

網格式合理化法推估集水區流量歷線之研究

孫振哲⁽¹⁾ 莊智瑋⁽²⁾ 林昭遠⁽³⁾

摘要

在集水區中進行水文、水理研究或水工構造物之規劃設施時，常需現地流量資料以利推估演算，當面臨無測站之窘境時，於實務上常以集水區面積比法（Area Ratio Method）來加以克服，但僅考慮流量及面積間之關係，推估結果較不精確，因此本研究以烏溪集水區為研究範圍，利用網格式合理化法（GRAPH）進行颱風事件之流量歷線模擬，將校正係數（ α 、 β ）修正結果輔以地文因子進行統計分析，模擬成果以主成份分析篩選出之地文水文因子，再以多元迴歸分析推算集水區內之通用校正係數迴歸式，其中 α 校正係數代表集水區對各場暴雨水源涵養能力； β 校正係數作為水流含砂濃度之指標。分析結果顯示影響 α 、 β 之因子如下：洪峰流量、最大降雨強度、平均坡度、河川頻率及集流時間，經比較後顯示網格式合理化法之流量歷線模擬成果比一般傳統使用之集水區面積比法平均效率係數較高。

（**關鍵詞**：網格式合理化法、地文因子、水文因子、多變量分析）

Watershed Discharge Hydrograph Simulation with GRAPH

Cheng-Jen Shun⁽¹⁾, Chin-Wei Chuang⁽²⁾, Chao-Yuan Lin⁽³⁾

Graduate Student, Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

ABSTRACT

The discharge data and related information derived from hydrologic stations are usually used in hydrology study and/or river structure design. But there are only few stations set up at the proper sites in a watershed. Although area ratio method is usually adopted to calculate the peak flow of a non-station site by using the adjacent station, for more parameters considered to have better results in river discharge estimation, the GRAPH (Grid Rational Algorithm for Predicting Hydrograph) model is employed in this study to simulate watershed runoff hydrograph. The correction coefficients α and β were derived from the model calculation for each typhoon

-
- (1) 國立中興大學水土保持學系碩士生
 - (2) 國立中興大學水土保持學系博士生
 - (3) 國立中興大學水土保持學系教授

event, coupled with watershed topographic and hydrological factors for multivariate analysis to have better hydrograph predicting. The results show that α , β can be affected by the factors such as peak flow, maximum rainfall intensity, slope, river frequency and time of concentration of an analyzed watershed.

(**Keywords** : GRAPH, Topographic factor, Hydrological factors, Multivariate analysis)

前言

集水區內進行水文、水理演算，常藉由現地流量資料進行分析。實際上集水區內通常只有少數測站可提供資料進行模擬分析，若需於未設測站集水區進行水文、水理演算時，常因未有量測資料而窒礙難行，因此在實務應用上，常以集水區面積比法來加以克服，利用鄰近測站所觀測資料來進行推估或插補（陳昶憲等，2004）。

廖依玲（2003）以網格式合理化法進行流量歷線推估，僅能以測站點進行 α 、 β 值之修正，無法推估集水區中無測站點位之流量歷線。若能綜合集水區中各子集水區之水文、地文等資訊進行多變量統計分析（莊智瑋，2005），便能得到集水區之修正係數迴歸式，以利往後進行無測站點位水文推估演算。

本研究以烏溪集水區為例，以網格式合理化法進行流量歷線推估，將集水區中各流量站所得之校正後 α 、 β 值與經萃取出之各流量站控制面積水文地文等資訊進行多變量統計分析做檢測，評估影響 α 、 β 之因子，建立烏溪集水區通用 α 、 β 值迴歸式後，再與面積比法相互比較。

研究材料與方法

一、研究試區概述

研究試區內地勢自東北向西南傾斜，幹

流全長約 119.13 公里，流域面積為 2,025.6 平方公里，幹流流域兩側支流密布，包括筏子溪、大里溪水系、貓羅溪、北港溪及眉溪，行政區域橫跨台中縣市、彰化縣市及南投縣等（圖 1），平均高程為 651 公尺，其中以 700 公尺以下之面積為主，佔總集水區面積之 67%（圖 2），集水區坡度分布呈現較兩極化之結果，其中一級坡佔總面積之 26%，而六級坡以上佔總面積之 27%（圖 3）。

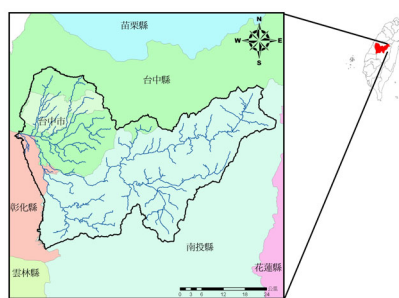


圖 1. 研究試區行政位置圖

Figure 1. Site of the study area

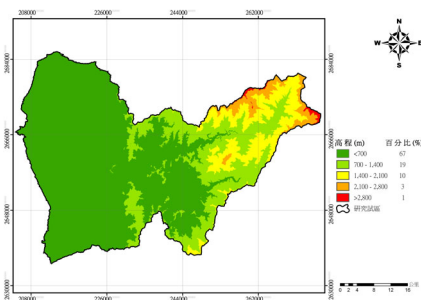


圖 2. 高程分布圖

Figure 2. Spatial distribution of elevation

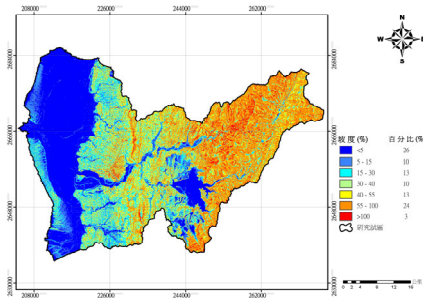


圖 3 . 坡度分布圖

Figure 3 . Spatial distribution of slope

二、水文資料

流量資料採用大肚橋、溪南橋、南崗大橋及乾峰橋等 4 站；雨量資料分別採用卓蘭 (2)、頭汙坑、頭汙、集集 (2)、惠蓀 (2)、翠巒、翠峰、六分寮、草屯 (4)、北山 (2) 及清流 (1) 等 11 站，經地理統計反距離權重法內差分析集水區雨量之空間分布，再進一步選取多場挾帶雨量之颱風事件進行流量

歷線模擬；共選取歐菲莉颱風、楊希颱風、道格颱風、葛拉絲颱風、賀伯颱風及桃芝颱風等 6 場進行模擬。各水文測站分布如圖 4 所示。

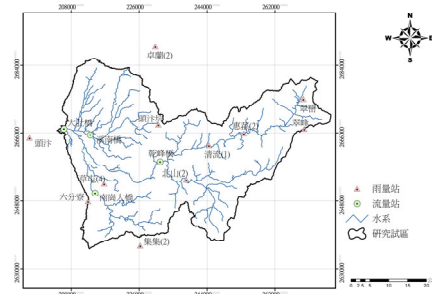


圖 4 . 水文測站分布圖

Figure 4 . Spatial distribution of hydrologic stations

三、研究流程及分析方法

(一) 研究流程

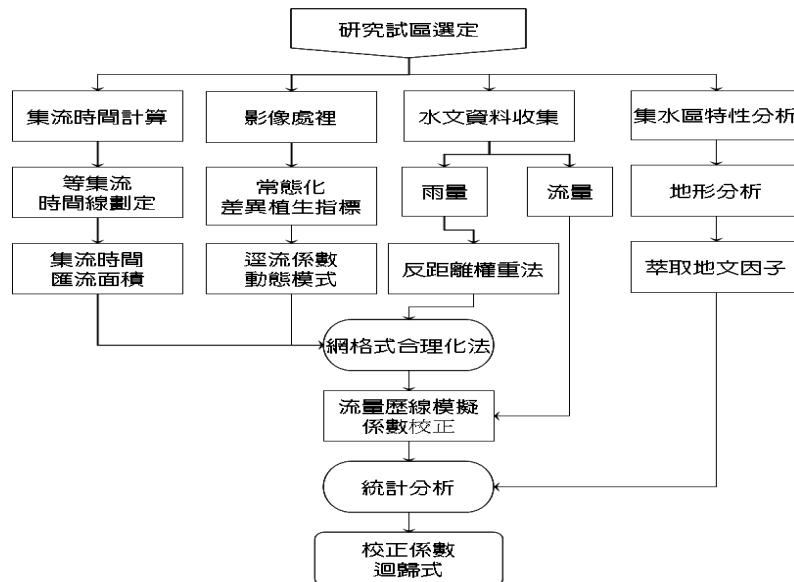


圖 5 . 研究流程圖

Figure 5 . Flow chart of the study

(二) 分析方法

1. 集水區劃分及地文因子資訊分析

利用流向及遞迴演算法搜尋上游之集水區範圍 (林昭遠、林文賜, 2000), 分別以大肚橋、溪南橋、南崗大橋及乾峰橋等 4 站為出口點, 根據地形之排水流向, 劃分集水區範圍。

地文資訊係以集水區地文因子之計算式 (林昭遠、林文賜, 2000), 整合數值高程模型 (DEM) 資料及地理資訊系統技術, 分析集水區地文資訊, 各集水區地文資訊如表 1。

表 1 集水區地文資訊

Table 1. The geomorphologic information of watersheds

因子類別	(1) 尺度類因子								
集水區	集水區面積 (km ²)	集水區周長 (km)	集水區長度 (km)	河川主流長度 (km)	河川總長度 (km)	河川數量	平均高程 (m)	起伏量 (m)	
大肚橋	1983.03	374.88	69.00	130.00	2274.90	823	648.64	3400	
溪南橋	261.12	112.56	19.39	33.82	379.65	130	262.59	1284	
南崗大橋	263.42	114.08	17.53	36.01	428.22	173	305.50	1323	
乾峰橋	960.54	237.36	46.96	77.86	875.44	367	1098.54	3193	
因子類別	(2) 梯度類因子			(3) 形狀類因子				(4) 網路類因子	
集水區	平均坡度 (%)	起伏比	集水區寬度 (km)	形狀因子	密集度	圓比值	細長比	水系密度	河川頻率
大肚橋	35.20	0.12	15.25	0.12	0.42	0.18	0.73	1.15	0.42
溪南橋	26.01	0.07	7.72	0.23	0.51	0.26	0.94	1.45	0.50
南崗大橋	23.47	0.06	7.32	0.20	0.50	0.25	1.04	1.63	0.66
乾峰橋	53.64	0.07	12.34	0.16	0.46	0.21	0.74	0.91	0.38

$$NDVI = \frac{(NIR - R_b)}{(NIR + R_b)}$$

2. 網格式合理化法

(1). 流量歷線模擬

本研究利用地理資訊系統 (GIS) 以等集流時間概念配合逐時雨量、流量、衛星影像及地文資訊等進行分析, 建立其與集水區出口之時間差, 配合網格式合理化法, 推求出各集水區內之時流量以進行流量歷線之模擬。

式中, NIR 為近紅外光波段, R_b 為紅光波段, NDVI 值域介於-1 至 1 之間, 再將 NDVI 線性反向配置可計算初始逕流係數 (0~1), 其公式為 $C_0 = (1 - NDVI) / 2$ (林文賜, 2002)。以 2001/12/3 之衛星影像資料, 萃取 NDVI 後轉換為 C₀ 值 (圖 6), 圖中值域由 0 至 1, 值 C₀ 愈小, 植生狀況愈佳, 色塊愈深。

(2). 逕流係數之推估

以常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 推估集水區初始逕流係數 (C₀) 之空間分布, 集水區常態化差異植生指標之計算方法如下所示:

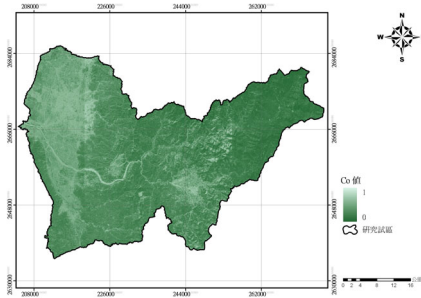


圖 6. 初始逕流係數 C_0 分布圖 (2001/12/3)
Figure 6. Spatial distribution of C_0 value (2001/12/3)

NDVI 量測植生生長狀況可間接反應區域內入滲量之變化，逕流係數及入滲率與空間、時間的關係可由下式得知：

$$C = \frac{R_f}{P} = \frac{(P - I')/t}{P/t} = \frac{I - i}{I} = f(I, i, t)$$

式中， R_f 為逕流量 (mm)， P 為降雨量 (mm)， I' 為入滲量 (mm)， t 為降雨延時 (hr)， I 為降雨強度 (mm/hr)， i 為入滲率 (mm/hr)，此即為逕流係數之變動模式。

本研究以常態化差異植生指標為基礎，計算每一網格之初始逕流係數，再配合降雨時間，建立逕流係數 C 值於颱風暴雨時期之變動模式。逕流係數與入滲率有關，亦為時間的函數，入滲率在降雨延時內為一動態型式 (圖 7)，本研究採用 Horton 公式：

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

式中， f 為入滲率 (mm/hr)， t 為降雨時間 (hr)， f_c 為穩定狀態後的入滲率 (mm/hr)， f_0 為最初入滲率 (mm/hr)， k 為衰減常數。

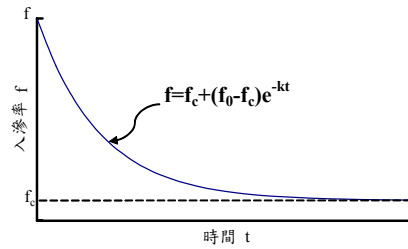


圖 7. 入滲曲線圖

Figure 7. Illustration of infiltration curve

降雨初期土壤之入滲能力高，隨降雨時間增長，土壤之入滲能力逐漸下降， C 值則隨降雨時間增長而變大，兩者之關係可加入時間 (t) 因子，假設 C 值於暴雨期間之變化與降雨延時之關係，與入滲曲線圖相似，亦為指數函數，惟其係隨降雨持續時間而遞增，代入邊界條件， $t=0$ ， $C=0$ ； $t=\infty$ ， $C=1$ ，即逕流係數於降雨前為零，隨降雨時間愈久 C 愈趨近於 1，建置逕流係數隨時間變化之動態模式如下式：

$$C = 1 - e^{-C_0 t}$$

式中， C 為逕流係數， C_0 為初始逕流係數， t 為降雨時間 (hr)。初始逕流係數不同，隨時間變化的曲率也不同 (圖 8)，初始值大逕流係數變動曲線愈陡，即地表植生覆蓋愈差入滲便愈差，逕流係數愈趨近定值 1。

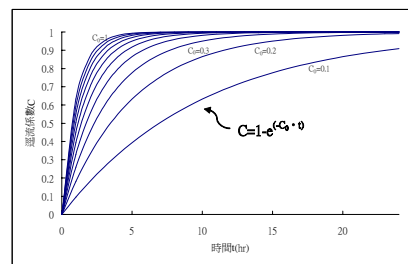


圖 8. 逕流係數變動模式曲線圖

Figure 8. The time varying runoff coefficient C

(3).集流時間之計算

集流時間之定義為由集水區最遠端到達集水區出口之時間，一般為漫地流時間及渠道流時間之和，即

$$tc = t_0 + t_s$$

式中，tc 為集流時間 (hr)，t₀ 為漫地流時間 (hr)，t_s 為渠道流時間 (hr)。

漫地流時間之估算採用坡面長度除以漫地流速度，坡面長度係由集水區最遠端流至河道之距離，漫地流流速一般在 0.3-0.6 m/s，可依集水區之現況輸入計算。渠道流時間，依 Rziha 公式計算，即

$$t_s = \frac{l_s}{60v}$$

$$v = 20\left(\frac{h}{l_s}\right)^{0.6}$$

式中，h 為河道上游與出口之高差 (m)，l_s 為河道長度 (m)，v 為流下速度 (m/s)。

利用集水區之排水流向資料計算每一網格式至出口之集流時間，建立集水區之等集流時間差分布關係。將集水區內相同集流時間之點連接，可劃分集水區為許多區域，如圖 9。若以小時為單位，則流量歷線推估如下式：

$$t = 1, Q_1 = \frac{1}{360} C_1 I_1 A_1$$

$$t = 2, Q_2 = \frac{1}{360} (C_2 I_1 A_2 + C_1 I_2 A_1)$$

$$t = 3, Q_3 = \frac{1}{360} (C_3 I_1 A_3 + C_2 I_2 A_2 + C_1 I_3 A_1)$$

$$\vdots$$

$$t = n, Q_n = \frac{1}{360} \sum_{i=1}^n C_i I_{n-i+1} A_i$$

式中，t 為每一時間間隔 (hr)，Q_n 為逕流量 (cms)，C 為逕流係數，I 為降雨強度 (mm/hr)，A 為每一集流時間線內之集水區面積 (ha)。

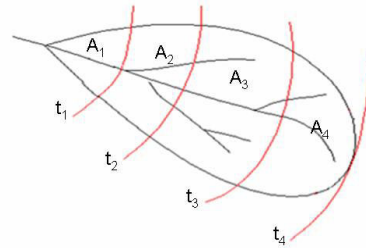


圖 9. 等集流時間線示意圖

Figure 9. Isochrones of time of concentration

3.模式建置

網格式合理法主要是利用降雨強度超過入滲率時會形成地表逕流的觀念所導出，其假定降於集水區內某以知強度降雨所能產生之最大流量必須在降雨延時等於或大於集流時間。沿用合理化公式的理論基礎，並加以延伸應用為合理化修正模式。為試驗修正式之預測趨勢及地區適用性，建立模式各項參數、校正係數，進行模式建置之研究，本研究分以 α、β 為校正係數 (圖 10)。

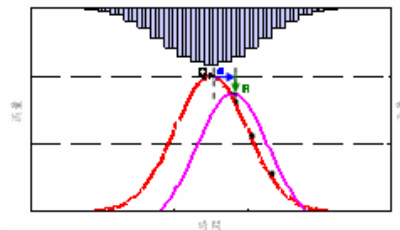


圖 10. 颱風暴雨推估之流量歷線校正示意圖

Figure 10. Illustration of correction of simulated runoff hydrograph

4.模式校驗

為探討網格式合理法模擬之優劣，本研究分別以效率係數 (Coefficient Efficiency; CE)、體積誤差值 (Volumetric Error; VE) 及平均絕對值誤差 (Mean Absolute Error; MAE) 為模式校驗之基準。

(1).效率係數 (CE)

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Q_0(i) - Q_c(i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Q_0(i) - \bar{Q}_0(i)]^2}$$

式中 Q_0 為觀測流量 (cms), Q_c 為模式推估流量 (cms), \bar{Q}_0 為觀測流量平均值 (cms), 當 CE 值越趨近於 1 表示模式模擬結果與實際資料越密合, 精確度越高。

(2).體積誤差值 (VE)

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^n [Q_0(i) - Q_c(i)]}{\sum_{i=1}^n [Q_0(i)]}$$

式中 Q_0 為觀測流量 (cms), Q_c 為模式推估流量 (cms), 從 VE 的大小, 可以了解推估值是否為無偏估, 當 VE=0 表示無偏估。

(3).平均絕對值誤差 (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Q_0(i) - Q_c(i)]$$

式中 n 為推估值數目, Q_0 為觀測流量 (cms), Q_c 為模式推估流量 (cms), 從 MAE 的大小, 可瞭解推估值與觀測值之離散程度。

5.統計分析

多變量統計分析唯一良好工具, 能將環境系統中錯綜複雜之因素關係, 尋覓出其規律性, 將複雜之現象簡單化, 抽提出其中之主要信息, 並配合地理資訊系統在空間上之展現能力, 將複雜問題或現象做有效整理、判斷與臆測 (林昭遠, 2000)。下列為本研究所採用之統計分析方法：

(1).主成份分析

主成份分析是一種篩選多變數的統計方

法。其主要在處理許多彼此可能具有相關性之變項情形, 其功能將變項數予以減少, 並使其改變為較少的數個相互獨立之線性組合。主成份分析之優點有：a.可消除變量間的相關性；b.可降低變量維度, 萃取重要訊息並簡化模式複雜度；c.對於變因間關係提供較客觀的解析方式。具體而言, 僅以少數潛在變量或成份便能有效代表許多彼此相關的變項結構, 利用主成份分析, 將數個變項予以線性組合, 使經由線性組合而得的成份之變異數為最大, 亦使各觀測值在這些成份顯示出最大個別差異 (林清山, 1995)。主成份數可選取特徵值大於 1 之個數 (Kaiser, 1960), 而特徵向量之絕對值大於 0.7 者表示相關顯著 (Pratsinis 等, 1988), 此可以成為篩選同一主成份變數內之原變數依據。本研究利用此分析方法, 將眾多據關聯性之地文、水文因子進行分析結合, 進一步以多元迴歸進行分析。

(2).多元迴歸分析

據多自變數的最佳組合, 建立迴歸方式以預測應變數之線性特質。其基本方程式如下：

$$Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n$$

式中, Y 為根據變數 X 而計算出之估計值, A 為常數項, $B_1 \sim B_n$ 為 Y 對應於 $X_1 \sim X_n$ 之偏迴歸係數。偏迴歸係數之假設在其他所有因變數不變的情況下, 其一因變數變化所引起應變數變化的比率。藉由此法將各集水區之地文水文因子結合進行多元迴歸分析, 得到集水區之 α 、 β 之迴歸方程式。

4.模式比較

為比較網格式合理化法與傳統面積比法之推估準確性, 將所求得之 α 、 β 值進行降雨-逕流流量歷線模擬後與面積比法進行比較, 其中面積比法公式如下：

$$Q_{b,t} = Q_{a,t} \left[\frac{A_b}{A_a} \right]$$

式中 A_a 為觀測站集水區面積； A_b 為推估站集水區面積； $Q_{a,t}$ 為 t 時刻觀測站之觀測流量； $Q_{b,t}$ 為 t 時刻推估站之推估流量。

結果與討論

α 為校正洪峰到達時間之指標，就物理意義而言， α 代表集水區對水源涵養能力， $\alpha > 1$ 表示雨峰比洪峰早到達，當 α 愈大，表示集水區涵養水源能力愈佳； $\alpha < 1$ 代表洪峰比雨峰到達時間早，乃因實際作業上是以小時為單位進行量測，無法量測到真實之洪峰時間點，造成洪峰到達時間之量測誤差。 β 為修正洪峰值之參數， β 值愈大表示實測流量遠高於推估流量，須加以校正，由於模式係以清水流建立，當水流含砂濃度大時，流量亦變大，故 β 值可為逕流含砂濃度之指標。模擬結果如下：

(一)大肚橋流量站之模擬成果

模擬結果顯示如附圖 A1~A6，由於大肚橋流量站位於烏溪集水區出口，因控制面積廣大且土地利用複雜，模式推估洪峰到達時間易影響而有所誤差，且於集集大地震及桃芝風災後共產生 7175.2 公頃之崩塌面積，佔總面積之 3.62% (宋之光, 2004)，因此也影響了模式於洪峰流量的推估，但經校正後仍有不錯的效率係數。由於中上游之水源有可能因崩塌地而被截蓄堰塞，導致本站在模式推估時有所誤差。各項參數整理如表 2。

(二)溪南橋流量站之模擬成果

結果顯示如附圖 A7~A12，歐菲莉颱風歷線模擬結果隨雨型抬升但實際流況卻為突然攀升，可能為上游堰塞所致。其中道格颱風與賀伯颱風為多峰型暴雨事件，模式之敏感度

表 2 大肚橋流量站歷線模擬之各項參數及校正係數

Table 2. Parameters and correction coefficient for Ta-tu bridge station

颱風事件	α 校正	β 校正	Qp (cms)	Imax (mm/hr)	CE	VE	MAE
歐菲利 79.6.21	0.78	0.4	2240	15.56	0.91	0	-1.07
楊希 79.8.17	0.2	1.34	13300	36.17	0.58	-0.19	-665.05
道格 83.8.6	0.3	0.93	9980	32.71	0.67	0.14	407.36
葛拉絲 83.8.31	0.4	0.56	4590	25.88	0.71	-0.02	-22.02
賀伯 85.7.29	0.25	0.69	5630	25.73	0.72	0.1	162.63
桃芝 90.7.28	0.25	0.61	10000	61.59	0.76	0.12	130.73

註：Qp 為洪峰流量、Imax 為最大降雨強度

導致經洪峰退水後第 2 洪峰段無法即時抬升，模擬效率不佳。在相似降雨強度及延時下之其他颱風皆造成 3 倍以上之洪峰流量，但葛拉絲颱風僅有 450cms，應為人為紀錄疏失所致。各項參數整理如表 3。

表 3 溪南橋流量站歷線模擬之各項參數及校正係數

Table 3. Parameters and correction coefficient for Chi-nan bridge

颱風事件	α 校正	β 校正	Qp (cms)	Imax (mm/hr)	CE	VE	MAE
歐菲利 79.6.21	0.8	1.18	1130	21.37	0.49	-0.51	-80.81
楊希 79.8.17	0.5	1.58	2140	33.71	0.72	0.05	36.52
道格 83.8.6	1.3	0.86	1470	21.28	0.68	0.15	53.82
葛拉絲 83.8.31	1.1	0.4	450	23.28	0.79	-0.01	-0.47
賀伯 85.7.29	3.53	1.03	1350	23.92	0.08	-0.42	-132.98
桃芝 90.7.28	0.75	1.41	2760	55.16	0.82	-0.14	-29.05

(三)南崗大橋流量站之模擬成果

南崗大橋流量站以歐菲莉颱風降雨強度過小，形成之洪峰流量過低 (<200cms)，模式之模擬能力及準確度不穩定甚至於無法校

正（廖依玲，2003），而其他颱風事件模擬皆有不錯成果。模擬結果及各項參數、校正係數整理如附圖 A13~A18 及表 4。

表 4 南崗橋流量站歷線模擬之各項參數及校正係數

Table 4. Parameters and correction coefficient for Nan-kang bridge

颱風事件	α 校正	β 校正	Qp (cms)	I _{max} (mm/hr)	CE	VE	MAE
歐菲利 79.6.21	2.3	0.35	165	10.1	0.72	-0.26	-12.54
楊希 79.8.17	0.8	1.21	1980	40.77	0.86	-0.07	-36.57
道格 83.8.6	1	1.07	1150	22.27	0.91	-0.14	-32.247
葛拉絲 83.8.31	0.7	1.26	1710	38.51	0.87	0.17	45.23
賀伯 85.7.29	1.1	1.39	1710	38.51	0.82	-0.17	-71.7
桃芝 90.7.28	1	0.76	1830	63.56	0.92	0.14	30.31

(四)乾峰橋流量站之模擬成果

模擬歷線結果依颱風事件發生時間順序排列如附圖 A19~A24，模擬結果皆有高估現象，經集集大地震及桃芝風災肆虐後，乾峰橋集水區之崩塌面積共有 3680.3 公頃，佔總面積之 3.83%，尤其崩場地又集中於六級坡以上之山地（宋之光，2004），而乾峰橋集水區中皆以六、七級坡為主，因此推測崩場地嚴重改變原始地形地貌，可能因此影響了模式於洪峰流量的推估，流量歷線模擬之各項參數及校正係數整理如表 5。

二、統計分析

因下游測站流量歷線模擬時變因較大，要與實際流況完全吻合較為不易，為求較準確推估流量模擬所以本研究選用效率係數 >0.75 之暴雨事件來進行統計分析。經事件取捨後進行統計分析。

表 5 乾峰流量站歷線模擬之各項參數及校正係數

Table 5. Parameters and correction coefficient for Chin-fon bridge

颱風事件	α 校正	β 校正	Qp (cms)	I _{max} (mm/hr)	CE	VE	MAE
歐菲利 79.6.21	1.1	0.28	928	20.91	0.65	0.14	52.76
楊希 79.8.17	0.3	1.1	3620	33.5	0.68	0.1	129.94
道格 83.8.6	0.3	0.86	3560	41.3	0.65	0.1	106.16
葛拉絲 83.8.31	0.5	0.29	1090	32.56	0.5	0.13	30.57
賀伯 85.7.29	0.8	0.49	1090	32.56	0.46	-0.8	-101.74
桃芝 90.7.28	0.5	0.66	4460	72.71	0.77	0.23	122.2

(一)主成份分析

多元線性迴歸分析雖能夠處理多指標問題，但為求完善解決問題而多方面萃取與 α 、 β 校正係數相關之因子使問題更加複雜。經烏溪集水區地文水文因子萃取，與 α 、 β 校正係數相關之因子多達 20 項，因此在進行多元線性迴歸分析前，先以主成份分析將多個相關影響因子作結合，將相互關係較密切之多變數歸為同一類別。分析結果如表 6 及表 7。

表中 Q_p：洪峰流量 (cms)、I_{max}：最大降雨強度 (mm/hr)、WS：集水區面積 (km²)、P：集水區周長 (km)、L：集水區長度 (km)、L₀：河川主流長度 (km)、L₁₀：河川總長度 (km)、N：河川數量、H：平均高程 (m)、R_f：起伏量 (m)、S：平均坡度 (%)、R：起伏比、W：集水區寬度 (km)、F：形狀因子、C：密集度、M：圓比值、E：細長比、D_s：水系密度、F_s：河川頻率、T_c：集流時間 (min)。分析結果共萃取出 2 個主成份，第一主成份

表 6 主成份分析之特徵值

Table 6. Eigenvalue of principal component analysis

成份	初始特徵值			平方和負荷量萃取		
	總和	變異數%	累積%	總和	變異數%	累積%
1	16.69	83.43	83.43	16.69	83.43	83.43
2	2.16	10.80	94.23	2.16	10.80	94.23
3	0.73	3.64	97.87			

表 7 主成份分析之特徵向量

Table 7 Eigenvector of principal component analysis

	成份			成份	
	1	2		1	2
Q _p	0.763	0.028	S	0.711	-0.661
I _{max}	0.007	-0.802	R	0.930	0.331
WS	0.985	0.167	W	0.999	0.023
P	0.991	0.126	F	-0.975	-0.120
L	0.998	0.062	C	-0.992	-0.115
L ₀	0.989	0.145	M	-0.993	-0.102
L _{to}	0.961	0.268	E	-0.970	0.191
N	0.969	0.237	D _s	-0.886	0.435
H	0.760	-0.580	F _s	-0.897	0.318
R _f	0.988	-0.122	T _c	0.970	0.235

能解釋的變異數比例為 83.43%；第二主成份能解釋的變異數比例為 10.8%。2 個主成份共可解釋總變異數之 94.23% (累計貢獻度)，此說明 2 個主成份提供了原始資料的足夠資訊 (特徵值大於 1 者)。利用此結果，本研究將 α 、 β 校正係數相關之因子，結合成 2 個主成份。並進行多元線性迴歸分析。由表 7 可得知 2 個主成份與 α 、 β 校正係數相關之因子間的關係，其方程式如下：

$$C_1 = 0.763Q_p - 0.007I_{max} + 0.985WS + 0.991P + 0.998L + 0.989L_0 + 0.961L_{to} + 0.969N + 0.76H + 0.988R_f + 0.711S + 0.93R + 0.999W - 0.975F - 0.992C - 0.993M - 0.97E - 0.886D_s - 0.897F_s + 0.97T_c$$

$$C_2 = 0.028Q_p - 0.802I_{max} + 0.167WS + 0.126P + 0.062L + 0.145L_0 + 0.268L_{to} + 0.237N - 0.58H - 0.122R_f - 0.661S + 0.331R - 0.023W - 0.12F - 0.115C - 0.102M + 0.191E + 0.435D_s + 0.318F_s + 0.235T_c$$

由上式得知，第一成份中主要影響的因子為洪峰流量、集水區面積、集水區周長、集水區長度、河川主流長度、河川總長度、河川數量、平均高程、起伏量、起伏比、集水區寬度、形狀因子、密集度、圓比值、細長比、水系密度、河川頻率、集流時間；第二成份主要影響因子為最大降雨強度。

(二)多元迴歸分析

以主成份分析結果進行多元迴歸分析，分析之迴歸模式如下

$$\alpha = 1.177 - 6.017 \times 10^{-5} C_1 + 2.77 \times 10^{-4} C_2$$

$$R = 0.816$$

$$\beta = 1.226 - 2.767 \times 10^{-5} C_1 + 1.327 \times 10^{-4} C_2$$

$$R = 0.115$$

式中 R 為判定係數 (coefficient of multiple determination)，用以衡量迴歸方程式的解釋能力，檢定多元迴歸方程式是否可被接受，其值介於 0 至 1 之間。結果顯示將主成份分析結果帶入迴歸模式之解釋能力不佳，應為樣本數過少而影響判定係數及迴歸模式之解釋能力。另一方面直接將全部因子以刪除法進行迴歸分析，結果如下：

$$\alpha = 0.647 - 5.143 \times 10^{-5} Q_p - 1.168 \times 10^{-3} I_{max} - 2.787 \times 10^{-3} S + 0.591F_s + 1.106 \times 10^{-5} T_c$$

$$R = 0.861$$

$$\beta = 3.647 + 1.11 \times 10^{-4} Q_p - 1.28 \times 10^{-2} I_{max} - 1.641 \times 10^{-2} S - 2.04F_s - 1.638 \times 10^{-3} T_c$$

$$R = 0.914$$

式中，Q_p 表洪峰流量 (cms)、I_{max} 表最大降

雨強度 (mm/hr)、S 表平均坡度、 D_s 表河川頻率、 T_c 表集流時間 (min)。由上式可得知將 α 、 β 校正係數相關之因子直接帶入進行多元迴歸分析之結果能有較好的解釋能力。因大肚橋流量站及南崗大橋流量站所模擬之颱風暴雨場次效率係數較佳，在統計分析上此 2 流量站之歷線模擬結果也多被選入分析，導致在 α 、 β 校正係數之迴歸方程式建置上此 2 流量站之 α 、 β 校正係數相關之因子所佔權重較重而使得迴歸方程式判定係數偏低，若能多方蒐集不同單位所提供之水文資料進行流量歷線模擬，應能提高其餘各站模擬結果之效率係數，亦能使 α 、 β 校正係數之迴歸方程式推估準確性提升。

三、流量歷線 α 、 β 值推估模式之探討

本模式流量歷線推估之結果發現以大肚橋流量站 (0.67~0.91) 及南崗大橋流量站 (0.72~0.92) 之效率係數最高，雖然此 2 流量站位於較下游土地利用盛行區，但由於地勢低平及雨量資料收集齊全使模式能夠較為完善進行流量歷線之推估。在上游地區之集水區雖有較原始之地形地貌，不受人為擾動之土壤，但由於地勢陡峭、集水區水文特性特殊及雨量測站不足、資料收集不齊全以致於效率係數皆過低。

模式假設集流時間會隨降雨強度大小具有時變性而造成模擬時洪峰到達時間之誤差，故乘上一洪峰到達時間校正係數 α 進行校正， α 值校正後不但影響洪峰到達時刻也改變了流量歷線的形狀，可反應出集水區內之地文特性， α 與 1 之值差的愈多，代表流量歷線中洪峰與雨峰差距愈大。本研究顯示烏溪流域中 α 值有越往下游越小的趨勢，而 α 值可顯示集水區對該場降雨涵養水源之能力，不同降雨強度中若 α 值越小，表集水區

對該場暴雨水源涵養能力差，且當 α 值明顯偏低時顯示集水區之原始地形遭嚴重破壞。經統計分析後可得到烏溪集水區之 α 值迴歸方程式：

$$\alpha = 0.647 - 5.143 \times 10^{-5} Q_p - 1.168 \times 10^{-3} \text{Imax} - 2.787 \times 10^{-3} S + 0.591 F_s + 1.106 \times 10^{-5} T_c$$

$$R = 0.861$$

β 值則為洪峰流量之校正，而一般水文模式推估皆為清水流，當含砂濃度增大流量亦隨之提升，故 β 值可作為逕流含砂濃度之指標，可與其他模式逕行驗證。當降雨事件降雨強度過小時，降雨量入滲率增加，地表逕流量相對減少，故模式於低降雨強度事件模擬常會有過分高估洪峰流量的情況，但於高降雨強度事件中，若模式所推估之洪峰流量依然較實測流量高，此情況有可能為上游河道發生堵塞或流量遭截取利用。當 β 值過低可留意是否有潰壩型土石流發生或在水資源管理上是否出了問題。經統計分析後可得到烏溪集水區之 β 值迴歸方程式：

$$\beta = 3.647 + 1.11 \times 10^{-4} Q_p - 1.28 \times 10^{-2} \text{Imax} - 1.641 \times 10^{-2} S - 2.04 F_s - 1.638 \times 10^{-3} T_c$$

$$R = 0.914$$

四、推估模式比較

本研究選用文南崗大橋流量站地文水文因子帶入烏溪集水區之網格式合理化法校正係數迴歸式，篩除流量過低之事件後，再與面積比法進行比較 2 種流量推估方法之驗證比較整理如表 8。

除 2 場高降雨強度 (楊希颱風與桃芝颱風) 事件推估成果由面積比法較佳，但整體效率係數平均值以網格式合理化法較佳，且面積比法僅能依據附近測站流量紀錄加以推

估，無法用以預測流量。

表 8 南崗大橋流量站不同推估方法之比較
Table 8 The results of selected methods at
Nan-kang bridge

颱風事件	網格式合理化法			面積比法		
	CE	VE	MAE	CE	VE	MAE
楊希 79.8.17	0.78	0.3	144.97	0.9	0.04	17.57
道格 83.8.6	0.93	0.04	8.54	0.46	-0.72	-165.28
葛拉絲 83.8.31	0.68	0.44	117.04	0.28	0.49	130.57
賀伯 85.7.29	0.72	0.35	152.57	0.36	0.48	205.63
桃芝 90.7.28	0.64	0.5	105.05	0.72	0.3	64.4
平均值	0.75	0.33	105.63	0.54	0.12	50.58

結論

1. 利用多變量統計分析探討與網格式合理化之校正係數與地水文因子之相關性，分析結果顯示以 2 個主成份軸可解釋 20 項因子 94.23% 的成份。其中第一成份主要影響的因子有洪峰流量、集水區面積、集水區周長、集水區長度、河川主流長度、河川總長度、河川數量、平均高程、起伏量、起伏比、集水區寬度、形狀因子、密集度、圓比值、細長比、水系密度、河川頻率、集流時間；第二成份主要影響的因子是最大降雨強度。
2. 由於主成份分析具有將眾多具關連性的評估因子結合成少數指標的優點，有助於決策者評估母體資訊。本研究嘗試將此分析方法運用於網格式合理化之校正係數之影響因子上，但因樣本不足導致迴歸成效不佳而放棄。若能尋找較多樣本之集水區，仍可有效運用主成份分析。
3. 雖前人研究指出上游之集水區所受人為干

擾較少，模式推估之流量歷線效率係數越高，但烏溪集水區上游段因位處中央山脈，雨量測站設置較為不足、資料不齊全，導致中上游段流量站流量歷線模擬效率不佳。因此進行多變量統計分析時捨棄掉許多樣本，往後綜合更多測站資料時（如氣象局測等站）應可克服此問題，亦能使網格式合理化法之校正係數迴歸式推估準確性更高。

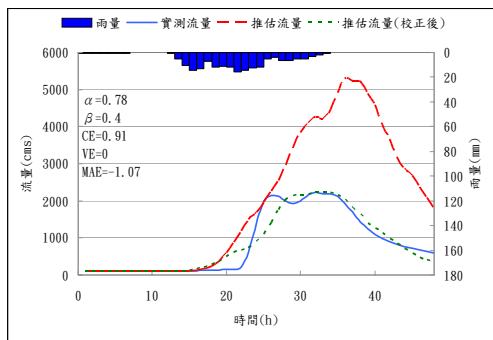
4. 本研究以桃芝颱風時期之衛星影像進行初始逕流係數 C_0 值推估，各站效率係數皆達 0.77 以上，往後若能以更完善的圖資，建立各事件相對應之衛星影像及初始逕流係數應可提升模式準確性。

參考文獻

1. 王如意、易任（1999），「應用水文學」上冊，國立編譯館出版。
2. 宋之光（2004），「烏溪流域植生復育評估系統與降雨逕流模式建置之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
3. 林文賜（2002），「集水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究」，國立中興大學水土保持學研究所博士論文。
4. 林昭遠（2000），「集水區地文因子自動萃取之研究-土石流危險溪流判釋之應用」，中華水土保持學報，31（1）：81-91。
5. 林昭遠、林文賜（2000），「集水區地文因子自動萃取之研究」，中華水土保持學報，31（3）：247-256。
6. 林清山（1995），「多變量分析統計法」，東華書局，pp.289-346。
7. 陳昶憲、雷祖強、許汎穎、郭怡君（2004），「未設測站日流量預測-以烏溪流域為

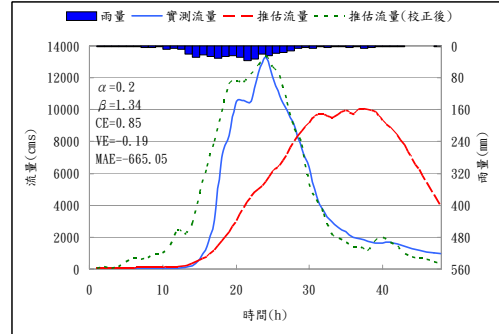
- 例」, 中華水土保持學報, 35(2): 119-129。
8. 莊智瑋 (2005), 「基隆河員山子分洪水文效益評估之研究」, 國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
 9. 張紹勳、張紹評、林秀娟 (2000), 「SPSS For Window 多變量統計分析」, 松崗電腦圖書資料股份有限公司出版。
 10. 廖依玲 (2003), 「基隆河流域降雨-逕流模式建置之研究」, 國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
 11. Kaiser, H. F. (1960), "The Application of Electronic Computers to Factor Analysis," Educational and Psychological Measurement, 20: 141-151.
 12. Pratinis, S. E., M. D. Zeldin and E. C. Ellis (1988), "Source Resolution of the Fine Component-Stepwise Regression Analysis," Environ. Sci. Technol, 22: 212-216.

附錄



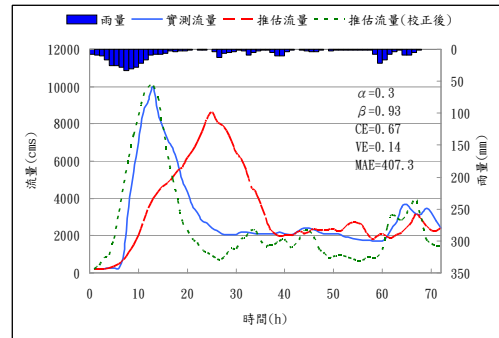
附圖 A1 歐菲莉颱風流量歷線模擬結果 (大肚橋)

Figure A1 Simulation of runoff hydrograph for Ofelia typhoon. (Ta-tu bridge)



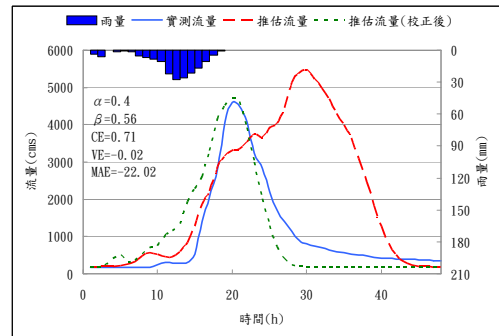
附圖 A2 楊希颱風流量歷線模擬結果 (大肚橋)

Figure A2 Simulation of runoff hydrograph for Yancy typhoon. (Ta-tu bridge)



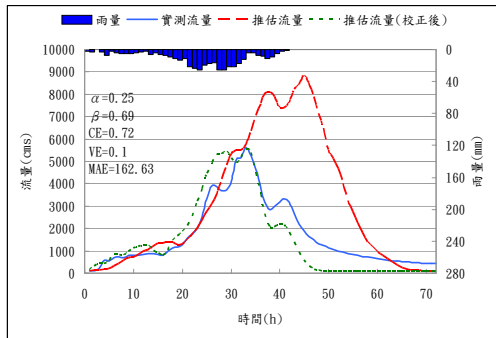
附圖 A3 道格颱風流量歷線模擬結果 (大肚橋)

Figure A3. Simulation of runoff hydrograph for Doug typhoon. (Ta-tu bridge)



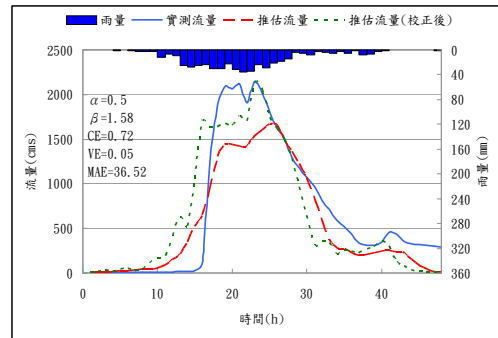
附圖 A4 葛拉絲颱風流量歷線模擬結果 (大肚橋)

Figure A4 Simulation of runoff hydrograph for Gladys typhoon. (Ta-tu bridge)



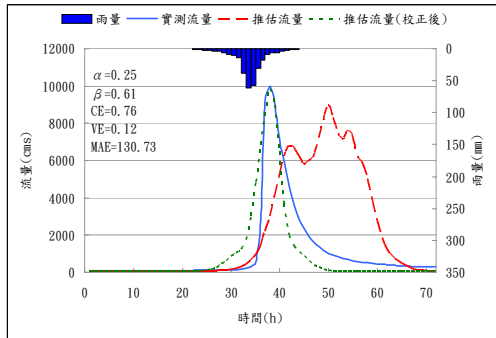
附圖 A5 賀伯颱風流量歷線模擬結果
(大肚橋)

Figure A5 Simulation of runoff hydrograph for Herb typhoon. (Ta-tu bridge)



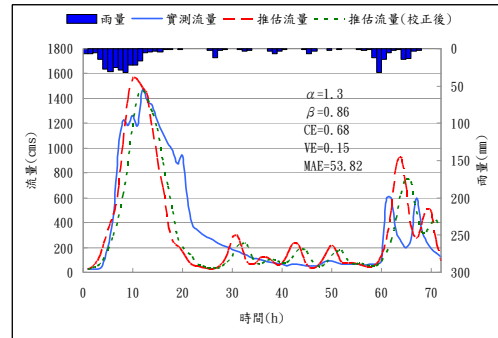
附圖 A8 楊希颱風流量歷線模擬結果
(溪南橋)

Figure A8 Simulation of runoff hydrograph for Yancy typhoon. (Chi-nan bridge)



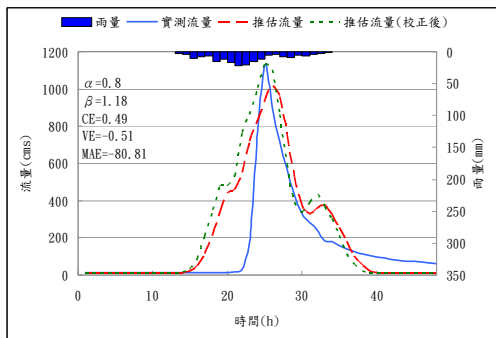
附圖 A6 桃芝颱風流量歷線模擬結果
(大肚橋)

Figure A6 Simulation of runoff hydrograph for Toraji typhoon. (Ta-tu bridge)



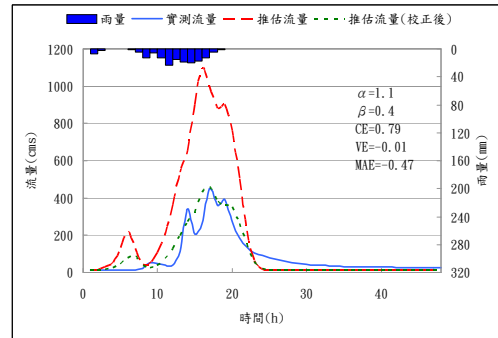
附圖 A9 道格颱風流量歷線模擬結果
(溪南橋)

Figure A9 Simulation of runoff hydrograph for Doug typhoon. (Chi-nan bridge)



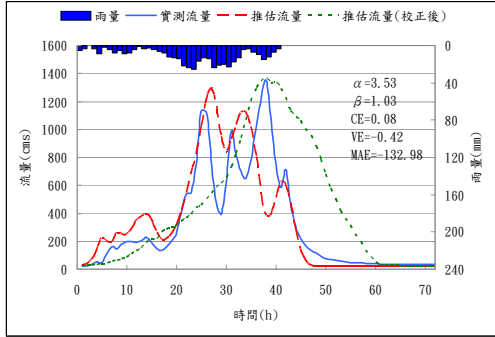
附圖 A7 歐菲莉颱風流量歷線模擬結果
(溪南橋)

Figure A7 Simulation of runoff hydrograph for Ofelia typhoon. (Chi-nan bridge)



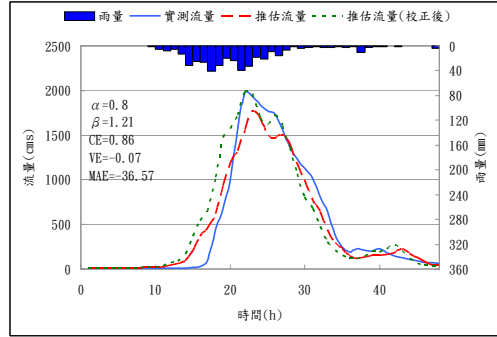
附圖 A10 葛拉絲颱風流量歷線模擬結果
(溪南橋)

Figure A10 Simulation of runoff hydrograph for Gladys typhoon. (Chi-nan bridge)



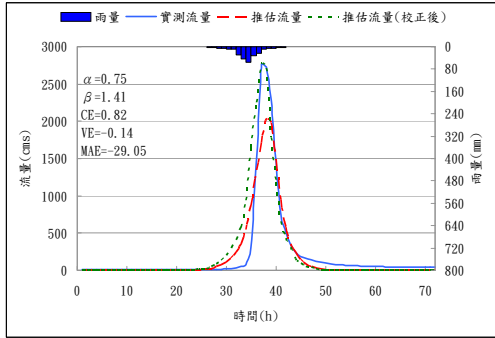
附圖 A11 賀伯颱風流量歷線模擬結果 (溪南橋)

Figure A11 Simulation of runoff hydrograph for Herb typhoon. (Chi-nan bridge)



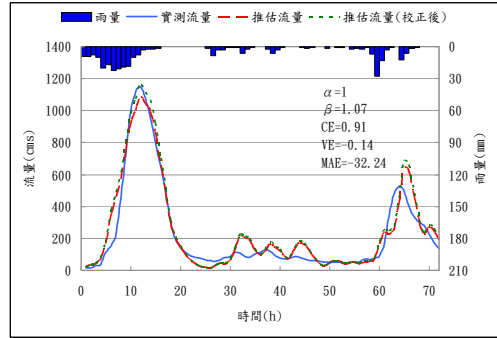
附圖 A14 楊希颱風流量歷線模擬結果 (南崗大橋)

Figure A14 Simulation of runoff hydrograph for Yancy typhoon. (Nan-kang bridge)



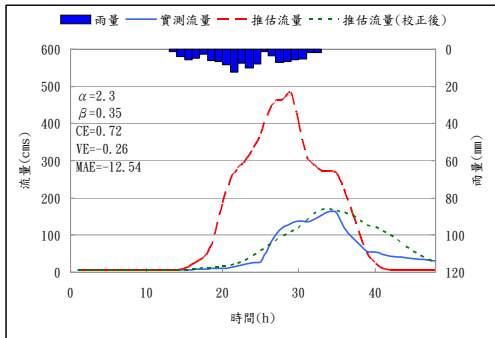
附圖 A12 桃芝颱風流量歷線模擬結果 (溪南橋)

Figure A12 Simulation of runoff hydrograph for Toriji typhoon. (Chi-nan bridge)



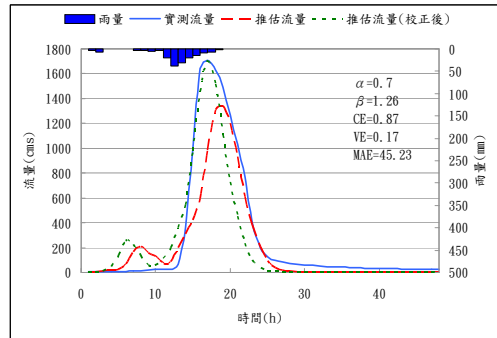
附圖 A15 道格颱風流量歷線模擬結果 (南崗大橋)

Figure A15 Simulation of runoff hydrograph for Doug typhoon. (Nan-kang bridge)



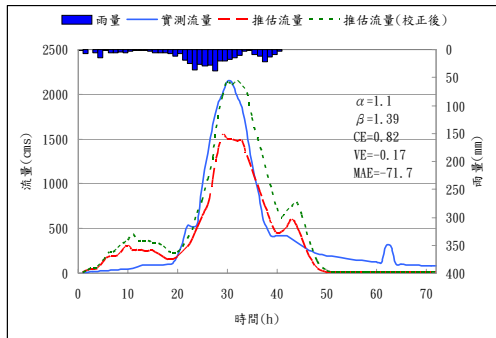
附圖 A13 歐菲莉颱風流量歷線模擬結果 (南崗大橋)

Figure A13 Simulation of runoff hydrograph for Ofelia typhoon. (Nan-kang bridge)



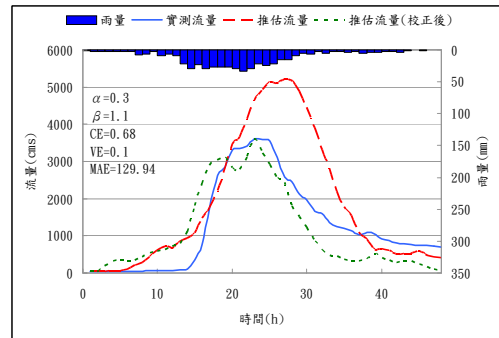
附圖 A16 葛拉絲颱風流量歷線模擬結果 (南崗大橋)

Figure A16 Simulation of runoff hydrograph for Gladys typhoon. (Nan-kang bridge)



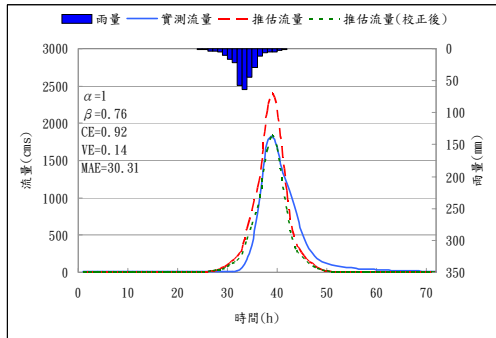
附圖 A17 賀伯颱風流量歷線模擬結果
(南崗大橋)

Figure A17 Simulation of runoff hydrograph for Herb typhoon. (Nan-kang bridge)



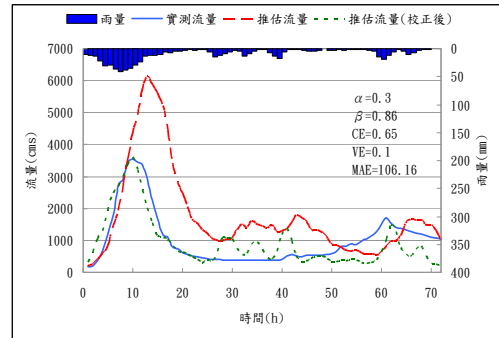
附圖 A20 楊希颱風流量歷線模擬結果
(乾峰橋)

Figure A20 Simulation of runoff hydrograph for Yancy typhoon. (Chin-fon bridge)



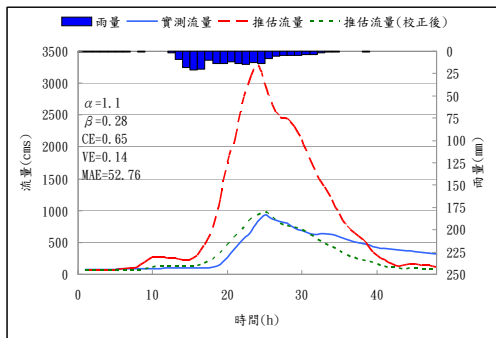
附圖 A18 桃芝颱風流量歷線模擬結果
(南崗大橋)

Figure A18 Simulation of runoff hydrograph for Toraji typhoon. (Nan-kang bridge)



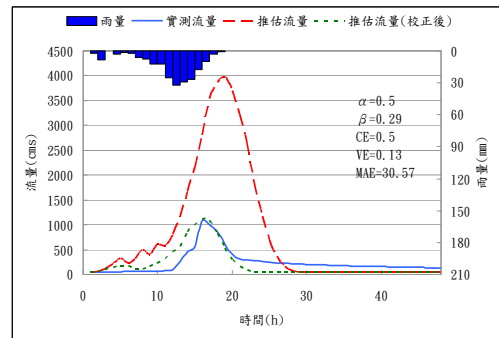
附圖 A21 道格颱風流量歷線模擬結果
(乾峰橋)

Figure A21 Simulation of runoff hydrograph for Doug typhoon. (Chin-fon bridge)



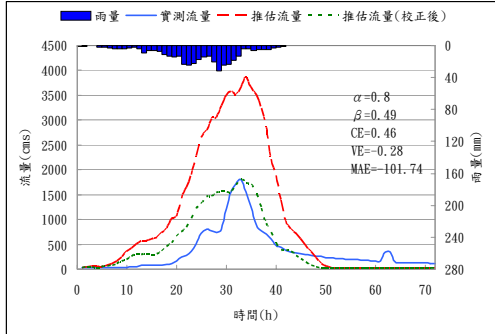
附圖 A19 歐菲莉颱風流量歷線模擬結果
(乾峰橋)

Figure A19 Simulation of runoff hydrograph for Ofelia typhoon. (Chin-fon bridge)



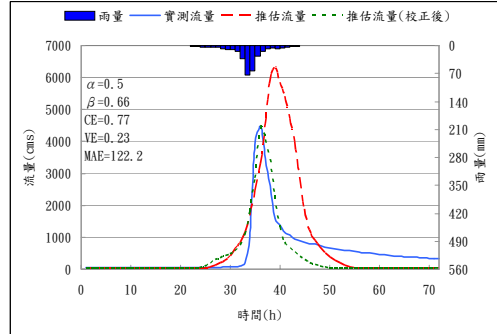
附圖 A22 葛拉絲颱風流量歷線模擬結果
(乾峰橋)

Figure A22 Simulation of runoff hydrograph for Gladys typhoon. (Chin-fon bridge)



附圖 A23 賀伯颱風流量歷線模擬結果
(乾峰橋)

Figure A23 Simulation of runoff hydrograph for Herb typhoon. (Chin-fon bridge)



附圖 A24 桃芝颱風流量歷線模擬結果
(乾峰橋)

Figure A24 Simulation of runoff hydrograph for Toraji typhoon. (Chin-fon bridge)

96 年 1 月 20 日 收稿

96 年 2 月 15 日 修改

96 年 2 月 25 日 接受