

明德水庫集水區崩塌潛勢評估模式之研究

吳俊鎰⁽¹⁾ 陳樹群⁽²⁾

摘 要

本研究乃探討崩塌潛勢評估模式之建構，採用多評準決策層級分析法為模式建構基礎，並針對崩塌相關領域之專家學者進行訪談問卷，本研究認為邊坡崩塌之誘發因子與環境潛在因子對邊坡崩塌之影響不同，不宜放在模式同一層級進行評估，因此本研究建構之崩塌模式不包含誘發因子之影響。本研究將崩塌潛勢評估模式分成第一層之評估面及第二層之細部評估因子，各評估面之權重乃由專家學者問卷分析結果所獲得，細部評估因子之評分基準則採用桃芝颱風崩塌案例為依據，本研究並利用苗栗縣明德水庫集水區於桃芝颱風之崩塌案例進行驗證，並繪製明德水庫之崩塌潛勢圖。

(**關鍵字**：崩塌潛勢分析、多評準決策分析方法)

A Landslide Potential Model for Ming-De Reservoir Watershed

Chun-Hung Wu, Su-Chin Chen

Graduate Student and Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, 402

ABSTRACT

The purpose of the this study is to establish a landslide potential model for the Ming-De watershed. In order to avoid the bias which the other landslide models had, this study developed the model based on the multiple criteria decision making method. The study is based on the available landslide data to decide relative the specific weighting of each using the expert questionnaire factors. The influences of the inducing factors and the potential factors of the landslide phenomenon are different, and should not be placed on the same levels. The landslide potential model may be divided into six assessment perspectives and eight assessment factors. This study used the landslide data of Ming-De reservoir watershed during Typhoon Toraji to verify our landslide potential forecast model and draw the landslide potential distribution map. All the landslide cases in Mind-Der reservoir watershed during Typhoon Toraji are located in the high landslide potential value areas or middle landslide potential value areas.

(**Keywords** : Landslide Potential, Analytic Hierachy Process)

(1) 中興大學水土保持學系研究生

(2) 中興大學水土保持學系教授

一、緒言

屢逢夏季颱風時節，台灣各地時常引發土石流災害，土石流現象則來自於豐沛之降雨、陡峭之坡度及足夠之土砂量。土砂量之來源以邊坡崩塌現象為大宗。大量土砂往下游輸送常引發水庫嚴重淤積及溪流河床淤高現象，水庫嚴重淤積現象則可由石門水庫管理局(1990)調查資料顯示：因邊坡崩場所造成之土砂淤積量約佔石門水庫總淤積量之 75%；曾文水庫水庫淤積量中，約有 82.7~85%來自於水庫上游集水區之邊坡崩塌量(山地農牧局，1964；賴益成，1998)。溪流河道淤高現象則以 2004 年敏督利颱風為例，敏督利颱風豐沛降雨造成大甲溪上游邊坡大量邊坡崩塌現象，大量土砂被降雨引發之洪流大甲溪下游輸送，造成大甲溪溪畔河床淤高，這些現象都可看出邊坡崩塌之土砂量乃為集水區土砂輸送之源頭。

近年颱風引發重大土石流災害後，集水區邊坡崩塌現象已成為相當重要之研討議題，尤以邊坡崩塌之預測更為土砂災害防治之前提。目前常使用之邊坡崩塌預測方式而言，可大略分為兩大方向：(1)以崩塌之物理機制為主導方程式，評估影響邊坡穩定之各因子量值，以估算安全係數之方式評估該邊坡穩地性，相關研究如無限邊坡穩定模式(朱聖心，2000；陳意璇，2001)及以地形為主因子，探討土壤水分飽和區域預測崩塌發生之模式(Dietrich & Montgomery, 1993；徐美玲，1995)，此類模式優點在於模式之力學機制清楚，缺點則在於模式中之參數常需現地探勘方可獲得；(2)由過往發生崩塌之案例數據，主觀篩選出影響崩塌發生之因子，給予各因子評分方式及權重，而推導出邊坡崩塌是否發生之評估方程式(林書毅，1998；陳凱榮，1999)，此類模式優點在於可迅速便捷邊坡崩塌潛勢，缺點則在於缺乏力學機制之架構。

前述之兩種崩塌模式建構方法中，力學機制為基礎之崩塌模式常需使用現地調查之特性參數，如土體凝聚力、邊坡傾角及土體摩擦角等，因此若無詳細之現地調查資料輔助，皆會降低崩塌潛勢評估之準確性；另一種採用篩選崩塌相關因子並給定各因子評分及權重方式而建構之崩塌潛勢評估模式，由於採用過往崩塌案例為基礎，在預測崩塌地之準確率上皆有良好之準確率，如陳凱榮(2000)以不安定指數法及岩石工程系統法建構之崩塌潛勢預測模式，兩種模式之準確率分別可達 84.92%及 90.7%，林育欽(2002)亦曾以多變量鑑別分析法建構崩塌潛勢評估模式，其模式之準確率可達 79%以上。本研究欲建構大區域之崩塌潛勢評估模式，評估模式必須盡量採用可由遙測或衛星影像加以判斷之評估因子，減少需現地調查之特性參數，因此選擇採用崩塌相關因子並給定各因子評分及權重之方式進行模式建構。

說明本模式建構之前，尚須說明本模式對於邊坡崩塌之潛在因子及誘發因子之分類，過往許多研究都曾將邊坡崩塌影響相關因子區分為潛在因子及誘發因子(李三畏，1984；張石角，1987)；Kouis & Ziourkas(1991)更進一步區分為動態的誘因及潛在的環境因子，綜合上述數篇研究，所謂邊坡崩塌之誘發因子乃為直接引發山崩之環境因子，如降雨及地震等因子，而潛在之環境因子則為邊坡本身具有潛在造成山崩之因子。過往在邊坡崩塌潛勢評估之研究中，部分研究曾將降雨因子納入評估模式中一併估算，惟本研究認為就邊坡崩塌現象而言，誘發因子與潛在因子對邊坡崩塌之影響不盡相同，將誘發因子與潛在因子一併納入模式考量，將混淆兩種不同因子對邊坡崩塌之影響，本研究認為邊坡崩塌潛勢評估模式的確需考量誘發因子，但誘發因子與潛在因子不宜納入同一層次，因此本文中所建構之邊坡崩塌潛勢模式

將暫不考量降雨及地震等誘發因子。

二、理論分析

採用篩選崩塌相關因子並給定各因子評分及權重方式建構崩塌潛勢評估模式，最常被他人質疑的問題有二：權重及評分方式給定是否帶有主觀及建構之模式是否具有地域性，本研究乃採用多評準決策層級分析法 (Multi-Criteria Decision Making Method) 進行模式建構，下述將討論建構過程，及本研究採用多評準決策建構模式對上述兩問題之回答。

多評準決策層級分析法乃由 Satty (1970) 所發展之決策評量方法，該法之特性乃針對具有多種不同評估準則之決策問題發展出之多準則決策法，決策選擇機制乃根據最佳化函數，迴避決策者本身之主觀因素，建立最佳化的演算程序。層級分析法首重系統化與結構化之概念，將系統分解為數個層級，並排定各層級間之關連性，建立方案與屬性間之層級關係，利用此層級關係分解原本複雜問題為數個過程，可讓決策者在面對多目標之決策問題時，可經層級關係瞭解各問題層面，再解決原不易處理之多目標之決策問題。鄧振源(1989)認為多準則決策層級分析法乃將複雜且非結構化之問題系統化，由高層次往低層逐步分解，以量化之判斷簡化並改進過往直覺之決策程序，求得各方案間的優先權重值。

複雜問題在層級分析法分層後，決策者將面臨各層級對目標之影響程度決定，決定方式則採用專家學者問卷訪談方式給定，專家學者問卷訪談之主要目的在於瞭解專家學者對於同一層級不同評估面對該問題之重要性或影響，為瞭解專家學者對每一評估面之重要性認定，問卷內容乃將同一層級不同評估面提出進行互相比較。當受訪者填寫評估準則對標的之影響程度時，該影響程度之標

準亦有一定規範，Satty(1970)認為將評比尺度劃分為很不重要、不重要、同等重要、很重要及絕對重要等；另外四個評比尺度則介於上述五個評比尺度之間，共計九個評比尺度，以阿拉伯數字 1 到 9 來代替，「9」代表絕對重要，「1」代表很不重要。專家學者訪談問卷結束後，即分析專家學者問卷內容所代表之意義，分析方式乃針對專家學者填寫之各評估面評比尺度，建立成對比較矩陣進行分析，如以圖 1 為例，則其成對矩陣建立方式如圖 1 所示，如當同一層級之 C_m 評估面與 C_n 評估面進行比較時，專家學者所填寫之重要性評估值則為圖 1 矩陣中之 $C_{m,n}$ 值，由此方式分析該成對比較矩陣之特徵值及特徵向量，而求得訪談問卷內容對不同評估面所給定之相對權重。

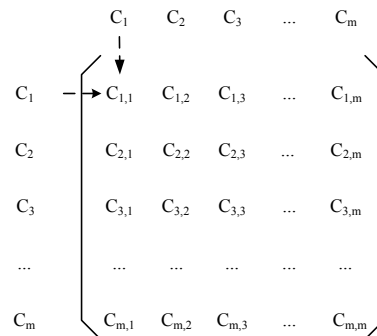


圖 1. 成對比較矩陣

Figure 1. The Pairwise Comparison Matrix.

惟非每份專家學者訪談問卷都是有效問卷，有效問卷之判定乃在於對問卷內容回答之前後一致性，若回答內容前後差異太大，則該份問卷將視同無效問卷；針對問卷檢定一致性，Satty(1980)亦曾建議採用一致性指標 (Consistence Index ; $C.I.$) 與一致性比率 (Consistence Ratio ; $C.R.$) 來加以檢定。一致性指標 ($C.I.$) 及一致性比率 ($C.R.$) 之評估方式如 (1) 及 (2) 式所示， λ_{max} 為成對比較矩陣之最大

特徵值， n 為該成對比較矩陣之階數，Satty(1980)並提出不同階數所使用之隨機指標(Random Index; $R.I.$)參考值，如表 1 所示。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \dots\dots\dots (1)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \dots\dots\dots (2)$$

當問卷之成對比較矩陣估算完畢後，若矩陣所獲得之一致性指標 $C.I.$ 為 0 時，代表該份問卷之答案前後具有一致性，若一致性指標 $C.I.$ 大於 0 時，代表該份問卷之答案前後判斷有不連貫之處，Satty(1980)亦提出一致性指標 $C.I.$ 小於 0.1 乃是可容許之偏差範圍，因此每份問卷之一致性比率需小於 0.1 方可採用。

表 1. 一致性檢定之隨機指標表

Table 1. The random index value in the consistence examination.

矩陣階數	1	2	3	4	5
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12
矩陣階數	6	7	8	9	10
R.I.	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49
矩陣階數	11	12	13	14	15
R.I.	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58

對於前述採用篩選因子及給定評分方式建構之崩塌潛勢評估模式會遭遇的兩個問題，針對該由誰來決定各評估面之權重，本研究以具豐富經驗之崩塌相關領域專家學者填寫訪談問卷，經由問卷內容分析給定各評估面權重，且從各相關領域篩選研究領域或工作性質相近之專家學者進行訪談，可避免問卷訪談內容偏於某一領域。

而在建構模式是否具有地域性問題，主要問題在於評分方式乃由該研究區所評選，本研究針對此問題採用桃芝颱風於南投縣、

台中縣和平鄉、花蓮縣萬榮鄉及嘉義縣阿里山鄉等區域(此四區域於桃芝颱風所引發之崩塌總案例數約佔桃芝颱風崩塌總案例數之 88.3%，後文將此四區域簡稱嚴重影響區域)所引發之崩塌案例進行驗證，並採用苗栗縣明德水庫集水區進行驗證。

三、崩塌潛勢模式建構

1. 崩塌相關因子篩選

以多評準決策建構崩塌潛勢評估模式而言，首要標的即為篩選崩塌評估面向，邊坡崩塌問題牽涉因素相當繁雜，Koukis & Ziourkas(1991)提出可能影響邊坡崩塌之影響因子共有 64 個，其中亦可分為誘發因子及環境潛在因子等兩類，吳俊鉅(2003)曾針對據國內近幾年之崩塌潛勢評估研究(陳凱榮，1999；林郁欽，2000；朱聖心，2001；陳意璇，2002；盧育聘，2002)所篩選之崩塌相關因子做一整理，本研究根據該彙整表格篩選出七個崩塌相關評估面向，包含地形評估面、地質評估面、雨量評估面、植被評估面、地下水位評估面、邊坡狀態評估面及人為開發評估面等，但如本研究前述，本研究乃將降雨誘發因子由崩塌潛勢評估模式中抽離，因此雨量評估面向於本研究建構未降雨自然情況下之崩塌潛勢評估模式中刪除，因此本模式所建構之崩塌潛勢評估模式之第一層即有六個評估面向。

在模式各評估面向第之二層細部評估因子上，則為各評估面向所篩選之評估因子，評估因子之篩選結果將會直接影響崩塌潛勢之準確性，由於本研究欲建構大區域之邊坡崩塌潛勢評估模式，因此篩選細部評估因子上乃根據下述兩原則：

- A. 避免篩選出之細部因子對崩塌潛勢影響有重複評估之慮
- B. 以能使用遙測資料評估影響之細部因

子，取代需至現地探勘調查之因子

根據上述兩原則進行評估，便需捨棄需現地調查方可獲得之特性參數，如邊坡坡型、地層孔隙率、岩層破碎程度及邊坡保護工程設置等因子，捨棄這些因子對邊坡崩塌潛勢評估必會失去部分準確性，除了選取能取代該因子特性且能以遙測資料輔助判識之因子外，這現象也為崩塌潛勢磨式建構上之特性：若為單一邊坡或小區域邊坡進行崩塌潛勢評估，小研究區域可進行現地調查，並以現地調查之資料進行邊坡崩塌潛勢評估，可預期得到相當良好之準確性；但若為大研究區域之邊坡崩塌潛勢評估，針對崩塌案例一一進行現地調查將需相當大之成本及時間，因此以遙測資料輔助判識，此方法之特性便在於犧牲模式部分準確性，但可達到快速評估之目的。

根據上述原則篩選各評估面之細部評估因子，本研究共篩選出六項評估面八項細部評估因子等，其層級結構圖如圖 2 所示。

2. 專家學者問卷訪談

專家學者問卷訪談之主要目的，在於瞭解六評估面於累積多年學術研究或現地探勘經驗之專家學者的想法中，各評估面對邊坡崩塌影響重要性之分配。根據層級分析法對問卷內容之規範，若以本研究所列六評估面八細部評估因子而言，各評估面需進行一一互相比較，且各評估面下之細部因子也需進行一一互相比較，由此得出各評估面及各細部因子所佔之權重及評分方式。惟本研究認為就邊坡崩塌問題而言，大方向之評估面可採專家學者問卷訪談進行分析，但細部評估因子之評分方式則不宜由專家學者問卷訪談決定，原因在於欲決定八項細部因子將使問卷過於繁雜，且每位專家學者心中之評分比例不盡相同，若以問卷方式決定細部因子評

分方式，將會使評分方式帶有主觀成分，因此本研究於細部因子之評分方式乃採用桃芝颱風於嚴重影響區域所引發之崩塌案例為依據，給定各因子評分方式。另外在同一層級之評估面重要性比較上，層級分析法建議不同層級需進行互相比較，舉例說明，如 A、B 及 C 三不同評估面需進行比較，原該進行六次比較(A 與 B、A 與 C、B 與 A、B 與 C、C 與 A 及 C 與 B 等)，但為避免問卷過於繁雜且增加問卷有效性，本研究採取信任專家學者對問卷之作答內容，不同之兩評估面僅比較一次，不再重複進行比較，若以上述三評估面說明，則可減少到僅進行三次比較(A 與 B、A 與 C、及 B 與 C 等)。圖 3 則為本研究發放之專家問卷內容。

為使本研究之問卷分析結果具代表性，本研究選定受訪對象為國內崩塌研究及崩塌調查領域方面之專家學者，受訪對象則包含學術單位(國內大專院校之土木、大地、水利、水保及地質領域之教授)、實務單位(農業委員會水土保持局本局及水土保持局各工程所等)及研究單位(工業研究院能源及資源研究所)等，於 2004 年 9 月發放 120 份問卷，截至 2004 年 10 月中為止共收到 85 份問卷回覆，回收率約為七成。

3. 問卷內容分析及權重給定

根據本研究所回收之 85 份問卷進行分析，首先建立評估值之成對比較矩陣，經一致性檢定及一致性比率之檢驗，共有 8 份問卷無法通過檢驗而被視為無效問卷，因此本研究採用之有效問卷共 77 份，表 2 則為依不同單位問卷分析內容所獲得之各評估面權重，並將全部權重歸一化所獲得之結果。根據表 2 之分析結果顯示：各領域之專家學者都認同地質評估面乃為邊坡崩塌相關因子中

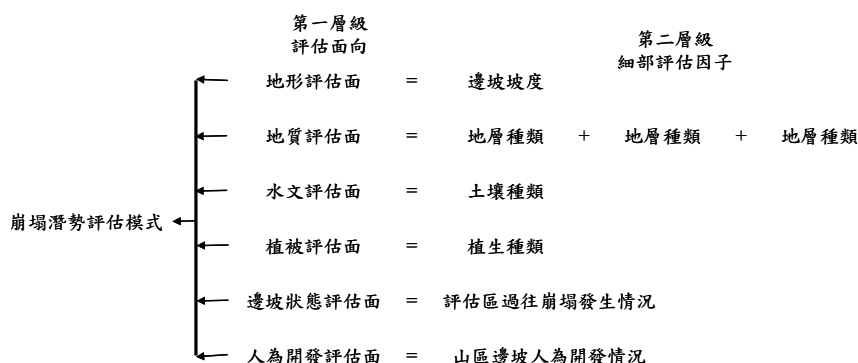


圖 2. 崩塌潛勢評估模式結構圖

Figure 2. The construction of the landslide potential model.

最重要之評估面，權重所佔比率皆在 0.2 以上，而植被評估面於各領域專家學者評估中皆為 6 評估面中重要性最低之評估面，權重所佔比率皆在 0.1 左右，其餘四個評估面之重要性則依不同領域之專家學者而有不同之看法；崩塌續發評估面代表已發生過崩塌案例地區，對該地區往後再度發生崩塌之影響性，此一評估面於過往其他崩塌潛勢評估模式之研究中較少被使用，但經本次專家問卷分析結果顯示：各領域專家學者認為不可忽略邊坡崩塌之續發性對邊坡崩塌之影響，不同單位給定之權重比率皆在 0.15 左右。

表 2. 專家學者問卷分析結果表

Table 2. The analysis results of the expert questionnaire.

評估面	學術單位	公務單位	研究單位	平均值
地形	0.174	0.193	0.129	0.179
地質	0.203	0.250	0.291	0.250
水文	0.121	0.146	0.172	0.153
植被	0.055	0.113	0.070	0.089
邊坡狀態	0.145	0.120	0.161	0.144
人為開發	0.134	0.178	0.176	0.186

經問卷分析決定權重後，再者為各評估面間之作用該以「相乘方式」代表，抑或以

「相加方式」代表？過往許多崩塌潛勢評估模式中，對各評估面之結合大多以「相乘方式」表現各評估面間之作用，如陳凱榮(2000)之不安定指數法，本研究認為若以相乘方式表達崩塌潛勢之各評估面間作用，代表各評估面對崩塌潛勢之影響並非僅該評估面之細部因子影響，而是該評估面亦受其他評估面評估結果之影響，如以地質評估面及植被評估面相乘之結果舉例說明，代表地質評估並非僅受地質評估面下之各地質細部評估因子影響，也受植被評估面評估結果之影響，如此作法將使各評估面對崩塌潛勢之影響呈現混亂；前述提及本研究在分層級時便先以「各層級間對邊坡崩塌現象之影響乃為獨立關係」為前提，在各評估面對崩塌潛勢之作用互不影響情況下，則各評估面間對崩塌潛勢之影響乃是種「累加效應」，則本研究欲建構之崩塌潛勢評估模式權重分配應如(3)式所示。

崩塌潛勢評估模式

$$\begin{aligned}
 \text{崩塌潛勢評估模式} = & 0.179 \text{ 地形評估面} + 0.25 \text{ 地質評估面} \\
 & + 0.089 \text{ 植被評估面} + 0.153 \text{ 水文評估面} \dots (3) \\
 & + 0.144 \text{ 人文評估面} + 0.186 \text{ 邊坡狀態評估面}
 \end{aligned}$$

(甲) 下列各組將比對各評估面相對於『地形評估面』因子之重要性評比



地形評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	地質評估面
地形評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	植被評估面
地形評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	水文評估面
地形評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	崩塌續發評估面
地形評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	人為開發評估面

(乙) 下列各組將比對各評估面相對於『地質評估面』因子之重要性評比



地質評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	植被評估面
地質評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	水文評估面
地質評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	崩塌續發評估面
地質評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	人為開發評估面

(丙) 下列各組將比對各評估面相對於『植被評估面』因子之重要性評比



植被評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	水文評估面
植被評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	崩塌續發評估面
植被評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	人為開發評估面

(丁) 下列各組將比對各評估面相對於『水文評估面』因子之重要性評比

附註：降雨因子將不列入本研究問卷之評估中！



水文評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	崩塌續發評估面
水文評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	人為開發評估面

(戊) 下列各組將比對各評估面相對於『崩塌續發評估面』因子之重要性評比



崩塌續發評估面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	人為開發評估面
---------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------

(己) 『人為開發評估面』因子與其他五因子之重要性評比皆已在前述填寫表格評量過，因此不再做評比！

圖 3. 專家學者訪談問卷
Figure 3. The expert questionnaire.

4. 各評估面細部因子評分方式給定

各評估面評分方式之決定，乃在於瞭解該細部因子不同情況下對崩塌潛勢之影響程度，而細部因子評分方式也會影響崩塌潛勢預測模式之準確性。本研究採用桃芝颱風於嚴重影響區域內之 9149 處崩塌案例為依據，以各細部評估因子所引發崩塌之崩壞比，正規化為評分基準。

(1) 地形評估面

就地形評估面而言，本研究選擇邊坡坡度為細部評估因子，邊坡坡度對邊坡崩塌行為之影響，主要取決於坡度造成邊坡塊體之下滑力，過往各崩塌潛勢評估模式皆將邊坡坡度視為影響因子之一。由於邊坡塊體之下滑力作用端視坡度值而定，並無因地而異之特性，因此本研究針對不同坡度值給定評分方式，並以邊坡坡度指標(Slope Index，簡寫為 *SI*)代表邊坡坡度因子對邊坡崩塌之影響，其評分公式如表 3 所示，而地形評估面之評分分數如(4)式所示。

$$\text{地形評估面評估分數} = SI \dots\dots (4)$$

表 3. 邊坡平均坡度之評分表

Table 3. The assessment value of the slope index.

平均坡度	SI	平均坡度	SI
<10°	1	30°~35°	6
10°~15°	2	35°~40°	7
15°~20°	3	40°~45°	8
20°~25°	4	45°~50°	9
25°~30°	5	>50°	10

(2) 地質評估面

就地質評估面而言，本研究選擇地層種類、岩性種類及斷層分佈為其細部評估因子。就地層種類而言，不同地層會因地層形成年代及地層特性而具有不同地層強度，強

度較弱之地層便容易引發邊坡崩塌及土砂災害。本研究以桃芝颱風於嚴重影響區域崩塌案例為依據，統計各種不同岩層之崩壞比，並正規化為評分基準，本研究以地層指標(Geology Index，簡寫 *GI*)代表該地層降雨事件中引發邊坡崩塌之難易性，表 4 即為本研究彙整桃芝颱風崩塌地案例之地層種類分佈及地質指標評分表。

表 4. 桃芝颱風崩塌地案例地層種類分佈及地質指標評分表

Table 4. The assessment value of the geology index.

地層名稱	崩壞比 (%)	GI
三峽群及其相當地層	2.80	10.00
四稜砂岩	2.73	9.76
廬山層	2.00	7.42
錦水頁岩及其相當地層	1.78	6.73
乾溝層	1.50	5.81
瑞芳群及其相當地層	0.87	3.81
野柳群及其相當地層	0.84	3.69
大南澳片岩	0.38	2.21
大桶山層	0.28	1.91
臺地堆積	0.27	1.87
頭嵙山層及其相當地層	0.25	1.80
卓蘭層及其相當地層	0.25	1.79
西村層，新高層	0.09	1.28
沖積層	0.01	1.03
紅土臺地堆積	0.01	1.03
基性火成岩	0.00	1.00

就地層岩性而言，岩性強弱對邊坡崩塌之影響表現在植生生長及邊坡崩塌易發性上，軟弱岩性且呈現碎礫狀之地層，上方土壤層植物根系亦深入岩層擴展，但此類岩層遇降雨或地震發生，容易引發大規模之邊坡崩塌行為；堅硬岩性且呈現塊體狀之地層，上方土壤層植物根系不易深入岩層擴展，但除非有強烈地震發生，否則一般降雨行為難以破壞此類岩層而引發邊坡崩塌。本研究根據桃芝颱風於嚴重影響區域所引發邊坡崩塌

案例為依據，以岩性指標(Lithology Index，簡寫為 LI)代表岩性評估因子對邊坡崩塌之影響，評分方式如表 5 所示。

斷層分佈對岩層岩性之影響甚大，斷層通過處之岩層岩性特別脆弱且易碎，當降雨或地震事件發生時，該地區極易引發邊坡崩塌。越接近斷層帶分佈位置之地區，岩層越屬於破碎且軟弱，由於斷層帶對邊坡崩塌之影響僅在斷層帶分佈位置附近，因此本研究採用環域分析之方式，以距離斷層帶遠近評斷該地區岩層受斷層帶而引發邊坡崩塌之影響，以斷層分佈指標(Fault Distribution Index，簡寫為 FDI)代表斷層分佈評估因子對邊坡崩塌之影響，評分方式如表 6 所示。

由於本研究針對地質評估面選定地層種類、岩性及斷層分佈三因子為細部評估因子，為避免造成各評估面之評估總分不一，本研究將三項細部評估因子之分數累加後除以三即為地質評估面之評估分數值，地質評估面之評分分數如(5)式。

$$\text{地質評估面評估分數} = (GI+LI+FDI)/3 \dots (5)$$

(3) 水文評估面

本研究於水文評估面之主要考量為土壤水分飽和效應。降雨事件發生時，土壤滲透性快慢會影響邊坡崩塌行為之發生，主要影響則在兩方面，一方面為邊坡塊體上方土壤層與下方岩層之滲透係數差異太大，造成暫棲含水層效應(Perched Water)，另一方面則為表層土壤入滲之水分囤積於上方土壤層中，導致上方塊體形成暫態飽和現象，邊坡塊體之凝聚力不斷降低情況下，便容易產生邊坡崩塌現象。由於目前土壤圖層資料並未擴及全省(僅在海拔高度 1000 公尺以下之地區)，因此本研究改以謝兆申、王明果(1991)對台灣全省調查各地土壤樣本之結果，並以滲透指

標(Hydraulic Conductivity Index，簡寫為 HCI)代表不同種類之土壤滲透係數高低對邊坡崩塌造成之影響程度，其評分方式如表 7 所示，水文評估面之評分分數如(6)式。

$$\text{水文評估面評估分數} = HCI \dots (6)$$

表 5. 岩性指標評分表

Table 5. The assessment value of the lithology index.

地層名稱	崩壞比 (%)	LI
石英岩，板岩，煤質頁岩	2.72	10.00
砂岩，頁岩	2.30	8.58
頁岩，砂質頁岩，泥岩	1.78	6.88
硬頁岩，板岩，千枚岩	1.78	6.88
變質石灰岩	1.37	5.51
黑色片岩	0.41	2.34
礫岩	0.32	2.05
礫石，土，砂	0.27	1.90
黑色片岩，綠色片岩，砂質片岩	0.24	1.80
砂岩，泥岩，頁岩	0.17	1.56
千枚岩，板岩，夾砂岩	0.09	1.28
紅土，礫石，土，砂	0.01	1.03
玄武岩質凝灰岩及岩流	0.00	1.00
蛇紋岩及基性火成岩	0.00	1.00

表 6. 斷層分佈指標評分表

Table 6. The assessment value of the fault distribution index.

評估點與斷層帶之距離	FDI	評估點與斷層帶之距離	FDI
<100m	10	600~700m	4
100~200m	9	700~800m	3
200~300m	8	800~900m	2
300~400m	7	900~1000m	1
400~500m	6	>1000m	0
500~600m	5		

表 7. 不同土壤之滲透指標評分表

Table 7. The assessment value of the hydraulic conductivity Index.

土壤種類	排水性	HCI
玄武岩石質土	良好	4
玄武岩暗色崩積土	良好	4
玄武岩淡色崩積土	尚可	6
玄武岩鹼性黃壤	良好	4
玄武岩酸性黃壤	良好	4
玄武岩紅壤	良好	4
玄武岩黑色土	良好	4
火成岩石質土	良好	4
火成岩黑色土	良好	4
玢岩紅壤	良好	4
砂頁岩老沖積土	尚可	6
砂頁岩非石灰性新沖積土	尚可	6
砂頁岩含石灰結核新沖積土	尚可	6
砂頁岩石灰性新沖積土	不良	8
片岩石質土	良好	4
北部砂頁岩沖積土	不良	8
砂頁岩幼黃壤	良好	4
砂頁岩石質土	良好	4
砂頁岩暗色崩積土	良好	4
砂頁岩淡色崩積土	良好至尚可	5
砂頁岩黃壤	良好至尚可	5
石灰岩黃壤	良好	4
石灰岩紅壤	良好	4
泥岩石質土	不良	8
片岩暗色崩積土	良好	4
片岩淡色崩積土	良好	4
片岩黃壤	良好	4
片岩紅壤	良好	4
東北部粘板岩非石灰性老沖積土	良好至尚可	5
東北部粘板岩石灰性老沖積土	尚可	6
東北部粘板岩非石灰性新沖積土	非常不良	10
東北部粘板岩石灰性新沖積土	不良	8
板岩石質土	良好	4
板岩暗色崩積土	良好	4
板岩淡色崩積土	良好	4
板岩黃壤	良好	4
板岩紅壤	良好	4
海岸山脈母岩沖積土	尚可	6
火成岩泥岩混合淡色崩積土	尚可	6
火成岩泥岩混合黑色土	不良	8
砂頁岩泥岩混合石質土	良好	4
砂頁岩泥岩混合暗色崩積土	良好	4
砂頁岩泥岩混合淡色崩積土	良好	4
砂頁岩泥岩混合黃壤	尚可	6
洪積母質紅壤	良好	4
洪積母質黃壤	良好	4
洪積母質淡色崩積土	良好	4
紅壤母質沖積土	不良	8

(4) 植被評估面

植被對邊坡崩塌問題有兩個主要效益：1、鞏固土壤塊體穩定；2、減少降雨到達地表之衝擊力及雨量。Sidle(1992)亦曾針對森林大量砍伐與未經砍伐之集水區進行比較，其認為經砍伐過後之森林邊坡破壞機率比未砍伐前之森林破壞機率增加了 3 倍，由此可瞭解植被生長對邊坡土體之影響。針對植被評估面對邊坡崩塌之影響，本研究以植被指標 (Vegetation Index, 簡寫為 VI) 代表植被評估面對邊坡崩塌之影響，細部評分方式如表 8 所示，植被評估面之評估分數如(7)式。

$$\text{植被評估面評估分數} = VI \dots\dots (7)$$

表 8. 植被指標細部評估表

Table 8. The assessment value of the vegetation index.

分類	植被種類	VI
林地	繁密之針葉林、闊葉林	1
	稀疏之針葉林、闊葉林	2
	未成年之樹叢、竹林	3
草地	百喜草、高爾夫球場、戀風草、南非鴿草	4
	雜草地	5
農墾地	檳榔、香蕉、茶園、水稻、牧草地	6
	柑橘、果樹、特有作物、鳳梨	7
	雜作、花生、玉米、高山蔬菜	8
水泥地、瀝青地、建屋用地、雜石地		9
裸露地		10

(5) 邊坡狀態評估面

邊坡是否穩定或發生崩塌行為，與邊坡土體穩定性有極大關係，一旦邊坡土體會受擾動而發生邊坡崩塌破壞行為，崩塌行為將改變邊坡特性，如坡度、坡型、土體凝聚力、岩層破碎程度、土體滲透性及植被覆蓋等因素，後續再度發生崩塌的機會相當高，就算

在人為協助重建之下，該邊坡欲恢復到過往未曾發生過邊坡崩塌時之邊坡特性亦需相當長的時間，目前此方面相關研究有 Ziemer(1981)提出：一邊坡之植生經砍伐後，約需經過 15 至 25 年之恢復期，方能使新植生的根系強度恢復跟以往一樣。而邊坡一旦發生崩塌，對邊坡特性之破壞勢必大於植生砍伐之影響，其恢復期亦大於植生砍伐之恢復期，因此本研究訂定只要評估之邊坡位置曾發生過崩塌現象，該邊坡往後在評估時皆視為舊崩場地。崩塌續發行為對邊坡崩塌之影響，本研究以崩塌續發指標(Reoccurrence Index，簡寫為 RI)評估崩塌續發評估面對邊坡崩塌之影響程度，評估分數則如表 9，邊坡狀態評估面之評估分數如(8)式。

$$\text{崩塌續發評估面評估分數} = \text{RCI} \dots (8)$$

表 9. 崩塌續發指標細部評估分數表
Table 9. The assessment value of the reoccurrence Index.

評估點崩塌情況	RCI
過往未發生過任何崩塌事件	0
過往發生過任何崩塌事件	10

(6) 人為開發評估面

山坡地開發是山坡地土砂災害主要促發原因，山坡地區之人為開發又以道路開發為主，道路開發促使邊坡坡址不穩定而影響上方塊體之穩定性，極易造成邊坡坍方或路基流失。本研究根據桃芝颱風崩塌地案例統計，10361 處崩塌地中有 4872 塊崩塌地與山區道路開發有關，約佔總崩塌地案例個數之 47%，可瞭解人為開發之山區道路對邊坡穩定之影響。本研究針對人為開發評估面以人為開發指標(Artificial Development Index，簡寫為 ADI)為評估項目，評估方式如表 10 所示，人為開發評估面之評估分數如(9)式。

$$\text{人為開發評估面評估分數} = \text{ADI} \dots (9)$$

表 10. 人為開發評估指標細部評估表
Table 10. The assessment value of the artificial development Index.

評估邊坡與道路距離	評分值
50m 內沒有道路開發	0
50m 內有道路開發	10

根據上述六個評估面八項細部評估因子之評分方式，六個評估面相加總分最大值為 10.01，最小值為 0.921，本研究將評分值分成高潛勢區(評分為 7 至 10.01)、中潛勢區(評分為 3 至 7)及低潛勢區(評分為 0.921 至 3)等。本模式乃利用邊坡位置之相關環境潛在因子評估該邊坡之崩塌潛勢特性，但由於本研究並未納入誘發因子之特性，因此所獲得之評估值僅代表該邊坡位置於未降雨未地震自然情況下之崩塌潛勢值，並未代表該邊坡崩塌與否之判斷式。

四、明德水庫桃芝颱風崩塌案例驗證

明德水庫位於苗栗縣頭屋鄉、獅潭鄉及造橋鄉境內，水庫主流為獅潭川溪(即為新店溪)與老田寮溪所組成，主流獅潭川之發源地為八卦力山脈，八卦力山之地質屬中新世東坑層，主要為砂岩及頁岩組成。三尖山位於八角嶼山脈北端屬南庄層，主要由灰色頁岩、砂岩及夾雜含煤層，本地之土壤屬弱育土綱苑裡坑系，苑裡坑系(YLk)是由砂頁岩母質風化形成之黃棕色黃壤。剖面質地以中細質地之粘質壤土或粉質粘壤土為主，土色呈較亮之黃棕色。明德水庫地區出現的中新世地層為出礦坑層、北寮砂岩、打鹿頁岩、觀音山砂岩、東坑層、上福基頁岩、關刀山砂岩、十六份頁岩、魚藤坪砂岩等，其後上新世和更新世的地層有錦水頁岩、卓蘭層、頭料山層和近代的沖積層。苗栗明德水庫至獅潭公路沿線岩層多變化，各地層組成之砂岩、頁岩或砂頁岩互層差異大且在地形上表

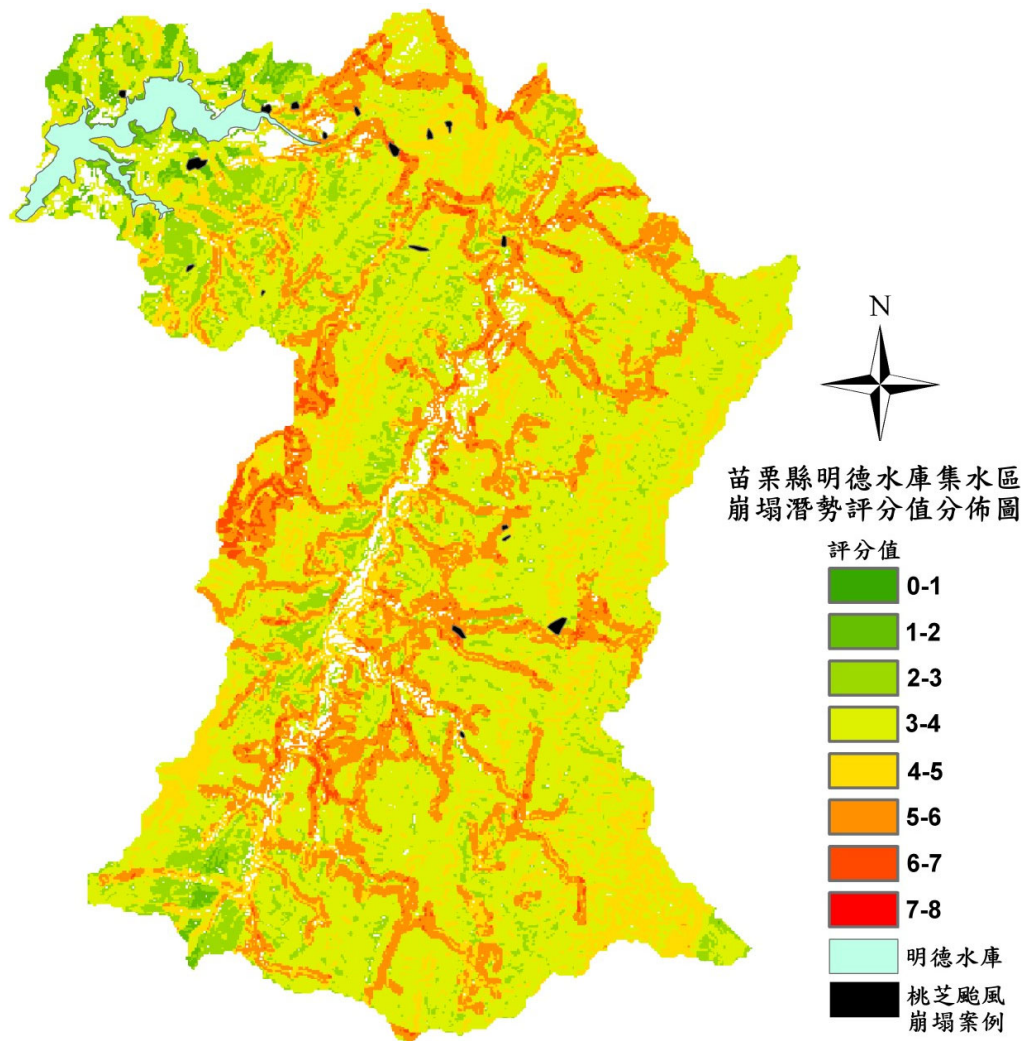


圖 4. 明德水庫集水區崩塌潛勢評分值分佈圖

Figure 4. The landslide potential chart of Ming-De Reservoir Watershd.

露無遺，地層極易辨識且沉積構造顯著。

根據農委會水土保持局山坡地土壤圖及謝兆申、王明果(1991)之台灣地區主要土壤調查報告顯示，明德水庫主要分佈之土壤種類可分為四種，依分佈面積佔總集水區面積比例排序分別為崩積土(佔 52.32%)、黃壤(佔 14.19%)、沖積土(佔 5.8%)及石質土(佔 0.75%)等。

在植生分佈上，明德水庫集水區範圍涵蓋新竹林管處所轄大湖事業區第 1 至第 2、第 5 至第 10 林班等八個林班地，集水區位屬台灣低海拔丘陵山地，區內由優勢樹種相思樹、山麻黃、樟樹、桂竹等與其他常綠闊葉樹組成複雜的次生林相，林內喬木、灌木、藤本、草本各層植群豐富。獅潭川上游流域海拔 1000 公尺以上保存原生闊葉樹美林，主要樹種有烏心石、台灣欒、楠類、儲櫟類、

牛樟、松類及其他高價值什木。人工造林地大多在海拔 1000 公尺以下，造林樹種主要有柳杉、濕地松、相思樹、樟樹、台灣檫、油桐、楓香等。集水區平原地帶多為糧食等農作分佈，緩斜坡地以茶葉、桂竹、柑橘為主。

本研究於 2004 年 10 月前往明德水庫現地探勘結果，明德水庫現有 18 處崩塌地，此 18 處崩塌地皆為桃芝颱風所引發之邊坡崩塌案例，11 處崩塌地位於人為開發之道路兩旁，其餘 7 處崩塌地則皆分佈於深山。本研究依據前述所建構之崩塌潛勢評估模式，繪出明德水庫集水區崩塌潛勢評分值分佈圖，如圖 4 所示，由此 18 處崩塌地之特性而言，18 處崩塌地之岩性大部分為砂頁岩互層，少數幾個則為砂岩、頁岩及泥岩互層，部分案例之岩層種類則為北寮砂岩及上福基砂岩等岩層，這些岩層在評分值上都較高，皆加重了地質評估面之評估分數，且由於明德水庫集水區之土壤大多屬於砂頁岩石質土、砂頁岩黃壤及砂頁岩淡色崩積土等等，亦加重水文評估面之分數，而 11 處位於道路兩旁之崩塌地也由於道路開發之關係，在崩塌潛勢圖上皆位於崩塌高潛勢區(評分值大於 7)，而 7 處位於深山之崩塌地也皆位於崩塌中潛勢區(評分值介於 3 至 7 之間)。

五、結論

本研究採用多評準決策層級分析法建構崩塌潛勢評估模式，並使用桃芝颱風引發之邊坡崩塌案例進行驗證，以明德水庫於桃芝颱風引發之崩塌案例進行評估試驗，驗證結果顯示桃芝颱風於明德水庫集水區所引發之 18 處崩塌地中，11 處崩塌地位於崩塌高潛勢區，7 處崩塌地位於崩塌中潛勢區。完整之邊坡崩塌潛勢評估模式必須包含誘發因子對邊坡崩塌之影響，本研究將誘發因子由崩塌潛勢評估模式中抽離，先評估未降雨情況之崩塌潛勢分佈，而誘發因子對邊坡崩塌之影響

如何與未降雨情況之崩塌潛勢評估模式結合，將是本研究後續研究之重點。

六、參考文獻

1. 山地農牧局(現改稱水土保持局)(1964)「曾文水庫上游集水區水土保持初步規劃報告」。
2. 石門水庫管理局(1990)「石門水庫集水區第二階段治理規劃」。
3. 朱聖心(2000)「應用地理資訊系統製作地震及降雨所引致之山崩危險圖」，國立台灣大學土木工程學系碩士論文。
4. 李三畏(1984)「台灣崩塌問題探討」，地工技術，7：43-49。
5. 吳俊鉉、陳樹群(2003)「崩塌潛勢預測方法於台灣適用性之探討」，水土保持學報 36(4)。
6. 林書毅(1998)「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。
7. 陳宏宇(1999)「九九峰的石頭」，農業委員會特有生物研究保育中心。
8. 陳意旋(2001)「溪頭地區山崩潛感圖製作」，國立台灣大學土木工程所碩士論文。
9. 陳凱榮(1999)「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。
10. 徐美玲(1995)「坡地土壤孔隙水壓動態空間分佈預測模式」，國立台灣大學地理學系地理學報，18：1-21。
11. 賴益成(1998)「集水區泥砂遞移率之推估研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
12. 張石角(1987)「山坡地潛在危險之預測及其在環境影響評估之應用」，中華水土保持學報，18(2)：41-48。
13. 鄧振源、曾國雄(1989)「層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(上)」，中國統計學報，

水土保持學報 37(2) : 155-168 (2005)

Journal of Soil and Water Conservation, 37(2) : 155-168 (2005)

27(6) : 5-22。

14. 鄧振源、曾國雄(1989)「層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(下)」,中國統計學報, 27(7) : 1-20。

15. 盧育聘(2003)「類神經網路於公路邊坡破壞潛能之評估」,立德管理學院資源環境研究所碩士論文。

16. 簡李濱(1992)「應用地裡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學系碩士論文。

17. Montgomery D.R., W.E. Dietrich, (1993), "A physically based model for the topographic control on shallow landsliding," Water Resource Research , Vol. 30, No. 5, pp.1153-1171.

18. Koukis, G., C. Ziourkas(1991), " Slope instability phenomena in Greece : A statistical analysis" Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 43, pp.47-60.

19. Satty, T.L. , (1980) , "The Analytic Hierarchy Process", Mc Graw-Hill, New York.

93 年 04 月 05 日 收稿

93 年 05 月 02 日 修改

93 年 05 月 11 日 接受