

泥岩集水區降雨-逕流歷線建置之研究

林昭遠⁽¹⁾ 劉志宇⁽²⁾ 蔡真珍⁽³⁾

摘要

二仁溪中、上游集水區開發甚早，早期地表未被破壞，林相完整，後因大量開墾，造成表土嚴重流失。二仁溪集水區多屬泥岩惡地，區內植被為銀合歡、相思樹、竹林等人造次生林；集水區雨季集中於六~八月，泥岩裸露地區，水源涵養能力差，地表沖刷嚴重，雨水挾帶泥沙，向下宣洩，於下游地區往往造成重大水土災情。為保護民眾生命財產安全，建置降雨-逕流歷線分析系統，供集水區整治及防災參考極為重要。本研究以常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index ; NDVI)結合地理資訊系統(Geographic Information System ; GIS)，考慮空間及時間分布因素，建立二仁溪流域之逕流係數變動模式，再利用網格式之降雨強度資料及配合集流時間之集水區面積參數，以等集流時間之概念，修正合理化公式之限制，提出合理化公式-流量歷線修正式。透過監測站實測流量資料，推求合理化公式-流量歷線修正式之 α (洪峰到達時間修正係數)、 β (洪峰值修正係數)校正係數及退水修正式 R，建置二仁溪流域降雨-逕流模式。研究結果顯示模式模擬單峰暴雨時極佳，其效率係數可達 0.96；雙峰暴雨之模擬效率稍低，但其效率係數亦達 0.85 以上；對於多峰或離散型降雨之模擬較不佳。

(**關鍵詞**：降雨-逕流歷線、等集流時間、合理化公式-流量歷線修正式、逕流係數動態模式)

Hydrograph Simulation Model for Mudstone Watersheds

Chao-Yuan Lin

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

Chih-Yu Liu, Jen-Jen Tsai

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

(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班研究生

(3) 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

ABSTRACT

The Erhjin River watershed selected for this study is located in Southern Taiwan. Frequent flood events occur each year during the period from June to August. Floods induced by typhoon rain storms, particularly in this area, cause heavy casualties and severe property losses. Normalized Difference Vegetation Index derived from SPOT image coupled with Geographic Information System was used in this study to establish the rainfall-runoff model for runoff hydrograph simulation at the given point of channel. The correction coefficient (α, β) and the revised recession curve (R) calibrated from the observed data can be as the index of watershed characteristics. The correction coefficient α represents water conservation capability; the β -value can be employed as the index of sediment concentration. The model overcome the limitation of application of rational formula in large watershed and used distributed concept for runoff coefficient calculation in runoff hydrograph simulation. The results shows are good for single and double peak events but poor that agreement between observed and simulated hydrograph for multi-peak hyetograph patterns. The study results indicate that the method is useful in designing soil and water conservation projects or flood assessment and hazard mitigation. (**Keywords** : Rainfall-runoff model, Normalized Difference Vegetation Index, Geographic Information System, Runoff coefficient dynamic model)

一、前言

二仁溪流域其上游集水區以第三紀上新世之古亭坑泥岩為主，局部夾帶少許頁岩，質地脆弱，加上植被狀況不良，上層粉砂及礫石層被沖蝕後，泥岩裸露，雨季來臨，大量泥沙沖蝕而下，河水混濁，其年平均沖蝕深度屬全台 21 條主要河川之冠。為了避免災害發生，建置降雨-逕流歷線分析系統供集水區整治及防災參考極為重要。

降雨-逕流的研究一直是水文學者關心的課題，也是許多相關應用學科的基礎知識，從 1889 年 Huichling 的合理化公式 (rational formula) 便顯示出地表與地形特性與地表逕流的高度相關，該研究取向是將集水區視為一整體且均勻的單元，並以單一的尖峰逕流係數代表集水區的主要逕流特徵，與實際情形的差異頗大；其後 Sherman 提出單位歷線 (unit hydrograph) 理論，並再結合 Horton

的入滲理論 (infiltration theory) 後，為集塊型 (lumped model) 水文模式奠下了良好的基石。

本研究以二仁溪崇德橋上游集水區為研究試區，修正合理化公式的基本假說，針對各參數提出合理且簡便的概念假說。以常態化差異植生指標 (NDVI) 為基礎，結合地理資訊系統 (GIS)，考慮空間及時間分佈因素，建立二仁溪流域之逕流係數變動模式，利用降雨強度空間分布資料，以等集流時間之概念，修正合理化公式之限制，提出合理化公式-流量歷線修正式，建立二仁溪流域之降雨-逕流模式，期配合即時降雨資料可動態推估河道各監測點之流量歷線。

二、流域現況調查

二仁溪位於台灣西南部，北鄰曾文溪，東界高屏溪，南接阿公店溪，西瀕台灣海峽。二仁溪原名二層行溪，民國四十九年經台灣

省政府公佈核定改名為二仁溪，發源於高雄縣內門鄉木柵村的山豬湖，經古亭坑，崇德一帶，南會南安老溪，牛稠埔溪，至崗山頭以下會支流蕃社溪後，即以幹流形式流入平地，沿高雄縣、台南縣兩縣界而行，再會合深坑子溪、港尾溪，三爺宮溪（台南市灣裡今稱大灣中排水溝及大灣大排水溝）等支流，於茄荳鄉白砂崙處入海。幹流長度 61.20 公里，流域面積 339.20 平方公里，平均坡降為 1 : 786，屬於緩降河川之一（經濟部水利署第六河川局網站），是高雄縣、台南縣及台南市的界河，其主流及流域範圍主要在高雄縣，主要支流有三爺宮溪、深坑子溪、港尾溪、番社溪及牛稠埔溪。流域流經之行政區域包括高雄縣內門鄉、田寮鄉、阿蓮鄉、路竹鄉、湖內鄉、茄荳鄉及台南市，流域內人口數約 26 萬人，河川主要用於農業、環境保育及水產用水。雨量、流量站位置如圖 1 所示。

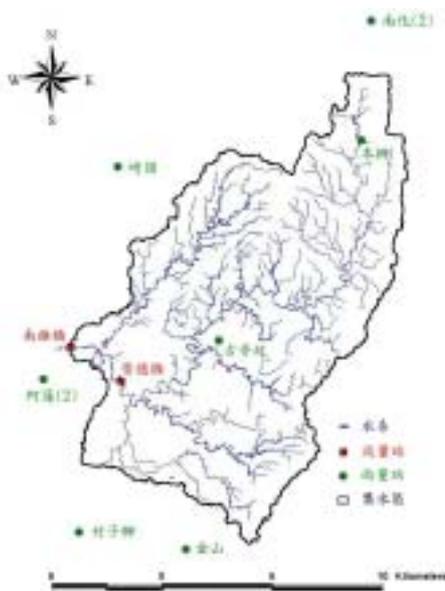


圖 1. 二仁溪集水區水文站分布圖
 Figure 1. Spatial distribution of Erhjin River watershed.

三、分析方法

利用集水區及其鄰近雨量站歷年暴雨事件之雨量資料，採反距離權重法進行內差，分別求算集水區各網格之時雨量，另利用法國 SPOT 衛星影像資料，求得集水區常態化差異植生指標(NDVI)之空間變化，經常規化後，以線性反向配置成初始逕流係數(C0)，考慮集水區逕流係數係隨降雨延時發生變動，建置二仁溪集水區逕流係數變動模式；以等集流時間之觀念，劃分降雨延時各集水分區所匯入之逕流量，克服合理化公式中，集水區面積須小於 1,000 公頃之基本假設，建立合理化公式-流量歷線修正式，模擬歷年暴雨產生之流量歷線，再與實測之流量資料對照，其推估與實測之流量歷線誤差，以 α 、 β 校正係數及退水修正式 R，分別校正到達洪峰時間、洪峰流量及退水曲線。R 係利用退水曲線，以一指數形式之迴歸方程式表示，通式為 $R=Ae^{-BX}$ ，A、B 為常數，X 為洪峰開始出現的時間數列，起始值為 1，間距值為 1 之等差級數。將推求得之各數值進行統計分析，以求得各流量測站集水區之 α 、 β 值分布情形與值域範圍，做為建置二仁溪流域降雨-逕流模式之參考。研究流程如圖 2 所示。

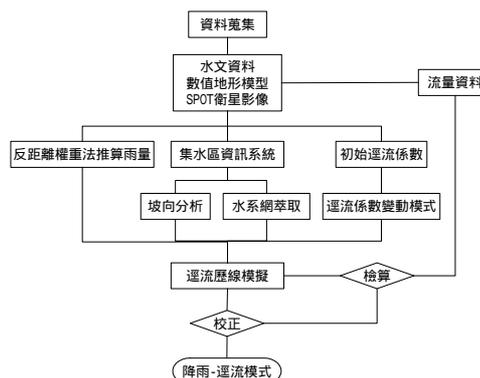


圖 2. 研究流程圖
 Figure 2. Flow chart of the study.

3.1 集水區動態劃分

利用集水區動態劃分方法(林文賜, 2002), 以各分析水文站為集水區出口點, 根據地形模擬之排水流向, 向上游自動追蹤流經該點之所有排水區位, 劃分集水區範圍。

3.2 集水區地文資訊分析

以數值高程模型(DEM)分析集水區地文資訊, 以了解流域特性, 做為災害即時治理之參考。茲將二仁溪流域各水文站集水區之地文資訊分析明列如表 1。

3.3 降雨-逕流模式

本研究之降雨-逕流模式係以等集流時間之概念, 計算河道各點之集流時間, 並建立其與出口之時間差, 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。

3.3.1 集流時間的計算

集流時間之定義為集水區最遠點的雨水到達集水區出口的時間, 欲準確地計算集流時間, 應考慮集水區坡面逕流之集流時間(t_0)加上河道之上游頂點至出口之集流時間(t_s), 亦即由集水區最遠端到達出口所需的時間, 一般為漫地流時間及渠道流時間之和。而 t_0 之估算採用坡面長度除以漫地流速度, 因此坡面長度係由集水區最遠端流至河道之距離, 而漫地流流速一般在 0.3-0.6 m/s, 可依集水區之現況輸入計算。由河道上游至出口所需時間, 依 Rziha 公式計算, 即

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

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

(h 為河道上游與出口之高差[m], l_s 為河道長度[m], v 為流速[m/s])

3.3.2 等集流時間線

集流時間均分為每時間單位後, 將集水區內具有相同匯流(至出口)時間之點連接, 繪製於圖上(圖 3), 則每一集流時間線可劃分集水區為許多區域, 假設區域內為均勻降雨, 若以小時為單位, 即每一集流時間線的時間間隔為 1 小時, 則每小時產生的逕流量如下:

$$t = 1, Q_1 = C_1 I_1 A_1$$

$$t = 2, Q_2 = C_2 I_1 A_2 + C_1 I_2 A_1$$

$$t = 3, Q_3 = C_3 I_1 A_3 + C_2 I_2 A_2 + C_1 I_3 A_1$$

$$\vdots$$

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

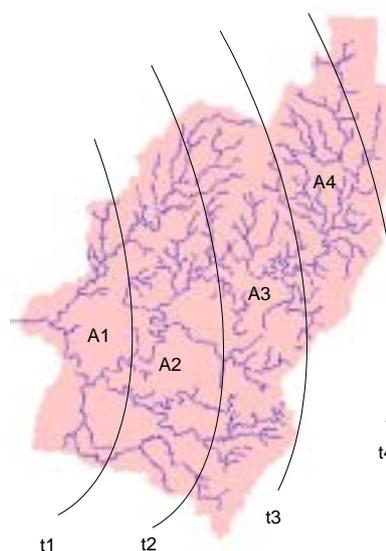


圖 3. 等集流時間線概念示意圖

Figure 3. Isochrones of time of concentration.

表 1. 集水區地文資訊

Table 1. The topographic information of watershed.

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
崇德橋	20.46	0.03	3.37	0.08	0.48	0.23	0.72	1.81	0.9
南雄橋	20.54	0.03	3.81	0.08	0.5	0.25	0.79	1.81	0.85
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)	
崇德橋	140.45	87.28	18.46	41.65	254.56	126	93.3	474	
南雄橋	176.14	93.92	19.06	46.25	318.74	149	89.87	474	

3.3.3 初始逕流係數

逕流係數的定義原為集水區洪峰流量於集流時間內對平均降雨強度之比值，但此集塊系統之觀念往往與實際情形不符合，為求準確之集水區逕流係數，需掌握集水區每一網格單元之空間特性，本研究採分佈(distributed)系統求算集水區逕流係數之空間變化。利用植生指標之方法來考慮地表特性，具有全面概括及量化簡便之優點，可做為推估集水區之逕流係數分布之基礎。本研究以遙測衛星影像之常態化差異植生指標(NDVI)推估初始逕流係數。NDVI 為一標準常態化之指標，其計算方法如下所示：

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

(式中，*NIR* 為近紅外光波段；*R* 為紅光波段)

由於 NDVI 之值域介於-1 至 1 之間，為配合逕流係數之合理值域(0~1)，即當土壤狀況愈不良，植生量愈低，所對應的逕流係數愈大的條件下，將 NDVI 線性反向配置為初始逕流係數，其公式為 $C_0 = (1 - NDVI) / 2$ 。圖 4 為 2001 年 1 月 8 日衛星影像資料，經萃取 NDVI 後轉換為初始逕流係數 C_0 之空間分布圖，圖中值域由 0 至 1，值愈小，植生狀況愈佳，色塊呈現愈趨深綠。

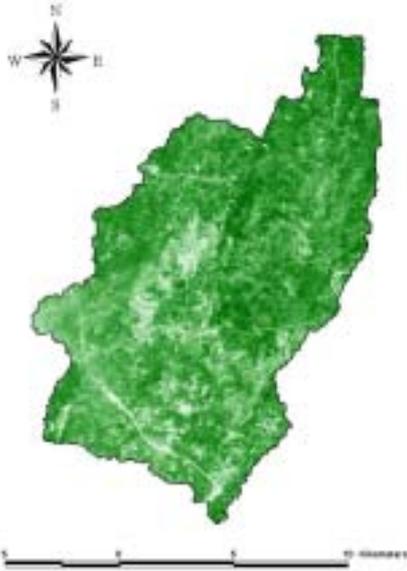


圖 4. 初始逕流係數分布圖(2001/1/8)
Figure 4. Spatial distribution of initial runoff coefficient .

3.3.4 逕流係數之動態模式

逕流係數實際上與時空之變動有關可由下式得知：

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

(式中, R 為逕流量; P 為降雨量; I' 為入滲量; t 為降雨延時; I 為降雨強度; f 入滲率)

逕流係數與降雨強度和入滲率有關, 影響入滲之因子繁多且彼此互為因果, 無法於現地逐一量測。若以常態化差異植生指標 (NDVI) 建置集水區逕流係數之動態模式, 一方面因 NDVI 量測的植生生長狀況可間接反應集水區內入滲量的變化; 另一方面影像資料

獲得的快速簡便有利於即時監測系統之建置。

配合即時雨量及合理化公式-流量歷線修正式, 可動態計算集水區之流量歷線。式中之逕流係數與集水區之土地利用型態有關, 為迅速推求逕流係數, 假設土地利用型態(即植生覆蓋情形)與土壤、地質之立地條件有關, 植生覆蓋良好多屬地形較平坦、土壤化育較好、入滲較佳之地區。若逕流係數與入滲率有關, 亦為時間的函數, 可以 Horton 入滲公式之概念為基礎(圖 5), 推導集水區逕流係數之動態時空分佈模式。

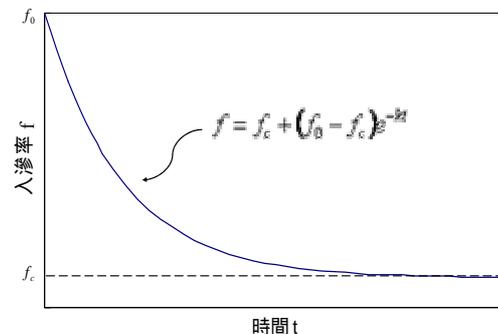


圖 5. 入滲曲線圖

Figure 5. Illustration of infiltration curve.

降雨初期土壤入滲能力高, 隨降雨延時增長, 土壤之入滲能力逐漸下降, 逕流係數隨降雨延時增長而變大, 兩者之關係可加入時間(t)函數, 基於此理念, 假設逕流係數亦為指數函數, 且隨降雨持續時間而遞增, 代入起始條件($t = 0; C = 0$), 以及邊界條件($t \approx \infty; C \approx 1$), 建立逕流係數隨時間變化之變動模式(圖 6)。

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

式中, C : 逕流係數; C_0 : 初始逕流係數; t : 降雨時間(hr)

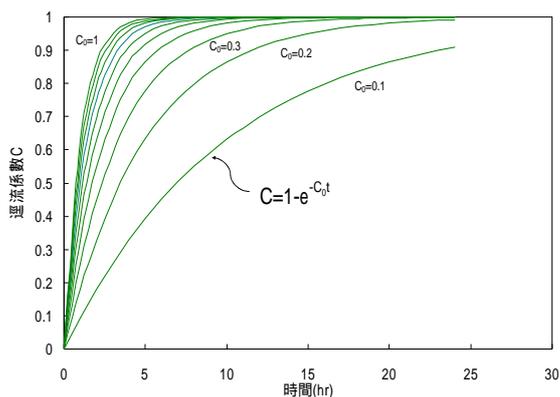


圖 6. 逕流係數變動模式曲線圖
Figure 6. The time varying runoff coefficient.

3.3.5 流量歷線動態推估

依合理化公式-流量歷線修正式配合經濟部水利署即時雨量資料，即時計算監測站之每 1 小時的洪峰流量(圖 8)。使用者依集水區特性，可輸入集流時間及洪峰流量之校正係數，選擇「開始分析」按鈕，其結果顯示於上方之圖形，計算流量及雨量資料可匯出成 Excel 之 CSV 檔案格式。

3.4 暴雨資料選取

歷史颱風暴雨資料依最大瞬間流量高低選取九場颱風暴雨事件(圖 9)，分別為 1990/9/8 暴雨、1992/8/30 寶莉颱風、1992/9/4 歐馬颱風、1993/5/26 暴雨、1994/7/11 提姆颱風、1994/8/3 凱特林颱風、1994/8/8 道格颱風、1995/7/2 暴雨、2000/8/20 碧利斯颱風。

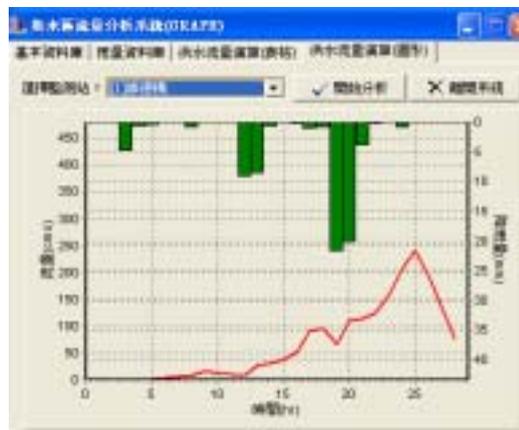


圖 8. 流量歷線動態推估畫面
Figure 8. Runoff hydrograph simulation window.

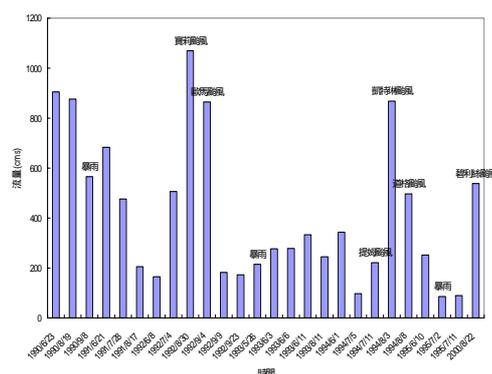


圖 9. 崇德橋流量站歷年最大瞬間流量分佈圖

Figure 9. Peak flows of tested storm events.

四、結果與討論

4.1 模擬結果與檢驗

針對二仁溪流域歷史颱風暴雨事件之雨量及水文監測站之流量資料，進行流量歷線推估及修正，並以效率係數(Coefficient Efficiency ; CE)檢驗模式模擬結果之優劣(周

乃昉、吳嘉文，2001)，效率係數的計算式如下：

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

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)

模擬結果分別如圖 10~圖 18，模式檢算成果如表 2。研究結果顯示模式模擬單峰暴雨時極佳，效率係數最高可達 0.96；因模式遇第二峰段時無法及時抬升，故雙峰暴雨之效率係數則稍低，效率係數可達 0.85，僅 1993/5/26 的暴雨(圖 13)之流量歷線模擬較差，係為雨季來臨前的暴雨事件，地表較為乾糙，加上雨量少，初期降雨為截流、滯蓄所稀釋，導致上升段之實測流量較模擬流量低，致使效率係數不夠高，但亦可達 0.71；另外模式在多峰型暴雨之模擬較不佳，因模式會即時反應降雨狀況，與實際以水位率定曲線推斷之流量較不吻合所致。

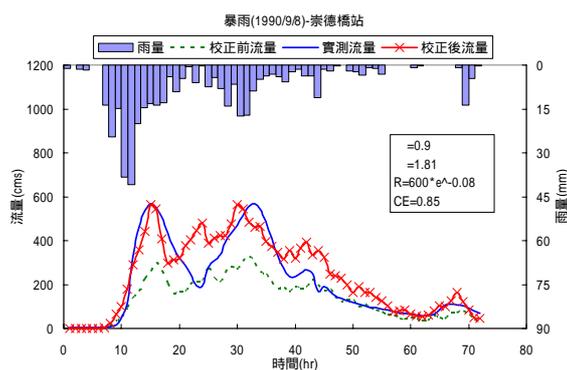


圖 10. 1990/9/8 暴雨流量演算結果
Figure 10. Simulation of runoff hydrograph for the Storm 1990/9/8.

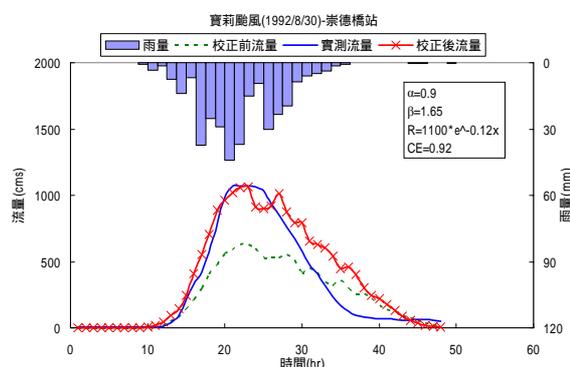


圖 11. 寶莉颱風流量演算結果
Figure 11. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon POLLY.

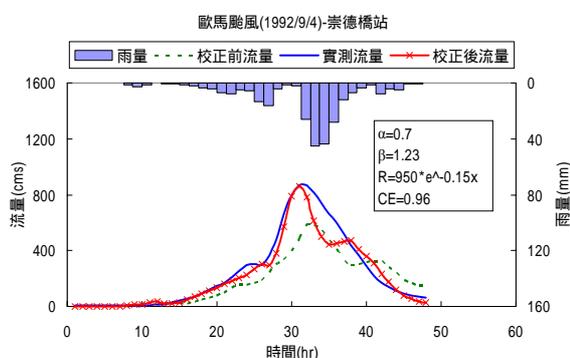


圖 11. 寶莉颱風流量演算結果
Figure 11. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon POLLY.

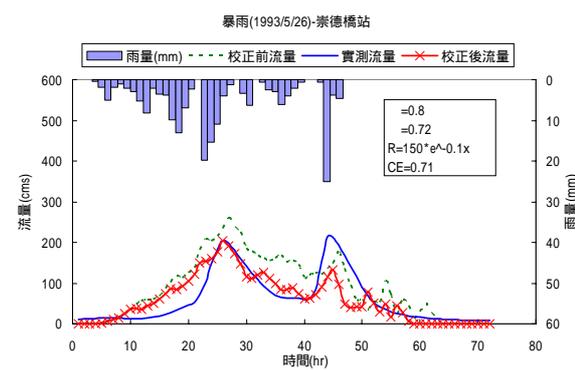


圖 13. 1993/5/26 暴雨流量演算結果
Figure 13. Simulation of runoff hydrograph for the Storm 1993/5/26.

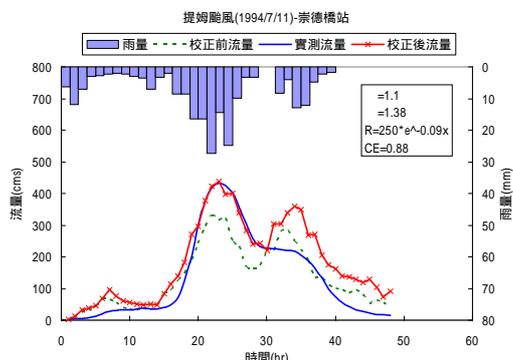


圖 14. 提姆颱風流量演算結果

Figure 14. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon TIM.

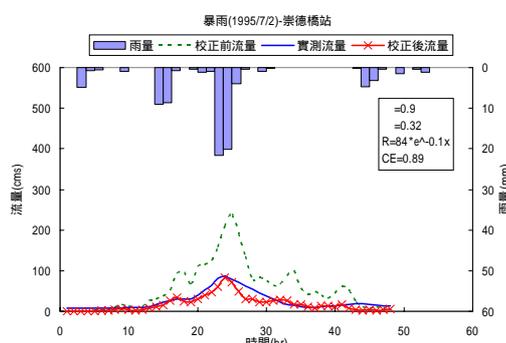


圖 17. 1995/7/2 暴雨流量演算結果

Figure 17. Simulation of runoff hydrograph for the Storm 1995/7/2.

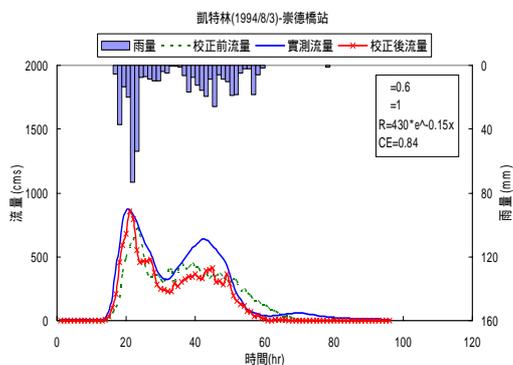


圖 15. 凱特琳颱風流量演算結果

Figure 15. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon CAITLIN.

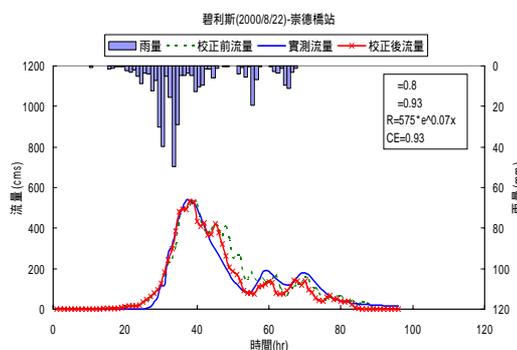


圖 18. 碧利斯颱風流量演算結果

Figure 18. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon BILIS.

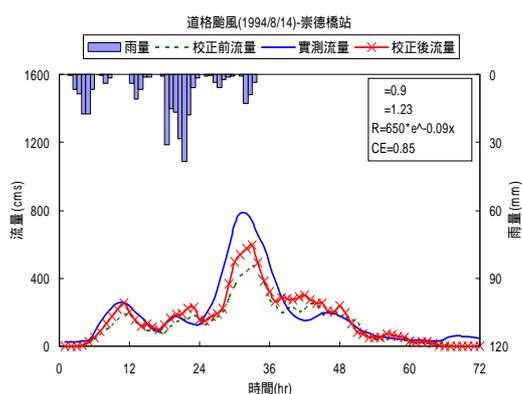


圖 16. 道格颱風流量演算結果

Figure 16. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon DOUG.

4.2 校正係數 α 及 β

集流時間與集水區之地文因子及降雨特性有關，一般公式通常假設每一場暴雨之集流時間均相等，實際上，降雨強度增大，流速增加，集流時間亦會跟著變小，因此集流時間會隨著降雨強度而變化，具有時變性，造成模擬時到達洪峰時間的誤差，此誤差必須經由集流時間之校正，乘上一校正係數 α ，可改變流量歷線上昇段之形狀，修正洪峰到達時間與洪峰值，進而反映集水區地文特性。 α 顯示集水區對於該場降雨涵養水源的能力，若 α 小於 1 則表示洪峰到達時間比雨峰快，此為集流時間估算誤差所致。

表 2. 模式檢算成果

Table 2. Check result of model.

颱風名稱		1990/9/8 暴雨	1992/8/30 寶莉颱風	1992/9/4 歐馬颱風	1993/5/26 暴雨	1994/7/11 提姆颱風
崇德橋站	α 校正	0.9	0.9	0.7	0.8	1.1
	β 校正	1.81	1.65	1.23	0.72	1.38
	最大瞬時流量(cms)	566	1070	865	215	221
	最大時雨量(mm/hr)	30.87	44.1	45.32	19.8	25.39
	累積雨量(mm)	314.73	331.26	266.03	184.7	189.81
	最大 24hr 雨量 (mm)	293.01	330.2	258.03	128.1	190.29
	效率係數(CE)	0.85	0.92	0.96	0.71	0.88
颱風名稱		1994/8/3 凱特林颱風	1994/8/8 道格颱風	1995/7/2 暴雨	2000/8/22 碧利斯颱風	
崇德橋站	α 校正	0.6	0.9	0.9	0.8	
	β 校正	1	1.23	0.32	0.93	
	最大瞬時流量(cms)	868	497	85.7	538	
	最大時雨量(mm/hr)	73.44	30.7	21.69	49.57	
	累積雨量(mm)	467.99	472.15	86.45	354.76	
	最大 24hr 雨量 (mm)	370.38	73.68	75.09	274.42	
	效率係數(CE)	0.84	0.85	0.89	0.93	

β 校正係數為洪峰流量之校正， β 值越高，表示模式所推算之洪峰流量遠小於實測流量，需加以調整修正。由於一般水文模式所推算之流量皆為清水流，且河道流量資料多由水位率定而得，若水流中夾砂量愈高，模式所推算之流量與實測資料相較，明顯低估。 β 值可顯示含砂水流之含砂濃度，為河道輸砂之重要指標。在降雨強度較小的場次，由於模式推估所產生的流量，部分入滲於地表，所以 β 亦可以表現出集水區之涵養水源能

力，當 β 值愈小表示該場降雨之涵養水源能力愈佳。因二仁溪集水區絕大部分為泥岩地區，土壤入滲能力差且易被沖蝕，致使河道水流含砂量高，故 β 值較多大於 1。而 1995/7/2 之暴雨(圖 17)所推估之 β 值僅有 0.32，是因其雨量稀少，降雨大多形成入滲、滯蓄及截流所致。

將各場雨量之 α 校正值、 β 校正值、洪峰到達前累積雨量及最大瞬時流量加以分析。暴雨之洪峰到達前累積雨量越大， β 校正係數

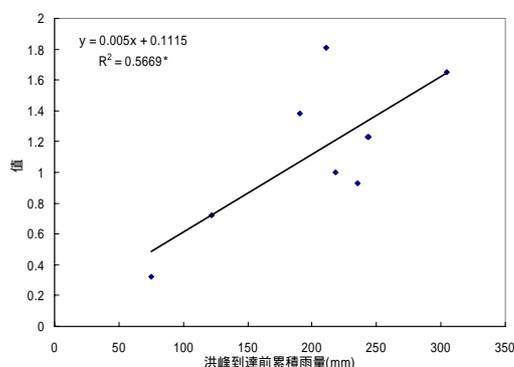


圖 19. β 與洪峰到達前累積雨量關係圖
Figure 19. Relationship between β -value and the total hourly rainfall.

亦越大(圖 19), 另以 SPSS 做迴歸分析顯示 β 校正係數與洪峰到達前累積雨量為線型函數。

所分析之暴雨場次中, 以 1990/9/8 暴雨之 β 校正係數高達 1.81 居冠。 β 值與 α 值雖然受到洪峰到達前累積雨量所影響, 但由於二仁溪集水區多屬泥岩惡地, 水源涵養能力差, 所以 α 趨近於定值; 又泥岩易受沖蝕, 造成二仁溪水系密度高, 泥沙含量大, 而模式所推估之流量為清水流, 較之實際含砂水流流量小, 故校正係數 β 值多大於 1(圖 20)。

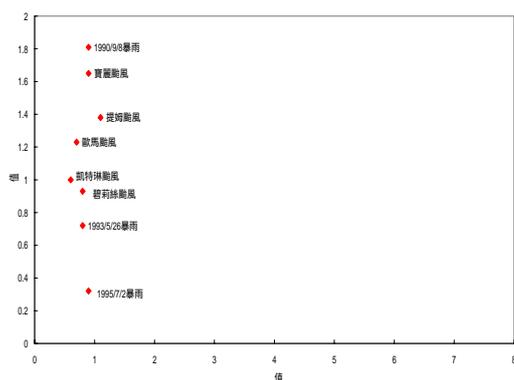


圖 20. α 及 β 關係圖
Figure 20. Relationship between α -value and β -value.

4.3 退水段校正

分析每場次暴雨求得之退水曲線斜率方程式($R=Ae^{-BX}$), 模擬退水曲線, 並推求 A 值, 及 B 值對洪峰流量做迴歸分析, 可發現洪峰流量越大時 A 有越大的趨勢(圖 21), 表 3 顯示未校正退水曲線前之效率係數已極為良好, 使用退水曲線方程式後, 其效率係數 CE 值僅略高一點, 若為使模式更為快速精簡估算二仁溪逕流量, 則不需要另做退水校正。

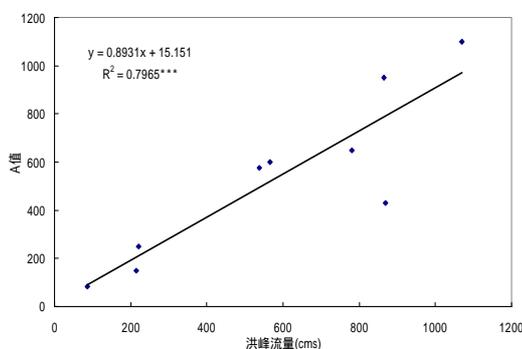


圖 21. A 值與洪峰流量關係圖
Figure 21. Relationship between A-value and peak discharge.

五、結論與建議

二仁溪中上游係屬泥岩地質, 岩性脆弱, 遇雨泥濘不堪, 乾季則崩裂, 豪雨造成地表泥土大量流失, 加上南部雨季多集中於六~八月, 雨水挾帶大量泥沙, 向下宣洩, 到下游地區往往造成重大水災。本研究建置降雨-逕流模式, 可建立防洪預警系統。透過監測站實測流量資料, 可推算不同降雨強度下, 合理化公式-流量歷線修正式之 α 與 β 校正係數值; 未校正退水曲線前之效率係數已極為良好, 使用退水曲線方程式後, 其效率係數 CE 值僅略高一點, 若為使模式更為快速精簡估算二仁溪逕流量, 則不需要另做退水校正。不同暴雨強度模擬結果顯示, 在二仁溪

表 3. 暴雨流量歷線退水修正式比較結果

Table 3. The comparison of revised recession curve for each storm hydrograph.

集水區	歷線形狀	颱風名稱	洪峰流量 (cms)	R=Ae ^{-BX}			
				A 值	B 值	原效率係數 (CE)	校正後效率係數(CE)
崇德橋站	雙峰	1990/9/8 暴雨	566	600	-0.08	0.85	0.89
	單峰	寶麗颱風	1070	1100	-0.12	0.92	0.98
	單峰	歐馬颱風	865	950	-0.15	0.96	0.99
	雙峰	1993/5/26 暴雨	215	150	-0.1	0.71	0.80
	單峰	提姆颱風	221	250	-0.09	0.88	0.97
	雙峰	凱特林颱風	868	430	-0.12	0.84	0.84
	多峰	道格颱風	497	650	-0.09	0.85	0.88
	單峰	1995/7/2 暴雨	85.7	84	-0.1	0.89	0.93
	單峰	碧利斯颱風	538	575	-0.07	0.93	0.90

之 α 值趨近於定值，顯示集水區幾乎無水源涵養能力； β 值為逕流含砂濃度指標，可用以評估集水區土地利用變遷與整治率之計算參考。

本模式對於泥岩地區洪峰瞬時流量推估或峰段之符合程度頗高，但於多峰型暴雨或降雨雨型雜亂的暴雨情況時，模式可能在降雨中斷時間過長，退水段延緩下降，致使下一峰段無法即時抬升。

六、引用文獻

1. 行政院農業委員會 (2003) 「水土保持技術規範」。
2. 林昭遠、林文賜 (2000) 「集水區地水文因子自動萃取之研究」，中華水土保持學報，31(3)：247-256。
3. 林昭遠、林文賜 (1999) 「集水區坡長因子自動萃取之研究」，中華水土保持學報，30(4)：313-320。
4. 黃國楨、王韻皓、焦國模 (1996) 「植生指標於 SPOT 衛星影像之研究」，台灣林業，22(1)：45-52。
5. 盧惠生、林壯沛、陸象豫、黃良鑫 (1990) 「上游小集水區逕流係數之研究」，水土保持學報，21(1)：1-11。
6. Atkinson, E. (1995) "Method for Assessing Sediment Delivery in River Systems", *Hydrological Sciences Journal*, 40(2): 273-280.
7. Burgan, R. E. and R. A. Hartford (1993) "Monitoring Vegetation Greenness with Satellite Data", USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT297, p.13.
8. Jenson, S. K. and J. O. , Domingue (1988) "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54(11): 1593-1600.

9. Loveland, T. R. and D. O. Ohlen (1993) "Experimental AVHRR Land Data Sets for Environmental Monitoring and Modeling", Environmental Modeling with GIS, Oxford University Press, New York, pp.379-385.
10. O'Callaghan, J. F. and D. M. Mark (1984) "The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data," *Computer Vision, Graphic, and Image Processing*, 28:323-344.
11. Bedient, P. B. and W. C. Huber (2002) Hydrology and floodplain analysis 3rd ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, pp.394-398.
12. Chow, V. T. (editor) (1964) Handbook of applied hydrology, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
13. McCuen, R. H. (1998) Hydrologic analysis and design 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, pp.375-623.
14. Natural Resources Conservation Service, (1997) National engineering Handbook, Part 630 Hydrology, Chapter 10, NRCS, US Department of Agriculture, Washington D.C., USA.
15. Patra, K. C. (2001) Hydrology and Water Resources Engineering, Alpha Science International Ltd., Pangbourne, UK, pp.395-487.
16. Ponce, V. M. and R. H. Hawkins (1996) Runoff curve number: Has it reached maturity, *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1): 11-19.
17. Sherman, L. K. (1932) Stream-flow from rainfall by the unit-graph method, *Eng. News-Rec.* 108, 501-505.
18. Subramanya, K. (1994) Engineering Hydrology 2nd ed., Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, pp.181-316.
19. Viessman, W., Jr. and G. L. Lewis (1996) Introduction to hydrology 4th ed., HarperCollins College Publishers, New York, USA, pp.188-323.
20. 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 04 月 28 日 收稿

93 年 05 月 11 日 修改

93 年 05 月 23 日 接受

林昭遠、劉志宇、蔡真珍：泥岩集水區降雨-逕流歷線建置之研究