

# 石門水庫集水區暴雨誘發型之崩塌地潛感分析

賴世偉<sup>(1)</sup> 林家榮<sup>(2)</sup> 鄭旭涵<sup>(2)</sup> 林昭遠<sup>(3)</sup>

## 摘 要

本研究以石門水庫集水區於 1986 年韋恩颱風、1998 年賀伯颱風及 2004 年艾莉颱風三次集中降雨事件所造成大量土石崩塌、嚴重泥砂淤積之年份崩塌地資料為基礎，配合 GIS 技術分析石門水庫集水區內，可能造成崩塌災害之潛在區位，建立崩塌潛感因子之地理資料庫，並應用不安定指數法，計算各因子之權重值，進行 GIS 套疊分析，製作石門水庫集水區坡地崩塌潛感圖，加以評估探討。研究設計先以自然地文、水文環境因子進行三期資料之崩塌地潛感分析，結果以 1986 年坡地崩塌潛感圖所推估之敏感度較顯著，其次為 2004 年。當進一步加入人為開發因子後，包括道路及土地利用型因子等兩項，進行崩塌地潛感分析，此大幅提高了崩塌地潛感分析之敏感度，並發現可依此分析方式檢核環境影響因子所推估敏感度之正確性。研究結果亦顯示崩塌地之發生具有持續性及週期性。

(**關鍵字**：不安定指數法、水庫集水區、崩塌地潛感分析)

## Storm-Induced Landslide Susceptibility Analyses for the Shi-Men Reservoir Watershed

*Shih-Wei Lai<sup>(1)</sup>, Chia-Rung Lin<sup>(2)</sup>, Hsu-Han Cheng<sup>(3)</sup>, Chao-Yuan Lin<sup>(3)</sup>*

Master Student<sup>(1)</sup>, Doctoral Student<sup>(2)</sup>, Professor<sup>(3)</sup>, Department of Soil and Water Conservation  
National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

## ABSTRACT

Integrating the information of three typhoon events (Wayne of the year 1986, Herbert of the year 1998, and Eli of the year 2004) that lead to large scale landslides with GIS technology, this study attempted to establish the database of potential factors governing the occurrence of landslides in Shi-Men reservoir watershed. In addition, the instability index method is applied to calculate the

- 
- (1) 國立中興大學水土保持學系碩士班研究生  
(2) 國立中興大學水土保持學系博士班研究生  
(3) 國立中興大學水土保持系教授

weighting for each factor that affects the landslide and to evaluate landslide susceptibility for assessing the potential distribution of storm-induced landslides in the watershed. The results indicate the sensitivity of potential landslide analysis according to the 1986 map is more evident than those from 1986 and 2004. The sensitivity can be increased significantly by considering the additional influencing factors such as road construction and/or land use. The results also show that the occurrence of landslide is continuous and periodical.

(**Keywords** : Instability Index Method, Reservoir Watershed, Landslide Susceptibility Analysis)

## 前言

台灣位處西太平洋西北側之島弧帶，在歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊板塊運動推擠下，導致台灣中央山脈由南向北隆起，並造成東、西兩側破碎岩層、斷層帶及皺摺等地質條件。台灣南北狹長約377公里，東西寬約142公里，面積約為35,915平方公里，山坡地面積佔全島總面積百分之七十以上。又因地形陡峭、土層淺薄且地殼抬升運動活躍，在豪雨沖蝕下產生地表逕流，強烈風化侵蝕，經常造成坡面鬆動崩塌及土石滑落情況。

台灣氣候區位屬熱帶季風與副熱帶季風區，為島嶼型氣候，年平均降雨量約為2500mm，約合世界平均值的2.6倍。唯台灣地區降雨量78%集中在雨季（每年5月至10月），且多數降雨貢獻自颱風，乾季（每年11月至4月）降雨量僅佔年降雨量10%，加上台灣河川河道短、流速急，使台灣列為水資源匱乏國家，故台灣之水資源供應極度仰賴水庫蓄水，惟近年來水庫興建頻遭民間反對，水庫集水區上游每遇豪雨、颱風即發生嚴重災害，崩塌土石進入河道內，均在在降低水庫蓄水功能。

賀伯颱風於1996年所帶來的豪雨，嚴

重沖刷石門水庫上游集水區，造成大量土石崩塌，庫區泥砂嚴重淤積。根據經濟部水利署評估至少為石門水庫帶來867萬立方公尺的土石及泥砂淤積，然而艾利颱風於2004年所帶來的豪雨沖刷，其新增泥砂淤積量更高達2,788萬立方公尺，此一淤砂量相較於年平均淤砂量150萬立方公尺，等於是18年的淤砂量一次沉積在水庫裡。而石門水庫原設計的容量為25,000萬立方公尺，經過如此沖刷事件所造成之淤砂量導致其有效庫容量僅剩約七成。因此，有必要就水庫集水區容易產生破壞及崩塌區域採取適切的評估及分析，並就不穩定區位進行長期追蹤及監測，進而選擇該區域正確且有效的防治方法。

本研究之目的，在探究水庫集水區內主要人為干擾因子，如土地利用區位及道路設施等，對崩塌潛感評估之影響。因此，利用GIS建構石門水庫上游集水區崩場地之資料庫，分析各因子對於崩場地發生之影響程度，並採用統計方法計算崩塌潛感因子之權重值，藉地理資訊系統對資料整合之優越處理特性，建立可信賴之水庫集水區崩塌潛感因子評估模式，除可避免盲目開發與工程施作外，更可做為區內道路路線選定、水庫區內工程選址之參考依據，最終並期能降低治理成本與提高工程效益。

## 相關文獻

### (一) 崩塌地基本條件

潘國樑(1982)提出在台灣西部山麓地區特殊的構造及地質條件下，有幾項地質特徵：如褶皺多、斷層多、岩層節理發達、地盤上昇速率快、岩性以砂頁岩相互層疊為主；台灣省政府山地農牧局(1989)統計顯示，台灣之山坡地最常發生破壞之坡度在30度以上，高山地區則以40度以上居多，而破壞邊坡角出現最低約為15度以下。Varnes(1978)就破壞的移動方式，以運動體之物質和移動方式分成墜落(falls)、傾覆(topples)、滑動(slides)、側向擴張(spreads)、及流動(flows)，另一種為複合型式之滑動，亦即上述五種類型中，任何兩種或兩種以上移動的結合型式；而若以崩塌發生時間概分(劉進金、張寶堂，1991)則分為三大類，老崩塌(過去)、新崩塌(現在)與潛在崩塌(未來)。

### (二) 崩塌潛感因子

王鑫(1981)指出坡向與邊坡穩定的關係主要來自盛行風與降雨方向之影響；Fookes et al. (1985)在崩塌形態分類中之表面水蝕作用亦屬此類；Koukis and Zioukas (1991)提出可能促使崩塌發生之潛感因子達64個之多。崩塌的因素分類(李三畏，1984；王文能、黃鎮臺，2000)將其分類為自然因素與人為因素，主要的自然因素包括地質、地形、降雨、

地下水、河岸或海岸沖蝕及地震等，人為因素則包括坡址或坡面開挖、上方加重、水庫蓄水及其他等；蘇苗彬(1998)提到崩塌潛感因子一般大致分為潛因與誘因兩種；並曾在影響邊坡穩定性的潛在因子中，分為地形、地質與區位因子三大類。林書毅(1999)指出區位因子是指該因子對山崩之影響程度，隨距離變化而有不同。

## 樣區與方法

### (一) 樣區概述

石門水庫集水區位於大漢溪上游，石門大壩以上之集水區面積約為75,633 ha。集水區東與新店溪、蘭陽溪上游集水區為鄰，南邊為德基水庫上游集水區，西南連大安溪集水區，西北邊與鳳山溪集水區為鄰。行政區域分屬宜蘭縣大同鄉，新竹縣五峰鄉、關西鎮與尖石鄉，以及桃園縣大溪鎮、龍潭鄉與復興鄉，如圖1所示。

### (二) 地形

石門水庫集水區地勢除西北端為較低緩之丘陵地外，大部分為山岳地帶海拔介於135m(石門水庫壩址)至3,529m之間，本研究將高程分為6級，高程分佈屆於0m~3000m之間，海拔500m以下地區為第一級，海拔500m-2500m間每隔500m劃分為一級，海拔2500m以上之區域劃分為第6級外，如圖2所示。

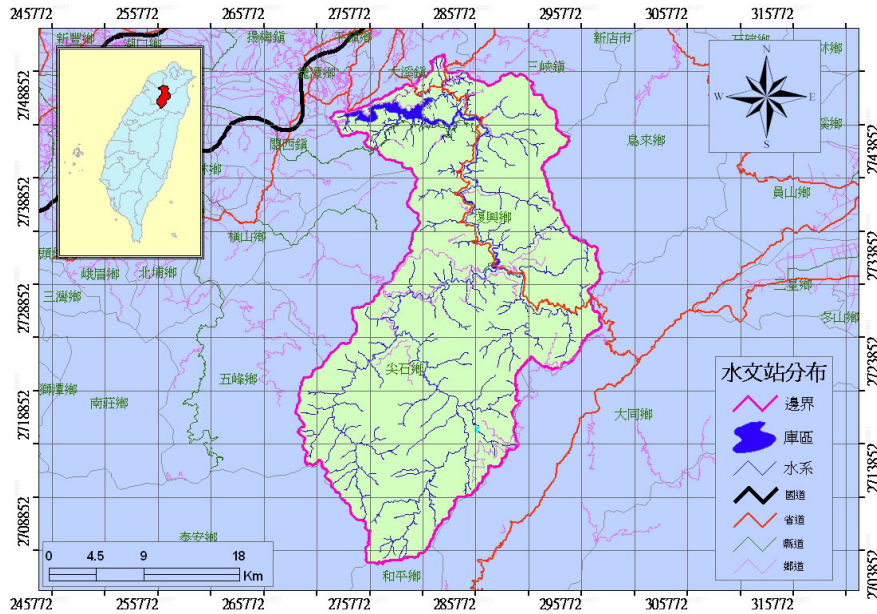


圖 1. 研究區域  
 Figure 1. The study areas.

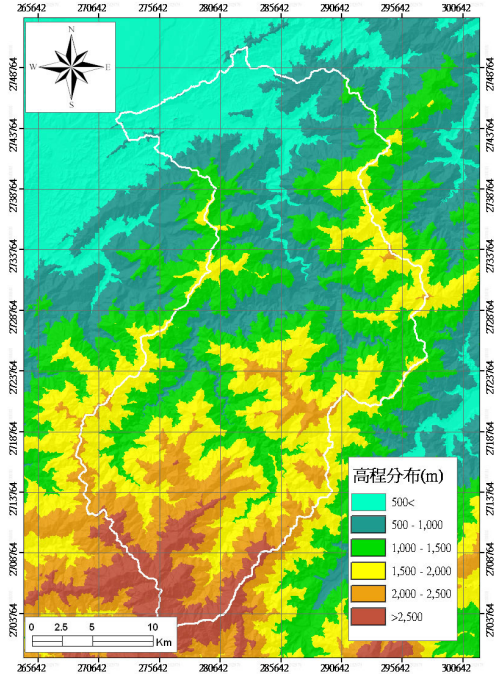


圖 2. 集水區高程分級圖  
 Figure 2. Spatial distribution of elevation.

### (三) 研究流程

本研究以石門水庫集水區為範圍，藉三次集中降雨事件造成的崩場地資料為基礎，配合不安定指數法(蘇苗彬，1998、林書毅，1999)，進行各因子套疊分析，量化各崩塌潛感因子與崩場地間之關係，並計算出各因子的評分值及權重值，最後求出該地區可能發生崩場地之線性組合方式。

分析之崩塌潛感因子，在地形因子包含坡度、坡向、高程；地質環境因子包括岩石層及土壤層分佈資料；人為干擾因子為距離道路之遠近及土地利用型等之開發情形。各因子分級之結果，利用地理資訊系統，製成40m×40m網格化分級圖層，而研究流程如圖3所示。

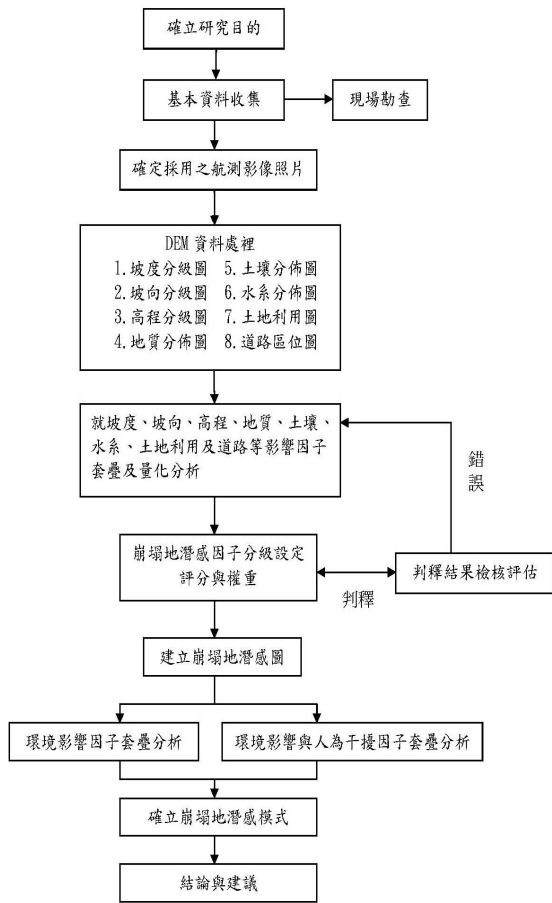


圖 3. 研究流程圖  
Figure 3. The flow chart of the study.

(四) 研究方法

1. 崩塌潛感密度值

$$G_i = \frac{G_1}{G_{total}} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- $G_i$ ：各崩塌潛感因子第i級之崩塌網格密度
- $G_1$ ：該分級崩塌網格數
- $G_{total}$ ：該分級網格總數

2. 各崩塌潛感因子之面積崩塌率

$$S_i = \frac{G_i}{\sum G_i} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- $S_i$ ：各崩塌潛感因子第i級之崩塌百分比
- $G_i$ ：該分級崩塌網格密度
- $\sum G_i$ ：崩塌網格密度總和

3. 崩塌潛感因子之評分值

$$D = \frac{9(S_i - S_{min})}{(S_{max} - S_{min})} + 1 \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- $D$ ：各崩塌潛感因子之評分值
- $S_i$ ：各崩塌潛感因子第i級之崩塌百分比
- $S_{min}$ ：各崩塌潛感因子中崩塌百分比最小值
- $S_{max}$ ：各崩塌潛感因子中崩塌百分比最大值

4. 崩塌潛感值之權重值

權重值是用以描述所有因子（崩塌潛感因子）組合後，各因子對崩塌潛感值之影響程度。首先需求得各因子之權重值，利用各因子內各分級所佔有百分比的變異係數（Coefficient of Variation），代表各因子分級發生崩塌機率之敏感度，當變異係數較小時，各分級發生崩塌機率相近，表示此因子之分類無法將崩塌機率高之地區反應出來；反之，若變異係數較大者，則可利用此因子分級，而可清楚反應出坡地安定之等級。因此可利用變異係數之計算值做為各因子之權重值。

$$V = (\sigma / \mu) \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- $V$ ：為變異係數
- $\sigma$ ：為標準偏差
- $\mu$ ：為平均值

5. 因子之權重值

$$W_j = \frac{V_j}{\sum V} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

$W_j$ ：第j個崩塌潛感因子之權重值

$V_j$ ：第j個崩塌潛感因子之變異係數

$\sum V$ ：為全部變異係數值之總和

所得之各個權重值，則可做為各因子對坡地發生崩塌之影響程度之指標值，其範圍介於0 ~ 1 間，且各因子權重值之總和為1。

6. 崩塌潛感值之加疊方式

利用先前所求算各因子分級之評分值及其權重值，進一步求算崩塌潛感值，其方式如 (6) 式。

$$D_{total} = D_1^{W_1} \times D_2^{W_2} \times \dots\dots D_n^{W_n} \dots\dots(6)$$

式中：

$D_{total}$ ：崩塌潛感值，

$D_1、D_2\dots D_n$ ：各因子評分值

$W_1、W_2\dots W_n$ ：各因子之權重值

崩塌潛感值( $D_{total}$ )介於1~10之間，值愈高表示發生崩塌的可能性愈大，反之則愈小。

(五) 崩塌潛感因子

本研究分析之崩塌潛感因子，包含坡度、坡向、高程、地質、土壤、土地利用、及距離道路遠近等因子，各因子分級方式如下所述：

1. 坡度因子

研究區坡度之分類標準，主要係依據行政院農業委員會七十六年六月三十日農林字第

六一〇一〇九六號令修正之「山坡地土地可利用限度分類標準」分類分級查定基準規定，將其分7個區位，坡度在5%以下屬第一級坡，5 ~15%屬第二級坡，15 ~30%屬第三級坡，30 ~ 40%屬第四級坡，40 ~ 55 %屬第五級坡，55 ~100%以屬第六級坡，而100%以上屬七級坡。

2. 坡向因子

研究區之坡向分級，係以八方位坡向，依序分別由北、東北、東、東南、南、西南、西、西北等共分為八級，而各方位坡向面積比皆非常平均，介於15%~10%之間，主要網格分佈於北向坡約佔全區15%，其次分別於西北、西、東、東北、南、東南及西南等，其中以西南向坡面所佔有比率最少約為10%。

3. 高程因子

研究區高程分佈界於海拔0m~3000m之間，以海拔1000m~1500m所佔有面積比例最高達27%，其次為海拔1500m~2000m所佔面積比例為25%，本研究將高程分為6級；海拔500m以下地區為第一級，海拔2500m以上之區域劃分為第6級外，海拔500m-2500m間每隔500m劃分為一級。

4. 地質因子

研究區之主要地質屬性為大桶山層，佔全區約32%，其次為乾溝層，佔全區約23%，其中又包含著澳底層、四稜砂岩、西村層、野柳群層、三峽群層、瑞芳群層及臺地堆積層等，配合石門水庫之地質構造劃分為9個區位，再利用套疊分析，求得各調查年度崩塌地分佈所在之各地質屬性所佔面積及百分率。

## 5. 土壤因子

土壤類型於研究區域分佈，下游屬淡色崩積土，土壤為無構造或弱度發育，結構鬆脆；中游為石質土分佈，土壤之物理及化學性質都和其原始母岩相去不遠，上游大部分為未調查區，研究區北部有少許黃壤及幼黃壤分佈，依研究區之土壤條件可將其劃分為9個區位。

## 6. 水系

研究區之水流分佈，以採用內政部1/25,000水系圖為主，並配合航測影像比對及修正各水系正確性，進而模擬颱風暴雨時實際河流分佈，並以40m為範圍劃定溪流之遠近，將其區分為9級，並套用於研究區內。

## 7. 土地利用

根據水利署89年「石門水庫集水區第三階段治理規劃」報告獲知石門水庫內主要為針葉樹林、闊葉樹林及針闊葉混淆林地居多，其次以竹林大部分種植於緩坡或由柑橘園改植，另有雜林、灌木、伐跡地、裸露地等，本研究以1986、1998及2004年所攝影之航空照片，應用航照判釋技術來確認崩塌地及土地利用類型，並數化為地理資料圖層，依其劃分為17個區位。

## 8. 距離道路遠近因子

研究區道路分佈，採用內政部提供之道路數化檔；再參考前人分級方式以40m做為劃定基準（林書毅，1999；黃臺豐，1999；康恬慎，2001；陳凱榮，2000；許煜煌，2002），將道路範圍分級劃分為5級。

本章分為三個部份討論，先就評分值及權重值對各因子做適切的評估、計算及修正，最後整理出，如表1所示。接著，為更進一步檢驗並調整其精確程度，乃就環境影響因子部分，依據表1、表2及配合集水區資訊而製作之三期年份資料，並整理出環境影響因子之潛感結果（表3、圖6）及所推估之坡地崩塌潛感圖（圖4a~c）；最後則加入人為干擾之潛感結果（表3、圖5a~c及圖7）後進行討論再予以評估與比較。

### (一) 評分值及權重值

首先求得各因子之評分值（介於1~10之間），當因子評分值變異性太大時，表示分級無法反應崩塌情形；因此，該項因子劃分範圍應做合併或重新分級，使其評分值確實平均分配於1~10之間，初步評估其合理性後接著求出各因子評分值之權重值。

比較1986年、1998年、2004年三期因子之權重值發現，本研究之崩塌潛感主要由坡度、高程、地質、水系及土壤等因子主導，其他如坡向、道路及土地利用在崩塌潛感因子所佔權重值比較低。經比對前人研究各因子所得之權重值，確認各因子權重值大致合理，其結果如表1所示；最後將各因子權重值導入方程式(6)，如表2所示。

### (二) 考量環境影響因子分析

以崩塌地潛感預測式（表2）製作集水區各年份之坡地崩塌潛感圖（圖4a~c），並統計集水區內不同崩塌潛感值( $D_{total}$ )值域所佔有之累積崩塌潛感指標分級（圖6）。得知1986年、1998年及2004年所推估之坡地崩塌潛感圖，高崩塌潛感區（累積崩塌面積百分比>30%）崩塌潛感值 $D_{total}$ ，分別為3.24、4.82

## 結果與討論

及3.92，可初步發現各期高潛感值區域，崩塌敏感度依序為1986年、2004年及1998年。

在三期資料中1986年及1986年份資料因時間相距太遠，故坡地崩塌潛感評估較無法反映現況，而2004年經艾莉颱風所造成的崩塌，較能反映現況並做為現階段參考；於2004年分析結果顯示，崩塌主要影響之潛感因子，依序為地質、水系、土壤、高程、坡度及坡向等因子，而影響程度最小之因子為坡向。

(三) 考量人為干擾與環境影響因子分析

當加入人為干擾因子(共計8因子)後，先以不安定指數法加疊檢算及修正後，製作累積崩塌潛感指標分級(圖7)。

由圖7可知，當加入人為干擾因子後，1986年、1998年及2004年等三期坡地崩塌潛感圖，在高崩塌潛感區其崩塌潛感值，分別為3.00、4.78及3.92，崩塌敏感度依序亦為1986年、2004年及1998年。

以2004年份結果顯示，崩塌主要影響之潛感因子，依序為地質、水系、土壤、高程、坡度、土地利用型、坡向及距道路遠近等因子；而影響程度最小之因子為距道路遠近，與一般研究較不吻合，其原因為道路影響之崩塌多在轉彎段而非直線段，而本研究道路因子取樣之技術並無法加以細分，以致分析結果不如預期。

表 1. 崩塌潛感因子評分值及權重值  
Table 1. The landslide susceptibility index and weighting of various influence factors

崩塌潛感因子	範圍	1986 年份			1998 年份			2004 年份			
		因子評分值(D)	環境因子權重值(W)	環境+人為權重值(W)	因子評分值(D)	環境因子權重值(W)	環境+人為權重值(W)	因子評分值(D)	環境因子權重值(W)	環境+人為權重值(W)	
環境影響因子	坡度 (°)	第一級坡(0~5%)	1.0000	0.2038	0.1831	1.0000	0.1457	0.1300	1.0000	0.1223	0.1141
		第二級坡(5~15%)	2.8473			5.2087			3.3148		
		第三級坡(15~30%)	1.4560			8.3394			5.6443		
		第四級坡(30~40%)	1.4976			7.9359			7.8658		
		第五級坡(40~55%)	1.3460			5.8748			8.3020		
		第六級坡(55~100%)	3.4183			4.3133			10.0000		
		第七級坡(>100%)	10.0000			10.0000			9.1176		
坡向	東北	7.5861	0.0425	0.0382	2.9855	0.0556	0.0496	4.0978	0.0304	0.0283	
	東	8.3423			7.2995			10.0000			
	東南	4.4093			10.0000			5.1758			
	南	2.8593			8.3252			6.2573			
	西南	1.0000			1.2256			1.0000			
	西	3.8521			1.0000			2.9018			
	西北	4.6808			1.5594			3.6860			
北	10.0000	3.5870	7.0046								
高程	<500m	2.6598	0.2289	0.2056	1.4807	0.2034	0.1814	1.2626	0.1690	0.1577	
	500~1000m	3.9200			10.0000			10.0000			
	1000~1500m	2.2487			4.4489			6.4120			
	1500~2000m	1.0000			3.6451			4.1698			
	2000~2500m	2.6763			1.0000			1.0000			
	>2500m	10.0000			9.0699			2.9770			
地質	大桶山層	7.7839	0.1510	0.1357	7.0360	0.2501	0.2230	4.9085	0.3296	0.3076	
	瑞芳群及其相當地層	4.3549			8.1136			2.2264			
	乾溝層	10.0000			6.3136			5.4839			



石門水庫集水區暴雨誘發型之崩場地潛感分析：賴世偉、林家榮、鄭旭涵、林昭遠

		三峽群及其相當地層	6.0747			1.0754			1.2986		
		澳底層	9.7622			5.3688			10.0000		
		野柳群及其相當地層	4.3233			10.0000			1.7112		
		臺地堆積	1.0000			1.0000			1.0000		
		四稜砂岩	7.1933			4.0040			2.4382		
		西村層，新高層	2.7718			2.0846			1.0000		
土壤		幼黃壤	1.0000	0.3108	0.2792	0.3344	0.2983	5.7225	0.1731	0.1616	
		未調查區	3.4139					4.0178			
		石質土	4.6476					7.9262			
		沖積土	2.7964					3.9070			
		岩石	5.1854					10.0000			
		紅壤	10.0000					1.0000			
		崩積土	3.1428					2.6823			
		無母質	3.9972					2.2201			
黃壤	1.3939	1.2974									
水系		溪流	10.0000	0.0629	0.0565	0.0108	0.0097	4.1572	0.1756	0.1638	
		40m	9.8683					10.0000			
		80m	8.0428					4.1374			
		120m	6.8144					2.0579			
		160m	5.0500					2.0167			
		200m	3.6876					1.9710			
		240m	2.9511					1.7801			
		280m	2.4596					1.8693			
>280m	1.0000	1.0000									
人為干擾因子	土地利用	竹林	3.5673	-	0.0851	-	0.0881	2.2712	-	0.0556	
		雜林	1.8213					10.0000			
		針葉林	5.4280					1.8348			
		旱作地	3.3269					3.1017			
		草地	4.5327					1.7287			
		闊葉林	4.7889					3.1507			
		灌木	1.0000					1.0000			
		茶園	1.2777					1.9737			
		墾地	1.0000					1.0000			
		伐跡地	4.2100					5.2209			
		針闊混合林	3.2902					1.6349			
		果園	3.4908					2.6521			
		稻作地	4.090					3.5667			
		建地	1.0000					1.0000			
		村落	1.0000					5.9671			
		水體	10.0000					4.9207			
		裸露地	6.1835					4.6352			
		道路						道路 40m 內			5.1199
40	5.3196			8.3586							
80	8.2833			7.4815							
120	10.0000			7.5460							
160	8.1311			4.8305							
>160	1.0000			1.0000							

註：因子之評分值 D 由方程式(3)求算  
 權重值  $W_j$  由方程式(5)求算

表 2 . 崩塌地潛感預測式  
 Table 2 . Predictive equations for landslide susceptibility.

年度		崩塌地潛感預測式
環境影響因子	1986	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.2038} \times (D_{坡向})^{0.0425} \times (D_{高程})^{0.02289} \times (D_{地質})^{0.1510} \times (D_{土壤})^{0.3208} \times (D_{水系})^{0.0629}$
	1998	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.1457} \times (D_{坡向})^{0.0556} \times (D_{高程})^{0.2034} \times (D_{地質})^{0.2501} \times (D_{土壤})^{0.3344} \times (D_{水系})^{0.0108}$
	2004	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.1223} \times (D_{坡向})^{0.0304} \times (D_{高程})^{0.1690} \times (D_{地質})^{0.1731} \times (D_{土壤})^{0.3296} \times (D_{水系})^{0.1756}$
加入人為干擾因子	1986	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.1831} \times (D_{坡向})^{0.0382} \times (D_{高程})^{0.2056} \times (D_{地質})^{0.2230} \times (D_{土壤})^{0.2983} \times (D_{水系})^{0.0097} \times (D_{土地利用})^{0.0851} \times (D_{道路})^{0.0167}$
	1998	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.1300} \times (D_{坡向})^{0.0496} \times (D_{高程})^{0.1814} \times (D_{地質})^{0.1357} \times (D_{土壤})^{0.2792} \times (D_{水系})^{0.0565} \times (D_{土地利用})^{0.0881} \times (D_{道路})^{0.0199}$
	2004	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.1141} \times (D_{坡向})^{0.0283} \times (D_{高程})^{0.1577} \times (D_{地質})^{0.3076} \times (D_{土壤})^{0.1616} \times (D_{水系})^{0.1638} \times (D_{土地利用})^{0.0556} \times (D_{道路})^{0.0112}$

註：崩塌潛感值  $D_{total}$  由方程式(6)求算

表 3 . 坡地崩塌潛感區分級定義  
 Table 3 . The classification and definition of landslide susceptibility index of slope land.

分級	定義	累積崩塌面積百分比(Si)	環境影響因子 崩塌潛感值( $D_{total}$ )			人為干擾與環境影響因子 崩塌潛感值 ( $D_{total}$ )		
			1986 年份	1998 年份	2004 年份	1986 年份	1998 年份	2004 年份
1	低崩塌潛感區	$Si \leq 2\%$	$1 < D \leq 1.81$	$1 < D \leq 3.19$	$1 < D \leq 2.24$	$1 < D \leq 1.99$	$1 < D \leq 3.13$	$1 < D \leq 2.12$
2	中低崩塌潛感區	$2\% < Si \leq 5\%$	$1.81 < D \leq 2.21$	$3.19 < D \leq 3.51$	$2.24 < D \leq 2.71$	$1.99 < D \leq 2.41$	$3.13 < D \leq 3.45$	$2.12 < D \leq 2.59$
3	中崩塌潛感區	$5 < Si \leq 15\%$	$2.21 < D \leq 2.73$	$3.51 < D \leq 4.41$	$2.71 < D \leq 3.42$	$2.41 < D \leq 2.71$	$3.45 < D \leq 4.33$	$2.59 < D \leq 3.44$
4	中高崩塌潛感區	$15\% < Si \leq 30\%$	$2.63 < D \leq 3.24$	$4.41 < D \leq 4.82$	$3.42 < D \leq 3.92$	$2.71 < D \leq 3.00$	$4.33 < D \leq 4.78$	$3.44 < D \leq 3.92$
5	高崩塌潛感區	$30\% < Si \leq 50\%$	$3.24 < D \leq 3.95$	$4.82 < D \leq 5.25$	$3.92 < D \leq 4.84$	$3.00 < D \leq 3.36$	$4.78 < D \leq 5.27$	$3.92 < D \leq 4.82$
6	極高崩塌潛感區	$Si > 50\%$	$3.95 < Si \leq 10$	$5.25 < Si \leq 10$	$4.84 < D \leq 10$	$3.36 < D \leq 10$	$5.27 < D \leq 10$	$4.82 < D \leq 10$

註：累積崩塌面積百分比 Si 由方程式(2)求算

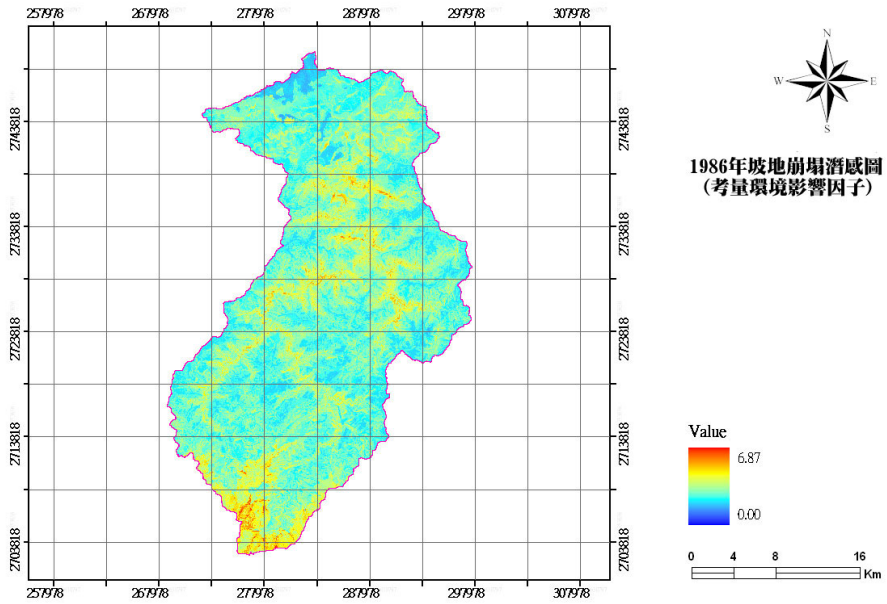


圖 4a . 1986 年坡地崩塌潛感圖(考量環境影響因子)

Figure 4a . Map of landslide susceptibility based on the data of year 1986. (environmental influence factors are considered)

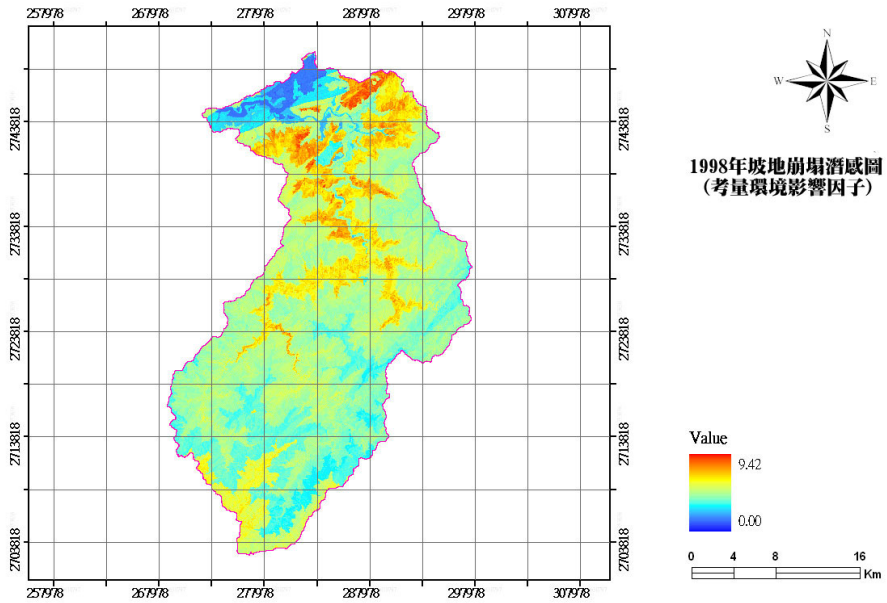


圖 4b . 1998 年坡地崩塌潛感圖(考量環境影響因子)

Figure 4b . Map of landslide susceptibility based on the data of year 1998. (environmental influence factors are considered)

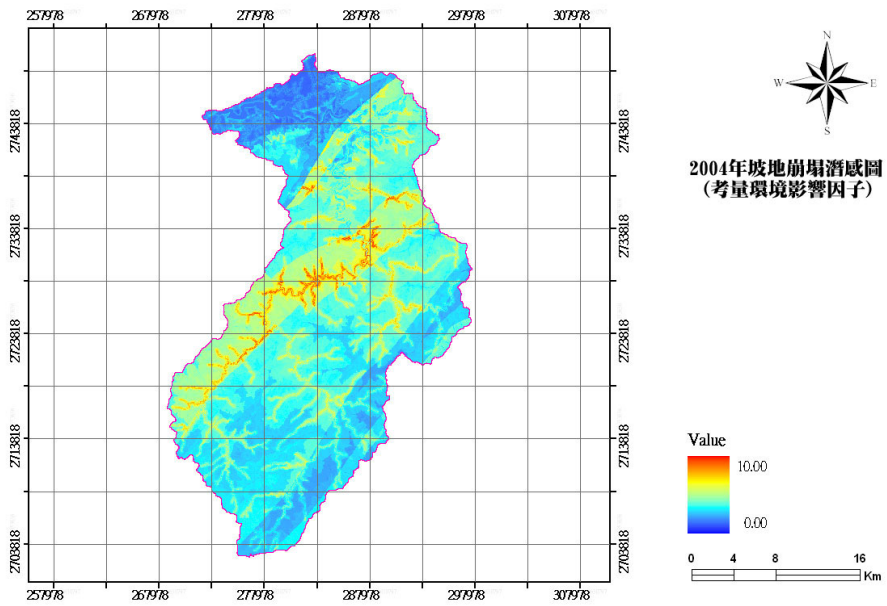


圖 4c . 2004 年坡地崩塌潛感圖(考量環境影響因子)  
Figure 4c . Map of landslide susceptibility based on the data of year 2004.  
(environmental influence factors are considered)

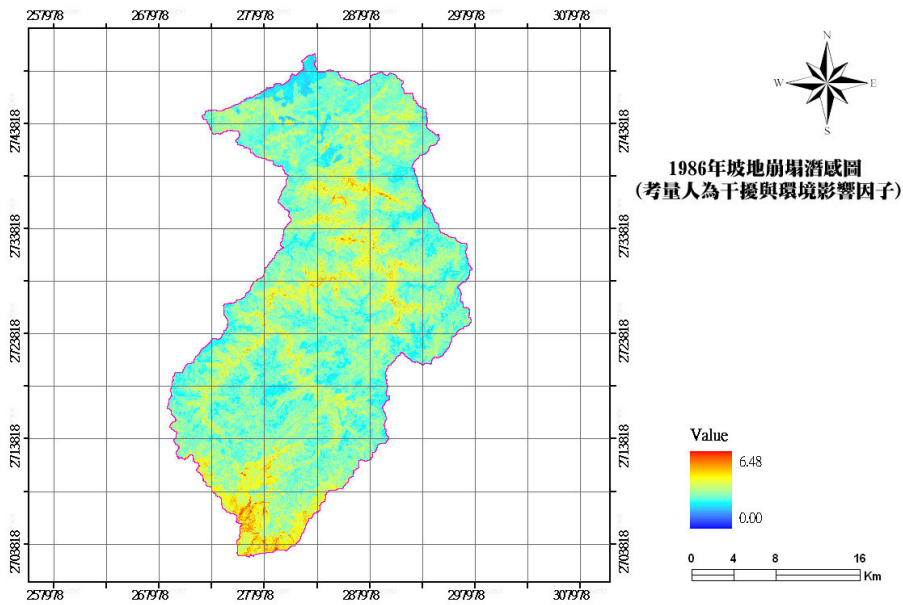


圖 5a . 1986 年坡地崩塌潛感圖(考量人為干擾因子與環境影響因子)  
Figure 5a . Map of landslide susceptibility based on the data of year 1986.  
(artificial interference and environmental factors considered)

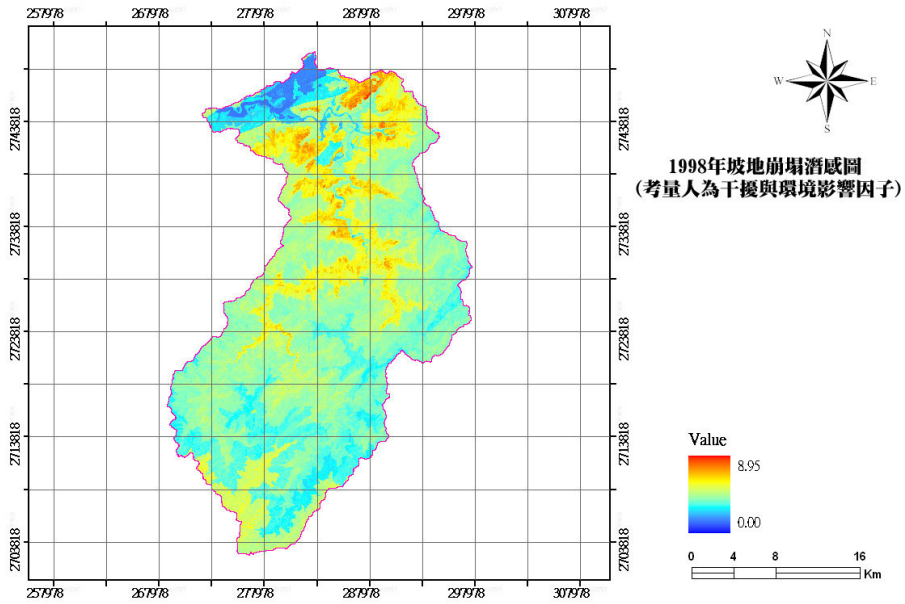


圖 5b . 1998 年坡地崩塌潛感圖(考量人為干擾因子與環境影響因子)  
Figure 5b . Map of landslide susceptibility based on the data of year1998.  
(artificial interference and environmental factors considered)

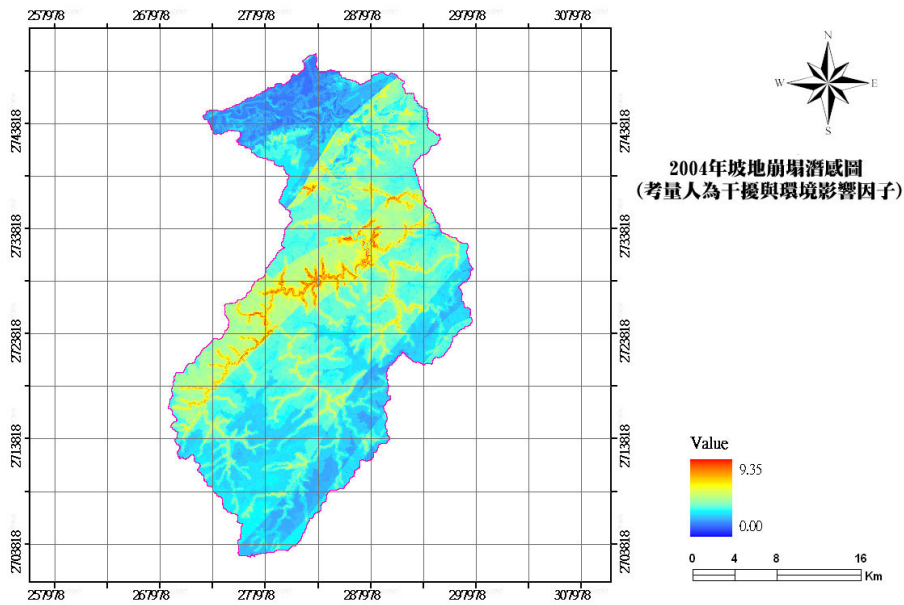


圖 5c . 2004 年坡地崩塌潛感圖(考量人為干擾因子與環境影響因子)  
Figure 5c . Map of landslide susceptibility based on the data of year 2004.  
(artificial interference and environmental factors considered)

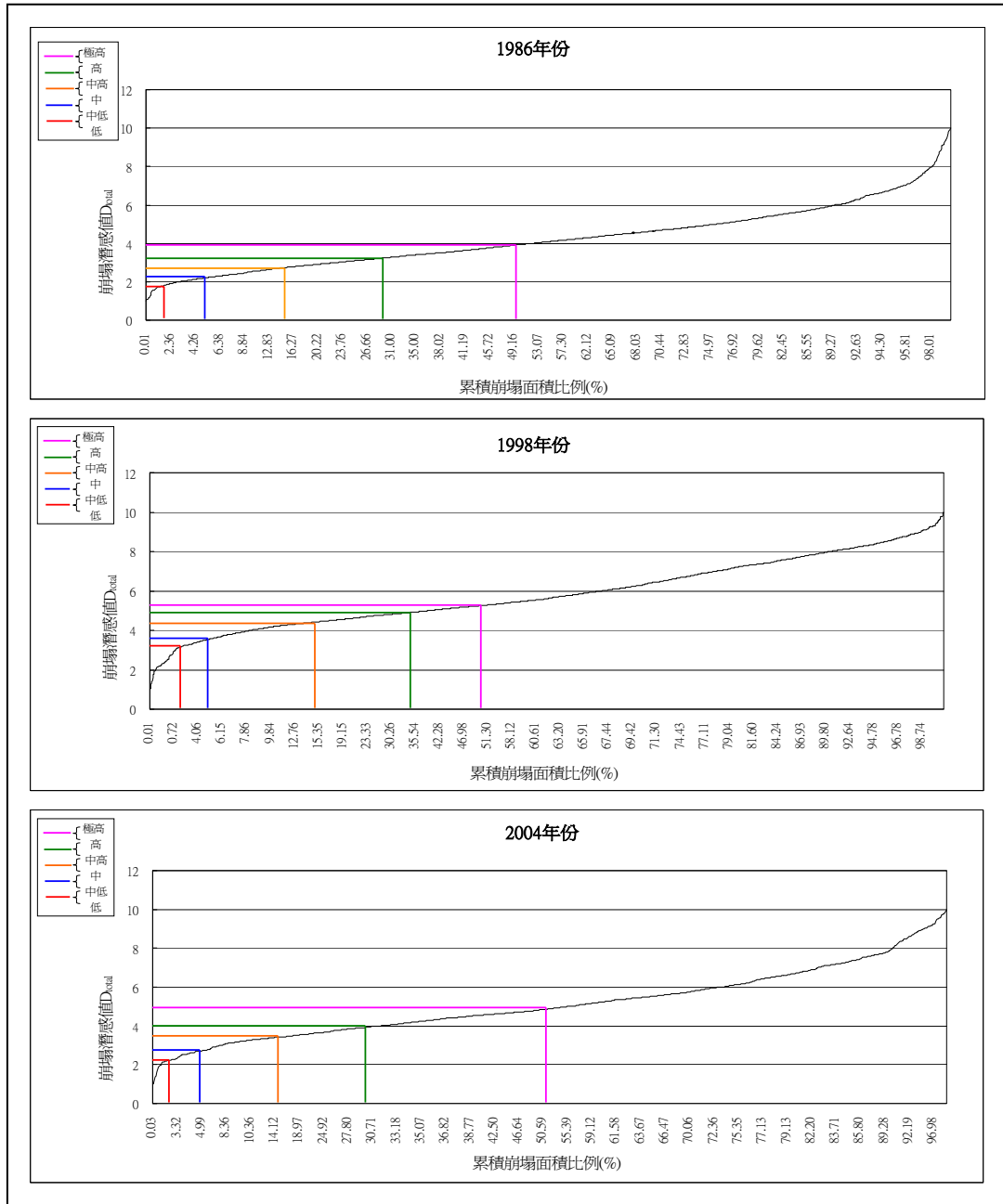


圖 6. 累積崩塌潛感指標分級 (考量環境影響因子)  
 Figure 6. Landslide susceptibility index vs. accumulative landslide area ratio.  
 (environmental factors considered)

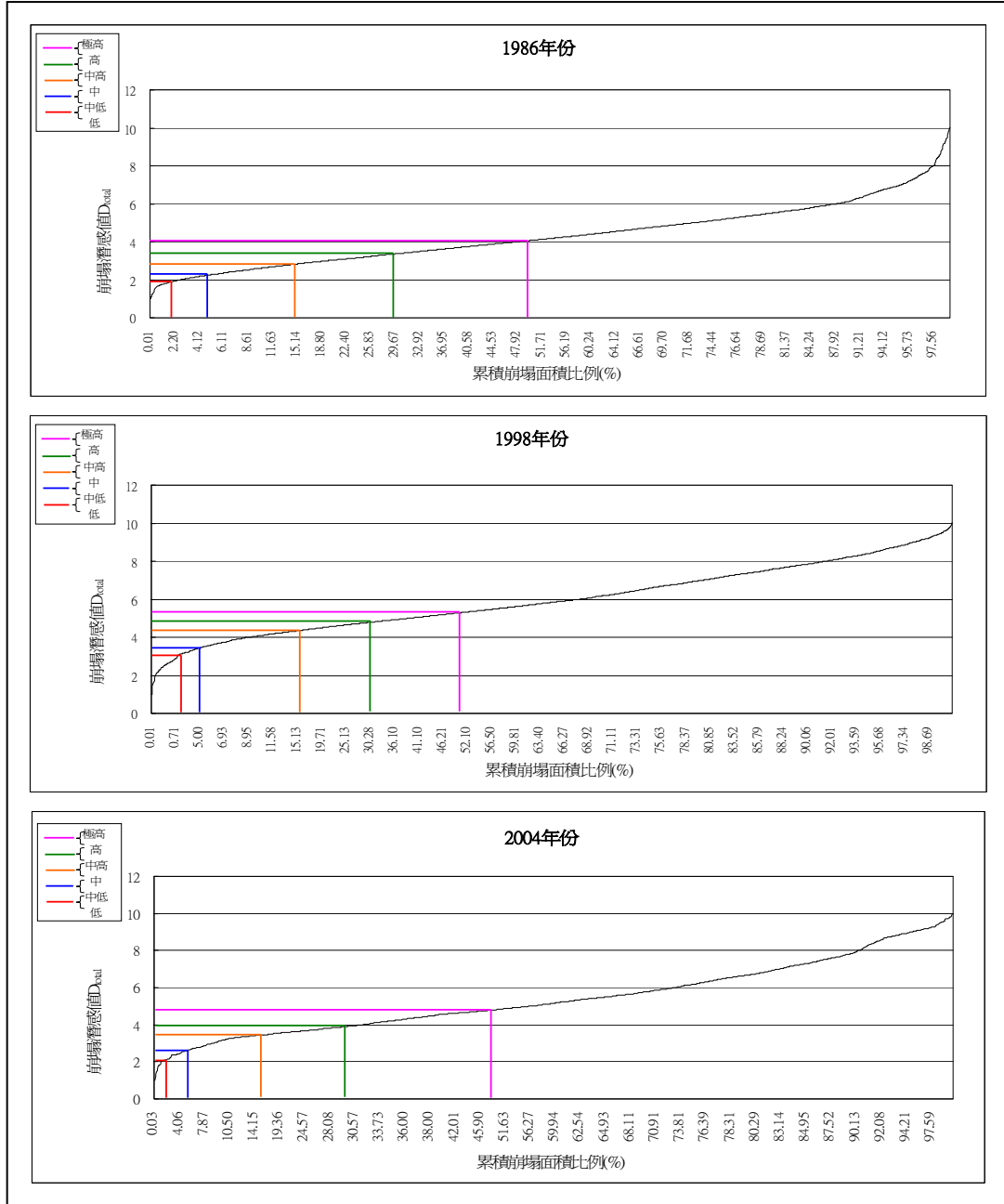


圖 7. 累積崩塌潛感指標分級(考量人為干擾因子與環境影響因子)  
 Figure 7. Landslide susceptibility index vs. accumulative landslide area ratio.  
 (artificial interference and environmental factors considered)

## 結論

本研究利用地理資訊系統與三次集中降雨事件所造成的崩塌地資料為基礎，對水庫集水區邊坡安定性進行崩塌潛感因子之潛感分析，獲得以下結論：

- 一、選擇環境影響因子及人為干擾因子，配合多期崩塌地資料，利用不安定指數法分析將可提升崩塌地潛感分析評估之準確性。
- 二、水庫集水區崩塌地之潛感分析，若能利用地理資訊系統配合航攝影像判釋技術予以分析評估，將能大大降低人力浪費及縮短評估時程。
- 三、本研究所建立之坡地崩塌潛感圖，將可提供集水區經營者，作為崩塌地監測之參考。唯需適時評估崩塌地潛圖之有效度，隨時予以更新並重新評估。
- 四、崩塌地各潛感因子內之分級過多有可能導致因子內之變異係數過高，太少則使變異係數太低，都將影響各因子間之潛感值計算結果，因此各因子內應如何適度分級，仍有待進一步個別研究。

## 參考文獻

1. 王文能、黃鎮臺（2000）崩塌地調查與治理對策。第二屆(2000)全國治山防災研討會論文集。37-52 頁。
2. 王鑫（1981）地景法邊坡穩定性的分析研究。工程環境會刊 2：73-91。
3. 台灣省政府山地農牧局（1989）台灣省崩塌地調查報告。行政院農業委員會山地工作報告 24(2)：139。
4. 李三畏(1984) 台灣崩塌地問題探討。地工技術 7，pp.43-49。
5. 李錦育（1996）集水區經營。睿煜出版社，pp.237-287。
6. 林書毅（1999）區域性山坡穩定評估方法探討-以林口台地為例。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，pp.20-23、pp.52-60。
7. 康恬慎（2001）石門水庫集水區不同時期崩塌地調查成果分析。國立台灣大學森林學研究所碩士論文，pp.89-94。
8. 許煜煌（2002）以不安定指數法進行地震引致坡地破壞模式分析。國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，p.48。
9. 許輔仁（1997）鯉魚潭水庫集水區之崩塌地潛感分佈研究。國立屏東科技大學森林系研究所碩士論文 pp.62-77。
10. 陳信雄（1997）集水區經營學。國立編譯館，pp.1-21、283。
11. 陳豪宏（1999）陳有蘭溪上游-和社集水區水土保持需要性評估之研究。國立台灣大學森林學研究所碩士論文，pp.21-44。
12. 陳凱榮（2000）中橫公路山崩潛感分級研究-以東勢德基為例。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，pp.1-22。
13. 陳信洲（2005）邊坡破壞潛勢分析-以阿里山台 18 線公路為例。國立成功大學土木工程研究所碩士論文，pp.1-11。
14. 黃臺豐（1999）瑞里地震誘發之山崩。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，pp59-62。
15. 經濟部水利處北區水資源局（2000）石門水庫集水區第三階段治理規劃，



- pp.4-1~4-3。
16. 劉進金、張寶堂（1991）大型山崩之遙測辨認。搖感探測 14：41-66。
  17. 潘國樑（1982）從環境地質觀點論本省山坡地之開發。礦業技術 20(3)：168-183。
  18. 簡李濱（1992）應用地理資訊系統建立坡地安定評估之計量方法。國立中興大學土木工程研究所碩士論文，p.118。
  19. 謝玉興（1998）南橫公路邊坡崩壞與降雨關係研究。台灣公路工程 30(11)：p.26-45。
  20. 蘇苗彬（1998）集水區坡地安定評估之計量分析方法。中華水土保持學報，29（2）：105-114。
  21. Fookes , P.G , M. Sweeney , C.N.D. Manby, and R.P. Martin （1985） Geological and geotechnical engineering aspects of low cost roads in mountainous terrain. Engineering Geology 21:152.
  22. Koukis , G. and C. Ziourkis （1991） Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 43:47-60
  23. Varnes , D.J. (1978) Landslide types and processes. Washington D. C.: Highway Research Board, Special Report 29: 20-47.
- 
- 97 年 3 月 1 日 收稿  
97 年 3 月 23 日 修改  
97 年 3 月 30 日 接受