

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

氣候變異與都市化對台中盆地洪災之影響研究--子計畫:都市地區淹水模式之評估與應用研究(III)
研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 99-2625-M-009-002-
執行期間：99年08月01日至100年07月31日
執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：葉克家

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 100年10月11日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

子計畫：都市地區淹水模式之評估與應用研究(3/3)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC NSC 99-2625-M-009-002

執行期間：99年8月01日至100年7月31日

計畫主持人：葉克家

計畫參與人員：廖仲達、李唯泰、黃信富

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

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

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學

中 華 民 國 100 年 10 月 31 日

摘要

隨著台灣社會經濟發展，都市地區颱風暴雨所帶來之淹水課題也日受重視。由於颱風、豪雨等天然災害之存在，使得都市排水與抽水站管理倍受矚目，如 2001 年納莉颱風重創北部地區淹水，造成地下鐵與捷運系統癱瘓；2004 年敏督利颱風重創全台多個鄉鎮。因此，都市排水、淹水課題對人民安全及財產之影響攸關重大。淹水地點與範圍受排水設施功能之限制，而排水設施承受之水量來自降雨形成之地表逕流，經由街道及其邊溝與邊溝進水口流入雨水下水道，傳輸至水門或抽水站而洩排入臨近之區域排水、河流、或湖泊海域。因此都市地區之淹水現象須整合淹水模式(降雨-逕流演算)、街道路網水流模式、雨水下水道網路模式、水門及抽水站操作模式等進行模擬演算。

本研究目的在於對多個都市淹水模式理論與數模進行回顧，並評估既有國內外常用先進淹水模式之優缺點與功能限制，進而擇之應用於台灣本土案例。同時，依據總計畫之執行目標，結合各子計畫如降雨分佈、防洪排水設施、都市下水道等相關研究，進行共同應用對象(台北市玉成抽水站)之都市淹水潛勢分析，提出相關措施與建議，以達到改善都市地區淹水之目的。本計畫分三年進行，第一年度以模式回顧為主要方向，回顧與評估既有先進淹水模式之理論與計算概念，並對其模擬所需邊界條件、模式參數敏感度分析等進行研究；第二年度以案例分析為主要方向，針對總計畫共同應用對象進行模式實例應用；第三年度以效益評估及研提改善措施為主要方向，藉由共同應用對象之淹水潛勢分析等結果，提出可能之改善措施與建議。

本年度(第三年度)繼續與其他子計畫成果進行模組之整合外，其重心在用 SOBEK 模式模擬共同應用對象(台北市玉成抽水站)模擬之結果進行淹水潛勢分析。玉成抽水站於民國 93 年納莉颱風侵襲台灣時，降雨強度超過原設計抽水保護標準，造成松隆路、永吉路一帶之積淹水。因此，於民國 95 年進行玉成抽水站擴建工程，並於 98 年 4 月 14 日完工。本計畫將對玉成抽水站擴建前與擴建後進行淹水潛勢分析，進行擴建前後淹水損失之比較。最後，對共同應用對象淹水之情況分佈進行檢討，並針對淹水嚴重的地區提出改善方案與效益評估。

關鍵詞：地表逕流、淹水潛勢分析、淹水模式

Abstract

The study of flood resulted from typhoons and storms at urbanized area is considered seriously accompanied by the rapid growth of socioeconomic development in Taiwan. The management of urban storm water and the pumping stations is therefore brought to great attention, for example: the paralyzed MRT system in Taipei by the flood resulted from the Nari Typhoon in 2001. Therefore, the flood has crucial effects on the protection of the lives and properties of citizens. The locations and area of inundation are affected by the function of drainage facilities, which bear the flow from the runoffs resulted from the rainfall. This runoff flow through the streets and the inlets of the trenches leading to the storm sewer before being transported to the water gates or the pumping stations in order to be drained to the rivers, lakes, or coastal areas nearby. Therefore the phenomenon of inundation could be simulated by integrating the inundation model, the street network surface flow model, the storm sewer network model, and the operation model of the water gates and pumping stations.

The purpose of this study is to review several urban inundation model theories and numerical models to evaluate the advantages, disadvantages, and limitations of the existing domestic and foreign modern inundation models in order to choose and apply to the local cases in Taiwan. In the meantime, the sub-plan researches such as the rainfall distribution, flood control and drainage facilities, and the urban sewer are combined for the analysis of the urban potential inundation trend of the applied target (the Yu Cheng Pumping Station in Taipei). Related suggestions and measures would be made in order to achieve the goal of improving the inundation control in urban settings. This project would be a three-year study. The first year would be the review and evaluation of existing inundation model theories and their computations with emphasis on the research of the boundary conditions needed for the simulations plus the analysis of the sensitivity of the model variables. Entering into the second year, Cases study is the mainly purpose. Choosing same study area for simulating and application. Counter-measures and suggestions would be made in the third year, after attaining the results from the potential inundation tendency analysis.

In this year (the third year), this study continues to integrate the results of other sub-project researches and focuses on the potential inundation tendency analysis by using SOBEK to simulate common application objects (the Yu Cheng Pumping Station in Taipei). Nari Typhoon went through Taiwan in 2004, causing flooding in the area of Songlong Road and Kut Road. The reason of the flood was because that rainfall intensity exceeds the original design pumping protection standards of the Yu Cheng Pumping Station. Therefore, the Yu Cheng Pumping Station was expanded in 2006 and completed by April 14 in 2009. This study works on the flooding potential analysis and the comparison of the flood losses between before and after expansion. Finally, this study reviews the flooding distribution of the shared use of the objects, and proposes improvement and benefit assessment to the area having severe flooding.

Keywords: *surface runoff, potential inundation tendency analysis, inundation model*

摘要.....	I
Abstract.....	II
一、前言.....	1
1.1 研究計畫之背景及目的.....	1
1.2 研究成果概述.....	2
1.3 研究方法.....	2
1.4 各年度工作項目.....	2
二、文獻回顧.....	3
2.1 漫地流數值理論及漫地流模式應用.....	3
2.1.1 漫地流數值理論.....	3
2.1.2 漫地流模式應用.....	4
2.2 SOBEK 模式相關應用.....	4
三、模式理論.....	5
3.1 模式介紹.....	5
3.2 模式理論.....	5
3.2.1 一維渠流模式.....	5
3.2.2 二維漫地流模式.....	6
3.2.3 雨水下水道模式.....	8
四、共同應用對象資料蒐集.....	9
4.1 地理位置與建物分佈.....	9
4.2 水文資料.....	10
4.3 數值地形模型與土地利用資料.....	11
4.4 區域排水系統資料.....	13
4.5 抽水站系統.....	15
五、研究成果.....	18
5.1 模擬颱風洪案例.....	18
5.2 淹水潛勢分析.....	22
5.2.1 玉成抽水站擴建前之淹水潛勢分析.....	22
5.2.2 玉成抽水站擴建後之潛勢分析.....	23
5.3 淹水損失分析.....	25
5.3.1 淹水損失分類.....	25
5.3.2 水災損失之定義.....	26
5.3.3 水災直接損失評估法.....	27
5.3.4 與各計畫成果交流.....	29
六、結論與建議.....	36
6.1 結論.....	36
6.2 建議.....	36
參考文獻.....	37

子計畫：都市地區淹水模式之評估與應用研究(III)

第三年度研究成果報告

計畫編號：NSC 99-2625-M-009-002-

執行期限：99 年 8 月 1 日至 100 年 7 月 31 日

總計畫主持人：蔡長泰

子計畫主持人：葉克家

計畫參與人員：廖仲達、李唯泰、黃信富

一、前言

1.1 研究計畫之背景及目的

台灣地區夏秋兩季受颱風及西南氣流影響，常有暴雨發生，進而造成低窪地區與下水道排水宣洩不及等嚴重水患。又因國內經濟迅速成長，人口急遽增加，各地區都市化現象日益顯著，因此，有關都市地區洪水災害問題亦日趨重要，如都市內水溢淹問題、排水閘門之管理操作、都市街道與下水道淹排水設計整合等問題。

由於國內外目前可應用於淹水問題之模式頗多，但較缺乏模式整合評估與數模學理基礎之測試研究，各商用模式能否適用於台灣特有之水文特性皆有待探討。本計畫分三年進行，最終目的在於評估既有國內外常見之商用淹水模式，並進行不同暴雨事件之淹水問題模擬，結合各子計畫相關研究模組，如降雨分佈、街道流、下水道等，以臺北市玉成抽水站鄰近之集水區範圍為例，模擬都市淹水情形並提出改善措施建議。

第一年主要工作為文獻理論與數模回顧評估比較，並對於模式進行參數敏感度分析，研提後續年度將應用之淹水模式。第二年為共同應用對象基本資料之收集與彙整分析，模式之測試、檢定與驗證，並將淹水模式與其他子計畫模組整合測試。第三年將完成與其他子計畫成果及模組之整合，並對共同應用對象進行淹水潛勢分析，提供淹水改善方案之研擬與效益評估，最後配合整體計畫成果展示系統之建立。本子計畫之研究成果可提供各子計畫在都市內淹水研析時，探討來自山區逕流、漫地流之內水增量影響，並提供相鄰街道人孔水位高於地表時之漫地流模擬演算；並模擬出淹水深度、範圍及洪水流向，提供總計畫都市地區淹水改善措施之效益評估。

1.2 研究成果概述

第一年度進行了相關之文獻蒐集與回顧，並提出國內外常用淹水模式之優缺點、功能限制條件進行綜合評估，再進一步以共同應用對象(台北市玉成抽水站)，配合 2001 年之納莉颱風事件作為模擬案例，執行模式參數之檢定。而模式主要檢定參數為地表曼寧糙度，參考前人研究文獻所建議之糙度值，搭配不同土地利用型態，設定了幾組糙度參數進行模擬，再將模擬所得淹水範圍與實際調查進行對照比較。再經過淹水格網比對之後，得到一組模擬淹水情形與實際調查結果符合率最高之糙度值，作為後續模擬之糙度參數。此外，藉由案例模擬，瞭解模式計算過程中之數值穩定性與模擬時間等，配合先前的綜合評估，最終決定使用 SOBEK 模式作為後續研究之應用模式。

第二年度延續第一年度的進度，除了持續蒐集共同應用對象(台北市玉成抽水站)之基本資料，並進一步分析資料屬性後進行數值模型之建置。數模完成後挑選數場具代表性之颱風事件進行模式之測試、檢定與驗證。以 2001 年 9 月發生之納莉颱風事件進行檢定，而以 2007 年 10 月的柯羅莎颱風事件進行驗證。待模式之檢定驗證完成，針對共同應用對象之共同研究颱風案例：2008 年 9 月辛樂克颱風進行淹水模擬，並與各子計畫密切整合，相互提供模擬結果。

1.3 研究方法

本年度除了繼續與其他子計畫成果進行模組之整合外，其重心在對 SOBEK 模式模擬共同應用對象(台北市玉成抽水站)模擬之結果進行淹水潛勢分析。玉成抽水站於民國 93 年納莉颱風侵襲台灣時，降雨強度超過原設計抽水保護標準，造成松隆路、永吉路一帶之積淹水。因此，於民國 95 年進行玉成抽水站擴建工程，並於 98 年 4 月 14 日完工。本計畫將對玉成抽水站擴建前與擴建後進行淹水潛式分析，進行擴建前後淹水損失之比較，討論共同應用對象淹水之情況分佈，並針對淹水嚴重的地區提出改善方案與效益評估。

1.4 各年度工作項目

第一年

1. 都市淹水模式之理論與數模回顧
2. 現有國內外常用都市淹水模式優缺點、功能限制評估
3. 都市淹水模式之邊界條件、模式參數敏感度分析
4. 後續研究採用模式之選取

第二年

1. 總計畫共同應用對象基本資料之收集與彙整分析
2. 模式之測試、檢定與驗證
3. 共同應用對象之現況模擬

4. 與其他子計畫成果及模組之整合測試

第三年

1. 繼續與其他子計畫成果及模組之整合
2. 共同應用對象之淹水潛勢分析
3. 淹水改善方案之研擬與效益評估
4. 配合整體計畫成果展示系統之建立

二、文獻回顧

2.1 漫地流數值理論及漫地流模式應用

國內外關於漫地流數值理論與模式應用模擬之研究頗多，主要研究方向可分為兩部份：漫地流數值理論與漫地流模式應用，以下為前人相關研究文獻之回顧。

2.1.1 漫地流數值理論

漫地流數值理論以求解水深平均後之淺水波方程式為主：Gustafsson (1971) 利用交替方向隱式法求解淺水波之問題，並探討臨前狀況為無水陸地之流況。Xanthopoulos (1976)，Katopodes (1978, 1979)，Baloffet (1982)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。Preissmann (1961) and Cunge (1980)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點之淹水深度，並應用於湄公河三角洲低窪地區之洪氾平原。之後 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。Dan et al. (2006)使用有限體積法結合綠色定理，提出一個二維漫地流模式，並實地應用於越南首都河內市之洪氾區。Sanders (2007)評估不同測量方式所測得之數值地形資料適用於地表淹水模式之分析。Gouldby (2008)將地表以高程劃分成不同區域，建立各區域間之水位與淹水體積之關係，以河川溢流量配合水位體積曲線算出各區域之淹水深度，並應用於泰晤士河。Kuiry et al. (2010)以一簡化之數值模式模擬氾濫平原於洪水時之情形，渠道內水流以一維有限體積法模擬近似之，溢流洪

水則利用三角形格網處理，兩者之交界面以擴散波方程式計算，最後模式以英國的塞文河進行模擬，並與其他模式比較驗證。

2.1.2 漫地流模式應用

Frank et al.(2001)運用 Delft-1D2D 的整合模式應用於在義大利中部 Liri Garigliano 集水區的洪泛平原上，模擬淹水歷程，並將洪災風險圖影像化，進行洪災分類。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。

而國內關於漫地流模式之應用研究方面：楊與蔡(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，證實數值高程模型解析度愈低則所模擬出之淹水結果與實際情形愈不相符。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。盧(1998)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。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。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。顏(2006)使用 FLO-2D 模式，以東港溪下游之新園鄉為例，透過淹水潛勢分析，提出消洪減災之對策。

2.2 SOBEC 模式相關應用

本計畫中選用 SOBEC 模式作為淹水模擬模式，該模式為經濟部水利署與荷蘭 WL|Delft Hydraulic 公司共同合作研發之模式，目前經濟部水利署在進行易淹水地區治理計畫時，也常選用 SOBEC 模式作為淹排水模擬之模式，也是業界顧問公司經常使用之商用模式之一。因此，以下針對 SOBEC 模式之相關應用案例進行回顧介紹。

謝(2005)針對地盤下陷區之淹水問題，利用 SOBEC 模式進行模擬，進而訂定排水之最佳抽水量。蔡(2006)應用 SOBEC 模式於雲林南部沿海地區，針對幾種常見之工程性綜合治水對策進行模擬分析，其結果可提供相關排水治理及水害防治作為參考。徐(2007)針對雲林地區之淹水問題，評估出適合做為溼地之環境條件，據以選出合適設置人工溼地之地區，再以 SOBEC 模式進行設置溼地之淹水模擬測試。林(2008)以曾文水庫下游之大內鄉為例，由不同重現期距之降雨條件來模擬大內地區之淹水情形，進行坡地淹水範圍分析，並探討坡地排水所衍生

之淹水原因與問題癥結所在。李(2009)使用 SOBEK 模式模擬台北市玉成集水區，探討氣候變異前後不同水文條件，對於都市淹水之影響。李(2010)以台北市玉成集水區為研究對象，以 SOBEK 淹水模式進行模擬，並探討雨水下水道淤積對於研究區域內之下水道系統、區域排水及地表淹水的衝擊。目前水利署執行中之「中央管河川與區域排水系統警戒水位站規劃」，有許多地區係利用 SOBEK 模式進行淹水模擬與分析。

三、模式理論

3.1 模式介紹

本研究選用 SOBEK 模式作為淹水模擬模式，該模式為經濟部水利署與荷蘭 WL|Delft Hydraulic 公司共同合作研發之模式，模式以一維渠道演算為基礎，採用顯式有限差分模式來求解迪聖凡南方程式(de Saint Venant equation)，而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，經濟部水利署在進行易淹水地區治理計畫時，也常選用 SOBEK 模式作為淹排水模擬之模式，可見模式本身已具相當程度之公信力，因此採用 SOBEK 模式作為本研究淹水模擬之工具。

SOBEK 模式依照應用區域可區分為區域排水(rural)、都市排水(urban)及河川(river)三個應用版本，該模式共包含九個模組，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)。本研究為考量整體都會區排水系統與漫地流之交互作用，故選用上述模組中之前四種，作為漫地流淹水模擬之用。

3.2 模式理論

SOBEK 模式以一維渠道演算為基礎，以顯式有限差分法求解迪聖凡南方程式(de Saint Venant equation)，再根據一維淺水流方程式進一步發展出二維地表漫地流演算功能，可考慮整體河川、雨水下水道系統與漫地流之交互作用。

3.2.1 一維渠流模式

河川水流演算是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)所導出之變量流方程式來描述河川水流之流動，並使用非線性顯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。

根據 de St. Venant 所推導之一維變量流方程式，考慮水流之連續及運動方程式，即為動力波模式，其控制方程式如下，式(1)為連續方程式，式(2)為動

量方程式：

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

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

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 channel - flow 模組在處理運動方程式時，將風剪力造成的影響也考慮在內；由於在本研究範圍內渠流寬度不大，因此風剪力項影響較小，故將此項予以忽略不計。而各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水理演算獲得。

3.2.2 二維漫地流模式

SOBEK 模式在進行二維漫地流演算時，以顯式有限差分法求解二維動力波

方程式，其中式(3)為連續方程式，式(4)、(5)分別為水平方向與垂直方向之動量方程式。

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{u|V|}{c^2 d} + au|u| = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \frac{v|V|}{c^2 d} + av|v| = 0 \quad (5)$$

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)。

此外，關於一維渠流模式與二維漫地流模式之銜接，取決於渠道及漫地流水位相對於堤防高度之關係。

當渠道水位及漫地流水位均低於堤防高度時，即未發生溢流之情形，二維模式沿堤防視為無水流通過之封閉邊界，一、二維模式分別進行演算，僅於堰、抽水機及閘門等水工結構物處有交互流量發生，可根據通過這些控制點之流量進行模式銜接。

當渠道水位或漫地流水位高出堤防高度時，則採用河系溢提洪水演算，考慮地表漫地流與渠道水流之交互作用，同時演算渠道水位與集水區淹水之狀況。

3.2.3 雨水下水道模式

SOBEK 模式於進行下水道流況模擬部份，是採用一維變量流方程式進行水理演算，根據美國環境保護署所發展之暴雨經理模式(storm water management model, SWMM)的幹線輸水(EXTRAN)模組進行模擬，其控制方程式如式(6)、式(7)：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (7)$$

式中，

A ：通水斷面積 [m^2] ；

Q ：管渠流量 [m^3/s] ；

x ：沿流動方向之空間座標 [m] ；

g ：重力加速度 [m/s^2] ；

V ：斷面之平均流速 [m/s] ；

y ：水深 [m] ；

S_0 ：渠底之縱向坡降；

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

n ：曼寧糙度係數； R ：水力半徑 [m] 。

雨水降落地面形成漫地流，經由邊溝匯集進入人孔後導入管線中，此部份之處理採用變量非均勻之自由液面流(unsteady nonuniform free surface flow)之水理特性，模擬水流在管渠中流動之情形。此外，各人孔皆視為與下水道管線連接之小蓄水池，其蓄水容積為人孔斷面積與人孔深度之乘積，並於設定時有三種型式之人孔可選擇。如人孔上游端之入流量大於下端之最大輸流量，發生滿管流況導致人孔節點水位超出地表高程時，根據設定不同型式之人孔，將會產生三種不同情況：

1. 蓄水型(reservoir)：

設定此種人孔型式下，溢流之水量可暫時貯存於人孔附近，於入流量減少時再回流下水道系統。

2. 損失型(loss)：
設定此種人孔型式下，溢流之水量將排出下水道系統，進入漫地流系統。
3. 封閉型(closed)：
設定此種人孔型式下，下水道系統與漫地流系統將不會在此人孔進行水流交換之動作，純粹只在下水道系統中流動。
整體而言，幹線輸水模組針對動量方程式，利用動力波模式進行求解，因此可有效考慮迴水效應、逆向流及壓力流等狀況。

四、共同應用對象資料蒐集

本計畫透過各相關之政府機關及學術單位協助幫忙下，於基本資料之蒐集與整理分析工作上並無遇上太多困難，已順利完成。相關資料之蒐集狀況如表 1 所示，而彙整分析之結果將於下進行說明。在進行淹水模擬之前，首先將針對研究模擬區域進行基本資料的蒐集。而都市地區之淹水模擬所需輸入資料，通常包含了研究區域之水文資料、人孔及雨水下水道配置、抽水站系統資料、土地利用型態、數值地形模型(digital terrain model，簡稱 DTM)、歷年颱風事件淹水實際調查紀錄等相關資料，而相關資料在經過整理分析之後，便可作為模式建置與參數輸入之用。

表 1 基本資料蒐集狀況

資料類別	說明
研究區域範圍	玉成抽水站集水區
地表建物	玉成抽水站集水區民國 93 年之配置
土地利用狀況	玉成抽水站集水區民國 93 年之配置
下水道、人孔、明溝	玉成抽水站集水區民國 93 年之配置
抽水站系統	玉成抽水站舊站及擴建站資料
雨量紀錄	玉成抽水站集水區周遭中央氣象局雨量站：內湖、南港、信義、公館、木柵
水位紀錄	玉成抽水站實測紀錄(民國 97 年~99 年、納莉颱風、柯羅莎颱風)
數值地形模型	玉成抽水站集水區，精度為 4m×4m

4.1 地理位置與建物分佈

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 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，促成人口集中。且由圖 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。

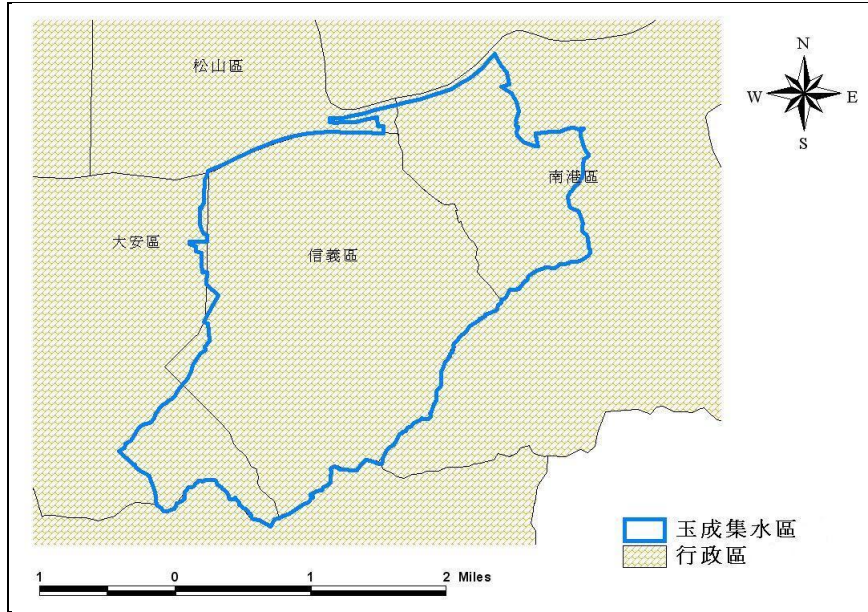


圖 1 玉成集水區地理位置

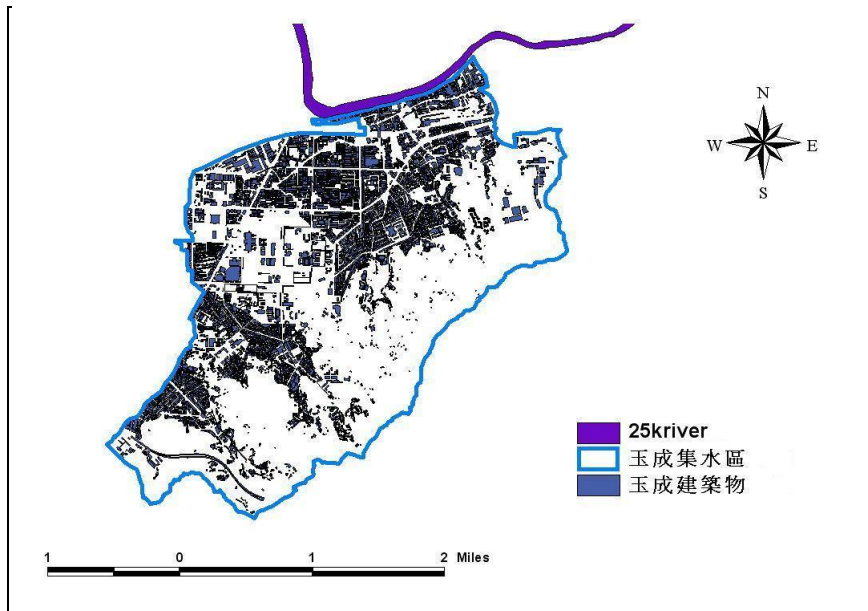


圖 2 玉成集水區建築物分佈

4.2 水文資料

水文資料上以玉成集水區為目標，蒐集研究區域周邊鄰近測站之歷年雨量及

水位紀錄。雨量紀錄方面，承蒙中央氣象局協助，順利蒐集歷年雨量站資料，區域周邊測站分別為內湖、南港、信義、公館及木柵共五站，其分佈位置如圖所示。而水位紀錄方面，以玉成抽水站之實測內、外水位紀錄資料為主，該紀錄承蒙台北市政府工務局水利工程處配合提供。

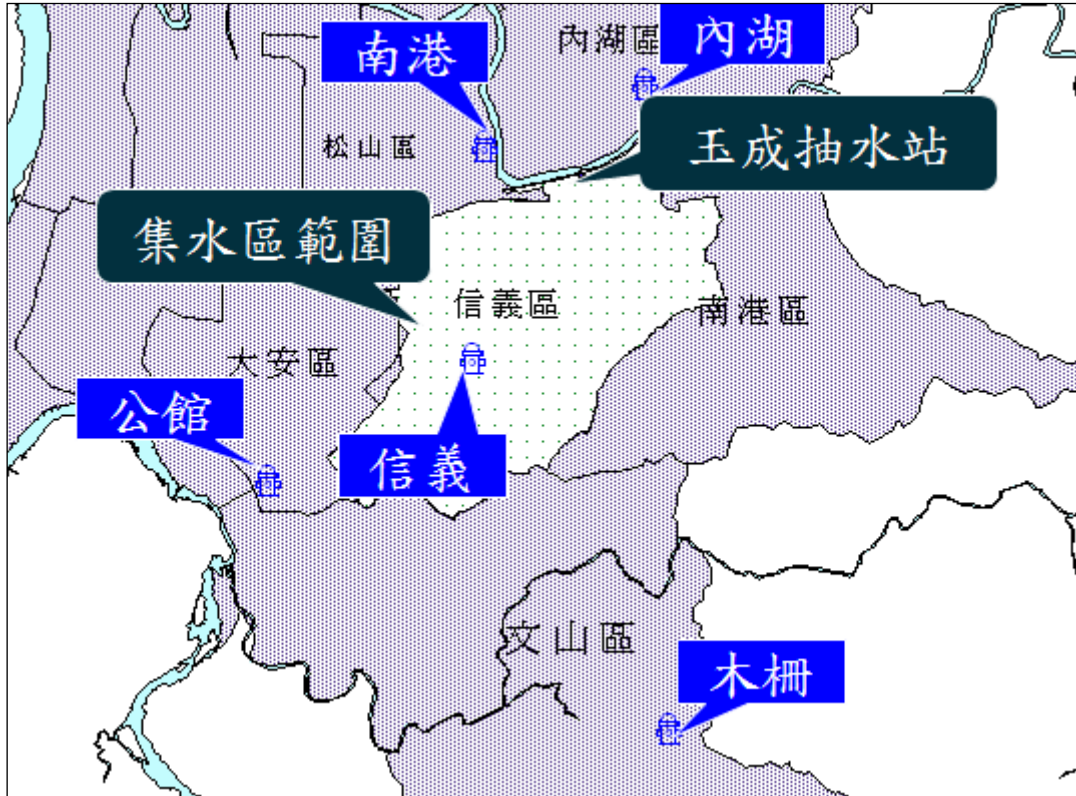


圖 3 雨量測站分佈圖

4.3 數值地形模型與土地利用資料

地形高程方面，採用台北市政府提供之玉成集水區及其周遭行政區最新實測資料，用以建置數值模擬之網格輸入資料，圖 4 為研究區域之數值地形模型。本研究蒐集之玉成集水區數值地表高程資料精細程度為 $4m \times 4m$ ，由於有少部區域是屬於未公開之區塊，故利用 Surfer 軟體將資料內插成 $16m \times 16m$ ，作為模式所需之資料。

土地利用資料方面，則根據內政部地政司的台灣省國土利用現況調查數化資料，用以決定格網點之曼寧糙度 n 值。由表 2 中資料筆數及圖 2 建築物分佈圖可知，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 5 為研究區域內之土地利用情形。圖 6 則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%。

表 2 玉成集水區土地利用資料

項目 利用型態	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%

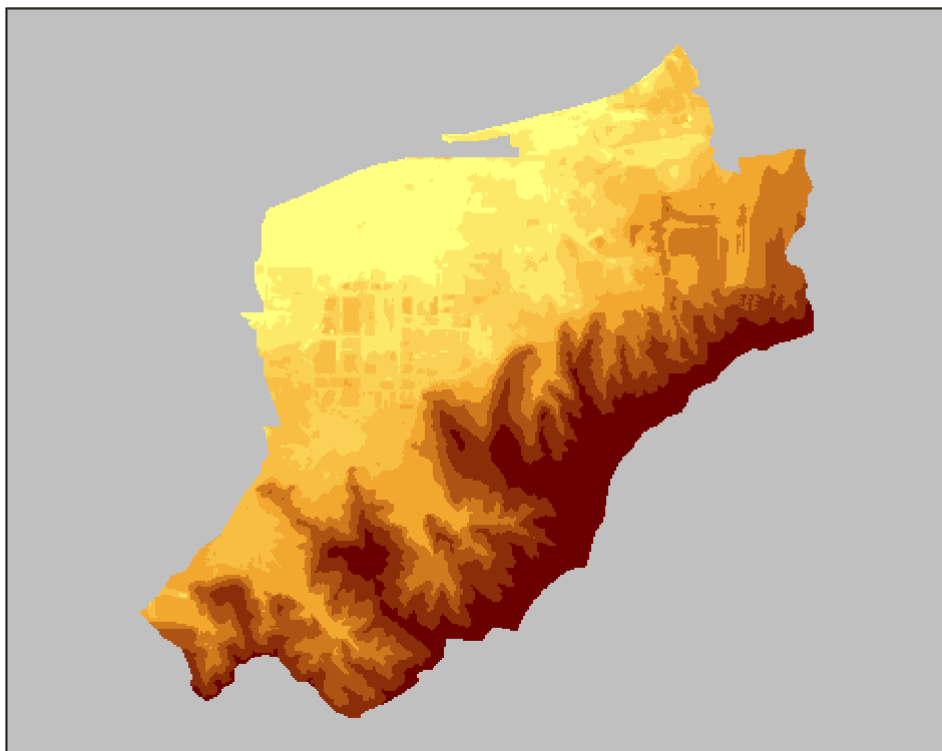


圖 4 玉成集水區數值地形模型

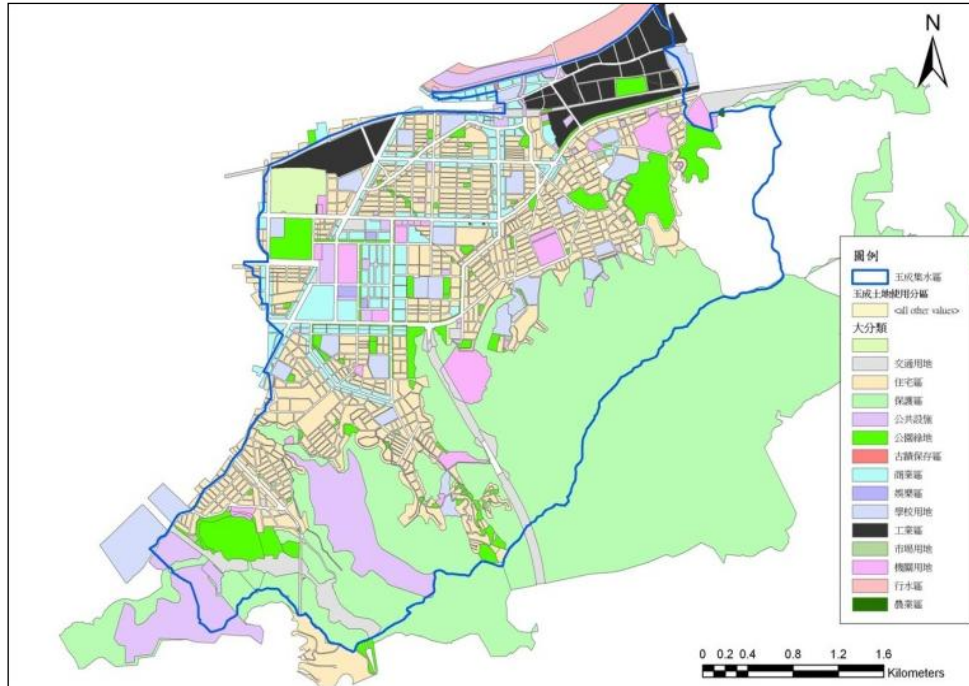


圖 5 玉成集水區土地利用情形

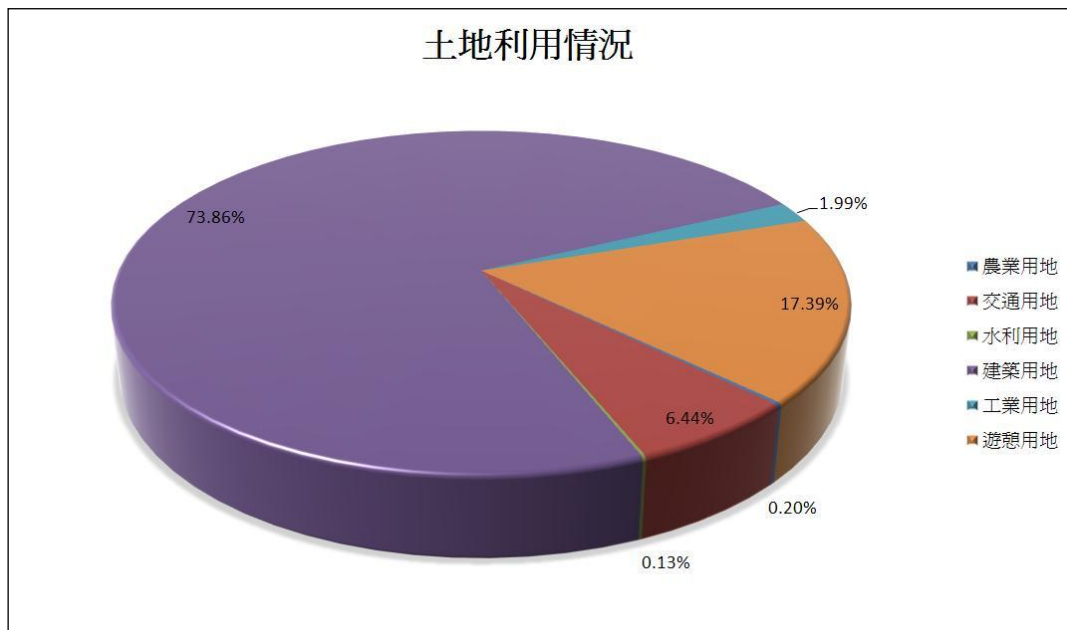


圖 6 土地利用百分比圖

4.4 區域排水系統資料

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，透過台北市政府之協助，已順利蒐集研究區域內之排水系統相關資料。研究區域內之玉成排水系統，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，以重力排水方式流入三張犁截流溝進入基隆河。圖 7 為玉成集水區之排水系統及雨水下水道系統分佈圖，由此圖可看出玉成集水區已建置密集之雨水下水道系統，而下水道總長為 78,696 公尺。經過資料整理之後，將研究區域內下水道系統納入淹水模式中以進行模擬，共計完成建置 1,658 個下水道管線，1,973 個人孔資料。

另外國內有關單位於雨水下水道工程設計上，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，而更大管徑之涵管由於施工及運送不便而採用箱涵。一般來說，下水道資料若為圓管，則為其管件之直徑資料；但若為箱涵形式，則為下水道矩形斷面之寬度與高度數據。本研究計畫中為統一討論所有管線管徑大小，先將箱涵形式之管件計算其斷面積後，換算該面積若為圓管時之直徑。經過此換算可將研究區域中之管渠管徑大小和長度的關係統計出來，以求對區域的管渠長度特性有所瞭解，如表 3 為台北市與研究區雨水下水道之各管徑長度和比例。

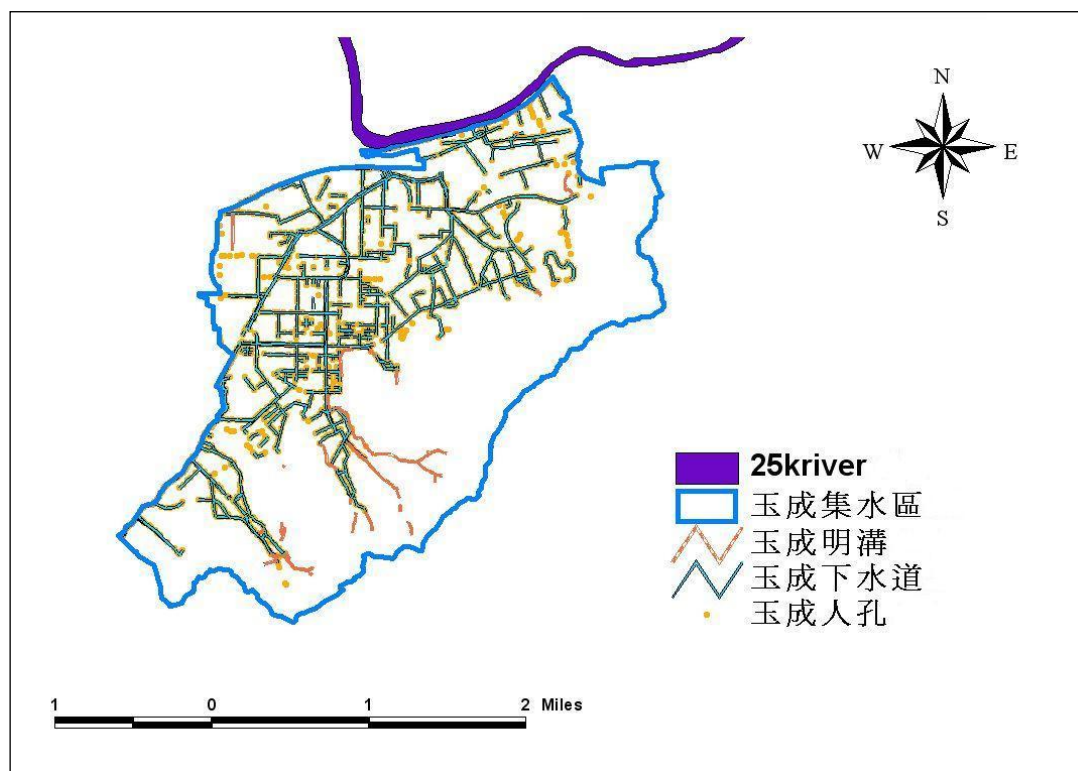


圖 7 玉成集水區排水系統分佈

表 3 研究區域雨水下水道各管徑長度與比例

城市(公頃)	台北市(27030)		玉成集水區(1627.4)	
管徑(公尺)	長度(公尺)	比例	長度(公尺)	比例
0.5-1.0	5552	3.1%	13416.09	22.21%
1.1-1.5	23820	13.4%	15824.27	26.23%
1.6-2.0	32243	18.1%	9197.67	14.88%
2.1-2.5	22543	12.7%	6054.50	8.32%
2.6-3.0	24887	14.0%	5511.80	8.60%
3.0 以上	69049	38.8%	17580.19	19.75%
總長度(公尺)	178094	100.0%	67584.52	100%

4.5 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，其平面佈置示意如圖 8 所示，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、向陽路以西和基隆河以南區域，總面積約 1,627 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 9，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十年重現期之洪水位 EL.7.62m(員山子分洪前)，現有的抽水區 42.5mm/hr 降雨強度之逕流量。玉成抽水站於民國 93 年納莉颱風侵襲台灣時，降雨強度超過原設計抽水保護標準，造成松隆路、永吉路一帶之積淹水。因此，於民國 95 年進行玉成抽水站擴建工程，並於 98 年 4 月 14 日完工。在經過新站擴建之後，更增設了 4 部單機抽水量 12.5cms、揚程 7.0m 之抽水機，與舊站聯合運轉，如圖 10、圖 11 為玉成抽水站擴建橫剖面圖，而擴建站地理位置如圖 12 所示。

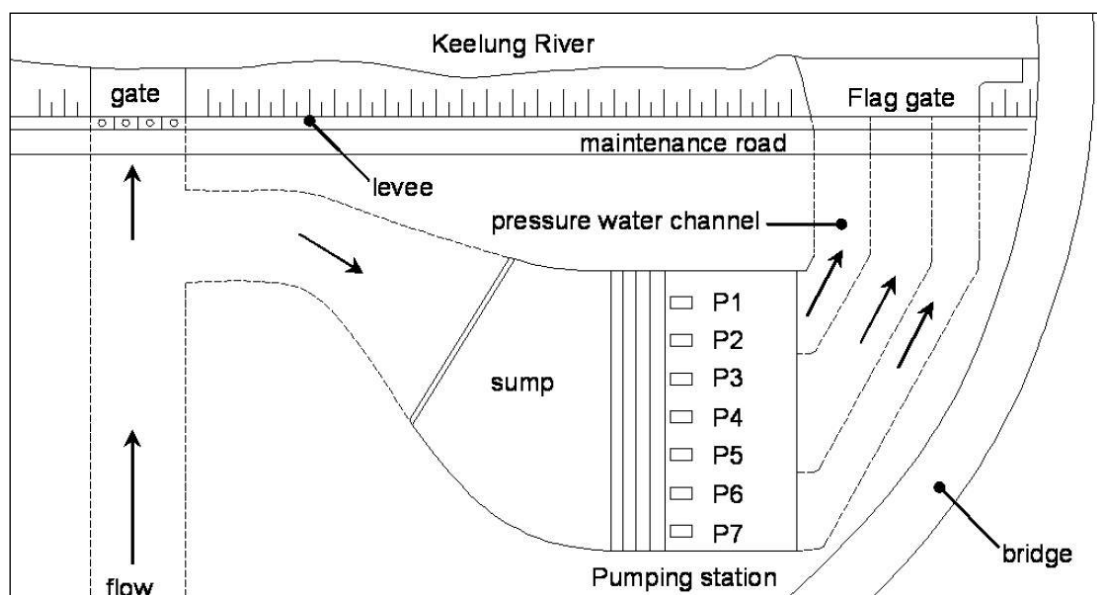


圖 8 抽水機組配置



圖 9 抽水機組配置現況

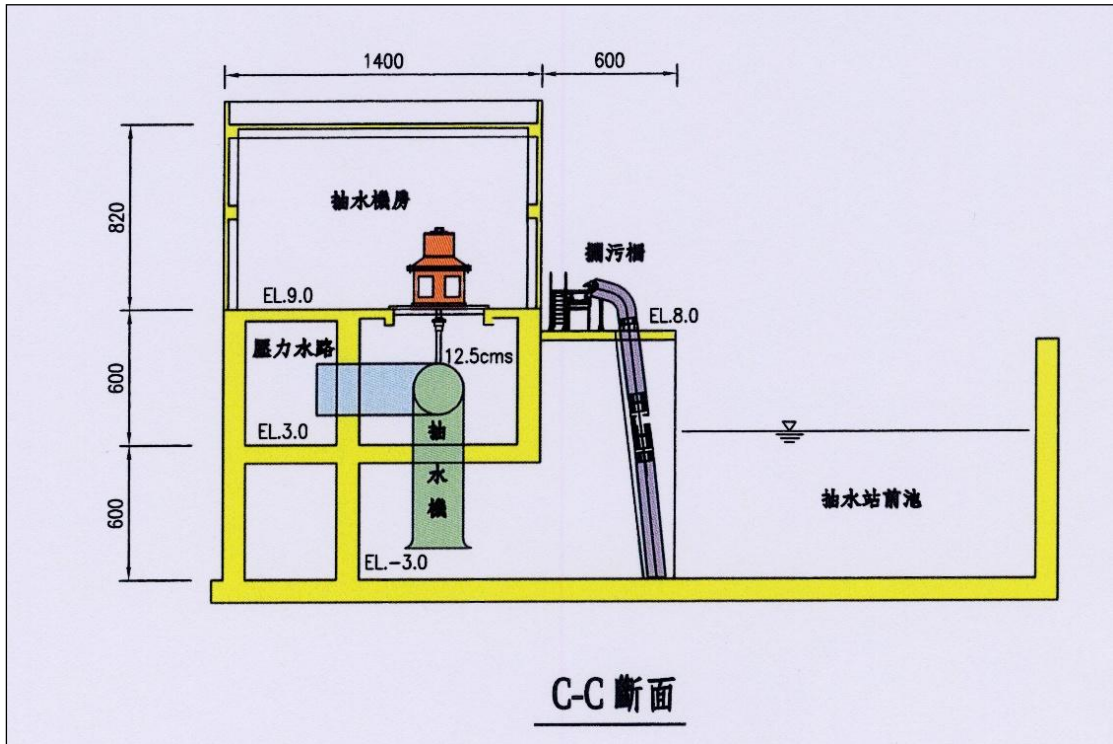


圖 10 玉成抽水站擴建橫剖面圖

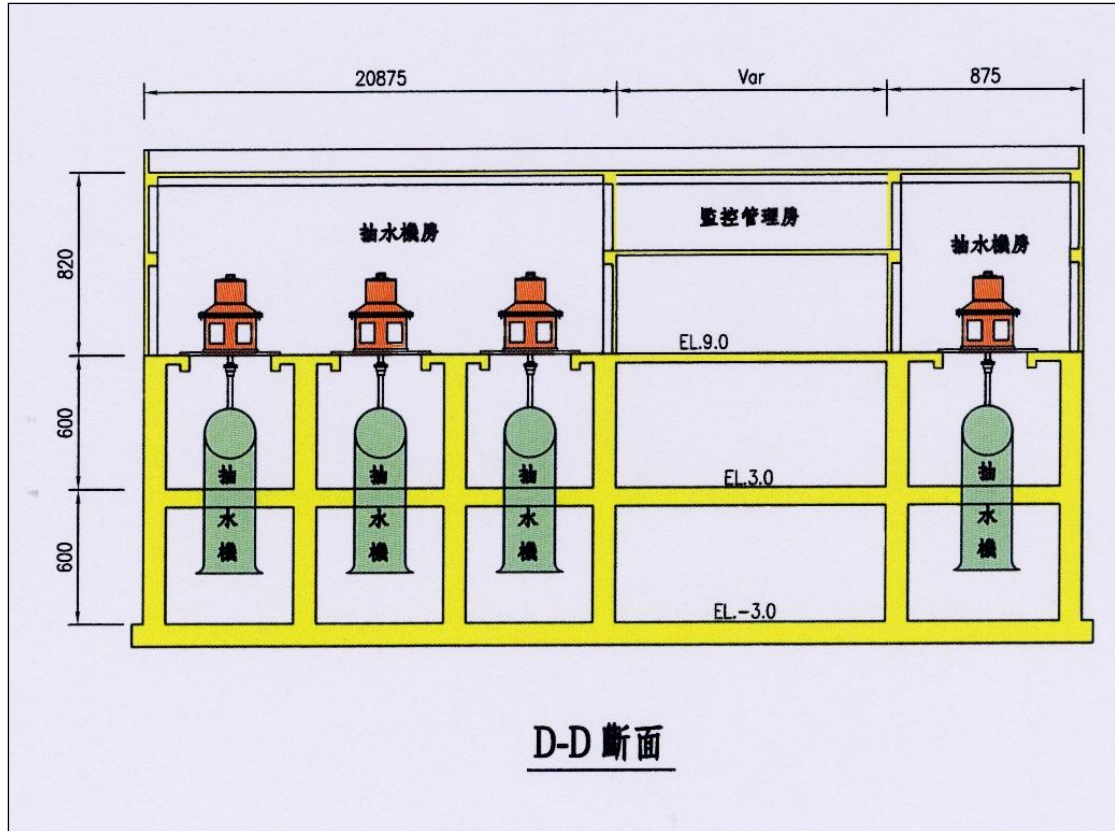


圖 11 玉成抽水站擴建橫剖面圖



圖 12 玉成抽水站擴建站址

五、研究成果

本年度根據第二年度對共同應用對象(台北市玉成抽水站)模擬之結果進行淹水潛勢分析。玉成抽水站於民國 93 年納莉颱風侵襲台灣時，降雨強度超過原設計抽水保護標準，造成松隆路、永吉路一帶之積淹水。因此，於民國 95 年進行玉成抽水站擴建工程，並於 98 年 4 月 14 日完工。本計畫將對玉成抽水站擴建前與擴建後進行淹水潛式分析，並進行擴建前後淹水損失之比較，討論共同應用對象淹水之情況分佈，並針對淹水嚴重的地區提出改善方案與效益評估。最後，配合整體計畫進行成果之展示與系統之建立。

5.1 模擬颱風洪案例

在第二年度完成 SOBEK 模式之檢定與驗證後，由總計畫訂定出共同應用對象之共同研究颱風洪案例，挑選具代表性(含設計)之颱風或暴雨事件進行淹水模擬。模擬之案例以降雨逕流所造成之都市內水淹水為主，暫不考慮基隆河所造成之溢堤淹水情形，以利於模擬檢驗都市之排水系統、抽水站等是否足夠因應淹水狀況之發生。因此，共同研究之颱風洪案例為 2008 年 9 月發生之辛樂克颱風，蒐集整理研究區域附近雨量及水位站之實測紀錄後，再代入先前檢定驗證所得之參數及模擬設定，進行現況模擬。

辛樂克颱風(Sinlaku)，2008 年 9 月 8 日於呂宋島東南方海面形成，颱風中心於 14 日 1 時 50 分左右於宜蘭縣蘭陽溪附近登陸。登陸後不久，強度減弱並向南偏移呈現打轉現象後，並於 10 時前掠過台灣東北角進入台灣北部海面；同日下午，滯留不動，16 日 14 時 30 分解除海上颱風警報，其行徑路線圖如圖 13 所示。辛樂克颱風侵襲台灣時間相對較長，各地有多處累積雨量超過 1,000 毫米，宜蘭地區淹水嚴重，台北市也出現將近 600 毫米的雨量。

在 SOBEK 模式模擬辛樂克(Sinlaku)颱風中，以公館、南港、內湖及信義這四個雨量站在辛樂克(Sinlaku)颱風所記錄的雨量當作上游邊界之條件。圖 14~圖 17 為辛樂克颱風侵台期間(97 年 9 月 14 日 7 時起)，玉成集水區周遭雨量站之 24 小時降雨組體圖，由此圖可看出降雨集中於 14 日 16 時至 18 時，每小時雨量均超過 20 毫米，而且內湖、公館兩雨量站在 20 時雨量均超過 30 毫米。下游邊界方面，採用玉成抽水站之實測水位紀錄，根據於辛樂克颱風期間(2008 年 9 月 14 日 7 時起 24 小時)之實測水位紀錄如圖 18 所示，作為下游邊界之水位輸入條件。

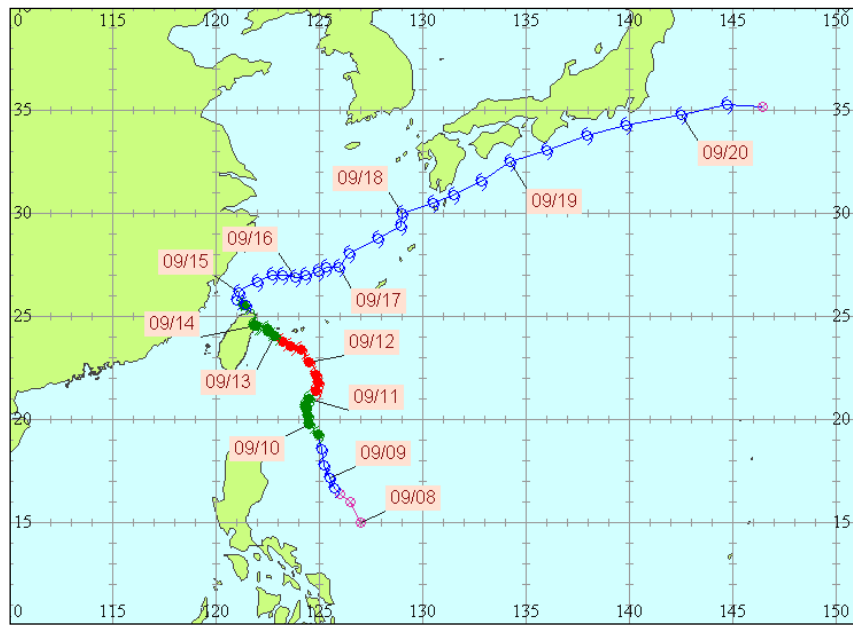


圖 13 辛樂克(Sinlaku)颱風路徑圖

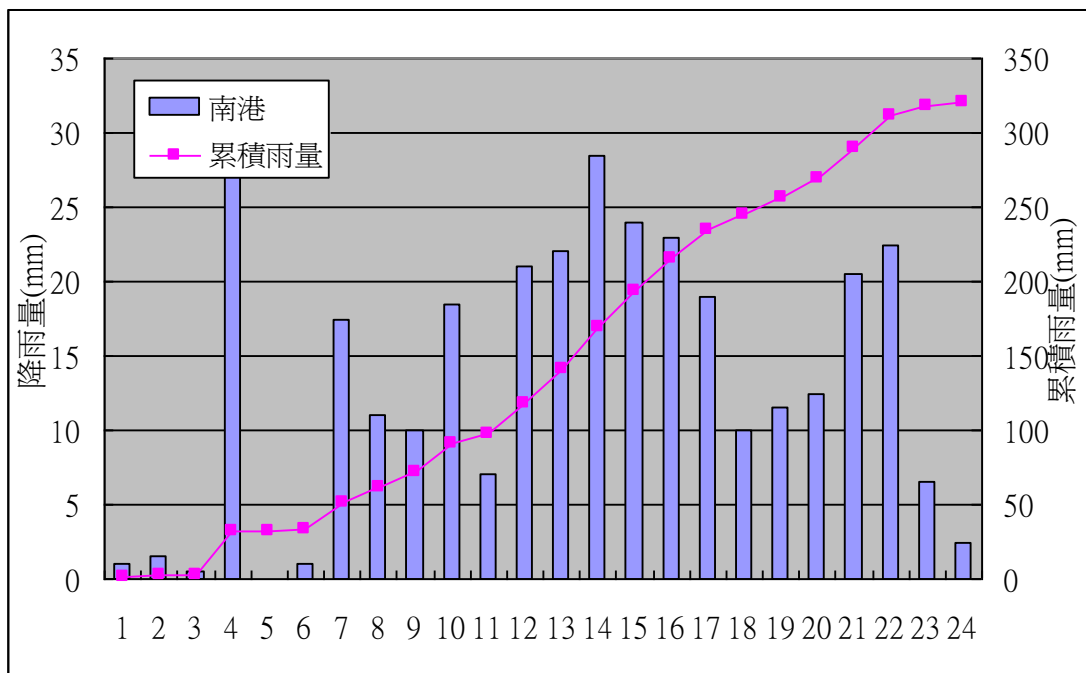


圖 14 南港雨量站 24 小時降雨組體圖

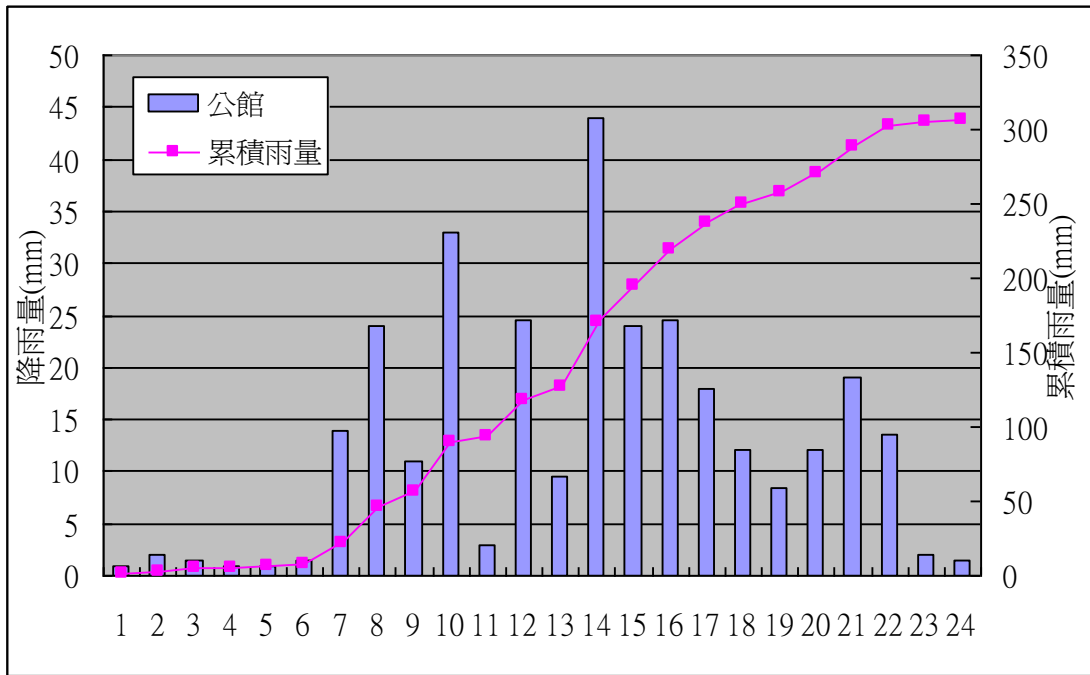


圖 15 公館雨量站 24 小時降雨組體圖

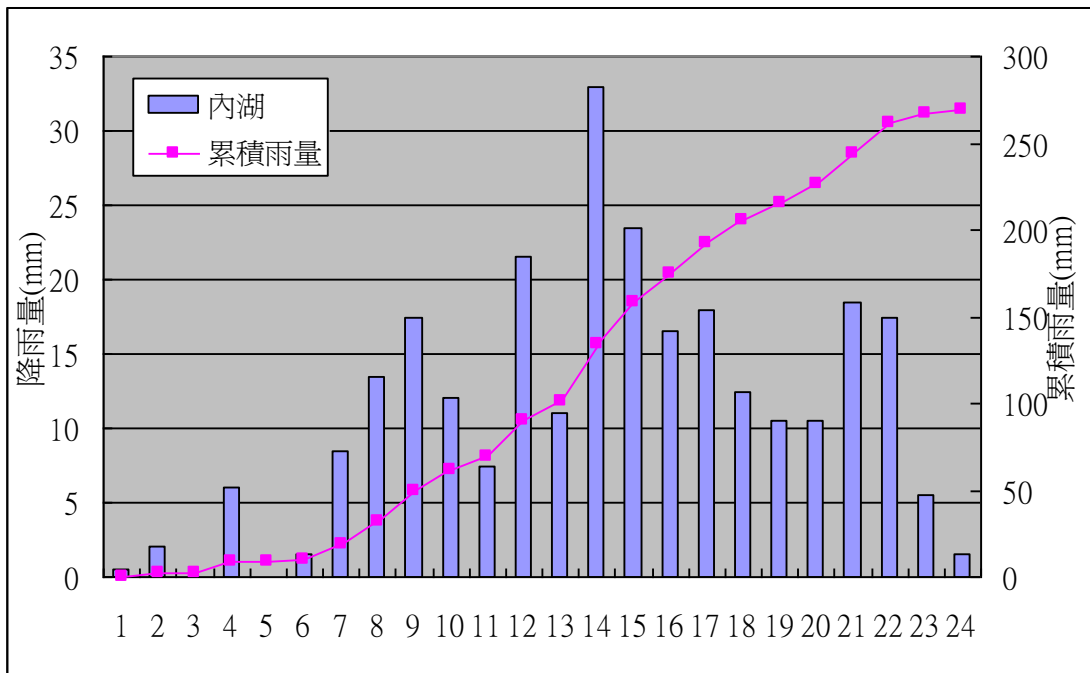


圖 16 內湖雨量站 24 小時降雨組體圖

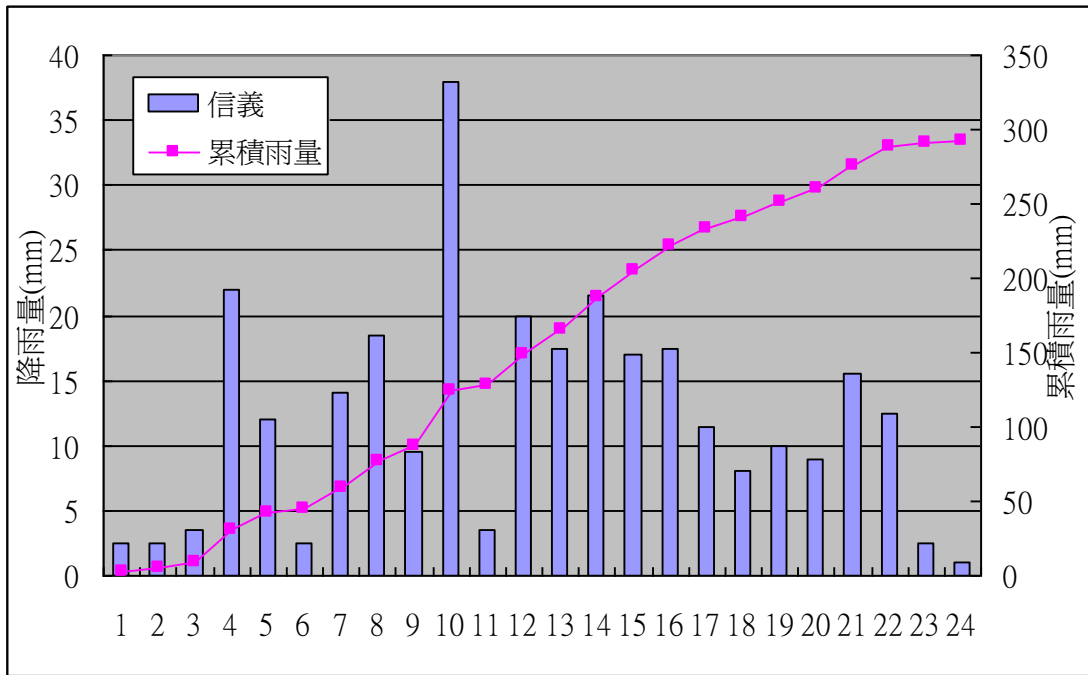


圖 17 信義雨量站 24 小時降雨組體圖

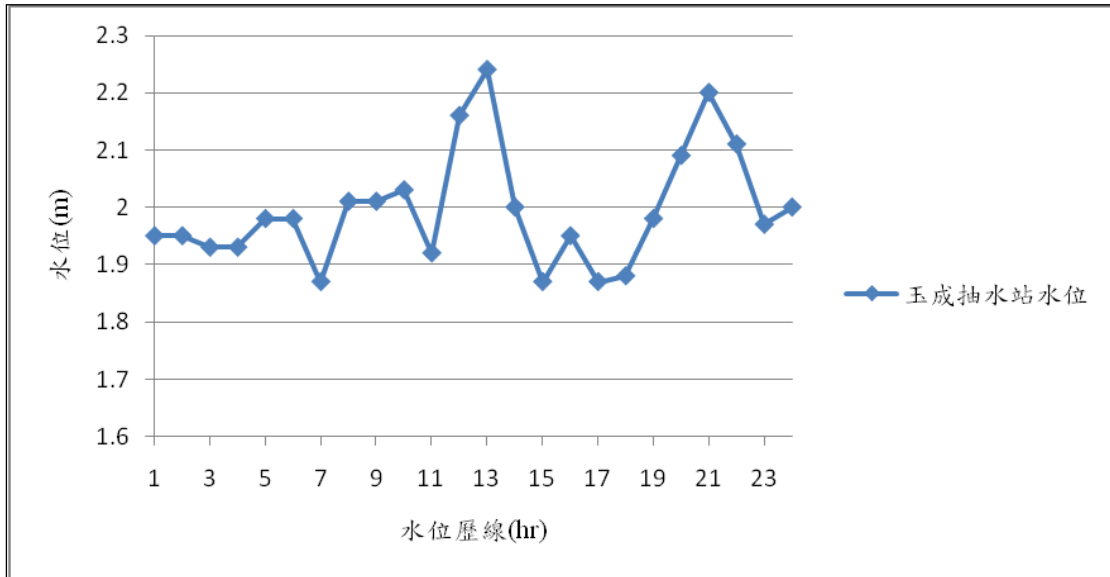


圖 18 辛樂克颱風玉成抽水站 24 小時實測水位

5.2 淹水潛勢分析

玉成抽水站原有裝置 7 部 26.3cms 共計抽水量 184.1cms 之抽水機組，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十年重現期之洪水位 EL.7.62m(員山子分洪前)，現有的抽水區 42.5mm/hr 降雨強度之逕流量。玉成抽水站於民國 93 年納莉颱風侵襲台灣時，降雨強度超過原設計抽水保護標準，造成松隆路、永吉路一帶之積淹水。因此，於民國 95 年進行玉成抽水站擴建工程，並於 98 年 4 月 14 日完工。在經過新站擴建之後，更增設了 4 部單機抽水量 12.5cms、揚程為 7.0m 之抽水機，與舊站聯合運轉，進而抽水量可達到 234.1cms，降雨強度設計達 55mm/hr。本計畫應用 SOBEK 模式模擬在辛樂克(Sinlaku)颱風下，玉成抽水站擴建前與擴建後的淹水情形，並就結果進行淹水潛勢分析。

5.2.1 玉成抽水站擴建前之淹水潛勢分析

在抽水站擴建前，辛樂克事件之淹水模擬結果如表 4 及圖 19 所示。淹水面積約 206 公頃，其中深度超過 3 公尺的淹水面積達 4.71 公頃，深度超過 1 公尺的約 66 公頃，佔全部淹水面積的 32%，並由淹水模擬範圍可以看出淹水主要集中於信義區靠近基隆河沿岸低窪地區(五常、六藝、敦厚、雅祥、新仁及雅興里)，忠孝東路七段鄰近山區也同樣因地勢低窪而有淹水情形產生。其餘如松仁路、松德路等地區，只有範圍不大之零星淹水，且大多集中於排水路兩側。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，故較無淹水情況產生。

表 4 原有抽水站模擬辛樂克颱風淹水面積及淹水深度

淹水深度(公尺)	淹水面積(公頃)
3.00 以上	4.71
2.50-3.00	1.05
2.00-2.50	2.05
1.50-2.00	9.02
1.00-1.50	49.56
0.50-1.00	83.14
0.25-0.50	56.86
淹水面積合計	206.39

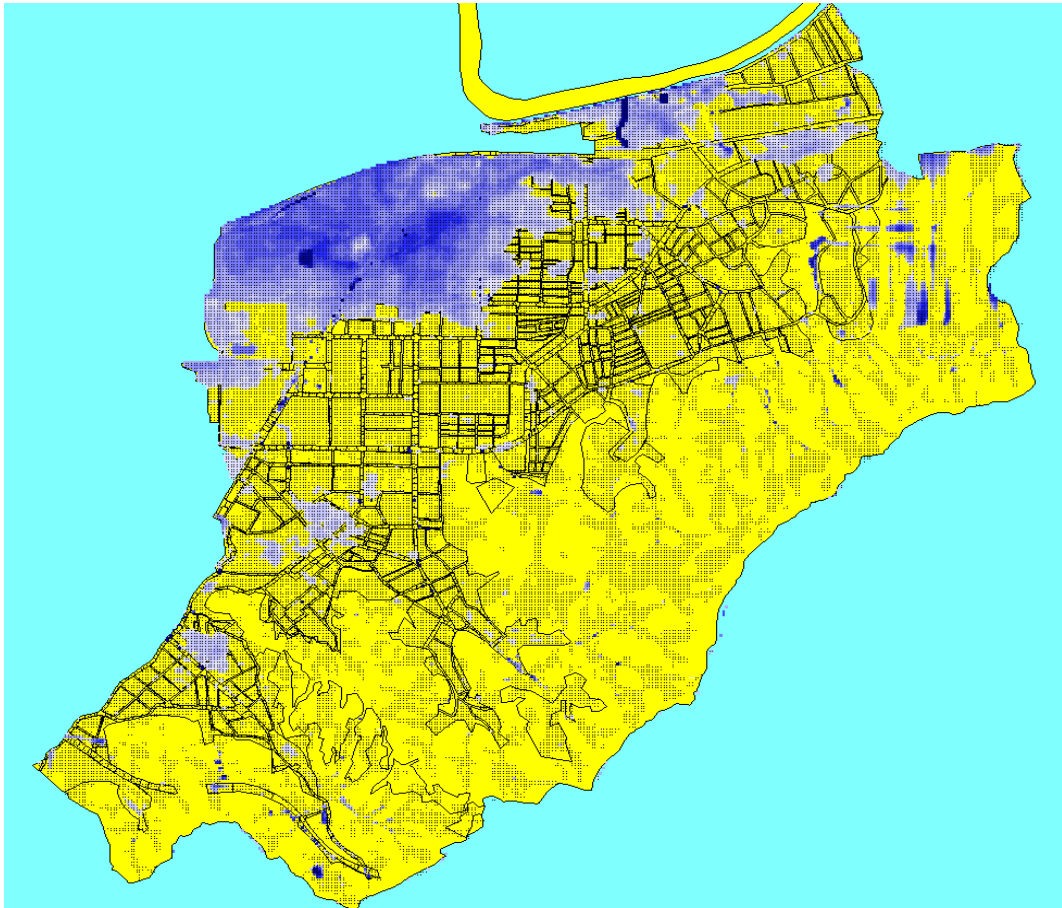


圖 19 抽水站擴建前淹水模擬範圍_辛樂克颱風

5.2.2 玉成抽水站擴建後之潛勢分析

抽水站擴建後，辛樂克事件之淹水模擬結果如表 5 及圖 20 所示，淹水面積約 62 公頃，其中深度超過 3 公尺的淹水面積僅僅佔 1 公頃，深度超過 1 公尺的只有 21 公頃，雖然佔全部淹水面積的 33%，但淹水面積比擴建前的還要小很多，約只有擴建前的 1/3。由淹水模擬範圍可以看出抽水站擴建後，會淹水的地方只剩下信義區靠近基隆河沿岸低窪地區(五常、六藝、敦厚、雅祥、新仁及雅興里)，而其他地方只剩下範圍極少之零星淹水，由此可見，玉成抽水站在經過擴建後，抽水量由 184.1cms 增至 234.1cms 時，在模擬辛樂克(Sinlaku)颱風時，可以有效改善玉成抽水站附近區域的淹水情形。

表 5 擴建後抽水站模擬辛樂克颱風淹水面積及淹水深度

淹水深度(公尺)	淹水面積(公頃)
3.00 以上	1.01
2.50-3.00	0.36
2.00-2.50	0.73
1.50-2.00	3.21
1.00-1.50	15.73
0.50-1.00	18.90
0.25-0.50	18.95
淹水面積合計	62.22

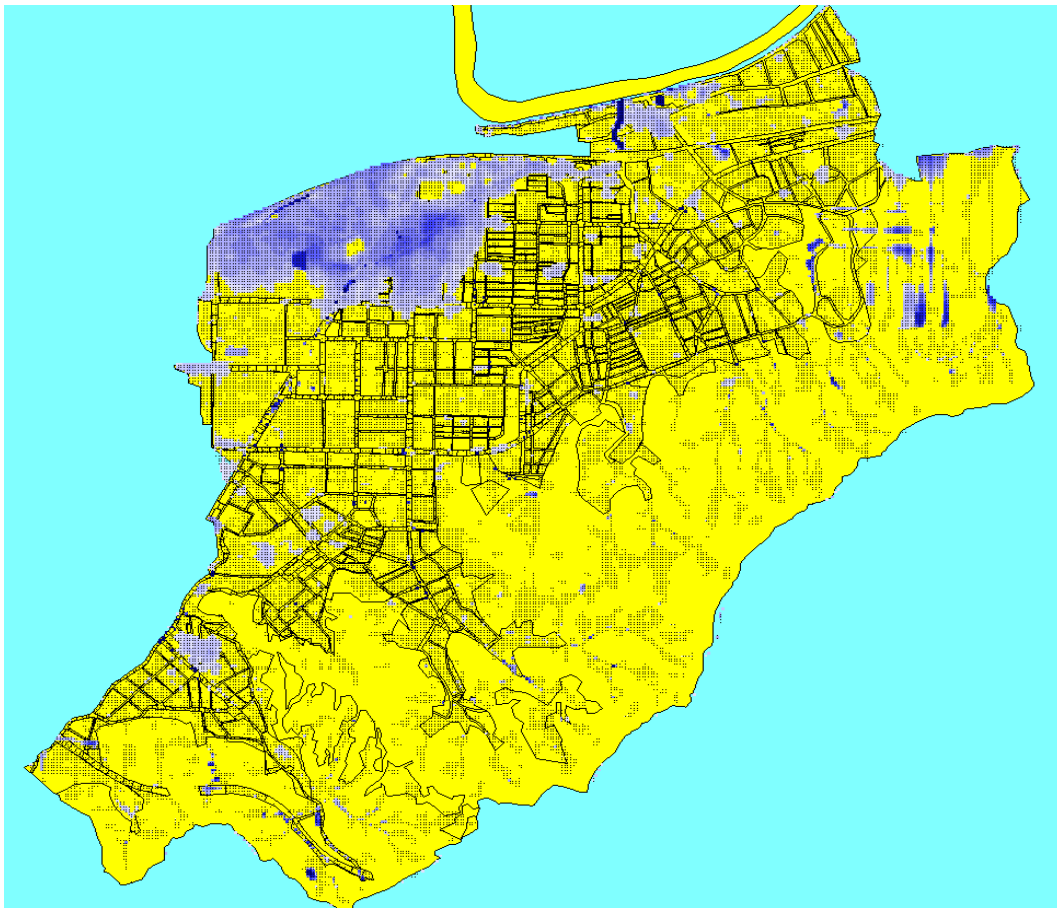


圖 20 抽水站擴建後淹水模擬範圍_辛樂克颱風

5.3 淹水損失分析

5.3.1 淹水損失分類

一般進行區域之淹水損失估計方法，首先必須以該區不同類別之淹水災害損失為依據，將該區域劃分為若干不同土地使用類別，如表 6 所示。表 6 詳列各類損失所考慮之項目及各項中可能造成損失之描述，以作為計算淹水損失之依據。在詳細考量不同損失類別及成因後，即可依據不同情況進一步研擬各種損失資料取得方式與調查方法，有效地蒐集災害損失數據及其他相關之人口、戶政、稅收及經濟活動相關資料，以作為計劃地區建立淹水深度與淹水損失關係之憑藉。

表 6 土地使用分類及災害潛勢表

土地使用分類別	項目	可能造成之損失
公共設施	街道、橋樑、下水道、交通設施、公園等	結構破壞之修復或更新重建、交通中斷、淤泥清除等
住宅區	平房、公寓、大樓	住宅結構破壞之修復或更新重建、地下室車輛及設備損壞、淤泥清除、租金減少、失業等
商業區	商店、公司、銀行等	大樓結構破壞之修復或更新重建、商業交易中斷、契約賠償、地下室車輛及設備損壞、淤泥清除、租金減少、失業等
工業區	工廠、倉庫等	廠房結構及機械破壞之修復或更新重建、地下室車輛及設備損壞、租金減少、失業、契約賠償、生產中斷、原料、成品或半成品之損壞等
農業用地	果農、花農、菜農、水稻及其他作物	農產品損失、減產或停產之損失、土地流失之整地、機械設備、農舍損壞等
畜牧養殖	畜牧業、養殖漁業等	農舍損毀、畜養之動物死傷、產品減產或者停產等
其他雜項	移動之宿舍、私人用地、	停止營業之損失、土地破

5.3.2 水災損失之定義

災害損失由 Grigg and Heiweg (1974) 定義意指恢復成受災前狀況所需的金額。方勁松、方樂潤(1997)曾探討洪災風險分析與防洪保險費率，並對洪災風險識別與洪災進行必要之分類，其將洪災損失分為直接損失、間接損失與淨收入損失等三類。Breaden (1973)，Grigg & Heiweg (1975)，Grigg et al. (1976) 針對洪水災害所產生之淹水損失分類為直接損失(direct damages)、間接損失(indirect damages)、次要損失(secondary damages)、無形損失(intangible damages)及不確定損失(uncertainty damages)等五大類，分別簡述如下：

1. 直接損失：

主要包括建築物(如住宅工廠等)及公共設施(如交通、水電及各種服務設施)蒙受災害之實質損失。建築物相關的損失與其使用類型有很大的關係，本研究將分住宅區、工業區及商業區進行探討。

2. 間接損失：

間接損失指由直接損失造成洪災區內外影響所間接造成之經濟損失。此類損失一般包括：(1)引起地域性相關經濟活動之損失，如由於洪水淹沒區工廠企業受災停產或交通受阻，致使其他地區因原料供應不足，或採取補救方式而增加費用所產生之經濟損失。(2)時間後效性波及之損失，如工廠設備破壞、流動資金短缺、生產力受到限制，使得淹沒區內外災後恢復期間淨產值減少及營運費用增加之損失。

3. 次要損失：

在洪水發生造成經濟損失後，為了救災及重建，許多社會服務低落所產生之損失，一般而言，就整體社會經濟方面，此部分之損失可能可與社會利益相抵。例如因淹水造成該區之零售業林業的經濟損失可能會被清理業務之增加引起之經濟效益抵銷。

4. 無形損失：

包括如環境品質、社會價值觀、美學上的損害等引起之損失，一般小區域之災損評估均暫時予以忽略。

5. 不確定損失：

指居民因為恐懼災害而引起之不確定感所產生之損失，如非必要的提高其保險額度等。

5.3.3 水災直接損失評估法

區域性洪災因為涵蓋的空間範圍相當廣大，涉及的資料相當龐雜，因此使得損失之估算非常不易，尤其在洪災發生當時以及洪災剛過之後，政府單位與當地居民均全力搶救災害並進行復建工作，無法及時調查、收集災情，而事後之調查由於失去第一時間的現地資料，如淹水範圍及淹水深度，或因災民對災損記憶模糊，使得災損資料的蒐集非常困難。

整合 Grigg & Heiweg (1975)、Penning-Rowsell & Chatterton (1977)、Smith (1994)、蔡長泰等(1994, 1995)、方舟顧問公司(1997)、台灣省政府水利處第六河川局(1998)、張齡方、蘇明道(2001)之研究，直接損失之推估方法有歷史災害損失曲線(historical damage curve)、統合公式(aggregate formula)、淹水深度損失經驗曲線(empirical depth-damage curve)以及區域性災害損失評估法(regional damage assessment)等四種方法，而本研究計畫則採用區域性災害損失評估法。

近代的研究嘗試以不同之土地利用類別分別推估洪災損失，最後再以彙整各類別損失以估算區域之災損。本研究以淹水深度及土地利用類別當作分類，先求出個別之淹水面積再分別乘上單位面積下之淹水損失，即為總淹水損失。根據經濟部水利署(2003)「水災損失評估系統模式之建立(2/2)」報告，將土地利用類別分為住宅區以及工商業區這兩部部分，表 7 為台北市住宅區淹水損失評估標準表，而表 8 則為台北市工商業淹水損失評估標準表，其中工商業有可細分為批發業、零售業、製造業、辦公業等。因此，其計算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{總淹水損失} &= \text{住宅區各淹水深度所佔之淹水面積} \times \text{單位面積淹水損失} \\ &+ \text{工商業區各淹水深度所佔之淹水面積} \times \text{單位面積淹水損失} \end{aligned} \quad (8)$$

將模擬抽水站擴建前之淹水面積深度(見表 4)及模擬抽水站擴建後之淹水面積及深度(見表 5)分別代入式 8，經過計算之後，結果見表 9、表 10。表 9 為玉成抽水站區域住宅區之淹水損失，其表列出抽水站擴建前與擴建後在各個淹水深度之淹水損失，表 10 為玉成抽水站區域工商業區之淹水損失，列出抽水站擴建前與擴建後在各個淹水深度之淹水損失。在計算出住宅區與工商業區淹水損失後，最後將住宅區與工商業區之淹水損失並在一起，其結果見表 11。

由表 11 可以得知，在抽水站未擴建前，辛樂克颱風對玉成抽水站區域的住宅區造成之損失估計為 2420 萬，工商業區造成之損失估計為 2 億 7 千多萬，總計約 3 億元之淹水損失，而抽水站擴建後，辛樂克颱風對玉成抽水站區域的住宅區造成之損失估計為 682 萬，工商業區造成之損失估計為 7 千多萬，總計約 8 千多萬元之淹水損失。因此，在抽水站擴建後，經過一場辛樂克颱風其淹水損失可減少 2 億 1 千萬。

根據台北市工務局公布之資料，玉成抽水站擴建工程之工程經費為 3 億 3770

萬元。在台灣一年內有數場颱風侵襲的情況下，經歷一場類似辛樂克颱風強度的暴雨即可減少 2 億 1 千萬之淹水損失，其投資效益相當高。

表 7 台北市住宅區淹水損失評估標準表

淹水深度 (公分)	住宅區損失標準 (元/公頃)
0-50	120000
50-100	210000
100-150	260000
150-200	310000
200-250	350000
250-300	380000
300-400	430000
400 以上	530000

表 8 台北市工商業淹水損失評估標準表

淹水深度 (公分)	批發業損失 (元/公頃)	零售業損失 (元/公頃)	製造業損失 (元/公頃)	辦公業損失 (元/公頃)	工商業損失 (元/公頃)
0	0	0	0	0	0
50	6069000	835000	1300000	422000	8626000
150	7309000	1159000	1815000	642000	10925000
250	7969000	1350000	2120000	781000	12220000
350	8436000	1492000	2348000	888000	13164000
400 以上	9107000	1708000	2693000	1055000	14563000

表 9 玉成抽水站區域住宅區部分之淹水損失

淹水深度 (公分)	抽水站擴建前 淹水面積(公頃)	淹水損失(元)	抽水站擴建後 淹水面積(公頃)	淹水損失(元)
0-50	56.86	3830000	18.95	1280000
50-100	83.14	9800000	18.90	2230000
100-150	49.56	7230000	15.73	2300000
150-200	9.02	1570000	3.21	560000
200-250	2.05	400000	0.73	140000
250-300	1.05	220000	0.36	80000
300-400	4.71	1140000	1.01	240000

表 10 玉成抽水站區域工商業部分之淹水損失

淹水深度 (公分)	抽水站擴建前 淹水面積(公頃)	淹水損失(元)	抽水站擴建後 淹水面積(公頃)	淹水損失(元)
50	140.00	168220000	37.85	45480000
150	58.58	89150000	18.94	28820000
250	3.10	5280000	1.09	1860000
350	4.71	8640000	1.01	1850000

表 11 玉成抽水站擴建前後淹水損失比較表

	抽水站擴建前	抽水站擴建後
住宅區淹水損失	2420 萬	682 萬
工商業區淹水損失	27129 萬	7801 萬
總淹水損失	29549 萬	8483 萬

5.3.4 與各子計畫間之成果整合

子計畫「都市地區淹水改善措施之效益評估研究」，收集彙整共同研究示範區相關資料，研提淹水改善措施。本子計畫將提供其不同控制點模擬結果之流量歷線，當作其街道流邊界條件使用，如位於中坡北路排水幹線出口之三張犁截流溝，或設置觀測點於模式街道上，提供模擬之地表淹水水深及流速，可作為其街道路網模式之輸入條件；如圖 21 所示，為納莉颱風事件中，中坡北路上其中一人孔之水位歷線，可作為街道水流與下水道水流交換模式之參考資料。

為進一步分析淹水潛勢，與子計畫「都市地區淹水改善措施之效益評估研究」進行整合，根據其研究結果，本研究探討雨水下水道之排水功效對淹水潛勢之影響。取降雨強度 40mm/hr 與重現期 100 年之日降雨事件進行分析，根據子計畫「都市地區淹水改善措施之效益評估研究」，由圖 22 可看出在降雨強度 40mm/hr，延時 6 小時之均勻降雨事件中，在雨停(第 6 小時)時，達到最大地面積水體積。由圖 23 為重現期 100 年之日降雨事件演算結果，可看出在第 13 小時尖峰降雨強度，達到最大地面積水深度。

地面的最大淹水深度歷線及街道格區的最大淹水深度歷線之比較示如圖 24、圖 25。分為有雨水下水道及沒有雨水下水道比較，由街道格區最大淹水深度歷線之比較可看出由於雨水下水道的加速排水，街道及街區之最大積水深度可明顯減少。降雨強度達 40mm/hr 時，由圖 24 可看出在 10 小時以後，明渠段之有雨水下水道時之地面水深大於沒有雨水下水道的水深的情形，因雨水下水道之加速排水以致宣洩不及而增加積水深度。

在重現期 100 年日降雨事件中，如圖 25，有雨水下水道與沒有雨水下水道

之地面水體積沒有明顯差別，隨後因雨水下水道加速排水，有雨水下水道地面積水明顯減少。在第 13 小時尖峰降雨強度時，達到最大積水體積。接著，繼續對地面淹水分佈進行分析，圖 26 至圖 29 為均勻降雨強度 40mm/hr 之情況，可看出由於雨水下水道之排水功效，在第 5 小時，街道的淹水深度小於沒有雨水下水道，二者之差值示如圖 27，而在第 15 小時之淹水深度分佈如圖 28 所示，可看出有雨水下水道的情況已沒有明顯積水，但沒有雨水下水道時則尚有局部之積水，二者之差值示如圖 29。圖 30 至圖 33 為 100 年最大一日暴雨頻率之情況，由圖 33 可以清楚的看到，明渠段的淹水深度是有雨水下水道的高於沒有雨水下水道，道路部分則是相反，而其他部分水深差異不大，可見在此案例中，街道的積水有很順暢地排向明渠。

由以上結果分析得知，雨水下水道具有加速排水、降低淹水時間的效果，所以雨水下水道連接的明渠、滯洪池、抽水站等設施時，需要考慮因雨水下水道排水增加的流量。

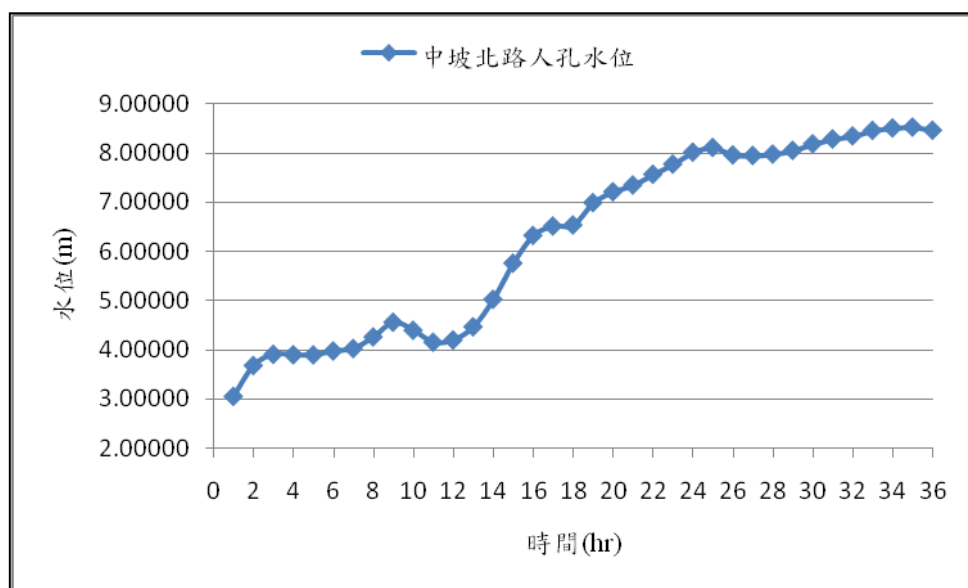


圖 21 納莉颱風 36 小時人孔水位

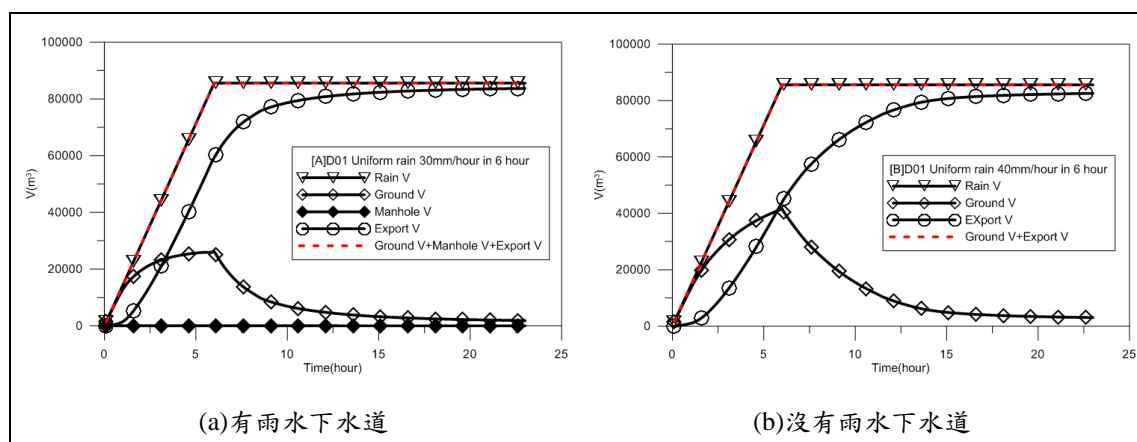


圖 22 均勻降雨強度 40mm/hr 之降雨事件分析

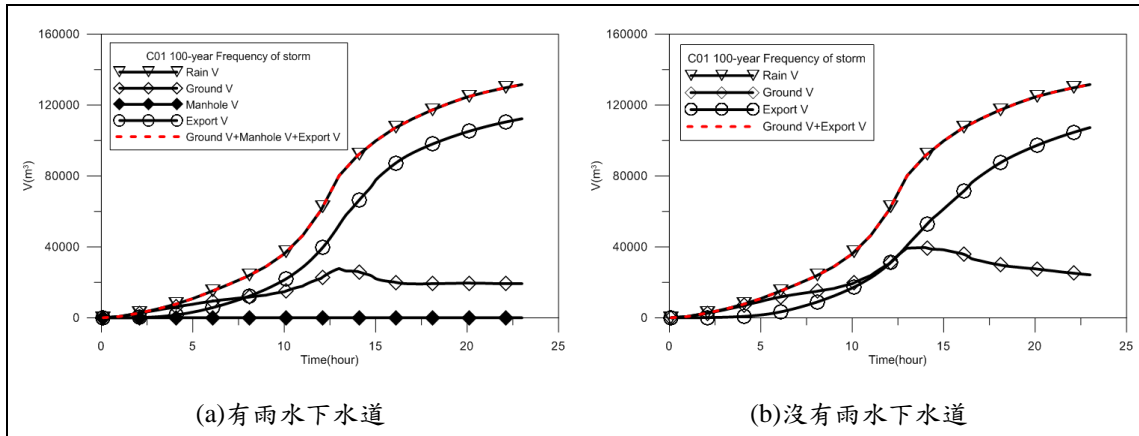


圖 23 重現期 100 年之日降雨事件分析

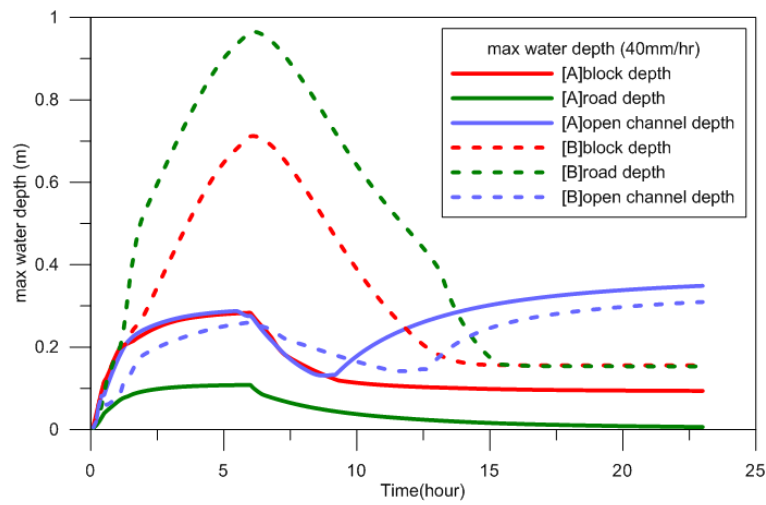


圖 24 降雨延時 6 小時之均勻降雨 40mm/hr 之地面最大淹水深度歷線
(實線為有雨水下水道，虛線為沒有雨水下水道)

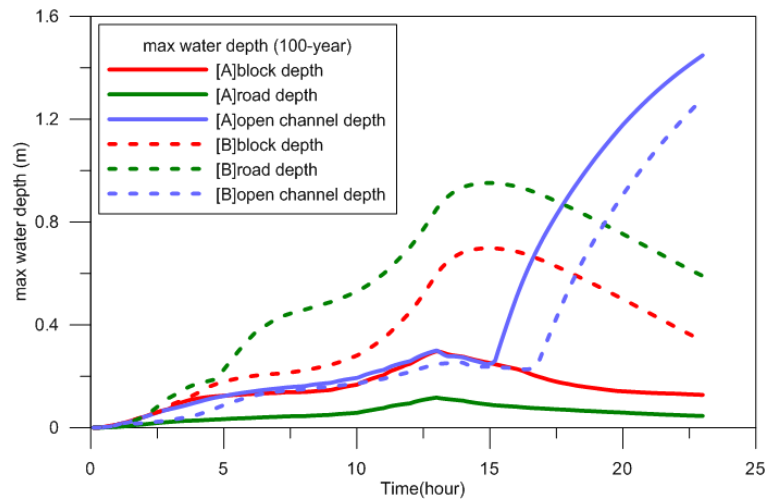


圖 25 重現期 100 年日降雨事件之地面最大淹水深度歷線
(實線為有雨水下水道，虛線為沒有雨水下水道)

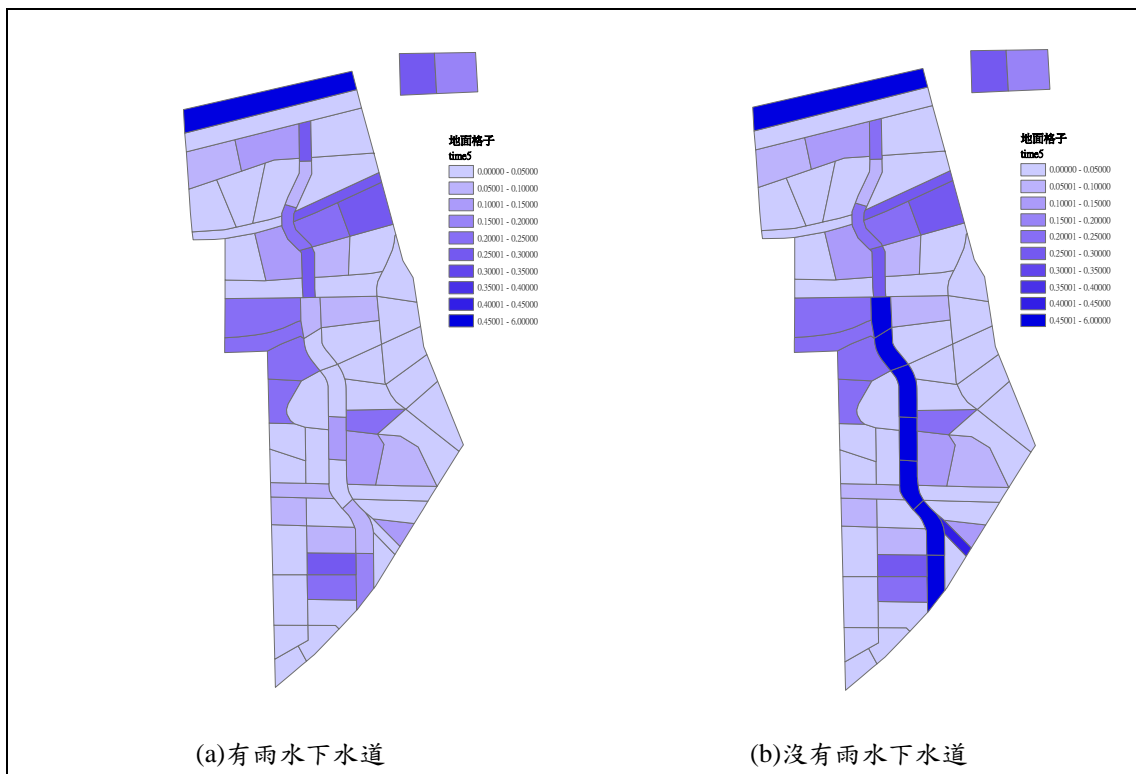


圖 26 降雨延時 6 小時之均勻降雨 40mm/hr，第 5 小時之地面水深分佈圖

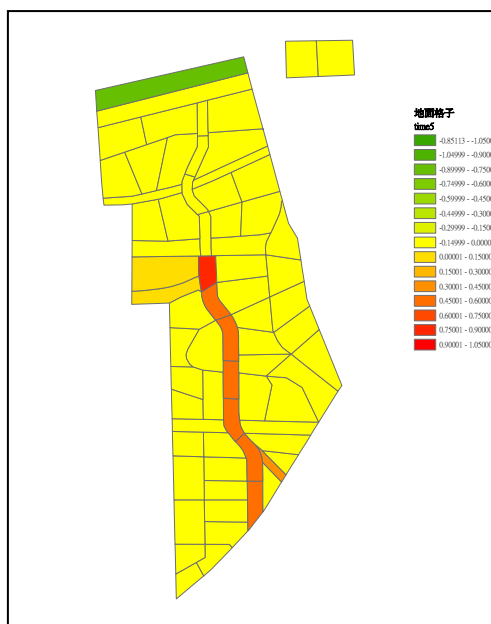


圖 27 降雨延時 6 小時之均勻降雨 40mm/hr，第 5 小時之有雨水下水道之淹水深度減少量分佈圖

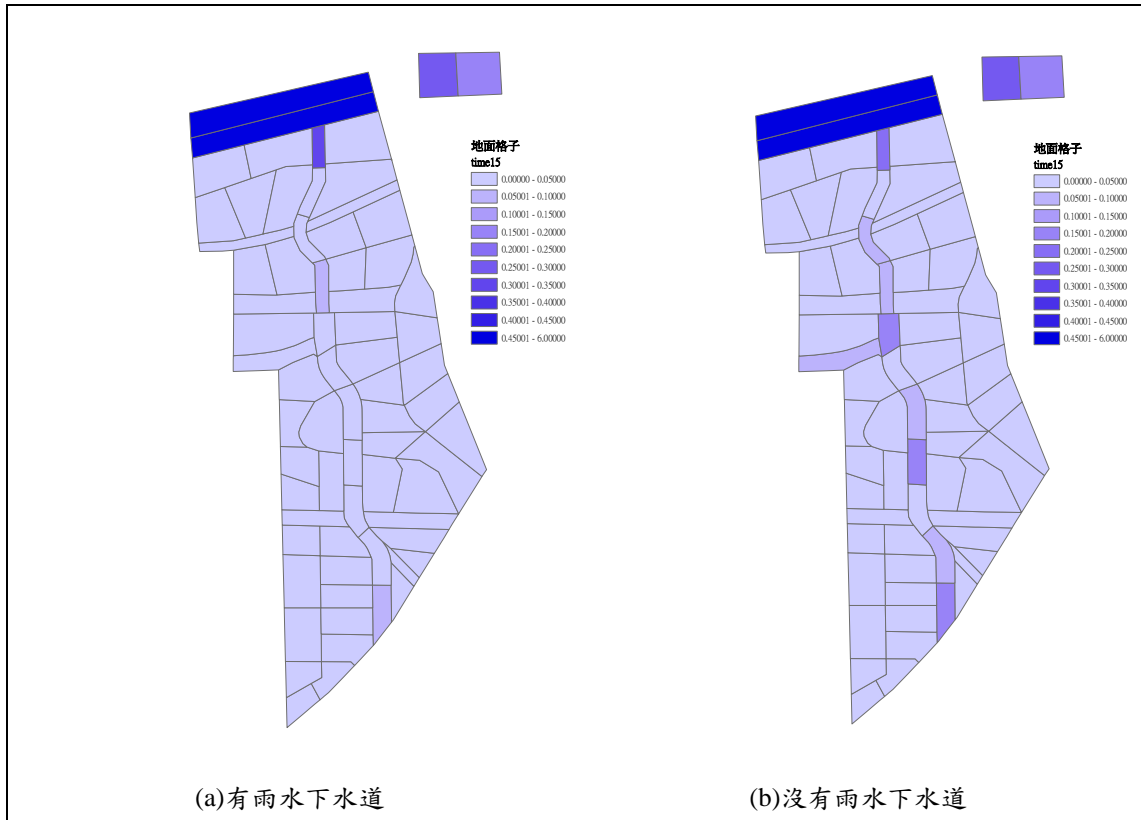


圖 28 降雨延時 6 小時之均勻降雨 40mm/hr，第 15 小時之地面水深分佈圖

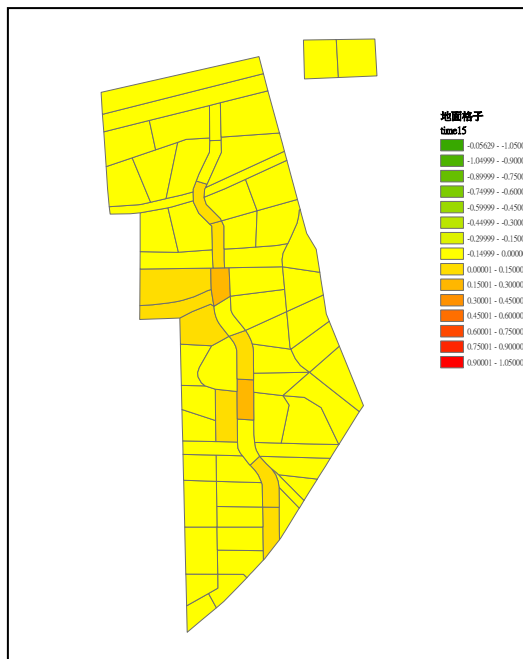


圖 29 降雨延時 6 小時之均勻降雨 40mm/hr，第 15 小時之有雨水下水道之淹水深度減少量分佈圖

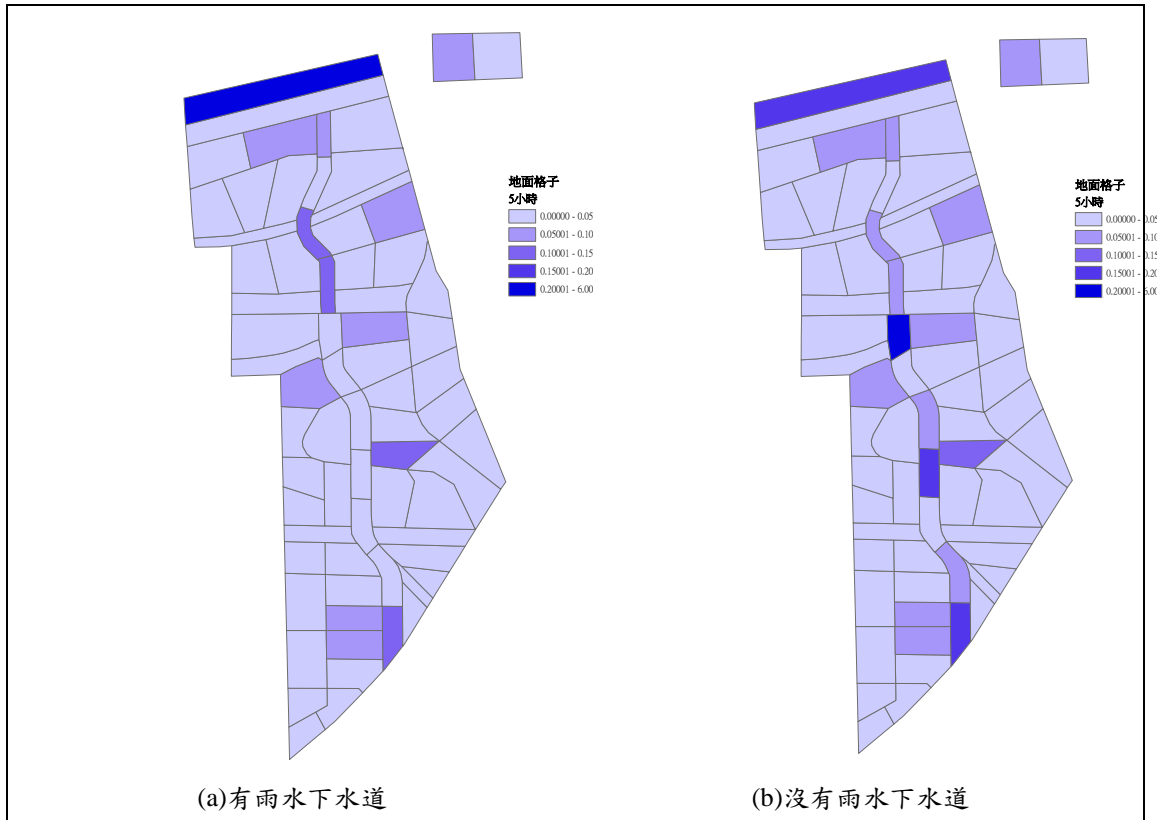


圖 30 重現期 100 年日降雨事件，第 5 小時之地面水深之分布圖

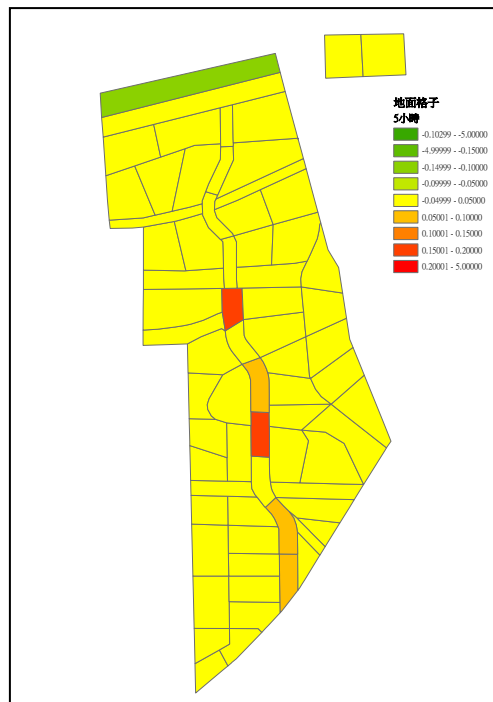


圖 31 重現期 100 年日降雨事件，第 5 小時之有雨水下水道之淹水深度減少量分布圖

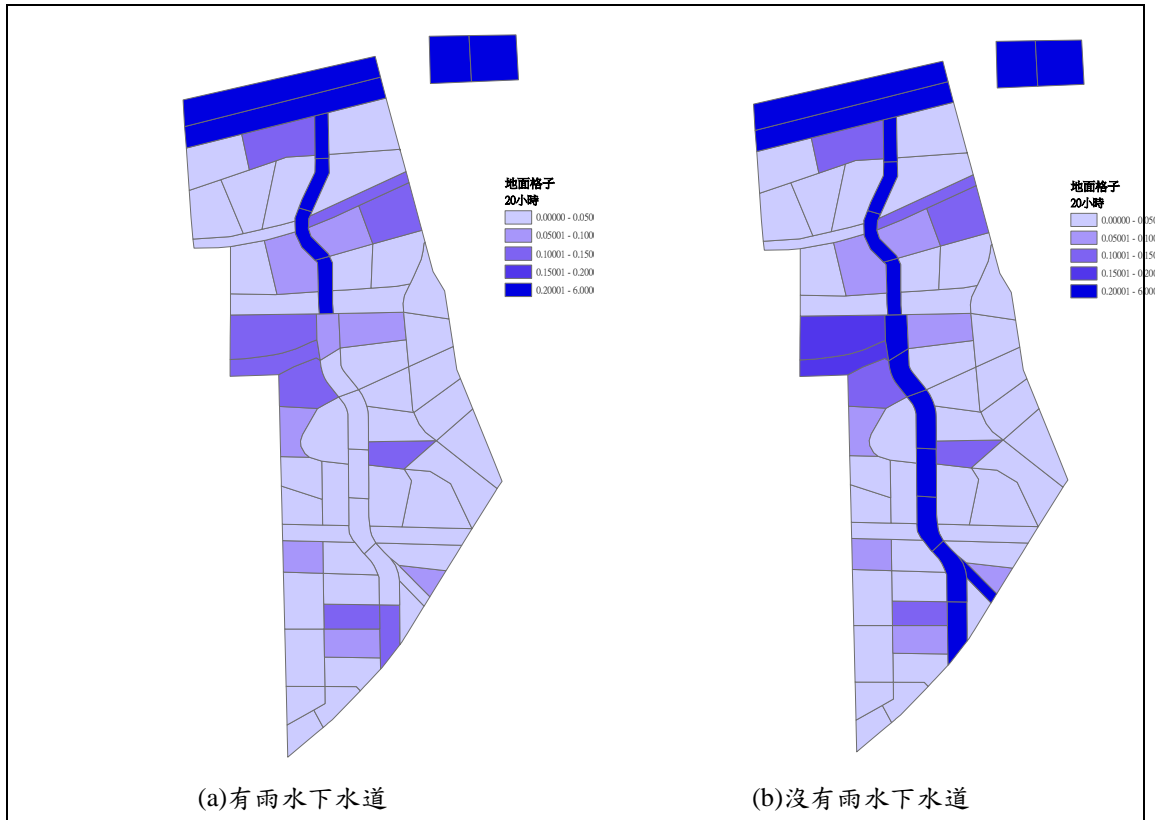


圖 32 重現期 100 年日降雨事件，第 20 小時之地面水深之分布圖

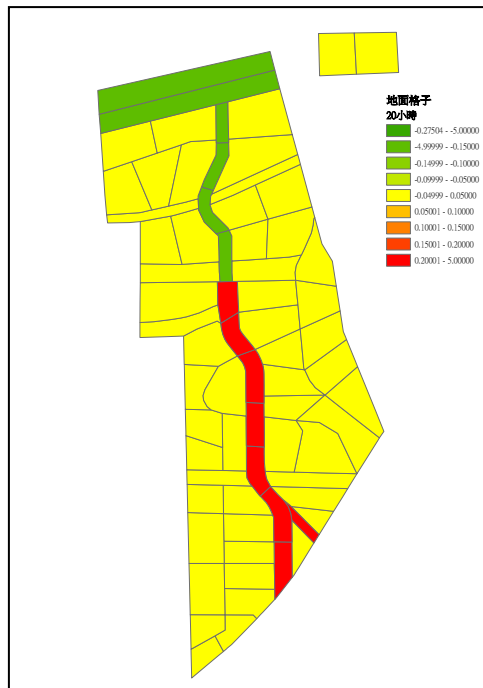


圖 33 重現期 100 年日降雨事件，第 20 小時之有雨水下水道之淹水深度減少量分布圖

六、結論與建議

6.1 結論

1. 經 SOBEK 模式進行應用案例模擬後，分析結果可發現部份低窪地區(大致為五常、六藝、敦厚、雅祥、新仁及雅興里)，在玉成抽水站還未擴建之前皆有大範圍之淹水情形產生，但在擴建之後，其淹水面積則大幅度減少。
2. 根據台北市工務局公布之資料，玉成抽水站擴建工程之工程經費為 3 億 3770 萬元。在台灣一年內有數場颱風侵襲的情況下，經歷一場類似辛樂克颱風強度的暴雨即可減少 2 億 1 千萬之淹水損失，其經濟效益相當高。
3. 雨水下水道具有加速排水、降低淹水時間及範圍的效果，所以雨水下水道連接的明渠、滯洪池、抽水站等設施時，需要考慮因雨水下水道排水增加的流量，但當發生超過設計容量的特大豪雨時，可能使下游因人孔溢流而增加淹水深度。

6.2 建議

1. 由模擬結果可以得知，除了現有抽水機組外，如有必要可考慮玉成抽水站再添置抽水機組，以提高淹水保護標準。
2. 本研究採用之模式雖經過案例之檢定與驗證，已具有模擬都市地面及雨水下水道淹排水之能力，可為其他地區淹水整治之數模工具。

参考文献

1. Aknbi, A. A. and Katopodes, N. D. (1988). "Model for flood propagation on initially dry land." *Journal of Hydraulic Engineering*, 114, 689-705.
2. Balloffet, A. and Scheffler, M. L. (1982). "Numerical analysis of the Teton Dam failure flood." *Journal of Hydraulic Research*, 20, 317-428.
3. Breaden, J. P.(1973), "The generation of flood damage time sequences," University of Kentucky Water Resources Institute Paper, NO.32.
4. Cunge, J. A., Holly, F. M., and Verwey, A. (1980). "Practical Aspects of Computational River Hydraulics." Pitman Publishing Ltd., London.
5. 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.
6. 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.
7. Frank, E., Ostan, A., Caccato, M. & Stelling, G.S. (2001). "Use of an integrated one dimensional-two dimensional hydraulic modeling approach for flood hazard and risk mapping River Basin Management." eds R.A. Falconer & W.R. Blain, WIT Press, Southampton, UK, 99-108.
8. 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.
9. Gouldby, B., Sayers, P., Mulet-Marti, J., Hassan, M. A. A. M., and Benwell, D. (2008). "a methodology for regional-scale flood risk assessment. " *Proceedings*

- of the Institution of Civil Engineers-Water Management, 161(3), 169-182.
10. Gustafsson, B. (1971). "An alternating direction implicit method for solving the shallow water equations." *Journal of the Computational Physics*, 7, 239-254.
 11. Grigg, N.S. and O.J. Heiweg. (1974), "Estimating direct residential flood damage in urban areas", Colorado State University.
 12. Grigg, N.S. and O.J. Heiweg (1975), "State-of-the-art of estimating flood damage in urban areas," *Water Resources Bulletin*, American Water resources association, Vol 11, NO. 2.
 13. Grigg, N.S., L.H. Botham, L. Rice, W.J. Shoemaker, and L.S. Tucker (1976), "Urban drainage and flood control projects economic, legal and financial aspects," *Hydrology paper*, Colorado State University Fort Collins, Colorado, February.
 14. Hall, J. W. and Tarantola, S. (2005). "Distributed sensitivity analysis of flood inundation model calibration." *Journal of Hydraulic Engineering*, 131, 117-126.
 15. 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.
 16. 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.
 17. Iwata, M., Fujiwara, N., Morikawa, H. and Yoo, A. (2001). "Flood Simulation of Highly Urbanized Areas in Japan Using MOUSE." *Proceeding of DHI Software*, DHI Software.
 18. Katopodes, N. D. and Strelkoff, T., (1978), "Computing Two Dimension Dam-Break Flow Wave", *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, 104(HY9).
 19. Katopodes, N. D. and Strelkoff, T., (1979), "Two-Dimensional Shallow

- Water-Wave Models”, *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, 105(EM2), 317-434.
20. Kuiry, S. N., Sen, D., and Bates, P. D. (2010). “Coupled 1D–quasi-2D flood inundation model with unstructured grids.” *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(8), 493-506.
 21. Marka, O. and Weesakula, S. (2004). “Potential and limitation of 1D modeling of urban flooding.” *Journal of Hydrology*. 299: 284-299.
 22. Nguyen, D. K. and Shi, Y. E. (2006). “2D shallow-water model using unstructured finite-volumes methods.” *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(3), 258-269.
 23. Ole, M. and Sutat, W. (2004). “Potential and limitation of 1D modeling of urban flooding.” *Journal of Hydrology*, 299, 284-299.
 24. Penning-Rowsell, E.C. and J.B. Chatterton (1977), “The benefits of flood alleviation: a manual of assessment techniques,” Gower Aldershot England.
 25. Preissmann, A., (1961), “Propagation des intumescences dans les canaux etrivieres, First Congress of the French Association for Computation, Grenoble, France.”, 433-442.
 26. Sanders, B. F. (2007). “Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling.” *Advance in Water Resources*, 30(8), 1831-1843.
 27. Smith, D.I. (1994), “Flood damage estimation- A review of urban stage-damage curves and loss function,” *Water SA*. 20(3).
 28. Vongvisessomjai, S., Tingsanchali, T., and Chaiwat, C. (1985). “Bangkok flood plain model.” 21st IAHR Congress, Melbourne, Australia, 433-488.
 29. 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*, 1 3–20.

30. Xanthopoulos, T. and Koutitas, C. (1976). "Numerical simulation of two-dimensional flood wave propagation due to dam failure." *Journal of Hydraulic Research*, 14, 321-331.
31. 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。
32. 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。
33. 蔡長泰、游保杉等(1994),「地理資訊系統在淹水預警上之應用(二)」,國立成功大學水利暨海洋工程學系。
34. 蔡長泰、游保杉等(1995),「地理資訊系統在淹水預警上之應用(三)」,國立成功大學水利暨海洋工程學系。
35. 楊昌儒、蔡長泰(1995),「數值高程模型解析度對嘉義沿海地區淹水模式影響之研究—以賀伯颱風為例」,台灣水利,46(1)。
36. 楊昌儒、林延郎、蔡長泰、游保杉、顏沛華(1995),「地理資訊系統在城鎮淹水模擬上之應用」,台灣水利,43(1). 41-55。
37. 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。
38. 方舟顧問有限公司(1997),「洪災保險制度潭底洋地區案例調查分析」,經濟部水資源局。
39. 盧重任(1998),「台北縣板橋地區洪水及淹水演算」,國立台灣大學農業工程研究所碩士論文。
40. 台灣省政府水利處第六河川局(1998),「鹽水溪治理規劃報告」。
41. 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。
42. 許銘熙、張倉榮、鄧慰先、陳宣宏、林洙宏、傅金城(1999),「抽水站與開

- 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。
43. 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。
 44. 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。
 45. 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。
 46. 陳欣怡(2001)，「台南科學工業園區暴雨排水之動態模擬」，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文。
 47. 張齡方、蘇明道(2001)，「空間資料於洪災損失推估之應用」，農業工程學報，(47)1: 20-28。
 48. 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。
 49. 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。
 50. 經濟部水利署(2003)，「水災損失評估系統模式之建立」。
 51. 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。
 52. 謝建宏(2005)，「二維淹水模式應用於宜蘭縣嚴重感潮低地三個排水系統排洪最佳抽水量擇定之研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
 53. 顏瑞龍(2006)，「東港河流域淹水模擬與消洪策略分析」，國立屏東科技大學土木工程系碩士論文。
 54. 蔡佳璋(2006)，「綜合治水對策中 SOBEK 淹水模式之應用—以雲林南部沿海地區為例」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
 55. 徐慶安(2007)，「人工溼地設立與淹水減緩效益之分析雲林沿海地區個案研

- 究」，國立台灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。
56. 林志鴻(2008)，「坡地社區淹水問題改善策略之探討 -以台南縣大內地區排水為例」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
57. 李冠暉(2009)，「氣候變異對於都市淹水影響之評估與應用研究」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
58. 李明儒(2010)，「雨水下水道淤積對於都市淹水之影響評估」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2011/10/11

國科會補助計畫	計畫名稱: 子計畫:都市地區淹水模式之評估與應用研究(III)
	計畫主持人: 葉克家
	計畫編號: 99-2625-M-009-002- 學門領域: 永續發展研究-工程技術
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：葉克家		計畫編號：99-2625-M-009-002-					
計畫名稱：氣候變異與都市化對台中盆地洪災之影響研究--子計畫：都市地區淹水模式之評估與應用研究(III)							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	1	50%	篇	目前正在整理論文中。
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	1	1	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>本計畫成果將可供台北市政府未來對玉成抽水站集水區因應氣候變遷洪水量增加，為達既有保護標準，所需抽水站及下水道容量擴充之決策參考。</p>
--	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

結論：

1. 經 SOBEK 模式進行應用案例模擬後，分析結果可發現部份低窪地區（大致為五常、六藝、敦厚、雅祥、新仁及雅興里），在玉成抽水站還未擴建之前皆有大範圍之淹水情形產生，但在擴建之後，其淹水面積則大幅度減少。

2. 根據台北市工務局公布之資料，玉成抽水站擴建工程之工程經費為 3 億 3770 萬元。在台灣一年內有數場颱風侵襲的情況下，經歷一場類似辛樂克颱風強度的暴雨即可減少 2 億 1 千萬之淹水損失，其經濟效益相當高。

3. 雨水下水道具有加速排水、降低淹水時間及範圍的效果，所以雨水下水道連接的明渠、滯洪池、抽水站等設施時，需要考慮因雨水下水道排水增加的流量，但當發生超過設計容量的特大豪雨時，可能使下游因人孔溢流而增加淹水深度。

建議：

1. 由模擬結果可以得知，除了現有抽水機組外，如有必要可考慮玉成抽水站再添置抽水機組，以提高淹水保護標準。

2. 本研究採用之模式雖經過案例之檢定與驗證，已具有模擬都市地面及雨水下水道淹排水之能力，可為其他地區淹水整治之數模工具。