

陳有蘭溪集水區降雨-逕流模式動態分析系統建置之研究

林昭遠⁽¹⁾ 林鶴儒⁽²⁾ 劉昌文⁽³⁾

摘要

陳有蘭溪集水區位於台灣中部地區，夏秋之際時傳土石流災情，每逢颱風暴雨多造成重大傷亡及財物損失，為徹底解決土石災害，保護民眾生命財產安全，應進行集水區源頭整治，建置預警系統供防災參考。本研究以陳有蘭溪集水區為研究地區，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，建立陳有蘭溪集水區之逕流係數動態分佈模式，並配合降雨強度空間分佈資料，以等集流時間概念，修正合理化公式之限制，提出合理化公式-流量歷線修正式，計算河道監測點之流量歷線。透過監測站實測流量資料，推估歷線之洪峰到達時間和洪峰流量修正值〔 α 、 β 校正值〕以及退水修正式(R)，建置陳有蘭溪集水區降雨-逕流模式。結果顯示各場暴雨校正係數 α 、 β 及退水修正式之大小值與集水區特性相關，而流量歷線模擬結果以單峰型暴雨較佳，其效率係數均為0.7以上，雙峰型及多峰型暴雨模擬情形不佳，效率係數均低於0.7。所分析之暴雨場次中，以賀伯颱風之 β 校正係數2.23居冠，表示陳有蘭溪集水區在賀伯颱風期間，河流內夾帶過多的土沙含量，亦表示土石流發生之可能性。本模式改善合理化公式在集水區面積上之限制，以高洪峰流量之颱風暴雨為對象，進行大面積集水區流量歷線之推估，研究結果可提供全方位集水區保育治理及防洪避災對策研擬之參考。
(關鍵詞：降雨-逕流模式、等集流時間線、合理化公式-流量歷線修正式、逕流係數動態模式)

Establishment of A Dynamic Analysis System for Rainfall-Runoff Hydrograph Analysis in Chenyulan Creek Watershed

Chao-Yuan Lin

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

Ho-Ju Lin, Chung-Wen Liou

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

ABSTRACT

- (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

Debris flows occur frequently during the period from mid summer to early fall each year in Taiwan. Debris flows are usually triggered by typhoon storms or unprecedented record torrential rainfalls and they have often caused loss of human lives and property damages. The Chenyulan creek watershed is located in Central Taiwan and was used as the subject area for this study. 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 a given point of channel. The correction coefficients (α , β) and the revised recession curve (R) calibrated from the observed data can be reconsidered as the index of watershed characteristics. The correction coefficient (α) describes water conservation capability; the β -value shows the quantitative description of sediment concentration in each storm event. The model improved the limitation of rational formula in large watershed and used distributed concept for runoff coefficient calculation in runoff hydrograph simulation. The results of this study can be readily applied in soil and water conservation projects or in flood and/or debris flow assessments and hazard mitigations.

(Keywords : Rainfall-runoff model, Isochrones of time of concentration, Modified rational algorithm for predicting hydrograph, Runoff coefficient dynamic model)

一、前言

台灣山坡地面積約佔全島 2/3，地勢陡峻且多為地質脆弱、土壤鬆軟之地理環境。年降雨量約為 2,500mm，且集中於 7、8 及 9 月份，在降雨時空分布不均及河短流急等因素下，颱風豪雨期間，除了水災外，更有大量土石泥砂奔馳而下，對人民之生命財產安全形成威脅。尤以近年來陳有蘭溪集水區，沿岸土地利用不當，每逢颱風暴雨必造成淹水災害，甚者更引發上游山崩、地滑及土石流等土石災害，而陳有蘭溪集水區的洪患問題也早為各界所關注。因此，為了預防災害發生，必須針對河川中、上游集水區最敏感且已被開發破壞之山坡地區，有系統地進行集水區整治，於合適地點施設各項水土保持措施，並建置預警系統供防災參考，其中流量歷線之模擬便為其中重要的一環。

流量歷線的模擬多為降雨-逕流模式，即採用集水區內之雨量資料推估集水區測點逕流歷線流量，以瞭解集水區的流量特性變化，適用於欠缺流量觀測站或剛設立之流量觀測站等地區，可彌補流量資料不足的問題。降雨-逕流模式為模擬降雨與逕流間各種

水文現象之重要工具，模式的發展為其核心所在，目前已廣泛應用在即時洪水預報、水資源規劃與管理、水土保持工程構造物設計流量之決定等問題上，除模擬的精度外，考量模式之效能時亦應著重於預報之即時性。

降雨-逕流模式方法相當多，其中合理化公式由來已久，因簡單及富有彈性故最為常用，但也頗具爭議性。以往對於逕流係數之決定係採集塊系統之觀念，與實際情形之差異頗大，且尚未考慮相對於時間之變動性，事實上，逕流係數具有時間與空間分布的特性。本研究以陳有蘭溪集水區為研究地區，根據合理化公式的學理，針對各參數提出合理且簡便的參考模式：以常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index；NDVI)為基礎，結合地理資訊系統(Geographic Information System；GIS)，考慮空間及時間分布因素，建立陳有蘭溪集水區之逕流係數(C)變動模式，再利用網格式之降雨強度資料與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，建立陳有蘭溪集水區之降雨-逕流模式，可計算河道各點

之逕流歷線，配合即時降雨資料可動態推估洪峰流量。期藉著考慮各項參數之實際狀況，配合即時簡便之來源資料，快速、準確地推估，達到模擬流量歷線時最精確實用之效果。

二、集水區現況調查

陳有蘭溪集水區位於南投縣中高海拔山區，為濁水溪之支流。集水區以金門峒為發源地，河長約 42 公里，流域面積約 448 平方公里。集水區內匯集玉山北坡面、阿里山脈東坡面與郡大山脈西坡面之水朝北流，為一斷層線縱谷。流域呈狹長形，主流由南向北流，坡降高達 6.1%；支流分別由東、西兩側山地平行注入主流。陳有蘭溪集水區鄰近之雨量、流量站位置分布如圖 1。內茅埔流量站歷年最大瞬時流量分佈圖如圖 2 所示。

三、分析方法

基於合理化公式可用於推估逕流歷線的前提下，以陳有蘭溪集水區為範圍，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，分別求得區域內之時雨量，另一方面利用法國 SPOT 衛星影像資料，求得常態化差異植生指標 (NDVI)，經線性反向配置後，決定初始之逕流係數 C_0 值，並考慮時間變化因素，以每小時為單位，推求陳有蘭溪集水區之 C 值變動模式；同時以等集流時間線之觀念，劃分出等集流時間匯流面積，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，校正洪峰時間(α 值)及洪峰流量(β 值)，整理測站所求得之 α 值與 β 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，做為預警系統建置之參考。研究流程如圖 3 所示。

3.1 集水區動態劃分

以累積流量為門檻值自動劃分集水區，多依使用者主觀認定及劃分後各河段存在有違反集水區定義之集水區，在應用上有其盲點，實用上宜以集水區之出口為劃分依據，針對要整治或處理的區位，動態劃分出出口之集水區範圍供規劃參考(林昭遠等，1999)。本研究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。

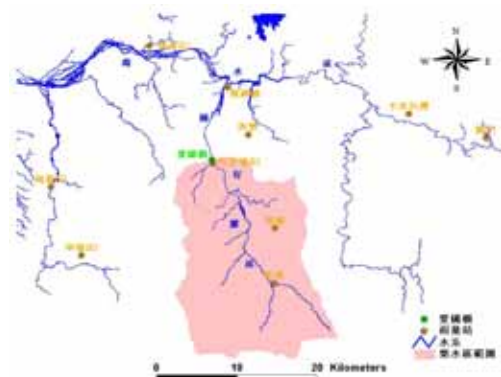


圖 1. 濁水溪集水區流域雨量、流量站位置分布圖

Figure 1. Distribution Hydrological stations of Chenyulan Creek watershed.

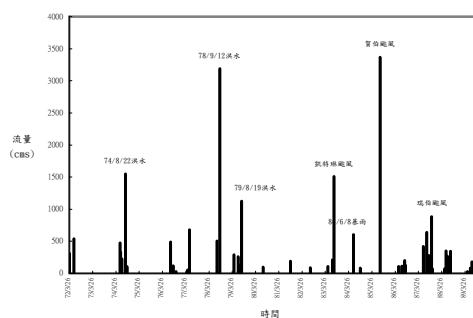


圖 2. 內茅埔流量站歷年最大瞬時流量分佈圖

Figure 2. The maximum discharge of Neimaupu station.

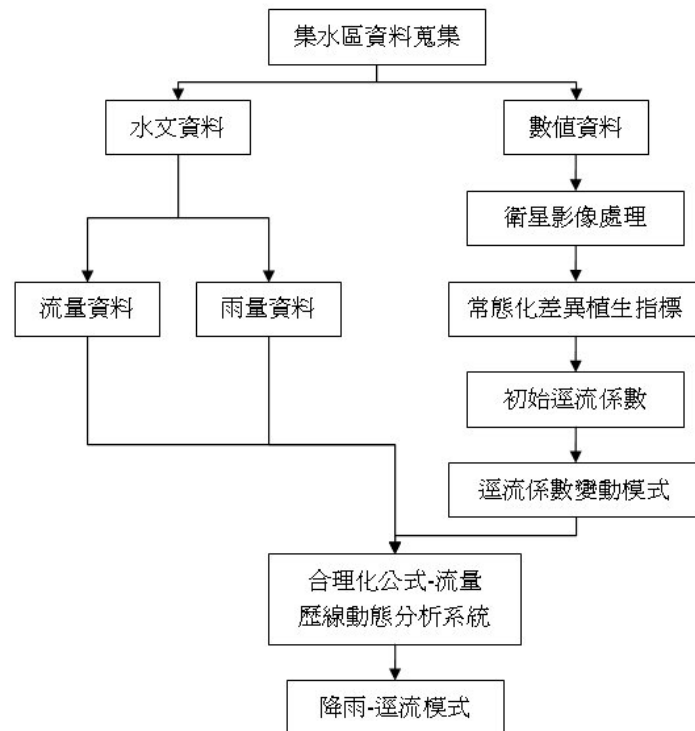


圖 3. 研究流程圖

Figure 3. Flow chart of the study.

3.2 集水區地文資訊分析

本研究係以水土保持技術規範為依據，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，以了解流域特性，做為災害即時治理之參考。茲將陳有蘭溪集水區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流口的時間，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 4)，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：

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

3.3.3 初始逕流係數

逕流係數的定義原為集水區中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。本研究以衛星遙測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 5 為 1996 年 6 月 5 日衛星影像資料，經萃取 NDVI 後轉換為初始 C_0 值圖，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. 等集流時間線概念示意圖
 Figure 4. Isochrones time of concentration.



圖 5. 初始 C_0 值分布圖(1996/6/5)
 Figure 5. Spatial distribution of initial C_0 value.

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 C 值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洪峰流量之推估。

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 C 與集水區之土地利用型態有關，為迅速推求 C 值，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。已知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 6)，推導集水區逕

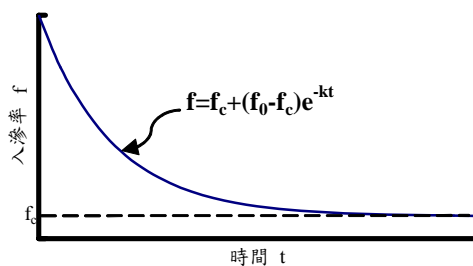


圖 6. 入滲曲線圖

Figure 6. Illustration of infiltration curve.

流係數之動態時空分佈模式。

本研究以遙測衛星影像之 NDVI 來推估 C_0 (初始逕流係數 C 值)，其公式為 $C_0 = (1 - NDVI)/2$ 。在降雨初期時，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 值隨降雨時間增長而變大，兩者之關係可加入時間(t)因子，基於此理念，假設 C 值亦為指數函數，且隨降雨持續時間而遞增，代入起始條件，t=0 時 C=0，建立一逕流係數隨時間變化之變動模式(圖 7)。

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

式中，C 為逕流係數； C_0 為初始逕流係數；t 為降雨時間(hr)。

3.3.5 流量歷線動態推估之系統功能說明

本研究沿用合理化公式的基本觀念，以等集流時間線之觀念，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，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，代入合理化公式-流量歷線修正式，推估流量歷線。茲將流量歷線動態推估功能說明如下：

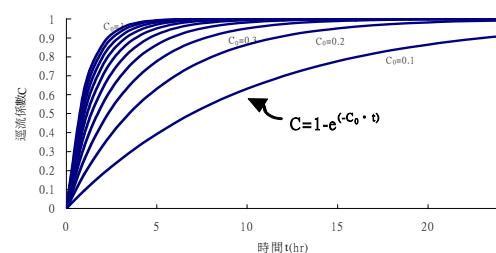


圖 7. 逕流係數變動模式曲線圖

Figure 7. The time varying runoff coefficient.

1. 集水區基本資料

集水區基本資料之輸入畫面如圖 8，可分為三個部份：

- (1) 監測站位置：藉由 ArcView 軟體及電子地圖可查得監測站(出口點)之位置資料。
- (2) 集水區空間資料：包括流向、高程、水系網、逕流係數等資料，前三者可藉由地形分析計算而得，後者可由植生指標轉換而得。
- (3) 雨量資料庫：使用者需輸入經濟部水利署之即時雨量資料庫路徑，並指定雨量接收之起始日期及時間；亦可進行歷史雨量事件之洪峰流量計算，輸入自訂格式雨量資料，以計算暴雨造成之洪峰流量。

2. 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。

合理化公式-流量歷線修正式，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 係利用退水曲線之斜率，以一乘幂形式之迴歸方程式表示，通式為 $R=AX^{-B}$ ，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。

四、結果與討論

茲以合理化公式-流量歷線修正式配合二校正係數(α 、 β)及退水修正式(R)建置降雨-逕流模式，針對陳有蘭流域歷史颱風暴雨

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)

歷史颱風暴雨資料除了“78/9/12 洪水”因流量資料記錄有誤棄卻外，依最大瞬間流量高低選取十一場颱風暴雨事件，分別為荻安娜颱風-1 (1995/6/8-6/10)、荻安娜颱風-2(1995/6/11-6/12)、賴恩颱風(1995/9/22-9/24)、賀伯颱風(1996/7/30-8/2)、溫妮颱風(1997/8/17-8/18)、安珀颱風(1997/8/29-8/31)、瑞伯颱風(1998/10/15-10/18)、0612 暴雨(2000/6/12-6/17)、啓德颱風(2000/7/9-7/12)、碧利斯颱風(2000/8/22-8/27)、象神颱風(2000/10/31-11/2)，模擬結果分別如圖 10~圖 20，模式檢算成果如表 2。本模式所推估暴雨場次，以高洪峰流量及單峰型暴雨之模擬較佳，高洪峰流量除了賀伯颱風外，平均效率係數 CE 均在 0.7 以上，賀伯颱風場次之流量歷線模擬較差係因集水區在賀伯颱風時，南投縣信義鄉豐丘村、筆石溪以及神木村等地之野溪發生嚴重土石流。降雨初期可能由於河道堆滿土石或因崩塌阻塞河道形成天然土石壩而堰塞，使得實測流量在洪峰發生前較推估量為低，洪峰後因上游野溪可能發生土石流，致實測流量較推估值為高。而模式在低洪峰流量及多峰型之模擬較不理想，係因基流量及降雨分佈不均之影響所致。



圖 8. 集水區基本資料之輸入畫面
Figure 8. Watershed information input window.

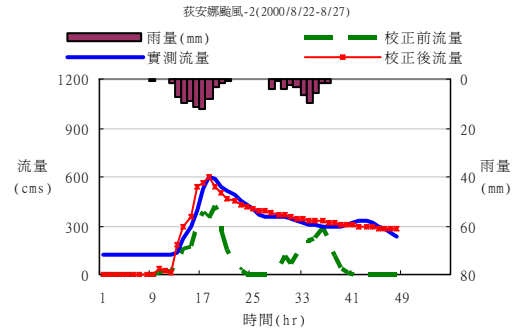


圖 11. 荻安娜颱風-2 流量演算結果
Figure 11. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon DEANNA-2.



圖 9. 流量歷線動態推估畫面
Figure 9. Runoff hydrograph simulation window.

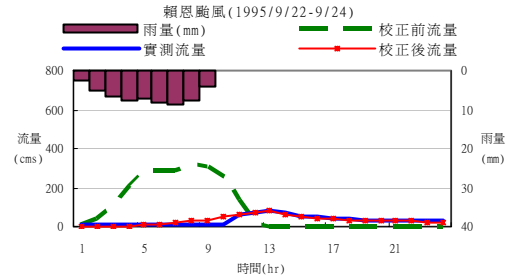


圖 12. 賴恩颱風流量演算結果
Figure 12. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon RYAN.

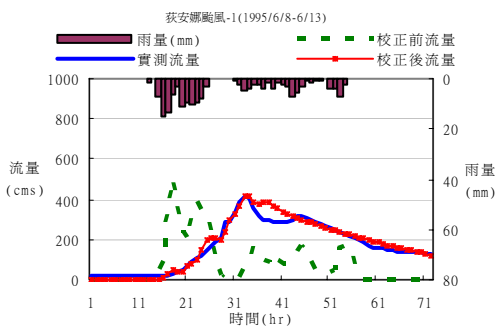


圖 10. 荻安娜颱風-1 流量演算結果
Figure 10. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon DEANNA-1.

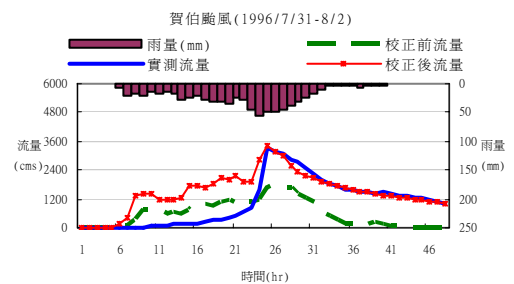


圖 13. 賀伯颱風流量演算結果
Figure 13. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon HERB.

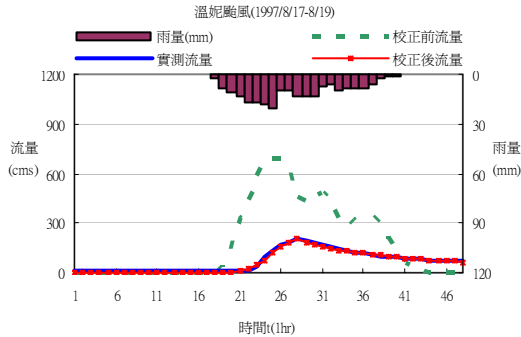


圖 14. 溫妮颱風流量演算結果

Figure 14. Simulation of runoff hydrograph for the WINNIE typhoon.

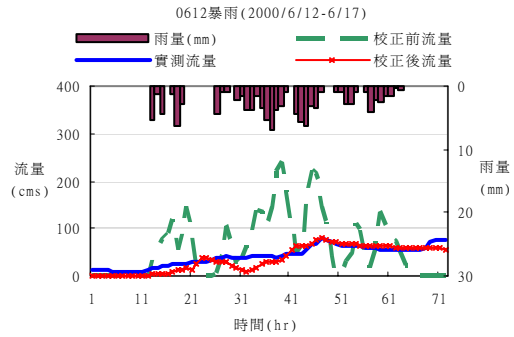


圖 17. 0612 暴雨流量演算結果

Figure 17. Simulation of runoff hydrograph for the Storm 0612.

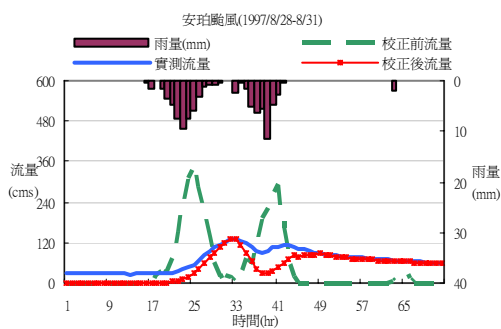


圖 15. 安珀颱風流量演算結果

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

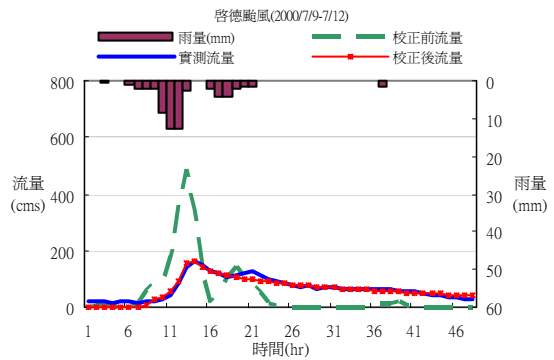


圖 18. 啓德颱風流量演算結果

Figure 18. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon KAI-TAK.

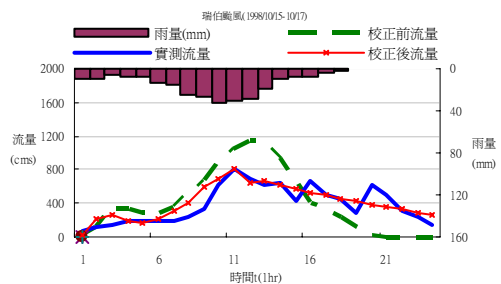


圖 16. 瑞伯颱風流量演算結果

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

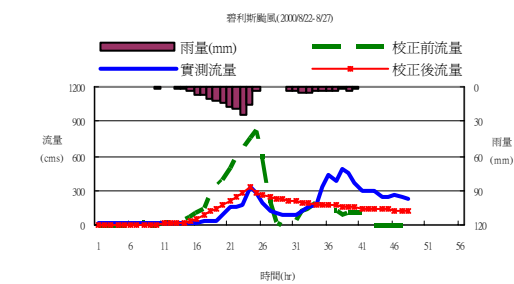


圖 19. 碧利斯颱風流量演算結果

Figure 19. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon BILIS.

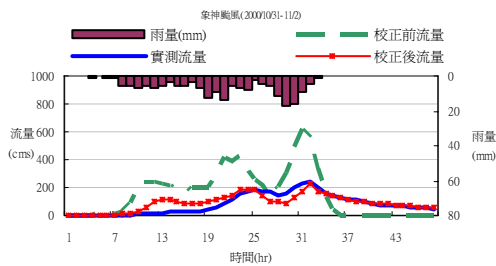


圖 20、象神颱風流量演算結果

Figure 20. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon XANGSANE.

4.1 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，一般公式只考慮集水區之地文因子，故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 ， 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；降雨強度越大， α 值越小， α 值會隨暴雨強度不同而改變。

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（水位）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。此外，值較小亦有可能為集水區內河道阻塞所造成，由於地震觸發山區山崩，崩落之土石即堆積於山腹或山谷中，形

成天然的土石壩。當山區降雨強度大或延時長超過引發土石壩之潰壩時，飽含水分之土石即可形成土石流，所以當模式在前期降雨所推估之 β 值較小時，除了涵養水源佳外，亦可能為土石流危險溪流之警訊指標。

所分析之暴雨場次中，以賀伯颱風之 β 校正係數高達 2.24 居冠，其中荻安娜颱風有兩個明顯分離的降雨，由於“荻安娜-1”前期降雨的結果造成“荻安娜-2”雖在低降雨強度下卻有較高瞬時流量的現象，其 β 校正係數亦較其他低降雨強度者為大。由於“荻安娜-2”前期降雨所產生誤差之影響，剔除“荻安娜-2”資料並將各場暴雨之 β 值與洪峰到達前之累積雨量以 SPSS 作回歸分析，由圖 21 顯示出 β 值與洪峰到達前之累積雨量為線型函數且具有高度的相關性。 β 值與 α 值同樣受到降雨強度所影響，當暴雨達到一定強度時，集水區涵養水源之能力已達飽和， α 將趨近於定值 ($\alpha=0.7$)，此時降雨強度越大， β 值雖隨之增大， α 值卻維持不變(圖 22)。反之， α 值達到一定程度時，因水源涵養能力高，河道溪流為清水流，模式所推算之流量會有高估之現象 ($\beta < 1$)。“荻安娜-2”颱風雖其降雨強度不大，因前期降雨之故，呈現出低 α 值高 β 值之現象。

4.2 退水段校正

分析每場次暴雨求得之退水曲線斜率方程式 ($R=AX^{-B}$)，若利用 B 值之算數平均值，作為集水區退水曲線方程式之參數值 $R=AX^{-0.7962}$ ，重新模擬退水曲線，並推求 A' 值，將 A 、 A' 及 B 值對洪峰流量以 SPSS 做迴歸分析，發現洪峰流量越大時 A 和 A' 有越大的趨勢，顯示為線性函數且具高度相關性， B 則成散佈狀(圖 23、圖 24、圖 25)，表 3 顯示使用固定的退水曲線方程式即可合理模擬集水區內颱風暴雨之退水情形，其效率係數 CE 僅略低一點。

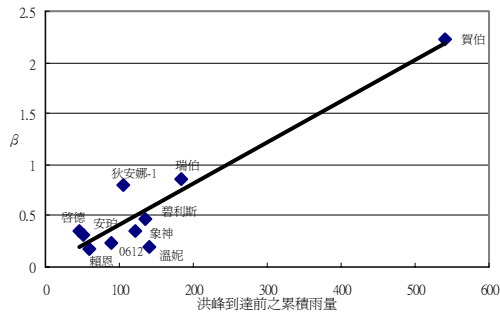


圖 21. 洪峰到達前之累積雨量與 β 關係圖
 Figure 21. Relationship between β -value and the maximum hourly rainfall.

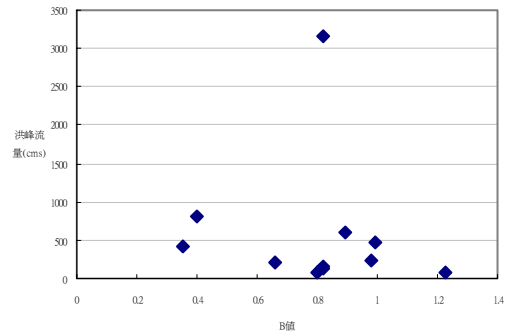


圖 24. B 值與洪峰流量關係圖
 Figure 24. Relationship between B-value and peak discharge.

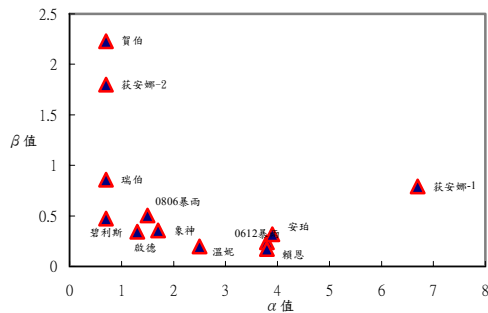


圖 22. α 及 β 關係圖
 Figure 22. Relationship between α -value and β -value.

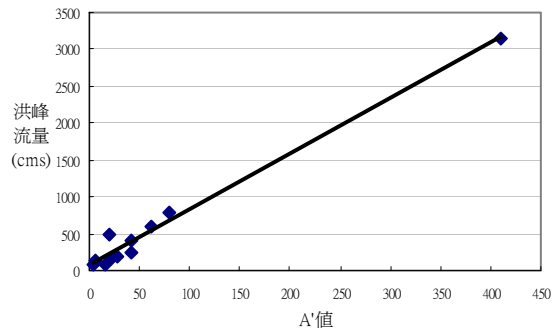


圖 25. A^2 值與洪峰流量關係圖
 Figure 25. Relationship between A^2 -value and peak discharge.

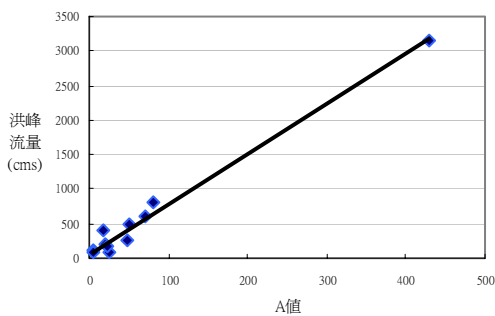


圖 23. A 值與洪峰流量關係圖
 Figure 23. Relationship between A-value and peak discharge.

五、結論與建議

陳有蘭溪流域內地質破碎、地形陡峭且雨量豐沛，每當颱風暴雨來臨，造成嚴重土石災害，尤其是上游地區陳有蘭溪更為嚴重，故建置降雨-逕流模式，估算陳有蘭溪流域之洪峰流量，建立防洪預警系統極為重要。本研究所建置之系統係以等集流時間線之概念，將集水區劃分成若干等集流時間區位，依降雨延時累計各區位之逕流量，已改善合理化公式在集水面積上之限制，可推估大於 1000ha 以上集水區之逕流量。集水區

表 1. 集水區地文資訊
Table 1. The Geomorphologic information of watershed.

因子類別	(1)尺度類因子							
	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)
內茅埔	366.5	117.76	25.66	34.23	102.13	14	1713.21	3446
水里	82.59	61.36	10.26	22.64	35.38	3	697.03	1195
玉峰橋	2088.12	336.4	57.35	138.65	688.07	65	1844.17	3805
桶頭	254.66	100.48	21.78	34.76	66.02	10	1191.09	2432
彰雲橋	22.38	36.08	3.66	10.65	10.69	1	195.76	341
自強大橋	3000.11	507.92	95.04	210.99	1018.71	97	1503	3912

因子類別	(2)梯度類因子		(3)形狀類因子					(4)網路類因子	
	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
內茅埔	67.3	0.13	10.17	0.31	0.58	0.33	0.84	0.28	0.04
水里	40.25	0.16	3.65	0.16	0.52	0.28	1	0.43	0.04
玉峰橋	66.21	0.11	15.06	0.11	0.48	0.23	0.9	0.33	0.03
桶頭	57.93	0.13	7.33	0.21	0.56	0.32	0.83	0.26	0.04
彰雲橋	8.72	0.1	2.1	0.2	0.46	0.22	1.46	0.48	0.04
自強大橋	57.52	0.16	14.22	0.07	0.38	0.15	0.65	0.34	0.03

表 2. 模式成果之檢算

Table 2. Check result of model.

颱風名稱		890612 暴雨	啓德颱風	荻安娜颱風 1.	荻安娜颱風 2.	象神颱風	
內 茅 埔 站	α 校正	3.8	1.3	6.7	0.7	1.7	
	β 校正	0.239	0.345	0.792	1.798	0.357	
	最大瞬時流量 (cms)	79.5	163	416	605	248	
	最大時雨量 (mm/hr)	7	12.99	14.95	12.41	16.77	
	累積雨量 (mm)	109.69	63.73	167.96	108.26	191.36	
	最大 24hr 雨量 (mm)	68.04	61.6	117.76	103.45	260.74	
	效率係數 (CE)	0.63	0.93	0.94	0.73	0.67	
颱風名稱		賀伯	溫妮	瑞伯	碧利斯	賴恩	安珀
內 茅 埔 站	α 校正	0.7	2.5	0.7	0.7	3.8	3.9
	β 校正	2.23	0.2	0.86	0.473	0.175	0.32
	最大瞬時流量 (cms)	3160	202	798	479	79.4	130
	最大時雨量 (mm/hr)	55.89	20.69	33.2	23.84	8.72	11.34
	累積雨量(mm)	797.78	226.35	261.49	174.97	58.64	91.27
	最大 24hr 雨量 (mm)	706.31	226.16	261.49	164.01	58.64	87.29
	效率係數(CE)	0.29	0.97	0.74	0.32	0.78	0.29

表 3. 暴雨流量歷線退水修正式比較結果

Table 3. Comparison of Recession simulation for each storm hydrograph.

集水區	歷線形狀	颱風名稱	洪峰流量 (cms)	R=AX ^{-B}			R=AX ^{-0.7962}	
				A 值	B 值	效率係數(CE)	A' 值	效率係數 (CE)
內茅埔站	單峰	荻安娜 1	416	18.5	0.3552	0.94	41	0.93
	單峰	荻安娜 2	605	70	0.8926	0.73	62	0.73
	單峰	賴恩	79.4	24	1.2288	0.78	15	0.79
	單峰	賀伯	3160	430	0.823	0.29	410	0.29
	單峰	溫妮	202	20.9	0.6582	0.97	28	0.96
	雙峰	安珀	130	4	0.8201	0.29	5.1	0.29
	多峰	瑞伯	798	154.2	0.398	0.74	80	0.71
	單峰	0612 暴雨	79.5	6	0.8025	0.63	4.5	0.66
	單峰	啓德	163	22	0.8201	0.93	21	0.93
	雙峰	碧利斯	479	50	0.9954	0.32	40	0.28
	雙峰	象神	248	49	0.9827	0.67	42	0.67

逕流係數傳統上係採用集塊式(lumped)推算，考量集水區逕流係數值於降雨期間是隨時空之變異而變化，本研究以衛星影像之常態化差異植生指標結合地理資訊系統，建立陳有蘭溪流域之逕流係數動態分佈模式，能有效探討集水區土地利用變遷對逕流之影響。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，及不同洪峰流量下，退水修正式 R 之 A、B 參數。流量歷線模擬結果以單峰型暴雨較佳，其效率係數均為 0.7 以上，而雙峰型及多峰型暴雨由於模式過於靈敏而導致模擬情形不佳，效率係數均低於 0.7。所分析之暴雨場次中，以賀伯颱風之 β 校正係數 2.24 居冠，表示陳有蘭溪流域在賀伯颱風期間，河流內夾帶過多的土沙含量，

亦表示土石流發生之可能性。

退水段斜率曲線方程式 $R=AX^{-B}$ ，為了簡化模式，將 B 值採用定值 0.7962 校正，重新推求 A' 值，其模式效率係數變異不大。不同暴雨強度模擬結果顯示， α 值越大，集水區對該場暴雨水源涵養能力越強。 β 值除了為逕流含砂濃度指標外亦可在流量高估時顯示出河道堰塞情況及集水區內土石流發生之可能性，進一步評估集水區土地利用變遷與整治率及土石流危險溪流之警訊指標。

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) 「集水區水文水

- 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. 吳瑞賢 (2001) 「工程水文學」, 科技圖書股份有限公司, 台北市, pp.153-168。
 7. 菅原正已 (1972) 流出解析法, 共立出版。
 8. Atkinson, E. (1995) "Method for Assessing Sediment Delivery in River Systems", *Hydrological Sciences Journal*, 40(2): 273-280.
 9. Burgan, R. E. and R. A. Hartford (1993) "Monitoring Vegetation Greenness with Satellite Data", USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT297, p.13.
 10. 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.
 11. 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.
 12. 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.
 13. Bedient, P. B. and W.C. Huber (2002) *Hydrology and floodplain analysis 3rd ed.*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, pp.394-398.
 14. Chow, V.T. (editor) (1964) *Handbook of applied hydrology*, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
 15. McCuen, R. H. (1998) *Hydrologic analysis and design 2nd ed.*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, pp.375-623.
 16. Natural Resources Conservation Service (1997) *National engineering Handbook, Part 630 Hydrology, Chapter 10*, NRCS, US Department of Agriculture, Washington D.C., USA.
 17. Patra, K. C. (2001) *Hydrology and Water Resources Engineering*, Alpha Science International Ltd., Pangbourne, UK, pp.395-487.
 18. Ponce, V. M. and Hawkins, R.H. (1996) Runoff curve number: Has it reached maturity? , *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1): 11-19.
 19. Sherman, L. K. (1932) Stream-flow from rainfall by the unit-graph method, *Eng. News-Rec.* 108, 501-505.
 20. Subramanya, K. (1994) *Engineering Hydrology 2nd ed.*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, pp.181-316.
 21. Viessman, W., Jr. and Lewis, G.L.(1996) *Introduction to hydrology 4th ed.*, HarperCollins College Publishers, New York, USA, pp.188-323.
 22. 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 8 月 3 日收稿

93 年 9 月 9 日修改

93 年 9 月 16 日接受