

專 論

區域排水變量流模擬之研究*

A Study on the Simulation of Unsteady Flow (I) for Regional Drainage Planning

臺灣大學農業工程研究所研究助理

徐 年 威

指導教授 王如意** 施嘉昌***

ABSTRACT

In this study, one dimensional model of unsteady flow is set up under the conditions that various drainage cases and possible layouts of drainage system are combined and the boundary conditions and junction conditions are analyzed. The model is used to simulate the inundated conditions for different sections of designed channel of regional drainage planning area under various storm frequencies.

By applying the principle of specified time intervals of characteristics method, one dimensional unsteady continuity equation and momentum equation are expressed in numerical forms and set into computer programs as solving hydraulic routing in naturally drainage channel. At the drainage gates where the lateral channels join the main channel, the hydrological equation and gate equation are used according to the water balance concept for computing the storage of every time step. The inundated elevation and area are thus determined, the relation curves of inundated duration-elevation-area can also be plotted. The curves can be used to estimate the drainage loss due to suffering from inundation.

After being applied to the drainage planning of the basin of Don-Shan River of Ro-Tung, the model reveals that the results of simulation are closed to those of observations and the simulated conditions show very reasonable. The model is expected for further modifications in order to apply for the simulation of similar inundated conditions in other regional drainage plannings of Taiwan.

摘 要

本研究中將各種排水方案及各種可能之排水系統佈置加以配合，並分析其邊界條件和結點條件而建立一維變量流模式，用以模擬各種不同頻率暴雨發生時，區域排水計劃區內在各種排水計劃斷面條件下之浸水情況。

在自然排水之幹、支渠道利用特性法中之定時距法 (Method of specified time intervals)，將渠道一維變量流連續方程式及動量方程式作成電子計算機程式，從事排水渠道之水力演算；而在各支分集水區排注渠道之會流排水門處，則根據水平衡觀念利用水文方程式及排水門公式演算各時段之蓄水量，並求知浸水標高及面積，繪製浸水時間——浸水標高——浸水面積關係曲線，以資區域排水規劃估計浸災損失之依據。

將本模式應用於羅東冬山溪流域排水計劃區顯示模擬之結果與實際觀測頗多吻合，其浸水情況亦十分合理。故本模式可推廣應用於本省其他區域排水規劃浸水情況之模擬。

* 國立臺灣大學農業工程研究所碩士畢業論文

** 國立臺灣大學農業工程學系副教授

*** 國立臺灣大學農業工程學系教授兼系主任

一、引言

本省現有之耕地一半以上均處於洪水泛濫之範圍內，由於地勢平坦，如欲充分開發利用，必先有足夠之禦洪與有效之排水設備，其他非洪水泛濫地區亦常因颱風季節充沛降雨而發生浸水，致農作物遭受損害；至於都市鄉鎮，因濫建與違建亦阻礙了排洪路線，致近年來，各地浸水災害迭有發生，故區域排水系統之規劃改善為本省目前亟待解決之課題。排水系統改善之目的為減低浸災損失，而規劃之目的則為經由比較改善工程之投資成本與減少浸災損失之計劃效益，以尋求最有效之經濟排水方案與最適排水量 (Optimum Drainage Capacity)。浸水情況為估計浸災損失最主要之因子，故規劃區域排水時，首須模擬各種發生頻率暴雨在現況及各種設計渠道條件下所造成淹水區域之浸水情況。

一般模擬淹水區域之浸水情況可採用兩種模式，即(1)一維模式 (One-dimensional model) 與(2)二維模式 (Two-dimensional model)。二維模式考慮淹水地區洪水實際運動之情況，可演算任一時間，淹水區域內，任何位置之流量與水位而得知浸水情況；一維模式則為演算排水渠道之流量與水位，而在逕流排注渠道之入口處，根據「水平衡」(Water balance) 導得浸水狀況，所謂「水平衡」意即在某一時段內，蓄水 (Storage) 之增加量為平均流入量與平均流出量之差，且此蓄水量乃平均蓄積於低窪地區。

本省過去鮮有精確可靠之方法以推算淹水區域之浸水情況作為區域排水規劃之依據。本文中檢討國內外有關模擬浸水情況之研究經比較研判得知以變量流理論演算渠道之流量與水位，且將演算時距縮小令淹水近似於實際情況，則採用一維模式即可得到相當理想之結果。

本文之目的為建立一維變量流浸水模式，利用電子計算機高度運算之功能，以冀在不同邊界條件下模擬淹水區域之浸水情況，並以羅東排水計劃區為實例，以資模式之驗證，可供本省其他區域排水規劃之參考。

二、浸水情況演算方法之檢討

2-1 國內有關之研究

(一)渠道漫溢法⁽⁶⁾——以往臺灣省水利局從事區域排水規劃時，均以此法求得浸水情況。

1.原理

如圖 2-1 所示，渠道漫溢法可表示如下：

$$V_1 - V_0 = V_s \dots\dots\dots (2-1)$$

上式中， V_1 為流量歷線下之水體積，

V_0 為渠道容納之水體積，

V_s 為漫溢之水體積。

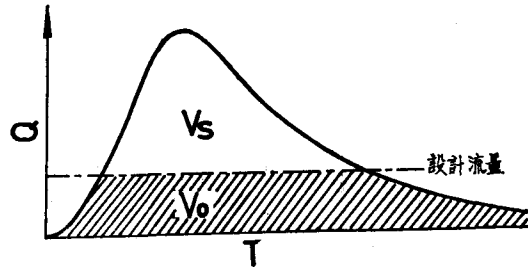


圖 2-1 渠道漫溢法

2.計算方法

(1)利用式 (2-1) 求得各發生頻率之洪水所造成之 V_s 。

(2)根據流域之標高——蓄水量曲線及標高——面積曲線求得浸水面積和浸水標高。

(二)背水推算與水文蓄水法——此法首由農復會水利組鄭俊澤工程師演用，臺灣省水利局亦陸續研究，現已漸被採用於排水規劃時，模擬浸水情況之用⁽⁶⁾。

1.原理：

此法假設排水渠道之流況為定量流 (Steady flow)，故由排水幹渠之出口流量及水位，利用能量公式可求得渠道之背水高⁽¹⁸⁾如下所示：

$$Z_1 = Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \dots\dots\dots (2-2)$$

上式中， Z_1 為河段上游斷面之水位。

Z_2 為河段下游斷面之水位。

α_1 為河段上游斷面之能量係數，

α_2 為河段下游斷面之能量係數，

V_1 為河段上游斷面之平均流速，

V_2 為河段下游斷面之平均流速，

$h_f = S_f \cdot \Delta x$ 為摩擦損失，

S_f 為摩擦坡度。

在支流與幹渠會合處，則採用水收支平衡觀念，即利用水文方程式及出口流量公式，以試誤法 (Trial-and-error method) 解下式：

$$Q(E_0, E_1) = O_2$$

$$(I_1, I_2, O_1, \Delta t, S_1, S_2, (E_2)) \dots\dots (2-3)$$

上式中， $Q(E_0, E_1)$ 表示出口流量 Q 為 E_0 和 E_1 之函數，

$O_2(I_1, I_2, O_1, \Delta t, S_1, S_2(E_1))$ 表示支流流出流量為 $I_1, I_2, O_1, \Delta t, S_1, S_2(E_1)$ 之函數，

E_0 為排水渠道之水位，

E_1 為支流流域之浸水水位，

I_1 為支流流域在前時段之入流量，

I_2 為支流流域在現時段之入流量，

O_1 為支流流域在前時段之出流量，

S_1 為支流流域在前時段之蓄水量，

$S_2(E_1)$ 為支流流域在現時段之蓄水量為 E_1 之函數，

Δt 為演算時距。

2. 計算方法：

(1) 由幹渠假設之出口流量及已知之出口水位利用式 (2-2) 往上游推算各斷面之水位標高。

(2) 在支流排注幹渠之斷面利用式 (2-3) 計算支流流域之浸水標高 E_1 和浸水體積 S_2 。

(3) 由幹渠流量減去支流之出流量，若此值為負，則調整幹渠之出口流量重複前述步驟往上游推算。

(4) 至上游邊界斷面時，比較幹渠流量與入流量，若二者之差異量大於容許誤差，則調整幹渠之出口流量。重複前述步驟，直至差異量小於容許誤差，則結束此一時段之演算。

(5) 繼續下一時段之演算直到洪水退完為止，則各支流流域之浸水水深、浸水面積、浸水體積與浸水時間均可求算。

2-2 國外有關之研究——洪水平原二維模式

Zanobetti, D., Lorgere, H., Preisman, A. & Gune, J. A. 諸氏於 1964 年至 1970 年利用洪水平原實際上之地理條件代替潮流公式，首先以二向度變量流理論建立洪水平原二維模式⁽¹⁴⁾，模擬越南湄公河三角洲淹水區域之浸水情況。

(一) 原理

由淹水區域之實際地理情況將其劃分成某數目之小區，如圖 2-2 所示，則每一小區均可導得一連續性公式如下：

$$A_i \frac{dZ_i}{dt} = P_i(t + \sum_k Q_{i,k}(Z_i, Z_k)) \dots \dots (2-4)$$

上式中， A_i 表 i 小區之水面積，

$P_i(t)$ 表時間為 t 時之降水量，

$Q_{i,k}(Z_i, Z_k)$ 表 i 小區與 k 小區間之流量，

Z_i 表 i 小區之水位，

Z_k 表 k 小區之水位。

由於此模式目前尚在發展中，且其演導及計算方法十分繁瑣，此處不擬詳述。

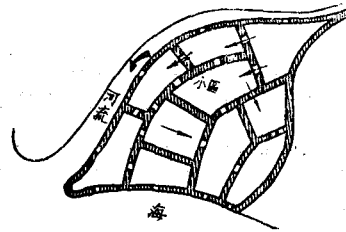


圖 2-2 二維模式分區示意圖

2-3 各種演算方法之檢討

(一) 渠道漫溢法

此法最為簡單，僅憑直覺判斷較少理論根據，故作為工程師判斷初步可能浸水情況尚可，若作為排水規劃經濟分析之依據，則似嫌粗略。

(二) 背水推算與水文蓄水法

此法以流體力學之連續方程式，能量方程式及水文方程式為根據，已有相當之理論基礎，且計算亦頗繁瑣，非賴電算機不為功，為目前本省演算浸水情況較準確之方法，但與實際流況尚有差距，即

1. 一般排水渠道之出口，無論受海潮漲落或河川洪水位頂托之影響均為變量流問題，尤以出口建有防潮閘門或排水門，當洪水量過大時，反阻擋排水，而形成湧波 (Surge wave) 向上游傳遞，更是典型之變量流問題，若以定量流考慮之，可能有某種程度之誤差。

2. 水文方程式中，蓄水量 S 假設由低窪地區平均逐漸上漲，此假設為當演算時距 Δt 越小時越合理；反之，誤差必大。

(三) 洪水平原二維模式

此法為最有理論根據，且因其為考慮洪水平原實際地理情況加以演導者，故最能描述淹水情況，但其所需之資料，以及小區 (Compartments) 之劃分，小區聯接 (link) 之型式等皆須化費相當之人力整理分析，且演算時所化費之電腦時間，亦相當龐大，尤以邊界條件之難於決定與簡化更為此模式最大之限制。

由上所述，各方法有其優劣點，故於此使用本模式做研究，以期解決前述模式之不足，使其在模擬浸水狀況時合於經濟、準確及適用之原則，作為排水規劃之根據。

三、理論分析

一般水流問題之解析，不外乎將控制水流之諸方

程式聯立解之。在模擬淹水地區之浸水情況時亦不例外。本文採用一維變量流模式，其主要工作為求算排水渠道之水位與流速，故可聯立解水流之一維變量流連續方程式 (Continuity equation) 及一維變量流動量方程式 (Momentum equation)，即

$$\frac{V}{A} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (3-1)$$

$$g \frac{\partial y}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + g(S_f - S_o) = 0 \dots\dots\dots (3-2)$$

上式中，V 為平均流速，
A 為渠道斷面積，
y 為水深，
S_f 為摩擦坡降，
S_o 為渠底平均坡度，
g 為重力加速度。

式 (3-1) 與式 (3-2) 為 de Saint Venant 在 1848 及 1871 年首先發表之變量流連續方程式和動量方程式⁽¹¹⁾。

若考慮側流量時，設 \bar{q} 為平均側流量，即⁽¹²⁾

$$\bar{q} = \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{\Delta t} \int_x^{x+\Delta x} \int_t^{t+\Delta t} q(x,t) dt dx \dots\dots\dots (3-3)$$

則式 (3-1) 和 (3-2) 可改寫如下：

$$\frac{V}{A} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\bar{q}}{A} \dots\dots\dots (3-4)$$

$$g \frac{\partial y}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + g(S_f - S_o) = -\frac{V}{A} \bar{q} \dots\dots\dots (3-5)$$

3-1 排水渠道變量流方程式之解法^(13,16,17)

排水渠道之變量流連續方程式和動量方程式，即式 (3-1) 與式 (3-2) 為一組雙曲線型 (Hyperbolic type) 之偏微分方程組，無法以分析法 (Analytic method) 求解，而須以數值方法 (Numerical method) 求其近似解。一般解此方程組之數值方法有二大類⁽¹³⁾，即有限差分法 (Finite difference method) 和特性法 (Method of characteristics)。有限差分法乃將偏微分方程組直接寫成有限差分形式 (Finite-difference form) 解之，共包括兩種基本形式，即顯性體系 (Explicit scheme) 和隱性體系 (Implicit scheme)；特性法則須將偏微分方程組作線性聯接化為常微分特性方程式再求解之，茲將各種方法簡述如后：

(一) 顯性差分法

此法乃由已知時段上各點之數值直接決定次一時段各點之數值，由於差分體系之不同而有下列數種方法：

1. 不穩定法 (Unstable method)
2. 擴散體系 (Diffusive scheme)
3. 蛙跳體系 (Leap-frog scheme)
4. 賴克斯——威作福體系 (Lax-wendroff scheme)
5. 鍾克斯體系 (Dronkers scheme)

(二) 隱性差分法

此法首由 Richtmyer 於 1947 年詳加描述並應用於解決熱傳導之問題，隨後由 Preissmann 用以解決明渠變量流之問題，其方法為將已知時段上各點之數值與次一時段上各點之數值加上一權量因子 (Weight factor) θ 建立一組聯立方程式，而可求得次一時段上各點之數值，由於未知時段上各點之數值互有關聯並非獨立，無法由已知時段各點之數值直接求得，故稱之隱性差分法。在 $0.5 < \theta \leq 1$ 之條件下，差分體系完全穩定，故可取較長之演算時距 Δt 。

(三) 特性法

特性法乃利用式 (3-1) 及式 (3-2) 作線性聯接而求得一組常微分方程式即特性方程式 (Characteristics equation)，則由已知時段上各點之數值，利用特性方程式即可求得未知時段各點之數值，一般有兩種體系，即可變格子法 (Variable grid method) 及定時距法 (Specified time interval method)。本文採用後者，於下節詳述之。

3-2 定時距特性法之演導^(16,17)

由式 (3-2) 令

$$L_1 = g \frac{\partial y}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + g(S_f - S_o) = 0 \dots\dots\dots (3-6)$$

因 $\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{\partial A}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x} = T \frac{\partial y}{\partial x}$ 代入式 (3-1) 則得

$$L_2 = \frac{A}{T} \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \dots\dots (3-7)$$

利用乘子 λ 將 L_1 及 L_2 作線性聯接則得

$$L_1 + \lambda L_2 = \left[\frac{\partial V}{\partial x} \left(V + \frac{\lambda A}{T} \right) + \frac{\partial V}{\partial t} \right] + \lambda \left[\frac{\partial y}{\partial x} \left(V + \frac{g}{\lambda} \right) + \frac{\partial y}{\partial t} \right] + g(S_f - S_o) = 0 \dots\dots\dots (3-8)$$

$$\text{令 } \frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x} \left(V + \frac{\lambda A}{T} \right) + \frac{\partial V}{\partial t} \dots\dots\dots (3-9)$$

$$\text{且 } \frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial x} (V + \frac{g}{\lambda}) + \frac{\partial y}{\partial t} \dots\dots\dots(3-10)$$

則式(3-8)可寫成常微分方程式如下

$$\frac{dV}{dt} + \lambda \frac{dy}{dt} + g(S_r - S_o) = 0 \dots\dots\dots(3-11)$$

$$\text{因 } \frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial V}{\partial t} \dots\dots\dots(3-12)$$

$$\text{又 } \frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial y}{\partial t} \dots\dots\dots(3-13)$$

比較式(3-9), (3-10), (3-12), (3-13)可得

$$\frac{dx}{dt} = V + \frac{\lambda A}{T} \text{ 及 } \frac{dx}{dt} = V + \frac{g}{\lambda} \text{ 解 } \lambda \text{ 得}$$

$\lambda = \pm \sqrt{gT/A}$, 則式(3-11)可寫成

$$\frac{dV}{dt} \pm \sqrt{gT/A} \frac{dy}{dt} + g(S_r - S_o) = 0 \dots\dots\dots(3-14)$$

$$\text{且 } \frac{dx}{dt} = V \pm \sqrt{gA/T} \dots\dots\dots(3-15)$$

由式(3-14)及式(3-15)可寫成兩組特性方程式如下:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dV}{dt} + \sqrt{\frac{gT}{A}} \frac{dy}{dt} + g(S_r - S_o) &= 0 \dots\dots\dots(3-16) \\ \frac{dx}{dt} &= V + \sqrt{\frac{gA}{T}} \dots\dots\dots(3-17) \end{aligned} \right.$$

$$\text{又 } \left\{ \begin{aligned} \frac{dV}{dt} - \sqrt{\frac{gT}{A}} \frac{dy}{dt} + g(S_r - S_o) &= 0 \dots\dots\dots(3-18) \\ \frac{dx}{dt} &= V - \sqrt{\frac{gA}{T}} \dots\dots\dots(3-19) \end{aligned} \right.$$

式(3-16)與(3-17)表前進特性曲線(Forward characteristics curve), 其反向坡度(Inverse slope)為 $V + \sqrt{\frac{gA}{T}}$ 以 C^+ 表之, 式(3-18)與(3-19)表後退特性曲線(Backward characteristics curve), 其反向坡度為 $V - \sqrt{\frac{gA}{T}}$ 以 C^- 表之, 如圖 3-1 所示。

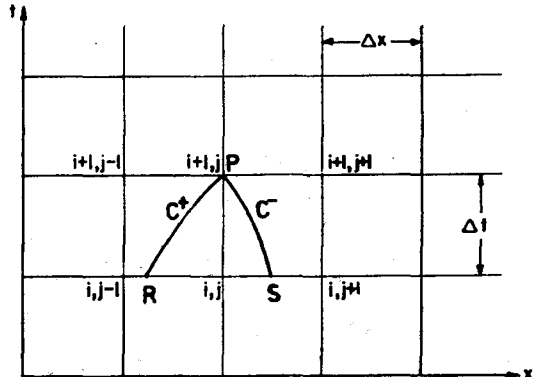


圖 3-1 定時距特性法

根據圖 3-1 可將式(3-16)至式(3-19)寫成差分形式如下:

$$V_P - V_R + \sqrt{gT_R/A_R}(Y_P - Y_R) + g(S_R - S_o)\Delta t = 0 \dots\dots\dots(3-20)$$

$$X_P - X_R = (V_R + \sqrt{gA_R/T_R})\Delta t \dots\dots\dots(3-21)$$

$$V_P - V_S - \sqrt{gT_S/A_S}(Y_P - Y_S) + g(S_S - S_o)\Delta t = 0 \dots\dots\dots(3-22)$$

$$X_P - X_S = (V_S - \sqrt{gA_S/T_S})\Delta t \dots\dots\dots(3-23)$$

由內差法求得已知時段之 V_R, Y_R, T_R, A_R, S_R 及 V_S, Y_S, T_S, A_S, S_S 值代入式(3-20)及式(3-22)則可聯立求得次一時段之 V_P 和 Y_P 值。

為方便計, C^+ 公式可寫成

$$V_P = C_1 + C_2 Y_P \dots\dots\dots(3-24)$$

$$\text{其中, } C_1 = V_R - C_2 Y_R - g(S_R - S_o)\Delta t \dots\dots\dots(3-25)$$

$$\text{及 } C_2 = -\sqrt{gT_R/A_R} \dots\dots\dots(3-26)$$

且 C^- 公式可寫成

$$V_P = C_3 + C_4 Y_P \dots\dots\dots(3-27)$$

$$\text{其中, } C_3 = V_S - C_4 Y_S - g(S_S - S_o)\Delta t \dots\dots\dots(3-28)$$

$$\text{及 } C_4 = \sqrt{gT_S/A_S} \dots\dots\dots(3-29)$$

四、模式之建立

4-1 排水方案之研擬與系統之佈置⁽¹⁾

討論浸水模式之前, 須先了解排水規劃時排水系統之佈置, 以了解其邊界條件。本省一般排水不良地區, 可根據其浸水原因以及現況排水系統出口處之內外水位關係, 選擇下述幾種研擬之方案:

1. 內水位較外水位高或相等時, 採自然排水。
2. 外水位有時較內水位高時, 採閘門排水。
3. 外水位較內水位高時, 採機械排水。
4. 集水區高低地可分開時, 高部採自然排水, 但須築堤以防止洪水排至低地, 增加災害。
5. 排水口入海時, 設置防潮閘門, 防止海水倒灌。

無論選擇某種方案或幾種方案加以配合, 通常排水系統之佈置概約下列幾項:

1. 排水路之佈置與設計。
2. 有關工程之設施與配合, 包括:
 - (1) 截水路及排洪道,
 - (2) 排水門或調整水門,
 - (3) 跌水工,
 - (4) 抽水設施及儲水池,
 - (5) 堤防,
 - (6) 河口處理設施等。

4-2 模式之建立

(一) 模式建立之原則

本文模式建立之原則為在各種排水方案配合下，考慮排水系統之佈置，即排水路之設計與有關之工程設施，將其作成排水系統圖，如圖 4-1 所示。在自然排水之幹、支渠道根據變量流觀念，利用定時距特性法演算各時段，各斷面之水深與流速；在支流排注渠道排水門處則根據水文方程式與閘門公式，利用式 (2-3) 求得浸水標高、浸水體積與浸水面積。

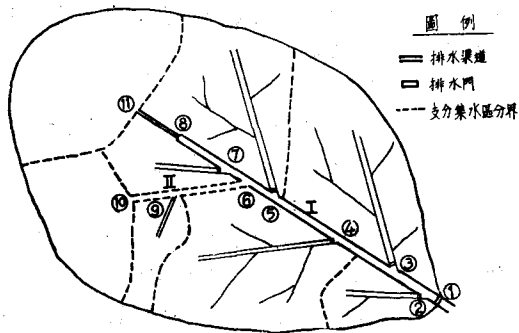


圖 4-1 排水系統佈置示意圖

上圖中系統佈置之排水渠道和附屬構造物如下：

- ① 為計劃排水區之出口，防潮閘門或排水門。
- ② 為全部機械排水，表示此支集流區地形過於低窪。
- ③ 為排水門和機械排水。
- ④、⑤、⑦、⑧ 為排水門。
- ⑥ 為自然排水，表示其集流區域為高地。
- ⑧ 為渠道斷面變化處，表示渠道坡度改變。
- ⑩、⑪ 為此計劃區之上游邊界條件。
- I 為排水幹渠。
- II 為排水支渠。

(二) 模式中各種條件之分析

1. 起始條件 (Initial Condition)——指開始模擬時，排水系統各位置之水流與流速或流量。其決定方法有三類：

- (1) 洪水來臨前各斷面之水位與流速。
- (2) 利用明渠背水推算法求得各斷面之流速與水位。
- (3) 將上、下游某一時段之邊界水位及流量設為一常數，並假設各斷面之水位及流速，應用本模式加以計算，到某一時間後即可得到一合理解，可視為起始條件，尤以渠道受外水位頂托 (Uplift) 之影響時，使用此法求得起始條件較佳。

2. 邊界條件 (Boundary condition) 和結點條件 (Junction condition)

利用定時距特性法分析時，可將圖 4-1 之邊界條件和各種結點條件表示如圖 4-2。

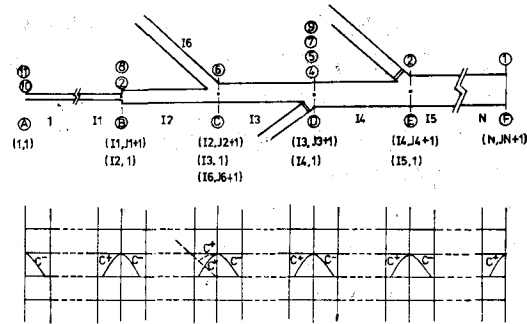


圖 4-2 定時距特性法分析浸水模式之邊界條件和結點條件圖

(1) 上游邊界條件，如圖 4-2 斷面 ④，已知 $t + \Delta t$ 時段之入流量 Q ，根據率定曲線 (Rating curve) 可求得 $Y_p(1,1) = f(Q)$ ，則由 C^- 公式可求得

$$V_p(1,1) = C_1 + C_2 \times Y_p(1,1) \dots \dots \dots (4-1)$$

(2) 如圖 4-2 結點 ⑥ 利用 C^+ 及 C^- 公式可得

$$V_p(I1, J1+1) = C_1 + C_2 \times Y_p(I1, J1+1) \dots \dots \dots (4-2)$$

$$V_p(I2, 1) = C_3 + C_4 \times Y_p(I2, 1) \dots \dots \dots (4-3)$$

由連續公式可得

$$V_p(I1, J1+1) \times A_p(I1, J1+1) = V_p(I2, 1) \times A_p(I2, 1) \dots \dots \dots (4-4)$$

及 $Y_p(I1, J1+1) = Y_p(I2, 1) \dots \dots \dots (4-5)$

聯立式 (4-2), (4-3), (4-4), (4-5) 可解得 $V_p(I1, J1+1)$ 、 $Y_p(I1, J1+1)$ 、 $V_p(I2, 1)$ 和 $Y_p(I2, 1)$ 四值。

若有一機械排水量 Q_M 排入河段 I2 則式 (4-4) 可寫成

$$V_p(I1, J1+1) \times A_p(I1, J1+1) = V_p(I2, 1) \times A_p(I2, 1) - Q_M \dots \dots \dots (4-6)$$

(3) 如圖 4-2 結點 ③，河段 I2 及 I6，利用 C^+ 公式可得

$$V_p(I2, J2+1) = C_1 + C_2 \times Y_p(I2, J2+1) \dots \dots \dots (4-7)$$

$$V_p(I6, J6+1) = C_1' + C_2' \times Y_p(I6, J6+1) \dots \dots \dots (4-8)$$

河段 I3，利用 C^- 公式可得

$$V_p(I3, 1) = C_3 + C_4 \times Y_p(I3, 1) \dots \dots \dots (4-9)$$

由連續性公式

$$\begin{aligned} & V_p(I_2, J_2+1) * A_p(I_2, J_2+1) \\ & + V_p(I_6, J_6+1) * A_p(I_6, J_6+1) \\ & = V_p(I_3, 1) * A_p(I_3, 1) \dots \dots \dots (4-10) \end{aligned}$$

及 $Y_p(I_2, J_2+1) = Y_p(I_6, J_6+1)$
 $= Y_p(I_3, 1) \dots \dots \dots (4-11)$

聯立式 (4-7)、(4-8)、(4-9)、(4-10)、(4-11) 可解得 $V_p(I_2, J_2+1)$ 、 $Y_p(I_2, J_2+1)$ 、 $V_p(I_6, J_6+1)$ 、 $Y_p(I_6, J_6+1)$ 、 $V_p(I_3, 1)$ 與 $Y_p(I_3, 1)$ 六未知數。

(4) 如圖 4-2 結點①，由於支流域地形低窪，故出口設有排水門，當支流水位高，積水排出，若幹渠水位高，則排水門關閉，並假設此一時段之水量平均蓄積於支流域，解此結點問題可由下列步驟：

(1) 假設 $Y_p(I_3, J_3+1) = Y_p(I_4, 1)$ 之值。

② 利用 C^+ 公式，可得 $V_p(I_3, J_3+1) = C1 + C2 * Y_p(I_3, J_3+1)$ ，並求得 $Q_p(I_3, J_3+1)$ ，利用 C^- 公式可得 $V_p(I_4, 1) = C3 + C4 * Y_p(I_4, 1)$ ，並求得 $Q_p(I_4, 1)$ 。

③ 求支流域之出流量 $O_2 = Q_p(I_4, 1) - Q_p(I_3, J_3+1)$ 。

④ 根據水文方程式 $(I_1 + I_2)/2 - (O_1 + O_2)/2 = (S_1 - S_2)/\Delta t$ 可求得 $S_2 = (I_1 + I_2 - O_1 - O_2) * \Delta T/2 + S_1$ 。

⑤ 由支流域之標高一蓄水量曲線可求得浸水標高 $E = f(S_2)$ 。

⑥ 由內水位 E 和外水位 $Y_p(I_3, J_3+1)$ ，利用閘門公式 $Q_0 = f(E, Y_p(I_3, J_3+1))$ ，可求得閘門流量 Q_0 。

⑦ 調整外水位 $Y_p(I_3, J_3+1)$ ，令 $|O_2 - Q_0|$ 達到所期冀之精度，則 $V_p(I_3, J_3+1)$ 、 $Y_p(I_3, J_3+1)$ 、 $V_p(I_4, 1)$ 、 $Y_p(I_4, 1)$ 、 O_2 、 E 和 S_2 均可求得。

(5) 如圖 4-2 結點②與(4)相似，但當 E 高於容浸標高，則打開抽水機抽水，設抽水量為 Q_M ，則 $S_2 = (I_1 + I_2 - O_1 - O_2 - Q_M) * \Delta t/2 + S_1$ ，其餘步驟與(4)相同。

(6) 下游邊界條件，如圖 4-2 斷面③。

① 出口為自然排水，已知 $t + \Delta t$ 時之出口水位 $Y_p(N, JN+1)$ ，利用 C^+ 公式可得

$$\begin{aligned} & V_p(N, JN+1) = C1 + C2 * Y_p \\ & (N, JN + 1) \dots \dots \dots (4-12) \end{aligned}$$

② 出口為排水門或防潮閘門，假設 $Y_p(N, JN+1)$ 之值，則利用 C^+ 公式可求得 $V_p(N, JN+1)$ 並求得 $Q_p(N, JN+1)$ 。由內水位 $Y_p(N, JN+1)$ 和外水位 Y ，利用閘門公式可求得閘門流量 $Q_0 = f$

$(Y_p(N, JN+1), Y)$ ，調整內水位 $Y_p(N, JN+1)$ ，令 $|Q_p(N, JN+1) - Q_0|$ 達到所求之精度，此時 $V_p(N, JN+1)$ 、 $Y_p(N, JN+1)$ 及 $Q_p(N, JN+1)$ 均可求得。

(三) 計算方法和步驟

1. 列出排水系統之計劃圖及各種水工建築物圖，如圖 4-1 所示。

2. 將渠道分成不同河段 (Reach)，由於特性法適用於稜形渠道，故一般以斷面變化處、渠坡變化處、渠道分叉處或水工建築物處作為結點，將渠道分段，如圖 4-2 所示。

3. 求算起始條件

(1) 利用明渠標準逐步法⁽¹⁸⁾ (Standard-step method) 等求得各斷面之水位標高 H_0 和 Y_0 。

(2) 計算各河段上下游之 V_0 。

4. 由於使用定時距特性法故須決定每一河段之分段數 N_1 ，分段長度 ΔX_1 和演算時距 Δt_1 。

(1) 假設各河段均分為 N_0 段，則由 Courant 氏限制條件 $\Delta t_1 \leq (XL_1/N_0)/(V_1 + \sqrt{gA_1/T_1})$ 求得 Δt_1 。

(2) 取 Δt 為最小之 Δt_1 。

(3) 由公式 $\Delta t = (XL_1)/(V_1 + \sqrt{gA_1/T_1})$ 求得各河段最適宜之分段數 N_1 。

(4) 求算各河段各分段斷面之 V_0 和 Y_0 。

5. 開始模擬淹水狀況。

(1) 由前一時段之已知值，內差求得各 R, S 點之值。

(2) 求解其內點 (Interior points) 之值。

(3) 求解上下游邊界值。

(4) 求解結點之值，同時求得各支流域之浸水標高，浸水面積及浸水體積。

(5) 求算次一時段前進之 Δt 。

(6) 繼續由(1)演算次一時段之浸水情況。

6. 求算至洪水完畢為止。

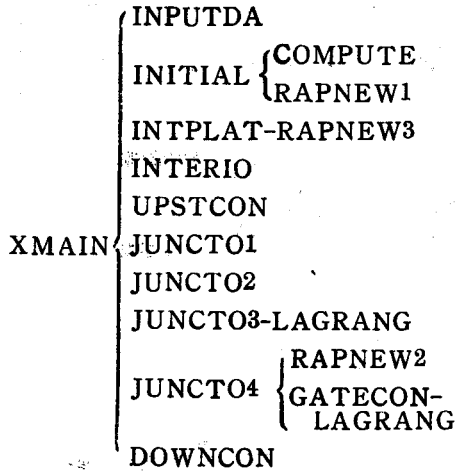
4-3 模式之內容

本文所用之模式係以變量流連續方程式與動量方程式以及水文方程式為理論基礎，再考慮實際之起始條件、邊界條件和結點條件而建立一套電子計算機程式，其流程圖示於附錄 2。

模式可分為主程式 XMAIN 和 16 個副程式，即 INPUTDA, INITIAL, INTPLAT, INTERIO, UPSTCON, JUNCTO1, JUNCTO2, JUNCTO3, JUNCTO4, DOWNCON, COM-

PUTE, AGRANG, GATECON, RAPNEW1, RAPNEW2, RAPNEW3 等，其關係如表 4-1 所示。

表 4-1 浸水模式各主副程式間之關係



茲將各副程式分述如下：

- (一) INPUTDA：將模式所需之資料輸入，包括：
 1. 河段數目及長度。
 2. 各河段之水力特性，如渠底標高、渠底坡度、渠底糙率值等，
 3. 結點條件之不同情況所包含之節點數目，
 4. 河口水位歷線，
 5. 各支流之入流歷線，
 6. 各流域之浸水體積——標高及浸水面積——標高曲線。
- (二) INITIAL：利用標準逐步法求得上下游邊界以及各節點之流量與水位，再決定各河段之分段數、分段長度和演算時距，最後求得各河段各斷面之水深、流速與流量。
- (三) INTPLAT：利用內差法 求算各 R，S 點之值。
- (四) INTERIO：求算各河段內點之值。
- (五) UPSTCON：求算上游邊界值。
- (六) JUNCTO1：求解斷面變化之節點。
- (七) JUNCTO2：求解渠道分叉之節點。
- (八) JUNCTO3：求解支流排水門之節點。
- (九) JUNCTO4：求解防潮閘門之節點。
- (十) DOWNCON：求算下游邊界值。
- (十一) COMPUTE：由水深計算各斷面之面積、水面寬、濕周及水力半徑。

(十二) GATECON：在閘門處利用內外水位關係計算閘門流量。

(十三) LAGRANG：內插方法之一種，如已知流域內水位，則利用此副程式求得浸水面積和浸水體積。

(十四) RAPNEW1, RAPNEW2, RAPNEW3 均為利用牛頓——拉飛生法 (Newton-Raphson method) 解方程式之根。

五、模式之應用——以羅東冬山

溪流域規劃為例證

5-1 計劃區之流域概況⁽⁶⁾

(一) 位置

羅東區域排水計劃區，在本省東部宜蘭縣境內，位於蘭陽溪以南，新城溪以北，羅東溪以東至濱海砂洲，即冬山溪流域平地至山區一帶，包括羅東鎮、五結鎮、冬山鄉及蘇澳鎮部份地區。圖 5-1 為冬山溪流域之集水區圖。

(二) 面積與地形

本區之集水面積約 113.17 平方公里，山地部份 37.17 平方公里 (約佔 1/3)，平地部份 76 平方公里 (約佔 2/3)，區內多屬低窪地，尤以鐵路以東地區標高幾全部在 5 公尺以下，東邊海岸線平直單調，海濱內側緊接一系列之海岸砂丘，形成天然屏障，表 5-1 為冬山溪流域之標高面積關係表。

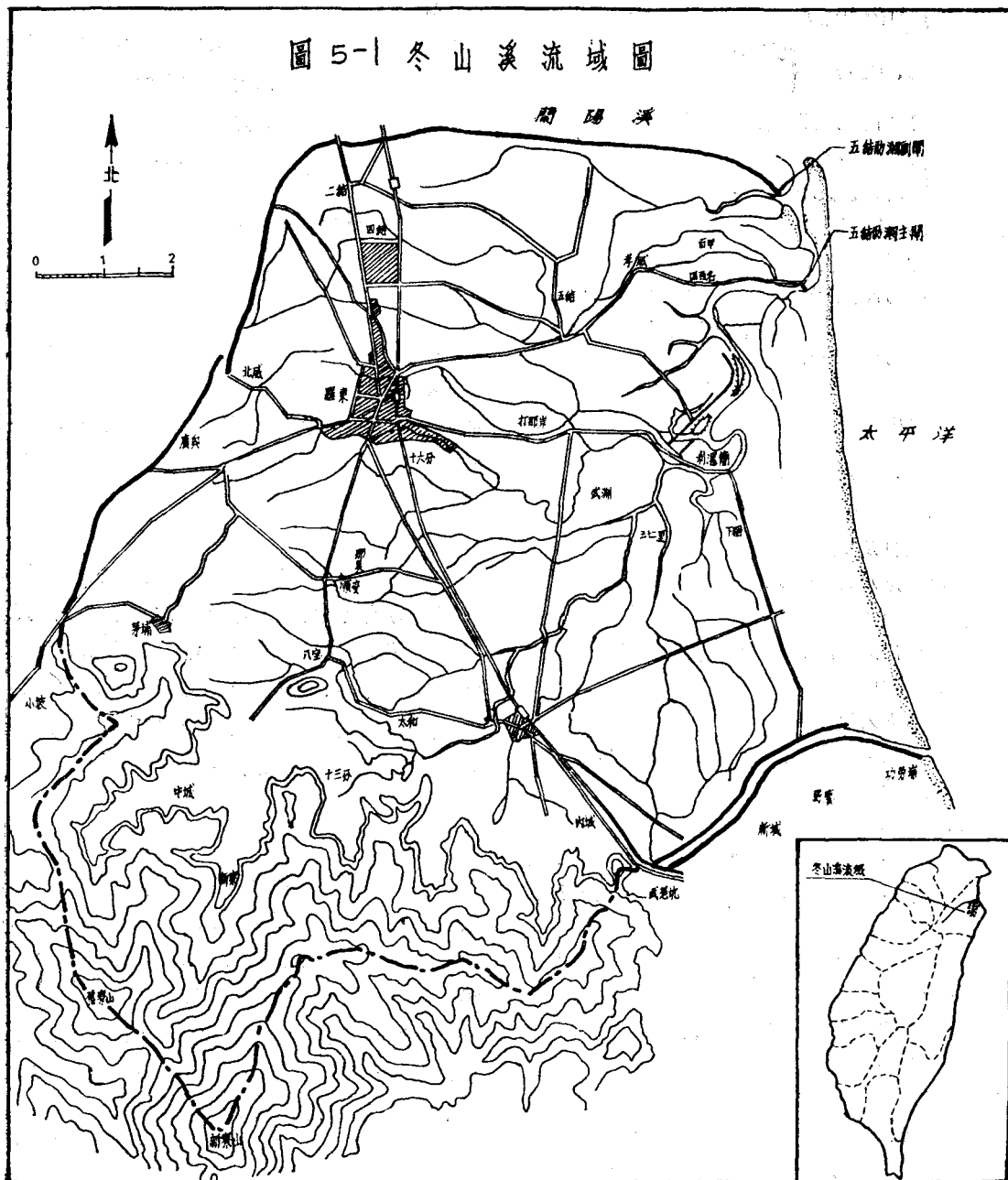
(三) 氣象與水文

1. 降雨

本計劃區背山臨海，當東北季風之首衝，由於季風時期，其所攜帶之大量水汽，每受環山之阻擋而下雨，至於夏天則易遭雷雨及颱風豪雨之侵襲，故全年下雨時間平均在 200 天以上。每年九月至次年三月，東北季風盛行，為本區之雨季。區內設有雨量站 13 站，除已撤銷之站外，尚有 11 站，分佈尚稱均勻，平均每 10.3 平方公里即有一站，其中 P3、P4、P5 為自記雨量站，其餘為普通雨量站，圖 5-2 為冬山溪流域雨量站位置圖。

本區最大之年降雨量為 5482.8 公厘，最小之年降雨量為 2373.8 公厘，歷年之平均雨量則為 3702.5 公厘，雨量集中在 9~11 月約佔全年之 48.94 %，

圖 5-1 冬山溪流域圖



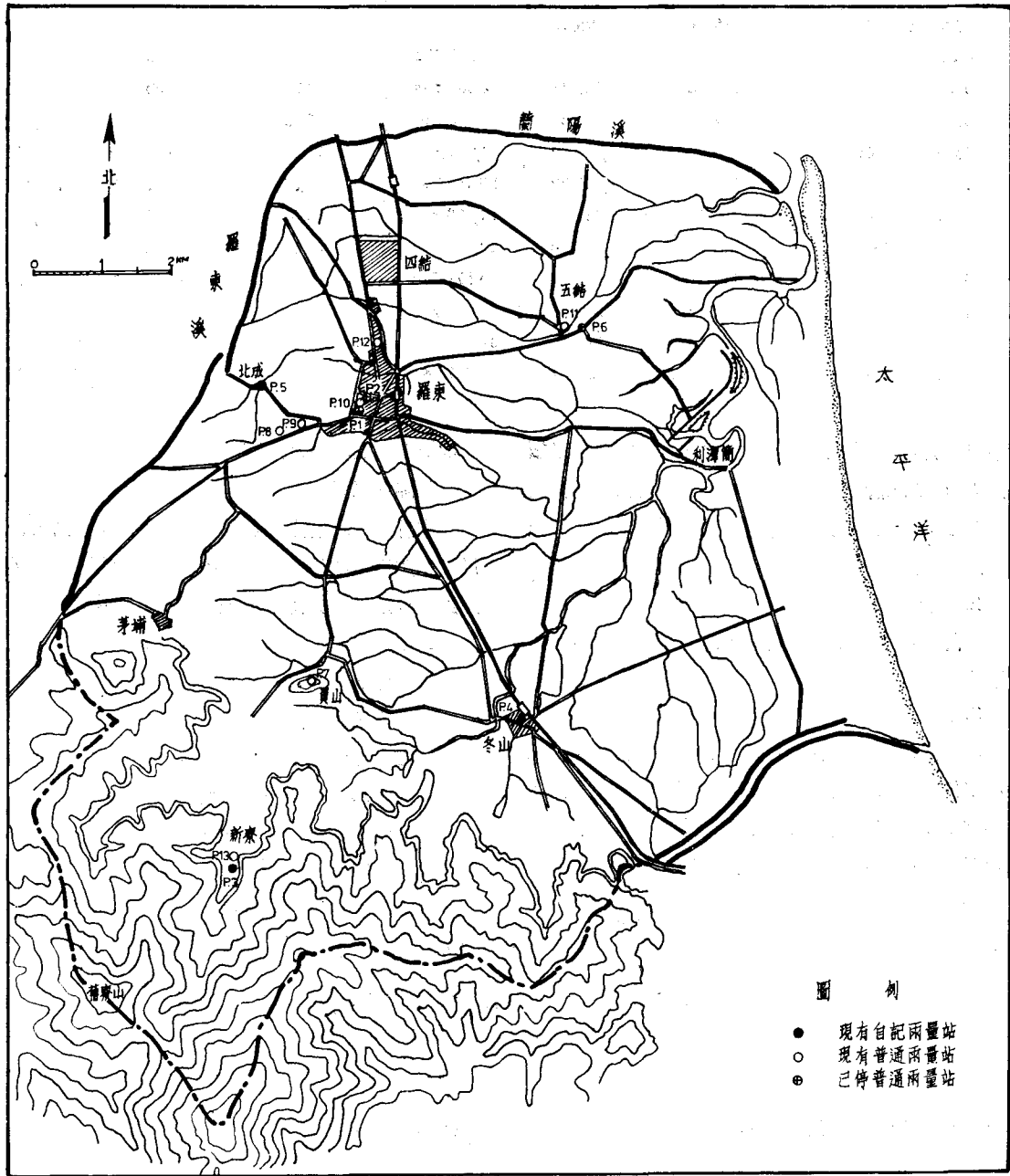


圖 5-2 冬山河流域雨量站位置圖

表 5-1 冬山溪流流域標高面積表

| 標高 (m) | 主 關 部 份 | | | 副 關 部 份 | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------------------|-------------|-----------------|----------------------------|
| | 面 積 (ha) | 累 計 面 積 (ha) | 蓄 水 量 (m ³) | 面 積 (ha) | 累 計 面 積 (ha) | 蓄 水 量 (m ³) |
| 0.25 以下 | 96.61 | 96.61 | | | | |
| 0.25 — 0.50 | 386.14 | 482.75 | 550,208 | 6.55 | 6.55 | |
| 0.50 — 0.75 | 296.62 | 729.37 | 2,002,858 | 2.78 | 9.33 | 19,850 |
| 0.75 — 1.00 | 307.44 | 1,036.81 | 4,208,286 | 17.90 | 27.23 | 65,550 |
| 1.00 — 1.25 | 229.98 | 1,266.79 | 7,039,186 | 17.93 | 45.16 | 156,040 |
| 1.25 — 1.50 | 173.53 | 1,440.32 | 10,468,050 | 4.31 | 49.47 | 274,330 |
| 1.50 — 1.75 | 213.62 | 1,653.94 | 14,780,895 | 59.33 | 108.80 | 412,160 |
| 1.75 — 2.00 | 189.64 | 1,843.58 | 18,791,288 | 31.94 | 140.74 | 784,090 |
| 2.00 — 2.25 | 160.14 | 2,003.72 | 23,576,258 | 43.59 | 184.33 | 1,190,450 |
| 2.25 — 2.50 | 196.77 | 2,200.49 | 28,910,981 | 23.07 | 207.40 | 1,680,142 |
| 2.50 — 2.75 | 162.16 | 2,362.65 | 34,781,106 | 22.82 | 230.22 | 0'227,170 |
| 2.75 — 3.00 | 1158.76 | 2,521.41 | 40,727,663 | 48.13 | 278.35 | 2,682,880 |

其中 10 月佔 19.96 %居各月之冠。本區之暴雨量極為驚人，據統計，新寮雨量站一日之暴雨量曾高達 1672.6 公厘，三日連續降雨量則高達 2748.6 公厘（民國 56 年 10 月）。

2. 流量

本計劃區迄未設置水文站，故無流量記錄可供分析單位歷線之用。

3. 潮位

本區於民國 47 年 7 月設有清水，五結埤尾二站全潮水位站，觀測潮位記錄，至民國 49 年 6 月止，並經宜蘭第一工程處分析得平均潮位⁽⁷⁾，又水利局第二規劃調查隊分析南方澳潮位記錄作為本區外海潮位記錄⁽⁶⁾，如表 5-2 所示，其標準潮位曲線則如圖 5-3 所示。

四排水現況與浸水原因

1. 排水現況

本計劃區現有之排水系統可歸納為兩大系統，即以五結防潮閘門為出口之冬山溪系統及以五結防潮副閘門為出口之錦寮大排水系統，如圖 5-1 所示。

2. 浸水原因

- (1) 地形低窪，
- (2) 降雨量過大，
- (3) 天然河道不足，
- (4) 外海潮位頂托之影響，
- (5) 防潮閘門阻擋排水。

5-2 排水系統之佈置⁽⁶⁾

羅東區域之排水問題由來已久，其排水計劃向為有關人士關注，以往亦有規劃資料，水利局第二規劃

表 5-2 各潮位站實測潮位記錄表

| 全 體 水 位 站 | 平 均 大 潮 | | | 平 均 小 潮 | | | 平 均 潮 位 | | |
|--------------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|------|
| | 高 潮 位 | 低 潮 位 | 潮 差 | 高 潮 位 | 低 潮 位 | 潮 差 | 高 潮 位 | 低 潮 位 | 潮 差 |
| 清 水 | 1.062 | 0.111 | 0.951 | 0.623 | 0.208 | 0.415 | 0.85 | 0.15 | 0.70 |
| 五 結 埤 尾 | 1.055 | 0.126 | 0.959 | 0.582 | 0.171 | 0.411 | 0.81 | 0.15 | 0.66 |
| 外 海 | 0.70 | — 0.99 | 1.69 | 0.29 | — 0.65 | 0.94 | 0.50 | — 0.82 | 1.32 |

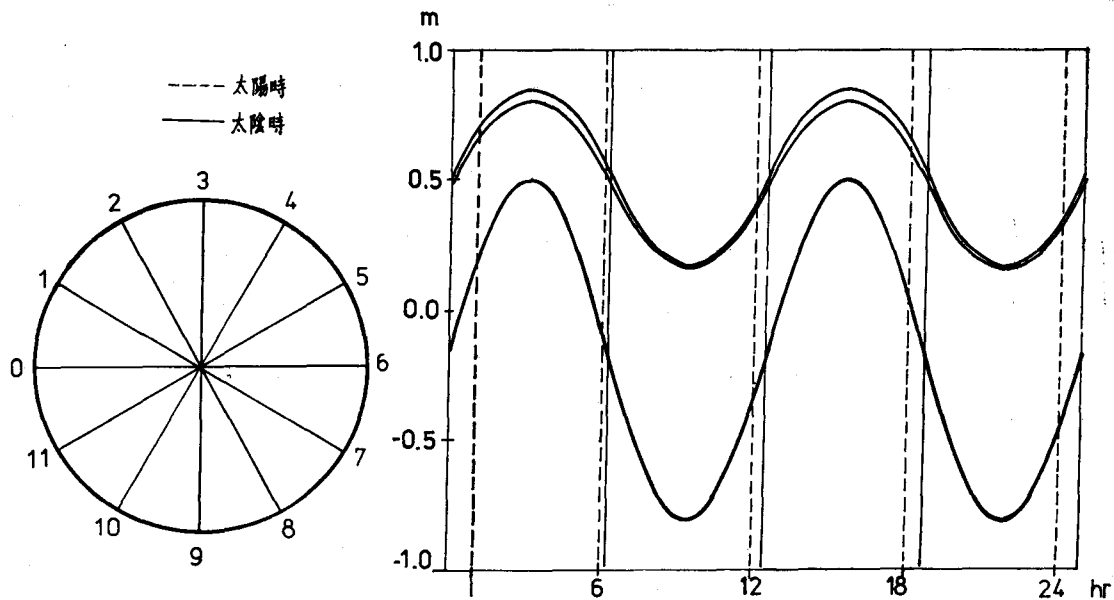


圖 5-3 各潮位站之平均潮位曲線

調查隊曾針對浸水原因並參考以往之規劃資料，擬就四個方案，俾供比較取擇。

本文僅就第二案——新設冬山溪河道裁彎取直為例，考慮幹支線排水路之佈置，在各種設計断面與各種工程配合設施下，模擬各種頻率暴雨發生時，整個流域所遭受之浸水情況。

圖 5-4 為羅東區域排水改善計劃流域分佈圖。冬山溪流域可劃分為十個支集水區，分別排入幹線，支集水區再分成三十四個分集水區，其關係如表 5-3 所示。其排水路之佈置與附屬構造物則如圖 5-5 所示。

5-3 資料之收集整理與分析

(一) 暴雨量

1. 流域平均暴雨量之求算：本文中選取記錄較完整，分佈較具代表性以及收集方便之新寮、北城、冬山、羅東、五結等五個雨量站之年最大一日、二日和三日暴雨量，並以徐昇氏多邊網法求得全流域年最大

一日、二日和三日平均暴雨量如表 5-4 所示。圖 5-6 為徐昇氏多邊網法各雨量站所控制之面積位置圖，表 5-5 為各雨量站所佔之面積和權度表。

2. 各種頻率暴雨量之求算⁽⁵⁾：本文中使用的四種頻率分析方法，即對數常態分佈 (Log-normal distribution)、極端值第一型分佈 (Extreme-Value type I distribution)、皮爾遜第三型分佈 (Pearson type III distribution) 和對數皮爾遜第三型分佈 (Log-Pearson type III distribution) 求算流域內各種發生頻率之最大一日、二日與三日暴雨量，以資比較，如表 5-6 所示。

(二) 雨型之求算

水利局第二規劃調查隊以北城、新寮、冬山三自記雨量站之時間雨量資料，取歷年較大並較平均之暴雨十幾個平均而求得雨型⁽⁶⁾，其方法乃參考張啓濱先生「臺灣颱風暴雨之雨型」⁽⁸⁾論著，稍有不同者為本法考慮 24 小時之暴雨量佔二日暴雨量之百分比，以便

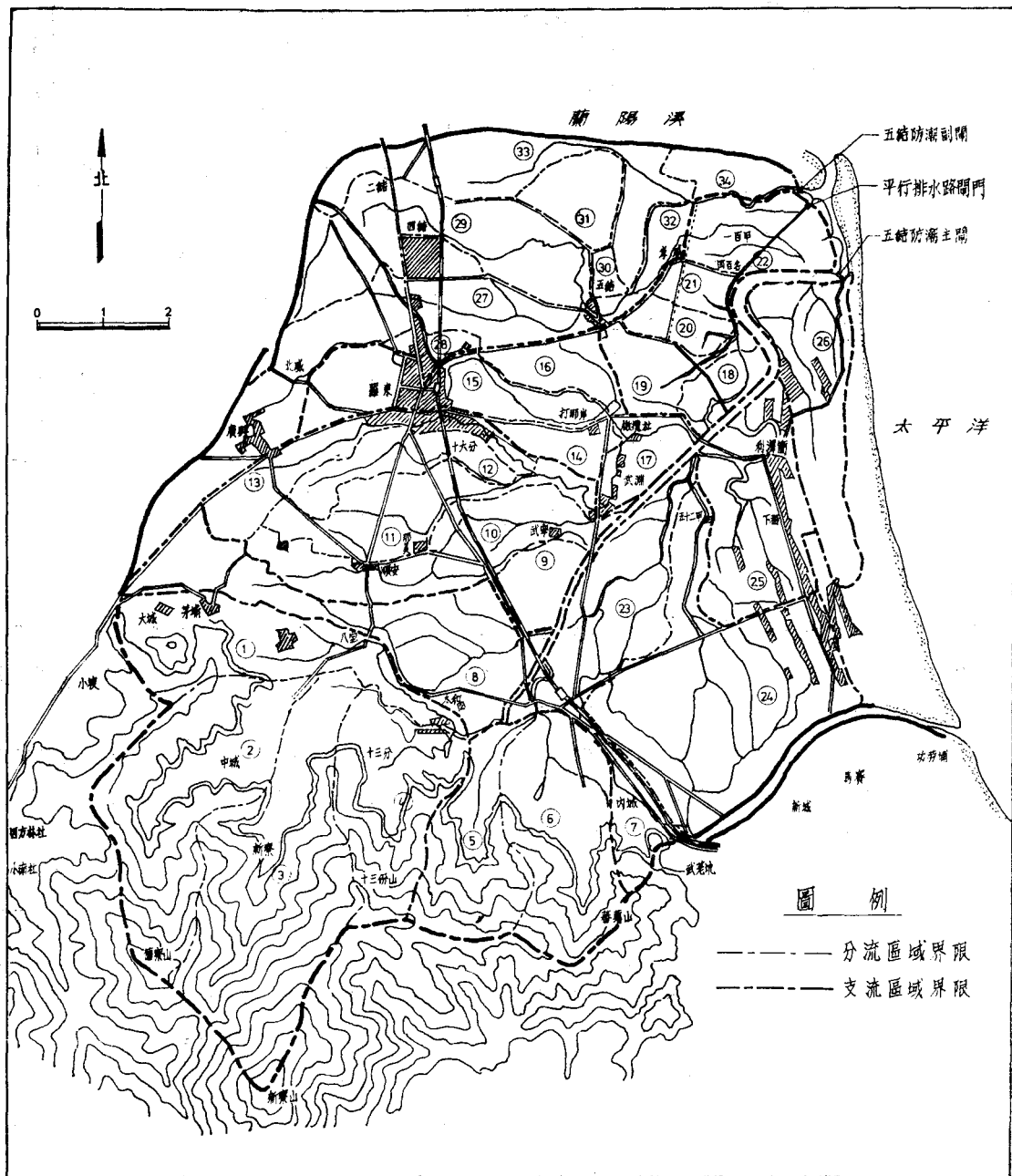


圖 5-4 羅東區域排水改善計劃流域分佈圖

表 5-3 冬山溪流域系統表

| 冬山溪流域 | | 支 流 域 分 流 域 | |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 冬山溪流域 (113.17km ²) | 主 閘 排 水 (92.76km ²) | ①冬山溪上游排水 (26.50km ²) | ①梅花湖流域 (4.96km ²) |
| | | | ②舊寮溪流域 (7.30km ²) |
| | | | ③新寮溪流域 (9.80km ²) |
| | | | ④十三分坑流域 (4.44km ²) |
| | | ②冬山溪舊河道排水 (9.06km ²) | ⑤安平坑流域 (3.88km ²) |
| | | | ⑥照安坑流域 (5.20km ²) |
| | | ③林和源排水 (14.84km ²) | ⑦林和源山地流域 (1.59km ²) |
| | | | ⑧冬山溪右岸直排 (3.53km ²) |
| | | | ⑨林和源排水路 (9.72km ²) |
| | | ④太員排水 (6.12km ²) | ⑩太員排水路 (6.12km ²) |
| | | | ⑪冬山溪左岸直排 (1.48km ²) |
| | | ⑤砂仔港排水 (12.74km ²) | ⑫砂仔港排水路 (4.13km ²) |
| | | | ⑬八仙排水路 (2.66km ²) |
| | | | ⑭冬螺排水路 (2.39km ²) |
| | | | ⑮十六份排水路 (2.08km ²) |
| | | ⑥武淵排水 (7.73km ²) | ⑯月眉排水路 (0.99km ²) |
| | | | ⑰打那岸排水路 (3.49km ²) |
| | | | ⑱頂五結排水路 (1.56km ²) |
| | | ⑨下游平行排水 (7.19km ²) | ⑲武淵排水路 (1.69km ²) |
| | | | ⑳鼎橄社排水路 (1.53km ²) |
| ㉑大埔圳排水路 (1.57km ²) | | | |
| ㉒松子脚排水路 (0.87km ²) | | | |
| ⑦五股排水 (4.59km ²) | ㉓四百名排水路 (0.84km ²) | | |
| | ㉔大眾廟港排水路 (2.38km ²) | | |
| ⑧清水排水 (3.96km ²) | ㉕五股排水路 (4.59km ²) | | |
| | ㉖清水排水路 (3.96km ²) | | |
| 副 閘 排 水 (20.71km ²) | 水-⑩錦衆大排水 (20.71km ²) | ㉗五結排水路 (6.14km ²) | |
| | | ㉘羅東市區排水 (0.73km ²) | |
| | | ㉙四結排水路 (5.12km ²) | |
| | | ㉚藥子溝左岸直排 (0.19km ²) | |
| | | ㉛藥子溝左岸直排 (2.09km ²) | |
| | | ㉜藥子溝右岸直排 (1.12km ²) | |
| | | ㉝二結排水路 (3.76km ²) | |
| | | ㉞茅子寮排水路 (1.26km ²) | |

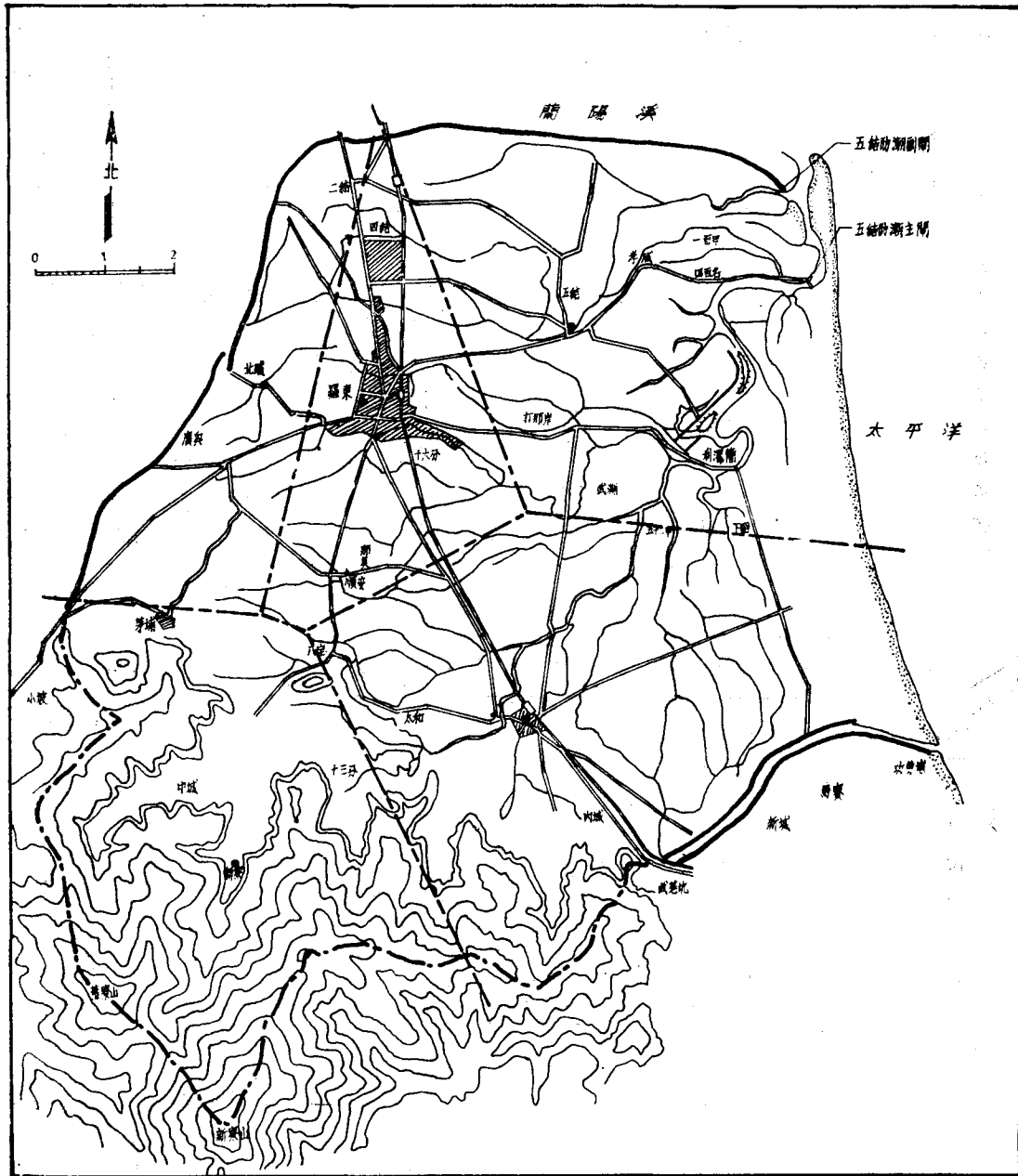


圖 5-6 冬山溪流域各雨量站所佔之面積位置圖

表 5-4 冬山溪流域最大一日、二日和三日暴雨量

| 年 度 | 一日暴雨量 (mm) | 二日暴雨量 (mm) | 三日暴雨量 (mm) |
|-----|---------------|---------------|---------------|
| 49 | 111.2 | 167.5 | 182.4 |
| 50 | 213.6 | 301.3 | 326.1 |
| 51 | 182.1 | 256.8 | 272.9 |
| 52 | 138.0 | 207.6 | 254.3 |
| 53 | 167.5 | 222.8 | 265.2 |
| 54 | 223.4 | 243.3 | 290.5 |
| 55 | 302.4 | 460.9 | 633.3 |
| 56 | 601.3 | 961.1 | 1276.1 |
| 57 | 345.0 | 418.0 | 493.9 |
| 58 | 377.7 | 647.5 | 783.9 |
| 59 | 300.7 | 515.3 | 680.4 |
| 60 | 430.5 | 714.1 | 982.7 |
| 61 | 255.1 | 351.0 | 356.4 |
| 62 | 271.7 | 389.0 | 445.6 |
| 63 | 417.8 | 615.1 | 677.3 |
| 64 | 166.6 | 251.5 | 279.1 |

表 5-5 各雨量站所佔之面積權度表

| 站 號 | 站 名 | 面 積 (km ²) | 權 度 (%) |
|-----|-----|---------------------------|------------|
| P3 | 新 寮 | 25.37 | 22.4 |
| P4 | 冬 山 | 32.62 | 28.8 |
| P5 | 北 城 | 12.54 | 11.1 |
| P10 | 羅 東 | 13.45 | 11.9 |
| P11 | 五 結 | 29.19 | 25.8 |
| 計 | | 113.17 | 100.0 |

求得連續24小時之暴雨量，從而求得洪峯流量，作為設計渠道斷面之用，計劃暴雨之雨型如表 5-7 所示。

(二)流域單位歷線之求取

因冬山溪流域迄無流量資料可供分析，故本文中擬用合成單位歷線法 (Synthetic unit hydrograph) 求其單位歷線，其步驟如下：

1. 水利局第二規劃調查隊根據張啓濱先生「臺灣洪水單位流量過程線」⁽²⁾論著中，導得多山溪流域之

表 5-6 冬山溪流域暴雨量之頻率分析結果表

| 重現期距 (年) | 對數常態分佈 | | | 極端值第一型分佈 | | | 皮爾遜第三型分佈 | | | 對數皮爾遜第三型分佈 | | |
|-------------|--------|------|------|----------|-----|-----|----------|-----|------|------------|------|------|
| | 1 日 | 2 日 | 3 日 | 1 日 | 2 日 | 3 日 | 1 日 | 2 日 | 3 日 | 1 日 | 2 日 | 3 日 |
| 2 | 256 | 372 | 434 | 209 | 296 | 338 | 261 | 382 | 438 | 256 | 364 | 421 |
| 5 | 376 | 569 | 685 | 295 | 444 | 541 | 380 | 585 | 705 | 376 | 565 | 678 |
| 10 | 460 | 710 | 869 | 352 | 541 | 658 | 454 | 715 | 884 | 459 | 719 | 783 |
| 20 | 541 | 851 | 1054 | 408 | 636 | 783 | 522 | 835 | 1053 | 540 | 881 | 1106 |
| 25 | 570 | 900 | 1119 | 425 | 665 | 821 | 544 | 875 | 1110 | 568 | 939 | 1188 |
| 50 | 654 | 1048 | 1319 | 478 | 756 | 940 | 608 | 990 | 1276 | 651 | 1122 | 1499 |

表 5-7 冬山溪流域計劃暴雨量分配型態表

| 時間 (小時) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 暴雨分配率% | 0.31 | 0.48 | 0.73 | 0.88 | 1.04 | 1.14 | 1.58 | 1.79 | 2.12 | 2.47 | 2.69 | 3.09 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 17 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 合 計 |
| 3.94 | 4.38 | 6.03 | 7.04 | 8.68 | 10.39 | 5.24 | 3.44 | 2.84 | 2.27 | 1.40 | 0.62 | 74.48 |

無量次單位歷線，如圖 5-7 所示，並求得稽延時間公式為

$$t_L = 0.06197 \left(\frac{L \cdot Lca}{S^{1/2}} \right)^{0.5286}$$

上式中， t_L 為河川流量稽延時間 (Time lag)，小時。

L 為溪流最長流路量自計劃點至流域邊界之河流長度，公里。

Lca 為沿溪流最長流路量自計劃點至流域重心對附近主流所做垂線與河流交叉點之主流長度，公里。

S 為河床平均坡度。

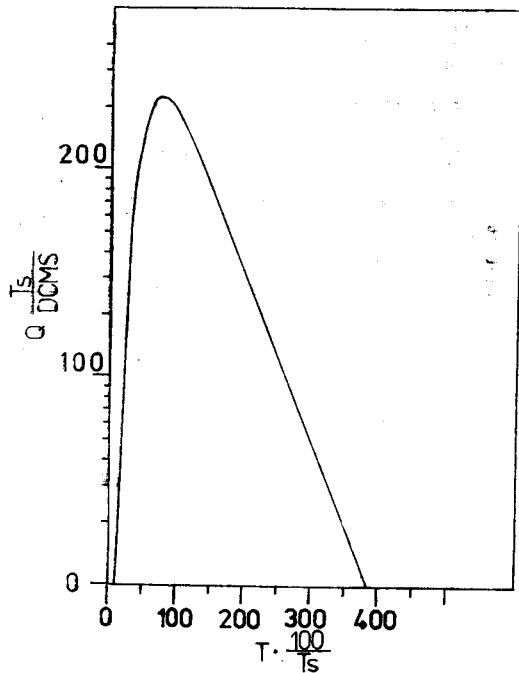


圖 5-7 冬山河流域無量次曲線

2. 各流域單位歷線之求算

利用五千分之一地形圖求得各流域之特性如表 5-8 所示，則由無因次單位歷線可求得各流域之單位歷線⁽⁴⁾及各發生頻率之流量歷線作入流歷線，圖 5-8 為各流域之單位歷線。

四 出口水位之決定

本文中取最接近河口之五結堤尾站之標準潮位⁽⁶⁾作為模擬時之出口水位，即下游之邊界條件，表 5-9 列出連續 40 小時之出口水位。

表 5-8 冬山溪各流域特性表

| 流域號碼 | 集面積 A (km ²) | 河長 L (km) | 重心位置 Lca (km) | 河床平均坡度 S | $\frac{L \cdot Lca}{S^{1/2}}$ | (hr) |
|------|--------------------------|-----------|---------------|----------|-------------------------------|------|
| 1 | 26.50 | 13.0 | 7.20 | 0.0062 | 1255 | 2.7 |
| 2 | 9.08 | 10.0 | 8.00 | 0.0021 | 1746 | 3.2 |
| 3 | 6.12 | 6.16 | 4.02 | 0.00335 | 428 | 1.52 |
| 4 | 12.74 | 5.63 | 4.29 | 0.00217 | 518 | 1.68 |
| 5 | 14.84 | 5.89 | 3.48 | 0.00104 | 636 | 1.87 |
| 6 | 7.73 | 6.70 | 3.38 | 0.00101 | 711 | 1.99 |
| 7 | 4.59 | 4.29 | 2.41 | 0.00018 | 770 | 2.07 |
| 8 | 3.96 | 4.29 | 1.07 | 0.00042 | 224 | 1.45 |
| 9 | 7.19 | 3.75 | 1.88 | 0.00016 | 556 | 1.75 |
| 10 | 20.41 | 10.50 | 6.59 | 0.00086 | 2359.5 | 3.74 |

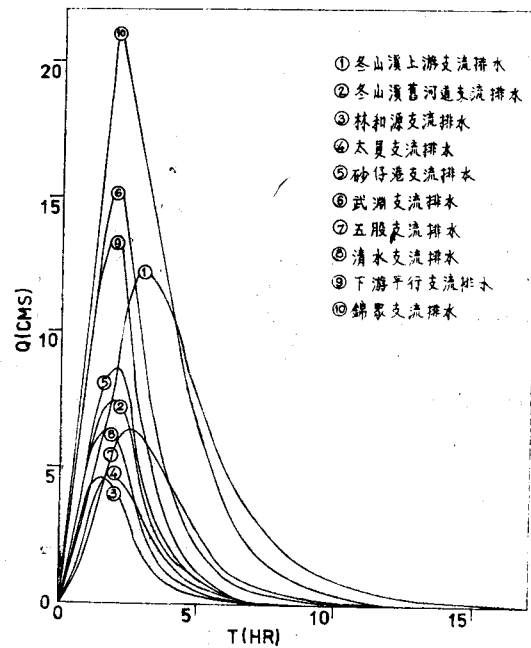


圖 5-8 冬山溪各流域之單位歷線

五 計劃流量

由各流域之單位歷線可求得洪水歷線，以尖峯流量作為各流域之計劃流量，則幹線各段之計劃流量亦可求得，如圖 5-5 所示。(未完待續)