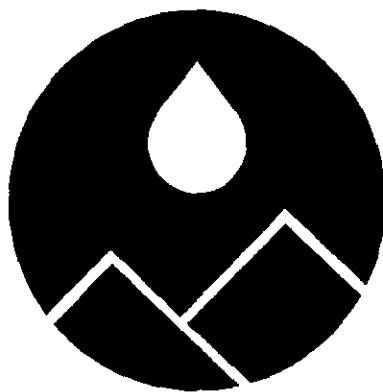




MOEA/WRB-900012

嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討

The Review of Groundwater Monitoring Network in Chia-Nan Plain



補助機關：經濟部水資源局
執行單位：國立交通大學
承辦單位：國立交通大學防災工程研究中心

中華民國九十年十二月

嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	VII
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1-1
1.1 緣起.....	1-1
1.2 計劃目標.....	1-2
第二章 研究方法.....	2-1
2.1 站網空間分佈評估.....	2-1
2.2 代表性水質指標之空間分佈探討.....	2-6
第三章 水文地質分析.....	3-1
3.1 嘉南平原北段.....	3-1
3.1.1 區域概述.....	3-1
3.1.2 區域地質概況.....	3-2
3.1.3 地下分層與地層概述.....	3-3
3.1.4 水質及地下水位分析.....	3-5
3.1.5 抽水井分佈及井深深度統計分析.....	3-7
3.2 嘉南平原南段.....	3-8
3.2.1 區域概述.....	3-8
3.2.2 區域地質概況.....	3-9
3.2.3 地下分層與地層概述.....	3-9
3.2.4 水質及地下水位分析.....	3-9
3.3 蘭陽平原.....	3-10
3.3.1 區域概述.....	3-10
3.3.2 區域地質概況.....	3-11

3.3.3 地下分層與地層概述	3-12
3.3.4 水質及地下水位分析	3-12
3.4 澎湖本島.....	3-13
3.4.1 水文地質概述.....	3-13
3.4.2 水質及地下水位概述	3-14
3.4.3 水質及地下水位概述	3-16
第四章 觀測井網空間分佈檢討與設計.....	4-1
4.1 井網設計之前置作業.....	4-1
4.2 嘉南平原北段分層井網設計及站井選定	4-3
4.3 蘭陽平原分層井網設計及站井選定	4-5
4.4 澎湖本島觀測井網空間分佈檢討	4-7
4.5 嘉南平原南段井網檢討.....	4-8
4.6 台南白河及新竹、苗栗地區新站井位置建議	4-10
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-2
參考文獻	
附錄 A、降低變異數法理論.....	A-1
附錄 B、嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討第一次工作會議 會議記錄.....	B-1
附錄 C、嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討第二次工作會議 會議記錄.....	C-1
附錄 D、嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討 期中審查意見處理情形.....	D-1
附錄 E、台灣地區地下水觀測網第二期計畫嘉南平原及蘭陽平原水文地 質調查八十八年下半年及八十九年度工作報告初步結果與討論	D-1

附錄 F、嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討
 期末審查意見處理情形..... F-1

圖目錄

圖 2.1.1	站網空間分佈評估設計整體流程圖.....	2-7
圖 2.1.2	三度空間井網設計流程圖.....	2-7
圖 3.1.1	嘉南平原(北段)斷層分佈圖.....	3-32
圖 3.1.2	嘉南平原(北段)探井位置圖.....	3-33
圖 3.1.3	水文地質剖面一.....	3-34
圖 3.1.4	水文地質剖面二.....	3-35
圖 3.1.5	水文地質剖面三.....	3-36
圖 3.1.6	水文地質剖面四.....	3-37
圖 3.1.7	水文地質剖面五.....	3-38
圖 3.1.8	水文地質剖面六.....	3-39
圖 3.1.9	嘉南平原北段含水層一之導水係數等值圖.....	3-40
圖 3.1.10	嘉南平原北段含水層二之導水係數等值圖.....	3-41
圖 3.1.11	嘉南平原北段含水層三之導水係數等值圖.....	3-42
圖 3.1.12	嘉南平原北段含水層四之導水係數等值圖.....	3-43
圖 3.1.13	嘉南平原北段含水層一之電導度等值分析圖.....	3-44
圖 3.1.14	嘉南平原北段含水層二之電導度等值分析圖.....	3-45
圖 3.1.15	嘉南平原北段含水層三之電導度等值分析圖.....	3-46
圖 3.1.16	嘉南平原北段含水層四之電導度等值分析圖.....	3-47
圖 3.1.17	嘉南平原北段含水層一之氣鹽等值分析圖.....	3-48
圖 3.1.18	嘉南平原北段含水層二之氣鹽等值分析圖.....	3-49
圖 3.1.19	嘉南平原北段含水層三之氣鹽等值分析圖.....	3-50
圖 3.1.20	嘉南平原北段含水層四之氣鹽等值分析圖.....	3-51
圖 3.1.21	嘉南平原北段含水層一之 總溶解固體量等值分析圖.....	3-52
圖 3.1.22	嘉南平原北段含水層二之 總溶解固體量等值分析圖.....	3-53
圖 3.1.23	嘉南平原北段含水層三之 總溶解固體量等值分析圖.....	3-54
圖 3.1.24	嘉南平原北段含水層四之 總溶解固體量等值分析圖.....	3-55
圖 3.1.25	嘉南平原北段民國 89 年四月含水層一之	

	地下水位等值圖	3-56
圖 3.1.26	嘉南平原北段民國 89 年四月含水層二之 地下水位等值圖	3-57
圖 3.1.27	嘉南平原北段民國 89 年四月含水層三之 地下水位等值圖	3-58
圖 3.1.28	嘉南平原北段民國 89 年四月含水層四之 地下水位等值圖	3-59
圖 3.1.29	嘉南平原北段民國 89 年九月含水層一之 地下水位等值圖	3-60
圖 3.1.30	嘉南平原北段民國 89 年九月含水層二之 地下水位等值圖	3-61
圖 3.1.31	嘉南平原北段民國 89 年九月含水層三之 地下水位等值圖	3-62
圖 3.1.32	嘉南平原北段民國 89 年九月含水層四之 地下水位等值圖	3-63
圖 3.1.33	竹園水位十五日移動平均	3-64
圖 3.1.34	新東水位十五日移動平均	3-65
圖 3.1.35	錦湖水位十五日移動平均	3-66
圖 3.1.36	柳營水位十五日移動平均	3-67
圖 3.1.37	北門水位十五日移動平均	3-68
圖 3.1.38	官田水位十五日移動平均	3-69
圖 3.1.39	紀安水位十五日移動平均	3-70
圖 3.1.40	三股水位十五日移動平均	3-71
圖 3.1.41	新化水位十五日移動平均	3-72
圖 3.1.42	安平水位十五日移動平均	3-73
圖 3.1.43	嘉義縣市抽水井分佈統計圖	3-74
圖 3.1.44	台南市抽水井分佈統計圖	3-75
圖 3.1.45	嘉義縣市抽水井分佈統計圖(井深>200m)	3-76
圖 3.1.46	台南市抽水井分佈統計圖(井深>200m)	3-77
圖 3.2.1	嘉南平原南段水文地質剖面位置	3-78
圖 3.2.2	嘉南平原南段水文地質剖面一	3-79
圖 3.2.3	嘉南平原南段水文地質剖面二	3-80
圖 3.2.4	嘉南平原南段水文地質剖面三	3-81
圖 3.2.5	嘉南平原南段含水層一之導水係數等值圖	3-82
圖 3.2.6	嘉南平原南段含水層一之電導度等值分析圖	3-83

圖 3.2.7	嘉南平原南段含水層二之電導度分析圖.....	3-84
圖 3.2.8	嘉南平原南段含水層三之電導度分析圖.....	3-85
圖 3.2.9	嘉南平原南段含水層四之電導度分析圖.....	3-86
圖 3.2.10	嘉南平原南段含水層一之氯鹽等值分析圖.....	3-87
圖 3.2.11	嘉南平原南段含水層二之氯鹽分析圖.....	3-88
圖 3.2.12	嘉南平原南段含水層三之氯鹽分析圖.....	3-89
圖 3.2.13	嘉南平原南段含水層四之氯鹽分析圖.....	3-90
圖 3.2.14	嘉南平原南段含水層一之 總溶解固體量等值分析圖.....	3-91
圖 3.2.15	嘉南平原南段含水層二之總溶解固體量分析圖.....	3-92
圖 3.2.16	嘉南平原南段含水層三之總溶解固體量分析圖.....	3-93
圖 3.2.17	嘉南平原南段含水層四之總溶解固體量分析圖.....	3-94
圖 3.3.1	蘭陽平原水文地質剖面位置圖.....	3-95
圖 3.3.2	蘭陽平原水文地質剖面圖一.....	3-96
圖 3.3.3	蘭陽平原水文地質剖面圖二.....	3-97
圖 3.3.4	蘭陽平原水文地質剖面圖三.....	3-98
圖 3.3.5	蘭陽平原水文地質剖面圖四.....	3-99
圖 3.3.6	蘭陽平原含水層一之導水係數等質圖.....	3-100
圖 3.3.7	蘭陽平原含水層一之氯鹽等值分析圖.....	3-101
圖 3.3.8	蘭陽平原含水層二之氯鹽分析圖.....	3-102
圖 3.3.9	蘭陽平原含水層三之氯鹽分析圖.....	3-103
圖 3.3.10	蘭陽平原含水層一之電導度等值分析圖.....	3-104
圖 3.3.11	蘭陽平原含水層二之電導度分析圖.....	3-105
圖 3.3.12	蘭陽平原含水層三之電導度分析圖.....	3-106
圖 3.3.13	蘭陽平原含水層一之總溶解固體量等值分析圖.....	3-107
圖 3.3.14	蘭陽平原含水層二之總溶解固體量分析圖.....	3-108
圖 3.3.15	蘭陽平原含水層三之總溶解固體量分析圖.....	3-109
圖 3.3.16	中興站水位十五日移動平均.....	3-110
圖 3.3.17	大隱站水位十五日移動平均.....	3-111
圖 3.3.18	利澤站水位十五日移動平均.....	3-112
圖 3.3.19	壯圍站水位十五日移動平均.....	3-113
圖 3.3.20	宜農站水位十五日移動平均.....	3-114
圖 3.3.21	蘭陽平原民國八十八年九月含水層一之 地下水位等質圖.....	3-115

圖 4.1.1	地下水觀測井網空間分布設計之分析流程圖.....	4-14
圖 4.2.1	嘉南平原北段區域內國小位置分佈圖.....	4-15
圖 4.2.2	嘉南平原北段含水層一之結構分析圖.....	4-16
圖 4.2.3	嘉南平原北段含水層二之結構分析圖.....	4-16
圖 4.2.4	嘉南平原北段計算參數推估誤差之格網點分佈圖.....	4-17
圖 4.2.5	嘉南平原北段含水層一 原規劃與降低變異數優選之總變異量比.....	4-18
圖 4.2.6	嘉南平原北段含水層二 原規劃與降低變異數優選之總變異量比.....	4-18
圖 4.2.7	共站排序於含水層一井網佈置之佈井效率.....	4-19
圖 4.2.8	共站排序於含水層二井網佈置之佈井效率.....	4-19
圖 4.2.9	共站排序前 20 口之優選增井位置分佈圖.....	4-20
圖 4.2.10	嘉南平原北段含水層一及二檢討後共站增井位置.....	4-21
圖 4.2.11	嘉南平原北段範圍鄉鎮市之 抽水井分佈統計圖(井深>200m).....	4-22
圖 4.2.12	嘉南平原北段超過 300 公尺深觀測井設置位置圖.....	4-23
圖 4.3.1	蘭陽平原區域內國小位置分佈圖.....	4-24
圖 4.3.2	蘭陽平原含水層一結構分析圖.....	4-25
圖 4.3.3	蘭陽平原計算參數推估誤差之格網點分佈圖.....	4-26
圖 4.3.4	蘭陽平原規劃與優選總變異量比之比較圖.....	4-27
圖 4.3.5	蘭陽平原含水層一 最佳井網佈置之最佳佈井效率圖.....	4-27
圖 4.3.6	蘭陽平原含水層一之優選增井位置分佈圖.....	4-28
圖 4.3.7	蘭陽平原共站增設位置分佈圖.....	4-29
圖 4.4.1	澎湖本島觀測井網分佈圖(民國 81 年規劃方案).....	4-30
圖 4.4.2	澎湖本島已設置區域性監測井.....	4-31
圖 4.4.3	澎湖本島觀測井網可能設置位置分佈圖.....	4-32
圖 4.4.4	澎湖本島觀測井網建議位置分佈圖.....	4-33
圖 4.5.1	嘉南平原南段平原區域內國小位置分佈圖.....	4-34
圖 4.5.2	嘉南平原南段含水層一結構分析圖.....	4-35
圖 4.5.3	嘉南平原南段計算參數推估誤差之格網點分佈圖.....	4-36
圖 4.5.4	嘉南平原南段含水層一佈井效率圖.....	4-37
圖 4.5.5	嘉南平原南段含水層一之 20 口增井位置分佈圖.....	4-38
圖 4.5.6	嘉南平原南段含水層一之 20 口檢討後增井位置分佈圖 ..	4-39

表目錄

表 3.1.1	嘉南平原北段各觀測井與含水層分層對照表表.....	3-19
表 3.1.2	嘉南平原北段各觀測井水文地質特性表.....	3-20
表 3.1.3	嘉南平原北段各站井水質表.....	3-23
表 3.2.1	嘉南平原南段各觀測井與含水層分層對照表表.....	3-26
表 3.2.2	嘉南平原南段各觀測井水文地質特性表.....	3-27
表 3.2.3	嘉南平原南段各站井水質表.....	3-28
表 3.3.1	蘭陽平原各觀測井與含水層分層對照表表.....	3-29
表 3.3.2	蘭陽平原各觀測井水文地質特性表.....	3-30
表 3.3.3	蘭陽平原各站井水質表.....	3-31
表 4.2.1	嘉南平原北段含水層一、二之結構分析成果表.....	4-11
表 4.2.2	嘉南平原北段含水層一、二檢討共站之增設位置.....	4-11
表 4.2.3	嘉南平原北段超過 300 公尺深觀測井 設置建議位置.....	4-12
表 4.3.1	蘭陽平原建議設井位置.....	4-12
表 4.5.1	嘉南平原南段含水層一檢討之增設位置.....	4-13

嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討

摘 要

本計畫目標在配合嘉南平原及蘭陽平原新設觀測井所產生之水文地質資料，配合水文地質含水層分析及區域變數理論等較嚴謹的監測網規劃分析的方法，對嘉南平原、蘭陽平原及澎湖本島等地區進行地下水觀測站網站井位置、深度等之檢討並作出具體的建議。就整體水資源的觀點而言，水質與水量必須同時考量，本研究在此考慮的水質是以大區域的背景水質及其變化的情形，因此本研究將選定幾種水質的代表性指標如電導度、總溶解固體量等，以目前的水質資料為基礎，探討水質在空間上的分佈情形。

Review of Groundwater Monitoring Network in Chia-Nan Plain

Abstract

This study is to review the groundwater monitoring network in Chia-Nan Plain, Lan-Yang Plain and Penghu Islands. Based on the hydro-geological data that obtained by the lately developed wells logging, this study review and design an optimal monitoring network by applying the hydro-geological analysis and geo-statistical theory, the variance reduction method. The proposed network design including the wells position and depths. A water resource problem generally includes two phases; the water quality and quantity. Therefore, this study also examine the regional groundwater quality of the study area by investigating the spatial distribution of selected groundwater quality data such as total dissolved solid (TDS) and Electric Conductivity of the groundwater in the aquifers.

第一章 緒論

1.1 緣起

為加強地下水之管理，改善臺灣地區地下水文地質基本資料之質與量，民國七十七年起至民國八十一年止前臺灣省水利局在農委會委託下完成全省地下水觀測站網全面更新之規畫，目前經濟部水資源局正統籌並按規劃成果積極的進行站網的建立，並於民國八十七年完成第一期包括濁水溪沖積扇及屏東平原新站網的建置。站網的建置目前已獲得豐碩的成果，大量的水文地質相關資料，已為將來的地下水管理奠下良好的基礎，由於水文地質之高度不確定性，以往之站網建置乃採階段性之方式進行，即對一地下水分區先根據初步規劃的成果進行該區站網的第一階段建置，待獲得更多的水文地質資料後，再進行資料的統合，水文地質分析並對該區站網做最後評估建議，此種二階段建置方式，除了有機會進行資料的整合，並可根據該區水文地質特性，對站井分佈適時調整，以使井網之分佈更為合理。水位觀測井的鑽設委由臺糖公司新營總廠地下水開發保育中心負責，每口井皆做水力試驗以求得含水層（Aquifer）之水文地質參數，並取水樣做水質分析，且都有岩性柱狀圖及完整的井結構報告，包括濾管及封隔位置等。地質鑽探井則由中央地質調查所委託工業技術研究院能源與資源研究所及臺糖地下水開發保育中心施工，中央地質調查所並委託相關研究機構就鑽探所得之岩心進行各種地質相關檢驗分析。

目前站網建置已進入第二期，至民國八十九年止於嘉南平原已建置 50 站共 129 口分層觀測井，由於嘉南平原面積相較之下較為遼闊，且水文地質構造比起第一期之濁水溪沖積扇及屏東平原更為複雜，因此，有必要依照以往之執行模式，進行階段性井網的評估及建議，以使站井之佈置更為合理。

鑑於地下土層結構變化往往相當複雜，合理的地下水站網設置工作應該

是先初步規劃，接著進行部份站井設置並收集資料，再重新檢討然後才再進行設置的一連串回饋修正的過程。因此雖然地下水觀測站網已執行過初步的規劃，由於已有更多且詳實的水文地質資料，因此有必要在此新的資料及對水文地質新的了解下，整合各單位的資料及成果，逐步重新分析尚未設立的觀測井位置及深度，並藉此建立一套詳實的站網分析技術。

1.2 計畫目標

本計畫目標在配合嘉南平原及蘭陽平原新設觀測井所產生之水文地質資料，配合水文地質含水層分析及區域變數理論等較嚴謹的監測網規劃分析的方法，對嘉南平原、蘭陽平原及澎湖本島等地區進行地下水觀測站網站井位置、深度等之檢討並作出具體的建議。並為配合其它地震前後地下水位變化相關研究，於台南白河及新竹、苗栗地區新站井位置配合建議一至二口觀測井。

第二章 研究方法

2.1 站網空間分佈評估

本章將對本研究—嘉南平原及蘭陽平原區域性地下水觀測網井位分析之研究方法作一整體性的描述。圖 2.1.1 所示為站網空間設計整體流程圖，並將就各個步驟分別作說明。

(1) 資料蒐集及分析

蒐集嘉南平原及蘭陽平原以往所做過的研究及資料，並整理分析新近完成的地下水觀測站所得之水文地質資料。

(2) 水文地質分層分析

利用過去及新站網所得之水文地質資料，對嘉南平原及蘭陽平原進行地質柱狀圖及地下分層等分析。

(3) 地下水概念模式建立

配合步驟(2)之結果建立嘉南平原及蘭陽平原之地下水概念模式，定義出含水層間之關係及邊界條件等。

步驟(2)及(3)主要將請中央地質調查所協助完成。

(4) 水文地質參數分析

以觀測井所得之觀測資料如水位及抽水試驗資料所得之導水係數(Transmissivity, T 值)及儲水係數(Storage Coefficients)等，進行參數分層之變異元(Variogram)分析及克利金(Kriging)推估。

(5) 三度空間觀測井網評估與設計

此部份為整個研究之核心步驟，其流程可如圖 2.2.2 所示：

圖2.1.2中變異數降低效率之定義如下：

$$E(n) = \frac{TV_{(n-1)}(X_n, Y_n) - TV_n(X_n, Y_n)}{TV_{(n-1)}(X_n, Y_n)}$$

(X_n, Y_n) ：第 n 口井之位置

$E(n)$ ：第 n 口井之誤差降低效率

$TV_{(n-1)}(X_n, Y_n)$ ：在未佈第 n 口井之前，以 (X_n, Y_n) 為中心，影響半徑(Range)範圍內之總變異量

$TV_{(n)}(X_n, Y_n)$ ：佈設第 n 口井之後，再以 (X_n, Y_n) 為中心，影響半徑範圍內之總變異量

降低變異數法基本理論將說明如下：

降低變異數分析法(Variance Reduction Analysis)為克利金法的延伸。克利金法(Kriging)最早由Matheron G. 於1971年整理成文，其理論基礎是以區域性變數(Regionalized Variable, 簡稱 Re. V.) 來描述代表自然現象之參數於空間之分佈，並建立 Re. V. 於不同位置間之變異函數作為推估之依據[Matheron G., 1971]，事實上，Re. V. 可廣泛定義為描述自然現象於空間分佈之隨機函數[David, 1977]，例如導水係數(Transmissivity, T 值)、儲水係數(Storativity)以及穩定狀態之靜水頭(Piezometric Head)等即是。

克利金法除了提供最佳推估外，同時可求得推估的變異量，即克利金變異數(Kriging Variance)，其可以表示推估不確定性之量化數值。克利金法自發展以來曾先後被多位學者應用於地下水有關領域內，例如以地質統計分析進一步顯示經過對數轉換後之導水係數，在常態分佈下具有較原值更佳之空間變異結構[Delhomme, 1976]、克利金之異向性理論[David, 1977; Isaaks and Srivastava, 1989]、探討觀測井網分佈均勻度或密度改變導致推估誤差之變化[Sophocleus et al., 1982; 蘇與張, 1992]、利用改良式降低變異數分析的方法，考慮設井位置在不同區域有不同權重，決定最佳設井位置及最佳數量[潘與張, 1994]、利用降低克利金變異數之方式，計算當

新增量測點所獲得之資訊增益 (Information Gain) 作為排序的指標，並將相對增進的推估精確度以經濟增益 (Economic Gain) 的形式表示，以作為觀測站網分析與規劃之參考[Rouhani, 1985]、透水係數之空間變異與其在擴散過程之角色[Sudicky, 1986]以及導水係數之空間變異結構分析[譚與李, 1993]等。

本研究在最佳設井位置之決定上，主要以前述之降低變異數法為主，其基本精神如下：首先我們建立一個當在區域中一點新設井而造成相對於其他任意點的克利金變異數降低量的關係。這樣的關係類似一種反應函數 (Response Function)，它提供了 $\hat{Z}(X_i)$ 在精確度上的改進程度，藉由計算當在 X_i 新增一口井時，相對於其它各點的改進程度，可進一步地計算整個區域的總變異數降低量，再比較當其它位置為新設井位置時所造成的總變異數降低量，以作為設井的依據。

為了得到這個反應函數，克利金系統可寫成如式 (1) 之矩陣，它是由 $N+k$ 個方程式組成， N 是克利金法中的已知點， k 是空間傾向值 $m(x)$ 中的有理項項數：

$$\begin{bmatrix}
 0 & 0 & - & - & 0 & 1 & 1 & - & - & 1 \\
 0 & 0 & - & - & 0 & f_1^2 & f_2^2 & - & - & f_n^2 \\
 - & - & - & - & 0 & - & - & - & - & - \\
 - & - & - & - & 0 & - & - & - & - & - \\
 0 & 0 & - & - & 0 & f_1^k & f_2^k & - & - & f_n^k \\
 1 & f_1^2 & - & - & f_1^k & \gamma_{11} & \gamma_{12} & - & - & \gamma_{1n} \\
 1 & f_2^2 & - & - & f_2^k & \gamma_{21} & \gamma_{22} & - & - & \gamma_{2n} \\
 - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
 - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
 - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
 1 & f_n^2 & - & - & f_n^k & \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & - & - & \gamma_{nn}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mu_{10} \\
 \mu_{20} \\
 - \\
 - \\
 \mu_{k0} \\
 \lambda_{10} \\
 \lambda_{20} \\
 - \\
 - \\
 - \\
 \lambda_{n0}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 1 \\
 f_0^2 \\
 - \\
 - \\
 f_0^k \\
 \gamma_{10} \\
 \gamma_{20} \\
 - \\
 - \\
 - \\
 \gamma_{n0}
 \end{bmatrix}
 \quad (1)$$

其中， γ_{i0} 是 X_i 與 X_0 的半變異元值， λ_{i0} 是推估 $\hat{Z}(X_0)$ 時的克利金權重， μ_{k0} 是格蘭茲參數

我們將式 (1) 寫成如下的符號表示：

$$AW_0 = a_0 \quad (2)$$

當我們利用 N 個已知點來推估位置 X_0 之值，相對的克利金變異數為 $V_0(N)$ 。式 (2) 中 A 為對稱矩陣，且

$$\begin{aligned} V_0(N) &= \gamma_{00} - W_0^T a_0 \\ V_0(N) &= \gamma_{00} - a_0^T A^{-1} a_0 \end{aligned} \quad (3)$$

其中，上標 T 表示向量置換 (Transpose)

當我們在 X_* 新增一量測點時， $V_0(N+1)$ 可寫成以下形式：

$$V_0(N+1) = \gamma_{00} - [a_0^T \ \gamma_{0*}] A_*^{-1} \begin{bmatrix} a_0 \\ \gamma_{0*} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中

$$A_* = \begin{bmatrix} A & a_* \\ a_*^T & \gamma_{**} \end{bmatrix}$$

$$a_*^T = [1 \ f_*^1 \ \dots \ f_*^k \ \gamma_{1*} \ \gamma_{2*} \ \dots \ \gamma_{N*}]$$

$$\gamma_{0*} = \gamma(|X_0 - X_*|)$$

$$\gamma_{**} = \gamma(|X_* - X_*|)$$

$$V_0(N+1) = \gamma_{00} - a_0^T A^{-1} a_0 - \alpha a_0^T W_* W_*^T a_0 + 2\alpha \gamma_{*0} a_0^T W_* - \alpha \gamma_{*0}^2$$

考慮式 (3)，則變異數的降低量可寫成為

$$V_0(N) - V_0(N+1) = \frac{1}{V_*(N)} [\gamma_{*0} - a_0^T W_*]^2 \quad (5)$$

其中

$$W_*^T = [\mu_{1*} \ \mu_{2*} \ \dots \ \mu_{k*} \ \lambda_{1*} \ \dots \ \lambda_{N*}]$$

$V_*(N)$ ：尚未在 X_* 設井前，推估此點的變異數

λ_{i*} ：尚未在 X_* 設井前，推估此點 $\hat{z}(X_*)$ 的克利金權重

μ_{k*} ：尚未在 X_* 設井前，推估 $\hat{z}(X_*)$ 的拉格蘭茲參數

最後，將 W_* 代入式 (5) 得到

$$VR_{0*} = V_0(N) - V_0(N+1) = \frac{1}{V_*(N)} \left[\gamma_{*0} - \sum_{i=1}^N \lambda_{i*} \gamma_{i0} - \sum_{i=1}^k \mu_{i*} f_i(X_0) \right]^2 \quad (6)$$

其中

γ_{ij} 為 $Z(X_i)$ 與 $Z(X_j)$ 的半變異元值

式(6)定義為因在位置 X_0 設一新觀測點而造成位置 X_0 的“變異數降低 VR_{0*} ”，也就是當新增一觀測點時所增進克利金推估值的信賴度。同時 VR_{0*} 永遠是正定的，它表示新增任意一點都將降低克利金變異數，換句話說，新增加任意一點都會增加此區域推估的信賴度，而這些新增的點並不會改變此區域原有的半變異元為應用降低變異數法的基本假設之一。

VR_{0*} 表示新增加一口井所反應在區域內其它點上之變異數降低量，我們可藉此求得新增這一口井所反應在整個區域之總變異數降低量。首先定義區域之總克利金變異數以及總標準偏差量如下：

$$\begin{aligned} TOTV &= \sum_j V_j \\ TOTSD &= \sum_j V_j^{1/2} \end{aligned} \quad (7)$$

其中

TOTV 是總克利金變異數 (Total Sum of Kriging Variance)

TOTSD 是總克利金標準偏差 (Total Sum of Kriging Standard Deviations)

j 為區域內的克利金推估格點 ($j=1, 2, \dots, m$)

由上述之定義，若在 X_i 新增一口井，則研究區域內因增加的觀測井 X_i 所造成的總變異數降低量 (TVR_i) 可表示為

$$TVR_i = TOTV - TOTV_i = \sum_j V_j - \sum_j (V_j - VR_{ji}) = \sum_j VR_{ji} \quad (8)$$

在本研究中， TVR_i 也可以解釋為由於在 X_i 設井所獲得的資訊增益 (Information Gain) [Matalas, 1968]。相同地，研究區域內因所增加的

觀測井 X_i 所造成的總標準偏差降低量 ($TSDR_i$) 為

$$TSDR_i = TOTSD - TOTSD_i = \sum_j V_j^{1/2} - \sum_j (V_j - VR_{ji})^{1/2} \quad (9)$$

而具有最大總變異數降低量 (Total Variance Reduction) 或者是最大資訊增益 (Information Gain) 之位置可選為最佳設井位置。

(6) 觀測站井分佈建議

利用分層架構及已有觀測站之導水係數 (Transmissivity, T 值) 透水係數 (Hydraulic Conductivity, K 值)、單位洩降抽水量 (Q/S)、水位、含水厚度等資料, 進行地質統計分析, 並應用降低變異數法, 以已設立之站網為基礎, 參照既有之井網規劃, 進行統計上的最佳觀測井網佈置, 並根據統計上之變異量探討在最佳佈置的情況下之各新增井對變量數之降低效率及比較不同最佳井網與規劃中井網所能達到的精度。

2.2 代表性水質指標之空間分佈探討

就整體水資源的觀點而言, 水質與水量必須同時考量, 目前地下水位觀測站網在設井的同時, 亦做相當程度的水質分析, 本研究在此考慮的水質是以大區域的背景水質及其變化的情形, 因此本研究將選定幾種水質的代表性指標如電導度、總溶解固體量等, 以目前的水質資料為基礎, 探討水質在空間上的分佈情形。

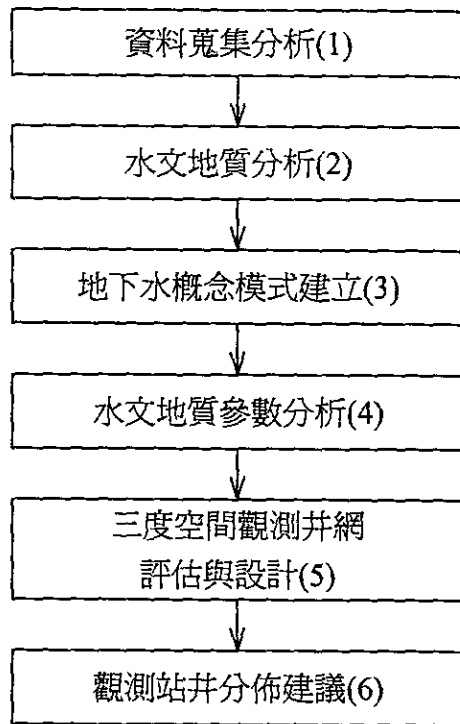


圖2.1.1 站網空間分佈評估設計整體流程圖

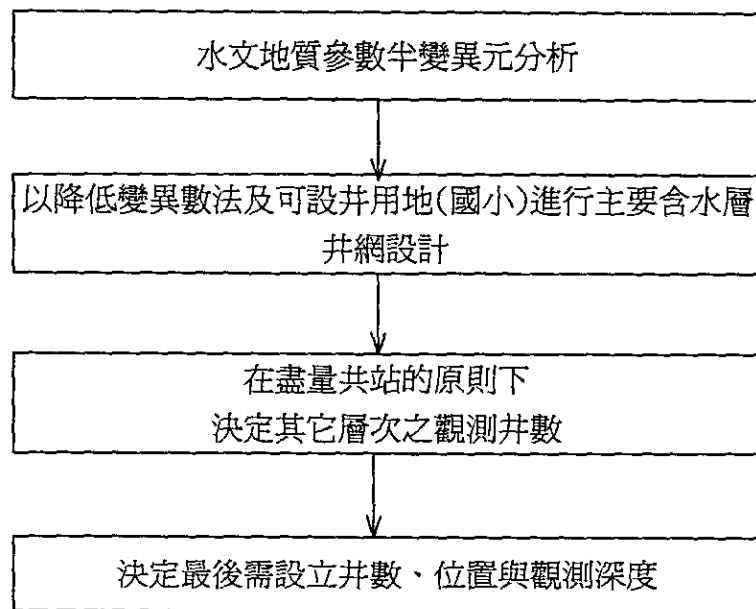


圖2.1.2 三度空間井網設計流程圖

第三章 水文地質分析

根據經濟部水利處第二期『台灣地區地下水觀測網整體計畫』，88 年度（第一年）和 88 下半年及 89 年度（第二年）之站網成果報告，可知嘉南平原北段層次複雜，分層不易；南段深層受基盤阻隔；宜蘭平原則屬沖積扇地形。經邀集專家學者於第一次工作會議之建議（附錄 B），嘉南平原以鹽水溪為界，分南北兩區域探討。北段依深度分層（根據台糖之地質水文分析報告）一萬年地層線（約 60 m）以上為第一層，一萬年地層線與兩萬年地層線（約 150 m）之間為第二層；南段具有基盤阻隔只做淺層（約 60m 以上）；宜蘭平原屬沖積扇形式，與濁水溪沖積扇及屏東平原類似，可依過去的方式佈井。各區段之地質狀況如下：

3.1 嘉南平原北段

台灣地區地下水由地質與水文特性劃分大致上可分為十區。嘉南平原地下水區與濁水溪沖積扇地下水區的分界，根據地下水工程處（1960）指出，北港溪至朴子溪之間為濁水溪沖積扇與嘉南海岸沖積平原物質交互沉積而成，因此濁水溪沖積扇及嘉南平原之分界在此兩溪之間。本文中嘉南平原北段之研究區域，北起朴子溪南至鹽水溪。

嘉南平原區是台灣數個沖積平原中，地下水資源較貧乏的區域。本區含水層之分佈並不連續，黏土層與礫石-砂層並無濁水溪沖積扇明顯之交替現象。本文僅就現有的資料將嘉南平原北段之含水層依深度分為 5 層以方便討論。

3.1.1 區域概述

自北港溪至二仁溪一帶的海岸平原，除嘉義東部依傍麓山帶，有更新世紅土台地之外，廣大的海岸平原為現代沖積層所覆蓋，海岸為典型之瀉湖與

沙洲。據海岸地形之研究，曾文溪以北海岸為加積型海岸，而曾文溪以南海岸為侵蝕型海岸。海岸線西進的速率各地不同，近 70 年來曾文溪流域向西推進最多，達 3-5 公里，而鹽水溪則幾乎無進展。

地表沈積物依照航照上的研判，又可區分出台南層、瀉湖、鹽沼、三角洲、海嘴到海灘、台地堆積、沙洲、沖積扇等沈積相的分布，在地質圖上都劃為沖積層，是全新世台南期海進以來的堆積，台南期海進約始自一萬年前，而持續到約六千五百年前結束。嘉南平原台南層的厚度各地不一，南部約 50 公尺，北部約 200 公尺。從台南台地的 16-36 公尺，向西到安平增加為 175 公尺，向北到布袋為 60-80 公尺。台南層由泥、粉砂、砂所組成，含有孔蟲與軟體動物化石，顯示瀉湖、三角洲、河口、海灘、淺海，以及風成之沈積環境組合。台南層以下為六雙層，岩性主要以深灰色泥岩為主，間夾粗砂一粉砂，其中常出現漂木、軟體動物化石以及底棲有孔蟲，但浮游有孔蟲則十分稀少。

本區地下水量不豐，如朴子、新營、善化導水係數 (T 值) 約為 $0.3 \text{ m}^2/\text{min}$ ；本地區儲水條件不良，近年來又大量抽取深層地下水，導致地下水位零位線逐漸往內陸擴大並形成數個顯著的沈降錐，在朴子溪一帶地下水位降至海平面下 15 公尺，八掌溪以南之新營、下營附近亦是。地下水零位線沿伸至溪口、民雄、鹿草一帶，八掌溪至曾文溪地區絕大部分地下水位已低於海平面 (水利局，1990)。

本研究將參考前人之資料，及地下水觀測網建置之資料，試圖瞭解本區之地質分佈、地下水量水質等基本特性。因調查尚在進行中，許多資料並未完全，本文先就初步資料進行分析。

3.1.2 區域地質概況

嘉南平原北區北起朴子溪南至鹽水溪，主要水系自北而南包括朴子溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、鹽水溪等。沖積層在東緣最薄，逐漸向西增厚；

地層層次及厚度並不規則，尤以八掌溪以北最為顯著(水利局，1990)。研究區域沉積物之年代(300公尺以內)約從晚更新世至全新世。東側為西南部麓山帶，屬於中新統-上新統-更新統沉積物，岩性以砂岩及泥岩為主；其中與平原區相接之麓山帶地層(六雙層)走向約略南北向；而地層傾角在官田以北較陡(可達72度)，官田以南較緩(15度左右)。其中永安站北側已有紅土台地出露，且碳14定年指出在地面下45公尺處年代已老於4萬年，可能指出本站位於更新世地層上。

目前平原區已受褶皺造山帶前緣西移之影響，在部分地區已有抬升或下降之情形。嘉南平原區北部(八掌溪以北)的沈積速度較慢，南部(曾文溪流域)的沈積速度較快，可能和正斷層的活動有關。圖3.1.1顯示本區平原有兩大斷層系統：一為位於八掌溪之南北岸，二為位於將軍溪之南岸，此兩大斷層系統皆為正斷層系統。

徐(1965)的研究顯示北港溪以北的濁水溪沖積扇之顆粒較粗，以南之嘉南海岸平原砂之粒徑則逐漸變小，同時沖積扇之板岩質砂粒之含量遞減，而淺黃色之石英質細砂則漸增。張等(1996)研究顯示西元1250年時，距現今海岸線20公里之新營、麻豆、鐵線橋附近尚屬“倒風內海”範圍，後由於曾文溪數次在鹽水溪及將軍溪之間遷徙而逐漸填平。海岸線西進速率因地而易，近80年則以曾文溪流域向西推移最多，達3.5公里；八掌溪則向西延伸近1.98公里，而曾文溪以南之鹽水溪則沒有變動(石，1979)。整體而言，嘉義、台南之間海岸線於200年間平均向西推移6公里。雖然砂、礫層的厚度側向有顯著變化，但因本區地層平緩，故在沒有更多詳細之年代資料之前，目前仍依深度概略將各水井濾管所在之含水層做對比。

3.1.3 地下分層與地層概述

由於來源岩石強度較低，加上沉積環境多位於陸海交界環境，範圍內各流域之集水區小河流坡度緩，河流能量小，故沉積顆粒皆細且岩性變化快

速，沈積顆粒以細砂及泥為主。除了白河站（地質鑽探井）有少量的礫石層出現外，水層多屬於細砂層及少數的中砂層中。圖 3.1.2-3.1.8 為台糖公司在「台灣地區地下水觀測網整體計畫-88 度子計畫」中所繪製的 6 個剖面的平面分佈及垂直分佈圖，圖中顯示各含水層局部延續性尚佳但整體延續性不佳，含水層數目不一且厚度也不一致，因此各含水層之間的對比，尚須配合更多的資料以進一步分析。

目前資料顯示最主要的阻水層大約分布於 50-100m 深度，此泥層較厚且沿伸較廣，定年顯示約在 1 萬 5 千年~8 千年前，可能因全新世海進而沉積之海相地層（及細粒河流相地層）。位於此層上方及下方的含水層水位相差很大，顯示此層隔絕性尚佳。惟此阻水層較明確之分佈範圍，尚待中央地調所等相關單位做進一步的地質資料分析。目前仍不適合描繪此阻水層之確實分布，有待地調所地質資料有結果後，再檢討此阻水層之分佈，會比較可靠。

以目前地質資料判斷，嘉南平原地區含水層以細砂為主，層次極為複雜，約 3-8 層、且各層厚度都不厚。本研究將依台糖公司在『台灣地區地下水觀測站網整體計畫-八十八年度地質水文分析及抽水試驗』報告中分層方式，將地表下 0-300 公尺地層分為五層含水層，其中第一含水層為 0-60m，第二含水層為 60-140m，第三含水層為 140-200m，第四含水層為 200-250m，第五含水層為 250-300m。嘉南平原北段內各觀測井所對應含水層如（表 3.1.1）所示，而表 3.1.2 則顯示各觀測井的地質特性。

圖 3.1.9-3.1.12 為各層導水係數(T 值)等值圖，因第五含水層層資料點不足，在此不做討論。圖 3.1.9 為第一含水層之導水係數等值圖，於平原北側及曾文溪附近 T 值較佳；圖 3.1.10 為第二含水層之導水係數等值圖，於麻豆、善化一帶較差；圖 3.1.11 為第三含水層之導水係數等值圖，於南科附近其值較大；其餘地區大致在 $10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$ 左右；圖 3.1.12 為第四含水層之導水係數等值圖，在平溪附近約有 $0.13 \text{ m}^2/\text{min}$ ，其餘大致也都在 $10^{-2} \sim$

$10^{-3} \text{ m}^2/\text{min}$ 左右。

3.1.4 水質及地下水位分析

本節針對嘉南平原北段區域內的站井作水質的分層分析，並以電導度(EC)、氯鹽(CL^-)及總溶解固體量(TDS)等三項水質項目(表 3.1.3)，來探討嘉南平原北段水質空間分佈的情形。在水位方面則是採取民國 89 年 4 月及 9 月的水位，以內插畫出各分層水位等值圖，在空間上進行各分層的分析。而在時間分析方面，選取嘉南平原北段內五條重要河川(朴子溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、鹽水溪)附近數個站井(竹園、新東、錦湖、柳營、北門、官田、紀安、三股、新化、安平)，以民國 88 至 89 年日水位進行時間上的移動平均，並討論其變化。分析結果顯示，嘉南平原北段(鹽水溪以北)地下水之電導度、氯鹽及總溶解固體量等值均偏高。在第二含水層以下，地下水位則大多遠低於海平面，顯示此區地下水在質與量上均相當不理想。以下分別就嘉南平原北段之水質及水位進行分析：

1、電導度(EC)

圖 3.1.13-3.1.16 為各分層電導度等值圖，各圖中顯示嘉南平原北段地下水的電導度甚高，大部分均不符合台灣地區灌溉用水水質標準($750 \mu \text{ S/cm}$)。圖 3.1.13 為第一含水層之電導度分佈圖，由嘉南平原東及北側往南及西側變鹹；圖 3.1.14 為第二含水層之電導度分佈圖，趨勢第一含水層大致相同，而於安慶一帶為最高，其值可達 $25000 (\mu \text{ S/cm})$ 以上；圖 3.1.15 為第三水層之電導度分佈圖，比第一與第二含水層低，由嘉南平原東側往西側電導度漸增，圖 3.1.16 為第四含水層之電導度分佈圖，趨勢與第二含水層類似，在安慶附近出現較高的值。第五含水層之電導度分佈因資料點甚少，尚無法進一步分析。

2、氯鹽(CL^-)

圖 3.1.17-3.1.20 為各分層氯鹽等值圖，除東側麓山帶附近與八掌溪上

游外，其餘大部分地區地下水氯鹽含量甚高，均不符合台灣地區灌溉用水水質標準(175 mg/L)及飲用水水源水質標準(250 mg/L)。圖 3.1.17 為第一含水層之氯鹽分佈圖，由嘉南平原東北側往西南側漸增，在曾文溪口已達 40,000 mg/L 以上；圖 3.1.18 為第二含水層之氯鹽分佈圖，在曾文溪南北側其值較高但與第一含水層相比，其值較低；圖 3.1.19 為第三含水層之氯鹽分佈圖，其趨勢與第二層類似，於曾文溪北側高達 9,000mg/L 以上；圖 3.1.20 為第四含水層之氯鹽分佈圖，此層氯鹽分佈於曾文溪附近及鹽水溪間較高，離上述區域越遠則其值越低。

3、總溶解固體量(TDS)

圖 3.1.21-3.1.24 為各分層總溶解固體量等值圖，顯示此區總溶解固體量大部分均高於台灣地區飲用水水源水質標準 (500 mg/L)。其各層分佈情形與氯鹽於各層分佈甚為類似，在曾文溪附近其值較大，東側麓山帶其值較小。第五含水層也因資料點甚少，故不做討論。

4、水位空間分佈分析

圖 3.1.25-3.1.32 為民國 89 年 4 月與 9 月各分層水位等值圖。圖 3.1.25 與 3.1.29 為第一含水層之 4 月及 9 月水位等值圖，零水位線在將軍溪與曾文溪之間；圖 3.1.26 與 3.1.30 為第二含水層之 4 月與 9 月水位等值圖，除曾文溪口外全區皆低於零公尺，在八掌溪與鹽水溪附近出現沈降錐，水位最深達 -25 公尺；圖 3.1.27 與 3.1.31 為第三含水層之 4 月與 9 月水位等值圖，在將軍溪與曾文溪之間出現沈降錐，其餘地區水位也都低於海平面；圖 3.1.28 與 3.1.32 為第四含水層之 4 月與 9 月水位等值圖，其趨勢與第三層類似，最低水位出現在將軍溪與曾文溪之間；第五含水層因資料點甚少，故不做討論。

5、水位之時間分佈分析

圖 3.1.33-3.1.42 分別為竹圍、新東、錦湖、柳營、北門、官田、紀安、

三股、新化、安平各站，於民國 88 至 89 年之日水位資料進行時間上的移動平均分析，藉此探討嘉南平原北段區域內五條主要河川(朴子溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、鹽水溪)附近的地下水位變化情形。

由圖 3.1.33 可看出朴子溪(竹圍站)雖然只有一年水位資料，但可看出其豐枯水期水位差異頗大；圖 3.1.34 顯示八掌溪中游(新東站)深層水位變化不大，第一層有較明顯的豐枯水期的變動，八掌溪下游(錦湖站)之各層水位變化趨勢反而相反；圖 3.1.36 顯示急水溪中游(柳營站)水位於時間上的變動不大，即使在豐枯水期，水位變化也不大，而在下游(北門站)(圖 3.1.37)水位變化可達 5-6 公尺，且變動頻率頗大，顯示可能受人為抽水的影響；由圖 3.1.38 及 3.1.39 顯示曾文溪上游(官田站)、中游(紀安站)各層水位變化相當一致，也可看出豐枯水期的變化，而下游(三股站)(圖 3.1.40)變動趨勢與急水溪下游(北門站)類似，惟其變化頻率較緩；由圖 3.1.42 顯示鹽水溪下游(安平站)即使豐枯水期水位變化亦小。

3.1.5 抽水井分佈及井深深度統計分析

本計畫進一步收集水資源局水權資料庫之嘉南平原北段各抽水井資料，並進行空間及深度分佈統計分析。因部分抽水井之井深資料缺乏及考量資料之代表性下，本計畫先篩選出臺糖公司、自來水公司、菸酒公賣局、台電公司、行政院退輔會、農田水利會及軍方等非私人單位之抽水井進行分析。由上述之篩選，嘉義地區有井深資料之抽水井為 762 口，台南地區為 213 口。

首先於空間分佈之統計，由於大部分資料並無井位之座標資料，本計畫以各鄉鎮市為單位，上述之機關單位之水井於嘉義及台南地區之分佈如圖 3.1.43~圖 3.1.44 所示。由圖 3.1.43 可看出於嘉義地區抽水井(不區分深度情況下)，主要分佈依次以大林鄉(192 口)、水上鄉(94 口)、太保市(93 口)、義竹鄉(81 口)、東石鄉(69 口)及民雄鄉(48 口)為最多。由圖 3.1.44 可看

出於台南地區抽水井(不區分深度情況下)，主要分佈依次以歸仁鄉(55口)、仁德鄉(37口)、善化鎮(24口)、白河鎮(16口)、新市鄉(15口)最多。由於台南市之抽水井無井深資料，故不進行統計。

本計畫更進一步針對圖 3.1.45~圖 3.1.46 中各鄉鎮井深超過 200 公尺之抽水井統計於圖 3.1.45~圖 3.1.46。於嘉義地區抽水井(深度超過 200 公尺)，主要分佈依次以大林鄉(95口)、新港鄉(35口)、東石鄉(33口)、民雄鄉(32口)、太保市及朴子市(14口)為最多。圖 3.1.46 可看出於台南地區抽水井(深度超過 200 公尺)，主要分佈依次以白河鎮(10口)、柳營鄉(5口)、下營鄉(2口)，而仁德鄉、永康市、安定鄉東山鄉各 1 口。

於第四章之嘉南平原北段井網設計作業時，可將上述之抽水井於各鄉鎮及井深統計結果所得之資訊配合規劃之井網分佈，檢討嘉南平原北段深層(300 公尺深)觀測井之井位。

3.2 嘉南平原南段

3.2.1 區域概況

嘉南平原南段範圍北從鹽水溪、南到鳳山丘陵，西臨台灣海峽，東邊為中央山脈南段。主要水系自北而南包括鹽水溪、二仁溪、岡山溪。本區沉積物以砂泥為主，質地相當細，在鹽水溪以南之全新世地層厚度，往往受構造活動之影響而有所變化，以近山麓地區及構造高區沉積物厚度較薄。由於質地較細，地下水補充不易，地下水源相對不足，在地下水過度使用下，大部分地區地下水位均在海平面以下(水利局，1990)。

3.2.2 區域地質概況

在區域地質上，嘉南平原南段之地表沉積物屬現代沖積層(全新世)，包括河流的氾濫平原及現代台地沉積物，另外還包括一些海岸砂丘、現代湖相和沼澤相的沉積物。在鹽水溪以南的地區受到新期構造之影響，在部分區域

產生抬升或下降之情形，比較明顯的地形包括中州台地及一些低窪地。另外，區域內還包括大崗山、小崗山、半屏山、壽山、與鳳山等，皆屬於隆起之珊瑚礁地形，珊瑚礁不整合長於泥岩之上，為早期地盤抬升之證據。

3.2.3 地下分層與地層概況

年度嘉南平原地區建站部分，由於來源區岩石強度較低，加上沉積環境多位於陸海交界環境，沉積顆粒皆細且岩性變化快速，一般以細砂與泥為主。除了五林站、南港站及南科站有少量的礫石層或粗砂出現外，水層多位於細砂層及少數的中砂層之中。共劃分三條水文地質剖面線(圖 3.2.1)。剖面一(圖 3.2.2)約略平行曾文溪之東西向剖面，各含水層之局部延續性尚佳，但含水層數目不一且厚度也不一致；剖面二(圖 3.2.3)緊臨海邊，上部含水層分布尚佳，但下部含水層一則因含泥量增加，使得水層數目減少，再加上構造上的阻擋，含水層的延續性不佳。剖面三(圖 3.2.4)切過台南背斜及中州背斜。本區域基本上只有第一含水層可供比較。

因為本地下水源區區內並沒有明顯的含水層與阻水層的分別，只能根據台糖地下水開發保育中心所做的「地質水文分析及抽水試驗」報告，與嘉南平原北段之分層相同，將地層分為五個含水層，如表 3.2.1 所示。而從第二含水層以下，因為有些突起的基盤，使得第二含水層以下之水層並不連續，因此在本研究的各種因子分析上，皆以第一含水層為主，其他含水層只就所收集之資料加以說明。

嘉南平原南段各觀測井水文分析之結果(表 3.2.2)顯示，大部份含水層之導水係數(圖 3.2.5)皆不高，約在 0.0002 到 $0.4149\text{m}^2/\text{mim}$ 之間，其中大於 $0.19\text{m}^2/\text{mim}$ 佔約 20%；單位洩降出水量亦低，約在 0.021 到 9.16 (cmh/m) 之間，其中大於 $1\text{cmh}/\text{m}$ 佔約 54%。各觀測井導水係數及單位洩降出水量較佳者多位於較上部之含水層中。

3.2.4 水質及地下水位分析

本區域的水質分析方法，同嘉南平原北段的作法，分析電導度、氯鹽、總溶解固體量在空間上分佈的情形。

圖 3.2.6 所示為嘉南平原南段第一含水層的電導度等質圖，顯示在平原西側靠海地區電導度皆很高(大於 $10000 \mu\text{S}/\text{cm}$)，遠超過台灣省灌溉用水水質標準。圖 3.2.7~圖 3.2.9，為第二、三、四含水層的分析圖，先是幾乎所有的電導度(表 3.2.3)都大於 $750(\mu\text{S}/\text{cm})$ ，不合於台灣省灌溉用水水質標準。氯鹽分別以台灣省灌溉用水水質標準 $175(\text{mg}/\text{L})$ 為標準及台灣地區飲用水水源水質標準 $250(\text{mg}/\text{L})$ 為標準進行分析。由表 3.2.3 顯示，大部分的水質也都不符合標準，再從圖 3.2.10~圖 3.2.13，可發現沿海地區氯鹽質特別高，就連遠離沿海地區的地區，也有許多不符合標準的地區。總溶解固體量是以台灣地區飲用水水源水質標準都不符合標準 $500(\text{mg}/\text{L})$ 進行分析，從表 3.2.3 及圖 3.2.14~圖 3.2.17，如同電導度及氯鹽的情況，大部分站井所測得的總溶解固體量也都不符合標準。究其原因，可能是嘉南平原地區原屬海相沈積，造成該地區整體水質偏高，但在沿海地區仍然高於內陸，可能也有海水入侵的問題發生。

本區站井多為民國 89 年設置之新站井，水位資料期距很短，目前所收集之水位資料尚不足以進行水位於時間及空間之變化分析。

3.3 蘭陽平原

3.3.1 區域概況

宜蘭平原概略成一等腰三角形，除東邊與太平洋相接外，西北側接雪山山脈，南側接中央山脈。其中數條河川橫互其間，而當河流攜帶沉積物由陡峭山谷進入低緩平原時，沉積物快速堆積並形成沖積扇。形成蘭陽平原往東地勢漸轉平緩。

區域內主要河川為蘭陽溪，進入平原後形成蘭陽溪沖積扇，其它具明顯

沖積扇地形之地區由北而南尚包括有：福德坑溪、金面溪沖積而成的頭城沖積扇；由得子口溪為主沖積而成的礁溪沖積扇；由大、小礁溪沖積而成的大、小礁溪沖積扇；由羅東溪(古魯溪)沖積而成的羅東溪沖積扇；由冬山河沖積而成的冬山河沖積扇及由新城溪(武荖坑溪)沖積而成的新城溪沖積扇(楊萬全及張智欽，1994)。

一般而言，沖積扇上沉積顆粒較粗，坡度略陡，往往形成良好之補注區；往扇尾變成沖積平原，其坡度甚緩，顆粒較細，含泥量較高。雖然本區地下水源尚稱豐富，但沿海一帶，含水層多由細砂及泥組成，透水性較差。加上近年來地下水之超抽，以壯圍為中心之附近一帶，已形成地下水沉降錐，地下水位並下降至海平面以下，並約有 50 平方公里地區有地盤下陷問題(水利局，1991)。為避免地下水繼續超抽，宜蘭縣政府已在海邊設置五結及大塭海水抽水站，抽取海水供應養殖業。另根據水利局(1996)報告顯示，由於地下水過度使用，沿海部分地區自民國 77 年至 83 年，每年下陷量約 0.9~2.5 公分，其中以蘭陽溪與其支流兩側及平原南側較為嚴重；而民國 83-88 年量測結果顯示下陷情形已有明顯和緩之趨勢(水資源局，1999)。

彭宗仁(1995)由基本水質及氫、氧同位素分析之結果認為大福及過嶺兩觀測井之地下水已遭受近期海水之污染，而地下水碳十四定年及氬定年資料也顯示兩觀測井比上游地區之觀測井有較年輕之年代；而根據江漢全(1994)對養殖區水化學之研究，認為地下水污染主要之原因是受地表鹹水養殖池之鹹水下滲所造成。

3.3.2 區域地質概況

在地體構造上，當菲律賓海板塊沿著琉球海溝向北隱沒到歐亞大陸板塊之下時，形成了琉球火山弧，而沖繩海槽則為一個弧後盆地，其西延可以和蘭陽平原相接。根據中研院劉啟清博士(1995)大地測量之結果顯示近 10 年(1985~1994)在羅東和宜蘭之間平均每年產生 20 公釐的下陷量，往山區下陷

量有明顯的減少現象，配合反射震測分析結果，其認為平原東邊 150 公里之沖澗海槽之擴張活動正向西南延伸進入蘭陽平原。

蘭陽平原是出全新世-更新世沖積層地層及底部之始新-中新世堅硬基盤所組成，兩者間以不整合關係接觸；附近露頭為始新-中新世地層，岩性主要以板岩為主，另有變質砂岩及硬頁岩。依據反射震測資料(江新春，1976)顯示，基盤上沉積物厚度約 100-1700 公尺，以平原中心及海域附近地區最厚，往山區變薄。由沉積物成份多含大量之板岩岩屑，可知蘭陽溪之部分流域、羅東溪及冬山河流域已大量侵蝕中新世廬山層板岩區。另龍德、利澤與武淵等站淺層沉積物成份含有綠色片岩及砂質片岩，可能是新城溪上游流域岩層(東澳片岩)受侵蝕而來。

3.3.3 地下分層與地層概況

本研究依地形上之特性劃分四條水文地質剖面(圖 3.3.1)。一般而言，沖積層顆粒在上游區以礫石為主，含水豐富，並成為良好之補注區；往東至沿海平原地區則轉為以透水性較差之泥質細砂或泥為主，水量較為貧脊。本計畫綜合中央地調所與台糖對蘭陽平原水文地質分析結果，初步訂定蘭陽平原水文地質架構，將蘭陽平原含水層分為含水層一、含水層二、含水層三、含水層四，進一步繪製蘭陽平原之 4 張剖面圖(圖 3.3.2~圖 3.3.5)，其中各觀測站井之含水層分層對應列於表 3.3.1。本研究配合目前所收集到之地質資料將蘭陽平原含水層區分為含水層一、含水層二、含水層三及含水層四。

從此地區各站水文地質特性(表 3.3.2)來看，導水係數 T 值約在 0.001 到 $2.91(\text{m}^2/\text{min})$ 之間中。其分佈的情況(圖 3.3.6)，在平原東邊沿海地區導水係數較小，約小於 $1 \text{ m}^2/\text{min}$ 。

3.3.4 水質及地下水位分析

本地區作法如同嘉南平原一樣，針對導電度、氯鹽、總溶解固體量三項水質來分析蘭陽平原的水質。從表 3.3.3 中可發現，大福站的氯鹽、導電度、

總溶解固體量皆遠大於其他站井，也遠超過各項用水標準。其他只有少數幾站的水質超過標準。從圖 3.3.7~圖 3.3.9 看出氯鹽的空間分佈，其中頭城、自強第一含水層的氯鹽稍高，其中頭城屬沿海地區可能有海水入侵的問題。在含水層四目前只有中興站有設，其值為 25 (mg/L)。圖 3.3.10~3.3.12 看出導電度的空間分佈，除了大福以外，含水層一所有的的站井都合於用水標準，但在含水層二、三中，確有較多的井位不合用水標準。含水層四同樣只有中興站有設井，其值為(530 μ S/cm)。圖 3.3.13~圖 3.3.15 看出總溶解固體量的空間分佈，第一層除大福外，全都符合用水標準，但在含水層二、三以後確有較多的井位不符合用水標準。含水層四中興站的值為 326(mg/L)。

在水位的時空分析方面，沿蘭陽溪四周選擇了中興(圖 3.3.16)、大隱(3.3.17)、利澤(圖 3.3.18)、壯圍(圖 3.3.19)、宜農(圖 3.3.20)五站做 15 日的移動平均，由圖 3.3.21 中可看出，含水層一之水位由西往東遞減，而其中零位線已至礁溪、五結及利澤一帶。在本地區的觀測井大都屬於 88 下半年及 89 年所設置的新站井，所以在水位的資料上相當缺乏，只有壯圍跟宜農大約看得出水位變化的趨勢。在地下水位的空間分佈方面，由於水位資料尚不足，本計畫繪出民國 88 年 9 月第一含水層地下水位等質圖(圖 3.3.21)。

3.4 澎湖本島

3.4.1 區域概述

澎湖群島為星羅棋布於台灣海峽之 64 個大小島嶼的總稱，土地總面積為 126.86 平方公里，僅佔台灣地區總面積 0.35%，在地理區位方面，澎湖群島位在我國大陸棚上，西北兩側鄰接台灣海峽，東南兩側瀕臨澎湖水道，有深約 50 公尺之岩礁海底至深 200 公尺左右之海底丘陵。群島分布於南北長約 60 公里，東西寬約 40 公里之範圍內，群島海岸線總長度約 320 公里，東距台灣本島最近為嘉義縣東石鄉鰲鼓村僅 24 海浬，西距福建省近處約 75 海浬。北

迴歸線穿越虎井嶼為群島的中心。澎湖縣為台灣省唯一的島縣，共設有一市五鄉，分別為馬公市、湖西鄉、白沙鄉、西嶼鄉、望安鄉以及七美鄉，其中以馬公市約佔澎湖縣土地總面積26.79%為最大。

在地形特性方面，澎湖群島係火山噴發所形成之整塊玄武岩台地，因受海水風浪衝擊侵蝕與海底變動等作用，成為一群平坦之島嶼，因此全境地勢平緩，而兩側傾斜入海，地形平坦單調，最高點海拔僅79公尺(貓嶼)，澎湖本島最高之山嶺為拱北山，標高約50公尺。本地區內丘阜低矮，境內沒有河川，雨水多匯集海岸低窪處，然後逕排入海。此種地形平坦且少有變化之島嶼，從遠處眺望，宛如浮於海中之覆盆。大部份島嶼都形成中央隆起之台地，四週稍陡之地形，沙灘則呈狹長帶狀分布於各島嶼濱海西部或南部，因而形成澎湖群島的另一特色。

澎湖縣境內由於地勢平坦單調，故無顯著之山川湖泊，加上蒸發量高降雨量少而土壤保水能力低，故一旦有降雨則大部份都逕流入海。故澎湖之飲用水皆採用窪地築壩的方式來蓄存地表水。但其蓄水量每都視其降雨量及蒸發量之多寡而定，蓄水量並不穩定，也因此自來水公司多需視澎湖自來水的供應情形，採用海運的方式，遠從高雄運水以供居民使用。

目前澎湖縣境內已使用的地面水庫包括有本島的成功、東衛、興仁三座水庫以及望安嶼的西安水庫等共四座，但由於各水庫集水區均無明顯之水路匯集雨水導入水庫，因此貯存雨水的效益並不顯著。

在地理特性方面，由於澎湖本島與中屯、白沙以及西嶼三島相銜成湖(澎湖灣)，湖內水平如鏡，故昔日因而以「平湖」得名，再加上由於湖外波濤萬頃，怒濤洶湧。故稱為「澎湖」。本計畫之規劃範圍，亦以此三島為對象，面積約106平方公里，占澎湖縣總面積之83%。

3.4.2 水文地質概述

在地質特性方面，澎湖群島之地質，分為澎湖火山群島與花嶼火山島兩區域。前者由玄武岩及凝灰岩所形成，後者則由玢岩、石英斑岩、矽長石斑岩形成，以地質層形成之先後次序概述如下：

1、先第三紀地層

分布於花嶼一島，為澎湖列島中最早的地層，主要曲玢岩、石英斑岩、矽長石斑岩構成，與其他63個島嶼之由玄武岩構成者迥異。玢岩構成全島之大部分，矽長石斑岩則成為數公尺厚岩脈，而貫穿於玢岩中，其後再由石英脈之侵入。玢岩呈濃綠色，岩質堅固緻密；矽長石斑岩則大都受風化作用，變為黃灰色；石英粒則殘留堆積於凹地中，成為石英砂層。

2、更新世地層：

澎湖火山群島為更新世火山作用所造成的高原式玄武岩所覆蓋，形成平頂的台地。砂、土和炭化木碎片夾在連噴發的玄武岩流之間，這些沉積物含有海相的貝類和有孔蟲化石，由此指出玄武岩的堆積可能發生在更新世的早期，而且在淺海相沉積環境之下所造成。

橄欖石玄武岩是澎湖火山群島主要的玄武岩。上層以板狀或稜柱狀節理之發達為其特點；中層以上下兩部構成，其上部多孔質，下部則為緻密；下層部玄武岩流，其層厚不明，以呈多孔質集塊狀為其特點。多孔狀之玄武岩，係岩漿結晶時所含揮發份逸出後留下來的氣孔所造成，這些氣孔再為多色的礦物充填成為杏仁狀的結構，充填的礦物以霏石占大部分，此即俗稱的「文石」。

澎湖火山群島雖大部分由玄武岩所構成，惟各層玄武岩之間夾有凝灰岩、含海棲化石、砂岩層或泥層之水成岩。

3、第四紀地層

現代沖積層為第四紀地層中最新的地層，它包括海岸砂丘、現代湖相和沼澤相的沉積物。故澎湖火山群島所有的海灘堆積物，皆歸於本地層之中。

海岸砂丘主要由貝殼、珊瑚礁和玄武岩碎屑所組成，主要分布在蒔裡、林投公園、西湖、赤崁以西、後寮以西和吉貝嶼南端等海岸地區。

自由含水層分佈於海濱堆積層，直接由於雨水補注，分佈範圍只限於海岸及山谷低地內。深層之砂岩及火山碎屑，富含孔隙，少部份區域之玄武岩可能有較發達之次生裂隙，均為地下水之含水層，但因位於較深處，自然補注條件不佳。

此外，土壤特性方面：澎湖群島之土壤絕大部份由玄武岩風化而成，另在花嶼島小部分則由玢岩風化而成。玄武岩為鹼性岩石，經風化作用生成為紅壤，含有鐵質結核，有機物含量極低。土壤顏色以紅棕色最為普遍，表層土壤地質以壤質砂土及砂質壤土居多。由於多年來以海邊之珊瑚碎砂為客土，表土之pH值逐漸增高，概在6.2~7.7之間，略呈鹼性。土壤深度除少數低窪地區超過90公分外，在面積較大之平坦台地，深約在50~90公分左右。斜坡地因受降雨與強風沖蝕，深多僅在20~50公分間，甚有淺於20公分或岩層裸露於地表者。澎湖土壤因其肥力甚低，底土結構緊密；土層淺薄，且受季節強風吹襲以及已長期耕用之影響，頗不利於農牧生產與林木之生長。

3.4.3 水質及地下水位概述

澎湖群島之氣候特徵為多風少雨，蒸發量大於降雨量，年平均降雨量997.1公厘，大部分因無高山樹林之涵養，約90%之水源成為地表逕流及蒸發量，復歸海洋及大氣。目前澎湖群島之供水，除水庫外數仍賴地下水之供應。

本地區之地下水源，可分為淺層及深層二部分，淺層地下水之主要來源為降雨，通常降雨後水位即快速上升，而後隨居民灌溉、生活用水等抽用而下降；近年來多數地區因農業活動式微，生活用水亦漸仰賴水庫或深層地下水之自來水，淺層地下水之利用已漸趨減少，地下水位普遍有較往年為高

之趨勢。淺層地下水位，在湖西鄉為地表下 2 ~ 30 公尺，在白沙鄉為地表下 2~20 公尺，在西嶼鄉為地表下 20 公尺左右。而在馬公、內垵及外垵一帶之淺井，已有海水入侵的現象發生。

於深層地下水之利用，自來水公司馬公營運所之深井，據估計其平均出水量約 193 噸/日，約佔設計出水量之 48%。民國 38 年時，深井之平均水位僅為地面下 27.9 公尺，後因抽水量超過補給量，民國 57 年時，下降至地面下 93 公尺，平均每年下降 3.26 公尺。其後自來水公司開始控制抽水量，水位下降稍趨緩和。在民國 63 年，成功水庫開始供水以後，水位稍有回升的跡象。另依自來水公司之經驗，深層地下水在馬公市之碼頭沿海一帶、湖西鄉之湖東、白沙鄉之後寮、及西嶼鄉之合界等地已有鹹化現象，海水可能已經入侵。

依以往調查報告分析結果，澎湖地區之地下水質概述如下：

1. 根據「澎湖地區水資源初步調查研究（農工中心，68 年 10 月）」，所有淺井都不含鉛，少數井含砷，但量極微，無礙於飲用。自來水飲用性物質含量，大部份物質如鐵、錳、銅、鋅均在合格條件下，惟氯鹽超過規定。按其統計分析，澎湖地區淺井適合飲水者，大約佔全部水井之三分之一。深水井 20 口中，電導度 $750 \mu\text{mho/cm } 25^\circ\text{C}$ 以上 6 口，最高為 $1580 \mu\text{mho/cm } 25^\circ\text{C}$ 。
2. 另根據台灣省自來水公司第七管理處馬公營運所民國 72 年~81 年水質檢驗報告，19 口井原水 pH 值偏鹼性；鐵、錳也有偏高現象（馬公市、白沙鄉）；細菌殖數、大腸菌類數亦多不符自來水水質標準。
3. 在澎湖縣已設置之 6 口區域性監測井於民國 87 年二次採樣分析結果，可獲致下列結論：

(1) 與飲用水水質標準比較：六口監測井均有檢測項目不合格，主要為總溶解固體、大腸菌類密度以及氯鹽，而以港子國小之不合格項目較

多(4項)。因此澎湖地區直接取得之淺層地下水並不適合直接作為飲用水使用。

(2) 與飲用水水源水質標準比較 (作為社區自設公共給水、包裝水、盛裝水及公私場所供公眾連續供水固定設備之飲用水水源): 六口監測井兩次檢測皆無法在所有項目完全達到標準限值, 不合格項為總溶解固體、氯鹽、大腸菌類密度、氨氮及錳。澎湖地區淺層地下水並不適於作為社區自設公共給水、包裝水、盛裝水及公私場所供公眾連續供水固定設備之飲用水水源。

(3) 與飲用水水源水質標準比較 (作為自來水及簡易自來水之飲用水水源): 於第一採樣分析之六口監測井中有三口監測井之分析項目能達到飲用水水源水質標準之限值; 未能達到標準的三口監測井(山水國小、馬公國小及隘門國小), 其不合格項目均為大腸菌類密度。第二次檢測則六口監測井之分析項目均可符合該標準。由比對結果可知澎湖地區的淺層地下水大致尚可作為自來水及簡易自來水之飲用水水源。

(4) 與台灣省灌溉用水水質標準比較: 各監測井皆有二至四項無法符合灌溉用水水質標準, 不合格項目主要為導電度、氯鹽, 六口均不合格, 不合格項最多之監測井為港子國小, 另綜合灌溉水品質圖解法評估結果, 顯示僅隘門國小淺層地下水可有條件地作為灌溉用水, 其餘五處監測站之淺層地下水並不適於作為灌溉用途。澎湖地區六口監測井之淺層地下水皆有鹽化趨勢, 尤以港子國小最為嚴重。

(5) 在所有六口監測井當中, 以港子國小淺層地下水污染跡象較嚴重, 其在導電度、總溶解固體、氯鹽、硫酸鹽及鈉吸收比等項目之測值均明顯偏高。

表 3.1.1 嘉南平原北段各觀測井之含水層分層對照表

(資料來源：台糖公司新營總廠地下水開發保育中心)

	第一含水層	第二含水層	第三含水層	第四含水層	第五含水層
深度	0-60m	60-140m	140-200m	200-250m	250-300m
十份	觀(一)		觀(二)	觀(三)	
三股	觀(一)		觀(二)		
大文	觀(一)	觀(二)(三)	觀(四)		
頂山	觀(一)			觀(二)	
港尾	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
總爺	觀(一)	觀(二)	觀(三)		
下營	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
安慶	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
進學	觀(一)(二)			觀(三)	觀(四)
南興	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
善化	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
新市	觀(一)	觀(二)	觀(三)		
小新	觀(一)	觀(二)			
紀安	觀(一)		觀(二)		
柳營	觀(一)	觀(二)			
下半年	觀(一)		觀(二)		
大崙	觀(一)			觀(二)	
錦湖	觀(一)	觀(二)	觀(三)		
北門	觀(一)(二)				
平溪	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
新東	觀(一)	觀(二)(三)		觀(四)	
南科	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
台南	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
新化		觀(一)(二)			
那拔	觀(一)	觀(二)	觀(三)		
官田	觀(一)	觀(二)	觀(三)		
六甲	觀(一)	觀(二)		觀(三)	
重溪	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)	
白河	觀(一)	觀(二)		觀(三)	
竹園		觀(一)	觀(二)	觀(三)	

表 3.1.2 嘉南平原北段各觀測站井水文地質特性

(資料來源：台糖公司新營總廠地下水開發保育中心)

站名	地表高程 (m)	濾管起點 (m)	濾管終點 (m)	導水係數 (m ² /min)	單位出水量 (cmh/m)
台南一	2.90	22	34	0.1093	2.5136
台南二	2.90	90	120	0.0114	0.5685
台南三	2.90	180	192	0.0111	0.5414
台南四	2.90	227	257	0.001	0.0663
安慶一	3.41	17	35	0.12	4.83
安慶二	3.41	58	74	0.12	4.81
安慶三	3.41	176	188	0.01	1.11
安慶四	3.41	230	248	0.01	1.08
新化一	12.36	80	89	0.0091	0.413
新化二	12.36	99	114	0.0019	0.1453
那拔一	42.27	30	42		
那拔二	42.27	71	98	0.07	3.06
那拔三	42.27	135	147	0.01	0.69
新市一	10.41	45	54	0.03	1.52
新市二	10.41	90	120	0.16	5.3
新市三	10.41	180	204	0.01	0.68
南科一	7.00	18	33	0.06	1.8047
南科二	7.00	75	93	0.0489	1.5012
南科三	7.00	126	177	0.3289	8.0427
南科四	7.00	198	207	0.0094	0.4111
南興一	4.96	21	30	0.004	0.28
南興二	4.96	56	68	0.0008	0.05
南興三	4.96	155	167	0.12	2.32
南興四	4.96	215	227	0.06	1.61
小新一	16.55	24	36	0.0735	2.973
小新二	16.55	90	102	0.0341	1.378
善化一	13.05	33	45	0.005	0.39
善化二	13.05	101	113	0.008	0.37
善化三	13.05	145	173	0.02	1.13
善化四	13.05	204	213	0.004	0.23
進學一	4.84	17	26	0.057	1.55
進學二	4.81	52	61	0.001	0.1

進學三	4.84	230	239	0.002	0.14
進學四	4.81	265	283	0.0008	0.04
三股一	3.05	52	64	0.1	4.02
三股二	3.05	200	224	0.06	2.61
十份一	2.94	14	26	0.11	3.22
十份二	2.99	191	203	0.01	0.54
十份三	2.94	260	272	0.001	0.07
頂山一	0.98	21	33	0.007	0.56
頂山二	0.98	219	231	0.03	1.43
大文一	2.68	15	33	0.06	2.77
大文二	2.68	94	106	0.02	1.08
大文三	3.11	121	133	0.02	1.52
大文四	3.14	220	232	0.03	0.72
紀安一	8.75	15	42	0.5084	13.287
紀安二	8.81	185	209	0.0993	3.582
港尾一	4.19	18	30	0.079	2.92
港尾二	4.12	114	126	0.01	0.72
港尾三	4.20	172	190	0.023	1.64
港尾四	4.12	241	250	0.007	0.31
總爺一	11.42	26	44	0.12	4.15
總爺二	11.43	98	110	0.001	0.1
總爺三	11.42	164	194	0.039	0.9
官田一	26.46	47	65	0.042	1.7
官田二	26.49	90	102	0.001	0.06
官田三	26.46	173	185	0.011	0.39
六甲一	26.87	45	63	0.004	0.49
六甲二	26.77	153	174	0.013	0.46
六甲三	26.87	204	222	0.066	1.1
下營一	5.49	12	30	0.26	10.88
下營二	5.53	96	114	0.05	2.23
下營三	5.49	170	182	0.15	0.68
下營四	5.53	216	228	0.0008	0.06
柳營一	10.02	6	18	0.0816	3.309
柳營二	9.96	106	124	0.0911	3.5
重溪一	21.50	36	48	0.0005	0.05
重溪二	21.49	98	116	0.026	1.2

重溪三	21.50	165	172	0.012	0.62
重溪四	21.49	222	240	0.015	0.41
北門一	2.81	18	32	0.0052	0.334
北門二	2.84	144	198	0.1006	4.18
錦湖一	2.52	32	50	0.031	1.45
錦湖二	2.52	104	119	0.052	2.28
錦湖三	2.52	150	168	0.017	0.46
新東一	14.05	14	26	0.045	2.59
新東二	14.02	62	86	0.092	3.07
新東三	14.05	113	128	0.033	1.38
新東四	14.02	207	239	0.002	0.14
平溪一	4.04	9	21	0.1193	4.52
平溪二	4.05	112	130	0.0228	1.382
平溪三	4.04	150	168	0.0001	0.0062
平溪四	4.06	231	240	0.1295	4.827
白河一	35.65	56	74	0.0002	0.0211
白河二	35.65	108	126	0.0123	0.7523
白河三	35.65	228	240	0.0143	0.5406
下半天一	16.00	54	78	0.23	7.833
下半天二	16.00	130	159	0.046	1.619
大崙一	19.00	24	42	0.15	5.857
大崙二	19.00	232	244	0.04	1.909
竹圍一	4.19	76	88	0.2802	7.936
竹圍二	4.13	168	177	0.0381	1.523
竹圍三	4.19	234	246	0.0183	0.625

表 3.1.3 嘉南平原北段各站井水質表

(資料來源：經濟部水利處)

站名	X(m)	Y(m)	EC (μ S/cm)	CL(mg/L)	TDS(mg/L)
台南一	160525.54	2548099.13	55600	43074	83746
台南二	160525.54	2548099.13	7780	3344	7300
台南三	160525.54	2548099.13	1774	243	2176
台南四	160525.54	2548099.13	2660	600	1003
安慶一	166368.19	2549095.18	56100	31469	32500
安慶二	166368.19	2549095.18	66000	37616	38950
安慶三	166368.19	2549095.18	11700	5605	2050
安慶四	166368.19	2549095.18	45600	19767	7050
新化一	178148.00	2549104.00	1540	248	911
新化二	178148.00	2549104.00	1252	187	860
那拔一	182415.64	2552331.73	1312	237	
那拔二	182415.64	2552331.73	547	26.6	1030
那拔三	182415.64	2552331.73	532	36.2	1350
新市一	177116.73	2553430.93	1222	40.5	850
新市二	177116.73	2553430.93	1176	142	650
新市三	177116.73	2553430.93	813	58.9	540
南科一	175430.26	2556230.19	725	9.94	788
南科二	175430.26	2556230.19	1561	79.5	1278
南科三	175430.26	2556230.19	965	62.1	383
南科四	175430.26	2556230.19	639	7.81	657
南興一	169053.45	2553701.59	31500	17308	2060
南興二	169053.45	2553701.59	34600	20406	10950
南興三	169053.45	2553701.59	3690	1278	770
南興四	169053.45	2553701.59	27500	17407	550
小新一	178501.00	2558459.00	813	44.4	378
小新二	178501.00	2558459.00	968	19.5	467
善化一	176200.77	2559720.78	810	16.7	1540
善化二	176200.77	2559720.78	1135	57.2	890
善化三	176200.77	2559720.78	660	24.5	950
善化四	176200.77	2559720.78	685	10.7	960
進學一	167155.56	2558381.38	1551	213	2540
進學二	167155.56	2558381.38	2180	424	19930
進學三	167155.56	2558381.38	1937	387	1015

進學四	167155.56	2558381.38	4600	1402	840
三股一	158802.01	2556074.65	53600	39337	65930
三股二	158802.01	2556074.65	33000	21340	10990
十份一	154145.79	2556442.48	52100	33780	88990
十份二	154145.79	2556442.48	20600	9588	5640
十份三	154145.79	2556442.48	2500	443	2380
頂山一	158102.44	2565024.98	56900	40960	67970
頂山二	158102.44	2565024.98	14650	15.6	3310
大文一	162586.05	2561292.08	37700	19718	58910
大文二	162586.05	2561292.08	33800	19520	39900
大文三	162586.05	2561292.08	26400	11899	9920
大文四	162586.05	2561292.08	4060	1190	840
紀安一	171010.00	2561511.00	770	47.2	644
紀安二	171010.00	2561511.00	4740	1637	600
港尾一	167942.15	2567430.79	42100	16472	34980
港尾二	167942.15	2567430.79	10880	3737	7090
港尾三	167942.15	2567430.79	6200	1997	1950
港尾四	167942.15	2567430.79	17360	6540	1490
總爺一	174375.44	2565395.20	810	32.3	980
總爺二	174375.44	2565395.20	16340	6245	10990
總爺三	174375.44	2565395.20	968	172	780
官田一	181773.03	2565587.72	733	35.5	400
官田二	181773.03	2565587.72	814	16.7	460
官田三	181773.03	2565587.72	910	30.9	600
六甲一	182707.82	2569605.19	993	271	1060
六甲二	182707.82	2569605.19	1533	97.3	150
六甲三	182707.82	2569605.19	759	78.8	290
下營一	173545.18	2570238.07	4710	1328	470
下營二	173545.18	2570238.07	5180	1514	4270
下營三	173545.18	2570238.07	5840	1770	1170
下營四	173545.18	2570238.07	2480	639	4340
柳營一	178884.00	2575010.00	1022	75.6	1116
柳營二	178870.00	2575008.00	778	46.2	436
重溪一	184262.54	2576360.84	951	17.8	300
重溪二	184262.54	2576360.84	679	42.2	150
重溪三	184262.54	2576360.84	677	13.8	380
重溪四	184262.54	2576360.84	614	11.7	280

北門一	158374.00	2576594.00	53000	23406	
北門二	158374.00	2576580.00	1591	125	
錦湖一	164163.39	2577533.47	62700	26798	49480
錦湖二	164163.39	2577533.47	1478	149	1650
錦湖三	164163.39	2577533.47	2510	459	640
新東一	179176.85	2582775.99	787	24.5	590
新東二	179176.85	2582775.99	1425	221	140
新東三	179176.85	2582775.99	931	49.3	460
新東四	179176.85	2582775.99	1438	218	870
平溪一	169486.00	2584223.00	1157	66	540
平溪二	169486.00	2584223.00	2950	908	956
平溪三	169486.00	2584223.00	1943	413	2108
平溪四	169486.00	2584223.00	3110	1011	380
白河一	189262.61	2583700.93	734	26.6	369
白河二	189262.61	2583700.93	592	14.9	321
白河三	189262.61	2583700.93	584	24.5	392
下半天一	180440.00	2592280.00	698	12.8	543
下半天二	180440.00	2592280.00	742	20.6	497
大崙一	184640.00	2595550.00	953	86.6	638
大崙二	184640.00	2595550.00	368	6.04	352
竹圍一	171588.00	2595629.00	734	462	420
竹圍二	171588.00	2595629.00	1015	36.2	368
竹圍三	171588.00	2595629.00	491	4.97	388

表 3.2.1 嘉南平原南段各觀測井之含水層分層對照表

(資料來源：台糖公司新營總廠地下水開發保育中心)

	第一含水層	第二含水層	第三含水層	第四含水層	第五含水層
深度	0-60m	60-140m	140-200m	200-250m	250-300m
仁德	觀(一)			觀(三)	
安平	觀(一)觀(二)				
永康	觀(一)	觀(二)			
仁和	觀(一)				
省躬	觀(一)			觀(二)	
成功	觀(一)		觀(二)		
依仁	觀(一)				
阿蓮	觀(一)		觀(二)		
一甲	觀(一)				
竹滬	觀(一)	觀(二)		觀(三)	
興達	觀(一)		觀(二)		
永華	觀(一)				
岡山	觀(一)				
彌陀	觀(一)				
五林	觀(一)		觀(二)	觀(三)	
大社	觀(一)				
楠梓	觀(一)				
五甲	觀(一)		觀(二)		
鹽埕	觀(一)	觀(二)		觀(三)	
港和	觀(一)	觀(二)			觀(三)

表 3.2.2 嘉南平原南段各觀測站水文地質特性

(資料來源：台糖公司新營總廠地下水開發保育中心)

站井名稱	地表高程 (m)	濾管位置起 (m)	濾管位置止 (m)	導水係數 T(m ² /min)	Q/s(cmh/m)
一甲	22.985	11	23	0.0195	2.6645
大社	19.647	10	16	0.0967	3.7863
五甲(一)	47.634	6	40	0.0123	0.6335
五甲(二)	47.634	145	163	0.0123	0.4038
五林(一)	6.457	13	25	0.2762	9.1691
五林(二)	6.457	146	182	0.0553	2.7457
五林(三)	6.457	193	217	0.0457	2.8159
仁和	21.769	12	30	0.0645	1.0974
永華	2.499	18	27	0.0495	1.8641
成功(一)	1.567	20	72	0.2396	6.4111
成功(二)	1.567	140	149	0.004	0.1755
竹滬(一)	8.878	10	34	0.01999	0.948
竹滬(二)	8.878	108	126	0.0042	0.216
竹滬(三)	8.878	196	220	0.0216	0.5819
依仁	14.811	28	34	0.0009	0.0747
岡山	12.049	4	16	0.0422	1.6679
阿蓮(一)	26.942	13	28	0.0554	2.6645
阿蓮(二)	26.942	155	185	0.0659	2.1087
省躬(一)	1.371	42	66	0.0209	1.0873
省躬(二)	1.371	225	237	0.0263	0.7325
港和(一)	4.867	9	21	0.0067	0.3294
港和(二)	4.867	85	109	0.2065	7.5648
港和(三)	4.867	250	262	0.0942	3.6927
楠梓	17.928	10	22	0.4149	6.422
興達(一)	4.453	38	84	0.1228	4.942
興達(二)	4.453	155	164	0.0051	0.3989
彌陀	4.763	6	15	0.0042	0.1868
鹽埕(一)	1.862	12	30	0.0591	1.9479
鹽埕(二)	1.862	66	84	0.1831	4.5754
鹽埕(三)	1.862	209	218	0.0001	0.0132
仁德(一)	9.47	30	48	0.362	6.12
仁德(三)	9.47	207	219	0.0022	-
安平(一)	2.21	4	10	0.1408	14.1
永康(一)	15.87	6	18	0.0066	0.602
永康(二)	16.10	72	--	0.0044	0.308

表 3.2.3 嘉南平原南段各站井水質表

(資料來源：經濟部水利處)

分層	站井名稱	X(M)	Y(M)	氯鹽(mg/L)	電導度(μ S/cm)	TDS(mg/L)
1	一甲	174293	2530775	33.3	756	626
1	大社	182092	2514922	88	1425	815
1	五甲(一)	181028	2540128	125	2062	2918
1	五林(一)	176492	2518109	4398	3410	2184
1	仁和	169371	2540268	135	857	610
1	永華	169602	2524146	30990	66900	53340
1	成功(一)	165647	2532244	33989	77200	60478
1	竹滬(一)	170225	2529569	3399	8810	5902
1	依仁	173425	2535088	364	1648	1252
1	岡山	174127	2524521	354	1839	1080
1	阿蓮(一)	180207	2531773	109	885	751
1	省躬(一)	165010	2537173	16394	19720	15531
1	港和(一)	181115	2496876	61	649	409
1	楠梓	177427	2513471	549	731	483
1	興達(一)	167211	2529042	29490	65300	49510
1	彌陀	171934	2520806	3448	9760	6063
1	鹽埕(一)	175455	2502843	15695	41200	29416
1	仁德(一)	172778	2540570	3589	9240	1925
1	安平(一)	163950	2544815	2557	7190	11944
1	永康(一)	172843	2547566	259	1731	1288
2	竹滬(二)	170225	2529569	3998	29800	24605
2	港和(二)	181115	2496876	2799	8630	5022
2	鹽埕(二)	175455	2502843	10996	27800	22954
2	永康二	172843	2547566	1377	3710	-
3	五甲(二)	181028	2540128	35	554	585
3	五林(二)	176492	2518109	3149	7890	7181
3	成功(二)	165647	2532244	22992	48900	37913
3	阿蓮(二)	180207	2531773	289	1159	861
3	興達(二)	167211	2529042	18994	41800	29186
4	五林(三)	176492	2518109	2449	9410	5515
4	竹滬(三)	170225	2529569	19494	39300	32015
4	省躬(二)	165010	2537173	1079	2660	2432
4	鹽埕(三)	175455	2502843	10896	30100	20974
4	仁德(三)	172778	2540570	8369	17110	-

表 3.3.1 蘭陽平原各觀測井之含水層分層對照表

(資料來源：台糖公司新營總廠地下水開發保育中心)

	第一含水層	第二含水層	第三含水層	第四含水層
頭城	觀(一)			
大福	觀(一)			
五結	觀(一)觀(二)	觀(三)	觀(四)	
壯圍	觀(一)	觀(二)	觀(三)	
龍德	觀(一)	觀(二)觀(三)	觀(四)	
岳明	觀(一)			
礁溪	觀(一)			
宜蘭農工	觀(一)	觀(二)		
中興	觀(一)	觀(二)	觀(三)	觀(四)
冬山	觀(一)	觀(二)		
大隱	觀(一)		觀(二)	
利澤	觀(一)		觀(二)	
內城	觀(一)			
自強	觀(一)			

表 3.3.2 蘭陽平原各觀測站水文地質特性

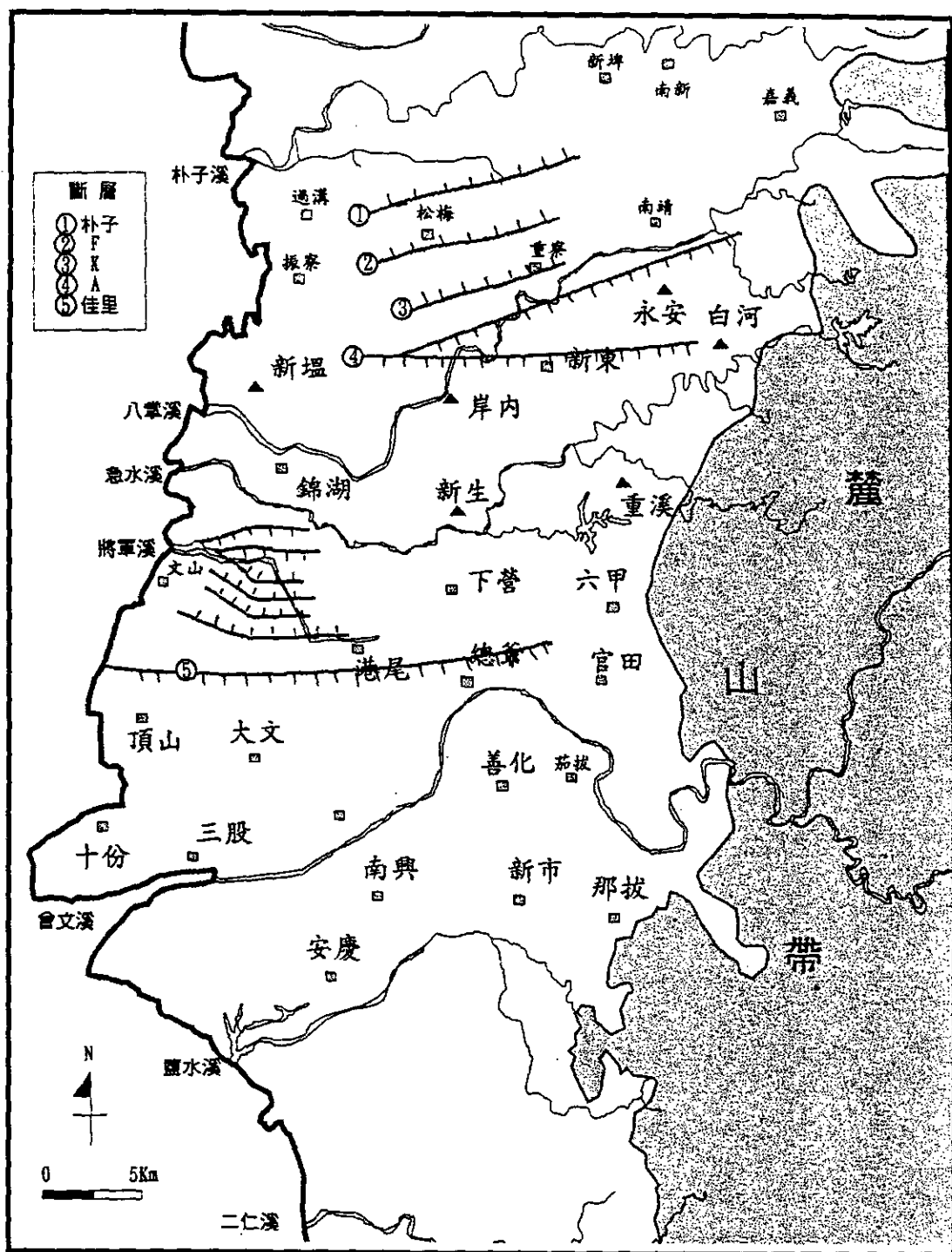
(資料來源：台糖公司新營總廠地下水開發保育中心)

站井名稱	地表高程 (m)	濾管位置起 (m)	濾管位置止 (m)	導水係數 T(m ² /min)	Q/s(cmh/m)
大福	缺	9	39.5	1.146	33.8
大隱(一)	40.638	38	62	0.608	33.639
大隱(二)	40.638	136	160	0.248	12.594
中興(一)	6.227	15	45	1.290	25.99
中興(二)	6.227	100	130	0.900	24.358
中興(三)	6.227	180	192	0.098	2.7556
中興(四)	6.227	224	230	0.060	2.7149
五結(一)	3.888	3	15	1.656	44.586
五結(二)	3.888	29	41	1.298	26.309
五結(三)	3.888	64	82	0.036	1.4274
五結(四)	3.888	152	176	0.069	2.1326
內城	缺	7	49	2.921	缺
冬山(一)	缺	28	49	1.530	55.73
冬山(二)	缺	68	86	1.436	54.87
自強	104.813	10	28	0.026	0.086
利澤(一)	4.025	16	34	0.227	7.514
利澤(二)	4.025	158	170	0.013	0.496
壯圍(一)	缺	54	72	0.345	10.04
壯圍(二)	缺	112	124	0.004	0.1959
壯圍(三)	缺	162	174	0.001	0.0125
宜農(一)	缺	19.5	34.4	0.616	20.78
宜農(二)	缺	109	133	0.072	2.4
岳明	5.094	6	27	0.036	10.815
頭城	6.651	7	19	0.726	10.288
龍德(一)	6.799	13	37	0.577	29.029
龍德(二)	6.799	60	78	0.056	2.38
龍德(三)	6.799	100	118	0.227	7.377
龍德(四)	6.799	136	151	0.024	1.2184
礁溪	缺	25	39	0.400	9.1

表 3.3.3 蘭陽平原各站井水質表

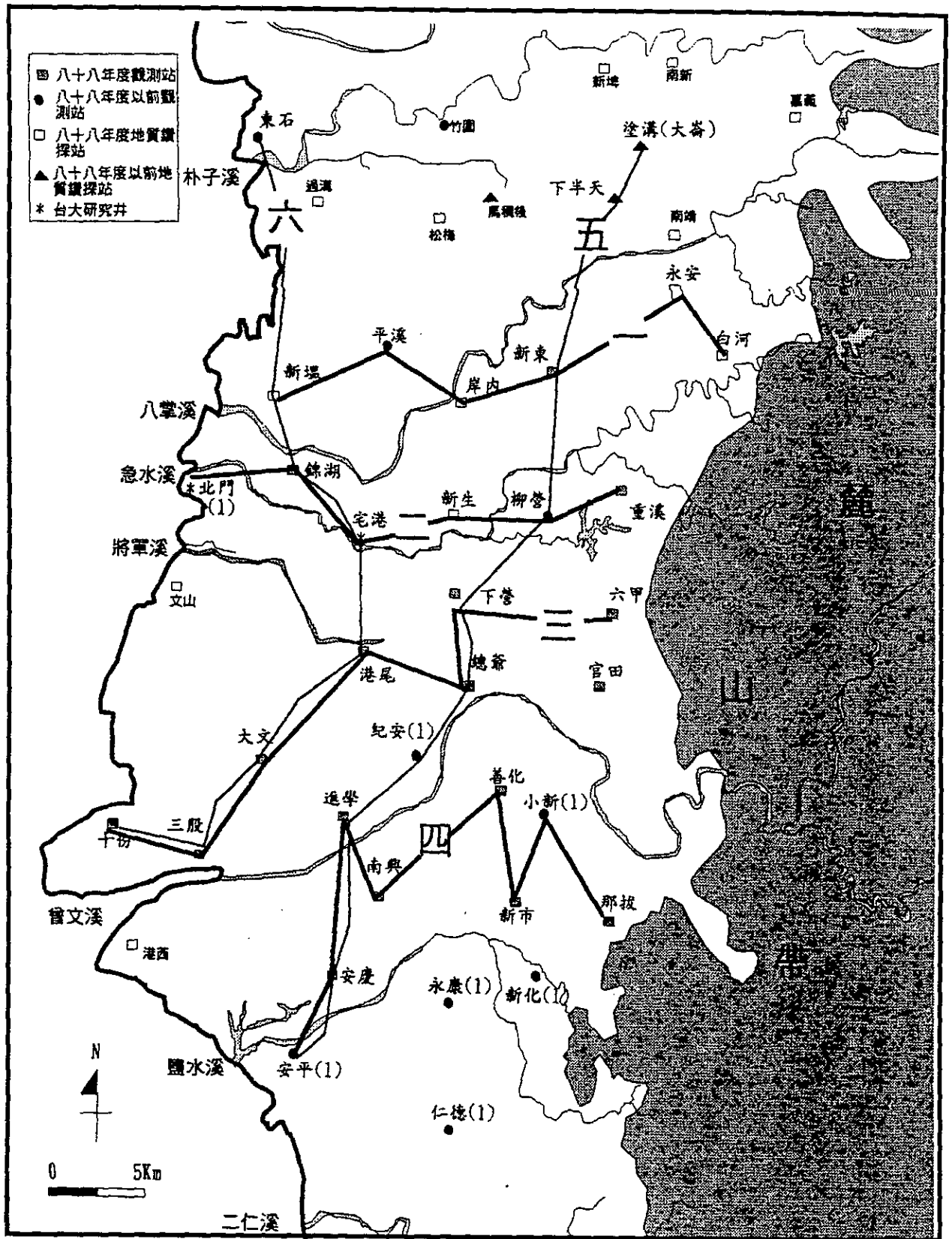
(資料來源：經濟部水利處)

分層	站井名稱	TM2(X) (m)	TM2(Y) (m)	氣鹽 (mg/L)	電導度 (μ S/cm)	TDS(mg/L)
1	大福	331460	2744155	9692	27630	19341
1	大隱(一)	321310	2729412	62.5	234	186
1	中興(一)	327278	2732049	37.5	402	217
1	五結(一)	330057	2731668	37.5	517	307
1	五結(二)	330057	2731668	25	525	345
1	內城	318700	2734992	8.78	164	110
1	冬山(一)	329505	2725780	30.07	446	315
1	自強	313166	2731959	249.9	303	255
1	利澤(一)	333141	2729240	50	230	235
1	宜農(一)	324620	2738180	12.38	331	221
1	岳明	335491	2723599	41.7	322	241
1	頭城	332895	2751096	249.9	225	146
1	龍德(一)	331568	2726058	37.5	311	160
1	礁溪	329180	2745890	17.56	417	291
2	五結(三)	330057	2731668	37.5	930	658
2	冬山(二)	329505	2725780	17.69	212	160
1	壯圍(一)	329122	2737853	4.96	459	226
2	龍德(二)	331568	2726058	37.5	1283	851
3	大隱(二)	321310	2729412	93.7	413	313
1	中興(二)	327278	2732049	25	468	296
2	壯圍(二)	329122	2737853	6.77	1102	731
2	宜農(二)	324620	2738180	10.54	295	205
2	龍德(三)	331568	2726058	243.7	1561	947
3	中興(三)	327278	2732049	18.7	522	291
3	五結(四)	330057	2731668	37.5	800	502
3	利澤(二)	333141	2729240	50	1646	1186
3	壯圍(三)	329122	2737853	9.57	897	586
3	龍德(四)	331568	2726058	106.2	1574	990
4	中興(四)	327278	2732049	25	530	326



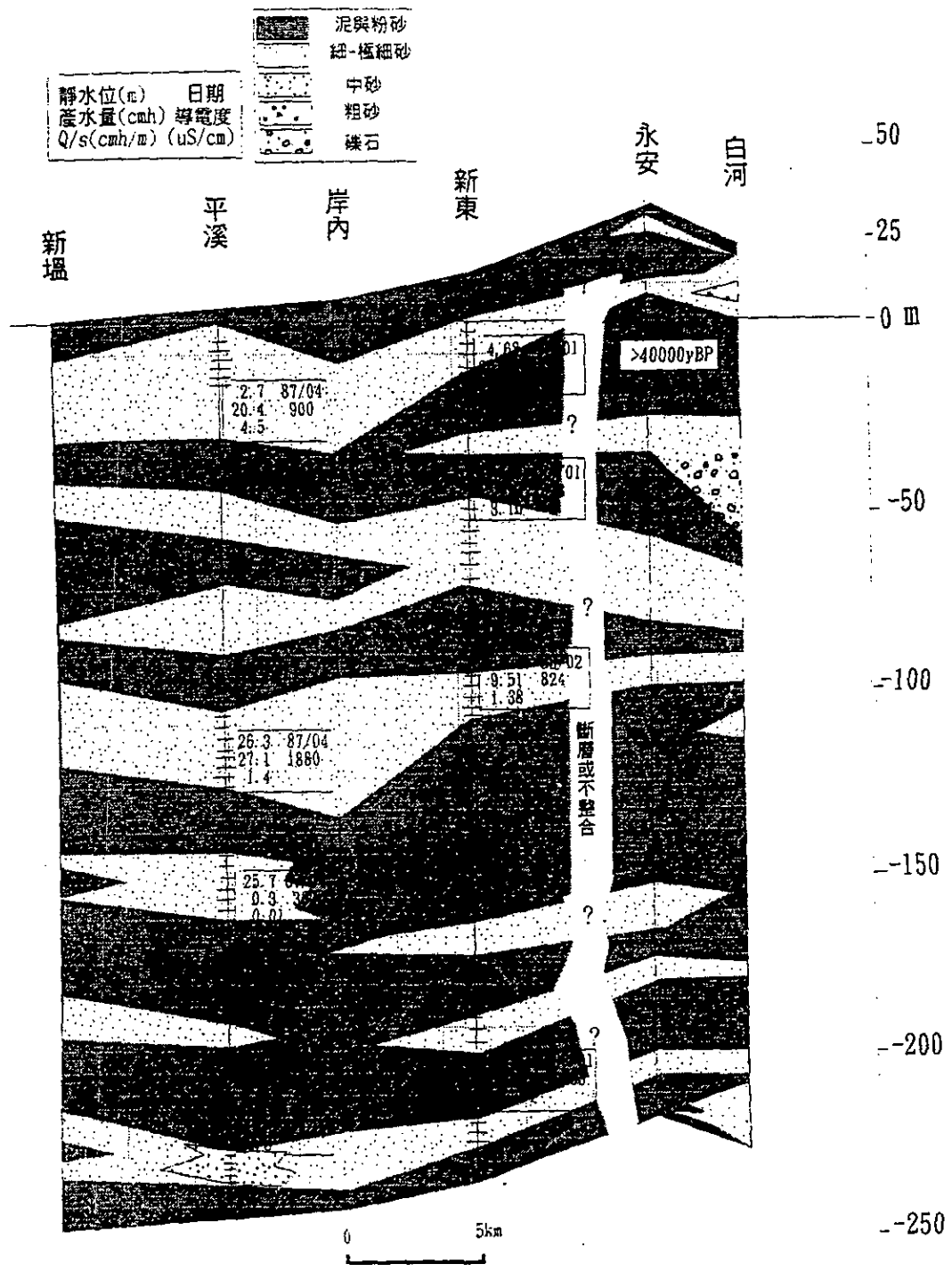
(資料來源：中油 1/100000 地質圖)

圖 3.1.1 嘉南平原(北段)斷層分佈圖



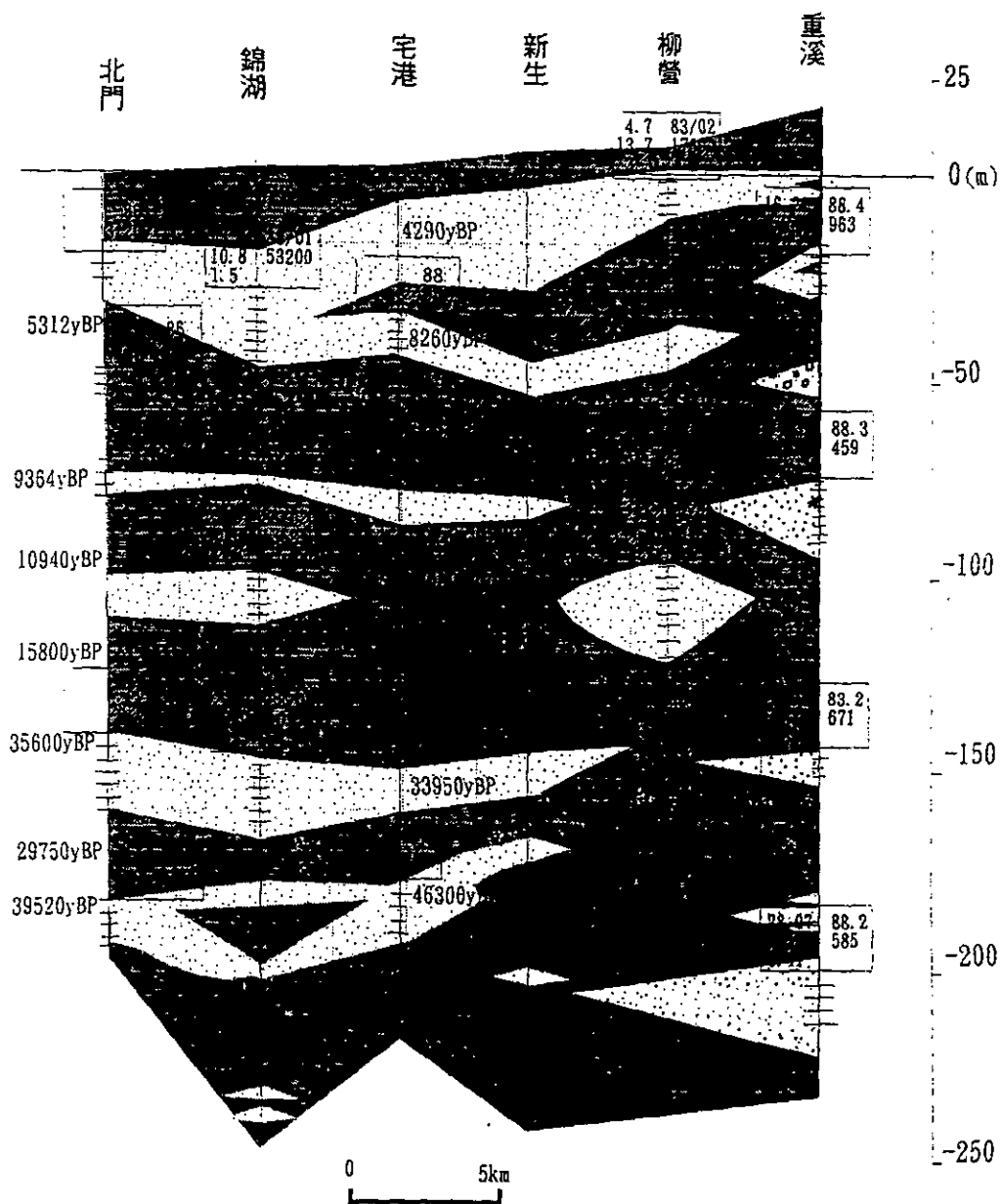
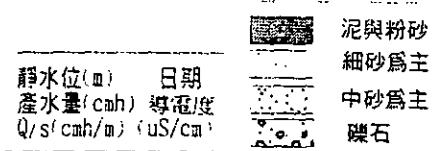
(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-88年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.1.2 嘉南平原(北段)探井位置圖



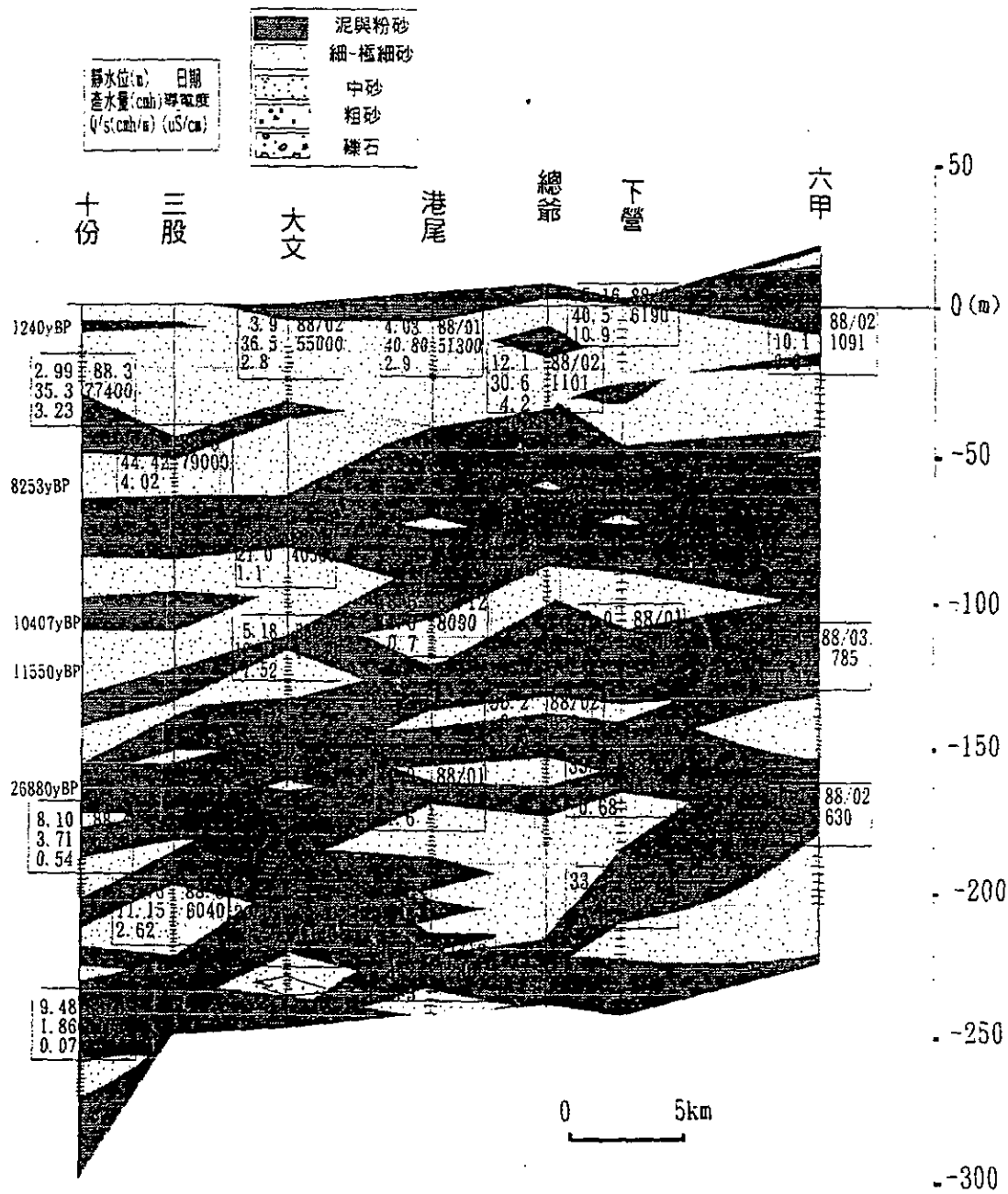
(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-88 年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.1.3 嘉南平原(北段)水文地質剖面一



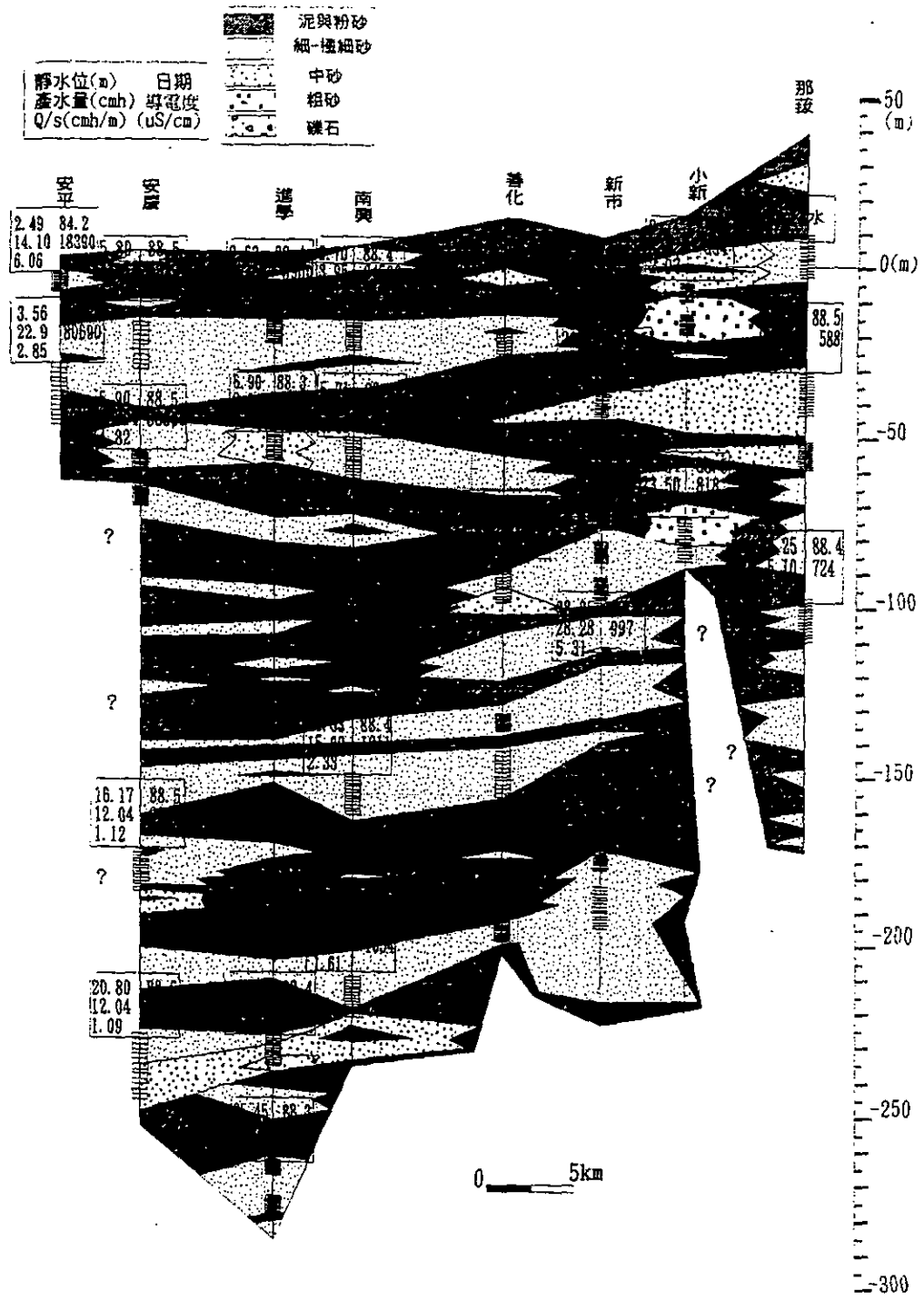
(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-88年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.1.4 嘉南平原(北段)水文地質剖面二



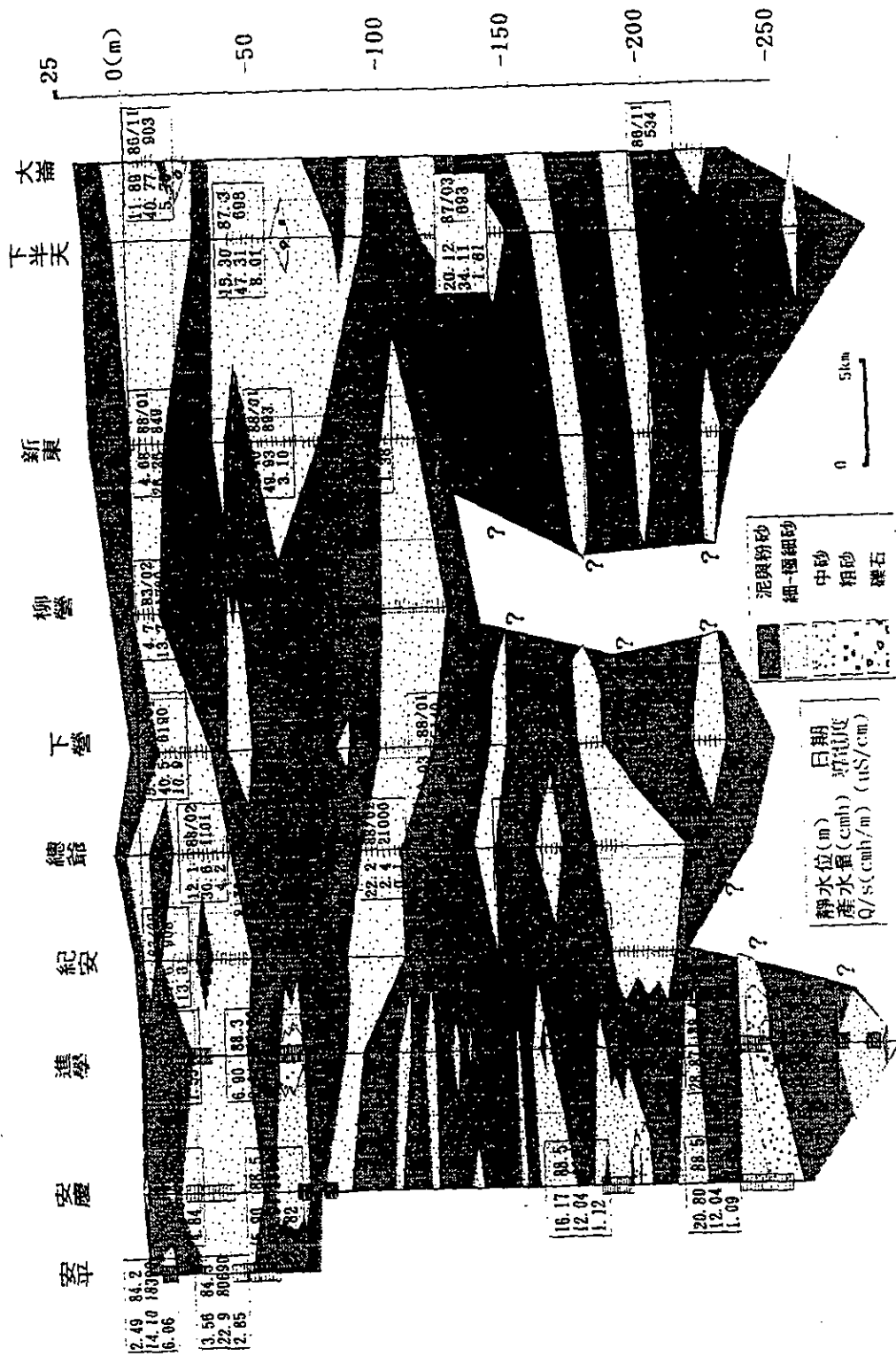
來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-88 年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.1.5 嘉南平原(北段)水文地質剖面三



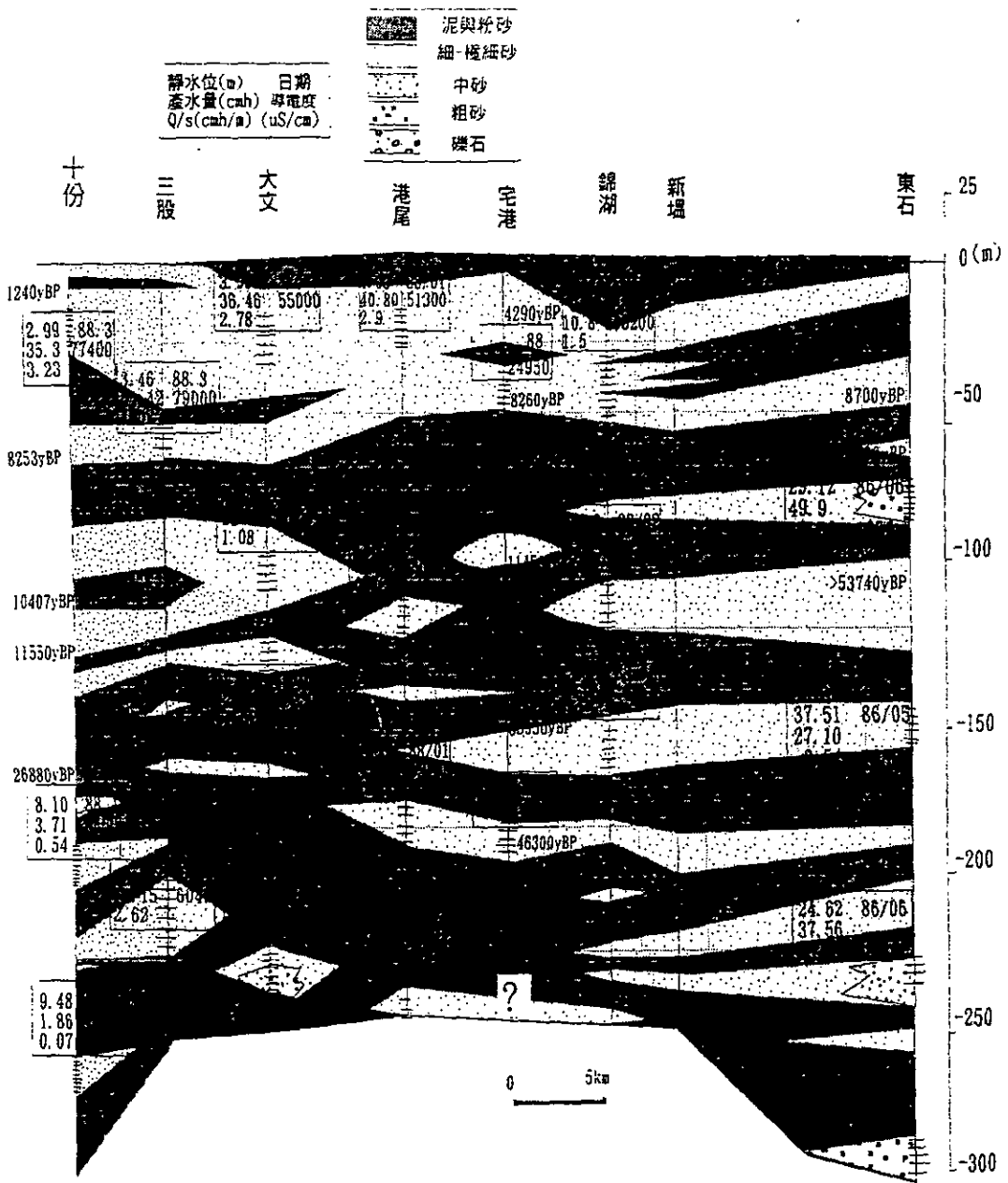
(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-88年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.1.6 嘉南平原(北段)水文地質剖面四



(資料來源：台灣地區地下水觀測網調整計畫-88年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.1.7 嘉南平原(北段)水文地質剖面五



(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-88年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.1.8 嘉南平原(北段)水文地質剖面六

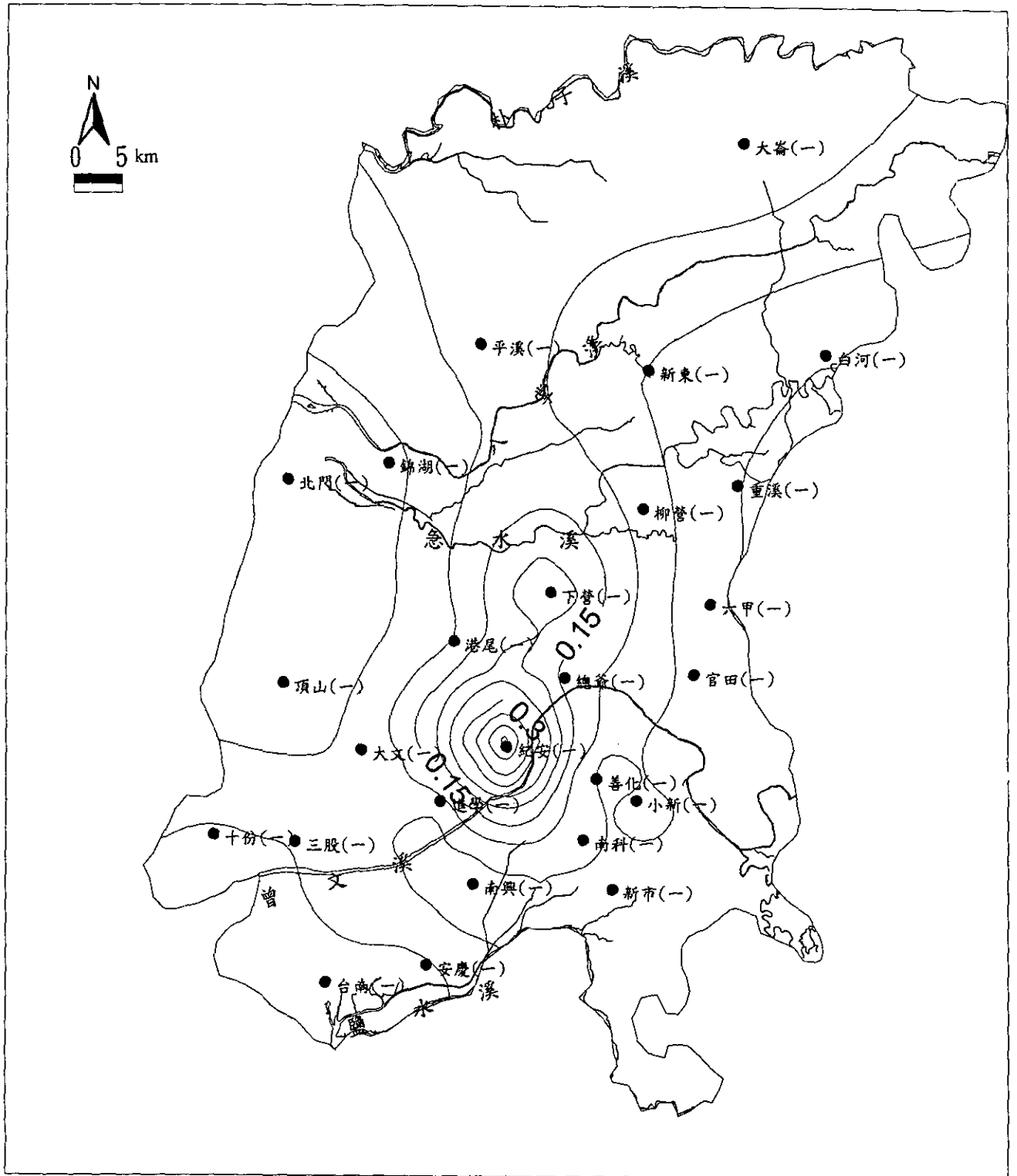


圖 3.1.9 嘉南平原北段含水層一之導水係數等值圖(m^2/min)

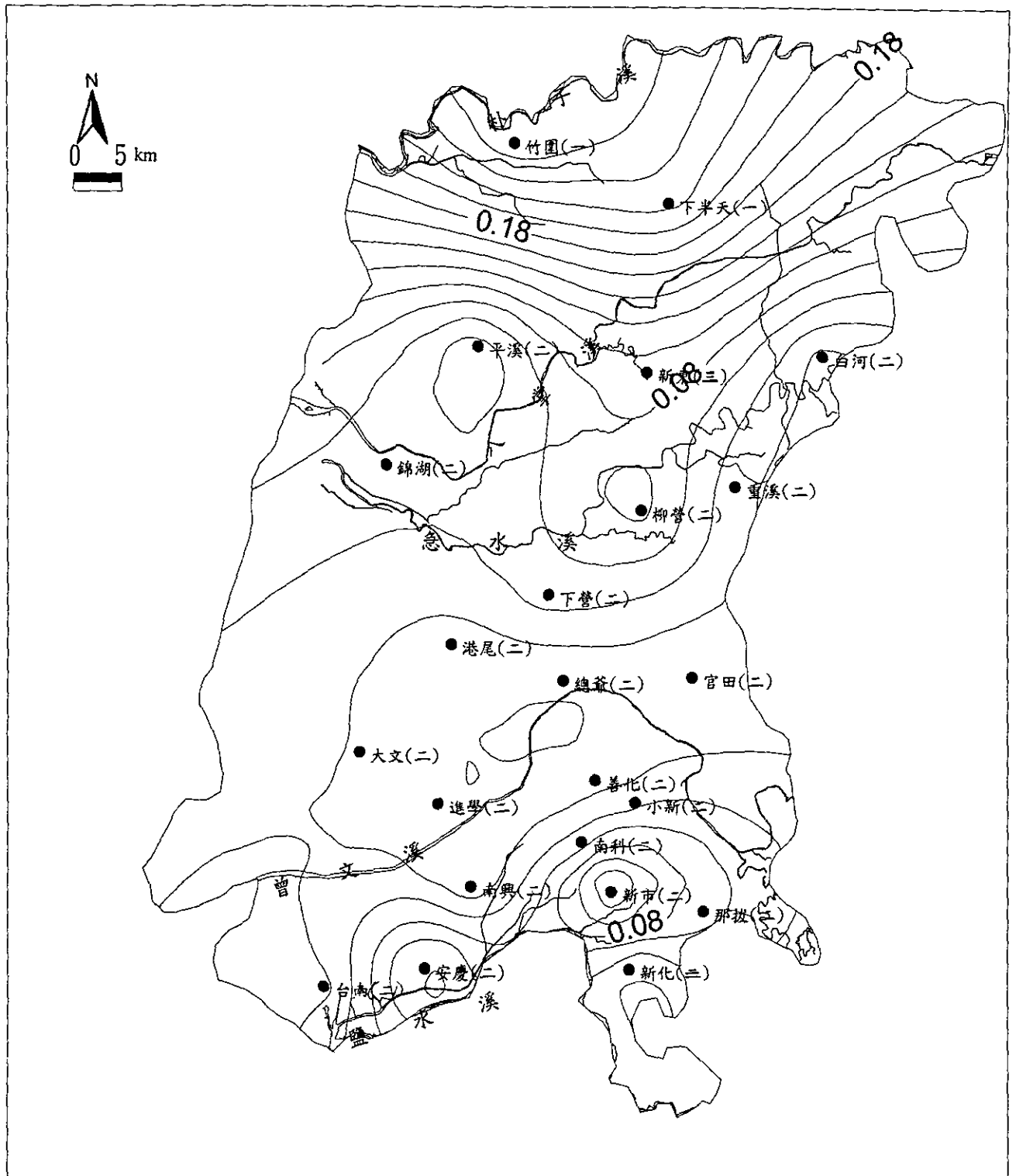


圖 3.1.10 嘉南平原北段含水層二之導水係數等值圖(m^2/min)

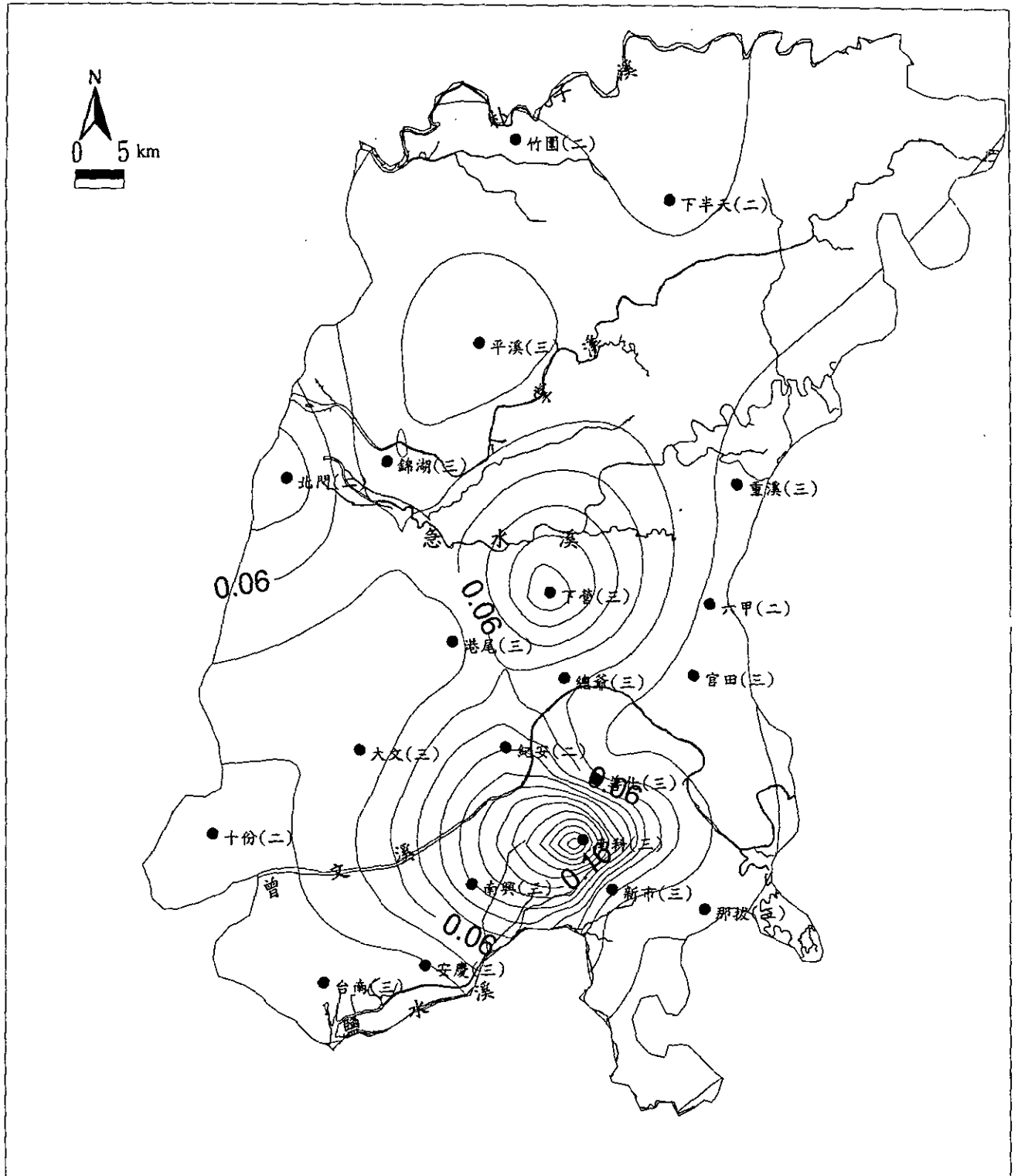


圖 3.1.11 嘉南平原北段含水層三之導水係數等值圖(m^2/min)

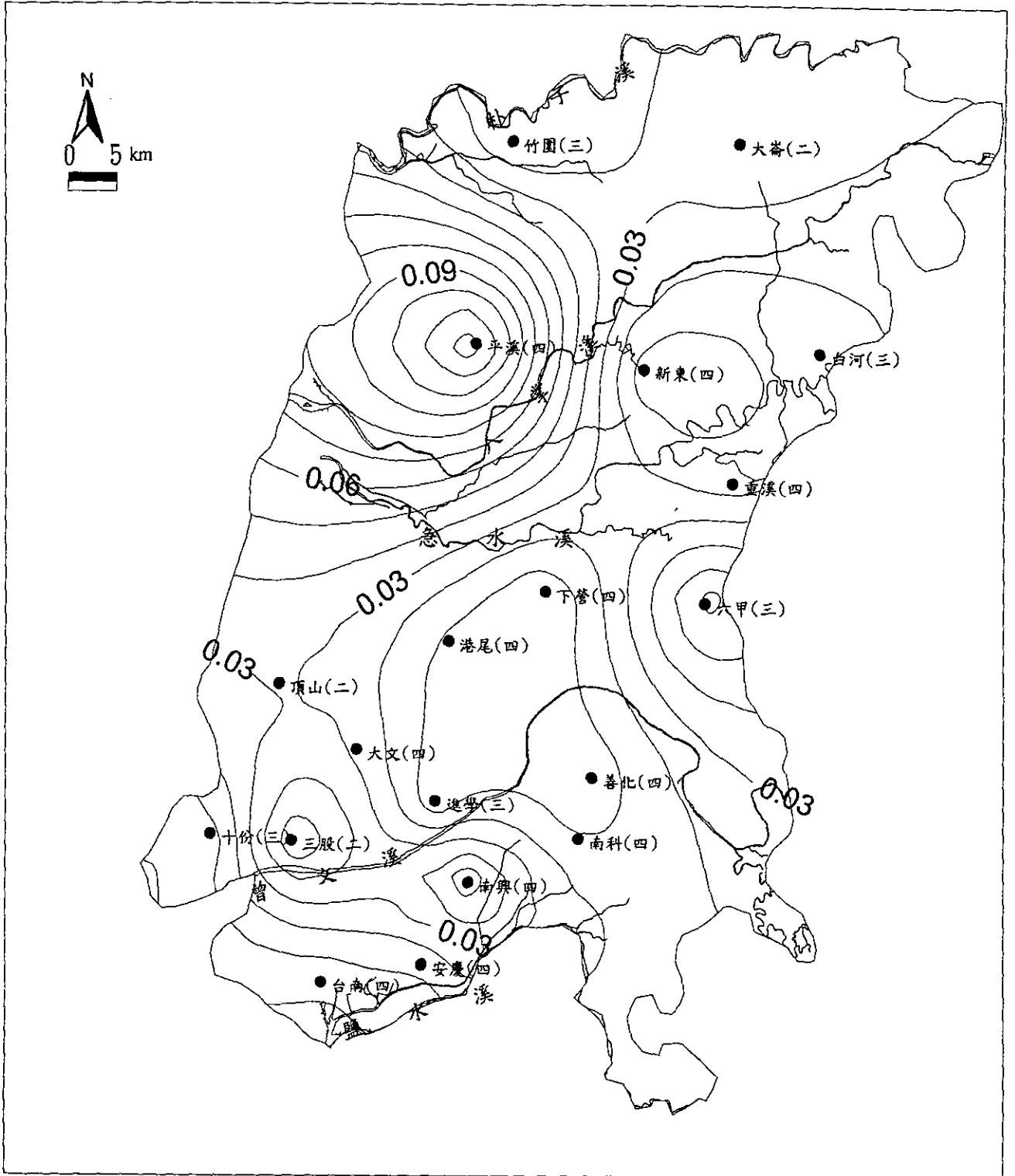


圖 3.1.12 嘉南平原北段含水層四之導水係數等值圖(m²/min)

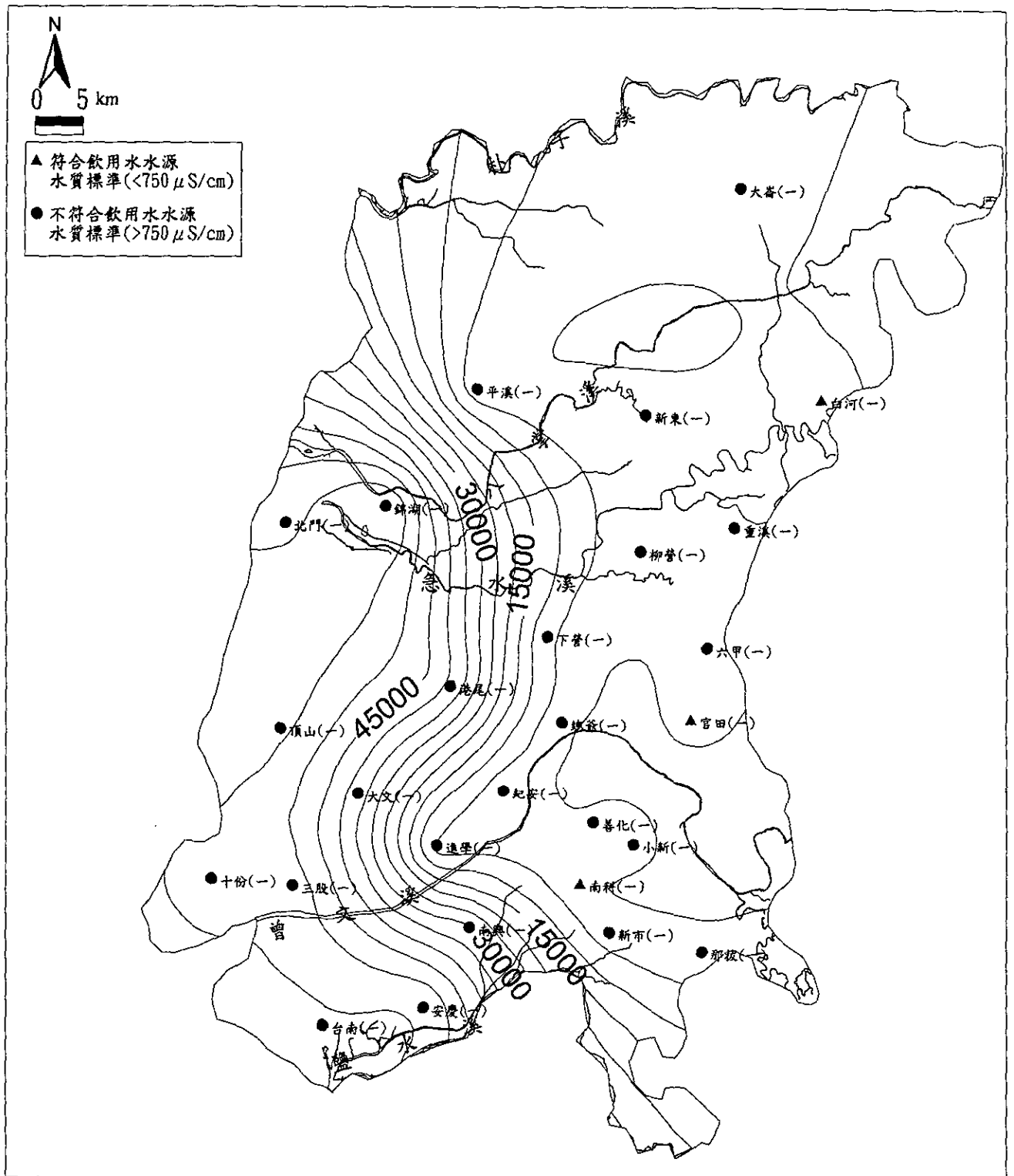


圖 3.1.13 嘉南平原北段含水層一之電導度等值分析圖 ($\mu S/cm$)

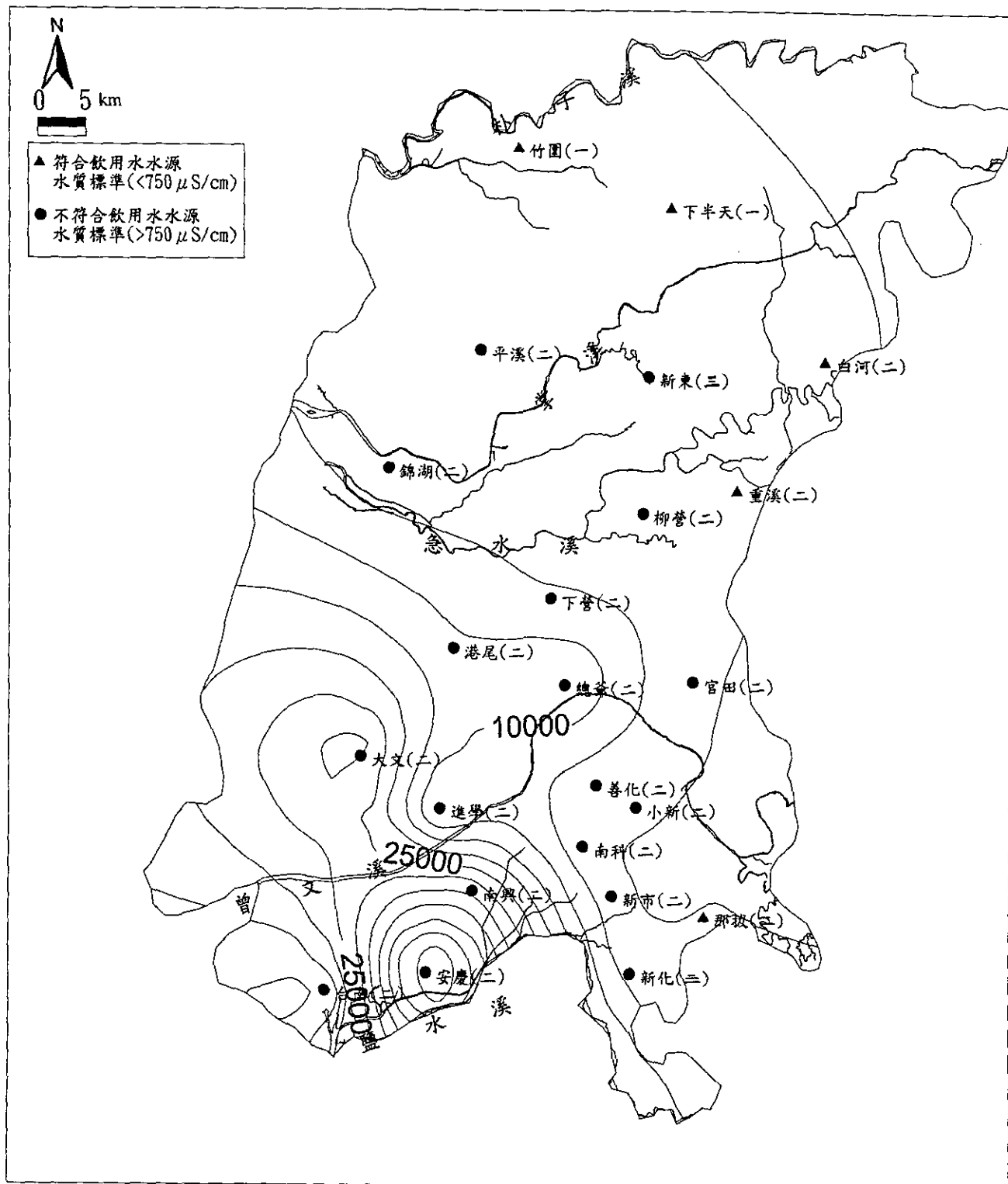


圖 3.1.14 嘉南平原北段含水層二之電導度等值分析圖($\mu S/cm$)

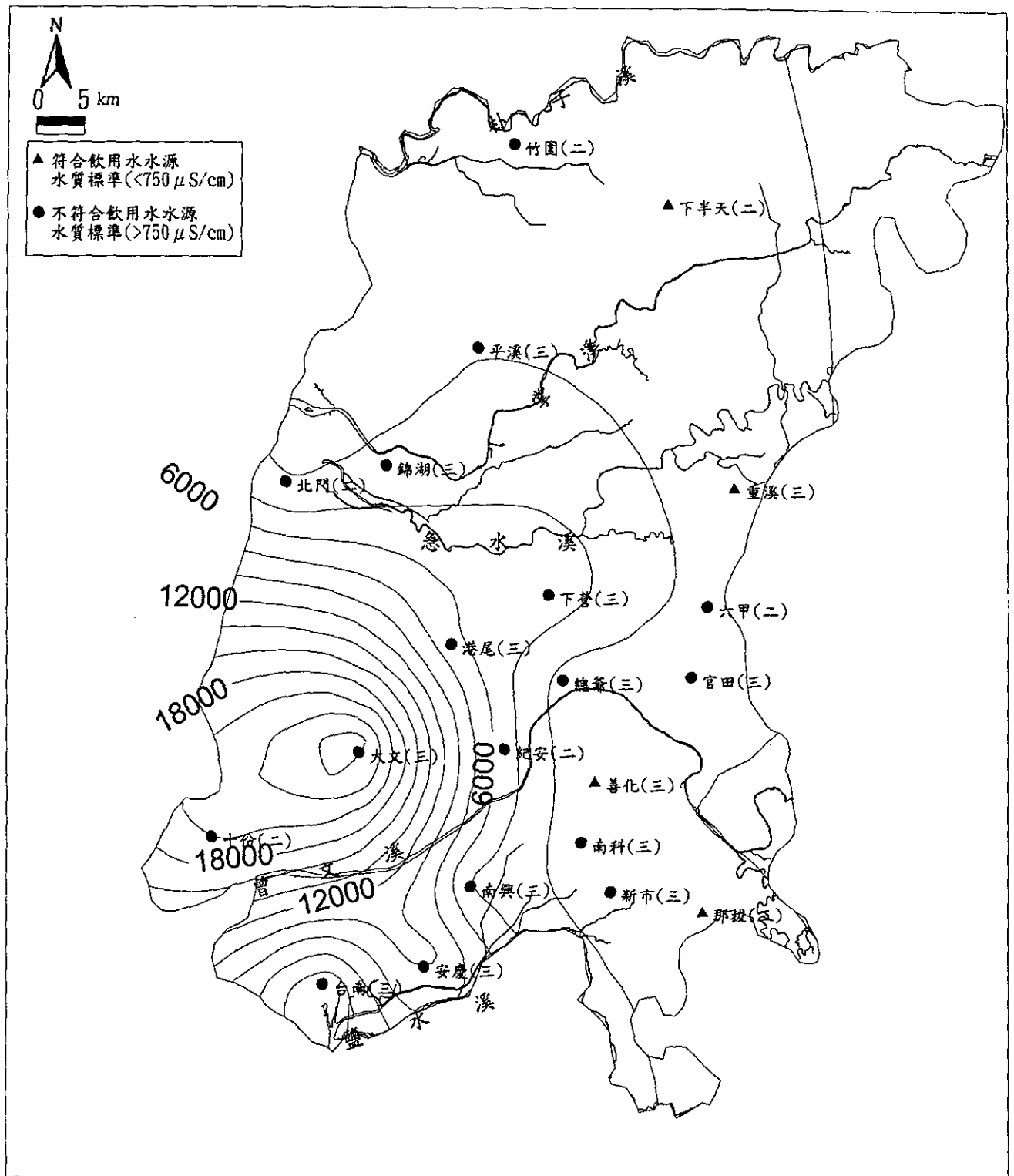


圖 3.1.15 嘉南平原北段含水層三之電導度等值分析圖 ($\mu S/cm$)

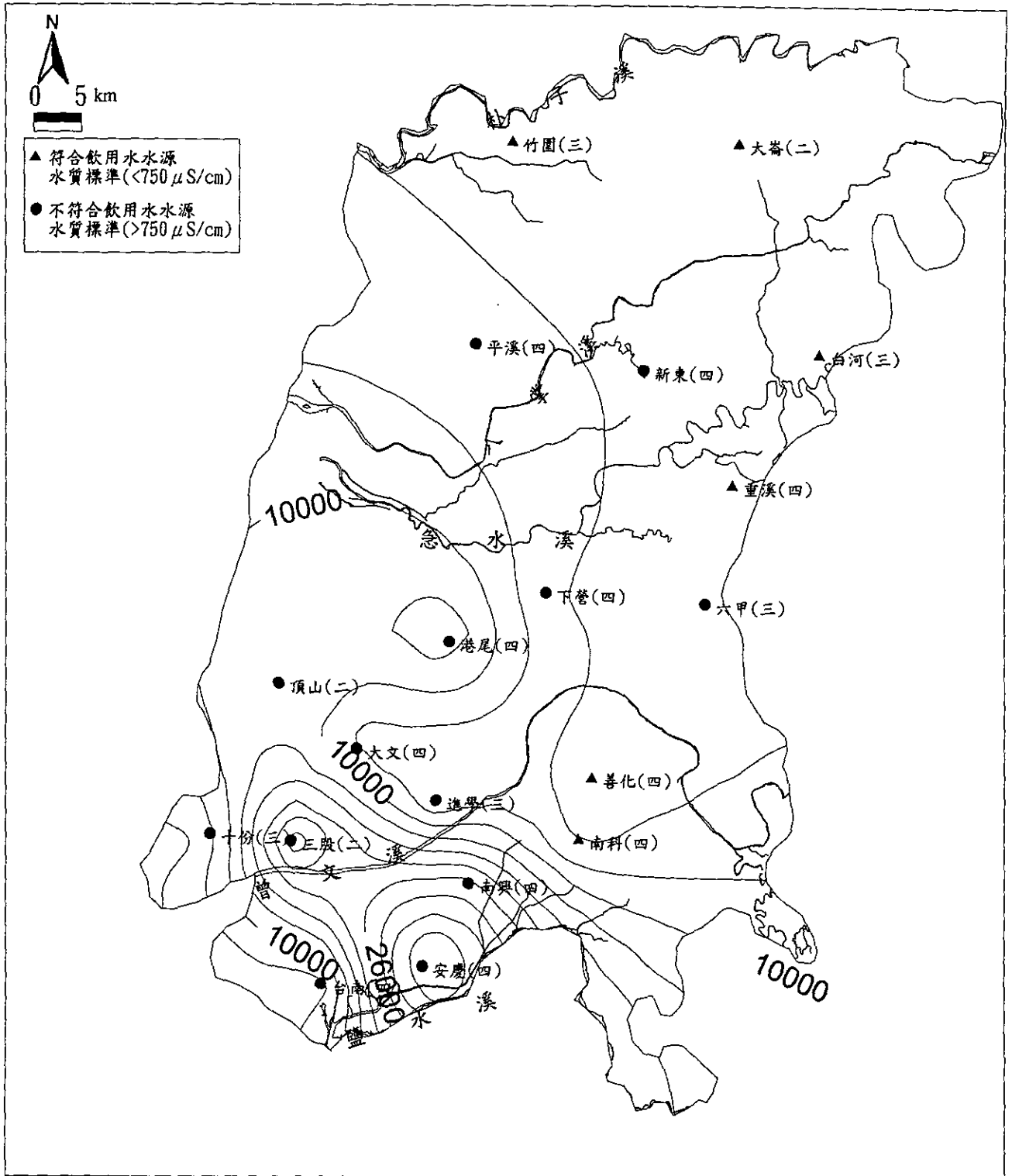


圖 3.1.16 嘉南平原北段含水層四之電導度等值分析圖($\mu\text{S}/\text{cm}$)

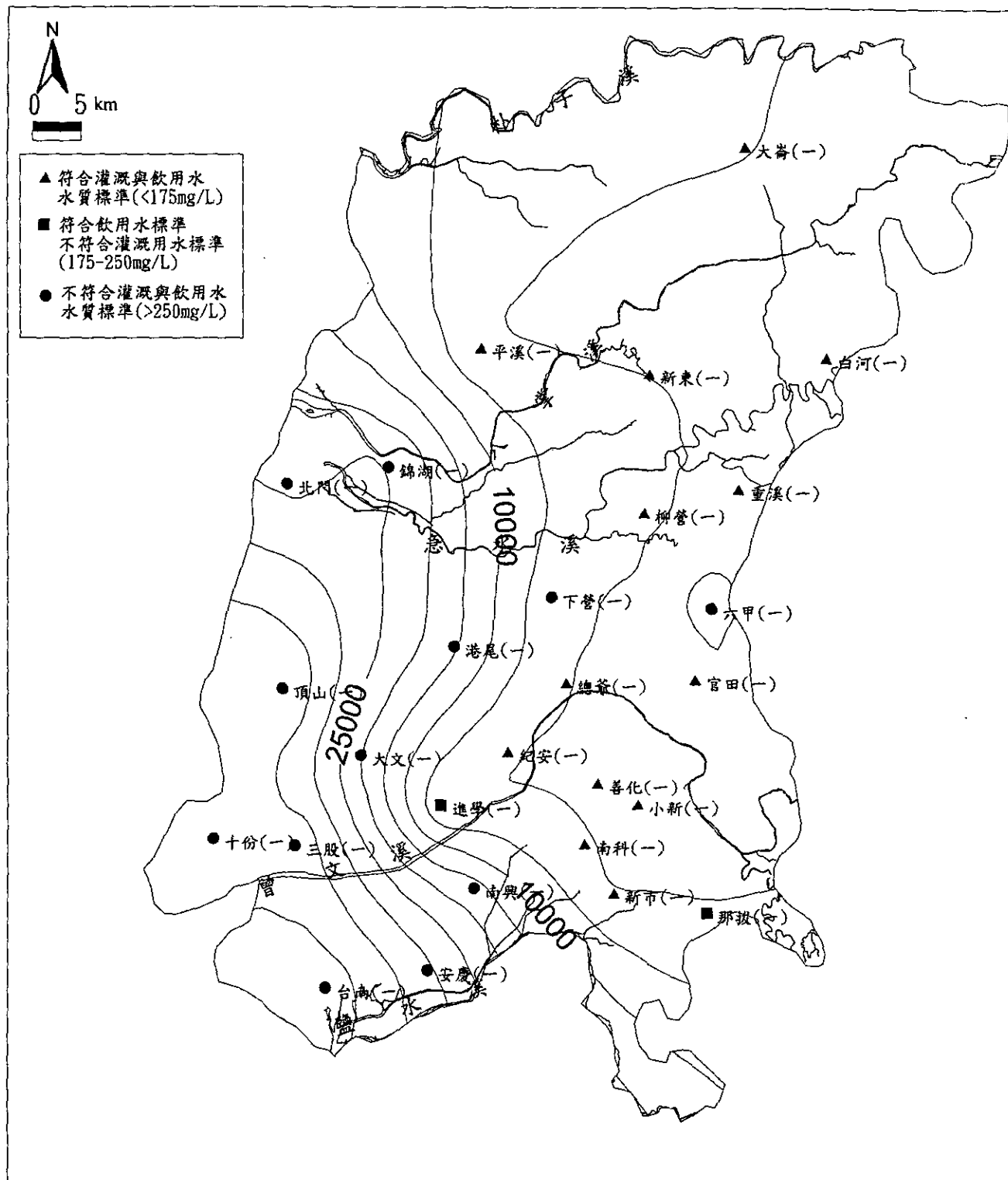


圖 3.1.17 嘉南平原北段含水層一之氣鹽等值分析圖(mg/L)

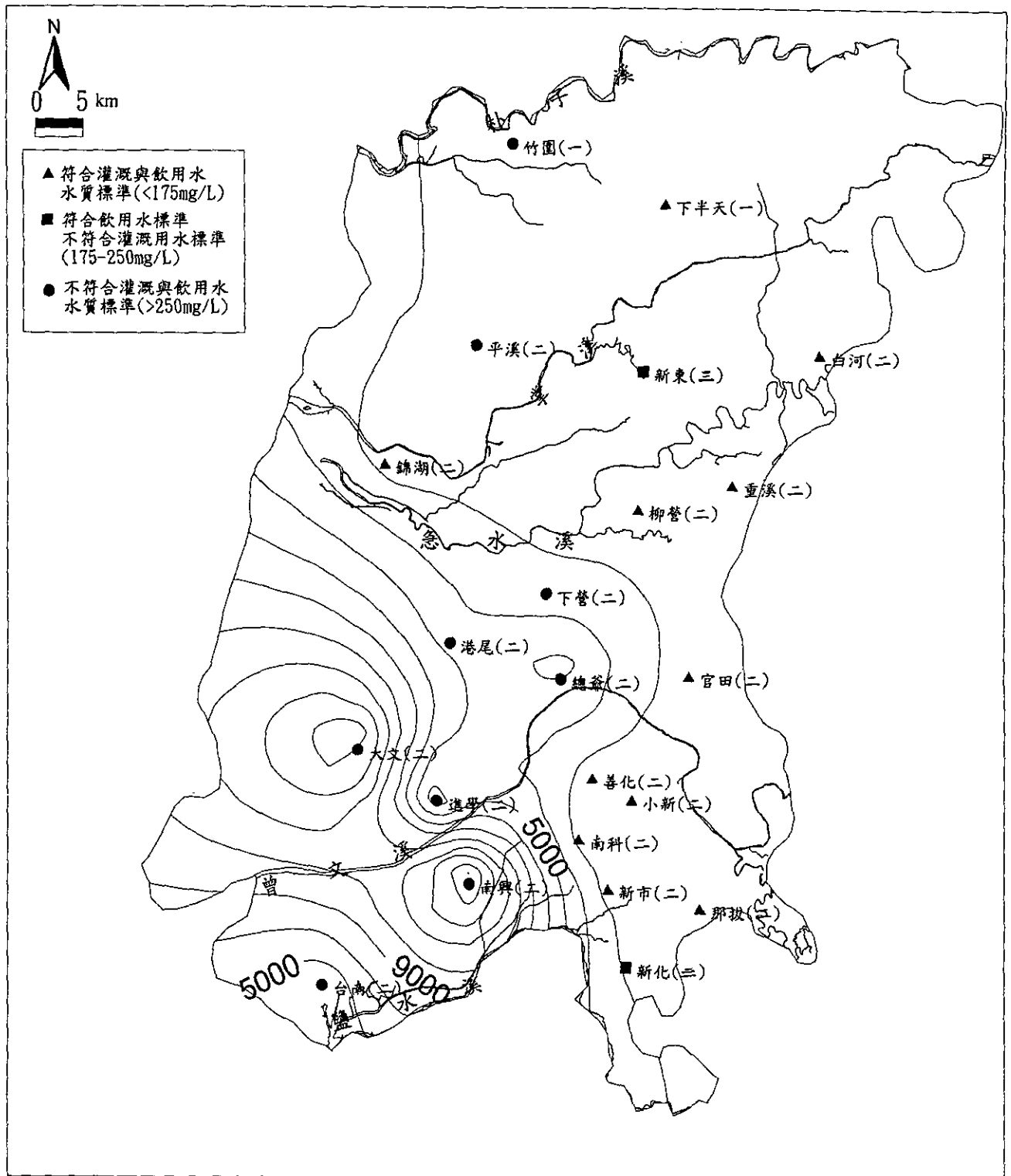


圖 3.1.18 嘉南平原北段含水層二之氯鹽等值分析圖(mg/L)

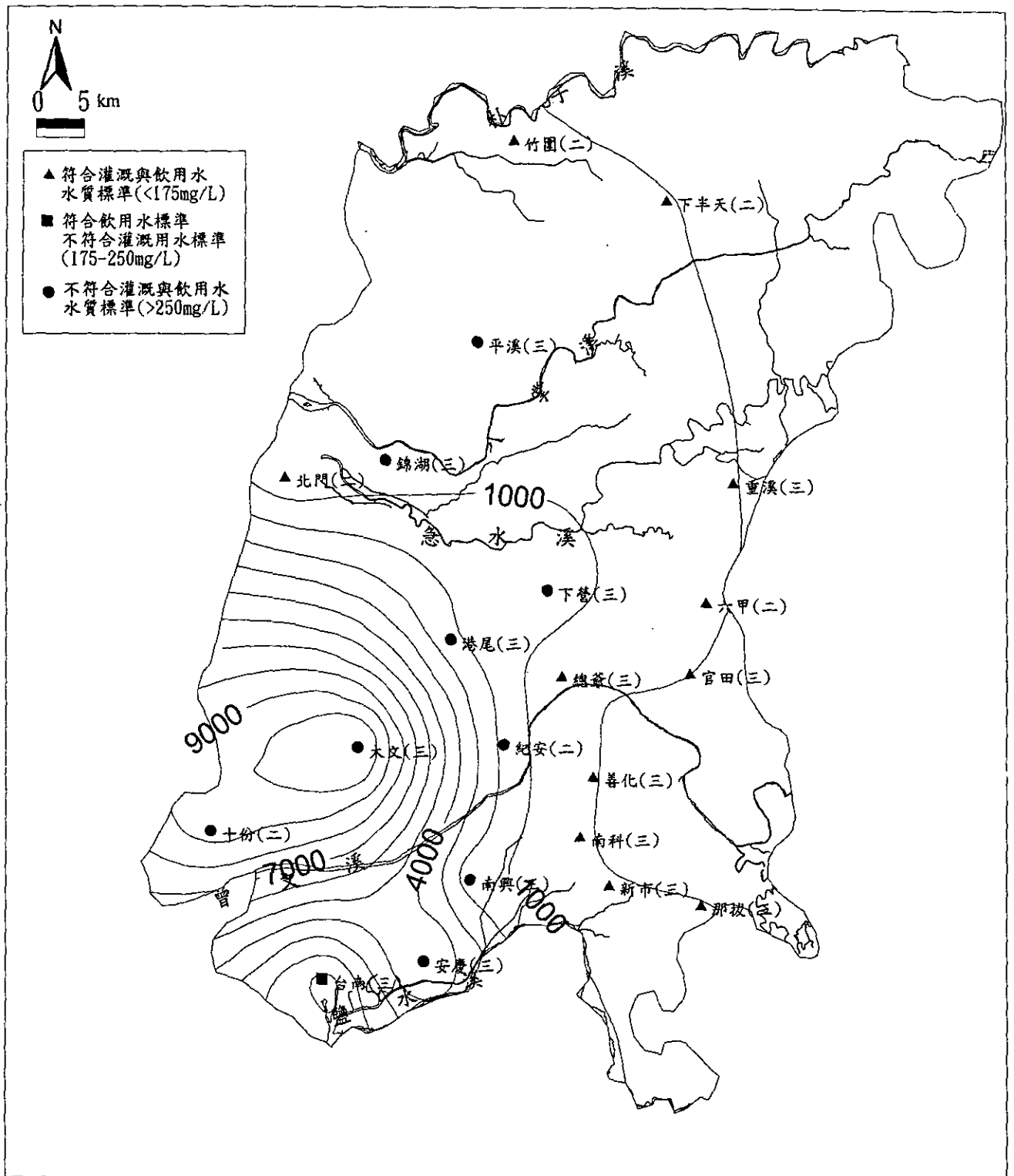


圖 3.1.19 嘉南平原北段含水層三之氣鹽等值分析圖(mg/L)

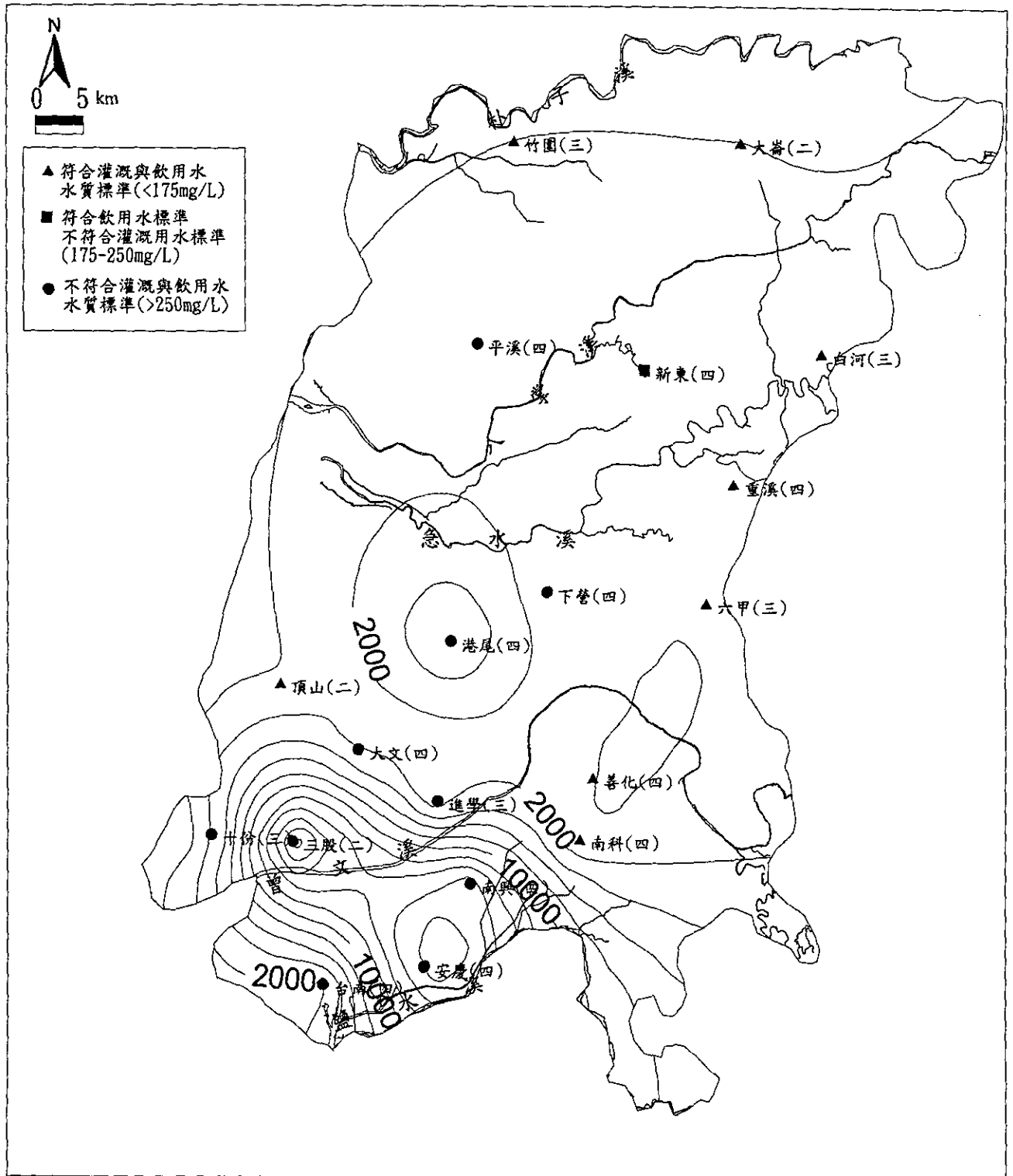


圖 3.1.20 嘉南平原北段含水層四之氯鹽等值分析圖(mg/L)

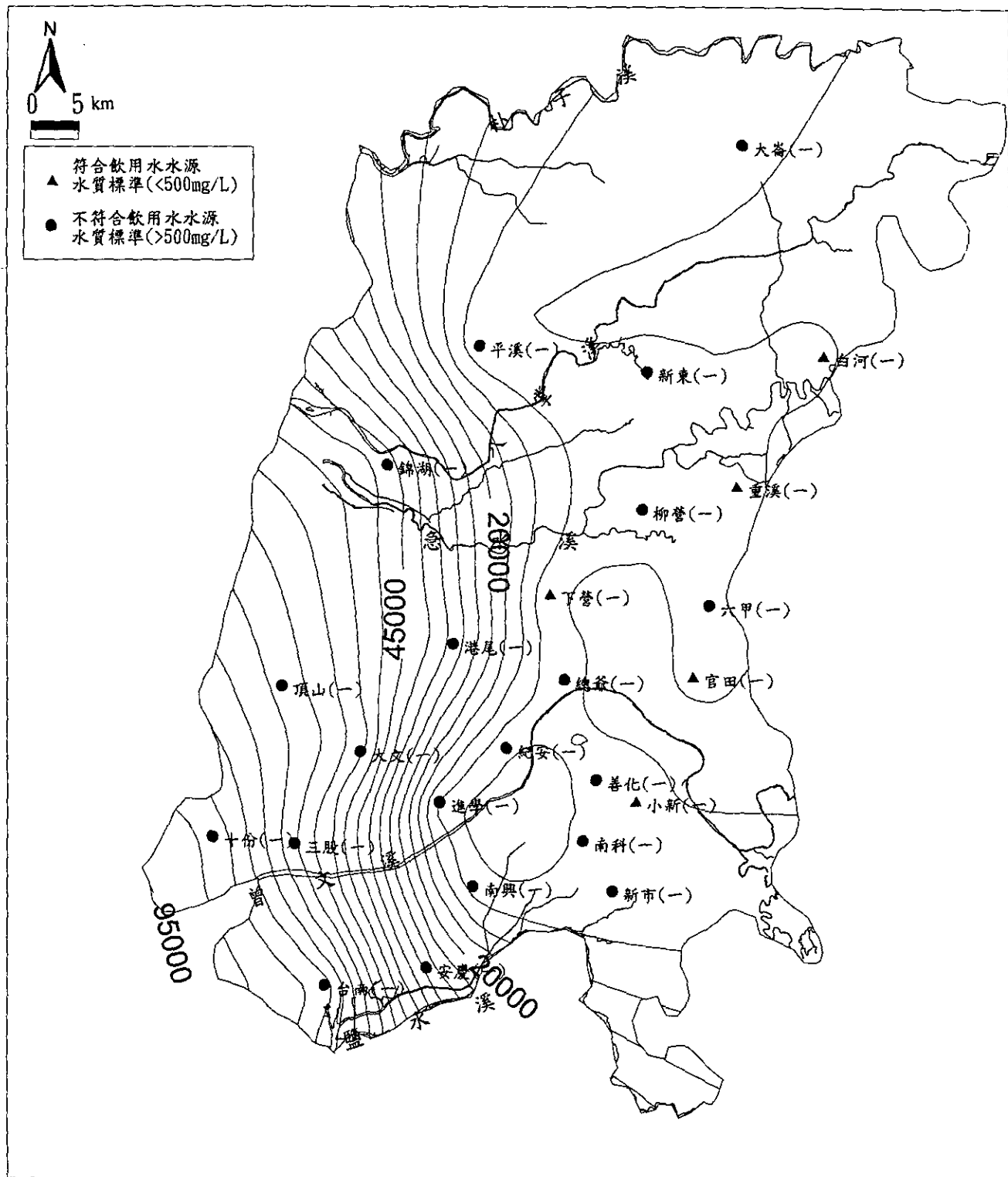


圖 3.1.21 嘉南平原北段含水層一之總溶解固體量等值分析圖(mg/L)

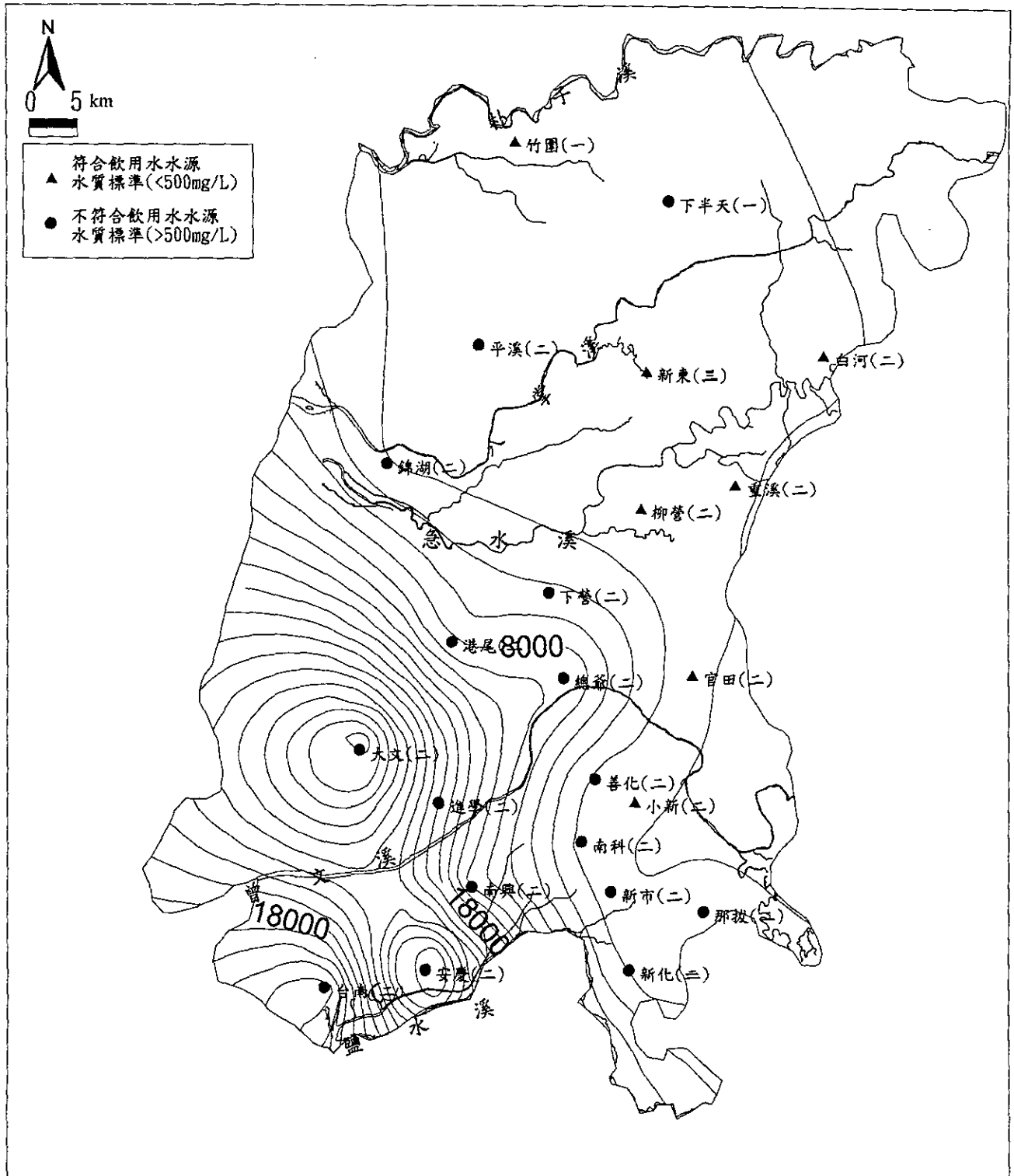


圖 3.1.22 嘉南平原北段含水層二之總溶解固體量等值分析圖(mg/L)

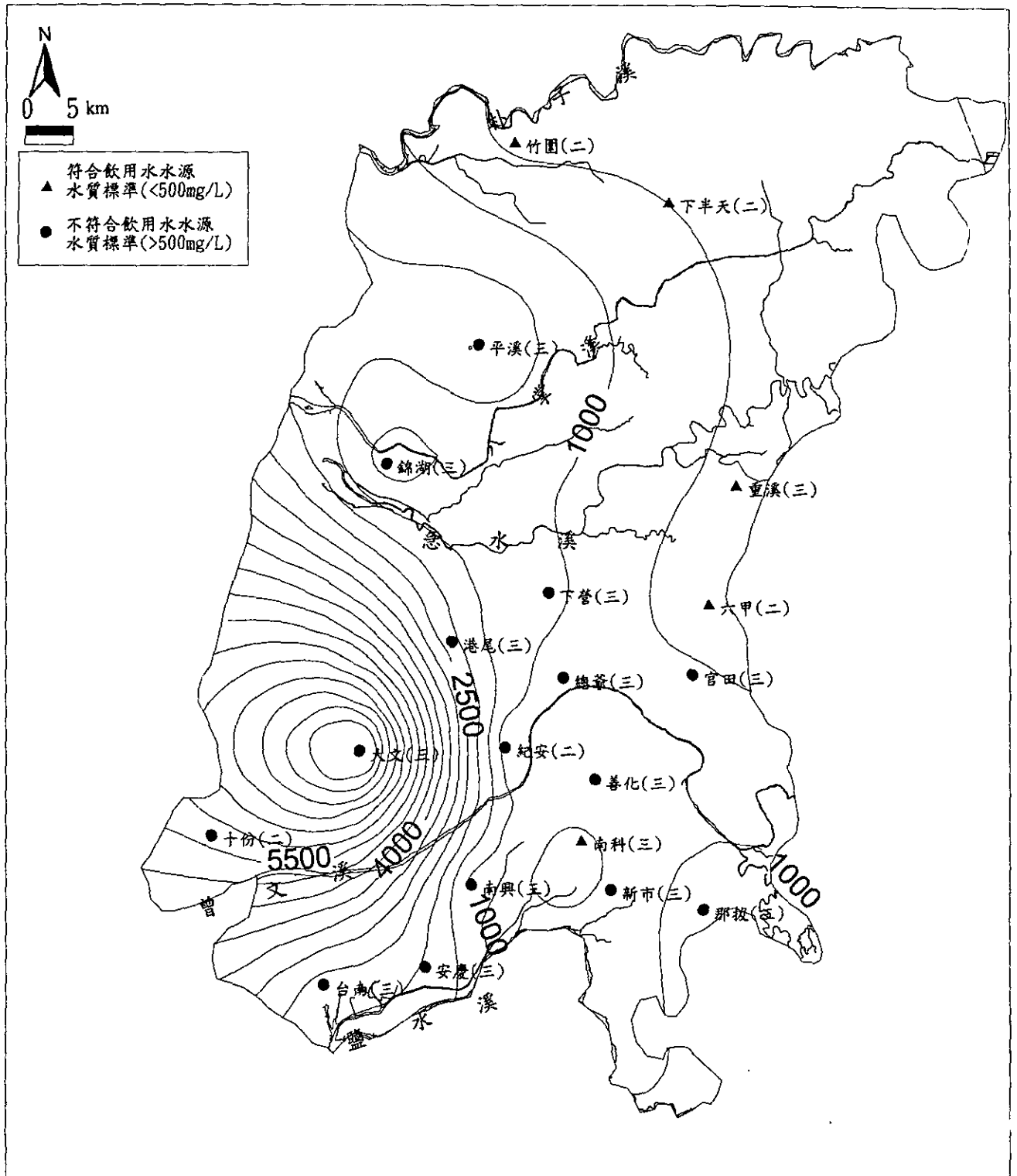


圖 3.1.23 嘉南平原北段含水層三之總溶解固體量等值分析圖(mg/L)

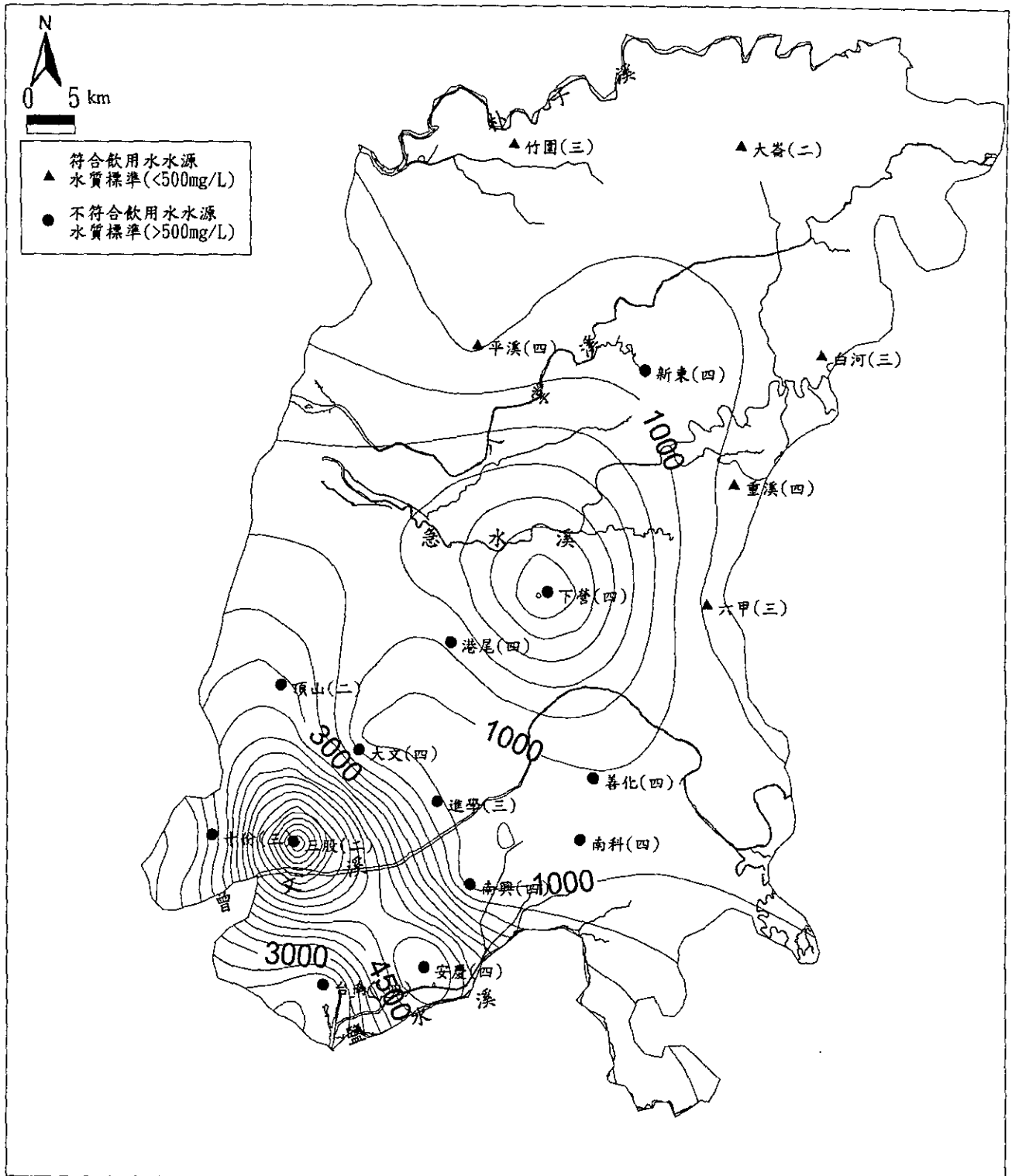


圖 3.1.24 嘉南平原北段含水層四之總溶解固體量等值分析圖(mg/L)

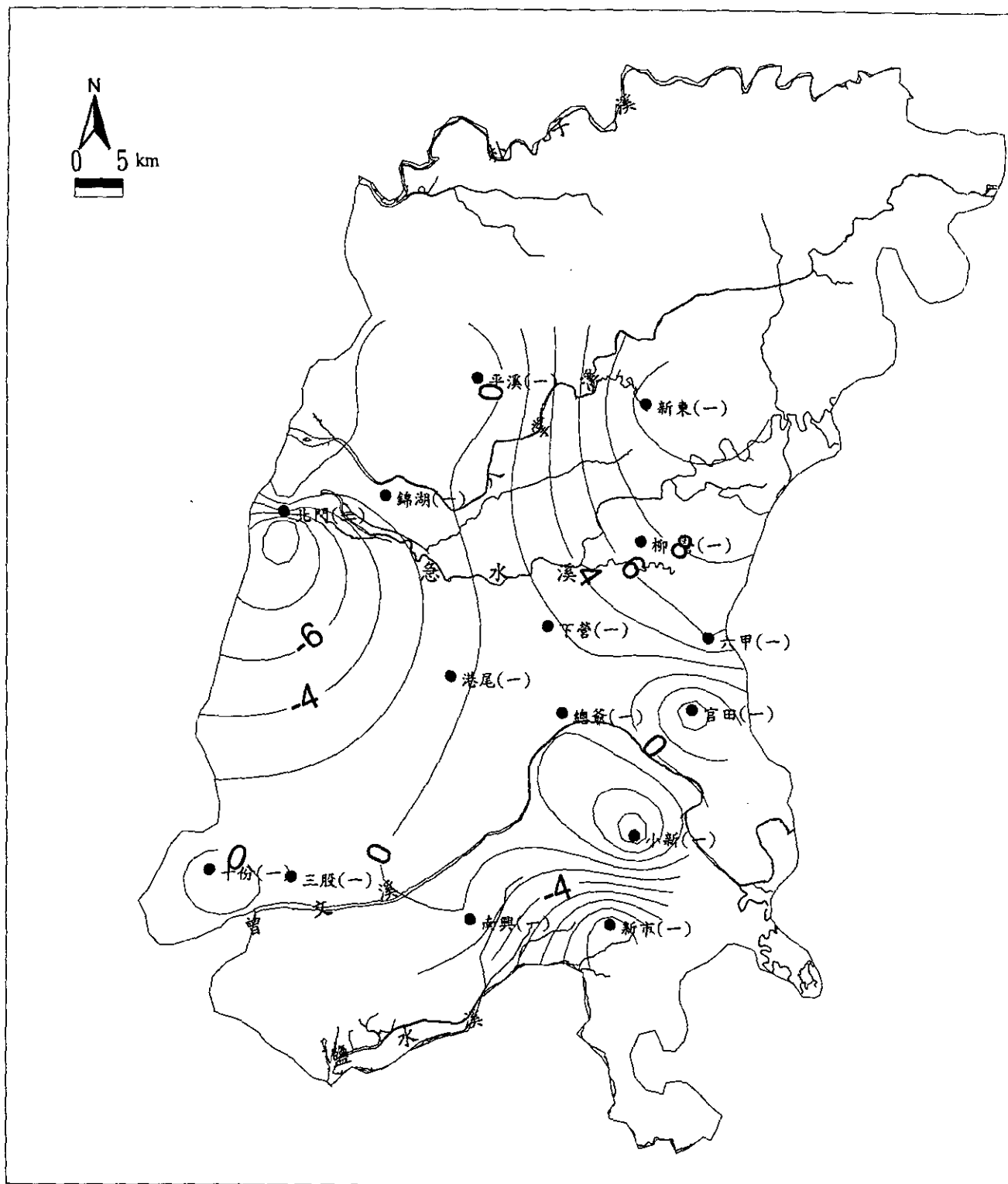


圖 3.1.25 嘉南平原北段民國89年四月含水層一之地下水位等值圖(m)

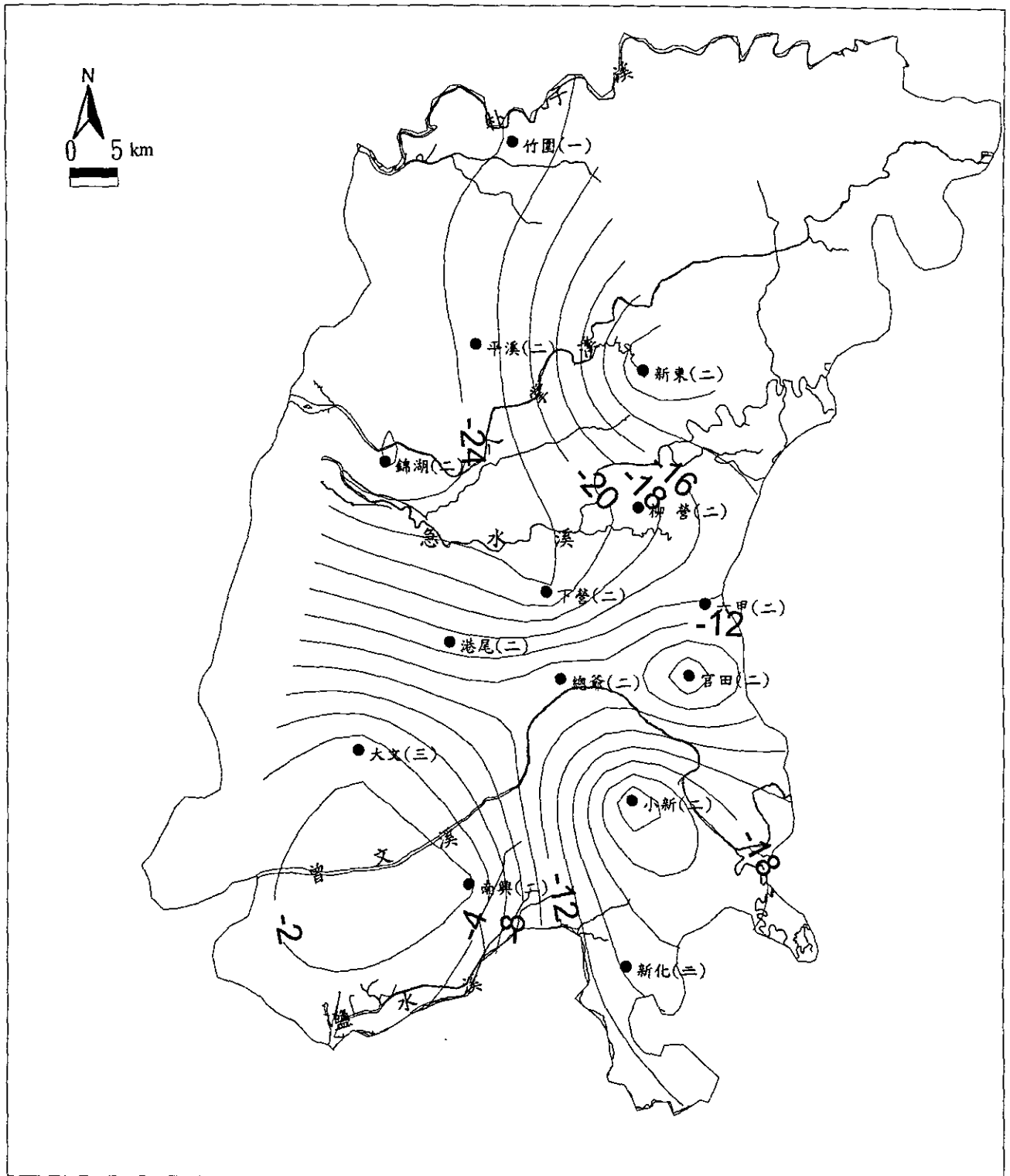


圖 3.1.26 嘉南平原北段民國89年四月含水層二之地下水位等值圖(m)

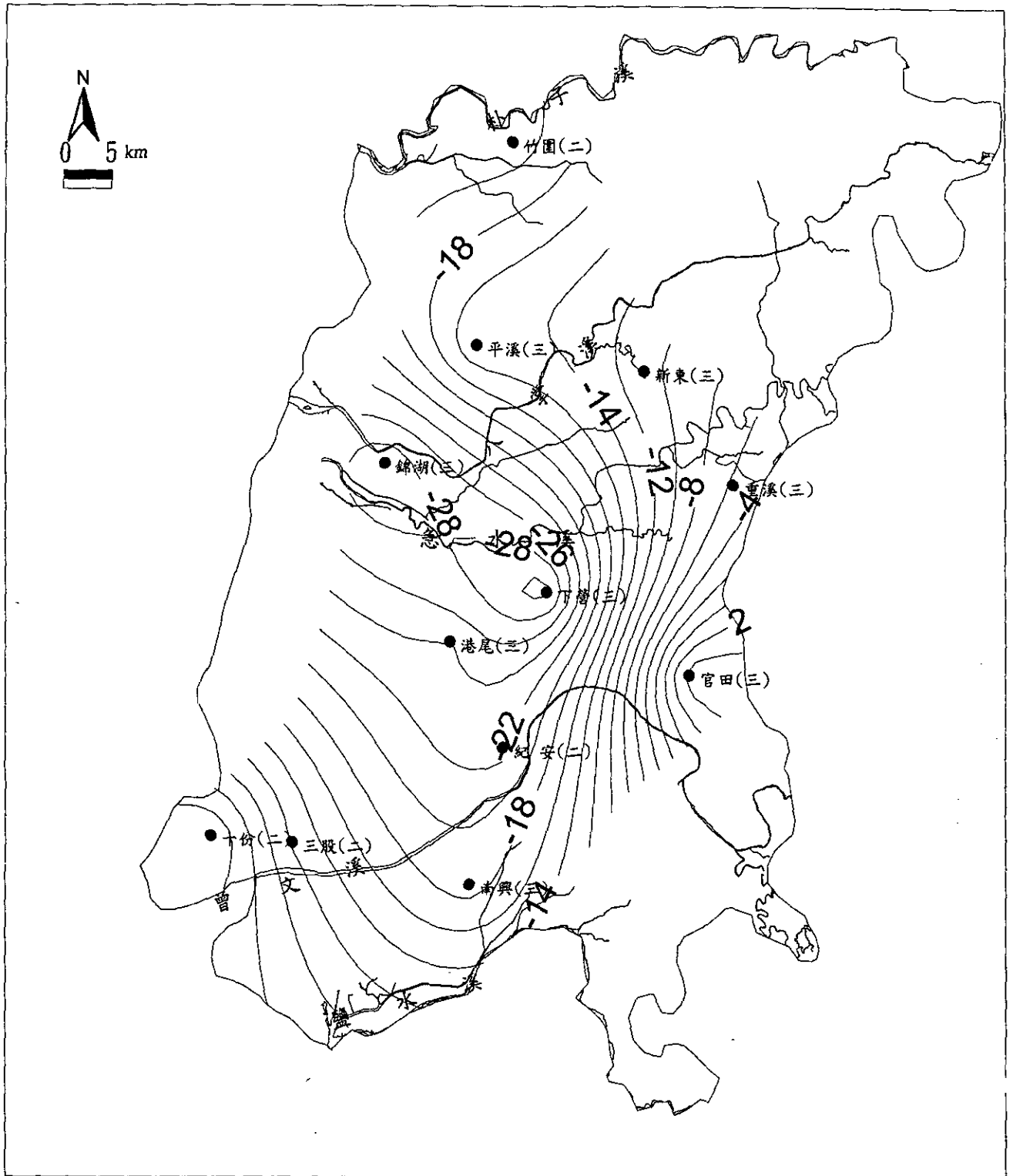


圖 3.1.27 嘉南平原北段民國89年四月含水層三之地下水位等值圖(m)

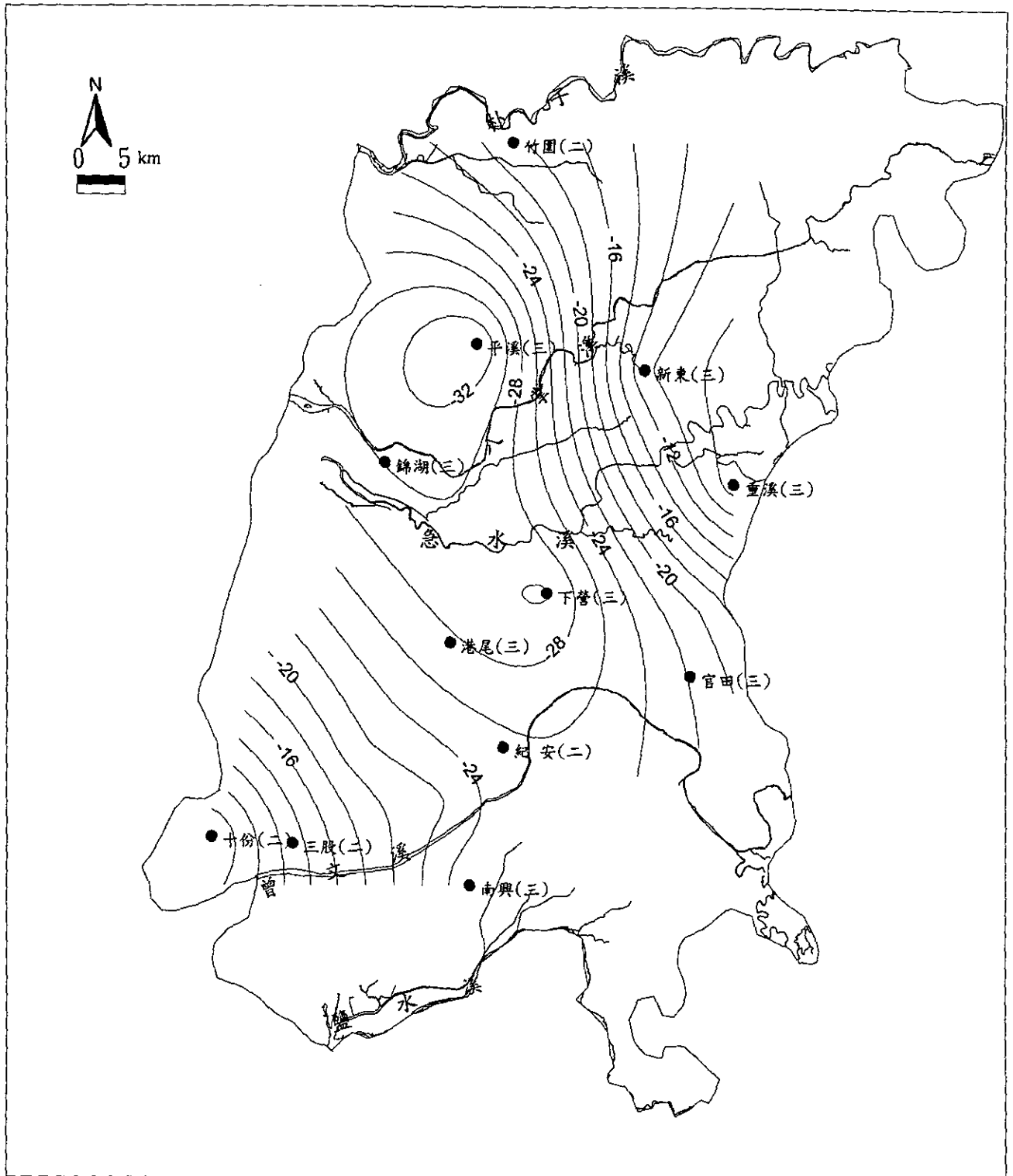


圖 3.1.28 嘉南平原北段民國89年四月含水層四之地下水位等值圖(m)

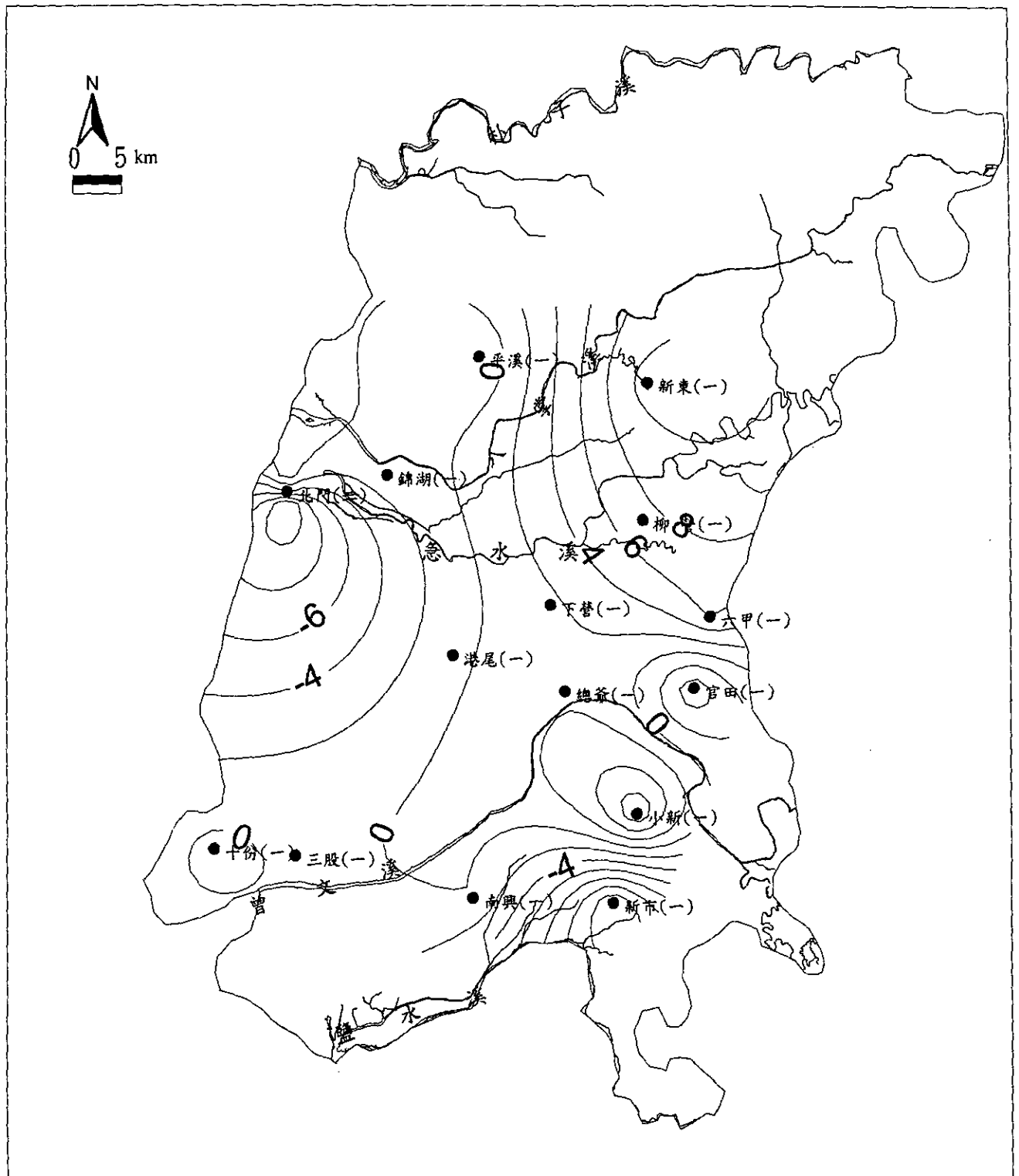


圖 3.1.29 嘉南平原北段民國89年九月含水層一之地下水位等值圖(m)

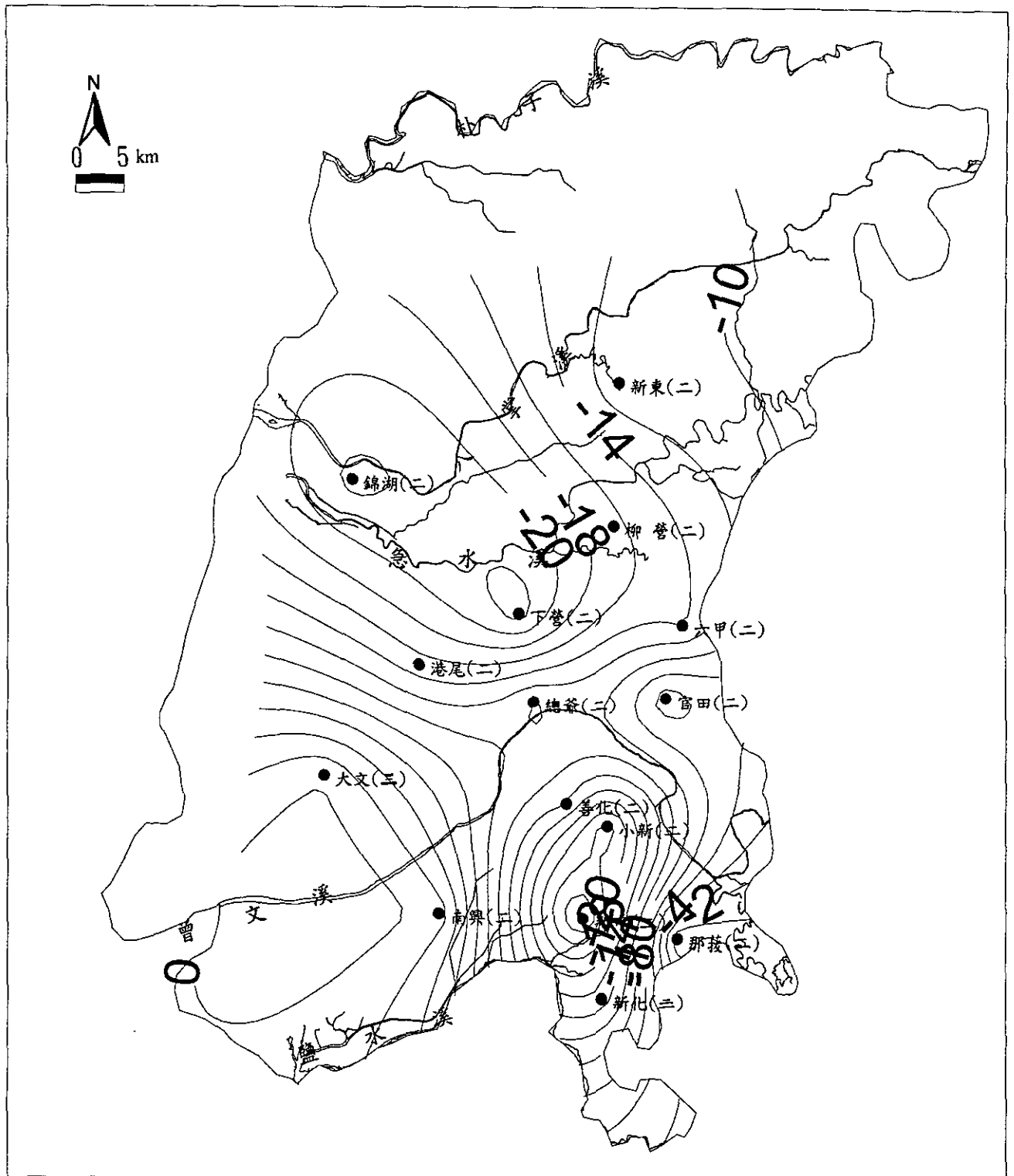


圖 3.1.30 嘉南平原北段民國89年九月含水層二之地下水位等值圖(m)

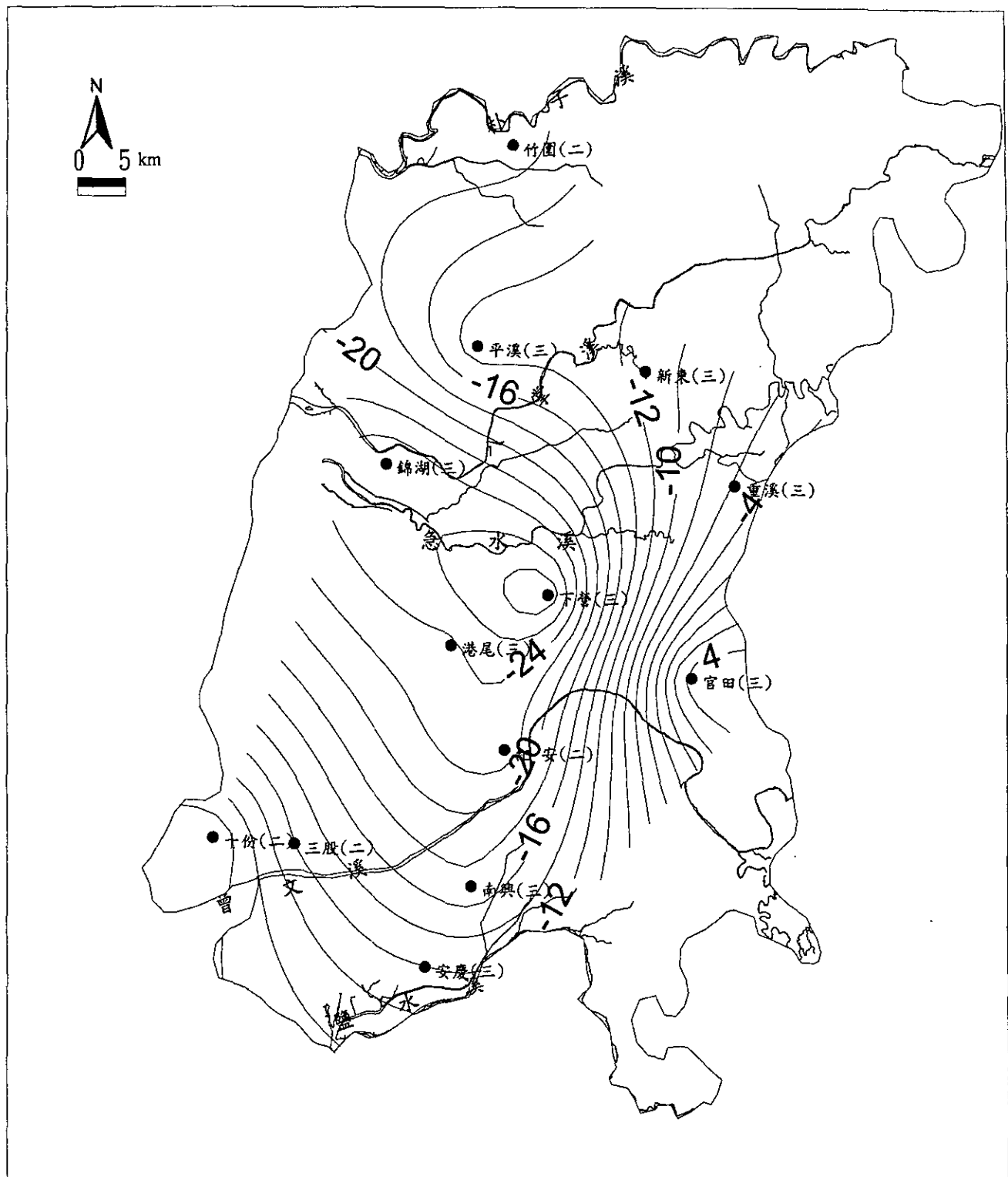


圖 3.1.31 嘉南平原北段民國89年九月含水層三之地下水位等值圖(m)

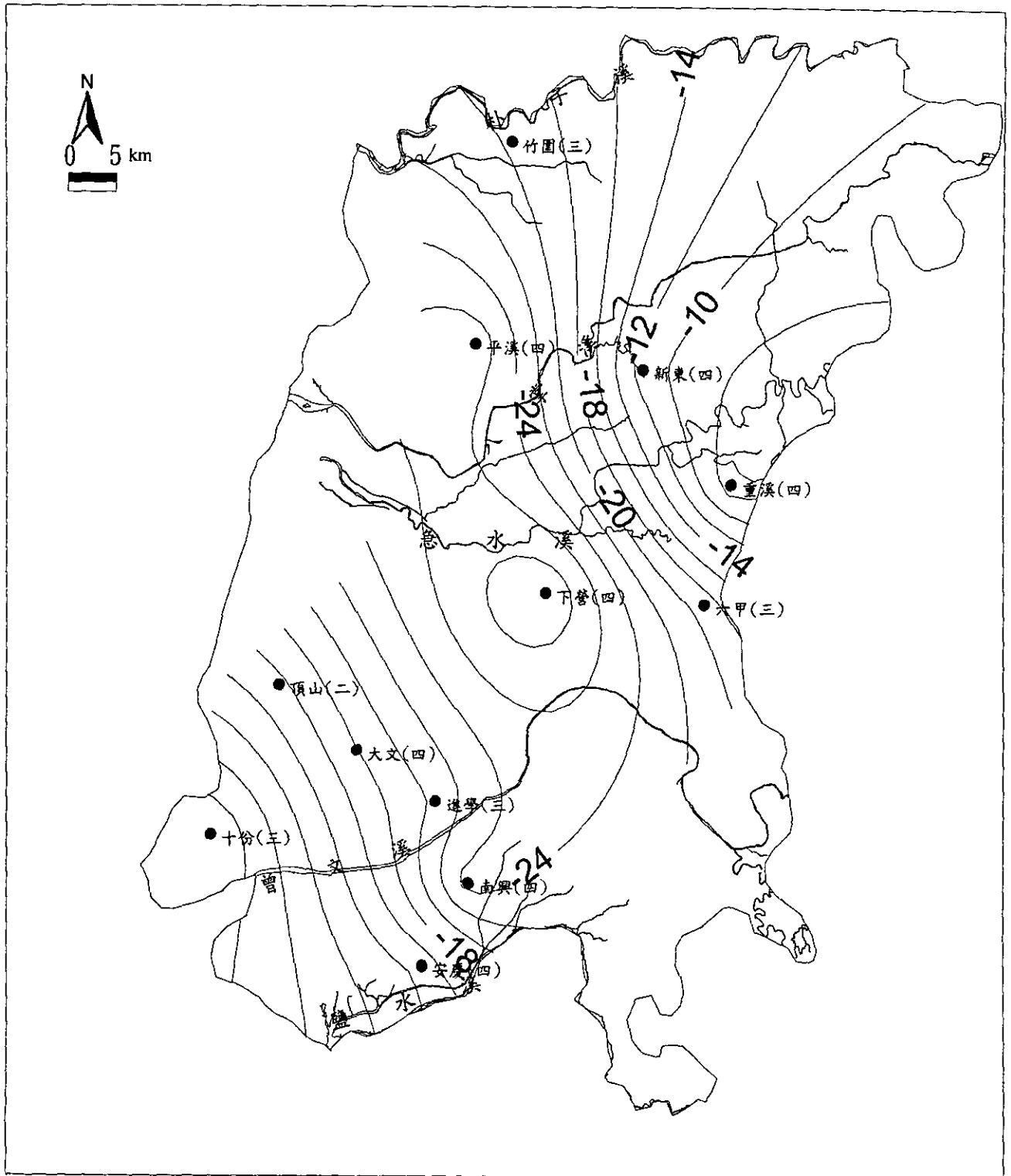


圖 3.1.32 嘉南平原北段民國89年九月含水層四之地下水位等值圖(m)

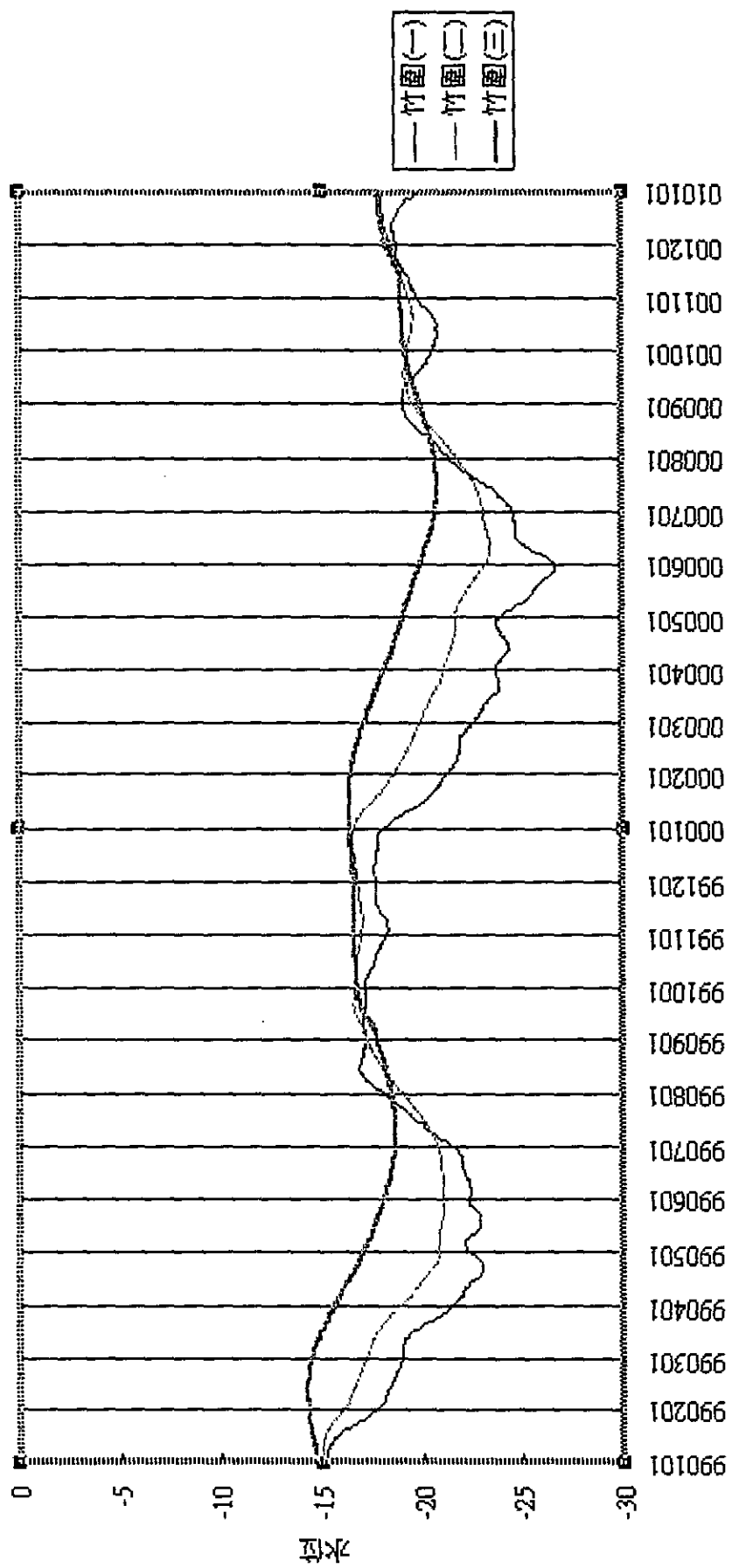


圖 3.1.33 竹園水位十五日移動平均

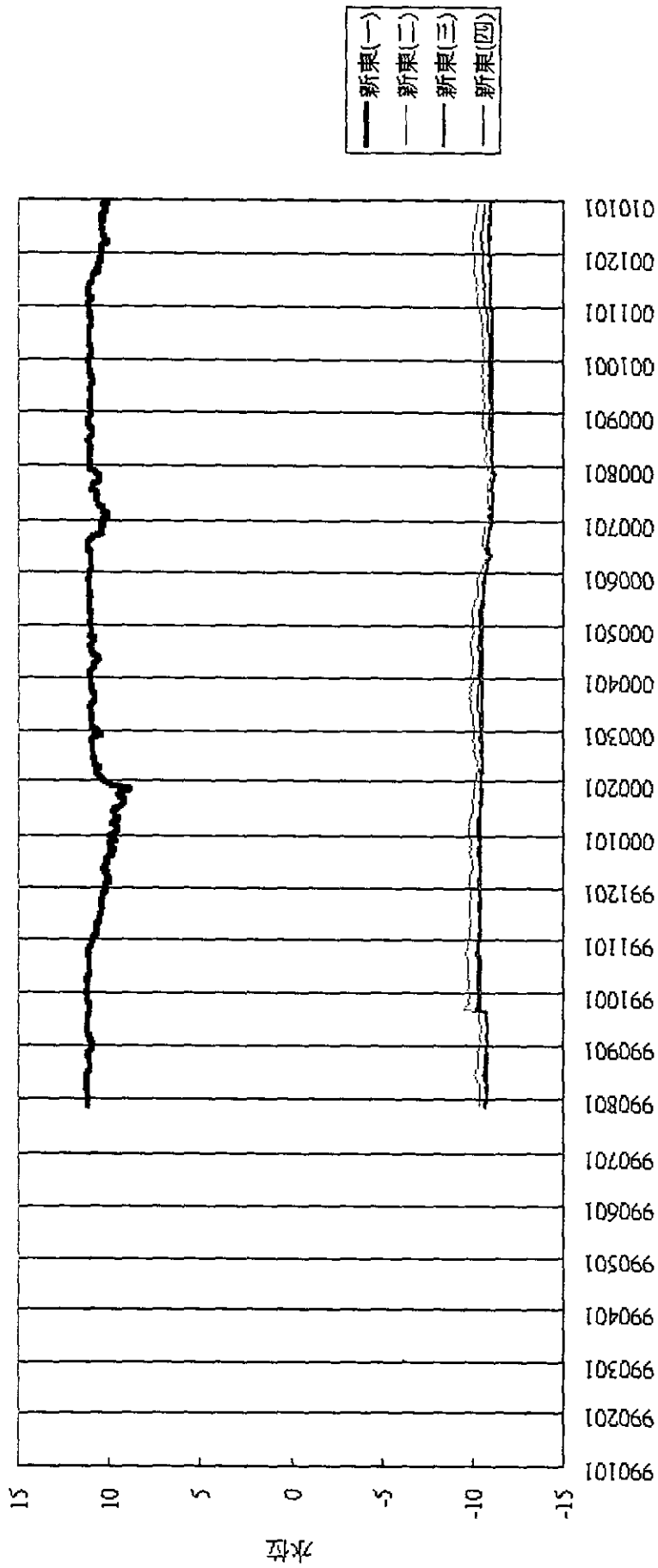


圖 3.1.34 新東水位十五日移動平均

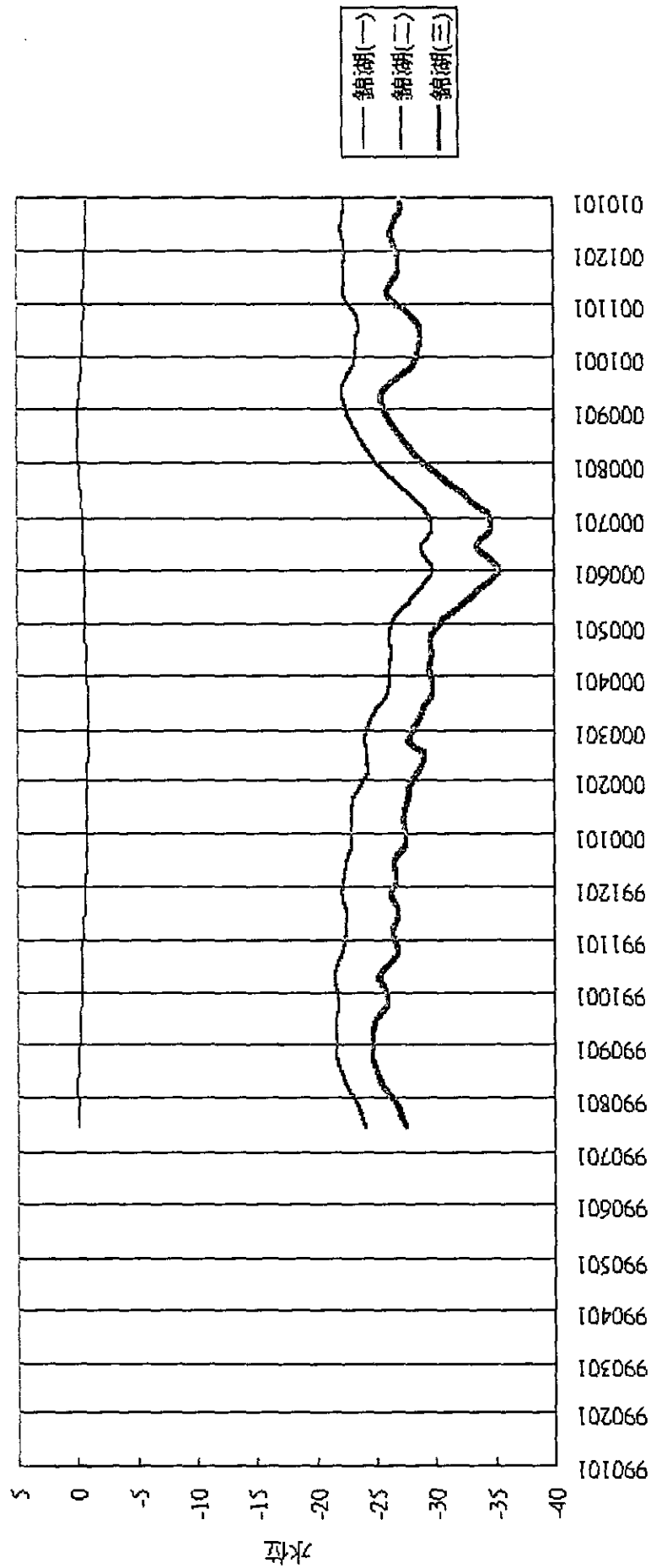


圖 3.1.35 錦湖水位十五日移動平均

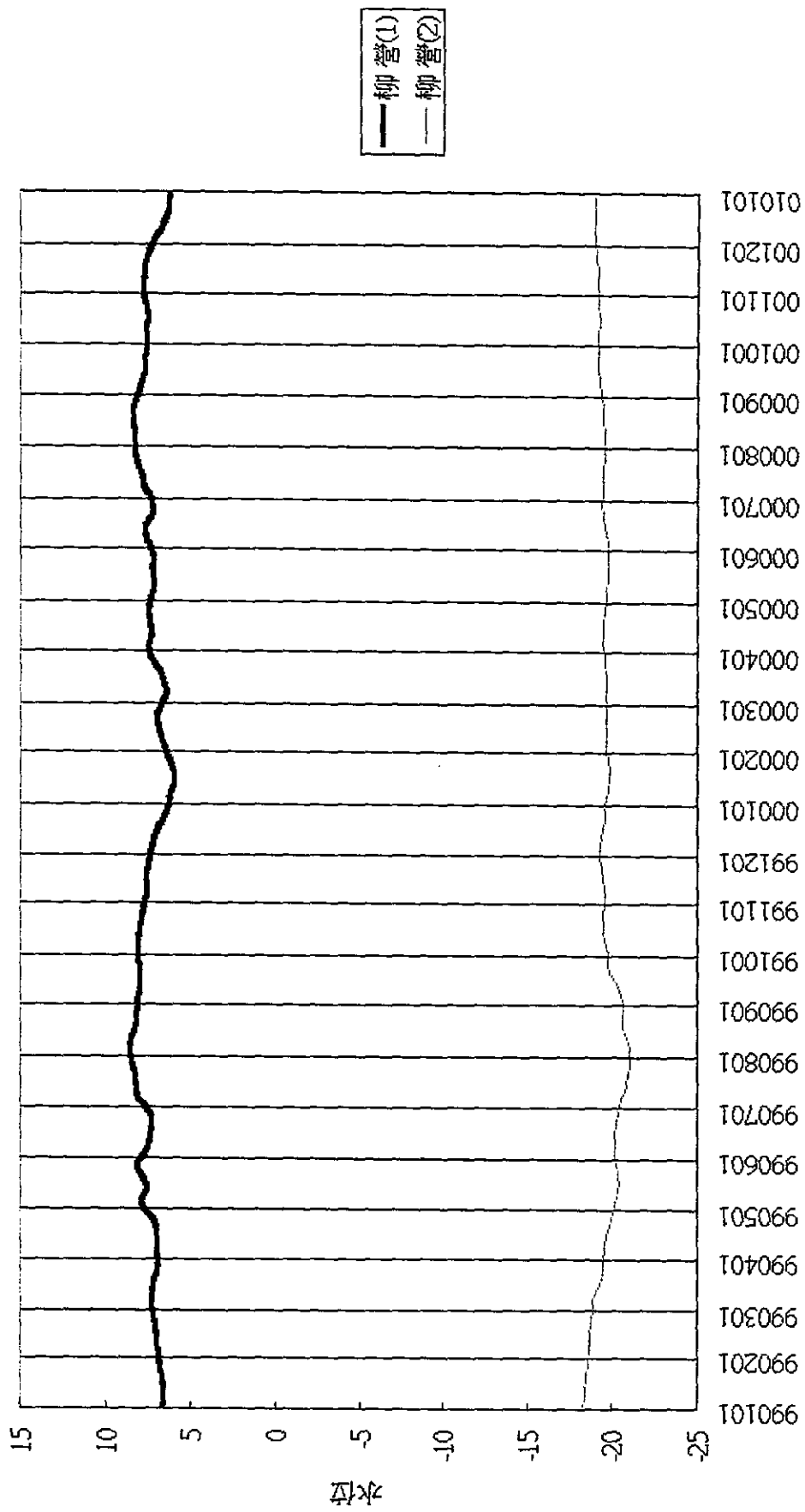


圖 3. 1. 36 柳營水位十五日移動平均

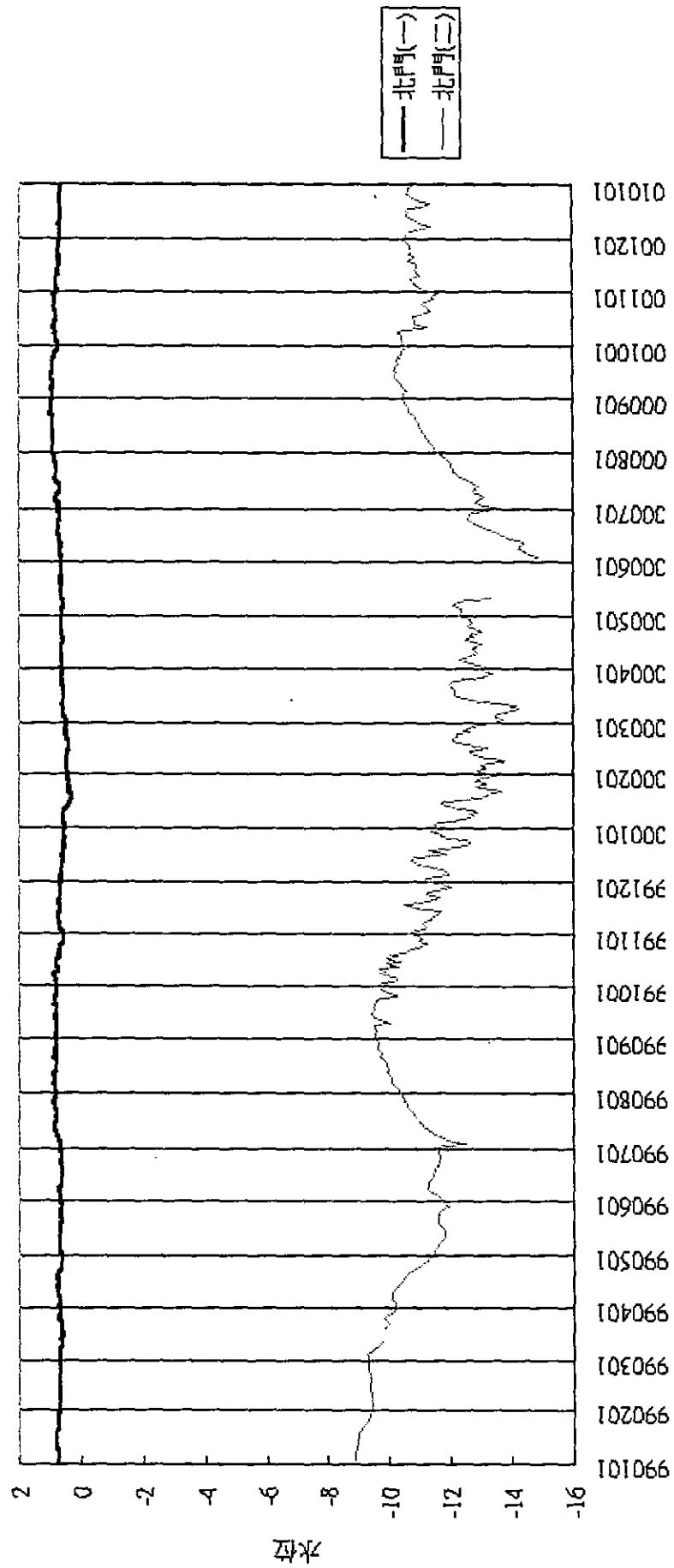


圖 3.1.37 北門水位十五日移動平均

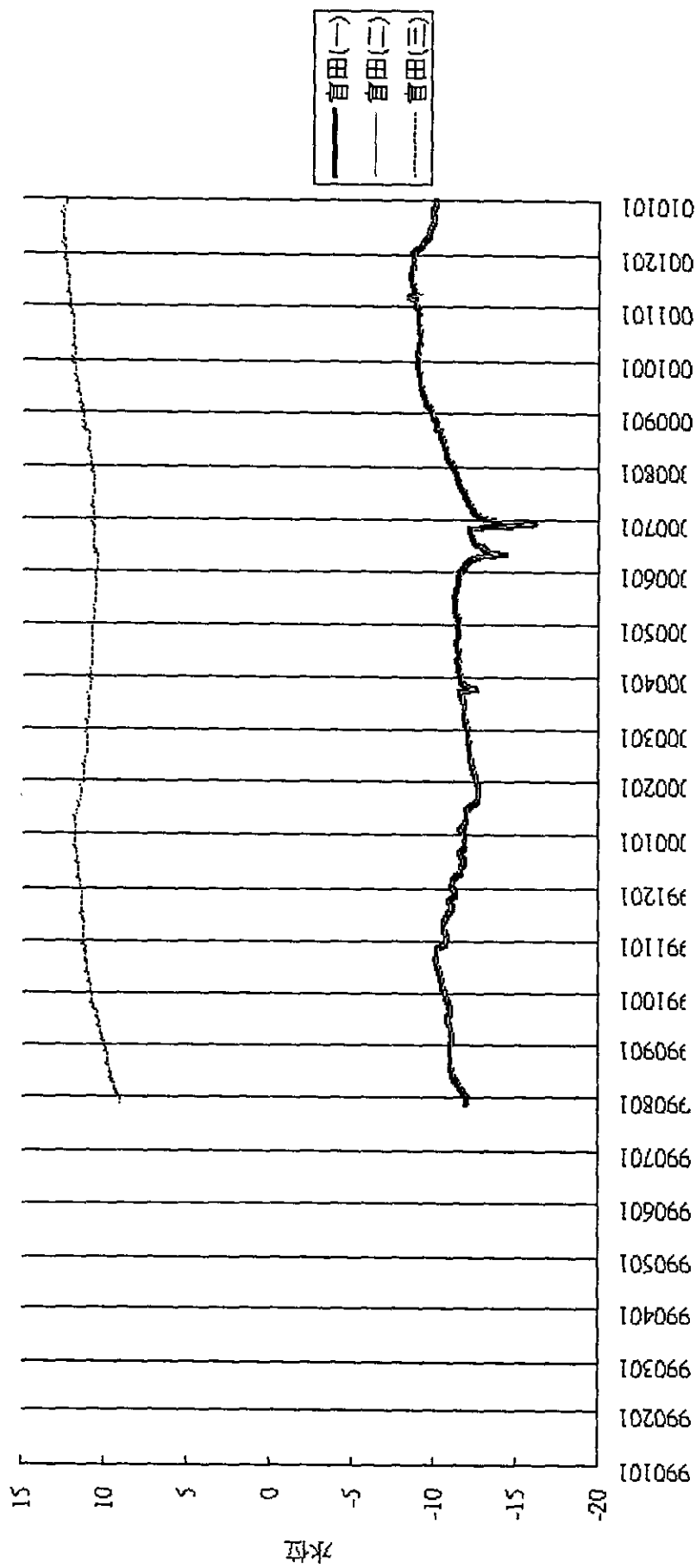


圖 3.1.38 官田水位十五日移動平均

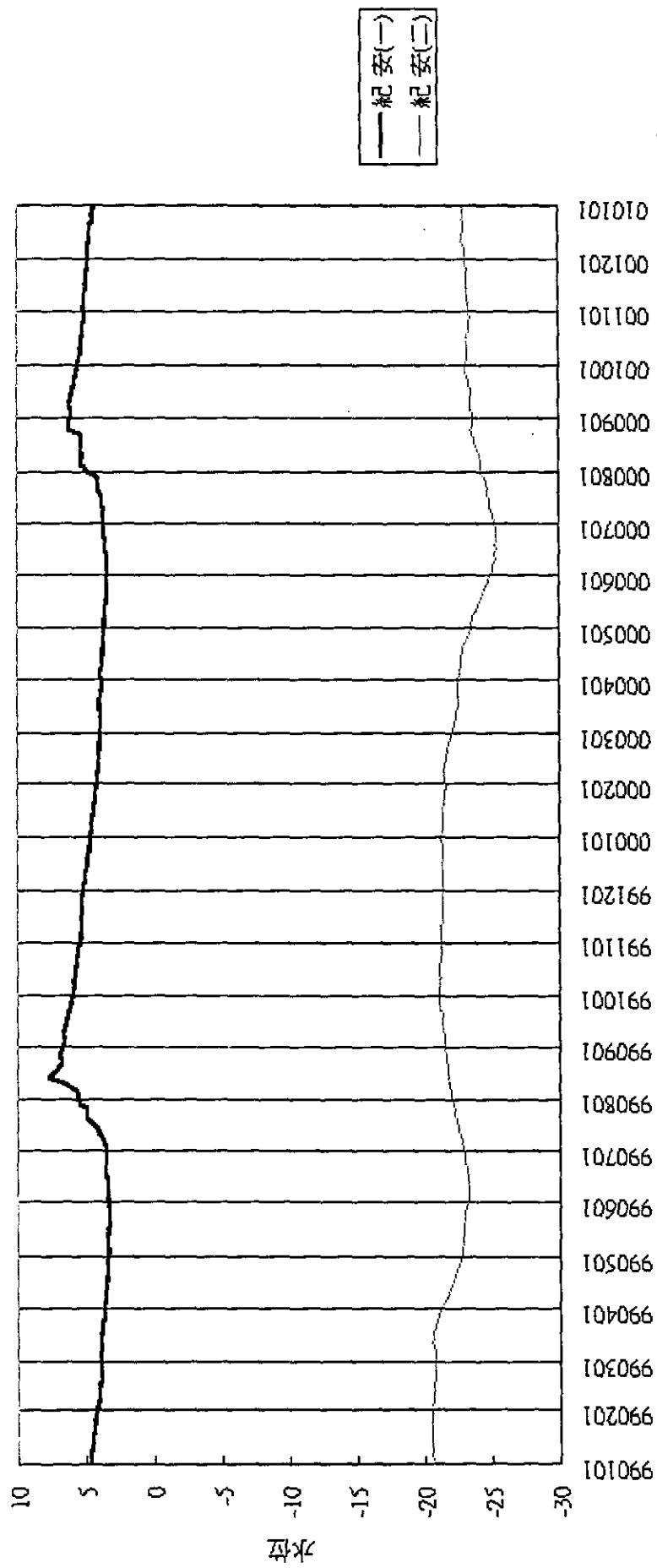


圖 3.1.39 紀安水位十五日移動平均

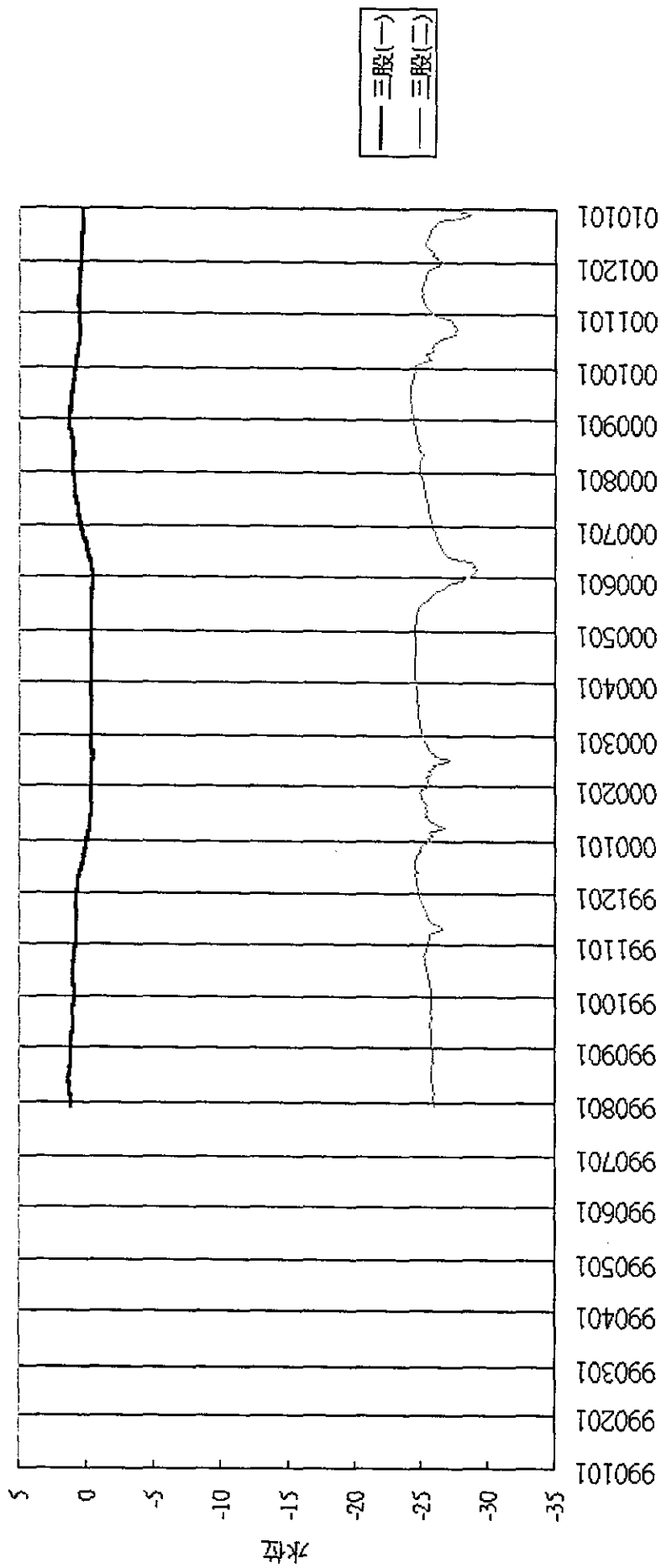


圖 3.1.40 三股水位十五日移動平均

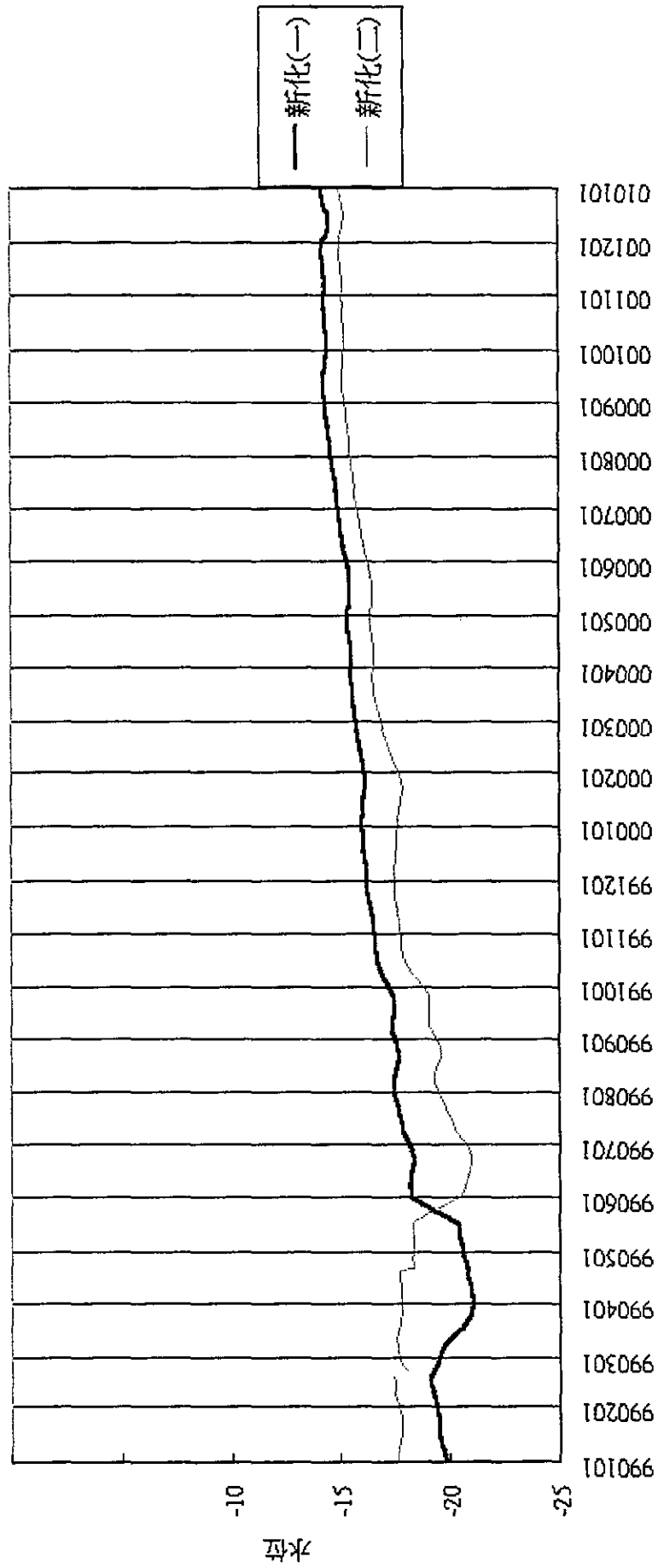


圖 3.1.41 新化水位十五日移動平均

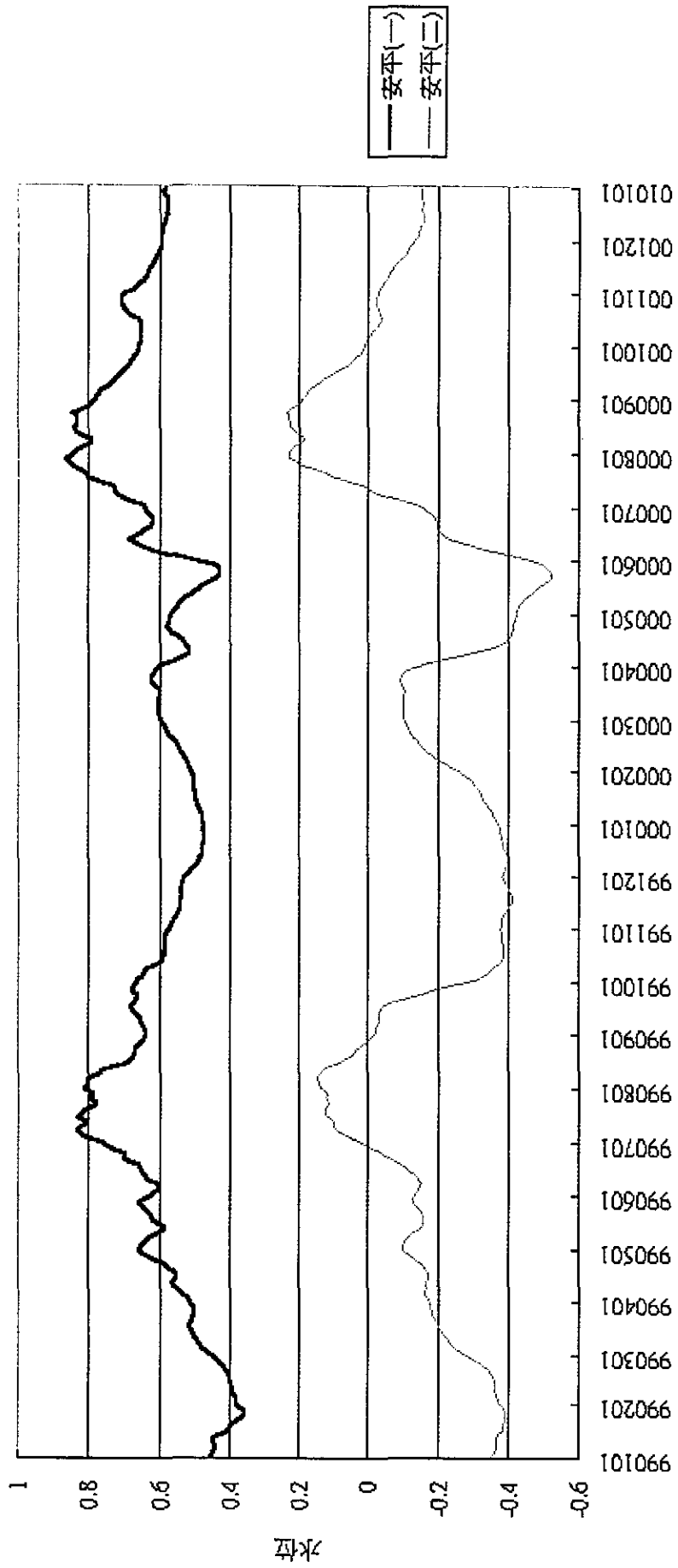


圖 3.1.42 安平水位十五日移動平均

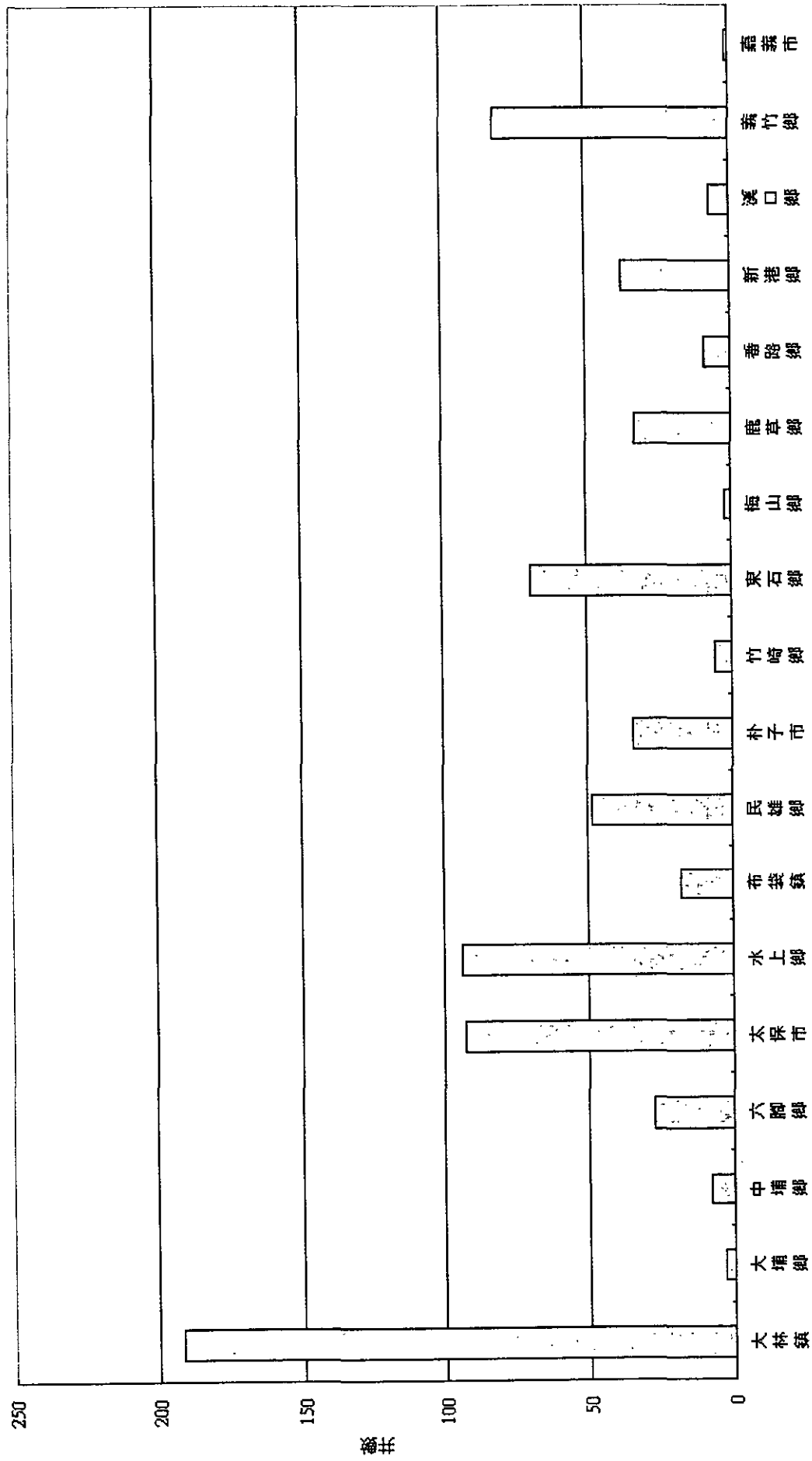


圖 3.1.43 嘉義縣市抽水井分佈統計圖

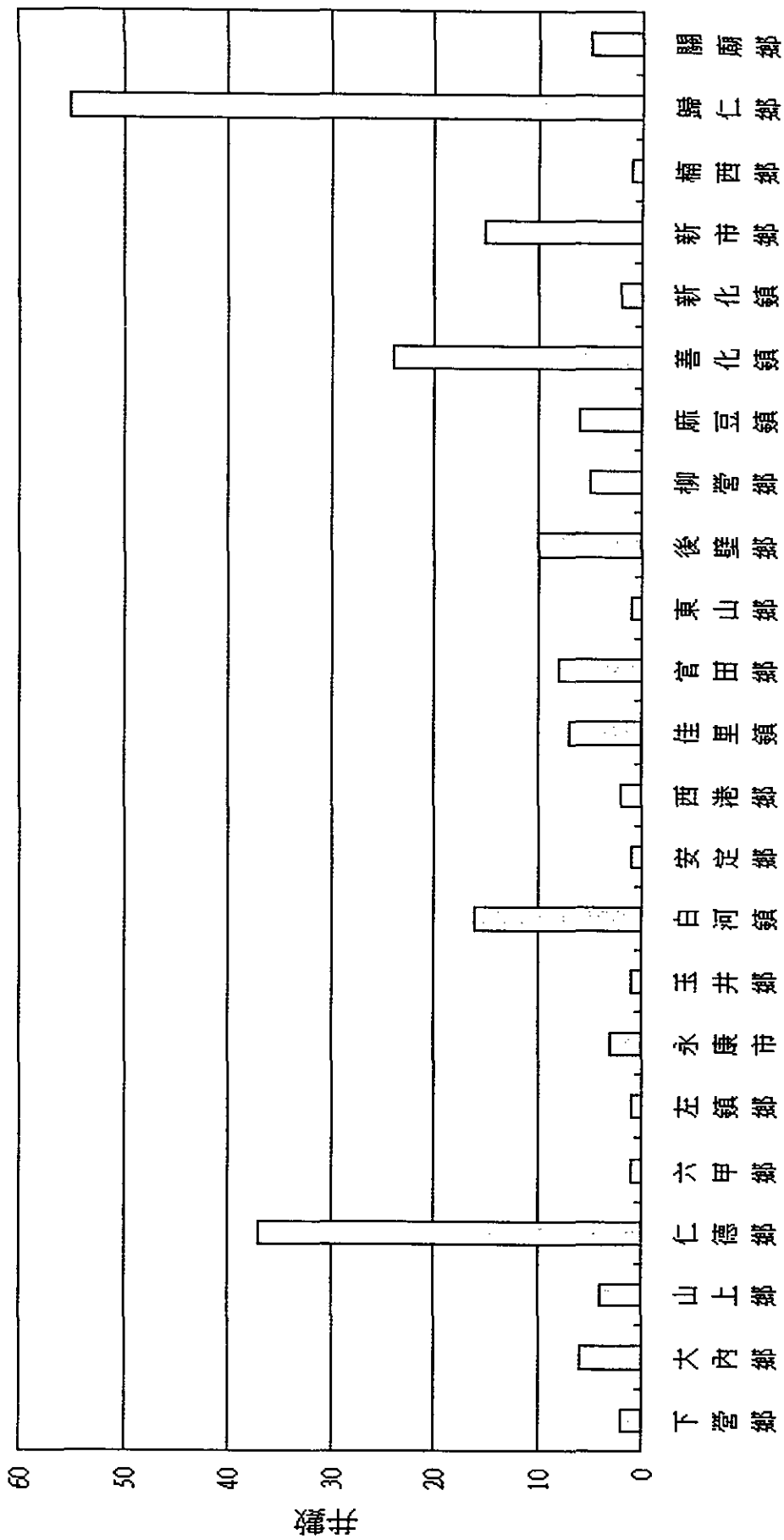


圖 3.1.44 台南縣抽水井分佈統計圖

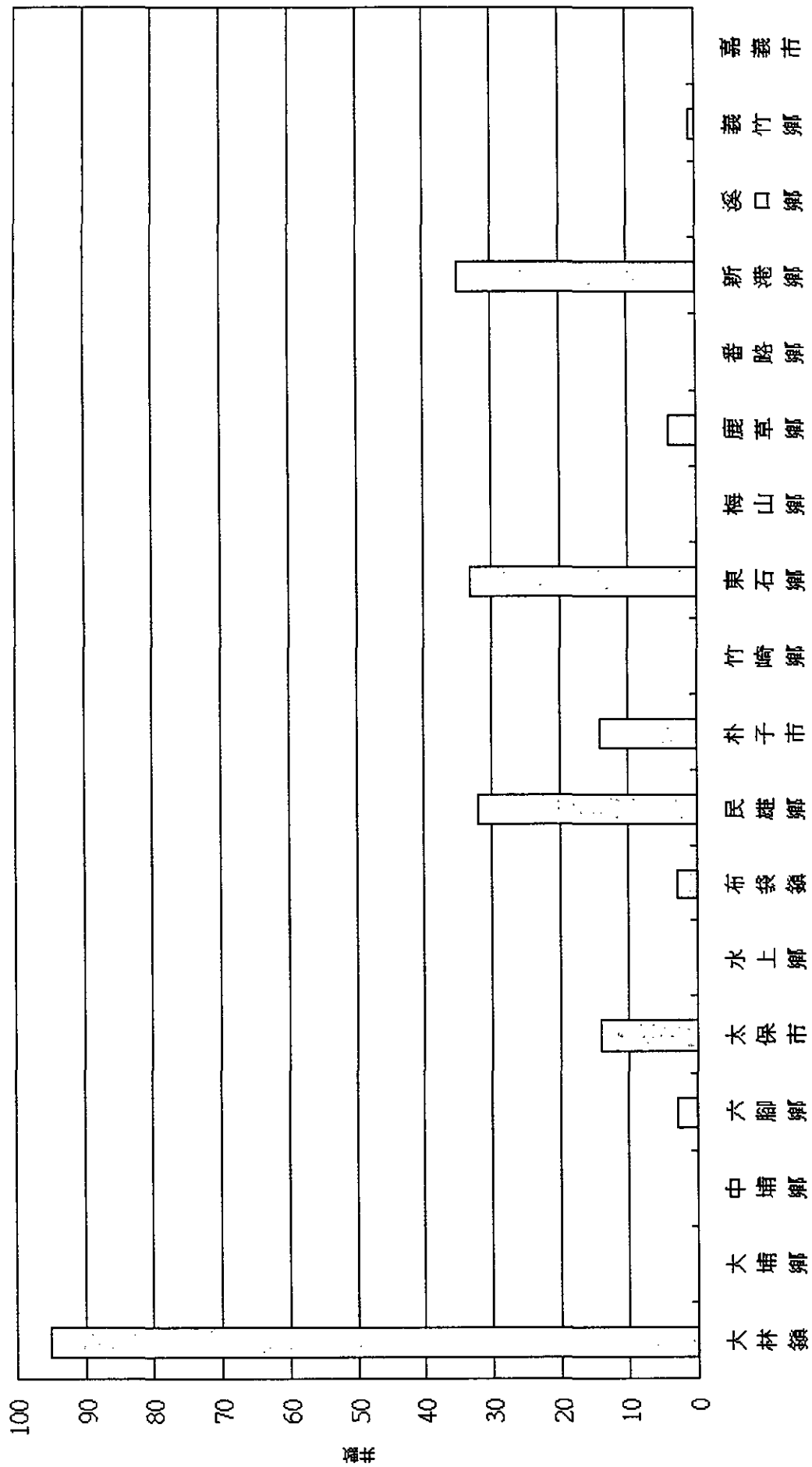


圖 3.1.45 嘉義縣市抽水井分佈統計圖(井深>200m)

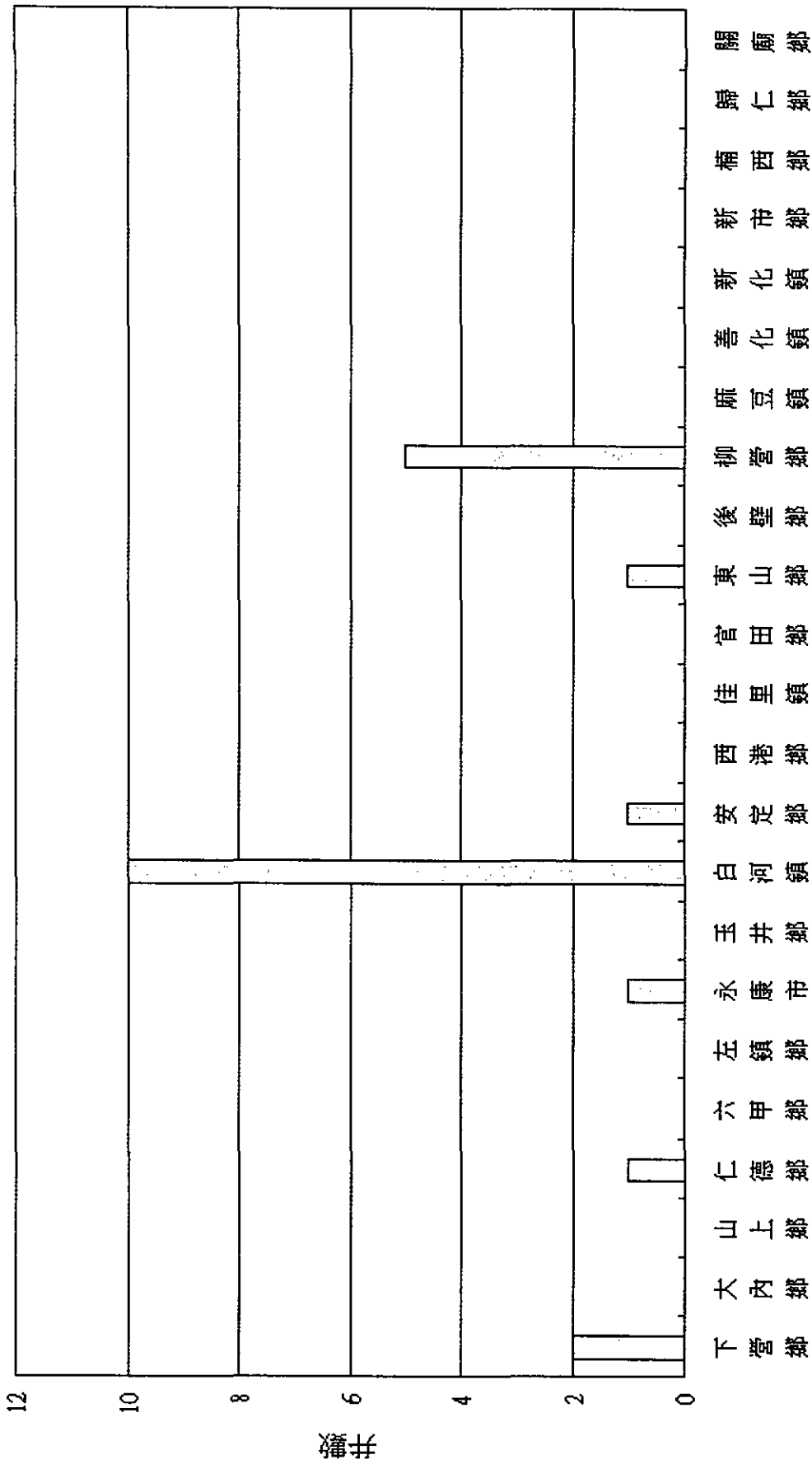
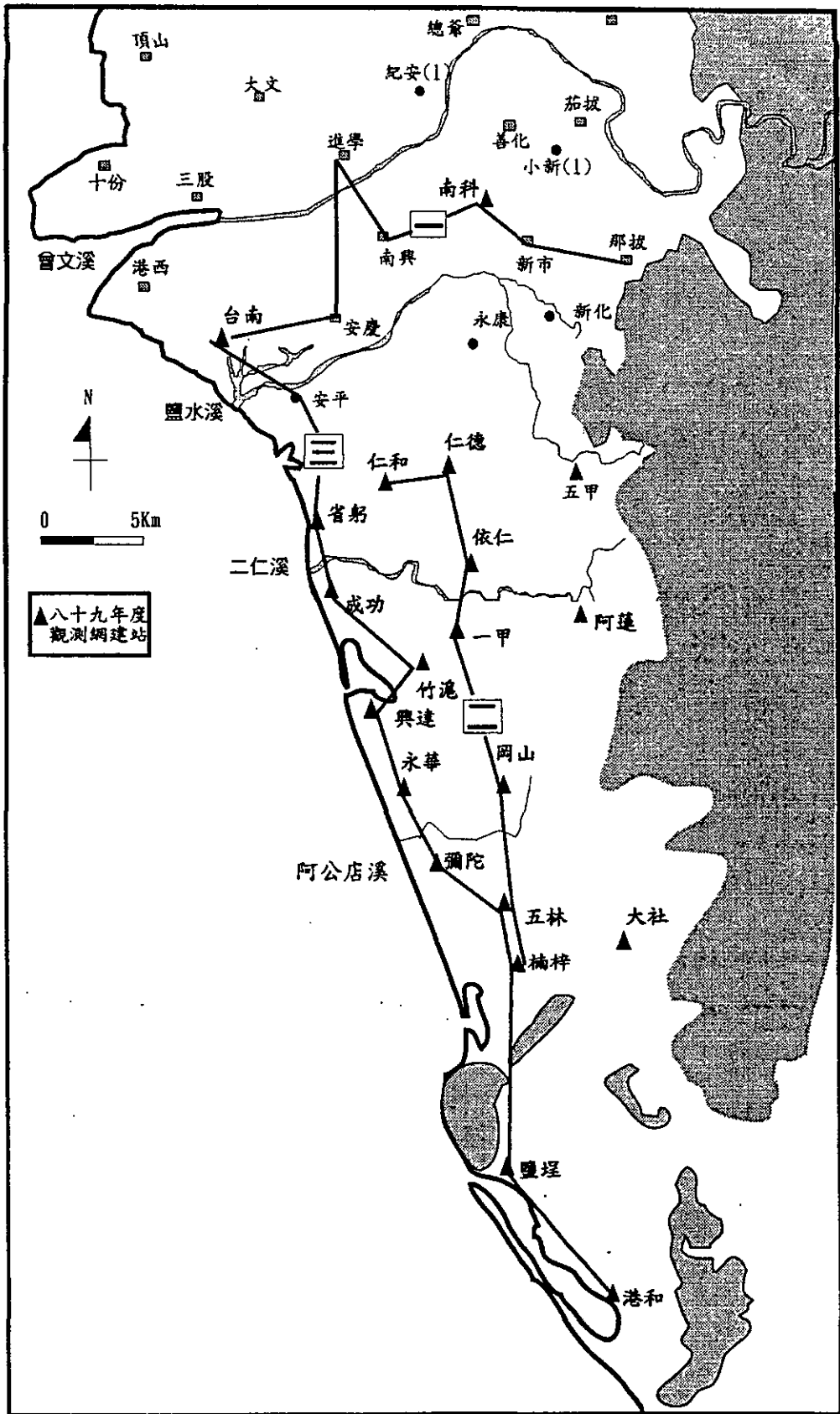
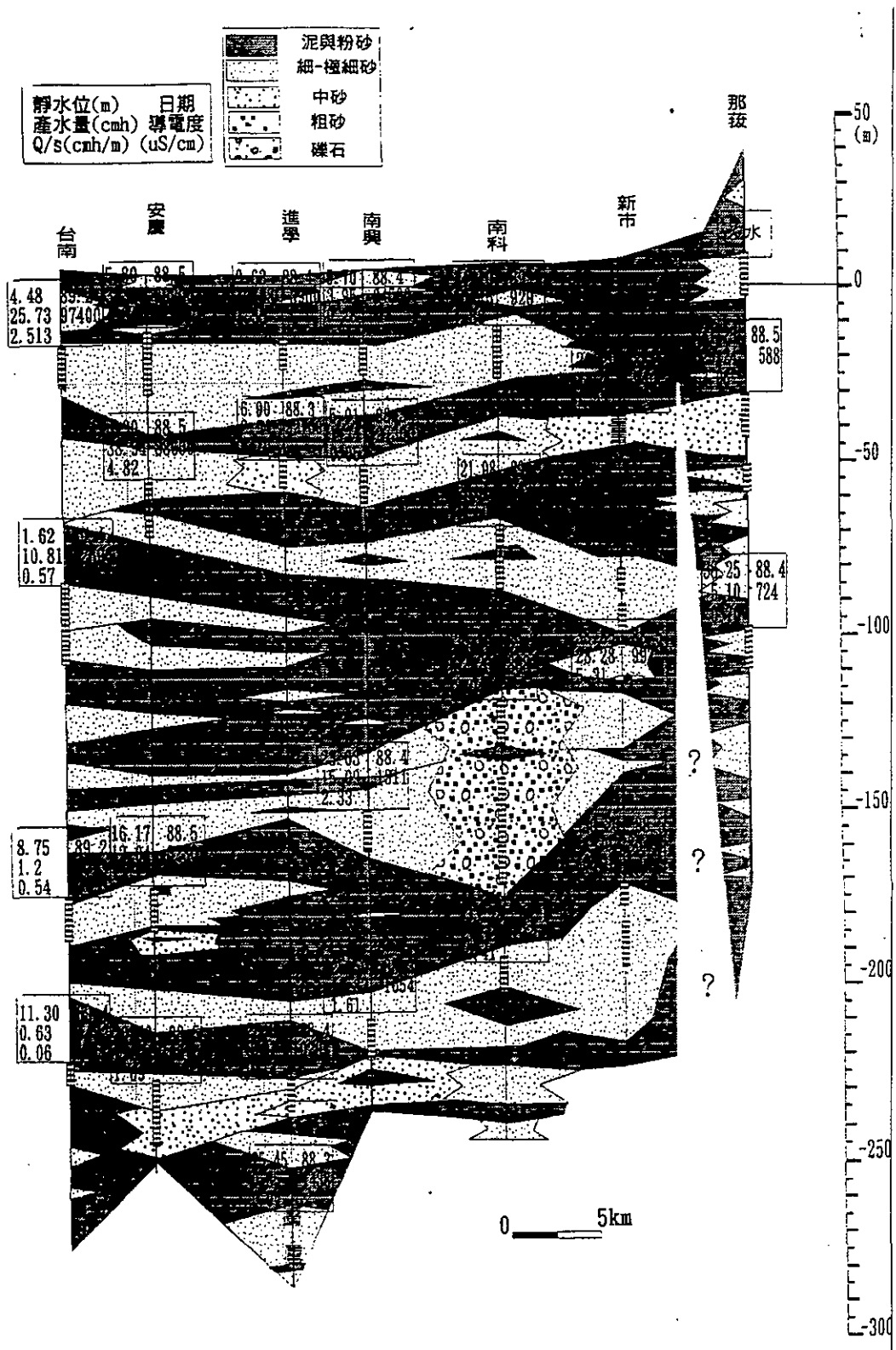


圖 3.1.46 台南縣抽水井分佈統計圖(井深>200m)



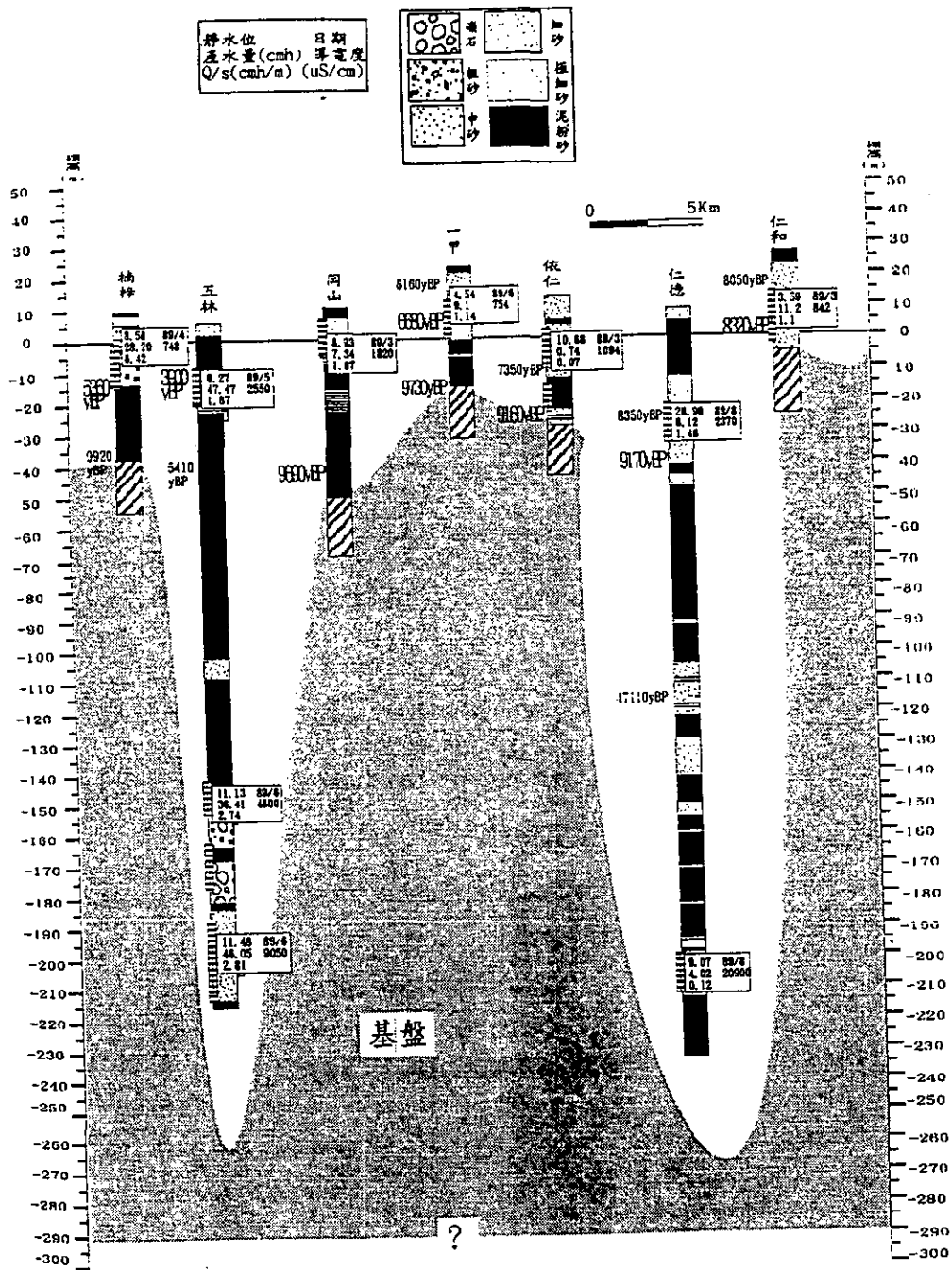
(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-
88 下半年及 89 年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.2.1 嘉南平原 (南段) 水文地質剖面位置圖



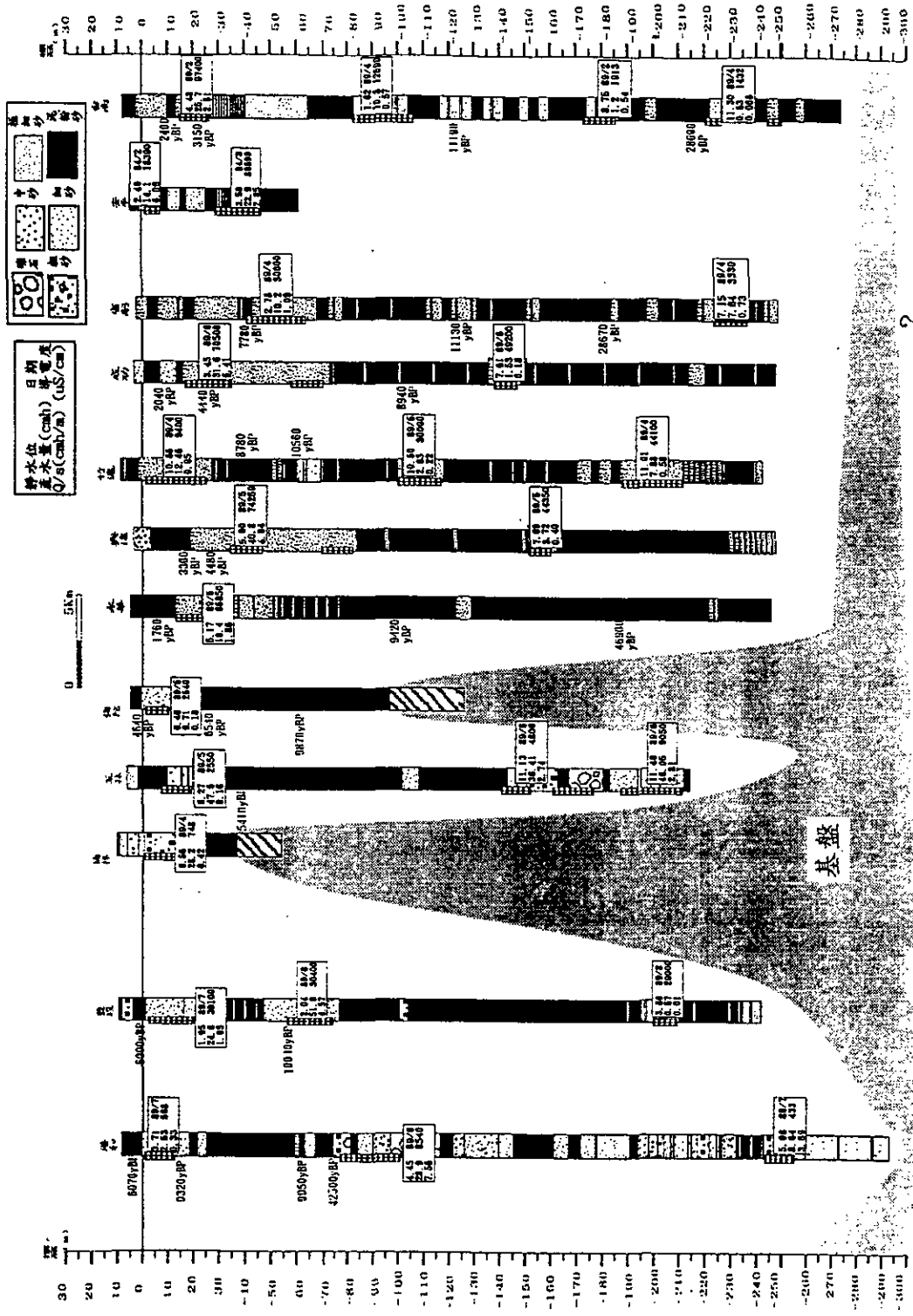
(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-88 下半年及 89 年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.2.2 嘉南平原 (南段) 水文地質剖面一



(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-
88 下半年及 89 年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.2.3 嘉南平原 (南段) 水文地質剖面二



(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-
88 下半年及 89 年度地質水文分析及抽水試驗)

圖 3.2.4 嘉南平原（南段）水文地質剖面三

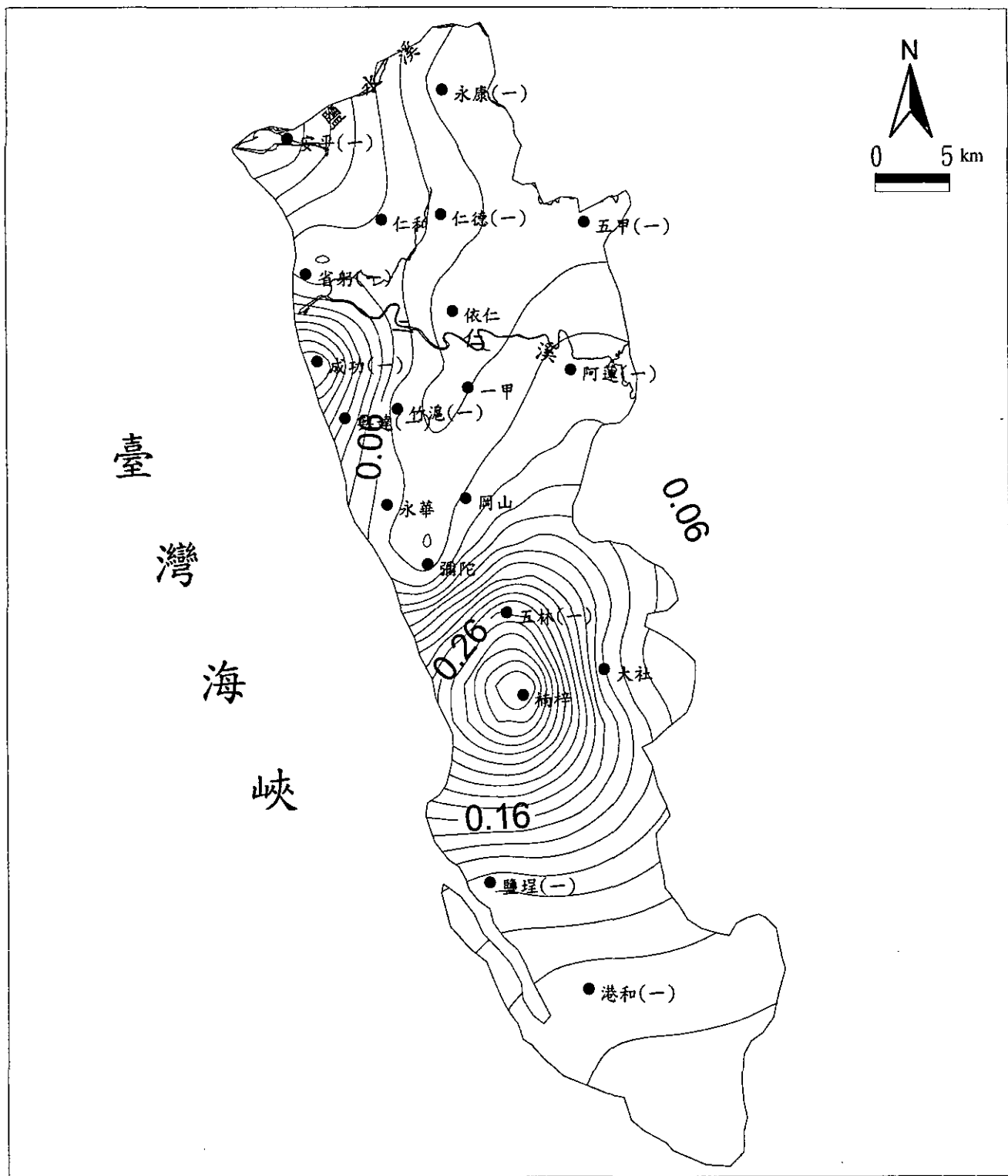


圖 3.2.5 嘉南平原南段平原含水層一之導水係數等值圖(m^2/min)

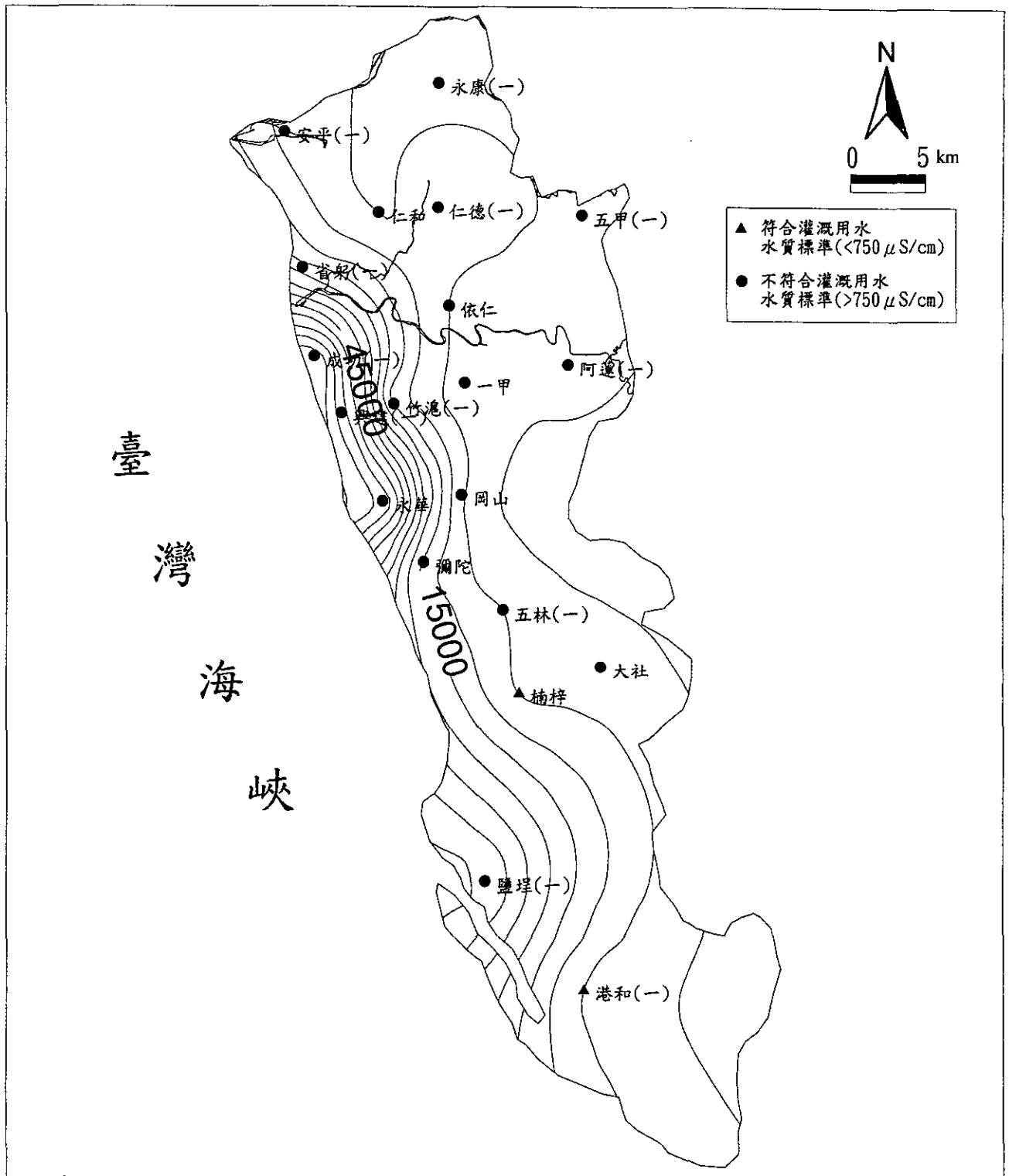


圖 3.2.6 嘉南平原南段含水層一之電導度分析圖($\mu\text{S}/\text{cm}$)

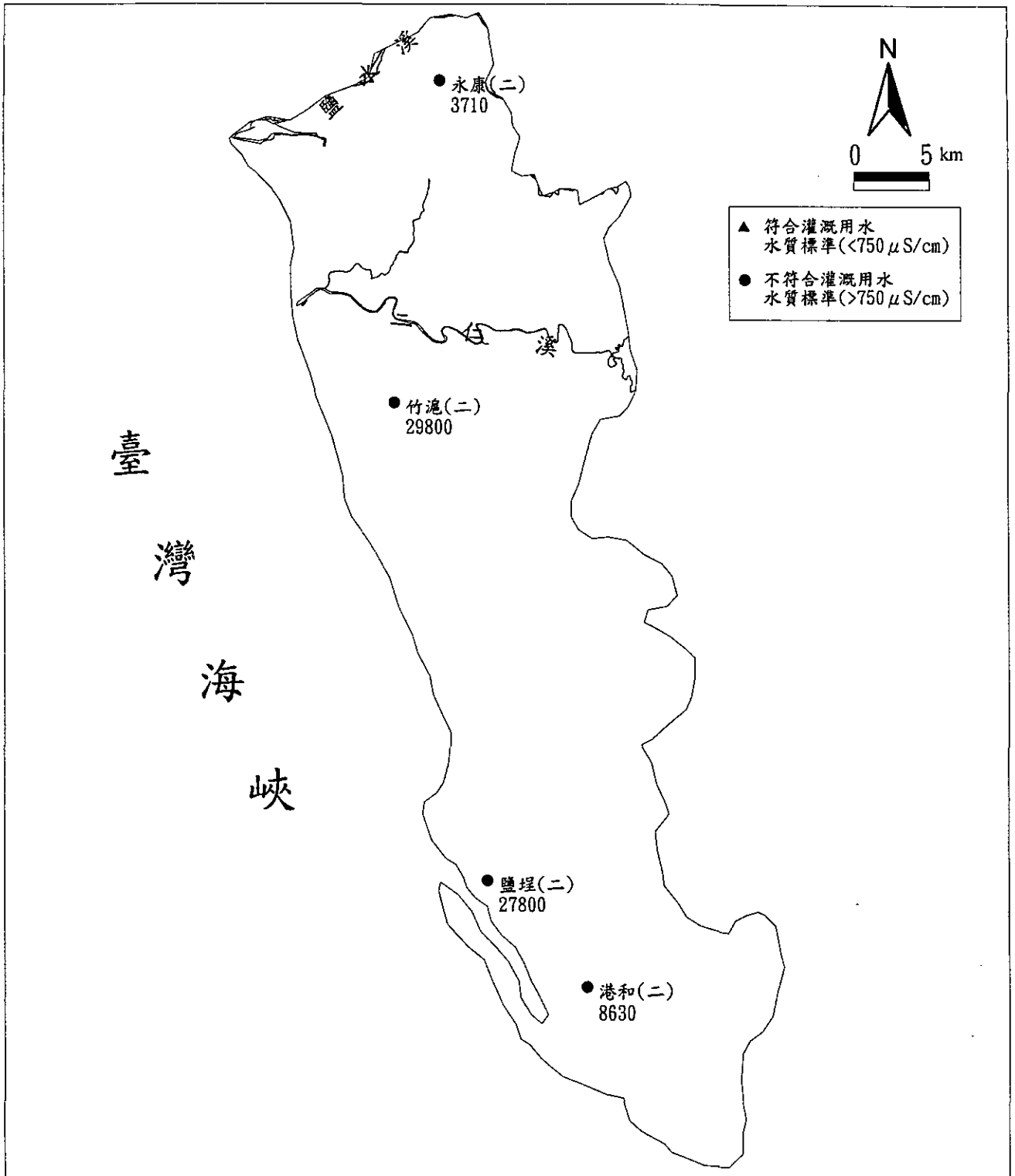


圖 3.2.7 嘉南平原南段含水層二之電導度分析圖($\mu\text{S}/\text{cm}$)

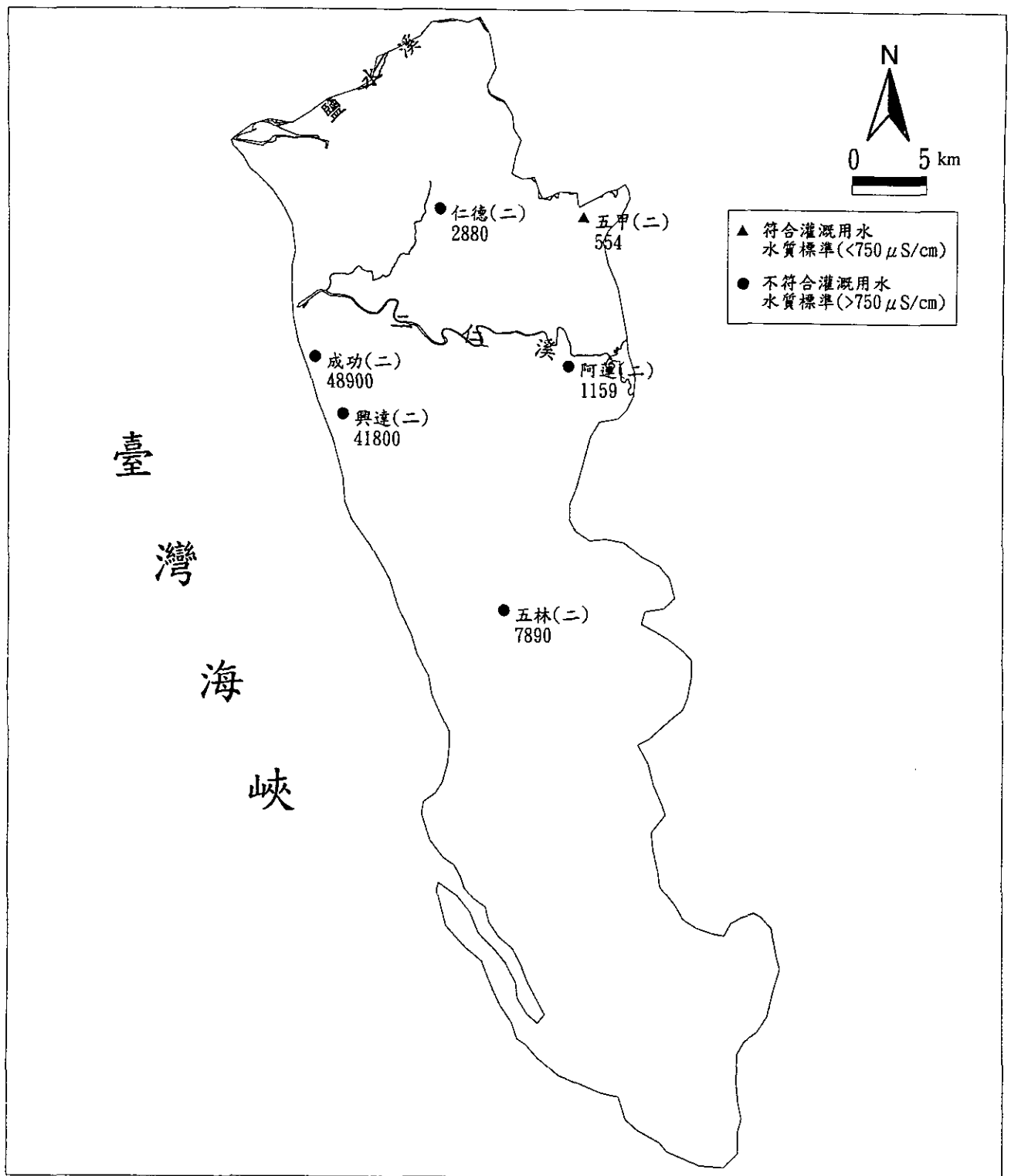


圖 3.2.8 嘉南平原南段含水層三之電導度分析圖($\mu\text{S}/\text{cm}$)

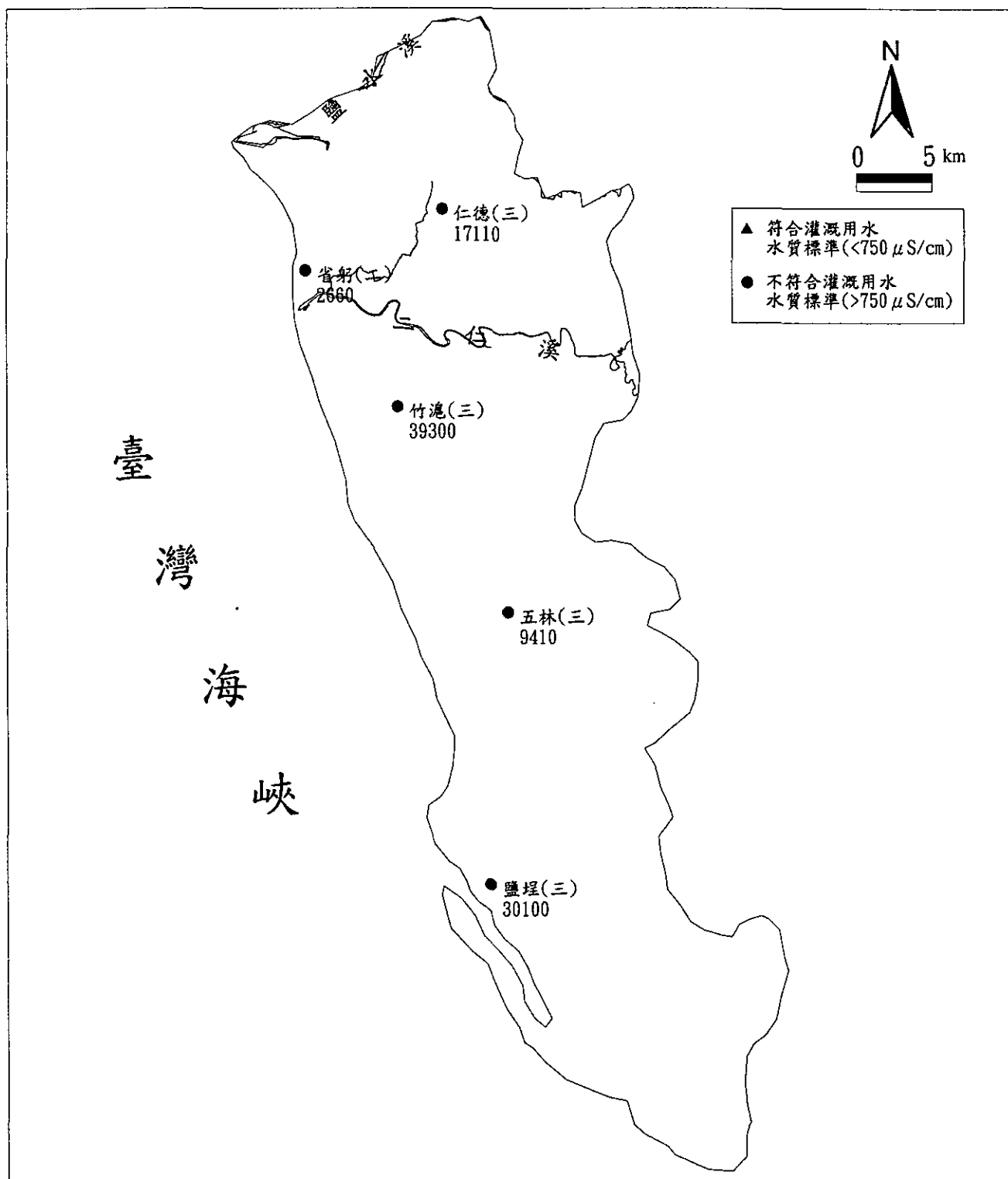


圖 3.2.9 嘉南平原南段含水層四之電導度分析圖($\mu\text{S}/\text{cm}$)

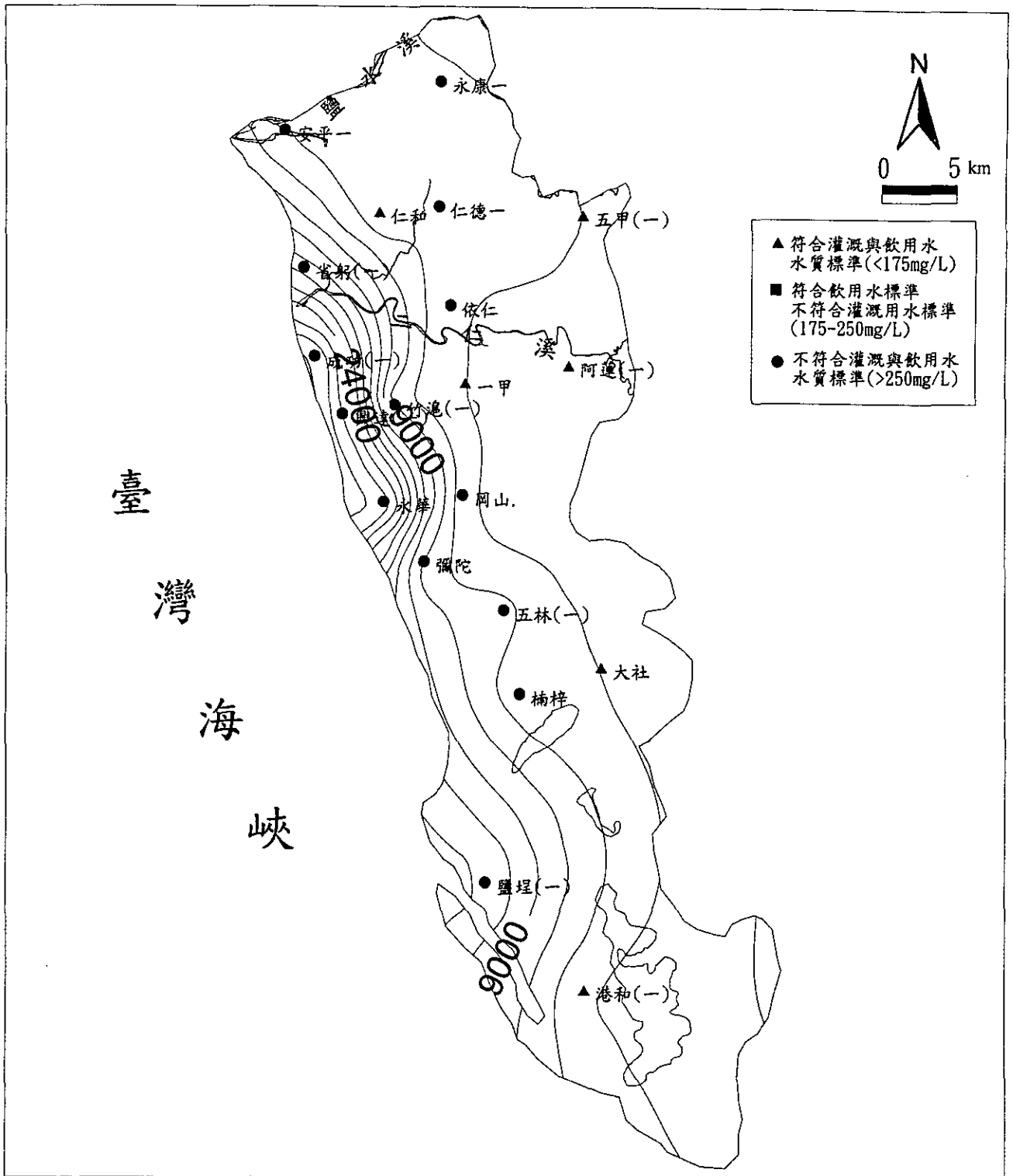


圖 3.2.10 嘉南平原南段含水層一之氣鹽等值分析圖(mg/L)

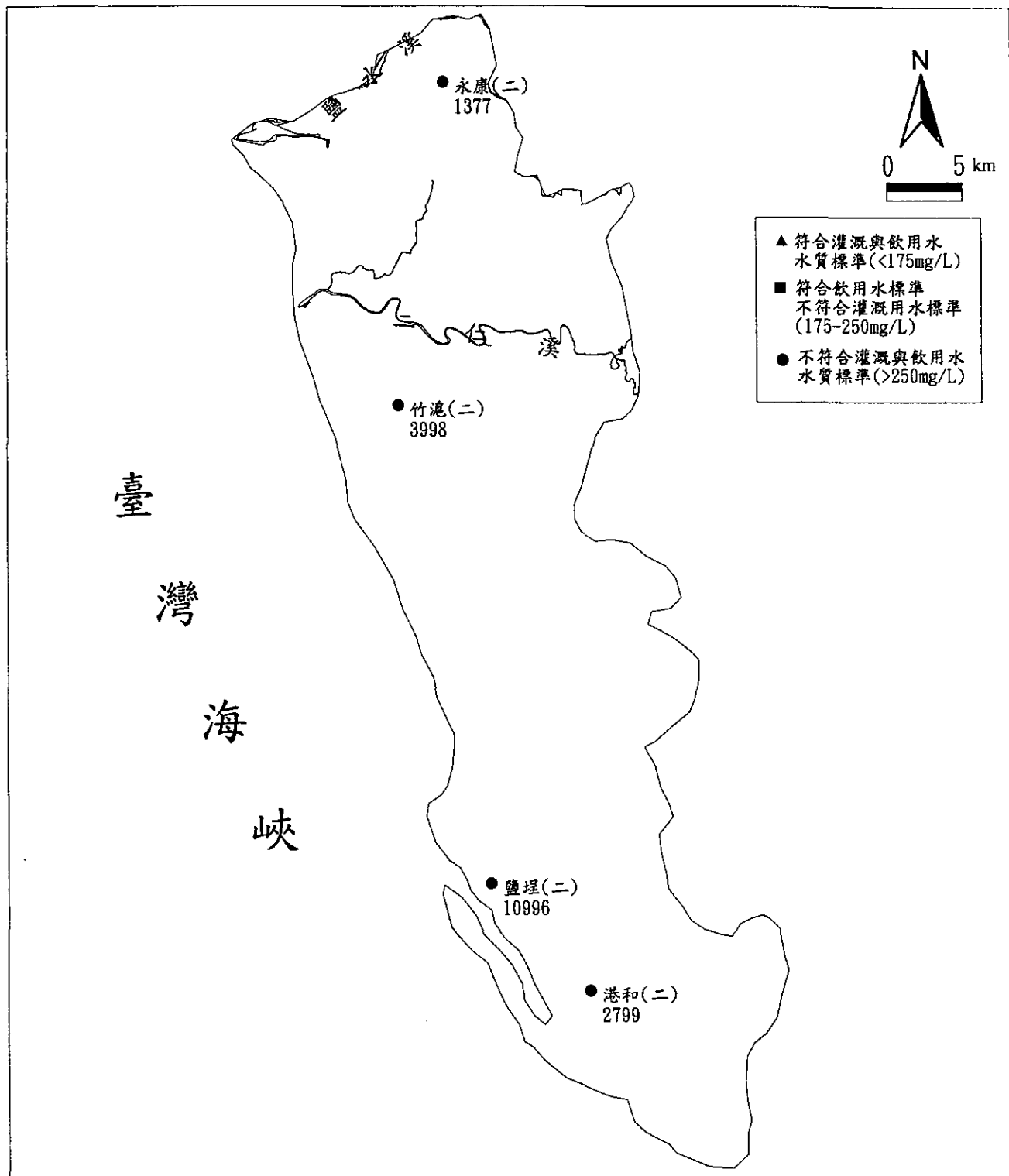


圖 3.2.11 嘉南平原南段含水層二之氣鹽分析圖(mg/L)

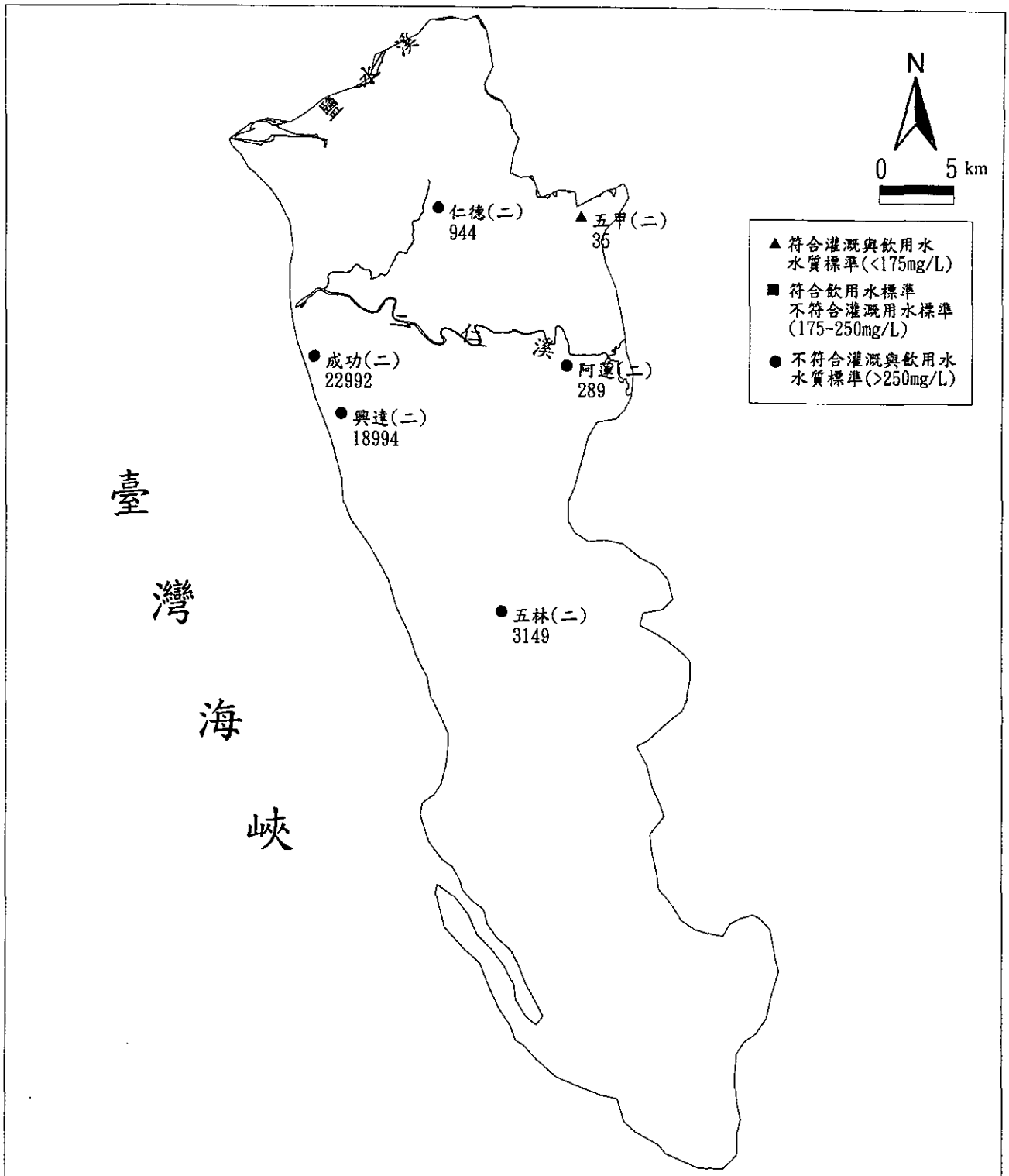


圖 3.2.12 嘉南平原南段含水層三之氯鹽分析圖(mg/L)

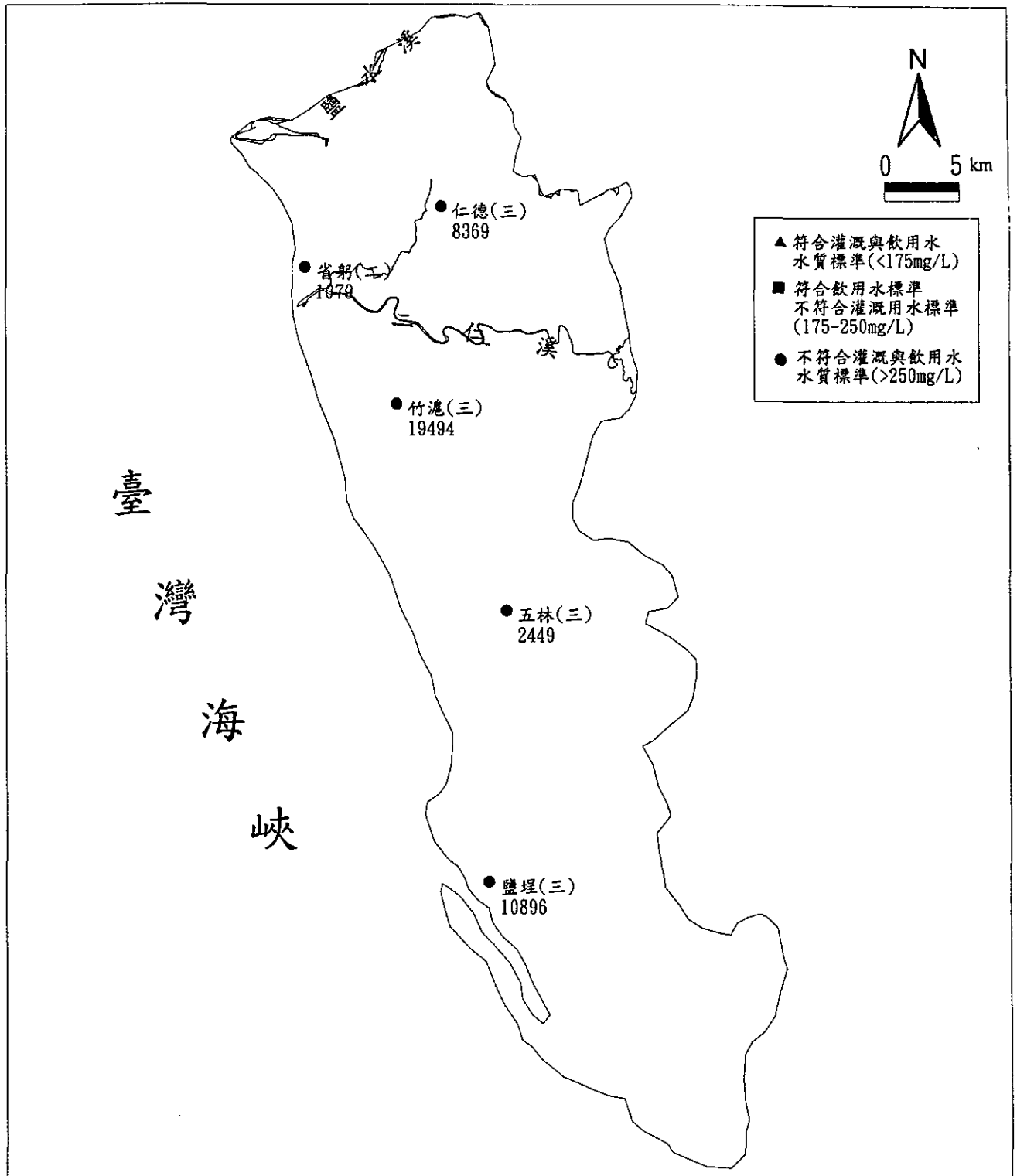


圖 3.2.13 嘉南平原南段含水層四之氣鹽分析圖(mg/L)

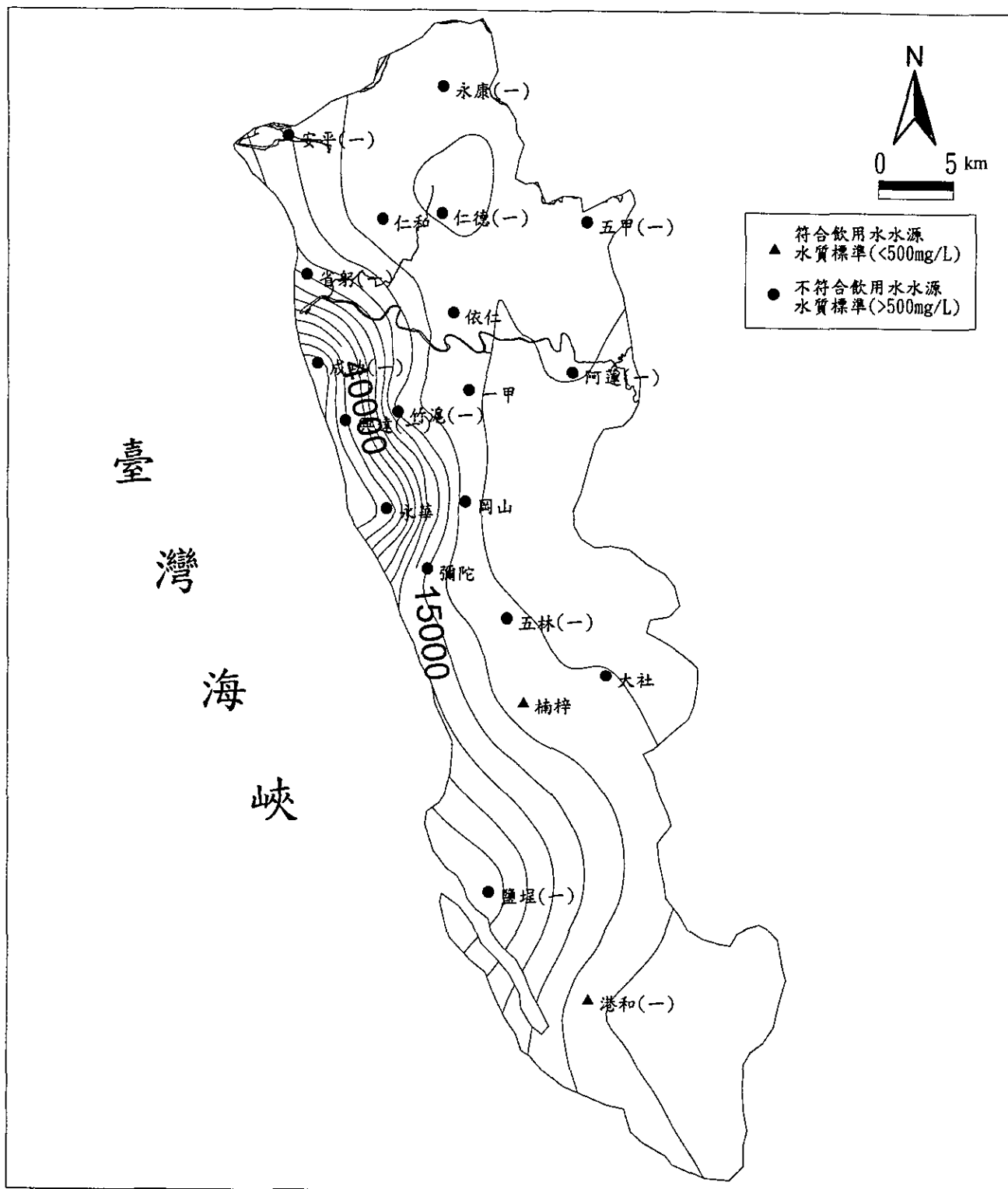


圖 3.2.14 嘉南平原南段平原含水層一之總溶解固體量等值分析圖(mg/L)

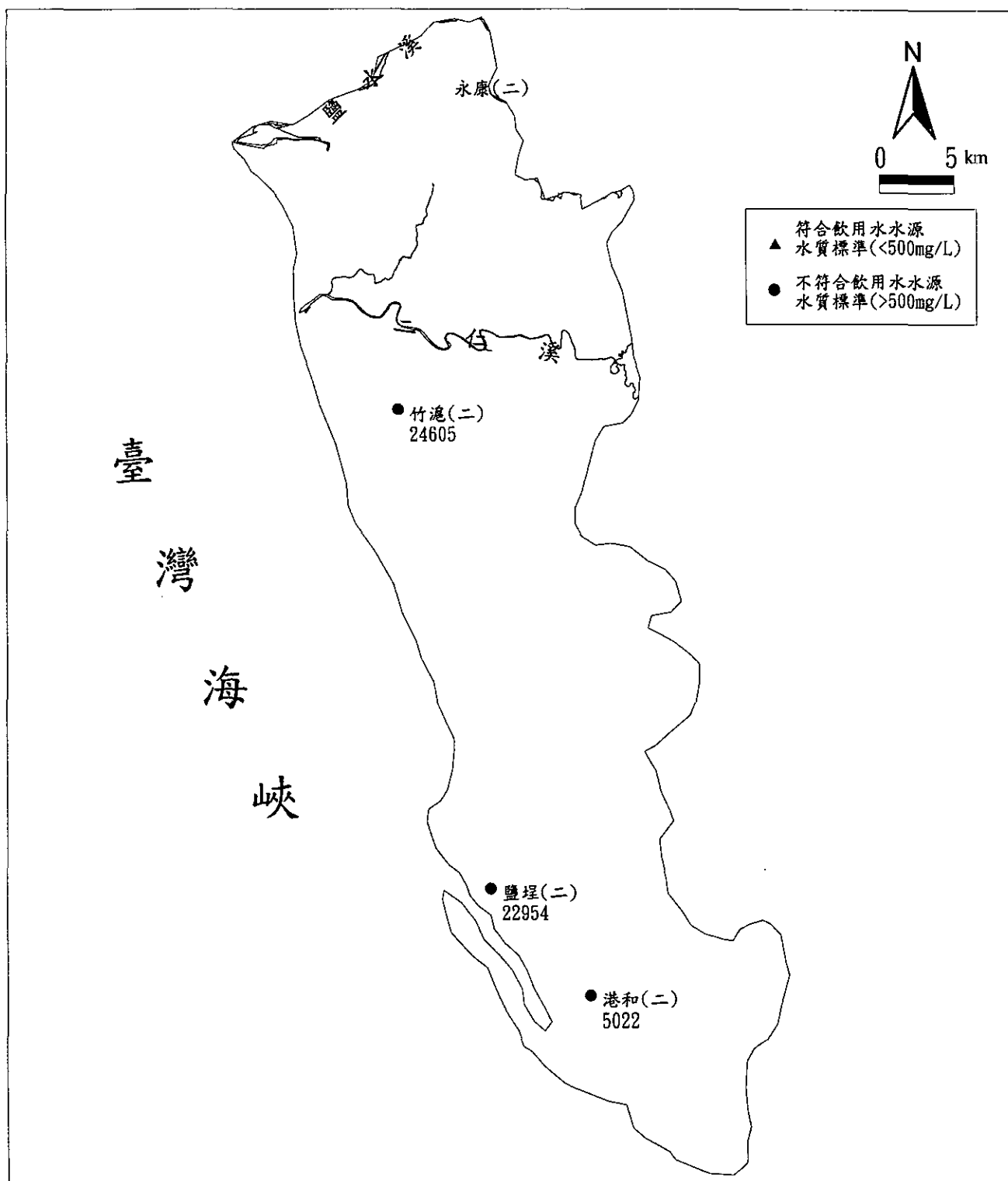


圖 3.2.15 嘉南平原南段平原含水層二之總溶解固體量分析圖(mg/L)

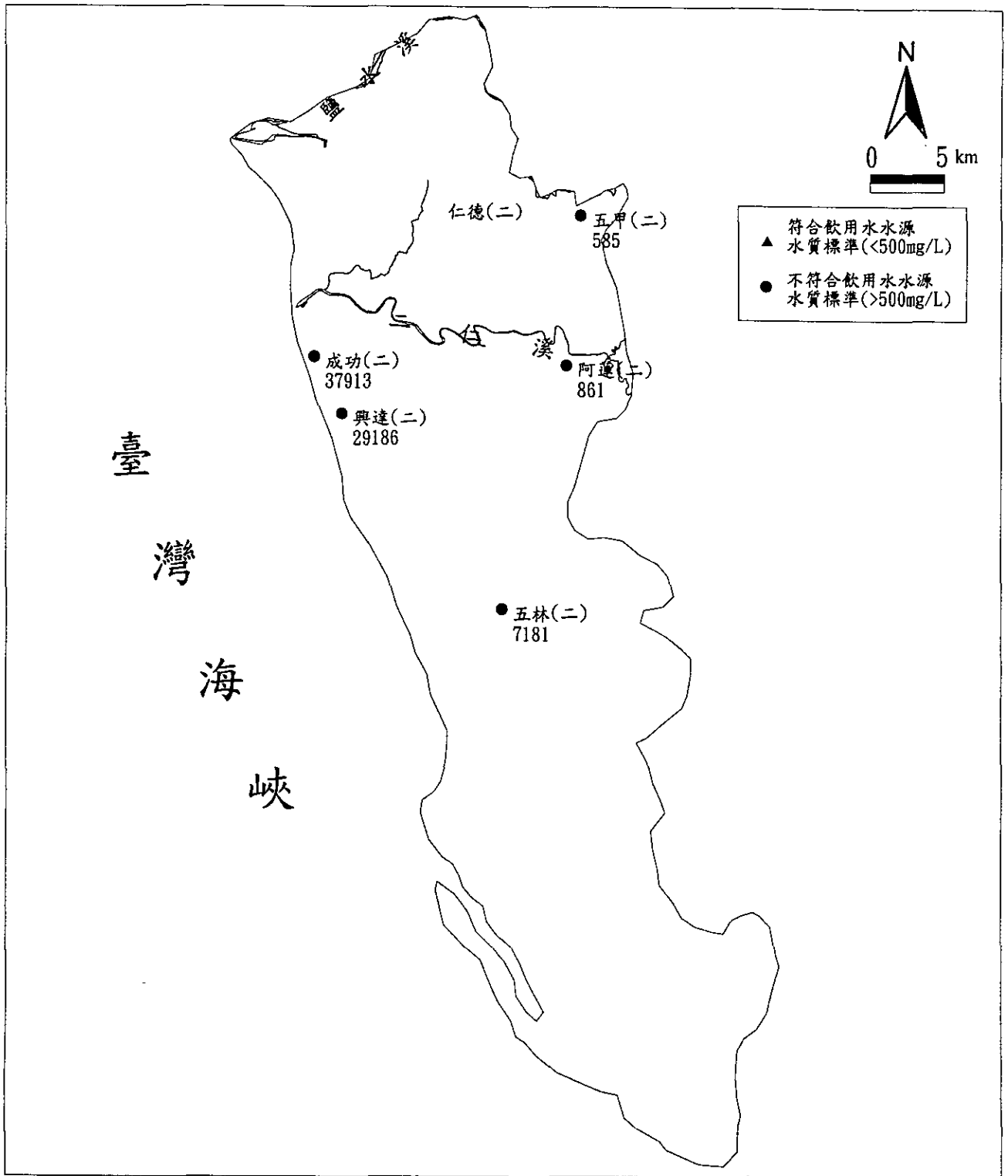


圖 3.2.16 嘉南平原南段平原含水層三之總溶解固體量分析圖(mg/L)

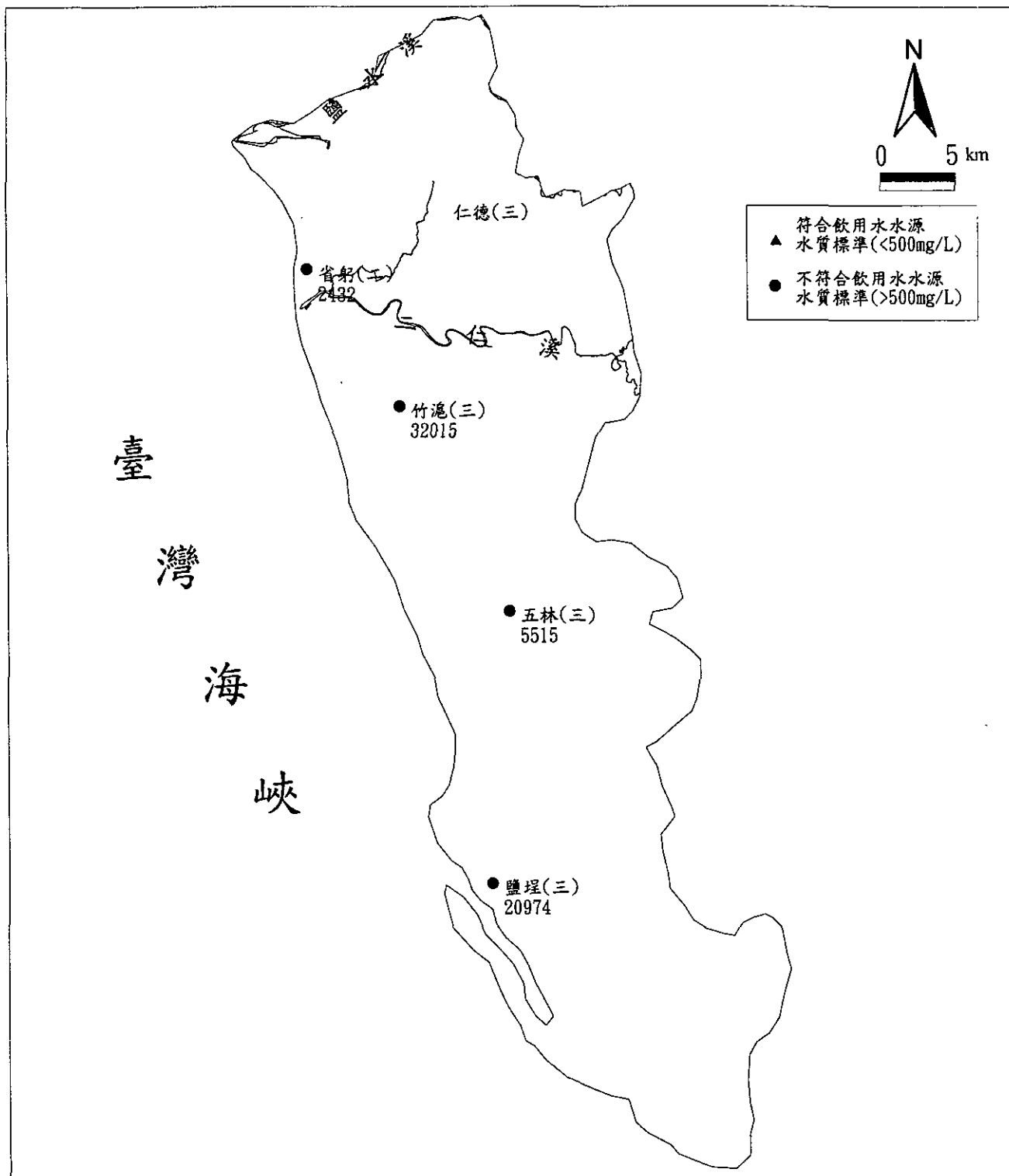
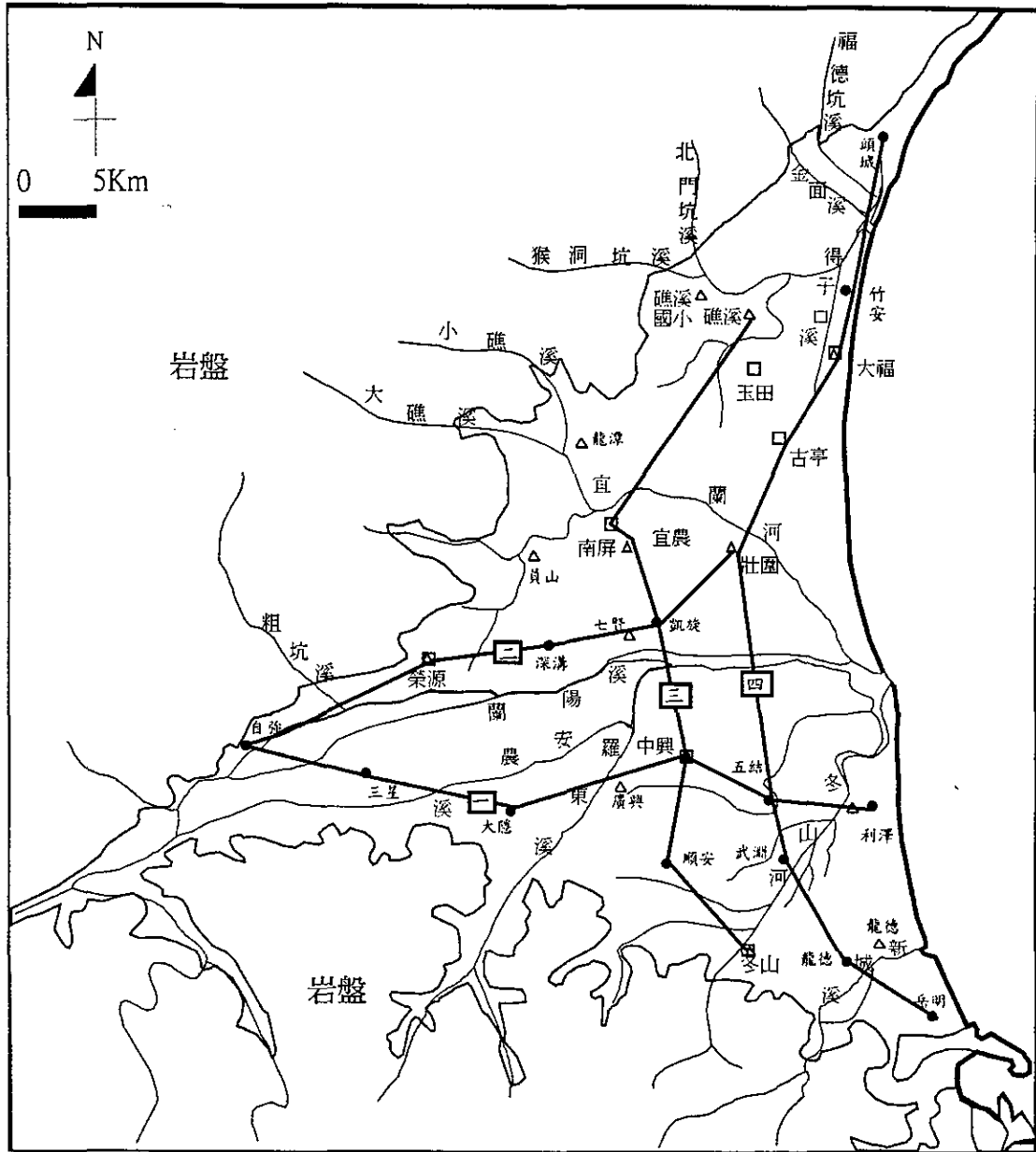


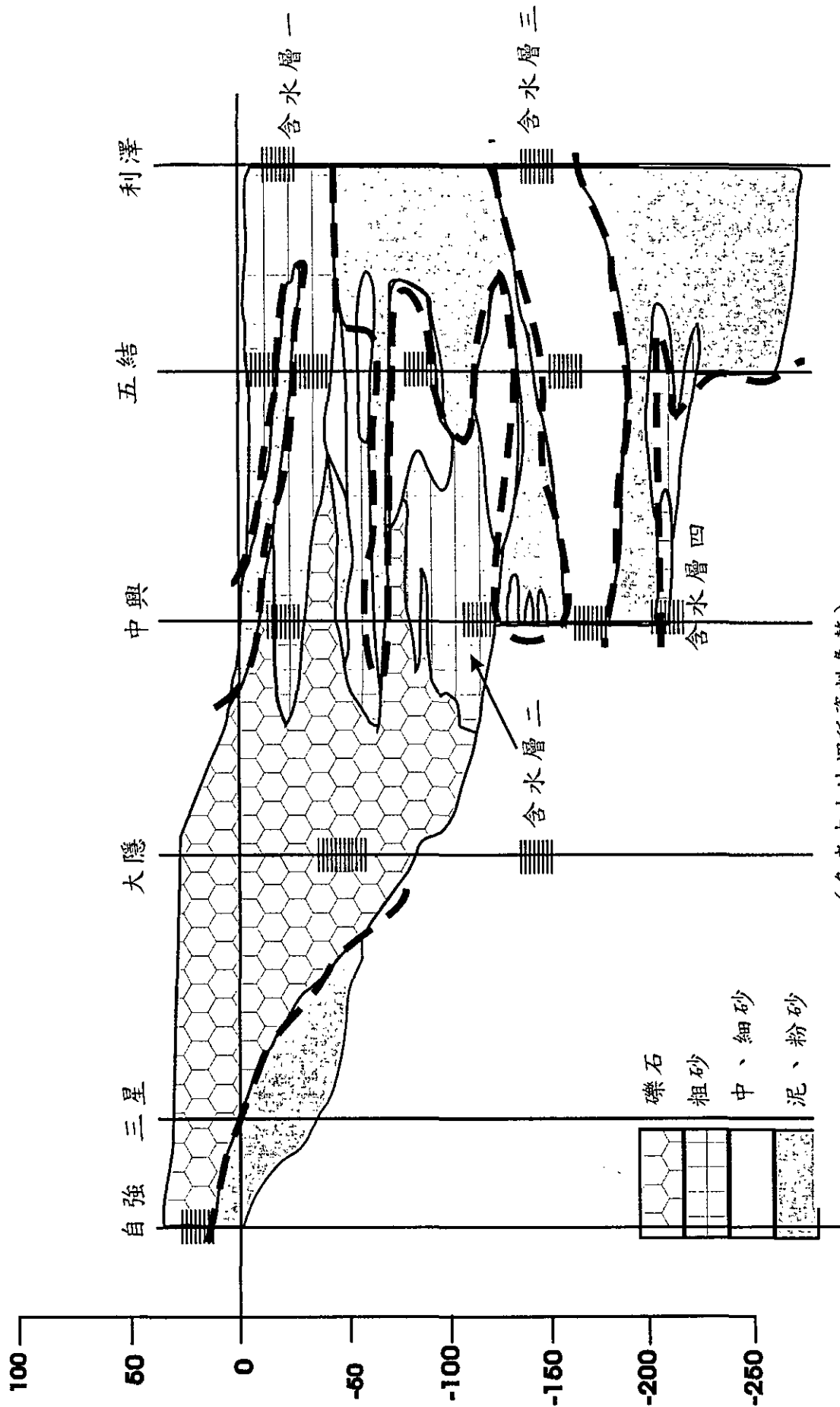
圖 3.2.17 嘉南平原南段平原含水層四之總溶解固體量分析圖(mg/L)



(資料來源：台灣地區地下水觀測網整體計畫-

88 下半年及 89 年度地質水文分析及抽水試驗)

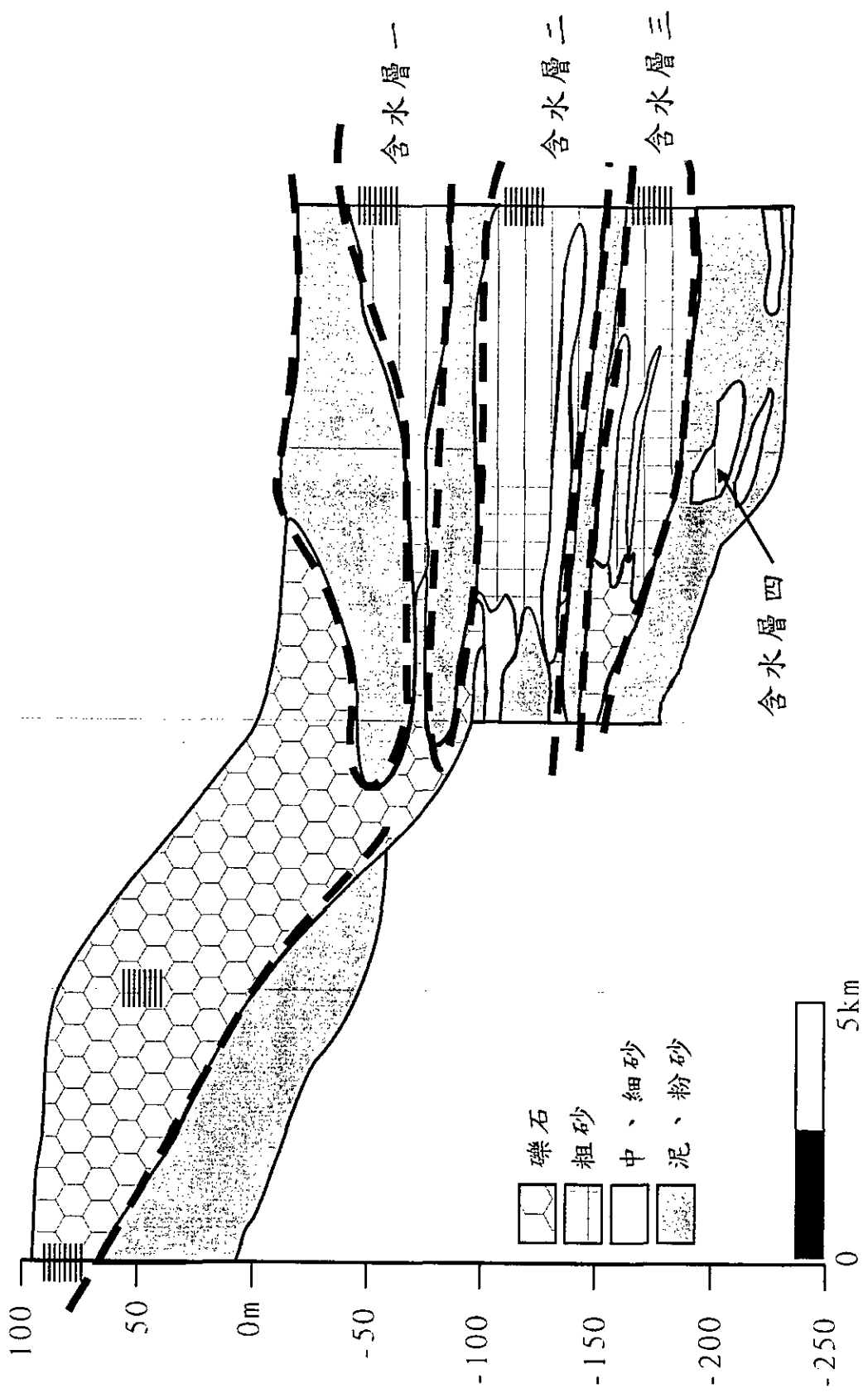
圖 3.3.1 蘭陽平原水文地質剖面位置圖



(參考中央地調所資料彙整)

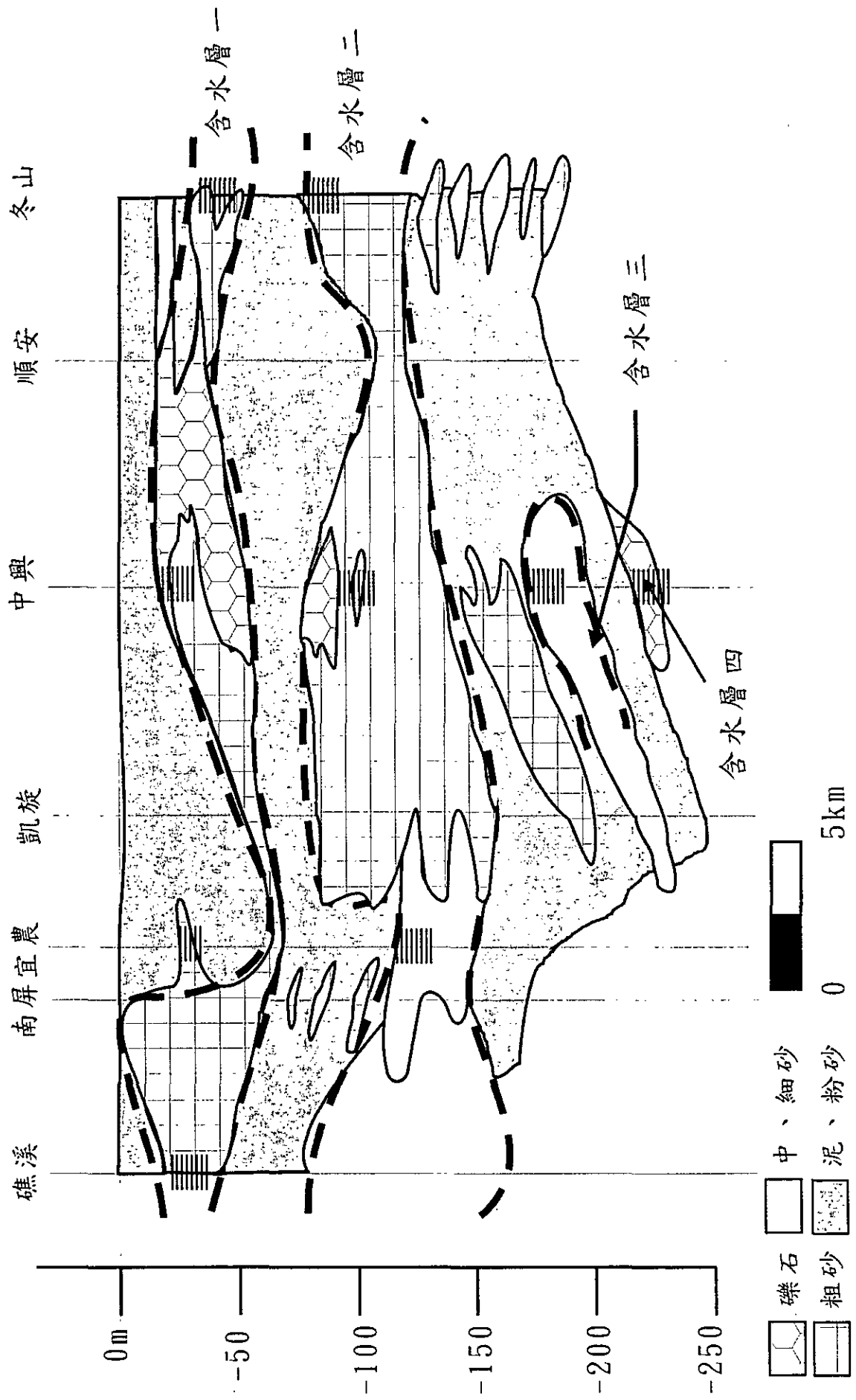
圖 3.3.2 蘭陽平原水文地質剖面一

自強 內城 深溝 凱旋 壯圍



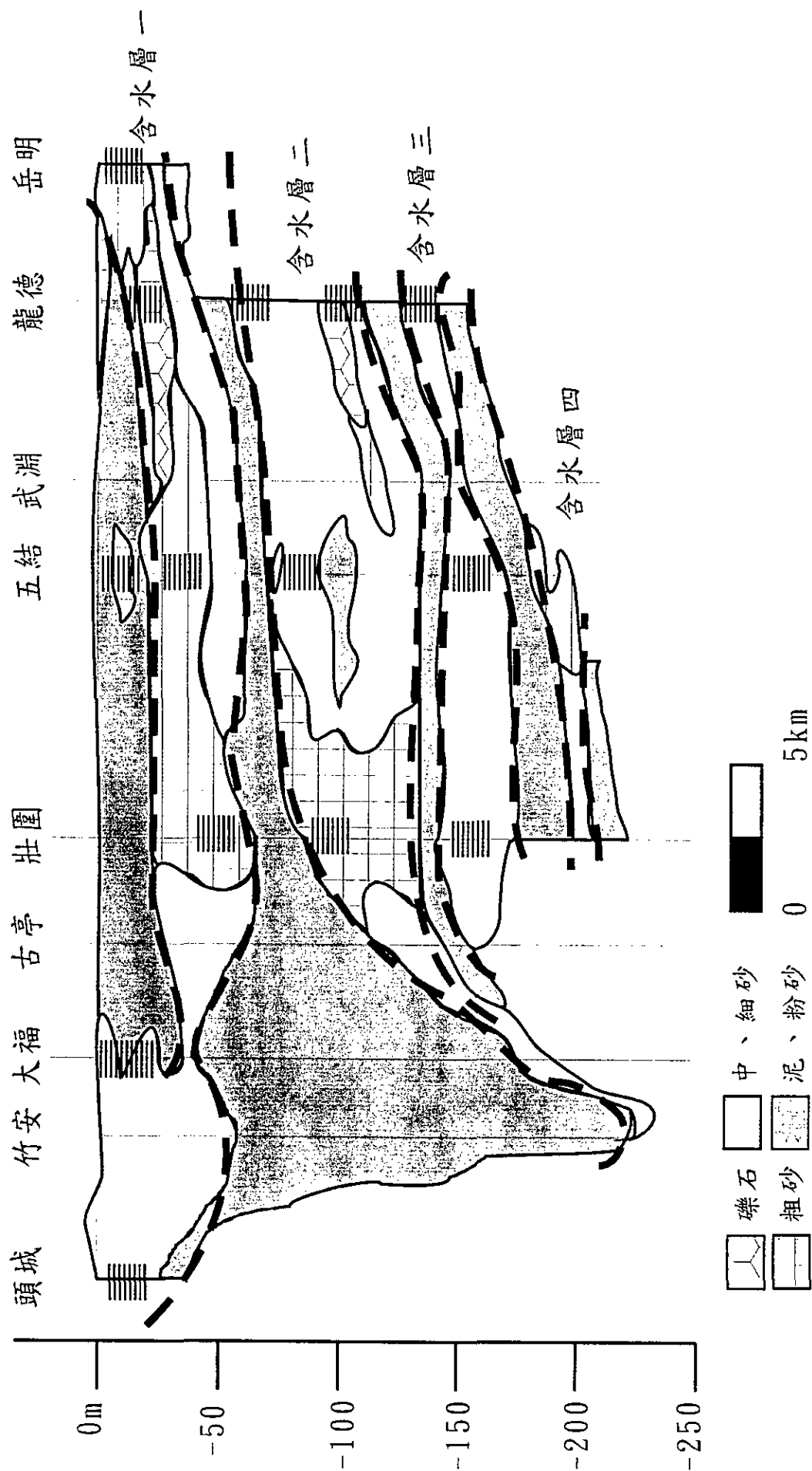
(參考中央地調所資料彙整)

圖 3.3.3 蘭陽平原水文地質剖面二



(參考中央地調所資料彙整)

圖 3.3.4 蘭陽平原水文地質剖面三



(參考中央地調所資料彙整)

圖 3.3.5 蘭陽平原水文地質剖面四

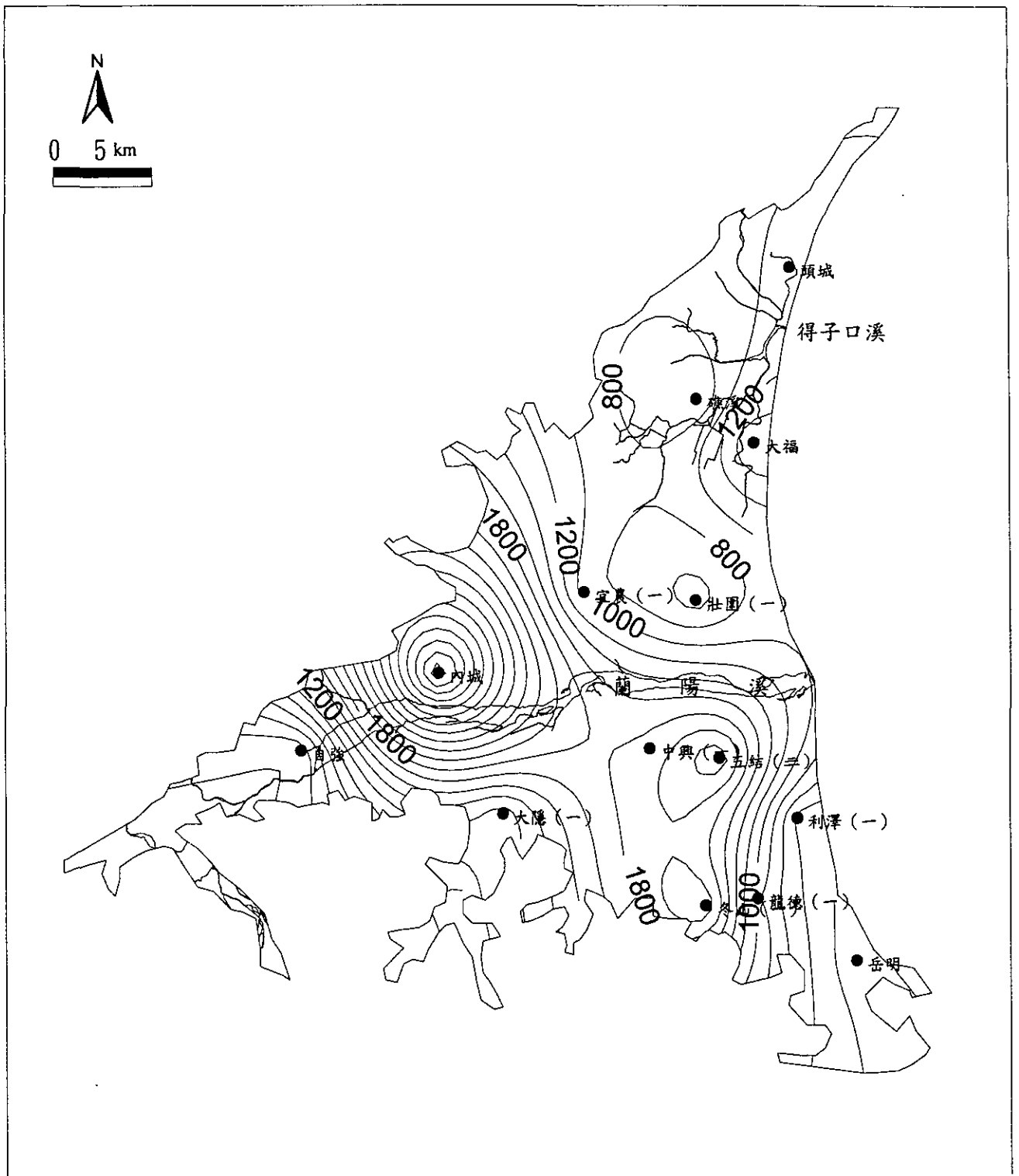


圖 3.3.6 蘭陽平原含水層一之導水係數等值圖(m²/min)

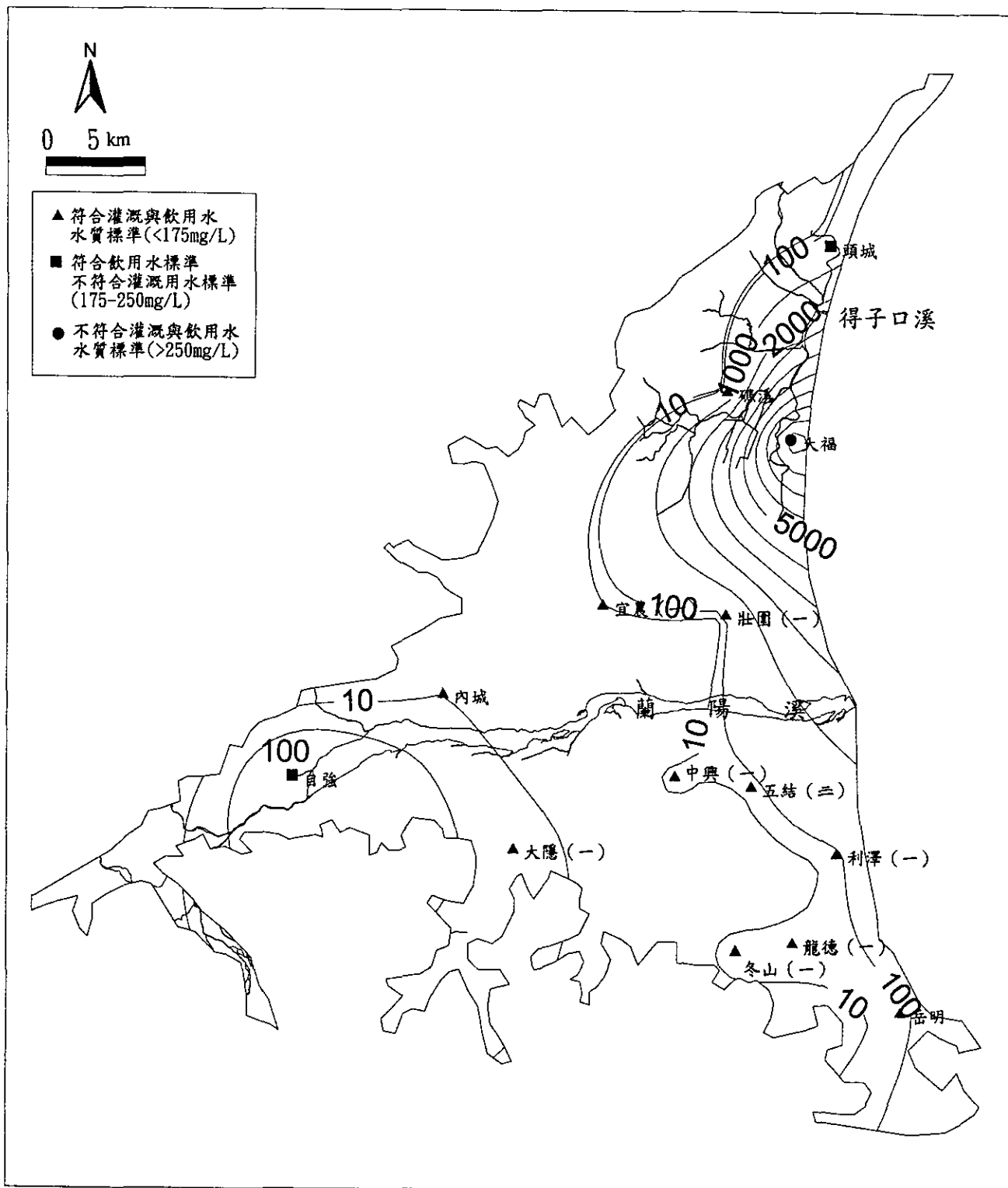


圖 3.3.7 蘭陽平原含水層一之氣鹽等值分析圖(mg/L)

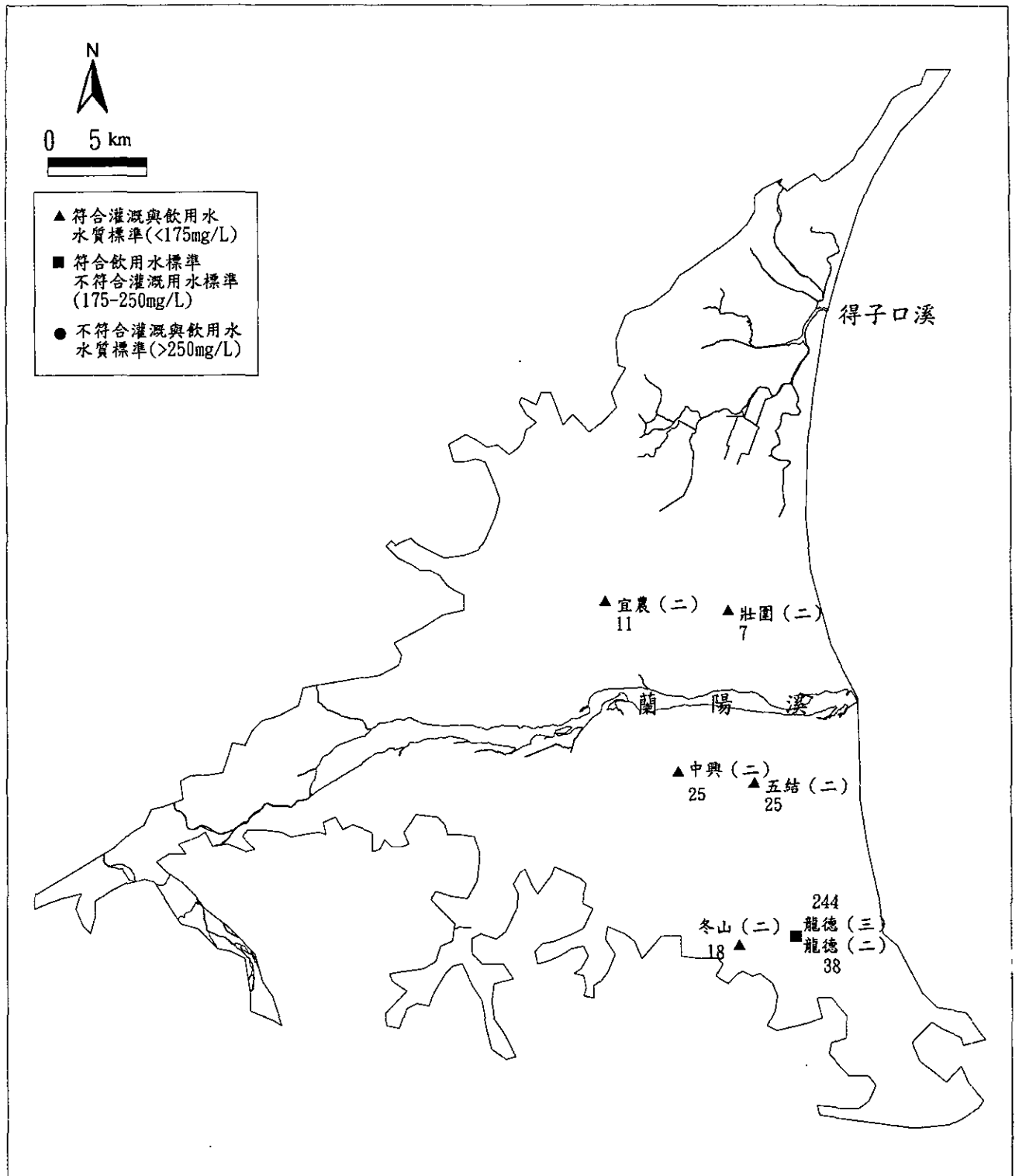


圖 3.3.8 蘭陽平原含水層二之氯鹽分析圖(mg/L)

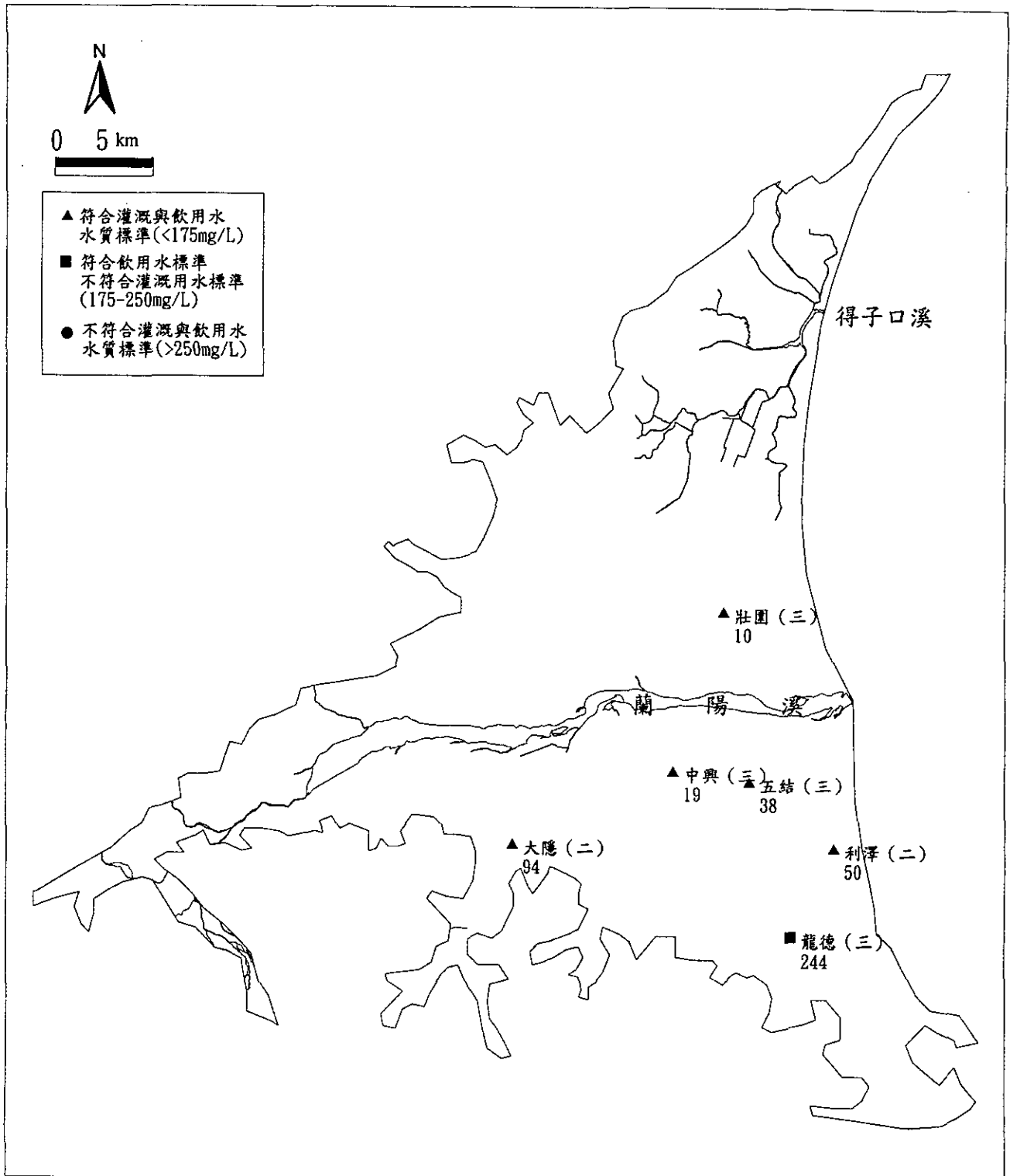


圖 3.3.9 蘭陽平原含水層三之氣鹽分析圖(mg/L)

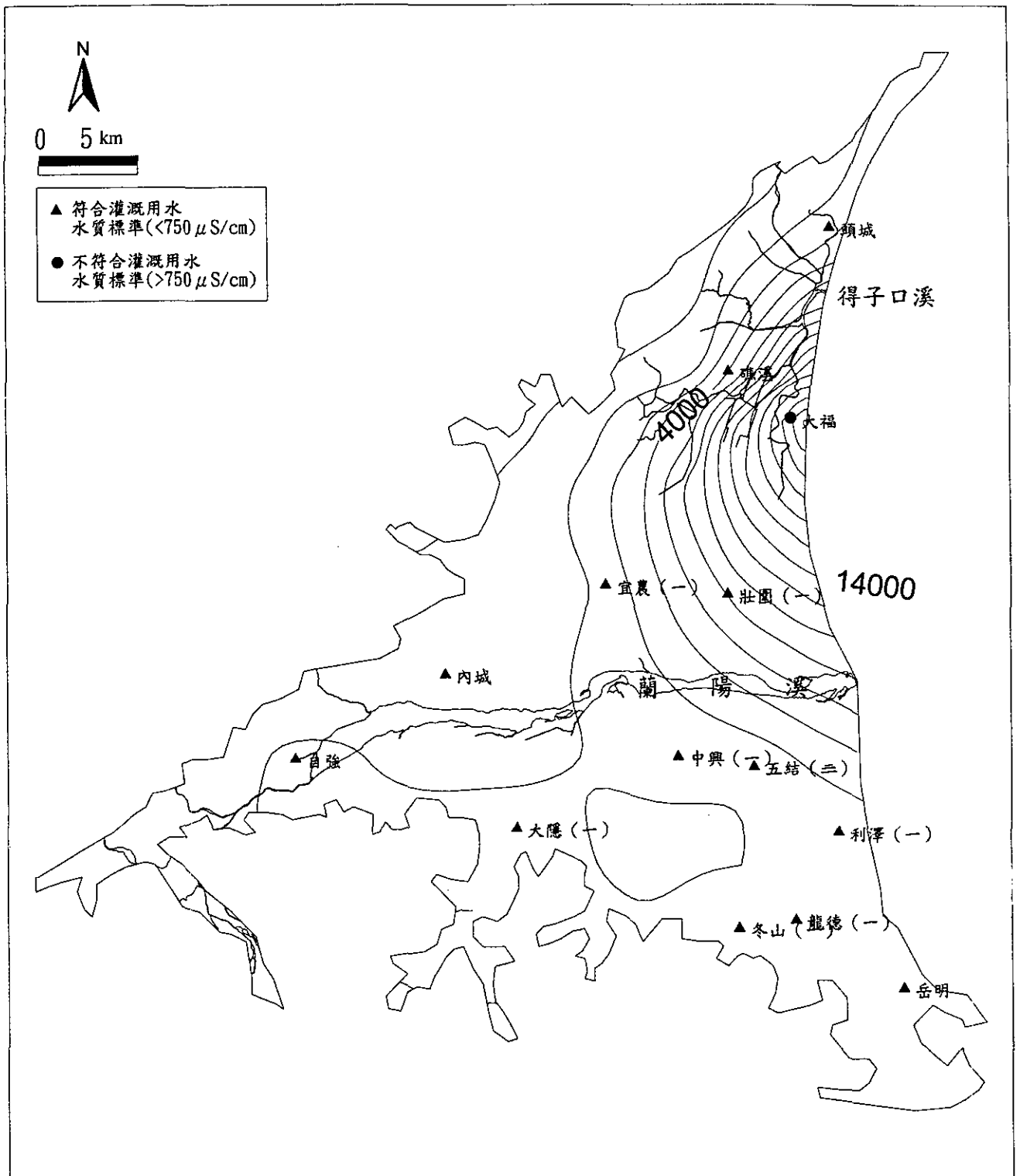


圖 3.3.10 蘭陽平原含水層一之電導度等值分析圖($\mu\text{S}/\text{cm}$)

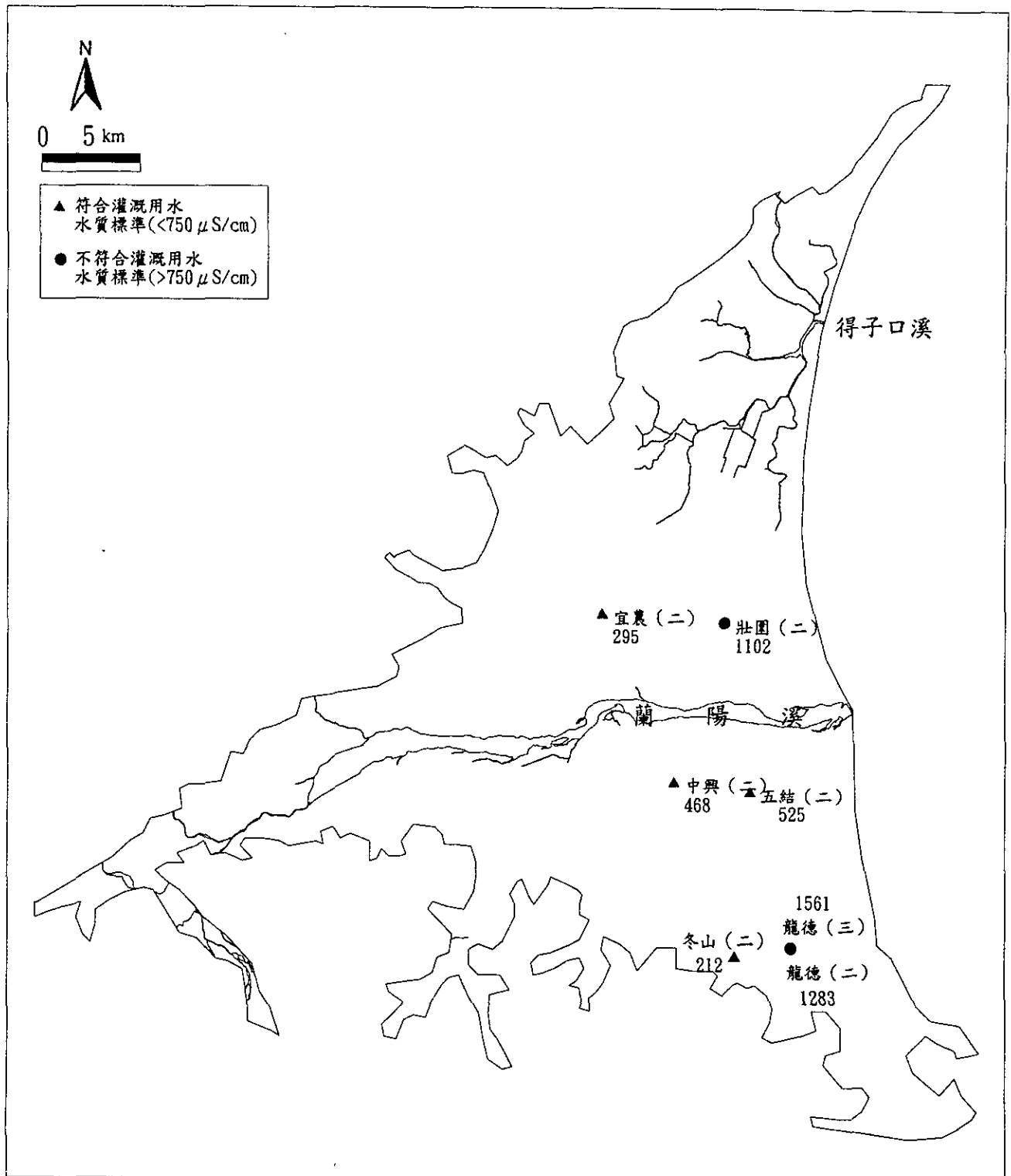


圖 3.3.11 蘭陽平原含水層二之電導度分析圖 ($\mu S/cm$)

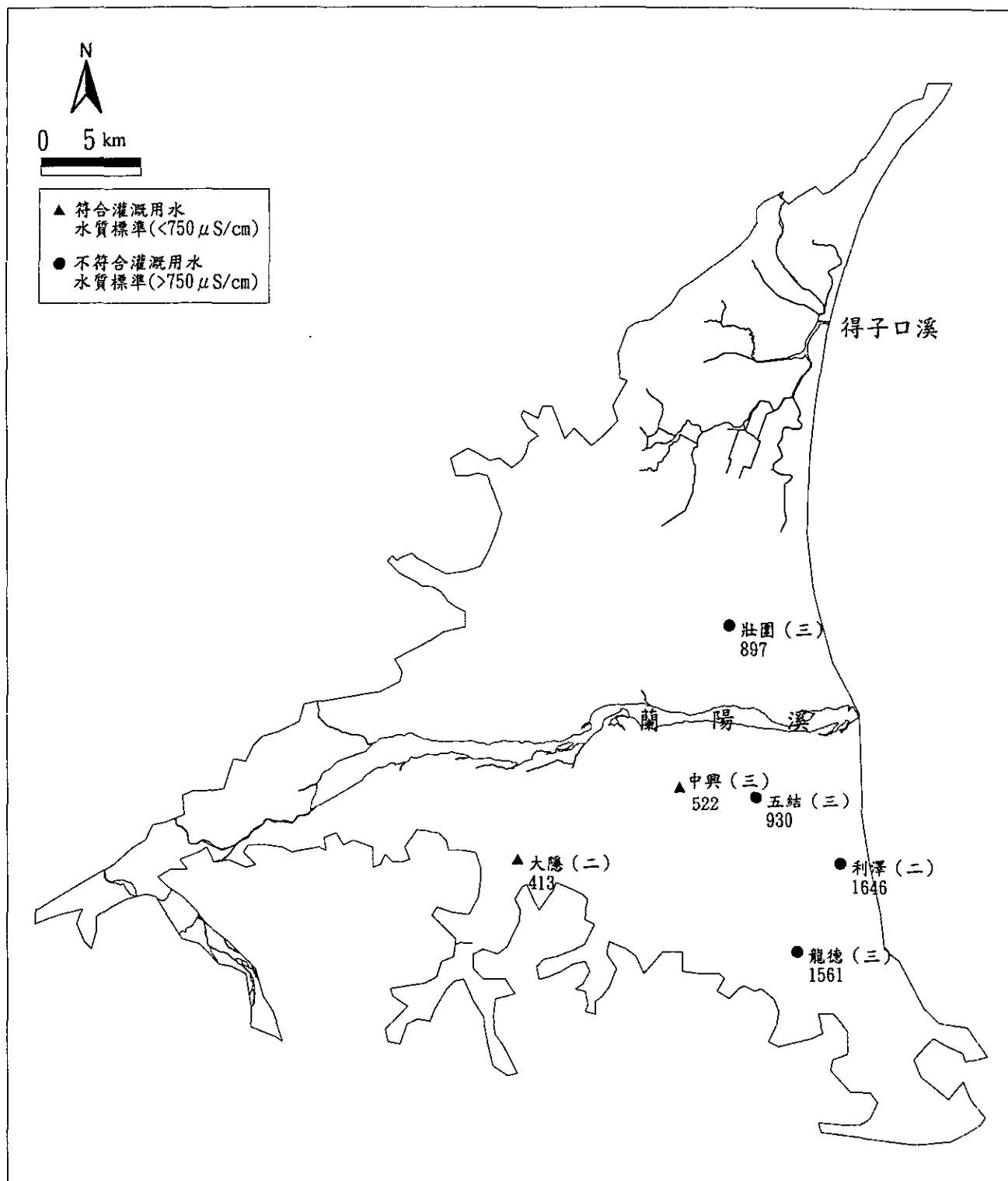


圖 3.3.12 蘭陽平原含水層三之電導度分析圖 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

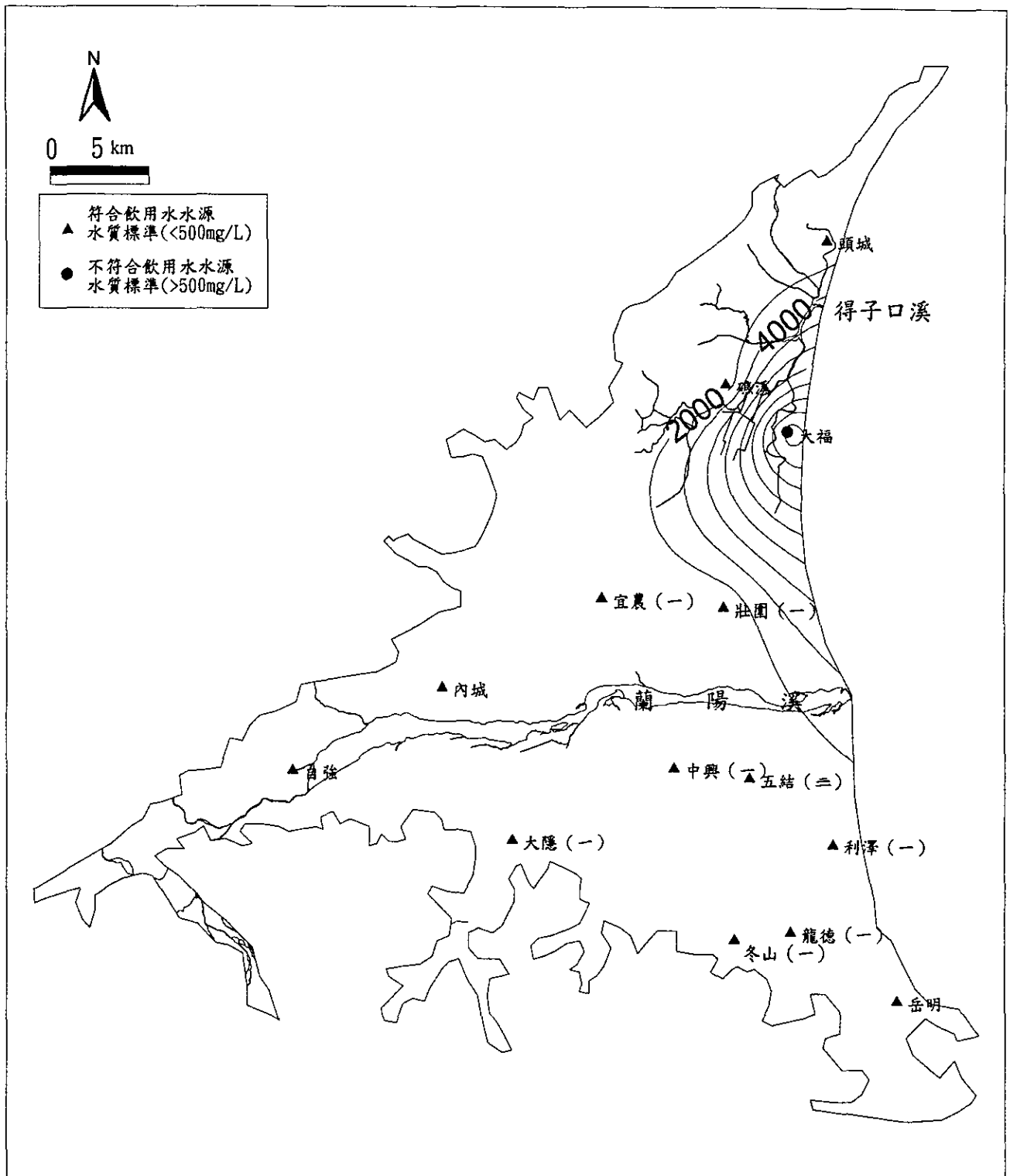


圖 3.3.13 蘭陽平原含水層一之總溶解固體量等值分析圖(mg/L)

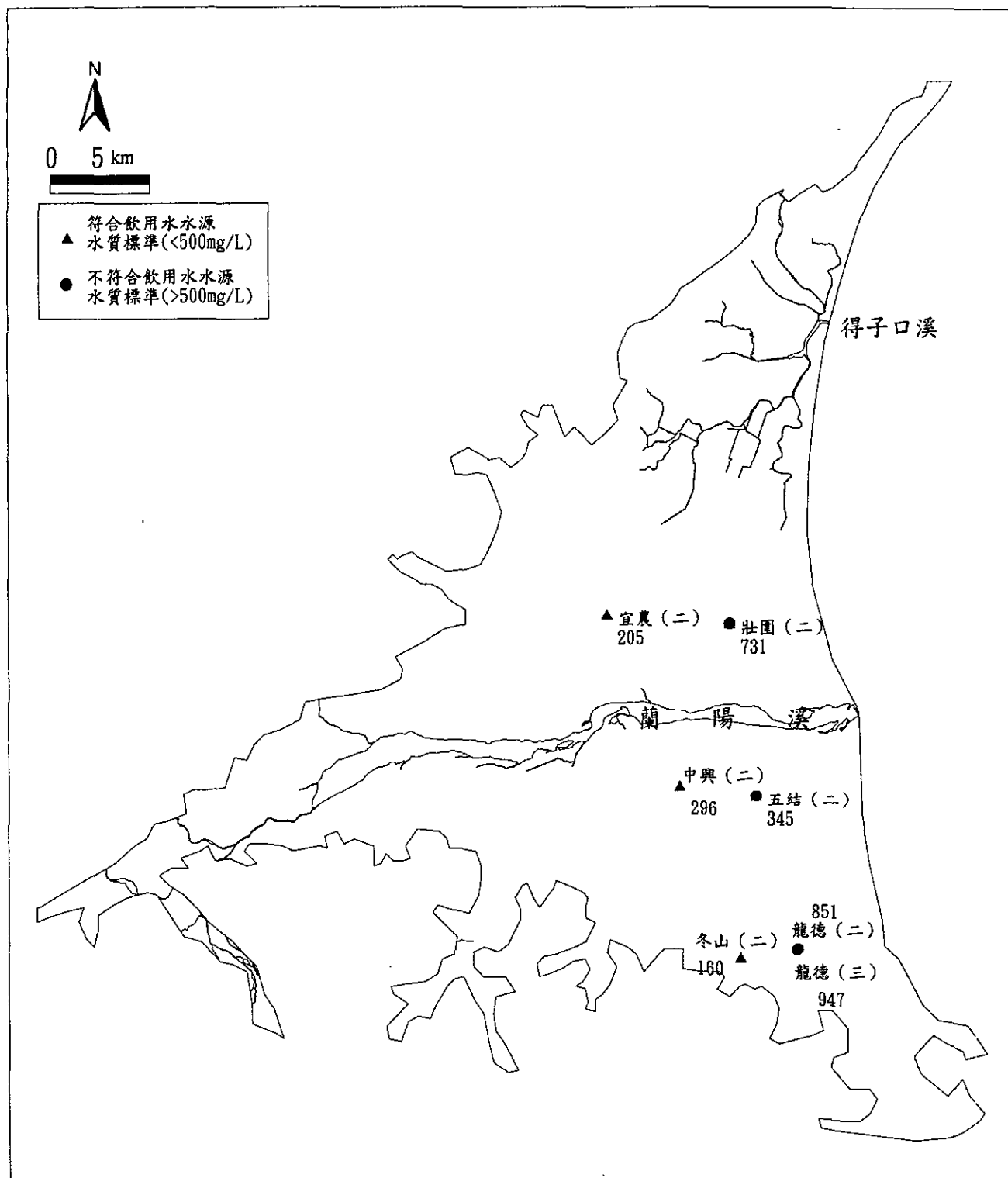


圖 3.3.14 蘭陽平原含水層二之總溶解固體量分析圖(mg/L)

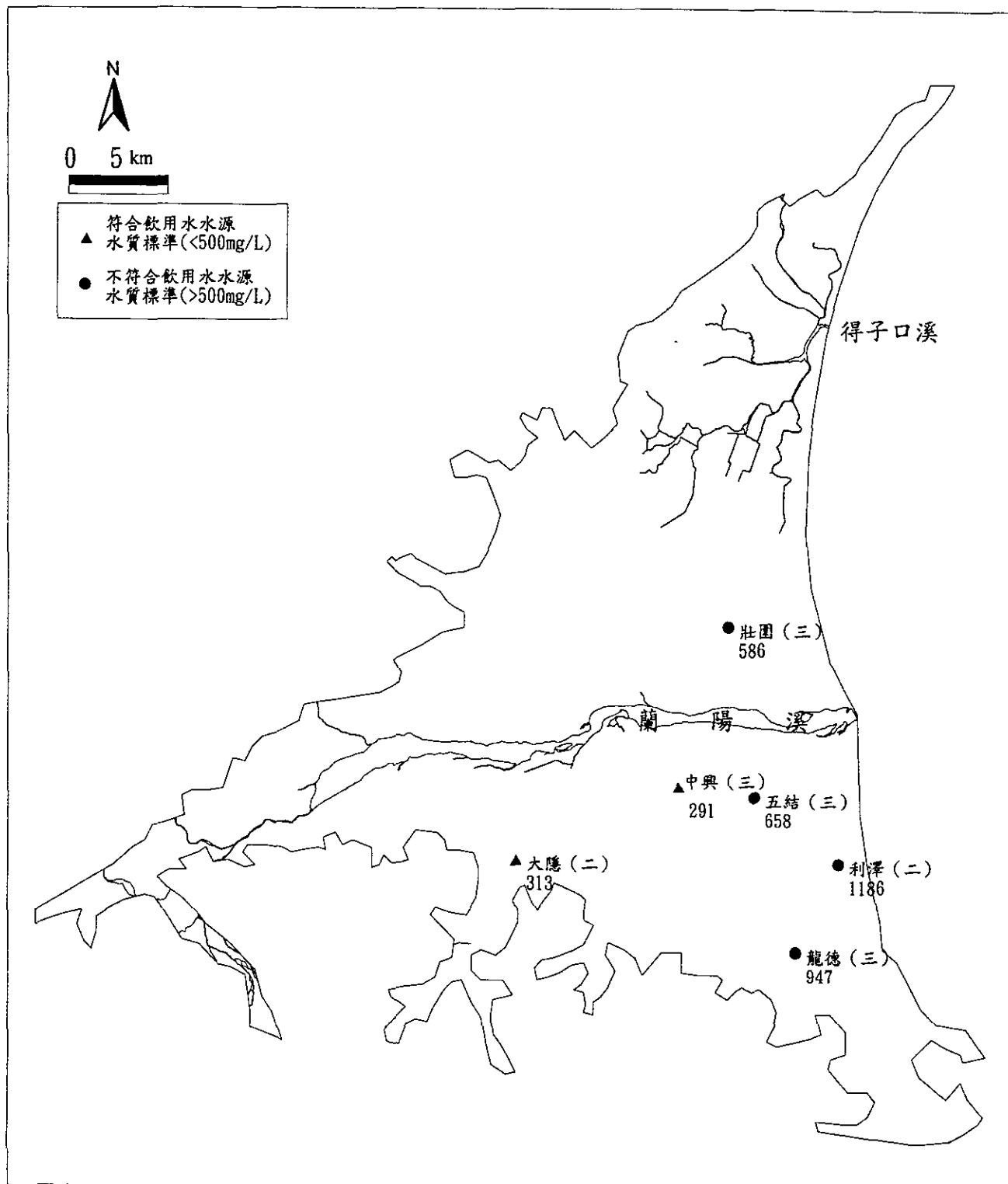


圖 3.3.15 蘭陽平原含水層三之總溶解固體量分析圖(mg/L)

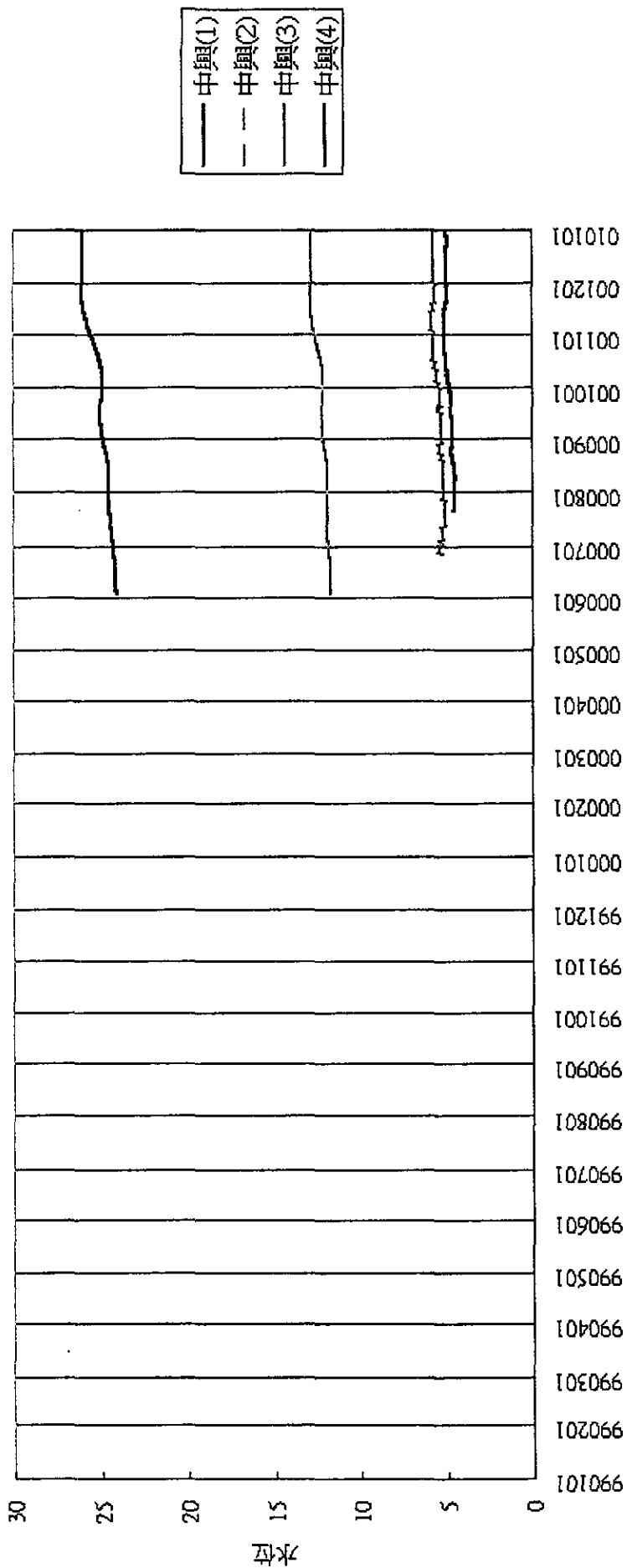


圖 3.3.16 中興水位十五日移動平均

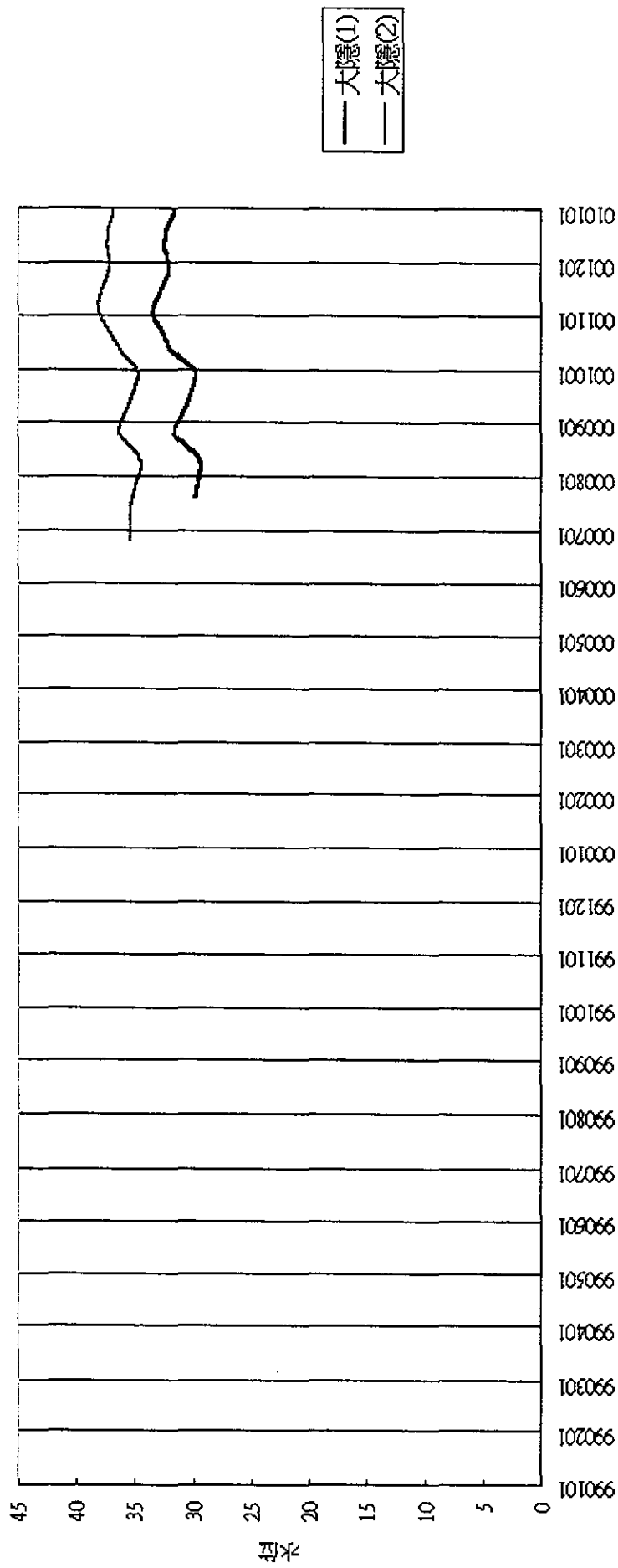


圖 3.3.17 大隱水位十五日移動平均

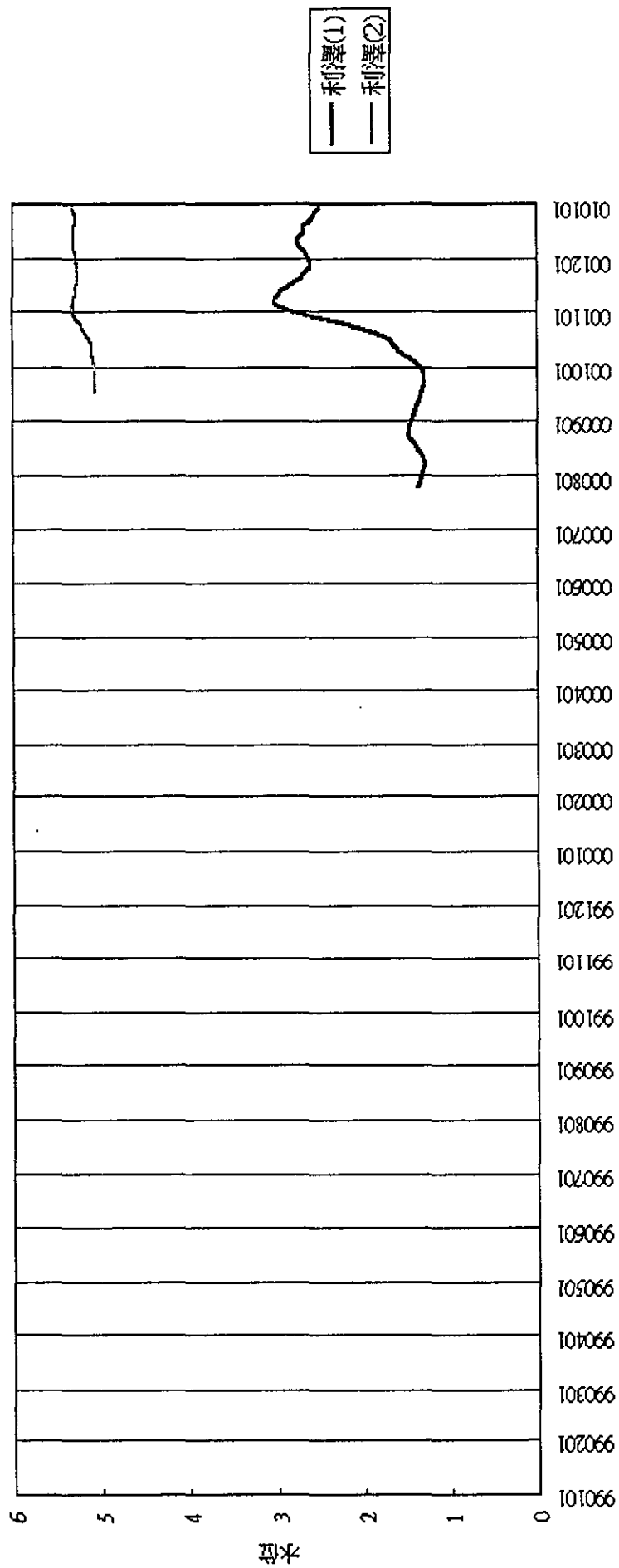


圖 3.3.18 利澤水位十五日移動平均

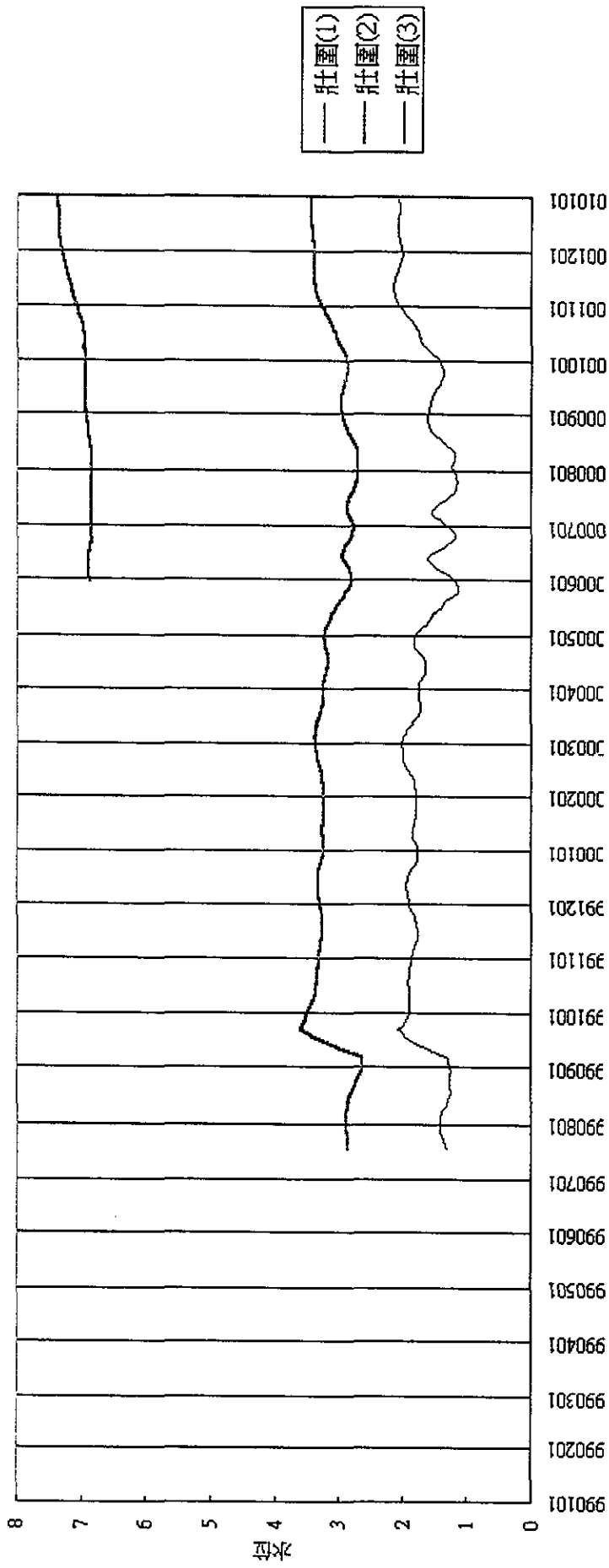


圖 3.3.19 壯圍水位十五日移動平均

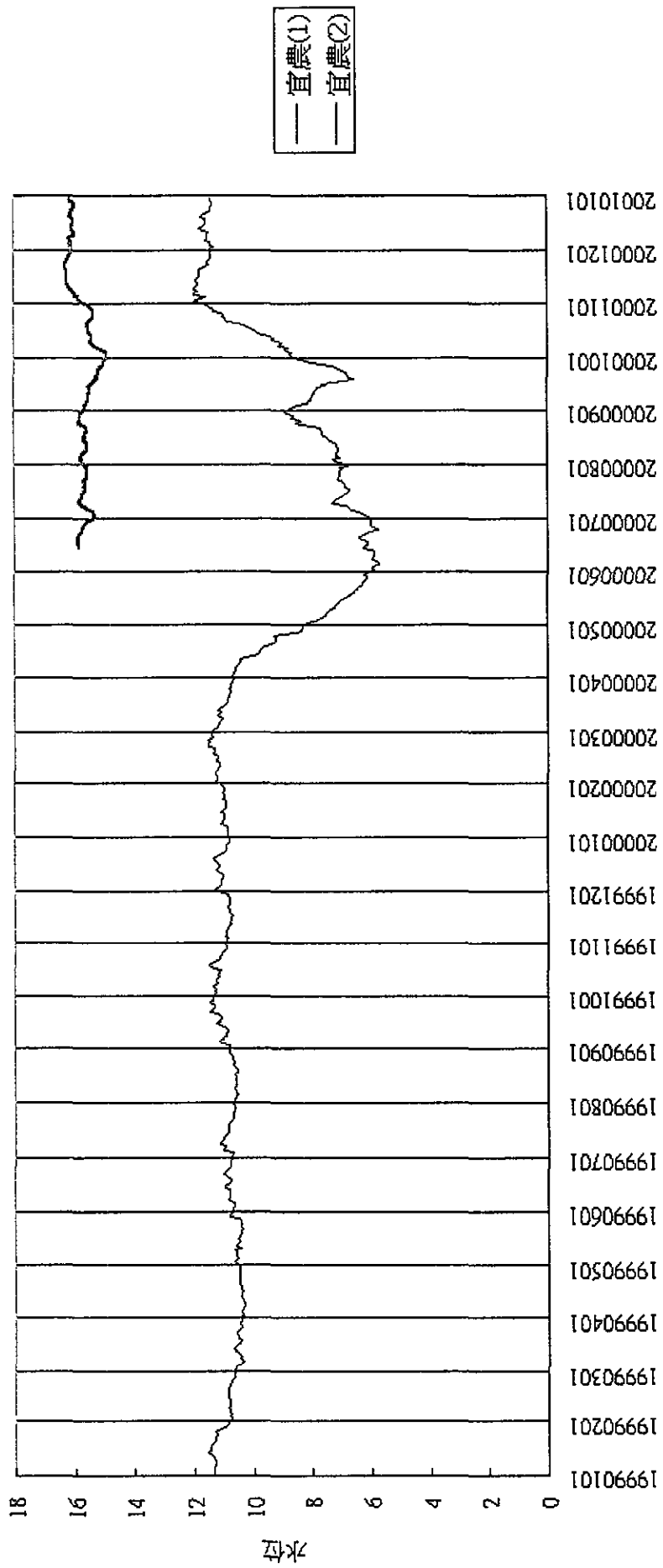


圖 3.3.20 宜農水位十五日移動平均

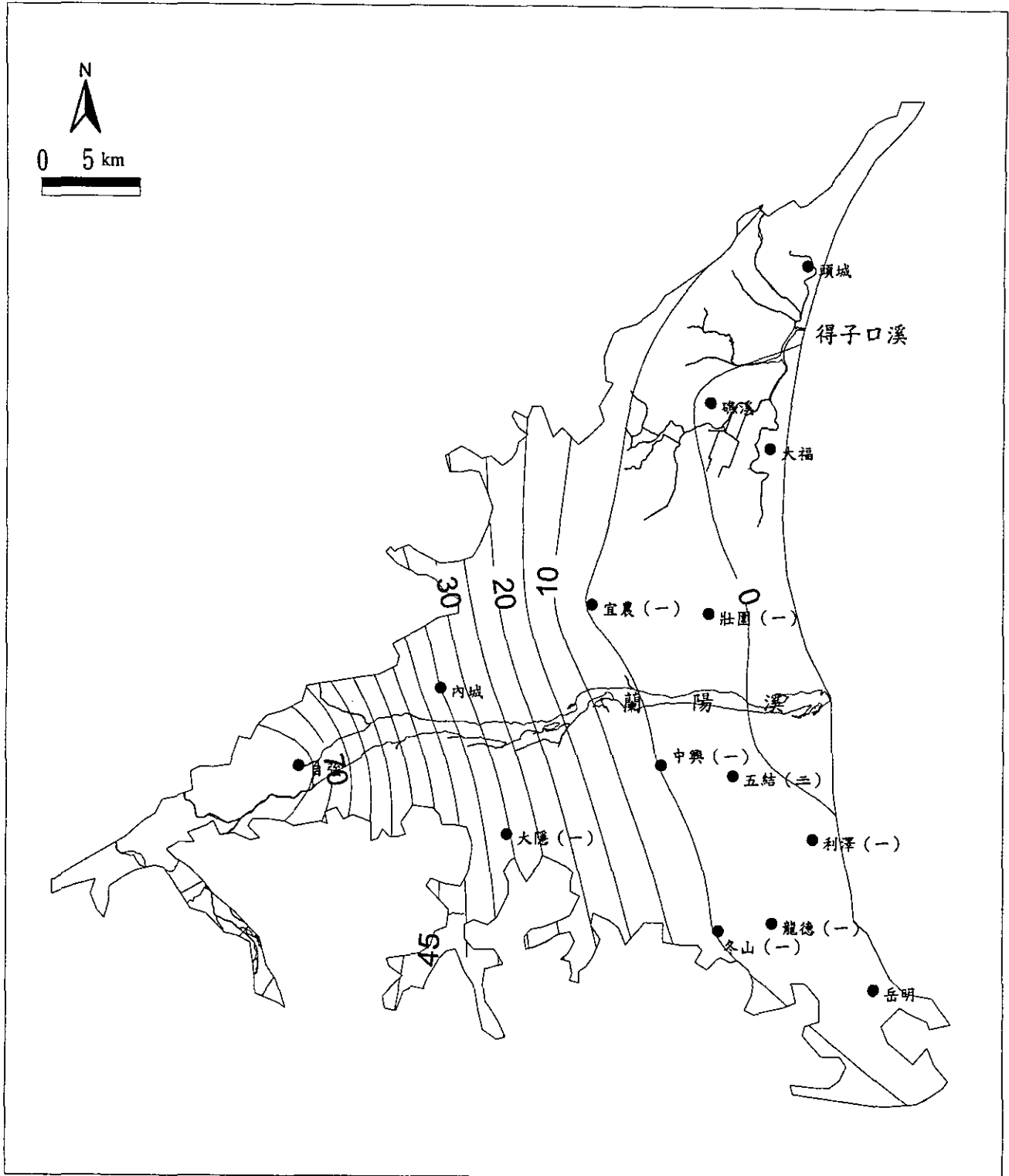


圖 3.3.21 蘭陽平原民國88年九月含水層一之地下水位等值圖(m)

第四章 觀測井網空間分佈檢討與設計

經濟部水利處於至 89 年於嘉南平原所規劃已設之觀測站共計 50 站，如表 3.1.1 及表 3.2.1 所示，但如上一章節所述由於本研究區域地質狀況較為複雜，經本研究團隊與水利處、中央地調所、台糖地下水保育中心及鑿井工會等專家代表討論後（參考附錄 B.C）將嘉南平原以鹽水溪為界，規劃成南北兩區進行研究。南段因地質狀況暫不建議新增站井，北段則以一、二層分別研究。而蘭陽平原因僅淺層（第一層）資料尚足以進行地質統計分析，將以淺層（第一層）之井位分析結果，配合水文地質狀況進行三度空間觀測井網評估。

4.1 井網設計分析流程

本節主要說明本計畫進行地下水觀測井網空間分布設計之分析流程(圖 4.1.1)，井網設計之作業項目茲分別說明如下。

步驟(1)：已知觀測站井歸層

根據已有站井的分佈以一站多井為原則，故以濾水管深度對映到已知之地層架構得到之井位分佈作為分層依據。

步驟(2)：研究區域邊界定義

由於本研究區域地質狀況較為複雜，將參考區域水文地質，以及邀請專家學者參與工作會議討論來擬定研究區域邊界。

步驟(3)：決定可能設站位置

有鑑於設站地點用地取得不易，本研究承襲以往（86 年度）之「區域性地下水觀測站網檢討」計畫，直接以用地取得較有可能之國小位置作為後續井網設計時之可能設站井點。

以上為井網設計之前置作業，而於後續之井網分布及站井選定主要步驟

為先對資料較充足之含水層之水文地質參數進行結構分析，再進行降低變異數法初步選定各層增設井位置，並計算對應之效能曲線以決定有效井數。

以下就圖 4.1.1 流程圖中步驟(4)至步驟(6)進一步說明：

步驟(4)：水文地質參數結構分析

此為整個水文地質參數分析的第一步驟，目的為了解整個含水層各水文地質參數的統計結構，並為後續分析的基礎。本研究目前分析參數以導水係數(Hydraulic Conductivity, K 值)作為主要分析之水文地質參數。

因考慮分析區域有空間傾向值(Drift)存在，故以多變數線性迴歸求得空間傾向值之後，繼續再以殘數值(Residual)進行結構分析。於表(4.2.1)中所列為各種參數經結構分析之後所得之影響範圍(Range)、基值及半變異元模式之整理表，其中影響範圍指的是由觀測點至半變異元達到穩定之距離，基值則與變異量意義相似，半變異元模式若為指數，則其型態為：

$$\gamma(h) = Sill[1 - e^{(-3h/R)}]$$

若為高斯模式，則其型態為：

$$\gamma(h) = Sill[1 - e^{-(h^2/R^2)}]$$

步驟(5)：總降低變異量比及效率分析

本計畫計算參數推估誤差之格網點分布圖，皆以 2KM*2KM 為計算格網點。

由此地下水觀測站網建置計畫雖然非常必要，然而在目前現階段其成本及效益評估上卻不容易有明確的量化指標，因此本研究計畫將配合原先之井網規劃方案及直接由站網各井點的降低推估誤差效率上決定所應增設的站井數。此處之佈井效率定義為：

$$E(n) = \frac{TV_{(n-1)}(x_n, y_n) - TV_n(x_n, y_n)}{TV_{(n-1)}(x_n, y_n)} \quad (4-1)$$

(x_n, y_n) : 第 n 口井之位置

$E_{(n)}$: 第 n 口井之誤差降低效率

$TV_{(n-1)}(x_n, y_n)$: 在未佈第 n 口井之前, 以 (x_n, y_n)

為中心, 影響半徑(Range)範圍內之總變異量

$TV_{(n)}(x_n, y_n)$: 佈設第 n 口井之後, 再以 (x_n, y_n) 為中心, 影響半徑

範圍內之總變異量

步驟(6): 初步選定待增設地下水觀測站

在考慮分析誤差及將來設井位置在用地取得的限制下所必需的調整等因素, 初步規劃各層增設觀測井位置。

步驟(7): 各層井網共站檢討

根據各層之佈井分析結果, 在考慮地質結構情形下, 配合觀測井共站之原則, 進行三度空間之站網位置及深度設計。

4.2 嘉南平原北段分層井網設計及站井選定

以下就嘉南平原北段分層井網設計之各項工作流程進行說明:

(1): 已知觀測站井歸層

經由 3.1 節分析結果嘉南平原北段含水層一可供研究資料點共計 26 站、含水層二可供研究資料點共計 23 站, 井位分布如表 3.1.1 所示。

(2): 研究區域邊界定義

本計畫之嘉南平原北段分層井網之範圍北起朴子溪, 南至鹽水溪, 東至麓山帶, 西至台灣海峽, 並以先第一、二層分別研究。

(3): 決定可能設站位置

本計畫直接以用地取得較有可能之國小位置作為後續井網設計時之可能設站點。圖 4.2.1 為嘉南平原北段區域內國小位置分布圖。

(4): 水文地質參數結構分析

分析參數以導水係數(Hydraulic Conductivity, K 值)作為主要分析之水文

地質參數， $\text{Ln}(K)$ 其半變異元模式為指數型態：

$$\gamma(h) = Sill[1 - e^{(-3h/R)}]$$

其中嘉南平原北段各層結構分析如表 4.2.1 所示，而結構分析如圖 4.2.2-圖 4.2.3 所示。

(5)：總降低變異量比及效率分析

根據附錄 A 所述之降低變異數法，圖 4.2.4 為嘉南平原北段計算參數推估誤差之格網點分布圖。進一步參照民國 79 年之原規劃方案，規劃但尚未設井之站址仍有 54 站。本計畫即以含水層一已設置之 26 站加上此原規劃仍未設置之 54 站(共 80 站)為規劃精度。

本計畫即以所佈井結果所對應之總變異量為佈井之精度標準。圖 4.2.5 及圖 4.2.6 其所代表之意義即是增加佈井數所降低之總變異量比，即可作為佈井之精度標準比較。圖 4.2.5 為以原規劃之待設井位 54 站與以所有國小為可能站井位進行降低變異數優選之總變異量比之比較，由圖 4.2.5 之國小增設之總降低變異量比曲線與原規劃之總降低變異量比曲線比較，當國小增設至第 34 口時，其總降低變異量比($\text{totv}/\text{totv}_0$)即與原規劃再增設 54 站之總降低變異量比($\text{totv}/\text{totv}_0$)相等，其代表以區域內國小為可能設井位置之優選結果，約再增設 34 站時，即可達到原規劃再增設 54 站之精度。

另以含水層二已設置之 23 站加上此原規劃仍未設置之 54 站(共 73 站)為規劃精度。圖 4.2.6 為以原規劃之待設井位 54 站與以區域內國小為可能井位進行降低變異數優選之總變異量比之比較。由圖 4.2.6 可看出以區域內國小為可能設井位置之優選結果，約再增設 34 口時，所降低之總變異量，即可達到原規劃再增設 54 站之所降低之總變異量。此即由所有國小優選之佈井結果於約增加到第 34 站時，即可達到原規劃(再增設 54 站)之精度。

(6)：初步選定待增設地下水觀測站

由於(5)之步驟為之優選結果為含水層一及二各別考量之結果。於考量

觀測井之共站原則下，將含水層一及二分別優選排序前 50 站之增井位置(國小)共 65 站作為共站之可能增設位置，再一次進行此 65 站(國小)於含水層一及二之優選排序，以決定初步共站位置增設之排序。圖 4.2.7 為以初步共站位置增設之排序於含水層一井網佈置之佈井效率，圖 4.2.8 為以初步共站位置增設之排序於含水層二井網佈置之佈井效率。於考量佈井效率之情況下情況下，建議於嘉義平原北段於含水層一增設井數為 30 站，圖 4.2.9 為此初步共站排序前 20 口之優選增井位置分佈圖。

(7)：各層井網共站檢討

根據各層之佈井分析結果，在考慮地質結構情形下，配合觀測井共站之原則，進行三度空間之站網位置及深度設計。根據優選佈井分析結果，在考慮地質結構情形下，配合已設觀測井位之原則，進行站網空間位置檢討。經由圖 4.2.9 初步共站增設位置配合含水層一、二已設井位空間分布之檢討，最後所建議之增井位置如表 4.2.2 所示，其分佈如圖 4.2.10 所示。本計畫所檢討建議之 30 站增井位置已有優先次序，惟於 20 站後佈井效率不高，可由後續之執行單位依經費自行調整。

再配合於 3.1.5 節所分析，位於位於嘉南平原北段範圍內，抽水井(超過 200 公尺)之統計如圖 4.2.11 所示，較多之鄉鎮市有東石鄉(33 口)、太保市(14 口)、朴子市(14 口)、白河鎮(10 口)、鹿草鄉(4 口)、柳營鄉(5 口)、布袋鎮 3 口、下營鄉(2 口)。配合鄉鎮圖及目前已設井位置及圖 4.2.10 之 30 增設位置及參考 4.5 節之分析，建議 6 站做為超過 300 公尺深觀測井之增設位置，另配合地震前後地下水位變化相關研究，建議於台南白河新增一站地下水位觀測井(300M 深)(如表 4.2.3 及圖 4.2.12 所示)。

4.3 蘭陽平原分層井網設計及站井選定

以下就蘭陽平原分層井網設計之各項工作流程進行說明：

(1)：已知觀測站井歸層

經分析蘭陽平原井位分布如表 3.3.1 所示。其中含水層一可供研究資料點共計 14 站(15 口)(圖 3.3.6)，而其它較深層之含水層因資料點較不足，故以含水層一為井網分析對象。

(2)：研究區域邊界定義

陽蘭平原之研究區域邊界約北以頭城，南至蘇澳，西起松羅，東臨太平洋，範圍約 400 公里。

(3)：決定可能設站位置

有鑑於設站地點用地取得不易，本研究直接以用地取得較有可能之國小位置作為後續井網設計時之可能設站點。圖 4.3.1 為蘭陽平原區域內國小位置分布圖。

(4)：水文地質參數結構分析

分析參數以導水係數(Hydraulic Conductivity, K 值)作為主要分析之水文地質參數，Ln(K)其半變異元模式為指數型態：

$$\gamma(h) = Sill[1 - e^{(-3h/R)}]$$

其中基值(Sill)=0.5m/min²，影響範圍(Range)=14km，而結構分析如圖 4.3.2 所示。

(5)：總降低變異量比及效率分析

根據附錄 A 所述之降低變異數法，圖 4.3.3 為蘭陽平原計算參數推估誤差之格網點分布圖。進一步參照民國 80 年之原規劃方案，規劃但尚未設井之站址仍有 13 站。本計畫即以含水層一已設置之 13 站加上此原規劃仍未設置之 13 站(共 26 站)為規劃精度。

圖 4.3.4 為以原規劃之待設井位 13 站與以所有國小為可能站井位進行降低變異數優選之總變異量比之比較，由圖 4.3.4 之國小增設之總降低變異量比曲線與原規劃之總降低變異量比曲線比較，當國小增設至第 4-5 口時，其總降低變異量比(totv/totvo)即與原規劃再增設 13 站之總降低變異量比

(totv/totvo)相等，其代表以區域內國小為可能設井位置之優選結果，約再增設 4-5 站時，即可達到原規劃再增設 13 站之精度。圖 4.3.5 為蘭陽平原含水層一以透水係數對數值進行最佳井網佈置之最佳佈井效率。

(6)：初步選定待增設地下水觀測站

參考圖 4.3.4 及圖 4.3.5，並在考慮分析誤差及將來設井位置在用地取得的限制下所必需的調整等因素。於考量佈井效率之情況下，建議於蘭陽平原於含水層一增設井數為 10 口，圖 4.3.6 為此 10 口之優選增井位置分佈圖。

(7)：各層井網共站檢討

根據蘭陽平原含水層一之佈井分析結果，作為各層井網共站位置。根據優選佈井分析結果，在考慮地質結構情形下，配合已設觀測井位之原則，進行站網空間位置檢討。經對圖 4.3.6 優選之增井位置，配合已設井位之檢討，其分佈如圖 4.3.7 所示。

圖 4.3.7 為各層共站(10 站)新增建議之井位，然進一步考量地質結構情形下，將配合蘭陽平原之岩盤深度及含水層分佈狀況(主要參照 3.3 節圖 3.3.2-圖 3.3.5 之 4 張剖面圖)，研判各站之較深層設井之可能性，建議此 10 站可能設井之層次(表 4.3.1)。

4.4 澎湖本島觀測井網分佈檢討

由於澎湖本島尚未進行新觀測井網之建置，本節就所蒐集之相關資料進行探討。

本計畫就所蒐集之原民國八十一年觀測井規劃方案、環保署已設置之區域性水質監測井、水庫分佈(含地下水庫及地表水水庫)及可能設置觀測井位置(國小位置)等圖層，進行空間上套疊分析。圖 4.4.1 為水利處於民國 81 年所規劃之 14 口觀測井網位置分佈，而圖 4.4.2 為目前澎湖本島已設置之 6 口區域性水質監測井位置。而圖 4.4.3 為澎湖本島之所有國小分佈狀況，由

圖上可出其國小分佈已呈均勻，故本計畫即此作為可能設井之考量位置。

考量下列條件，對原先規劃之 14 口觀測井分成第一優先及第二優先設置(如圖 4.4.4 所示)，其選定原則為：

第一優先井位：

- 1.與區域性監測井共站者為第一階段:包含馬公國小、山水國小及隘門國小等 3 站。
- 2.鄰近水庫者:包含赤崁國小、成功國小(取代志清國小)及興仁國小等 3 站。
- 3.考量上述 6 站中尚未包含西嶼之原規劃站井，故將位於西嶼中部之大池國小亦列為第一優先。

第二優先井位：

第二優先井位包含:風櫃國小、龍門國小、湖西國小、講美國小、後寮國小、竹灣國小及內垵國小等 7 站。

由於澎湖地區鑽井成本較本島高很多，而且需要考慮到機具搬運的問題，建議於年度經費許可下，選擇第一優先之井位，集中於一年度中執行完畢。

4.5 嘉南平原南段分層井網檢討

根據本計畫工作會議之結論，暫不建議嘉南平原南段新增站井，待後續有更確實之水文地質分析成果後，可再重新探討設井之必要性。惟本計畫仍就目前所收集之水文地質相關資料，進行嘉南平原南段之井網設計，以供後續執行單位參考。以下就嘉南平原南段分層井網設計之各項工作流程進行說明：

(1)：已知觀測站井歸層

經由 3.2 節分析結果嘉南平原南段含水層一可供研究資料點共計 20

站，井位分布如表 3.2.1 所示。

(2)：研究區域邊界定義

由於本研究區域地質狀況較為複雜，經本研究團隊與水利處、中央地調所及台糖地下水保育中心討論後，初步決議以鹽水溪為界將嘉南平原規劃成南、北兩區進行研究，南段因地質狀況先以淺層(第一層)為研究對象。

(3)：決定可能設站位置

本計畫直接以用地取得較有可能之國小位置作為後續井網設計時之可能設站點。圖 4.5.1 為嘉南平原南段區域內國小位置分布圖。

(4)：水文地質參數結構分析

分析參數以導水係數(Hydraulic Conductivity, K 值)作為主要分析之水文地質參數， $\ln(K)$ 其半變異元模式為指數型態：

$$\gamma(h) = Sill[1 - e^{(-3h/R)}]$$

其中基值(Sill)=2.0m/min²，影響範圍(Range)=15km，而結構分析如圖 4.5.2 所示。

(5)：總降低變異量比及效率分析

根據附錄 A 所述之降低變異數法圖 4.5.3 為嘉南平原南段計算參數推估誤差之格網點分布圖，皆以 2KM*2KM 為計算格網點。

由於地下水觀測站網建置，在目前現階段其成本及效益評估上不容易有明確的量化指標，因此本研究計畫將試著直接由站網各井點的降低推估誤差效率上決定所應增設的站井數。圖 4.5.4 為嘉南平原南段含水層一以透水係數對數值進行最佳井網佈置之最佳佈井效率圖。

(6)：初步選定待增設地下水觀測站

參考圖 4.5.4 之佈井效率，並在考慮分析誤差及將來設井位置在用地取得的限制下所必需的調整等因素，嘉南平原南段含水層一之增設目標以 20 口為目標。圖 4.5.5 為嘉南平原南段含水層一之增井位分佈圖。

(7)：井網分佈檢討

根據優選佈井分析結果，在考慮地質結構情形下，配合已設觀測井位之原則，進行站網空間位置檢討。經由對圖 4.5.5 優選之增井位置配合含水層一已設井位之檢討，最後所建議之增井位置如表 4.5.1 所示，其分佈如圖 4.5.6 所示。

4.6 台南白河及新竹、苗栗地區新站井位置建議

1、根據成大地層下陷防治服務團所提供之資料，其於台南白河地區新設站井之建議如下：

(1) 從下列兩站中擇一設站

A.台南縣白河鎮河東國小(與白河站相距 2.6 公里，E191578，N2582810)

B.台糖白河農場辦事處(與白河站相距 4.0 公里，E190766，N2580597)

(2) 井位深度：建議 300 公尺

根據上述之資料，本計畫考量區域性觀測井之佈設原則，建議優先選擇台糖白河農場辦事處設置 300 深觀測井。另外，成大地層下陷防治服務團亦已於設置觀測井之台南縣新化鎮那菝國小(那菝三)，設置精密觀測儀器，以進行地震與地下水位關係之研究。

2、於新苗地區，成大地層下陷防治服務團與本計畫及其他相關人員，經現場勘查後，原預定增設位置為新竹科學園區，並已進行鑿井工作，惟經進一步評估後，目前改選定已設觀測井之新埔國小較能符合其需求。

表 4.2.1 嘉南平原北段含水層一、二之結構分析成果表

各含水層	影響範圍 (RANGE) (km)	基值 (SILL) (m/min) ²	半變異元模式
北段含水層一	20	3.3	指數
北段含水層二	20	1.55	指數

表 4.2.2 嘉南平原北段含水層一、二檢討共站之增設位置

排序	國小名稱	TM2 x(km)	TM2 y(km)	排序	國小名稱	TM2 x(km)	TM2 y(km)
1	崇文國小	193.290	2597.031	16	文山國小	159.775	2571.552
2	港墘分校	167.017	2595.594	17	漚汪國小	163.155	2566.706
3	二溪國小	187.012	2558.115	18	宅港國小	167.764	2573.227
4	新埤分校	183.072	2599.068	19	貴林國小	168.893	2591.161
5	義興國小	190.548	2590.864	20	鹿草國小	178.292	2590.246
6	振寮國小	165.521	2587.864	21	南興國小	163.077	2552.810
7	好美國小	160.971	2582.050	22	南靖分校	185.899	2590.828
8	仁光國小	171.768	2576.902	23	回歸國小	188.921	2595.054
9	安東國小	178.431	2595.469	24	岸內國小	173.593	2581.136
10	土城分校	156.215	2551.037	25	三村國小	170.958	2549.417
11	後壁國小	184.370	2585.139	26	林鳳國小	179.324	2571.253
12	光復國小	157.644	2561.291	27	樹人國小	185.477	2580.984
13	下潭國小	176.167	2586.050	28	竹門國小	192.505	2586.459
14	永華國小	158.690	2573.613	29	子龍國小	167.458	2564.088
15	建功國小	156.813	2555.166	30	南興國小	166.611	2582.393

表 4.2.3 嘉南平原北段超過 300 公尺深觀測井設置建議位置

增設位置	所在鄉鎮	考量因素	備註
港墘分校	東石鄉	考量東石鄉抽水深井	為排序第 1 站
貴林國小	布袋鎮	考量布袋鎮及朴子市抽水深井	為排序第 14 站
竹門國小	白河鎮	考量白河鎮抽水深井	為排序第 25 站
新埤分校	太保市	考量太保市抽水深井	為排序第 10 站
鹿草國小	鹿草鄉	考量鹿草鄉抽水深井	為排序第 6 站
柳營站	柳營鄉	考量柳營鄉及下營鄉抽水深井	為已設站
台糖白河農場辦事處	白河鎮	配合台南白河站井建議	

表 4.3.1 蘭陽平原建議設井位置

排序	國小名稱	TM2 x(km)	TM2 y(km)	可能設井層次
1	礁溪國小	326.702	2746.477	含水層一
2	同樂國小	322.927	2739.938	含水層一
3	三星站	314.969	2729.281	含水層一
4	公館國小	331.726	2737.070	含水層一~三
5	順安站	326.363	2727.985	含水層一~二
6	四結國小	325.885	2742.698	含水層一~二
7	大洲國小	322.763	2732.210	含水層一~三
8	古亭國小	329.994	2740.992	含水層一~二
9	凱旋站	326.396	2735.940	含水層一~四
10	武淵站	330.057	2728.776	含水層一~三

表 4.5.1 嘉南平原南段含水層一檢討之增設位置

排序	國小名稱	TM2 x(km)	TM2 y(km)
1	潮寮國小	190.028	2496.456
2	林園國小	186.816	2490.065
3	橫山國小	185.427	2519.096
4	前鎮國小	184.195	2505.126
5	安招國小	181.134	2521.548
6	中山國小	175.774	2508.165
7	鳳林國小	181.557	2492.130
8	崇和國小	182.765	2534.087
9	八卦國小	180.936	2510.024
10	中洲國小	176.703	2497.821
11	誠正分校	183.610	2499.315
12	復安國小	179.730	2528.014
13	大光國小	168.910	2545.999
14	仁福國小	185.446	2512.816
15	蚵寮國小	172.044	2515.232
16	歸南國小	176.289	2540.699
17	福康國小	180.260	2502.390
18	大灣國小	174.154	2545.229
19	日新國小	166.075	2541.653
20	太平國小	184.564	2497.163

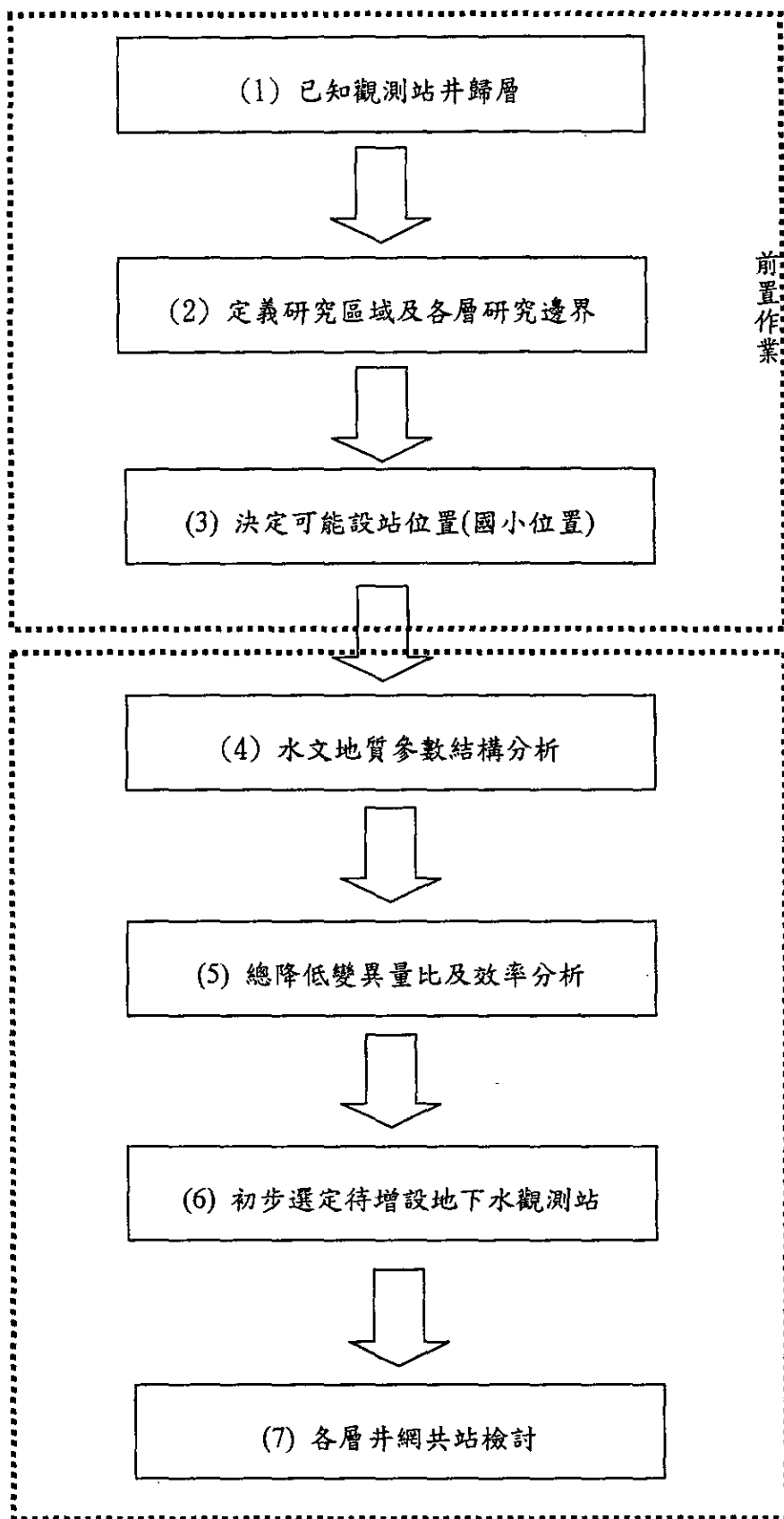


圖 4.1.1 地下水觀測井網空間分布設計之分析流程圖

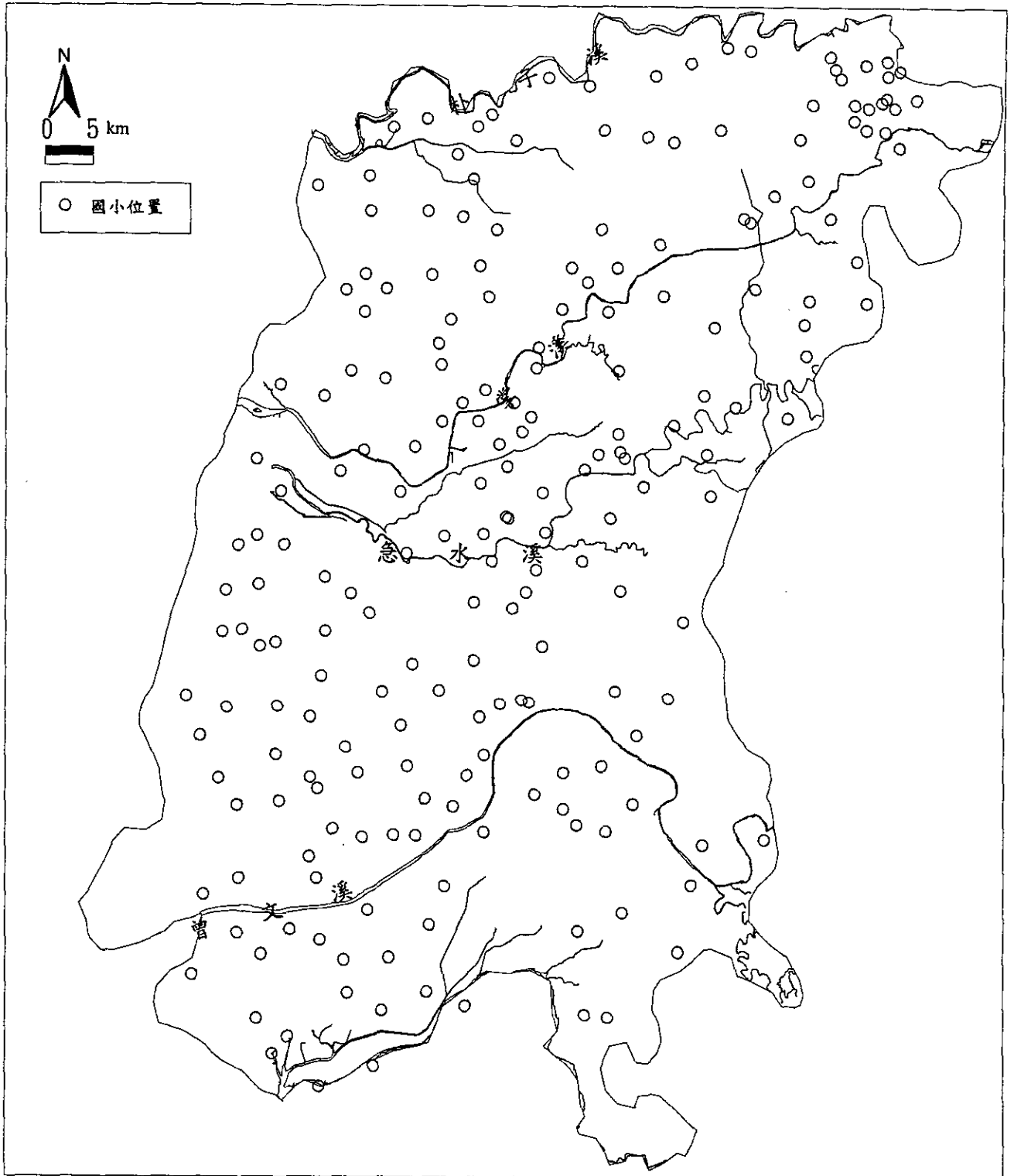


圖 4.2.1 嘉南平原北段區域內國小位置分佈圖

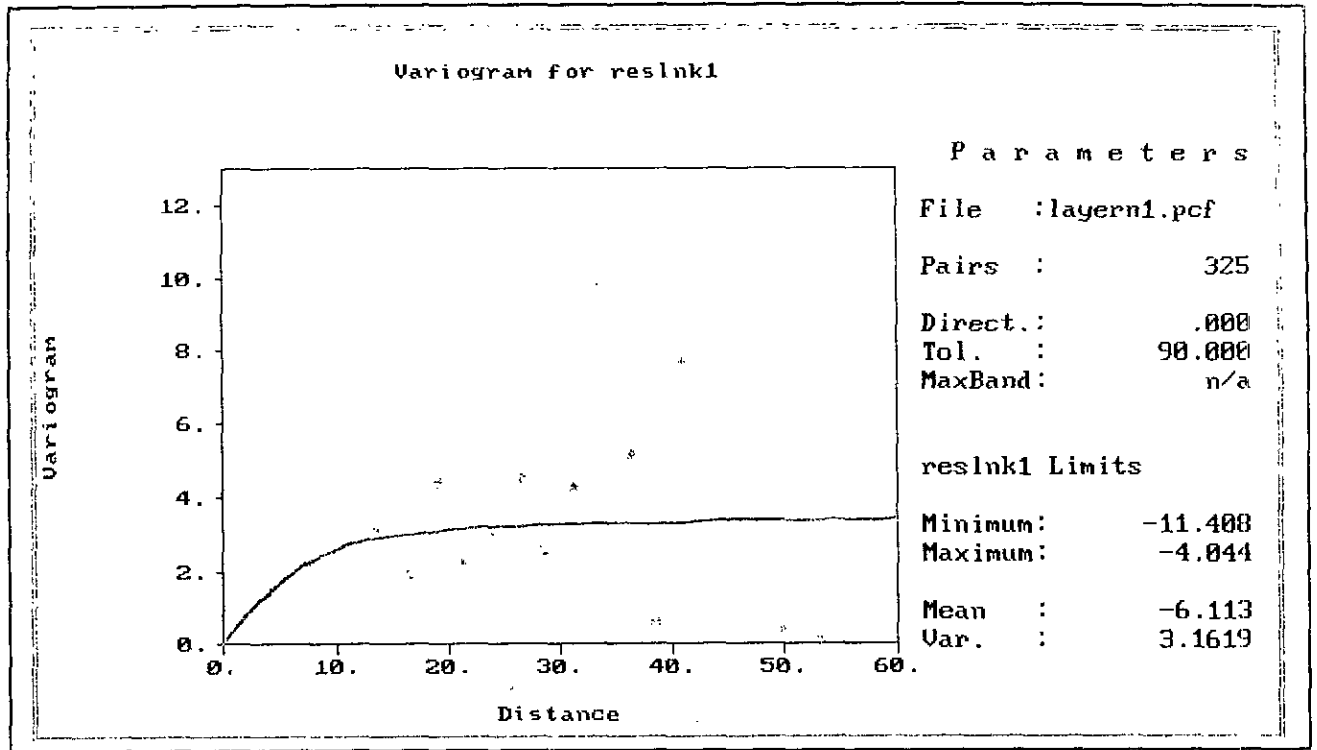


圖 4.2.2 嘉南平原北段含水層一之結構分析圖

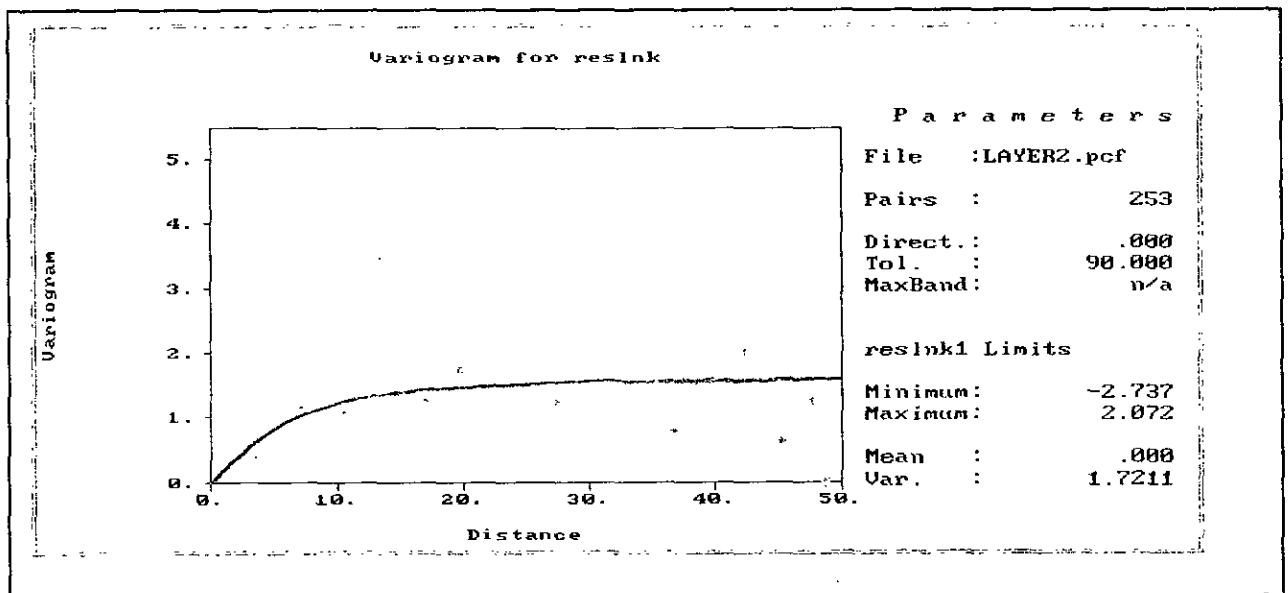


圖 4.2.3 嘉南平原北段含水層二之結構分析圖

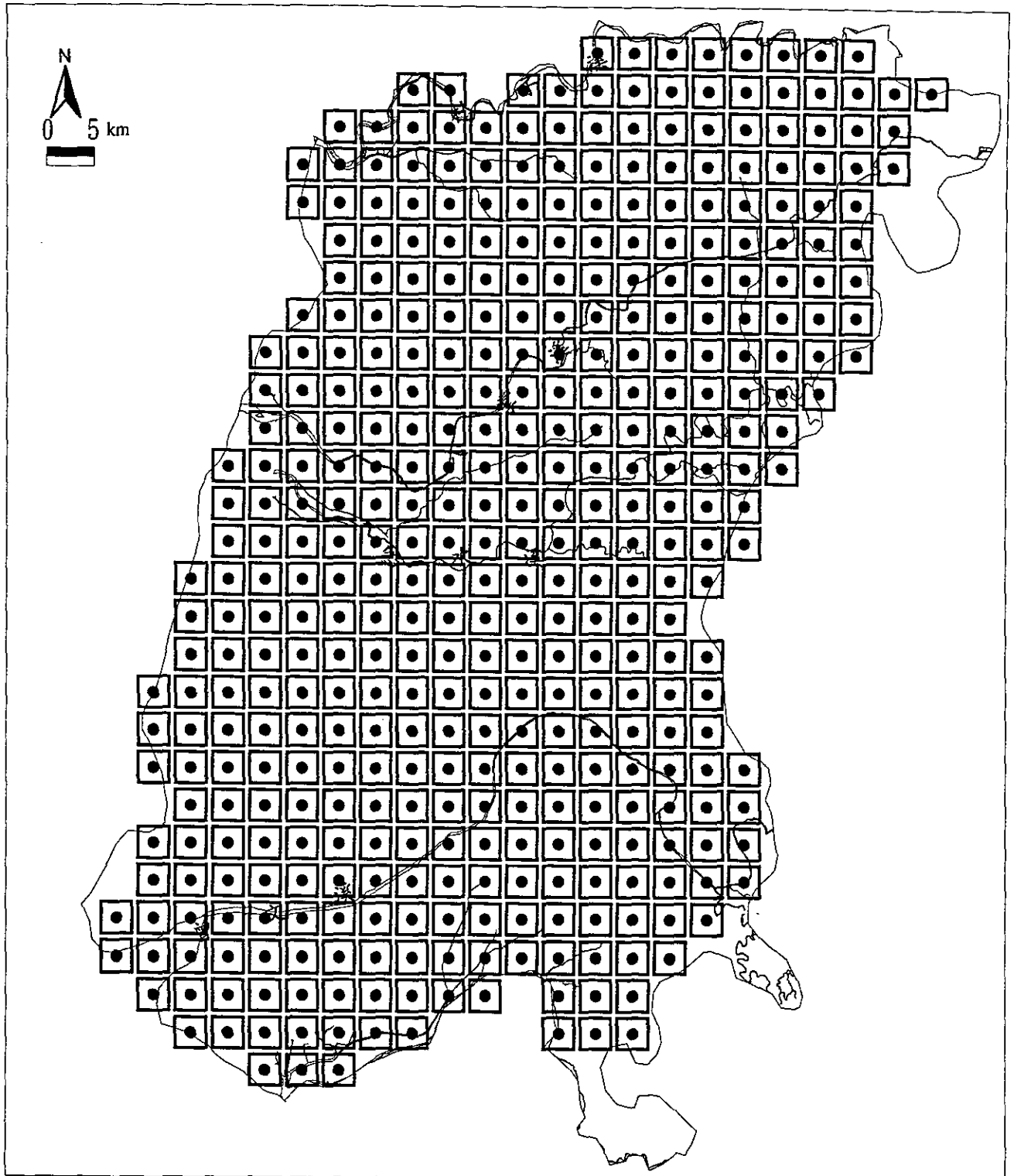


圖 4.2.4 嘉南平原北段計算參數推估之格網點分佈圖

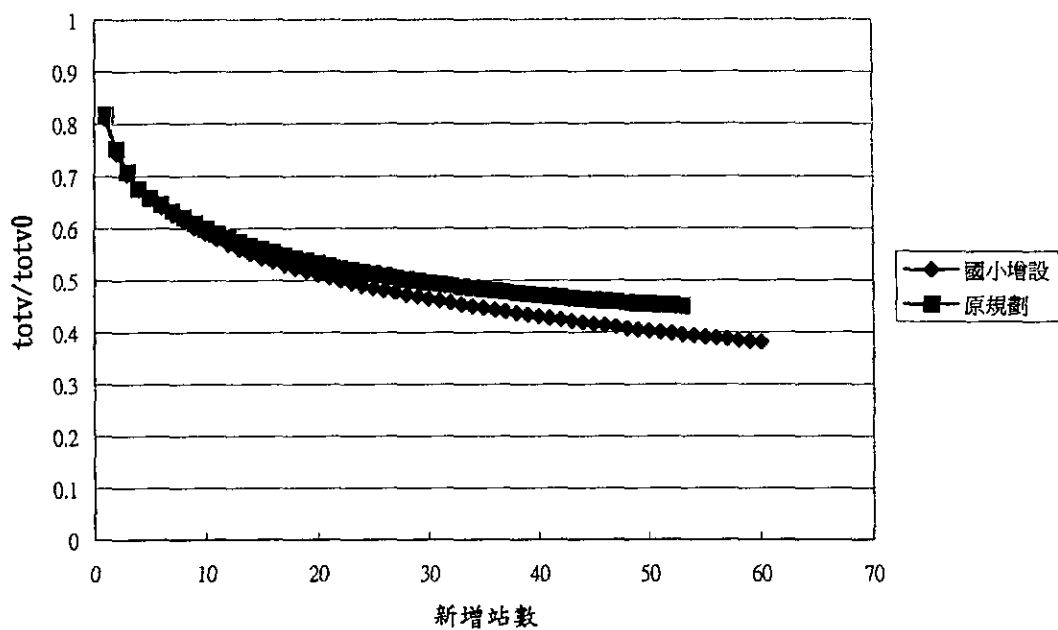


圖 4.2.5 嘉南平原北段含水層一原規劃與降低變異數優選之總變異量比

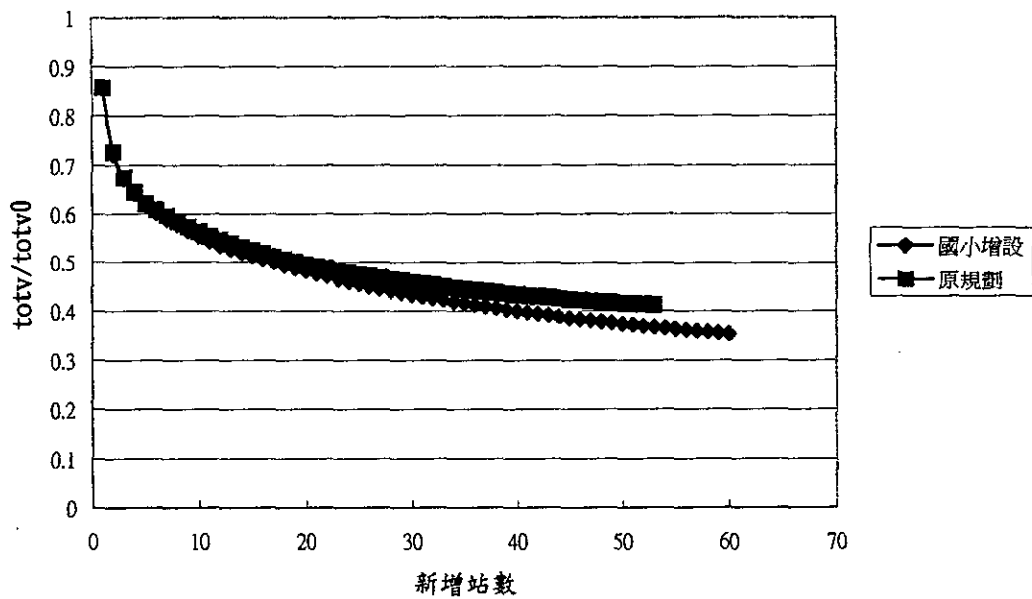


圖 4.2.6 嘉南平原北段含水層二原規劃與降低變異數優選之總變異量比

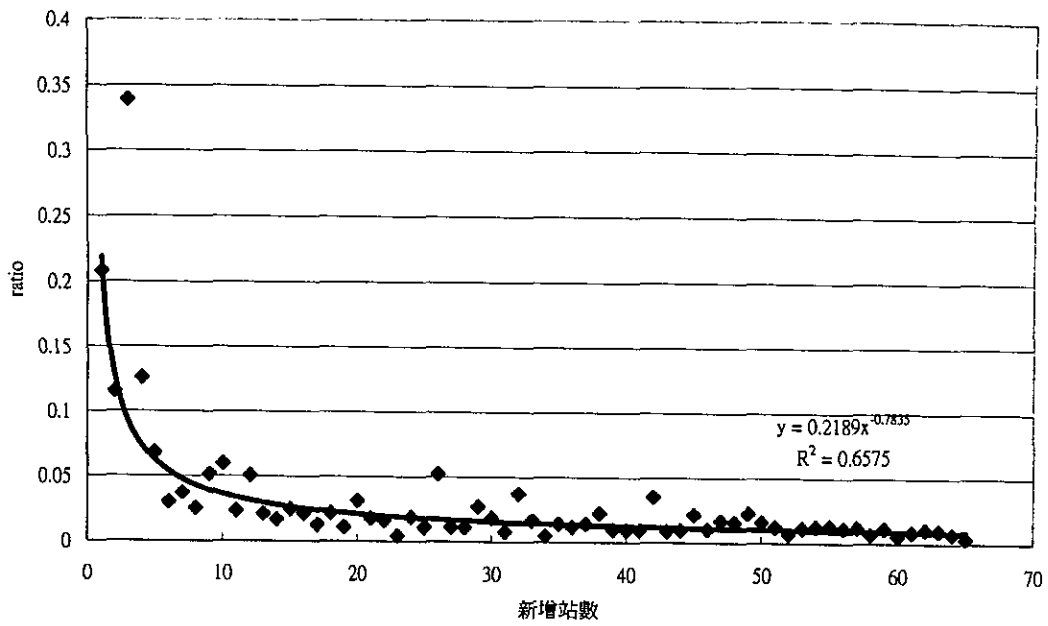


圖 4.2.7 共站排序於含水層一井網佈置之佈井效率

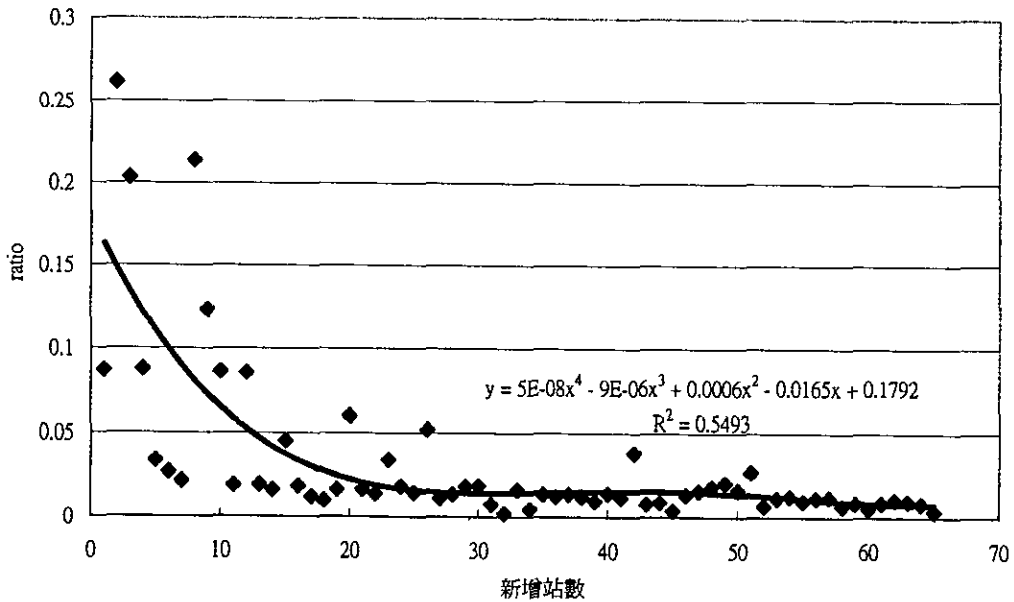


圖 4.2.8 共站排序於含水層二井網佈置之佈井效率

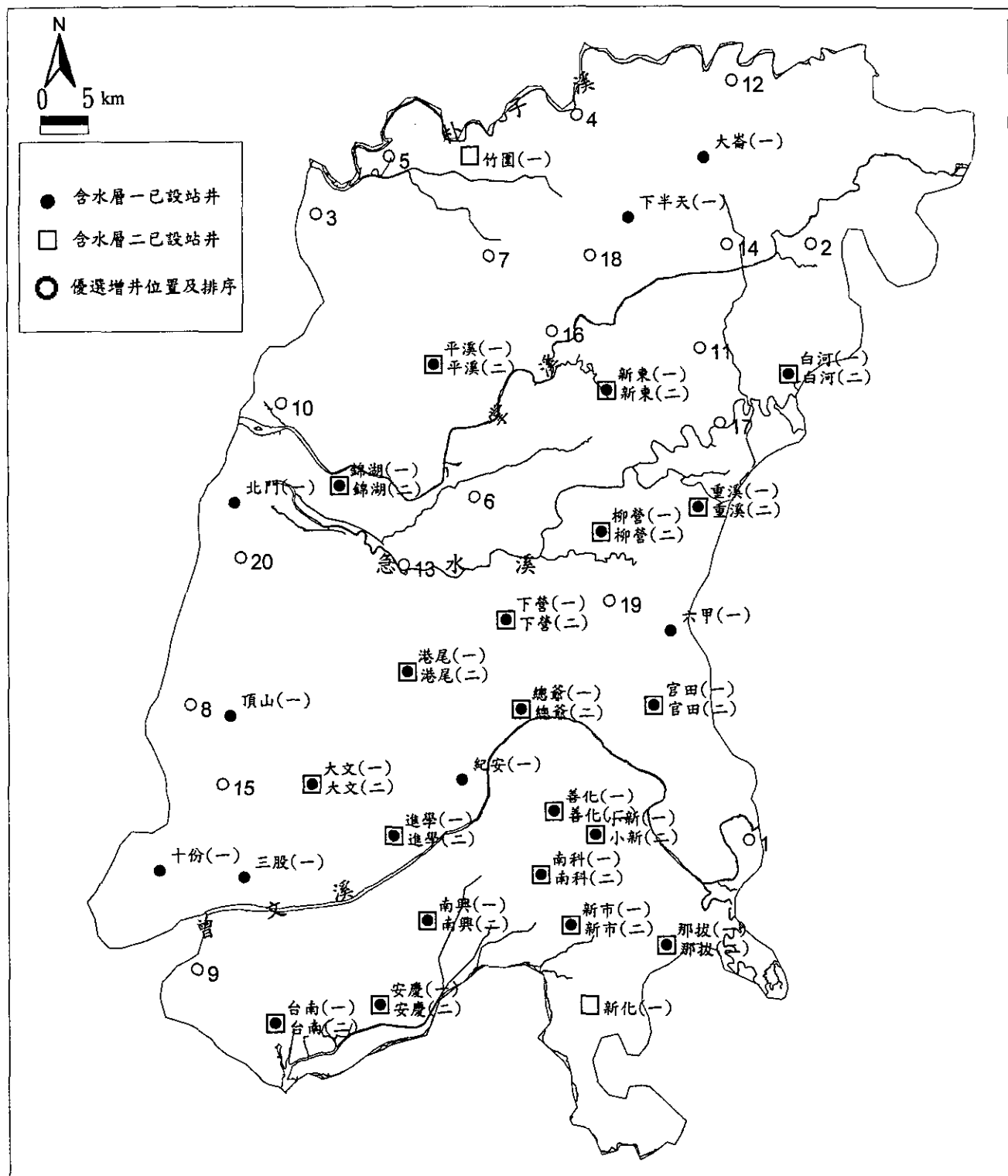


圖 4.2.9 共站排序前20口之優選增井位置分佈圖

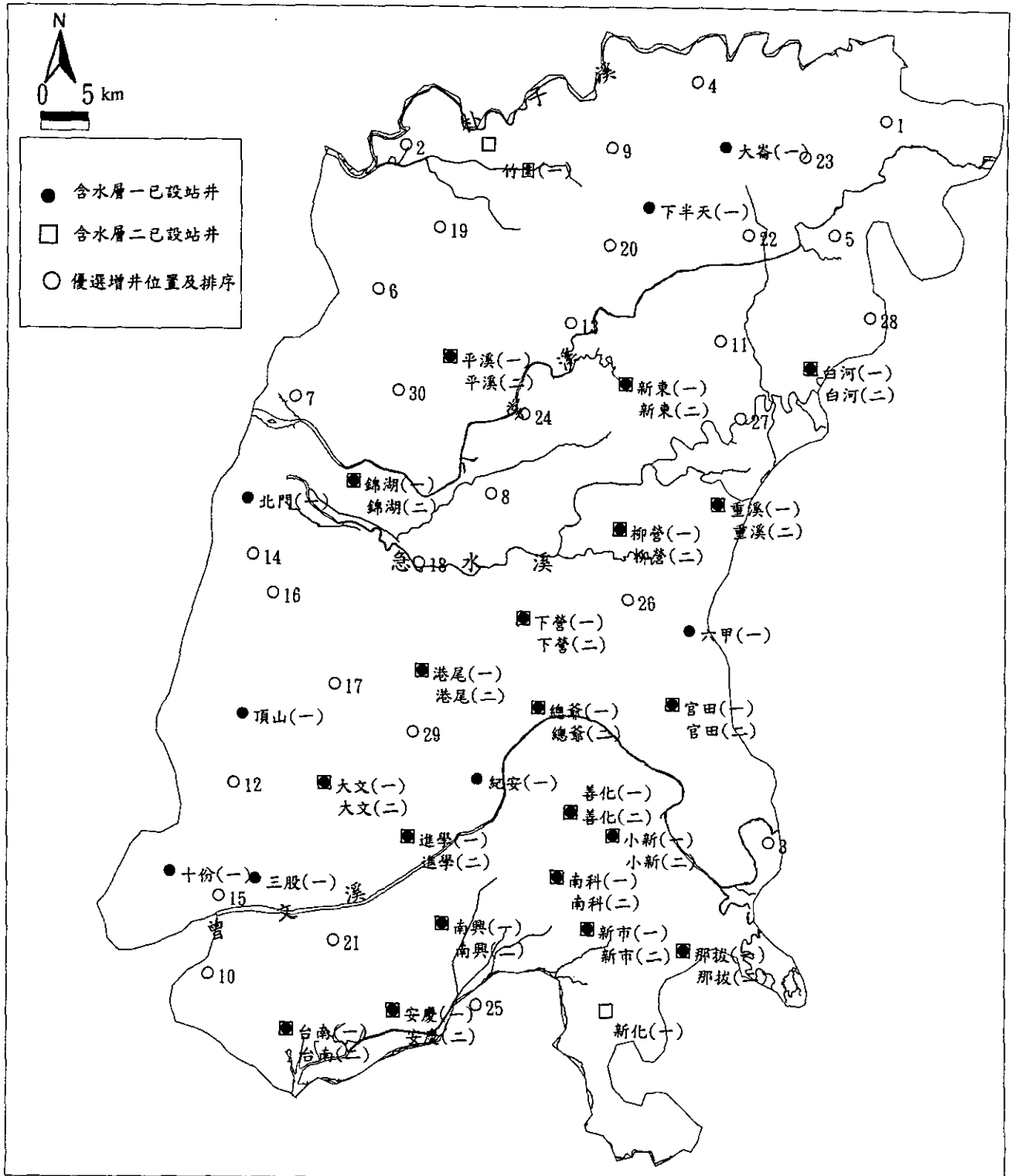


圖 4.2.10 嘉南平原北段含水層一及二檢討後之共站增井位置(前30口)

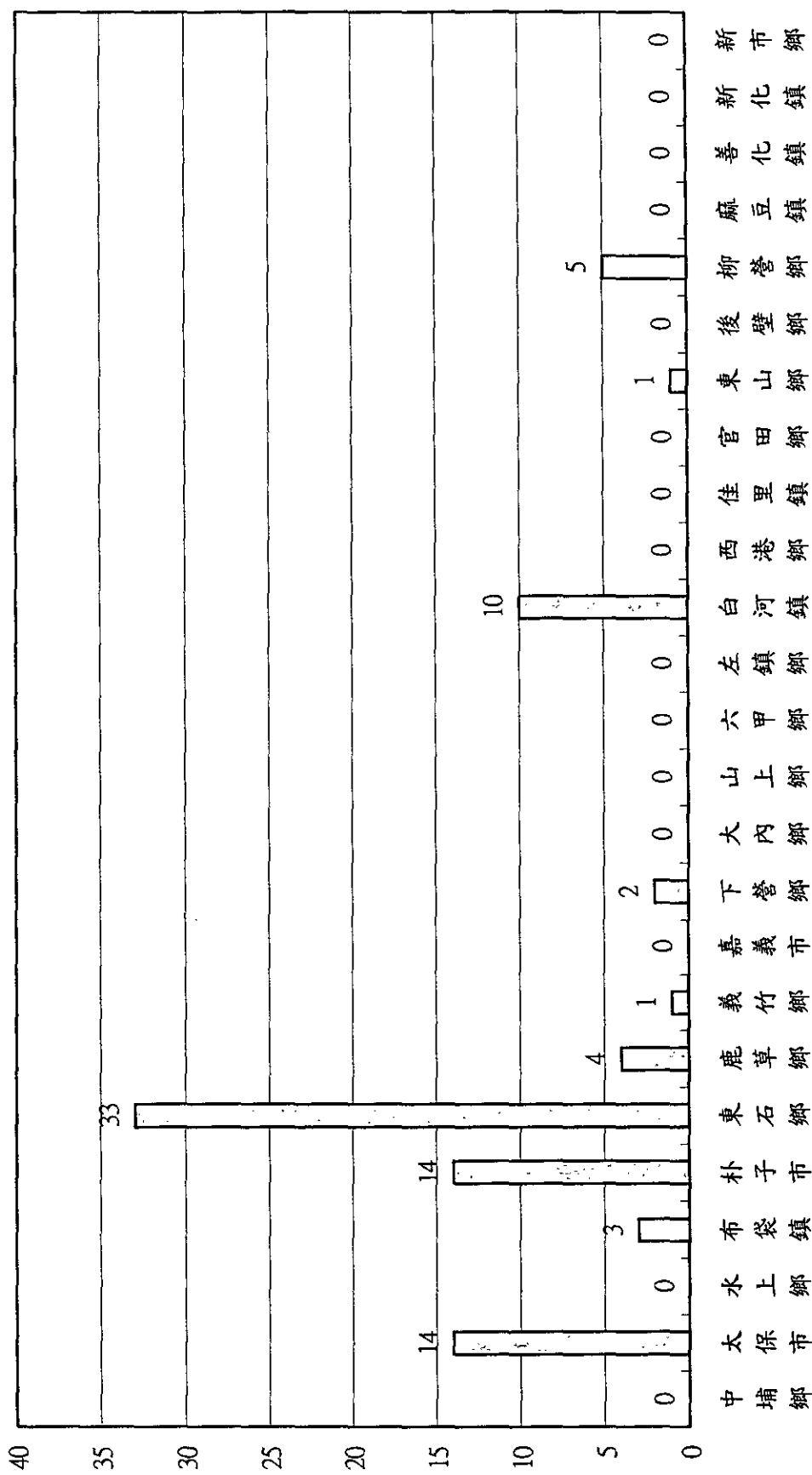


圖 4.2.11 嘉南平原北段範圍鄉鎮市之抽水井分布統計圖(超過 200 公尺)

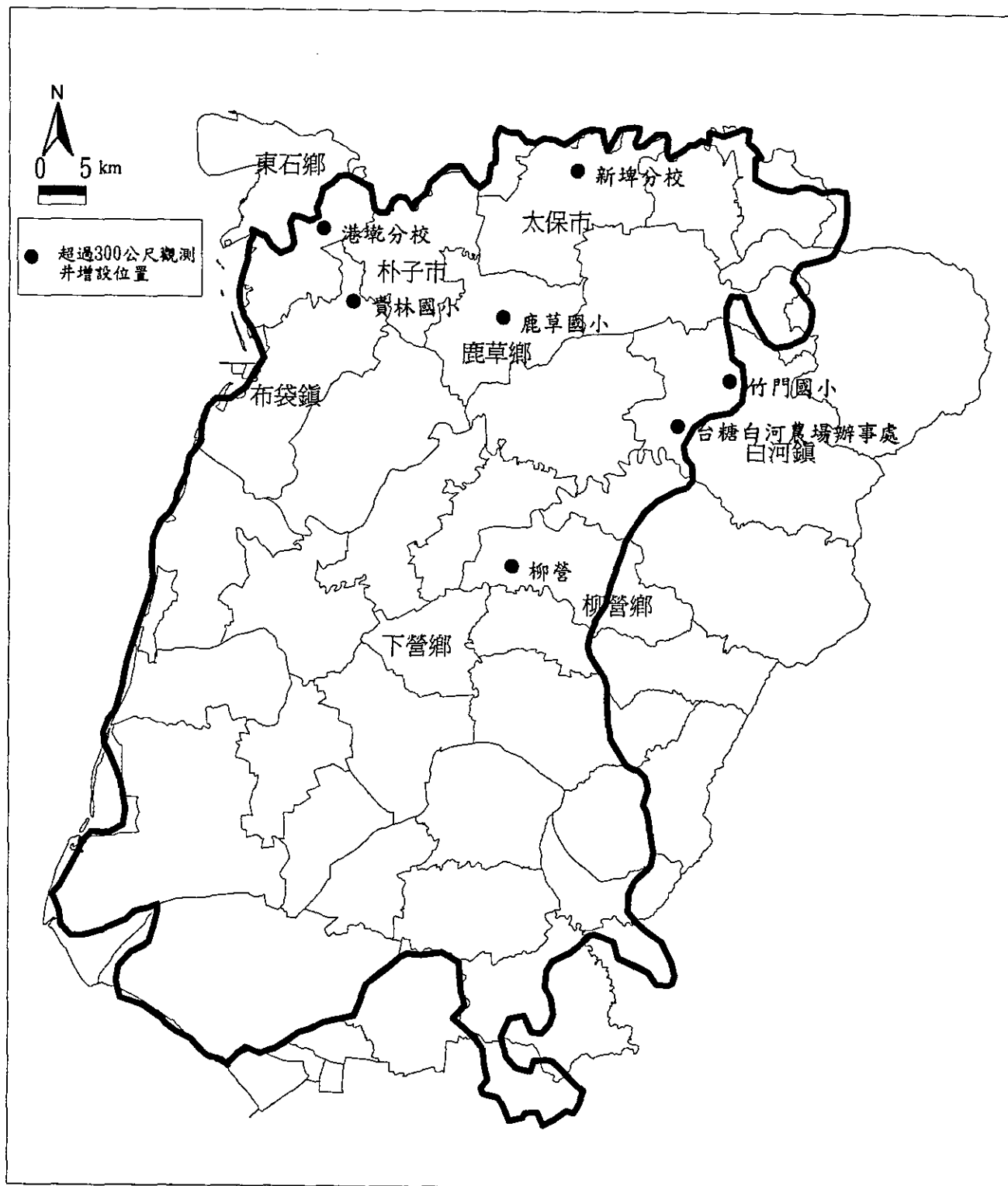


圖 4.2.12 嘉南平原北段超過300公尺觀測井設置位置分佈圖

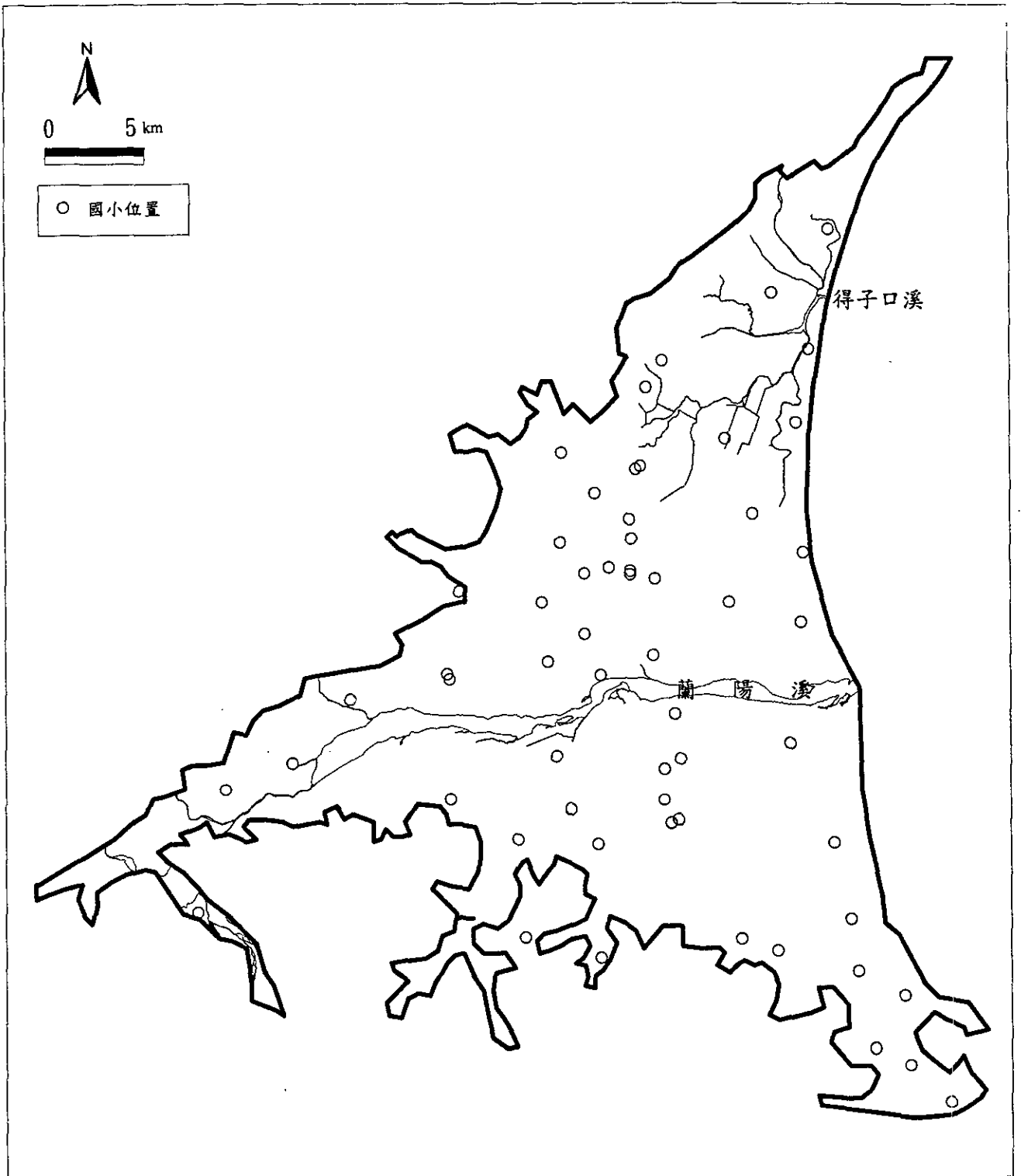


圖 4.3.1 蘭陽平原區域內國小位置分佈圖

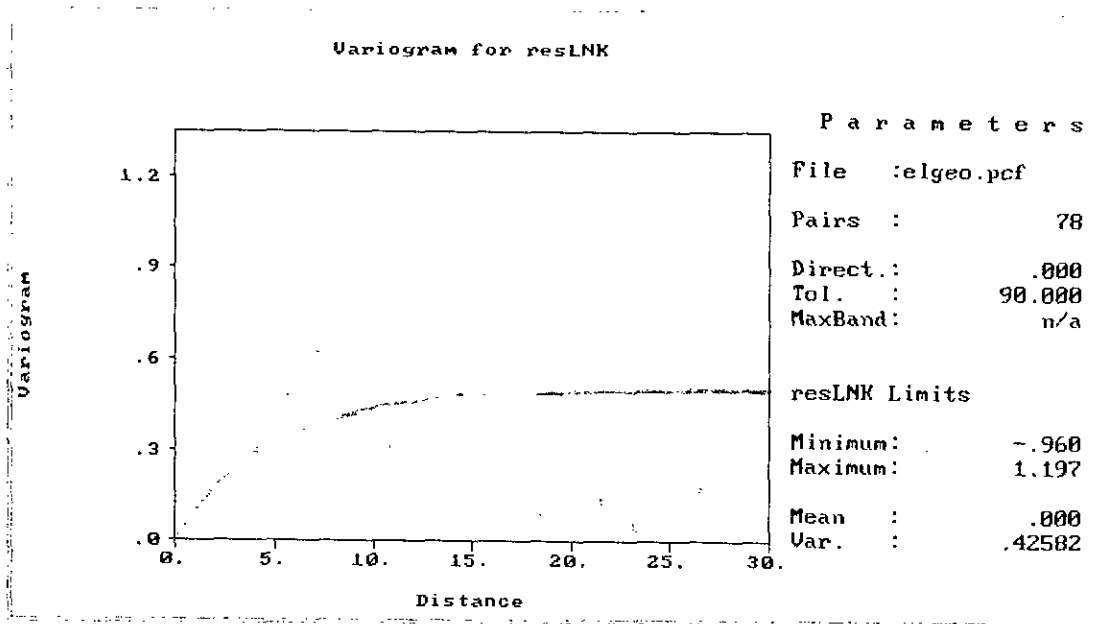


圖 4.3.2 蘭陽平原含水層一結構分析圖

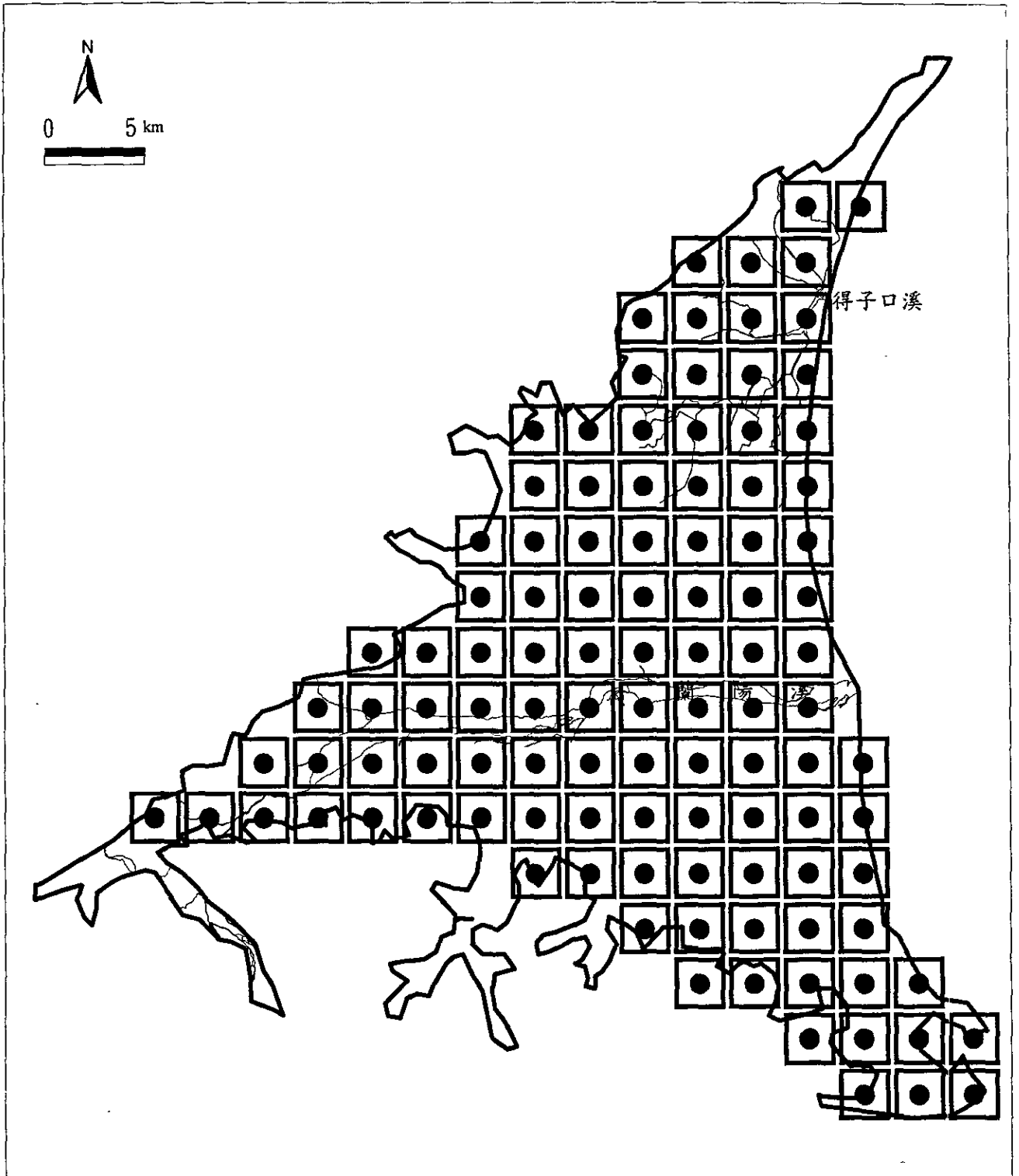


圖 4.3.3 蘭陽平原計算參數推估誤差之格網點分佈圖

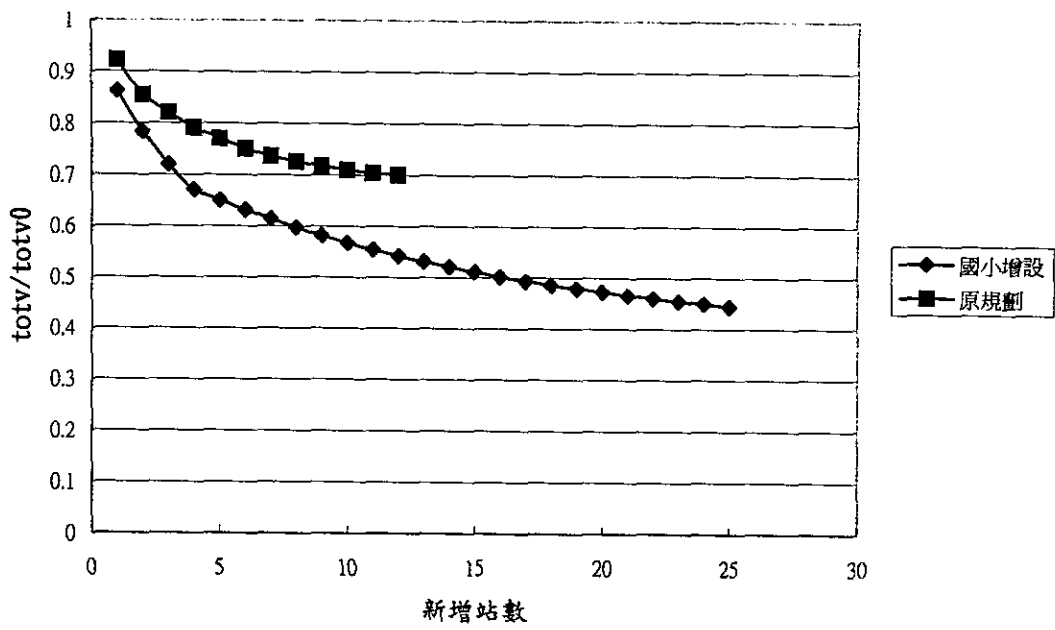


圖 4.3.4 蘭陽平原規劃與優選總變異量比之比較圖

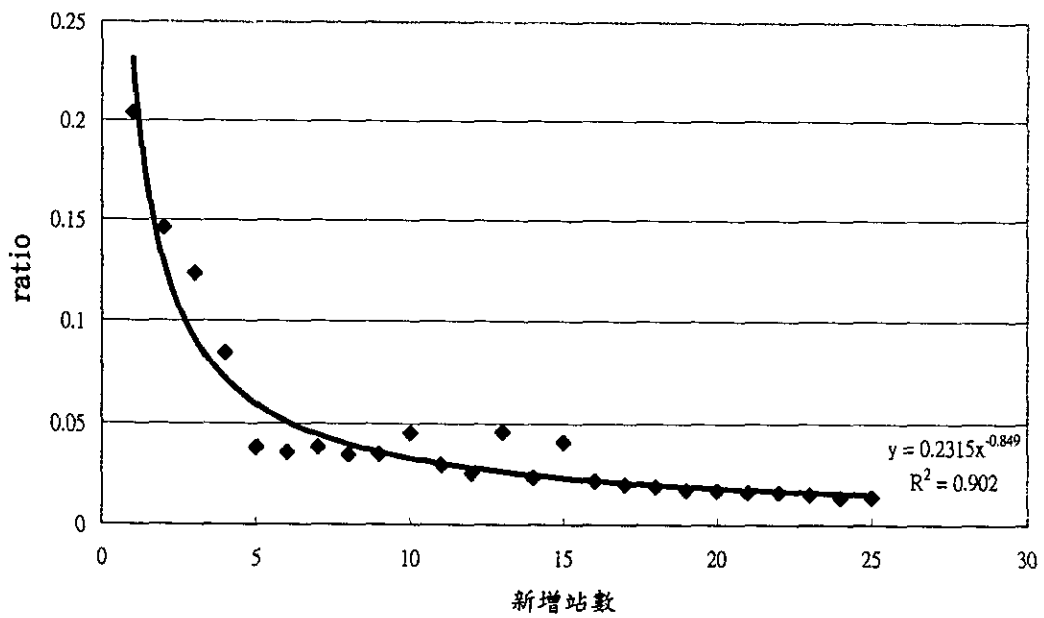


圖 4.3.5 蘭陽平原含水層一最佳井網佈置之最佳佈井效率圖

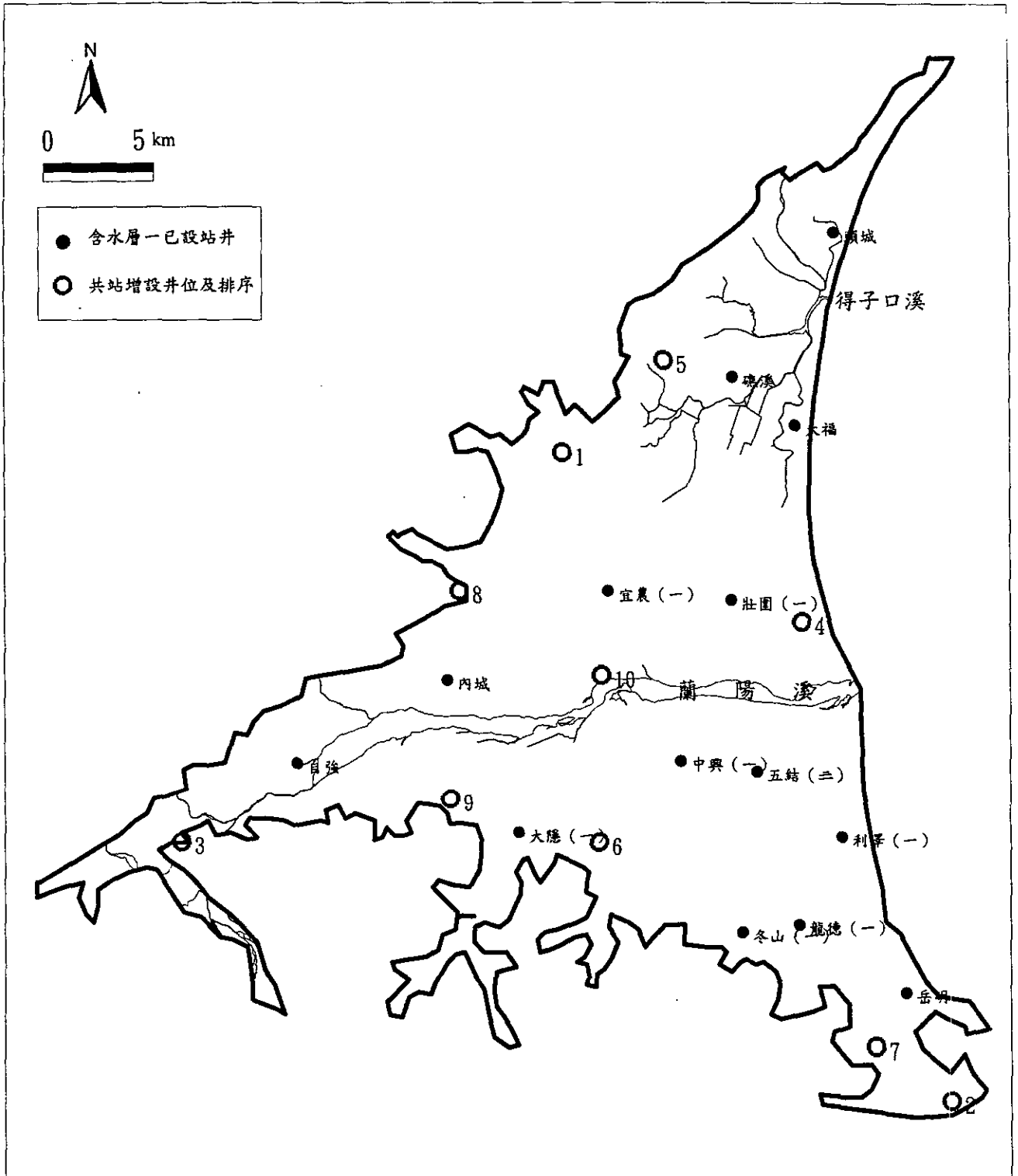


圖 4.3.6 蘭陽平原含水層一之優選增井位置分佈圖

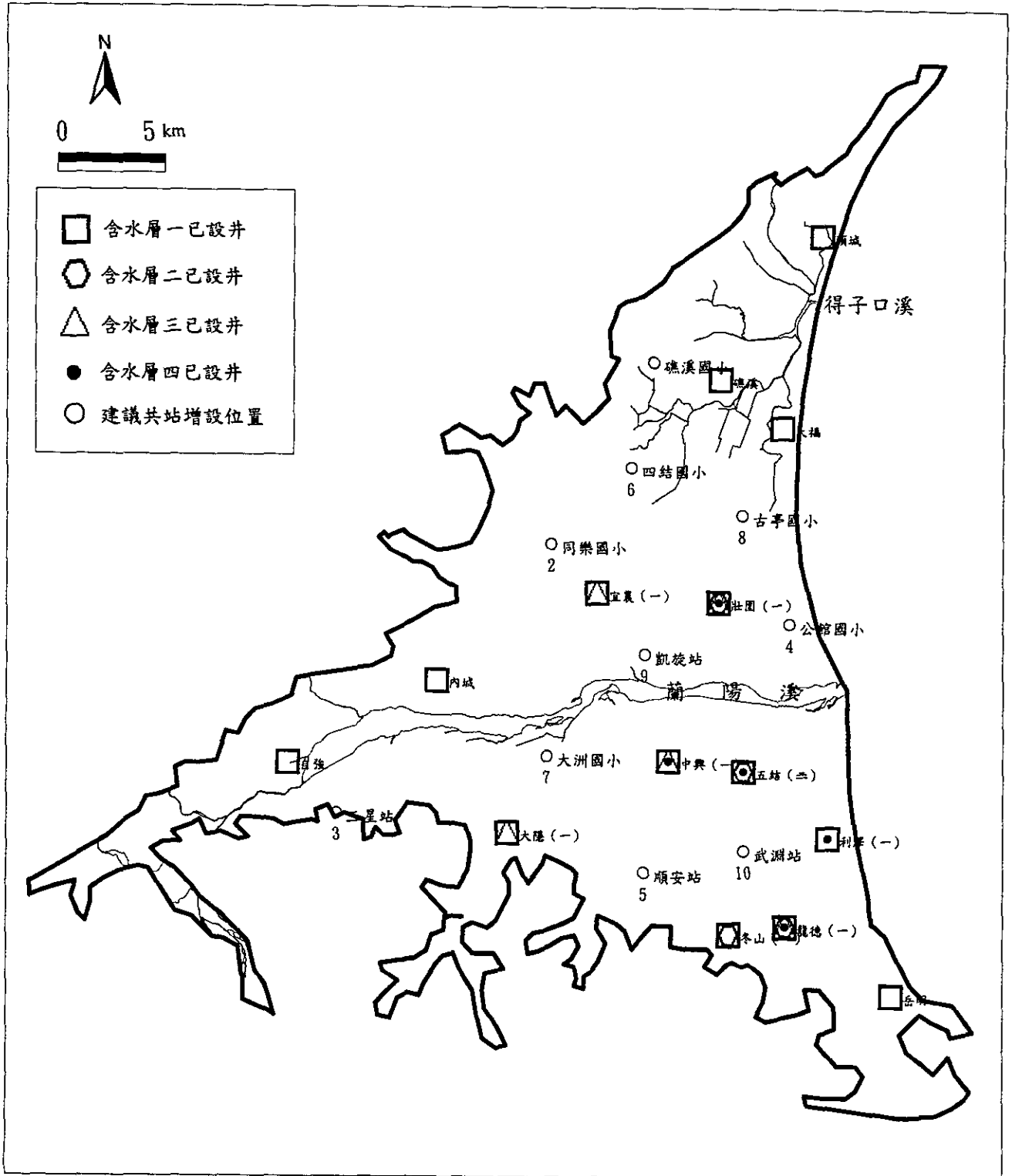


圖 4.3.7 蘭陽平原共站增設位置分佈圖

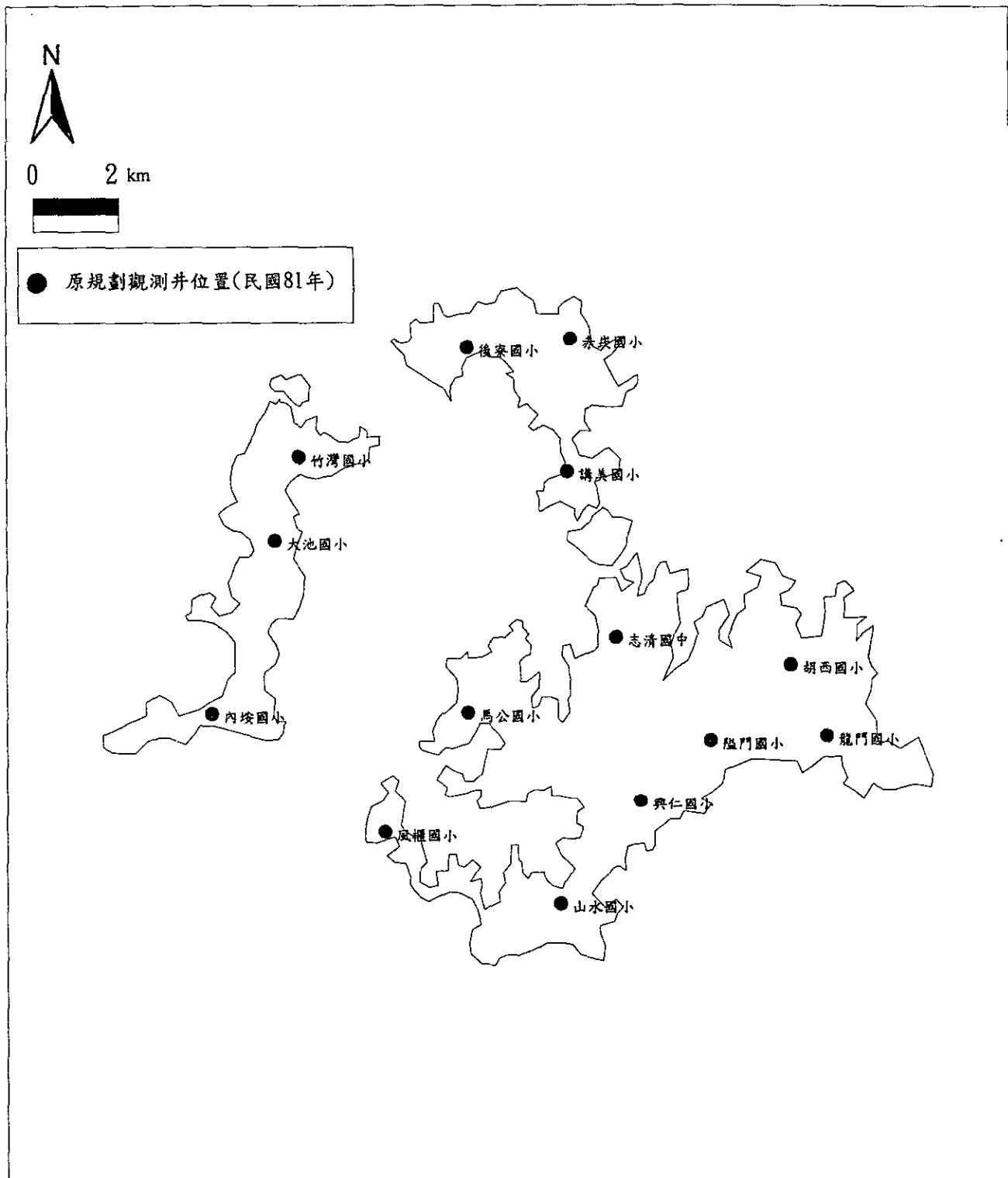


圖 4.4.1 澎湖本島觀測井網原規劃分佈圖(民國81年)

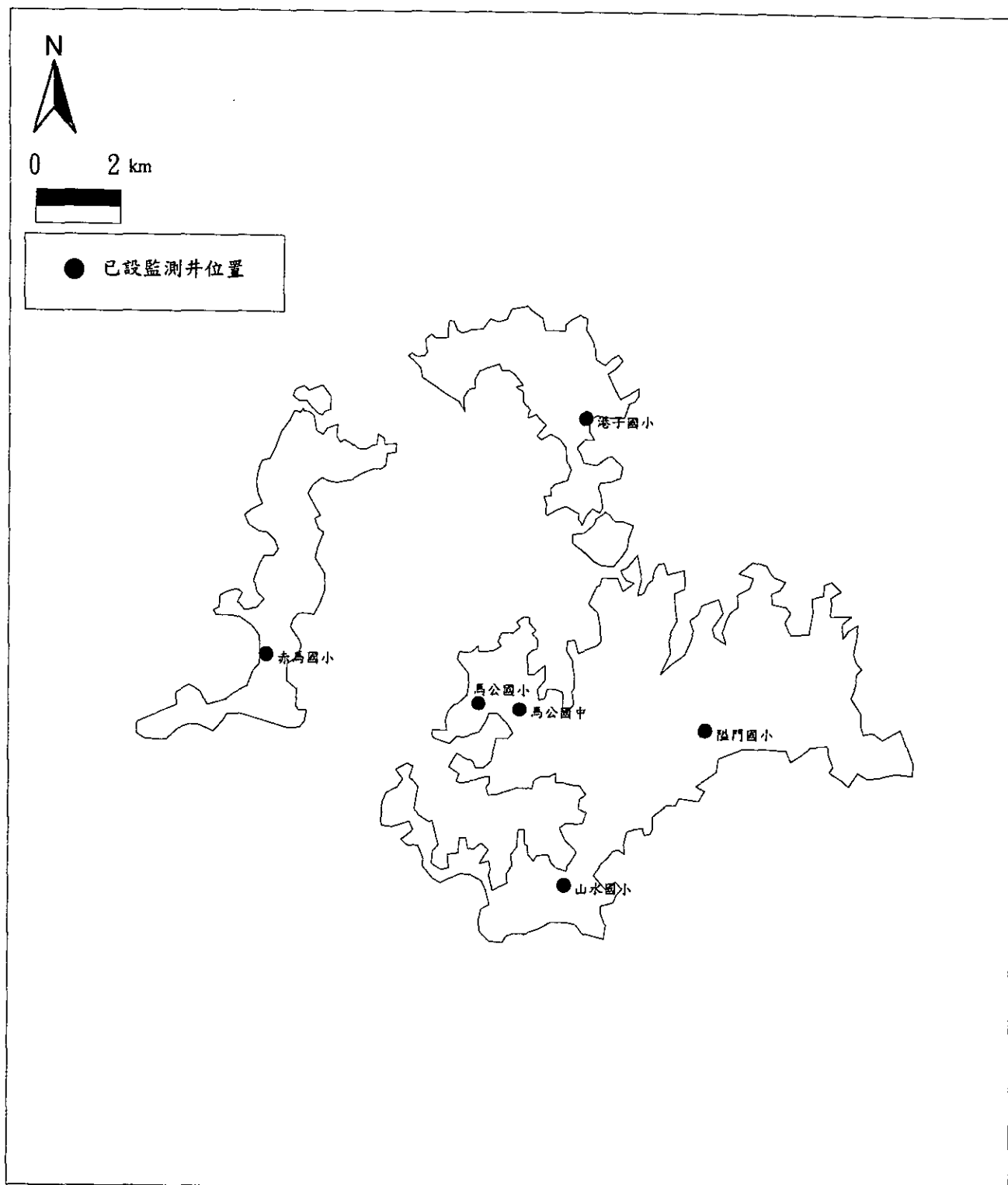


圖 4.4.2 澎湖本島已設置區域性水質監測井分佈圖

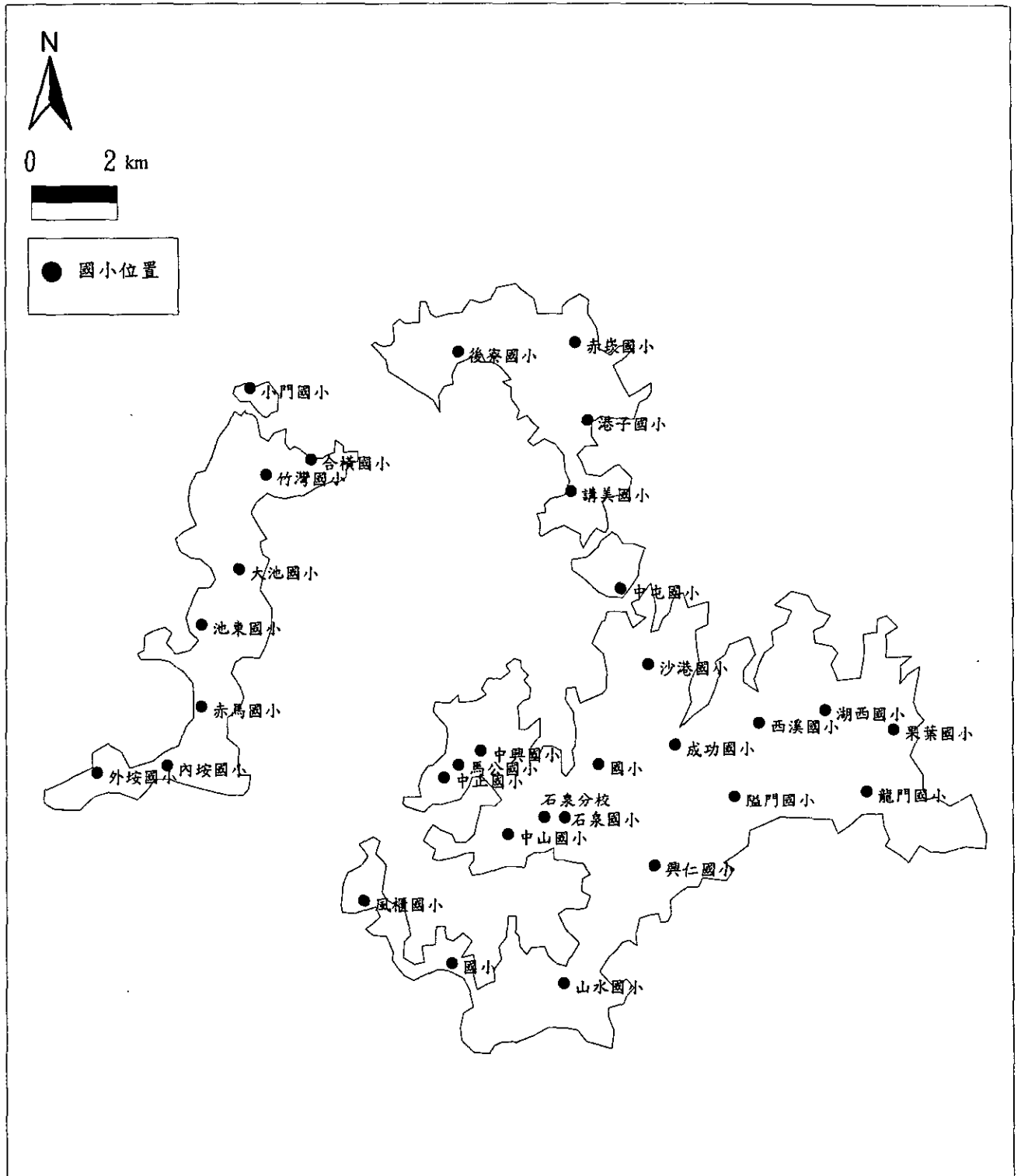


圖 4.4.3 澎湖本島國民小學分佈圖(可設井位置)

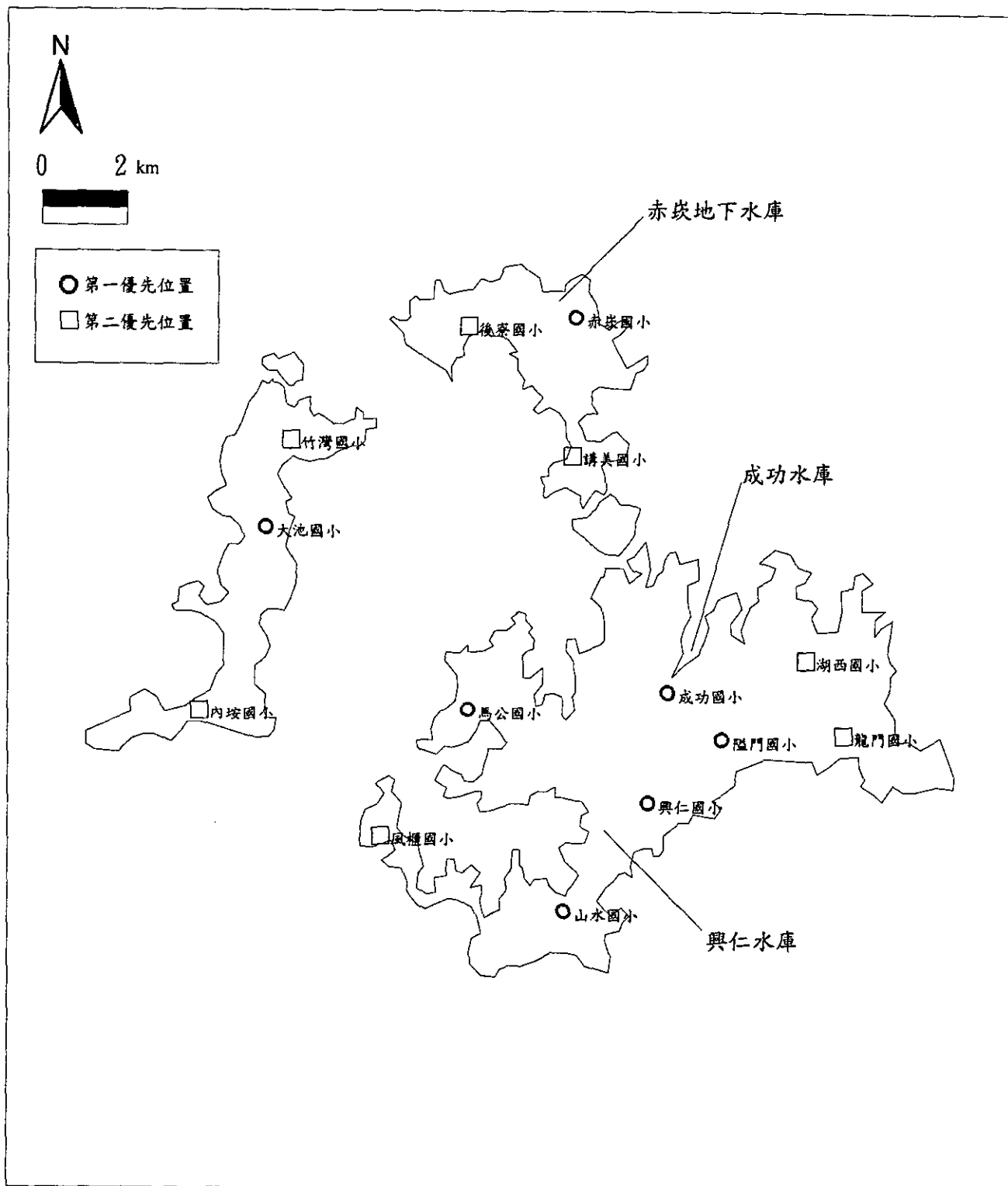


圖 4.4.4 澎湖本島觀測井網規劃方案

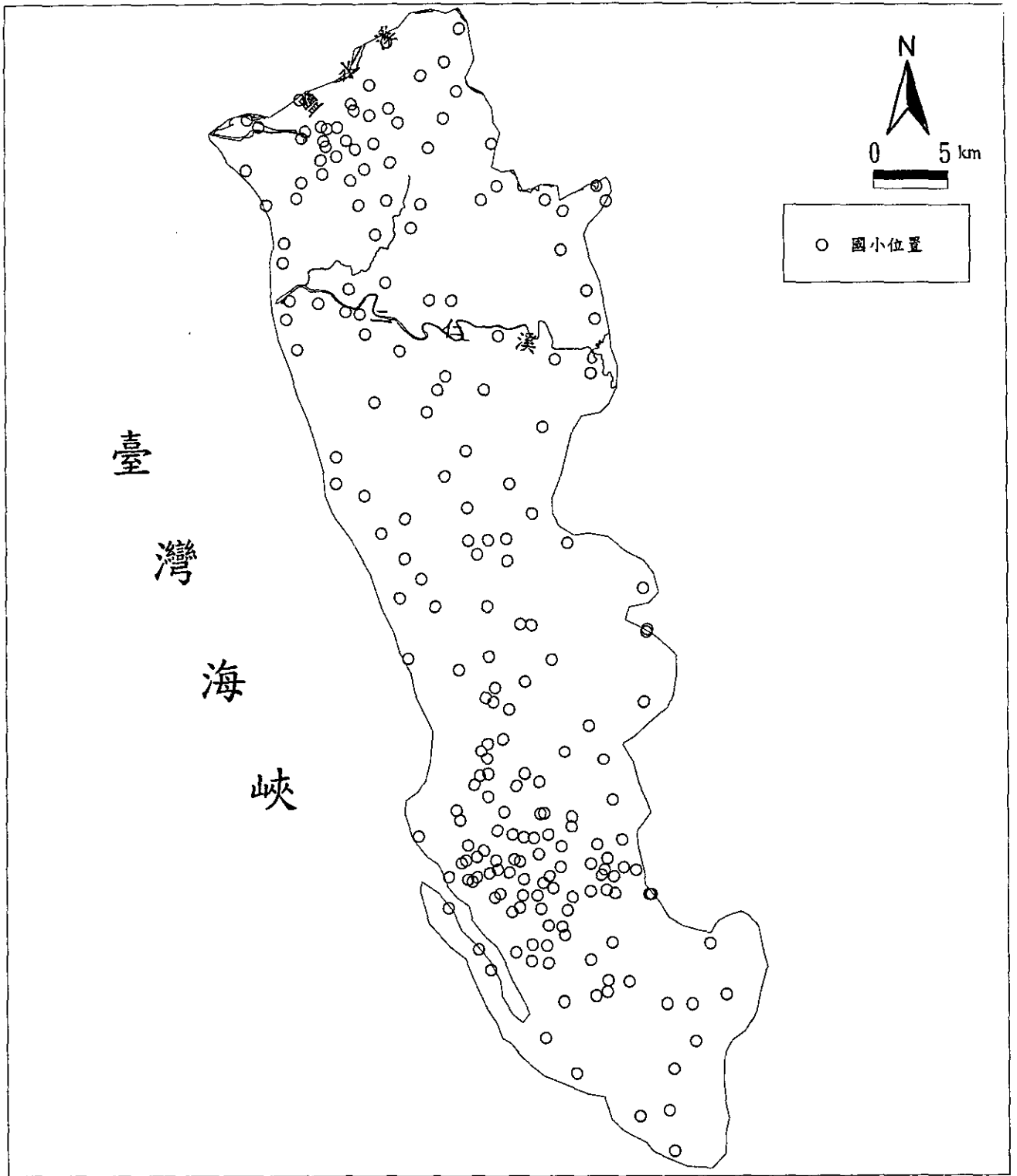


圖 4.5.1 嘉南平原南段區域內國小位置分佈圖

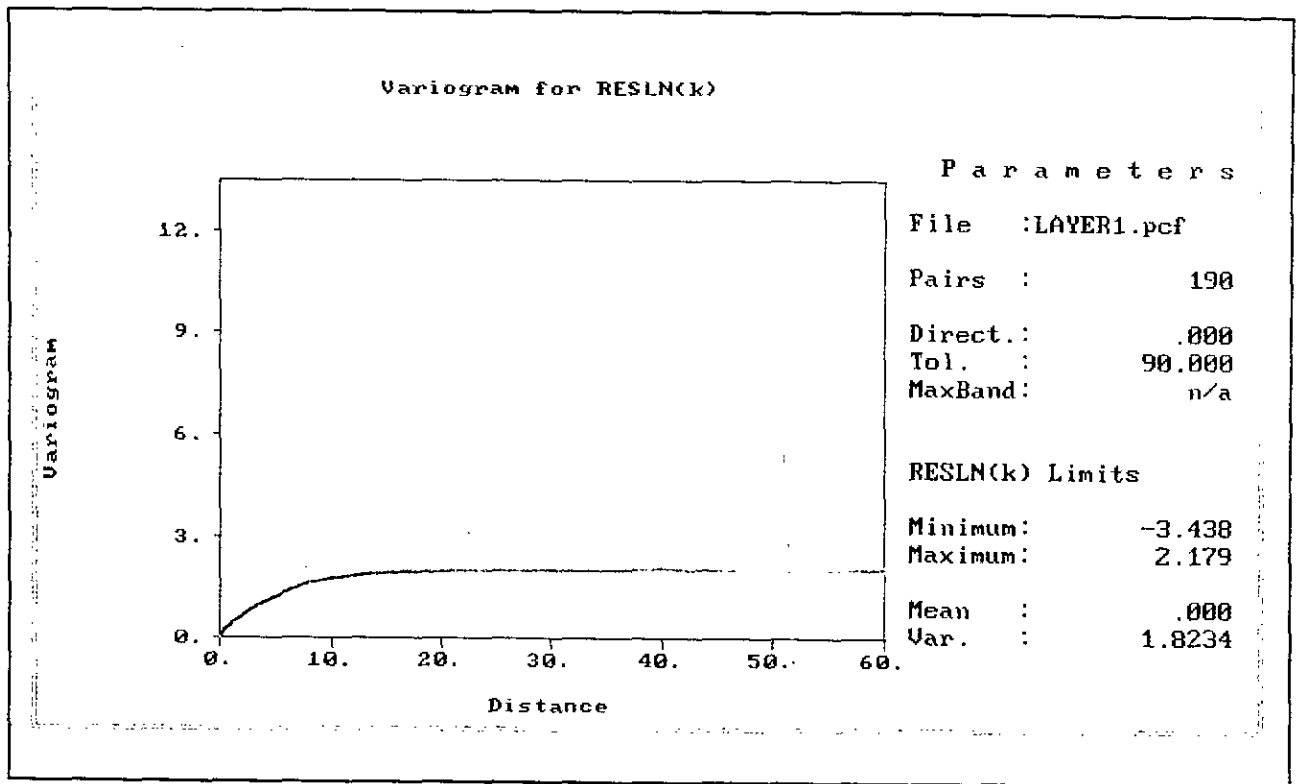


圖 4.5.2 嘉南平原南段含水層一之結構分析圖

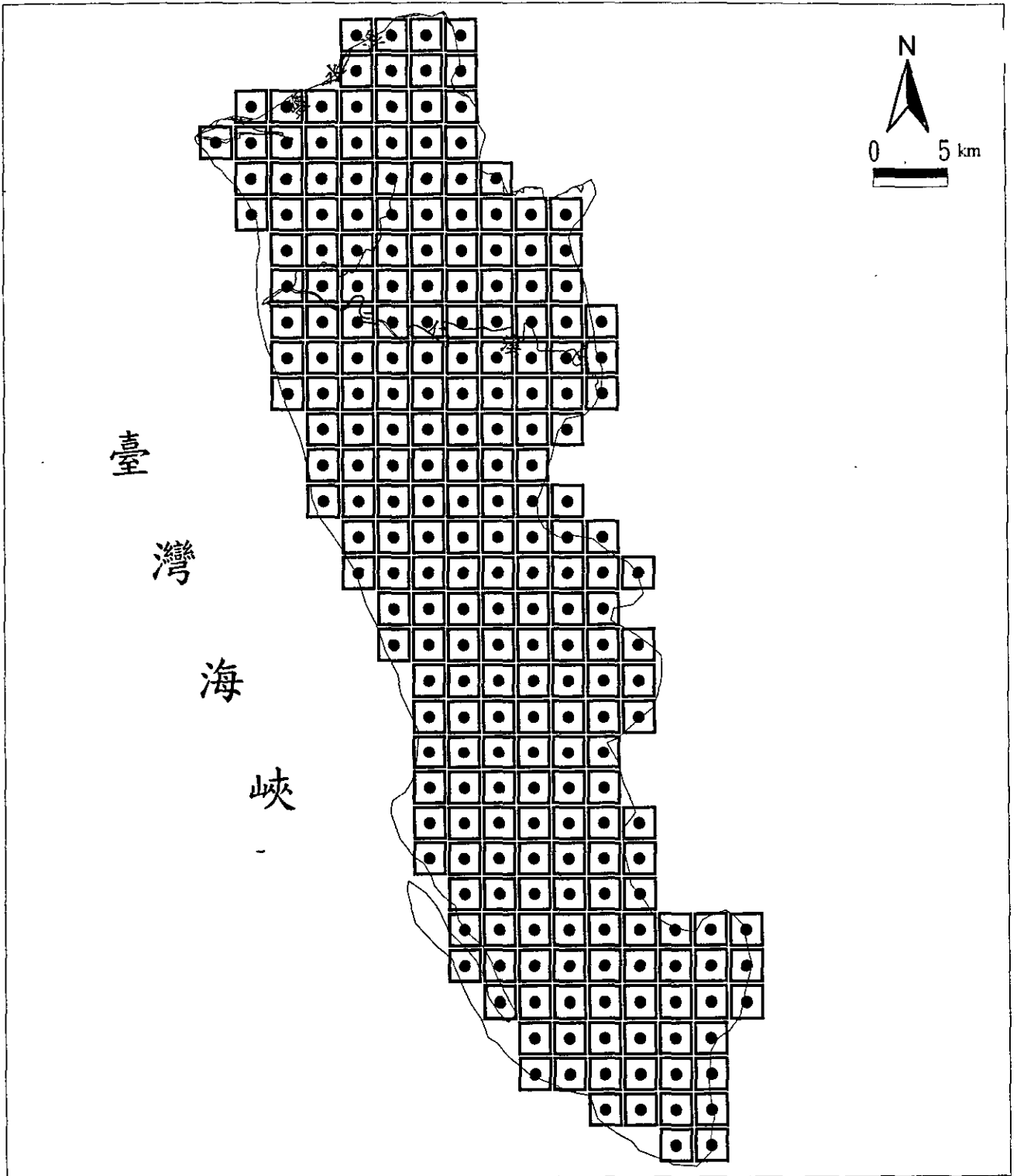


圖 4.5.3 嘉南平原南段計算參數推估誤差之格網點分佈圖

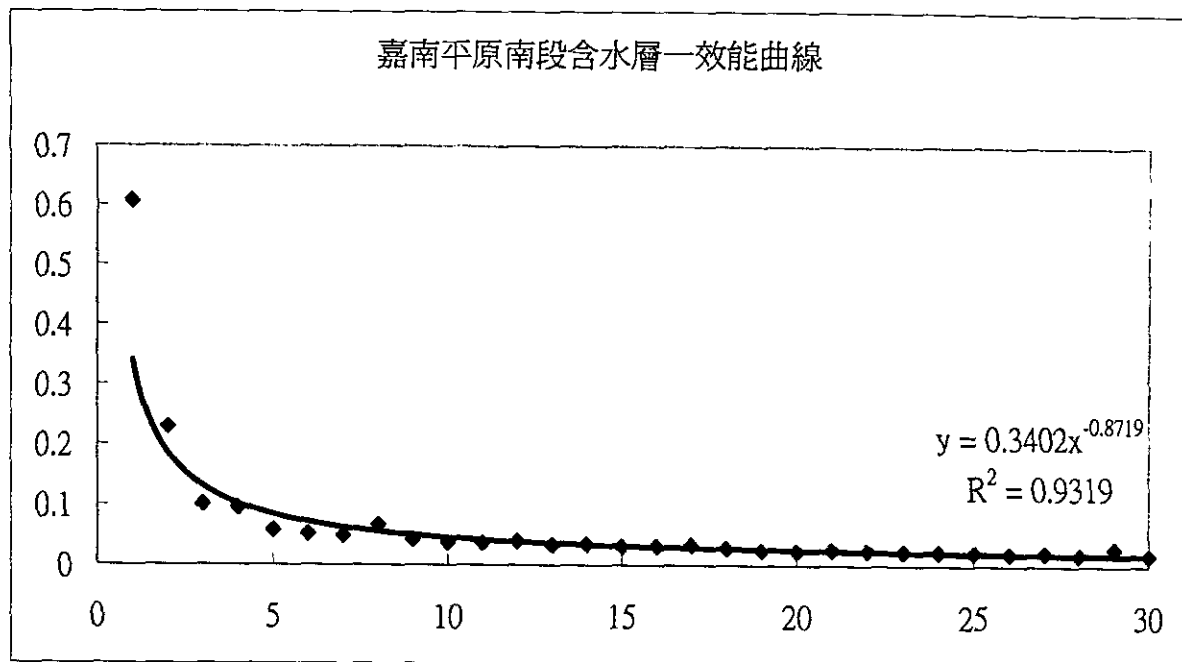


圖 4.5.4 嘉南平原南段含水層一佈井效率圖

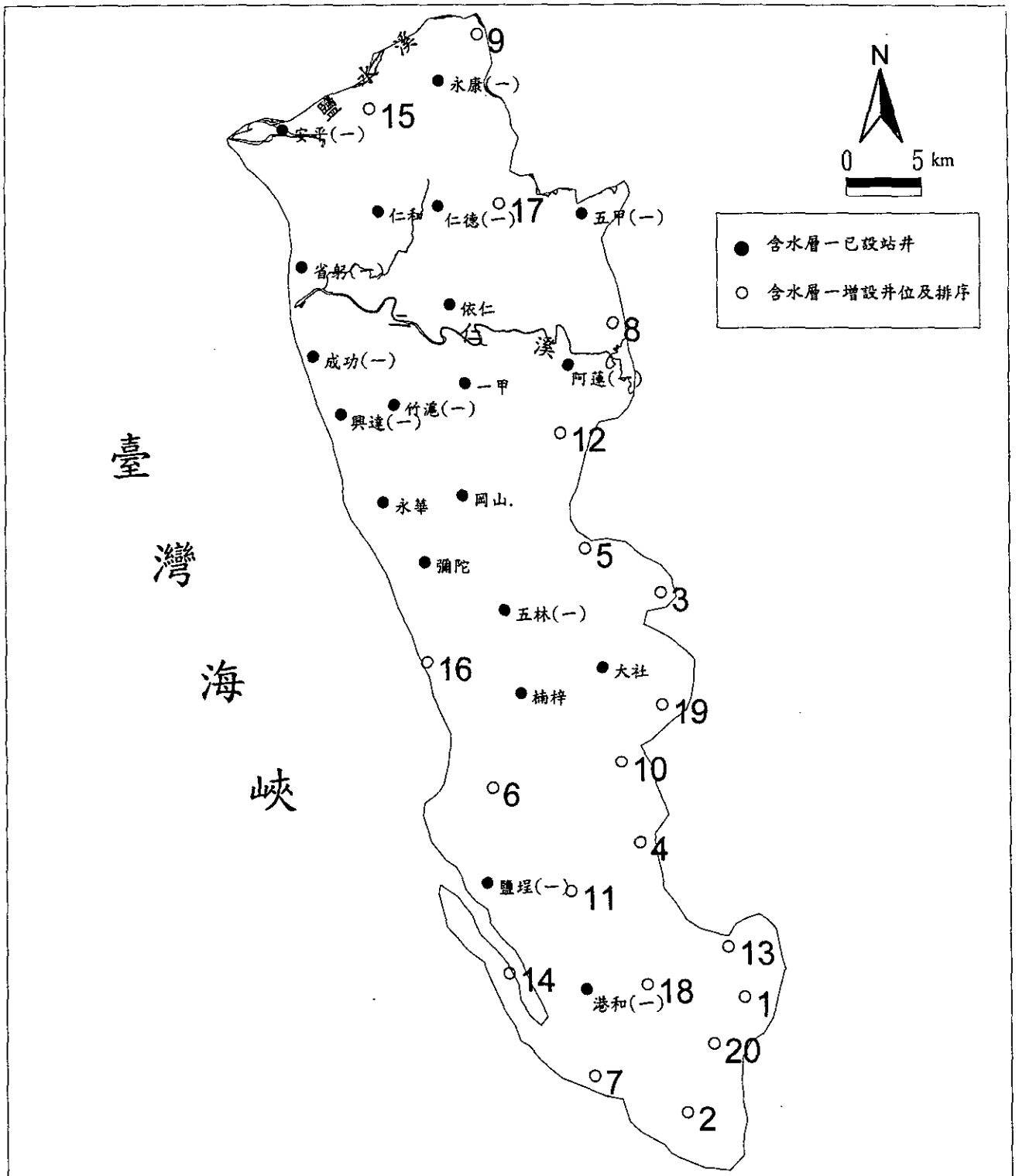


圖 4.5.5 嘉南平原南段含水層一之20口增井位置分佈圖

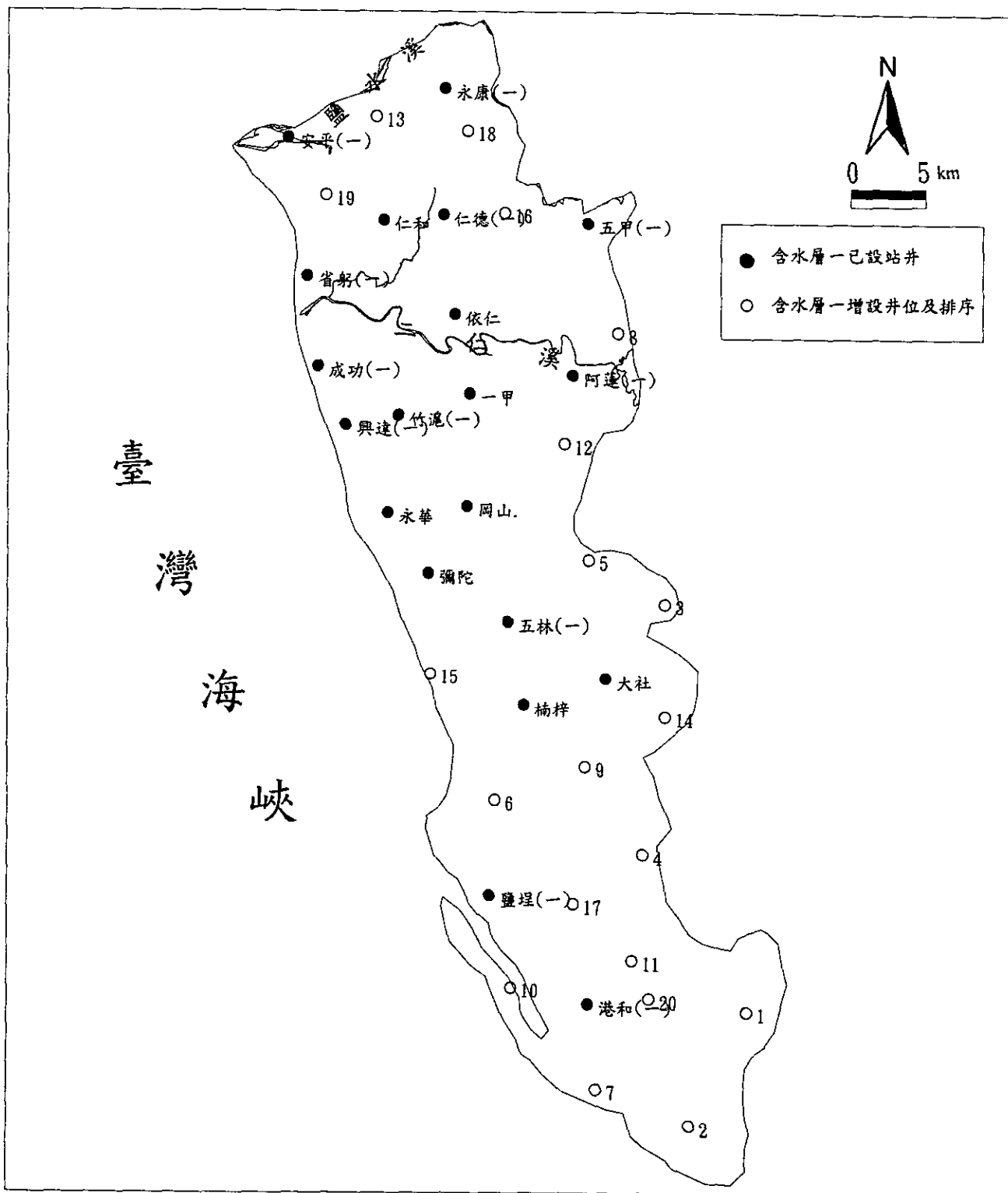


圖 4.5.6 嘉南平原南段含水層一檢討後之20口增井位置分佈圖

第五章 結論與建議

5.1 結論

- 1、嘉南平原北段含水層一、二以區域內國小為可能設井位置之優選結果，約再增設 34 站時，即可達到原規劃之精度。
- 2、嘉南平原北段於考量觀測井之共站原則，及考量佈井效率之情況下，建議於嘉義平原北段於含水層一、二增設井數為 30 站(排序如表 4.2.2 所列)，圖 4.2.11 為此 30 站之優選增井位置分佈圖。本計畫所建議之 30 站已有優先次序，惟於 20 站後佈井效率不高，可由後續之執行單位依經費自行調整。
- 3、嘉南平原北段配合深層抽水井(深度超過 200 公尺)分佈統計，建議港墘等 6 站做為超過 300 公尺深觀測井之增設位置。另配合地震前後地下水位變化相關研究，建議於台南白河新增一站地下水位觀測井(300M 深)。
- 4、本計畫綜合中央地調所與台糖對蘭陽平原之水文地質分析結果，初步訂定蘭陽平原水文地質架構，將蘭陽平原含水層區分為含水層一、含水層二、含水層三、及含水層四。
- 5、根據本計畫工作會議之結論，暫不建議嘉南平原南段新增站井，待後續有更確實之水文地質分析成果後，可再重新探討設井之必要性。惟本計畫仍就目前所收集之水文地質相關資料，進行嘉南平原南段之井網設計，以供後續執行單位參考。
- 6、蘭陽平原站井尚少，惟就目前資料顯示地下水之水質尚稱良好，沿海地區地下水位低於海平面有超抽地下水跡象。
- 7、蘭陽平原含水層一以區域內國小為可能設井位置之優選結果，約再增設 4~5 口時，即可達到原規劃之精度。
- 8、於考量佈井效率之情況下，建議於蘭陽平原於含水層一增設井數為 10

口。

- 9、考量共站原則及配合蘭陽平原之岩盤深度及含水層分佈狀況，建議增設之站址(共 10 站)及設井層次(表 4.3.1)
- 10、於澎湖本島對原先規劃之 14 口觀測井建議區分為第一優先及第二優先設置，第一優先包含馬公國小、山水國小、隘門國小、赤崁國小、成功國小(取代志清國小)、興仁國小、大池國小等 7 站。而第二優先包含：風櫃國小、龍門國小、湖西國小、講美國小、後寮國小、竹灣國小及內垵國小等 7 站。
- 11、澎湖地區鑽井成本較本島高很多，而且需要考慮到機具搬運的問題，建議於年度經費許可下，選擇第一優先之井位，集中於一年度中執行完畢。

5.2 建議

- 1、由水質及水位分析結果顯示嘉南平原地下水之電導度、氯鹽及總溶解固體量等均甚高，鹽水溪以北地區 50 公尺以下之含水層水位大都遠低於海平面，因此嘉南平原地下水之水質與水量均相當不理想，地下水管理應以保育為主。

參考文獻

1. 經濟部中央地調所，「臺灣地區地下水觀測網第二計劃--嘉南平原及蘭陽平原水文地質調查(88下半年度及89年度)工作報告」，民國九十年十月。
2. 台糖公司新營總廠，「地下水觀測站網之建立及運作管理—八十八年度下半年及八十九年度子計劃報告(宜蘭平原、桃園台地、嘉南平原)」，民國八十九年十二月。
3. 台糖公司新營總廠，「地下水觀測站網之建立及運作管理—八十八年度子計劃報告」，經濟部水資源局，民國八十八年七月。
4. 台糖公司新營總廠，「地下水觀測站網之建立及運作管理—八十八年度子計劃報告(宜蘭平原、桃園台地、嘉南平原)」，經濟部水資源局，民國八十八年十月。
5. 台糖公司新營總廠，「地下水觀測站網之建立及運作管理—八十八年度子計劃報告」地下水觀測站井管理維護手冊，經濟部水資源局，民國八十八年七月。
6. 國立台灣大學地質學研究所，「地下水觀測站網之建立及運作管理—八十八年度子計劃報告」嘉南平原地下水定年分析及垂向水質變化研究，經濟部水資源局，民國八十八年六月。
7. 台糖公司新營總廠，「地下水觀測站網之建立及運作管理—八十八年度子計劃報告」觀測井建置及相關試驗，經濟部水資源局，民國八十八年七月。
8. 台糖公司新營總廠地下水開發保育中心，「地下水觀測站網之建立及運作管理—八十八年度子計劃報告」觀測井建置及相關試驗，經濟部水資源局，民國八十八年十月。

9. 中鼎工程，「澎湖水區地下水水質監測站設置（第一階段）工作計畫」，行政院環保署。
10. 國立交通大學，「區域性地下水觀測站網檢討（III）—八十六年度期末報告」，經濟部水資源局，民國八十六年六月。
11. 國立交通大學，經濟部水利司，「區域性地下水觀測站網檢討（II）—八十五年度年度報告」，經濟部水資源局，民國八十五年八月。
12. 潘禎哲，「改良式降低變異數分析於地下水觀測井網規劃之應用」，中國土木水利工程學刊第八卷第二期，民國八十五年六月。
13. 國立交通大學，「區域性地下水觀測站網檢討（I）—八十四年度報告」濁水溪沖積扇觀測站井佈置檢討，經濟部水資源局，民國八十四年十月。
14. 蔡瑋文，「地下水觀測井網密度及觀測頻率之應用研究」，碩士論文，成功大學水利及海洋工程研究所，民國八十四年六月。
15. 西圖工程.凱瑟工程顧問，台灣省地下水水質監測站網整體規劃，台灣省政府環保署，民國八十四年六月。
16. 丁澈士，「屏東平原地下水觀測井網觀測密度設計之研究」，第十屆全國技術及職業教育研討會，pp175-184，民國八十四年。
17. 林君怡、張良正、田巧玲、江崇榮、方天驊，「濁水溪沖積扇地下水文特性研究」，八十四年度農業工程研討會論文集，PP.151-166。
18. 彭宗仁「宜蘭地區天文和地下水中穩定碳、氫及放射性碳、氟之環境同位素研究」(1995)
19. 潘禎哲，「改良式降低變異數分析於地下水觀測井網規劃之應用」，碩士論文，國立交通大學，民國八十三年六月。

20. 潭義績、李繼尊,「雲林北港溪局部地區及其支流大湖口溪及華興溪沿岸導水係數之空間變異結構分析」,民國八十二年農業工程研討會, pp79-92。
21. 臺灣省水利局,「改善臺灣地區地下水文基本資料收集系統規劃研究(五)一地下水文觀測站成果之檢討分析(彰化雲林地區)」,農委會,民國八十一年六月。
22. 蘇惠珍、張良正,「通用克利金法於地下水觀測網規劃之應用」,地下水調查分析與保育管理研討會論文集, pp. 191-205, 民國八十一年十月。
23. 臺灣省水利局,「改善臺灣地區地下水文基本資料收集系統規劃研究(三)(四)一改善農業結構提高農民所得方案農委會主管計畫」,農委會,民國八十年十二月。
24. 臺灣省水利局,「改善臺灣地區地下水文基本資料收集系統規劃研究報告第二期」,民國七十九年六月。
25. 臺灣省水利局,「改善臺灣地區地下水文基本資料收集系統規劃研究報告第一期」,民國七十八年六月。
26. 林君怡,葉明生,張良正、田巧玲、江崇榮,「濁水溪沖積扇地下水觀測站網評估」,濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集, PP. 223-236。
27. 何春蓀,台灣地質概論,1986
28. 林朝榮,「台灣地形」,台灣文獻委員會,1982
29. 農委會七十二農建七.三源二十八補助計畫「澎湖縣白沙鄉赤崁及後寮盆地地質調查及地下水利用規劃報告」台灣水利局規劃總隊,民國72.10
30. 江新春,宜蘭平原之振測礦業技術第十四卷第六期 pp215-221(1976)

31. Allen D. Woodbury and E. A. Sudicky, "The Geo-statistical Characteristics of the Borden Aquifer", *Water Resources Research*, Vol.27, No.4, pp.533 – 546, 1991.
32. ASCE Task Committee on Geostatistical Techniques in Geohydrology of Ground Water Hydrology Committee of the ASCE Hydraulics Division, "Review of Geostatistics in Geohydrology I : Basic Concepts and II : Applications", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.116, No.5, pp.612 – 658, 1990.
- 2 Edward H. Isaaks and R. Mohan Srivastava, "An Introduction to Applied Geostatistics", Oxford University Press Inc, 561p., 1989.
33. Amleto A. Pucci, Jr and Jo Ann E. Murashige, "Applications of Universal Kriging to an Aquifer Study in New Jersey", *Ground Water*, Vol.25, No.6, pp.672 – 678, 1987.
34. John C. Davis, "Statistics and Data Analysis in Geology", John Wiley and Sons, Inc., 646p., 1986.
35. Rouhani, S., "Variance Reduction Analysis", *Water Resources Research*, Vol.21, No.6, pp.837 – 846, 1985.
36. Yeh, W. W. G., Y. S. Yoon, and K. S. Lee "Aquifer Parameter Identification with Kriging and Optimum Parametrization ", *Water Resources*, Vol. 19 No. 1, pp.225 ~ 233 (1983).
37. Sophocleous, M., J. E., Paschetto and R. A. Olea, "Ground-Water Network Design for Northwest Kansas, Using the Theory of Regionalized Variables", *Ground Water*, Vol.20, No.1, pp.48 – 58, 1982.
38. Clifton, P. M., and S. P. Neuman, "Effects of Kriging and Inverse Modeling on Conditional Simulation of the Avra Valley Aquifer in Southern Arizona", *Water Resources Research*, Vol.18 No.4, P.1215-1234, 1982

39. Andre G. Journé, "Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons — Short Course in Geology: Volume 8", American Geophysical Union, 40p.
40. Chirlin, G. R. , and G. Dagan, " Theoretical Head Variogram for Steady Flow in Statistically Homogeneous Aquifers ", Water Resources Research , Vol. 16 No. 6, pp.1001~1015 , 1980.
41. G. Matheron, "The Theory of Regionalized Variables and its Applications", Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique DE FONTAINEBLEAU, 211p., 1971.

附錄 A

降低變異數法理論

A.1 區域性變數理論

地質統計學上常以一種空間隨機函數 $Z(X)$ 表示任何與地質有關之參數，稱為區域性變數(以下簡稱Re.V.)，其中 $X=(x,y,z)$ 代表點所在之空間位置。一般而言，Re.V.所呈現的兩大特質可歸納如下：

- (1) 隨機性(randomness)，即在所分析區域中任一點值，皆具不確定性。
- (2) 結構性(structure)，對任一研究區域而言，Re.V.除具有上述的隨機性，亦同時具有某種統計上的結構性，如Re.V.於空間上可能具有某種趨勢(trend)，又稱為空間傾向值(drift)；以及Re.V.於不同位置的觀測值之間亦可能具有某種程度的相關性(correlation)。在區域性變數理論中，則以半變異元(semivariogram)作為此相關性之量化表示式。

半變異元亦稱為半變異數(semi-variance)，其可以Re.V.沿特定方向但不同位置間之隨機函數或其殘數值(residual)之差的變異程度來表示，其定義式如下：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \left[(Z(x) - Z(x+h))^2 \right] \quad (\text{A.1})$$

其中， h 為相異兩點間之分離向量；若Re.V.具等向性(isotropic)，則 h 為任兩點之分離距離。以下則假設Re.V.為等向性。

就計算上而言，半變異元亦可由下列經驗式求得：

(1) 假設Re.V.符合穩定(stationary)，亦即Re.V.之平均值為常數，則半變異元可由下式估算[Journel, 1984]：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (\text{A.2})$$

(2) 假設Re.V.呈現非穩定(nonstationary)狀態，可將隨機函數 $Z(x)$ 視為一定常數項 $m(x)$ — 稱之空間傾向值(drift)，與一隨機項 $R(x)$ — 稱之殘數值(residual)之和；亦即

$$\begin{aligned} E[Z(x)] &= m(x) \\ Z(x) &= m(x) + R(x) \end{aligned}$$

則半變異元可以由下式估算：

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [R(x) - R(x+h)]^2 \quad (\text{A.3})$$

其中，式(A.2)與式(A.3)中之 n 為落於間距 h 內之任相異兩樣本點的組合配對數(pairs)。

有了以上半變異元的推算公式，可計算出各間距內之半變異元值，而最後半變異元模式之建立則由 h 對 $\gamma(h)$ 之關係圖中以迴歸法或觀察方式決定。

繼續並介紹三個與半變異元相關之名詞：

(1) 基值(sill)：

在對 $\gamma(h)$ 關係圖中，如圖 A-1 所示，當 $\gamma(h)$ 漸增且收斂至一定值 C ，則此 C 值稱之為基值。

(2) 影響範圍 (range) :

在對 $\gamma(h)$ 關係圖中，基值所對應之分離距離 $h=r$ ，稱之為影響範圍 (range) 或影響半徑 (radius of influence)。

(3) 塊金效應 (nugget effect) :

就式 (A.1) 而言， $Z(x)$ 應有 $\gamma(0) = 0$ ，惟在實際應用上，常有當 $h=0$ 時， $\gamma(0) = C_0 \neq 0$ 的情況發生，此稱為塊金效應。

一般而言，半變異元模式以以下三種模式為最常見，其分別為：

(1) 指數模式 (Exponential model) :

$$\gamma(h) = C_0 + Sill[1 - \exp(-3h / Range)] \quad (A.4)$$

(2) 高斯模式 (Gaussian model) :

$$\gamma(h) = C_0 + Sill\left\{1 - \exp\left[-(3h / Range)^2\right]\right\} \quad (A.5)$$

(3) 球狀模式 (Spherical model) :

$$\gamma(h) = C_0 + Sill\left[\frac{3}{2}(h / Range) - \frac{1}{2}(h / Range)^3\right] \quad (A.6)$$

Re.V 除了本身之結構性之外，在不同的 Re.V 之間，可能也有某種程度上之空間的相關性。在區域性變數理論中，則以複半變異元 (Cross-Semivariogram) 作為此相關性之表示。

如同前述之半變異元之定義，複半變異元可定義如下：

$$\gamma_{KK'}(h) = \frac{1}{2} E\left[\left(Z_K(x) - Z_K(x+h)\right)\left(Z_{K'}(x) - Z_{K'}(x+h)\right)\right] \quad (A.7)$$

然而，在真正計算複半變異元時，將會發現複半變異元大多無法如同半變元一般能夠由前述之模式來建立。因此Myers[1982]提出了一個方法，可由二個變數之半變異元模式及二個變數和之半變異元模式之關係來推估出此二變數之複半變異元模式。其關係式如下：

$$\gamma_{kk'}(h) = \frac{1}{2} [\gamma^{+}_{k,k'}(h) - \gamma_k(h) - \gamma_{k'}(h)] \quad (\text{A.8})$$

其中 $\gamma_{kk'}(h)$: 變數k 與 k' 之複半變異元

$\gamma^{+}_{kk'}(h)$: 變數k 與 k' 之和之半變異元

$\gamma_k(h)$: 變數k 之半變異元

$\gamma_{k'}(h)$: 變數 k' 之半變異元

A.2 克利金推估

克利金法為一種由地質統計學為理論基礎所發展出來的內插方法，其具有最佳線性不偏性推估(BLUE)之特質，可對有限區域內的Re.V.進行推估。此外，不同特性的Re.V.，有不同的克利金推估方法，針對Re.V.為非定常性時，我們介紹通用克利金法(Universal Kriging)。

當Re.V.為非定常性時，

$$m(x) = \sum_{l=1}^k a_l f_l(x) \quad (\text{A.9})$$

其中， $f_l(x)$ 為已知函數， a_l 為未知係數。

克利金推估乃是以已知點推估未知點 X_0 之值，其可以表示為線性的形式：

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{i0} Z(X_i) \quad (\text{A.10})$$

其中， $Z^*(X_0)$ 為位置 X_0 之推估值， $Z(X_i)$ 為位置 X_i 之觀測值， λ_{i0} 為位置 X_i 推估 X_0 之權重。

上式之 λ_{i0} 需滿足不偏性 (unbiasedness) 及最小推估方差 (minimum squared error)，這些條件可寫成：

$$E[Z^*(X_0) - Z(X_0)] = 0 \quad (\text{A.11})$$

$$\text{Var}[Z^*(X_0) - Z(X_0)] = \min. \quad (\text{A.12})$$

將式 (A.4) 及式 (A.5) 代入式 (A.6) 可進一步寫成：

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{i0} f_l(X_i) = f_l(X_0) \quad (\text{A.13})$$

其中 $l = 1, \dots, k$

而式 (A.12) 可利用標準拉格蘭茲法，加入 k 個拉格蘭茲參數 μ_l ，並對 λ_{i0} 作偏微分使等於零，則可得到下式：

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{i0} \gamma_{ij} + \sum_{l=1}^k \mu_l f_l(X_j) = \gamma_{j0} \quad (\text{A.14})$$

其中 $j = 1, \dots, n$

聯合式 (A.8) 及式 (A.9) 即是通用克利金系統，並可表為下列之矩陣式：

$$\begin{bmatrix}
 0 & 0 & - & - & 0 & 1 & 1 & - & - & 1 \\
 0 & 0 & - & - & 0 & f_1^2 & f_2^2 & - & - & f_n^2 \\
 - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
 - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
 0 & 0 & - & - & 0 & f_1^k & f_2^k & - & - & f_n^k \\
 1 & f_1^2 & - & - & f_1^k & \gamma_{11} & \gamma_{12} & - & - & \gamma_{1n} \\
 1 & f_2^2 & - & - & f_2^k & \gamma_{21} & \gamma_{22} & - & - & \gamma_{2n} \\
 - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
 - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
 - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
 1 & f_n^2 & - & - & f_n^k & \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & - & - & \gamma_{nn}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mu_{10} \\
 \mu_{20} \\
 - \\
 - \\
 \mu_{k0} \\
 \lambda_{10} \\
 \lambda_{20} \\
 - \\
 - \\
 - \\
 \lambda_{n0}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 1 \\
 f_0^2 \\
 - \\
 - \\
 f_0^k \\
 \gamma_{10} \\
 \gamma_{20} \\
 - \\
 - \\
 - \\
 \gamma_{n0}
 \end{bmatrix}
 \quad (A.15)$$

而式 (A.7) 所述的克利金變異數(Kriging variance)可進一步寫為

$$\sigma_{uk}^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_{i0} \gamma_{i0} + \sum_{l=1}^k \mu_l f_l(X_0) - \gamma_{00} \quad (A.16)$$

A.3 降低變異數分析

克利金變異數可作為新設井位置的指標[de Marsily, 1979]，例如有最高推估不確定性的地區可當作是新的設井位置，因此我們可以在具有較高的克利金變異數之區域設井。降低變異數法(以下簡稱VRA)[Rouhani, 1983]則更進一步將新增井位對整個推估地區造成的精確度增量納入考量，故每次的佈井皆能考慮到前一個增加的井造成整個區域變異數的改變，如此一來可達到單點佈井之最大精確度。

首先，建立一個當在區域中一點新設井而造成相對於其他任意點的克利金變異數降低量的關係。這樣的關係類似一種反應函數

(response function)，它提供了 $Z(X_0)$ 在精確度上的改進程度，藉由計算當在 X_* 新增一口井時，相對於其它各點的改進程度，可進一步地計算整個區域的總變異數降低量，再比較當其它位置為新設井位置時所造成的總變異數降低量，以作為設井的依據。

利用前述得到的代表克利金系統之矩陣(A.10)，將該矩陣簡化為如下的符號：

$$AW_0 = a_0 \quad (\text{A.17})$$

當我們利用 N 個已知點來推估位置 X_0 之值，且其對應的克利金變異數為 $V_0(N)$ 可寫為：

$$V_0(N) = \gamma_{00} - \begin{bmatrix} \mu_{10} & \cdots & \mu_{k0} & \lambda_{10} & \cdots & \lambda_{N0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ f_0^2 \\ \vdots \\ f_0^k \\ \gamma_{10} \\ \vdots \\ \gamma_{N0} \end{bmatrix} \quad (\text{A.18})$$

由式(A.12)中的定義，且 A 為對稱矩陣，

$$V_0(N) = \gamma_{00} - W_0^T a_0 \quad (\text{A.19})$$

$$V_0(N) = \gamma_{00} - a_0^T A^{-1} a_0 \quad (\text{A.20})$$

其中，上標 T 表示向量置換 (transpose)。

當我們在 X_* 新增一量測點時，式(A.14)中的A矩陣改寫成近似A的矩陣 A_* ， A_* 即是A矩陣中新增最底部的一列及最右邊的一行， $V_0(N+1)$ 可寫成以下形式：

$$V_0(N+1) = \gamma_{00} - \begin{bmatrix} a_0^T & \gamma_{0*} \end{bmatrix} A_*^{-1} \begin{bmatrix} a_0 \\ \gamma_{0*} \end{bmatrix} \quad (\text{A.21})$$

其中

$$A_* = \begin{bmatrix} A & a_* \\ a_*^T & \gamma_{**} \end{bmatrix}$$

$$a_*^T = \begin{bmatrix} 1 & f_*^1 & \cdots & f_*^k & \gamma_{1*} & \gamma_{2*} & \cdots & \gamma_{N*} \end{bmatrix}$$

Nobel與Daniel[1977]介紹一個相關近似矩陣(bordered matrices)的定理指出

$$A_*^{-1} = \begin{bmatrix} A & a_* \\ a_*^T & \gamma_{**} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} F & P \\ P^T & \alpha \end{bmatrix} \quad (\text{A.22})$$

其中

$$F = A^{-1} + \alpha A^{-1} a_* a_*^T A^{-1}$$

$$\alpha = \left[\gamma_{**} - a_*^T A^{-1} a_* \right]^{-1} = [V_*(N)]^{-1}$$

$$P = -\alpha A^{-1} a_*$$

A為可逆矩陣

將式(A.17)代入式(A.16)得到下式

$$V_0(N+1) = \gamma_{00} - a_0^T A^{-1} a_0 - \alpha a_0^T W_* W_*^T a_0 + 2\alpha \gamma_{*0} a_0^T W_* - \alpha \gamma_{*0}^2 \quad (\text{A.23})$$

考慮式(A.14)，則變異數的降低量可寫成

$$V_0(N) - V_0(N+1) = \frac{1}{V_*(N)} \left[\gamma_{*0} - a_0^T W_* \right]^2 \quad (\text{A.24})$$

其中

$$W_*^T = [\mu_{1*} \quad \mu_{2*} \quad \cdots \quad \mu_{k*} \quad \lambda_{1*} \quad \cdots \quad \lambda_{N*}]$$

$V_*(N)$ ：尚未在 X_* 設井前，推估此點的變異數

λ_{j*} ：尚未在 X_* 設井前，推估此點 $\hat{Z}(X_*)$ 的克利金權重

μ_{k*} ：尚未在 X_* 設井前，推估 $\hat{Z}(X_*)$ 的拉格蘭茲參數

最後，將 W_* 代入式(A.19)，則得到因新增的已知點所引起的變異數降低量 VR_{*0} 為：

$$\begin{aligned} VR_{*0} &= V_0(N) - V_0(N+1) \\ &= \frac{1}{V_*(N)} \left[\gamma_{*0} - \sum_{i=1}^N \lambda_{i*} \gamma_{i0} - \sum_{l=1}^k \mu_{l*} f_l(X_0) \right]^2 \end{aligned} \quad (\text{A.25})$$

其中

γ_{ij} 為 $\hat{Z}(X_i)$ 與 $\hat{Z}(X_j)$ 的半變異元值

式(A.25)定義為在位置 X_* 設一新觀測點而造成位置 X_0 的「變異數降低量 VR_{*0} 」，也就是當新增一觀測點時所增進克利金推估值的信賴度。

在Re.V.為定常性時，均以一般克利金法(Ordinary Kriging)推估。依照上述導證方法，可得到以一般克利金法推估的結果，式(A.25)化簡為下式：

$$VR_{*0} = \frac{1}{V_*(N)} \left[\gamma_{*0} - \sum_{i=1}^N \lambda_{i*} \gamma_{i0} - \mu \right]^2 \quad (\text{A.26})$$

VR_{*0} 只與半變異元、已知點的分佈幾何及 X_* 之克利金變異數有關，因此它是一個用來設計與規劃預期井位的適合工具。另外一個優點是此演算法的計算效率較優。此外， VR_{*0} 為一正定矩陣，這表示任何一個新加入井位都將降低克利金變異數，亦即會令整個區域的推估更加精確，而這些新增的點並不會改變此區域原有的半變異元的結構。

附錄 B

嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討

第一次工作會議會議記錄

- 壹、開會時間：中華民國九十年八月三十一日下午二時
- 貳、開會地點：經濟部中央地質調查所岩心資料館四樓會議室
- 參、主持人：國立交通大學防災工程研究中心張副主任良正
- 肆、出席人員：經濟部水資源局、經濟部水利處水源組一課張課長炎銘、經濟部中央地質調查所賴組長典章、費科長立沅、陳科長文正、呂技士學諭、黃技正智昭、台糖地下水保育中心陳工程師文福。

- 伍、議程：1. 交通大學報告
2. 台糖地下水保育中心報告
3. 中央地質調查所補充說明
4. 討論
- 研究區域邊界確定
 - 站井資料檢核 (含項目、位置及年份)
 - 含水層之界定 (分區討論)
 - 是否分層
 - 平面範圍
 - 分層界限
 - 其它事項

陸、會議記錄：

討論問題	結論
一、研究區域邊界確定	1. 參考水利處與台糖報告(以嘉南平原露頭為界)報告 2. 嘉南平原：以鹽水溪為界，分南北兩區域探討。 3. 宜蘭平原：全區探討
二、含水層之界定	嘉南平原： 1. 北段：依深度分層(根據台糖之地質水文分析報告)，一萬年地層線(約 60 m)以上為第一層，一萬年地層線與兩萬年地層線(約 150 m)之間為第二層。 2. 南段：具有基盤阻隔只做淺層就可(約 60m 以上) 宜蘭平原： 分層由台糖地下水保育中心陳文福工程師於十月底前提供。
三、站井資料檢核	水利處可提供：新井的地質參數資料 台糖地下水保育中心可提供： 1. 舊井資料(單站報告) 2. 水質資料 3. 分層資料(井位的歷年資料)
四、建議事項	台糖地下水保育中心： 1. 新增加站井，建議以目的導向，例如佈在地下水沈降椎的附近，或者因應未來

水資源監測之重點，擺在淺層（深層考量禁止開發）。

2. 是否往更深層觀測，例如達 500~600 公尺。或者引進多層封塞井、單井孔可以設置十餘層的觀測層，但目前台灣並沒有此類設井。因為嘉南地區層次複雜，分層不易，從研究的角度（可能以後會有實用），分成五層，仍有不足。

柒、會議簽到單：

嘉南平原及宜蘭平原水文地質分層研商會議
會議出席人員名冊

主辦單位：國立交通大學防災工程研究中心

時間	九十年八月三十一號		地點	經濟部中央地質調查所	
主持人	張良正		紀錄	李汝龍	
出席人員		單位	職稱	簽名	備註
	1	經濟部 水資源局		王文勝	
	2	經濟部 水利處水源組一課	張炎銘課長	張炎銘	
	3	經濟部 中央地質調查所	賴典章組長	賴典章	
	4	經濟部 中央地質調查所	費立沅科長	費立沅	
	5	經濟部 中央地質調查所	陳文正科長	陳文政	
	6	經濟部 中央地質調查所	黃智昭技正	黃智昭	
	7	經濟部 中央地質調查所	呂學諭技士	呂學諭	
	8	台糖 地下水保育中心	陳文福工程師	陳文福	
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
15					

附錄 C

嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討

第二次工作會議會議記錄

- 壹、開會時間：中華民國九十年十一月一日下午二時三十分
- 貳、開會地點：國立交通大學土木系 219 會議室
- 參、主持人：國立交通大學防災工程研究中心張副主任良正
- 肆、出席人員：經濟部水資源局、經濟部水利處水源組一課張課長炎銘、經濟部中央地質調查所賴組長典章、費科長立沅、陳科長文正、呂技士學諭、黃技正智昭、台糖地下水保育中心蔡主任克銘、台灣區鑿井工程工業同業公會黃常務理事炎興。
- 伍、議程：1. 交通大學報告
2. 台灣區鑿井工程工業同業公會建議報告
3. 討論事項
- 嘉南平原佈井策略之再檢討
 - 方法一：延續期初之作法
 - 方法二：就 300 米以下佈井之建議 - 蘭陽平原之分層架構確認
 - 彭湖本島站井佈置之建議

陸、會議記錄：

討論問題	結論
一、嘉南平原佈井策略之再檢討	區分南北兩部分： • 北段-依地質統計方式進行佈井 -根據經濟部水資源局之水權資料管理系統之資料分佈，建議300米深之觀測井。 • 南段-建議佈井稍緩。
二、蘭陽平原之分層架構確認	依據台糖方面之建議以及中央地質調查所提供之剖面圖，照以往之方法佈井。
三、澎湖本島站井佈置之建議	• 根據經濟部水資源局之水權資料管理系統之資料分佈 • 參考經濟部水利處『改善台灣地區地下水文基本資料收集系統規劃研究報告第五期』。 • 請自來水公司提供相關資料。

柒、會議簽到單：

嘉南平原及宜蘭平原水文地質分層研商第二次工作會議
會議出席人員名冊

主辦單位：國立交通大學防災工程研究中心

時間	九十年十一月一號		地點	國立交通大學土木系	
主持人	張良正		紀錄	李汝龍	
出席人員		單位	職稱	簽名	備註
	1	經濟部 水資源局	分析師	李友平 李明偉	
	2	經濟部 水利處水源組一課	張炎銘課長	張炎銘	
	3	經濟部 中央地質調查所	賴典章組長	賴典章	
	4	經濟部 中央地質調查所	費立沅科長	費立沅	
	5	經濟部 中央地質調查所	陳文正科長	陳文正	
	6	經濟部 中央地質調查所	黃智昭技正	黃智昭	
	7	經濟部 中央地質調查所	呂學諭技士	呂學諭	
	8	台糖 地下水保育中心	蔡克敏主任	蔡克敏	
	9	台灣區墾復工程 隊同業公會	常務理事	黃炎興	
	10	國立交通大學	研究生	李明生	
	11				
	12				
	13				
	14				
15					

附錄 D

嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討

期中審查意見處理情形

期中審查意見	處理情形
台灣大學地質系 劉教授聰桂：	
一、計畫依預定進度與工作內容進行，檢討本區地下水觀測井佈置，對未來之站井佈建極具參考價值。	一、多謝指教。
成功大學資源工程學系 李教授振誥：	
一、期中報告已合乎所提計畫內容與目標，內容值得肯定。	一、多謝指教。
二、計畫地層分類相當複雜，然對於所分析之等值圖，如何代表各含水層之特性，請特別說明（雖存在有困難）其他地層之關係。	二、各等值圖是以台糖之分層為依據會出因此代表各分層該項變量之空間分佈情形，至於層間變化說明，相當主觀，將在可能範圍內加強說明。
三、就地層複雜情況，對未來增加井數之位置，除以目前 Kriging 方式來進行外，請再利用其他方式來進行（例如根據目前含水	三、本計畫除以降低變異數法進行觀測井網分析，於嘉南平原北區並參照地下水之使用狀況（地下水井空間及深井（300m 以上）分佈）進行井位之建議。另所有皆以目前最新的水文地質分析

<p>層剖面圖直接進行)比較。</p>	<p>為基礎(包括 kringing)。</p>
<p>經濟部中央地質調查所 費科長立沅:</p>	
<p>一、嘉南平原綜合各項數據，如果以南北向剖面看，可能需分成五區，彼此之間地質環境差異相當大，約以龍宮溪、將軍溪、鹽水溪、後勁溪為界。目前完成之東西向剖面，朴子溪區域之地質環境與濁水溪相近；七股溪區域大致上在深度 60m、140m 可以分為三套之含水層阻水層。上述資料請參考應用。</p>	<p>一、多謝提供此資訊，嘉南平原地質複雜，將要另召開工作會議，對此議題進行深入討論，已決定佈井策略。</p>
<p>經濟部水利處 張課長炎銘:</p>	
<p>一、本期中報告可能完成的極為匆促，有很多錯誤及不整合，如： 1. P1-1 提及嘉南平原建置 40 站 105 口觀測井，但 P4-1 卻是 51 站。 2. P2-7 倒數 7 至 5 行把另一個計劃(地下水管制區)內</p>	<p>1. 此為參考文獻及資料收集未統合之緣故，以更正錯誤，謝謝指正。 2. 於期末報告中已修正。</p>

<p>容照抄過來</p> <p>3. P3-18 至 P3-19 錯字很多。</p> <p>4. 水井之鑽設還沿用「台糖公司鑽井隊」的舊名。</p>	<p>3. 於期末報告中已修正。</p> <p>4. 於期末報告中已修正。</p>
<p>二、P3-2 提及陳克誠在 1953 年出版書中記載水井深達 470 公尺，但參考文獻上並未列出，本人在本案評選時已提及，這數據並不可靠，請查原始資料，也希望能與本人參考。</p>	<p>二、於考量原文獻之正確性，於期末報告中已刪除此部份文章。</p>
<p>三、P4-4 提及各層之增設目標為 10 口，但為何不仿照以前，跟原規劃報告作比較其總變異量？</p>	<p>三、遵照辦理。</p>
<p>四、P4-5 增設井位置是本報告最重要成果，但北段含水層一、二仍有一半是不同位置，與原規劃原則(共站)似相衝突。</p>	<p>四、於期報告中已將由各層佈井之結果，配合共站原則進行分析。</p>
<p>五、P5-1 結論部分提及以透水系數為主，地下水位為輔進行分析。但整本報告看來，如何以地下水位為輔作分析並不明顯，而站數</p>	<p>五、於期末報告中已修正。</p>

<p>若照 P4-5 亦不是 20 站而是 25 站。</p>	
<p>六、嘉南平原的北界是到北港溪還是朴子溪或是其他界限？若照 P3-1 北界是北港溪。則在網站計劃第一期內，有些站（如三和、東榮、安和、東石等（4 站 14 口）可能亦要列入分析。</p>	<p>六、本計畫嘉南平原北段之界乃採用朴子溪為北邊邊界。</p>
<p>經濟部水資源局 主辦科意見：</p>	
<p>一、P-4-9、圖 4.2.3, 本計畫旨在依據參數變異元分析及克利金推估決定未來所需設立之井數、位置與觀測深度，就計畫目前所採用之站井資料而言，資料點數太少，以致實驗變異函數擬合狀況不甚良好，就本人經驗而言，每段『滯後距離』內配對數目至少應介於 30 至 50 之間，若配對數太少，變異值受特異值的影響將十分顯著，另『可靠</p>	<p>一、由資料計算半變異元乃是一個統計上的推估過程，因此不免有其不確定性，且此不確定性一皆與資料數目成反比。半變異元的推估除了公式本身的不確定性外，尚有所謂的『滯後距離』的主觀認定，一般而言皆以不同的數值進行多方面的嘗試後取一較佳值。本計劃亦以此方式進行，為若資料太少則亦難以有良好的推估半變異元，目前本研究亦難免於受資料數目的限制。</p>

性距離』通常應小於研究區域的一半，若取的過大，將使實驗變異函數圖形尾端的估計方差呈大幅度變動（此乃因為該段之配對數漸少於前段之配對數）。建議將『可靠性距離』訂在 35 公里左右，滯後距離取 4 至 6 之間（目的：使小於 35 公里以內之範圍，每段滯後距離之容差範圍內變異原估計值有 30 至 50 配對數目，使實驗變異元計值有 30 至 50 配對數目，使實驗配對函數圖形擬合模式較佳）。

二、P4-3，表 4.2.1 所擬合之

模式是採用『高斯模式』嗎？不知可有嘗試其他模式（如：球狀、指數或線性模式）之擬合。另，其所求得之影響範圍僅為 15 或 20 公里，換言之，其後求得克利金推估

二、目前所得結果乃是經多方嘗試所得

之較佳選擇。

<p>或作為降低變異數法時，大多數計算格網站所參照之已知警網之透(導)水係數大多僅有一或兩個參照值(甚至很多無參照值)，這對地質統計法而言，並不是很適當的結果，請問有何改善之道？</p>	
<p>三、4-15，圖 4.2.9 至圖 4.2.11，擬增井位之編號是否即為新增順序(1 優於 2，而 2 優於 3，……)？</p>	<p>三、井位之編號即為新增順序，於期末報告中已加註。</p>
<p>四、P3-2，期初計畫書(規格)審查時，張炎銘課長曾提及：『嘉南平原早在一九一二年就有水井，最深達一四二三尺，很可能有誤，引用時請謹慎，以免以訛傳訛，因為以一九一二年的工程技術及需要性而言，並不可能有如此深得井，該文下半段亦提及地下水工程處在一九</p>	<p>四、於考量原文獻之正確性，於期末報告中已刪除此部份文章。</p>

<p>六〇年調查時，最深才二一〇公尺，該數字（一四二三）很可能是一四尺二、三，也就是十四尺二或十四尺三』，請問本文再次引用最深達『一四二三尺（約四七〇公尺）』是否已考證過？</p>	
<p>五、P1-1，工業技術研究『所』應為工業技術研究院之誤植</p>	<p>五、於期末報告中已修正。</p>
<p>六、少數表面不甚清晰（如下：圖 3.1.1、3.1.2、3.1.3、3.1.4、3.1.5、3.1.6、3.1.7、3.1.8、3.2.2、3.2.2、3.2.3、3.2.4、3.3.2、3.3.3、3.3.4、3.3.5），請於期末報告時改善。</p>	<p>六、遵照辦理。</p>
<p>七、表 3.1.2、3.1.3、3.2.2、3.3.2 等座標位置之單位是否有誤？</p>	<p>七、為筆誤應為公尺，已於期末報告中修正。</p>

台灣地區地下水觀測網第二期計畫

嘉南平原及蘭陽平原水文地質調查八十八年下半年及八十九年度工作報告

初步結果與討論

地質鑽探結果

地質鑽探在採取岩心後會進行多項內容的地物井測，整合地物井測結果與詳細的岩心紀錄，建置成水文地質資料庫後，則可繪製成地層柱狀圖，這些資料除地物井測經適度的平滑化外，皆未經再處理程序(reprocessing)，故係原始資料的呈現，使用者可依其需求再製。其中蘭陽平原的武淵站因鑽探時發生高壓氣自噴的現象，故未進行後續的地物井測工作。

地層柱簡化

原始的岩心紀錄係以約 0.1 公分為單位的精度完成，雖能較真實地呈現岩層狀態，但因複雜度過高，而難以應用於水文地質的研究上，實用上剖面圖的繪製、地下水層的劃分等工作皆需配合實際的應用及分析將岩心紀錄簡化，通常將岩心紀錄以 4 公尺為基本單位化簡為泥、細砂、粗砂與礫等四種岩類。詳細的簡化原則請參閱經濟部中央地質調查所濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告，1999。

地物井測討論

在眾多地物井測的結果中，有幾種較特別的型態值得進一步討論：

1. 極低的電阻率：在嘉南平原地質鑽探井中，小港、中洲、五權、莊敬、楠梓、勝利、灣內、彌陀、興達、長興、仁德等站在 20 公尺以下的 16 吋、64 吋電阻率皆十分接近 $0\Omega\text{m}$ 。初步判斷，地層內含較高的電解質應是主因，再者，這些鑽探井的沉積物亦以泥為主，細顆粒更具降低電阻率的效應。另外，過埤站之電阻率雖達 $20\Omega\text{m}$ ，其 16 吋、64 吋電阻率曲線幾乎重合，推測過埤站地層亦含較高的電解質，但其沉積物以中、粗砂為主，故對電阻率有補償作用。經初步統計，整個年度於嘉南平原鑽測的地質井中(共 30 口)，有 12 口具上述現象，且多分布於高雄市及其鄰近地區，蘭陽平原則未有類似現象。

2.砂層具較低的電阻率:一般而言,沉積物粒度越粗,電阻率越大,但在永華站卻出現反序的現象。永華站在252公尺的岩心中,沉積物皆以泥為主,僅在128-134公尺、176-180公尺、214-216公尺等三個區間中含薄層細、中砂,理論上,這些區間應具較高的電阻率,實際上卻呈現明顯的電阻率負異常,初步判斷為地層內之鹹水(Saline water)所致。

綜合以上,曾文溪南側之地層中含有高濃度的電解質或鹹水成份,推測應與沉積同時的地層水有關。

沈積物粒度分布

沉積物粒度分布為水文地質研究的基礎工作,根據本所的原始岩心紀錄,可計算各地質鑽探井之粒度分布。在本報告中,將複雜的岩類系統歸併為四大岩類--泥、細砂、粗砂及礫,其歸併原則(經濟部中央地質調查所,1999)為:

- 1.黏土、泥、粉砂歸類為泥。
- 2.極細砂、細砂歸類為細砂。
- 3.中砂、粗砂、極粗砂歸類為粗砂。
- 4.細礫、中礫、粗礫、極粗礫歸類為礫

結合過去各年度地質鑽探井的歸併結果,再經插值法計算後則可繪製各種岩類之分布。

觀察嘉南平原泥層分布,除區內北部北港溪及朴子溪流域、中部曾文溪流域、南部高雄港區外,泥層厚度皆達60%以上;細砂則與泥層呈反向分布,在以上三個區域厚度可達40%;粗砂僅在區內東北部斗六丘陵西側(三和、東榮、新港站)、中部曾文溪中上游(南科、南興、安慶站)、南部高雄港區(港和、中洲、小港、過埤站)等三個區域有10%以上的分布;礫石則僅在區內東北部斗六丘陵及嘉義丘陵西側(三和、東榮、新港、嘉義、南新、白河站)、南部鳳山隆起珊瑚礁(過埤、小港站)有10%左右的分布,其他大部分的區域皆無礫石分布。

觀察蘭陽平原泥層分布,除蘭陽溪上游(自強站、大隱站)、福德坑溪(頭城站)、新城溪(岳明站)的泥層較少外,其餘區域皆有40%以上的泥層;細砂主要分布於海岸區域,蘭陽溪上游區域之細砂皆在10%以下;粗砂與細砂有相似的分布;礫石則與泥有反向的分布,其主要分布區域在蘭陽溪上游,成份比例可達60%以上。

地層碳-14定年

本年度之碳-14定年工作共計採樣106個,含嘉南平原79個、蘭陽平原27個。這些樣

本分送紐西蘭 University of Waikato 及美國 Beta Analytic Inc.之碳-14 定年實驗室進行分析，其中 3 個樣本因量不足而無法獲致結果，其餘 103 個有效樣本中有 11 個的年代老於可解析的範圍。將各井沉積物定年資料標示在簡化之井柱狀圖上，可作為水文地質分層之時間控制基準。

沉積物與沉積環境分析及地層對比研究--嘉南平原南段

為有效評估嘉南平原的地下水資源，必須明瞭其沉積物的特性與分佈、地層的延展與對比及其沉積環境的變化。本年度研究區域為曾文溪以南至鳳山丘陵附近，計完成其中的十五口岩心(旋鑽井十一口，衝鑽井四口)的沉積學研究，建立的地層柱長度共計 3637.35 公尺。鑽井岩心的顆粒度以細粒沉積物為主，礫石含量極少，且有十一口井(竹瀝、阿蓮、彌陀、五林、楠梓、灣內、勝利、莊敬、鹽埕、五權、小港)鑽遇基盤岩層(六雙層?/二重溪層?、古亭坑層或大社層)，顯示本區地下有著十分複雜的地質構造，其沉積物特性及分布初步結果如下：

1. 沉積物成分

根據十四口井四十九個中砂薄片計量顯示：楠梓以南區域(高雄平原區域)的砂級沉積物是以沉積岩屑與變質岩屑為主(平均比例均大於 40%)，兩區的沉積物來源可能均是來自本區東側或北側的西部麓山帶。另外由於高雄平原區的沉積物含多量的變質岩屑(以變質砂岩與板岩為主)，而研究區域內並無任何河流上游源自中央山脈變質岩區，且與本區相鄰之屏東平原的高屏溪，雖可攜帶大量的變質岩屑，但因大部分的沉積物均直接傳輸至高屏峽谷，幾乎很難供應至本區。考量本區鑽井岩心沉積物呈現多樣性的沉積環境變化(曲流、瓣狀河、河口灣及濱面-遠濱體系)，故推論變質岩屑可能來自本區北側或東側的西部麓山帶晚更新世年輕地層(大社層或嶺口礫岩)的再次循環搬運的沉積物 (recycled sediments)，受河流、沿岸流或暴風流作用搬運至本區，造成多量變質岩屑的堆積。

2. 沉積環境

根據鑽井岩心的岩性、沉積構造、生物擾動現象、貝類化石、藍鐵礦、草根、結核及土壤化等特徵，並參考在不同層位發現的貝類化石產狀及其可指示的環境，推論本區各鑽井的沉積環境，均含有四種不同環境的沉積物-瓣狀河、曲流河、河口灣(障壁島-瀉湖相)及濱面-遠濱(或大陸坡?)相。

3. 地層對比

整合本年度鑽井岩心沉積物的沉積環境變遷趨勢，並配合碳十四定年與熱螢光定年資料，本研究繪製四條剖面(二條南北向及二條東北-西南向)：台南-省躬-竹瀝-彌陀-五林-楠梓-勝利-鹽埕-中洲剖面、長興-阿蓮-灣內-莊敬-五權-小港剖面、鹽埕-五權-莊敬-灣內剖面、勝利-楠梓-五林-阿蓮剖面。由這些剖面的地層對比中可知，基盤岩層的高度所反映的不規則古地形，控制著全區的層序變化。全新世的層序是全區唯一可資對比的界限。至於本區複雜的地下地質構造，可能與本區西南外海有著複雜的褶皺逆衝斷層系統與泥岩貫入構造有關。

沉積物與沉積環境分析及地層對比研究—蘭陽平原

1. 構造沉降速率

蘭陽平原是位在脊梁山脈與雪山山脈間呈三角形的盆地，盆地向東變寬廣。構造位置是屬於沖繩海槽的最西緣。更新世以來(可能從上新世)沖繩海槽持續的由東向西張裂，因而蘭陽平原是屬於此張裂作用下形成的張裂盆地，至今還持續的作用。

在計算盆地的構造沉降速率時，有時必須考慮海水面的變動，18000年前的末次冰期以來，海水面持續的上升。當時海水面曾較今日低約120公尺，之後持續的上升。約18000-14000年時的海水面上升速率較緩，約每千年7公尺，之後在14000-6000年間的上升速率變快，約每千年10公尺。6000年至今，海水面幾乎沒有太大的變化。故估算6000年以來的構造沉降速率時，則不須考慮海水面的變化。蘭陽盆地的構造是呈現對稱形狀的地塹，盆地中央下陷較深較快。如以蘭陽盆地的中央區域計算，深溝、中興與五結井的構造沉積速率約每千年7-9公尺，但從18000年以來，則構造沉積速率約每千年5-6公尺。

2. 古地理環境

綜合蘭陽平原的12個井下資料來看，18000年之前的井下資料較少，除了利澤與竹安井有確切的定年資料之外，其餘皆沒有可靠的年代參考。因此，目前無法討論18000年之前的古地理環境。

從古氣候的研究可以了解18000年前屬於冰期，全球的海水面約比現今的海水面還低120公尺。從12個井下岩心紀錄來看，大部分都有記錄到此一時期所形成的不整合面，表現出來的是風化的土壤層。尤其是位在現今接近海岸的井，如順安、龍德、中興、五結、利澤與竹安等。因此，從現在的地理位置而言，在18000年前，現今的蘭陽平原全都高於海水面，之後海岸線漸向西移動，至6000年時，海水面大致穩定下來，不再變動。此時的海岸線大致位在龍德-中興-竹安西側等地區。6000年前，沉積物開始向海岸(東)大量堆積，海岸線逐漸向東遷移。3000年前的海岸線大致位於岳明-利澤(西)—竹安(西)—頭城等地區。

附錄 E

嘉南平原區域性地下水觀測站井佈置檢討期末審查意見處理情形

期末審查意見	處理情形
台灣糖業公司地下水開發保育中心陳工程師文福	
一、p3-31 水質檢測資料並不是來自台糖，應是中興環工謝永旭教授，台糖只是幫忙收集。	一、已於報告中修改資料來源。
二、p3-31 水質表中有些數據可能需再查證，例如自強站電導度只有 303，但氯鹽高達 249mg/L，並不合理。又如氯鹽為 37.5mg/L 有六口，似乎太過巧合。	二、配合經由經濟部水利處所收集水質資料，進一步查證數據之正確性，自強站電導度為 303 $\mu S/cm$ ，氯鹽為 249mg/L。
三、P3-57，水位分析，有些站並沒有放進去，竹圍一、平溪二、大文二、安慶二，請參考 P3-19 分層表。	三、本計畫已再進一步水位資料之收集更新，以進行修正更新，惟部份站井之水位資料仍缺乏。
四、P3-56 至 P3-63 共有十張圖，其中朴子溪至八掌溪之間都沒有站井資料。	四、本計畫已再進一步水位資料之收集更新，以進行修正更新，惟部份站井之水位資料仍缺乏。
五、P3-57 頁柳營二水位為 -12m，但 P3-67 的水位是 -19m，請查證。	五、進一步查證數據後修正，柳營二於 89 年 4 月水位為 -19m。
六、P3-64 竹圍水位 89 年後沒有資料，請問原因。	六、本計畫已再進一步水位資料之收集更新，以進行修正更新。

<p>七、P3-101 氣鹽等值線有兩條零位線，但查原始資料，宜農一為 12mg/L，內城 8mg/L 最低為壯圍一 5mg/L (P3-31)，所以應該不是零。</p>	<p>七、已修正。</p>
<p>八、P3-107，TDS 應該不會有零值線（純水）。</p>	<p>八、已將 TDS 零值線去除。</p>
<p>九、P3-115，水位零值線的範圍很大，但內差控制只有大福、礁溪兩口，其他應是外差解釋，此推測範圍會不會太大，另外表示沿海地區加設新站。</p>	<p>九、由於等值線之精度與控制點之位置及多寡有關，於控制點不足之地區，等值線僅可作為參考之用。已參考委員意見，於檢討佈井結果時，一併考量沿海地區之站井分佈。</p>
<p>十、P4-17 明年站井建議，4 號太接近安和站，3、5 號太接近東石站，6 號大約在岸內的位置，地調所已有岩心鑽探，7 號松梅接近舊井，8 號和頂山太近，10 號是新塭（已有岩心鑽探），12 號接近南新站舊井，3 號太接近東石站，建議往南移，舊井（振寮），嘉義市南邊建議加設一口。</p>	<p>十、已納入委員之意見，檢討佈井結果。</p>
<p>十一、p4-23 蘭陽平原明年站井建議，1 號接近龍潭舊井，2 號和 7 號深度很淺（不足 20M），建議放棄，3 號 8 號好像放在岩盤上，可能無法建井。沿海只 4 號井，好像不足，建議增加二口，一口放在 4 號和大福井之間，另一口放在 4 號和利澤之間。6 號建議移到中興和冬山之間，順安站（已有岩心），9 號建議移到三星（已有岩心）。10 號建議移到西方 3km 的深溝（已有岩心），宜農與中興之間加設凱旋站（已有岩心）。宜農和大福之</p>	<p>十一、已納入委員之意見，檢討佈井結果。</p>

間，加設古亭(已有岩心)如經費還有剩加設榮源和壯圍站(已有岩心)。	
十二、因為地調所在嘉義和宜蘭已有非常多的岩心鑽探，建議經費集中到澎湖，初步東西南北中各建一站，可建5站以上。建完後由水利處納入管理系統。	十二、本計畫於澎湖規畫第一優先之七口之分佈也約為東西南北中之分佈。委員之意見建議後續執行單參考。
十三、下半年站是地調所經費所建，但目前沒有水位觀測，建議水利處納入明年(91年度)管理。屏東的佳冬四也沒有水位觀測，是否也納入接收。	十三、委員之意見，建議水利處參考。
十四、p3-96 此圖並不是台糖所畫，請修改資料來源，並建議圖例改用符號或印成彩色，才看得到。	十四、已修改資料來源及修改圖例，以利讀者區別。
經濟部水利處張課長炎銘：	
一、有些水質檢驗項目不宜有零的等值線，例如氯鹽、總溶解固體物等，因此相關的圖請修正。(例如 p3-49、p3-101、p3-107，尤其是 p3-101 有兩條零值等值線，難以說明其意義。	一、已修改水質等值圖，將零值線去除。
二、p4-9 有三個國小沒有校名，是否因地圖上未顯示？又嘉南平原地下水既以保育為主，再設 35 站是否太多？且依照 p4-16 來看，新增站的佈井效率並不高，若考慮經費及嘉南平原地下水現況，北段最少要再增設多少站？	二、p4-9 之國小校名已補上。而建議之 30 站已有優先次序，惟於 20 站後佈井效率不高，可由後續之執行單位依經費自行調整。
三、P4-10 嘉南平原北段超過 300 公尺深觀測井，若在已設井站已無空地或其它因素不能設站或鑽探後未達 300 公尺就碰	三、超過 300 公尺深觀測井之選定，已參考較新之水文地質資料評估選定。若仍有前述情形發生，建議可由執行單位就近選擇可替代之國小(或可設站之位置)。

<p>站或鑽探後未達 300 公尺就碰到岩盤或底下沒有含水層，如何因應？有何看法？</p>	<p>(或可設站之位置)。</p>
<p>四、P4-17 及 p4-23 優選增井位置，看來都非常靠近邊界，有些地方反而空白一大片(例如嘉南平原 3、7、10 之間 20 及 8 之間；蘭陽平原 8、9、10 之間 1、4、5 之間)這是地質統計上之必然，還是有其它原因？是否可以人工稍為挪移？</p>	<p>四、地質統計之佈井結果，會有井網均勻化及邊界設井位置排序優先之情形。本計畫之佈井結果有不均勻之情形乃為受共站及可設位置影響。若兩站之間太近或有太大區域卻無增設站井之情況，將配合現有水文地質資料，進行人工調整。</p>
<p>成功大學資源工程系李振誥：</p>	
<p>一、嘉南平原分南北段設置觀測井，重點在於北段，建議南段應增加觀測井數，以利保育作業。</p>	<p>一、嘉南平原南段地下水以保育為主，目前站網應已足夠。另已於報告中亦加入嘉南平原南段之佈井建議，以供主管單位參考。</p>
<p>二、澎湖本島外之小島的設置觀測井，基本上以一口便可(因目前皆未打井鑽探資料)，若待真正打完成鑽井，再進行建議增加觀測井。</p>	<p>二、本計畫於澎湖之佈井之建議，即是採用區分第一優先及第二優先，而目前第一優先亦只於白沙、西嶼兩島建議各一口。而於第一優先之規畫也僅希望能達到有水位代表資料，尚未不到空間分析之階段。可於第一優先站井鑽設完成後，再行檢討第二優先之站井位置。</p>
<p>三、請注意圖 3.1.25 及 3.1.32 中地下水位圖位於海岸邊緣或近東邊丘陵地，是否與事實地下水位分佈相符，若不相符趨勢，請修正之。</p>	<p>三、水位等值圖於資料點位分佈之邊界或以外地區之參考性不高。若無進一步之資料點，於資料點不足處亦難判斷其實際情形。</p>
<p>中央地質調查所費科長立沅：</p>	
<p>一、本計畫針對嘉南地區之站井評估，係依據台糖公司地下水開發保育中心完成的「地質水文分析及抽水試驗」分層結果，所採用的水文地質架構模式較接近局部區域的特性，對於大區域而言，不適合做如此的分層。故考慮到報告的實用性，建議將本所近期完成的初步成果納為附錄，提供參考。</p>	<p>一、已將貴所提供之初步成果，納為附錄以提供參考。</p>

<p>二、地質調查所在嘉南地區進行的水文地質鑽井，場址數目已經超過水利處目前完成的地下水位觀測站井數，因此本計畫所完成規劃的站井選定位置，本所會再予評估，以確定下年度適合做水文地質鑽井的場址。</p>	<p>二、建請執行單位參考。</p>
<p>三、澎湖地區鑽井成本較本島高很多，而且需要考慮到機具搬運的問題，故建議於本報告之結論中說明：在本計畫年度經費許可下，選擇第一優先之井位，集中於一年度中執行完畢。</p>	<p>三、已納入委員意見，加入於報告建議中。</p>
<p>主辦科意見：</p>	
<p>一、p.4-4 及 p.4-15，有關圖 4.2.5 及圖 4.2.6，請補充說明於嘉南平原含水層一及二如何判斷只要再增設 35 口井即可達到原規劃 54 站之精度？</p>	<p>一、本計畫以所佈井結果所對應之總變異量為佈井之精度標準，而圖 4.2.5 可看出由所有國小優選之佈井結果於約增加到第 34 站時，即可達到原規劃(再增設 54 站)所降低之總變異量。已於報告中再加以說明。</p>
<p>二、同前之問題，請補充說明於蘭陽平原如何判斷只要再增設 4~5 口井即可達到原規劃 13 口之精度？</p>	<p>二、已於報告中再加以說明。</p>
<p>三、p.4-20，圖 4.3.32 蘭陽平原含水層一（變異元之）結構分析圖，由於資料點過少，圖形擬合應較近似於塊金（Nugget）效應所呈現之曲線，為何會選擇指數模式予以擬合？</p>	<p>三、變異元結構之判定本身即具有相當的主觀性，尤其在資料數少時，以蘭陽平原目前的資料數嚴格而言並不具以進行變異元之分析，惟為方便整個站網計畫之執行，本研究仍進行較主觀的判定及分析，惟就以往本團隊過去之執行經驗變異元之選擇對總變異量之值雖會有所影響，惟對井位之分佈情形影響不大。</p>
<p>四、文字之誤植者： (一) p.3-11，文中提及劉殷清(1995)，是否應為中研院劉啟清博士？此外，請將報告中許多引用之他人文章者之出處，納入參考文獻中。 (二) 透水係數之英文拼錯(應為 Hydraulic Conductivity)。</p>	<p>四、已於報告中修正。</p>

<p>(三) P.3-13, 第三行「『井』其值為 25 (mg/L)」, 井係誤植者。</p> <p>(四) 表 3.1.2、3.1.3、3.3.2 之座標是否有誤或遺漏?</p> <p>(五) P4-8, 第四行「『重』下列兩站.....」應為「『從』下列兩站.....」之誤植。</p>	
<p>五、少數圖面不甚清晰(如下: 圖 3.1.3、3.1.4、3.1.5、3.1.6、3.1.7、3.1.8、3.2.2), 請於期末報告定稿時改善。</p>	<p>五、因這些圖面為引用自其它報告, 本計畫已儘量處理至最佳情形。</p>