

水土保持學報 36(3) : 215-230 (2004)

Journal of Soil and Water Conservation, 36(3) : 215-230 (2004)

集水區植生復育評估系統與降雨逕流模式建置之研究

林昭遠⁽¹⁾ 宋之光⁽²⁾ 林壯沛⁽³⁾

摘要

烏溪流域經歷九二一集集大地震後產生多處崩塌地，在暴雨期間易造成二次災害，本研究利用常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)量化分析乾峰橋集水區崩塌區位及其植生復育情形並建置集水區崩塌地植生復育評估系統，作為崩塌地監測之用；另以地理統計推求降雨資料之空間分布配合等集流時間概念修正合理化公式之限制，透過實測流量資料分析推求集水區監測站降雨-逕流歷線之修正值 α (洪峰到達時間修正係數)、 β (洪峰值修正係數)及退水修正式 R ，建置集水區降雨-逕流模式。研究結果顯示九份二山崩塌區位於地震後三年之植生復育率有逐年改善之趨勢，復育率分別為 2000 年 27.1%、2001 年 40.3% 及 2002 年 52.4%。集水區降雨-逕流模式之修正係數 α 與集水區最大降雨強度成負相關， β 則與集水區洪峰前累積雨量成正相關；若以不同時期之植生覆蓋狀況予以推估，可得地表逕流量將隨著植生復育改善而降低。

(**關鍵詞**：常態化差異植生指標、植生復育、崩塌地、流量歷線)

A Study on Vegetation Index Analysis and Establishment of A Rainfall-Runoff Model

Chao-Yuan Lin

Professor, Department of soil and water conservation
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

Chin-Kuang Sung

Graduate Student, Department of soil and water conservation
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

J.P. Lin

Assistant Scientist, Division of Watershed Management
Taiwan Forestry Research Institute, 53, Nanhai Rd., Taipei, 100, Taiwan

(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系碩士班研究生

(3) 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營系助理研究員

ABSTRACT

The “921 Chichi Earthquake” resulted in numerous landslides in the Chian-Feng Bridge watershed. Satellite images and digital terrain models were used to process the Vegetation Index analysis for identifying landslide sites and extracting topographic information in this study area. A system coupled with the GIS data developed for this research has been effectively used to monitor and/or assess the vegetation recovery rate of the landslides. Peak flow estimation and hydrograph simulation by the rainfall-runoff model were employed to analyze affecting parameters for flood events. The correction coefficients (α, β) and the revised recession curve (R) calibrated from the observed data can be presented as the index of watershed characteristics. The correction coefficient α -value represents water conservation capability; the β -value can be employed as the index of sediment concentration. Vegetation analyses confirm a good trend of vegetation recovery at the landslide sites of Chiufenershan peaks area (VRR= 27.1% in 2000、VRR=40.3% in 2001、and VRR=52.4% in 2002, respectively). Simulations have suggested not only a negative correction between α -value and the maximum rainfall intensity but also a positive correction between β -value and cumulative rainfall before peak flow. Furthermore, better vegetation recovery rate results in less surface run-off in the watershed according to the model simulation in this study.

(**keywords** : Normalized difference vegetation index, Landslides, Rainfall-runoff model)

前言

民國八十八年九月二十一日凌晨，台灣中部發生芮氏規模 7.3 強烈地震，除造成人員大量傷亡與許多房屋毀損之外，亦導致台灣中部地區多處山坡地發生山崩，烏溪流域尤以九九峰以及國姓鄉九份二山地區最為嚴重。由於崩塌區位分佈遼闊且零散，若採用現地調查或航照判釋不但費時費力，且難以監測及評估大範圍崩塌區位之植生復育情形，本研究利用衛星影像具有多時攝像、大面積涵蓋及快速分析等優點，並可與舊有影像比對，進而得知其變遷過程，對 921 地震崩塌區位植生復育之監測與評估助益極大。

南投縣國姓鄉南港村長石巷一帶受 921 集集大地震影響，發生大規模的土石崩塌，造成南港溪上游北山坑溪(木屐欄溪)的支流韭菜湖溪及澀仔坑溪等因崩塌土石阻斷溪流，形成韭菜湖溪及澀仔坑溪兩處堰塞湖。爲了預防災害的發生，即建置植生復育評估

系統，利用植生復育指標推算集水區降雨-逕流模式。

本研究以九份二山爲研究試區，分析自九二一地震後四年來的衛星影像，探討崩塌區位的植生復育率，並蒐集烏溪乾峰橋上游集水區的水文資訊，配合衛星影像處理，以常態化差異植生指標爲基礎結合地理資訊系統，考慮空間及時間分布因素，建立乾峰橋集水區的降雨-逕流模式。

材料與方法

(一) 研究地區

烏溪位於台灣西海岸中部爲臺灣第 6 大河川，發源於中央山脈合歡山西麓，東以中央山脈爲界，北鄰大甲河流域，西臨台灣海峽，南鄰濁水河流域，九份二山崩塌地位於南投縣國姓鄉崁斗山山麓一帶，韭菜湖溪自南往北於崩塌處與支流澀仔坑溪匯流，西折繞流至中興橋後，直下西方南興橋與北山坑溪匯流進入南港溪，

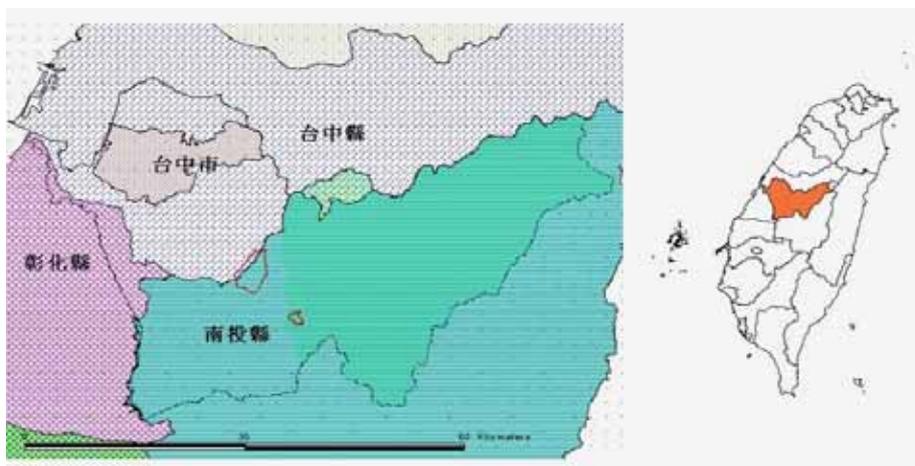


圖 1. 研究試區位置圖
 Figure 1. Site of the study area.

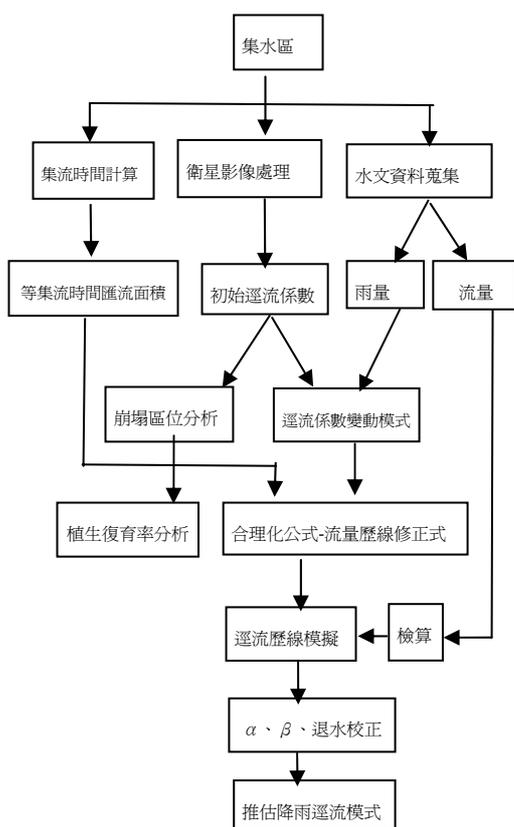


圖 2. 研究流程
 Figure 2. Flow chart of the study.

最後注入烏溪。堰塞湖崩塌地區範圍北起太平角海拔 650 公尺至崁斗山南稜海拔 1040 公尺沿順向坡向東南崩塌，南屆韭菜湖溪堰塞湖海拔 530 公尺，東起中興橋前，西迄崁斗山南稜，呈西北向東南傾斜約 28 度，樣區位置如圖 1 所示。

(二) 研究流程

本研究以數值地形模型(DTM)資料、SPOT 衛星影像及電子地圖，利用遙感探測及地理資訊系統等技術，配合模式分析萃取崩塌區位、植生覆蓋因子(CO 值)、集水區及水系等，另外除九份二山試區外，增加並比較同屬烏溪流域之九九峰，其崩塌區位植生復育率之評估，並以烏溪流域乾峰橋上游集水區為範圍，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空間分布，另利用法國 SPOT 衛星影像，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 值，並考慮集水區逕流係數係隨時間變化，推求分析集水區逕流係數之時間空間變動模式。

同時以等集流時間線之觀念，劃分出等集流時間匯流面積，克服合理化公式在應用上集水區面積須小於 1,000 公頃之限制，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)，經整理所求得之α值與β值，進行統計分析，渴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 2 所示。

研究方法

1. 植生覆蓋因子分析

SPOT 衛星影像感測器所接收的波段為綠光(0.5~0.59μm)、紅光(0.61~0.69μm)及近紅外光(0.79~0.9μm)三個波段，植物體對近紅外光的反射較裸露土石強，有植生覆蓋的地表在衛星影像上呈紅色色調。因綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，可用於植物資源之探測。

常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，可以用來判別植生反射量之多寡，適用於監測植生變化。而 NDVI 指數係採用健康的綠色植生在近紅外光有強烈反射，植生因光合作用對紅光有強烈吸收的特性，依二者波段之相差與和的比例而成，如下式：

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

式中 NIR：近紅外光反射值。

R：紅光反射值。

NDVI 值介於-1~1 之間，小於零的值通常屬於非植生之雲層、水域、道路和建築物等；而指數愈大時，代表地表植物生育愈旺盛、植被覆蓋佳 (Burgan and Hartford, 1993)。將 NDVI 值域，經線性反轉成介於 0~1 的 C₀ 值；C₀ 值愈大植生覆蓋愈差，用來判集水區釋崩塌區位(圖 3)及植生情形(圖 4)。

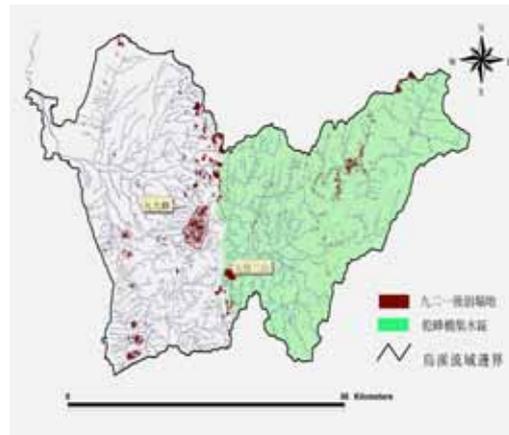


圖 3. 烏溪流域 921 地震後崩塌地分佈圖

Figure 3. Spatial distribution of denudation site in Wu watershed.

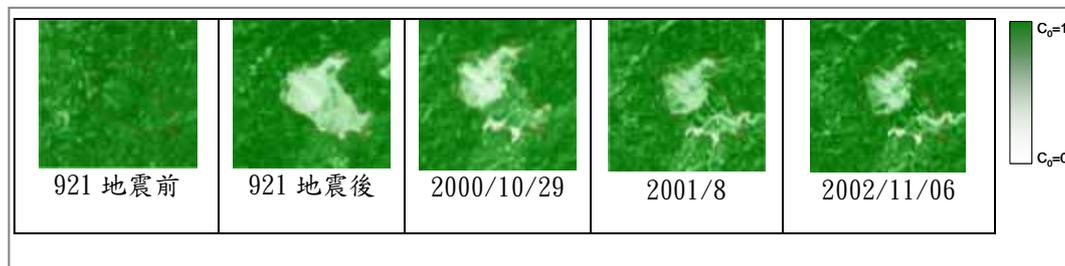


圖 4. 九份二山崩塌區位 C₀ 值分布圖

Figure 4 . Spatial distribution of C₀ factor.

由衛星影像萃取 NDVI 值後轉換成植生覆蓋因子(C0 值)，由各時期的衛星影像所萃取 C0 值的持續變遷，計算植生復育率，藉以探討崩塌區位植生復育程度及優劣。崩塌區位植生復育率(Vegetation Recovery Rate, VRR)定義如下(林昭遠等，2001)

$$VRR(\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0} \times 100\%$$

式中 C₀ 為崩塌前地表之植生覆蓋因子。
C₁ 為崩塌初期地表之植生覆蓋因子。
C₂ 為評估期地表之植生覆蓋因子。

2. 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，動態劃分出流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，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. 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。

4. 水文資料蒐集

(1) 選取颱風暴雨

依最大瞬時流量高低篩選近十年之水文事件：83 年道格、葛拉斯、85 年賀伯颱風、86 年溫妮颱風、安伯颱風、89 年桃芝颱風、納莉等七場颱風，此群組為造成高洪峰流量之水文事件如圖 5。

(2) 雨量、流量資料

由經濟部水利署提供之雨量站位置及降雨資料，選取翠巒、惠蓀、清流、北山、頭汙坑、集集、卡奈托灣、龍神橋等八個雨量站如圖 6，蒐集歷史颱風暴雨期間之逐時雨量資料如圖 6，經地理統計(反距離權重法)進行內差分析，分別求得區域內每小時降雨之空間分佈。

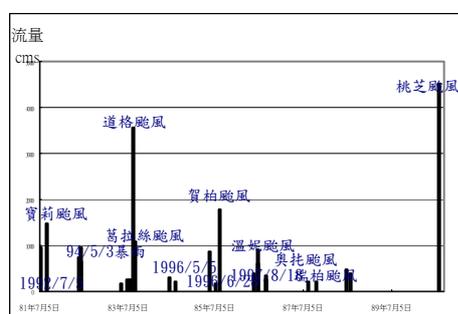


圖 5. 乾峰橋流量站歷年最大瞬時流量分佈圖

Figure 5. Peak flows of tested storm events (Chian-Feng Bridge).



圖 6. 乾峰橋集水區水文站分佈圖

Figure 6. Spatial distribution of meteorological stations (Chian-Feng Bridge).

表 1. 乾峰橋集水區地文資訊

Table 1. The topographic information of Chian-Feng watersheds.

乾 峰 橋 集 水 區	面積	周長	長度	主流長度	河川數量	平均高程
	960.54	237.36	46.96	77.86	875.44	367
	平均坡度	水系密度	形狀因子	密集度	圓比值	細長比
	53.64	0.38	0.16	0.46	0.21	0.74

5. 乾峰橋集水區地文分析

利用 DTM 資料萃取集水區及水系，配合雨量資料及地表狀況，進行集水區地文資料自動萃取(表 1)。

6. 集水區降雨-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。

(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

$$t_s = \frac{l_s}{60 \cdot v} \quad v = 20 \left(\frac{h}{l_s} \right)^{0.6}$$

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]。

(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，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) 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。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。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

$$C_0 = (1 - NDVI) / 2。$$

(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 為入滲率。)

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。因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，推導集水區逕流係數之動態時空分佈模式。

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。

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

式中，C：逕流係數。

C₀：初始逕流係數。

t：降雨時間(hr)。

(5) 模式檢驗

以效率係數 (Coefficient Efficiency ; CE) 檢驗模式模擬結果之優劣，效率係數的計算式如下：

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

Q₀ = 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)。

結果

(一) 崩塌區位植生復育率分析

計算地震前、地震後、以及地震後一年、兩年、三年三個時期，崩塌區位之植生覆蓋因子 (C₀)，作為地表復育指標(圖 7)，再以植生復育率評估崩塌區位於地震後一年、兩年、三年之植生恢復情況，顯示經地震一年後九九峰、九份二山崩塌區位植生復育率為 27.1%、22.9%，兩年後為 37.7%、40.3%，三年後為 58.5%、52.4%均顯示其植生復育情況良好(圖 8)。

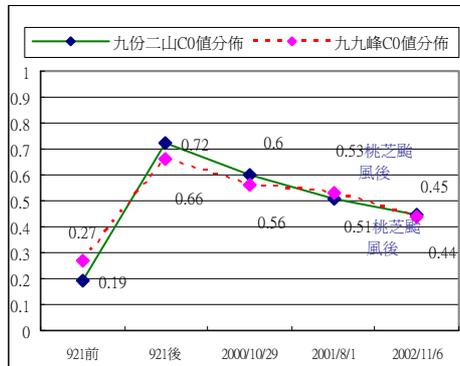


圖 7. 崩塌區位 C₀ 值分布

Figure 7. Frequency distribution of C₀ values for the landslides.

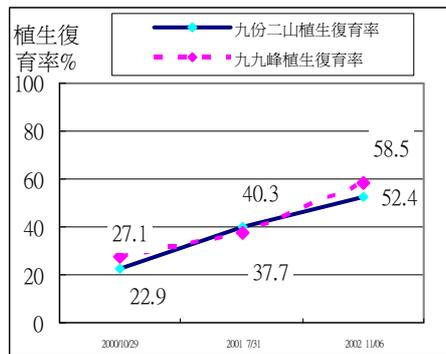


圖 8. 崩塌區位植生復育率分布圖

Figure 8. Frequency distribution of VRR for the landslides.

(二) 集水區降雨-逕流模式

模擬結果分別如圖 9~圖 15，模式檢算成果如表 2。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。迴歸分析結果顯示，集水區最大降雨強度與洪峰時間校正係數 α 成負相關(圖 16)，洪峰流量和 α 成負相關(圖 17)，洪峰前累積雨量和 α 成負相關(圖 22)。 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， β 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，行成天然的土石壩。當山區降雨強度大或延時長超過引發土石壩之潰壩時，飽涵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。分析模擬結果由(圖 18)可看出集水區最大降雨強度與 β 成正相關，洪峰流量和 β 成正相關(圖 19)，洪峰前累積雨量和 β 成正相關(圖 23)。

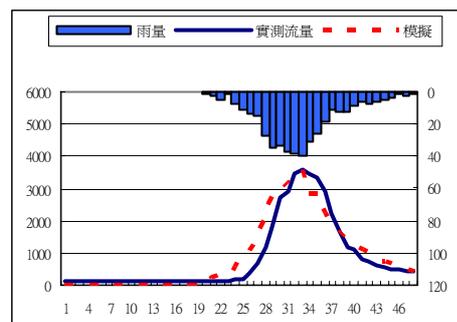


圖 9. 道格颱風(1994/8/7)流量歷線模擬結果

Figure 9. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon DOUG.

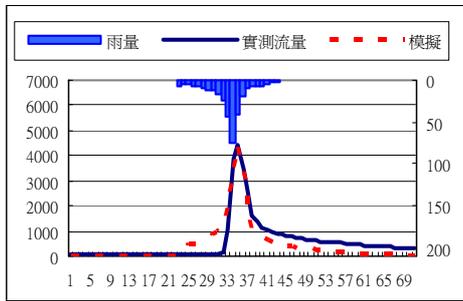


圖 10. 桃芝颱風(2001/7/29) 流量歷線
 模擬結果

Figure 10. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon TORAJI.

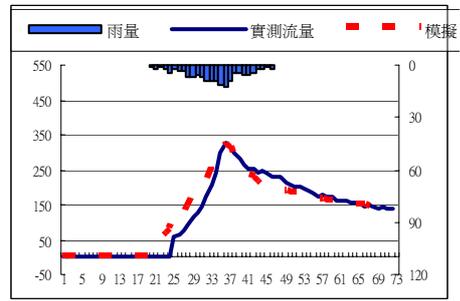


圖 13. 溫妮颱風(1997/8/17) 流量歷線
 模擬結果

Figure 13. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon WINNIE.

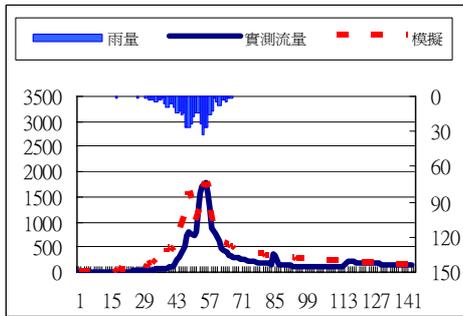


圖 11. 賀伯颱風(1996/7/30) 流量歷線
 模擬結果

Figure 11. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon HERB.

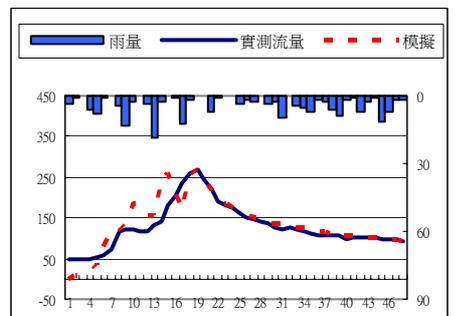


圖 14. 安伯颱風(1997/8/29) 流量歷線
 模擬結果

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

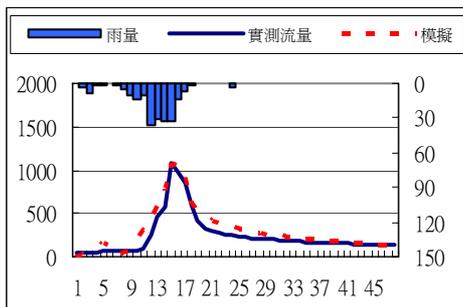


圖 12. 葛拉斯颱風(1994/9/1) 流量歷線
 模擬結果

Figure 12. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon GLAYS.

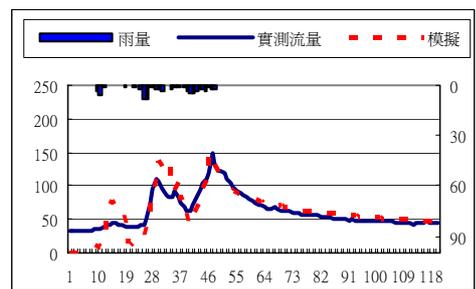


圖 15. 納莉颱風(2001/9/16) 流量歷線
 模擬結果

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

表 2. 模式檢算成果表

Table 2. Summary for each simulated storm hydrograph.

颱風名稱	道格	葛拉斯	賀伯	溫妮	安伯	桃芝	納莉
頻率年	3	2	2	1	1	4	1
α 校正	0.26	0.4	0.28	0.35	0.7	0.32	0.92
β 校正	0.9618	0.285	0.6463	0.2806	0.2495	0.7156	0.2285
最大瞬時流量 (cms)	3560	1090	1800	328	268	4460	150
最大時雨量 (mm/hr)	67	63	52	22	34	129.5	29
洪峰前累積雨 量(mm)	267.15	189.98	354.93	114.12	78.99	265.63	81.28
效率係數(CE)	0.9235	0.8834	0.6811	0.9331	0.7039	0.8060	0.8905

表 3. 退水曲線修正表

Table 3. Recession simulation for each storm hydrograph.

颱風名稱	流量分類	最大雨量 (mm/hr)	洪峰流量 (cms)	R=A ln x-B		效率係 數(CE)
				A 值	B 值	
道格 (1994/8/7)	高流量	67	3560	920	-10	0.9051
葛拉斯 (1994/9/1)	中流量	63	1090	250	90	0.865
賀伯 (1996/7/30)	中流量	52	1800	168	358	0.2980
溫妮 (1997/8/17)	低流量	22	328	49	13	0.8595
安伯 (1997/8/29)	低流量	34	268	45	22	0.9697
桃芝 (2001/7/29)	高流量	129.5	4460	355	605	0.9935
納莉 (2001/9/16)	低流量	29	150	20	18	0.9175

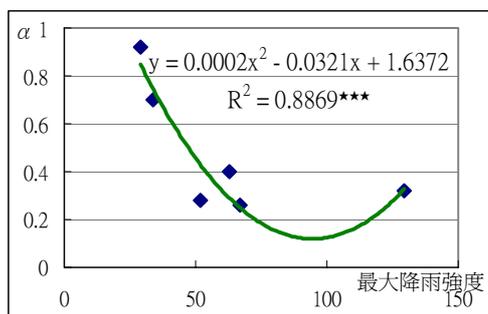


圖 16. α 值與最大降雨強度關係圖
 Figure 16. Relationship between α -value and the maximum rainfall intensity.

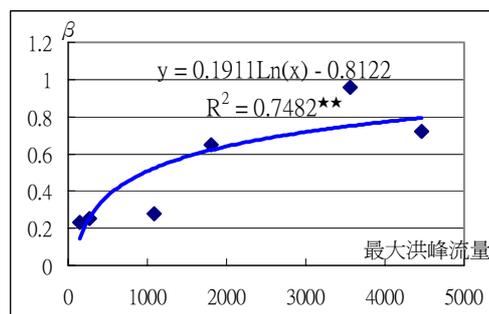


圖 19. β 值與洪峰流量關係圖
 Figure 19. Relationship between β -value and peak discharge.

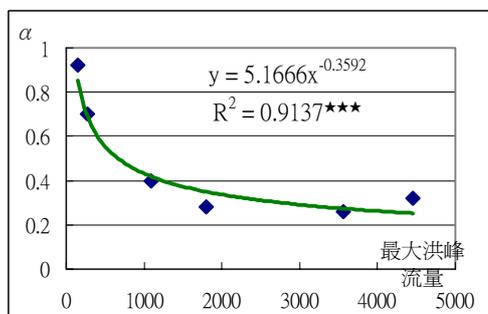


圖 17. α 值與最大洪峰流量關係圖
 Figure 17. Relationship between α -value and peak discharge.

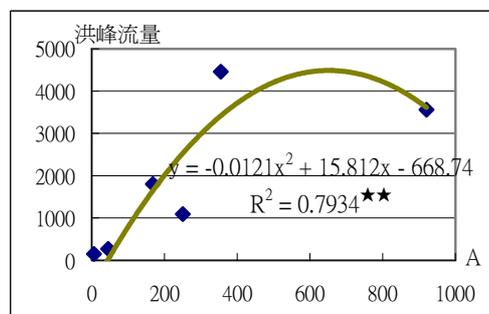


圖 20. 洪峰流量和 A 值關係圖
 Figure 20. Relationship between A-value and peak discharge.

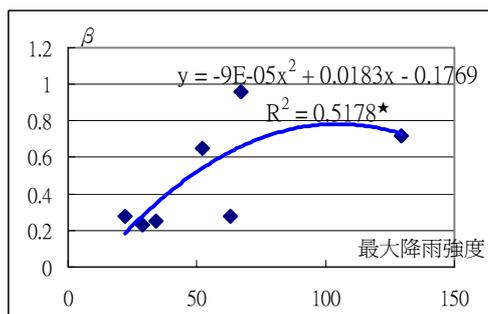


圖 18. β 值與最大降雨強度關係圖
 Figure 18. Relationship between β -value and the maximum rainfall intensity.

分析每場次颱風暴雨求得之退水曲線斜率方程式($R=A \ln x-B$)，將 A 值及 B 值分別與洪峰流量進行迴歸分析，發現洪峰流量和 A 值成正相關(圖 19)；洪峰流量和 B 值成負相關(圖 20)。依退水曲線作分析結果(表 3)，除賀伯颱風場次之外；其他場次所模擬之退水其效率係數(CE)皆相當高。退水修正式可依頻率年加以分類，分析結果高流量其退水修正式為 $R=637.5 \ln X-320$ ；中流量之退水修正式為 $R=209 \ln X-268$ ；低流量之退水修正式為 $R=38 \ln X-320$ 。

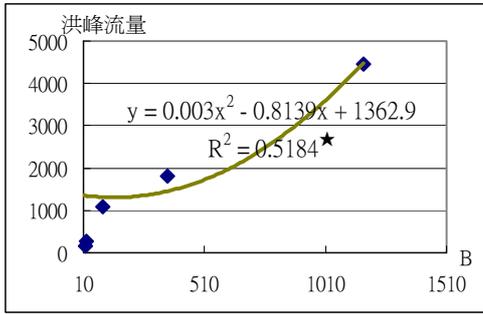


圖 21. 洪峰流量和 B 值關係圖

Figure 21. Relationship between B-value and peak discharge.



圖 24. 乾峰橋集水區 C₀ 值分布圖

Figure 24. The C₀ factor in the Chian-Feng Bridge.

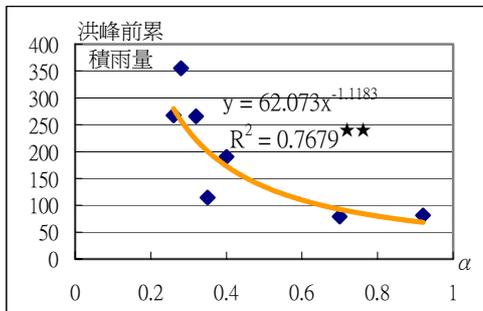


圖 22. α 值和洪峰前累積雨量關係圖

Figure 22. Relationship between α -value and cumulative rainfall before peak flow.

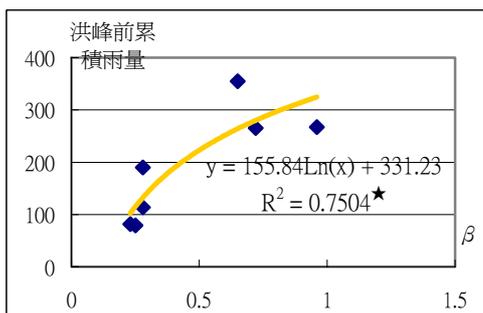


圖 23 β 值和洪峰前累積雨量關係圖

Figure 23. Relationship between β -value and cumulative rainfall before peak flow.

表 5. 模擬推估表

Table 5. Summary of the simulations.

植生覆蓋 因子 C ₀ 值	高流量	中流量	低流量
	桃芝颱風 洪峰流量 (cms)	賀伯颱風 洪峰流量 (cms)	安伯颱風 洪峰流量 (cms)
頻率年	4	2	1
C ₀ =0.1024 921 地震前	1885.37	832.99	124.77
C ₀ =0.147 921 地震後	3886.44	999.93	146.62
C ₀ =0.2697 2001 桃芝 颱風後	4460	1800	268
C ₀ =0.1225 2002/11/06	2560	1059.53	114.79

分析監測站 15 年來流量資料並以對數-皮爾森第三類分布法推算頻率年，將流量區分成高、中、低三類，頻率年大於 3 為高流量、2~3 為中流量、1 為低流量，並以九二一地震前至今四年衛星影像推算之植生覆蓋因子模式推估集水區之降雨逕流模式，其植生覆蓋因子 C_0 值分佈如圖 24，模擬結果如表 5，由 C_0 值分布圖可知桃芝颱風後崩塌範圍擴大使得植生覆蓋變差 C_0 值變為 0.2697，至 2002 年 11 月植生覆蓋已改善而漸趨近於地震前的狀態 C_0 值變為 0.1225。

由不同時期植生覆蓋因子推估降雨-逕流發現，桃芝颱風最大瞬時流量比地震前增加 2.37 倍，賀伯颱風增加 2.16 倍，安伯颱風增加 2.14 倍，顯示集水區因植生覆蓋變差進而影響地表逕流。

討論

烏溪流域歷經九二一地震後，產生許多崩場地，而利用衛星影像資訊配合數位地形模型能將大面積崩塌區位做即時與量化之分析，對崩塌地列管與植生復育工作助益極大，本研究分析九份二山崩塌區位植生復育率，到今已達 52.4%顯示植生復育狀況良好。

為必免颱風暴雨來臨時，造成嚴重災害，故建置降雨-逕流模式，估算乾峰橋流域之洪峰流量，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，可推估大集水區之逕流量。

集水區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，建置分佈式 (distributed) 集水區逕流係數動態模式，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 (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 。

不同暴雨強度模擬結果顯示， α 值越小，集水區對該場暴雨水源涵養能力越差，即表示該集水區有崩場地的產生或植生被大量破壞。 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用以評估集水區土地利用變遷與整治率之計算參考及土石流危險溪流警訊指標。

參考文獻

1. 王如意、簡振和 (1980) 「小集水區設計逕流量推估方法之研究(二)」，行政院農業委員會，輔助編號：79 農建-71-林-26(4-3)研究計畫報告，pp.129-152。
2. 王如意、蔡宜樺、王鵬瑞、洪君伯 (2000) 「三角形不規則網格之分布型降雨-逕流模式」，農業工程學報，46(1)：pp.1-22。
3. 呂建華、吳銘哲 (1993) 「利用計量地形方法推估集水區降雨之集流時間」，第十二屆測量學術及應用研討會論文集，pp.513-527。
4. 呂建華、陳重宏、陳通發、鄧偉傑 (1996) 「利用數值地形資料建立集水區地文參數之查詢系統」，第十五屆測量學術及應用研討會論文集，pp.187-196。
5. 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。
6. 林昭遠、林文賜、張力仁 (1999) 「數值地形模型應用於集水區規劃與整治之研究」，中華水土保持學報，30(2)：149-155。
7. 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。
8. 林昭遠、林文賜、林信輝 (2000) 「集集震災崩場地植生復育監測與評估」，水土保持植生工程研討會論文集，pp.37-47。
 9. 林昭遠 (2001) 「集水區崩場地植生復育監測與評估」，水土保持植生工程研討會論文集，pp.72-81。
 10. 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。
 11. 陳文福 (1989) 「通用水文系統模式應用於四個森林集水區水文分析之研究」，國立台灣大學森林學研究所博士論文。
 12. 陳文福 (1992) 「集水區環境與水文之關係」，中華水土保持學報，24(1)：113-129。
 13. 陳朝圳、馬仕穆 (2001) 「以 SPOT 衛星影像推測南仁山森林生態系葉面積指數」，中華林學季刊，34(1)：63-72。
 14. 郭振民 (1999) 「應用遙測與地理資訊系統於分布型降雨-逕流模式之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
 15. 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。
 16. 劉光武 (1991) 「分布型降雨-逕流模式之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
 17. 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。
 18. Atkinson, E.(1995) Method for Assessing Sediment Delivery in River Systems. *Hydrological Sciences Journal* 40(2): 273-280.
 19. Band LE. 1986. Topographic Partition of Watersheds with Digital Elevation Models. *Water Resources Research* 22(1): 15-24.
 20. Bedient, P. B. and W. C. Huber (2002) "Hydrology and Floodplain Analysis 3rd ed.", Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, pp.394-398.
 21. Burgan, R. E., and R. A. Hartford (1993) "Monitoring Vegetation Green-ness with Satellite Data", USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT297, p.13.
 22. Gee, M., W. A. Thnomas, V. Bonner, and D. W. Davis (2003) "HEC-6 Correction and Application", <http://www.hec.usace.army.mil/>.
 23. 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.
 24. Minshall, N. E. (1960) "Predicting Storm Runoff on Small Experimental Watersheds", *J. Hydraul., ASCE*, 86(HY8), pp.28-33.
 25. USACE (2001) "Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual", US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Cneter, Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers, Davis, California, USA.
 26. Van Dijke JJ, Van Westen CJ. (1990) Rockfall Harzard: A Geomorphological Application of Neighborhood Analysis with ILWIS. *ITC Journal*, No.1. p40-44.
 27. Van Westen CJ. (1993) Application of Geographic Information System to Landslide Harzard Zonation. ITC Publication No.15. International Institute

水土保持學報 36(3) : 215-230 (2004)
Journal of Soil and Water Conservation, 36(3) : 215-230 (2004)

for Aerospace Survey and Earth Sciences
(ITC), Enschede, Netherlands. 245pp.

Reclamation, U.S. Department of the
Interior, Denver, Colorado, USA.

28. Yang, C.T. and F.J.M., Simões (2001)
“User’s Manual for GSTARS 3.0”,
Sedimentation and River Hydraulics Group,
Technical Service Center, Bureau of

93 年 7 月 15 日收稿
93 年 8 月 30 日修改
93 年 9 月 8 日接受

