

排水系統之水流動態模擬

A Dynamic Flow Simulation For Drainage Systems

國立臺灣大學土木工程學系
及研究所教授兼主任

中華顧問工程司工務員

顏 清 連

許 銘 熙

Chin-lien Yen

Ming-hsi Hsu

ABSTRACT

This study is to construct a dynamic storm drainage model to simulate storm flow in the drainage systems for Taiwan.

Both surface runoff and flow in the drainage system are transient. In order to simulate accurately the characteristics of the unsteady flow process, one dimensional continuity and momentum equations are applied in the model. According to the process of water flow in the drainage system, the model can be divided into two parts: RUNOFF and TRANSPORT blocks. RUNOFF is based on the concept of kinematic wave approximation for calculating the hydrograph of each subcatchment, TRANSPORT is used to route the flow and to determine surcharging condition of each manhole in the drainage system.

For verification of the model, rainfall data of two storm events are chosen and applied to the Hsin-Sheng and Dung-Hwa drainage systems in Taipei. The results of simulation are quite satisfactory. Meanwhile, similar results are also obtained by using the method of characteristics for comparison.

The model can be considered as verified by field data. It is therefore recommended for use in planning, design as well as evaluation of drainage systems.

一、引 言

社會繁榮富庶，國民物質生活已大幅增高，淹水所造成損失更不可同日而語，人民對洪水災害之所需保護程度亦隨之提高。以往所據以推演逕流量之合理化公式以及採用曼寧公式設計排水系統，已無法跟隨日益創新之科技水準，難再滿足工程規劃及設計之需求。本研究之目的即在建立一排水系統水流動態模式，期能精確模擬排水系統之水流狀況，作為排水系統規劃、設計與改善方案擬定之用。

降雨之地表逕流現象及其進入排水系統後之流

動均為變量流狀態。為能準確模擬整個系統水流狀態，本模式之建立係根據變量流理論，以一維連續方程式及動量方程式為基礎，並依其水流過程之特性，將模式分成地表逕流與幹線輸水兩部份。地表逕流之模擬係利用機動波觀念，演算滙入排水幹線之水流歷線；幹線輸水模擬，則為演算排水幹線中各段之流量以及溢出各人孔之水量的變化情況。

文中以臺北市新生北路特一號排水系統及敦化排水系統為例，利用近年兩次降雨事件，作為模式之驗證，其與實際調查結果頗多吻合；同時，以特性法模擬之結果作為比較，亦甚接近。

本模式以理論為基礎，又經實地驗證，並利用電子計算機為演算工具，故作為排水系統之規劃、設計、檢討及改善時，可提供快速、準確之憑據，甚具實用價值。

二、理論背景與數值分析

一般水流問題之數學解析，均使用各有關微分方程式，以不同之邊界條件聯立求解。本文中則在於探討排水系統中之水流動態，主要工作亦在求算排水幹線之流速（或流量）及水深（或通水面積），而正確之流速及水深，可利用一維之「聖凡南」(St. Venant) 變量流方程式求解如下：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (2)$$

方程式(1)及(2)乃假設無側流量情況下之維緩變變量流 (one-dimensional gradually varied unsteady flow) 之連續方程式及動量方程式。

在上兩式中 Q：流量；

V：斷面之平均流速；

y：水深；

x：沿流動方向之空間座標；

t：時間座標；

g：重力加速度；

S₀：渠底之縱向坡度或地面坡度；

S_f：能量線坡度，可利用曼寧公式計算；

$$S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}} \quad (3)$$

式中 n：曼寧糙度係數；以及

R：水力半徑。

方程式(1)與(2)中，包含二個因變數 V 與 y，二個自變數 x 與 t。因渠道斷面資料為已知，故可求得在不同水深 y 值下之通水面積 A，水力半徑 R 及能量線坡度 S_f。以兩個方程式解此兩個因變數，如已知一起始條件及一邊界條件，在理論上應可求得其解。但此二方程式為一組甚複雜之雙曲線型偏微分方程式，無法直接求得其解析解 (analytic solution)，須應用數值分析方法配合電子計算機作業以求其近似解。通常採用之數值分析方法包括有限差分法 (finite difference method) 及特性法 (method of characteristics)。

當雨滴降落到地面後，或經入滲成地下水，或經由地表滯流，漫地流，邊溝流等諸過程，才經由入孔進入排水幹道系統中，在各幹道中流動之流量因隨時在改變，使整個排水系統構成一極複雜之現象。雖然直接引用方程式(1)及(2)來模擬，可以得到甚精確之結果，但由於排水系統之繁雜性，不僅常須有詳盡之地形、地物資料予以配合，且須用鉅量之電子計算機時間，在經濟上甚不合算。本文即依排水系統之水流動態及特性予以分成地表逕流及幹線輸水兩部分，再以各部分之水流特性分別給予合理之假設，以簡化方程式，以期利用有限之人力、物力求得較佳之近似解。

2-1 地表逕流

此部份係在模擬雨滴降落地面後，流入各排水幹道前之水流狀況。為處理方便起見，在考慮地表逕流時，本文將地面分成若干分區。當雨水降落後，如其強度超越入滲容量時，地面凹陷部分開始積水，積水達窪蓄飽和容量時，水即溢出而呈漫地流。漫地流為地表上之淺水波運動，在流體力學上屬於變程變量流 (spatially-varied unsteady flow) 問題。變程流指在水流過程中有側流量 (lateral flow) 流入或流出，致使流量及體積發生改變，在漫地流現象中，此類側流量包括降雨量及入滲量等。在一般之地表漫地流問題中，因長度較長，水深甚淺，地表阻力甚大，如以較簡易之機動波近似式 (kinematic wave approximation) 替代繁雜之動量方程式，即式(2)，亦可得甚佳之近似結果⁽⁴⁾。機動波方程式乃忽略方程式(2)中左邊各慣性項之影響，假定能量線坡度與地面坡降線平行，即 S₀=S_f。如將 S_f 值以方程式(3)代入，即為曼寧公式。現將地表逕流原理及解析法簡述如下：

1. 根據降雨強度組體圖 (hyetograph) 計算降雨後之水深：

$$D_t = D_i + R_i \cdot \Delta t \quad (4)$$

式中，D_t：在 t 時刻之水深；

D_i：在 t + Δt 時刻之水深；

R_i：在 Δt 時段內之平均降雨強度；

Δt：計算用之時距。

2. 由荷頓方程式 (Horton's equation) 計算入滲損失：

$$I_t = f_0 + (f_1 - f_0) e^{-at} \quad (5)$$

式中， f_1 ：起始入滲率。

f_0 ：最終入滲率。

α ：入滲遞減率。

I_1 ： Δt 內之平均入滲率。

3.扣除入滲損失，計算入滲後之水深 D_2 ：

$$D_2 = D_1 - I_1 \cdot \Delta t \quad (6)$$

4.如 D_2 大於地表阻滯量 D_d 則有逕流發生，利用簡化之動量方程式（曼寧式）計算速度及流量如下：

$$V = (D_2 - D_d)^{2/3} S^{1/2} / n \quad (7)$$

$$Q_w = V \cdot W \cdot (D_2 - D_d) \quad (8)$$

式中， W ：為分區寬度。

5.以連續方程式計算時間 $t + \Delta t$ 之水深 $D_{t+\Delta t}$ ：

$$D_{t+\Delta t} = D_2 - (Q_w / A) \cdot \Delta t \quad (9)$$

式中， A ：分區之面積。

6.計算小溝之入流量

$$Q_{i,n} = \Sigma Q_{w,i} + \Sigma Q_{g,i} \quad (10)$$

式中， $\Sigma Q_{w,i}$ ：各分區入流量和。

$\Sigma Q_{g,i}$ ：上游小溝流量和。

7.利用連續方程式計算小溝水深：

$$y_1 = y_t + (Q_{i,n} / A_s) \cdot \Delta t \quad (11)$$

8.利用曼寧公式計算小溝流速及流量：

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot S_1^{1/2} \quad (12)$$

$$Q_g = V \cdot A_c \quad (13)$$

式中， R ：小溝中水深為 y_1 時之水力半徑；

S_1 ：小溝之溝底縱坡；

A_c ：小溝中水深為 y_1 時之通水面積；

n ：曼寧糙度係數。

9.以連續方程式計算時間 $t + \Delta t$ 之小溝水深 $y_{t+\Delta t}$ ：

$$y_{t+\Delta t} = y_t + (Q_{i,n} - Q_g) \cdot \Delta t / A_s \quad (14)$$

上述各步驟大體為連續方程式及動量方程式之組合，重覆上述步驟即可計算出口流量 Q_w 及水深 $y_{t+\Delta t}$ ，以作為輸水模式之輸入歷程。

2-2 幹線輸水

雨水降落經漫地流滙聚於人孔而入幹線中，本幹線輸水模式即以水力學原理，採用變量、非均勻之自由水面流，寫成電子計算機程式，以模擬水流在暗管中流動之情況，藉以了解暗管中之流量以及各人孔處之溢水量 (surcharge)，俾作為檢討暗管排水能力及系統改進之參考。

1. 假設：

為避免因繁雜水力演算而耗用大量之計算機時間，同時為減少過多之資料調查工作，本模式給予適當合理假設如下：

①略去局部加速度項 $\frac{\partial V}{\partial t}$ 之影響，一般在渠道流動之水流，縱使在極平緩渠坡下，該項值之級序大小 (order of magnitude) 亦較其他各項為小⁽⁹⁾，如演算時距 Δt 取較小，其影響更小，故可省略之，則方程式亦稱為偽變量流 (quasi steady flow)，即

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} (S_0 - \frac{\partial y}{\partial k} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x})^{1/2} \quad (15)$$

②如上游端人孔入流量大於下游端幹線輸水之最大容量時，則將有溢水情況發生，本文中假設一旦溢水，則過多之水量暫且貯存於人孔附近，俟入流量減少時再由人孔流回幹線系統中，而忽略人孔因淹水造成能量線之提高，僅用幹線底坡替代能量坡降以計算下游幹線滿管流量。但在實地情況而言，溢水發生時，水將流出人孔而蓄留於附近較低窪地區，使溢水處能量線提高，造成滿管之壓力水流，故本文之流量計算如在溢水情況下，其值應較保守。但如須考慮此項影響，必須有完善之地形資料與繁瑣之水力演算過程，而一般較平坦地形之地區，如淹水深度不大，增加之壓力水頭亦小，常可略而不計。

2. 演算過程：

將連續方程式在 $x-t$ 平面上 (如圖 1 所示)

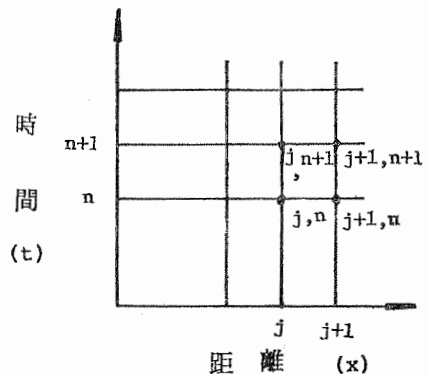


圖 1. 有限差分示意圖

寫成有限差分方程式，可得

$$\begin{aligned}
& \frac{(1-w_t) \cdot (A_{j,n+1} - A_{j,n})}{\Delta t} \\
& + \frac{w_t \cdot (A_{j+1,n+1} - A_{j+1,n})}{\Delta t} \\
& + \frac{(1-w_x) \cdot (Q_{j+1,n} - Q_{j,n})}{\Delta x} \\
& + \frac{w_x \cdot (Q_{j+1,n+1} - Q_{j,n+1})}{\Delta x} \\
& = 0 \quad (16)
\end{aligned}$$

式中註標 j 表示上游, j+1 表示下游之情況, n 表示前一時間, n+1 表示下一時間之情況。

w_t : 取時間差分時, 在點 j+1 之位置權重係數。

$1-w_t$: 取時間差分時, 在點 j 之位置權重係數。

w_x : 取位置差分時, 在 n+1 時間之權重係數。

$1-w_x$: 取位置差分時, 在 n 時間之權重係數。

若每一管道上游端之流量與通水面積為已知, 再配合前一時間之流量與通水面積作為起始條件, 由上游起沿管道向下游計算, 以求解下游之流量與通水面積。今再將方程式(16)寫成:

$$\begin{aligned}
& Q_{j+1,n+1} + \frac{\Delta x \cdot w_t}{\Delta t \cdot w_x} A_{j+1,n+1} + \frac{\Delta x}{\Delta t \cdot w_x} \\
& [(1-w_t) \cdot (A_{j,n+1} - A_{j,n}) - w_t \cdot A_{j+1,n}] \\
& + \frac{1-w_x}{w_x} (Q_{j+1,n} - Q_{j,n}) - Q_{j,n+1} = 0 \quad (17)
\end{aligned}$$

若以註標 F 代表滿流之情況, 再定義 α 及 ψ 值如下:

$$\alpha = A/A_F \quad (18)$$

$$\psi = Q/Q_F \quad (19)$$

A_F 及 Q_F 分別表示滿流時之斷面積及流量, 如此方程式(17)可改寫如下:

$$\psi_{j+1,n+1} + C_1 \alpha_{j+1,n+1} + C_2 = 0 \quad (20)$$

式中,

$$C_1 = \frac{\Delta x \cdot w_t \cdot A_F}{\Delta t \cdot w_x \cdot Q_F} \quad (21)$$

$$\begin{aligned}
C_2 = & \frac{\Delta x \cdot A_F}{\Delta t \cdot w_x \cdot Q_F} [(1-w_t) \cdot (\alpha_{j,n+1} \\
& - \alpha_{j,n}) - w_t \cdot \alpha_{j+1,n}] + \frac{1-w_x}{w_x} \\
& (\psi_{j+1,n} - \psi_{j,n}) - \psi_{j,n+1} \quad (22)
\end{aligned}$$

在每一時段計算過程當中, C_1 及 C_2 值均可利用

已知之邊界條件或起始條件代入方程式(20)及(22)中計算出, 在方程式(20)中有 $\psi_{j+1,n+1}$ 及 $\alpha_{j+1,n+1}$ 兩個未知數, 故必須再引用一動量方程式方可求解。由方程式(3)及(5), 若 Q_F 採用摩擦坡度計算, 則

$$\psi = \frac{Q}{Q_F} = \frac{AR^{1/3}S_r^{1/3}}{A_F R_F^{2/3} S_r^{1/3}} = \frac{AR^{1/3}}{A_F R_F^{2/3}} = f(\alpha) \quad (23)$$

因當斷面資料已知時, 水力半徑 R 亦為通水斷面積 A 之函數。方程式(5)在滿流情況下可寫成下式:

$$\begin{aligned}
Q_F = & \frac{1}{n} A_F \cdot R_F^{1/3} \cdot \\
& \left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} \right)^{1/2} \quad (24)
\end{aligned}$$

亦即

$$\begin{aligned}
S_r = & S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} \\
= & S_0 - \frac{\partial}{\partial x} \left(y + \frac{V^2}{2g} \right) \quad (25)
\end{aligned}$$

再將上式微分式寫成差分式, 而式中各項值均可以前一時間之值代入, 可得:

$$\begin{aligned}
S_r = & S_0 + \frac{y_{j,n} - y_{j+1,n}}{\Delta x} \\
& + \frac{V_{j,n}^2 - V_{j+1,n}^2}{2g \cdot \Delta x} \quad (26)
\end{aligned}$$

為減少結果之微小振盪及考慮迴水因素之影響, 本文在每一時段中使用四次疊代法以求得 Q_F 值, 且在計算 Q_F 時, 採用前次疊代值與剛計算所得之平均值取代, 使更能增加結果之穩定性。如以註標 i 代表疊代之次數, 則在等 i 次疊代中得到之 $Q_{F,i}$ 可寫成如下:

$$\begin{aligned}
Q_{F,i} = & \frac{1}{2} Q_{F,i-1} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{n} A_F \cdot R_F^{2/3} \cdot \right. \\
& \left. S_r^{1/2} \right) \quad (27)
\end{aligned}$$

以前時段資料代入方程式(26)及(27)可計算出 Q_F 。同時, 由斷面資料以及方程式(23)建立 α 及 ψ 之關係曲線, 再代入方程式(20)中, 以牛頓拉飛生法 (Newton-Raphson) 解得 ψ 及 α 值, 最後代入方程式(18)及(19)中, 則可算得下游段之 Q 及 A 值, 依此逐步向下游演算直至最下游段為止。然後重新作另一時段之演算直至模擬時間終止。

三、模式結構

雨水所發生之地表逕流現象及其進入排水系統後之流動均為變量流狀態, 為能儘量準確模擬水流動態, 本文主要參照美國環境保護總署 (U. S. Environmental Protection Agency) 之暴

雨經理模式 (Storm Water Management Model, 簡稱為 SWMM)⁽⁶⁾, 再配合臺灣地區排水系統特殊情況, 將特殊之排水構造物如抽水站、分水工、明溝幹線等加入考慮, 冀能增加模式之通用性。茲將其主要特殊情況簡述如下:

1. 抽水站: 排水地區因地勢低窪, 暴雨時, 外圍河川或排水幹線外水位高漲, 重力排水受阻, 常有抽水站之設置。一般而言, 抽水機在設計揚程內, 其抽水量變化極有限, 故本文中即以定值揚程抽水機組, 將逕流排入外圍河川或排水幹線中, 直至抽水站上游逕流量降至某一特定值為止。

2. 分水工: 排水系統之建設工作係逐漸發展, 許多排水區域界線尚未完全明確劃分, 常有排水幹線管路交叉分流, 雖稱可相互支援宣洩, 但在水理控制上甚為困難。本文則在節點處不設分水工, 而根據下游幹線輸水能力比值配合實地量取流量比值, 作為決定分水量之依據。

3. 明溝幹線: 明溝幹線多屬古舊排水路, 大部分為舊排水幹溝, 已逐漸加蓋成箱涵, 唯目前尚有部分明溝幹線。本文中則根據明溝之斷面, 以水力學演算原理將其轉換成等值輸水容量之暗溝, 以便模式之演算。

為了配合電子計算機作業, 將理論及前述修改部份, 依漫地流及輸水模式中各計算單元, 分別以副程式表之。每個副程式代表一個物理意義。同時以繪圖程式將各流量歷線及降雨強度圖點出, 使易於比較分析。本模式中共包括了一個主程式 SWMM 及 26 個副程式, 其相對間之關係如圖 2 模式結構圖所示。每個副程式可視其需要, 依箭頭指示方向將其他副程式呼出, 即可執行其計算功能, 促使整個模式結構形成完整之水力計算網, 以模擬排水系統水流動態。茲將各副程式所執行之工作分述如下:

1. 逕流部份 (RUNOFF BLOCK)

- ① RUNOFF: 計算分區逕流量。
- ② HYDRO: 可呼叫 RHYDRO, HCURVE, WSHED 與 GUTTER 四個副程式以計算每一入水口之流量及水深歷線。
- ③ RHYDRO: 輸入地表逕流所需資料之用。
- ④ WSHED: 計算地表漫地流之流量與水深。

- ⑤ GUTTER: 計算小溝之流量與水深。
- ⑥ HCURVE: 繪出降雨強度圖及分區疊加逕流量圖。

逕流部份之演算程序則示於圖 3。

2. 輸水部份 (TRANSPORT BLOCK)

- ① TRANS: 計算排水幹線之流量及水深。
- ② BLOCK DATA: 輸入各型斷面之流量——面積, 與水深——面積間關係曲線。
- ③ SLOP: 排列每一元件計算之先後次序。
- ④ FIRST: 計算每一管件特定常數如滿管面積 (A_{full}), 最大流量 (Q_{max}), 滿管流量 (Q_{full}) 等。
- ⑤ INITIAL: 起始流量、面積之計算。
- ⑥ INFIL: 估計幹線入滲水量。
- ⑦ ROUTE: 管件之水流演算。
- ⑧ PRINT: 將計算之各人孔流量歷線輸出。
- ⑨ FINDA: 由流量比 (ψ) 計算面積比 (α)。
- ⑩ VEL: 由流量及面積計算流速。
- ⑪ NEWTON: 利用牛頓—拉飛氏法解方程式之根。

- ⑫ DPSI: 計算流量對面積之導數值 (derivative), 即求算

$$\frac{d\psi}{d\alpha} = \frac{\psi_{i+1} - \psi_i}{\alpha_{i+1} - \alpha_i}$$

- ⑬ PSI: 由面積比 (α) 計算流量比 (ψ)。
- ⑭ RADA: 由面積計算水力半徑。
- ⑮ DEPTH: 由面積比 (α) 計算水深比 (y/h)。

輸水部份之演算程序則示於圖 4。

3. 繪圖部份 (GRAPH BLOCK)

- ① GRAPH: 繪出各流量歷線。
- ② CURVE: 決定所繪製圖樣之尺度。
- ③ PINE: 計算垂直軸與水平軸之比例及座標。
- ④ PLOT: 將圖及結果印出。

四、模式之應用

本研究以臺北市特一號幹線及敦化排水幹線為例, 將模式應用於這兩條排水幹線, 以檢討其適用性。

4-3 應用地區概述:

臺北市為一盆地, 地勢低窪, 周圍為新店溪、基隆河及淡水河三條水道所環繞。每年盛夏及颱風

季節時，豪雨驟加，河川水位高漲，使市區內排水系統無法以重力排水宣洩，須仰賴抽水機之抽送。尤以近年來，一方面由於市區擴大，人口密度增高，原為滲透性良好之田野耕地，皆變成高樓櫛比之商業住宅區，滲透面積之減少，不僅使逕流量增加，更縮短暴雨之集流時間，水災更易促成。另者，更由於多年來市區內地盤陷沉，致使原有久齡排水系統之管線坡度亦隨之成爲不均勻下陷，亦使原規劃之排水區域特性發生局部之改變，嚴重影響排水能力。

目前市區內各排水系統中，大多就近排入所環繞鄰近河川中。西南各區，由東向西順應地勢排入新店溪及淡水河中，西北各區，由南往東北排入基隆河中；東北各區則洩入基隆河中；而新生排水幹線（特一號排水幹線）位於全市之中心地帶，更延伸接納東南山麓各區雨水，而排入基隆河道中，爲目前最主要之排水幹線。市區內總排水面積約 6,700 公頃，主要幹支線共達 350 公里，抽水站有 15 座，抽水能量達 217 每秒立方公尺。

本研究區域範圍如圖 5 所示，包括新生南北路

（特一號）幹線及敦化幹線二大排水系統，總排水面積達 1,646 公頃，約佔舊市區面積之四分之一，茲將各排水系統之區域排水特性述於下：

1. 特一號幹線排水系統

本排水系統東以光復南路爲界，西鄰中山南北路，南抵羅斯福路，北達民生東路，總面積爲 1,105 公頃。區域內包括復興南路幹線以及特一號幹線，幹線北段有林森、長安、新生及民生四抽水站雨水匯入，東端亦有部分東南山麓雨水流入。全幹線由南至北貫穿全市區之中央地帶，於圓山附近流入基隆河中，全長達 10.43 公里，爲目前臺北市區內排水系統之骨幹。

2. 敦化幹線排水系統

本排水系統東以基隆路及光復南路爲界，西以復興南路與特一號排水系統爲鄰，南至辛亥路，北達松山機場，排水面積達 541 公頃。區域內包括基隆路、安和路、舊瑠公圳明渠（現已加蓋中）以及敦化南北路等四幹線，大都由南向北流動，幹線總長達 7.68 公里，北端以敦化抽水站爲出口，再將雨水排水基隆河中。

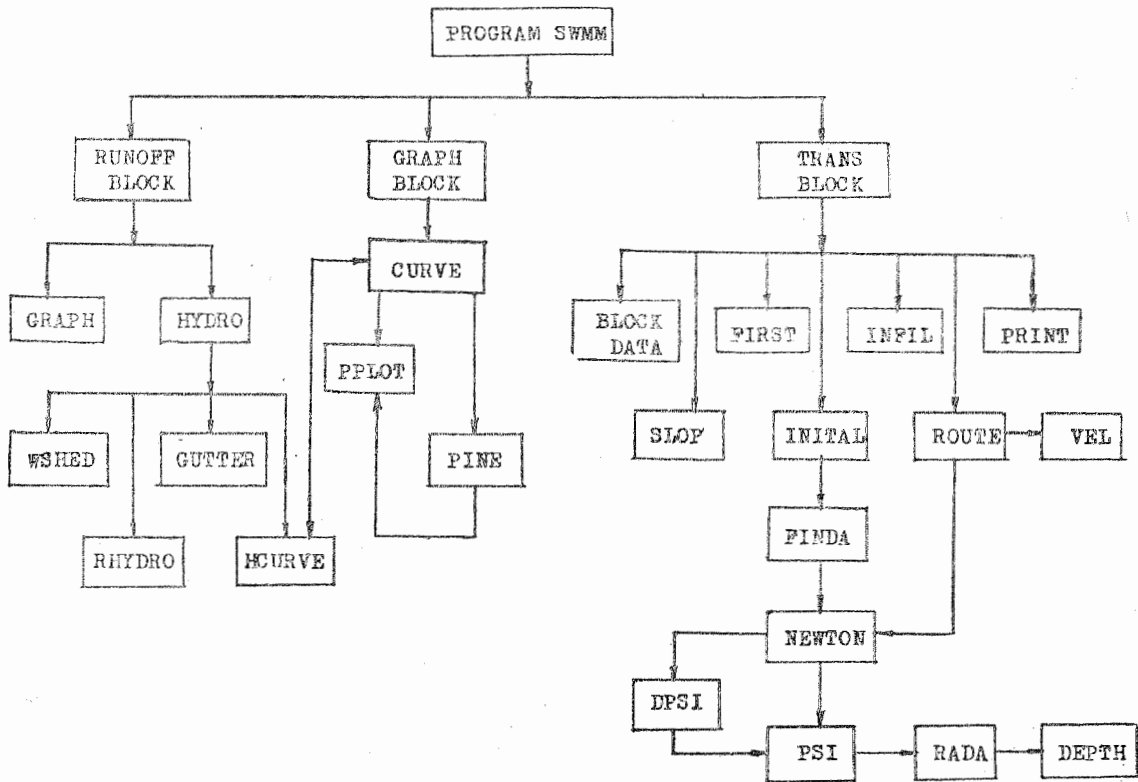


圖 2 模式結構圖

產生局部變異。本研究有鑒於此，特配合規劃資料，實施現地踏勘及測量工作，期能更精確地模擬本系統之地域特性。所調查測量資料包括排水幹線底坡度、幹線長度以及不透水面積比率。

2. 資料整理

為便於整個排水系統之模式運算及電子計算機作業，首須依現地勘查情況配合規劃資料，將排水系統分成若干分區，及排水幹線分成若干單元，且均分別予以編號，使形成一水力元素網，諸如分區號碼、人孔、入水口、分水工、幹線等。圖6及圖7分別表示特一號幹線及敦化幹線集水區域分區情況。為便利電子計算機之輸入，再將各元件流向關係繪如圖8之系統示意圖。各分區及管線，再以各種水力特性如長度、寬度、坡度以及糙度等數學變數表之，並以預先設計之格式輸入模式中運算。因此前述調查與測量之資料必經過整理方能適用。資料整理依模式分成地表逕流及幹線輸水兩部份，逕流部份所需資料包括排水系統中各分區之面積、寬度、地表坡度、不透水面積百分比等；而幹線輸水部份所需之資料包括管徑大小、長度、管線坡度，及糙度等。

茲將特一號及敦化幹線排水系統之逕流部分資料經整理後列於附錄表1及表2；輸水部份資料則列於附錄表3及表4，表中特一號幹線北段，即新生北路排水幹線，因目前已在加蓋施工中，渠底甚多挖填，雖經租來小船施測高程，但因變化過大，不適採用，故僅依其規劃坡度計算。

4-3 模式之驗證

一個模式之適用性，必先以實際情形驗證之。本模式主要目的在探討暴雨之逕流量及淹水發生情況，理應以實際暴雨與觀測數值作為模式之驗證。但以本研究所採用之實例臺北市而言，目前在各排水幹線上尚未有水位或流量記錄站之設置，使本模式之驗證工作增加甚多之困難。且在本文研究之一年期間內，並無較強烈之暴雨可供流量測定之用；而強度較小之降雨量，易受平時家庭污水之干擾且無淹水情況發生，不足為驗證之憑據。惟驗證之工作不可或缺，故本研究中，驗證方法採用淹水面積比較法及引用不同之解析方法。前者係利用淹水面積調查方式，期以淹水之地點及體積作為驗證；後者引用特性法分析，並使用下游邊界條件，以其結果再與本模式比較。茲將其驗證方法述之於後：

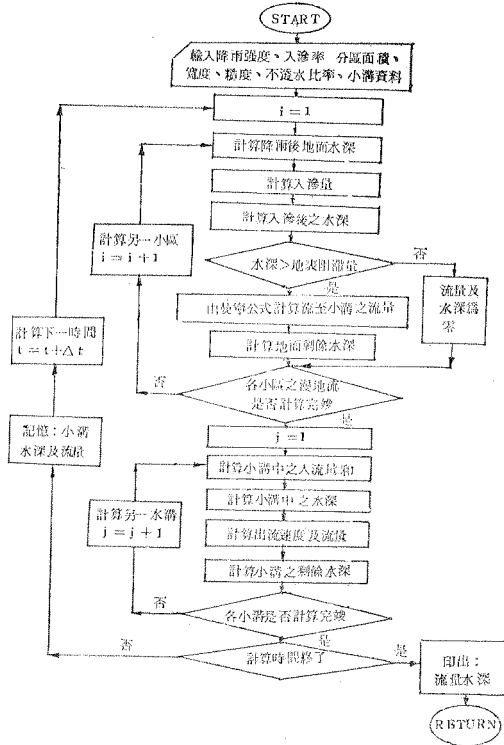


圖 3. 地表逕流演算流程圖

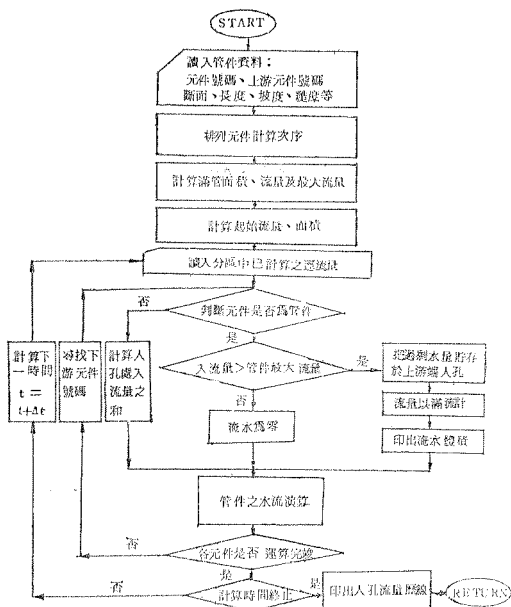


圖 4. 幹線輸水演算流程圖

4-2 資料之調查與整理

1. 資料調查

臺北市排水系統規劃至今已逾二十年，由於規劃與設計間之變更，設計與施工間之差誤，以及地盤沉陷等因素之影響，致使先前規劃之排水系統已

1. 淹水面積之驗證

臺北市之雨量主要集中於夏季，係以雷暴雨與颱風雨為主。雷暴雨延時短而強度特大，常造成市區內局部淹水之主因；而颱風雨係由颶風侵襲形成，降雨強度雖較小，惟延時甚長、降雨量甚多，常造成河水高漲，致使重力排水受阻，須賴抽水站之抽送，亦為排水不暢之另一肇因。故本模式在驗證時所採用之雨型即針對此性質，選用最近兩年來在臺北市發生較顯著之二類雨型，一為民國 67 年 10 月 12 日之娜拉颱風降雨，其延時達 55 小時，最大強度為每小時 15 毫米，總降雨量為 229 毫米，其降雨強度延時曲線詳如圖 9 所示；另一為民國 66 年 9 月 23 日發生之暴雨（以下簡稱 923 暴雨），其最大強度達每小時 110 毫米，延時僅 8 小時，總降雨量高達 290 毫米，其降雨強度延時曲線如圖 10。本文即將兩型暴雨分別輸入模式中，將其淹水結果與調查情況相較，以驗證及校正本模式。

①以娜拉颱風資料應用在敦化幹線排水系統為例證：

因降雨強度較小，模擬結果，本區域內並無淹

水情況發生，與實地調查結果(如圖11)甚相吻合。

②以 923 暴雨資料應用在敦化及特一號幹線排水系統為例證：

模擬結果，顯示在第 19、22、26、30、31、32、33、53、63、67、74、76 及 304 號等 13 處人孔有溢流情況，其淹水量逾 15 萬立方公尺者有 32、33、67、304 等四處，尤以第 67 號人孔更達 28 萬立方公尺，屬最嚴重。此可驗證其與調查所得之淹水資料（如圖12）亦相符合。

2. 與特性法之比較與驗證：

特性法乃利用想像之移動觀察者位置，觀測水流中水波運動之現象。此即將連續方程式，式(1)，及動量方程式，式(2)，作線性轉換成一組常微分方程式。再以數值解析法及配合邊界條件求解水深及流速，進而計算流量以及其他水流狀況。惟特性法係一極精確之變量流分析法，適合應用於較簡單之地域水流分析。如作為地形及管線甚為複雜之排水系統水流分析之用，顯示過份繁雜與不經濟。本文中僅借用特性法之精確性，選取本研究區域中之一段排水幹線，以其模擬結果再與本模式作為比較，

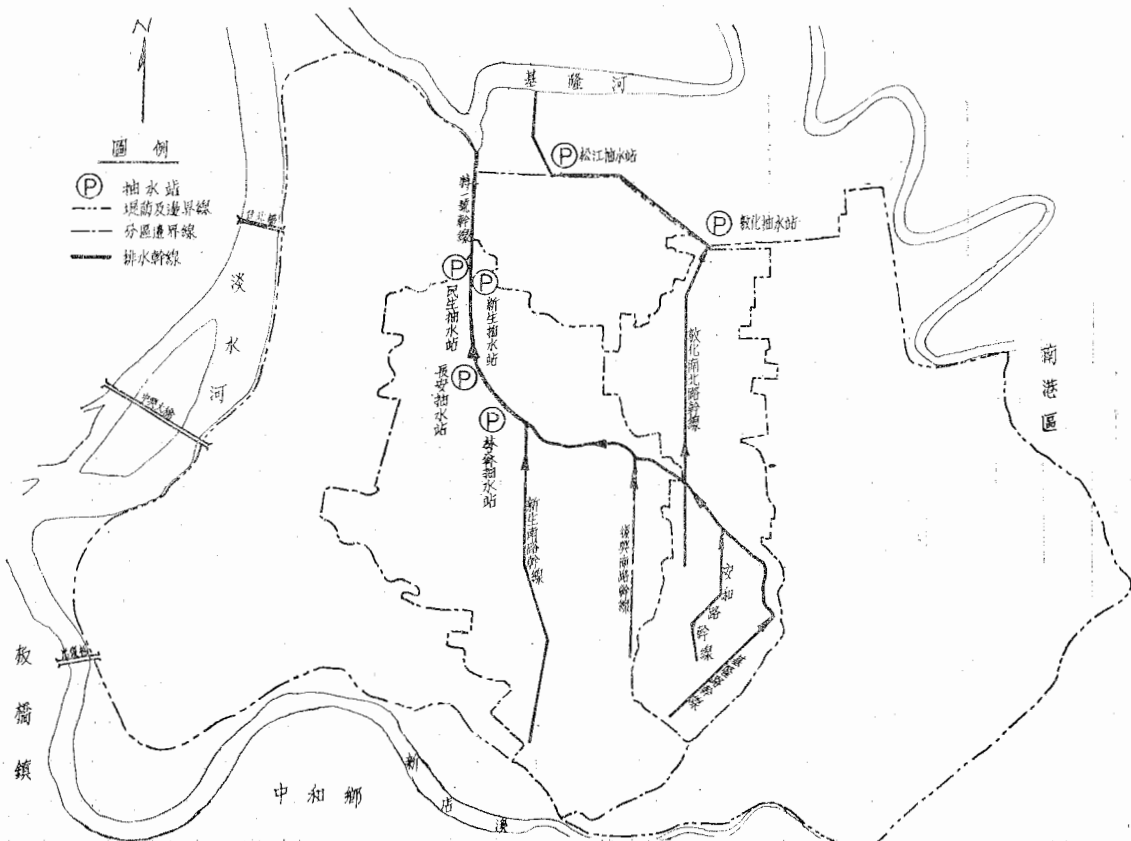


圖5 研究區域特一號暨敦化幹線排水系統圖

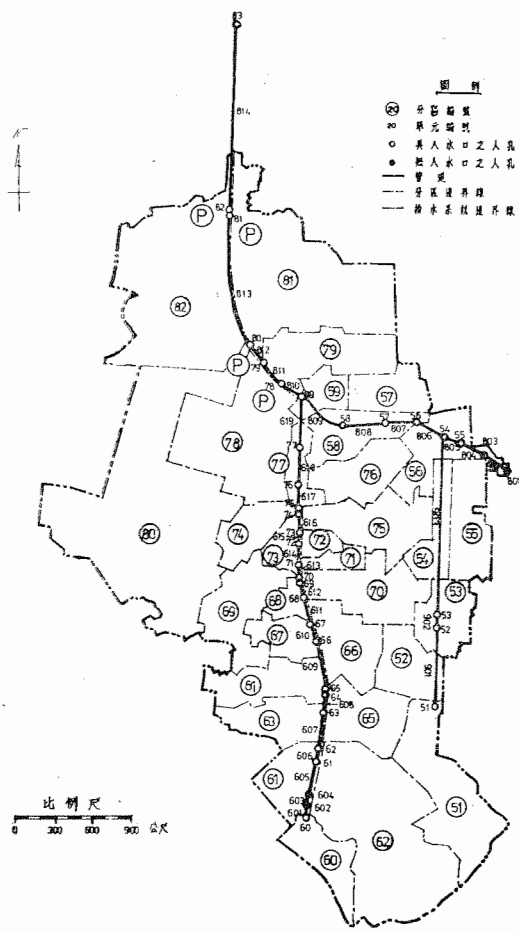


圖6 台北市特一號幹線排水系統分區圖

冀能檢定本模式之精度。選用之區域為新生北路排水幹線（特一號幹線北段），自第 59 號人孔起至第 83 號人孔為止，全長達 3,354 公尺，沿途有六處入流量，其中包括林森、長安、新生及民生等四抽水站。茲將其檢定之結果述於下：

①以 923 暴雨比較驗證：

應用特性法分析時，必先設定下游邊界條件，此即特一號幹線出口基隆河水位歷線，本文中應用 923 暴雨資料並以下游水深為 3.15 公尺及正常水深兩種情況分別模擬，再與本模式輸出結果相比較，得出口處（第 83 號人孔處）之流量如圖 13 所示，不同方法所得歷線多處重合，尖峰流量差僅 1.5%，最大差距亦在 5% 之內，顯示本模式亦有極佳之精度，而在電子計算機之作業時間上，至少可節省十倍以上。

②以五年頻率設計暴雨比較驗證

參照臺北市排水系統規劃時，所採用之五年頻

率設計暴雨（其降雨強度延時曲線如圖14）。在使用特性法模擬時，下游水深邊界條件為高水位 3.15 公尺及低水位 2.05 公尺，分別輸入特性法程式中，再與本模式結果作一比較。其在出口處（第 83 號人孔）之流量歷線圖示於圖15。在高水位時，其尖峰流量較大，達 151 每秒立方公尺，低水位時有 149 每秒立方公尺，而採用本模式模擬結果，流量最小，但亦有 146 每秒立方公尺，相差在 3.5% 之內，而在其他時刻，各流量差異亦甚微小。由此可知，在暴雨時，如雨量特大，上游雨水迅速流入排水系統中，高漲之幹線水流滾滾而下，直趨出口，使下游邊界條件之迴水影響力減弱。故當短暫強烈暴雨來臨時，對出口流量而言，下游水位在通常情況下，並未造成較重大之影響力。

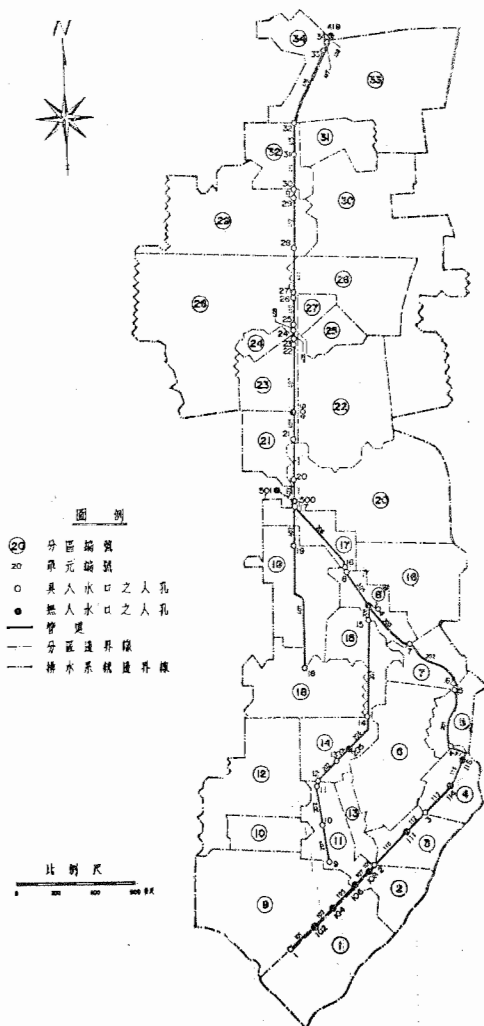


圖7 台北市敦化幹線排水系統分區圖

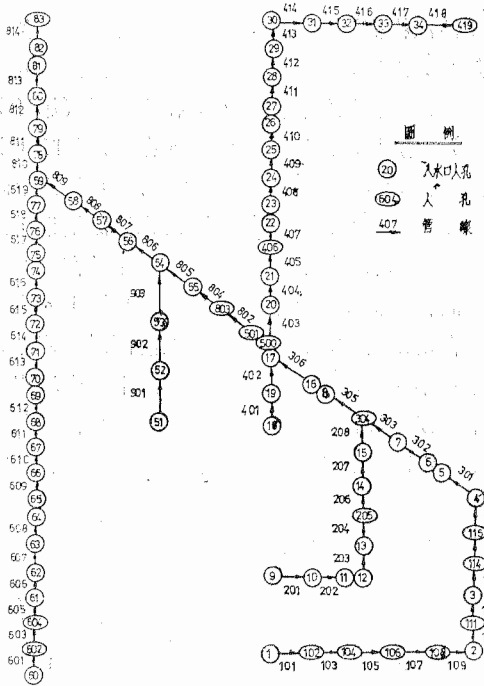


圖 8. 臺北市特一號暨敦化幹線排水系統分區示意圖

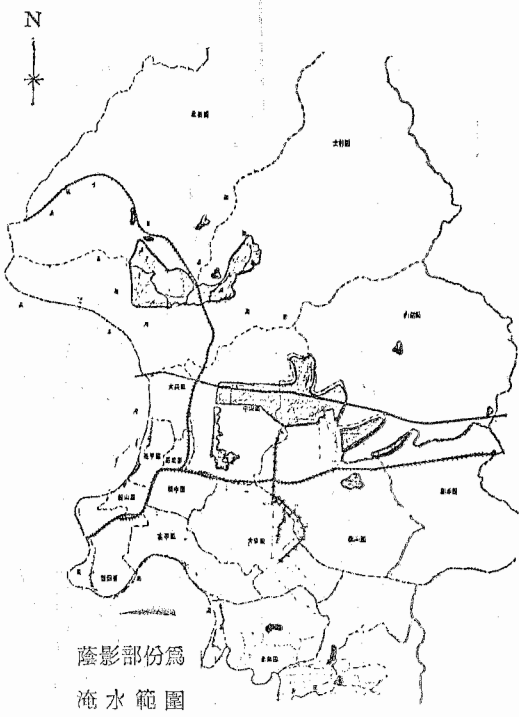


圖 11. 娜拉颱風市區淹水區域圖

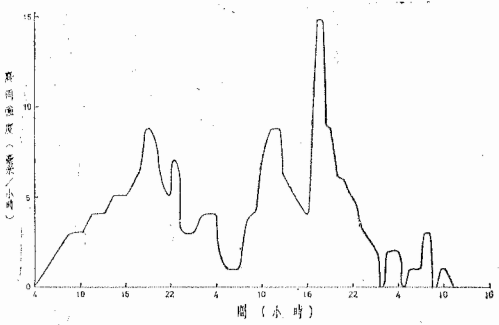


圖 9. 娜拉颱風 (67年10月12日) 降雨強度—延時曲線

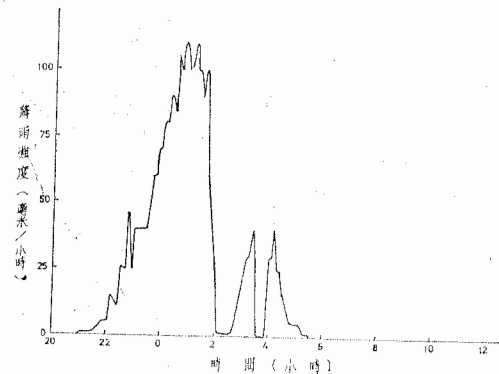


圖 10. 923 暴雨 (66年9月23日) 降雨強度—延時曲線

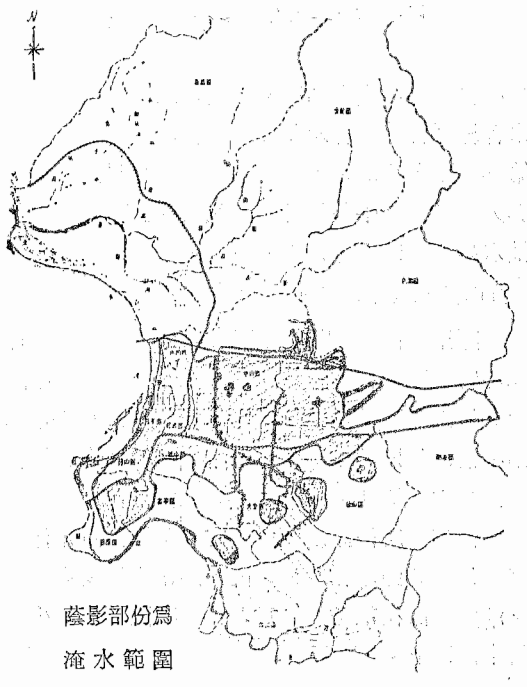


圖 12. 923 暴雨市區淹水區域圖

流量歷線下方之面積，係代表流經指定人孔之水流體積。本文中在以各類情況模擬比較時，可察覺使用特性法下游邊界條件係高水位時，其水流體積稍小於低水位者，而本模式及正常水流情形者更次之。其原因係模擬終止時，在高水位下，有部分水流尚貯存於幹線中，而本模式係以上游端點為水流之控制點，故其體積與正常水流情況較為接近。

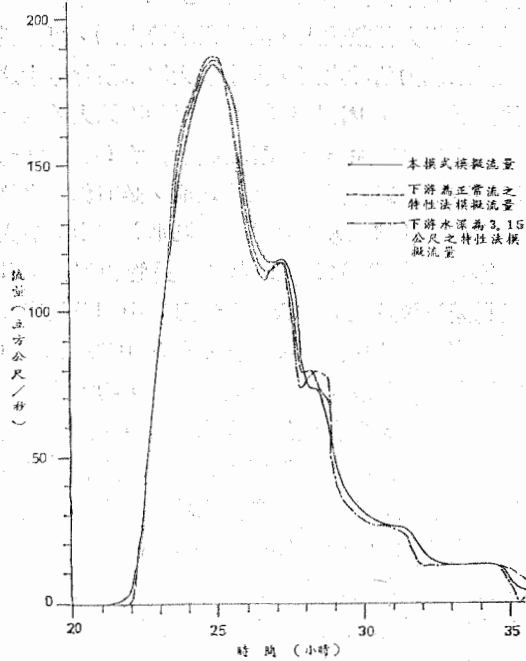


圖 13. 特一號幹線出口(第 83 號人孔) 流量歷線 (923 暴雨, 規劃坡度)

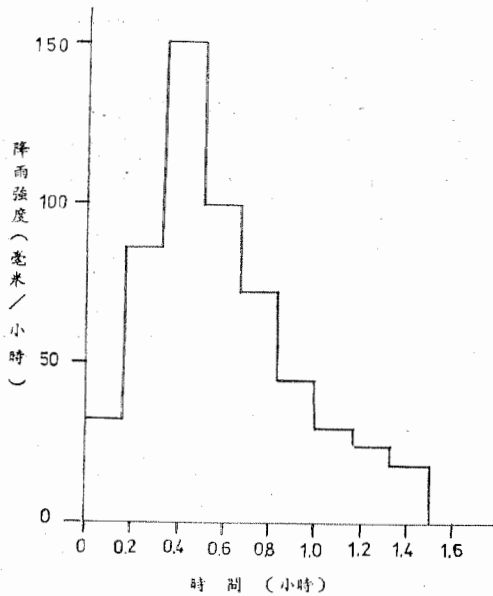


圖 14. 五年頻率設計暴雨降雨強度—延時強線

4-4 結果與討論

1. 排水系統規劃設計之檢討：

臺北市政府新工處於民國 58 年完成舊市區排水規劃工作，採用合理化公式計算逕流量，配合曼寧公式設計排水系統幹線。因理論較為粗略，如逕流係數求算之困難性，曼寧公式中均勻定量流動之假設，未能與實際排水情況相符合，本文中乃將規劃工作所採用之 5 年頻率設計暴雨及規劃排水幹線坡度，輸入本模式中模擬，得到流經各人孔處之流量歷線及淹水情況。圖 16 即表示第 34、59、83 及 419 號人孔處之入流歷線，其淹水體積—延時曲線則示於圖 17。由此二圖比較亦可看出第 34 號人孔處約在暴雨開始 30 分鐘時即有淹水情況發生，此刻之前其下游管線（第 418 元件）達最大容量

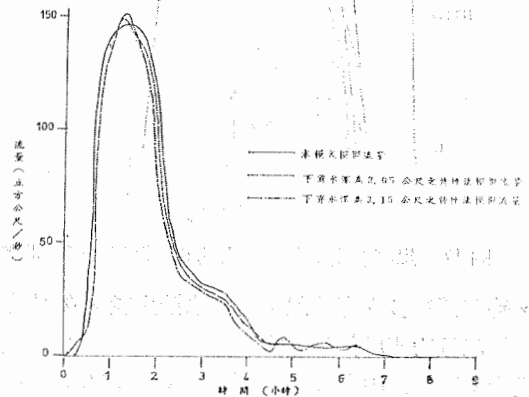


圖 15. 特一號幹線出口(第 83 號人孔) 流量歷線 (五年頻率設計暴雨規劃坡度)

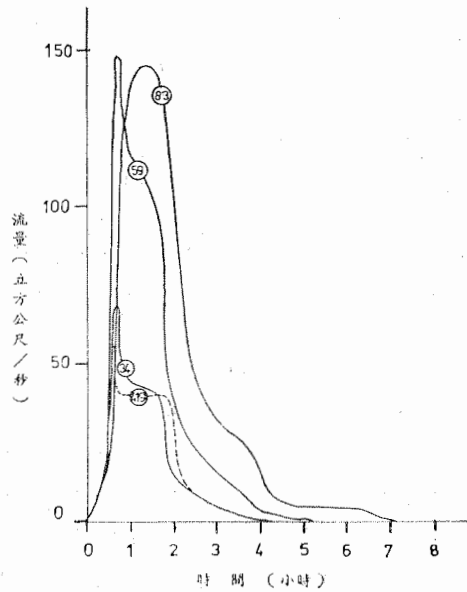


圖 16. 五年頻率設計暴雨各人孔流量歷線 (規劃坡度)

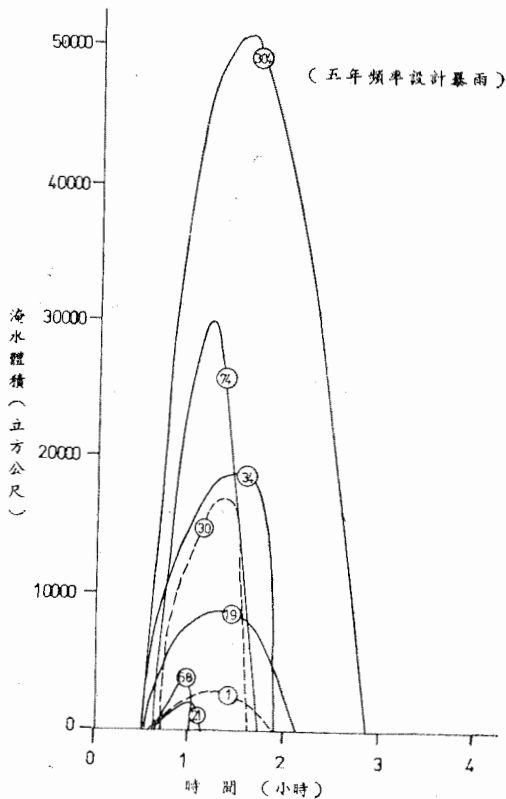


圖 17. 規劃坡度下各淹水人孔淹水體積—延時曲線

，約 56.8 每秒立方公尺，而淹水發生後，立刻變成滿管流量約 40.6 每秒立方公尺流入下游第 419 號人孔中。圖 17 中所示僅在 1、19、21、30、34、68、74、304 等 8 個人孔處有少量之淹水發生，與當初規劃時略有差異，其差異之產生可歸納如下：

- (i) 本模式在理論推導上有較佳之精度。
- (ii) 各分區情況已略有變更。
- (iii) 由於土地高度利用，使不透水面積增加，致逕流量增多。

本模式使用在規劃工作上，除理論嚴謹、精度可靠外，快速電子計算機作業，能迅速將排水系統中各人孔處之入流量及淹水歷線加以計算，對於規劃工作助益甚大，故本模式可作為排水系統規劃之藍本。

2. 現況系統排水能力之檢討：

臺北市排水系統規劃迄今已有十餘年，其施工亦多能與進度相配合，至今已具相當規模。惟人口迅速集中、土地建蔽率提高、促使逕流量大增；更由於施工誤差及地盤沉陷影響所及，使幹道底坡減緩，減低排水能力，常造成市區內局部淹水之現象，影響民生至鉅。本研究為探討此類問題之影響，

冀期提供一較準確之數量觀念，以作為排水系統檢討之用，因而將系統集水區若干分區、進行覆蓋面積百分比率調查及幹線底坡測量工作，不但可提供區域性排水基本資料，更可將五年頻率設計暴雨強度及現況調查資料輸入模式中，運算結果可作為現況系統改進之參考。茲再分述於下：

(i) 現況系統排水能力：係依斷面之輸水能力計算，即曼寧公式中 $Q = AR^{2/3}S^{1/2}/n$ ，將斷面測量數值及阻力係數代入，其結果示於表(-)，可作為幹線排水能力估計之用，表中最大容量指幹線中水深快達滿管時，因濕周 (P) 之增加率遠大於輸水面積 (A) 之增加率，促使水力半徑 ($R = A/P$) 突降，因而一般在達滿管水位之前，必有流量之極大值出現，此即為最大容量，在圓形幹線中，最大容量約在水深達 0.938 d 處 (d 為管直徑)，其流量為滿管流量之 1.08 倍，在矩形管中則受長寬比值之影響，本文中定為發生在水深達 0.96 h 處 (h 為管高度) 其最大容量則更為顯著，約可達滿管流量之 1.2 倍。但在應用本模式模擬時，此值將可提高，因本模式考慮以較精確之能量坡降替代管底坡度，當接近滿管時，上游洪水坡峰常尚未到達，上游端之比能 (specific energy) 較下游端為高，促使能量坡降線大於管底坡降，故流量可提高。如上節所述本模式使用在規劃斷面時，第 418 管件中，其最大容量 (56.8 立方公尺 / 秒) 為滿管流量 (40.6 立方公尺 / 秒) 之 1.4 倍。在幹線中，惟有在接近滿管之瞬間，方有最大容量之出現，而又立刻轉變為滿管水流，此意味着此管件上游人孔處已發生溢流現象。

(ii) 五年頻率設計暴雨模擬結果：

將設計雨型輸入模式後，計算其流量及淹水情況，圖 18 即表示各主要人孔之流量歷線，圖 19 則表各淹水人孔處之淹水體積——延時曲線，其顯示在現況地形坡度下，第 19、30、32、33、34、7、74、76、304 等 9 處人孔有淹水現象。為便於分析，將各淹水人孔處上下游管件之輸水能力表列如表(-)。

由表中可知悉，其淹水現象主要係由於下游管件管底坡度太緩，輸水能力反不如上游管件，故無法宣洩上游之入流量以及在人孔處入流之雨水，致使其發生溢流。而在第 30、34 人孔處，雖其上下游管件輸水能力相等，但因在人孔處有分區之雨水側流匯集，導致人孔處溢流之現象。

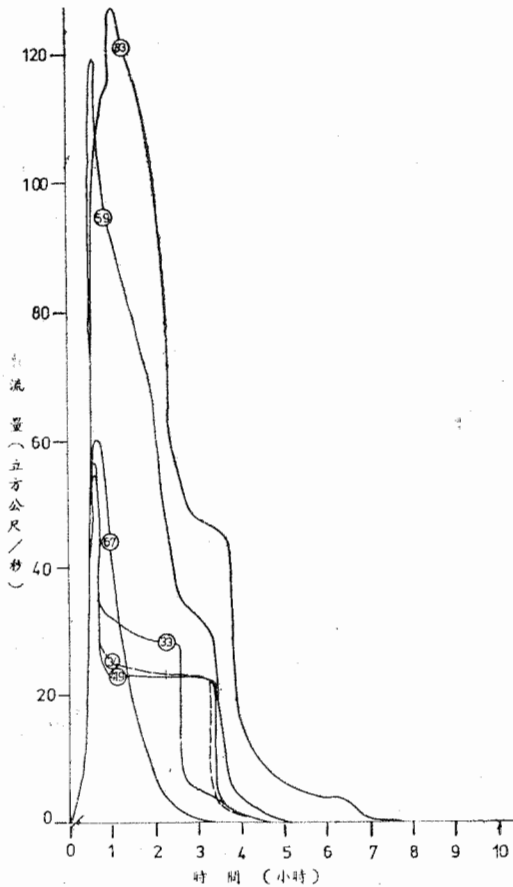


圖 18. 五年頻率設計暴雨各人孔流量歷線 (現況坡度)

為使在設計暴雨強度下，確保各排水系統區域內均無淹水現象發生。須先針對溢水人孔之下端管件加大其輸水能力，但須顧及因流量增加後，能否導致下游各管件之滿管，造成其上端人孔之溢流。故在作業上，須由上游而下，將改進方案，逐一輸入本模式中，加以模擬，直至全系統均無淹水為止。因而系統之檢討係整個面而非僅限於點之局部作業。

輸水能力之擴充，包括斷面及坡度之增加，惟目前各排水系統一般均沿道路設置，兩者之擴充均甚困難，尤以坡度受地形之限制，增加更屬不易。最可行者乃增加管件數或重新規劃另加排水系統。前者係針對局部性淹水之改善，在沿原排水道旁再增設管件，增加斷面積以利宣洩；後者可解決整個排水系統問題，即重新規劃另加排水系統以減少原排水系統之集水面積，如臺北市政府目前施工中之建國南北路排水系統，即重新規劃另加排水系統以減少原排水系統之集水面積，其目的即將部份原特

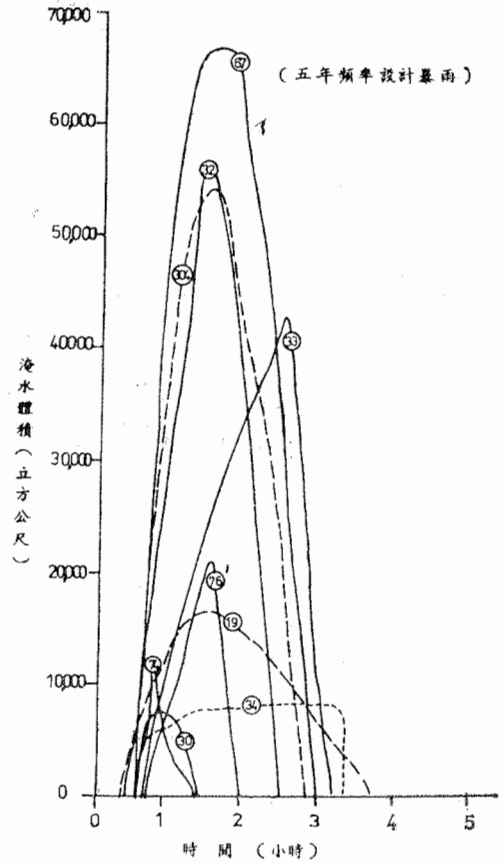


圖 19. 現況下各淹水人孔淹水體積一延時曲線

一號排水系統區域內之雨水，轉滙入此系統中，以減少特一號幹線之負擔。

五、結論與建議

5-1 結論：

1. 本研究所採用之模式係根據一維緩變變量流之動量及連續方程式，模擬排水系統中暴雨逕流經過各人孔之流量歷線及淹水體積延時曲線。在一般之數值分析法則中，若直接以常用之有限差分法或特性法模擬整個複雜之排水系統水流動態，不僅在地形資料上難以配合，電子計算機之計算時間及儲存空間，亦相當可觀。本模式乃依水流在排水系統中流動之過程，將模式分為地表逕流及幹線輸水兩部份。地表逕流部份包括漫地流及小溝流，為分區中計算水理之根據；幹線輸水部份在模擬幹線中水流運動情況。再依據逕流及輸水部份之水力特性將方程式予以合理之簡化，以節省人力及計算機時間，增加模式之使用效率。

表(一) 現況排水系統輸水能力表

敦 化 幹 線				特 一 號 幹 線			
管 件 號 碼	斷 面 積 (平方公尺)	滿 管 流 量 (CMS)	最 大 容 量 (CMS)	管 件 號 碼	斷 面 積 (平方公尺)	滿 管 流 量 (CMS)	最 大 容 量 (CMS)
101	2,280	5,263	5,684	601	11,244	62,702	72,368
103	3,967	7,598	9,474	603	11,244	17,970	20,740
105	4,370	4,694	5,791	605	11,244	9,626	11,110
107	5,436	5,280	6,513	606	13,120	39,000	45,078
109	5,458	5,356	6,600	607	16,198	48,776	56,298
110	6,540	6,811	8,402	608	17,828	33,146	37,880
112	6,540	9,258	11,422	609	21,904	56,595	64,678
113	6,540	9,258	11,422	610	23,100	64,706	73,774
115	6,540	12,623	15,572	611	23,100	17,450	19,896
117	6,540	11,000	13,572	612	23,100	81,614	93,052
201	12,000	42,589	51,277	613	31,484	91,945	104,548
202	15,750	78,883	94,540	614	31,484	44,172	50,224
203	19,250	77,857	98,911	615	31,484	44,172	50,224
204	19,250	46,585	57,106	616	31,484	44,172	50,224
206	21,000	29,992	37,115	617	32,188	42,312	48,002
207	21,000	51,948	64,284	618	32,188	37,724	42,796
208	21,000	51,948	64,284	619	48,996	63,906	69,710
301	10,350	21,163	26,563	802	34,982	54,358	61,160
302	19,600	43,272	55,714	804	37,094	55,076	61,618
303	20,500	38,486	50,869	805	34,480	63,078	70,324
305	14,000	15,720	18,611	901	8,995	13,501	15,757
306	21,018	24,686	30,553	902	8,995	22,195	25,904
401	3,101	7,163	8,546	903	8,995	12,847	14,993
402	3,101	2,479	2,958	806	38,480	63,078	70,324
403	10,206	21,138	25,642	807	42,000	64,370	71,180
404	10,206	21,536	26,126	808	42,000	64,370	71,180
405	10,206	16,884	20,484	809	42,000	78,836	87,178
407	14,578	21,992	25,666	810	63,872	152,974	161,348
408	18,002	21,538	25,134	811	63,872	152,974	161,348
409	18,002	25,714	30,010	812	63,872	152,974	161,348
410	18,002	25,714	30,010	813	63,872	152,974	161,348
411	18,002	29,636	34,588	814	63,872	152,974	161,348
412	21,780	54,640	63,770				
413	21,780	41,896	48,896				
414	21,780	41,896	48,896				
415	21,780	41,896	48,896				
416	21,780	27,768	32,406				
417	21,780	23,616	27,562				
418	21,780	23,616	27,562				

表(二) 現況地形各淹水人孔上下端管件輸水能力比較表

淹水人孔 號碼	上游管件				下游管件			
	號碼	斷面積 (平方公尺)	坡度 (%)	滿管流量 (CMS)	號碼	斷面積 (平方公尺)	坡度 (%)	滿管流量 (CMS)
67	610	23,100	0,2200	64,706	611	23,100	0,0160	17,450
32	415	21,780	0,1073	41,896	416	21,780	0,0474	27,768
304	303	20,500	0,2321	50,869	305	14,000	0,0860	18,611
	208	21,000	0,0900	64,284				
33	416	21,780	0,0474	27,768	417	21,780	0,0337	27,562
76	617	32,188	0,0390	42,312	618	32,188	0,0310	37,724
19	401	3,101	0,3590	7,163	402	3,101	0,0433	2,479
74	616	31,484	0,0450	44,112	617	32,188	0,0390	442,312
34	417	21,780	0,0337	27,562	418	21,780	0,0337	27,562
30	413	21,780	0,1073	41,896	414	21,780	0,1073	41,890

2.對於漫地流部份之分析，因水深較淺，慣性波作用影響甚小，一般可忽略之。本文係根據機動力之假設，即動量方程式僅考慮摩擦力與重力間之平衡。在輸水部份，因係排水幹線計算之骨幹，精度要求益加重要，本文中更考慮水面壓力梯度及速度梯度之影響。換言之，即以能量梯度以替代渠底坡度作水理演算，如此更可精確掌握排水幹線中水流之動態。

3.模式中在幹線分析時，將連續方程式寫成隱性差分式 (implicit finite difference form)。隱性差分法係一精度佳、穩定性較高之數值分析方法，故應用本模式模擬排水系統水流動態時，更能確保水流流程中質量之守恆性。

4.演算之時間間距 Δt 以及距離間距 Δx ，為決定模式精度及穩定性之重要因素。本文中在計算暴雨水流時，採用 5 分鐘之時間間距，過大則易導致結果發散；時間間距愈小雖可得較佳之精度，惟耗用較多之計算時間，且須留意計算機有效位數造成之捨入誤差 (roundoff error)。演算之距離間距則採用二人孔間之距離，過大則易導致結果之跳動，甚至發散。

5.本模式係為模擬排水系統之流況而建立，以水理理論為基礎，配合電子計算機作業，將模式寫成電腦程式，可以做為排水系統之規劃、設計及檢討等作業之用。由臺北市特一號及敦化兩排水幹線之應用實例，可知本模式能夠提供快速而準確結果，故可推廣應用在其他各地區排水系統之水流演算，以節省龐大之人力與作業時間。

5-2 建議

1.在排水系統中，有部份幹線連通成分叉狀，任其自由分水，相互支援宣洩，因此在水理控制及分析上甚為困難。如無法較準確地掌握水流之動態，則將失去系統規劃設計之意義。茲建議能依據現有排水系統之分區及幹線之輸水能力，將交叉幹線調整為單向流動，若無法避免分水之節點，則也應設置分水工，以控制水流。

2.目前在各排水系統中，在各幹線尚極少有流量站之設置，無法實地測得水流狀態，對於系統之檢討、規劃等工作，亦無法得到確實之憑據。如本模式在驗證過程中，亦遭遇甚多之困難。故工務機關宜儘速配合抽水站設置流量站，以蒐集排水系統中之基本資料。

3.排水系統幹線渠底高程測量資料，實為現況排水系統檢討最重要之依據。本研究期間內，曾耗用甚多之人力、經費從事該項工作，而坡度情況和原規劃情況已有相當之出入，且此坡度易受地盤沉陷影響而隨時有所變化。為能機動掌握其動態，應定時檢測，其結果可作為系統改善或重新規劃時之重要依據。

六、誌謝

本文承蒙臺大農工研究所王如意教授，臺大土木系徐年盛講師不時賜予卓見，解決困難，受益甚多；臺大土木系朱紹銘副教授提供現況排水系統實測資料，作者在此致最高謝意。

臺北市政府養工處王文總工程師、蘇宗智科長、李鴻基股長、新工處羅俊昇股長提供甚多寶貴資料及意見；中國技術服務社電腦中心之協助，給予使用 CDC CYBER 74 電子計算機；養工處提供經費，使本論文能順利完成，謹致謝忱。

七、參考文獻

- 1 臺北市政府工務局新建工程處：「臺北市雨水下水道系統規劃」報告。第一卷（規劃報告）、第二卷（規劃報告圖集）以及第三卷（原市區規劃報告附錄），民國 58 年 12 月。
- 2 曹以松、王如意、徐年盛：「區域排水規劃模式及應用之研究」。農工研究中心、臺大農工系、農復會研究計劃報告，民國 67 年。
- 3 徐年盛：「區域排水變量流模擬之研究」。國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文，民國 66 年。
- 4 施清吉：「明渠水力學非定量流之計算與分析」，土木水利第五卷第一期，民國 67 年 5 月。
- 5 曹以松、王如意：「測定臺北市降雨逕流係數專題研究報告」，農工研究中心與臺北市政府新工處研究計劃報告。民國 64 年。
- 6 Metcalf Eddy, Inc., Palo Alto, California: "Storm Water Management Model". Environmental Protection Agency, U.S.A. July 1971.
 Volume I — Final Report.
 Volume II — Verification and Test.
 Volume III — User's Manual.

Volume IV — Program Listing.

- 7 Mahmood K. and V. Yevjevich. "Unsteady Flow in Open Channels". p. 89-508, Volume I, Water Resource Publications, U.S.A. 1975.
- 8 Mahmood K. and V. Yevjevich, "Unsteady Flow in Open Channels" p485-508, Volume II, Water Resources Publications, U.S.A. 1975
- 9 Henderson F. M, "Open Channel Flow". p. 364 & p. 285-346.
- 10 Tholin, A. L. and Keifer. C. J., "Hydrology of Urban Runoff," Transaction, ASCE. Paper No. 3061. Vol.125, 1960.
- 11 Crawford, N. H. and Linsley, R. K., "Digital Simulation in Hydrology, Standford Watershed Model IV, "Technical Report No. 39, Department of Civil Engineering, Standford University, July 1966.
- 12 Warren Viessman, Jr. et. al., "Introduction to Hydrology". p. 330-349, The Intext Series in Civil Engineering, 1972.

營業項目：土木、水利、建築、橋樑工程

新興土木包工業

地址：彰化縣二林鎮華崙里挖仔路三六號
 電話：(〇四八)八五二九七一

承包土木、建築、水利工程

大小建造有限公司

負責人 張 陳 對

地址：屏東市青島街三六號
 電話：三二二四五
 六三六八
 五九九

附錄：模 式 輸 入 資 料 表

表 1 敦 化 幹 線 逕 流 部 份 輸 入 資 料

分 區 號 碼	入 水 口 號 碼	寬 度 (公尺)	面 積 (公頃)	不 透 水 面 積 比 (%)	地 表 坡 度 (公尺/百公尺)
1	1	680	22,590	53.8	0.15
2	2	160	7,947	87.5	0.45
3	3	640	9,612	91	0.30
4	4	800	8,856	95	0.20
5	5	700	6,750	90	0.20
6	6	1,260	21,978	97	0.07
7	7	270	8,772	95	0.03
8	8	1,040	7,980	95	0.09
9	9	1,670	31,626	66.7	0.08
10	10	250	6,996	95	0.07
11	11	860	10,041	95	0.03
12	12	1,000	22,404	82	0.12
13	13	700	3,816	95	0.03
14	14	750	10,269	50	0.20
15	15	980	10,197	92	0.13
16	16	700	18,306	92	0.08
17	17	800	7,014	95	0.03
18	18	920	18,706	75	0.04
19	19	1,260	19,319	92	0.03
20	20	1,200	33,012	92.6	0.08
21	21	660	9,342	95	0.17
22	22	920	38,034	76	0.12
23	23	400	8,883	95	0.03
24	24	300	2,489	95	0.03
25	25	140	4,307	55	0.05
26	26	3,800	43,200	93	0.09
27	27	200	3,348	20	0.06
28	28	350	16,926	48	0.07
29	29	1,500	29,259	70	0.12
30	30	3,050	37,035	92	0.10
31	31	450	8,061	84	0.06
32	32	400	9,056	71.5	0.03
33	33	1,680	36,369	56	0.08
34	34	450	8,586	63	0.15

分區總數：34

總面積：541.08 公頃

表 2 特 一 號 幹 線 逕 流 部 份 輸 入 資 料 表

分區號碼	入水口 號 碼	寬 度 (公尺)	面 積 (公頃)	不 透 水 面 積 比 百 分 之 百 (%)	地 表 坡 度 (公尺/百公尺)
51	51	2,690	22,934	67	0,107
52	52	2,800	22,725	86	0,110
53	53	1,870	21,013	78	0,210
54	54	1,780	18,045	92	0,001
55	55	3,410	26,349	90	0,150
56	56	2,220	27,207	93	0,057
57	57	1,400	19,449	85	0,013
58	58	1,700	24,408	45	0,130
59	59	920	13,968	70	0,110
60	60	1,260	14,055	74	0,087
61	61	1,740	18,689	90	0,170
62	62	4,960	98,496	67	0,081
63	63	1,140	21,879	87	0,200
64	64	1,040	25,542	66	0,210
65	65	2,000	29,568	83	0,250
66	66	1,060	28,920	50	0,250
67	67	1,000	14,454	67	0,270
68	68	360	6,928	90	0,263
69	69	3,840	32,940	90	0,125
70	70	2,840	33,750	82	0,071
71	71	50	7,065	90	0,100
72	72	540	5,670	90	0,053
73	73	400	8,757	95	0,050
74	74	2,220	19,035	93	0,138
75	75	3,000	36,816	67	0,154
76	76	1,300	24,450	76	0,050
77	77	1,660	11,844	95	0,250
78	78	6,280	71,634	87	0,093
79	79	5,480	32,886	73	0,540
80	80	13,680	167,826	55	0,180
81	81	9,320	99,939	84	0,302
82	82	10,740	98,076	89	0,061

分區總數：32

總面積：1,105.32 公頃

表3 敦化幹線輸水部份輸入資料表

管 件										非 管 件		
單元號碼	單元型式	斷 面 (公尺)		孔 數	長 度 (公尺)	坡 度 (公尺/百公尺)		曼寧糙 度 n 值	上游單元	單元號碼	單元型式	上游單元
		現 況	規 劃			現 況	規 劃					
201	矩	4.00×3.00	4.00×3.00	1	190.0	0.2600	0.0600	0.013	9	9	入水口	—
202	矩	4.50×3.50	4.50×3.50	1	222.0	0.4500	0.0550	0.013	10	10	水水口	201
203	矩	5.50×3.50	5.50×3.50	1	142.0	0.2700	0.0550	0.913	12	11	入水口	202
204	矩	5.50×3.50	5.50×3.50	1	140.0	0.0900	0.0550	0.013	13	12	入水口	11
206	矩	6.00×3.50	6.00×3.50	1	154.0	0.0300	0.0550	0.013	205	13	入水口	203
207	矩	6.00×3.50	6.00×3.50	1	500.0	0.0500	0.0600	0.013	14	205	人 孔	204
208	矩	6.00×3.50	6.00×3.50	1	106.0	0.0900	0.0600	0.013	15	14	入水口	206
301	矩	4.50×2.30	4.50×2.30	1	325.0	0.3737	0.3737	0.025	4	15	入水口	207
302	矩	7.00×2.80	7.00×2.80	1	340.0	0.3028	0.3028	0.025	6	4	入水口	117
303	矩	8.20×2.50	8.20×2.50	1	340.0	0.2321	0.2321	0.025	7	5	入水口	301
305	矩	9.00×2.50	6.00×3.50	1	110.0	0.1957	0.0860	0.025	304	6	入水口	5
306	矩	9.00×2.50	4.00×3.50×2	1	490.0	0.0627	0.0750	0.025	16	7	入水口	302
401	矩	1.95×1.59	1.95×1.59	1	658.5	0.3590	0.1700	0.015	18	304	入水口	303 208
402	矩	1.95×1.59	1.95×1.59	1	170.0	0.0433	0.1500	0.015	19	8	入水口	305
403	矩	2.70×1.89	2.70×1.89	2	175.0	0.2102	0.1050	0.015	500	16	入水口	8
404	矩	2.70×1.89	2.70×1.89	2	162.0	0.2180	0.1600	0.015	20	17	入水口	306 402
405	矩	2.70×1.89	2.70×1.89	2	63.0	0.1344	0.0900	0.015	21	18	入水口	—
407	矩	2.70×2.70	2.70×2.70	2	393.0	0.0860	0.0900	0.015	406	19	入水口	401
408	矩	3.00×3.00	3.00×3.00	2	97.0	0.0474	0.0800	0.015	23	20	入水口	403
409	矩	3.00×3.00	3.00×3.00	2	30.0	0.0667	0.0800	0.015	24	21	入水口	404
410	矩	3.00×3.00	3.00×3.00	2	140.0	0.0667	0.0800	0.015	25	406	人 孔	405
411	矩	3.00×3.00	3.00×3.00	2	230.0	0.0885	0.0900	0.015	27	22	入水口	407
412	矩	3.30×3.30	3.30×3.30	2	250.0	0.1817	0.0700	0.015	28	23	入水口	22
413	矩	3.30×3.30	3.30×3.30	2	25.0	0.1073	0.0800	0.015	29	24	入水口	408
414	矩	3.30×3.30	3.30×3.30	2	145.0	0.1073	0.0800	0.015	30	25	入水口	409
415	矩	3.30×3.30	3.30×3.30	2	186.0	0.1073	0.0900	0.015	31	26	入水口	410
416	矩	3.30×3.30	3.30×3.30	2	397.0	0.0474	0.1000	0.015	32	27	入水口	26
417	矩	3.30×3.30	3.30×3.30	2	43.0	0.0337	0.1000	0.015	33	28	入水口	411
418	矩	3.30×3.30	3.30×3.30	2	29.0	0.0337	0.1000	0.015	34	29	入水口	412
101	圓	1.70	1.70	1	150.0	0.3720	0.0700	0.015	1	30	入水口	413
103	矩	2.70×1.50	2.70×1.50	1	130.0	0.2210	0.0400	0.015	102	31	入水口	414
105	矩	2.70×1.60	2.70×1.60	1	155.0	0.0640	0.0400	0.015	104	32	入水口	415
107	矩	3.00×1.80	3.00×1.80	1	115.0	0.0460	0.0600	0.015	105	33	入水口	416
109	矩	3.00×1.80	3.00×1.80	1	52.0	0.0460	0.0600	0.015	109	34	入水口	417
110	矩	3.00×2.00	3.30×2.00	1	253.0	0.0460	0.1100	0.015	2	419	人 孔	418
112	矩	3.30×2.00	3.30×2.00	1	129.0	0.0850	0.1100	0.015	111	501	人 孔	500
113	矩	3.30×2.00	3.30×2.00	1	110.5	0.0850	0.1100	0.015	3	500	分水工	17
115	矩	3.30×2.00	3.30×2.00	1	220.5	0.1580	0.1100	0.015	114	1	入水口	—
117	矩	3.30×2.00	3.30×2.00	1	115.5	0.1200	0.1100	0.015	116	102	人 孔	101
										104	人 孔	103
										106	人 孔	105
										108	人 孔	107
										2	入水口	109
										111	人 孔	110
										3	入水口	112
										114	人 孔	113
										116	人 孔	115

表 4 特 一 號 幹 線 輸 水 部 份 輸 入 資 料 表

管 件										非 管 件		
單元號碼	單元型式	斷 面 (公尺)		孔 數	長 度 (公尺)	坡 度 (%)		曼寧糙度 n 值	上游單元	單元號碼	單元型式	上游單元
		現 況	規 劃			現 況	規 劃					
601	矩	2.5×2.25	2.2×2.25	2	105	1.400	0.110	0.015	60	60	入水口	—
603	"	2.5×2.25	2.5×2.25	2	105	0.115	0.120	0.015	602	602	人 孔	601
605	"	2.5×2.25	2.5×2.25	2	235	0.033	0.090	0.015	604	604	人 孔	603
606	"	2.7×2.47	2.7×2.47	2	130	0.360	0.110	0.015	61	61	入水口	605
607	"	3.0×2.7	3.0×2.70	2	255	0.320	0.140	0.015	62	62	"	606
608	"	3.3×2.70	3.3×2.70	2	175	0.115	0.140	0.015	63	63	"	607
609	"	3.7×2.96	3.7×2.96	2	401	0.195	0.110	0.015	65 64	64	"	608
610	"	3.8×3.04	3.8×3.04	2	150	0.220	0.110	0.015	66	55	"	608
611	"	3.8×3.04	3.8×3.04	2	170	0.016	0.110	0.015	67	66	"	609
612	"	3.8×3.04	3.8×3.04	2	195	0.350	0.110	0.015	68	67	"	610
613	"	4.5×3.5	4.5×3.5	2	80	0.195	0.100	0.015	69 70	68	"	611
614	"	4.5×3.5	4.5×3.5	2	165	0.045	0.100	0.015	71	69	"	612
615	"	4.5×3.5	4.5×3.5	2	65	0.045	0.100	0.015	72	70	"	612
616	"	4.5×3.5	4.5×3.5	2	165	0.045	0.100	0.015	73	71	"	613
617	"	4.5×3.5	4.5×3.5	2	280	0.039	0.070	0.015	74 75	72	"	614
618	"	4.5×3.5	4.5×3.5	2	185	0.031	0.070	0.015	76	73	"	615
619	"	7.0×3.5	7.0×3.5	2	390	0.031	0.090	0.015	77	74	"	616
901	"	3.0×3.0	3.0×3.0	1	615	0.074	0.055	0.015	51	75	"	616
902	"	3.0×3.0	3.0×3.0	1	90	0.200	0.055	0.015	52	76	"	617
903	"	3.0×3.0	3.0×3.0	1	1,335	0.067	0.110	0.015	53	77	入水口	618
802	"	5.0×3.5	5.0×3.5	2	178	0.057	0.052	0.015	501	51	入水口	—
804	"	5.3×3.5	5.3×3.5	2	230	0.053	0.046	0.015	803	52	入水口	901
805	"	5.5×3.5	5.5×3.5	2	145	0.062	0.055	0.015	55	53	"	902
806	"	5.5×3.5	5.5×3.5	2	245	0.062	0.055	0.015	54	54	"	903 805
807	"	6.0×3.5	6.0×3.5	2	215	0.053	0.046	0.015	56	501	人 孔	—
808	"	6.0×3.5	6.0×3.5	2	320	0.053	0.046	4.015	57	803	"	802
809	"	6.0×3.5	6.0×3.5	2	450	0.076	0.069	0.015	58	55	入水口	804
810	"	14.2×4.5	14.2×4.5	1	170	0.060	0.060	0.015	59	56	"	806
811	"	14.2×4.5	14.2×4.5	1	300	0.060	0.060	0.015	78	57	"	807
812	"	14.2×4.5	14.2×4.5	1	280	0.060	0.060	0.015	79	58	"	808
813	"	14.2×4.5	14.2×4.5	1	1,064	0.060	0.060	0.015	80	59	"	809 619
814	"	12.2×4.5	14.2×4.5	1	1,540	0.060	0.060	0.015	81 82	78	"	810
										79	"	811
										80	"	812
										81	"	813
										82	"	813
										83	人 孔	814