

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

濱海地層下陷易淹水地區防護及管理策略之研究--子計畫： 地層下陷易淹水區區域排水系統運作模擬分析(I) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 95-2625-Z-002-022-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：國立臺灣大學水工試驗所

計畫主持人：賴進松

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：張向寬、李豐佐

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 96 年 10 月 22 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☒ 成果報告
☐ 期中進度報告

地層下陷易淹水區區域排水系統運作模擬分析(1/3)

計畫類別：☐ 個別型計畫 ☒ 整合型計畫

計畫編號：NSC — — — — —

執行期間： 95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

計畫主持人：賴進松 國立台灣大學水工試驗所副研究員

共同主持人：

計畫參與人員：張向寬 國立台灣大學生物環境系統工程學系 博士生
李豐佐 國立台灣大學生物環境系統工程學系 博士生

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☐ 精簡報告 ☒ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年 ☐ 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學水工試驗所

中 華 民 國 96 年 10 月

摘要

關鍵詞：區域排水系統運作，濱海地層下陷，淹水潛勢

台灣西南沿海平原地區中，濁水溪沖積扇為地下水資源極豐沛之地區。然而近年來，沿海養殖業興起，大量抽用地下水，使地下水位快速下降，遂造成地下水供需嚴重失調，導致濱海地區嚴重地層下陷。就雲林濱海地層下陷區來說，由於地表高程降低，使其區域排水路坡降不良、河海堤及排水設施功能減弱、閘門及抽水站運作失常、河海堤高度不足，導致區域排水系統功能失效。影響所及，近年來每逢颱風來襲或豪大雨情況，均造成地層下陷區頻頻淹水及海水倒灌成災，造成人民生命財產之重大損失。本研究計畫乃屬於整合型計畫「濱海地層下陷易淹水地區防護及管理策略之研究」中之子計畫(二)：「地層下陷易淹水區區域排水系統運作模擬分析」。此整合型計畫擬針對雲林縣濱海地區，考量土地利用管理、區域排水系統操作，最終目的在提供有效之防護及管理策略，供土地開發事業及水利事業主管機關作為決策之依據。而本子計畫將研究區域地層下陷後，因地表高程下降造成易淹水區區域排水系統無法正常運作之情形。其研究重點第一年為易淹水區域之資料蒐集、模式之整合建置與模擬；第二年則建立區域排水系統模式，考慮抽水機操作，並與淹水模式進行銜接；最後一年利用不同重現期之降雨量，考慮重力排水閘門條件及抽水站抽水量，在不同操作方式之情況下，推估繪出淹水潛勢圖。同時，本子計畫之模擬結果將提供給其他子計畫，以利其對於地層下陷易淹水區之地下水防護管理及濱水土地開發利用管理進行評估研究。

Abstract

Keyword : drainage system operation, coastal subsidence lowlands, inundation potential.

In the southwestern coastal areas of Taiwan, the Chou-shui-river alluvial fan is one of the extremely plentiful areas of groundwater resources. In recent years, the coastal aquaculture rise and the over withdrawn of groundwater result in fast drop of groundwater level have caused imbalance of groundwater supply and demand and land subsidence in the coastal area. Due to land subsidence, the drainage system may malfunction to create the problems such as insufficient channel slope, decrease of pumping efficiency, etc. It can usually create flooding disasters when the storm or typhoon event occurs.

This 3-yr proposal is entitled “the simulation of the drainage system operation in the coastal subsidence lowlands.” In the first year of this study, the 2D depth-averaged flow models will be established and modified to simulate the flood inundation with data of drainage system. In the second year, the models will be tested to verify their applicability with pumping and drainage gate operations. In the third year, various hydrological conditions of different flood or rainfall return periods are applied to simulate desirable scenarios of flood inundation. During the study period, joining study results will be shared with other subprojects to provide the information of flood inundation with the consideration of drainage system operation. The expected results in this project include the potential of inundation range, depth and duration, as important aids for the region development and flood protection in the coastal subsidence lowlands.

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	IV
圖目錄.....	V
1、前言.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫目的.....	2
2、研究區域基本資料蒐集與分析.....	3
2.1 水文資料.....	3
2.2 地層下陷資料.....	3
2.3 淹水災害調查.....	3
3、地層下陷模式之研選與測試.....	18
3.1 地層下陷模式研選.....	18
3.2 一維非耦合地層下陷模式理論簡介.....	25
3.2.1 水流控制方程式.....	25
3.2.1.1 土體位移代數式.....	28
3.3 濁水溪沖積扇地層下陷模擬.....	29
3.3.1 資料之蒐集與處理.....	29
3.3.2 地層下陷模擬結果.....	30
4、淹水潛勢模擬.....	68
4.1 模式簡介.....	68
4.2 模擬區域既有資料之完整性探討.....	72
4.2.1 模擬區域淹水潛勢模擬所需之資料.....	72
4.2.2 模擬區域現有資料檢討分析.....	72
4.2.3 既有資料提供與本計畫淹水潛勢模擬之足夠性分析.....	72
4.3 模擬案例定義.....	73
4.4 模擬條件概述.....	73
4.5 模擬結果分析比較.....	74
參考文獻.....	99

表目錄

表 2-1 濁水溪流域雨量站概況	4
表 2-2 濁水溪流域流量站概況	5
表 2-3 彰雲橋(合)流量站站況資料.....	6
表 2-4 雲林地區地層下陷量測結果	7
表 2-5 彰化地區地層下陷量測結果	9
表 2-6 濁水溪流域近年來重大颱風淹水事件調查	10
表 2-7 桃芝颱風來襲時濁水溪流域下游沿海地區之災情	11
表 2-8 納莉颱風來襲時濁水溪流域下游沿海地區之災情	12
表 3-1 國內相關地層下陷理論法計算模式功能列表分析	31
表 3-2 濁水溪沖積扇各測站之分層地層厚度（含虛擬分層）	32
表 3-3 雲林地區各鄉鎮市年抽水量表	34
表 3-4 彰化地區年地表入滲量推估結果	35
表 3-5 雲林地區年地表入滲量推估結果	35
表 3-6 濁水溪沖積扇分層抽水比例	36
表 3-7 地質參數比例表	38
表 3-8 彰化地區地層下陷模擬結果	43
表 3-9 雲林地區地層下陷模擬結果	44
表 3-10 TM二度座標地層下陷量	47
表 4-1 颱風事件之降雨量與潮位資料—(1)納莉颱風.....	76
表 4-2 不同降雨量颱風事件之降雨量與潮位資料	79
表 4-3 納莉與桃芝颱風事件之淹水資訊模擬結果	80
表 4-4 不同降雨量事件之淹水資訊模擬結果	81
表 4-5 地層下陷案例之淹水資訊模擬結果	82

圖目錄

圖 2-1 濁水溪流域位置圖	13
圖 2-2 雲林地區民國 81 年至 83 年之年平均下陷速率等值圖	13
圖 2-3 雲林地區民國 83 年至 85 年之年平均下陷速率等值圖	14
圖 2-4 雲林地區民國 85 年至 87 年之年平均下陷速率等值圖	14
圖 2-5 雲林地區民國 87 年至 88 年之年平均下陷速率等值圖	15
圖 2-6 雲林地區民國 88 年至 91 年之年平均下陷速率等值圖	15
圖 2-7 彰化地區民國 84 年至 86 年之年平均下陷速率等值圖	16
圖 2-8 彰化地區民國 86 年至 87 年之年平均下陷速率等值圖	16
圖 2-9 彰化地區民國 87 年至 89 年之年平均下陷速率等值圖	17
圖 2-10 納莉颱風期間濁水溪流域下游沿海地區淹水地點分佈圖	17
圖 3-1 拘限含水層分層深度積分示意圖	55
圖 3-2 非拘限含水層分層深度積分示意圖	55
圖 3-3 垂直方向介面物理連接條件示意圖	56
圖 3-4 水平方向介面物理連接條件示意圖	56
圖 3-5 濁水溪沖積扇地層下陷模擬垂直分層示意圖	57
圖 3-6 濁水溪沖積扇地層下陷模擬水平分區網格示意圖	58
圖 3-7 濁水溪沖積扇模擬區域邊界示意圖	59
圖 3-8 濁水溪沖積扇含水一地下水位模擬結果(85/08).....	60
圖 3-9 濁水溪沖積扇含水二地下水位模擬結果(85/08).....	61
圖 3-10 濁水溪沖積扇含水三地下水位模擬結果(85/08).....	62
圖 3-11 濁水溪沖積扇含水一地下水位模擬結果(86/12).....	63
圖 3-12 濁水溪沖積扇含水二地下水位模擬結果(86/12).....	64
圖 3-13 濁水溪沖積扇含水三地下水位模擬結果(86/12).....	65
圖 3-14 彰化地區地層下陷模擬結果(84/10-89/04)	66
圖 3-15 雲林地區地層下陷模擬結果(83/12-88/10)	67
圖 4-1 彰化地區模擬範圍示意圖	83
圖 4-2 雲林地區模擬範圍示意圖	83
圖 4-3 彰化地區模擬時選用之排水路位置示意圖	84
圖 4-4 雲林地區模擬時選用之排水路位置示意圖	84
圖 4-5 彰化地區颱風雨(24 小時延時)無因次設計雨型	85
圖 4-6 雲林地區颱風雨(24 小時延時)無因次設計雨型	85
圖 4-7 彰化地區海堤位置示意圖	86
圖 4-8 彰化地區假定河道位置示意圖	86
圖 4-9 案例 2 假定河道斷面示意圖	87
圖 4-10 桃芝颱風造成彰化地區淹水情形	88
圖 4-11 納莉颱風造成彰化地區淹水情形	88
圖 4-12 桃芝颱風造成雲林地區淹水情形	89

圖 4-13 納莉颱風造成雲林地區淹水情形	89
圖 4-14 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果	90
圖 4-15 防災國家型科技計畫辦公室彰化縣淹水潛勢模擬結果	90
圖 4-16 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果	91
圖 4-17 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果	91
圖 4-18 防災國家型科技計畫辦公室彰化縣淹水潛勢模擬結果	92
圖 4-19 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果	92
圖 4-20 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果	93
圖 4-21 二維淹水模式模擬彰化地區受地層下陷影響之淹水結果	93
圖 4-22 防災國家型科技計畫辦公室彰化縣淹水潛勢模擬結果	94
圖 4-23 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果	94
圖 4-24 防災國家型科技計畫辦公室雲林縣淹水潛勢模擬結果	95
圖 4-25 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果	95
圖 4-26 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果	96
圖 4-27 防災國家型科技計畫辦公室雲林縣淹水潛勢模擬結果	96
圖 4-28 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果	97
圖 4-29 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果	97
圖 4-30 二維淹水模式模擬雲林地區受地層下陷影響之淹水結果	98
圖 4-31 防災國家型科技計畫辦公室雲林縣淹水潛勢模擬結果	98

1、前言

1.1 計畫緣起

台灣西南沿海平原如彰化、雲林及屏東等地區原地下水資源豐富，由於並無足夠水庫以攔蓄雨季多餘水量，且位處於供水圳路末端，地面水源多受污染，故地下水成為質優、量多取用方便之水源。1980 年代起，沿海養殖業興起，大量抽用地下水，遂造成地下水供需嚴重失調，導致濱海地區嚴重地層下陷，衍生損害國土資源及其他社會問題。

就雲林地區而言，長年之地下水供需失衡導致該區嚴重地層下陷，尤其以沿海地區之台西、四湖、口湖、水林、麥寮與東勢等鄉鎮較為嚴重，且地層下陷區有往內陸移動趨勢，由近四年之統計資料顯示，雲林地區為全國下陷面積最大地區，下陷速率則僅次於彰化地區，累積最大下陷量已達 215cm(至民國 91 年為止)。

濱海地層下陷區，由於大量抽取地下水引起海水入侵，造成土地鹽化，減少耕地面積；此外，因地表高程降低、河海堤及排水設施功能減弱，導致區域排水系統功能失效，區域排水系統功能失效主要原因為排水口高程低於海平面、排水路坡降不良、閘門及抽水站功能喪失、河堤海堤高度不足等硬體建設之失效，影響所及，近年來每逢颱風來襲或豪大雨情況，均造成地層下陷區頻頻淹水及海水倒灌等災害。

民國 94 年 6 月間發生之 612 水災，台灣南部農業縣市沿海地區均災情慘重，經濟部水利署研判南部水患主因皆為都市及區域排水不良，而政府為改善台灣濱海地層下陷易淹水區生活及生產環境，需投資大量經費於河海堤之加高，抽水機具馬力之加大以及排水設施之加強等，據估計政府每年所花費於地層下陷區之社會成本高達百億以上。

本研究計畫乃屬於整合型計畫「地層下陷易淹水地區防洪管理策略之研究」中之子計畫(二)：「地層下陷易淹水區區域排水系統運作模擬分析」。整合型計畫基本構想乃擬針對雲林縣濱海地區，整合土地利用管理、區域排水系統操作研究及地下水防護策略及相關之水文地質基礎研究，最終目的在提供有效之防護及管理策略，供土地開發事業及水利事業主管機關作為決策之依據。而本子計畫將進行地層下陷後淹水數值模式之研發；考慮研究區域地層下陷後，造成地表高程下降、河川水位提昇，或是由河川沿岸溢流至研究模擬地區；此時，亦考慮抽水站及防洪設施操作不當之淹水情形；同時針對上述各項防洪水利設施與淹水監測預警系統結合進行深入探討。其研究重點第一年為易淹水區域之資料蒐集、模式之建置與模擬，第二年則建立區域排水系統模式，考慮抽水機操作，並與淹水模式進行銜接，最後一年利用不同利用不同重現期之降雨量，給定於二維淹水模式中加以模擬，並繪出淹水範圍區域圖。並考慮區域排水之重力排水閘門條件及抽水站抽水量，推估在不同操作方式之情況下，對淹水模擬之影響。最後，本子計畫之模擬結果將提供給其他子計畫，將對於地層下陷易淹水區之地下水防護管理及

濱水土地開發利用管理進行評估。

1.2計畫目的

濱海地層下陷易淹水區域防護及管理，除了經費及硬體建設之議題外，應整合土地開發管理、區域排水系統運作模擬分析及地下水防護管理等營運管理規劃。土地利用不當或過度開發，為各種人為及天然災害發生之根本原因，人口成長賴以維生之土地及資源不斷被開發利用，因此需有效管理以杜絕災害之發生；區域排水系統模擬及地下水防護管理，提供土地利用管理之限制條件，亦即人口成長土地開發之前提需避免區域排水系統之失效及地下水源過度開發及破壞。

台灣地區總面積約 36,000 平方公里，其中海拔高度在 1,000 公尺以上之山地區域約 31.5%，海拔高度在 100 公尺至 1,000 公尺間之山坡地約 31.3%，海拔高度在 100 公尺以下之平地地區約 37.2%，總面積約 13,392 平方公里。依據國科會防災國家型科技計畫辦公室所模擬之淹水潛勢區域，加上近幾年颱風受災淹水範圍得知，而台灣易淹水低窪地區總面積約 1,150 平方公里，占人口集中與高度發展之平地地區（海拔 100 公尺以下）約 8.6%，嚴重影響人民生活與經濟發展。近年全球已有降雨日數減少及降雨集中之趨勢，為因應全球氣候變遷，全球各地水旱災等自然災害日劇，應儘早完成易淹水地區改善之安全基礎建設。且台灣正朝科技島目標邁進，人口密集區、重要科學園區、工業區、生技園區、高速鐵路、都會區、政經發展區等多緊鄰水岸逐一設立，應儘速降低易淹水低窪地區淹水潛在威脅，以保障人民生命財產安全。

政府於民國八十六年十一月間成立防災國家型計畫，其中有關防洪項目之主要目標在於掌握不同降雨情況下，台灣地區可能之淹水區域及淹水深度，進而評估洪災所造成之損失，並且進行颱風之境況模擬，作為災害減輕及防災作業之依據。然而，除了大自然之颱風降雨事件所導致之淹水洪災外，由於人為過度之地下水資源開發而造成之地層下陷，亦是形成淹水災害的主要成因。

本計畫研究範圍內之地文環境因地層下陷變得較為複雜，若因颱風發生造成滯洪設施功能不足或是抽水機操作不當時，水流將瞬間溢流於地表面上內，而大量之入流水流將往地勢低窪處傳播前進，形成洪水淹沒災區。因此，模擬洪水波在淹水區傳播運行之水理特性及境況，對於淹水範圍深度劃定、土地開發管理、區域排水系統運作模擬分析及地下水防護管理等營運管理規劃十分重要。

本計畫將依據其他子計畫演算之地層下陷量，配合區域排水系統之營運，模擬淹水潛勢，並提供其他子計畫評估擬定地下水防護管理及土地利用開發策略及相關之水文地質基礎研究，最終目的在提供有效之防護及管理策略，供土地開發事業及水利事業主管機關作為決策之依據。

2、研究區域基本資料蒐集與分析

濁水溪位於台灣中部，發源於合歡山南麓，西經南投、雲林及彰化等縣注入台灣海峽（如圖 2-1 所示），全長為 186.4 公里，為台灣最長之河流，流域面積為 3,157 平方公里，僅次於高屏溪流域，為台灣河川之第二位。本區位於中低緯度之交，屬亞熱帶氣候，每年十月至翌年四月盛行東北季風，因中央山脈阻隔，故降雨較少；而每年五月至九月間盛行西南風、雷雨及颱風，雨量豐沛。本區全年平均溫度約 23℃，月平均溫度最高可達 28℃，最低溫度則約 15℃ 左右。

2.1 水文資料

依經濟部水利署水文資料庫之最新統計，濁水溪流域雨量站的分佈位置及記錄時間如表 2-1 所示，全流域年平均雨量約為 2460 公厘，其主流在上游的年雨量可達 3000 公厘，降雨量依山勢遞減，往下游至青雲、集集間約為 2300 公厘，集集至出海口一帶，則由 2400 公厘降至 1200 公厘以下。在流量觀測方面，濁水溪流域流量站的分佈位置及記錄時間如表 2-2 所示，其中社興橋站、瑞峰橋站及草嶺湖站為民國九十年新設的流量站。以彰雲橋流量站為例，由表 2-3 流量統計資料可知，濁水溪流域的豐水期為 5 月至 9 月，枯水期為 10 月至翌年 4 月，年平均流量約 187 CMS。

2.2 地層下陷資料

濁水溪沖積扇深處為深厚之區域含水層，其側多為厚層礫石，含水層的水力連通性甚佳。由於長期過度開發地下水資源，導致區域含水層水位持續下，在台西至麥寮及水林至口湖地區形成兩個水位沈降錐，並造成區域性地層持續下陷問題（賈儀平等，1997）。

濁水溪沖積扇主要包含彰化縣與雲林縣。雲林地區地層下陷之發生緣起於民國 60 年代，其下陷主因為地下水超抽所導致。至民國 86 年止，下陷區域大致分布於沿海地區，且形成兩個下陷中心，一個位於金湖附近，另一個位於台西蚊港附近，累計下陷量約達 190 公分。民國 85 年後，沿海地區下陷速率逐漸縮小，靠內陸地區之下陷速率增加且已超越沿海地區。民國 87 年時，下陷中心已出現在元長、土庫附近，且下陷中心範圍有持續向外擴展之趨勢。民國 81 年至民國 91 年之等下陷速率圖，分別如圖 2-2 至圖 2-6 所示。下陷量之量測結果如表 2-4 所示。

彰化地區民國 81 年後，下陷區域即集中在芳苑以南地區，下陷範圍以大成鄉為中心向外輻射，年下陷速率超過 3 公分之地區包含芳苑鄉、二林鎮、竹塘鄉、埤頭鄉等。民國 84 年至民國 89 年之等下陷速率圖，分別如圖 2-7 至圖 2-9 所示。下陷量之量測結果如表 2-5 所示。民國 84 年至民國 86 年之下陷速率為 23.6 公分/年、持續下陷面積為 258 平方公里；民國 86 年至民國 87 年之下陷速率為 19.3 公分/年、持續下陷面積為 392 平方公里；民國 87 年至民國 89 年之下陷速率為 16.4 公分/年、持續下陷面積為 332 平方公里。

2.3 淹水災害調查

濁水溪中下游是台灣重要的農業區，但因降雨時間分佈不均，特別是從 10 月至翌年 4 月的枯水期間，地表水源供應能力不足，但是本區地下水資源極為豐富，早年農民即鑿井抽取地下水來解決水源短缺問題。自民國四十年代本區開始大規模鑽鑿深井開發地下水使

用，六十年代以後濱海地區養殖漁業興起，大量抽取地下水，造成地下水水位持續下降，並引發嚴重的地層下陷災害，包括海水倒灌、土壤及地下水鹽化、建築物沈陷、排水設施及海堤喪失功能、海岸地區國土漸消失，不但導致民眾生命財產的損失，而且對國土資源保育及開發利用，也有相當嚴重的威脅（水利局，1996）。

近年來濁水溪沿岸之重要堤防與護岸陸續完成，除少數重大颱風事件造成部分堤防潰決而產生溢淹之情形，河水溢岸氾濫之現象已大為改善，但平原區之河川及排水於颱風時常因暴雨洪流宣洩不及而在河川及排水路兩岸造成淹水情形。近年來媒體所報導重大颱風事件在濁水溪流域的淹水資訊如表 2-6 所示（許銘熙等，2000）；民國 90 年 8 月、9 月台灣遭遇桃芝及納莉颱風侵襲，造成人民生命及財產的重大損失，研究地區亦受到水患的嚴重破壞，其淹水地點如圖 2-10，茲將颱風造成之災壞情形列於表 2-7 及表 2-8。

表 2-1 濁水溪流域雨量站概況

站號	站名	水利署新站號	水利署舊站號	流域	縣市	所屬單位	標高(m)	記錄年份	統計年數
<u>01H400</u>	東埔	1510P030	2900490	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	1135.00	1923~2001	79
<u>00H710</u>	集集(2)	1510P046	2900790	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	215.00	1940~2001	62
<u>00H540</u>	龍神橋	1510P075	2900630	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	322.00	1956~2001	46
<u>01H110</u>	桶頭(2)	1510P079	2901040	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	231.00	1941~2001	61
<u>01J100</u>	西螺(2)	1510P080	2901200	濁水溪	雲林縣	經濟部水利署	30.00	1958~2001	44
<u>01H390</u>	望鄉	1510P087	2900520	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	2200.00	1960~2001	42
<u>01H470</u>	西巒	1510P088	2900610	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	1666.00	1960~2001	42
<u>01J970</u>	草嶺(2)	1510P104	2901030	濁水溪	雲林縣	經濟部水利署	724.00	1965~2001	37
<u>01H310</u>	翠峰	1510P105	2900070	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	2303.00	1965~2001	37
<u>01H450</u>	關門	1510P115	2900330	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	2000.00	1969~2001	33
<u>01H440</u>	卡奈托灣(2)	1510P116	2900370	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	1390.00	1969~2001	33
<u>01H780</u>	內茅埔(2)	1510P125	2900590	濁水溪	南投縣	經濟部水利署	485.00	1980~2001	22
<u>02J890</u>	後安寮	1515P009	2910090	濁水溪	雲林縣	經濟部水利署	3.90	1961~2001	41

※資料來源：經濟部水利署水文資料庫。

表 2-2 濁水溪流域流量站概況

站號	站名	縣市	流域	集水面積(km ²)	標高(m)	記錄年份	統計年數
1510H007	武界(2)	南投縣	濁水溪	501.26	820.00	1957~2001	45
1510H011	青雲	南投縣	濁水溪	1526.26	364.20	1955~2001	41
1510H024	桶頭(2)	南投縣	濁水溪	259.20	214.00	1941~2001	57
1510H040	雲龍	南投縣	濁水溪	106.88	1054.53	1964~1990,1995~2001	20
1510H044	水里	南投縣	濁水溪	55.46	302.00	1974~2001	24
1510H048	郡大	南投縣	濁水溪	411.40	560.00	1978~2000	23
1510H049	內茅埔	南投縣	濁水溪	367.40	475.00	1972~2001	30
1510H055	神木	南投縣	濁水溪	88.40	745.50	1977~2001	24
1510H057	彰雲橋	雲林縣	濁水溪	2906.32	91.00	1985~2001	17
1510H058	自強大橋	彰化縣	濁水溪	2988.88	17.00	1986~2000	15
1510H063	玉峰橋	南投縣	濁水溪	2098.94	276.80	1994~2001	8
1510H064	水里橋	南投縣	濁水溪	80.22	276.80	1994~2001	8
1510H065	彰雲橋(合)	雲林縣	濁水溪	2906.32	91.00	1994~2001	8
1510H070	武界進水	南投縣	濁水溪	501.26	820.00	1957~2001	45
1510H071	溪州大橋	彰化縣	濁水溪	2974.73		2000~2001	2
1510H072	社興橋	嘉義縣	濁水溪	61.15		2001	1
1510H073	瑞峰橋	嘉義縣	濁水溪	42.80		2001	1
1510H074	草嶺湖	雲林縣	濁水溪	157.73		2001	1

※資料來源：經濟部水利署水文資料庫。

表 2-3 彰雲橋(合)流量站站況資料

流域編號 Basin No.		測站編號 Station No.		流域名稱 Basin			河流名稱 Tributary		測站名稱 Station			流域面積 Km ² Drainage Area		
1510 290		H065 0455		濁水溪 CHO-SHUI CHI			濁水溪 CHO-SHUI CHI		彰雲橋(合) CHUNYUN BRIDGE			2906.32		
上 旬 1st 10day	414.70	529.00	375.20	791.90	499.00	3324.00	3865.00	5512.00	2307.00	3239.00	441.80	364.70		
中 旬 2nd 10day	371.50	310.60	442.70	931.90	648.40	3159.00	2656.00	2887.00	5634.00	857.70	343.40	265.00		
下 旬 3rd 10day	792.70	246.40	266.50	648.70	3144.00	2613.00	11454.00	2332.00	5451.00	516.80	276.50	370.00		
合 計 Total	1578.90	1086.00	1084.40	2372.50	4291.40	9096.00	17975.00	10731.00	13392.00	4613.50	1061.70	999.70		
月平均 Mo. Aver.	50.93	38.79	34.98	79.08	138.43	303.20	579.84	346.16	446.40	148.82	35.39	32.25		
年 度 統 計 Annual Summary														
平均流量 Average Discharge						年逕流量 Annual Runoff		最大瞬時流量 Max. Peak Discharge		最大日平均 Max. Daily		最小日平均 Min. Daily		
187.07						68282.10		28000.00 (2001/7/30)		7660.00 (2001/7/30)		8.20 (2001/12/11)		
歷 年 統 計 Statistics For Recorded Years														
月平均 Mo. Aver.			32.15	44.52	67.43	74.60	141.85	273.99	272.02	449.82	194.55	134.15	70.75	47.34
最大月平均 Mo. Aver. Max.			50.93 (2001)	107.69 (1998)	203.94 (1998)	137.26 (2000)	246.23 (1996)	336.67 (1998)	579.84 (2001)	836.71 (1994)	446.40 (2001)	433.60 (1998)	184.56 (2000)	95.95 (1998)
最小月平均 Mo. Aver. Min.			10.96 (1994)	19.37 (1996)	19.10 (1996)	32.93 (1994)	81.62 (1995)	141.48 (1996)	85.65 (1998)	183.22 (1995)	97.20 (1996)	53.00 (1995)	26.77 (1997)	31.88 (1995)
平均流量 Average Discharge		最大年平均 Max. Annual			最小年平均 Min. Annual		最大瞬時流量 Max. Peak Discharge			最大日平均 Max. Daily		最小日平均 Min. Daily		
151.02		187.07 (2001)			98.97 (1995)		28000.00 (2001/7/30)			8860.00 (1996/8/1)		2.79 (1994/2/11)		

※資料來源：經濟部水利署水文資料庫。

表 2-4 雲林地區地層下陷量測結果

(單位：公分)

鄉鎮	樁號	點名	x 座標	y 座標	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11
麥寮鄉	內部 046	橋頭國小	175099	2632978	-13.5	-8.1	-5.3
	雲 BM20	麥寮鄉公所	172920	2628143	-12.8	-7.1	-3.9
	雲 BM19	蚊港橋北	170128	2629291	-10.2	-2.4	-1.1
	NO6 井 BM	中山	172158	2632968	-15.2	-5.8	-2.4
	六輕 BM	六輕工業區	169460	2633020	-14.8	-4	-2.5
崙背鄉	崙背 112M	崙背工作站	182555	2629167	-7.5	-9.3	-8.5
	內部 044	豐榮派出所	179110	2632426	-7.9	-7.9	-6.8
	雲 BM33	大有國小	178805	2629213	-8.3	-6.8	-5.9
二崙鄉	水資雲 5	番社大同橋	185023	2631873	-5	-4	-4.7
	油車 110M	油車村	187037	2632190	-3.5	-1	-2.4
西螺鎮	西螺井	西螺工作站	195094	2632428	-3.6	1.5	-0.8
斗六鎮	陸檢 1660	雲林縣政府	200914	2622046	-1.6	0.2	-1.7
虎尾鎮	虎尾國小 BM	虎尾國小	191236	2623690	-7.4	-3	-9
土庫鎮	雲 BM26	埤腳國小	182814	2618775	-11.5	-7.1	-13.5
褒忠鄉	水資雲 4	田洋東	180479	2624173	-12	-8.8	-9.3
	龍岩農場 BM	龍岩農場	178685	2624989	-10.8	-9.2	-5.6
東勢鄉	安南國小 BM	安南國小	172583	2622643	-10.7	-3.4	-3.3
台西鄉	台西 BM	台西工作站	167466	2622082	-7.1	-8.9	-5.1
	海園 BM	海園	165955	2624504	-7.7	-4.5	-3
	NO12 井 BM	蚊港村	169483	2627197	-6.3	-2.3	-1.6
	新興國小 BM	新興國小	169997	2626542	-7.2	-4.6	-2.9
	台電台西 1 號	昭安府	165717	2620052	-8.5	-8.3	-6.6
四湖鄉	雲 BM8	東羊橋	168000	2615528	-11.1	-2.3	-3.9
	雲 BM9	四湖台糖	170151	2614881	-12.3	-5.8	-6.9
	雲 BM7	飛沙國小	165316	2615893	-6.8	-1.1	-2.9
	飛沙 114M	飛沙工作站	164840	2615995	-9.4	-2.5	-2.7
	建陽國小 BM	建陽國小	162609	2614897	-10.3	-4.2	-5.3
元長鄉	水資雲 3	元長公墓	179684	2617131	-12.2	-7.4	-12.3
	雲 BM34	元長忠孝國	179245	2613386	-12.4	-7.2	-7.2
北港鎮	雲 BM14	北港七號橋	176279	2607474	-12.3	-0.9	-2.9
	雲 BM12	好收國小	175652	2610984	-13.2	-5.6	-5.5
	雲 BM25	番子溝	175010	2613817	-13	-5.1	-5.2
	內部 063	北港國中	177645	2607303	-10.7	-0.4	-2.7

表 表 2-4(續) 雲林地區地層下陷量測結果

(單位：公分)

鄉鎮	樁號	點名	x 座標	y 座標	83/10-85/10	85/10-8/02	87/02-88/11
水林鄉	內部 059	大溝	168746	2608271	-10.6	-0.9	-5.4
	R0/6	塭底村	166952	2601962	-14.6	2.1	-4.4
	NO30 井 BM	塭底村	166962	2601957	-14.6	2.1	-4.4
	水林 108M	水林工作站	172266	2608015	-15.3	-0.5	-5.3
	雲 BM23	正東堂	173688	2611294	-13.4	-4.8	-5.6
	雲 BM16	正義公廟	170830	2604447	-13.7	-0.4	-3.6
口湖鄉	雲 BM3	拔子腳	166947	2608675	-9.9	-0.8	-5
	雲 BM5	成龍村	164027	2606260	-15	-1.3	-3.3
	雲 BM24	下崙	163665	2612814	-9.8	-2.4	-4.8
	土資 49	湖口村	163296	2604029	-13.2	-1	-3.9
	土資 124	台子挖	161436	2606647	-12.2	-3.1	-4.9
	土資 123	金湖派出所	162071	2608464	-10.4	-1.4	-3.8
	土資 44	青蚶水塔	163312	2610842	-11.3	-2.8	-9.4
	土資 125	宜梧派出所	166396	2605178	-12.5	-1.9	-4.5
	青蚶排水	青蚶閘門	162851	2610200	-10.5	-2.6	-11.7

表 2-5 彰化地區地層下陷量測結果

(單位：公分)

鄉鎮	樁號	點名	x 座標	y 座標	84/10-86/10	86/10-87/10	87/10-89/05
鹿港鎮	洛津國小 BM	洛津國小	191220	2661365	**	-2.1	**
福興鄉	內部 019	管嶼國小	189608	2658432	-1.2	-3.6	**
埔鹽鄉	好修國小 BM	好修國小	194129	2655968	0	-2.8	-5.4
二林鎮	BM5	二林國小	185220	2644434	-23.4	-12.1	-13.8
	BM15	原斗國中	190841	2643899	-6.6	-5.2	-4
埤頭鄉	合興 BM	合興國小	193985	2643441	**	-4	-2.5
芳苑鄉	BM7	草湖西南	184888	2649340	-10.6	-6.4	-3.6
	BM8	草湖	186400	2650730	-6.1	-7.6	-6.7
	BM4	路上派出所	181572	2643564	-12.1	-12.7	-7.6
	BM19	新街國小	179073	2644593	-17.8	-10.2	-10.6
大城鄉	BM17	大成國小	179943	2639058	-43.4	-18.8	-22.4
	內部 031	西港國小	176768	2639970	-32.4	-14.3	-14.6
	BM2	中西	182718	2642024	-17.2	-12	-11.5
	BM18	美豐國小	178090	2642690	-35.4	-12.9	-20
	潭漚 BM	潭漚國小	182768	2637194	-25.6	-12.2	-23.7
竹塘鄉	竹塘 BM	竹塘工作站	190900	2639923	-8.6	-4.1	6.7
	內部 037	永安派出所	186351	2638403	-11.9	-8.1	-7.8

表 2-6 濁水溪流域近年來重大颱風淹水事件調查

民國	日期	原因	萬興(2)站降雨量(公厘)	主要淹水區域	備註
79 年	8 月 19 日 至 8 月 20 日	楊希颱風 (中度) 西北	最大時雨量：49.0 最大日雨量：241.0 連續 24 小時最大降雨量：287.0 總降雨量：309.0	全縣各鄉鎮	河水溢堤 排水不良 海水倒灌
84 年	6 月 8 日 至 6 月 9 日	荻安娜颱風 (輕度) 北北東	最大時雨量：78.0 最大日雨量：198.0 連續 24 小時最大降雨量：295.0 總降雨量：377.0	員林鎮、二林鎮 埔鹽鄉	河水溢堤 排水不良
85 年	7 月 31 日 至 8 月 1 日	賀伯颱風 (強烈) 西北	最大時雨量：40.0 最大日雨量：203.0 連續 24 小時最大降雨量：271.0 總降雨量：315.0	大城鄉、芳苑鄉 線西鄉、伸港鄉	河水溢堤 排水不良 海水倒灌
87 年	10 月 15 日 至 10 月 16 日	瑞伯颱風 (中度) 北	最大時雨量：(無雨量記錄) 最大日雨量：(無雨量記錄) 連續 24 小時最大降雨量：(無雨量記錄) 總降雨量：(無雨量記錄)	員林鎮、大城鄉	排水不良 海水倒灌

(資料來源：許銘熙等，防災國家型科技計畫辦公室，民國 89 年)

表 2-7 桃芝颱風來襲時濁水溪流域下游沿海地區之災情

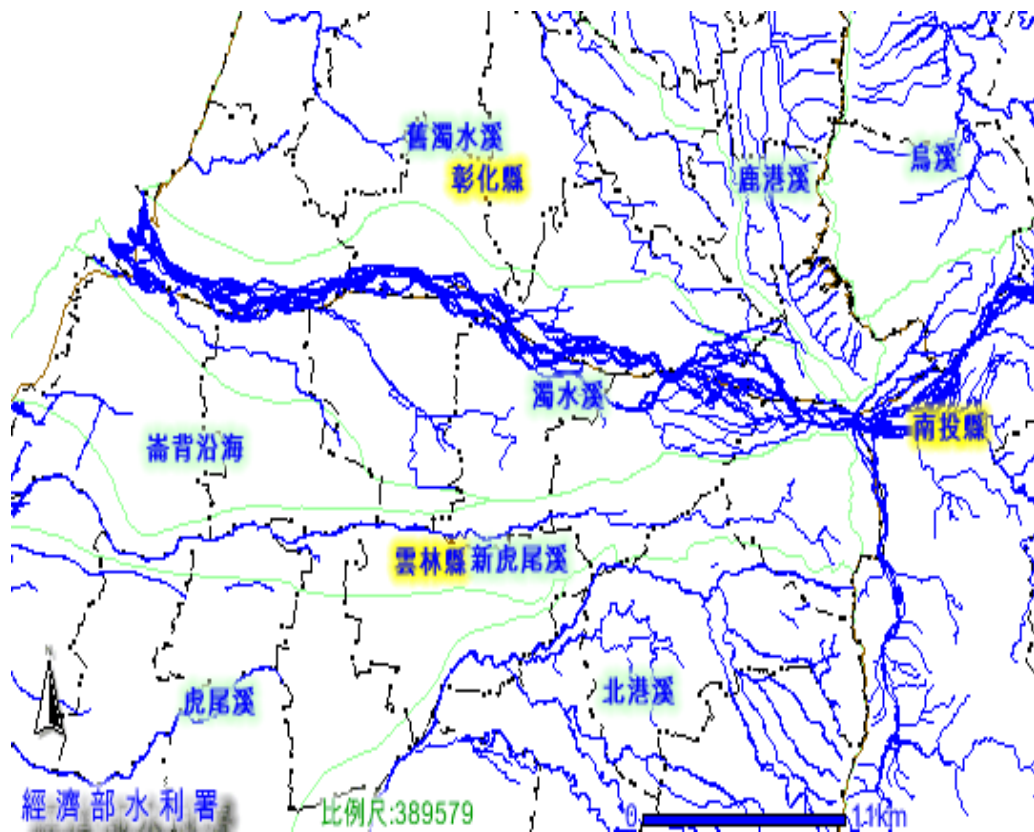
地 點	災 情	原 因
全線各地都淹水，員林市區最嚴重，水深及膝；濁水溪的自強、西螺大橋因水位暴漲，被迫暫時封橋禁止通行，就大埔排水的洪水一度溢出水面。	線防救中心統計，有兩人死亡、一人失蹤、四名民眾受困沙洲獲救，另有一百十二名民眾受困均以安全救出。	桃芝颱風帶來豪雨，從二十九日零時到三十日下午二時芬園山區累積雨量超過三百五十四公厘。
員林鎮之三信、三多及三愛等三里，員林鎮中山路、中正路大同路、浮圳路和平街	水淹過護岸道路，往農田則形成一片汪洋，灌入市區造成積水不退，較低窪地區，水深可達一人高，拋錨車四處可見。	鎮公所表示，主要來自過溝排水、員林大排八堡圳等未整治，造成區域排水不及宣泄，過溝排水的整治是從下游大村鄉做起，但從中山路以東的上游約四百公尺，卻是雜草叢生，兩側護岸道路又常被傾倒廢棄物，造成斷面過小，每逢大雨即無法宣泄，水淹過護岸道路。
員林鎮山腳路、員東路一帶的山區道路	豪雨端流，沖毀路基，並灌入家戶，水深近腰。	因山洪暴發，並挾帶垃圾，土石而下。
環繞縣政府、國立彰化社教館的南郭路、東民街、彰化市建國北路、天祥路、中山國小前的中山路	淹水	山區排水直奔而下，平地的區域排水宣泄不及，一時無法負荷溢流淹沒，是水患的主因。
新開發的彰化市南區崙平里、向陽里一帶	部分地區水深十多公分。	平地的區域排水一時無法負荷是水患的主因。
漢寶溪排水幹線、新寶排水幹線、山寮排水幹線、魚寮溪排水幹線、公館排水支線、頂西港排水幹線、下海墘排水幹線	溢流淹水	颱風帶來豪雨。

(資料來源：蔡長泰等，經濟部水利署，民國 91 年)

表 2-8 納莉颱風來襲時濁水溪流域下游沿海地區之災情

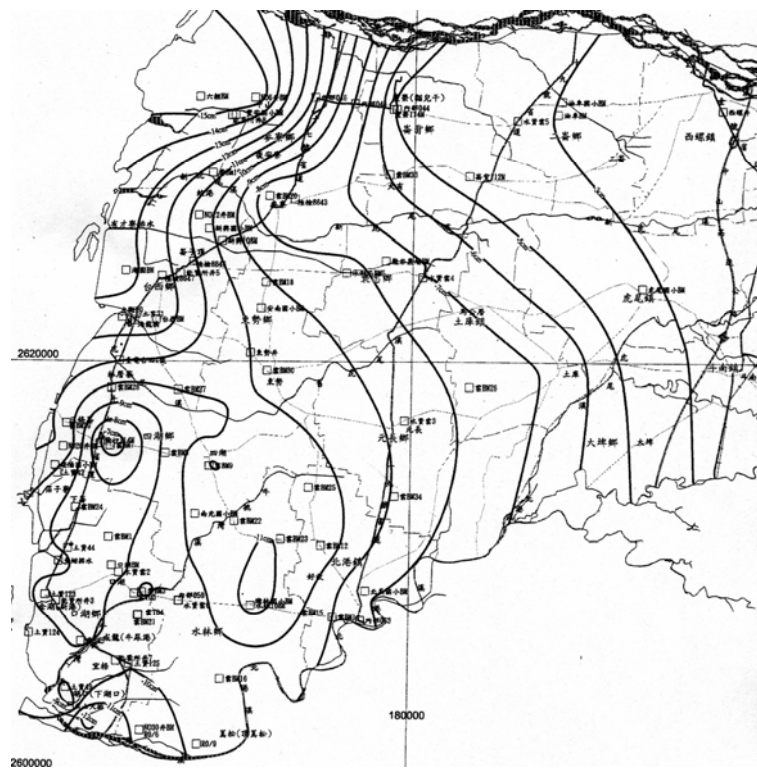
地 點	災 情	原 因
鹿港的一級古蹟龍山寺、瑤林街、埔頭街	都淹水，水深三尺半。	颱風帶來豪雨
溪湖鎮忠覺里崙仔腳排水，水量暴漲，造成忠覺里第三到第五鄰水深過膝。	水量暴漲。滾滾洪流不斷衝入民宅、農地，到處猶如汪洋大海，兩家養豬場一千多頭豬遭洪水沖走。	養豬戶指責公路局施工不當，公路局表示原因出在雨量實在太大，施工人員已盡了力。
縣內主要埤圳的進水口，包括濁水溪的荖仔碑、八堡、同源、永基二、三圳，以及烏溪的溪頭福馬及東西二圳等臨時攔沙壩	遭沖毀	颱風的豪雨，造成山洪暴發。
員林大排的鐵道路基遭山洪沖毀。	全線鐵路全面停駛	遭山洪沖毀
員林鎮的石筍排水溢堤。	造成市區的浮圳、大同路，以及與山腳路相接的員東路、員水路均嚴重淹水。	颱風帶來豪雨
福興鄉福寶村、二港村低窪地區海水倒灌。	農田、漁塭一片汪洋	豪雨及海水倒灌
芳苑鄉新寶、漢寶。	部分海堤遭掏空	颱風帶來豪雨
芳苑鄉新寶村新寶海堤。	有三處堤岸遭掏空。	新寶村黃世文村長認為，長二公里的新寶海堤正在重建，目前是以海砂填高充當臨時土堤，因為臨時土堤結構脆弱，禁不起洶湧海水的衝擊崩塌。
芳苑鄉漢寶村漢寶海堤在海巡署一四〇哨口附近的卅公尺長堤岸。	堤岸掏空。	潮浪侵襲
員林鎮出水里山區	發生土石流，洪水夾帶土石下沖八卦山麓山腳路沿線幾里，入侵民宅和工廠。	颱風帶來豪雨。
山寮排水幹線、魚寮溪排水幹線、公館排水支線、頂西港排水幹線、下海墘排水幹線。	溢流淹水	颱風帶來豪雨。

（資料來源：蔡長泰等，經濟部水利署，民國 91 年）



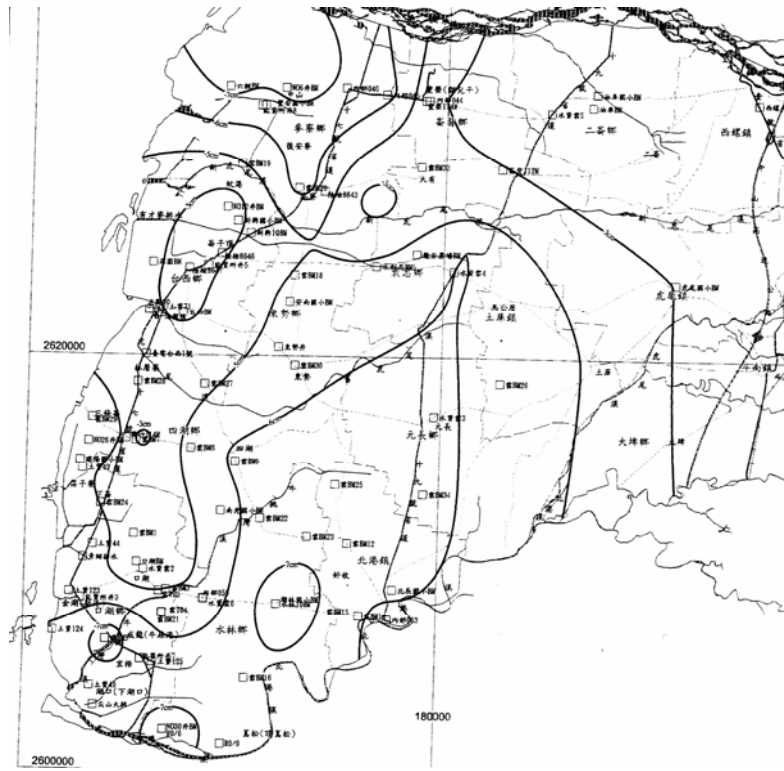
(資料來源：經濟部水利署)

圖 2-1 濁水溪流域位置圖



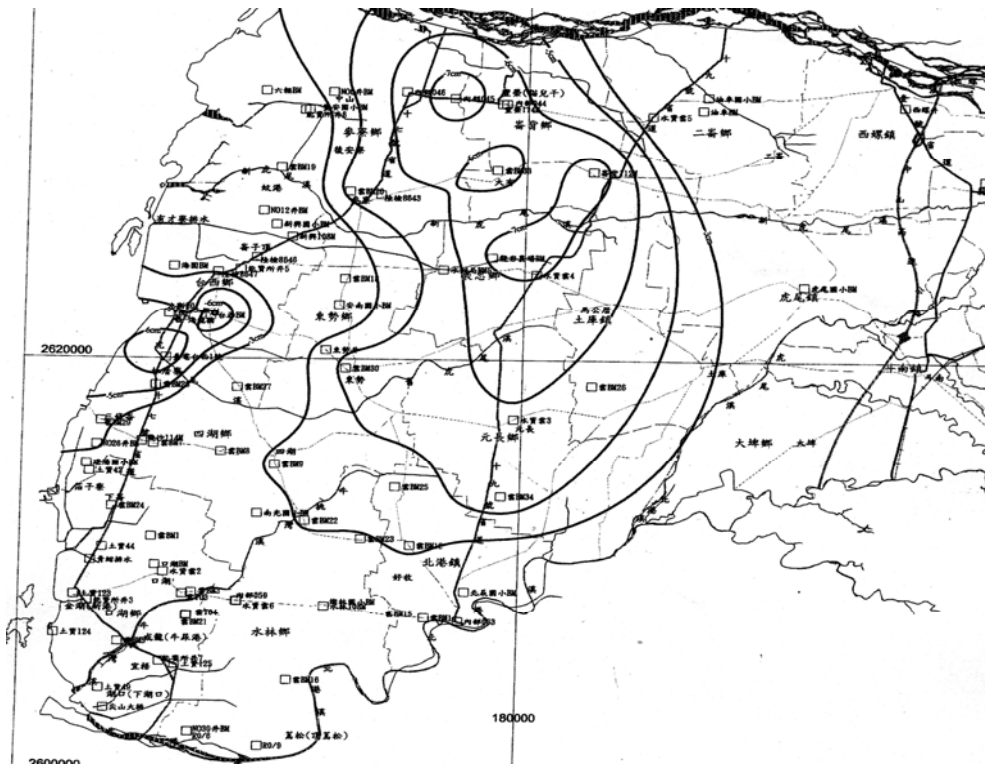
(公分/年)

圖 2-2 雲林地區民國 81 年至 83 年之年平均下陷速率等值圖



(公分/年)

圖 2-3 雲林地區民國 83 年至 85 年之年平均下陷速率等值圖



(公分)

圖 2-4 雲林地區民國 85 年至 87 年之年平均下陷速率等值圖

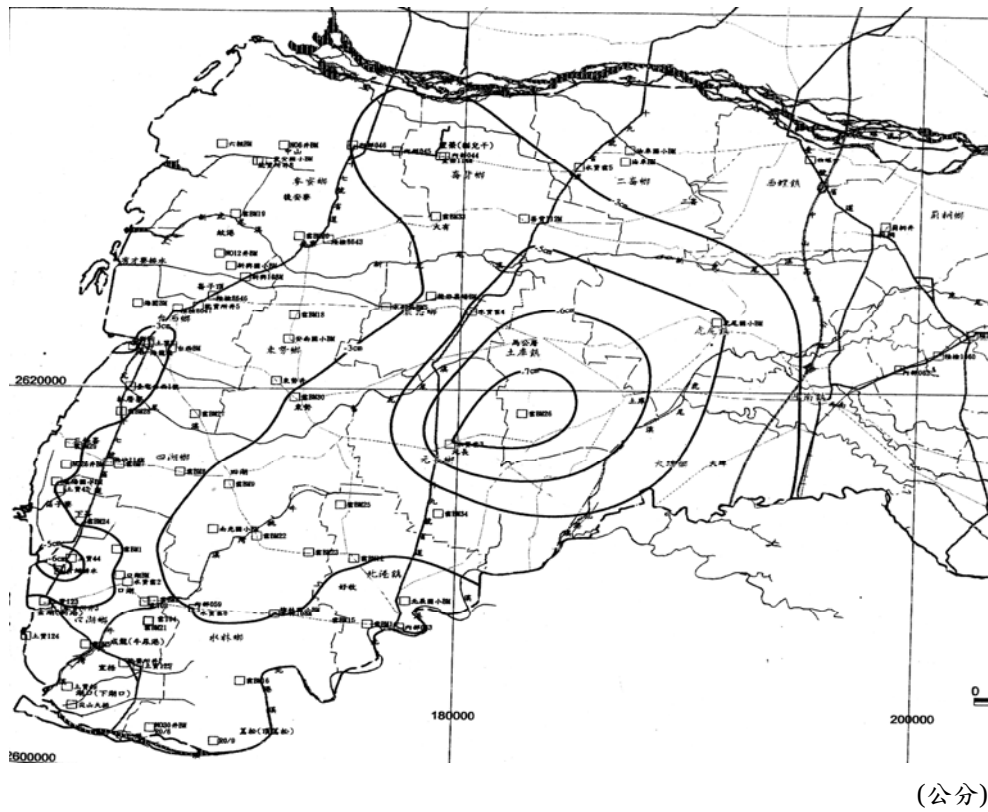


圖 2-5 雲林地區民國 87 年至 88 年之年平均下陷速率等值圖

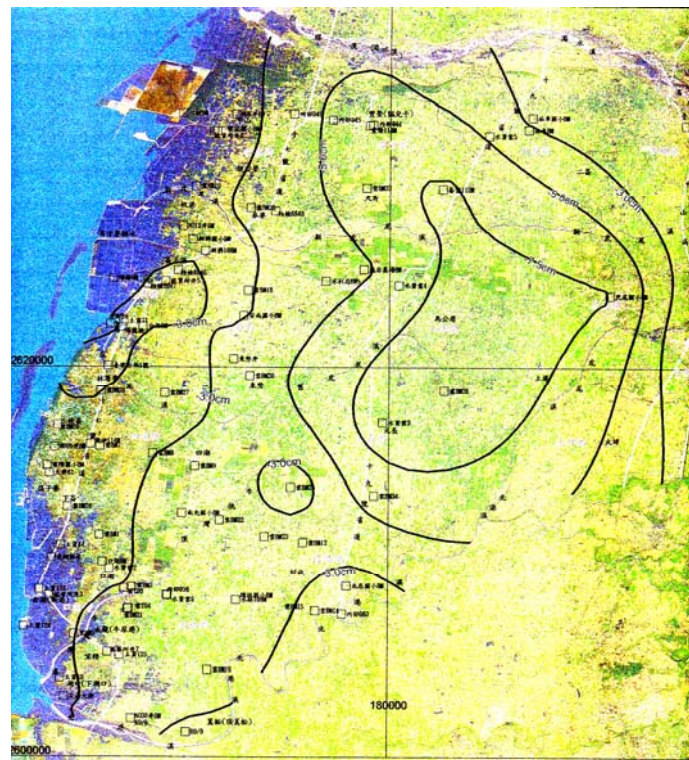
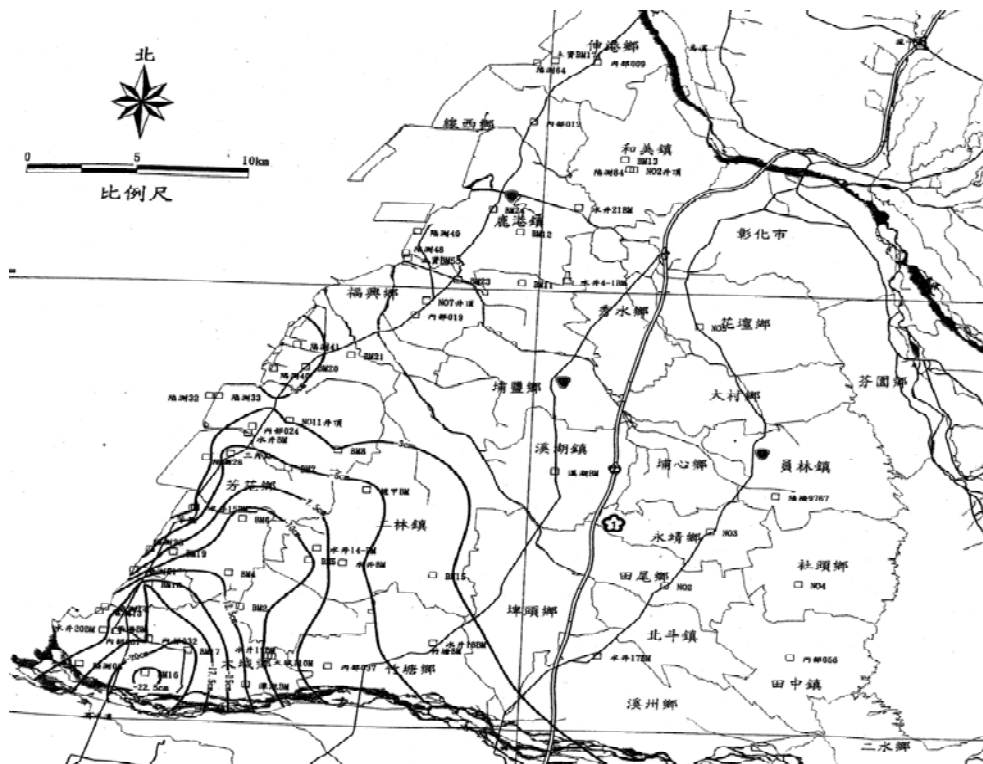
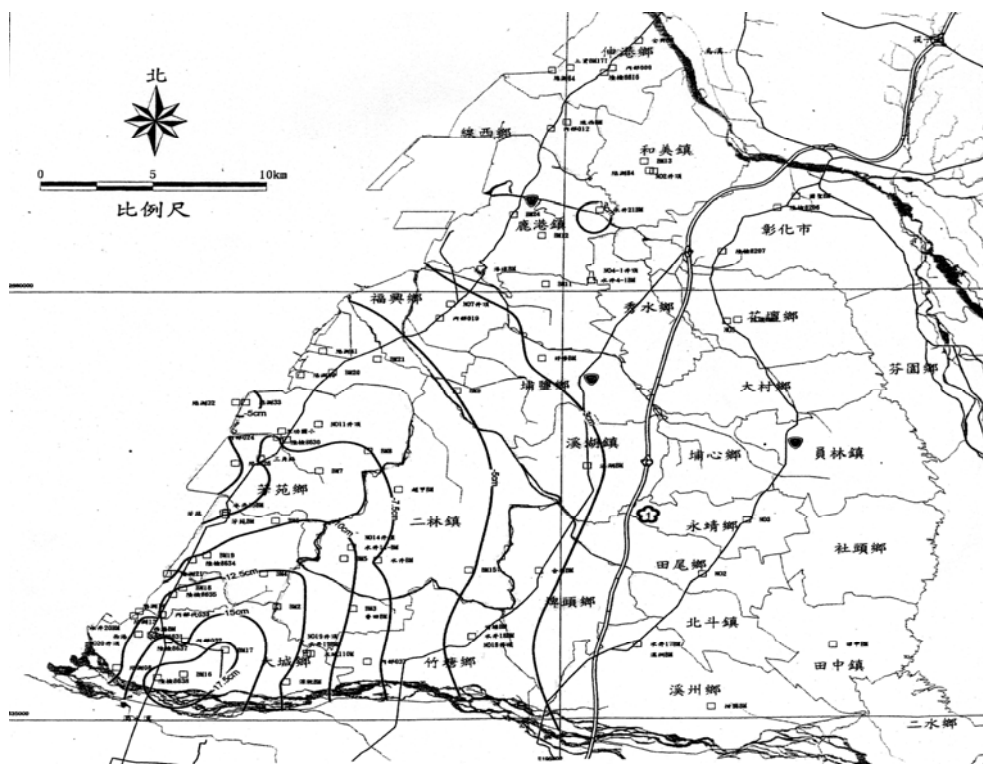


圖 2-6 雲林地區民國 88 年至 91 年之年平均下陷速率等值圖



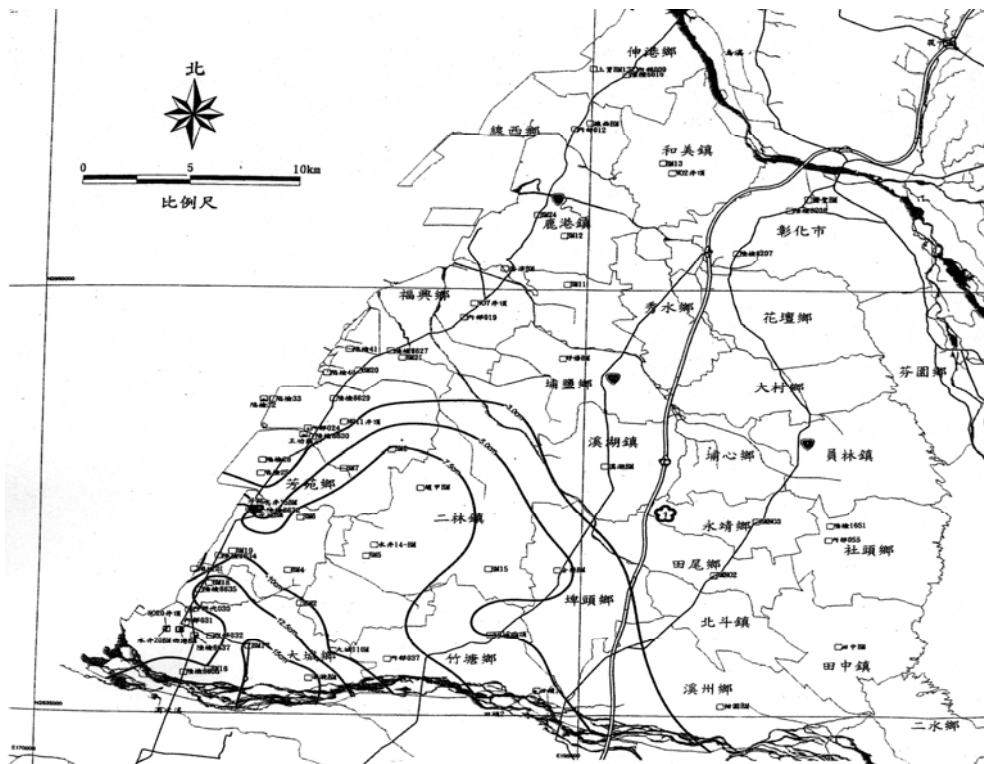
(公分/年)

圖 2-7 彰化地區民國 84 年至 86 年之年平均下陷速率等值圖



(公分/年)

圖 2-8 彰化地區民國 86 年至 87 年之年平均下陷速率等值圖



(公分/年)

圖 2-9 彰化地區民國 87 年至 89 年之年平均下陷速率等值圖

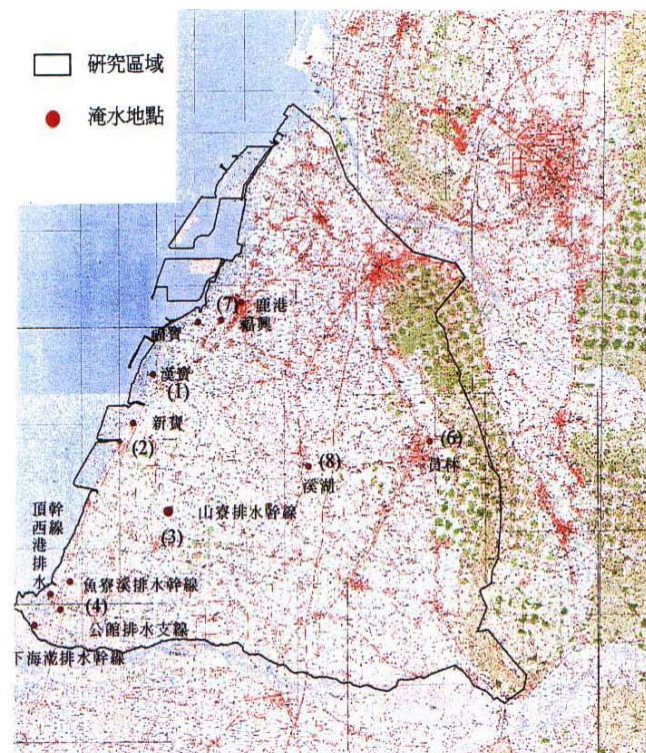


圖 2-10 納莉颱風期間濁水河流域下游沿海地區淹水地點分佈圖

(資料來源：蔡長泰等，經濟部水利署，民國 91 年)

3、地層下陷模式之研選與測試

3.1地層下陷模式研選

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

所謂經驗法即是直接推求地層下陷與時間之迴歸關係，並利用外插方式預測未來可能之下陷量，如曹以松(民國 58 年)與 Vega(1984)。一般常用的迴歸關係式有二次函數、指數函數及對數函數等。此法雖然簡單，但是由於不考慮土體與流體之物理特性，且通常需要較大量之現場實測資料以求得迴歸關係，故較為不經濟且不準確。

半經驗法則是考慮地層下陷量及其相關因子之迴歸函數關係，如地下水位、水位洩降量或抽水量等。Wadachi(1940)曾探討地層下陷量與地下水位之相關性，Gabrysch(1969)則提出地層下陷量與水頭降低量之比值與含水量黏土含量之百分比成一簡單正比關係。此外，廖日昇等(民國 79 年)與柳志錫等(民國 81 年)分析北港沿海地區與彰雲地區，結果發現該地區平均地下水位下降 1 公尺，會發生 0.1 至 0.8 公分之地層下陷量。一般而言，雖然半經驗法比經驗法更為合理，但是仍缺乏嚴謹之理論架構，故往往無法說明各物理量間之定率關係，因此也較難達到準確之要求。

半理論法則是以應力應變等概念模式，配合現場之實測值，求得模式所需參數值後，即可應用於地層下陷量之推估，如深度孔隙率模式(Schatz(1978))，對數孔隙比有效應力模式(Gibbs(1950))以及簡單估計模式(盛若磐(民國 78 年))等。半理論法通常應用於小範圍之地層下陷，較不適用於複雜土層之地層下陷預測。

由上述可知，不論經驗法、半經驗法以及半理論法，一般而言，因未能完整地考慮地下水超抽導致地層下陷之發生機制，所以預測結果可能較不精確，故應採用較完整之理論法。而地下水超抽導致地層下陷研究之理論法，大致上可分為一維非耦合與三維耦合計算兩種。

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

上述兩種方法均將孔隙水壓與土體變形分開求解，即所謂兩步驟法(two-step method)或非耦合法(uncouple method)。也就是，若採用一維非耦合地層下陷模式，僅需先求解地下水流方程式，再將所得之孔隙水壓變化代入土體位移代數式，即可求得下陷量。一維非耦合地層下陷模式已被廣泛的使用於地下超抽導致地層下陷之計算，尤其是區域性(regional)問題，如 Helm(1975,1976)、Gambolati and Freeze(1973)，Neuman et al.(1982)、

Narasimhan and Witherspoon (1977)、Bear and Corapcioglu(1981a)、Mishra et al. (1993)、Gambolati et al. (1991)、李德河等（民國 86 年）以及歐陽湘等（民國 86 年）。因為地層下陷量只是孔隙水壓變化在已知土體壓縮係數下之簡單代數計算結果而已，所以對於一維非耦合地層下陷計算，首要的工作乃是如何準確且有效地模擬地下水之孔隙水壓變化。

由於大自然之沉積作用，使得區域性地下水流域通常由一連串導水性質良好之含水層夾雜導水性質差之阻水層所形成，此種層狀系統稱為多含水層系統(multi-aquifers system)。一般而言，多含水層系統之地下水為三維流動狀況，且現今已有許多三維地下水流模式(three-dimensional groundwater model)可供模擬使用，如 FE3DGW(Gupta(1984))、FLOW3D、MODFLOW 與 3DFEMWATER 等。但是由於區域性地下水流域中，水平方向之延展距離遠大於垂直方向之厚度，且相鄰阻水層與含水層間之導水性質差異甚大，以及考量使用直接三維模擬計算量太大等原因，乃有擬三維水流概念(quasi three-dimensional concept)之提出，也就是將阻水層與含水層中之水流分別假設為垂直流與水平流，而阻水層與含水層再以兩者間之滲流量加以耦合(Hantush(1960))。如此三維水流控制方程式，於含水層中被簡化為水平二維，而阻水層中則被簡化為垂向一維，將大大的減少計算時間。此外，對於阻水層與含水層間之滲流量推估法共有兩種，第一種方法為藉由求解阻水層一維垂直水流方程式來估計滲流量，即考慮所謂阻水層之貯蓄效應(aquitard storage effect)(見 Hantush(1960))，另一種方法則為假設滲流量與阻水層相鄰上、下含水層之水頭差(hydraulic head)成正比，也就是不考慮阻水層貯蓄效應(Polubarinov-Kochina(1962))。

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

雖然一維非耦合地層下陷模式已被廣泛應用於地下水超抽導致區域性地層下陷之計算，但是由於土體之變形僅假設為垂向一維而不考慮水平位移之影響，仍有不足之處，故有三維耦合地層下陷理論之提出。Rendulic(1935)、Terzaghi(1943)以及 Barron(1948)等企圖發展三維 Terzaghi 壓密理論，但因缺乏條件說明應力應變關係，以滿足應力應變之相容性與唯一解之特性而失敗，此問題直到 Biot(1941,1955)提出孔隙流與彈性體應力應變關係才獲得解決。Biot 假設土體變形符合彈性理論，且在土體飽和與流體微可壓縮以及達西相對流速定律適用情況下，將三維應力應變關係結合三維地下水流方程式，建立著名的 Biot 三維孔隙彈性理論(three-dimensional poroelastic theory)。Biot 孔隙彈性理論之理論特色在於可以同時求解孔隙水壓與三維土體變形量(水平與垂直變形)，即所謂耦合法(couple method)。此外，Verruijt(1969)繼續發展 Biot 之模式，在引用多相流之觀念下，分別考慮固相土體與液相水以及汽相空氣等之質量守恆關係，以及固相土體之力平衡，有系統地建構出三維水流及三維彈性壓密方程式。Verruijt 模式之特點為可適用於非飽和土體，且在假設土體總應力不變及一維垂向飽和壓密下，可簡化為 Terzaghi-Jacob 單向度壓密三維水流方程式。利用 Biot 三維孔隙彈性理論來分析地層下陷者，如 Safai and Pinder(1979,1980)、Lewis and

Schrefler(1978,1991)、Yeh et al.(1995)與 Tarn and Lu(1991)等。至於一維非耦合模式與三維耦合模式之差異，Lewis and Schrefler(1991)有詳細討論。此外，Ghaboussi and Wilson(1973)指出，對於三維耦合地層下陷之計算，因為土體與流體之量階與參數差異甚大，所以時間間距之選用需特別注意，才不至於產生計算不穩定現象。

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

國內地層下陷相關之研究至今已有數十年歷史。曹以松(民國 58 年)以經驗法直接推求地層下陷與時間之迴歸關係，再利用外插方式預測下陷量。廖日昇等(民國 79 年)與柳志錫等(民國 81 年)以半經驗法分析北港沿海地區與彰雲地區，結果發現該地區平均地下水位下降 1 公尺，會發生 0.1 至 0.8 公分之地層下陷量。盛若磐(民國 78 年)以半理論法推估地層下陷。

此外，以較嚴謹之理論法計算地層下陷者分別有，李德河教授(李德河，(1997))、張惠文教授(張惠文，(1996)))、許澤善教授(許澤善，(1996))、工業技術研究院能資所(杜富麗等，(1996))、施清吉教授(施清吉，(1998))、劉振宇教授(劉志純，(1996))等，以一維非耦合理論法計算地層下陷。林美聆教授(鄭美吟，(1999)；張光任，(2000))、呂志宗教授(Tarn and Lu、(1992))以及葉弘德教授(葉弘德與葉高次，(1994))等，以三維耦合理論計算地層下陷。以下分別對所採用之理論基礎、採用之模式、模擬範圍、所需輸入資料、以及使用之土壤參數值，加以簡要說明。

1. 李德河教授研究團隊

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

$$C_v \frac{\partial^2 u_e}{\partial z^2} = \frac{\partial u_e}{\partial t} \quad (3-1)$$

其中

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w M_v} \quad (3-2)$$

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

$$\Delta H = \frac{H}{1+e_0} \left(C_r \log \frac{\bar{\sigma}_c}{\sigma_0} + C_c \log \frac{\bar{\sigma}_f}{\bar{\sigma}_c} \right) \quad (3-3)$$

u_e 為超額孔隙水壓， C_v 為壓密係數(coefficient of consolidation)， k 為滲透係數， M_v 為體積壓縮係數， γ_w 為流體之密度重， ΔH 為下陷量， H 為土層厚度， C_c 為壓縮指數

(Compression index)， C_r 為再壓指數(recompression index)， e_0 為初始孔隙比(void ratio)， $\overline{\sigma_0}$

為初始土體有效應力， $\overline{\sigma_c}$ 為土體之預壓密應力， $\overline{\sigma_f}$ 為土體有效應力。模擬時所需輸入之資料有土層分布情況、地下水位變化值、初始孔隙比、壓密係數、壓縮指數、再壓指數等。所輸入之土壤參數，初始孔隙比為 0.9、壓密係數介於 0.033 至 0.07m²/day 間、壓縮指數介於 0.127 至 0.156 間、再壓縮指數介於 0.019 至 0.035 間。

2. 張惠文教授研究團隊

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

$$\Delta H = H \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \quad (3-4)$$

砂土層之下陷量計算式則為

$$\Delta H = H \frac{\Delta P}{E} \quad (3-5)$$

σ_0 為初始土體有效應力， $\Delta\sigma$ 與 ΔP 為地下水位變動所產生之有效應力變化，而 E 則為砂土之彈性模數。模擬時所需輸入之資料分別有土體分層資料、分層地下水位觀測值、黏土壓縮指數、砂土之彈性模數以及初始孔隙比。輸入之土壤參數，黏土壓縮指數介於 0.19 至 0.43 間、砂土之彈性係數介於 4.5×10⁴ 至 8.0×10⁴ kN/m² 以及初始孔隙比介於 0.54 至 1.03 間。

3. 許澤善教授研究團隊

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

$$C_v \frac{\partial^2 u_e}{\partial z^2} = (1-R) \frac{\partial u_e}{\partial t} \quad (3-6)$$

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

4. 工研院能資所研究團隊

依據 Terzaghi 一維壓密理論，利用 COMPAC 模式(Helm, (1984))模擬雲林縣王功、台西與宜梧國中等地區之地層下陷。模擬時所需輸入之資料有土層分布情況、地下水位變化值、水力傳導係數、非彈性儲水係數、彈性儲水係數等。所輸入之土壤參數值，水力傳導

係數介於 0.0001 至 0.004 間、砂土之彈性儲水係數為 0.00001、黏土之非彈性儲水係數介於 0.0003 至 0.005 之間、黏土之彈性儲水係數約為非彈性儲水係數之百分之十至二十間，論文中未表示出其個土壤參數之單位。

5. 施清吉教授研究團隊

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

$$\frac{\partial H'}{\partial t} = D_0 \nabla^2 H' + w'_p \quad (3-7)$$

式中

$$D_0 = \frac{K_x}{\gamma(\beta n + \partial n / \partial p + \alpha n)} \Big|_{t=0} \quad (3-8)$$

$$w'_p = \begin{cases} QN_0 / A, & \text{管內} \\ 0, & \text{管外} \end{cases} \quad (3-9)$$

$$N_0 = \frac{C_c}{p(1+e)(\beta n + \partial n / \partial p + \alpha n)} \Big|_{t=0} \quad (3-10)$$

其中 H' 為下陷量， D_0 為擴散係數， N_0 為抽水係數， n 與 e 分別為孔隙率(porosity)與孔隙比， C_c 為壓縮指數， β 為流體之體積彈性模數(bulk modulus)， α 為土體顆粒之壓縮係數， p 為孔隙水壓， Q 為抽水量。模擬時需輸入 D_0 與 N_0 ， D_0 介於 0.0005 至 0.0012 m²/sec 間，而 N_0 介於 0.006 至 0.012 間。

6. 劉振宇教授研究團隊

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

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-11)$$

黏土層之下陷量計算式為

$$\Delta H = \Delta h S_{skv} H \quad (3-12)$$

或

$$\Delta H = \Delta h S_{ske} H \quad (3-13)$$

砂土層之下陷量計算式為

$$\Delta H = H \frac{\Delta P}{E} \quad (3-14)$$

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

7. 林美聆教授研究團隊

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

$$\frac{k}{\gamma_w} \nabla^2 p = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \quad (3-15)$$

其中

$$\nabla^2 p = \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \quad (3-16)$$

土體靜力平衡方程式為

$$G \nabla^2 U_r + G(2\eta - 1) \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} - G \frac{U_r}{r^2} = \frac{\partial p}{\partial r} \quad (3-17)$$

$$G \nabla^2 U_z + G(2\eta - 1) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3-18)$$

其中

$$\varepsilon = \frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \quad (3-19)$$

$$\eta = \frac{(1 - \nu)}{(1 - 2\nu)} \quad (3-20)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (3-21)$$

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

8. 葉弘德教授研究團隊

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

9. 呂志宗教授研究團隊

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

10. 楊錦釗教授、黃良雄教授研究團隊

以 Biot (Biot (1955)) 多孔彈性介質理論為基礎，配合地質之分區與分層，再以有限解析法(finite analytic method)建立一維非耦合(one-dimensional uncouple)地層下陷計算模式。此模式應用分層三維水流概念(layered-based three-dimensional concept)，首先依據土壤之導水性質，將土體作垂直分層或虛擬分層，在假設每個土層之孔隙水壓於垂向深度上皆為二次多項式函數(quadratic polynomial function)分布下，引用分層垂向積分(vertical integration)技巧，層與層間之垂直介面邊界，再以孔隙水壓及水流通量連續之條件加以連接。此外，模式中進一步根據土層導水性質在水平方向之不連續性，對模擬區域作水平區域拆解(domain decomposition)，且區與區間之介面亦以孔隙水壓及水流通量連續之條件加以連接。該模式配合地質分層，引入垂向內插函數，先行垂向積分後，再以有限解析法執行計算，不但能符不同介質間水流通量之物理條件，也可使計算穩定與迅速，不論大區域或小範圍計算皆能有效處理，因為阻水層計算功能較強，地下水流計算能力超過 MODFLOW 之功能，且比 FEMWATER 簡單好用。(見蔡東霖，(2001))。此模式已應用於屏東平原(黃良雄、楊錦釗，(1999))與濁水溪沖積扇(黃良雄、楊錦釗，(1998))、(2000))之地層下陷模擬，獲得可接受的結果。

上述各國內各研究團隊之地層下陷模式功能列表說明如表 3-1 所示。由表 3-1 可知，李德河教授、張惠文教授、許澤善教授以及工研院能資所等皆假設地下水流動與土體位移僅為一維垂向，非耦合計算阻水層(即黏土)之地層下陷量，而不考慮含水層之水流與變形。施清吉教授則假設地下水流流動為水平二維、土體位移為垂向一維，非耦合模擬含水層之地層下陷。劉振宇教授假設土體變形為垂向一維，引用擬三維水流概念(即含水層為水平流，阻水層為垂直流)，非耦合模擬含水層及阻水層之下陷量。楊錦釗教授與黃良雄教授研究團隊進一步引用分層三維水流概念，非耦合模擬含水層及阻水層之下陷量。耦合計算三維地下水流及三維土體變形者有林美聆教授、呂志宗教授以及葉弘德教授等，其中，前兩者僅考慮軸對稱問題。對於求解方法而言，呂志宗教授以及施清吉教授應用數學解析解，楊錦釗教授與黃良雄教授採用有限解析法外，其餘者分別採用有限差分法或有限元素法。

李德河教授、張惠文教授、許澤善教授以及工研院能資所使用之一維非耦合地層下陷模式，僅考慮阻水層而忽略含水層之水流流況及土體變形計算。因此，模式中並不具有模擬區域性地下水流之功能，即多含水層系統地下水流之計算。所以模擬時需先行輸入已知含水層之分層觀測水位變化，以作為阻水層之水位邊界條件，再進行地層下陷模擬，故此

種模式無法直接應用於區域性地下水超抽導致地層下陷之預測模擬。劉振宇教授所使用之一維地層下陷模式，則結合商用軟體 MODFLOW 及 Interbed 非耦合計算地下水流及土體變形，該模式可以模擬多含層系統之地下水流，以及分別計算含水層及阻水層之地層下陷。此種利用地下水流模式先行計算孔隙水壓變化，再將孔隙水壓代入一維垂向土體位移代數式之非耦合計算地層下陷方法，已被廣泛應用於地下水超抽導致區域性地層下陷之預測模擬。楊錦釗教授與黃良雄教授所發展之一維非耦合地層下陷模式，應用分層三維水流概念，不論大區域或小範圍計算皆能有效處理，因為阻水層計算功能較強，地下水流計算能力超過 MODFLOW 之功能，且比 FEMWATER 簡單好用。三維地層下陷模式，也就是同時耦合求解三維地下水流及三維土體變形，即林美聆教授、呂志宗教授以及葉弘德教授所使用之模式，雖然理論上較嚴密，但需要大量計算時間，故不適用於區域性地層下陷計算問題，且常常因為缺乏水平位移實測資料而無法率定模式。

使用解析解法求解時，常常過度簡化問題，所以此種求解方法無法應用於實際複雜之地層下陷模擬，而必需藉助數值計算。除楊錦釗教授與黃良雄教授所發展之模式外，其餘模式皆使用有限差分法或有限元素法。一般而言，有限差分法雖然建構簡單，但其精確度比有限元素法差，且不易處理不規則邊界問題。然而，有限解析法具有局部解析解以及無條件穩定收斂之特性，並可以在卡氏座標下處理不規則邊界。對於同時模擬土壤物理特性差異甚大之含水層及阻水層，有限解析法應具有較佳之數值穩定性。

根據上述討論，本研究選用楊錦釗教授與黃良雄教授所發展之一維非耦合地層下陷模式。此模式不論大區域或小範圍計算皆能有效處理，因為阻水層計算功能較強，地下水流計算能力超過 MODFLOW 之功能，且比 FEMWATER 簡單好用。此外，此模式已與地層下陷計算、區域性地下水文平衡最佳推估模式、地層下陷資料之地理資訊決策支援系統、以及地下水優化模式相互結合，完成地下水及地層下陷管理模式整合系統(楊錦釗、黃良雄，民國 90 年、民國 91 年)。此整合系統可完整模擬選定地區地下水之行為，包括入滲量與抽水量之推估、地下水位以及地層下陷之變化等，並且藉由優化模式訂定最佳化之水資源管理與利用方針，以達到充分掌握地下水及地層下陷變化並且合理利用地下水資源之目標。另外，模擬時所需輸入、處理與輸出之資料，如鑽探岩心、地質分層分區、地下水位資料與地層下陷資料等。藉由地層下陷資料之地理資訊決策支援系統之整合，使用者將可經由圖形化以及視覺化之使用介面，非常容易地操作及應用該種模式。

3.2 一維非耦合地層下陷模式理論簡介

本研究選用楊錦釗教授與黃良雄教授所發展之一維非耦合地層下陷模式，其模式理論之簡介如下所述。

3.2.1 水流控制方程式

三維地下水流方程式中若假設土體之體積變化量與流體孔隙水壓成一簡單正比關係，即 $P \propto \nabla \cdot \vec{U}_s$ ，以及土體為非均質等向性，並加入源流項(source term)，則三維地下水流方程式可變為

$$j = 1, 2, 3$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(K \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) = Ss \frac{\partial \Phi}{\partial t} + Q(x - x_w, y - y_w, z - z_w) \quad (3-22)$$

式中 K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)， Ss 為比貯水係數 (specific storage)， Q 為流源項， $\Phi = \frac{P^e}{\rho_w g}$ 為水頭(hydraulic head)(P^e 為已扣除初始值之變動孔隙水壓)， ρ_w 為流体密度， g 為重力加速度。

採分層垂向積分來建立模式，將 (3-22)式作垂向積分可得

$$\int_{b_i(x,y,t)}^{b_{i+1}(x,y,t)} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) dz = \int_{b_i(x,y,t)}^{b_{i+1}(x,y,t)} \left(Ss \frac{\partial \Phi}{\partial t} + Q(x - x_w, y - y_w, z - z_w) \right) dz \quad (3-23)$$

式中 $z = b_{i+1}(x, y, t)$ 與 $z = b_i(x, y, t)$ 分別表示土層之上、下邊界函數。研究中不考慮非飽合土體之影響，所以若土層為非拘限含水層(unconfined aquifer)時，則 (3-23)式之上邊界則為自由液面(free surface)，其示意圖分別如圖 3-1 與圖 3-2 所示。由萊布尼茲法則(Leibnitz rule)與連鎖律(chain rule)並忽略次要項，即假設土層上、下邊界函數在空間上之變化遠小於土層之厚度或水深，則 (3-23)式可變為

$$\begin{aligned} \overline{KB} \frac{\partial^2 \overline{\Phi}}{\partial x^2} + \overline{KB} \frac{\partial^2 \overline{\Phi}}{\partial y^2} + \left[\frac{\partial}{\partial x} (\overline{KB}) \right] \frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial x} + \left[\frac{\partial}{\partial y} (\overline{KB}) \right] \frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial y} \\ = \overline{S_s} B \frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial t} + \overline{K} \left(\frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_i} - \frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \right) + \overline{Q}(x - x_w, y - y_w) \end{aligned} \quad (3-24)$$

其中 $\overline{K}(x, y)$ 、 $\overline{S_s}(x, y)$ 、 $\overline{\Phi}$ 分別表示垂向積分之平均值，譬如 $\overline{\Phi} = \frac{1}{B} \int_{b_i}^{b_{i+1}} \Phi dz$ ，

$B = b_{i+1}(x, y, t) - b_i(x, y, t)$ 表示土層之厚度或水深。另外， $\overline{K} \frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}}$ 與 $\overline{K} \frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_i}$ 分別為上、

下邊界之水流通量。(3-24)式若應用至非拘限含水層時，則上邊界自由液面需引入運動邊界條件(kinematic boundary condition)與動力邊界條件(dynamic boundary condition)作進一步處理。在不考慮地表入滲量下，自由液面之運動邊界條件可表示為

$$S_y \frac{\partial b_{i+1}}{\partial t} = -\overline{K} \frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \quad (3-25)$$

其中 $\eta(x, y, t) = B = b_{i+1}(x, y, t) - b_i(x, y, t)$ 表示非拘限含水層之水深。若假設自由液面對時間之變化遠大於下邊界之變化，即 $\frac{\partial b_{i+1}}{\partial t} \gg \frac{\partial b_i}{\partial t}$ ，則 (3-25)式可變為

$$S_y \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\overline{K} \frac{\partial \overline{\Phi}}{\partial z} \Big|_{b_{i+1}} \quad (3-26)$$

式中 S_y 為比出水係數(specific yield)。此外，由自由液面動力邊界條件，即

$P^o(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) + P^e(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) = 0$ ，在假設初始時為靜水壓分布，即

$P^o(x, y, b_{i+1}(x, y, t)) = \rho_w g(\eta^o(x, y) - \eta(x, y, t))$ ，則可得

$$\eta(x, y, t) = \eta^0(x, y) + \Phi(x, y, b_{i+1}(x, y, t), t) \quad (3-27)$$

式中 η^0 表示初始時非拘限含水層之水深函數。(3-27)式可用於追蹤自由液面之變化。

模式中採用增加量為因變數，所以初始條件(initial condition)為零，即

$$\overline{\Phi}(x, y, t = 0) = 0 \quad x, y \in \Omega \quad (3-28)$$

式中 Ω 表示求解之區域。

模式中利用分層垂向積分與水平區域拆解概念建立模式，所以對垂直及水平方向之邊界，皆可再分為自然邊界(natural boundary)與內部介面邊界(interface boundary)兩種。

垂直自然邊界是指模擬區域中最上與最下之邊界而言。若邊界條件給定為定水頭條件(即 Dirichlet type boundary condition)，則可表示為

$$\Phi|_{\text{boundary}} = \Phi^* \quad (3-29)$$

另外，若給定為流量邊界條件(即 Neumann type boundary condition)，則可表 2-1 示為

$$\left. \frac{\partial \Phi^e}{\partial n} \right|_{\text{boundary}} = -q_n \quad (3-30)$$

其中 Φ^* 與 q_n 為給定之已知值。此外，垂直內部介面邊界則是指層與層間之介面邊界，此種介面邊界需同時滿足水流通量連續與孔隙水壓連續之條件，如圖 3-3 所示，其中上標 1 與 2 分別表示相鄰邊界不同分層之介質，向量 $\vec{n}$ 與 $\vec{t}$ 為邊界面之法線向量與切線向量。則層與層間之水流通量連續可表示為

$$q_{rn}^{(1)} = q_{rn}^{(2)} \quad (3-31)$$

也就是

$$K^{(1)} \frac{\partial \Phi^{(1)}}{\partial n} = K^{(2)} \frac{\partial \Phi^{(2)}}{\partial n} \quad (3-32)$$

另外，孔隙水壓連續可表示為

$$\Phi^{(1)} = \Phi^{(2)} \quad (3-33)$$

水平自然邊界是指海岸線、河川或山嶺線等模擬區域最外圍之水平邊界而言，而水平內部介面邊界則是指區域經拆解後區與區之介面邊界，如圖 3-4 所示。若水平自然邊界條件給定為定水頭或水流通量，則可分別表示為

$$\overline{\Phi} = \overline{\Phi}_c \quad (3-34)$$

$$\overline{\frac{\partial \Phi}{\partial n}} = -q_{rn} \quad (3-35)$$

其中 $\overline{\Phi}_c$ 與 q_m 為給定值。另外，與垂直內部介面邊界相同，水平內部介面邊界亦需同時滿足孔隙水壓連續及水流通量連續，即

$$K^{(1)} \frac{\partial \overline{\Phi}^{(1)}}{\partial n} = K^{(2)} \frac{\partial \overline{\Phi}^{(2)}}{\partial n} \quad (3-36)$$

$$\overline{\Phi}^{(1)} = \overline{\Phi}^{(2)} \quad (3-37)$$

模式中引用分層垂向積分技巧建立模式，為了使層與層間之介面邊界能夠同時滿足孔隙水壓連續與水流通量連續，故假設每個土層之孔隙水壓在垂直方向上為二次多項式函數分布，即

$$\Phi(x, y, z, t) = a(x, y, t) + b(x, y, t)z + c(x, y, t)z^2 \quad (3-38)$$

由 (3-38) 式可知，傳統擬三維水流概念中，含水層之水流為水平流僅是假設 b 與 c 為零之簡化結果，而阻水層垂直流之孔隙水壓分布函數，也可以用二次多項式函數加以內插趨近(也就是任何函數分布皆可以用多段之二次多項式函數加以趨近)，所以可同時模擬水平流與垂直流。此外，(3-38) 式之係數 a ， b 與 c ，可根據上邊界值、下邊界值與分層積分平均值之定義求得，即

$$\Phi|_{bi} = a \quad (3-39)$$

$$\Phi|_{bi+1} = a + bB + cB^2 \quad (3-40)$$

$$\overline{\Phi} = \frac{1}{B} \int_0^B (a + bz + cz^2) dz \quad (3-41)$$

聯立求解可得

$$a = \Phi|_{bi} \quad (3-42)$$

$$b = \frac{1}{B} (-2\Phi|_{bi+1} - 4\Phi|_{bi} + 6\overline{\Phi}) \quad (3-43)$$

$$c = \frac{1}{B^2} (3\Phi|_{bi+1} + 3\Phi|_{bi} - 6\overline{\Phi}) \quad (3-44)$$

對 (3-38) 式做垂向微分，則可得上、下邊界之垂方向微分值分別為

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right|_{bi+1} = \frac{1}{B} (4\Phi|_{bi+1} + 2\Phi|_{bi} - 6\overline{\Phi}) \quad (3-45)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right|_{bi} = \frac{1}{B} (-2\Phi|_{bi+1} - 4\Phi|_{bi} + 6\overline{\Phi}) \quad (3-46)$$

(3-45) 式與 (3-46) 式分別表示含水層上、下邊界之垂方向微分值，可由上、下邊界值以及垂向分層平均值來表示。

3.2.1.1 土體位移代數式

根據由完整三維地層下陷方程式出發，經由量階分析方法，吾人得到垂向一維地

層下陷理論僅在地下水流為近似垂直流或水平流之流況才適用的重要結論(見蔡東霖，2001)。水流為水平流之含水層時，每層土層之垂向一維土體位移代數方程式為

$$\Delta z = U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi} = \int_{bi(x,y,t)}^{bi+1(x,y,t)} \frac{\rho_w g \Phi}{\mu + \lambda} dz = \frac{\rho_w g B \bar{\Phi}}{\mu + \lambda} \quad (3-47)$$

而水流為垂直流之阻水層，垂向一維土體位移代數方程式則為

$$\Delta z = U_{sz}|_{bi+1} - U_{sz}|_{bi} = \int_{bi(x,y,t)}^{bi+1(x,y,t)} \frac{\rho_w g \Phi}{2\mu + \lambda} dz = \frac{\rho_w g B \bar{\Phi}}{2\mu + \lambda} \quad (3-48)$$

式中 μ 與 λ 為土體之拉梅(Lame)常數， $U_{sz}|_{bi+1}$ 與 $U_{sz}|_{bi}$ 分別為上、下邊界之位移量。

(3-47)式與(3-48)式中皆假設土體為理想彈性體，但實際地層下陷計算時，將不考慮因孔隙水壓升高(有效應減少)所造成之土體膨脹現象。

3.3 濁水溪沖積扇地層下陷模擬

3.3.1 資料之蒐集與處理

一維非耦合及耦合地層下陷模式模擬時，除了必需先根據土層之分布將模擬區域作垂向分層與水平區域拆解外，所需輸入之資料分別有孔隙率(本研究假設孔隙率為 0.4)，分層地下水位、各含水層與阻水層厚度、地質參數、入滲補注量、抽水量、地層下陷量、邊界條件之設定以及網格大小與時間間距。

濁水溪沖積扇地質之分層與分區

根據中央地質調查所將濁水溪沖積扇地表下 200 公尺深範圍內之水文地質，由上而下概念性劃分為含水層一、阻水層一、含水層二(可再細分為含水層二之 1 與含水層二之 2)、阻水層二及含水層三。各含水層在上游段岩性均屬礫石，並且合而為一，愈往下游分層則愈明顯，粒徑愈細且含水層厚度漸小。於臺灣海峽中，阻水層一、二應合而為一，含水層一、二、三均尖滅於阻水層中，亦即各含水層末端應是封閉的，並未與海連通，形同自然地下水庫。含水層二厚度最大，沈積物粒徑最粗，含水及透水性能較佳，是最重要之地下水層。再配合各阻水層在空間分佈狀況(見張良正、龔誠山「區域性地下水觀測站網檢討(II)」，圖 2-10 至圖 2-13)，可將該區域作分層(或虛擬分層)與分區，分別如圖 3-5 與圖 3-6 所示，各分層之厚度如表 3-2 所示。

分層地下水位

模擬時需要各含水層之分層地下水位值，以作為初始條件、邊界條件並提供模式率定驗證使用。由經濟部水利署蒐集之地下水位觀測資料分析後發現，自民國 84 年起臺灣地區分層地下水觀測站網陸續完成，始有較完整之分層地下水位觀測資料。

抽水量與入滲補注量

濁水溪沖積扇之抽水量推估資料，採用已故嘉義農專沈向白教授所提出之濁水溪沖積扇地下水資源調查結果，各鄉鎮市之年抽水量如表 3-3 所示。此外，地下水入滲補注量主要來源，有水田灌溉入滲、旱地降雨入滲及河川入滲等三種。研究中，對於水田灌溉入滲

與旱地降雨入滲兩者之地表入滲量資料，採用楊錦釗等(民國 91 年)所推估之結果，如表 3-4 與表 3-5 所示。暫不予考慮河川入滲補注量之影響。上述之抽水量以及地表入滲量皆為年總量，模擬時將其平均分佈於空間與時間上，也就是各鄉鎮市之抽水量平均分配於各鄉鎮市中。此外，對於抽水量與入滲量分別以源流(source)與沉流(sink)之方式處理。

分層抽水比例

地層下陷模擬時，需要輸入各抽水井之分層抽水比例值。以往大都根據地下水位觀測資料，利用試誤法進行分層出水比例反向推估，如張良正、龔誠山(1996)及潘國樑、張德鑫(1998)等。在試誤法中，要如何才能快速地獲得計算結果，有賴於合理的初始猜值。有鑑於此，耿承孝(2000)提出簡易分層抽水比例推估方法。在假設抽水井中各含水層之井壁處皆滿足水位洩降梯度相同下，分層抽水比例可表示為

$$w_i = \frac{T_i}{\sum_j T_j} = \frac{K_i B_i}{\sum_j K_j B_j} \quad (3-49)$$

其中 w_j 為分層抽水比率， K 與 B 分別為水力傳導係數與土層厚度， T 為流通係數 (Coefficient of transmissibility)。若抽水井之濾管開口，並非完全貫穿整個含水層，式 (3-49) 中之 B 則為濾管開口長度。由式 (3-49) 可知，只要知道土層厚度、水力傳導係數以及抽水井濾管分佈情況，就可推估分層抽水比例。

簡易分層抽水比例推估方法之合理性，已於單井抽水且各土層厚度為均質之拘限與非拘限含水層案例中得到驗證(見耿承孝(2000))。然而，對於實際複雜案例，也就是多井抽水且土層厚度不均勻時，式 (3-1) 可能會造成誤差。但是，從理論上而言，吾人卻可以將其視為分層出水比例試誤推估法之合理初始猜值。研究中，以各鄉鎮市之分層平均流通係數，代入式 (3-49) 中，推估各鄉鎮市之分層抽水比例初始計算猜值，如表 3-6 所示。

地質參數

根據經濟部中央地調所「台灣地區地下水觀測網第一期計畫-八十一，八十二，八十三年濁水溪沖積扇水文地質調查」的研究報告指出，含水層水力傳導係數在含水層一之扇頂自由層約為 $1.93-0.4 \times 10^{-3}$ m/s，扇尾減至 $0.1-0.2 \times 10^{-3}$ m/s，而含水層二之扇頂約為 $1.93-0.4 \times 10^{-3}$ m/s，扇央與扇尾約為 $0.3-1.4 \times 10^{-3}$ m/s，但缺乏含水層三與阻水層之資料。此外，拉梅常數(Lame Constant)，則根據一般土壤之性質給定。

模擬區域邊界條件及其相關參數設定

模擬區域之邊界條件設定，將北邊邊界(烏溪)、西邊邊界(海岸線)、東邊邊界(斗六丘陵與八卦山脈)以及南邊邊界(北港溪)皆給定為零流邊界。模擬時間選擇由 83 年 12 月至 89 年 12 月，模擬時間間距為 2 個月，計算網格之大小為 2 公里之正方形，其模擬區域邊界與網格圖如圖 3-7 所示。

3.3.2 地層下陷模擬結果

地層下陷模擬所使用之各鄉鎮市地質參數與分層抽水比例，分別表 3-7 與表 3-6 所示。分層地下水位模擬結果，如圖 3-8 至圖 3-13 所示。由圖 3-8 至圖 3-13 可知，分層地下水位模擬結果與實測值吻合。地層下陷模擬結果，如表 3-8 與表 3-9 所示，累積下陷量模擬結果，如圖 3-14 與圖 3-15 所示。由如表 3-8、表 3-9、圖 3-14 與圖 3-15 可

知，地層下陷模擬結果與實測值之趨勢吻合且量階相同，由於抽水量、入滲量與地質參數等不確定因素下，使得模擬結果與實測值很難一致。

為提供淹水模式模擬地層下陷對淹水潛勢之影響，分別列出民國 84 年、民國 84 年至 85 年、民國 84 年至 86 年、民國 84 年至 87 年、民國 84 年至 88 與民國 84 年至 89 年之濁水溪沖積扇 TM 二度分帶座標累計地層下陷量值，如表 3-10 所示。

表 3-1 國內相關地層下陷理論法計算模式功能列表分析

	李德河教授等 (民國 85 年)	張惠文教授等 (民國 85 年)	許澤善教授等 (民國 85 年)	工研院能資所 (民國 85 年)	施清吉教授等 (民國 87 年)	劉振宇教授等 (民國 85 年)	林美聆教授等 (民國 89、90 年)	葉弘德教授等 (民國 83 年)	呂志宗教授等 (民國 80 年)	楊錦釧、 黃良雄教授等
求解方法	非耦合	非耦合	非耦合	非耦合	非耦合	非耦合	耦合	耦合	耦合	非耦合
土壤類別	阻水層	阻水層	阻水層	阻水層	含水層	阻水層 含水層	阻水層 含水層	阻水層 含水層	含水層	阻水層 含水層
水流維度	1D 垂向	1D 垂向	1D 垂向	1D 垂向	2D 水平	1D 垂向 2D 水平	3D 軸對稱	3D	3D 軸對稱	分層 3D
土體變形 維度	1D 垂向	1D 垂向	1D 垂向	1D 垂向	1D 垂向	1D 垂向	3D 軸對稱	3D	3D 軸對稱	1D 垂向
數值方法	有限差分法	有限差分法	有限差分法	有限差分法	解析解	有限差分法	有限元素法	有限元素法	解析解	有限解析法
使用程式	自行研發	自行研發	自行研發	COMPAC	解析解	MODFLOW Interbed	ABAQUS	3DFEMWATER	解析解	自行研發

表 3-2 濁水溪沖積扇各測站之分層地層厚度（含虛擬分層）

(單位：公尺)

I 區	TM二度分帶 (X)	TM二度分帶 (Y)	含水層1	阻水層1	含水層2	阻水層2	含水層3
線西	195062	2669966	29.8	20.2	75.0	19.0	58.3
好修	194052	2656100	38.1	9.5	84.5	9.5	63.1
花壇	202725	2658257	20.2	21.4	89.3	21.4	52.4
員林	205885	2649930	0.0	50.0	95.2	7.1	57.1
漢寶	183282	2656147	20.0	33.8	78.8	37.5	30
趙甲	187624	2648441	20.0	22.5	93.8	28.8	51.3
溪湖	196133	2649778	12.5	25.0	102.5	27.5	65
芳苑	179990	2646954	25.5	27.7	91.5	38.3	17.0
溪州	198371	2639267	28.6	9.5	92.9	25.0	53.6
西港	176799	2639978	16.7	34.5	67.9	41.7	56.0
潭墘	182705	2637176	20.2	29.8	83.3	36.9	28.6
竹塘	190948	2639823	28.6	19.0	83.3	33.3	29.8
溪州	198371	2639267	28.6	9.5	92.9	25.0	53.6
海豐	170272	2622644	40.0	7.5	95.0	7.5	47.5
後安	171197	2632096	42.5	12.5	85.0	26.3	26.3
興化	176703	2628849	42.5	10.0	87.5	37.5	17.5
豐榮	178954	2632222	27.5	25.0	90.0	37.5	12.5
港後	187220	2632820	32.5	7.5	116.3	16.3	22.5
九隆	191170	2627770	25.0	5.0	132.5	12.5	20.0
海園	165467	2624551	45.1	15.9	68.3	19.5	51.2
安南	172567	2622644	36.6	26.8	68.3	22.0	46.3
箔子	162598	2614898	60.6	9.1	74.2	9.1	83.3
口湖	165949	2609680	42.4	21.2	81.8	13.6	65.2
飛沙	165375	2615775	53.0	12.1	89.4	15.2	48.5
蔡厝	169500	2612504	42.4	21.2	84.8	24.2	37.9
番溝	175652	2613690	28.8	34.8	84.8	12.1	45.5
元長	178788	2616956	24.2	33.3	109.1	12.1	21.2
瓊埔	168219	2602115	50.0	11.1	72.2	16.7	70.8
大溝	168608	2607404	47.2	8.3	80.6	19.4	61.1
水林	172216	2608156	50.0	11.1	72.2	25.0	55.6
北港	177919	2608767	40.3	12.5	80.6	27.8	51.4
崙子	183331	2611929	30.6	25.0	81.9	20.8	48.6

表 3-2(續 1) 濁水溪沖積扇各測站之分層地層厚度 (含虛擬分層)

(單位：公尺)

II 區	TM二度分帶 (X)	TM二度分帶 (Y)	含水層1	阻水層1	含水層2	含水層2	含水層2
田洋	178717	2624989	34.1	12.2	80.5	26.8	43.9
芳草	185350	2624184	31.7	19.5	75.6	22.0	46.3
虎尾	191285	2623689	18.2	39.4	127.3	9.1	6.1
土庫	187075	2619850	15.2	39.4	124.2	9.1	12.1

III 區	TM二度分帶 (X)	TM二度分帶 (Y)	含水層1	阻水層1	含水層2	阻水層2	含水層2
虎溪	199331	2624542	27.3	27.3	124.2	9.1	9.1
嘉興	194035	2616376	22.2	19.4	111.1	22.2	33.3
三和	196915	2611594	41.7	13.9	113.9	13.9	33.3
溫厝	199400	2617404	38.9	5.6	119.4	13.9	33.3

IV 區	TM二度分帶 (X)	TM二度分帶 (Y)	含水層1	含水層1	含水層1	含水層1	含水層1
田中	207088	2639188	45.0	10.0	65.0	27.5	60.0
柑園	201662	2635696	28.6	9.5	97.6	17.9	48.8
二水	210242	2634428	47.6	13.1	94.0	19.0	33.3
西螺	194891	2632723	25.0	10.0	130.0	12.5	17.5
刺桐	197886	2628376	32.5	7.5	127.5	10.0	20.0
六合	204584	2629706	45.0	10.0	125.0	12.5	20.0
東和	205251	2620504	63.4	18.3	93.9	17.1	48.8
石榴	206944	2624360	50.0	10.6	136.4	9.1	9.1
烏塗	208141	2629528	39.4	9.1	142.4	9.1	12.1
崁腳	202021	2612378	93.1	6.9	119.4	16.7	27.8
古坑	204980	2615932	77.8	8.3	127.8	13.9	22.2

表 3-3 雲林地區各鄉鎮市年抽水量表

資料來源：沈向白教授

鄉鎮	灌溉用水	養殖用水	公共用水	工業用水	畜牧用水	總計
斗六市	1,693,099	25,818	0	0	0	1,718,917
斗南鎮	18,356,715	53,914	1,003,194	388,664	82,028	19,884,515
古坑鄉	2,491,719	5,267	3,270	102,195	1,363	2,603,814
大埤鄉	18,344,623	141,813	221,301	460,000	12,695	19,180,431
莿桐鄉	6,835,265	0	207,117	17,610	0	7,059,992
林內鄉	581,948	0	238,158	210,313	10,220	1,040,638
虎尾鎮	88,189,723	218,337	4,600,384	77,668	358,184	93,444,296
西螺鎮	42,884,668	181,408	602,508	873,586	449,347	44,991,516
土庫鎮	52,342,628	1,084,993	51,405	19,985	1,448,998	54,948,008
二崙鄉	65,008,783	424,745	59,228	10,628	998,536	66,501,920
崙背鄉	67,792,584	1,534,347	287,304	3,275,458	1,142,549	74,032,243
麥寮鄉	204,825,645	169,246,223	8,754,353	12,263	1,660,031	384,498,515
褒中鄉	4,884,179	276,732	8,754,353	0	0	13,915,264
東勢鄉	37,007,458	1,109,926	19,440	0	434,488	38,571,312
台西鄉	41,905,236	19,083,047	297,592	0	55,775	61,341,650
北港鎮	23,130,834	81,390	2,971,750	521,802	61,288	26,767,063
元長鄉	4,404,980	1,727,163	72,990	296,559	452,904	6,954,596
水林鄉	12,070,585	984,509	129,586	0	159,764	13,344,444
四湖鄉	8,329,552	472,328	105,451	2,544	0	8,909,874
口湖鄉	4,670,132	3,863,865	79,212	0	128,739	8,741,949
總計	705,750,355	200,515,823	28,458,595	6,269,274	7,456,907	948,450,954

單位：立方公尺/年

表 3-4 彰化地區年地表入滲量推估結果

(單位：10⁶m³)

鄉鎮市	入滲量	鄉鎮市	入滲量	鄉鎮市	入滲量
彰化市	31.61	溪湖鎮	23.62	二林鎮	89.64
鹿港鎮	43.35	田中鎮	23.58	田尾鄉	21.60
和美鎮	35.62	大村鄉	24.05	埤頭鄉	40.09
線西鄉	18.88	埔鹽鄉	40.88	芳苑鄉	75.21
伸港鄉	26.38	埔心鄉	19.40	大城鄉	32.52
福興鄉	36.49	永靖鄉	19.13	竹塘鄉	26.65
秀水鄉	22.77	社頭鄉	15.07	溪州鄉	40.71
花壇鄉	9.86	二水鄉	14.91	北斗鎮	20.28
員林鎮	20.16				

表 3-5 雲林地區年地表入滲量推估結果

(單位：10⁶m³)

鄉鎮市	入滲量	鄉鎮市	入滲量	鄉鎮市	入滲量
麥寮鄉	58.41	虎尾鎮	23.56	大埤鄉	14.14
崙背鄉	18.04	土庫鎮	15.15	斗南鎮	15.36
二崙鄉	27.29	褒忠鄉	22.32	古坑鄉	48.74
西螺鎮	24.21	東勢鄉	27.13	北港鎮	10.67
莿桐鄉	35.85	台西鄉	49.82	水林鄉	26.37
林內鄉	49.56	四湖鄉	36.90	口湖鄉	61.79
斗六市	56.95	元長鄉	35.71		

表 3-6 濁水溪沖積扇分層抽水比例

鄉鎮市	初始猜值			率定值		
	含水層 一	含水層 二	含水層 三	含水層 一	含水層 二	含水層 三
麥寮鄉	0.34	0.62	0.03	0.40	0.55	0.05
崙背鄉	0.51	0.45	0.04	0.50	0.20	0.35
二崙鄉	0.03	0.91	0.07	0.17	0.68	0.15
西螺鎮	0.13	0.73	0.14	0.40	0.45	0.15
莿桐鄉	0.15	0.72	0.13	0.15	0.72	0.13
林內鄉	0.12	0.79	0.09	0.12	0.79	0.09
斗六鄉	0.20	0.68	0.12	0.20	0.68	0.12
虎尾鄉	0.14	0.77	0.09	0.14	0.77	0.09
土庫鎮	0.02	0.74	0.24	0.17	0.63	0.20
褒忠鄉	0.37	0.16	0.57	0.55	0.20	0.25
東勢鄉	0.23	0.51	0.26	0.20	0.70	0.10
台西鄉	0.33	0.13	0.54	0.60	0.30	0.10
四湖鄉	0.26	0.46	0.29	0.26	0.46	0.29
元長鄉	0.25	0.68	0.07	0.15	0.75	0.10
大埤鄉	0.64	0.28	0.08	0.15	0.67	0.18
斗南鎮	0.18	0.67	0.15	0.18	0.67	0.15
古坑鄉	0.21	0.65	0.15	0.10	0.65	0.25
北港鄉	0.32	0.34	0.34	0.20	0.65	0.15
水林鄉	0.15	0.73	0.12	0.40	0.50	0.10

表 3-6 (續 1) 濁水溪沖積扇分層抽水比例

鄉鎮市	初始猜值			率定值		
	含水層 一	含水層 二	含水層 三	含水層 一	含水層 二	含水層 三
口湖鄉	0.15	0.63	0.22	0.40	0.50	0.10
彰化市	0.12	0.54	0.34	0.12	0.54	0.34
鹿港鎮	0.07	0.61	0.32	0.20	0.60	0.20
和美鎮	0.16	0.49	0.35	0.16	0.49	0.35
線西鄉	0.33	0.38	0.29	0.70	0.20	0.10
伸港鄉	0.17	0.47	0.36	0.17	0.47	0.36
福興鄉	0.19	0.50	0.31	0.19	0.50	0.31
秀水鄉	0.15	0.51	0.34	0.15	0.51	0.34
花壇鄉	0.50	0.23	0.17	0.45	0.15	0.40
芬園鄉	0.06	0.59	0.35	0.06	0.59	0.35
員林鄉	0.04	0.59	0.37	0.04	0.59	0.37
溪湖鄉	0.07	0.61	0.31	0.10	0.80	0.10
田中鎮	0.15	0.50	0.35	0.15	0.50	0.35
大村鄉	0.26	0.59	0.15	0.06	0.59	0.35
埔鹽鄉	0.17	0.81	0.02	0.45	0.45	0.10
埔心鄉	0.06	0.57	0.36	0.06	0.57	0.36
永靖鄉	0.07	0.56	0.38	0.07	0.56	0.38
社頭鄉	0.10	0.52	0.38	0.10	0.52	0.38
二水鄉	0.07	0.73	0.21	0.07	0.73	0.21
北斗鎮	0.15	0.49	0.36	0.15	0.49	0.36
二林鄉	0.01	0.16	0.83	0.10	0.80	0.10
田尾鄉	0.13	0.50	0.37	0.13	0.50	0.37
埤頭鄉	0.31	0.37	0.32	0.50	0.10	0.40
芳苑鄉	0.16	0.60	0.24	0.40	0.50	0.10
大城鄉	0.15	0.57	0.28	0.40	0.50	0.10
竹塘鄉	0.18	0.62	0.21	0.18	0.62	0.21
溪洲鄉	0.13	0.59	0.27	0.13	0.59	0.27

表 3-7 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
麥寮鄉	K / K^*	1.0	1.0	10.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
	λ / λ^*	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
崙背鄉	K / K^*	0.1	1.0	6.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.2	0.8	1.2	0.8	1.2
	λ / λ^*	1.2	0.8	1.2	0.8	1.2
二崙鄉	K / K^*	0.1	1.0	0.9	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
西螺鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	λ / λ^*	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
荊桐鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
林內鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
斗六市	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
	λ / λ^*	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
虎尾鎮	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
	λ / λ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
土庫鎮	K / K^*	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	0.3	0.35	0.3	0.35	0.3
	λ / λ^*	0.3	0.35	0.3	0.35	0.3

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層： $K^* = 1.0 \times 10^{-4}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層： $K = 1.0 \times 10^{-8}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 3-7 (續 1) 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
褒忠鄉	K/K^*	0.1	1.0	0.1	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.1	0.1	0.1	1.0	0.1
	λ/λ^*	0.1	0.1	0.1	1.0	0.1
東勢鄉	K/K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
	λ/λ^*	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
台西鄉	K/K^*	0.6	1.0	1.0	1.0	10.0
	μ/μ^*	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	λ/λ^*	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
四湖鄉	K/K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	λ/λ^*	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
元長鄉	K/K^*	1.0	1.0	0.8	1.0	0.2
	μ/μ^*	1.0	0.2	1.0	0.1	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0
大埤鄉	K/K^*	1.0	1.0	0.1	1.0	0.1
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
斗南鎮	K/K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
古坑鄉	K/K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ/μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ/λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
北港鎮	K/K^*	1.0	1.0	10.0	1.0	30.0
	μ/μ^*	1.0	0.17	1.0	0.17	1.0
	λ/λ^*	1.0	0.17	1.0	0.17	1.0

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層： $K^* = 1.0 \times 10^{-4}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層： $K = 1.0 \times 10^{-8}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 3-7(續 2) 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
水林鄉	K / K^*	1.0	1.0	3.0	1.0	0.6
	μ / μ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
	λ / λ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
口湖鄉	K / K^*	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	0.3
	λ / λ^*	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
彰化市	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	0.15
鹿港鄉	K / K^*	1.0	1.0	5.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
和美鎮	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
線西鄉	K / K^*	0.88	1.0	1.5	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
伸港鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
福興鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0
秀水鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層： $K^* = 1.0 \times 10^{-4}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層： $K = 1.0 \times 10^{-8}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 3-7(續 3) 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
花壇鄉	K / K^*	1.0	1.0	3.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
芬園鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
員林鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
溪湖鄉	K / K^*	1.0	1.0	2.0	1.0	0.5
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
田中鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
大村鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
埔鹽鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.5	1.0	0.5
	μ / μ^*	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0
	λ / λ^*	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0
永靖鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
社頭鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層： $K^* = 1.0 \times 10^{-4}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層： $K = 1.0 \times 10^{-8}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 3-7 (續 4) 地質參數比例表

		含水層一	阻水層一 或虛擬分層	含水層二	阻水層二 或虛擬分層	含水層三
二水鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
北斗鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
二林鄉	K / K^*	1.0	1.0	5.0	1.0	5.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
田尾鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
埤頭鄉	K / K^*	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
芳苑鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	0.25	1.0	0.25	1.0
	λ / λ^*	1.0	0.25	1.0	0.25	1.0
大城鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	λ / λ^*	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
竹塘鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0
	λ / λ^*	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0
溪洲鄉	K / K^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	μ / μ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	λ / λ^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

註：K 為水力傳導係數(hydraulic conductivity)； μ 、 λ 為拉梅常數(Lame constant)

註：若為含水層： $K^* = 1.0 \times 10^{-4}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^8$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^9$ (Nt/m²)

若為阻水層： $K = 1.0 \times 10^{-8}$ (m/s)、 $\mu^* = 5.0 \times 10^6$ (Nt/m²)、 $\lambda^* = 1.0 \times 10^7$ (Nt/m²)

表 3-8 彰化地區地層下陷模擬結果

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	84/10-86/10	86/10-87/10	87/10-89/05	84/10-86/10	86/10-87/10	87/10-89/04
絡津國小	0	-2.1	7	-2.16	-1.89	-2.16
管嶼國小	-1.2	-3.6	8.3	-2.95	-2	-1.99
好修國小	0	-2.8	-5.4	-1.64	-2.06	-3.99
二林國小	-23.4	-12.1	-13.8	-21.04	-10.75	-12.69
原斗國中	-6.6	-5.2	-4	-4.62	-5.09	-2.68
合興國小	0	-4	-2.5	-1.08	-2.67	-3.5
草湖西南	-10.6	-6.4	-3.6	-6.03	-4.03	-6.45
草湖	-6.1	-7.6	-6.7	-8.35	-4.89	-5.18
路上派出所	-12.1	-12.7	-7.6	-11.59	-4.49	-4.69
新街國小	-17.8	-10.2	-10.6	-14.57	-3.93	-3.94
大成國小	-43.4	-18.8	-22.4	-26.66	-13.77	-20.75
西港國小	-32.4	-14.3	-14.6	-20.93	-9.17	-11.55
中西	-17.2	-12	-11.5	-20.91	-6.15	-6.86
美豐國小	-35.4	-12.9	-20	-35.02	-10.07	-9.93
潭藪國小	-25.6	-12.2	-23.7	-24.19	-9.95	-13.97
竹塘工作站	-8.6	-4.1	6.7	-5.5	-6.84	-3.2
永安派出所	-11.9	-8.1	-7.8	-9.94	-7.87	-7.11

表 3-9 雲林地區地層下陷模擬結果

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11	83/12-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11
橋頭國小	-13.5	-8.1	-5.3	-12.33	-2.25	-2.56
麥寮鄉公所	-12.8	-7.1	-3.9	-10.91	-2.83	-3.54
蚊港橋北	-10.2	-2.4	-1.1	-8.35	-2.15	-2.69
中山	-15.2	-5.8	-2.4	-15.62	-3.24	-3.68
六輕工業區	-14.8	-4	-2.5	-15.56	-3.09	-3.49
崙背工作站	-7.5	-9.3	-8.5	-4.69	-9.49	-6.27
豐榮派出所	-7.9	-7.9	-6.8	-5.44	-9.74	-3.45
大有國小	-8.3	-6.8	-5.9	-5.28	-1.23	-2.87
油車村	-3.5	-1	-2.4	-1.3	-1.07	-2.95
西螺工作站	-3.6	1.5	-0.8	-3.67	-0.04	-0.22
雲林縣政府	-1.6	0.2	-1.7	-1.4	-0.43	-0.86
虎尾國小	-7.4	-3	-9	-4.64	-1.08	-7.36
埤腳國小	-11.5	-7.1	-13.5	-9.28	-8.16	-14.63
田洋東	-12	-8.8	-9.3	-13.09	-5.16	-9.02
龍岩農場	-10.8	-9.2	-5.6	-7.57	-2.02	-5.25
安南國小	-10.7	-3.4	-3.3	-6.7	-1.63	-2.04
台西工作站	-7.1	-8.9	-5.1	-7.44	-7.03	-2.69
海園	-7.7	-4.5	-3	-4.38	-6.56	-2.48
蚊港村	-6.3	-2.3	-1.6	-4.76	-1.93	-0.36
新興國小	-7.2	-4.6	-2.9	-6.05	-3.4	-2.92
昭安府	-8.5	-8.3	-6.6	-7.98	-6.72	-4.85
東羊橋	-11.1	-2.3	-3.9	-12.02	-1.4	-4.76
四湖台糖	-12.3	-5.8	-6.9	-12.58	-1.11	-4.43

表 3-9 (續 1) 雲林地區地層下陷模擬結果

(單位：公分)

點名	量測結果			模擬結果		
	83/10-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11	83/12-85/10	85/10-87/02	87/02-88/11
飛沙國小	-6.8	-1.1	-2.9	-5.9	-1.54	-2.48
飛沙工作站	-9.4	-2.5	-2.7	-6.43	-2.27	-3.97
建陽國小	-10.3	-4.2	-5.3	-7.11	-2.66	-5.16
元長公墓	-12.2	-7.4	-12.3	-15.57	-7.81	-9.23
元長忠孝國	-12.4	-7.2	-7.2	-11.86	-6.53	-9.68
好收國小	-13.2	-5.6	-5.5	-8.26	-9.75	-9.18
番子溝	-13	-5.1	-5.2	-10.07	-3.99	-4.91
北港國中	-10.7	-0.4	-2.7	-7.29	-6.39	-6.19
大溝	-10.6	-0.9	-5.4	-10.49	-2.39	-5
塭底村	-14.6	2.1	-4.4	-11.65	-2.76	-5.18
水林工作站	-15.3	-0.5	-5.3	-11.71	-4.13	-7.61
正東堂	-13.4	-4.8	-5.6	-13.62	-3.28	-4.85
正義公廟	-13.7	-0.4	-3.6	-6.67	-1.14	-4.02
拔子腳	-9.9	-0.6	-5.2	-7.26	-1.73	-2.59
成龍村	-15	-1.3	-3.3	-7.06	-2.68	-1.98
下崙	-9.8	-2.4	-4.8	-8.77	-2.5	-3.6
湖口村	-13.2	-1	-3.9	-6.7	-2.4	-1.73
台子挖	-12.2	-3.1	-4.9	-7.06	-3.06	-2.1
金湖派出所	-10.4	-1.4	-3.8	-7.08	-2.65	-2.4
青蚶水塔	-11.3	-2.8	-9.4	-8.08	-3.04	-2.8
宜梧派出所	-12.5	-1.9	-4.5	-8.4	-2.93	-3.32
青蚶閘門	-10.5	-2.6	-11.7	-10.21	-3.4	-4.4

表 3-9 (續 2) 雲林地區下陷量之預測

(單位：公分)

鄉鎮市	站名	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年
四湖鄉	東羊橋	1.91	3.14	4.03	4.73	5.32
	四湖台糖	1.93	3.12	3.95	4.59	5.13
	飛沙國小	0.87	1.49	1.97	2.36	2.70
	飛沙工作站	1.57	2.75	3.67	4.47	5.16
	建陽國小	2.26	4.00	5.40	6.61	7.67
元長鄉	元長公墓	5.01	10.02	15.04	20.05	25.06
	元長忠孝國	5.65	11.30	16.96	22.62	28.27
北港鎮	好收國小	4.50	9.01	13.52	18.02	22.53
	番子溝	2.75	5.50	8.25	11.00	13.76
	北港國中	3.10	6.20	9.30	12.40	15.51
水林鄉	大溝	3.26	6.13	8.71	11.12	13.37
	塭底村	5.83	11.58	17.08	22.45	27.67
	水林工作站	3.45	6.35	8.79	10.90	12.75
	正東堂	1.50	2.80	4.00	5.20	6.39
	正義公廟	2.81	5.36	7.62	9.87	11.94
口湖鄉	拔子腳	2.66	5.37	8.04	10.66	13.21
	成龍村	1.88	3.90	6.00	8.14	10.31
	下崙	3.72	7.33	10.68	13.77	16.61
	湖口村	1.76	3.63	5.56	7.54	9.56
	台子挖	1.75	3.63	5.57	7.59	9.66
	金湖派出所	2.02	4.16	6.37	8.64	10.92
	青蚶水塔	2.81	5.76	8.70	11.60	14.40
	宜梧派出所	3.32	6.87	10.50	14.20	17.80
	青蚶閘門	3.83	7.93	12.11	16.31	20.44

表 3-10 TM 二度座標地層下陷量

(單位: 公分)

TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年	TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年
160000	2602000	4.37	8.05	10.12	10.96	13.04	15.4	166000	2606000	5.11	8.98	11.06	12.56	15.14	18.33
160000	2604000	4.13	7.84	9.98	10.9	12.75	14.79	166000	2608000	4.85	7.62	8.81	9.76	11.99	14.6
160000	2606000	4.09	7.95	10.15	11.22	13.1	15.1	166000	2610000	6.05	9.11	10.66	11.75	14.59	17.43
160000	2608000	4.36	8.57	10.69	12.09	14.34	16.72	166000	2612000	6.76	9.54	10.89	11.94	15.15	18.03
160000	2610000	4.99	9.61	11.75	13.58	16.5	19.55	166000	2614000	6.6	8.74	9.73	10.63	13.81	16.02
160000	2612000	5.37	9.34	11.51	13.38	16.78	19.98	166000	2616000	4.63	6.15	7.24	7.94	10.14	11.15
160000	2614000	5.62	8.41	10.65	12.44	16.2	19.16	166000	2618000	6.51	7.77	11.12	12.52	15.86	17.7
160000	2616000	5.77	7.56	10.12	11.88	15.86	18.49	166000	2620000	7.05	8.15	14.26	16.31	20.1	22.61
160000	2618000	5.64	6.98	10.21	11.94	15.72	18.04	166000	2622000	5.65	6.51	13	14.72	17.28	19.15
162000	2602000	4.54	8.09	10.05	10.86	12.96	15.4	166000	2624000	3.83	4.46	10.59	12.17	13.67	14.82
162000	2604000	4.06	7.55	9.58	10.38	12.03	13.86	166000	2626000	3.99	4.9	9.66	11	12.27	13.31
162000	2606000	3.98	7.65	9.97	10.89	12.5	14.21	166000	2628000	4.55	5.89	9.54	10.74	11.89	12.88
162000	2608000	3.98	7.67	9.55	10.65	12.45	14.41	168000	2600000	7.15	10.84	12.86	14.14	18.66	23.8
162000	2610000	5.45	11.13	13.24	15.44	18.58	22.27	168000	2602000	8.06	12.14	14.18	15.47	20.53	26.34
162000	2612000	5.54	9.63	11.66	13.45	16.82	20.31	168000	2604000	6.28	9.43	10.98	12.21	16.06	20.02
162000	2614000	5.75	8.28	10.2	11.84	15.61	18.59	168000	2606000	6.24	9.46	11.1	12.69	16.32	19.74
162000	2616000	6.18	7.25	9.38	11.08	15.45	17.97	168000	2608000	7.54	10.88	12.61	14.31	18.52	21.95
162000	2618000	5.79	6.76	10.03	11.73	15.59	17.78	168000	2610000	7.89	10.84	12.3	13.86	17.61	20.6
162000	2620000	5.52	6.48	10.87	12.62	16.04	18.07	168000	2612000	8.73	11.09	12.2	13.4	17.15	19.82
162000	2622000	5.11	6.08	11.08	12.79	15.66	17.46	168000	2614000	9.39	11.24	11.99	12.86	16.81	19.13
162000	2624000	4.73	5.76	10.81	12.41	14.71	16.24	168000	2616000	10.21	12.37	13.17	14.24	18.72	21.01
162000	2626000	4.7	5.92	10.6	12.08	13.97	15.32	168000	2618000	8.4	9.94	12.73	13.99	17.54	19.57
162000	2628000	5.05	6.59	10.75	12.16	13.85	15.13	168000	2620000	7.47	8.69	13.57	15.05	18.04	20.11
164000	2602000	5.09	8.62	10.48	11.34	13.84	16.78	168000	2622000	6.55	7.59	14.1	15.44	17.54	19.44
164000	2604000	4.03	7.18	8.86	9.61	11.11	12.82	168000	2624000	4.87	5.71	10.95	12.4	13.95	15.4
164000	2606000	4.14	7.6	9.61	10.39	12	13.83	168000	2626000	4.14	5.08	9.04	10.33	11.53	12.66
164000	2608000	4.31	7.86	9.73	10.72	12.59	14.85	168000	2628000	4.2	5.53	8.33	9.26	10.13	10.95
164000	2610000	4.82	8.64	10.94	12.06	14.33	17.05	168000	2630000	6.01	7.93	10.21	11.45	12.66	13.84
164000	2612000	5.68	9.23	11.08	12.36	15.45	19.12	168000	2632000	8.2	11.23	13.48	15.1	16.71	18.3
164000	2614000	5.69	7.99	9.5	10.73	14.05	16.69	168000	2634000	9.59	13.67	16.22	18.27	20.29	22.3
164000	2616000	5.49	6.61	8.39	9.66	13.05	14.83	170000	2600000	6.8	9.92	11.91	13.44	17.95	22.81
164000	2618000	5.8	6.76	10.15	11.71	15.26	17.18	170000	2602000	6.58	9.33	10.98	12.4	16.79	21.25
164000	2620000	5.91	6.82	11.92	13.74	17.2	19.29	170000	2604000	5.22	6.82	7.66	8.78	12.36	15.29
164000	2622000	5.21	6.05	11.86	13.63	16.39	18.2	170000	2606000	6.5	9.35	11	13.21	17.22	20.52
164000	2624000	4.39	5.22	10.86	12.47	14.47	15.85	170000	2608000	7.89	11.39	13.39	16.17	20.49	23.88
164000	2626000	4.31	5.34	10.23	11.67	13.25	14.42	170000	2610000	9.06	12.19	14.01	16.51	20.58	23.57
164000	2628000	4.81	6.23	10.3	11.64	13.06	14.2	170000	2612000	10.31	12.51	13.83	15.54	19.47	21.99
166000	2600000	6.51	10.29	12.29	13.37	17.22	21.72	170000	2614000	11.71	12.66	13.52	14.32	18.66	21
166000	2602000	6.37	10.14	12.06	13.11	16.72	20.92	170000	2616000	10.8	12.27	13.49	14.54	18.49	20.68
166000	2604000	5.51	9.08	10.91	12.03	14.93	18.27	170000	2618000	9.26	10.74	12.93	14.16	17.42	19.44

表 3-10 (續 1) TM二度座標地層下陷量

(單位: 公分)

TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年	TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年
170000	2620000	7.63	8.92	12.11	13.39	15.82	17.63	174000	2622000	7.06	9.03	10.67	12.68	15.13	17.52
170000	2622000	6.23	7.34	11.01	12.28	14.01	15.58	174000	2624000	6.52	8.57	10.04	11.89	14.25	16.66
170000	2624000	5.44	6.48	9.98	11.47	13.06	14.65	174000	2626000	6.73	8.83	10.25	11.99	14.21	16.47
170000	2626000	5.13	6.2	9.13	10.89	12.65	14.4	174000	2628000	7.52	9.77	11.33	12.99	14.95	16.84
170000	2628000	3.35	5.05	6.68	6.92	7.15	7.38	174000	2630000	8.24	10.86	12.71	14.2	15.84	17.36
170000	2630000	6.88	8.63	10.25	11.87	13.5	15.12	174000	2632000	9.14	12.63	14.36	15.94	17.52	19.1
170000	2632000	9.62	13.31	15.32	17.21	19.08	20.97	174000	2634000	9.45	14.43	19.07	22.63	26.29	29.73
170000	2634000	11.2	16.07	18.39	20.55	22.7	24.85	174000	2636000	9.53	16.09	22.82	28.54	34.32	39.81
170000	2636000	10.6	16.1	19.81	23.16	26.46	29.69	174000	2638000	9.77	17.86	26.11	33.7	41.18	48.26
170000	2638000	10.3	16.48	21.32	25.66	29.88	33.93	174000	2640000	11.47	21.31	30.67	39.31	47.5	55.05
172000	2600000	6.29	8.92	11.07	13.02	17.32	21.73	174000	2642000	15.16	26.8	36.56	44.92	52.36	58.86
172000	2602000	6.07	8.4	10.38	12.43	16.58	20.56	176000	2604000	5.89	7.87	11.48	15.3	19.17	22.77
172000	2604000	5.89	8.08	10.04	12.44	16.41	19.84	176000	2606000	6.08	8.1	12.47	17.03	20.79	24.29
172000	2606000	6.62	9.58	12.03	15.38	19.55	22.99	176000	2608000	6.41	8.34	13.98	19.62	23.48	27.18
172000	2608000	8	12.2	15.1	19.57	24.13	27.78	176000	2610000	6.79	8.31	16.06	23.41	27.93	32.43
172000	2610000	9.35	12.68	15.39	19.15	23.01	25.93	176000	2612000	8.7	10.4	15.3	20.35	23.61	26.84
172000	2612000	10.8	13.27	15.18	17.82	21.09	23.26	176000	2614000	9	10.14	13.34	16.66	19.41	22.16
172000	2614000	11.2	12.9	14.37	16.14	19.42	21.46	176000	2616000	9.82	11.56	14.76	17.9	20.79	23.85
172000	2616000	10.6	12.08	13.66	15.17	18.37	20.48	176000	2618000	9.95	12.16	15.43	18.73	22.04	25.37
172000	2618000	9.32	10.85	12.76	14.27	17.08	19.15	176000	2620000	9.48	11.99	15.07	18.61	22.58	26.19
172000	2620000	7.65	9.1	11.07	12.52	14.69	16.5	176000	2622000	8.36	11.09	13.62	16.81	20.93	24.67
172000	2622000	5.66	6.9	8.13	9.36	10.59	11.82	176000	2624000	7.02	9.74	11.51	13.91	17.55	21.08
172000	2624000	5.89	7.35	9.29	10.84	12.5	14.25	176000	2626000	6.09	8.31	9.45	11.22	14.1	16.89
172000	2626000	6.46	8.27	10.28	12.03	13.88	15.8	176000	2628000	5.95	7.54	8.87	10.25	12.26	13.96
172000	2628000	8.58	11.26	13.4	15.53	17.66	19.79	176000	2630000	6.31	7.81	10.92	12.2	13.91	15.05
172000	2630000	8.81	11.84	13.57	15.33	17.09	18.86	176000	2632000	6.93	9.2	14.53	16.5	18.88	20.55
172000	2632000	11.2	16.15	18.59	20.86	23.12	25.39	176000	2634000	7.95	12.4	19.69	23.98	28.62	32.63
172000	2634000	10.8	16.08	19.39	22.37	25.36	28.31	176000	2636000	9.21	16.48	25.68	32.97	40.47	47.44
172000	2636000	10.3	16.42	21.29	25.67	30.04	34.26	176000	2638000	10.84	21.01	32.09	42.14	52.04	61.33
172000	2638000	10.2	17.25	23.48	29.19	34.77	40.08	176000	2640000	11.56	23.36	35.42	46.98	57.98	68.14
174000	2602000	5.93	8.12	10.73	13.48	17.55	21.41	176000	2642000	24.77	43.9	58.84	70.86	80.86	88.97
174000	2604000	5.99	8.24	11.16	14.47	18.45	22.05	178000	2606000	5.91	7.47	12.03	16.59	20.16	23.56
174000	2606000	6.45	9.07	12.65	16.86	20.91	24.47	178000	2608000	5.99	7.33	12.43	17.26	20.37	23.47
174000	2608000	7.31	10.26	14.67	19.84	23.97	27.59	178000	2610000	7	8.29	14.54	20.6	24.63	28.7
174000	2610000	8.65	11.44	15.96	21.15	24.81	27.98	178000	2612000	8.29	9.67	15.24	20.84	24.91	29.14
174000	2612000	10.9	13.74	16.33	19.92	22.05	23.66	178000	2614000	9.36	10.92	15.58	20.29	24.15	28.35
174000	2614000	10.4	12.25	14.48	17.1	19.67	21.7	178000	2616000	10.32	12.43	16.97	21.36	25.02	29.16
174000	2616000	10.1	11.73	13.93	16.16	18.9	21.25	178000	2618000	11.08	13.76	18.53	23.33	27.6	31.92
174000	2618000	9.43	11.22	13.49	15.69	18.47	20.97	178000	2620000	11.44	14.37	19.17	25.17	31.68	36.68
174000	2620000	8.29	10.21	12.27	14.45	17.12	19.61	178000	2622000	10.1	13.53	17.53	22.8	29.68	35.04

表 3-10(續 2) TM二度座標地層下陷量

(單位: 公分)

TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年	TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年
178000	2624000	7.61	11.3	13.99	17.15	22.56	27.56	182000	2608000	7.11	8.19	13.33	19.05	24.03	28.27
178000	2626000	5.31	7.81	9.35	11.41	15.65	19.48	182000	2610000	8.1	9.19	14.75	21.14	26.84	31.58
178000	2628000	4.5	5.34	6.15	7.56	9.73	11.21	182000	2612000	9.43	10.64	16.48	23.57	30.23	35.62
178000	2630000	4.75	5.3	10.31	11.7	13.91	14.91	182000	2614000	11.1	12.49	18.7	26.73	34.66	40.64
178000	2632000	4.9	5.47	14.77	16.49	19.1	20.09	182000	2616000	13.24	14.77	21.82	31.64	41.58	47.98
178000	2634000	7.02	11.14	20.9	25.92	31.57	36.16	182000	2618000	16.43	17.7	26.26	40.05	54.62	61.94
178000	2636000	9.47	17.58	28.83	37.63	46.8	55.31	182000	2620000	21.56	21.6	32.61	54.32	78.8	88.25
178000	2638000	14.3	27.77	41.81	54.46	66.87	78.52	182000	2622000	15.51	17.42	25.46	39.31	56.4	64.52
178000	2640000	27	49.74	68.82	84.91	99.08	111.29	182000	2624000	10.53	13.43	19.41	27.3	38.7	45.44
178000	2642000	51	89.04	116.26	136.17	151.24	162.07	182000	2626000	7.14	9.33	14.66	19.43	27.29	32.18
178000	2644000	13.9	22.1	27.66	31.83	35.12	37.67	182000	2628000	5.13	6.12	12.4	15.73	21.45	24.53
178000	2646000	10.6	15.46	19.45	22.37	24.85	26.84	182000	2630000	4.37	4.65	13.48	16.42	21.09	23
178000	2648000	9.23	12.42	15.67	18.13	20.45	22.4	182000	2632000	5.54	7.24	15.82	19.63	24.49	27.29
178000	2650000	8.73	11.03	13.96	16.25	18.6	20.64	182000	2634000	8.02	12.29	21.06	26.85	33.05	37.85
180000	2608000	6.6	7.79	12.98	18.28	22.36	26.13	182000	2636000	11.35	19.26	28.74	37.1	45.38	52.8
180000	2610000	7.53	8.73	14.42	20.37	25.01	29.36	182000	2638000	15.23	27.98	38.97	49.23	59.16	68.44
180000	2612000	8.79	10.15	15.82	21.98	27.2	32.17	182000	2640000	20.91	37.91	51.85	65.7	78.25	89.6
180000	2614000	10.1	11.87	17.26	23.29	28.94	34.6	182000	2642000	20.2	38.1	53.23	67.69	80.93	92.75
180000	2616000	11.6	13.78	19.68	26.15	31.92	37.23	182000	2644000	11.76	16.75	23.14	27.91	31.64	34.54
180000	2618000	12.5	15.61	22.06	28.37	33.38	38.4	182000	2646000	11.89	15.93	20.75	25.18	28.83	31.53
180000	2620000	15.1	17.51	24.9	36.24	48.67	55.47	182000	2648000	10.22	13.01	16.96	20.9	24.57	27.46
180000	2622000	12.9	16.22	22.34	31.53	43.23	50.31	182000	2650000	8.88	10.73	14.23	17.72	21.4	24.51
180000	2624000	8.46	13.71	17.75	21.39	28.49	35.19	182000	2652000	8.72	10	13.38	16.45	19.71	22.53
180000	2626000	6.16	9.06	12.6	15.51	21.15	25.68	182000	2654000	9.39	10.36	13.56	16.24	18.97	21.37
180000	2628000	4.75	5.89	10.26	12.53	16.64	19.16	182000	2656000	10.32	11.13	14.03	16.38	18.66	20.71
180000	2630000	4.41	4.91	11.93	14.12	17.64	19.26	182000	2658000	11.18	11.9	14.47	16.56	18.47	20.26
180000	2632000	5.19	6.63	15.8	18.96	23.15	25.53	184000	2610000	8.41	9.36	14.8	21.62	28.25	33.22
180000	2634000	7.15	11.45	21.57	27.28	33.68	38.81	184000	2612000	9.74	10.71	16.58	24.4	32.3	37.85
180000	2636000	9.72	18.04	29.4	38.72	48.49	57.59	184000	2614000	11.42	12.42	18.85	28.08	37.79	43.96
180000	2638000	12.9	25.93	39.78	53.77	68	82.06	184000	2616000	13.54	14.45	21.72	33.18	45.63	52.47
180000	2640000	24.8	46.17	64.13	80.02	94.47	107.38	184000	2618000	16.03	16.6	25.01	39.7	56.22	63.94
180000	2642000	29.3	52.4	70.51	85.12	97.45	107.6	184000	2620000	17.29	17.65	26.65	43.45	63.17	71.56
180000	2644000	17.6	28.84	38.21	45.23	50.93	55.43	184000	2622000	14.66	15.61	23.47	37.25	54.53	62.34
180000	2646000	10.9	15.43	19.99	23.43	26.32	28.57	184000	2624000	10.68	12.14	18.53	27.74	40.58	47.07
180000	2648000	9.28	11.98	15.4	18.25	20.96	23.17	184000	2626000	7.34	8.6	14.29	20.15	29.3	34.18
180000	2650000	8.67	10.58	13.66	16.34	19.14	21.54	184000	2628000	5.1	5.82	11.76	15.68	22.27	25.61
180000	2652000	8.67	10.1	13.06	15.57	18.27	20.65	184000	2630000	4.3	4.89	11.42	14.63	19.71	22.12
180000	2654000	9.14	10.28	13.12	15.44	17.87	20.07	184000	2632000	5.49	7.06	13.53	17.25	21.91	24.53
180000	2656000	9.84	10.79	13.46	15.57	17.7	19.68	184000	2634000	8.84	12.43	18.75	24.1	29.31	33.07
180000	2658000	10.5	11.38	13.83	15.76	17.61	19.38	184000	2636000	13.76	20.13	26.57	34.16	40.52	45.8

表 3-10(續 3) TM二度座標地層下陷量

(單位: 公分)

TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年	TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年
184000	2638000	18.9	28.58	35.85	45.85	53.68	60.5	188000	2614000	9.89	10.41	15.84	24.4	34.29	40
184000	2640000	22.2	34.87	44.06	56.28	65.97	74.36	188000	2616000	10.8	11.22	16.91	26.42	37.85	44
184000	2642000	22.9	35.86	45.47	57.88	67.9	76.2	188000	2618000	11.31	11.64	17.4	27.51	40.24	46.72
184000	2644000	21	30.25	37.47	47.11	54.7	60.39	188000	2620000	11.01	11.32	16.79	26.6	39.72	46.28
184000	2646000	16.6	22.45	27.96	35.06	40.66	44.63	188000	2622000	9.69	10.05	14.85	23.21	35.41	41.65
184000	2648000	12	15.52	20.39	25.92	30.7	34.26	188000	2624000	7.64	8.03	12.03	18.3	28.55	34
184000	2650000	8.89	10.85	14.9	19.42	24.23	28.3	188000	2626000	5.41	5.72	9.04	13.36	21.29	25.59
184000	2652000	8.78	10	14.18	17.89	21.53	24.54	188000	2628000	3.44	3.59	6.35	9.18	14.91	17.93
184000	2654000	9.86	10.75	14.43	17.5	20.39	22.83	188000	2630000	2.01	2.07	4.1	5.95	9.78	11.64
184000	2656000	11.1	11.84	14.97	17.56	19.88	21.93	188000	2632000	1.24	1.4	2.3	3.61	5.87	6.79
184000	2658000	12.1	12.77	15.42	17.65	19.55	21.31	188000	2634000	7.17	8.64	10.09	13.54	16.07	17.56
184000	2660000	12.7	13.34	15.59	17.57	19.18	20.73	188000	2636000	13.57	16.38	18.02	23.78	26.69	28.78
184000	2662000	13	13.58	15.5	17.3	18.71	20.13	188000	2638000	19.26	23.48	25.47	33.41	36.84	39.54
186000	2612000	9.53	10.3	15.91	23.89	32.4	37.91	188000	2640000	22.28	28.16	31.23	40.69	44.97	48.42
186000	2614000	10.9	11.63	17.73	27.04	37.32	43.39	188000	2642000	23.37	30.62	34.37	44.34	49.6	53.53
186000	2616000	12.5	13.04	19.7	30.68	43.22	49.87	188000	2644000	22.68	30.09	34.01	43.53	49.2	53.06
186000	2618000	13.7	14.14	21.31	33.92	48.86	56.06	188000	2646000	18.53	24.2	28.42	36.39	41.51	44.84
186000	2620000	13.9	14.23	21.42	34.43	50.56	58	188000	2648000	13.81	17.37	22.23	28.59	32.92	35.71
186000	2622000	12.2	12.74	19.22	30.45	45.32	52.33	188000	2650000	10.81	12.83	18.14	23.29	26.95	29.33
186000	2624000	9.41	10.14	15.64	23.9	35.92	41.91	188000	2652000	10.66	11.91	16.58	20.75	23.92	26.19
186000	2626000	6.61	7.25	12.04	17.59	26.6	31.25	188000	2654000	12	12.92	16.65	20.02	22.7	24.82
186000	2628000	4.42	4.82	9.25	12.93	19.43	22.71	188000	2656000	13.73	14.5	17.46	20.2	22.31	24.13
186000	2630000	3.28	3.67	7.78	10.49	15.16	17.42	188000	2658000	15.04	15.73	18.09	20.37	21.99	23.51
186000	2632000	4.22	5.24	8.92	11.8	15.53	17.48	188000	2660000	15.07	15.72	17.64	19.7	21.1	22.49
186000	2634000	8.54	11.03	14.58	19.07	22.91	25.43	188000	2662000	14.59	15.2	16.79	18.71	20.03	21.37
186000	2636000	15	19.36	22.7	29.55	34	37.38	190000	2614000	8.6	9	13.64	21.06	29.99	35.19
186000	2638000	22.8	28.78	31.47	40.86	45.99	50.02	190000	2616000	9.03	9.36	14	21.81	31.68	37.17
186000	2640000	24.2	33.12	38.32	49.35	56.25	61.83	190000	2618000	9.1	9.38	13.8	21.59	32.08	37.76
186000	2642000	26.4	37.21	43.57	55.61	63.85	70.13	190000	2620000	8.6	8.86	12.78	19.86	30.34	36.06
186000	2644000	31.1	43.4	50.05	63.12	72.82	79.44	190000	2622000	7.47	7.75	10.87	16.51	26.18	31.72
186000	2646000	20.7	27.92	33.52	42.51	49.11	53.55	190000	2624000	5.89	6.16	8.45	12.38	20.58	25.58
186000	2648000	13.5	17.49	23.2	29.81	34.79	38.15	190000	2626000	4.19	4.36	6.18	8.86	15.33	19.27
186000	2650000	8.21	9.98	17.02	22.28	26.14	28.64	190000	2628000	2.7	2.74	4.17	5.99	10.68	13.41
186000	2652000	9.24	10.42	15.54	19.68	23.1	25.66	190000	2630000	1.83	1.83	2.73	4.03	7.15	8.8
186000	2654000	10.7	11.62	15.62	18.94	21.76	24.03	190000	2632000	2.63	2.84	3.3	4.77	6.79	7.77
186000	2656000	12.3	13	16.2	18.93	21.18	23.12	190000	2634000	6.29	7.18	7.72	10.5	12.23	13.21
186000	2658000	13.4	14.05	16.65	18.96	20.76	22.42	190000	2636000	11.19	12.94	13.77	18.4	20.22	21.51
186000	2660000	13.9	14.46	16.62	18.65	20.18	21.65	190000	2638000	15.65	18.22	19.55	25.97	27.93	29.56
186000	2662000	13.8	14.42	16.22	18.09	19.45	20.82	190000	2640000	18.75	21.89	24	31.86	33.75	35.58
188000	2612000	8.9	9.49	14.63	22.22	30.69	35.97	190000	2642000	17.68	21.45	23.25	30.57	33.15	35.11

表 3-10(續 4) TM二度座標地層下陷量

(單位: 公分)

TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年	TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年
190000	2644000	14.3	17.37	18.47	24.26	26.25	27.54	192000	2666000	13.9	14.38	15.08	16.82	18.06	19.39
190000	2646000	14.3	17.48	19.86	25.73	28.99	31.01	192000	2668000	13.62	14.02	14.61	16.2	17.34	18.61
190000	2648000	12.8	15.31	18.59	23.9	27.38	29.58	192000	2670000	13.38	13.71	14.21	15.66	16.71	17.92
190000	2650000	11.7	13.41	17.11	21.71	25.01	27.21	192000	2672000	13.17	13.43	13.86	15.19	16.16	17.32
190000	2652000	11.8	13.02	16.53	20.43	23.45	25.65	194000	2614000	5.99	6.26	9.37	14.39	20.85	24.75
190000	2654000	13	13.96	16.94	20.2	22.84	24.98	194000	2616000	5.85	6.08	8.93	13.71	20.3	24.22
190000	2656000	14.9	15.66	18.07	20.74	22.84	24.73	194000	2618000	5.48	5.69	8.1	12.33	18.8	22.67
190000	2658000	17	17.75	19.69	21.81	23.18	24.54	194000	2620000	4.84	5.05	6.84	10.17	16.21	19.99
190000	2660000	15.8	16.53	18.11	20.18	21.57	22.98	194000	2622000	3.99	4.2	5.23	7.37	12.7	16.34
190000	2662000	14.9	15.57	16.86	18.86	20.22	21.59	194000	2624000	3.04	3.23	3.6	4.62	9.06	12.38
190000	2664000	14.3	14.91	16	17.87	19.15	20.48	194000	2626000	2.15	2.27	2.43	2.94	6.42	9.03
190000	2666000	13.9	14.44	15.36	17.08	18.27	19.56	194000	2628000	1.5	1.57	1.69	2.02	4.53	6.32
190000	2670000	13.4	13.74	14.42	15.87	16.9	18.09	194000	2630000	1.34	1.44	1.54	1.9	3.53	4.59
190000	2672000	13.2	13.47	14.05	15.39	16.34	17.48	194000	2632000	2.12	2.33	2.42	3.14	4.12	4.68
192000	2614000	7.26	7.58	11.43	17.61	25.34	29.92	194000	2634000	4.13	4.5	4.54	6.04	6.76	7.16
192000	2616000	7.36	7.63	11.3	17.48	25.69	30.42	194000	2636000	6.67	7.23	7.28	9.76	10.5	10.96
192000	2618000	7.16	7.39	10.69	16.49	24.88	29.7	194000	2638000	8.88	9.62	9.73	13.07	14	14.62
192000	2620000	6.56	6.79	9.45	14.36	22.48	27.31	194000	2640000	10.08	10.91	11.06	14.86	16.17	16.99
192000	2622000	5.57	5.83	7.57	11.01	18.37	23.13	194000	2642000	10	10.8	10.9	14.62	16.54	17.62
192000	2624000	4.31	4.6	5.17	6.66	12.83	17.48	194000	2644000	9.08	9.74	9.82	13.11	15.98	17.44
192000	2626000	3.09	3.24	3.89	5.14	10.06	13.51	194000	2646000	9.75	10.57	11.1	14.48	17.21	18.74
192000	2628000	2.11	2.16	2.72	3.66	7.26	9.61	194000	2648000	10.38	11.26	12.28	15.67	18.43	20.18
192000	2630000	1.79	1.84	2.2	3.03	5.44	6.87	194000	2650000	11.05	11.89	13.23	16.51	19.32	21.31
192000	2632000	2.78	2.99	3.18	4.39	5.96	6.81	194000	2652000	11.9	12.7	14.09	17.18	20	22.26
192000	2634000	5.37	5.94	6.14	8.32	9.52	10.2	194000	2654000	12.98	13.78	14.99	17.84	20.69	23.25
192000	2636000	8.82	9.84	10.21	13.72	14.87	15.65	194000	2656000	14.1	14.96	15.82	18.48	21.41	24.34
192000	2638000	12	13.4	14.04	18.82	20.05	21.02	194000	2658000	14.67	15.41	16.23	18.58	20.88	23.23
192000	2640000	13.7	15.39	16.25	21.75	23.18	24.32	194000	2660000	14.65	15.32	16.05	18.21	20.1	22.03
192000	2642000	13.2	14.98	15.69	20.92	22.78	24.02	194000	2662000	14.29	14.9	15.53	17.57	19.19	20.86
192000	2644000	11.8	13.43	14.05	18.63	20.87	22.16	194000	2664000	13.98	14.5	15.04	16.92	18.36	19.86
192000	2646000	11.5	13.17	14.39	18.79	21.5	23.08	194000	2666000	13.73	14.16	14.62	16.33	17.62	19.02
192000	2648000	11.5	13.03	14.97	19.21	22.2	24.07	194000	2668000	13.5	13.84	14.23	15.8	16.97	18.28
192000	2650000	11.6	12.83	15.18	19.1	22.11	24.18	194000	2670000	13.29	13.56	13.89	15.32	16.38	17.62
192000	2652000	12.1	13.18	15.53	19.04	21.96	24.2	194000	2672000	13.09	13.31	13.57	14.89	15.86	17.04
192000	2654000	13.3	14.21	16.26	19.35	22.1	24.46	196000	2614000	4.84	5.07	7.56	11.56	16.78	20.01
192000	2656000	14.8	15.59	17.25	19.93	22.36	24.66	196000	2616000	4.55	4.74	6.93	10.57	15.65	18.76
192000	2658000	15.7	16.5	17.87	20.19	22.12	24.06	196000	2618000	4.06	4.24	5.99	9.03	13.77	16.68
192000	2660000	15.4	16.15	17.29	19.45	21.09	22.76	196000	2620000	3.4	3.57	4.79	7.02	11.19	13.86
192000	2662000	14.5	15.26	16.21	18.33	19.82	21.31	196000	2622000	2.65	2.82	3.47	4.79	8.29	10.7
192000	2664000	14.2	14.8	15.61	17.53	18.88	20.29	196000	2624000	1.95	2.08	2.28	2.84	5.68	7.78

表 3-10(續 5) TM 二度座標地層下陷量

(單位: 公分)

TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年	TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年
196000	2626000	1.35	1.45	1.47	1.53	3.72	5.39	198000	2640000	6.28	6.28	5.77	7.61	8.57	9.05
196000	2628000	0.94	1.01	1.52	1.87	2.39	3.54	198000	2642000	5.95	6.93	7.42	8.44	9.85	10.59
196000	2630000	0.79	0.9	1.37	1.83	1.72	2.35	198000	2644000	6.49	7.48	8.06	9.16	10.97	11.98
196000	2632000	1	1.23	1.36	1.49	1.82	1.99	198000	2646000	8.15	8.21	7.95	10.12	12.2	13.44
196000	2634000	2.99	3.2	3.41	3.99	4.32	4.47	198000	2648000	8.96	9.1	9.54	11.29	13.51	14.99
196000	2636000	5.01	5.26	5.76	6.7	7.16	7.4	198000	2650000	9.84	10.07	11.17	12.45	14.77	16.5
196000	2638000	6.7	6.99	7.76	9.02	9.76	10.16	198000	2652000	10.74	11.04	12.22	13.5	15.88	17.85
196000	2640000	7.74	8.05	8.8	10.44	11.6	12.23	198000	2654000	11.6	11.97	12.15	14.38	16.78	18.94
196000	2642000	8.1	8.38	9.11	10.83	12.57	13.48	198000	2656000	12.34	12.75	12.89	15.03	17.36	19.6
196000	2644000	8.23	8.49	9.3	10.95	13.23	14.43	198000	2658000	12.85	13.27	13.38	15.41	17.55	19.7
196000	2646000	8.79	9.12	9.59	11.88	14.35	15.77	198000	2660000	13.12	13.51	13.61	15.52	17.42	19.37
196000	2648000	9.58	10.01	10.39	13.15	15.68	17.31	198000	2662000	13.2	13.55	13.63	15.42	17.09	18.85
196000	2650000	10.4	10.94	11.55	14.29	16.88	18.76	198000	2664000	13.17	13.47	13.53	15.2	16.68	18.27
196000	2652000	11.4	11.91	12.59	15.26	17.91	20.07	198000	2666000	13.09	13.34	13.37	14.92	16.24	17.69
196000	2654000	12.3	12.92	13.54	16.09	18.78	21.21	198000	2668000	12.98	13.17	13.18	14.62	15.8	17.14
196000	2656000	13.2	13.81	14.29	16.7	19.32	21.88	198000	2670000	12.87	13.01	12.98	14.32	15.38	16.63
196000	2658000	13.7	14.31	14.73	16.96	19.27	21.61	198000	2672000	12.75	12.84	13.79	14.02	14.99	16.17
196000	2660000	13.9	14.42	14.8	16.87	18.83	20.85	198000	2674000	12.63	12.68	13.6	13.74	14.62	15.73
196000	2662000	13.8	14.28	14.61	16.54	18.23	19.99	198000	2676000	12.52	12.53	13.42	13.48	14.28	15.34
196000	2664000	13.6	14.04	14.33	16.12	17.6	19.18	198000	2678000	12.41	12.39	13.25	14.24	14.97	15.98
196000	2666000	13.5	13.8	14.04	15.69	17	18.44	200000	2614000	3.08	3.21	4.76	7.23	10.39	12.41
196000	2668000	13.3	13.55	13.75	15.26	16.44	17.78	200000	2616000	2.64	2.74	4	6.03	8.76	10.47
196000	2670000	13.1	13.32	13.47	14.87	15.93	17.19	200000	2618000	2.05	2.15	3.05	4.53	6.63	7.92
196000	2672000	13	13.11	13.21	14.5	15.47	16.65	200000	2620000	1.33	1.43	1.95	2.77	4.03	4.77
196000	2674000	12.8	12.91	12.97	14.16	15.05	16.17	200000	2622000	0.49	0.61	0.74	0.85	1.07	1.11
196000	2676000	12.7	12.73	12.76	13.85	14.66	15.73	200000	2624000	0.44	0.49	0.57	0.71	0.83	0.93
196000	2678000	12.5	12.57	12.56	13.58	14.32	15.33	200000	2626000	0.39	0.48	0.59	0.65	0.78	0.84
198000	2614000	3.87	4.04	6.02	9.17	13.28	15.86	200000	2628000	0.42	0.57	0.67	0.78	0.95	1.23
198000	2616000	3.47	3.62	5.29	8.02	11.8	14.14	200000	2630000	0.65	0.78	0.86	0.95	1.24	1.56
198000	2618000	2.91	3.05	4.32	6.46	9.71	11.72	200000	2632000	1.22	1.43	1.67	2.53	3.42	3.73
198000	2620000	2.2	2.34	3.16	4.56	7.09	8.68	200000	2634000	1.16	1.54	1.71	1.81	1.95	2.26
198000	2622000	1.5	1.64	2.01	2.68	4.49	5.69	200000	2636000	3.3	3.55	3.74	4.14	4.56	5.26
198000	2624000	1.05	1.15	1.78	2.33	2.73	3.75	200000	2638000	4.41	4.73	4.96	5.55	6.93	7.09
198000	2626000	0.75	0.8	0.93	1.48	1.56	2.4	200000	2640000	4.37	5.17	5.47	6.75	7.48	8.84
198000	2628000	0.58	0.6	0.76	0.88	0.98	1.37	200000	2642000	4.15	4.95	5.26	6.75	7.85	8.45
198000	2630000	0.63	0.66	0.74	0.89	0.95	1.32	200000	2644000	5.87	6.68	7.05	7.69	9.13	9.98
198000	2632000	1.15	1.21	1.42	1.79	2.19	2.33	200000	2646000	6.62	7.48	7.96	8.71	10.42	11.5
198000	2634000	2.41	2.45	2.55	2.61	2.7	2.71	200000	2648000	7.43	8.36	7.98	9.82	11.71	13.02
198000	2636000	3.92	3.95	4.24	4.56	4.82	4.92	200000	2650000	7.27	8.29	9.03	10.93	12.94	14.48
198000	2638000	5.28	5.29	4.81	6.32	6.88	7.14	200000	2652000	10.11	10.21	10.92	11.95	14.04	15.78

表 3-10(續 6) TM二度座標地層下陷量

(單位: 公分)

TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年	TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年
200000	2654000	10.9	11.06	11.91	12.83	14.93	16.83	202000	2666000	9.23	10.26	11.93	13.26	14.48	15.85
200000	2656000	11.6	11.78	11.64	13.51	15.57	17.53	202000	2668000	9.26	10.26	11.93	13.18	14.28	15.57
200000	2658000	12.1	12.31	12.97	13.98	15.91	17.84	202000	2670000	9.25	10.22	11.89	13.06	14.06	15.27
200000	2660000	12.4	12.64	12.98	14.23	15.99	17.81	204000	2612000	2.36	2.41	3.56	5.36	7.54	9.04
200000	2662000	12.6	12.81	12.96	14.3	15.89	17.57	204000	2614000	2.04	2.06	2.98	4.49	6.33	7.56
200000	2664000	12.7	12.75	12.96	14.24	15.67	17.21	204000	2616000	1.05	1.64	2.32	3.47	4.86	5.77
200000	2666000	12.7	12.81	12.95	14.1	15.38	16.81	204000	2618000	1.02	1.19	1.6	2.34	3.21	3.76
200000	2668000	12.6	12.73	12.96	13.92	15.07	16.39	204000	2620000	0.79	1.74	2.87	3.19	3.54	3.72
200000	2670000	12.6	12.63	12.95	13.71	14.75	15.99	204000	2622000	0.46	1.39	2.26	3.22	3.43	4.03
200000	2672000	12.5	12.52	12.92	13.49	14.43	15.6	204000	2624000	0.31	1.19	1.67	2.13	2.57	3.24
200000	2674000	11.4	12.4	12.78	13.28	14.13	15.23	204000	2626000	0.34	1.17	1.65	2.03	2.45	3.2
200000	2676000	11.3	12.28	13.05	13.66	13.84	14.89	204000	2628000	0.51	1.29	1.79	2.13	2.78	3.21
200000	2678000	11.3	12.17	12.92	13.86	14.57	15.56	204000	2630000	0.84	1.57	1.98	2.43	2.96	3.52
202000	2612000	2.81	2.91	4.36	6.59	9.33	11.17	204000	2632000	1.34	2.02	2.24	2.98	3.05	3.76
202000	2614000	2.48	2.55	3.76	5.69	8.09	9.66	204000	2634000	1.99	2.64	3.09	3.67	4.38	4.86
202000	2616000	2.04	2.1	3.03	4.55	6.5	7.73	204000	2636000	2.06	2.37	2.47	2.58	3.46	4.34
202000	2618000	1.52	1.56	2.18	3.21	4.55	5.37	204000	2638000	1.58	2.16	2.21	2.57	2.67	2.68
202000	2620000	0.93	0.96	1.26	1.76	2.4	2.74	204000	2640000	1.4	1.96	2.99	3.57	3.93	4.11
202000	2622000	0.44	0.45	0.46	0.47	0.51	0.56	204000	2642000	2.19	2.75	3.79	4.57	5.19	5.57
202000	2624000	0.27	0.34	0.43	0.54	0.73	0.98	204000	2644000	2.97	3.54	4.61	5.56	6.43	7.02
202000	2626000	0.28	0.39	0.42	0.52	0.65	0.78	204000	2646000	3.74	4.35	5.47	6.56	7.66	8.44
202000	2628000	0.42	0.58	0.63	0.78	0.89	1.2	204000	2648000	4.51	5.17	6.36	7.56	8.84	9.83
202000	2630000	0.43	0.56	0.68	0.74	0.86	0.95	204000	2650000	5.27	6.5	7.25	8.54	9.96	11.12
202000	2632000	1.27	1.36	1.41	2.17	2.35	2.67	204000	2652000	6.01	7.79	8.11	9.46	10.97	12.29
202000	2634000	1.03	1.29	1.58	1.89	1.9	2.34	204000	2654000	6.68	7.52	8.89	10.28	11.83	13.27
202000	2636000	2.25	2.66	2.89	3.21	3.59	3.92	204000	2656000	8.28	9.17	9.57	10.97	12.52	14.03
202000	2638000	0.89	1.57	2.75	3.37	3.6	3.68	204000	2658000	8.78	9.7	10.13	11.52	13.03	14.55
202000	2640000	1.78	2.44	3.59	4.47	5	5.27	204000	2660000	8.17	9.11	10.57	11.93	13.36	14.86
202000	2642000	2.59	4.25	4.41	5.5	6.35	6.82	204000	2662000	8.46	9.4	10.88	12.2	13.53	14.98
202000	2644000	4.37	5.05	5.25	6.51	7.64	8.35	204000	2664000	9.66	10.6	11.09	12.36	13.59	14.97
202000	2646000	3.15	4.87	6.15	7.54	8.92	9.84	204000	2666000	9.79	10.71	11.22	12.43	13.56	14.87
202000	2648000	4.94	5.73	7.1	8.6	10.16	11.31	204000	2668000	10.87	11.07	11.29	12.44	13.47	14.7
202000	2650000	6.75	7.6	8.07	9.64	11.34	12.69	206000	2610000	1.27	2.31	3.38	5.07	7.06	8.53
202000	2652000	6.53	7.46	8.99	10.62	12.4	13.92	206000	2612000	1.03	2.02	2.92	4.38	6.11	7.35
202000	2654000	8.26	9.25	9.83	11.47	13.29	14.94	206000	2614000	1.04	1.7	2.39	3.58	4.98	5.96
202000	2656000	8.89	9.93	10.54	12.16	13.96	15.68	206000	2616000	1.01	1.34	1.8	2.68	3.69	4.38
202000	2658000	9.4	10.46	11.09	12.68	14.4	16.12	206000	2618000	1.07	1.97	2.2	2.74	3.32	3.71
202000	2660000	9.77	10.84	11.48	13.03	14.63	16.29	206000	2620000	0.76	0.83	0.92	1.42	1.99	2.09
202000	2662000	9.01	10.08	11.74	13.22	14.69	16.26	206000	2622000	0.53	1.37	2.14	3.05	3.25	3.98
202000	2664000	9.16	10.21	11.88	13.28	14.62	16.1	206000	2624000	0.43	1.23	1.67	2.04	2.69	3.05

表 3-10(續 7) TM二度座標地層下陷量

(單位: 公分)

TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年	TM 二度 x(m)	TM 二度 y(m)	84 年	84 至 85 年	84 至 86 年	84 至 87 年	84 至 88 年	84 至 89 年
206000	2626000	0.47	1.22	1.89	2.34	2.85	3.24	208000	2648000	3.79	4.28	5.2	5.94	6.74	7.45
206000	2628000	0.65	1.35	1.67	1.98	2.35	3.21	208000	2650000	4.47	4.99	5.96	6.79	7.72	8.58
206000	2630000	0.97	1.62	2.05	3.31	3.87	4.23	208000	2652000	5.11	5.68	6.69	7.6	8.63	9.61
206000	2632000	1.43	2.03	2.15	3.24	4.34	5.34	208000	2654000	6.71	7.32	7.38	8.34	9.43	10.51
206000	2634000	2	3.57	4.62	5.4	6.03	6.78	208000	2656000	5.25	6.91	8	9	10.12	11.26
206000	2636000	2.67	3.2	4.2	5.17	5.95	6.79	208000	2658000	6.73	7.41	8.54	9.56	10.68	11.87
206000	2638000	0.4	0.9	1.85	2.02	2	1.97	208000	2660000	6.13	7.84	9	10.03	11.11	12.32
206000	2640000	1.15	1.63	2.56	2.93	3.13	3.25	208000	2662000	6.46	7.18	9.38	10.39	11.44	12.63
206000	2642000	1.9	2.38	3.31	3.85	4.29	4.58	208000	2664000	5.73	7.46	9.68	10.67	11.66	12.83
206000	2644000	2.65	3.14	4.1	4.79	5.45	5.93	208000	2666000	10.93	10.66	9.9	10.87	11.8	12.93
206000	2646000	3.39	3.91	4.91	5.74	6.6	7.26	210000	2610000	0.82	1.75	2.4	3.57	4.92	6
206000	2648000	4.13	4.69	5.73	6.68	7.71	8.55	210000	2612000	0.63	1.51	2	2.98	4.09	4.97
206000	2650000	4.84	5.46	6.56	7.6	8.76	9.76	210000	2614000	1.01	1.26	1.58	2.33	3.17	3.83
206000	2652000	5.53	6.2	7.35	8.46	9.72	10.85	210000	2616000	0.52	1.01	1.14	1.66	2.2	2.64
206000	2654000	5.17	6.89	8.08	9.24	10.55	11.8	210000	2618000	0.52	0.67	0.72	1	1.24	1.47
206000	2656000	6.74	7.5	8.73	9.92	11.24	12.56	210000	2620000	0.44	0.57	0.73	0.88	0.96	1.38
206000	2658000	7.22	8.02	9.29	10.48	11.79	13.14	210000	2622000	0.24	0.43	0.72	0.84	0.98	1.23
206000	2660000	7.62	8.44	9.74	10.93	12.18	13.53	210000	2624000	0.23	0.38	0.47	0.74	0.89	1.12
206000	2662000	8.94	9.77	10.09	11.26	12.45	13.77	210000	2626000	0.21	0.41	0.67	0.83	1.23	1.64
206000	2664000	8.18	9.01	10.36	11.49	12.6	13.87	210000	2628000	0.29	0.55	0.78	0.94	1.23	1.78
206000	2666000	8.35	9.18	10.55	11.63	12.66	13.89	210000	2630000	0.28	0.79	1.2	1.56	1.89	2.32
208000	2610000	1.01	1.99	2.84	4.24	5.88	7.14	210000	2632000	0.66	0.83	1.1	1.6	1.97	2.04
208000	2612000	1.09	1.73	2.41	3.6	4.98	6.02	210000	2634000	0.13	0.56	0.96	1.15	1.45	1.84
208000	2614000	1.04	1.44	1.93	2.88	3.96	4.75	210000	2636000	0.16	0.37	0.52	0.71	1.37	1.78
208000	2616000	1.07	1.14	1.42	2.1	2.84	3.38	210000	2638000	3.26	2.64	1.44	1.37	1.18	1.09
208000	2618000	0.41	0.84	0.92	1.31	1.69	1.98	210000	2640000	0.88	1.25	2.03	2.78	3.07	3.11
208000	2620000	0.28	0.38	0.45	0.57	0.62	0.67	210000	2642000	1.53	1.89	2.67	2.87	3.02	3.19
208000	2622000	0.13	0.39	0.46	0.57	0.78	0.97	210000	2644000	1.19	2.56	3.34	3.68	3.99	4.31
208000	2624000	0.18	0.29	0.36	0.68	0.76	0.93	210000	2646000	2.85	3.24	4.04	4.49	4.97	5.43
208000	2626000	0.14	0.31	0.53	0.87	0.93	1.23	210000	2648000	3.5	3.92	4.74	5.31	5.92	6.52
208000	2628000	0.22	0.44	0.67	0.98	1.23	1.87	210000	2650000	4.13	4.58	5.45	6.1	6.83	7.56
208000	2630000	1.12	1.7	1.9	2.3	2.79	3.76	210000	2652000	4.74	5.23	6.13	6.85	7.68	8.52
208000	2632000	1.54	1.97	2.11	2.86	3.56	4.34	210000	2654000	5.31	5.83	6.77	7.56	8.45	9.38
208000	2634000	2.05	2.55	3.51	4.24	4.56	5.64	210000	2656000	5.82	6.38	7.36	8.19	9.12	10.12
208000	2636000	2.15	2.51	3.02	3.89	4.61	5.42	210000	2658000	6.28	6.87	7.88	8.74	9.68	10.73
208000	2638000	0.3	0.74	1.61	1.64	1.52	1.46	210000	2660000	6.68	7.3	8.34	9.21	10.15	11.22
208000	2640000	0.99	1.41	2.26	2.45	2.53	2.6	210000	2662000	6.02	7.65	8.73	9.6	10.51	11.59
208000	2642000	1.69	2.1	2.95	3.3	3.58	3.81	210000	2664000	6.3	7.94	9.05	9.92	10.78	11.85
208000	2644000	2.39	2.82	3.68	4.18	4.65	5.04	212000	2610000	1.09	1.56	2.04	3.01	4.13	5.08
208000	2646000	3.1	3.55	4.43	5.06	5.71	6.26	212000	2612000	1.22	1.35	1.68	2.48	3.37	4.13

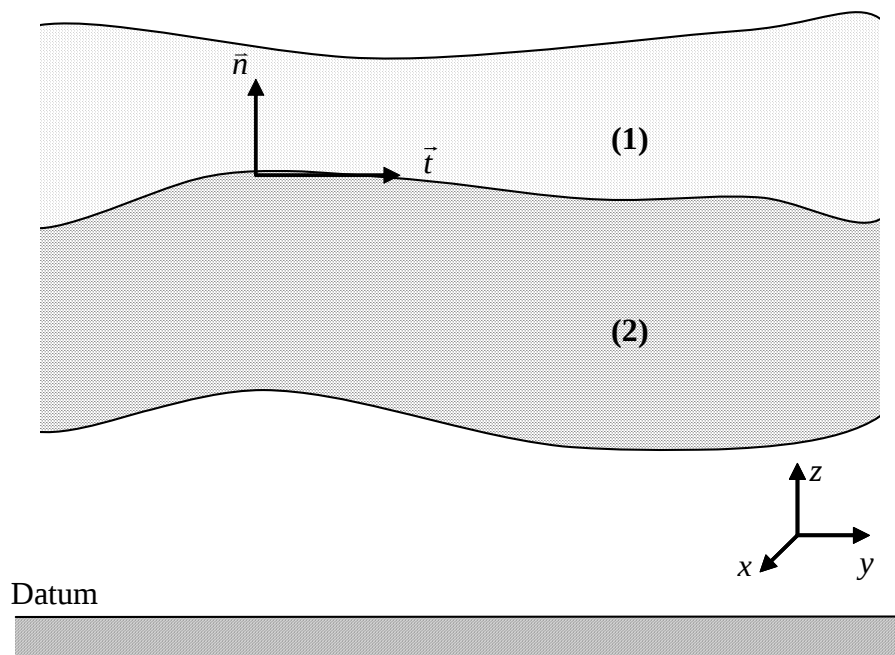


圖 3-3 垂直方向介面物理連接條件示意圖

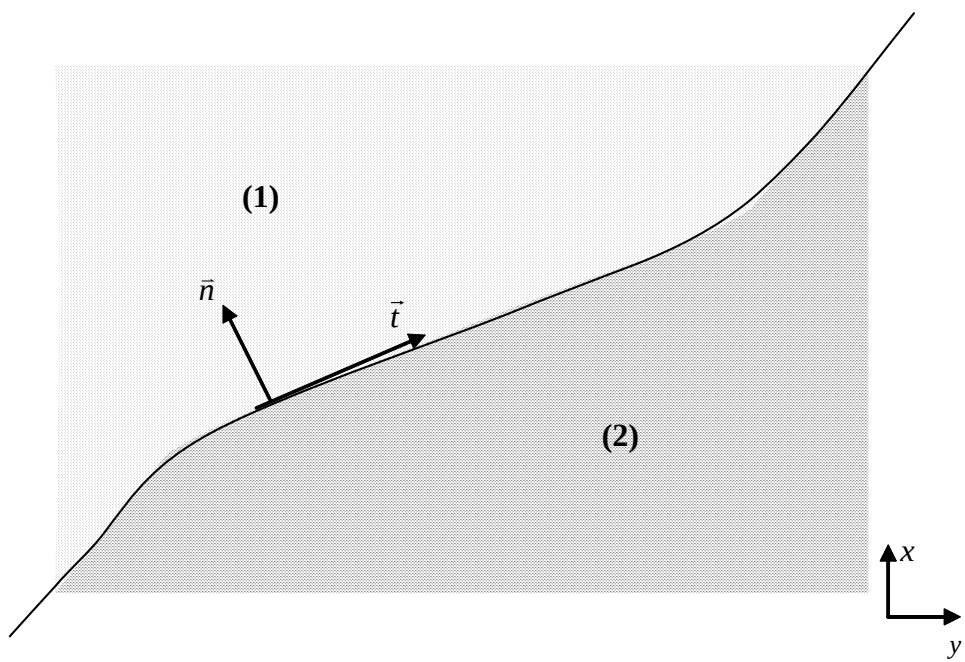


圖 3-4 水平方向介面物理連接條件示意圖

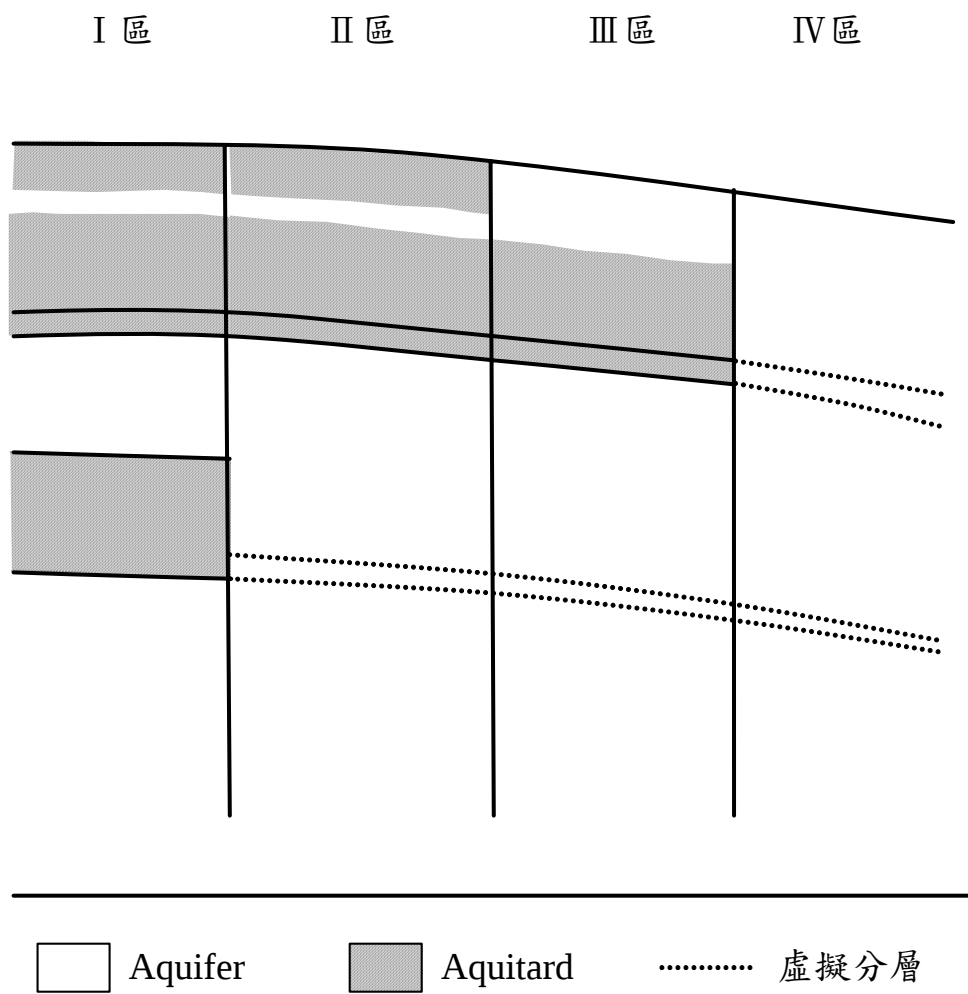


圖 3-5 濁水溪沖積扇地層下陷模擬垂直分層示意圖

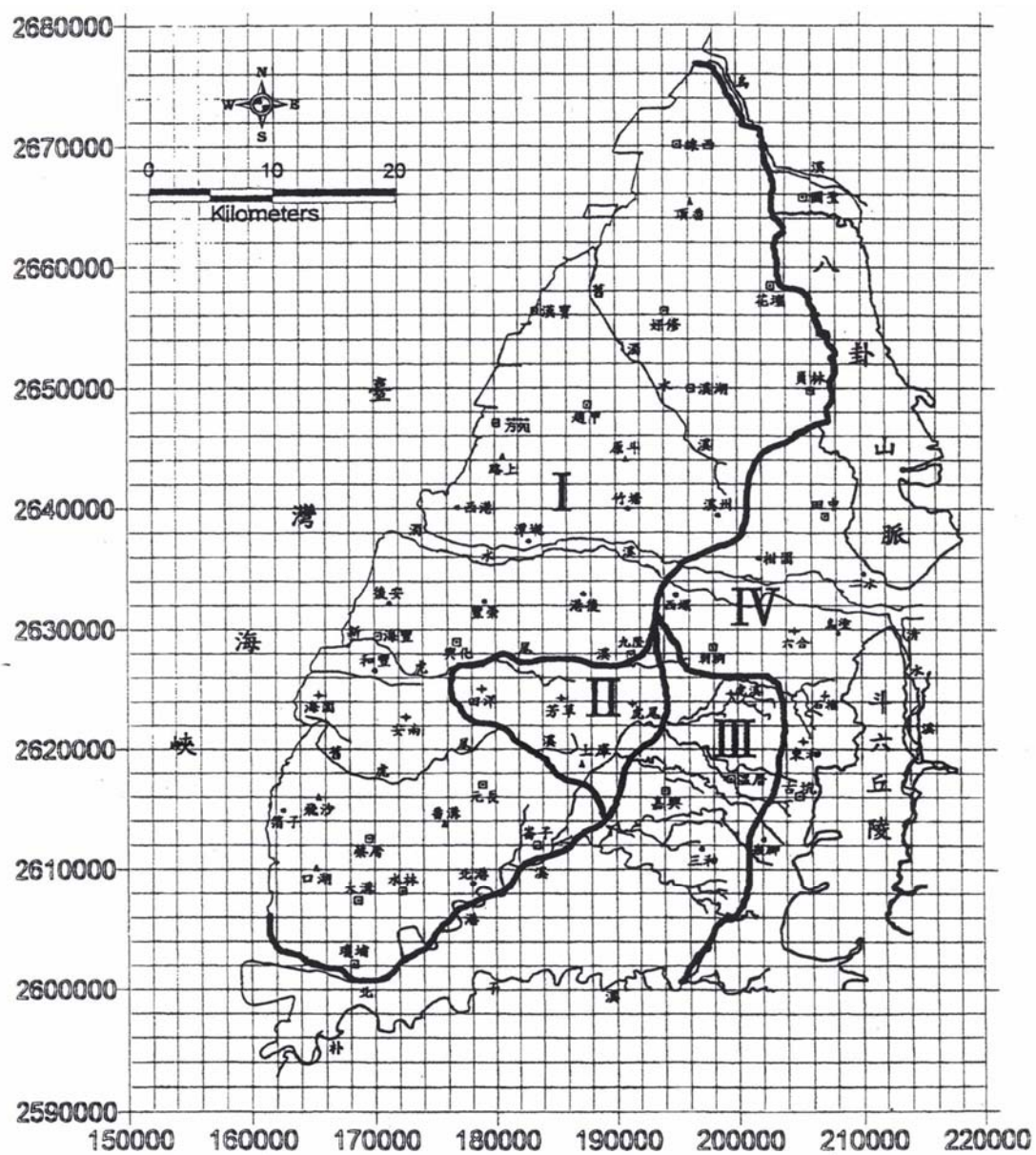


圖 3-6 濁水溪沖積扇地層下陷模擬水平分區網格示意圖

實線為量測值
虛線為計算值

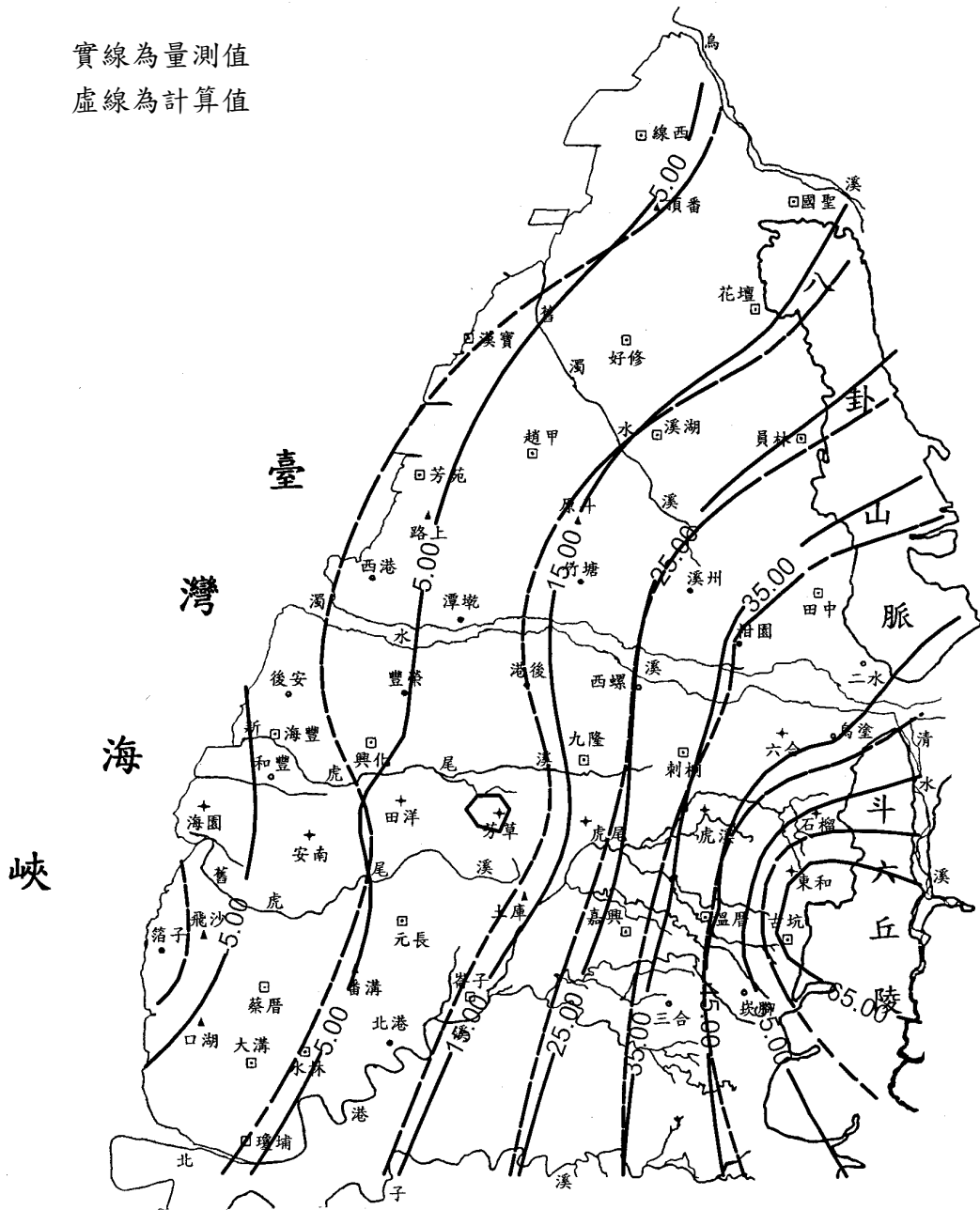
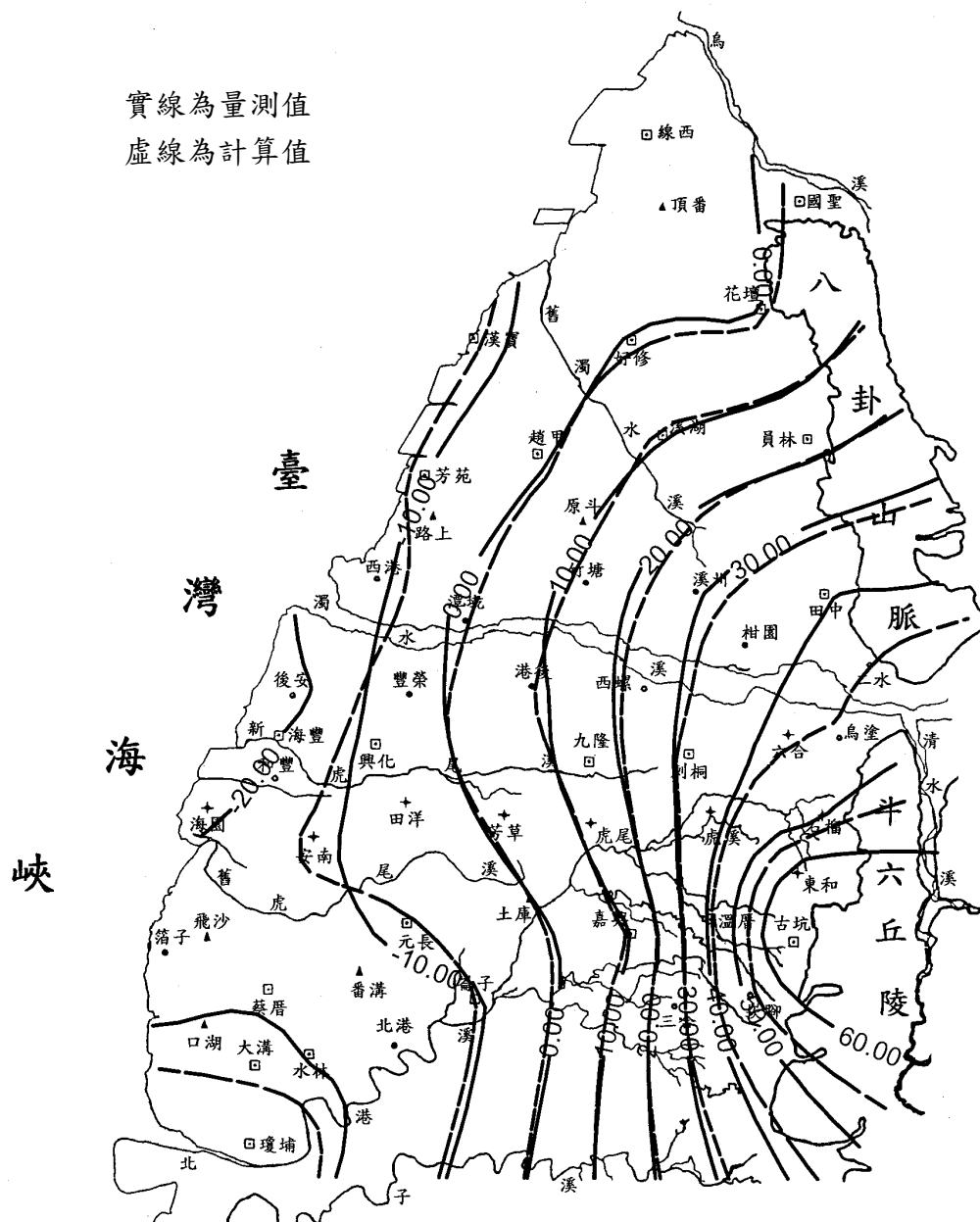


圖 3-8 濁水溪沖積扇含水一地下水位模擬結果(85/08)



實線為量測值
虛線為計算值

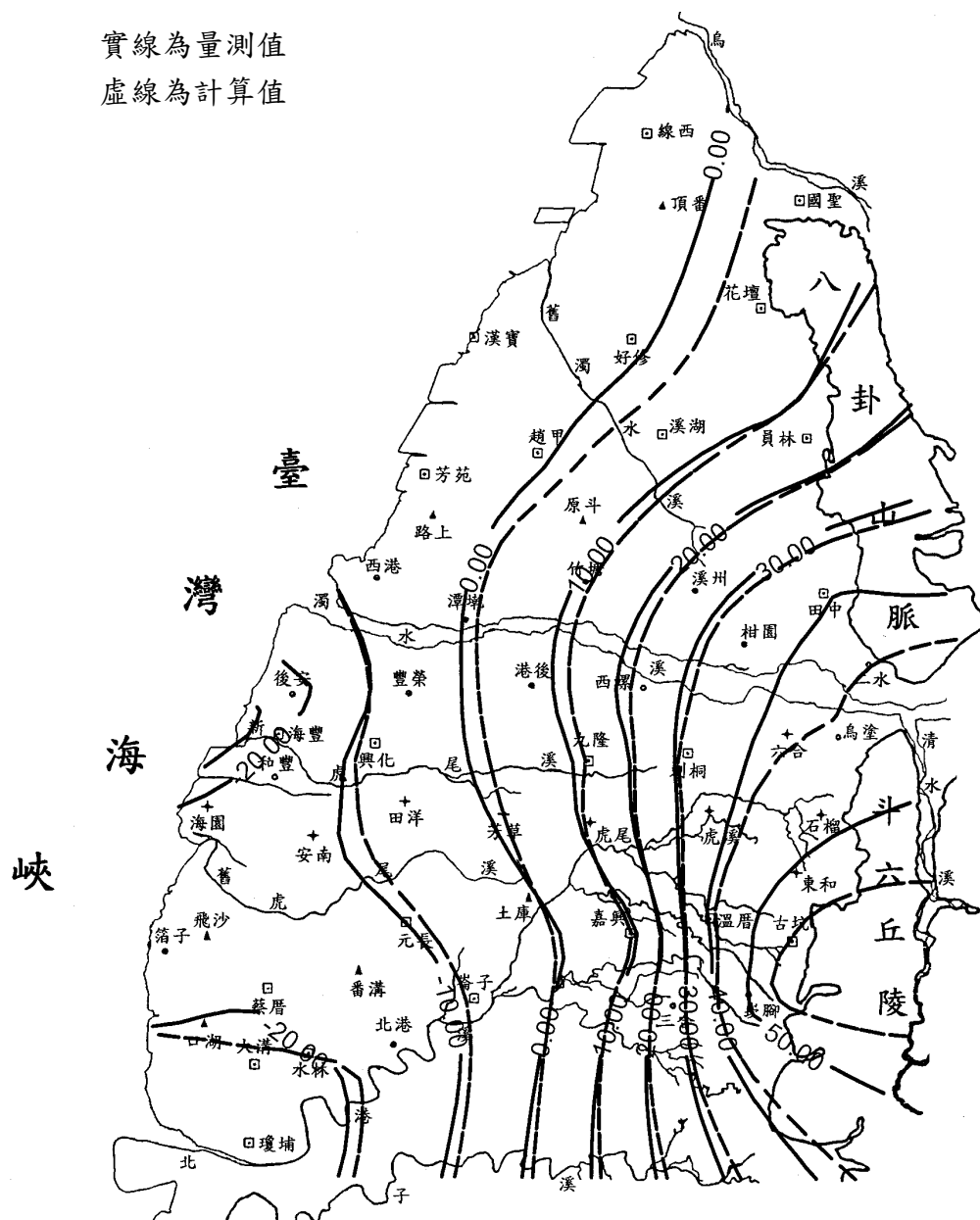


圖 3-10 濁水溪沖積扇含水三地下水位模擬結果(85/08)

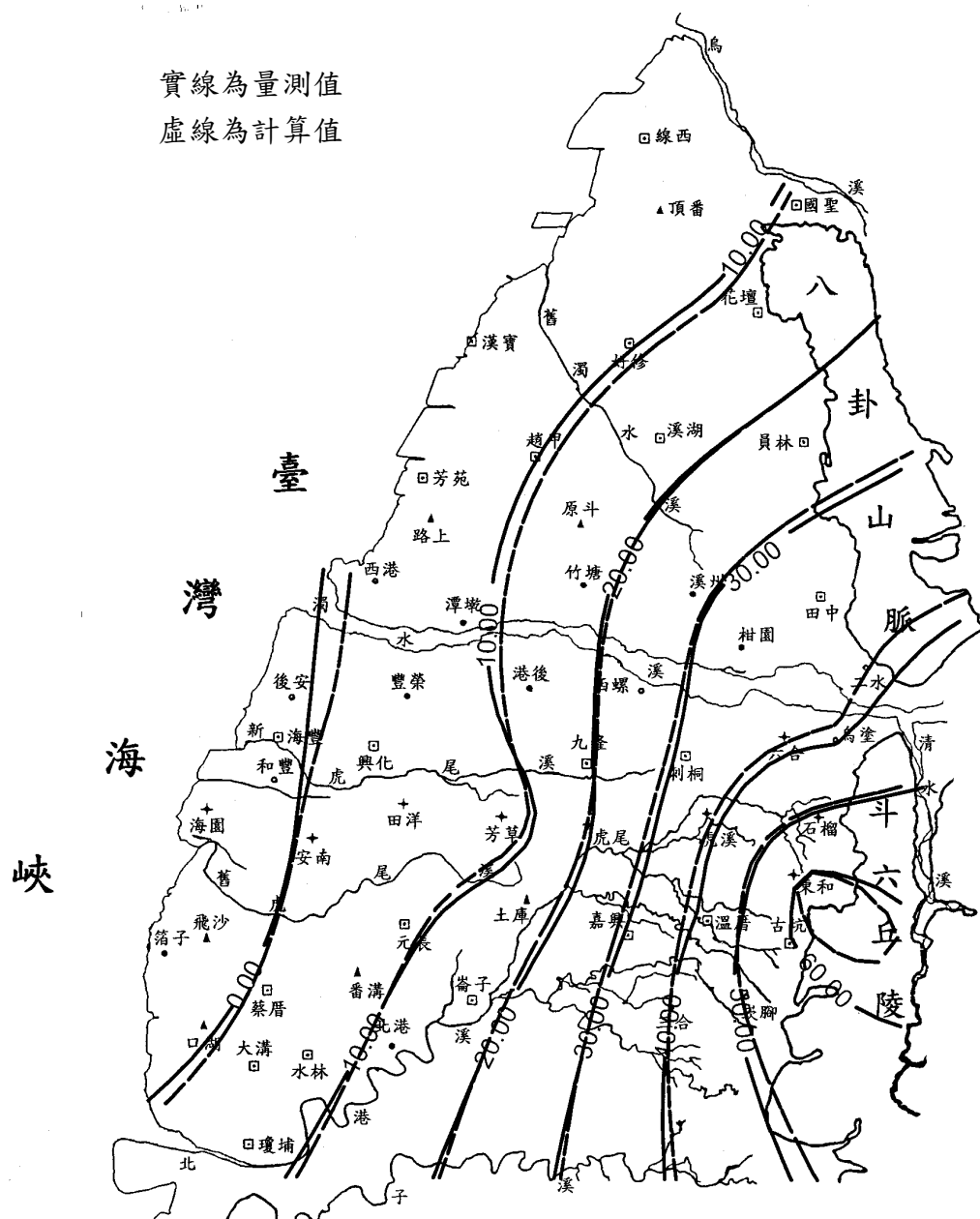
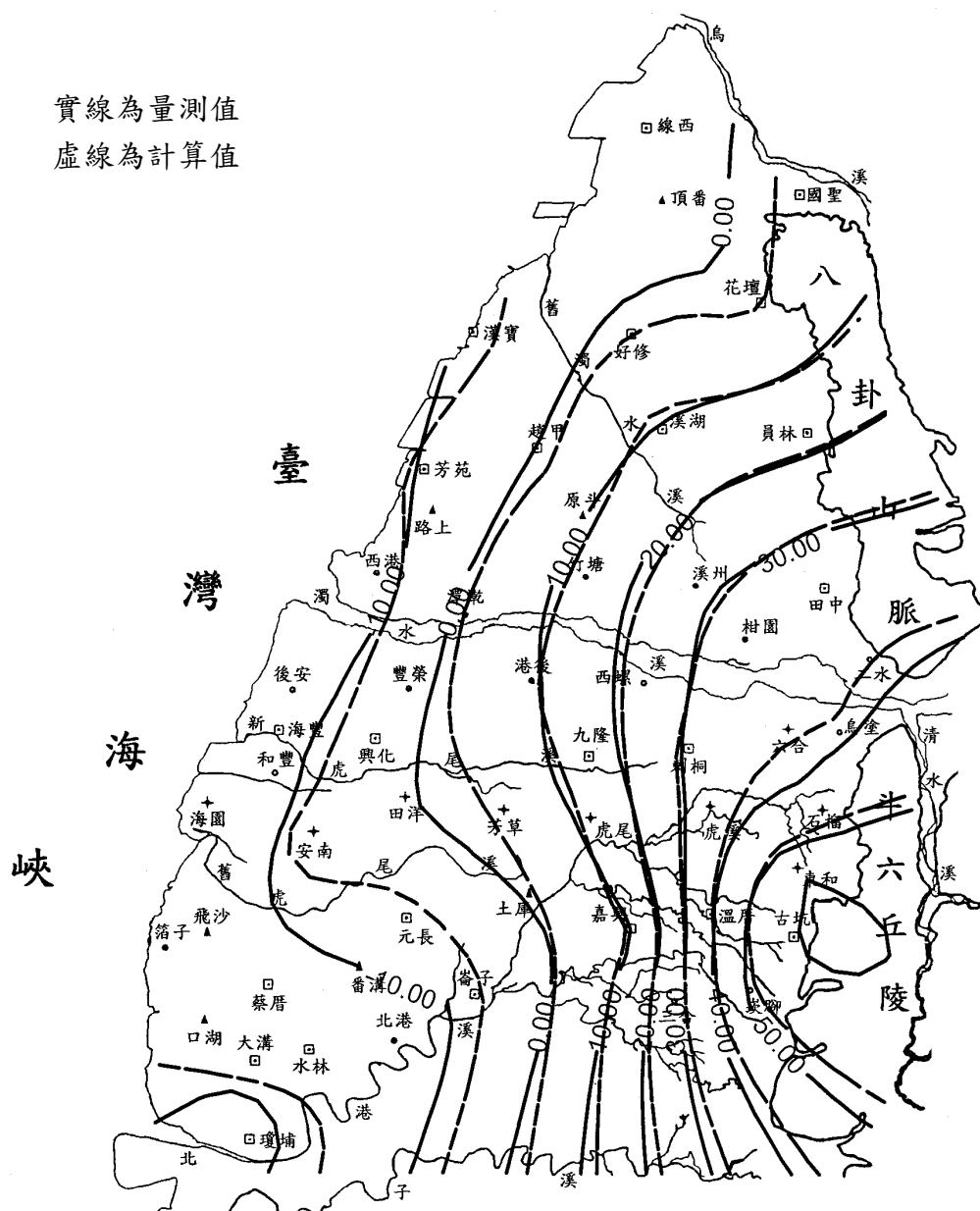


圖 3-11 濁水溪沖積扇含水一地下水位模擬結果(86/12)



虛線為計算值

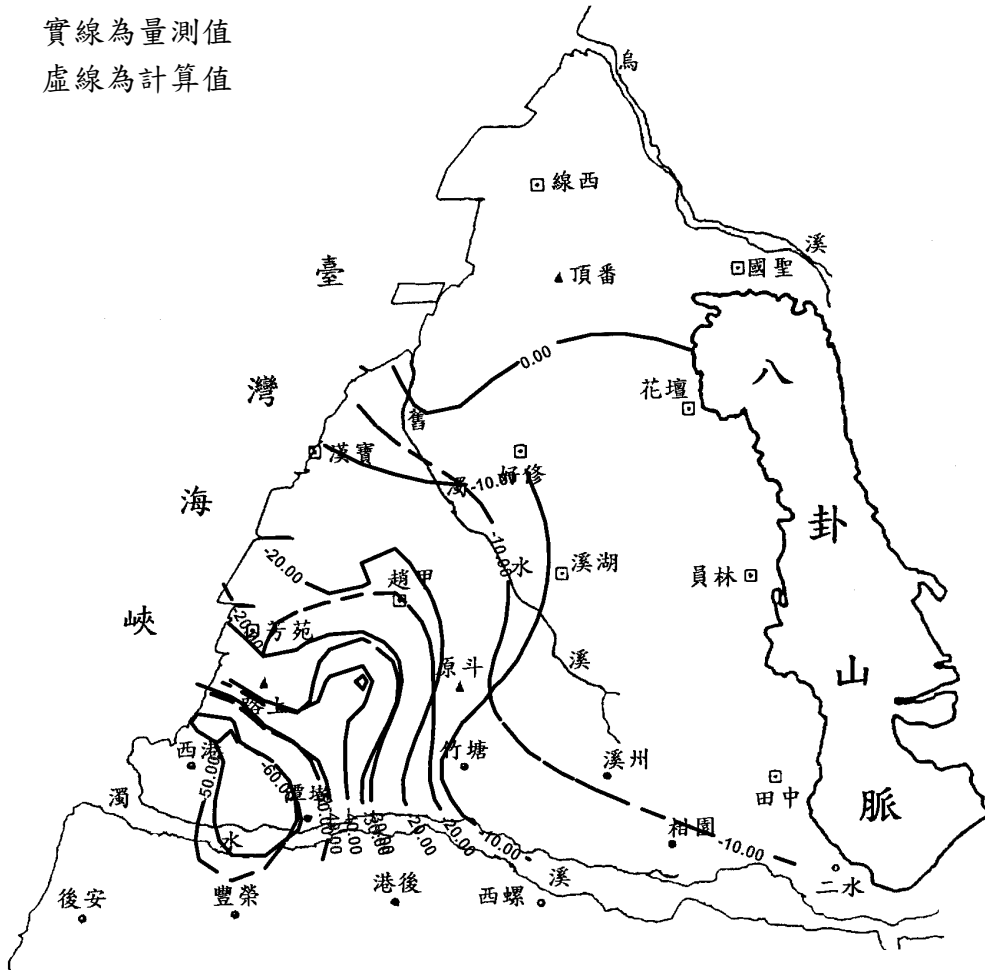


圖 3-14 彰化地區地層下陷模擬結果(84/10-89/04)

實線為量測值
虛線為計算值

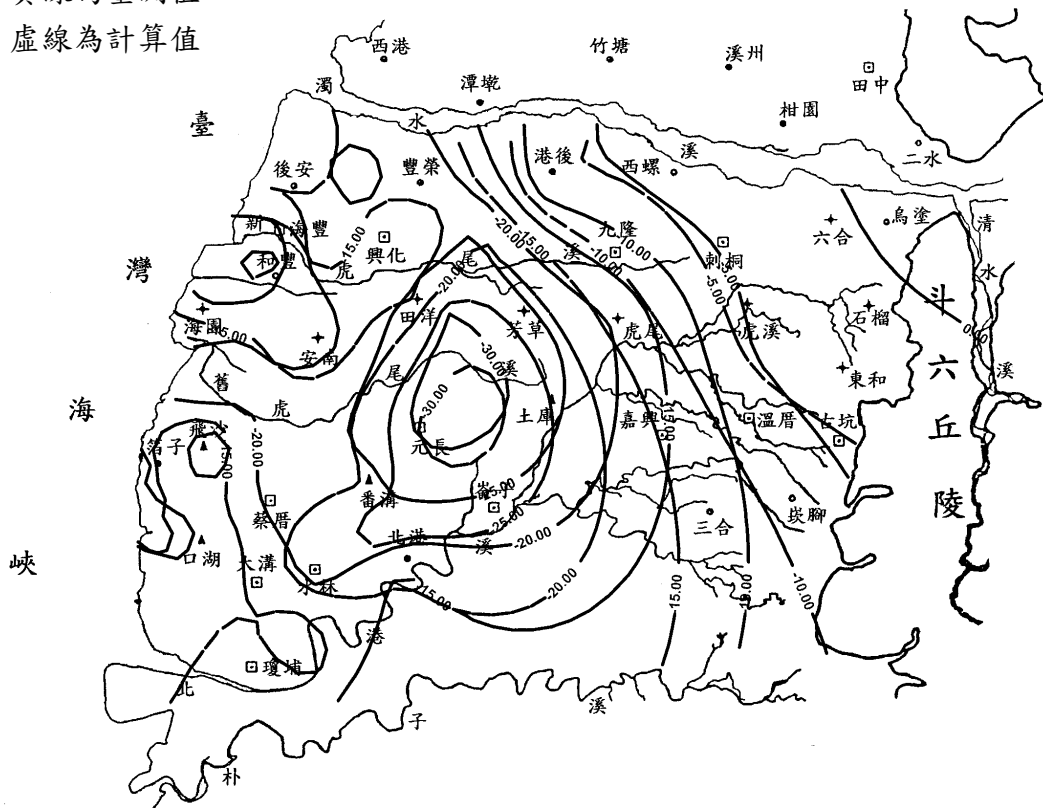


圖 3-15 雲林地區地層下陷模擬結果(83/12-88/10)

4、淹水潛勢模擬

4.1 模式簡介

本研究主要在模擬各排水分區在不同期距暴雨發生時所造成之淹水積水情況。為準確模擬水流在地表之流動情形，本研究採用二維淹水模式來模擬探討，藉由二維零慣性波 (non-inertia wave) 傳遞理論為基礎，利用二維交替方向顯式 (ADE) 差分法建立二維地表漫地流數值模式，以模擬地表漫地流之水流動態、淹水範圍及淹水深度。模式並可納入降雨、入滲、重力排水、抽水站及河川溢堤等多項功能，區域排水以堰流方式排入主要河川。本節將針對二維淹水模式之理論部分敘述如下：

(一) 基本方程式

對於一般之地表漫地流而言，變量流方程式中加速項之大小級次 (order of magnitude) 通常遠小於重力項或摩擦項。假設洪水歷線上升平緩，且忽略科氏力、風力及加速項之影響，則地表漫地流況可用二維零慣性模式予以描述，其控制方程式可簡化如下：

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial (ud)}{\partial x} + \frac{\partial (vd)}{\partial y} = q \quad (4-1)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial x} = u \left[\frac{n_x^2 |u|}{d^{4/3}} + \frac{q}{dg} \right] \quad (4-2)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial y} = v \left[\frac{n_y^2 |v|}{d^{4/3}} + \frac{q}{dg} \right] \quad (4-3)$$

式中，

x, y ：模擬地模區標示之迪卡兒空間座標[m]；

t ：時間座標[sec]；

d ：模區地表水深[m]；

u, v ：分別為沿 x, y 方向之平均流速[m/sec]；

n_x ：沿 x 方向之曼寧糙度值[m^{1/6}]；

n_y ：沿 y 方向之曼寧糙度值[m^{1/6}]；

h ： $d + z$ ，地表水位[m]；

z ：地表高程[m]；

g ：重力加速度[m/sec²]；

q ：單位表面積之側流量[m/sec]，為有效降雨強度。

(4-1)式為連續方程式；(4-2)式、(4-3)式分別為沿 x, y 方向之運動方程式。若地形高程、曼寧

糙度和側流量已知，則 (4-1)、(4-2) 及 (4-3) 式含有三個因變數 d, u, v 。此含三因變數的偏微分聯立方程式，須利用數值方法求解之。

(二) 數值方法

假若地表於初始時刻為無水狀態，洪流傳遞之前原與乾地表接觸之交界鋒線將隨時間向下游推進，為簡易處理這種移動邊界水流流況，本文採用交替方向顯式差分法 (Alternating Direction Explicit Method，簡稱 ADE) 以建立模式。依標示網格 (Marker And Cell，簡稱 MAC) 差分觀念，若將 (4-1)、(4-2) 及 (4-3) 式中任意變量以 f 表示，其中 f 可代表 d 、 n_x 、 n_y 、 q 、 u 或 v 等變量，採用之差分型式如下：

$$\begin{aligned}
 f_{i+1/2,j} &= \frac{1}{2}(f_{i,j} + f_{i+1,j}) \\
 f_{i,j+1/2} &= \frac{1}{2}(f_{i,j} + f_{i,j+1}) \\
 \frac{\partial f}{\partial t} &= \frac{f_{i,j}^{m+1} - f_{i,j}^m}{\Delta t} \\
 \frac{\partial f_{i,j}^m}{\partial x} &= \frac{f_{i+1/2,j}^m - f_{i-1/2,j}^m}{\Delta x} \\
 \frac{\partial f_{i,j}^m}{\partial y} &= \frac{f_{i,j+1/2}^m - f_{i,j-1/2}^m}{\Delta y}
 \end{aligned} \tag{4-4}$$

式中， Δx 、 Δy 代表沿 x 、 y 方向之網格距離； Δt 代表演算時間間距； m 為時間指標； i 、 j 分別為沿 x 、 y 之空間指標。

本研究採用交替方向顯式法，將演算時距 (Δt) 等分為兩個時階，且每前進一個時階即分別交替求解流速 u 及 v 。(3-14)、(3-15) 及 (4-3) 式之差分方程式可依第一、二時階，分別列出如下：

第一時階 ($m + \frac{1}{2}$)：

$$\begin{aligned}
 d_{i,j}^{m+1/2} &= d_{i,j}^m - \frac{1}{2} \Delta t \left\{ \frac{[(d^m u^{m+1/2})_{i+1/2,j} - (d^m u^{m+1/2})_{i-1/2,j}]}{\Delta x} \right. \\
 &\quad \left. \frac{[(dv)_{i,j+1/2}^m - (dv)_{i,j-1/2}^m]}{\Delta y} - q_{i,j}^{m+1/2} \right\}
 \end{aligned} \tag{4-5}$$

$$\frac{[(d+z)_{i,j}^{m+1/2} - (d+z)_{i+1,j}^{m+1/2}]}{\Delta x} = \left\{ u^{m+1/2} \left[\frac{(n_x)^2 |u|^{m+1/2}}{(d^m)^{4/3}} + \frac{q^{m+1/2}}{(d^m * g)} \right] \right\}_{i+1/2,j} \tag{4-6}$$

$$\frac{[(d+z)_{i,j}^{m+1/2} - (d+z)_{i,j+1}^{m+1/2}]}{\Delta y} = \left\{ v^{m+1/2} \left[\frac{(n_y)^2 |v|^{m+1/2}}{(d^{m+1/2})^{4/3}} + \frac{q^{m+1/2}}{(d^{m+1/2} * g)} \right] \right\}_{i,j+1/2} \quad (4-7)$$

式中， m 為時間座標；(4-5)式為 $(i, j, m+1/2)$ 座標點之連續方程式，(4-6)及(4-7)式則分別為 $(i+1/2, j, m+1/2)$ 座標點沿 x 方向運動方程式與 $(i+1/2, j, m+1/2)$ 座標點沿 y 方向運動方程式。求解時首先將(4-5)及(4-6)兩式聯立解出 u 及 d ，在代入(4-7)式中解出 v ，如此可得 $m+1/2$ 時階之 u 、 v 及 d 。

第二時階 $(m+1)$ ：

(4-5)式待求流速分量 u 更替 v ，並將(4-6)、(4-7)式之 u 、 v 互換，則(4-1)、(4-2)及(4-3)式之差分方程式可表示如下：

$$d_{i,j}^{m+1} = d_{i,j}^{m+1/2} - \frac{1}{2} \Delta t \left\{ \frac{[(du)_{i+1/2,j}^{m+1/2} - (du)_{i-1/2,j}^{m+1/2}]}{\Delta x} \right. \\ \left. \frac{[(d^{m+1/2} v^{m+1})_{i,j+1/2} - (d^{m+1/2} v^{m+1})_{i,j-1/2}]}{\Delta y} - q_{i,j}^{m+1} \right\} \quad (4-8)$$

$$\frac{[(d+z)_{i,j}^{m+1} - (d+z)_{i,j+1}^{m+1}]}{\Delta y} = \left\{ v^{m+1} \left[\frac{(n_y)^2 |v|^{m+1}}{(d^{m+1/2})^{4/3}} + \frac{q^{m+1}}{(d^{m+1/2} g)} \right] \right\}_{i,j+1/2} \quad (4-9)$$

$$\frac{[(d+z)_{i,j}^{m+1} - (d+z)_{i,j+1}^{m+1}]}{\Delta x} = \left\{ u^{m+1} \left[\frac{(n_x)^2 |u|^{m+1}}{(d^{m+1})^{4/3}} + \frac{q^{m+1}}{(d^{m+1} g)} \right] \right\}_{i+1/2,j} \quad (4-10)$$

(4-8)式為 $(i, j, m+1/2)$ 連續方程式，(4-9)及(4-10)式則分別為 $(i, j+1/2, j, m+1)$ 座標點沿 y 方向運動方程式與 $(i+1/2, j, m+1)$ 座標點沿 x 方向運動方程式。第二時階以(4-8)及(4-9)兩式首先聯立而解出 v 及 d ，再將之代入(4-10)式解出 u ，則 $m+1$ 時階之 u 、 v 及 d 即可求得。由第一及第二時階可交替解出每一演算時距 Δt 中之 u 、 v 及 d 等三個未知變數之值。

(三) 初始及邊界條件

二維淹水模式之初始條件係依臨前水文情況而定，並假設模擬區域內為無水狀態，亦即水深及流速均為零。邊界形態在本模式主要為閉合邊界，即不考慮海水倒灌，任何阻擋水流穿越之障礙物，如堤防線、擋水牆或模擬區域之周圍高地等皆可視為閉合邊界。因水流無法穿越堤防，故垂直於堤防線之流速可令為零，即為數值模擬之閉合邊界條件。

研究區域之排水系統於邊界出流處，在模式中需特別設定，並考慮外潮位之影響，使其淹水深到達某一高度後，即內水位高於外潮位時，將水以重力流方式排出模擬區域。

若邊界有堤防或建築物阻擋，但仍有箱涵或管涵等重力排水出口，以及內邊界(如路堤式鐵道之通道)形成水流通路，其流量關係屬於涵洞水流形式，由顏等之研究，可分為六種類型：若閘門入口及出口均潛沒，為潛沒管流型；若入口潛沒而出口未潛沒，為自由管流型；若入口潛沒但涵洞中為非滿管流動，為閘流型；若入口未潛沒而入口水深大於出口水深之 $2/3$ 時，為潛沒管流型；若入口未潛沒而入口水深小於或等於出口水深之 $2/3$ 時，則為

自由堰流型。其流量公式可表示如下：

1.管流型(入口潛沒)：

(1)潛沒管流(出口潛沒)：

$$Q = \mu_3 BD \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (4-11)$$

(2)自由管流(出口未潛沒)：

$$Q = \mu_3 BD \sqrt{2g(h_1 - D - z_2)} \quad (4-12)$$

2.閘流型(入口潛沒，非滿管流動)：

$$Q = \mu_0 BD \sqrt{2g(h_1 - z_1 - \mu_0 D)} \quad (4-13)$$

3.堰流型：

(1)潛沒堰流(出口未潛沒)：

$$Q = \mu_2 B(h_2 - z_2) \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (4-14)$$

(2)潛沒堰流(出口潛沒)：

$$Q = \mu_2 BD \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (4-15)$$

(3)自由堰流：

$$Q = \mu_1 B \sqrt{2g(h_1 - z_1)^3} \quad (4-16)$$

(4-11)式至(4-16)式中，Q為箱涵之流量，B為箱涵之寬度，g為重力加速度，D為箱涵高度， h_1 為入口上游趨近水流之水位(堤防內淹水模擬區)， h_2 為下游出口水位(堤防外河川水位)， z_1 及 z_2 分別為入口及出口之底床高程， μ_0 、 μ_1 、 μ_2 及 μ_3 均為流量係數，根據水流類型轉換時流量應連續之條件，可推導出對於方角邊緣之入口，其流量係數 $\mu_0=0.6$ 、 $\mu_1=0.353$ 、 $\mu_2=0.919$ 、 $\mu_3=0.919$ 〔顏榮甫等(1994)〕。

(四) 地文資料

地文相關資料則是使用全臺灣地區 40 公尺×40 公尺之 DTM 數值地形網格資料。另外，由於不同的土地利用型態會有不同的曼寧 n 值，因此本模式可根據國土利用現況調查數化資料，將格網分為農業用地、水利用地、建築用地等，並依各網格的土地利用型態來決定其曼寧 n 值。

本模擬區域因範圍廣大，故本研究初步根據行政院防災國家型科技計畫辦公室「彰化縣淹水潛勢資料」報告(民國九十年七月)，將 DTM 數值地形高程採用 200 公尺×200 公尺數值模擬網格，並將各網格之曼寧 n 值訂為定值，待國土利用現況調查資料齊全後，再依不同土地利用型態來決定其曼寧 n。

4.2 模擬區域既有資料之完整性探討

4.2.1 模擬區域淹水潛勢模擬所需之資料

欲進行濁水溪流域下游沖積扇沿海地區之淹水潛勢模擬，其所需具備的資料為：

1. 區域排水路斷面資料：以設定區域排水路之斷面資料。
2. DTM 數值地型資料：以設定洪氾模擬區域之計算網格。
3. 水工建造物相關資料：以設定水工建造物之型態與位置。
4. 水文資料：以設定河道流量及計算網格之降雨量。
5. 潮位資料：以設定臨海計算網格之水位邊界條件。
6. 地層下陷資料：以反映地層下陷所導致之地形高程變化。
7. 相關淹水資料：以作為淹水模擬相關模擬參數之檢定與驗證之用。

4.2.2 模擬區域現有資料檢討分析

1. 區域排水斷面資料：水利規劃試驗所分別於民國 86、87 年時，委外辦理彰化縣與雲林縣南部地區(本計畫之計畫範圍即包括彰化及雲林兩縣)之主要排水路縱橫斷面測量，此斷面測量資料水規所灌排課可以提供。

2. DTM 數值地型資料：水利署已提供相關資料，此 DTM 資料不僅包括沿海地區，並延伸至鄰近的山地區域。

3. 水工建造物相關資料：水利規劃試驗所於民國 86、87 年所執行的「彰化縣地區排水改善檢討規劃報告」及「雲林縣地區排水改善檢討規劃報告」，均有針對水工結構物進行詳細的調查。另外，水利署第四河川局 91 年執行的「彰化海岸概況調查」，有部份的海堤斷面圖。這些資料均可提供與本計畫參考。

4. 水文資料：計畫區域內現存諸多的水文測站，配合水利署水文資料網路查詢系統，可得相關水文資料。

5. 潮位資料：可參考研究區域附近的潮位站及歷年相關研究報告的資料，以設定計畫區域內的潮位邊界條件。

6. 地層下陷資料：相關資料請參閱本報告第三章之內容。

7. 相關淹水資料：根據與水利規劃試驗所、第四河川局、彰化與雲林縣政府聯繫後，本計畫選取之模擬事件(納莉與桃芝颱風)均無相關淹水資料。

4.2.3 既有資料提供與本計畫淹水潛勢模擬之足夠性分析

綜觀 4.2.1 及 4.2.2 節資料分析之結果，除了相對較不重要的較小區域排水的斷面資料、海堤斷面資料及相關淹水資料外，欲進行濁水溪流域下游沖積扇沿海地區之淹水潛勢模擬，其所需具備的資料來源均沒有問題。

4.3 模擬案例定義

本計畫利用二維零慣性淹水模式，針對彰化與雲林地區進行沿海淹水潛勢模擬分析。預定模擬之案例為：

1. 淹水模擬參數之決定：分別利用納莉與桃芝颱風之淹水資料，作為模擬時合宜數值參數決定之參考依據。
2. 不同降雨量之淹水潛勢：包括日降雨量 150、200、300、350、600 mm。
3. 地層下陷量對淹水潛勢之影響：針對濁水溪流域下游沿海地區之地層下陷量，評估分析其對淹水潛勢所造成的影響。

4.4 模擬條件概述

對照 4.3 節所述之模擬案例，茲將相關的模擬條件敘述如下：

1. 模擬範圍：在 DTM 資料(民國 78 年量測資料)範圍可擴及鄰近山區的情況下，本計畫淹水潛勢模擬範圍將不侷限於沿海地區，而進一步延伸至鄰近的山地區域。雖然採用此模擬範圍會增加資料整理的繁雜性，且需較龐大的電腦計算時間，但此均非技術性相關課題，問題不大。而採用此模擬範圍在進行實際淹水潛勢模擬時，在模擬條件設定與結果分析上將會有下列的優點：

(1) 在模擬區域內之水文分析相關參數並不齊全的情況下，選定上述模擬範圍將可避免掉水文分析的困擾，模擬時只需在各計算網格設定降雨量資料即可。

(2) 若模擬區域侷限在沿海區域時，理論上，上游邊界(沿海區域為下游邊界)之計算網格均需設定入流邊界條件。因此，採用上述模擬範圍將可避免上游邊界計算網格之入流邊界條件設定問題。

(3) 彰化地區與雲林地區之模擬範圍分別如圖 4-1、圖 4-2 所示。

2. 模擬範圍內排水路資料設定：水規所於民國 86、87 年針對彰化縣與雲林縣南部進行主要排水路之縱橫斷面測量工作，茲將本計畫排水路選用標準與依此選用標準所決定的排水路敘述如下：

(1) 排水路選用標準：

- i. 水規所曾施行斷面測量之主要排水路。
- ii. 排水路之集水面積大於 10 km^2 。

(2) 彰化地區(烏溪至濁水溪)共選用三條排水路：

- i. 萬興排水(83.32 km^2)。
- ii. 舊趙甲排水(19.27 km^2)。
- iii. 魚寮溪排水(64.14 km^2)。

各排水路相關位置如圖 4-3 所示。

(3) 雲林地區(濁水溪至北港溪)共選用三條排水路：

- i. 羊稠厝排水(23.02 km^2)。
- ii. 牛挑灣溪排水(162.51 km^2)。
- iii. 尖山排水(21.35 km^2)。

各排水路相關位置如圖 4-4 所示。

3. 水工建造物資料：模擬區域相關參考文獻對於水工建造物的描述均屬定性，使模式

在模擬時無法具體設定相關水工建造物資料。

4.水文資料：納莉與桃芝颱風事件，彰化與雲林地區之降雨量資料如表 4-1 所示。彰化及雲林地區颱風雨(24 小時延時)無因次設計雨型如圖 4-5、圖 4-6 所示，根據圖 4-5、圖 4-6 不同降雨量模擬事件之降雨量分布如表 4-2 所示。雨量站資料乃根據經濟部水利署第四河川局轄屬之平地雨量站，於桃芝、納莉颱風時之實測雨量資料，彰化地區包括：彰化、鹿港、草湖、溪湖、中西雨量站；雲林地區包括：崙背、褒忠、土庫、四湖、北港、誼梧、後安寮、台西、等雨量站，經由徐昇式法求得彰化、雲林之平均雨量資料。各重現期雨型，則參考行政院防災國家型科技計畫辦公室「彰化、雲林縣淹水潛勢資料」報告(民國九十年七月)雨型進行模擬(43,44)。

5.潮位資料：根據麥寮潮位站的資料，納莉與桃芝颱風事件相對應之潮位資料如表 2-1 所示，不同降雨量模擬事件之潮位設定則如表 4-2 所示。另外，參考「彰化海岸概況調查」(2002)頂高程均會大於目前模擬所設定的最高潮位，即臨海區域應會受到海堤的保護。因此，除了海堤對淹水潛勢之影響案例外，潮位邊界將僅設定在河道或排水路的出海口處。本計畫潮位係根據三條崙實測最高水位資料，再加上不同復現期颱風暴潮偏差推算結果，即 50 年復現期最高潮位=2.35+1.28=3.63 公尺，再根據桃芝颱風 24 小時潮位歷線，換算成最高潮位 3.63 之潮位歷線，給定模式演算之下游邊界條件。

6.地層下陷資料：相關地陷量資料請參閱本報告第三章之內容。

7.相關淹水資料：在模擬區域內無相關淹水資料的情況下，本計畫在模擬參數(主要為地表糙度係數)的設定上，將依模擬區域的土地利用情況，參考「洪氾區劃設準則及模式研究」(2003)文獻中相對應的地表糙度係數設定。

4.5 模擬結果分析比較

本節利用二維零慣性淹水模式，模擬桃芝及納莉颱風在彰化、雲林地區，造成之淹水範圍與深度，並根據行政院防災國家型科技計畫辦公室「彰化、雲林縣淹水潛勢資料」報告(民國九十年七月)，將 DTM 數值地形高程採用 200 公尺×200 公尺數值模擬網格，以 24 小時延時空間均勻分佈之一日降雨量，模擬總降雨量 150、200、300、350、600 公厘在彰化、雲林地區之淹水範圍及深度，並根據國土利用現況調查數化資料，將格網分為農業用地、水利用地、建築用地等，並依各網格的土地利用型態來決定其曼寧 n 值，模擬結果則與行政院防災國家型科技計畫辦公室「彰化、雲林縣淹水潛勢資料」進行比較。

圖 4-10、圖 4-11 顯示桃芝及納莉颱風在彰化地區淹水情形，較嚴重地區主要分佈在沿海地區，由北而南包括伸港鄉西濱公路附近、線西鄉的寓埔海埔新生地、鹿港的彰濱工業區、芳苑的新寶新生地及永興海埔地以及大城鄉的彰 163-1 縣道以西區域，桃芝颱風平均淹水深約 0.5-1 公尺、納莉颱風平均淹水深約 2-3 公尺。內陸區域，則以彰化市彰師大、陽明國中及和平國小附近，花壇鄉三家春排水兩旁，員林鎮石筍排水旁，社頭鄉第二排水分線、田尾鄉海豐崙排水昭豐橋至高速公路間，芳苑鄉新寶排水旁，二林鎮源成排水附近、埔鹽鄉過溪寮、湖子內以及溪湖鎮、田尾鄉及埤頭鄉交界的舊濁溪附近等地區，桃芝颱風平均淹水深約 0.1-0.5 公尺、納莉颱風平均淹水深約 0.5-1 公尺。

圖 4-12、圖 4-13 顯示顯示桃芝及納莉颱風在雲林地區淹水情形，較嚴重地區亦主要分佈在沿海地區，由北而南分別為麥寮鄉六輕工業區東南區域、台西鄉台西海埔新生地、四湖鄉馬公厝大排以及口湖鄉的下崙區域以及尖山大排附近，桃芝颱風平均淹水深約 0.1-0.3 公

尺、納莉颱風平均淹水深約 2-3 公尺。內陸區域，則以崙背鄉的東佃厝附近、五塊厝附近，褒忠鄉的中廣公司附近，二崙鄉的大義崙大排附近，虎尾鎮的同心公園附近，斗南鎮的正農牧場週邊，大埤鄉、元長鄉的交界虎尾河流域附近、水林鄉的尖山大排附近，以及元長鄉、四湖鄉及北港鎮的交界區域，桃芝颱風平均淹水深約 0.1-0.5 公尺、納莉颱風平均淹水深約 0.5-1 公尺。。

圖 4-14 顯示在一日總降雨量為 150 公厘下，彰化地區已有部分地區發生淹水情況，包括大村鄉排水路旁、永靖鄉東南方及埤頭鄉地勢地窪處，約有 1.0 公尺左右的淹水深度，與圖 4-15 防災國家型科技計畫辦公室模擬之淹水區域與範圍結果相近；圖 4-16 顯示在一日總降雨量為 200 公厘下，大村鄉排水路旁、永靖鄉東南方及埤頭鄉地勢地窪處，約有 1.5 公尺左右的淹水深度；圖 4-17 顯示在一日總降雨量為 300 公厘時，上述三地區淹水深度增至約 2.0 公尺左右，其餘各鄉鎮也開始出現淹水深，如彰化市、花壇鄉，員林鎮，社頭鄉，埔鹽鄉及二林鎮等，福興鄉沿海低窪地區也出現淹水情形，淹水範圍大多集中在排水路兩旁，地勢較低窪地區，較圖 4-18 防災國家型科技計畫辦公室模擬之淹水區域與範圍結果略為嚴重；圖 4-19、圖 4-20 顯示隨著一日總降雨量增至 350 與 600 公厘此等較大降雨時，淹水範圍與深度繼續的擴大，最大淹水深度可達 3 公尺以上，較嚴重之淹水潛勢區包括埔鹽鄉、花壇鄉、大村鄉及二林鎮，在主要的排水如洋子厝溪、員林大排及舊濁水溪沿岸，幾乎都出現淹水情形，圖 4-21 為考慮地層下陷影響時之淹水範圍與深度，結果顯示在內陸地區較無明顯影響，而沿海地區位於鹿港鄉沿海、福興鄉沿海、芳苑之新寶新生地及永興海埔地附近則略有影響，圖 4-22 為防災國家型科技計畫辦公室模擬結果。

圖 4-23 顯示在一日總降雨量為 150 公厘下，全縣各大排水系統之低窪地區，已有部分地區發生淹水情況，其中以雲林縣斗六市、斗南鎮與大埤鄉西臨北港溪低窪地區淹水較深，約有 1.0 公尺左右的淹水深度，與圖 4-24 防災國家型科技計畫辦公室模擬之淹水區域與範圍結果相近；圖 4-25 顯示在一日總降雨量為 200 公厘下，各大排水系統之低窪地區，雲林縣斗六市、斗南鎮與大埤鄉西臨北港溪低窪地區淹水較深，已約有 1.5 公尺左右的淹水深度；圖 4-26 顯示在一日總降雨量為 300 公厘時，上述各地區淹水深度增至 2.0 公尺左右，雲林縣崙背鄉、元長鄉與褒忠鄉等地區、雲林縣西部臨海地區開始有 2.0 公尺左右的淹水，與圖 4-27 防災國家型科技計畫辦公室模擬之淹水區域與範圍結果相近；圖 4-28 及圖 4-29 顯示隨著一日總降雨量增至 350 與 600 公厘此等較大降雨時，淹水範圍與深度繼續的擴大，平均最大淹水深度可達 2.5 公尺以上，較嚴重之淹水潛勢區包括雲林縣沿海之各鄉鎮西部臨海地區、斗六市、斗南鎮與大埤鄉西臨北港溪低窪地區、雲林縣褒忠鄉新虎尾溪沿岸低窪地區、崙背鄉與二崙鄉近濁水溪沿岸低窪地區，其中雲林縣台西鄉臨海低窪地區最為嚴重，圖 4-30 為考慮地層下陷影響時之淹水範圍與深度，結果顯示在內陸地區較無明顯影響，而沿海地區位於台西鄉臨海低窪地區略有影響。圖 4-31 為防災國家型科技計畫辦公室雲林縣淹水潛勢模擬結果(600mm降雨)。

表 4-1 颱風事件之降雨量與潮位資料—(1)納莉颱風

時間	小時	降雨(mm)		潮位(公尺)
		彰化	雲林	
2001/9/17 00:00	1	0.375	0.000	0.130
2001/9/17 01:00	2	1.325	0.000	-0.170
2001/9/17 02:00	3	3.875	0.067	-0.260
2001/9/17 03:00	4	6.950	1.733	-0.110
2001/9/17 04:00	5	6.225	4.967	0.230
2001/9/17 05:00	6	8.800	2.067	0.650
2001/9/17 06:00	7	18.775	2.667	1.100
2001/9/17 07:00	8	22.150	3.033	1.470
2001/9/17 08:00	9	20.200	4.733	1.490
2001/9/17 09:00	10	20.700	7.167	1.290
2001/9/17 10:00	11	12.675	6.600	0.850
2001/9/17 11:00	12	18.100	2.500	0.250
2001/9/17 12:00	13	17.400	6.867	-0.380
2001/9/17 13:00	14	2.625	21.967	-0.840
2001/9/17 14:00	15	5.250	10.967	-1.050
2001/9/17 15:00	16	6.925	5.600	-0.980
2001/9/17 16:00	17	4.925	2.233	-0.730
2001/9/17 17:00	18	7.400	1.967	-0.210
2001/9/17 18:00	19	10.500	3.167	0.420
2001/9/17 19:00	20	12.275	2.700	1.030
2001/9/17 20:00	21	9.975	2.867	1.460
2001/9/17 21:00	22	18.900	3.967	1.590
2001/9/17 22:00	23	23.800	8.933	1.420
2001/9/17 23:00	24	31.775	5.300	1.000
2001/9/18 00:00	25	26.775	25.900	0.470
2001/9/18 01:00	26	19.650	35.000	-0.050
2001/9/18 02:00	27	3.325	30.767	-0.390
2001/9/18 03:00	28	8.675	10.100	-0.430
2001/9/18 04:00	29	18.725	4.200	-0.290
2001/9/18 05:00	30	16.950	18.433	0.020
2001/9/18 06:00	31	18.525	15.600	0.510
2001/9/18 07:00	32	4.150	15.433	1.030

表 4-1 (續 1) 颱風事件之降雨量與潮位資料—(1)納莉颱風

時間	小時	降雨(mm)		潮位(公尺)
		彰化	雲林	
2001/9/18 08:00	33	2.925	2.367	1.450
2001/9/18 09:00	34	7.950	1.300	1.580
2001/9/18 10:00	35	5.075	4.033	1.360
2001/9/18 11:00	36	1.575	6.200	0.840
2001/9/18 12:00	37	11.625	2.667	0.150
2001/9/18 13:00	38	16.400	21.467	-0.510
2001/9/18 14:00	39	1.025	28.867	-0.980
2001/9/18 15:00	40	1.850	13.433	-1.170
2001/9/18 16:00	41	1.050	15.600	-1.080
2001/9/18 17:00	42	0.075	7.000	-0.770
2001/9/18 18:00	43	0.000	0.400	-0.190
2001/9/18 19:00	44	0.000	0.000	0.510
2001/9/18 20:00	45	0.075	0.100	1.210
2001/9/18 21:00	46	0.000	0.000	1.670
2001/9/18 22:00	47	0.000	0.000	1.730
2001/9/18 23:00	48	0.000	0.000	1.440

表 4-1 (續 2) 颱風事件之降雨量與潮位資料—(2)桃芝颱風

時間	小時	降雨(mm)		潮位(公尺)
		彰化	雲林	
2001/7/30 00:00	1	0	0	0.62
2001/7/30 01:00	2	0.575	0.225	1.28
2001/7/30 02:00	3	1.6	0.925	1.69
2001/7/30 03:00	4	1.7	1.3	1.72
2001/7/30 04:00	5	1.95	1.15	1.51
2001/7/30 05:00	6	1.4	0.9	1.04
2001/7/30 06:00	7	1.9	4.1	0.41
2001/7/30 07:00	8	3.625	15.75	-0.18
2001/7/30 08:00	9	12	14.65	-0.56
2001/7/30 09:00	10	24.9	26.8	-0.56
2001/7/30 10:00	11	49.6	18.2	-0.36
2001/7/30 11:00	12	50.15	15.3	0.03
2001/7/30 12:00	13	22.5	4.475	0.62
2001/7/30 13:00	14	21.75	6.05	1.22
2001/7/30 14:00	15	8.55	3.3	1.64
2001/7/30 15:00	16	7.9	2.85	1.69
2001/7/30 16:00	17	3.85	1	1.45
2001/7/30 17:00	18	1.375	0.625	0.97
2001/7/30 18:00	19	1.05	0	0.31
2001/7/30 19:00	20	0.95	0	-0.31
2001/7/30 20:00	21	1.825	0	-0.73
2001/7/30 21:00	22	0.5	0	-0.82
2001/7/30 22:00	23	0.475	0.15	-0.64
2001/7/30 23:00	24	0.35	0	-0.25

表 4-2 不同降雨量颱風事件之降雨量與潮位資料

小時	降雨 600mm		降雨 350mm		降雨 300mm		降雨 200mm		降雨 150mm		潮位 (m)
	彰化	雲林	彰化	雲林	彰化	雲林	彰化	雲林	彰化	雲林	
1	1.21	8.4	0.71	4.90	0.61	4.20	0.40	2.80	0.30	2.10	2.904
2	1.54	15	0.90	8.75	0.77	7.50	0.51	5.00	0.39	3.75	1.942
3	4.03	21	2.35	12.25	2.01	10.50	1.34	7.00	1.01	5.25	0.672
4	3.20	21.6	1.87	12.60	1.60	10.80	1.07	7.20	0.80	5.40	-0.526
5	5.68	21	3.31	12.25	2.84	10.50	1.89	7.00	1.42	5.25	-1.016
6	18.10	21	10.56	12.25	9.05	10.50	6.03	7.00	4.52	5.25	-0.853
7	26.37	24	15.38	14.00	13.19	12.00	8.79	8.00	6.59	6.00	-0.363
8	37.13	27.6	21.66	16.10	18.57	13.80	12.38	9.20	9.28	6.90	0.526
9	51.20	37.2	29.87	21.70	25.60	18.60	17.07	12.40	12.80	9.30	1.724
10	66.10	60	38.56	35.00	33.05	30.00	22.03	20.00	16.52	15.00	2.904
11	104.17	81	60.76	47.25	52.08	40.50	34.72	27.00	26.04	20.25	3.630
12	71.89	67.2	41.94	39.20	35.94	33.60	23.96	22.40	17.97	16.80	3.485
13	43.75	44.4	25.52	25.90	21.88	22.20	14.58	14.80	10.94	11.10	2.777
14	42.10	32.4	24.56	18.90	21.05	16.20	14.03	10.80	10.52	8.10	1.634
15	26.37	22.8	15.38	13.30	13.19	11.40	8.79	7.60	6.59	5.70	0.127
16	26.37	20.4	15.38	11.90	13.19	10.20	8.79	6.80	6.59	5.10	-1.216
17	18.10	15.6	10.56	9.10	9.05	7.80	6.03	5.20	4.52	3.90	-1.851
18	13.13	10.8	7.66	6.30	6.57	5.40	4.38	3.60	3.28	2.70	-1.942
19	13.13	9.6	7.66	5.60	6.57	4.80	4.38	3.20	3.28	2.40	-1.561
20	9.82	7.8	5.73	4.55	4.91	3.90	3.27	2.60	2.46	1.95	-0.672
21	6.51	7.8	3.80	4.55	3.26	3.90	2.17	2.60	1.63	1.95	0.653
22	4.03	7.8	2.35	4.55	2.01	3.90	1.34	2.60	1.01	1.95	1.960
23	2.87	7.8	1.67	4.55	1.43	3.90	0.96	2.60	0.72	1.95	3.086
24	3.20	7.8	1.87	4.55	1.60	3.90	1.07	2.60	0.80	1.95	3.467

表 4-3 納莉與桃芝颱風事件之淹水資訊模擬結果

颱風 事件	模擬 區域	淹水面積 (公頃)	最大淹水 深度(m)
納莉	彰化	49,228	4.78
	雲林	55,020	5.65
桃芝	彰化	47,836	4.43
	雲林	41,092	2.02

表 4-4 不同降雨量事件之淹水資訊模擬結果

日降雨量	模擬區域	淹水面積(公頃)	最大淹水深度(m)
150 mm	彰化	43,172	2.08
	雲林	51,364	2.34
200 mm	彰化	49,052	2.14
	雲林	58,408	3.03
300 mm	彰化	57,032	5.03
	雲林	67,632	4.59
350 mm	彰化	60,128	5.29
	雲林	71,284	5.42
600 mm	彰化	71,560	6.11
	雲林	85,496	6.53

表 4-5 地層下陷案例之淹水資訊模擬結果

模擬 區域	淹水面積 (公頃)	最大淹水 深度(m)
彰化	71,804	6.11
雲林	85,560	6.72

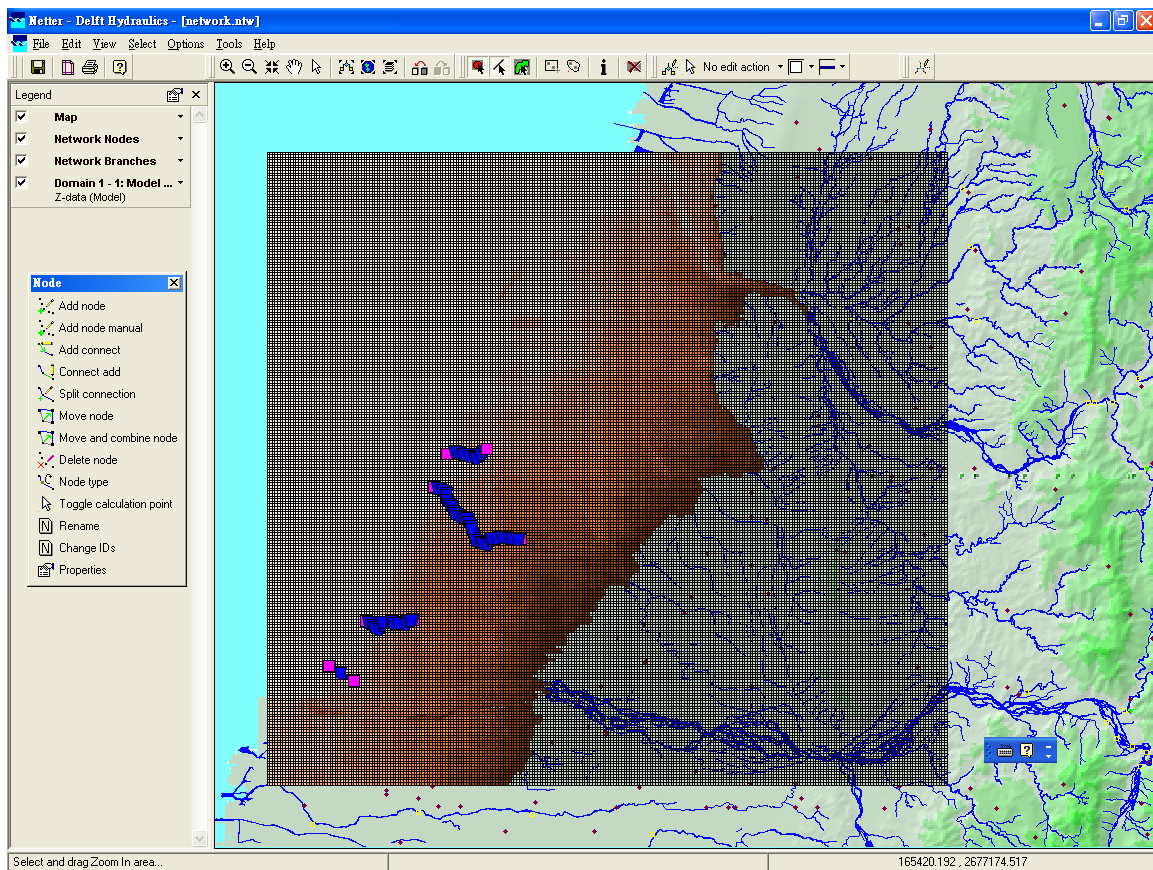


圖 4-1 彰化地區模擬範圍示意圖

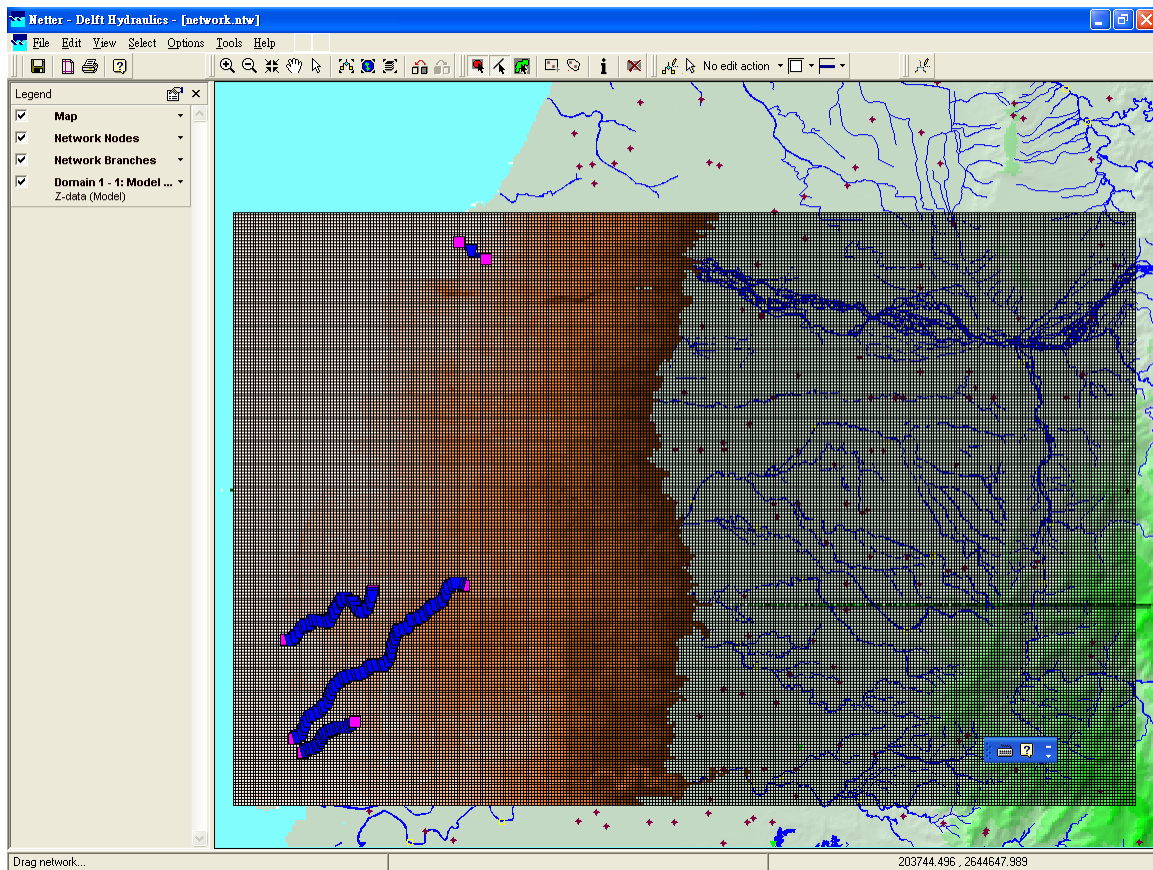


圖 4-2 雲林地區模擬範圍示意圖

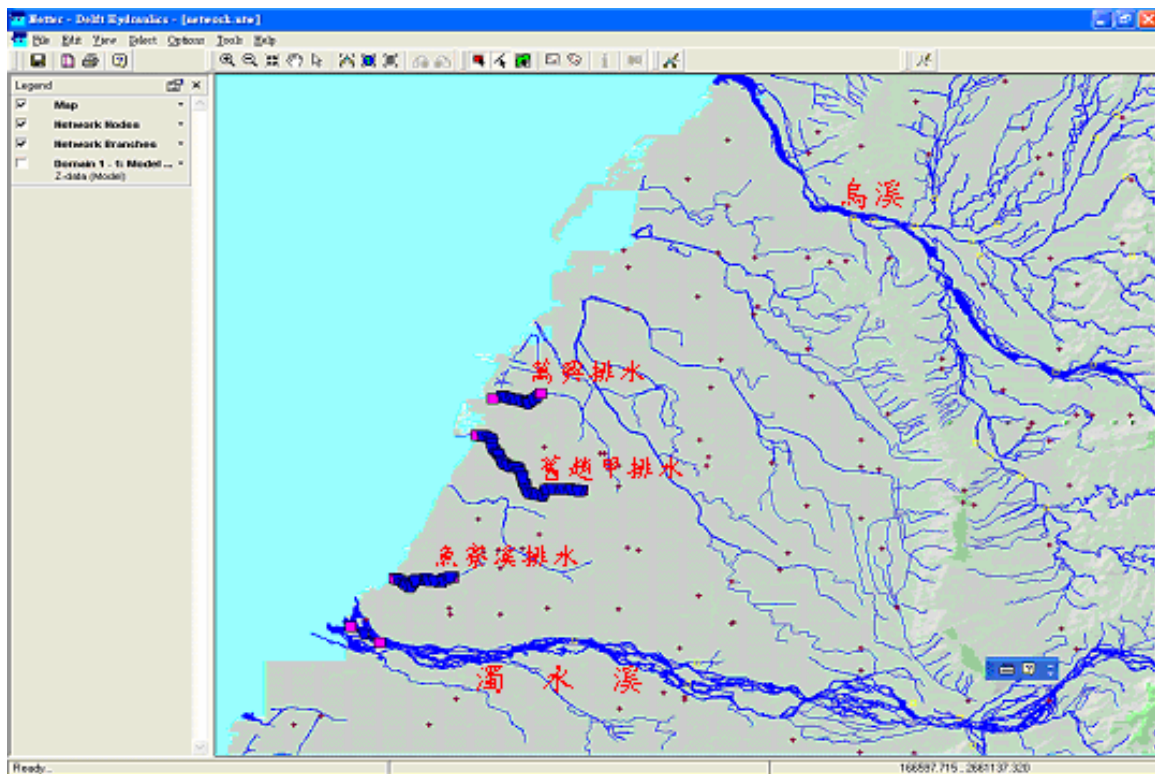


圖 4-3 彰化地區模擬時選用之排水路位置示意圖

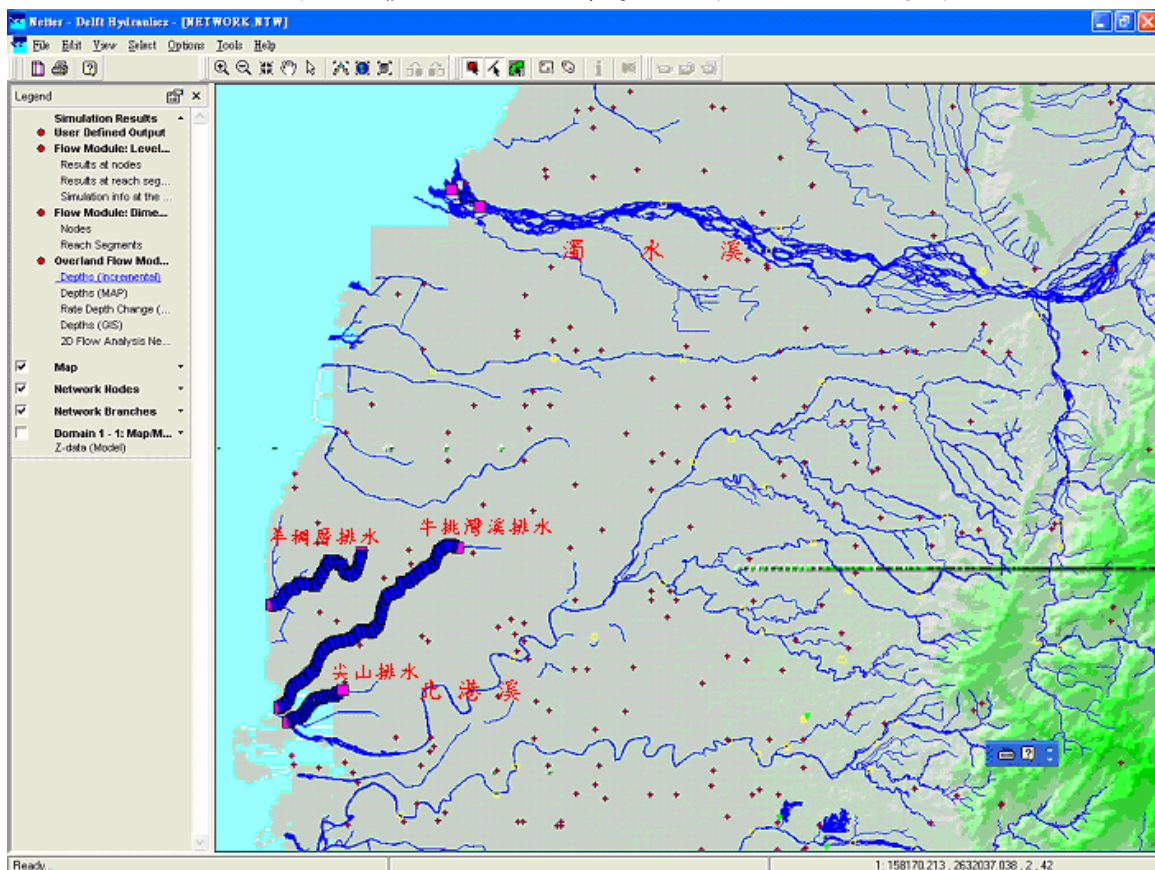


圖 4-4 雲林地區模擬時選用之排水路位置示意圖

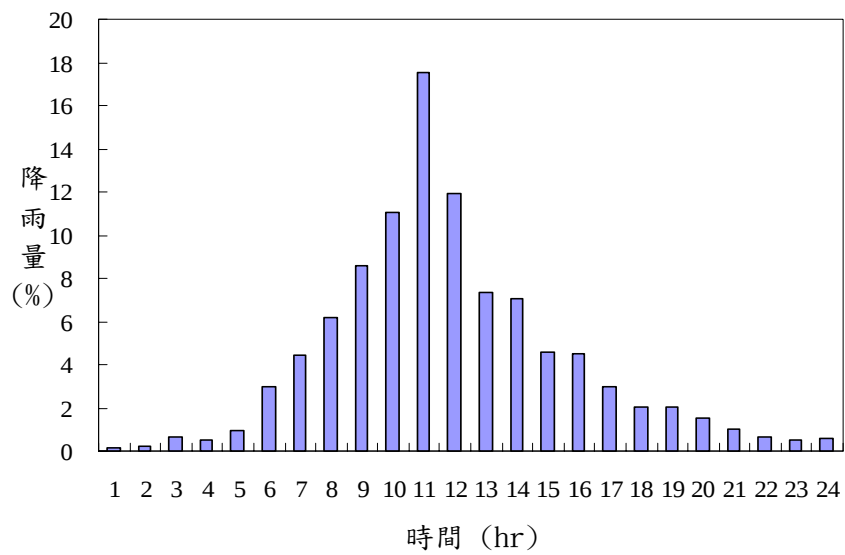


圖 4-5 彰化地區颱風雨(24 小時延時)無因次設計雨型

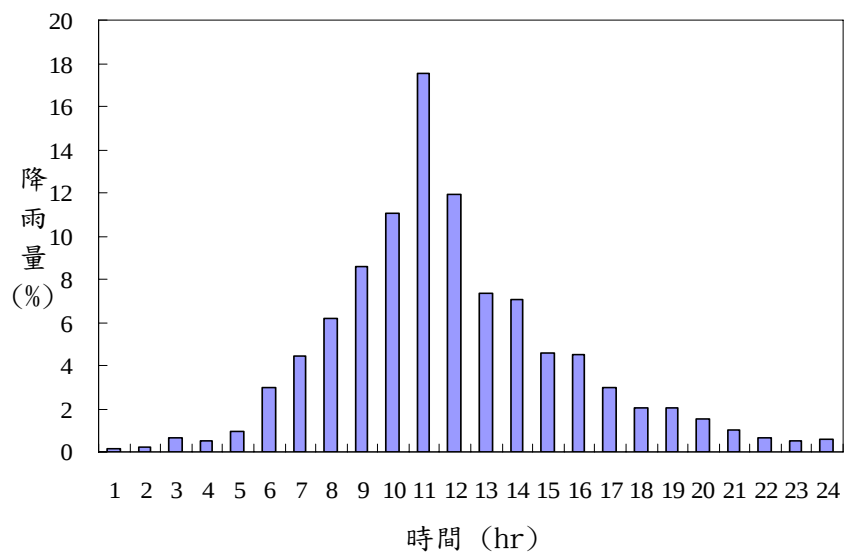


圖 4-6 雲林地區颱風雨(24 小時延時)無因次設計雨型

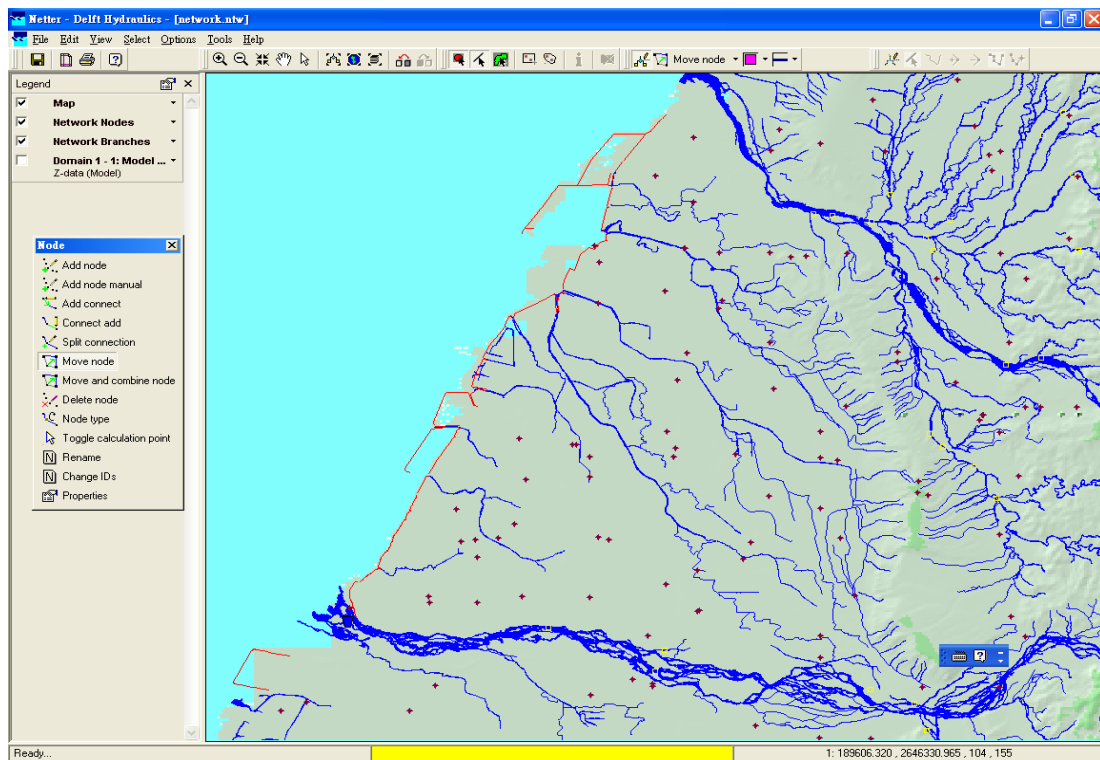


圖 4-7 彰化地區海堤位置示意圖

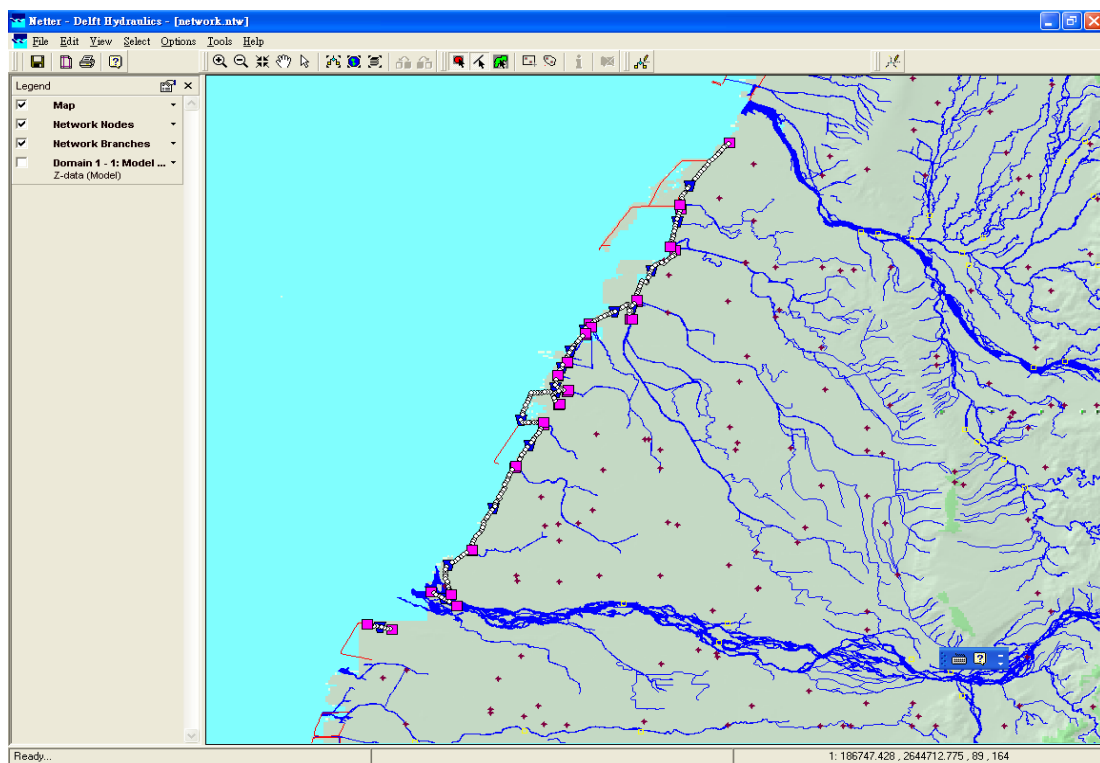


圖 4-8 彰化地區假定河道位置示意圖

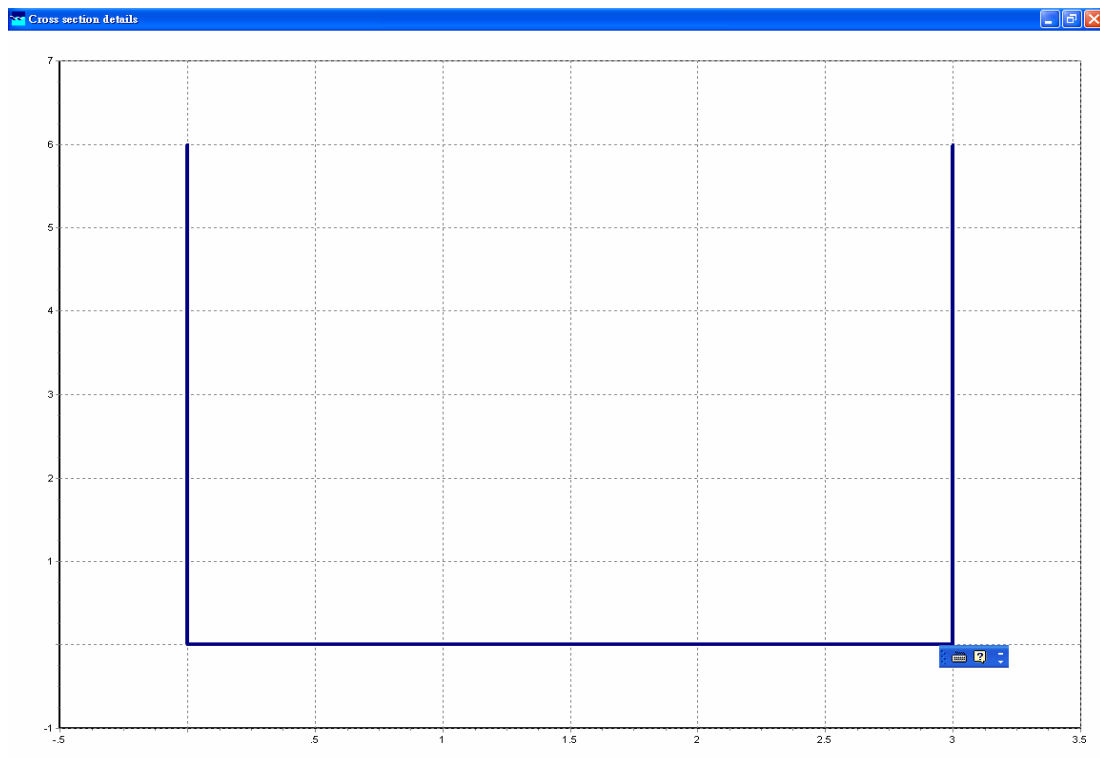


圖 4-9 案例 2 假定河道斷面示意圖

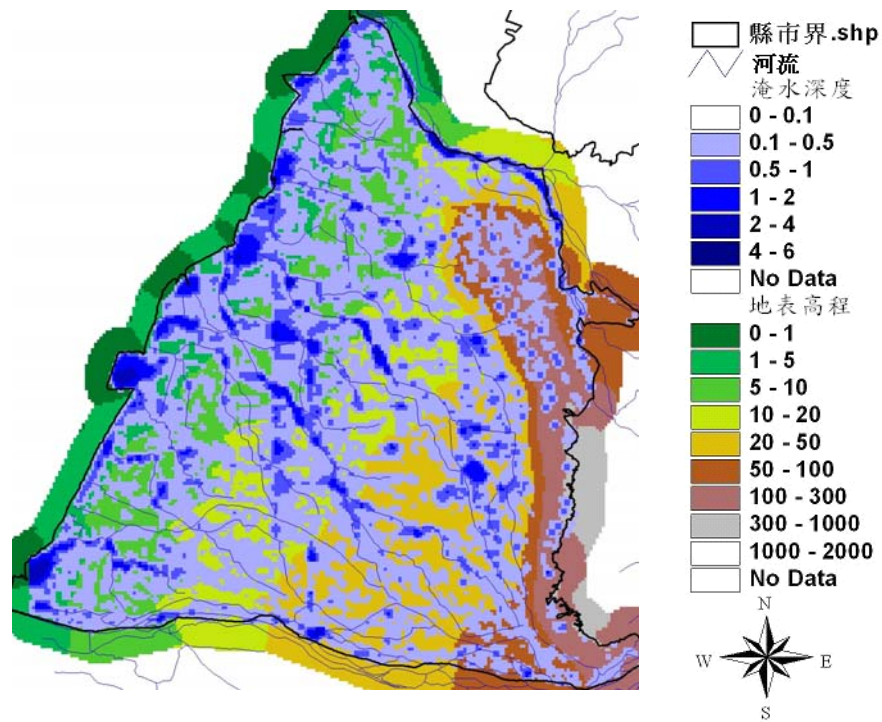


圖 4-10 桃芝颱風造成彰化地區淹水情形

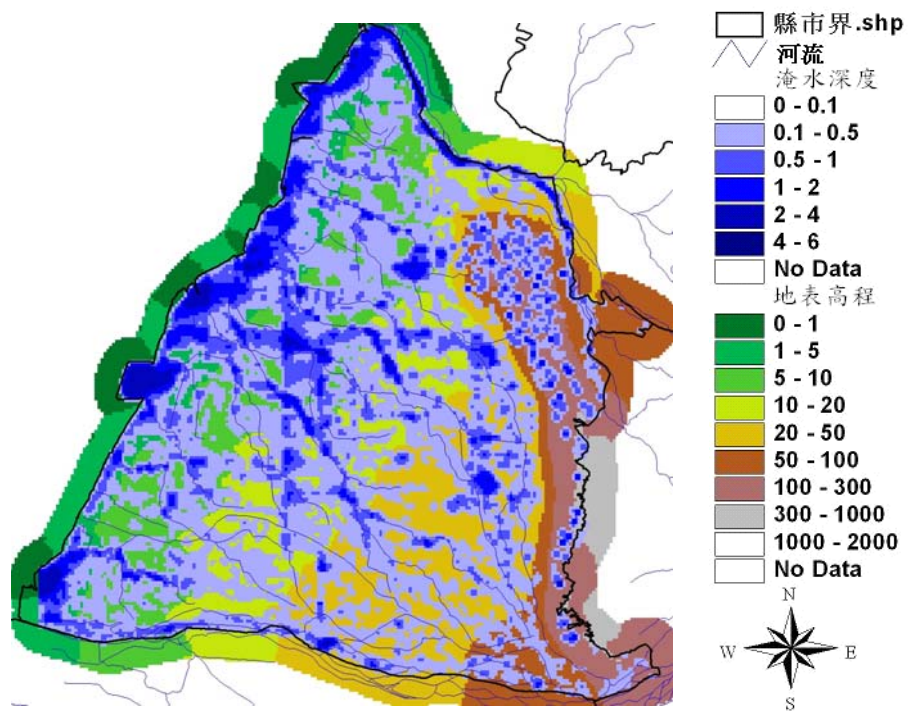


圖 4-11 納莉颱風造成彰化地區淹水情形

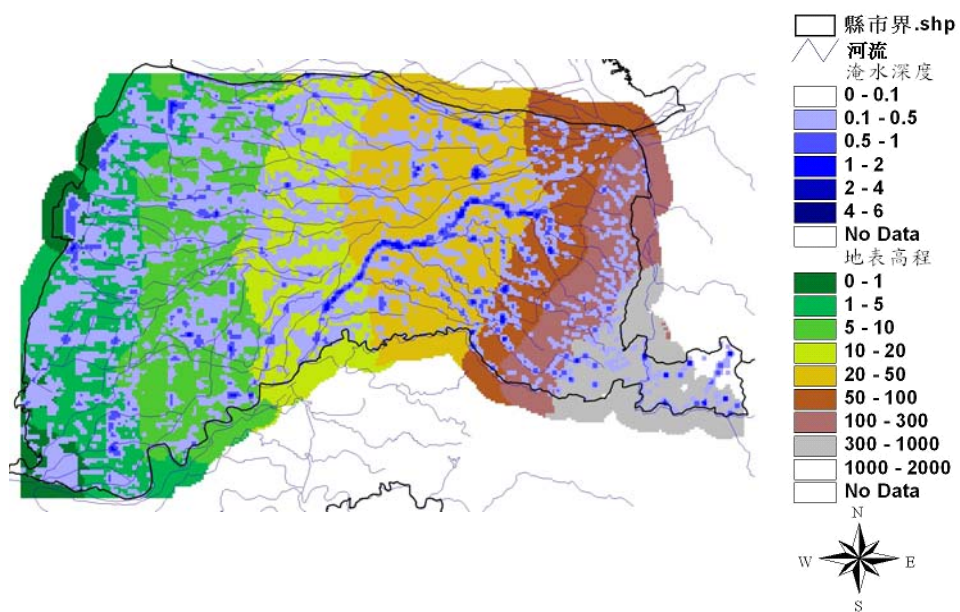


圖 4-12 桃芝颱風造成雲林地區淹水情形

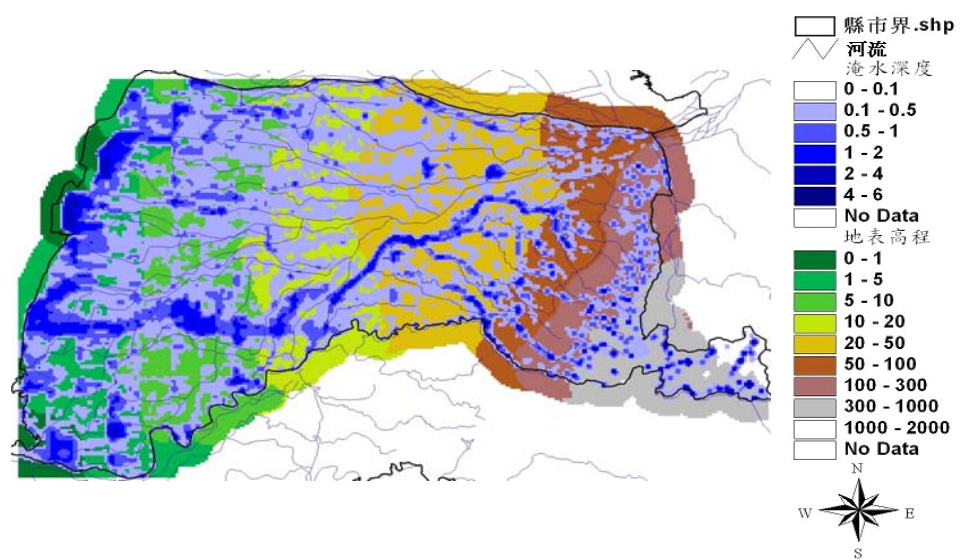


圖 4-13 納莉颱風造成雲林地區淹水情形

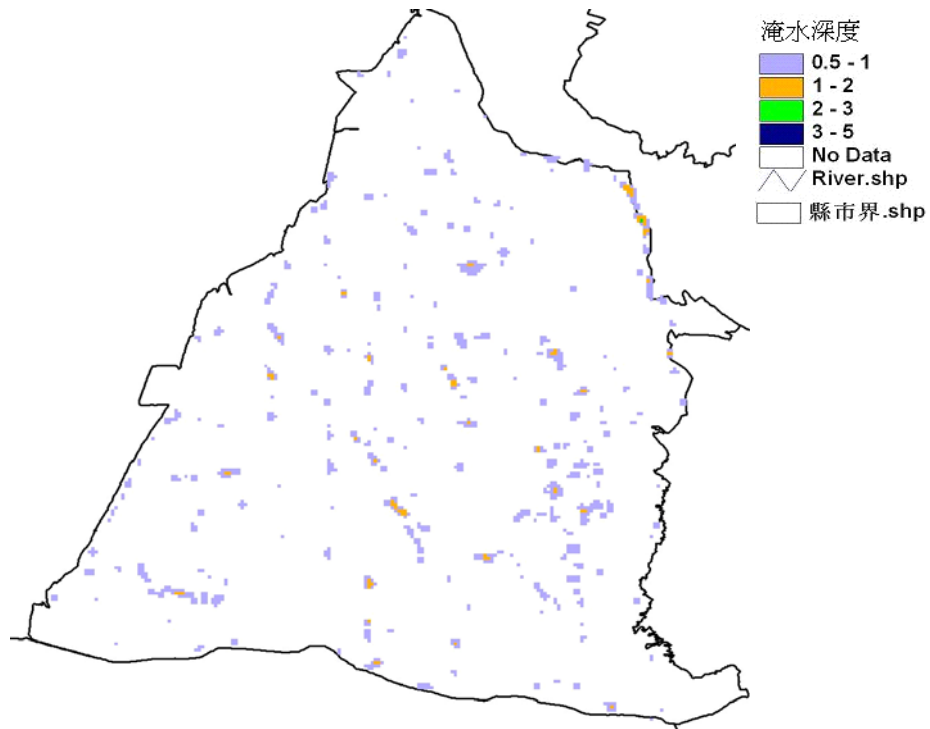


圖 4-14 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果
(150mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

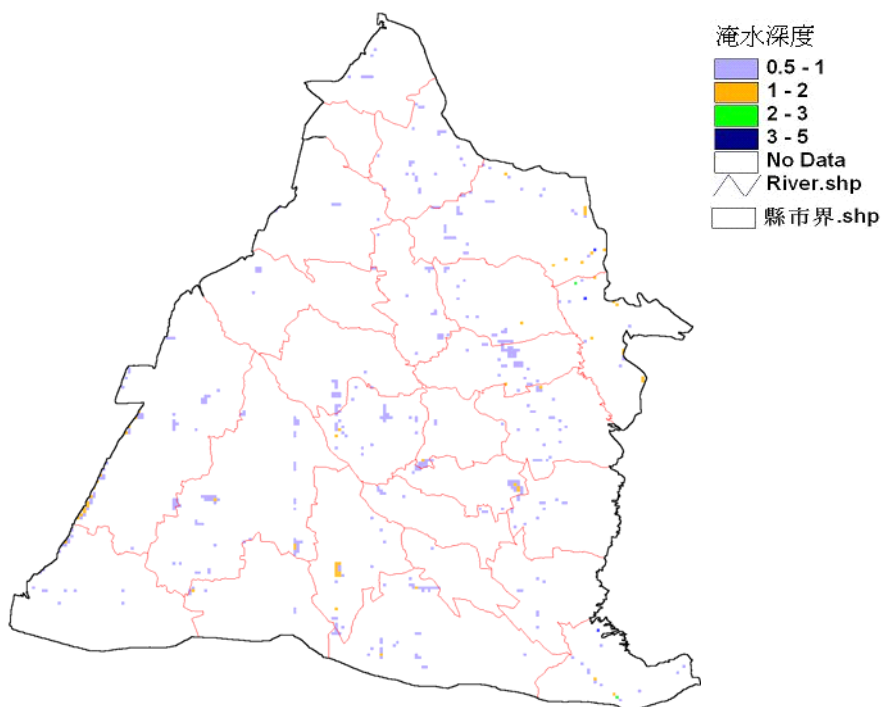


圖 4-15 防災國家型科技計畫辦公室彰化縣淹水潛勢模擬結果
(150mm 降雨)

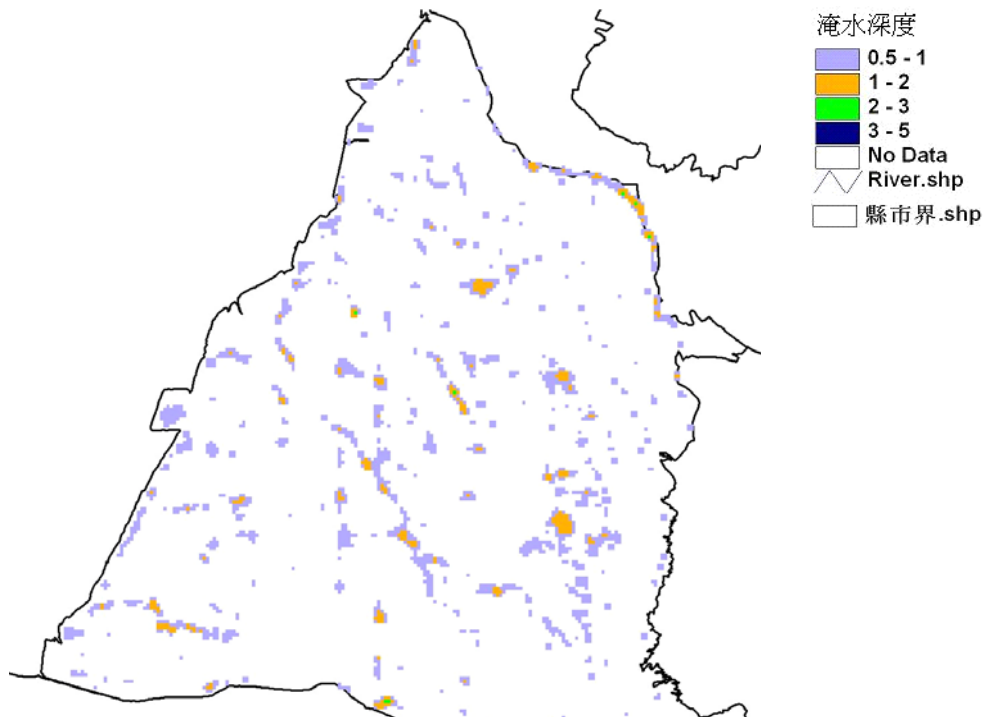


圖 4-16 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果
(200mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

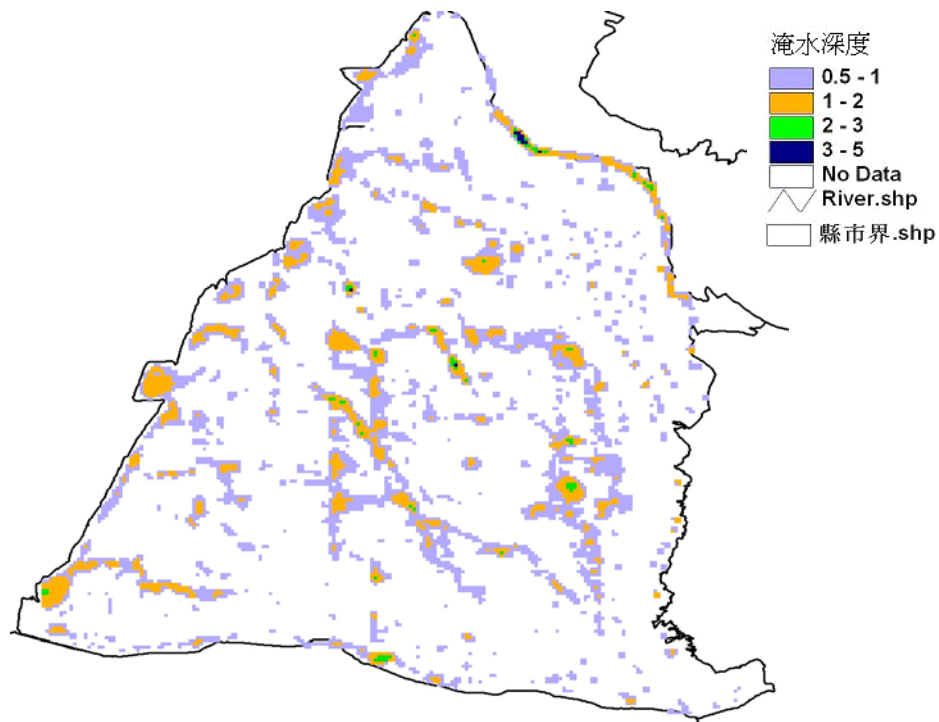


圖 4-17 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果
(300mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

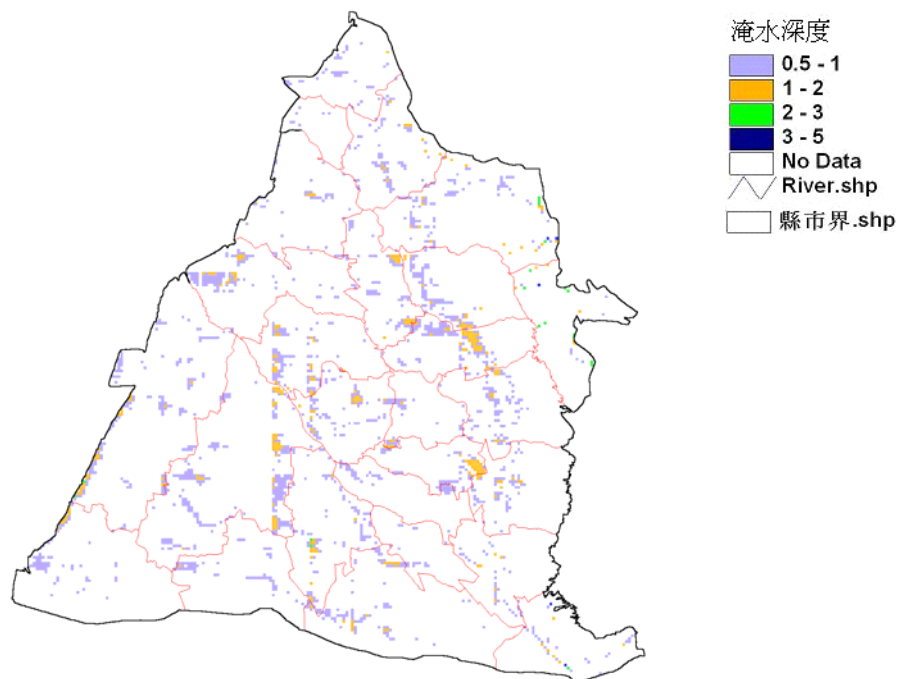


圖 4-18 防災國家型科技計畫辦公室彰化縣淹水潛勢模擬結果
(300mm 降雨)

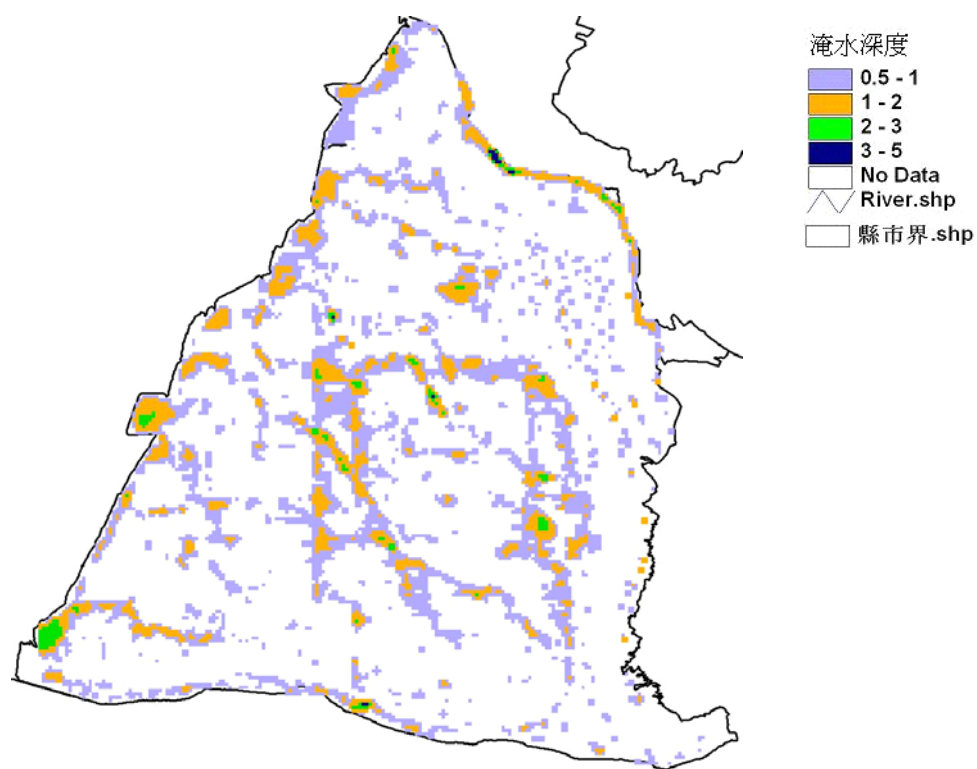


圖 4-19 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果
(350mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

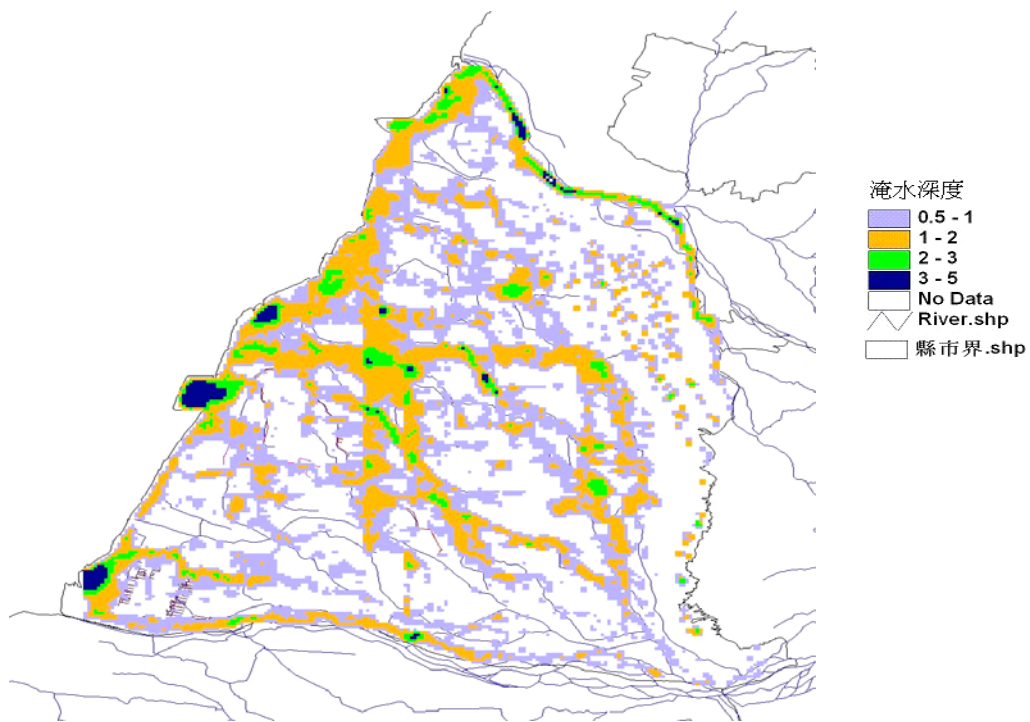


圖 4-20 二維淹水模式模擬彰化地區淹水結果
(600mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

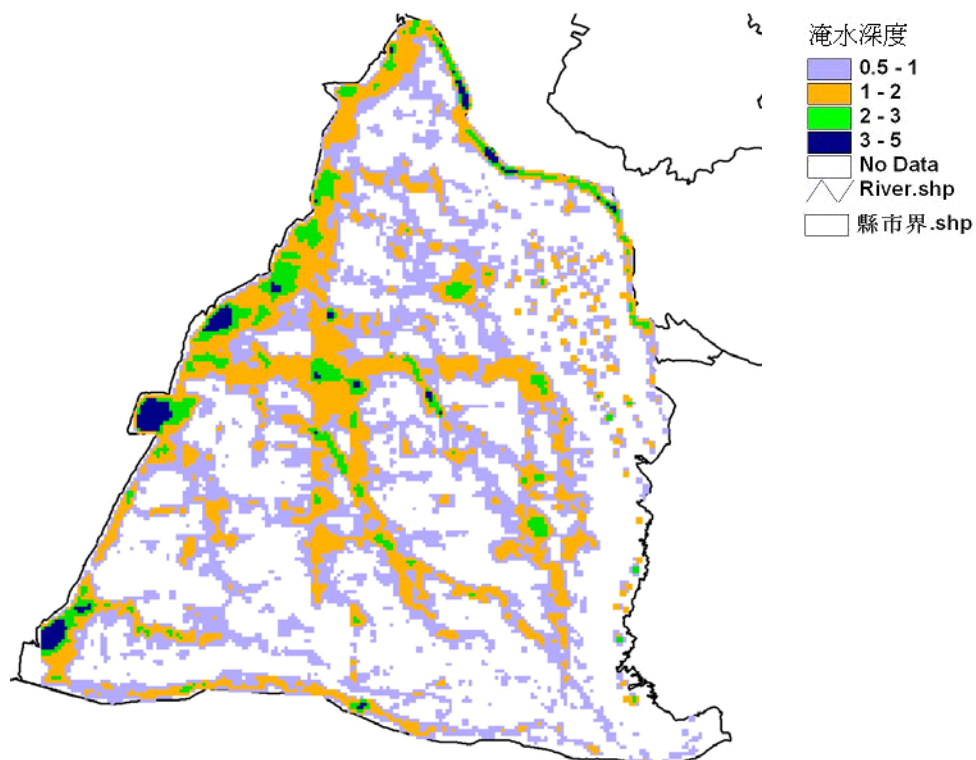


圖 4-21 二維淹水模式模擬彰化地區受地層下陷影響之淹水結果
(600mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

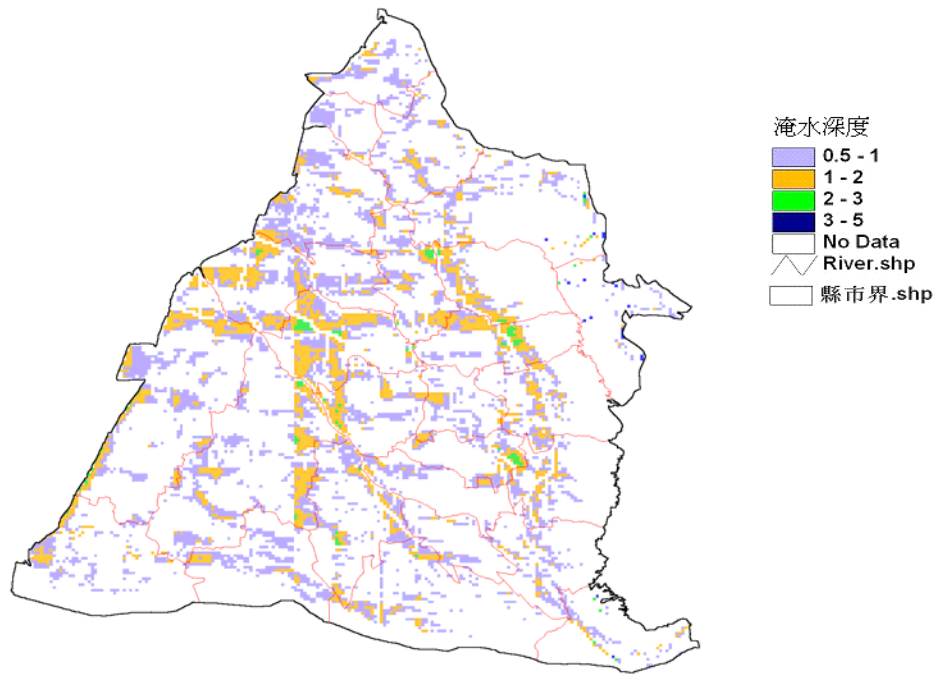


圖 4-22 防災國家型科技計畫辦公室彰化縣淹水潛勢模擬結果
(600mm 降雨)

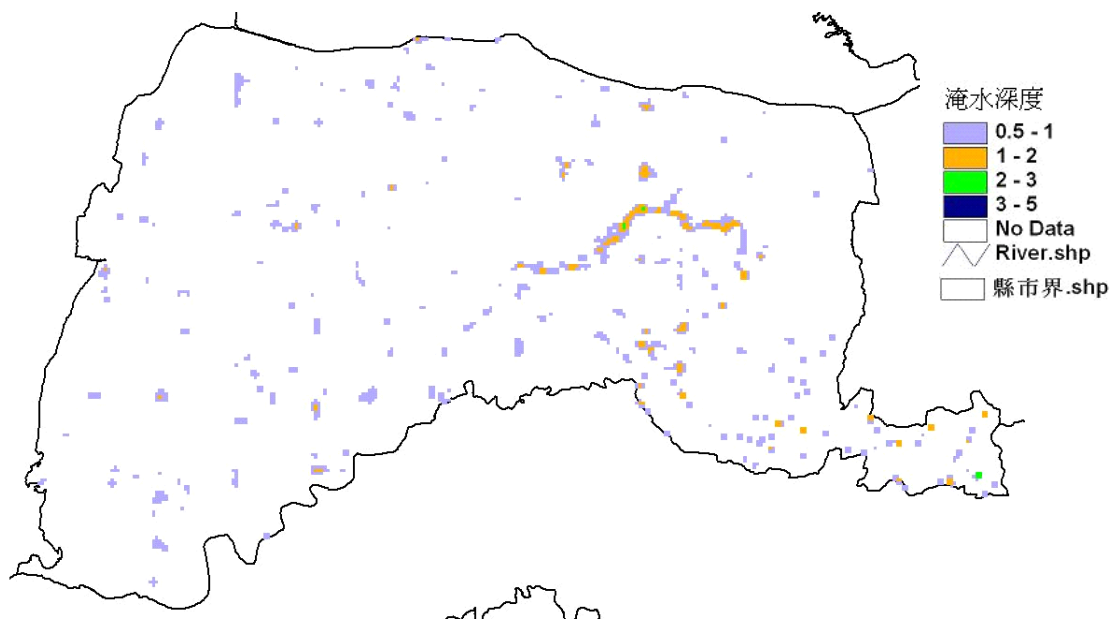


圖 4-23 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果
(150mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

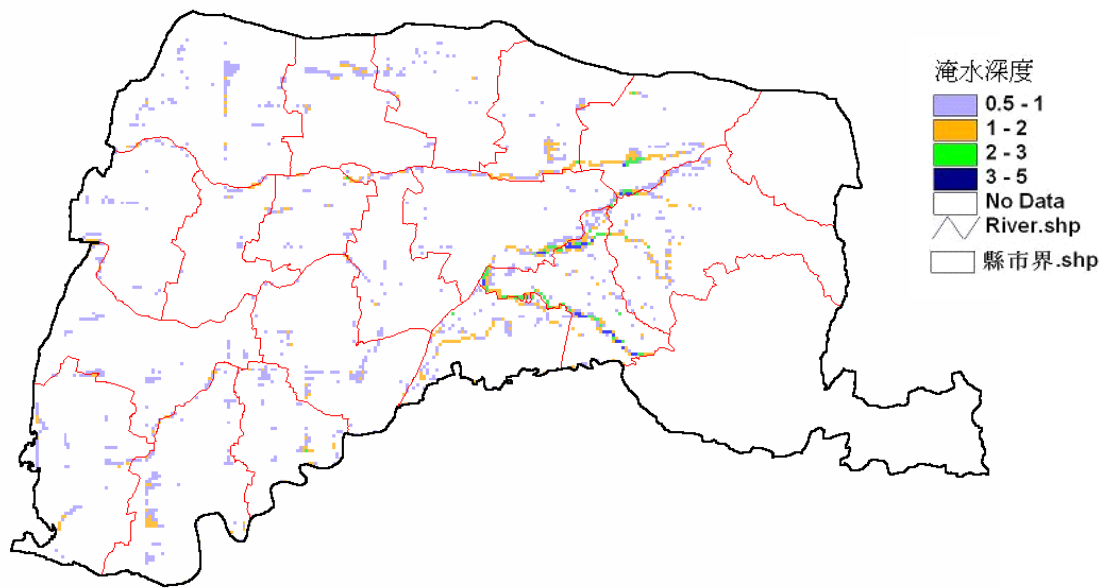


圖 4-24 防災國家型科技計畫辦公室雲林縣淹水潛勢模擬結果
(150mm 降雨)

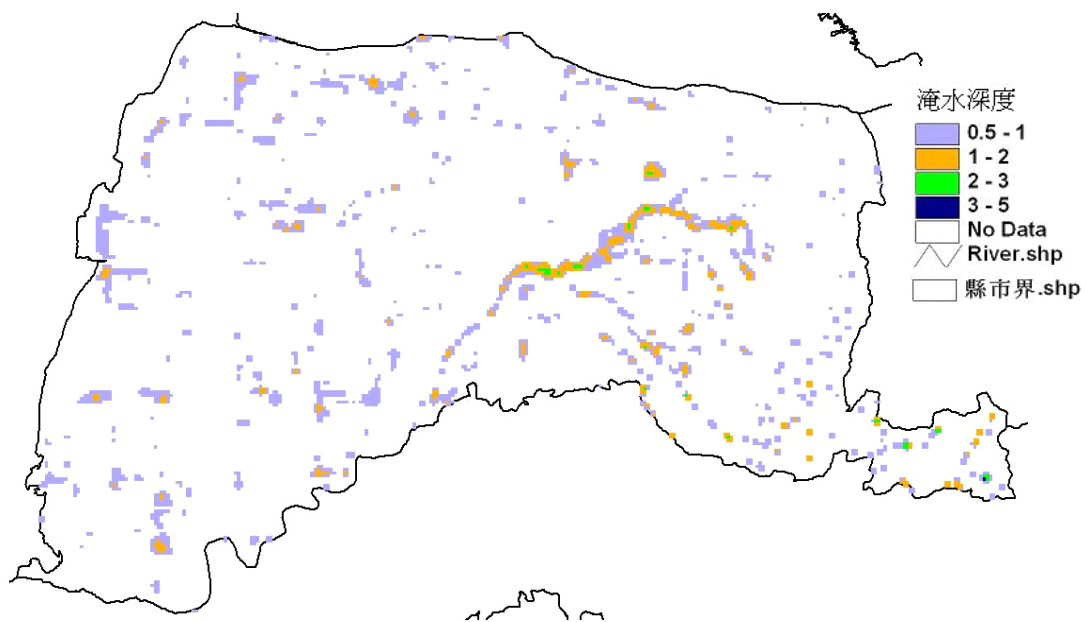


圖 4-25 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果
(200mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

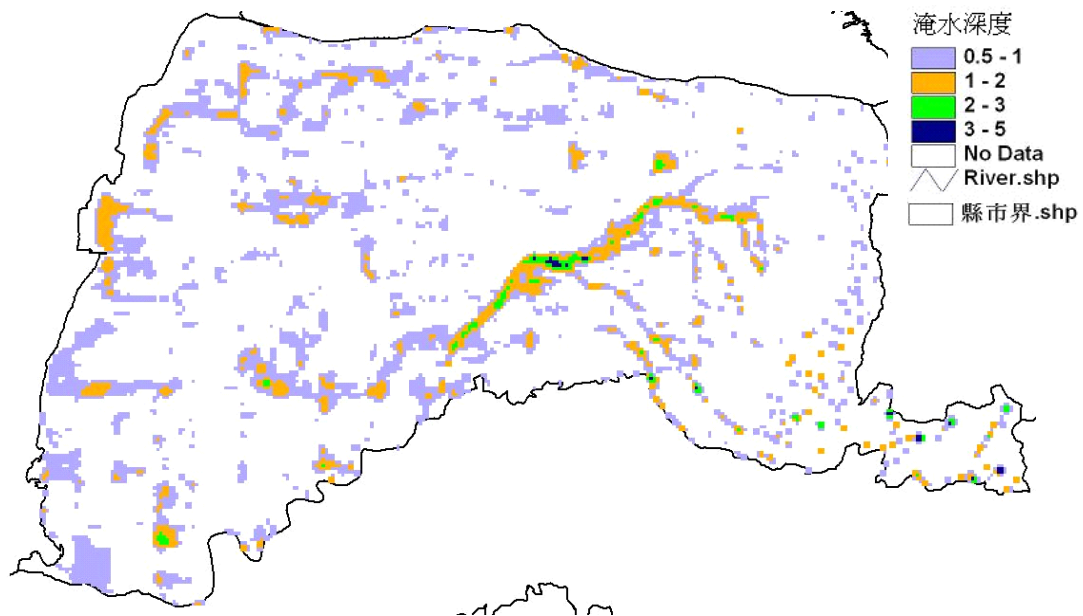


圖 4-26 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果
(300mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

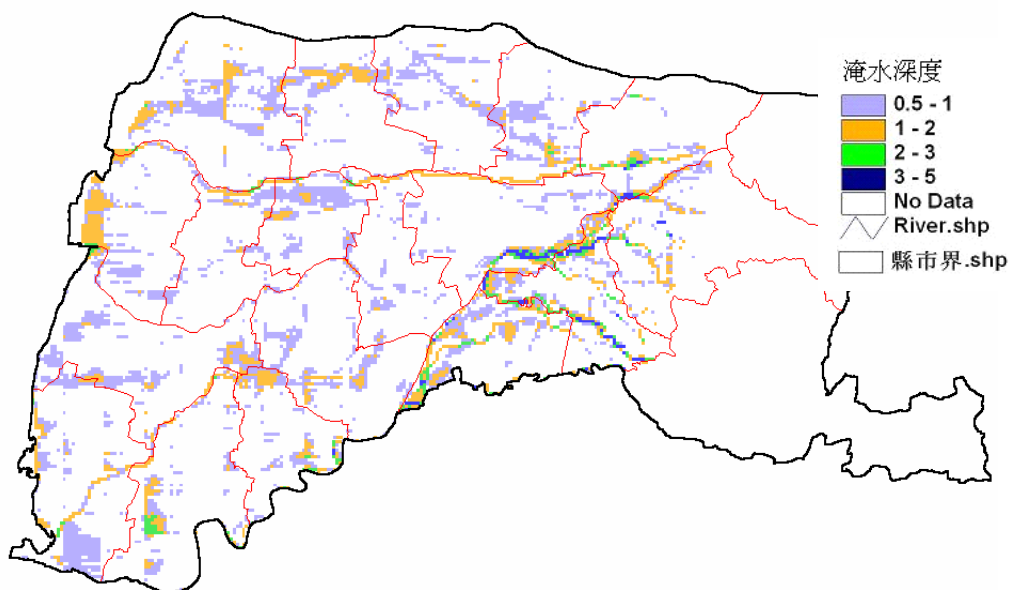


圖 4-27 防災國家型科技計畫辦公室雲林縣淹水潛勢模擬結果
(300mm 降雨)

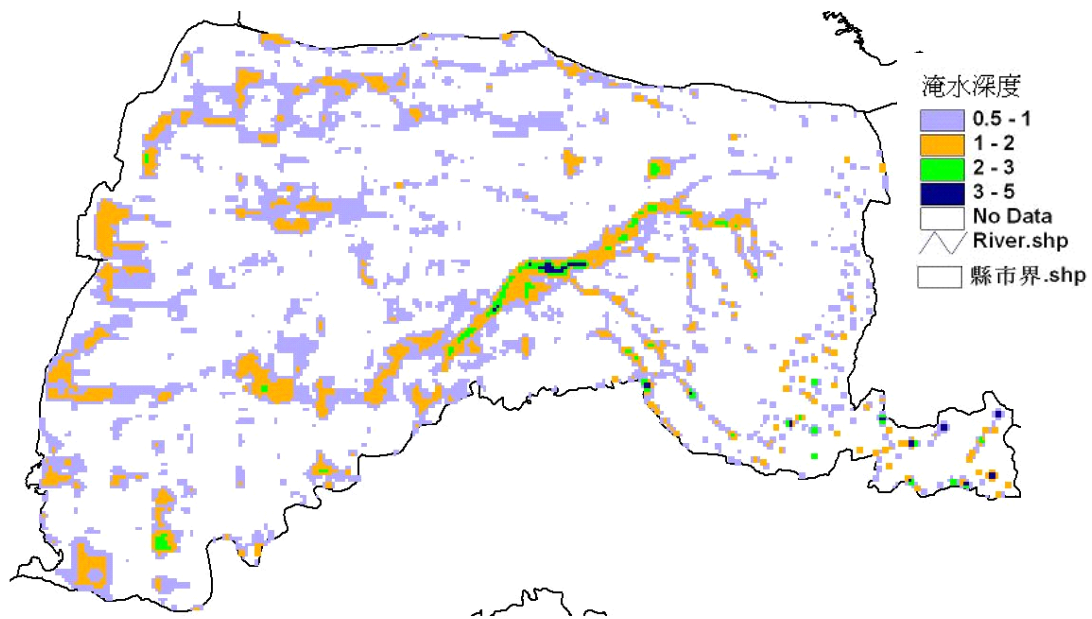


圖 4-28 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果
(350mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

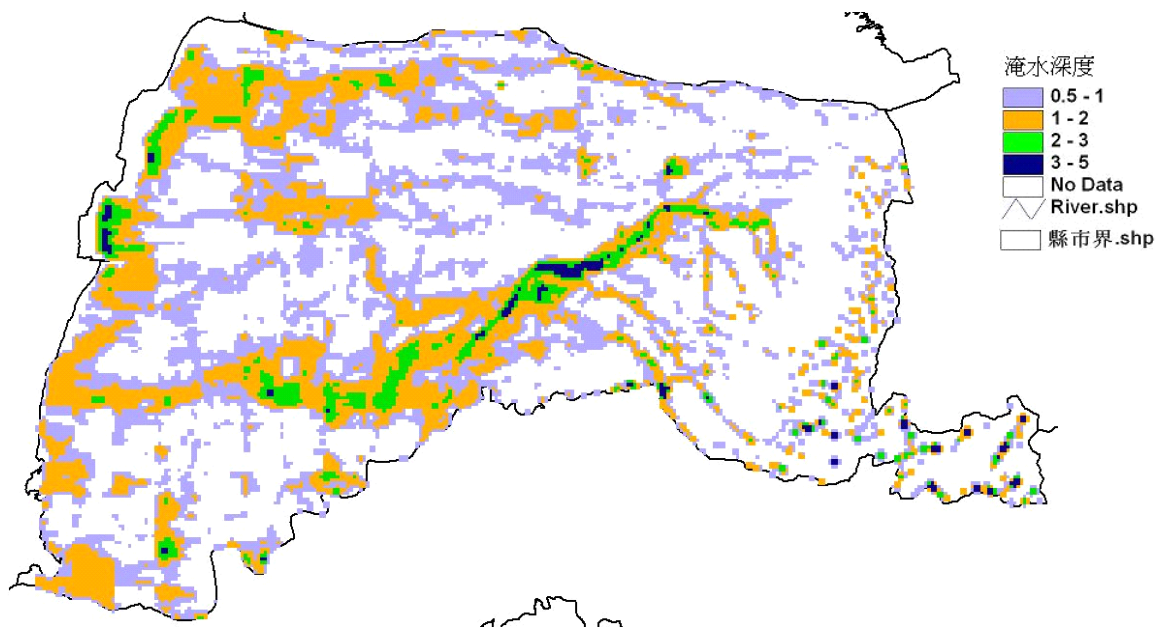


圖 4-29 二維淹水模式模擬雲林地區淹水結果
(600mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

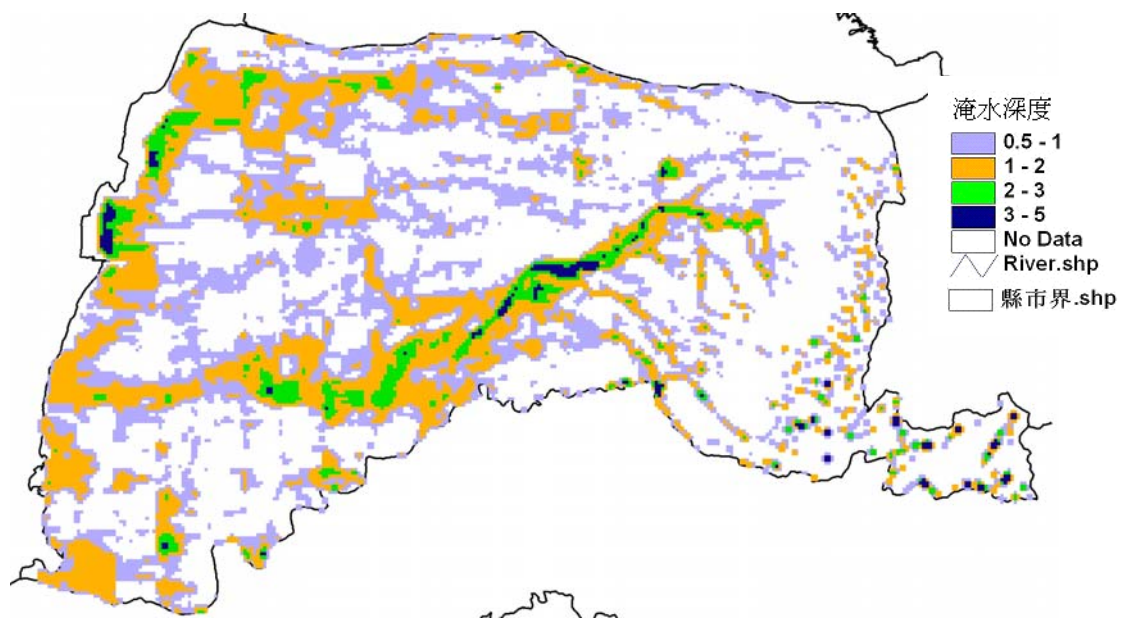


圖 4-30 二維淹水模式模擬雲林地區受地層下陷影響之淹水結果
(600mm 降雨及考慮暴潮位 3.63 公尺)

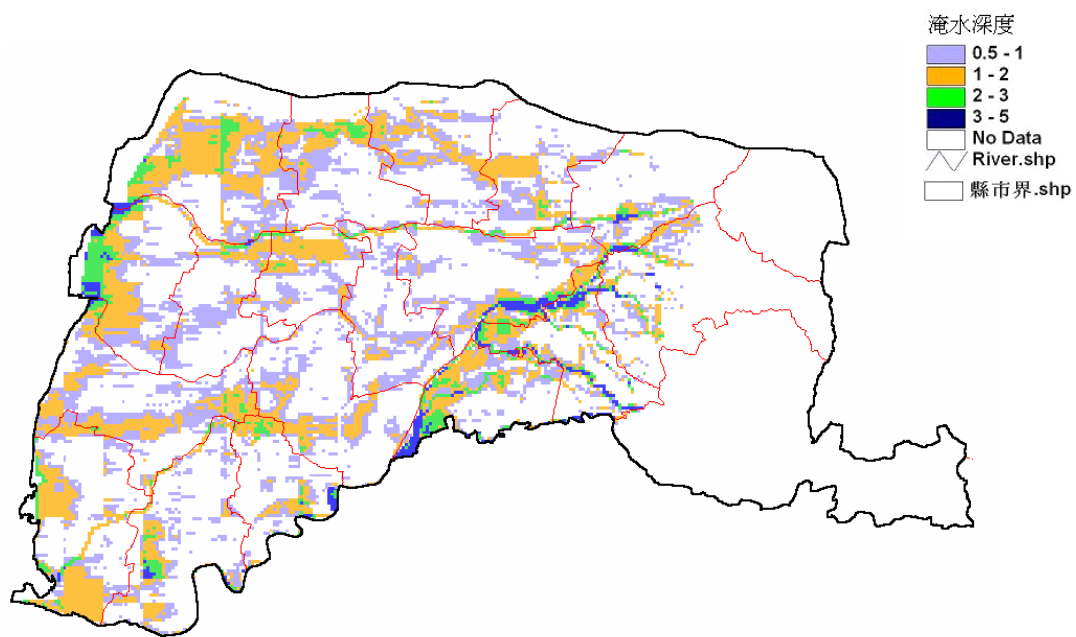


圖 4-31 防災國家型科技計畫辦公室雲林縣淹水潛勢模擬結果
(600mm 降雨)

參考文獻

1. 李德河、紀雲曜、林宏明，「地層下陷區土壤物理性與力學行為之研究」，經濟部水資源局八十五年度地下水觀站網暨地層下陷防治計畫成果發表會成果報告集，pp.183-199，民國 86 年。
2. 呂志宗、杜富麗，「雲林縣口湖地區及屏東林邊地區地盤下陷之調查研究」，工業技術研究院能資與資源研究報告，附錄 C，民國 81 年。
3. 柳志錫、林明煌、杜富麗，「台灣雲林沿海地區地盤下陷之特性研究」，地下水調查分析吉保育管理研討會，pp. 569-581，民國 81 年。
4. 施清吉，「地盤下陷之漸近解」，中國農業工程學報，29 卷，第二期，pp. 13-22，民國 72 年。
5. 耿承孝，「地下水變化與地層下陷相關性之研究」，國立台灣大學碩士論文，民國 89 年。
6. 盛若磐，「抽取地下水導致地表下陷之簡便估計法」，行政院農委會，78 農建-7.1- 林-31(5) 補助計畫。
7. 曹以松，「台北盆地過度抽取地下水引起之地層沉陷及其補救方法」，台灣水利，17 卷，第一期，民國 58 年。
8. 張良正、龔誠山，「區域性地下水觀測站網檢討(II)-濁水溪沖積扇觀測站網佈井及觀測頻率檢討」，經濟部水資源局，民國 85 年。
9. 廖日昇、李林少華、柳志錫、廖建順、林明煌，「北港沿海地區的地盤下陷及地下水污染之調查及研究」，工研院能礦所地層下陷研討會論文集，pp.129-216，民國 79 年 6 月。
10. 歐陽湘、柳志錫、杜富麗、湛凱英，「八十五年度地層下陷監測調查研究」，經濟部水資源局八十五年度地下水觀站網暨地層下陷防治計畫成果發表會成果報告集，pp.35-53，民國 86 年。
11. 雲林縣政府，「雲林縣統計要覽」，雲林縣政府，民國 82 年。
12. 經濟部中央地調所，「台灣地區地下水觀測網第一期計畫-八十一，八十二，八十三年濁水溪沖積扇水文地質調查」，民國 84 年。
13. 李天浩等，「水文氣象資訊與水文水理系統模式整合之研發(1/2)」，經濟部水利署，民國 91 年。
14. 楊錦釧等，「洪氾區劃設準則及模式研究(第三年)」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 91 年。
15. 許銘熙、鄧慰先、葉森海，「淹水災害境況模擬工作之現況與展望」，中國工程師學會會刊，第 75 卷，第 4 期，31-40，民國 91 年。
16. 許銘熙，2002.11，「台灣地區洪水災害及防災策略」，工程環境特刊，第 10 期，3-19，民國 91 年。
17. 許銘熙、鄧慰先、謝隆生等，「災害潛勢資料(4)——台北縣市淹水潛勢資料」，防災

國家型科技計畫辦公室，民國 88 年。

18. 許銘熙、張倉榮、鄧慰先等，「災害潛勢資料（4）——台南縣市淹水潛勢資料」，防災國家型科技計畫辦公室，民國 88 年。

19. 許銘熙、張倉榮、鄧慰先、黃成甲，「淹水潛勢分析及公開作業程序之探討」，第四屆海峽兩岸水利科技交流研討會，台北，民國 87 年。

20. 許銘熙、張倉榮、鄧慰先、謝龍生、黃成甲、葉森海，「雲林縣淹水潛勢資料」，行政院國家科學委員會研究計劃報告，防災國家型科技計畫辦公室，NAPHM HP005，民國 87 年。

21. 許銘熙、黃成甲、鄧慰先、謝龍生、李明旭、葉森海、簡名毅，2000.7，彰化縣淹水潛勢資料，行政院國家科學委員會研究計劃報告，防災國家型科技計畫辦公室，NAPHM HP013，民國 89 年。

22. 許銘熙，「防洪示範區淹水境況模擬與決策支援系統之研究（一）——台南科學園區排洪能力及洪災防治措施之研究（一）」，行政院國家科學委員會研究計劃報告，國立台灣大學生物環境系統工程學系暨研究所，民國 90 年。

23. 許銘熙，「防洪示範區淹水境況模擬與決策支援系統之研究（二）——台南科學園區排洪能力及洪災防治措施之研究（二）」，行政院國家科學委員會研究計劃報告，國立台灣大學生物環境系統工程學系暨研究所，民國 91 年。

24. 黃良雄、楊錦釗，「大區域地下水超引致地層下陷分層計算模式應用(二)-屏東平原」，經濟部水資源局，民國 88 年。

25. 黃良雄、楊錦釗，「大區域地下水超引致地層下陷分層計算模式應用(一)-濁水溪沖積扇」，經濟部水資源局，民國 87 年。

26. 黃良雄、楊錦釗，「地下水超抽導致地層下陷(一)」，經濟部水利處水利規劃試驗所，民國 89 年。

27. 黃良雄、楊錦釗，「地下水超抽導致地層下陷(二)」，經濟部水利處水利規劃試驗所，民國 89 年。

28. 楊錦釗、黃良雄，「海岸地區地陷潛能與危險評估技術(一)」，經濟部水資源局，民國 90 年。

29. 楊錦釗、黃良雄，「海岸地區地陷潛能與危險評估技術(二)」，經濟部水利署，民國 91 年。

30. 蔡東霖，黃良雄，楊錦釗，「修正擬三維概念之地下水模擬」，中國土木水利工程學刊，第十一卷，第四期，819-827，民國 88 年。

31. 蔡東霖，吳俊賢，黃良雄，楊錦釗，「分層分區地層下陷模式」，中國土木水利工程學刊，第十卷，第四期，617-626，民國 87 年。

32. 蔡東霖，「大區域地下水超抽導致地層下陷模式之發展與應用」，國立交通大學博士論文，新竹，民國 90 年。

33. 蔡東霖、周文勇、張哲豪，「平行運算於地層下陷模式之應用與研究」，台灣水利，民國 91 年。

34. 張胤隆、蔡東霖、張哲豪，「考慮地層下陷之地下水優化模式之建立」，台灣水利，民國 91 年。
35. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「彰化縣北部地區排水改善檢討規劃報告」，經濟部水利署，民國 86 年。
36. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「雲林縣北部地區排水改善檢討規劃報告」，經濟部水利署，民國 86 年。
37. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「彰化縣南部地區排水改善檢討規劃報告」，經濟部水利署，民國 87 年。
38. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「雲林縣南部地區排水改善檢討規劃報告」，經濟部水利署，民國 87 年。
39. 蔡長泰等，「地層下陷區土地利用對淹水潛勢影響之研究(1/3)」，經濟部水利署，民國 90 年。
40. 蔡長泰等，「地層下陷區土地利用對淹水潛勢影響之研究(2/3)」，經濟部水利署，民國 91 年。
41. 顏榮甫、林延郎、蔡長泰，「箱式涵洞水流之流量連續性及率定曲線」，台灣水利，第 42 卷，第二期(1994)。
42. 黃良雄、賴進松、謝平城、林孟郁，「受感潮河川影響之花蓮市排水及淹水聯合模擬」，中國土木水利工程期刊，第十二卷，第四期，民國 89