

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 地理資訊系統整合之都市地區淹水模式(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-002-024-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：許銘熙

計畫參與人員：陳宣宏，陳志鴻

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 31 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫期中進度報告

## 與地理資訊系統整合之都會地區淹水模式(1/3)

### A GIS-Based Inundation Model for Urban Areas (1/3)

計畫編號：NSC 93 - 2211 - E - 002- 024  
執行期限：93年8月1日至94年7月31日  
計畫主持人：許銘熙 Ming-Hsi Hsu  
研究助理：陳宣宏 Albert S. Chen  
研究助理：陳志鴻 Ji-Hung Chen  
執行單位：國立台灣大學生物環境系統工程學系

#### 一、中文摘要

近年來，由於都會地區高度發展，建物林立，洪水期間地表逕流受建物限束影響，流況大幅改變。綜觀國內外現有之各種淹水模式，在地文條件輸入方面，通常僅使用地表高程資料，而未針對都會地區建物可能對於水流運動造成之影響加以考慮，因此採用傳統模式之淹水模擬結果，無法充份反映實際物理現象。

本研究擬以三年期程，運用地理資訊系統，整合都會地區地形、防洪排水設施、道路以及建物等空間資訊，建置適用於與地理資訊系統整合之都會地區淹水模式，以合理反映洪水於市區受到人為設施影響之傳播情形，使模擬結果更能接近實際水理現象。

同時，本研究將蒐集國內外相關研究與淹水模式，由模式理論基礎、數值方法、適用與限制條件、模式功能、使用操作界面及案例模擬等不同角度進行分析與模式比較，以提供未來後續淹水模式研發改進之參考。

為落實研究成果之應用，本研究亦將引進資訊專業技術，將研發完成之都會區淹水模式演算核心，配合使用者操作及展示界面之開發，製作完整的都會區淹水模擬及地理資訊軟體，提供水利相關專業人員進行研究及實務應用，並與國際研究學者專家進行合作交流。

**關鍵詞**：淹水模式，都會地區，地理資訊系統，建物，模式比較

#### Abstract

In the recent years, the urban areas in Taiwan are highly developed with many buildings, which constrain the surface runoff during floods and change the flow conditions. The existing domestic and foreign inundation models usually use the ground elevations as the only input of geographic data, without considering the effect, of buildings in urban areas, on the water movements. Consequently, the simulation results of the traditional models can not completely reflect the physical hydraulic phenomena.

The study will integrate the spatial information in urban areas, including the topography, flood-proof and drainage systems, roads and buildings, by using the Geographic Information Systems to establish a GIS-based inundation model for urban areas in three years. The proposed model takes the artificial facilities into account for better reflecting the flood propagation processes in urban areas.

The study will also collect the related researches and well-developed inundation models for model comparisons. The theory, numerical method, applicability, limit, functions, and operation interface of these models would be reviewed and compared. The comparison will provide as the reference for the model developing of the follow-up researches.

For practical applications, the information techniques will be introduced to improve the user operation and result

displaying interfaces for the developed numerical model. The integrated software package of the GIS-based inundation model for urban areas will be supplied to the professional users of water authorities for further researches and applications, and to international academic scholars and experts for cooperation and experience exchanges.

**Keywords** : inundation model, urban areas, Geographic Information Systems, buildings, model comparisons

## 二、前言

### 2.1 計畫背景

台灣地區由於積極發展工商業，經濟快速成長，而造成人口急速增加且過度集中於都會區。區域人口密度過高，不僅增加環境之負荷，一旦遭遇災害(天然的洪災、震災；人為的火災)，往往造成嚴重的人命傷亡與資產損失。又台灣地處亞熱帶地區，常受颱風及暴雨的侵襲，再加上全球氣候變遷之影響，降雨異常現象時有所聞，造成全台平均每年水災損失逾百億元，且災害損失有隨經濟發展及人口過度集中而增加的趨勢，如民國 90 年 9 月侵台之納莉颱風，其山區累積雨量即超過一千公厘，造成台北都會精華區嚴重積水，除癱瘓各防洪工程設施外，洪水更長趨直入建物地下室(如台北市政府大樓、信義計畫區內大型購物中心、南港中央研究院區等)及地下化的鐵路系統，使得捷運系統除木柵線及淡水線之高架段與平面段未受波及外，遭受通車以來最嚴重之損壞，其損失及善後動員規模可謂空前。

政府早期多以設置防洪工程來達到避洪減災的目的(民國 49 年起即著手辦理台北防洪工程)，然而工程設施均有其設計頻率，仍存在某種程度之洪氾風險。故除工程設施外，歐美日等先進國家早已推行防洪非工程措施(如洪氾區管制、洪災保險、洪水預報及淹水預警等)，成效亦相當顯著。政府早期亦針對特定河川發佈洪水水位預報(如淡水河洪水預報系統自民國 66 年 12 月啟用迄今)，近年來亦開始正視淹水預警之重要(如民國 90 年國科會推動全島各縣市淹水潛勢圖繪製)。近年來，由於都會地區高度發展，建物林立，洪水期間

地表逕流受建物限束影響，流況大幅改變。綜觀國內外現有之各種淹水模式，在地文條件輸入方面，通常僅使用地表高程資料，而未針對都會地區建物可能對於水流運動造成之影響加以考慮，因此採用傳統模式之淹水模擬結果，無法充份反映實際物理現象。

### 2.2 計畫目的

本研究主要目的在研發及建立一套適用於都會區之淹水模式，除具備處理都會區常見的水利設施(如抽水站、閘門、都市下水道排水系統、滯洪池及截流設施等)之基本功能外，並利用地理資訊系統(Geographic Information Systems, GIS)有效整合流域數值高程資料(Digital Elevation Model, DEM)與交通系統及大型建物等資訊，而進一步將道路阻隔效應、超大型建物阻水及蓄水效應之影響納入淹水模式中，期能更精準掌握都會區於淹水歷程中之水位變化。

### 2.3 計畫重要性

由於都會區人口過度集中，對土地需求殷切，對原本不宜或應有限度開發之邊際土地，早已被高度開發利用，而造成不可逆之現況，如此將導致都會區對洪災可能造成損失大幅提高的不利結果。以台中都會區為例，受社經蓬勃發展及人口過度集中之影響，都會區中高密度建物幾乎佈滿河川沿岸，導致洪泛時期洪水沿道路及建物間隙宣洩，而這種現象普遍發生在台灣各都會區中。故如何做好都會區洪災防治工作，實為當前水利工程所面臨之重要事項之一。

本研究期建構適用於都會區之淹水模式，考慮都會區內種種水利設施、交通系統、大型建物等之影響，對都會區之淹水歷程變化，將能更精準掌握，而此一重要資訊，將有助於決策單位進行災情分析研判及後續相關防救災工作，提昇應變作業效能，有效消滅人命財務之損失，使得整體防洪體系更臻健全。

## 三、研究方法及步驟

### 3.1 研究方法

本研究擬以三年的時間，依照淹水模

式之建立、案例模擬、介面開發等主要研究內容，逐步建置具備處理都會區建物阻水及蓄水效應影響之淹水模式，以更精準掌握都會區於淹水歷程中之水位變化。

國內過去對於都會區淹水模式相關之研究，已有良好之基礎，本研究將於此基礎上，持續開發改善模式，考慮都會區建築結構物於淹水期間，建物內部與外部道路間之銜接關係，採用適當理論建立淹水模式。

一般而言，傳統的淹水模式大多數並沒有考量研究區域內水流溢淹至建物內部的情況，僅是以輸入地表高程的方式進行淹水深度及淹水範圍的模擬。因此，本研究擬建立的淹水模式，將針對增加道路、建物對於淹水模擬過程中的影響，使模擬過程能更接近於實際水流狀況。換言之，當都會區的道路漫地流淹水深度未超過建物入口處的防洪保護門檻時，則假設漫地流受建物阻隔，建物內部將不受洪水影響，無積水情形發生。若道路漫地流淹水深度超過防洪保護門檻，則假設水流將經由建物入口處漫淹至建物內部，造成建物內部積水情形。故本研究將以防洪保護門檻作為建物邊界條件設定的判別指標，並依據此概念而建立可考量建物影響的淹水模式。

本研究第一年度首先在過去之研發基礎上進行強化，初步建立適用於都會區之市區排水淹水模式，並就模式理論基礎、適用與限制條件、數值方法、模式功能與使用操作界面及案例模擬等不同角度進行分析，與國外淹水模式進行比較，作為後續淹水模式開發改進之參考。

第二年度及第三年度將持續進行模式開發，以建立可考量建物影響的淹水模式，並採用案例進行模擬，選擇適當地區建立其模擬格網、水工構造物、水文及地文等輸入資料，進行模式的實地應用，除了進一步探討模式精度與執行效率外，亦能瞭解加入建物及邊界條件設定後對於淹水模擬過程的影響，並藉以修正改進模式功能，並應用地理資訊系統進行資料整合，制定輸出入資料格式及建構使用者操作界面，以便於各項資料輸入及模擬結果

展示。同時，擬引進資訊專業技術，將研發完成之都會區淹水模式演算核心，配合使用者操作及展示界面之開發，製作完整的都會區淹水模擬及地理資訊軟體，期望能簡化模式操作流程及增強人性化操作，進而推廣淹水模式的應用，提供水利相關專業人員進行研究及實務應用。

### 3.2 研究進度

本研究各年度之預定進度詳述如下：

1. 第一年度(民國 93 年 8 月~94 年 7 月):
  - (1) 蒐集國內外實務上應用之淹水模式。
  - (2) 深入分析各淹水模式所採用之理論基礎及模式架構，探討模式之限制條件及適用範圍。
  - (3) 淹水模式案例模擬與比較。
2. 第二年度(民國 94 年 8 月~95 年 7 月):
  - (1) 建立 GIS 資料整合方式及流程。
  - (2) 都會區淹水模擬地理資訊模式開發。
  - (3) 蒐集實際區域的地文及水文資料，建置模式的輸入檔及網格。
  - (4) 配合實際區域修改初步建立可考量建物及非限制邊界之淹水模式。
3. 第三年度(民國 95 年 8 月~96 年 7 月):
  - (1) 配合實際區域之歷史颱風事件，進行各淹水模式之模擬及比較。
  - (2) 綜合及比較各模式實例應用之模擬成果。
  - (3) 建立使用者界面。

## 四、研究方法

### 4.1 文獻回顧

長久以來，對於渠道洪水及沿岸淹水情形之評估，一直都是水利工程師及管理人員的主要任務，然而，往往由於觀測資料不足，導致不易掌握淹水範圍以擬定改善對策。因此，通常必須使用某些預測模式進行淹水模擬。

早期，由於地形資料較為缺乏，資料處理的軟硬體設備能力亦有限，通常使用較為簡化之均勻流方程式 (Uniform flow formulae) 配合瀘蓄核胞 (Storage cell) 及堰流公式(Weir-type equation)，以模擬渠道及洪水平原之流況 [Priestnall et al., 2000; Cunge et al., 1976; Romanowicz et al.,

1996; Estrela, 1994; Bechteler et al., 1994 ]，此類方法通常使用大型之不規則三角格網 (Triangular Irregular Network, TIN) 建立模式所需輸入之地形資料。

近年來，隨著科技日新月異，電腦計算能力快速成長，各種測量及影像判識技術亦持續提昇，包括地形、河川斷面、土地利用等資料精度不斷增加，隨著空間資料量大幅成長，可進行大量空間資訊處理之地理資訊系統應運而生，因而，高精度之淹水模式開發亦成為趨勢。部份採用較高精度均勻網格地形資料提供較佳之模擬結果 [Bates and De Roo, 2000]，部份研究則提昇模式理論並改善數值方法，如採用完整之一維 [Fread, 1984; Ervine and MacCleod, 1999] 或二維 [Feldaus et al., 1992; Bates et al., 1992; Bates et al., 1995] 迪聖凡南方程式 (de Saint Venant Equation) 模擬渠道與洪水平原之流況。針對都會地區具有兩水下水道、滯洪池、抽水站等複雜水理情況，過去在國科會之協助下，國內亦已建立一套完整之市區排水淹水模式 [Hsu et al., 2000; Hsu et al., 2002]。上述部份模式已整合資訊專業人員，開發完善之軟體界面，提供使用者便捷之操作環境以便應用推廣。茲就目前國際上相關模式分類後概述如下：

#### 1. 一維渠道演算模式

##### (1) HEC-RAS 模式

HEC-RAS 一維河系分析模式為美國陸軍工兵團 (U.S. Army Corps of Engineers) [1994] 所發展，可直接使用在各類一維河道定量流與變量流水理計算，主要針對亞臨界流況，考慮一般河道由主河槽與洪水平原所構成，按 Fread [1976] 及 Smith [1978] 之假設，忽略主河槽與洪水平原間之動量交換，以隱式法求解完整之一維渠道動力波方程式，使用 Barkau [1992] 之求解程式進行計算。

##### (2) MIKE 11 模式

MIKE 11 為丹麥 DHI Software 公司所發展，提供使用者根據應用之需求，使用完整的動力方程式、擴散波方程式或運動波方程式求解一

維河口三角洲、河川、灌溉系統及其他內陸水道之水文、水理情形，採用之數值方法為隱式有限差分法 [Abbott and Basco, 1989]。

#### 2. 二維渠道模式

##### (1) FESWMS-2DH 模式

FESWMS-2DH 模式為美國運輸部公路局所發展之「水面有限元素法模式系統」[Froehlich, 2002]，依據葛利金 (Galerkin) 有限元素法理論將二維水深平均模式對整個求解區域離散，並配合 Newton-Raphson 法疊代求解河川中之水位及流速 [King and Norton, 1978; Lee and Froehlich, 1986]。

##### (2) RMA2 模式

RMA2 模式為美國陸軍工程研究發展中心 (U.S. Army, Engineering Research and Development Center) 所發展之河川二維水理演算數值模式，考慮河川之水流流動受河川幾何、上游流量及河口潮位情況而變化，假設其複雜流況可依據水深平均理論予以描述，並藉由葛利金有限元素法進行數值方法求解 [U.S. Army, Engineering Research and Development Center, 2001; Bernard and Schneider, 1992]。

##### (3) MIKE 21 模式

MIKE 21 模式亦為丹麥 DHI Software 公司所發展，使用完整之二維動力波方程式與交替方向隱式法 (Alternating Direction Implicit, ADI) 求解二維河川、河口三角洲及沿海水流水位及流量之變化 [Abbott et al., 1981]，同時，MIKE 21 模式提供多種網格模擬功能，協助使用者於重點研究區域可採用較高精度網格進行模擬，以充份掌握局部區域流況之變化情形。

#### 3. 二維漫地流模式

##### (1) LISFLOOD 模式

LISFLOOD 模式為歐盟執行委員會 (European Commission) 為解決近年來歐洲經常發生大型洪水災害，因此由旗下之聯合研究中心 (Joint Research Centre) 進行研

究，結合地理資訊系統及 PCRaster 動態模式語言 (Dynamic Modelling Language) 所發展之淹水模式 [De Roo et al., 1999]，分別使用一維運動波及二維擴散波模式，以顯式差分法求解渠道及洪水平原流況。

#### (2) FLO-2D 模式

FLO-2D 模式為美國科羅拉多大學於 1988 年針對該州進行 FEMA 都會區洪災保險的研究而發展 [O'Brien et al., 1988]，其採用一維變量流模式及二維漫地流模式，分別同步模擬一維渠道及二維漫地流之流況，並計算發生溢堤時，堤外渠道與堤內地表間水流互動機制。FLO-2D 可以利用運動波、擴散波或是動力波的方式考慮水流在不同形式断面之渠道（包含自然断面、矩型断面或梯型断面）或是二維地表漫地流之流動情況。其中，一維渠流演算使用四點隱式法進行數值求解 [Preissmann, 1961]，二維漫地流演算則採用顯式法進行數值求解 [Hormadka and Yen, 1987]。

#### (3) UnTRIM 模式

UnTRIM 模式由義大利 Trento 大學發展 [Casulli, 1990; Cheng et al., 1993; Casulli and Zanolli, 1998]，可用於模擬二維漫地流淹水情形，採用半隱式有限差分法求解動量方程式，以有限體積法求解自由水面連續方程式，並滿足質量守恆原理，並聯立動量方程式及連續方程式，以聯合矩陣求解全流場之水面高程，UnTRIM 模式使用非結構化網格 [Casulli and Walters, 2000]，故能保持半隱式有限差分法之數值特性，非結構化網格可在局部地區細分網格以達到模擬需求，但運算時間會隨網格數量而增加。

#### (4) SOBEK 模式

SOBEK 模式為經濟部水利署與荷蘭 WL|Delft Hydraulic 公司所共同合作研發，模式初期以一維渠道演算為基礎 [WL|Delft Hydraulic, 2001, 2002]，採用顯式有限差分法

求解迪聖凡南方程式，目前模式已擴展至可進行二維地表漫地流之淹水模擬，二維漫地流演算亦採用完整之二維動力波方程式為基礎，採用顯式有限差分法求解迪聖凡南方程式。

#### (5) 市區排水淹水模式

市區排水淹水模式為國內在國科會之協助下，累積多年實務應用經驗所開發完成之數值水理模式，可考慮河川渠道、地表漫地流及雨水下水道等多種不同流況，以進行演算及整合，適當反映模擬地區之地文及水文特性。

河川洪流演算係以一維變量流之動力波傳遞理論為依據，即利用迪聖凡南氏所導出之緩變量流方程式來描述河川水流之動態，並使用非線性四點隱式差分法求解各時段之水深與流量 [Preissmann, 1961]。二維地表漫地流況用零慣性模式予以描述，採用交替方向顯式差分法 (Alternating direction explicit method, ADE) 求解 [Hsu et al., 2000]。下水道部份引用美國環境保護署 (U.S. EPA) 所發展之暴雨經理模式 (Storm Water Management Model, SWMM) [Huber et al., 1988] 的地表逕流 (RUNOFF) 及幹線輸水 (EXTRAN) [Roesner et al., 1988] 模組進行模式演算。

### 五、淹水模式理論

本研究第一年度首先在過去之研發基礎上進行強化，初步建立適用於都會區之市區排水淹水模式，並就模式理論基礎、適用與限制條件、數值方法、模式功能與使用操作界面及案例模擬等不同角度進行分析，與國外之 SOBEK 淹水模式進行比較，作為後續淹水模式開發改進之參考。

市區排水淹水模式為國內自行研發完成之數值水理模式，可考慮山區逕流、河川渠道、地表漫地流及雨水下水道等多種不同流況，以進行演算及整合，可適當反應模擬地區之地文及水文特性，該模式累積多年研發經驗，已成功應用於國內不同

案例之淹水潛勢模擬，包括全台各縣市淹水潛勢分析 [許, 1999a, 1999b]，台北市都會區淹水境況模擬及避難措施之研究 [陳等, 2000; 張, 2001; 張等, 2001]，基隆河流域颱風災害淹水境況分析 [張, 2002]，與台灣高鐵路車站之防洪設計 [許, 1998; 許等, 2000]，具有實務應用之經驗，豐碩的研究成果並獲得國際學術期刊發表 [Hsu et al., 2000, 2002; Chang et al., 2000]。本研究於過去之研究基礎上，持續改進模式功能並提昇模式效率，初步建立適用於都會區之市區排水淹水模式。

SOBEK 模式為經濟部水利署與荷蘭 WL|Delft Hydraulic 公司所共同合作研發，模式初期以一維渠道演算為基礎 [WL|Delft Hydraulic, 2001, 2002]，採用顯式有限差分模式求解迪聖凡南方程式 (de Saint Venant Equation)，目前模式已擴展至可進行二維地表漫地流之淹水模擬。二種模式進行水理演算之理論基礎簡述如下：

### 5.1 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 [顏等, 1986]。

河川之洪流演算，依據 de St. Venant 所推導的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，其控制方程式依次為：

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

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

式中， $Q$ ：流量 [m<sup>3</sup>/s]；

$g$ ：重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]；

$t$ ：時間座標 [s]；

$x$ ：沿流動方向之空間座標 [m]；

$h$ ：水位 [m]；

$R$ ：水力半徑 [m]；

$q_{lat}$ ：渠道之側入流量 [m<sup>3</sup>/s]；

$A_f$ ：濕周面積 [m<sup>2</sup>]；

$C$ ：Chezy 係數；

$W_f$ ：河流寬度 [m]；

$\tau_{wi}$ ：風剪力 [N/m<sup>2</sup>]；

$\rho_w$ ：水密度 [kg/m<sup>3</sup>]。

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，此項在市區排水淹水模式中是予以忽略的。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 4-3 節中水工結構物演算獲得。市區排水淹水模式中，除一維渠道演算，同時亦將下水道系統納入模式考量，採用美國環境保護署 (U.S. EPA) 所發展之暴雨經理模式 (Strom Water Management Model, SWMM) [Huber, 1988] 的地表逕流 (RUNOFF) 及幹線輸水 (EXTRAN) [Roesner, 1988] 模組進行模式演算，其中，幹線輸水即採用一維緩變量流方程式來描述下水道管線水流之流動。而 SOBEK 模式於進行下水道流況模擬部份，亦係根據一維緩變量流方程式進行水理演算。

### 5.2 二維漫地流模式

市區排水淹水模式及 SOBEK 模式在進行二維漫地流演算時，均採用二維動力波方程式為基礎，如下所示，其中式 (3) 為連續方程式，式 (4)、式 (5) 分別為沿  $x, y$  方向之動量方程式。

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

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

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

式中， $x, y$ ：模擬地模擬區標示之迪卡兒空間座標 [m]；

$t$ ：時間座標 [s]；

$u, v$ ：分別為沿  $x, y$  方向之平均流速 [m/s]；

$d$ ：模擬區地表水深 [m]；

$g$ ：重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]；

$h$ ：地表水位  $h = d + z$  [m]；

$C$ ：Chezy 係數；

$a$ ：邊牆摩擦係數；

$V$ ： $\sqrt{u^2 + v^2}$ ，流速 [m/s]。

SOBEK 模式執行二維漫地流演算採用完整之動力波方程式。而市區排水淹水模式則假設一般對於水深不大之漫地流情況，變量流方程式中加速項之數量級 (order of magnitude) 通常遠小於重力項或摩擦項之數量級。並假設河道中洪水歷線上升平緩，且略去科氏力、風力及加速項後，簡化成地表漫地流之二維零慣性模式。

### 5.3 水工結構物

市區排水淹水模式及 SOBEK 模式於處理各種附屬水工結構物時，採用之流量計算方程式亦相當接近，茲針對不同結構物分述如下：

#### 1. 孔口

當孔口上游水位  $h_1$  高於孔口中心線，且孔口下游外水位  $h_2$  低於孔口中心線，下游水位未對出流造成影響時，孔口出流量可表示如下 [Yen and Akan, 1999]：

$$Q_{odo} = \mu_o A_o \sqrt{2g} (h_1 - h_o)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

若孔口下游水位  $h_2$  高於孔口中心線，則出流量決定於孔口兩端之水頭差 [Yen and Akan, 1999]：

$$Q_{odo} = \mu_o A_o \sqrt{2g} (h_1 - h_2)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

式中， $\mu_o$ ：孔口流量係數，採用 0.61；

$A_o$ ：通水面積 [m<sup>2</sup>]；

$h_o$ ：孔口中心線高程 [m]；

$h_1$ ：孔口上游水位 [m]；

$h_2$ ：孔口下游水位 [m]；

$g$ ：重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]。

若  $h_1$  低至孔口中心線高程  $h_o$  以下時，則孔口流量為零。

#### 2. 堰

假設堰上游水位  $h_d$  和堰下游水位  $h_{wd}$  高出堰頂高程  $h_w$  之值，分別為  $h_1$  與  $h_2$ ，即：

$$\begin{aligned} h_1 &= h_d - h_w, & h_1 &\geq 0 \\ h_2 &= h_{wd} - h_w, & h_2 &\geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

式中， $h_w$ ：堰頂高程 [m]；

$h_d$ ：堰上游水位 [m]；

$h_{wd}$ ：堰下游水位 [m]。

則流過堰頂之水流可根據水位關係，依自由堰流或潛沒堰流公式計算 [Cunge et al., 1980; Kandaswamy and Rouse, 1957; 顏等, 2001]：

$$Q_{owd} = \begin{cases} \mu_f w_w \sqrt{2g} (h_1 - h_2)^{\frac{3}{2}} & , \text{for } h_2 < \frac{2}{3} h_1 \\ \mu_s w_w h_1 \sqrt{2g} (h_1 - h_2) & , \text{for } h_2 \geq \frac{2}{3} h_1 \end{cases} \quad (9)$$

式中， $\mu_f$ ：自由堰流量係數，0.36 ~ 0.57；

$\mu_s$ ：潛沒堰流量係數，

$$\mu_s = 2.598 \mu_f ;$$

$w_w$ ：堰寬 [m]。

#### 3. 涵洞

涵洞流量可根據涵洞上下游水位表示如下：

$$Q = \mu_c A_c \sqrt{2g} (h_1 - h_2) \quad (10)$$

式中， $\mu_c$ ：流量係數，採用 0.61；

$A_c$ ：通水斷面積 [m<sup>2</sup>]；

$h_1$ ：涵洞上游水位 [m]；

$h_2$  : 涵洞下游水位 [m]。

#### 4. 抽水機

##### (1) 市區排水淹水模式

若考慮抽水站內設有多部抽水機，其總抽水量可以表示為：

$$Q_{odp} = \sum_{p=1}^{np} Q_p \quad (11)$$

式中， $np$  : 抽水站內抽水機總數；

$Q_p$  : 第  $P$  部抽水機之抽水量 [ $m^3/s$ ]。

對單一抽水機而言，當前池水位  $h_d$  低於抽水機之起抽水位  $h_{s,p}$  時，抽水機不必運作，故流量  $Q_p$  為零。當前池水位  $h_d$  超過抽水機之起抽水位  $h_{s,p}$  後，且水位介於停抽水水位  $h_{e,p}$  與最大可抽水水位  $h_{f,p}$  之間，並假設抽水機下游水位不影響抽水機之操作效率，則抽水機以設計抽水量進行排水：

$$Q_p = Q_{d,p} \quad \text{for } h_{f,p} > h_d > h_{e,p} \quad (12)$$

式中， $Q_{d,p}$  : 第  $p$  部抽水機之設計抽水量 [ $m^3/s$ ]；

$h_{e,p}$  : 第  $p$  部抽水機之停抽水水位 [m]；

$h_{f,p}$  : 第  $p$  部抽水機之最大可抽水水位 [m]。

當前池水位  $h_d$  降至抽水機之停抽水水位  $h_{e,p}$  以下時，則抽水機停止運作，流量  $Q_p$  再度為零。若滯洪池水位持續升高而超過抽水機之最大可抽水水位  $h_{f,p}$  時，則該抽水機視為被水淹沒而失去功能，此時抽水機之設計抽水量  $Q_{d,p}$  將重新設定為零，亦即縱使後來之水位再度降低至  $h_{e,p}$  以下，抽水站仍不具排水功能。

##### (2) SOBEK 模式

抽水機之啟動乃是決定於結構物兩側之水位，而決定是否抽水。SOBEK 中可對抽水機設定各種不同之起抽水位，抽水容量，與各種隨時間變化之操作策略。

#### 5. 閘門(市區排水淹水模式)

市區排水淹水模式中可針對水工結構物中，常見之閘門情形加以考慮，在比較二維漫地流格網水位、一維河川斷面水位、閘門底高程以及閘門頂高程間的相互關係後，將通過閘門流量的計算分為下列情況來考慮：

- (1) 當匯流處之二維漫地流格網水位與一維河川斷面水位均低於閘門底高程時，則匯流處之二維漫地流格網流至一維河川斷面水位之流量等於零。
- (2) 當匯流處之二維漫地流格網水位介於閘門底高程與閘門頂高程間，則根據匯流處之二維漫地流格網水位與一維河川斷面水位關係，以上述之自由堰或潛沒堰流方式計算通過閘門之流量 [Cunge et al., 1980; Kandaswamy and Rouse, 1957]。
- (3) 當匯流處之二維漫地流格網水位高於閘門頂高程，則根據匯流處之二維漫地流格網水位與一維河川斷面水位關係，以上述之孔口流方式計算通過閘門之流量 [Cunge et al., 1980; Kandaswamy and Rouse, 1957]。

此外，模式並考慮排水自動閘門情形，當外水位高於內水位時，可設定閘門自動關閉，亦即通過閘門之流量為零，避免一維河川洪水高漲時經由閘門倒灌入二維地表內造成淹水之情形。

#### 6. 滯洪池(市區排水淹水模式)

市區排水淹水模式中並考量並滯洪池之設置，滯洪池之演算係以水文方程式 (hydrologic equation) 為依據，忽略蒸發量，同時假設池底為不透水構造且無入滲損失之情況下，其進出流量與蓄水量之關係如下 [Yen and Akan,

1999]：

$$\frac{dS}{dt} = Q_{id} - Q_{od} \quad (13)$$

式中， $S$ ：滯洪池蓄水量 [m<sup>3</sup>]；  
 $t$ ：時間 [s]；  
 $Q_{id}$ ：滯洪池入流量 [m<sup>3</sup>/s]；  
 $Q_{od}$ ：滯洪池出流量 [m<sup>3</sup>/s]。

滯洪池入流的來源有兩部分，即雨水下水道管線出口排入滯洪池之流量  $Q_{ids}$  及漫地流之入流量  $Q_{ido}$ ：

$$Q_{id} = Q_{ids} + Q_{ido} \quad (14)$$

式中， $Q_{ids}$ ：下水道入流量 [m<sup>3</sup>/s]；  
 $Q_{ido}$ ：漫地流入流量 [m<sup>3</sup>/s]。

其中，下水道入流量可由 SWMM 模式計算管線末端流入滯洪池之流量，漫地流入流量則假設漫地流與滯洪池相鄰邊界長度  $L$ ，則漫地流進入滯洪池之流量  $Q_{ido}$  可表示如下：

$$Q_{ido} = \int_0^L q_{ido} dl \quad (15)$$

式中， $q_{ido}$ ：漫地流與滯洪池相鄰邊界之單位寬度進出流量 [m<sup>2</sup>/s]；  
 $L$ ：漫地流與滯洪池相鄰邊界長度 [m]。

$q_{ido}$  根據滯洪池內水位與漫地流水位間之關係決定，當滯洪池內水位  $h_d$  與其相鄰邊界之漫地流水位  $h$  相差較大，在邊界上將產生臨界流況， $q_{ido}$  可以自由堰流公式計算如下 [Cunge et al., 1980; Kandaswamy and Rouse, 1957; 顏等, 2001]：

$$q_{ido} = \begin{cases} \mu_f \sqrt{2g} \cdot (h-z)^{\frac{3}{2}} & \text{for } (h_d - z) < \frac{2}{3}(h-z) \\ -\mu_s \sqrt{2g} \cdot (h_d - z)^{\frac{3}{2}} & \text{for } (h-z) < \frac{2}{3}(h_d - z) \end{cases} \quad (16)$$

式中， $\mu_f$ ：自由堰流量係數，0.36 ~ 0.57；  
 $h_d$ ：滯洪池內水位 [m]；

$h$ ：滯洪池相鄰邊界之漫池流水位 [m]；  
 $z$ ：滯洪池相鄰邊界之地表高程 [m]。

當滯洪池內水位  $h_d$  與其相鄰邊界之漫地流水位  $h$  相差不大時，可由水位差及潛沒堰流公式決定進出滯洪池之流量  $q_{ido}$  [Cunge et al., 1980; Kandaswamy and Rouse, 1957; 顏等, 2001]：

$$q_{ido} = \begin{cases} \mu_s \sqrt{2g} (h_d - z)(h - h_d)^{\frac{3}{2}} & \text{for } (h-z) \geq \frac{2}{3}(h_d - z) \\ -\mu_f \sqrt{2g} (h-z)(h_d - h)^{\frac{3}{2}} & \text{for } (h_d - z) \geq \frac{2}{3}(h-z) \end{cases} \quad (17)$$

式中， $\mu_s$ ：潛沒堰流量係數，  
 $\mu_s = 2.598\mu_f$ ；  
 $\mu_f$ ：自由堰流量係數，0.36 ~ 0.57；  
 $h_d$ ：滯洪池內水位 [m]；  
 $h$ ：滯洪池相鄰邊界之漫池流水位 [m]；  
 $z$ ：滯洪池相鄰邊界之地表高程 [m]。

式 (16) 及式 (17) 中， $q_{ido} > 0$  表示水流由地表流進滯洪池內， $q_{ido} < 0$  則表示水流由滯洪池內流到地表。將式 (16) 或式 (17) 計算所得之  $q_{ido}$  代入 (15) 式，積分可得到進出滯洪池邊界流量  $Q_{ido}$  做為滯洪池演算之入流條件，同時亦可由  $q_{ido}$  求得二維漫地流與滯洪池相鄰處之水深  $d$  及流速  $u$ 、 $v$ ，代入式 (3) 至式 (5) 中，提供為二維漫地流模式演算之邊界條件。

滯洪池出流設施之型式，包括孔口、堰流及抽水機動力排水等多種型式，其流量可由前述方程式分別求解後，代入下式中得到總出流量，做為一維河川渠流演算之側入流條件。

$$Q_{od} = Q_{odo} + Q_{odp} + Q_{odv} \quad (18)$$

式中， $Q_{od}$ ：滯洪池的總出流量 [m<sup>3</sup>/s]；

$Q_{odo}$  : 由孔口所排出之流量  
[m<sup>3</sup>/s];

$Q_{odp}$  : 由抽水站所排出之流量  
[m<sup>3</sup>/s];

$Q_{odw}$  : 由堰所排出之流量  
[m<sup>3</sup>/s]。

## 7. 橋樑(SOBEK 模式)

SOBEK 模式中視橋樑為一標準之  
水工結構物，以下式估算水流通過橋樑  
之流量：

$$Q = \mu A_f \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (19)$$

式  
中，  $Q$  : 流量 [m<sup>3</sup>/s];

$\mu$  : 流量係數，依橋樑型式  
而定；

$A_f$  : 通水斷面積 [m<sup>2</sup>];

$g$  : 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>];

$h_1$  : 上游水位 [m];

$h_2$  : 下游水位 [m]。

## 8. 虹吸工(SOBEK 模式)

虹吸工亦可分為自由虹吸工及潛  
沒虹吸工兩種流況，流量分別以式 (20)  
及式 (21) 估算：

(1) 自由虹吸工 ( $h_2 \geq z_{c_2}$ )

$$Q = \mu A_f \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (20)$$

(2) 潛沒虹吸工 ( $h_2 < z_{c_2}$ )

$$Q = \mu A_f \sqrt{2g(h_1 - z_{c_2})} \quad (21)$$

式  
中，  $z_{c_2}$  : 下游出口底高 [m];

$\mu$  : 流量係數；

$A_f$  : 通水斷面積 [m<sup>2</sup>];

$g$  : 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>];

$h_1$  : 上游水位 [m];

$h_2$  : 下游水位 [m]。

# 六、淹水模式比較

## 6.1 研究案例

台中市區東側為大坑山區，西側則為  
大肚山，圖 1 為研究區域數值地形高程、

行政區界及交通幹線分佈情形，由圖可  
知，研究區域內地勢低窪，屬盆地地形，  
由東北往西南緩降，南側緊臨大里溪及烏  
溪，山線縱貫鐵路貫穿市中心，中山高速  
公路則沿筏子溪通過台中市，另外近年政  
府積極建設多條重要聯外快速道路，構成  
四通八達的交通網絡，促成週邊區域人口  
快速往市區集中，區域高度發展。

由於台中市區已是高密度發展之都會  
地區，因此，本研究將以台中市區所在之  
大里流域為案例區域，進行淹水模式模  
擬與比較。目前台中市人口總數約為 100  
萬人，由圖 2 之土地利用情形可知，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，西屯區與南屯區間有工  
業區，面積較大的北屯區、西屯區與南屯  
區內則仍保留較多農業用地。

### 6.1.1 水系概況

圖 3 為研究區域主要水系分佈情形，  
包括旱溪、旱溪排水路、大里溪及筏子溪，  
均屬烏溪支流。烏溪自烏溪橋進入台中盆  
地後，失去山谷約束溪道分歧成瓣狀分  
流，與右岸支流大里溪及筏子溪，各溪道  
縱橫交錯，無明顯界限，在現有防洪設施  
設置前，每至汛期則洪流互相奔注，氾濫  
成災，災害頻繁。由於台中盆地開發甚早，  
迄今沿溪兩岸已建有完整之防洪工程，包  
括王田堤防、榮泉護岸、寶廓堤防、田中  
一號堤防及同安厝堤防等 [經濟部水利處  
水利規劃試驗所, 2000a]。

大里溪東起大橫屏山山麓，西以烏溪  
為界，南迄乾溪流域，北繞豐原市，為烏  
溪中游最重要支流，大坑溪、筏子溪、旱  
溪、頭汴坑溪、草湖溪及乾溪等小支流，  
均發源於大橫屏山淺山區，分別注入台中  
盆地，先後匯入大里溪後，西流至台中縣  
烏日鄉匯流入烏溪，流域面積約 400 平方  
公里。

大里河流域各河川，因山區地勢陡  
峻，雨水流出急且劇，進入平原後地勢轉  
緩，又承受平地逕流，而河幅寬窄不一，  
故溪水流速遲滯緩慢；在與烏溪會流處，  
因受其洪水位頂托，非但不能暢洩洪水，  
更常發生滯水作用，間接導致平地區域分  
歧亂流，難以自然形成主槽。近年來沿岸

已建築堤防，計有大突寮堤防、頂崙堤防、五福堤防、夏田堤防、光明堤防、東園堤防及烏日堤防 [台灣省水利局規劃總隊, 1989]。

早溪為大里溪支流之一，原中下游環繞台中市東南區，河幅寬狹不一，流路變遷不定，對台中市發展影響頗大。因此，台灣省水利局於民國 84 年 11 月完成於東門橋下游現有東門堤防附近開闢一條新河道長約 900 公尺，將早溪中上游洪水導入大里溪；原下游河段成為承納鄰近台中縣市之都市、農地排水及兼具水利會灌溉水源之功能，因而改屬區域排水，稱之為早溪排水路排水 [經濟部水利處水利規劃試驗所, 2000b]。

筏子溪為烏溪另一支流，位於台中盆地西側，發源於台中縣大雅鄉橫山圳排水，流經台中縣、市，於烏日鄉注入烏溪，屬平地河川，全長 21.25 公里，流域面積 132 平方公里。筏子溪因受烏溪洪水位頂托，洪水時兩岸常有氾濫之虞，因流經台中縣市都市計畫區，故兩岸近年來已築有堤防保護，計有新生堤防、春社堤防、劉厝堤防，中和堤防及厝仔堤防 [台灣省水利局規劃總隊, 1988, 1995]。

### 6.1.2 水位及降雨監測系統

根據統計，台灣中部地區之歷年平均年雨量約為 2,081 毫米 [經濟部水資源局, 2001]，每年五月至十月為豐水期，雨量幾佔全年雨量之 90%，主要集中在颱風或西南氣流引發之豪雨。如此不均勻之降雨分佈，亦造成本區河川之豐水期流量佔全年九成以上。故逢颱風侵襲豪雨集中，極易遭受洪災淹水之苦。圖 3 同時顯示研究區域附近水位站及自動雨量站分佈情形。在水位站部份，研究區域附近則有位於烏溪和筏子溪匯流點下游之大度橋站，筏子溪下游端之集泉橋與大里溪下游之溪南橋站，其中，目前僅有溪南橋站可由水利署網站查詢即時水位監測資訊。在雨量站方面，台中市區內有台中及大坑兩站，鄰近範圍則尚有彰化、大肚、橫山、水湳、中竹林及桐林等站，均已納入中央氣象局之自動雨量測報站網中，各雨量站基本資料如表 1 所示。

## 6.2 颱風事件模擬

本研究收集研究區域內桃芝颱風之實際降雨資料，與台中市政府所提供之颱風期間台中市區實際調查淹水範圍，進行市區排水淹水模式及 SOBEK 模式之驗證及比較。在進行全流域之淹水模擬時，分別以筏子溪分區、早溪排水路分區及大里溪分區進行模擬，其中大里溪主流堤防已構築完成，故以堤防為模擬邊界，並將下水道系統納入模式中進行模擬，模擬邊界如圖 4 所示。

桃芝颱風 (Toraji) 為民國 90 年編號第 8 號之颱風，颱風中心於 7 月 30 日 0 時 10 分左右在花蓮縣秀姑巒溪口登陸台灣，連續十餘小時的豪雨為台灣帶來慘重的生命財產及農業損失，根據農委會統計，全台有十個縣市淪為災區。

### 1. 桃芝颱風雨量、淹水災情調查結果及災因分析

圖 5 為桃芝颱風侵台期間 90 年 7 月 30 日 0 時起，台中水湳雨量站之 24 小時降雨組體圖，由圖上可看出降雨集中於第 11 到 14 小時，每小時雨量均超過 60 毫米，總計 4 小時內累積雨量為 279 毫米，約佔 24 小時總降雨量之 77%，尖峰降雨位於第 13 小時，小時雨量為 85.5 毫米。

本研究蒐集台中市政府提供之桃芝颱風淹水調查資料，並利用地理資訊系統完成空間定位後，繪製成圖 6 之實際調查淹水範圍。由淹水調查資料顯示，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，其中，筏子溪上游之港尾溪排水與林厝排水匯流處，有較大集之淹水範圍，其餘則多為零星淹水記錄。

### 2. 市區排水淹水模式模擬結果

圖 7 為市區排水淹水模式桃芝颱風事件之模擬結果，由圖上可看出由於台中市區已建置完整之下水道系統，故淹水大多集中於排水路兩側，筏子溪上游之港尾溪排水與林厝排水匯流處由於

地勢低窪，因此有較大之淹水範圍及淹水深，統計淹水面積約為 201 公頃，與調查淹水範圍所顯示之範圍相當接近；內新庄子排水兩岸因排水容量較小而形成淹水，旱溪上游與支流之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；而大里溪流域之溪底排水與大里溪匯流口及大里溪與烏溪匯流口，因土地使用情形大部份為農業用地，故於颱風來臨時較易形成淹水，模擬結果的統計面積約為 250 公頃，但因台中市政府所調查提供之淹水地點僅限於台中市範圍，故此處淹水情形在圖 6 中沒有表示，但此區淹水於屬台中縣市常淹水範圍，故就整個流域之市區排水淹水模擬結果與圖 6 之桃芝颱風調查淹水範圍比較，可看出淹水範圍已相當接近。

### 3. SOBEK 模式模擬結果

SOBEK 模式桃芝颱風事件之模擬結果如圖 8 所示，由圖上可看出淹水大多集中於排水路兩側，筏子溪上游之港尾溪排水與林厝排水匯流處由於地勢低窪，因此有較大之淹水範圍及淹水深，與調查淹水範圍所顯示之範圍相當接近；內新庄子排水兩岸因排水容量較小而形成淹水，全流域中央處為台中市中心區，因下水道建置較完整，故較無淹水，旱溪上游與支流之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；而大里溪流域之溪底排水與大里溪匯流口及大里溪與烏溪匯流口，因地勢較低且土地使用情形大部份為農業用地，相關排水設施較為缺少，故於颱風來臨時較易形成淹水。

SOBEK 模式桃芝颱風事件之模擬結果，與桃芝颱風調查淹水範圍(圖 6)及市區排水淹水模式之模擬結果(圖 7)，其淹水範圍及淹水趨勢均有一致之結果。

### 6.3 模式功能評估比較

本研究將採用市區排水淹水模式及 SOBEK 模式進行淹水潛勢模擬，並針對模式功能、模式輸入與操作、動態展示、與地理資訊系統整合性、模式擴充性及軟

體費用進行評估比較，如表 5-2 為淹水模式功能與特性評估比較，說明如下：

#### 1. 模式水理功能

市區排水淹水模式及 SOBEK 模式均可進行一維渠道變量流、二維漫地流及雨水下水道之模擬，並可考慮等多種水利設施功能之操作；但 SOBEK 模式在水工結構物之演算部份涵蓋功能較為完整。

#### 2. 模式輸入與操作

市區排水淹水模式在國內持續研發多年，雖未內建視窗化的操作介面，但可利用地理資訊系統產製之資料並搭配已開發完成之工具程式，輕易完成模式資料輸入。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。

#### 3. 動態展示

市區排水淹水模式模擬結果，可結合 Visual Basic 或 Tecplot 軟體進行漫地流淹水動態展示；SOBEK 模式則有內建之動態展示功能。

#### 4. 與地理資訊系統整合性

在實際應用部份，模式輸入資料若能結合地理資訊系統，往往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。市區排水淹水模式及 SOBEK 模式之資料輸出入，皆可與地理資訊系統順利接軌。

#### 5. 模式擴充性

至於模式之擴充性部份，市區排水淹水模式為國內自行研發之模式，可隨時依據使用需求進行模式功能擴充及調整，SOBEK 模式則僅能搭配軟體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。

#### 6. 軟體費用

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 WL|Delft 公司技術人員協助及諮詢，市區排水淹水模

式為國內自行研發之模式，在版權方面的問題較少。

由上述理論、功能及特性比較可知，兩種模式各擅勝場，同時，二種模式經適當參數設定後應用於實際案例，二種模式之模擬結果亦十分接近。但由於 SOBEK 模式於模擬二維漫地流況時，採用動力波方程式求解而不致於造成數值不穩定之情形，因此適用範圍較為廣泛。同時，SOBEK 模式因已進行商業化應用，具有較佳之操作環境，可做為未來模式研發之重要參考。

## 七、結語與未來工作展望

### 7.1 結語

本研究第一年度已初步建立適用於都會區之市區排水淹水模式，同時採用台中地區桃芝颱風為實際案例與 SOBEK 模式進行驗證與比較。模擬結果顯示，市區排水淹水模式及 SOBEK 模式兩者已可模擬出與實際淹水面積相當接近的成果。整體而言，兩模式之模擬結果趨勢接近，但相較之下，SOBEK 模式所模擬之淹水範圍較市區排水淹水模式之模擬結果略小。整體而言，SOBEK 模式採用動力波方程式求解二維漫地流流況，適用範圍較為廣泛，同時具有較佳之操作環境，可做為未來模式開發之重要參考。

### 7.2 未來工作展望

第二年度及第三年度工作將持續進行模式開發，以建立可考量建物影響的淹水模式，並採用案例進行模擬，選擇適當地區建立其模擬格網、水工構造物、水文及地文等輸入資料，進行模式的實地應用，除了進一步探討模式精度與執行效率外，亦能瞭解加入建物及邊界條件設定後對於淹水模擬過程的影響，並藉以修正改進模式功能，並應用地理資訊系統進行資料整合，制定輸出入資料格式及建構使用者操作界面，以便於各項資料輸入及模擬結果展示。

同時，擬引進資訊專業技術，將研發完成之都會區淹水模式演算核心，配合使用者操作及展示界面之開發，製作完整的都會區淹水模擬及地理資訊軟體，期望能簡化模式操作流程及增強人性化操作，進

而推廣淹水模式的應用，提供水利相關專業人員進行研究及實務應用。

## 參考文獻

- Abbott, M. B. and Basco, D. R., 1989, *Computational Fluid Dynamics, an Introduction for Engineers*, Longman, London, and Wiley, New York.
- Abbott, M. B., McCowan, A. D. and Warren, I. R., 1981, *Numerical Modelling of Free-Surface Flows that are Two-Dimensional in Plan*. Transport Models for Inland and Coastal Waters, edited by Fischer, H.B., Academic Press, New York.
- Barkau, Robert L., 1992, UNET, One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels, Computer Program, St. Louis, MO.
- Bates, P. D., Anderson, M. G., Baird, L., Walling, D. E., Simm, D., 1992, Modeling floodplain flow with a two-dimensional finite element scheme. *Earth Surface Processes and Landforms* 17, 575-588.
- Bates, P. D., Anderson, M. G., Hervouet, J.-M., 1995, Initial comparison of two two-dimensional finite element codes for river flood simulation. *Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Water Maritime and Energy* 112, 238-248.
- Bates, P. D., De Roo A. P. J., 2000, A Simple Raster-based Model for Flood Inundation Simulation. *Journal of Hydrology*, 236, 54-77.
- Bechteler, W., Hartmaan, S., Otto, A. J., 1994. Coupling of 2D and 1D models and integration into Geographic Information System (GIS). In: White, W. R., Watts, J. (Eds.). *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on River Flood Hydraulics*, John Wiley and Sons, pp.155-165.
- Bernard, R. S., and Schneider, M. L., 1992, Depth-Averaged Numerical Modeling for Curved Channels. Technical report HL-92-9. US Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Casulli, V. and Zanolli, P., 1998, A Three-dimensional Semi-implicit Algorithm for Environmental Flows on

- Unstructured Grids, Proc. Of Conf. On Num. Methods for Fluid Dynamics, University of Oxford.
- Casulli, V., 1990, Semi-implicit Finite-difference Methods for the Two-dimensional Shallow Water Equations, *J. Comput. Phys.*, V.86, p. 56-74
- Casulli, V., and Walters, R. A., 2000, An unstructured grid, three-dimensional model based on the shallow water equations, *Inter. J. for Num. Methods in Fluids*, Vol.32, p.331-348.
- Chang, T. J., Hsu, M. H., Teng, W. H. and Huang, C. J., 2000, A GIS-Assisted Distribution Watershed Model for Simulation Flood and Inundation, *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 36, No. 5. pp. 975-988.
- Cheng, R. T., Casulli, V. and Gartner, J. W., 1993, Tidal, residual, intertidal mudflat (TRIM) model and its applications to San Francisco Bay, California, *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, Vol.36, p.235-280.
- Chow, V. T., 1995., *Open-Channel Hydraulic*, McGRAW-Hill International. pp. 494.
- Chow, V. T., Maidment D. R., and Mays, L. W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company.
- Cunge, J. A., Holly, F. M., and Verwey, A., 1976, *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*, Pitman Publishing Ltd., London.
- De Roo, A., Van Der Knijff, J., Horrit, M., Schmuck, G., De Jong, S., 1999, Assessing flood damages of the Oder flood and the Meuse flood. In: *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Operationalization of Remote Sensing*, Enschede, The Netherland, 16-20 August. *Proceedings on CD-ROM*.
- Ervine, D. A., MacCleod, 1999. Modeling a river channel with distant floodbanks. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Maritime and Energy* 136, 21-33.
- Estrela, T. 1994. Use of a GIS in the modeling of flows on floodplains. In: *White, W. R., Watts, J. (Eds.). Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Conference on River Flood Hydraulics*, Wiley, pp.177-189.
- Feldhaus, R., Hottges, R., Brockhaus, T., Rouve, G., 1992, Finite element simulation of flow and pollution transport applied to part of the River Rhine. In: *Falconer, R. A. Shiono, K., Matthews, R. G. S. (Eds.). Hydraulic and Environmental Modeling: Estuarine and River Waters*, Ashgate, Aldershot, pp.323-334.
- Fread, D. L., 1976, *Theoretical Development of an Implicit Dynamic Routing Model*, Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, U. S. Department of Commerce, NOAA, NWS, Silver Spring, MD., presented at Dynamic Routing Seminar, Lower Mississippi River Forecast Center, Slidell, LA., 13-17.
- Fread, D. L., 1984, In: *Anderson, M. G. Burt, T. P. (Eds.). Hydrological Forecasting*, Wiley, Chichester(chap.14).
- Froehlich, D. C., 2002, *User's Manual for FESWMS Flo2DH, Two-dimensional Depth-averaged Flow and Sediment Transport Model*. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- Hormadka, T. V. and Yen, C. C., 1987, *Diffusive hydrodynamic model*, U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 87-4137, Denver Federal Center, Colorado.
- 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). pp. 21-37.
- Hsu, M. H., Chen, S. H., and Chang, T. J., 2002, Dynamic Inundation Simulation of Storm Water Interaction between Sewer System and Overland Flows, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 25(2). pp. 171-177.
- Huber W. C. and Dickinson, R. E., 1988, *Storm Water Management Model. User's Manual Ver. IV*, U.S. Environmental Protection Agency.
- Huber, W. C. and Dickinson, R. E., 1988, *Storm Water Management Model*.

- User's Manual Ver. IV, U.S. Environmental Protection Agency.
- King, I. P., and Norton, W. R., 1978, Recent Applications of RMA's Finite Element Models for Two-Dimensional Hydrodynamics and Water Quality. in Brebbia, C. A., Gray, W. G., and Pinder, G. F., eds., Finite Element in Water Resources, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Finite Element in Water Resources, London, Pentech Press, 2.81-2.99.
- Lee, J. K. and Froehlich, D. C., 1986, Review of Literature on the Finite-Element Solution of the Equations of Two-Dimensional Surface-Water Flow in the Horizontal Plane. U. S. Geological Survey Circular 1009.
- Linsley, R. K., 1992, Water-Resources Engineering, McGraw-Hill. pp. 649.
- O'Brien, J. S., Julien, P. Y. and Ponce, V. M., 1988, FLO-2D Users Manual for a Short Course on Flooding and Mud/Debris Flow. Salt Lake City, Utah, October 5-7.
- Preissmann, A., 1961, Propagation des intumescences dans les canaux et rivieres, First Congress of the French Association for Computation, Grenoble, France., pp. 433-442.
- Priestnall, G., Jaafar, J., Duncan, A., 2000, Extracting urban features from LiDAR-derived digital surface models. Computers, Environment and Urban Systems.
- 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.
- Romanowicz, R., Beven, K. J., Tawn, J., 1996, Bayesian calibration of flood inundation models. In: Anderson, M. G. Walling, D. E., Bates, P.D. (Eds.). Floodplain Processes, Wiley, Chichester, pp.333-360.
- Smith, R. H., 1978, Development of Flood Routing Model for Small Meandering Rivers, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Missouri at Rolla, MO.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1994, Flood-Runoff Analysis, EM 1110-2-1417, Washington DC.
- U.S. Army, Engineering Research and Development Center, 2001, Users Guide to RMA2 WES Version 4.5, Waterways Experiment Station, Coastal and Hydraulics Laboratory.
- WL|Delft Hydraulic, 2001, SOBEK Software User's Manual. Delft, The Netherlands.
- WL|Delft Hydraulic, 2002, SOBEK Workshop Presentation, Taipei, Taiwan.
- Yen, B. C. and Akan, A. O., 1999, Hydraulic Design of Urban Drainage Systems. In: Mays, L. W. (Ed.), Hydraulic Design Handbook, McGraw-Hill Inc., New York.
- 中興工程顧問股份有限公司，民國 93 年，區域淹水損失圖建立先期計畫。
- 張倉榮，民國 90 年，都會區非工程防洪方法之探討－洪災境況模擬，第六屆海峽兩岸水利科技交流研討會，福建福州市.pp. 468-482.
- 張倉榮，民國 91 年，基隆河流域整治段颱風災害淹水境況(II)，行政院國家科學委員會，台北市。
- 張倉榮、陳增壽、陳宣宏、鄧慰先，民國 90 年，台北市文山木柵地區洪災境況模擬與應變措施之研究，台灣水利季刊，第 49 卷，第 1 期. pp. 38-48.
- 許銘熙、林國峰、鄭克聲、賴進松、顏清連、王如意、柳文成、張倉榮、鄧慰先、謝龍生，民國 89 年，高速鐵路苗栗、彰化與雲林車站及汐止基地淹水防洪之研究，國立台灣大學水工試驗所研究報告，台北市。
- 許銘熙、林國峰、鄭克聲、賴進松、顏清連、王如意、楊錦釗、李天浩、蔡長泰、柳文成、張倉榮、鄧慰先，民國 87 年，高速鐵路沿線車站及維修調車基地淹水位之研究，國立台灣大學水工試驗所研究報告，台北市。
- 許銘熙、張倉榮、鄧慰先、黃成甲、葉森海，民國 87 年 8 月，朴子溪、八掌溪、鹽水溪及二仁溪流域淹水潛勢分析，防災國家型科技計畫八十七年度專案研究報告第 87-05 號，行政院國家科學委員會，台北市。

許銘熙、張倉榮、鄧慰先、黃成甲、葉森海，民國 88 年，台中縣市、台南縣市、嘉義縣市、高雄縣市、台北縣市、雲林縣、基隆市、桃園縣、新竹縣市淹水潛勢分析報告，防災國家型科技計畫辦公室專案研究報告，行政院國家科學委員會，台北市。

許銘熙、張倉榮、鄧慰先、謝龍生、黃成甲、葉森海、簡名毅，民國 88 年，縣市淹水潛勢分析與 1998 汐止淹水，防災國家型科技計畫辦公室研究報告第 88.10 號，行政院國家科學委員會，台

北市。

陳增壽、張倉榮、鄧慰先，民國 89 年，台北市中央區洪災境況模擬與應變措施之研究，行政院國家科學委員會，台北市。

表 5-1 台中市及週邊區域雨量站基本資料

站名	鄉鎮市區	緯度座標(度)	經度座標(度)	高程(m)
大甲	大甲鎮	24.3528	120.6339	90.00
大坑	北屯區	24.1733	120.7281	170.00
大肚	大肚鄉	24.1547	120.5644	348.00
中竹林	太平市	24.1056	120.7433	425.00
水湳	大雅鄉	24.2231	120.6442	125.00
台中	北區	24.1475	120.6759	84.00
石岡	石岡鄉	24.2814	120.7622	280.00
芬園	芬園鄉	24.0172	120.6131	133.00
桐林	霧峰鄉	24.0681	120.7272	124.00
草屯	草屯鎮	23.9989	120.6547	75.00
彰化	彰化市	24.0806	120.5469	15.00
橫山	大雅鄉	24.2208	120.5992	138.00

[資料來源：中央氣象局]

表 2 市區排水淹水模式及 SOBEK 模式特性比較

比較項目	市區排水淹水模式	SOBEK 模式
一維渠流控制方程式	動力波方程式	動力波方程式
二維漫地流控制方程式	零慣性方程式	動力波方程式
雨水下水道演算功能	動力波方程式	動力波方程式
水工結構物演算功能	孔口、堰、涵洞、抽水機、閘門、滯洪池	孔口、堰、涵洞、抽水機、橋樑、虹吸工
模式資料輸入方式	可使用文字檔或由地理資訊系統產製之資料輸入	可 Import 地理資訊系統產製之資料或由視窗操作介面輸入
視窗化操作介面	無	有
動態展示	可進行二維漫地流淹水動態展示	可進行二維漫地流淹水動態展示
地理資訊系統整合	有	有
模式擴充性	國內自行研發，可隨時根據使用需求進行模式擴充及調整	無原始碼可供使用者自行擴充，可搭配 WL Delft 其他模組進行擴充
軟體費用	國內自行研發	新台幣數十萬元以上，且須每年支付維護費用方能取得協助及諮詢



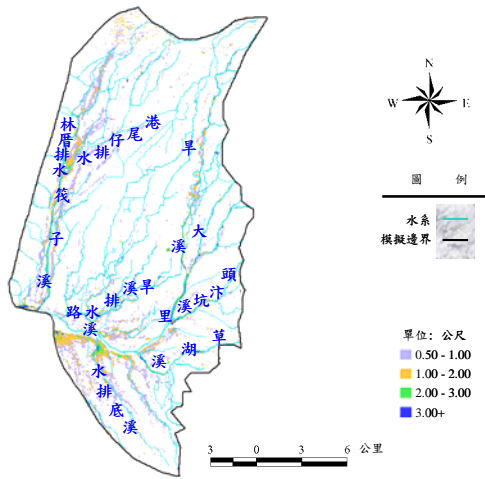


圖 7 桃芝颱風市區排水淹水模式  
淹水模擬結果

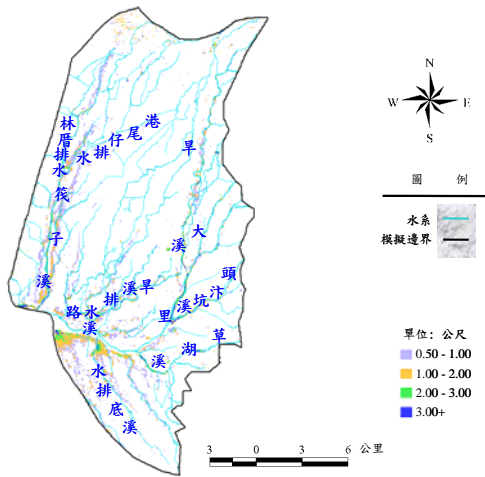


圖 8 桃芝颱風 SOBEK 模式淹水模擬結果