

[illegible]

執行期間：民國 90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

計畫主持人：	許銘熙	Ming-Hsi Hsu
研究助理：	陳宣宏	Shiuan-Hung Chen
研究助理：	陳昌榮	Tsang-Jung Chen

- ☐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

執行單位：國立台灣大學生物環境系統工程學系
Department of Bioenvironmental Systems Engineering
National Taiwan University

中華民國 九十一年 八月 三十一 日
August 31, 2002

摘要

本研究計畫屬於「防洪示範區淹水境況模擬與決策支援系統之研究(二)」整合型計畫之子計畫二「台南科學園區排洪能力及洪災防治措施之研究」，全程計畫為期三年，目前為第二年。本研究主要模擬水流在排水系統流動及其溢流所造成地表淹水的影響。模式中將降雨所形成的地表水先流入雨水下水道系統，若有人孔溢流，則與二維漫地流模式結合，進行地表淹水演算，並考慮滯洪池對於排洪能力的影響。

本文以台南科學工業園區為研究對象，根據園區內特殊之水文、地文狀況以及排水系統及滯洪池的水流特性，建立排水及淹水模式，進行不同重現期降雨之淹水模擬。模式中包括排水系統演算、地表漫地流演算及滯洪池演算等三部分。在排水系統模式方面，利用美國環境保護署之暴雨經理模式，以模擬排水系統中水流之流況以及發生溢流點的流量歷線。二維漫地流模式主要利用二維零慣性理論，以有限差分法求解地表之淹水深及流速。滯洪池模式是求解水文連續方程式，採用雙出口型式，建立滯洪演算程序，以獲得滯洪池之出流歷線。

在第一年度的研究中，已完成都會區淹水模式的初步建立與驗證，並應用於台南科學園區 25 年、50 年及 100 年重現期降雨情況的淹水模擬，本年度則進一步檢討及改進排水及淹水模式，並以台北市中央區民國 90 年 9 月納莉颱風事件進行驗證，同時完成台南科學園區雨水下水道系統不同淤塞情形下之淹水境況模擬。研究成果並可提供於第三年度計畫，進行園區內部排洪能力及洪災防治措施之研究。

關鍵詞： 雨水下水道系統，漫地流，滯洪池，地理資訊系統，排水系統淹水模式。

Abstract

This project is the subproject-2, A Study on Drainage Ability and Flood-Damage Mitigation Measures for Tainan Science-Based Industrial Park, of the second-year of the three-year integrated project, Inundation Scenario Simulation and Decision Support System for Flood-Damage Mitigation in Pilot Areas (II). The main purpose of this study is to investigate surface inundation with the consideration of water surcharges from drainage systems. Moreover, detention pond model is taken into account to analyze the flooding areas for various return periods of flood.

Based on hydrologic and topographic conditions and hydraulic characteristics of storm systems, an inundation model will be developed and applied in the Tainan Science-Based Industrial Park. The inundation model, which combines two-dimensional overland model, detention pond simulation model and storm sewer systems model, is developed to simulate the surcharge-induced inundation in the Park. Storm Water Management Model (SWMM) is employed to solve the storm sewer flow component and to provide the surcharged flow hydrographs for surface runoff exceeding the capacity of the storm sewers. The 2-D diffusive overland-flow model considering the non-inertia equation with alternative direction explicit numerical scheme is then used to calculate the inundation zones and depths due to the surcharged water on overland surface. Detention pond model considers outlet work with rectangular orifices and weirs used for solving hydraulic equations to provide the outflow hydrographs of the detention ponds.

In the first year, the drainage and inundation models were developed based on the hydraulic characteristics of the sewerage system in the study area. The 25-, 50- and 100-year return period designed storm and topographical characteristics of the Tainan Science-Based Industrial Park were employed to

simulate the inundated extent of the study area. In the second year, the inundation model for the Tainan Science-Based Industrial Park is verified by the Typhoon Nari event in Central Taipei area in 2001. Different flooding scenarios are simulated for the Tainan Science-Based Industrial Park with different obstruction ratios of the sewer drainage systems. The simulated results can be used to examine the flood draining ability of current drainage systems and flood mitigation measures in the third year, and provide guide lines for the development of flood mitigation measures.

Keywords : Storm sewer system, Overland flow, Detention pond, Geographic Information System, Inundation model.

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	IV
圖錄.....	VI
表錄.....	VIII
第一章 緒論	1
1-1 研究背景與目的	1
1-2 過去相關研究	2
第二章 資料之蒐集與彙整	5
2-1 台南科學園區之區域特性	5
2-2 台南科學園區之排水系統	6
2-3 蒐集資料之彙整	7
第三章 研究方法	10
3-1 暴雨經理模式	10
3-2 二維漫地流模式	12
3-3 滯洪池演算模式	13
3-4 模式之演算流程	16
3-5 模式適用範圍	17
第四章 模式之驗證與應用	18
4-1 模式之驗證	18

4-2 台南科學園區淹水境況模擬.....	20
第五章 結論與後續研究	24
5-1 結論	24
5-2 後續研究	25
參考文獻	26
附圖.....	31
附表.....	57

圖錄

圖 2-1 鹽水溪流域地形及台南科學園區地理位置.....	31
圖 2-2 台南科學園區排水系統關連.....	31
圖 2-3 台南科學園區鄰近範圍主要水系及排水路分佈.....	32
圖 2-4 台南科學園區排水系統佈置.....	32
圖 2-5 台南科學工業園區各重現期降雨組體圖.....	33
圖 2-6 台南科學工業園區地形高程.....	34
圖 2-7 台南科學工業園區土地利用分區.....	34
圖 2-8 台南科學工業園區滯洪池 B 之設計平面圖.....	35
圖 2-9 台南科學工業園區滯洪池 D 之設計平面圖.....	35
圖 3-2 下水道管線入流量低於管線容量.....	37
圖 3-3 下水道管線入流量高於管線容量.....	37
圖 3-4 SWMM 幹線輸水模組 (EXTRAN) 演算流程.....	38
圖 3-5 滯洪池入流示意.....	39
圖 3-6 滯洪池邊界演算流程.....	40
圖 3-7 滯洪池出流口示意.....	41
圖 3-8 堰流及孔口流的流量係數.....	41
圖 3-9 都會區淹水模式演算流程.....	42
圖 4-1 南港雨量站納莉颱風降雨組體圖.....	43
圖 4-2 台北市中央區雨量站及徐昇氏降雨分區.....	43
圖 4-3 台北市中央區數值地形高程.....	44

圖 4-4 台北市中央區土地利用分區	44
圖 4-5 台北市中央區抽水站及主要排水人孔	45
圖 4-6 台北市中央區納莉颱風調查淹水範圍	45
圖 4-7 台北市中央區納莉颱風模擬最大淹水深度	46
圖 4-8 基隆河與大坑溪匯流處溢堤河川水位歷線	47
圖 4-9 基隆河與大坑溪匯流處溢堤流量歷線	47
圖 4-10 台鐵松山隧道出土段入口累計進水體積歷線	48
圖 4-11 捷運南港機廠入口累計進水體積歷線	48
圖 4-12 捷運昆陽站入口累計進水體積歷線	49
圖 4-13 捷運市政府站入口累計進水體積歷線	49
圖 4-18 台南科學園區下水道系統無阻塞時之淹水境況模擬	50
圖 4-19 台南科學園區 A、C 下水道系統阻塞 10%時之淹水境況模擬	51
圖 4-20 台南科學園區 A、C 下水道系統阻塞 20%時之淹水境況模擬	52
圖 4-21 台南科學園區 A、C 下水道系統阻塞 30%時之淹水境況模擬	53
圖 4-22 台南科學園區 B、D 下水道系統阻塞 10%時之淹水境況模擬	54
圖 4-23 台南科學園區 B、D 下水道系統阻塞 20%時之淹水境況模擬	55
圖 4-24 台南科學園區 B、D 下水道系統阻塞 30%時之淹水境況模擬	56

表錄

表 2-1 南科園區各集水分區資料.....	57
表 2-2 南科園區排水系統設計標準.....	57
表 2-3 南科園區整地後高程.....	57
表 2-4 南科園區內各種土地利用所佔面積比例.....	58
表 2-5 南科園區滯洪池基本資料表.....	58
表 2-6 南科園區滯洪池設計數據資料表.....	59
表 2-7 滯洪池 D 抽水機基本資料表.....	59
表 4-1 台北市中央區雨量站納莉颱風降雨量統計.....	60
表 4-2 土地利用及對應之曼寧糙度值.....	60
表 4-3 台北市中央區地下鐵路及捷運系統納莉颱風淹水體積.....	61
表 4-4 台北市中央區納莉颱風期間抽水站停機時間記錄及模擬故障時間.....	61
表 4-5 納莉颱風期間台鐵松山隧道、捷運南港機廠、昆陽站及市政府站 調查及模擬淹水深度.....	62
表 4-6 台南科學園區 A、C 排水系統不同阻塞程度 各重現期降雨境況模擬淹水面積統計.....	62
表 4-7 台南科學園區 B、D 排水系統不同阻塞程度 各重現期降雨境況模擬淹水面積統計.....	62

第一章 緒論

1-1 研究背景與目的

本計畫之研究區域為台南科學工業園區，位於台南市東北方約 12 公里之新市鄉三舍村與豐華村及善化鎮南部，原為台灣糖廠轄下之善化農場與道爺農場，其核心面積約 638 公頃。依行政院國家科學委員會初期規劃全區就業人數為 77,000 人，居住人口 5,400 人。園區內預計設置「微電子精密儀器」、「半導體」及「農業生物技術」等三個專業區，引進積體電路、電腦及週邊設備、通訊、光電、精密機械與生物技術等六大產業。目前園區內許多基本設施已陸續完工，多家高科技廠商亦已完成設廠並開始生產，未來為台灣重要高科技工業園區，亦為台灣重要的維生線之一，重要性由此可見。

台南科學園區之地勢較為低窪，若干自然排水路由於坡度平緩、泥砂淤積及通水斷面積不足等因素，故排洪成效不彰，水患經常發生。對於高密度發展、高科技、高產能之工業園區，一旦各項廠房建設完工，開始從事生產後發生水患發生，勢將對國家經濟造成嚴重影響。為避免上述情形發生，須針對園區內部排水設施之排洪能力進行分析，擬定洪災防治措施，將水患造成之衝擊降至最低。

園區內的排水系統分別流入鹽水溪及其排水路中。地形約由東北向西南傾斜，地勢東、北、西三面較高，中間較為低窪，形成一天然窪地。在南科園區開發後，地盤填高，原先可承納洪水之地區大幅縮減，因此在園區內設置有雨水下水道排水系統、滯洪池、抽水站及截流設施等，以加強園區內的排洪能力。本研究即是以台南科學工業園區為研究對象，針對雨水下水道系統、地表淹水及滯洪池之水理特性，建立一排水及淹水演算模

式，模擬當暴雨事件來臨時，排水系統的運作及地表淹水情形。

1-2 過去相關研究

本文內容主要分成雨水下水道模式、二維漫地流淹水模式及滯洪池演算模式三部分。在雨水下水道方面，Yen 與 Akan^[27]對於各種下水道演算模式做一回顧。Lager 與 Smith^[20]，Marsalek et al.^[21]，與 Huber^[11]將下水道模式應用幾個不同都市區狀況，並比較模擬值與觀測值的差異，指出暴雨經理模式 (Storm Water Management Model，簡稱 SWMM)可得到較佳的結果且提供了溢流人孔點的逕流歷線。SWMM 模式主要依據變量流理論，以一維連續方程式與動力波理論為基礎，依水流流程之特性，將模式分成地表逕流與排水幹管輸水兩部份。在國內方面，顏氏^[36]等曾成功將 SWMM 運用在台北都會區大眾捷運系統防洪排水設計上。

在二維漫地流模式方面，主要的控制方程式為動力波方程式。國外方面，Cunge^[6]曾將洪氾區依地形與地貌畫分網格，配合所發展之理想渠道、堰等概念模式，再利用一維水流理論求解各網格中心之淹水深度，並將此模式應用於湄公河三角洲低窪之洪氾平原。後來 Vongvisessomjai^[25]亦將此模式應用在曼谷地區，但此種概念模式需要較完整之水文站網與長期之記錄，方可檢定其參數值。另 Balloffet^[4]，Xanthopoulos^[26]，Katopodes^[17, 18]曾建立二維數值模式以模擬潰壩後河川或洪氾平原區水流之流況等。Aknabi 及 Katopodes^[3]在初始無水陸地的洪水傳遞，利用有限元素法求解水流前進線及淹水深。Gustafsson^[8]利用交替方向隱式法解淺水波問題，並探討臨前狀況為無水陸地之流況。Inoue^[15]等利用 stagger scheme 模擬二維洪水波傳遞動態。Garcia^[7]等發展 MacCormack scheme 應用於二維 St. Venant equation，並模擬突擴性斷面水流產生環場流 (circulation)之情形。在國內方面，顏氏^[35]等對二維非慣性波方程式做各種數值模式的比較，包括了簡

單顯示法 (simply explicit scheme, 簡稱 SES), 交替方向隱示法 (alternating direction implicit scheme, 簡稱 ADI), 連續鬆弛法 (linear successive over-relaxation scheme, 簡稱 SOR), 交替方向顯示法 (alternating direction explicit scheme, 簡稱 ADE)。文中指出, ADE 方法具有較短的執行時間。楊氏^[28]等曾利用有限元素法探討流域漫地流水理特性。吳氏^[29]建立二維漫地流淹水模式應用於八掌溪流域, 以模擬其淹水情況。許氏^[30]等將二維核胞淹水模式應用於嘉義地區, 並完成流域逕流及淹水之模擬, 以及將二維核胞淹水模式應用於八掌溪北岸進行淹水模擬, 並初步考慮一維河川水流對地表淹水之影響, 並成功的銜接一維變量流模式及核胞淹水模式, 以模擬八掌溪流域之淹水情況。另外, 許氏^[31]等結合一維河川變量流動力波模式與二維零慣性漫地流淹水模式, 將考慮水流在地表漫地流出口與河川匯流情況及抽水站與閘門操作等之交互作用, 同時可計算河川洪水及地表淹水之情況。

在滯洪池演算模式方面, 滯洪池出口一般主要可分為孔口流及堰流的出口形式。在堰流的研究上, Kindsvater 與 Carter^[19]根據試驗結果以及因次分析描述堰流的特徵。Kandaswamy 與 Rouse^[16]從試驗結果得知, 流量係數 C_d 是堰上有效水頭與堰高比值 (H/W) 的函數, 其中, H 為堰上之水頭, W 為堰高。Rajaratnam 與 Muralidhar^[22, 23]由試驗結果繪得堰上水流的壓力及速度分佈, 接著利用二維動量方程式及試驗數據推導自由跌水的流況特性。Hager^[9]利用動量及能量方程式推導出自由跌水的尾水深比值。Henderson^[10]則特別對 $10 < H/W < 20$ 的堰流問題進行討論。由前人研究得知, 堰流的 C_d 值與 H/W (or W/H) 關係是依據水面剖線、壓力及速度分佈的實驗值, 再配合半經驗理論公式, 將預測的結果與試驗值作比較。在孔口流的研究方面, Akan^[1]提出一半圖解法, 可設計在某重現期距下具有上、

下兩出水口 (上方為堰，下方為孔口)的滯洪池。Akan^[2]再提出單一出水口之半圖解法，其出水口可以是堰或者孔口出流。有關流量係數方面，Strelkoff^[24]以堰流理論為分析依據，探討水流通過矩形堰口之流量公式，並提出流量係數之經驗式。陳氏等^[32]對於圓形孔口排洪效應做一探討，流量係數會隨相對水頭之增加而有遞減之情況。黃氏^[34]以射流理論為依據，配合水槽試驗結果，提出單孔流量係數，流量係數會隨相對水頭之增加而有遞減之情況。

Chang 等^[5]將一維河川變量流動力波模式與二維零慣性波漫地流淹水模式結合演算，配合地理資訊系統資料庫，應用於台灣高鐵車站，作為車站設計洪水位計算之依據。Hsu 等^[13]結合 SWMM 都市雨水下水道模式及二維零慣性波漫地流淹水模式的演算模式，並考慮抽水站的操作，以探討都會區地表淹水模擬及抽水站操作狀況對研究範圍淹水的影響。

第二章 資料之蒐集與彙整

2-1 台南科學園區之區域特性

2-1-1 地形狀態

台南科學園區位於台南市東北方約 12 公里之新市鄉三舍村與豐華村及善化鎮南部，屬於嘉南平原中央地帶，地形相當平坦，地理位置圖如圖 2-1。地勢從東向西高程由 7.0 公尺～3.0 公尺斜降，因此灌排水路大多由東向西流，最後分別流入其所屬之集水分區。

2-1-2 氣候

台南科學園區周邊排水全年月雨量大部分集中在 5～9 月。鹽水溪流域佔全年雨量 87.1%，其中 5 月佔 11.9%，6 月佔 19%，7 月佔 19.3%，8 月佔 24.8%，9 月佔 12.1%。鹽水溪排水系統佔全年雨量 87.3%，其中 5 月佔 11.3%，6 月佔 23.2%，7 月佔 19.6%，8 月佔 23.2%，9 月佔 10%。大洲排水系統佔全年雨量 87.6%，其中 5 月佔 10.2%，6 月佔 22.8%，7 月佔 21.8%，8 月佔 22.8%，9 月佔 10%。鹽水溪流域歷年平均降雨量約為 1,644 公釐，鹽水溪排水系統歷年平均降雨量約為 1,556 公釐，大洲排水系統約為 1,742 公釐。

2-1-3 地質

台南科學園區位在台灣西南部，屬於嘉南平原之範圍，地質構造屬現代沖基層。區內之土壤大部分均屬第四紀砂岩與頁岩分解沖積而成，為粉砂、黏土、砂及壤土構成，厚度約 16 至 30 公尺。

2-2 台南科學園區之排水系統

2-2-1 流域與排水路

台南科學工業園區現有排水系統分別流入大洲排水路及鹽水溪排水路及安順寮排水路中，最後均排入鹽水溪。

大洲排水幹線長度 9.5 公里，流域面積 3,413 公頃，南科開發面積佔 128 公頃，位於流域中、下游之低窪地帶。大洲排水流域地盤高介於 3.5 公尺至 22 公尺，平均坡降約 1/500，流域中、上游為四方形，下游較為狹長，排水路右岸堤防為大洲與鹽水溪排水之分界，排水路左岸地盤較低，為此排水最易淹水之地區。

鹽水溪排水幹線長度 19 公里，流域面積 11,445 公頃，南科開發面積佔 489 公頃，位於流域上游之較高處。鹽水溪排水屬於感潮河段，感潮範圍長達 17.3 公里，流域形狀為長條形，中、上游地盤高介於 1.5 公尺至 13 公尺之間，地勢平緩，平均坡度僅 1/2,000。

安順寮排水為鹽水溪排水支流，長度為 10 公里，流域面積為 2,090 公頃。安順寮排水以東至南科園區開發邊緣以西地盤最為低窪，為此排水流域常淹水之地區。

園區北側即為安順寮排水路、中央部分為鹽水溪排水路、東南側則流入大洲排水路。其中大洲排水路及新市排水路於園區南側匯入鹽水溪，而鹽水溪排水系統則於台南市安南區之四草內海併入鹽水溪後出海。南科園區鄰近水系及排水系統關連及分佈如圖 2-2 及圖 2-3。

2-2-2 排水設施

在本研究中根據中華顧問工程司所提供之下水道系統資料，將南科園區劃分為 A、B、C、D 等四個排水系統集水區，A 排水系統流入滯洪池 A，

集水面積為 100 公頃，再流入鹽水溪排水路，B 排水系統流入滯洪池 B，集水面積為 325 公頃，再流入鹽水溪排水路，C 排水系統流入滯洪池 C，集水面積為 107 公頃，再流入安順寮排水路，D 排水系統流入滯洪池 D，集水面積為 119 公頃，再流入大洲排水路，滯洪池設計容量採重現期 50 年之一日暴雨入流量，而其設計出口流量則是採重現期 10 年之洪峰流量，詳細資料如表 2-1。

南科園區的排水設施佈置如圖 2-4，排水系統之設計標準如表 2-2。園區內的排水幹線設計保護基準幹線採重現期 25 年之洪峰流量，總長度約為 15,839 m，箱涵人孔數 337 個，支線及路邊蒐集系統截流設施採重現期 10 年之洪峰流量為設計標準，總長度約為 9,209 m，箱涵人孔數 211 個。

2-3 蒐集資料之彙整

2-3-1 雨型資料

依據交替區塊法 (Alternating Block Method)及頻率分析 (Frequency Analysis)，分別推算重現期 25 年及 100 年之設計雨型^[37]。重現期距 25 年 24 小時內的總降雨量為 404 mm，尖峰降雨強度為 183 mm/hr，50 年 24 小時內的總降雨量為 434 mm，尖峰降雨強度為 198 mm/hr，而 100 年 24 小時內的總降雨量為 550 mm，尖峰降雨強度為 250 mm/hr。重現期距 25 年、50 年及 100 年之降雨組體圖如圖 2-5。

2-3-2 地形資料

地形高程及土地利用資料係採用中華顧問工程司所提供之資料^[39]。本文採用小格網之數值模擬，同時考慮地形之幾何與屬性資料，包括台南科學園區地形圖、河川流域圖、區域排水系統調查圖、雨水下水道系統圖等，引用地理資訊系統 (Geographic Information System，簡稱 GIS)之技術，建

立地理資料庫。在地理資料庫中，建立 20 公尺 × 20 公尺之數值網格資料。

2-3-3 整地及土地利用資料

在南科園區整地之前，鹽水溪排水路上游及新市鄉附近為一廣大低窪平地，高程約在 3~4.5 公尺之間，而園區東側大洲排水線以東地勢稍高，約在 5.0~7.0 公尺之間，大洲排水在園區東側或南北定向，南側下游附近高程在 4.0~5.5 公尺之間，園區北側地勢則較為均勻，高程約在 5.5~6.5 公尺之間，整體而言，園區地勢除東側地區外大致平坦，並無顯著之落差。在整地之後，園區西北側臨安順寮排水線附近佈設滯洪池 C，周圍整地高程約為 6.0 公尺，由此向東北方向以 0.1~0.2%坡度逐漸填高至邊界約為 7.0 公尺。園區西側佈設面積約 15 公頃之滯洪池 B，附近整地高程約 5.5 公尺，由此向東側以約 0.1~0.2%漸昇填土至邊界及鄰大洲排水，高程約在 6.5 公尺。大洲排水路以東地區，整地填土高約為 8.5~9.0 公尺。園區東南側佈設一處滯洪池 D，附近整地高程約為 6.0 ~6.5 公尺。整地之高程如表 2-3 及圖 2-6。

由於不同的土地利用型態會有不同的曼寧 n 值，因此本文根據中華顧問工程司^[38]提供之資料，將網格劃分為工業用地、綠地、道路及住宅區等，並依照其利用型態來決定其曼寧 n 值。各土地利用所佔面積及百分比如表 2-4 及圖 2-7。

2-3-4 滯洪池資料

園區內設有四個滯洪池，以攔蓄洪水降低洪峰流量及延後洪水到達下游的時間。滯洪池排水路係以側渠溢洪道之設計方式，於滯洪池邊設置一洩洪排水路 (side-channel)，使超出側渠高程之流量流入滯洪池中以確保其出流量不高於下游容許排洪量。圖 2-8 為滯洪池 B 平面示意圖，西邊為一鋸齒型溢洪道，作為緊急洩洪之用。

目前滯洪池的容量是以 50 年重現期距為標準，滯洪池 A 之面積為 5.0 公頃，調洪容量 133,600 立方公尺，排水面積為 94.47 公頃，在防汛期間，滯洪池的水深保持在低水位以下（即孔口箱涵底高），水位為 1.2 公尺，水由洩洪排水路經北五間厝小排匯入鹽水溪排水路；滯洪池 B 之面積為 15 公頃，調洪容量 439,400 立方公尺，排水面積為 287.56 公頃，在防汛期間，滯洪池的水位為 1.2 公尺，水由洩洪排水路經北五間厝中排匯入鹽水溪排水路；滯洪池 C 之面積為 5.0 公頃，調洪容量 169,100 立方公尺，排水面積為 107.11 公頃，在防汛期間，滯洪池的水位為 2.2 公尺，水由洩洪排水路接下游安順寮排水路；滯洪池 D 之面積為 20.0 公頃，調洪容量 300,000 立方公尺，排水面積為 250 公頃，在防汛期間，滯洪池的水位為 1.5 公尺，滯洪池 D 利用永久抽水站抽排池內積水，於非豪雨期間，當池內水位高於大洲排水水深時，則利用永久抽水站旁之重力水路排除。

就滯洪池的出口型式而言，A、B、C 三個滯洪池同樣是上、下方各有一出口，上方為銳緣堰出流型式，而下方為正方形孔口出流型式，其基本資料及數據資料表分別見表 2-5，2-6。滯洪池 D 則是具備有抽水站，排出池內的積水。圖 2-9 為滯洪池 D 之設計平面圖^[39]。

2-3-5 抽水站資料

在園區內設置有一永久性抽水站，配置於滯洪池 D 之東北角，為四部 5.0 cms 之防洪抽水站。當水位達到 2.7 公尺時，啟動兩部抽水機，容量為 10.0 cms，停抽水位為 2.5 公尺；當水位達到 2.95 公尺時，再啟動一部抽水機，容量總共為 15.0 cms，停抽水位為 2.7 公尺；當水位達到 3.2 公尺時，再啟動 1 部抽水機，容量總共為 20.0 cms，停抽水位為 2.95 公尺，其基本資料如表 2-7^[39]。

第三章 研究方法

本研究在第一年度曾就國內外暴雨淹水模式進行比較，包括丹麥 DHI 公司的 MOUSE 水理模式、美國科羅拉多大學的 FLO-2D 模式及國內的都會區淹水模式，評估結果認為國內都會區淹水模式針對都市地區見之排水設施所發展之模式，結合美國環保署之暴雨經理模式 (Storm Water Management Model, SWMM)、二維漫地流模式，同時考慮雨水下水道、抽水站系統及滯洪池水理演算，可完整模擬台南科學園區內各項排水設施之排洪功能，因此本年度淹水境況模擬即採用都會區淹水模式進行分析，其模式相關理論分述如下。

3-1 暴雨經理模式

暴雨經理模式 (SWMM) 包含許多部模組，常運用在水質的模擬。在本研究中是採用 RUNOFF 及 EXTRAN 兩模組。其中 RUNOFF 是在計算水文模擬演算，而 EXTRAN 則是計算下水道管流的部分。依據變量流理論，以一維連續方程式與動力波理論為基礎，依水流流程之特性，將模式分成地表逕流 (RUNOFF) 與排水幹管輸水 (EXTRAN) 兩部份。

3-1-1 地表逕流

地表逕流是模擬雨滴降落地面後，進入各排水幹道前之漫地流現象。當雨水降落後，如其強度超過地表入滲量，則地面凹陷處開始積水，積水達窪蓄飽和容量時，水便溢出而成為漫地流。在漫地流現象中，包括了降雨量及入滲量等。其模擬方式是經由動力波逕流演算，計算匯入排水人孔之水流流量歷線。其演算流程如圖 3-1。

3-1-2 幹線輸水

雨水降落地面形成漫地流，經由側溝匯集進入人孔後，導入幹線中，

利用疊代法求解動力波方程式，計算各排水幹管系統之流量以及各人孔處可能之溢流量。

為求得流速及水深，可利用下兩式求之：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3-3-1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (3-3-2)$$

式中， Q ：下水道管線之流量[cms]

V ：斷面之平均速度[m/sec]

t ：時間座標[sec]

x ：沿流動方向之空間座標

h ：水深[m]

g ：重力加速度[m/s²]

R ：水力半徑[m]

S_0 ：渠底之縱向坡度

S_f ：能量坡降，可利用曼寧公式計算， $S_f = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}}$

n ：曼寧糙度值[m^{1/6}]

方程式 (3-3-1)及 (3-3-2)是假設無側流量下，一維緩變量流之連續方程式及動量方程式。

為避免因複雜之水力演算而耗用大量的計算時間，SWMM 逕流模式

忽略局部加速度 $\frac{\partial V}{\partial t}$ 之影響，則方程式可變為：

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} (S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x})^{1/2} \quad (3-3-3)$$

若上游之總入流量大於下游管線之滿管流量，則有溢流量溢出，若定義溢流量為 $Q_s = Q_{in} - Q_f$ ，其中 Q_{in} 是上游管線的總入流量， Q_f 是下游管線設

計的滿管流量，亦即 $Q_f = \frac{1}{n_c} A_f R_f^{2/3} S_{fc}^{1/2}$ ，其中 n_c = 管線的曼寧糙度， A_f = 管線的截面積， R_f = 滿管流的水力半徑， S_{fc} = 管線的摩擦坡降。一般情況，總入流量 Q_{in} 不超過設計出流量 Q_f （參見圖 3-2），則管中的流量為 $Q_c = Q_{in}$ ，經由下游管線排出而不發生溢流。假如 $Q_{in} > Q_f$ （參見圖 3-3），只有部分的流量 $Q_c = Q_f$ 會由下游管線排出，其餘超出設計容量的流量 $Q_s = Q_{in} - Q_f$ 會由人孔溢流至地表。

經由 SWMM 可以得到溢流人孔點的逕流歷線，但是無法得到詳細的淹水區域及淹水深度。因此，若能將 SWMM 與二維漫地流模式結合則可以解決前述問題。其演算流程如圖 3-4。

3-2 二維漫地流模式

對於一般之漫地流而言，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：

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = q_s \quad (3-3-4)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial x} = S_{fx} + \frac{q_s u}{dg} \quad (3-3-5)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial y} = S_{fy} + \frac{q_s v}{dg} \quad (3-3-6)$$

式中，
 x, y : 模擬地模擬區標示之迪卡兒空間座標[m]
 t : 時間座標[sec]

d : 模擬區地表水深[m]

u, v : 分別為沿 x, y 方向之平均流速[m/s]

S_{fx} : 沿 x 方向之能量坡降 , $S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{d^{4/3}}$

S_{fy} : 沿 y 方向之能量坡降 , $S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{d^{4/3}}$

n : 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/s²]

q_s : 單位網格面積人孔溢出的流量[m/s]

$$q_s = \frac{Q_s}{A_r} , A_r \text{ 為人孔溢流所分配之面積[m}^2\text{]}$$

Q_s 是經由 SWMM 計算所得的人孔溢流量；(3-3-4)式為連續方程式，(3-3-5)式、(3-3-6)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 (3-3-4)、(3-3-5)及 (3-3-6)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。

暴雨經理模式 (SWMM)與二維漫地流模式結合之流程係以降雨量輸入 SWMM 中之地表逕流 (RUNOFF)模組，可得到地表面的逕流歷線，再由幹線輸水 (EXTRAN)模組進行管線中水流運算。當管線中 $Q_{in} > Q_f$ 時，由人孔溢出之溢流量 Q_s 即成為二維漫地流模式的輸入值，經二維漫地流模式演算後即可得模擬區域的淹水情況及淹水深度。

3-3 滯洪池演算模式

滯洪池之演算採用水文方程式 (Hydrologic Equation)為依據，忽略蒸發量及池底為不透水構造而無入滲損失之情況下，其基本方程式如下：

$$\frac{dS}{dt} = Q_i(t) - Q_o(t) \quad (3-3-7)$$

式中， S : 滯洪池儲水量[m³]

t : 時間[sec]

Q_i : 滯洪池流入量[m³/s]

Q_o : 滯洪池流出量[m³/s]

3-3-1 滯洪池入流量 (Q_i)

滯洪池的入流量的來源有兩部分，一為雨水下水道管線出口排入滯洪池中 Q_{mi} ，另一來源為漫地流流入 Q_{ni} ，亦即

$$Q_i = Q_{mi} + Q_{ni} \quad (3-3-8)$$

在漫地流流入滯洪池的部分即為二維漫地流模式與滯洪池模式的銜接，其示意圖如圖 3-5 (a)、(b)。設漫地流流入之滯洪池的周長為 L ，則

$$Q_{ni} = \int_0^L q_{ni} dl \quad (3-3-9)$$

式中 q_{ni} 為單位長度之漫地流入流量。地表水經二維漫地流模式演算至滯洪池邊界時，當池內、外水位相差過大，如圖 3-5 (c)，假設在邊界處產生臨界水深，因此採用臨界流流量公式，如下：

$$q_{ni} = \mu_1 \sqrt{g} \cdot (H_H - Z_w)^{3/2} \quad (3-3-10)$$

式中， q_{ni} : 滯洪池邊界單位長度的流量[m²/s]

μ_1 : 流量係數，其值介於 0.6~0.9 之間

H_H : 滯洪池內外水位中較高之水位[m]

Z_w : 滯洪池周圍地表高程[m]

(3-3-10)式適用於三分之二的池外水位減堰底高程大於池內水位減堰底高程，或三分之二的池內水位減堰底高程大於池外水位減堰底高程，亦

即 $(H_L - Z_w) < \frac{2}{3}(H_H - Z_w)$ 的情況。

若池內、外水位相差不多，如圖 3-5 (d)，則由水位差來決定流量的大小及方向，其流量公式如下：

$$q_{ni} = \mu_2 \sqrt{g} (H_L - Z_w) (H_H - H_L)^{1/2} \quad (3-3-11)$$

式中， μ_2 ：流量係數，其值介於 2.2~3.3 之間

H_H ：堰內外水位中較高之水位[m]

H_L ：堰內外水位中較低之水位[m]

(3-3-11)式適用於三分之二的池外水位減堰底高程小於或等於池內水位減堰底高程，或三分之二的池內水位減堰底高程小於或等於池外水位減堰底高程，亦即 $(H_L - Z_w) \geq \frac{2}{3}(H_H - Z_w)$ 的情況。

若地表水位高於滯洪池內的水位，則交界處單位寬度的流量 q_{ni} 為正值，表示水流由地表流進滯洪池內，反之， q_{ni} 為負值，表示水流由滯洪池內流到地表。

經過此流量公式的演算之後，可得到邊界流量，再將此流量值更新二維漫地流模式的邊界條件（亦即滯洪池邊界），其流程如圖 3-6。

3-3-2 滯洪池出流量 (Q_o)

滯洪池出流口的型式如圖 3-7，上、下方出流口分別為堰流與孔口流，其中 h 為孔口中心線所量測起之高度，而 h_w 為孔口與堰流口間之垂直高度。所以滯洪池的總出流量為：

$$Q_o = Q_{ori} + Q_{weir} \quad (3-3-12)$$

式中， Q_o ：滯洪池的總出流量[m³/s]

Q_{ori} ：經由孔口所洩出之流量[m³/s]

Q_{weir} ：經由堰所洩出之流量[m³/s]

當水位高度小於堰口之垂直高度，亦即 $h \leq h_w$ 時，且為滿管的情況下，洪水僅由下方孔口洩出，其出流的流量公式如下：

$$Q_{ori} = C_o \sqrt{2g} A_o \cdot h^{0.5} \quad (3-3-13)$$

$$Q_{weir} = 0 \quad (3-3-14)$$

式中，
 C_o ：孔口流流量係數
 g ：重力加速度[m/s²]
 A_o ：孔口面積[m²]
 h ：滯洪池水位[m]

但當其水位低於孔口時，將高估水流斷面積及低估水深，故對水位低於孔口頂部之孔口出流量應修正 (3-3-13)式為：

$$Q_{ori} = C_o \frac{2}{3} \sqrt{2g} w \cdot \left(\frac{h}{D} \right) h^{1.5} \quad (3-3-15)$$

式中，
 w ：孔口寬度[m]
 D ：孔口高度[m]

當水位高於堰底時，會以孔口及堰同時出流，其出流量如下：

$$Q_{ori} = C_o \sqrt{2g} A_o \cdot h^{0.5} \quad (3-3-16)$$

$$Q_{weir} = C_w \frac{2}{3} \sqrt{2g} w_w \cdot (h - h_w)^{1.5} \quad (3-3-17)$$

式中，
 C_w ：堰流流量係數
 w_w ：堰寬[m]
 h_w ：孔口至堰底的高度[m]

3-4 模式之演算流程

在本研究中先利用 SWMM 計算雨水下水道系統的水流狀況，溢流入孔的流量成為二維漫地流模式的輸入值，同時逐時演算滯洪池模式，最後得到地表的淹水深及滯洪池的出流量，整體演算流程如圖 3-8。

3-5 模式適用範圍

都會區淹水模式結合了雨水下水道系統模式及二維漫地流模式，將降雨所形成的地表水先流入雨水下水道系統，若有人孔溢流，則與二維漫地流模式結合，進行地表淹水演算，並考慮抽水站、截流設施及滯洪池對於排洪能力的影響。

第四章 模式之驗證與應用

4-1 模式之驗證

由於目前台南科學園區的各項排水整地工程尚在進行施工，因此無適當的驗證事件。本研究第一年度曾以鹽水溪流域民國 77 年 8 月 14 日暴雨事件及台北中央區於民國 87 年 10 月的瑞伯颱風事件進行模式驗證，本年度則以台北市中央區民國 90 年 9 月的納莉颱風事件，進一步驗證模式的適用性。

4-1-1 背景說明

民國 90 年 9 月納莉颱風侵襲台灣，造成台北市區嚴重災情，遭洪水淹沒的地下室多達數千處，其中，捷運及地下鐵兩大交通系統亦遭洪水灌入，捷運因此中斷營運數十日，損失慘重可謂空前。本研究就納莉颱風降雨最大期間（16 日 12 時至 17 日 23 時）在台北市中央區所造成之淹水情況加以模擬，以進行模式驗證，降雨採用中央氣象局及水利處於此期間有完整記錄之雨量站資料，共計十座雨量站，分別為士林、三重、台北、中正橋、永和、木柵、信義、南港、大直及內湖。各雨量站之降雨統計資料如表 4-1 所示，其中，南港站於 9 月 17 日上午 6 時至 7 時之小時降雨強度 105 mm/h 為各雨量站記錄之冠，9 月 16 日 12 時至 9 月 17 日 23 時之總雨量 787 mm，亦為十座雨量站記錄中之最高，其降雨組體圖如圖 4-1 所示。為簡化模式資料輸入，本研究根據雨量站位置以徐昇氏法進行降雨分區，如圖 4-2 所示。

地形資料採用國立中央大學太空及遙測中心提供精度 40 公尺 x 40 公尺網格之數值地形高程資料，如圖 4-3 所示，曼寧糙度值及建蔽率等相關參數，經使用地理資訊系統將網格與圖 4-4 的土地利用分區資料加以套疊，由各格點所在區域之土地利用狀況決定之，本研究採用之曼寧糙度值，

如表 4-2 所示。下水道管線資料包括主要排水幹線資料則由中華顧問工程公司提供，區內共計 1,141 個主要人孔節點（圖 4-5），並經由地理資訊系統，根據人孔座標建立二維地表與下水道銜接對應之位置關係。

圖 4-6 為台北市政府於納莉颱風過後調查之淹水範圍^[40, 44]，圖中顯示受到基隆河與大坑溪匯流處溢堤之影響，南港、松山等區均發生嚴重積水，區內南港、成功及玉成等三座抽水站遭洪水淹沒而故障，另外，濱江與萬芳抽水站亦因超大降雨量造成內水淹水而於颱風期間故障，抽水站無法發揮應有之排洪功能，淹水情況因而加劇，洪水更從台鐵松山隧道出土段、捷運南港機廠、昆陽站與市政府站灌入地下鐵及捷運系統，北市兩大交通動脈嚴重受創。經由事後抽水量推估^[40, 41, 42]，由台鐵松山隧道出土段進水體積約 101.15 萬立方公尺，其中 22.15 萬立方公尺從台北車站流入捷運新店線系統，餘 79.0 萬立方公尺則分佈於台鐵松山站至萬華間；由捷運南港機廠與昆陽站等入口流入捷運板南線系統的水量約 39 萬立方公尺，進水體積及進水地點如表 4-3 所示。

4-1-2 模擬結果與討論

圖 4-7 為模式所模擬淹水結果，與圖 4-5 之淹水調查範圍相較，本模式之模擬已可反映出此次風災主要淹水範圍。模擬所得之基隆河與大坑溪匯流溢堤處河川水位與溢堤流量歷線，則分別如圖 4-8 與 4-9 所示，結果顯示，最高水位約為 12.0 m，此一結果略低於現場調查之洪痕線高程 12.5 m^[40]；在溢堤情況方面，受基隆河水位高漲之影響，自 17 日 3 時起有大量洪水由基隆河溢淹至市區內，尖峰流量達 350 m³/s，加上南港、成功、濱江與玉成等抽水站相繼故障的雙重影響，使得市區發生嚴重積水。表 4-4 為模擬所得各抽水站故障時間與實際故障時間記錄之比較，由表中可知，模擬結果與實際情形相當吻合。

模擬淹水深度在台鐵松山隧道出土段入口達 1.3 m，捷運南港機廠及昆陽站出入口更達 2.0 m，市政府站出入口則達 1.0 m，與實際淹水調查記錄比較於表 4-5，由於淹水深度超出防洪保護設施設計標準，造成大量洪水灌入台鐵松山隧道及捷運板南線，其進水體積歷線分別如圖 4-10 至圖 4-13 所示。台鐵松山站至萬華站間長度約 9.75 公里，地下隧道單孔平均寬度 10.5 m，淨高 6.6 m^[45]，則由此算得之隧道體積約 135 萬立方公尺，模式模擬所得台鐵松山隧道出土段入口累積進水體積約 95 萬立方公尺，與由事後抽水量所推估之 101.15 萬立方公尺接近，捷運南港線全長 10.3 公里，潛盾隧道斷面內徑 5.6 m^[46]，由此推估之隧道體積約為 50 萬立方公尺，模擬結果顯示，捷運南港機廠、昆陽站與市政府站分別進水 38.4、1.4 及 0.8 萬立方公尺，合計 40.6 萬立方公尺 亦接近推估之 39.0 萬立方公尺。

4-2 台南科學園區淹水境況模擬

本研究於第一年度完成台南科學園區下水道排水系統無阻塞情況之淹水模擬，結果如圖 4-14 所示，圖中顯示，在 25 年重現期降雨條件下，B 排水系統上游支線因設計流量較小而發生人孔溢流情形，A、C 排水系統上游亦有零星人孔溢流，造成溢流人孔附近區域淹水情形，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 6.0 公頃，由於深度多在 30 公分以下，故淹水範圍沿道路系統分佈。在 50 年重現期降雨情形下，主要淹水之區域仍集中在 B 排水系統上游，但 A、C 排水系統上游人孔溢流亦明顯增加，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 15.6 公頃。在 100 年重現期降雨條件下，各排水系統上游因通水容量較小而普遍發生淹水情形，淹水範圍大幅增加，B、C 排水系統部分區域淹水深度達 30 公分以上，淹水範圍開始越過路緣而漫延至廠房基地，總計淹水深度高於 15 公分之面積有 40.0 公頃。

由於台南科學園區主要仰賴下水道排水系統排除降雨逕流，下水道系統在長期使用後，往往容易發生淤塞情形，為了解下水道阻塞情形對園區排水的影響，因此本年度針對台南科學園區不同下水道阻塞程度進行淹水境況模擬，以做為下一年度進行洪災防治措施擬訂參考。本研究將台南科學園區內四個排水系統區分為二組，各組分別包含兩個不相鄰的排水系統，即 A 與 C 為第一組，B 與 D 則為第二組，針對各組排水系統管線阻塞 10%、20%及 30%等情形進行模擬，以探討排水系統阻塞與地表淹水間的關係。

4-2-1 A、C 排水系統阻塞

圖 4-15 為 A、C 排水系統管線阻塞 10%情形下的淹水模擬結果，與圖 4-14 比較可發現，在 25 年重現期降雨條件下，僅園區北側 C 排水系統上游支線之淹水範圍較管線未阻塞時略為增加，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 6.4 公頃。在 50 年重現期降雨情形下，則 A 排水系統上游區域亦開始較管線未阻塞時有增加的趨勢，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 18.1 公頃。在 100 年重現期降雨條件下，淹水區域持續較管線未阻塞時增加，A 排水系統並發生淹水深度超過 30 公分情形，總計淹水深度高於 15 公分之面積有 44.3 公頃。

圖 4-16 為 A、C 排水系統管線阻塞 20%情形下的淹水模擬結果，與圖 4-14 及圖 4-15 比較可發現，在 25 年重現期降雨條件下，C 排水系統上游受管線阻塞程度增加影響，淹水深度及範圍繼續擴大，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 7.8 公頃。在 50 年重現期降雨情形下，則 A 排水系統阻塞造成的淹水範圍不僅增加，並且開始往北擴及 B 排水系統的集水區，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 24.0 公頃。在 100 年重現期降雨條件下，深度高於 15 公分之淹水面積則進一步增加至 48.2 公頃。

圖 4-17 為 A、C 排水系統管線阻塞 30%情形下的淹水模擬結果，與圖 4-14 至圖 4-16 比較可發現，在 25 年重現期降雨條件下，A、C 排水系統上游均受管線阻塞程度增加而有較大淹水範圍，總計深度 15 公分以上的淹水面積為 12.2 公頃。在 50 年重現期降雨情形下，A 排水系統便有淹水深度超過 30 公分的情形，並且往北擴及 B 排水系統的集水區，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 27.2 公頃，幾乎為管線未阻塞時淹水面積的二倍。在 100 年重現期降雨情況下，淹水深度達 15 公分以上的面積則進一步增加至 53.6 公頃。表 4-7 為 A、C 排水系統不同阻塞程度的各重現期降雨境況模擬之淹水面積統計。

4-2-2 B、D 排水系統阻塞

圖 4-18 為 B、D 排水系統管線阻塞 10%情形下的淹水模擬結果，與圖 4-14 比較可發現，在 25 年重現期降雨條件下，B 排水系統沿線淹水情形即明顯較管線未阻塞時增加，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 12.1 公頃。在 50 年重現期降雨情形下，B 排水系統沿線淹水情況仍較管線未阻塞時為大，但其差異程度不似 25 年重現期降雨條件下的差異程度那般明顯，D 排水系統區域淹水情形則仍無明顯改變，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 19.4 公頃。在 100 年重現期降雨條件下，淹水區域仍受 B 排水系統阻塞影響而增加，總計淹水深度高於 15 公分之面積有 47.0 公頃。

圖 4-19 為 B、D 排水系統管線阻塞 20%情形下的淹水模擬結果，與圖 4-14 及圖 4-18 比較可發現，在 25 年重現期降雨條件下，B 排水系統上游受管線阻塞程度增加影響，淹水深度及範圍繼續擴大，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 14.5 公頃。在 50 年重現期降雨情形下，開始有超過 30 公分以上的淹水情形，並擴及 A 滯洪池北方區域，總計淹水深度達 15 公分以上面積為 29.2 公頃。在 100 年重現期降雨條件下，不僅淹水深度超過 30

公分以上面積明顯增加，多處廠房基地更出現大面積淹水，總計深度達 15 公分之淹水面積為 59.5 公頃。

圖 4-20 為 B、D 排水系統管線阻塞 30%情形下的淹水模擬結果，與圖 4-14、圖 4-18 及圖 4-19 比較可發現，在 25 年重現期降雨條件下，受 B 排水系統管線阻塞影響，深度達 15 公分的淹水面積為 23.1 公頃，已遠超過管線未阻塞時，50 年重現期降雨條件下的淹水面積。在 50 年重現期降雨情形下，則淹水深度達 15 公分的面積為 38.8 公頃，幾乎接近管線未阻塞時 100 年重現期降雨條件下的淹水面積。在 100 年重現期降雨情況下，B 排水系統阻塞造成的淹水情形繼續加劇，但 D 排水系統區域幾乎仍未有明顯改變，總計深度達 15 公分以上的淹水面積為 70.3 公頃。表 4-8 為 B、D 排水系統不同阻塞程度的各重現期降雨境況模擬之淹水面積統計。

第五章 結論與後續研究

5-1 結論

- (1) 本研究主要針對排水系統的操作對於地表淹水的影響進行模擬。降雨所形成的地表水先進入雨水下水道系統，若有人孔溢流，則與二維漫地流模式結合，進行地表淹水演算，並將滯洪池及抽水站對於排洪能力的影響納入考量。根據第一年度國內外不同暴雨淹水模式的比較評估結果，本年度採用都會區淹水模式進行後續研究。
- (2) 都會區淹水模式結合暴雨經理模式 SWMM、二維漫地流模式及滯洪池演算模式，適用於同時具有雨水下水道系統及滯洪池的台南科學園區，第一年度曾以鹽水溪流域民國 77 年 8 月 14 日的暴雨事件及台北市中央區民國 87 年 10 月 15 日瑞伯颱風事件進行模式驗證。本年度則更進一步採用台北市中央區民國 90 年 9 月納莉颱風事件進行，由淹水範圍、深度、抽水站操作狀況及地下設施淹水體積等多方面比較，均顯示模式具有良好的精度，可精確都會區暴雨事件的淹水情形。
- (3) 本研究第一年度曾針對台南科學園區排水系統無淤塞情形，分別進行重現期 25 年、50 年及 100 年三種重現期降雨之演算，獲得園區內暴雨淹水潛勢。本年度繼續考慮排水系統不同阻塞情形，進行各重現期的淹水境況模擬。
- (4) 由研究結果顯示，B 排水系統的集水面積為各排水系統中最大，一旦發生淤塞情形，將對園區內淹水情形有最顯著的影響，其次則為 C 排水系統及 A 排水系統，D 排水系統的阻塞，則對於園區

內淹水情形無明顯的影響。

- (5) 在 25 年重現期降雨情況下，若 B 排水系統阻塞 10%，將使淹水面積增加至無阻塞時的 2 倍，若 A、C 排水系統阻塞 10%，則淹水面積僅略為增加 6.7%。若 B 排水系統阻塞率持續上升至 30%，則淹水面積將接近無阻塞時的 4 倍，若 A、C 排水系統阻塞 30%，則淹水面積亦可達無阻塞時的 2 倍。
- (6) 在 100 年重現期降雨條件下，排水系統無淤塞時的淹水面積即達 40 公頃，管線阻塞造成淹水面積增加的相對比例，雖不若 25 年重現期降雨時的大幅度，但不可小覷，若 B 排水系統阻塞率 30%，造成淹水面積仍可達無阻塞時的 1.75 倍，總面積達 70.3 公頃，若 A、C 排水系統阻塞 30%，則淹水面積亦可達無阻塞時的 1.34 倍，為 53.6 公頃。淹水範圍擴大造成多處廠區基地大面積淹水情形增加，將對園區生產造成嚴重的衝擊。

5-2 後續研究

- (1) 第三年度工作除持續加強模式功能研發，並蒐集更多台南科學園區相關資料以提昇模擬的完整性及精度，並將根據本年度研究成果擬訂台南科學園區洪災防治措施，以增加園區在洪災發生時應變能力，降低洪災造成的損失及衝擊。
- (2) 研究成果可與其他子計畫進行交流整合，包括洪災損害評估模式的建立以及防洪決策支援系統，完成整體計畫之推動目標。

參考文獻

1. Akan, A.O. (1989), "Detention Pond Sizing for Multiple Return Period", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 5, pp.650-664.
2. Akan, A.O. (1990), "Single-Outlet Detention-Pond Analysis and Design", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 116, No.4, pp.527-536.
3. Aknabi A. A. & Katopodes N. D. (1988), "Model for Flood Propagation on Initially Dry Land", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, pp.689-705.
4. Balloffet, A. & Scheffler, M. L. (1982), "Numerical Analysis of the Teton Dam Failure Flood", Journal of Hydraulic Research, ASCE, Vol. 20, pp.317-428.
5. Chang, T. J. Hsu, M. H. Teng, W. S. and Huang, C. J. (2000) "A GIS-Assisted Distribution Watershed Model for Simulation Flood and Inundation", Journal of the American Water Resources Association, Vol. 36, No. 5, 975-988.
6. Cunge. J. A., Holly. F. M., and Verwey. A. (1980), "Practical Aspects of Computational River Hydraulics", Pitman Publishing Ltd., London.
7. Garcia R. & Kahawata R. A. (1986), "Numerical Solution of the St. Venant Equations with the MacCormack Finite-Difference Scheme", International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 6, pp.259-274.
8. Gustafsson B. (1971), "An Alternating Direction Implicit Method for Solving the Shallow Water Equations", Journal of the Computational Physics, No. 7, pp.239-254.
9. Hager, W. H. (1983), "Hydraulics of Plane Free Overfall", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 12, Dec., pp.1683-1697.
10. Henderson, F. M. (1966), Open Channel Flow, Macmillan Co., New York,

N.Y.

11. Huber, W. C., (1975) Model for Storm Water Strategies. APWA Reporter.
12. Huber, W.C., Dickinson, R.E., (1988). "Storm Water Model. User's Manual Ver. IV", US Environmental Protection Agency.
13. Hsu, M. H. Chen, S. H. and Chang, T. J. (2000) "Inundation Simulation for Urban Drainage Basin with Storm Sewer System", Journal of Hydrology, Vol. 234, No. 1-2, 21-37.
14. Hunter R. (1946) Elementary Mechanics of Fluids, New York : John Wiley & Sons, Inc.
15. Inoue K., Iwasa Y. & Matsuo N. (1987) "Numerical Analysis of Two Dimensional Free Surface Flow by Means of Finite Difference Method and Its Application to Practical Problems", Proceedings of ROC-Japan Joint Seminar on Water Resources Engineering, Taipei, R. O. C.
16. Kandaswamy, P.K., and Rouse, H. (1957), "Characteristics of Flow Over Terminal Weirs and Sills", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 83, No. 4, Aug., pp. 1-13.
17. Katopodes, N. D., & Strelkoff, T. (1978), "Computing Two Dimension Dam-Break Flow Wave", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 104
18. Katopodes, N. D., & Strelkoff, T. (1979), "Two-Dimensional Shallow Water-Wave Models", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.105, No, EM2, pp.317-434.
19. Kindsvater, C. E., and Carter, R. W. (1957), "Discharge Characteristics of Rectangular Thin-Plate Weirs", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 83, No.6, pp. 1-36.
20. Lager, J. A. and Smith, W. G., (1974) Urban Stormwater Management and Technology – An Assessment. U.S. EPA Report, EPA-67012-74-040.
21. Marsalek, J., Dick, T. M., Wisner, P. E., and Clarke, W. G., (1975)

- "Comparative Evaluation of Three Urban Runoff Models", Water Resources Bulletin, AWRA, 11 (2).
22. Rajaratnam, N., and Muralidhar, D. (1968), "Characteristics of the Rectangular Free Overfall", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.6, No. 3, pp. 233-258.
 23. Rajaratnam, N., and Muralidhar, D. (1971), "Pressure and Velocity Distribution for Sharp-Crested Weirs", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.9, No. 2, pp. 241-248.
 24. Strelkoff, T. S. (1964) "Solutions of Highly Curvilinear Gravity Flows", Journal of Engg. Mech. Div. Proc., ASCE, Vol. 90, pp.195-219.
 25. Vongvisessomjai, S., Tingsanchali, T., & Chaiwat, C. (1985), "Bangkok Flood Plain Model", 21st IAHR Congress, Melbourne, Australia, 19-23 pp.433-488.
 26. Xanthopoulos, T. & Koutitas, C. (1976), "Numerical Simulation of Two-Dimensional Flood Wave Propagation due to Dam Failure", Journal of Hydraulic Research, Vol. 14, pp.321-331.
 27. Yen, B. C. and Akan, A. O. (1999) Hydraulic Design of Urban Drainage Systems. In: L. W. Mays (Eds.), Hydraulic Design Handbook, McGraw-Hill Inc., New York.
 28. 沈榮茂,楊德良 (1992),「流域之漫地流有限元素模式及穩定度分析之研究」,第六屆水利工程研討會論文集,新竹市,pp.82-93
 29. 吳啟瑞 (1993),「八掌溪流域之淹水模擬」,國立台灣大學農業工程研究所碩士論文.
 30. 許銘熙,鄧慰先,黃成甲 (1996),「嘉義地區逕流及淹水模式之研究 (四)」,台灣省水利局.
 31. 許銘熙,鄧慰先,盧重任,黃成甲,葉森海 (1998),「抽水站與閘門操作對都會區淹水影響之研究 (一)」,行政院國科會,台北市.

32. 陳正炎、藍令財、宋爾寧 (1996)「山地河川中圓孔式滯洪壩排洪流量公式之研究」,第八屆水利工程研討會,pp.271-278.
33. 陳增壽,張倉榮,鄧慰先,陳宣宏,陳春宏,李昌益 (2000),「台北都會區淹水區域預測之研究 (III),子計畫七:台北市中央區洪災境況模擬與應變措施之研究」,行政院國科會,台北市.
34. 黃宏斌 (1998)「調節池孔口配置之水理特性研究」,台灣水利,46 卷 1 期,pp.53-59.
35. 顏清連,許銘熙,陳昶憲,賴進松 (1986),「淡水河系洪水演算模式 (四)堤防潰決洪流模式之建立」,行政院國科會,防災科技研究報告 75-19,台北市.
36. 顏清連等 (1989),「台北都會區大眾捷運系統防洪排水設計之研究」,國立台灣大學水工試驗所研究報告第 100 號,台北市.
37. 行政院國科會 (1998),「台南科學工業園區排水防洪綱要計畫」.
38. 行政院國科會 (1998),「變更台南科學工業園區細部計畫 (擴大滯洪池案)」.
39. 行政院國科會 (1999),「滯洪池 D 及防洪抽水站規劃」.
40. 台北市政府 (2001),「台北市納莉颱風災後重建推動委員會防洪排水組第一次會議參考資料」.
41. 台北市政府捷運工程局 (2001),「台北捷運系統因納莉颱風造成淹水緣由及改善之初步檢討報告」.
42. 台北市政府捷運工程局 (2001),「納莉颱風-災後重建委員會簡報」.
43. 台北市政府捷運工程局 (2001),「捷運局第四處上呈之便簽」.
44. 台北市政府 (2001),「台北市納莉颱風災害防救處理專案報告」.
45. 交通部台北市區地下鐵路工程處 (2001),「專案工程介

紹」, <http://www.trupo.gov.tw/index3/index3-1.asp>.

46. 台北市政府捷運工程局 (2001), 「捷運局第四處上呈之便簽」.

附圖

附圖

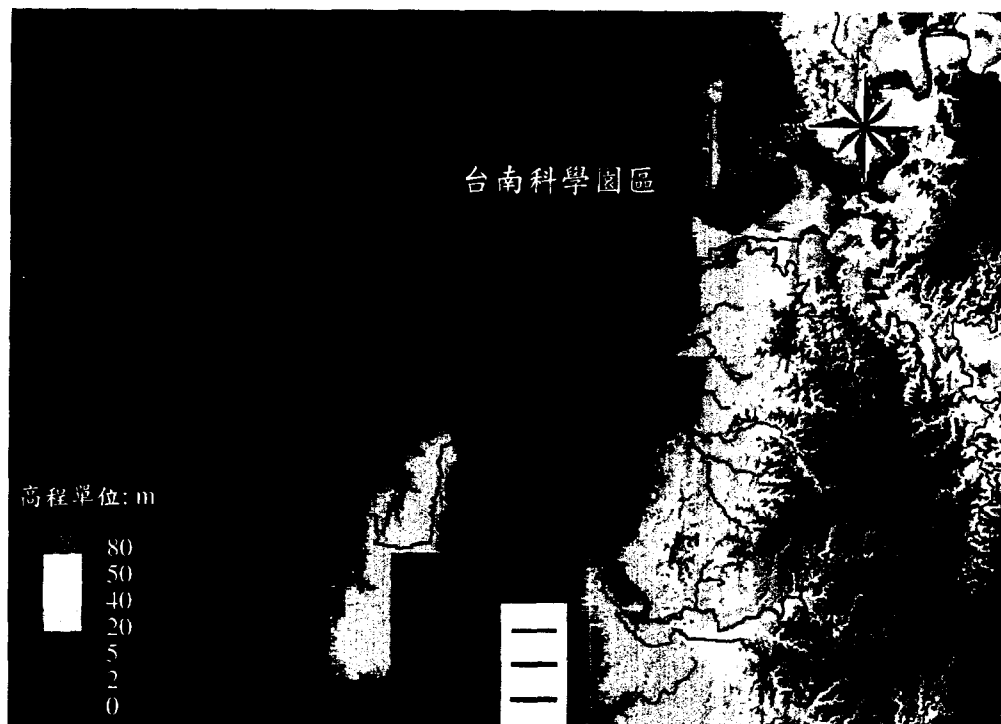


圖 2-1 鹽水河流域地形及台南科學園區地理位置

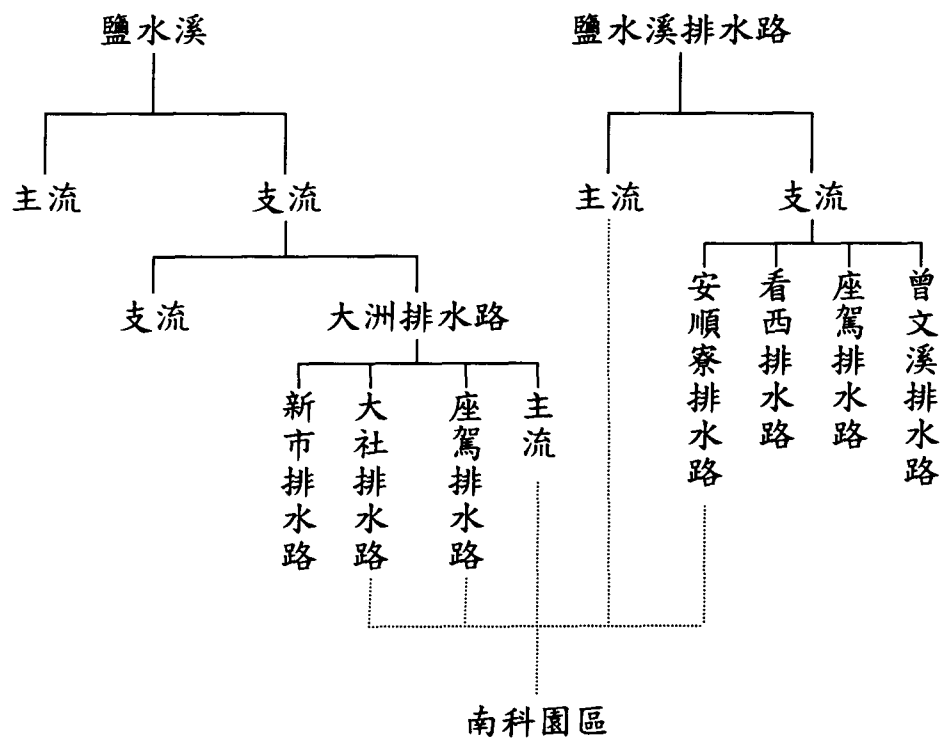


圖 2-2 台南科學園區排水系統關連

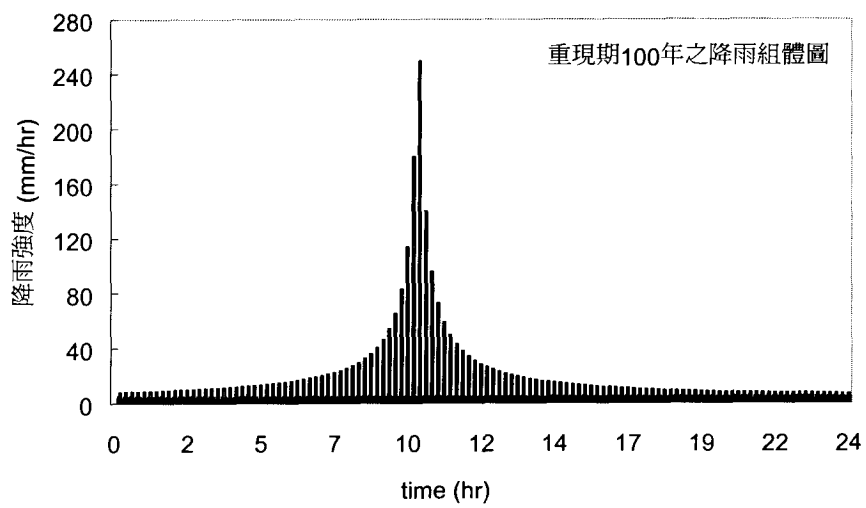
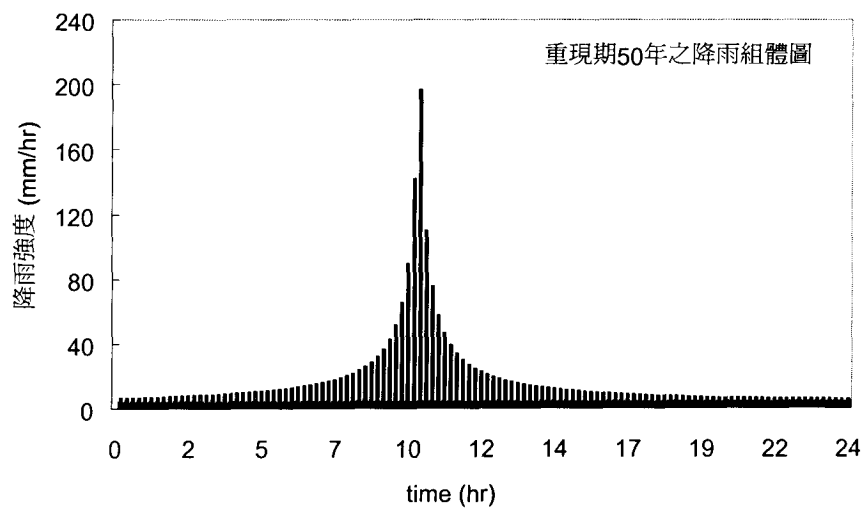
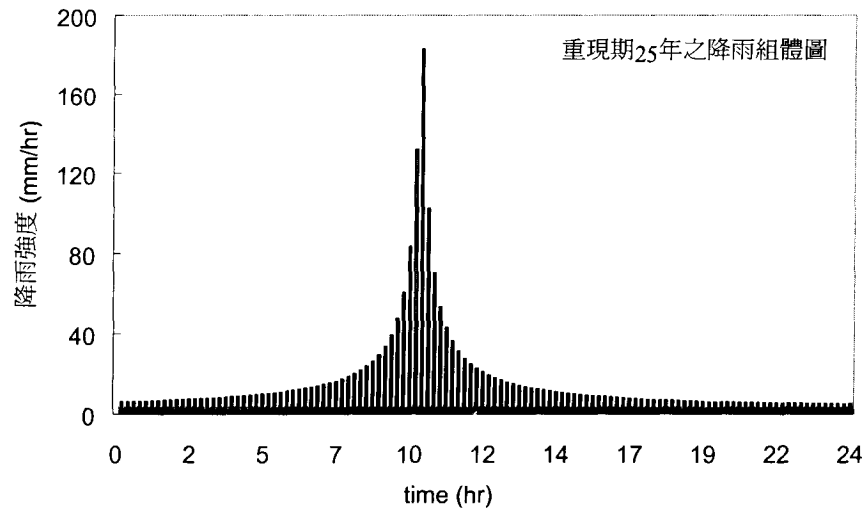


圖 2-5 台南科學工業園區各重現期降雨組體圖

(資料來源：[37])

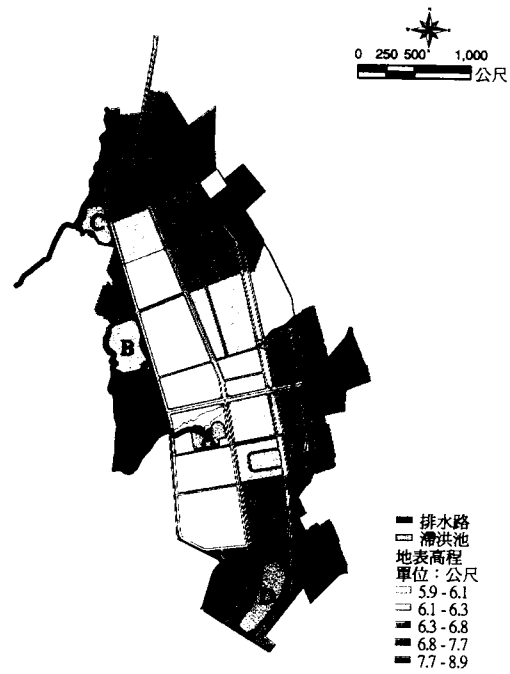


圖 2-6 台南科學工業園區地形高程
(資料來源：[38])

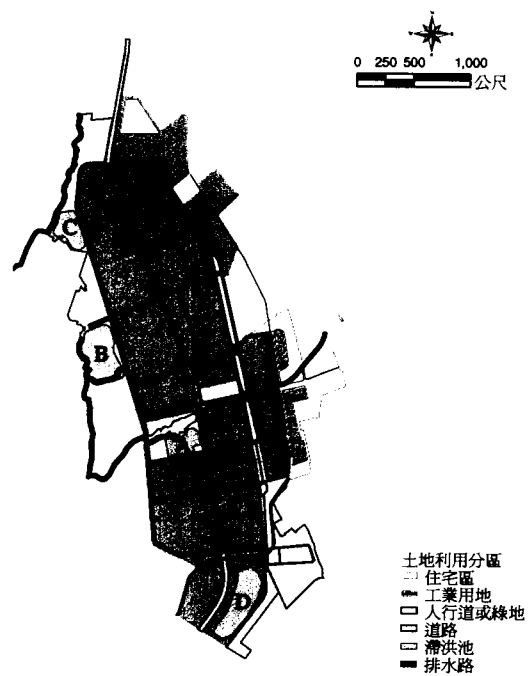


圖 2-7 台南科學工業園區土地利用分區
(資料來源：[38])

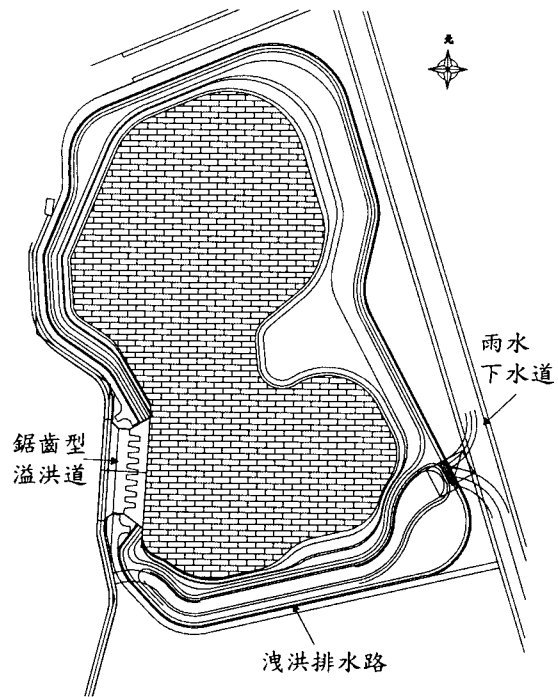


圖 2-8 台南科學工業園區滯洪池 B 之設計平面圖

(資料來源：[38])

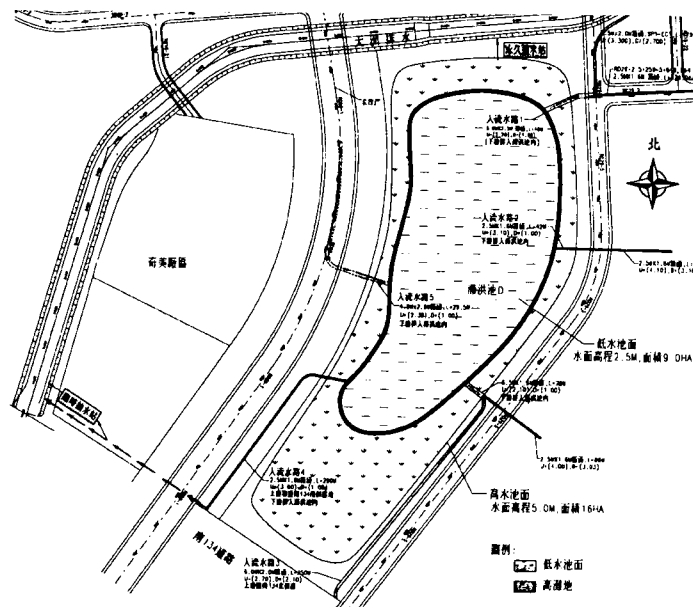


圖 2-9 台南科學工業園區滯洪池 D 之設計平面圖

(資料來源：[38])

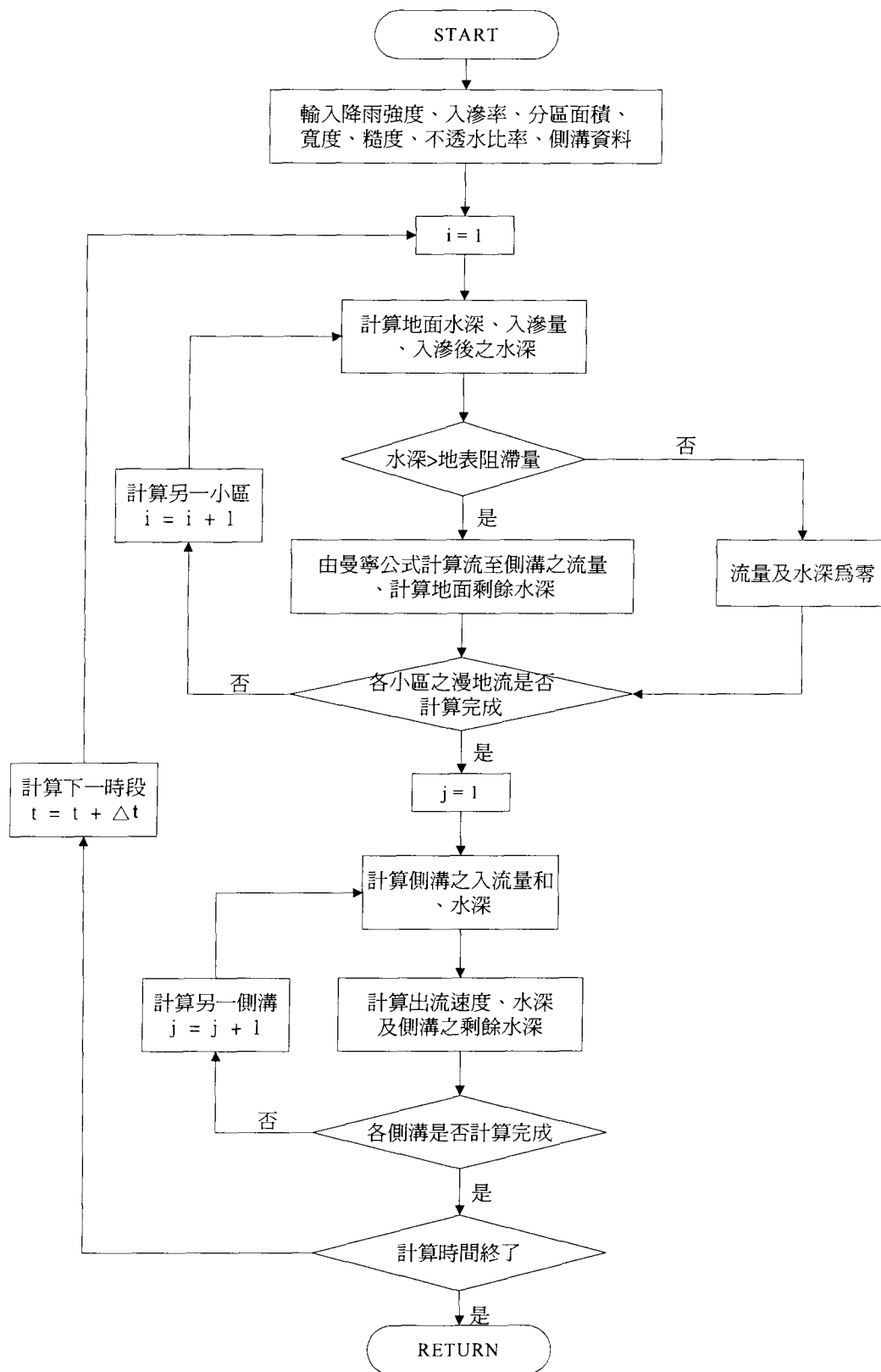


圖 3-1 SWMM 地表逕流模組 (RUNOFF) 演算流程

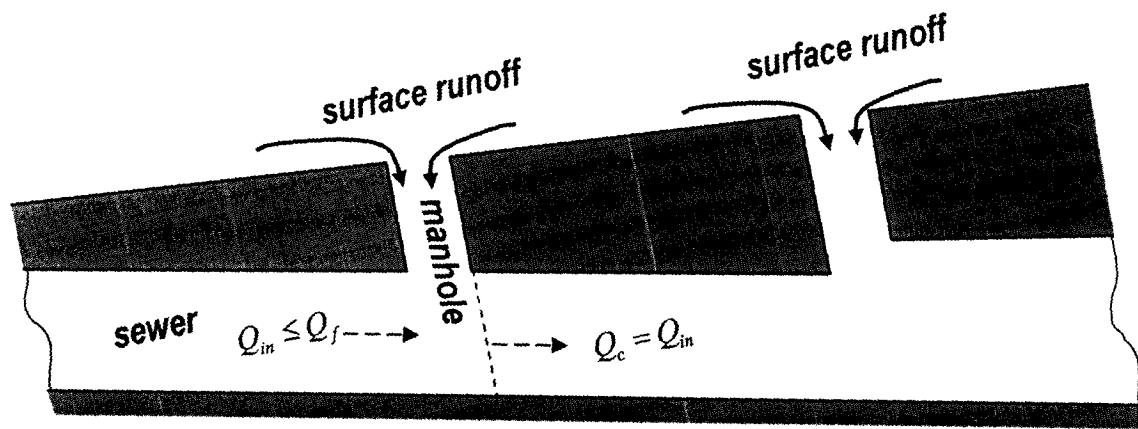


圖 3-2 下水道管線入流量低於管線容量

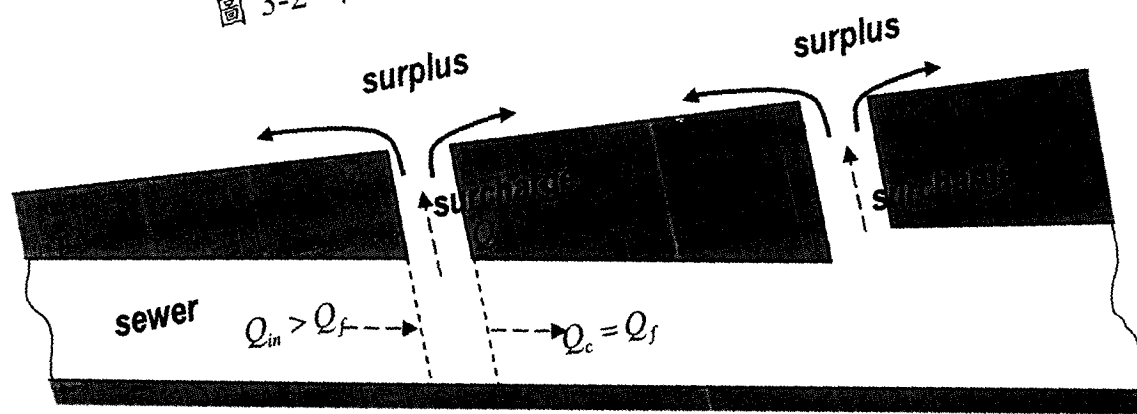


圖 3-3 下水道管線入流量高於管線容量

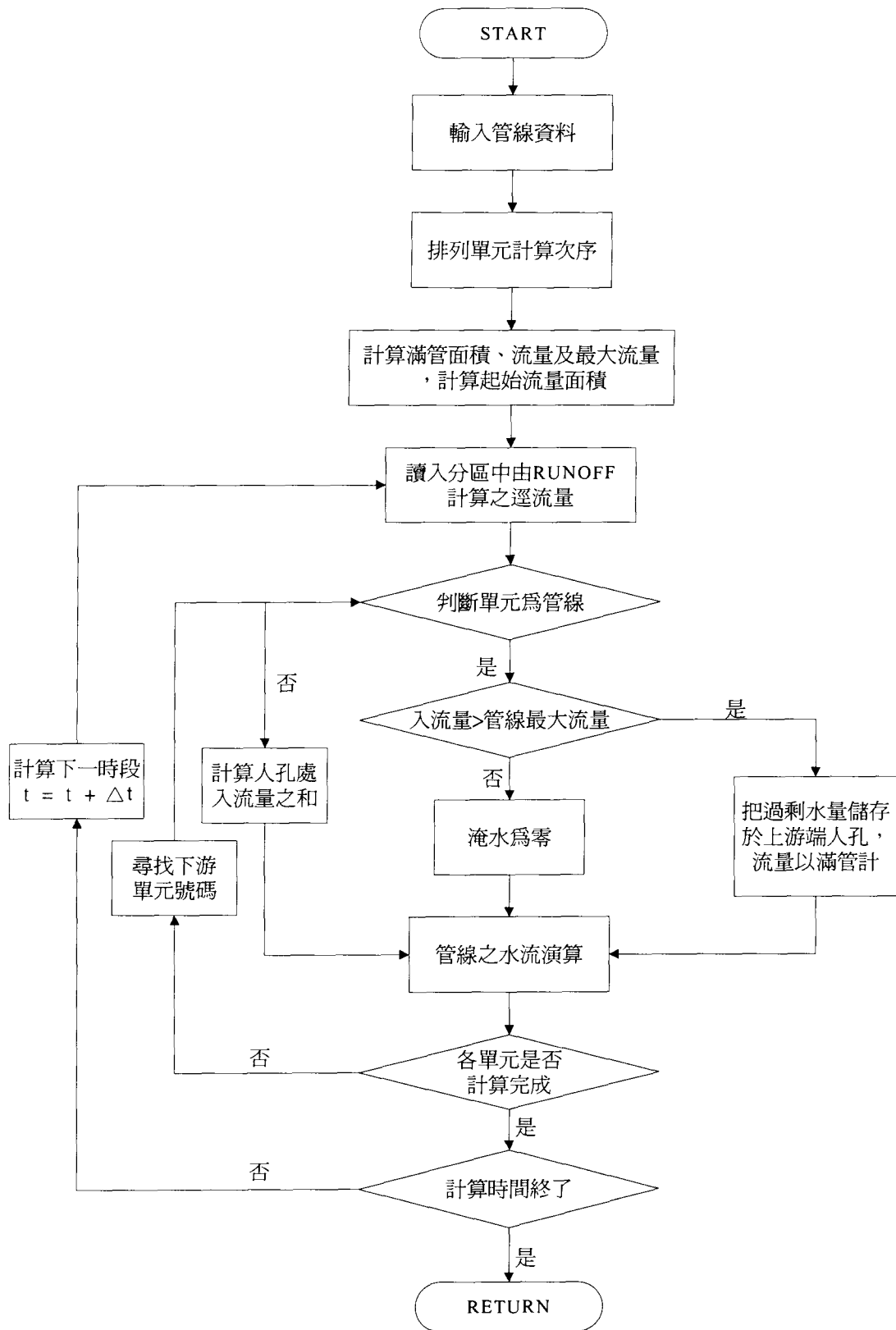
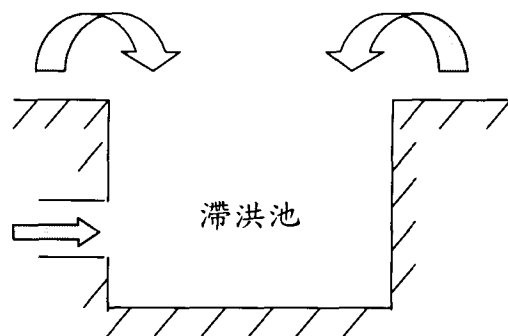
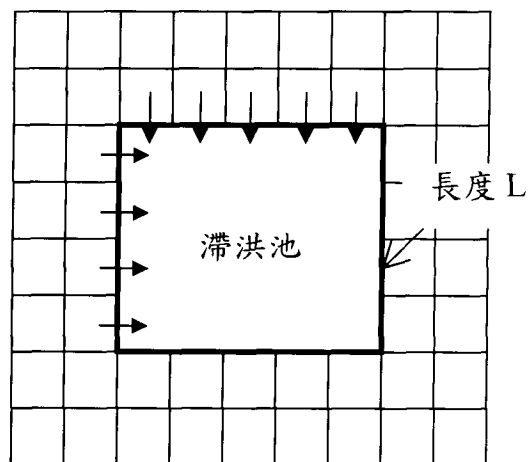


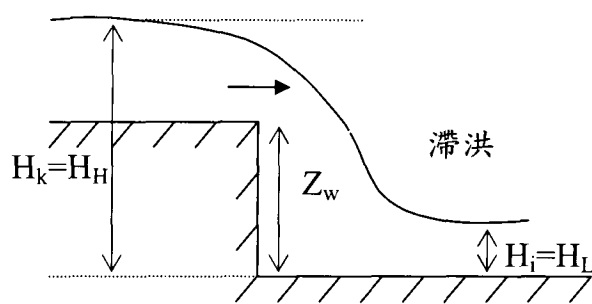
圖 3-4 SWMM 幹線輸水模組 (EXTRAN) 演算流程



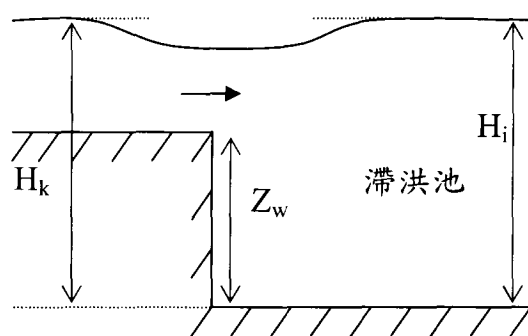
(a) 剖面圖



(b) 俯視圖



(c) 滯洪池內、外水位差大



(d) 滯洪池內、外水位差小

圖 3-5 滯洪池入流示意

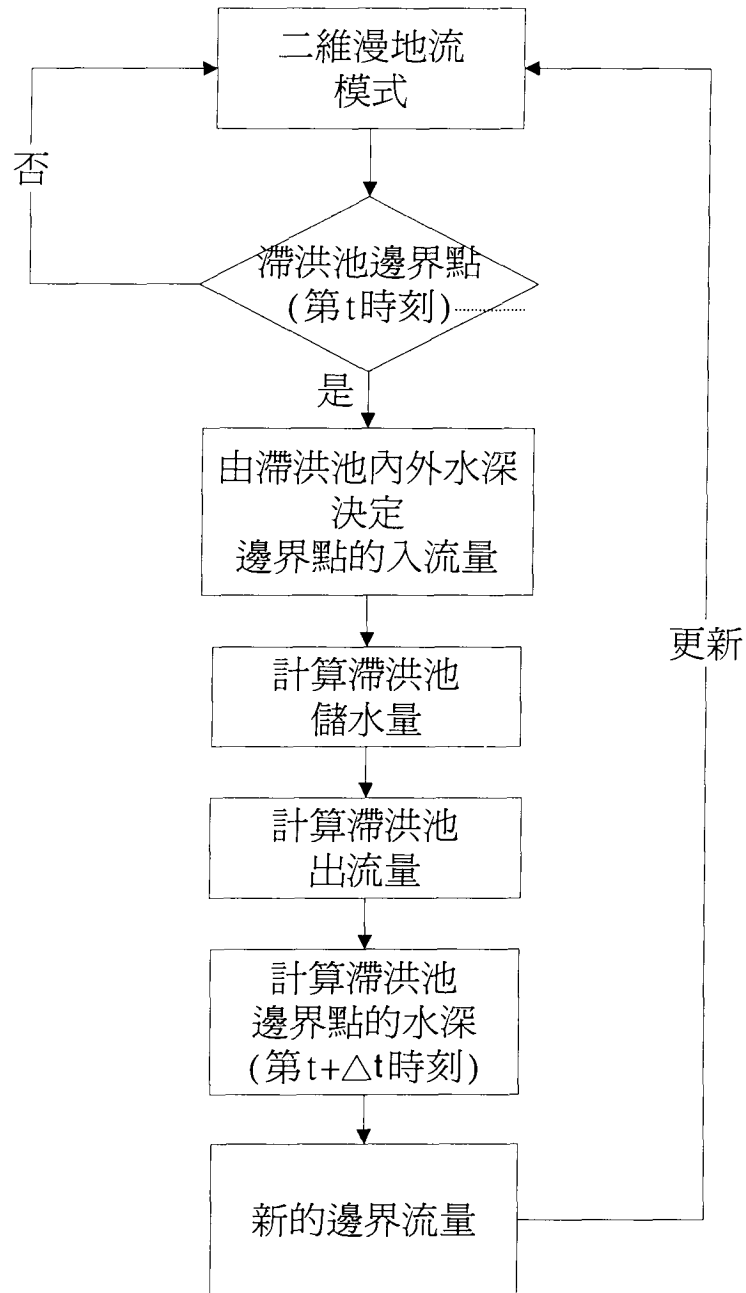


圖 3-6 滯洪池邊界演算流程

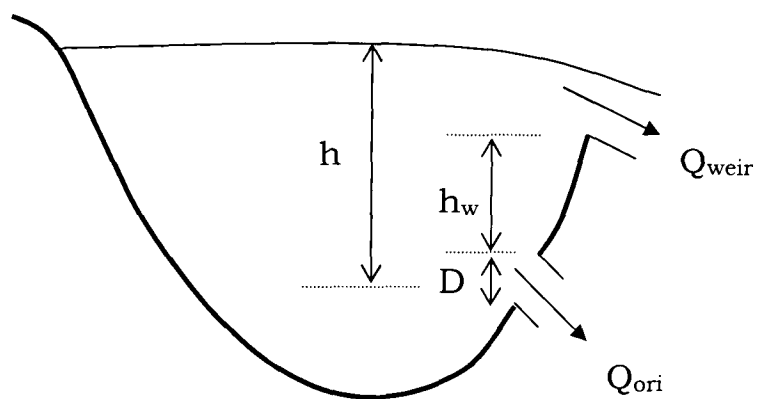


圖 3-7 滯洪池出流口示意

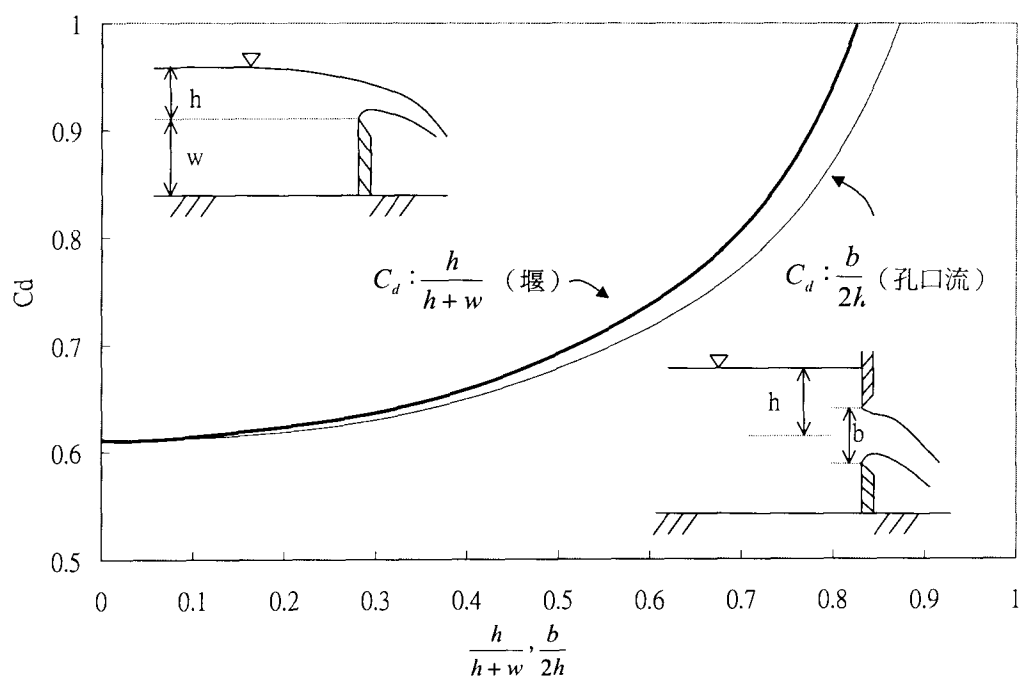


圖 3-8 堰流及孔口流的流量係數

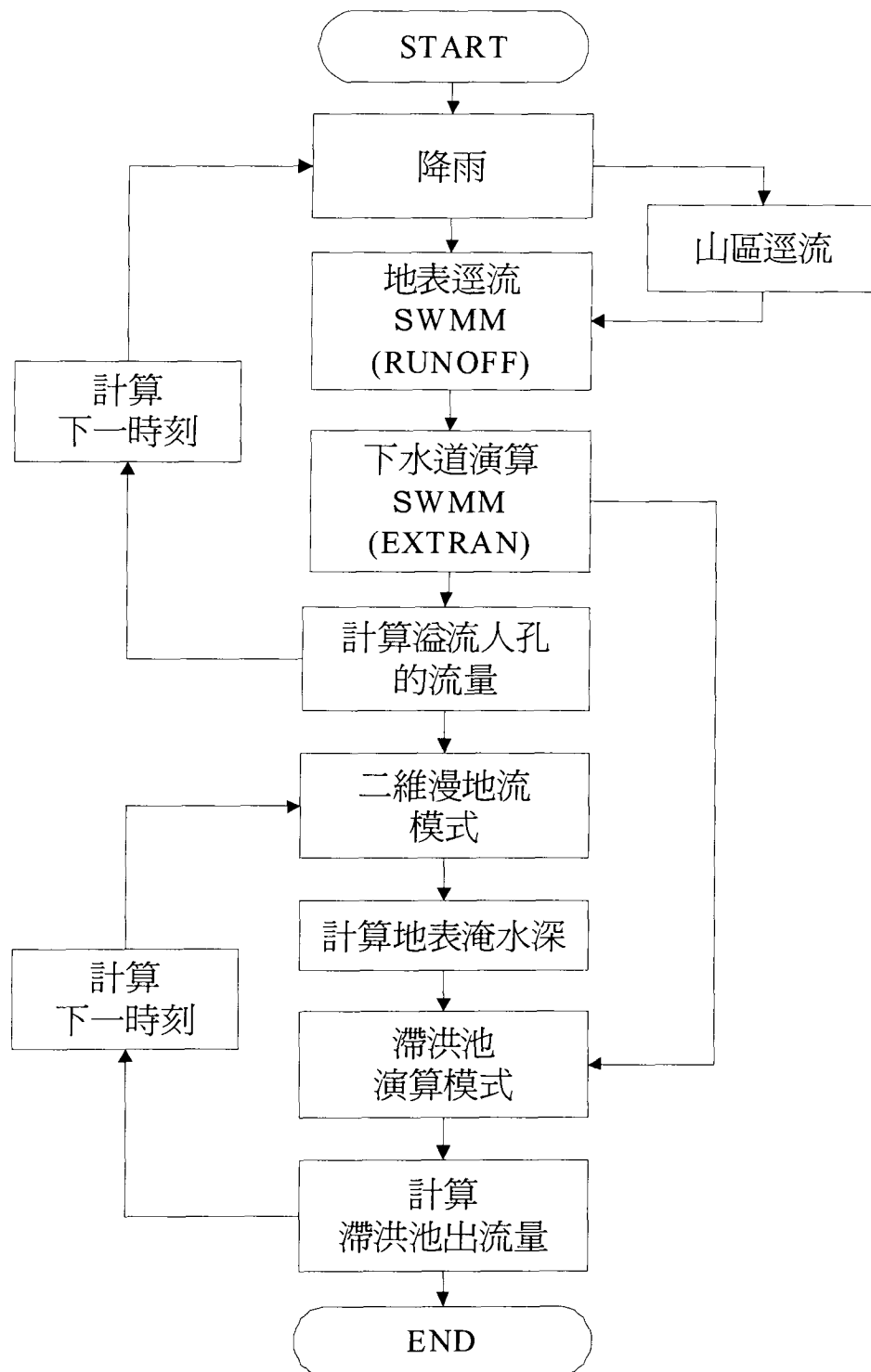


圖 3-9 都會區淹水模式演算流程

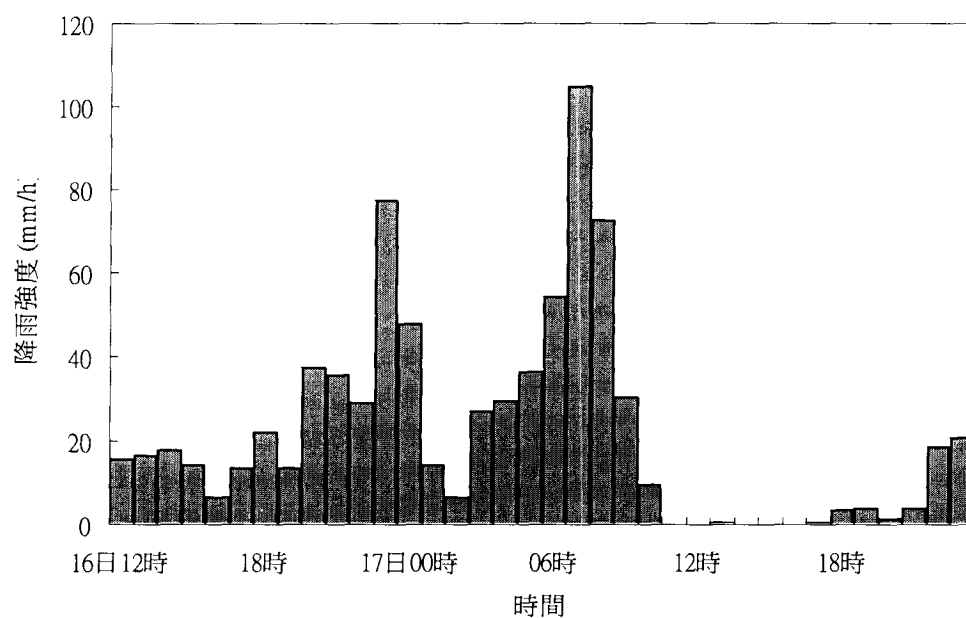


圖 4-1 南港雨量站納莉颱風降雨組體圖

(資料來源：中央氣象局)

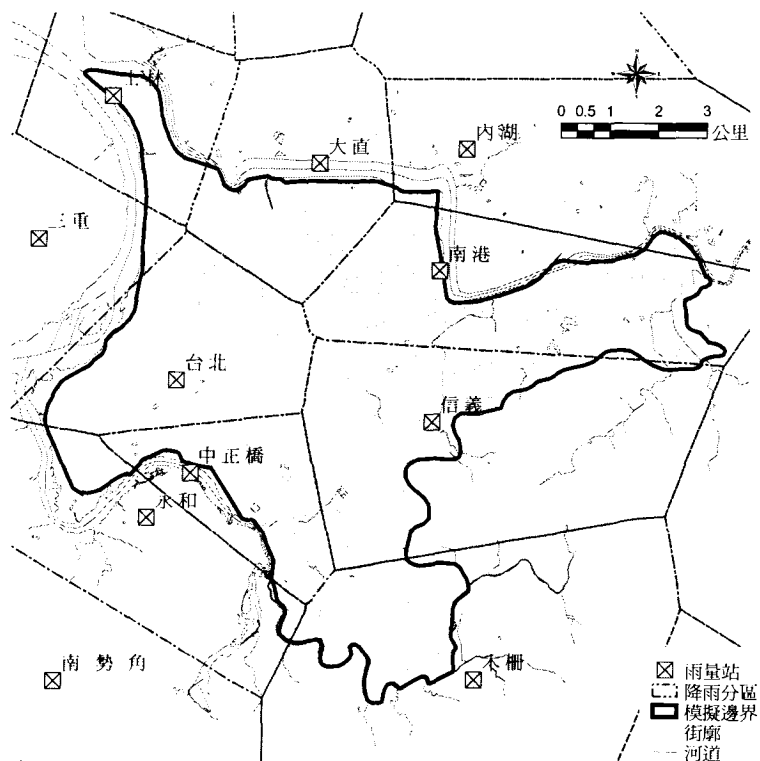


圖 4-2 台北市中央區雨量站及徐昇氏降雨分區

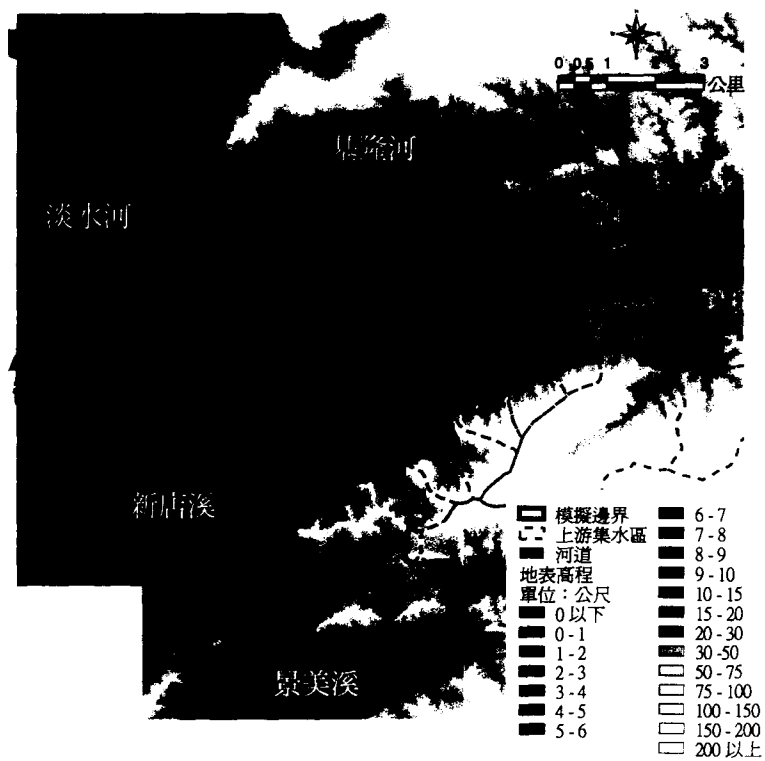


圖 4-3 台北市中央區數值地形高程

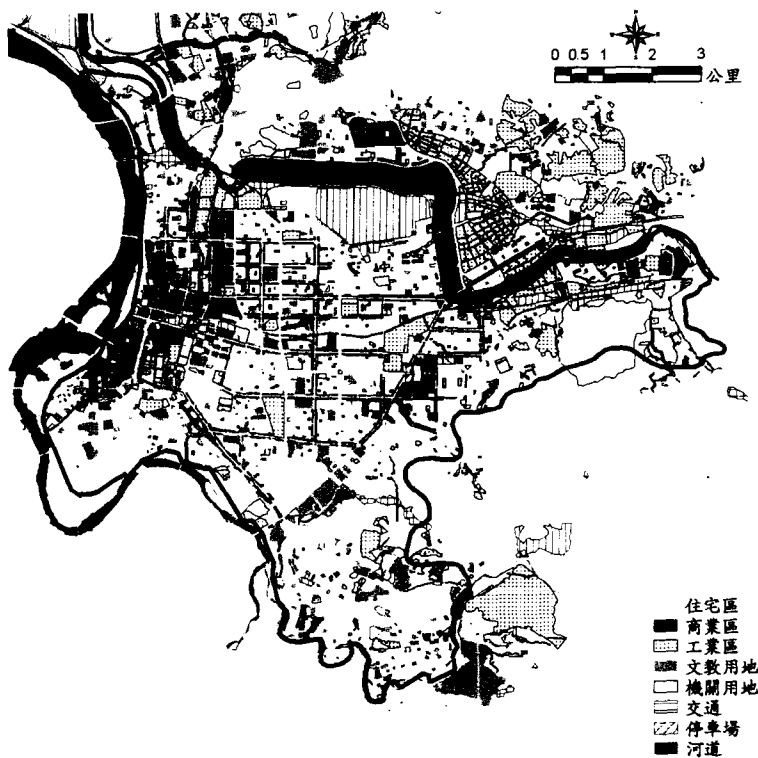


圖 4-4 台北市中央區土地利用分區

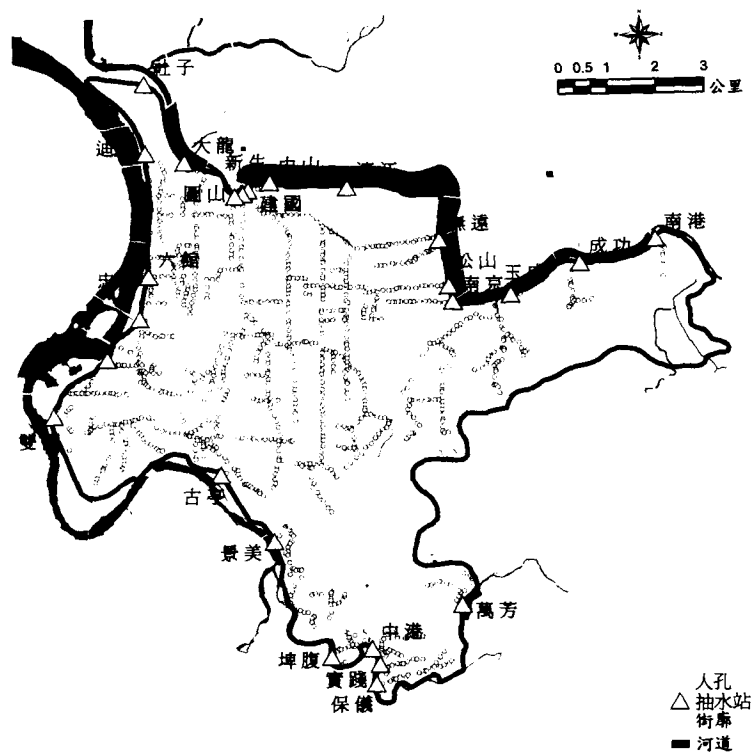


圖 4-5 台北市中央區抽水站及主要排水人孔

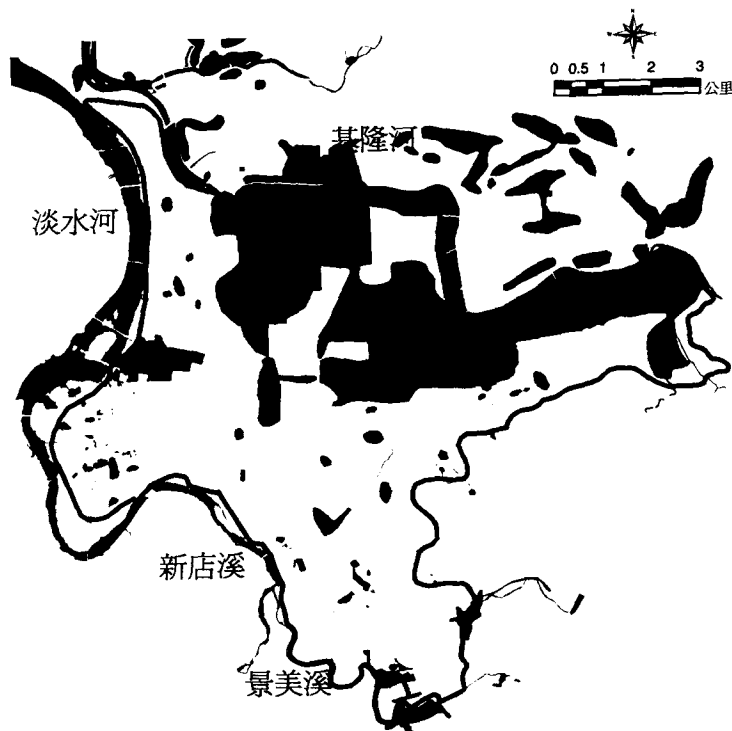


圖 4-6 台北市中央區納莉颱風調查淹水範圍

(資料來源：[40, 44])

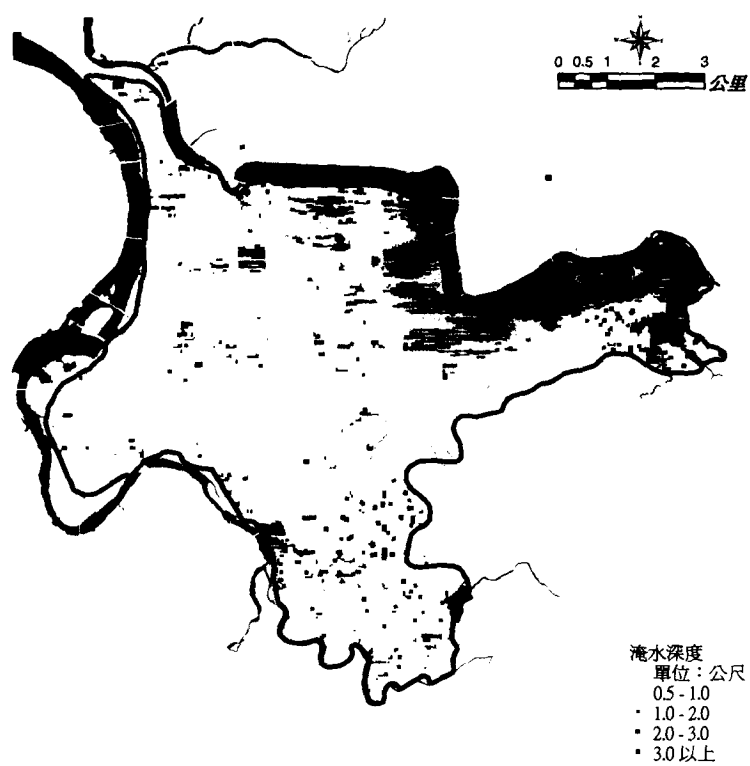


圖 4-7 台北市中央區納莉颱風模擬最大淹水深度

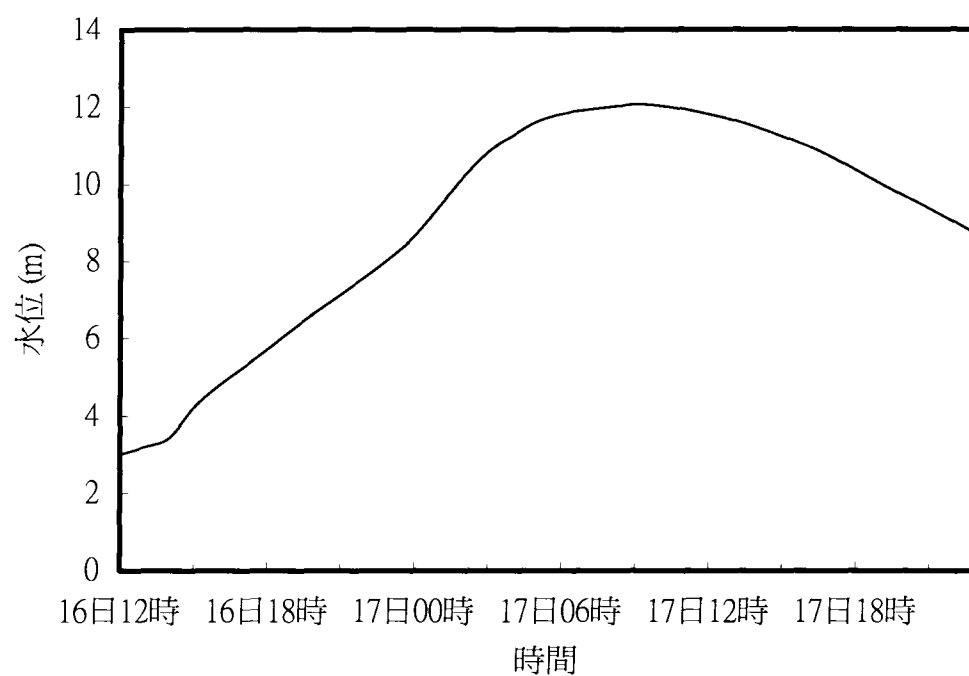


圖 4-8 基隆河與大坑溪匯流處溢堤河川水位歷線

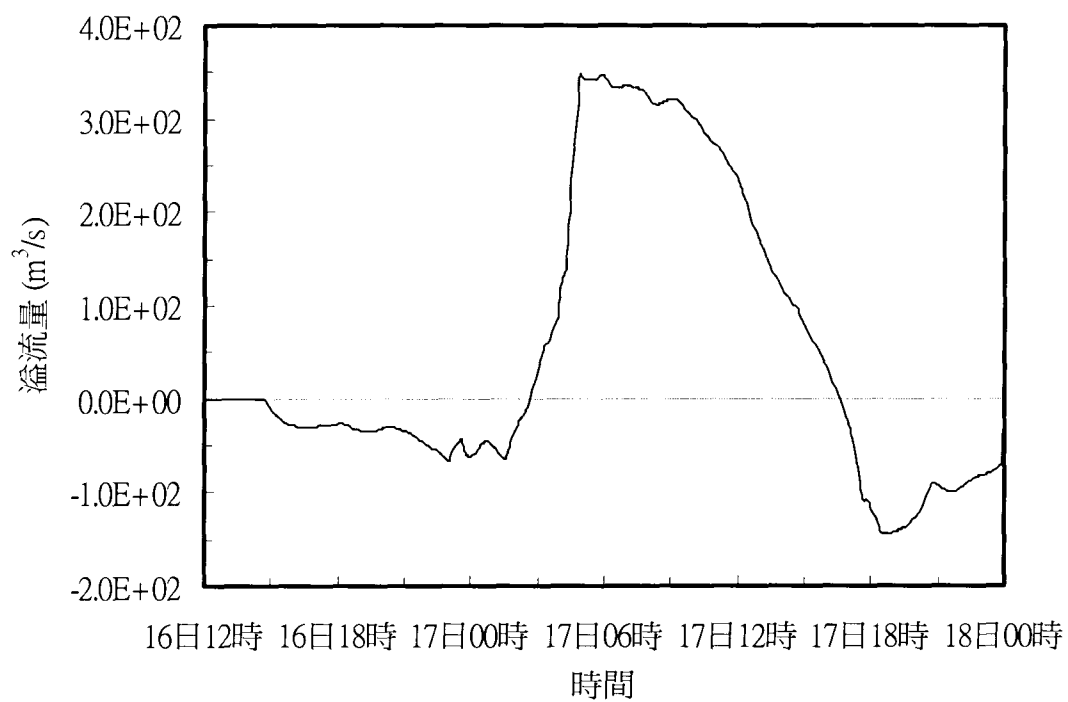


圖 4-9 基隆河與大坑溪匯流處溢堤流量歷線

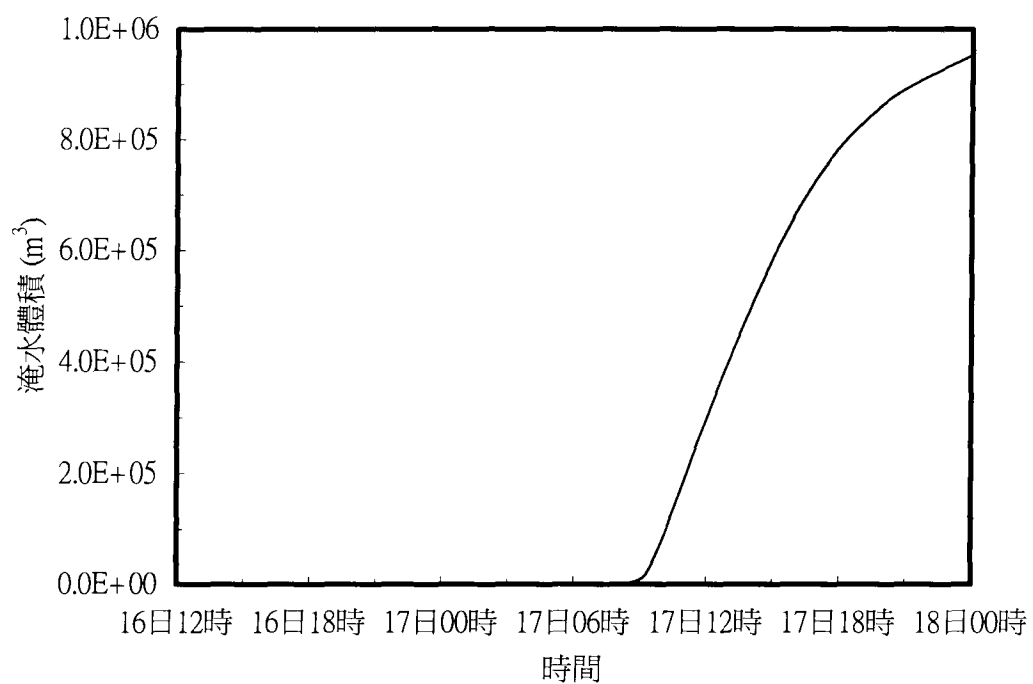


圖 4-10 台鐵松山隧道出土段入口累計進水體積歷線

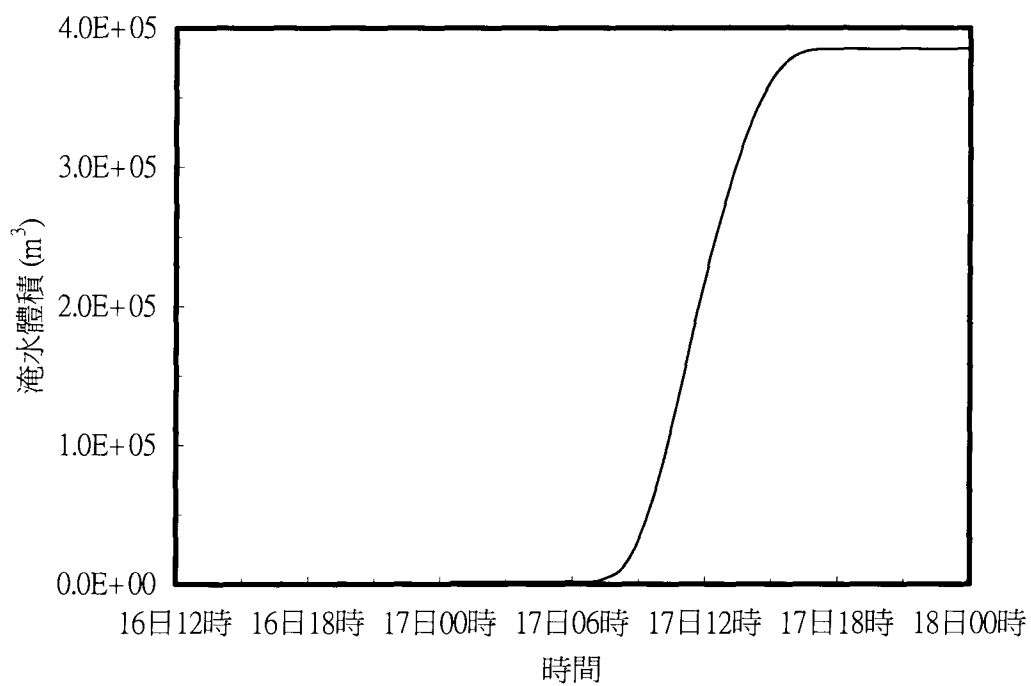


圖 4-11 捷運南港機廠入口累計進水體積歷線

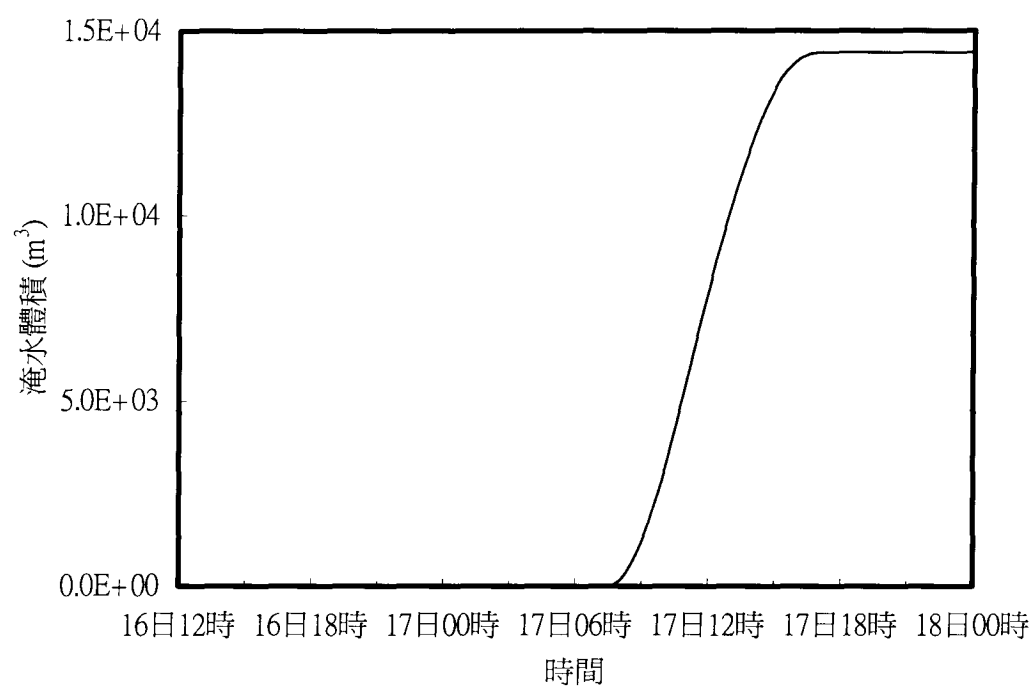


圖 4-12 捷運昆陽站入口累計進水體積歷線

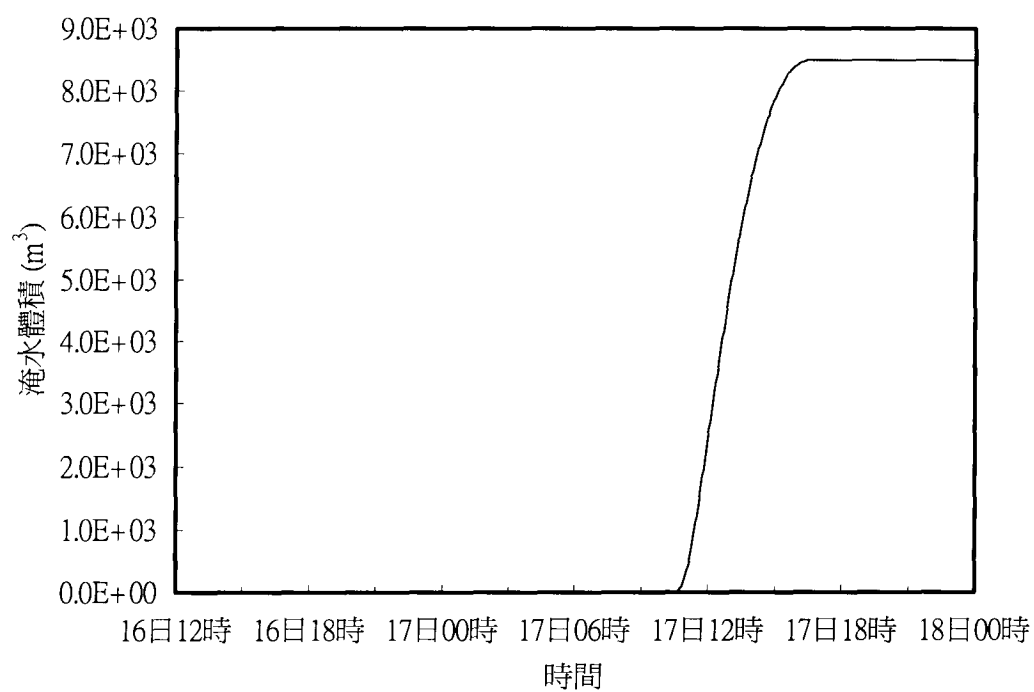
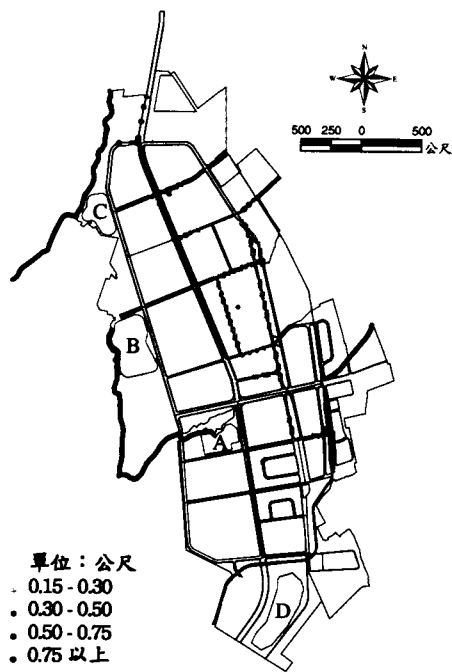
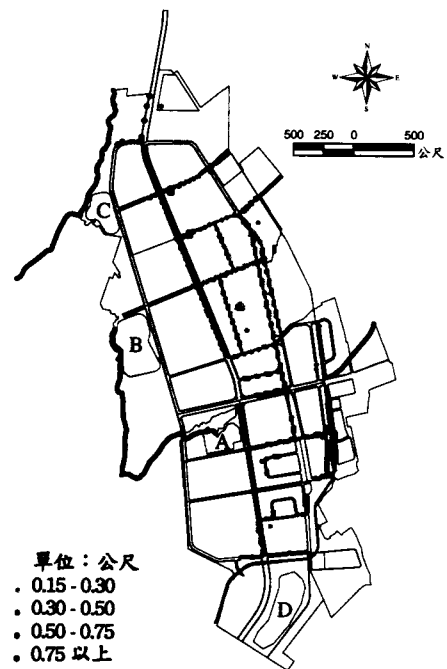


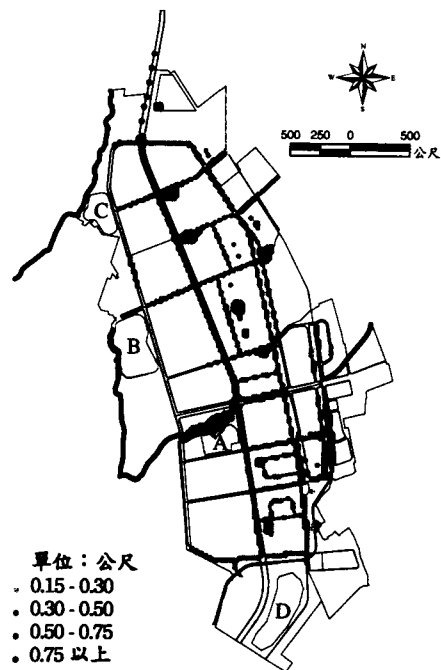
圖 4-13 捷運市政府站入口累計進水體積歷線



(a) 25 年重現期

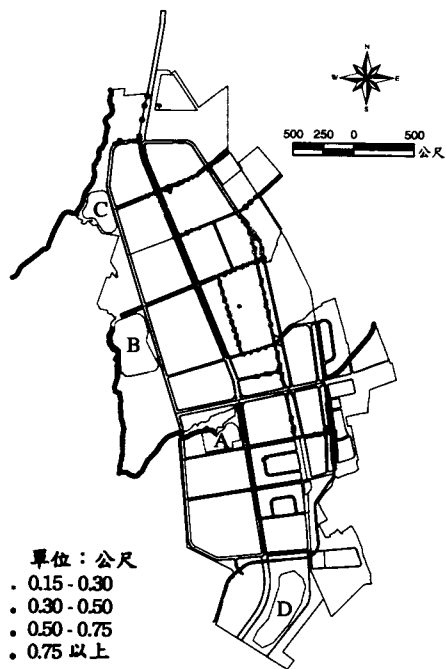


(b) 50 年重現期

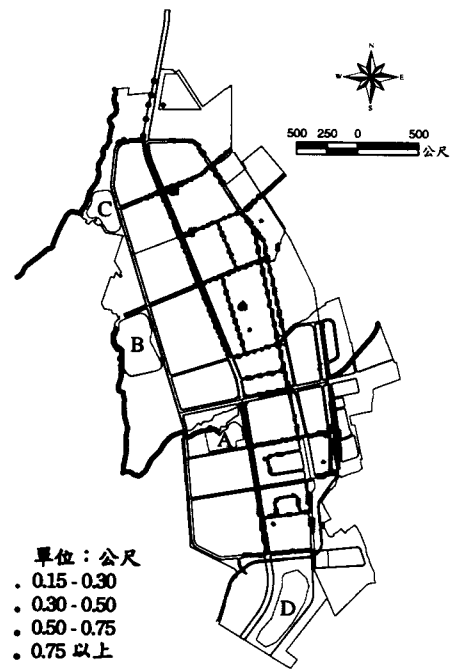


(c) 100 年重現期

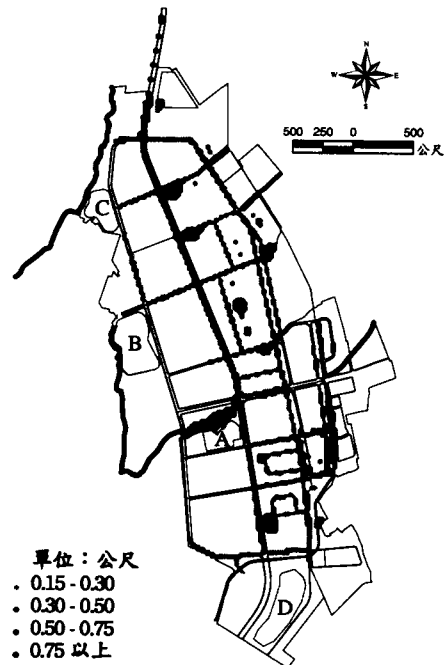
圖 4-18 台南科學園區下水道系統無阻塞時之淹水境況模擬



(a) 25 年重現期

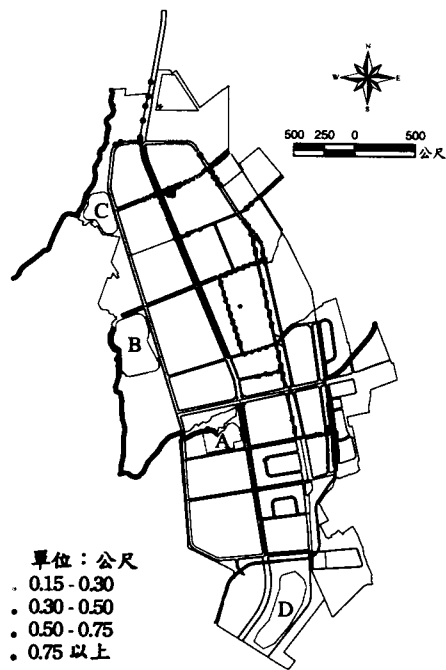


(b) 50 年重現期

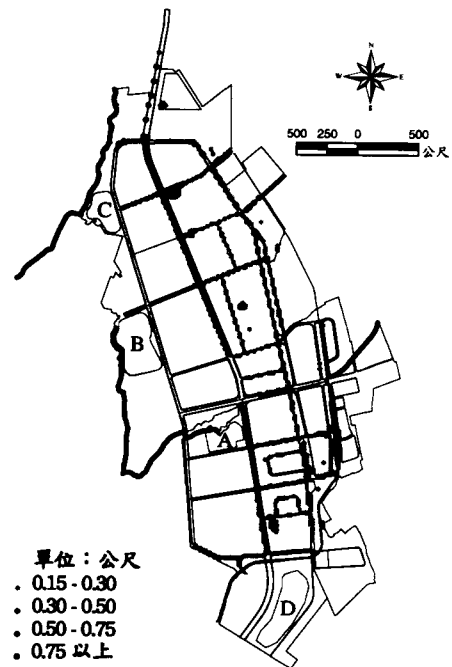


(c) 100 年重現期

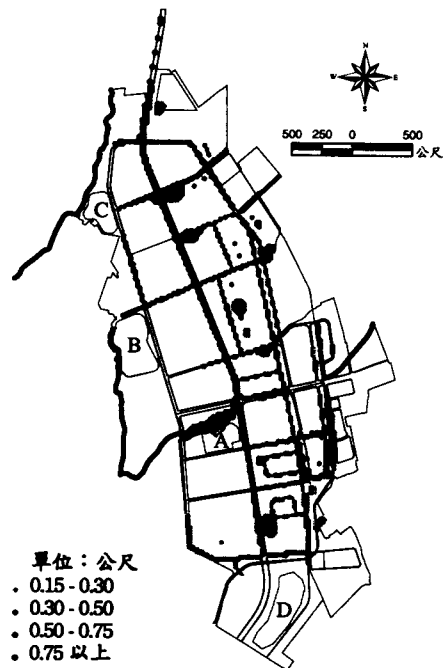
圖 4-19 台南科學園區 A、C 下水道系統阻塞 10%時之淹水境況模擬



(a) 25 年重現期

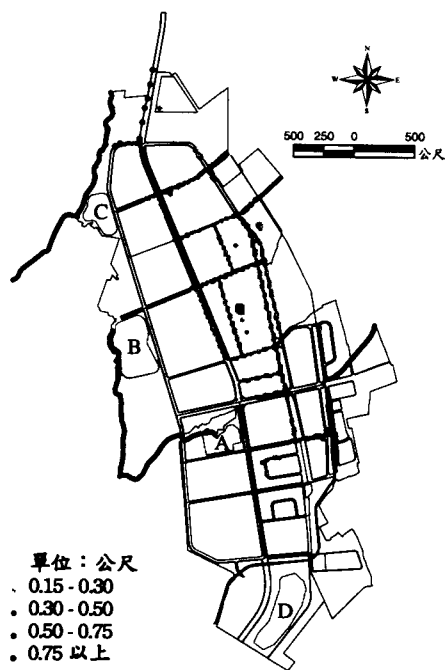


(b) 50 年重現期

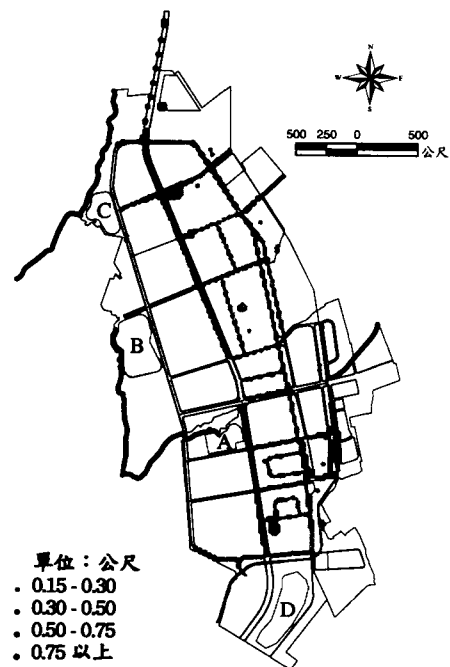


(c) 100 年重現期

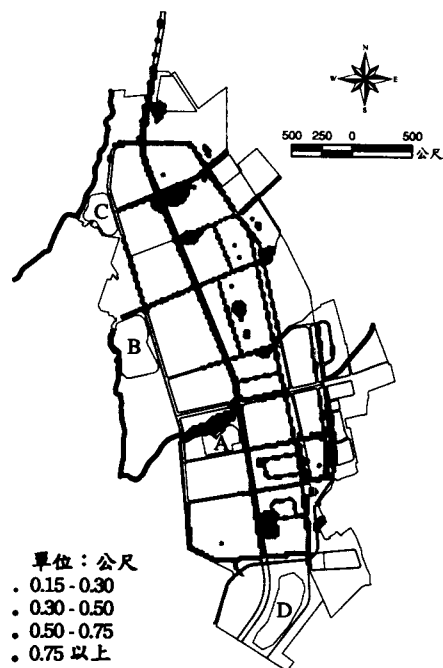
圖 4-20 台南科學園區 A、C 下水道系統阻塞 20% 時之淹水境況模擬



(a) 25 年重現期

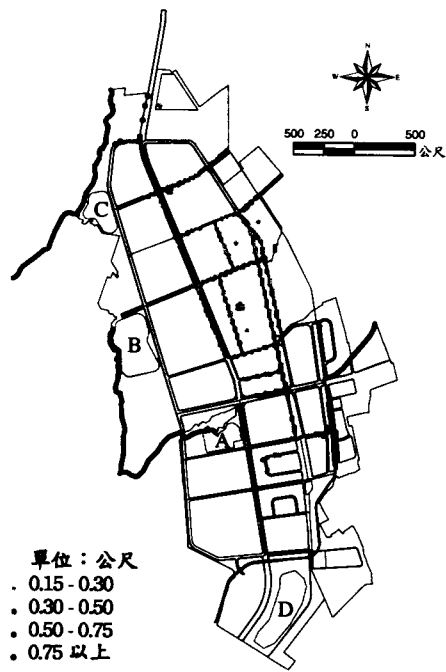


(b) 50 年重現期

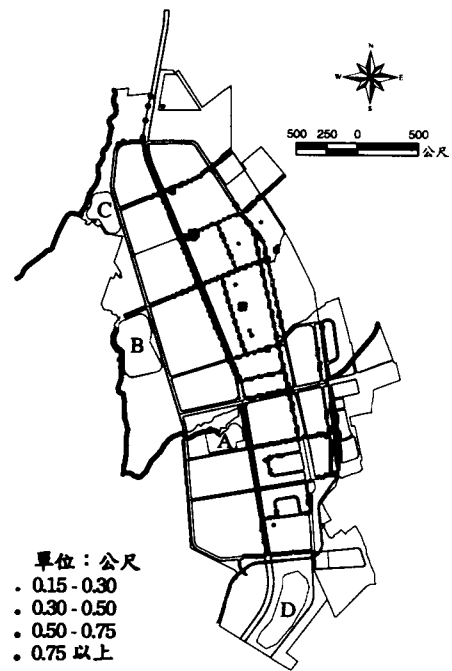


(c) 100 年重現期

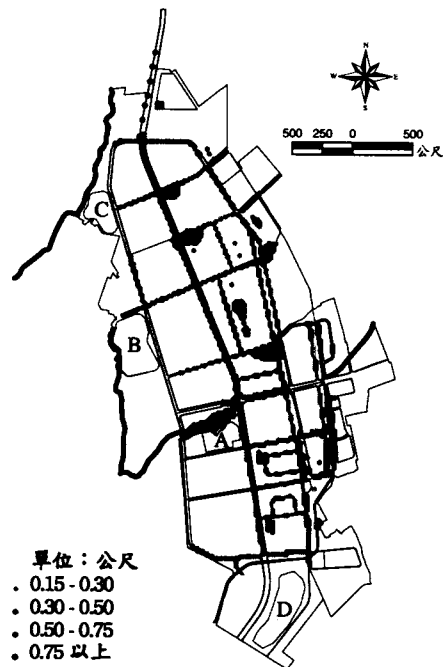
圖 4-21 台南科學園區 A、C 下水道系統阻塞 30% 時之淹水境況模擬



(a) 25 年重現期

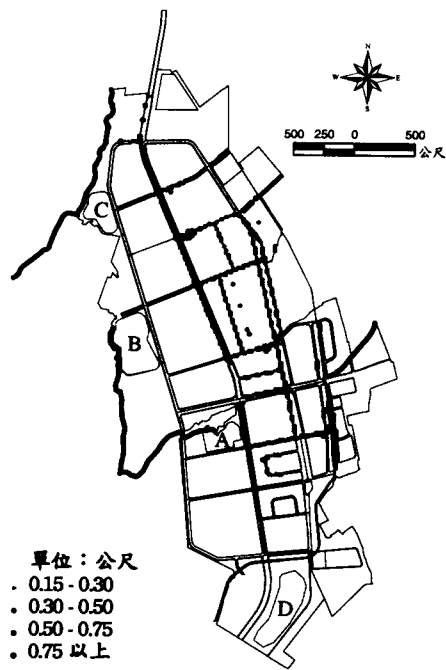


(b) 50 年重現期

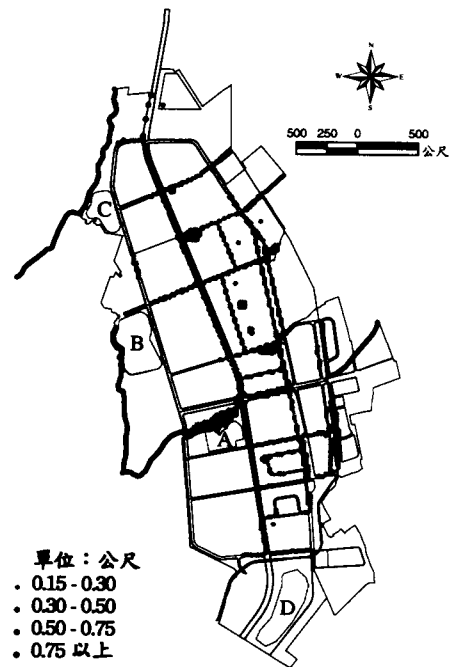


(c) 100 年重現期

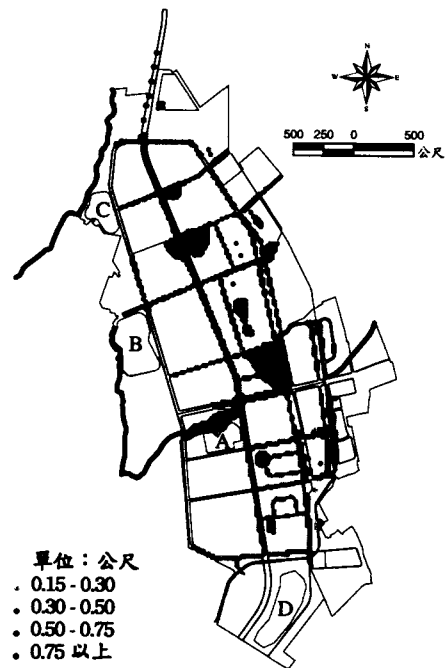
圖 4-22 台南科學園區 B、D 下水道系統阻塞 10% 時之淹水境況模擬



(a) 25 年重現期

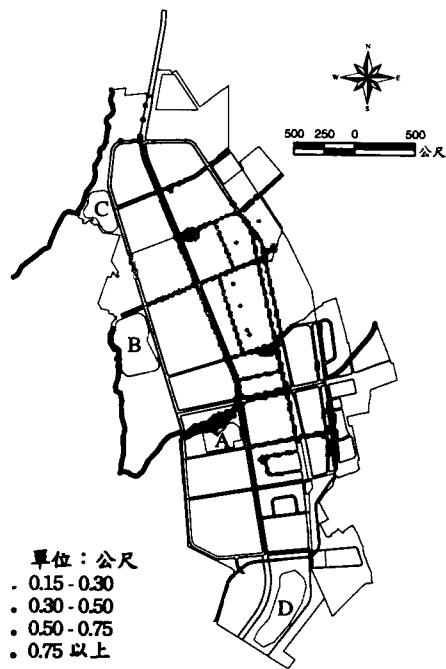


(b) 50 年重現期

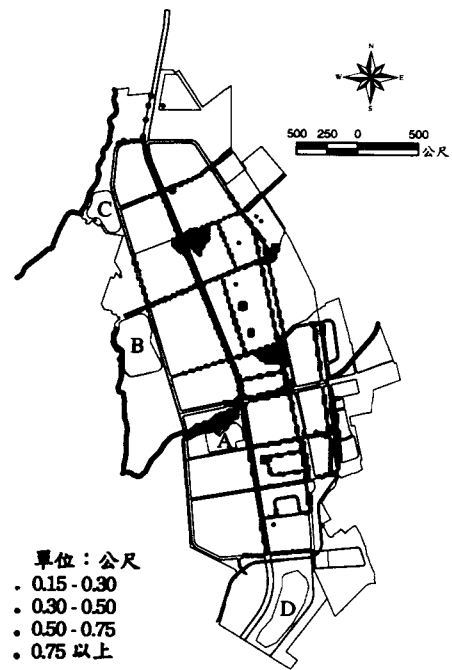


(c) 100 年重現期

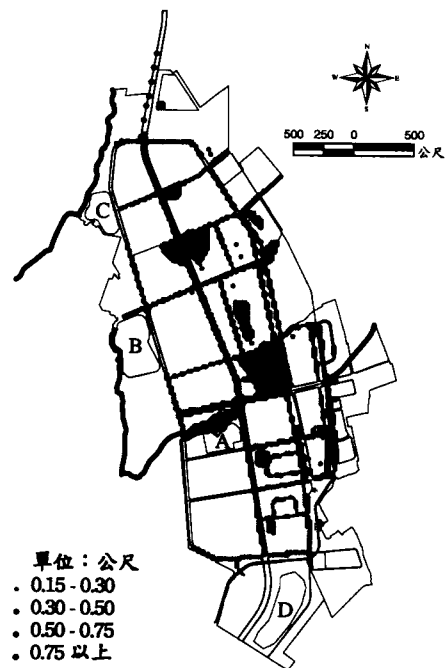
圖 4-23 台南科學園區 B、D 下水道系統阻塞 20% 時之淹水境況模擬



(a) 25 年重現期



(b) 50 年重現期



(c) 100 年重現期

圖 4-24 台南科學園區 B、D 下水道系統阻塞 30% 時之淹水境況模擬

附 表

附表

表 2-1 南科園區各集水分區資料

排水分區	集水區編號	流入滯洪池	集水面積 (公頃)
鹽水溪排水路	A	A	100.48
	B	B	325.41
安順寮排水路	C	C	107.11
大洲排水路	D	D	119.67

資料來源：[38]

表 2-2 南科園區排水系統設計標準

排水設施	設計重現期
排水幹線	25 年
排水支線	10 年
滯洪池設計容量	50 年
滯洪池設計出口流量	10 年
截流設施	10 年

資料來源：[38]

表 2-3 南科園區整地後高程

地區	整地後高程 (公尺)
滯洪池 C 以東	6.0~7.0
滯洪池 B 以東	5.5~6.5
大洲排水路以東	8.5~9.0
滯洪池 D 以東	6.0~6.5

資料來源：[38]

表 2-4 南科園區內各種土地利用所佔面積比例

土地使用項目	面積 (公頃)	百分比 (%)
(一)廠房用地		
自建廠房	266.08	40.77
標準廠房	17.97	2.75
(二)公共設施用地		
環保設施	18.64	2.86
通關服務中心	6.92	1.06
公用事業	16.19	2.48
停車場	9.44	1.45
(三)公園	54.73	8.39
(四)綠地	57.38	8.79
(五)服務及管理中心用地	11.45	1.75
(六)住宅社區用地		
住宅區	16.58	2.54
學校用地	5.88	1.18
社區中心	0.55	0.09
(七)生態保護用地	30.00	4.60
(八)其他設施用地		
灌排用地	13.79	2.11
零售及服務業	30.03	4.60
道路	97.04	14.87
合計	652.67	100.00

資料來源：[38]

表 2-5 南科園區滯洪池基本資料表

基本資料	滯洪池 A	滯洪池 B	滯洪池 C	滯洪池 D
設計面積 (公頃)	5.0	15.0	5.0	20.0
設計調洪量 (m ³)	133,600	439,400	169,100	300,000
集水面積 (公頃)	100.48	325.41	107.11	119.67
最大出口流量 (m ³ /s)	4.9	17.68	4.3	20.0
下游容許排洪量 (m ³ /s)	5.7	18.6	5.0	30.4

資料來源：[38]

表 2-6 南科園區滯洪池設計數據資料表

設計數據	滯洪池 A	滯洪池 B	滯洪池 C
池底高程 (m)	-0.5	-0.5	0.5
正方形孔口箱涵 (m)	0.9*0.9	0.9*0.9	0.9*0.9
孔口箱涵底高 (m)	1.2	1.2	2.2
溢洪堰底高 (m)	4.75	4.2	5.1
溢洪堰頂高 (m)	5.5	5.3	6.0
堰寬 (m)	18	76	18

資料來源：[38]

表 2-7 滯洪池 D 抽水機基本資料表

抽水機編號	容量 (m ³ /s)	起抽水位 (m)	停機水位 (m)
No.1	5	2.7	2.5
No.2	5	2.7	2.5
No.3	5	2.95	2.7
No.4	5	3.2	2.95

資料來源：[39]

表 4-1 台北市中央區雨量站納莉颱風降雨量統計

(9/16 12 時至 9/17 23 時，資料來源：中央氣象局)

雨量站	士林	三重	台北	中正橋	永和
總雨量 (mm)	576.0	554.0	618.0	630.0	565.0
連續 24 小時 最大雨量 (mm)	548.5	526.5	593.5	613.0	530.5
尖峰降雨強度 (mm/h)	94.0	68.0	77.0	95.0	93.5
尖峰降雨小時	9/16 23:00 至 9/17 00:00	9/17 06:00 至 9/17 07:00	9/17 08:00 至 9/17 09:00	9/17 09:00 至 9/17 10:00	9/17 08:00 至 9/17 09:00

雨量站	木柵	信義	南港	大直	內湖
總雨量 (mm)	669.5	549.0	787.0	629.5	732.0
連續 24 小時 最大雨量 (mm)	542.5	509.0	744.5	611.5	713.0
尖峰降雨強度 (mm/h)	57.5	84.5	105.0	93.5	109.5
尖峰降雨小時	9/16 22:00 至 9/16 23:00	9/17 07:00 至 9/17 08:00	9/17 06:00 至 9/17 07:00	9/16 23:00 至 9/17 00:00	9/16 23:00 至 9/17 00:00

表 4-2 土地利用及對應之曼寧糙度值

土地利用	曼寧糙度值 ($m^{1/3}$)
商業區	0.20
工業區	0.15
住宅區	0.13
道路、停車場	0.10
綠地	0.10
河道	0.05
其他	0.13

表 4-3 台北市中央區地下鐵路及捷運系統納莉颱風淹水體積

運輸系統	進水車站、建物與路段	進水地點	推估進水量* ($\times 10^4 m^3$)	模擬進水量** ($\times 10^4 m^3$)
台鐵系統	松山站至萬華站。	臺鐵松山車站附近之隧道出土段灌入南隧道。	79.0	95.0
淡水—新店捷運線	1. 雙連站、中山站、台北車站、臺大醫院站、中正紀念堂站及中正紀念堂至古亭站之隧道(由新店站累計距離約 9000 公尺處)、 2. 捷運行控中心及行政大樓地下室 B4 及 B5 層，計 5 站	1. 臺鐵松山車站附近之隧道出土段灌入南隧道； 2. 台鐵台北車站 U2 層淹水灌入捷運台北車站。	22.15	
板橋—南港捷運線	1. 昆陽站、後山埤站、永春站、市政府站、國父紀念館站、忠孝敦化站、忠孝復興站、忠孝新生站、善導寺站、台北車站、西門站及西門站與龍山寺站間之隧道，共計 11 站。 2. 捷運南港機廠。	1. 南港機廠出土段； 2. 南港線昆陽站； 3. 市政府站； 4. 174A 標地下街施工連續壁上方缺口灌入捷運台北車站； 5. SOGO 百貨淹水量由忠孝復興站通風井下方管道間空心磚牆破裂處灌入車站。	39.0	40.6

資料來源：[41, 42, 43]

表 4-4 台北市中央區納莉颱風期間抽水站停機時間記錄及模擬故障時間

抽水站	萬芳	南港	成功	濱江	玉成
總設計抽水量 (m^3/s)	20.0	20.0	32.0	32.0	184.1
記錄停機時間*	09/16 23:23	09/17 00:19	09/17 04:00	09/17 08:00	09/17 09:00
模擬故障時間	09/16 23:26	09/17 00:14	09/17 03:53	09/17 08:02	09/17 08:56

*資料來源：[40]

表 4-5 納莉颱風期間台鐵松山隧道、捷運南港機廠、昆陽站及市政府站
調查及模擬淹水深度

地點	台鐵 松山隧道	捷運 南港機廠	捷運 昆陽站	捷運 市政府站
調查淹水深度	1 ~ 2 m*	2 m**	2 m**	0.95 m**
模擬淹水深度	1.5 m	2.0 m	2.0 m	1.0 m

*資料來源：[44]

**資料來源：[40]

表 4-6 台南科學園區 A、C 排水系統不同阻塞程度
各重現期降雨境況模擬淹水面積統計

阻塞率	淹水面積 (單位：公頃)		
	25 年	50 年	100 年
無阻塞	6.0	15.6	40.0
10 %	6.4	18.1	44.3
20 %	7.8	24.0	48.2
30 %	12.2	27.2	53.6

表 4-7 台南科學園區 B、D 排水系統不同阻塞程度
各重現期降雨境況模擬淹水面積統計

阻塞率	淹水面積 (單位：公頃)		
	25 年	50 年	100 年
無阻塞	6.0	15.6	40.0
10 %	12.1	19.4	47.0
20 %	14.5	29.2	59.5
30 %	23.1	38.8	70.3