	185350	2624184	21.0	25.0	102.0	23.0	58.3
虎尾	191285	2623689	27.0	15.0	101.0	12.0	20.1
虎溪	199331	2624542	24.0	13.0	78.0	11.0	20.1
石榴	206944	2624360	50.0	10.0	106.0	10.0	56.0
箔子	162598	2614898	60.0	10.0	77.0	20.0	83.3
飛沙	165282	2615958	47.0	14.0	84.0	22.0	55.3
明德	167485	2617020	52.0	13.0	76.0	26.0	35.0
番溝	175574	2613530	35.0	17.0	89.0	31.0	40.2
元長	178788	2616961	26.0	33.0	97.0	19.0	21.2
宏崙	182680	2620675	30.0	19.0	113.0	24.0	40.0
土庫	187125	2619830	30.0	22.0	98.0	37.0	46.4

表4-2 (續2)濁水溪沖積扇觀測井位置含水層厚度設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 (m)	阻水層1 (m)	含水層2 (m)	阻水層2 (m)	含水層3 (m)
宜梧	166296	2604660	43.0	12.0	81.0	37.0	67.6
口湖	165796	2609792	41.0	20.0	79.0	30.0	63.7
蔡厝	169500	2612504	45.0	17.0	85.0	23.0	37.9
東光	174905	2616870	36.0	17.0	89.0	35.0	45.0
舊庄	188020	2614870	35.0	17.0	102.0	19.0	60.0
嘉興	194034	2616371	49.0	18.0	101.0	19.0	45.3
東和	205251	2620504	97.0	10.0	86.0	12.0	53.8
大溝	168595	2607406	35.0	20.0	89.0	30.0	61.1
水林	172216	2608151	30.0	31.0	88.0	30.0	55.6
北港	177919	2608767	38.0	16.0	95.0	32.0	51.4
崙子	183331	2611929	32.0	24.0	96.0	10.0	48.6
溫厝	199400	2617408	62.0	14.0	94.0	10.0	33.3
古坑	204980	2615932	61.0	9.0	92.4	12.0	22.2
東石	162790	2595720	47.0	24.0	92.0	26.0	48.0
瓊埔	168219	2602115	47.0	25.0	95.0	25.0	70.8
安和	178980	2601660	44.0	31.0	90.0	35.0	36.0
新港	182808	2606087	45.0	25.0	92.0	34.0	44.7
東榮	191545	2606340	47.0	20.0	82.5	32.0	25.0
三和	196915	2611594	45.1	16.9	97.0	21.1	33.3
崁腳	202021	2612378	42.9	13.7	80.3	15.1	27.8
金湖	162471	2608474	43.0	14.0	80.4	28.2	77.0
斗六	201600	2622630	50.5	12.4	126.9	10.4	34.4

表4-3 濁水溪沖積扇觀測井位置含水層水力傳導係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 (m/day)	阻水層1 (m/day)	含水層2 (m/day)	阻水層2 (m/day)	含水層3 (m/day)
全興	199630	2674365	11.20	0.0224	52.00	0.0284	14.20
線西	195062	2669966	31.20	0.0624	61.20	0.0336	16.80
頂番	196740	2664730	18.44	0.0369	46.03	0.0891	44.57
東芳	199950	2662265	12.80	0.0256	39.00	0.0780	42.00
花壇	202725	2658257	11.20	0.0224	52.00	0.0216	10.80
員林	205885	2649930	25.60	0.0512	35.40	0.0496	24.80
田中	207088	2639188	46.80	0.0936	46.80	0.0936	78.00
漢寶	183282	2656147	20.00	0.0400	50.40	0.0792	39.60
洛津	191220	2661365	11.40	0.0228	52.00	0.0960	48.00
文昌	190120	2656250	80.40	0.1080	54.00	0.1040	52.00
好修	194052	2656100	100.80	0.1120	56.00	0.0672	33.60
溪湖	196133	2649778	90.00	0.0576	28.80	0.0576	60.00
芳苑	179990	2646954	31.20	0.0560	28.00	0.0512	25.60
路上	180841	2643909	18.66	0.0373	41.00	0.0702	35.08
趙甲	187624	2648441	80.40	0.0840	42.00	0.0840	67.20
原斗	190880	2643767	67.43	0.0825	41.27	0.0729	36.45
溪州	198371	2639267	86.80	0.1560	78.00	0.1560	78.00
柑園	201662	2635696	130.00	0.1240	62.00	0.1240	62.00
二水	210242	2634428	132.00	0.2040	102.00	0.1960	98.00
西港	176799	2639978	26.90	0.0538	58.67	0.0728	36.40
潭墘	182705	2637176	25.20	0.0504	58.00	0.1160	58.00
永安	185839	2639467	39.59	0.0792	42.25	0.0845	49.65
竹塘	190948	2639823	85.00	0.0900	45.00	0.0900	45.00
合興	194000	2643600	32.16	0.0643	32.16	0.0486	24.32
田尾	201045	2643280	72.80	0.1018	50.90	0.0576	28.80
國聖	205365	2665558	11.20	0.0224	11.96	0.0239	11.96
香田	185725	2641405	20.00	0.0400	34.80	0.0696	49.60

表4-3 (續1)濁水溪沖積扇觀測井位置含水層水力傳導係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 (m/day)	阻水層1 (m/day)	含水層2 (m/day)	阻水層2 (m/day)	含水層3 (m/day)
顏厝	191670	2663590	18.93	0.0379	38.00	0.0760	43.81
崙豐	194900	2645085	36.51	0.0685	34.24	0.0615	30.76
海豐	170273	2629402	37.20	0.0744	37.20	0.0744	38.40
後安	171197	2632096	17.07	0.0246	12.30	0.0246	12.30
興化	176695	2628849	57.60	0.0900	45.00	0.0900	45.00
豐榮	178954	2632222	24.80	0.0424	21.20	0.0424	21.20
港後	187220	2632820	39.60	0.0752	37.60	0.0752	39.04
九隆	191168	2627781	78.00	0.1320	66.00	0.0600	30.00
西螺	194891	2632723	82.40	0.1243	62.16	0.1243	62.16
荊桐	197886	2628381	98.00	0.1097	54.86	0.1097	54.86
六合	204584	2629706	94.00	0.1240	62.00	0.1240	68.00
烏塗	208141	2629528	96.00	0.1320	66.00	0.1320	67.60
海園	165467	2624551	13.40	0.0268	22.08	0.0442	31.40
和豐	169999	2626544	19.20	0.0384	19.20	0.0384	23.20
安南	172567	2622644	14.00	0.0280	52.80	0.0280	14.00
田洋	178717	2624989	43.68	0.0610	30.51	0.0244	12.20
馬光	182193	2624602	37.61	0.0741	37.06	0.0532	26.60
芳草	185350	2624184	43.37	0.0867	53.14	0.0920	46.00
虎尾	191285	2623689	97.60	0.1037	51.84	0.1037	51.84
虎溪	199331	2624542	48.00	0.0960	72.60	0.0936	46.80
石榴	206944	2624360	14.80	0.0296	17.28	0.0346	17.28
箔子	162598	2614898	18.00	0.0240	12.00	0.0240	12.00
飛沙	165282	2615958	16.67	0.0333	21.77	0.0389	19.47
明德	167485	2617020	12.00	0.0240	22.42	0.0384	19.20
番溝	175574	2613530	43.22	0.0864	46.26	0.0833	41.63
元長	178788	2616961	64.80	0.0816	40.80	0.0816	40.80
宏崙	182680	2620675	40.32	0.0792	39.60	0.0792	39.60
土庫	187125	2619830	44.90	0.0780	38.99	0.0726	36.29

表4-3 (續2)濁水溪沖積扇觀測井位置含水層水力傳導係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 (m/day)	阻水層1 (m/day)	含水層2 (m/day)	阻水層2 (m/day)	含水層3 (m/day)
宜梧	166296	2604660	18.70	0.0374	51.67	0.0585	29.27
口湖	165796	2609792	23.12	0.0462	55.09	0.0685	34.24
蔡厝	169500	2612504	20.40	0.0230	11.52	0.0230	15.20
東光	174905	2616870	45.60	0.0912	50.18	0.0896	44.80
舊庄	188020	2614870	20.00	0.0320	16.00	0.0320	22.40
嘉興	194034	2616371	12.80	0.0256	12.80	0.0256	72.00
東和	205251	2620504	16.72	0.0334	38.00	0.0700	35.00
大溝	168595	2607406	12.00	0.0240	37.00	0.0480	24.00
水林	172216	2608151	13.40	0.0268	36.70	0.0440	22.00
北港	177919	2608767	24.80	0.0496	31.20	0.0624	44.00
崙子	183331	2611929	17.70	0.0354	17.70	0.0354	27.00
溫厝	199400	2617408	18.80	0.0248	12.40	0.0248	12.40
古坑	204980	2615932	21.60	0.0432	21.60	0.0432	21.60
東石	162790	2595720	37.87	0.0757	46.57	0.0802	40.11
瓊埔	168219	2602115	12.00	0.0240	20.64	0.0304	15.20
安和	178980	2601660	11.40	0.0228	15.36	0.0307	15.36
新港	182808	2606087	24.41	0.0488	43.66	0.0781	39.06
東榮	191545	2606340	11.80	0.0224	11.20	0.0224	11.20
三和	196915	2611594	52.80	0.0596	29.82	0.0596	29.82
炭腳	202021	2612378	11.90	0.0238	16.20	0.0324	16.20
金湖	162471	2608474	32.66	0.0640	32.00	0.0560	28.00
斗六	201600	2622630	24.15	0.0483	41.60	0.0832	49.42

表4-4 濁水溪沖積扇觀測井位置含水層比儲水係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 ($\times 10^{-3} m^{-1}$)	阻水層1 ($\times 10^{-3} m^{-1}$)	含水層2 ($\times 10^{-3} m^{-1}$)	阻水層2 ($\times 10^{-3} m^{-1}$)	含水層3 ($\times 10^{-3} m^{-1}$)
全興	199630	2674365	1.8684	3.7368	0.2189	0.5333	0.2667
線西	195062	2669966	1.0714	2.1429	0.0952	0.2950	0.1475
頂番	196740	2664730	1.5514	3.1029	0.0826	0.2878	0.1439
東芳	199950	2662265	2.2788	4.5576	0.1435	0.4862	0.2431
花壇	202725	2658257	3.5000	7.0000	0.2778	1.0305	0.5153
員林	205885	2649930	8.0952	16.1905	0.3913	2.0315	1.0158
田中	207088	2639188	4.5652	9.1304	0.6667	3.6667	1.8333
漢寶	183282	2656147	0.5814	1.1628	0.0625	0.3600	0.1800
洛津	191220	2661365	1.2868	2.5737	0.0506	0.1286	0.0643
文昌	190120	2656250	1.4167	2.8333	0.0453	0.1323	0.0662
好修	194052	2656100	2.0000	4.0000	0.0824	0.2863	0.1431
溪湖	196133	2649778	3.2500	6.5000	0.0936	0.2708	0.1354
芳苑	179990	2646954	0.7857	1.5714	0.0404	0.4706	0.2353
路上	180841	2643909	0.7441	1.4882	0.0380	0.2589	0.1294
趙甲	187624	2648441	2.8000	5.6000	0.0556	0.3314	0.1657
原斗	190880	2643767	3.3903	6.7806	0.0612	0.5296	0.2648
溪州	198371	2639267	8.5185	17.0370	0.1190	3.0000	1.5000
柑園	201662	2635696	5.3846	10.7692	0.5714	3.8934	1.9467
二水	210242	2634428	3.7815	7.5630	1.8072	5.7692	2.8846
西港	176799	2639978	0.3191	0.6383	0.0645	0.1429	0.0714
潭墘	182705	2637176	0.4091	0.8182	0.0756	0.6154	0.3077
永安	185839	2639467	1.4290	2.8581	0.0670	0.6342	0.3171
竹塘	190948	2639823	2.9412	5.8824	0.0968	1.3423	0.6711
合興	194000	2643600	3.6100	7.2200	0.0709	0.6886	0.3443
田尾	201045	2643280	5.9086	11.8171	0.2786	1.8308	0.9154
國聖	205365	2665558	1.8200	3.6400	0.2147	1.0000	0.5000
香田	185725	2641405	1.5827	3.1654	0.0549	0.4650	0.2325

表4-4 (續1)濁水溪沖積扇觀測井位置含水層比儲水係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)	阻水層1 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)	含水層2 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)	阻水層2 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)	含水層3 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)
顏厝	191670	2663590	1.1823	2.3646	0.0601	0.1558	0.0779
崙豐	194900	2645085	3.7274	7.4548	0.0799	0.6593	0.3296
海豐	170273	2629402	0.1951	0.3902	0.0492	0.1768	0.0884
後安	171197	2632096	0.1818	0.3636	0.0493	0.3042	0.1521
興化	176695	2628849	0.2500	0.5000	0.0580	0.4160	0.2080
豐榮	178954	2632222	0.3571	0.7143	0.0615	0.4167	0.2083
港後	187220	2632820	0.7200	1.4400	0.0966	1.5111	0.7556
九隆	191168	2627781	2.4231	4.8462	0.1569	1.5556	0.7778
西螺	194891	2632723	3.0000	6.0000	0.1942	4.4444	2.2222
荊桐	197886	2628381	2.6000	5.2000	0.4310	2.8333	1.4167
六合	204584	2629706	3.0702	6.1404	1.2381	5.3571	2.6786
烏塗	208141	2629528	2.6970	5.3939	1.7115	6.0345	3.0172
海園	165467	2624551	0.1064	0.2128	0.0452	0.1484	0.0742
和豐	169999	2626544	0.1818	0.3636	0.0484	0.2050	0.1025
安南	172567	2622644	0.2157	0.4314	0.0623	0.2073	0.1037
田洋	178717	2624989	0.7273	1.4545	0.0517	0.1902	0.0951
馬光	182193	2624602	0.6276	1.2552	0.0729	0.2472	0.1236
芳草	185350	2624184	1.1905	2.3810	0.0912	0.3156	0.1578
虎尾	191285	2623689	2.5185	5.0370	0.1188	1.7910	0.8955
虎溪	199331	2624542	5.6250	11.2500	0.8333	7.4627	3.7313
石榴	206944	2624360	3.2000	6.4000	1.2736	4.8214	2.4107
箔子	162598	2614898	0.0833	0.1667	0.0364	0.0727	0.0348
飛沙	165282	2615958	0.1106	0.2213	0.0405	0.1411	0.0705
明德	167485	2617020	0.0885	0.1769	0.0474	0.2400	0.1200
番溝	175574	2613530	0.3314	0.6629	0.0382	0.1988	0.0994
元長	178788	2616961	0.6923	1.3846	0.0433	0.4717	0.2358
宏崙	182680	2620675	0.8200	1.6400	0.0469	0.2700	0.1350
土庫	187125	2619830	1.4600	2.9200	0.0612	0.2846	0.1423

表4-4 (續2)濁水溪沖積扇觀測井位置含水層比儲水係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	含水層1 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)	阻水層1 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)	含水層2 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)	阻水層2 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)	含水層3 ($\times 10^{-3}m^{-1}$)
宜梧	166296	2604660	0.1116	0.2233	0.0457	0.1302	0.0651
口湖	165796	2609792	0.1000	0.2000	0.0380	0.1319	0.0659
蔡厝	169500	2612504	0.1444	0.2889	0.0459	0.3588	0.1794
東光	174905	2616870	0.2639	0.5278	0.0337	0.1867	0.0933
舊庄	188020	2614870	1.5343	3.0686	0.0529	0.1533	0.0767
嘉興	194034	2616371	1.7143	3.4286	0.0891	0.4238	0.2119
東和	205251	2620504	1.4948	2.9897	1.1628	4.0892	2.0446
大溝	168595	2607406	0.1543	0.3086	0.0416	0.1375	0.0687
水林	172216	2608151	0.4000	0.8000	0.0477	0.1547	0.0773
北港	177919	2608767	0.5263	1.0526	0.0568	0.1790	0.0895
崙子	183331	2611929	1.2500	2.5000	0.0781	0.2593	0.1296
溫厝	199400	2617408	1.8548	3.7097	0.4787	2.8829	1.4414
古坑	204980	2615932	2.1311	4.2623	0.9524	7.7477	3.8739
東石	162790	2595720	0.4489	0.8979	0.1543	0.6168	0.3084
瓊埔	168219	2602115	0.1170	0.2340	0.0337	0.1073	0.0537
安和	178980	2601660	0.8205	1.6409	0.0600	0.2611	0.1306
新港	182808	2606087	0.9000	1.8000	0.0609	0.1612	0.0806
東榮	191545	2606340	1.4574	2.9149	0.1600	0.6880	0.3440
三和	196915	2611594	2.0426	4.0852	0.2681	1.2613	0.6306
崁腳	202021	2612378	2.6092	5.2184	0.7098	3.9568	1.9784
金湖	162471	2608474	0.0929	0.1859	0.0361	0.0831	0.0416
斗六	201600	2622630	2.7849	5.5698	0.6337	5.2091	2.6046

表4-5 濁水溪沖積扇民國84年度自來水地下水抽水水量統計表

單位：10⁶m³

營運系統	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
彰化	1.90	1.63	1.87	1.63	1.82	1.82	1.83	1.96	1.88	1.86	1.83	0.16	20.18
二林	0.70	0.63	0.70	0.68	0.70	0.68	0.70	0.70	0.68	0.70	0.68	0.70	8.21
二水	0.39	0.34	0.35	0.36	0.39	0.39	0.38	0.39	0.39	0.41	0.36	0.38	4.52
田中	0.49	0.44	0.49	0.47	0.49	0.48	0.47	0.49	0.48	0.49	0.48	0.49	5.76
永靖	0.41	0.36	0.39	0.37	0.39	0.39	0.40	0.39	0.37	0.39	0.28	0.38	4.52
鹿港	0.71	1.51	0.72	0.61	0.66	0.67	0.73	0.73	0.75	0.73	0.74	0.73	9.30
北斗	0.53	0.50	0.52	0.50	0.50	0.51	0.58	0.54	0.54	0.64	1.82	0.62	7.81
社頭	0.38	0.32	0.35	0.39	0.38	0.36	0.36	0.38	0.37	0.36	0.37	0.35	4.37
溪湖	0.39	0.39	0.38	0.32	0.34	0.35	0.41	0.42	0.30	0.33	0.41	0.39	4.44
福興	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.19
員林	1.32	1.15	1.27	1.32	1.37	1.32	1.39	1.39	1.35	1.39	1.35	1.39	16.00
福興	0.98	0.54	0.52	0.53	1.38	0.52	0.52	0.48	0.51	0.52	0.52	0.53	7.55
彰化地區合計	8.22	7.83	7.58	7.20	8.43	7.50	7.78	7.90	7.64	7.81	8.83	6.13	92.84
古坑	0.26	0.23	0.26	0.24	0.23	0.25	0.25	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	3.00
水林	0.35	0.37	0.35	0.36	0.36	0.35	0.36	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	4.38
荊桐	0.20	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.22	0.22	0.21	0.22	0.21	0.21	2.40
斗六	1.38	1.21	1.34	1.31	1.35	1.39	1.52	1.49	1.47	1.50	1.38	1.49	16.83
斗南	0.53	0.45	0.50	0.53	0.54	0.55	0.58	0.57	0.54	0.58	0.53	0.56	6.47
大埤	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.11	0.12	1.18
虎尾	0.67	0.60	0.67	0.68	0.69	0.68	0.71	0.70	0.69	0.70	0.68	0.70	8.17
西螺	0.39	0.32	0.35	0.36	0.37	0.36	0.40	0.39	0.39	0.37	0.34	0.38	4.42
崙背	0.44	0.38	0.41	0.41	0.41	0.38	0.40	0.42	0.42	0.44	0.41	0.43	4.94
參寮	0.34	0.32	0.35	0.32	0.31	0.32	0.35	0.36	0.37	0.36	0.35	0.35	4.11
土庫	0.29	0.25	0.27	0.28	0.29	0.29	0.31	0.30	0.29	0.30	0.28	0.29	3.43
褒忠	0.23	0.21	0.21	0.22	0.24	0.23	0.24	0.24	0.22	0.22	0.22	0.22	2.70
四湖	0.25	0.23	0.24	0.24	0.21	0.23	0.26	0.26	0.29	0.27	0.27	0.24	3.00
北港	0.60	0.56	0.57	0.59	0.57	0.68	0.58	0.63	0.58	0.60	0.53	0.60	7.10
雲林地區合計	6.03	5.38	5.82	5.82	5.86	6.01	6.27	6.33	6.22	6.28	5.92	6.19	72.14

表4-6 彰化地區水井普查之抽水量統計表

單位：10⁶m³

鄉鎮	灌溉用水	養殖用水	公共給水	工業用水	其它	年總抽用水量
線西鄉	17.107	5.261	0.035	0.000	7.024	29.426
秀水鄉	28.658	4.449	0.054	1.521	1.344	36.026
和美鎮	13.310	1.469	55.036	55.302	1.479	126.596
鹿港鎮	87.637	9.208	13.292	0.246	3.456	113.839
福興鄉	76.272	35.109	4.014	2.958	2.524	120.877
伸港鎮	7.840	6.006	0.000	12.288	0.108	26.241
芬園鄉	9.239	0.023	0.041	0.109	0.130	9.542
員林鎮	7.046	0.324	10.884	1.987	0.238	20.480
竹塘鄉	62.042	2.014	1.051	0.000	3.343	68.450
埤頭鄉	110.966	0.542	0.000	1.265	1.874	114.646
二林鎮	249.502	5.830	1.488	5.429	1.282	263.532
芳苑鄉	82.255	50.917	1.051	0.000	1.690	135.914
溪湖鎮	52.899	0.130	4.504	24.292	0.841	82.666
大城鄉	165.450	97.090	0.000	0.006	2.187	264.733
花壇鄉	17.309	0.385	3.257	1.061	0.141	22.153
田中鎮	9.655	0.111	2.615	0.837	0.169	13.387
北斗鎮	56.584	0.000	3.562	1.531	0.110	61.786
社頭鄉	4.702	0.154	6.620	0.000	1.190	12.665
埔心鄉	12.311	0.232	0.000	2.497	0.092	15.132
永靖鄉	19.212	5.261	0.035	0.000	0.393	24.901
田尾鄉	35.857	0.000	0.000	0.000	0.087	35.943
溪洲鄉	67.509	0.618	1.065	0.978	0.677	70.846
埔鹽鄉	111.418	2.502	0.000	0.000	2.235	116.155
大村鄉	10.156	0.045	0.000	4.033	1.097	15.331
二水鄉	0.090	0.120	6.727	2.703	0.054	9.694
合計	1315.023	227.800	115.332	119.044	33.764	1810.963

資料來源：成功大學水工試驗所(1991)

表4-7 雲林地區水井普查結果之水井年抽水量推估值

單位：10⁶m³

鄉鎮別	灌溉用水	養殖用水	公共給水	工業用水	其他	合計
斗六	1.693	0.026	0.000	0.000	0.000	1.719
斗南	18.357	0.054	1.003	0.389	0.082	19.885
古坑	2.492	0.005	0.003	0.102	0.001	2.603
大埤	18.345	0.142	0.221	0.460	0.013	19.181
莿桐	6.835	0.000	0.207	0.018	0.000	7.060
林內	0.582	0.000	0.238	0.210	0.010	1.041
虎尾	88.190	0.218	4.600	0.078	0.358	93.444
西螺	42.885	0.181	0.603	0.874	0.449	44.992
土庫	52.343	1.085	0.051	0.020	1.449	54.948
二崙	65.009	0.425	0.059	0.011	0.999	66.503
崙背	67.793	1.534	0.287	3.275	1.143	74.032
麥寮	62.010	41.599	1.716	0.012	1.177	106.514
褒忠	4.884	0.277	8.754	0.000	0.000	13.195
東勢	35.238	1.986	0.006	0.000	0.358	37.588
台西	27.987	16.307	0.450	0.000	0.662	45.406
北港	23.131	0.081	2.972	0.522	0.061	26.767
元長	4.405	1.727	0.073	0.297	0.453	6.955
水林	44.177	3.798	0.272	0.023	0.285	48.555
四湖	38.428	3.521	0.111	0.166	0.532	42.758
口湖	32.360	30.267	0.126	0.000	2.623	65.346
合計	637.144	103.203	21.752	6.457	10.655	779.212

資料來源：沉向白(1989)

表4-8 濁水溪沖積扇民國84年度養殖抽水推估值(逢甲大學,1997)

鄉鎮別	鄉鎮面積 (km ²)	養殖面積 (km ²)	年抽水立推估值(百萬立方公尺)		
			方案I	方案II	方案III
口湖	101.50	23.48	117.42	117.42	117.42
二崙	60.72	0.30	1.15	1.52	1.52
水林	73.14	2.72	45.13	36.56	54.47
台西	62.84	16.54	82.70	82.70	82.70
元長	72.39	1.03	7.48	7.51	9.35
林內	51.98	0.13	0.62	0.65	0.65
東勢	46.47	2.47	12.34	12.34	12.34
古坑	166.30	0.07	0.35	0.35	0.35
莿桐	57.26	0.17	0.79	0.85	0.85
斗六	92.13	0.55	2.41	0.27	2.77
斗南	48.04	0.67	2.17	3.34	3.33
大埤	44.59	0.22	0.83	1.12	1.12
虎尾	68.66	0.46	1.60	2.33	2.32
西螺	50.22	0.20	1.00	1.00	1.00
崙背	57.11	0.82	2.73	4.14	4.12
麥寮	90.36	22.13	110.63	110.63	110.63
土庫	48.09	0.38	2.18	2.36	2.71
褒忠	35.79	0.60	1.62	3.01	24.99
四湖	76.46	1.74	44.18	33.14	52.29
北港	41.78	0.13	2.98	2.26	3.50
雲林地區合計	1345.83	74.82	440.32	423.50	488.42

表4-8 (續)濁水溪沖積扇民國84年度養殖抽水量推估值(逢甲大學,1997)

鄉鎮別	鄉鎮面積 (km ²)	養殖面積 (km ²)	年抽水量推估值(百萬立方公尺)		
			方案I	方案II	方案III
二水	35.67	0.01	0.04	0.06	0.06
二林	92.28	0.58	3.73	3.56	4.08
大村	30.53	0.08	0.41	0.41	0.41
大城	63.51	5.66	28.89	28.69	29.01
北斗	19.82	0.03	0.12	0.13	0.13
永靖	20.38	0.03	0.14	0.15	0.15
田中	34.57	0.02	0.11	0.12	0.12
田尾	24.71	0.00	0.01	0.01	0.01
竹塘	42.04	0.61	2.92	3.07	3.10
伸港	27.58	4.95	24.75	24.75	24.75
秀水	29.09	0.45	8.96	6.89	10.54
和美	38.36	0.15	0.56	0.73	0.73
社頭	35.96	0.06	0.32	0.32	0.32
芬苑	92.79	4.44	60.23	47.57	67.41
花壇	36.01	0.20	1.33	1.28	1.49
芬園	38.37	0.03	0.15	0.15	0.15
員林	39.54	0.08	0.37	0.38	0.38
埔心	21.04	0.01	0.04	0.04	0.04
鹽埔	39.18	0.10	3.13	2.24	3.62
埤頭	42.50	0.10	0.81	0.73	0.91
鹿港	46.88	4.79	156.89	112.01	180.04
溪州	69.45	0.22	1.12	1.12	1.12
溪湖	31.11	0.03	0.16	0.16	0.16
彰化	66.18	0.43	7.50	5.70	8.49
線西	20.15	4.31	28.22	26.48	30.35
福興	50.26	2.02	31.68	24.53	35.83
彰化地區合計	1087.96	29.37	362.56	291.27	403.39

表4-9 濁水溪沖積扇地下水年抽水量推估結果(葉文工,1998)

單位：10⁶m³

鄉鎮	地表入滲量	含水層1	含水層2-1	含水層2-2	含水層3	總抽水量
溪湖鄉	13.40	0.92	0.42	0.55	1.97	3.86
大城鄉	25.50	1.11	17.80	1.88	0.01	20.80
花壇鄉	1.11	0.18	0.79	3.63	1.13	5.73
田中鎮	4.76	1.39	0.57	0.03	3.67	5.66
員林鄉	1.86	4.10	1.09	2.17	0.09	7.45
伸港鎮	18.30	13.20	29.80	5.68	2.26	50.94
北斗鄉	3.21	0.78	0.32	1.97	0.09	3.16
社頭鄉	4.48	2.64	0.39	0.51	2.82	6.37
埔心鄉	4.15	4.14	0.82	0.32	2.54	7.82
線西鄉	9.08	0.00	2.96	1.32	1.41	5.69
永靖鄉	1.80	0.29	0.08	0.10	0.56	1.03
竹塘鄉	20.10	16.30	0.25	0.04	0.03	16.62
和美鎮	6.52	0.09	1.21	0.09	0.51	1.90
田尾鄉	4.43	2.59	3.26	0.28	2.53	8.66
鹿港鎮	24.20	12.30	86.70	113.00	9.92	221.92
溪洲鄉	29.40	9.43	0.33	0.07	7.89	17.72
埔鹽鄉	21.00	15.40	0.06	0.35	0.00	15.81
埤頭鄉	17.70	16.40	3.56	0.09	0.01	20.06
二林鎮	41.00	0.39	21.70	0.38	7.05	29.52
芳苑鄉	27.80	26.60	0.91	24.20	0.01	51.73
福興鄉	23.40	17.80	19.90	12.20	0.36	50.26
秀水鄉	14.40	2.99	8.37	1.55	2.26	15.17
二水鄉	3.20	0.05	0.12	1.02	3.67	4.86
彰化地區合計	320.80	149.10	201.41	171.44	50.79	572.74

表4-9 (續)濁水溪沖積扇地下水年抽水量推估結果(葉文工,1998)

單位：10⁶m³

鄉鎮	地表入滲量	含水層1	含水層2-1	含水層2-2	含水層3	總抽水量
斗六市	3.11	0.15	0.05	0.20	0.05	0.45
斗南鎮	9.39	0.34	0.74	1.03	1.39	3.50
古坑鄉	1.00	0.04	0.20	0.28	0.04	0.56
大埤鄉	18.20	6.89	1.05	0.98	3.74	12.66
荊桐鄉	6.07	1.65	4.24	0.08	7.04	13.01
虎尾鎮	5.27	2.77	10.10	2.15	1.22	16.24
西螺鎮	5.67	12.70	0.17	0.07	3.10	16.05
土庫鎮	7.91	0.80	10.80	0.82	0.21	12.63
二崙鄉	29.80	26.50	1.21	0.52	0.03	28.26
崙背鄉	21.30	27.70	5.94	1.45	0.34	35.43
麥寮鄉	9.57	7.69	14.30	0.72	4.84	27.55
褒忠鄉	13.30	13.90	42.60	2.21	0.21	58.92
東勢鄉	10.60	7.52	0.30	0.02	0.20	8.03
台西鄉	11.30	16.20	0.34	0.09	0.11	16.73
北港鎮	12.20	10.50	0.85	1.28	3.45	16.08
元長鄉	22.40	14.20	2.70	2.91	0.28	20.09
水林鄉	19.30	2.89	0.09	0.52	0.72	4.23
四湖鄉	15.50	2.14	3.90	0.50	0.18	6.72
口湖鄉	16.40	2.03	4.35	3.90	5.78	16.06
雲林地區合計	238.29	156.61	103.94	19.72	32.93	313.21

表4-10 民國84濁水溪沖積扇各區位分層抽水量推算結果
(中興公司，1997)

單位：百萬立方公尺

分區 分層/面積	第I區	第II區	第III區	第IV區	第V區	第VI區	第VII區	第VIII區	合計
含水層1	18.31	115.38	63.63	11.78	13.87	40.07	16.55	4.95	284.54
含水層2-1	43.20	44.72	34.08	10.37	11.94	20.61	25.66	1.49	192.07
含水層2-2	61.75	24.25	44.04	31.56	15.38	31.68	3.01	15.51	227.18
含水層3	14.92	5.17	6.36	5.30	5.59	10.20	4.89	0.22	52.65
合計	138.18	189.51	148.12	59.01	46.78	102.56	50.11	22.17	756.44
分區面積(km ²)	244.19	512.36	602.36	72.73	108.00	213.76	197.68	149.44	2100.52

表4-11 民國85濁水溪沖積扇各區位分層抽水量推算結果
(中興公司，1998)

單位：百萬立方公尺

分區 分層/面積	第I區	第II區	第III區	第IV區	第V區	第VI區	第VII區	第VIII區	合計
含水層1	14.48	82.18	43.29	9.34	5.57	33.53	31.22	1.96	221.57
含水層2-1	33.5	66.07	67.41	11.6	26.41	20.86	4.38	12.56	242.79
含水層2-2	58.72	19.08	33.98	41.12	23.95	26.66	0.5	3.54	207.55
含水層3	11.44	16.97	10.58	5.44	3.86	8.73	0.06	2.69	59.77
合計	118.14	184.3	155.26	67.5	59.79	89.78	36.16	20.75	731.68
分區面積(km ²)	244.19	512.36	602.36	72.73	108	213.76	197.68	149.44	2100.52

表4-12 彰化雲林地區民國80年至民國85年地下水抽水量統計表

單位：百萬立方公尺

年期	彰化縣				雲林縣				合計
	農業用水	工業用水	生活用水	小計	農業用水	工業用水	生活用水	小計	
80年	278.48	19.43	82.73	380.64	451.48	8.17	62.34	521.99	902.63
81年	264.23	20.72	87.53	372.48	428.70	8.83	61.83	499.36	871.84
82年	248.92	22.01	94.60	365.53	423.54	9.50	65.86	498.90	864.43
83年	275.84	23.30	96.41	395.55	387.42	10.17	68.11	465.70	861.25
84年	284.82	24.59	97.81	407.22	421.39	10.83	70.57	502.79	910.01
85年	315.30	25.88	97.81	439.00	331.31	11.50	71.74	415.00	854.00
平均	277.93	22.66	92.82	393.40	407.31	9.83	66.74	483.96	877.36

資料來源：中興公司(1998)

表4-13. 數值模式法與水平衡法估算各區補注及抽水量比較表(中興公司,1998)

單位：百萬噸/年

	MODFLOW數值模式分析						水平衡分析					
	補注量	抽水量 (合計)	抽水量 含水層1	抽水量 含水層2-1	抽水量 含水層2-2	抽水量 含水層3	補注量	抽水量 (合計)	抽水量 含水層1	抽水量 含水層2-1	抽水量 含水層2-2	抽水量 含水層3
I	230.72	84.50	68.45	5.68	5.20	5.16	182.53	128.16	16.39	38.35	60.23	13.18
II	204.03	229.53	61.52	63.46	66.87	37.68	128.58	186.91	98.78	55.39	21.67	11.07
III	139.70	277.87	40.71	96.01	104.53	36.62	108.86	151.69	53.46	50.74	39.01	8.47
IV	8.77	32.18	7.92	6.23	14.53	3.50	7.53	63.26	10.56	10.99	36.34	5.37
V	22.17	65.13	5.50	29.10	17.26	13.27	8.63	53.29	9.72	19.18	19.66	4.72
VI	76.18	105.58	1.61	65.41	23.93	14.62	30.22	96.18	36.80	20.74	29.17	9.47
VII	92.75	70.73	28.26	18.04	19.89	4.54	37.91	43.14	23.89	15.02	1.75	2.47
VIII	44.07	60.15	6.48	17.48	27.68	8.50	20.66	21.46	3.46	7.02	9.52	1.45
合計	818.39	925.67	220.45	301.41	279.89	123.89	524.92	744.09	253.06	217.43	217.35	56.20

表4-14 濁水溪沖積扇地下水年抽水量推估值(中興公司,1998)

鄉鎮	現況抽水量(10^6m^3)	建議合理抽水量(10^6m^3)
彰化市	5.19	15.96
芬園鄉	0.00	0.00
大村鄉	1.59	7.48
溪湖鄉	8.72	7.79
大城鄉	26.71	14.13
花壇鄉	7.79	8.83
田中鎮	11.15	24.88
員林鄉	15.69	9.72
伸港鎮	8.35	4.95
北斗鄉	8.19	13.84
社頭鄉	12.84	8.78
埔心鄉	1.56	5.09
線西鄉	5.02	4.01
永靖鄉	8.72	5.01
竹塘鄉	16.44	10.24
和美鎮	6.60	8.85
田尾鄉	2.97	5.84
鹿港鎮	19.25	8.75
溪洲鄉	5.61	54.52
埔鹽鄉	11.83	8.56
埤頭鄉	15.84	10.38
二林鎮	37.78	20.58
芳苑鄉	80.57	20.26
福興鄉	18.52	11.06
秀水鄉	6.12	6.51
二水鄉	3.99	21.17
彰化地區合計	347.04	317.19
斗六市	26.27	25.65
斗南鎮	4.47	13.18
古坑鄉	29.86	45.59
大埤鄉	15.38	12.31
荊桐鄉	10.09	36.56
虎尾鎮	58.10	34.12
西螺鎮	27.61	35.80
土庫鎮	26.13	24.33
二崙鄉	45.33	29.56
崙背鄉	19.05	29.03
麥寮鄉	88.17	23.65
褒忠鄉	18.48	18.39
東勢鄉	14.55	14.27
台西鄉	35.07	15.96
北港鎮	8.67	12.24
元長鄉	25.71	35.53
水林鄉	25.21	21.52
四湖鄉	31.73	22.75
口湖鄉	63.91	23.74
林內鄉	4.83	27.04
雲林地區合計	578.62	501.22
總計	925.66	818.41

表5-1 濁水溪沖積扇行政分區土地利用百分比(彰化地區)

鄉鎮 \ 類別	面積(Km ²)	水田(%)	魚塭(%)	旱田(%)	河川(%)	其它(%)
彰化縣鹿港鎮	44.40	44.23	18.23	13.28	5.18	19.08
彰化縣線西鄉	20.14	37.69	20.75	5.54	6.68	29.34
彰化縣伸港鄉	27.08	28.70	11.17	23.21	4.85	32.08
彰化縣彰化市	66.05	22.97	0.58	33.62	12.44	30.39
彰化縣和美鎮	38.29	52.48	0.27	6.15	12.90	28.19
彰化縣福興鄉	50.17	43.76	7.47	23.96	6.48	18.34
彰化縣埔鹽鄉	39.12	42.94	0.63	31.64	6.47	18.32
彰化縣秀水鄉	29.05	61.12	1.88	11.10	4.91	20.99
彰化縣花壇鄉	35.91	26.00	0.81	50.01	3.62	19.57
彰化縣大村鄉	30.49	34.57	0.08	35.26	3.78	26.32
彰化縣溪湖鎮	31.03	26.04	0.09	43.22	5.33	25.33
彰化縣永靖鄉	20.30	50.53	0.11	22.24	1.75	25.37
彰化縣田尾鄉	24.64	38.92	0.03	34.12	7.54	19.39
彰化縣埔心鄉	21.05	34.43	0.27	35.65	6.00	23.64
彰化縣芳苑鄉	92.78	12.09	12.45	57.84	3.48	14.15
彰化縣二林鎮	92.05	30.69	1.25	52.60	3.19	12.26
彰化縣大城鄉	63.54	16.74	8.19	35.52	26.78	12.78
彰化縣竹塘鄉	41.94	45.53	2.32	14.75	24.91	12.48
彰化縣碑頭鄉	42.39	61.97	0.45	16.37	3.60	17.61
彰化縣北斗鎮	19.79	54.09	0.16	17.41	4.11	24.23
彰化縣田中鎮	34.41	38.99	0.08	40.04	3.07	17.81
彰化縣社頭鄉	35.87	21.83	0.25	59.84	2.93	15.16
彰化縣芬園鄉	38.18	21.55	0.02	56.71	10.92	10.80
彰化縣二水鄉	35.51	23.08	0.17	53.95	15.42	7.40
彰化縣溪州鄉	69.21	40.58	0.21	25.92	21.31	11.98
彰化縣員林鎮	39.46	22.56	0.07	44.83	4.63	27.90

表5-1 (續)濁水溪沖積扇行政區土地利用百分比(雲林地區)

鄉鎮 \ 類別	面積(Km ²)	水田(%)	魚塭(%)	旱田(%)	河川(%)	其它(%)
雲林縣麥寮鄉	92.04	6.58	24.25	32.98	16.89	19.31
雲林縣二崙鄉	60.96	53.19	0.41	15.26	18.44	12.70
雲林縣崙背鄉	57.41	29.00	1.06	39.65	17.22	13.07
雲林縣西螺鎮	49.78	49.62	0.38	14.26	18.78	16.95
雲林縣莿桐鄉	57.40	44.04	0.18	16.88	25.59	13.31
雲林縣林內鄉	51.69	16.98	0.04	61.15	14.51	7.33
雲林縣台西鄉	61.26	0.25	31.78	42.27	7.45	18.25
雲林縣斗六市	91.34	24.33	0.39	51.61	5.25	18.41
雲林縣土庫鎮	47.37	15.98	0.83	61.46	6.51	15.22
雲林縣虎尾鎮	68.79	27.01	0.51	42.90	8.36	21.23
雲林縣褒忠鄉	35.61	4.12	1.70	75.71	4.57	13.89
雲林縣東勢鄉	46.38	8.49	4.67	66.96	7.36	12.52
雲林縣斗南鎮	48.01	39.64	1.57	31.77	8.59	18.43
雲林縣四湖鄉	73.75	0.70	4.10	78.19	4.84	12.17
雲林縣元長鄉	72.61	10.38	1.04	66.05	8.99	13.55
雲林縣大埤鄉	44.24	54.76	0.64	16.82	13.26	14.52
雲林縣口湖鄉	75.05	6.16	40.53	30.56	7.81	14.96
雲林縣北港鎮	41.41	16.35	0.61	53.34	13.01	16.69
雲林縣水林鄉	72.37	19.27	5.67	53.43	9.47	12.16
雲林縣古坑鄉	166.52	0.56	0.04	90.91	3.58	4.91

表5-2 彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(鹿港)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	15.98	0.199	0.274	111.00	1.585	2.286	110.21	1.271	1.749
2	68.97	2.992	3.719	338.00	6.270	8.168	333.58	4.451	5.534
3	195.29	2.854	3.928	128.99	5.381	7.760	124.55	2.452	3.375
4	33.83	2.204	2.936	132.02	5.044	7.040	119.94	2.921	3.891
5	159.14	2.377	3.272	115.12	4.708	6.790	107.24	2.482	3.416
6	319.53	2.621	3.491	458.88	4.688	6.544	449.25	1.919	2.557
7	191.43	2.665	3.668	50.01	5.734	8.270	42.63	1.951	2.686
8	221.45	2.965	4.081	119.12	5.697	8.216	115.71	2.418	3.329
9	83.03	2.376	3.165	44.88	5.717	7.980	40.28	2.049	2.730
10	0.39	1.715	2.360	113.99	5.715	8.242	104.64	2.367	3.258
11	0.00	-0.199	-0.265	1.00	5.779	8.066	1.11	-0.208	-0.278
12	5.27	-0.025	-0.035	38.00	1.496	2.158	38.00	0.149	0.206
合計	1294.30	22.743	30.594	1651.03	57.815	81.520	1587.14	24.224	32.452

表5-2 (續1)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(線西)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	17.02	0.340	0.212	111.00	1.591	1.069	110.99	1.090	0.681
2	68.98	2.652	1.495	338.00	7.556	4.583	338.05	3.563	2.009
3	200.00	2.474	1.544	128.99	5.218	3.504	129.01	2.324	1.451
4	35.01	1.958	1.183	132.02	4.976	3.234	131.99	2.780	1.679
5	166.99	2.130	1.330	115.12	4.687	3.148	115.06	2.349	1.467
6	329.59	2.231	1.348	458.88	5.452	3.543	458.82	1.583	0.956
7	160.41	2.156	1.346	50.01	5.664	3.803	49.96	1.726	1.077
8	232.97	2.712	1.693	119.12	5.691	3.821	119.14	2.284	1.426
9	88.01	2.221	1.342	44.88	5.702	3.705	44.83	1.968	1.189
10	0.00	1.610	1.005	113.99	5.703	3.830	113.94	2.183	1.363
11	0.00	-0.147	-0.089	1.00	6.148	3.995	0.98	-0.098	-0.059
12	5.01	0.049	0.030	38.00	4.703	3.158	38.00	0.189	0.118
合計	1303.99	20.384	12.440	1651.03	63.093	41.392	1650.77	21.940	13.357

表5-2 (續2)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(伸港)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	17.02	-0.143	-0.012	111.00	2.030	1.701	110.99	1.159	0.973
2	68.98	2.178	1.651	338.00	7.955	6.019	338.05	5.190	3.936
3	200.00	2.899	2.433	128.99	10.673	8.941	129.01	2.774	2.329
4	35.01	1.922	1.562	132.02	10.553	8.556	131.99	3.329	2.704
5	166.99	2.679	2.249	115.12	8.820	7.389	115.06	2.692	2.260
6	329.59	3.634	2.952	458.88	9.105	7.382	458.82	3.889	3.159
7	160.41	3.082	2.587	50.01	9.801	8.211	49.96	1.704	1.430
8	232.97	3.744	3.143	119.12	8.832	7.398	119.14	2.645	2.220
9	88.01	2.532	2.057	44.88	8.835	7.162	44.83	1.859	1.510
10	0.00	1.263	1.060	113.99	8.845	7.409	113.94	2.460	2.065
11	0.00	-0.277	-0.225	1.00	8.872	7.192	0.98	-0.199	-0.162
12	5.01	-0.127	-0.107	38.00	0.258	0.216	38.00	0.098	0.082
合計	1303.99	23.385	19.351	1651.03	94.578	77.576	1650.77	27.598	22.506

表5-2 (續3)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(彰化)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	20.16	-0.286	-0.585	111.00	1.665	3.416	102.54	0.680	1.392
2	74.39	1.611	2.980	338.00	6.695	12.407	349.09	3.093	5.721
3	195.00	1.456	2.982	128.99	5.389	11.057	142.36	1.190	2.437
4	30.06	0.853	1.690	132.02	5.066	10.058	151.03	2.089	4.139
5	208.81	1.519	3.110	115.12	4.727	9.698	149.32	1.566	3.207
6	360.14	2.052	4.065	458.88	4.609	9.151	464.10	1.861	3.688
7	167.74	1.728	3.538	50.01	4.950	10.156	56.82	0.863	1.767
8	337.02	2.106	4.313	119.12	5.732	11.760	196.36	1.906	3.902
9	82.71	1.292	2.561	44.88	5.741	11.398	103.73	1.205	2.388
10	1.70	0.463	0.948	113.99	5.750	11.797	93.20	1.179	2.413
11	0.00	-0.519	-1.028	1.00	5.814	11.544	1.59	-0.466	-0.924
12	6.42	-0.268	-0.550	38.00	1.782	3.656	34.10	-0.117	-0.239
合計	1484.13	12.007	24.024	1651.03	57.920	116.099	1844.27	15.050	29.892

表5-2 (續4)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(和美)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	17.62	-0.342	-0.406	111.00	1.705	2.021	108.69	0.974	1.156
2	70.18	3.079	3.301	338.00	4.459	4.774	339.93	4.598	4.929
3	198.20	3.029	3.595	128.99	2.102	2.492	132.01	3.228	3.832
4	34.21	2.672	3.070	132.02	3.136	3.598	134.29	3.853	4.426
5	175.59	3.175	3.769	115.12	1.786	2.117	121.28	3.405	4.042
6	333.18	2.730	3.136	458.88	1.941	2.227	458.61	2.445	2.808
7	159.54	3.219	3.821	50.01	0.903	1.071	50.87	2.495	2.962
8	252.96	3.892	4.619	119.12	2.747	3.256	134.85	3.348	3.974
9	87.31	3.104	3.565	44.88	2.190	2.512	48.18	2.880	3.308
10	0.30	2.295	2.725	113.99	2.588	3.067	109.76	3.061	3.633
11	0.00	-0.246	-0.283	1.00	0.933	1.071	1.07	-0.128	-0.147
12	5.31	-0.172	-0.204	38.00	0.719	0.853	37.04	0.042	0.050
合計	1334.39	26.435	30.708	1651.03	25.211	29.059	1676.56	30.201	34.973

表5-2 (續5)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(福興)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	14.72	-0.262	-0.407	111.00	1.643	2.555	107.80	1.167	1.816
2	68.34	2.775	3.898	338.00	4.054	5.694	327.29	4.073	5.721
3	186.61	2.508	3.900	128.99	1.335	2.077	117.45	2.236	3.478
4	30.92	1.858	2.796	132.02	2.500	3.762	103.69	2.643	3.977
5	146.12	2.136	3.322	115.12	1.437	2.235	96.01	2.171	3.376
6	311.13	2.390	3.597	458.88	2.010	3.025	437.99	1.862	2.802
7	243.55	2.733	4.250	50.01	0.917	1.426	33.73	1.606	2.497
8	203.62	2.883	4.484	119.12	1.802	2.802	111.66	2.131	3.314
9	76.59	2.136	3.215	44.88	1.121	1.687	32.76	1.727	2.599
10	1.02	1.445	2.248	113.99	0.930	1.447	88.92	2.115	3.289
11	0.00	-0.411	-0.618	1.00	-0.691	-1.039	1.26	-0.416	-0.626
12	5.62	-0.218	-0.340	38.00	-0.194	-0.301	37.91	0.022	0.034
合計	1288.25	19.973	30.346	1651.03	16.867	25.370	1496.45	21.336	32.277

表5-2 (續6)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(埔鹽)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	21.51	-0.343	-0.416	111.00	1.590	1.931	93.95	1.119	1.357
2	67.55	2.906	3.183	338.00	4.554	4.996	334.13	5.869	6.428
3	185.75	3.071	3.724	128.99	1.279	1.554	127.42	3.567	4.325
4	21.96	2.463	2.891	132.02	2.535	2.979	148.96	4.355	5.111
5	162.79	3.202	3.883	115.12	1.096	1.331	154.07	3.585	4.348
6	395.42	3.760	4.412	458.88	1.702	2.000	530.91	4.054	4.757
7	184.58	3.840	4.656	50.01	0.563	0.684	39.78	2.333	2.829
8	287.06	4.411	5.349	119.12	1.552	1.886	150.33	3.322	4.028
9	101.31	3.423	4.017	44.88	0.808	0.950	38.75	2.567	3.012
10	0.89	1.993	2.417	113.99	1.466	1.781	101.01	3.222	3.907
11	0.00	-0.368	-0.432	1.00	-0.068	-0.080	0.71	-0.268	-0.315
12	5.32	-0.272	-0.329	38.00	0.028	0.034	38.29	0.043	0.052
合計	1434.14	28.085	33.354	1651.03	17.105	20.046	1758.33	33.766	39.841

表5-2 (續7)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(秀水)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	18.95	-0.305	-0.275	111.00	1.591	1.430	103.85	0.908	0.817
2	68.87	3.258	2.650	338.00	7.301	5.926	337.42	4.180	3.400
3	194.21	2.549	2.296	128.99	5.243	4.712	129.65	2.632	2.370
4	29.90	2.262	1.971	132.02	4.986	4.336	139.57	3.145	2.741
5	168.78	2.500	2.251	115.12	4.688	4.213	132.10	2.723	2.452
6	355.76	2.397	2.089	458.88	5.411	4.706	485.95	1.846	1.608
7	168.01	2.746	2.473	50.01	5.664	5.090	46.75	2.269	2.043
8	260.68	3.057	2.753	119.12	5.691	5.114	136.50	2.639	2.377
9	92.89	2.611	2.275	44.88	4.073	3.542	47.05	2.331	2.031
10	0.43	1.985	1.787	113.99	3.909	3.513	107.74	2.578	2.322
11	0.00	-0.360	-0.314	1.00	1.397	1.215	0.91	-0.386	-0.336
12	5.22	-0.217	-0.196	38.00	0.660	0.594	37.71	0.037	0.033
合計	1363.70	22.482	19.761	1651.03	50.615	44.391	1705.20	24.901	21.858

表5-2 (續8)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(花壇)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	21.05	-0.339	-0.377	111.00	1.629	1.809	109.08	0.494	0.550
2	73.78	1.528	1.537	338.00	4.265	4.277	355.20	2.527	2.541
3	204.54	0.787	0.877	128.99	4.519	5.017	140.40	0.544	0.605
4	26.72	0.190	0.205	132.02	2.227	2.393	173.85	1.454	1.567
5	212.91	0.500	0.557	115.12	1.036	1.151	163.40	0.682	0.759
6	398.16	1.325	1.427	458.88	1.898	2.039	481.52	1.124	1.211
7	199.35	1.008	1.123	50.01	-0.231	-0.256	64.07	0.486	0.541
8	365.51	1.252	1.394	119.12	1.134	1.259	206.13	1.303	1.450
9	77.13	0.573	0.618	44.88	1.490	1.602	109.73	0.500	0.539
10	2.52	-0.112	-0.124	113.99	1.814	2.014	97.90	0.628	0.700
11	0.00	-0.783	-0.844	1.00	-0.026	-0.028	2.00	-0.775	-0.835
12	6.49	-0.385	-0.429	38.00	0.016	0.018	37.62	-0.193	-0.215
合計	1588.16	5.545	5.962	1651.03	19.771	21.294	1940.90	8.775	9.413

表5-2 (續9)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(大村)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	22.60	-0.321	-0.304	118.00	1.617	1.528	114.26	0.909	0.859
2	68.96	2.407	2.055	344.00	6.228	5.316	346.16	4.490	3.833
3	191.78	2.348	2.219	156.01	3.460	3.269	134.24	2.713	2.564
4	16.41	1.667	1.525	163.02	3.008	2.751	183.63	3.498	3.200
5	196.25	2.435	2.302	207.30	3.755	3.549	174.14	2.838	2.683
6	492.67	3.171	2.900	510.87	4.818	4.406	495.54	2.978	2.724
7	242.49	3.297	3.116	56.87	4.481	4.235	72.99	2.040	1.928
8	266.53	3.144	2.972	342.24	4.112	3.885	203.98	3.229	3.052
9	80.31	2.206	2.018	75.77	4.714	4.311	66.81	2.085	1.907
10	3.75	1.349	1.275	173.00	0.545	0.515	110.65	2.455	2.321
11	0.00	-0.447	-0.409	3.97	0.921	0.842	1.55	-0.376	-0.344
12	6.09	-0.282	-0.267	45.00	1.230	1.163	42.46	0.042	0.040
合計	1587.84	20.972	19.402	2196.05	38.890	35.771	1946.41	26.902	24.767

表5-2 (續10)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(溪湖)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	25.01	-0.283	-0.272	111.00	0.779	0.749	81.49	0.931	0.895
2	66.49	1.976	1.717	338.00	2.965	2.574	331.98	5.135	4.461
3	176.00	1.968	1.893	128.99	1.528	1.469	126.99	2.620	2.520
4	12.51	1.245	1.159	132.02	1.545	1.437	163.51	3.410	3.174
5	160.99	2.057	1.979	115.12	1.248	1.200	184.21	2.391	2.300
6	445.74	3.441	3.203	458.88	1.149	1.069	585.79	4.598	4.281
7	197.30	2.947	2.835	50.01	1.173	1.127	33.47	1.258	1.210
8	328.95	3.451	3.319	119.12	1.223	1.175	173.96	2.358	2.268
9	111.97	2.472	2.301	44.88	1.241	1.154	35.01	1.393	1.296
10	1.49	0.960	0.923	113.99	1.243	1.194	92.99	2.234	2.149
11	0.00	-0.505	-0.470	1.00	1.594	1.483	0.49	-0.477	-0.444
12	5.50	-0.325	-0.313	38.00	-0.316	-0.304	38.50	-0.035	-0.034
合計	1531.95	19.404	18.275	1651.03	15.371	14.327	1848.39	25.815	24.077

表5-2 (續11)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(永靖)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	22.80	-0.323	-0.203	118.00	1.516	0.956	106.42	1.011	0.636
2	67.12	3.128	1.778	344.00	5.211	2.968	333.88	5.094	2.896
3	172.84	2.955	1.860	156.01	3.331	2.100	132.98	3.430	2.158
4	13.77	2.202	1.341	163.02	3.283	2.003	163.47	3.836	2.336
5	181.52	3.020	1.901	207.30	2.576	1.624	167.60	3.399	2.139
6	500.04	3.667	2.233	510.87	2.373	1.448	493.55	3.348	2.039
7	227.91	3.920	2.467	56.87	2.233	1.408	66.53	2.637	1.660
8	193.80	3.542	2.229	342.24	3.692	2.328	193.36	3.703	2.330
9	90.83	2.881	1.754	75.77	3.231	1.972	37.04	2.413	1.470
10	3.39	1.947	1.225	173.00	1.780	1.122	109.73	3.021	1.901
11	0.00	-0.448	-0.273	3.97	-0.092	-0.056	0.80	-0.347	-0.211
12	5.82	-0.240	-0.151	45.00	0.758	0.478	40.72	0.125	0.079
合計	1479.86	26.251	16.161	2196.05	29.892	18.352	1846.08	31.670	19.432

表5-2 (續12)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(田尾)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	24.14	-0.309	-0.236	118.00	1.820	1.393	102.93	0.979	0.748
2	67.64	2.804	1.934	344.00	5.071	3.507	298.51	4.803	3.314
3	165.04	2.592	1.980	156.01	5.713	4.374	129.58	2.864	2.188
4	13.85	1.704	1.259	163.02	4.152	3.076	155.22	3.466	2.562
5	181.10	2.649	2.024	207.30	3.742	2.865	181.09	3.072	2.347
6	465.65	3.367	2.489	510.87	3.639	2.696	498.48	4.059	3.000
7	214.81	3.272	2.499	56.87	4.439	3.398	92.38	2.448	1.870
8	195.07	2.874	2.195	342.24	4.673	3.577	187.78	3.192	2.438
9	96.70	2.394	1.770	75.77	4.627	3.428	46.57	2.060	1.523
10	2.46	1.404	1.073	173.00	4.530	3.468	98.48	2.529	1.932
11	0.00	-0.569	-0.421	3.97	0.895	0.663	0.58	-0.499	-0.369
12	5.21	-0.304	-0.232	45.00	-0.023	-0.018	41.46	0.054	0.041
合計	1431.68	21.878	16.335	2196.05	43.279	32.427	1833.08	29.028	21.594

表5-2 (續13)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(埔心)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	23.42	-0.290	-0.189	118.00	3.932	2.566	99.44	1.055	0.689
2	66.94	2.451	1.445	344.00	5.627	3.316	333.35	5.093	3.002
3	173.73	2.526	1.648	156.01	4.145	2.705	131.30	3.227	2.106
4	13.41	1.791	1.131	163.02	4.750	3.000	163.48	3.807	2.404
5	175.77	2.737	1.786	207.30	4.363	2.847	172.26	3.139	2.049
6	484.82	3.758	2.373	510.87	2.718	1.717	519.40	4.042	2.552
7	219.33	3.780	2.467	56.87	5.832	3.805	57.27	2.126	1.387
8	231.69	3.489	2.277	342.24	5.618	3.666	187.92	3.410	2.225
9	96.76	2.732	1.725	75.77	5.694	3.595	36.47	1.997	1.261
10	2.86	1.507	0.984	173.00	4.984	3.252	105.04	2.762	1.803
11	0.00	-0.390	-0.246	3.97	2.713	1.713	0.71	-0.315	-0.199
12	5.73	-0.263	-0.171	45.00	1.022	0.667	40.10	0.083	0.054
合計	1494.46	23.829	15.229	2196.05	51.397	32.848	1846.73	30.427	19.333

表5-2 (續14)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(芳苑)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	22.58	0.085	0.244	111.00	1.935	5.579	88.18	1.159	3.334
2	55.03	1.106	2.872	338.00	5.397	14.059	346.17	5.521	14.342
3	171.21	2.455	7.061	128.99	3.157	9.105	122.33	1.845	5.308
4	17.42	0.279	0.777	132.02	3.771	10.525	153.00	2.738	7.622
5	142.02	1.479	4.253	115.12	2.974	8.578	96.03	1.350	3.883
6	392.82	5.077	14.132	458.88	3.124	8.718	455.43	4.841	13.474
7	286.64	3.664	10.537	50.01	2.705	7.801	105.94	1.291	3.714
8	176.56	2.771	7.970	119.12	3.373	9.729	135.25	1.794	5.159
9	103.49	1.595	4.439	44.88	3.800	10.606	28.91	0.287	0.798
10	1.60	-0.078	-0.225	113.99	3.495	10.080	84.58	1.136	3.268
11	0.00	-0.606	-1.687	1.00	1.110	3.098	0.04	-0.661	-1.840
12	3.06	-0.305	-0.876	38.00	0.764	2.204	34.83	-0.062	-0.178
合計	1372.44	17.521	49.498	1651.03	35.605	100.081	1650.70	21.240	58.884

表5-2 (續15)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(二林)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	22.23	-0.348	-0.992	111.00	2.439	6.963	92.18	1.363	3.890
2	62.01	2.282	5.881	338.00	5.400	13.924	335.38	6.623	17.071
3	182.39	3.381	9.648	128.99	2.687	7.670	128.58	3.075	8.774
4	23.91	1.537	4.244	132.02	3.677	10.158	140.35	3.895	10.755
5	158.62	2.760	7.877	115.12	2.712	7.741	116.34	2.872	8.196
6	338.55	4.716	13.024	458.88	3.379	9.336	453.33	5.269	14.550
7	227.12	3.915	11.170	50.01	2.822	8.057	78.23	2.003	5.715
8	213.12	4.348	12.406	119.12	3.225	9.207	147.19	3.014	8.600
9	99.87	2.700	7.456	44.88	3.085	8.521	34.67	1.623	4.483
10	1.85	0.996	2.843	113.99	2.418	6.902	102.25	2.627	7.497
11	0.00	-0.617	-1.703	1.00	0.039	0.107	0.50	-0.570	-1.574
12	3.29	-0.399	-1.138	38.00	-0.150	-0.430	36.17	-0.017	-0.048
合計	1332.97	25.272	70.719	1651.03	31.734	88.155	1665.16	31.778	87.911

表5-2 (續16)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(大城)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	37.06	0.191	0.376	69.00	1.192	2.347	56.35	0.498	0.982
2	88.84	0.811	1.444	261.00	6.667	11.862	279.26	3.253	5.788
3	151.17	1.272	2.505	75.00	2.019	3.977	114.56	1.201	2.365
4	33.34	-0.103	-0.196	124.01	3.048	5.809	126.28	1.491	2.842
5	135.63	0.731	1.440	66.06	0.967	1.905	127.69	1.041	2.050
6	319.39	2.559	4.878	339.97	5.061	9.647	356.70	3.045	5.804
7	268.15	1.911	3.764	111.01	2.040	4.019	168.87	1.021	2.012
8	178.03	1.727	3.401	141.03	3.307	6.515	205.53	1.614	3.180
9	99.29	0.977	1.862	28.95	1.315	2.507	23.58	0.117	0.222
10	22.41	-0.094	-0.185	109.02	3.055	6.017	79.83	0.735	1.448
11	0.00	-0.459	-0.875	0.00	-0.486	-0.926	0.43	-0.328	-0.626
12	7.50	-0.232	-0.457	39.01	-0.169	-0.333	30.88	0.103	0.203
合計	1340.82	9.291	17.957	1364.05	28.016	53.347	1569.97	13.790	26.268

表5-2 (續17)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(竹塘)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	28.15	-0.072	-0.093	102.00	1.427	1.856	92.60	0.633	0.823
2	56.77	1.260	1.480	301.00	5.011	5.885	309.90	3.400	3.993
3	150.47	1.601	2.081	120.00	1.353	1.759	129.09	1.981	2.576
4	11.36	0.550	0.692	134.02	2.256	2.839	145.62	2.458	3.092
5	161.28	1.286	1.673	104.27	1.652	2.148	113.17	1.873	2.435
6	362.05	2.584	3.251	460.78	2.634	3.314	430.72	3.362	4.230
7	289.24	2.292	2.980	187.96	1.250	1.625	144.27	1.602	2.082
8	247.78	2.829	3.678	200.99	3.044	3.958	179.65	1.935	2.516
9	102.46	1.717	2.160	88.01	2.706	3.405	44.51	1.204	1.515
10	3.05	0.609	0.792	101.02	1.411	1.835	96.42	1.608	2.090
11	0.00	-0.398	-0.501	0.00	-0.334	-0.420	0.25	-0.196	-0.247
12	2.32	-0.286	-0.372	46.00	-0.025	-0.032	39.47	0.235	0.306
合計	1414.93	13.973	17.822	1846.05	22.385	28.172	1725.68	20.093	25.410

表5-2 (續18)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(碑頭)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	24.75	-0.276	-0.363	102.00	2.315	3.042	107.31	0.978	1.286
2	68.00	3.317	3.937	301.00	8.321	9.877	269.68	5.202	6.175
3	156.87	3.016	3.964	120.00	4.475	5.881	128.39	3.190	4.192
4	14.11	2.177	2.769	134.02	4.981	6.336	148.27	3.744	4.761
5	186.11	2.855	3.752	104.27	3.722	4.891	185.68	3.421	4.495
6	451.03	3.212	4.084	460.78	8.261	10.506	475.48	3.717	4.727
7	214.35	3.418	4.491	187.96	2.327	3.059	125.23	2.788	3.664
8	162.56	3.262	4.286	200.99	5.373	7.062	188.25	3.236	4.252
9	95.57	2.788	3.546	88.01	4.587	5.834	55.58	2.686	3.415
10	2.19	1.899	2.496	101.02	5.141	6.757	93.84	2.877	3.781
11	0.00	-0.485	-0.617	0.00	1.756	2.233	0.49	-0.394	-0.501
12	4.77	-0.282	-0.370	46.00	1.348	1.772	42.80	0.175	0.229
合計	1380.30	24.902	31.976	1846.05	52.607	67.250	1821.00	31.620	40.476

表5-2 (續19)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(北斗)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	25.58	-0.225	-0.138	102.00	1.425	0.874	113.68	1.177	0.722
2	72.32	2.613	1.448	301.00	4.403	2.438	263.24	5.353	2.966
3	149.40	2.793	1.713	120.00	0.116	0.071	133.64	3.148	1.931
4	16.31	1.466	0.870	134.02	1.602	0.950	149.26	3.731	2.215
5	192.25	2.747	1.685	104.27	0.553	0.339	195.98	3.957	2.427
6	482.67	4.552	2.702	460.78	2.241	1.330	440.78	5.160	3.064
7	244.00	3.430	2.104	187.96	0.119	0.073	169.37	2.937	1.802
8	165.50	3.200	1.963	200.99	0.724	0.444	213.95	3.557	2.182
9	89.71	2.543	1.510	88.01	-0.171	-0.102	56.91	2.213	1.314
10	2.14	1.180	0.724	101.02	0.525	0.322	101.98	2.716	1.666
11	0.00	-0.560	-0.332	0.00	-1.178	-0.699	0.61	-0.349	-0.207
12	4.38	-0.330	-0.202	46.00	-0.002	-0.001	47.31	0.262	0.161
合計	1444.28	23.409	14.047	1846.05	10.356	6.038	1886.70	33.863	20.243

表5-2 (續20)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(田中)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	28.44	-0.177	-0.189	118.00	4.582	4.881	103.44	0.916	0.977
2	81.83	1.920	1.850	344.00	11.434	11.002	327.92	4.108	3.958
3	149.88	1.550	1.653	156.01	4.801	5.114	148.27	2.280	2.432
4	20.42	0.582	0.601	163.02	5.383	5.550	171.48	2.352	2.428
5	177.41	1.743	1.860	207.30	5.883	6.267	213.75	2.582	2.754
6	574.15	3.512	3.625	510.87	10.209	10.525	470.09	3.824	3.948
7	318.72	2.147	2.290	56.87	2.384	2.540	184.24	1.304	1.391
8	401.78	3.082	3.288	342.24	8.431	8.982	275.77	2.464	2.628
9	91.11	1.482	1.530	75.77	2.433	2.508	38.21	1.171	1.209
10	1.23	0.389	0.415	173.00	3.281	3.496	129.51	1.685	1.797
11	0.00	-0.657	-0.678	3.97	-0.086	-0.088	1.14	-0.399	-0.412
12	4.28	-0.412	-0.439	45.00	0.088	0.093	55.09	0.408	0.435
合計	1849.23	15.161	15.805	2196.05	58.823	60.871	2118.91	22.694	23.545

表5-2 (續21)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(社頭)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	23.82	-0.316	-0.351	118.00	2.192	2.437	119.42	0.592	0.658
2	72.38	1.781	1.789	344.00	7.436	7.465	339.64	3.150	3.164
3	169.46	1.135	1.263	156.01	1.724	1.916	146.51	1.204	1.339
4	19.91	0.475	0.511	163.02	2.650	2.851	163.21	2.036	2.191
5	180.39	0.839	0.933	207.30	2.872	3.192	183.29	1.470	1.635
6	587.21	2.868	3.087	510.87	4.474	4.813	476.26	1.711	1.841
7	265.13	2.022	2.249	56.87	-0.468	-0.521	70.93	0.734	0.816
8	306.29	1.599	1.778	342.24	5.107	5.676	275.40	1.773	1.971
9	83.91	0.844	0.908	75.77	0.954	1.027	57.52	0.655	0.705
10	3.21	0.100	0.111	173.00	2.461	2.735	147.01	1.378	1.532
11	0.00	-0.726	-0.781	3.97	-0.353	-0.380	2.50	-0.709	-0.763
12	6.52	-0.417	-0.464	45.00	0.557	0.620	43.51	-0.112	-0.124
合計	1718.22	10.205	11.031	2196.05	29.607	31.830	2025.22	13.881	14.965

表5-2 (續22)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(二水)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	29.01	-0.097	-0.107	106.00	5.274	5.804	103.82	0.454	0.500
2	79.39	0.938	0.932	340.00	7.130	7.089	333.45	3.172	3.154
3	131.81	0.619	0.681	160.00	5.353	5.892	154.40	1.135	1.249
4	26.93	-0.387	-0.412	166.01	5.144	5.479	169.15	1.346	1.434
5	174.42	0.919	1.012	218.02	4.801	5.284	217.75	1.462	1.609
6	464.17	2.716	2.893	539.38	4.693	4.999	505.39	3.380	3.601
7	323.29	1.234	1.358	158.63	4.769	5.249	177.67	0.449	0.495
8	371.32	2.256	2.484	436.96	5.215	5.740	358.84	1.513	1.665
9	96.13	0.590	0.629	53.90	5.482	5.839	45.17	0.457	0.487
10	0.48	-0.530	-0.583	134.05	5.605	6.169	130.86	0.592	0.652
11	0.00	-0.735	-0.783	0.00	3.048	3.246	0.48	-0.418	-0.445
12	2.98	-0.477	-0.525	52.00	1.143	1.258	54.19	0.384	0.423
合計	1699.95	7.045	7.577	2364.95	57.658	62.048	2251.17	13.926	14.823

表5-2 (續23)彰化縣1997-1998年地表補注量推算結果(溪州)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	26.06	-0.165	-0.353	102.00	3.377	7.263	109.31	0.822	1.763
2	73.21	1.039	2.013	301.00	6.664	12.944	283.93	3.509	6.799
3	146.15	1.091	2.340	120.00	4.100	8.818	135.67	1.578	3.386
4	16.13	-0.258	-0.535	134.02	4.537	9.442	153.27	1.968	4.085
5	185.58	1.072	2.299	104.27	3.275	7.042	189.25	1.980	4.248
6	491.75	3.367	6.990	460.78	2.846	5.922	450.29	4.424	9.186
7	262.42	1.802	3.865	187.96	4.932	10.606	178.91	1.345	2.886
8	251.53	1.964	4.213	200.99	4.850	10.429	227.38	1.759	3.775
9	95.77	0.904	1.876	88.01	4.877	10.149	55.50	0.853	1.771
10	1.71	-0.156	-0.334	101.02	3.586	7.712	108.18	1.089	2.336
11	0.00	-0.591	-1.227	0.00	-0.057	-0.118	0.63	-0.289	-0.601
12	4.12	-0.364	-0.780	46.00	-0.014	-0.029	49.43	0.411	0.882
合計	1554.44	9.704	20.367	1846.05	42.974	90.180	1941.74	19.449	40.518

表5-2 (續24)彰化縣1998年地表入滲量推算結果(員林)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	22.20	-0.307	-0.375	118.00	3.662	4.478	121.09	0.604	0.738
2	69.02	1.726	1.907	344.00	6.952	7.678	338.85	3.330	3.679
3	175.19	1.370	1.676	156.01	5.117	6.257	138.75	1.720	2.104
4	16.16	0.754	0.893	163.02	4.946	5.854	168.66	2.157	2.554
5	192.15	1.398	1.710	207.30	4.673	5.714	167.20	1.740	2.128
6	542.74	2.613	3.094	510.87	4.902	5.801	455.56	2.020	2.391
7	253.41	2.200	2.691	56.87	5.699	6.969	81.85	1.171	1.432
8	186.74	1.846	2.258	342.24	5.716	6.990	223.66	2.282	2.791
9	78.66	1.161	1.374	75.77	5.729	6.780	49.18	0.988	1.169
10	4.18	0.446	0.546	173.00	5.738	7.017	125.86	1.497	1.831
11	0.00	-0.569	-0.673	3.97	5.546	6.563	1.51	-0.527	-0.623
12	6.18	-0.335	-0.410	45.00	1.030	1.259	42.80	-0.064	-0.078
合計	1546.62	12.304	14.690	2196.05	59.710	71.360	1914.97	16.917	20.116

表5-3 雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(麥寮)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	64.66	1.247	3.557	69.00	0.346	0.989	21.74	-0.032	-0.090
2	201.23	2.754	7.097	261.00	1.840	4.748	73.74	0.352	0.908
3	88.13	0.715	2.039	75.00	-0.070	-0.200	47.73	0.269	0.769
4	92.93	1.092	3.014	124.01	0.571	1.579	69.22	0.314	0.866
5	113.38	0.739	2.110	66.06	0.084	0.239	184.64	1.815	5.177
6	361.32	3.307	9.132	339.97	0.333	0.920	125.82	0.593	1.638
7	123.32	1.005	2.869	111.01	-0.814	-2.324	363.39	3.650	10.414
8	141.48	1.240	3.538	141.03	0.091	0.261	275.70	3.165	9.029
9	54.35	0.272	0.752	28.95	0.071	0.197	38.77	0.700	1.933
10	78.43	0.827	2.361	109.02	-0.018	-0.052	35.30	0.030	0.085
11	0.00	-0.333	-0.920	0.00	-0.430	-1.189	1.84	-0.016	-0.044
12	31.21	0.380	1.085	39.01	0.325	0.928	26.01	0.241	0.688
合計	1350.46	13.246	36.635	1364.05	2.330	6.098	1263.89	11.081	31.373

表5-3 (續1)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(二崙)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	53.91	0.302	0.570	102.00	1.294	2.446	71.78	0.221	0.418
2	149.52	2.142	3.656	301.00	4.617	7.885	181.09	1.555	2.655
3	122.27	1.058	1.999	120.00	1.474	2.787	89.04	0.902	1.704
4	54.50	0.454	0.831	134.02	2.114	3.868	107.96	1.322	2.418
5	157.32	1.014	1.917	104.27	1.762	3.332	140.01	1.611	3.044
6	437.82	3.252	5.948	460.78	2.926	5.354	294.66	2.228	4.075
7	216.32	1.300	2.457	187.96	1.089	2.059	265.83	2.789	5.271
8	278.09	2.370	4.479	200.99	1.791	3.387	265.91	2.402	4.538
9	76.10	0.803	1.468	88.01	1.261	2.308	61.25	0.959	1.754
10	44.59	0.606	1.146	101.02	1.226	2.318	63.64	0.482	0.911
11	0.07	-0.564	-1.032	0.00	-0.511	-0.935	1.23	-0.289	-0.528
12	21.64	0.002	0.004	46.00	0.442	0.835	35.67	0.215	0.407
合計	1612.15	12.739	23.443	1846.05	19.484	35.644	1578.07	14.399	26.669

表5-3 (續2)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(崙背)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	101.11	0.982	1.748	99.00	1.301	2.319	13.98	-0.301	-0.536
2	287.09	3.945	6.341	248.00	3.770	6.068	18.25	-0.246	-0.395
3	98.38	0.806	1.435	84.01	0.359	0.641	32.11	0.025	0.045
4	124.53	1.526	2.628	106.01	1.091	1.882	49.59	0.144	0.247
5	113.42	1.227	2.183	97.33	0.877	1.563	184.12	2.132	3.795
6	422.72	3.693	6.361	517.66	2.322	4.004	62.83	-0.103	-0.177
7	102.71	0.852	1.516	48.01	-0.296	-0.527	398.72	4.329	7.704
8	170.70	1.216	2.165	192.99	1.220	2.175	343.78	3.496	6.223
9	56.57	0.495	0.853	48.01	0.878	1.514	62.77	1.010	1.740
10	105.58	1.324	2.357	86.01	0.915	1.630	12.32	-0.343	-0.610
11	0.00	-0.565	-0.973	0.00	-0.294	-0.507	2.82	-0.314	-0.541
12	46.30	0.461	0.821	36.02	0.601	1.072	21.58	-0.035	-0.061
合計	1629.13	15.963	27.435	1563.04	12.745	21.833	1202.86	9.796	17.434

表5-3 (續3)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(西螺)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	36.53	0.090	0.139	102.00	1.425	2.206	83.42	0.498	0.769
2	111.01	1.718	2.394	301.00	4.734	6.616	227.35	2.102	2.930
3	125.92	1.235	1.906	120.00	1.381	2.137	101.46	1.077	1.662
4	34.23	0.140	0.209	134.02	1.975	2.957	117.56	1.487	2.221
5	174.38	1.233	1.903	104.27	1.435	2.220	127.28	1.418	2.188
6	433.09	3.553	5.306	460.78	2.904	4.349	368.58	2.716	4.056
7	220.83	1.450	2.238	187.96	1.300	2.011	236.00	2.531	3.906
8	313.25	2.659	4.104	200.99	1.647	2.549	253.10	2.160	3.333
9	97.74	1.037	1.548	88.01	1.077	1.613	69.27	1.103	1.647
10	27.17	0.379	0.585	101.02	0.997	1.543	79.09	0.754	1.163
11	0.12	-0.543	-0.811	0.00	-0.474	-0.710	0.51	-0.275	-0.411
12	14.63	-0.107	-0.165	46.00	0.403	0.623	40.10	0.317	0.490
合計	1588.90	12.844	19.356	1846.05	18.802	28.113	1703.73	15.887	23.953

表5-3 (續4)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(荊桐)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	49.82	0.315	0.560	102.00	2.937	5.336	70.61	0.469	0.835
2	154.81	2.642	4.246	301.00	5.445	8.935	211.25	2.190	3.520
3	132.57	1.361	2.421	120.00	2.668	4.847	104.53	1.234	2.196
4	47.30	0.486	0.837	134.02	2.923	5.139	115.04	1.332	2.293
5	192.68	2.070	3.684	104.27	2.647	4.808	191.34	2.317	4.124
6	509.94	4.721	8.129	460.78	3.442	6.053	374.85	3.646	6.279
7	218.15	1.837	3.268	187.96	2.481	4.507	243.39	2.980	5.302
8	342.22	3.594	6.394	200.99	3.193	5.801	416.86	4.050	7.207
9	92.83	1.169	2.012	88.01	2.813	4.946	64.24	1.378	2.373
10	41.05	0.705	1.255	101.02	2.250	4.088	82.27	0.790	1.406
11	0.01	-0.503	-0.866	0.00	0.397	0.697	1.09	-0.240	-0.413
12	18.71	0.000	0.000	46.00	0.399	0.725	42.87	0.342	0.608
合計	1800.09	18.396	31.943	1846.05	31.593	55.882	1918.33	20.489	35.730

表5-3 (續5)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(林內)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	29.01	-0.098	-0.157	106.00	2.803	4.491	106.01	1.385	2.220
2	75.99	1.092	1.581	340.00	9.577	13.860	340.00	5.921	8.570
3	117.00	1.354	2.169	160.00	3.386	5.426	159.96	2.306	3.696
4	33.01	-0.210	-0.326	166.01	3.422	5.306	166.01	2.660	4.125
5	171.99	2.258	3.618	218.02	4.939	7.915	217.95	3.448	5.525
6	361.62	5.521	8.561	539.38	9.776	15.159	539.33	6.780	10.513
7	321.42	3.338	5.348	158.63	3.283	5.261	158.55	2.368	3.794
8	331.02	4.508	7.223	436.96	8.561	13.717	437.03	3.995	6.401
9	100.04	1.595	2.474	53.90	2.263	3.509	53.90	1.073	1.664
10	0.00	-0.393	-0.630	134.05	3.383	5.421	134.05	1.605	2.571
11	0.00	-0.655	-1.016	0.00	0.672	1.042	0.00	-0.351	-0.544
12	2.00	-0.447	-0.716	52.00	2.415	3.870	52.00	0.621	0.996
合計	1543.10	17.861	28.128	2364.95	54.480	84.976	2364.79	31.811	49.532

表5-3 (續6)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(台西)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	53.39	1.417	2.691	69.00	2.131	4.044	44.51	0.288	0.547
2	138.30	2.180	3.739	261.00	4.366	7.483	164.54	1.620	2.779
3	106.14	1.046	1.987	75.00	1.780	3.378	53.49	0.350	0.665
4	69.81	0.928	1.705	124.01	2.428	4.458	95.10	0.722	1.326
5	169.12	1.151	2.186	66.06	1.366	2.592	94.21	0.889	1.688
6	452.50	4.045	7.434	339.97	1.915	3.516	232.03	1.804	3.315
7	171.52	1.459	2.770	111.01	0.516	0.979	239.93	2.911	5.529
8	162.62	1.808	3.434	141.03	1.641	3.113	254.94	2.820	5.355
9	86.88	0.780	1.433	28.95	0.980	1.799	19.09	0.322	0.591
10	40.81	0.508	0.965	109.02	1.305	2.475	69.84	0.423	0.803
11	0.00	-0.255	-0.468	0.00	-0.336	-0.616	0.55	0.024	0.045
12	17.55	0.254	0.482	39.01	0.258	0.490	31.75	0.384	0.730
合計	1468.62	15.321	28.358	1364.05	18.350	33.711	1299.97	12.558	23.374

表5-3 (續7)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(斗六)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	70.90	0.524	1.483	115.00	1.384	3.918	37.23	0.149	0.421
2	249.21	3.760	9.617	326.00	4.323	11.055	100.72	1.528	3.908
3	131.29	1.359	3.847	189.01	1.176	3.330	78.09	0.860	2.435
4	106.69	1.127	3.088	286.01	2.217	6.075	78.24	0.765	2.095
5	227.43	2.944	8.337	370.05	4.677	13.243	232.74	2.765	7.831
6	541.46	5.585	15.305	532.11	3.334	9.136	283.92	3.441	9.428
7	169.05	1.963	5.558	140.88	1.560	4.417	287.76	3.683	10.427
8	338.32	4.046	11.456	682.01	5.260	14.895	598.62	5.145	14.570
9	76.23	1.043	2.858	151.00	2.303	6.311	78.38	1.544	4.230
10	91.69	1.028	2.910	160.98	1.129	3.197	52.40	0.376	1.065
11	0.04	-0.634	-1.738	1.97	-0.168	-0.461	2.16	-0.313	-0.858
12	36.87	0.233	0.659	53.97	1.097	3.107	36.67	0.307	0.870
合計	2039.18	22.977	63.380	3008.97	28.291	78.223	1866.92	20.249	56.421

表5-3 (續8)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(土庫)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	66.82	0.482	0.708	99.00	2.579	3.791	23.54	-0.259	-0.380
2	229.06	3.686	4.890	248.00	4.856	6.446	51.50	0.416	0.551
3	102.74	0.848	1.246	84.01	3.031	4.456	39.45	0.095	0.140
4	105.10	1.255	1.783	106.01	3.128	4.449	56.47	0.221	0.315
5	117.04	1.071	1.573	97.33	3.124	4.592	175.61	1.970	2.893
6	543.20	6.006	8.536	517.66	3.101	4.411	160.53	1.554	2.209
7	112.44	1.075	1.578	48.01	2.948	4.333	323.01	4.160	6.108
8	182.98	1.853	2.721	192.99	3.826	5.624	186.93	2.184	3.207
9	51.62	0.333	0.473	48.01	3.772	5.366	28.04	0.422	0.599
10	88.56	0.958	1.407	86.01	2.934	4.313	27.29	-0.247	-0.363
11	0.00	-0.750	-1.066	0.00	1.185	1.685	2.68	-0.417	-0.593
12	37.87	0.221	0.325	36.02	0.917	1.348	23.45	-0.022	-0.032
合計	1637.43	17.039	24.173	1563.04	35.403	50.814	1098.49	10.077	14.654

表5-3 (續9)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(虎尾)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	74.17	0.563	1.200	102.00	1.440	3.076	2.57	-0.511	-1.089
2	279.52	4.128	7.950	301.00	4.566	8.811	0.33	-0.341	-0.656
3	113.91	1.005	2.142	120.00	0.852	1.820	30.27	0.025	0.052
4	123.90	1.546	3.190	134.02	1.628	3.367	41.93	-0.008	-0.017
5	164.91	1.964	4.188	104.27	1.099	2.349	201.46	2.083	4.442
6	599.55	6.330	13.063	460.78	2.673	5.527	94.40	0.728	1.502
7	101.41	1.119	2.387	187.96	0.815	1.741	392.69	5.008	10.680
8	195.44	1.946	4.150	200.99	1.705	3.642	364.02	4.121	8.788
9	33.24	0.140	0.288	88.01	1.236	2.556	28.70	0.505	1.041
10	111.85	1.279	2.728	101.02	1.118	2.389	12.24	-0.355	-0.757
11	0.30	-0.663	-1.368	0.00	-0.012	-0.026	2.20	-0.388	-0.800
12	49.41	0.401	0.854	46.00	1.039	2.220	20.92	-0.069	-0.147
合計	1847.61	19.756	40.773	1846.05	18.159	37.472	1191.73	10.799	23.041

表5-3 (續10)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(褒忠)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	46.71	0.346	0.382	99.00	2.052	2.266	73.26	0.735	0.812
2	118.88	2.072	2.066	248.00	6.493	6.475	175.50	2.992	2.983
3	84.56	0.789	0.871	84.01	1.150	1.269	67.09	0.644	0.711
4	44.74	0.067	0.072	106.01	1.551	1.657	87.94	1.127	1.204
5	134.93	0.945	1.043	97.33	1.291	1.426	123.55	1.732	1.912
6	320.01	5.616	6.000	517.66	10.937	11.686	378.31	5.517	5.894
7	229.59	2.799	3.090	48.01	1.093	1.207	155.06	2.535	2.798
8	215.51	3.609	3.984	192.99	4.611	5.091	240.15	3.533	3.900
9	102.84	1.601	1.710	48.01	1.974	2.110	53.26	0.893	0.954
10	33.35	0.165	0.182	86.01	2.116	2.336	63.06	0.426	0.471
11	0.00	-0.726	-0.776	0.00	0.855	0.914	0.88	-0.429	-0.458
12	15.83	-0.158	-0.175	36.02	1.627	1.797	31.58	0.196	0.217
合計	1346.93	17.126	18.450	1563.04	35.748	38.232	1449.64	19.903	21.399

表5-3 (續11)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(東勢)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	42.12	0.253	0.363	99.00	1.523	2.190	73.82	0.681	0.979
2	106.56	1.218	1.582	248.00	3.719	4.830	186.85	3.105	4.032
3	85.15	0.635	0.913	84.01	0.355	0.511	67.06	0.655	0.942
4	50.04	-0.052	-0.072	106.01	1.104	1.536	91.80	1.115	1.551
5	134.55	0.886	1.275	97.33	1.205	1.733	108.09	1.255	1.805
6	404.83	4.515	6.282	517.66	3.257	4.533	392.28	5.630	7.834
7	243.30	2.490	3.581	48.01	0.657	0.944	152.43	1.651	2.374
8	208.45	3.153	4.533	192.99	2.150	3.092	252.21	2.625	3.774
9	103.38	1.383	1.924	48.01	2.622	3.649	37.16	0.466	0.649
10	28.23	-0.063	-0.091	86.01	1.663	2.391	66.51	0.447	0.643
11	0.00	-0.676	-0.940	0.00	1.166	1.623	0.40	-0.409	-0.569
12	11.91	-0.243	-0.349	36.02	2.021	2.906	32.04	0.205	0.294
合計	1418.52	13.500	19.000	1563.04	21.441	29.939	1460.66	17.426	24.307

表5-3 (續12)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(斗南)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	51.58	0.314	0.468	83.00	1.858	2.765	6.73	-0.382	-0.568
2	302.42	4.107	5.521	298.99	3.854	5.179	0.10	-0.199	-0.267
3	133.12	1.223	1.821	90.00	1.156	1.720	42.87	0.307	0.457
4	148.62	1.722	2.480	144.01	1.945	2.801	42.83	0.124	0.179
5	217.22	2.525	3.757	175.05	2.418	3.599	213.94	2.039	3.035
6	569.07	4.485	6.460	462.02	3.016	4.343	148.71	1.386	1.996
7	98.98	1.084	1.614	82.97	2.154	3.206	240.83	2.773	4.126
8	293.29	2.535	3.773	224.96	2.057	3.060	301.52	2.642	3.932
9	55.41	0.568	0.819	50.03	2.081	2.996	71.91	1.236	1.780
10	125.18	1.491	2.219	110.00	2.037	3.032	16.86	-0.089	-0.132
11	0.07	-0.562	-0.809	0.00	1.348	1.942	2.45	-0.287	-0.413
12	54.09	0.524	0.780	50.99	2.096	3.119	28.06	0.122	0.181
合計	2049.03	20.017	28.902	1772.04	26.021	37.763	1116.82	9.673	14.308

表5-3 (續13)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(四湖)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	100.41	1.392	3.183	99.00	2.361	5.401	4.31	-0.505	-1.154
2	293.04	5.912	12.208	248.00	6.915	14.285	4.36	-0.470	-0.971
3	94.30	1.026	2.346	84.01	1.824	4.171	17.90	-0.390	-0.892
4	175.69	3.009	6.657	106.01	2.221	4.917	46.86	-0.038	-0.084
5	92.03	1.134	2.593	97.33	1.880	4.299	141.33	1.749	3.998
6	835.88	10.258	22.697	517.66	7.769	17.196	55.43	0.082	0.182
7	135.11	2.022	4.623	48.01	0.229	0.523	452.92	7.575	17.318
8	141.26	2.317	5.297	192.99	3.264	7.466	444.51	7.061	16.144
9	47.02	0.277	0.612	48.01	0.823	1.821	3.08	0.199	0.441
10	108.51	1.383	3.162	86.01	1.464	3.348	4.61	-0.665	-1.521
11	0.00	-0.747	-1.652	0.00	0.000	0.001	1.46	-0.425	-0.940
12	39.99	0.352	0.804	36.02	0.827	1.893	19.70	-0.084	-0.191
合計	2063.24	28.336	62.530	1563.04	29.577	65.321	1196.46	14.090	32.331

表5-3 (續14)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(元長)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	28.93	-0.145	-0.326	99.00	1.115	2.513	81.89	0.754	1.698
2	75.98	0.651	1.324	248.00	3.842	7.817	260.92	3.479	7.073
3	78.35	0.370	0.833	84.01	0.356	0.803	83.44	0.648	1.458
4	27.07	-0.580	-1.263	106.01	1.108	2.414	114.69	1.387	3.022
5	121.67	0.450	1.012	97.33	0.915	2.060	146.87	1.342	3.021
6	321.37	3.769	8.210	517.66	2.183	4.758	462.90	5.102	11.114
7	308.58	2.293	5.162	48.01	-0.689	-1.552	109.67	0.610	1.372
8	277.76	3.213	7.233	192.99	0.820	1.848	211.40	1.643	3.698
9	152.40	1.460	3.180	48.01	0.310	0.677	42.32	0.389	0.848
10	10.81	-0.407	-0.917	86.01	0.671	1.512	90.55	0.727	1.637
11	0.00	-0.712	-1.550	0.00	-0.699	-1.525	0.26	-0.448	-0.977
12	6.72	-0.426	-0.960	36.02	0.196	0.442	41.36	0.328	0.739
合計	1409.66	9.935	21.938	1563.04	10.129	21.767	1646.27	15.962	34.705

表5-3 (續15)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(大埤)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	42.52	0.023	0.032	83.00	1.216	1.671	36.71	0.010	0.014
2	189.59	2.089	2.587	298.99	3.914	4.857	123.89	1.329	1.647
3	103.08	0.659	0.904	90.00	0.644	0.885	58.11	0.424	0.582
4	93.81	0.660	0.876	144.01	2.141	2.847	85.41	0.844	1.121
5	132.19	1.131	1.551	175.05	2.064	2.836	190.99	1.752	2.403
6	483.22	3.053	4.051	462.02	2.371	3.152	252.84	1.900	2.521
7	199.00	1.510	2.071	82.97	1.883	2.587	211.86	1.783	2.446
8	267.55	2.030	2.784	224.96	1.947	2.674	171.15	1.193	1.636
9	121.87	0.915	1.215	50.03	1.786	2.375	42.76	0.677	0.899
10	69.37	0.660	0.905	110.00	2.100	2.886	54.62	0.436	0.598
11	0.00	-0.594	-0.788	0.00	1.279	1.701	1.85	-0.313	-0.416
12	30.78	0.038	0.052	50.99	2.241	3.078	35.14	0.227	0.311
合計	1732.97	12.175	16.241	1772.04	23.587	31.550	1265.33	10.263	13.761

表5-3 (續16)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(口湖)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	92.42	1.805	4.200	75.00	0.926	2.154	4.96	0.063	0.146
2	371.50	3.317	6.971	381.00	4.214	8.855	1.37	0.113	0.238
3	82.65	0.895	2.082	104.01	0.595	1.385	21.34	0.168	0.392
4	180.77	1.615	3.637	134.00	1.455	3.275	24.27	0.031	0.069
5	108.22	0.808	1.880	232.15	1.444	3.359	99.66	0.738	1.716
6	770.73	4.456	10.033	524.87	2.361	5.316	62.78	0.272	0.613
7	104.58	0.910	2.118	146.00	0.370	0.860	560.33	3.997	9.299
8	214.20	1.413	3.287	198.00	0.675	1.571	408.44	2.959	6.884
9	49.93	0.431	0.970	30.02	0.128	0.287	15.48	0.511	1.150
10	132.89	1.124	2.615	118.00	0.951	2.212	16.52	0.160	0.371
11	0.00	-0.135	-0.305	0.00	-0.455	-1.025	1.87	0.160	0.360
12	49.97	0.602	1.400	54.00	0.801	1.864	18.31	0.331	0.771
合計	2157.86	17.241	38.888	1997.06	13.463	30.114	1235.31	9.503	22.009

表5-3 (續17)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(北港)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	46.85	-0.026	-0.034	75.00	1.502	1.929	51.67	0.128	0.165
2	155.57	1.014	1.175	381.00	3.843	4.457	254.33	1.770	2.052
3	75.75	0.134	0.172	104.01	0.604	0.776	76.47	0.375	0.482
4	66.67	-0.045	-0.055	134.00	1.424	1.770	104.16	0.764	0.949
5	103.24	0.296	0.380	232.15	1.680	2.157	202.49	1.211	1.554
6	443.63	2.817	3.499	524.87	2.551	3.170	370.99	1.843	2.289
7	299.37	0.914	1.174	146.00	1.513	1.943	252.41	1.102	1.414
8	316.35	2.294	2.945	198.00	1.968	2.527	270.06	0.864	1.109
9	127.91	0.442	0.549	30.02	1.992	2.475	26.48	0.119	0.148
10	36.83	-0.152	-0.195	118.00	1.981	2.543	81.26	0.373	0.479
11	0.00	-0.631	-0.783	0.00	1.246	1.549	0.74	-0.409	-0.508
12	17.93	-0.243	-0.311	54.00	1.918	2.462	42.27	0.220	0.282
合計	1690.11	6.814	8.515	1997.06	22.221	27.757	1733.34	8.359	10.415

表5-3 (續18)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(水林)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	79.62	0.879	1.973	75.00	1.160	2.600	19.28	-0.273	-0.612
2	295.95	3.205	6.495	381.00	4.196	8.497	80.39	0.276	0.559
3	81.42	0.545	1.222	104.01	0.574	1.287	37.96	0.005	0.010
4	145.74	1.452	3.152	134.00	1.438	3.119	51.25	0.071	0.155
5	101.93	0.902	2.023	232.15	1.519	3.405	135.51	1.158	2.599
6	680.96	4.655	10.106	524.87	2.362	5.126	157.16	0.711	1.543
7	167.39	1.110	2.490	146.00	0.927	2.078	454.68	4.440	9.962
8	237.79	1.812	4.064	198.00	1.146	2.570	370.37	3.157	7.084
9	74.35	0.345	0.750	30.02	1.006	2.183	16.93	0.379	0.823
10	100.80	0.981	2.201	118.00	1.355	3.037	35.38	-0.096	-0.216
11	0.00	-0.601	-1.306	0.00	0.218	0.474	1.45	-0.353	-0.767
12	38.86	0.289	0.648	54.00	1.279	2.868	25.94	0.030	0.067
合計	2004.80	15.573	33.819	1997.06	17.180	37.241	1386.29	9.506	21.208

表5-3 (續19)雲林縣1997-1998年地表補注量推算結果(古坑)

月份	1997(今年推估值)			1998(第一年度推估值)			1998(今年修正值)		
	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)	降雨量 (mm)	地下水 補注量 (mm/day)	地下水 補注量 (10 ⁶ m ³)
1	58.92	-0.209	-1.077	115.00	1.460	7.554	69.42	-0.101	-0.523
2	197.36	1.695	7.901	326.00	4.605	21.515	160.32	1.041	4.856
3	150.80	0.042	0.215	189.01	1.090	5.638	131.61	0.143	0.738
4	150.03	-0.036	-0.180	286.01	2.207	11.048	188.59	0.796	3.976
5	288.88	1.386	7.157	370.05	4.767	24.655	276.08	1.625	8.388
6	591.27	3.043	15.203	532.11	3.712	18.579	409.11	1.908	9.532
7	331.58	1.272	6.564	140.88	1.306	6.754	253.42	0.876	4.521
8	603.52	2.437	12.579	682.01	6.057	31.327	642.92	2.199	11.352
9	152.37	0.772	3.857	151.00	2.260	11.314	196.16	0.972	4.854
10	75.78	-0.214	-1.104	160.98	1.063	5.499	182.39	0.219	1.129
11	0.15	-0.864	-4.316	1.97	-0.312	-1.560	3.44	-0.418	-2.090
12	27.13	-0.111	-0.574	53.97	0.876	4.530	51.98	0.371	1.915
合計	2627.81	9.213	46.226	3008.97	29.091	146.853	2565.46	9.630	48.647

表5-4 彰化地區1997年每月地表入滲補注深度推估結果(單位：mm/day)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年平均
鹿港	0.199	2.992	2.854	2.204	2.377	2.621	2.665	2.965	2.376	1.715	-0.199	-0.025	1.895
線西	0.340	2.652	2.474	1.958	2.130	2.231	2.156	2.712	2.221	1.610	-0.147	0.049	1.699
伸港	-0.143	2.178	2.899	1.922	2.679	3.634	3.082	3.744	2.532	1.263	-0.277	-0.127	1.949
彰化	-0.286	1.611	1.456	0.853	1.519	2.052	1.728	2.106	1.292	0.463	-0.519	-0.268	1.001
和美	-0.342	3.079	3.029	2.672	3.175	2.730	3.219	3.892	3.104	2.295	-0.246	-0.172	2.203
福興	-0.262	2.775	2.508	1.858	2.136	2.390	2.733	2.883	2.136	1.445	-0.411	-0.218	1.664
埔鹽	-0.343	2.906	3.071	2.463	3.202	3.760	3.840	4.411	3.423	1.993	-0.368	-0.272	2.340
秀水	-0.305	3.258	2.549	2.262	2.500	2.397	2.746	3.057	2.611	1.985	-0.360	-0.217	1.874
花壇	-0.339	1.528	0.787	0.190	0.500	1.325	1.008	1.252	0.573	-0.112	-0.783	-0.385	0.462
大村	-0.321	2.407	2.348	1.667	2.435	3.171	3.297	3.144	2.206	1.349	-0.447	-0.282	1.748
溪湖	-0.283	1.976	1.968	1.245	2.057	3.441	2.947	3.451	2.472	0.960	-0.505	-0.325	1.617
永靖	-0.323	3.128	2.955	2.202	3.020	3.667	3.920	3.542	2.881	1.947	-0.448	-0.240	2.188
田尾	-0.309	2.804	2.592	1.704	2.649	3.367	3.272	2.874	2.394	1.404	-0.569	-0.304	1.823
埔心	-0.290	2.451	2.526	1.791	2.737	3.758	3.780	3.489	2.732	1.507	-0.390	-0.263	1.986
芳苑	0.085	1.106	2.455	0.279	1.479	5.077	3.664	2.771	1.595	-0.078	-0.606	-0.305	1.460
二林	-0.348	2.282	3.381	1.537	2.760	4.716	3.915	4.348	2.700	0.996	-0.617	-0.399	2.106
大城	0.191	0.811	1.272	-0.103	0.731	2.559	1.911	1.727	0.977	-0.094	-0.459	-0.232	0.774
竹塘	-0.072	1.260	1.601	0.550	1.286	2.584	2.292	2.829	1.717	0.609	-0.398	-0.286	1.164
碑頭	-0.276	3.317	3.016	2.177	2.855	3.212	3.418	3.262	2.788	1.899	-0.485	-0.282	2.075
北斗	-0.225	2.613	2.793	1.466	2.747	4.552	3.430	3.200	2.543	1.180	-0.560	-0.330	1.951
田中	-0.177	1.920	1.550	0.582	1.743	3.512	2.147	3.082	1.482	0.389	-0.657	-0.412	1.263
社頭	-0.316	1.781	1.135	0.475	0.839	2.868	2.022	1.599	0.844	0.100	-0.726	-0.417	0.850
二水	-0.097	0.938	0.619	-0.387	0.919	2.716	1.234	2.256	0.590	-0.530	-0.735	-0.477	0.587
溪州	-0.165	1.039	1.091	-0.258	1.072	3.367	1.802	1.964	0.904	-0.156	-0.591	-0.364	0.809
員林	-0.307	1.726	1.370	0.754	1.398	2.613	2.200	1.846	1.161	0.446	-0.569	-0.335	1.025
合計	-4.714	54.535	54.299	32.063	50.947	78.318	68.426	72.405	50.252	24.587	-12.072	-6.888	38.513

表5-5 彰化地區1997年每月地表入滲補注總量推估結果(單位：10⁶m³)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年合計
鹿港	0.274	3.719	3.928	2.936	3.272	3.491	3.668	4.081	3.165	2.360	-0.265	-0.035	30.594
線西	0.212	1.495	1.544	1.183	1.330	1.348	1.346	1.693	1.342	1.005	-0.089	0.030	12.440
伸港	-0.012	1.651	2.433	1.562	2.249	2.952	2.587	3.143	2.057	1.060	-0.225	-0.107	19.351
彰化	-0.585	2.980	2.982	1.690	3.110	4.065	3.538	4.313	2.561	0.948	-1.028	-0.550	24.024
和美	-0.406	3.301	3.595	3.070	3.769	3.136	3.821	4.619	3.565	2.725	-0.283	-0.204	30.708
福興	-0.407	3.898	3.900	2.796	3.322	3.597	4.250	4.484	3.215	2.248	-0.618	-0.340	30.346
埔鹽	-0.416	3.183	3.724	2.891	3.883	4.412	4.656	5.349	4.017	2.417	-0.432	-0.329	33.354
秀水	-0.275	2.650	2.296	1.971	2.251	2.089	2.473	2.753	2.275	1.787	-0.314	-0.196	19.761
花壇	-0.377	1.537	0.877	0.205	0.557	1.427	1.123	1.394	0.618	-0.124	-0.844	-0.429	5.962
大村	-0.304	2.055	2.219	1.525	2.302	2.900	3.116	2.972	2.018	1.275	-0.409	-0.267	19.402
溪湖	-0.272	1.717	1.893	1.159	1.979	3.203	2.835	3.319	2.301	0.923	-0.470	-0.313	18.275
永靖	-0.203	1.778	1.860	1.341	1.901	2.233	2.467	2.229	1.754	1.225	-0.273	-0.151	16.161
田尾	-0.236	1.934	1.980	1.259	2.024	2.489	2.499	2.195	1.770	1.073	-0.421	-0.232	16.335
埔心	-0.189	1.445	1.648	1.131	1.786	2.373	2.467	2.277	1.725	0.984	-0.246	-0.171	15.229
芬苑	0.244	2.872	7.061	0.777	4.253	14.132	10.537	7.970	4.439	-0.225	-1.687	-0.876	49.498
二林	-0.992	5.881	9.648	4.244	7.877	13.024	11.170	12.406	7.456	2.843	-1.703	-1.138	70.719
大城	0.376	1.444	2.505	-0.196	1.440	4.878	3.764	3.401	1.862	-0.185	-0.875	-0.457	17.957
竹塘	-0.093	1.480	2.081	0.692	1.673	3.251	2.980	3.678	2.160	0.792	-0.501	-0.372	17.822
碑頭	-0.363	3.937	3.964	2.769	3.752	4.084	4.491	4.286	3.546	2.496	-0.617	-0.370	31.976
北斗	-0.138	1.448	1.713	0.870	1.685	2.702	2.104	1.963	1.510	0.724	-0.332	-0.202	14.047
田中	-0.189	1.850	1.653	0.601	1.860	3.625	2.290	3.288	1.530	0.415	-0.678	-0.439	15.805
社頭	-0.351	1.789	1.263	0.511	0.933	3.087	2.249	1.778	0.908	0.111	-0.781	-0.464	11.031
二水	-0.107	0.932	0.681	-0.412	1.012	2.893	1.358	2.484	0.629	-0.583	-0.783	-0.525	7.577
溪州	-0.353	2.013	2.340	-0.535	2.299	6.990	3.865	4.213	1.876	-0.334	-1.227	-0.780	20.367
員林	-0.375	1.907	1.676	0.893	1.710	3.094	2.691	2.258	1.374	0.546	-0.673	-0.410	14.690
合計	-5.539	58.895	69.466	34.931	62.227	101.478	88.347	92.548	59.672	26.505	-15.774	-9.326	563.432

表5-6 雲林地區1997年每月地表入滲補注深度推估結果(單位：mm/day)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年平均
麥寮	1.247	2.754	0.715	1.092	0.739	3.307	1.005	1.240	0.272	0.827	-0.333	0.380	1.104
二崙	0.302	2.142	1.058	0.454	1.014	3.252	1.300	2.370	0.803	0.606	-0.564	0.002	1.062
崙背	0.982	3.945	0.806	1.526	1.227	3.693	0.852	1.216	0.495	1.324	-0.565	0.461	1.330
西螺	0.090	1.718	1.235	0.140	1.233	3.553	1.450	2.659	1.037	0.379	-0.543	-0.107	1.070
莿桐	0.315	2.642	1.361	0.486	2.070	4.721	1.837	3.594	1.169	0.705	-0.503	0.000	1.533
林內	-0.098	1.092	1.354	-0.210	2.258	5.521	3.338	4.508	1.595	-0.393	-0.655	-0.447	1.488
台西	1.417	2.180	1.046	0.928	1.151	4.045	1.459	1.808	0.780	0.508	-0.255	0.254	1.277
斗六	0.524	3.760	1.359	1.127	2.944	5.585	1.963	4.046	1.043	1.028	-0.634	0.233	1.915
土庫	0.482	3.686	0.848	1.255	1.071	6.006	1.075	1.853	0.333	0.958	-0.750	0.221	1.420
虎尾	0.563	4.128	1.005	1.546	1.964	6.330	1.119	1.946	0.140	1.279	-0.663	0.401	1.646
褒忠	0.346	2.072	0.789	0.067	0.945	5.616	2.799	3.609	1.601	0.165	-0.726	-0.158	1.427
東勢	0.253	1.218	0.635	-0.052	0.886	4.515	2.490	3.153	1.383	-0.063	-0.676	-0.243	1.125
斗南	0.314	4.107	1.223	1.722	2.525	4.485	1.084	2.535	0.568	1.491	-0.562	0.524	1.668
四湖	1.392	5.912	1.026	3.009	1.134	10.258	2.022	2.317	0.277	1.383	-0.747	0.352	2.361
元長	-0.145	0.651	0.370	-0.580	0.450	3.769	2.293	3.213	1.460	-0.407	-0.712	-0.426	0.828
大埤	0.023	2.089	0.659	0.660	1.131	3.053	1.510	2.030	0.915	0.660	-0.594	0.038	1.015
口湖	1.805	3.317	0.895	1.615	0.808	4.456	0.910	1.413	0.431	1.124	-0.135	0.602	1.437
北港	-0.026	1.014	0.134	-0.045	0.296	2.817	0.914	2.294	0.442	-0.152	-0.631	-0.243	0.568
水林	0.879	3.205	0.545	1.452	0.902	4.655	1.110	1.812	0.345	0.981	-0.601	0.289	1.298
古坑	-0.209	1.695	0.042	-0.036	1.386	3.043	1.272	2.437	0.772	-0.214	-0.864	-0.111	0.768
合計	10.456	53.325	17.103	16.157	26.135	92.681	31.803	50.052	15.860	12.191	-11.713	2.021	26.339

表5-7 雲林地區1997年每月地表入滲補注總量推估結果(單位：10⁶m³)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年合計
麥寮	3.557	7.097	2.039	3.014	2.110	9.132	2.869	3.538	0.752	2.361	-0.920	1.085	36.635
二崙	0.570	3.656	1.999	0.831	1.917	5.948	2.457	4.479	1.468	1.146	-1.032	0.004	23.443
崙背	1.748	6.341	1.435	2.628	2.183	6.361	1.516	2.165	0.853	2.357	-0.973	0.821	27.435
西螺	0.139	2.394	1.906	0.209	1.903	5.306	2.238	4.104	1.548	0.585	-0.811	-0.165	19.356
莿桐	0.560	4.246	2.421	0.837	3.684	8.129	3.268	6.394	2.012	1.255	-0.866	0.000	31.943
林內	-0.157	1.581	2.169	-0.326	3.618	8.561	5.348	7.223	2.474	-0.630	-1.016	-0.716	28.128
台西	2.691	3.739	1.987	1.705	2.186	7.434	2.770	3.434	1.433	0.965	-0.468	0.482	28.358
斗六	1.483	9.617	3.847	3.088	8.337	15.305	5.558	11.456	2.858	2.910	-1.738	0.659	63.380
土庫	0.708	4.890	1.246	1.783	1.573	8.536	1.578	2.721	0.473	1.407	-1.066	0.325	24.173
虎尾	1.200	7.950	2.142	3.190	4.188	13.063	2.387	4.150	0.288	2.728	-1.368	0.854	40.773
褒忠	0.382	2.066	0.871	0.072	1.043	6.000	3.090	3.984	1.710	0.182	-0.776	-0.175	18.450
東勢	0.363	1.582	0.913	-0.072	1.275	6.282	3.581	4.533	1.924	-0.091	-0.940	-0.349	19.000
斗南	0.468	5.521	1.821	2.480	3.757	6.460	1.614	3.773	0.819	2.219	-0.809	0.780	28.902
四湖	3.183	12.208	2.346	6.657	2.593	22.697	4.623	5.297	0.612	3.162	-1.652	0.804	62.530
元長	-0.326	1.324	0.833	-1.263	1.012	8.210	5.162	7.233	3.180	-0.917	-1.550	-0.960	21.938
大埤	0.032	2.587	0.904	0.876	1.551	4.051	2.071	2.784	1.215	0.905	-0.788	0.052	16.241
口湖	4.200	6.971	2.082	3.637	1.880	10.033	2.118	3.287	0.970	2.615	-0.305	1.400	38.888
北港	-0.034	1.175	0.172	-0.055	0.380	3.499	1.174	2.945	0.549	-0.195	-0.783	-0.311	8.515
水林	1.973	6.495	1.222	3.152	2.023	10.106	2.490	4.064	0.750	2.201	-1.306	0.648	33.819
古坑	-1.077	7.901	0.215	-0.180	7.157	15.203	6.564	12.579	3.857	-1.104	-4.316	-0.574	46.226
合計	21.663	99.340	32.568	32.264	54.370	180.317	62.476	100.142	29.744	24.062	-23.484	4.663	618.130

表5-8 彰化地區1998年每月地表入滲補注深度推估結果(單位：mm/day)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年平均
鄉鎮	1.271	4.451	2.452	2.921	2.482	1.919	1.951	2.418	2.049	2.367	-0.208	0.149	2.019
鹿港	1.090	3.563	2.324	2.780	2.349	1.583	1.726	2.284	1.968	2.183	-0.098	0.189	1.828
線西	1.159	5.190	2.774	3.329	2.692	3.889	1.704	2.645	1.859	2.460	-0.199	0.098	2.300
伸港	0.680	3.093	1.190	2.089	1.566	1.861	0.863	1.906	1.205	1.179	-0.466	-0.117	1.254
彰化	0.974	4.598	3.228	3.853	3.405	2.445	2.495	3.348	2.880	3.061	-0.128	0.042	2.517
和美	1.167	4.073	2.236	2.643	2.171	1.862	1.606	2.131	1.727	2.115	-0.416	0.022	1.778
福興	1.119	5.869	3.567	4.355	3.585	4.054	2.333	3.322	2.567	3.222	-0.268	0.043	2.814
埔鹽	0.908	4.180	2.632	3.145	2.723	1.846	2.269	2.639	2.331	2.578	-0.386	0.037	2.075
秀水	0.494	2.527	0.544	1.454	0.682	1.124	0.486	1.303	0.500	0.628	-0.775	-0.193	0.731
花壇	0.909	4.490	2.713	3.498	2.838	2.978	2.040	3.229	2.085	2.455	-0.376	0.042	2.242
大村	0.931	5.135	2.620	3.410	2.391	4.598	1.258	2.358	1.393	2.234	-0.477	-0.035	2.151
溪湖	1.011	5.094	3.430	3.836	3.399	3.348	2.637	3.703	2.413	3.021	-0.347	0.125	2.639
永靖	0.979	4.803	2.864	3.466	3.072	4.059	2.448	3.192	2.060	2.529	-0.499	0.054	2.419
田尾	1.055	5.093	3.227	3.807	3.139	4.042	2.126	3.410	1.997	2.762	-0.315	0.083	2.536
埔心	1.159	5.521	1.845	2.738	1.350	4.841	1.291	1.794	0.287	1.136	-0.661	-0.062	1.770
芳苑	1.363	6.623	3.075	3.895	2.872	5.269	2.003	3.014	1.623	2.627	-0.570	-0.017	2.648
二林	0.498	3.253	1.201	1.491	1.041	3.045	1.021	1.614	0.117	0.735	-0.328	0.103	1.149
大城	0.633	3.400	1.981	2.458	1.873	3.362	1.602	1.935	1.204	1.608	-0.196	0.235	1.674
竹塘	0.978	5.202	3.190	3.744	3.421	3.717	2.788	3.236	2.686	2.877	-0.394	0.175	2.635
碑頭	1.177	5.353	3.148	3.731	3.957	5.160	2.937	3.557	2.213	2.716	-0.349	0.262	2.822
北斗	0.916	4.108	2.280	2.352	2.582	3.824	1.304	2.464	1.171	1.685	-0.399	0.408	1.891
田中	0.592	3.150	1.204	2.036	1.470	1.711	0.734	1.773	0.655	1.378	-0.709	-0.112	1.157
社頭	0.454	3.172	1.135	1.346	1.462	3.380	0.449	1.513	0.457	0.592	-0.418	0.384	1.160
二水	0.822	3.509	1.578	1.968	1.980	4.424	1.345	1.759	0.853	1.089	-0.289	0.411	1.621
溪州	0.604	3.330	1.720	2.157	1.740	2.020	1.171	2.282	0.988	1.497	-0.527	-0.064	1.410
員林	22.943	108.779	58.158	72.500	60.242	80.359	42.588	62.826	39.288	50.735	-9.798	2.262	49.240
合計													

表5-9 彰化地區1998年每月地表入滲補注總量推估結果(單位: $10^6 m^3$)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年合計
鹿港	1.749	5.534	3.375	3.891	3.416	2.557	2.686	3.329	2.730	3.258	-0.278	0.206	32.452
線西	0.681	2.009	1.451	1.679	1.467	0.956	1.077	1.426	1.189	1.363	-0.059	0.118	13.357
伸港	0.973	3.936	2.329	2.704	2.260	3.159	1.430	2.220	1.510	2.065	-0.162	0.082	22.506
彰化	1.392	5.721	2.437	4.139	3.207	3.688	1.767	3.902	2.388	2.413	-0.924	-0.239	29.892
和美	1.156	4.929	3.832	4.426	4.042	2.808	2.962	3.974	3.308	3.633	-0.147	0.050	34.973
福興	1.816	5.721	3.478	3.977	3.376	2.802	2.497	3.314	2.599	3.289	-0.626	0.034	32.277
埔鹽	1.357	6.428	4.325	5.111	4.348	4.757	2.829	4.028	3.012	3.907	-0.315	0.052	39.841
秀水	0.817	3.400	2.370	2.741	2.452	1.608	2.043	2.377	2.031	2.322	-0.336	0.033	21.858
花壇	0.550	2.541	0.605	1.567	0.759	1.211	0.541	1.450	0.539	0.700	-0.835	-0.215	9.413
大村	0.859	3.833	2.564	3.200	2.683	2.724	1.928	3.052	1.907	2.321	-0.344	0.040	24.767
溪湖	0.895	4.461	2.520	3.174	2.300	4.281	1.210	2.268	1.296	2.149	-0.444	-0.034	24.077
永靖	0.636	2.896	2.158	2.336	2.139	2.039	1.660	2.330	1.470	1.901	-0.211	0.079	19.432
田尾	0.748	3.314	2.188	2.562	2.347	3.000	1.870	2.438	1.523	1.932	-0.369	0.041	21.594
埔心	0.689	3.002	2.106	2.404	2.049	2.552	1.387	2.225	1.261	1.803	-0.199	0.054	19.333
芳苑	3.334	14.342	5.308	7.622	3.883	13.474	3.714	5.159	0.798	3.268	-1.840	-0.178	58.884
二林	3.890	17.071	8.774	10.755	8.196	14.550	5.715	8.600	4.483	7.497	-1.574	-0.048	87.911
大城	0.982	5.788	2.365	2.842	2.050	5.804	2.012	3.180	0.222	1.448	-0.626	0.203	26.268
竹塘	0.823	3.993	2.576	3.092	2.435	4.230	2.082	2.516	1.515	2.090	-0.247	0.306	25.410
碑頭	1.286	6.175	4.192	4.761	4.495	4.727	3.664	4.252	3.415	3.781	-0.501	0.229	40.476
北斗	0.722	2.966	1.931	2.215	2.427	3.064	1.802	2.182	1.314	1.666	-0.207	0.161	20.243
田中	0.977	3.958	2.432	2.428	2.754	3.948	1.391	2.628	1.209	1.797	-0.412	0.435	23.545
社頭	0.658	3.164	1.339	2.191	1.635	1.841	0.816	1.971	0.705	1.532	-0.763	-0.124	14.965
二水	0.500	3.154	1.249	1.434	1.609	3.601	0.495	1.665	0.487	0.652	-0.445	0.423	14.823
溪州	1.763	6.799	3.386	4.085	4.248	9.186	2.886	3.775	1.771	2.336	-0.601	0.882	40.518
員林	0.738	3.679	2.104	2.554	2.128	2.391	1.432	2.791	1.169	1.831	-0.623	-0.078	20.116
合計	29.990	128.812	71.395	87.890	72.705	104.959	51.898	77.053	43.854	60.954	-13.087	2.511	718.931

表5-10 雲林地區1998年每月地表入滲補注深度推估結果(單位：mm/day)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年平均
麥寮	-0.032	0.352	0.269	0.314	1.815	0.593	3.650	3.165	0.700	0.030	-0.016	0.241	0.923
二崙	0.221	1.555	0.902	1.322	1.611	2.228	2.789	2.402	0.959	0.482	-0.289	0.215	1.200
崙背	-0.301	-0.246	0.025	0.144	2.132	-0.103	4.329	3.496	1.010	-0.343	-0.314	-0.035	0.816
西螺	0.498	2.102	1.077	1.487	1.418	2.716	2.531	2.160	1.103	0.754	-0.275	0.317	1.324
莿桐	0.469	2.190	1.234	1.332	2.317	3.646	2.980	4.050	1.378	0.790	-0.240	0.342	1.707
林內	1.385	5.921	2.306	2.660	3.448	6.780	2.368	3.995	1.073	1.605	-0.351	0.621	2.651
台西	0.288	1.620	0.350	0.722	0.889	1.804	2.911	2.820	0.322	0.423	0.024	0.384	1.046
斗六	0.149	1.528	0.860	0.765	2.765	3.441	3.683	5.145	1.544	0.376	-0.313	0.307	1.687
土庫	-0.259	0.416	0.095	0.221	1.970	1.554	4.160	2.184	0.422	-0.247	-0.417	-0.022	0.840
虎尾	-0.511	-0.341	0.025	-0.008	2.083	0.728	5.008	4.121	0.505	-0.355	-0.388	-0.069	0.900
褒忠	0.735	2.992	0.644	1.127	1.732	5.517	2.535	3.533	0.893	0.426	-0.429	0.196	1.659
東勢	0.681	3.105	0.655	1.115	1.255	5.630	1.651	2.625	0.466	0.447	-0.409	0.205	1.452
斗南	-0.382	-0.199	0.307	0.124	2.039	1.386	2.773	2.642	1.236	-0.089	-0.287	0.122	0.806
四湖	-0.505	-0.470	-0.390	-0.038	1.749	0.082	7.575	7.061	0.199	-0.665	-0.425	-0.084	1.174
元長	0.754	3.479	0.648	1.387	1.342	5.102	0.610	1.643	0.389	0.727	-0.448	0.328	1.330
大埤	0.010	1.329	0.424	0.844	1.752	1.900	1.783	1.193	0.677	0.436	-0.313	0.227	0.855
口湖	0.063	0.113	0.168	0.031	0.738	0.272	3.997	2.959	0.511	0.160	0.160	0.331	0.792
北港	0.128	1.770	0.375	0.764	1.211	1.843	1.102	0.864	0.119	0.373	-0.409	0.220	0.697
水林	-0.273	0.276	0.005	0.071	1.158	0.711	4.440	3.157	0.379	-0.096	-0.353	0.030	0.792
古坑	-0.101	1.041	0.143	0.796	1.625	1.908	0.876	2.199	0.972	0.219	-0.418	0.371	0.802
合計	3.020	28.535	10.123	15.181	35.050	47.739	61.750	61.415	14.857	5.452	-5.909	4.250	23.455

表5-11 雲林地區1998年每月地表入滲補注總量推估結果(單位： $10^6 m^3$)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年合計
麥寮	-0.090	0.908	0.769	0.866	5.177	1.638	10.414	9.029	1.933	0.085	-0.044	0.688	31.373
二崙	0.418	2.655	1.704	2.418	3.044	4.075	5.271	4.538	1.754	0.911	-0.528	0.407	26.669
崙背	-0.536	-0.395	0.045	0.247	3.795	-0.177	7.704	6.223	1.740	-0.610	-0.541	-0.061	17.434
西螺	0.769	2.930	1.662	2.221	2.188	4.056	3.906	3.333	1.647	1.163	-0.411	0.490	23.953
莿桐	0.835	3.520	2.196	2.293	4.124	6.279	5.302	7.207	2.373	1.406	-0.413	0.608	35.730
林內	2.220	8.570	3.696	4.125	5.525	10.513	3.794	6.401	1.664	2.571	-0.544	0.996	49.532
台西	0.547	2.779	0.665	1.326	1.688	3.315	5.529	5.355	0.591	0.803	0.045	0.730	23.374
斗六	0.421	3.908	2.435	2.095	7.831	9.428	10.427	14.570	4.230	1.065	-0.858	0.870	56.421
土庫	-0.380	0.551	0.140	0.315	2.893	2.209	6.108	3.207	0.599	-0.363	-0.593	-0.032	14.654
虎尾	-1.089	-0.656	0.052	-0.017	4.442	1.502	10.680	8.788	1.041	-0.757	-0.800	-0.147	23.041
褒忠	0.812	2.983	0.711	1.204	1.912	5.894	2.798	3.900	0.954	0.471	-0.458	0.217	21.399
東勢	0.979	4.032	0.942	1.551	1.805	7.834	2.374	3.774	0.649	0.643	-0.569	0.294	24.307
斗南	-0.568	-0.267	0.457	0.179	3.035	1.996	4.126	3.932	1.780	-0.132	-0.413	0.181	14.308
四湖	-1.154	-0.971	-0.892	-0.084	3.998	0.182	17.318	16.144	0.441	-1.521	-0.940	-0.191	32.331
元長	1.698	7.073	1.458	3.022	3.021	11.114	1.372	3.698	0.848	1.637	-0.977	0.739	34.705
大埤	0.014	1.647	0.582	1.121	2.403	2.521	2.446	1.636	0.899	0.598	-0.416	0.311	13.761
口湖	0.146	0.238	0.392	0.069	1.716	0.613	9.299	6.884	1.150	0.371	0.360	0.771	22.009
北港	0.165	2.052	0.482	0.949	1.554	2.289	1.414	1.109	0.148	0.479	-0.508	0.282	10.415
水林	-0.612	0.559	0.010	0.155	2.599	1.543	9.962	7.084	0.823	-0.216	-0.767	0.067	21.208
古坑	-0.523	4.856	0.738	3.976	8.388	9.532	4.521	11.352	4.854	1.129	-2.090	1.915	48.647
合計	4.071	46.971	18.242	28.034	71.138	86.357	124.768	128.165	30.119	9.733	-11.463	9.135	545.271

表5-15 雲林地區1998年每月地表入滲補注總量推估結果-第一年度(單位： 10^6m^3)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年合計
麥寮	0.989	4.748	-0.200	1.579	0.239	0.920	-2.324	0.261	0.197	-0.052	-1.189	0.928	6.098
二崙	2.446	7.885	2.787	3.868	3.332	5.354	2.059	3.387	2.308	2.318	-0.935	0.835	35.644
崙背	2.319	6.068	0.641	1.882	1.563	4.004	-0.527	2.175	1.514	1.630	-0.507	1.072	21.833
西螺	2.206	6.616	2.137	2.957	2.220	4.349	2.011	2.549	1.613	1.543	-0.710	0.623	28.113
莿桐	5.336	8.935	4.847	5.139	4.808	6.053	4.507	5.801	4.946	4.088	0.697	0.725	55.882
林內	4.491	13.860	5.426	5.306	7.915	15.159	5.261	13.717	3.509	5.421	1.042	3.870	84.976
台西	4.044	7.483	3.378	4.458	2.592	3.516	0.979	3.113	1.799	2.475	-0.616	0.490	33.711
斗六	3.918	11.055	3.330	6.075	13.243	9.136	4.417	14.895	6.311	3.197	-0.461	3.107	78.223
土庫	3.791	6.446	4.456	4.449	4.592	4.411	4.333	5.624	5.366	4.313	1.685	1.348	50.814
虎尾	3.076	8.811	1.820	3.367	2.349	5.527	1.741	3.642	2.556	2.389	-0.026	2.220	37.472
褒忠	2.266	6.475	1.269	1.657	1.426	11.686	1.207	5.091	2.110	2.336	0.914	1.797	38.232
東勢	2.190	4.830	0.511	1.536	1.733	4.533	0.944	3.092	3.649	2.391	1.623	2.906	29.939
斗南	2.765	5.179	1.720	2.801	3.599	4.343	3.206	3.060	2.996	3.032	1.942	3.119	37.763
四湖	5.401	14.285	4.171	4.917	4.299	17.196	0.523	7.466	1.821	3.348	0.001	1.893	65.321
元長	2.513	7.817	0.803	2.414	2.060	4.758	-1.552	1.848	0.677	1.512	-1.525	0.442	21.767
大埤	1.671	4.857	0.885	2.847	2.836	3.152	2.587	2.674	2.375	2.886	1.701	3.078	31.550
口湖	2.154	8.855	1.385	3.275	3.359	5.316	0.860	1.571	0.287	2.212	-1.025	1.864	30.114
北港	1.929	4.457	0.776	1.770	2.157	3.170	1.943	2.527	2.475	2.543	1.549	2.462	27.757
水林	2.600	8.497	1.287	3.119	3.405	5.126	2.078	2.570	2.183	3.037	0.474	2.868	37.241
古坑	7.554	21.515	5.638	11.048	24.655	18.579	6.754	31.327	11.314	5.499	-1.560	4.530	146.853
合計	63.659	168.674	47.067	74.464	92.382	136.288	41.007	116.390	60.006	56.118	3.074	40.177	899.303

表5-14 雲林地區1998年每月地表入滲補注深度推估結果-第一年度(單位: mm/day)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年平均
麥寮	0.346	1.840	-0.070	0.571	0.084	0.333	-0.814	0.091	0.071	-0.018	-0.430	0.325	0.181
二崙	1.294	4.617	1.474	2.114	1.762	2.926	1.089	1.791	1.261	1.226	-0.511	0.442	1.601
崙背	1.301	3.770	0.359	1.091	0.877	2.322	-0.296	1.220	0.878	0.915	-0.294	0.601	1.041
西螺	1.425	4.734	1.381	1.975	1.435	2.904	1.300	1.647	1.077	0.997	-0.474	0.403	1.543
莿桐	2.937	5.445	2.668	2.923	2.647	3.442	2.481	3.193	2.813	2.250	0.397	0.399	2.612
林內	2.803	9.577	3.386	3.422	4.939	9.776	3.283	8.561	2.263	3.383	0.672	2.415	4.504
台西	2.131	4.366	1.780	2.428	1.366	1.915	0.516	1.641	0.980	1.305	-0.336	0.258	1.509
斗六	1.384	4.323	1.176	2.217	4.677	3.334	1.560	5.260	2.303	1.129	-0.168	1.097	2.346
土庫	2.579	4.856	3.031	3.128	3.124	3.101	2.948	3.826	3.772	2.934	1.185	0.917	2.936
虎尾	1.440	4.566	0.852	1.628	1.099	2.673	0.815	1.705	1.236	1.118	-0.012	1.039	1.490
褒忠	2.052	6.493	1.150	1.551	1.291	10.937	1.093	4.611	1.974	2.116	0.855	1.627	2.941
東勢	1.523	3.719	0.355	1.104	1.205	3.257	0.657	2.150	2.622	1.663	1.166	2.021	1.768
斗南	1.858	3.854	1.156	1.945	2.418	3.016	2.154	2.057	2.081	2.037	1.348	2.096	2.155
四湖	2.361	6.915	1.824	2.221	1.880	7.769	0.229	3.264	0.823	1.464	0.000	0.827	2.426
元長	1.115	3.842	0.356	1.108	0.915	2.183	-0.689	0.820	0.310	0.671	-0.699	0.196	0.821
大埤	1.216	3.914	0.644	2.141	2.064	2.371	1.883	1.947	1.786	2.100	1.279	2.241	1.950
口湖	0.926	4.214	0.595	1.455	1.444	2.361	0.370	0.675	0.128	0.951	-0.455	0.801	1.099
北港	1.502	3.843	0.604	1.424	1.680	2.551	1.513	1.968	1.992	1.981	1.246	1.918	1.836
水林	1.160	4.196	0.574	1.438	1.519	2.362	0.927	1.146	1.006	1.355	0.218	1.279	1.411
古坑	1.460	4.605	1.090	2.207	4.767	3.712	1.306	6.057	2.260	1.063	-0.312	0.876	2.411
合計	32.813	93.689	24.385	38.091	41.193	73.245	22.325	53.63	31.636	30.64	4.675	21.778	38.581

表5-13 彰化地區1998年每月地表入滲補注總量推估結果-第一年度(單位： 10^6m^3)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年合計
鄉鎮	2.286	8.168	7.760	7.040	6.790	6.544	8.270	8.216	7.980	8.242	8.066	2.158	81.520
鹿港	1.069	4.583	3.504	3.234	3.148	3.543	3.803	3.821	3.705	3.830	3.995	3.158	41.392
線西	1.701	6.019	8.941	8.556	7.389	7.382	8.211	7.398	7.162	7.409	7.192	0.216	77.576
伸港	3.416	12.407	11.057	10.058	9.698	9.151	10.156	11.760	11.398	11.797	11.544	3.656	116.099
彰化	2.021	4.774	2.492	3.598	2.117	2.227	1.071	3.256	2.512	3.067	1.071	0.853	29.059
和美	2.555	5.694	2.077	3.762	2.235	3.025	1.426	2.802	1.687	1.447	-1.039	-0.301	25.370
福興	1.931	4.996	1.554	2.979	1.331	2.000	0.684	1.886	0.950	1.781	-0.080	0.034	20.046
埔鹽	1.430	5.926	4.712	4.336	4.213	4.706	5.090	5.114	3.542	3.513	1.215	0.594	44.391
秀水	1.809	4.277	5.017	2.393	1.151	2.039	-0.256	1.259	1.602	2.014	-0.028	0.018	21.294
花壇	1.528	5.316	3.269	2.751	3.549	4.406	4.235	3.885	4.311	0.515	0.842	1.163	35.771
大村	0.749	2.574	1.469	1.437	1.200	1.069	1.127	1.175	1.154	1.194	1.483	-0.304	14.327
溪湖	0.956	2.968	2.100	2.003	1.624	1.448	1.408	2.328	1.972	1.122	-0.056	0.478	18.352
永靖	1.393	3.507	4.374	3.076	2.865	2.696	3.398	3.577	3.428	3.468	0.663	-0.018	32.427
田尾	2.566	3.316	2.705	3.000	2.847	1.717	3.805	3.666	3.595	3.252	1.713	0.667	32.848
埔心	5.579	14.059	9.105	10.525	8.578	8.718	7.801	9.729	10.606	10.080	3.098	2.204	100.081
芬苑	6.963	13.924	7.670	10.158	7.741	9.336	8.057	9.207	8.521	6.902	0.107	-0.430	88.155
二林	2.347	11.862	3.977	5.809	1.905	9.647	4.019	6.515	2.507	6.017	-0.926	-0.333	53.347
大城	1.856	5.885	1.759	2.839	2.148	3.314	1.625	3.958	3.405	1.835	-0.420	-0.032	28.172
竹塘	3.042	9.877	5.881	6.336	4.891	10.506	3.059	7.062	5.834	6.757	2.233	1.772	67.250
碑頭	0.874	2.438	0.071	0.950	0.339	1.330	0.073	0.444	-0.102	0.322	-0.699	-0.001	6.038
北斗	4.881	11.002	5.114	5.550	6.267	10.525	2.540	8.982	2.508	3.496	-0.088	0.093	60.871
田中	2.437	7.465	1.916	2.851	3.192	4.813	-0.521	5.676	1.027	2.735	-0.380	0.620	31.830
社頭	5.804	7.089	5.892	5.479	5.284	4.999	5.249	5.740	5.839	6.169	3.246	1.258	62.048
二水	7.263	12.944	8.818	9.442	7.042	5.922	10.606	10.429	10.149	7.712	-0.118	-0.029	90.180
溪州	4.478	7.678	6.257	5.854	5.714	5.801	6.969	6.990	6.780	7.017	6.563	1.259	71.360
員林	70.934	178.748	117.491	124.016	103.258	126.864	101.905	134.875	112.072	111.693	49.197	18.753	1249.804
合計													

表5-12 彰化地區1998年每月地表入滲補注深度推估結果-第一年度(單位：mm/day)

鄉鎮	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年平均
鹿港	1.585	6.270	5.381	5.044	4.708	4.688	5.734	5.697	5.717	5.715	5.779	1.496	4.801
線西	1.591	7.556	5.218	4.976	4.687	5.452	5.664	5.691	5.702	5.703	6.148	4.703	5.235
伸港	2.030	7.955	10.673	10.553	8.820	9.105	9.801	8.832	8.835	8.845	8.872	0.258	7.865
彰化	1.665	6.695	5.389	5.066	4.727	4.609	4.950	5.732	5.741	5.750	5.814	1.782	4.806
和美	1.705	4.459	2.102	3.136	1.786	1.941	0.903	2.747	2.190	2.588	0.933	0.719	2.082
福興	1.643	4.054	1.335	2.500	1.437	2.010	0.917	1.802	1.121	0.930	-0.691	-0.194	1.386
埔鹽	1.590	4.554	1.279	2.535	1.096	1.702	0.563	1.552	0.808	1.466	-0.068	0.028	1.402
秀水	1.591	7.301	5.243	4.986	4.688	5.411	5.664	5.691	4.073	3.909	1.397	0.660	4.195
花壇	1.629	4.265	4.519	2.227	1.036	1.898	-0.231	1.134	1.490	1.814	-0.026	0.016	1.629
大村	1.617	6.228	3.460	3.008	3.755	4.818	4.481	4.112	4.714	0.545	0.921	1.230	3.215
溪湖	0.779	2.965	1.528	1.545	1.248	1.149	1.173	1.223	1.241	1.243	1.594	-0.316	1.266
永靖	1.516	5.211	3.331	3.283	2.576	2.373	2.233	3.692	3.231	1.780	-0.092	0.758	2.472
田尾	1.820	5.071	5.713	4.152	3.742	3.639	4.439	4.673	4.627	4.530	0.895	-0.023	3.598
埔心	3.932	5.627	4.145	4.750	4.363	2.718	5.832	5.618	5.694	4.984	2.713	1.022	4.275
芳苑	1.935	5.397	3.157	3.771	2.974	3.124	2.705	3.373	3.800	3.495	1.110	0.764	2.947
二林	2.439	5.400	2.687	3.677	2.712	3.379	2.822	3.225	3.085	2.418	0.039	-0.150	2.623
大城	1.192	6.667	2.019	3.048	0.967	5.061	2.040	3.307	1.315	3.055	-0.486	-0.169	2.300
竹塘	1.427	5.011	1.353	2.256	1.652	2.634	1.250	3.044	2.706	1.411	-0.334	-0.025	1.840
碑頭	2.315	8.321	4.475	4.981	3.722	8.261	2.327	5.373	4.587	5.141	1.756	1.348	4.346
北斗	1.425	4.403	0.116	1.602	0.553	2.241	0.119	0.724	-0.171	0.525	-1.178	-0.002	0.837
田中	4.582	11.434	4.801	5.383	5.883	10.209	2.384	8.431	2.433	3.281	-0.086	0.088	4.853
社頭	2.192	7.436	1.724	2.650	2.872	4.474	-0.468	5.107	0.954	2.461	-0.353	0.557	2.432
二水	5.274	7.130	5.353	5.144	4.801	4.693	4.769	5.215	5.482	5.605	3.048	1.143	4.788
溪州	3.377	6.664	4.100	4.537	3.275	2.846	4.932	4.850	4.877	3.586	-0.057	-0.014	3.562
員林	3.662	6.952	5.117	4.946	4.673	4.902	5.699	5.716	5.729	5.738	5.546	1.030	4.956
合計	54.513	153.026	94.218	99.756	82.753	103.337	80.702	106.561	89.981	86.518	43.194	16.709	83.711

表5-16 雲林西螺工作站72年一期作實測入滲量-饒平Ⅲ

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	2.04	0.60	1.22	7.43	6.21
分蘗期	1.58	1.15	1.82	-	-
開花期	4.35	1.47	6.39	12.50	6.11
成熟期	2.37	0.95	2.25	8.50	6.25
平均	2.63	1.15	3.00	9.48	6.48

表5-16 (續1)雲林西螺工作站72年一期作實測入滲量-車新社Ⅱ

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	0.94	0.60	0.56	8.50	7.94
分蘗期	1.73	1.15	1.99	9.57	7.58
開花期	4.42	1.47	6.50	7.13	0.63
成熟期	2.25	0.95	2.14	7.56	5.42
平均	2.39	1.15	2.75	8.19	5.44

表5-16 (續2)雲林西螺工作站72年一期作實測入滲量-振興Ⅰ

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	2.40	0.60	1.44	8.50	7.06
分蘗期	2.05	1.15	2.36	6.43	4.07
開花期	3.62	1.47	5.32	6.17	0.85
成熟期	3.19	0.95	3.03	6.00	2.97
平均	2.78	1.15	3.20	6.78	3.58

表5-16 (續3)雲林西螺工作站72年一期作實測入滲量-義和Ⅱ

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	2.33	0.60	1.40	7.50	6.10
分蘗期	1.97	1.15	2.27	10.00	7.73
開花期	3.98	1.47	5.85	6.29	0.44
成熟期	2.78	0.95	2.64	6.00	3.36
平均	2.72	1.15	3.13	7.45	4.32

表5-17 雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-荊桐 I

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	1.90	0.60	1.14	-	-
分蘗期	3.39	1.15	3.90	-	-
開花期	3.78	1.47	5.56	10.00	4.44
成熟期	5.28	0.95	5.02	8.00	2.98
平均	3.79	1.15	4.36	9.00	4.64

表5-17 (續1)雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-鹿場III

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	2.94	0.60	1.76	-	-
分蘗期	5.03	1.15	5.78	-	-
開花期	2.80	1.47	4.12	9.00	4.88
成熟期	5.36	0.95	5.09	-	-
平均	4.33	1.15	4.98	9.00	4.02

表5-17 (續2)雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-頂南II

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	1.90	0.60	1.14	-	-
分蘗期	3.77	1.15	4.34	-	-
開花期	3.00	1.47	4.41	12.50	8.09
成熟期	5.36	0.95	5.09	-	-
平均	3.82	1.15	4.39	12.50	8.11

表5-17 (續3)雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-孩沙里III

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	3.60	0.60	2.16	9.00	6.84
分蘗期	4.69	1.15	5.39	12.00	6.61
開花期	2.99	1.47	4.40	10.00	5.60
成熟期	5.90	0.95	5.61	-	-
平均	4.44	1.15	5.11	10.33	5.22

表5-17 (續4)雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-東興II

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	1.92	0.60	1.15	-	-
分藥期	2.69	1.15	3.09	-	-
開花期	4.52	1.47	6.64	11.80	5.16
成熟期	4.55	0.95	4.32	-	-
平均	3.60	1.15	4.14	11.80	7.66

表5-17 (續5)雲林荊桐工作站72年一期作實測入滲量-甘厝III

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	1.54	0.60	0.92	10.50	9.58
分藥期	2.61	1.15	3.00	-	-
開花期	4.55	1.47	6.69	11.25	4.56
成熟期	4.43	0.95	4.21	6.00	1.79
平均	3.38	1.15	3.89	9.25	5.36

表5-18 雲林西螺工作站72年二期作實測入滲量-饒平III

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	2.06	1.00	2.06	8.25	6.19
分藥期	4.59	1.45	6.66	10.33	3.67
開花期	3.46	1.57	5.43	12.50	7.07
成熟期	3.57	0.75	2.68	-	-
平均	3.64	1.26	4.59	10.36	5.77

表5-18 (續1)雲林西螺工作站72年二期作實測入滲量-車新社II

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	5.41	1.00	5.41	12.40	6.99
分藥期	3.72	1.45	5.39	12.33	6.94
開花期	4.66	1.57	7.32	8.00	0.68
成熟期	3.48	0.75	2.61	10.00	7.39
平均	4.17	1.26	5.25	10.68	5.43

表5-18 (續2)雲林西螺工作站72年二期作實測入滲量-振興 I

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	4.53	1.00	4.53	11.00	6.47
分蘗期	4.44	1.45	6.44	12.75	6.31
開花期	4.42	1.57	6.94	14.00	7.06
成熟期	4.11	0.75	3.08	10.00	6.92
平均	4.36	1.26	5.49	11.94	6.45

表5-18 (續3)雲林西螺工作站72年二期作實測入滲量-義和 II

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	5.43	1.00	5.43	8.00	2.57
分蘗期	4.29	1.45	6.22	9.80	3.58
開花期	4.11	1.57	6.45	10.00	3.55
成熟期	3.12	0.75	2.34	10.00	7.66
平均	4.08	1.26	5.14	9.45	4.31

表5-19 雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-荊桐 I

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	6.53	1.00	6.53	8.00	1.47
分蘗期	5.06	1.45	7.34	9.85	2.51
開花期	5.25	1.57	8.24	10.00	1.76
成熟期	3.51	0.75	2.63	-	-
平均	4.90	1.26	6.17	9.28	3.11

表5-19 (續1)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-鹿場 III

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	6.50	1.00	6.50	10.00	3.50
分蘗期	5.23	1.45	7.58	8.93	1.35
開花期	5.36	1.57	8.42	-	-
成熟期	3.72	0.75	2.79	10.00	7.21
平均	5.03	1.26	6.34	9.64	3.30

表5-19 (續2)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-頂南II

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	6.47	1.00	6.47	9.13	2.66
分蘗期	5.09	1.45	7.38	9.22	1.84
開花期	5.01	1.57	7.87	10.00	2.13
成熟期	3.44	0.75	2.58	10.50	7.92
平均	4.79	1.26	6.04	9.71	3.67

表5-19 (續3)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-孩沙里III

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	6.41	1.00	6.41	14.00	7.59
分蘗期	5.15	1.45	7.47	9.82	2.35
開花期	5.32	1.57	8.35	10.00	1.65
成熟期	3.60	0.75	2.70	-	-
平均	4.93	1.26	6.21	11.27	5.06

表5-19 (續4)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-東興II

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	6.42	1.00	6.42	10.00	3.58
分蘗期	5.29	1.45	7.67	10.00	2.33
開花期	5.42	1.57	8.51	12.00	3.49
成熟期	3.75	0.75	2.81	15.00	12.19
平均	5.05	1.26	6.36	11.75	5.39

表5-19 (續5)雲林荊桐工作站72年二期作實測入滲量-甘厝III

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	6.39	1.00	6.39	12.25	5.86
分蘗期	6.50	1.45	9.43	8.56	-0.87
開花期	4.81	1.57	7.55	9.33	1.78
成熟期	4.88	0.75	3.66	9.00	5.34
平均	5.48	1.26	6.90	9.79	2.89

表5-20 雲林各工作站72年一期作平均實測入滲量

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	2.15	0.60	1.29	8.57	7.28
分蘗期	2.95	1.15	3.39	9.50	6.11
開花期	3.80	1.47	5.59	9.66	4.07
成熟期	4.15	0.95	3.94	7.01	3.07
平均	3.39	1.15	3.90	8.69	4.79

表5-21 雲林各工作站72年二期作平均實測入滲量

觀測期	蒸發量 (mm/day)	作物 係數	蒸散量 (mm/day)	實測 減水深 (mm/day)	實際 日入滲量 (mm/day)
整田後	5.62	1.00	5.62	10.30	4.68
分蘗期	4.94	1.45	7.16	10.16	3.00
開花期	4.78	1.57	7.50	10.65	3.15
成熟期	3.72	0.75	2.79	10.64	7.85
平均	4.64	1.26	5.85	10.44	4.59

表5-22 不同研究方式對於彰化地區地表入滲量推估結果之比較

單位：10⁶m³

鄉鎮別 (推估年別)	張和龔	能邦(一) (1973)	能邦(二) (1973)	本文(上一年度) (1998)	本文 (1997)	本文 (1998)
彰化市	18.73	15.91	6.11	116.10	24.02	29.89
鹿港鎮	22.59	31.70	13.25	81.52	30.59	32.45
和美鎮	20.45	27.79	9.21	29.06	30.71	34.97
線西鄉	8.52	13.59	5.89	41.39	12.44	13.36
伸港鄉	14.38	27.79	6.74	77.58	19.35	22.51
福興鄉	29.78	37.61	13.54	25.37	30.35	32.28
秀水鄉	20.07	17.93	8.17	44.39	19.76	21.86
花壇鄉	11.17	13.43	7.95	21.29	5.96	9.41
員林鎮	13.17	17.09	7.81	71.36	14.69	20.12
溪湖鎮	21.60	17.45	6.85	14.33	18.28	24.08
田中鎮	17.82	26.31	9.48	60.87	15.81	23.55
大村鄉	17.37	16.88	7.31	35.77	19.40	24.77
埔鹽鄉	27.77	31.51	10.48	20.05	33.35	39.84
埔心鄉	13.24	13.40	5.16	32.85	15.23	19.33
永靖鄉	14.76	16.06	5.80	18.35	16.16	19.43
社頭鄉	15.80	15.44	8.09	31.83	11.03	14.97
二水鄉	14.46	19.47	9.01	62.05	7.58	14.82
北斗鎮	12.75	34.33	6.22	6.04	14.05	20.24
二林鎮	54.90	70.71	22.51	88.16	70.72	87.91
田尾鄉	16.68	17.85	6.14	32.43	16.34	21.59
埤頭鄉	29.12	47.26	13.98	67.25	31.98	40.48
芳苑鄉	35.33	41.28	18.91	100.08	49.50	58.88
大城鄉	31.88	21.25	9.83	53.35	17.96	26.27
竹塘鄉	25.23	30.47	10.54	28.17	17.82	25.41
溪州鄉	39.08	59.19	18.04	90.18	20.37	40.52
合計	546.61	681.72	246.99	1249.81	563.43	718.93

表5-23 不同研究方式對於雲林地區地表入滲量推估結果之比較

單位：10⁶m³

鄉鎮別 (推估年別)	張和龔	能邦(一) (1973)	能邦(二) (1973)	本文(上一年度) (1998)	本文 (1997)	本文 (1998)
麥寮鄉	14.60	22.17	17.42	6.10	36.64	31.37
崙背鄉	30.85	18.29	7.81	21.83	27.44	17.43
二崙鄉	37.22	55.06	16.88	35.64	23.44	26.67
西螺鎮	30.33	38.64	13.27	28.11	19.36	23.95
莿桐鄉	30.45	34.32	10.51	55.88	31.94	35.73
林內鄉	15.21	22.07	11.20	84.98	28.13	49.53
斗六市	37.75	68.17	22.79	78.22	63.38	56.42
虎尾鎮	26.33	36.01	11.91	37.47	40.77	23.04
土庫鎮	15.94	14.78	8.13	50.81	24.17	14.65
褒忠鄉	22.10	5.94	4.87	38.23	18.45	21.40
東勢鄉	19.49	9.15	6.43	29.94	19.00	24.31
台西鄉	15.56	14.65	13.91	33.71	28.36	23.37
四湖鄉	27.89	13.68	12.90	65.32	62.53	32.33
元長鄉	35.05	17.86	11.68	21.77	21.94	34.71
大埤鄉	25.40	43.88	12.99	31.55	16.24	13.76
斗南鎮	32.36	36.33	12.50	37.76	28.90	14.31
古坑鄉	24.05	27.68	26.90	146.85	46.23	48.64
北港鎮	17.60	11.20	6.39	27.76	8.52	10.42
水林鄉	33.32	24.18	13.94	37.24	33.82	21.21
口湖鄉	21.07	25.70	20.46	30.11	38.89	22.01
合計	512.57	539.76	262.89	899.30	618.13	545.27

表5-24 地表入滲量本研究推估值較大之鄉鎮

單位：10⁶m³

鄉鎮別 (推估年別)	能邦(一) (1973)	本文 (1997)	本文 (1998)	地表土地利用(%)		
				水田	魚塭	旱田
雲林縣四湖鄉	13.68	62.53	32.33	0.70	4.10	78.19
雲林縣台西鄉	14.65	28.36	23.37	0.25	31.78	42.27
雲林縣褒忠鄉	5.94	18.45	21.40	4.12	1.7	75.71
雲林縣東勢鄉	9.15	19.00	24.31	8.49	4.67	66.96

表5-25 地表入滲量本研究推估值較小之鄉鎮

單位：10⁶m³

鄉鎮別 (推估年別)	能邦(一) (1973)	本文 (1997)	本文 (1998)	地表土地利用(%)		
				水田	魚塭	旱田
彰化縣北斗鎮	34.33	14.05	20.24	54.09	0.16	17.41
彰化縣溪州鄉	59.19	20.37	40.52	40.58	0.221	25.92
雲林縣二崙鄉	55.06	23.44	26.67	53.19	0.41	15.26
雲林縣大埤鄉	43.88	16.24	13.76	54.76	0.64	16.82

表6-1 濁水溪沖積扇分層傳輸係數與儲水係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	傳輸係數(m ² /day)			儲水係數		
			含水層1	含水層2	含水層3	含水層1	含水層2	含水層3
全興	199630	2674365	212.80	4680.00	1065.00	0.0355	0.0197	0.0200
線西	195062	2669966	873.60	5140.80	979.44	0.0300	0.0080	0.0086
頂番	196740	2664730	645.37	3958.76	2756.66	0.0543	0.0071	0.0089
東芳	199950	2662265	422.40	3588.00	2730.00	0.0752	0.0132	0.0158
花壇	202725	2658257	336.00	4680.00	565.92	0.1050	0.0250	0.0270
員林	205885	2649930	537.60	4071.00	1416.08	0.1700	0.0450	0.0580
田中	207088	2639188	2152.80	5616.00	4680.00	0.2100	0.0800	0.1100
漢寶	183282	2656147	860.00	4032.00	1188.00	0.0250	0.0050	0.0054
洛津	191220	2661365	433.20	4004.00	3360.00	0.0489	0.0039	0.0045
文昌	190120	2656250	3376.80	4644.00	3380.00	0.0595	0.0039	0.0043
好修	194052	2656100	4032.00	4760.00	1784.16	0.0800	0.0070	0.0076
溪湖	196133	2649778	3600.00	2707.20	3900.00	0.1300	0.0088	0.0088
芳苑	179990	2646954	873.60	2772.00	435.20	0.0220	0.0040	0.0040
路上	180841	2643909	634.49	3772.00	1192.42	0.0253	0.0035	0.0044
趙甲	187624	2648441	2010.00	3780.00	3447.36	0.0700	0.0050	0.0085
原斗	190880	2643767	2090.30	3508.34	2078.56	0.1051	0.0052	0.0151
溪州	198371	2639267	2343.60	6552.00	3120.00	0.2300	0.0100	0.0600
柑園	201662	2635696	5070.00	6510.00	3025.60	0.2100	0.0600	0.0950
二水	210242	2634428	6283.20	8466.00	5096.00	0.1800	0.1500	0.1500
西港	176799	2639978	1264.30	3637.54	2038.40	0.0150	0.0040	0.0040
潭墘	182705	2637176	1108.80	4988.00	1658.80	0.0180	0.0065	0.0088
永安	185839	2639467	1227.40	3718.37	1706.71	0.0443	0.0059	0.0109
竹塘	190948	2639823	2890.00	4185.00	1341.00	0.1000	0.0090	0.0200
合興	194000	2643600	1286.40	2765.76	1702.40	0.1444	0.0061	0.0241

田尾	201045	2643280	2548.00	4988.20	1872.00	0.2068	0.0273	0.0595
國聖	205365	2665558	431.38	1114.19	598.00	0.0701	0.0200	0.0250
香田	185725	2641405	624.25	3104.38	1984.00	0.0494	0.0049	0.0093

表6-1 (續1)濁水溪沖積扇分層傳輸係數與儲水係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	傳輸係數(m ² /day)			儲水係數		
			含水層1	含水層2	含水層3	含水層1	含水層2	含水層3
顏厝	191670	2663590	704.38	3034.63	2812.28	0.0440	0.0048	0.0050
崙豐	194900	2645085	1452.53	2999.83	2136.63	0.1483	0.0070	0.0229
海豐	170273	2629402	1525.20	2418.00	1824.00	0.0080	0.0032	0.0042
後安	171197	2632096	751.08	873.30	323.49	0.0080	0.0035	0.0040
興化	176695	2628849	2764.80	3105.00	1125.00	0.0120	0.0040	0.0052
豐榮	178954	2632222	1041.60	1378.00	508.80	0.0150	0.0040	0.0050
港後	187220	2632820	990.00	3346.40	878.40	0.0180	0.0086	0.0170
九隆	191168	2627781	2028.00	6732.00	1080.00	0.0630	0.0160	0.0280
西螺	194891	2632723	3296.00	6402.48	1398.60	0.1200	0.0200	0.0500
荊桐	197886	2628381	4900.00	6363.76	2633.28	0.1300	0.0500	0.0680
六合	204584	2629706	5358.00	6510.00	3808.00	0.1750	0.1300	0.1500
烏塗	208141	2629528	6336.00	6864.00	3920.80	0.1780	0.1780	0.1750
海園	165467	2624551	629.80	1368.96	1607.68	0.0050	0.0028	0.0038
和豐	169999	2626544	844.80	1228.80	928.00	0.0080	0.0031	0.0041
安南	172567	2622644	714.00	3220.80	648.20	0.0110	0.0038	0.0048
田洋	178717	2624989	960.96	2654.37	718.58	0.0160	0.0045	0.0056
馬光	182193	2624602	1090.75	3150.10	1463.11	0.0182	0.0062	0.0068
芳草	185350	2624184	910.77	5420.28	2681.80	0.0250	0.0093	0.0092
虎尾	191285	2623689	2635.20	5235.84	1041.98	0.0680	0.0120	0.0180
虎溪	199331	2624542	1152.00	5662.80	940.68	0.1350	0.0650	0.0750
石榴	206944	2624360	740.00	1831.68	967.68	0.1600	0.1350	0.1350
箔子	162598	2614898	1080.00	924.00	999.60	0.0050	0.0028	0.0029
飛沙	165282	2615958	783.54	1828.26	1076.46	0.0052	0.0034	0.0039
明德	167485	2617020	624.00	1703.92	672.00	0.0046	0.0036	0.0042

番溝	175574	2613530	1512.59	4117.38	1674.85	0.0116	0.0034	0.0040
元長	178788	2616961	1684.80	3957.60	864.96	0.0180	0.0042	0.0050
宏嵩	182680	2620675	1209.60	4474.80	1584.00	0.0246	0.0053	0.0054
土庫	187125	2619830	1346.88	3821.12	1683.29	0.0438	0.0060	0.0066

表6-1 (續2)濁水溪沖積扇分層傳輸係數與儲水係數設定值

站名	X(m)	Y(m)	傳輸係數(m ² /day)			儲水係數		
			含水層1	含水層2	含水層3	含水層1	含水層2	含水層3
宜梧	166296	2604660	804.01	4185.30	1978.35	0.0048	0.0037	0.0044
口湖	165796	2609792	947.78	4352.15	2180.41	0.0041	0.0030	0.0042
蔡厝	169500	2612504	918.00	979.20	576.08	0.0065	0.0039	0.0068
東光	174905	2616870	1641.60	4466.02	2016.00	0.0095	0.0030	0.0042
舊庄	188020	2614870	700.00	1632.00	1344.00	0.0537	0.0054	0.0046
嘉興	194034	2616371	627.20	1292.80	3261.60	0.0840	0.0090	0.0096
東和	205251	2620504	1621.84	3268.00	1883.00	0.1450	0.1000	0.1100
大溝	168595	2607406	420.00	3293.00	1466.40	0.0054	0.0037	0.0042
水林	172216	2608151	402.00	3229.60	1223.20	0.0120	0.0042	0.0043
北港	177919	2608767	942.40	2964.00	2261.60	0.0200	0.0054	0.0046
崙子	183331	2611929	566.40	1699.20	1312.20	0.0400	0.0075	0.0063
溫厝	199400	2617408	1165.60	1165.60	412.92	0.1150	0.0450	0.0480
古坑	204980	2615932	1317.60	1995.84	479.52	0.1300	0.0880	0.0860
東石	162790	2595720	1780.07	4284.02	1924.68	0.0211	0.0142	0.0148
瓊埔	168219	2602115	564.00	1960.80	1076.16	0.0055	0.0032	0.0038
安和	178980	2601660	501.60	1382.40	552.96	0.0361	0.0054	0.0047
新港	182808	2606087	1098.26	4017.14	1744.18	0.0405	0.0056	0.0036
東榮	191545	2606340	554.60	924.00	280.00	0.0685	0.0132	0.0086
三和	196915	2611594	2383.33	2892.04	993.01	0.0922	0.0260	0.0210
崁腳	202021	2612378	510.81	1300.86	450.36	0.1120	0.0570	0.0550
金湖	162471	2608474	1405.38	2573.65	2156.00	0.0040	0.0029	0.0032
斗六	201600	2622630	1218.39	5277.83	1700.28	0.1405	0.0804	0.0896

表6-2 不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(員林至田中段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times m^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	118.0	0.081	0.299	0.210	-0.037	0.638	0.330	0.321	0.689	0.657
2	344.0	0.072	0.245	0.164	-0.112	0.503	0.228	0.251	0.600	0.567
3	156.0	0.096	0.282	0.197	-0.210	0.574	0.252	0.259	0.663	0.620
4	163.0	0.129	0.296	0.215	-0.049	0.574	0.331	0.327	0.700	0.673
5	207.0	0.139	0.310	0.225	-0.004	0.641	0.360	0.361	0.742	0.711
6	511.0	0.148	0.328	0.245	-0.327	0.573	0.292	0.271	0.671	0.658
7	57.0	0.223	0.389	0.302	0.041	0.789	0.539	0.463	0.860	0.857
8	342.0	0.220	0.387	0.296	0.194	0.837	0.564	0.517	0.904	0.881
9	76.0	0.209	0.373	0.285	0.178	0.838	0.553	0.482	0.855	0.829
10	173.0	0.190	0.363	0.272	0.109	0.821	0.511	0.464	0.851	0.824
11	4.0	0.179	0.346	0.260	0.101	0.784	0.511	0.440	0.810	0.786
12	45.0	0.181	0.342	0.256	0.089	0.787	0.523	0.434	0.802	0.802
合計	2196.0	1.867	3.961	2.927	-0.027	8.359	4.996	4.591	9.148	8.865

表6-2 (續1)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(田中至二水段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	118.0	0.890	0.905	0.728	0.341	0.587	0.359	0.015	0.160	0.135
2	344.0	1.061	0.800	0.638	0.289	0.471	0.277	0.001	0.135	0.113
3	156.0	1.336	0.883	0.708	0.303	0.555	0.326	0.060	0.204	0.175
4	163.0	1.308	0.864	0.702	0.435	0.583	0.407	0.077	0.212	0.194
5	207.0	1.356	0.890	0.723	0.448	0.613	0.411	0.072	0.241	0.223
6	511.0	1.311	0.895	0.725	0.395	0.666	0.459	0.182	0.295	0.284
7	57.0	1.394	0.969	0.788	0.606	0.821	0.629	0.201	0.361	0.363
8	342.0	1.385	0.971	0.789	0.656	0.839	0.634	0.182	0.343	0.330
9	76.0	1.334	0.928	0.748	0.662	0.837	0.624	0.153	0.286	0.266
10	173.0	1.364	0.937	0.753	0.602	0.796	0.568	0.134	0.268	0.247
11	4.0	1.311	0.903	0.726	0.542	0.735	0.530	0.135	0.268	0.248
12	45.0	1.351	0.914	0.742	0.453	0.688	0.482	0.092	0.240	0.237
合計	2196.0	15.402	10.858	8.771	5.732	8.191	5.707	1.304	3.014	2.815

表6-2 (續2)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(二水至烏塗段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times m^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	118.0	1.203	2.374	1.305	0.065	1.342	0.598	-0.171	0.405	0.355
2	344.0	1.995	2.146	1.163	0.100	1.169	0.466	-0.140	0.389	0.335
3	156.0	2.887	2.515	1.443	0.306	1.583	0.768	-0.002	0.614	0.530
4	163.0	2.691	2.397	1.461	0.291	1.385	0.755	-0.039	0.538	0.503
5	207.0	2.778	2.456	1.488	0.179	1.353	0.647	-0.103	0.542	0.509
6	511.0	2.665	2.574	1.585	0.774	1.916	1.269	0.243	0.835	0.826
7	57.0	2.528	2.746	1.724	0.628	1.936	1.342	0.123	0.814	0.855
8	342.0	2.477	2.737	1.720	0.465	1.823	1.155	0.035	0.706	0.694
9	76.0	2.385	2.632	1.608	0.487	1.810	1.137	0.000	0.611	0.574
10	173.0	2.529	2.658	1.610	0.422	1.790	1.032	-0.018	0.601	0.562
11	4.0	2.523	2.598	1.555	0.338	1.649	0.970	-0.019	0.587	0.548
12	45.0	2.577	2.521	1.501	0.162	1.522	0.880	-0.113	0.507	0.534
合計	2196.0	29.240	30.354	18.164	4.216	19.277	11.019	-0.202	7.149	6.826

表6-2 (續3)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(烏塗至石榴段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	107.0	2.225	2.313	1.659	0.247	0.934	0.537	0.165	0.514	0.480
2	311.0	3.437	2.101	1.504	0.243	0.820	0.448	0.168	0.485	0.451
3	215.0	4.455	2.376	1.723	0.400	1.100	0.663	0.285	0.654	0.601
4	346.0	4.196	2.284	1.705	0.339	0.937	0.607	0.214	0.565	0.541
5	411.0	4.470	2.355	1.762	0.210	0.880	0.504	0.139	0.550	0.528
6	649.0	3.629	2.320	1.708	0.846	1.423	1.076	0.508	0.850	0.842
7	98.0	3.294	2.500	1.859	0.650	1.341	1.024	0.378	0.792	0.816
8	845.0	2.952	2.459	1.822	0.411	1.162	0.808	0.271	0.681	0.671
9	426.0	3.043	2.402	1.764	0.512	1.218	0.861	0.249	0.616	0.591
10	243.0	3.305	2.436	1.785	0.450	1.193	0.789	0.239	0.612	0.585
11	0.0	3.345	2.355	1.710	0.321	1.061	0.693	0.195	0.569	0.541
12	56.0	3.773	2.372	1.747	0.211	0.992	0.641	0.156	0.544	0.558
合計	3707.0	42.125	28.273	20.749	4.840	13.060	8.653	2.967	7.431	7.205

表6-2 (續4)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(石榴至古坑段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	107.0	1.346	1.179	1.101	3.083	2.082	2.050	0.790	0.808	0.797
2	311.0	1.374	0.999	0.929	2.727	1.938	1.881	0.774	0.782	0.772
3	215.0	1.668	1.199	1.125	3.001	2.050	2.004	0.832	0.852	0.839
4	346.0	1.617	1.176	1.098	2.984	2.188	2.095	0.827	0.843	0.834
5	411.0	1.826	1.276	1.204	2.925	2.070	2.009	0.788	0.823	0.812
6	649.0	1.896	1.465	1.395	3.378	2.140	2.106	0.861	0.872	0.866
7	98.0	1.907	1.604	1.520	3.653	2.405	2.336	0.851	0.872	0.871
8	845.0	1.621	1.539	1.453	3.656	2.489	2.436	0.840	0.868	0.860
9	426.0	1.741	1.530	1.451	3.477	2.314	2.293	0.799	0.821	0.812
10	243.0	1.686	1.473	1.393	3.469	2.315	2.293	0.839	0.859	0.849
11	0.0	1.471	1.319	1.241	3.171	2.101	2.051	0.774	0.803	0.794
12	56.0	1.575	1.327	1.254	3.129	1.988	1.929	0.747	0.782	0.781
合計	3707.0	19.728	16.087	15.164	38.653	26.079	25.482	9.722	9.985	9.889

表6-2 (續5)不考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(古坑至崁腳段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times m^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	107.0	0.023	0.052	0.045	0.642	0.506	0.490	-0.025	0.018	0.011
2	311.0	0.015	0.051	0.044	0.654	0.539	0.517	-0.032	0.011	0.006
3	215.0	0.017	0.062	0.055	0.686	0.547	0.529	-0.035	0.017	0.012
4	346.0	0.032	0.072	0.065	0.727	0.617	0.585	-0.021	0.022	0.017
5	411.0	0.063	0.085	0.079	0.704	0.576	0.554	-0.051	0.019	0.015
6	649.0	0.119	0.120	0.115	0.642	0.484	0.470	-0.027	0.017	0.012
7	98.0	0.126	0.141	0.135	0.705	0.560	0.537	-0.001	0.038	0.036
8	845.0	0.079	0.125	0.118	0.742	0.615	0.593	-0.027	0.023	0.019
9	426.0	0.115	0.139	0.133	0.684	0.546	0.533	-0.017	0.019	0.014
10	243.0	0.084	0.124	0.117	0.701	0.562	0.547	-0.025	0.013	0.007
11	0.0	0.060	0.112	0.106	0.710	0.562	0.545	-0.034	0.013	0.008
12	56.0	0.056	0.106	0.100	0.674	0.516	0.498	-0.052	0.010	0.006
合計	3707.0	0.787	1.189	1.111	8.270	6.629	6.397	-0.349	0.219	0.163

表6-3 考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(員林至田中段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times m^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	118.0	-0.138	0.082	-0.015	-0.102	0.581	0.255	0.143	0.546	0.516
2	344.0	0.448	0.594	0.522	-0.122	0.506	0.213	0.293	0.646	0.591
3	156.0	0.550	0.750	0.684	-0.053	0.731	0.429	0.538	0.955	0.927
4	163.0	0.406	0.476	0.410	0.019	0.620	0.375	0.376	0.698	0.673
5	207.0	0.212	0.388	0.297	0.035	0.676	0.395	0.388	0.777	0.746
6	511.0	1.076	1.261	1.169	-0.063	0.840	0.592	0.690	1.131	1.160
7	57.0	0.253	0.299	0.236	0.061	0.829	0.552	0.553	0.940	0.905
8	342.0	0.087	0.420	0.329	0.166	0.816	0.559	0.456	0.834	0.803
9	76.0	0.050	0.024	-0.107	0.118	0.774	0.483	0.378	0.772	0.745
10	173.0	-0.122	0.265	0.185	0.031	0.741	0.413	0.374	0.753	0.714
11	4.0	0.192	0.228	0.148	0.097	0.753	0.510	0.420	0.773	0.748
12	45.0	-0.303	-0.195	-0.264	-0.029	0.659	0.385	0.204	0.554	0.591
合計	2196.0	2.712	4.592	3.593	0.157	8.526	5.159	4.816	9.377	9.119

表6-3 (續1)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(田中至二水段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	118.0	0.482	0.515	0.352	0.106	0.385	0.171	-0.232	-0.085	-0.121
2	344.0	1.011	1.087	0.928	0.476	0.624	0.461	0.202	0.322	0.324
3	156.0	2.133	1.608	1.395	0.713	0.989	0.723	0.544	0.694	0.647
4	163.0	1.292	0.866	0.713	0.451	0.598	0.430	0.081	0.204	0.186
5	207.0	1.501	1.039	0.858	0.518	0.692	0.491	0.163	0.349	0.334
6	511.0	2.634	2.167	2.013	1.026	1.310	1.062	0.933	1.041	0.982
7	57.0	1.099	0.692	0.448	0.512	0.655	0.498	0.069	0.204	0.241
8	342.0	1.489	1.061	0.888	0.721	0.899	0.678	0.261	0.427	0.414
9	76.0	0.865	0.446	0.323	0.407	0.602	0.395	-0.139	0.003	-0.014
10	173.0	1.514	1.098	0.934	0.716	0.915	0.715	0.264	0.391	0.390
11	4.0	0.970	0.553	0.371	0.340	0.545	0.301	-0.108	0.041	0.011
12	45.0	0.681	0.293	0.077	0.068	0.312	0.120	-0.350	-0.205	-0.236
合計	2196.0	15.671	11.426	9.301	6.054	8.526	6.043	1.688	3.386	3.159

表6-3 (續2)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(二水至烏塗段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times m^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	118.0	0.806	1.977	0.905	-0.299	0.980	0.233	-0.504	0.087	0.034
2	344.0	2.290	2.481	1.499	0.479	1.552	0.850	0.190	0.721	0.673
3	156.0	3.806	3.443	2.372	1.094	2.370	1.547	0.793	1.406	1.315
4	163.0	2.484	2.199	1.269	0.059	1.165	0.538	-0.251	0.333	0.299
5	207.0	2.927	2.603	1.633	0.305	1.481	0.776	0.041	0.680	0.648
6	511.0	4.216	4.159	3.169	2.316	3.433	2.779	1.712	2.258	2.227
7	57.0	1.973	2.163	1.179	-0.012	1.325	0.735	-0.464	0.270	0.328
8	342.0	2.741	3.020	2.003	0.664	2.033	1.365	0.263	0.935	0.921
9	76.0	1.876	2.127	1.067	0.005	1.322	0.649	-0.478	0.133	0.099
10	173.0	2.860	3.001	1.952	0.751	2.128	1.371	0.288	0.912	0.878
11	4.0	1.932	1.991	0.951	-0.186	1.118	0.440	-0.537	0.061	0.020
12	45.0	1.841	1.762	0.735	-0.491	0.862	0.222	-0.750	-0.146	-0.125
合計	2196.0	29.753	30.925	18.733	4.685	19.768	11.506	0.304	7.651	7.319

表6-3 (續3)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(烏塗至石榴段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times m^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	107.0	2.060	2.104	1.442	0.008	0.646	0.243	-0.204	0.125	0.106
2	311.0	4.463	2.500	1.902	0.250	0.882	0.476	0.374	0.698	0.627
3	215.0	4.679	2.804	2.176	1.330	1.997	1.598	1.130	1.480	1.452
4	346.0	4.116	2.137	1.549	0.071	0.681	0.344	-0.094	0.277	0.253
5	411.0	4.583	2.484	1.902	0.446	1.108	0.730	0.307	0.725	0.699
6	649.0	4.547	3.530	2.902	2.630	3.190	2.862	2.355	2.602	2.664
7	98.0	2.911	2.156	1.585	0.256	1.009	0.671	-0.212	0.319	0.290
8	845.0	3.189	2.723	2.074	0.901	1.658	1.317	0.558	0.966	0.952
9	426.0	2.806	2.123	1.427	0.035	0.719	0.362	-0.167	0.202	0.175
10	243.0	3.534	2.600	1.931	0.467	1.215	0.781	0.331	0.712	0.656
11	0.0	2.878	1.840	1.204	-0.377	0.359	0.028	-0.378	-0.012	-0.026
12	56.0	3.360	1.804	1.212	-0.521	0.255	-0.105	-0.494	-0.085	-0.022
合計	3707.0	43.127	28.806	21.306	5.496	13.718	9.308	3.505	8.008	7.826

表6-3 (續4)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(石榴至古坑段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times m^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times m^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	107.0	0.669	0.491	0.415	2.417	1.509	1.446	0.156	0.188	0.176
2	311.0	1.104	0.671	0.599	2.493	1.692	1.654	0.859	0.829	0.816
3	215.0	1.931	1.521	1.454	3.216	2.291	2.216	1.083	1.138	1.129
4	346.0	1.319	0.847	0.771	2.931	2.136	2.056	0.905	0.864	0.853
5	411.0	2.309	1.744	1.671	3.258	2.382	2.326	1.135	1.196	1.188
6	649.0	4.393	4.031	3.944	5.508	4.060	4.022	1.802	1.809	1.823
7	98.0	2.003	1.678	1.593	3.646	2.501	2.419	0.520	0.588	0.571
8	845.0	2.326	2.260	2.178	4.468	3.269	3.241	1.207	1.224	1.210
9	426.0	1.229	1.037	0.956	3.001	1.855	1.837	0.647	0.687	0.680
10	243.0	1.092	0.872	0.799	2.999	1.860	1.847	0.799	0.799	0.792
11	0.0	0.745	0.628	0.557	2.540	1.441	1.386	0.617	0.631	0.616
12	56.0	0.826	0.522	0.443	2.427	1.338	1.269	0.600	0.622	0.641
合計	3707.0	19.947	16.303	15.380	38.903	26.335	25.719	10.330	10.576	10.495

表6-3 (續5)考慮含水層蓄水體積變化，邊界側向流量推估結果
(古坑至崁腳段)

月份	降雨量 (mm)	含水層1側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層2側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)			含水層3側向流量 ($10^6 \times \text{m}^3$)		
		CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
1	107.0	0.053	0.090	0.082	0.596	0.531	0.491	-0.634	-0.534	-0.541
2	311.0	-0.062	-0.062	-0.067	0.677	0.562	0.548	0.392	0.344	0.348
3	215.0	0.269	0.344	0.342	0.667	0.555	0.522	-0.347	-0.195	-0.207
4	346.0	-0.027	0.020	0.015	0.800	0.683	0.657	0.417	0.362	0.353
5	411.0	0.316	0.373	0.365	0.794	0.654	0.635	0.105	0.171	0.172
6	649.0	0.885	0.888	0.877	1.100	0.790	0.785	-0.049	0.134	0.116
7	98.0	-0.021	-0.034	-0.043	0.471	0.397	0.363	-0.304	-0.300	-0.299
8	845.0	0.447	0.507	0.499	1.180	1.037	1.033	0.369	0.345	0.347
9	426.0	-0.091	-0.086	-0.088	0.428	0.328	0.311	-0.197	-0.141	-0.144
10	243.0	-0.044	-0.016	-0.023	0.770	0.637	0.626	0.213	0.203	0.205
11	0.0	-0.224	-0.171	-0.168	0.476	0.308	0.292	-0.013	0.033	0.024
12	56.0	-0.076	-0.035	-0.053	0.659	0.533	0.505	0.009	0.072	0.056
合計	3707.0	1.426	1.818	1.736	8.619	7.014	6.767	-0.040	0.493	0.430

表6-4 1998年濁水溪中積平原東側邊界側向流量推估結果
(不考慮含水層蓄水體積變化)

邊界 區段	含水層1側向流量 (10^6m^3)			含水層2側向流量 (10^6m^3)			含水層3側向流量 (10^6m^3)		
	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
員林~田中	1.867	3.961	2.927	-0.027	8.359	4.996	4.591	9.148	8.865
田中~二水	15.402	10.858	8.771	5.732	8.191	5.707	1.304	3.014	2.815
二水~烏塗	29.240	30.354	18.164	4.216	19.277	11.019	-0.202	7.149	6.826
烏塗~石榴	42.125	28.273	20.749	4.840	13.060	8.653	2.967	7.431	7.205
石榴~古坑	19.728	16.087	15.164	38.653	26.079	25.482	9.722	9.985	9.889
古坑~崁腳	0.787	1.189	1.111	8.270	6.629	6.397	-0.349	0.219	0.163
合計	109.149	90.722	66.886	61.685	81.594	62.253	18.033	36.945	35.763

表6-4 (續)1998年濁水溪中積平原東側邊界側向流量推估結果
(不考慮含水層蓄水體積變化)

邊界 區段	含水層1側向流量 (10^6m^3)			含水層2側向流量 (10^6m^3)			含水層3側向流量 (10^6m^3)		
	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2	CASE0	CASE1	CASE2
員林~田中	2.712	4.592	3.593	0.157	8.526	5.159	4.816	9.377	9.119
田中~二水	15.671	11.426	9.301	6.054	8.526	6.043	1.688	3.386	3.159
二水~烏塗	29.753	30.925	18.733	4.685	19.768	11.506	0.304	7.651	7.319
烏塗~石榴	43.127	28.806	21.306	5.496	13.718	9.308	3.505	8.008	7.826
石榴~古坑	19.947	16.303	15.380	38.903	26.335	25.719	10.330	10.576	10.495
古坑~崁腳	1.426	1.818	1.736	8.619	7.014	6.767	-0.040	0.493	0.430
合計	112.636	93.869	70.049	63.914	83.888	64.502	20.603	39.492	38.349

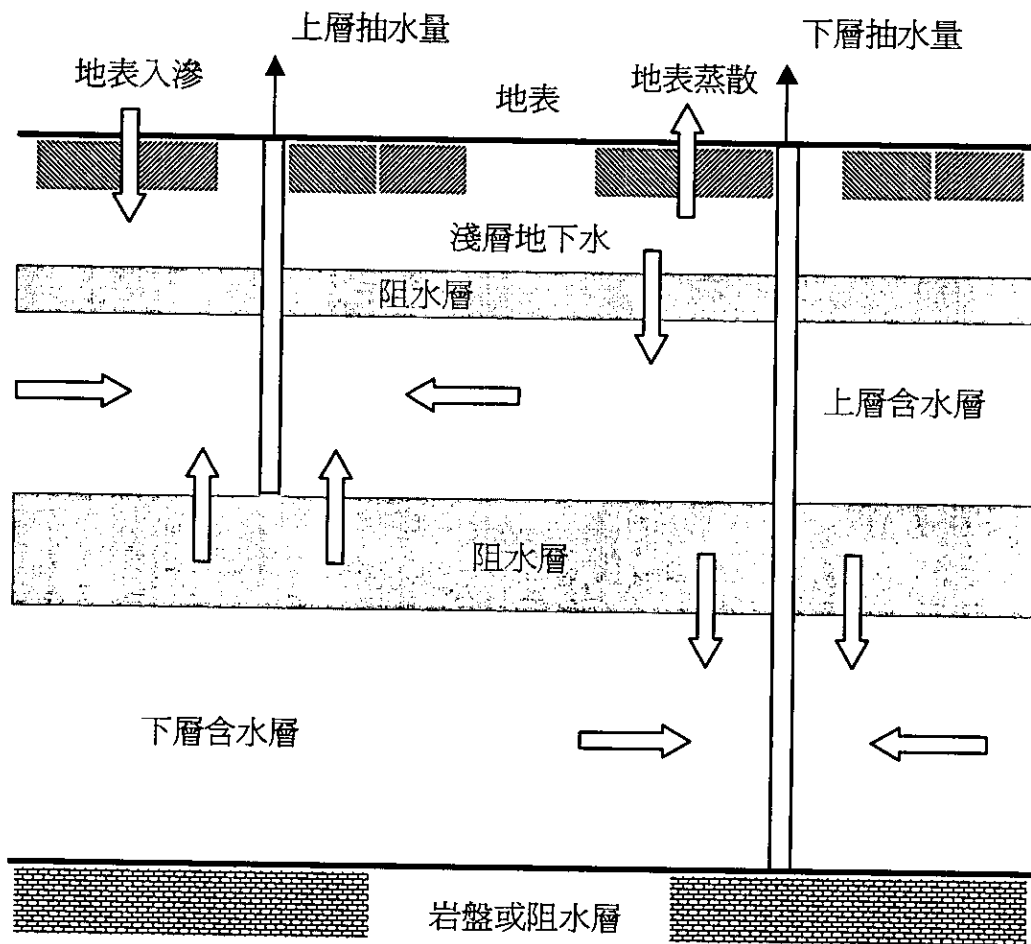


圖3-1 三維多層地下水流模式架構示意圖

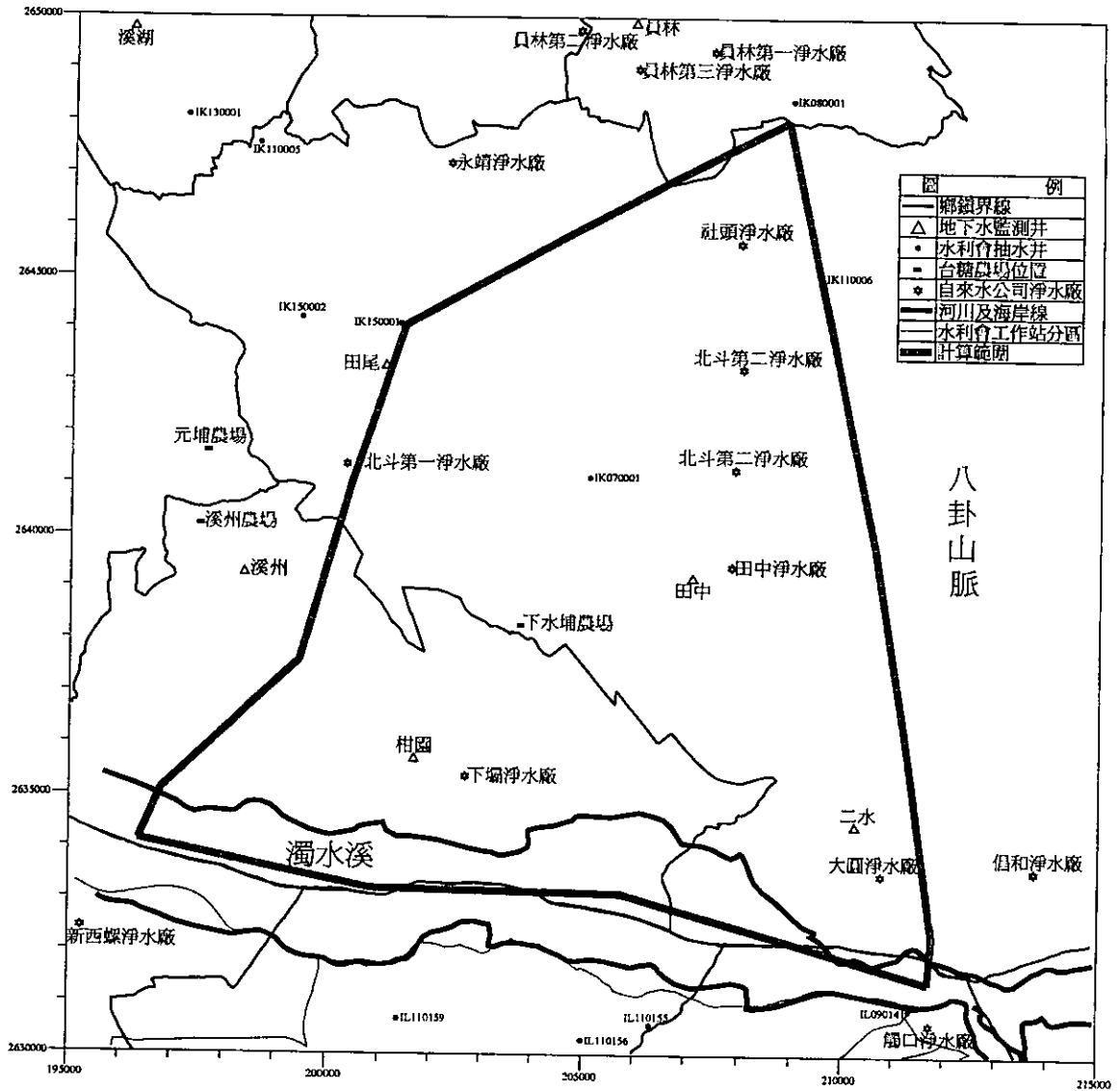


圖4-2 彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHA分區)

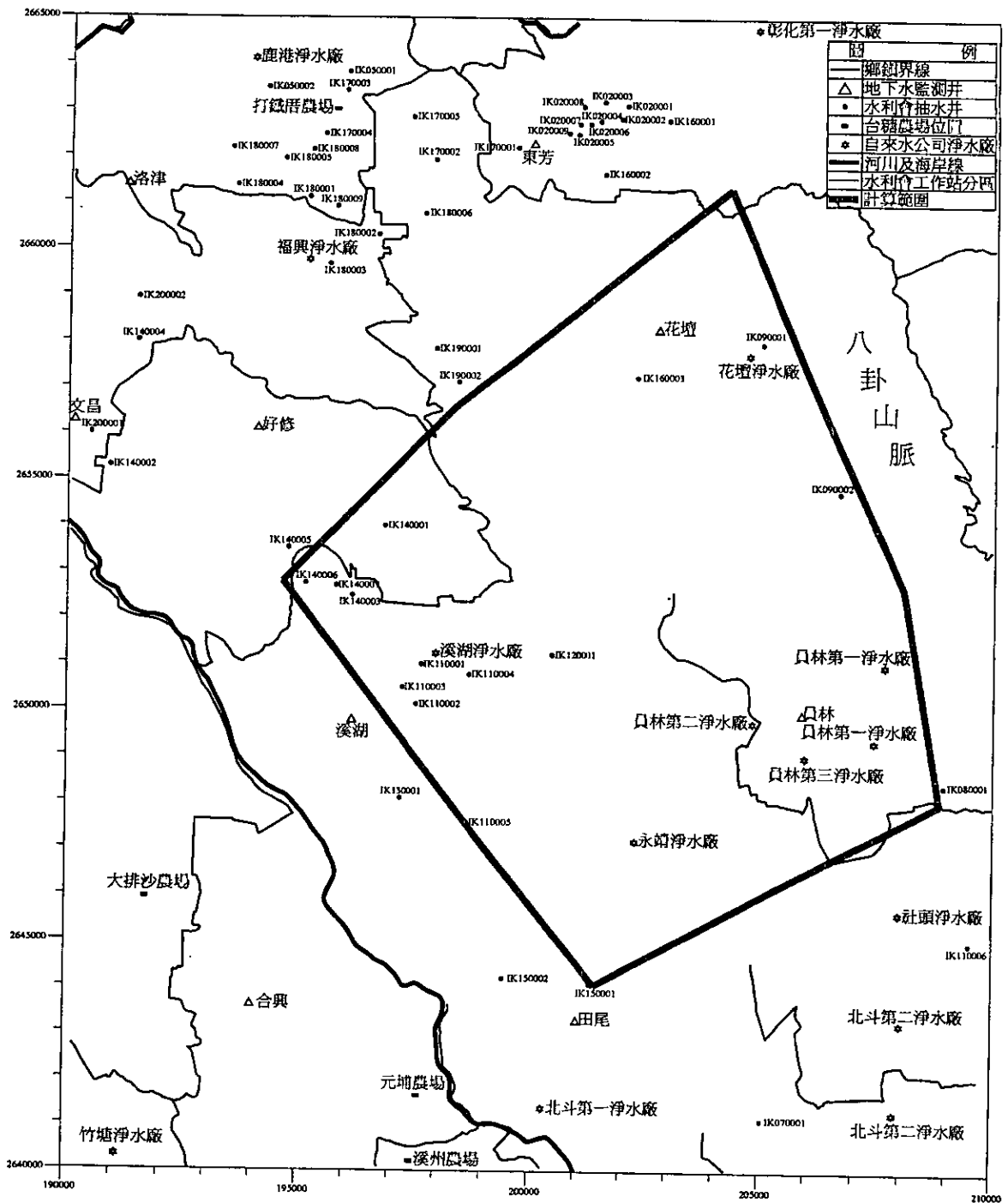


圖4-2 (續2)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHC分區)

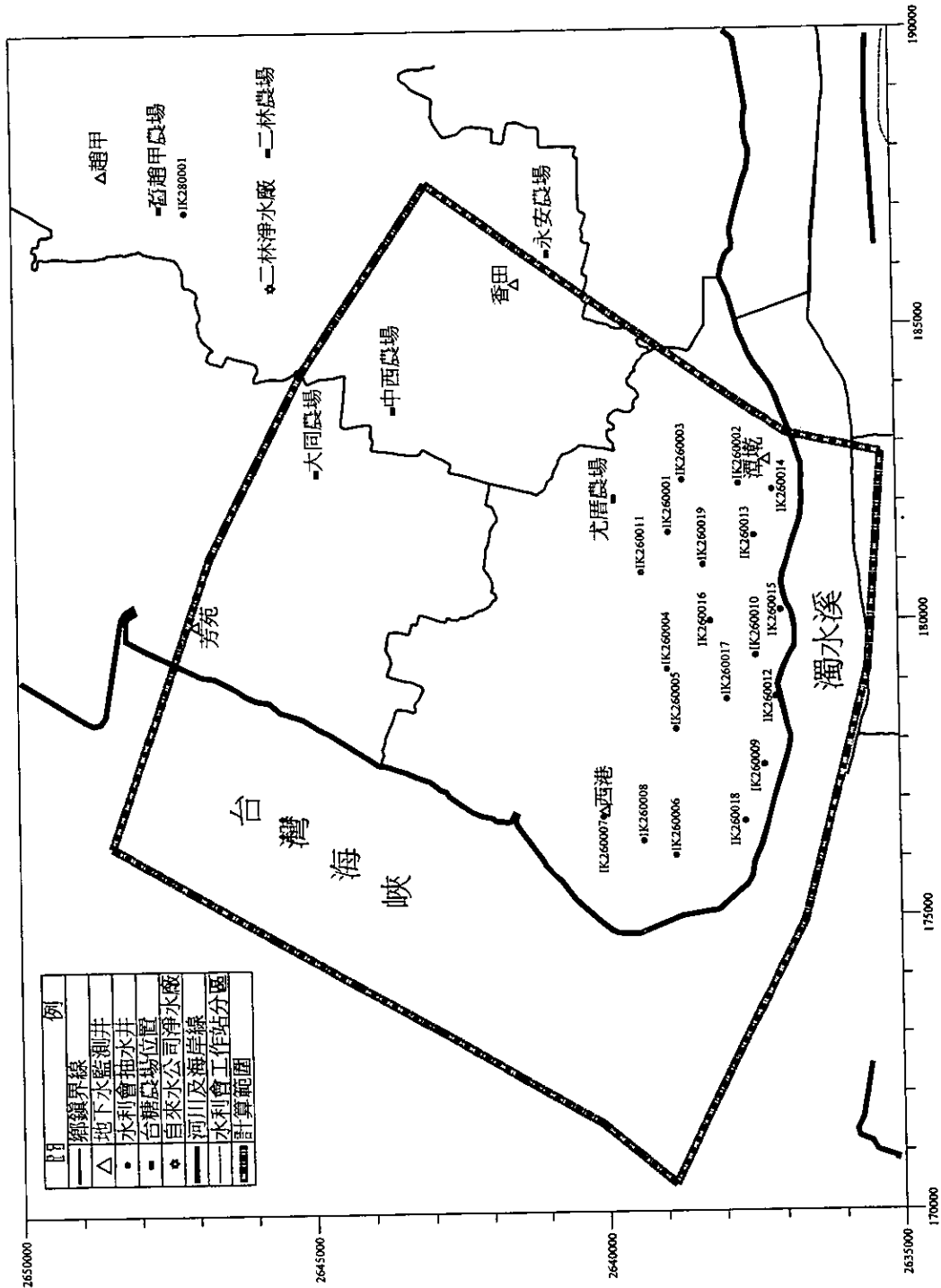


圖 4-2 (續 3)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHD分區)

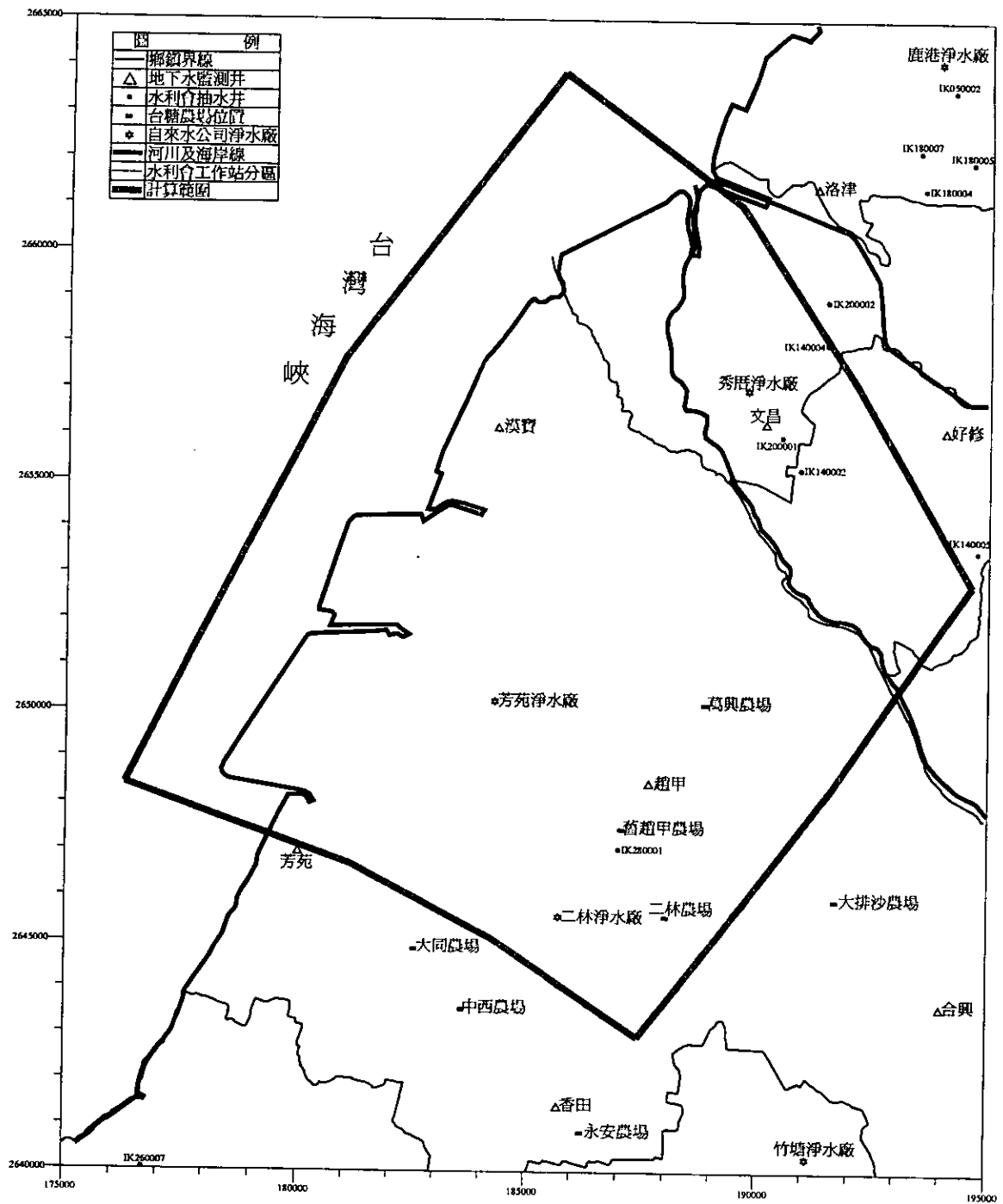


圖4-2 (續4)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHE分區)

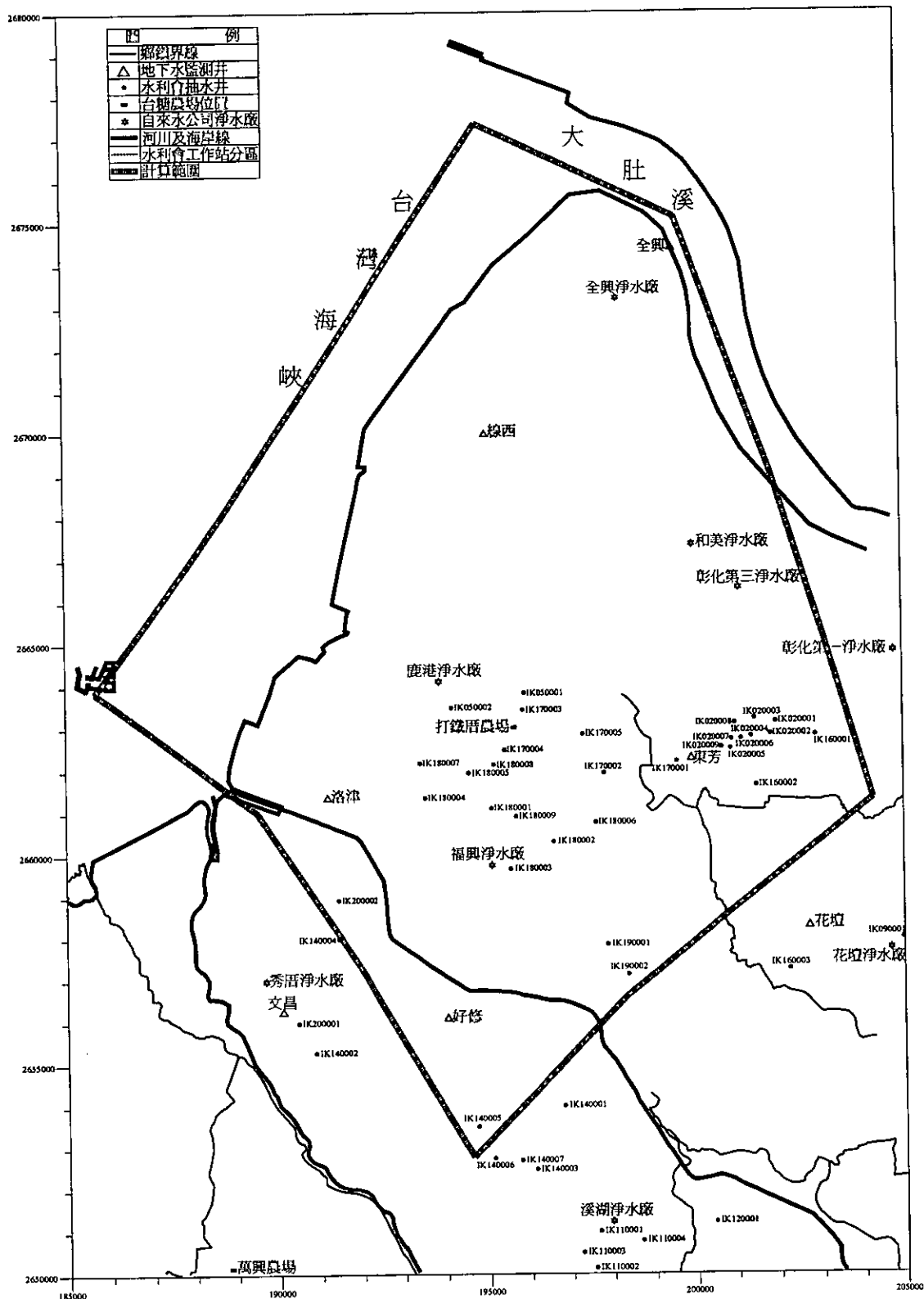


圖4-2 (續5)彰化地區地理區位與相關水井位置分布(CHF分區)

圖例	
—	鄉鎮界線
△	地下水監測井
•	水利會抽水井
■	台糖農場位置
◆	自來水公司淨水廠
—	河川及海岸線
—	水利會工作站分區
—	計算範圍

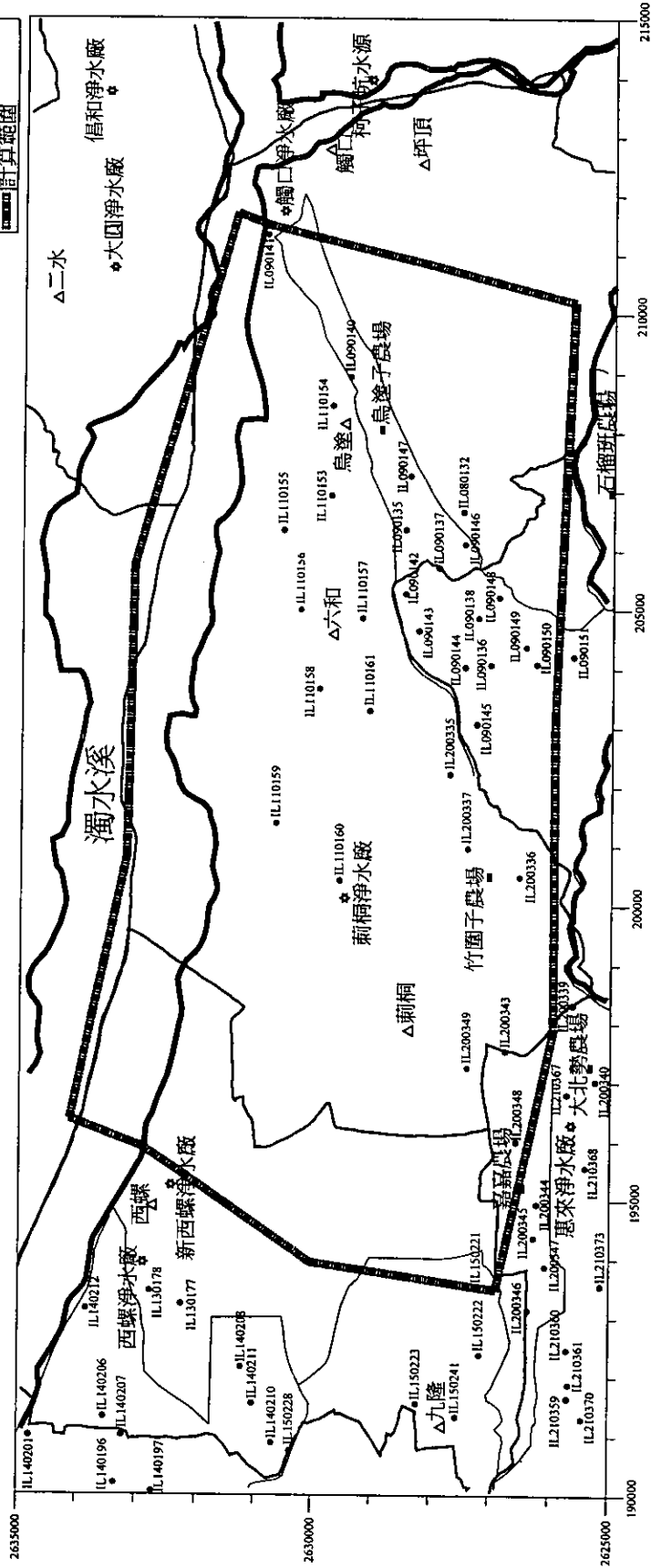


圖 4-3 雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLA分區)

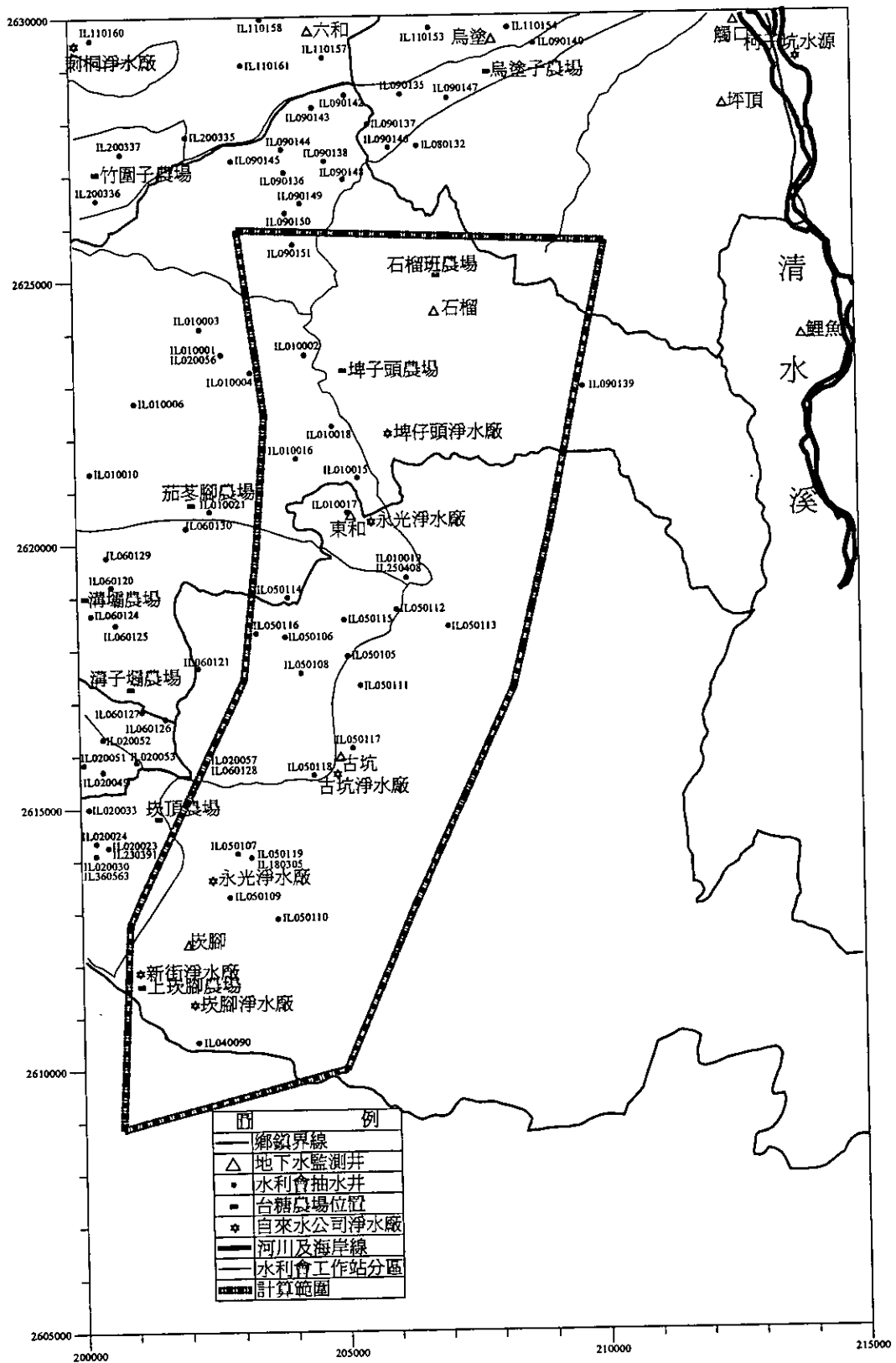


圖4-3 (續1)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLB分區)

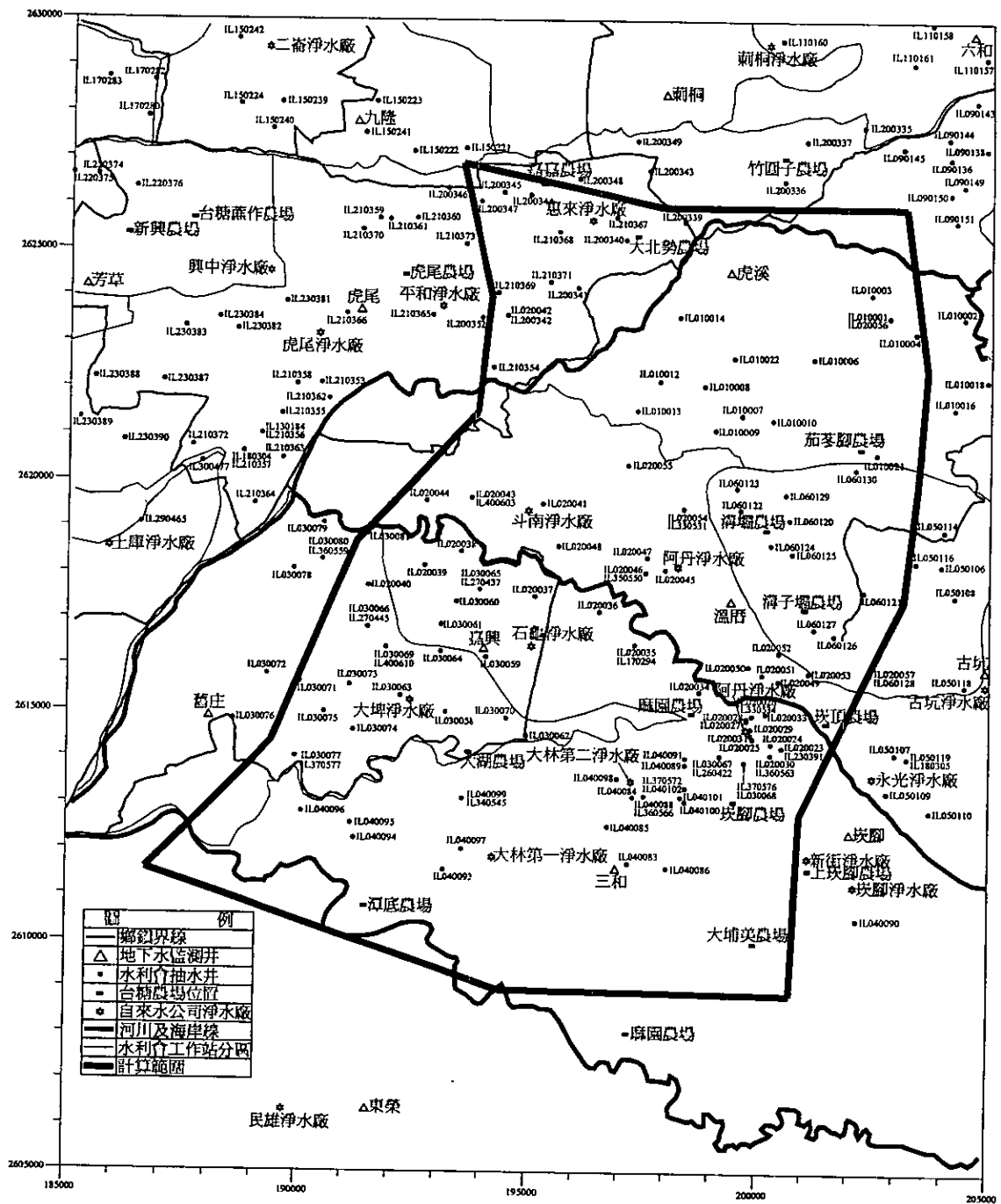


圖4-3 (續2)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLC分區)

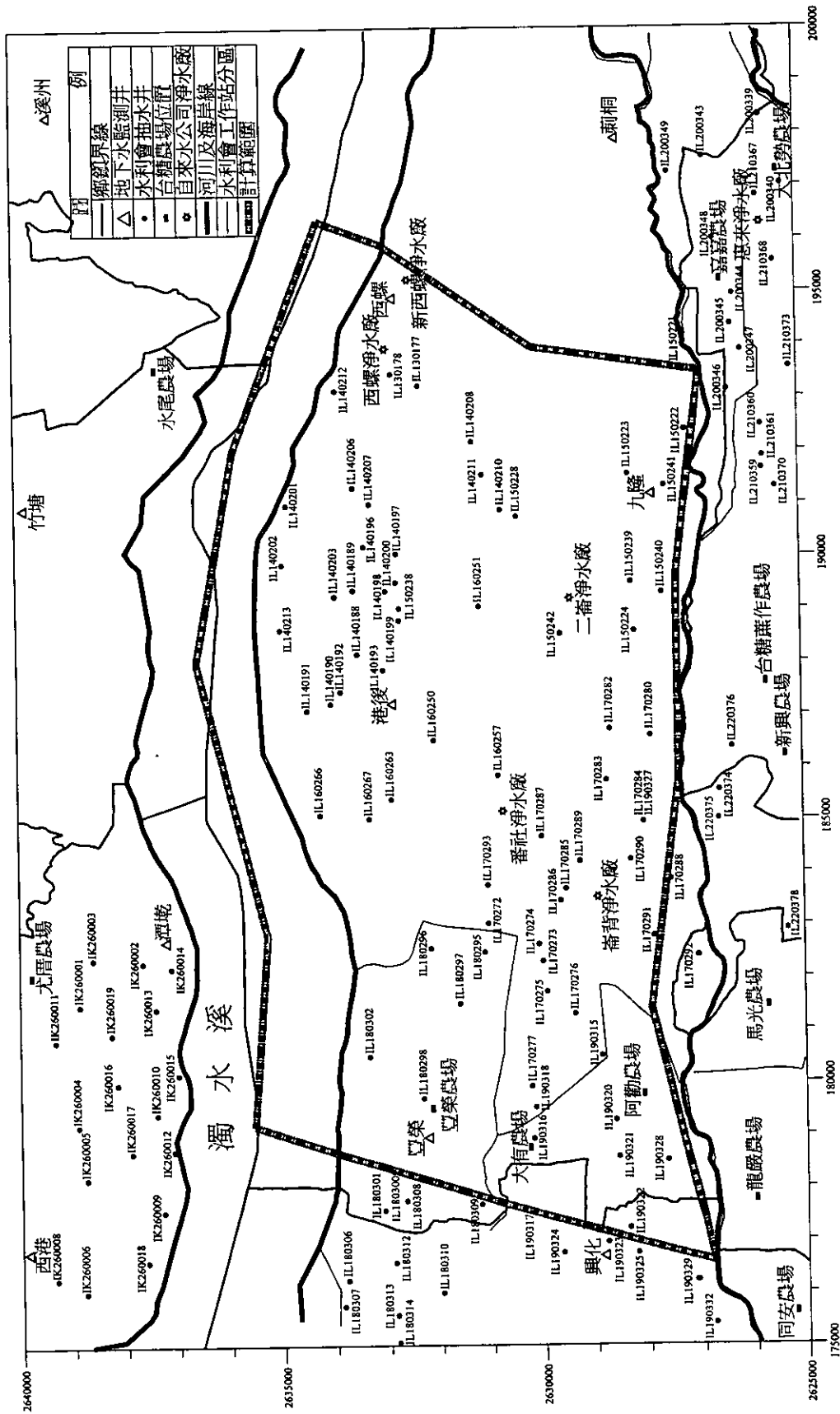


圖 4-3 (續 3) 雲林地區地理區位與相關水井位置分布 (YLD 分區)

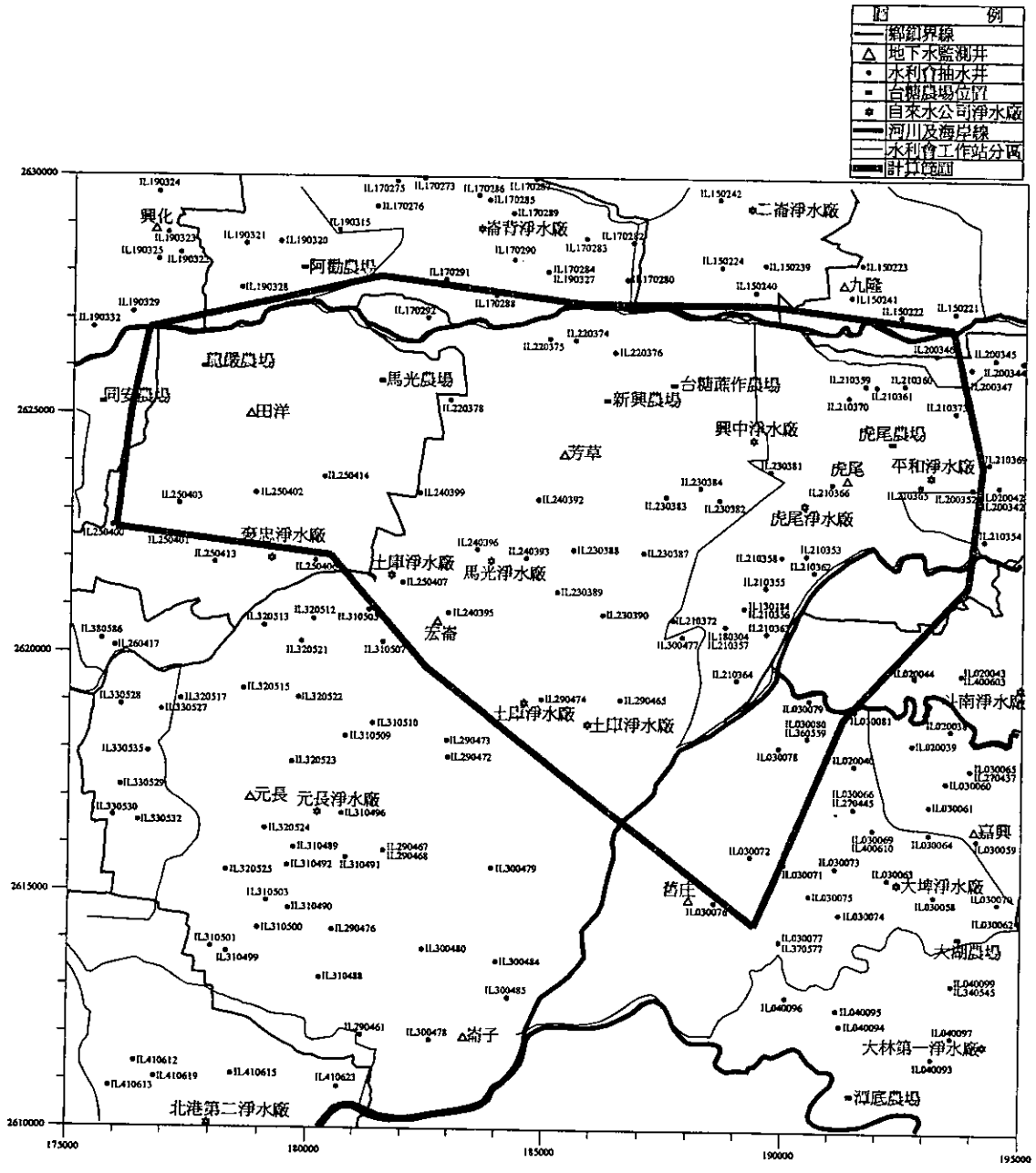


圖4-3 (續4)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLE分區)

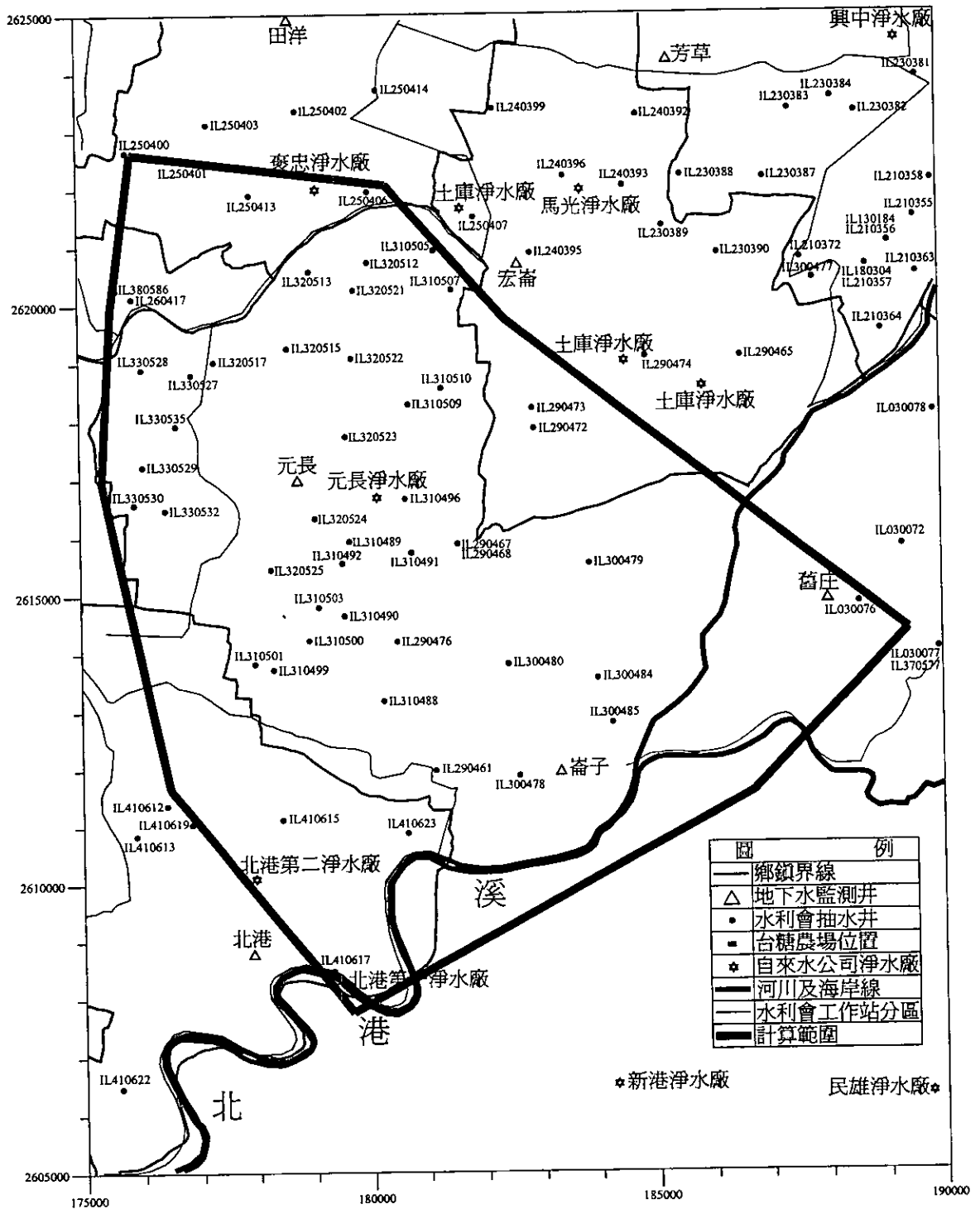


圖4-3 (續5)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLF分區)

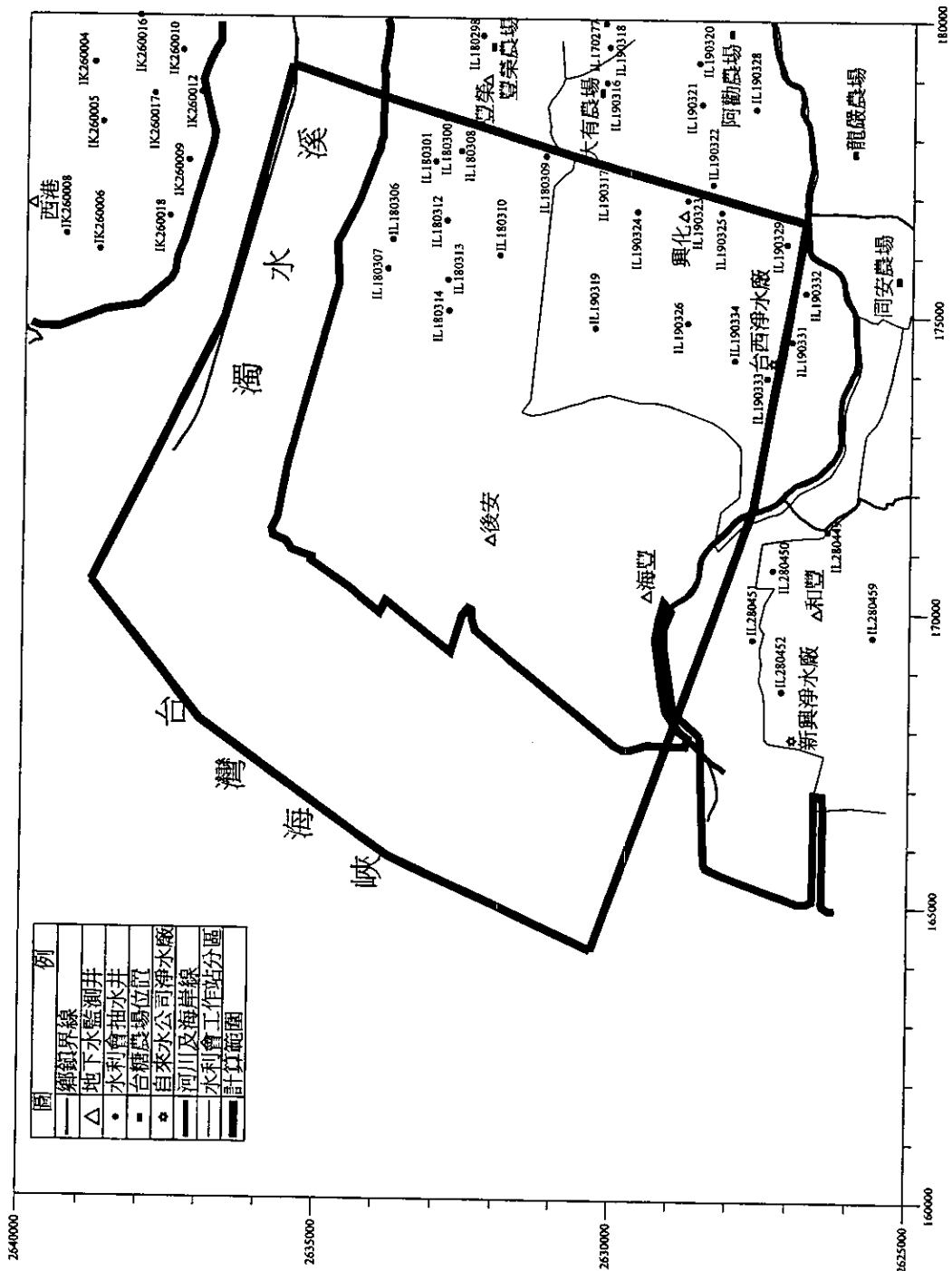


圖 4-3 (續 6) 雲林地區地理區位與相關水井位置分布 (YLG 分區)

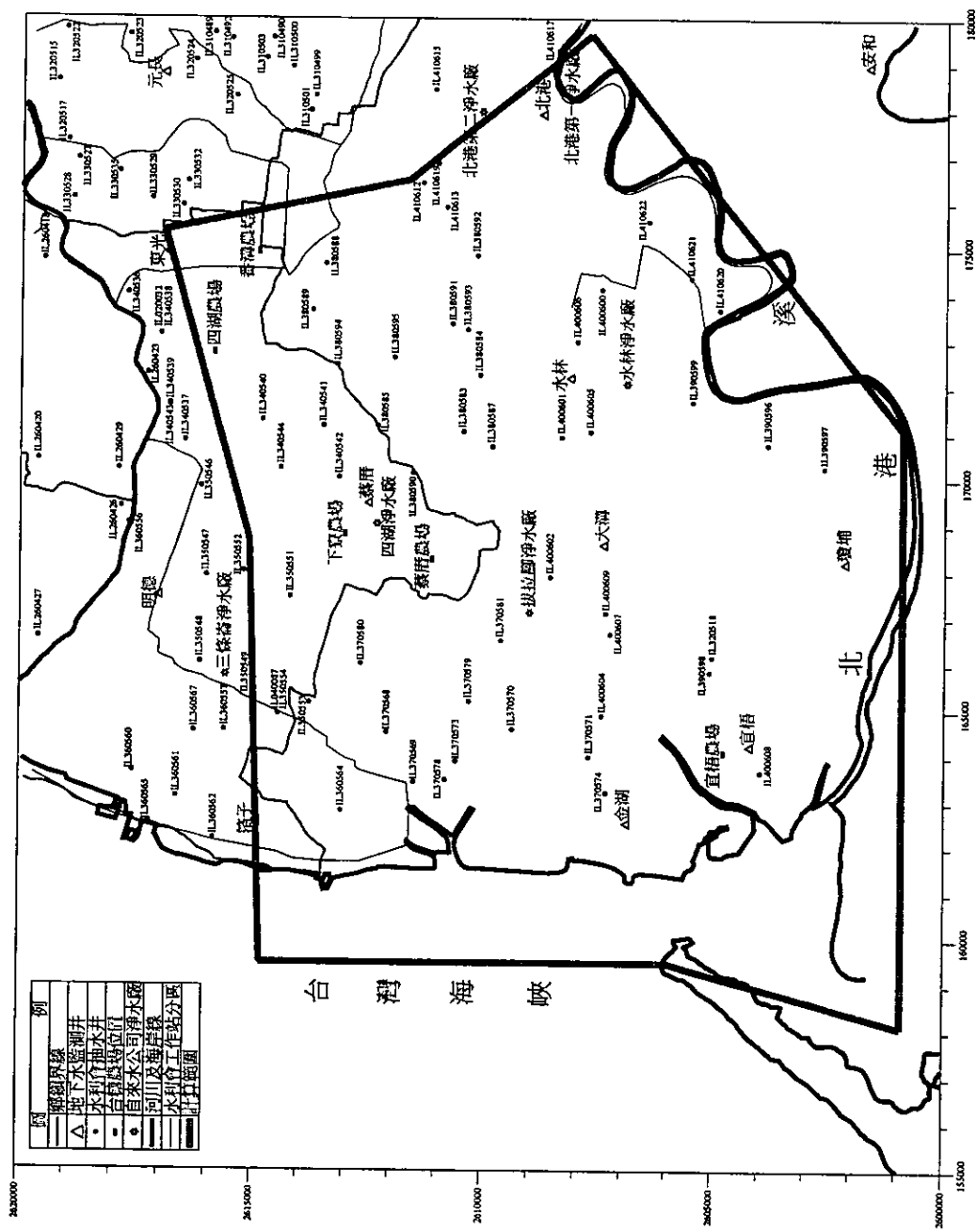


圖4-3 (續8)雲林地區地理區位與相關水井位置分布(YLI分區)

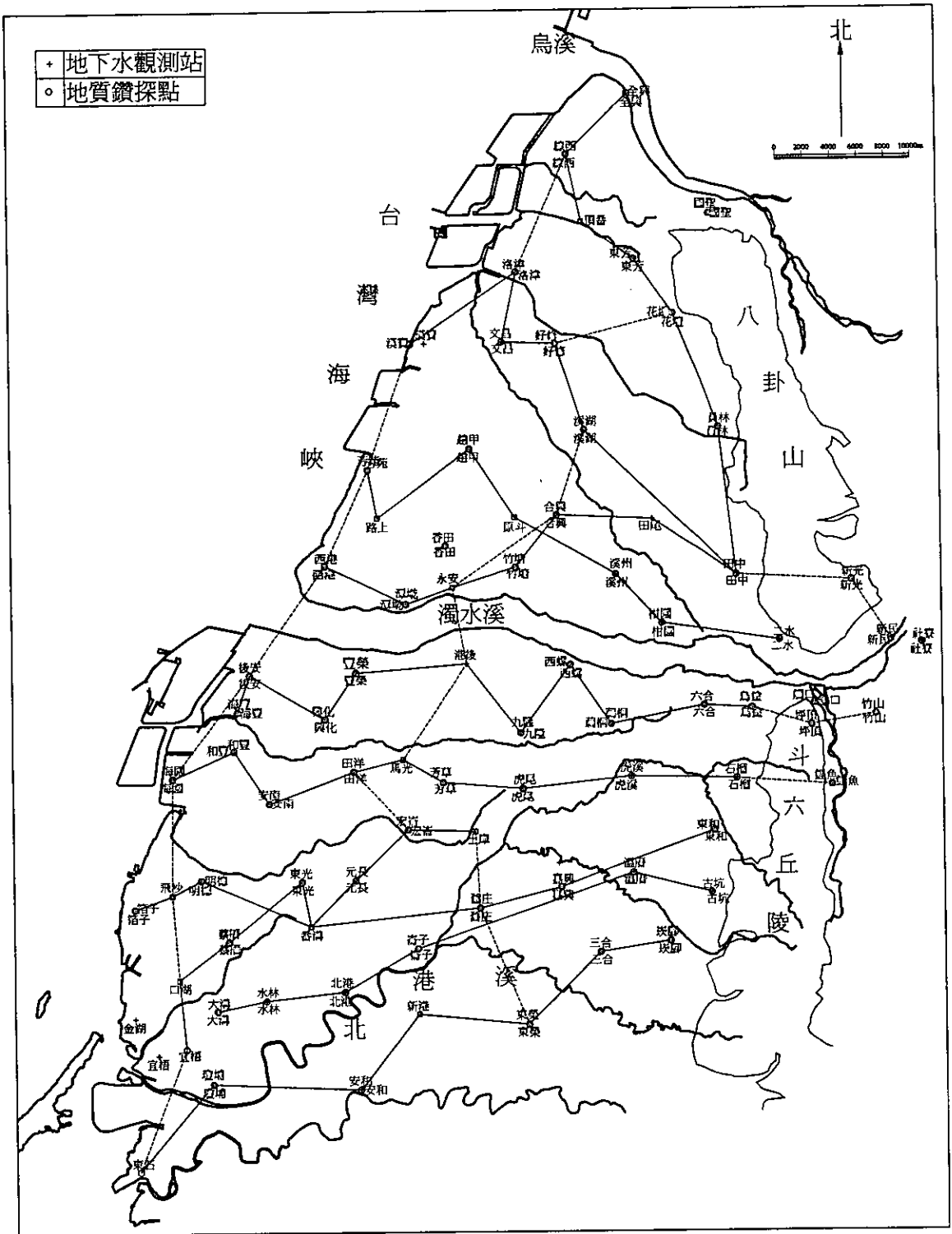


圖4-4 濁水溪沖積扇地質結構分析剖面線位置

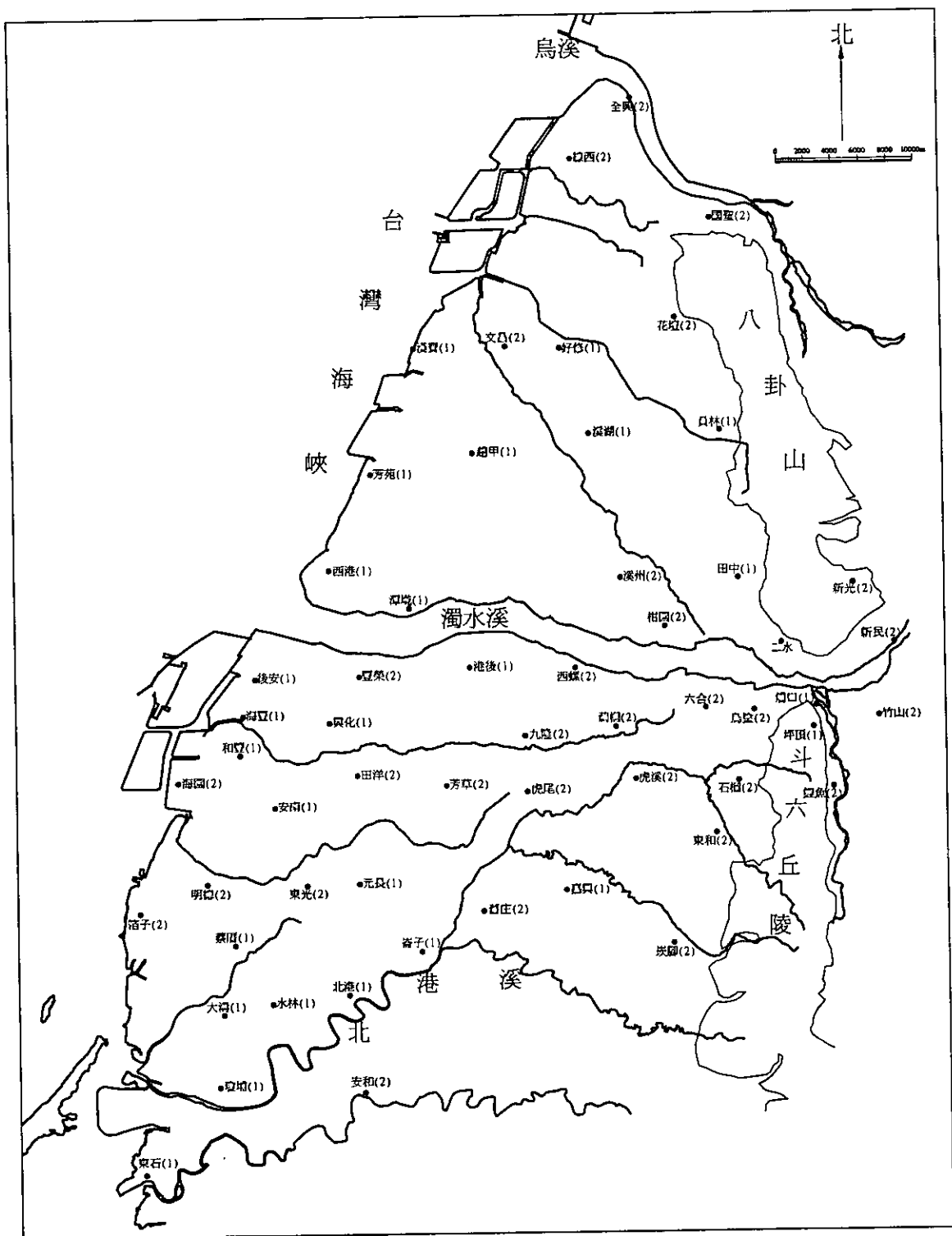


圖4-6 濁水溪沖積扇含水層2-1地下水位監測井位置

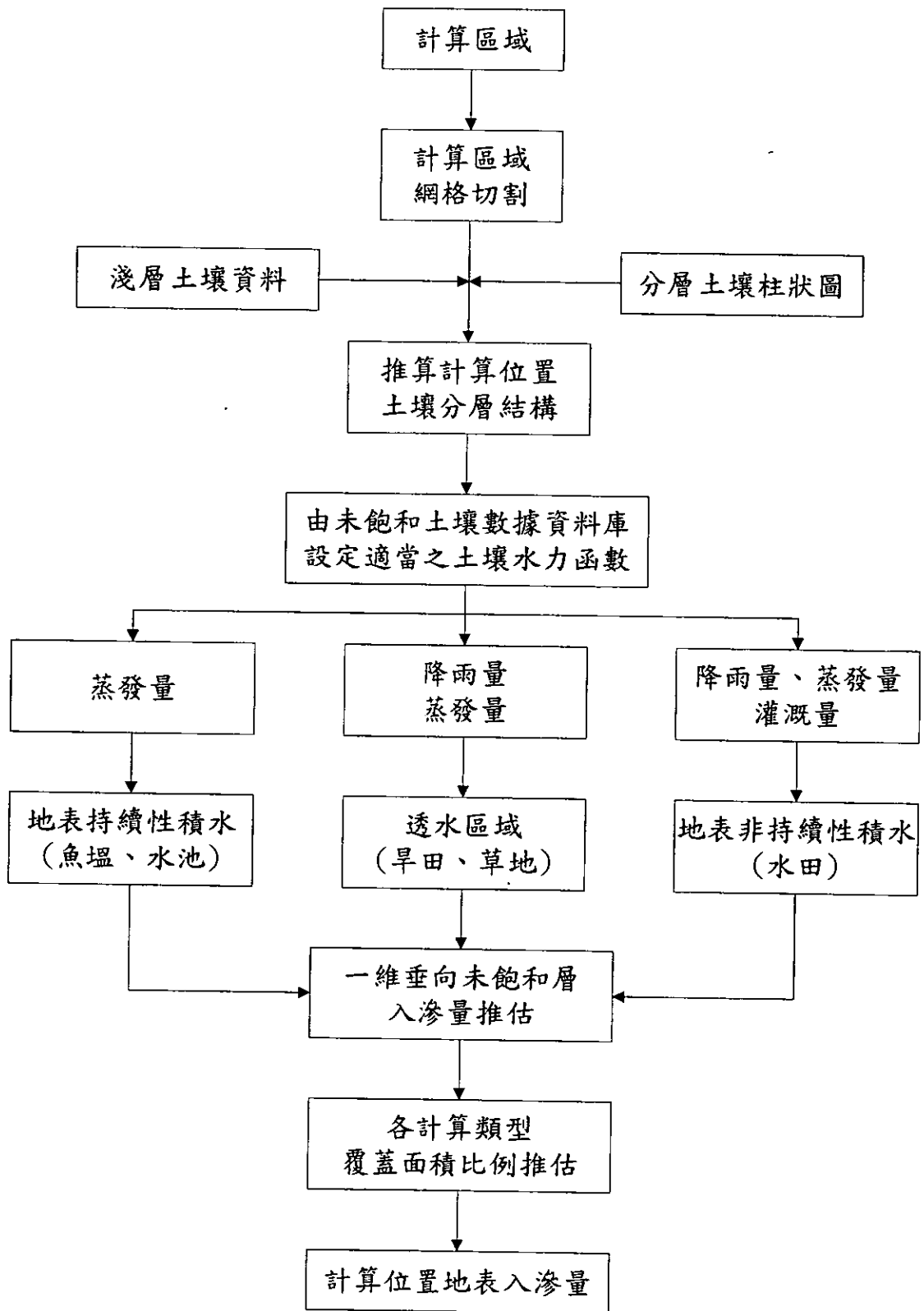


圖5-1 地表入滲量實地推算作業流程

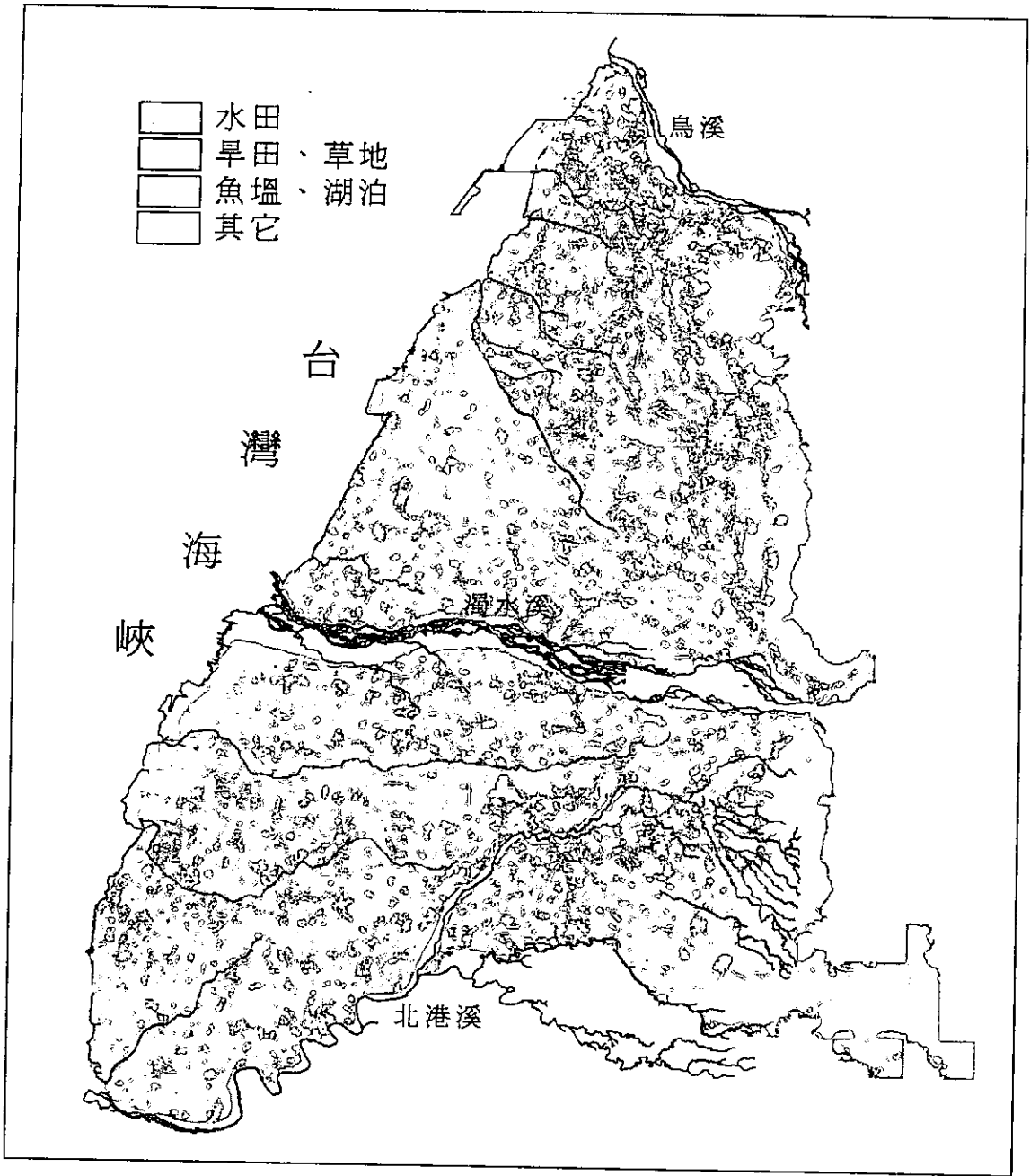


圖5-3 濁水溪沖積扇土地利用形態分布圖

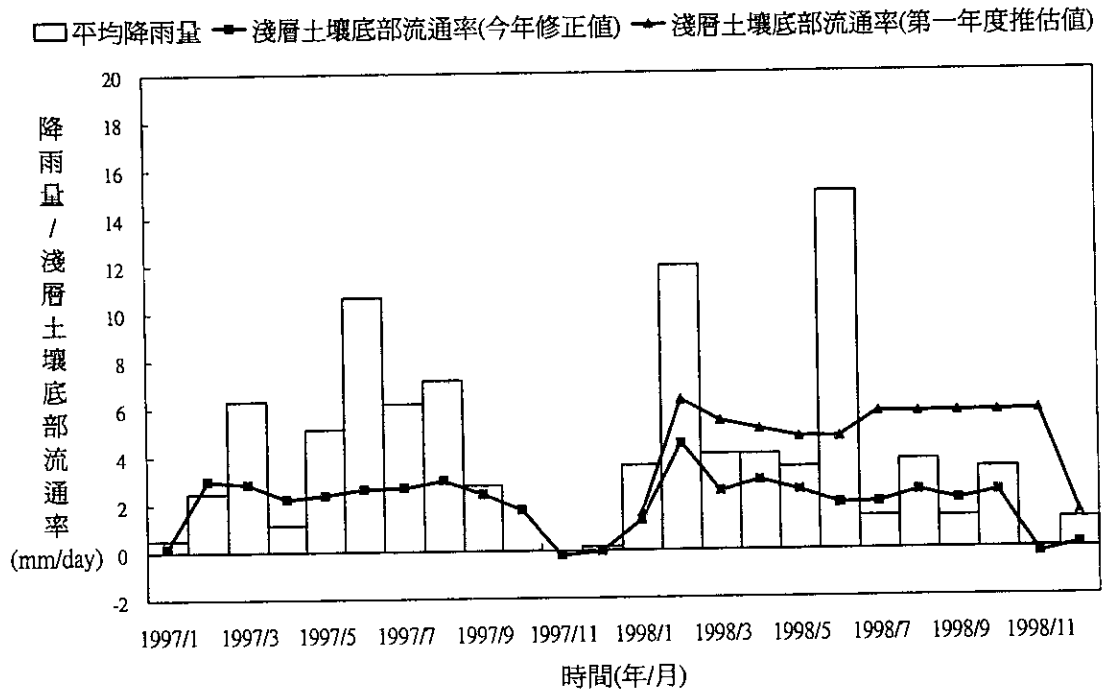


圖5-4 彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(鹿港)

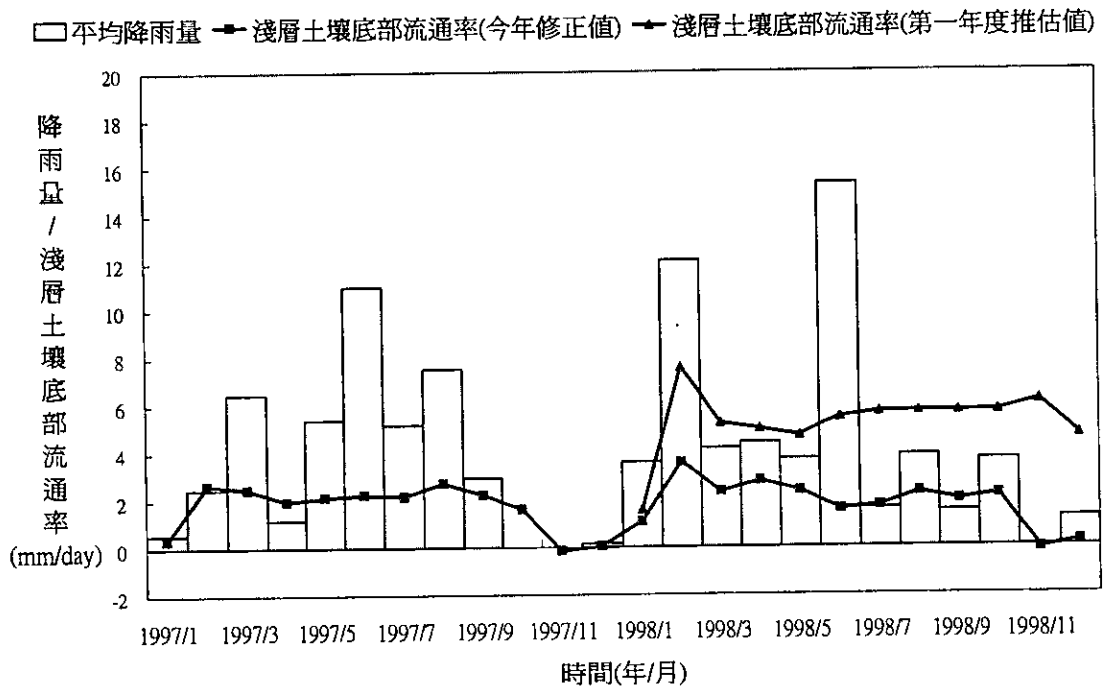


圖5-4 (續1)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(線西)

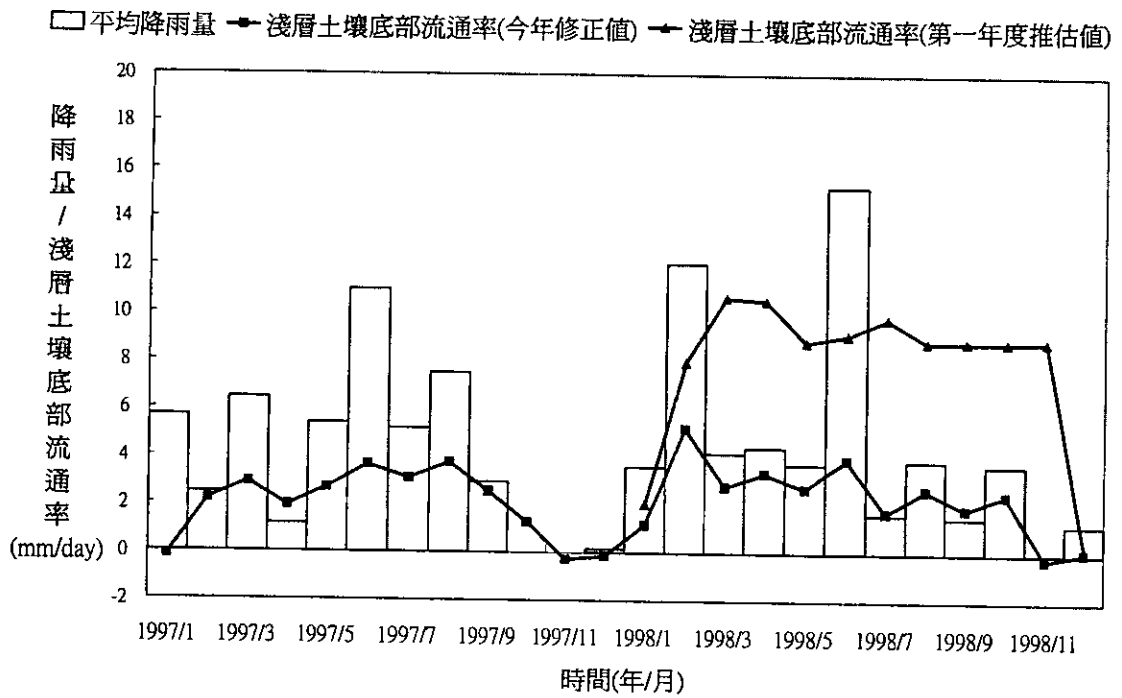


圖5-4 (續2)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(伸港)

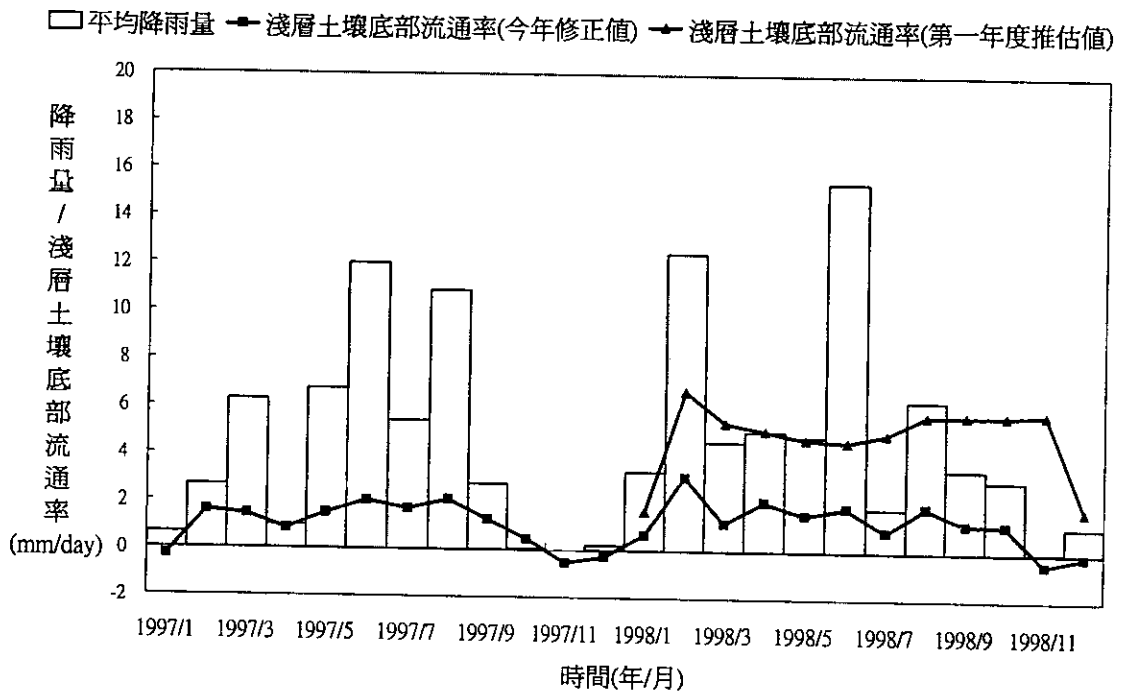


圖5-4 (續3)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(彰化)

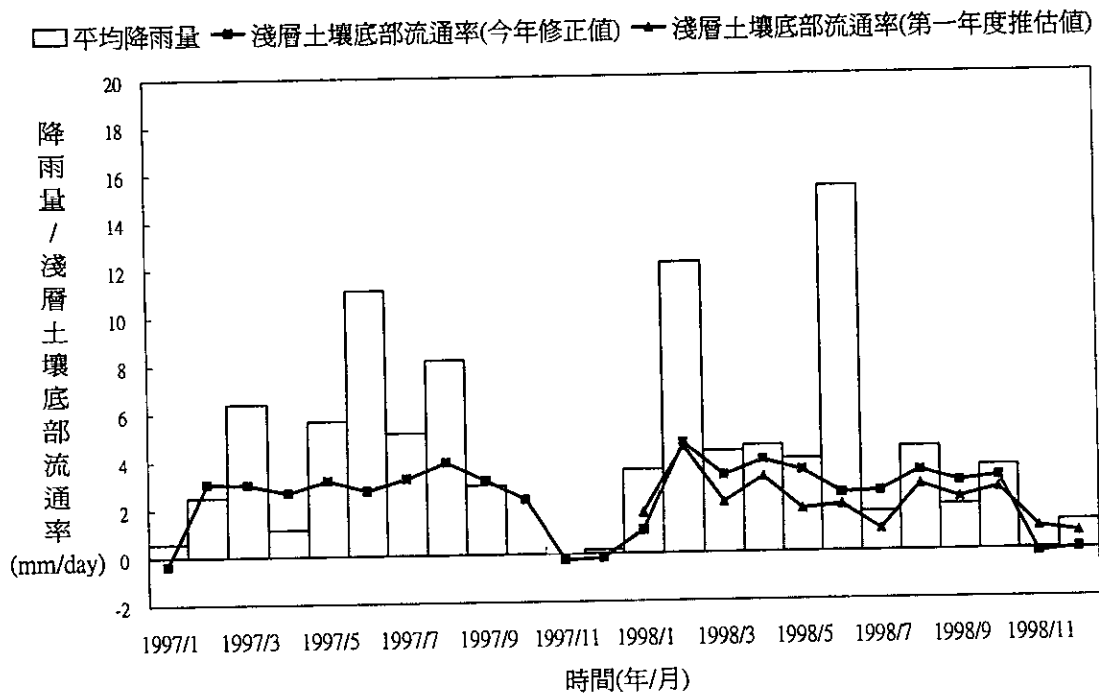


圖5-4 (續4)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(和美)

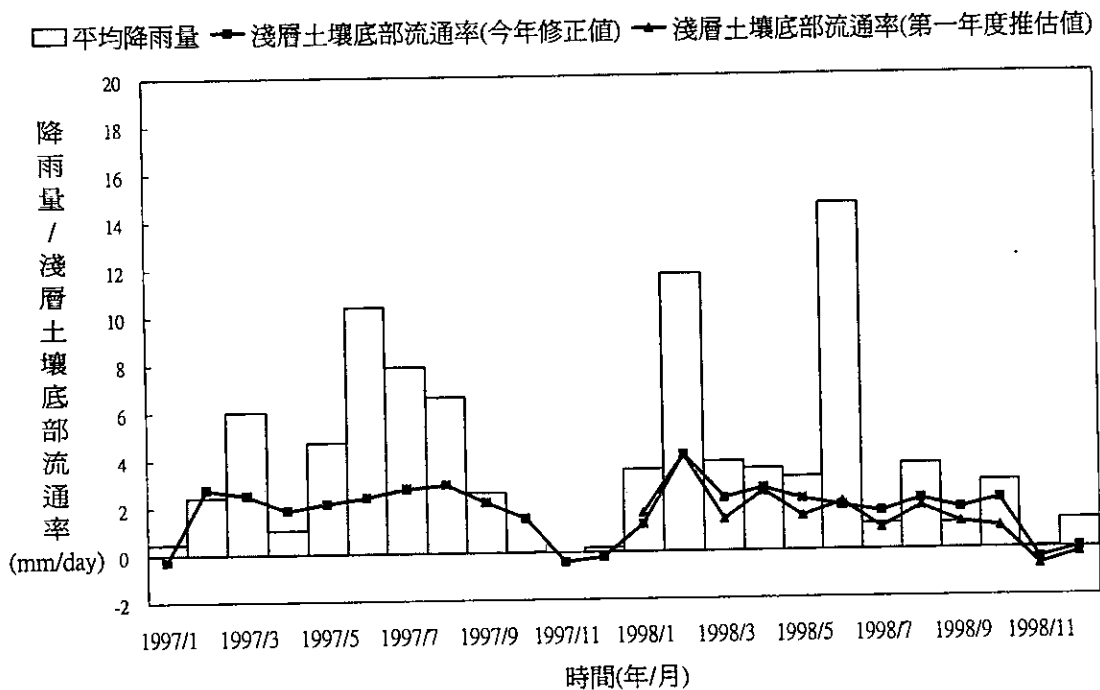


圖5-4 (續5)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(福興)

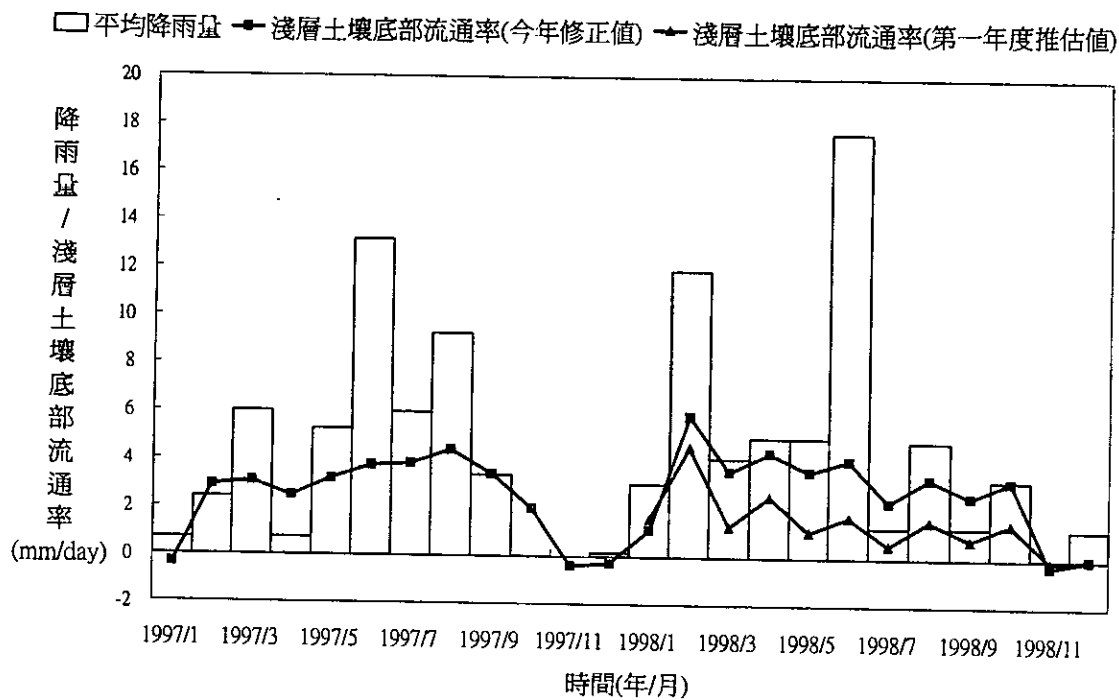


圖5-4 (續6)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(埔鹽)

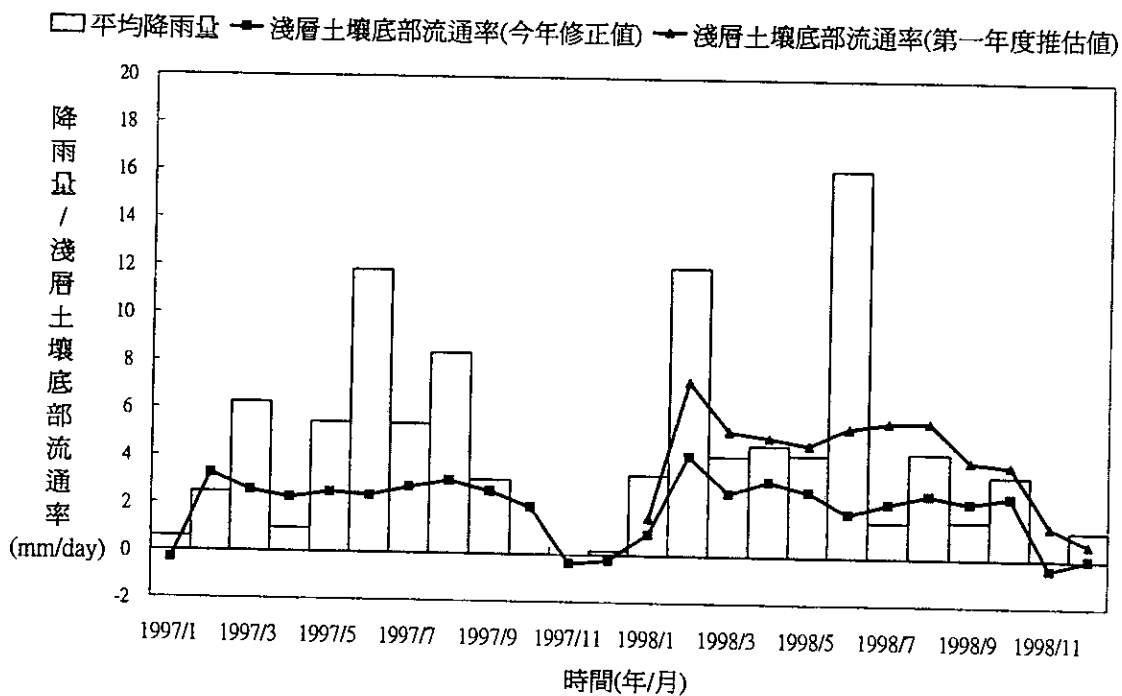


圖5-4 (續7)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(秀水)

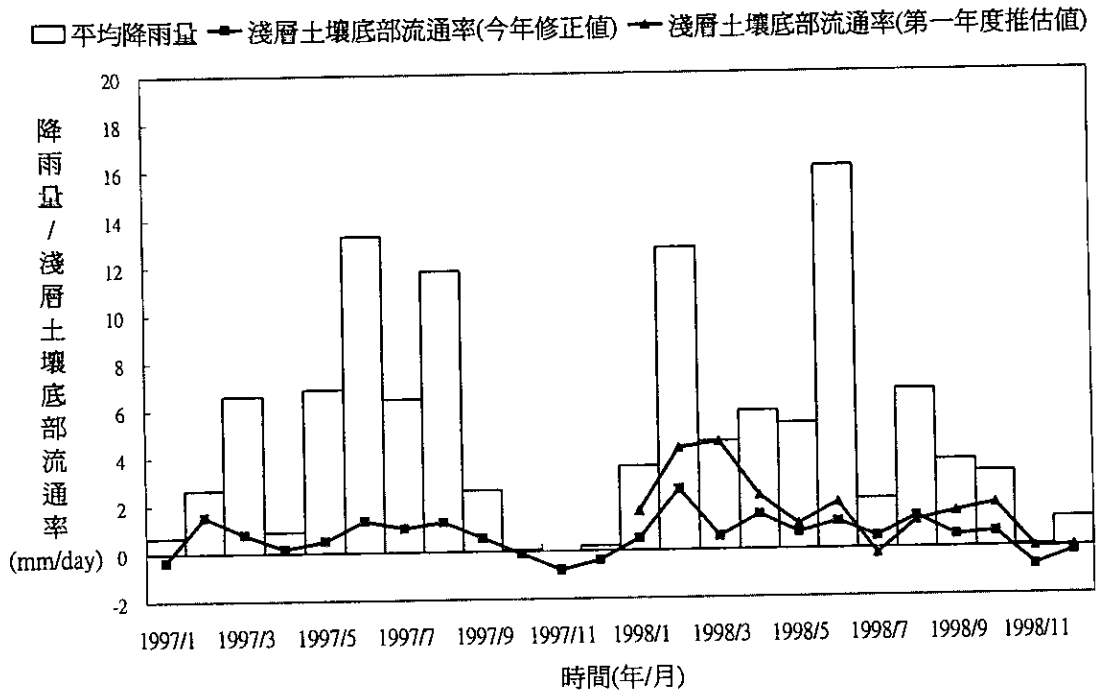


圖5-4 (續8)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(花壇)

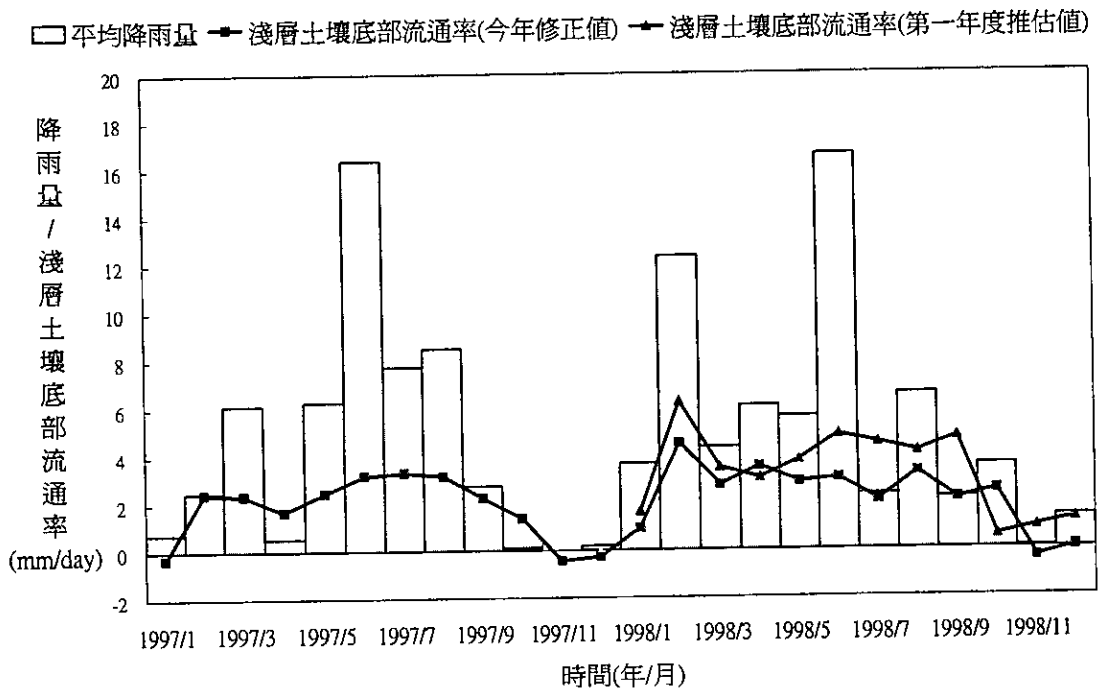


圖5-4 (續9)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(大村)

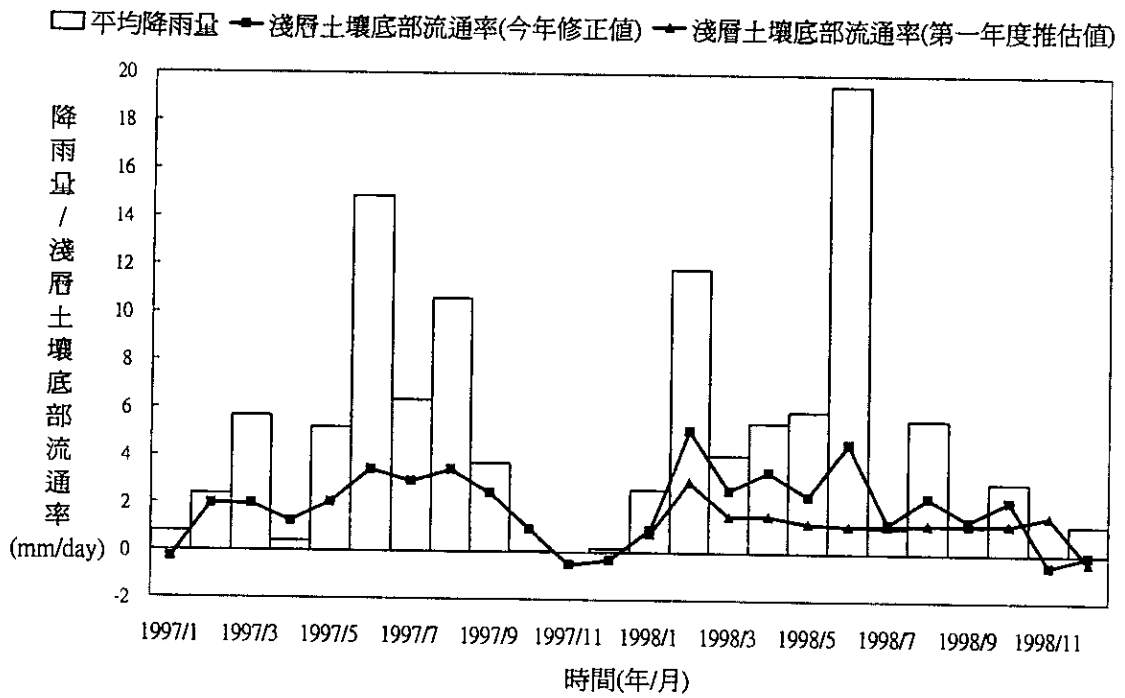


圖5-4 (續10)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(溪湖)

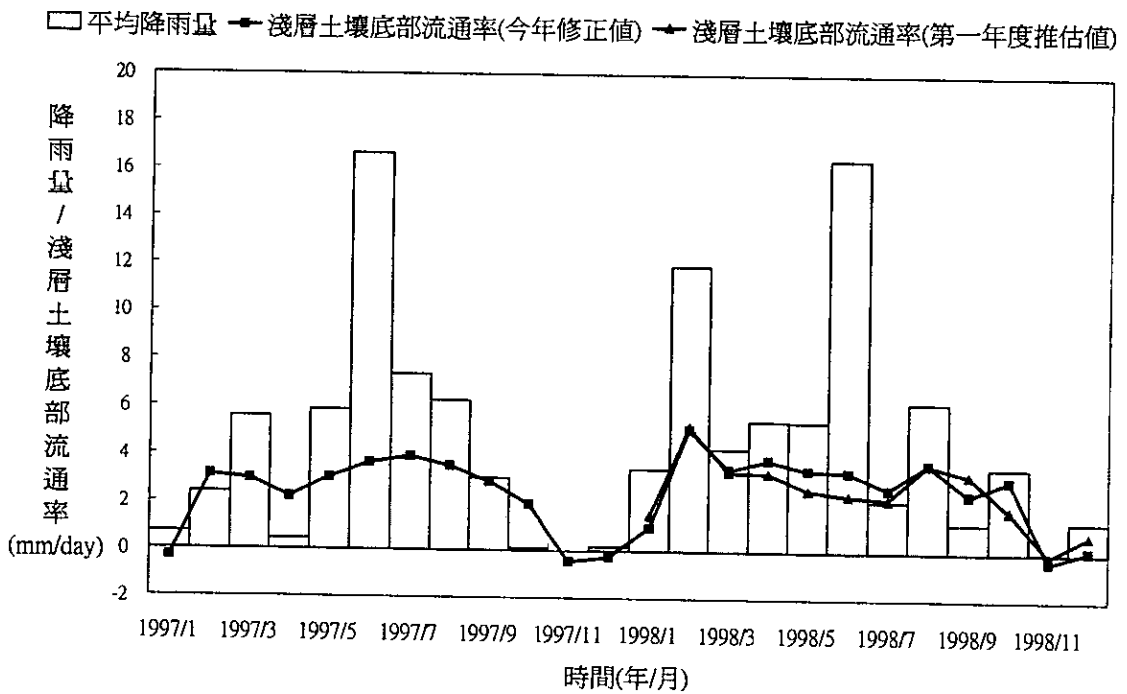


圖5-4 (續11)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(永靖)

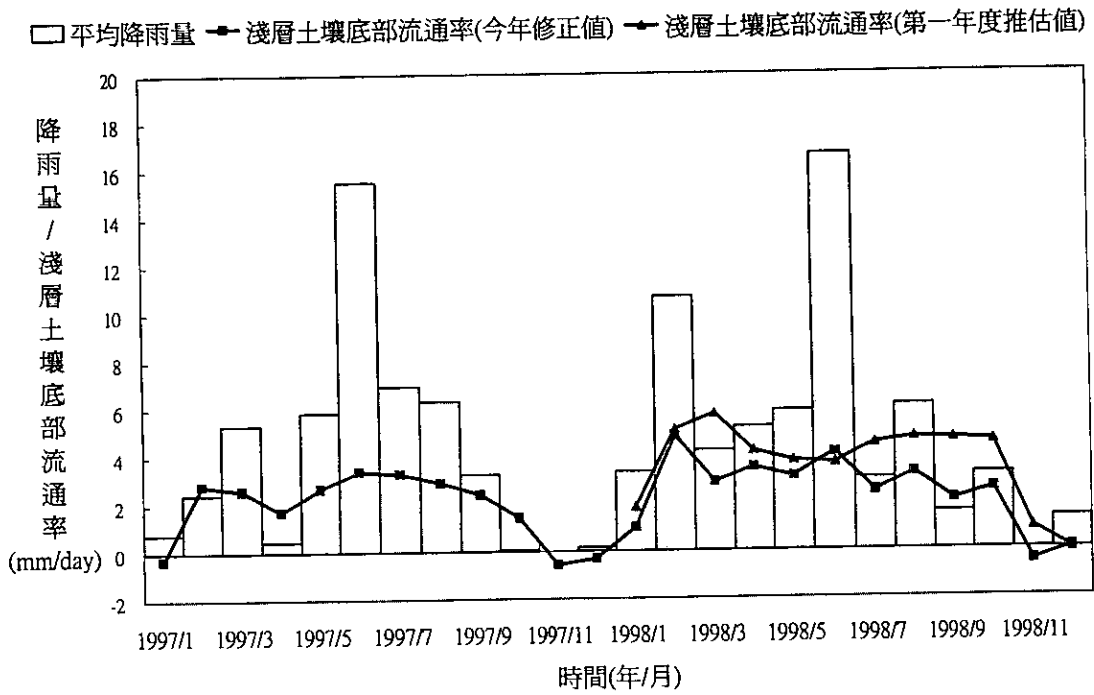


圖5-4 (續12)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(田尾)

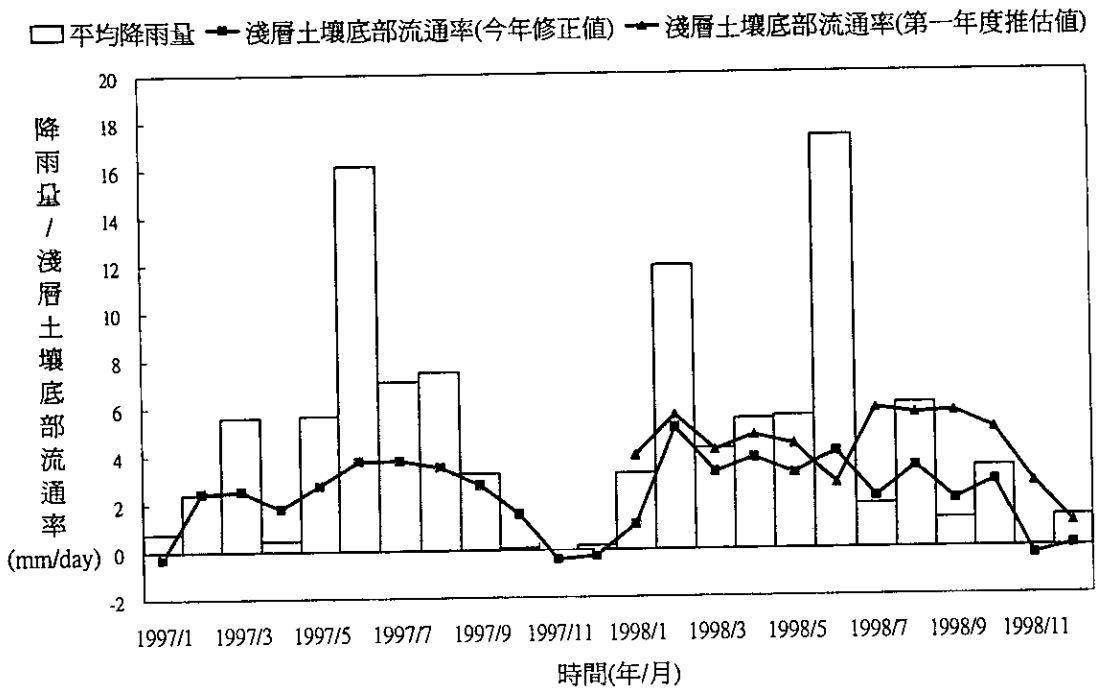


圖5-4 (續13)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(埔心)

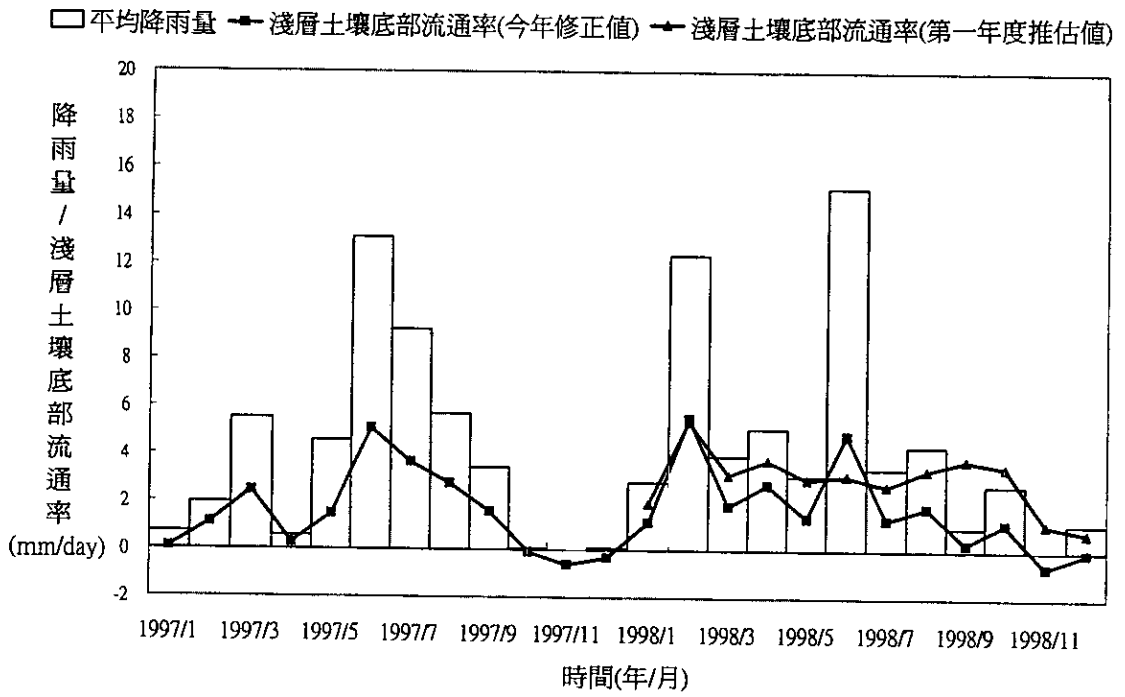


圖5-4 (續14)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(芳苑)

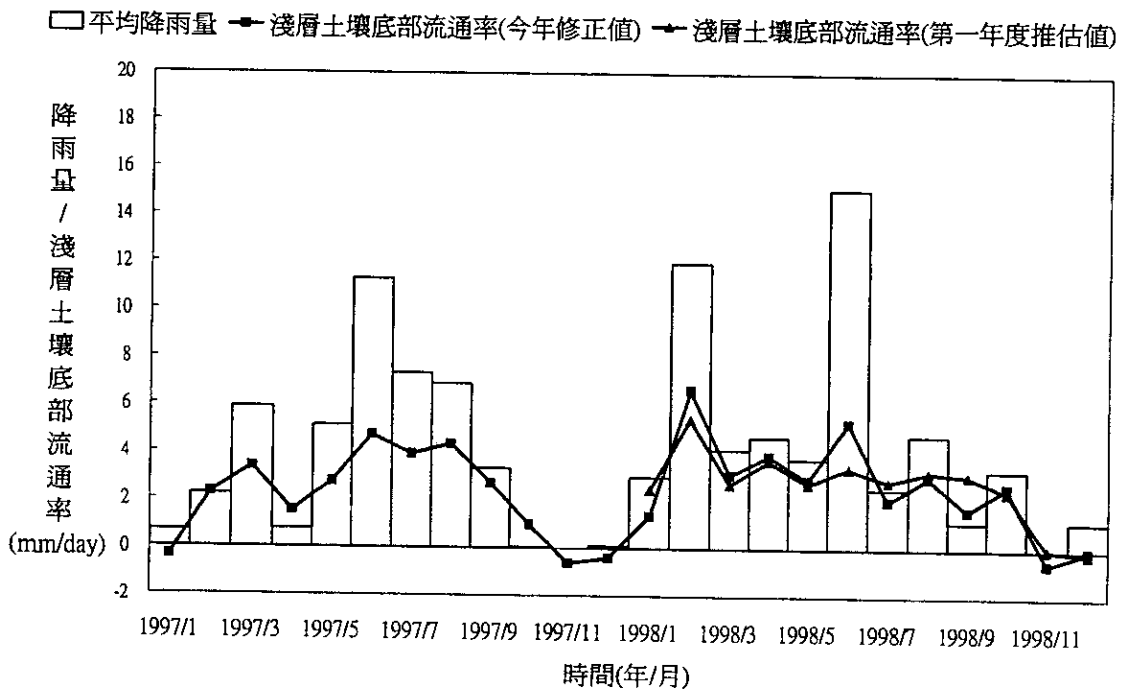


圖5-4 (續15)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(二林)

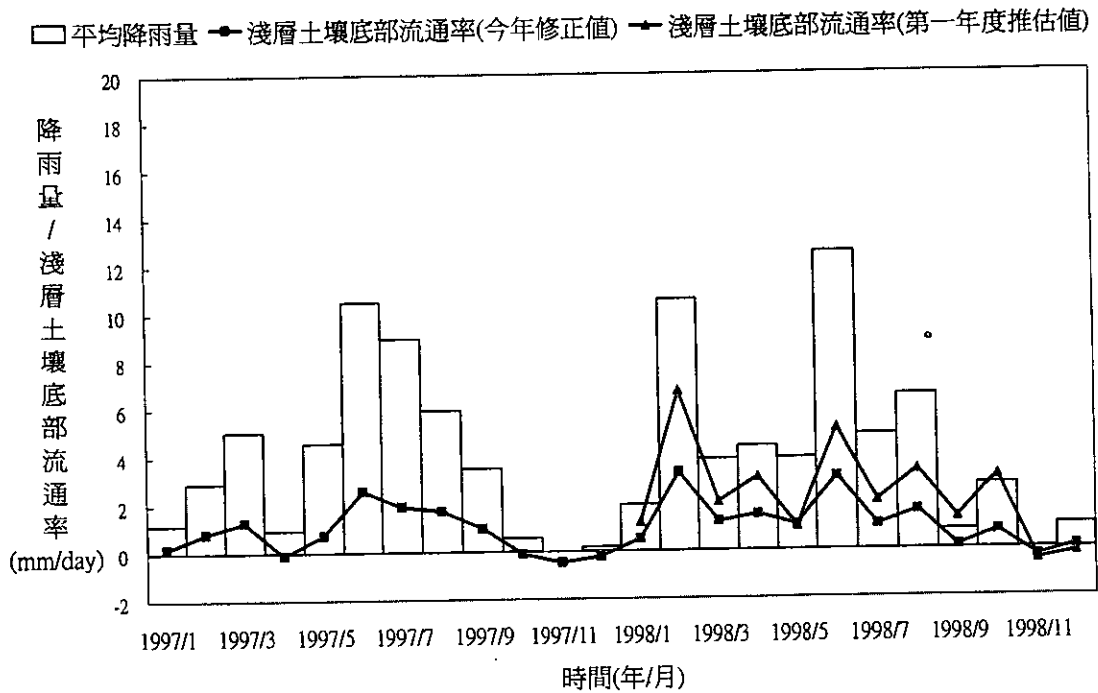


圖5-4 (續16)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(大城)

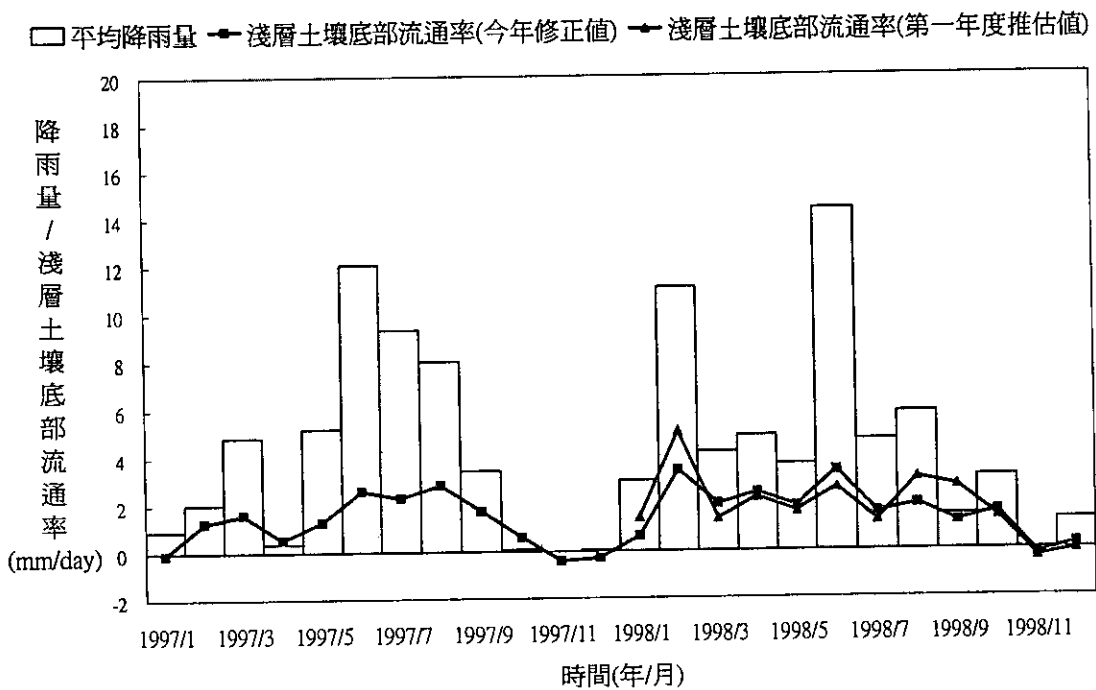


圖5-4 (續17)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(竹塘)

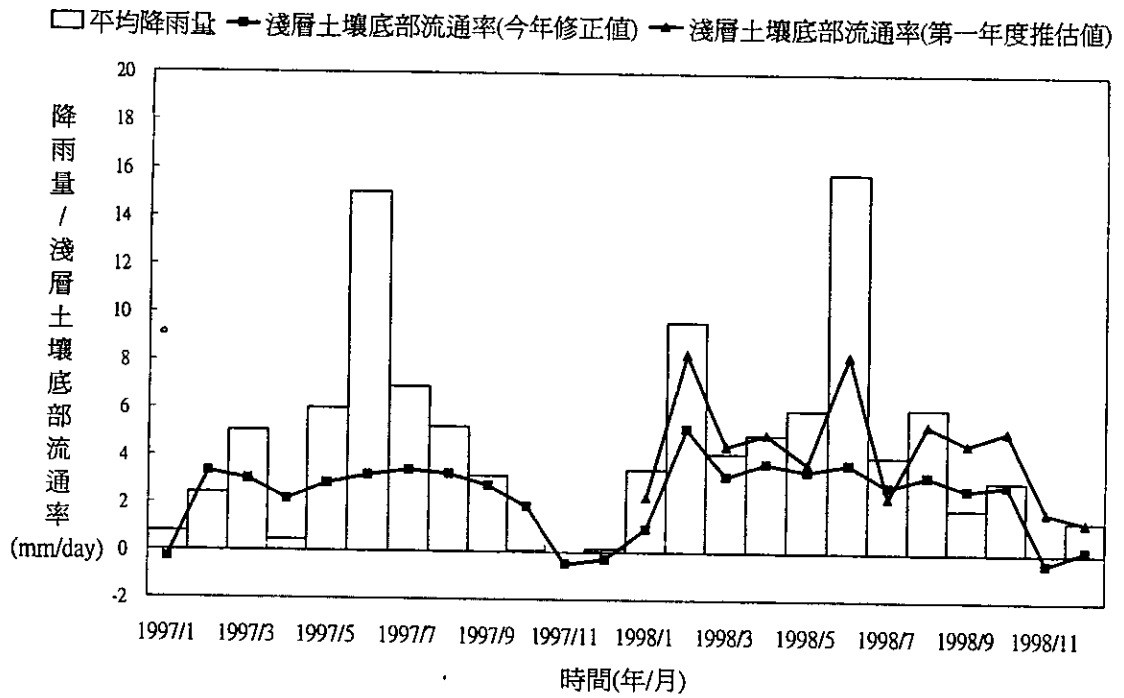


圖5-4 (續18)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(埤頭)

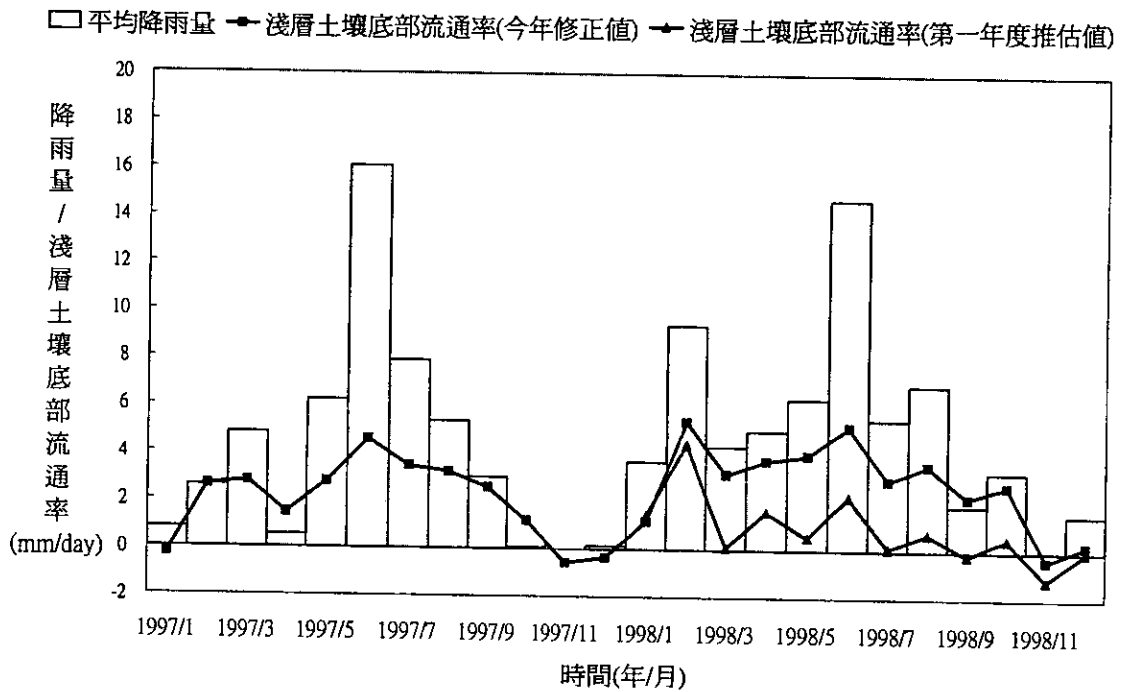


圖5-4 (續19)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(北斗)

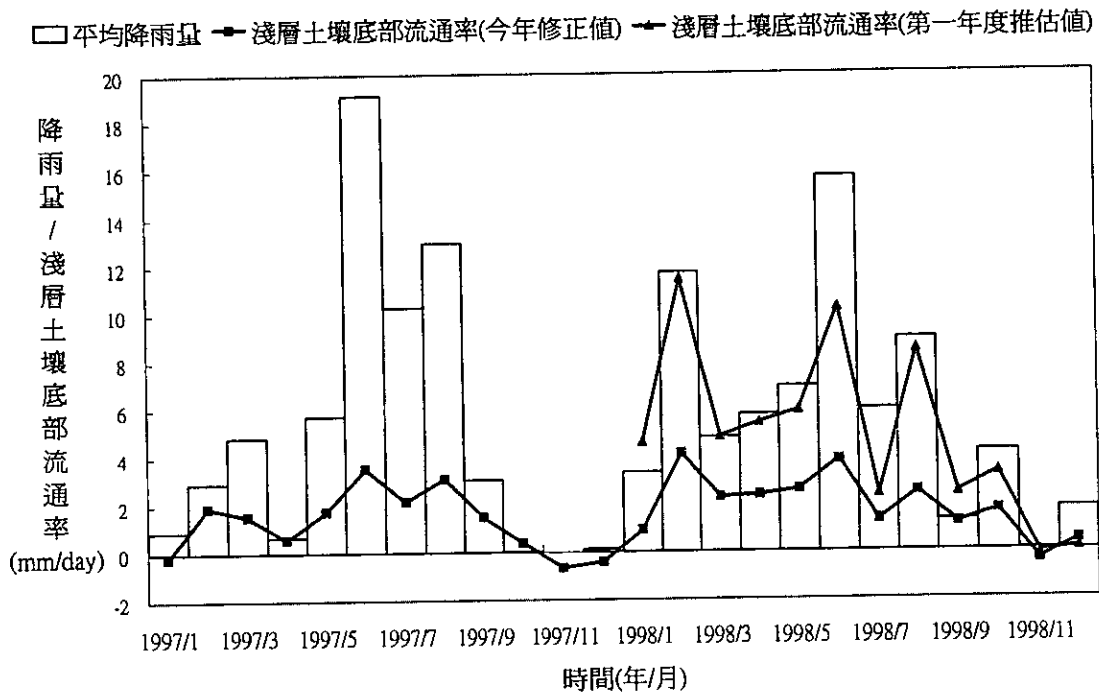


圖5-4 (續20)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(田中)

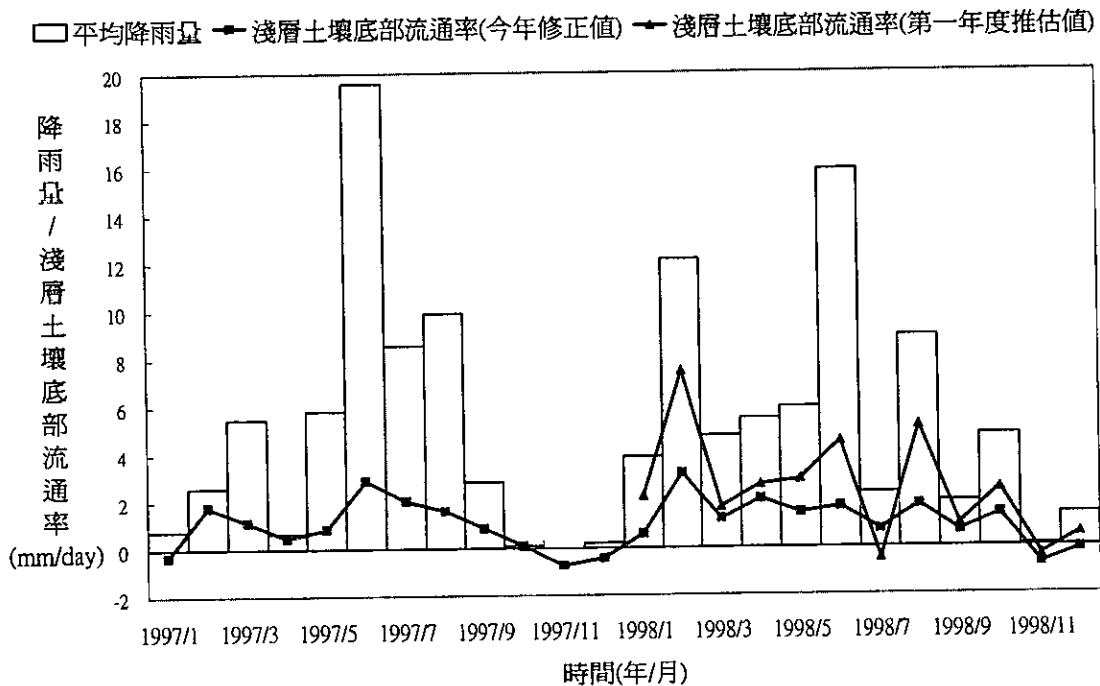


圖5-4 (續21)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(社頭)

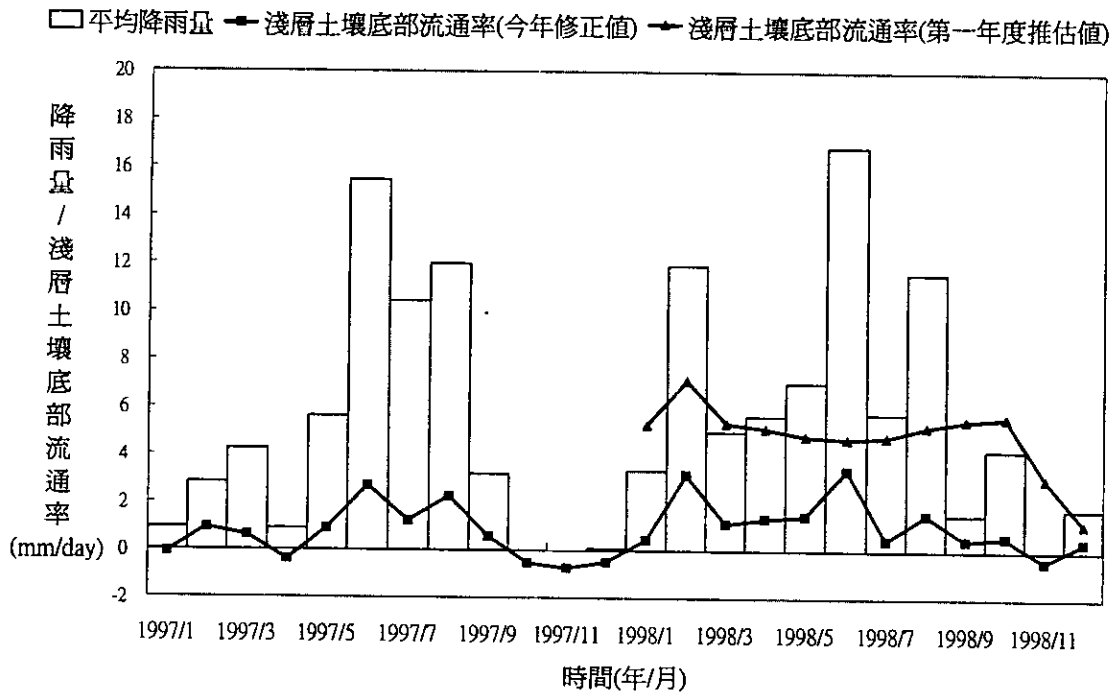


圖5-4 (續22)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(二水)

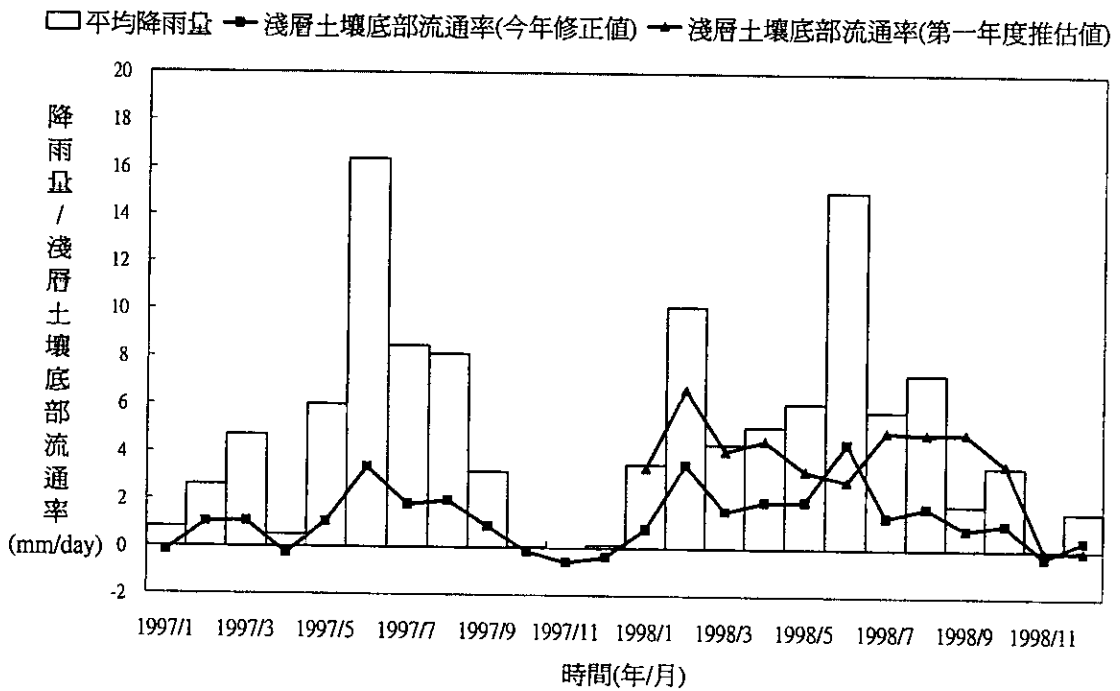


圖5-4 (續23)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(溪州)

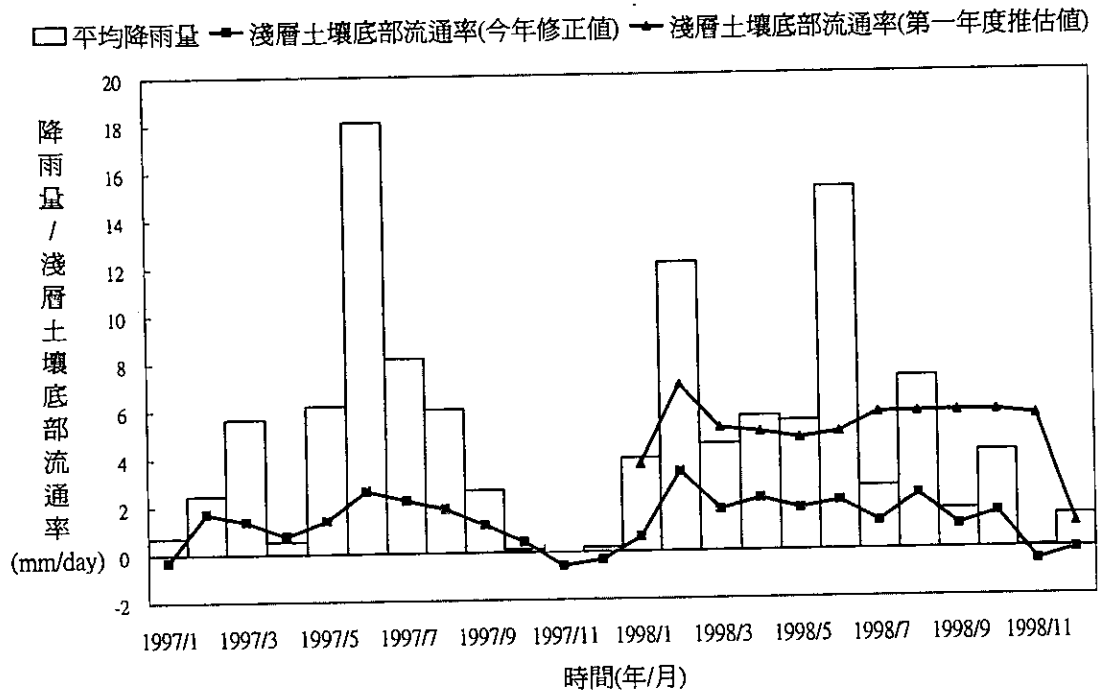


圖5-4 (續24)彰化地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(員林)

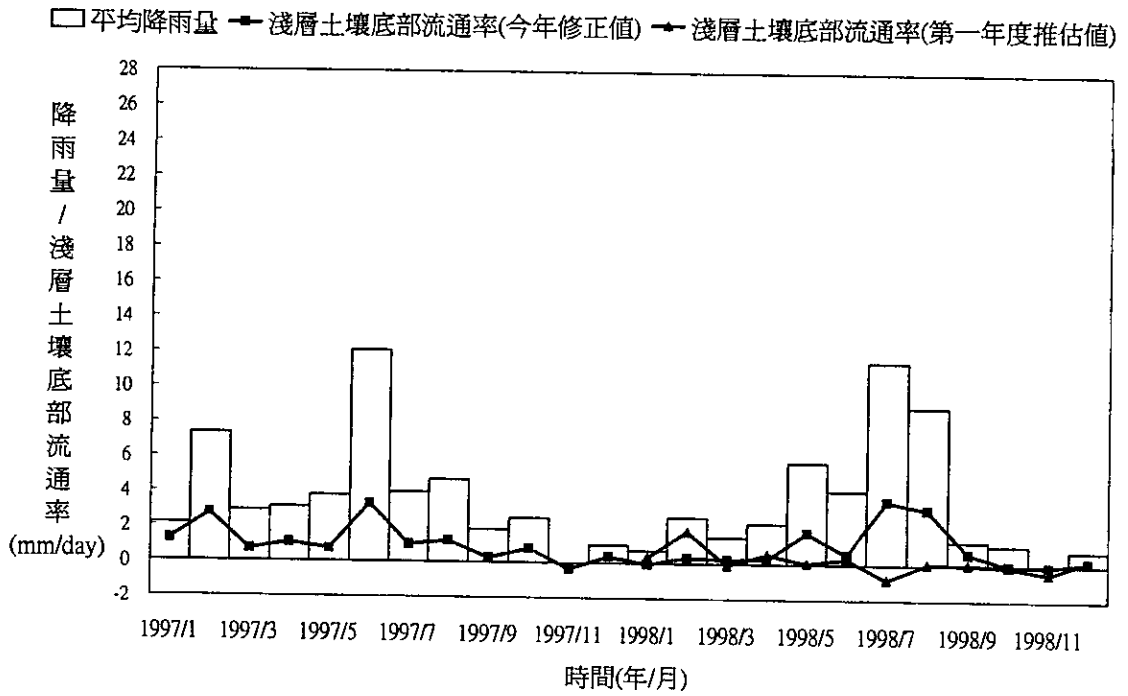


圖5-5 雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(麥寮)

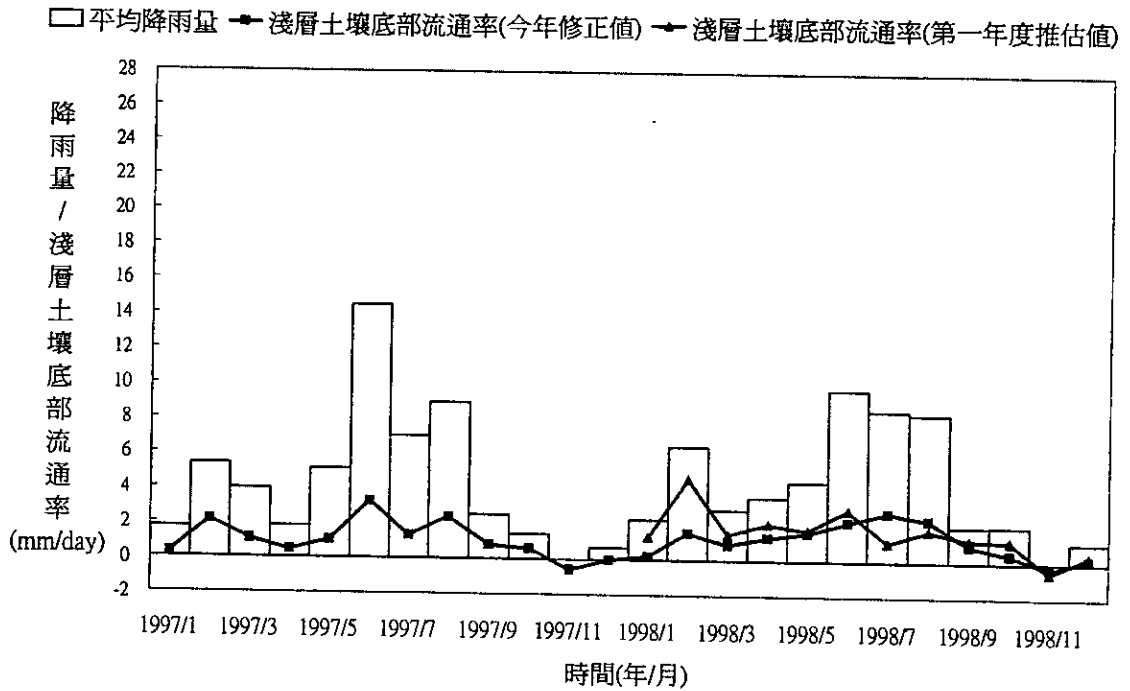


圖5-5 (續1)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(二崙)

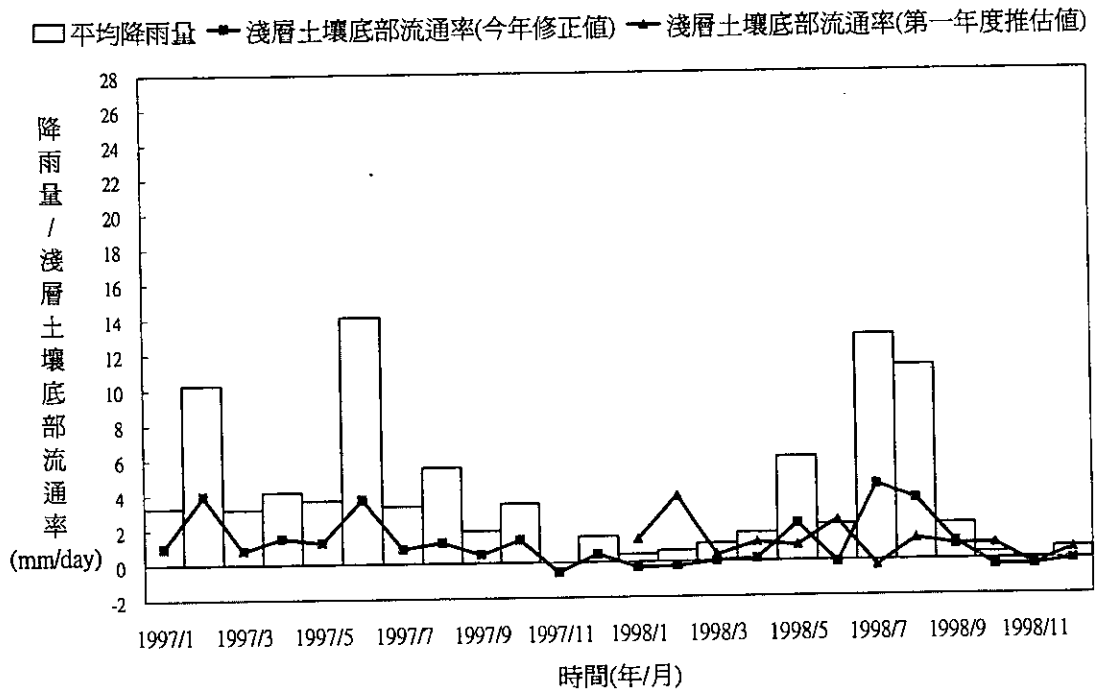


圖5-5 (續2)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(崙背)

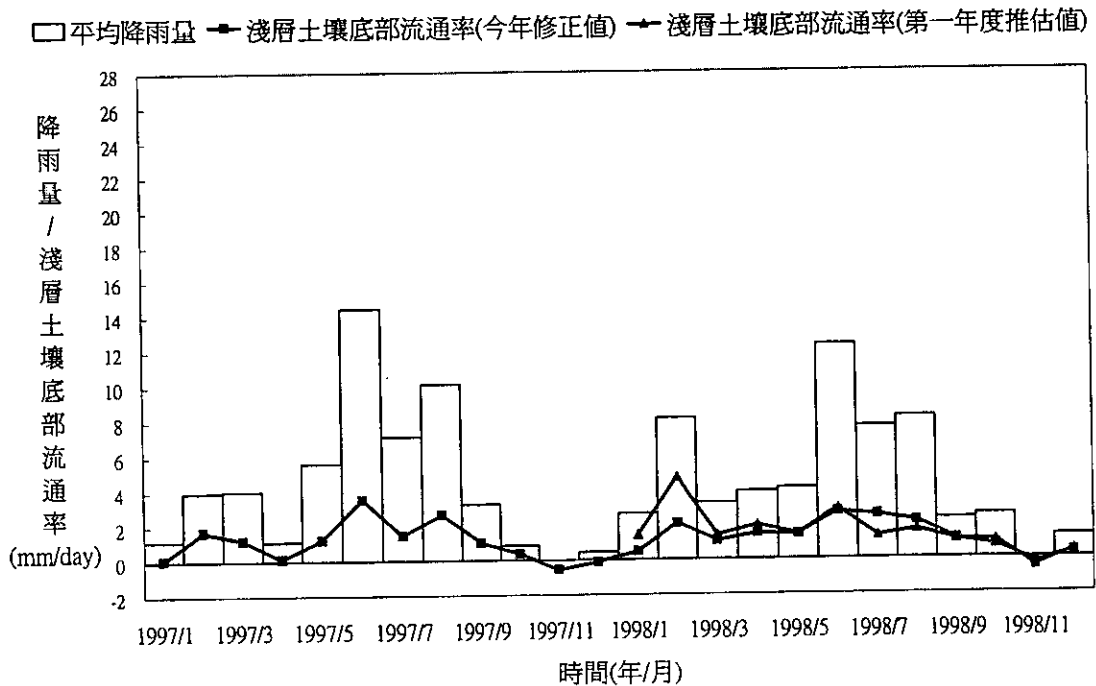


圖5-5 (續3)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(西螺)

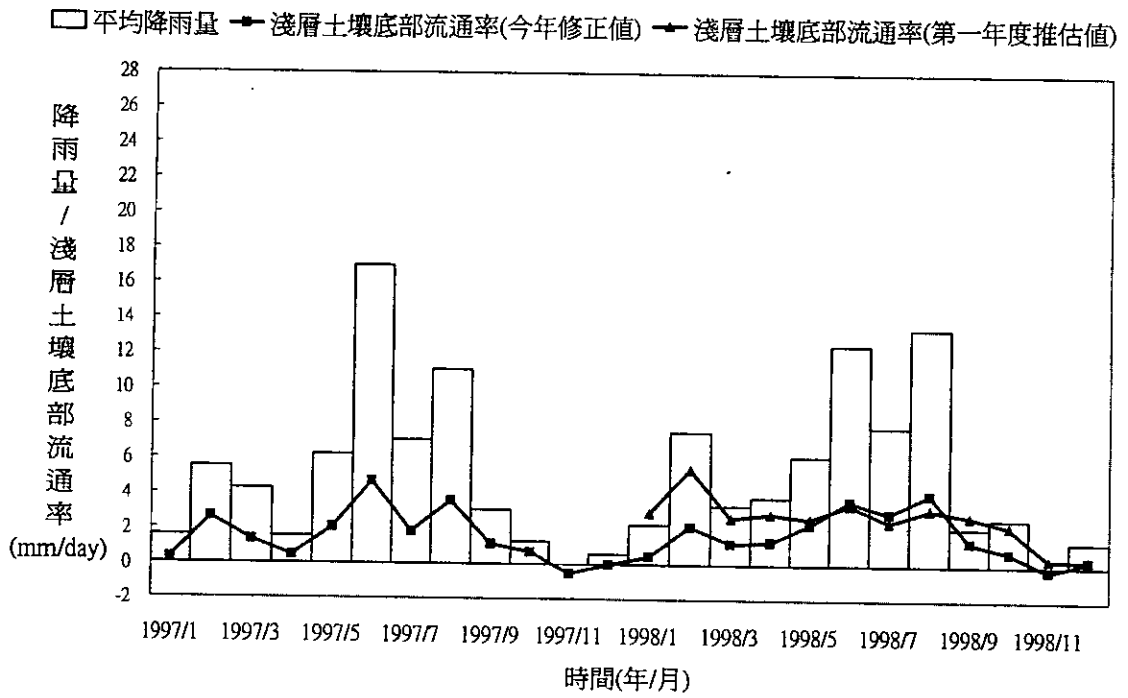


圖5-5 (續4)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(蔴荳)

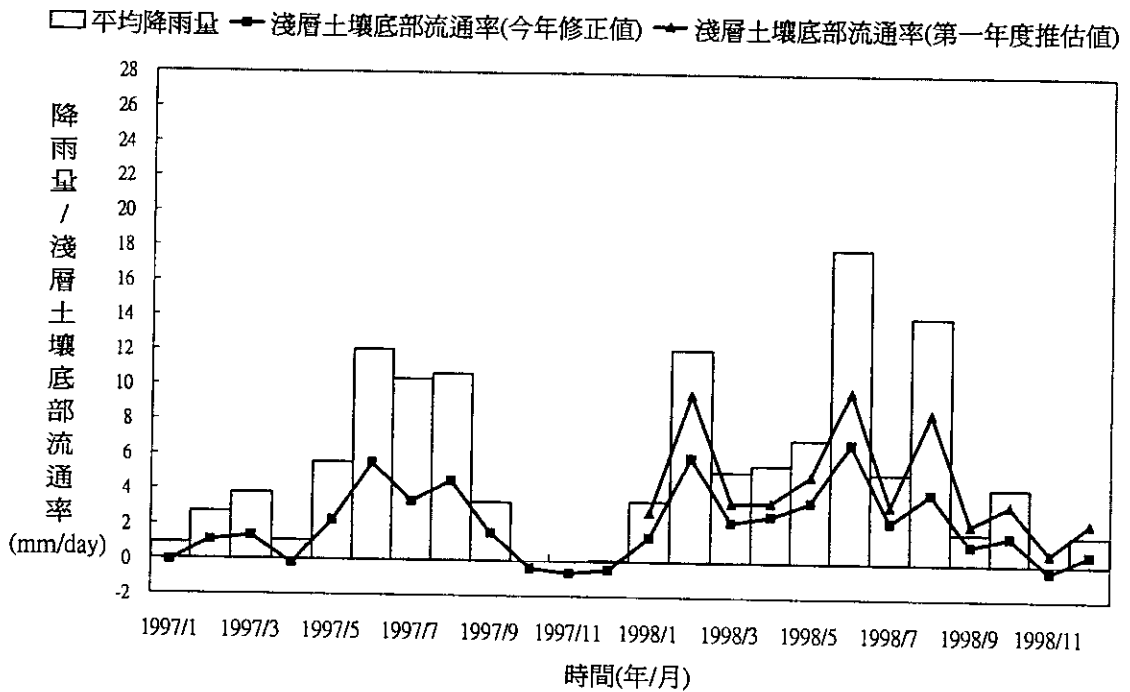


圖5-5 (續5)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(林內)

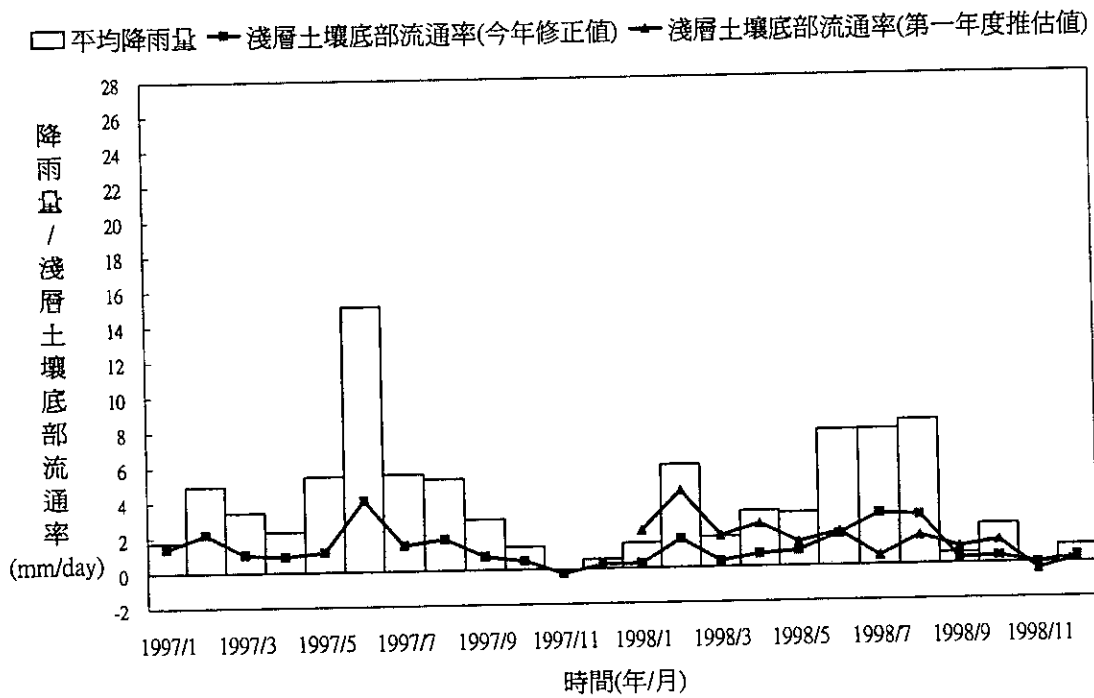


圖5-5 (續6)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(台西)

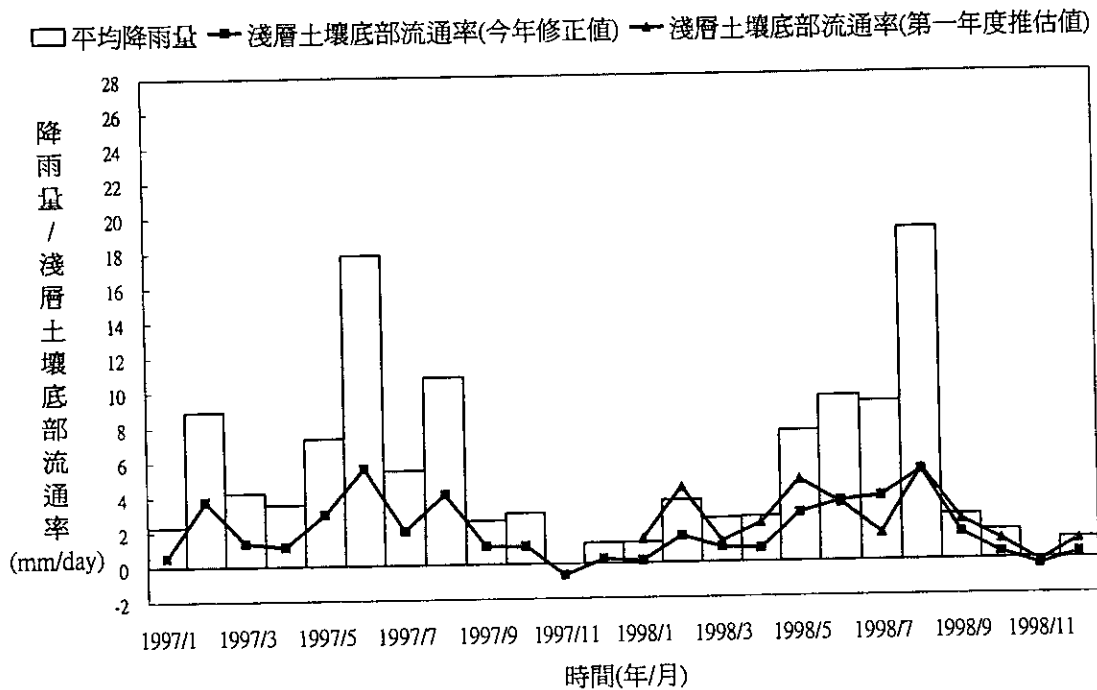


圖5-5 (續7)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(斗六)

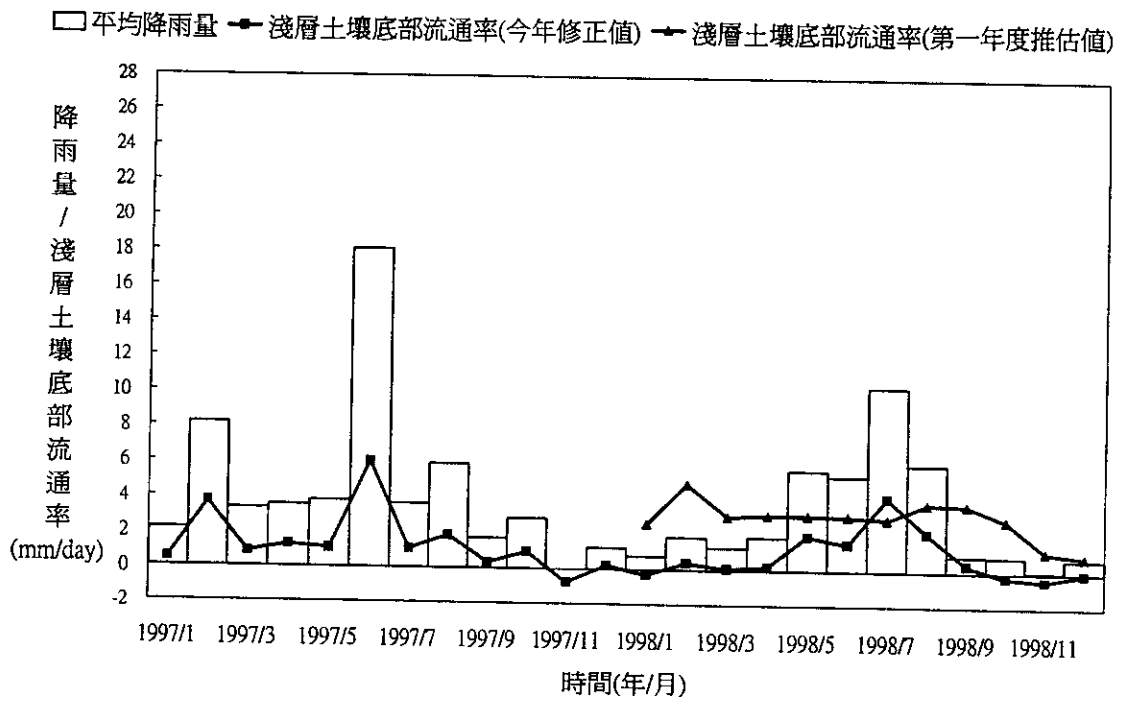


圖5-5 (續8)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(土庫)

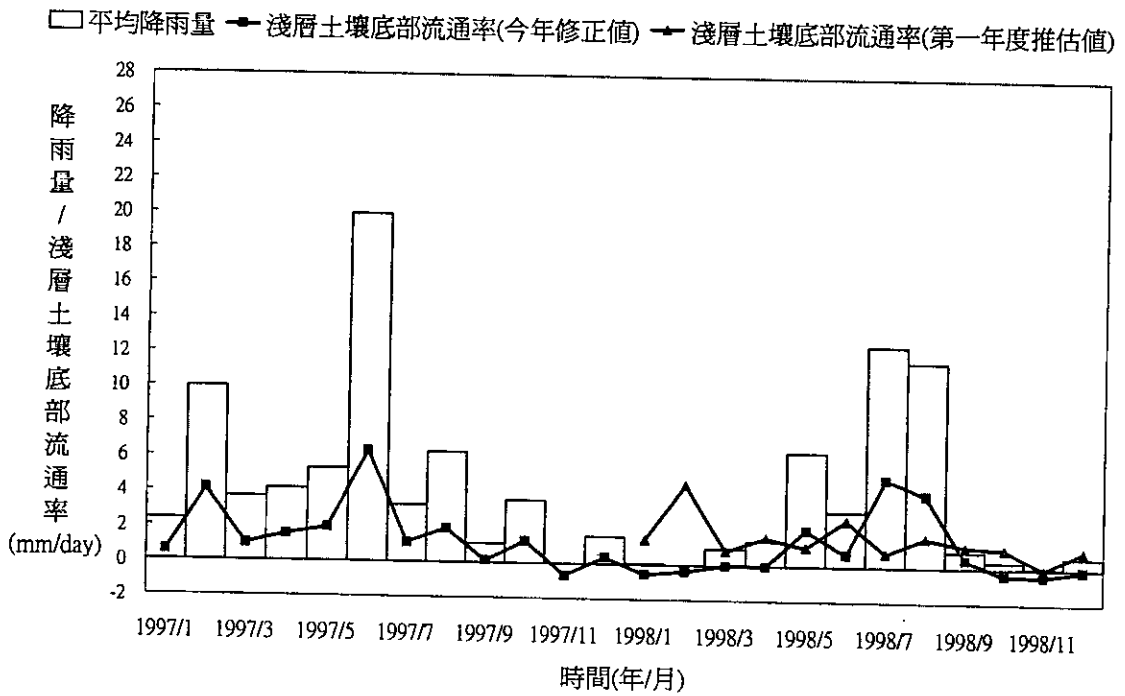


圖5-5 (續9)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(虎尾)

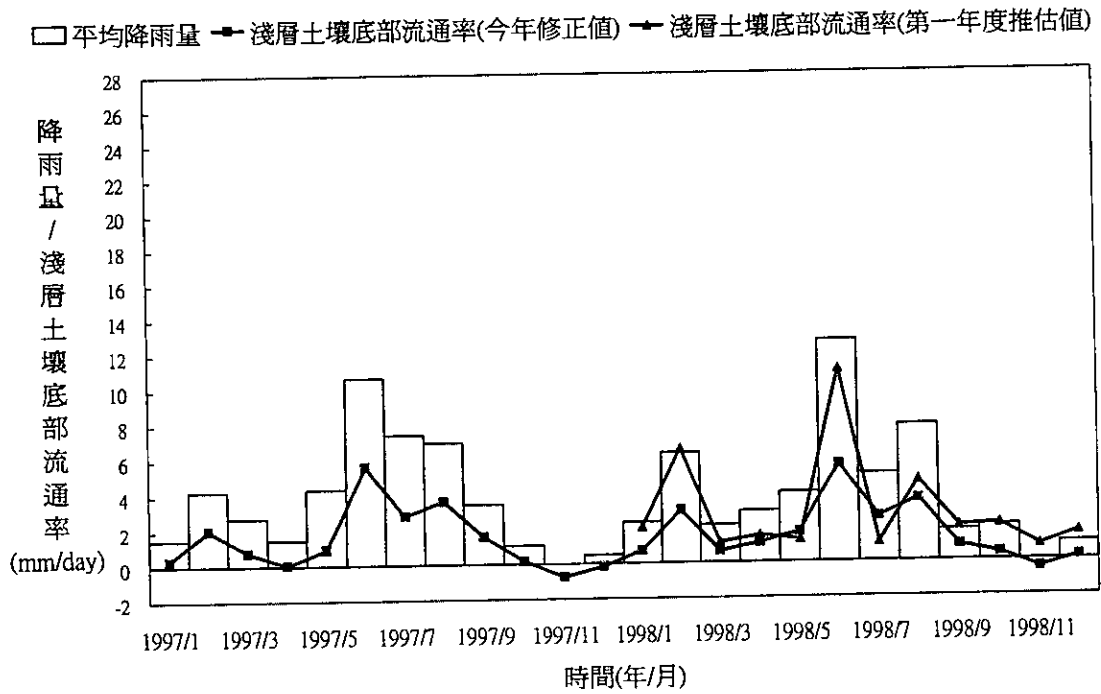


圖5-5 (續10)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(褒忠)

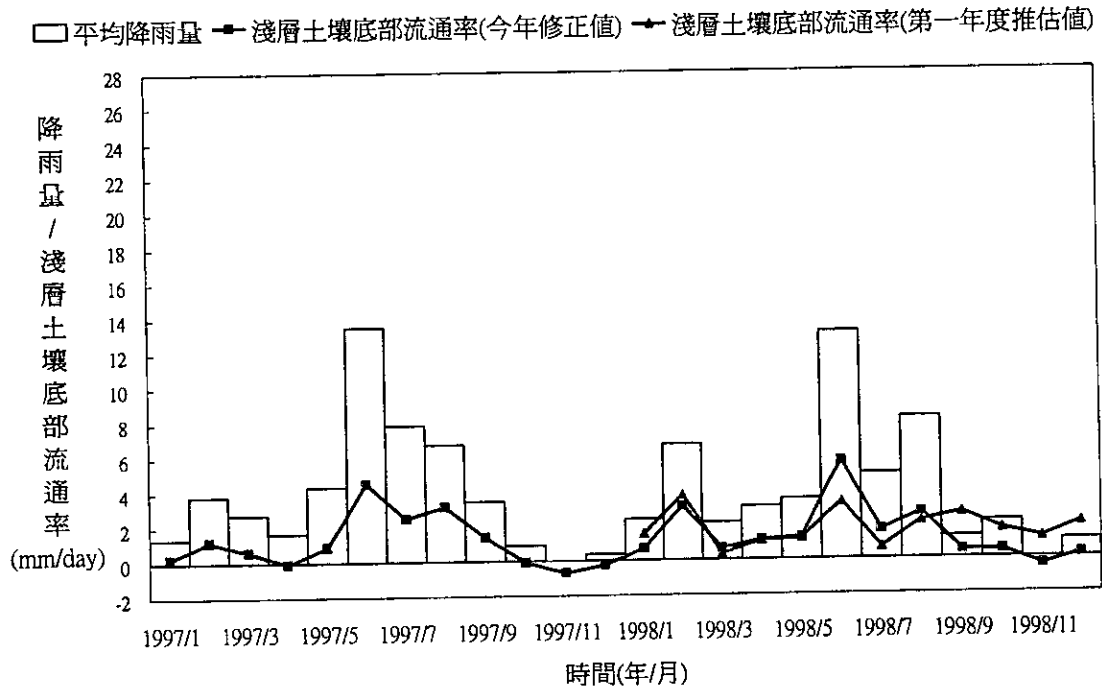


圖5-5 (續11)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(東勢)

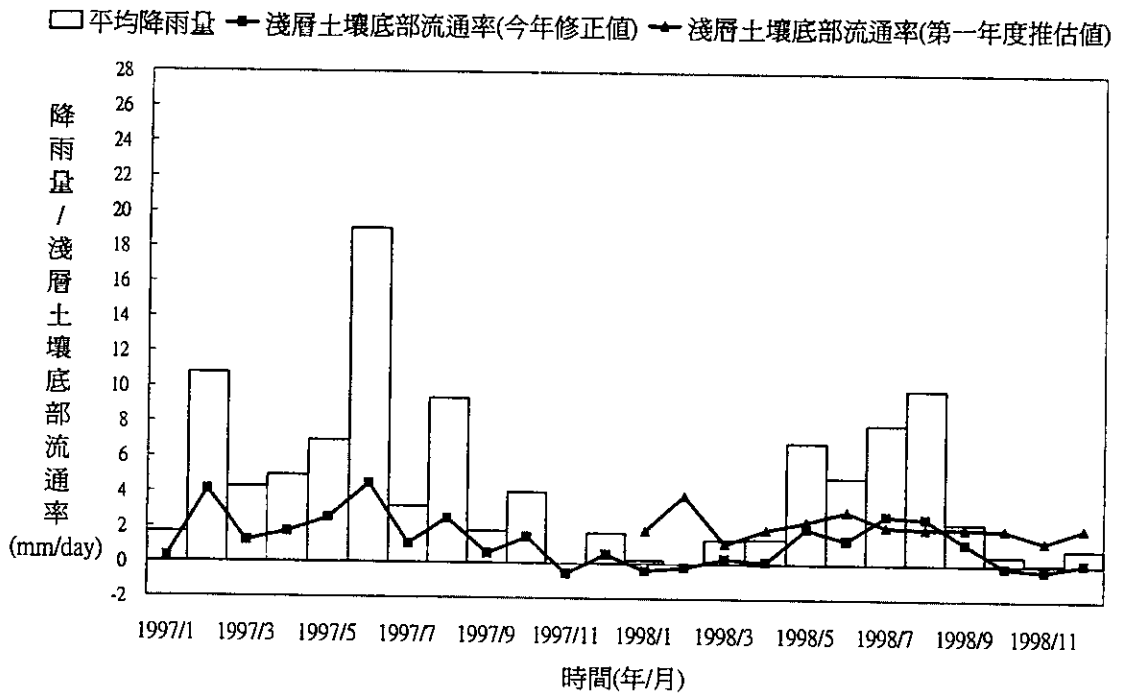


圖5-5 (續12)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(斗南)

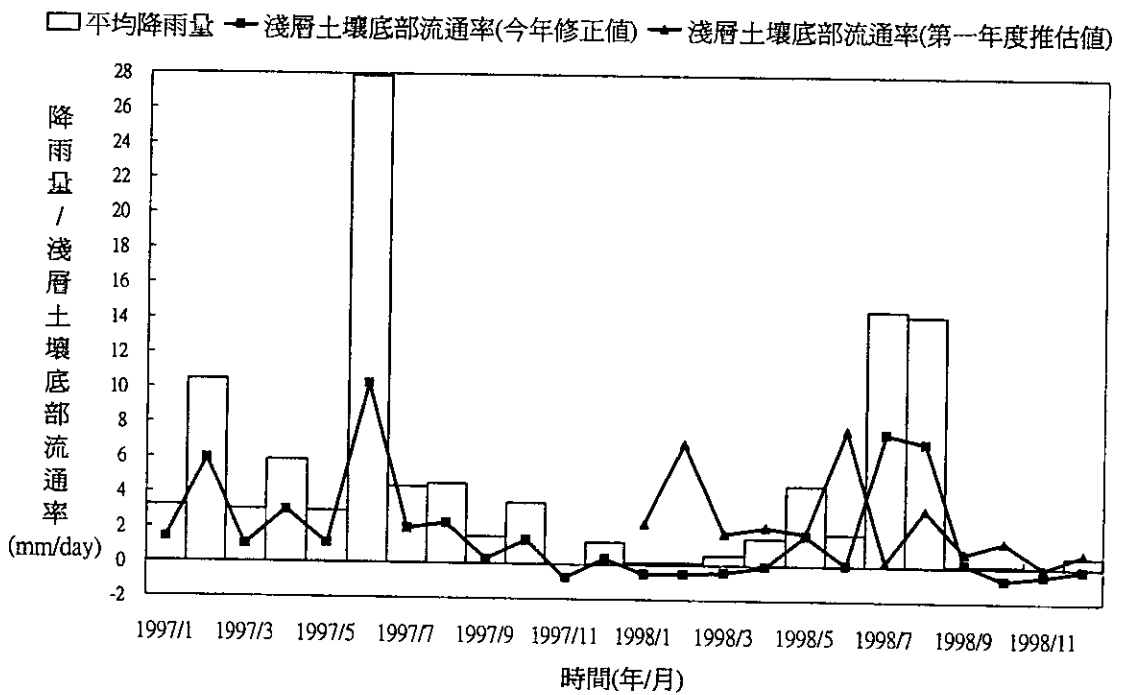


圖5-5 (續13)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(四湖)

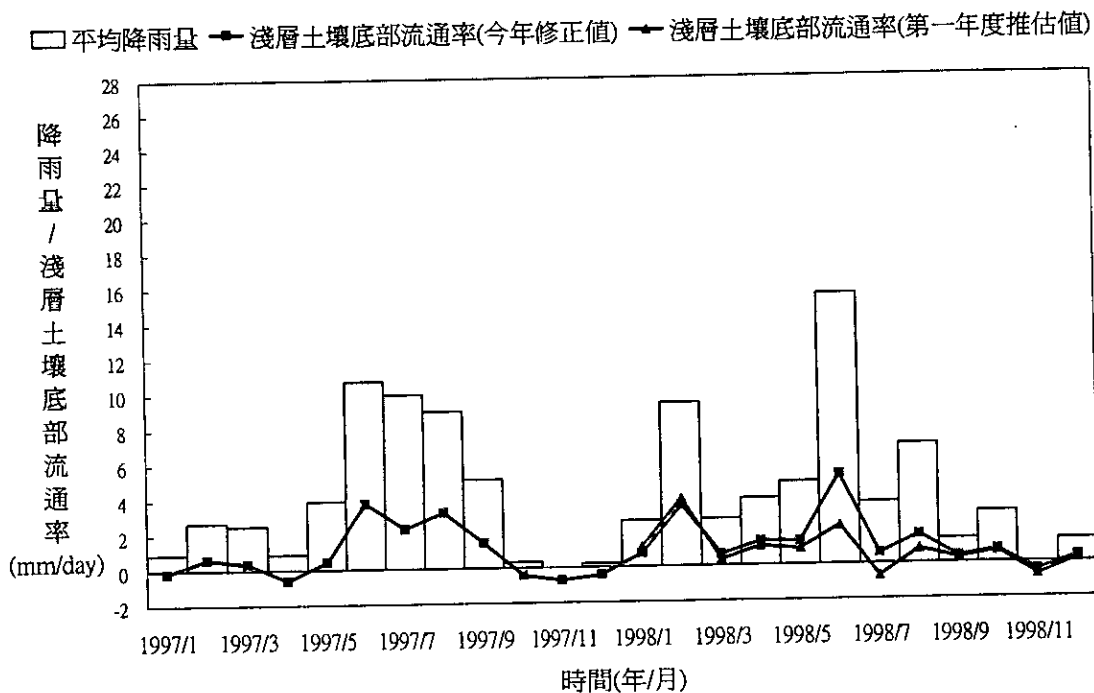


圖5-5 (續14)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(元長)

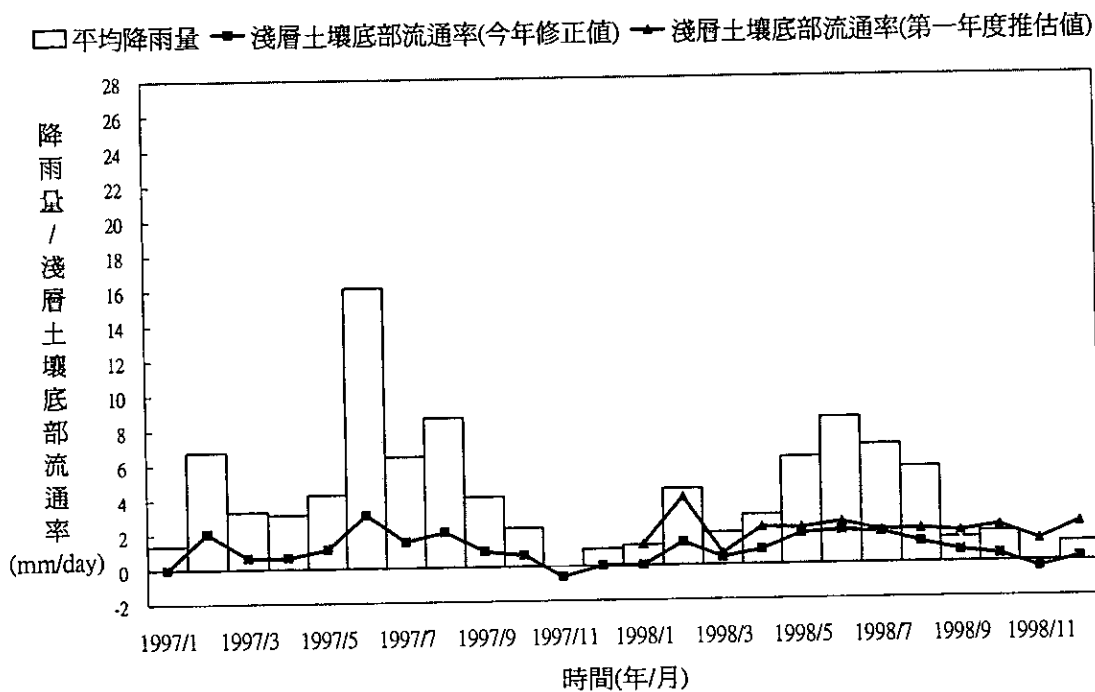


圖5-5 (續15)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(大埤)

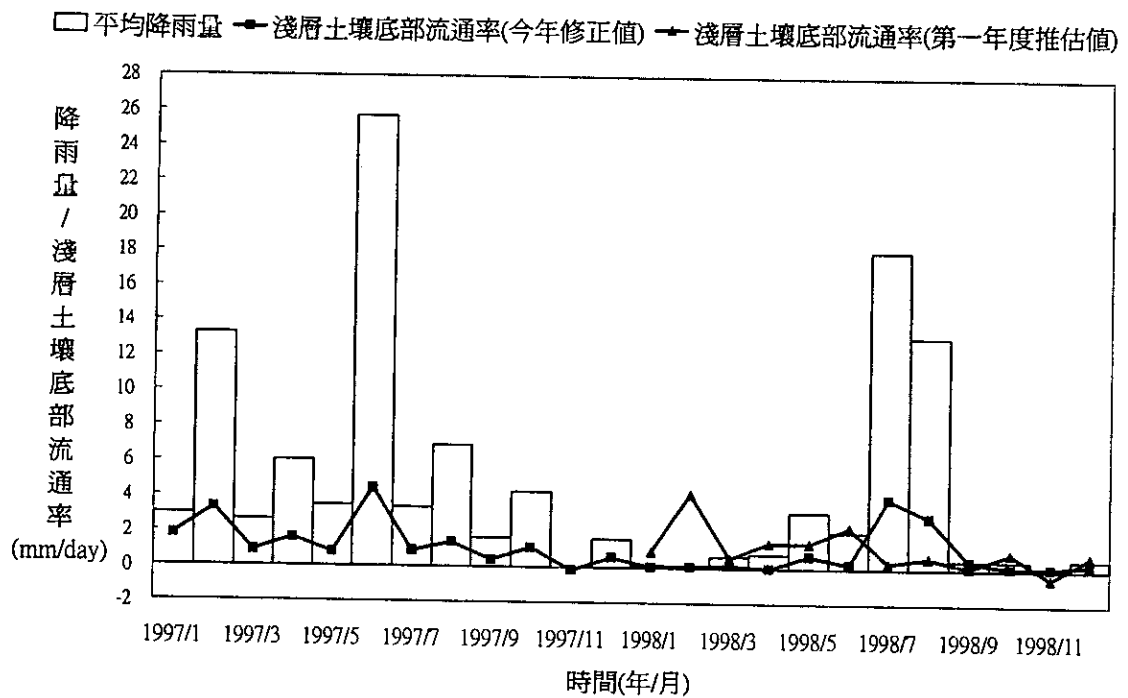


圖5-5 (續16)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(口湖)

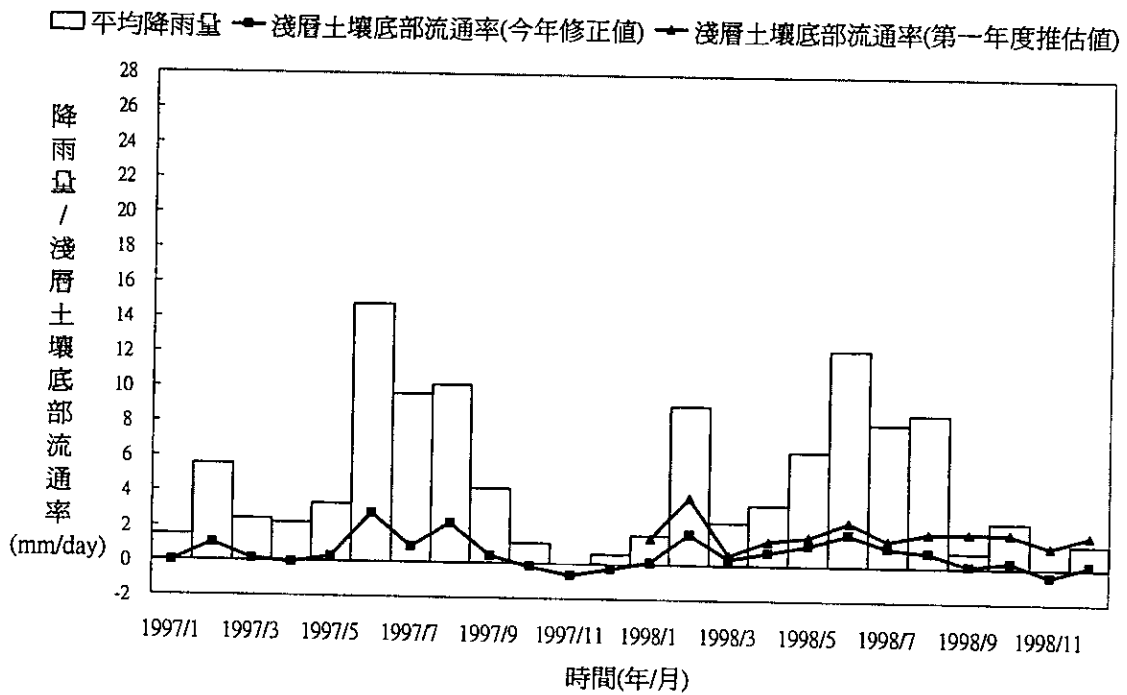


圖5-5 (續17)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(北港)

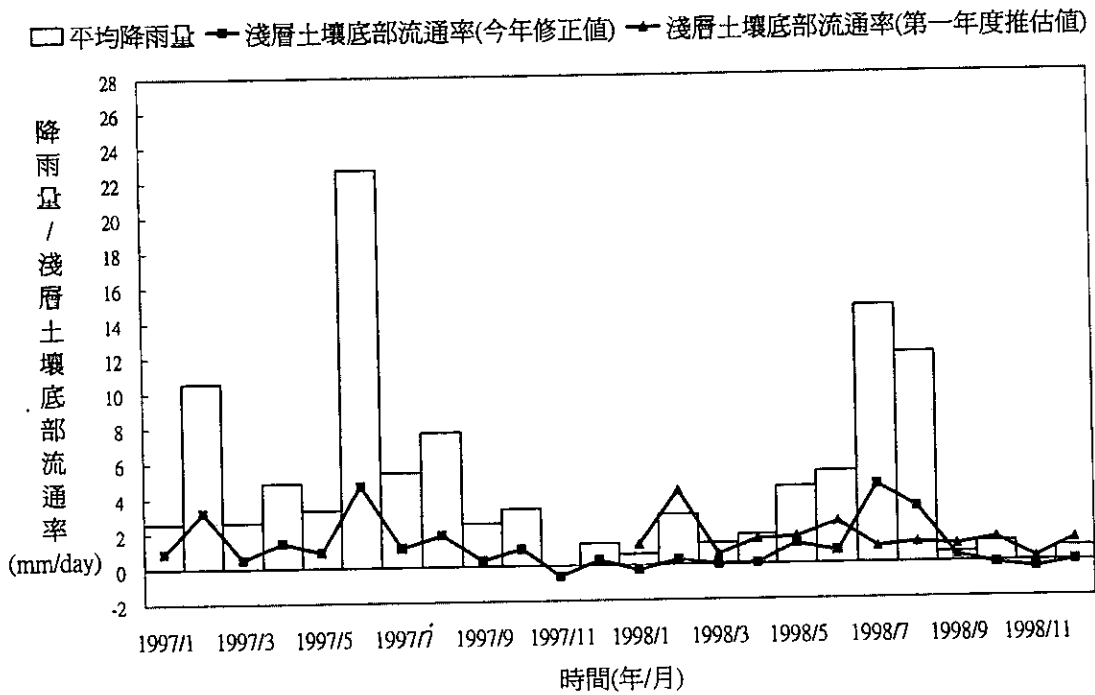


圖5-5 (續18)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(水林)

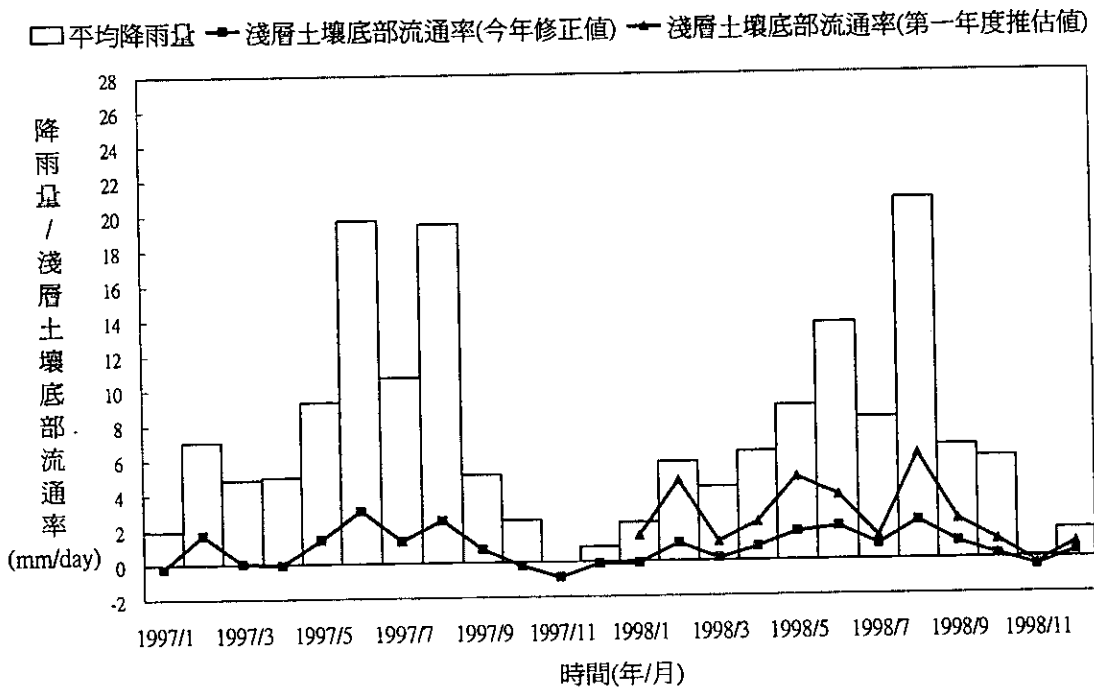


圖5-5 (續19)雲林地區淺層土壤底部流通率月平均值推估結果(古坑)

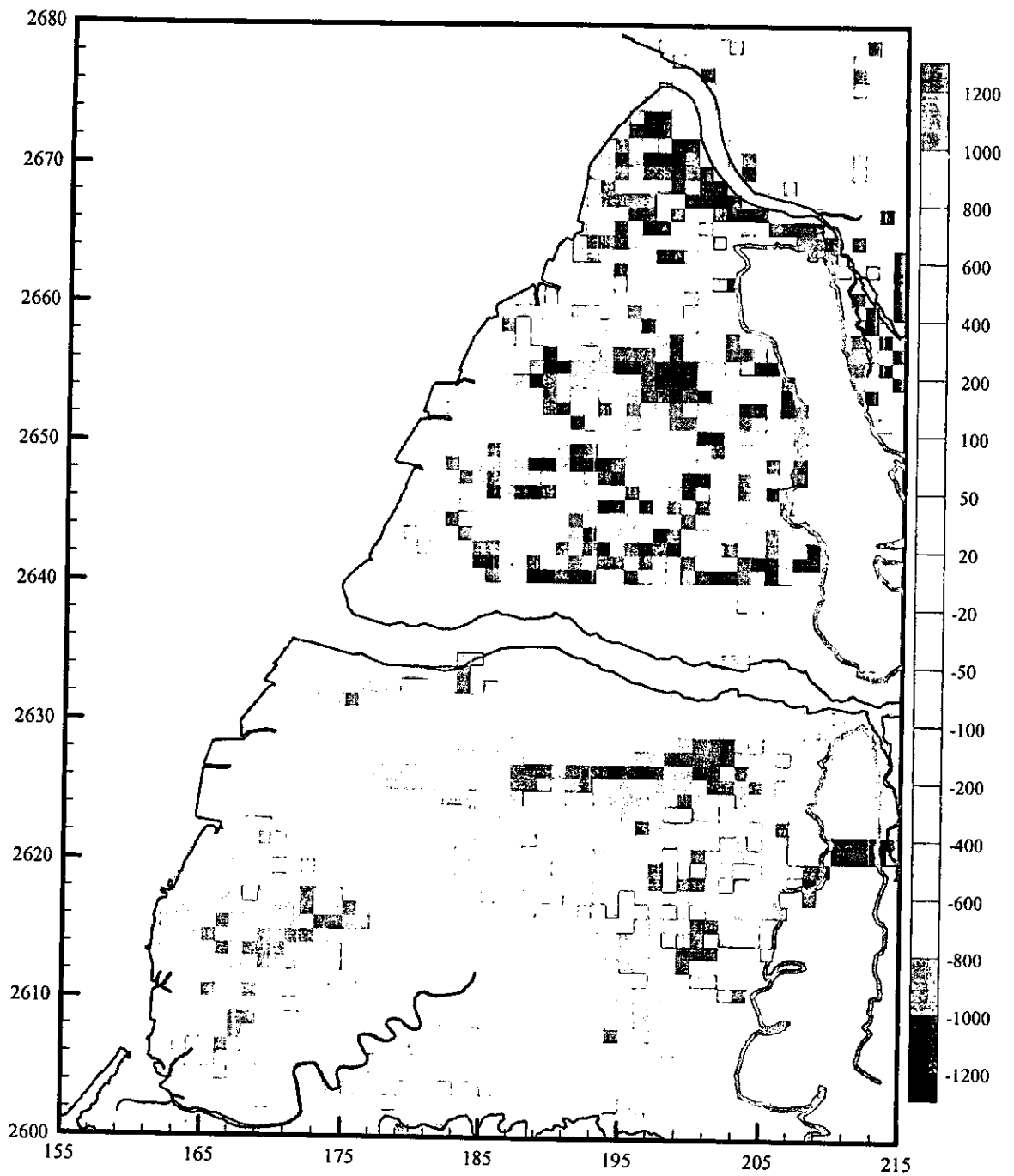


圖5-6 民國86年濁水溪沖積扇全年地表入滲量推估結果

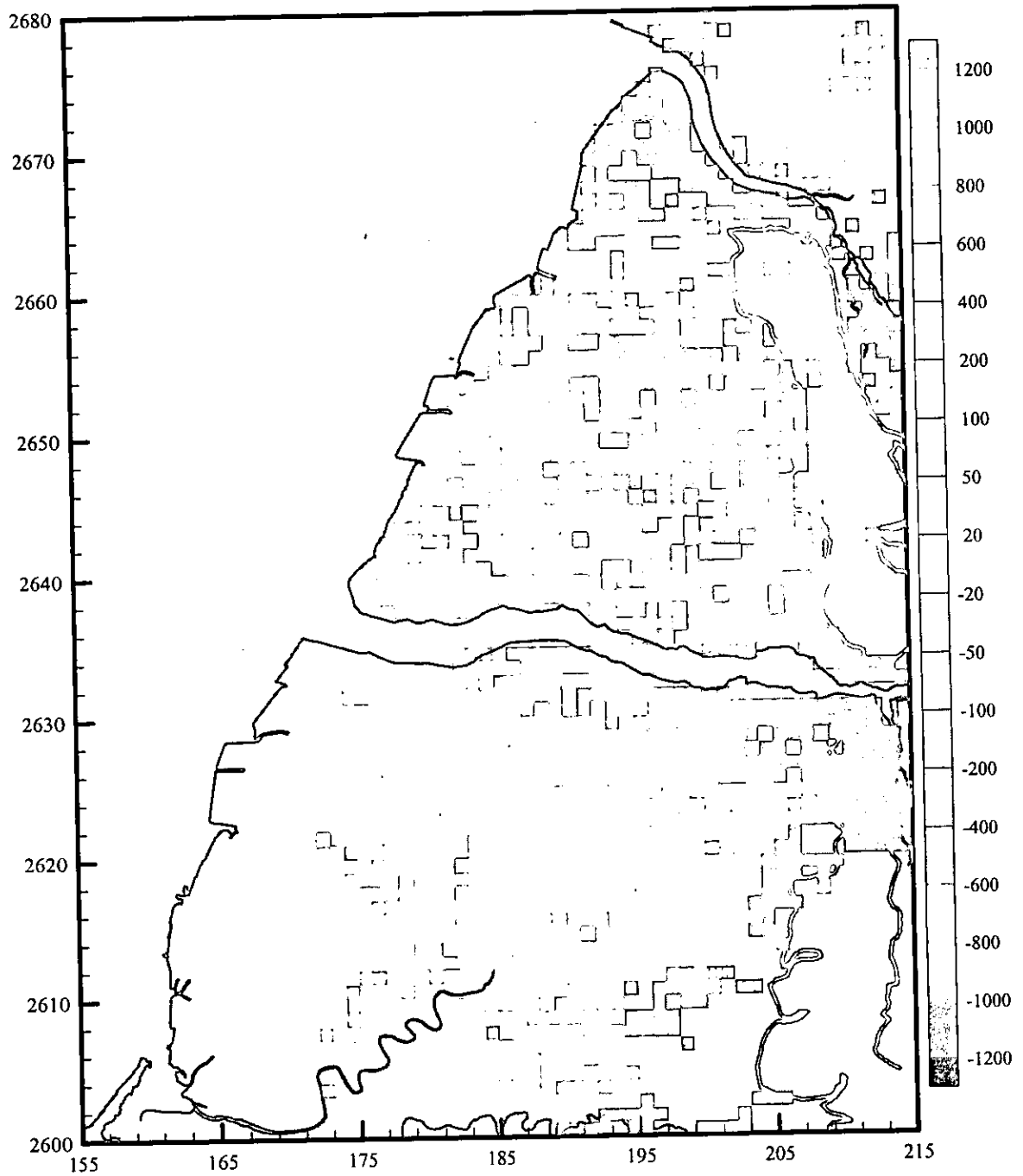


圖5-7 民國87年濁水溪沖積扇全年地表入滲量推估結果

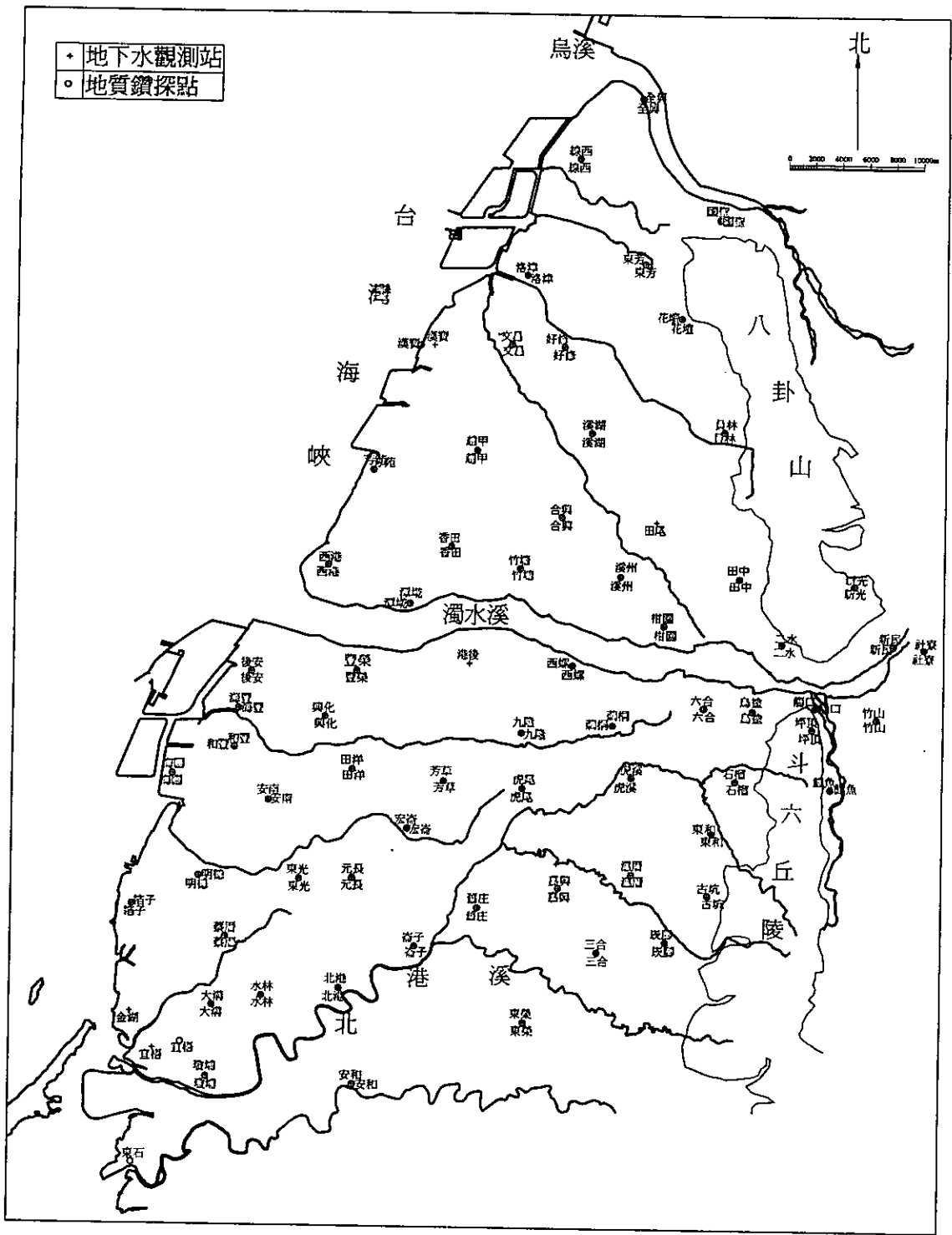


圖6-1 濁水溪沖積扇地表高程取樣點

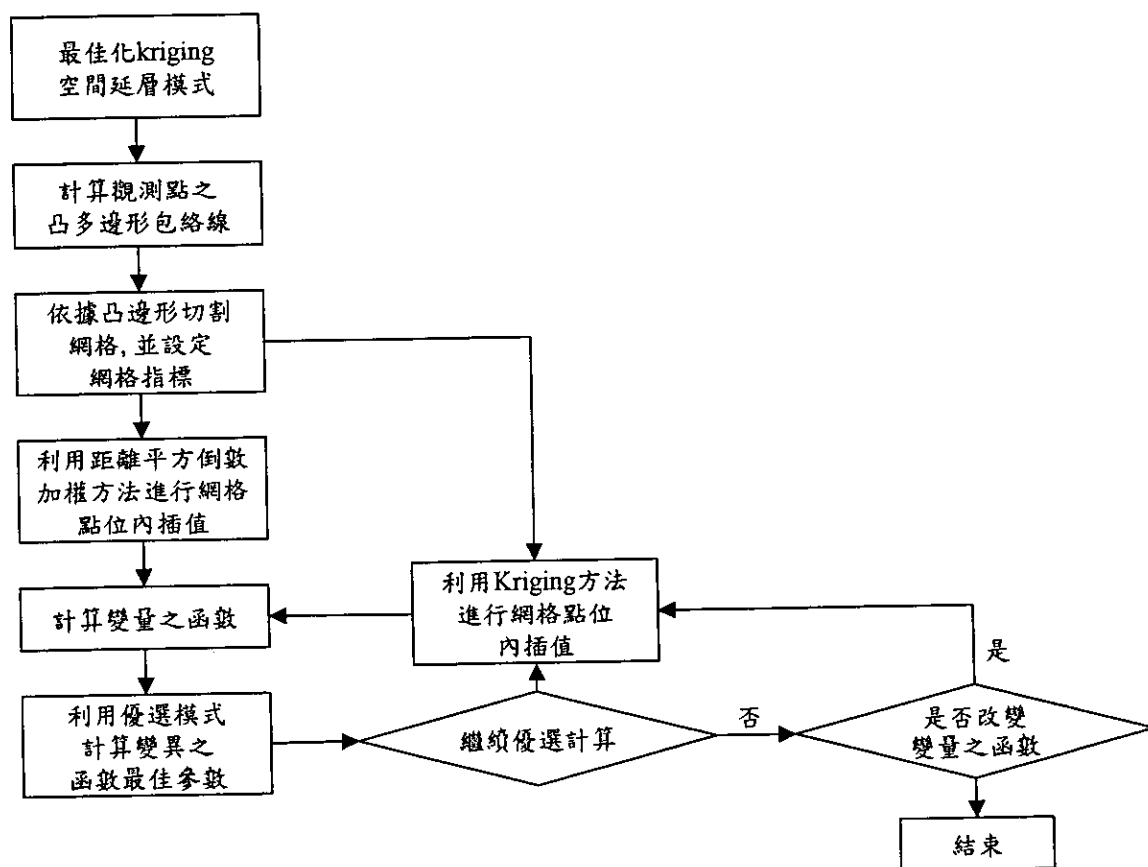


圖6-2 最佳化Kriging空間延層模式計算流程

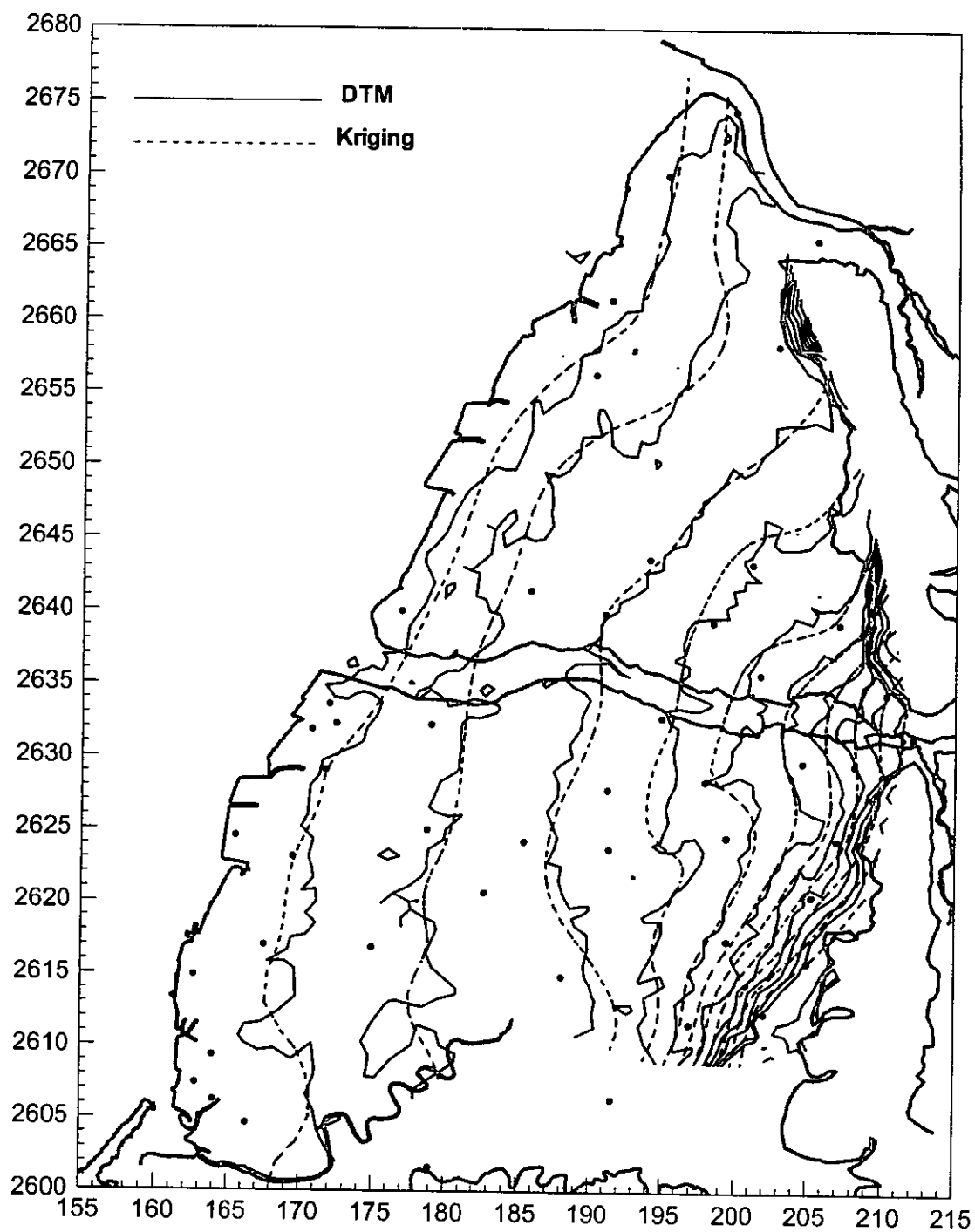


圖6-3 最佳化Kriging模式進行地表高程空間內插與延展結果

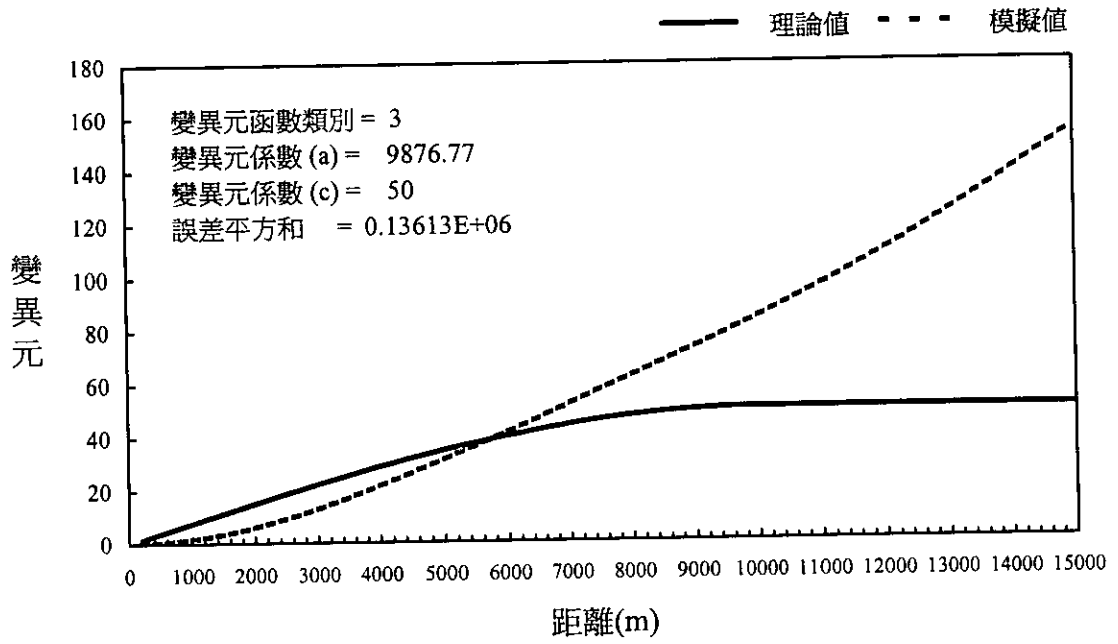


圖6-4 直接以最佳化Kriging模式進行空間內插之變異元函數模擬值

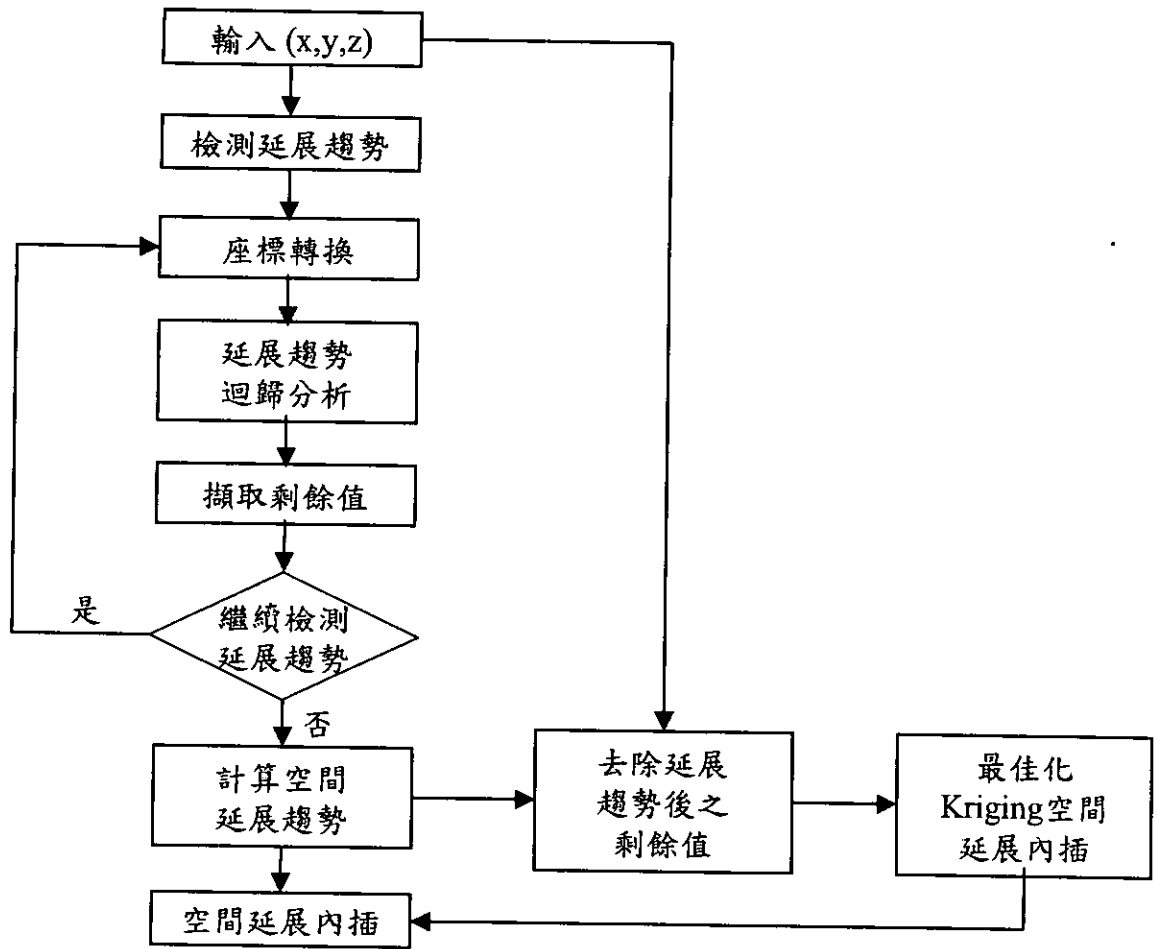


圖6-5 配合延展趨勢計算之最佳化Kriging空間延展模式計算流程

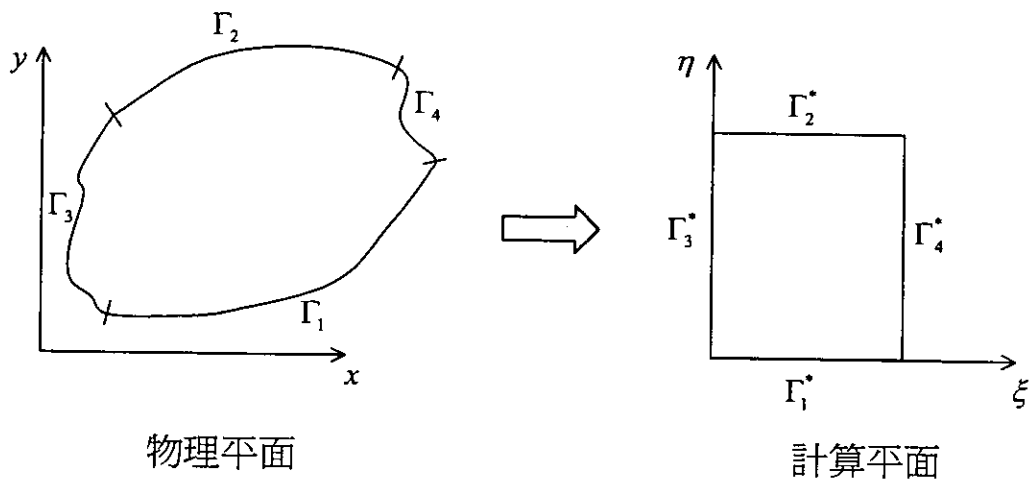


圖6-6 實際計算領域座標與貼壁座標系統轉換邊界對應圖

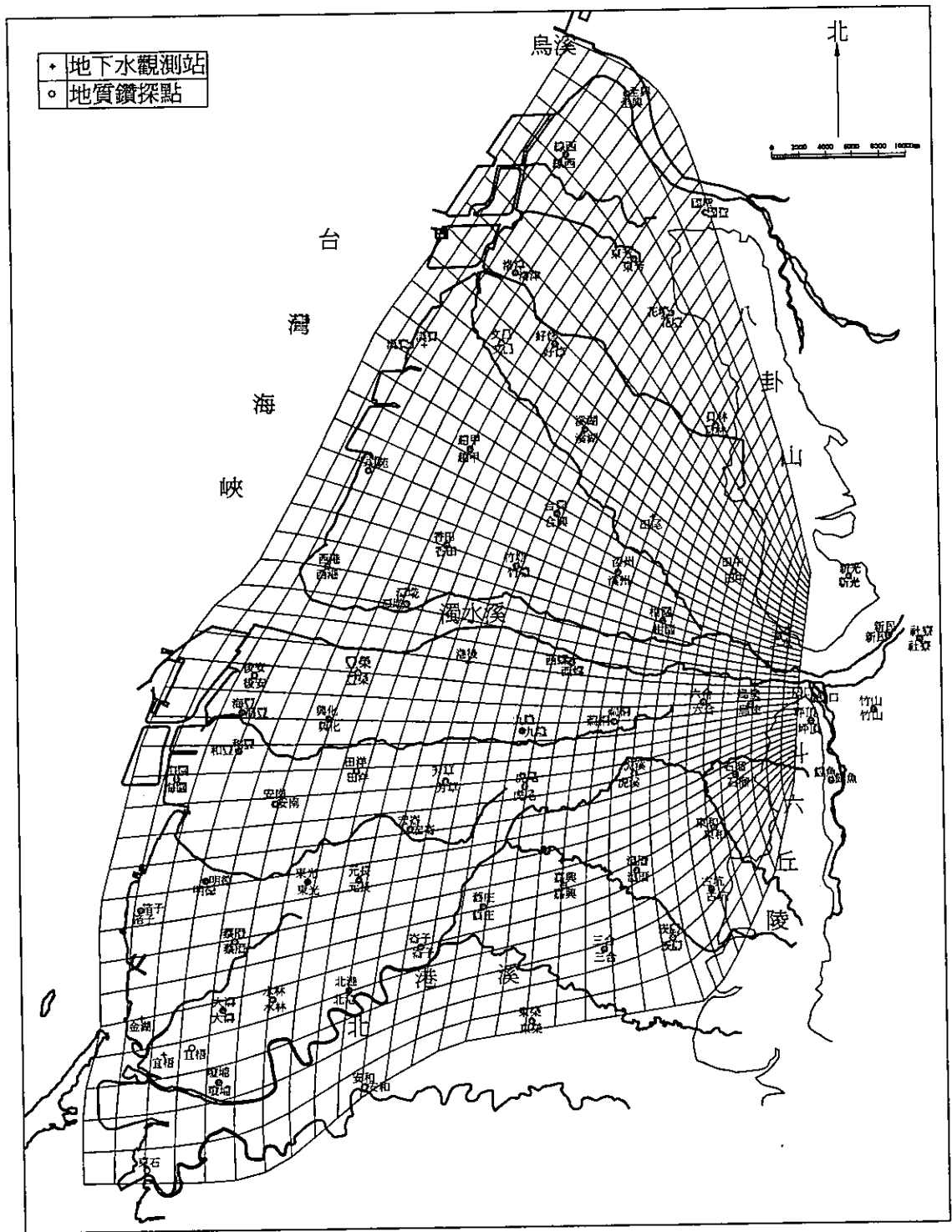


圖6-7 第一類空間延展迴歸分析之貼壁座標系統

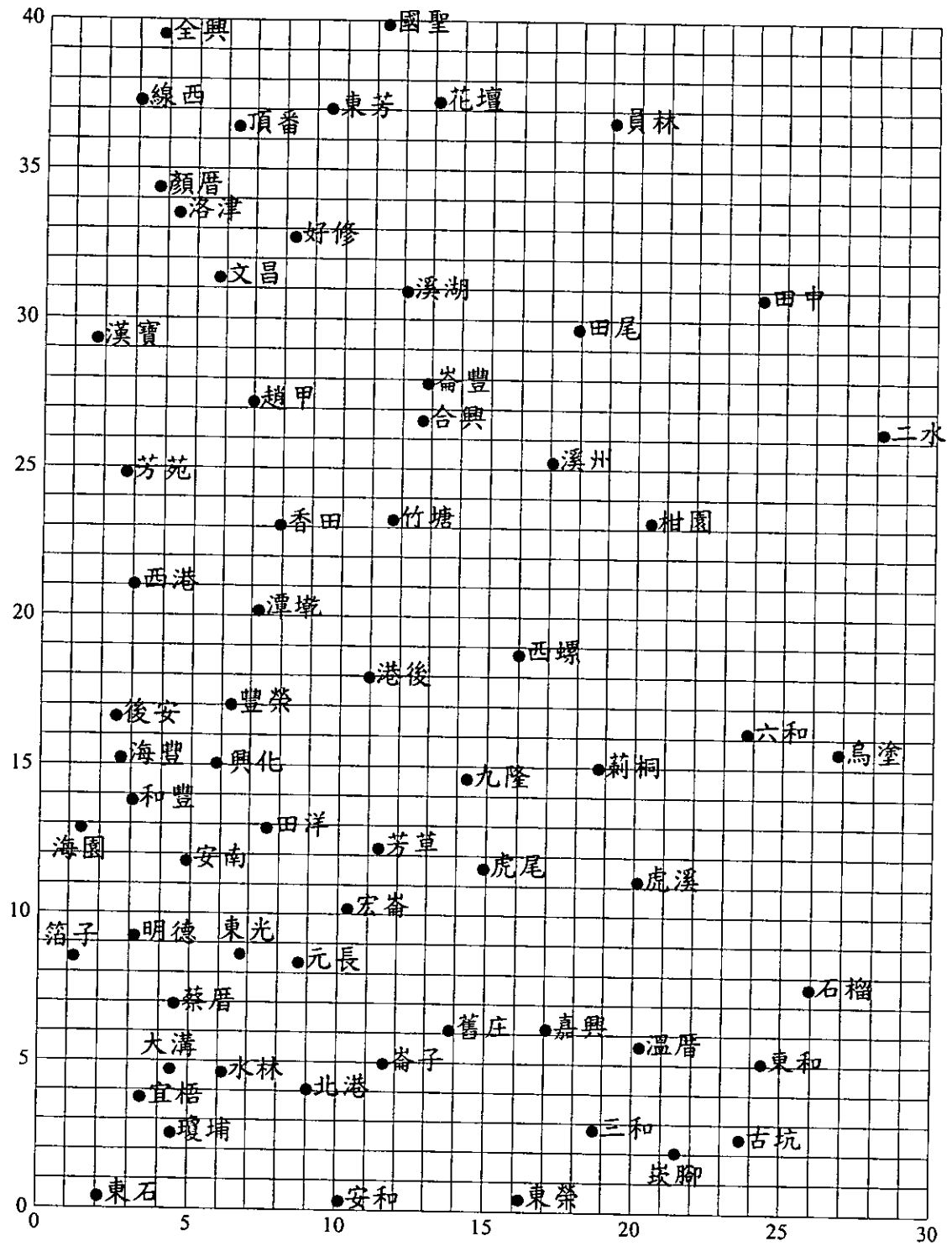


圖6-8 觀測點位於第一類貼壁座標系統中座標對應值

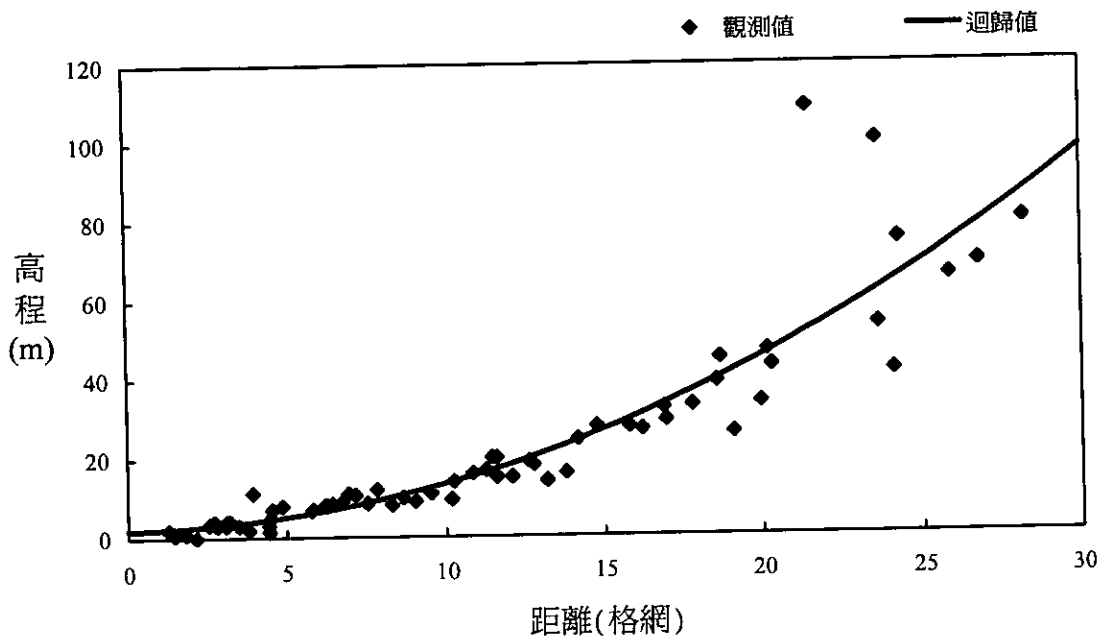


圖6-9 第一類貼壁座標系統中觀測變量之空間延展迴歸分析曲線

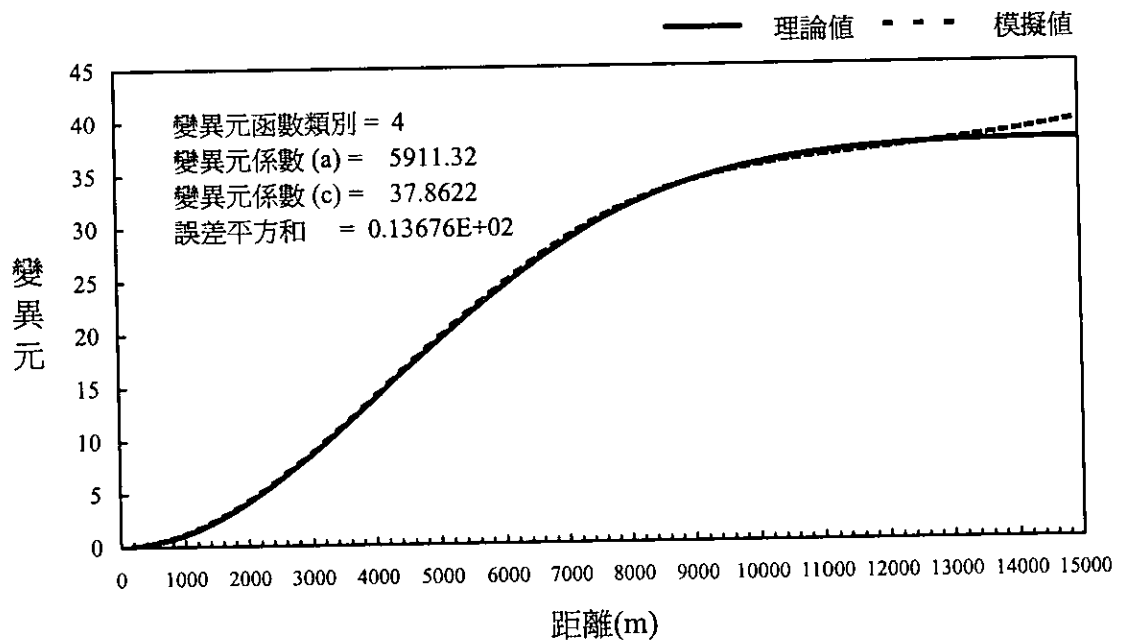


圖6-10 經第一類空間延展後，以最佳化Kriging模式進行空間內插之變異元函數模擬值

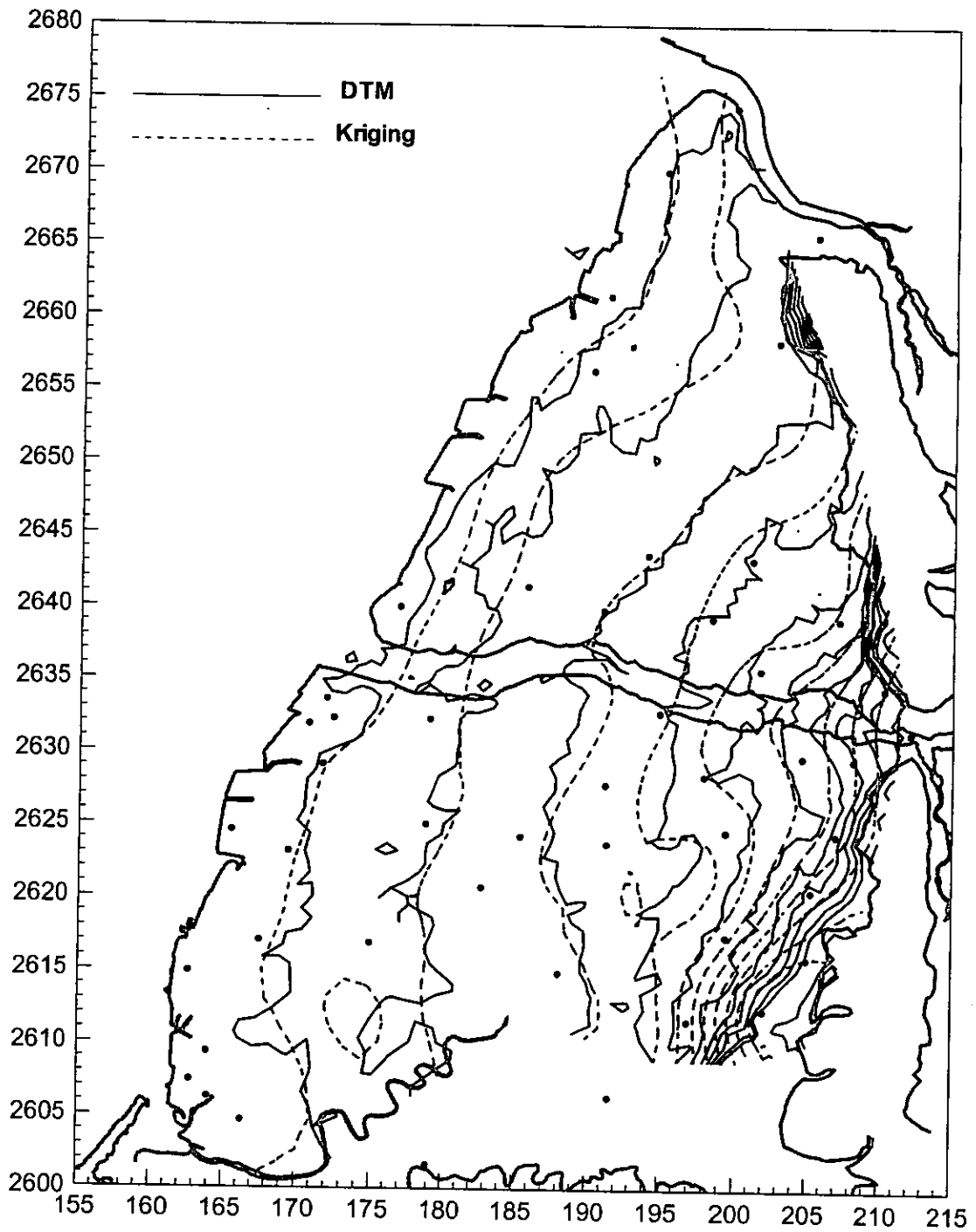


圖6-11 配合第一類空間延展分析後，以最佳化Kriging模式進行地表高程空間內插與延展結果

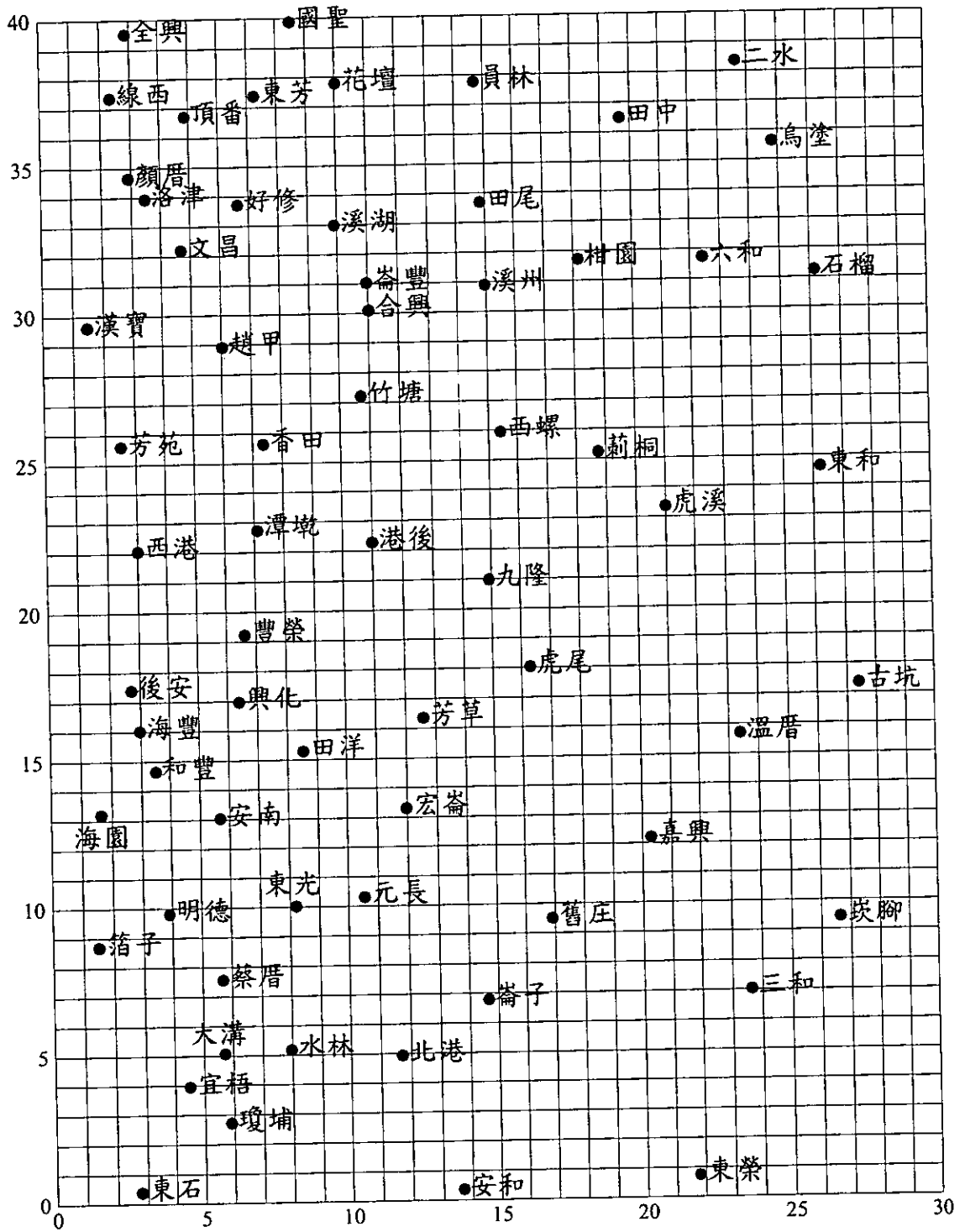


圖6-14 觀測點位於第二類貼壁座標系統中座標對應值

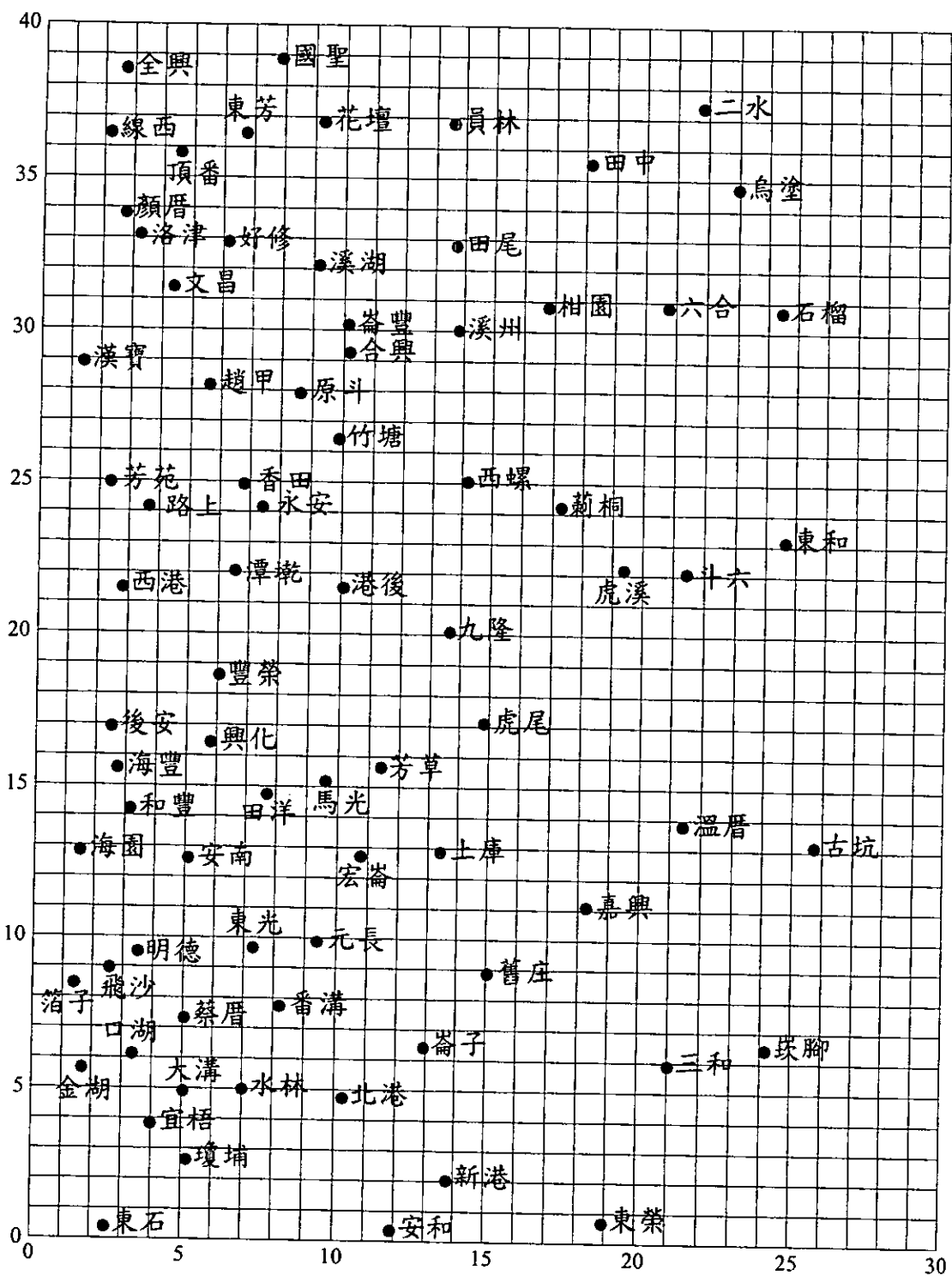


圖6-15 觀測點位於第三類貼壁座標系統中座標對應值

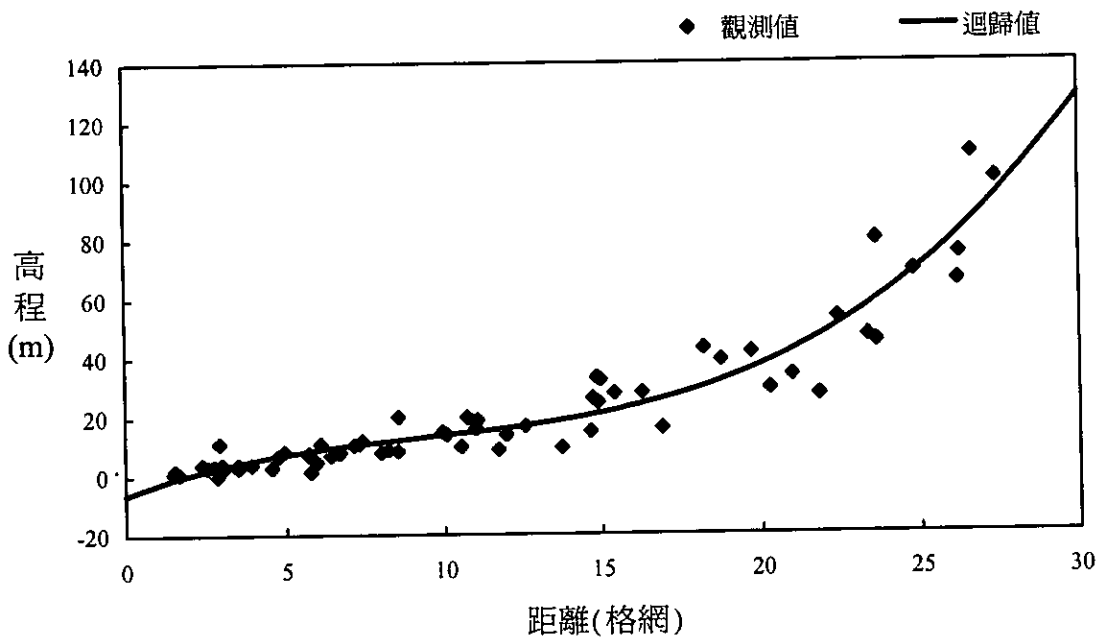


圖6-16 第二類貼壁座標系統中觀測變量之空間延展迴歸分析曲線

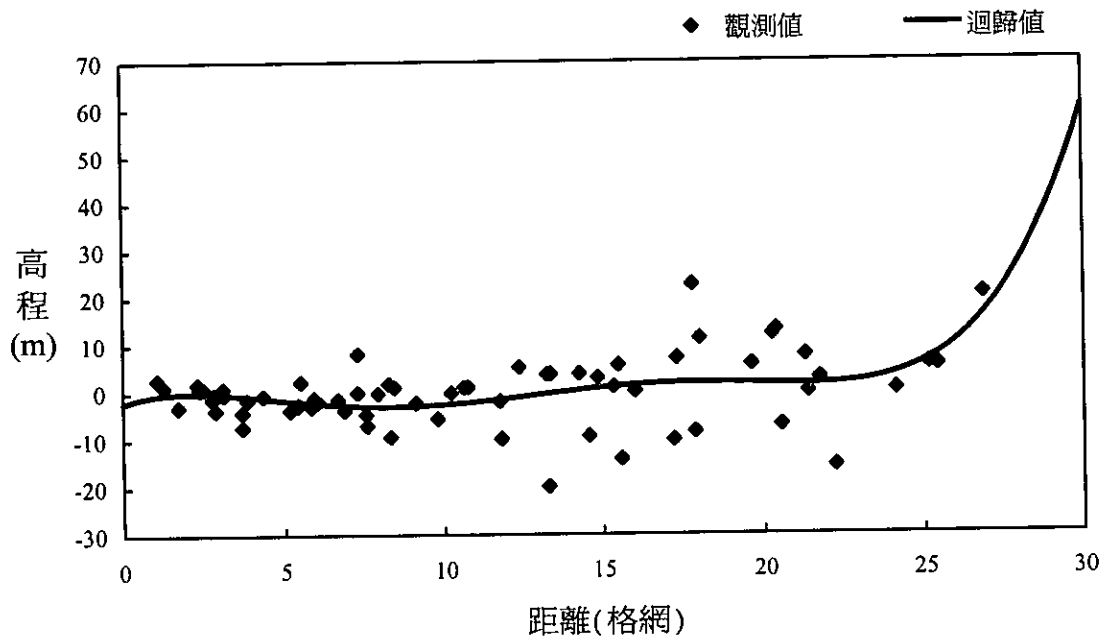


圖6-17 第三類貼壁座標系統中觀測變量之空間延展迴歸分析曲線

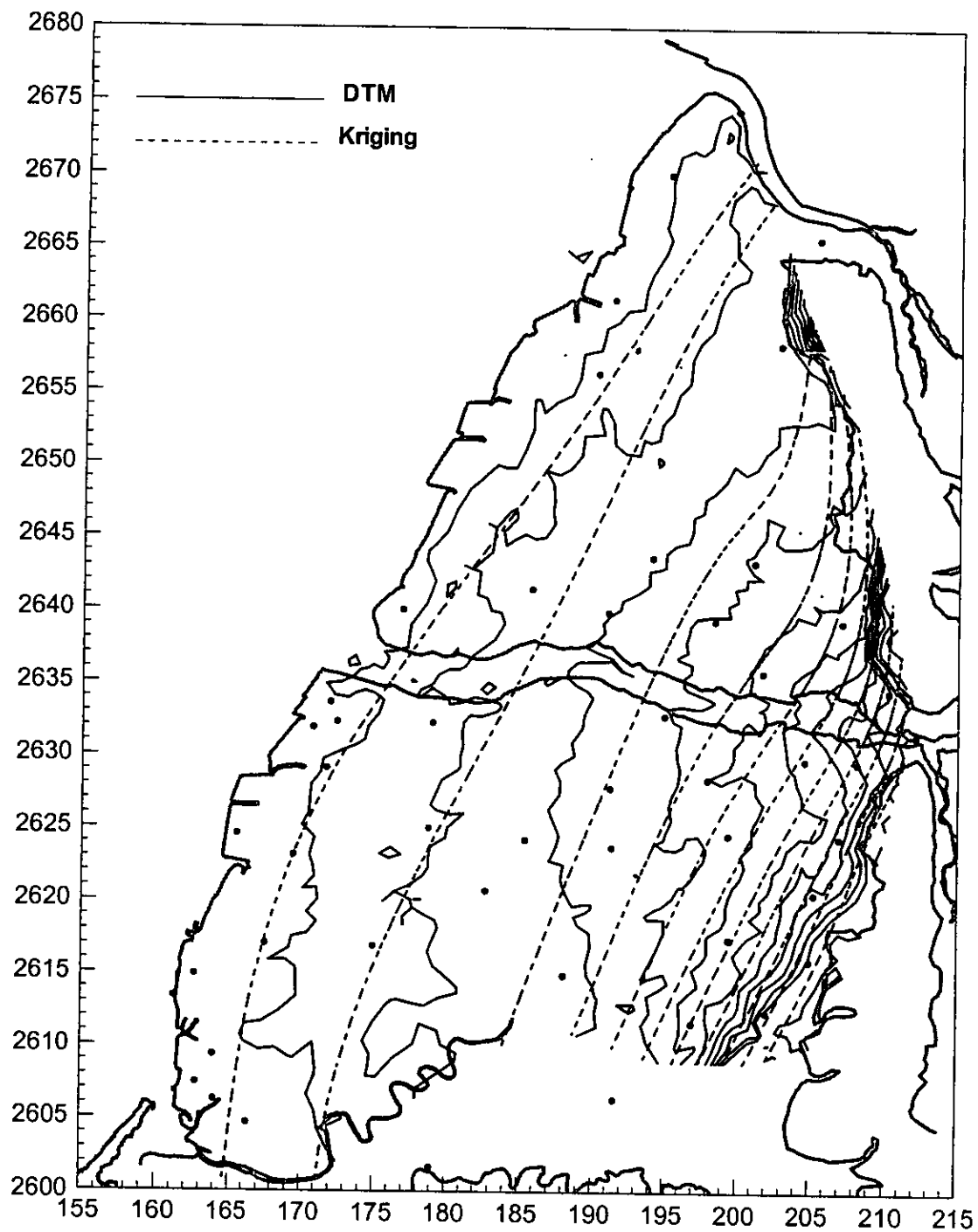


圖6-18 經過三次延展趨勢曲線迴歸後之地表高程空間延展趨勢

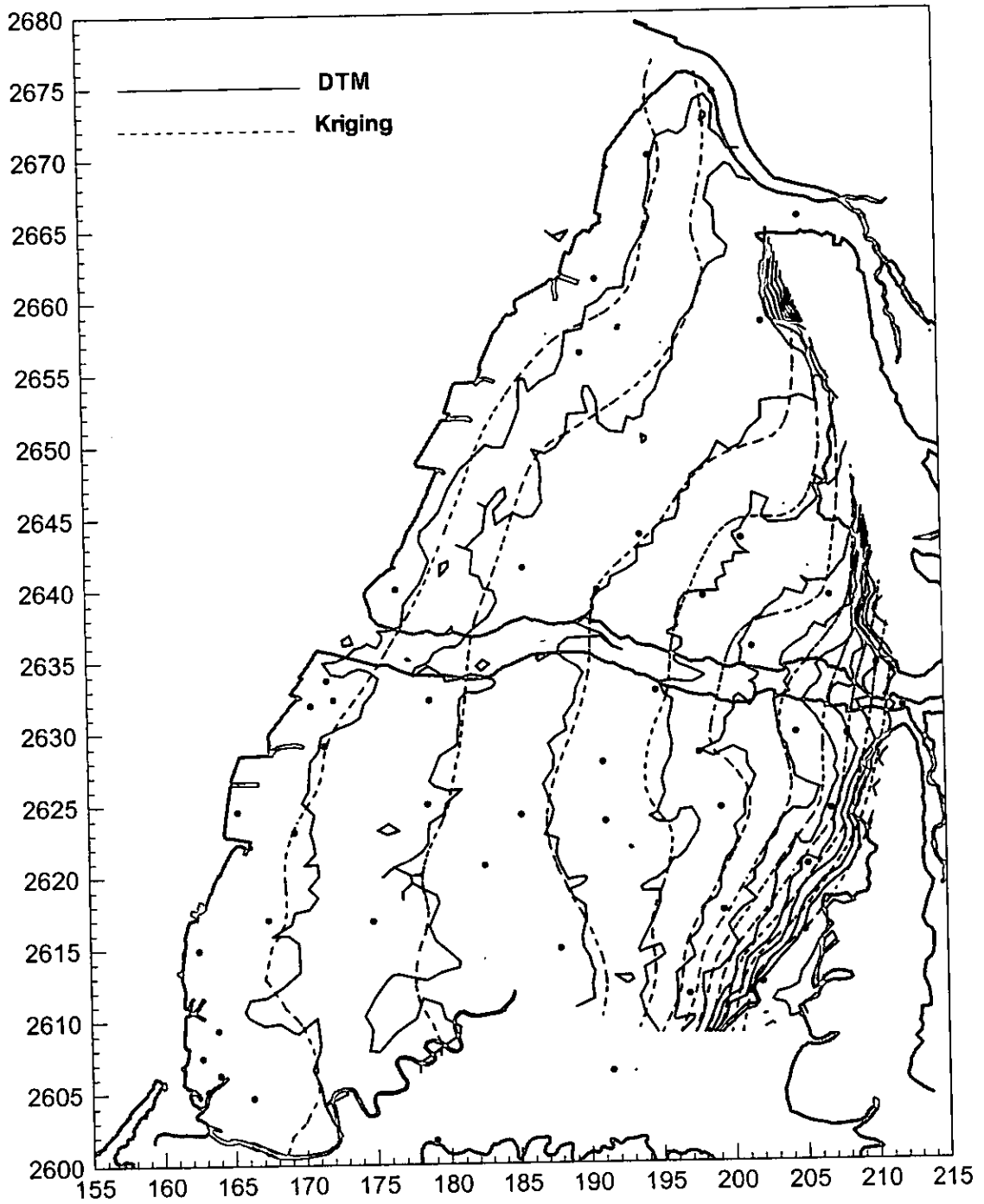


圖6-19 合併三次延展趨勢與最佳化Kriging模式後之地表高程

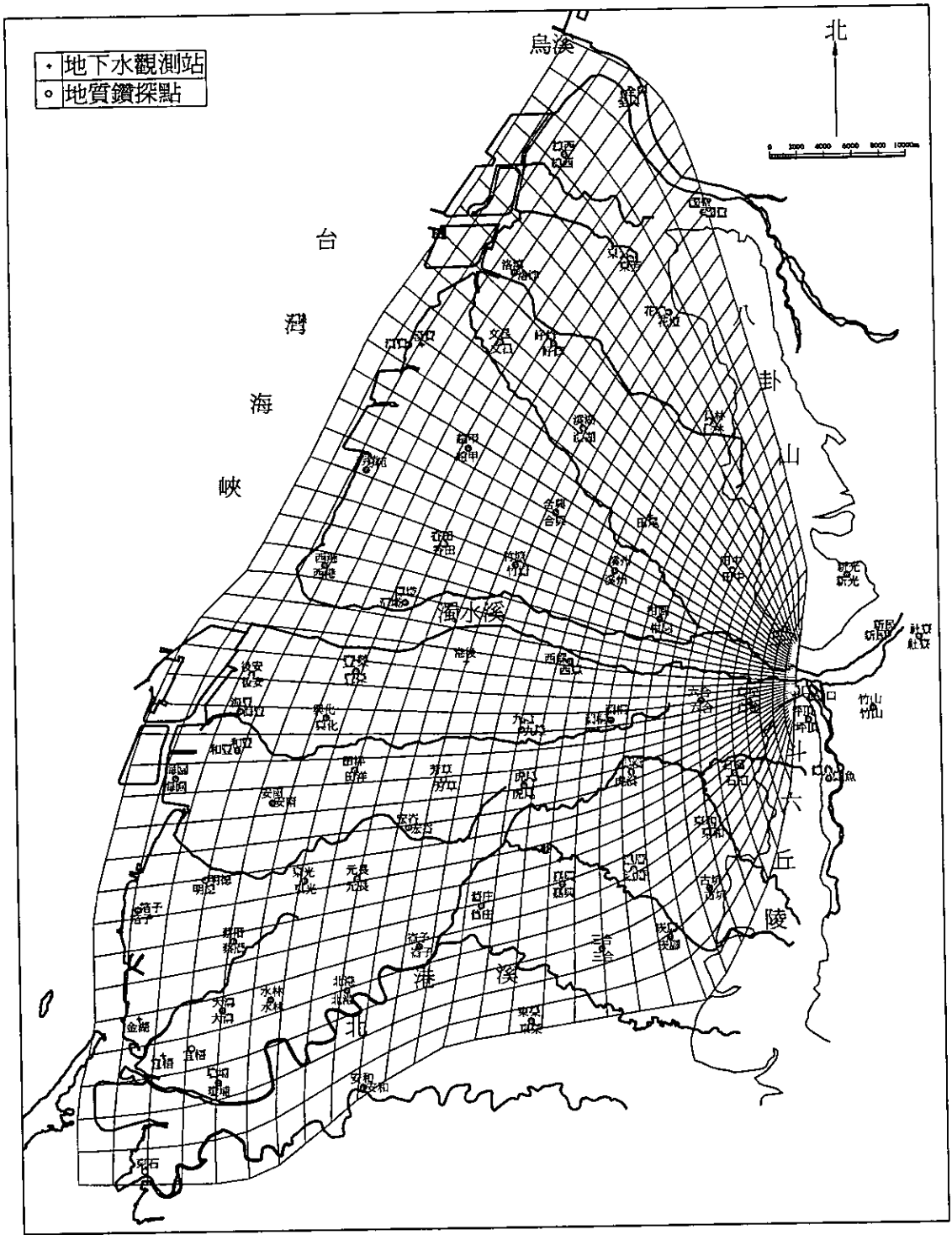


圖6-21 第四類空間延展迴歸分析之貼壁座標系統

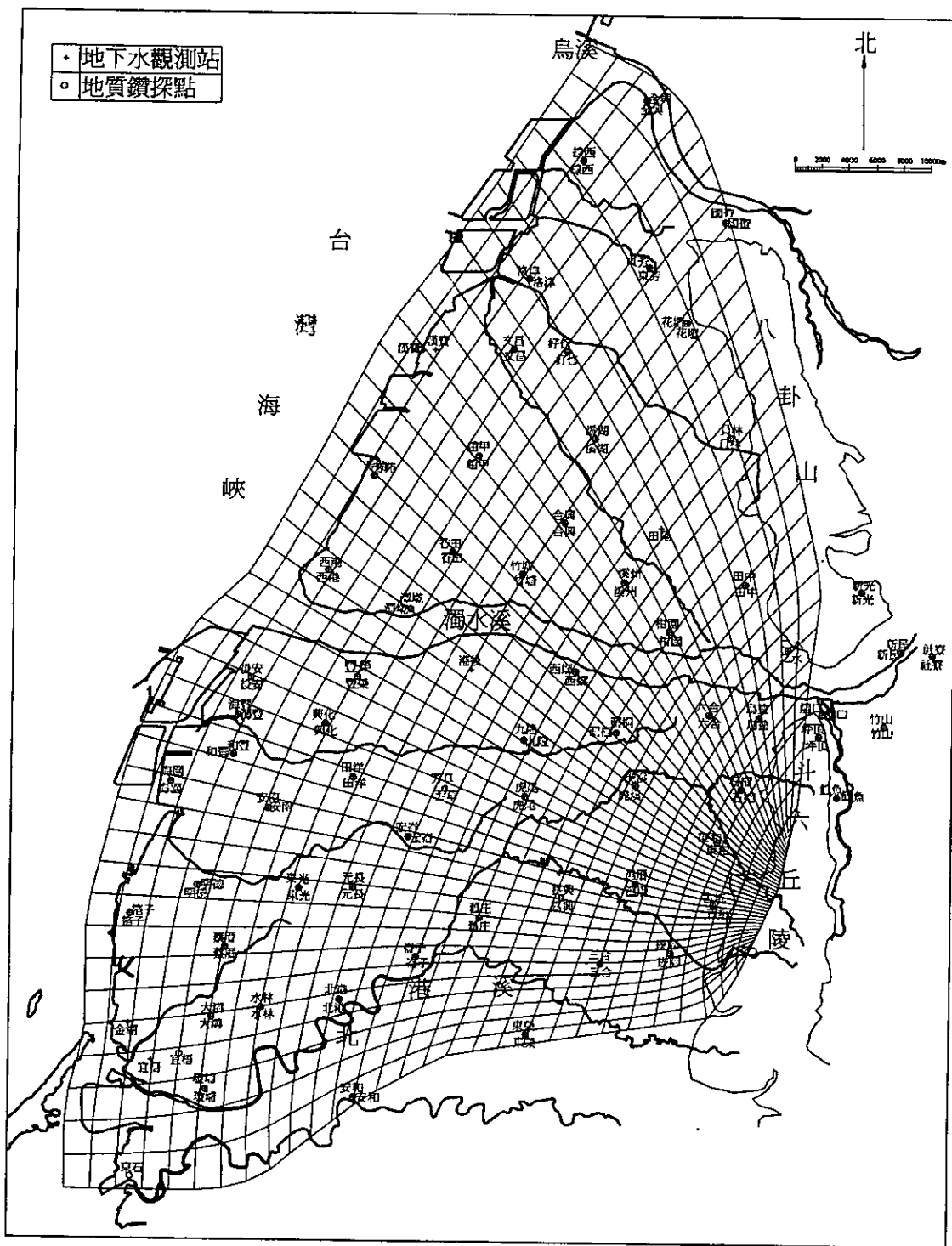


圖6-22 第五類空間延展迴歸分析之貼壁座標系統

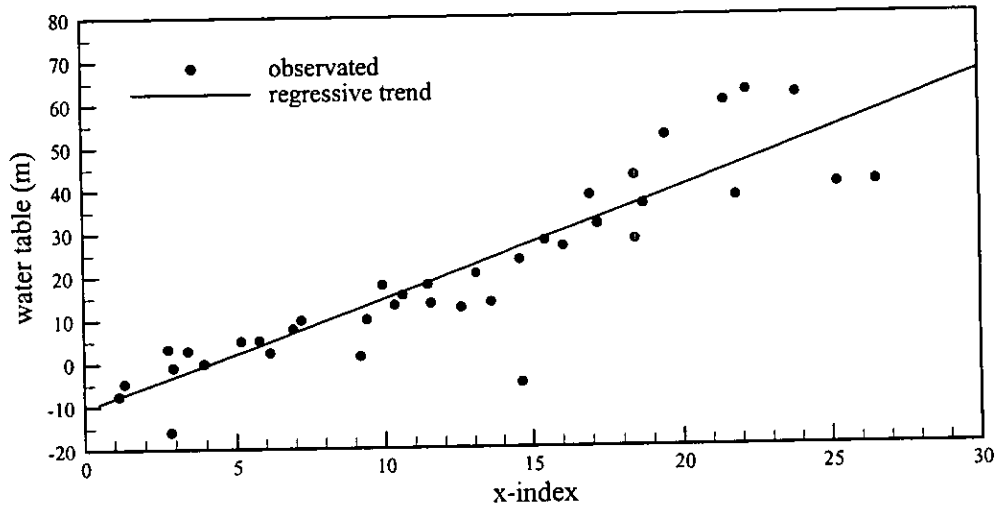


圖6-23 含水層1水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間
迴歸分析曲線

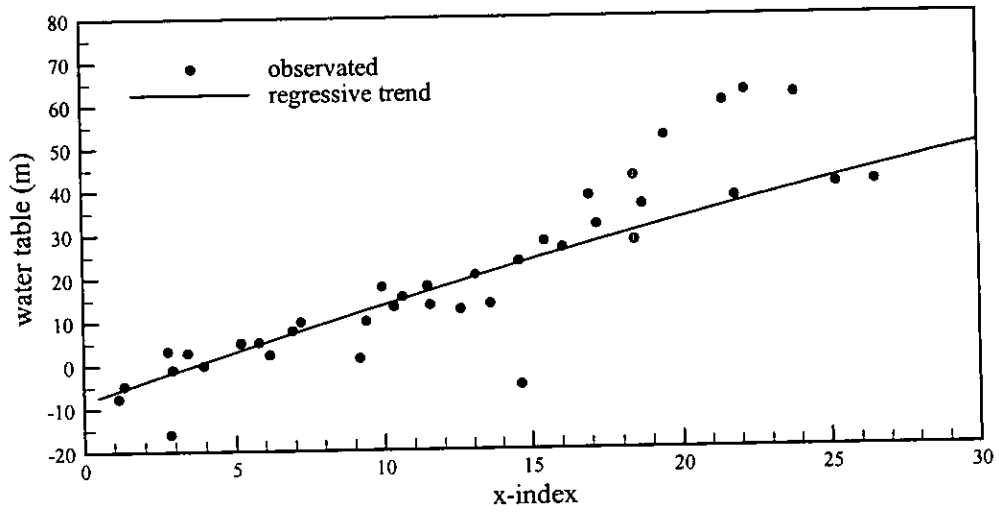


圖6-24 含水層1選擇性水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間
延展迴歸分析曲線

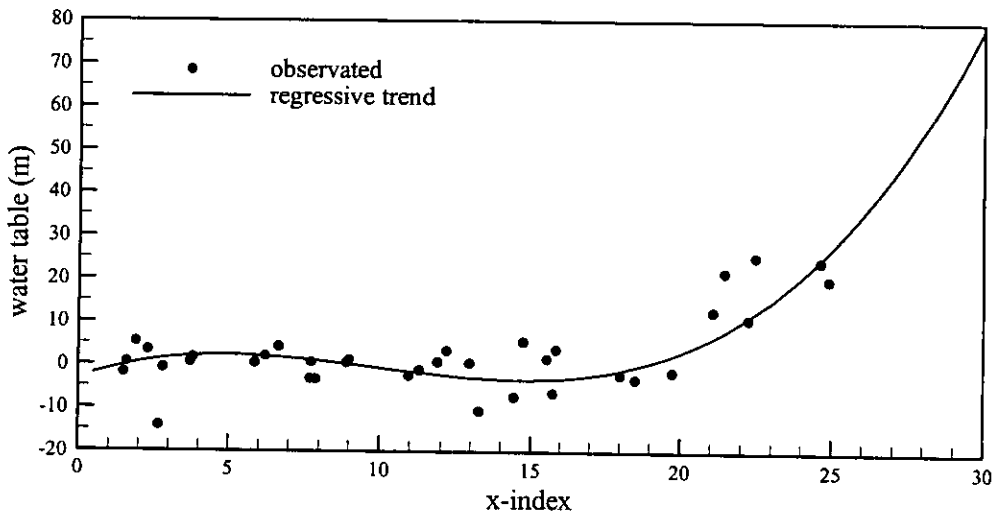


圖6-25 含水層1水位觀測值於第五類貼壁座標系統中之空間延展
迴歸分析曲線

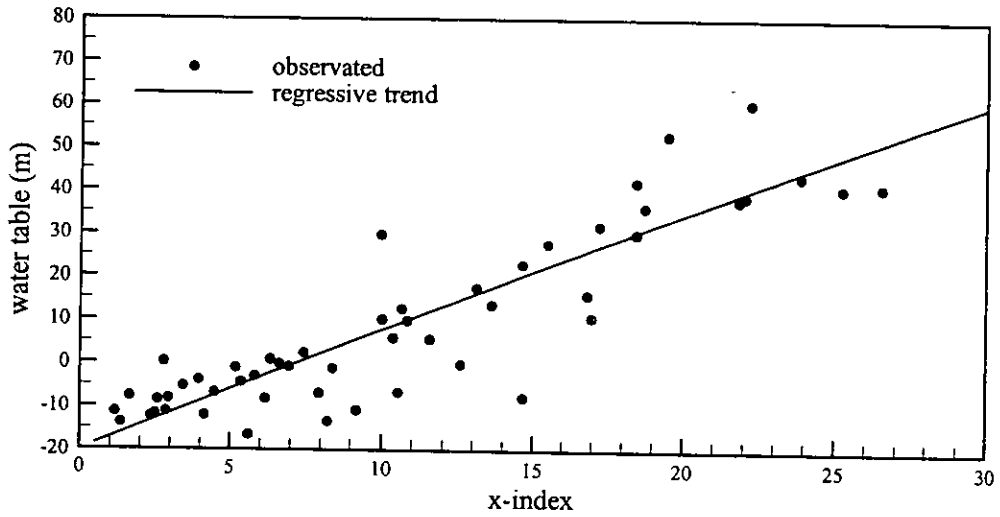


圖6-26 含水層2水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間延展
迴歸分析曲線

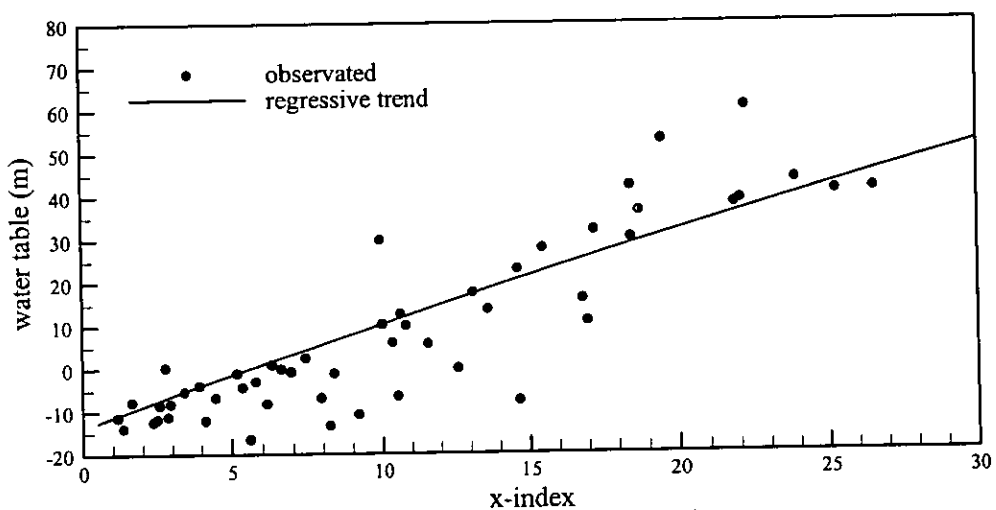


圖6-27 含水層1選擇性水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間延展迴歸分析曲線

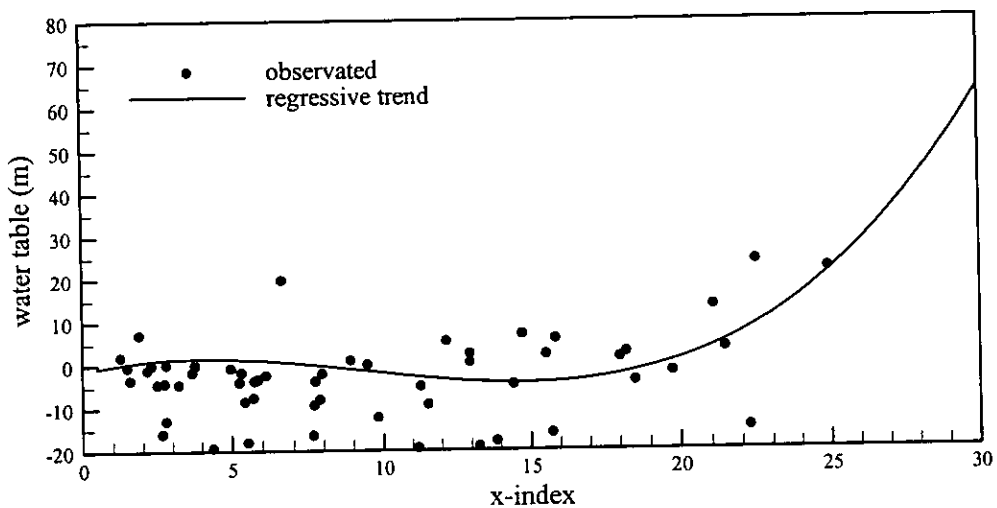


圖6-28 含水層2水位觀測值於第五類貼壁座標系統中之空間延展迴歸分析曲線

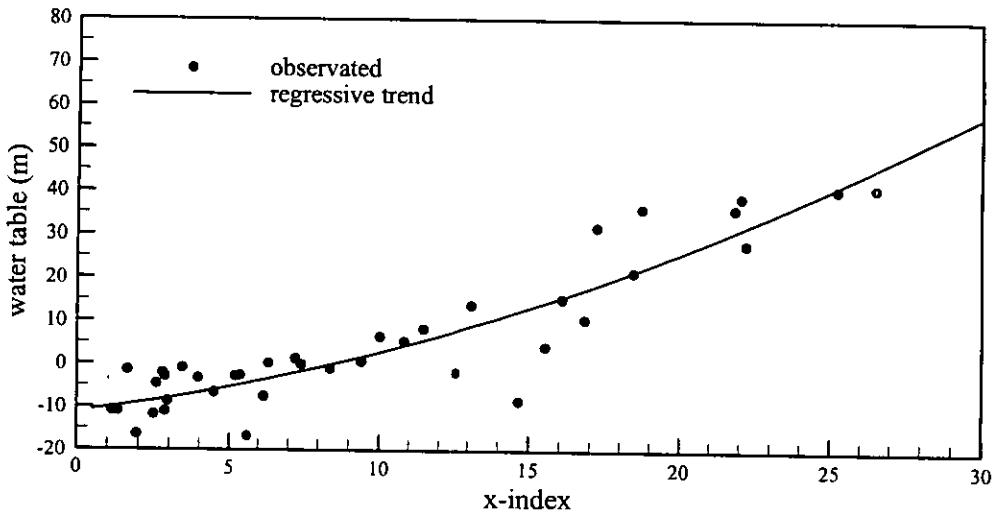


圖6-29 含水層3水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間延展迴歸分析曲線

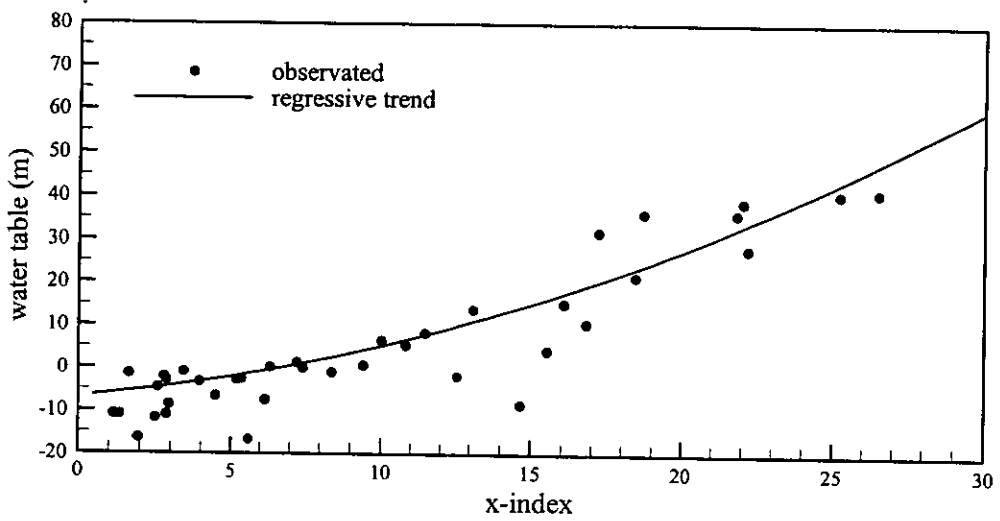


圖6-30 含水層3選擇性水位觀測值於第四類貼壁座標系統中之空間延展迴歸分析曲線

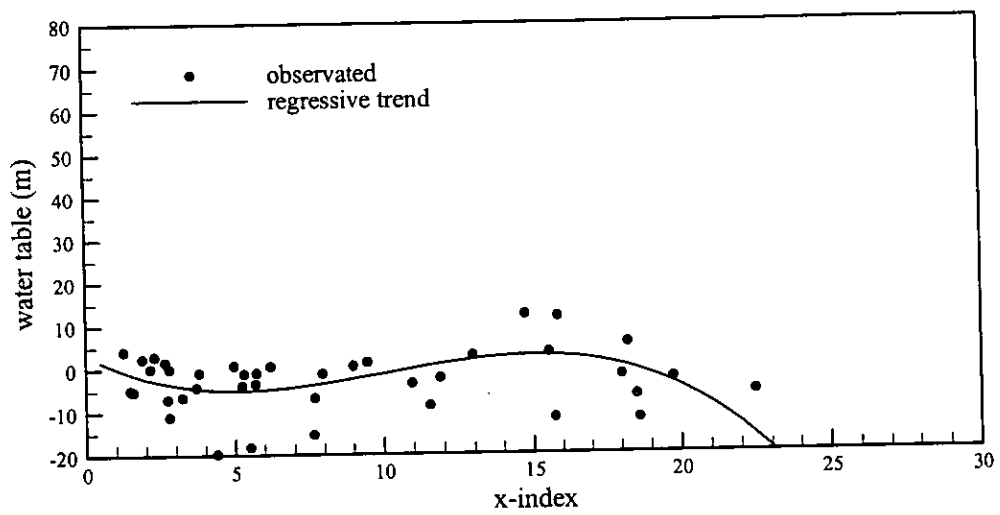
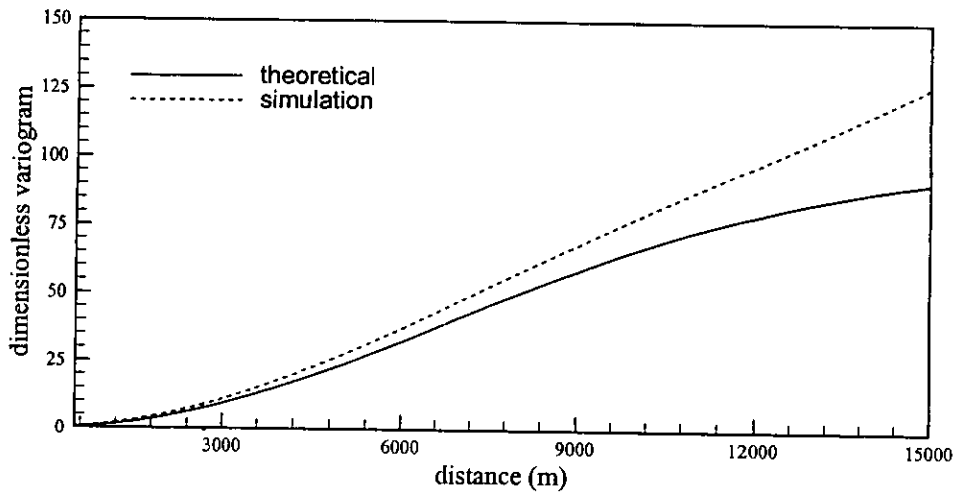
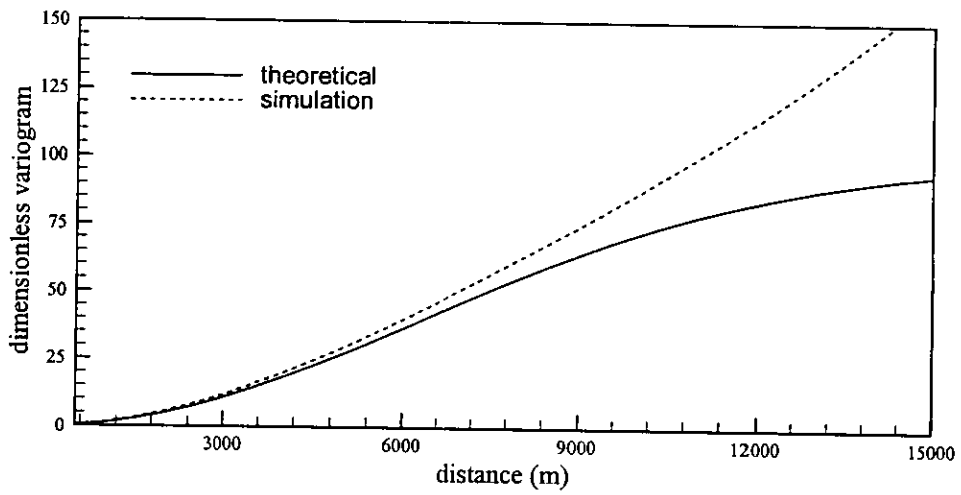


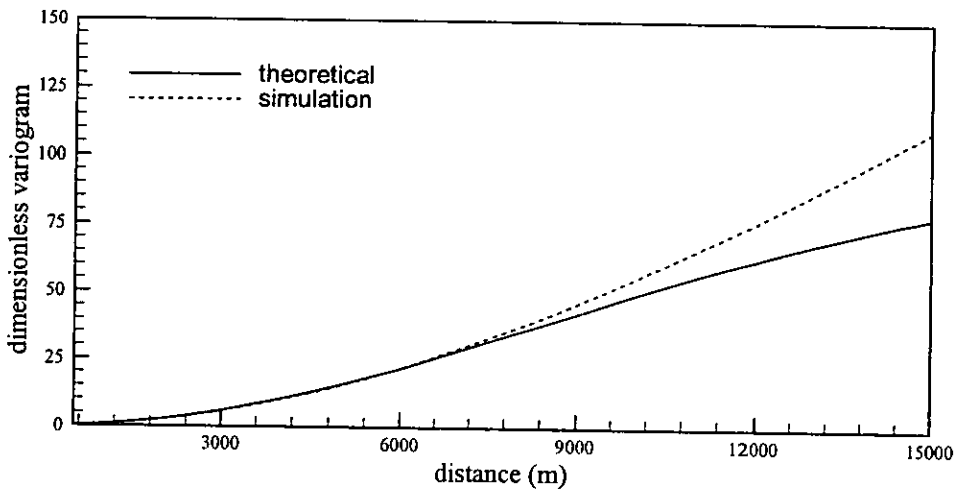
圖6-31 含水層3水位觀測值於第五類貼壁座標系統中之空間延展迴歸分析曲線



(A) 含水層1

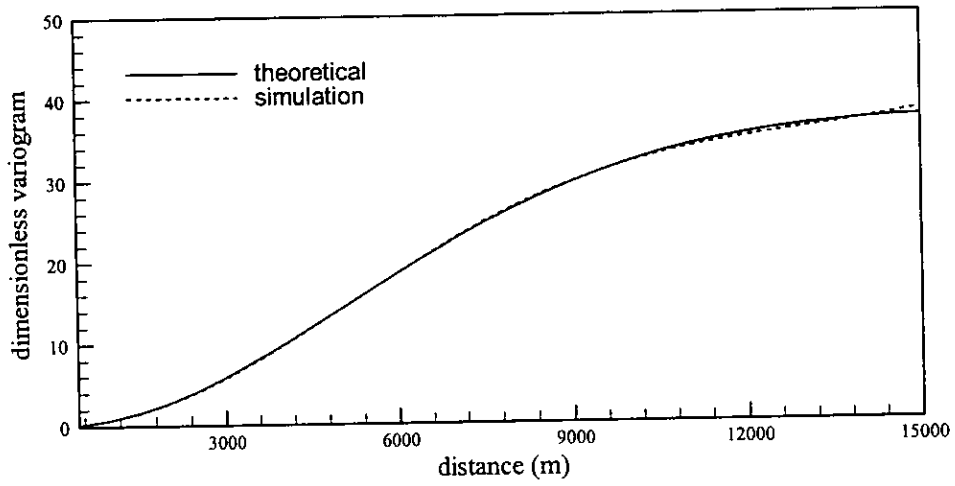


(B) 含水層2

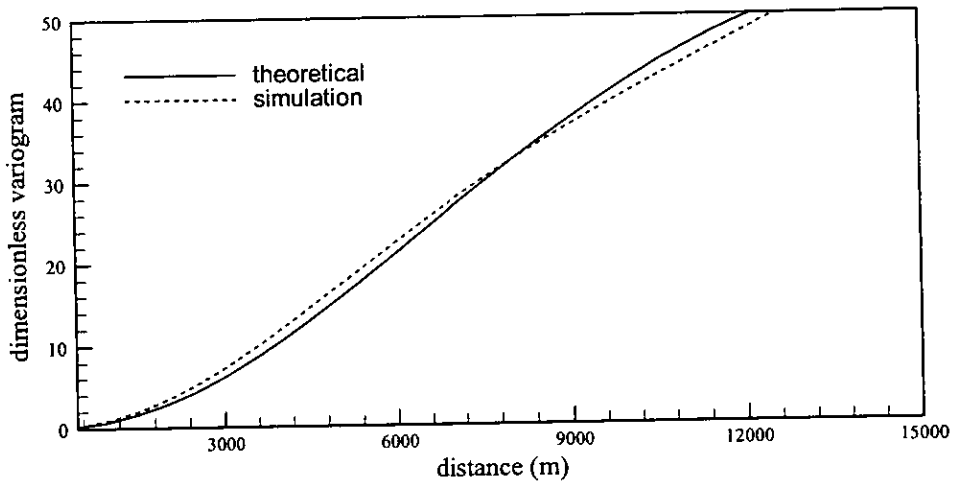


(C) 含水層3

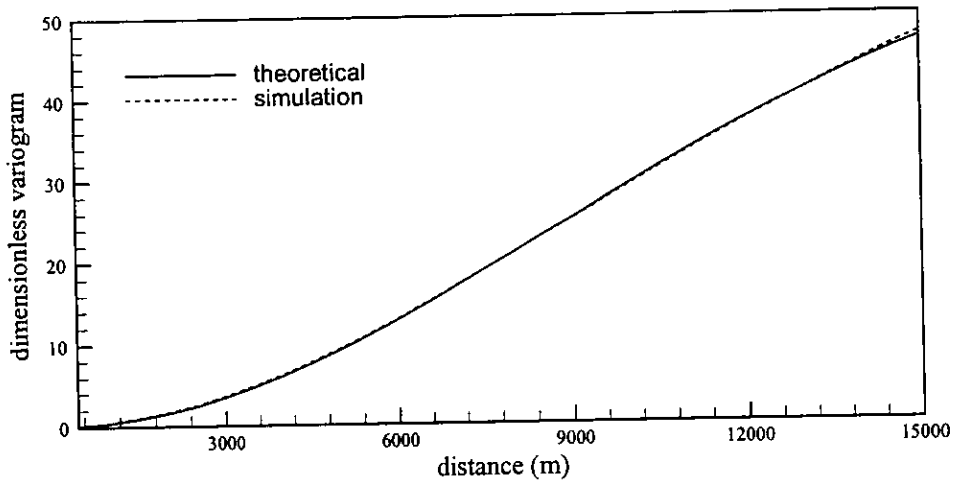
圖6-32 直接以最佳化Kriging內插計算後之變異元函數模擬值



(A) 含水層1



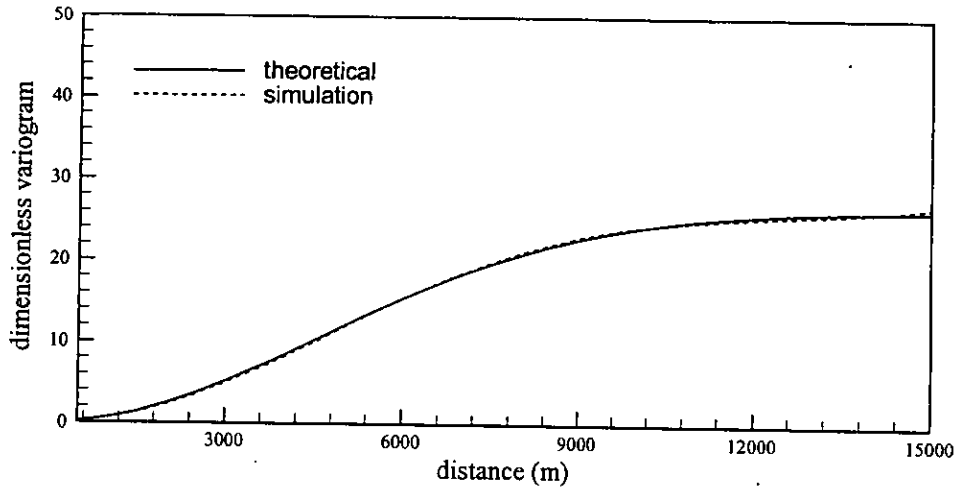
(B) 含水層2



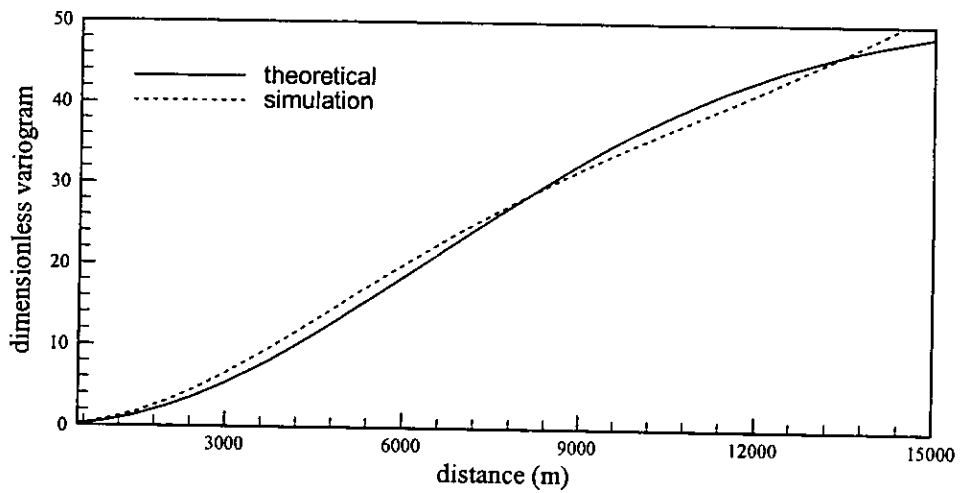
(C) 含水層3

圖6-33 經第四類空間延展分析後，以最佳化Kriging內插計算後之變異

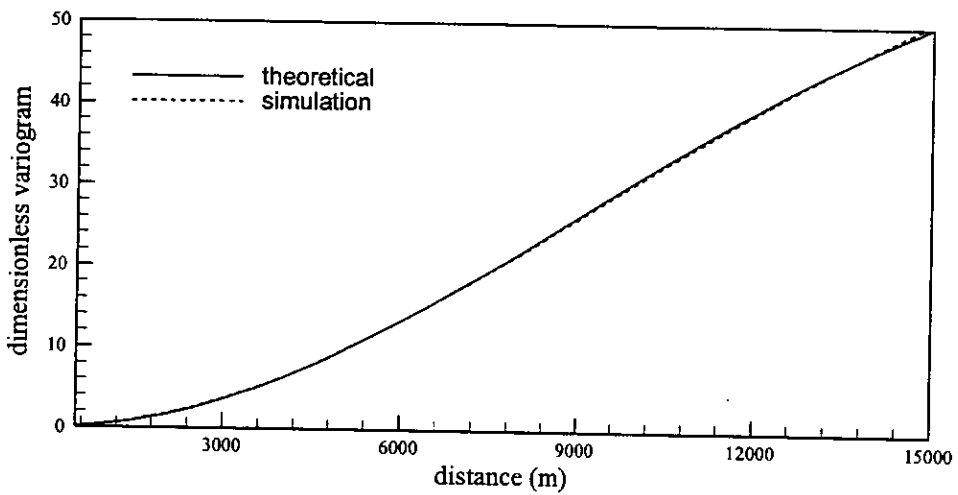
元函數模擬值



(A) 含水層1



(B) 含水層2



(C) 含水層3

圖6-34 經第四類與第五類空間延展分析後，以最佳化Kriging內插計算後之變異元函數模擬值

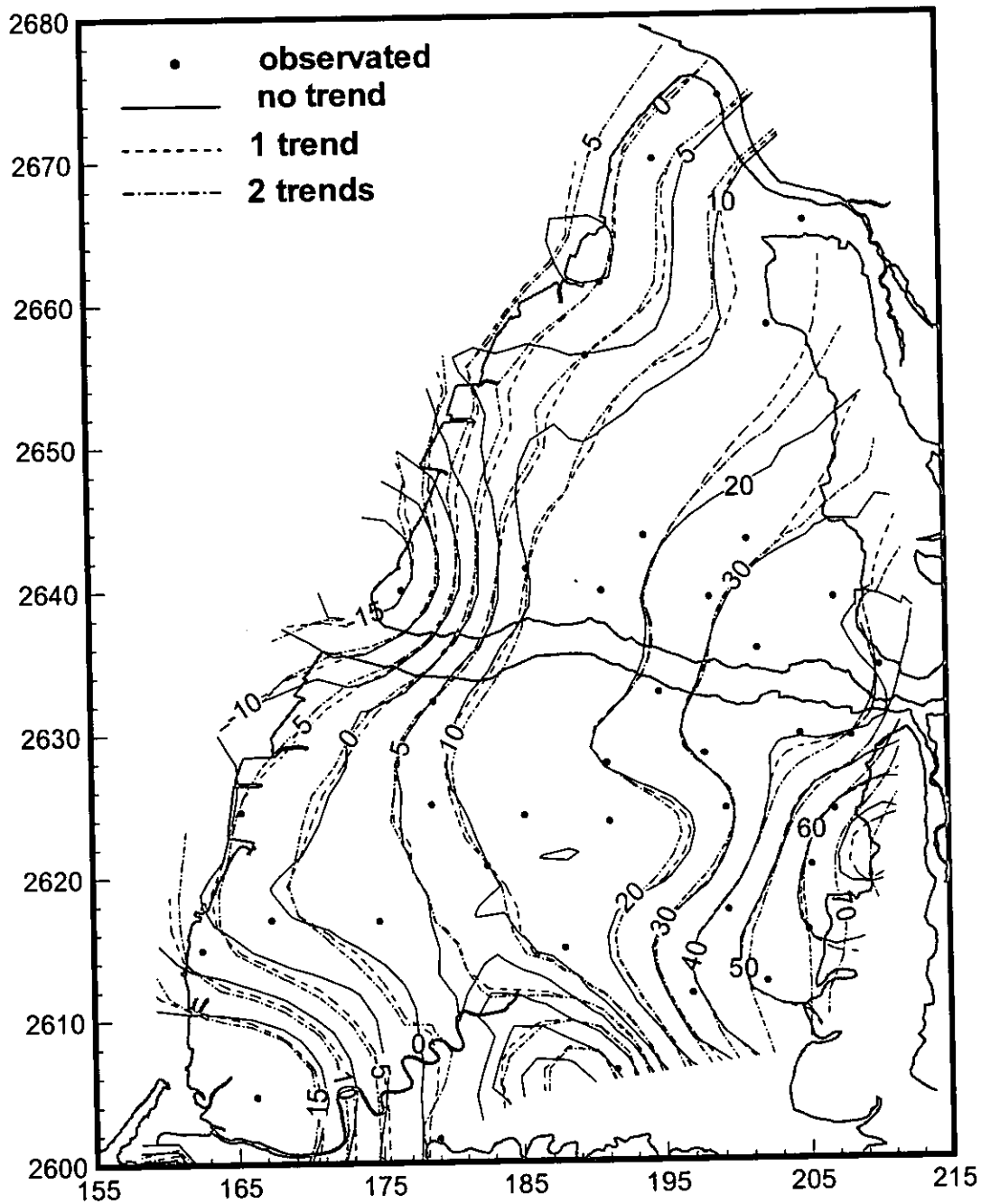


圖6-35 不同形態延展趨勢配合Kriging內插模式之水位等值線計算結果 (含水層1)

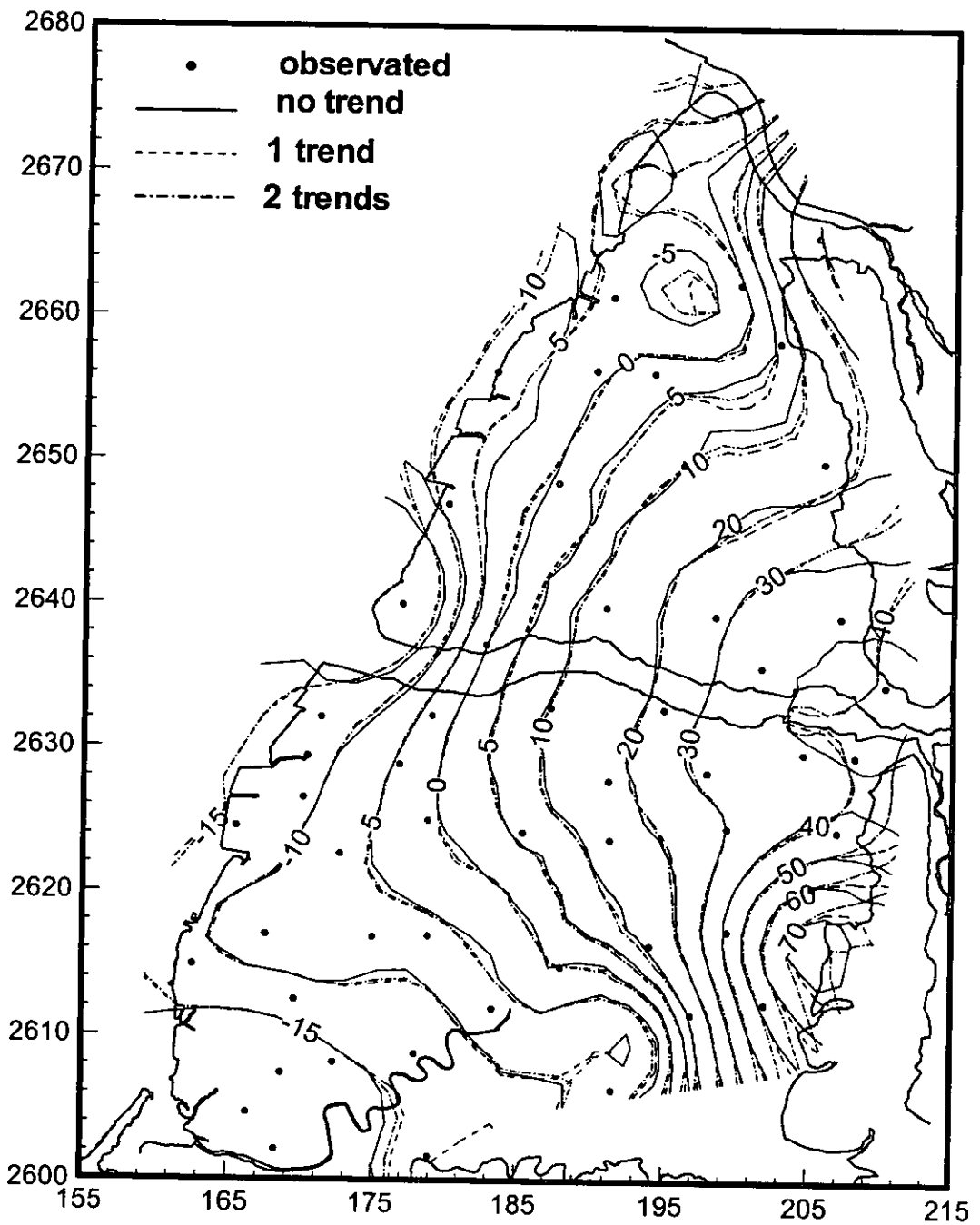


圖6-35 (續1)不同形態延展趨勢配合Kriging內插模式之水位等值線計算結果(含水層2)

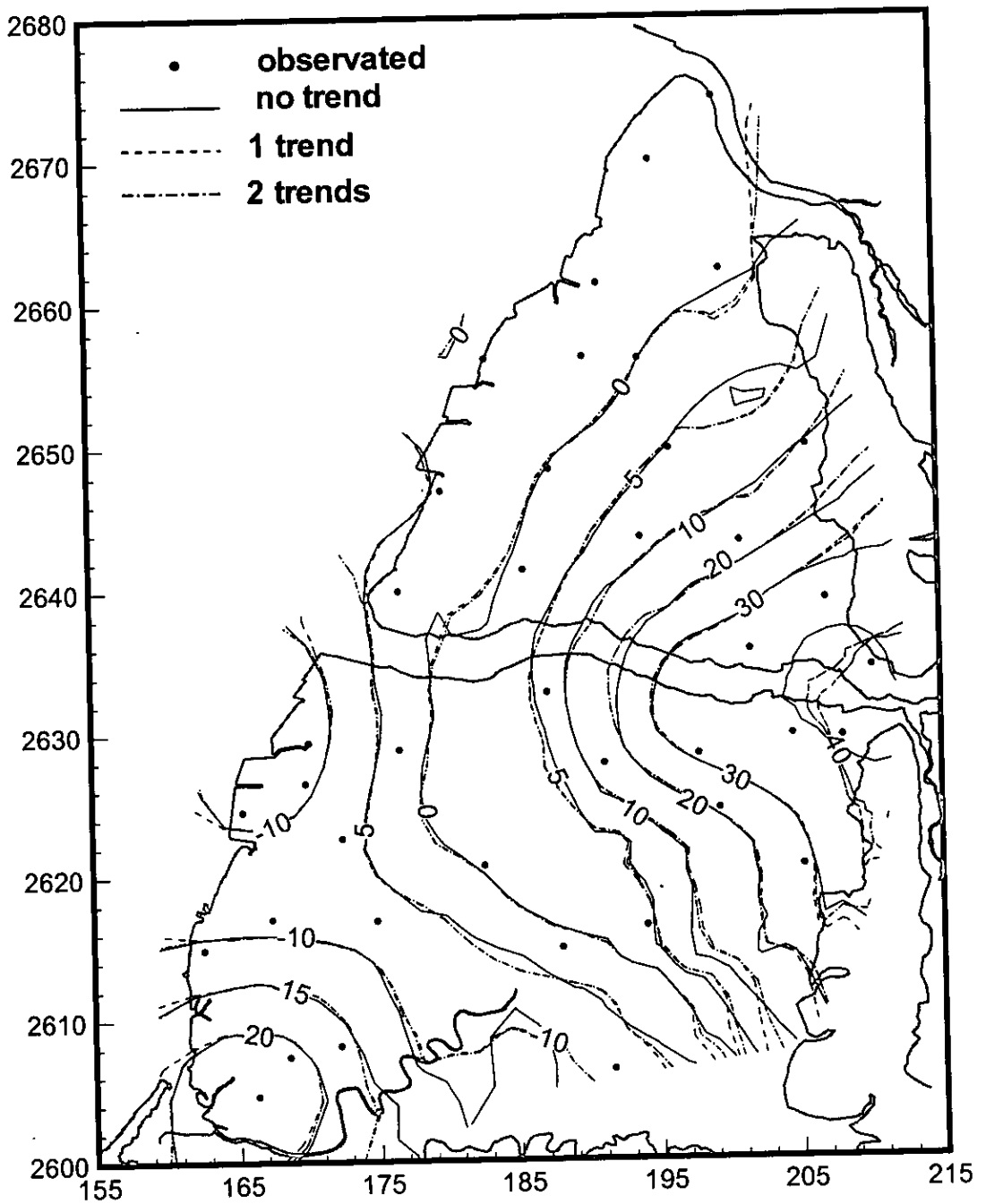
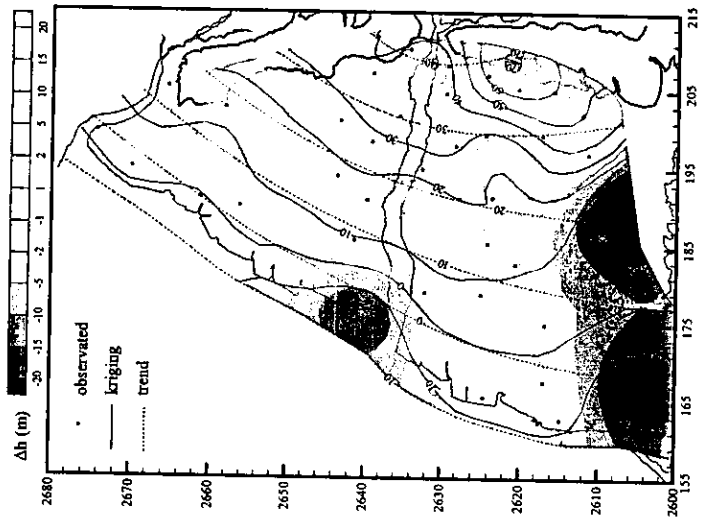
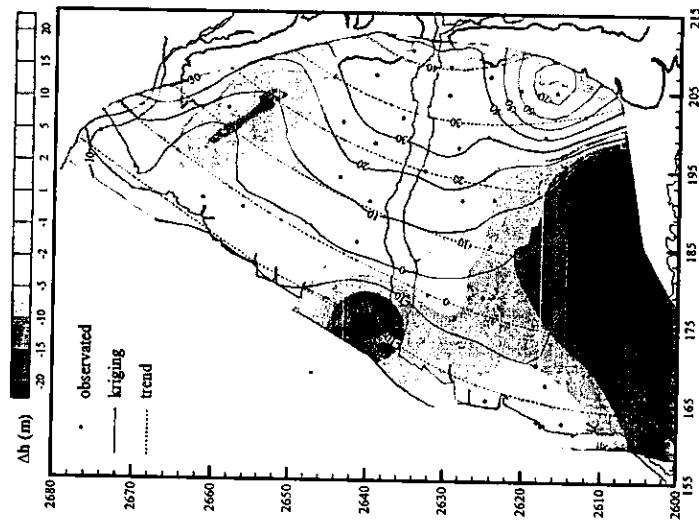


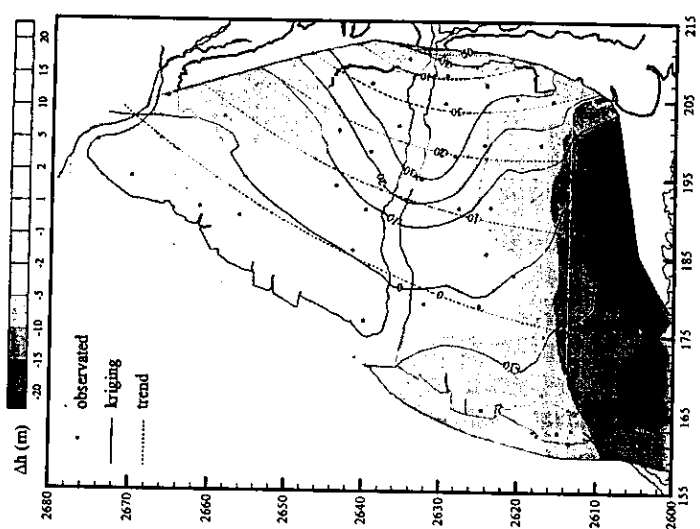
圖6-35 (續2)不同形態延展趨勢配合Kriging內插模式之水位等值線計算結果(含水層3)



(A)含水層1

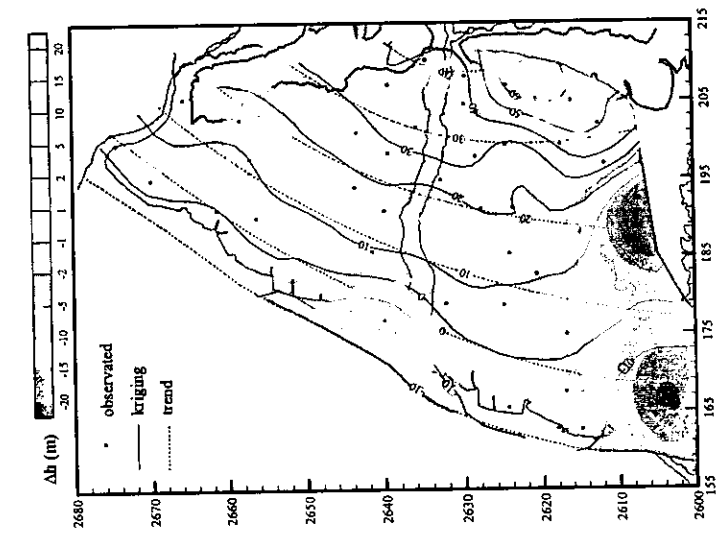


(B)含水層2

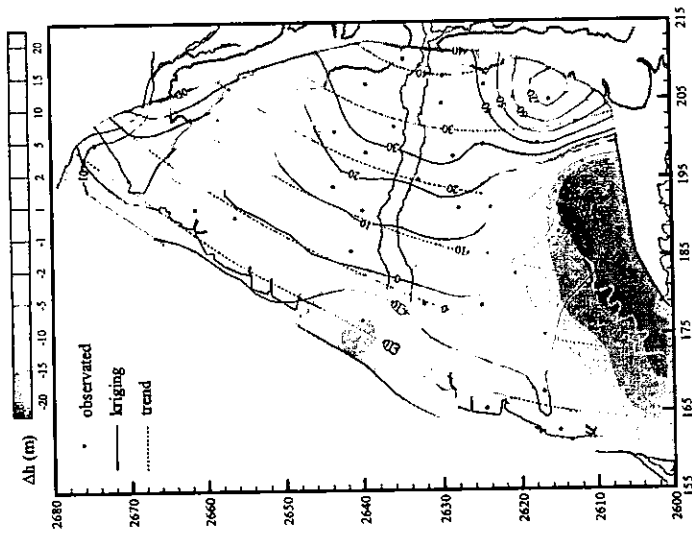


(C)含水層3

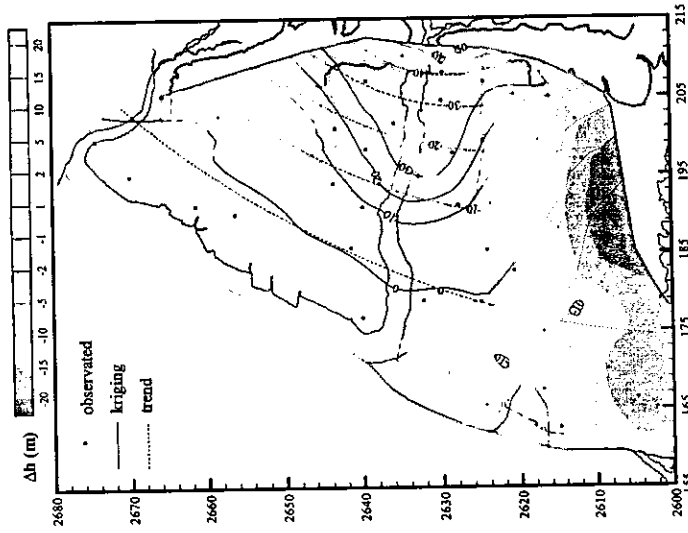
圖6-36 利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年1月15日)



(A)含水層1

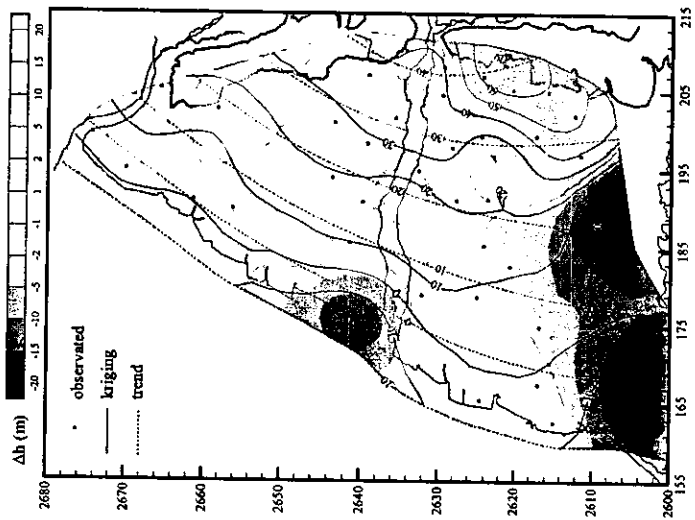


(B)含水層2

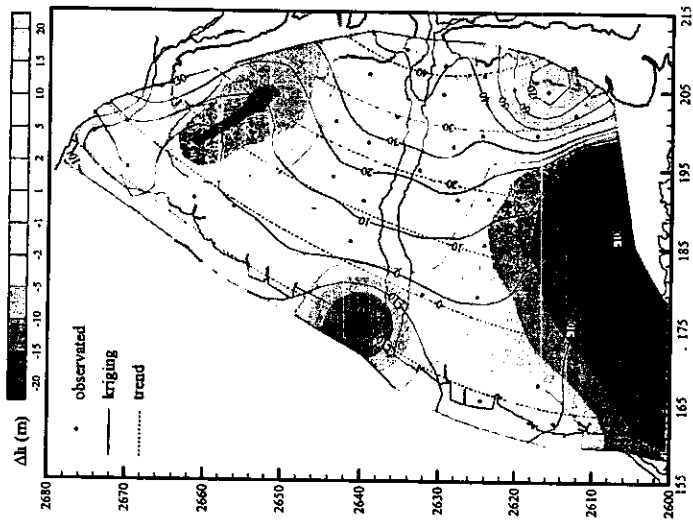


(C)含水層3

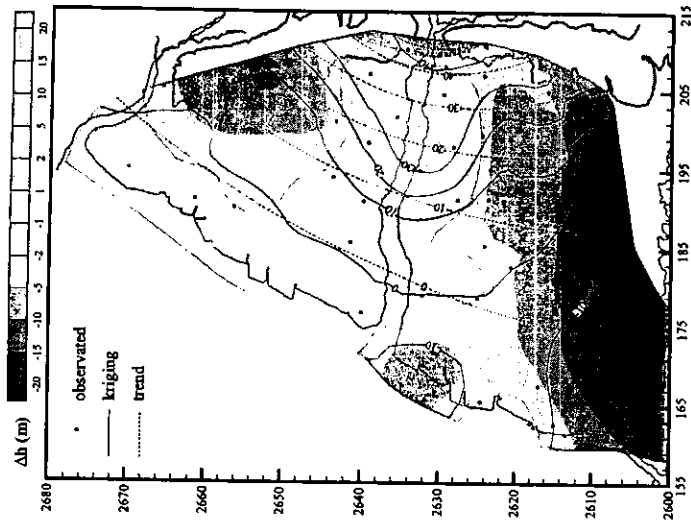
圖6-36 (續1)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年2月15日)



(A)含水層1

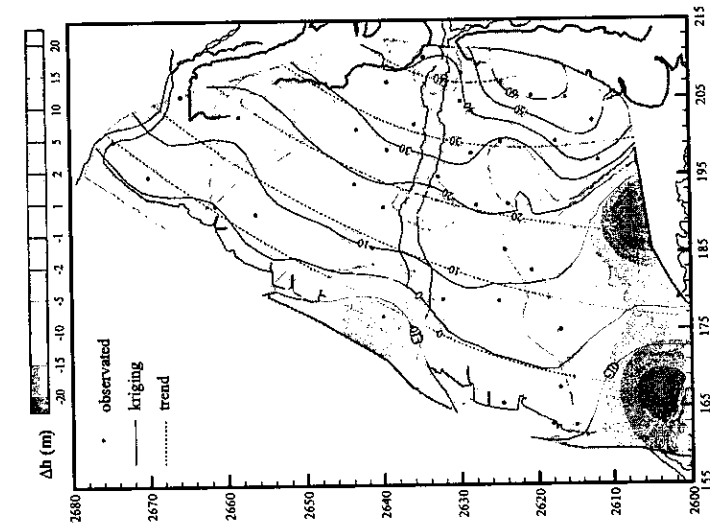


(B)含水層2

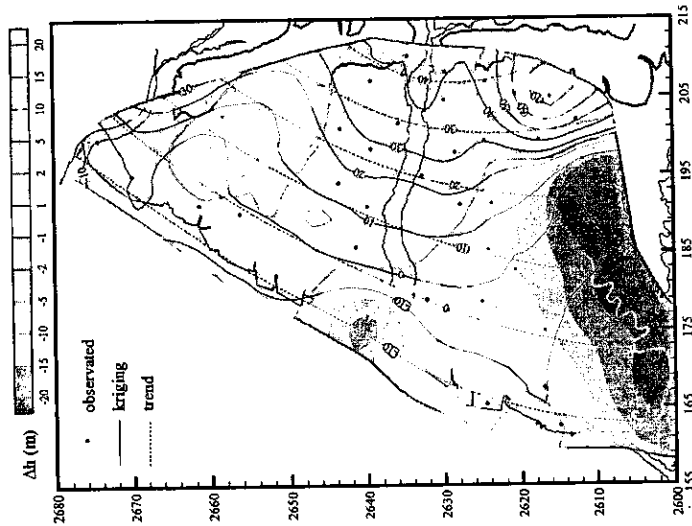


(C)含水層3

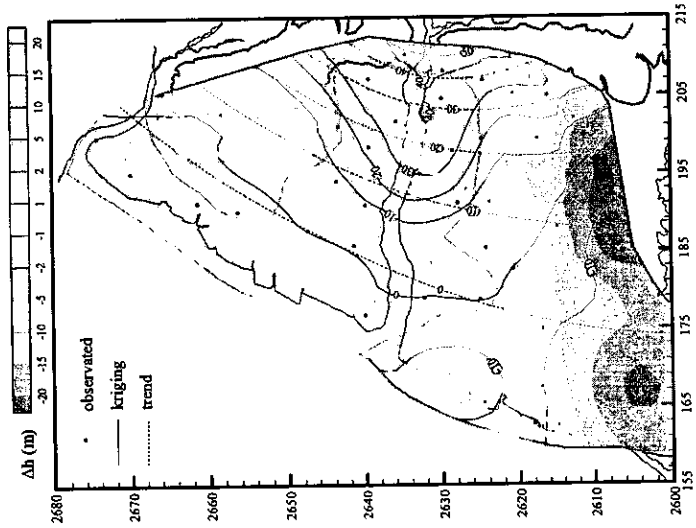
圖6-36 (續2)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年3月15日)



(A)含水層1

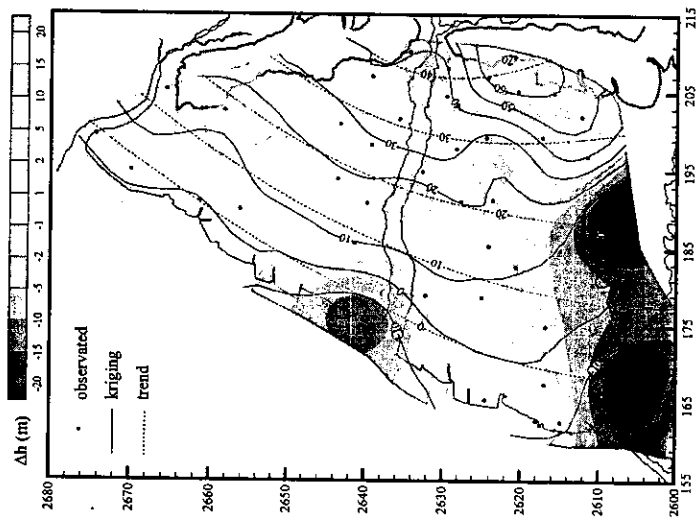


(B)含水層2

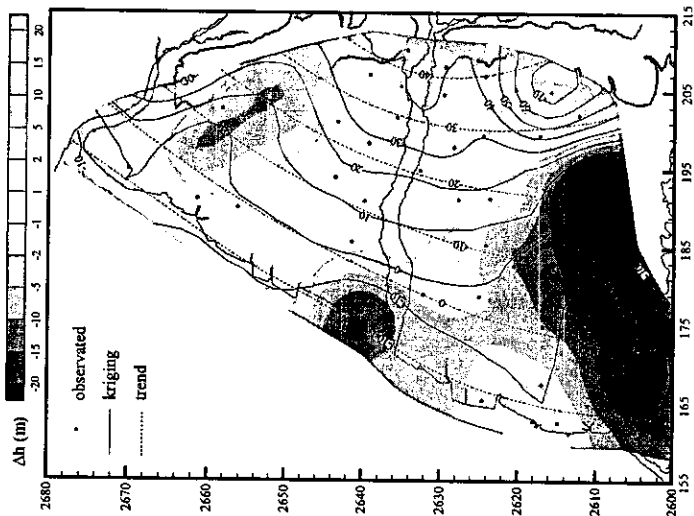


(C)含水層3

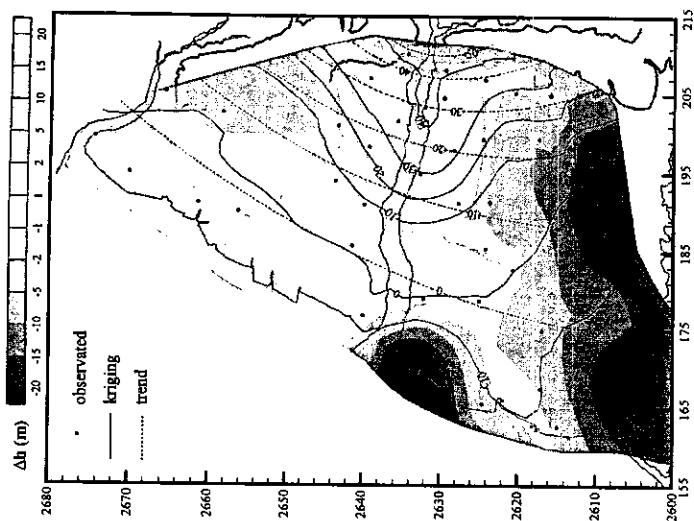
圖6-36 (續3)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年4月15日)



(A)含水層1

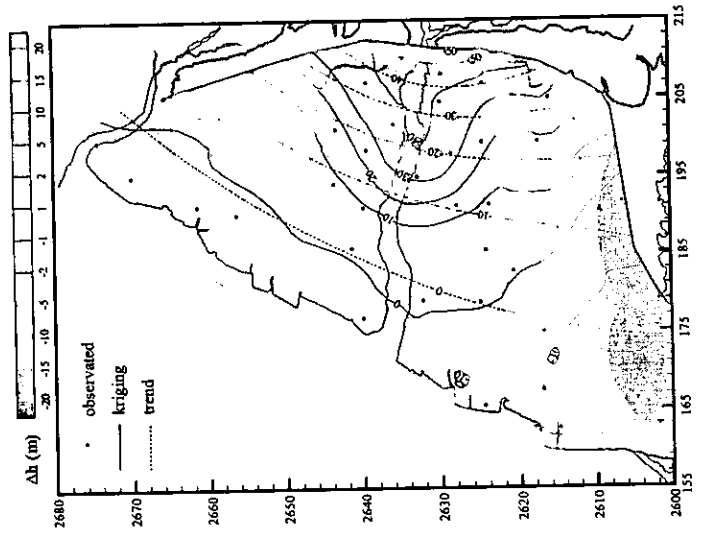


(B)含水層2

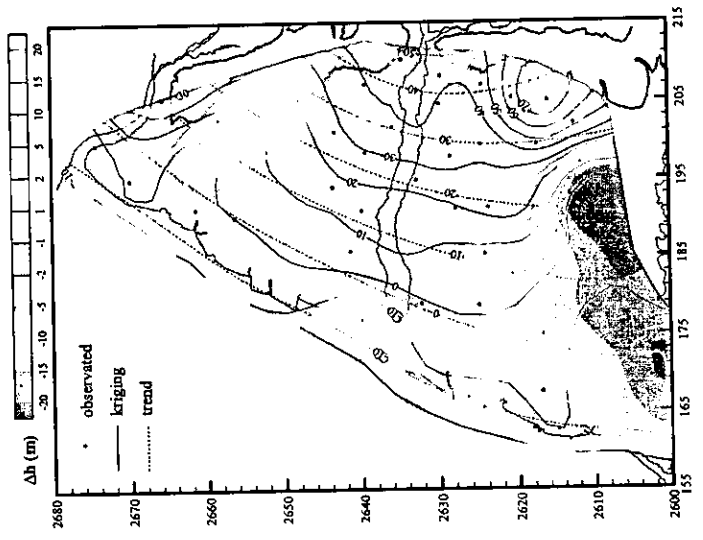


(C)含水層3

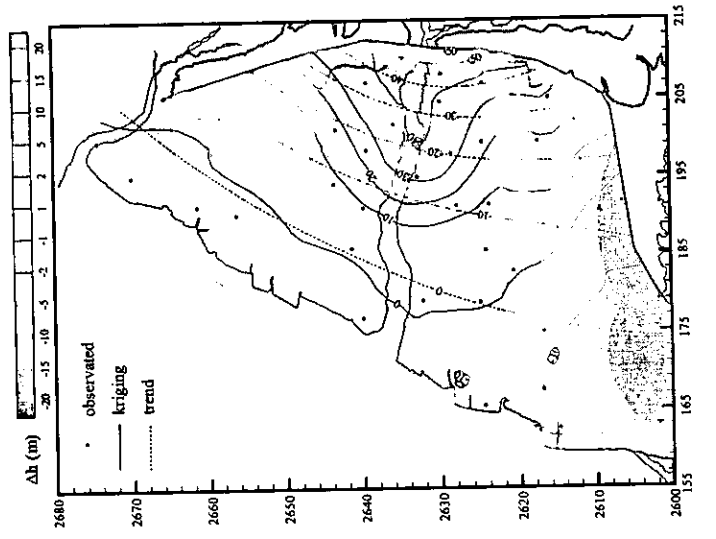
圖6-36 (續4)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年5月15日)



(A)含水層1

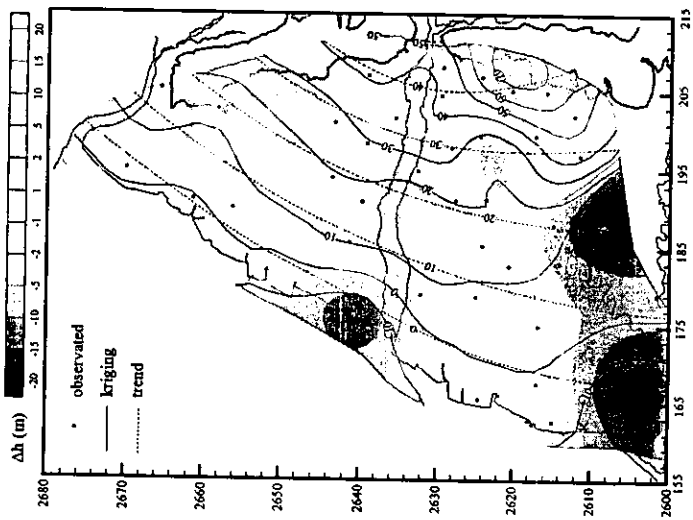


(B)含水層2

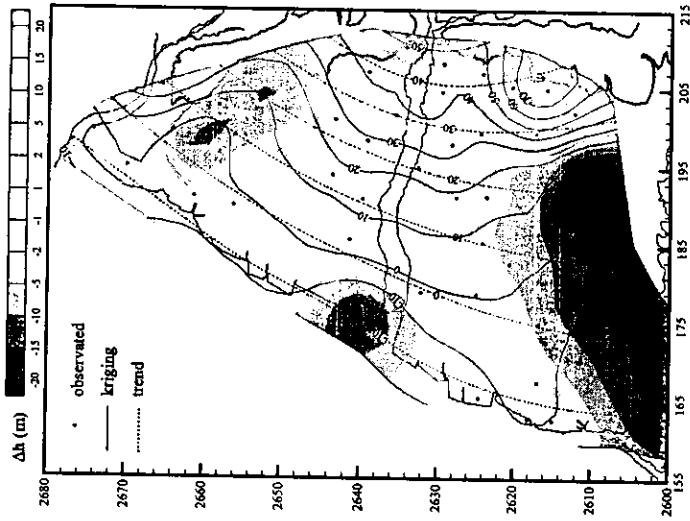


(C)含水層3

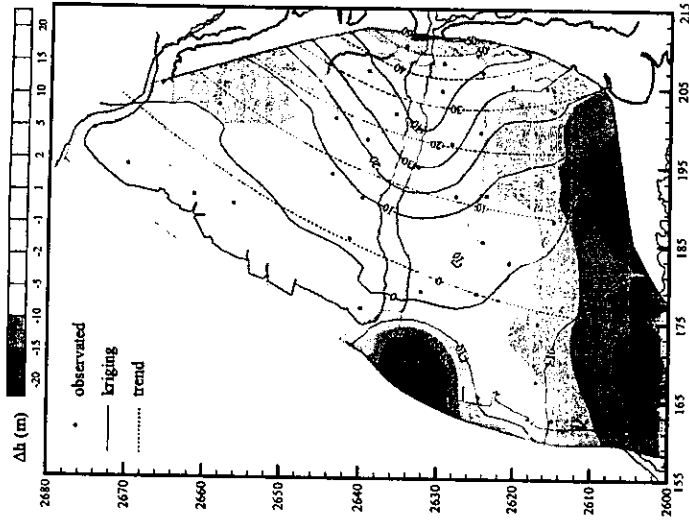
圖6-36 (續5)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年6月15日)



(A)含水層1

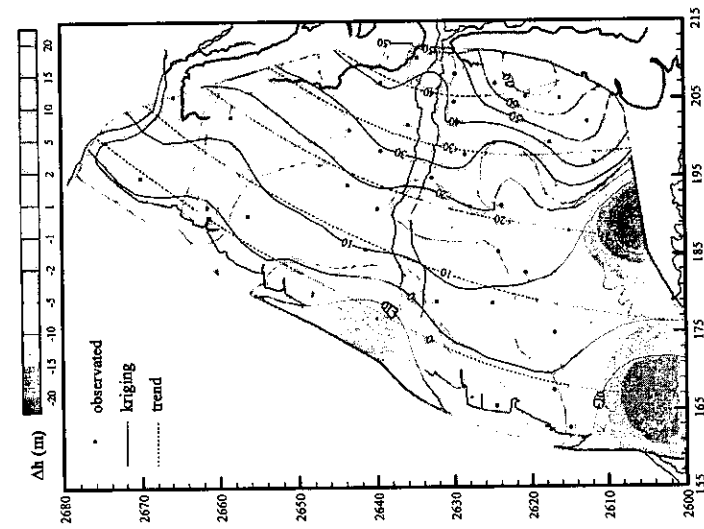


(B)含水層2

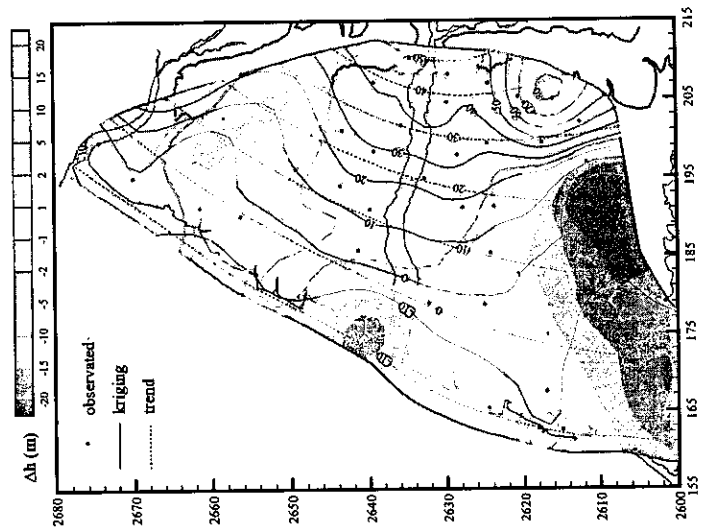


(C)含水層3

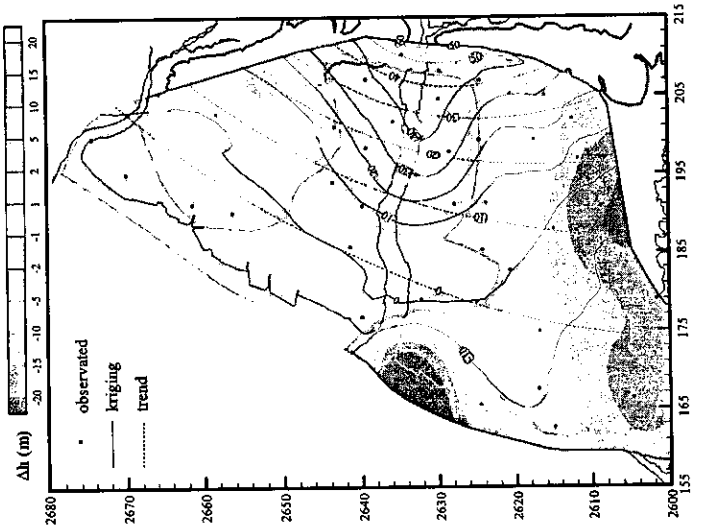
圖6-36 (續6)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年7月15日)



(A)含水層1

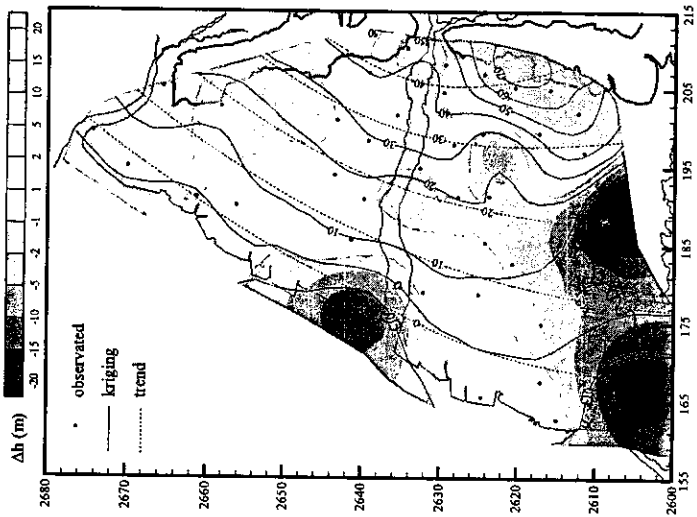


(B)含水層2

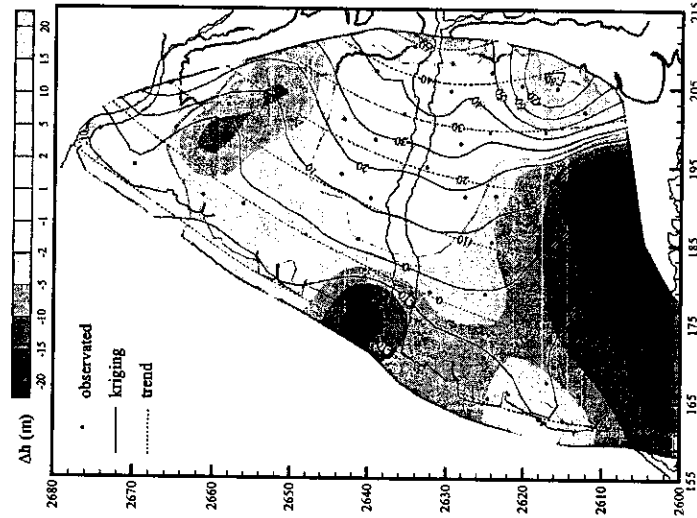


(C)含水層3

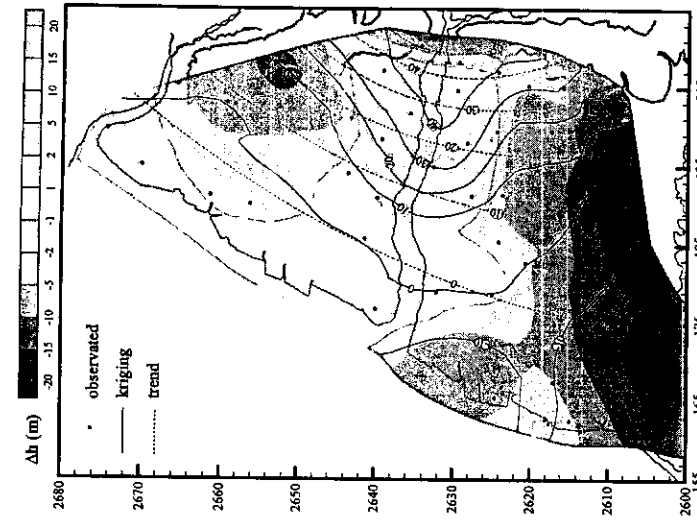
圖6-36 (續7)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年8月15日)



(A)含水層1

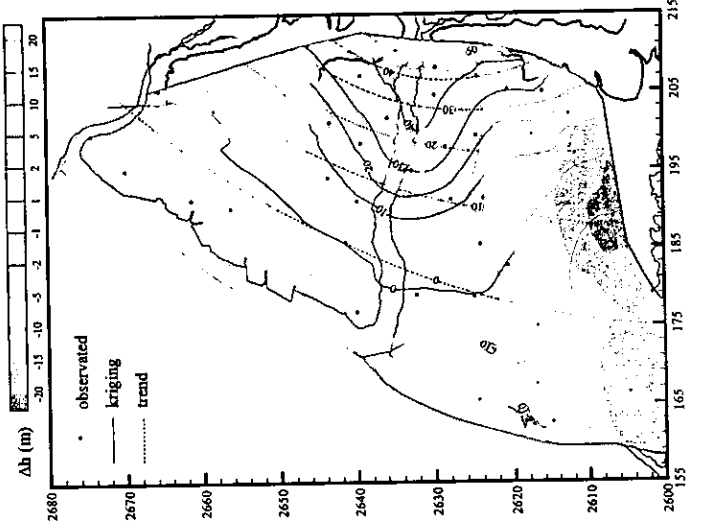


(B)含水層2

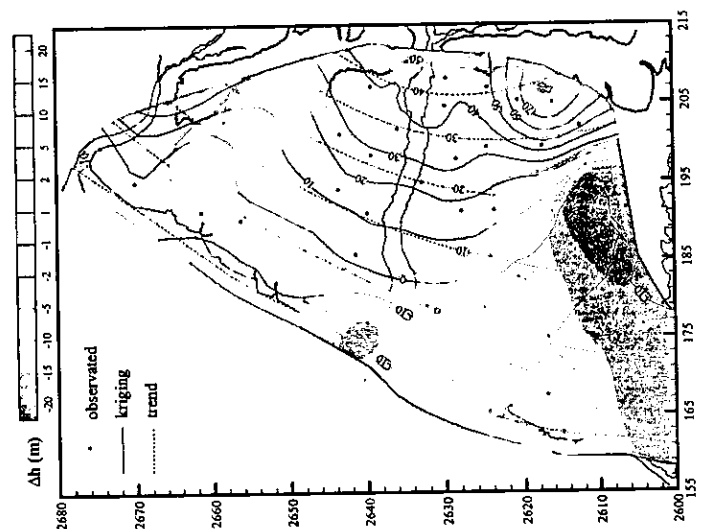


(C)含水層3

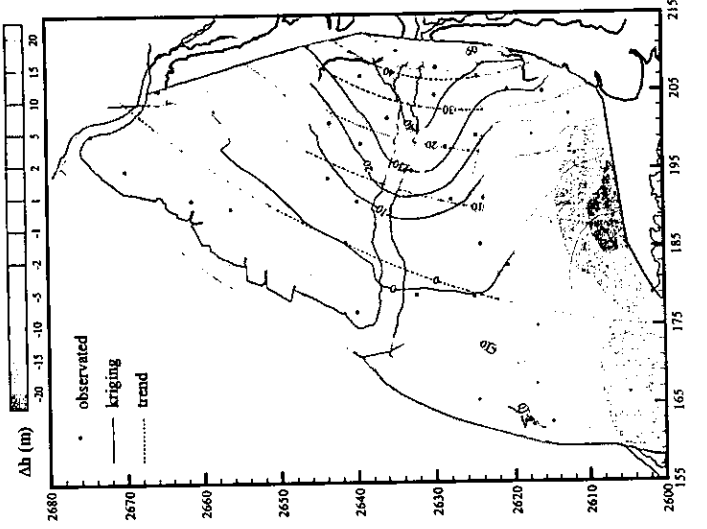
圖6-36 (續8)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年9月15日)



(A)含水層1

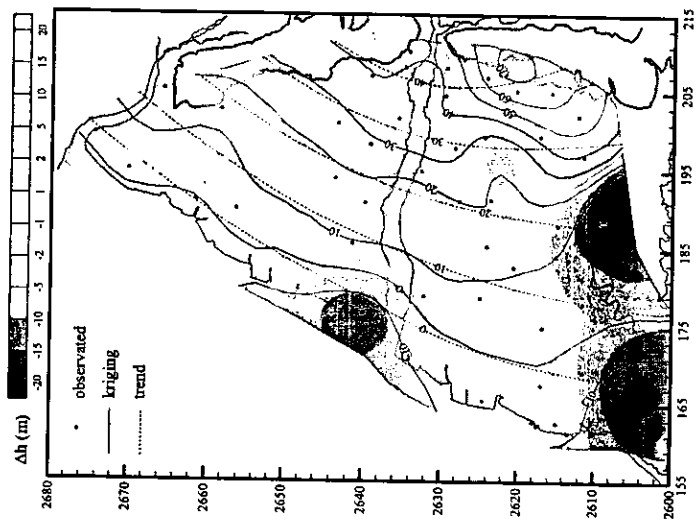


(B)含水層2

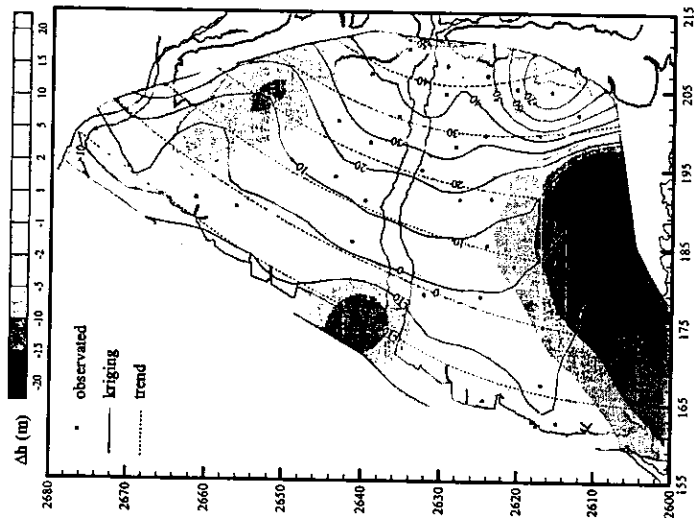


(C)含水層3

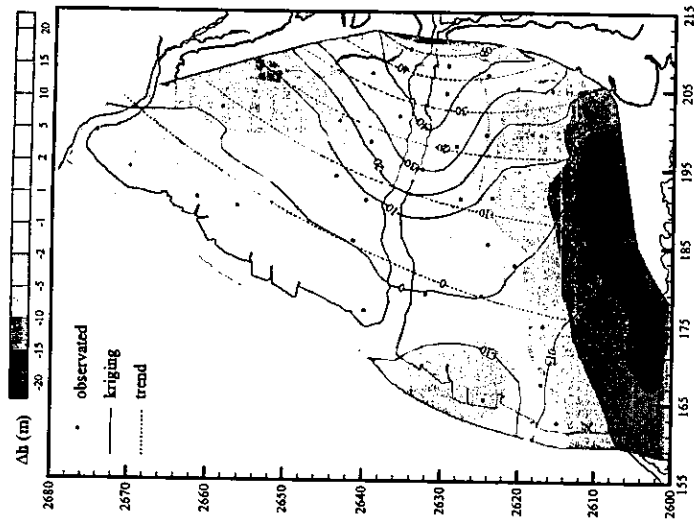
圖6-36 (續9)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年10月15日)



(A)含水層1

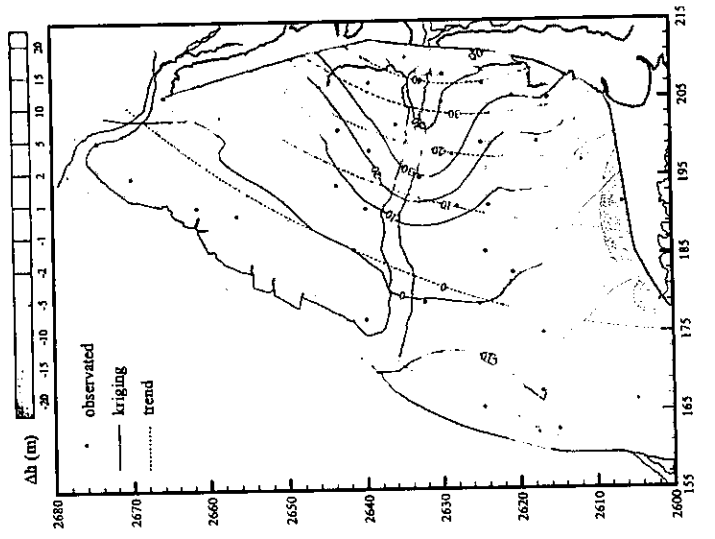


(B)含水層2

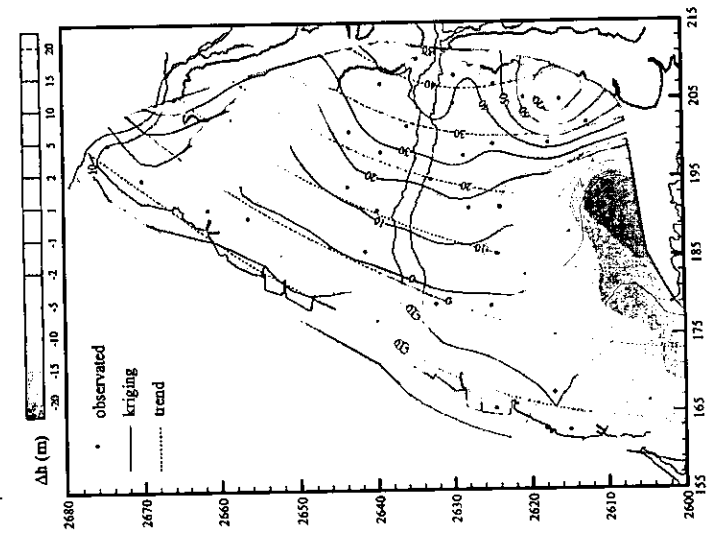


(C)含水層3

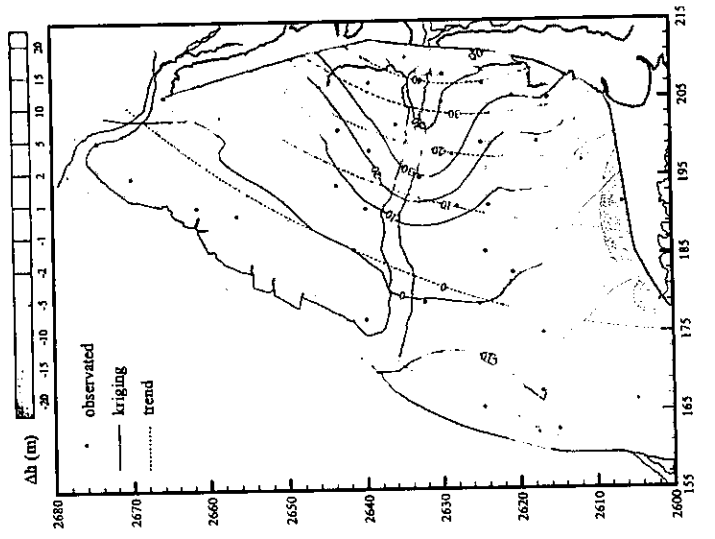
圖6-36 (續10)利用延展趨勢配合Kriging空間插值模式計算含水層水位等值線分布(1998年11月15日)



(A)含水層1



(B)含水層2



(C)含水層3

圖 6-36 (續 11) 利用 延 展 趨 勢 配 合 Kriging 空 間 插 值 模 式 計 算 含 水 層 水 位 等 值 線 分 布 (1998 年 12 月 15 日)

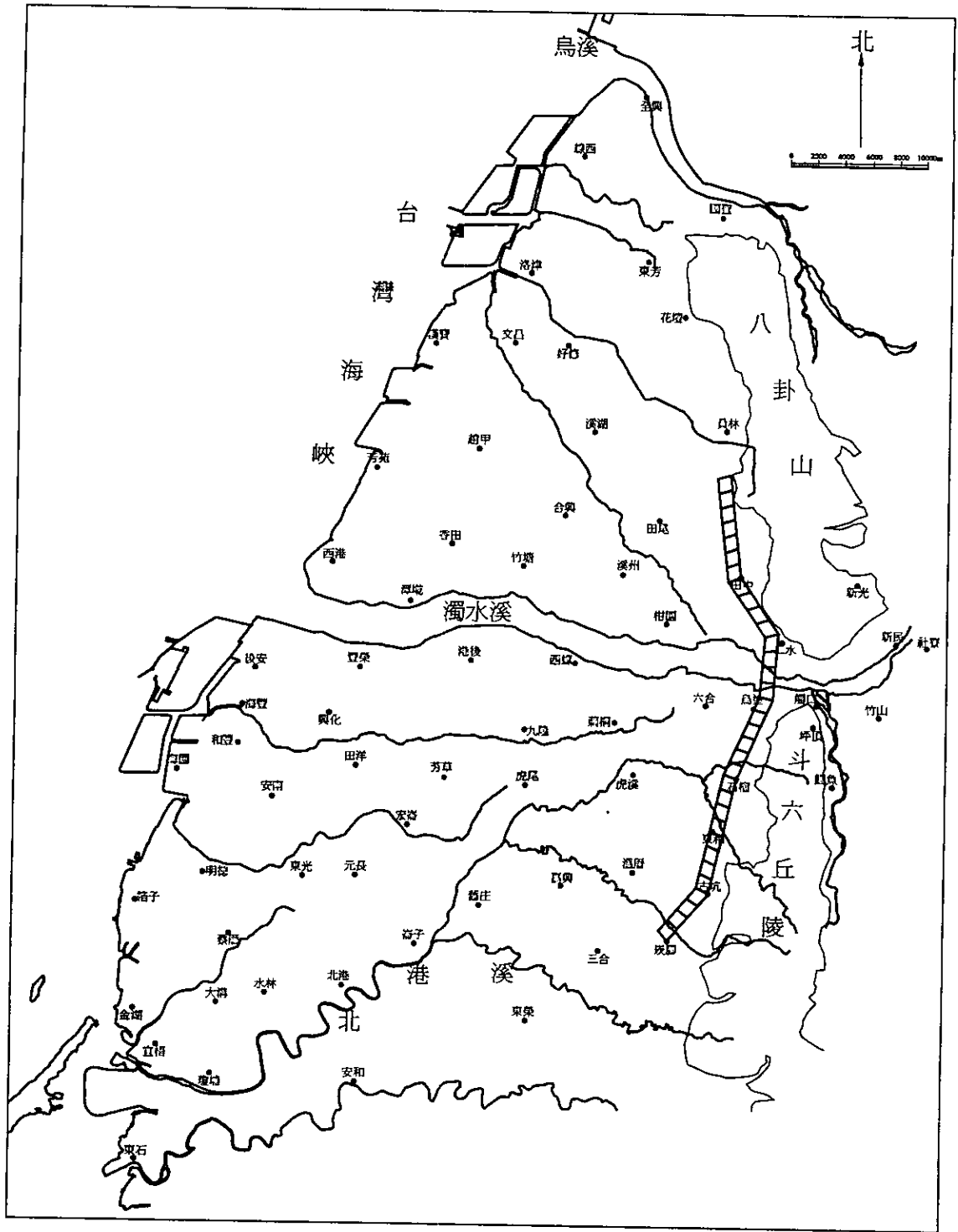


圖6-37 濁水溪沖積扇扇頂區域邊界側向流量計算節點與格網分布

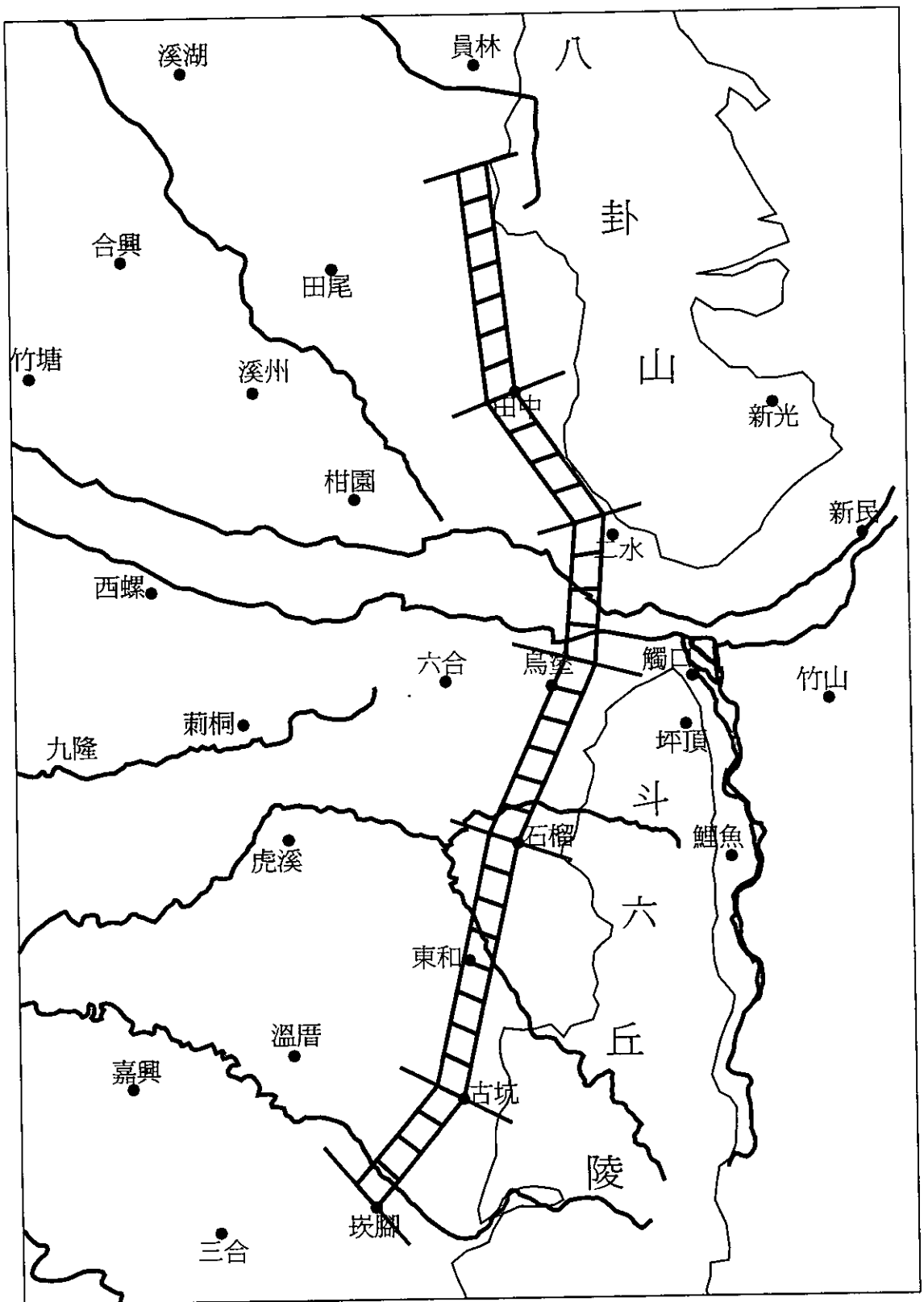


圖6-38 邊界側向流量統計分區位置

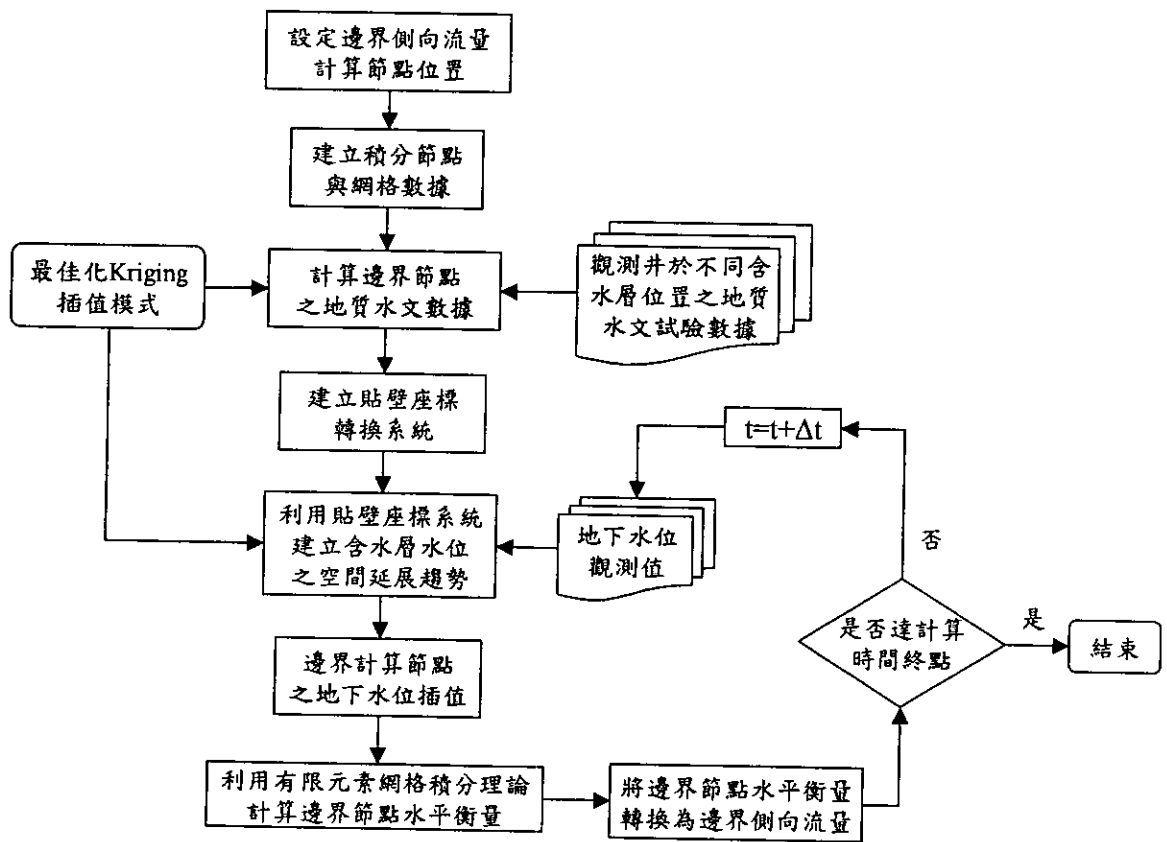


圖6-39 邊界側向流量計算流程圖

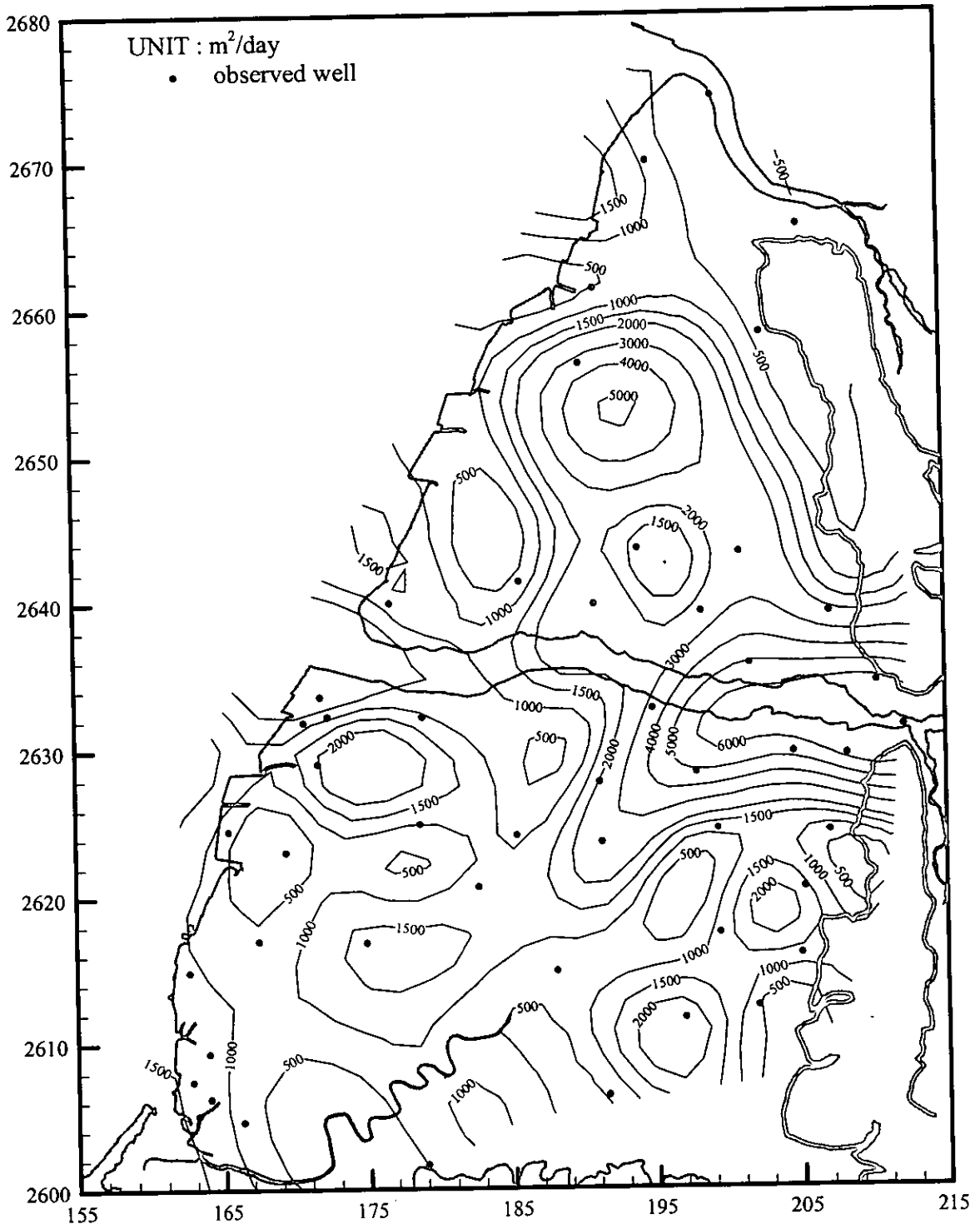


圖6-40 濁水溪沖積扇含水層傳輸係數等值線(含水層1)

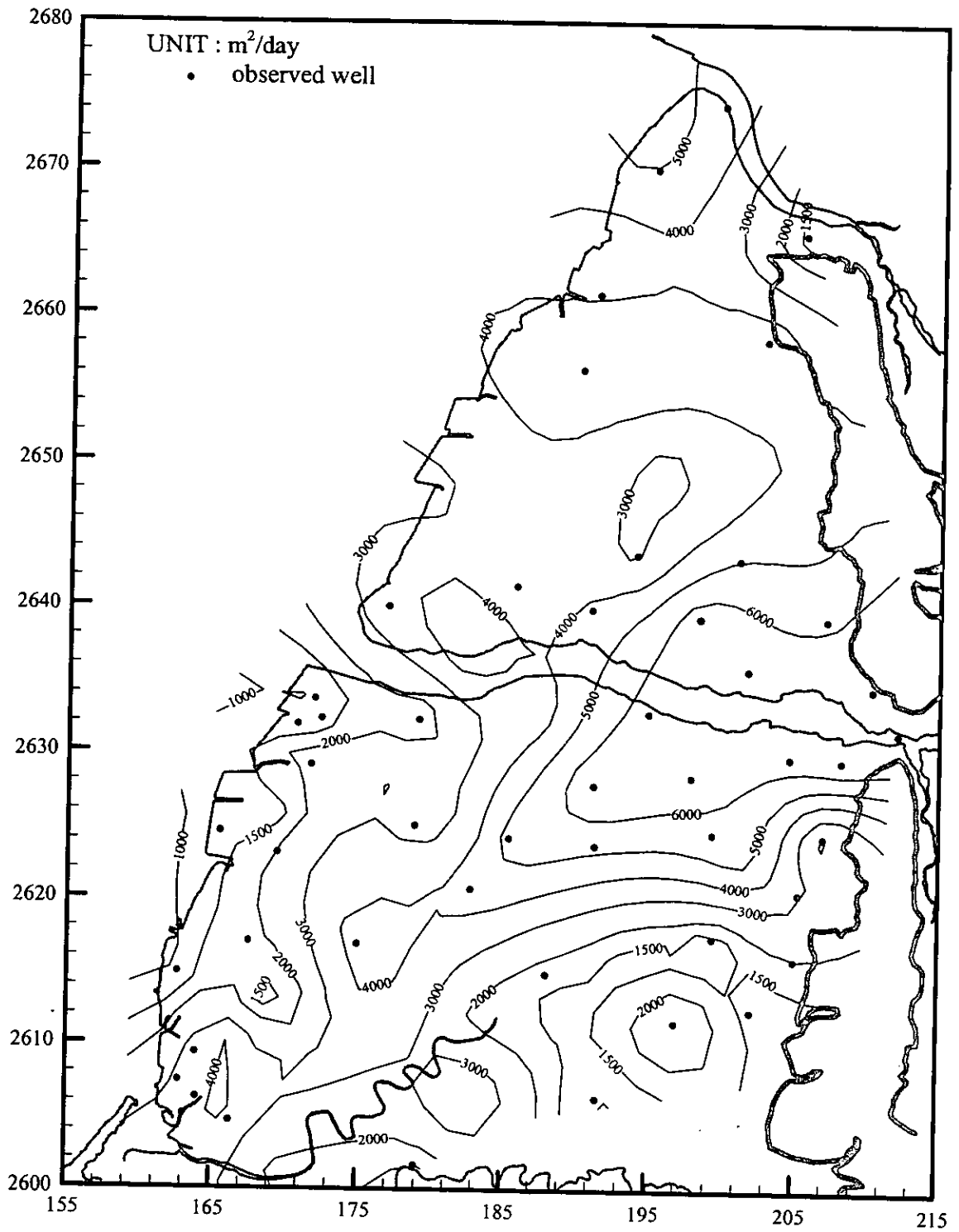


圖6-40 (續1)濁水溪沖積扇含水層傳輸係數等值線(含水層2)

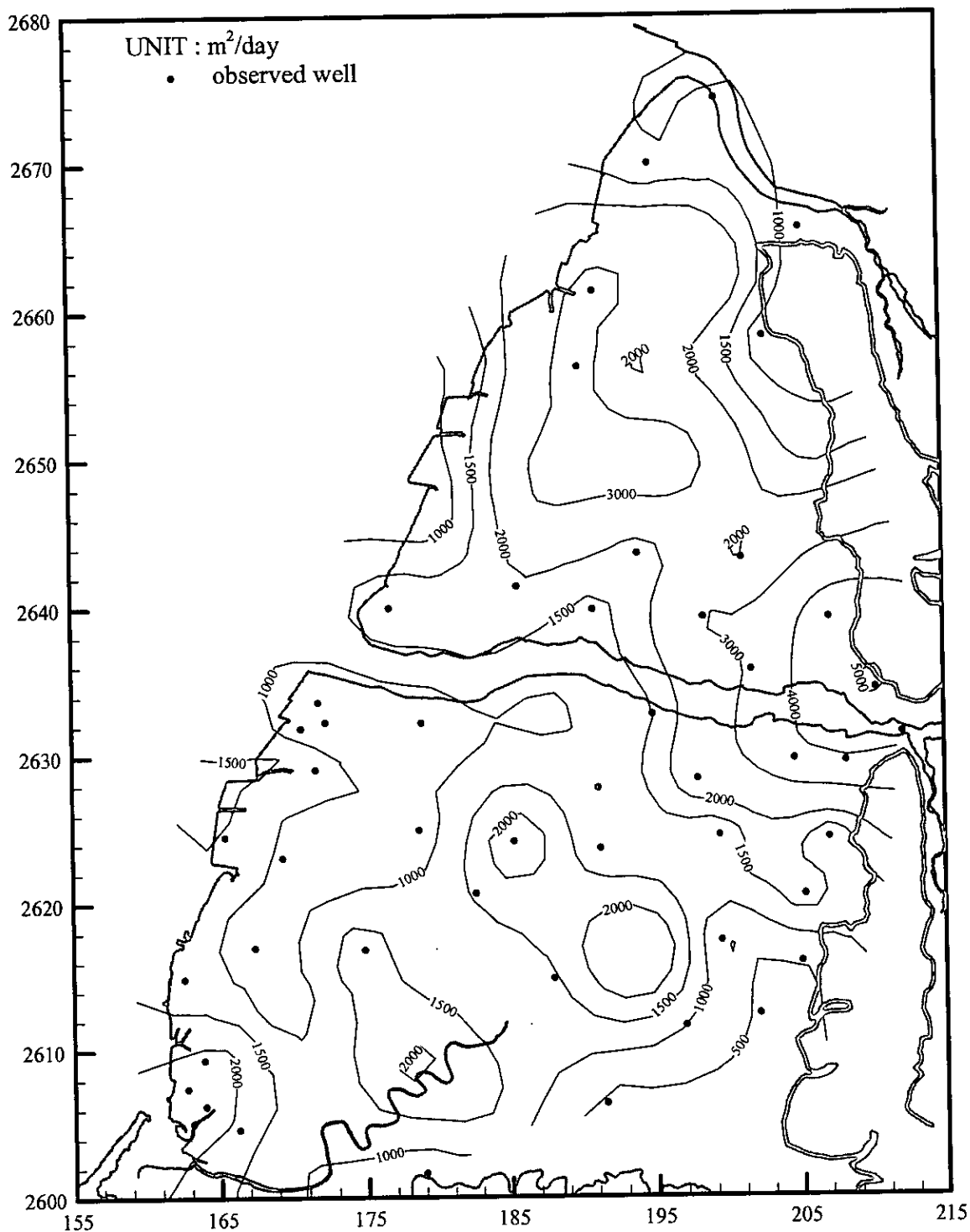


圖6-40 (續2)濁水溪沖積扇含水層傳輸係數等值線(含水層3)

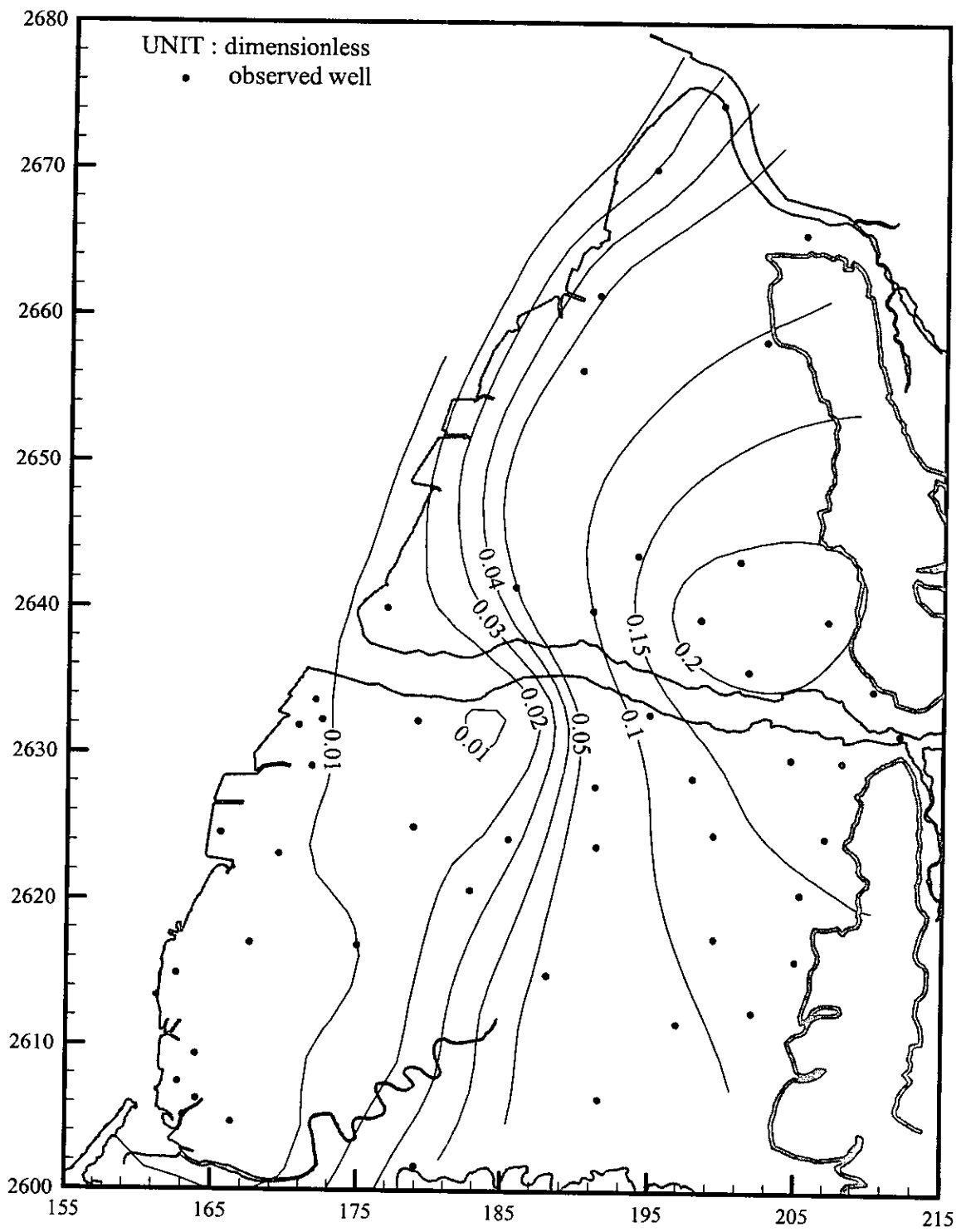


圖6-41 濁水溪沖積扇含水層儲水係數等值線(含水層1)

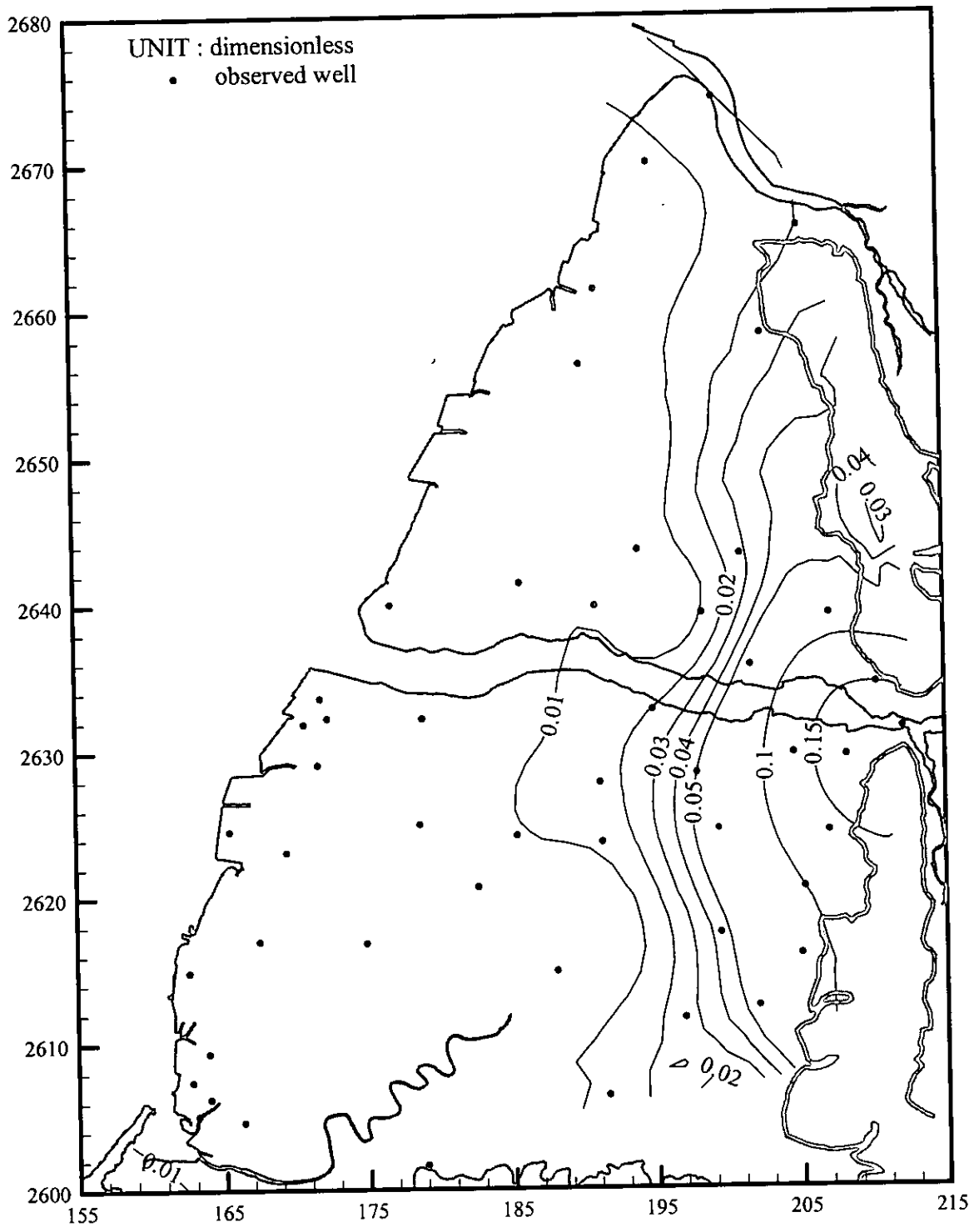


圖6-41 (續1)濁水溪沖積扇含水層儲水係數等值線(含水層2)

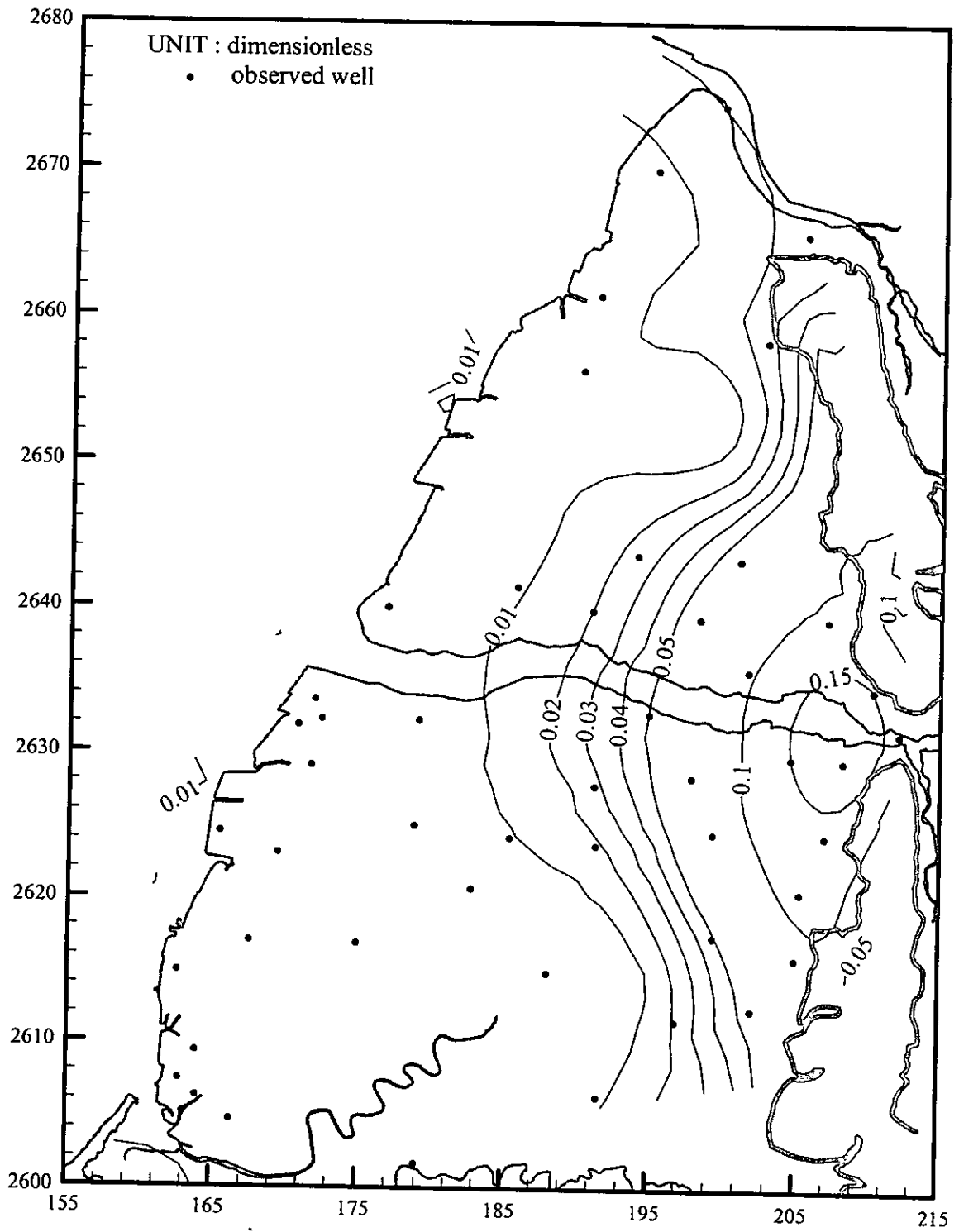


圖6-41 (續2)濁水溪沖積扇含水層儲水係數等值線(含水層3)

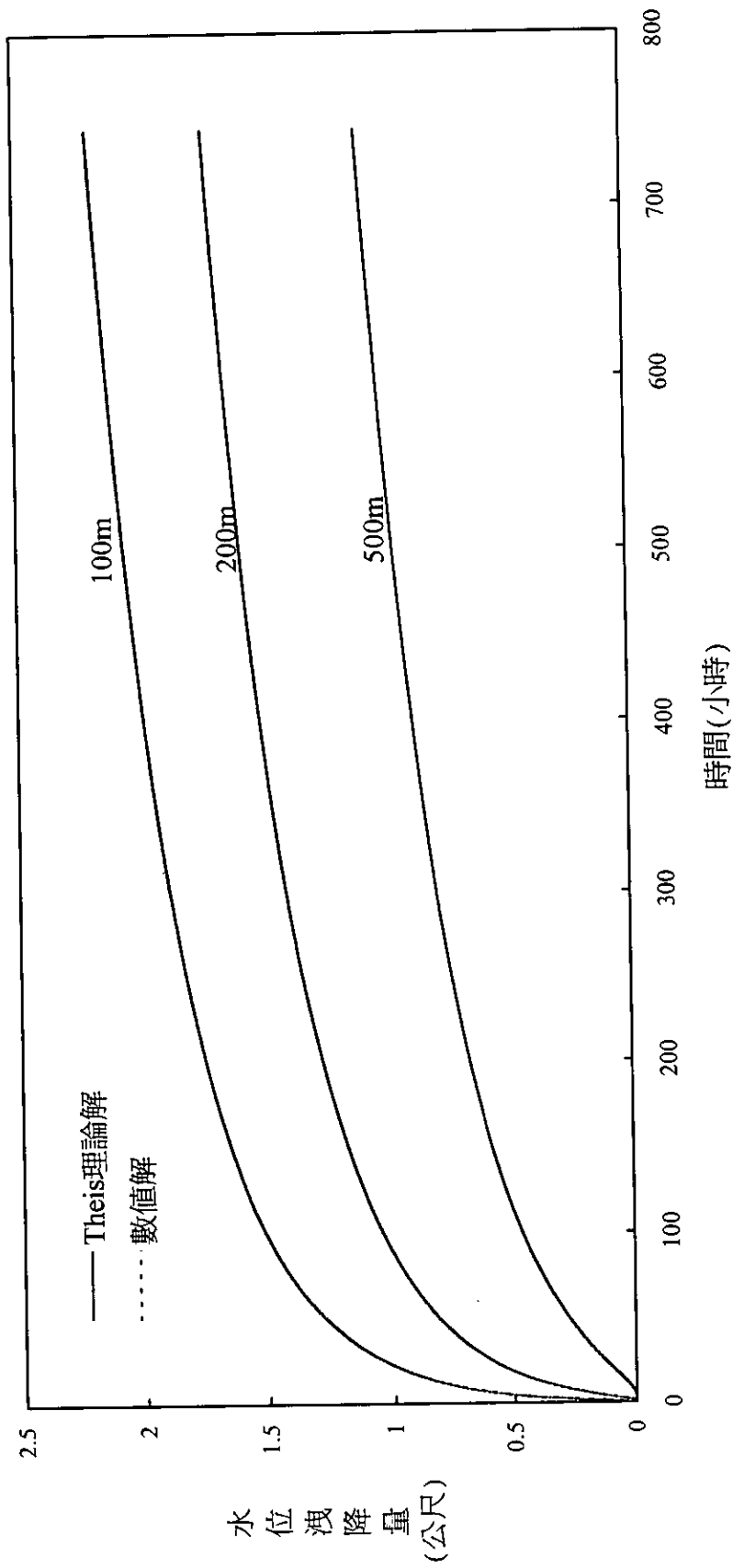


圖 7-1 單層抽水洩降數值解與Theis理論解之比較

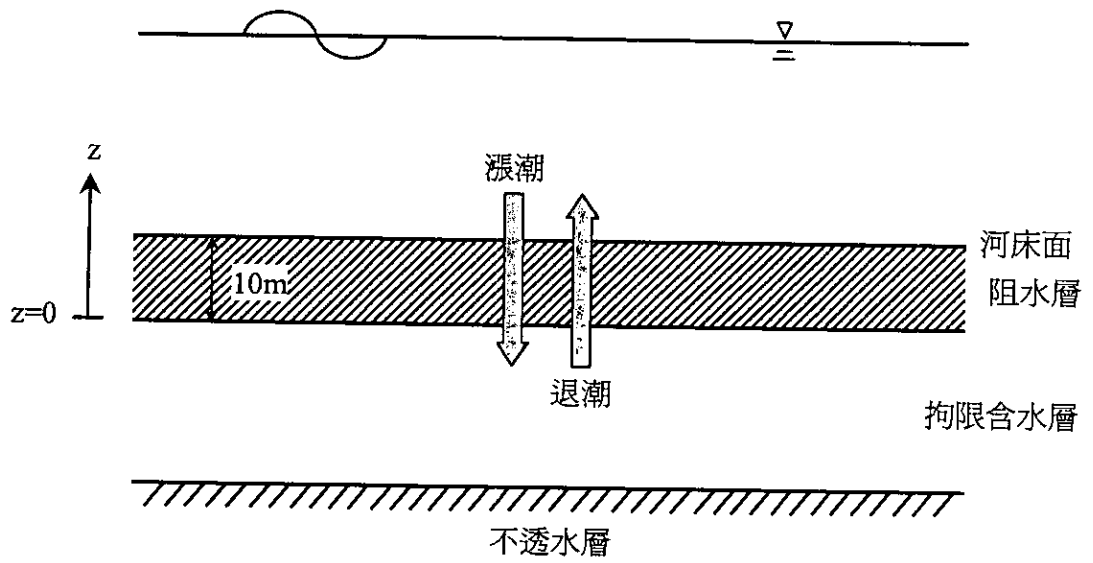


圖7-2 阻水層垂向流量模擬示意圖

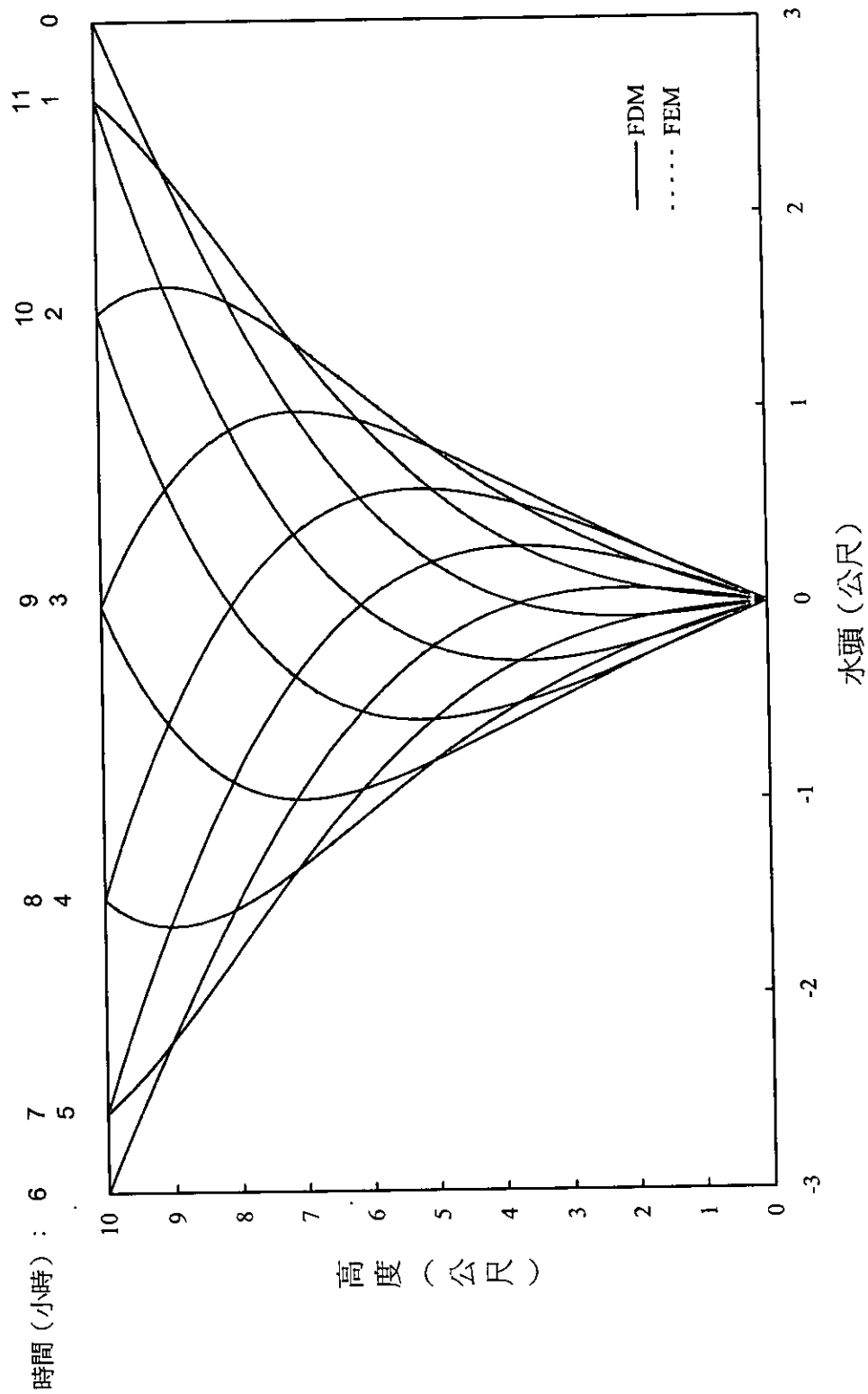


圖 7-3 阻水層內部垂向水頭變化歷程

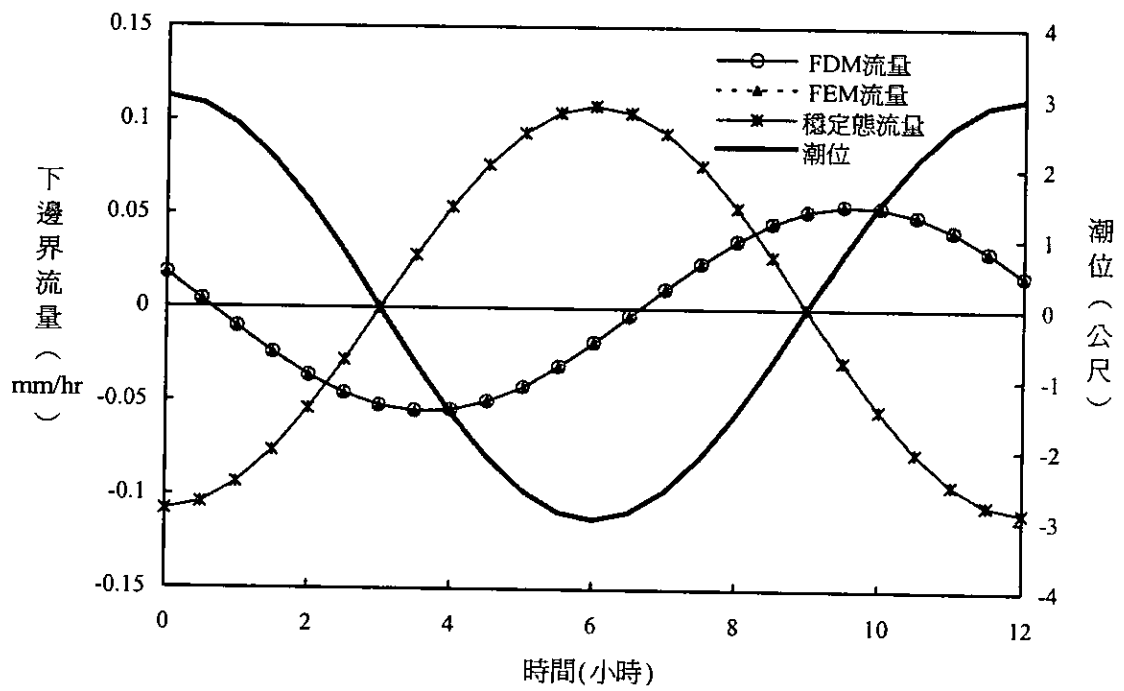
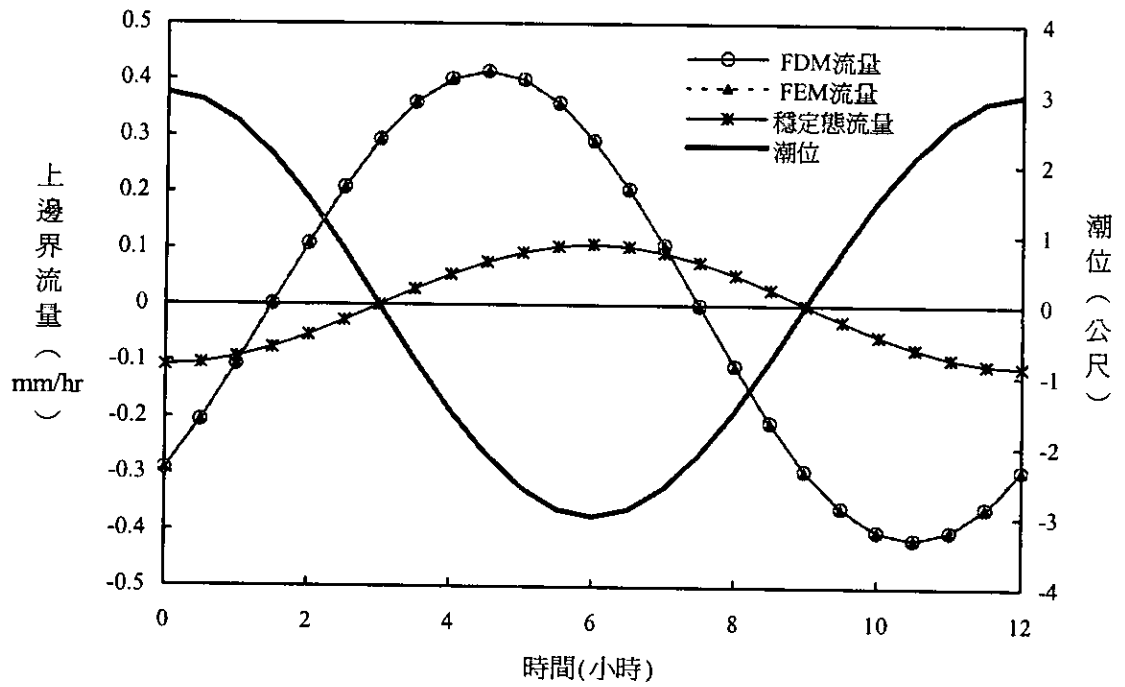


圖7-4 阻水層邊界垂向流量變化歷程

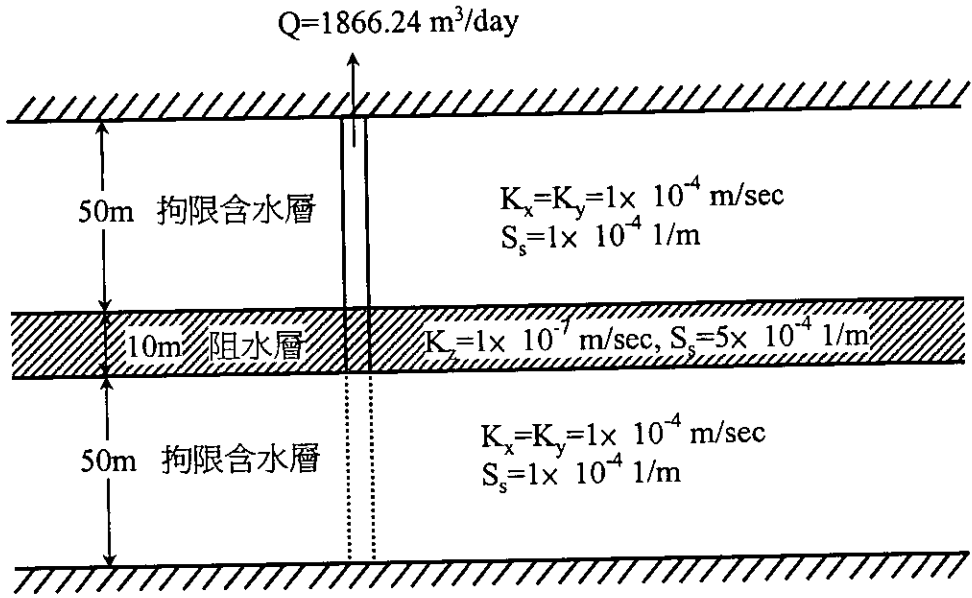


圖7-5 三層含水層抽水模擬示意圖

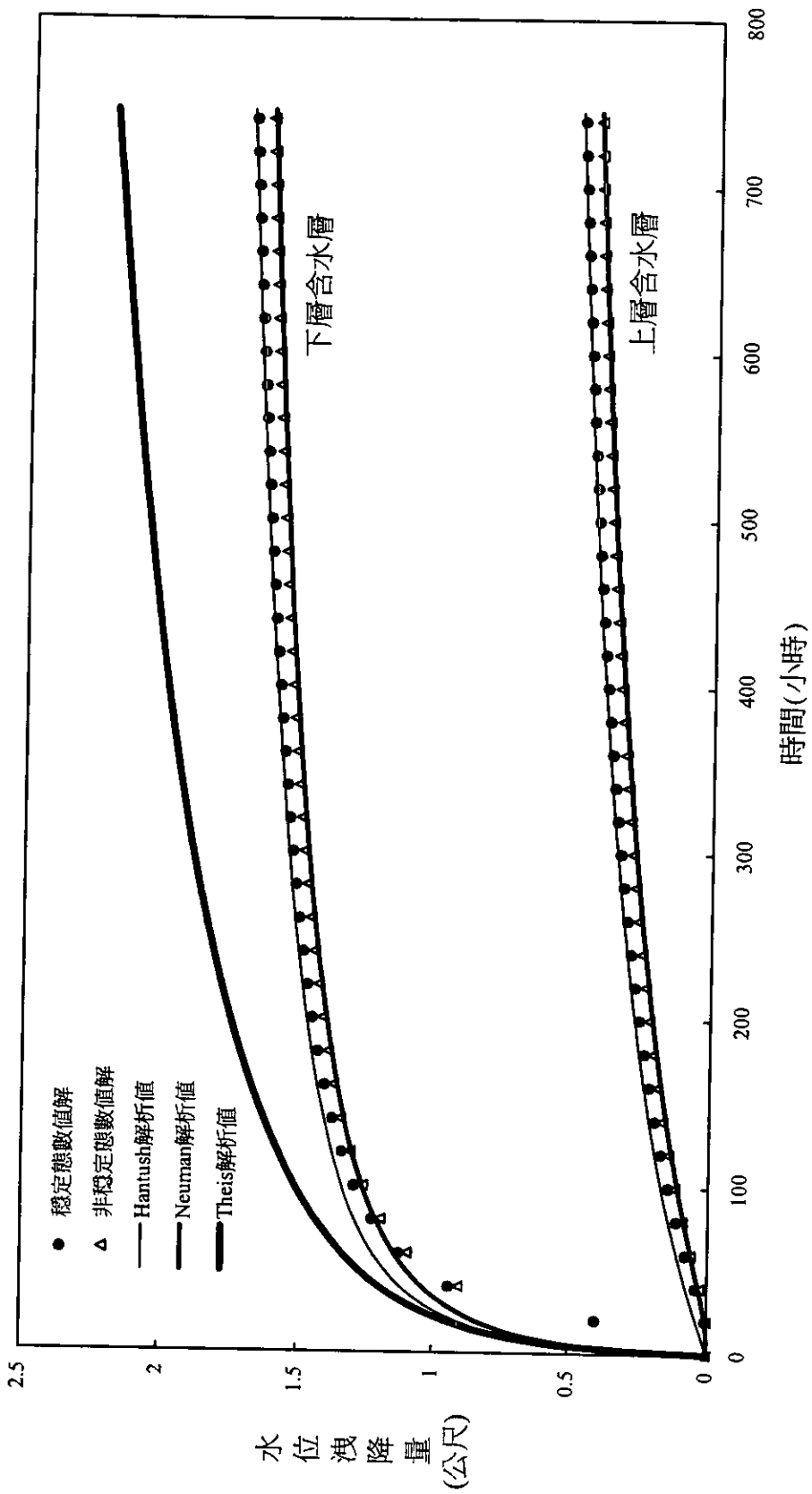


圖 7-6 三層含水層抽水模擬距離抽水井 100 公尺處水位計算值與解析值之比較

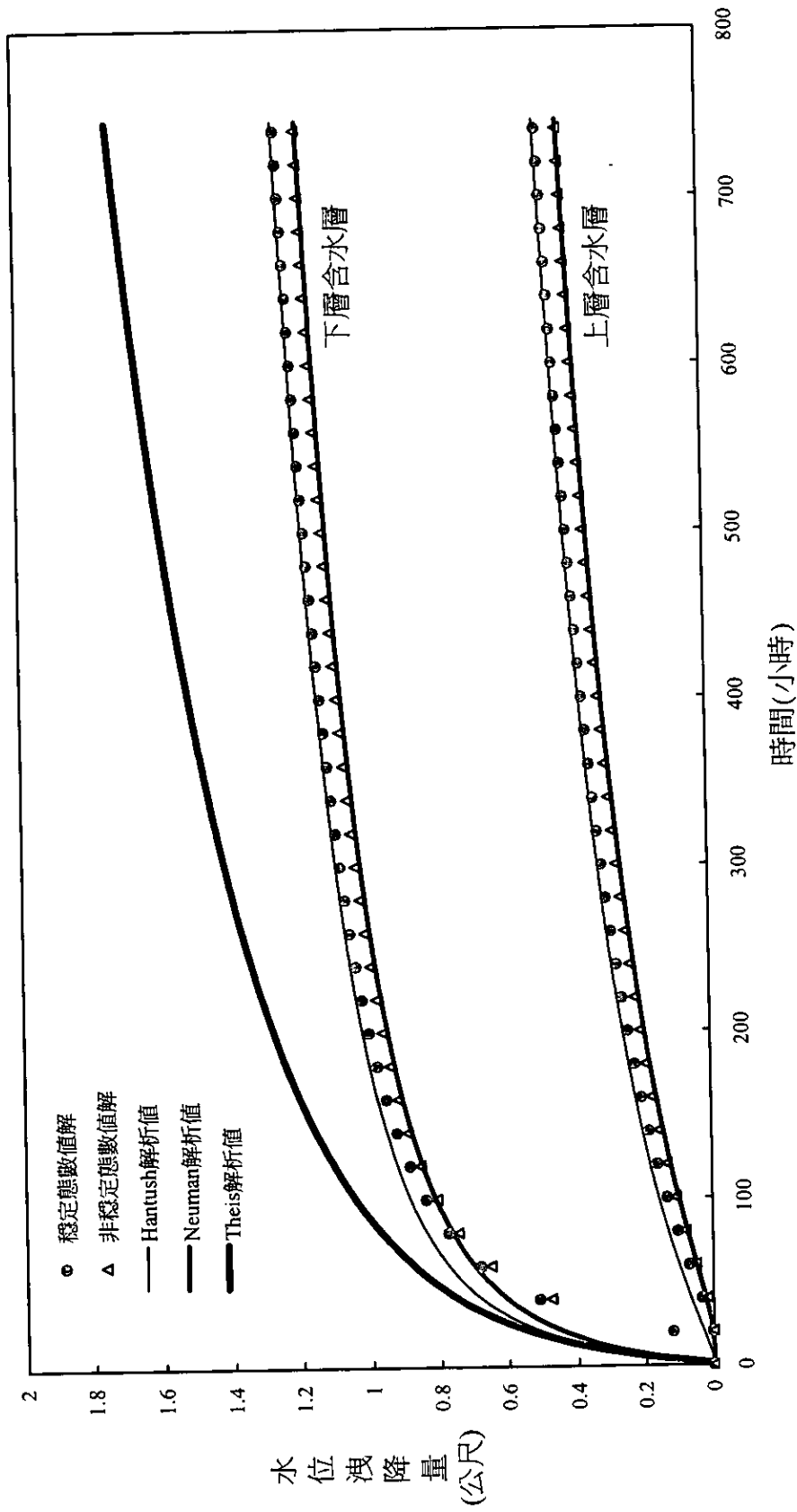


圖 7-7 三層含水層抽水模擬距離抽水井 200 公尺處水位計算值與解析值之比較

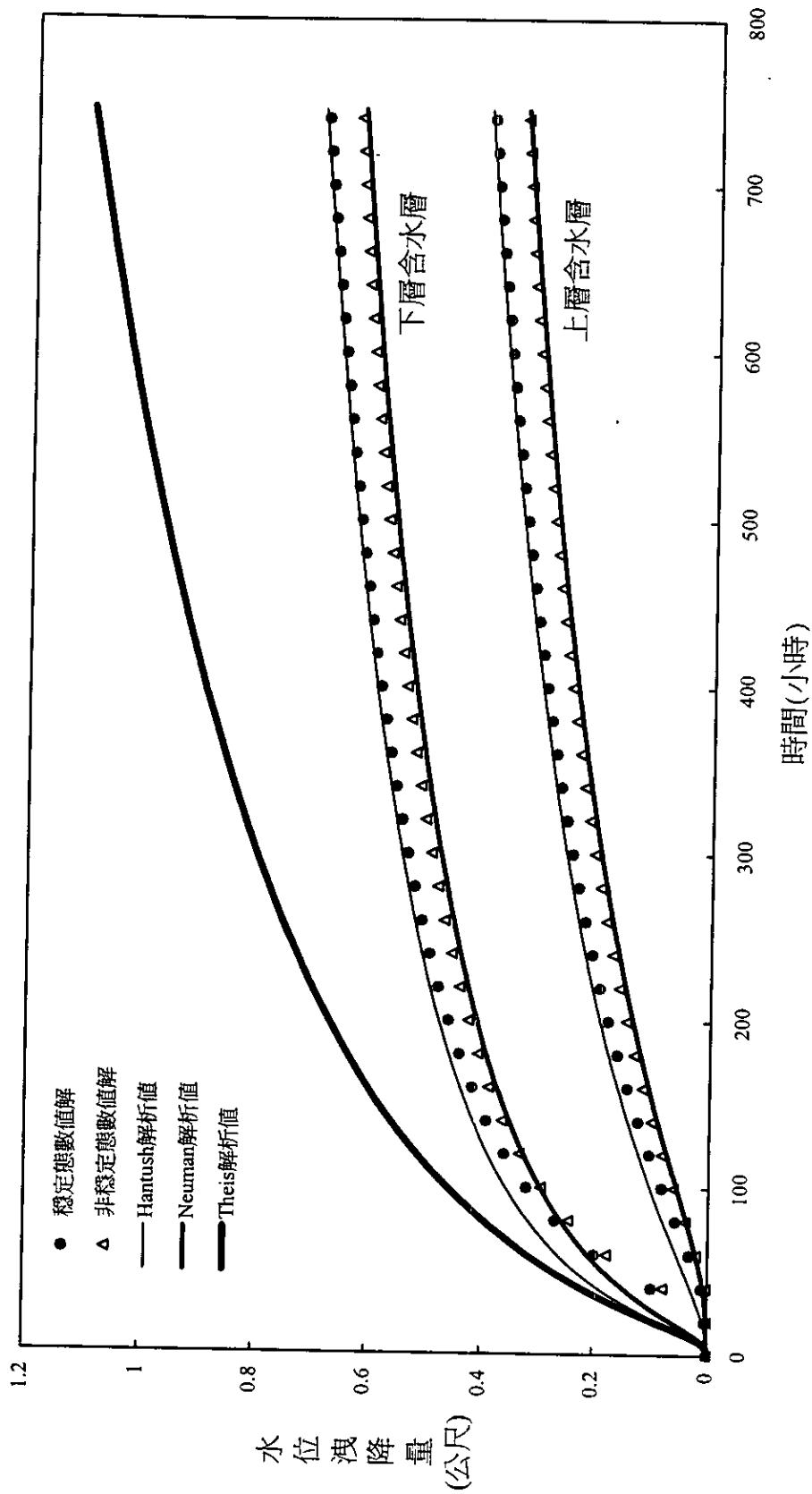


圖7-8 三層含水層抽水模擬距離抽水井500公尺處水位計算值與解析值之比較

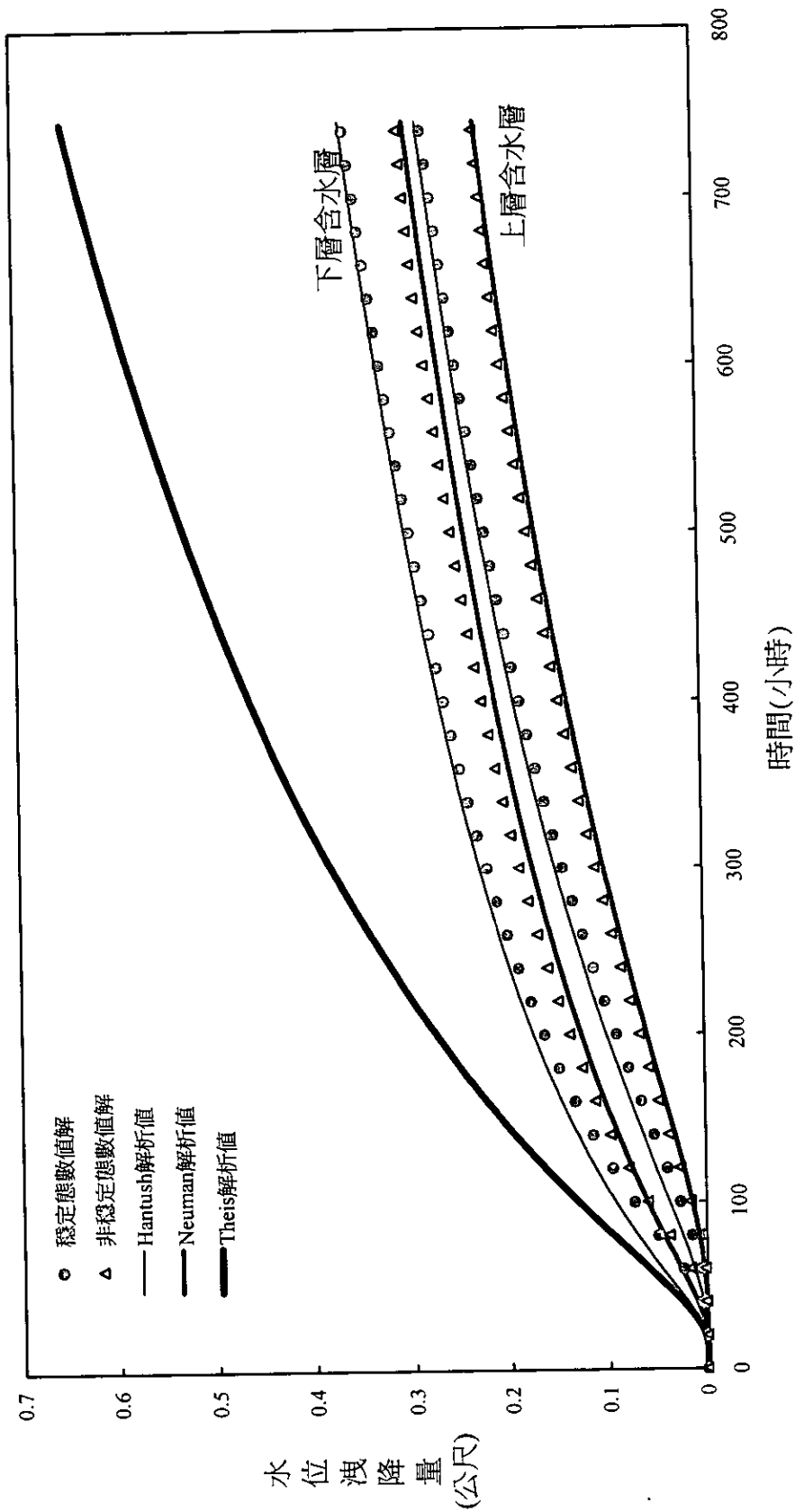


圖 7-9 三層含水層抽水模擬距離抽水井 1000 公尺處水位計算值與解析值之比較

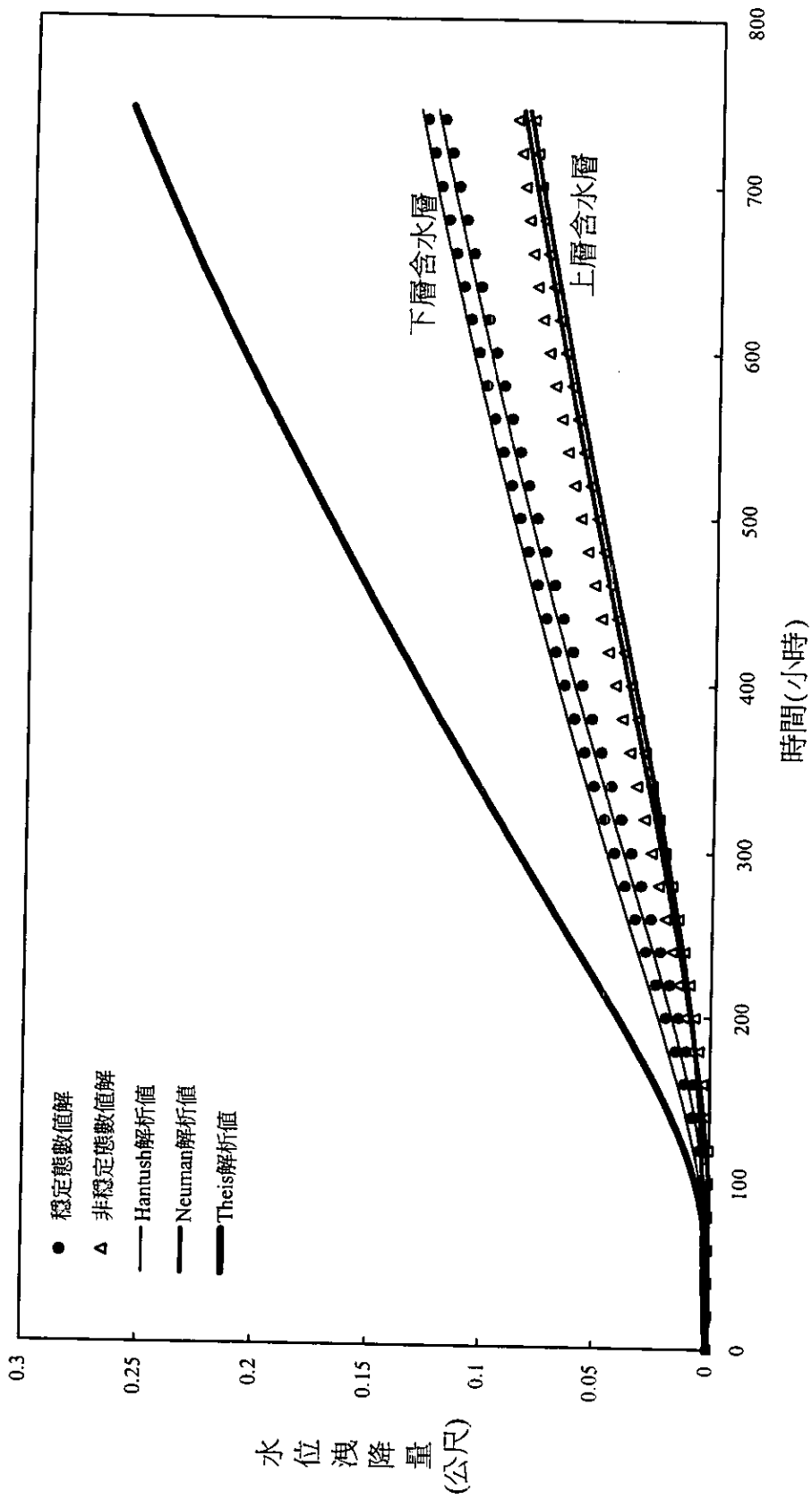


圖7-10 三層含水層抽水模擬距離抽水井200公尺處水位計算值與解析值之比較

第二部分

大區域分區分層地層下陷計算

研究子題

目 錄

目錄	II-I
表目錄	II-III
圖目錄	II-IV
第一章 前言	II-1
1.1 研究目的	II-1
1.2 工作項目	II-2
1.3 完成之工作項目	II-2
第二章 文獻回顧	II-4
2.1 地層下陷研究方法之分類	II-4
2.2 一維非耦合地層下陷計算	II-5
2.3 三維耦合地層下陷計算	II-7
2.4 地層下陷計算之進一步考慮因素	II-8
2.5 求解方法	II-9
第三章 國內相關地層下陷研究資料之蒐集	II-11
第四章 研究方法與模式之建立	II-18
4.1 理論基礎	II-18
4.2 地下水流計算	II-23
4.3 垂向土體位移計算	II-26
4.4 初始條件	II-29
4.5 邊界條件	II-29
4.6 控制方程式之無因次化	II-32
4.7 數值方法	II-34
4.8 模擬所需輸入之資料	II-37
第五章 一維耦合地層下陷模式之分析與探討	II-38
5.1 兩阻水層中間夾一含水層之測試案例	II-38

5.2 兩含水層中間夾一阻水層之測試案例	II-40
5.2.1 下層含水層抽水案例.....	II-40
5.2.2 上層含水層抽水案例.....	II-42
5.3 土體上浮現象之數學證明	II-43
第六章 濁水沖積扇地層下陷模擬	II-46
6.1 區域概況	II-46
6.2 所需資料之蒐集與處理	II-49
6.3 模擬結果	II-53
6.4 地層下陷潛能分析	II-54
第七章 結語	II-56
參考文獻	II-58
附錄 一維非耦合地層下陷模式之建立	II-66

表 目 錄

表 3-1 國內地層下陷理論研究法相關資料之蒐集.....	II-76
表 4-1 一維耦合地層下陷模式所需輸入資料.....	II-79
表 6-1 濁水溪沖積扇各測站之分層地層厚度(含虛擬分層).....	II-80
表 6-2 雲林地區各鄉鎮市年抽水量表.....	II-82
表 6-3 彰化地區地表入滲推估結果.....	II-83
表 6-4 雲林地區地表入滲推估結果.....	II-83
表 6-5 濁水溪沖積扇分層抽水比例.....	II-84
表 6-6 彰化地區地層下陷量測結果.....	II-86
表 6-7 雲林地區地層下陷量測結果.....	II-87
表 6-8 地質參數比例表.....	II-89
表 6-9 彰化地區地層下陷模擬結果(非耦合模式).....	II-94
表 6-10 雲林地區地層下陷模擬結果(非耦合模式).....	II-95
表 6-11 彰化地區地層下陷模擬結果(耦合模式).....	II-97
表 6-12 雲林地區地層下陷模擬結果(耦合模式).....	II-98
表 6-13 彰化地區地層下陷潛能表.....	II-100
表 6-14 雲林地區地層下陷潛能表.....	II-101

圖目錄

圖 4-1 拘限含水層分層深度積分示意圖.....	II-103
圖 4-2 非拘限含水層分層深度積分示意圖.....	II-103
圖 4-3 垂直方向介面物理連接條件示意圖.....	II-104
圖 4-4 水平方向介面物理連接條件示意圖.....	II-104
圖 4-5 有限解析法說明圖.....	II-105
圖 4-6 一維耦合地層下陷模式計算流程.....	II-106
圖 5-1 兩阻水層中間夾一含水層測試案例垂直示意圖.....	II-107
圖 5-2 兩阻水層中間夾一含水層測試案例水平示意圖.....	II-107
圖 5-3(a)兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處水頭變化模擬結果 (浮體重力參數為 0.00386, 0.00193).....	II-108
圖 5-3(b)兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處垂向位移模擬結果 (浮體重力參數為 0.00386, 0.00193).....	II-108
圖 5-3(c)兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處有效應力模擬結果 (浮體重力參數為 0.00386, 0.00193).....	II-109
圖 5-4(a)兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處水頭變化模擬結果 (浮體重力參數為 0.19, 0.095).....	II-110
圖 5-4(b)兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處垂向位移模擬結果 (浮體重力參數為 0.19, 0.095).....	II-110
圖 5-4(c)兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處有效應力模擬結果 (浮體重力參數為 0.00386, 0.00193).....	II-111
圖 5-5 兩含水層中間夾一阻水層測試案例垂直示意圖.....	II-112
圖 5-6 兩含水層中間夾一阻水層測試案例水平示意圖.....	II-112
圖 5-7(a)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處水頭變化模擬結果 (浮體重力參數為 0.0045, 僅含水層二抽水).....	II-113
圖 5-7(b)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處垂向位移模擬結果	

(浮體重力參數為 0.0045, 僅含水層二抽水).....	II-113
圖 5-7(c)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處有效應力模擬結果 (浮體重力參數為 0.0045, 僅含水層二抽水).....	II-114
圖 5-8(a)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處水頭變化模擬結果 (浮體重力參數為 0.225, 僅含水層二抽水).....	II-115
圖 5-8(b)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處垂向位移模擬結果 (浮體重力參數為 0.225, 僅含水層二抽水).....	II-116
圖 5-8(c)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處有效應力模擬結果 (浮體重力參數為 0.225, 僅含水層二抽水).....	II-117
圖 5-9(a)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處水頭變化模擬結果 (僅含水層一抽水).....	II-118
圖 5-9(b)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處垂向位移模擬結果 (僅含水層一抽水).....	II-118
圖 5-9(c)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處有效應力模擬結果 (僅含水層一抽水).....	II-119
圖 6-1 濁水溪沖積扇地質剖面位置圖.....	II-120
圖 6-2 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖一.....	II-121
圖 6-3 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖二.....	II-122
圖 6-4 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖三.....	II-123
圖 6-5 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖四.....	II-124
圖 6-6 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖五.....	II-125
圖 6-7 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖六.....	II-126
圖 6-8 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖七.....	II-127
圖 6-9 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖八.....	II-128
圖 6-10 濁水溪沖積扇地層下陷模擬垂直層示意圖.....	II-129

圖 6-11 濁水溪沖積扇地層下陷模擬水平分區格網示意圖	II-130
圖 6-12 簡易分層抽水比例推估法示意圖	II-131
圖 6-13 濁水溪沖積扇模擬區域邊界示意圖	II-133
圖 6-14 濁水溪沖積扇含水一地下水位模擬結果(85/08).....	II-134
圖 6-15 濁水溪沖積扇含水二地下水位模擬結果(85/08).....	II-135
圖 6-16 濁水溪沖積扇含水三地下水位模擬結果(85/08).....	II-136
圖 6-17 濁水溪沖積扇含水一地下水位模擬結果(86/12).....	II-137
圖 6-18 濁水溪沖積扇含水二地下水位模擬結果(86/12).....	II-138
圖 6-19 濁水溪沖積扇含水三地下水位模擬結果(86/12).....	II-139
圖 6-20 彰化地區地層下陷模擬結果(84/10-89/4)	II-140
圖 6-21 雲林地區地層下陷模擬結果(83/12-88/10)	II-141
圖 6-22 濁水溪沖積扇地層下陷潛能區示意圖	II-142

第一章 前言

本章首先說明本研究之研究目的，並列出本年度之工作項目，最後簡述完成之工作項目。

1.1 研究目的

「海岸地區地陷潛能與危險評估技術計畫」之大區域分區分層地層下陷計算研究子題，其主要目的在於發展與應用一套準確且高效率的地層下陷數值計算模式，並配合區域地下水文平衡最佳推估模式、地層下陷資料之地理資訊決策支援系統以及地層下陷及地下水優化模式等研究子題，建立地層下陷潛勢之判別方法及潛能下陷量之預測技術。

由國立交通大學土木系楊錦釗教授以及國立台灣大學土木系黃良雄教授所組成之地層下陷研究團隊，先後在農委會、水利處、水資源局以及國科會等支助下，進行多年地下水超抽導致地層下陷研究，已初步完成一套大區域地下水超抽導致地層下陷模式之建立(黃良雄、楊錦釗，(1997)、(1998)、(1999)、(2000a)、(2000b)、(2000c))。此模式為一維非耦合(one-dimensional uncouple)地層下陷計算，乃是以 Biot (Biot (1955))多孔隙彈性介質理論為基礎，配合地質之分區與分層，並引入垂向二次多項式內插函數(quadratic polynomial interpolation function)，先行垂向積分(vertical integration)後，再以有限解析法(finite analytic method)建立。此模式對大區域或小範圍計算皆能有效處理，特別適用於地層下陷計算(因為阻水層計算功能較強)，且地下水流計算能力超過MODFLOW之功能(見蔡東霖，(2001))。本研究團隊所發展之大區域地下水超抽導致地層下陷模式，雖然已初步應用於屏東平原(黃良雄、楊錦釗，(1999))與濁水溪沖積扇(黃良雄、楊錦釗，(1998))、(2000b))之地層下陷模擬，獲得可接受的結果，但是由於未考慮阻水層厚且軟時，孔隙率變化所造成之浮體重

力效應，以及土壤參數與分層抽水比例之不確定性，因此模式仍有許多待進一步發展的必要。

本研究子題擬以初步完成之大區域地下水超抽導致地層下陷模式為基礎，進一步發展一套含孔隙率時變性的一維地下水超抽引致地層下陷模式，並且配合較可靠之土壤參數以及分層抽水比例之推估法，重新模擬濁水溪沖積扇之地層下陷。

1.2 工作項目

本年度大區域分區分層地層下陷計算模式研究子題之工作項目有三，分別為

1. 應用第一年的新地層下陷程式。
2. 利用現場調查所獲之抽水量資料，推估水井分層出水比例。
3. 土壤參數之研究。

1.3 完成之工作項目

大區域分區分層地層下陷計算研究子題，對於應用第一年的地層下陷程式工作項目，已改良上年度一維耦合地層下陷模式建構方式並重新無因次化控制方程式，不但使模式更通用化外，亦解決以往為避免數值計算不穩定、時間間距不能太小之缺點，並且具有模擬阻水層貯蓄現象之能力。研究中以兩個簡單案例，深入分析與探討，一維非耦合模式以及考慮浮體重力一維耦合模式之差異性，並且提出土體上浮現象之數學證明。

本研究已經完成濁水溪沖積扇地層下陷模擬，並執行地層下陷潛能分析。模擬時，水田灌溉入滲與旱地降雨入滲兩者之總和入滲量資料，採用本計畫區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題所推估之結果，達到初步整合目的。模擬結果發現，耦合與非耦合模式之地下水位模擬結果相近。另外，非耦合與耦合模式地層下陷模擬結果皆與實測值之趨

勢吻合且量階相同。然而，耦合模式所計算之地層下陷量大都略小於非耦合模式，這可能是耦合與非耦合理論上之差異，且耦合模式考慮土體膨脹效應(彈性體之 0.15)所致。在上述地層下陷模擬所使用之抽水量下，分別於各鄉鎮市增加一定抽水量，根據所引發之下陷增加量，評估地層下陷潛能區域。結果顯示，彰化縣大城鄉以及雲林縣口湖鄉、褒忠鄉與元長鄉是地層下陷潛能區。

此外，模擬時分層抽水比例之給定，本研究利用簡易分層抽水比例推估方法所得之抽水比例為初始猜測值，配合試誤法率定分層出水比例。結果發現，在某些鄉鎮市中，由簡易分層抽水比例推估方法以及試誤法所獲得之分層抽水比例相當接近，但有些鄉鎮市卻有較大差異。

至於土壤參數研究工作項目，除了繼續蒐集國內相關地層下陷研究資料外，本年度回顧地層下陷之研究文獻，包括地層下陷研究方法之分類、一維非耦合地層下陷計算、三維耦合地層下陷計算、地層下陷計算進一步考慮因素以及求解方法等。

第二章 文獻回顧

本章文獻回顧地層下陷研究，包括地層下陷研究方法、一維非耦合地層下陷計算、三維耦合地層下陷計算、地層下陷計算之進一步考慮因素、求解方法等。

2.1 地層下陷研究方法之分類

地下水超抽導致地層下陷主要的原因乃是由於地下水之抽取導致孔隙水壓改變，破壞地層原有的平衡狀態而發生地層下陷。對於此種因超抽地下水而引致地層下陷之研究最早始於 Fuller(1908)，至今雖然已有許多研究方法提出，但大致可將其歸納分為(1)經驗法(empirical method)、(2)半經驗法(semi-empirical method)、(3)半理論法(semi-theoretical method)以及(4)理論法(theoretical method)等四類。

所謂經驗法即是直接推求地層下陷與時間之迴歸關係，並利用外插方式預測未來可能之下陷量，如 Vega(1984)。一般常用的迴歸關係式有二次函數、指數函數及對數函數等。此法雖然簡單，但是由於不考慮土體與流體之物理特性，且通常需要較大量之現場實測資料以求得迴歸關係，故較為不經濟且不具物理意義。

半經驗法則是考慮地層下陷量及其相關因子之迴歸函數關係，如地下水位、水位洩降量或抽水量等。Wadachi(1940)曾探討地層下陷量與地下水位之相關性，Gabrysch(1968)則提出地層下陷量與水頭降低量之比值與含水量黏土含量之百分比成一簡單正比關係。一般而言，雖然半經驗法比經驗法更為合理，但是仍缺乏嚴謹之理論架構，故往往無法說明各物理量間之定率關係，因此也較難達到準確之要求。

半理論法則是以應力應變等概念模式，配合現場之實測值，求得模式所需參數值後，即可應用於地層下陷量之推估，如深度孔隙率模式(Schatz(1978))，對數孔隙比有效應力模式(Gibbs(1950))。半理論法通常應用於小範圍之地層下陷，較不適用於複雜土層之地層下陷預測。

由上述可知，不論經驗法、半經驗法以及半理論法，一般而言，因未能完整地考慮地下水超抽導致地層下陷之發生機制，所以預測結果可能較不精確，故應採用較完整之理論法。而地下水超抽導致地層下陷研究之理論法，常見的有一維非耦合與三維耦合計算等等，以下兩節分別詳述。

2.2 一維非耦合地層下陷計算

嚴謹的地層下陷理論始於土壤力學大師 Terzaghi(1925)所提出之有效應力觀念。Terzaghi 於飽和土壤中，在土體之總應力不變且變形為微小垂直向一維，以及流體為不可壓縮且在土壤中流動滿足達西定律(Darcy's Law)等假設下，導出著名的 Terzaghi 單向度一維垂直壓密方程式。因為 Terzaghi 僅考慮流體為一維流動，所以 Jacob(1940,1950)在假設流體具壓縮性下，將傳統二維或三維之地下水流方程式(Theis(1938))與 Terzaghi 一維壓密理論結合，推得 Terzaghi-Jacob 單向度壓密二維、三維地下水流方程式，並清楚地交代地下水流方程式中貯蓄係數(storage coefficient)之物理意義。

上述兩種方法均將孔隙水壓與土體變形分開求解，即所謂兩步驟法(two-step method)或非耦合法(uncouple method)。也就是，若採用一維非耦合地層下陷模式，僅需先求解地下水流方程式，再將所得之孔隙水壓

變化代入土體位移代數式，即可求得下陷量。一維非耦合地層下陷模式已被廣泛的使用於地下超抽導致地層下陷之計算，尤其是區域性(regional)問題，如 Helm(1975,1976)、Gambolati and Freeze(1973)、Neuman et al.(1982)、Narasimhan and Witherspoon (1977)、Bear and Corapcioglu(1981a)、Mishra et al. (1993)、Gambolati et al. (1991)。因為地層下陷量只是孔隙水壓變化在已知土體壓縮係數下之簡單代數計算結果而已，所以對於一維非耦合地層下陷計算，首要的工作乃是如何準確且有效地模擬地下水之孔隙水壓變化。

由於大自然之沉積作用，使得區域性地下水流域通常由一連串導水性質良好之含水層夾雜導水性質差之阻水層所形成，此種層狀系統稱為多含水層系統(multi-aquifers system)。一般而言，多含水層系統之地下水為三維流動狀況，且現今已有許多三維地下水流模式(three-dimensional groundwater model)可供模擬使用，如 FE3DGW(Gupta(1984))、FLOW3D、MODFLOW 與 3DFEMWATER 等。但是由於區域性地下水流域中，水平方向之延展距離遠大於垂直方向之厚度，且相鄰阻水層與含水層間之導水性質差異甚大，以及考量使用直接三維模擬計算量太大等原因，乃有擬三維水流概念(quasi three-dimensional concept)之提出，也就是將阻水層與含水層中之水流分別假設為垂直流與水平流，而阻水層與含水層再以兩者間之滲流量加以耦合 (Hantush(1960))。如此三維水流控制方程式，於含水層中被簡化為水平二維，而阻水層中則被簡化為垂向一維，將大大的減少計算時間。此外，對於阻水層與含水層間之滲流量推估法共有兩種，第一種方法為藉由求解阻水層一維垂直水流方程式來估計滲流量，即考慮所謂阻水層之貯蓄效應(aquitard storage effect) (見 Hantush(1960))，另一種方法則為假設滲流量與阻水層相鄰上、下含水層之水頭差(hydraulic head)成正比，也就是不考慮阻水層貯蓄效應

(Polubarinov-Kochina(1962))。

利用擬三維水流概念模擬多含水層系統之地下水流相當多，如 Berdehoft and Pinder(1970)、Chorley and Frind(1978)、Neumann et al.(1982) 與已廣泛被使用之地下水模擬軟體 MODFLOW。Neuman and Witherspon(1969)曾以雙含水層單井抽水之案例，對擬三維與三維水流概念之差異加以探討，並指出當相鄰阻水層與含水層間之滲透率(permeability)相差兩個量階以上，其誤差小於 5%。雖然擬三維水流概念對區域性之地下水模擬有不錯之結果，但是對於如抽水井附近以及土層不連續之局部三維水流流況則無法模擬，而需要採用三維水流模式。由上述可知，要如何才能建立一套高效率且準確，並可同時適用於區域與局部地下水模擬之地下水流計算方法，仍值得進一步探討。

2.3 三維耦合地層下陷計算

雖然一維非耦合地層下陷模式已被廣泛應用於地下水超抽導致區域性地層下陷之計算，但是由於土體之變形僅假設為垂向一維而不考慮水平位移之影響，仍有不足之處，故有三維耦合地層下陷理論之提出。Rendulic(1935)、Terzaghi(1943)以及 Barron(1948)等企圖發展三維 Terzaghi 壓密理論，但因缺乏條件說明應力應變關係，以滿足應力應變之相容性與唯一解之特性而失敗，此問題直到 Biot(1941,1955)提出孔隙流與彈性體應力應變關係才獲得解決。Biot 假設土體變形符合彈性理論，且在土體飽和與流體微可壓縮以及達西相對流速定律適用情況下，將三維應力應變關係結合三維地下水流方程式，建立著名的 Biot 三維孔隙彈性理論(three-dimensional poroelastic theory)。Biot 孔隙彈性理論之理論特色在於可以同時求解孔隙水壓與三維土體變形量(水平與垂直變形)，即所謂耦合

法(couple method)。此外，Verruijt(1969)繼續發展 Biot 之模式，在引用多相流之觀念下，分別考慮固相土體與液相水以及汽相空氣等之質量守恆關係，以及固相土體之力平衡，有系統地建構出三維水流及三維彈性壓密方程式。Verruijt 模式之特點為可適用於非飽和土體，且在假設土體總應力不變及一維垂向飽和壓密下，可簡化為 Terzaghi-Jacob 單向度壓密三維水流方程式。利用 Biot 三維孔隙彈性理論來分析地層下陷者，如 Safai and Pinder(1979,1980)、Lewis and Schrefler(1978,1991)等。至於一維非耦合模式與三維耦合模式之差異，Lewis and Schrefler(1991)有詳細討論。此外，Ghaboussi and Wilson(1973)指出，對於三維耦合地層下陷之計算，因為土體與流體之量階與參數差異甚大，所以時間間距之選用需特別注意，才不至於產生計算不穩定現象。

三維耦合模式在理論上雖較完整，但是實際應用時需要大量計算時間。針對此問題，Bear and Corapcioglu(1981b)與 Corapcioglu and Bear(1983)提出深度平均二維區域模式(depth-averaged two-dimensional regional model)概念，即是先將土體依導水性質之不同加以分層，且在平面應力作用及各層之孔隙水壓與水平位移變形量於垂直深度上均相同的假設下，將三維耦合地層下陷方程式沿垂項深度作積分。Bear 所提出之二維區域模式，雖然能在減少計算量下有效地耦合求解孔隙水壓及水平與垂直方向之變形，但是由於不考慮阻水層之貯蓄現象，且孔隙水壓與水平位移變形的過度簡化假設，可能無法精確地估計地層下陷量。但是 Bear and Corapcioglu 應用垂向積分技巧將三維問題簡化為二維形式以減少計算量之概念，卻值得加以進一步探討。

2.4 地層下陷計算之進一步考慮因素

由於上述之 Terzaghi 單向度一維壓密理論與 Biot 三維孔隙彈性理論，皆忽略較厚或較軟土層孔隙率變化所造成的浮體重力(buoyancy weight)影響(Gibson et al. (1967))、Mei(1985))。Fallou et al.(1992)曾以繁複之擾動法(Perturbation Method)求得考慮浮體重力時抽水井附近之下陷漸近解。此外，上述兩種理論均假設土體為彈性體(elastic)，但土體之應力應變關係可能為黏彈性(viscoelastic)、塑性(plastic)或彈塑性(elastic-plastic)。Corapcioglu and Brutsaert (1977)應用黏彈性模式在加州 San Joaquin 山谷之地層下陷預測。其它如塑性模式有 Kojic and Cheatharn (1974)與 Desai and Siriwardane (1979)等研究，而黏彈塑性模式的研究則有 Runesson et al. (1978)等。實際上土體應變行為，應採用何種模式不但值得深思，亦是質流學(rheology)之重要課題。另外，一般地層下陷之研究，大都限制在微小土體變形之假設下。Cooper(1966)與 Gibson(1967)採用形變座標(deformable coordinate system)以及 Gambolati(1973) 採用固定座標分別考慮一維大應變之地層下陷。然而，對於三維大應變理論，因相互變形作用十分複雜，目前尚未相當瞭解。

Mei(1985) 所考慮之案例僅為簡單之載重案例，無法應用於抽水導致地層下陷之模擬。本計畫之主要目的之一，乃是發展一套考慮浮體重力效應之抽水導致地層下陷模式。

2.5 求解方法

至於如何求解地層下陷方程式，一般而言，可簡單分成解析解法(analytical method)與數值計算法(numerical method)兩種。就解析解法而言，一般運用於求解偏微分方程式之技巧，如分離變數法(method of separation of variables)、拉普拉斯轉換法(Laplace transform method)、富立

葉轉換法(Fourier transform method)、韓克轉換法(Hankel transform method)及擾動法(Perturbation method)等等。應用時，則針對各種地層下陷理論，選擇適當方法加以求解，如 Booker (1986)利用韓克轉換法求解半無限空間穩態點源抽水之三維耦合地層下陷問題。雖然解析解法之型式相當簡單，但是實際複雜之地層下陷應用時，這些解析解法往往無法求解，而必需藉助數值計算法。就數值計算法而言，因其可求解問題之彈性大，故能處理複雜或非線性問題。有限差分法(Finite difference method)與有限元素法(Finite element method)為傳統常被使用於地下水流與地層下陷計算之數值方法。一般而言，有限差分法雖然建構簡單，但不易處理不規則邊界問題。

此外，三維耦合地層下陷理論需同時耦合求解孔隙水壓與土體位移，因為水力傳導係數與土體變形參數(若假設土壤為彈性體，則為拉梅(Lame)常數)之量階差異甚大，若使用過小之時間間距，將會造成矩陣係數差異甚大(ill-conditioning)，導致數值計算之不穩定(Ghaboussi and Wilson、(1973))。為解決此問題，Ghaboussi and Wilson (1973)、Sloan and Abbo (1999)、Vermeer and Verruijt (1981) 以及 Ferronato et al. (2001)分別提出臨界時間間距(critical time step)之概念。也就是，當模擬之時間間距大於臨界時間間距時，數值計算將穩定。然而，若模擬之時間間距小於臨界時間間距時，則可能需要特殊之矩陣求解方法，才能使數值計算穩定，但不保證一定可行。臨界時間間距可表示為

$$\Delta t_{crit} = \chi_0 \frac{\rho_w g \Delta}{KE} \quad (2.1)$$

其中 χ_0 為一參數， Δ 為特徵長度之平方， K 與 E 分別為水力傳導係數及楊氏模數。

第三章 國內地層下陷相關研究資料之蒐集

國內地層下陷相關之研究至今已有數十年歷史。如前章所言，可將其歸納分為經驗法、半經驗法、半理論法以及理論法等四類。曹以松(民國 58 年)以經驗法直接推求地層下陷與時間之迴歸關係，再利用外插方式預測下陷量。廖日昇等(民國 79 年)與柳志錫等(民國 81 年)以半經驗法分析北港沿海地區與彰雲地區，結果發現該地區平均地下水位下降 1 公尺，會發生 0.1 至 0.8 公分之地層下陷量。盛若磐(民國 81 年)以半理論法推估地層下陷。

此外，以較嚴謹之理論法計算地層下陷者分別有，李德河教授(李德河，(1996))、張惠文教授(張惠文，(1996))、許澤善教授(許澤善，(1996))、工業技術研究院能資所(杜富麗等，(1996))、施清吉教授(施清吉，(1998))、劉振宇教授(劉志純，(1996))等，以一維非耦合理論法計算地層下陷。林美聆教授(鄭美吟，(1999)；張光任，(2000))、呂志宗教授(Tarn and Lu，(1991))以及葉弘德教授(葉弘德與葉高次，(1994))等，以三維耦合理論計算地層下陷。上述各研究資料之列表，如表 2.1 所示。以下分別對所採用之理論基礎、採用之模式、模擬範圍、所需輸入資料、以及使用之土壤參數值，加以簡要說明。

1. 李德河教授研究團隊

依據 Terzaghi 一維壓密理論，採用自行發展之數值模式模擬高雄永安地區之地層下陷。一維水流方程式為

$$C_v \frac{\partial^2 u_e}{\partial z^2} = \frac{\partial u_e}{\partial t} \quad (3.1)$$

其中

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w M_v} \quad (3.2)$$

由於 Terzaghi 總應力不變之假設，應力與孔隙水壓(u_e)成正比，故下陷量之計算式可為

$$\Delta H = \frac{H}{1+e_0} \left(C_r \log \frac{\overline{\sigma_c}}{\sigma_0} + C_c \log \frac{\overline{\sigma_f}}{\sigma_c} \right) \quad (3.3)$$

u_e 為超額孔隙水壓， C_v 為壓密係數(coefficient of consolidation)， k 為滲透係數， M_v 為體積壓縮係數， γ_w 為流體之密度重， ΔH 為下陷量， H 為土層厚度， C_c 為壓縮指數(Compression index)， C_r 為再壓指數(recompression index)， e_0 為初始孔隙比(void ratio)， $\overline{\sigma_0}$ 為初始土體有效應力， $\overline{\sigma_c}$ 為土體之預壓密應力， $\overline{\sigma_f}$ 為土體有效應力。模擬時所需輸入之資料有土層分布情況、地下水位變化值、初始孔隙比、壓密係數、壓縮指數、再壓指數等。所輸入之土壤參數，初始孔隙比為 0.9、壓密係數介於 0.033 至 0.07m²/day 間、壓縮指數介於 0.127 至 0.156 間、再壓縮指數介於 0.019 至 0.035 間。

2. 張惠文教授研究團隊

類式李德河教授研究團隊之研究方法，以 Terzaghi 一維壓密理論及自行撰寫之數值程式，模擬雲林縣宜梧國中與台西地區之地層下陷。其黏土層之下陷量計算式為

$$\Delta H = H \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \quad (3.4)$$

砂土層之下陷量計算式則為

$$\Delta H = H \frac{\Delta P}{E} \quad (3.5)$$

σ_0 為初始土體有效應力， $\Delta\sigma$ 與 ΔP 為地下水位變動所產生之有效應力變化，而 E 則為砂土之彈性模數。模擬時所需輸入之資料分別有土體分層資料、分層地下水位觀測值、黏土壓縮指數、砂土之彈性模數以及

初始孔隙比。輸入之土壤參數，黏土壓縮指數介於 0.19 至 0.43 間、砂土之彈性係數介於 4.5×10^4 至 8.0×10^4 kN/m² 以及初始孔隙比介於 0.54 至 1.03 間。

3. 許澤善教授研究團隊

將氣體溶解於流體中所造成之流體壓縮性以及土體顆粒之壓縮性納入壓密理論中，引入壓縮比概念(壓縮比 $R = ec_s + c_w/a_v$ ，其中 e 為孔隙比， c_s 為土體顆粒之壓縮性， c_w 為流體之壓縮性， a_v 為土體之壓縮係數)。應用自行發展之改良 Terzaghi 一維壓密理論模擬雲林縣宜梧國中之地層下陷。其改良之一維水流方程式為

$$C_v \frac{\partial^2 u_e}{\partial z^2} = (1-R) \frac{\partial u_e}{\partial t} \quad (3.6)$$

模擬時所需輸入之資料分別有土體分層資料、分層地下水位觀測值、壓縮比、初始孔隙比、壓密係數、壓縮指數(compression index, C_c)、再壓指數(recompression index, C_r)等。所輸入之土壤參數，壓縮比介於 0.1 至 0.2 間、壓密係數介於 1.638 至 93.05(m²/month)間、壓縮指數介於 0.1855 至 0.3249 間、再壓指數介於 0.0107 至 0.1176 間、初始孔隙比介於 0.604 至 1.199 等。

4. 工研院能資所研究團隊

依據 Terzaghi 一維壓密理論，利用 COMPAC 模式(Helm, (1984)) 模擬雲林縣王功、台西與宜梧國中等地區之地層下陷。模擬時所需輸入之資料有土層分布情況、地下水位變化值、水力傳導係數、非彈性儲水係數、彈性儲水係數等。所輸入之土壤參數值，水力傳導係數介於 0.0001 至 0.004 間、砂土之彈性儲水係數為 0.00001、黏土之非彈性儲水係數介於 0.0003 至 0.005 之間、黏土之彈性儲水係數約為非彈性儲水係數之百分之十至二十間，論文中未表示出其個土壤參數之單位。

5. 施清吉教授研究團隊

在土層為飽和單一含水層以及地下水流僅為水平二維之假設下，模擬屏東縣林邊地區之地層下陷，其所使用之地層下陷控制方程式，仍引用 Terzaghi 土體總應力不變之假設成為

$$\frac{\partial H'}{\partial t} = D_0 \nabla^2 H' + w_p' \quad (3.7)$$

式中

$$D_0 = \frac{K_x}{\gamma(\beta n + \partial n / \partial p + \alpha n)} \Big|_{t=0} \quad (3.8)$$

$$w_p' = \begin{cases} QN_0 / A, & \text{管內} \\ 0, & \text{管外} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$N_0 = \frac{C_c}{p(1+e)(\beta n + \partial n / \partial p + \alpha n)} \Big|_{t=0} \quad (3.10)$$

其中 H' 為下陷量， D_0 為擴散係數， N_0 為抽水係數， n 與 e 分別為孔隙率 (porosity) 與孔隙比， C_c 為壓縮指數， β 為流體之體積彈性模數 (bulk modulus)， α 為土體顆粒之壓縮係數， p 為孔隙水壓， Q 為抽水量。模擬時需輸入 D_0 與 N_0 ， D_0 介於 0.0005 至 0.0012 m^2/sec 間，而 N_0 介於 0.006 至 0.012 間。

6. 劉振宇教授研究團隊

應用商用地下水模擬軟體 Modflow 以及一維壓密模式 Interbed (Leake, (1990); Leake 與 Prudic (1991))，以非耦合方式求解，模擬雲林地區抽水對地層下陷的影響。其地下水流方程式為

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.11)$$

黏土層之下陷量計算式為

$$\Delta H = \Delta h S_{skv} H \quad (3.12)$$

或

$$\Delta H = \Delta h S_{ske} H \quad (3.13)$$

砂土層之下陷量計算式為

$$\Delta H = H \frac{\Delta P}{E} \quad (3.14)$$

h 為地下水水位， K_{xx} 、 K_{yy} 與 K_{zz} 為水力傳導係數， W 為抽水量或補注量， S_s 為儲水係數， Δh 為地下水水位變化， S_{skv} 為非彈性儲水係數， S_{skv} 為彈性儲水係數。模擬時所需輸入之資料分別有土體分層資料、分層地下水觀測值、水力傳導係數、儲水係數、抽水量、砂土之彈性模數、非彈性儲水係數、彈性儲水係數，論文中未詳述土壤參數如何給定。

7. 林美聆教授研究團隊

依據 Biot 軸對稱三維孔隙彈性理論，利用有限元素軟體 ABAQUS(Hibbit, (1998)) 模擬台西與麥寮地區之地層下陷。以蚊港為模擬中心，其所使用之水流控制方程式為

$$\frac{k}{\gamma_w} \nabla^2 p = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \quad (3.15)$$

其中

$$\nabla^2 p = \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \quad (3.16)$$

土體靜力平衡方程式為

$$G \nabla^2 U_r + G(2\eta - 1) \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} - G \frac{U_r}{r^2} = \frac{\partial p}{\partial r} \quad (3.17)$$

$$G \nabla^2 U_z + G(2\eta - 1) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3.18)$$

其中

$$\varepsilon = \frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \quad (3.19)$$

$$\eta = \frac{(1-\nu)}{(1-2\nu)} \quad (3.20)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3.21)$$

ε 為總體積應變， U_r 與 U_z 分別為徑向與垂向之位移， G 為土體剪力模數， ν 為柏松比(Poisson ratio)。模擬時所需輸入之資料有土層分布情況、地下水位變化值、滲透係數、楊氏模數(E)以及柏松比(Poisson ratio, ν)等。所輸入之土壤參數值，柏松比為 0.3，但是單井分析與多井分析所使用之滲透係數、楊氏模數則有所不同。單井分析所使用之滲透係數與楊氏模數分別介於 1.6×10^{-7} 至 8.0×10^{-4} (m/sec)間以及 0.825 至 2.489(MPa)間，而多井分析所使用之滲透係數與楊氏模數分別介於 2.8×10^{-9} 至 1.4×10^{-5} (m/sec)間以及 3.30 至 9.9(MPa)間。模擬時，為了使數值計算穩定，時間間距需滿足 $\Delta t \geq \rho_w g (\Delta h)^2 / 6EK$ 。其中， E 與 K 分別為土壤之彈性模數以及水力傳導係數， Δh 為特徵長度。

8. 葉弘德教授研究團隊

依據 Biot 三維孔隙彈性理論，在商用化地下水流軟體 FEMWATER 中加入自行發展之土體靜力平衡計算模式，模擬雲林地區之地層下陷。其模式之特色為可同時模擬飽和與非飽和土體之地層下陷。模擬時所需輸入之資料有土層分布情況、抽水量、補注量、水力傳導係數、楊氏模數、柏松比以及其他模擬未飽和層所需之參數資料。報告中並未詳列所使用之土壤參數值，以及其他模擬未飽和層所需之參數資料。此外，研究中未說明模擬時之難題，如時間間距之使用方式。

9. 呂志宗教授研究團隊

依據 Biot 三維孔隙彈性理論，假設穩態軸對稱下，以數學解析法求解半無限空間點源抽水導致地層下陷之解析解。為了應用數學解析法求解，所以問題過於簡化，故可能無法應用於現地模擬。然而，卻可作為三維耦合地層下陷模式驗證之使用。

由國內相關地層下陷研究資料可發現，隨地層下陷理論引用之不同，需給定之土壤參數也有所差異，且不同理論間之土壤參數關係式並不清楚。此外，若應用相同地層下陷理論，在不同模擬情況設定下(如單井或多井分析，見林美聆教授研究團隊)，所率定出之土壤參數可能不同，且差異也可能甚大。因此，如何正確地給定土壤參數，乃是一值得研究且困難之課題。

綜合上述吾人可知，要採用何種地層下陷計算概念與數值計算法，才能有效、穩定且準確地模擬區域性地下水流域的地層下陷，仍有許多待探討及進一步研究的地方。下一章中，吾人將提出本研究之研究方法，並詳述數值模式建立之過程。

第四章 一維耦合地層下陷模式之建立

上年度(計畫之第一年),吾人以發展完成之一維非耦合地層下陷模式為基礎,其模式之建立參見附錄,初步建立一套同時耦合求解三維地下水流與垂向土體位移靜力平衡之一維耦合地層下陷模式。本年度,吾人將進一步改良一維耦合地層下陷之建構方式並重新無因次化,使其更通用化且能模擬阻水層貯蓄現象。

因為一維耦合地層下陷模式僅考慮較為重要之垂向位移量,而不考慮水平變形,所以比三維耦合模式更簡單且有效率,因此更適合區域性地層下陷之模擬。此外,因為一維耦合地層下陷模式考慮垂向土體位移之靜力平衡,理論上應較一維非耦合模式準確,且可以模擬土層軟且厚所造成之浮體重力效應。以下詳述一維耦合模式之建立過程,包括理論基礎、地下水流計算、垂向土體位移計算、初始條件、邊界條件、控制方程式之無因次化、數值方法與模擬所需輸入之資料等。

4.1 理論基礎

在固定座標及固定控制體積下,流體與土體之質量守恆分別可表示為

$$\frac{\partial(n\rho_w S)}{\partial t} + \nabla \cdot (n\rho_w S \vec{v}_w) = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial[(1-n)\rho_s]}{\partial t} + \nabla \cdot [(1-n)\rho_s \vec{v}_s] = 0 \quad (4.2)$$

其中 n 為孔隙率(porosity), ρ_w 為流體之密度, ρ_s 為土體之密度, \vec{v}_s 為土體之移動速度(velocity), \vec{v}_w 為流體之速度, s 為飽和度(degree of saturation)。根據達西(Darcy)相對流速定律,即

$$\bar{q}_r = Sn(\bar{V}_w - \bar{V}_s) = -\bar{K} \cdot \nabla h = -\bar{K} \cdot \nabla \left(z + \int \frac{dp}{\rho_w g} \right) \quad (4.3)$$

其中 \bar{q}_r 為達西相對流速， \bar{K} 為水力傳導係數張量 (hydraulic conductivity tensor) 以及 P 為孔隙水壓 (pore pressure)。並定義物質導數 (material derivative)，即

$$\frac{d_s}{dt} = \frac{d}{dt} + \bar{V}_s \cdot \nabla \quad (4.4)$$

則式(4.1)、式(4.2)與式(4.3)可化簡整理推得三維非飽和水流控制方程式，即

$$\nabla \cdot (\rho_w \bar{q}_r) + \rho_w S \nabla \cdot \bar{V}_s + nS \frac{d_s \rho_w}{dt} + \rho_w n \frac{d_s S}{dt} = 0 \quad (4.5)$$

再定義流體壓縮係數為

$$\beta = \frac{1}{\rho_w} \frac{d\rho_w}{dp} \quad (4.6)$$

以及假設壓力對時間之變化遠大於對流作用下壓力場梯度，即 $\frac{\partial P}{\partial t} \gg \bar{V}_s \cdot \nabla P$ ，且忽略非飽和效應，即 $S=1$ ，則式(4.5)可變為

$$\nabla \cdot (\rho_w \bar{q}_r) + \rho_w \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \bar{U}_s) + \rho_w n \beta \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (4.7)$$

其中 \bar{U}_s 表示土體之位移向量 (displacements)。將 \bar{q}_r 、 \bar{U}_s 與 P 分別分解為初始值與變動值之合，即

$$\begin{aligned} \bar{q}_r &= \bar{q}_r^o + \bar{q}_r^e \\ \bar{U}_s &= \bar{U}_s^o + \bar{U}_s^e \\ p &= p^o + p^e \end{aligned} \quad (4.8)$$

其中上標 o 與上標 e 分別代表初始值與變動值。並假設初始時為平衡狀態，即

$$\nabla \cdot (\rho_w \bar{q}_r) = 0 \quad (4.9)$$

則式(4.7)可變為

$$\nabla \cdot (\rho_w \bar{q}_r^e) + \rho_w \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \bar{U}_s^e) + \rho_w n \beta \frac{\partial p^e}{\partial t} = 0 \quad (4.10)$$

假設土體之水力傳導係數為均質 (homogenous) 且等向 (isotropic)，即 $\bar{K} = K \bar{I}$ ，則式(4.10)可簡化為

$$K \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right) = \rho_w g \left(\frac{\partial^2 U_{sx}}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 U_{sy}}{\partial y \partial t} + \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial z \partial t} + n \beta \frac{\partial p}{\partial t} \right) \quad (4.11)$$

其中 U_{sx} 、 U_{sy} 與 U_{sz} 分別為土體在 x 、 y 與 z 方向之位移量 (displacements)，且 U_{sx} 、 U_{sy} 、 U_{sz} 與 p 皆為消去上標 e 之變動值。

一般地下水之流速緩慢，故可將慣性之影響忽略，則流體與土體之動量守恆可分別表示為

$$-n \nabla p - S n^2 \rho_w g \bar{K}^{-1} (\bar{V}_w - \bar{V}_s) + S n \rho_w \bar{g} = \bar{0} \quad (4.12)$$

$$-(1-n) \nabla p + \nabla \cdot \bar{\sigma}' + S n^2 \rho_w g \bar{K}^{-1} (\bar{V}_w - \bar{V}_s) + (1-n) \rho_s \bar{g} = \bar{0} \quad (4.13)$$

其中 $\bar{\sigma}'$ 為有效應力張量 (effective stress tensor)， \bar{g} 為重力加速度向量 (gravity acceleration vector)。將式(4.12)與式(4.13)相加，並假設土體為飽和狀態，則可得三維土體靜力平衡方程式，即

$$\nabla \cdot \bar{\sigma}' = \nabla p + \bar{f} \quad (4.14)$$

其中 $\bar{f} = [n \rho_w + (1-n) \rho_s] \bar{g}$ 表示體力 (body force)。分別將 $\bar{\sigma}'$ 、 p 與 \bar{f} 拆解為初始值與變動值之合，即

$$\bar{\sigma}' = \bar{\sigma}'^0 + \bar{\sigma}'^e$$

$$p = p^o + p^e$$

$$\bar{f} = \bar{f}^o + \bar{f}^e \quad (4.15)$$

其中上標^o與上標^e分別代表初始值與變動值。並假設初始為平衡靜止狀態，即

$$\nabla \cdot \bar{\sigma}^{o} = \nabla p^o + \bar{f}^o \quad (4.16)$$

則式(4.14)變為

$$\nabla \cdot \bar{\sigma}^{e} = \nabla P^e + \bar{f}^e \quad (4.17)$$

根據式(4.2)，並假設 ρ_s 為定值，則浮體重力 \bar{f}^e 可線性化為

$$\bar{f}^e = - \left[\Delta \rho (1 - n^0) \nabla \cdot \bar{U}_s \right] g \quad (4.18)$$

其中 $\Delta \rho = \rho_s - \rho_w$ ， n^0 為初始孔隙率。在假設土體為等向且均質之彈性體(elastic)下，則 x 、 y 與 z 方向之三維土體靜力平衡方程式分量可分別表示為

$$\mu \nabla^2 U_{xx} + (\mu + \lambda) \frac{\partial}{\partial x} (\nabla \cdot \bar{U}_s) = \frac{\partial p}{\partial x} \quad (4.19)$$

$$\mu \nabla^2 U_{yy} + (\mu + \lambda) \frac{\partial}{\partial y} (\nabla \cdot \bar{U}_s) = \frac{\partial p}{\partial y} \quad (4.20)$$

$$\mu \nabla^2 U_{zz} + (\mu + \lambda) \frac{\partial}{\partial z} (\nabla \cdot \bar{U}_s) = \frac{\partial p}{\partial z} - \Delta \rho g (1 - n^0) \nabla \cdot \bar{U}_s \quad (4.21)$$

其中 μ 、 λ 為拉梅(Lame)常數，且 U_{xx} 、 U_{yy} 與 U_{zz} 以及 p 皆為消去上標^e之變動值。以下皆以 U_{xx} 、 U_{yy} 與 U_{zz} 以及 P 表示消去上標^e之變動值。

令 L_H 為水平方向之特徵長度(characteristic length)， L_V 為垂直之方向特徵長度， U_H 為水平方向之特徵位移量(characteristic displacement)， U_V 為

垂直方向之特徵位移量。此外， P 與 T 則分別為特徵孔隙水壓與特徵時間。再定義無因次參數 $x^* = x/L_H$ 、 $y^* = y/L_H$ 、 $z^* = z/L_V$ 、 $U_{sx}^* = U_{sx}/U_H$ 、 $U_{sy}^* = U_{sy}/U_H$ 、 $U_{sz}^* = U_{sz}/U_V$ 、 $p^* = p/P$ 與 $t^* = t/T$ ，則無因次化三維耦合地層下陷方程式(即式(4.11)與式(4.19)至式(4.21))在不考慮浮體重力影響下，可無因次化為

$$\frac{P}{L_H^2} \frac{\partial^2 p^*}{\partial x^{*2}} + \frac{P}{L_H^2} \frac{\partial^2 p^*}{\partial y^{*2}} + \frac{P}{L_V^2} \frac{\partial^2 p^*}{\partial z^{*2}} = \frac{\rho_w g}{K} \left[\frac{U_H}{TL_H} \frac{\partial^2 U_{sx}^*}{\partial t^* \partial x^*} + \frac{U_H}{TL_H} \frac{\partial^2 U_{sy}^*}{\partial t^* \partial y^*} + \frac{U_V}{TL_V} \frac{\partial^2 U_{sz}^*}{\partial t^{*2} \partial z^*} \right] \quad (4.22)$$

$$\frac{U_H}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sx}^*}{\partial x^{*2}} + \frac{U_H}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sx}^*}{\partial y^{*2}} + \frac{U_H}{L_V^2} \frac{\partial^2 U_{sx}^*}{\partial z^{*2}} + \left(1 + \frac{\lambda}{\mu}\right) \left[\frac{U_H}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sx}^*}{\partial x^{*2}} + \frac{U_H}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sy}^*}{\partial x^* \partial y^*} + \frac{U_V}{L_H L_V} \frac{\partial^2 U_{sz}^*}{\partial x^* \partial z^*} \right] = \frac{P}{\mu L_H} \frac{\partial p^*}{\partial x^*} \quad (4.23)$$

$$\frac{U_H}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sy}^*}{\partial x^{*2}} + \frac{U_H}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sy}^*}{\partial y^{*2}} + \frac{U_H}{L_V^2} \frac{\partial^2 U_{sy}^*}{\partial z^{*2}} + \left(1 + \frac{\lambda}{\mu}\right) \left[\frac{U_H}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sx}^*}{\partial x^* \partial y^*} + \frac{U_H}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sy}^*}{\partial y^{*2}} + \frac{U_V}{L_H L_V} \frac{\partial^2 U_{sz}^*}{\partial y^* \partial z^*} \right] = \frac{P}{\mu L_H} \frac{\partial p^*}{\partial y^*} \quad (4.24)$$

$$\frac{U_V}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sz}^*}{\partial x^{*2}} + \frac{U_V}{L_H^2} \frac{\partial^2 U_{sz}^*}{\partial y^{*2}} + \frac{U_V}{L_V^2} \frac{\partial^2 U_{sz}^*}{\partial z^{*2}} + \left(1 + \frac{\lambda}{\mu}\right) \left[\frac{U_H}{L_H L_V} \frac{\partial^2 U_{sx}^*}{\partial x^* \partial z^*} + \frac{U_H}{L_H L_V} \frac{\partial^2 U_{sy}^*}{\partial y^* \partial z^*} + \frac{U_V}{L_V^2} \frac{\partial^2 U_{sz}^*}{\partial z^{*2}} \right] = \frac{P}{\mu L_V} \frac{\partial p^*}{\partial z^*} \quad (4.25)$$

由式(4.22)可知，當 $L_H \gg L_V$ 表示孔隙水壓梯度在垂直方向遠大於水平方向，即水流為近似垂直流，當 $L_V \gg L_H$ 則表示水流為近似水平流，而 $L_V \approx L_H$ 表示水流為垂直與水平分量相當之三維水流。此外，一維地層下陷之假設表示土體之垂直位移量遠大於水平位移量，即 $U_V \gg U_H$ 。以下分別對 L_H 與 L_V 可能之情況分別加以討論。

當 $U_V \gg U_H$ 且 $L_H \ll L_V$ 時，即表示水流為近似垂直流且土體變形為垂直一維，分別取式(4.22)與式(4.25)之最大量階項，可分別得

$$K \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \rho_w g \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial t \partial z} \quad (4.26)$$

$$(2\mu + \lambda) \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial z^2} = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4.27)$$

且可得垂向位移之量階為 $O(PL_V/(2\mu + \lambda))$ ，時間之量階為 $O(\rho_w g L_V^2 / K(2\mu + \lambda))$ 。若加入浮體重力之影響，則式(4.27)可變為

$$(2\mu + \lambda) \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial z^2} + \Delta \rho g (1 - n^0) \frac{\partial U_{sz}}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4.28)$$

此外，當 $U_V \gg U_H$ 且 $L_V \gg L_H$ 時，即表示水流為近似水平流且土體變形為垂向一維。在假設 $U_V/L_V \gg U_H/L_H$ ，並分別取式(4.22)、式(4.23)與式(4.24)之最大量階項可得

$$K \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right) = \rho_w g \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial z \partial t} \quad (4.29)$$

$$(\mu + \lambda) \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial x \partial z} = \frac{\partial p}{\partial x} \quad (4.30)$$

$$(\mu + \lambda) \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial y \partial z} = \frac{\partial p}{\partial y} \quad (4.31)$$

且垂向位移之量階為 $O(PL_V/(\mu + \lambda))$ ，時間之量階為 $O(\rho_w g L_H^2 / K(\mu + \lambda))$ 。此外，若假設 $\nabla^2 U_{sz} = 0$ ，且取式(4.25)中之最大量階項，並與式(4.30)之量階相比較可得

$$(2\mu + \lambda) \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial z^2} = \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (4.32)$$

4.2 地下水流計算

考慮土體變形只有 z 方向，即 U_{sz} ，並忽略流體壓縮性(即 β 極小)，且假設土體為等向均質下，若加入源流項影響，則地下水流方程式(式(4.11))可變為

$$K \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) = \frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial t \partial z} + Q(x-x_w, y-y_w, z-z_w) \quad j = 1, 2, 3 \quad (4.33)$$

其中 ϕ 為變動水頭，即 $\phi = p / \rho_w g$ ，而 p 為變動孔隙水壓， Q 為源流項 (source term)。(註：畢氏水頭 $h = h_0 + \phi = (z + p^0 / \rho_w g) + p / \rho_w g$)

本研究中採分層深度積分來建立模式，故將式(4.33)作深度積分得(見圖 4-1 與圖 4-2)

$$\int_{b_i(x,y,t)}^{b_{i+1}(x,y,t)} K \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) dz = \int_{b_i(x,y,t)}^{b_{i+1}(x,y,t)} \left(\frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial t \partial z} + Q(x-x_w, y-y_w, z-z_w) \right) dz \quad j = 1, 2, 3 \quad (4.34)$$

其中 $z = b_{i+1}(x, y, t)$ 、 $z = b_i(x, y, t)$ 分別表示含水層上、下邊界函數。(註：若為非拘限含水層，則式(4.34)中之 $z = b_{i+1}(x, y, t)$ 代表自由液面函數。)根據萊布尼茲(Leibnitz)法則與連鎖律，並忽略次要項之影響，即假設含水層上、下邊界函數在空間與時間之變化遠小於含水層之厚度或水深。也就是

$$\frac{\partial b_{i+1}(x, y, t)}{\partial x_j}, \frac{\partial b_i(x, y, t)}{\partial x_j}, \frac{\partial B(x, y, t)}{\partial x_j} \ll B \quad j = 1, 2 \quad (4.35)$$

$$\frac{\partial b_{i+1}(x, y, t)}{\partial t}, \frac{\partial b_i(x, y, t)}{\partial t} \ll B \quad (4.36)$$

其中 $B(x, y, t) = b_{i+1}(x, y, t) - b_i(x, y, t)$ 代表含水層之厚度或水深。則式(4.34)可變為

$$KB \frac{\partial^2 \bar{\phi}}{\partial x^2} + KB \frac{\partial^2 \bar{\phi}}{\partial y^2} = \frac{\partial}{\partial t} (U_{sz}|_{b_{i+1}} - U_{sz}|_{b_i}) + K \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_i} - \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \right) + \bar{Q} (x - x_w, y - y_w) \quad (4.37)$$

其中 $\bar{\phi}$ 代表深度積分之平均值，即 $\bar{\phi} = \frac{1}{B} \int_{b_i}^{b_{i+1}} \phi dz$ ， $U_{sz}|_{b_{i+1}}$ 、 $U_{sz}|_{b_i}$ 為上、下邊界土體位移， $K \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}}$ 、 $K \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_i}$ 為上、下邊界之水流通量。

為計算上、下邊界之水流通量，假設每個土層之水頭在垂直深度方向上符合二次形狀函數變化關係，即

$$\phi(x, y, z, t) = a(x, y, t) + b(x, y, t)z + c(x, y, t)z^2 \quad (4.38)$$

由式(4.38)可知，含水層之水流為水平流僅是假設 b 與 c 為零之簡化結果，而阻水層垂直流之水頭分布函數，也可以用多段之二次多項式函數加以趨近，所以式(4.38)可同時模擬水平流與垂直流。由式(4.38)，每一土層上邊界、下邊界與平均值之水頭可分別表示為

$$\phi \Big|_{b_{i+1}} = \phi(x, y, B, t)$$

$$\phi \Big|_{b_i} = \phi(x, y, 0, t)$$

$$\bar{\phi} = \frac{1}{B} \int_0^B \phi(x, y, z, t) dz \quad (4.39)$$

將式(4.39)代入式(4.38)，可求解 $a(x, y, t)$ 、 $b(x, y, t)$ 與 $c(x, y, t)$ ，即

$$a(x, y, t) = \phi \Big|_{b_i}$$

$$b(x, y, t) = \frac{1}{B} (-2\phi \Big|_{b_{i+1}} - 4\phi \Big|_{b_i} + 6\bar{\phi})$$

$$c(x, y, t) = \frac{1}{B^2} (3\phi \Big|_{b_{i+1}} + 3\phi \Big|_{b_i} - 6\bar{\phi}) \quad (4.40)$$

將式(4.38)對深度方向做微分，則可得上、下邊界之微分值分別為

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} = \frac{1}{B} (4\phi \Big|_{b_{i+1}} + 2\phi \Big|_{b_i} - 6\bar{\phi}) \quad (4.41)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_i} = \frac{1}{B} (-2\phi \Big|_{b_{i+1}} - 4\phi \Big|_{b_i} + 6\bar{\phi}) \quad (4.42)$$

由式(4.41)與式(4.42)可知，上、下邊界在垂直深度方向之水力梯度，可分別由上、下邊界值及垂直深度積分平均值來表示。

將式(4.41)與式(4.42)代入式(4.37)中，則地下水流控制方程式為

$$KB \frac{\partial^2 \bar{\phi}}{\partial x^2} + KB \frac{\partial^2 \bar{\phi}}{\partial y^2} = \frac{\partial}{\partial t} (U_{sz} \Big|_{b_{i+1}} - U_{sz} \Big|_{b_i}) + \frac{K}{B} (-6\phi \Big|_{b_{i+1}} - 6\phi \Big|_{b_i} + 12\bar{\phi}) + \bar{Q} (x - x_w, y - y_w) \quad (4.43)$$

4.3 垂向土體位移計算

根據式(4.30)至式(4.32)，含水層之垂向土體位移控制方程式為

$$\frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial x \partial z} = \frac{\rho_w g}{\mu + \lambda} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (4.44)$$

$$\frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial y \partial z} = \frac{\rho_w g}{\mu + \lambda} \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (4.45)$$

$$\frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial z^2} = \frac{\rho_w g}{2\mu + \lambda} \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (4.46)$$

由式(4.44)至式(4.46)可得

$$U_{sz} = \int_0^z \frac{\rho_w g}{\mu + \lambda} \phi dz + C_1 z + C_2 \quad (4.47)$$

其中 C_1 與 C_2 為代定係數。若假設 C_1 與 C_2 為零並做積分，則可得

$$\Delta z = U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi} = \int_{bi(x,y,t)}^{bi+1(x,y,t)} \frac{\rho_w g \Phi}{\mu + \lambda} dz = \frac{\rho_w g B \bar{\Phi}}{\mu + \lambda} \quad (4.48)$$

式(4.48)，即一維非耦合地層下陷模式中，計算含水層下陷量之代數方程式。若加入流體之壓縮效應之考慮，則含水層之比出水係數(specific storativity)為 $S_s = \rho_w g [n\beta + 1/(\mu + \lambda)]$ 。另外，由式(4.47)可知，一維非耦合模式中，含水層土體有效應力與孔隙水壓之比值為 $(2\mu + \lambda)/(\mu + \lambda)$ 。而且由式(4.46)可知，一維耦合模式之孔隙水壓與有效應力變化在垂直方向為一定值。

將垂向位移之上、下邊界條件，代入式(4.47)中，則可得一維耦合地層下陷模式之含水層垂向位移表示式為

$$U_{sz} = \int_0^z \frac{\rho_w g}{\mu + \lambda} \phi dz + \left[\frac{1}{B} (U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi}) - \frac{\rho_w g}{\mu + \lambda} \bar{\phi} \right] z + U_{sz}|_{bi} \quad (4.49)$$

此外，根據式(4.28)，阻水層之垂向土體位移控制方程式為

$$\frac{\partial^2 U_{sz}}{\partial z^2} + \frac{\Delta \rho g (1 - n^0)}{2\mu + \lambda} \frac{\partial U_{sz}}{\partial z} = \frac{\rho_w g}{2\mu + \lambda} \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (4.50)$$

式(4.48)中，等號左邊第二項即為浮體重力之效應。若不考慮浮體重力，由式(4.48)可得

$$U_{sz} = \int_0^z \frac{\rho_w g}{2\mu + \lambda} \phi dz + C_1 z + C_2 \quad (4.51)$$

代入垂向位移之上、下邊界條件可得

$$U_{sz} = \int_0^z \frac{\rho_w g}{2\mu + \lambda} \phi \, dz + \left[\frac{1}{B} (U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi}) - \frac{\rho_w g}{2\mu + \lambda} \bar{\phi} \right] z + U_{sz}|_{bi} \quad (4.52)$$

此外，若假設 C_1 與 C_2 為零並做積分，則可得

$$\Delta z = U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi} = \int_{bi(x,y,t)}^{bi+1(x,y,t)} \frac{\rho_w g \Phi}{2\mu + \lambda} dz = \frac{\rho_w g B \bar{\Phi}}{2\mu + \lambda} \quad (4.53)$$

式(4.53)，即一維非耦合地層下陷模式中，計算阻水層下陷量之代數方程式。另外，若加入流體之壓縮效應，則阻水層之比出水係數(specific storativity)為 $S_s = \rho_w g [n\beta + 1/(2\mu + \lambda)]$ 。由式(4.51)與式(4.53)可知，一維非耦合模式中，阻水層之孔隙水壓變化量即為有效應力之變化量。此外，由式(4.50)可知，一維耦合模式中，若不考慮浮體重力或浮體重力效應太小可乎略時，阻水層孔隙水壓之斜率與有效應力之斜率相同。

式(4.50)，若引用水流計算中，孔隙水壓於垂直方向上為二次多項式分布假設下，則可得阻水層之垂向位移表示式為

$$U_{sz} = C_1 + C_2(1 - e^{-\Delta z/B}) + A_2 z + A_3 z^2 \quad (4.54)$$

其中

$$\Delta = \frac{\Delta \rho g (1 - n^0) B}{2\mu + \lambda}$$

$$C_1 = U_{sz}|_{bi}$$

$$C_2 = \frac{1}{1 - e^{-\Delta}} (U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi} - A_2 B - A_3 B^2)$$

$$A_2 = \frac{\rho_w g}{\Delta \rho g (1 - n^0) B} (-2\phi|_{bi+1} - 4\phi|_{bi} + 6\bar{\phi}) - \frac{2\rho_w g (2\mu + \lambda)}{\Delta \rho^2 g^2 (1 - n^0)^2 B^2} (3\phi|_{bi+1} + 3\phi|_{bi} - 6\bar{\phi})$$

$$A_3 = \frac{\rho_w g}{\Delta \rho g (1 - n^0)} (3\phi|_{bi+1} + 3\phi|_{bi} - 6\bar{\phi}) \quad (4.55)$$

4.4 初始條件

模式中採用增加量為應變數，因此，水位變化與垂向位移之初始條件皆為零，即

$$\phi(x, y, z, 0) = 0$$

$$U_{sz}(x, y, z, 0) = 0 \quad x, y \in \Omega \quad (4.56)$$

其中 Ω 代表求解之區域。

4.5 邊界條件

研究中，採用垂直分層與水平區域拆解之概念建立模式，所以對垂直及水平方向之邊界都可分為自然邊界與內部介面邊界兩種。以下分別對垂直與水平之自然邊界與內部介面邊界條件加以闡述。

對於垂直邊界而言，自然邊界是指求解區域中最上層與最下層之邊界。自然邊界若給定為水頭及位移邊界條件(Dirichlet 型態之邊界條件)，則可表示為

$$\phi|_{boundary} = \phi^*$$

$$U_{sz}|_{boundary} = U_{sz}^* \quad (4.57)$$

其中 ϕ^* 、 U_{sz}^* 為給定之值。另外，若給定為水力坡降及應變條件(Neumann 型態之邊界條件)，則為

$$\begin{aligned} K \frac{\partial \phi^e}{\partial n} \Big|_{\text{boundary}} &= -q_v^* \\ (2\mu + \lambda) \frac{\partial U_{sz}^e}{\partial n} \Big|_{\text{boundary}} &= e^* \end{aligned} \quad (4.58)$$

其中 q_v^* 、 e^* 為給定之值。若為非拘限含水層，最上層之邊界為自由液面，需滿足運動邊界條件與動力邊界條件。非拘限含水層自由液面之運動邊界條件可表示為

$$S_y \frac{\partial b_{i+1}}{\partial t} = -K \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \quad (4.59)$$

其中 S_y 為比出水係數(specific yield)， $\eta(x, y, t) = B = b_{i+1}(x, y, t) - b_i(x, y, t)$ 表示非拘限含水層之水深函數。假設自由液面對時間之變化遠大於下邊界之變化，則式(4.59)可變為

$$S_y \frac{\partial \eta}{\partial t} = -K \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \quad (4.60)$$

另外，非拘限含水層自由液面之動力邊界條件為 $p(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) = 0$ ，則可得

$$\phi(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) = -\frac{p^0(x, y, b_{i+1}(x, y, t), 0)}{\rho_w g} \quad (4.61)$$

若假設 $p^0(x, y, b_{i+1}(x, y, t), 0) = \rho_w g[\eta^0(x, y, 0) - \eta(x, y, t)]$ 則式(4.61)可變為

$$\eta(x, y, t) = \eta^0(x, y, 0) + \phi^e(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) \quad (4.62)$$

其中 $\eta^0(x, y, 0)$ 表示初始水深函數。將式(4.62)代入式(4.60)可得

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} \Big|_{b_{i+1}} = -\frac{K}{S_y} \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \quad (4.63)$$

式(4.62)與式(4.63)，即為模式中，非拘限含水層自由液面所使用之動力邊界與運動邊界條件。此外，非拘限含水層自由液面上之土體邊界條件為

$$\sigma'_v \Big|_{b_{i+1}} = n_0 \rho_w g \phi \Big|_{b_{i+1}} \quad (4.64)$$

式(4.62)表示，有效應力之變化，即為自由液面變動造成之土體體積重量之改變。式(4.62)可進一步表示為

$$\frac{\partial U_{sz}}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} = \frac{n_0 \rho_w g}{2\mu + \lambda} \phi \Big|_{b_{i+1}} \quad (4.65)$$

然而，所謂垂直方向之內部介面邊界，則是指分層或虛擬分層後，層與層間之介面邊界而言。層與層間之介面邊界，除了需滿足流體之孔隙水壓與水流通量連續外，土體亦需滿足位移與有效應力連續。即

$$q_n^{(1)} = q_n^{(2)}$$

$$\sigma_n'^{(1)} = \sigma_n'^{(2)}$$

$$\phi^{(1)} = \phi^{(2)}$$

$$U_{sz}^{(1)} = U_{sz}^{(2)} \quad (4.66)$$

其中，上標⁽¹⁾、⁽²⁾分別表示相鄰邊界不同分層之介質，如圖 4-3 所示， \bar{n} 、 \bar{i} 為邊界面之法線向量與切線向量。此外，水流通量與有效應力連續可進一步表示為

$$K^{(1)} \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial n} = K^{(2)} \frac{\partial \phi^{(2)}}{\partial n}$$

$$(2\mu^{(1)} + \lambda^{(1)}) \frac{\partial U_{sz}^{(1)}}{\partial n} = (2\mu^{(2)} + \lambda^{(2)}) \frac{\partial U_{sz}^{(2)}}{\partial n} \quad (4.67)$$

對於水平方向而言，自然邊界是指求解區域最外圍之邊界，而內部介面邊界則是指經區域拆解後區與區之介面邊界，如圖 4-4 所示。因為模式中，假設將土體位移為垂向一維，所不需給定土體之水平邊界條件。水流之自然邊界條件，若給定為水頭及水力坡降，則可分別表示為

$$\bar{\phi} = \bar{\phi}_H \quad \Gamma_1 \in \Gamma$$

$$\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n} = -q_H^* \quad \Gamma_2 \in \Gamma \quad (4.68)$$

其中 Γ 為自然邊界。另外，水平方向之內部介面邊界，則是指經地質分區後，區與區之介面邊界。區與區之介面邊界，需同時滿足孔隙水壓連續及水流通量連續條件，即

$$\bar{\phi}^{(1)} = \bar{\phi}^{(2)}$$

$$K^{(1)} \frac{\partial \bar{\phi}^{(1)}}{\partial n} = K^{(2)} \frac{\partial \bar{\phi}^{(2)}}{\partial n} \quad (4.69)$$

4.6 控制方程式之無因次化

一維耦合地層下陷模式需同時求解流體之壓力與土體之垂向位移量，因為土壤參數(即水力傳導係數與拉梅常數)之量階差異甚大，若時間

間距太小，求解時可能造成矩陣係數差異甚大，導致計算不穩定現象。所以研究中以無因次化控制方程式來建立數值計算模式。令無因次變數為 $\bar{\phi} = \phi / L_H$ 、 $x^* = x / L_H$ 、 $y^* = y / L_H$ 、 $B^* = B / L_V$ 、 $K^* = K / K_f$ 、 $\mu^* = \mu / \mu_f$ 、 $\lambda^* = \lambda / \lambda_f$ 、 $U_{sz}^e = \lambda_f U_{sz}^e / \rho_w g L_V L_H$ 與 $t^* = K_f \lambda_f t / \rho_w g L_V^2$ 。其中 L_H 與 L_V 分別為水平與垂直方向之特徵長度。 K_f 、 μ_f 與 λ_f 分別特徵水力傳導係數與特徵拉梅常數。通常水平與垂方向特徵長度選擇為格網之大小與最小土層厚度值，而特徵水力傳導係數與特徵拉梅常數則選擇為土層中之最小參數值。將式(4.37)無因次化，可得無因次化地下水流控制方程式為

$$\frac{\partial^2 \bar{\phi}^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 \bar{\phi}^*}{\partial y^{*2}} = \frac{K_f L_H^2}{K B L_V} \left[\frac{\partial}{\partial t^*} (U_{sz}^*|_{bi+1} - U_{sz}^*|_{bi}) \right] + \frac{L_H^2}{B^2} (12\bar{\phi}^* - 6\bar{\phi}^*|_{bi+1} - 6\bar{\phi}^*|_{bi}) + \frac{\bar{Q} L_H}{K B} \quad (4.70)$$

此外，邊界條件亦需無因次化，在此不多贅述。由式(4.70)可知，欲使數值計算穩定不發生，需滿足矩陣對角線係數最大之限制(diagonal dominant)。於均勻水平格網下，可表示為

$$12 \frac{L_H^2}{B^2} \geq \frac{K_f L_H^2}{K B L_V} \frac{\rho_w g L_V^2}{K_f \lambda_f \Delta t} \quad (4.71)$$

也就是

$$\Delta t \geq \frac{1}{12} \frac{\rho_w g B L_V}{K \lambda_f} \quad (4.72)$$

式(4.72)，即為模式計算時所需滿足之時間間距限制條件，此與 Ghaoussi and Wilson (1973)、Sloan and Abbo (1999)、Vermeer and Verruijt (1981) 以及 Ferronato et al. (2001)所提出之臨界時間間距相似(見式(2.1))。

4.7 數值方法

本研究之數值方法採用具有局部解析解以及無條件穩定收斂，更可以在卡氏座標下處理不規則邊界等特點之有限解析法(Finite Analytic Method)。有限解析法由佛羅里達大學工學院院長陳景仁教授(C.J.Chen)於1980年所提出，已應用於計算流體力學多年且有不錯之結果，如Chen et al. (1981)、Chen and Chen(1984)與Chen and Yoon (1983)。有限解析法可分為隱式(implicit)有限解析法與顯式(explicit)有限解析法兩種，本研究採用穩定性較佳的隱式有限解析法。

二維有限解析法，可分為九點法(nine-point method)與五點法(five-point method)。九點法使用於非邊界計算元素中，而五點法則應用於邊界計算元素中，如圖4.5所示。此外，九點與五點法又可以分為均勻格網(uniform grid)或非均勻格網(non-uniform grid)。以下將詳述九點二維有限解析法於均勻格網之推導。二維有限解析法之標準形式為

$$D_{xx} \frac{\partial^2 \Phi}{\alpha^2} + D_{yy} \frac{\partial^2 \Phi}{\beta^2} = R \frac{\partial \Phi}{\alpha} + V_x \frac{\partial \Phi}{\alpha} + V_y \frac{\partial \Phi}{\beta} + F(x, y, t), \quad (4.73)$$

式中等號左項為擴散項(diffusion term)，等號右邊第一項為非恆定項(unsteady term)、第二項為對流項(advection term)、而第三項則為流源項(source term)。若所要求解之偏微分方程式不能符合有限解析法之標準形式(式(4.73))，則必需先將不符合之項先以差分處理後並納入流源項。首先將式(4.73)於每個計算網格中線性化並且非恆定項以後向差分(backward difference)處理，則可得

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\alpha^2} + C \frac{\partial^2 \Phi}{\beta^2} = 2A \frac{\partial \Phi}{\alpha} + 2BC \frac{\partial \Phi}{\beta} + G, \quad (4.74)$$

式中 $C = (D_{yy}/D_{xx})_p$ 、 $A = \frac{1}{2}(V_x/D_{xx})_p$ 、 $B = \frac{1}{2}(V_y/D_{yy})_p$ 、 $G = R^* \left((\Phi_p^n - \Phi_p^{n-1}) / \Delta t \right) + f_p$ 、 $R^* = (R/D_{xx})_p$ 與 $f_p = (F(x, y, t)/D_{xx})_p$ ，其中，丁標 p 表示每個計算方格之中心點，如圖 4-5 所示。若假設西邊邊界條件為

$$\Phi_w(y) = \alpha_{0w} + \alpha_{1w}y + \alpha_{2w}(e^{2By} - 1), \quad (4.75)$$

帶入邊界條件帶入，即 $\Phi_{wc} = \Phi_w(0)$ 、 $\Phi_{nw} = \Phi_w(k)$ 與 $\Phi_{sw} = \Phi_w(-k)$ ，則可得

$$\alpha_{0w} = \Phi_{wc},$$

$$\alpha_{1w} = \frac{\Phi_{nw} - \Phi_{sw} - \coth Bk(\Phi_{nw} + \Phi_{sw} - 2\Phi_{wc})}{2k},$$

$$\alpha_{2w} = \frac{\Phi_{nw} + \Phi_{sw} - 2\Phi_{wc}}{4 \sinh^2 Bk}. \quad (4.76)$$

同理，億假設北邊邊界條件為

$$\Phi_n(x) = \alpha_{0n} + \alpha_{1n}x + \alpha_{2n}(e^{2Ax} - 1), \quad (4.77)$$

與西邊邊界相同帶入邊界條件值，即 $\Phi_{nc} = \Phi_n(0)$ 、 $\Phi_{ne} = \Phi_n(h)$ 與 $\Phi_{nw} = \Phi_n(-h)$ ，則 α_{0n} 、 α_{1n} 與 α_{2n} 可表示為

$$\alpha_{0n} = \Phi_{nc},$$

$$\alpha_{1n} = \frac{\Phi_{ne} - \Phi_{nw} - \coth Ah(\Phi_{ne} + \Phi_{nw} - 2\Phi_{nc})}{2h},$$

$$\alpha_{2n} = \frac{\Phi_{ne} + \Phi_{nw} - 2\Phi_{nc}}{4 \sinh^2 Ah}. \quad (4.78)$$

此外，南邊與東邊之邊界條件也可同理得到。式(4.74)與四個邊界條件，其中，西邊與北邊之邊界條件如式(4.75)至式(4.77)所示，由分離變數法

(separation of variable)可求解每個計算元素之解析解(見 Chen and Chen (1984))。將每個計算元素之中心點(p 點)值表示為與鄰近旁邊八點之關係可得

$$\Phi_p^{n+1} = \frac{1}{1 + \frac{R^*}{\Delta t} C_p} (C_{ne} \Phi_{ne}^{n+1} + C_{nw} \Phi_{nw}^{n+1} + C_{se} \Phi_{se}^{n+1} + C_{sw} \Phi_{sw}^{n+1} + C_{wc} \Phi_{wc}^{n+1} + C_{ec} \Phi_{ec}^{n+1} + C_{nc} \Phi_{nc}^{n+1} + C_{sc} \Phi_{sc}^{n+1} + \frac{R^*}{\Delta t} C_p \Phi_p^{n-1} - C_p f_p), \quad (4.79)$$

式中

$$C_{ec} = EB \cdot e^{-Ah}, \quad C_{ne} = E \cdot e^{-Ah-Bk}, \quad C_{wc} = EB \cdot e^{Ah}, \quad C_{nw} = E \cdot e^{Ah-Bk},$$

$$C_{sc} = EA \cdot e^{Bk}, \quad C_{se} = E \cdot e^{-Ah+Bk}, \quad C_{nc} = EA \cdot e^{-Bk}, \quad C_{sw} = E \cdot e^{Ah+Bk},$$

$$C_p = \frac{1}{2(A^2 + B^2 C)} [(C_{nw} + C_{wc} + C_{sw} - C_{ne} - C_{ec} - C_{se}) Ah + (C_{sw} + C_{se} + C_{se} - C_{nw} - C_{nc} - C_{ne}) Bk],$$

$$E = \frac{1}{4 \cosh(Ah) \cosh(Bk)} - E_2 Ah \coth(Ah) - Bk E_2^* \coth(Bk),$$

$$EA = 2Ah \frac{\cosh^2(Ah)}{\sinh(Ah)} E_2,$$

$$EB = 2Bk \frac{\cosh^2(Bk)}{\sinh(Bk)} E_2^*,$$

$$E_2^* = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{-(-1)^m (\lambda_m^* k)}{[(Bk)^2 + (\lambda_m^* k)^2]^2 \cosh \mu_m^* h},$$

$$E_2 = \frac{k^2}{Ch^2} E_2^* + \frac{BCh \tanh(Ah) - Ak \tanh(Bk)}{4ABCh^2 \cosh(Ah) \cosh(Bk)},$$

$$\mu_m^* = (A^2 + B^2 C + \lambda_m^{*2} C)^{\frac{1}{2}} \quad m = 1, 2, 3, \dots,$$

$$\lambda_m^* = \frac{(2m-1)\pi}{2k} \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (4.80)$$

式(4.79)，即為均勻格網九點二維有限解析法之離散分程式。此外，對於非均勻格網九點二維有限解析法以及五點二維有限解析法可參考 Tsai et al.(1993)，在此不多贅述。

4.8 模擬所需輸入之資料

本研究所發展之一維耦合地層下陷模式，模擬時除了先根據土層分布將模擬區域作垂向分層與水平區域拆解外，所需輸入之資料分別有土壤地質參數、流體參數、水文平衡參數與模擬設定參數等，如表 4-1 所示。其中，土壤地質參數包含有土壤密度(ρ_s)、初始孔隙率(n_0)、水力傳導係數(K)、拉梅常數(μ, λ)，比出水係數(S_y)；流體參數包含流體密度(ρ_w)以及流體壓縮模數(β)；水文平衡參數包含抽水量(Q)、分層抽水比例、水田灌溉入滲量、旱地降雨入滲量、河川入滲量、邊界側流量、分層地下水位以及水頭邊界條件等；模擬設定參數包含網格點性質、網格大小($\Delta x, \Delta y$)、時間間距(Δt)等、地理座標以及含水層與阻水層厚度(B)。

一維耦合地層下陷模式之計算流程如圖 4-6 所示。先選定模擬區域，再根據地質鑽探資料，將模擬區域作水平區域拆解與垂直分層，輸入模擬所需資料(見表 4-1)後，分別疊代計算三維水流控制方程式以及一維垂向土體靜力平衡方程式之解析解，若疊代收斂，則判斷是否模擬完畢，若尚未完畢，則進行下一時刻之計算，最後輸出結果，完成模擬。

本章中，吾人已提出本研究之研究方法，並詳述一維耦合地層下陷模式之建立過程，包括理論基礎、地下水流計算、垂向土體位移計算、初始條件、邊界條件、控制方程式之無因次化、數值方法與模擬所需輸入之資料等。下章中，吾人將深入分析與探討一維耦合地層下陷模式之特性。

第五章 一維耦合地層下陷模式之分析與探討

本章中，吾人將以兩個簡單案例，深入分析與探討一維非耦合模式以及考慮或不考慮浮體重力一維耦合模式三者之差異。

5.1 兩阻水層中間夾一含水層之測試案例

在兩阻水層中間夾一含水層單井抽水測試案例中，其垂直與水平示意圖，分別如圖 5.1 與圖 5.2 所示。初始時為穩定靜止狀態，水平與垂直方向邊界上之孔隙水壓變化皆為零。此外，土層之上邊界無應力施加且下邊界與固定岩盤接觸。也就是，上邊界之土體垂向有效應力為零且下邊界之土體位移為零。

由圖 5.1 可知，阻水層一、含水層與阻水層二之厚度分別為 120 公尺、40 公尺以及 60 公尺。含水層之水力傳導係數(K)與拉梅常數(λ 、 μ)分別為 1.0×10^{-3} m/s 與 1.0×10^9 N/m²、 5.0×10^8 N/m²，阻水層一、二之水力傳導係數(K)與拉梅常數(λ 、 μ)皆分別為 1.0×10^{-6} m/s 與 1.0×10^8 N/m²、 5.0×10^7 N/m²。阻水層一及阻水層二之浮體重力參數 $[(\Delta\rho g(1-n^0)B)/(2\mu+\lambda)]$ 分別為 0.00386 以及 0.00193，也就是浮體重力效應小 ($e^{-0.00386} \approx 1.0, e^{-0.00193} \approx 1.0$)。模擬時，將阻水層一、含水層與阻水層二，分別虛擬為六層、兩層與三層。水平格網大小為 500 公尺 × 500 公尺，抽水井之效應以點源方式處理。當抽水量為 1.0cms，時間間距為 0.25day 時，抽水井處之水頭變化量(ϕ)、垂向土體位移量(U_{zz})以及垂向有效應力 [$\sigma'_{zz} = (2\mu + \lambda)(\partial U_{zz}/\partial z)$]，在垂直方向上隨時間變化模擬結果，分別如圖 5.3(a)、圖 5.3(b)以及圖 5.3(c)所示。其中代號 UC、CO 與 BO 分別表示一維非耦合模式、不考慮浮體重力一維耦合模式以及考慮浮體重力一維耦合模式。

由圖 5.3(a)、圖 5.3(b) 可知，一維非耦合模式以及考慮或不考慮浮體重力一維耦合模式，三者之水頭變化量與垂向土體位移量幾乎一致。由圖 5.3(a)可明顯地看出阻水層貯蓄現象。此外，由圖 5.3(c)可發現，阻水層內三者之有效應力分佈皆相同，但含水層中卻不相同，且在含水層與阻水層之介面邊界處，一維非耦合模式之有效應力會產生不連續現象。這是因為一維非耦合模式中，阻水層之孔隙水壓變化量即為有效應力變化量(見式(4.51)、式(4.53))，含水層之孔隙水壓變化量與有效應力變化量成一定比值(見式(4.47))、而模式計算水流時，引用介面邊界處孔隙水壓需連續之結果。然而，一維耦合模式卻不會產生此種現象，因為耦合模式中，需求解土體靜力平衡方程式，且介面邊界處之應力需連續。雖然含水層中，一維非耦合模式之有效應力與其他二者不同，但是因為含水層之位移量遠較阻水層小(拉梅常數大於阻水層，即含水層比阻水層硬)，所以三者之垂向位移量仍幾乎一致。

為了彰顯浮體重力之重要性，將上述案例中，阻水層一、二之拉梅常數(λ 、 μ)皆分別減小為 $2.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 、 $1.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ，即浮體重力參分別為 0.19 以及 0.095。當抽水量為 1.0cms，時間間距為 10day 時，抽水井處之水頭變化量、垂向土體位移量以及有效應力，在垂直方向上隨時間變化模擬結果，分別如圖 5.4(a)、圖 5.4(b)以及圖 5.5(c)所示。其中代號 UC、CO 與 BO 分別表示一維非耦合模式、不考慮浮體重力一維耦合模式以及考慮浮體重力一維耦合模式。

由圖 5.4(a)、圖 5.4(b) 以及圖 5.5(c) 可知，一維非耦合模式與不考慮浮體重力之一維耦合模式，二者之水頭變化量與垂向土體位移量幾乎一致。但是，由於浮體重力效應不可忽略，使得考慮或不考慮浮體重力效應一維耦合模式，產生明顯的不同，且考慮浮體重力之垂向位移量大於

其餘兩者。由此案例可知，當阻水層較軟時，有必要考慮浮體重力之效應。若要考慮浮體重力之影響，則孔隙水壓與土體變形量必須耦合求解，而不再是非耦合。這也就是本研究的主要目的。

5.2 兩含水層中間夾一阻水層之測試案例

在兩含水層中間夾一阻水層單井抽水測試案例中，其垂直與水平示意圖，分別如圖 5.5 與圖 5.6 所示。初始時為穩定靜止狀態，水平方向邊界上之孔隙水壓變化為零，而垂直方向邊界上之水流通量為零。此外，土層之上邊界無應力施加且下邊界與固定岩盤接觸。也就是，上邊界之土體垂向有效應力為零且下邊界之土體位移為零。

5.2.1 下層含水層抽水案例

先考慮上層含水層無抽水，而僅有下層含水層抽水之案例。由圖 5.5 可知，含水層一、阻水層與含水層二之厚度分別為 40 公尺、120 公尺以及 40 公尺。阻水層之水力傳導係數(K)與拉梅常數(λ 、 μ)分別為 1.0×10^{-6} m/s 與 1.0×10^8 N/m²、 5.0×10^7 N/m²，含水層一、二之水力傳導係數(K)與拉梅常數(λ 、 μ)皆分別為 1.0×10^{-3} m/s 與 1.0×10^9 N/m²、 5.0×10^8 N/m²。阻水層之浮體重力參數為 0.0045，也就是浮體重力效應小。模擬時，分別將阻水層虛擬為七層，而含水層一、二皆虛擬為兩層。水平格網大小為 500 公尺 × 500 公尺，抽水井之效應以點源方式處理。當含水層二之抽水量為 1.0cms (即下層抽水)，時間間距為 0.25day 時，抽水井處之水頭變化量、垂向土體位移量以及有效應力，在垂直方向上隨時間變化模擬結果，分別如圖 5.7(a)、圖 5.7(b)以及圖 5.7(c)所示。

由圖 5.7(a)可知，一維非耦合模式與一維耦合模式，在小模擬時間以及穩態時，二者之水頭變化量幾乎一致，但非穩態過程中卻不相同。由

圖 5.7(b)與 5.7(c)可知，當小模擬時間時，一維非耦合模式與一維耦合模式之垂向土體位移量以及有效應力變化量幾乎相等，但穩態時，兩者有明顯之差異，且非耦合模式之位移量以及有效應力變化量皆大於耦合模式。此外，由於此案例中，浮體重力效應小，所以考慮與不考慮浮體重力一維耦合模式之結果並無差異。

爲了彰顯浮體重力之重要性，將上述案例中，阻水層之拉梅常數(λ 、 μ)分別減小爲 $2.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 、 $1.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ，即浮體重力參數爲 0.225。當抽水量爲 1.0cms，時間間距爲 10day 時，抽水井處之水頭變化量、垂向土體位移量以及有效應力，在垂直方向上隨時間變化模擬結果，分別如圖 5.8(a)、圖 5.8(b)以及圖 5.8(c)所示。

由圖 5.8(a)可知，浮體重力效應大時，一維非耦合模式與考慮或不考慮浮體重力一維耦合模式，當小模擬時間以及穩態時，三者之水頭變化量幾乎一致，但非穩態過程中卻不相同。由圖 5.8(b)與 5.8(c)可知，當小模擬時間時，一維非耦合模式與不考慮浮體重力一維耦合模式之垂向土體位移量以及有效應力變化量幾乎相等。但穩態時，兩者卻有明顯之差異，且非耦合模式之位移量以及有效應力變化量皆大於耦合模式。此外，由圖 5.8(b)與 5.8(c)可知，因爲此案例中，浮體重力效應大，所以考慮與不考慮浮體重力一維耦合模式之結果有明顯之差異，且考慮浮體重力之位移量以及有效應力變化量皆大於不考慮浮體重力者。

此外，由圖 5.8(c)可知，含水層一中，耦合模式之有效應力爲零，而非耦合模式之有效應力卻不爲零。這是因爲耦合模式中，含水層有效應力於垂直方向上爲一定值，且此案例中設定上邊界有效應力爲零之必然結果。然而，非耦合模式中，含水層有效應力與孔隙水壓之比值成一定

值，且不需要土體之有效應力邊界條件，所以上邊界有效應力並不為零。這也就是造成此案例(兩含水層中間夾一阻水層)與上一案例(兩阻水層中間夾一含水層)，以非耦合與耦合模式求解結果不同之主要原因。因為含水層上邊界無應力施加，所以土體之有效應力為零是合理的假設(見 Tarn and Lu (1991))。

5.2.2 上層含水層抽水案例

接下來，吾人考慮僅有上層含水層抽水之案例。模擬時，與僅下含水層抽水案例相同，分別將阻水層虛擬為七層，而含水層一、二皆分別虛擬為兩層。水平格網大小為 500 公尺 × 500 公尺，抽水井之效應以點源方式處理。當含水層一之抽水量為 1.0cms (即上層抽水)，時間間距為 0.25day，阻水層之水力傳導係數(K)與拉梅常數(λ 、 μ)分別為 1.0×10^{-6} m/s 與 1.0×10^8 N/m²、 5.0×10^7 N/m²，含水層一、二之水力傳導係數(K)與拉梅常數(λ 、 μ)皆分別為 1.0×10^{-3} m/s 與 1.0×10^9 N/m²、 5.0×10^8 N/m² 時，抽水井處之水頭變化量、垂向土體位移量以及有效應力，在垂直方向上隨時間變化模擬結果，分別如圖 5.9(a)、圖 5.9(b)以及圖 5.9(c)所示。

由圖 5.8(a)、圖 5.9(b)以及圖 5.10(c)可知，因為此案例中，浮體重力效應不大，所以考慮或不考慮浮體重力一維耦合模式之結果幾乎一致。然而，一維非耦合與一維耦合模式之結果，卻有截然不同之差異。一維耦合模式之土體不但不下陷，反而產生上浮之現象，且有效應力皆為正號，即土體承受拉應力，而不是壓應力。為何會產生如此截然不同之差異，乃是因為一維耦合模式中，含水層一上邊界有效應力為零，且阻水層水頭洩降量之斜率需為正號(因為僅上含水層抽水，所以深度愈深水頭洩降量愈小)，而孔隙水壓與有效應力之斜率需平行所致。然而，因為一維非耦合模式中，含水層有效應力與孔隙水壓之比值成一定值，且阻水

層有效應力變化量與孔隙水壓變化量相等，所以土體位移仍為負值。然而，其上邊界有效應力並不為零，與物理現象有所違背。

含水層(即砂質土層)無法承受拉應力，阻水層(即黏土層)可承受拉應力，但是拉應力與壓應力之彈性模數卻不同，通常拉應力時較小。因此，吾人必須強調，因為一維耦合模式中假設土體為彈性體，所以土體上浮量必須做適當之修正。

為了更進一步闡述土體上浮現象的合理性，下節中吾人將以數學證明土體上浮現象。

5.3 土體上浮現象之數學證明

在兩含水層中間夾一阻水層單井抽水測試案例中，其垂直如圖 5.5 所示。分別以下標 I、II、III 代表含水層一、阻水層與含水層二之相關地質參數、土層厚度、水頭變化、土體垂向位移量與抽水量。穩態時，已無阻水層貯蓄現象，所以各層之水頭變化量可表示為

$$\phi_I = \phi_I(x, y)$$

$$\phi_{II}(z) = \phi_{III}(x, y) + \left(\frac{\phi_I - \phi_{III}}{B_{II}} \right) z$$

$$\phi_{III} = \phi_{III}(x, y) \quad (5.1)$$

將式(5.1)代入式(4.52)與式(4.54)，可得各層之垂向位移為

$$U_I = \frac{1}{B_I}(U_1 - U_2)z$$

$$U_{II} = U_3 + \frac{1 - e^{-\Delta_{II}z/B_{II}}}{1 - e^{-\Delta_{II}}} \left(U_2 - U_3 - \frac{\rho_w g}{\Delta \rho g(1 - n^0)} (\phi_I - \phi_{III}) \right) + \frac{\rho_w g}{\Delta \rho g(1 - n^0)} \left(\frac{\phi_I - \phi_{III}}{B_{II}} \right) z$$

$$U_{III} = \frac{1}{B_{III}}(U_3 - U_4)z \quad (5.2)$$

其中 U_1 、 U_2 、 U_3 與 U_4 分別為各層邊界之位移量，如圖 5.5 所示。
 $\Delta_{II} = \frac{\Delta\rho g(1-n^0)B_{II}}{2\mu_{II} + \lambda_{II}}$ 表示浮體重力參數。由含水層一，上邊界有效應力為零之邊界條件，即

$$(2\mu_I + \lambda_I) \frac{\partial U_I}{\partial z} \Big|_{bi+1} = 0 \quad (5.3)$$

可得

$$U_1 = U_2 \quad (5.4)$$

由含水層二，下邊界土體垂向位移為零之邊界條件可得

$$U_4 = 0 \quad (5.5)$$

由含水層一下邊界與阻水層上邊界之介面邊界，需滿足有效應力連續並應用式(5.4)可得

$$(2\mu_I + \lambda_I) \frac{\partial U_I}{\partial z} \Big|_{bi} = (2\mu_{II} + \lambda_{II}) \frac{\partial U_{II}}{\partial z} \Big|_{bi+1} = 0 \quad (5.6)$$

也就是

$$\frac{\Delta\rho g(1-n^0)}{2\mu_{II} + \lambda_{II}} \frac{e^{-\Delta_{II}}}{1-e^{-\Delta_{II}}} \left(U_2 - U_3 - \frac{\rho_w g}{\Delta\rho g(1-n^0)} (\phi_I - \phi_{III}) \right) + \frac{\rho_w g}{\Delta\rho g(1-n^0)} \frac{\phi_I - \phi_{III}}{B_{II}} = 0 \quad (5.7)$$

此外，由含水層二上邊界與阻水層下邊界之介面，需滿足有效應力連續，即

$$(2\mu_{II} + \lambda_{II}) \frac{\partial U_{II}}{\partial z} \Big|_{bi} = (2\mu_{III} + \lambda_{III}) \frac{\partial U_{III}}{\partial z} \Big|_{bi+1} \quad (5.8)$$

可得

$$\frac{2\mu_{III} + \lambda_{III}}{2\mu_{II} + \lambda_{II}} \frac{U_3}{B_{III}} = \frac{\Delta\rho g(1-n^0)}{2\mu_{II} + \lambda_{II}} \frac{1}{1-e^{-\Delta_{II}}} \left(U_2 - U_3 - \frac{\rho_w g}{\Delta\rho g(1-n^0)} (\phi_I - \phi_{III}) \right) + \frac{\rho_w g}{\Delta\rho g(1-n^0)} \frac{\phi_I - \phi_{III}}{B_{II}} = 0 \quad (5.9)$$

聯立式(5.8)、式(5.9)與式(5.4)可得

$$U_3 = \frac{2\mu_{II} + \lambda_{II}}{2\mu_{III} + \lambda_{III}} \frac{\rho_w g}{\Delta\rho g(1-n^0)} \frac{\phi_I - \phi_{III}}{B_{II}} (1 - e^{\Delta_{II}}) B_{III} \quad (5.10)$$

$$U_1 = U_2 = (\phi_I - \phi_{III}) \rho_w g \left[\frac{B_{III}}{2\mu_{III} + \lambda_{III}} \frac{1 - e^{\Delta_{II}}}{\Delta_{II}} + \frac{B_{II}}{2\mu_{II} + \lambda_{II}} \frac{1 + \Delta_{II} - e^{\Delta_{II}}}{\Delta_{II}^2} \right] \quad (5.11)$$

因為 $1 - e^{\Delta_{II}} < 0$ 且 $1 + \Delta_{II} - e^{\Delta_{II}} < 0$ ，所以當 $\phi_I - \phi_{III} > 0$ ，則 $U_1 < 0$ 。也就是，僅含水層二抽水，則土體下陷。反之，僅含水層一抽水，則土體上浮。

當浮體重力效應不大時，即 $\Delta_{II} \approx 0$ ，則式(5.11)可變為

$$U_1 = U_2 = -(\phi_I - \phi_{III}) \rho_w g \left[\frac{B_{III}}{2\mu_{III} + \lambda_{III}} + \frac{B_{II}}{2(2\mu_{II} + \lambda_{II})} \right] \quad (5.12)$$

本章中，吾人分別以兩阻水層中間夾有一含水層與兩阻水層中間夾一阻水層單井抽水案例，分析與探討一維非耦合模式以及考慮或不考慮浮體重力一維耦合模式三者之差異。結果發現，當阻水層之拉梅常數小時，也就是阻水層較軟時，有無考慮浮體重力對一維耦合模式之孔隙水壓、垂向土體位移量以及有效應力模擬結果差異甚大。此外，由於土層之分佈方式、水流與土體邊界條件設定之不同，可能使耦合與非耦合模式之結果截然不同。最後，本章中亦以數學證明土體上浮現象的合理性。

第六章 濁水溪沖積扇地層下陷模擬

大區域分區分層地層下陷計算研究子題，本年度主要工作項目為 1. 應用第一年的新地層下陷程式，2. 利用現場調查所獲之抽水量資料，推估水井分層出水比例，3. 土壤參數之研究。其中，第三項之討論參見第三章，第一項中之簡單案例應用參見第五章，本章將討論第二項工作項目，以及第一項中之現地模擬應用。首先，模擬前必須瞭解模擬區域概況，包括地質、水文、氣象、土地利用、地下水使用以及地層下陷等；並蒐集與處理模式模擬所需輸入資料，包括土壤地質參數、流體參數、水文平衡參數與模擬設定參數等(見 4.8 一維耦合地層下陷模式模擬所需輸入之資料)。所需相關輸入資料蒐集與處理後，即可分別進行一維非耦合及耦合地層下陷模擬。最後，以每各鄉鎮市分別加入一定抽水量下，所增加之地層下陷量，進行地層下陷潛能分析。

6.1 區域概況

濁水溪沖積扇位於臺灣西部海岸中部，涵蓋彰化縣與雲林縣，是臺灣本島最大之沖積扇，東起八卦山台地及斗六丘陵，西至臺灣海峽，北起烏溪，南至北港溪，面積約為 1700 平方公里，約佔濁水溪流域面積的百分之六十。地勢呈東高西低之平緩地形，除東邊斗六丘陵與八卦山脈外，地表平均高程介於 10 公尺至 55 公尺間。

區域地質概況與地質分層

濁水溪沖積扇之上游多為礫石層，而下游多為砂層或泥層，除斗六丘陵及其西側為更新世半固結之砂岩、泥岩、礫岩及紅土外，本區地表均為全新世以來未固結的礫石、砂土及黏土所覆蓋。中下游丘陵及平地

區域在地表為現代沖積層，次為台地礫岩層，下為頭嵙山礫石層，三層總厚度在數百公尺以上，由於砂、礫層孔隙發達，含水性能佳，構成主要的含水層。更深則為上新世或更老之地層，主要由較緻密之砂頁岩組成，導水及含水性不佳。上游山脈大部分屬第三紀亞變質岩系板岩，含有許多複雜之褶曲與斷層，且風化侵蝕顯著，以致溪水終年混濁。板岩、變質砂岩與石英之碎屑在上游受侵蝕搬運至下游地區堆積，形成本沖積扇。

根據八個地質鑽探剖面圖，其位置分布圖如圖 6.1 所示，且此八個剖面分別如圖 6.2 至圖 6.9 所示，中央地質調查所將濁水溪沖積扇地表下 200 公尺深範圍內之水文地質，由上而下概念性劃分為含水層一、阻水層一、含水層二(可再細分為含水層二之 1 與含水層二之 2)、阻水層二及含水層三。各含水層在上游段岩性均屬礫石，並且合而為一，愈往下游分層則愈明顯，粒徑愈細且含水層厚度漸小。於臺灣海峽中，阻水層一、二應合而為一，含水層一、二、三均尖滅於阻水層中，亦即各含水層末端應是封閉的，並未與海連通，形同自然地下水庫。含水層二厚度最大，沈積物粒徑最粗，含水及透水性能較佳，是最重要之地下水層。

氣象與水文狀況

濁水溪沖積扇屬亞熱帶季風氣候，月平均溫度以一月最低約為 13 度，七月最高約為 32 度，年平均溫度為攝氏 23 度。每年十月至翌年三月，東北季風盛行，三月以後東北季風漸止，四、五月份便開始進入西南季風期，並持續至九月。雨量相當充沛，但在時間和空間分布上非常不平均。一年中乾、濕季分明，雨量集中在五月至九月，降雨量約佔年

雨量之八成，十月至翌年四月為明顯的乾季。年平均雨量從扇頂的 2000 公釐向海岸地區遞減至 1000 公釐至 1200 公釐之間。濁水溪沖積扇之河川，除濁水溪與北港溪為主要河流外，較重要且獨流入海之河流尚有 12 條，總計為 14 條。其中發源於中央山脈者僅有濁水溪，而北港溪乃發源於斗六丘陵之低山性平地河川，其餘 12 條細流均發源於台地或平原地帶。

土地利用概況

濁水溪沖積扇以山林分布最廣而耕地次之，但是近年來受經濟發展之影響，直接生產用地及其他用地逐漸減少，而建築用地與交通用地均年年增加。沿海地區由於養殖漁業獲利較高而逐漸取代收益不佳之農業，因此養殖面積逐年增加，養殖業需大量淡水以保持水質潔淨，在地表水源供應不足情況下，大量抽取地下水導致嚴重地層下陷，使沿海地區每遇豪雨則積水不退造成重大損失。以雲林縣為例，土地面積至民國 82 年為約 129,183 公頃，直接投入生產之用地面積約 93,905 公頃，其中養殖面積約 11,554 公頃，由此可見該區漁業活動佔有相當的重要性（雲林縣統計要覽，民國 82 年）。

地下水概況

由於濁水溪流域河川含砂量太大，使得興建水庫在經濟上及實際上均不可行，因此水源供應上不免偏重於地下水開發。自民國六十年代後期起，沿海地區之養殖漁業逐漸興盛，使得地下水抽取量大幅增加。此外，近年來離島工業區的開發，今後對於地下水的依賴，可能有增無減。根據嘉義農業技術學院沈向白教授之普查結果顯示，雲林縣全縣民井達近十萬口，地下水開採量約 8 億

噸(其中農田灌溉用水約為 6 億多噸，養殖用水也約 1 億多噸)，而地下水入滲補注量約只有 4 億噸。

地層下陷概況

根據水利處民國 87 年「彰化沿海地區地盤下陷檢測計畫報告」中指出，彰化地區自和美、頂番婆、溪湖與北斗一線以西均有地層下陷情形發生，總面積約 581 平方公里，佔彰化平原之百分之七十四。此外，又發現下陷率雖較以前減緩，但下陷範圍有向東漸為擴大之趨勢。其中西港地區由新街至濁水溪口沿海一帶，自民國 64 起至 84 年止，最大累積下陷量達 155 公分，而民國 84 年至 86 年間之下陷量亦有 32 公分。另外，大城地區自民國 64 年至 86 年止，最大累積下陷量也達 108 公分之多，且民國 84 年至 86 年間也有 40 多公分之下陷量產生。對於雲林地區地層下陷量，根據經濟部水資源局民國 87 年「地層下陷水準檢測—雲林縣沿海地區」報告中指出，由民國 85 年至 87 年下陷量超過 5 公分的範圍面積約 420.6 平方公里，而累積下陷量超過 7 公分的地區有橋頭至豐榮地區、崙背至龍岩地區、麥寮地區、台西地區與元長地區，且下陷量變化趨勢有向內陸擴增情況。另外，若分析民國 81 年 8 月至 87 年 2 月的檢測結果亦可發現，五年多以來累積下陷量超過 30 公分以上的區域，幾乎接近台十九線以西之範圍，而主要下陷中心為中山與台西地區。至於年下陷速率，口湖鄉，金湖鄉，有緩和趨勢，而豐榮地區有微量增加。

6.2 所需資料之蒐集與處理

一維非耦合及耦合地層下陷模式模擬時，除了必需先根據土層之分布將模擬區域作垂向分層與水平區域拆解外，所需輸入之資料分別有孔隙率(本研究假設孔隙率為 0.4)，分層地下水位、各含水層與阻水層厚度、

地質參數、入滲補注量、抽水量、地層下陷量、邊界條件之設定以及網格大小與時間間距。

濁水溪沖積扇地質之分層與分區

根據濁水溪沖積扇之地質概況與地質分層所述(見 6.1 區域概況)，再配合各阻水層在空間分佈狀況(見張良正、龔誠山「區域性地下水觀測站網檢討(II)」，圖 2.10 至圖 2.13)，可將該區域作分層(或虛擬分層)與分區，分別如圖 6.10 與圖 6.11 所示，各分層之厚度如表 6.1 所示。

分層地下水水位

模擬時需要各含水層之分層地下水水位值，以作為初始條件、邊界條件並提供模式率定驗證使用。由經濟部水利署蒐集之地下水水位觀測資料分析後發現，自民國 84 年起臺灣地區分層地下水觀測站網陸續完成，始有較完整之分層地下水水位觀測資料。

抽水量與入滲補注量

濁水溪沖積扇之抽水量推估資料，採用已故嘉義農專沈向白教授所提出之濁水溪沖積扇地下水資源調查結果，各鄉鎮市之年抽水量如表 6.2 所示。此外，地下水入滲補注量主要來源，有水田灌溉入滲、旱地降雨入滲及河川入滲等三種。研究中，對於水田灌溉入滲與旱地降雨入滲兩者之地表入滲量資料，採用本計畫之區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題所推估之結果，如表 6.3 與表 6.4 所示。至於河川入滲補注量，本計畫之區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題，推估出西濱大橋

至自橋大橋區間每年滲漏量約 19 萬立方公尺；自強大橋至中沙大橋河段每年滲漏量約 44 萬立方公尺，即地下水回流至河川每年約 44 萬立方公尺；中沙大橋至彰雲大橋之間為主要床滲漏量補注地下水區域，每年河床滲漏量約 1.2 億噸。本研究，暫不予考慮河川入滲補注量之影響。上述之抽水量以及地表

入滲量皆為年總量，模擬時將其平均分佈於空間與時間上，也就是各鄉鎮市之抽水量平均分配於各鄉鎮市中。此外，對於抽水量與入滲量分別以源流(source)與沉流(sink)之方式處理。

分層抽水比例

地層下陷模擬時，需要輸入各抽水井之分層抽水比例值。以往大都根據地下水位觀測資料，利用試誤法進行分層出水比例反向推估，如張良正、龔誠山(1996)及潘國樑、張德鑫(1998)等。在試誤法中，要如何才能快速地獲得計算結果，有賴於合理的初始猜值。有鑑於此，耿承孝(2000)提出簡易分層抽水比例推估方法。在假設抽水井中各含水層之井壁處皆滿足水位洩降梯度相同下，分層抽水比例可表示為

$$w_i = \frac{T_i}{\sum_j T_j} = \frac{K_i B_i}{\sum_j K_j B_j} \quad (6.1)$$

其中 w_j 為分層抽水比率， K 與 B 分別為水力傳導係數與土層厚度， T 為流通係數(Coefficient of transmissibility)。若抽水井之濾管開口，並非完全貫穿整個含水層，式(6.1)中之 B 則為濾管開口長度。由式(6.1)可知，只要知道土層厚度、水力傳導係數以及抽水井濾管分佈情況，就可推估分層抽水比例。如圖 6.12(a)-(d)所示，含水層 I 與含水層 II 之分層抽水比例分別為(0.2, 0.8)、(0.5, 0.5)、(0.2, 0.8)以及(0.8, 0.2)。

簡易分層抽水比例推估方法之合理性，已於單井抽水且各土層厚度為均質之拘限與非拘限含水層案例中得到驗證(見耿承孝(2000))。然而，對於實際複雜案例，也就是多井抽水且土層厚度不均勻時，式(6.1)可能會造成誤差。但是，從理論上而言，吾人卻可以將其視為分層出水比例試誤推估法之合理初始猜值。研究中，以各鄉鎮市之分層平均流通係數，代入式(6.1)中，推估各鄉鎮市之分層抽水比例初始計算猜值，如表 6.5 所示。

地質參數

根據經濟部中央地調所「台灣地區地下水觀測網第一期計畫-八十一，八十二，八十三年濁水溪沖積扇水文地質調查」的研究報告指出，含水層水力傳導係數在含水層一之扇頂自由層約為 $1.93-0.4 \times 10^{-3}$ m/s，扇尾減至 $0.1-0.2 \times 10^{-3}$ m/s，而含水層二之扇頂約為 $1.93-0.4 \times 10^{-3}$ m/s，扇央與扇尾約為 $0.3-1.4 \times 10^{-3}$ m/s，但缺乏含水層三與阻水層之資料。此外，拉梅常數(Lame Constant)，則根據一般土壤之性質給定。

地層下陷資料

彰化地區與雲林地區地層下陷量測結果分別如表 6.6 與表 6.7 所示。由表 6.6 可發現民國 84 年至 86 年間，彰化縣大城地區有 40 多公分之下陷量產生，而美豐國小附近亦有 30 多公分的下陷量。另外，由表 6.7 可知，民國 85 年至 87 年間，雲林縣口湖地區有 15 公分之下陷量產生，而中山、好收國小與四湖地區都有 5 公分多的下陷量。

模擬區域邊界條件及其相關參數設定

模擬區域之邊界條件設定，將北邊邊界(烏溪)、西邊邊界(海岸線)、東邊邊界(斗六丘陵與八卦山脈)以及南邊邊界(北港溪)皆給定為零流邊界。模擬時間選擇由 83 年 12 月至 89 年 4 月，模擬時間間距為 2 個月，計算網格之大小為 2 公里之正方形，其模擬區域邊界與網格圖如圖 6.13 所示。模擬時不計算阻水層 1-1(見圖 6.10)，並將其視為不透水可自由移動之邊界。另外，假設含水層三之下邊界為一不透水且固定之岩盤。

6.3 模擬結果

經率定後，地層下陷模擬所使用之各鄉鎮市地質參數與分層抽水比例，分別表 6-8 與表 6-5 所示。本研究團隊過去曾利用交通大學張良正教授所推估之地表入滲量(見張良正、龔誠山，1996)，並假設含水層一至三之初始猜測分層抽水比例分別為 0.3、0.5、0.2 等條件下，率定出分層抽水比例(見黃良雄、楊錦釗，2000b)，如表 6-5 所示。由表 6-5 可知，本研究與過去研究兩者所率定出之分層出水比例有些差異，這可能是因為所使用之地表入滲量與地質參數不同所致。因此可知，地表入滲量與地質參數對分層抽水量推估有極大之影響。此外，由表 6-5 可知，在某些鄉鎮市中，由簡易分層抽水比例推估方法以及試誤法所獲得之分層抽水比例相當接近，但是有些鄉鎮市卻有較大差異。模擬結果發現，耦合與非耦合模式之地下水位模擬結果相近。分層地下水位模擬結果，分別如圖 6-14 至圖 6-19 所示。由圖 6-14 至圖 6-19 可知，分層地下水位模擬結果與實測值吻合。

非耦合模式之地層下陷模擬結果，如表 6-9 與表 6-10 所示，累積下陷量模擬結果，如圖 6-20 與圖 6-21 所示。由如表 6-9、表 6-10、圖 6-20

與圖 6-21 可知，非耦合模式地層下陷模擬結果與實測值之趨勢吻合且量階相同，由於抽水量、入滲量與地質參數等不確定因素下，使得模擬結果與實測值很難一致。

耦合模式之地層下陷模擬結果，如表 6-11 與表 6-12 所示。模擬時，假設土體膨脹時之彈性係數為壓縮時之 0.15 倍。由表 6-11 與表 6-12 可知，耦合模式之地層下陷模擬結果與實測值，兩者間之趨勢與量階皆吻合。與非耦合模式比較可發現，耦合模式所計算之地層下陷量大都略小於非耦合模式，這可能是耦合與非耦合理論上之差異，且耦合模式考慮土體膨脹效應之結果。此外，模擬中發現，耦合模式所花費之電腦計算時間約為非耦合模式之 5 倍。

由上述可發現，耦合模式之模擬結果似乎沒有優於非耦合模式，這是因為濁水溪沖積扇之阻水層(阻水層一與阻水層)並不厚，浮體重力效應不明顯所致。但是，吾人必須強調，耦合模式之理論基礎較非耦合模式嚴謹，且確實可以推估浮體重力效應(見第五章一維耦合地層下陷模式之分析與探討)。期望爾後能有機會將研究中所發展之一維耦合地層下陷模式，進一步應用於台灣其它地區之地層下陷模擬，以展現耦合模式之優點。

6.3 地層下陷潛能分析

地層下陷潛能分析乃是制定地層下陷區防護管理措施之重要依據。一般而言，下陷總量與下陷速率為評估地層下陷潛能之兩種方法。然而，嚴重地層下陷地區可能已達終極下陷量，且下陷速率與抽水量多寡有密切關係，所以此兩種方法可能較無法正確地評估地層下陷潛能。本研究利用在上述地層下陷模擬所使用之抽水量下，分別於各鄉鎮市增加一定

抽水量，根據所引發之下陷增加量，評估地層下陷潛能區域。所增加之抽水量訂為濁水溪沖積扇抽水總量之鄉鎮市總數平均值(即抽水總量/鄉鎮市總數)，濁水溪沖積扇抽水總量則引用已故嘉義農專沈向白教授所提出之濁水溪沖積扇地下水資源調查資料。

模擬結果，如表 6-13、表 6-14 與圖 6-22 所示。由表 6-13 與表 6-14 可發現，口湖鄉宜梧派出所與青蚶閘門、褒忠鄉田洋東分別增加 100 公分以上之下陷量；大城鄉大成國小與美豐國小，褒忠鄉龍岩農場，口湖鄉拔子腳、成龍村、下崙、湖口村、台子挖、金湖派出所以及青蚶水塔皆有 70 至 100 公分之下陷量；大城鄉西港國小、潭漚國小，元長鄉元長公墓、忠孝國小亦有 40 至 70 公分之下陷量。因此，彰化縣大城鄉以及雲林縣口湖鄉、褒忠鄉與元長鄉乃是地層下陷潛能區。與近五年來濁水溪沖積扇累計地層下陷量(見表 6-11、表 6-12、圖 6-20 與圖 6-21)相比較可發現，彰化縣大城鄉為嚴重地層下陷區域。

第七章 結語

大區域分區分層地層下陷計算研究子題，其主要目的在於發展與應用一套準確且高效率的地層下陷數值計算模式，並配合區域地下水文平衡最佳推估模式、地層下陷資料之地理資訊決策支援系統以及地層下陷及地下水優化模式等研究子題，建立地層下陷潛勢之判別方法及潛能下陷量之預測技術。

本研究子題擬以三年時間，根據發展完成之大區域地下水超抽導致地層下陷模式(黃良雄、楊錦釗，(1997)、(1998)、(1999)、(2000a)、(2000b)、(2000c))為基礎，進一步發展一套含孔隙率時變性的一維地下水超抽引致地層下陷模式，並且配合較可靠之土壤參數以水文平衡參數，重新模擬濁水溪沖積扇之地層下陷。此外，本研究子題亦擬發展未見嘗試之坡地地層下陷計算，使所發展之地下水與地層下陷模式更適合台灣地區使用。

本年度為研究執行之第二年，其工作項目有三：(1)應用第一年的新地層下陷程式，(2)利用現場調查所獲之抽水量資料，推估水井分層出水比例，(3)土壤參數之研究。

對於應用第一年的地層下陷程式工作項目，已改良上年度一維耦合地層下陷模式建構方式並重新無因次化控制方程式，不但使模式更通用化外，亦解決以往為避免數值計算不穩定、時間間距不能太小之缺點，並且具有模擬阻水層貯蓄現象之能力。研究中以兩個簡單案例，深入分析與探討，一維非耦合模式以及考慮浮體重力一維耦合模式之差異性，並且提出土體上浮現象之數學證明。

研究中亦完成濁水溪沖積扇地層下陷模擬，並執行地層下陷潛能分析。模擬時，水田灌溉入滲與旱地降雨入滲兩者之總和入滲量資料，採用本計畫區域性地下水文平衡最佳推估模式研究子題所推估之結果，達到初步整合目的。模擬結果發現，耦合與非耦合模式之地下水位模擬結

果相近。另外，非耦合與耦合模式地層下陷模擬結果皆與實測值之趨勢吻合且量階相同。然而，耦合模式所計算之地層下陷量大都略小於非耦合模式，這可能是耦合與非耦合理論上之差異，且耦合模式考慮土體膨脹效應所致。模擬中發現，耦合模式所花費之電腦計算時間約為非耦合模式之 5 倍。由此可發現，耦合模式之模擬結果似乎沒有優於非耦合模式，這是因為濁水溪沖積扇之阻水層(阻水層一與阻水層)並不厚，浮體重力效應不明顯所致。但是，吾人必須強調，耦合模式之理論基礎較非耦合模式嚴謹，且確實可以推估浮體重力效應。

模擬時分層抽水比例之給定，本研究利用簡易分層抽水比例推估方法所得之抽水比例為初始猜測值，配合試誤法率定分層出水比例。結果發現，在某些鄉鎮市中，由簡易分層抽水比例推估方法以及試誤法所獲得之分層抽水比例相當接近，但有些鄉鎮市卻有較大差異。

此外，在上述地層下陷模擬所使用之抽水量下，分別於各鄉鎮市增加一定抽水量，根據所引發之下陷增加量，評估地層下陷潛能區域。結果顯示，彰化縣大城鄉以及雲林縣口湖鄉、褒忠鄉與元長鄉是地層下陷潛能區。

至於土壤參數研究工作項目，除了繼續蒐集國內相關地層下陷研究資料外，本年度回顧地層下陷之研究文獻，包括地層下陷研究方法之分類、一維非耦合地層下陷計算、三維耦合地層下陷計算、地層下陷計算進一步考慮因素以及求解方法等。

參考文獻

1. 柳志錫，林明煌，杜富麗(1992)，”臺灣雲林沿海地區地盤下陷之特性研究”，地下水調查查分析及保育管理研討會，第 569-581 頁。
2. 盛若磐，抽取地下水導致地表下陷之簡便估計法(1989)，行政院農委會，台北。
3. 曹以松(1969)，”台北盆地過度抽取地下水引起之地層沉陷及其補救方法”，台灣水利 17 卷，第一期。
4. 黃良雄，楊錦釗，(1997) ”雲林沿海地區地層下陷預測模式與地理資訊系統之發展與評估(4)”，行政院農委會。
5. 黃良雄，楊錦釗，(1998)”大區域地下水超抽引致地層下陷之分層計算模式應用(一)濁水溪沖積扇”，經濟部水資源局。
6. 黃良雄，楊錦釗，(1999)”大區域地下水超抽引致地層下陷之分層計算模式應用(二)屏東平原”，經濟部水資源局。
7. 黃良雄，楊錦釗，(2000a)”地層下陷數值模式發展(三)”，國科會。
8. 黃良雄，楊錦釗，(2000b)”地下水超抽導致地層下陷模式(一)”，經濟部水例處水利規劃試驗所。
9. 黃良雄，楊錦釗，(2000c)”地下水超抽導致地層下陷模式(二)”，經濟部水例處水利規劃試驗所。
10. 蔡東霖，黃良雄，楊錦釗(1999)，”修正擬三維概念之地下水模擬”，中國土木水利工程學刊，第十一卷，第四期，第 819-827 頁。
11. 蔡東霖(2001)，”區域性地下水超抽導致地層下陷模式之發展與應用”，國立交通大學博士論文，新竹。
12. 廖日昇，李林少華，柳志錫，廖建順，林明煌(1990)，”北港沿海地區的地盤下陷及地下水污染之調查及研究”，地盤下陷研討會(III)，第

- 129-216 頁。
13. 耿承孝(2000), "地下水變化與地層下陷相關性之研究", 國立台灣大學碩士論文, 台北。
 14. 王國隆(1997), "台西麥寮地區逕向排水導致地層下陷之研究", 國立台灣大學碩士論文, 台北。
 15. 林芬寧(1998), "台西麥寮地區地層下陷行為之二維分析", 國立台灣大學碩士論文, 台北。
 16. 鄭美崙(1999), "台西麥寮地區雙向排水引致地層下陷之分層分析", 國立台灣大學碩士論文, 台北。
 17. 張光仁(2000), "台西麥寮地區多井抽水引致區域性地層下陷之分層分析", 國立台灣大學碩士論文, 台北。
 18. 劉志純(1996), "雲林地區抽水行為對地層下陷的影響", 國立台灣大學碩士論文, 台北。
 19. 李德河、陳景文(1996), "地層下陷區土壤物性及力學行為之研究", 經濟部水利司。
 20. 葉弘德、葉高次(1994), "地層下陷之有限元素模式 III", 國科會。
 21. 施清吉(1998), "屏東縣林邊地區地層下陷之實例預測", 經濟部水資源局。
 22. 張惠文、李顯智(1996), "以地下水洩降量及土壤結構評估地層之沉陷行為", 經濟部水利司。
 23. 許澤善(1996), "雲林地區地層下陷之預測：一個新模式之驗證與校核", 經濟部水利司。
 24. 杜富麗、歐陽湘、柳志錫、梁綿來(1996), "雲林沿海地區地層下陷現況調查與預測", 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集。
 25. 杜富麗、柳志錫、譚凱英、歐陽湘、鄭昌奇(1998), "屏東沿海之地

- 層下陷調查與預測”，屏東平原地下水及水文地質研討會論文集。
26. 張良正、龔誠山(1996)，區域性地下水觀測站網檢討(II)-濁水溪沖積扇觀測站網佈井及觀測頻率檢討，經濟部水資源局。
 27. 潘國樑、張德鑫(1998)，”屏東平原地層下陷區安全出水量之估算與應用”，財團法人土木科技發展文教基金會。
 28. 雲林縣政府(1993)，”雲林縣統計要覽”，雲林縣政府。
 29. 經濟部中央地調所(1995)，”台灣地區地下水觀測網第一期計畫-八十一，八十二，八十三年濁水溪沖積扇水文地質調查”。
 30. Barron, B. S. (1984), Trans, A.S.C.E. 133, pp718。
 31. Bear, J., and Corapcioglu, M.Y.,(1981a) “Mathematical Model for Regional Land Subsidence due to Pumping. I. Integrated Aquifer Subsidence Equations based on Vertical Displacement only “, W.R.R. 17, pp938-947。
 32. Bear, J.and Corapcioglu, M.Y., (1981b) “Mathematical Model for Regional Land Subsidence due to Pumping. II. Integrated Aquifer Subsidence Equations based on Vertical and Horizontal Displacement “, W.R.R. 17 pp947-958。
 33. Biot, M. A. (1941). “General Theory of Three-Dimensional Consolidation”, Journal of Applied Physics, 12, 155-164.
 34. Biot M. A. (1955). “Theory of Elasticity and Consolidation for A Porous Anisotropic Solid”, Journal of Applied Physics, 26, 182-185.
 35. Booker, J. R., and Carter, J. P.,(1987) “Elastic Consolidation Around A Point Sink Embedded in a Half-Space with Anisotropic Permeability”, Int. J. Numer. Anal. Method. Geomech., 11, pp.61-77。
 36. Bredehoef, J.D. and G.F. Pinder,(1970) “Digital Analysis of Areal Flow in

- Multi-aquifer Groundwater Systems: A Quasi Three-Dimensional Model”,
W.R.R. 6, pp.883-888 ◦
37. Chen, C. J., Chen, H. C. (1984). “Finite Analytic Numerical Method for Unsteady Two-Dimensional Navier-Stokes Equation”, *Journal of Computation Physics*, 53, 209-226.
38. Chorley, D. W., and Frind, E. O., (1978) “An Iterative Quasi Three Dimensional Finite Model for Heterogeneous Multi-Aquifer Systems”,
W.R.R. 14, pp.943-952 ◦
39. Cooper, H. H., Jr., (1966) “The Equation of Groundwater Flow in Fixed and Deforming Coordinates”, *J. Geophys. Res.*, pp.4785-4790 ◦
40. Corapcioglu, M.Y. and Bear, J., (1983) “A Mathematical Model for Regional Land Subsidence due to Pumping. III. Integrated Equations for Pervative Aquifer”, *W.R.R.* 19, pp895-908 ◦
41. Corapcioglu, M. Y. and Brutsaert, W., (1977) “Viscoelastic Aquifer Model Applied to Subsidence Due to Pumping” , *W. R.R.* 13, pp.597-604 ◦
42. Desau, C. S., and Siriwardane, T. H. J., (1979) “Subsidence due to Consolidation Including Non-Linear Behavior”, edited by S. K. Saxena, ASCE, pp.500-515 ◦
43. Fallou, S. N., Mei, C.C., and Lee, C. K., (1992) “Subsidence due to Pumping from Layered Soil-A Perturbation Theory” , *Int. J. Numer. Anal. Methods. Geomech.*, 16, pp.157-187 ◦
44. Ferronato, M., Gambolati, G., and Teatini, P., (2001). “Ill-Conditioning of Finite Element Poroelasticity Equations”, *International Journal of Solids and Structures*, 38, 5995-6014.
45. Fuller, M. S., (1908) “Summary of Controlling Factors of Artesian Flows”,

- U.S. Geological Survey Bulletin, pp.319。
46. Gabrysch, R., K. (1969). "Land Surface Subsidence in the Houston-Galveston Region, Texas, in Tision", Inter. Assoc. Sci. Hydrology pub. 88, 43-54.
 47. Gambolati, G. and Freeze, R. A., (1973) "Mathematical Simulation of the Subsidence of Venice I Theory", W.R.R. 9, pp.721-733。
 48. Gambolati, G., Ricceri, G., Bertoni, W., Brighenti, G., and Vuillermin, E., (1991) "Mathematical Simulation of Subsidence of Ravenna", W.R.R. 27, pp.2899-2918。
 49. Ghaboussi, J., and Wilson, E. L., (1973) "Flow of Compressible fluid in Porous elastic Media, Int. J. Numer. Meth. Engng. 5, 419-442.
 50. Gibbs, H. J. (1950). "A Laboratory Testing Study of Land Subsidence Pro.", The First Pan American Conf. Soil Mech. and Foundation Eng. Mexico, 1, 13-39.
 51. Gibbson, R. E., England, G. L., and Hussey, M. J. L., (1967) "The Theory of One Dimensional Consolidation of Saturated Clays. I Finite Nonlinear Consolidation Of Thick Homogeneous Layer", Geotechnique, 117, pp.1-273。
 52. Gupta, S. K., Cole, C. R., and Pinder, G. F., (1984) " A Finite-Element Three-Dimensional Groundwater (FE3DGW) Model for a Multiaquifer System", W.R.R. 20, PP.553-563。
 53. Hantush, M.S.,(1960) "Modification of the theory of Leaky Aquifer", J. Geophys. Res., 65(11), pp.3713-3725。
 54. Helm, D. C. (1975). "One Dimensional Simulation of Aquifer System Compaction Near Pixey California, 1. Constant Parameter", W.R.R. 11, 465-478.

55. Helm, D. C. (1976). "One Dimensional Simulation of Aquifer System Compaction Near Pixey California, 2. Stress-Dependent Parameter", W.R.R. 12, 375-391.
56. Hibbit, Karlsson and Sorensen (1998), ABAQUS Standard User's Manual, Vol I, II, III.(Version 5.8.14).
57. Leake, S.A. (1990). "Interbed Storage Changes and Compaction in Model of Regional Groundwater Flow", W.R.R. 26, 1939-1950.
58. Leake, S.A. and Prudic, D.E. (1991). "Documentation of A Computer Program to Simulation Aquifer-System Compaction Using the Modular Finite Difference Groundwater Flow Model", U.S.G.S., Arizona.
59. Lewis, R. W. and Schrefler, B. (1978). "A Fully Coupled Consolidation Model of the Subsidence of Venice", W.R.R. 14, 223-230.
60. Lewis, R. W., and Schrefler, B. A.,(1978) " Coupling versus Uncoupling in Soil Consolidation", Int. J.Numer. Anal. Methods Geomech., 15, pp.533-548 .
61. Mei, C. C. (1985). "Gravity Effect in Consolidation of Layer of Soft Soil", ASCE Journal of Eng. Mech., 1038-1047.
62. Mishra, S. K., Singh, R.P., and Chandra, S.,(1993) "Prediction of Subsidence in the Indo-gangetic basin carried by groundwater withdrawal", Engineering Geology 33, pp.227-239 .
63. Narasimhan T. N. and P. A. Witherspoon (1977). "Numerical Model for Saturated- Unsaturated Flow in Deformable Porous Media, I Theory", W.R.R. 13, 657-664.
64. Neuman, S. P., Preller, C., and Narasimhan, T.N.,(1982) "Adaptive Explicit-Implicit Quasi Three-Dimensional Finite Element Model of Flow and Subsidence in Multiaquifer Systems", W.R.R.18, pp.1151-1561 .

65. Neuman, S.P., and Witherspoon, P. A.,(1969) “theory of flow in a confined two-aquifer system”, W.R.R. 5, pp.803-816。
66. Polubarinova-Kochina, P. Ya.,(1962) The Theory of Groundwater Movement, 631pp., Princeton University Press, Princeton. N. J.。
67. Rendulic, L., (1935) Wasserwirtsch u. Technik 2, pp250。
68. Runesson, K., Tagnofors, H., and Wiberg, N. E., (1978)“Finite Element Analysis of Groundwater Flow and Settlement in Aquifer Confined Clay”, edited by C. A. Brebbia, W. C. Grat and G. F. Pinder, London, pp.249-169。
69. Safai, N. M., and Pinder, G. F. (1979). “Vertical and Horizontal Land Deformation in a Desaturating Porous Medium”, Advances in Water Resources, 2, 19-26.
70. Safai, N. M., and Pinder, G. F. (1980). “Vertical and Horizontal Land Deformation due to Water Withdraw”, Int. J. Numer. Analysis Mech. Geomech., 132-142.
71. Schatz, J. F., P. W. Kasmeyer, J. A. Cheney (1978). “ A Method of Using Porosity Measurements to Place to Upper Bound on Geothermal Reservior Compaction”, in Second International Well Testing Symp. Proc. Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, 90-94.
72. Sloan, S.W., and Abbo, A. J., (1999). “Biot Consolidation Analysis with Automatic Time Stepping and Error Control. Part 1 : Theory and Implementation” Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. 23, 467-492.
73. Tarn, J. Q., and Lu, C. C. (1991). “Analysis of Subsidence due to a Point Sink in an Anisotropic Porous Elastic Half Space”, Int. J. Numer. Analysis Mech. Geomech., 15, 573-592.
74. Theis, C. V. (1938). “The Significance and Nature of the Cone of Depression in Groundwater Bodies”, Geo., 33, 889-920.

75. Terzaghi, K. (1925). "Erdbaumechanic Auf Bodenphysikalischer Grundlage", Franz Deuticke, Vienna.
76. Terzaghi, K. (1943) "Theoretical Soil Mechanics", New York, 270
77. Vega, G. A., Yamamoto, S. and Working Grouping (1984). "Techniques for Prediction of Subsidence", Guide Book to Studies of Land Subsidence due to Ground-Water Withdraw, pp.205-216.
78. Vermeer, P. A., and Verruijt, A. (1981). "An Accuracy Condition for Consolidation by Finite Element", Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. 5, 1-4.
79. Verruijt, A. (1969). "Elastic Storage of Aquifers in Flow Through Porous Media", edited by R. J. M. Dewiest, 331-376, Academic, New York.
80. Wadachi, K. (1940). "Ground Sinking in West Osaka", Report Disaster Prevention Research Institute, No.3.

附錄 一維非耦合地層下陷模式之建立

本附錄內容參考蔡東霖(2001)第三章一維非耦合地層下陷模式之建立。

A.1 分層三維地下水流計算

A.1.1 水流控制方程式

三維地下水流方程式中若假設土體之體積變化量與流體孔隙水壓成一簡單正比關係，即 $P \propto \nabla \cdot \bar{U}_s$ ，以及土體為非均質等向性，並加入源流項 (source term)，則三維地下水流方程式可變為

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(K \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) = Ss \frac{\partial \Phi}{\partial t} + Q(x - x_w, y - y_w, z - z_w) \quad j = 1, 2, 3 \quad (\text{A-1})$$

式中 K 為水力傳導係數 (hydraulic conductivity)， Ss 為比貯水係數 (specific storage)， Q 為流源項， $\Phi = \frac{P^e}{\rho_w g}$ 為水頭 (hydraulic head) (P^e 為已扣除初始值之變動孔隙水壓)， ρ_w 為流体密度， g 為重力加速度。

本研究採分層垂向積分來建立模式，將(A-1)式作垂向積分可得

$$\int_{b_j(x,y,t)}^{b_{j+1}(x,y,t)} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) dz = \int_{b_j(x,y,t)}^{b_{j+1}(x,y,t)} \left(Ss \frac{\partial \Phi}{\partial t} + Q(x - x_w, y - y_w, z - z_w) \right) dz \quad (\text{A-2})$$

式中 $z = b_{i+1}(x, y, t)$ 與 $z = b_i(x, y, t)$ 分別表示土層之上、下邊界函數。研究中不考慮非飽合土體之影響，所以若土層為非拘限含水層 (unconfined aquifer) 時，則(A-2)式之上邊界則為自由液面 (free surface)，其示意圖分別

如圖 3.1 與圖 3.2 所示。由萊布尼茲法則(Leibnitz rule)與連鎖律(chain rule)並忽略次要項，即假設土層上、下邊界函數在空間上之變化遠小於土層之厚度或水深，則(A-2)式可變為

$$\begin{aligned} \bar{K}B \frac{\partial^2 \bar{\Phi}}{\partial x^2} + \bar{K}B \frac{\partial^2 \bar{\Phi}}{\partial y^2} + \left[\frac{\partial}{\partial x} (\bar{K}B) \right] \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial x} + \left[\frac{\partial}{\partial y} (\bar{K}B) \right] \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial y} \\ = \bar{S}_s B \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial t} + \bar{K} \left(\frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_i} - \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \right) + \bar{Q}(x-x_w, y-y_w) \end{aligned} \quad (A-3)$$

其中 $\bar{K}(x, y)$ 、 $\bar{S}_s(x, y)$ 、 $\bar{\Phi}$ 分別表示垂向積分之平均值，譬如 $\bar{\Phi} = \frac{1}{B} \int_{b_i}^{b_{i+1}} \Phi dz$ ，

$B = b_{i+1}(x, y, t) - b_i(x, y, t)$ 表示土層之厚度或水深。另外， $\bar{K} \frac{\partial \bar{\Phi}^e}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}}$ 與 $\bar{K} \frac{\partial \bar{\Phi}^e}{\partial z} \Big|_{b_i}$

分別為上、下邊界之水流通量。(A-3)式若應用至非拘限含水層時，則上邊界自由液面需引入運動邊界條件(kinematic boundary condition)與動力邊界條件(dynamic boundary condition)作進一步處理。在不考慮地表入滲量下，自由液面之運動邊界條件可表示為

$$S_y \frac{\partial b_{i+1}}{\partial t} = -\bar{K} \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \quad (A-4)$$

其中 $\eta(x, y, t) = B = b_{i+1}(x, y, t) - b_i(x, y, t)$ 表示非拘限含水層之水深。若假設自由液面對時間之變化遠大於下邊界之變化，即 $\frac{\partial b_{i+1}}{\partial t} \gg \frac{\partial b_i}{\partial t}$ ，則(A-4)式可變為

$$S_y \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\bar{K} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \quad (\text{A-5})$$

式中 S_y 為比出水係數(specific yield)。此外，由自由液面動力邊界條件，即 $P^o(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) + P^e(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) = 0$ ，在假設初始時為靜水壓分布，即 $P^o(x, y, b_{i+1}(x, y, t)) = \rho_w g(\eta^o(x, y) - \eta(x, y, t))$ ，則可得

$$\eta(x, y, t) = \eta^o(x, y) + \Phi(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) \quad (\text{A-6})$$

式中 η^o 表示初始時非拘限含水層之水深函數。(A-6)式可用於追蹤自由液面之變化。

A.1.2 初始條件

模式中採用增加量為因變數，所以初始條件(initial condition)為零，即

$$\bar{\Phi}(x, y, t = 0) = 0 \quad x, y \in \Omega \quad (\text{A-7})$$

式中 Ω 表示求解之區域。

A.1.3 邊界條件

研究中利用分層垂向積分與水平區域拆解概念建立模式，所以對垂直及水平方向之邊界，皆可再分為自然邊界(natural boundary)與內部介面邊界(interface boundary)兩種。以下分別對垂直與水平之自然邊界條件與

內部介面邊界條件加以闡述。

(a) 垂直邊界條件

垂直自然邊界是指模擬區域中最上與最下之邊界而言。若邊界條件給定為定水頭條件(即 Dirichlet type boundary condition)，則可表示為

$$\Phi|_{\text{boundary}} = \Phi^* \quad (\text{A-8})$$

另外，若給定為流量邊界條件(即 Neumann type boundary condition)，則可表示為

$$\left. \frac{\partial \Phi^e}{\partial n} \right|_{\text{boundary}} = -q_n \quad (\text{A-9})$$

其中 Φ^* 與 q_n 為給定之已知值。此外，垂直內部介面邊界則是指層與層間之介面邊界，此種介面邊界需同時滿足水流通量連續與孔隙水壓連續之條件，如圖 3-3 所示，其中上標 1 與 2 分別表示相鄰邊界不同分層之介質，向量 \vec{n} 與 \vec{i} 為邊界面之法線向量與切線向量。則層與層間之水流通量連續可表示為

$$q_m^{(1)} = q_m^{(2)} \quad (\text{A-10})$$

也就是

$$K^{(1)} \frac{\partial \Phi^{(1)}}{\partial n} = K^{(2)} \frac{\partial \Phi^{(2)}}{\partial n} \quad (\text{A-11})$$

另外，孔隙水壓連續可表示為

$$\Phi^{(1)} = \Phi^{(2)} \quad (\text{A-12})$$

(b) 水平邊界條件

水平自然邊界是指海岸線、河川或山嶺線等模擬區域最外圍之水平邊界而言，而水平內部介面邊界則是指區域經拆解後區與區之介面邊界，如圖 3-4 所示。若水平自然邊界條件給定為定水頭或水流通量，則可分別表示為

$$\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_c \quad (\text{A-13})$$

$$\frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial n} = -q_m \quad (\text{A-14})$$

其中 $\bar{\Phi}_c$ 與 q_m 為給定值。另外，與垂直內部介面邊界相同，水平內部介面邊界亦需同時滿足孔隙水壓連續及水流通量連續，即

$$K^{(1)} \frac{\partial \bar{\Phi}^{(1)}}{\partial n} = K^{(2)} \frac{\partial \bar{\Phi}^{(2)}}{\partial n} \quad (\text{A-15})$$

$$\bar{\Phi}^{(1)} = \bar{\Phi}^{(2)} \quad (\text{A-16})$$

A.1.4 內插形狀函數

研究中引用分層垂向積分技巧建立模式，為了使層與層間之介面邊界能夠同時滿足孔隙水壓連續與水流通量連續，故假設每個土層之孔隙水壓在垂直方向上為二次多項式函數分布，即

$$\Phi(x, y, z, t) = a(x, y, t) + b(x, y, t)z + c(x, y, t)z^2 \quad (\text{A-17})$$

由(A-17)式可知，傳統擬三維水流概念中，含水層之水流為水平流僅是假設 b 與 c 為零之簡化結果，而阻水層垂直流之孔隙水壓分布函數，也可以用二次多項式函數加以內插趨近(也就是任何函數分布皆可以用多段之二次多項式函數加以趨近)，所以可同時模擬水平流與垂直流。此外，(A-17)式之係數 a 、 b 與 c ，可根據上邊界值、下邊界值與分層積分平均值之定義求得，即

$$\Phi|_{bi} = a \quad (\text{A-18})$$

$$\Phi|_{bi+1} = a + bB + cB^2 \quad (\text{A-19})$$

$$\bar{\Phi} = \frac{1}{B} \int_0^B (a + bz + cz^2) dz \quad (\text{A-20})$$

聯立求解(A-18)式、(A-19)式與(A-20)式可得

$$a = \Phi|_{b_i} \quad (\text{A-21})$$

$$b = \frac{1}{B}(-2\Phi|_{b_{i+1}} - 4\Phi|_{b_i} + 6\bar{\Phi}) \quad (\text{A-22})$$

$$c = \frac{1}{B^2}(3\Phi|_{b_{i+1}} + 3\Phi|_{b_i} - 6\bar{\Phi}) \quad (\text{A-23})$$

對(A-17)式做垂向微分，則可得上、下邊界之垂方向微分值分別為

$$\frac{\partial\Phi}{\partial z}|_{b_{i+1}} = \frac{1}{B}(4\Phi|_{b_{i+1}} + 2\Phi|_{b_i} - 6\bar{\Phi}) \quad (\text{A-24})$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial z}|_{b_i} = \frac{1}{B}(-2\Phi|_{b_{i+1}} - 4\Phi|_{b_i} + 6\bar{\Phi}) \quad (\text{A-25})$$

(A-24)式與(A-25)式分別表示含水層上、下邊界之垂方向微分值，可由上、下邊界值以及垂向分層平均值來表示。

A.2 土體位移代數式

根據由完整三維地層下陷方程式出發，經由量階分析方法，吾人得到垂向一維地層下陷理論僅在地下水流為近似垂直流或水平流之流況才適用的重要結論(見蔡東霖，2001)。水流為水平流之含水層時，每層土層之垂向一維土體位移代數方程式為

$$\Delta z = U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi} = \int_{bi(x,y,t)}^{bi+1(x,y,t)} \frac{\rho_w g \Phi}{\mu + \lambda} dz = \frac{\rho_w g B \bar{\Phi}}{\mu + \lambda} \quad (A-26)$$

而水流為垂直流之阻水層，垂向一維土體位移代數方程式則為

$$\Delta z = U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi} = \int_{bi(x,y,t)}^{bi+1(x,y,t)} \frac{\rho_w g \Phi}{2\mu + \lambda} dz = \frac{\rho_w g B \bar{\Phi}}{2\mu + \lambda} \quad (A-27)$$

式中 μ 與 λ 為土體之拉梅(Lame)常數， $U_{sz}|_{bi+1}$ 與 $U_{sz}|_{bi}$ 分別為上、下邊界之位移量。(A-26)式與(A-27)式中皆假設土體為理想彈性體，但實際地層下陷計算時，將不考慮因孔隙水壓升高(有效應減少)所造成之土體膨脹現象。

A-3 總結一維非耦合地層下陷控制方程式

A.1 節之水流控制方程式與邊界條件以及初始條件，結合 A.2 節的土體位移代數式，可建立一維非耦合地層下陷計算方法。以下分別將拘限含水層與阻水層以及非拘限含水層，所使用之水流控制方程式與土體位移代數式以及初始條件與邊界條件歸納如下。

(a) 拘限含水層與阻水層

結合(A-3)式以及(A-24)式與(A-25)式，可得分層三維水流方程式為

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \bar{\Phi}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\Phi}}{\partial y^2} + \left[\frac{1}{KB} \frac{\partial}{\partial x} (KB) \right] \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial x} + \left[\frac{1}{KB} \frac{\partial}{\partial y} (KB) \right] \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial y} \\ & = \frac{\bar{S}_s}{K} \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial t} + \frac{1}{B^2} (-6\bar{\Phi}|_{bi+1} - 6\bar{\Phi}|_{bi} + 12\bar{\Phi}) + \frac{\bar{Q}}{KB} (x - x_w, y - y_w) \end{aligned} \quad (A-28)$$

假設土層上、下邊界函數在空間上之變化很小，由(A-24)式與(A-25)式土層上、下邊界之水流通量可分別表示為

$$q_l|_{bi+1} = \frac{\bar{K}}{B}(4\Phi|_{bi+1} + 2\Phi|_{bi} - 6\bar{\Phi}) \quad (A-29)$$

$$q_l|_{bi} = \frac{\bar{K}}{B}(-2\Phi^e|_{bi+1} - 4\Phi^e|_{bi} + 6\bar{\Phi}^e) \quad (A-30)$$

式中 $q_l|_{bi+1}$ 與 $q_l|_{bi}$ 分別表示流入與流出含水層上、下邊界之流量。另外，一維垂向土體位移代數式，若為含水層與阻水層則分別如(A-26)式與(A-27)式所示。

(b)非拘限含水層

由(A-3)式以及(A-24)式與(A-25)式水流方程式可表示為

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \bar{\Phi}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\Phi}}{\partial y^2} + \left[\frac{1}{K\eta} \frac{\partial}{\partial x} (\bar{K}\eta) \right] \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial x} + \left[\frac{1}{K\eta} \frac{\partial}{\partial y} (\bar{K}\eta) \right] \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial y} \\ & = \frac{\bar{S}_s}{K} \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial t} + \frac{1}{\eta^2} (-6\Phi|_{bi+1} - 6\Phi|_{bi} + 12\bar{\Phi}) + \frac{\bar{Q}}{K\eta} (x - x_w, y - y_w) \end{aligned} \quad (A-31)$$

上邊界自由液面運動邊界條件由式(A-5)與式(A-29)可得

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{-\bar{K}}{Ss\eta} (4\Phi|_{bi+1} + 2\Phi|_{bi} - 6\bar{\Phi}) \quad (\text{A-32})$$

下邊界水流量可表示為

$$q_i|_{bi} = \frac{\bar{K}}{\eta} (-2\Phi|_{bi+1} - 4\Phi|_{bi} + 6\bar{\Phi}) \quad (\text{A-33})$$

水深 η 可由(A-6)式表示為

$$\eta = \eta^o + \Phi|_{bi+1} \quad (\text{A-34})$$

土體一維垂向位移代數式為

$$\Delta z = \frac{\rho_w g \eta \bar{\Phi}}{\mu + \lambda} \quad (\text{A-35})$$

另外，拘限含水層與阻水層以及非拘限含水層之初始條件、垂直與水平方向之自然邊界條件與內部介面邊界條件則分別如(A-7)式至(A-16)式所示。

表 3-1 國內地層下陷理論研究法相關資料之蒐集(1/3)

研究團隊	理論基礎	使用模式	模擬範圍	所需輸入資料	使用之土壤參數值
李德河教授	Terzaghi 一維壓密理論	自行開發	高雄永安	土層分布情況。 地下水位變化值。 初始孔隙比。 壓密係數。 壓縮指數。 再壓指數	初始孔隙比(0.9)。 壓密係數(0.033-0.07m ² /day)。 壓縮指數(0.127-0.156)。 再壓縮指數(0.019-0.035)。
張文教授	Terzaghi 一維壓密理論	自行開發	雲林縣宜梧國中與台西地區	土體分層資料。 分層地下水位值。 黏土之壓縮指數。 砂土之彈性模數。 初始孔隙比。	黏土壓縮指數(0.19-0.43)。 砂土之彈性係數(4.5×10 ⁴ -8.0×10 ⁴ kN/m ²)。 初始孔隙比(0.54 至 1.03)。
許澤善教授	改良 Terzaghi 一維壓密理論	自行開發	雲林縣宜梧國中	土體分層資料。 分層地下水位值。 初始孔隙比。 壓密係數。 壓縮指數。 再壓指數	壓縮比(0.1-0.2) 壓密係數(1.638-93.05 m ² /month) 壓縮指數(0.1855-0.3249) 再壓縮指數(0.0107-0.1176) 初始孔隙比(0.604-1.199)。

表 3-1 國內地層下陷理論研究法相關資料之蒐集(2/3)

工研院 能資所	Terzaghi 一維壓密理論	Compac	雲林縣王功、台西 與宜梧國中等地區	土層分布情況 地下水位變化值 水力傳導係數 非彈性儲水係數 彈性儲水係數	水力傳導係數(0.0001-0.004) 砂土之彈性儲水係數 (0.00001)黏土之非彈性儲水 係數(0.0003-0.005)
施清宇 教授	水平二維地下水流理論以 及 Terzaghi 一維壓密理論。	自行開發	屏東林邊地區	擴散係數 抽水係數	擴散係數(0.0005-0.0012 m ² /sec) 抽水係數(0.006-0.012)。
劉振宇 教授	三維地下水流理論 Terzaghi 一維壓密理論	Modflow。 Interbed。	雲林地區	土體分層資料 分層地下水位值 水力傳導係數 儲水係數 抽水量 砂土之彈性模數 非彈性儲水係數 彈性儲水係數	未明確表示

表 3-1 國內地層下陷理論研究法相關資料之蒐集(3/3)

林美聆教授	軸對稱地下水流理論 軸對稱多孔彈性理論	ABAQUS	雲林台西與麥寮地區	土層分布情況 地下水位變化值 滲透係數 楊氏模數 柏松比	柏松比(0.3) 單井分析： 滲透係數 (1.6×10^{-7} - 8.0×10^{-4} m/sec) 楊氏模數(0.825-2.489 MPa) 多井分析： 滲透係數(2.8×10^{-9} - 1.4×10^{-5} m/sec) 楊氏模數(3.30 至 9.9 MPa)。 未明確表示
葉弘德教授	三維地下水流理論 多孔彈性理論	FEMWATWE 自行開發	雲林地區	土層分布情況 地下水位變化值 滲透係數 楊氏模數 柏松比 其他未飽和土層 資料	
呂志宗教授	三維地下水流理論 多孔彈性理論	自行開發	簡單解析案例	滲透係數 楊氏模數 柏松比	為假設值，無法作為實際模擬之參考

表 4-1 一維耦合地層下陷模式所需輸入資料

參數	項目
土壤地質參數	土壤密度 (ρ_s)
	初始孔隙率 (n_0)
	水力傳導係數 (K)
	拉梅常數 (μ, λ) *
	比出水係數 (S_y)
流體參數	流體密度 (ρ_w)
	流體壓縮係數 (β)
水文平衡參數	抽水量 (Q)
	分層抽水比例
	水田灌溉入滲量
	旱地降雨入滲量
	河川入滲量
	邊界側流量
	分層地下水位(初始條件)
	水頭邊界條件
模擬設定參數	網格點性質(邊界點、內部點或區與區交界點)
	網格大小 ($\Delta x, \Delta y$)
	時間間距 (Δt)
	地理座標(x, y, z)
	含水層與阻水層厚度 (B)

$$* \mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

E 為楊氏模數(Young's Modulus)、 ν 為柏松比(Poisson's ratio)

表 6-1 濁水溪沖積扇各測站之分層地層厚度 (含虛擬分層)

I 區	TM二度分帶 (X)	TM二度分帶 (Y)	含水層1	阻水層1	含水層2	阻水層2	含水層3
線西	195062	2669966	29.8	20.2	75.0	19.0	58.3
好修	194052	2656100	38.1	9.5	84.5	9.5	63.1
花壇	202725	2658257	20.2	21.4	89.3	21.4	52.4
員林	205885	2649930	0.0	50.0	95.2	7.1	57.1
漢寶	183282	2656147	20.0	33.8	78.8	37.5	30
趙甲	187624	2648441	20.0	22.5	93.8	28.8	51.3
溪湖	196133	2649778	12.5	25.0	102.5	27.5	65
芳苑	179990	2646954	25.5	27.7	91.5	38.3	17.0
溪州	198371	2639267	28.6	9.5	92.9	25.0	53.6
西港	176799	2639978	16.7	34.5	67.9	41.7	56.0
潭墘	182705	2637176	20.2	29.8	83.3	36.9	28.6
竹塘	190948	2639823	28.6	19.0	83.3	33.3	29.8
溪州	198371	2639267	28.6	9.5	92.9	25.0	53.6
海豐	170272	2622644	40.0	7.5	95.0	7.5	47.5
後安	171197	2632096	42.5	12.5	85.0	26.3	26.3
興化	176703	2628849	42.5	10.0	87.5	37.5	17.5
豐榮	178954	2632222	27.5	25.0	90.0	37.5	12.5
港後	187220	2632820	32.5	7.5	116.3	16.3	22.5
九隆	191170	2627770	25.0	5.0	132.5	12.5	20.0
海園	165467	2624551	45.1	15.9	68.3	19.5	51.2
安南	172567	2622644	36.6	26.8	68.3	22.0	46.3
箔子	162598	2614898	60.6	9.1	74.2	9.1	83.3
口湖	165949	2609680	42.4	21.2	81.8	13.6	65.2
飛沙	165375	2615775	53.0	12.1	89.4	15.2	48.5
蔡厝	169500	2612504	42.4	21.2	84.8	24.2	37.9
番溝	175652	2613690	28.8	34.8	84.8	12.1	45.5
元長	178788	2616956	24.2	33.3	109.1	12.1	21.2
瓊埔	168219	2602115	50.0	11.1	72.2	16.7	70.8
大溝	168608	2607404	47.2	8.3	80.6	19.4	61.1
水林	172216	2608156	50.0	11.1	72.2	25.0	55.6
北港	177919	2608767	40.3	12.5	80.6	27.8	51.4
崙子	183331	2611929	30.6	25.0	81.9	20.8	48.6

II區	TM二度分帶 (X)	TM二度分帶 (Y)	含水層1	阻水層1	含水層2	含水層2	含水層2
田洋	178717	2624989	34.1	12.2	80.5	26.8	43.9
芳草	185350	2624184	31.7	19.5	75.6	22.0	46.3
虎尾	191285	2623689	18.2	39.4	127.3	9.1	6.1
土庫	187075	2619850	15.2	39.4	124.2	9.1	12.1

III區	TM二度分帶 (X)	TM二度分帶 (Y)	含水層1	阻水層1	含水層2	阻水層2	含水層2
虎溪	199331	2624542	27.3	27.3	124.2	9.1	9.1
嘉興	194035	2616376	22.2	19.4	111.1	22.2	33.3
三和	196915	2611594	41.7	13.9	113.9	13.9	33.3
溫厝	199400	2617404	38.9	5.6	119.4	13.9	33.3

IV區	TM二度分帶 (X)	TM二度分帶 (Y)	含水層1	含水層1	含水層1	含水層1	含水層1
田中	207088	2639188	45.0	10.0	65.0	27.5	60.0
柑園	201662	2635696	28.6	9.5	97.6	17.9	48.8
二水	210242	2634428	47.6	13.1	94.0	19.0	33.3
西螺	194891	2632723	25.0	10.0	130.0	12.5	17.5
刺桐	197886	2628376	32.5	7.5	127.5	10.0	20.0
六合	204584	2629706	45.0	10.0	125.0	12.5	20.0
東和	205251	2620504	63.4	18.3	93.9	17.1	48.8
石榴	206944	2624360	50.0	10.6	136.4	9.1	9.1
烏塗	208141	2629528	39.4	9.1	142.4	9.1	12.1
崁腳	202021	2612378	93.1	6.9	119.4	16.7	27.8
古坑	204980	2615932	77.8	8.3	127.8	13.9	22.2

表 6-2 雲林地區各鄉鎮市年抽水量表

資料來源：沈向白教授

鄉鎮	灌溉用水	養殖用水	公共用水	工業用水	畜牧用水	總計
斗六市	1,693,099	25,818	0	0	0	1,718,917
斗南鎮	18,356,715	53,914	1,003,194	388,664	82,028	19,884,515
古坑鄉	2,491,719	5,267	3,270	102,195	1,363	2,603,814
大埤鄉	18,344,623	141,813	221,301	460,000	12,695	19,180,431
蔴桐鄉	6,835,265	0	207,117	17,610	0	7,059,992
林內鄉	581,948	0	238,158	210,313	10,220	1,040,638
虎尾鎮	88,189,723	218,337	4,600,384	77,668	358,184	93,444,296
西螺鎮	42,884,668	181,408	602,508	873,586	449,347	44,991,516
土庫鎮	52,342,628	1,084,993	51,405	19,985	1,448,998	54,948,008
二崙鄉	65,008,783	424,745	59,228	10,628	998,536	66,501,920
崙背鄉	67,792,584	1,534,347	287,304	3,275,458	1,142,549	74,032,243
麥寮鄉	204,825,645	169,246,223	8,754,353	12,263	1,660,031	384,498,515
褒中鄉	4,884,179	276,732	8,754,353	0	0	13,915,264
東勢鄉	37,007,458	1,109,926	19,440	0	434,488	38,571,312
台西鄉	41,905,236	19,083,047	297,592	0	55,775	61,341,650
北港鎮	23,130,834	81,390	2,971,750	521,802	61,288	26,767,063
元長鄉	4,404,980	1,727,163	72,990	296,559	452,904	6,954,596
水林鄉	12,070,585	984,509	129,586	0	159,764	13,344,444
四湖鄉	8,329,552	472,328	105,451	2,544	0	8,909,874
口湖鄉	4,670,132	3,863,865	79,212	0	128,739	8,741,949
總計	705,750,355	200,515,823	28,458,595	6,269,274	7,456,907	948,450,954

單位：立方公尺/年

表6-3 彰化地區地表入滲量推估結果

單位：10⁶m³

鄉鎮市	入滲量	鄉鎮市	入滲量	鄉鎮市	入滲量
彰化市	31.61	溪湖鎮	23.62	二林鎮	89.64
鹿港鎮	43.35	田中鎮	23.58	田尾鄉	21.60
和美鎮	35.62	大村鄉	24.05	埤頭鄉	40.09
線西鄉	18.88	埔鹽鄉	40.88	芳苑鄉	75.21
伸港鄉	26.38	埔心鄉	19.40	大城鄉	32.52
福興鄉	36.49	永靖鄉	19.13	竹塘鄉	26.65
秀水鄉	22.77	社頭鄉	15.07	溪州鄉	40.71
花壇鄉	9.86	二水鄉	14.91	北斗鎮	20.28
員林鎮	20.16				

表6-4 雲林地區地表入滲量推估結果

單位：10⁶m³

鄉鎮市	入滲量	鄉鎮市	入滲量	鄉鎮市	入滲量
麥寮鄉	58.41	虎尾鎮	23.56	大埤鄉	14.14
崙背鄉	18.04	土庫鎮	15.15	斗南鎮	15.36
二崙鄉	27.29	褒忠鄉	22.32	古坑鄉	48.74
西螺鎮	24.21	東勢鄉	27.13	北港鎮	10.67
莿桐鄉	35.85	台西鄉	49.82	水林鄉	26.37
林內鄉	49.56	四湖鄉	36.90	口湖鄉	61.79
斗六市	56.95	元長鄉	35.71		

表 6.5 濁水溪沖積扇分層抽水比例

鄉鎮市	初始猜值			率定值(2002)			前期報告(2000)之出水比例		
	含水層一	含水層二	含水層三	含水層一	含水層二	含水層三	含水層一	含水層二	含水層三
麥寮鄉	0.34	0.62	0.03	0.40	0.55	0.05	1.00	0.00	0.00
崙背鄉	0.51	0.45	0.04	0.50	0.20	0.35	0.53	0.00	0.47
二崙鄉	0.03	0.91	0.07	0.17	0.68	0.15	0.50	0.16	0.34
西螺鎮	0.13	0.73	0.14	0.40	0.45	0.15	0.50	0.40	0.10
荊桐鄉	0.15	0.72	0.13	0.15	0.72	0.13	0.30	0.50	0.20
林內鄉	0.12	0.79	0.09	0.12	0.79	0.09	0.30	0.50	0.20
斗六鄉	0.20	0.68	0.12	0.20	0.68	0.12	0.30	0.50	0.20
虎尾鄉	0.14	0.77	0.09	0.14	0.77	0.09	0.86	0.07	0.07
土庫鎮	0.02	0.74	0.24	0.17	0.63	0.20	0.30	0.50	0.20
褒忠鄉	0.37	0.16	0.57	0.55	0.20	0.25	0.68	0.00	0.32
東勢鄉	0.23	0.51	0.26	0.20	0.70	0.10	0.50	0.00	0.50
台西鄉	0.33	0.13	0.54	0.60	0.30	0.10	0.90	0.10	0.00
四湖鄉	0.26	0.46	0.29	0.26	0.46	0.29	0.30	0.50	0.20
元長鄉	0.25	0.68	0.07	0.15	0.75	0.10	0.50	0.30	0.20
大埤鄉	0.64	0.28	0.08	0.15	0.67	0.18	0.30	0.50	0.20
斗南鎮	0.18	0.67	0.15	0.18	0.67	0.15	1.00	0.00	0.00
古坑鄉	0.21	0.65	0.15	0.10	0.65	0.25	0.30	0.50	0.20
北港鄉	0.32	0.34	0.34	0.20	0.65	0.15	0.30	0.50	0.20
水林鄉	0.15	0.73	0.12	0.40	0.50	0.10	0.30	0.50	0.20

表 6.5(續 1) 濁水溪沖積扇分層抽水比例

鄉鎮市	初始猜值			率定值(2002)			前期報告(2000)之出水比例		
	含水層一	含水層二	含水層三	含水層一	含水層二	含水層三	含水層一	含水層二	含水層三
口湖鄉	0.15	0.63	0.22	0.40	0.50	0.10	1.00	0.00	0.00
彰化市	0.12	0.54	0.34	0.12	0.54	0.34	0.30	0.50	0.20
鹿港鎮	0.07	0.61	0.32	0.20	0.60	0.20	0.30	0.50	0.20
和美鎮	0.16	0.49	0.35	0.16	0.49	0.35	0.30	0.50	0.20
線西鄉	0.33	0.38	0.29	0.70	0.20	0.10	1.00	0.00	0.00
伸港鄉	0.17	0.47	0.36	0.17	0.47	0.36	0.30	0.50	0.20
福興鄉	0.19	0.50	0.31	0.19	0.50	0.31	0.30	0.50	0.20
秀水鄉	0.15	0.51	0.34	0.15	0.51	0.34	0.30	0.50	0.20
花壇鄉	0.50	0.23	0.17	0.45	0.15	0.40	0.82	0.00	0.18
芬園鄉	0.06	0.59	0.35	0.06	0.59	0.35	0.30	0.50	0.20
員林鄉	0.04	0.59	0.37	0.04	0.59	0.37	0.30	0.50	0.20
溪湖鄉	0.07	0.61	0.31	0.10	0.80	0.10	0.30	0.50	0.20
田中鎮	0.15	0.50	0.35	0.15	0.50	0.35	0.30	0.50	0.20
大村鄉	0.26	0.59	0.15	0.06	0.59	0.35	0.30	0.50	0.20
埔鹽鄉	0.17	0.81	0.02	0.45	0.45	0.10	1.00	0.00	0.00
埔心鄉	0.06	0.57	0.36	0.06	0.57	0.36	0.30	0.50	0.20
永靖鄉	0.07	0.56	0.38	0.07	0.56	0.38	0.30	0.50	0.20
社頭鄉	0.10	0.52	0.38	0.10	0.52	0.38	0.30	0.50	0.20
二水鄉	0.07	0.73	0.21	0.07	0.73	0.21	0.30	0.50	0.20
北斗鎮	0.15	0.49	0.36	0.15	0.49	0.36	0.30	0.50	0.20
二林鄉	0.01	0.16	0.83	0.10	0.80	0.10	0.30	0.50	0.20
田尾鄉	0.13	0.50	0.37	0.13	0.50	0.37	0.30	0.50	0.20
埤頭鄉	0.31	0.37	0.32	0.50	0.10	0.40	0.20	0.50	0.50
芳苑鄉	0.16	0.60	0.24	0.40	0.50	0.10	0.50	0.30	0.20
大城鄉	0.15	0.57	0.28	0.40	0.50	0.10	1.00	0.00	0.00
竹塘鄉	0.18	0.62	0.21	0.18	0.62	0.21	0.30	0.50	0.20
溪洲鄉	0.13	0.59	0.27	0.13	0.59	0.27	0.30	0.50	0.20

表 6-6 彰化地區地層下陷量測結果

(單位：公分)

鄉鎮	樁號	點名	x 座標	y 座標	84/10-86/10	86/10-87/10	87/10-89/05
鹿港鎮	洛津國小 BM	洛津國小	191220	2661365	**	-2.1	**
福興鄉	內部 019	管嶼國小	189608	2658432	-1.2	-3.6	**
埔鹽鄉	好修國小 BM	好修國小	194129	2655968	0	-2.8	-5.4
二林鎮	BM5	二林國小	185220	2644434	-23.4	-12.1	-13.8
	BM15	原斗國中	190841	2643899	-6.6	-5.2	-4
埤頭鄉	合興 BM	合興國小	193985	2643441	**	-4	-2.5
芳苑鄉	BM7	草湖西南	184888	2649340	-10.6	-6.4	-3.6
	BM8	草湖	186400	2650730	-6.1	-7.6	-6.7
	BM4	路上派出所	181572	2643564	-12.1	-12.7	-7.6
	BM19	新街國小	179073	2644593	-17.8	-10.2	-10.6
大城鄉	BM17	大成國小	179943	2639058	-43.4	-18.8	-22.4
	內部 031	西港國小	176768	2639970	-32.4	-14.3	-14.6
	BM2	中西	182718	2642024	-17.2	-12	-11.5
	BM18	美豐國小	178090	2642690	-35.4	-12.9	-20
	潭漚 BM	潭漚國小	182768	2637194	-25.6	-12.2	-23.7
竹塘鄉	竹塘 BM	竹塘工作站	190900	2639923	-8.6	-4.1	6.7
	內部 037	永安派出所	186351	2638403	-11.9	-8.1	-7.8

表 6-7 雲林地區地層下陷量測結果

(單位：公分)

鄉鎮	樁號	點名	x 座標	y 座標	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11
麥寮鄉	內部 046	橋頭國小	175099	2632978	-13.5	-8.1	-5.3
	雲 BM20	麥寮鄉公所	172920	2628143	-12.8	-7.1	-3.9
	雲 BM19	蚊港橋北	170128	2629291	-10.2	-2.4	-1.1
	NO6 井 BM	中山	172158	2632968	-15.2	-5.8	-2.4
崙背鄉	六輕 BM	六輕工業區	169460	2633020	-14.8	-4	-2.5
	崙背 112M	崙背工作站	182555	2629167	-7.5	-9.3	-8.5
	內部 044	望榮派出所	179110	2632426	-7.9	-7.9	-6.8
二崙鄉	雲 BM33	大有國小	178805	2629213	-8.3	-6.8	-5.9
	水質雲 5	番社大同橋	185023	2631873	-5	-4	-4.7
	油車 110M	油車村	187037	2632190	-3.5	-1	-2.4
西螺鎮	西螺井	西螺工作站	195094	2632428	-3.6	1.5	-0.8
斗六鎮	陸檢 1660	雲林縣政府	200914	2622046	-1.6	0.2	-1.7
虎尾鎮	虎尾國小 BM	虎尾國小	191236	2623690	-7.4	-3	-9
土庫鎮	雲 BM26	埤腳國小	182814	2618775	-11.5	-7.1	-13.5
褒忠鄉	水質雲 4	田洋東	180479	2624173	-12	-8.8	-9.3
	龍岩農場 BM	龍岩農場	178685	2624989	-10.8	-9.2	-5.6
東勢鄉	安南國小 BM	安南國小	172583	2622643	-10.7	-3.4	-3.3
台西鄉	台西 BM	台西工作站	167466	2622082	-7.1	-8.9	-5.1
	海園 BM	海園	165955	2624504	-7.7	-4.5	-3
	NO12 井 BM	蚊港村	169483	2627197	-6.3	-2.3	-1.6
	新興國小 BM	新興國小	169997	2626542	-7.2	-4.6	-2.9
	台電台西 1 號	昭安府	165717	2620052	-8.5	-8.3	-6.6
四湖鄉	雲 BM8	東羊橋	168000	2615528	-11.1	-2.3	-3.9
	雲 BM9	四湖台糖	170151	2614881	-12.3	-5.8	-6.9
	雲 BM7	飛沙國小	165316	2615893	-6.8	-1.1	-2.9
	飛沙 114M	飛沙工作站	164840	2615995	-9.4	-2.5	-2.7
元長鄉	建陽國小 BM	建陽國小	162609	2614897	-10.3	-4.2	-5.3
	水質雲 3	元長公墓	179684	2617131	-12.2	-7.4	-12.3
	雲 BM34	元長忠孝園	179245	2613386	-12.4	-7.2	-7.2
北港鎮	雲 BM14	北港七號橋	176279	2607474	-12.3	-0.9	-2.9
	雲 BM12	好收國小	175652	2610984	-13.2	-5.6	-5.5
	雲 BM25	番子溝	175010	2613817	-13	-5.1	-5.2
	內部 063	北港國中	177645	2607303	-10.7	-0.4	-2.7

表 6-7 (續 1) 雲林地區地層下陷量測結果

(單位：公分)

鄉鎮	樁號	點名	x 座標	y 座標	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11	
水林鄉	內部 059	大溝	168746	2608271	-10.6	-0.9	-5.4	
	R0/6	埤底村	166952	2601962	-14.6	2.1	-4.4	
	NO30 井 BM	埤底村	166962	2601957	-14.6	2.1	-4.4	
	水林 108M	水林工作站	172266	2608015	-15.3	-0.5	-5.3	
	雲 BM23	正東堂	173688	2611294	-13.4	-4.8	-5.6	
	雲 BM16	正義公廟	170830	2604447	-13.7	-0.4	-3.6	
	口湖鄉	雲 BM3	拔子腳	166947	2608675	-9.9	-0.8	-5
		雲 BM5	成龍村	164027	2606260	-15	-1.3	-3.3
	雲 BM24	下崙	163665	2612814	-9.8	-2.4	-4.8	
	土資 49	湖口村	163296	2604029	-13.2	-1	-3.9	
	土資 124	台子挖	161436	2606647	-12.2	-3.1	-4.9	
	土資 123	金湖派出所	162071	2608464	-10.4	-1.4	-3.8	
	土資 44	青蚶水塔	163312	2610842	-11.3	-2.8	-9.4	
	土資 125	宜梧派出所	166396	2605178	-12.5	-1.9	-4.5	
	青蚶排水	青蚶閘門	162851	2610200	-10.5	-2.6	-11.7	

表 6-8 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
麥寮鄉	K/K*	1.0	1.0	10.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
	λ/λ^*	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
崙背鄉	K/K*	0.1	1.0	6.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.2	0.8	1.2	0.8	1.2
	λ/λ^*	1.2	0.8	1.2	0.8	1.2
二崙鄉	K/K*	0.1	1.0	0.9	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
西螺鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	λ/λ^*	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
荊桐鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
林內鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
斗六市	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
虎尾鎮	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
土庫鎮	K/K*	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.3	0.35	0.3	0.35	0.3
	λ/λ^*	0.3	0.35	0.3	0.35	0.3

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層： $K^* = 1.0 \times 10^{-4}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層： $K = 1.0 \times 10^{-8}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 6-8 (續 1) 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
褒忠鄉	K/K*	0.1	1.0	0.1	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.1	0.1	0.1	1.0	0.1
	λ/λ^*	0.1	0.1	0.1	1.0	0.1
東勢鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
	λ/λ^*	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
台西鄉	K/K*	0.6	1.0	1.0	1.0	10.0
	μ/μ^*	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	λ/λ^*	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
四湖鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	λ/λ^*	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
元長鄉	K/K*	1.0	1.0	0.8	1.0	0.2
	μ/μ^*	1.0	0.2	1.0	0.1	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0
大埤鄉	K/K*	1.0	1.0	0.1	1.0	0.1
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
斗南鎮	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
古坑鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
北港鎮	K/K*	1.0	1.0	10.0	1.0	30.0
	μ/μ^*	1.0	0.17	1.0	0.17	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.17	1.0	0.17	1.0

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層：K* = 1.0×10^{-4} (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層：K = 1.0×10^{-8} (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 6-8 (續 2) 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
水林鄉	K/K*	1.0	1.0	3.0	1.0	0.6
	μ/μ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
口湖鄉	K/K*	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	0.3
	λ/λ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
彰化市	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	0.15
鹿港鄉	K/K*	1.0	1.0	5.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
和美鎮	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
線西鄉	K/K*	0.88	1.0	1.5	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
伸港鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
福興鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0
秀水鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層： $K^* = 1.0 \times 10^{-4}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層： $K = 1.0 \times 10^{-8}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 6-8 (續 3) 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
花壇鄉	K/K*	1.0	1.0	3.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
芬園鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
員林鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
溪湖鄉	K/K*	1.0	1.0	2.0	1.0	0.5
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
田中鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
大村鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
埔鹽鄉	K/K*	1.0	1.0	1.5	1.0	0.5
	μ/μ^*	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0
永靖鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
社頭鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層：K* = 1.0×10^{-4} (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層：K = 1.0×10^{-8} (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 6-8 (續 4) 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
二水鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
北斗鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
二林鄉	K/K*	1.0	1.0	5.0	1.0	5.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
田尾鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
埤頭鄉	K/K*	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
芳苑鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	0.25	1.0	0.25	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.25	1.0	0.25	1.0
大城鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	λ/λ^*	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
竹塘鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0
溪洲鄉	K/K*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層：K* = 1.0×10^{-4} (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層：K = 1.0×10^{-8} (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 6-9 彰化地區地層下陷模擬結果(非耦合模式)

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	84/10-86/10	86/10-87/10	87/10-89/05	84/10-86/10	86/10-87/10	87/10-89/04
絡津國小	0	-2.1	7	-2.16	-1.89	-2.16
管嶼國小	-1.2	-3.6	8.3	-2.95	-2	-1.99
好修國小	0	-2.8	-5.4	-1.64	-2.06	-3.99
二林國小	-23.4	-12.1	-13.8	-21.04	-10.75	-12.69
原斗國中	-6.6	-5.2	-4	-4.62	-5.09	-2.68
合興國小	0	-4	-2.5	-1.08	-2.67	-3.5
草湖西南	-10.6	-6.4	-3.6	-6.03	-4.03	-6.45
草湖	-6.1	-7.6	-6.7	-8.35	-4.89	-5.18
路上派出所	-12.1	-12.7	-7.6	-11.59	-4.49	-4.69
新街國小	-17.8	-10.2	-10.6	-14.57	-3.93	-3.94
大成國小	-43.4	-18.8	-22.4	-26.66	-13.77	-20.75
西港國小	-32.4	-14.3	-14.6	-20.93	-9.17	-11.55
中西	-17.2	-12	-11.5	-20.91	-6.15	-6.86
美豐國小	-35.4	-12.9	-20	-35.02	-10.07	-9.93
潭漚國小	-25.6	-12.2	-23.7	-24.19	-9.95	-13.97
竹塘工作站	-8.6	-4.1	6.7	-5.5	-6.84	-3.2
永安派出所	-11.9	-8.1	-7.8	-9.94	-7.87	-7.11

表 6-10 雲林地區地層下陷模擬結果(非耦合模式)

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11	83/12-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11
橋頭國小	-13.5	-8.1	-5.3	-12.33	-2.25	-2.56
麥寮鄉公所	-12.8	-7.1	-3.9	-10.91	-2.83	-3.54
蚊港橋北	-10.2	-2.4	-1.1	-8.35	-2.15	-2.69
中山	-15.2	-5.8	-2.4	-15.62	-3.24	-3.68
六輕工業區	-14.8	-4	-2.5	-15.56	-3.09	-3.49
崙背工作站	-7.5	-9.3	-8.5	-4.69	-9.49	-6.27
豐榮派出所	-7.9	-7.9	-6.8	-5.44	-9.74	-3.45
大有國小	-8.3	-6.8	-5.9	-5.28	-1.23	-2.87
油車村	-3.5	-1	-2.4	-1.3	-1.07	-2.95
西螺工作站	-3.6	1.5	-0.8	-3.67	-0.04	-0.22
雲林縣政府	-1.6	0.2	-1.7	-1.4	-0.43	-0.86
虎尾國小	-7.4	-3	-9	-4.64	-1.08	-7.36
埤腳國小	-11.5	-7.1	-13.5	-9.28	-8.16	-14.63
田洋東	-12	-8.8	-9.3	-13.09	-5.16	-9.02
龍岩農場	-10.8	-9.2	-5.6	-7.57	-2.02	-5.25
安南國小	-10.7	-3.4	-3.3	-6.7	-1.63	-2.04
台西工作站	-7.1	-8.9	-5.1	-7.44	-7.03	-2.69
海園	-7.7	-4.5	-3	-4.38	-6.56	-2.48
蚊港村	-6.3	-2.3	-1.6	-4.76	-1.93	-0.36
新興國小	-7.2	-4.6	-2.9	-6.05	-3.4	-2.92
昭安府	-8.5	-8.3	-6.6	-7.98	-6.72	-4.85
東羊橋	-11.1	-2.3	-3.9	-12.02	-1.4	-4.76
四湖台糖	-12.3	-5.8	-6.9	-12.58	-1.11	-4.43

表 6-10 (續 1) 雲林地區地層下陷模擬結果(非耦合模式)

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11	83/12-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11
飛沙國小	-6.8	-1.1	-2.9	-5.9	-1.54	-2.48
飛沙工作站	-9.4	-2.5	-2.7	-6.43	-2.27	-3.97
建陽國小	-10.3	-4.2	-5.3	-7.11	-2.66	-5.16
元長公墓	-12.2	-7.4	-12.3	-15.57	-7.81	-9.23
元長忠孝國	-12.4	-7.2	-7.2	-11.86	-6.53	-9.68
好收國小	-13.2	-5.6	-5.5	-8.26	-9.75	-9.18
番子溝	-13	-5.1	-5.2	-10.07	-3.99	-4.91
北港國中	-10.7	-0.4	-2.7	-7.29	-6.39	-6.19
大溝	-10.6	-0.9	-5.4	-10.49	-2.39	-5
塭底村	-14.6	2.1	-4.4	-11.65	-2.76	-5.18
水林工作站	-15.3	-0.5	-5.3	-11.71	-4.13	-7.61
正東堂	-13.4	-4.8	-5.6	-13.62	-3.28	-4.85
正義公廟	-13.7	-0.4	-3.6	-6.67	-1.14	-4.02
拔子腳	-9.9	-0.6	-5.2	-7.26	-1.73	-2.59
成龍村	-15	-1.3	-3.3	-7.06	-2.68	-1.98
下崙	-9.8	-2.4	-4.8	-8.77	-2.5	-3.6
湖口村	-13.2	-1	-3.9	-6.7	-2.4	-1.73
台子挖	-12.2	-3.1	-4.9	-7.06	-3.06	-2.1
金湖派出所	-10.4	-1.4	-3.8	-7.08	-2.65	-2.4
青蚶水塔	-11.3	-2.8	-9.4	-8.08	-3.04	-2.8
宜梧派出所	-12.5	-1.9	-4.5	-8.4	-2.93	-3.32
青蚶閘門	-10.5	-2.6	-11.7	-10.21	-3.4	-4.4

表 6-11 彰化地區地層下陷模擬結果(耦合模式)

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	84/10-86/10	86/10-87/10	87/10-89/05	84/10-86/10	86/10-87/10	87/10-89/04
絡津國小	**	-2.1	**	-1.52	-1.24	-2.46
管嶼國小	-1.2	-3.6	**	-1.35	-2.3	-2.9
好修國小	**	-2.8	-5.4	-1.14	-1.46	-3.21
二林國小	-23.4	-12.1	-13.8	-20.24	-10.91	-11.87
原斗國中	-6.6	-5.2	-4	-4.31	-4.29	-3.24
合興國小	**	-4	-2.5	-1.26	-2.76	-2.56
草湖西南	-10.6	-6.4	-3.6	-5.85	-4.33	-4.05
草湖	-6.1	-7.6	-6.7	-7.32	-4.23	-5.25
路上派出所	-12.1	-12.7	-7.6	-11.15	-5.79	-4.52
新街國小	-17.8	-10.2	-10.6	-13.52	-5.17	-5.34
大成國小	-43.4	-18.8	-22.4	-25.26	-14.87	-21.74
西港國小	-32.4	-14.3	-14.6	-22.94	-10.32	-10.15
中西	-17.2	-12	-11.5	-18.91	-7.05	-6.26
美埤國小	-35.4	-12.9	-20	-34.34	-10.32	-10.23
潭漚國小	-25.6	-12.2	-23.7	-23.39	-9.15	-15.27
竹塘工作站	-8.6	-4.1	**	-5.2	-5.82	-3.32
永安派出所	-11.9	-8.1	-7.8	-9.72	-7.27	-6.21

表 6-12 雲林地區地層下陷模擬結果(耦合模式)

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11	83/12-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11
橋頭國小	-13.5	-8.1	-5.3	-11.24	-3.15	-2.25
麥寮鄉公所	-12.8	-7.1	-3.9	-9.31	-2.43	-2.14
蚊港橋北	-10.2	-2.4	-1.1	-8.35	-2.15	-2.69
中山	-15.2	-5.8	-2.4	-14.12	-4.04	-2.63
六輕工業區	-14.8	-4	-2.5	-13.18	-2.34	-3.05
崙背工作站	-7.5	-9.3	-8.5	-4.59	-8.29	-7.35
豐榮派出所	-7.9	-7.9	-6.8	-5.02	-7.24	-3.01
大有國小	-8.3	-6.8	-5.9	-5.52	-1.03	-3.02
油車村	-3.5	-1	-2.4	-1.4	-0.82	-1.28
西螺工作站	-3.6	**	-0.8	-3.12	-0.4	-0.22
雲林縣政府	-1.6	0.2	-1.7	-1.1	-0.27	-1.28
虎尾國小	-7.4	-3	-9	-4.1	-1.32	-6.24
埤腳國小	-11.5	-7.1	-13.5	-8.38	-7.16	-13.13
田洋東	-12	-8.8	-9.3	-12.09	-5.86	-8.22
龍岩農場	-10.8	-9.2	-5.6	-7.17	-3.06	5.02
安南國小	-10.7	-3.4	-3.3	-6.1	-2.36	-2.65
台西工作站	-7.1	-8.9	-5.1	-7.56	-7.53	-2.2
海園	-7.7	-4.5	-3	-4.1	-5.16	-2.28
蚊港村	-6.3	-2.3	-1.6	-3.96	-2.03	-0.46
新興國小	-7.2	-4.6	-2.9	-5.25	-3.1	-2.02
昭安府	-8.5	-8.3	-6.6	-7.28	-5.42	-5.85
東羊橋	-11.1	-2.3	-3.9	-11.05	-1.7	-3.35
四湖台糖	-12.3	-5.8	-6.9	-11.43	-2.71	-4.04

表 6-12 (續 1) 雲林地區地層下陷模擬結果(耦合模式)

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11	83/12-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11
飛沙國小	-6.8	-1.1	-2.9	-5.3	-1.04	-2.21
飛沙工作站	-9.4	-2.5	-2.7	-6.29	-2.04	-2.57
建陽國小	-10.3	-4.2	-5.3	-8.16	-1.86	-5.04
元長公墓	-12.2	-7.4	-12.3	-13.52	-7.06	-9.16
元長忠孝園	-12.4	-7.2	-7.2	-10.93	-6.07	-8.32
好收國小	-13.2	-5.6	-5.5	-9.03	-7.73	-6.02
番子溝	-13	-5.1	-5.2	-9.77	-4.04	-4.38
北港國中	-10.7	-0.4	-2.7	-7.68	-4.09	-6.09
大溝	-10.6	-0.9	-5.4	-11.09	-1.09	-4.8
塭底村	-14.6	2.1	-4.4	-11.25	-2.36	-4.72
水林工作站	-15.3	-0.5	-5.3	-11.21	-2.16	-6.31
正東堂	-13.4	-4.8	-5.6	-13.22	-3.48	-3.95
正義公廟	-13.7	-0.4	-3.6	-6.97	-1.04	-3.52
拔子腳	-9.9	-0.6	-5.2	-7.1	-0.53	-2.29
成龍村	-15	-1.3	-3.3	-8.16	-1.38	-1.62
下崙	-9.8	-2.4	-4.8	-8.24	-2.03	-3.89
湖口村	-13.2	-1	-3.9	-7.3	-1.5	-2.03
台子挖	-12.2	-3.1	-4.9	-7.76	-2.76	-2.56
金湖派出所	-10.4	-1.4	-3.8	-6.16	-2.05	-2.8
青蚶水塔	-11.3	-2.8	-9.4	-7.64	-2.74	-3.9
宜梧派出所	-12.5	-1.9	-4.5	-9.1	-2.83	-2.32
青蚶開門	-10.5	-2.6	-11.7	-9.61	-2.4	-6.7

表 6-13 彰化地區地層下陷潛能表

(單位：公分)

鄉鎮市	點名	原抽水量之 下陷量	增加抽水量之 下陷量	下陷增加量
鹿港鎮	絡津國小	-6.21	-10.87	-4.66
福興鄉	管嶼國小	-6.94	-13.92	-6.98
埔鹽鄉	好修國小	-7.69	-40.07	-32.38
二林鄉	二林國小	-44.48	-52.49	-8.01
	原斗國中	-12.39	-11.15	1.24
埤頭鄉	合興國小	-7.25	-13.66	-6.41
芳苑鄉	草湖西南	-16.51	-56.86	-40.35
	草湖	-18.42	-39.8	-21.38
	路上派出所	-20.77	-42.1	-21.33
	新街國小	-22.44	-50.66	-28.22
大城鄉	大成國小	-61.18	-133.47	-72.29
	西港國小	-41.65	-87.23	-45.58
	中西	-33.92	-61.49	-27.57
	美豐國小	-55.02	-141.58	-86.56
	潭漚國小	-48.11	-89.92	-41.81
竹塘鄉	竹塘工作站	-15.54	-30.2	-14.66
	永安派出所	-24.92	-50.68	-25.76

表 6-14 雲林地區地層下陷潛能表

(單位：公分)

鄉鎮市	點名	原抽水量之 下陷量	增加抽水量之 下陷量	下陷增加量
麥寮鄉	橋頭國小	-17.14	-29.46	-12.32
	麥寮鄉公所	-17.28	-21.16	-3.88
	蚊港橋北	-13.19	-14.62	-1.43
	中山	-22.54	-28.65	-6.11
	六輕工業區	-22.14	-28.97	-6.83
崙背鄉	崙背工作站	-20.45	-38.93	-18.48
	豐榮派出所	-18.63	-39.92	-21.29
	大有國小	-9.38	-16.77	-7.39
二崙鄉	油車村	-5.32	-19.12	-13.8
西螺鎮	西螺工作站	-3.93	-3.7	0.23
斗六鎮	雲林縣政府	-2.69	-3.69	-1
虎尾鎮	虎尾國小	-13.08	-25.51	-12.43
土庫鎮	埤腳國小	-32.07	-52.87	-20.8
褒忠鄉	田洋東	-27.27	-149.29	-122.02
	龍岩農場	-14.84	-101.35	-86.51
東勢鎮	安南國小	-10.37	-42.11	-31.74
台西鄉	台西工作站	-17.16	-58.23	-41.07
	海園	-13.42	-45.57	-32.15
	蚊港村	-7.05	-19.8	-12.75
	新興國小	-12.37	-45.15	-32.78
	昭安府	-19.55	-41.21	-21.66

表 6-14 (續 1) 雲林地區地層下陷潛能表

(單位：公分)

鄉鎮市	點名	原抽水量之 下陷量	增加抽水量之 下陷量	下陷增加量
四湖鄉	東羊橋	-18.18	-39.87	-21.69
	四湖台糖	-18.12	-44.57	-26.45
	飛沙國小	-9.92	-19.13	-9.21
	飛沙工作站	-12.67	-30.57	-17.9
	建陽國小	-14.93	-40.14	-25.21
元長鄉	元長公墓	-32.61	-79.55	-46.94
	元長忠孝園	-28.07	-80.88	-52.81
北港鎮	好收國小	-27.19	-32.35	-5.16
	番子溝	-18.97	-25.24	-6.27
	北港國中	-19.87	-23.64	-3.77
水林鄉	大溝	-17.88	-41.31	-23.43
	塭底村	-19.59	-92.59	-73
	水林工作站	-23.45	-61.47	-38.02
	正東堂	-21.75	-36.05	-14.3
	正義公廟	-11.83	-49.84	-38.01
口湖鄉	拔子腳	-11.58	-91.94	-80.36
	成龍村	-11.72	-98.91	-87.19
	下崙	-14.87	-98.02	-83.15
	湖口村	-10.83	-94.23	-83.4
	台子挖	-12.22	-103.41	-91.19
	金湖派出所	-12.13	-102.2	-90.07
	青蚶水塔	-13.92	-104.55	-90.63
	宜梧派出所	-14.65	-123.5	-108.85
	青蚶開門	-18.01	-148.42	-130.41

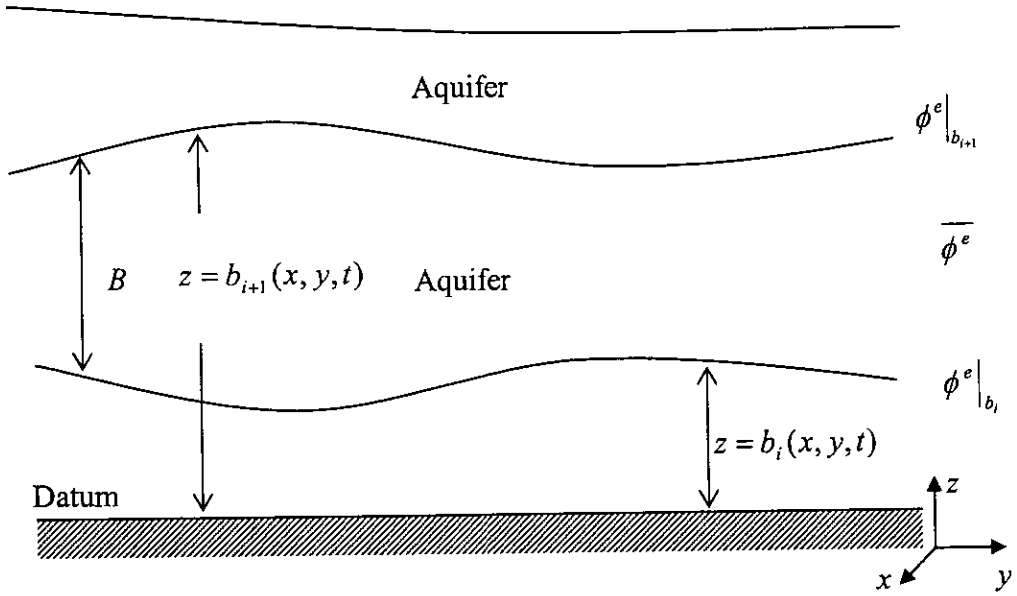


圖 4-1 拘限含水層分層深度積分示意圖

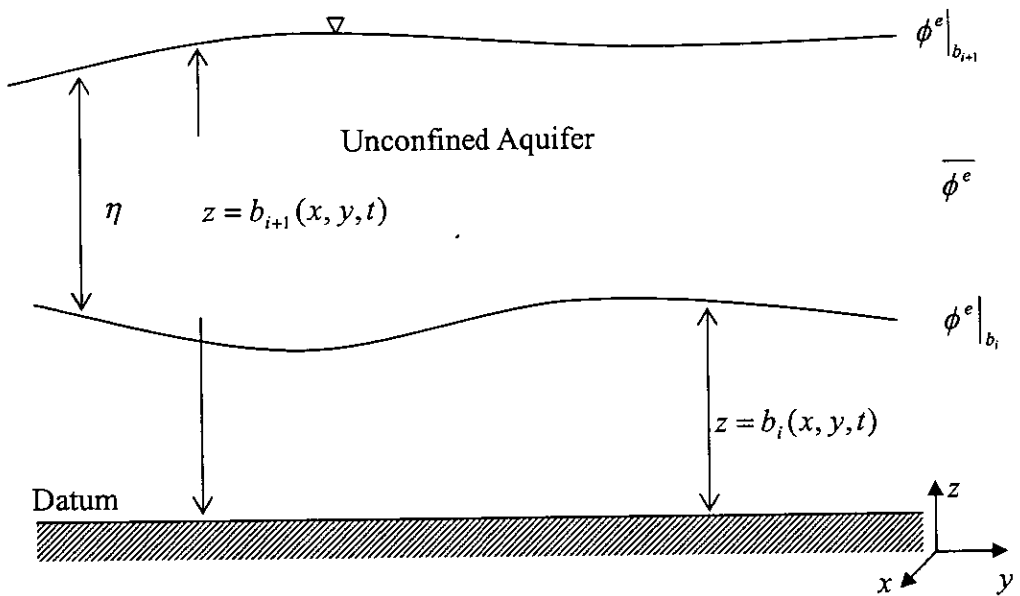


圖 4-2 非拘限含水層分層深度積分示意圖

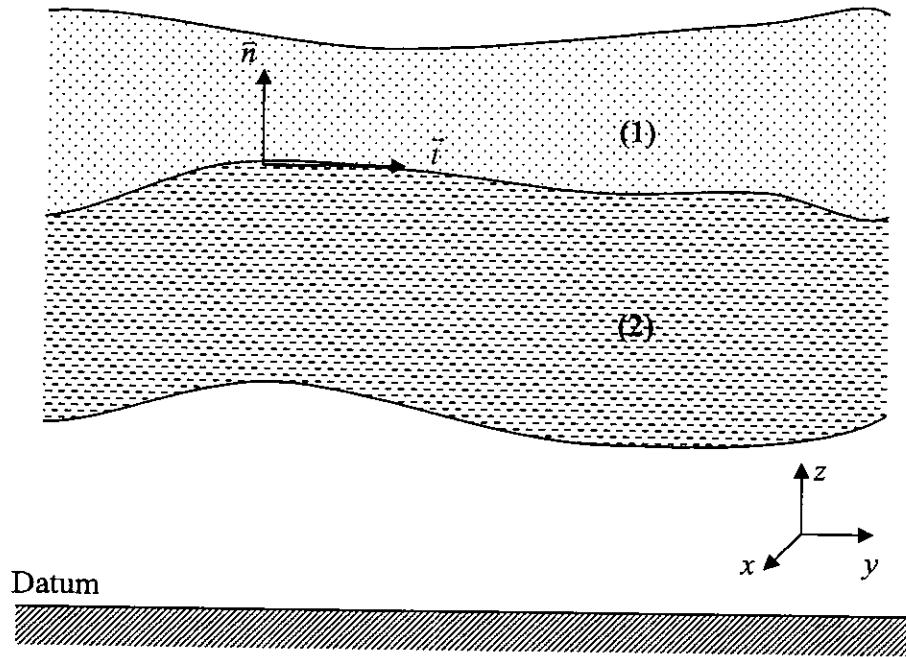


圖 4-3 垂直方向介面物理連接條件示意圖

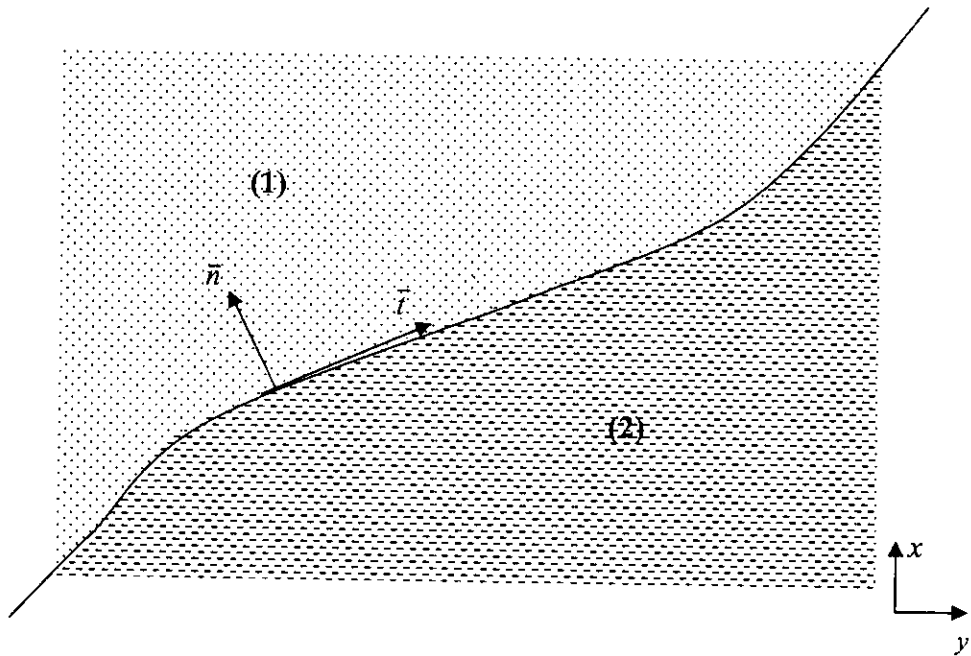
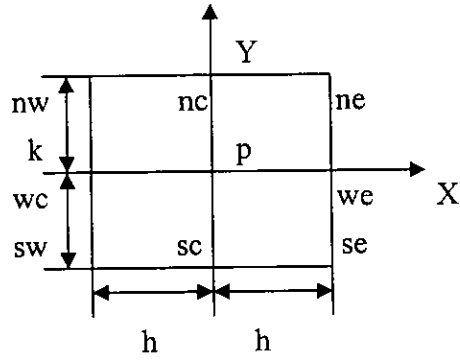
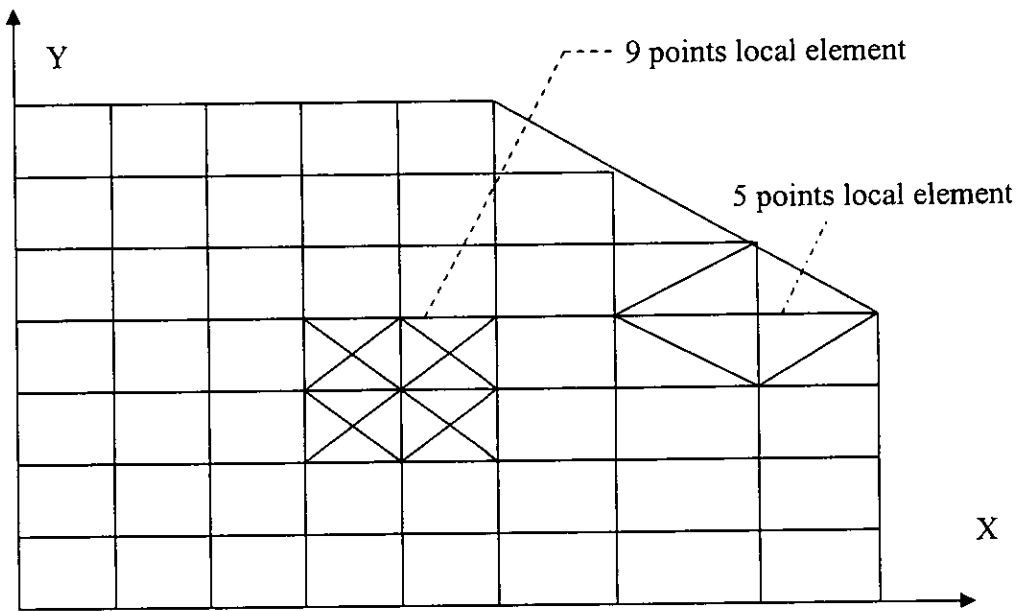


圖 4-4 水平方向介面物理連接條件示意圖



(a)九點局部元素圖



(b)模擬區域示意圖

圖 4-5 有限解析法說明圖

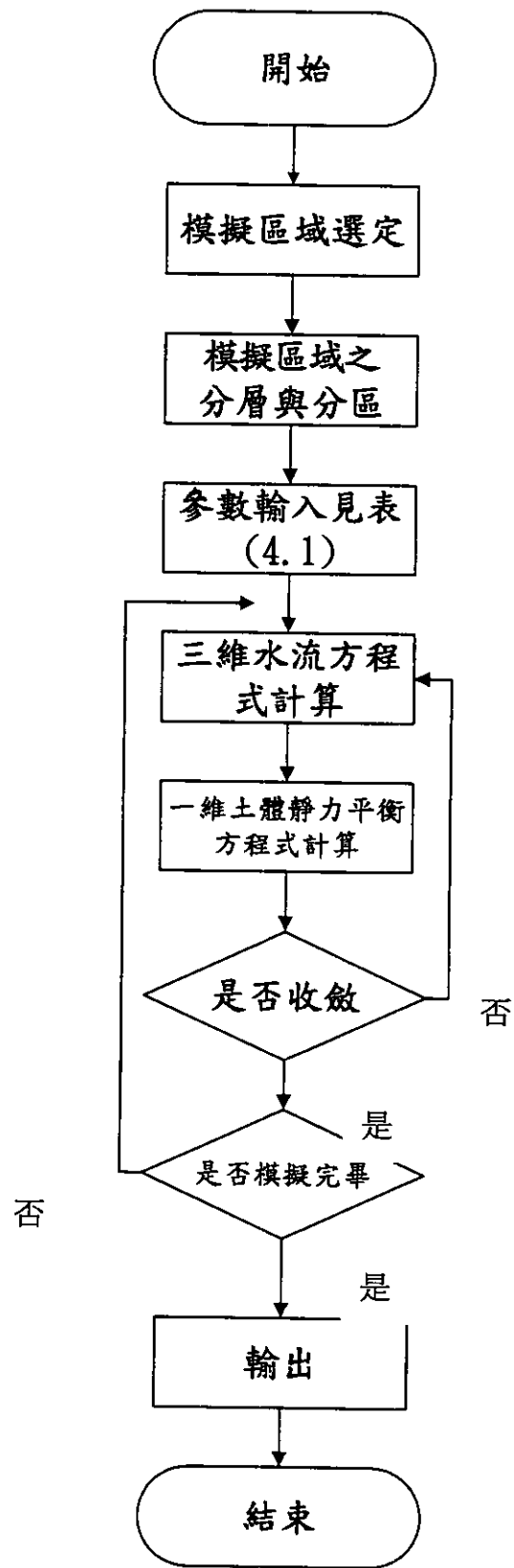


圖 4-6 一維耦合地層下陷模式計算流程

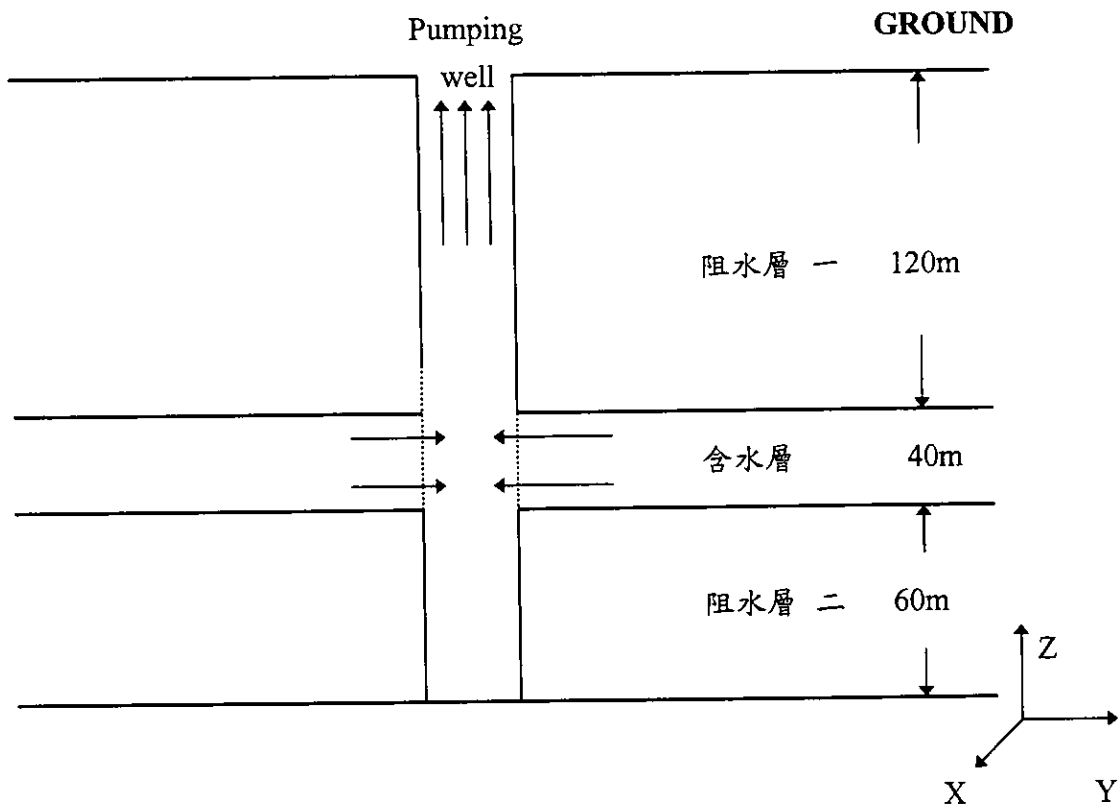


圖 5-1 兩阻水層中間夾一含水層測試案例垂向示意圖

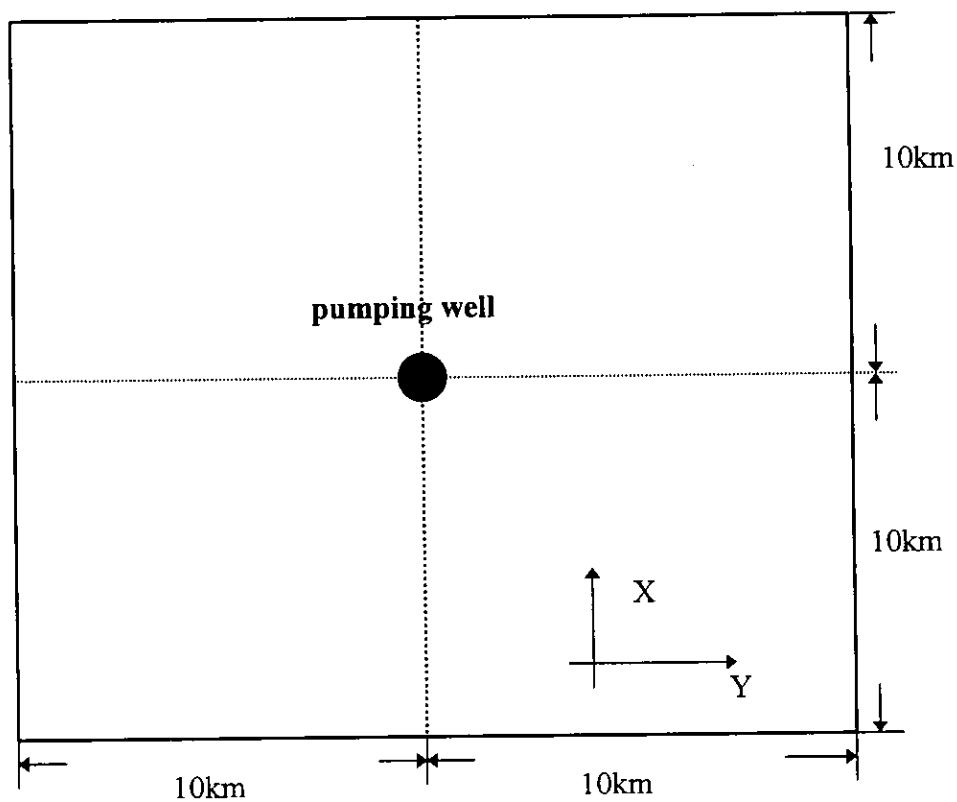


圖 5-2 兩阻水層中間夾一含水層測試案例水平示意圖

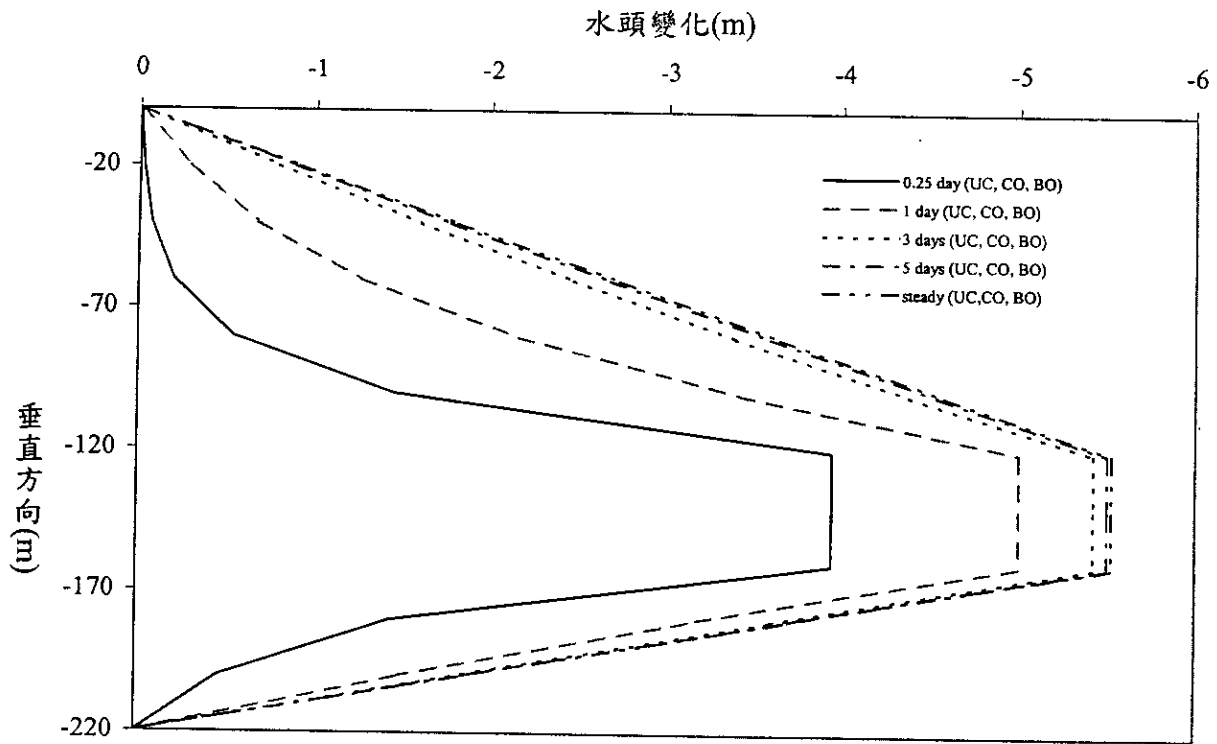


圖 5-3(a) 兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處水頭變化模擬結果
(浮體重力參數為 0.00386, 0.00193)

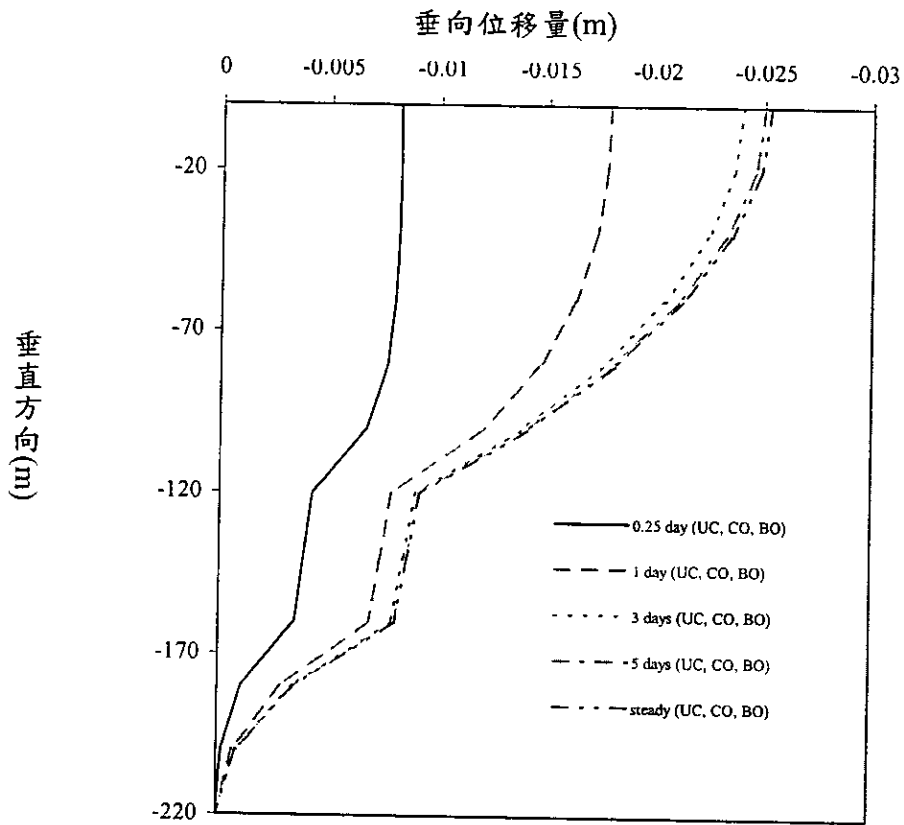


圖 5-3(b) 兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處垂向位移模擬結果
(浮體重力參數為 0.00386, 0.00193)

有效應力(N/m²)

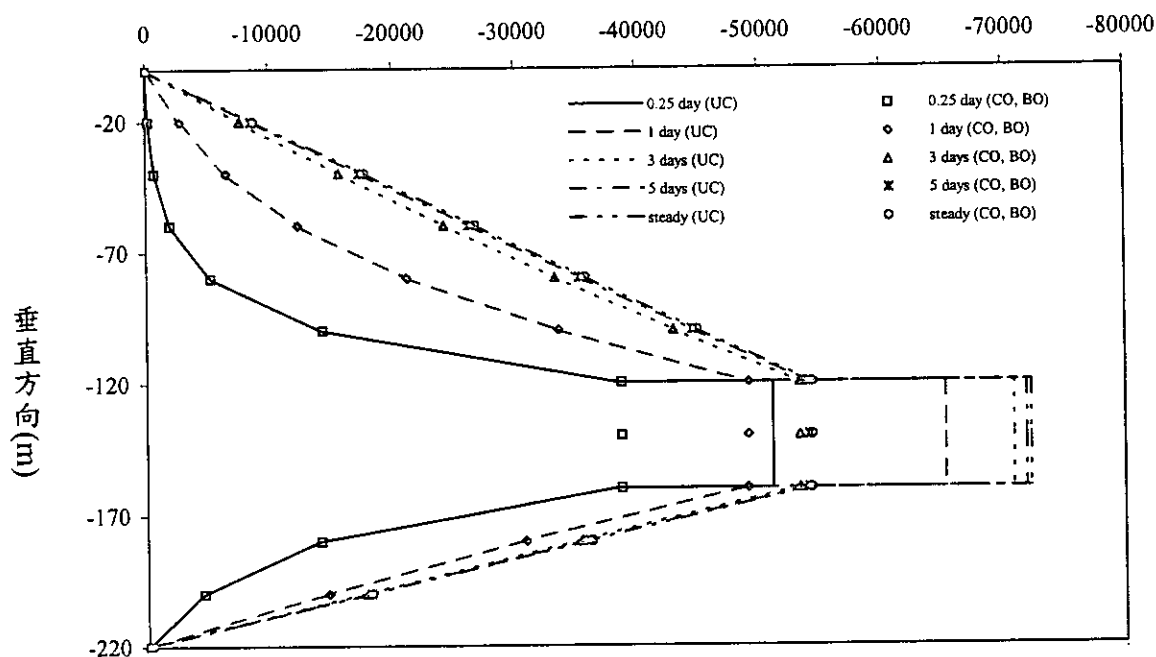


圖 5-3(c) 兩阻水層中夾一含水層案例抽水井處有效應力模擬結果
(浮體重力參數為 0.00386, 0.00193)

水頭變化(m)

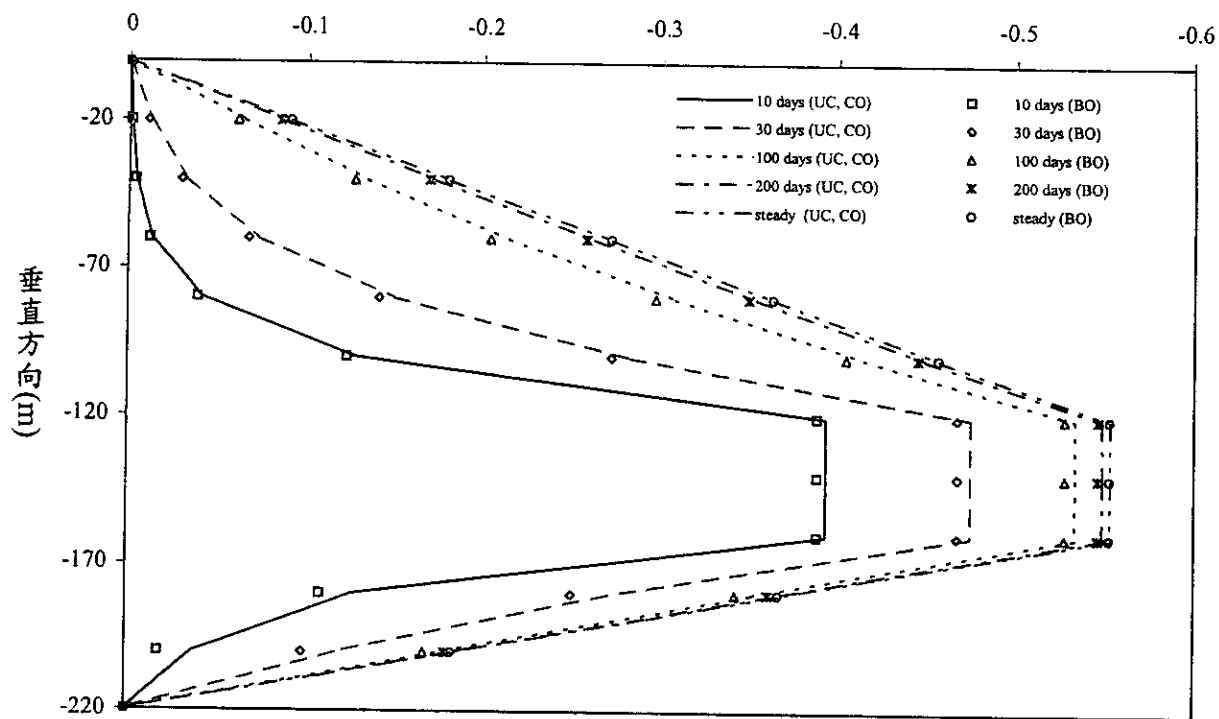


圖 5-4(a) 兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處水頭變化模擬結果
(浮體重力參數為 0.19, 0.095)

垂向位移量(m)

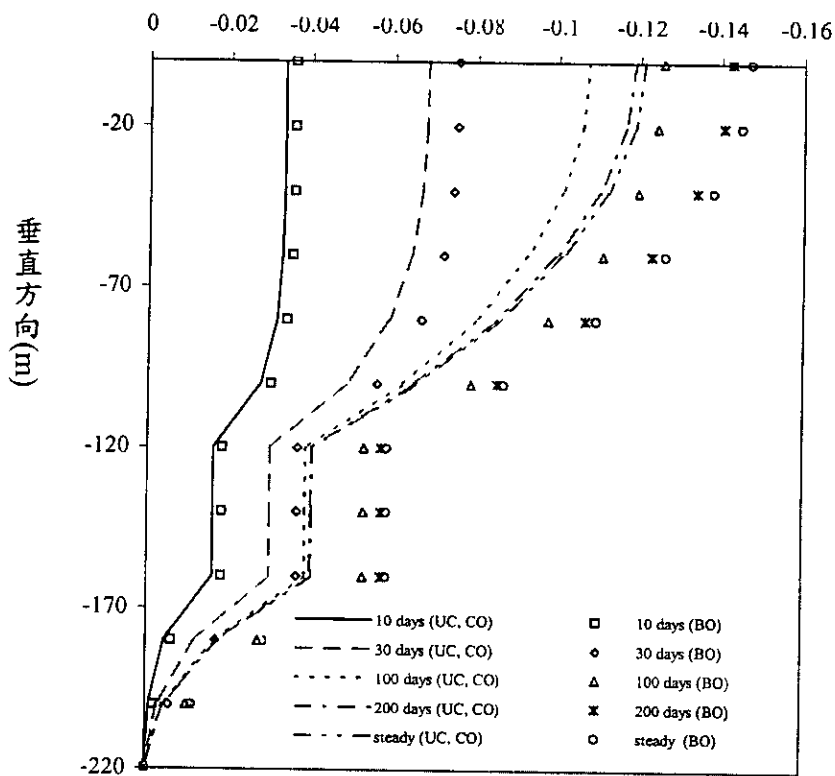


圖 5-4(b) 兩阻水層中間夾一含水層案例抽水井處垂向位移模擬結果
(浮體重力參數為 0.19, 0.095)

有效應力(N/m²)

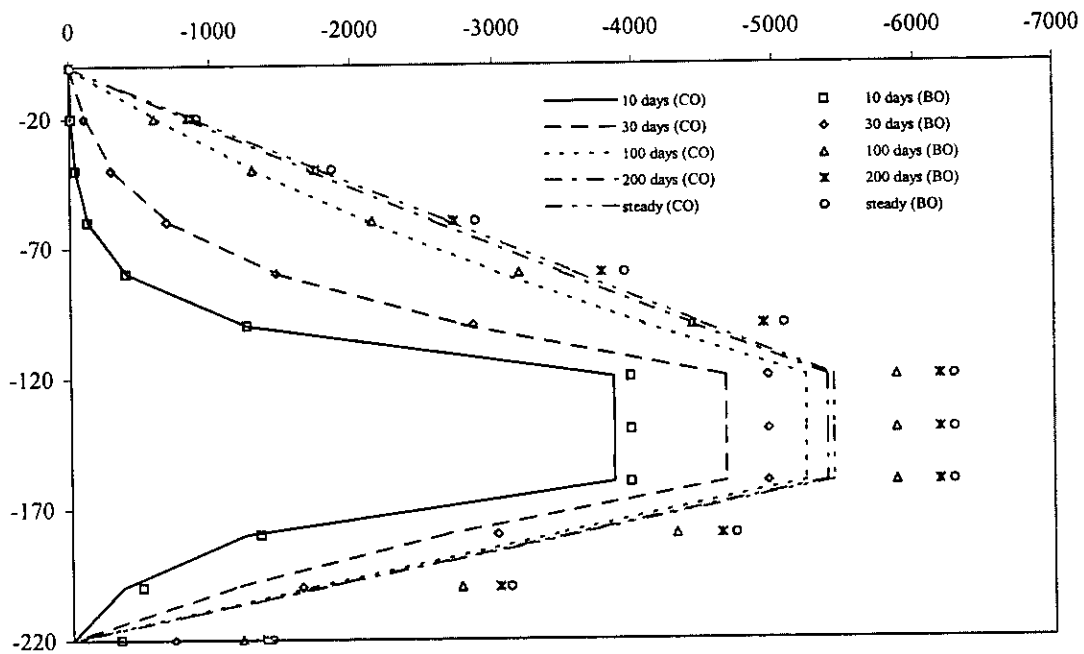
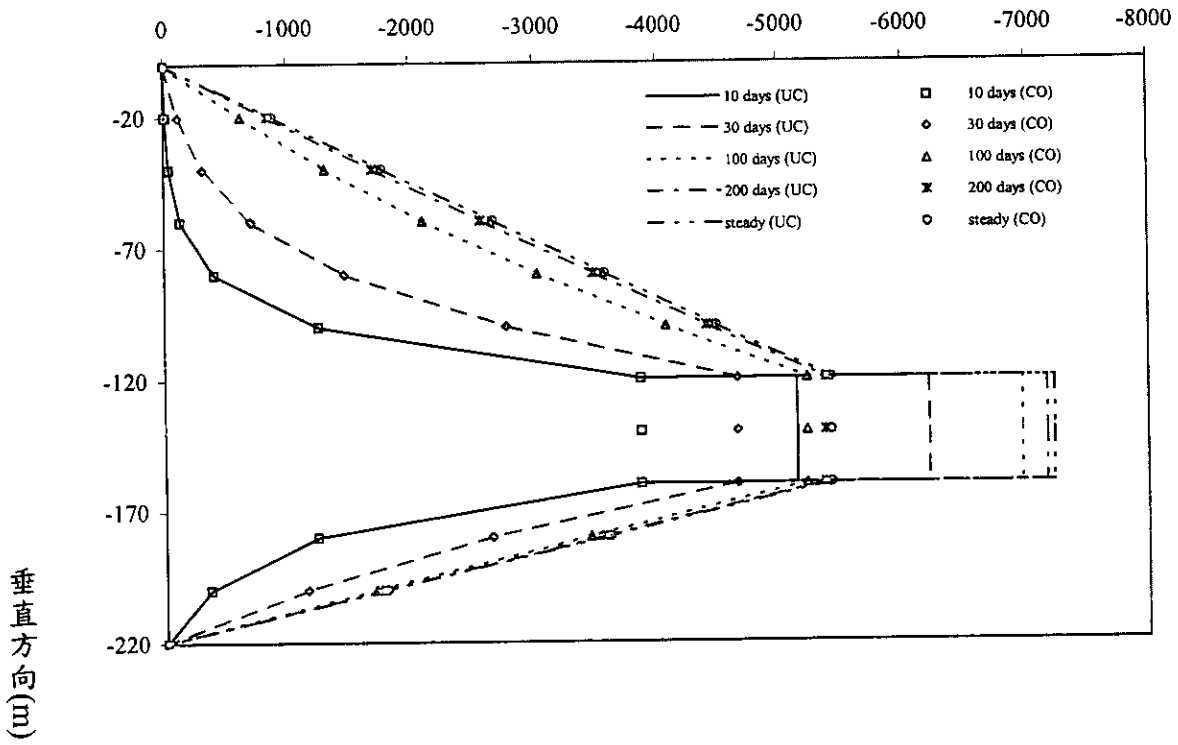


圖 5-4(c) 兩阻水層中央一含水層案例抽水井處有效應力模擬結果
(浮體重力參數為 0.19, 0.095)

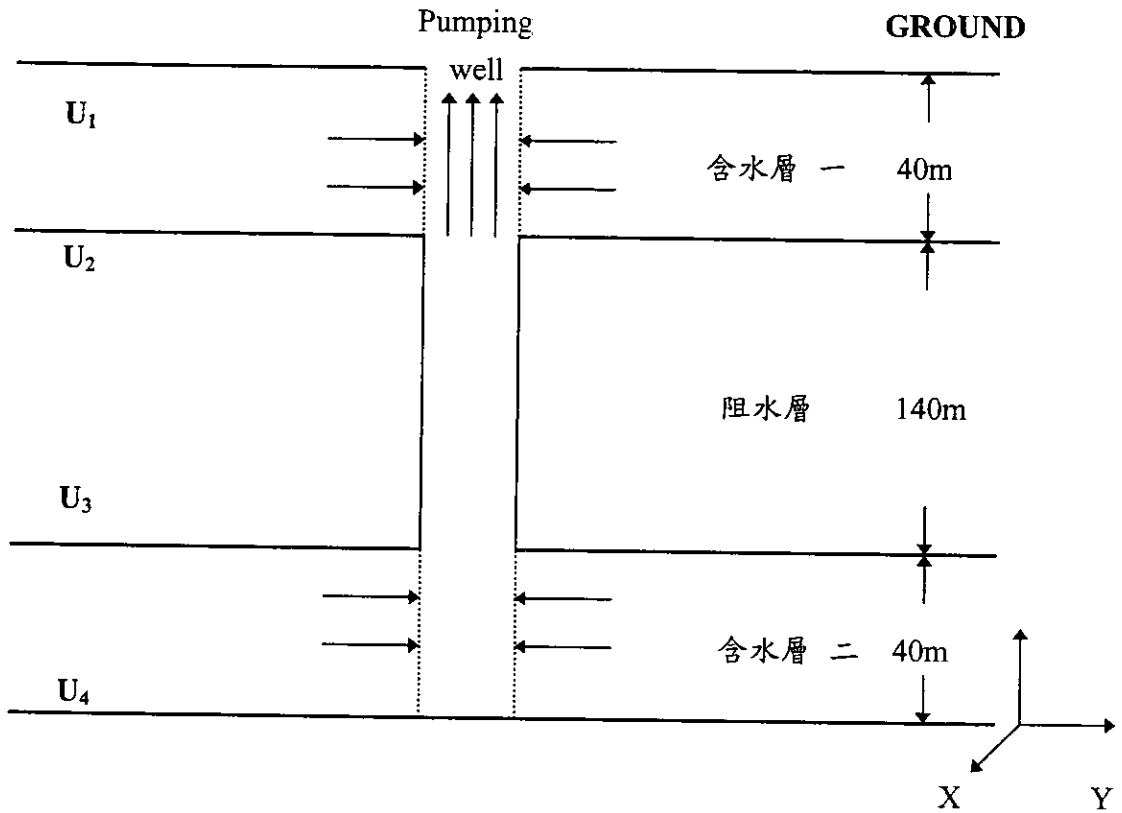


圖 5-5 兩含水層中間夾一阻水層測試案例垂向示意圖

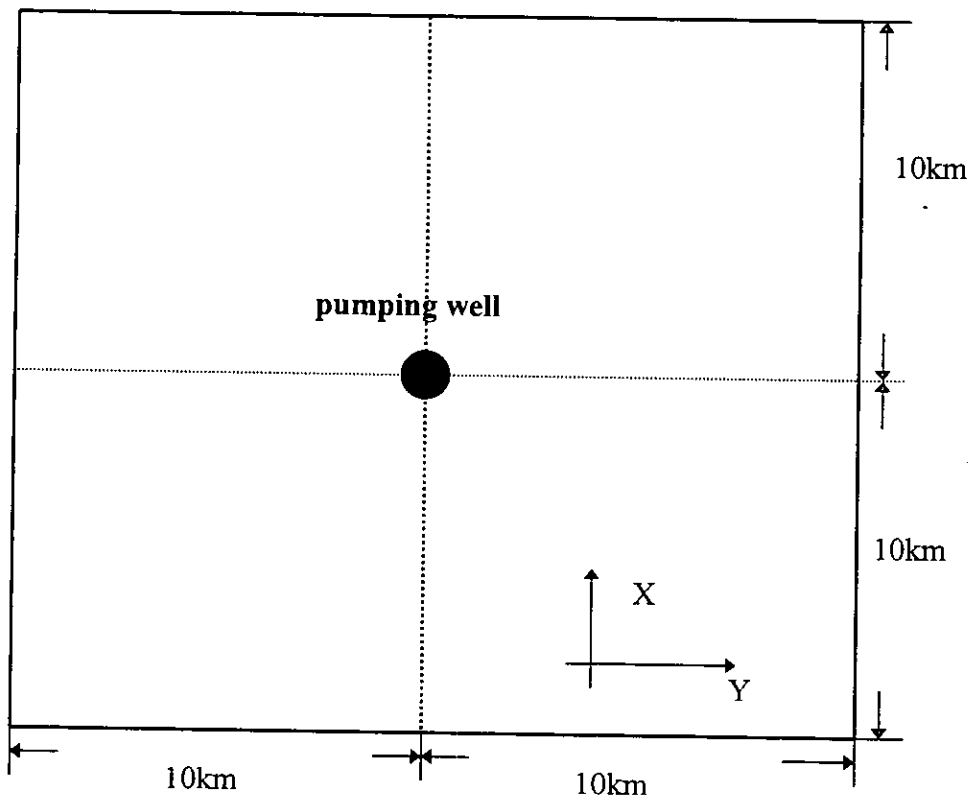
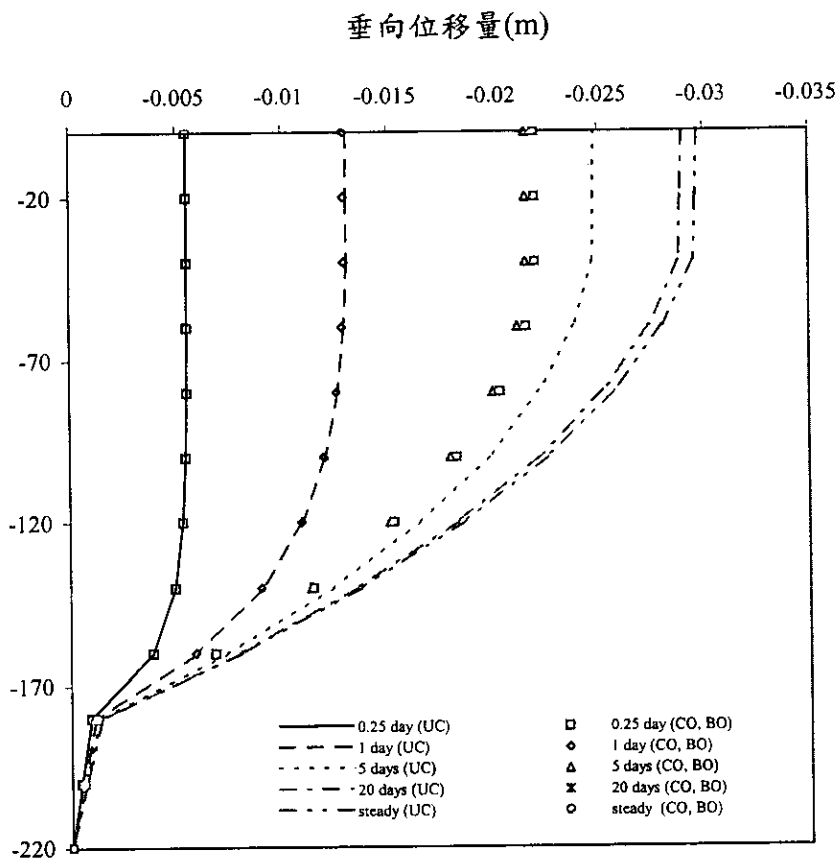
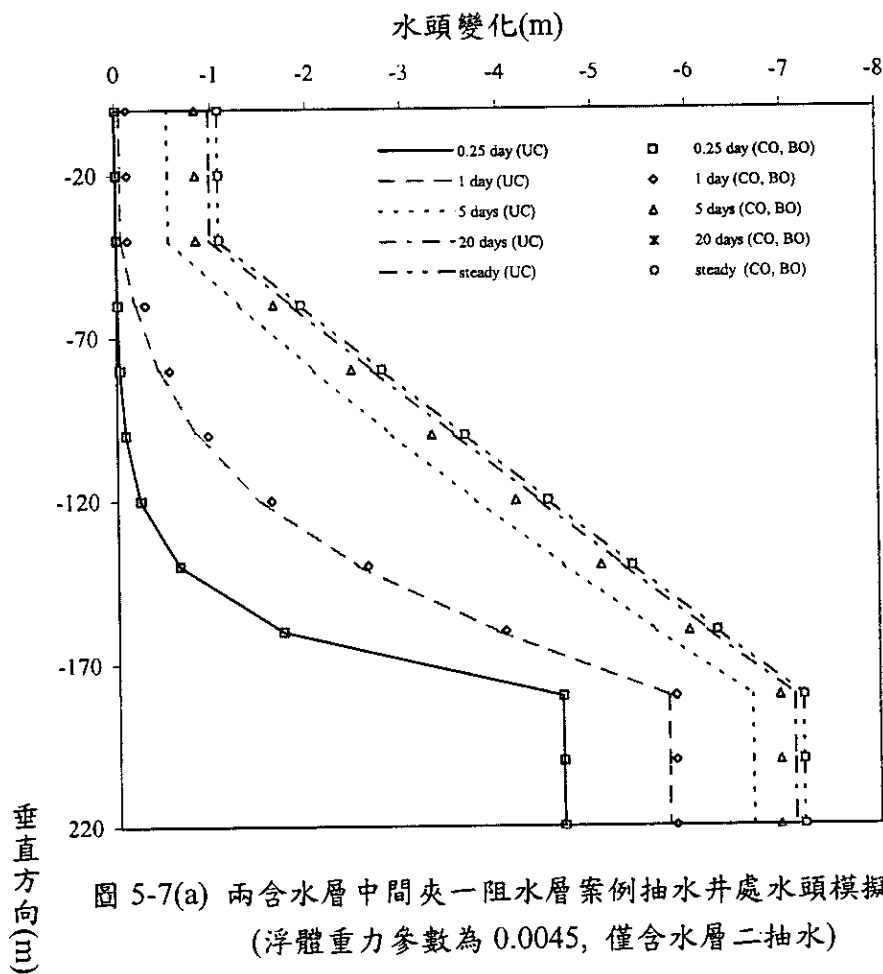


圖 5-6 兩含水層中間夾一阻水層測試案例水平示意圖



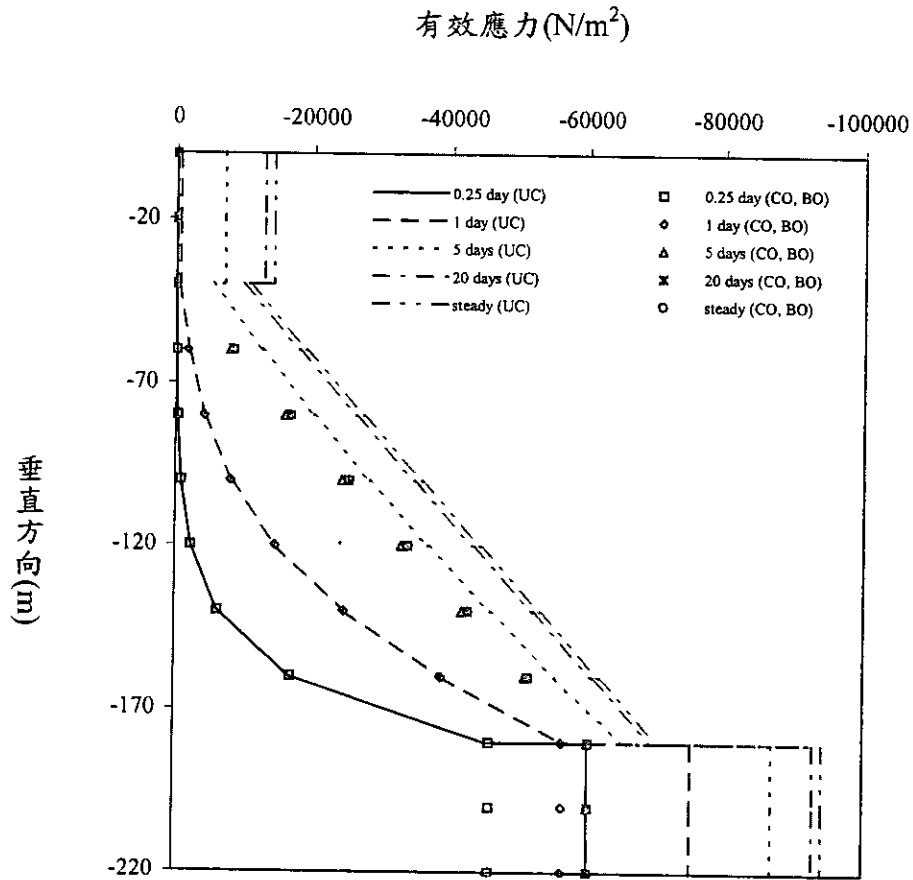


圖 5-7(c) 兩含水層中夾一阻水層案例抽水井處有效應力模擬結果
(浮體重力參數為 0.0045, 僅含水層二抽水)

水頭變化(m)

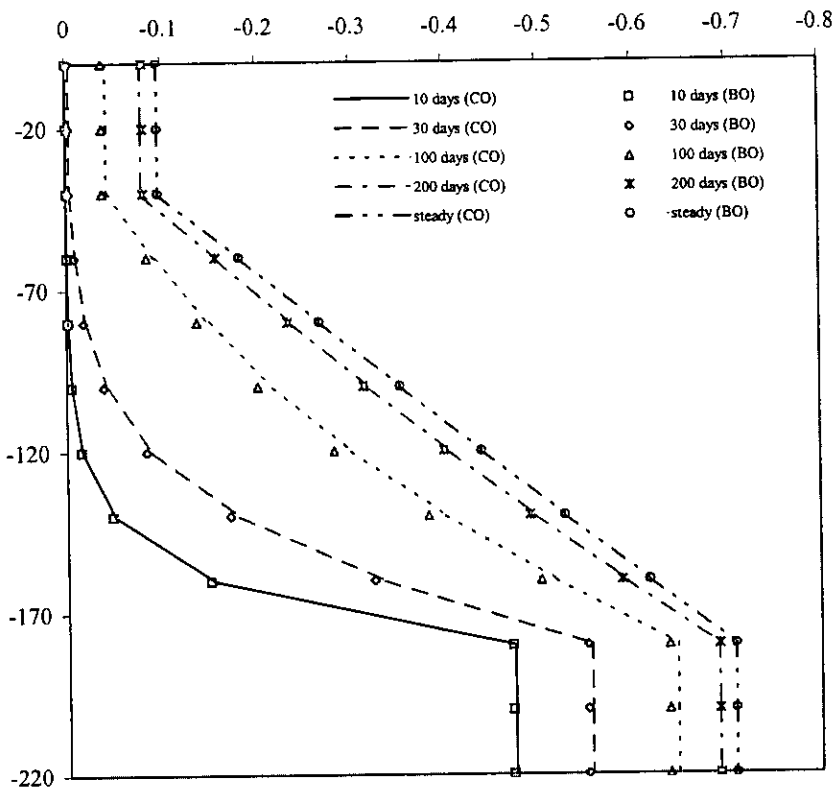
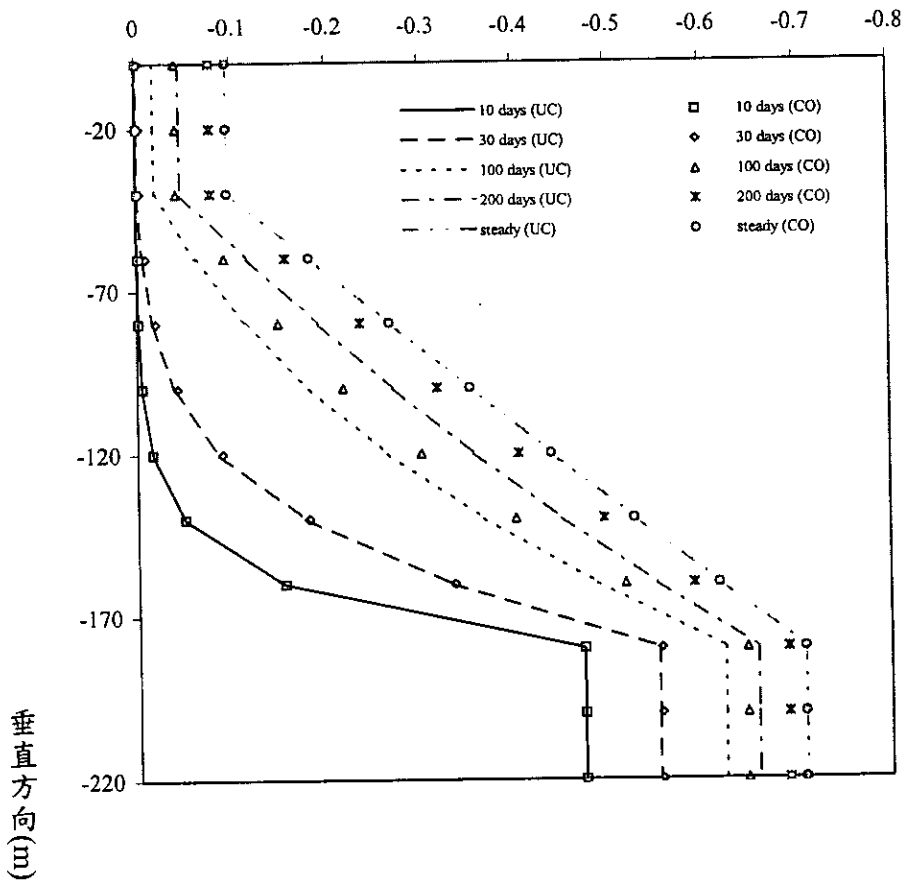


圖 5-8(a) 兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處水頭模擬結果
(浮體重力參數為 0.225, 僅含水層二抽水)

垂向位移量(m)

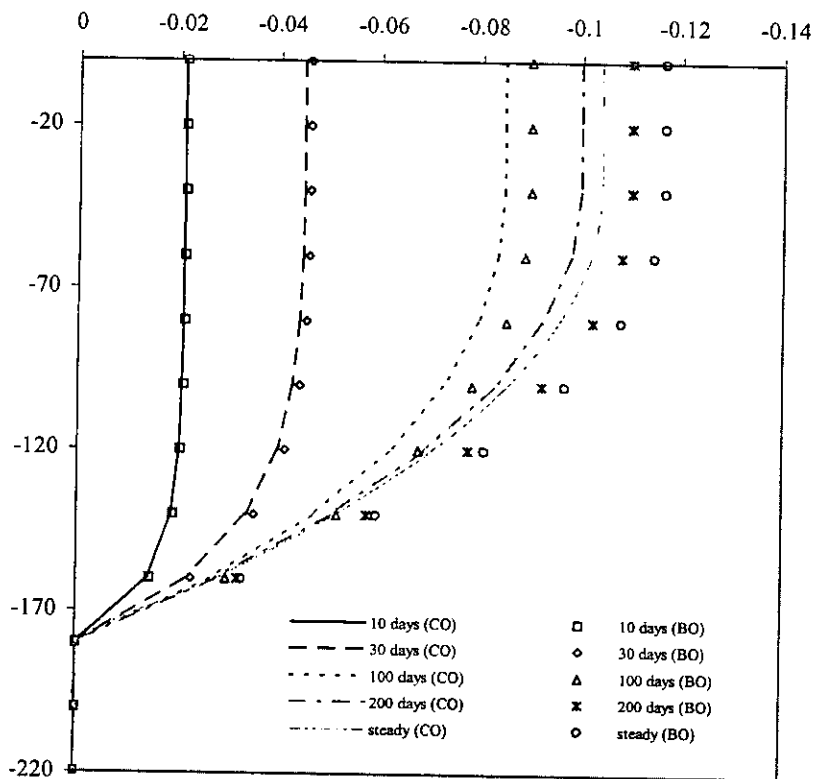
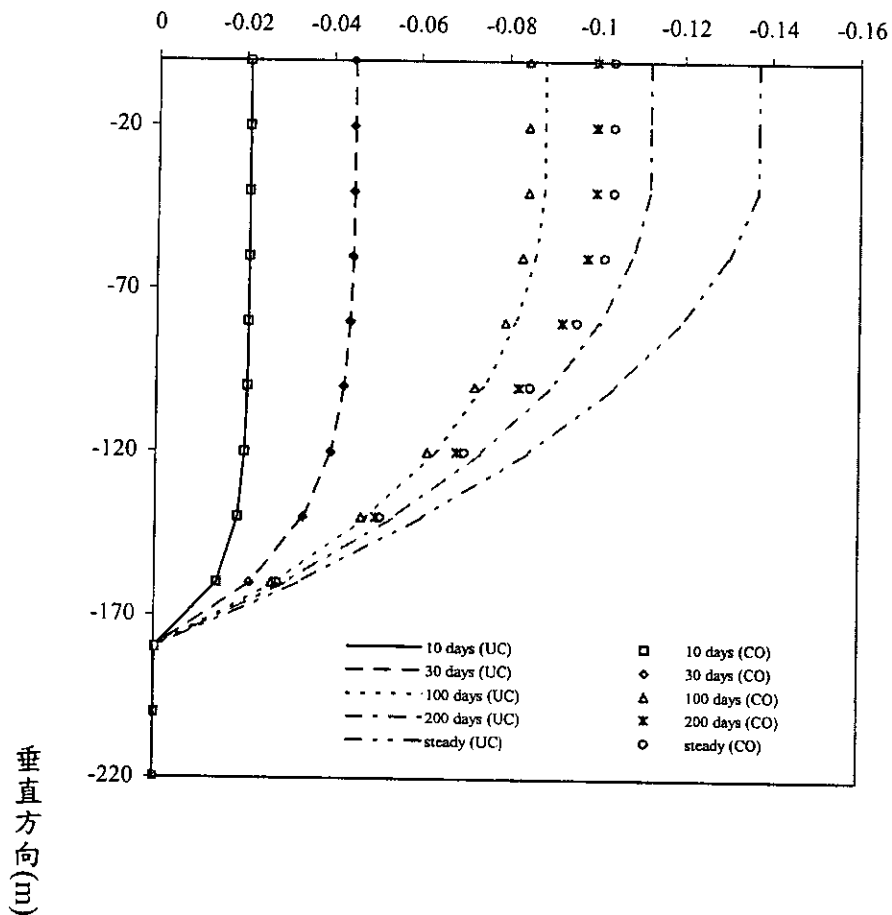


圖 5-8(b)兩含水層中間夾一阻水層案例抽水井處垂向位移模擬結果
(浮體重力參數為 0.225, 僅含水層二抽水)

有效應力(N/m²)

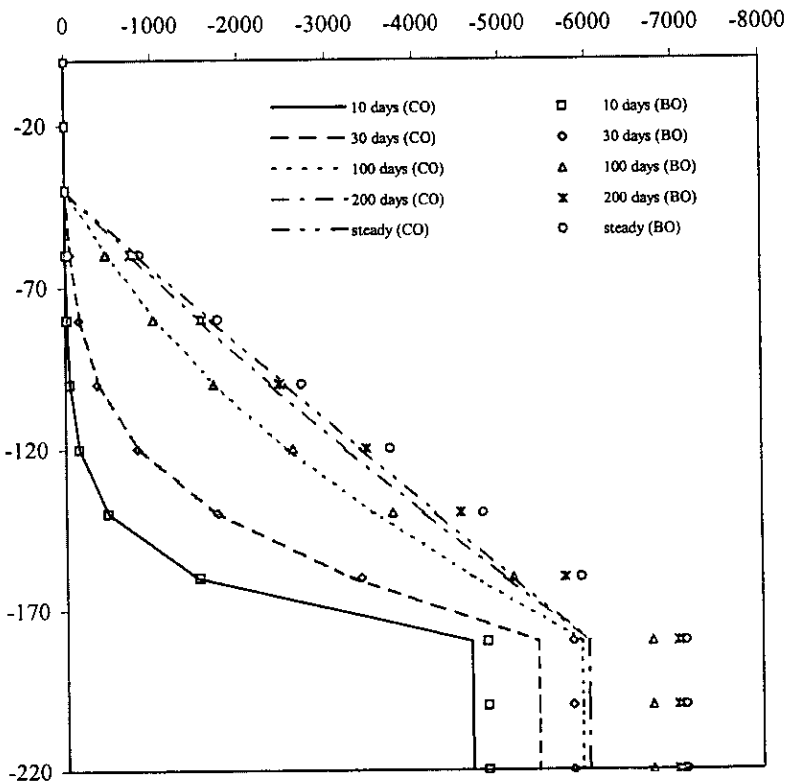
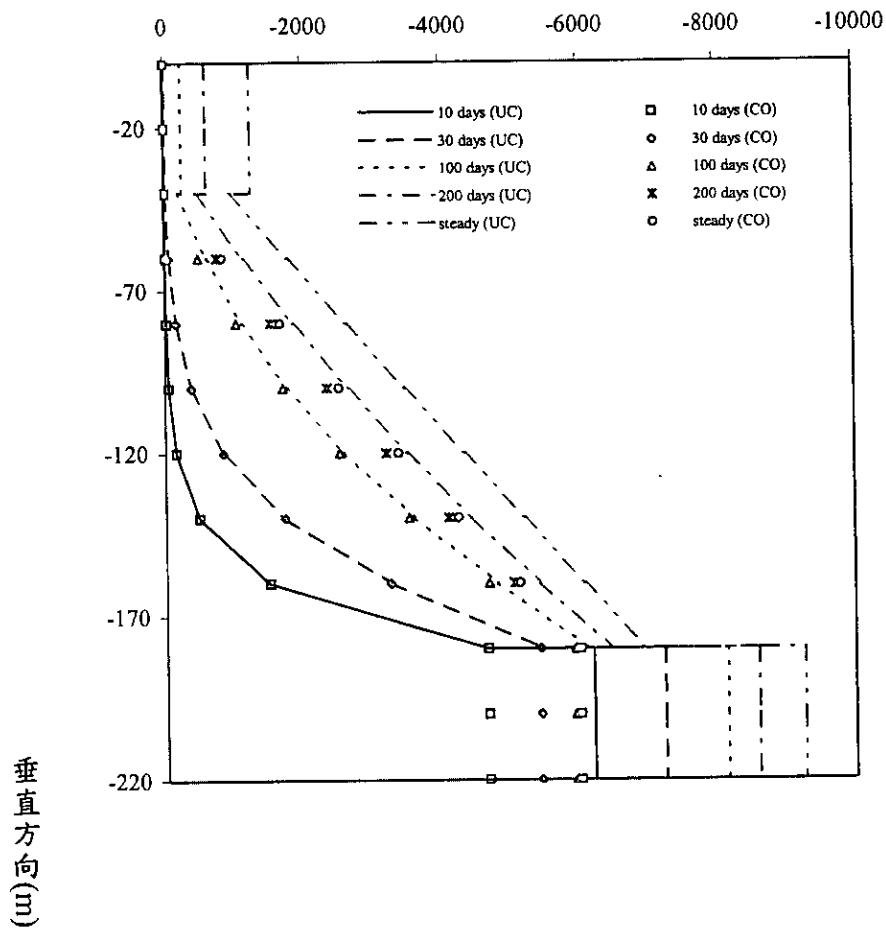
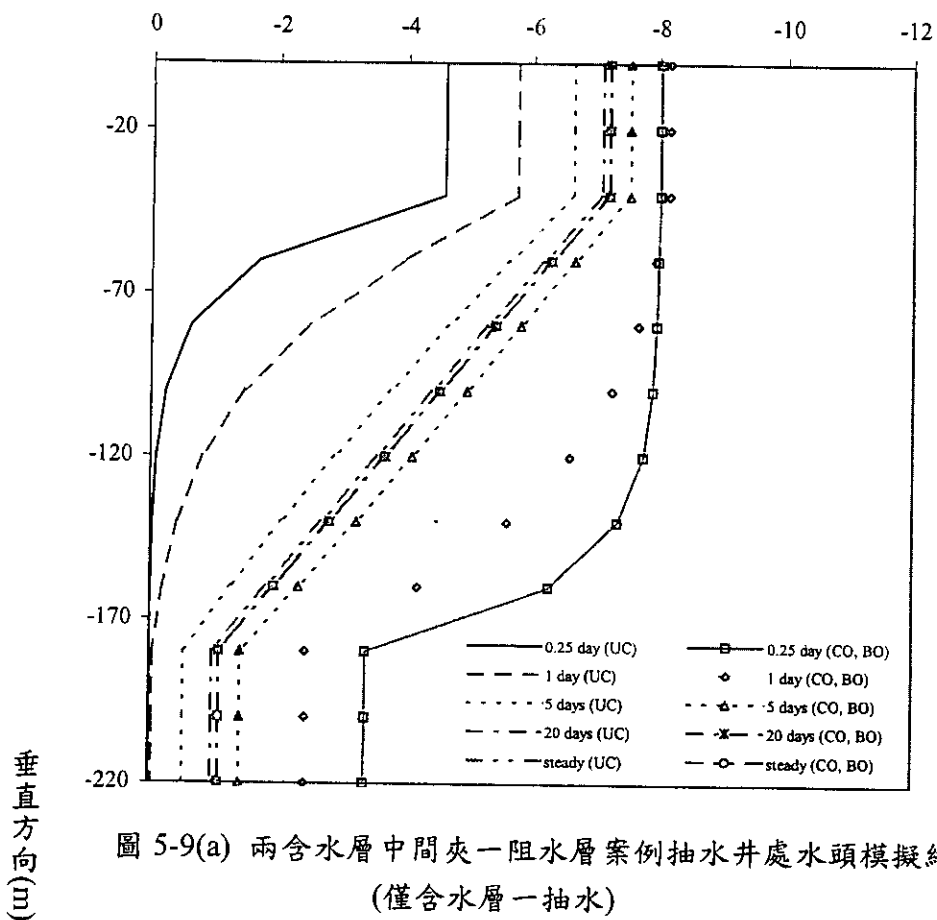
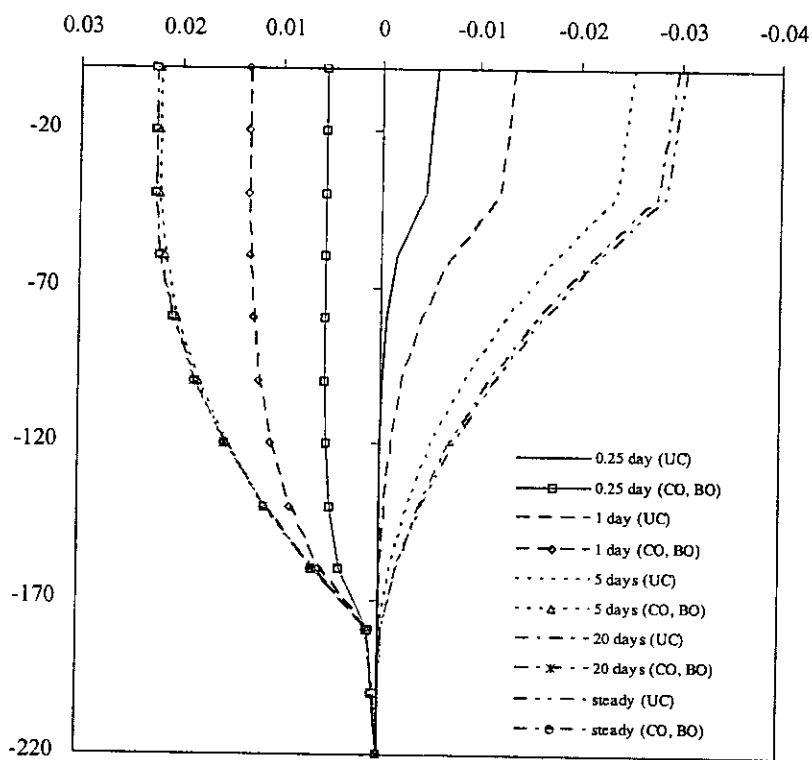


圖 5-8(c) 兩含水層中夾一阻水層案例抽水井處有效應力模擬結果
(浮體重力參數為 0.225, 僅含水層二抽水)

水頭變化(m)



垂向位移量(m)



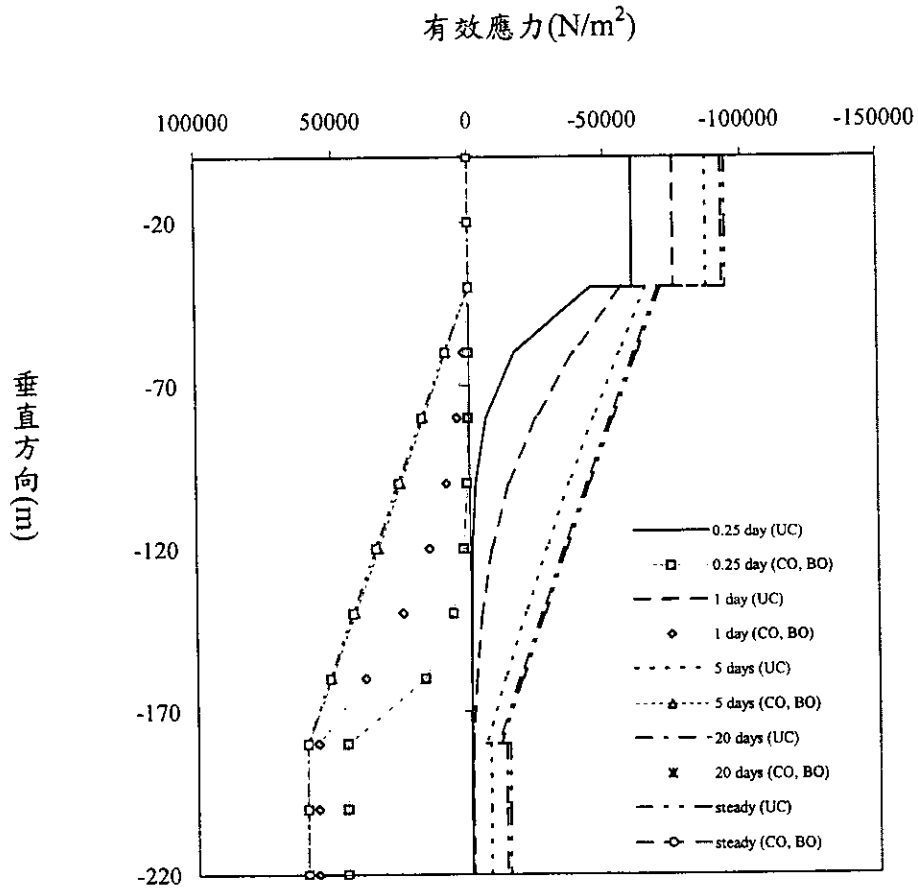


圖 5-9(c)兩含水層中夾一阻水層案例抽水井處有效應力模擬結果
(僅含水層一抽水)

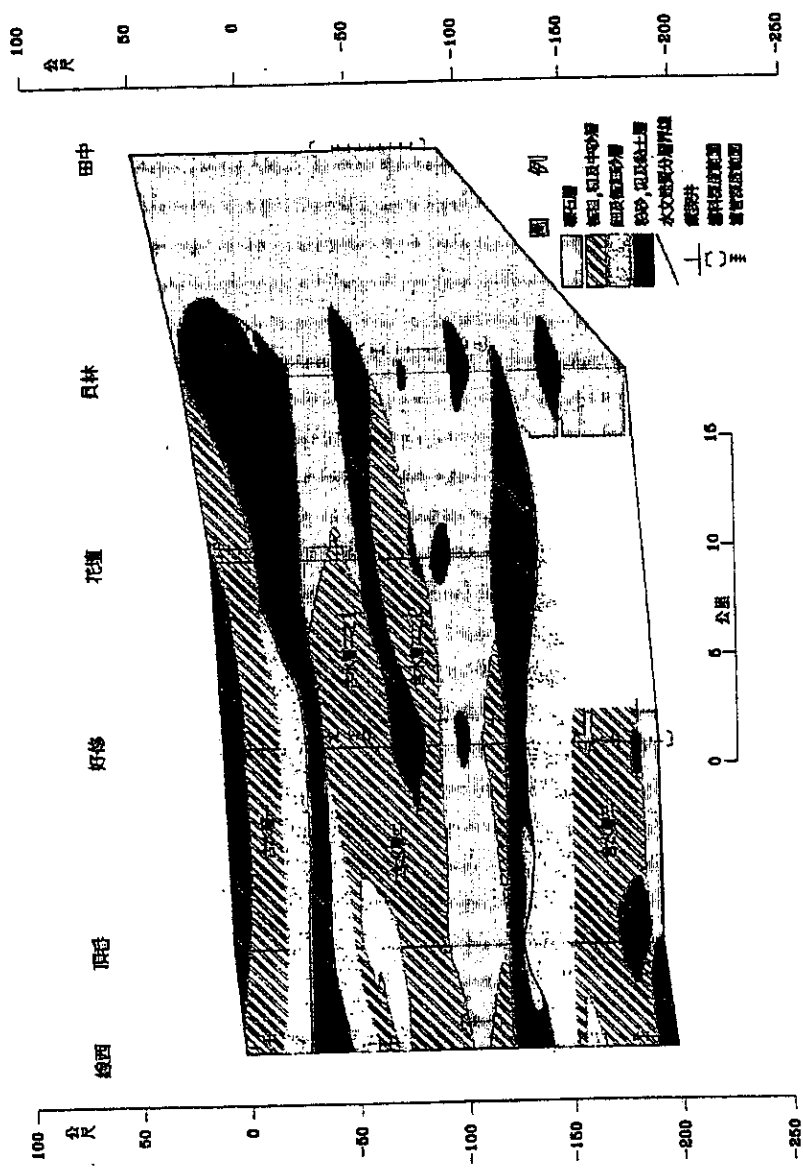


圖 6-2 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖一(資料來源：中央地質調查所)

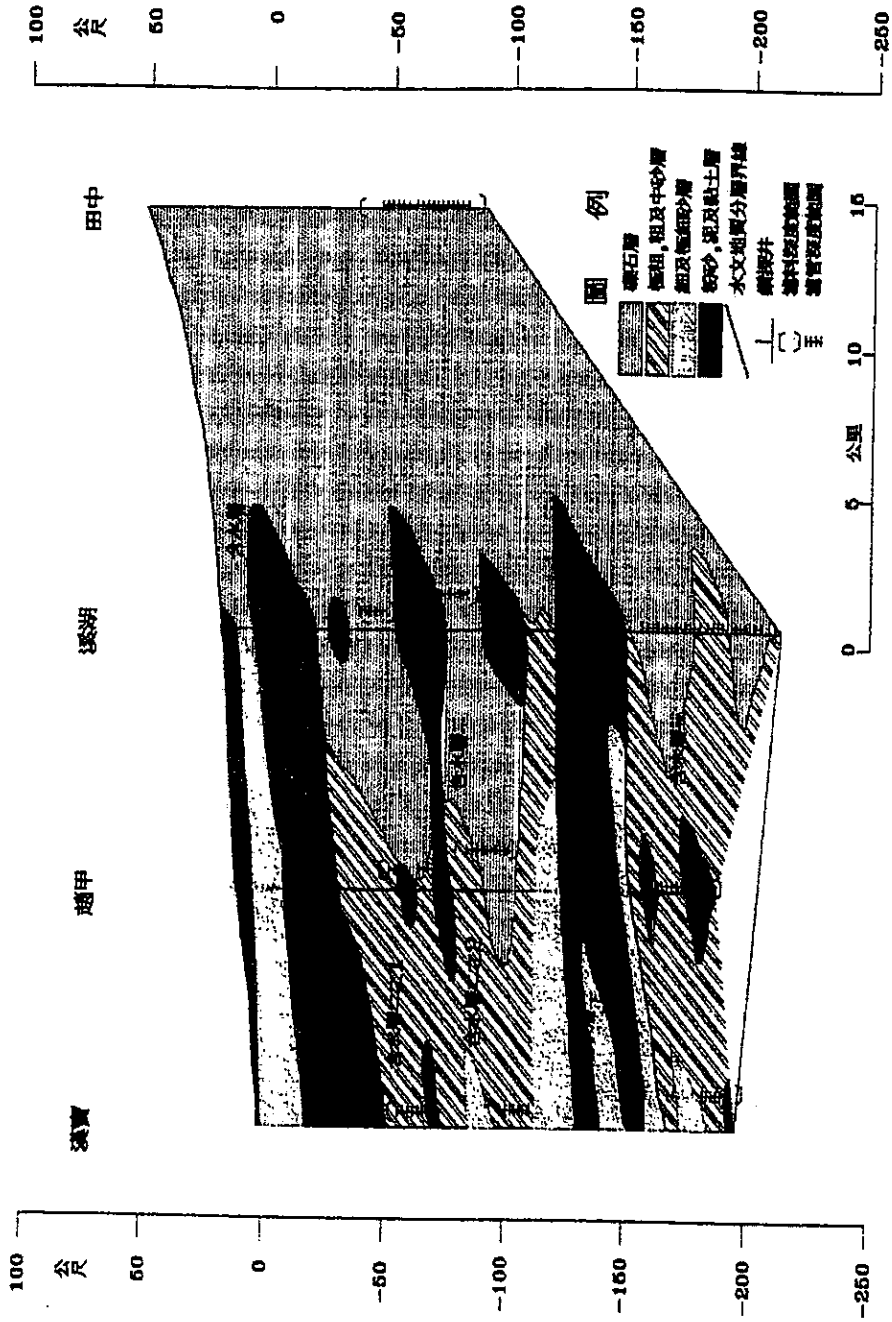


圖 6-3 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖二(資料來源：中央地質調查所)

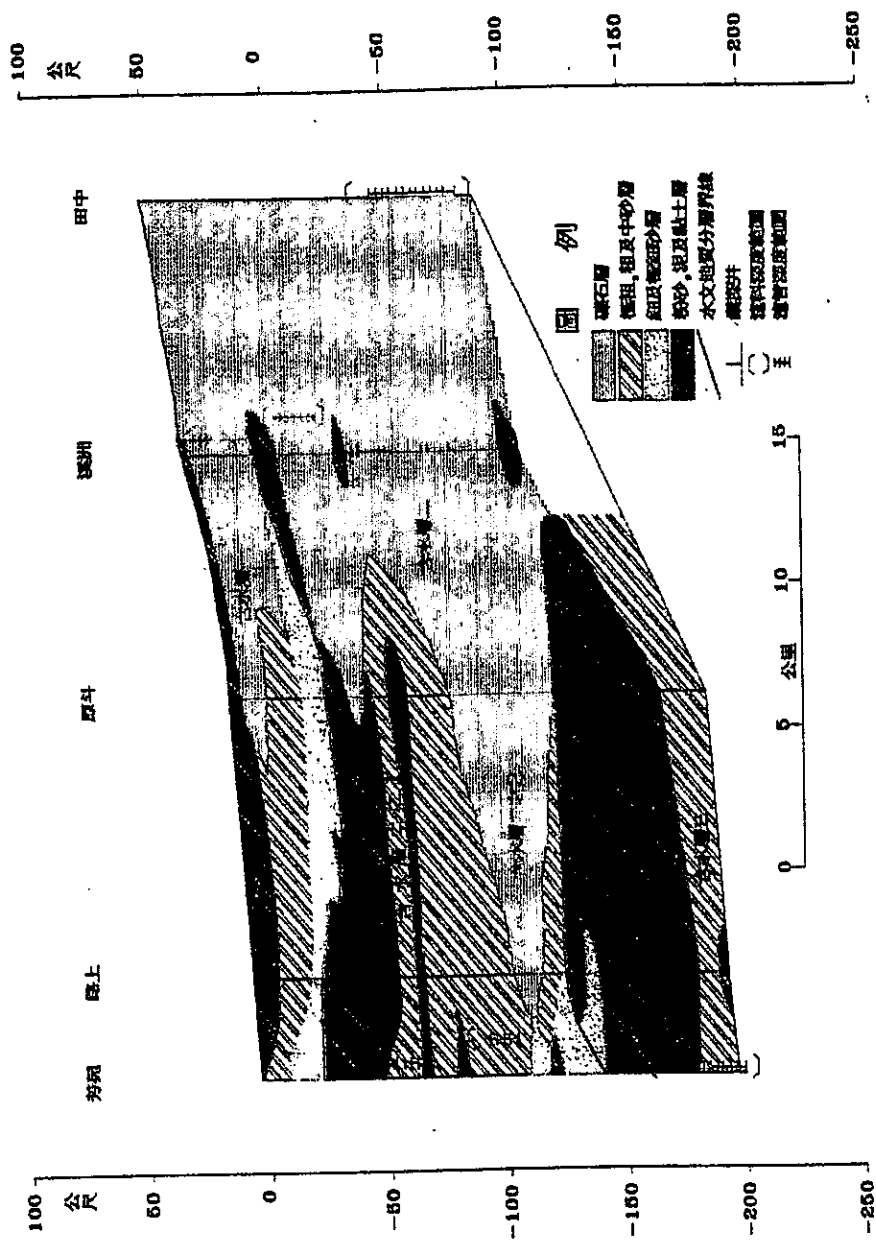


圖 6-4 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖三(資料來源：中央地質調查所)

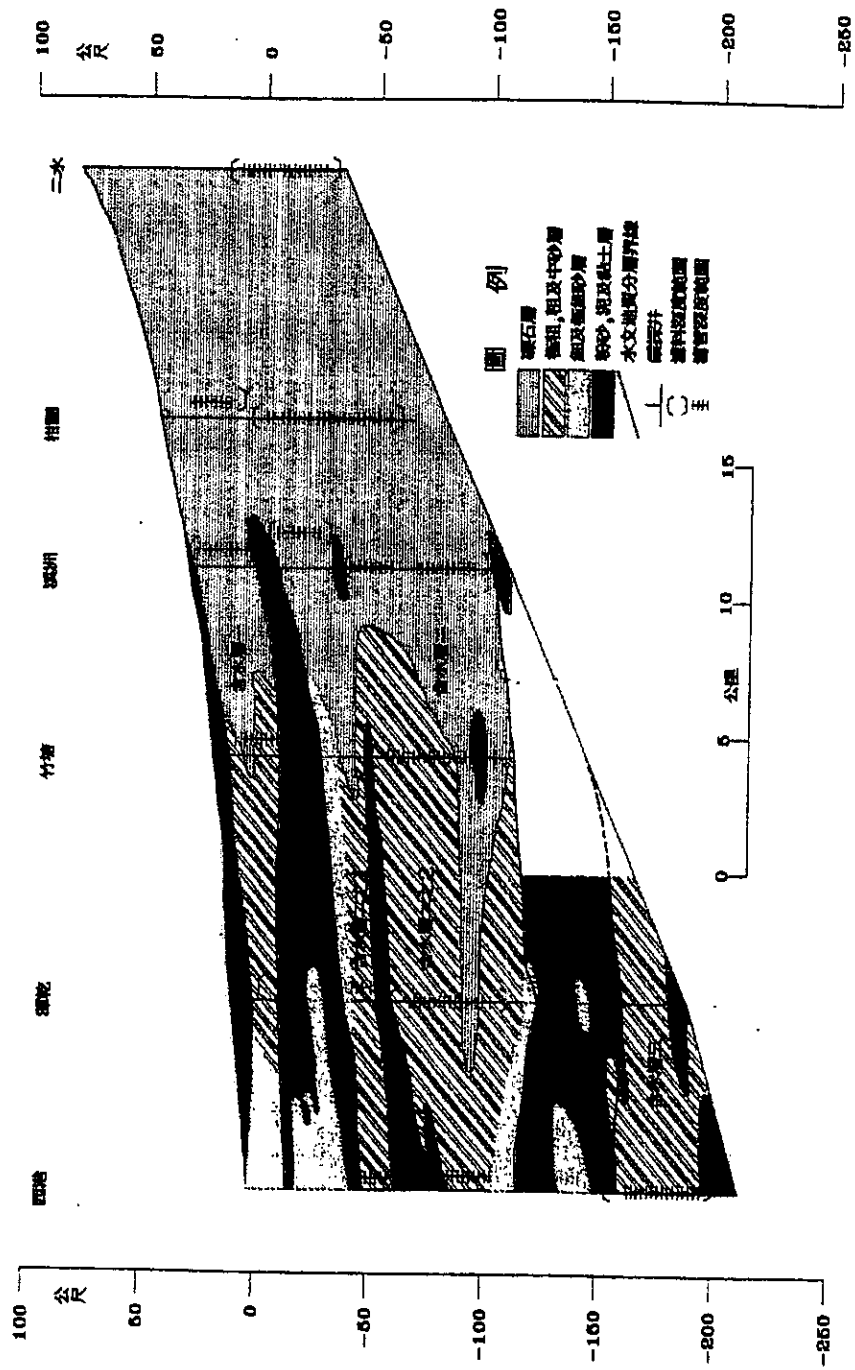


圖 6-5 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖四(資料來源：中央地質調查所)

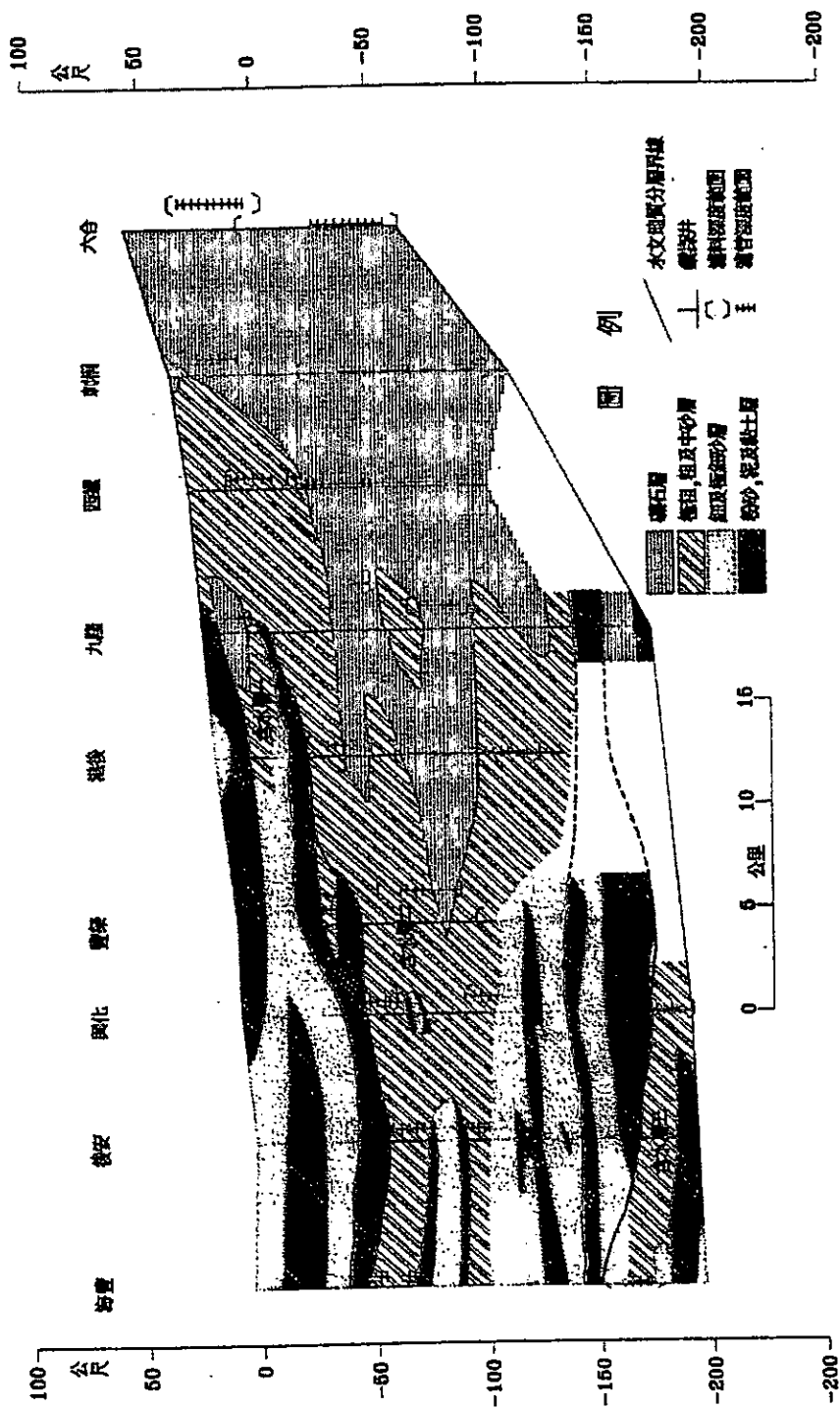


圖 6-6 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖五(資料來源：中央地質調查所)

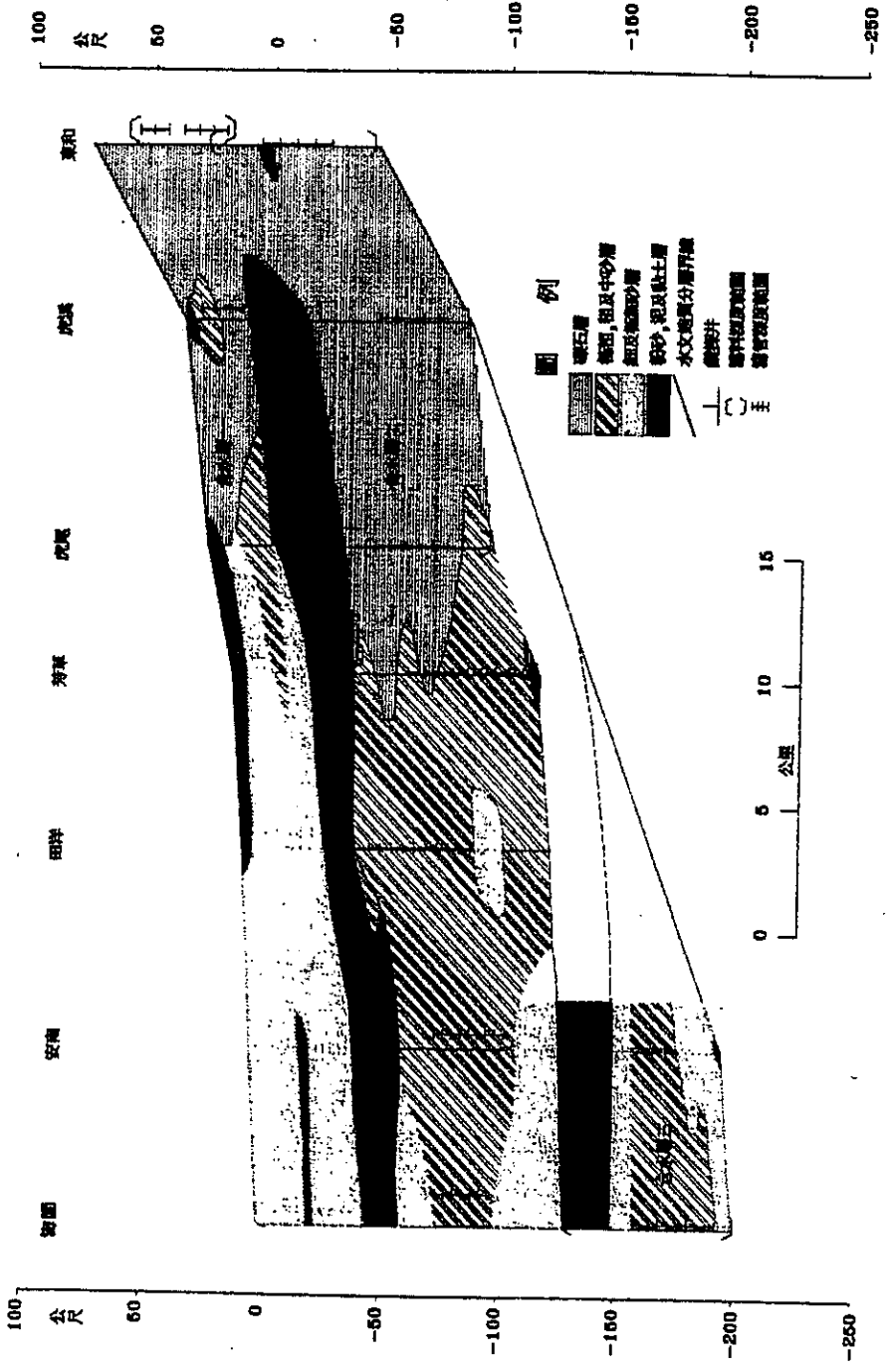


圖 6-7 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖六(資料來源：中央地質調查所)

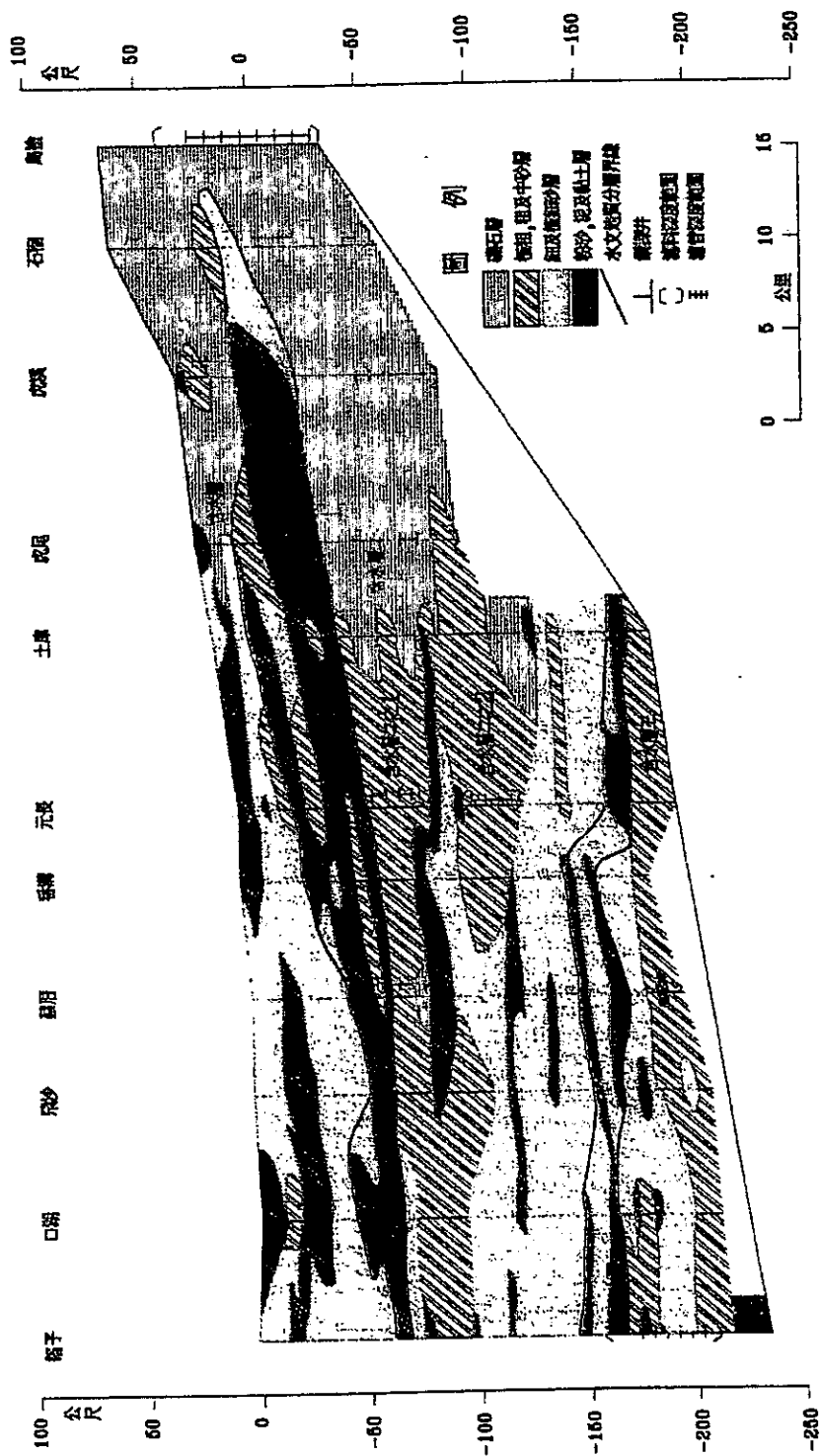


圖 6-8 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖七(資料來源：中央地質調查所)

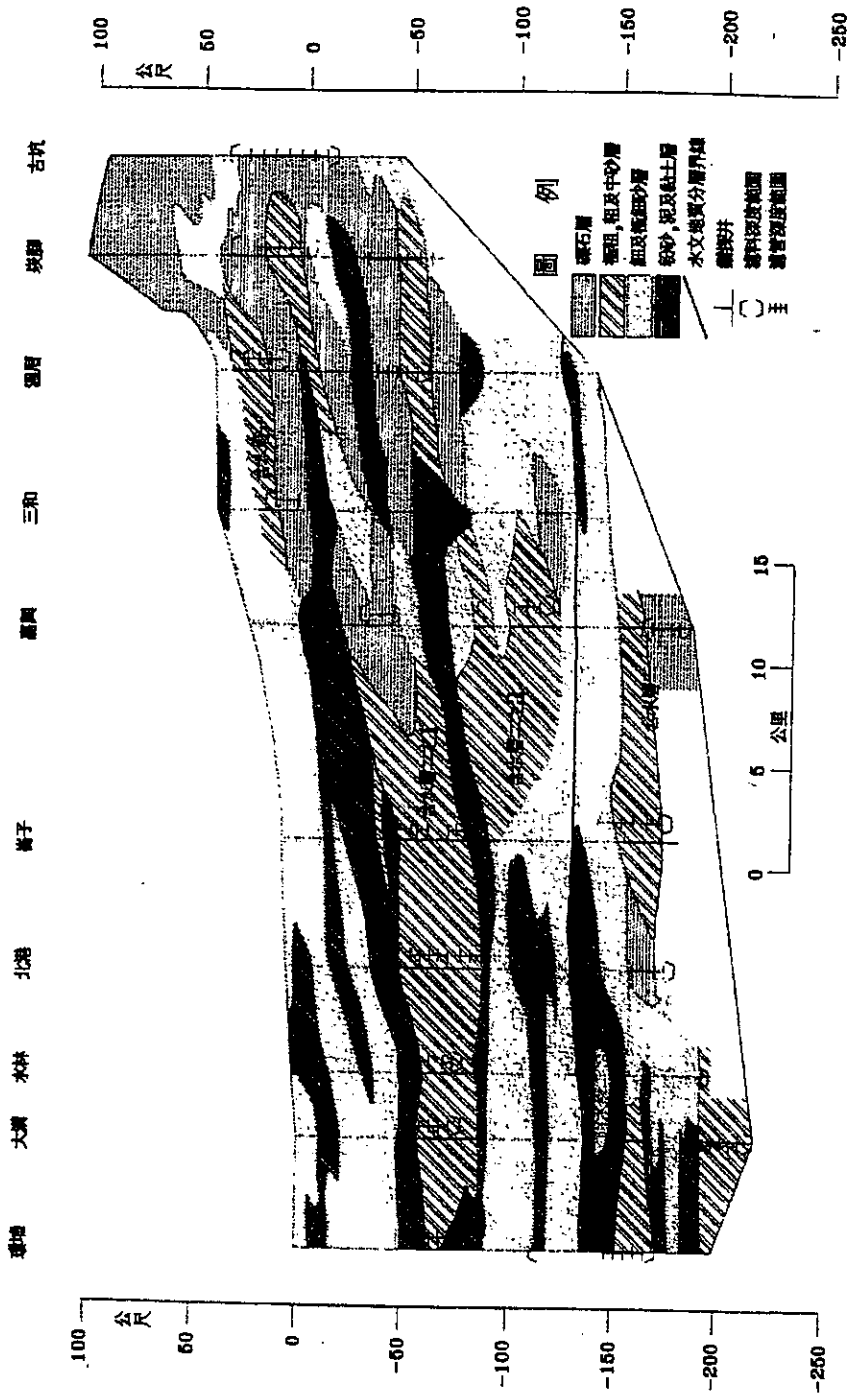


圖 6-9 濁水溪沖積扇水文地質剖面圖八(資料來源：中央地質調查所)

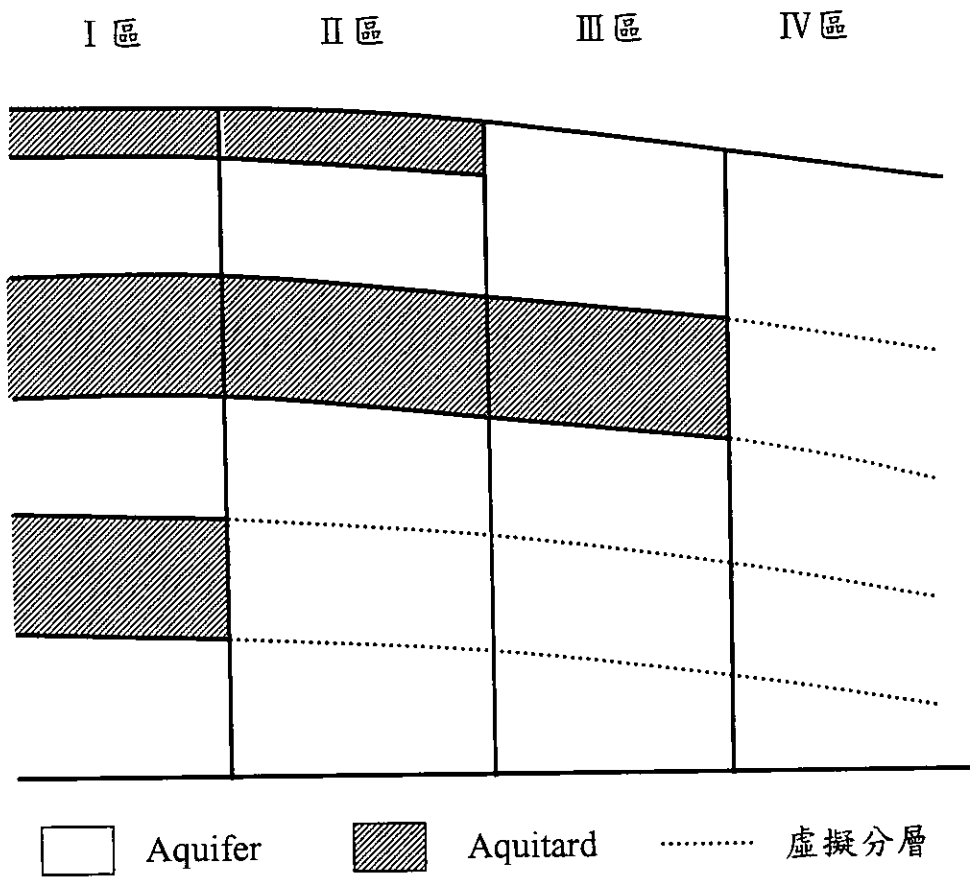


圖 6-10 濁水溪沖積扇地層下陷模擬垂直分層示意圖

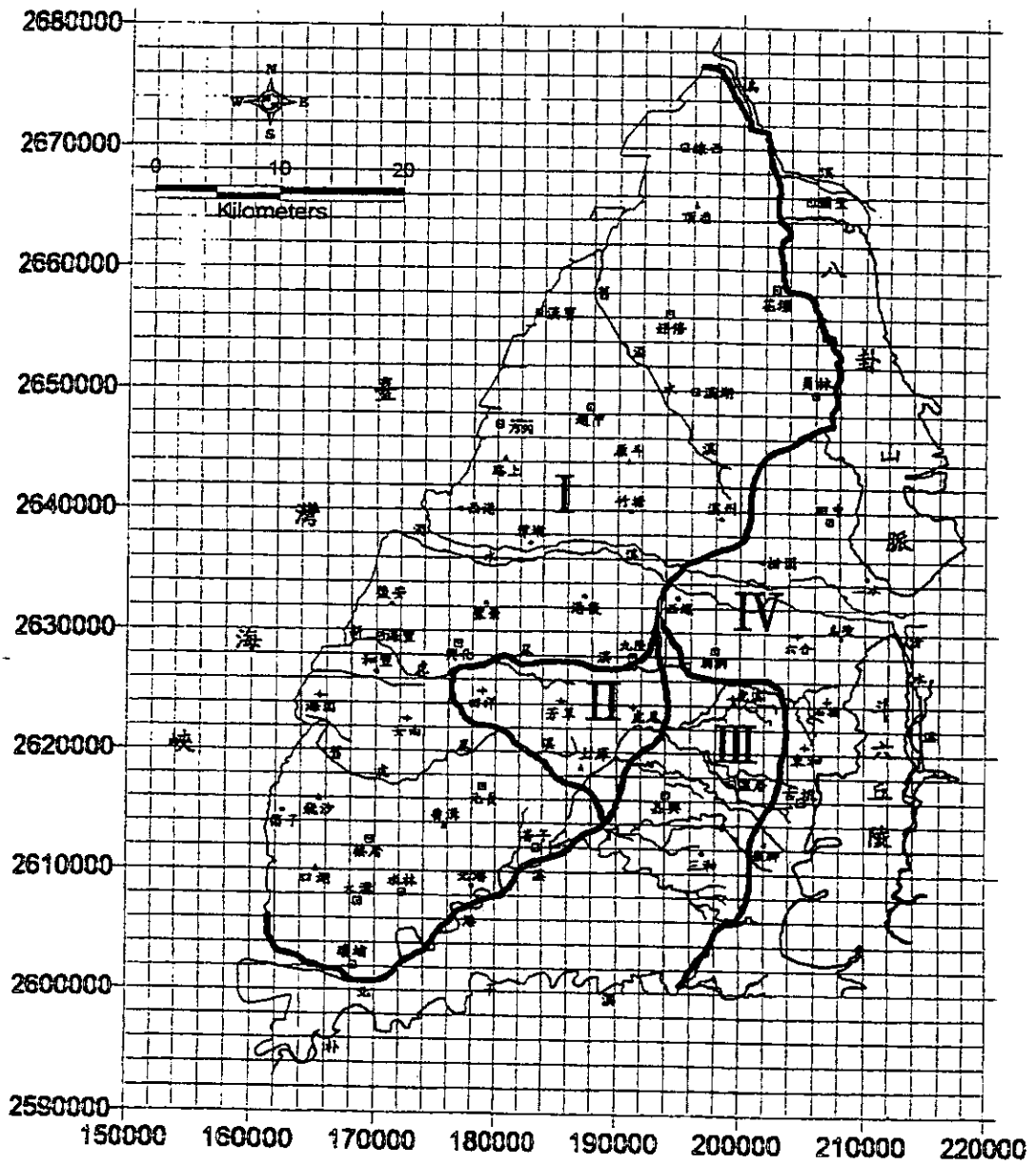


圖 6-11 濁水溪沖積扇地層下陷模擬水平分區網格示意圖

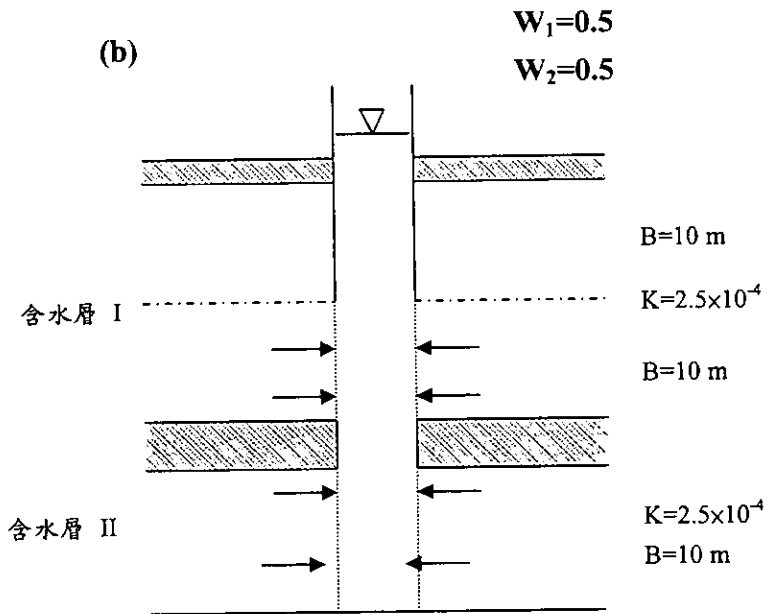
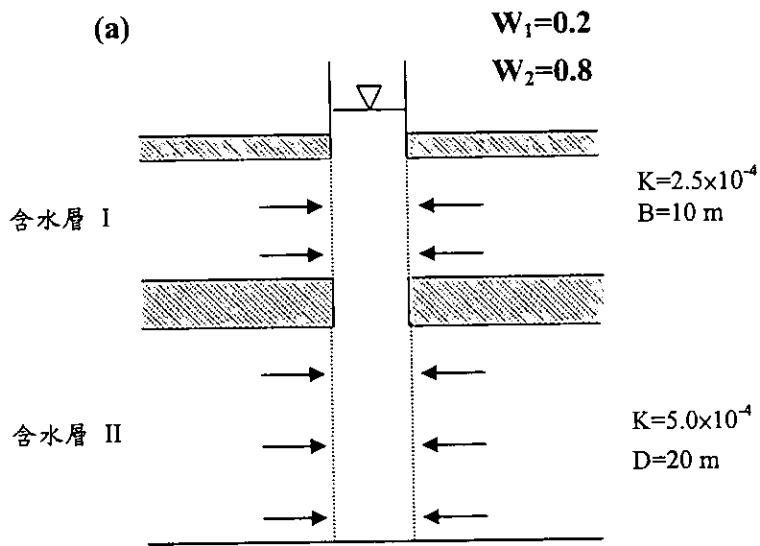


圖 6-12 簡易分層抽水比例推估法示意圖(1/2)

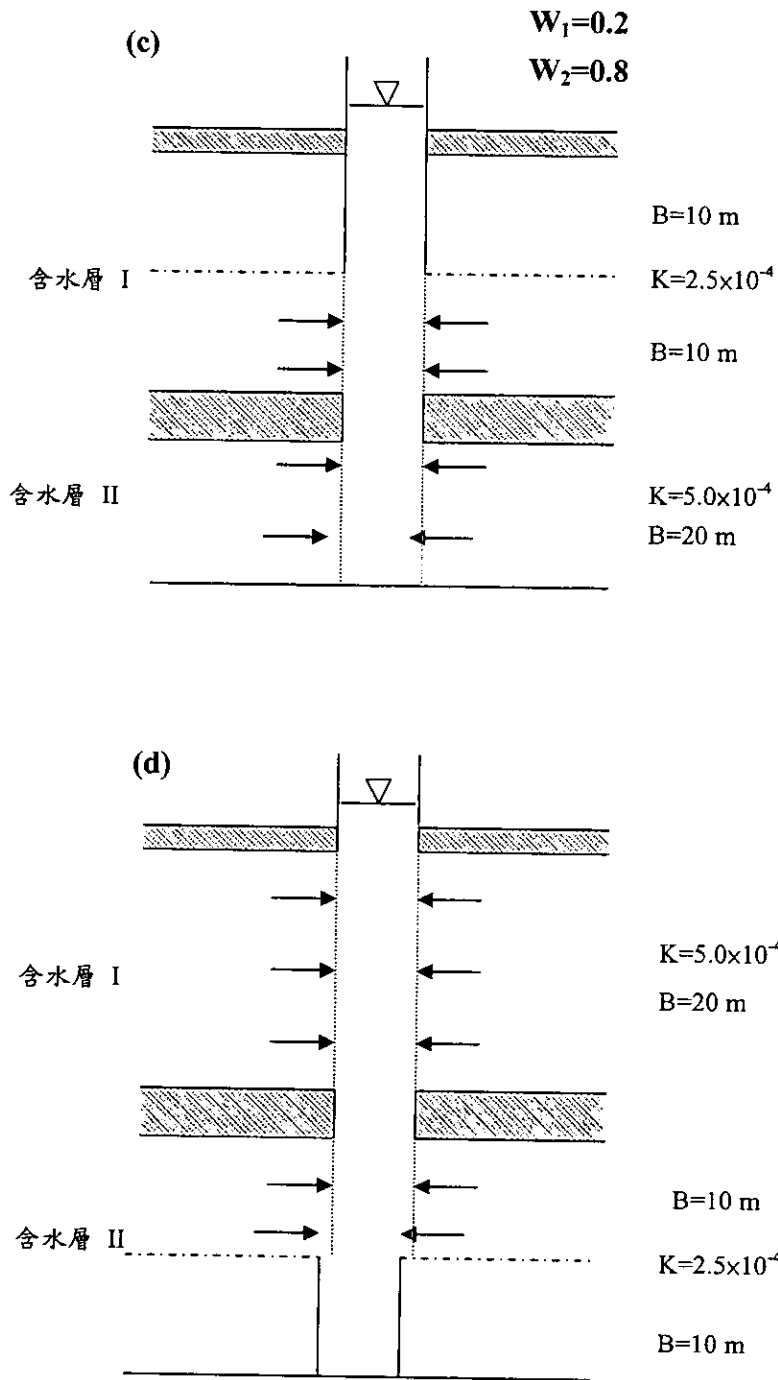


圖 6-12 簡易分層抽水比例推估法示意圖(2/2)

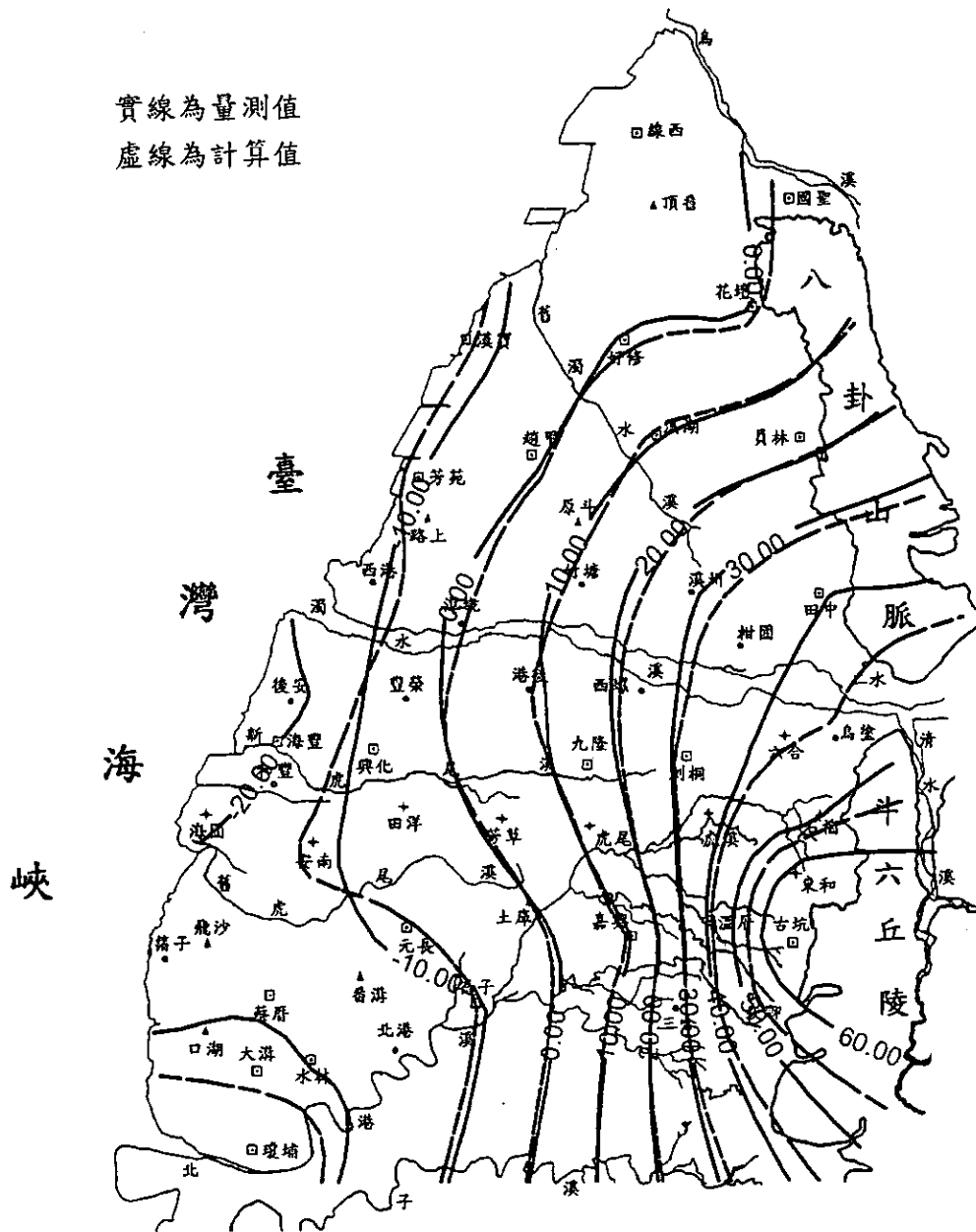


圖 6-15 濁水溪沖積扇含水二地下水位模擬結果(85/08)

實線為量測值
 虛線為計算值

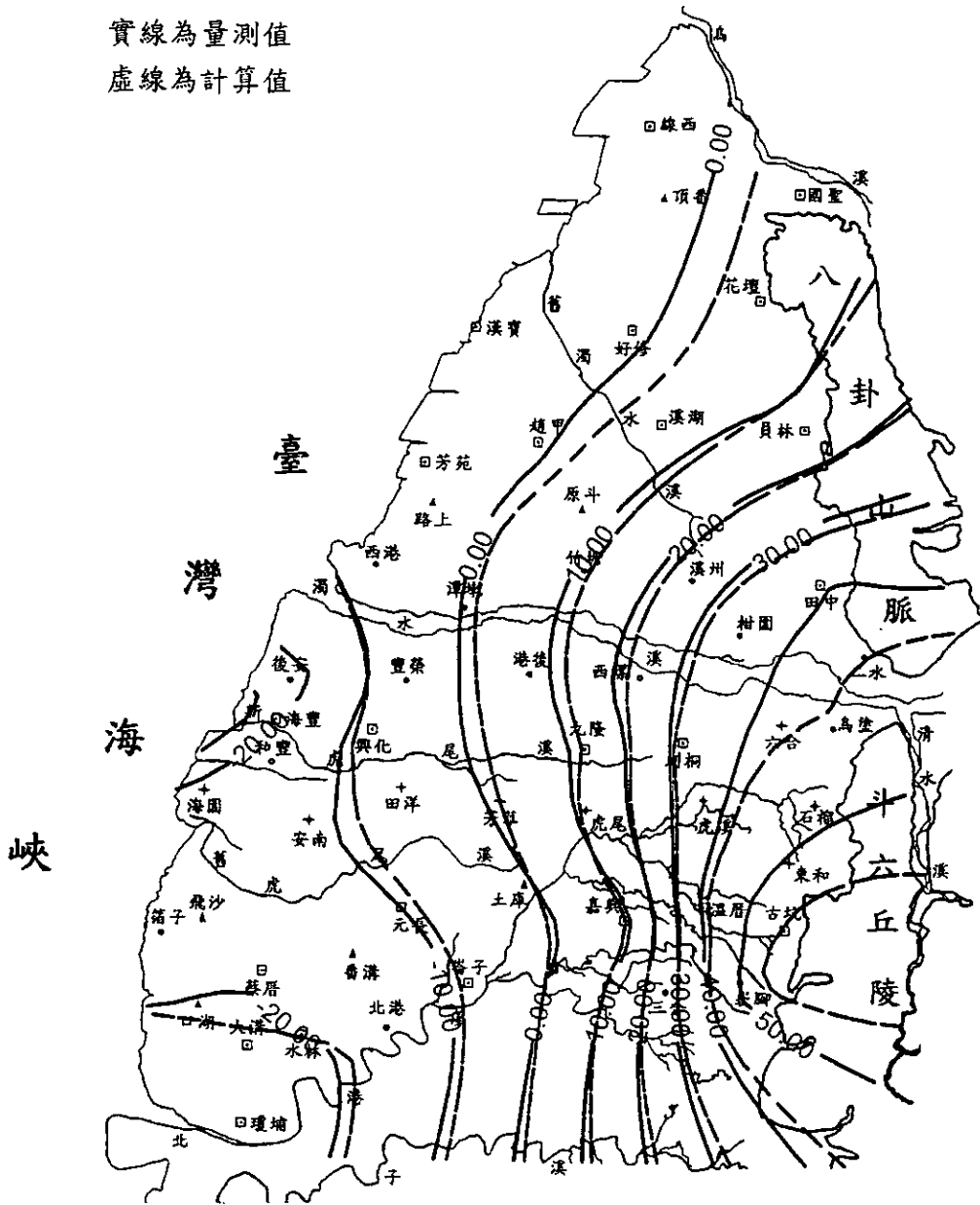


圖 6-16 濁水溪沖積扇含水三地下水位模擬結果(85/08)

實線為量測值
 虛線為計算值

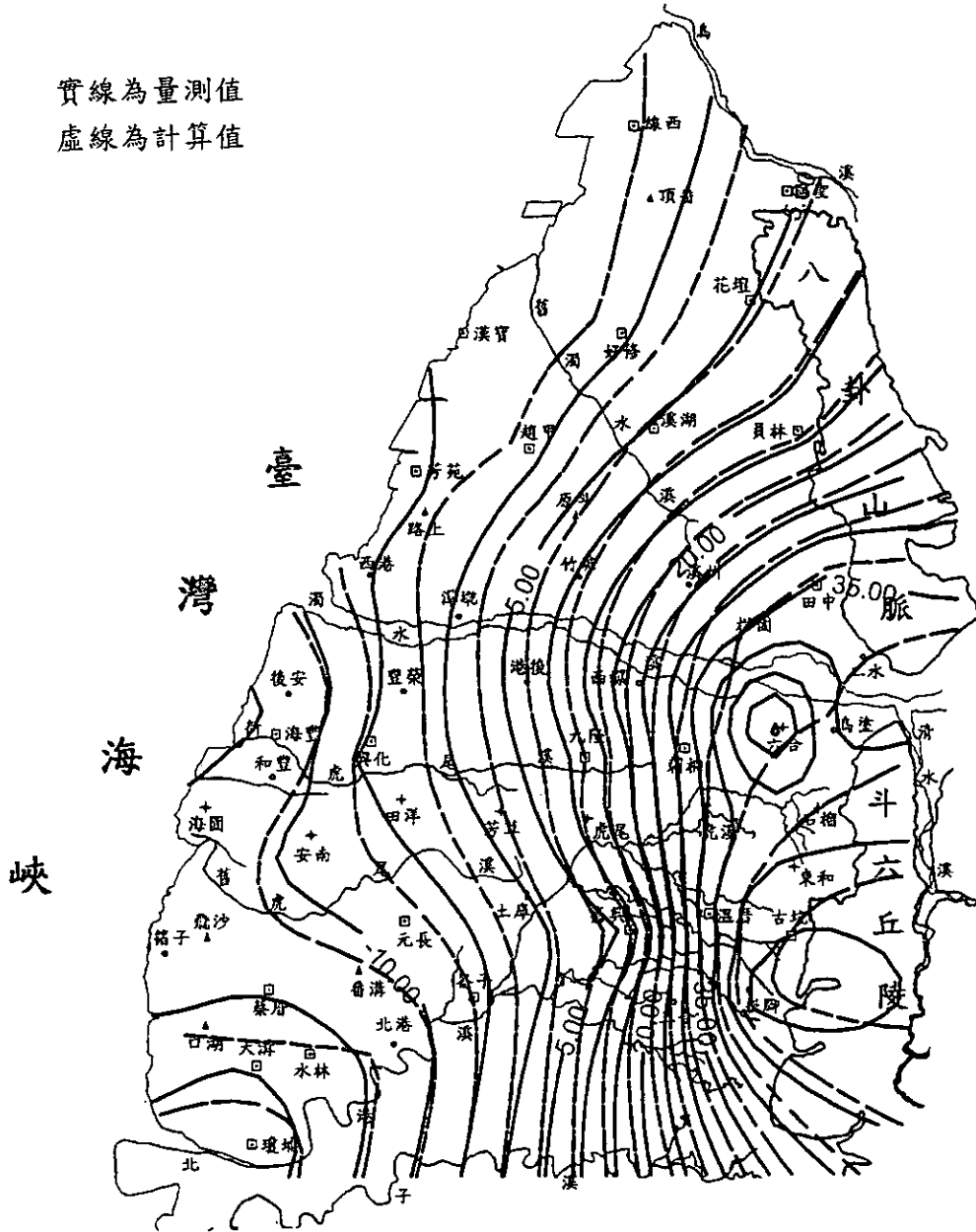


圖 6-19 濁水溪沖積扇含水三地下水位模擬結果(86/12)

實線為量測值
 虛線為計算值

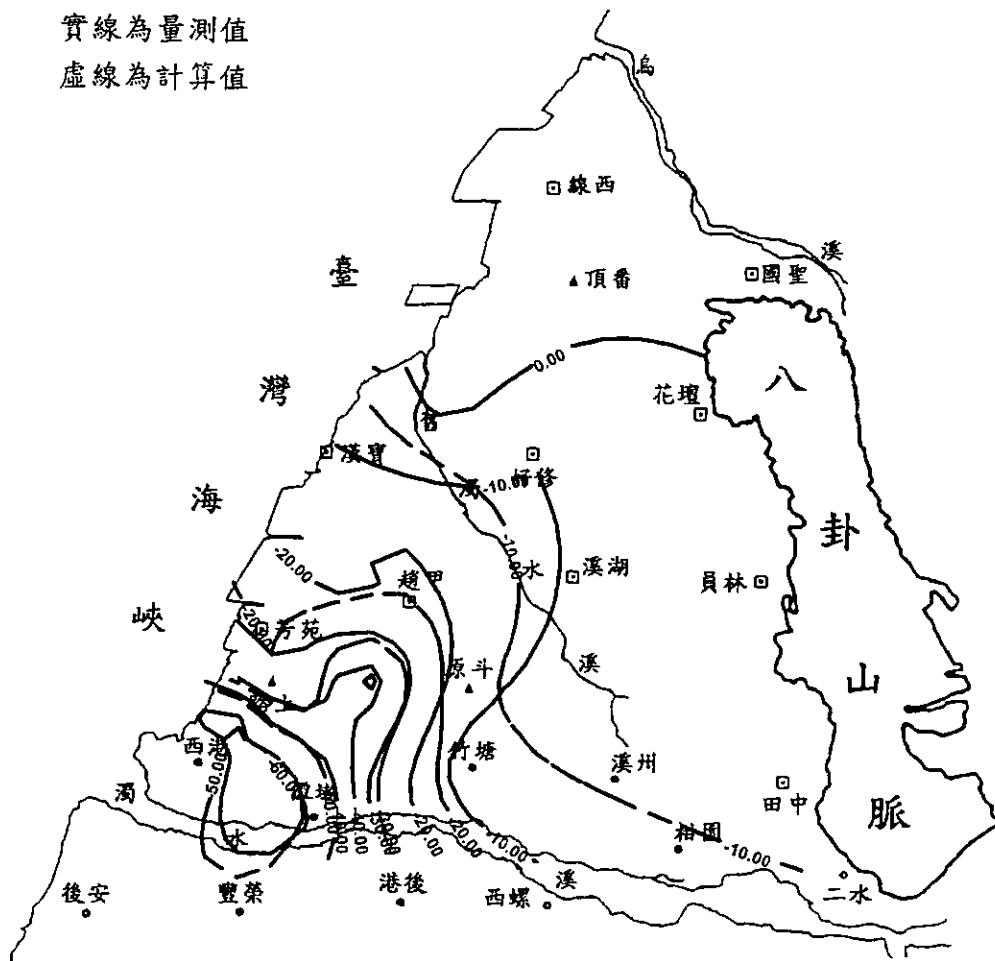


圖 6-20 彰化地區地層下陷模擬結果(84/10-89/04)

實線為量測值
虛線為計算值

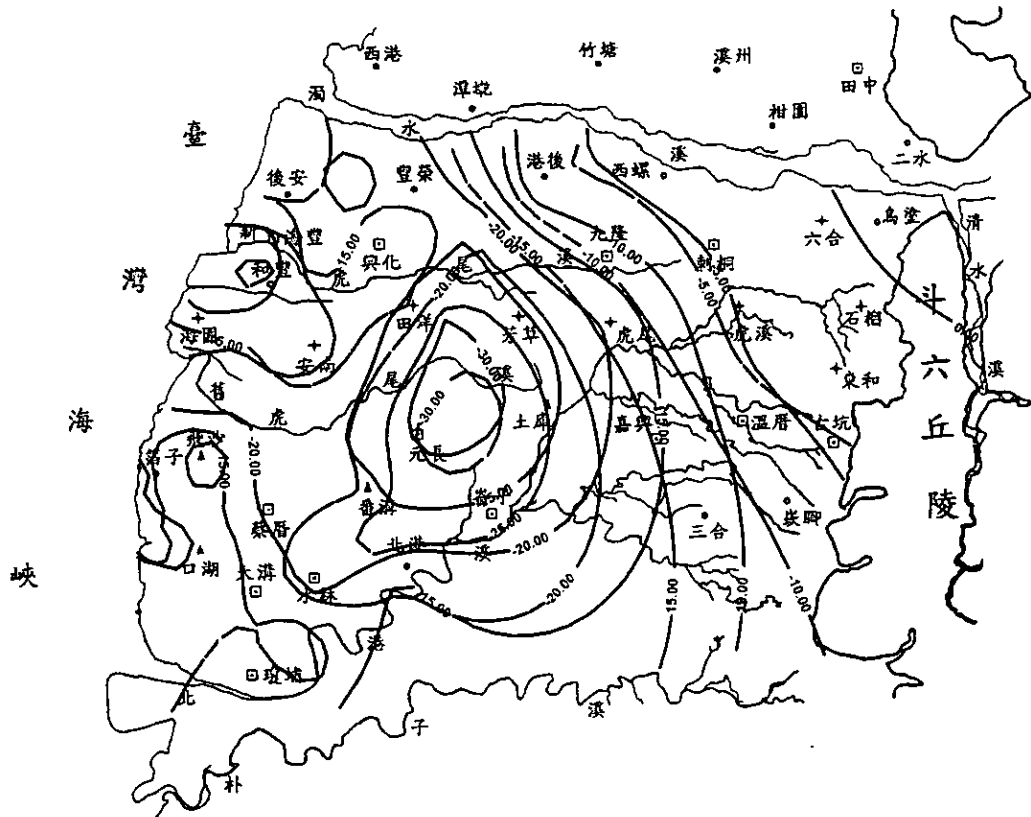


圖 6-21 雲林地區地層下陷模擬結果(83/12-88/10)

第三部分

地層下陷資料之地理資訊決策

支援系統研究子題

目 錄

目錄	III-I
表目錄	III-II
圖目錄	III-III
第一章 前言	III-1
1.1 研究目的	III-1
1.2 工作項目	III-3
1.3 工作進度	III-6
第二章 系統文件維護	III-8
2.1 模擬系統規格修正	III-8
2.2 使用手冊建置	III-10
2.3 維護手冊規劃	III-11
第三章 整合系統功能更新	III-13
3.1 三維視覺展示	III-13
3.2 模式輸出	III-17
3.3 網路版與單機版改版	III-18
第四章 網際網路版本開發	III-20
4.1 網際網路地圖伺服器架構	III-20
4.2 現階段成果	III-22
4.3 未來規劃與展望	III-23
第五章 結語及後續工作項目	III-26
5.1 目前完成工作項目	III-26
5.2 未來工作方向	III-26
參考文獻	III-27

表目錄

表 1-1	全程計畫進度表	III-30
表 2-1	Hcghc.dat 檔案格式列表	III-31
表 2-2	Gridp.dat 原始檔案格式列表	III-31
表 2-3	Gridp.dat 建議修改格式列表	III-32
表 2-4	Pump.dat 原始檔案格式列表	III-32
表 2-5	pump.dat 建議修改格式列表	III-32
表 2-6	Town.dat 檔案格式列表	III-32
表 2-7	River.dat 檔案格式列表	III-33
表 2-8	Depth.dat 檔案格式列表	III-33
表 2-9	Duration.dat 檔案格式列表	III-33
表 2-10	Scale.dat 檔案格式列表	III-33

圖目錄

圖 1-1	整合計算概念架構.....	III-34
圖 1-2	整體計算工作流程.....	III-35
圖 1-3	ArcView 與 3D Spatial Analysis 製作三維空間虛擬實境示意圖	III-36
圖 1-4	地陷模式整合系統與背景圖資展示整合系統整體設計概念圖	III-37
圖 1-5	地陷模擬整合系統系統架構圖.....	III-37
圖 2-1	格網點與研究區地圖套疊.....	III-38
圖 2-2	查詢格網點屬性的結果.....	III-38
圖 2-3	Hcghc.dat 之檔案格式.....	III-39
圖 2-4	Gridp.dat 之檔案格式.....	III-39
圖 2-5	Pump.dat 之檔案格式.....	III-39
圖 2-6	Town.dat 之檔案格式.....	III-39
圖 2-7	River.dat 之檔案格式.....	III-40
圖 2-8	Depth.dat 之檔案格式.....	III-40
圖 2-9	使用手冊流程圖編碼方式.....	III-41
圖 3-1	使用地理高程網格節點所製作的地球表面解析度 2 度的高程模型	III-42
圖 3-2	向量資料與使用地理高程網格所製作的模型套疊示意圖。....	III-43
圖 3-3	(a)SRI 公司國際辦公室模型與美國加州 Menllo 公園的地形模型 整合示意圖。(b) SRI 公司國際辦公室模型尚未與地形模型整合的情形。	III-43
圖 3-4	(a)以石柱陣列測試「地理原點節點」的能力。(b)與(d)為未使用 「地理原點節點」的情形。(e)與(e)為使用「地理原點節點」的結果。	

.....	III-44
圖 3-5 俯瞰濁水河流域地層分佈情形，八卦山區地層為含水層(第四區)	
.....	III-45
圖 3-6 使用拉桿觀察不同時間步驟之模式推算沉陷量.....	III-46
圖 3-7 利用 Assign Proximity 產生分區地圖.....	III-47
圖 3-8 使用者在 3D 沉陷量等值面上任意點選一點查詢其沉陷量之系統 功能示意圖。.....	III-48
圖 3-9 在 3D 等位面上選取任意切線剖面。.....	III-49
圖 3-10 選取任意切線剖面查詢結果.....	III-49
圖 3-11 新網路版測試畫面(1).....	III-50
圖 3-12 新網路版測試畫面(2).....	III-51
圖 3-13 新網路版測試畫面(3).....	III-52
圖 3-14 新網路版測試畫面(4).....	III-53
圖 4-1 地陷模式地理資訊系統網際網路版系統畫面.....	III-54
圖 4-2 井柱資料之查詢結果視窗.....	III-55
圖 4-3 在地圖上框選放大範圍.....	III-56
圖 4-4 放大並設定特定圖層不顯示後之系統畫面.....	III-57

第一章 前言

1.1 研究目的

台灣地區面臨地層下陷問題中，尤以地下水超抽使用之管制最為棘手；無論在防治方法的研究或決策執行的技術面上，均缺少足夠的量化數據以確定具體的防治措施。因此，本子研究提出模擬地層下陷整體環境的計算能力，擬整合水平衡模式及地陷模式二項子研究主要計算功能。配合各防治方案之參數化，可演練各方案所造成的環境變化或成效評估，並結合參數優化子研究的成果，進而達到決策之支援；整合系統的概念架構可以表示如圖 1-1。

然而，進行整體計算時，對於研究區之多項資料包括各式圖籍、表格、文件等都有必要整理或數化成共同的電子資料檔案，甚至以資訊系統的方式來加以管理，以確保資料流通的一致性及其共同性，同時增加整體計算功能開發、模式驗證之大量資料需求、多元方案評估整理等相關工作的效率。

各計算功能間對於大量的空間資料均有各自獨特不同的需求，如水平衡模式對於各水文站降雨資料，地質分層統計對於各鑽井之地質資料，地陷模式之計算格網點的產生等，這些資料的來源、型態、空間分布均有明顯不同，其間的格式訂定、匯出匯入、交換方式、成果圖說繪製等，都要在研究過程中分別加以訂定及規劃，配合圖資之電腦處理，以建立整體模式運作的完整流程，如圖 1-2。

傳統三維地層處理，受限於資訊介面的開發困難，對於地層下陷模式的使用者而言，相當不容易上手。如判定地質構造時，均須以各鑽井地質資料經專業人員判斷後，繪製柵狀圖，或稱籬笆圖(Fence Diagram)而建立概念之地層模型。又如計算產出的地層下陷量，往往只能用數字方式，配合坐標格點展示，以提供決策上的參考環境模擬數據。上述流

程中對於地層判斷及圖形繪製，需要相當投入之專業人力，且隨著資料增多或更新時，均需重頭建立。本研究為能快速建立一適當的地層模型，有必要以資訊介面，配合專業人力判斷的互動，來推出合理的地層分佈情況。以立體視覺資訊技術中之虛擬實境(Virtual Reality)為例，隨著計算機功能提昇與價格降低的因素，在個人電腦的作業平台亦能發揮相當良好的輔助視覺效果。如圖 1-3，研究中擬以鑽井資料為依據，基於初步的地層分區與分層判斷，進而以動態的立體視覺資訊介面展示，讓使用者能以三維空間的輔助視覺效果，幫助判斷地層分區與分層。

網際網路的發展，在近幾年內已經深入各個階層，以科技革命的方式來看待它也不為過。對於本研究而言，於網際網路上開發地層下陷整合模式，可以連結各使用人員與整合模式，直接減少各項人員訓練與使用成本。此外，由於資料與程式均於一處管理與維護，使用者也無需負擔沉重的軟硬體費用，對於整體地層下陷防治管理業務推動，尤其具有實務上的效益。

根據前述討論可知，以地層下陷防治的多元考量，各項決策實在有必要以科學方法進一步加以評估。尤其在地下水觀測網建立並彙整多年資料後的現在，除了直接觀測資料的經驗判讀外，特別須要藉助可靠的模式計算，量化推論各項決策所引起的環境變化。因此，將各地陷防治對策以較迅速而合理的方式參數化，進而推求評估其環境效應並展現成果，可縮短方案擬定與決策過程時間。本研究主要目的即在於配合其它子計畫執行，整合水平衡模式及地陷模式二項主要計算功能的電腦輸入資料，分別以單機與網際網路的二種使用方式加以整合。

本子項研究中的主要目標有二：

1. 提出完整的系統規劃：由於需要配合二個模式發展的子計畫進度，系統分析與設計必須在動態的變化下進行。隨著子計畫開發成果，本研究必然面臨經常的變動性，如何在此情況下設計出最

具彈性的整合系統，實為此研究的最大挑戰。

2. 掌握關鍵技術發展動態：網際網路程式開發與地理資訊系統介面的技術整合將是本研究中的關鍵技術，尤其是多樣化網路程式開發工具，在近年內有著相當大的改變。研究中將針對此二項應用技術深入評估，並開發相關系統功能。

1.2 工作項目

研究中擬完成之地陷模擬整合系統，其系統目標即是輔助使用者能夠在系統提供的環境下，容易的操作地層下陷模擬程式。為了兼顧容易操作與完整功能雙重考量因素下，整套系統的整體設計概念採用與 Outlook 軟體類似的操作介面(如圖 1-4)，操作介面由左而右分別是由主功能表、檔案總管與多功能文件視窗三大功能所組合而成。

主功能表分為地陷模擬整合系統與地下水平衡模式背景圖資展示整合系統兩大部分，各系統子功能按鈕則包含在各功能系統中，當使用者選擇各系統子功能後，系統會依據該功能的需求，配置適當的檔案總管與多功能文件視窗。使用者能運用類似檔案總管的操作方式，在樹狀結構中點選所需要的資料檔案後，多功能文件視窗中即可顯示該資料檔案內容。

如果該功能需要配合地圖顯示資料檔案，此時檔案總管的功能則轉變成「圖元資料夾」。所謂的「圖元資料夾」是以樹狀結構的方式，顯示某一個資料檔案內容，多功能文件視窗則顯示該資料檔案內容的地圖。當使用者在地圖上點選某一圖元時，系統會在變成圖元資料夾內展開該圖元所對應的資料項目。相同的，使用者可以在圖元資料夾內點選資料項目，系統會在地圖上顯示該資料所對應的圖元位置。

地陷模擬整合系統的主要系統架構與流程如圖 1-5，依據系統流程與功能架構的定義，系統主要的功能目標可分述如下：

1. 地層展示
2. 平面分區
3. 模式格網與參數
4. 地陷模式操作

在網路版本的開發方面，主要目的除了讓系統管理者便於維護系統，也增加了使用者操作上的便利性。在本計畫當中，龐大的基本資料與基本圖籍，未來在維護與更新上勢必耗費許多的人力與時間，而前端的使用者越多，便需要更多的成本來提供使用者的資料更新。若採用網路版系統，因為所有的資料都是存放在伺服器端，而單機版本是隨著系統安裝在使用者的電腦中，管理者只需要隨時更新伺服器端上的資料，便能確保使用者所使用的資料便是最新最完整的部分。在以往單機版的使用上，若程式有新增的功能或是修正程式錯誤，使用者必須定期的檢查有無更新的程式需要下載修正，常常造成使用者的不便或是使用了舊版的程式。而網路版本只需要更新伺服器端的程式，使用者便可透過瀏覽器使用更新後的程式，故網路版本的採用，對於管理者與使用者都有著其便利性。

以上述系統規劃方向，本研究所擬定之研究方法與工作項目展開如下說明：

1. 整合系統規劃

由各子計畫的目標訂定開始，以計畫成果與訪談的補強，再參考各子計畫報告等資訊，研究中可依企業系統規劃(Business system planning, 簡稱 BSP)方式，分別訂出各資訊系統對應的目標綱領，定義系統所支援的相關業務，確認處理執行時所須輸入及輸出的資料，而建立業務處理與業務資料之間的關係，將使用相近資料的業務處理集成一個系統功能，進而產生資訊系統架構。主要的系統規劃方法可主要分為下列二項：

(1) 子計畫訪談與意見會整：由於須配合其它子計畫進行成果而設計相關介面，因此，研究中對於其它子計畫的產出必須有經常性的討論與掌握。透過會議與訪談的彙整意見，可增加研究團隊對於各配合子計畫的理解度，以避免對於整體系統設計誤差的風險。

(2) 撰寫系統文件：由於整合系統的複雜度，有必要撰寫各項文件，以書面方式作為溝通的主要媒介，也較能避免口頭討論的誤差，同時亦可累積建立系統完成所須的各項維護手冊。

本項研究方法所展開的工作項目包括：「資訊系統整合分析」、「相關資料庫與基本圖籍建置」兩項。

2. 研選開發工具

由於整合系統對於空間資料展示與查詢的圖形需求，特別是各種平面主題之地理圖形管理、地質分層三維展示、計算成果等值線自動繪製等重要系統功能規格，需要結合如地理資訊系統、虛擬實境、空間分析等相關軟體。其中，又因應網際網路版本的開發，各種軟體工具也需要配合評估。本項研究方法所展開的工作項目為「軟體工具評估」。

3. 系統雛形設計

系統開發過程經常以 Water Fall 生命週期為典型的思考方式，其對於資訊需求與業務流程可清楚描述的系統。這種從上而下 (Top Down) 的規劃可相當完善的控制開發時程，常用的系統開發方式與其優劣比較可如表 1 所示。然而，本計畫除了必須考慮有限開發時效外，對於各子計畫之專門性與不確定性，其系統資訊設計也須與使用者密切互動而非一蹴可及。因此，必須在系統發展過程中，對於可能變動頻繁的系統目標與設計，本計畫擬採 Evolutionary Prototyping 的生命週期方式進行，選取代表性之測試案例，作為支援系統雛形與流程分析基礎，反覆與使用者協商而完成修正。此種系統開發方式，從起始構想 (Initial Concept)

到完整雛型（Complete Prototype）間，反覆以雛型系統作為使用者與系統開發二者間的溝通媒介，可得到充分的使用者需求確認，避免建置過程的誤導，開發初期雖較耗費人力，但可降低系統發展之風險。本項研究方法所展開的工作項目為「整合系統設計與開發」。

4. 研擬人員訓練計畫

人力資源是推動資訊整合的最根本要素，唯有願意使用資訊的承辦人員，資訊系統才有存在的價值。然而，無論是模擬計算、地理資訊、三維地層處理等方面的功能，對一般未接受過訓練的使用者，仍存有一定的困難度。因此，研究中將配合其它子計畫，研擬整體系統概念為主題之訓練課程。期能透過相關的教育訓練，能夠推廣資訊的使用，建立基礎人力；並以雛型整合系統的轉移工作，培養資訊系統開發與維護方面的人力。本項研究方法所展開的工作項目為「使用手冊與維護手冊撰寫」、「模擬案例設計合系統設計與開發」與「技術移轉與相關訓練」三項。

總合上述研究方法之說明，研究計畫全程之主要工作項目分別為資訊系統整合分析、相關資料庫與基本圖籍建置、軟體工具評估、整合系統設計與開發、使用手冊與維護手冊撰寫、模擬案例設計、與技術移轉及相關訓練等七項。

1.3 工作進度

本研究預定在三年期程內規畫與開發網際網路上互動式的資訊分析環境，整合地下水平衡模式、地陷模式兩項主要計算功能的電腦輸出入資料，以克服兩者模式間複雜的圖資處理與格式交換等技術問題；並同時配合兩者子計畫相關基本資料收集，建立研究區基本背景的資料庫，以協助使用者能夠以此二者技術的整合應用。計畫進度表如表 1-1。

第二年成果為：

1. 訂定網路版地陷模式整合之系統標準；
2. 單機版程式修正與三維視覺技術更新；
3. 單機版整合系統使用手冊與維護手冊更新；
4. 網際網路之地理資訊系統與三維視覺技術評估。

第二章 系統文件維護

2.1 模擬系統規格修正

地層下陷模式為為整合系統的主要計算核心，開發工具為 Fortran 應用程式。主要的計算介面，是以編輯文字檔案內容，來控制地層下陷模式的各個輸入參數。由於配合原始資料來源，各項參數的格式具有不同的輸入單元。如抽水量資料，即是以鄉鎮為單元，不同鄉鎮有不同的抽水量設定，如以空間圖徵表示，應該是以「面」的方式呈現。又如各個地質參數，原始資料是以鑽井資料為單元，應該是以「點」來表達才是較為理想的空間圖徵。然而，實際數值解算過程中，乃是以空間三維格網的方式，將各個參數數值化算在格網位置上，以求解各個格網位置上的沉陷量。

由於文字介面的限制，轉換原始資料成為地層下陷模式的輸入，就成了相當繁瑣的工作。在整合系統的設計過程中，主要的目標之一，即是提出適當資訊解決方案，以簡化這個轉換介面的困難。主要的執行概念，即是在視窗作業環境下，以「圖元資料夾」的功能，使得文字、地圖、統計圖表間，甚至於三維的地層表現，都可以相互配合，讓使用者能夠很直覺地處理相關輸入參數。接著搭配半自動化的邊界劃設、格網定義、以及自動化的空間內插功能，整合系統引導使用者將各項原始資料逐一轉換為計算格網的輸入。

為了讓使用者方便編修地圖中的屬性資料，我們將所有的屬性資料以格網點的方式表達，並將格網圖與地圖套疊。透過圖形界面與查詢工具的輔助，使用者便可以清楚地看到格網點在地圖中的地理位置分佈(如圖 2-1)，與各個格網點的屬性(如圖 2-2)。此時無論是查詢或是修正屬性資料，皆可以直觀快速的進行，這是以往在文字介面時所無法做到的功能，因而使用者可以簡單而有效率地操作整個地層下陷模式。

綜合以上所述，可知在處理地層下陷模式的輸入介面問題時，基本上，就是屬性資料單元間的格式轉換。在地層下陷模式中原本透過對照表或是其他前處理方式，使得程式能夠順利執行。然而，在重新歸納整理相關流程，為能夠建立通用易懂操作方式，並且能夠適用在其他不同的試驗區中，必須考慮較為通用化的交換格式。故為了順利將圖形界面中的格網點參數，轉換成地陷模式所需要的格式，研究中提出相關建議，修正地層下陷模式的現行輸入參數資料，全部統一更新以格網點為基本單元的資料格式，避免不必要的資料計算，且在格網點上輸入參數的思考更為順暢。

目前規格修正的工作已經完成，如總論 3-2 節所述，計有 12 個模式輸入參數檔案，且可分為四類：

1. 分區：主要是依據井柱分區的判斷方法，因為每個分區內的阻水層和含水層數皆不同，每一區每一層都擁有它自己的物理性質，所以在參數的給定上會有所區別。系統的主要判定方式是利用 Point in Polygon，判別格網點落在那一個分區位置，再給定參數值。而編輯方式可以利用單點修正或是大範圍給定參數，也可以利用輸入圖層的方式，在使用上極為彈性。如 hcgsc.dat 地質參數檔。
2. 井柱距離：這類參數的主要特性是可以利用內插方法去求得任意點的參數值，所以在程式中的判斷依據為 Interpolation。此項分類參數給定的方式主要是透過外部工具進行內插計算後，以匯入圖層方式指定格網點參數，當然使用者也可以透過單點修正編輯的方式手動輸入參數。如 depth.dat 各含水層厚度。
3. 邊界判定：主要為邊界相鄰點相關位置的判定，如格網和分區圖的邊界性質判定。此項功能是透過系統利用圖形處理的方法自動判定，使用者無需自行判別輸入，不過系統仍提供單點修改的功

能。如 gridph.dat 網格點性質。

4. 水理資料：在地陷模式整合系統中，地陷模式的輸入資料為已知分區與分層的井柱資料，而水文水理的資訊則歸類在背景圖資中。但由於背景圖資的資料與地陷模式的資料精度不同，故尚無法直接從背景圖資系統中取得水文水理資料，所以許多有關於水位、水深的參數檔案，必須依靠使用者利用系統提供的輸入工具輸入，如 init.dat 各含水層初始水位。

2.2 使用手冊建置

在地陷模式整合系統中，包含水文與地質的背景資料，並結合 GIS 功能，既使簡化操作的過程，地陷模式整合系統在使用上還是有一定的複雜度，為了讓使用者能夠順利使用地陷模式整合系統，設計撰寫一套完整的使用手冊是有其必要性的。透過使用手冊的解說，讓使用者瞭解系統的架構與使用方式，並學習應用系統完成工作。

使用手冊主要是為一般使用者所設計，著重在解說系統的架構及流程，並透過畫面的輔助解說，讓使用者可以 step by step 的學習操作系統，進而瞭解系統設計之目的與原理，故使用者應具備基本的水文與地質背景知識，及操作基本 GIS 工具的能力，如此必定能夠藉由使用手冊，學習操作地陷模式整合系統。

從直覺上的工作流程思考來建立對系統的認識，是本使用手冊的主要概念。因此，手冊中先說明地陷模式整合系統的設計架構，讓使用者對於系統分類架構有初步的認識，再透過流程圖與文字的解說，瞭解執行程式的順序與目的。並於此時加以畫面動作的輔助說明，完整說明使用者按照流程執行後，所應出現的結果與畫面。

手冊中為清楚定義各個操作部分，並非完全採用不同文字名稱來加以區隔。主要的識別方式，乃是透過程序分層分項編號，用數字代碼可

以更有效地說明。特別是搭配將來各項文件逐步建立，在引用上將增加許多便利性與識別性。如地層下陷模式整合系統主要分兩個部分，分為地層下陷模式與背景圖資系統，在工作流程的編號上，由先編地層下陷模式系統，後接背景圖資系統的方式編碼，如圖 2-9。而使用手冊編排的方式就是按照編碼的順序，且採漸層式解說，先解說最上層的系統架構與流程圖，再往下細分子程序，如附件 2.3 點選外邊界流程，先以流程圖解說操作系統的步驟，在輔以文字與畫面的說明，讓使用者一步接一步地操作，達到學習系統的目的。

2.3 維護手冊建置

維護手冊的使用者主要設定在是系統未來的維護人員，在系統偵錯或更新程式時，能夠有效率地找出相關的程式碼與資料內容。因此，其內容必須非常詳細，尤其是對於程式與資料的部分，必須要有詳細工作流程、程式流程、資料字典等，每一項都環環相扣。在考量必然的轉移或人力流動時，要維護整個整合系統，其實都必須要藉助完整的文件系統，特別是維護手冊部分，才能掌握整體系統。所以，維護手冊的規劃分為下列的部分：

1. 函數表：操作物件時，許多動作會觸發函數，故需要所有模組內的函數列表，記載函數所傳遞的變數型態、名稱，並對其中的功能作詳盡的說明，讓維護者明白函數的使用目的，如此未來在修改或是新增功能時，可省去在龐大的程式中尋找函數功能的時間。
2. 變數名稱對照表：在程式中，除了函數或物件中所使用的區域變數，最主要的就是 Global 變數，此種變數在整個程式中都可以使用，不限於在某個模組或物件中，故我們必須針對 Global 變數製作列表，記載其名稱與型態，如此可增進在變數使用上的便利性，也不需要宣告同樣性質的區域變數，增加程式維護的便

利性。

3. 資料流程：在地陷模式整合系統中，資料的傳遞是很重要的一門課，因許多的參數或是基本資料都仰賴已訂定好的格式資料輸入，故我們必須製作這些資料從文字檔輸入時，在系統中的流向，便於管理檔案與追蹤。
4. 程式流程：為配合使用手冊的使用流程，必須針對使用流程撰寫程式流程，執行某項功能時，使用了某種物件或函數，可對照物件表、函數表與資料流程。

第三章 整合系統功能更新

3.1 三維視覺展示

三維視覺展示技術在本系統所扮演的角色包括兩部分，一為提供使用者了解地層井柱空間關係並提供適當的編輯介面，二為展示地陷模式輸出結果。

前者主要目的在運用虛擬實境技術讓使用者以互動的方式編輯與改變井柱資料或改變某些參數，讓系統重新產生模式所需之輸入資料，這種方式雖然比較接近人類的視覺認知系統與操作習慣，但是在電腦應用系統設計上仍有許多困難與限制，本章將探討這些限制因素與解決方案，並展示系統目前發展現況。

在地陷模式輸出結果展示部分則加強使用者操作介面與動畫展示功能，可更容易檢視模式不同時間步驟之輸出結果，可在同一畫面上顯示平面與三維沉陷量結果，並可即時查詢任意網格之模式推算沉陷結果，最後系統可以動畫輪播方式展示地陷模式輸出結果。

(一)、虛擬實境技術之探討

所謂虛擬實境，乃是利用電腦模擬產生一個三度空間的虛擬環境，並在環境中結合不同的輸入、輸出與顯示設備藉以產生如真實般的視覺、聽覺、觸覺，甚至力回饋的環境而讓人有如身歷其境般的感受。

虛擬實境模型語言(VRML: Virtual Reality Modeling Language)是在網際網路上顯示三度空間資料的 ISO 標準，有許多的套件(plug-in)可讓瀏覽器能閱讀 VRML 內涵的文件，目前的版本為 VRML 97 ISO 標準。VRML 設計之初是電腦繪圖設計者與程式設計師共同開發，他們只考慮較小的空間範圍需求，故使用笛卡兒座標系統來描述空間位向關係。

然而地球科學家通常會使用許多不同的座標系統與地圖投影來展示

各類空間資訊，如國內電子地圖最常使用的二度分帶橫麥卡脫(Transverse Mercator)投影、導航圖所使用的麥卡脫(Mercator)投影或美國大地測量局(USGS)用來製作地形圖的蘭伯特正形(Lambert Conformal)投影等，為了讓地球科學家仍然能使用原有的座標系統在網際網路環境中顯示三度空間資料，地理虛擬實境模型語言(GeoVRML)為 VRML97 提供了一些額外的節點(Nodes)以完成這項需求。

(二)、GeoVRML 之地理資料視覺化展示節點

1. 地理高程網格(GeoElevationGrid)節點:「地理高程網格節點」擴充 VRML97 現有的高程網格節點(ElevationGrid)，提供定義在描述特定橢球體之大地座標系統上定義高程網格的能力，如經緯度座標、世界橫麥卡脫投影(UTM: Universal Transverse Mercator)。VRML97 現有的高程網格節點內的所有高程值都是在一個假設平面以上的平移量，這種設計在小於 1 平方公里的小範圍面積內還能被接受，但是在在大範圍面積的應用場合時，地球曲度效應就變得非常顯著。圖 3-1 顯示一個使用地理高程網格節點建立涵蓋全球範圍，以經緯度座標系統所製作的高程網格，所有的經緯度高程網格都被地理高程網格節點轉換為相對應的笛卡兒座標系統，並正確的顯示地球曲度(WGS-84 地球原子)，圖中將高程資料誇大 20 倍，以便於檢視特定的高山特徵形貌，如北美洲的落磯山脈(Rockies)與南美洲的安地斯山脈(Andes)。這個範例充分說明 GeoVRML 展示大比例尺地理資料的能力。
2. 地理座標系統(GeoCoordinate) 節點:「地理座標系統節點」提供使用地理座標系統之能力，這個節點可以和 VRML 其他的標準節點(如 IndexedFaceSet, IndexedLineSet, 或 PointSet)內使用，有了這個節點就可以使用地理座標(如 UTM 座標系統)建立模型，地理座標系統節點會自動將地理座標轉換為整個地理模型內相

對應的笛卡兒座標系統。例如，GPS 通常輸出的座標為經緯度座標，有了地理座標系統節點的協助，我們可以直接將其座標值放入 VRML 檔案中。圖 3-2 顯示一個以地理高程網格節點製作的數值地形高程模型，模型上並套有兩條 GPS 接收的資料路線，從這個範例可知，使用 GeoVRML 的各個節點可以將 GPS 所接收到的經緯度座標直接套疊在 UTM 座標系統的數值地形模型上。

3. 地理位置(GeoLocation)節點:「地理位置節點」可以讓我們對任意一個 VRML 模型進行地理參考功能，也就是透過這個節點將模型放置在其指定地球上的任意地點。例如一個濁水溪流域的 VRML 模型，透過地理位置節點指定地理位置後，就可以將其安放在全球模型中台灣的雲彰地區。

地理位置節點的另外一個用途是用來指定模型的方向，+Y 方向代表重力方向的向上，+Z 指向北方，+X 指向東方，這種指定方式保證與 VRML 內定之右旋笛卡兒座標系統一致，並且能將模型正確無誤的放在地球表面上。前述的「地理高程網格節點」與「地理座標系統節點」是將 GIS 資料在 VRML 模型中展示，而「地理位置節點」是將 VRML 模型以 GIS 方式展示。圖 3-3 展示了將 SRI 公司國際辦公室模型以地理位置節點將其與美國加州 Menlo 公園的地形模型整合在一起。

4. 地理原點(GeoOrigin) 節點:展示地理資料隱含著一個最大可能的誤差來源是浮點數的精度不夠，VRML97 使用單精度(32 位元)浮點數來建立模型與繪圖，然而當要表達解析度在 10-100 公尺以內的地理資料時，就必須使用雙精度(64 位元)浮點數來表示地理座標值。GeoVRML 的「地理原點節點」以 MFString 來表示雙精度浮點數來定義模型的原點，再將每個雙精度的座標值與地

理原點節點所定義之原點的座標差儲存起來，以原有 VRML97 的模型繪圖方式處理。前述三個節點都可以使用地理原點節點來定義其座標。

為了證明這種改進精度上誤差的重要性，可以用一個實例說明。圖 3-4 顯示若要將一群石柱 VRML 模型，精確的放置在其正確的地理位置上，可以用 GPS 精確的定出每一個石柱的位置，由於每個石柱的大小與間距小於 10 公尺，若不用「地理原點節點」以座標差的方式儲存每個石柱相對於某個地理原點的位置，會因為 32 位元浮點數無法完全描述其位置的精度，會造成如圖 3-4(b) 與(d)的情形發生。經過「地理原點節點」處理後，石柱就可以精確的排列，並且完全正確的安放於地面上。

(三)、三維地層

三維地層子系統的功能分為等位面之製作與 3D 岩心井柱圖繪製兩大功能。三維地層等位面功能在運用前項岩心井柱資料各垂直分層特性分析與分區結果，配合完成岩心位置地圖繪製之岩心井柱資料，以三角網方式建構每個透水層與阻水層的等位面，各層等位面的成果是以地圖方式呈現，以便於將三角網形結構與等位面之等值線與岩心位置圖套疊。

3D 岩心井柱圖是以三度空間的方式展現各層等位面與岩心井柱，並運用虛擬實境技術提供三度空間瀏覽與點選岩心井柱功能，可以讓使用者對照或編輯圖元資料夾內的岩心井柱資料。此子系統上年度已運用 ArcView 3DAnalyst 模組完成 VRML 視覺化分析成果，此種表現方式可以突破地下水位因無法目視而難以想像的問題，提供使用者最接近真實世界的方式，來觀察岩心井柱與地下水位分層。

目前將直接由井柱資料產生 GeoVRML 檔案，完成各等位面之轉換與套疊，並將研擬如何加入立體岩心井柱，並且提供點選岩心井柱功能，

以便於使用者除了能以視覺化方式瞭解各岩心井柱所構成的地層結構，且能精確的掌握各岩心井柱數據資料。三維地層之 GeoVRML 輸出結果如圖 3-5。

(四)、三維地層與基本圖資之套疊

本年度所有三維地層結果將與雲林彰化地區 25 公尺解析度之法國 SPOT 衛星影像及 40 公尺數值地形影像結合，使用者更能透過虛擬實境技術了解三維地層結構與現場情形之關係。

3.2 模式輸出

本系統已經具備以三維視覺化方式展示地層下陷模式輸出結果，本年度規劃在操作介面與功能上作更進一步的改進，主要改進重點如下：

1. 動畫功能：原系統雖已具備以三維視覺化方式展示地層下陷模式輸出結果，惟仍缺乏動畫展示功能，本年度將原有操作畫面中以下拉式功能表選取不同之時間步驟，改為以拉桿方式選擇，即已便於使用者快速拉動拉桿觀察不同時間步驟之模式推算沉陷量。此外並具備動畫展示功能，使用者可以此功能觀察不同時間步驟之推算結果。請參閱圖 3-6。
2. 可切換 3D 與 2D 畫面：除了三維視覺化方式展示地層下陷模式輸出結果外，系統可以直接改變繪圖方式，以平面方式展示輸出結果，使用者並能訂定等值線間距與各等值線間色層，操作畫面如圖 3-7。
3. 可直接查詢沉陷量：使用者可以在 3D 或者 2D 的等值面上以滑鼠直接點選地點查詢該地點的沉陷量，操作畫面如圖 3-8。
4. 在 3D 等位面上選取任意切線剖面：如圖 3-9、3-10。
5. 可將 2D 等位線與地圖結合：為使模式計算之沉陷量能與現場抽

水量及相關地層參數結合，模式計算繪圖結果，必須進行地理註冊才能與地圖結合，操作畫面如圖 3-8。

3.3 網路版與單機版改版

地陷模式整合系統分為單機版與網路版，單機版是以 VB 為基礎所設計，目的是提供使用者文字與圖形之整合介面，利用已分類的井柱資料配合背景資料進行地陷模式之計算；網路版以 JAVA 語言撰寫，擁有跨平台的優勢，讓使用者利用 Browser 介面，透過 Internet 查詢系統內的圖資。

由於單機版與網路版是利用不同的程式語言所撰寫，在系統維護與更新方面較不經濟。此外，網路版設計功能是基于單機版的背景圖資系統，所以兩個版本在功能需求方面具有相當一致性，可使用相同的程式元件。若能將相同的功能加以整合，不僅減少程式開發所耗費的時間，也降低了維護系統的難度。基於上述理由，今年度首次將網路版與單機版進行重新架構、整合的工作，重新規劃兩個版本的定位，並將單機版改用 JAVA 程式語言，便於更新與維護。

新規劃的單機版主要定位為地陷模式的圖形整合介面，也就是提供文字與圖形整合介面。使用者利用已經分類的井柱資料，透過 GIS 與圖形計算工具，經過平面分區與格網參數設定等步驟，產生地陷模式所需要的參數檔案，進而啟動地陷模式，得到計算成果，且可透過圖形介面觀看計算成果，並可計算成果資料利用網路傳輸的方式，將檔案上傳至網路版，讓其他使用者得以利用，達到分享的目的。

更新後網路版本定位為圖資系統，主要的功能為透過 GIS 與自行開發的 JAVA 元件，讓使用者利用 Browser 查詢地圖資料、水文資料、計算成果等資訊，測試系統畫面如圖 3-11、3-12、3-13、3-14。基於地層下陷管理面的需求，目前規劃使用網路版的作業範圍共有三類，茲說明如下：

1. 經常性地形測量外業：執行地陷區水準外業測量的人員，可利用所規劃的網路版本將所得到的最新測量數據上傳，例如水準點高程。累積足夠數據時，尚可利用圖形或是動畫方式，展示水準點位上的高程變化。由此這些變化觀察地層沈陷過程，可供學者專家與地陷模式計算的成果比對，或是提供整體區域地陷情勢的參考依據。
2. 地陷模擬：透過新近規劃的單機版配合，專業工程師在個人的研究地點，可以很方便地執行地陷模式的計算。並可將計算的成果上傳至網路版，以透過網路版中的圖資系統，比對查詢計算的成果是否符合現況，或是與他人的研究結果是否相符。另可利用GIS的功能疊上土地利用現況地圖，可以很迅速地判斷沈陷位置與土地利用狀況的相對關係。
3. 系統管理人員：負責維護網路版正常運作的人員，同時整理更新資料庫，讓使用者可以迅速觀看最新的資料，並應依照現況隨時更新背景圖資。

第四章 網際網路版本開發

4.1 網際網路地圖伺服器架構

目前範例目前的應用系統，多已朝運用企業網路（IntraNet）或網際網路（InterNet）發展。運用網路技術，進行伺服器－使用者端架構（Server-Client）設計的優點，包含了下列數項：

1. 資料共享：將資料集中於伺服器端，所有的使用者端可以不用個別儲存大量的資料；有任何資料更新時，亦只需更新伺服器端一份的資料，而無需像過去單機式的應用系統，需要逐一更新，若有些使用者並未加以更新，亦可能有資料不同步的問題。此項特點在地理資訊系統相關應用中，由於地圖的資料量極大，且常有更新上的問題，特別顯著。
2. 跨平台開發維護：一般單機版的系統，開發時最大的問題是面對不同的硬體規格，甚或是不同的作業系統時，常會出現因系統環境差異，而出現原開發者難以處理的問題。而在伺服器－使用者端架構時，由於使用者端的程式較單純，較不易產生問題。目前的發展更傾向於使用 HTML 網頁瀏覽器直接作為使用者端的使用者介面程式，如 IE 或 NetScape 等。由於網頁瀏覽器已成為各系統中標準的應用程式，除了不易產生程式執行上問題外，更無需另行開發使用者端的專屬程式（指應用程式，application，但仍可能需要開發如 JavaScript 等巨集程式達成特殊的功能）。
3. 權限管理：單機版一旦安裝，所有的程式及資料便直接曝露在使用者面前，僅能用編碼加密等方式加以處理，但仍難以防止大量複製使用。而採用伺服器－使用者端架構時，可以在網路連線階段，便加以管制，未應授權的人無法接觸到任何資料，不同權限者所能瀏覽或下載的資料也可加以管制，在資料安全性上可大幅

提高。

因此，在網路上建置地圖伺服器系統及進行地理資訊上的應用，有其優勢及必要性。然而，如果真正應用在網際網路上，也有其限制性，包括了頻寬限制、使用瀏覽器時的功能限制等。

而在地理資訊系統上的應用，地圖伺服器應該包含下列基本的功能：

1. 地圖資訊：包含了經緯度、範圍、比例尺等基本資訊的提供。
2. 縮放功能：主要為比例尺的調整，並可由直接在地圖上框選範圍調整。
3. 圖層管理：地理資訊系統最重要的功能之一便是圖層的管理，如果地圖伺服器僅能提供固定形式的地圖，而無法選擇圖層的話，和理想的地理資訊系統將會有一段落差。
4. 其他資訊查詢：可以透過在地圖上點選或其他方式查詢附屬的地理資訊。
5. 擴充性：可以透過加掛模式或其他方式，增加其他與地理資訊相關的功能。

因此，在本計畫中，依據前述的優點、限制，採取下列的架構開發初步之地圖伺服器：

1. 以 HTML 網頁瀏覽器為客戶端之使用者界面程式，初期以 Microsoft Internet Explorer 5.0 以上版本為主，未來將以所有支援 JavaScript 的瀏覽器皆能正常瀏覽為考量。
2. 使用者端以 HTTP 之 POST/GET 功能及 JavaScript 與伺服器端進行資料傳輸，配合透明圖等格式達成比例尺縮放、圖層管理等功能。
3. 伺服器端以 Java 為主要程式開發環境。Java 具有高度跨平台相容

性，開發完成後可在不同之作業系統執行，且 Java 內建網路、資料庫等套件，Graph2D 元件更支援了如 shape、transform 等可作為地理資訊系統開發基礎之功能，可大幅縮短開發時間及成本。

4. 伺服器端之地圖及其他資料格式，則以既有之通行格式為優先考量。
5. 伺服器端應包含專案管理或以模組式架構開發，以便搭配不同之使用需求改變操作介面之畫面顯示或增加特殊之功能模組。

4.2 現階段成果

目前在網際網路版本部份，已完成基本地圖伺服器之初步開發，包含地圖縮放、圖層管理及資料查詢功能。系統目前安裝於 <http://www.mymap.org:8000/gmgis>，可透過網際網路(Internet)，以微軟 IE 5.0 以上之版本進入，直接進行操作測試。系統畫面如圖 4-1

畫面左方為地圖，右方則為圖例及圖層管理，地圖上方有一簡單之工具列，包含了「預設地圖範圍」、「放大」、「縮小」三項功能。在基本地圖操作部份，各功能之使用方式如下：

1. 預設地圖範圍：任何時候按下此工具按鈕，將重設顯示之地圖範圍為系統預設之範圍，目前的設定為將整個計畫區完整的顯示出來。
2. 放大：先在地圖上以滑鼠拖曳的方式框選想要放大顯示的範圍後，按下此工具按鈕，便會將地圖顯示範圍框設定為所框選的範圍。實際顯示的範圍則可能會和框選的範圍有所出入，主要是由於框選的長寬比例和顯示視窗的長寬比例有所不同，程式會自動調整顯示範圍以配合視窗之長寬比例。
3. 縮小：直接按下此工具按鈕，地圖會以現有顯示範圍為中心，將比例尺縮小 1/2，以顯示更多的區域。

4. 圖層控制：直接勾選右方各圖層前的控制方塊，即可決定是否顯示該圖層。
5. 資料查詢：在地圖上雙擊滑鼠左鍵 (double-click)，會跳出另一視窗顯示最接近之井柱資料，如圖 4-2。
6. 背景圖資查詢功能：目前可針對井柱查詢，未來除將加入如河川斷面查詢等方式外，並將以外加模式的方式，以圖形等多樣方式進行資料呈現，如目前單機版之三維井柱顯示及河川流量資料等之顯示效果。

實際操作圖層設定及框選地圖範圍時之畫圖如圖 4-3，地圖放大後的畫面如圖 4-4。

4.3 未來規劃與展望

地陷模式地理資訊系統方面，網際網路版本將以提供一般情況使用為主。透過伺服器提供基本背景圖資，讓使用者得以進行資料上傳，再配合後續開發之如電腦輔助邊界設定之模組，可完成最基礎的模式所需之設定，並在伺服器端進行模式計算後直接瀏覽結果。使用者需要較複雜之邊界設定或其他需求時，則由於目前網頁瀏覽器其功能仍有所限制，如全數操作皆要在瀏覽器中完成，精確度及操作方便性皆有所限制，目前規劃考量仍建議以功能完整之地陷模式地理資訊系統單機版進行模式推算，或以如 ArcView 等可進行較精細圖面編輯之地理資訊系統軟體在使用者端完成所需資料編輯後，以資料上傳的方式送至伺服器端，再進行模式計算。

因此，完整之地陷模式地理資訊系統之網際網路版本，將以完成下列功能為主要規劃方式：

1. 完整之地圖顯示功能：目前已有縮放及基本圖層控制之功能，未來將以加入平移、圖層顏色設定等完整功能為目標，並將操作之

方式修改為與現有地理資訊系統之操作方式相近，以符合一般之使用習慣。

2. 專案管理：由於伺服器將同時供各使用者連線使用，因此需加入專案管理之功能，將各使用者之資料區隔，以免相互干擾。同時透過專案管理，未來亦可將不同地區之模式結果開放共享，甚至加以整合，以達到更完整分析監測地層下陷的效果。
3. 資料上傳及線上修正功能：配合專案管理，讓各使用者可以直接將最新的資料上傳，或在線上小幅度修正，以進行最新的模式計算。
4. 模式參數設定：包含邊界設定、參數修正等，唯考量網頁瀏覽器之功能限制，此部份功能設計將以電腦自動輔助完成為主要發展方向。
5. 地陷模式結合：運用伺服器端之背景圖資及使用者上傳或線上設定之資料，進行模式運算，並進行模式結果呈現。

完成上述之功能之後，網際網路版本之主要優點如下：

1. 節省一般地理資訊系統元件之昂貴授權費用：目前單機版使用之 MapObject，每安裝一台機器便需要一份授權，會造系統大量推廣時沈重的負擔。而目前以 Java 為開發環境之伺服器程式，部份元件亦需要購置，即使單價較高，但只需一次或少量授權（視元件之授權規定及架設之伺服器總數而定），成本遠低於單機版。
2. 使用網頁瀏覽器作為操作介面，使用者端完全無需額外安裝任何軟體，在系統運作推廣時僅需簡單之教育訓練及賦與連線權限，更無後續可能需至各使用單位進行系統維護之問題。
3. 模式運算需要較佳之硬體配備，然而模式運算之頻率並不十分高，如各使用單位皆為了進行模式運算而進行系統配備升級或新

購配備，實際使用頻率又不高，無疑是一種浪費。而以此架構僅需將資源投注於伺服器之硬體設備，且可透過排程等方式，讓伺服器可隨時進行不同的模式運算，以充份運用伺服器之計算功能，提升硬體投資的使用效益。

4. 模式結果可直接呈現於網際網路上，提供供學術界甚至一般民眾參考使用，將整套系統之實值效益充份發揮。

而在本年度之進度規劃，則以完成前述功能之第 1,2 項之地圖顯示功能及背景圖資查詢功能為目標，並開始進行第 3,4 項專案管理及資料上傳及線上修正功能之規劃、開發及測試。

第五章 工作進度說明

5.1 目前完成工作項目

第一年的計畫成果中，已經建立了整合系統介面的整體流程。然而，在設計上要從單機版轉換到網路版的過程中，許多設計上都必須重新思考更為通用的方式，諸如應用到不同的研究區域，同時多個專案管理的機制，參數輸入形式更為彈性等，都需要相當程度的更新。因此，研究中首先更新單機版使用手冊與維護手冊，同時作為網路版系統文件的初稿設定，擬透過整體流程文件化方式，以完成系統更新時的整體規劃。

配合系統文件更新的同步進行，整合系統介面也因應重新定義配合相關流程，如三維視覺介面的功能擴充，包括井柱地層展示與計算輸出展示等。且為配合地層下陷模式改版，重新設計系統的輸入與輸出，並透過圖形展示功能，示範測試案例。

網際網路版本已經進行了相關的整體規劃與建置。研究中已經自行開發出網際網路地圖控制的元件，透過系統程式的演練實例，目前已經能夠接受多種電子地理圖資格式，達到基本操作的功能要求。網際網路版本的地圖元件也已經開發完成，已經將原單機版的背景圖資管理系統功能，移植到網際網路版本上。

5.2 未來工作方向

由於今年度重新規劃單機版與網路版的功能定位，且將單機版以 JAVA 程式語言改版，故明年度的工作重點，將在於開發 JAVA 計算元件與圖形元件，移植原本 VB 版本的計算功能與圖形功能至新版本。且配合開發的過程，撰寫單機版與網路版的使用手冊及維護手冊，以利於技術的移轉與人員的訓練。

參考文獻

1. 江崇榮、賴典章、黃智昭、賴慈華、陳利貞，”濁水溪沖積扇之水文地質與地下水系統概念模式”，濁水溪沖積扇之地下水與水文地質研討會論文集， pp127-144，民國85年。
2. 經濟部水資源局，"大區域地下水超抽引致地層下陷之分層計算模式應用（一）：濁水溪沖積扇"，民國87年6月。
3. 經濟部水資源局，"大區域地下水超抽引致地層下陷之分層計算模式應用（二）：屏東平原"，民國88年6月。
4. 經濟部水資源局，"區域性地下水觀測站網檢討(II)-濁水溪沖積觀測站網佈井及觀測頻率檢討"，民國85年。
5. 廖日昇、李林少華、柳志錫、廖建順、林明煌，”北港沿海地區的地盤下陷及地下水污染之調查及研究”，工研院能資所地層下陷研討會論文集， pp129-216，民國79年6月。
6. 蕭慶章，”台灣地區地下水位變化與地層下陷概況”，工研院能資所地層下陷研討會論文集， pp135-159，民國79年。
7. 簡俊彥、蔡正男、陳尚、林季麟，”分層地層下陷觀測研究”，工研院能資所地層下陷研討會論文集， pp217-235，民國79年。
8. 2D OCX Programmer's Guide & Reference Manual Ver 5.0, KL Group, March 1997, Canada
9. Abernathy, M. and Shaw, S. (1998). "Integrating Geographic Information in VRML Models". In Proceedings of the Third Symposium on the Virtual Reality Modeling Language, Monterey, CA. February 16-19, pp. 107-114.
10. Building Applications with MapObjects, ESRI, 1998, Redlands, CA.
11. California Science Center (CSC), Los Angeles, CA. 31 January 1998.
12. DeLeon, V. J. (1999). "VRND: Notre-Dame Cathedral: A Globally

- Accessible Multi-User Real-Time Virtual
13. DIS-Java-VRML Working Group web page, <http://www.web3d.org/WorkingGroups/vrtp/dis-vrml-java/>
 14. Dykes, J. A., Moore, K. M. and Fairbairn, D. (1999). "From Chernoff to Imhof and Beyond: VRML & Cartography". In Proceedings of the Fourth Symposium on the Virtual Reality Modeling Language, Paderborn, Germany. pp. 99-104.
 15. Gore, A. (1998). "The Digital Earth: Understanding Our Planet in the 21st Century". Speech delivered at the
 16. IEEE 754-1985 (1985). "IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic". IEEE Standards Publication.
 17. ISO/IEC 14772-1:1997 (1997). "The Virtual Reality Modeling Language". December 1997. <http://www.vrml.org/Specifications>.
 18. MapObjects Programmer's Reference, ESRI, 1998, Redlands, CA.
 19. McConnell, S. Rapid Development, Microsoft Press, 1996.
 20. Reconstruction". In Proceedings of the 5th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM99), Dundee, Scotland. September 1-3, pp. 484-491.
 21. Reddy, M., Leclerc, Y. G., Iverson, L. and Bletter, N. (1999) "TerraVision II: Visualizing Massive Terrain Databases using VRML". IEEE Computer Graphics and Applications, 19(2): 30-38.
 22. Reddy, M., Leclerc, Y. G., Iverson, L., Bletter, N. and Vidimce, K. (1999). "Modeling the Digital Earth in VRML". In Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, vol. 3905.
 23. Rhyne, T. M. (1997). "Going Virtual with Geographic Information and Scientific Visualization". Computers and Geosciences, 23(4): 489-491.
 24. Snyder, J. P. (1987). "Map Projections – A Working Manual". U.S.

- Geological Survey Professional Paper 1395, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
25. Teach Yourself Object-Oriented Programming with Visual Basic in 21 Days, John D Conley III, June 1998, Sams Publishing, Indiana, USA
 26. USGS (1990). "Digital Elevation Models". Data Users Guide 5. United States Department of Interior U.S. Geological Survey. Reston, VA.
 27. Using ArcView 3d Analyst, ESRI, 1998, Redlands, CA.
 28. Using ArcView GIS, ESRI, 1998, Redlands, CA.
 29. Using Avenue - Customization and Application Development for ArcView GIS, ESRI, 1998, Redlands, CA.
 30. Using the ArcView Spatial Analyst, ESRI, 1998, Redlands, CA.
 31. Visual Basic 6 Business Objects - Enterprise Design and Implementation, Rockford Lhotka, 1998, Wrox Press, Birmingham, Canada

表 1-1 全程計畫進度表

時間進度		第0.5年	第1年	第1.5年	第2年	第2.5年	第3年
單機版	資訊系統整合分析	■		■			
	建置相關資料庫與基本圖籍	■					
	軟體工具評估	■	■				
	整合系統設計與開發		■	■	■		
	使用手冊與維護手冊撰寫		■	■	■		
	模擬案例設計		■				
網路版 地下水 平衡模 式與地 層下陷 模式整 合	資訊系統整合分析			■	■		
	建置相關資料庫與基本圖籍		■	■	■		
	軟體工具評估			■	■		
	整合系統設計與開發			■	■	■	
	使用手冊與維護手冊撰寫			■	■	■	
	模擬案例設計				■	■	
人員訓練	技術移轉與相關訓練		■		■		■

表 2-1 Hcghc.dat 檔案格式列表

x-grid	y-grid	Layer	水力傳導係數	Lmae constant(G)	Lmae constant
(SC)					

表 2-2 Gridp.dat 原始檔案格式列表

Layer	x-grid	y-grid	格網點性質	格網點性質	受壓或非受壓
			0(外部點)	0(內部)	0(受壓)
			1(內部點)	1(平下)	1(非受壓)
			3(邊界點)	2(平上)	
			2(區間交界點)	3(垂右)	
				4(垂左)	
				5(左上角)	
				6(右上角)	
				7(左下角)	
				8(右下角)	

表 2-3 Gridp.dat 建議修改格式列表

x-grid	y-grid	Layer	格網點性質	格網點性質	受壓或非受壓
--------	--------	-------	-------	-------	--------

表 2-4 Pump.dat 原始檔案格式列表

鄉鎮 代號	內含網 格數	年抽 水量	年入 滲量	分層抽 水比例 1	分層抽 水比例 2	分層抽 水比例 3	分層抽 水比例 4	分層抽 水比例 5	抽水 量調 整參 數

表 2-5 pump.dat 建議修改格式列表

x-grid	y-grid	年抽 水量	年入 滲量	分層抽 水比例 1	分層抽 水比例 2	分層抽 水比例 3	分層抽 水比例 4	分層抽 水比例 5	抽水 量調 整參 數

表 2-6 Town.dat 檔案格式列表

x-grid	y-grid	鄉鎮市代碼	河川代碼
5	2	19	0

表 2-7 River.dat 檔案格式列表

x	y	年河川入滲量
1	1	0

表 2-8 Depth.dat 檔案格式列表

x-grid	y-grid	Layer i	Layer ii	Layer iii	Layer iv	Layer v

表 2-9 Duration.dat 檔案格式列表

起始時間	終了時間	Time Step

表 2-10 Scale.dat 檔案格式列表

minX	minY	MaxX	MaxY	dX	dY	nLayer
最小 X	最小 Y	最大 X	最大 Y	X 間隔	Y 間隔	層數

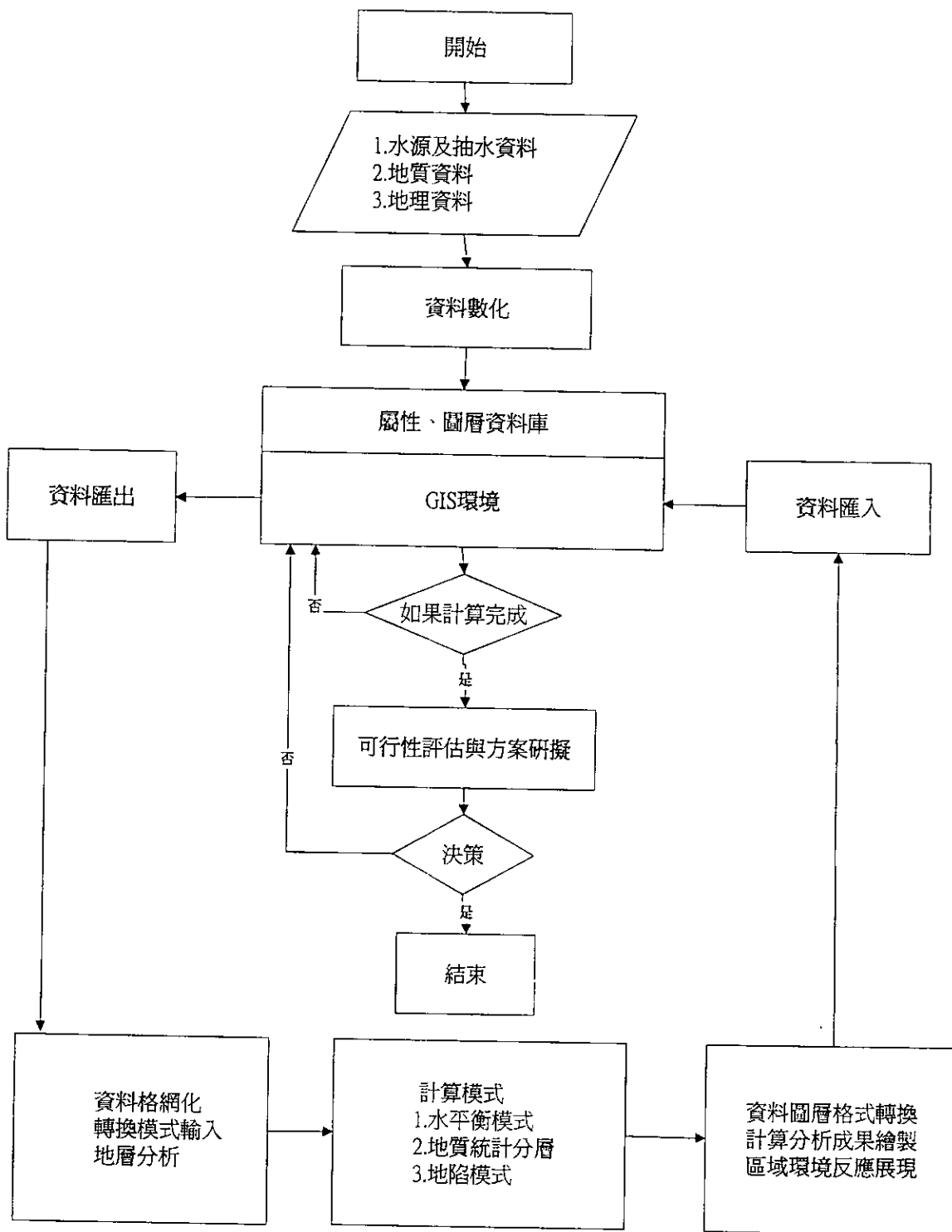


圖 1-1 整合計算概念架構

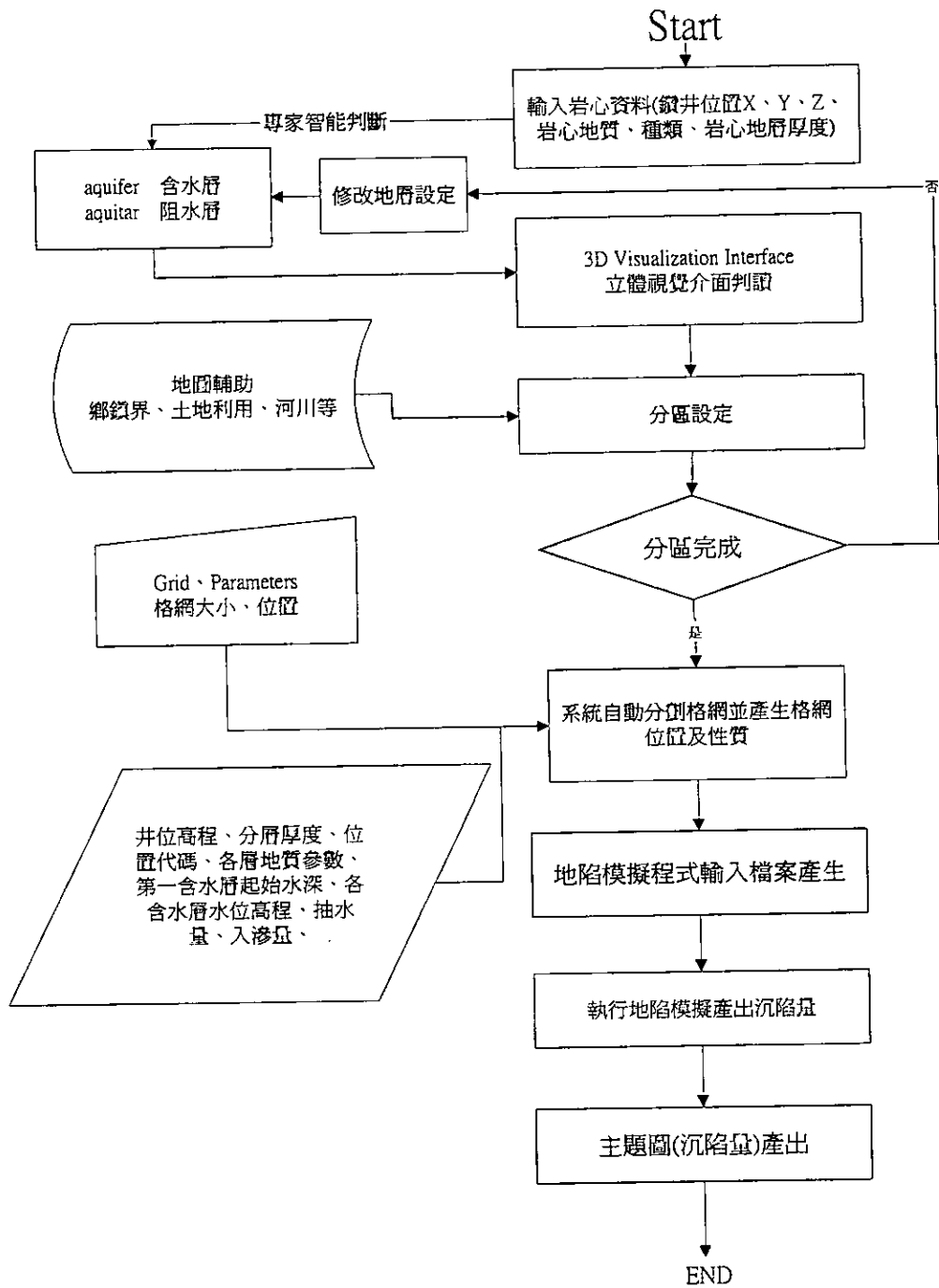


圖 1-2 整體計算工作流程

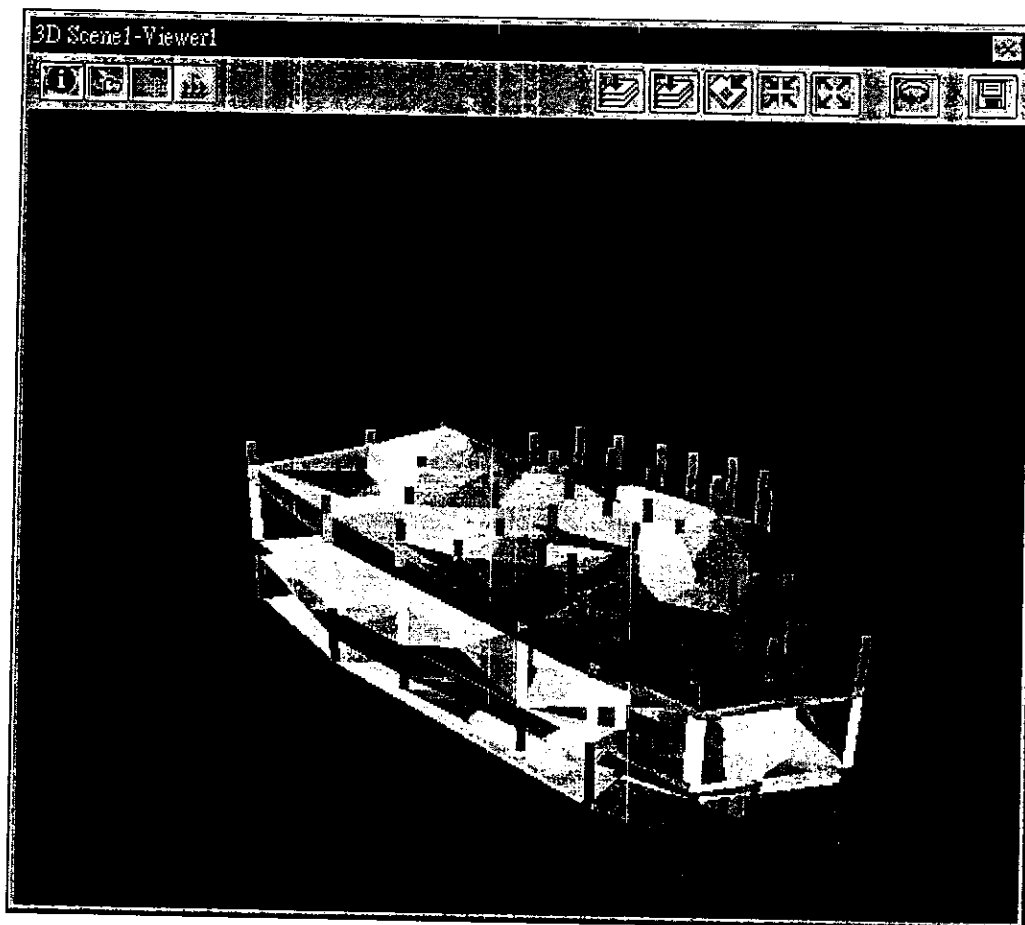


圖 1-3 ArcView 與 3D Spatial Analysis 製作三維空間虛擬實境示意圖

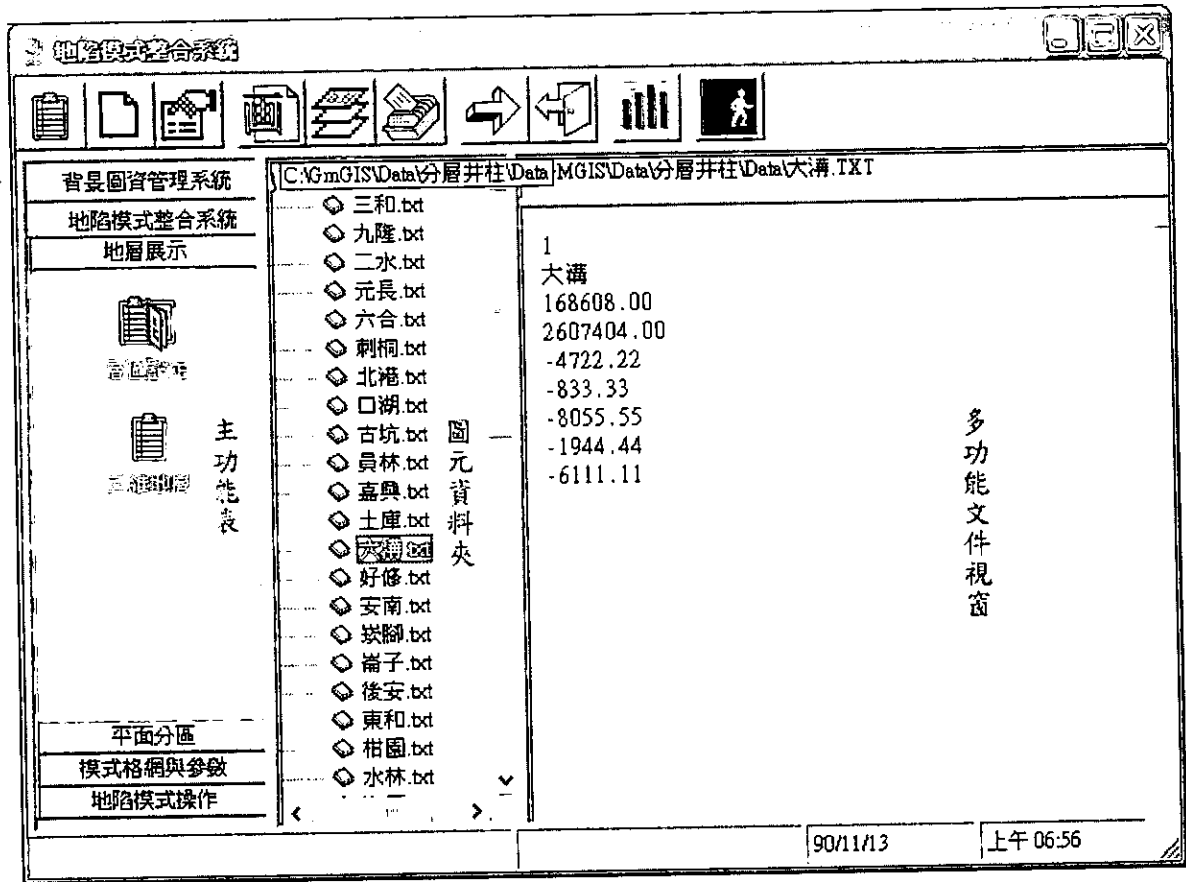


圖 1-4 地陷模式整合系統與背景圖資展示整合系統整體設計概念圖

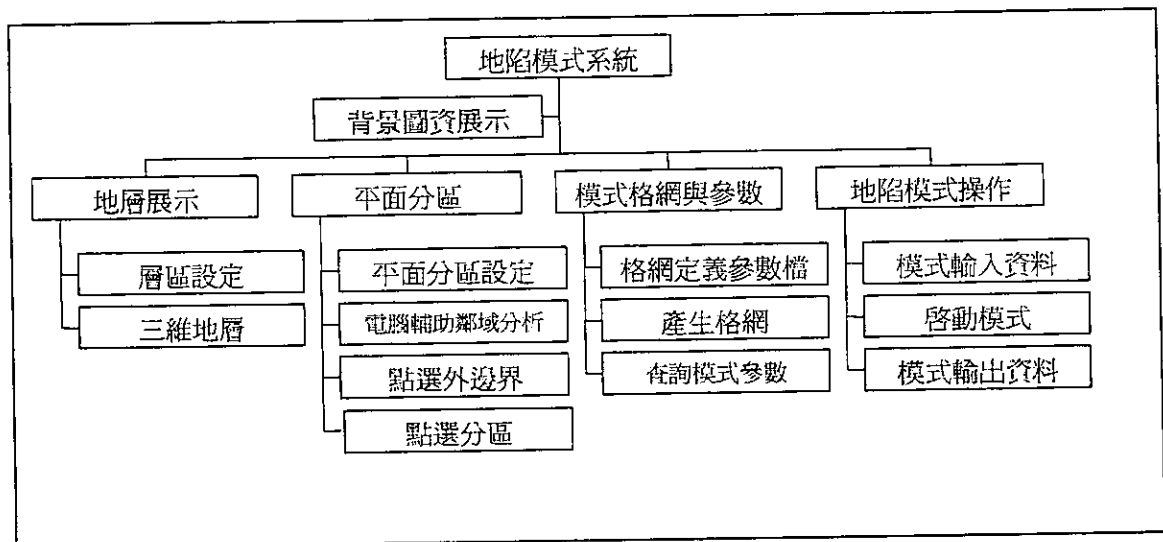


圖 1-5 地陷模擬整合系統系統架構圖

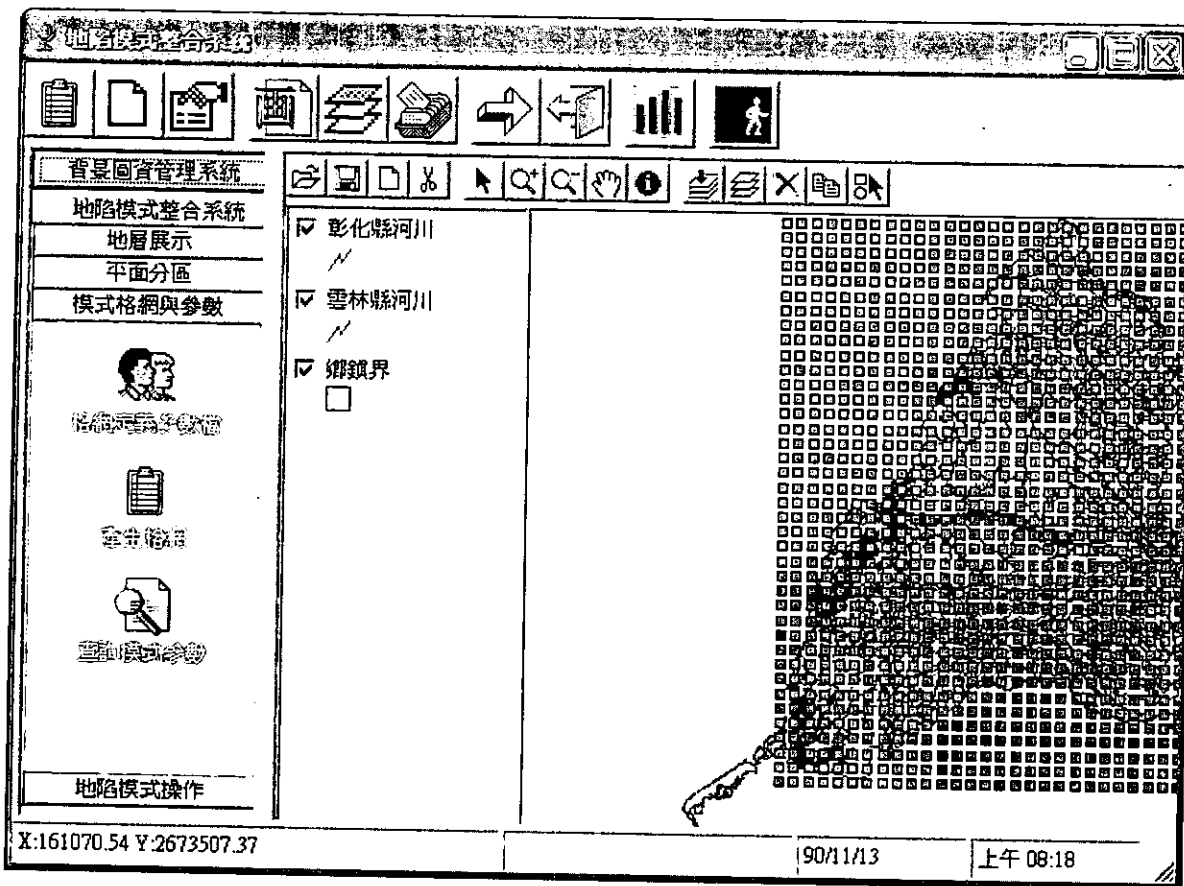


圖 2-1 格網點與研究區地圖套疊

Layer	格網點位置	邊界形式	受壓情形	水力傳導係數	Lmae const(G)	Lmae const(LamDa)	各含水層厚度	含水層初始水深	初始水
1(透水層1)	1	0	0	0.00015	5E+08	1E+09	0	22.116	6
2(阻水層1)	1	0	1	1E-08	5000000	1E+07	0		
3(透水層2)	1	0	1	0.00015	5E+08	1E+09	0		-2.5t
4(阻水層2)	1	0	1	1E-08	5000000	1E+07	0		
5(透水層3)	1	0	1	0.00015	5E+08	1E+09	0		-1.0

圖 2-2 查詢格網點屬性的結果

1	1	.000E+00	.00E+00	.00E+00	.000E+00	.00E+00	.00E+00	.000E+00	.00E+00
1	2	.150E-03	.50E+09	.10E+10	.100E-07	.50E+07	.10E+08	.150E-03	.50E+09
1	3	.150E-03	.50E+09	.10E+10	.100E-07	.50E+07	.10E+08	.150E-03	.50E+09
1	4	.150E-03	.50E+09	.10E+10	.100E-07	.50E+07	.10E+08	.150E-03	.50E+09

圖 2-3 Hcghc.dat 之檔案格式

1	1	1	0	0	0
1	1	2	3	7	0
1	1	3	3	3	0
1	1	4	3	3	0
1	1	5	3	3	0
1	1	6	3	3	0
1	1	7	3	3	0

圖 2-4 Gridp.dat 之檔案格式

1	24	87000000	10343200	1.0	0.0	-0.2	0.0	-0.8	0.2
2	14	74032242	50845840	0.8	0.0	-0.3	0.0	0.7	3.8
3	17	66501920	37218986	0.3	0.0	0.5	0.0	0.2	1.0
4	14	44991517	30333943	0.5	0.0	0.4	0.0	0.1	0.8
5	15	7059992	36451536	0.3	0.0	0.5	0.0	0.2	1.0
6	12	1040639	2339853	0.3	0.0	0.5	0.0	0.2	1.0

圖 2-5 Pump.dat 之檔案格式

5	2	19	0
6	2	19	0
7	2	0	0
8	2	0	0
9	2	0	0
10	2	0	0
11	2	0	0
..	-	-	-

圖 2-6 Town.dat 之檔案格式

```
1 46 0.0
2 46 0.0
3 46 0.0
4 46 0.0
5 46 0.0
6 46 0.0
7 46 0.0
8 46 0.0
9 46 0.0
10 46 0.0
```

圖 2-7 River.dat 之檔案格式

```
1 1 0 0 0 0 0
2 1 0 0 0 0 0
3 1 0 0 0 0 0
4 1 0 0 0 0 0
5 1 0 0 0 0 0
6 1 0 0 0 0 0
```

圖 2-8 Depth.dat 之檔案格式

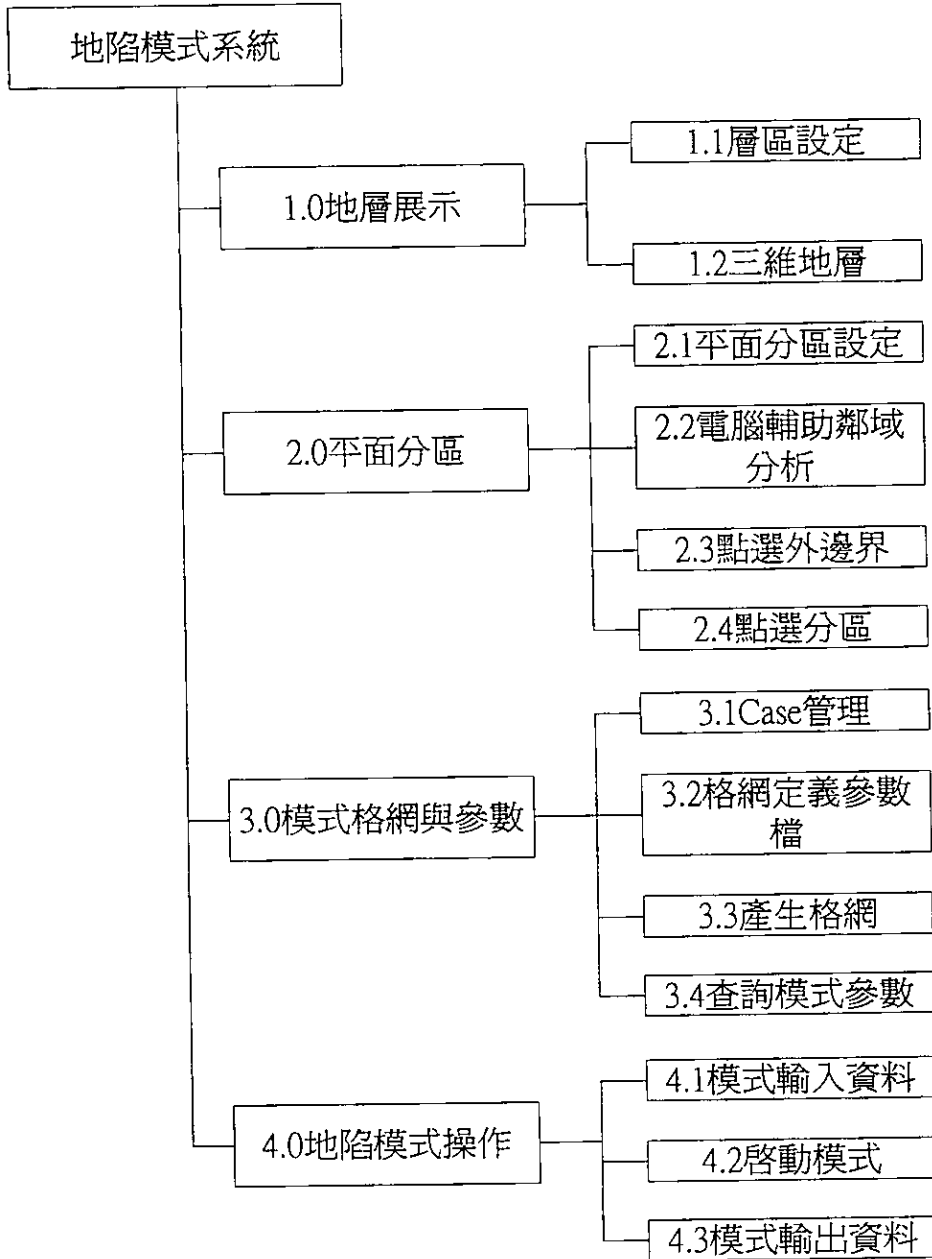


圖 2-9 使用手冊流程圖編碼方式

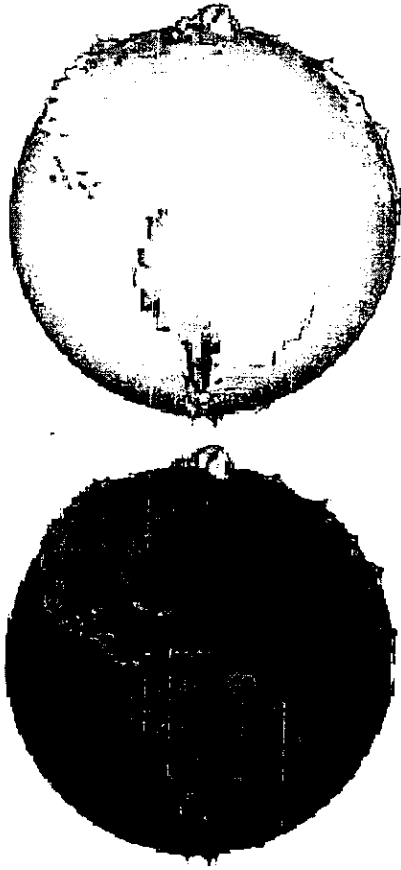


圖 3-1 使用地理高程網格節點所製作的地球表面解析度 2 度的高程模型

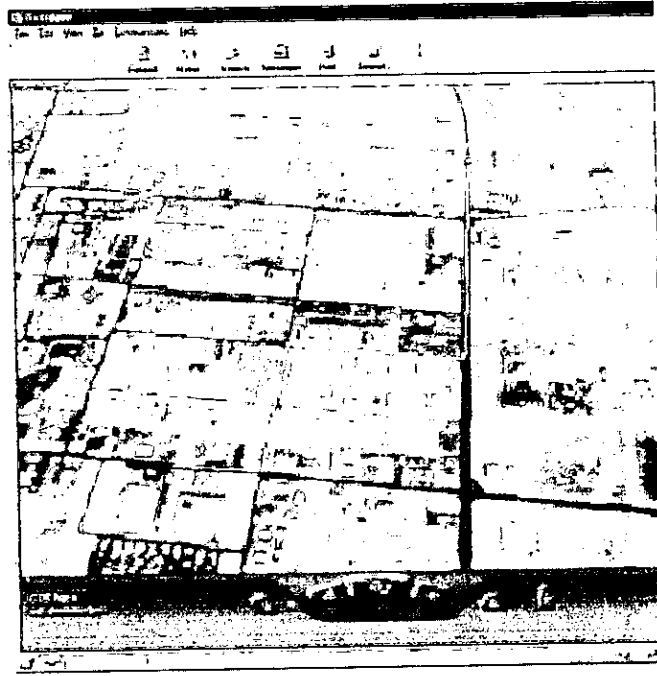
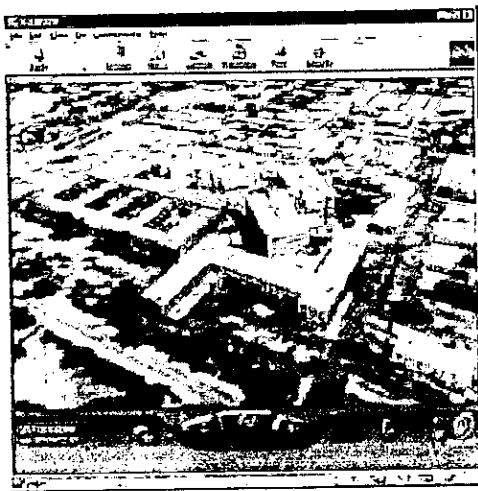
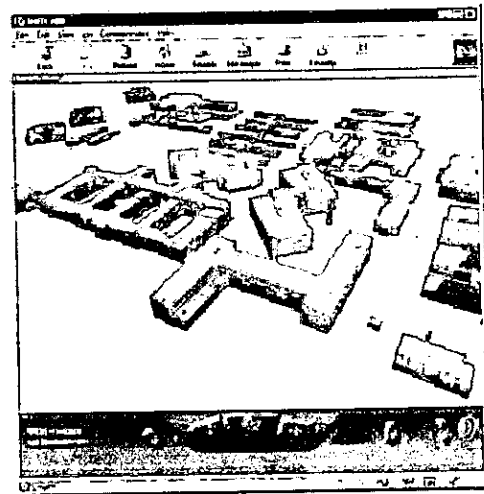


圖 3-2 向量資料與使用地理高程網格所製作的模型套疊示意圖。

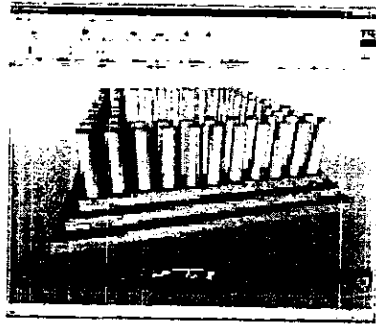


(a)

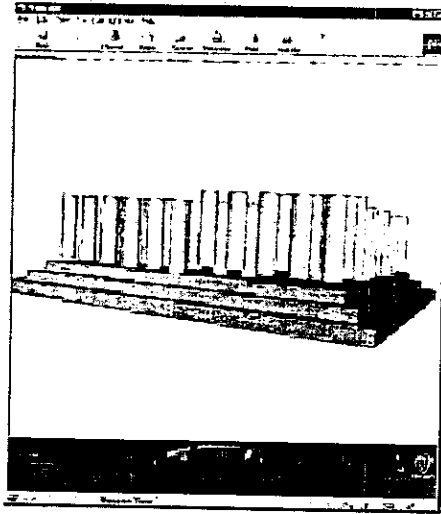


(b)

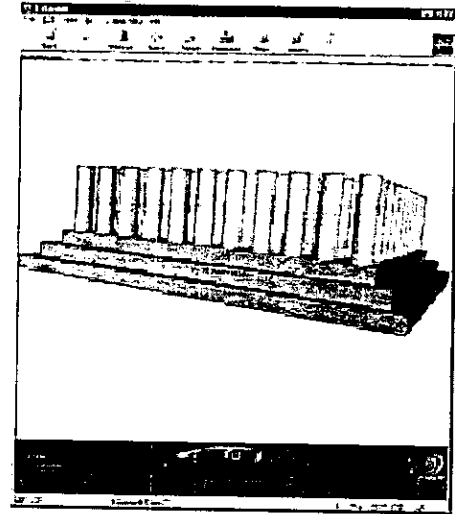
圖 3-3 (a)SRI 公司國際辦公室模型與美國加州 Menllo 公園的地形模型整合示意圖。(b) SRI 公司國際辦公室模型尚未與地形模型整合的情形。



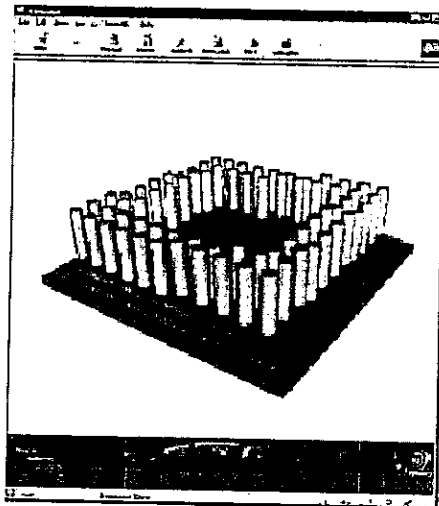
(a)



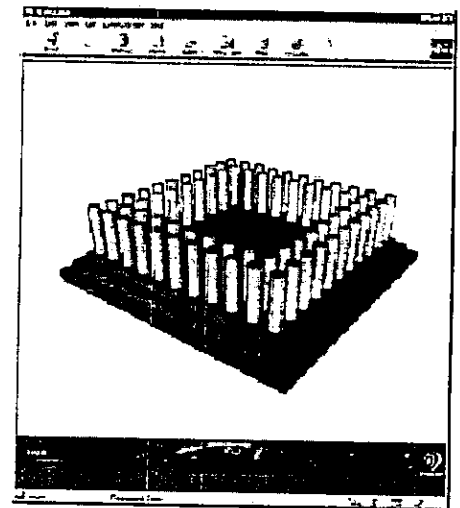
(b)



(c)



(d)



(e)

圖 3-4 (a)以石柱陣列測試「地理原點節點」的能力。(b)與(d)為未使用「地理原點節點」的情形。(c)與(e)為使用「地理原點節點」的結果。

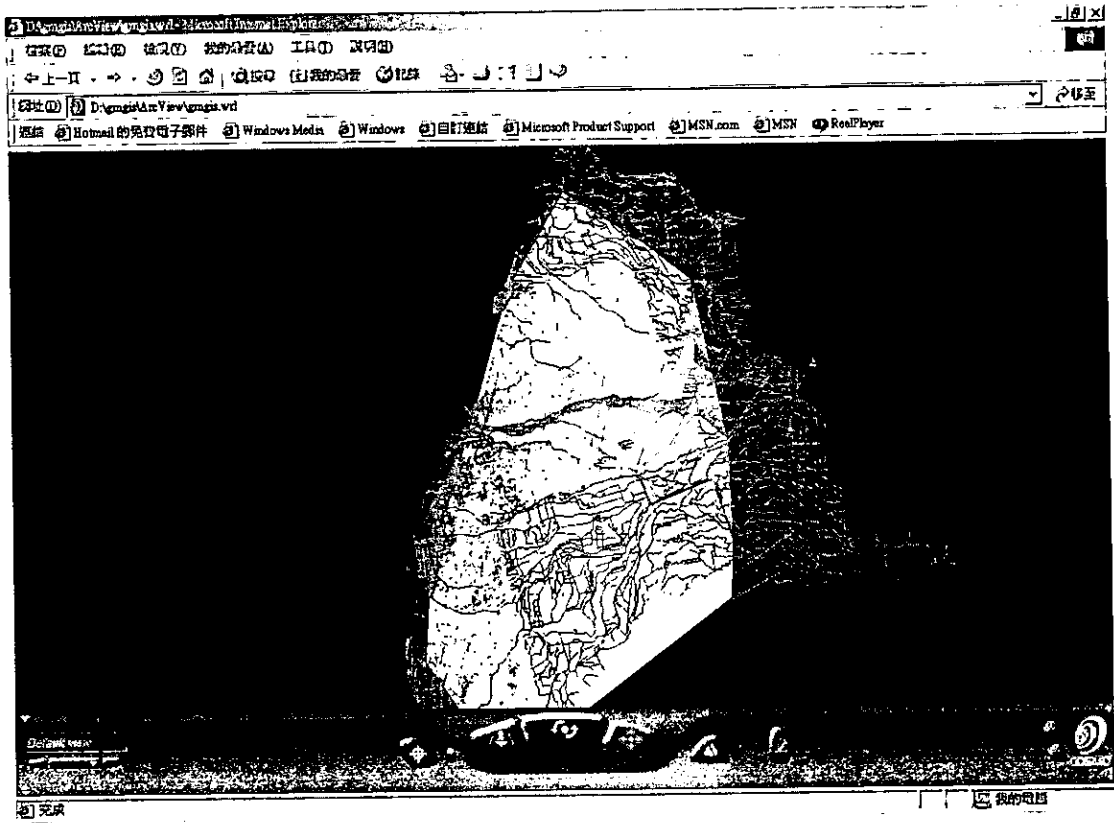


圖 3-5 俯瞰濁水溪流域地層分佈情形，八卦山區地層為含水層(第四區)

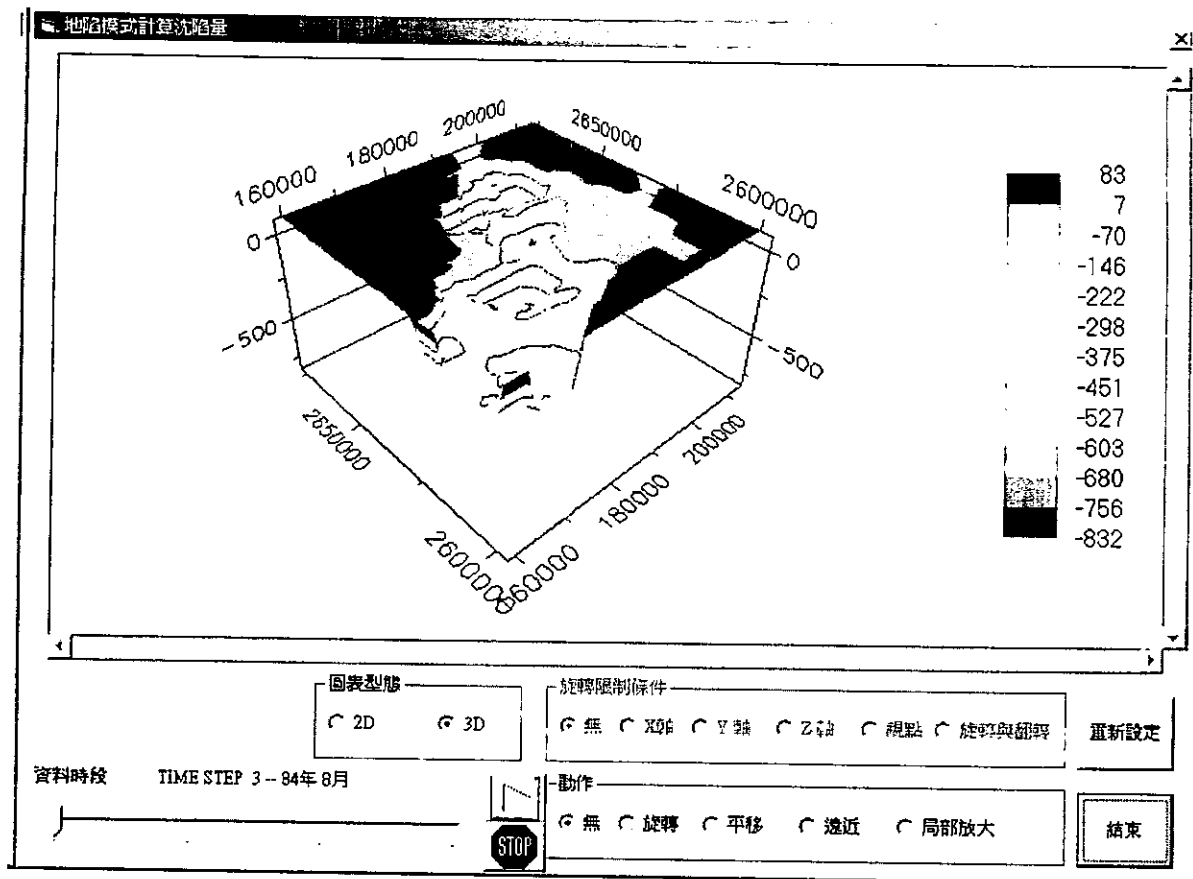


圖 3-6 使用拉桿觀察不同時間步驟之模式推算沉陷量

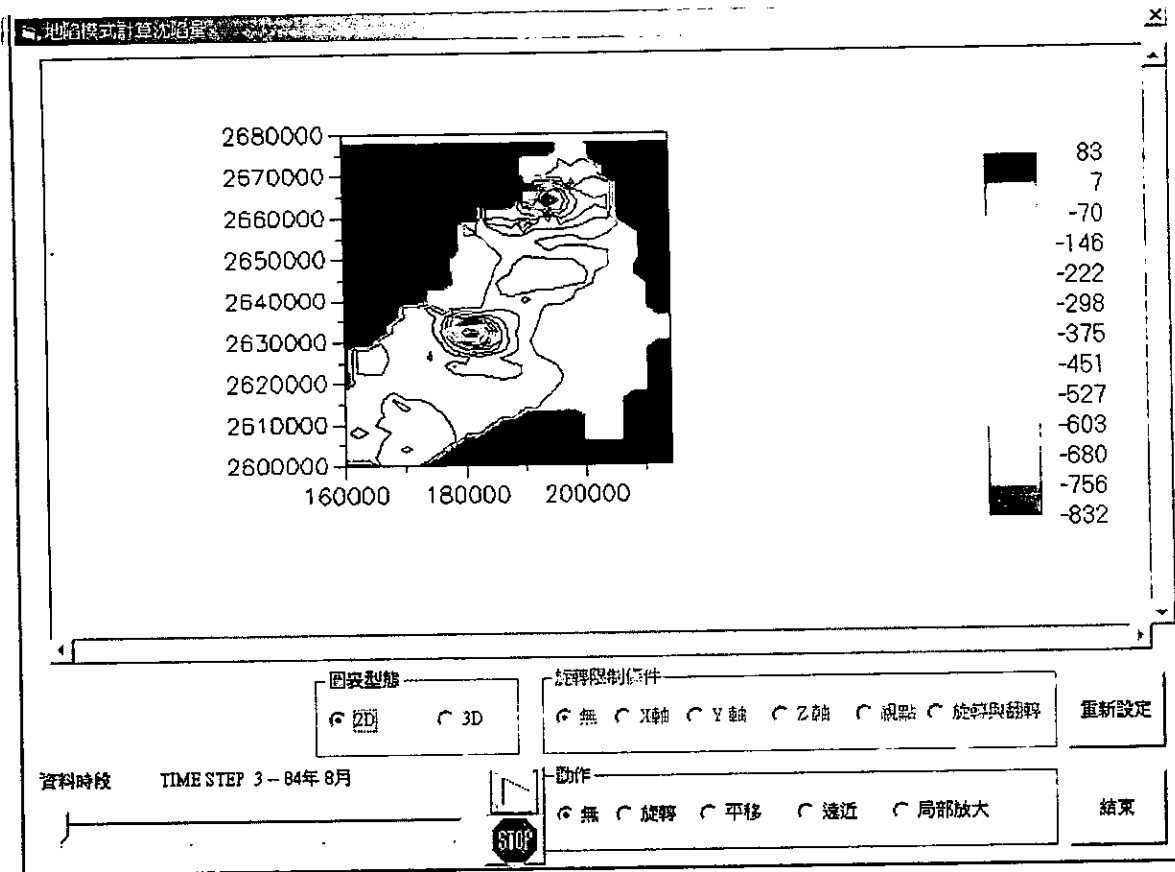


圖 3-7 利用 Assign Proximity 產生分區地圖

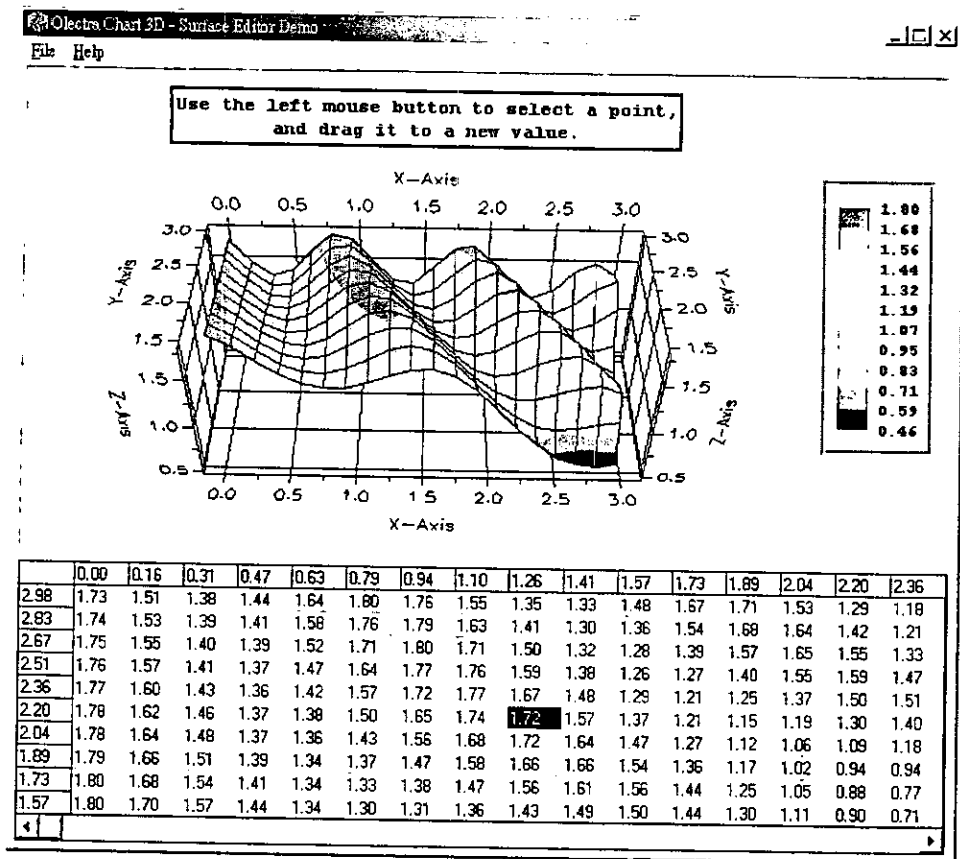


圖 3-8 使用者在 3D 沉陷量等值面上任意點選一點查詢其沉陷量之系統

功能示意圖。

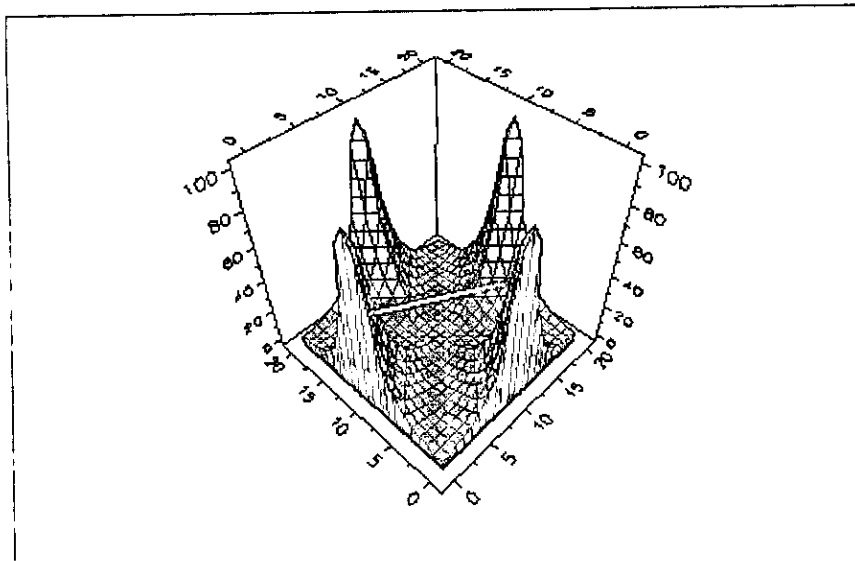


圖 3-9 在 3D 等位面上選取任意切線剖面。

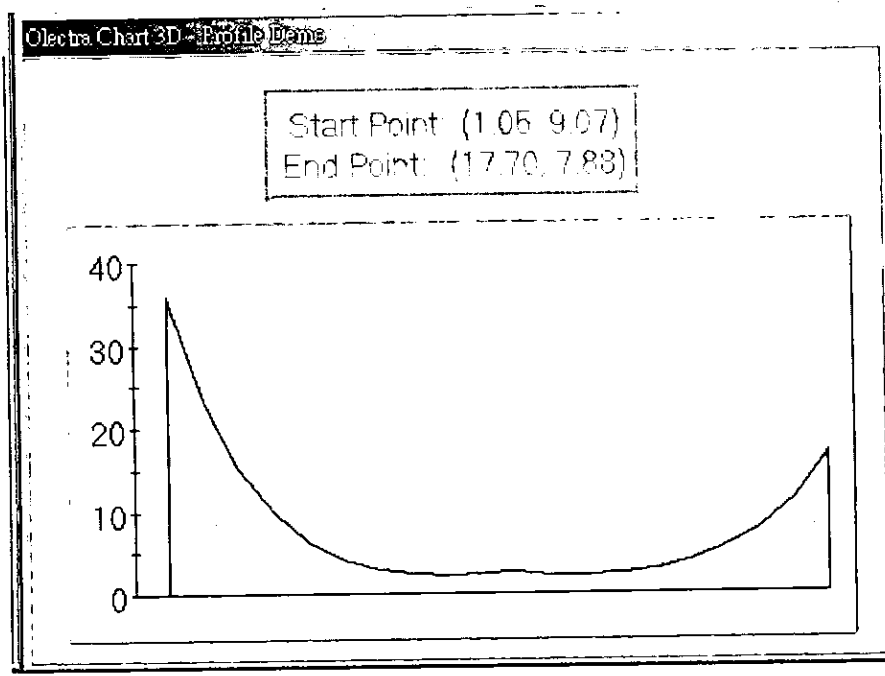


圖 3-10 選取任意切線剖面查詢結果

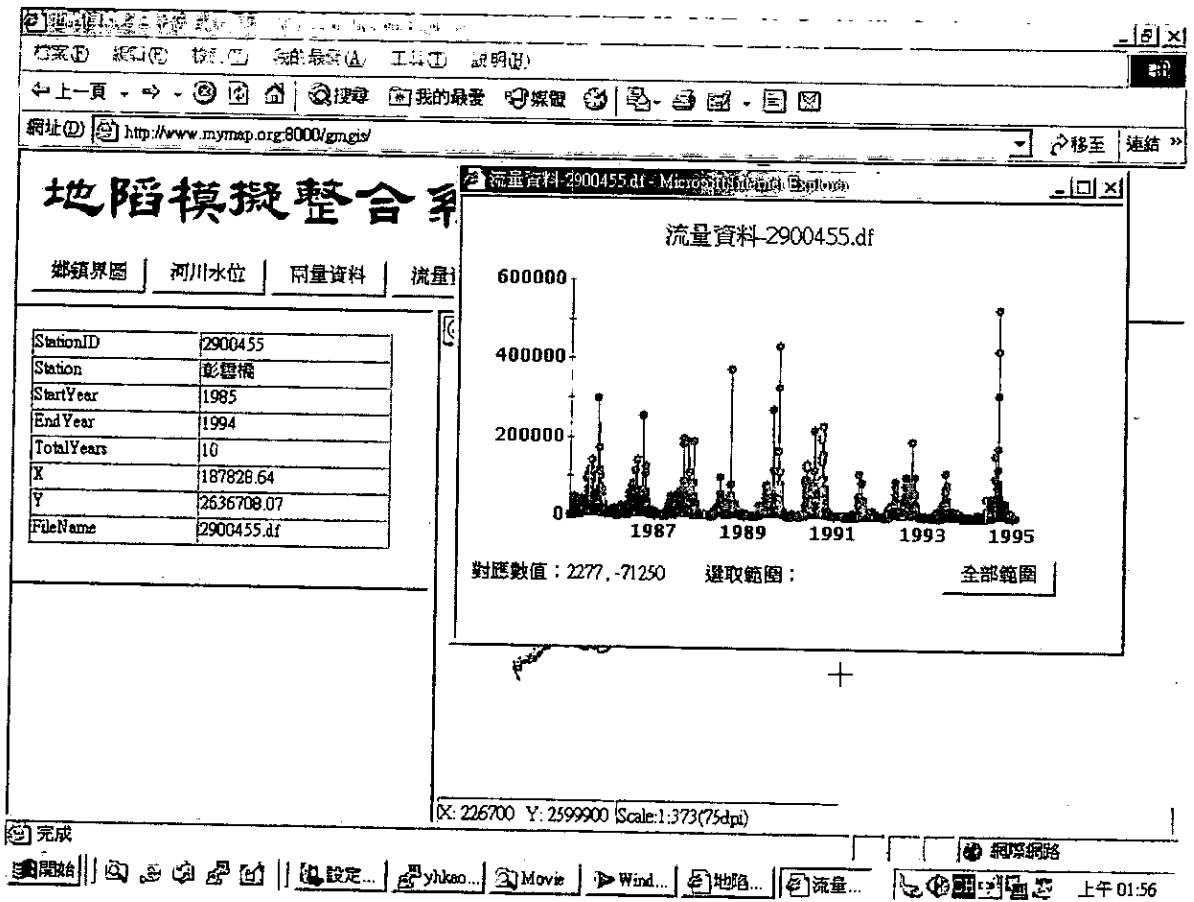


圖 3-11 新網路版測試畫面(1)

地陷模擬整合系統 成果展示

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H)

← 上一頁 → 下一頁 → 搜尋 我的最愛 媒體

網址 http://www.mymap.org/6000/gmgis/ 移至 連結

地陷模擬整合系統

地下水超抽導致地層下陷防治
地理資訊系統之輔助與支援
研究成果

鄉鎮界圖 | 河川水位 | 雨量資料 | 流量資料 | 蒸發量資料 | 地下水井柱 | 河川断面

StationID	2900455
Station	彭雪橋
StartYear	1985
EndYear	1994
TotalYears	10
X	187828.64
Y	2636708.07
FileName	2900455.df

流量測站
 彰化縣湖泊
 雲林縣湖泊
 彰化縣河川
 雲林縣河川
 鄉鎮界

X: 208400 Y: 2677200 Scale: 1.373(75dpi)

完成 網路

開始 設定檔... yhkao@... Movie Windows... 地陷模... 上午 01:57

圖 3-12 新網路版測試畫面(2)

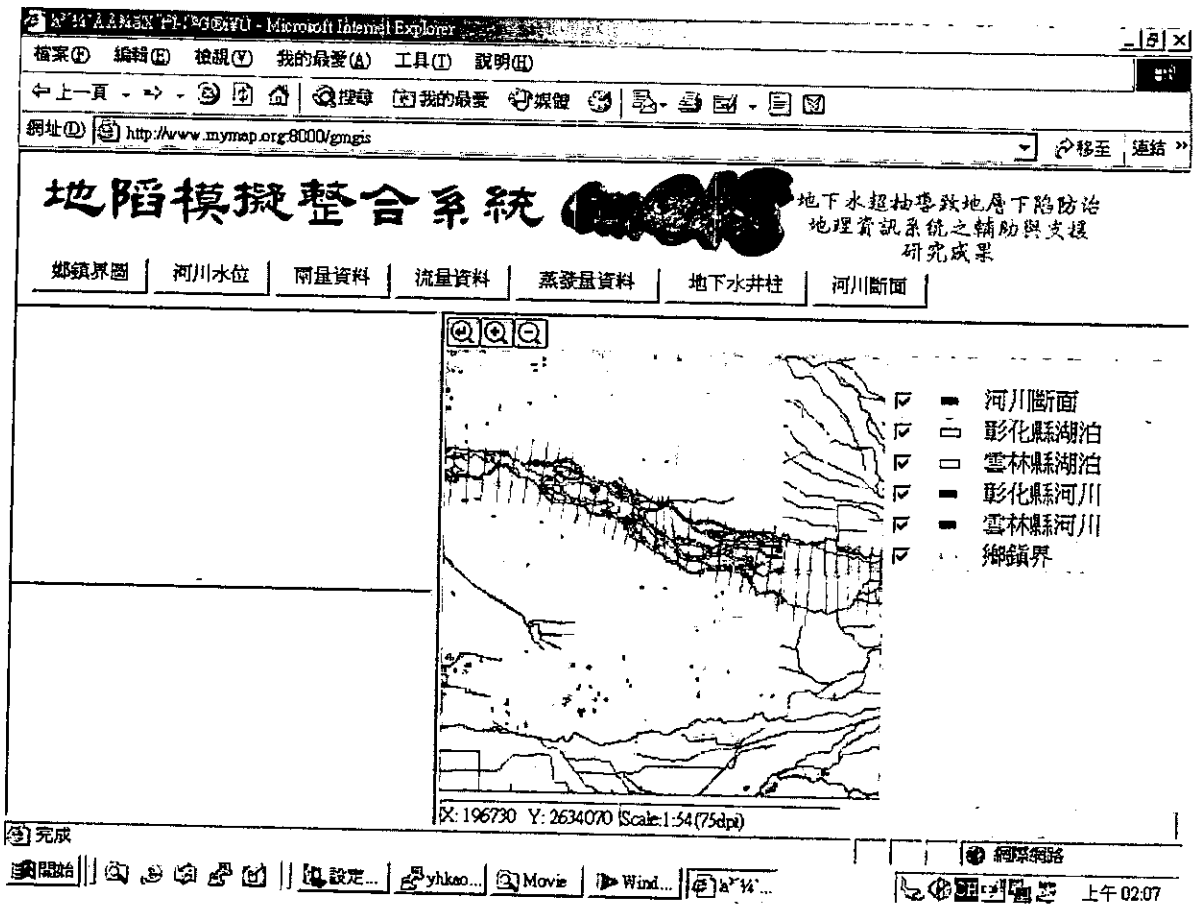


圖 3-13 新網路版測試畫面(3)

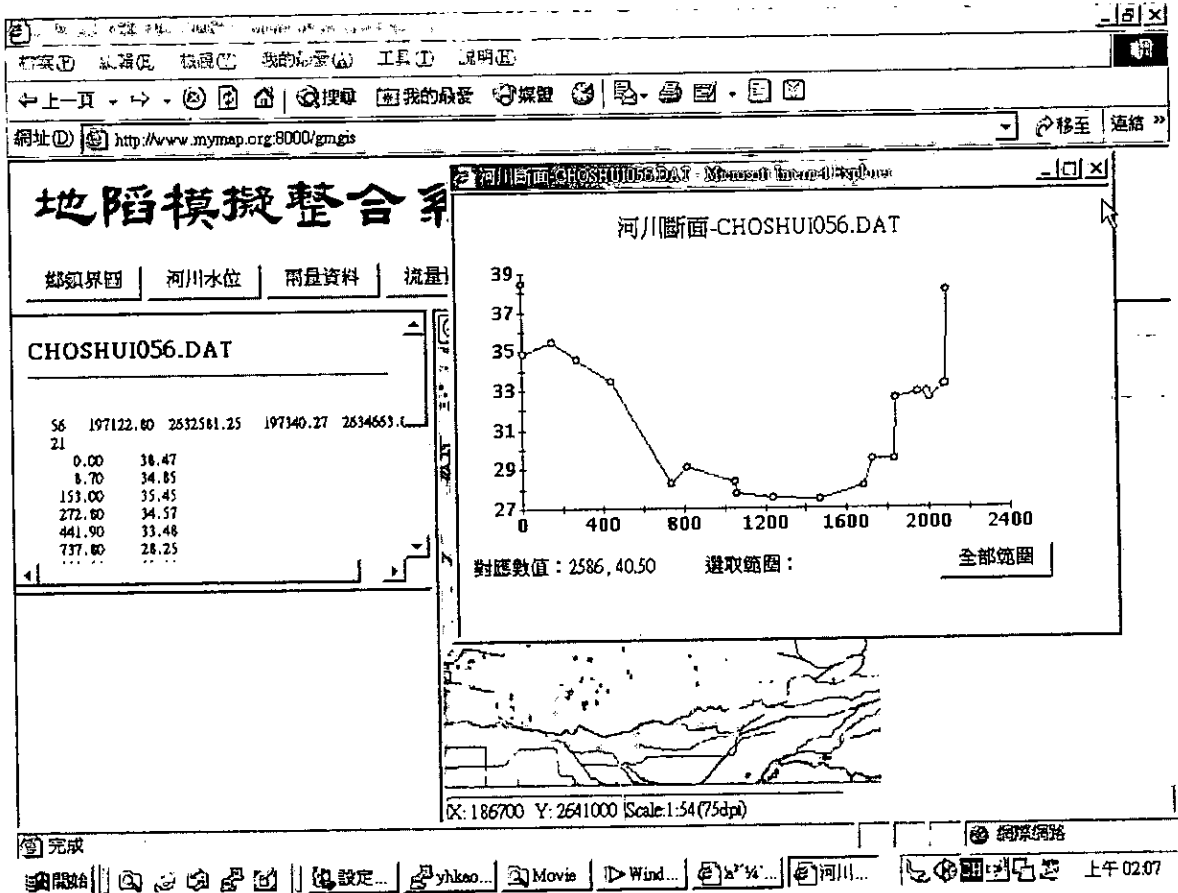


圖 3-14 新網路版測試畫面(4)

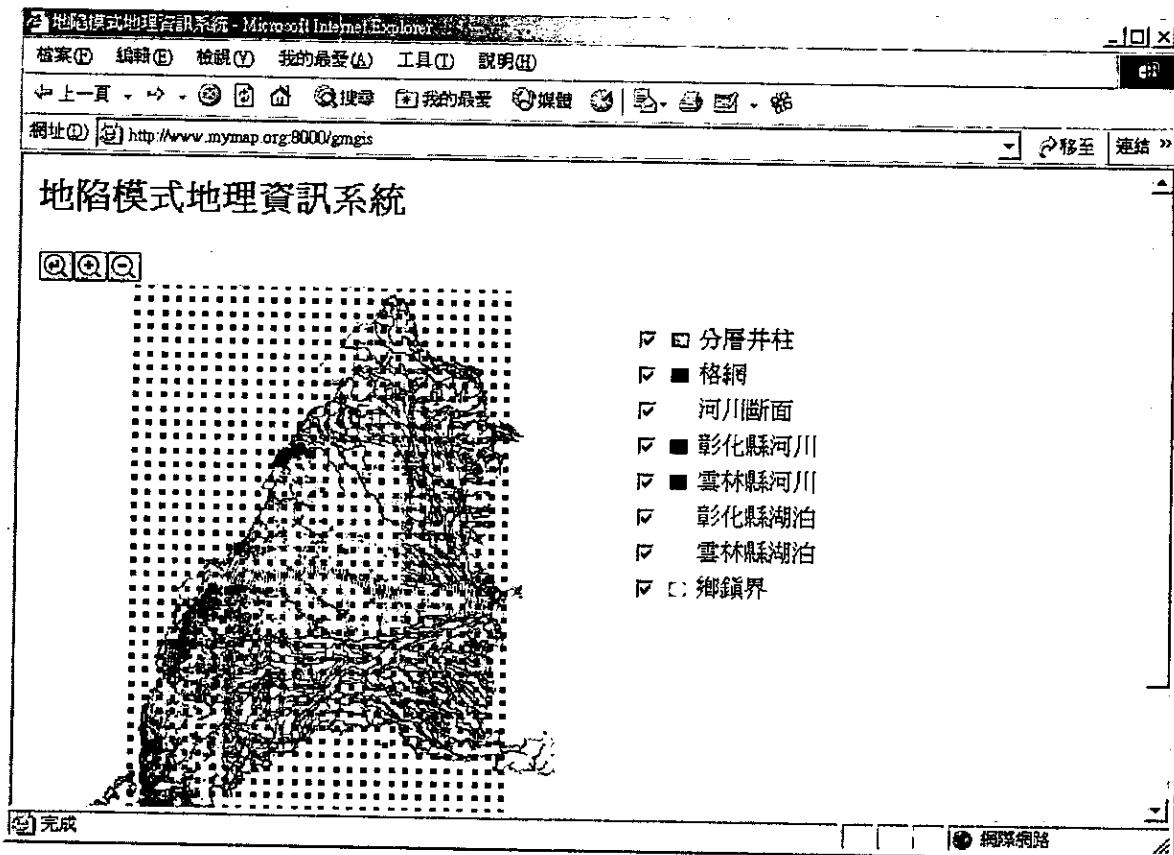


圖 4-1 地陷模式地理資訊系統網際網路版系統畫面

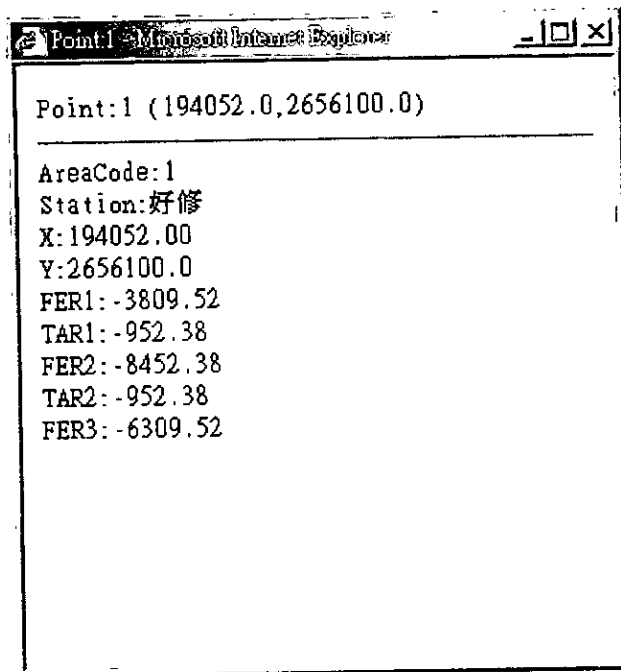


圖 4-2 井柱資料之查詢結果視窗

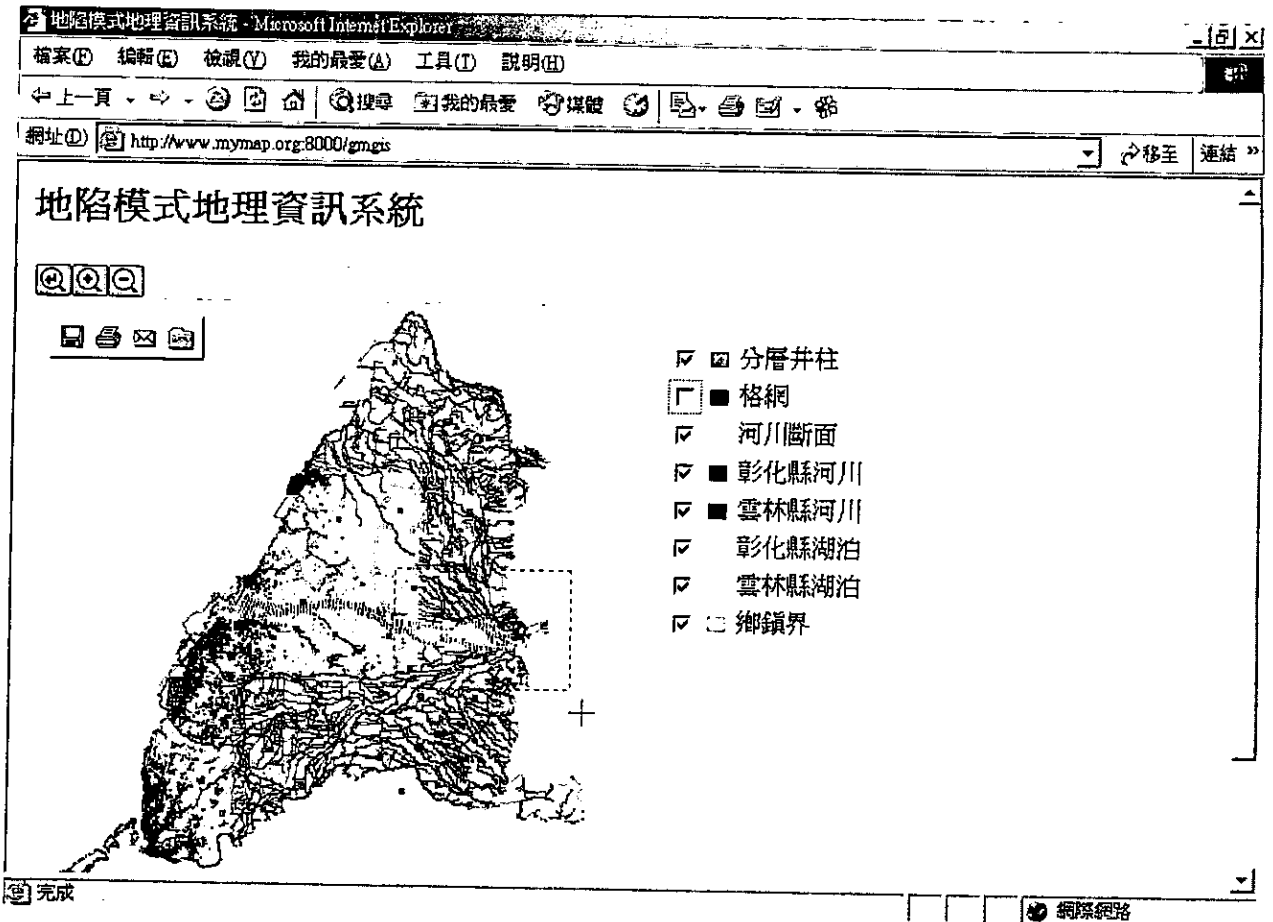


圖 4-3 在地圖上框選放大範圍

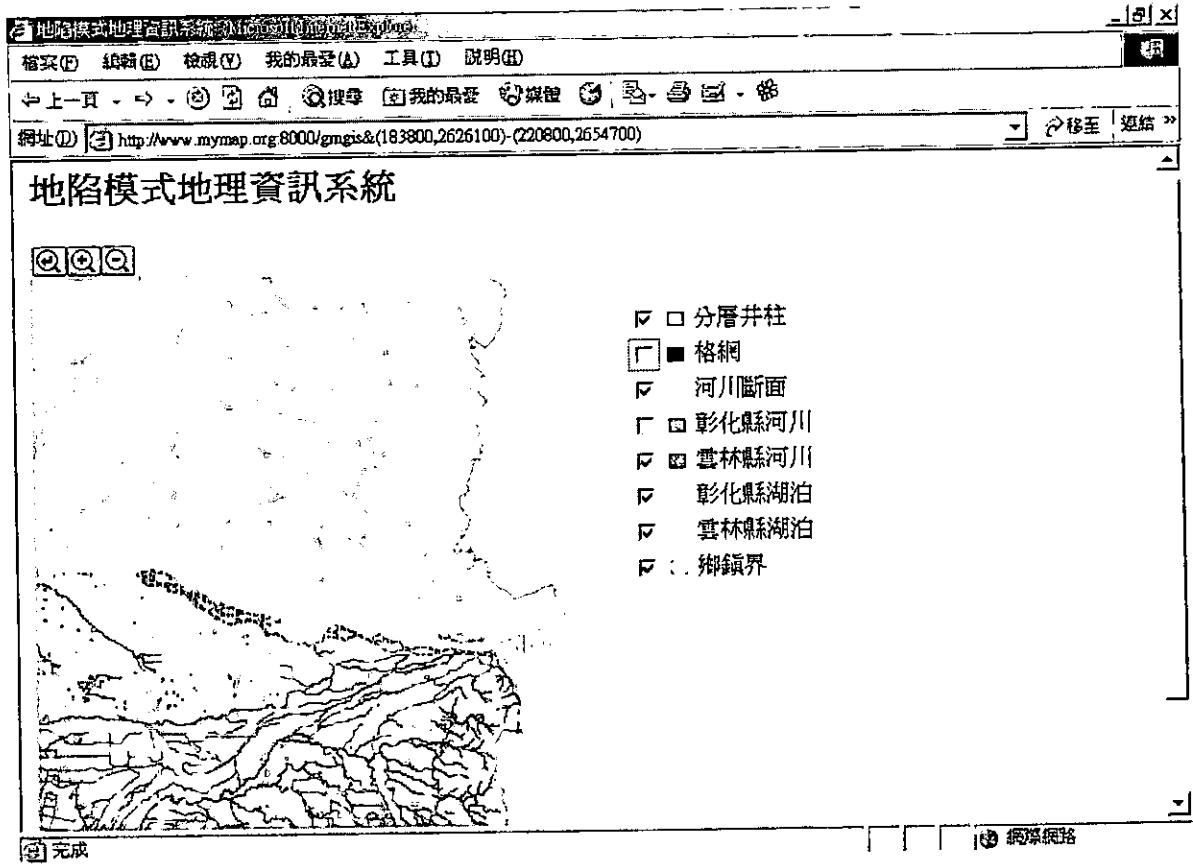


圖 4-4 放大並設定特定圖層不顯示後之系統畫面

附錄一

期中報告審查意見處理情形

附錄一 期中報告審查意見處理情形

期中報告審查意見	辦理情形
<p>成大資源工程系李教授振誥：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫為三年計劃中第二年期 中報告，目前執行內容與工作項 目皆為計劃非要項目，亦合乎所 提工作內容，值得肯定。 2. 本計畫主要用於海岸地區地陷 潛能與危險評估技術，建議期末 報告提出可能之潛能區域與評估 技術可行性方法。 3. 由於入滲量與降雨量有密切關 係，建議將每月之平均降雨量與 入滲量之關係圖繪出。彰化與雲 林地區地表入滲量推估與前人 比較之差異請說明並提出本計 算方法或理論。 4. 濁水溪沖積扇地下水抽水量，評 建議合理抽水量之推估方式，請 說明所建議之理由。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝審查委員之肯定。 2. 期末報告將以抽水量變化與地層 下陷量間之關係來表示地陷潛 能，也就是指出地層下陷敏感區 域。 3. 已經將降雨量與入滲量關係整 理繪成關係圖。另外，地表入滲 量推估結果主要差異點除了計算 方式不同外，土壤參數設定是主 要因素。由於未飽和層土壤數據 不足，因此計算過程中均採用前 人研究結果之經驗值。往昔對於 濁水溪沖積扇入滲量推估結果， 僅能判斷推估結果是否合理，但 無法判斷推估值準確度。本文已 經陸續收集雲林水利會水田灌溉 期間實測蒸發量與入滲量數據， 並進行驗證與校對，於期末報告 中將提出驗證結果之說明。 4. 要提高抽水量推估值的準確 度，必需提高地下水位觀測密度 以及地質水文參數的正確代表 值，因此本文所謂合理與最佳抽 水量推估方式，係指不增加現場 調查經費條件下，利用現有數據 配合模式運作，可以得到之合理

抽水量推估值。本計畫構想：利用地表入滲模式配合淺層土壤與降雨量數據得到地表入滲補注量，利用分層地下水位外插展延模式推估分層水平側向補注量（即模式之邊界流量），最後結合優選模式推估分層抽水量。此方法於前人研究中已經證實可行，然而本問題中抽水量未知數目通常較觀測水位多，因此常常造成不合理推估值。本計畫設想以分區方式，設定抽水量限制值，並且嘗試採用抽水量區塊關聯函數，降低抽水量未知數目，以得到推估之合理值。本計畫於今年度將進行三維模式測試，下一年度則進行分層分區抽水量推估。

5. 大區域分區分層地層下陷計算所研發模式方面，已完成一維耦合地層下陷模式之發展，未來如何合理與實際運用於現場？請注意輸入參數之合理性。

5. 謝謝委員之意見。模擬時，水力傳導係數 (Hydraulic conductivity) 依水利署實測之資料給定，拉梅常數 (Lame constant) 則根據不同土質給定，模式率定時上述之土體參數會做適當之調整。

6. 如何將目前已發展模式或收集資料，藉由優化模式，進入資訊決策支援系統，使系統功能合乎本計劃目標，並請繪各計劃子系統之相關流程圖說明全部計劃流程，特別將今年水平衡與地層下陷量資料，展現於支援系統內，請說明。

6. 優化模式目前仍處於研發測試階段，預定於第三年計畫中與地陷模式結合測試。水平衡模式與地陷模式的整合，目前仍以檔案交換方式進行。針對水平衡模式的計算產出，地陷整合系統將設計轉換功能，以產生適當的圖資格式，匯入地陷模式的輸入檔案。地陷整合系統的文件說明，將於今年期末報告完成。其中，將定義各個執行功能連結的流程，應能將整體成果以相當詳細的方式一一說明。

<p>成大水利及海洋工程系許教授泰文：(書面意見)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫利用未飽和層土壤探討降雨與入滲關係，目前計畫推估成果與前人研究成果似有差異，請再檢討差異原因。 2. 地層下陷推估方面，本計畫理論發展相當完備，但模式如何實際應用於濁水溪沖積扇及彰化大城鄉，請再加強。 3. 期中報告 GIS 展示尚感不足(如降雨入滲)，地層下陷潛能展示請再加強。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 如前所述，地表入滲量推估結果主要差異點除了計算方式不同外，土壤參數設定是主要因素。由於未飽和層土壤數據不足，因此計算過程中均採用前人研究結果之經驗值。往昔對於濁水溪沖積扇入滲量推估結果，僅能判斷推估結果是否合理，但無法判斷推估值準確度。本文已經陸續收集雲林水利會水田灌溉期間實測蒸發量與入滲量數據，並進行驗證與校對，於期末報告中將提出驗證結果之說明。 2. 謝謝審查委員之意見，本年度期末將會得到濁水溪沖積扇之地層下陷模擬結果。 3. 期末報告中當遵照辦理，加強整體成果之說明。子計畫水平衡模式中將計算產出降雨入滲量，透過地陷整合系統提供之轉換功能，可得到適當的圖資，以配合地陷模式計算的輸入檔案。
<p>工研院能資所柳研究員志錫：(書面意見)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫持續致力於研究地層下陷預測模式，並有新的發現值得肯定。 2. 評估各區域之抽水量時，建議參 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝審查委員之肯定。 2. 模擬時，同時率定地下水位與地

<p>考地層下陷之分布概況，以減少兩種現象之衝突。</p> <p>3. 上層含水層抽水會導致下層阻水層上浮之現象，建議再考慮此現象之物理意義是否合理？</p> <p>4. 阻水層越厚及越軟弱代表其受壓排水的時間將越長，亦即其依時(time-dependent)壓縮行為將更形重要，因此預測模式應儘量考慮該項效應。</p> <p>5. 計畫發展之預測模式是否可評估抽水強度及抽水歷時對地層壓縮之影響性。</p> <p>6. 資料蒐集部份建議納入最新之相關調查研究報告。</p>	<p>層下陷量，所以應不會發生衝突。</p> <p>3. 期中報告已利用數學證明此現象之發生。</p> <p>4. 模式建立時已考慮此效應。</p> <p>5. 模式具有此項功能。</p> <p>6. 遵照辦理，已加入 88 年與 89 年之水準檢測資料。</p>
<p>本署黃副組長月娟：</p> <p>1. 子計畫一：研究報告中關於彰化等地區之入滲量推估，1997、1998 年三次結果有相當大的差異，請於文中敘述其緣由。此外，水田入滲量之推估是否已考量牛踏層效應？請將所有入滲量之推估方法及過程於報告作詳細之說明。</p>	<p>1. 水田入滲量推算過程中，已經考慮牛踏層效應。關於入滲量詳細推估流程於第一年度中有較詳細之說明，本年度已經於報告中說明入滲模式架構與修正後之計算流程。對於 1997 年與 1998 年推估結果之差異主要來自於降雨量不同，而 1998 年第一年度與本年度推估結果之差異則是來自於土壤下層邊界條件之差異，於第一年度中係採用淺層地下水位作為邊界條件，其入滲量推算結果受地下水位變化影響很大，而本年度採用固定含水量作為土壤下層邊界條件，顯示推算結果與往昔其他單位推算值差異度較小。</p>

<p>2.子計畫三：本計有關地理資訊系統及地圖伺服器系統等與本署之水文水資源資料庫系統建置計畫及相關地下水 GIS 決策支援系統計畫應相配合，整合為一個有效率之大系統，請相關執行單位互相配合。</p>	<p>2.有關地陷整合系統之各項地理資料與計算成果的產出，當配合貴署的各項資訊整合計畫執行。</p>
<p>本署張科長國強：</p> <p>1.決策系統介面應考慮委託中興辦理之地下水決策支援系統之相通性，並嚐試結合之可行性，3D 如何與地圖結合，宜說明之。</p> <p>2.對地下水補注量之推估，其抽水量之設定及合理性之判斷為何，宜說明，同時與能邦之結果是否可逐鄉比較之？</p>	<p>1.將遵照於後續計畫執行中辦理。預期將收集中興顧問所規劃之系統規格，以了解其輸出項目與系統展示方法。如果圖資的格式可以相容或轉換，應可以嘗試彼此成果分享展示，或其他較為緊密的系統聯結方式。本研究中將加強說明 GeoVRML 的方式，以結合地理圖資於虛擬實境的應用之中。</p> <p>2.於第一年度工作中，利用地下水位作為地表入滲計算過程中土壤下層邊界條件時，發現地下水位變化對土壤下邊界滲流量影響大於地表降雨量，因此第二年度即修正計算條件，土壤下邊界條件設為固定含水量，此計算條件使得降雨量成為地表入滲過程中之主控因子，而地表入滲量推估結果亦較為合理。目前為止，往昔對於地表入滲量推算結果僅能與單一點位入滲觀測值比較，不同模式對於單一點位地表入滲量推估值差異程度均相當有限，而不同模式對於區域性地表入滲量推估結果之差異，主要來自於地表</p>

	<p>利用與土壤入滲參數之設定不同所造成。由集水區逕流演算觀點，降雨期間每小時平均入滲量於 5mm 以內均為合理。水田灌溉期間一般假設每天入滲量可達 2 至 5mm，然而依據雲林農田水利會水田實測減水深觀測結果，西螺地區水田灌溉期間每天入滲率可達到 15mm。依此可以推斷地表入滲量推估結果之差異，與觀測數據及資料庫有相當依賴程度。對於本計畫地表入滲量推估結果與其他單位推估結果已經依據鄉鎮區別整理表列於報告中，對於本計畫推估值與能邦公司推估值差異的原因，將進一步探討分析。</p>
<p>本署曾科長鈞敏：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.本署於彰化及雲林部分鄉鎮，有調查之新資料，模式相關數據請引用新資料。 2.GMS 可由輸入之水井資料直接轉成地質柵狀圖，本模式是否具備該項功能。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.遵照辦理，已加入 88 年與 89 年之水準檢測資料。 2.地陷整合系統中，配合基本空間內插功能，提供了虛擬實境的地層展示，與地質柵狀圖的顯示功能接近，且具有動態效果，應能呈現含水層與阻水層交互的立體效果。然而，系統使用的進入點，設定於地質概念分層分區已完成，故地質柵狀圖目前並未於相關圖資中加以考量。
<p>本署李正工程司友平：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.本計畫雖為科專計畫，但所建立之技術必須加以應用才有價值，故請說明所建立之模式及決 	<ol style="list-style-type: none"> 1.「海岸地區地陷潛能與危險評估技術」研究計畫包括區域性地下水文平衡最佳推估模式、大區域

<p>策支援系統等技術，如何用以進行「海岸地區之地陷潛能與危險評估」。</p>	<p>分區分層地層下陷計算、地層下陷資料之地理資訊決策支援系統、以及地層下陷及地下水優化模式等四個研究子題。藉由上述研究子題之結合，將可完整模擬選定地區地下水之行為，包括入滲量與抽水量之推估、地下水位以及地層下陷之變化等，並且藉由優化模式訂定最佳化之水資源管理與利用方針，以達到充分掌握地下水及地層下陷變化並且合理利用地下水資源之目標。</p>
<p>2. 本計畫應用了非常有學問的技術，例如地表入滲之推估、模式參數之輸入等都有非常高深的學問，未來本技術移交本署有關業務組室人員運用時，本署人員如何接收因應，是否應建立標準作業程序(SOP)，相關技術轉移問題應及早加以規劃。</p>	<p>2. 相關模式之參數，如土壤未飽和參數於模式中已經建立土壤類別對應值，而地表入滲模式、參數推估模式等離線作業模式，將建立簡易之執行與輸入作業程序。</p>
<p>3. 目前本計畫以濁水溪沖積扇為研究區域，但台灣地區有地層下陷問題之區域更包含宜蘭、嘉南平原及屏東平原，未來如何將本計畫研發之技術應用於濁水溪沖積扇以外之地區，請提出具體建議。</p>	<p>3. 本計畫結合地理資訊系統所發展之地層下陷模式已具通用性，可以使用於任何地區之地層下陷模擬，只需藉由電腦視窗即可清楚且容易地輸入模擬所需資料，並啟動模式及展示模擬結果。</p>

附錄二

期末報告審查意見處理情形

附錄二 期末報告審查意見處理情形

期末報告審查意見	辦理情形
<p>成大資源工程系李教授振誥：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫內容合乎工作項目，內容豐碩，深具主辦單位參考價值。 2. 區域地下水文平衡為一動態平衡，建議能朝分年度推估其抽水量、入滲量與地層下陷之間關聯性。 3. 報告內容之撰寫建議依正規格式來撰寫。 4. 請說明輸入水文地質參數值之合理性（亦即是否有進行驗證）。 5. 分層地層下陷所推估出來之現場沉陷值，應與過去所利用其他模式例如拋物線模式等所推估之值比較。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝審查委員之肯定。 2. 本計劃執行順序為：(1)建立推估區域地下水文平衡流程與方法，(2)評估與改良推估流程與方法，(3)推估長期區域地下水文平衡量，(4)將推估流程與模式匯入地理資訊系統中。由於第一年工作成果中，審查委員希望對於地表入滲量計算結果多方面比較與驗證，經第二年工作修正後計算結果已經相當合理，因此第三年將配合地陷模式推估長期入滲量。 3. 遵照主辦單位意見辦理。 4. 含水層之水力傳導係數與儲水係數係依據地下水監測井網之分層抽水試驗結果，並依據空間插值模式展延至計算點位，因此本計劃中對於此一數值並無特別進行驗證。 5. 研究中，已將地層下陷計算結果與實測值相比較。是否需與其它模式比較，遵照主辦單位意見辦理。

<p>6.在推估出來之地陷值中，所輸入參數之率定是否應與地下水模式之率定相一致。</p> <p>7.整合計畫應以地下水可用量或水位等水資源量來為整合之目標，地層下陷量可列入參考值，與水量對比之資料。</p>	<p>6.由於地陷模式所採用之數值方法與水平衡方法不同，空間解析度亦不同，因此所採用之水文參數數值大小將有些微差異，然而對於空間分布趨勢必須一致。</p> <p>7.在地下水管理方案中，的確需要整合地下水潛能量、地層沉陷量、與其範圍，作為基本管理的環境指標。謝謝審查委員的意見，將配合署內地下水資源整合方案執行，提出作為參考。</p>
<p>成大水利及海洋工程系許教授泰文：</p> <p>1.本計畫為三年計畫中第二年計畫，工作執行內容和成果豐碩，值得肯定。</p> <p>2.三維多層地下水流數值模式中，含水層結構與地質水文參數對推估有重要影響，對於濁水溪沖積扇入滲補注量模擬，往昔學者專家曾從事這方面研究，應參考這些研究所應用的水文參數和預測結果，以便瞭解這些參數敏感度，而本計畫結果僅與能邦公司比較，應和其他學者專家比較。</p> <p>3.地層下陷潛能與危險評估，報告中以濁水溪沖積扇為計算範例，計算成果顯示耦合模式並沒有優於非耦合模式，原因在於此一區域浮體重力效應並不顯著，能否在下年度實例應用時，找出能發揮耦合模式功能之範例。</p>	<p>1.謝謝審查委員之肯定。</p> <p>2.三維多層地下水流數值模式目前只進行至解析解驗證工作，本計劃已經收集往昔學者專家於濁水溪沖積扇研究結果，將來實際應用上會與往昔研究結果進行比較。</p> <p>3.研究中所發展之一維耦合地層下陷模式，確實可以表現出浮體重力效應之物理行為。謝謝審查委員之建議。</p>


工研院能資所柳研究員志錫：

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <p>1. 本計畫建立之地陷預測數學模型及理論基礎相當完整且深入，但因實際地層性質相當複雜，預測結果與實地行為難免有差距，建議未來可考慮以試驗室物理模型驗證部份成果。</p> | <p>1. 謝謝審查委員之建議。</p> |
| <p>2. 一維耦合下陷預測模式會較適用於沉積層很厚之均勻下陷預測，對於地層性質變異大，如多層含水層系統之黏土凸鏡體及山坡地，水平位移影響較明顯，建議考量一維模式之適用性。</p> | <p>2. 謝謝審查委員之建議。本研究暫不考慮山坡地之地層下陷計算。</p> |
| <p>3. 對於地層下陷潛能之評估，所謂終極沉陷量應指相對條件而言，在不同之抽水狀態下，其量亦會有不同，建議未來可先評估地層最多可抽多少水，再分析其對地層之影響性。</p> | <p>3. 本研究採用給定抽水量及入滲量下，計算終極下陷量。</p> |
| <p>4. 濁水溪沖積扇部份鄉鎮之抽水井及量之調查已有較新之資料，建議加以參考。</p> | <p>4. 謝謝審查委員之建議。</p> |

本署主辦科：

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <p>1. 請承辦單位針對報告 II-142 頁中圖 6-22 中高鐵經過之雲林縣土庫及元長鄉地層下陷潛勢圖，補充相關背景資料、模式起始條件及模擬之歷程，提送本科，俾轉送本署水利行政組參考。</p> | <p>1. 遵照辦理。</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|

<p>2.目前本計畫以濁水溪沖積扇為研究區域，但台灣地區有地層下陷問題之區域更包含宜蘭、嘉南平原及屏東平原，未來如何將本計畫研發之技術應用於濁水溪沖積扇以外之地區，請提出具體建議。</p>	<p>2.本計畫結合地理資訊系統所發展之地層下陷模式已具通用性，可以使用於任何地區之地層下陷模擬，只需藉由電腦視窗即可清楚且容易地輸入模擬所需資料，並啟動模式及展示模擬結果。</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------



經濟部水利署

台北辦公區（出版）

地址：台北市信義路三段41之3號9~12樓

總機：（02）37073000

傳真：（02）37073166

免費、服務專線：0800212239

台中辦公區

地址：台中市黎明路二段501號

總機：（04）22501250

傳真：（04）22501628

免費、服務專線：08000001250