

集水區崩塌地治理區位優選之研究

阮建元⁽¹⁾ 何世華⁽²⁾

摘要

台灣山地陡峻、地質條件不佳，若土地利用不當，逢颱風暴雨時期，豪大雨易伴隨土石發生災害。近期莫拉克颱風重創南台灣，豪大雨事件引發山區多處崩塌。災情慘重及崩塌區位零散之集水區，如何優選重點治理區位常因權責單位考量不同而有差異。本研究以集水區崩塌率為環境指標，作為治理區位優選之依據，另以網格式合理化法(Grid Rational Algorithm for Predicting Hydrograph, GRAPH)模擬集水區流量歷線，探討集水區崩塌率對水源涵養能力之衝擊，顯示災後優選區位之逕流量有明顯增加。

(**關鍵詞**：區位優選、崩塌率、網格式合理化法)

A study of site priority for watershed landslide management

Jian-Yuan Ruan⁽¹⁾ *Shi-Hua He*⁽²⁾

Graduate Student⁽¹⁾, and Doctoral Student⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation

National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

With the properties of steep terrain and poor geologic condition, areas of improper land use in Taiwan suffer debris disaster during the typhoon and/or storm seasons. Typhoon Morakot striking southern Taiwan caused several landslides in the mountainous areas. There are different considerations in priority of landslide management for the related authorities. This study focuses on the site priority of landslide management according to watershed landslide ratio. The method of Grid Rational Algorithm for Predicting Hydrograph is also used to simulate watershed discharge hydrograph for exploring the impacts of landslide ratio on the water conservation in a watershed. The results show that the runoff increase in the priority site of management is significant.

(**Keywords**: site priority, landslide ratio, GRAPH)

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系研究生(通訊作者 e-mail：ssna@water.nchu.edu.tw)

⁽²⁾ 國立中興大學水土保持學系博士生

前言

台灣山區地形陡峻、地質脆弱、土壤鬆軟、河短湍急以及降雨時空分布不均等因素，若土地利用不當，逢豪大雨事件易伴隨土石災害發生。2009 年 8 月莫拉克颱風橫掃南台灣，豪大雨事件所引發之土石災害，災情嚴重且崩塌區位零散，其中高雄縣甲仙鄉小林村慘遭土石覆蓋，崩塌區位堆積之鬆動土砂對下游地區將造成負面衝擊。

土砂災害發生初期，優選重點區位進行處理，常因權責單位基於不同考量而有差異，且各因子權重之給定因人而異，導致治理優選區位不同。如何以環境指標客觀優選集水區災後復建之治理區位有待研究。

本研究以集水區崩塌率為環境指標，作為重點治理區位優選之依據，另以 GRAPH 模式模擬災害前、後之流量歷線，探討優選集水區災後水源涵養能力降低之影響幅度。

材料與方法

1.研究區域

小林村位於台灣高雄縣甲仙鄉東北，其上游集水區主流為旗山溪(舊稱楠梓仙溪)，範圍橫跨高雄縣三民鄉、桃源鄉以及嘉義縣阿里山鄉，北鄰南投縣信義鄉，西以阿里山山脈與台南縣南化鄉為界，東以玉山與桃源鄉為鄰，村落聚集旗山溪東岸河岸山腳下，東西兩岸均為高山，海拔最高為東側的玉山山脈的大竹溪山，西邊最高為阿里山山脈，小林村及其上游集水區位置如圖 1 所示。

氣候因四面環山且林木蒼鬱，故冬暖夏涼氣候宜人，雨量初夏至初秋較多，平均以八月為最多，十二月份最少。村內居民大多以務農為主，農作物有竹筍、香蕉、薑、山芋等，境內旗山溪為高身鮎魚棲息地，屬保育類動物。

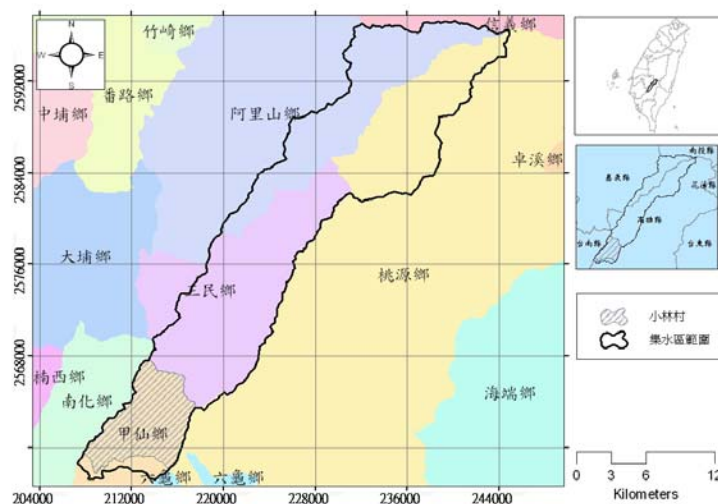


圖 1、小林村位置圖

Figure 1 Location of Siaolin village.

2. 材料

(1) 數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)

採用農航所測製之 40 公尺×40 公尺之 DEM 進行地形分析、水系網萃取及集水區劃分。

(2) 崩塌圖

採用國立成功大學測繪之莫拉克風災新增崩場地 GIS 圖資搭配 DEM 計算集水區崩塌率。

(3) 衛星影像

利用災前 2008 年及災後 2009 年法國 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，決定初始逕流係數 C0 值。

(4) 雨量資料

蒐集經濟部水利署甲仙(2)站 1980 至 2009 年雨量觀測資料，進行暴雨頻率分析。

(5) 土地利用圖

採用國土測繪中心 2008 年土地利用圖套疊崩場地圖可知崩場地原土地利用類型。蒐集研究試區相關 GIS 圖資及雨量資料，以計算出之崩塌率為環境指標作為重點治理區位優選依據，另以 GRAPH 模式模擬災害前後流量歷線，搭配崩場地原土地利用類型探討優選集水區災後水源涵養能力降低之影響幅度，研究流程如圖 2。

3. 崩塌率分析及區位優選

以集水區崩塌率為環境指標，假設集水區崩塌率越高，其泥砂運移及對保全對象之衝擊相對增加。以集水區主河道點位之集水面積增量探討其崩塌率之變化，即可優選重點治理區位。

利用林文賜(2002)所提出之窪地集水區出口配置之理論，進行窪地集水區排水流向給定，使其內部排水流路不因 DEM 製作誤差導致流路中斷或不連續之現象，再以多門檻值進行水系網萃取以及 O'Callaghan et al. (1984)所提出累積流量觀點，從源頭至出流口

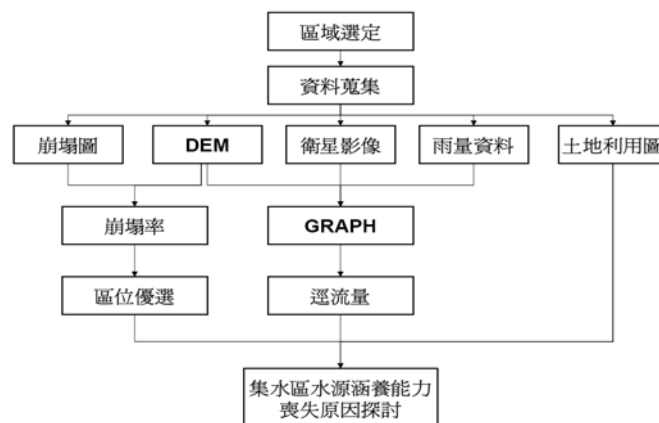


圖 2、研究流程

Figure 2 Flowchart of the study.

進行動態集水面積及崩塌率計算，即可了解主河道流路各點位集水區之崩塌率變化，進而決定治理區位之優選順序。崩塌率計算如下：

$$LR = \frac{A_l}{A_w} \times 100 \quad (1)$$

式 1 中： LR 為崩塌率(%)； A_l 為崩塌面積； A_w 為集水區面積。

以集水區崩塌率為篩選依據，比較各點位集水區崩塌率之嚴重程度，進而決定優先治理區位，其流程如圖 3 所示：

4.降雨-逕流分析

經濟部水資源局(2001)指出水資源相關工程規劃設計時，常需要利用雨量觀測資料，進行不同降雨延時之雨量頻率分析，以

推導最大降雨-延時-頻率曲線(Maximum Rainfal Intensity-Duration-Frequency, IDF)，依此雨量分析成果進行設計雨型。前台灣省水利局(1989)便曾採用二參數對數常態分布、三參數對數常態分布、皮爾遜第三類分布法、皮爾遜對數第三類分布法、甘保氏極端值第一類分布法及雙對數常態分布進行全省歷年年最大一日二日三日暴雨統計及頻率分析，其成果一般最常採用甘保氏極端值第一類分布法及皮爾遜對數第三類分布法等二種方法，本研究亦採用此二種適用於台灣地區的主要方法計算。

採水利署「水文技術手冊-暴雨雨型設計與區域雨型」中，各區之雨量站 SSGM 設計雨型分析成果，作為計算依據。該無因次 SSGM 設計雨型係將台灣分成北、中、南、東四大區，並利用主成分及群集分析，

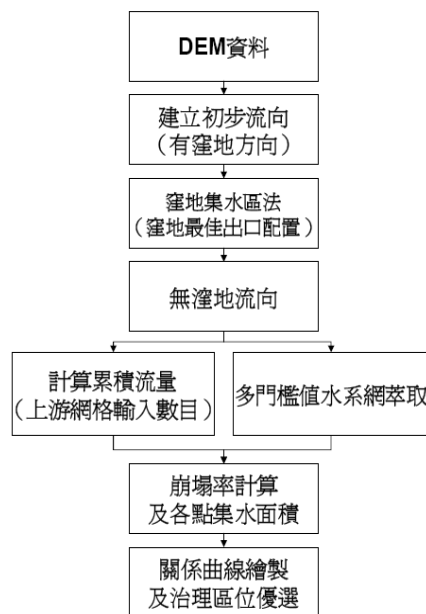


圖 3、治理區位優選流程

Figure 3 Flowchart of priority sites for management.

在該區中劃分為數個雨型均一區，建立該區區域性無因次序率雨型。

以合理化公式為理論依據，並加以延伸應用為合理化公式-流量歷線修正式，稱為網格式合理化法(GRAPH)。集水區內當降雨延時等於集流時間，會產生最大之洪峰流量，所產生之洪峰流量為 Q_p (徐義人，1995)，其計算式一般表示如下：

$$Q_p = \frac{1}{360} CIA \quad (2)$$

式 2 中， Q_p :洪峰流量(m^3/s)、 C :逕流係數(無單位)、 I :降雨強度(mm/hr)、 A :集水區面積(ha)。

其基本假設如下：

- (1)集水區內為均勻降雨。
- (2)集水區內降雨延時必須等於或大於其集流時間。

- (3)洪峰流量的頻率與降雨頻率相同。
- (4)同一個集水區具有相同之逕流係數。
- (5)適用於集水區面積小於 1000 公頃者

網格式合理化法(GRAPH)，係以等集流時間之概念，打破合理化公式適用於集水區面積小於 1000 公頃之限制，其建置包括多項集水區計算理論如圖 4(周文杰，2004)，包含：

- (1)集流時間之計算
- (2)集流時間差分布之推導
- (3)等集流時間線
- (4)初始逕流係數
- (5)逕流係數之動態模式
- (6)流量歷線之動態推估

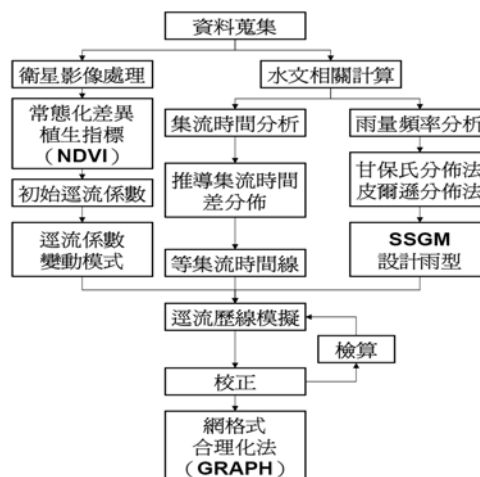


圖 4、GRAPH 計算流程

Figure 4 Flowchart of GRAPH

結果與討論

1.崩塌率分析及區位優選

以主河道各點位集水區之崩塌率為篩選指標，圖 5 為由上游至下游各河道點位集水區崩塌率之變化，由圖中約略可看出有四個明顯之峰值，第一點為河道源頭，主要是源

頭崩塌，另外明顯峰值之處，主要是所匯入之支流因崩塌率較大所致，造成集水區崩塌率明顯提升，可藉此篩選重點治理區位。將集水區崩塌率明顯峰值之點位標示於圖 5，由上游至下游其優選區位依序為：源頭、野溪、帖布帖開溪、旗山溪十號橋，此四處集水區之崩塌率較高(表 1 及圖 6)，可優選為集水區崩場地治理規劃之重點區位。

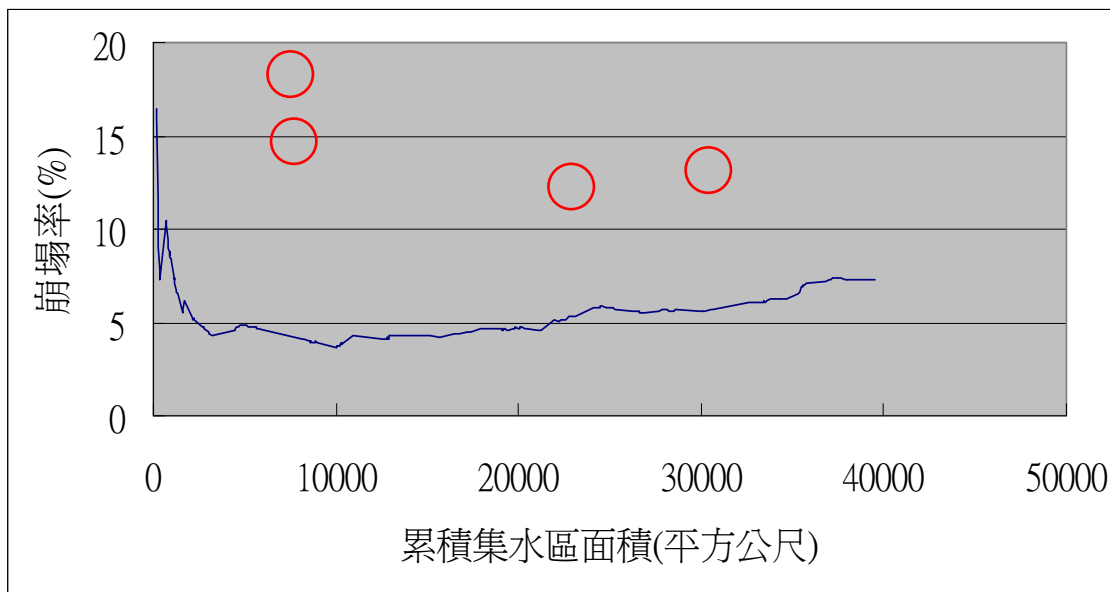


圖 5、崩塌率-集水區面積曲線

Figure 5 Curve of landslide ratio vs. watershed area, watershed outlets selected along the main channel

表 1、優選點位 (67 坐標)

Table 1 Location of priority sites

點位	X	Y	崩塌率(%)
1	242960	2595880	16.42
2	242120	2595120	10.44
3	220200	2575760	5.85
4	212240	2562320	7.07

依 2008 年土地利用圖資(圖 7)，可知各優選集水區其崩場地之原土地利用類型(圖 8)；源頭崩塌區位之原土地利用多屬於裸露地，僅小部份為林地；野溪集水區崩場地原土地利用多為裸露地，少部份為林地及草地；帖布帖開溪及旗山溪十號橋集水區主要為林地崩塌。

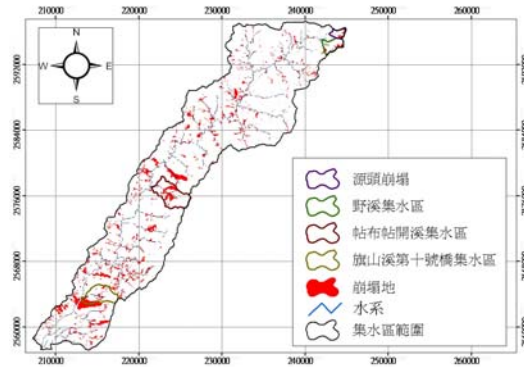


圖 6、優選治理區位

Figure 6 Map of priority site for landslide management.

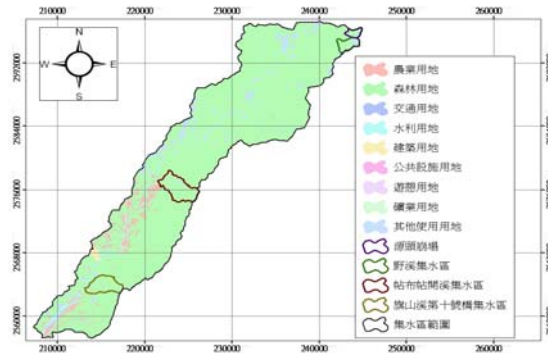


圖 7、土地利用及優選區位

Fig. 7 Land use and priority sites.

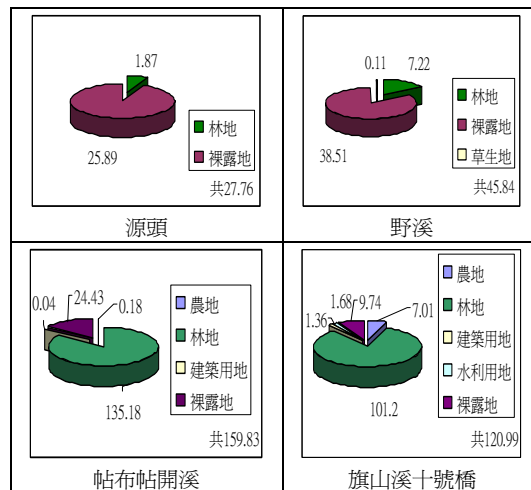


圖 8、崩場地原屬土地利用統計(單位：ha)

Fig 8 Statistics of land use classification for the landslide in the priority watershed.

2.降雨及雨型分析

利用經濟部水利署甲仙(2)站 1980 至 2009 年雨量觀測資料，分析不同降雨延時雨量頻率(表 2)，並依此雨量分析成果進行雨型設計。

比較災前及災後之逕流量，災後之逕流量均大於災前，顯示集水區水源涵養能力大幅下降，源頭崩塌區逕流量增加 85.58%，野溪集水區增加 91.63%，帖布帖開溪增加 112.64%，旗山溪十號橋上游集水區增加 129.26%。

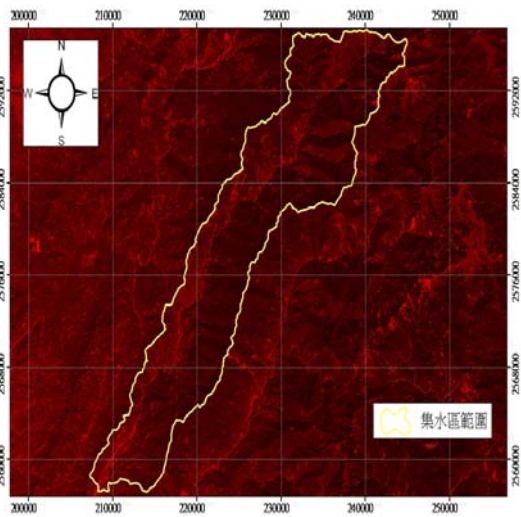


圖 9、2008 年衛星影像
Fig 9 Satellite image of 2008

考慮崩塌率與逕流量之關係，本研究試以洪峰量作說明，降雨條件相同下，取優選治理點位災後洪峰增加量除以該集水區面積之值為單位洪峰增加量，解釋為每單位面積受崩塌影響而增加之洪峰量，探討其值與崩塌率之相關性，圖 12 中高低起伏並無趨勢可言，顯示並無相關性，除樣本數量不足外，

GRAPH 雖有考量集水區空間及時間因素，並包含高程、坡度、坡向及水系網，但崩塌率計算只有面積權重部份，從圖 12 說明地文及水文因子未配合，未考量該集水區地形指標為影響因素。

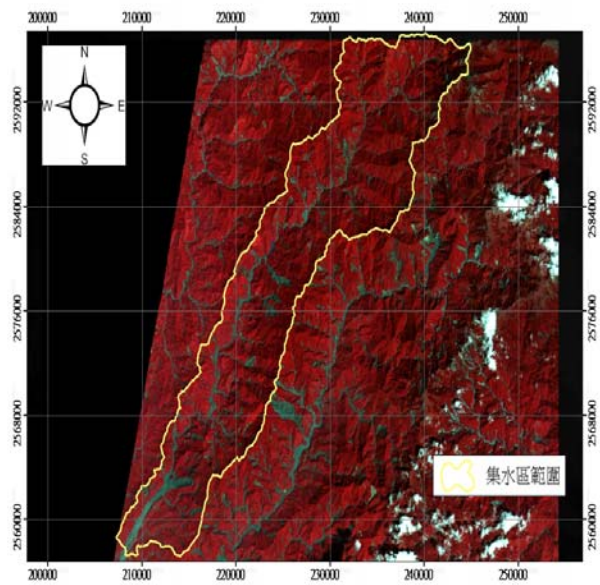


圖 10、2009 年衛星影像
Fig 10 Satellite image of 2009

表 2、暴雨頻率分析(單位：mm)

Table 2 Rainfall amount of analyzed return period.

分析方法	甘保氏極端值 第一類分布法		皮爾遜對數 第三類分布法	
	2	5	10	25
重現 期距 (年)	2	329.68	282.49	
	5	458.48	423.17	
	10	563.40	537.58	
	25	695.95	709.83	
	50	794.29	859.91	
	100	891.90	1030.77	
	200	989.15	1225.31	

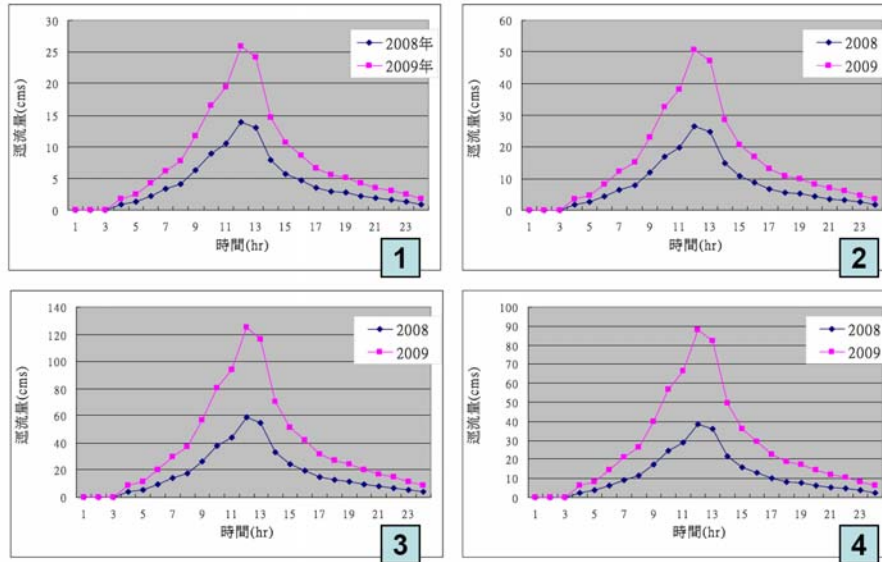


圖 11、選集水區之流量歷線

(1：源頭崩塌，2：野溪集水區，3：帖布帖開溪集水區，4：旗山溪十號橋集水區)

Figure 11 Discharge hydrograph of priority watershed

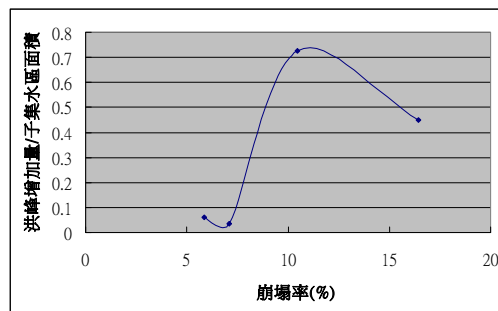


圖 12、單位面積洪峰增量與崩塌率關係

Figure 12 Relationship between unit peak flow increment and landslide ratio.

表 3、雨型分析

Table 3 Rainfall pattern analysis

降雨時序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
分配率(%)	0.0	0.0	1.0	1.3	2.3	3.3	4.2	6.3	8.8	10.3	13.7	12.8
雨量(mm)	0.00	0.00	8.57	11.13	19.70	28.26	35.97	53.96	75.37	88.22	117.34	109.63
降雨時序	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
分配率(%)	7.8	5.7	4.6	3.6	3.0	2.7	2.3	1.9	1.7	1.4	1.0	0.7
雨量(mm)	66.81	48.82	39.41	30.83	25.69	23.13	19.69	16.27	14.56	11.99	8.57	5.99

結論

以主河道各點崩塌率為指標進行重點治理區位優選，繪製出之崩塌率-集水區面積曲線圖(圖 5)可得知四個峰值為崩塌較嚴重之支流匯入，表示其貢獻大量崩塌率，因此選擇峰值支流集水區為重點治理區位，若主河道兩旁邊坡發生崩塌，其崩塌率計入主河道集水區而稀釋，由崩塌率-集水區面積曲線圖中難以判定，未來於崩塌率計算中可加入主河道邊坡崩塌貢獻量。

由優選集水區之流量歷線圖(圖 11)得知災後各優選集水區逕流量均增加，顯示其水源涵養能力大幅下降，對照 2008 年土地利用圖，原崩場地土地利用類型為林地佔絕大部份，崩塌後之裸露地較原先林地保水功能低為逕流量增加原因。

GRAPH 雖有考量集水區之空間及時間因素，並包含高程、坡度、坡向及水系網，但崩塌率計算只有面積權重部份，對於崩塌率及水源涵養能力關係之相關探討，需加入地形指標為輔助說明，結合該集水區地形特徵、演化及變遷可進行整合性評估並歸納其環境資料，選擇合適地形指標建置出災害前後集水區之相關資訊，以此為基礎探討成效考量，更可使環境復育事半功倍。

參考文獻

1. 徐義人(1995)，應用水文學，國立編譯館。
2. 水利局(1989)，台灣水文資料電腦檔案應用之研究：(5)水利局全省雨量站歷年年最大一日二日三日暴雨統計及頻率分析，台灣省水利局。
3. 經濟部水資源局(2001)，水文設計應用手冊，台灣大學生物環境系統工程學系。
4. 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。
5. 行政院災害防救委員會(2002)，防救災資訊系統計畫書，行政院災害防救委員會。
6. 周文杰(2004)，網格式合理化法(GRAPH)應用於集水區流量歷線推估之研究，國立中興大學水土保持學系博士論文。
7. O'Callaghan, John F., Mark, David M (1984), "The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data, Computer Vision," Graphics and Image Processing, (28): 323-344.

99 年 05 月 13 日收稿

99 年 05 月 17 日修改

99 年 05 月 18 日接受