

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

都市地區淹水改善措施之效益評估研究--子計畫:都市地區
淹水模式之評估與應用研究(I)
研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 97-2625-M-009-003-
執行期間：97年08月01日至98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 98年10月30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

都市地區淹水模式之評估與應用研究(1/3)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC NSC 97-2625-M-009-003-
執行期間：97年8月01日至98年7月31日

計畫主持人：葉克家
計畫參與人員：李冠曄、廖仲達、李明儒

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 98 年 10 月 31 日

摘要

隨著台灣社會經濟發展，都市地區颶風暴雨所帶來之淹水課題也日受重視，如排水閘門之管理操作、滯洪池之設置、分洪道之規劃、都市計畫發展與雨水下水道設計結合等。由於颶風、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 年納莉颶風重創北部地區淹水，造成地下鐵與捷運系統癱瘓；2004 年敏督利颶風重創全台多個鄉鎮；2005 年海棠颶風對台北及宜蘭縣農作物受損嚴重，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。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。

本計畫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(執行中)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，並比較評估各淹水模式實際應用之成果；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 年之納莉颶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。

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. Some of the examples include: the management and operation of storm water gates, the installation of detention pond, the planning of flood diversion way, and the combination of urban planning development and storm sewer design. 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; the heavy damages on the cities and towns by the Mindulle Typhoon in 2004, and the inadequate drainage of floods at parts of Taipei by the Haitang Typhoon in 2005. 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 (ongoing) 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, there would be an actual application of the model on the target of interest where the results from different models would be compared and evaluated. Counter-measures and suggestions would be made in the third year, after attaining the results from the potential inundation tendency analysis.

The related literature was collected and reviewed in the current year (the first year); and the advantage, disadvantage and limitation of the inundation model used at home and abroad were evaluated. The parameters of the models were calibrated using the applied target (the Yu Cheng Pumping Station in Taipei), with the Nari Typhoon in 2001 as simulated case. The main calibrated parameter is the Manning's n . Referring the roughness suggested by the previous research literature, the simulations were conducted with different land use patterns; and the simulation results of the flooding scope were compared with the actual surveyed results. After the comparison of flooding grid, a set of roughness value was obtained from the best matched simulation result, and the roughness parameters were used in the following simulation. In addition, considering the numerical stability and simulation time through case

simulation and the previous evaluations of the different models, the numerical model SOBEK was selected as the application model in the future research.

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

子計畫二：都市地區淹水模式之評估與應用研究(1/3)

第一年度研究成果報告

計畫編號：NSC 97-2625-M-009-003-

執行期限：97 年 8 月 1 日至 98 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：李冠曄、廖仲達、李明儒

一、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；模擬淹水深度、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。

二、研究方法

本年度首先對國內外一些淹水模式之模式理論，針對其漫地流計算概念、數值方法、演算流程等進行評估分析。在模式優缺點、功能限制評估方面，根據模式可應用範圍、特點與其他子計畫資料可整合性等進行評估。此外，對各淹水

模式(漫地流模組)進行實例測試，並對模式相關物理參數進行敏感度分析，最後再從評估模式中選擇適宜模擬台灣都市淹水情況之模式。

三、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

四、文獻回顧

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。

1、漫地流數值理論與格網產生部份：

漫地流數值理論以求解水深平均之淺水波方程式為主，Preissmann and Cunge (1980)曾將洪氾區依地形與地貌劃分格網，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)，模擬二維洪水波之傳遞，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、淹水系統整合部份：

Frank et al. (2001)成功地運用 Delft-1D2D 的整合模式，應用於義大利中部 Liri Garigliano 集水區的洪氾平原上，並將洪災風險圖影像化，從而進行洪災分類。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 40m×40m 之數值高程，以雙線性及選取最近點法內插，產生 20m×20m 與 80m×80m 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。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。陳(2004)應用 SOBEK 淹水模式評估都台中地區雨水下水道之效能。石(2005)應用 SOBEK 分析三爺溪排水水系現況淹水潛勢。

五、研究成果

5.1 都市淹水模式之理論與數模回顧

淹水模式通常以漫地流演算為主要架構，當降雨逕流量超出雨水下水道設計排水量後，即反映在都市內部街道造成淹水漫流；而降雨逕流量之推估可由淹水區域週遭之雨量站所監測之雨量資料，藉由面積權重分配計算帶入降雨逕流模式進行演算得到逕流歷線，市區內淹水範圍則以漫地流方式進行模擬。模式演算示意如圖 1 所示，由降雨逕流（內水）、街道地表漫地流、人孔與下水道排水系統、抽水站與閘門操作，完成淹水演算。

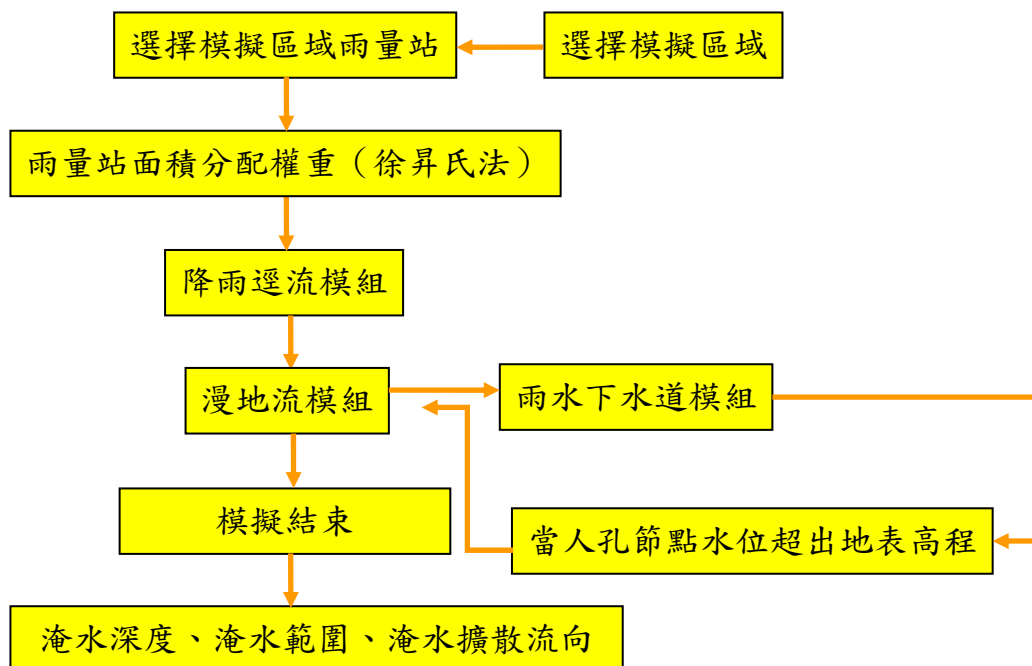


圖 1 淹水模式演算示意圖

5.1.1 SOBEK Urban :

SOBEK模式為經濟部水利署與荷蘭W|D|Delft Hydraulic公司所共同合作研發之模式，模式初期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），目前模式具有二維地表漫地流淹水模擬功能。

5.1.1.1 水理數值方法

河川之洪流演算，依據迪聖凡南方程式之一維變量流方程式，考慮水流之連續及動量方程式，即為動力波模式，其控制方程式為：

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q^2}{A_f} \right] + g A_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} = 0 \quad (5-2)$$

式中， Q ：流量[m³/s]、 g ：重力加速度[m/s²]、 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[m²/s]、 A_f ：濕周面積[m²]、 C ：Chezy 係數、 W_f ：河寬[m]、 τ_{wi} ：風剪力[N/m²]、 ρ_w ：水密度[Kg/m³]。

進行二維漫地流演算時，採用二維動力波方程式，其中式（5-3）為連續方程式，式（5-4）、（5-5）分別為水平方向之動量方程式。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (ud)}{\partial x} + \frac{\partial (vd)}{\partial y} = 0 \quad (5-3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{u|V|}{c^2 d} + au|u| = 0 \quad (5-4)$$

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

式中， u, v ： x, y 方向之平均流速[m/s]； d ：模擬區地表水深[m]； a ：邊牆摩擦係數； V ： $\sqrt{u^2 + v^2}$ ，流速[m/s]。

5.1.1.2 應用案例

國內外使用 SOBEK 模式之應用案例頗多，如 Carrivick（2006）利用其河道網格系統，其中包括了漫地流流、渠流、下水道等，考慮迴水與多點洪水氾濫之影響，計算洪水之淹水特性。陳（2005）以 SOBEK 模式評估台中市區雨水下水道之效能。

5.1.2 FLO-2D :

FLO-2D 模式係美國科羅拉多大學所發展之二維洪水災害模擬，主要使用非牛頓流體模式與中央有限差分法（central finite difference scheme）來求解水平方向之流速與水深。

5.1.2.1 水理數值方法

FLO-2D 模式之假設條件為：

1. 淺水波假設。
2. 滿足穩定流阻滯方程式（steady flow resistance equation）。
3. 靜水壓分佈。
4. 差分時間間隔內為穩定流（steady flow）。

進行二維漫地流演算時，採用二維動力波方程式，式（5-6）為連續方程式，式（5-7）、（5-8）為沿水平方向之動量方程式。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hV_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hV_y)}{\partial y} = i \quad (5-6)$$

$$(S_{ox} - S_{fx})g = \frac{\partial h}{\partial x}g + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_x}{\partial t} \quad (5-7)$$

$$(S_{oy} - S_{fy})g = \frac{\partial h}{\partial y}g + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial t} \quad (5-8)$$

式中， h ：水深、 V_x ： x 軸方向之流速、 V_y ： y 軸方向之流速、 i ：超滲降雨量或入滲量、 S_{fx} 、 S_{fy} ：河床坡度摩擦力分量、 S_{ox} 、 S_{oy} ：底床坡降。式中右邊第一項為壓力梯度項，第二、第三為平流項，第四項為局部加速度。在擴散波中，忽略平流項及局部加速項；在運動波中，則是忽略壓力梯度項。

5.1.2.2 應用案例

國內外使用 FLO-2D 之應用案例頗多，如 Seree Supharatid (2006) 曾利用分佈式物理水文模式結合類神經網路與基因演算法（genetic algorithm），模擬泰國 2000 年暴雨淹水情形。顏 (2006) 應用 FLO-2D 模式針對 2005 年 0612 豪雨及 2006 年之碧利斯颱風兩場降雨事件，進行東港溪流域之淹水模擬，並與實際淹水調查結果比較。

5.1.3 地文性淹水模式：

地文性淹水模式係成功大學水利系蔡長泰教授等所發展之漫地流模式，此模式中應用 Cunge (1980) 之理論，即將洪氾區分成若干分區，選擇每一分區中具有代表性之水位，由水流連續方程式及分區間流量基本控制式，演算淹水過程。

5.1.3.1 水理數值方法

為提高模式計算精度與效率，應用 Cunge (1980) 提出洪水平原擬似二維淹水模式，依據洪氾區之地形、地物與河流、排水路之分佈狀況，將洪氾區分成若干分區 (cell)，每一分區視為一控制體以模擬洪氾區淹水過程，模式之假設條件為：

1. 每一分區中，假設有一在洪水期間均能正確辨識流向之處，該處稱為分區中心。
2. 每一分區水面假設為水準，可由分區中心之水位，代表整個分區水位，該水位稱為分區特性水位。
3. 假設分區蓄水量只與該分區特性水位有關。
4. 假設某特定時刻相鄰兩分區間之流量，只為該時刻此兩分區特性水位之函數。

根據上述之假設，則淹水網格區中任一分區 i 與其相鄰各分區間之水流連續方程式可表如下式：

$$A_{si} \frac{dh_i}{dt} = P_{ei} + \sum_k Q_{i,k}(h_i, k_i) \quad (5-9)$$

式中， A_{si} ： t 時刻 i 分區之水表面積； P_{ei} ： t 時刻 i 分區之有效降雨率，等於有效降雨強度 \times i 分區面積； $Q_{i,k}$ ：由相鄰 k 分區流入 i 分區之流量，正值代表水流由 k 分區流入 i 分區，負值代表水流由 i 分區流入 k 分區； h_i, k_i 則分別： i 分區與 k 分區在 t 時刻之特性水位。

5.1.3.2 應用案例

國內使用地文性淹水模式之應用案例方面，蔡等 (2001) 利用地文性淹水模式搭配暴潮預報模式，針對地層下陷區進行土地利用對淹水潛勢影響；並於 2005 年持續發展應用進行 2005 年 0612 豪雨、海棠颱風及泰利颱風等豪雨暴潮之淹水模擬；於 2008 年應用地文性淹水-排水模式模擬劉厝排水集水區在於不同颱洪、暴雨事件下治理前後之淹水情形。

5.1.4 市區淹水模式：

市區淹水模式係台灣大學許銘熙教授等所發展之二維淹水災害模擬模式，採用二維零慣性模式為理論基礎，利用顯式差分法，求解地表逕流在都會區所造成之淹水情況。模式將下水道進水口集流（inlet drainage）視為點匯（sink），人孔溢流（manhole overflow）視為點源（source），藉以結合雨水下水道之數值模式，反映下水道與地表間水流之雙向互動關係。

5.1.4.1 水理數值方法

市區淹水模式對於一般之漫地流而言，假設洪水歷線上升平緩，且忽略科氏力、風力及加速度項之影響，並且假設地表之建物可阻礙水流，但具蓄水作用。因此，含雨水下水道出入口之地表漫地流況可用二維零慣性模式予以描述，（5-10）式為水流之連續方程式，（5-11）及（5-12）式分別為水平方向之動量方程式，控制方程式可表示如下：

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial[(1-\beta)ud]}{\partial x} + \frac{\partial[(1-\beta)vd]}{\partial y} = q_{source}(x,y,t) - q_{sink}(x,y,t) \quad (5-10)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial x} S_{fx} + \frac{[q_{source}(x,y,t)]u}{gd} \quad (5-11)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial y} S_{fy} + \frac{[q_{source}(x,y,t)]v}{gd} \quad (5-12)$$

式中， β ：建築物影響因數， $\beta = \sqrt{\frac{A_b}{A}}$ ； A 為地表面積 $[m^2]$ ； A_b 為建物面積 $[m^2]$ ；

d ：模擬區地表水深 $[m]$ ； S_{fx} ：沿 x 方向之摩擦坡降， $S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{d^{4/3}}$ ； S_{fy} ：

沿 y 方向之摩擦坡降， $S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{d^{4/3}}$ ； n ：曼寧糙度值； h ： $d+z$ ，地表水

位 $[m]$ ； z ：地表高程 $[m]$ ； $q_{source}(x,y,t)$ ：單位面積進入地表之流量 $[m/s]$ ；

$q_{sink}(x,y,t)$ ：單位面積離開地表之流量 $[m/s]$ 。

5.1.4.2 應用案例

國內使用市區淹水模式之應用案例方面，如陳（2002）曾擴充該模式之功能，結合美國環保署之暴雨經理模式（SWMM），模擬當逕流量超出下水道系統之設計流量時，由人孔冒出造成淹水現象，並考慮雨量降低後，溢流所造成之地表逕流流回下水道系統，發展漫地流與雨水下水道水流之交互動態模擬。許等（2002）應用此一淹水模式，模擬台南科學園區之排洪能力並進行洪災防治措施預警分析。張等（2004）應用市區淹水模式建立台中市及週邊排水淹水潛勢與預警系統。

5.2 現有國內外常用都市淹水模式優缺點、功能限制評估

既有商用淹水模式之優缺點與功能評估整理如表 1、2 所示。SOBEK Urban 與 FLO-2D 屬水理計算領域常見之商用模式，可應用於河川水理或漫地流之模擬。對於淹水模擬功能，SOBEK Urban 有降雨逕流模組、下水道模組、漫地流模組與渠道模組，可進行完整之淹水演算；而 FLO-2D 為洪水災害演算模式，僅可模擬淹水範圍、深度與水流擴散方向，缺點為無法同時考慮降雨逕流、下水道等整體之淹水情況。

地文性淹水模式及市區淹水模式屬台灣淹水計算領域常見之模式，主要應用於台灣地區之淹水災害模擬，對於淹水模擬方面，地文性淹水模式可由不同精度需求將演算區域劃分為若干區，每一分區視為一控制體，各相鄰分區間以水流連續方程式與流量基本控制式連接，以描述模擬範圍之淹水過程；市區淹水模式採用二維零慣性模式為理論基礎，求解地表逕流在都會區所造成之淹水情況，下水道部分則結合美國環保署之暴雨經理模式(SWMM)進行完整淹水模擬。

表 1 既有淹水模式之優缺點評估

模式名稱	應用範圍	特點	缺點
SOBEK Urban	*河川、都市下水道系統之水理計算及區域淹水模擬。	*整合降雨逕流、河道、漫地流、下水道等模組。	*模式版權費用昂貴、資料前置處理作業繁瑣。
FLO-2D	*土石流模擬、高含砂水流模擬、都市淹水模擬、洪水平原管理。	*可以處理漫地流、橋樑涵洞水理演算。	*缺乏降雨逕流、下水道模組，無法直接模擬整體淹水過程。
地文性淹水模式	*洪水傳播現象與洪澇淹水情形。	*可以模擬降雨逕流、核胞模式演算概念若遇到障礙物，仍可保持模式準確性、模式繼續擴充研發中。	*缺乏下水道模組，無法直接模擬整體淹水過程。
市區淹水模式	*都市區域淹水模擬及考慮抽水站、開門設施。	*模式可與美國環保署之暴雨經理模式 SWMM 進行完整淹水模擬。	*模式前後處理之介面及展示系統有待加強。

表 2 既有淹水模式之模式功能評估

模式名稱 模式功能	SOBEK Urban	FLO-2D	地文淹水模式	市區淹水模式
山區逕流模組	○		○	
雨水下水道模組	○			
一維渠流模組	○	○	○	○
二維漫地流模組	○	○	○	○
抽水站及閘門功能	○			○
街道系統	○	○	○	○
使用介面	○	○		○

根據上述的優缺點比較及功能限制評估，可以明顯看到 SOBEK 模式在功能上整合了降雨—逕流模組、渠道模組、漫地流模組及下水道模組，無須搭配其他模式，便可進行完整之淹水演算，在模式功能的完整性上優於其他比較模式。並且在操作介面，經由圖形視窗化後，便於使用者在短時間內能快速熟悉模式的運作。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常用之淹水模式，可見 SOBEK 模式本身已具有相當程度上之公信力，因此決定採用 SOBEK 模式，進行簡易案例之測試與參數敏感度分析。

5.3 都市淹水模式之邊界條件、模式參數敏感度分析

一般都市淹水模式之模擬，除了邊界條件如降雨量、山區逕流量、抽水站之起抽容積、停抽水水位等之給定外，還需要如地表糙度、土地利用、坡度等參數。地表糙度與土地利用影響水流流速與淹水水深分佈，相關參數將透過敏感度分析進行測試，以瞭解該模式受到這些參數之影響程度，進而評估該模式之適用性。

5.3.1 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。

5.3.1.1. 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 2 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 3 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。

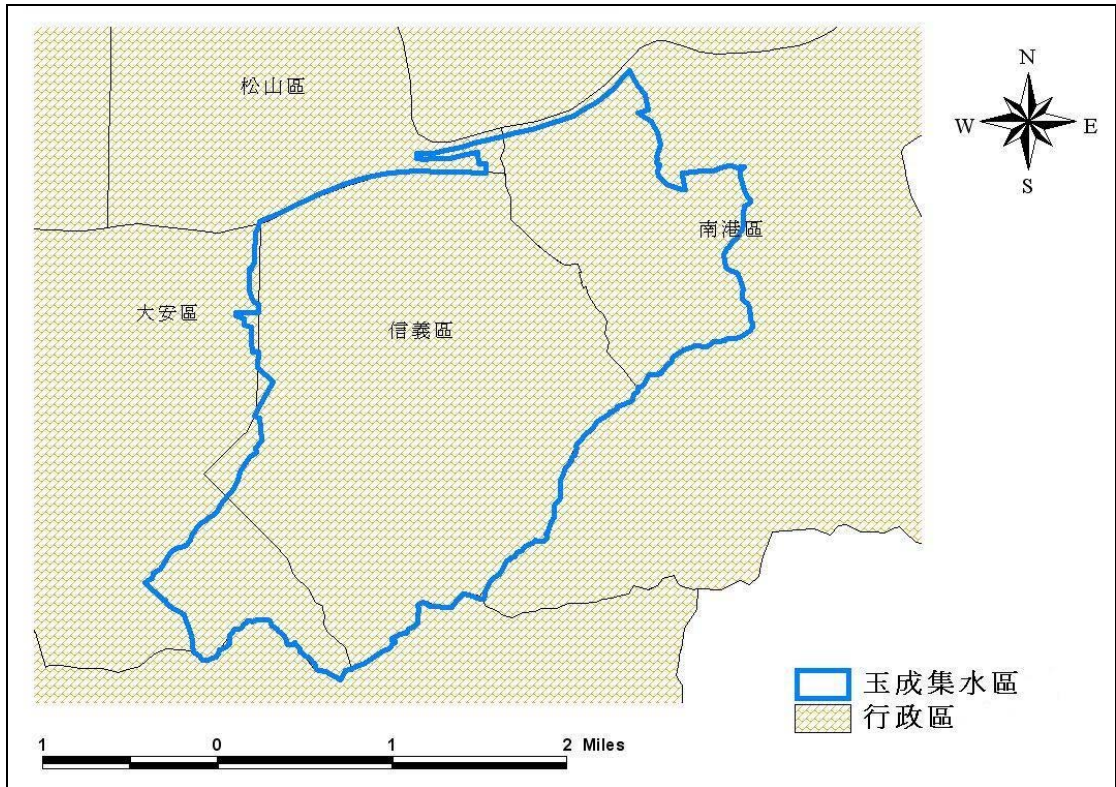


圖2 玉成集水區地理位置分布情形

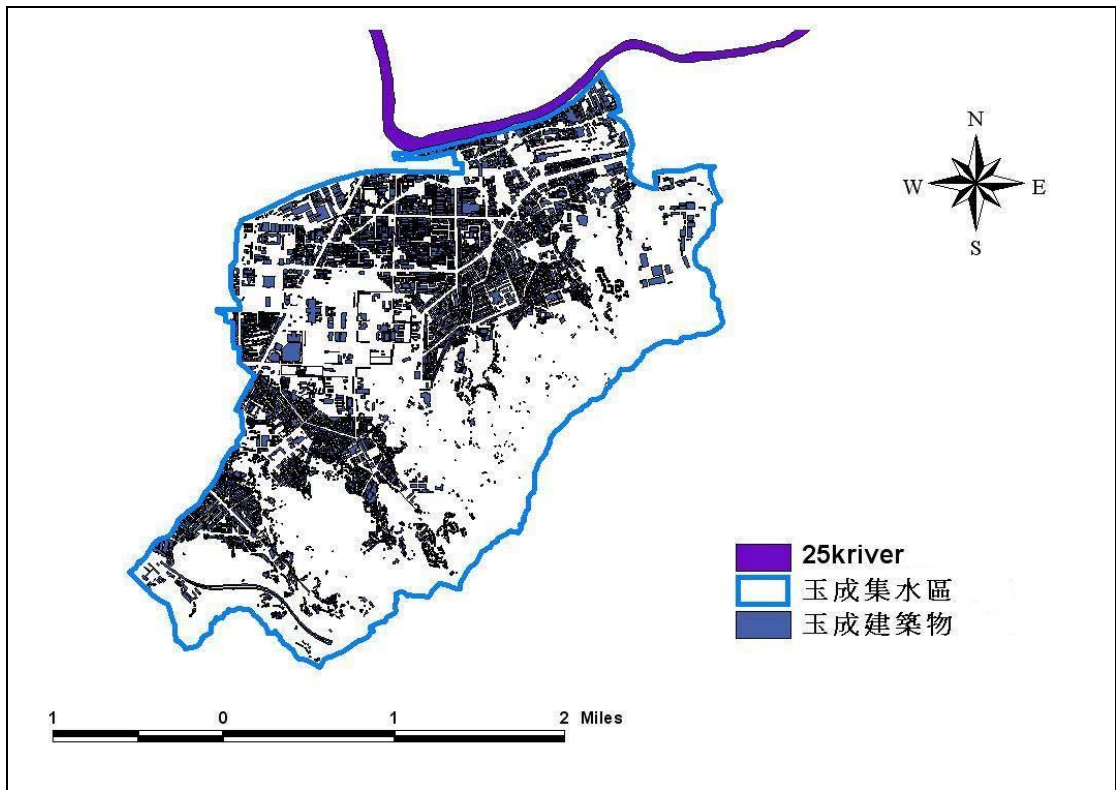


圖3 玉成集水區建築物分佈情況

5.3.1.2. 土地利用情況

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，工業區分布在南港區居多，而保護區及公園綠地集中在東南方，提供民眾假日遊憩休閒，如圖4所示。圖5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%。

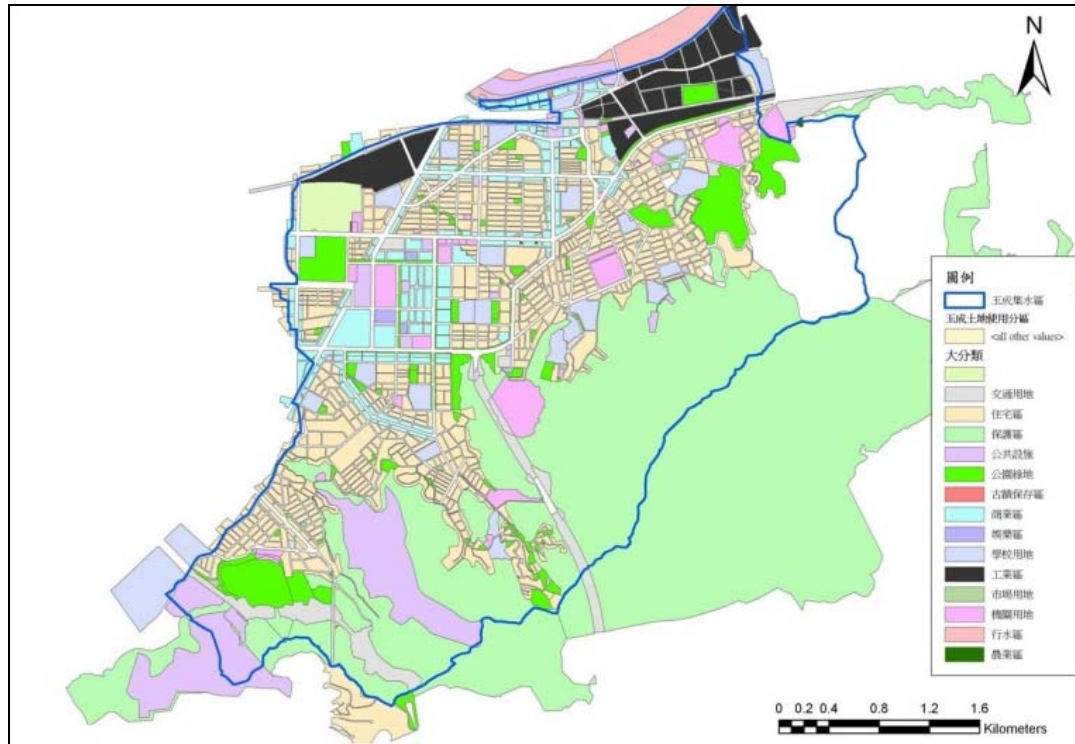


圖4 玉成集水區土地利用情況

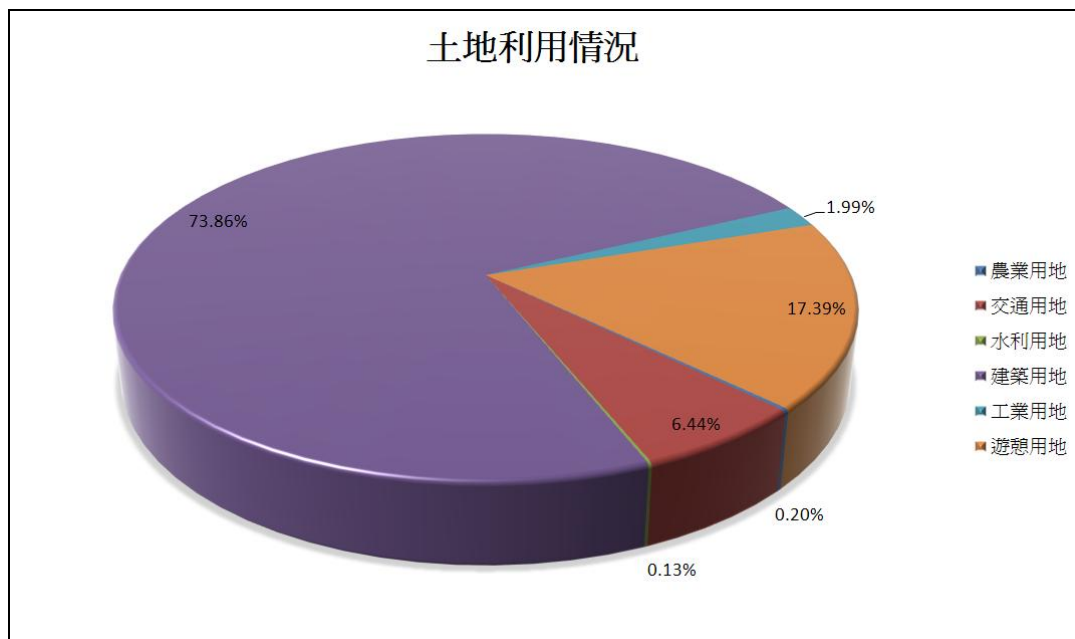


圖5 各土地利用所佔百分比

5.3.1.3. 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，而規劃之下水道總長為78,696公尺。玉成排水系統，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後流入基隆河。

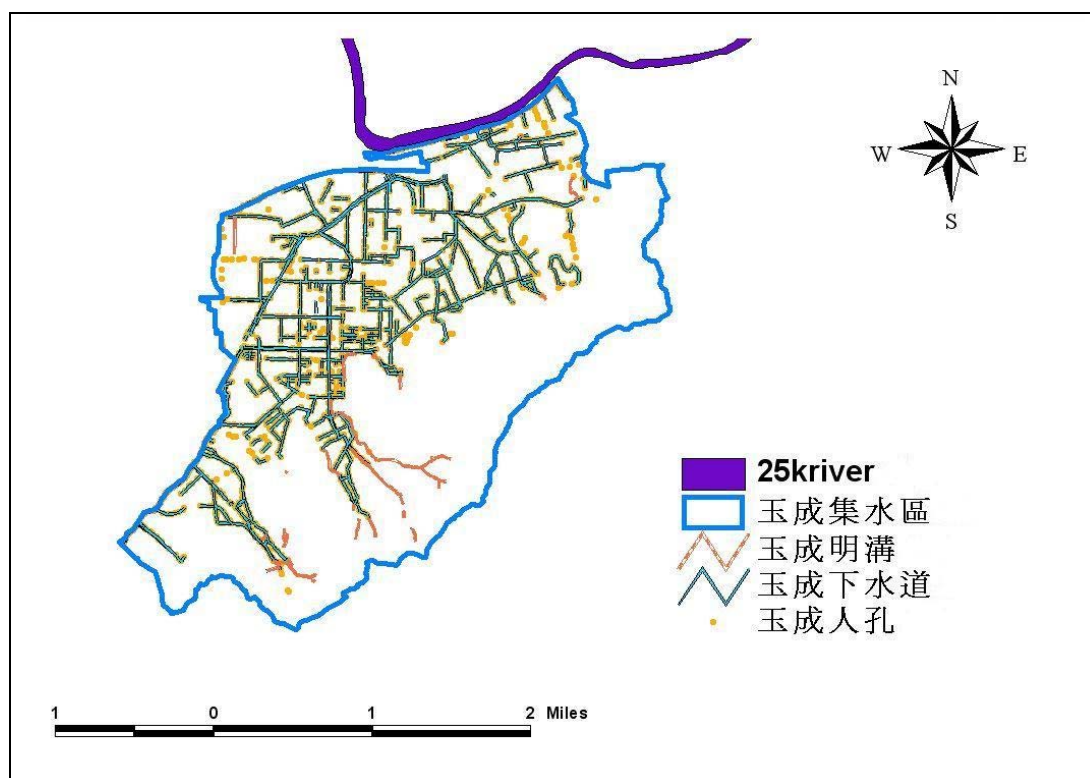


圖6 玉成集水區排水系統分佈

5.3.1.4. 抽水站系統

玉成抽水站位於台北市成美橋側之基隆河左岸，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7、圖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。

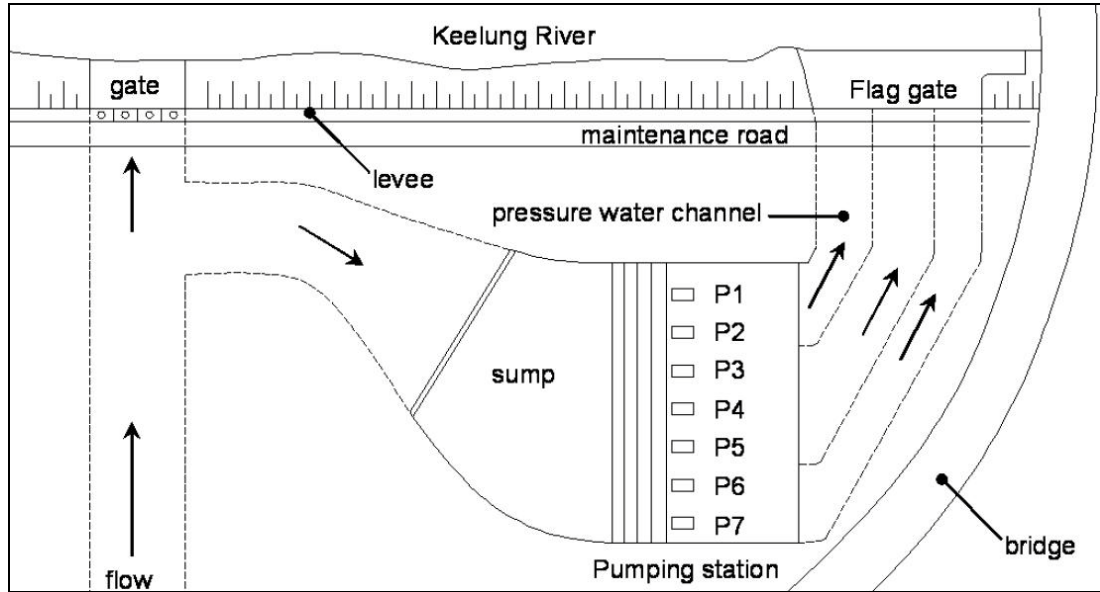


圖7 抽水機組配置圖



圖8 抽水機組配置現況

5.3.2 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。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。

5.3.2.1. 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。

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Surfer軟體將資料內插成 $16m \times 16m$ ，作為模式所需之資料，如圖9所示。

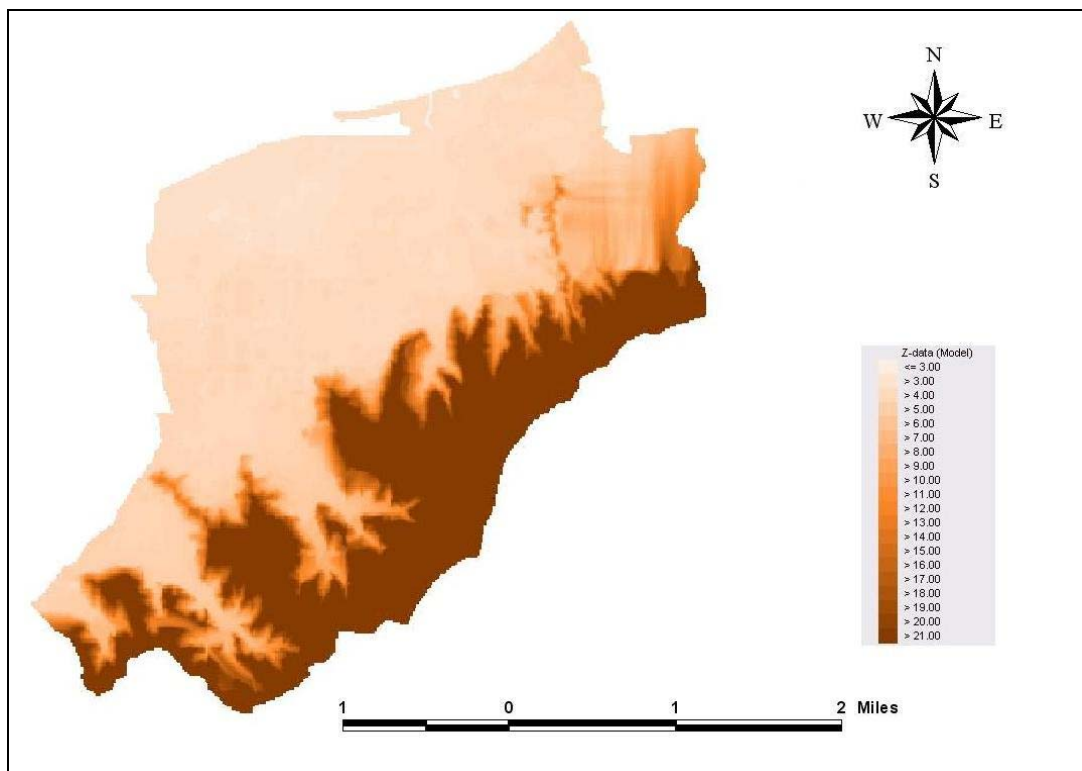


圖9 數值地表高程圖

5.3.2.2. 颱風事件之模擬

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10至圖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14所示，利用底床坡度等比換算為下游邊界水位。

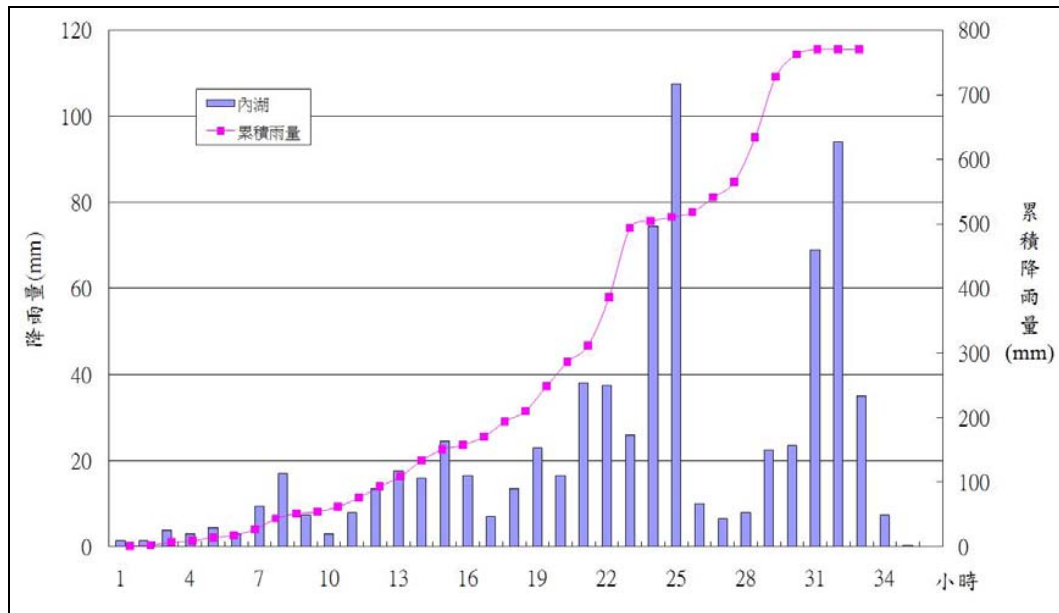


圖10 內湖雨量站36小時降雨組體圖

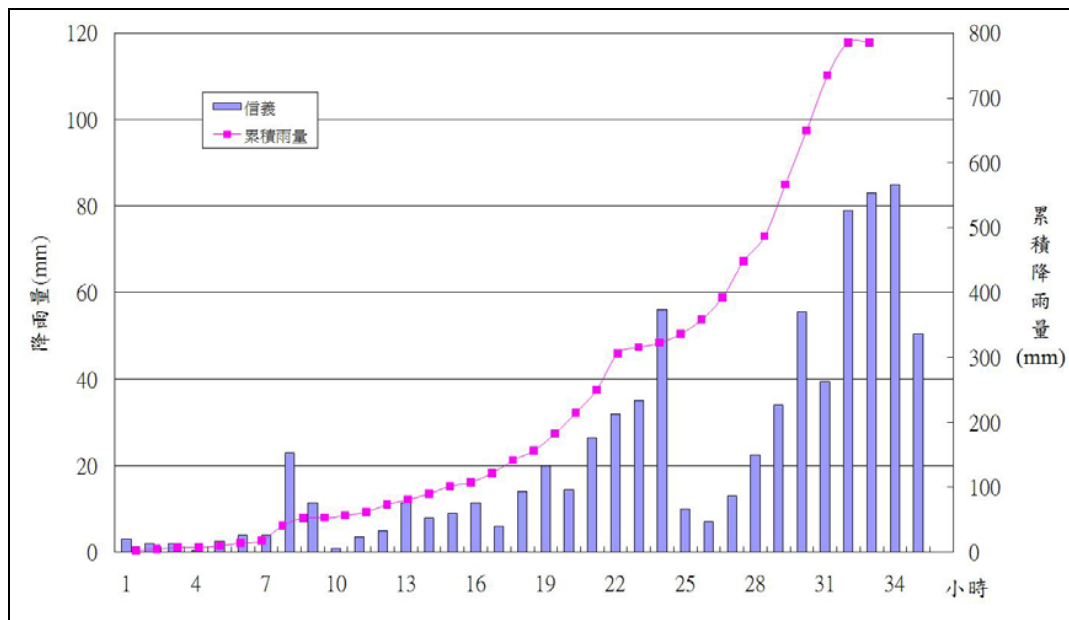


圖11 信義雨量站36小時降雨組體圖

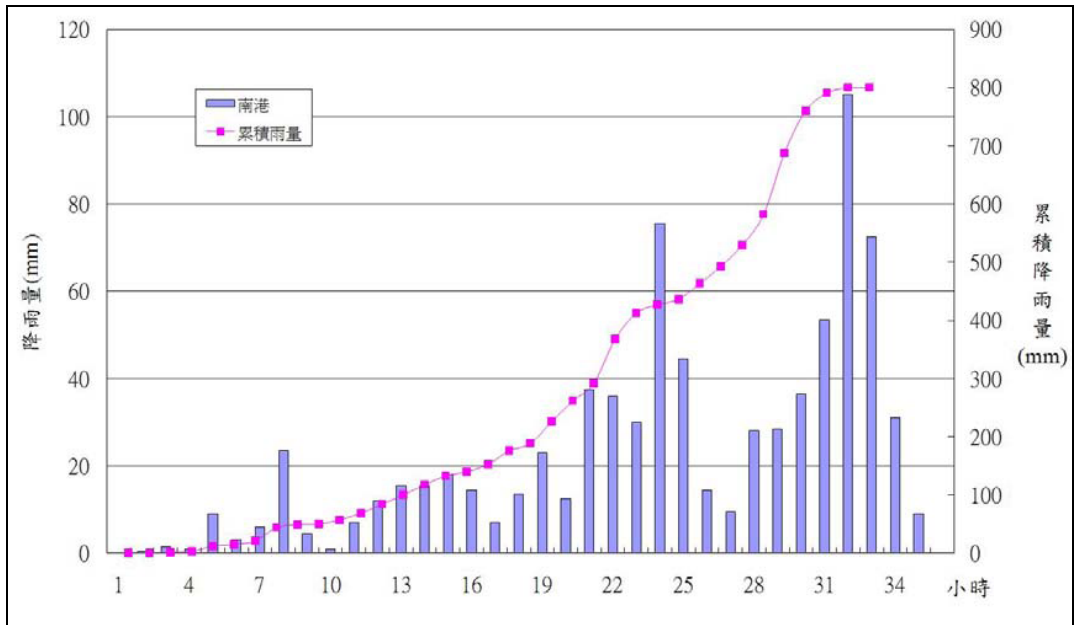


圖12 南港雨量站36小時降雨組體圖

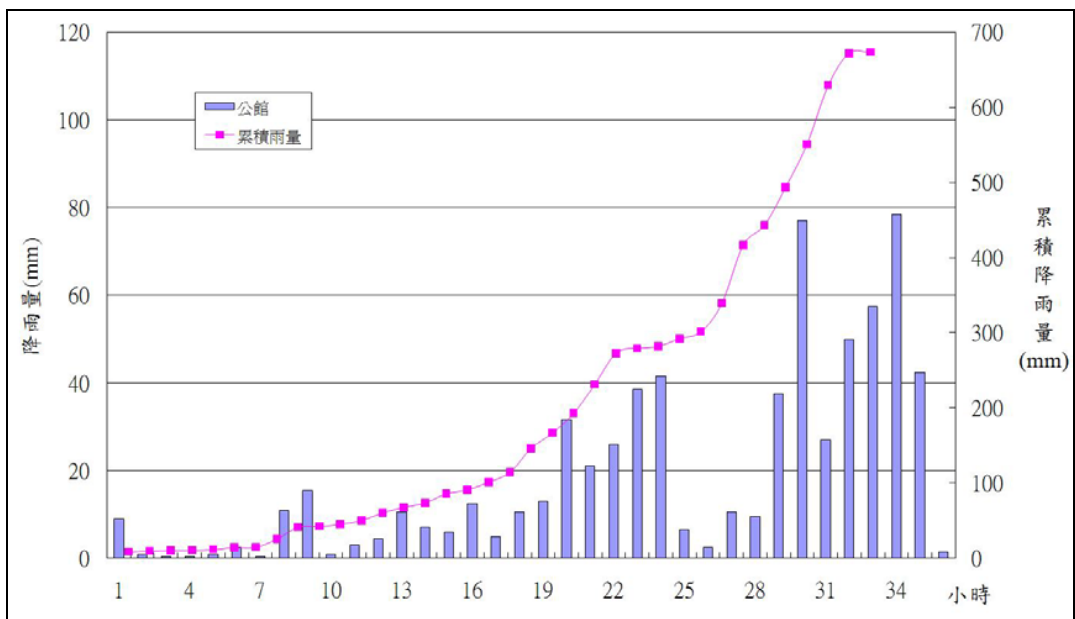


圖13 公館雨量站36小時降雨組體圖

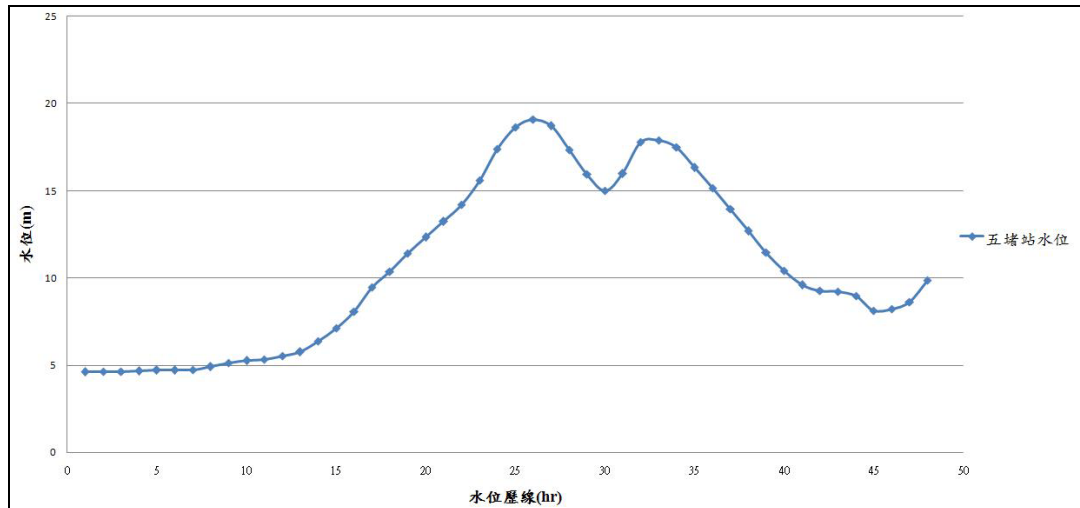


圖14 納莉颱風五堵站實測水位

5.3.2.3. 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3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，作為各種土地利用曼寧糙度分類之依據。則依據表3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）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、五組之間。

表3 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 (百幕達草) 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 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

5.3.2.4. SOBEK模式檢定結果分析

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之影響，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，繪製圖15為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。

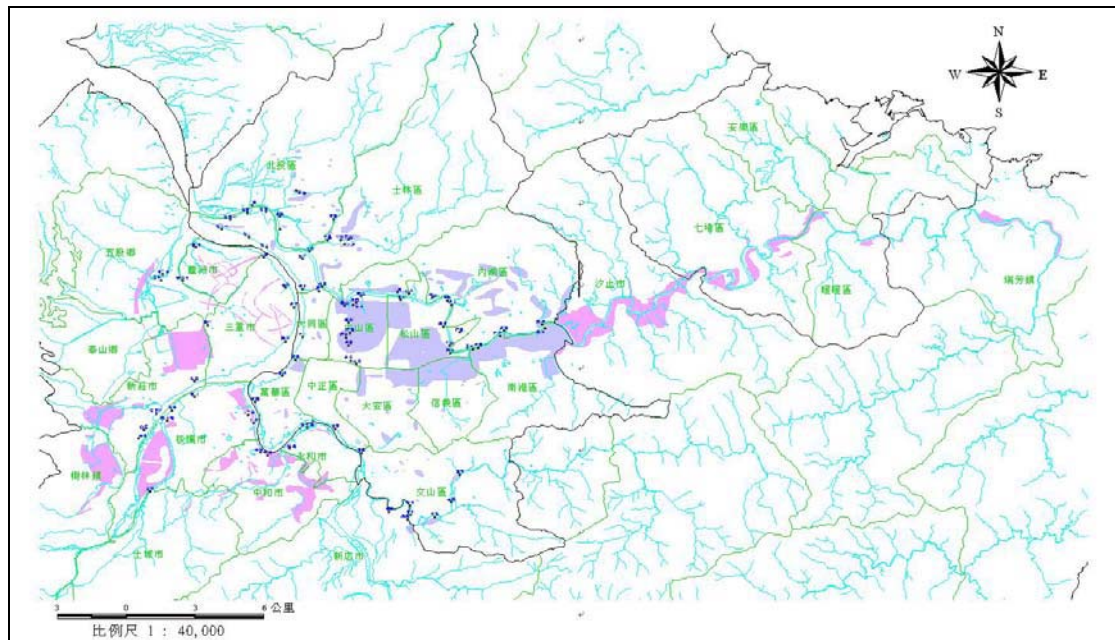


圖15 納莉颱風實際調查淹水範圍
(摘自納莉颱風災因分析及綜合檢討評估報告)

模擬之淹水面積比較表如表5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，如圖16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，亦即有較多的兩水量留在集水區中，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17至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，所得之淹水範圍、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，得到之淹水範圍、趨勢及週邊少數零星淹水情況，與實際調查淹水範圍相較則稍嫌偏多。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。

表5 不同曼寧參數之模擬淹水面積比較表 (面積單位: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

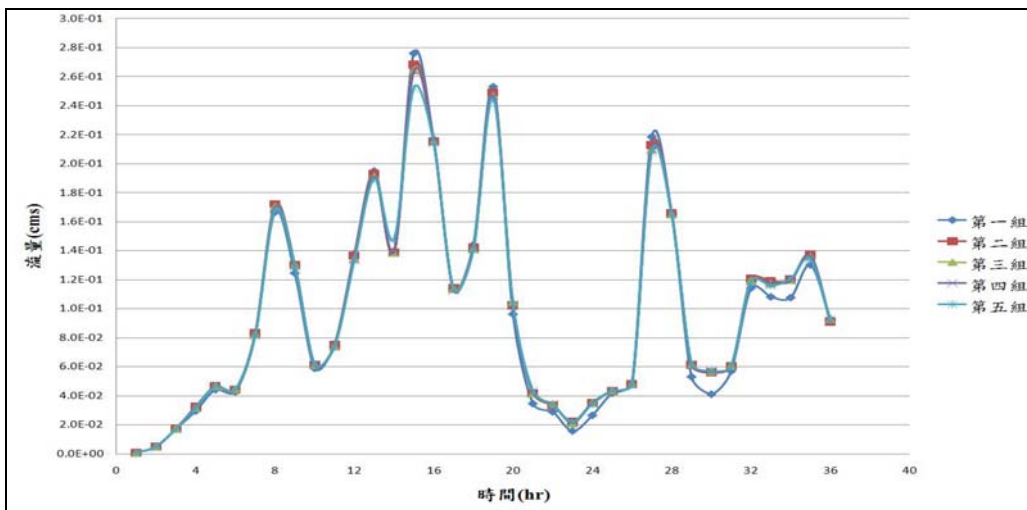


圖16 三張犁截流溝之出流歷線

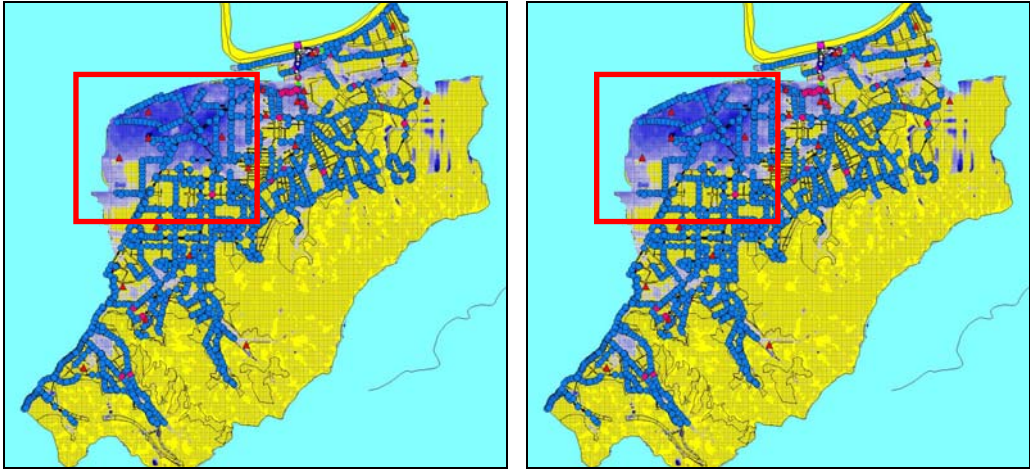


圖17 第一、二組模擬36小時最大淹水範圍

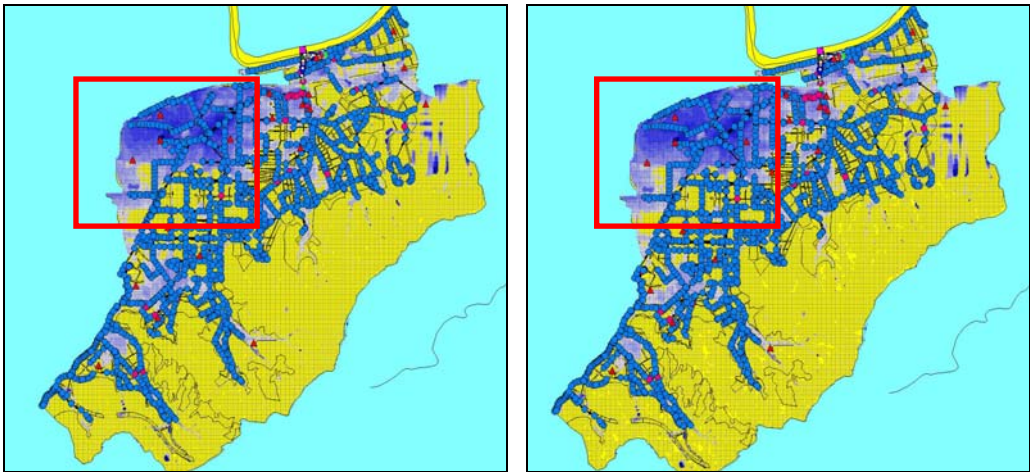


圖18 第三、四組模擬36小時最大淹水範圍

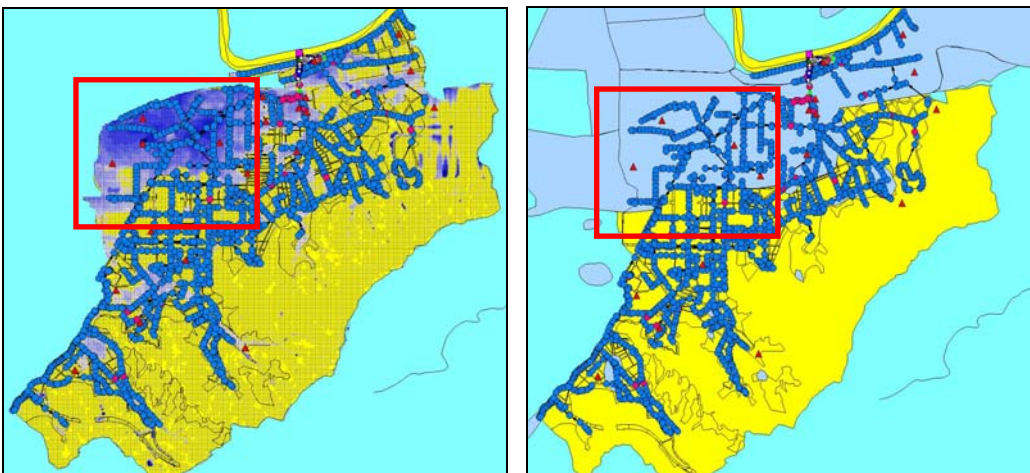


圖19 第五組模擬36小時最大淹水範圍、實際調查最大淹水範圍

5.4 後續研究採用模式之選取

經過模式之優缺點比較以及功能限制條件作為初步評估之後，決定選用功能完整性佳，且操作介面簡明易上手之SOBEK模式，進行案例測試以及參數敏感度分析，進一步評估模式作為後續研究模擬之可行性。

此外在數值穩定性上，SOBEK模式採用動力波方程式求解二維漫地流流況，不會發生數值發散導致模擬中斷之情形。而關於模擬時間方面，依照本次玉成排水區案例模擬經驗，進行格網尺度16m×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。

綜合上述優缺點比較、模式功能限制分析、數值穩定性與使用介面親和度等各項評比，同時亦考量與其他各子計畫研究成果之可整合性，最終決定採用SOBEK模式作為後續應用研究之模式。

六、結論與建議

6.1 結論：

1. 進行淹水模式等相關理論及模式之文獻蒐集，綜合評估其優缺點及使用限制條件，並參考文獻中所建議之糙度範圍，加以整合應用於模式的檢定與測試，進而選取出後續研究採用模式。
2. 以臺北市玉成抽水站鄰近之集水區範圍為例，配合 2001 年之納莉颱風事件，建立數值模型試驗案例，模擬都市淹水情形；透過此案例進行測試，可以瞭解模式與參數之影響程度，所得結果可供相關洪災模擬與避難規劃參考。

6.2 建議

1. 往後模擬可配合都市計畫，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，模擬淹水情境以供防災整備之參考。
2. 往後模擬可單就欲探討之局部區域格網，使用更高解析度之DTM進行淹水模擬，以增進淹水模擬結果之正確性及計算效率。

參考文獻：

1. Aknbi, A. A. & Katopodes, N. D., (1988) , “Model for flood propagation on initially dry land”, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 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. Cunge, J. A., Holly, F. M., and Verwey, A. (1980) “Practical Aspects of Computational River Hydraulics” Pitman Publishing Ltd., London.
4. 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.
5. 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, pp. 99-108.
6. Gustafsson, B., (1971) , “An alternating direction implicit method for solving the shallow water equations”, *Journal of the Computational Physics*, 7, 239-254.
7. 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.
8. Huber, W. C. and Dickinson, R. E., (1988) . “Storm Water Management Model. User's Manual Ver. ” IV, U.S. Environmental Protection Agency.
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. Hsu, M. H., Chen, S.H. and Chang, T.J., (2000) . “Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. *Journal of Hydrology*”, 234(1-2), 21-37.
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. Katopodes, N. D. and Strelkoff, T., (1978) . “Computing two dimension dam-break flow wave”, *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, 104(HY9).
13. Katopodes, N. D. and Strelkoff, T., (1979) . “Two-dimensional shallow water-wave models”, *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, 105(EM2), 317-434.
14. Preissmann, A., (1961) . “Propagation des intumescences dans les canaux etrivieres, 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. 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.
18. 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」。
19. 經濟部水利署 (2006), 「中南東區中央管河川警戒水位檢討及訂定(1/2)」。
20. 經濟部水利署 (2007), 「中南東區中央管河川警戒水位檢討及訂定(2/2)」。
21. 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。
22. 蔡長泰 (2000), 「洪水河床演變研究(三)」, 行政院國科會專題報告。
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. 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。
25. 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。
26. 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。
27. 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。
28. 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。
29. 陳志鴻 (2004), 「應用淹水模式評估都市區雨水下水道之效能」, 臺灣大學碩士論文。
30. 歐信宏 (2001), 「HEC-HMS 降雨-逕流模式應用之研究」, 國立成功大學碩士論文。
31. 陳俊安 (2005), 「應用 HEC-HMS 探討水文模式之參數特性」, 屏東科技大學碩士論文。
32. 陳宣宏 (2002), 「漫地流與雨水下水道水流之交互動態模擬」, 臺灣大學博士論文。
33. 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」, 國立海洋大學碩士論文。
34. 林澤松 (2005), 「梳子壩攔阻土石流效果之模擬研究」, 逢甲大學碩士論文。

35. 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。