

國立交通大學

土木工程研究所

碩士論文

氣候變異對於都市淹水影響之評估與應用研究
Evaluation and Application Study on Urban-area
Inundation Influenced by the Climate Change

研究生：李冠擘

指導教授：葉克家 教授

中華民國九十八年七月

氣候變異對於都市淹水影響之評估與應用研究

Evaluation and Application Study on Urban-area
Inundation Influenced by the Climate Change

研究生：李冠曄

Student : Guan-Ye Li

指導教授：葉克家

Advisor : Keh-Chia Yeh

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute of Civil Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Civil Engineering

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

謝 誌

研究所期間感謝恩師 葉克家教授的細心指導，葉教授在課業、研究態度的啟發與教導及日常生活的協助與關心，點滴在心，在此謹致上最誠摯、崇敬之謝意與感激。

論文審定期間承蒙成功大學水利及海洋工程系 蔡教授長泰、水利署第二河川局 吳博士課長等提供諸多寶貴意見，使本論文更臻完善，僅此致上由衷的敬意與感謝。

昇學學長在淹水模式、相關軟體使用等各方面的指導，使我在研究過程遇到的問題最後都能找到方法解決。仲達學長在論文撰寫過程中的提醒，幫我釐清在許多重要觀念。同學博傑、宇翔、全謚、俊宏、振家、歆淳等在日常生活上的陪伴及鼓勵。再來還要感謝418研究室與交大防災中心的學長、學姊們及學弟妹於研究、生活上的幫忙。

最後僅以本論文獻給我親愛的父母、弟弟冠賦，感謝你們在精神上的支持與鼓勵。

氣候變異對於都市淹水影響之評估與應用研究

學生：李冠曄

指導教授：葉克家

國立交通大學土木工程研究所

中文摘要

隨著台灣社會經濟發展與全球氣候變異，都市地區因颱洪暴雨所造成之淹水課題也日趨重要，根據「政府間氣候變遷研究小組」在氣候變異度及極端氣候之研究中，可知與淹水災害相關因子主要為極端降雨及海水位上升；其中又以極端降雨對於易淹水地區影響最劇。

本研究考慮氣候變異條件下，極端降雨事件發生機率增加對於地區淹水之影響，並從水利署在易淹水地區治理計畫中，挑選常用之 SOBEK 淹水模式進行評估。首先針對模式演算理論部分進行評估，瞭解其運算方法、流程架構、格網建構與功能特點；另一方面選擇台北市玉成抽水站集水區為應用案例，考慮在不同降雨條件與不同土地利用情形下，下水道、人孔與地表水流間之交互作用關係，並進行模式之檢定驗證；研析氣候變異前後不同水文條件，對於下水道系統、區域排水及地表淹水之影響。

研究結果顯示，氣候變異前後不同重現期暴雨，對於玉成集水區淹水範圍及深度產生變化，因此極端降雨事件對玉成排水系統保護程度之改變，確實值得重視。

關鍵詞：氣候變異、淹水模式、淹水潛勢分析

Evaluation and Application Study on Urban-area Inundation Influenced by the Climate Change

Student: Guan-Ye Li

Advisor: Keh-Chia Yeh

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

The study of inundation resulted from typhoons and storms in urbanized area is more and more important, especially accompanied by the climate change and rapid growth of socioeconomic development in Taiwan. According to the study of climate change and extreme weather (Intergovernmental Panel on Climate Change), we can see that the main factors of flooding disaster are the extreme rainfall and sea level rise. Among them, the extreme rainfall has much larger impact on the inundation-prone area.

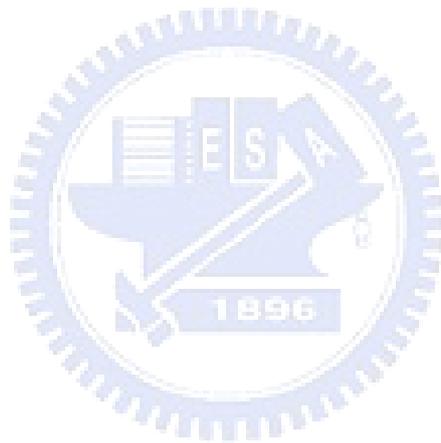
In this study we consider the increase of probability of the occurrence of extreme rainfall event under the climate change condition, and evaluate the impact on inundation situation. The commonly used model, SOBEK, in Water Resources Agency's inundation-prone area projects is evaluated. First, we review the theoretic bases of the models to realize the numerical scheme, grid generation and other characteristics. Second, we select the watershed of Yu-Cheng Pump Station in Taipei as the application example, considering the interaction relationships among the overland flows, sewers, manholes and the pump station capacities under different precipitation conditions and different Manning's n . Calibration and validation of the numerical model is also executed. Through analyzing the impacts on sewer system, regional drainage and inundation under the hydrological conditions before and after the climate change, we propose the relevant countermeasures.

According to the research result, the rainstorms of different return periods before and after climate change result in different flooding scopes

and water depths in Yu-Cheng Catchment area. Therefore, it is worthy to consider the change of protection level in Yu-Cheng drainage system due to the extreme rainfall events.

Keywords: Climate Change, Inundation Model, Potential Inundation Tendency

Analysis



目錄

謝誌	I
中文摘要	II
ABSTRACT.....	III
目錄	V
表錄	VII
圖錄	VIII
符號表	X
第一章 緒論	1
1-1 前言.....	1
1-2 研究目的.....	2
1-3 研究方法.....	3
1-4 研究流程.....	3
第二章 文獻回顧	5
2-1 氣候變異.....	5
2-2 漫地流及淹水模式.....	7
2-2-1 漫地流數值理論與格網產生.....	7
2-2-2 淹水系統整合部份.....	8
2-3 雨水下水道.....	10
2-3-1 管渠設計.....	10
2-3-2 管渠之管徑尺寸.....	11
第三章 淹排水模式理論及資料建置	12
3-1 淹排水模式理論.....	12
3-1-1 一維渠流模式.....	13
3-1-2 二維漫地流模式.....	15
3-2 資料建置.....	17
3-2-1 水文資料.....	18
3-2-2 地形高程資料.....	18
3-2-3 排水系統資料.....	18
第四章 模式檢定與驗證	20
4-1 研究區域概述.....	20
4-1-1 地理位置及地形.....	20

4-1-2	土地利用情況.....	20
4-1-3	水系.....	21
4-2	排水概況.....	23
4-2-1	抽水站系統.....	23
4-3	模式檢定.....	23
4-3-1	模擬條件.....	24
4-3-2	SOBEK 模式檢定過程說明	25
4-3-3	SOBEK 模式檢定分析	26
4-4	模式驗證.....	28
4-4-1	柯羅莎颱風事件驗證.....	28
第五章	氣候變異與淹水影響分析	30
5-1	水文分析.....	30
5-1-1	雨量站之選用.....	30
5-1-2	降雨頻率及雨型分析.....	30
5-2	下游邊界條件.....	32
5-3	模式應用分析.....	32
5-3-1	氣候變異前後考慮雨水下水道之淹水影響.....	33
5-3-2	氣候變異前後未考慮雨水下水道之淹水影響.....	33
5-3-3	結果與討論.....	33
5-4	氣候變異於颱風事件之影響.....	35
5-4-1	琳恩颱風事件.....	35
5-4-2	結果與討論.....	36
第六章	結論與建議	37
6-1	結論.....	37
6-2	建議.....	38
參考文獻	40

表錄

表 2-1 研究區域土地利用型態	45
表 2-2 研究區域雨水下水道的各管徑長度和比例	45
表 4-1 一般地表曼寧糙度值建議使用範圍.....	46
表 4-2 各土地利用型態地表曼寧糙度值之檢定分析	46
表 4-3 不同曼寧參數之模擬淹水面積比較表	47
表 4-4 柯羅莎颱風淹水面積及淹水深度	47
表 4-5 臺北市區納莉颱風期間嚴重淹積水地區一覽表	48
表 5-1 氣候變異前各重現期一日暴雨量.....	49
表 5-2 氣候變異後各重現期一日暴雨量	50
表 5-3 氣候變異前後相差雨量	51
表 5-4 各重現期之下游邊界條件	51
表 5-5 研究區不同土地利用面積統計	51
表 5-6 氣候變異前考慮雨水下水道對淹水面積之影響	52
表 5-7 氣候變異後考慮雨水下水道對淹水面積之影響	52
表 5-8 氣候變異前後考慮雨水下水道對淹水面積之差異	52
表 5-9 氣候變異前未考慮雨水下水道對淹水面積之影響	53
表 5-10 氣候變異後未考慮雨水下水道對淹水面積之影響	53
表 5-11 氣候變異前後未考慮雨水下水道對淹水面積之差異	53
表 5-12 琳恩、納莉颱洪案例最大淹水深度比較.....	54

圖錄

圖 1-1 過去 50 年來自然災害經濟損失之統計圖(單位：十億美元)	55
圖 1-2 模擬流程圖	55
圖 3-1 研究採用模組架構圖	56
圖 3-2 一維渠流和二維漫地流耦合演算之示意圖	56
圖 3-3 納莉、柯羅莎颱風各雨量站控制面積	57
圖 3-4 琳恩颱風各雨量站控制面積	57
圖 3-5 玉成集水區數值地表高程	58
圖 4-1 玉成集水區地理位置分布	58
圖 4-2 玉成集水區建築物分佈情況	59
圖 4-3 玉成集水區土地利用情形	59
圖 4-4 各土地利用所佔百分比	60
圖 4-5 玉成集水區周遭水系分佈	60
圖 4-6 玉成集水區排水系統分佈	61
圖 4-7 抽水機組配置	61
圖 4-8 抽水機組配置現況	62
圖 4-9 納莉 (Nari) 颱風路徑圖	62
圖 4-10 內湖雨量站 36 小時降雨組體圖	63
圖 4-11 信義雨量站 36 小時降雨組體圖	63
圖 4-12 南港雨量站 36 小時降雨組體圖	64
圖 4-13 公館雨量站 36 小時降雨組體圖	64
圖 4-14 納莉颱風五堵站實測水位	65
圖 4-15 三張犁截流溝之出流歷線	65
圖 4-16 第一、二組模擬 36 小時最大淹水範圍	66
圖 4-17 第三、四組模擬 36 小時最大淹水範圍	66
圖 4-18 第五組模擬 36 小時最大淹水範圍、實際調查最大淹水範圍	66
圖 4-19 納莉颱風淡水河流域實際調查淹水範圍	67
圖 4-20 柯羅莎 (Krosa) 颱風路徑圖	67
圖 4-21 信義雨量站 48 小時降雨組體圖	68
圖 4-22 公館雨量站 48 小時降雨組體圖	68
圖 4-23 內湖雨量站 48 小時降雨組體圖	69
圖 4-24 南港雨量站 48 小時降雨組體圖	69
圖 4-25 柯羅莎颱風五堵站實測水位	70
圖 4-26 柯羅莎颱風淹水模擬範圍	70
圖 4-27 Google Earth 道路名稱標示對照圖	71
圖 5-1 淡水河流域 24 小時無因次設計雨型	71
圖 5-2 氣候變異前之重現期 5 年 (左) 10 年 (右) 24 小時降雨組體圖	72
圖 5-3 氣候變異前之重現期 25 年 (左) 50 年 (右) 24 小時降雨組體圖	72

圖 5-4 氣候變異前之重現期 100 年 (左) 200 年 (右) 24 小時降雨組體圖	72
圖 5-5 氣候變異後之重現期 5 年 (左) 10 年 (右) 24 小時降雨組體圖	73
圖 5-6 氣候變異後之重現期 25 年 (左) 50 年 (右) 24 小時降雨組體圖	73
圖 5-7 氣候變異後之重現期 100 年 (左) 200 年 (右) 24 小時降雨組體圖	73
圖 5-8 模式建置玉成集水區下水道分佈情況	74
圖 5-9 模式建置下水道配置情況	74
圖 5-10 氣候變異前後重現期 5 年淹水面積差異	75
圖 5-11 氣候變異前後重現期 10 年淹水面積差異	75
圖 5-12 氣候變異前後重現期 25 年淹水面積差異	76
圖 5-13 氣候變異前後重現期 50 年淹水面積差異	76
圖 5-14 氣候變異前後重現期 100 年淹水面積差異	77
圖 5-15 氣候變異前後重現期 200 年淹水面積差異	77
圖 5-16 氣候變異前後重現期 5 年淹水面積差異 (無下水道)	78
圖 5-17 氣候變異前後重現期 10 年淹水面積差異 (無下水道)	78
圖 5-18 氣候變異前後重現期 25 年淹水面積差異 (無下水道)	79
圖 5-19 氣候變異前後重現期 50 年淹水面積差異 (無下水道)	79
圖 5-20 氣候變異前後重現期 100 年淹水面積差異 (無下水道)	80
圖 5-21 氣候變異前後重現期 200 年淹水面積差異 (無下水道)	80
圖 5-22 氣候變異前有無考慮雨水下水道淹水面積差異	81
圖 5-23 氣候變異後有無考慮雨水下水道淹水面積差異	81
圖 5-24 重現期 5 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	82
圖 5-25 重現期 10 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	82
圖 5-26 重現期 25 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	82
圖 5-27 重現期 50 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	83
圖 5-28 重現期 100 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	83
圖 5-29 重現期 200 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	83
圖 5-30 重現期 5 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	84
圖 5-31 重現期 10 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	84
圖 5-32 重現期 25 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	84
圖 5-33 重現期 50 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	85
圖 5-34 重現期 100 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	85
圖 5-35 重現期 200 年淹水範圍氣候變異前 (左)、變異後 (右)	85
圖 5-36 琳恩 (Lynn) 颱風路徑圖	86
圖 5-37 松山雨量站 48 小時降雨組體圖	86
圖 5-38 公館雨量站 48 小時降雨組體圖	87
圖 5-39 琳恩颱風五堵站實測水位	87
圖 5-40 琳恩颱風 48 小時淹水模擬	88
圖 5-41 琳恩基隆河實際調查淹水範圍	88

符號表

- A : 管渠通水面積 [m^2] ;
- a : 邊牆摩擦係數 ;
- C : Chezy 係數 ;
- D : 圓形管平均直徑 ;
- d : 模擬區域地表水深 [m] ;
- g : 重力加速度 [m/s^2] ;
- h : 水位 [m] ;
- n : 管渠粗糙率 ;
- Q : 流量 [m^3/s] ;
- R : 水力半徑 [m] ;
- S : 能量坡降，設計時取底床坡度，即 $S_0 = S_f$;
- t : 時間 [s] ;
- u : x 方向之平均流速 [m/s] ;
- V : 速度 $\sqrt{u^2 + v^2}$ [m/s] ;
- v : y 方向之平均流速 [m/s] ;
- x : 沿流動方向之空間座標 [m] ;
- y : 水深 ;
- z : 底床高程 ;

A_f : 濕周面積 [m^2] ;

Q_d : 管渠設計流量 [m^3/s] ;

S_f : 摩擦坡降 ;

q_{lat} : 河道之側入流量 [m^2/s] ;

q_1 : 單位河段長度之側向進流量 ;

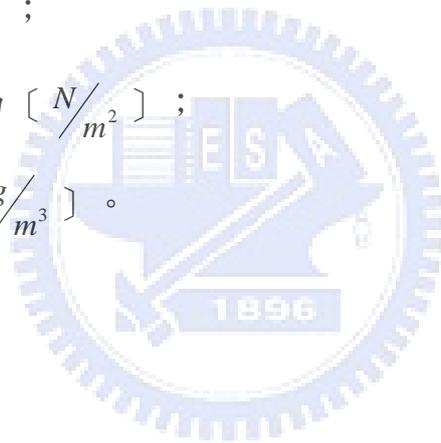
q_0 : 單位河段長度之溢岸流量 ;

V_l : 側向進流在主流方向之速度分量 ;

W_f : 河寬 [m] ;

τ_{wi} : 風生成剪力 [N/m^2] ;

ρ_w : 水密度 [kg/m^3] 。



第一章 緒論

1-1 前言

根據聯合國對全球自然災害調查之報告，過去 50 年(1950~1999)自然災害造成之經濟損失有逐年攀升之趨勢，如圖 1-1 顯示，1990 至 1999 年之損失約為 6,800 億美元（2002 年幣值），幾乎等於 1950 至 1989 年之總損失，其中以亞洲之損失最為嚴重。

以 2000 年為例，英國出現 200 年以上觀測史中雨量最多之秋季，並發生近 50 年來最嚴重之水災；同年 2 月在非洲莫三鼻克發生災民達 100 萬人之大洪水；同年九月，於柬埔寨、越南、泰國因熱帶性低氣壓所引起之大雨造成湄公河流域水災，230 人因此喪生。而台灣方面，2001 年納莉颱風重創北部地區引發淹水災害，造成地下鐵與捷運系統癱瘓；2005 年 612 水災重創全台多個鄉鎮，同年海棠颱風因降雨時間集中，降雨重現期距超出原先設計值，而造成彰化、台南、屏東等縣市及部份低窪地區因積水不及宣洩造成良田農舍泡水有如汪洋；2008 年卡玫基颱風與鳳凰颱風發生時間相距不到兩週，造成雲林、嘉義、台南及屏東等縣市排水不及造成淹水，且同年辛樂克颱風挾帶豐沛雨量造成台北、台中等縣市，市區排水不及造成淹水。因此，都市排水、淹水問題對人民安全及財產之影響至鉅，而極端降水事件對於淹水災難之影響，值得重視。

台灣位處亞太平洋颱風移動路徑之範圍，每年 4-6 月間的梅雨季以及 7-10 月間平均達 3 次以上侵襲颱風，經常伴隨著豪大雨，若再加上台灣地區河川坡陡流急的特殊地形，常會引發重大的淹水情況，對人民生命財產安全形成莫大威脅，造成巨大之損失。加上近幾年來，台灣各主要城市工商發展快速，致使人口集中，而全球氣候變遷、重大之工程建設和土地開發更使得地表逕流量增加，以及瞬間暴雨流量下，都市既有或規劃之排水系統保護標準可能降低，因此減少都市淹水以保護人民財產將成為一大課題。

1-2 研究目的

都市淹水問題在有良好管理及配套措施推動下，是可預先防範並進行改善，而各種淹水改善措施及建議須仰賴於數模之分析研究。本研究以水利署在易淹水地區治理計畫中，常用之淹水模式SOBEK進行評估。首先針對模式演算理論部分進行探討，瞭解其運算方法、流程架構、格網建構與功能特點。為求能瞭解氣候變異造成極端暴雨影響下對台北都會區之淹水影響，以台北市玉成抽水站集水區為研究對象，探討氣候變異對於研究區域內之雨水下水道、區域排水及地表淹水的衝擊。

1-3 研究方法

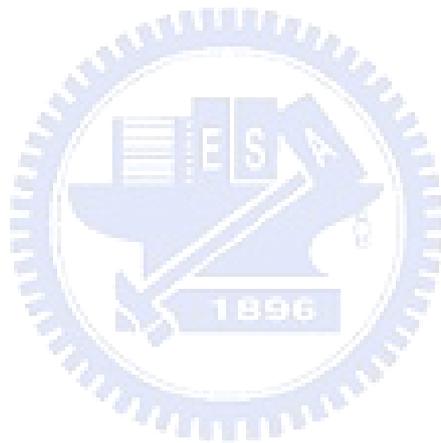
目前聯合國 (IPCC) 組織及許多國內外氣候變遷學者普遍將1990年訂為氣候變遷之轉折點，並以1960年至1989年之30年為氣候變遷前之研究基期，1990年後再依研究需求分為若干變遷情境。本研究以此觀念作為氣候變異之分歧點，並採用納莉颱風 (2001年9月) 及柯羅莎颱風 (2007年10月) 為案例，對SOBEK模式進行檢定與驗證工作。並以完成檢定驗證後之SOBEK模式，研究玉成抽水站集水區不同期距降雨量對於該區域淹水程度的影響程度，以期對於往後其他地區的雨水下水道規劃設計上能提供參考，並提出相關之調適建議，減輕洪水的威脅。

本研究由歷史發生之暴雨事件，探討氣候變異前與氣候變異後之水文資料對於玉成集水區，經歷都市化後 (2004年) 排水系統之影響及其保護程度之改變。研究目的主要在於可瞭解氣候變異前後，極端降雨對於都市排水設施所造成之保護程度改變及衝擊。

1-4 研究流程

本研究為求能瞭解氣候變異前後，降雨型態改變對都市地區之雨水下水道、區域排水及地表淹水衝擊影響，首先蒐集納莉 (2001年9月) 與柯羅莎 (2007年10月) 兩場颱風事件相關紀錄，並進行相關資料整理。

本研究使用 SOBEK 模式進行模擬分析，先以徐昇氏多邊形法進行研究範圍內雨量站之篩選，並計算出各雨量站之降雨權重分配，之後將颱風淹水模擬演算結果與實際調查範圍，進行比較分析，並以淹水調查較為完整之納莉颱風事件進行土地利用型態之檢定測試，模擬流程可參照圖 1-2。完成檢定驗證後，以設計之六場不同降雨事件及改變地表土地利用型態，探討氣候變異（降雨、水文）對於都市地區，對其區域排水效率及平地漫地流淹水之衝擊影響。



第二章 文獻回顧

2-1 氣候變異

近年來由於全球氣候變異，在大氣、海洋、地質、地貌、生態、人文社會、經濟與政治等各方面所造成之影響，引起世界各國重視。因此，各先進國家已投入許多人力及經費進行研究，聯合國於1988年成立IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)，對此問題做通盤探討。IPCC認為氣候變遷可能之變化有：(1) 溫度上升、(2) 雨量變化、(3) 颱風頻率及強度的增加及受災區地點之移動、(4) 極端氣候事件（旱災、水災）的增加、(5) 海平面的上升、(6) 生態平衡的改變。

國內方面對於氣候變遷與水資源衝擊之探討，已有許多學者針對台灣地區氣候變遷之相關課題展開研究。許等（2000）利用大氣環流模式分析台灣地區過去百年來之氣候變遷特徵，發現年溫呈現上升之趨勢，氣溫上升速率在 1.0 至 $1.4^{\circ}\text{C}/100$ 年，遠大於全球之平均值（ $0.6^{\circ}\text{C}/100$ 年）；在降雨量部分有呈現北增南減之現象；在年降雨日數有明顯減少之趨勢，且在豪、大雨日數部分，在台北、花蓮、淡水皆有增加之趨勢。虞與許（1998）、金與謝（2001）探討雨量資料之長期趨勢變化，發現年不降雨日數及年最大不降雨日數均呈現逐年增加之趨勢，同時，中南部地區之降雨量呈現逐年減少之趨勢而北部有

增加之趨勢，使得降雨型態變為延時縮短，降雨強度增強。盧與林（2008）採用中央氣象局21個測站時雨量資料，以箱型計數法組成1、3、6、12、24、48及72小時延時（D）之降雨事件，再根據box-plot法挑選出七種不同延時之極端事件，利用線性動差比圖分析決定以廣義柏拉圖分布（generalized Pareto distribution，GPD）模擬極端降雨事件之母體機率分布。陳永明（2008）以極端降雨與極端事件之氣候變異統計分析為例描述與災害有關的降雨強度，包括時雨量、3小時、6小時、24小時延時降雨強度於氣候變異特性及其與災害可能關係。陳雲蘭（2008）選取台灣本島自1951年來，較為完整18個氣象測站資料進行豪雨及雷暴等分析劇烈天氣的長期變化情形。以台北站為例，過去50多年豪雨日數平均值每年約有1天，而在出現3天以上僅有的8個年份中，就有5年是發生在1990年以後；而對近10年而言，雷暴天氣活躍程度並沒有持續減弱趨勢，部份年份如1998、2001、2005及2006等年份指標值甚至達到1970年代雷暴天氣出現頻率高峰期的水準。

國外方面，Lucero et al.（2002）分析阿根廷之長期降雨情況，顯示隨著降雨日數之增加，季節性降雨量、平均日降雨量、年降雨量都有呈現增加之趨勢，尤其是在夏季與秋季之降雨量增加較多。Collischonn et al.（2001）發現巴拉圭地區因受氣候變遷之影響，自1970年後降雨有明顯增加現象。Ziegler et al.（2001）利用VIC模式

(variable infiltration capacity model) 監測全球因氣候變遷造成各地降雨、蒸發散量、溫度及逕流量變化，發現未來在 2080 年各地之降雨、蒸發及逕流量，整體來說呈現增加趨勢。Huntington (2006) 從過去幾十年觀測到氣候暖化與水循環資料皆與水文系統許多分量變化相關，諸如：降水分佈、強度和極值產生明顯變化、冰山和積雪大範圍的融化、大氣中的水汽增加、蒸發量增加及土壤濕度和逕流發生變化。

這些研究皆指出近年來氣候產生變異，不論是氣溫上升、冰山與積雪融化造成海平面上升或是極端降水產生之洪水皆與人類生活有著密不可分的關聯，而本研究以探討降雨量之變異對於都市地區排水設施之衝擊，可供災害預防規劃上之參考。

2-2 漫地流及淹水模式

國內外關於淹水及漫地流模擬之研究頗多，主要研究方向可分為漫地流數值理論、格網產生與分割技巧、淹水系統模組整合等，以下對相關文獻進行回顧。

2-2-1 漫地流數值理論與格網產生

漫地流數值理論以求解水深平均後之淺水波方程式為主，Preissmann and Cunge (1980) 曾將洪氾區依地形與地貌畫分格網，配合所發展之理想管道、堰等概念模式，再利用一維水流理論求解各

格網中心點之淹水深度，並將此模式應用於湄公河三角洲低窪地區之洪氾平原。後來 Vongvisessomjai (1985) 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及長期之水文紀錄，方可檢定其參數值。Garcia (1986) 曾以 MacCormack scheme 應用於二維之聖凡南方程式 (St. Venant equation)，並模擬突擴斷面水流產生環流 (circulation) 之情形。Inoue et al. (1987) 利用交錯格網技巧 (stagger scheme)，模擬二維洪水波傳遞動態，以避免求解所產生之發散問題。Aknbi and Katopodes (1988) 對初始無水地面之洪水傳遞，利用有限元素法求解水流前進線及淹水深。Han et al. (1998) 以顯式法求解二維漫地流模式，探討堤防潰決後對於漢城市區造成之淹水情形。Ferrante et al. (2000) 將二維漫地流模式應用於羅馬市區，規劃洪水災害發生時之最佳逃生路線。

2-2-2 淹水系統整合部份

Marka et al. (2004) 以一維水文模式結合地下管路、街道關係來模擬淹水，除了考慮地形及排水系統以外，還以手動劃分考慮土地利用分佈情形，應用於孟加拉首都達卡市。Hall and Tarantola (2005) 針對分佈型淹水模式邊界條件進行敏感度分析與校正。Wilson (2005) 將淹水模式 LISTFLOOD 應用三種不同高程資料形式，評估對淹水模擬結果之影響。Dutta and Alam (2007) 採用二維分佈式水文模式，

結合地理資訊系統 (GIS)，應用於湄公河流域，推算一場洪水空間上之影響與持續時間，用以建立洪水預警系統。

國內關於淹水模式之研究方面：楊 (1995) 討論數值高程模型 (digital terrain model, DTM) 解析度對淹水模式分區代表高程之影響，其方法係將原始解析度 $40\text{m}\times 40\text{m}$ 之數值高程，以雙線性及選取最近點法內插，產生 $20\text{m}\times 20\text{m}$ 與 $80\text{m}\times 80\text{m}$ 兩種解析度之數值高程，再重新取樣對分區代表高程，並與採用賀伯颱風淹水模擬所得之最大分區淹水深度，進行比較。許等 (1996) 將二維核胞淹水模式應用於八掌溪，考慮一維河川水流對地表淹水之影響，成功銜接一維變量流及二維核胞淹水模式。蔡等 (1999) 建立市區排水與淹水模式，考慮街區積水深度之改變及相鄰街道間之流量交換關係，應用於工程設計及排水功能測試，進而建立淹水預警系統。盧 (2000) 成功銜接一維變量流及二維漫地流淹水模式，並模擬賀伯颱風臺北縣地區之淹水情況。陳 (2001) 則建立考量調節池效應之二維漫地流淹水模式，並應用於台南科學園區。

本研究採用水利署在易淹水地區治理計畫常用之 SOBEK 淹水模式，該模式為模組化之淹水模式，利用其降雨逕流 (rainfall-runoff) 模組、渠流 (channel-flow) 模組、下水道 (sewer-flow) 模組及漫地流 (overland-flow) 模組等四種模組，以模擬雨水下水道、人孔與漫

地流間交互作用下之淹水情形。

2-3 雨水下水道

雨水下水道設計應用方面，由於市區都市化發展使建築物林立，道路也大多由不透水鋪面組成，因此不透水表面比例加大，減少雨水入滲，以致造成地表逕流增加，一般定義集流時間為降於集水區上游端之雨水流至最下游雨水下水道出口所需之最長時間。雨水流入雨水下水道時間會因為集水區道路網分佈、土地利用型態（如表2-1）、流域地表透水情況、地表坡度等原因而有所不同。一般雨水下水道系統，其管線路徑分佈，大多呈現樹枝狀，愈接近下游出口或抽水站的管線，其斷面積愈大。

2-3-1 管渠設計

雨水下水道設計可採用庫特公式（Kutter's formula）或曼寧公式（Manning's formula）計算流速與流量，惟採用曼寧公式者居多。曼寧公式為：

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} = \frac{Q_d}{A} \quad (2-1-1)$$

式中， Q_d ：管渠設計流量 [m^3/s] ；

A ：管渠通水斷面積 [m^2] ；

R ：水力半徑；

S : 能量坡降，設計時取底床坡度，即 $S_0 = S_f$ ；

n : 管渠粗糙率（RCP < 600 mm 時 $n = 0.015$ ，

RCP \geq 600 mm 時 $n = 0.013$ ，箱涵 $n = 0.015$ ）；

V : 管渠雨水流速 [m/s] 。

為避免管渠中泥砂淤積及雜草蔓生，流速限制最小為 0.8 m/s（歐陽嶠暉，1983；台北市政府，1990），Fair and Geyer（1959）與 Steel and McGhee（1979）則建議流速限制最小為 0.75 m/s，另為防止流速過大，造成管壁沖刷，流速限制最大為 3.0 m/s（歐陽嶠暉，1983；台北市政府，1990）。

2-3-2 管渠之管徑尺寸

在工程實務上，國內主辦機關於設計雨水下水道時，起始管徑最小由直徑 600 mm 開始，由上游向下游管徑逐漸加大至某一最大管徑，而更大之涵管管徑由於施工及運送較不方便而採用箱涵。如表 2-2 為研究區雨水下水道，建置於模式上之各管徑長度和比例。

第三章 淹排水模式理論及資料建置

3-1 淹排水模式理論

本研究中所選用之淹水模式為SOBEK模式，該模式為經濟部水利署與荷蘭WL|Delft Hydraulic公司所共同合作研發的模式，模式初期以一維管道演算為基礎，採用顯式有限差分模式來求解迪聖凡南方程式（de Saint Venant equation），二維地表漫地流演算功能是由一維淺水流方程式擴展而成。此外，SOBEK模式也是經濟部水利署在進行易淹水地區治理計畫中常用之淹水模式，可見SOBEK模式本身已具某種程度上之公信力，故決定採用SOBEK模式為本研究之淹排水模擬工具。

SOBEK模式區分為區域排水（rural）、都市排水（urban）及河川（river）等三個應用版本，該模式包括九個模組，分別為：降雨逕流模組（rainfall - runoff）、渠流模組（channel - flow）、下水道模組（sewer - flow）、漫地流模組（overland - flow）、即時控制模組（real-time control module）、河川水流模組（river flow module）、水質分析模組（water quality module）、輸砂模組（emissions module）、地下水模組（ground water module），本研究則採用前四種模組，考量整體都會區排水情況與漫地流之交互作用，以模擬漫地流淹水情形。由於本研究以SOBEK模式進行模擬，茲將其水理演算之理論基礎簡述如下：

3-1-1 一維渠流模式

河川洪流演算係以一維變量流之動力波傳遞理論為依據，即利用迪聖凡南氏（de Saint Venant）所導出之緩變量流方程式來描述河川水流之流動，並使用非線性隱式差分法求解各時段之水深與流量，在主、支流匯流處，則以主支流水位相等及進出流量之平衡為匯流條件，以求解各斷面之水深及流量。

(1) 迪聖凡南方程式 (de Saint Venant Equation)

河道之洪水波可視為一維緩變量流，並可由一維緩變量流之基本方程式建立數學模式以演算洪水波之傳播過程。迪聖凡南方程式(de Saint Venant Equation)導得明渠一維緩變流之連續方程式及動量方程式可表示如下：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_1 - q_0 \quad (3-1-1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q^2}{A} \right] + gA \left[\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right] = q_1 v_1 - q_0 \left[\frac{Q}{A} \right] \quad (3-1-2)$$

式中， Q ：流量； A ：通水斷面積； x ：沿流動方向之空間座標； t ：時間； q_1 ：單位河段長度之側向進流量； q_0 ：單位河段長度之溢岸流量； g ：重力加速度； y ：水深； z ：底床高程； S_f ：摩擦坡降； V_1 ：側向進流在主流方向之速度分量。

以有限差分法中之線性完全隱式法化簡河川緩變流基本方程式時，可將（3-1-1）式及（3-1-2）式化為一組線性聯立差分式：

$$a_{1i}Q_i^{j+1} + a_{2i}y_i^{j+1} + a_{3j}Q_{i+1}^{j+1} + a_{4i}y_{i+1}^{j+1} = c_i \quad (3-1-3)$$

$$b_{1i}Q_i^{j+1} + b_{2i}y_i^{j+1} + b_{3j}Q_{i+1}^{j+1} + b_{4i}y_{i+1}^{j+1} = d_i \quad (3-1-4)$$

(3-1-3) 式為連續方程式之差分式，(3-1-4) 式為動量方程式之差分式。a,b,c,d 為 $t = t^j$ 時之已知水力條件函數， $Q_i^{j+1}, y_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1}, y_{i+1}^{j+1}$ 則為 $t = t^{j+1}$ 時之流量及水深，為欲求得之未知數。

河川之洪流演算，依據 de St. Venant 所推導之一維緩變量流方程式，考慮水流之連續及運動方程式，即為動力波模式，其控制方程式為：

$$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat} \quad (3-1-5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q^2}{A_f} \right] + gA_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 R A_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} = 0 \quad (3-1-6)$$

- 式中，
- Q ：流量 $[m^3/s]$ ；
 - g ：重力加速度 $[m/s^2]$ ；
 - t ：時間 $[s]$ ；
 - x ：沿流動方向之空間座標 $[m]$ ；
 - h ：水位 $[m]$ ；
 - R ：水力半徑 $[m]$ ；
 - q_{lat} ：河道之側入流量 $[m^2/s]$ ；
 - A_f ：濕周面積 $[m^2]$ ；

C : Chezy 係數 ;

W_f : 河寬 [m] ;

τ_{wi} : 風剪力 [N/m^2] ;

ρ_w : 水密度 [kg/m^3] 。

其中，SOBEK模式之Water Flow模組在處理運動方程式時，則加入風剪力的影響，此項在本研究範圍內渠流寬度不大故本項影響較小，故本研究將本項予以忽略不計。模式於考慮單位河川長度之側入流量時，包括經由涵洞、閘門、抽水機或堰等方式，排入渠道之流量，其流量之計算可由水工結構物演算獲得。而SOBEK模式於進行下水道流況模擬部份，係根據一維緩變量流方程式進行水理演算，與美國環境保護署所發展之暴雨經理模式（Storm Water Management Model, SWMM）在幹線輸水部分，採用一維緩變量流方程式來模擬下水道管線水流之流動相同。

3-1-2 二維漫地流模式

SOBEK 模式在進行二維漫地流演算時，採用二維動力波方程式為基礎，其中式（3-1-7）為連續方程式，式（3-1-8）、（3-1-9）分別為水平方向與垂直方向之動量方程式。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = 0 \quad (3-1-7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{u|V|}{c^2 d} + au|u| = 0 \quad (3-1-8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{v|V|}{c^2 d} + av|v| = 0 \quad (3-1-9)$$

式中， u ： x 方向之平均流速 [m/s] ；

v ： y 方向之平均流速 [m/s] ；

V ：速度 $\sqrt{u^2 + v^2}$ [m/s] ；

d ：模擬區域地表水深 [m] ；

g ：重力加速度 [m/s^2] ；

h ：地表水位 $h = d + z$ [m] ；

a ：邊牆摩擦係數；

C ：Chezy 係數。

（本研究採曼寧係數 n 計算， $n = \frac{1}{C} R^{1/6}$ ， R 為水力半徑）。

對於質量守恆方程式與動量守恆方程式所形成的迪聖凡南（de Saint Venant）方程式，SOBEK設計以「Delft Scheme」的邏輯進行求解。Delft Scheme的主要概念，是利用交錯網格（staggered grid）的方式求解控制方程式。在此方法中，水深定義為相連端點與計算節點的變數，而流量則定義在節點間的河道或計算渠道之中。

SOBEK模式執行二維漫地流演算時，採用完整之動力波方程式，可進行一維渠道變量流、二維漫地流及雨水下水道之模擬。而模式在進行一維渠流和二維地流耦合演算時，於地表網格與渠道演算節點交

界處，將地表逕流視為渠道流之側流量，進而建構一維及二維演算之機制；如圖3-2所示，其中白色圓形代表渠道演算節點，灰色圓形代表地表網格計算之節點，紅色圓形代表連結點，黑色粗線代表渠道，在渠道與地表附近選取最相近之計算節點連接計算，並可考慮等多種水利設施功能之操作，包括孔口、堰、抽水機、涵洞等設施。SOBEK模式內建有視窗化的操作介面，提供使用者建置模式輸入資料之用並可進行動態展示功能。一般模式實際應用部份，模式輸入資料若能結合地理資訊系統，可大幅減少資料輸入準備整理工作，並提高資料正確性。同時，淹水模擬結果亦常需搭配地理資訊系統以從事後續規劃分析應用。SOBEK模式之資料輸出入，皆可與地理資訊系統接軌。目前SOBEK模式僅能搭配該公司提供之其他模組進行擴充，模式後續開發彈性較受限制並且在軟體費用部份，SOBEK模式之價格除了軟體版權購買外，尚須每年支付維護費用方能持續獲得WLD|Delft公司技術人員協助及諮詢，為其使用上之缺點。

此外，SOBEK模式因已進行商業化應用，具有較佳之操作環境，就模式使用者觀點而言，SOBEK模式較適合於實務應用及推廣。

3-2 資料建置

淹水模式模擬必須要輸入之參數通常包含了水文資料、曼寧糙度 n 值、人孔、雨水下水道、區域排水、土地利用型態、地表高程等相

關資料，因此在進行模擬前，須收集完整而詳細的資料以利研究進行。

3-2-1 水文資料

從大台北都會區，歷年來造成淹水紀錄之研究計畫報告中，研擬出目標颱洪場次（納莉、柯羅莎及琳恩），再以玉成集水區為目標，進行淹水情境模擬。選擇有降雨紀錄之雨量站進行徐昇氏多邊形法，雨量站權重分析如圖3-3、圖3-4所示。

由中央氣象局臺北站之實測雨量資料，挑選1951年~2008年雨量以皮爾森第三型分佈進行頻率分析及Horner公式，建立降雨強度-延時公式，進行不同重現期距淹水情境模擬。

3-2-2 地形高程資料

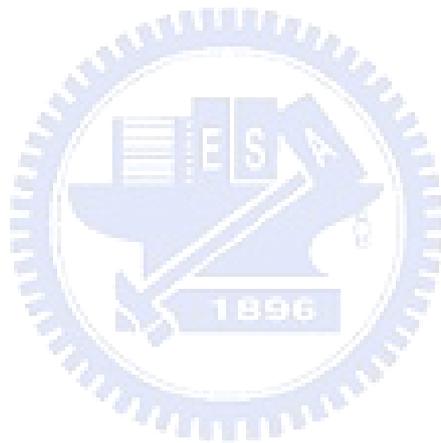
本研究淹水模式資料建置部份，地形高程採用台北市政府提供之玉成抽水站集水區及其周遭行政區最新實測資料，用以建置數值模擬用之網格輸入資料，圖3-5為研究區域之數值地表高程。另外，在土地利用資料方面，則根據2004年內政部地政司的台灣省國土利用現況調查數化資料，用以決定格點之曼寧糙度 n 值。

3-2-3 排水系統資料

本研究以台北市政府提供之排水系統資料，將人孔分佈情況及雨水下水道種類、管徑尺寸、管底高程、設計流量及下水道坡度等相關

資料進行整理，再將雨水下水道系統之建置於研究區域內，共計完成建置1,658個下水道管線，1,973個人孔資料。

另考慮玉成抽水站及三張犁截流溝之排水效用，將玉成抽水站之操作準則與三張犁截流溝之斷面高程建置於模式中，進行淹水情境模擬。



第四章 模式檢定與驗證

4-1 研究區域概述

台灣都市發展快速，住宅區、商業區、公園綠地及街道路網等之闢建或改建而改變地形地貌，加以都市排水系統原本設計標準不高，以及集水區改變等因素，以致發生局部豪雨或颱風暴雨時，便有渲排不及而積水溢淹災情，造成民眾生活不便及財務經濟損失。本研究以水文紀錄及抽排紀錄較為完整之台北市玉成抽水站排水系統(含信義區、南港區及大部分大安區)為研究對象，以達成研究成果之實用性。

4-1-1 地理位置及地形

玉成集水區橫跨台北市信義、大安、南港、松山等四個行政區，東南方緊臨四獸山及南港山區，圖4-1為研究區域地理位置分布情形，該區域位於台北盆地境內，地勢低窪屬於盆地地形，由東南向北邊緩降，北側緊鄰基隆河，另外由於信義計畫，都市發展積極建設，多條聯外道路，構成四通八達之交通聯絡，促成人口密度集中。且由圖4-2建築物分佈情況可知，市區中心隨著人口不斷集中，多已開發為住宅及商業建築用地。

4-1-2 土地利用情況

由表2-1、圖4-2建築物分佈情形資料筆數可知，信義區、南港區

隨著人口不斷集中，多已開發為住宅及商業建築用地，工業區主要以分布在南港區居多，而保護區及公園綠地主要集中在東南方，提供民眾假日遊憩休閒如圖4-3所示。

圖4-4為研究區域歸類後之各土地利用所佔百分比，其中以建築用地所佔比例最大，為 73.86%，其次為遊憩用地17.39%及交通用地6.44%。

4-1-3 水系

圖4-5為研究區域主要水系分布情形，包括基隆河、四分溪、大坑溪均屬於淡水河水系。

(1) 基隆河

基隆河發源於平溪鄉菁桐附近，全長86.4公里，流域面積約500平方公里。向東流經十分瀑布後開始深切，形成峽谷地形，至三貂嶺附近，向東北東的流路驟轉為北向，並在瑞芳附近急轉向西。本段地形主要受侯硐背斜之影響而呈一長穹狀構造地形，呈東北東-西南西走向，高度不超過800公尺。流經瑞芳之後，進入和緩起伏的丘陵帶，河谷漸地開廣，成為曲流。至八堵、松山自汐止間有廣大的河床平原，此後在南港附近進入臺北盆地。進入臺北盆地後呈自由曲流，最後在關渡隘口處與淡水河匯合，朝西入海。

(2) 大坑溪

大坑溪，又名為舊莊溪或東勢坑溪，位於台灣北部，屬於淡水河水系，為基隆河的支流，流域分佈於臺北縣汐止市西南部與台北市南港區東部、南部，是南港、汐止行政界線。該溪發源於牛鞍山、鹿窟山之間鞍部西側，先向西南流至大坑，轉向西北流經大坑尾、東勢坑、舊莊後，彎向東北迂迴地於坑子內注入基隆河。

(3) 四分溪

四分溪發源於福德公墓嶺頭東側，是大坑溪的主要支流，長約4660公尺，集水面積約300公頃，由南港、文山與信義等區交界處標高250公尺的源頭，往東北沿著研究院路流經中華工業技術學院、中央研究院等，於研究院路1段南深橋匯入大坑溪。四分溪的集水區範圍內支流密佈，早期也是煤礦主要生產區域，當時缺乏防災及保育觀念，開採後慢慢形成廢礦渣堆置地區，長久以來遭受洪水沖蝕，礦渣崩塌情形嚴重，產業發展局曾多次進行沿溪的溪溝整治、廢礦渣地植生維護工程、廢礦渣地穩定植生、水文監測站設置等。然而，1998年10月16日瑞伯颱風及10月24日芭比絲颱風來襲，挾帶強烈豪雨，研究院路4段29號前及50號鄰近步道，因溪水暴漲，形成洪氾，兩岸農田基腳遭沖蝕淘刷，道路基塌陷損毀，為了維護當地居住及農耕安全，產業發展局決定以生態工法先行辦理整治，並於2001年起針對中、上

游溪段逐步進行整體整治。

4-2 排水概況

根據「台北市雨水排水系統設計規範」，台北市雨水排水系統採用五年重現期之設計標準。圖4-6為玉成集水區之排水系統及雨水下水道系統分佈圖，可看出玉成集水區已建置密集之雨水下水道系統，而規畫之下水道總長為78,696公尺。玉成排水系統，主要是由三大次排水幹線，松隆路幹線、中坡北路幹線、南港幹線匯流而成，經由雨水下水道系統銜接至上述流域內之河川支流排水，以重力排水方式匯入三張犁截流溝進入基隆河。

4-2-1 抽水站系統

玉成抽水站位於台北市南港區成美橋側基隆河左岸，於1987年完工，集水區範圍包括辛亥路以北、基隆路及光復南路以東、向陽路以西和基隆和以南區域，總面積約1,627.4公頃。抽水站現有裝置7部26.3cms共計抽水量184.1cms之抽水機組，詳細配置及現況如圖4-7、圖4-8，抽水機組設定1.8m為啟動水位、2.4m為起抽水位高程，設計外水位採用基隆河治理計畫10年重現期距洪水位。

4-3 模式檢定

模式中參數檢定之方式，首先參考文獻建議值，再利用單一場水

文事件檢定，以調整適當參數，最後再以另一場水文事件進行驗證。若驗證結果良好，則模式完成檢定驗證工作。反之，則必須重新進行參數之檢定。

本研究以2001年9月之納莉颱風事件，進行SOBEK模式之檢定模擬。在進行玉成抽水站之淹水模擬前，先將玉成排水系統依實際劃分三大次排水幹線系統（松隆路幹線、中坡北路幹線、南港幹線）整理建模，以集水區範圍為模擬邊界，並考慮抽水站之功能。

4-3-1 模擬條件

本研究以玉成集水區為探討對象，並以民國 93 年排水系統之配置，為主要模擬目標。根據 SOBEK 模式模擬所需資料，蒐集 93 年之人孔、雨水下水道、明溝、土地利用情形、地表建築物分布、數值地表高程等資料建構 SOBEK 模式如圖 4-2~4-6。

在格網大小與邊界條件部分，SOBEK 模式格網大小決定於所用數值地表高程之精細程度，本研究蒐集之玉成集水區數值地表高程資料為 $4m \times 4m$ ，由於有少部區域是屬於未公開之區塊，故利用 sufer 軟體將資料內插成 $16m \times 16m$ ，作為模式所用之資料。在邊界條件部分，由於檢定驗證案例改不同之條件，故就各案例分別介紹之。

4-3-2 SOBEK模式檢定過程說明

淹水模式中主要檢定參數為地表曼寧糙度，檢定時首先參考國內外相關研究文獻中所建議之糙度值範圍，整理如表4-1所示。為能適當掌握地表曼寧糙度對淹水模擬結果之影響，本研究蒐集玉成集水區之土地利用現況調查資料，將土地利用情況分為農業用地、交通用地、水利用地、建築用地、工業用地、公園綠地及其他等七類，以做為各種土地利用曼寧糙度分類之依據。

檢定過程則依據表4-1中所建議之地表糙度範圍，分別採用了五組漸增之地表曼寧糙度值（如表4-2）加以模擬。由於不同土地利用之曼寧糙度值都有其建議使用範圍，因此五組參數在設計上便將各土地利用建議值範圍由小到大涵蓋之。其中住宅區因不同鋪面覆蓋，地表糙度建議值最小為0.05，最大可達0.10，但若考慮玉成集水區實際建築用地使用情況，應以0.07~0.10較為合理。

因玉成集水區為開發較完全之都會區，建築用地比例相對較大，因此土地利用型態最主要為建築、工業及公園綠地，故調整各組糙度值著重於該三種土地利用；第一組參數較偏此三種土地利用地表曼寧糙度值建議範圍的最小值，而第三組參數則為建議範圍較偏低的中間值，第五組參數為建議範圍較偏高的中間值，而第二、四組地表曼寧糙度值則分別介於第一、三、五組。

納莉颱風 (Nari) ，2001年9月6日11時於台灣東北方海面形成，日本氣象廳即命名為納莉颱風，年度編號為0116，並發佈為中度颱風。颱風中心於9月16日21時40分左右在台灣東北角登陸，納莉颱風侵襲台灣期間造成嚴重災情。圖4-9為納莉颱風路徑圖。納莉颱風在台灣共停留49小時(而1996年賀伯颱風在台灣停留7小時)，停留時間之長，亦是百年僅見。

圖4-10至圖4-13為納莉颱風侵台期間（90年9月16日0時起），玉成集水區周遭雨量站之36小時降雨組體圖，由此圖可看出降雨集中於16日22時至24時之內湖、南港、信義、公館等雨量站，每小時雨量均超過40毫米，而且內湖、南港這兩個雨量站在23時雨量均超過70毫米；隔日07時所降下之雨量又為另一波高峰，雨量均超過50毫米以上，颱風發生期間總計累積雨量為810毫米以上，因降雨過度集中，造成多處淹水災情。

下游邊界條件係參考水利署鄰近研究區域內之五堵水位站於納莉颱風期間(2001年9月16日0時起48小時)之實測水位紀錄，如圖4-14所示，利用底床坡度之斜率等比換算下游邊界水位。

4-3-3 SOBEK模式檢定分析

為進行模式檢定，本研究經由國家災害防救科技中心協助，取得淡水河流域於納莉颱風期間之淹水資料，資料顯示除局部區域因人為

造成排水阻塞導致淹水外，多數淹水地區主要受到颱風挾帶豐沛雨量影響，使得溪水暴漲與局部堤防潰決而發生淹水。蒐集到經由地理資訊系統完成淹水地點空間定位，繪製成圖4-18之納莉颱風實際調查淹水範圍，圖中顯示，紫色淹水區塊為台北市中山、松山、大安、信義、南港、內湖等行政區，有較大之淹水範圍，其餘尚有粉紅色為台北縣淹水紀錄。

模擬之淹水面積比較表如表4-3所示。另外，各組地表曼寧糙度值對於三張犁截流溝之出流歷線，亦如圖4-15所示，圖中顯示若採用較大之曼寧糙度值將會降低集水區下游之出流量，亦即有較多的雨水量留在集水區中，因此淹水面積會較大。而研究中調整各組地表曼寧糙度值的過程著重於建築用地、工業用地及公園綠地等三種，以第一組及第五組為例：若將建築用地及工業用地之曼寧糙度值分別調高43%（由0.07調整為0.1）、30%（由0.06調整為0.08），則其淹水面積約增加1.5%，而其下游出流量則相對減少。

選取模擬淹水深度達 0.3 公尺以上之淹水範圍，並與納莉颱風調查淹水範圍進行淹水格網對照比較，如圖 4-16 至 4-19 所示，由圖可看出，第一組及第二組淹水結果雖集中於信義區、南港區等地勢低窪處，但與實測資料比較則明顯偏低；第三組淹水結果雖較接近實測資料，但週邊少數零星淹水似乎稍嫌不足；而第四組之糙度值模擬之淹

水範圍及淹水趨勢及週邊少數零星淹水情況與實際調查淹水範圍較為一致；至於第五組之糙度值模擬之淹水範圍及淹水趨勢及週邊少數零星淹水情況與實際調查淹水範圍則稍嫌偏多。由檢定結果，可知第四組之糙度值模擬最大淹水格網數與實際調查淹水格網符合率最高，故採用第四組之糙度參數為後續模擬之用。

4-4 模式驗證

為進行淹水模式之驗證，收集研究區域內2007年科羅莎颱風實測降雨資料，並以先前檢定後的參數值進行SOBEK模式之驗證。

4-4-1 柯羅莎颱風事件驗證

柯羅莎颱風 (Krosa)，2007年於呂宋島東方海面形成，年度編號為0715，並發佈為強烈颱風。中央氣象局於4日17時針對柯羅莎颱風發布海上颱風警報，5日05時發布海上陸上颱風警報；柯羅莎颱風中心於6日22時30分左右於頭城及三貂角間登陸，如圖4-20。中央氣象局於10月7日20時解除陸上颱風警報。柯羅莎颱風影響台灣期間(10月4~7日)。

蒐集研究區周遭雨量站於颱風期間之實測降雨，並將信義、公館、內湖、南港等雨量站以徐昇氏分配各雨量站面積權重。信義、公館、內湖、南港24小時降雨組體圖，如圖4-21至圖4-24所示。

下游邊界條件係參考水利署鄰近研究區域內之五堵水位站於柯羅莎颱風期間(2007年10月5日22時起24小時)之實測水位紀錄，如圖4-25所示，利用底床坡度之斜率等比換算下游邊界水位。

將24小時降雨歷線及下游邊界條件輸入SOBEK模式進行淹水模擬，結果如圖4-26至圖4-27所示，由圖上及對照Google Earth來研判淹水大多集中於市民大道五段以東、忠孝東路五段以北、永吉路225巷及虎林街附近區域，由於地勢低窪，因此有較大之淹水範圍及淹水深度；靠近基隆河沿岸因地勢低窪而形成淹水，集水區中央處為信義行政區，因下水道系統建置較完整，有少數零星淹水現象，三張犁截流溝匯流處也同樣因地勢低窪及位處兩排水匯流口而有淹水情形。

第五章 氣候變異與淹水影響分析

由於氣候變異前後降雨頻率及降雨強度產生改變，故針對氣候變異前後降雨量進行研究分析，並以玉成集水區一日暴雨進行淹水模擬，探討降雨頻率與淹水災害之影響。

5-1 水文分析

藉由雨量站之選用、降雨頻率及雨型分析，瞭解氣候變異前後水文條件之差異，以做為模式演算之依據。

5-1-1 雨量站之選用

本研究以1990年為水文條件之分歧點，從中央氣象局及水利署設置之雨量站，挑選研究區域鄰近之雨量站。在參考相關研究計畫報告後，蒐集了玉成集水區週邊雨量測站資料，計有水利署所轄雨量測站3站，中央氣象局所轄雨量測站14站。

考慮其設置時間與空間分布差異，發現1896年設置之中央氣象局臺北站，紀錄年限為超過50年以上之雨量站，且在空間位置靠近研究區域，故以其為研究之雨量站。

5-1-2 降雨頻率及雨型分析

本研究將降雨頻率分為氣候變異前與氣候變異後進行探討。

(1) 氣候變異前降雨頻率

採用「台灣地區降雨與延時特性分析」報告中，對於中央氣象局臺北站1951~1989年頻率分析結果，其結果係經由皮爾森第三型機率分佈，進行5年、10年、25年、50年、100年及200年重現期降雨量之推估，再以Horner公式之型式，建立降雨強度-延時公式。

(2) 氣候變異後降雨頻率

採用中央氣象局臺北站1990~2008年之一日降雨資料，並以皮爾森第三型分佈進行頻率分析後，再以Horner公式之型式，建立降雨強度-延時公式。

設計雨型部份，本研究參考「台北縣市淹水潛勢資料」報告中，淡水河流域24小時無因次設計雨型（如圖5-1）做為研究區域之代表雨型，氣候變異前後各重現期逐時降雨分佈資料如表5-1、5-2所示，由表中可知，降雨尖峰時間發生於整個降雨歷程之第11小時，氣候變異前各重現期尖峰小時雨量分別為37.8、44.2、51.5、56.6、61.5及66.02毫米；其24小時總降雨量則依次為242.4、283、330.3、363、393.9及423.2毫米。氣候變異後各重現期尖峰小時雨量分別為41.3、53.9、71.3、86.1、102.7及121.8毫米；其24小時總降雨量則依次為268.4、350.6、463.4、559.7、667.7及791.9毫米，氣候變異前後各重現期總降雨量差異，如表5-3所示，由表中可知，相差雨量約在26.0~368.7毫米。

5-2 下游邊界條件

依SOBEK模式建議，一般河川之下游邊界條件均採用水位資料。因此本研究之下游邊界條件主要為三張犁截流溝下游出口處匯入基隆河之水位，參考「基隆河整體治理計畫」，基隆河於下游出口處之各重現期水位計算後所得。

由於治理計畫報告中，係以發生極端值之條件設定最高洪水位，足以涵蓋極端值最惡劣之情況，故本文以其模擬不同重現期之最大淹水範圍及深度。

5-3 模式應用分析

完成SOBEK模式之檢定驗證後，將模式應用於玉成集水區，擬以不同設計降雨事件，包括氣候變異前後重現期5年、10年、25年、50年、100年及200年（圖5-2至圖5-7），配合各重現期之水位當作下游邊界條件，如表5-4，模擬其淹水情況，以探討該區域之淹水潛勢。

由於玉成集水區已修築完整之下水道系統，故本研究模擬有雨水下水道之淹水情況，圖5-8、圖5-9為模式建置玉成集水區雨水下水道分佈情況，並與無雨水下水道之情況對照。表5-5為研究區域內不同土地利用情況所佔之面積，其中再把土地利用資料將其歸類為六種土地利用型態，分別為農業用地、交通用地、水利用地、建築用地、工業用地、遊憩用地。

5-3-1 氣候變異前後考慮雨水下水道之淹水影響

以玉成集水區於 2004 年後，修築之下水道來做探討，分析在該區面臨氣候變異前後重現期暴雨情況下，雨水下水道對於淹水災害改善之效果。並且以淹水深度達 30 公分以上才視為淹水格網統計，面積格網統計如表 5-6 至表 5-8 所示。另外以氣候變異前後比較各重現期暴雨淹水面積如圖 5-10 至圖 5-15。

5-3-2 氣候變異前後未考慮雨水下水道之淹水影響

以玉成集水區為對象，分析該區域在無下水道情況下，氣候變異前後不同重現期暴雨之淹水情形。並且以淹水深度達 30 公分以上才視為淹水格網統計，面積格網統計如表 5-9 之表 5-11 所示。另外以氣候變異前後比較各重現期暴雨淹水面積，分別如圖 5-16 至圖 5-21 所示。

5-3-3 結果與討論

由表5-8及表5-11相互對照可知，氣候變異前後降雨量差異對於淹水面積及淹水深度有顯著之影響。考慮雨水下水道系統在不同重現期暴雨條件下淹水面積差異依次為22.17、10.27、16.97、20.71、26.27、26.85公頃，對照無雨水下水道系統在不同重現期暴雨條件下淹水面積差異依次為28.11、18.33、20.17、23.65、30.41、37.38公頃。由圖

5-22及圖5-23，可得氣候變異前有雨水下水道系統約可減少淹水面積2.61~8.09公頃；氣候變異後有雨水下水道系統約可減少淹水面積8.55~18.61公頃，可見雨水下水道對於淹水面積之減少有一定作用。而雨水下水道設計排水標準為5年重現期，故在面臨超過設計排水標準之暴雨時不能及時排除積水，且由淹水範圍圖可知部分地區地勢地窪造成積水不易消退，故可知雨水下水道對於超過其排水標準之暴雨，在淹水面積減輕之效用不明顯。

最大淹水範圍結果如圖5-24至圖5-35所示，可看出氣候變異前後淹水範圍之差異。由重現期5年及重現期10年之淹水，大都集中於信義區靠近基隆河沿岸低窪地區，而流域中、上游均只有零星且範圍不大之淹水，且淹水大多集中於排水路兩側，隨著降雨重現期增加，光復南路以東、松高路以北、市民大道五段以南區域及三張犁截流溝由於地勢低窪，開始出現較大之淹水範圍及淹水深。另外，集水區中央處為信義行政區，因人口較為集中，多已開發為住宅及商業建築用地，區域排水路及建置較完整的下水道系統發揮即時排水功能，故較無淹水情況，忠孝東路七段鄰近山區也同樣因地勢低窪而有淹水情形，僅在高重現期時，光復南路以東、松高路以北、市民大道五段以南區域等地勢較低窪處易形成淹水。

5-4 氣候變異於颱風事件之影響

將SOBEK模式檢定後應用於玉成集水區，以1990年氣候變異為分界，挑選兩場颱風模擬其淹水範圍，藉此觀察氣候變異前後颱風事件對於淹水影響。

5-4-1 琳恩颱風事件

琳恩颱風（Lynn）於1987年在關島東方海面形成，年度編號為8720，並發佈為強烈颱風。中央氣象局於22日08時針對琳恩颱風發布海上颱風警報，23日02時發布海上陸上颱風警報；琳恩之暴風圈於23日12時掠過台灣南部（如圖5-36）。中央氣象局於10月27日02時解除海上陸上颱風警報，並於27日06時減弱為熱帶性氣壓。琳恩外圍環流影響台灣期間（10月23~26日），陽明山竹子湖的累積雨量達到1,834mm，亦即東北季風與颱風外圍環流共伴期間，當鋒面北退時，其導致之降雨量將顯著增加。就天氣分析觀點而言，鋒面北退乃因鋒面北方冷空氣減弱所致；若鋒面南方颱風外圍環流所帶來的暖濕空氣上滑至冷空氣之上，則可能形成顯著降雨，因而造成全省許多縣市低窪地區相當嚴重之淹水災情。

蒐集研究區周遭雨量站，公館、信義、木柵，以徐昇氏分配各雨量站權重後，發現木柵雨量站所佔之面積過小，故刪除之。公館、信義48小時降雨組體圖，如圖5-37、5-38所示。

下游邊界條件係參考水利署鄰近研究區域內之五堵水位站於琳恩風期間(1987年10月23日11時起48小時)之實測水位紀錄，如圖5-39所示，利用底床坡度之斜率等比換算下游邊界水位。

將48小時降雨歷線及下游邊界條件輸入SOBEK模式進行淹水模擬，結果如圖5-40所示，由圖上可看出淹水大多集中於光復南路以東、松高路以北、市民大道以南區域，由於地勢低窪，因此有較大之淹水範圍及淹水深度；靠近基隆河沿岸因地勢低窪而形成淹水，集水區中央處為信義行政區，雖下水道系統建置較完整，但由於東北季風與颱風外圍環流造成之共伴效應，故有少數零星淹水現象，三張犁截流溝匯流處也同樣因地勢低窪及位處兩排水匯流口而有淹水情形。但琳恩颱風調查淹水範圍較大，可能係單以探討模擬區域降雨條件對於排水系統影響情況，因此若對照圖5-40和圖5-41，則與市民大道附近之範圍相當接近。

5-4-2 結果與討論

以琳恩事件與 4-3-2 節所模擬納莉事件，比其最大淹水範圍差異。從兩場颱風比較其淹水深度與最大淹水面積，如表 5-12，當取淹水深度 0.50~1.00 公尺，納莉颱風比琳恩颱風多 88.91 公頃，而差異較大為淹水深度 0.25~0.50 公尺，兩場颱風比較，納莉颱風比琳恩颱風多 97.56 公頃；而兩場颱風事件在於淹水總面積相差 307.53 公頃。

第六章 結論與建議

本研究探討氣候變異對於都市排水設施之衝擊，在SOBEK模式中以不同重現期降雨及現地土地利用型態探討對於雨水下水道等排水功能之影響，藉由驗證及應用案例模擬量化玉成抽水站集水區之保護程度，作為防洪安全之參考，茲歸納結論與建議如下。

6-1 結論

1. 由SOBEK模式模擬玉成集水區不同重現期暴雨，探討其對排水設施之保護衝擊，由納莉事件模擬結果可得知，區域內下水道密度愈高，該區域的淹水面積相對減小，且淹水深度亦會減低。
2. 由納莉、柯羅莎、琳恩等颱風事件，以及氣候變異前後重現期降雨模擬結果顯示，降雨量愈大模擬最大淹水深度及模擬淹水總面積略增。
3. 以下游排水量探討區域雨水下水道的排水功能，發現低重現期（50年重現期以下）之排水量比例相對高重現期者高，而可推斷雨水下水道在低重現期有較佳程度之排水效果。
4. 模擬氣候變異前後不同期距降雨，考慮有無雨水下水道對於淹水範圍影響。發現氣候變異前後考慮存在下水道時，以重現期200年為例，淹水面積增加26.85公頃；氣候變異前後假設無下水道時，以重現期200年為例，淹水面積增加37.38公頃，可知降雨量對於淹水影

響呈增加趨勢。

5. 經SOBEK模式進行玉成集水區現況模擬，發現部分地區洪災仍頻傳，因為其設計重現年期為五年，五年重現期暴雨部分低窪地區即發生淹水情形，綜合各重現期暴雨條件模擬結果大致以光復南路以東、松高路以北、市民大道五段以南等區域較容易淹水。

6. 本文探討氣候變異前後所帶來之衝擊效應，以93年玉成排水系統進行模擬，再以淹水網格分類淹水深度統計淹水面積，得知氣候變異前後不同重現期淹水差異，以達到評估氣候變異前後排水系統改善淹水效果之目的。

6-2 建議

1. SOBEK模式進行淹水演算具有一定程度之可靠度，但可供模式參數設定參考之經驗較少，因此於應用於不同地域時，應考慮地文及水文條件之差異，了解模式參數變化與淹水模擬結果之關係，方能適當調整各項參數。建議未來應用SOBEK模式於不同區域時，在進行模式參數檢定驗證前，可進行小區域之參數敏感度分析，以掌握模式參數變化對於淹水模擬結果之影響。

2. 若要考慮建物及地下室之效應，可使用更高解析度之DTM進行淹水模擬，但模擬所費時間較長。依照本研究模擬經驗，進行格網尺度 $16m \times 16m$ (121,801格區)，應用四核心個人電腦(中央處理器 Intel

Core 2 Quad Q6600 @2376 MHz，記憶體DDR2-800 3.25G) 進行24小時降雨之淹水過程所需計算時間約為12小時，故建議可單就欲探討局部區域格網加密，以增進淹水模擬結果之正確性及計算效率。

3. 可配合全球氣候變遷所改變之降雨特性，進行易淹水地區水文分析，建立劇烈暴雨特性，再來模擬劇烈暴雨及不同防洪設施故障條件下之淹水情況。

4. 本研究以SOBEK模擬玉成排水系統，發現不同重現期之降雨，對於玉成集水區都會有一定程度之災害，雖有雨水下水道等排水設施有助於改善淹水衝擊，但由於雨水下水道系統大都以重力排水方式導入基隆河，並不適用於低窪地區，故建議在低窪地區增設抽水站等設施有利於改善淹水情況發生。

5. 往後模擬可以配合都市計畫，建立都市計畫更新後之土地利用狀態並結合未來可能改變之降雨特性，模擬完整之淹水情境以供防災整備之參考。

參考文獻

1. Aknbi, A. A. and Katopodes, N. D. (1988) . “Model for flood propagation on initially dry land.” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114 , 689-705.
2. Cunge, J. A., Holly, F. M., and Verwey, A. (1980) . “Practical Aspects of Computational River Hydraulics.” Pitman Publishing Ltd., London.
3. Collischonn, W., Tucci, C.E.M., and Clarke, R.T. (2001) . “Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay : part of a wider phenomenon of climate change?” Journal of Hydrology, 245, 218-238.
4. Dutta, D., Alam, J., Umeda, K., Hayashi, M., and Hironaka, S.(2007). “A two-dimensional hydrodynamic model for flood inundation simulation: A case study in the lower Mekong River basin”, Hydrological Processes 21 (9), 1223-1237.
5. Ferrante, M., Napolitano, F., and Ubertini, L. (2000) . “Optimization of transportation networks during urban flooding.” Journal of the American Water Resources Association, 36 (5), 1115-1120.
6. Garcia, R. and Kahawata, R. A.(1986). “Numerical solution of the St. Venant equations with the MacCormack finite-difference scheme.” International Journal for Numerical Methods in Fluids, 6, 259-274.
7. Huber, W. C. and Dickinson, R. E. (1988) . “Storm Water Management Model. User's Manual.” IV, U.S. Environmental Protection Agency.
8. Hall, J. W. and Tarantola, S. (2005) . “Distributed sensitivity analysis of flood inundation model calibration.”, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 131, 117-126.

9. Han, K. Y., Lee, J. T., and Park, J. H. (1998) . “Flood inundation analysis resulting from levee-break.” *Journal of Hydraulic Research*, 36 (5) , 747-759.
10. Huntington, T. G. (2006) . “Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis.” *J. Hydrol.*, 319, 83–95.
11. Inoue, K., Iwasa, Y., and 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.
12. Lucero, O. A. and Rozas, D. (2002) . “Characteristics of aggregation of daily rainfall in a middle-latitudes region during a climate variability in annual rainfall amount.” *Atmospheric Research*, 61, 35-48.
13. Marka Ole , Weesakula Sutat.(2004) . “Potential and limitation of 1D modeling of urban flooding.” *Journal of Hydrology*, 299,284-299.
14. Preissmann, A. (1961) . “Propagation des intumescences dans les canaux et rivieres.” *First Congress of the French Association for Computation*, Grenoble, France, 433-442.
15. Roesner, L. A., Aldrich, J. A., Dickinson R. E. (1988) . “Storm Water Management Model.” *User's Manual Ver. IV: EXTRAN addendum*. U. S. Environmental Protection Agency.
16. Vongvisessomjai, S., Tingsanchali, T., and Chaiwat, C. (1985) . “Bangkok flood plain model.” *21st IAHR Congress*, Melbourne, Australia, 433-488.
17. Wilson, M.D. (2005) . “The use of elevation data in flood inundation modelling: a comparison of ERS interferometric SAR and combined contour and differential GPS data.” *Intl. J. River Basin Management*

Vol. 3, 13-20.

18. Ziegler, A. D., Sheffield, J. and Wood, E. F. (2002) "Detection of intensification of the global water cycle : the potential of FRIEND." Proceedings of the Fourth International FRIEND Conference held at Cape Town. South Africa. March, 51-57.
19. 經濟部水利署(2004),「台中市及週邊排水淹水潛勢與預警系統建立研究—淹水潛勢圖建置(2/2)」。
20. 經濟部水利署 (2005),「中央管河川警戒水位訂定標準及北區河川檢討」。
21. 許銘熙、鄭克聲、易任、林國峰 (1993),「台灣地區降雨與延時特性分析」, 國立台灣大學水工試驗所研究報告, 第 156 號。
22. 許銘熙、黃宏斌 (1993),「台灣地區雨量強度-延時-頻率關係之研究(二)」, 交通部氣象局專題研究報告, 國立台灣大學水工試驗所研究報告, 第 164 號。
23. 許銘熙、鄧慰先 (1997),「八掌溪北岸淹水預報模式之研究(三)」, 行政院國家科學委員會研究計畫報告。
24. 虞國興、許書平(1998),「氣候變遷對水資源之衝擊-雨量分析」, 農業工程學報, 第 44 卷, 第 1 期, 第 9-24 頁。
25. 蔡長泰 (1999),「市區排水與淹水模式之研究(二)」, 行政院國科會專題報告。
26. 許銘熙、張倉榮、鄧慰先、陳宣宏、林洙宏、傅金城 (1999) ,

- 「抽水站與閘門操作對都會區淹水影響之研究(二)」，行政院國家科學委員會研究計畫報告。
27. 許晃雄（2000），「台灣環境變遷與全球環境變遷衝擊之評析-氣候變遷（III）」，行政院國科會專題報告。
28. 金紹興、謝明昌（2001），「氣候變遷對台灣水文環境之影響」，新世紀水資源問題研析與對策研討會。
29. 許銘熙、李明旭、連宛渝（2001），「視窗化二維淹水模式之發展與應用」，第十二屆水利工程研討會。
30. 張倉榮（2001），「基隆河流域整治段颱風災害淹水境況模擬（二）」，行政院國家科學委員會研究計畫報告。
31. 賴進松、郭振泰、張向寬（2001），「市區雨水下水道水理模擬與易積水處改善方案之研究」，行政院國家科學委員會研究計畫報告。
32. 許銘熙、張倉榮、鄧慰先、謝龍生、黃成甲、葉森海（2005），「臺北縣市淹水潛勢資料」，行政院國家科學委員會研究計畫報告。
33. 盧孟明、林昀靜（2008），「1961年以來台灣極端強降雨的頻率分析」，2008年台灣氣候變遷研討會。
34. 陳永明（2008），「劇烈降雨的氣候變異趨勢與災害衝擊」，2008年台灣氣候變遷研討會。

35. 陳雲蘭 (2008), 「台灣地區劇烈天氣長期氣候變化：豪雨事件以及雷暴事件分析」, 2008 年台灣氣候變遷研討會。
36. 陳宣宏 (2002), 「漫地流與雨水下水道水流之交互動態模擬」, 國立臺灣大學博士論文。
37. 簡錕彪 (2003), 「台北市防洪抽水站現況評估與聯合運轉可行性之探討」, 國立台灣海洋大學碩士論文。
38. 陳志鴻 (2005), 「應用淹水模式評估都市區雨水下水道之效能」, 國立臺灣大學碩士論文。
39. 石全隆 (2005), 「三爺溪流域淹水潛勢及綜合治理規劃分析研究」, 國立成功大學碩士論文。



表 2-1 研究區域土地利用型態

利用型態 \ 項目	資料筆數	百分比(%)
工業區	30	1.99%
公共設施	71	4.71%
公園綠地	167	11.08%
古蹟保存區	1	0.07%
市場用地	17	1.13%
交通用地	97	6.44%
行水區	2	0.13%
住宅區	846	56.14%
保護區	23	1.53%
娛樂區	3	0.20%
商業區	180	11.94%
農業區	3	0.20%
學校用地	30	1.99%
機關用地	37	2.46%

表 2-2 研究區域雨水下水道的各管徑長度和比例

城市 (公頃)	玉成集水區 (1627.4)	
管徑 (公尺)	長度 (公尺)	比例
0.5-1.0	13416.09	22.21%
1.1-1.5	15824.27	26.23%
1.6-2.0	9197.67	14.88%
2.1-2.5	6054.50	8.32%
2.6-3.0	5511.80	8.60%
3.0 以上	17580.19	19.75%
總長度 (公尺)	67584.52	100%

表 4-1 一般地表曼寧糙度值建議使用範圍

土地利用型態	地表曼寧糙度值範圍
農業區	0.03 - 0.07 (休耕地) 0.10 - 0.20 (牧草場) 0.30 - 0.48 (百慕達草) 0.40 - 0.80 (灌木叢)
瀝青、裸土及礫石	0.01 - 0.03
住宅區	0.05 - 0.10
工業區、商業區	0.05 - 0.08
森林	0.15 - 0.60
水利用地	0.01 - 0.02

表 4-2 各土地利用型態地表曼寧糙度值之檢定分析

組數 利用型態	第 1 組	第 2 組	第 3 組	第 4 組	第 5 組
農業用地	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
交通用地	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
水利用地	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
建築用地	0.07	0.08	0.085	0.09	0.1
工業用地	0.06	0.07	0.075	0.08	0.08
遊憩用地	0.08	0.09	0.1	0.1	0.1
其他	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05

表 4-3 不同曼寧參數之模擬淹水面積比較表

單位：公頃

淹水深度（公尺）	曼寧糙度分組				
	case1	case2	case3	case4	case5
0.25-0.50	57.98	58.19	58.47	59.14	59.78
0.50-1.00	76.65	77.24	77.77	78.57	79.62
1.00-1.50	49.77	50.53	50.97	51.71	52.35
1.50-2.00	9.32	9.52	9.70	9.83	10.21
2.00-2.50	1.89	1.97	2.07	2.12	2.20
2.50-3.00	1.10	1.13	1.13	1.13	1.13
3.00 以上	4.97	4.97	4.99	4.99	4.99
淹水面積合計	201.68	203.55	205.11	207.49	210.28

表 4-4 柯羅莎颱風淹水面積及淹水深度

單位：公頃

淹水深度（公尺）	淹水面積
0.25-0.50	49.84
0.50-1.00	80.03
1.00-1.50	26.68
1.50-2.00	5.22
2.00-2.50	1.72
2.50-3.00	1.54
3.00 以上	4.02
淹水面積合計	169.04

表 4-5 臺北市區納莉颱風期間嚴重淹積水地區一覽表

行政區別	淹積水區域	淹積水最深深度與時間	雨量站最高降雨強度與時間	隸屬抽水站	淹積水原因
南港	大坑、四分溪沿岸(南港路以南)區域。	1.5~3M 0916,21:00~ 0917,12:30	氣象局內湖站 0917,00:00~01:00 109.5mm/hr 0917,04:00~05:00 148.5mm/hr	無	適逢大潮,基隆河與大坑、四分溪溢堤,合併堤內降雨量過大
南港	大坑溪以西,忠孝東路七段以北,向陽路以東,基隆河以南區域。	1.5~3M 0916,21:20~ 0917,12:30	氣象局內湖站 0917,00:00~01:00 109.5mm/hr 0917,04:00~05:00 148.5mm/hr	南港、成功抽水站	適逢大潮,基隆河與大坑、四分溪溢堤,合併堤內降雨量過大;另淹水造成抽水站停機,積水情況更形嚴重
南港 信義 松山	向陽路以西,中坡南北路以東,東新街以北,基隆河以南區域。 中坡南北路以西,光復南路以東,松高路以北,市民大道以南區域 松河路自南京站至三張犁明溝區域。	1~1.8M 0917,06:00~ 0917,21:00	養工處瑠公國中站 0917,08:00~09:00 88.5mm/hr	玉成抽水站	適逢大潮,基隆河與大坑、四分溪溢堤,合併堤內降雨量過大;另淹水造成抽水站停機,積水情況更形嚴重

(摘自納莉颱風災因分析及綜合檢討評估報告)

表 5-1 氣候變異前各重現期一日暴雨量

單位：毫米

時間 (小時)	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
1	5.09	5.94	6.94	7.62	8.27	8.89
2	5.58	6.51	7.60	8.35	9.06	9.73
3	5.82	6.79	7.93	8.71	9.45	10.16
4	6.30	7.36	8.59	9.44	10.24	11.00
5	6.79	7.92	9.25	10.16	11.03	11.85
6	8.00	9.34	10.90	11.98	13.00	13.97
7	9.21	10.75	12.55	13.79	14.97	16.08
8	12.12	14.15	16.52	18.15	19.70	21.16
9	19.88	23.21	27.08	29.77	32.30	34.70
10	23.76	27.73	32.37	35.57	38.60	41.47
11	37.81	44.15	51.53	56.63	61.45	66.02
12	21.82	25.47	29.73	32.67	35.45	38.09
13	13.82	16.13	18.83	20.69	22.45	24.12
14	10.42	12.17	14.20	15.61	16.94	18.20
15	8.97	10.47	12.22	13.43	14.57	15.66
16	8.00	9.34	10.90	11.98	13.00	13.97
17	6.79	7.92	9.25	10.16	11.03	11.85
18	6.30	7.36	8.59	9.44	10.24	11.00
19	5.82	6.79	7.93	8.71	9.45	10.16
20	5.33	6.23	7.27	7.99	8.67	9.31
21	4.85	5.66	6.61	7.26	7.88	8.46
22	4.61	5.38	6.28	6.90	7.48	8.04
23	4.48	5.24	6.11	6.72	7.29	7.83
24	4.36	5.09	5.95	6.53	7.09	7.62
總雨量	242.4	283	330.3	363	393.9	423.2

表 5-2 氣候變異後各重現期一日暴雨量

單位：毫米

時間 (小時)	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
1	5.56	7.26	9.59	11.59	13.82	16.39
2	6.08	7.95	10.51	12.69	15.14	17.95
3	6.35	8.29	10.96	13.24	15.80	18.73
4	6.88	8.99	11.88	14.34	17.11	20.30
5	7.41	9.68	12.79	15.45	18.43	21.86
6	8.73	11.40	15.07	18.21	21.72	25.76
7	10.05	13.13	17.36	20.96	25.01	29.66
8	13.23	17.28	22.84	27.59	32.91	39.03
9	21.69	28.34	37.46	45.24	53.97	64.01
10	25.93	33.87	44.76	54.07	64.50	76.50
11	41.27	53.91	71.26	86.07	102.67	121.77
12	23.81	31.10	41.11	49.65	59.23	70.25
13	15.08	19.70	26.04	31.45	37.52	44.49
14	11.38	14.86	19.64	23.72	28.30	33.56
15	9.79	12.79	16.90	20.41	24.35	28.88
16	8.73	11.40	15.07	18.21	21.72	25.76
17	7.41	9.68	12.79	15.45	18.43	21.86
18	6.88	8.99	11.88	14.34	17.11	20.30
19	6.35	8.29	10.96	13.24	15.80	18.73
20	5.82	7.60	10.05	12.14	14.48	17.17
21	5.29	6.91	9.14	11.03	13.16	15.61
22	5.03	6.57	8.68	10.48	12.51	14.83
23	4.89	6.39	8.45	10.21	12.18	14.44
24	4.76	6.22	8.22	9.93	11.85	14.05
總雨量	268.40	350.60	463.40	559.70	667.70	791.90

表 5-3 氣候變異前後相差雨量

單位：毫米

期距 型態	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
氣候變異前	242.4	283.0	330.3	363.0	393.9	423.2
氣候變異後	268.4	350.6	463.4	559.7	667.7	791.9
變異前後相差	26.0	67.6	133.1	196.7	273.8	368.7

表 5-4 各重現期之下游邊界條件

單位：公尺

重現期距	重現期水位					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
水位	9.19	10.23	10.86	11.49	11.58	12.01

註：表中各重現期水位係經由計算而得。

資料來源：基隆河整體治理計畫，2002 年。

表 5-5 研究區不同土地利用面積統計

單位：公頃

土地利用情況	玉成集水區
工業區	32.40
公共設施	76.67
公園綠地	180.34
古蹟保存區	1.08
市場用地	18.36
交通用地	104.75
行水區	2.16
住宅區	913.59
保護區	24.84
娛樂區	3.24
商業區	194.38
農業區	3.24
學校用地	32.40
機關用地	39.96
總計	1627.40

表 5-6 氣候變異前考慮雨水下水道對淹水面積之影響

單位：公頃

淹水深度（公尺）	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
0.25-0.50	54.20	60.65	86.66	112.20	121.11	103.96
0.50-1.00	81.00	83.30	90.34	114.97	129.18	138.32
1.00-1.50	36.45	65.64	69.53	70.73	70.58	82.94
1.50-2.00	6.99	16.13	41.93	57.06	66.25	75.34
2.00-2.50	1.87	2.74	7.04	10.83	18.20	45.67
2.50-3.00	1.59	1.02	0.97	1.74	2.53	6.53
3.00 以上	4.07	4.92	5.25	5.32	5.48	5.81
淹水面積合計	186.16	234.39	301.72	372.86	413.34	458.57

表 5-7 氣候變異後考慮雨水下水道對淹水面積之影響

單位：公頃

淹水深度（公尺）	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
0.25-0.50	59.93	67.79	98.30	121.91	127.08	111.46
0.50-1.00	81.82	86.22	95.87	120.09	137.83	144.95
1.00-1.50	51.64	55.09	68.74	75.16	77.21	84.25
1.50-2.00	7.07	25.88	43.93	57.29	69.48	77.95
2.00-2.50	2.02	3.74	5.61	12.01	20.35	52.81
2.50-3.00	1.13	1.05	1.13	1.95	2.64	8.37
3.00 以上	4.74	4.89	5.12	5.17	5.02	5.63
淹水面積合計	208.33	244.66	318.69	393.57	439.60	485.43

表 5-8 氣候變異前後考慮雨水下水道對淹水面積之差異

單位：公頃

淹水面積	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
淹水面積相差	22.17	10.27	16.97	20.71	26.27	26.85

表 5-9 氣候變異前未考慮雨水下水道對淹水面積之影響

單位：公頃

淹水深度（公尺）	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
0.25-0.50	56.32	76.31	102.96	124.77	135.09	126.98
0.50-1.00	81.72	90.75	105.01	126.92	129.10	131.94
1.00-1.50	35.17	57.86	73.04	73.34	75.49	80.87
1.50-2.00	8.04	16.05	23.07	47.54	67.61	76.88
2.00-2.50	1.84	2.43	3.81	10.75	7.96	38.32
2.50-3.00	1.61	1.10	1.33	1.33	1.48	5.99
3.00 以上	4.07	4.89	5.09	5.35	5.48	5.68
淹水面積合計	188.77	249.40	314.32	390.02	422.22	466.66

表 5-10 氣候變異後未考慮雨水下水道對淹水面積之影響

單位：公頃

淹水深度（公尺）	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
0.25-0.50	63.18	75.67	103.96	127.08	132.61	124.49
0.50-1.00	82.79	93.03	98.66	132.76	140.03	148.76
1.00-1.50	55.35	57.78	70.12	71.73	77.98	88.63
1.50-2.00	7.45	32.82	44.77	59.06	69.07	77.75
2.00-2.50	2.12	2.43	10.55	15.85	24.65	51.89
2.50-3.00	1.13	1.10	1.23	1.87	2.74	6.86
3.00 以上	4.86	4.89	5.20	5.32	5.56	5.66
淹水面積合計	216.88	267.72	334.49	413.67	452.63	504.04

表 5-11 氣候變異前後未考慮雨水下水道對淹水面積之差異

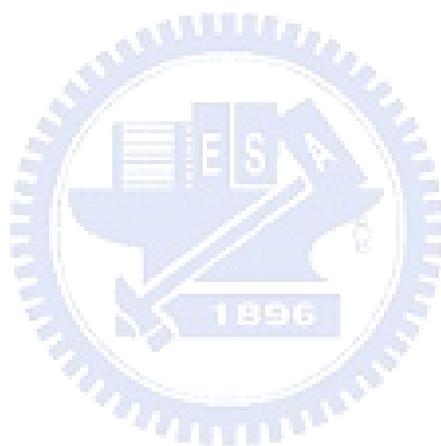
單位：公頃

淹水面積	重現期距					
	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
淹水面積相差	28.11	18.33	20.17	23.65	30.41	37.38

表 5- 12 琳恩、納莉颱風案例最大淹水深度比較

單位：公頃

淹水深度（公尺）	颱風事件		
	琳恩	納莉	面積相差
0.25-0.50	56.99	154.55	97.56
0.50-1.00	78.13	167.04	88.91
1.00-1.50	53.99	78.77	24.78
1.50-2.00	10.44	74.62	64.18
2.00-2.50	1.95	29.70	27.75
2.50-3.00	1.13	4.71	3.58
3.00 以上	4.74	5.50	0.77
淹水面積合計	207.36	514.89	307.53



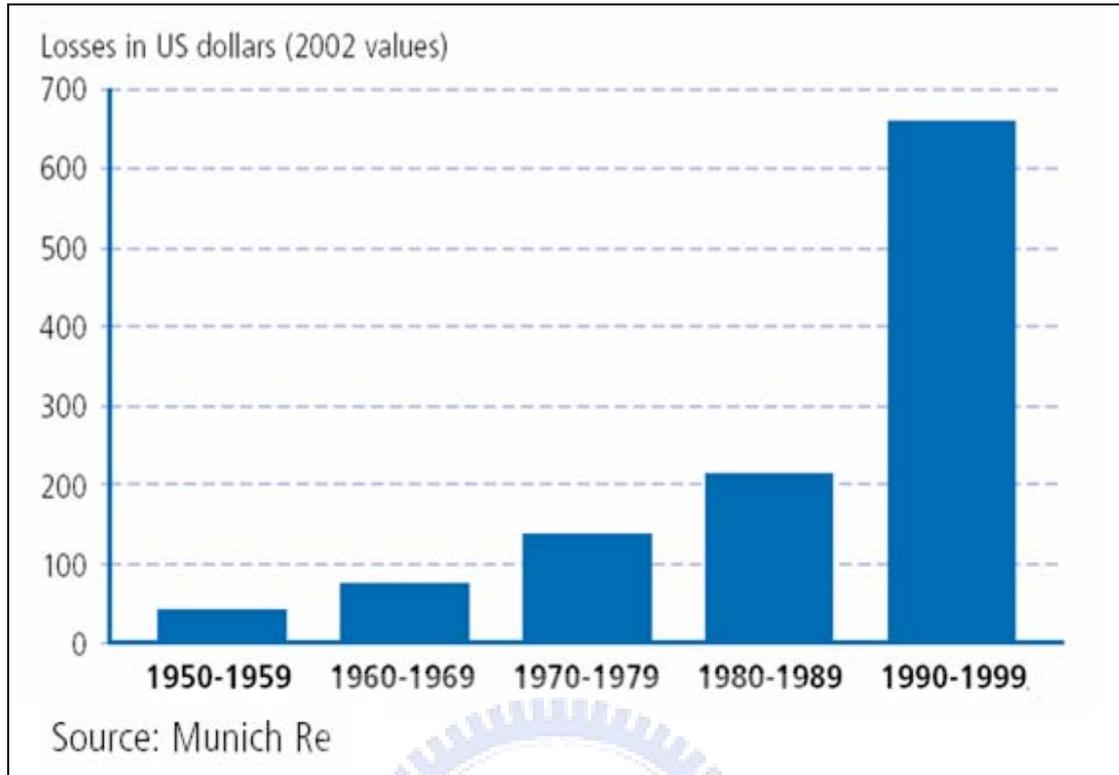


圖 1-1 過去 50 年來自然災害經濟損失之統計圖(單位：十億美元)
 (摘自臺灣地區颱風災害管理政策與施政優先課題建議)

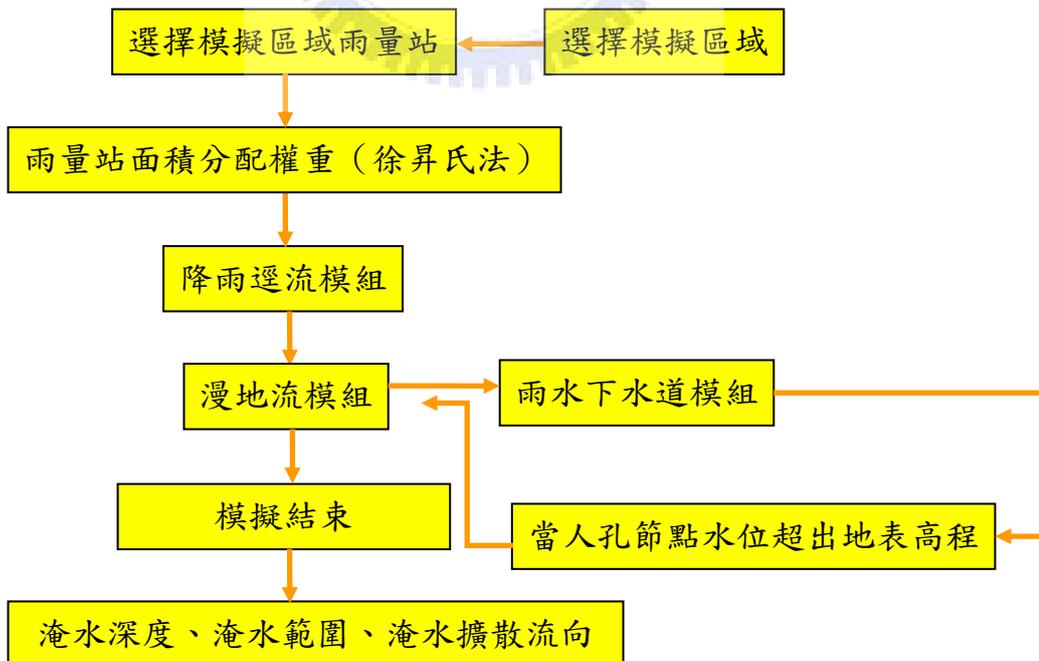


圖 1-2 模擬流程圖

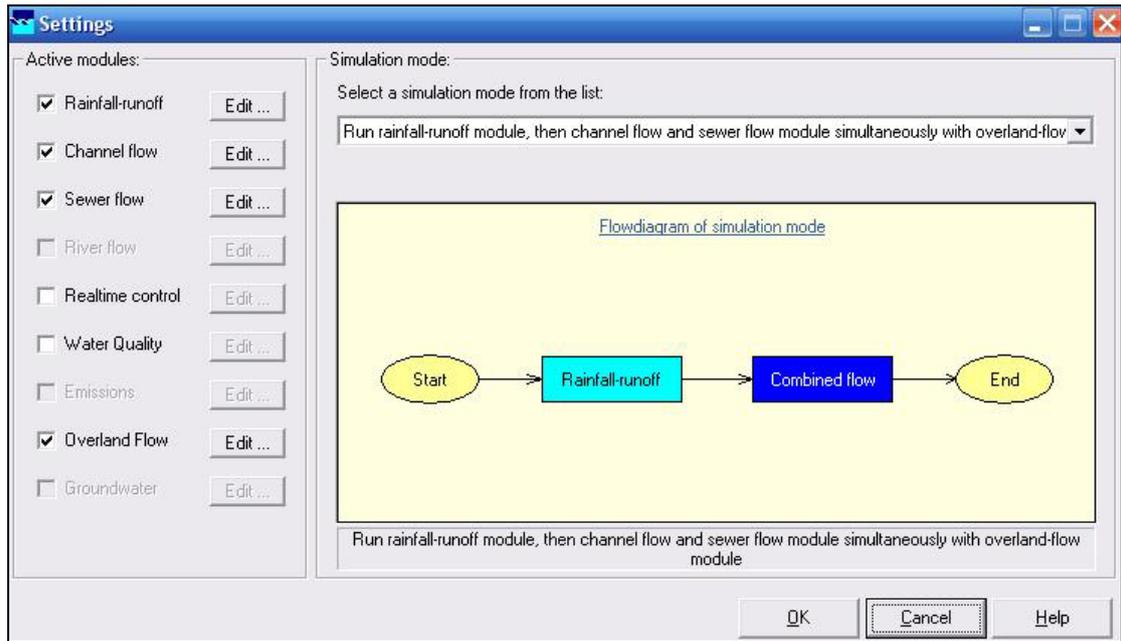


圖 3-1 研究採用模組架構圖

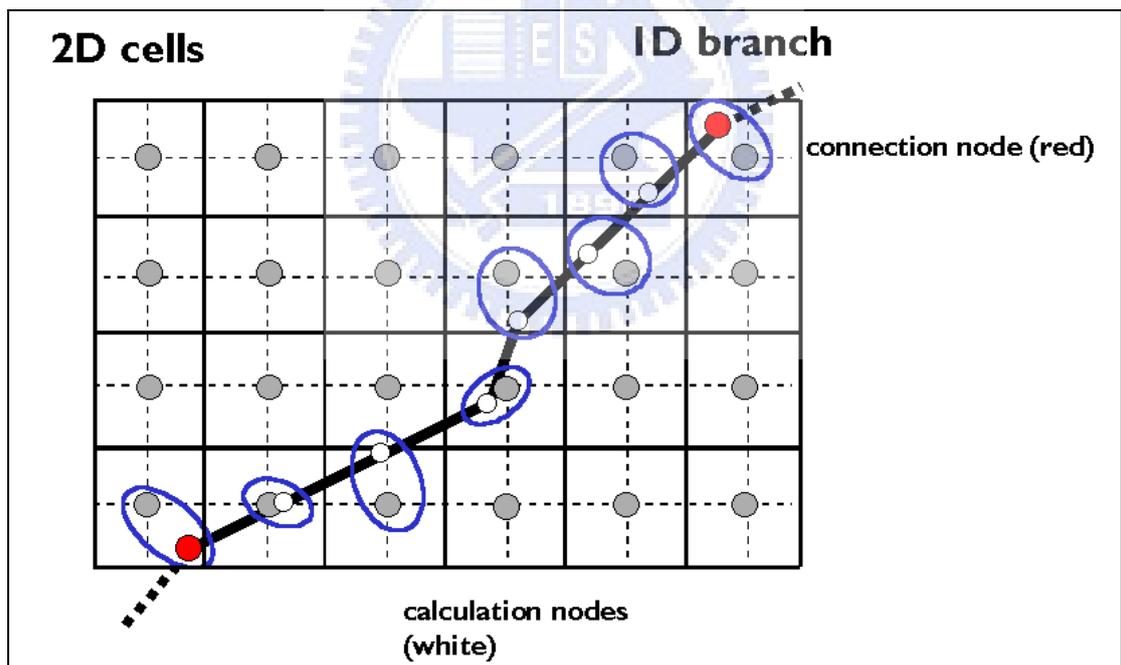


圖 3-2 一維渠流和二維漫地流耦合演算之示意圖

(摘自於 SOBEK 使用手冊)

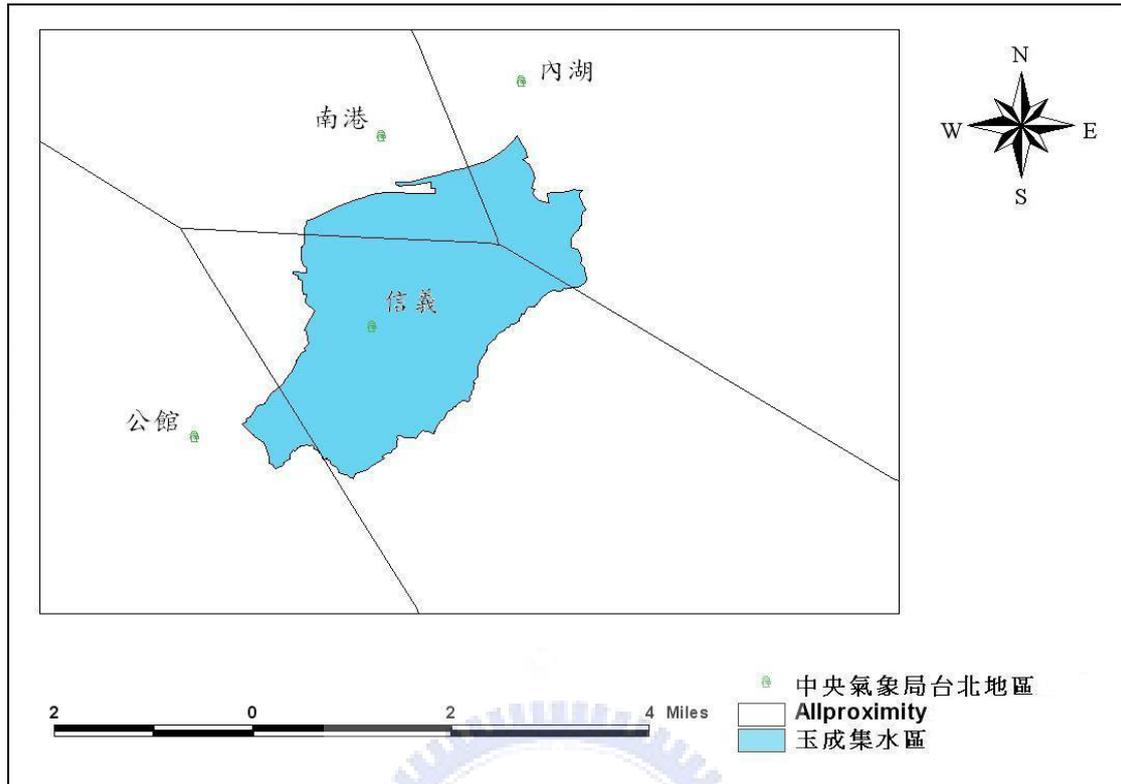


圖 3-3 納莉、柯羅莎颱風各雨量站控制面積

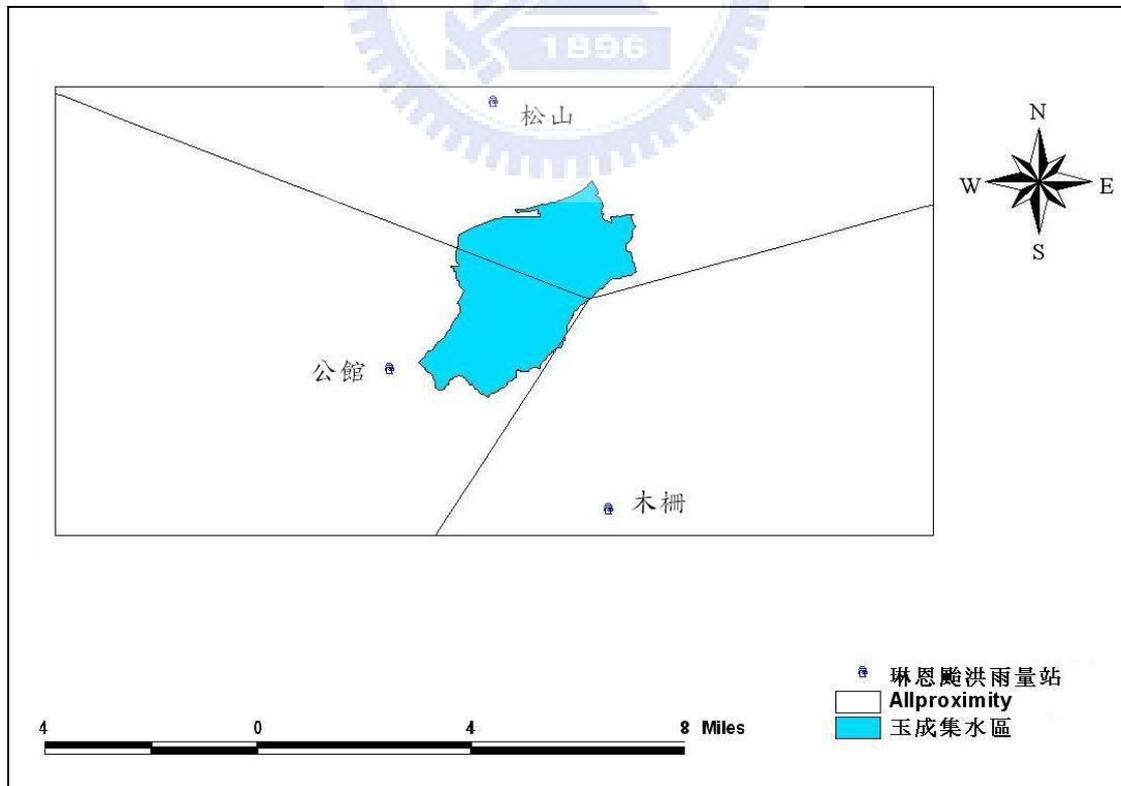


圖 3-4 琳恩颱風各雨量站控制面積

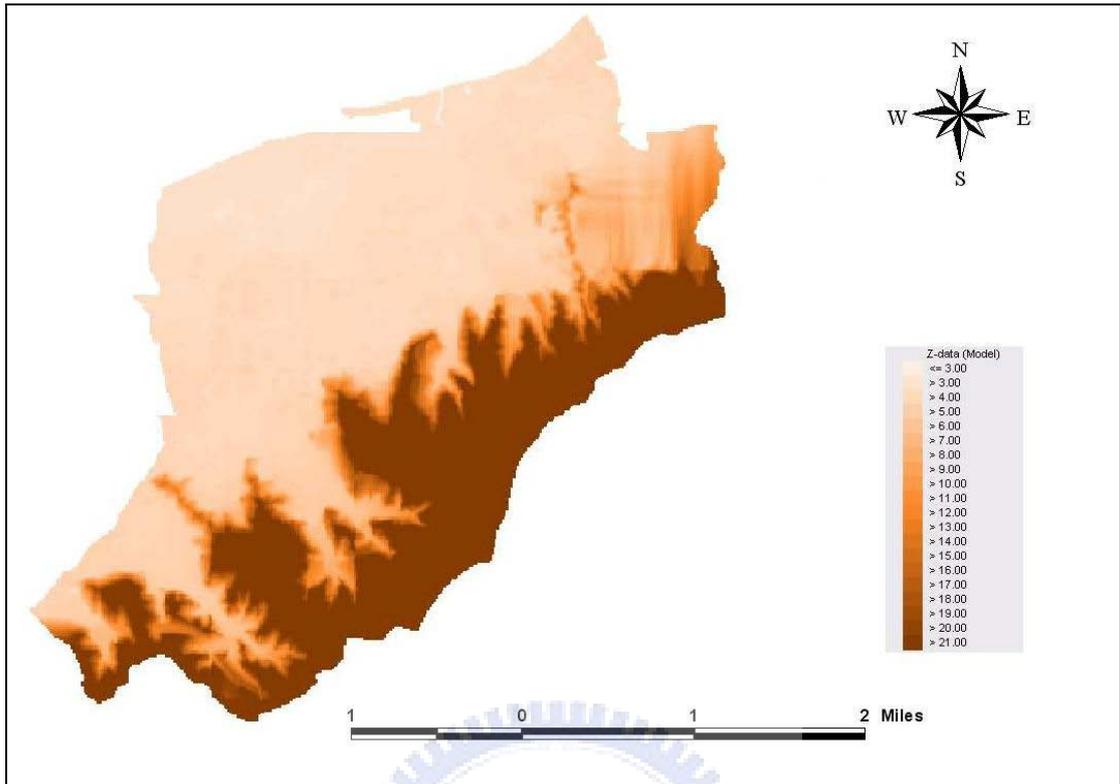


圖 3-5 玉成集水區數值地表高程



圖 4-1 玉成集水區地理位置分布

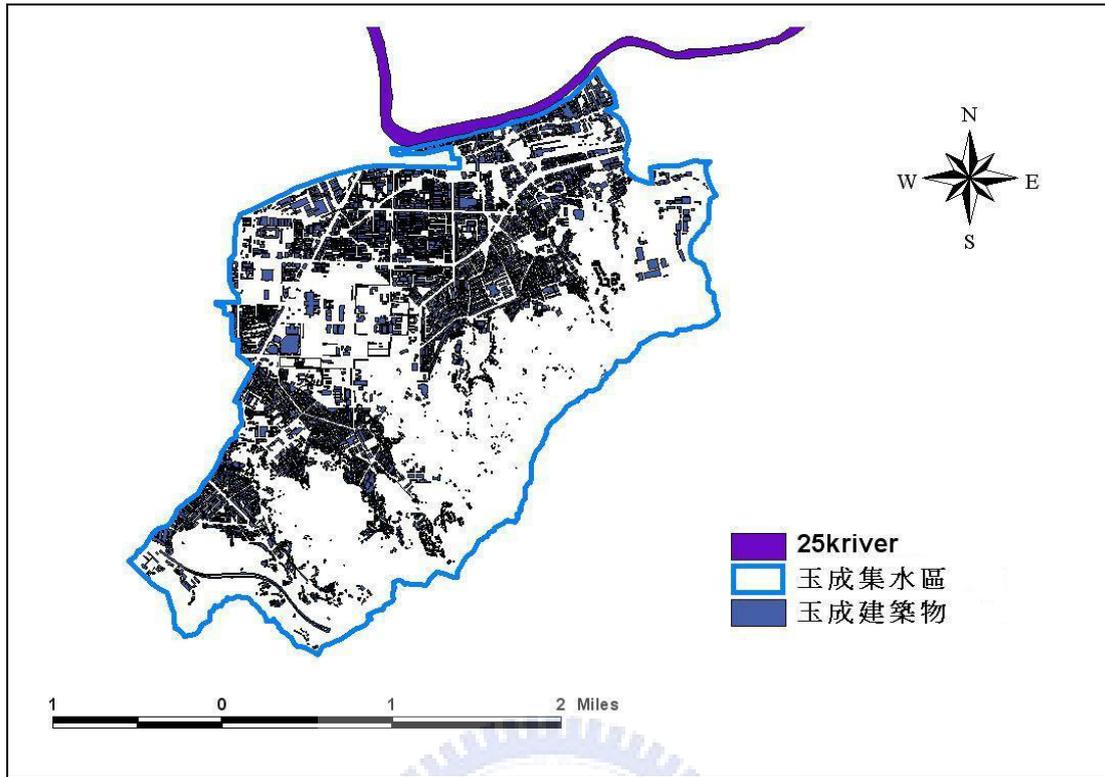


圖 4-2 玉成集水區建築物分佈情況

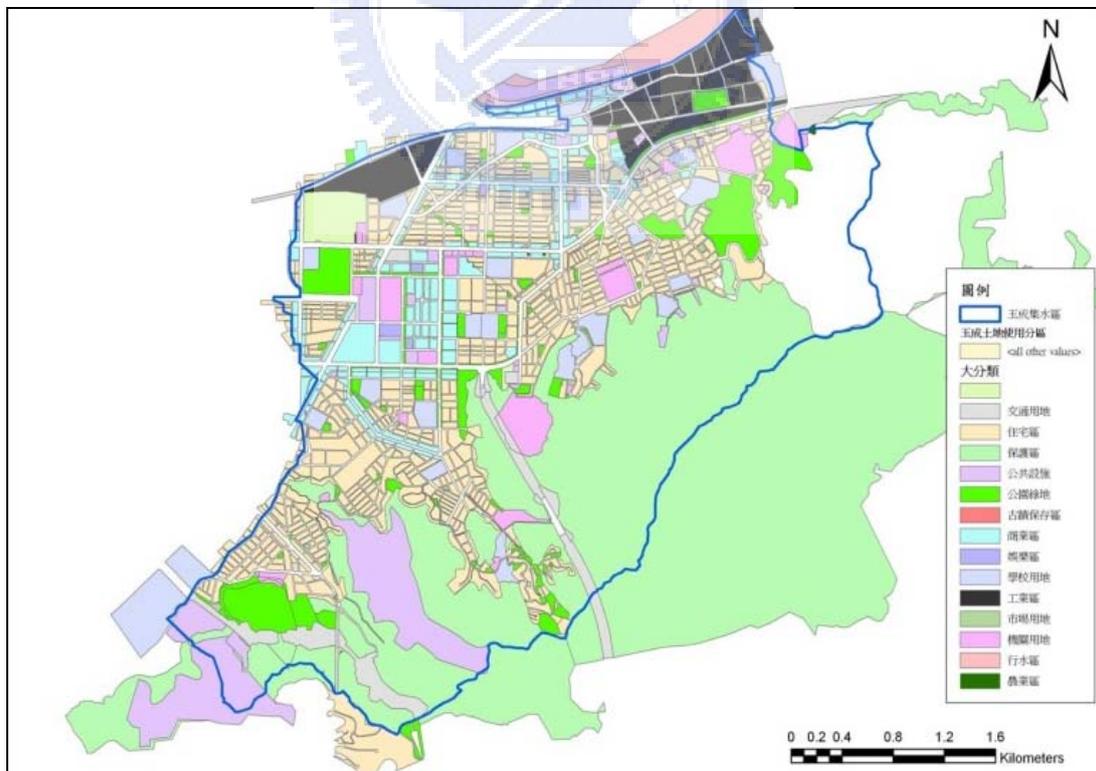


圖 4-3 玉成集水區土地利用情形

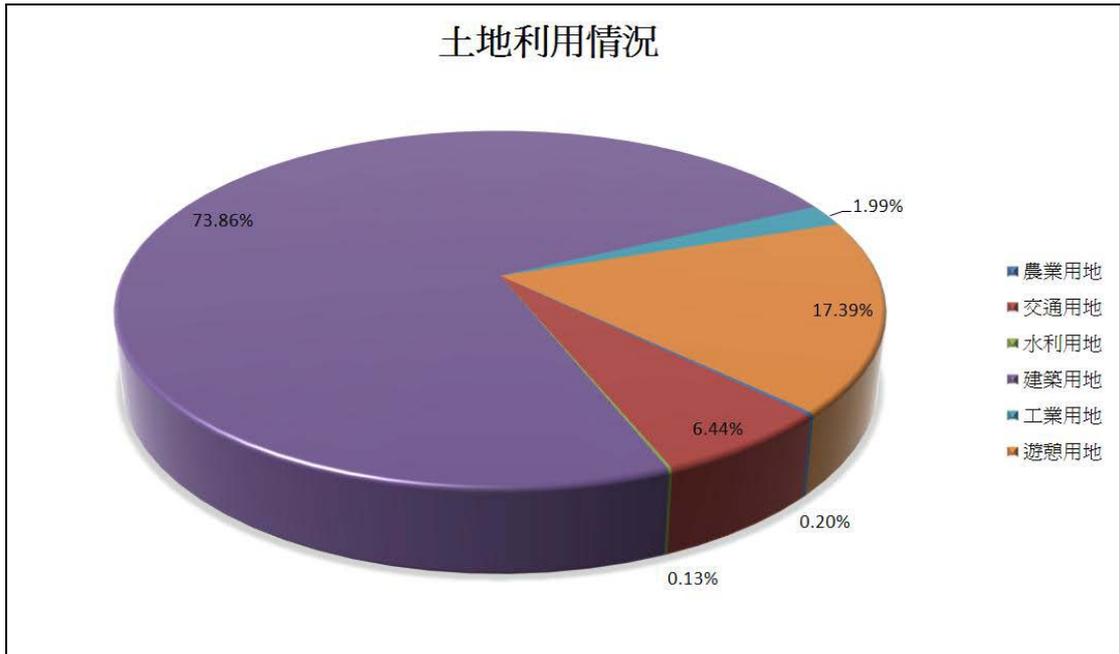


圖 4-4 各土地利用所佔百分比

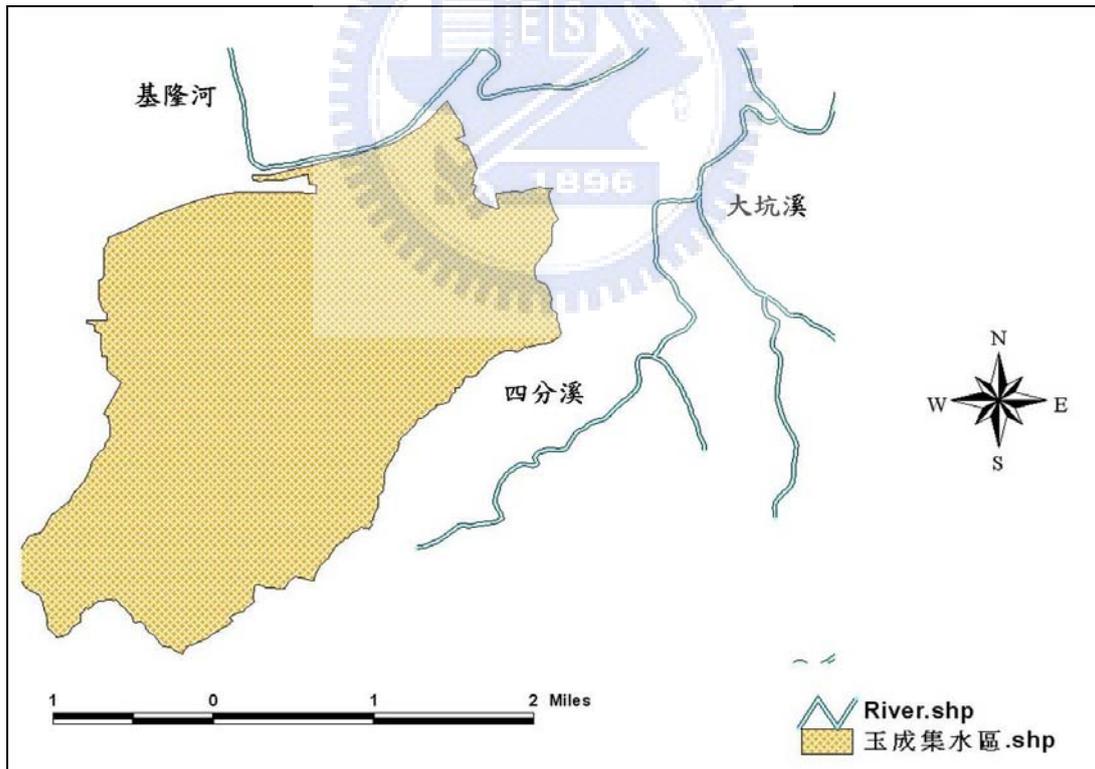


圖 4-5 玉成集水區周遭水系分佈

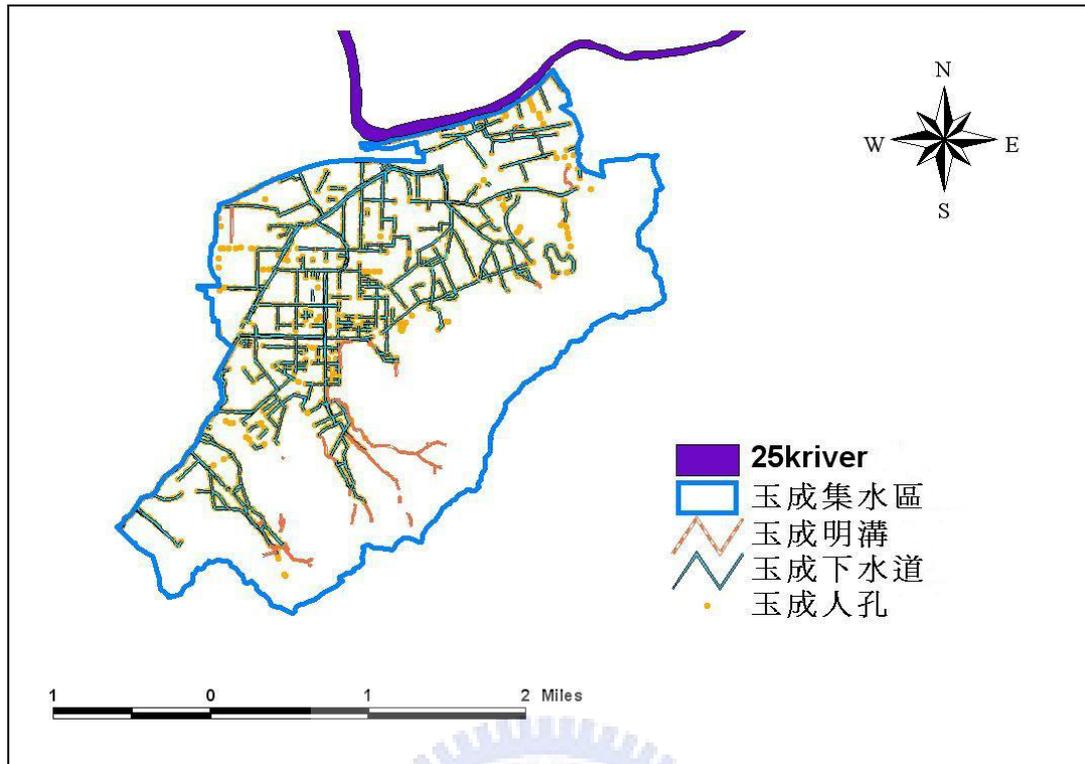


圖 4-6 玉成集水區排水系統分佈

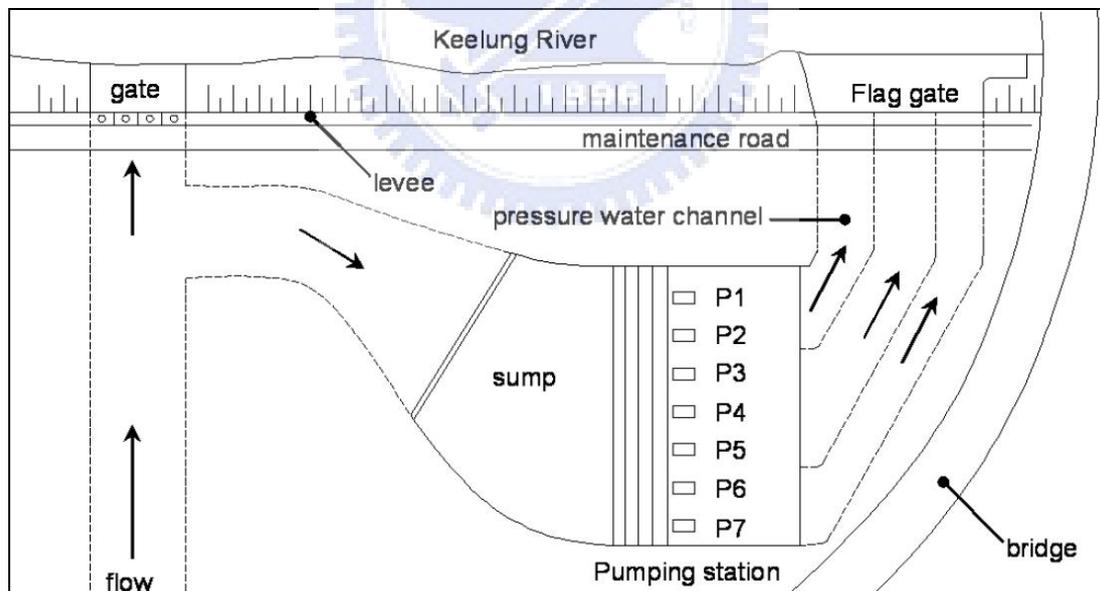


圖 4-7 抽水機組配置



圖 4-8 抽水機組配置現況

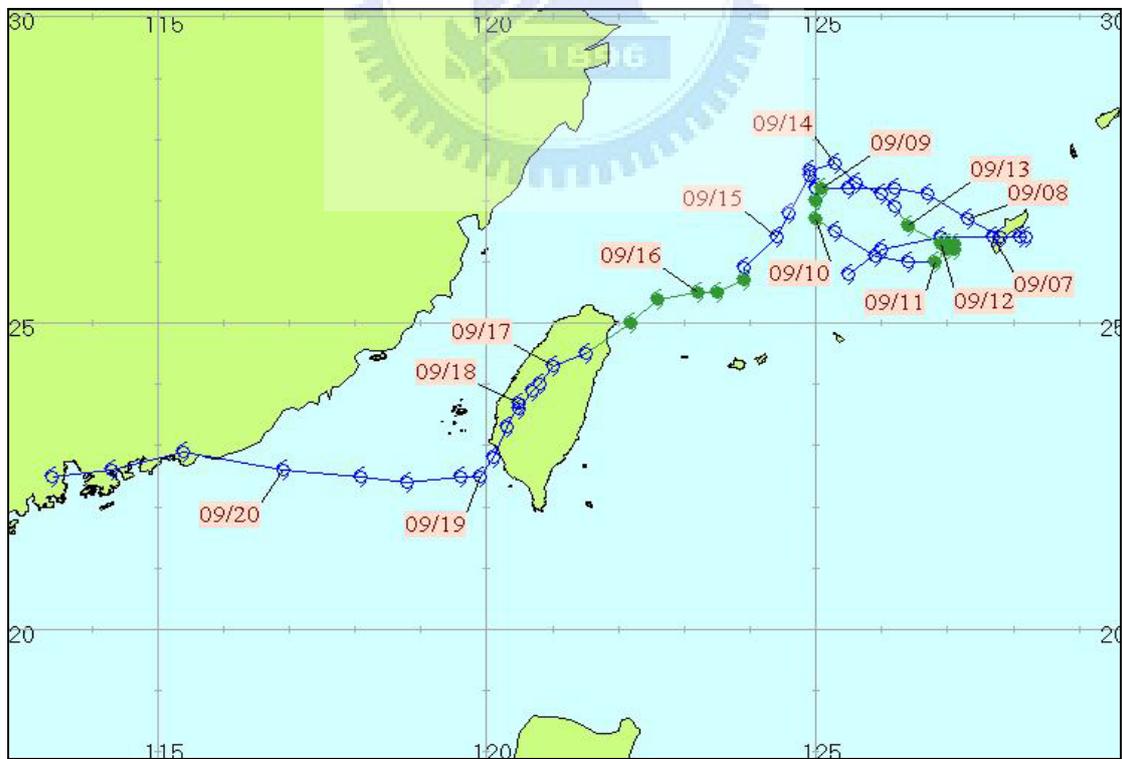


圖 4-9 納莉 (Nari) 颱風路徑圖

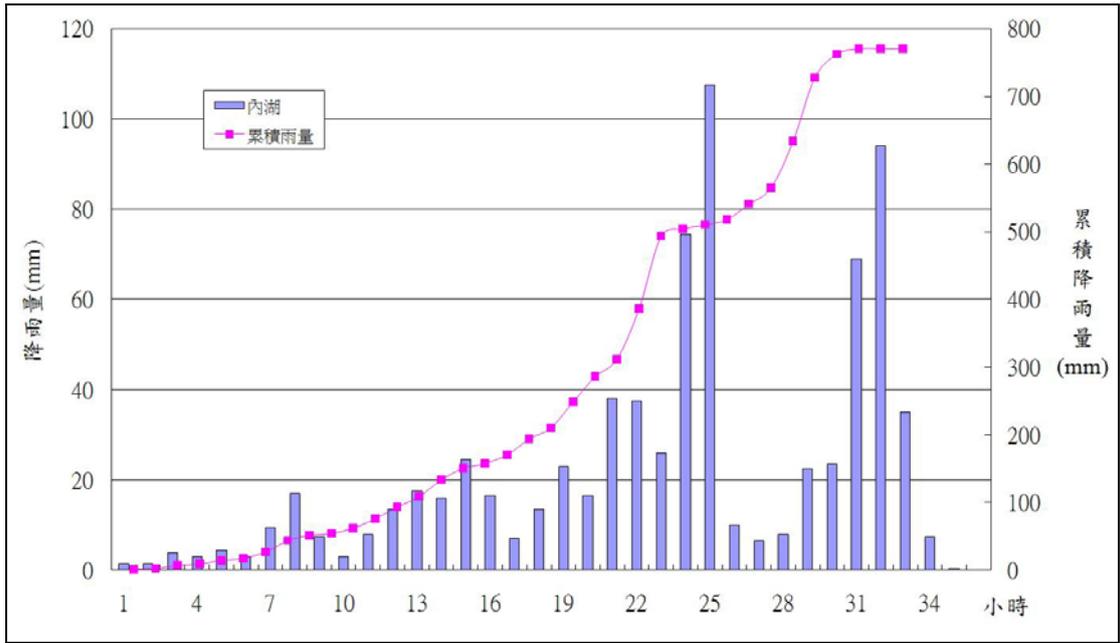


圖 4- 10 內湖雨量站 36 小時降雨組體圖

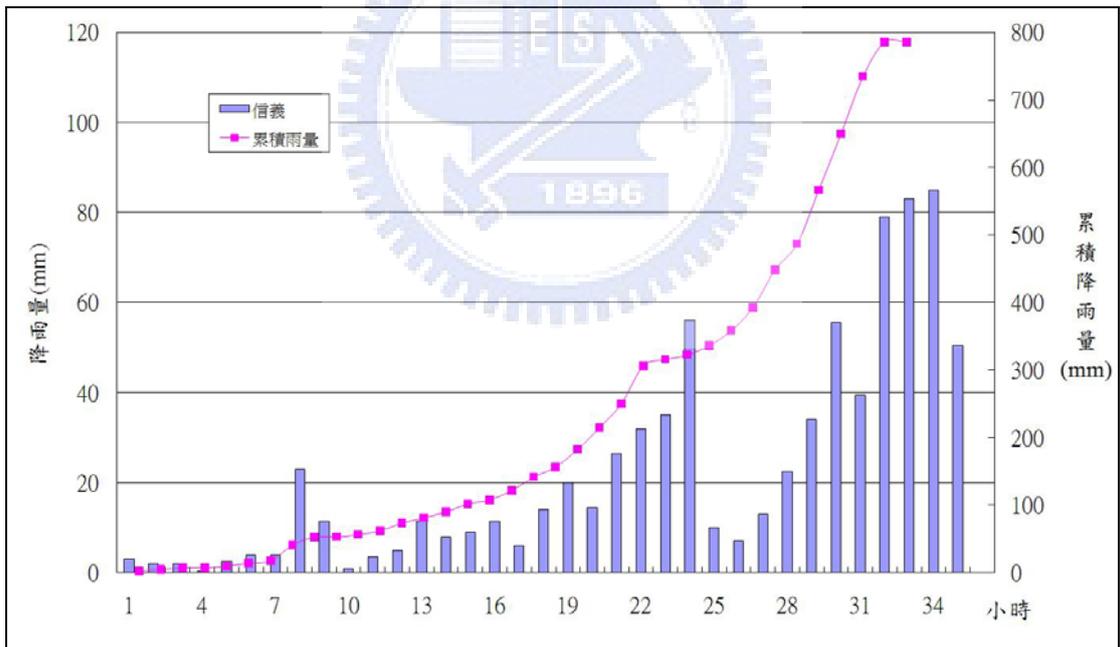


圖 4- 11 信義雨量站 36 小時降雨組體圖

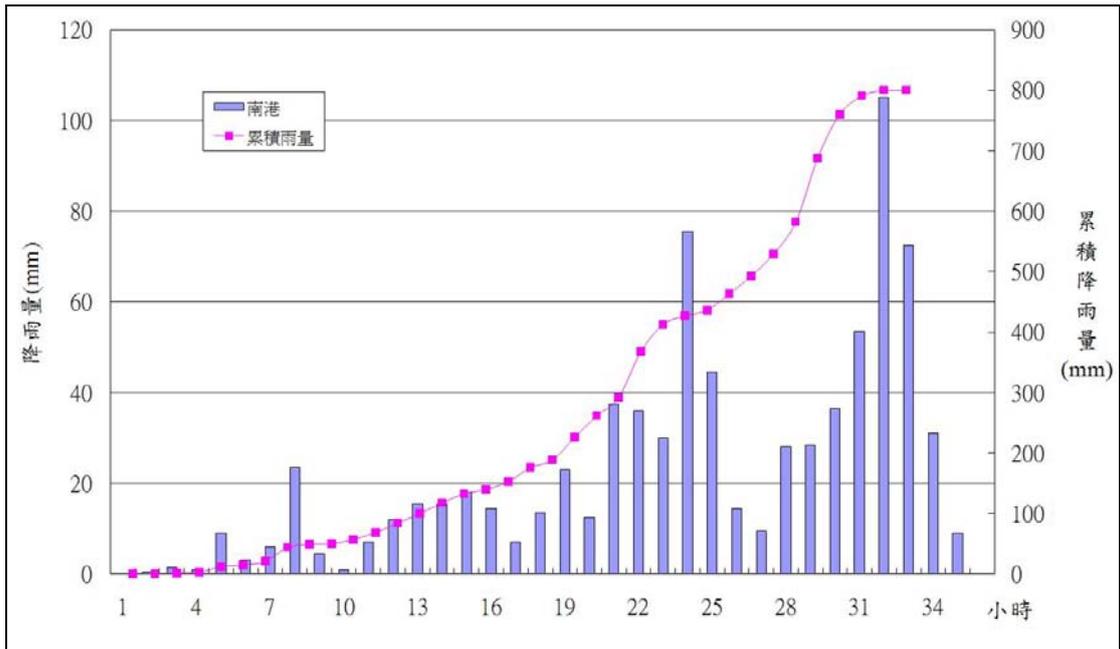


圖 4-12 南港雨量站 36 小時降雨組體圖

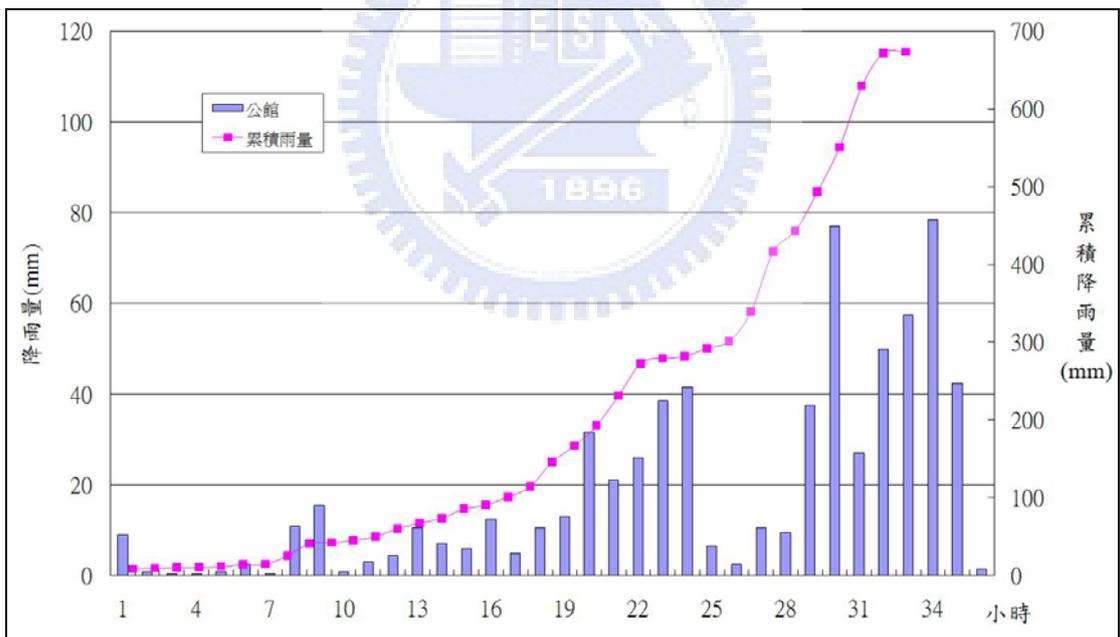


圖 4-13 公館雨量站 36 小時降雨組體圖

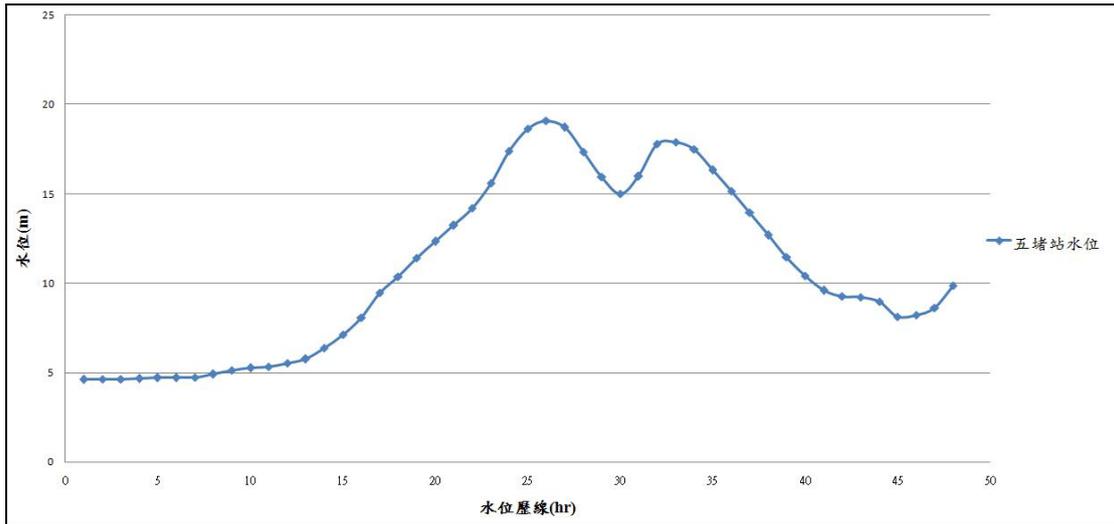


圖 4- 14 納莉颱風五堵站實測水位

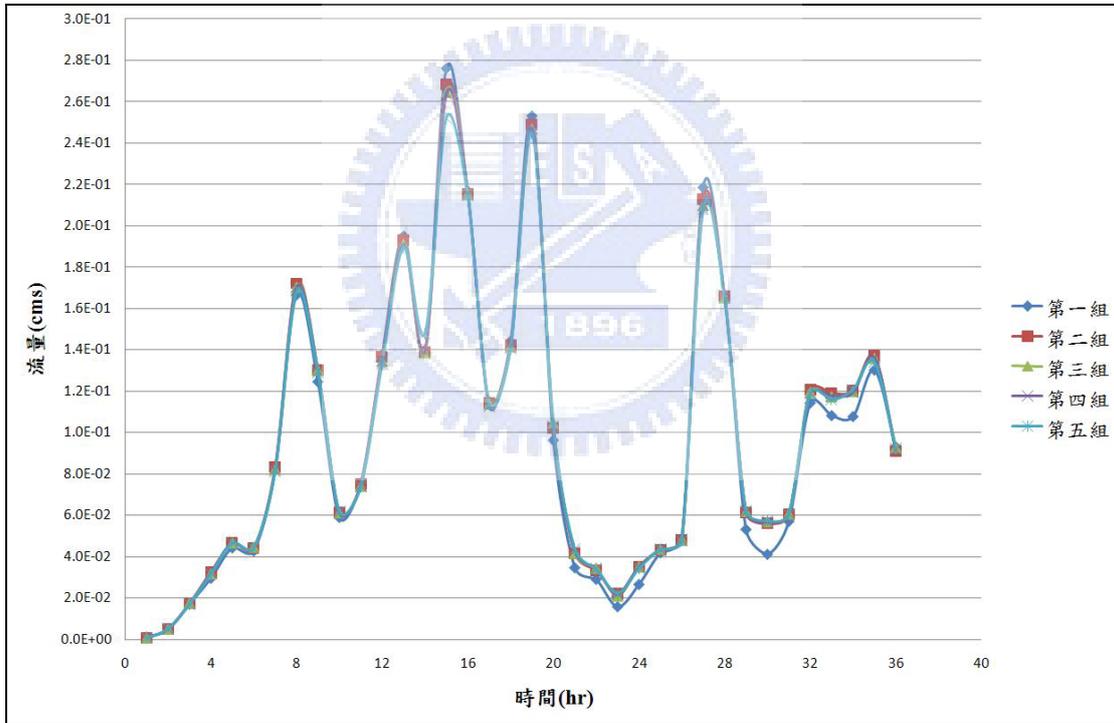


圖 4- 15 三張犁截流溝之出流歷線

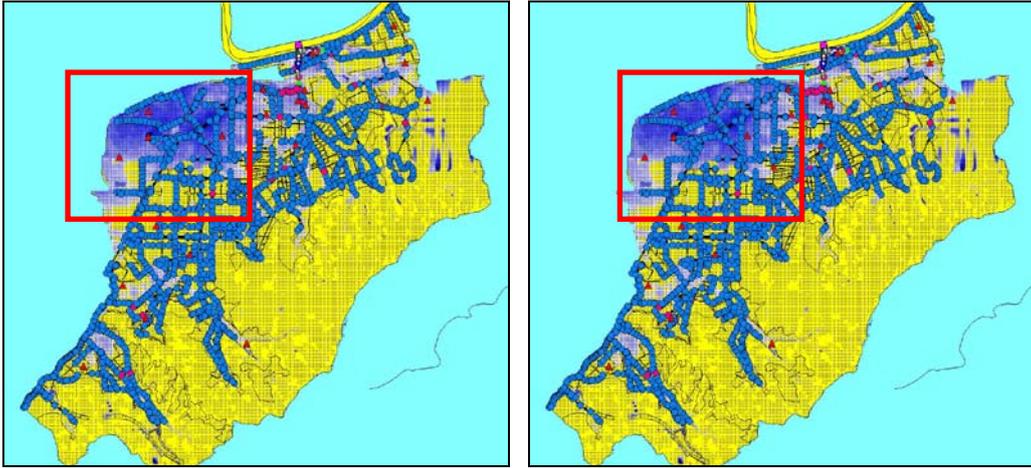


圖 4- 16 第一、二組模擬 36 小時最大淹水範圍

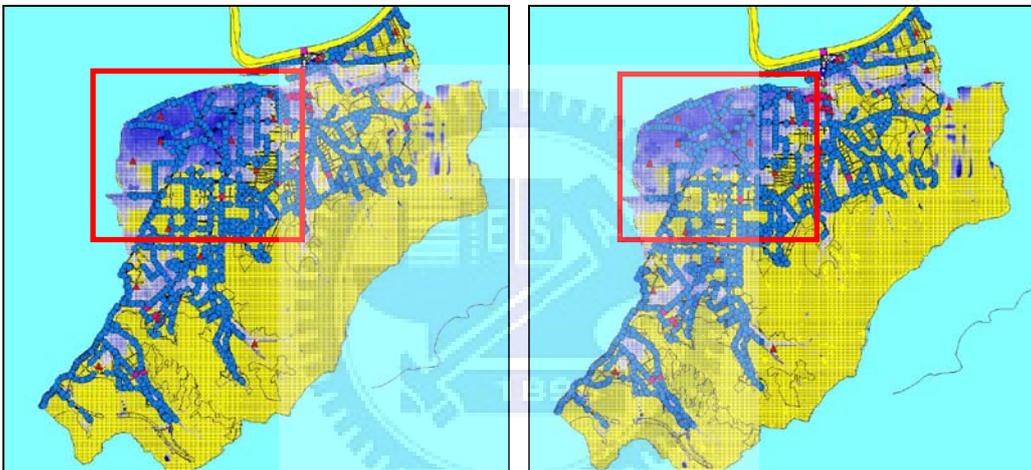


圖 4- 17 第三、四組模擬 36 小時最大淹水範圍

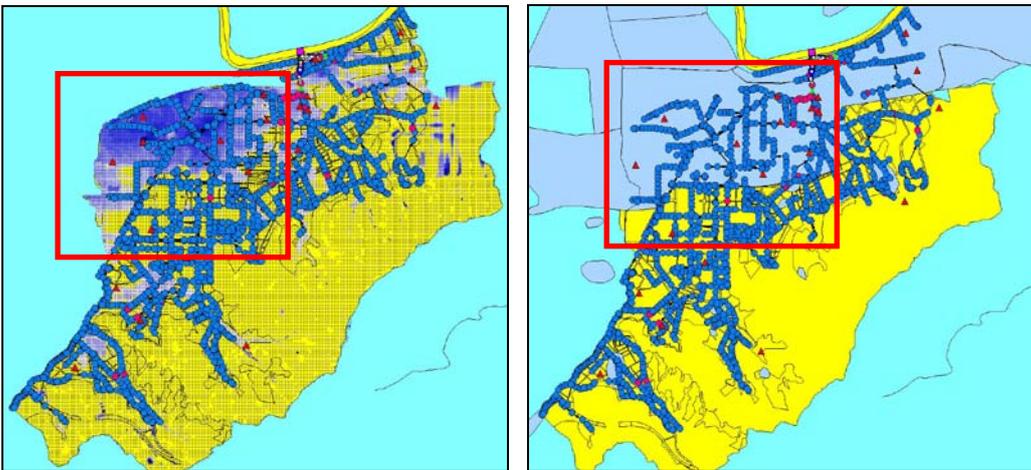


圖 4- 18 第五組模擬 36 小時最大淹水範圍、實際調查最大淹水範圍

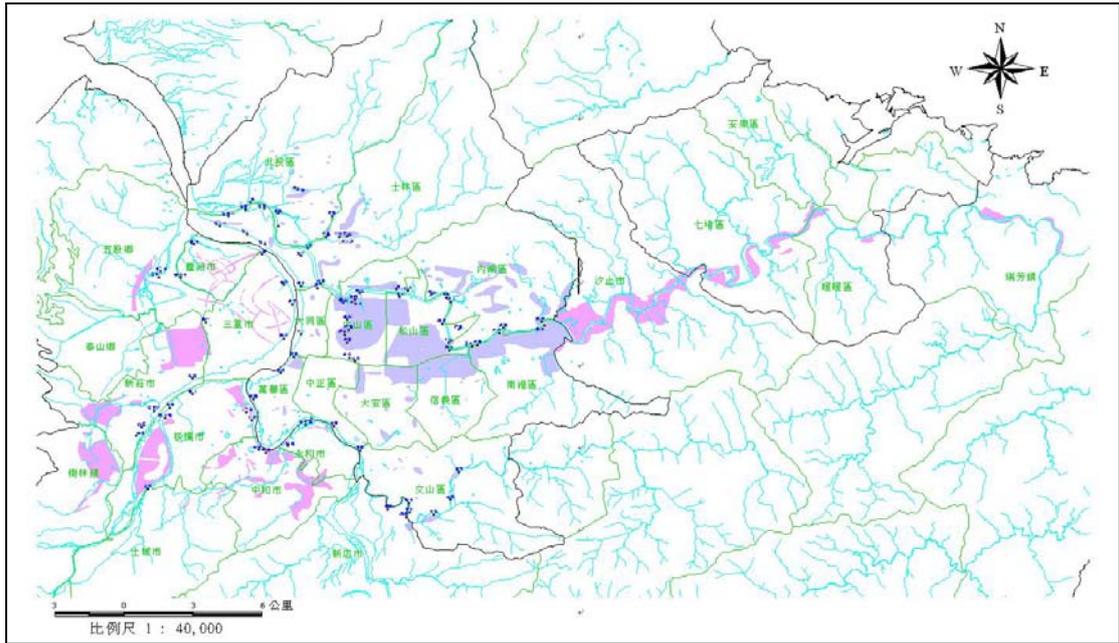


圖 4- 19 納莉颱風淡水河流域實際調查淹水範圍

(摘自納莉颱風災因分析及綜合檢討評估報告)

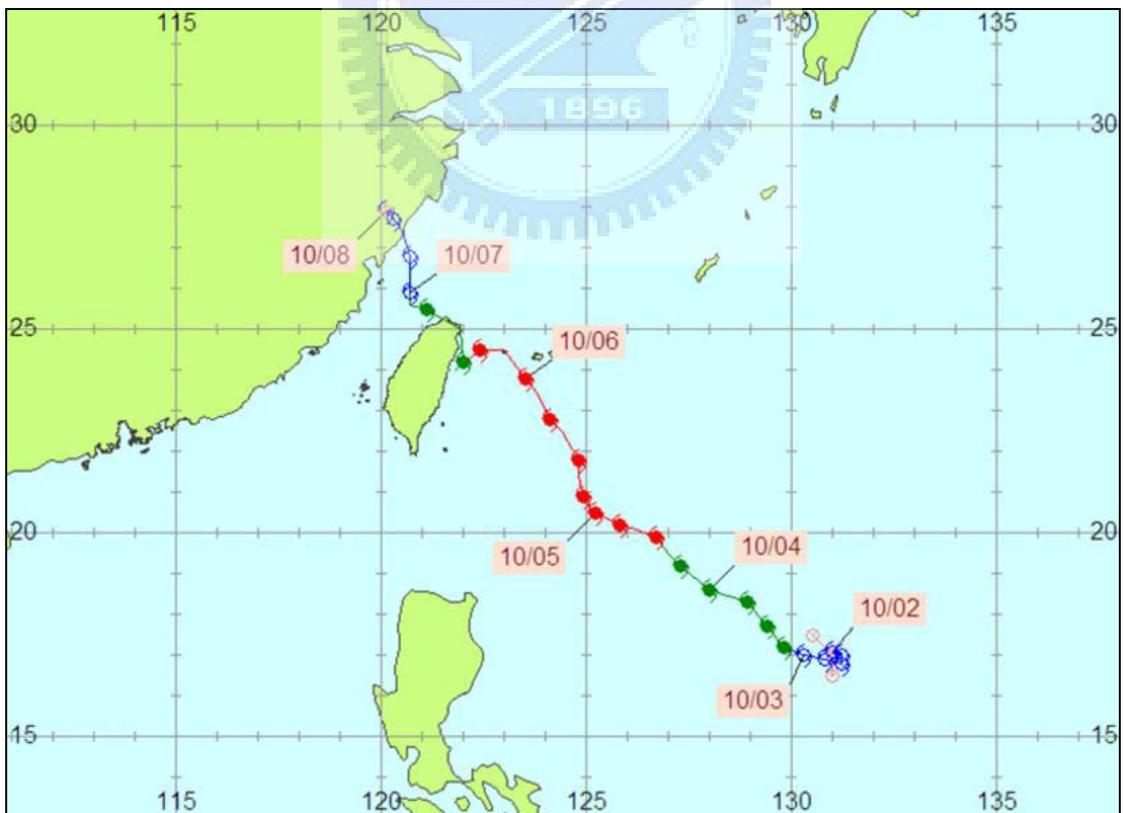


圖 4- 20 柯羅莎 (Krosa) 颱風路徑圖



圖 4-21 信義雨量站 48 小時降雨組體圖

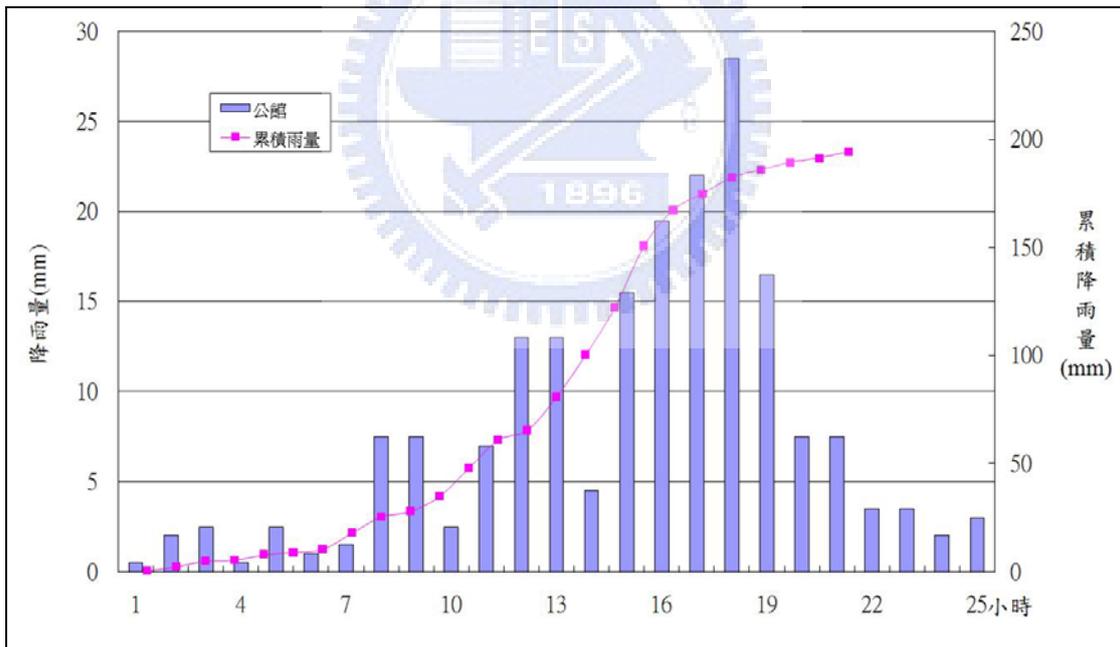


圖 4-22 公館雨量站 48 小時降雨組體圖

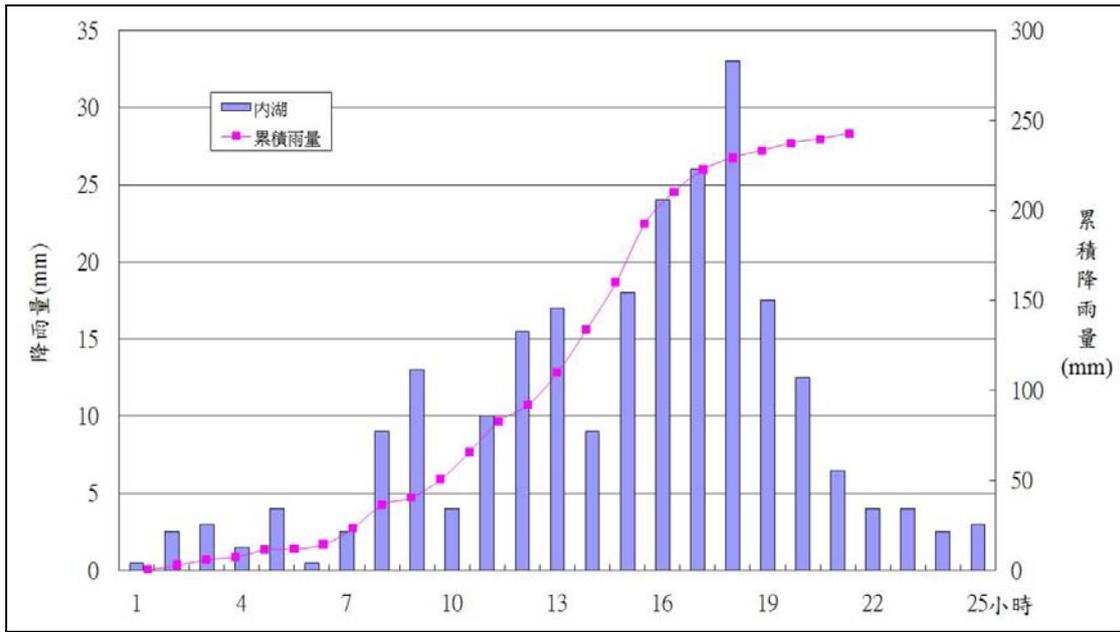


圖 4-23 內湖雨量站 48 小時降雨組體圖

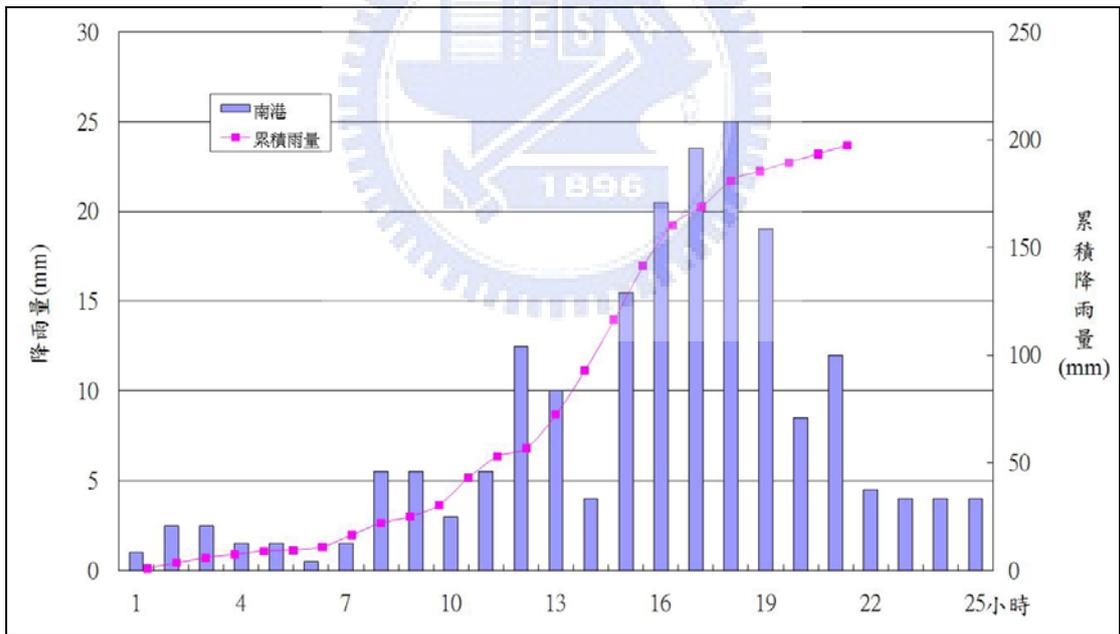


圖 4-24 南港雨量站 48 小時降雨組體圖

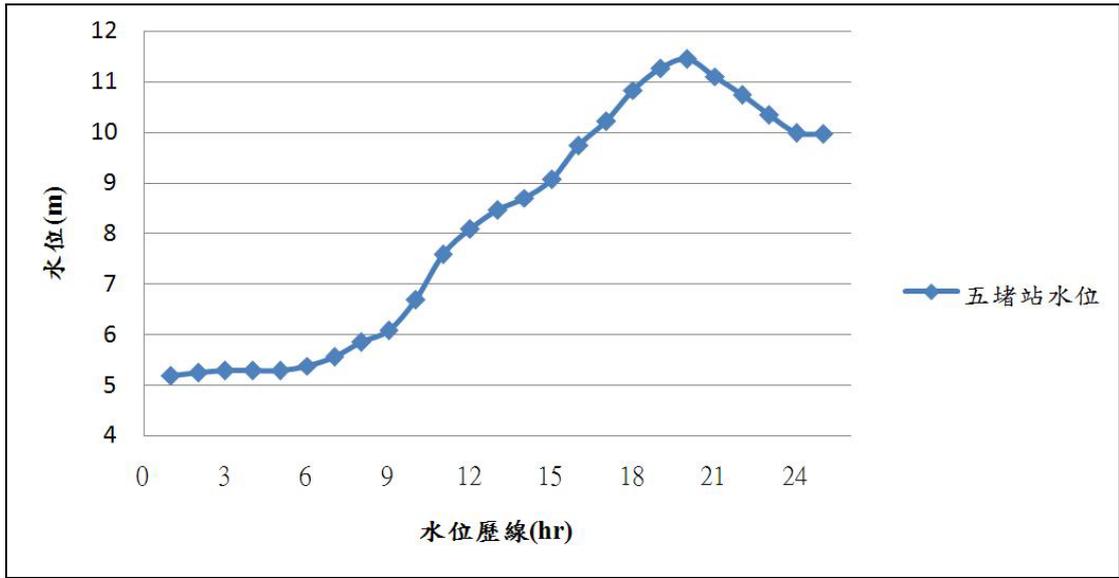


圖 4-25 柯羅莎颱風五堵站實測水位

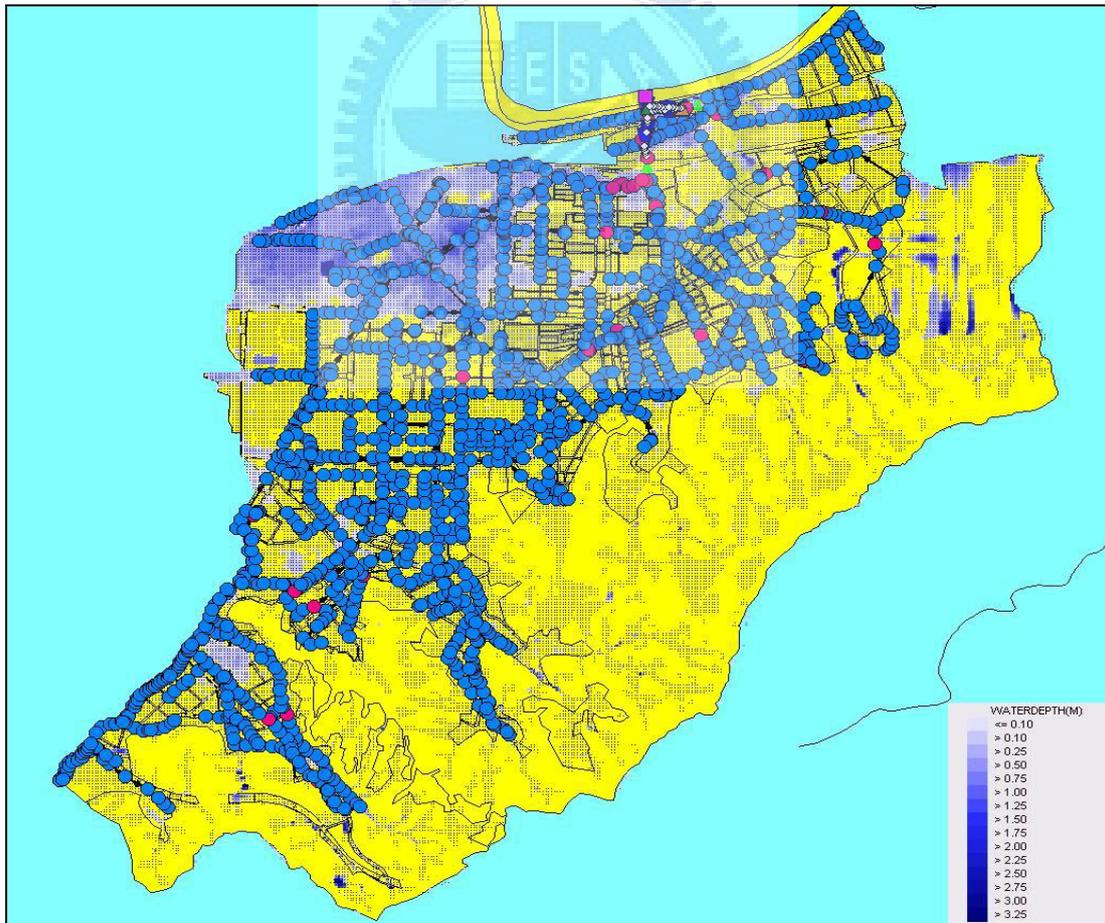


圖 4-26 柯羅莎颱風淹水模擬範圍

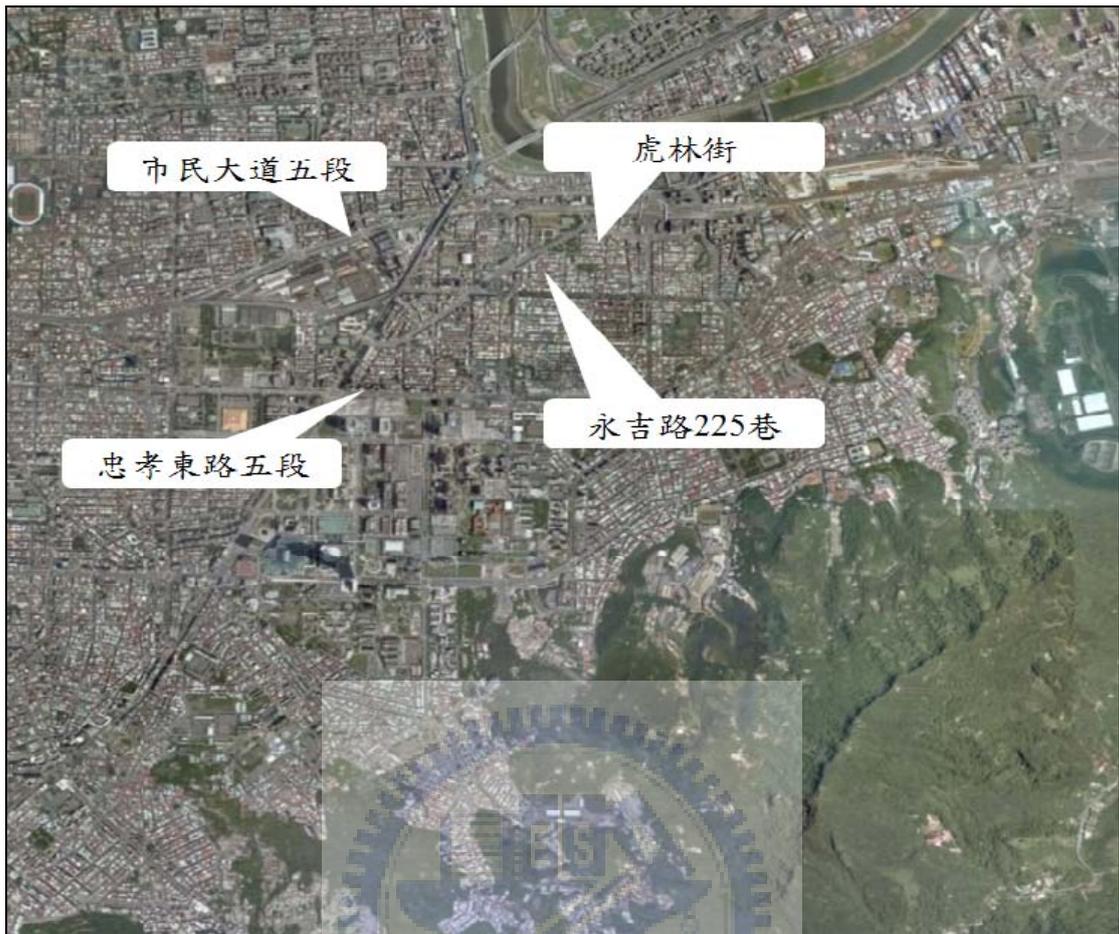


圖 4- 27Google Earth 道路名稱標示對照圖

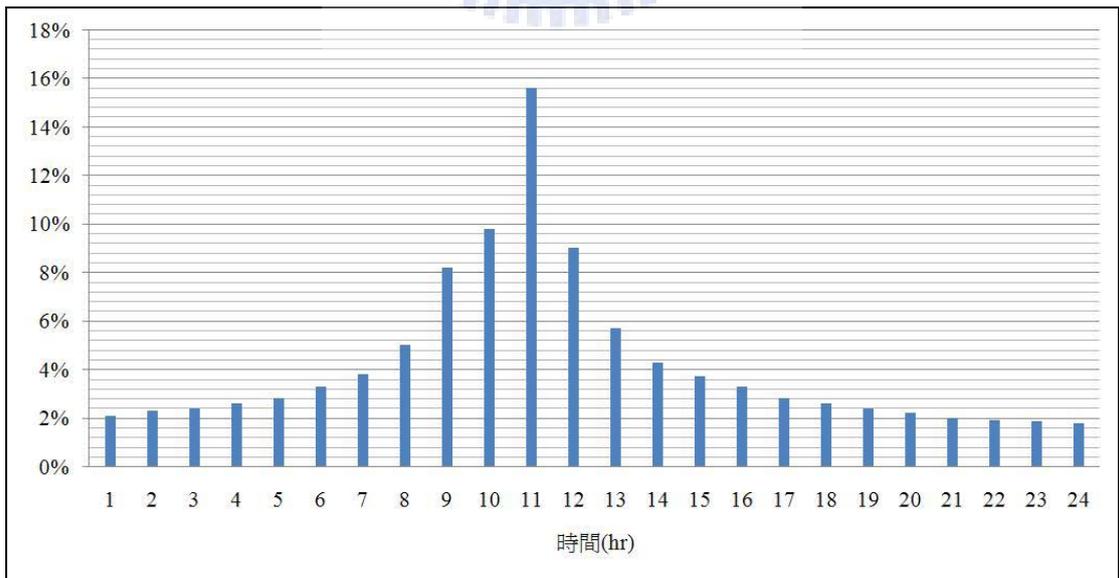


圖 5- 1 淡水河流域 24 小時無因次設計雨型

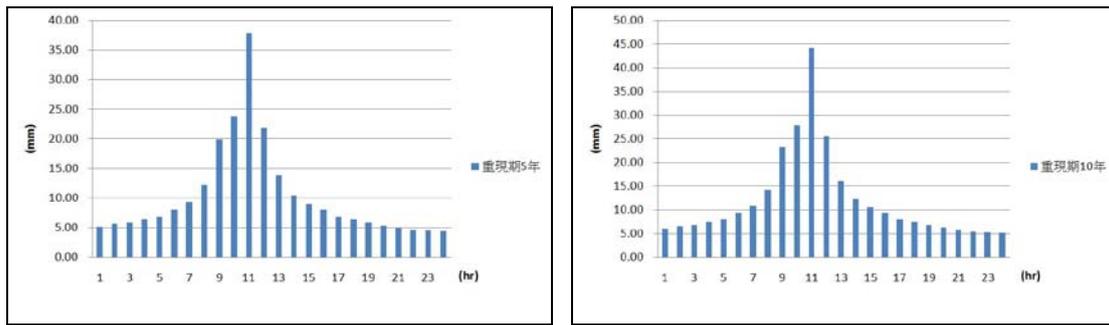


圖 5-2 氣候變異前之重現期 5 年（左）10 年（右）24 小時降雨組體

圖

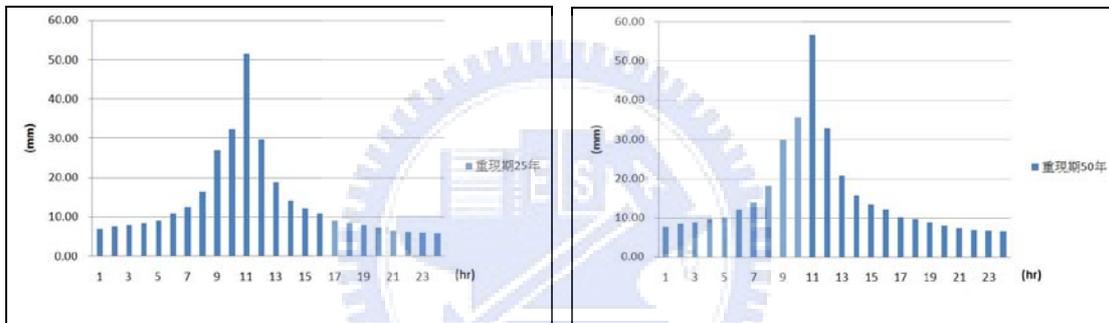


圖 5-3 氣候變異前之重現期 25 年（左）50 年（右）24 小時降雨組體

圖

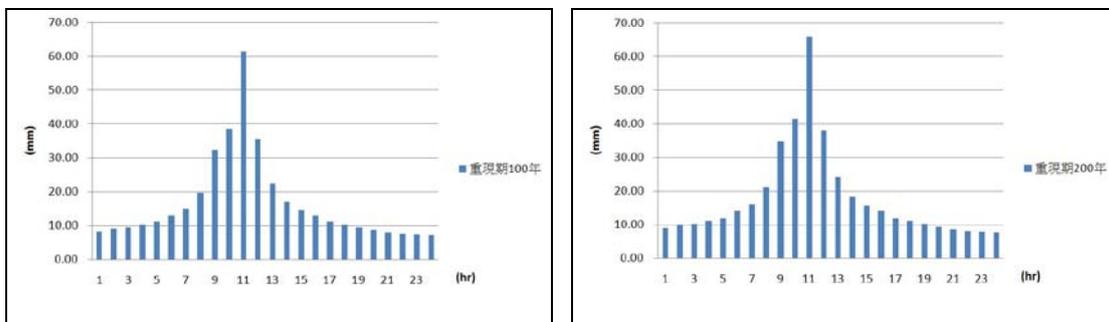


圖 5-4 氣候變異前之重現期 100 年（左）200 年（右）24 小時降雨組

體圖

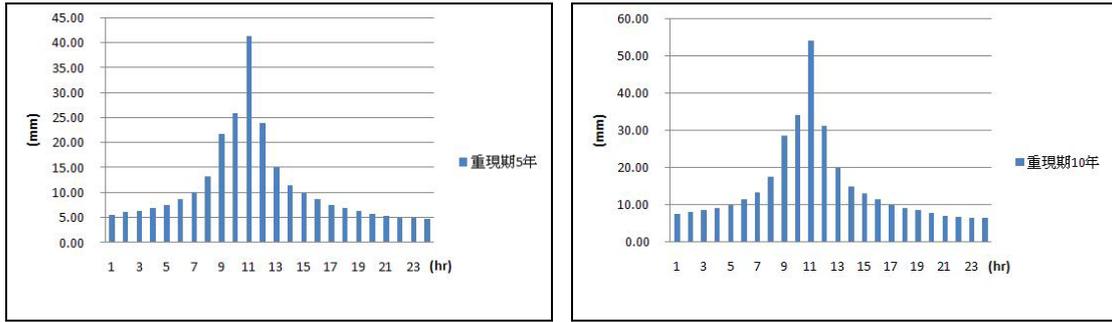


圖 5-5 氣候變異後之重現期 5 年（左）10 年（右）24 小時降雨組體

圖



圖 5-6 氣候變異後之重現期 25 年（左）50 年（右）24 小時降雨組體

圖

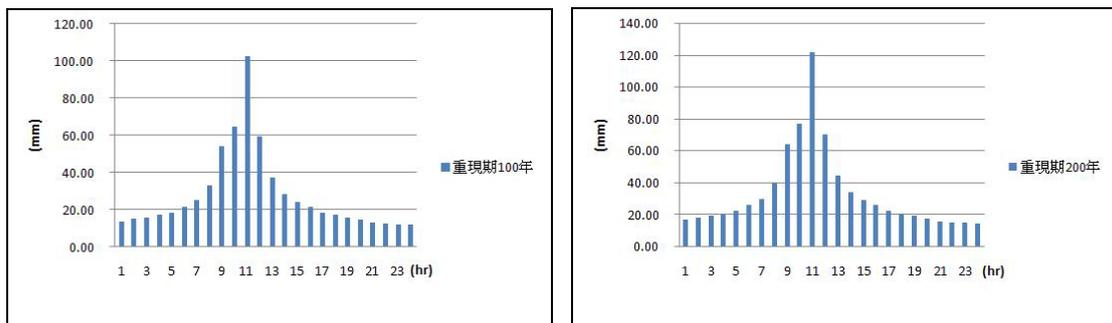


圖 5-7 氣候變異後之重現期 100 年（左）200 年（右）24 小時降雨組

體圖

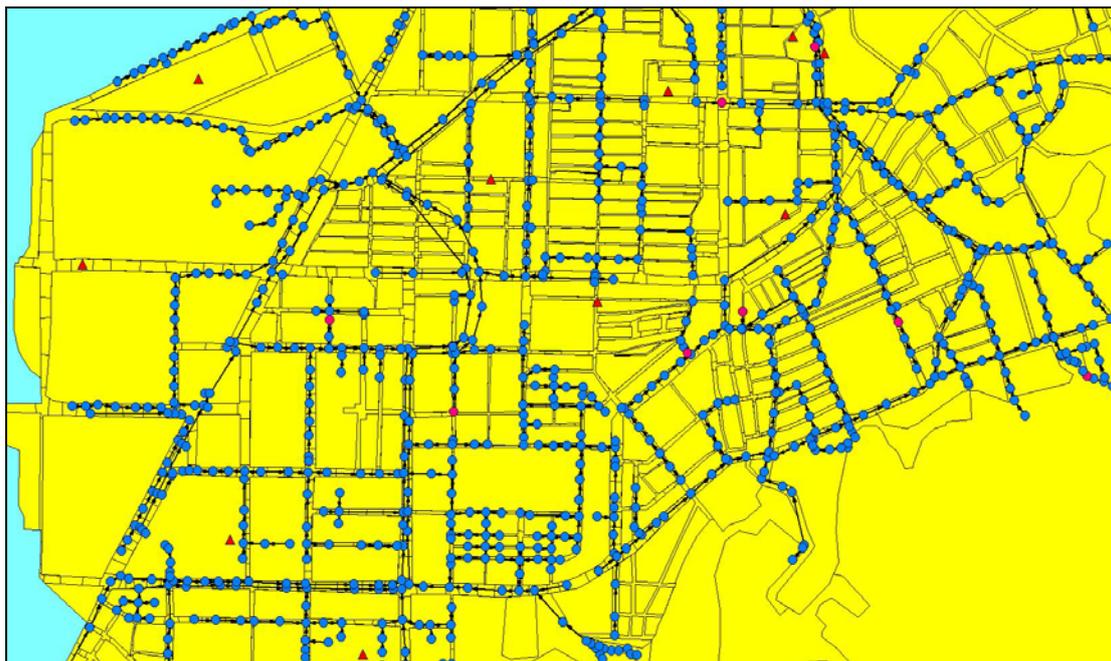


圖 5-8 模式建置玉成集水區下水道分佈情況

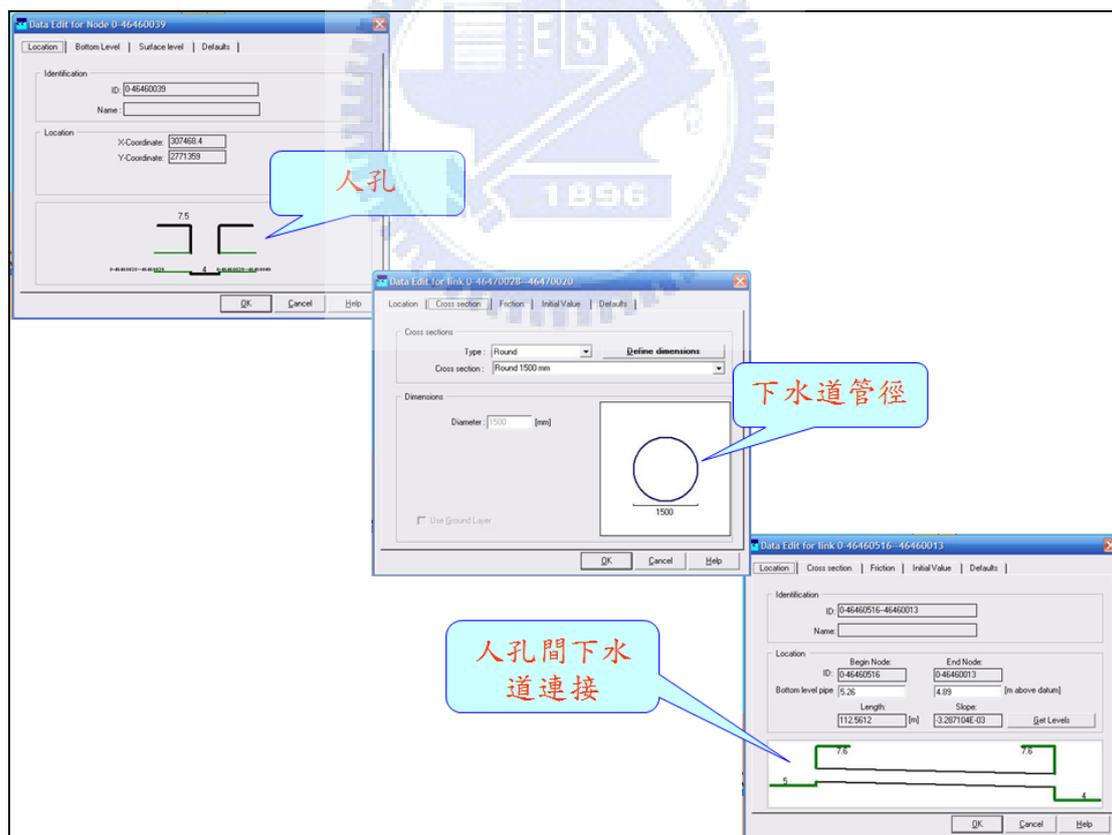


圖 5-9 模式建置下水道配置情況

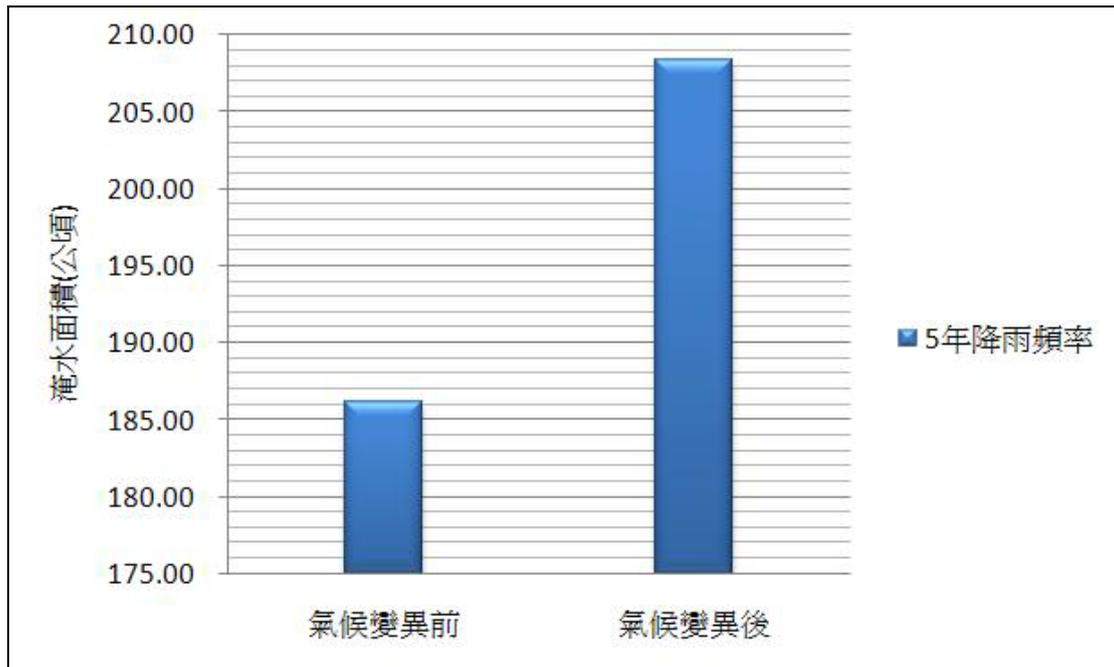


圖 5- 10 氣候變異前後重現期 5 年淹水面積差異

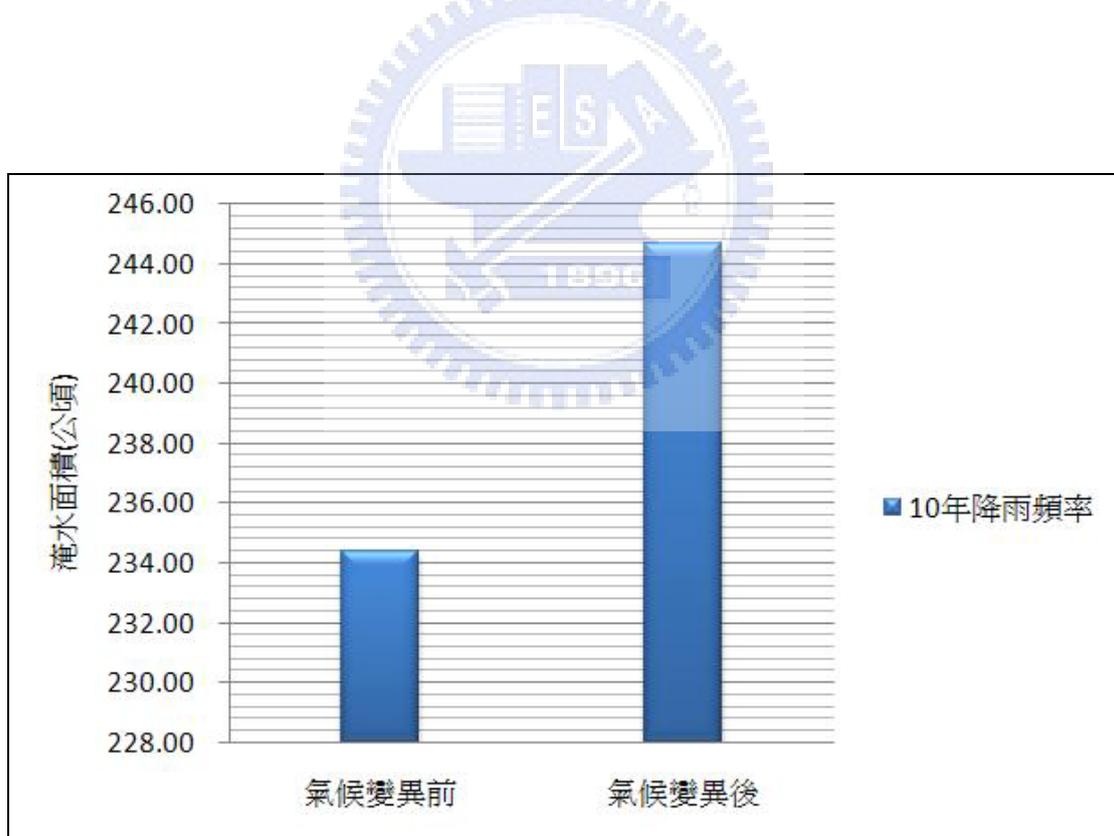


圖 5- 11 氣候變異前後重現期 10 年淹水面積差異

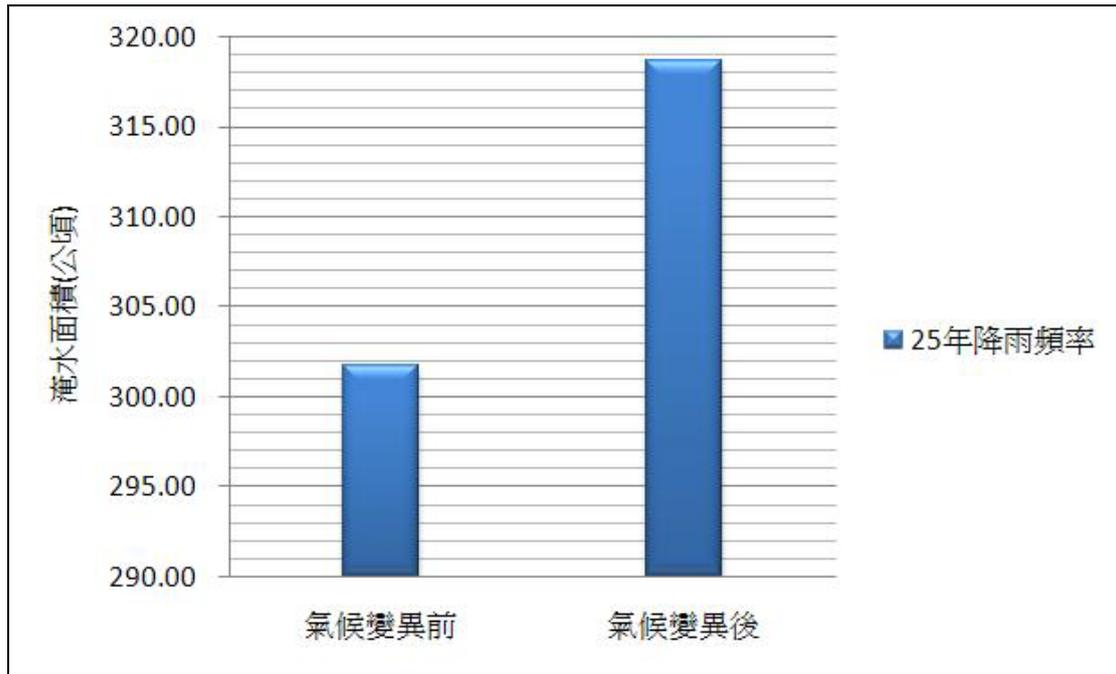


圖 5- 12 氣候變異前後重現期 25 年淹水面積差異



圖 5- 13 氣候變異前後重現期 50 年淹水面積差異

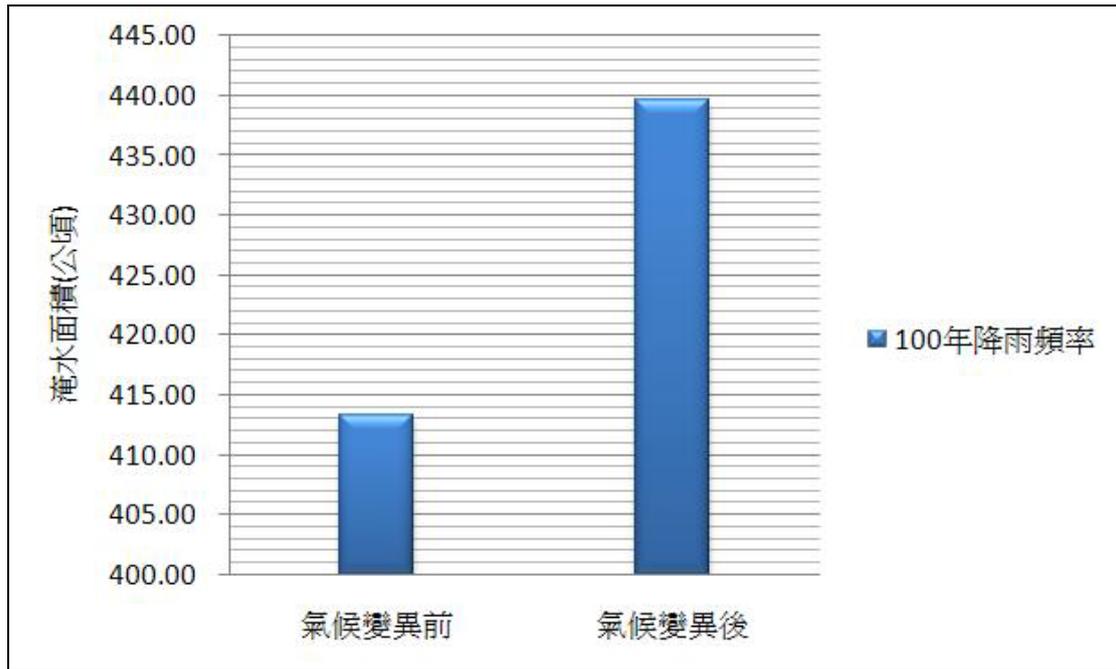


圖 5- 14 氣候變異前後重現期 100 年淹水面積差異



圖 5- 15 氣候變異前後重現期 200 年淹水面積差異

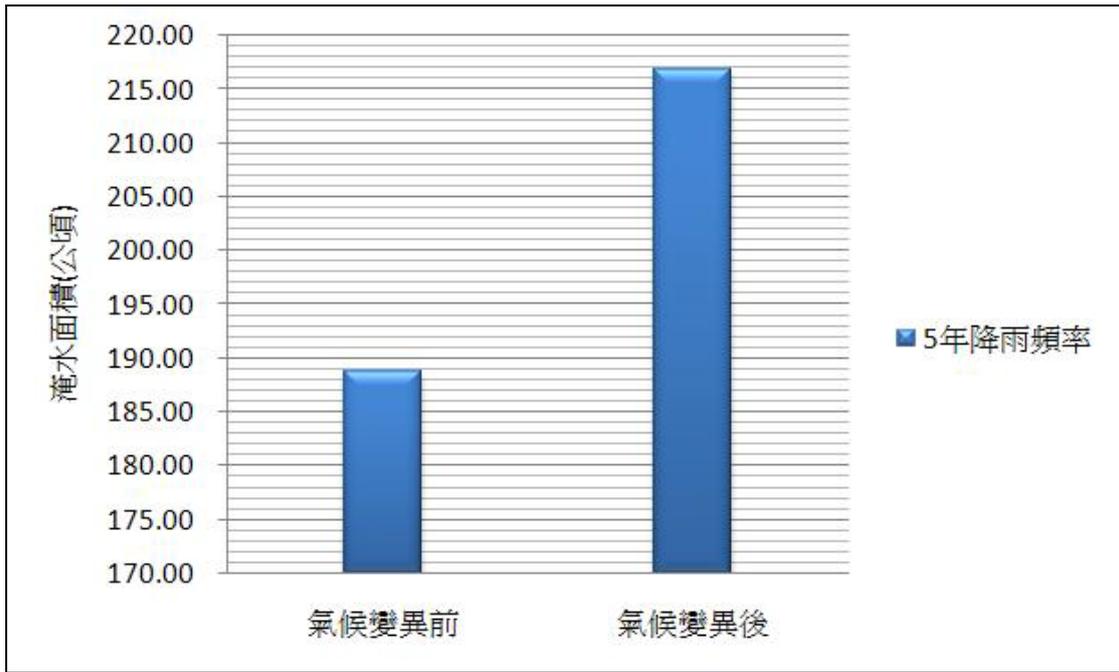


圖 5-16 氣候變異前後重現期 5 年淹水面積差異（無下水道）

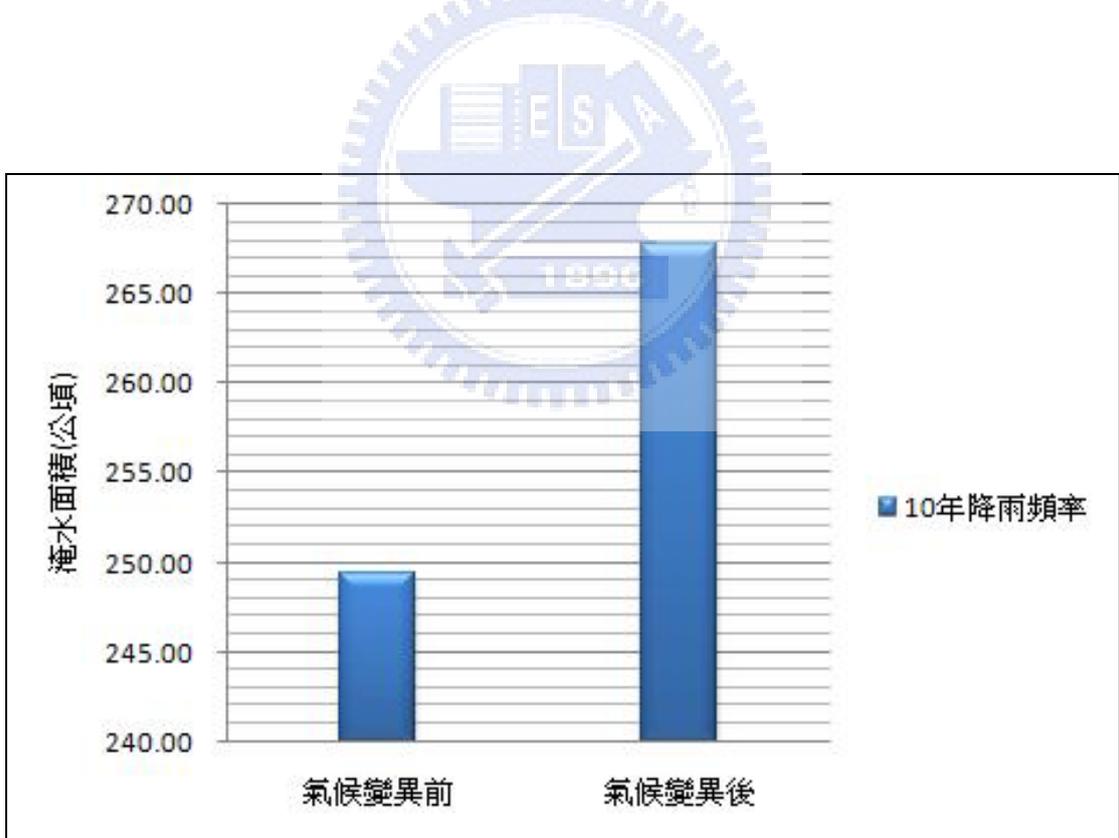


圖 5-17 氣候變異前後重現期 10 年淹水面積差異（無下水道）

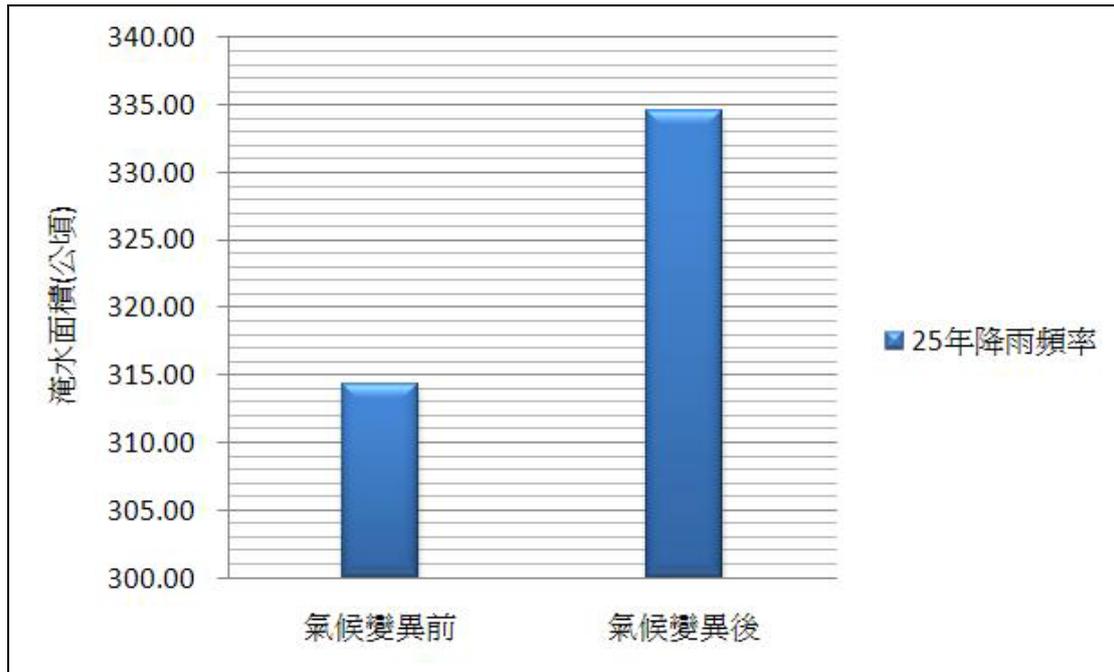


圖 5-18 氣候變異前後重現期 25 年淹水面積差異（無下水道）



圖 5-19 氣候變異前後重現期 50 年淹水面積差異（無下水道）

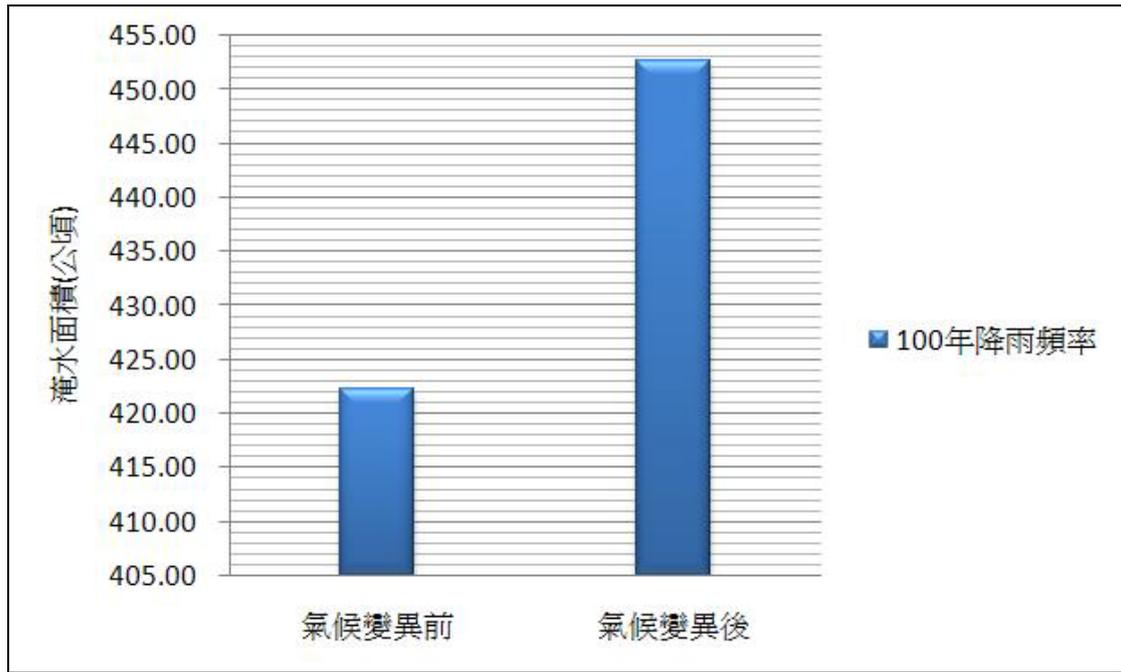


圖 5- 20 氣候變異前後重現期 100 年淹水面積差異（無下水道）

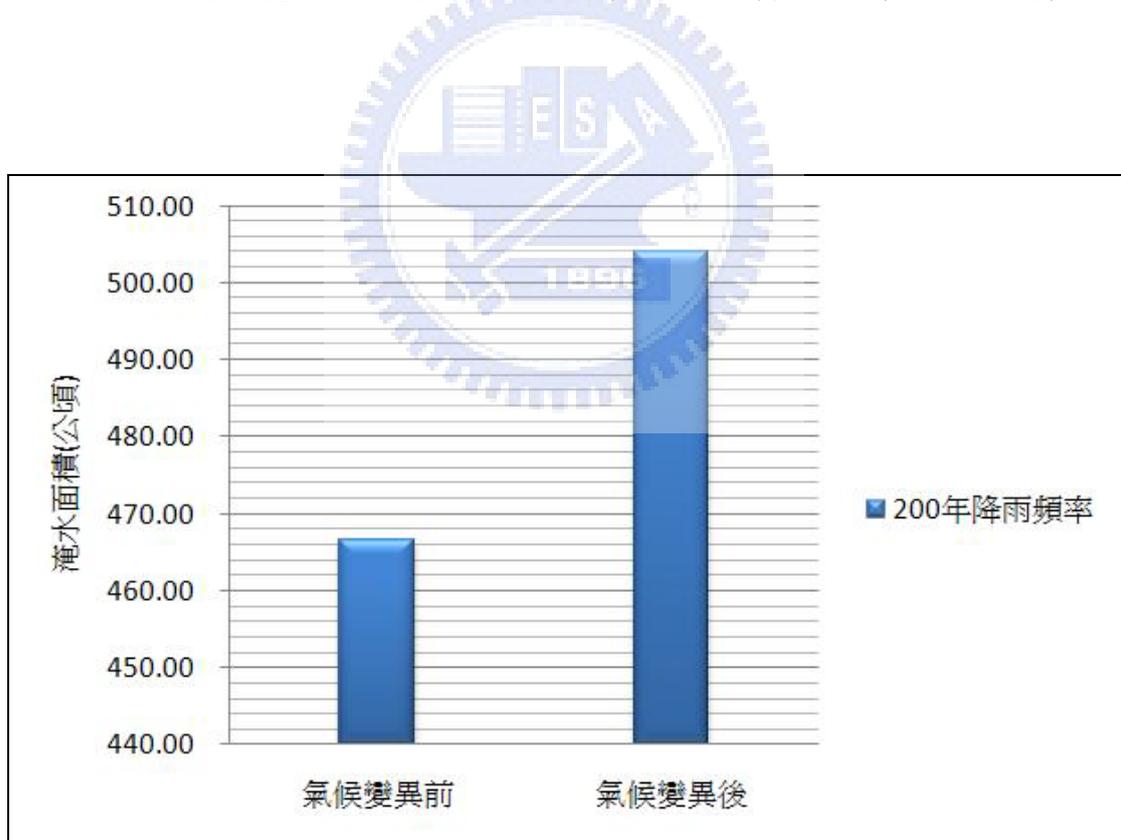


圖 5- 21 氣候變異前後重現期 200 年淹水面積差異（無下水道）

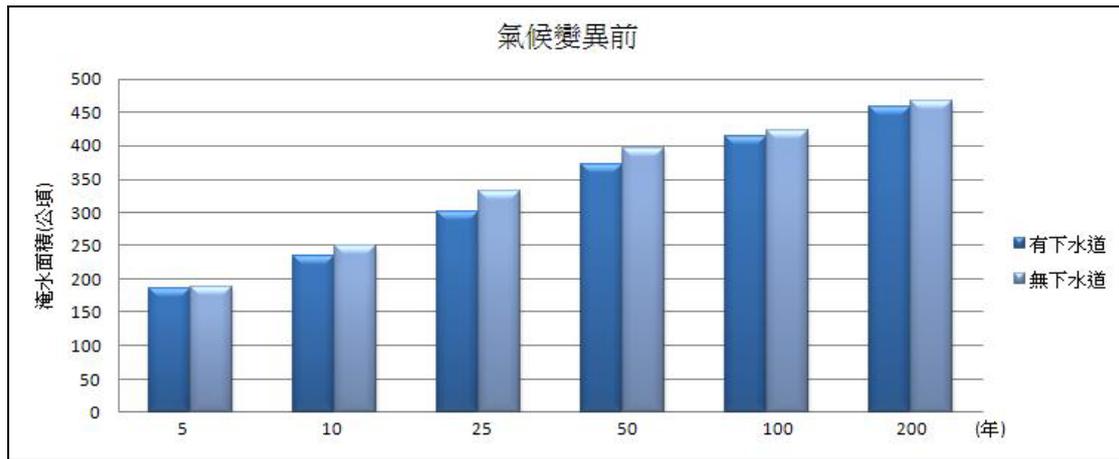


圖 5-22 氣候變異前有無考慮雨水下水道淹水面積差異

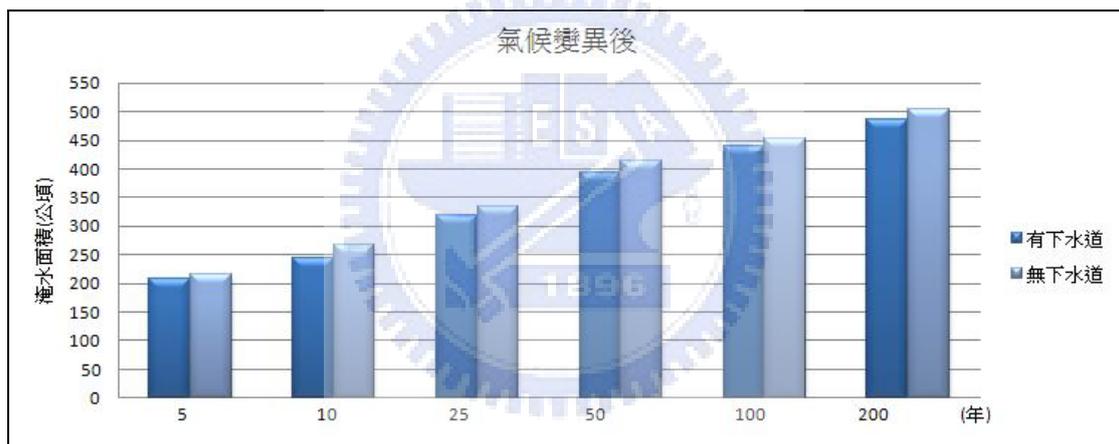


圖 5-23 氣候變異後有無考慮雨水下水道淹水面積差異

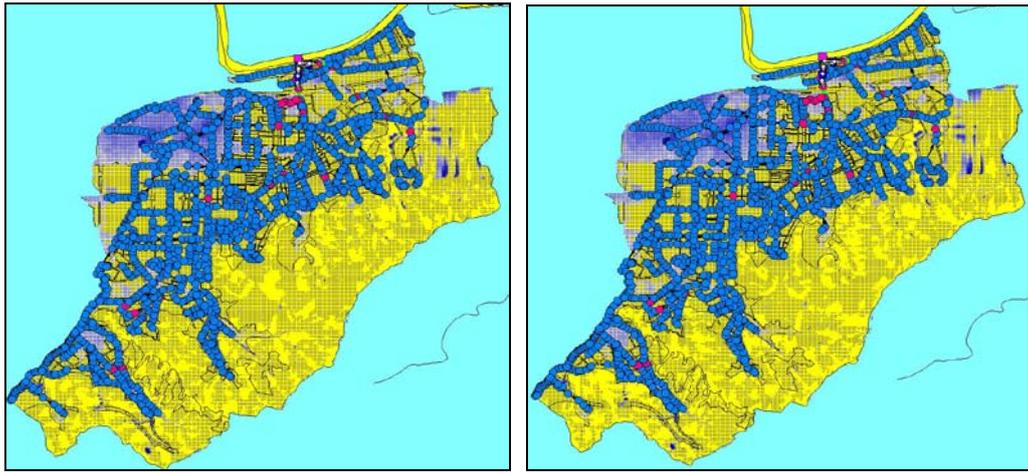


圖 5- 24 重現期 5 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

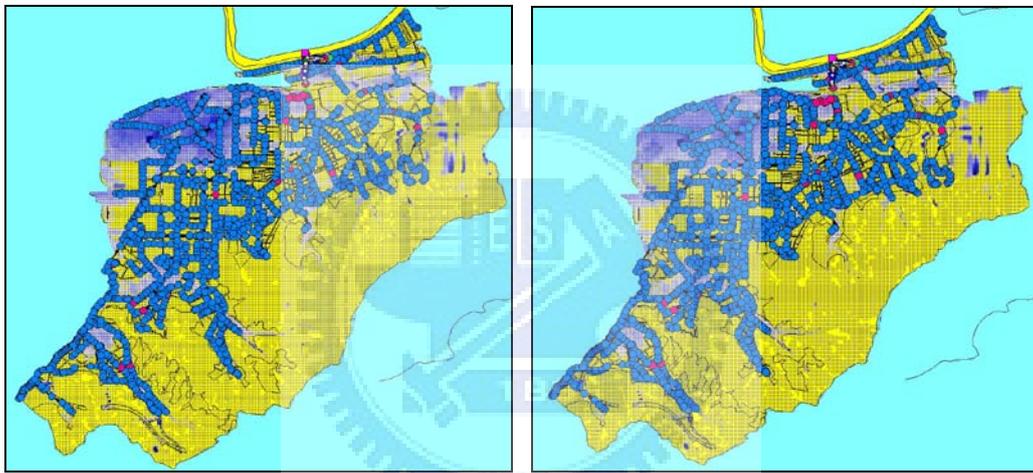


圖 5- 25 重現期 10 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

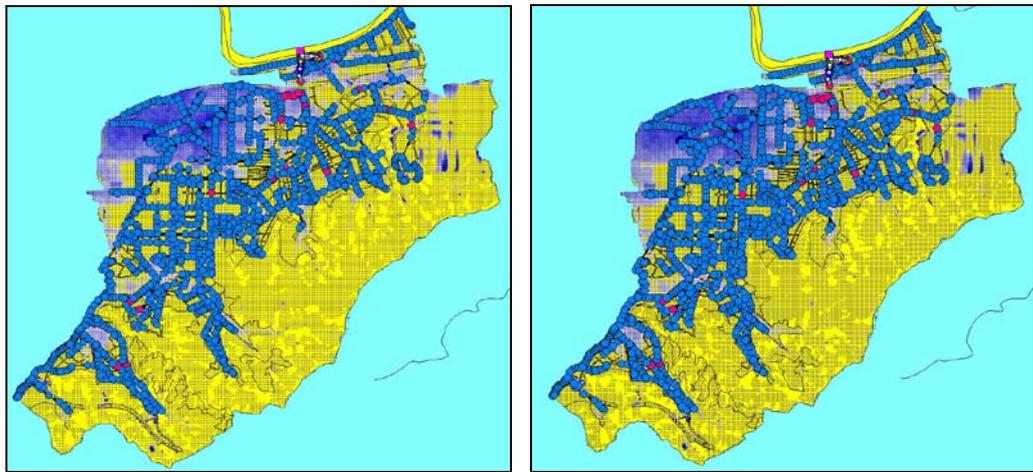


圖 5- 26 重現期 25 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

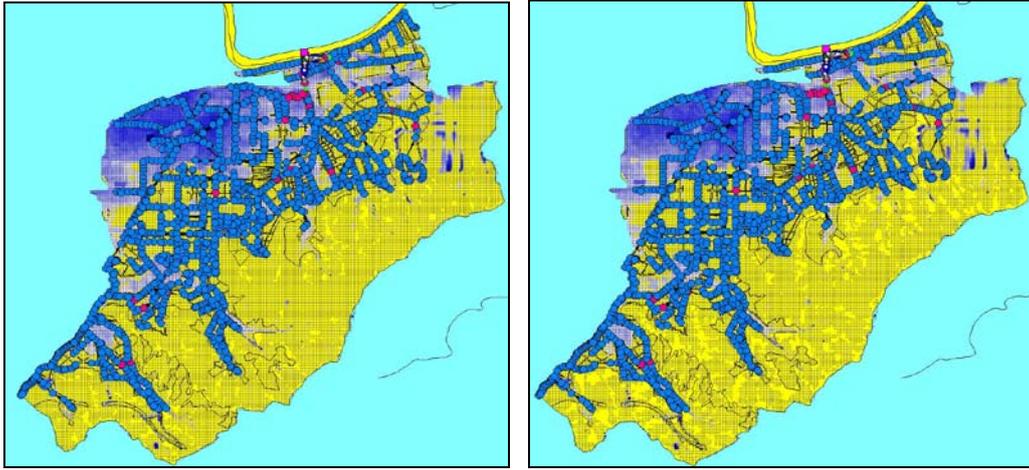


圖 5-27 重現期 50 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

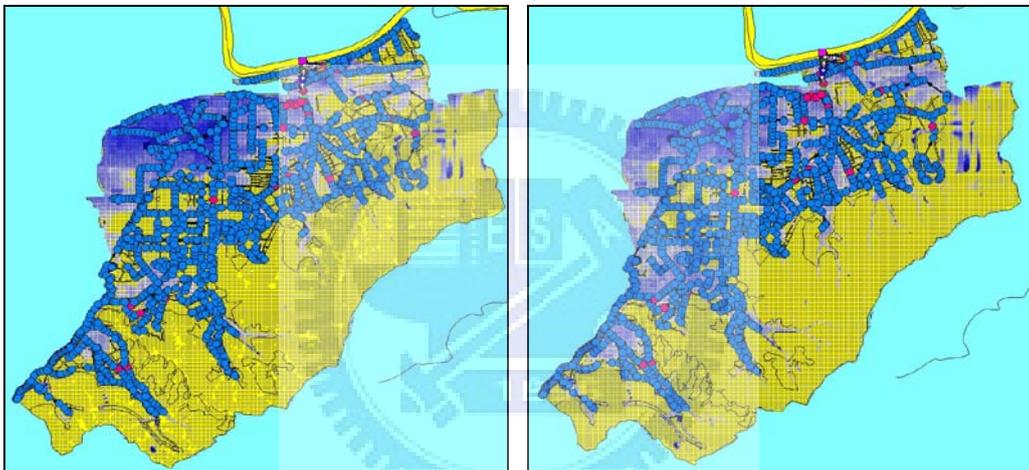


圖 5-28 重現期 100 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

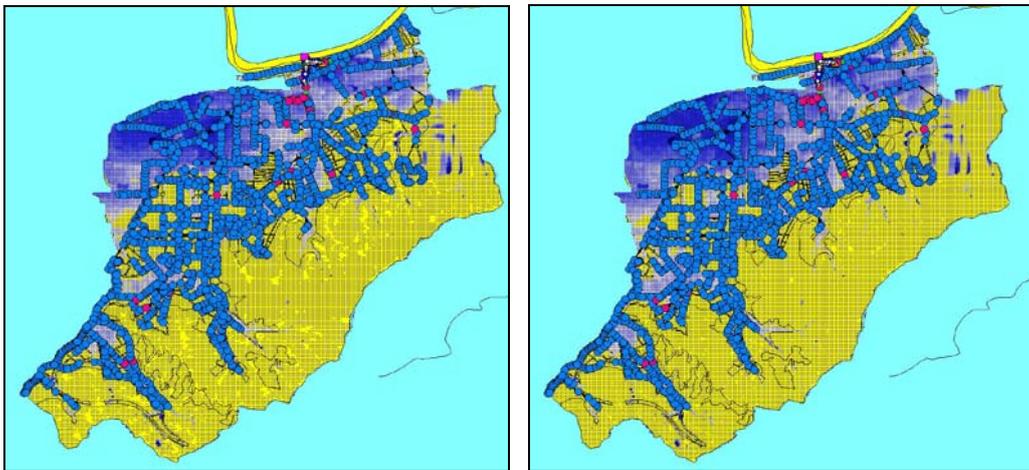


圖 5-29 重現期 200 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

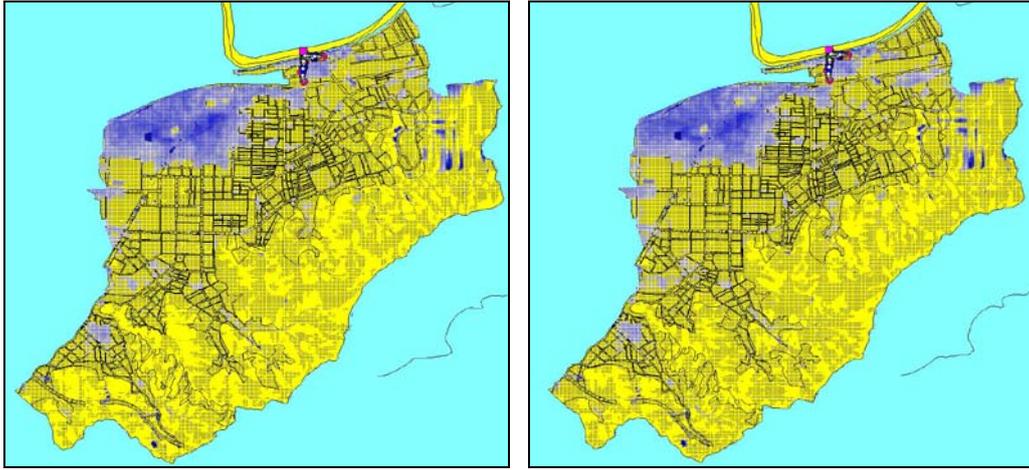


圖 5-30 重現期 5 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

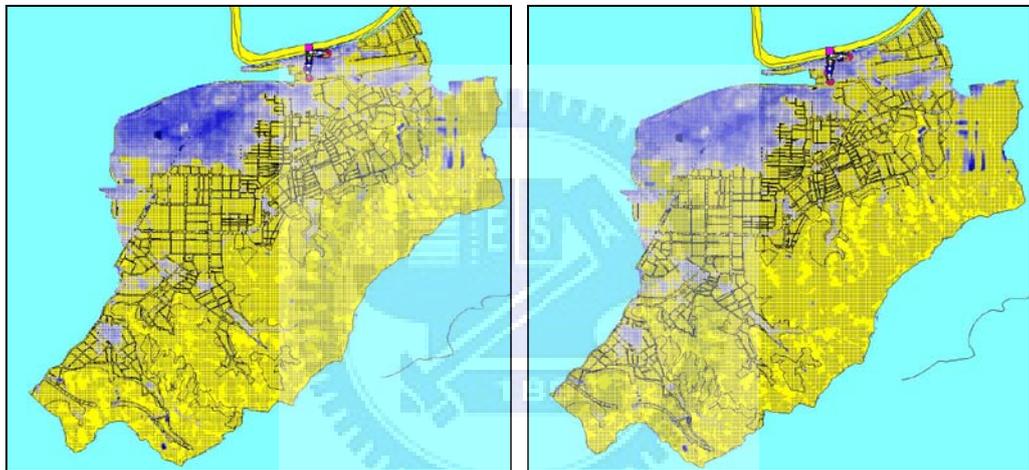


圖 5-31 重現期 10 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

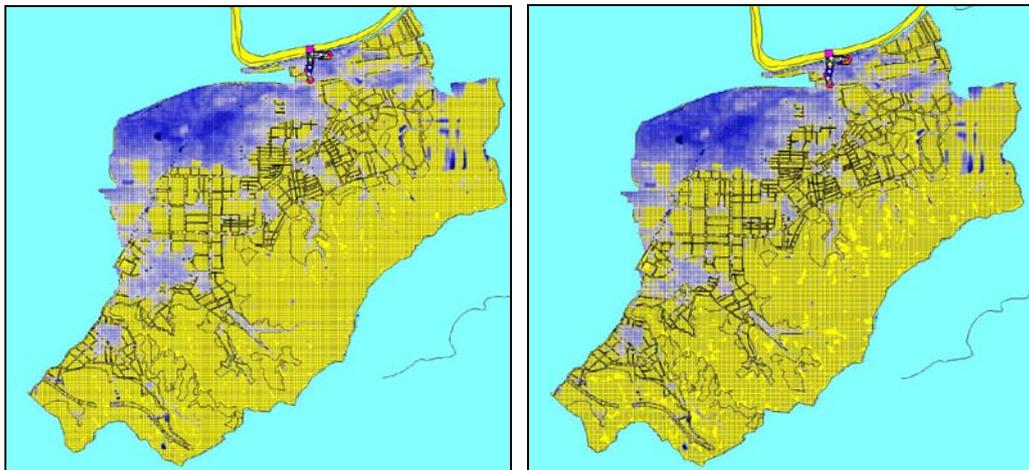


圖 5-32 重現期 25 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

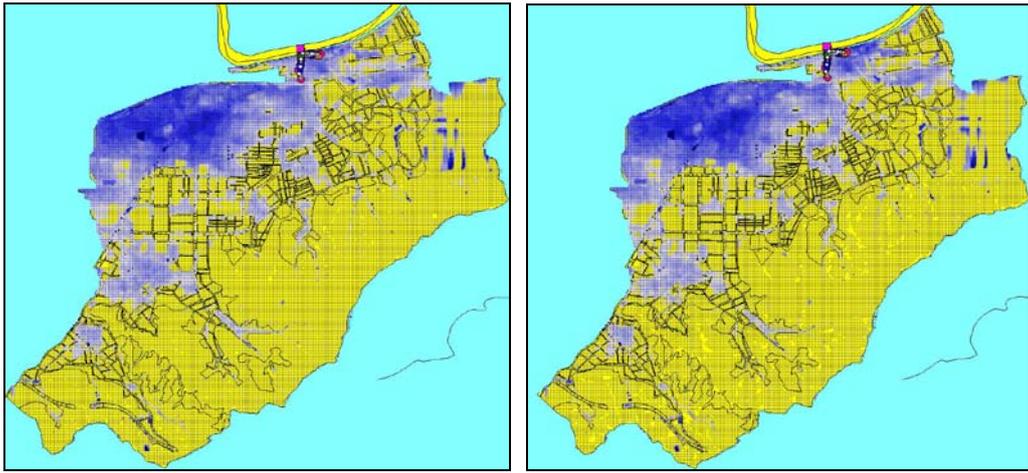


圖 5- 33 重現期 50 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

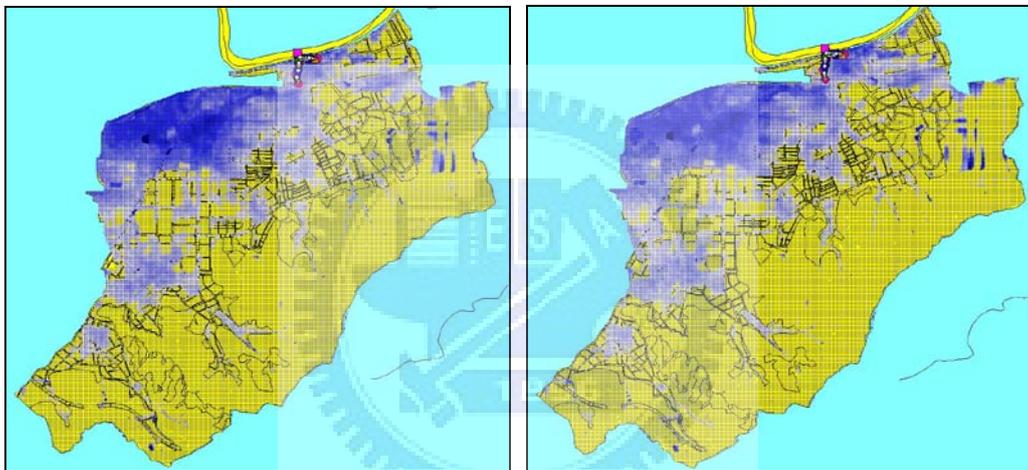


圖 5- 34 重現期 100 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

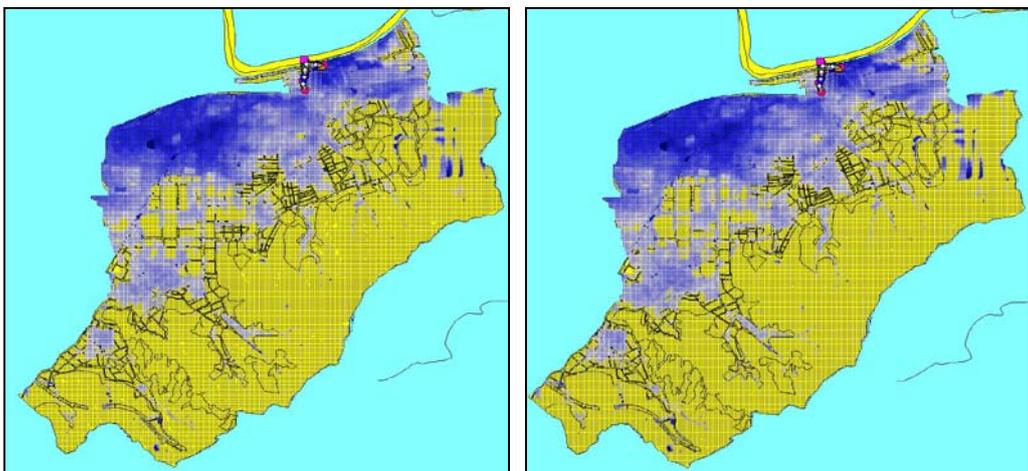


圖 5- 35 重現期 200 年淹水範圍氣候變異前（左）、變異後（右）

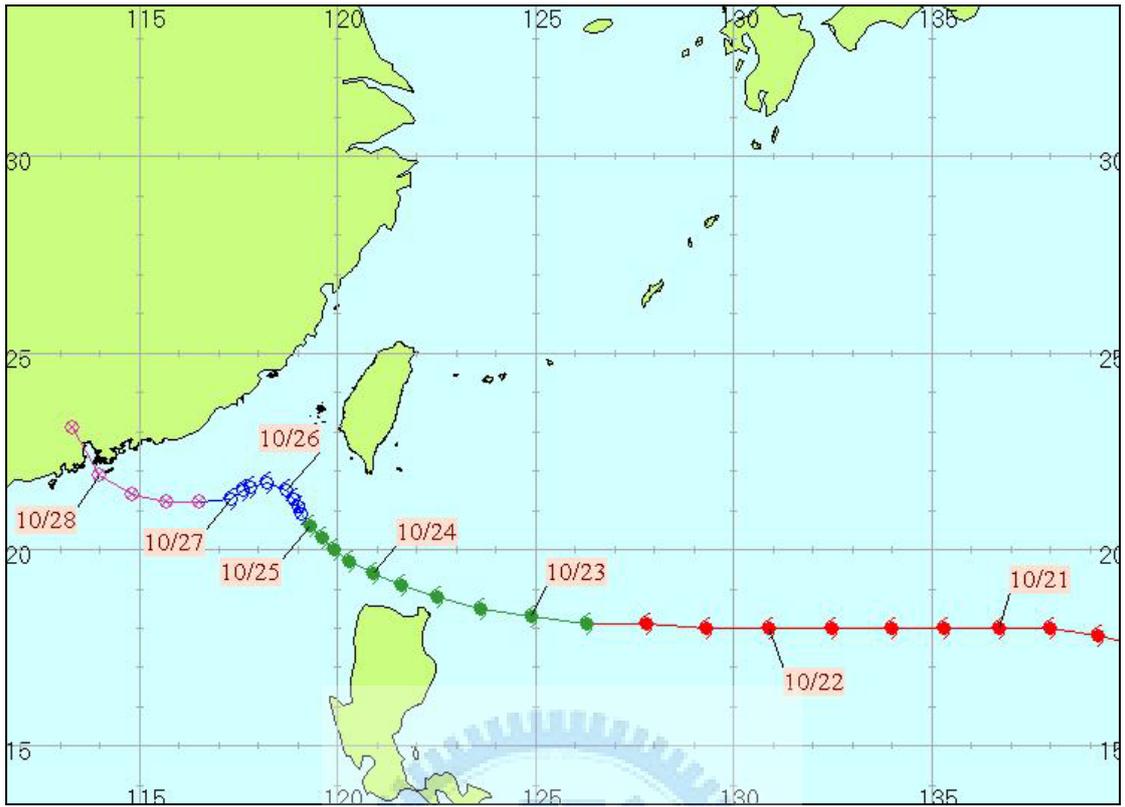


圖 5-36 琳恩 (Lynn) 颱風路徑圖

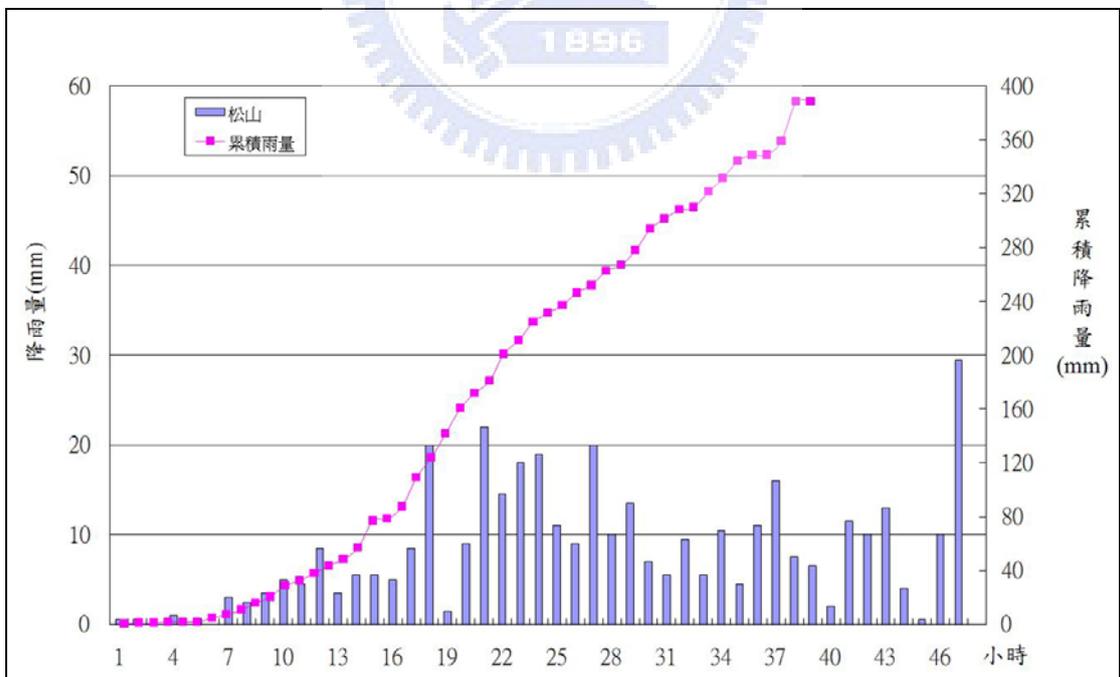


圖 5-37 松山雨量站 48 小時降雨組體圖

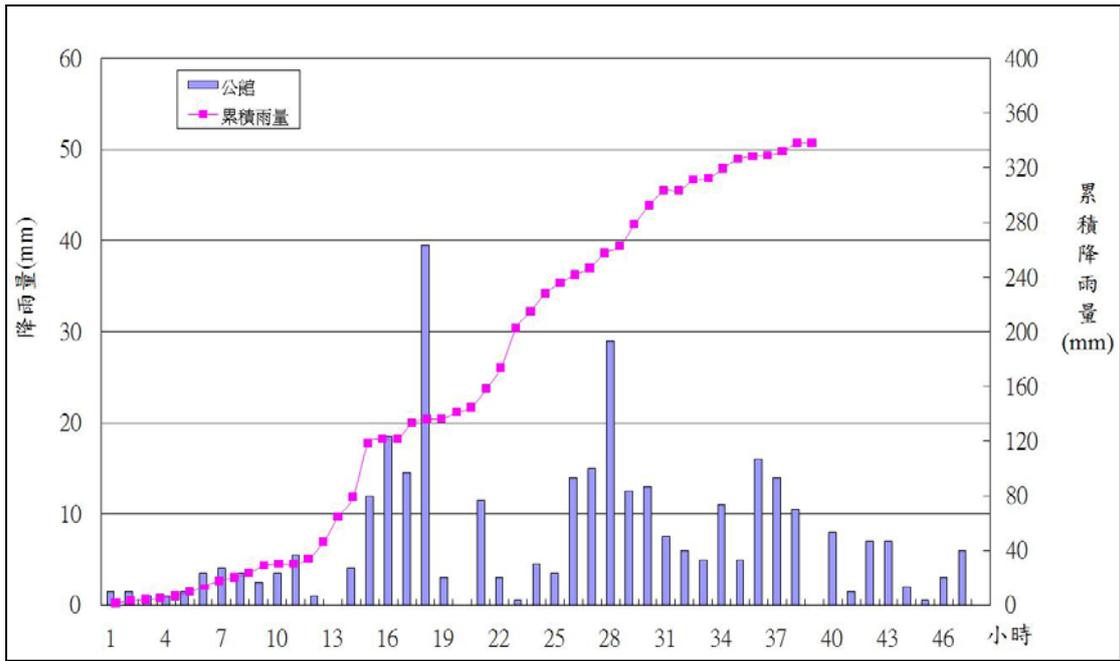


圖 5-38 公館雨量站 48 小時降雨組體圖

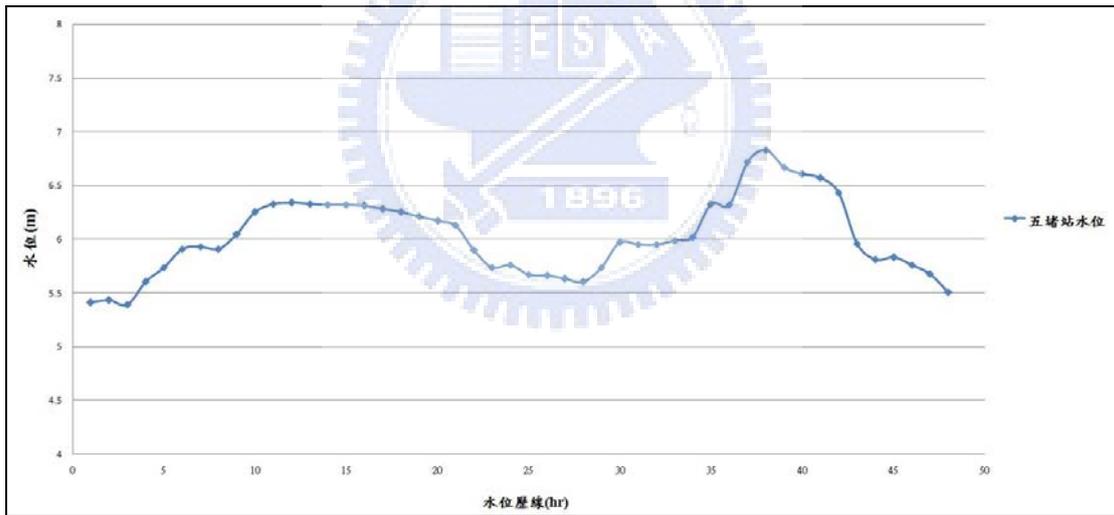


圖 5-39 琳恩颱風五堵站實測水位

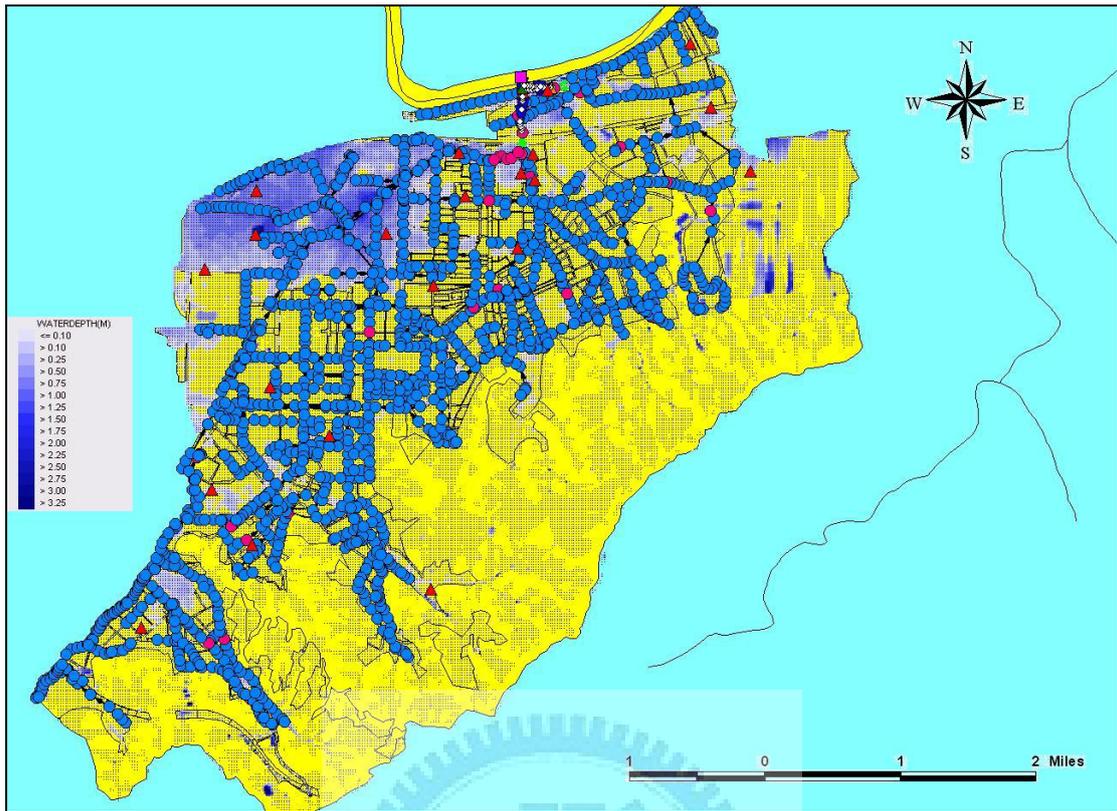


圖 5-40 琳恩颱風 48 小時淹水模擬

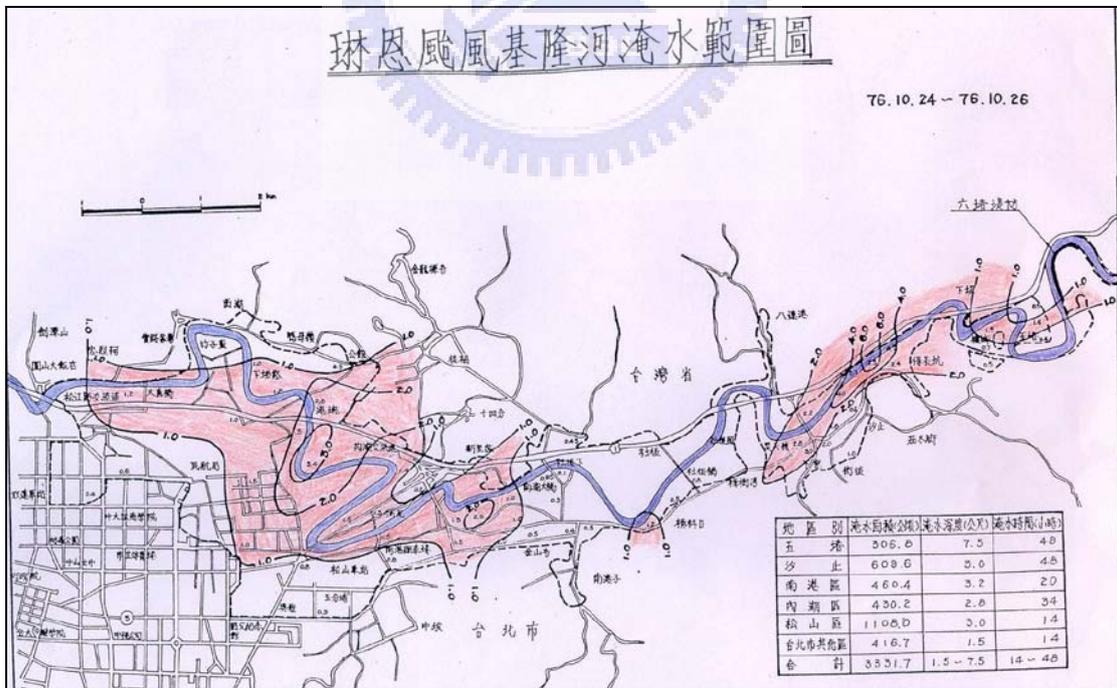


圖 5-41 琳恩基隆河實際調查淹水範圍