

八掌溪集水區降雨-逕流模式動態分析系統之建置

林昭遠⁽¹⁾ 鍾亦婷⁽²⁾ 林文賜⁽³⁾

摘要

本研究選取八掌溪軍輝橋及義竹橋上游之集水區為研究範圍，以等集流時間之概念，並利用常態化差異植生指標（Normalized Difference Vegetation Index；NDVI）計算集水區內每一網格之初始逕流係數，建立八掌溪集水區逕流係數變動模式，配合降雨資料建立合理化公式-流量歷線修正式，再透過監測站之實測流量資料，推求合理化公式-流量歷線修正式之 α 、 β 校正係數，建置八掌溪集水區降雨-逕流模式， α 為調整洪峰到達時間之係數， β 為調整洪峰流量之係數。模式推估結果，以單峰型暴雨較佳；低流量或多峰型暴雨時，模式所推估之流量歷線常因上升段或退水段過度靈敏而影響推估結果。 α 校正係數可代表集水區對各場暴雨水源涵養能力； β 校正係數可作為水流含砂濃度之指標，未來可以此指標驗證集水區土砂生產推估模式。（**關鍵詞**：逕流係數、降雨-逕流模式、八掌溪）

Establishment of A Dynamic Analysis System for Rainfall-Runoff Simulation Model of Ba-zhang Creek Watershed

Chao-Yuan Lin, Yi-Ting Chung

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

Wen-Tzu Lin

Graduate Institute of Environmental Planning and Design,
Ming-Dao University, Changhua, Taiwan 523, R.O.C.

Abstract

Two watersheds of the Ba-Zhang River, one upstream of the Junhui Bridge and the other one upstream of the Yizhu Bridge, were selected for investigation in this study. Combining the concepts of isochrones for time of concentration and raster runoff coefficients derived from Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a dynamic simulation model for the Ba-Zhang River watershed was established. A revised rational formula method for predicting runoff hydrograph was employed to simulate real-time flow discharge with precipitation data. The model used corrected α and β

-
- (1) 國立中興大學水土保持學系教授
 - (2) 國立中興大學水土保持學系碩士生
 - (3) 明道管理學院環境規劃暨設計研究所助理教授

coefficients to improve the accuracy of hydrograph prediction. The rainfall-runoff simulation model for the Ba-Zhang River watershed was then established accordingly and successfully. The corrected α and β values were the coefficients of peak arrival time and peak flow in this case, respectively. As per the simulated results, the model has demonstrated a reasonably accurate hydrograph prediction in the case of single-peak rainfalls. However, the model became less accurate and reliable in the cases of low discharges and multi-peaks rainfalls due to their characteristics of excessive sensitivity in raising limb and recession segment reactions, respectively. One interesting observation to note, the corrected α and β coefficients may potentially be used for sediment yield estimation or prediction in a watershed. In this case, the corrected α coefficient may represent the water resources conservation capability and the β value may be used as the index of sediment concentration. This observation should be validated in a future study.

(**Keywords** : Runoff coefficient, Rainfall-runoff model, Ba-Zhang river)

壹、前言

八掌溪集水區，上游坡度陡峻流速湍急，土壤易受沖刷流失；下游則屬沖積平原，河道兩旁地勢低平，河床坡度甚緩，每遇山洪暴發，下游常致排水不暢，洪水無法宣洩而漫溢兩岸釀成災害，且上游集水區崩塌嚴重，使逕流夾帶大量泥砂，易發生土石災害，危害下游居民安全。因此，為了避免災害的發生，必須有系統地進行集水區整治工作，其中集水區逕流歷線即時推估為不可或缺的一環。本研究以八掌溪軍輝橋及義竹橋上游之集水區為研究範圍，建置八掌溪集水區降雨-逕流模式，配合即時雨量資料，可動態推估河道監測站之逕流歷線。期藉由集水區各項參數之實際情況，配合即時、簡便之雨量資料，能夠快速、準確地推估流量歷線，提供水利防洪演算、坡地災害評估與防治對策、災害應變措施及救災作業之依據。

貳、資料蒐集與分析

一、集水區概況

集水區面積約 447.25 平方公里，海拔 300 公尺以下之區位佔集水區總面積之 71.61% (圖 1)。依山坡地土地可利用限度分類標準，集水區坡度之空間分布以一級坡 (< 5%) 為主，約佔集水區總面積之 49.66% (圖 2)。

選定集水區主流長度約 80.86 公里，主要支流包括赤蘭溪及頭前溪等。嘉義市境內的蘭潭水庫及番路鄉與嘉義市交界的仁義潭水庫，都由八掌溪引水，作為民生用水及工業用水，集水區之水系分布如圖 3。

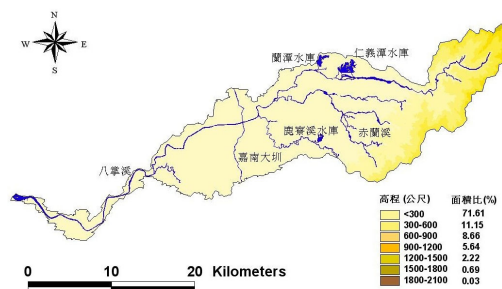


圖 1. 高程分布圖

Figure 1. Spatial distribution of elevation.

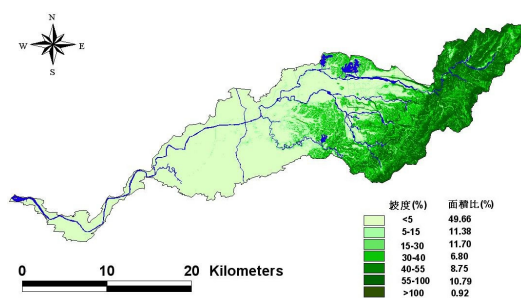


圖 2. 坡度分布圖

Figure 2. Spatial distribution of slope.

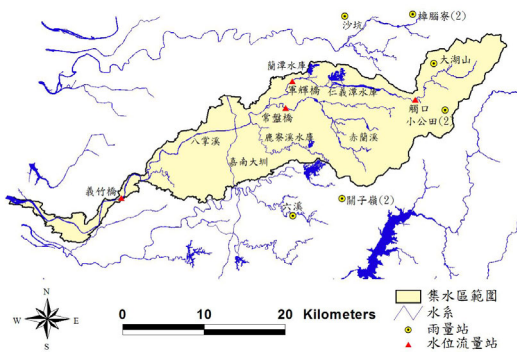


圖 3. 水系分布圖

Figure 3. Spatial distribution of stream network.

二、水文資料

採用經濟部水利署建置之大湖山、小公田(2)、關子嶺(2)、六溪、樟腦寮(2)及沙坑等六站之雨量資料，經地理統計之反距離權重法內差分析集水區雨量之空間分布，雨量相關資訊如表 1；流量資料，係採用軍輝橋站八場歷史颱風暴雨事件資料及義竹橋站十四場歷史颱風暴雨事件資料其洪峰流量分布如圖 4 及圖 5。

參、分析流程與方法

一、分析流程

採用數值高程模型 (DEM) 40m×40m 之網格式資訊、法國 SPOT 衛星影像及所蒐集之水文站雨量資料，並參考廖依玲 (2003)、林鶴儒 (2004) 之研究流程，建立合理化公式-流量歷線修正式，再透過河道監測站之實測流量資料，推求合理化公式-流量歷線修正式之校正係數，建置八掌溪集水區降雨-逕流模式，分析流程如圖 6。

二、分析方法

(一) 集水區劃分

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)，以八掌溪

集水區義竹橋及軍輝橋為出口點，根據地形之排水流向，劃分集水區範圍。

(二) 集水區地文資訊分析

集水區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，八掌溪集水區之地文資訊如表 2。

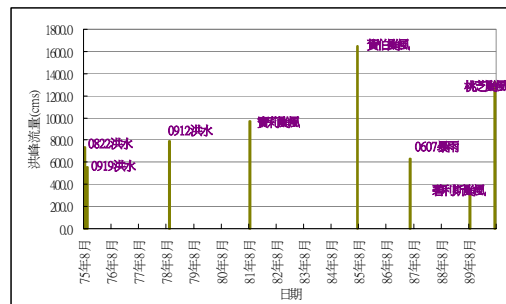


圖 4. 供試颱風暴雨事件之洪峰流量 (軍輝橋站)

Figure 4. Peakflows of tested storm events (Junhui bridge)

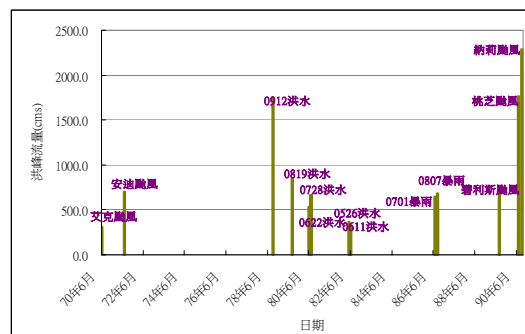


圖 5. 供試颱風暴雨事件洪峰流量 (義竹橋站)

Figure 5. Peakflows of tested storm events (Yizhu bridge)

表 1. 雨量站分布表
 Table1. Spatial distribution of rain-gauge station.

測站名稱	流域	經、緯度	標高(m)	測站站址
大湖山	八掌溪	120°37'12"E, 23°28'30"N	740	嘉義縣番路鄉公興村
小公田(2)	八掌溪	120°38'1"E, 23°25'42"N	760	嘉義縣番路鄉大湖村
關子嶺(2)	集水溪	120°30'25"E, 23°19'50"N	395	台南縣白河鎮六溪里
六溪	集水溪	120°27'2"E, 23°18'38"N	86	台南縣白河鎮關嶺里
樟腦寮(2)	朴子溪	120°35'39"E, 23°32'4"N	545	嘉義縣竹崎鄉緞繡村
沙坑	朴子溪	120°30'44"E, 23°31'55"N	78	嘉義縣竹崎鄉沙坑村

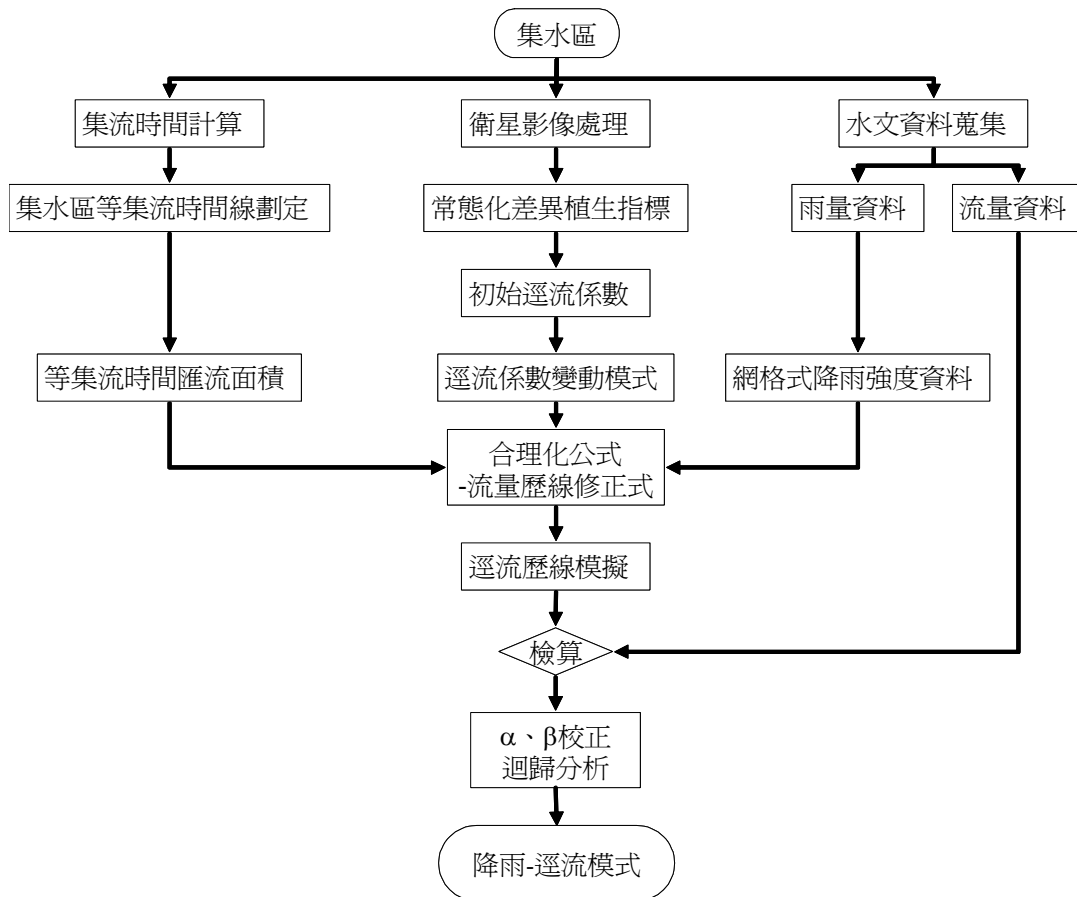


圖 6. 研究流程圖

Figure 6. Flow chart of the study.

表 2. 集水區地文資訊
Table2. 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)	
義竹橋	423.98	202.48	50.79	76.1	605.22	269	273.62	1867	
軍輝橋	114.75	104.08	26.25	37.82	96.39	42	653.8	1854	
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
義竹橋	20.02	0.08	5.57	0.07	0.36	0.13	0.46	1.43	0.63
軍輝橋	41.14	0.08	3.03	0.08	0.36	0.13	0.46	0.84	0.37

(三) 集水區降雨逕流模式之建置

降雨逕流模式是以等集流時間之概念，計算每一網格之集流時間，分析任意網格至集水區出口之集流時間差，推求每一集流時間線內之集水區面積，配合即時降雨資料及合理化公式-流量歷線修正式動態推估監測站之流量歷線。

1. 水文演算

(1) 集流時間之定義

集流時間之定義為由集水區最遠端到達集水區出口的時間，一般為漫地流時間及渠道流時間之和，如(1)所示：

$$t_c = t_0 + t_s \quad (1)$$

(t_c 為集流時間[hr]； t_0 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 (2)、(3) 計算，即

$$t_s = \frac{l_s}{60 \cdot v} \quad (2)$$

$$v = 20 \left(\frac{h}{l_s} \right)^{0.6} \quad (3)$$

(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])

(2) 集水區集流時間差分布之推導

本研究利用集水區之排水流向資料，計算每一網格至出流口之集流時間，利用等集流時間觀念，建立集水區之等集流時間差分布關係。

(3) 等集流時間線

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 7。若以小時為單位，監測站的流量歷線可推估如(4)式：

$$\begin{aligned}
 t = 1, Q_1 &= \frac{1}{360} C_1 I_1 A_1 \\
 t = 2, Q_2 &= \frac{1}{360} (C_2 I_1 A_2 + C_1 I_2 A_1) \\
 t = 3, Q_3 &= \frac{1}{360} (C_3 I_1 A_3 + C_2 I_2 A_2 + C_1 I_3 A_1) \\
 &\vdots \\
 t = n, Q_n &= \frac{1}{360} \sum_{i=1}^n C_i I_{n-i+1} A_i
 \end{aligned} \quad (4)$$

(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])

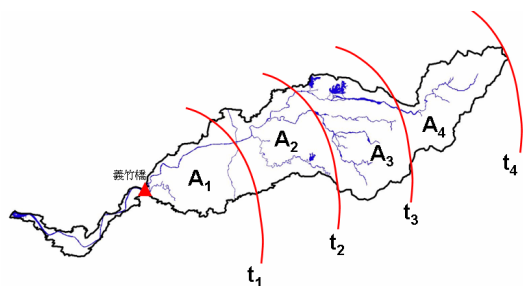


圖 7. 等集流時間線概念示意圖
Figure 7. Isochrones of time of concentration.

2. 逕流係數之推估

(1) 初始逕流係數

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 (C_0) 之空間分布; 集水區常態化差異植生指標之計算如 (5) 所示:

$$NDVI = \frac{(NIR - R_b)}{(NIR + R_b)} \quad (5)$$

(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, 為配合逕流係數之值域 (0~1), 將 NDVI 線性反向配置可計算初始逕流係數, 其公式為 $C_0 = (1 - NDVI) / 2$ (林昭遠、林文賜, 2000)。利用 92 年 10 月 19 日衛星影像資料, 萃取 NDVI 後轉換為 C_0 值, 如圖 8, 圖中值域由 0 至 1, 值愈小, 植生狀況愈佳, 色塊呈現愈深。

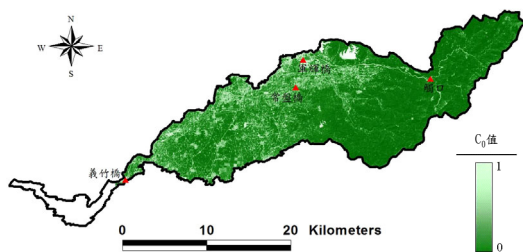


圖 8. 初始逕流係數 (C_0) 分布圖(2003/10/19)
Figure 8. Spatial distribution of C_0 value.
(2003/10/19)

(2) 逕流係數之變動模式

由於逕流係數與植生生長狀況有關, 而 NDVI 量測的植生生長狀況可間接反應區域內入滲量的變化, 逕流係數及入滲率與空間、時間的關係可由 (6) 式得知。

$$C = \frac{R_f}{P} = \frac{(P - I')/t}{P/t} = \frac{I - i}{I} = f(I, i, t) \quad (6)$$

(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])

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, 需再配合降雨時間, 建立逕流係數 C 值於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 9), 其相關理論眾多, 本研究採用 (7) Horton 公式:

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (7)$$

(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)

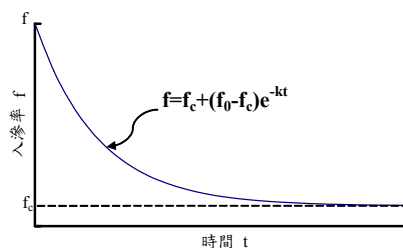


圖 9. 入滲曲線圖
Figure 9. Diagram of infiltration curve.

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 (8) 式：

$$C = 1 - e^{-C_0 t} \quad (8)$$

(C 為逕流係數； C_0 為初始逕流係數； t 為降雨時間[hr])

不同的初始逕流係數，隨時間變化的曲率也不同 (圖 10)，初始值愈大，逕流係數變動曲線愈陡，即地表植生覆蓋愈差，入滲愈差，逕流係數愈快速趨定值 ($C = 1$)。

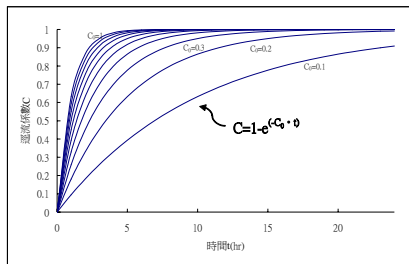


圖 10. 逕流係數變動模式曲線圖

Figure 10. The time varying runoff coefficient C.

(四) 模式建立

合理化公式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，假設一穩定均勻降雨強度將造成集水區出口點之逕流在集流時間 t_c 時達到最大流量，為一簡易型之線性關係，通常於設計無流量資料小集水區保育工程設施，用以推估洪峰流量，亦可用於推估簡易型流量歷線 (Wanielista, M. et al., 1997)，惟常高估洪峰流量 (Bedient, P.B. 等, 2002)。

沿用合理化公式的理論基礎，並加以延伸應用為合理化公式-流量歷線修正式。以等集流時間線之概念，克服合理化公式中，集水區面積須小於 1000 公頃之基本假設，將降

雨強度分布、初始逕流係數分布與等集流時間線觀念下之集水區面積，配合隨時間變化之變動模式。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，以 α 為調整集流時間之係數； β 為調整洪峰量之係數 (圖 11)。

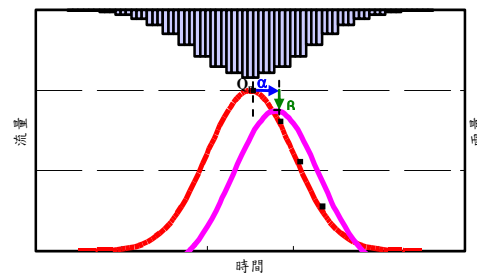


圖 11. 單場颱風暴雨推估之流量歷線校正示意圖

Figure 11. Illustration of correction of simulated runoff hydrograph.

(五) 模式驗證

應用水文模式所模擬之結果，在某種精度範圍內，應與觀測或量測之水文現象相符合。因之，在水文模擬過程中，宜將模式模擬者與實測者作一最適度檢定 (Test of goodness-of-fit) (王如意、易任, 1999)，茲以歷史雨量事件之雨量、流量資料進行演算並找出校正係數，最後則以效率係數 (CE) 檢驗模式結果之優劣 (周乃昉、吳嘉文, 2001)，效率係數的計算式如 (9) 式：

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Q_0(i) - Q_c(i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Q_0(i) - \bar{Q}_0(i)]^2} \quad (9)$$

Q_0 = 觀測流量 (cms)

Q_c = 模式推估流量 (cms)

\bar{Q}_0 = 觀測流量平均值 (cms)

肆、結果與討論

一、軍輝橋站

模擬成果由洪峰流量大小排序，如圖 12 ~ 圖 19，結果顯示，單峰型暴雨效果較佳，模式效率係數介於 0.63~0.89 之間，雙峰及多峰型暴雨模式效率係數介於 0.56~0.85 之間，各項參數及校正係數整理如表 3 所示。而賀伯及桃芝颱風，帶來強大大雨量，使水流夾砂量極大， β 值校正後，亦較其他颱風暴雨事件之 β 值更大；多峰型暴雨則有洪峰流量愈低，模擬之流量歷線隨雨型起伏，模式效率係數愈低之趨勢。

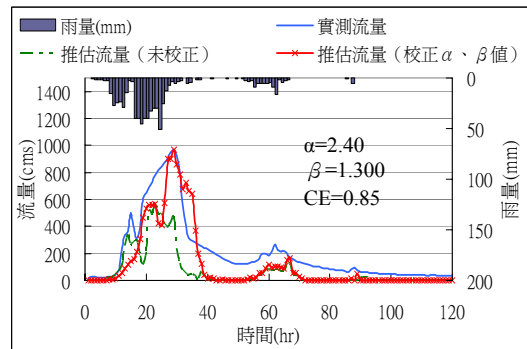


圖 14. 寶莉颱風流量估算結果 (軍輝橋站)
 Figure 14. Simulated hydrograph for Polly typhoon (Junhui bridge).

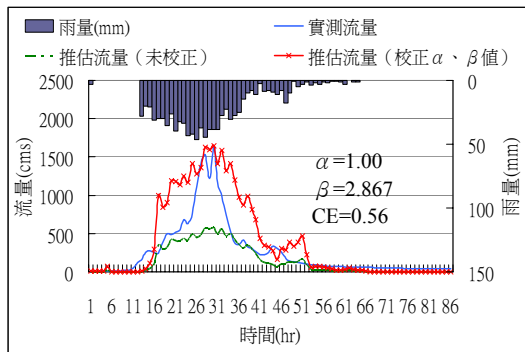


圖 12. 賀伯颱風流量估算結果 (軍輝橋站)
 Figure 12. Simulated hydrograph for Herb typhoon (Junhui bridge).

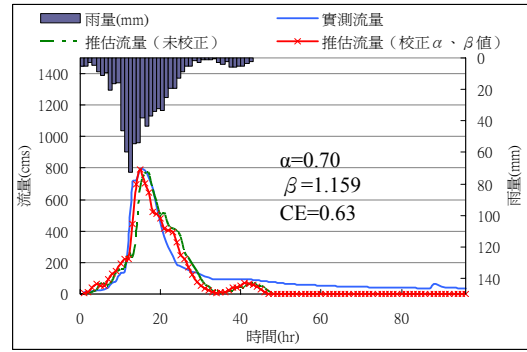


圖 15. 0912 洪水流量估算結果 (軍輝橋站)
 Figure 15. Simulated hydrograph for 0912 flood (Junhui bridge).

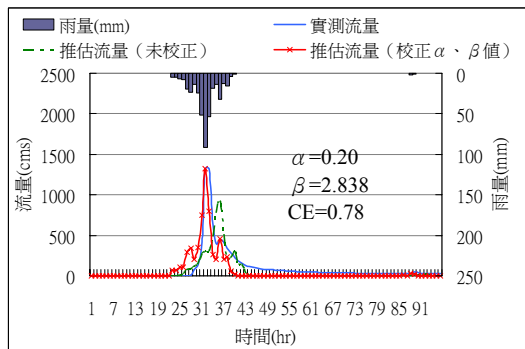


圖 13. 桃芝颱風流量估算結果 (軍輝橋站)
 Fig.13 Simulated hydrograph for Toraji typhoon (Junhui bridge)

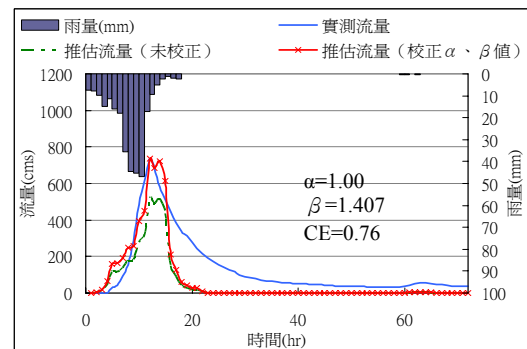


圖 16. 0822 洪水流量估算結果 (軍輝橋站)
 Figure 16. Simulated hydrograph for 0822 flood (Junhui bridge).

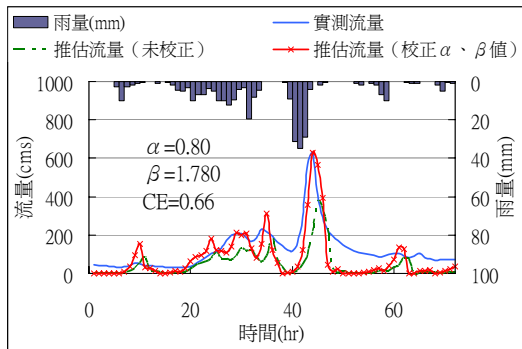


圖 17. 0607 暴雨流量估算結果 (軍輝橋站)
Figure 17. Simulated hydrograph for 0607 rainstorm (Junhui bridge).

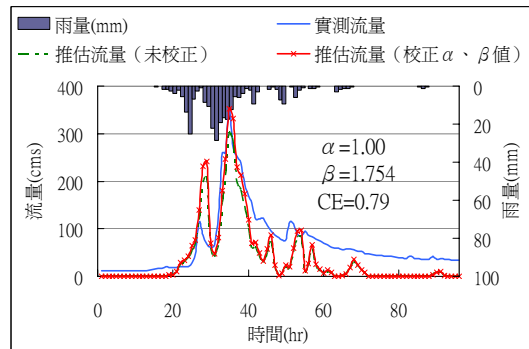


圖 19. 碧利斯颱風流量估算結果 (軍輝橋站)
Figure 19. Simulated hydrograph for Bilis typhoon (Junhui bridge).

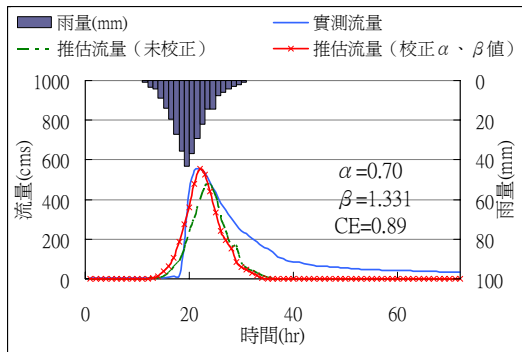


圖 18. 0919 洪水流量估算結果 (軍輝橋站)
Figure 18. Simulated hydrograph for 0919 flood (Junhui bridge).

二、義竹橋站

模擬成果由洪峰流量大小排序，如圖 20 ~ 圖 33，單峰型暴雨部分模式效率係數介於 0.29 ~ 0.9；雙峰型暴雨模式效率係數介於 0.66 ~ 0.91；多峰型中，除 0807 暴雨外，模式效率介於 0.33 ~ 0.53 之間，各項參數及校正係數表整理如表 4 所示。中低流量時，由於模式較為敏感，模擬之流量歷線易隨雨型上下起伏，且義竹橋站地處八掌溪下游，流量歷線受到更多潛在因子影響，使模擬結果較為紊亂。其中納莉及桃芝颱風由於暴雨使河道流量大，河道含砂濃度亦很大的情況下，

表 3. 軍輝橋站暴雨流量歷線之各項參數及校正係數

Table3. Parameters and correction coefficient for each storm hydrograph (Junhui bridge).

颱風暴雨名稱	賀伯	桃芝	寶莉	0912 洪水	0822 洪水	0607 暴雨	0919 洪水	碧利斯
日期	85/7/31	90/7/29	81/8/30	78/9/12	75/8/22	87/6/7	75/9/19	89/8/22
α 校正	1.00	0.20	2.40	0.70	1.00	0.80	0.70	1.00
β 校正	2.867	2.838	1.300	1.159	1.407	1.780	1.331	1.754
洪峰流量 (cms)	1650.0	1320.0	966.0	790.0	734.0	630.0	553.0	352.0
最大降雨強度 (mm/hr)	46.14	91.42	51.24	72.83	47.07	34.93	43.41	28.51
洪峰前累積雨量 (mm)	581.64	157.04	547.15	334.12	257.46	252.85	194.21	172.02
未校正洪峰流量 (cms)	575.4	919.8	561.1	769.0	521.8	377.1	476.7	301.4
效率係數 CE	0.56	0.78	0.85	0.63	0.76	0.66	0.89	0.79

實測之流量歷線遠比模擬之流量歷線來得大，須向上調整 β 值；而 0819 洪水、安迪颱風及 0807 暴雨，是由於高流量含砂濃度大且雨型紊亂，使模擬之流量歷線隨雨型起伏造成。

三、流量歷線 α 、 β 值推估模式之探討

集流時間與集水區地文因子及降雨特性有關，一般公式只考慮集水區地文因子，故每一場暴雨之集流時間均相等，實際上，降雨強度增大，地表逕流水深增加，流速亦增加，集流時間隨之變小(林莉莉，1992)，相同地，洪峰前累積雨量愈大，流量增大，集流

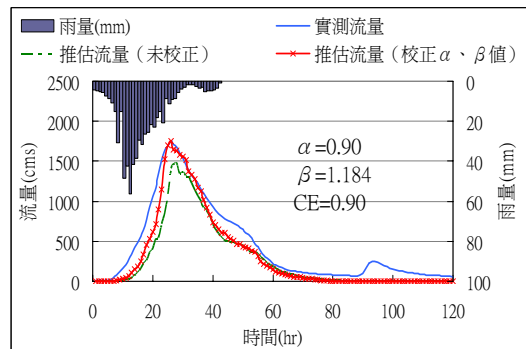


圖 22. 0912 洪水流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 22. Simulated hydrograph for 0912 flood (Yizhu bridge).

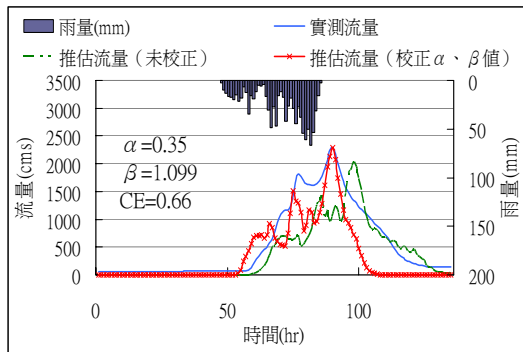


圖 20. 納莉颱風流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 20. Simulated hydrograph for Nari typhoon (Yizhu bridge).

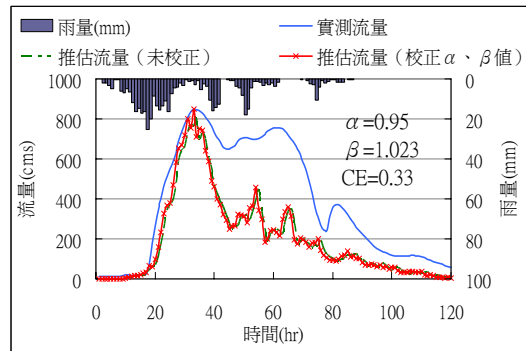


圖 23. 0819 洪水流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 23. Simulated hydrograph for 0819 flood (Yizhu bridge).

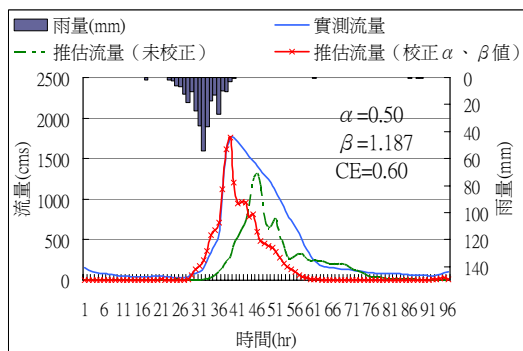


圖 21. 桃芝颱風流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 21. Simulated hydrograph for Toraji typhoon (Yizhu bridge).

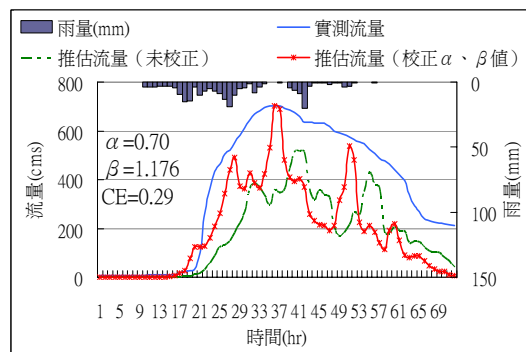


圖 24. 安迪颱風流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 24. Simulated hydrograph for Andy typhoon (Yizhu bridge).

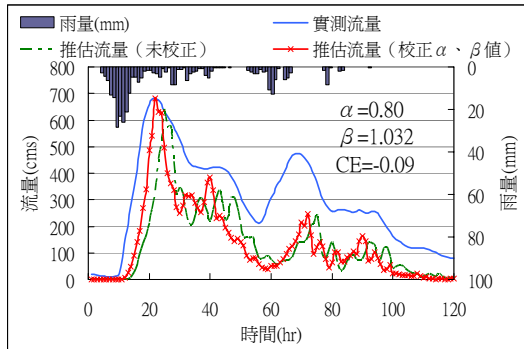


圖 25. 0807 暴雨流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 25. Simulated hydrograph for 0807 rainstorm (Yizhu bridge)

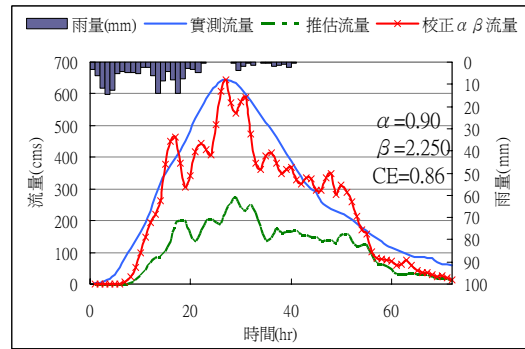


圖 28. 0701 暴雨流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 28. Simulated hydrograph for 0701 rainstorm (Yizhu bridge).

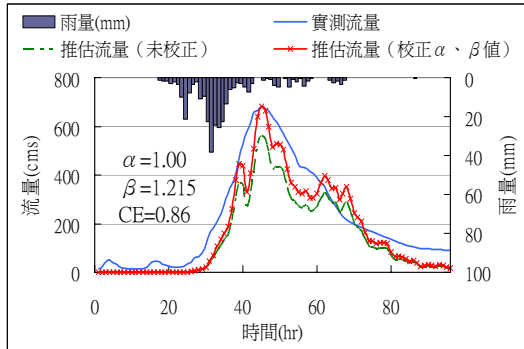


圖 26. 碧利斯颱風流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 26. Simulated hydrograph for Bilis typhoon (Yizhu bridge)

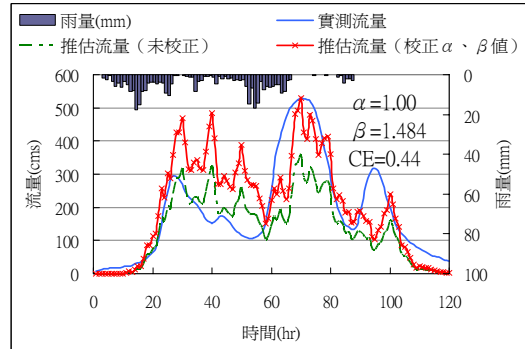


圖 29. 0622 洪水流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 29. Simulated hydrograph for 0622 flood (Yizhu bridge).

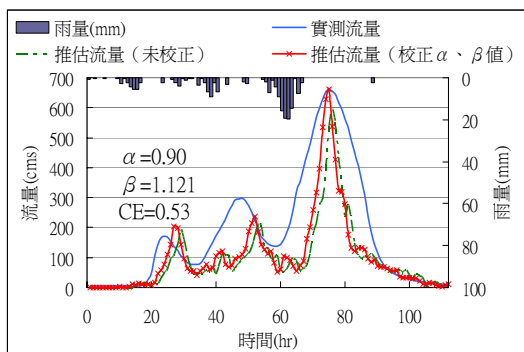


圖 27. 0728 洪水流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 27. Simulated hydrograph for 0728 flood (Yizhu bridge).

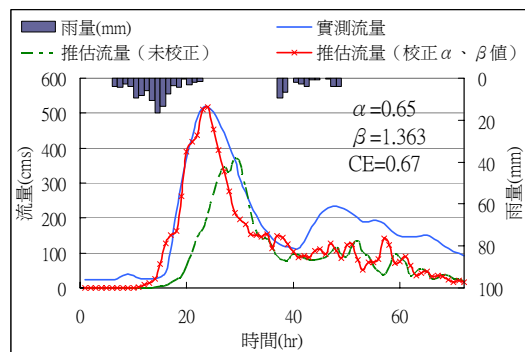


圖 30. 安珀颱風流量估算結果 (義竹橋站)
Figure 30. Simulated hydrograph for Amber typhoon (Yizhu bridge).

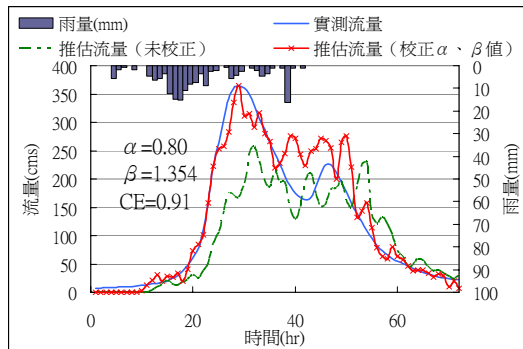


圖 31. 0526 洪水流量估算結果 (義竹橋站)

Figure 31. Simulated hydrograph for 0526 flood (Yizhu bridge).

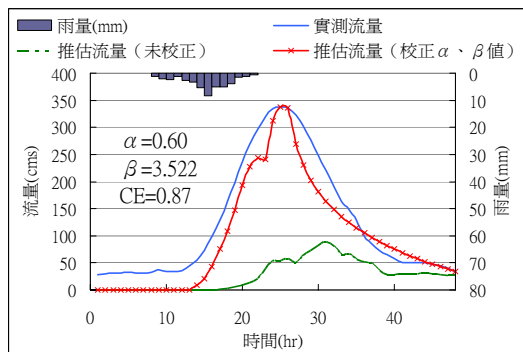


圖 32. 0611 洪水流量估算結果 (義竹橋站)

Figure 32. Simulated hydrograph for 0611 flood (Yizhu bridge).

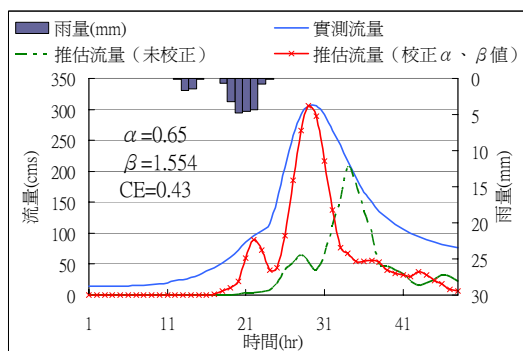


圖 33. 艾克颱風流量估算結果 (義竹橋站)

Figure 33. Simulated hydrograph for Ike typhoon (Yizhu bridge).

時間亦會變小，因此集流時間會隨著最大降雨強度及洪峰前累積雨量而變化，具有時變性，造成模擬時到達洪峰時間的誤差，必須進行洪峰到達時間之校正 (α)。 α 值可改變歷線上升段的形狀，即修正洪峰到達時間及洪峰值，就其物理意義而言， α 值可代表集水區對水源涵養能力， $\alpha > 1$ ，表示雨峰比洪峰到達時間早，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每小時為單位量測流量值，無法量測到真實之洪峰時間點及流量值造成誤差或集流時間估算誤差所致。

β 值愈大表示實測流量遠高於推估流量，須加以校正，由於一般流量歷線模擬模式皆以清水流為建立模式之假設，且一般流量之量測是以水位率定而得，當含砂濃度大時，流量（水位）也跟著變大，故 β 值可作為逕流含砂濃度之指標，可以此指標驗證集水區土砂生產推估模式；當低流量時， β 值常會小於 1，乃因模式建立之假設是以颱風暴雨之高洪峰流量事件為出發點，流量過低時逕流入滲所致，故所推算之流量歷線與實測資料相較，明顯高估。

以單峰型暴雨效果為最佳，雙峰或多峰型暴雨則因模式假設未考慮地表下逕流及地下水，導致退水段時退水曲線斜率過陡，推估之退水段流量遠比實際退水段退得快，遇後續雨峰，流量無法即時抬升；但隨著洪峰流量的降低，模式之敏感性使模擬之流量歷線易隨紊亂的雨型而起伏，模擬準確度亦隨之降低，對後續之模擬結果造成影響。義竹橋站因位處較下游處，模擬之流量歷線易因人為及潛在因子影響，使歷線更為紊亂。

各站之颱風暴雨事件校正後，其 α 及 β 值分別對最大降雨強度 I_{\max} (mm/hr)、洪峰前累積雨量 R (mm)、推估洪峰流量 Q_{pc} (cms) 及基流量 F_b (cms) 進行複迴歸分析，其各測

站之 α 及 β 值迴歸式如表 5。

軍輝橋站，由於賀伯颱風事件帶來之強大雨量使水流夾砂量極大，在扣除賀伯颱風事件影響後， α 迴歸校正式， $R^2=0.90^*$ ，而 β 迴歸校正式， $R^2=0.83^*$ 。義竹橋站之 α 迴歸校正式， $R^2=0.68^{**}$ ，而 β 迴歸校正式， $R^2=0.49$ 。

以各水位流量站的 α 及 β 迴歸校正式重新計算各事件之 α 及 β 值，再次模擬各站之颱風暴雨事件，發現高流量之暴雨場次效率係數差異不大，但隨著洪峰流量的降低，效率係數也跟著降低，而雙峰或多峰型暴雨事其效率係數降低幅度又比單峰型暴雨事件更趨於明顯。

軍輝橋站單峰型之暴雨場次效率係數為

0.63~0.89，將各變數代入迴歸式迴歸後重新模擬流量歷線，單峰型暴雨部分，模式效率係數介於 0.18~0.72；雙峰及多峰型暴雨，除碧利斯颱風由於雨型紊亂，模擬之流量歷線隨雨型起伏效率係數很低外，模式效率係數由原本的 0.56~0.85 降至 0.04~0.72。義竹橋站重新模擬流量歷線結果，亦以單峰型暴雨事件效果較佳，模式效率係數介於 0.29~0.90，迴歸後重新模擬流量歷線效率係數介於 0.38~0.82；雙峰型暴雨事件模式效率係數由原本的 0.66~0.91 降至 0.48~0.72；多峰型，模式效率係數由原本的 0.33~0.53，迴歸後重新模擬流量歷線效率係數介於 0.29~0.61。軍輝橋站迴歸分析後各項參數及校正係數整理如表 6；義竹橋站迴歸分析後各項參數及校正係數整理如表 7。

表 4. 義竹橋站暴雨流量歷線之各項參數及校正係數

Table4. Parameters and correction coefficient for each storm hydrograph (Yizhu bridge)

颱風暴雨名稱	納莉颱風	桃芝颱風	0912洪水	0819洪水	安迪颱風	0807暴雨	碧利斯颱風	0728洪水	0701暴雨	0622洪水	安珀颱風	0526洪水	0611洪水	艾克颱風
日期	90/9/15	90/7/29	78/9/12	79/8/19	71/7/29	86/8/7	89/8/22	80/7/28	86/7/1	80/6/22	86/8/29	82/5/26	82/6/11	70/6/13
α 校正	0.35	0.50	0.90	0.95	0.70	0.80	1.00	0.90	0.90	1.00	0.65	0.80	0.60	0.65
β 校正	1.099	1.187	1.184	1.023	1.176	1.032	1.215	1.121	2.250	1.484	1.363	1.354	3.522	1.554
洪峰流量(cms)	2290.0	1760.0	1750.0	848.0	704.0	682.0	681.0	662.0	644.0	530.0	517.0	365.0	338.0	306.0
最大降雨強度(mm/hr)	66.33	54.57	56.33	25.29	20.32	28.54	38.42	19.57	14.64	17.79	16.38	16.35	8.43	4.38
洪峰前累積雨量(mm)	289.86	289.86	556.06	258.97	170.92	179.02	257.56	180.26	150.41	312.15	101.57	123.18	43.50	21.97
推估洪峰流量(cms)	2028.0	1314.6	1469.9	806.7	516.4	639.5	560.6	595.0	271.9	357.2	370.0	257.2	89.9	206.4
效率係數 CE	0.66	0.60	0.90	0.33	0.29	-0.09	0.86	0.53	0.86	0.44	0.67	0.91	0.87	0.43

表 5. 各測站之 α 及 β 值迴歸式

Table5. Regression model of α and β for each station.

測站	迴歸式	R^2
軍輝橋站	$\alpha = 0.344 - 1.112 \times 10^{-2} * I_{max} + 4.439 \times 10^{-3} * R$	0.90*
	$\beta = 2.189 + 0.274 * I_{max} - 2.669 \times 10^{-2} * Q_{pe}$	0.83*
義竹橋站	$\alpha = 0.717 + 1.566 \times 10^{-3} * R - 4.143 \times 10^{-4} * Q_{pe}$	0.68**
	$\beta = 1.456 + 2.452 \times 10^{-3} * R - 1.705 \times 10^{-3} * Q_{pe} + 3.623 \times 10^{-2} * F_b$	0.49

註： I_{max} ：最大降雨強度(mm/hr)； R ：洪峰前累積雨量(mm)； Q_{pe} ：未校正洪峰流量(cms)； F_b ：基流量(cms)

表 6. 軍輝橋站暴雨流量歷線之各項參數及校正係數（迴歸後）

Table6. Parameters and correction coefficient for each storm hydrograph(after regression) (Junhui bridge).

颱風暴雨名稱	桃芝颱風	寶莉颱風	0912 洪水	0822 洪水	0607 暴雨	0919 洪水	碧利斯颱風
日期	90/7/29	81/8/30	78/9/12	75/8/22	87/6/7	75/9/19	89/8/22
α 迴歸	0.08	2.33	0.84	0.90	0.74	0.68	1.07
β 迴歸	2.689	1.254	1.621	1.159	1.694	1.361	1.956
洪峰流量 (cms)	1320.0	966.0	790.0	734.0	630.0	553.0	352.0
最大降雨強度 (mm/hr)	91.42	51.24	72.83	47.07	34.93	43.41	28.51
洪峰前累積雨量 (mm)	157.04	547.15	334.12	257.46	252.85	194.21	172.02
未校正洪峰流量 (cms)	919.8	561.1	769.0	521.8	377.1	476.7	301.4
基流量 (cms)	1.1	15.1	10.3	0.1	45.2	2.8	11.6
效率係數 CE	0.72	0.72	0.18	0.57	0.04	0.70	-0.11

表 7. 義竹橋站暴雨流量歷線之各項參數及校正係數（迴歸後）

Table7. Parameters and correction coefficient for each storm hydrograph (after regression)
(Yizhu bridge).

颱風暴雨名稱	納莉 颱風	桃芝 颱風	0912 洪水	0819 洪水	安迪 颱風	0807 暴雨	碧利斯 颱風	0728 洪水	0701 暴雨	0622 洪水	安珀 颱風	0526 洪水	0611 洪水	艾克 颱風
日期	90/9/15	90/7/29	78/9/12	79/8/19	71/7/29	86/8/7	89/8/22	80/7/28	86/7/1	80/6/22	86/8/29	82/5/26	82/6/11	70/6/13
α 迴歸	0.33	0.63	0.98	0.79	0.77	0.73	0.89	0.75	0.84	1.06	0.72	0.80	0.75	0.67
β 迴歸	1.046	1.244	0.669	1.110	1.247	1.526	1.646	1.098	1.435	1.915	1.958	1.576	2.413	1.676
洪峰流量(cms)	2290.0	1760.0	1750.0	848.0	704.0	682.0	681.0	662.0	644.0	530.0	517.0	365.0	338.0	306.0
最大降雨強度(mm/hr)	66.33	54.57	56.33	25.29	20.32	28.54	38.42	19.57	14.64	17.79	16.38	16.35	8.43	4.38
洪峰前累積雨量(mm)	289.86	289.86	556.06	258.97	170.92	179.02	257.56	180.26	150.41	312.15	101.57	123.18	43.50	21.97
推估洪峰流量(cms)	2028.0	1314.6	1469.9	806.7	516.4	639.5	560.6	595.0	271.9	357.2	370.0	257.2	89.9	206.4
基流量(cms)	64.5	36.4	9.81	10.9	6.98	19.9	14.2	5.92	2.05	8.35	24.4	7.08	27.7	14.3
效率係數CE	0.61	0.72	0.48	0.29	0.42	0.32	0.82	0.47	0.38	-0.06	0.70	0.78	0.44	0.50

伍、結論

八掌溪集水區降雨-逕流模式各站之 α 、 β 值推估迴歸方程式如下，
軍輝橋站：

$$\alpha = 0.344 - 1.112 \times 10^{-2} * I_{max} + 4.439 * 10 * R \quad R^2 = 0.90^*$$

$$\beta = 2.189 + 0.274 * I_{max}^{-2} - 0.669 * 10^{-2} * Q_{pe} \quad R^2 = 0.83^*$$

義竹橋站：

$$\alpha = 0.717 + 1.566 * 10^{-3} * R - 4.143 * 10^{-4} * Q_{pe} \quad R^2 = 0.68^{**}$$

$$\beta = 1.456 + 2.452 * 10^{-3} * R - 1.705 * 10^{-3} * Q_{pe} + 3.623 * 10^{-2} * F_b \quad R^2 = 0.49$$

α 為調整洪峰到達時間之係數， $\alpha > 1$ 表示雨峰比洪峰早到，當 α 愈大，表示集水區涵養水源能力愈佳； β 為調整洪峰流量之係數，可作為水流含砂濃度之指標，未來可以此指標驗證集水區土砂生產推估模式。

模式推估之結果與實測流量歷線符合之

程度高，但對於多峰型暴雨或降雨雨型雜亂的暴雨情況時，在無降雨持續供應下，遇第二洪峰或退水曲線，無法即時抬升或延緩下降，導致退水過快而呈現洪水歷線起伏的現象。針對此退水過快的情況，未來可利用退水曲線之校正並配合基流量等參數，估算退

水土保持學報 37(3)：221-236 (2005)

Journal of Soil and Water Conservation, 37(3)：221-236 (2005)

水段及後續抬升段之流量歷線，為往後模式改良之重點。

誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會補助計畫，計畫編號 93 農科-2.5.2-技-a1 (4) 之經費補助，以及經濟部水利署所提供之水文資料，使本文得以完成，僅此致謝。

參考文獻

1. 王如意、易任 (1999)「應用水文學」下冊，國立編譯館出版，pp. 332-336。
2. 林鶴儒 (2004)「濁水河流域降雨-逕流模式之建置及其於土石流預警之應用」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
3. 林昭遠、林文賜 (2000)「集水區地文水文因子自動萃取之研究」，中華水土保持學報，31(3)：247-256。
4. 林莉莉 (1992)「台灣上游集水區洪峰流量的產生、特性和計算方法之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
5. 周乃昉、吳嘉文 (2001)「利用水位訊息改善分佈型水筒模式之研究」，海峽兩岸森林水文學與集水區永續經營學術研討會論文集，pp.20-30。
6. 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。
7. Bedient, P.B. and W.C. Huber (2002) "Hydrology and floodplain Analysis 3rd ed.", Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, pp.394-398.
8. Wanielista, M., R. Kersten, and R. Eaglin (1997) "Hydrology: Water Quantity and Quality Control 2nd ed.", John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, pp.205-264.

93 年 06 月 22 日 收稿

93 年 07 月 20 日 修改

93 年 07 月 30 日 接受