

濁水溪洪水預報數學模式之研究

Study on Flood Forecasting Models for Cho-Shui River

臺灣省水利局企劃組組長

臺灣省水利局企劃組工程員

簡 俊 彥

黃 月 娟

Chun-Yen Chien

Yueh-Chain Huang

摘 要

本文以濁水溪支流清水溪流域及濁水溪主流集集流量站以下至西螺大橋間為範圍，進行濁水溪洪水預報數學模式之探討。本研究採用兩種數學模式；(一)以貯蓄函數法的流域演算配合馬斯金更法進行河道演算，(二)採用複相關法進行演算。模式中各參數值經過檢定後皆予統一，改善過去模式參數未能統一之現象可避免預報作業參數選用的困擾。兩種模式經過驗證後顯示結果良好，但以複相關較優，具有理論簡單，使用方便，爭取時效，預測準確之特性，值得採用。

Abstract

To find a suitable flood forecasting model for Cho-Shui River, two mathematical models are studied in this paper. One is storage function model for watershed routing plus muskingum method routing the river channel, the other one is multiple regression model.

After calibrating these two models with field data, the model parameters are determined and fixed. In past studies the parameter values vary with each modeling. The fixed parameter values can eliminate the difficulties in selecting parameter values.

The agreements of the simulation results are good for both models studied. However, taking into account the simplicities, facilities, efficiency and precisions of the modeling, the multiple regression model is better and worth adopting.

壹、前 言

濁水溪流域面積 3155.21 平方公里，幹流長度 186.63 公里，為本省第二大河流。由於淤砂嚴重，河床日漸升高，洪水災害的潛在性不容忽視，因此洪水預報日益重要。有關濁水溪流域洪水預報數學模式之研究，國內數位學者專家已先後發表論文，變量流模式及貯蓄函數法為主要方法。變量流模式涉及較複雜理論基礎，需要詳細的河道大斷面資料及龐大的電腦容量；濁水溪流域大斷面資料不

足且非感潮河川，因此，變量流模式目前似不相宜。至於貯蓄函數法，適用於一般流域及河道演算，但因牽涉較多的參數，如以個別颱洪作參數檢定，參數值常有差異，在使用上造成困擾。

本文重新檢定、驗證貯蓄函數法之流域參數，並根據以前在大甲溪、烏溪、曾文溪、高屏溪等流域，洪水預報模式研究經驗，以馬斯金更法取代河道貯蓄函數法，其結果尚能接受，因此，本文亦嘗試在濁水溪河道，以馬斯金更法取代原有之貯蓄函數法演算，期簡化預報模式。

本文另並探討複相關法用於濁水溪洪水預報數學模式之可行性，尋求最佳之複相關方程式。經檢定其常數項，加以驗證，並與流域貯蓄函數法配合河道馬斯金更法比較，俾供未來實際洪水預報作業使用參考。

本文所用方法適用於濁水溪上下游。限於篇幅，本次僅以清水溪桶頭流量站上游集水區（以桶頭流量站為控制站）及桶頭、集集兩流量站下游至西螺大橋間之流域（以西螺大橋為控制站）為對象作一說明。其集水區、河道編號及平面位置圖如圖1所示。

貳、洪水預報數學模式採用之方法

本研究「洪水預報數學模式」共有兩種，一、在推測流域降雨所產生的逕流量時，採用流域貯蓄函數法；在河道洪水演算方面採用馬斯金更法。二、不分流域及河道，一律採用複相關法。茲將各法分別簡述如後：

1. 貯蓄函數法：(Storage Function Method)

本法於推算逕流過程中導入「流域蓄水」因素作為媒介函數，導演蓄水量（S）與流量（Q）關係式後計算蓄水量（S），然後配合連續方程式次第演算整個逕流歷線，其有關方程式如下：

$$S_t = KQ_t^P \quad \dots\dots\dots (1)$$

（K，P係流域或河道之常數）。

$$\frac{1}{3.6} \cdot f \cdot r_{ave} \cdot A - Q_t = \frac{dS_t}{dt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

其中：f = 逕流係數；

r_{ave} = 流域平均雨量；

A = 流域面積；

$$Q_t(t) = Q(t + T_t)$$

= 考慮遲延時間（ T_t ）之地表逕流量；

S_t = 流域或河道蓄留量；

或

$$\sum_{j=1}^n f_j I_j - Q_t = \frac{dS_t}{dt} \quad \dots\dots\dots (3)$$

其中： I_j = 河道上游地點流入量；

f_j = 流入係數；

$$Q_t(t) = Q(t + T_t)$$

= 考慮遲延時間之河道下游地點流量。

2. 馬斯金更法：(Muskingum Method)

馬斯金更法係目前普遍應用之一種河道演算法，其基本理論係假定洪水來臨時，河川蓄水分為稜形蓄水及楔形蓄水，前者為平時定量流時河川之蓄

水，後者為受洪水波影響時河川之蓄水。漲水時，楔形蓄水為正，退水時，楔形蓄水為負。其方程式如下所示：

$$S = KO + KX(I - O) = K[XI - (1 - X)O] \quad \dots\dots\dots (4)$$

其中：S：河道總蓄水量

K：蓄水常數，具有時間之因次，可視為波傳時間

X：無因次參數，介於 0~0.5 之間。

I：河道流入量

O：河道流出量

KO：稜形蓄水

KX(I - O)：楔形蓄水

將(4)式代入連續方程式 $\frac{1}{2} (I_t + I_{t+\Delta t}) \cdot \Delta t -$

$$\frac{1}{2} (O_t + O_{t+\Delta t}) \Delta t = S_{t+\Delta t} - S_t \text{ 得：}$$

$$O_{t+\Delta t} = C_1 I_{t+\Delta t} + C_2 I_t + C_3 O_t \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中， I_t ， O_t 為某一時間 t 之流入及流出量， $I_{t+\Delta t}$ ， $O_{t+\Delta t}$ 為 t + Δt 時，即下一演算時距 Δt 後之流入及流出量， C_1 ， C_2 ， C_3 可表示為：

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{-KX + 0.5\Delta t}{K(1-X) + 0.5\Delta t} \\ C_2 &= \frac{KX + 0.5\Delta t}{K(1-X) + 0.5\Delta t} \\ C_3 &= \frac{K(1-X) - 0.5\Delta t}{K(1-X) + 0.5\Delta t} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式(6)中， $C_1 + C_2 + C_3 = 1$ ，且 C_1 ， C_2 ， C_3 均大於 0。

3. 複相關法(Multiple Correlation Method)

複相關法之基本型式方程式簡列如下：

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + \dots\dots\dots B_n X_n \quad \dots\dots\dots (7)$$

其中：

Y = 因變數

$X_1, X_2, X_3, \dots\dots X_n$ = 自變數

$B_0, B_1, B_2, \dots\dots B_n$ = 常數

在本研究中，自變數之選擇因控制站之不同而有不同，且加入時序性之考慮後，桶頭流量控制站之複相關方程式如(8)式所示，西螺流量控制站之複相關方程式如(9)式所示。

叁、洪水預報模式數值模擬及參數檢定

本節洪水預報模式數值模擬及參數檢定，係分

別就桶頭流量站及西螺流量站依上述各種方法進行。
茲分述如後：

一、桶頭控制站

桶頭流量站為濁水溪支流清水溪上游流域之主要控制站，集水面積 259.2 平方公里，經挑選洪峯流量較大，且雨量資料完整之十一次颱風暴雨資料，分別採用貯蓄函數法及複相關法進行降雨逕流演算，演算結果分別與桶頭站實測流量比較，以前八次颱風作參數檢定，後三次颱風作驗證。由於考慮將來實際洪水預報作業之方便，參數檢定時盡量把握統一、簡便之原則，茲將兩種不同方法所得之分析結果簡述如下：

1. 貯蓄函數法：以現有草嶺、阿里山兩自計雨量站之時雨量資料，利用徐昇法推求集水區平均雨

量，配合不同之參數組（即不同之 T_i , K , P , F_1 , R_{sa} ）推求桶頭站之流量，與實測值作比較，選擇較合適之參數組。選擇時，要求檢定之八次颱風參數能盡量統一，俾便於預報之用，檢定結果如表 1，由表 1 可知有 $P=0.5$ 及 $P=0.425$ 兩個數值，而稽延時間 T_i ，蓄水常數 K ，及一次流出率 F_1 均為定值，唯飽和雨量 R_{sa} ，八次中有六次為 40 mm，其他二次分別為不同值， $P=0.425$ 之檢定圖如圖 2～圖 9。為了建立飽和雨量與臨前狀況因子之相關性，本研究乃統計各次洪水之臨前五日、十日、十五日、廿日之總降雨量，及桶頭站初期流量，將該數據作為 x 軸座標值，飽和雨量 R_{sa} 作為 y 軸座標值，點繪於方格紙上，試圖尋求其相關性，但均無明顯之關係。若將二次不同之 R_{sa} 值

表 1 桶頭站貯蓄函數法流域參數檢定成果表

日 期	T_i (hr)	K	P	F_1	R_{sa} (mm)	洪峯流量 (CMS)		備 註
						計 算 值	實 測 值	
59 年 芙 安 9.6.6:00 9.8.9:00	1.0	31	0.500 0.425	0.4	40	2826 3327	2680	
60 年 艾 妮 絲 9.18.1:00 9.19.24:00	1.0	31	0.500 0.425	0.4	ΣR	1260 1390	1270	若 $P=0.425$ 且 $R_{sa}=40\text{mm}$ ， 則洪峯計算值為 3410 CMS
60 年 貝 絲 9.22.14:00 9.24.13:00	1.0	31	0.500 0.425	0.4	240	1466 1586	1390	若 $P=0.425$ 且 $R_{sa}=40\text{mm}$ ， 則洪峯計算值為 2480CMS
61 年 暴 雨 6.4.14:00 6.7.6:00	1.0	31	0.500 0.425	0.4	40	1094 1276	1110	
61 年 暴 雨 6.12.1:00 6.15.23:00	1.0	31	0.500 0.425	0.4	40	1432 1700	1700	
61 年 莉 泰 7.25.13:00 7.26.24:00	1.0	31	0.500 0.425	0.4	40	952 1239	1160	
63 年 鶯 瑪 6.18.1:00 6.19.24:00	1.0	31	0.500 0.425	0.4	40	1578 2082	1610	
64 年 妮 娜 8.3.1:00 8.4.24:00	1.0	31	0.500 0.425	0.4	40	1854 2295	3170	

表 2 桶頭站採用複相關法迴歸方程式檢定成果表

迴歸方程形式 編	複 迴 歸 方 程 式	相關係數	洪峯流量理論計算值與實測值之比較
①	$Q_{(t)} = 193.97 + 6.4133R_{(t-1)} + 7.4867R_{(t-2)} + 17.2342R_{(t-3)}$	0.769	Q_p 值較小者誤差尚可，但在 3000 Cms 左右則相差太多，故不理想。
②	$Q_{(t)} = -4.63 + 5.7136R_{(t)} + 5.2137R_{(t-1)} - 2.4030R_{(t-2)} + 0.8613Q_{(t-1)}$	0.966	在八次颱風洪中，理論值與實測值均相當接近，結果甚佳。
③	$Q_{(t)} = -1.55 + 5.4258R_{(t)} + 3.8612R_{(t-1)} + 0.8407Q_{(t-1)}$	0.966	在八次颱風洪中，理論值與實測值均相當接近，結果甚佳。
④	$Q_{(t)} = -5.45 + 8.2787R_{(t)} + 0.8676Q_{(t-1)}$	0.964	在八次颱風洪中，理論值與實測值均相當接近，結果甚佳。
⑤	$Q_{(t)} = 10.24 + 8.6782R_{(t-1)} + 0.8238Q_{(t-1)}$	0.962	在八次颱風洪中，理論值與實測值均相當接近，結果甚佳。
⑥	$Q_{(t)} = 24.25 + 6.7932R_{(t-2)} + 0.8242Q_{(t-1)}$	0.952	在八次颱風洪中，理論值與實測值均相當接近，結果甚佳。
⑦	$Q_{(t)} = 41.52 + 14.55R_{(t-2)} + 0.6478Q_{(t-2)}$	0.908	洪峯理論值與實測值相差雖不多，但洪峯發生時間有落後現象。

全部改為 40mm，則洪峯計算值有偏高現象，以 60 年貝絲颱風而言，洪峯計算值比實測值高 1090 CMS，60 年艾妮絲颱風洪計算值比實測超出 2140 CMS，雖然偏高，由於僅佔全數之 $\frac{2}{8}$ ，且就防洪觀點而言，屬於安全之估計，故決定將飽和雨量 R_{sa} 固定為 40mm，至於 $P=0.425$ 及 $P=0.500$ ，由表 1 可知 $R=0.425$ 所得洪峯較大，依洪水預報觀點採用 0.425 較安全，因此，本站貯蓄函數法之流域參數可為 $T_1=1.0$ 小時， $K=31$ ， $P=0.425$ ， $F_1=0.4$ ， $R_{sa}=40mm$ 。

2.複相關法：本法係用於推求流域平均時雨量 R 與桶頭流量 Q 之關係式及有關之迴歸參數。以下為所採用之基本方程式：

$$Q_{(t)} = A + \sum_{i=0}^n B_i R_{(t-i)} + \sum_{j=1}^m C_j Q_{(t-j)} \quad (8)$$

其中：

$Q_{(t)}$ = t 時刻桶頭站預測流量，單位 CMS。

$R_{(t-i)}$ = $(t-i)$ 時刻之流域平均時雨量。

$i=0, 1, 2, \dots, n$ ，單位 MM。

$Q_{(t-j)}$ = $(t-j)$ 時刻之桶頭站實測流量，

$j=1, 2, 3, \dots, m$ ，單位 CMS。 A, B_i, C_j

= 迴歸係數

上述由於係數 B_i, C_j 之變化（等於 0 或不等於 0），可以寫出甚多不同型式之迴歸式。經過分

析研判，茲將較有可能之迴歸式，列出如下：

$$Q_{(t)} = A + B_1 R_{(t-1)} + B_2 R_{(t-2)} + B_3 R_{(t-3)} \dots \textcircled{1}$$

$$Q_{(t)} = A + B_0 R_{(t)} + B_1 R_{(t-1)} + B_2 R_{(t-2)} + C_1 Q_{(t-1)} \dots \textcircled{2}$$

$$Q_{(t)} = A + B_0 R_{(t)} + B_1 R_{(t-1)} + C_1 Q_{(t-1)} \dots \textcircled{3}$$

$$Q_{(t)} = A + B_0 R_{(t)} + C_1 Q_{(t-1)} \dots \textcircled{4}$$

$$Q_{(t)} = A + B_1 R_{(t-1)} + C_1 Q_{(t-1)} \dots \textcircled{5}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 R_{(t-2)} + C_1 Q_{(t-1)} \dots \textcircled{6}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 R_{(t-2)} + C_2 Q_{(t-2)} \dots \textcircled{7}$$

根據上列七式，分別輸入八次颱風雨量、流量資料，求出迴歸方程式及相關係數，並比較 $Q_{(t)}$ 理論值與實測值之差異，作為迴歸方程式取捨之根據，表 2 為所求得之結果，由表 2 可知，除了①式之相關結果較差，相關係數為 0.769，第⑦式為 0.908 且洪峯發生時間較為落後外，第②～⑥式之相關係數均在 0.966～0.952 之間。由於相關係數相差極微，再比較洪峯流量理論值與實測值之差異，第②～⑥式之差異亦都不大，因此難予取捨。基於將來實際預報作業簡便、精確，爭取預報時效之原則，第⑥式之形式可以優先考慮，其方程式為：

$$Q_{(t)} = 24.25 + 6.7932R_{(t-2)} + 0.8242Q_{(t-1)} \dots \textcircled{9}$$

根據上式所得八次颱風檢定所得桶頭流量理論計算值與實測值繪如圖 2～圖 9。與貯蓄函數法之洪峯流量及水位計算值比較如表 3 所示。

表 3 桶頭站貯蓄函數法 ($P=0.425$) 及複相關法洪峯流量及水位比較表 (流量單位: CMS)
(水位單位: M)

日 期	59年美安 9.6.6:00 9.8.9:00	60年艾妮 絲 9.18.1:00 9.19.24:00	60年貝絲 9.22.14:00 9.24.13:00	61年暴雨 6.4.14:00 6.7.6:00	61年暴雨 6.12.1:00 6.15.23:00	61年莉泰 7.25.13:00 7.26.24:00	63年鶯瑪 6.18.1:00 6.19.24:00	64年妮娜 8.3.1:00 8.4.24:00
貯蓄函數法計算值	3,327 (226.80)	1,390 (225.12)	1,586 (225.32)	1,276 (224.09)	1,093 (223.89)	1,239 (224.05)	1,580 (225.04)	2,295 (225.84)
複相關法計算值	2,761 (226.15)	1,360 (225.09)	1,375 (225.11)	1,108 (223.91)	1,132 (223.94)	1,037 (223.83)	1,582 (225.05)	3,211 (226.69)
實 測 值	2,680 (226.07)	1,270 (225.00)	1,390 (225.12)	1,110 (223.91)	1,700 (224.47)	1,160 (223.97)	1,610 (225.09)	3,170 (226.65)

註: () 內為水位值。

二、西螺大橋控制站

濁水溪集集流量站及清水溪桶頭流量站以下至彰雲大橋以上集水區，面積 342.92 平方公里。在本文洪水預報演算之集水區編號為 Δ 。由集集流量站至彰雲大橋之河道編號為 D，桶頭流量站至彰雲大橋之河道編號為 E。彰雲大橋至西螺大橋間之集水區，面積 69.2 平方公里，集水區編號為 Δ ，河道編號為 F。由於彰雲大橋，民國七十四年方設水位流量站，實測資料不足，故各項流域及河道參數檢定，均由集集、桶頭兩流量站演算至彰雲大橋再由彰雲大橋演算至西螺大橋，以西螺大橋之實測流量作檢定驗證之根據。經挑選民國 57 年 ~ 73 年洪峯流量較大，且雨量資料完整之十二次颱風暴雨資料，分別採用(1)流域貯蓄函數法配合河道馬斯金更法。(2)複相關法：進行演算時，以前九次颱風洪作參數檢定，後三次颱風洪作驗證，茲將所得之分析結果簡述如下：

1. 流域貯蓄函數法配合河道馬斯金更法：

利用草嶺、集集、西螺三個自記雨量站資料，以徐昇法推求集水區之平均雨量利用流域貯蓄函數法進行集水區 Δ ， Δ 之逕流演算。河道 D，E，F 則採用馬斯金更法。由集集、桶頭流量站向下推求彰雲、西螺大橋之流量並與西螺大橋之實測流量比較，選擇較合適之參數組，其檢定結果如表 4 所示。其檢定圖如圖 12 ~ 圖 20。由表 4 可知兩集水區之流域貯蓄函數法參數，稽延時間 T_1 ，蓄水常數 K、P，及飽和雨量 R_{sa} 均為定值，唯一次流出率 F_1 有所不同。馬斯金更法河道演算方面 $K=1.0$ 時， $X=0.3$ ，參數亦均一致。比較洪峯計算值與實測值，九次颱風洪均相當接近，結果良好。為建立一次流出

率 F_1 與臨前狀況之相關，本研究乃統計九次颱風洪之臨前五日、十日、十五日、廿日之總降雨量及西螺站初期流量，尋求與一次流出率 F_1 之相關性，但均無明顯之相關，為求洪水預報作業時， F_1 值能有明確之決定值，乃一律以 $F_1=0.99$ 再代入模式中重新推求流量歷線，所得之西螺站洪峯流量再與上述推求值比較，列於表 5。由表中可知 $F_1=0.99$ ，在九次颱風洪中結果還相當良好，只有民國 66 年兩次颱風洪偏高較多。屬於安全保守之考慮，故決定將一次流出率固定為 $F_1=0.99$ 。因此集水區 Δ ，貯蓄函數法之流域參數可定為 $T_1=3.0$ 小時 $K=5$ ， $P=0.5$ ， $F_1=0.99$ ， $S_{sa}=\sum R$ ，(演算期間總降雨量)。集水區 Δ ，貯蓄函數法之流域參數可定為 $T_1=0.0$ 小時， $K=5$ ， $P=0.5$ ， $F_1=0.99$ ， $R_{sa}=\sum R$ 。河道馬斯金更法參數，D，E，F 三河道皆相同，即 $K=1.0$ 小時， $X=0.3$ 。

2. 複相關法：

本法係直接利用桶頭、集集、西螺流量站之實測流量及三測站之間集水區 Δ 之平均時雨量資料，推求西螺站數小時後之預測流量。鑒於前述，貯蓄函數法分析結果，集水區 Δ 之稽延時間 $T_1=0$ 小時，集水面積又小，為爭取預報時效，簡化迴歸方程式，在本節複相關法中，不列入變數考慮。茲將採用之基本方程式列如下：

$$Q_{(t)} = A + \sum_{i=1}^n B_i Q_{1(t-i)} + \sum_{j=1}^m C_j Q_{2(t-j)} + \sum_{k=1}^K D_k Q_{(t-k)} + \sum_{l=1}^L E_l R_{(t-l)} \dots \dots \dots (10)$$

表 4 西螺站 流域貯蓄函數法參數檢定成果表

日 期	集水區編號	貯蓄函數法流域參數					河道編號	馬斯金更法河道參數		洪峯流量 (CMS)	
		Te (hr)	K	P	F ₁	R _{sa}		K (hr)	X	計算值	實測值
57 年 艾 琳 9.29.9:00 10.1.24:00	2	3	5	0.5	0.99	ΣR	D	1.0	0.3	2,392	3,010
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.99	ΣR	F	1.0	0.3		
59 年 美 安 9.6.6:00 9.8.9:00	2	3	5	0.5	0.70	ΣR	D	1.0	0.3	11,278	11,300
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.70	ΣR	F	1.0	0.3		
60 年 艾 妮 絲 9.18.15:00 9.20.18:00	2	3	5	0.5	0.95	ΣR	D	1.0	0.3	4,964	4,920
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.95	ΣR	F	1.0	0.3		
60 年 貝 絲 9.22.14:00 9.24.17:00	2	3	5	0.5	0.99	ΣR	D	1.0	0.3	7,371	8,440
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.99	ΣR	F	1.0	0.3		
61 年 暴 雨 6.13.13:00 6.15.15:00	2	3	5	0.5	0.99	ΣR	D	1.0	0.3	5,127	5,340
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.99	ΣR	F	1.0	0.3		
61 年 貝 蒂 8.16.10:00 8.18.24:00	2	3	5	0.5	0.85	ΣR	D	1.0	0.3	5,839	5,720
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.85	ΣR	F	1.0	0.3		
64 年 妮 娜 8.3.2:00 8.4.24:00	2	3	5	0.5	0.80	ΣR	D	1.0	0.3	7,090	7,010
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.80	ΣR	F	1.0	0.3		
66 年 暴 雨 6.2.1:00 6.3.9:00	2	3	5	0.5	0.50	ΣR	D	1.0	0.3	3,830	3,630
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.50	ΣR	F	1.0	0.3		
66 年 愛 美 8.22.9:00 8.23.9:00	2	3	5	0.5	0.20	ΣR	D	1.0	0.3	3,726	3,390
							E	1.0	0.3		
	3	0	5	0.5	0.20	ΣR	F	1.0	0.3		

註：ΣR 為演算期間內全期總降雨量。

表 5 西螺站流域貯蓄函數法一次流出率 F_1 統一採用 0.99 之洪峯流量水位比較表
(流量單位: CMS 水位單位: M)

日 期	57年艾琳 9.29.9:00 10.1.24.00	59年美安 9.6.6:00 9.8.9:00	60年艾妮絲 9.18.15:00 9.20.18:00	60年貝絲 9.22.14:00 9.24.17:00	61年暴雨 6.13.1:00 6.15.15:00	61年貝蒂 8.16.10:00 8.18.24:00	64年妮娜 8.3.2:00 8.4.24:00	66年暴雨 6.2.1:00 6.3.9:00	66年愛美 8.22.9:00 8.23.9:00
採用表 4 F_1 值之洪峯計 算值	2,392 (28.74)	11,278 (29.09)	4,964 (28.78)	7,371 (29.11)	5,127 (28.86)	5,839 (28.97)	7,090 (29.43)	3,830 (28.82)	3,726 (28.76)
F_1 採用 0.99 之洪峯計算 值	2,392 (28.74)	12,812 (30.25)	5,091 (28.79)	7,371 (29.11)	5,127 (28.86)	5,972 (28.99)	7,725 (29.51)	5,479 (29.03)	6,656 (29.32)
實 測 值	3,010 (28.89)	11,300 (30.00)	4,920 (28.77)	8,440 (29.26)	5,340 (29.04)	5,720 (28.95)	7,010 (29.42)	3,630 (28.80)	3,390 (28.69)

註: () 內為洪峯水位, 單位 M。

其中:

$Q_{(t)} = t$ 時刻西螺站預測流量, 單位 CMS。

$Q_{1(t-i)} = (t-i)$ 時刻集集站實測流量 $i=1, 2, \dots, n$, 單位 CMS。

$Q_{2(t-j)} = (t-j)$ 時刻桶頭站實測流量, $j=1, 2, \dots, m$, 單位 CMS。

$Q_{(t-k)} = (t-k)$ 時刻西螺站實測流量, $k=1, 2, \dots, k$, 單位 CMS。

$R_{(t-l)} = (t-l)$ 時刻, 集水區 Δ 之平均時雨量, $l=1, 2, \dots, L$ 單位 MM。

A, B_i, C_j, D_k, E_l 為迴歸係數。

上式由於迴歸係數 B_i, C_j, D_k, E_l 之變化 (等於 0 或不等於 0), 可以寫出甚多不同型式之迴歸方程式, 經分析研判, 將較有可能之迴歸式列出如下:

$$Q_{(t)} = A + B_2 Q_{1(t-2)} + C_2 Q_{2(t-2)} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 Q_{1(t-2)} + C_2 Q_{2(t-2)} + D_2 Q_{(t-2)} \textcircled{2}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 Q_{1(t-2)} + C_2 Q_{2(t-2)} + D_1 Q_{(t-1)} \textcircled{3}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 Q_{1(t-2)} + C_2 Q_{2(t-2)} + D_2 Q_{(t-2)} + E_3 R_{(t-3)} \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 Q_{1(t-2)} + C_2 Q_{2(t-2)} + D_2 Q_{(t-2)} + E_4 R_{(t-4)} \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 Q_{1(t-2)} + C_2 Q_{2(t-2)} + D_1 Q_{(t-1)} + E_4 R_{(t-4)} \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 Q_{1(t-2)} + C_2 Q_{2(t-2)} + D_1 Q_{(t-1)} + E_4 R_{(t-4)} + E_3 R_{(t-3)} + E_2 R_{(t-2)} \dots \dots \textcircled{7}$$

$$Q_{(t)} = A + B_2 Q_{1(t-2)} + C_2 Q_{2(t-2)} + D_1 Q_{(t-1)} + E_4 R_{(t-4)} + E_3 R_{(t-3)} \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

根據上列八式, 分別輸入民國 57 年 ~ 66 年發生之九次颱風雨量、流量資料, 求出迴歸方程式及相關係數, 並比較 $Q_{(t)}$ 理論值與實測值之差異, 作為迴歸方程式取舍之標準。茲將所得分析結果列如表 6。由表 6 可知, 八個方程式之相關係數皆在 0.925~0.986 之間, 相關良好, 但以⑥, ⑦, ⑧三式所得之相關係數最高, 都是 0.986, 且所得西螺站之理論洪峯流量與實測值甚為接近, 都能符合預報準確之要求, 為簡便及爭取預報時效起見決定採用公式⑥。其方程式為:

$$Q_{(t)} = -49.78 + 0.3045 Q_{1(t-2)} + 0.2770 Q_{2(t-2)} + 0.7376 Q_{(t-1)} + 25.3663 R_{(t-4)} \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

上式檢定所得經以實測西螺站流量比較, 繪如圖 12~圖 20。與貯蓄函數法配合馬斯金更法所得之洪峯流量及水位比較如表 7。

肆、洪水預報數學模式之驗證與討論比較

本研究採用之洪水預報數學模式, 其檢定分析結果已如上節所述, 為明瞭是否確實可用, 桶頭流量控制站係以民國 66 年, 67 年, 69 年, 三次颱風暴雨作驗證。驗證結果如表 8 及圖 21~圖 23 所示。由圖表可知複相關法確比貯蓄函數法準確。此因所採複相關是動態, 即時, 線性之相關, 理論簡

表 6 西螺站採用複相關法迴歸方程式檢定成果表

迴歸方程形式 編號	複 迴 歸 方 程 式	相 關 係 數	洪 峯 流 量 理 論 值與實測值比較
①	$Q_{(t)} = -8.356 + 1.2698Q_{1(t-2)} + 1.5124Q_{2(t-2)}$	0.925	尚 可
②	$Q_{(t)} = -105.10 + 0.6212Q_{1(t-2)} + 1.1297Q_{2(t-2)} + 0.4774Q_{(t-2)}$	0.964	尚 可
③	$Q_{(t)} = -57.77 + 0.3312Q_{1(t-2)} + 0.6786Q_{2(t-2)} + 0.7061Q_{(t-1)}$	0.982	尚 可
④	$Q_{(t)} = -130.46 + 0.5549Q_{1(t-2)} + 0.7539Q_{2(t-2)} + 0.5425Q_{2(t-2)} + 24.6884R_{(t-3)}$	0.968	尚 可
⑤	$Q_{(t)} = -103.91 + 0.5542Q_{1(t-2)} + 0.5561Q_{2(t-2)} + 0.5427Q_{(t-2)} + 36.2854R_{(t-4)}$	0.971	尚 可
⑥	$Q_{(t)} = -49.78 + 0.3045Q_{1(t-2)} + 0.2770Q_{(t-2)} + 0.7376Q_{(t-1)} + 25.3663R_{(t-4)}$	0.986	佳
⑦	$Q_{(t)} = -64.45 + 0.2919Q_{1(t-2)} + 0.2474Q_{2(t-2)} + 0.7516Q_{(t-1)} + 19.4990R_{(t-4)} + 3.1933R_{(t-3)} + 5.0916R_{(t-2)}$	0.986	佳
⑧	$Q_{(t)} = -56.9131 + 0.2921Q_{1(t-2)} + 0.2477Q_{2(t-2)} + 0.7495Q_{(t-1)} + 19.3019R_{(t-4)} + 7.8110R_{(t-3)}$	0.986	佳

表 7 西螺站 流域貯蓄函數法
河道馬斯金更法 及複相關法洪峯流量值比較表 (單位: CMS)

日 期	57年艾琳 9.29.9:00 10.1.24:00	59年芙安 9.6.6:00 9.8.9:00	60年艾妮絲 9.18.15:00 9.20.18:00	60年貝絲 9.22.14:00 9.24.17:00	61年暴雨 6.13.1:00 6.15.15:00	61年貝蒂 8.16.10:00 8.18.24:00	64年妮娜 8.3.2:00 8.4.24:00	66年暴雨 6.2.1:00 6.3.9:00	66年愛美 8.22.9:00 8.23.9:00
流域貯蓄函 數法及河道 馬斯金更法 洪峯計算值	2,392 (28.74)	11,278 (29.09)	4,964 (28.78)	7,371 (29.11)	5,127 (28.86)	5,839 (28.97)	7,090 (29.43)	3,830 (28.82)	3,726 (28.76)
複相關法洪 峯計算值	2,850 (28.85)	11,776 (30.08)	4,817 (28.75)	8,283 (29.26)	4,812 (28.81)	5,967 (28.99)	6,713 (29.38)	3,656 (28.80)	4,252 (28.86)
實 測 值	3,010 (28.89)	11,300 (30.00)	4,920 (28.77)	8,440 (29.26)	5,340 (29.04)	5,720 (28.95)	7,010 (29.42)	3,630 (28.80)	3,390 (28.69)

註: () 內為洪峯水位, 單位 M。

表 8 桶頭站貯蓄函數法及複相關法驗證成果表

日 期	貯 蓄 函 數 法						洪峯流量 實測值 (CMS)	複 相 關 法 洪峯流量計算值 (CMS)
	T _i (hr)	K	P	F ₁	R _{aa} (mm)	洪峯流量 計算值 (CMS)		
66 年 暴 雨 6.1.1:00 6.3.19:00	1.0	31	0.425	0.4	40	1,600 [225.32]	1,340 [225.04]	1,360 [225.07]
67 年 暴 雨 8.1.1:00 8.2.24:00	1.0	31	0.425	0.4	40	1,841 [225.55]	2,330 [225.90]	2,142 [225.79]
69 年 諾 瑞 斯 8.27.1:00 8.28.24:00	1.0	31	0.425	0.4	40	4,228 [228.31]	3,400 [227.28]	3,266 [227.11]

註一〔 〕內為洪峯水位，單位 M。

表 9 西螺站洪水預報數學模式驗證成果表

日 期	集水區編號	流域貯蓄函數法配合河道馬斯金更法									洪峯流量	複相關法
		貯蓄函數法流域參數					河道編號	馬斯金更法河道參數		洪峯流量計算值 (CMS)	實測值 (CMS)	洪峯流量計算值 (CMS)
		T _e (hr)	K	P	F ₁	8R _{aa}		K (hr)	X			
69 年 諾 瑞 斯 8.27.15:00 ~ 8.28.22:00	2	3	5	0.5	0.99	ΣR	D	1.0	0.3	9,482 (29.61)	8,470 (29.43)	8607 (29.55)
							E	1.0	0.3			
	3	0	5	0.5	0.99	ΣR	F	1.0	0.3			
70 年 暴 雨 5.31.1:00 } 5.31.20:00	2	3	5	0.5	0.99	ΣR	D	1.0	0.3	4129 (28.43)	3,130 (28.14)	3,342 (28.21)
							E	1.0	0.3			
	3	0	5	0.5	0.99	ΣR	F	1.0	0.3			
71 年 安 迪 7.29.2:00 } 7.31.14:00	2	3	5	0.5	0.99	ΣR	D	1.0	0.3	4,878 (28.47)	5,370 (28.53)	5,210 (28.51)
							E	1.0	0.3			
	3	0	5	0.5	0.99	ΣR	F	1.0	0.3			

註：1. ΣR 為演算期間內之全期總降雨量。

2. () 內為洪峯水位，單位為 M。

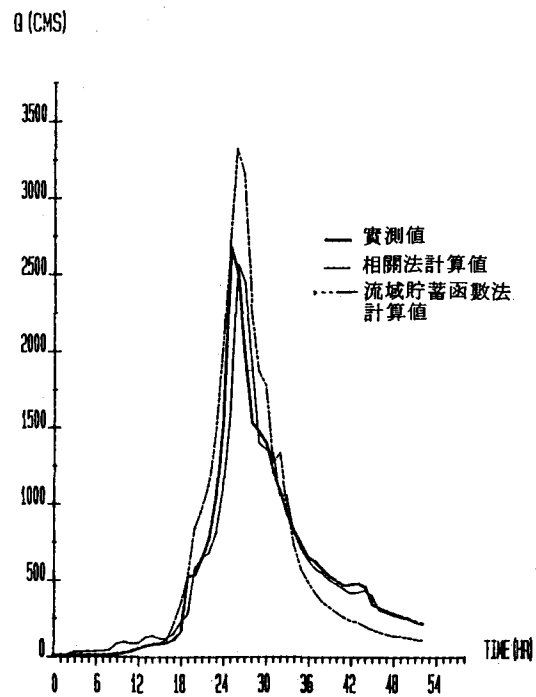
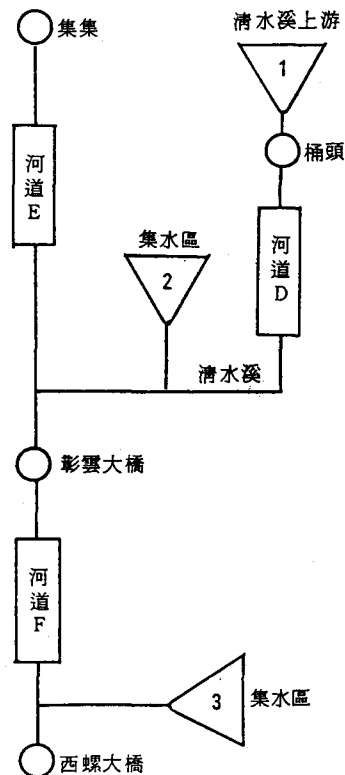
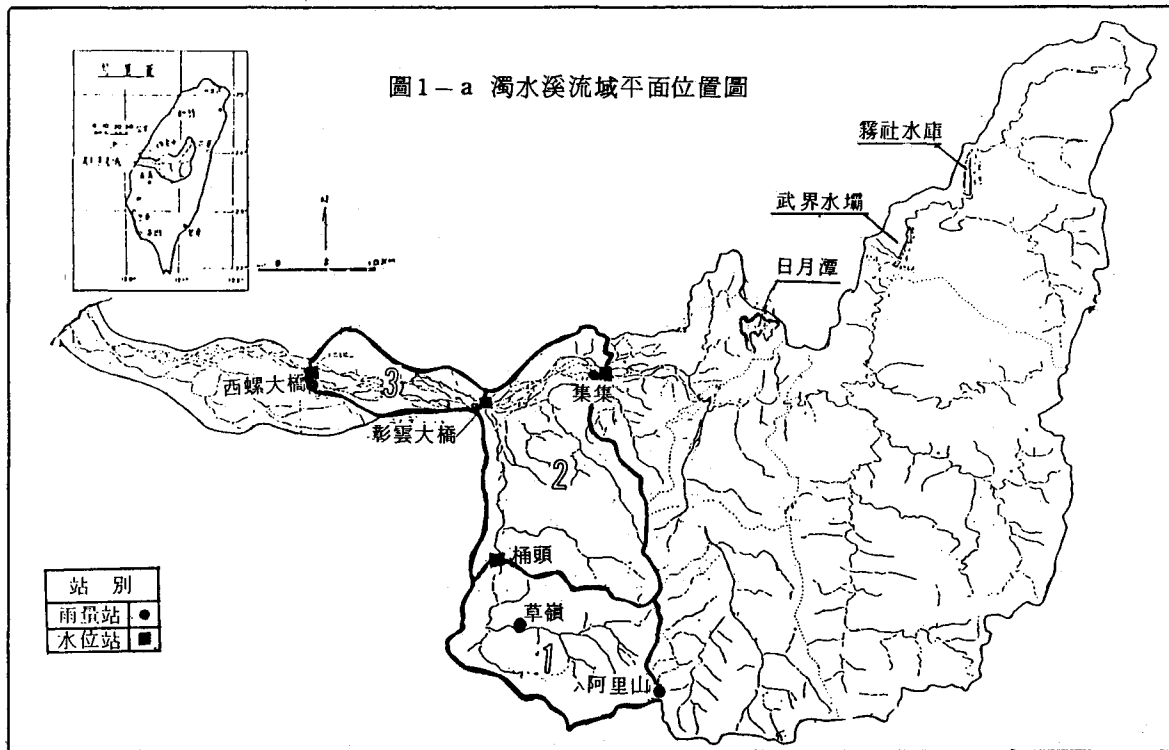


圖 2 桶頭站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(笑安颱風：民國 59 年 9 月 6 日 6 時至 8 日 9 時)

圖 1-b 本文濁水溪集水區、河道編號系統圖

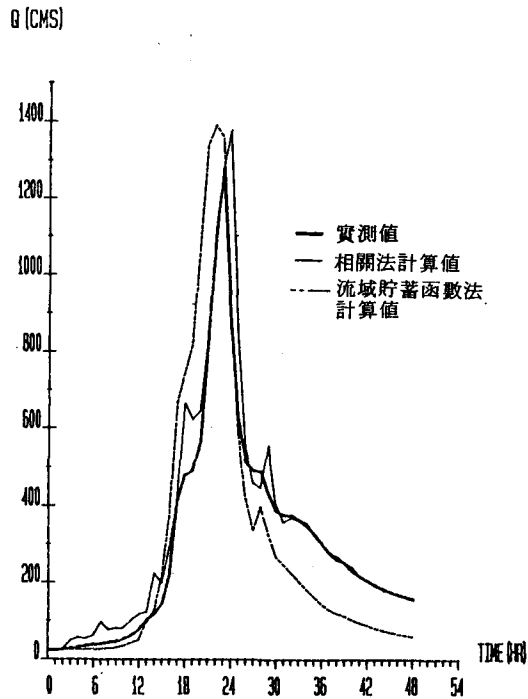


圖 3 桶頭站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(艾妮絲颱風：民國 60 年 9 月 18 日 1 時至 19 日 24 時)

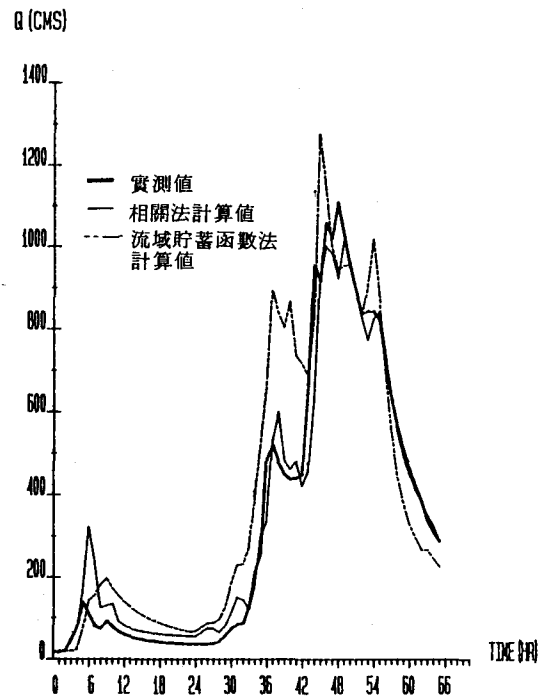


圖 5 桶頭站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(暴雨：民國 61 年 6 月 4 日 14 時至 7 日 6 時)

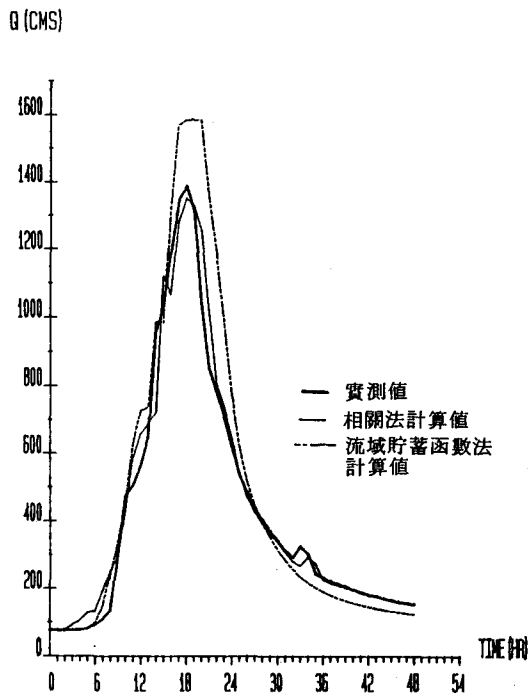


圖 4 桶頭站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(貝絲颱風：民國 60 年 9 月 22 日 14 時至 24 日 13 時)

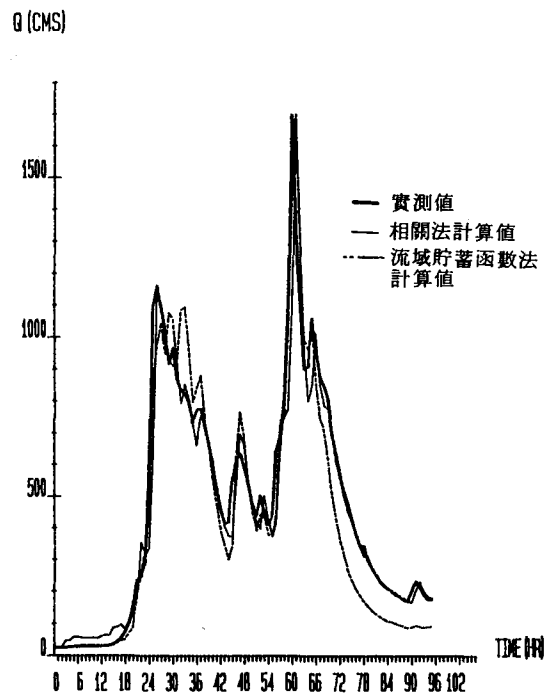


圖 6 桶頭站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(暴雨：民國 61 年 6 月 12 日 1 時至 15 日 23 時)

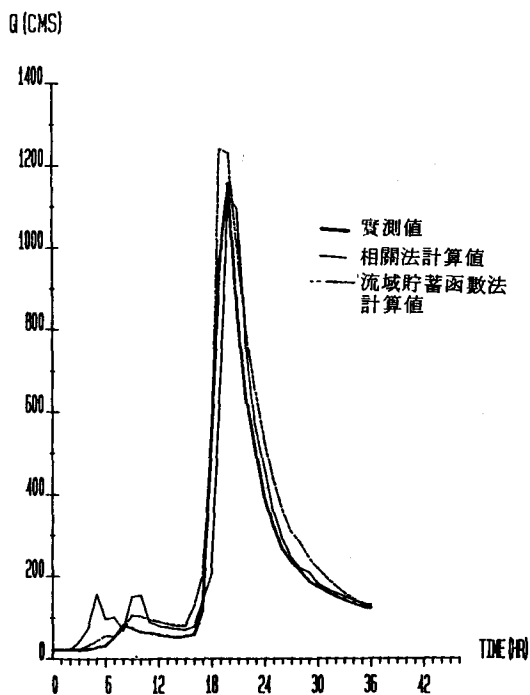


圖 7 桶頭站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(莉泰颱風：民國 61 年 7 月 25 日 13 時至 26 日 24 時)

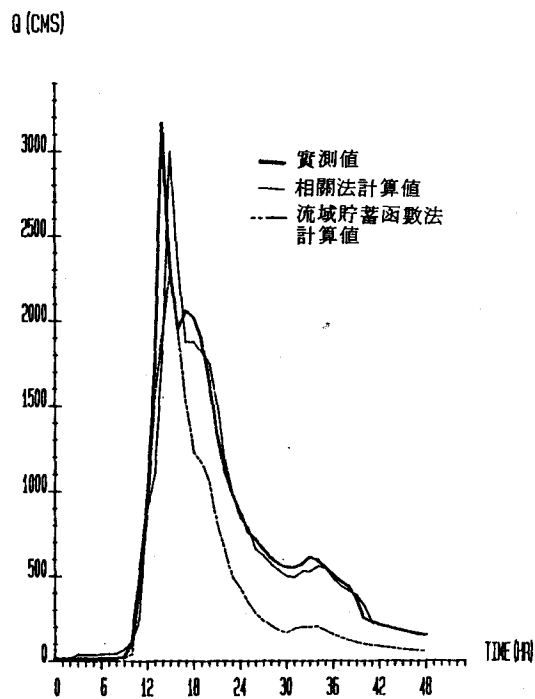


圖 9 桶頭站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(妮娜颱風：民國 64 年 8 月 3 日 1 時至 4 日 24 時)

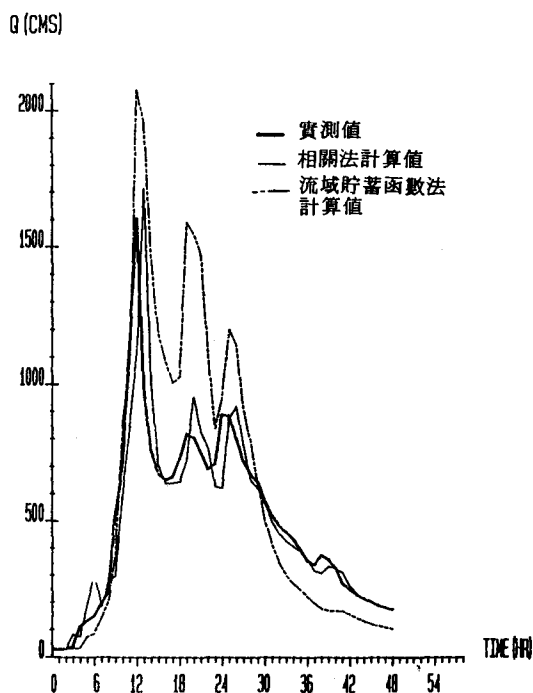


圖 8 桶頭站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(鸞瑪颱風：民國 63 年 6 月 18 日 1 時至 19 日 24 時)

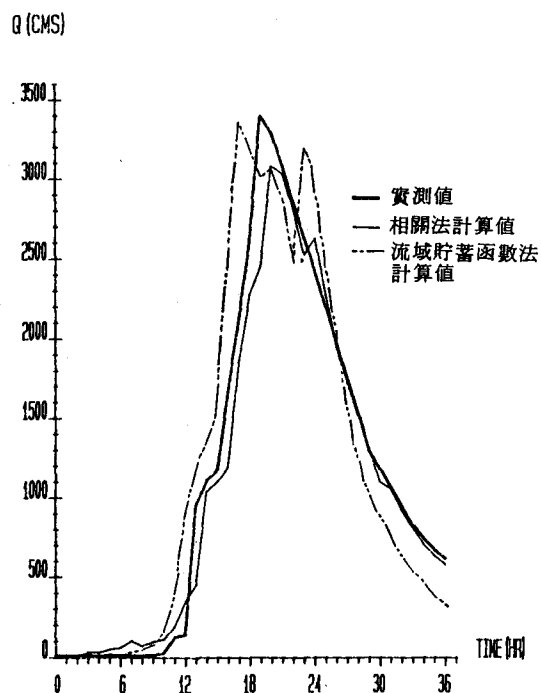


圖 10 桶頭站貯蓄函數法 ($P=0.5$) 不作流量即時校正
演算圖 (民國 69 年諾瑞斯颱風)

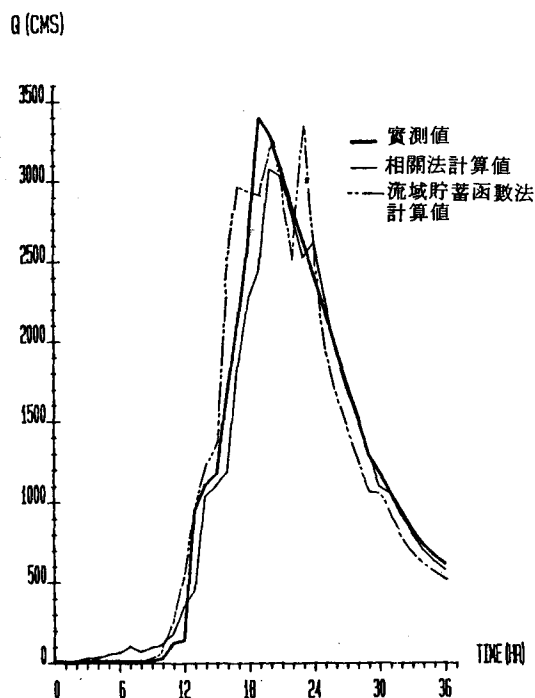


圖 11 桶頭站貯蓄函數法 ($P=0.5$) 流量即時校正演算圖 (民國 69 年諾瑞斯颱風)

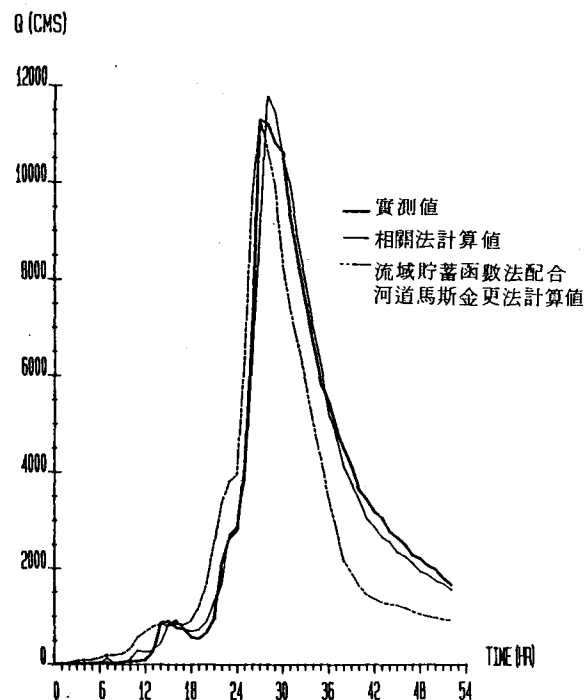


圖 13 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖 (芙安颱風: 民國 59 年 9 月 6 日 6 時至 8 日 9 時)

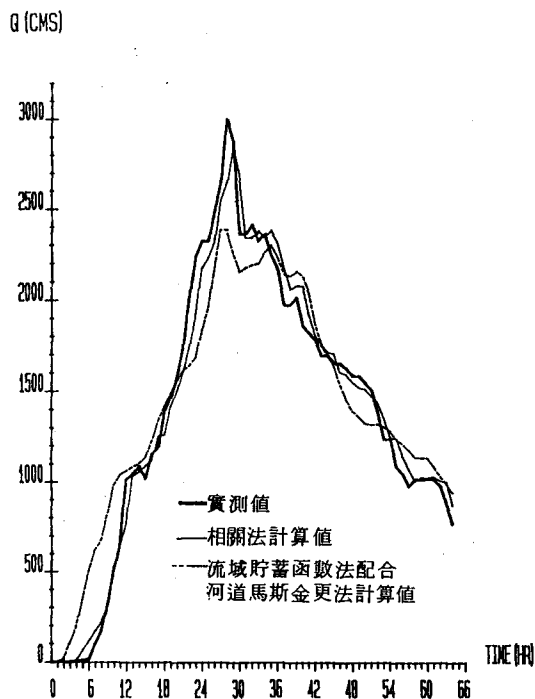


圖 12 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖 (艾琳颱風: 民國 57 年 9 月 29 日 9 時至 10 月 1 日 24 時)

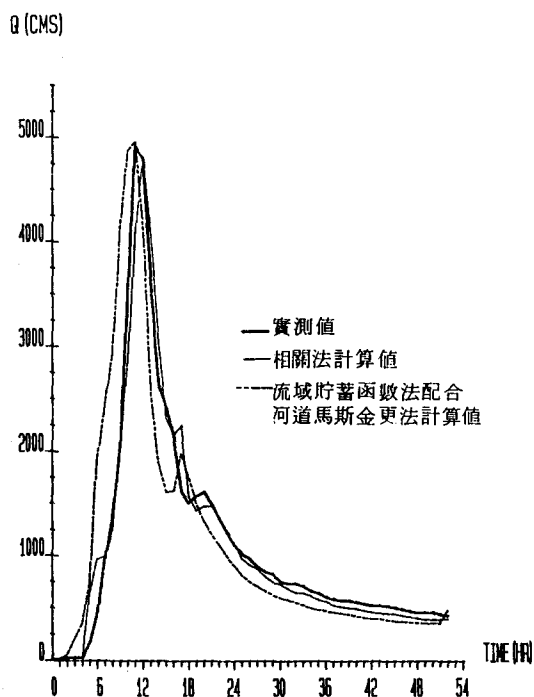


圖 14 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖

(艾妮絲颱風: 民國 60 年 9 月 18 日 15 時至 20 日 18 時)

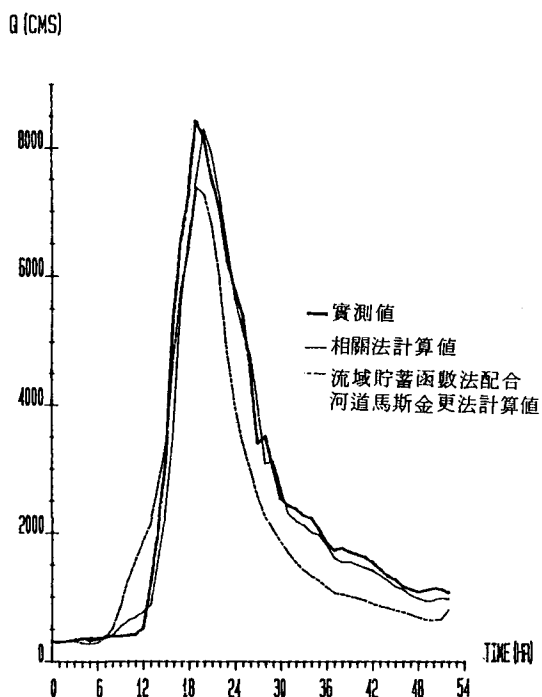


圖 15 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(貝絲颱風：民國 60 年 9 月 22 日 14 時至 24 日 17 時)

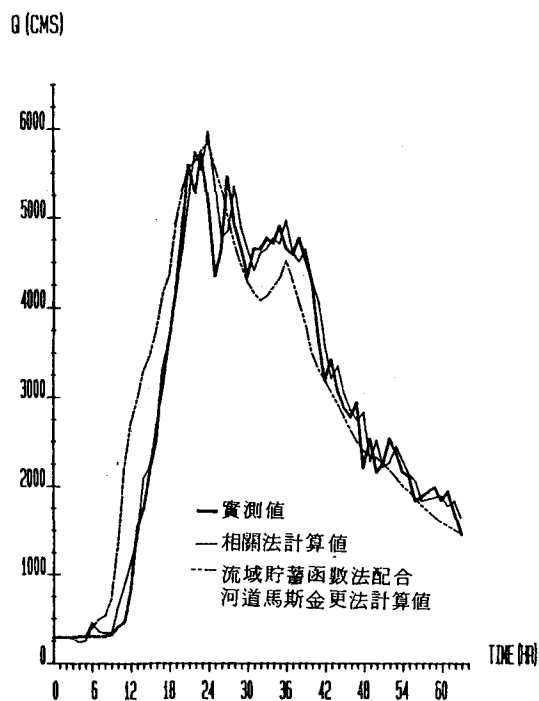


圖 17 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(貝蒂颱風：民國 61 年 8 月 16 日 10 時至 18 日 24 時)

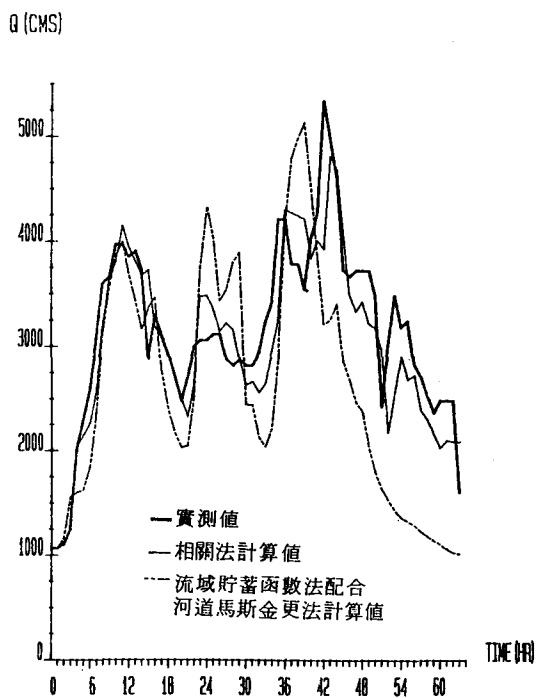


圖 16 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(暴雨：民國 61 年 6 月 13 日 1 時至 15 日 15 時)

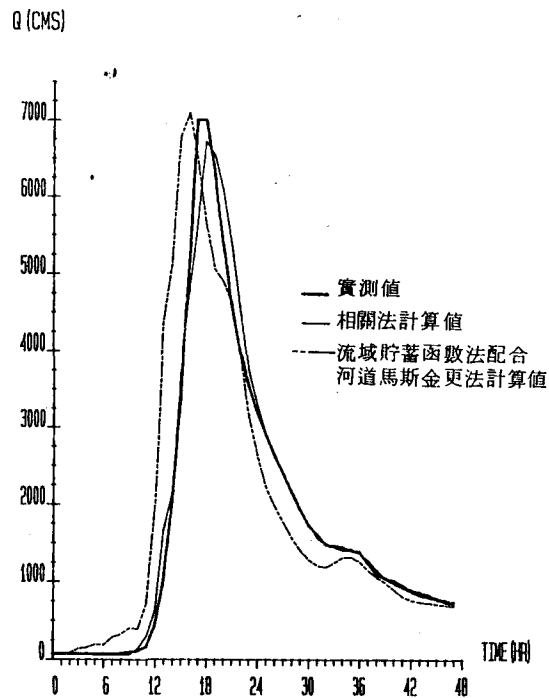


圖 18 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(妮娜颱風：民國 64 年 8 月 3 日 2 時至 4 日 24 時)

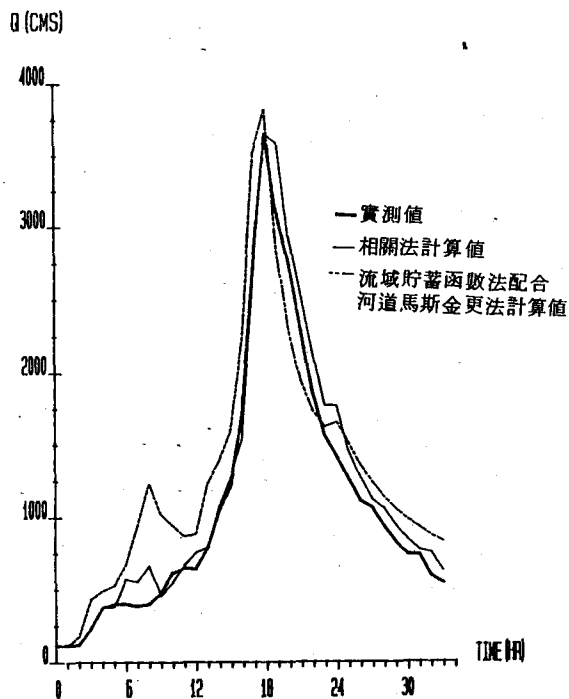


圖 19 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(暴雨：民國 66 年 6 月 2 日 1 時至 3 日 9 時)

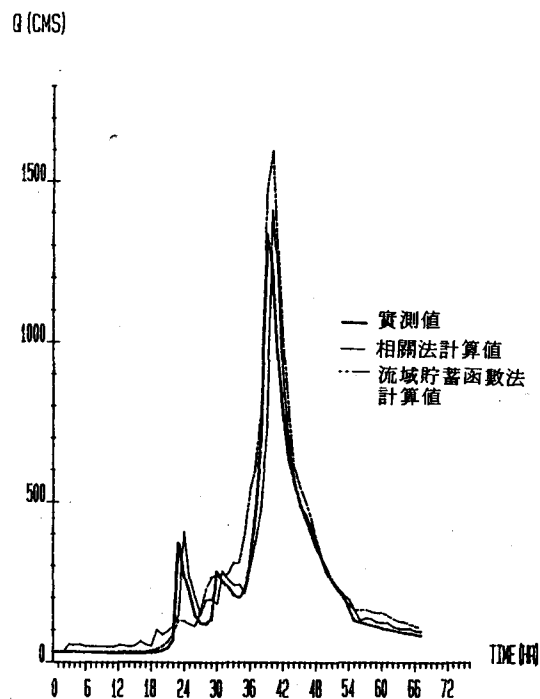


圖 21 桶頭站洪水預報模式驗證圖
(暴雨：民國 66 年 6 月 1 日 1 時至 3 日 19 時)

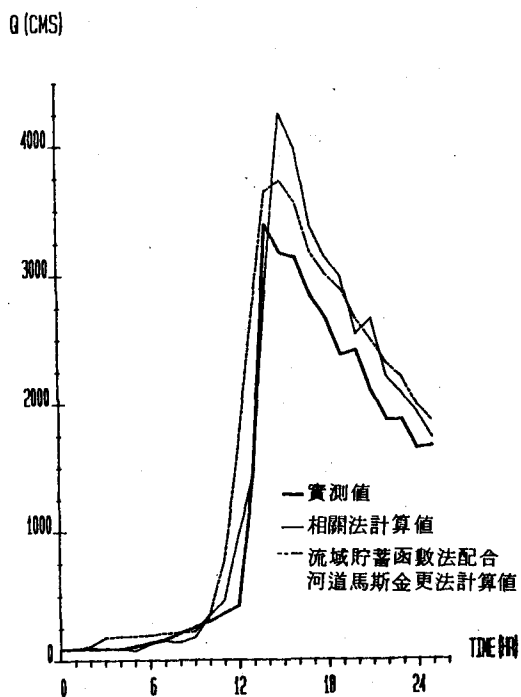


圖 20 西螺站洪水預報模式計算值與實測值比較圖
(愛美颱風：民國 66 年 8 月 22 日 9 時至 23 日 9 時)

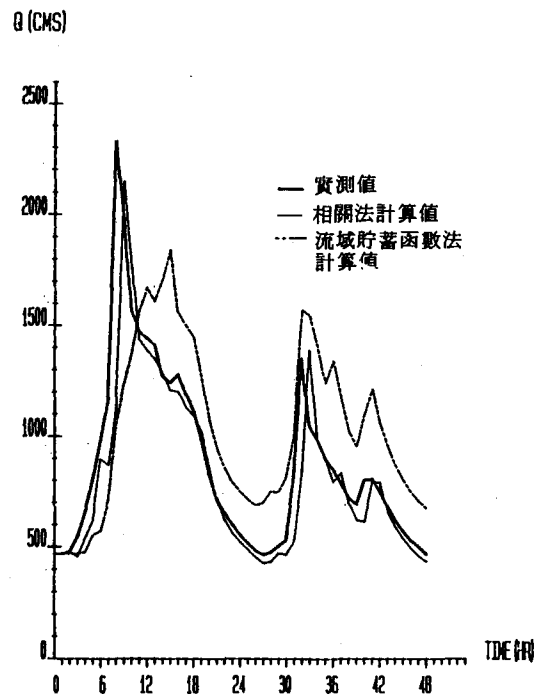


圖 22 桶頭站洪水預報模式驗證圖
(暴雨：民國 67 年 8 月 1 日 1 時至 2 日 24 時)

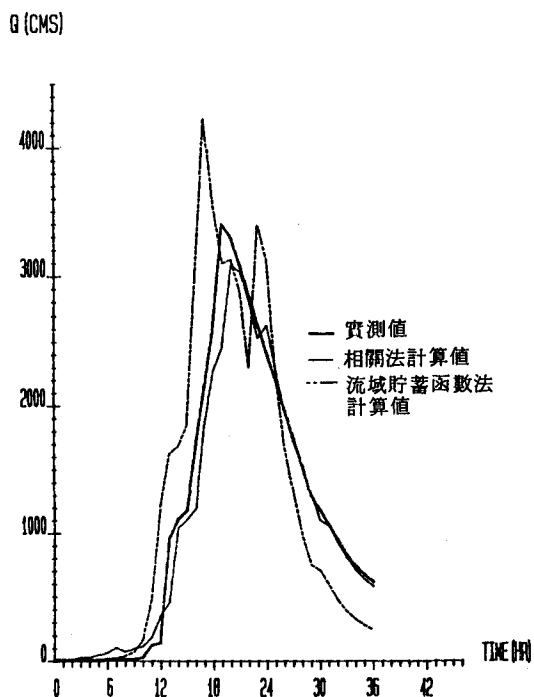


圖 23 桶頭站洪水預報模式驗證圖
(諾瑞斯颱風：民國 69 年 8 月 27 日 1 時至 28 日 24 時)

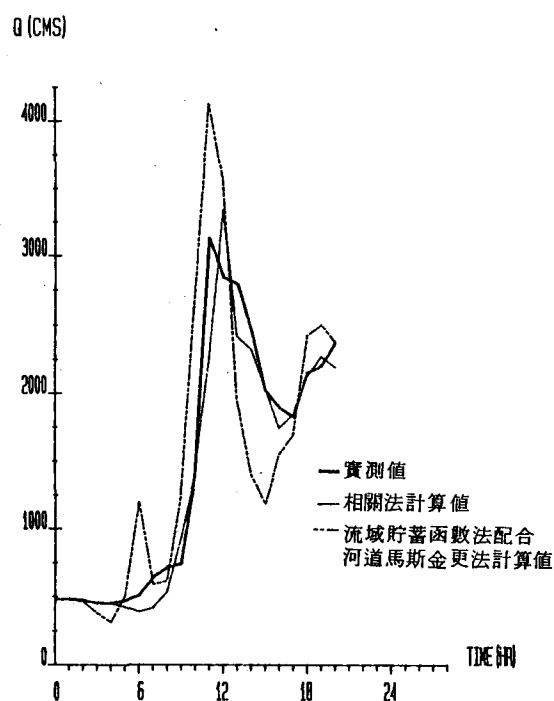


圖 25 西螺站洪水預報模式驗證圖
(暴雨：民國 70 年 5 月 31 日 1 時至 20 時)

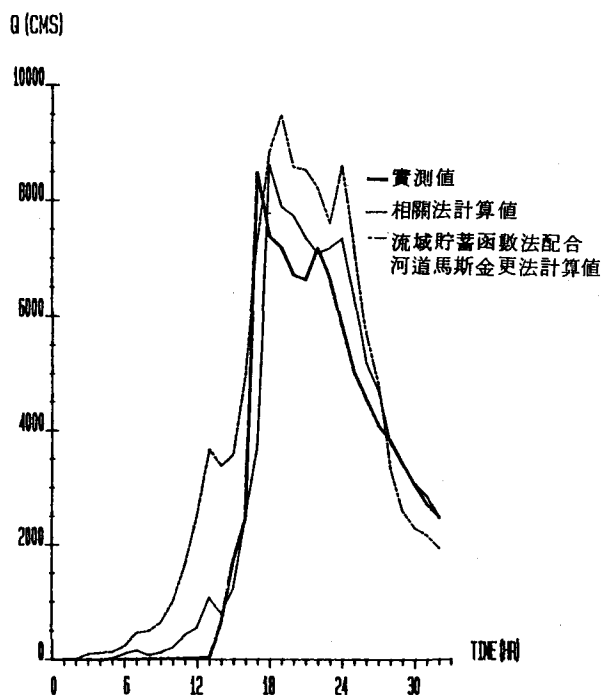


圖 24 西螺站洪水預報模式驗證圖
(諾瑞斯颱風：民國 69 年 8 月 27 日 15 時至 28 日 22 時)

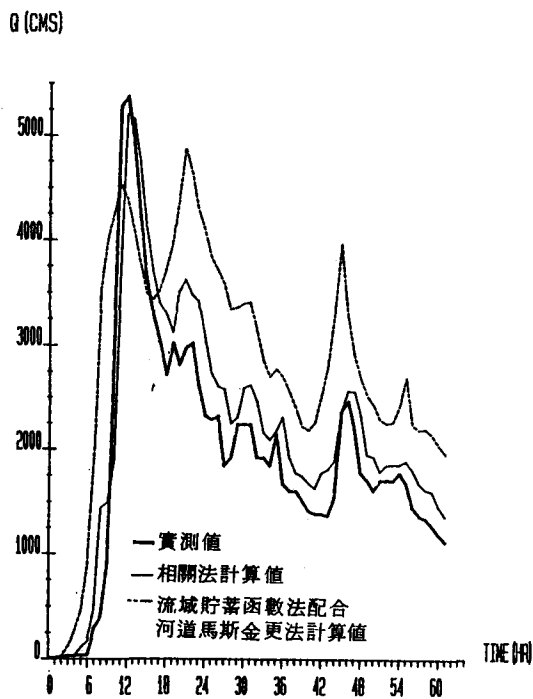


圖 26 西螺站洪水預報模式驗證圖
(安迪颱風：民國 71 年 7 月 29 日 2 時至 31 日 14 時)

單，計算容易，且能够即時反應當時雨量、流量狀況，誤差可作即時校正，故能密切吻合實測流量歷線。反之，貯蓄函數法屬非線性之流域演算，可完全由雨量推求流量，結果亦不差，但稍遜於複相關法。若在雨量推求流量之演算過程中加入實測流量的即時校正，由於受 $S_t = KQ_t^P$ 蓄水方程式，及 $I - O = \Delta S / \Delta t$ 水文方程式及 T_i ， F_1 ， R_{sa} ， K ， P 等參數之影響，關係較複雜，無法像複相關一樣反應敏銳，調整誤差，且易造成數值發散。今以民國 69 年諾瑞斯颱風為例，將 $T_i = 1.0$ 小時， $K = 31$ ， $P = 0.425$ ， $F_1 = 0.4$ ， $R_{sa} = 40\text{mm}$ 等參數輸入貯蓄函數法之模式中，並以實測流量作即時校正，進行演算，則發生數值無法收斂之現象（若不作實測流量即時校正則無此現象）。若將 P 值改為 0.500，作實測流量即時校正與不校正兩種演算，則不校正者如圖 10 所示，校正者如圖 11 所示。由兩圖比較得知貯蓄函數法考慮流量即時校正並不比不校正為佳，且流量即時校正過程中，每易造成數值發散現象。而不校正模式與複相關法之比較已詳如圖 2～圖 9，圖 21～圖 23，及表 3，表 8；綜上可知，就桶頭流量控制站而言，複相關法在使用簡便、精確、統一，及爭取時效上，確優於貯蓄函數法。至於西螺流量控制站，本研究係以民國 69 年，70 年，71 年，三次颱風暴雨作驗證。驗證結果如表 9 及圖 24～圖 26 所示。由圖表可知複相關法所得演算結果，無論流量歷線形狀或洪峰大小，發生時間，皆能令人滿意；於實際洪水預報作業中，除可以即時反應雨量、流量狀況，作即時校正外，理論簡單，操作簡便，確實優於流域貯蓄函數法配合河道馬斯金更法之洪水預報演算模式。

伍、結 論 與 建 議

1. 濁水溪洪水預報數學模式之選用，應以簡便、精確，爭取時效為原則，模式之參數應該明確固定，以免增加未來實際洪水預報作業之困擾。
2. 本文以貯蓄函數法作流域演算並配合馬斯金更法進行河道演算，各項參數經過檢定驗證後可採統一數值，結果令人滿意。若以本法作為洪水預報數學模式，建議不必作流量即時校正；因為校正結果並不比不校正者佳，且易造成數值發散之現象，徒增困擾。
3. 本文所採用之複相關法，經檢定方程式及驗證

工作之後，顯示結果良好，且公式簡單，操作方便，由於式(9)及式(11)均為動態即時之相關，可立即反應當時流量及雨量狀況，作即時的誤差校正，演算精度比貯蓄函數法流域演算配合馬斯金更法河道演算之精度更佳，且無數值不收斂之困擾，值得推廣採用。

4. 本文式(9)及式(11)兩複相關方程式，在預報作業中可重複使用以延長預報時間，以(11)式為例，若要預報西螺站 2 小時後之流量，則只需要目前時刻及 1 小時前，集集、桶頭兩流量站的實測流量，西螺站目前實測流量，及集水區 $\Delta 2$ 、3 小時前的平均時雨量資料。即可利用(11)式先求出西螺 1 小時後之流量，再代入(11)式求出西螺 2 小時後之流量。若再配合第(9)式加入桶頭流量預測及另外集集站的流量預測方程式，則可以使預測時間更加延長數小時之久。
5. 在複相關法中，對於平均時雨量變數之採用，宜採用稽延時間較長而結果良好者，此因為在一般洪水預報作業中正確的雨量預測極為困難，若能利用已發生的正確時雨量資料作未來的流量預測，且經過驗證又有良好的結果，則更能符合準確，方便，時效性的預報要求。本文所求得第(9)，(11)式即具備前述性質，甚有利用價值。

陸、誌 謝

本研究承蒙行政院國科會在大型防災研究方案下，鼎力支助經費，得以順利進行，謹此致謝

柒、參 考 文 獻

1. 臺灣地區大型防災系統水文測站網調查規劃研究報告，臺灣省水利局（民國 74 年 6 月）。
2. 淡水河、濁水溪及曾文溪流域洪水預報系統規劃研究報告，臺灣省水利局（民國 72 年 12 月）。
3. 洪水預報，西原巧著（全日本建設技術協會 1976 年 2 月 10 日初版發行）。
4. 技術水文學，岡本芳美著（日刊工業新聞社 1982 年 3 月發行）。

（文轉第 23 頁）