大台北地區之淹水研究最早係由台北市政府捷運工程局於民國78 年委託台灣大學水工試驗所辦理完成「台北都會區大眾捷運系統防洪排水設計之研究」(顏清連，1989)，提供臺北捷運各車站及設施防洪排水設計的依據。此研究係由國內防災工程召集人顏清連教授率領台大 22 位工作人員，經過長達一年半時間的研究成果。其研究過程包括資料蒐集與整理(含降雨量記錄、淹水記錄、抽水站特性、地形高程航照圖、都市使用分區、下水道系統及堤防線等)、雨量與雨型分析(含降雨頻率分析)及淹水模擬分析等，係屬專業而複雜龐大之水文研究工作，此為國內利用數值模式探討區域淹水問題的先驅，其所使用的淹水模式係以二維零慣性原理所建立。

淹水模式主要由降雨－逕流模式、河川水理模式及二維水理模式組成，輸入資料為水文分析中之降雨頻率分析與降雨雨型分析之結果，可求得各雨量站雨量之時間分佈，再依各雨量站之空間關係可進而求取同時間雨量在空間上之分佈，在將計算後的雨量分佈資料提供給後端的逕流模式、二維水理模式。

本研究之淹水模式將結合山區逕流模式、一維河系變量流模式及二維漫地流模式等，整體模式架構及演算流程如圖 1 所示，模式彼此間之銜接關係分別說明如下：

1.山區逕流模式與一、二維模式銜接

由山區逕流模式計算出各上游集水區控制點之逕流歷線後，再依據控制點之空間位置與一維渠道或二維漫地流模式進行銜接，以側入流量的方式做為後續演算之邊界條件。

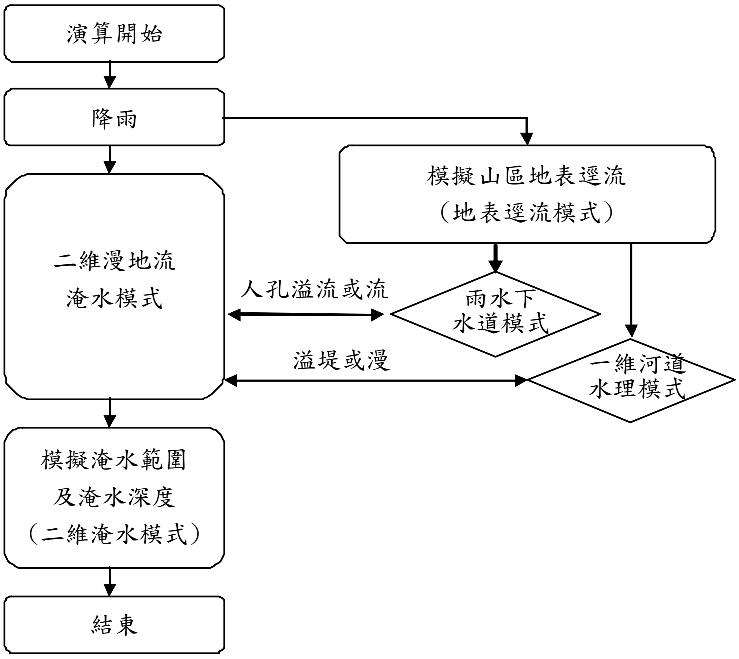

圖1 淹水模式架構及演算流程

2.一維河道模式與二漫地流模式銜接

當河道水位及漫地流均低於堤防頂高時，在河川斷面未發生溢流情形時，二維模式沿河岸堤防可視為無水流通過之封閉內邊界，一、二維模式可分別進行演算，僅在堰、抽水機及閘門等處有交互流量發生，可根據通過這些控制點之流量進行模式銜接。

當一維河道或二維漫地流水位高出堤防之情形，考慮二模式地表水路出口與河川水位之水流交互作用，同時演算出河川水位與流域淹

水狀況；在河川洪水位模擬演算模式為一維變量流河川洪水演算模式，地表淹水模擬則採用二維地表漫地流淹水模式，並根據漫地流與河川水位關係，決定二者間交互作用之流量，將兩模式結合銜接，期能同時演算出河川水位與流域淹水狀況。

當二維漫地流格網格水位高於鄰接之一維河川斷面水位時，則水將排至河川；當河川斷面水位高於二維漫地流網格水位，此時河川水回流至地表，其流量則考慮漫地流網格與河川斷面間之水位關係，依自由堰流或潛沒堰流公式計算得出 [Cunge et al., 1980; Kandaswamy and Rouse, 1957; 顏等, 2001]：

$$q = \begin{cases} \mu_f \sqrt{2g}\left(H_H - Z_W\right)^{\frac{3}{2}} & \text{, for } \left(H_L - H_W\right) < \frac{2}{3}\left(H_H - H_W\right) \\ \mu_s \sqrt{2g}\left(H_L - Z_W\right)\left(H_H - H_L\right)^{\frac{1}{2}} & \text{, for } \left(H_L - H_W\right) \geq \frac{2}{3}\left(H_H - H_W\right) \end{cases} \quad (1)$$

式中， μ_f： 自由堰流量係數，0.36～0.57；

μ_s： 潛沒堰流量係數，$\mu_s = 2.598\mu_f$ ；

Z_W： 堰頂高程 [m]；

g： 重力加速度 [m/s^2]；

H_H： 匯流處相鄰之河川斷面與網格中較高之水位 [m]；

H_L： 匯流處相鄰之河川斷面與網格中較低之水位 [m]。

當二維漫地流網格水位高於河川水位時，水流是由地表流入河川，則此時式 (1) 中 $q_{\ell 1} = q$，並以 q 做為二維漫地流模式中之入流邊界條件。

當河川水位高於地表網格水位時，水流是由河川斷面流入地表，則此時式(1) 中 $q_{\ell 2}=q$，並以 $-q$ 做為二維漫地流模式中之出流邊界條件。以下將對一維水理模式及二維水理模式分別簡述。

一維水理模式

NewC 河川模式

NewC 河川模式具有穩定求解跨超臨界與亞臨界流流況的特點，可靈活應用於不同流域。由於參數檔與模式運算邏輯完全分離，所以只需調整外部檔案即可建立適合不同流域特性的河川模式。模式納入寬頂堰、側流堰、橋樑等水工結構物運算邏輯，並能根據水位站觀測水位進行演算狀修正，目前應用於淡水河、濁水溪、烏溪流域均具有良好的模擬效果，未來將陸續建置於台灣其他流域。

NewC 河川模式以一維河川變量流 Saint Venant 方程式描述天然河川的緩變流流況：

連續方程式：$$b_s\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q_l-q_o \qquad (2)$$

運動方程式：$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)+gA\frac{\partial h}{\partial x}+gA\frac{Q|Q|}{K^2}=q_lV_l-q_oV_o \qquad (3)$$

其中，Q 為流量(L^3/T)，h 為水位(L)，b_s 為面積水位變率(storage width,

L)，A 為通水斷面積(L^2)，β 為動量係數，g 為重力加速度(L^2/T)，K 為輸水容量(conveyance, L^3/T)，q_l 為單位堤岸長度側向入流量(L^2/T)，V_l 為側入流在主流河道方向的速度分量(L/T)，q_o 為單位堤岸長度的溢岸流量(L^2/T)，V_o 為溢岸流在主流河道方向的速度分量(L/T)。

NewC 法由 Kutija(1993，1995，2002)提出，其特點在於水位與流量分開於不同格點的交錯式網格，可採用雙掃法求解三帶寬矩陣，運算方式類似於 Abbott-Ionescu 法(Abbott, 1998)。此外，忽略(3)式中位變加速度之面積倒數空間微分項，使跨臨界流區水位不連續的情形不致中斷模式的運算，可同時求解超臨界流與亞臨界流的流況。

SWMM 模式

關於區域排水之水理演算，擬採用美國環保署發展之暴雨經理模式中之水理計算部份，加以應用銜接結合至二維淹水模式。其演算過程分地表逕流及幹線輸水兩部分，當雨滴降落到地面後，或經入滲成為地下水，或經地表滯留一漫地流一邊溝等流程，由人孔進入排水幹道，因此在各幹道中流動之水流時有流量加入，總流量也隨流程在改變，使得整個排水系統構成一極複雜的現象。區域排水模式即依排水系統的水流動態及特性，予以分成地表逕流及幹線輸水兩部份，再依

各部份的水流特性分別給予合理之假設，以簡化方程式。

本研究採用雨水下水道系統排水模式(SWMM)進行雨水下水道之水理演算，演算過程分地表逕流及幹線輸水兩部分，當雨滴降落到地面後，或經入滲成為地下水，或經地表滯留一漫地流一邊溝等流程，由人孔進入排水幹道，因此在各幹道中流動之水流時有流量加入，總流量也隨流程在改變，使得整個排水系統構成一極複雜的現象。SWMM模式即依排水系統的水流動態及特性，予以分成地表逕流及幹線輸水兩部份，再依各部份的水流特性分別給予合理之假設，以簡化方程式。關於管路的水理演算係採用一維變量流理論，根據Saint-Venant所導出之緩變量流基本方程式：

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial \mathrm{t}}=0 \qquad (4)$$

$$\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x}+\frac{\partial y}{\partial x}=S_o-S_f \qquad (5)$$

方程式(4.7-3)及(4.7-4)乃假設無側流量下，一維緩變量流(one-dimensional gradually varied unsteady flow)之連續方程式及動量方程式，式中 Q 為流量，x 為沿流動方向之空間座標，V 為斷面之平均流速，y 為水深，t 為時間座標，g 為重力加速度，n 為曼寧糙度係數，R 為水力半徑，S_o 為渠底之縱向坡度，S_f 為能量坡度線，可利用曼寧公式計算，即 $S_f=\frac{V^2n^2}{R^{4/3}}$ 。

二維零慣性淹水模式

對於一般之地表漫地流而言，變量流方程式中加速項之大小級次（order of magnitude）通常遠小於重力項或摩擦項。假設洪水歷線上升平緩，且忽略科氏力、風力及加速項之影響，則地表漫地流況可用二維零慣性模式予以描述，其控制方程式可簡化如下：

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (uh)}{\partial x}+\frac{\partial (vh)}{\partial y}=q_{\ell} \tag{6}$$

$$-\frac{\partial (h+z)}{\partial x}=u\left[\frac{{n_x}^{2}|u|}{h^{4/3}}+\frac{q_{\ell}}{h\cdot g}\right] \tag{7}$$

$$-\frac{\partial (h+z)}{\partial y}=v\left[\frac{{n_y}^{2}|v|}{h^{4/3}}+\frac{q_{\ell}}{h\cdot g}\right] \tag{8}$$

式中，$x,\ y$ ：模擬地模擬區標示之迪卡兒空間座標[m]；t：時間座標[sec]；h ：模擬區地表水深[m]；$u,\ v$：分別為沿 $x,\ y$ 方向之平均流速[m/sec]；n_x ：沿x方向之曼寧糙度值[$\mathrm{m}^{1/6}$]；n_y：沿 y 方向之曼寧糙度值[$\mathrm{m}^{1/6}$]；z：地表高程[m]；g ：重力加速度[$\mathrm{m/sec}^2$]；q_{ℓ}：單位表面積之側流量[m/sec]，為有效降雨強度。

假若地表於初始時刻為無水狀態，洪流傳遞之前緣與乾地表接觸之交界鋒線將隨時間向下游推進，為簡易處理這種移動邊界水流流況，本文採用交替方向顯式差分法(Alternating Direction Explicit Method，簡稱 ADE）以建立模式。二維淹水模式之初始條件係依臨前

水文情況而定，並假設模擬區域內為無水狀態，亦即水深及流速均為零。邊界形態在本模式主要為閉合邊界，即不考慮海水倒灌，任何阻擋水流穿越之障礙物，如堤防線、擋水牆或模擬區域之周圍高地等皆可視為閉合邊界。因水流無法穿越堤防，故垂直於堤防線之流速可令為零，即為數值模擬之閉合邊界條件。

本研究之產出結果以臺北市內湖區為例，圖 2 為二維淹水模式之劃分模擬區域，圖 3 為一維水理分析之管線分佈，圖 4 及圖 5 為分析之淹水潛勢結果。

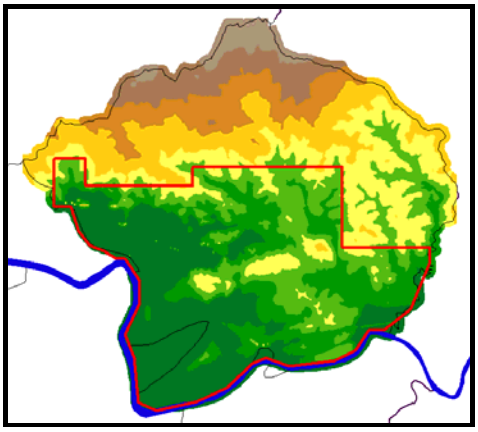

圖2 二維淹水模式模擬範圍圖

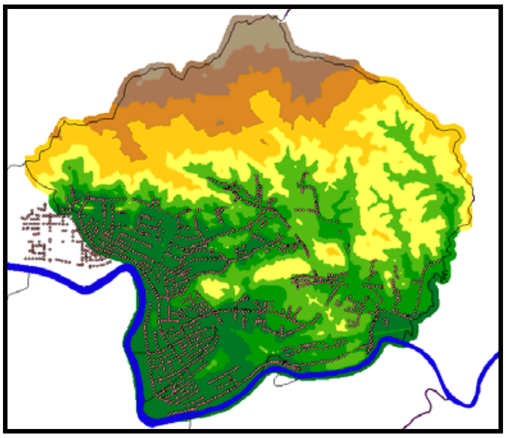

圖3 內湖地區地形圖及人孔位置圖

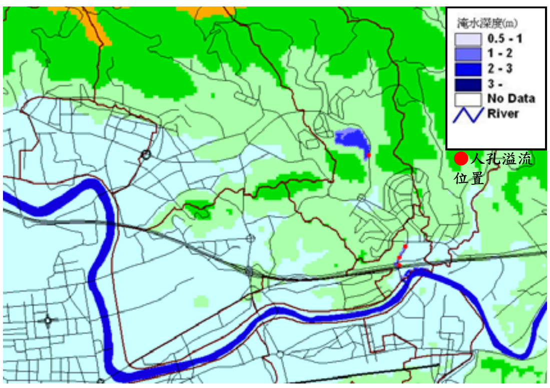

圖 4 內湖區單日 200 毫米之淹水圖

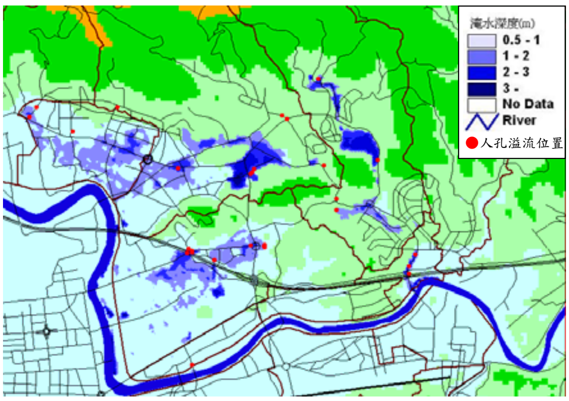

圖 5 內湖區單日 600 毫米之淹水圖