

坡地安定性之計量分析評估

Quantitative Assessment of Hillslope Stability in a Watershed

蘇苗彬
Miau-Bin Su
國立中興大學
土木工程學系副教授

陳旺志
Wang-Jyh Chen
屏東科技大學
土木工程學系講師

簡李濱
Li-Bin Jien
國立中興大學
土木工程學系碩士

摘要

對大區域之山坡地邊坡進行安定性的評估，是山坡地整體開發規劃中一項基礎性的工作。在應用地理資訊系統之技術來建立一套用來評估區域性坡地安定的計量分析方法。選定苗栗縣鯉魚潭水庫大壩上游集水區為本研究之地區，建立地理環境資料庫，分析求得資料庫中有關地形、地質及特殊空間位置分佈等資料。評估作業中利用各因子內分類等級對各類型災害崩塌個數之資料統計分佈情形，並提出以相對量化分級之方法求出各等級之計量值及因子間的權重值。並考量不同災害類型的影響，以評定坡地的整體安定性與可能發生之災害類型。有助於地區整體的開發規劃與山崩災害的防治。

關鍵詞：地理資訊系統、計量方法、坡地安定評估

ABSTRACT

The objective of this study is to build a quantitative analysis method for the assessment of local hillslope stability using the technology of GIS. The method developed was based on estimating the relative dangerous degree for slopes. Factors and its weighting function are determined for each type of failure based on field investigation for different type of slope failure. And, Li-Yu-Tan reservoir basin was chosed to be the study site.

Prediction using regressed result compared well with records of landslide in situ. It is proved that using GIS technology to assess the stability of hillside slope offer a operational environment and is helpful to slopeland resources investigation and land use planning for large area of slopeland.

Keywords : GIS , quantitative assessment , Hillslope stability.

一、前言

運用地理資訊系統來評估坡地安定性問題時，可以提供一良好之作業環境來處理大批之空間資料，包括地形中的坡度、坡向資料，地質中之岩性位態資料或其他空間表現之屬性資料，對坡地安定性評估作業提供一有效之工具。

山坡地安定性評估作業中對所需評估之地區之邊坡進行各別的穩定程度的判斷與分析之工作，以評估各邊坡發生不安定之邊坡破壞（slope failure）風險為其工作之重點，故對造成坡地不安定之各種可能發生邊坡破壞之地質災害型式及其影響範圍、發生之規模與發生之機率均屬評估工作之內容。

然由欲從空間上之各影響因子，直接對坡地安定性評估或預測山崩發生之潛在性問題時，應考量山坡地之災害型式有許多不同之類型，故而對各種破壞現象亦有許多不同之分類標準(Varnes,1978；張石角,1987)。在坡地安定問題探討上，若要預測其山崩破壞之發生，則要先對其可能發生之破壞型態進行判釋或預估。此即為山崩處理或控制措施的第一步(Hansen,1984)。仔細觀察過去在此問題之研究上，其用來評判之影響因子，大多為潛因條件。而對有區域性、時間性及未可預測性之誘因條件則多未予以考慮，所以考慮之因子組合結果，並不足以代表真正之坡地安定性，而可能在不同區域，針對同一因子組合在現地卻有不同之結果。

針對上述要點，依不同坡地災害類型，考量地形、地質、土壤與水系等因子之組合，透過現地調查災害發生的位置與特性，再經由相對量化之方法，評定其影響因子與權重，進而計算坡地之整體安定性，並預測坡地可能發生災害之類型。

二、研究方法

本報告依蘇苗彬等(1998 年)所述檢討在地理資訊系統的架構下，對影響坡地安定之各因子進行評估分析，再經由相對量化之方法評定影響因子與權重，由不同的災害類型進行坡地評估作業。其流程圖如圖 1 所示。

上述之坡地評估作業，包含三種主要分析項目：

1.空間分析

除直接數化之因子資料外，並從地理資訊系統下求得相關具有空間特性之因子，以共同做為評估因子之用。

2.計量分析

利用現地崩塌地調查之資料於各因子內分級（類）中進行統計，依相對量化之概念將各級統計之結果在整體統計資料之分佈情形，決定出該等級之計量值，再由統計分佈之離散情形來代表該因子的資料分級（類）對評估坡地安定之靈敏程度，以決定該因子的權重值，如圖 2 所示。

3.疊合分析

為不同主題圖之套疊方法，運用此概念將各評估因子之網格空間疊合，而疊合分析的運算則利用計量分析中之權重值，做權重疊加之計算。

三、地理資訊系統資料庫之建立

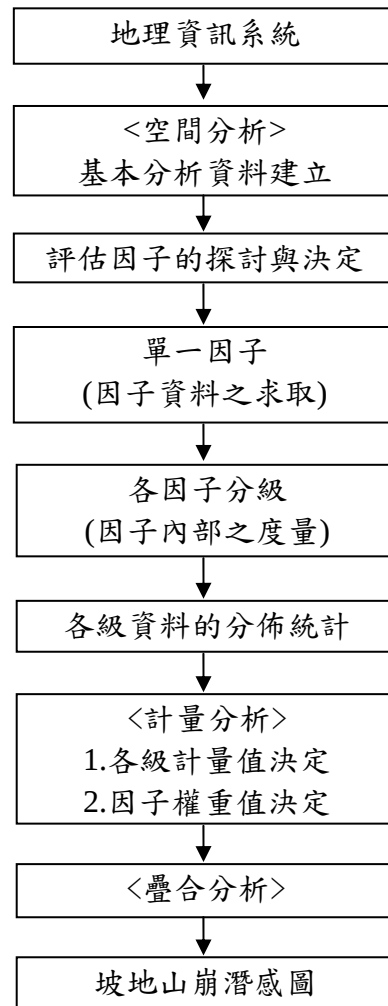


圖 1 坡地評估作業流程圖

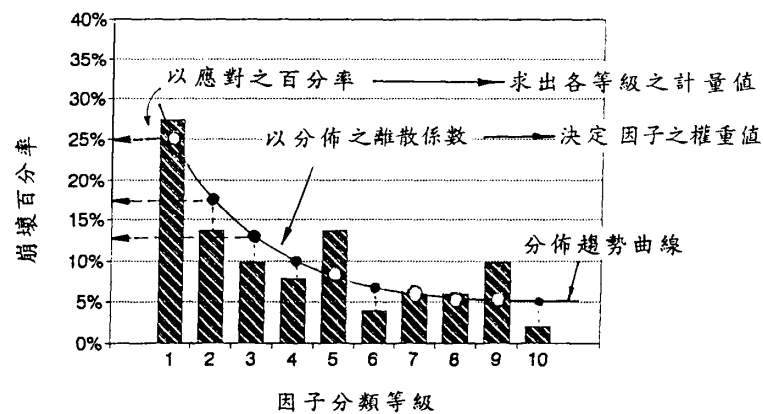


圖 2 因子計量方式之示意圖

1. 資料蒐集

根據所需之資料，經蒐集整理而得之相關資料如下：

- (1) 數值地形模型(DTM)資料
- (2) 鯉魚潭上游集水區環境地質資料庫

(3)基本圖

(4)土壤圖

(5)地質圖

基本資料庫之建立是以已數化之圖籍檔案，轉換成分析所需之網格式資料格式。而數值地形模型係記錄著地表之高程，凡有關地表、地貌等之資料均可由數值地形模型中計算而得，是極重要之基本資料檔，可由數值地形模型中直接計算而得的資料檔有坡度、坡向、流向、及各個小的集水分區坡地的幾何形狀等。

四、坡地安定評估分析

1.分析概念架構

對坡地安定評估分析之概念，係以鯉魚潭水庫集水區內調查而得之四種主要的坡地災害類型—墜落、滑動、河岸侵蝕與向源侵蝕等事件，做為評估的分類基準。對於坡地安定程度之描述，以計量之方法作統計。在相對量化的概念下，建立一不安定指數(D)以描述該邊坡在整個區域坡地安定平衡下，會發生邊坡破壞的可能性。依圖 3 之分析流程，以不同坡地災害類型的因子組合，考量各因子之分類等級與發生災害密度之大小，計算出因子內各分類等級之不安定指數，由因子內之各分類等級發生災害密度百分率的離散情形，做為因子間權重大小訂定的依據。

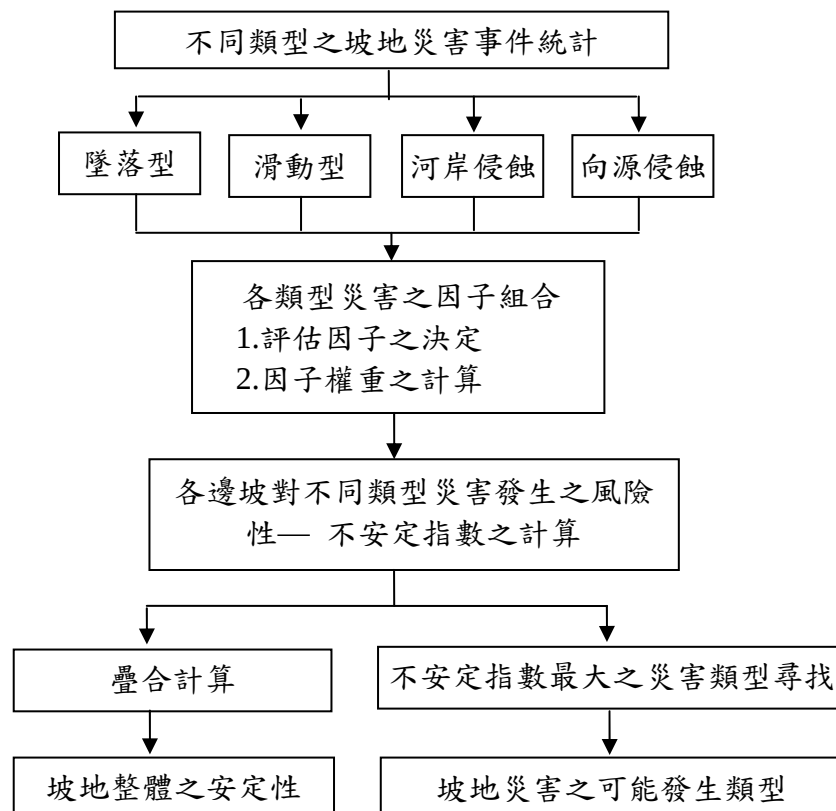


圖 3 坡地分析流程圖

不安定指數所代表之意義，依計算對象與分析層次不同，可分為單一因子之不安定指數，各災害類型之不安定指數及坡地不安定指數。

2. 計量分析方法

(1) 不安定指數之定義

基於以計量之方式來評估該坡地安定程度之概念，定義一不安定指數(D)以代表坡地不安定之程度，其可描述單一因子的影響程度，亦可是因子綜合計算後對坡地評估的指標數值，而其間之數學關係如下：

$$\text{不安定指數}(D_{\text{TOTAL}}) = D_1^{W_1} \times D_2^{W_2} \times D_3^{W_3} \dots \times D_n^{W_n} \dots \dots \dots (1)$$

其中 $D_1, D_2, \dots, D_n$ 代表各評估因子之不安定指數值，如坡度因子、材料因子.....等， $W_1, W_2, \dots, W_n$ 則代表權重值。

而權重值($W_1, W_2, \dots, W_n$)則是因子間對坡地安定之影響程度指標值，其範圍為 0~1 之間，且全部權重值之和為 1，即

$$W_1 + W_2 + W_3 \dots + W_n = 1 \dots \dots \dots (2)$$

因各因子值為 1~10 之間之數值，不安定指數(D_{TOTAL}) 為各因子之乘積值，則各因子權重值之和為 1 的好處是不安定指數(D_{TOTAL})之值必落於 1~10 之間，與各因子相對等級數值之定義範圍相同，而使不安定指數(D_{TOTAL})與各計算之因子有相同之特性。

(2) 各因子不安定指數之計算方法

在(2)式中之 $D_1, D_2, \dots, D_n$ 之各因子不安定指數，是單因子對坡地安定之指標數值。其數值之計算方法是利用發生災害密度做衡量之基準。

(3) 各因子權重值之計算方法

權重值是用以描述所有因子組合後，各因子對所分析災害類型之不安定指數(D_{TOTAL})所佔有之影響比例，若要以計量之方法計算權重時，

3. 評估因子的選定

評估因子選擇之適當與否會直接影響評估之結果，故對各用來評估之因子，必先明瞭其性質，才可確立該因子在分析過程中所扮演的角色，而做適當之判斷，本研究以地形、地質、區位三個方向做考量。

(1) 地形因子

一般用以描述坡地之地形者，有坡度、坡向、坡地之幾何形狀及坡長或坡高等因子，其中坡長（或坡高）因子在本研究採網格法分析，對象是每一固定大小網格點，故不以考慮。而坡度、坡向及坡地之幾何形狀對坡地之安定是有其不同之影響。

(2) 地質因子

岩層與土壤之材料性質，可以作為該地區邊坡本身材料對抵抗破壞外力之指標。

(3) 區位因子

此類之因子不同於地形地質等類型之因子，為造成坡地不安定潛在因素，而從誘因在空間分佈上所造成影響機率著手。誘因考慮水對坡地之影響，地下水在山坡地區以補注溪流、河川水的情況下，地下水升降對坡地之影響，嘗試用距離河道之遠近之帶狀區域(buffer)來加以考量。

4. 各災害類型因子分析

本分析是以四大災害類型之坡地安定評估因子，進行各因子分類等級之不安定指數與因子間權重值之計算，而求出(1)式之各災害類型不安定指數計算式。

(1)因子分類等級之不安定指數

因子不安定指數之計算是依因子各分類等級對不同類型之災害個數統計所佔的百分比為依據，再依轉換數值而得，先計算出各分類對全部類型之崩壞網格密度與單一類型之崩壞網格密度，利用二者百分率之平均值，做為是該分析類型之崩壞機率百分比。

(2)各災害類型之不安定指數

各災害類型之不安定指數除了需求得各因子之不安定指數外，還需求得各因子間之權重值，以決定每一個因子在評估算式中之份量，而權重值之求得則需由各因子內分類等級於崩壞百分比的離散係數決定之。

依不安定指數之大小可代表坡地的安定程度而製成四種不同災害類型之山崩潛感圖（圖 4-7）。

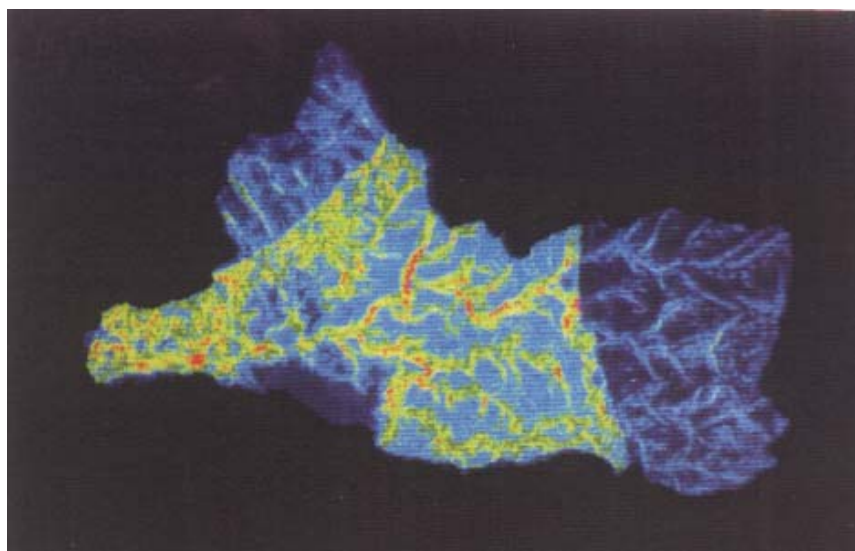


圖 4 鯉魚潭水庫集水區墜落型災害山崩潛感圖

顏色	藍→綠→紅
潛感值	安定→危險

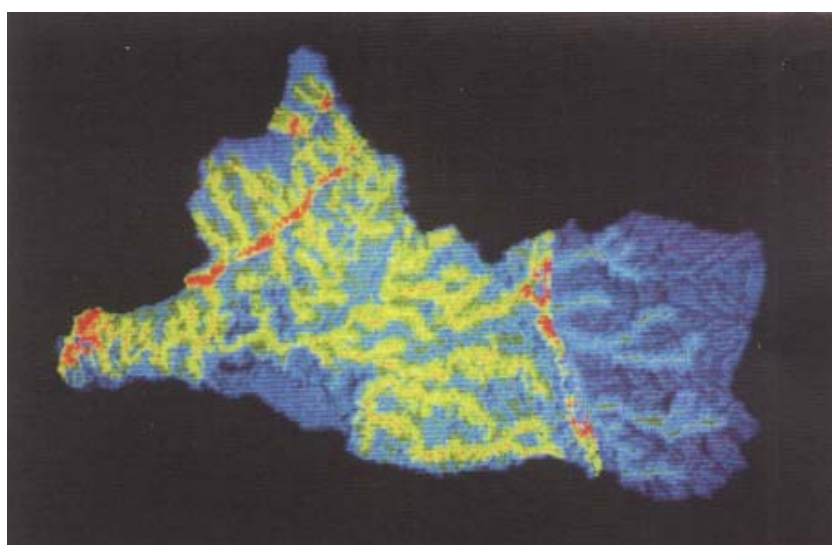


圖 5 鯉魚潭水庫集水區滑動型災害山崩潛感圖

顏色	藍→綠→紅
潛感值	安定→危險

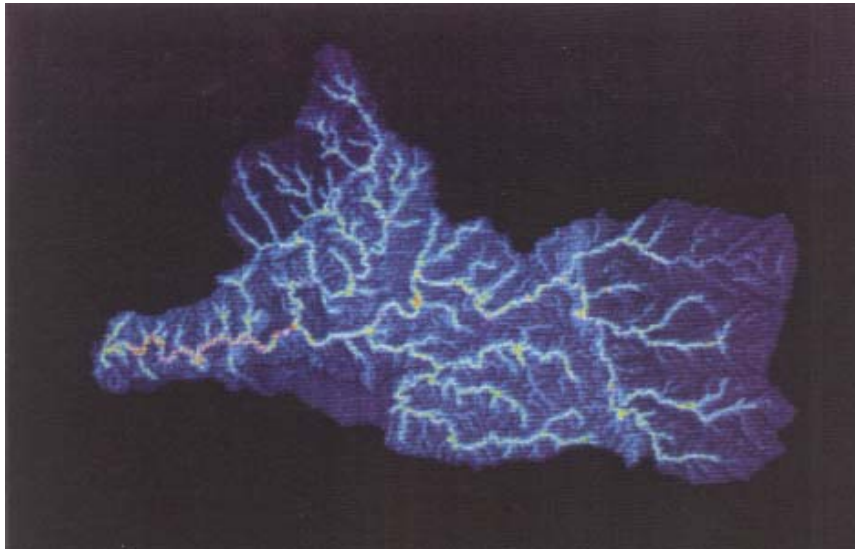


圖 6 鯉魚潭水庫集水區河岸侵型災害山崩潛感圖

顏色	藍→綠→紅
潛感值	安定→危險

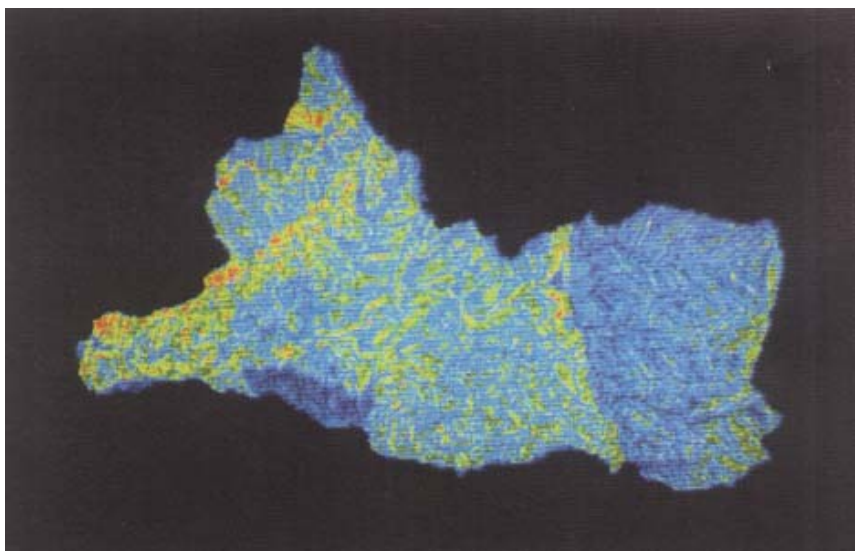


圖 7 鯉魚潭水庫集水區向源侵蝕型災害山崩潛感圖

顏色	藍→綠→紅
潛感值	安定→危險

(3)預測與現地調查災害區的比較

表 1 則是對山崩潛感圖中各資料點的不安定性指數與已發生災害地區之疊合統計資料，將山崩潛感圖中各資料點的不安定指數，利用統計累加個數，等分成十級，以觀各災害點之不安定指數之分佈情況。由資料可知，不安定指數愈大之等級發生災害的機率也愈高，故以不安定指數之大小的確可用以代表坡地安定程度之強弱，指數愈大坡地發生崩壞之機率也愈高。而從等級區分來看若能注意較高之四個等級(等級 7~等級 10)的空間分佈位置，則可掌握 80%左右之坡地不安定地區。

表 1 已發生地質災害地區與坡地之山崩潛感圖疊合之統計

項目 範圍		墜落型		滑動型		河岸侵蝕		向源侵蝕		合 計	
等級	不安定指數範圍	個數	百分比 (%)	個數	百分比 (%)	個數	百分比 (%)	個數	百分比 (%)	個數	百分比 (%)
1	1-2.3	0	0	1	1.11	0	0	0	0	1	0.49
2	2.4-2.7	0	0	3	3.33	0	0	0	0	3	1.48
3	2.8-3.1	1	2.27	4	4.44	1	5.56	2	3.92	8	3.94
4	3.2-3.4	0	0	4	4.44	0	0	2	3.92	6	2.96
5	3.5-3.7	3	6.82	6	6.67	2	11.11	3	5.88	14	6.90
6	3.8-4.1	1	2.27	7	7.78	0	0	2	3.92	10	4.93
7	4.2-4.5	6	13.64	9	10.0	3	16.67	5	9.80	23	11.33
8	4.6-5.0	4	9.09	10	11.11	1	5.56	9	17.65	24	11.82
9	5.1-5.8	6	13.64	20	22.22	5	27.78	12	23.53	43	21.18
10	5.9-10	23	52.27	26	28.89	6	33.33	16	31.37	71	34.98
合 計		44		90		18		51		203	

[註] 等級區分是以統計個數十等分而得。

5.各災害類型之聯合分析

由四種災害類型考量下所製成之四張山崩災害潛感圖，利用地理資訊系統空間疊圖(overlay)的觀念，即可於同一網格內之坡地對四種災害類型之不安定指數做一比較或運算，以整體評估該邊坡之安定程度。其評估方式有三：

- (1)找出四種災害類型之不安定指數最大者，其災害類型即可視為該坡地於發生災害時之最可能的破壞類型，而製成坡地災害類型預測分佈圖（圖 8）。
- (2)由四種災害類型之不安定指數最大者，視為該坡地不安定指數，製成坡地山崩潛感圖（圖 9），以評估對發生坡地災害問題之坡地的危險程度。
- (3)亦可由四種災害類型之山崩潛感圖任意權重疊加，以評估在不同災害權重下坡地整體之安定性。

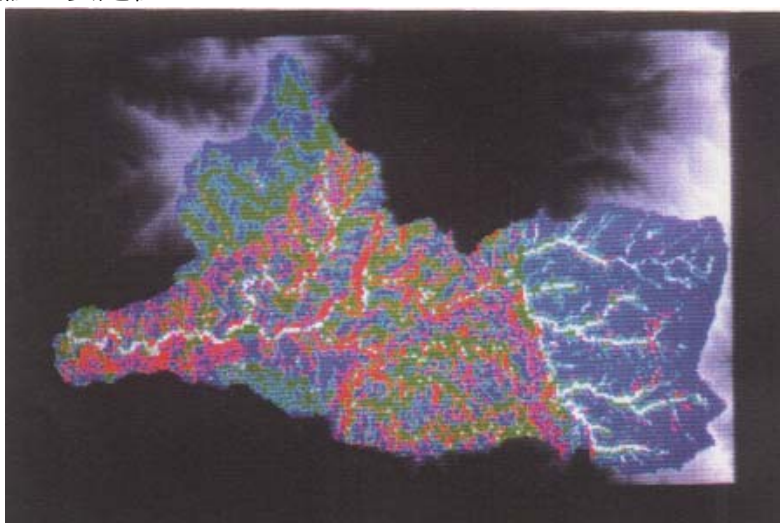


圖 8 鯉魚潭水庫集水區坡地災害類型預測分佈圖

紅色	墜落型	白色	河岸侵蝕型
綠色	滑動型	藍色	向源侵蝕型

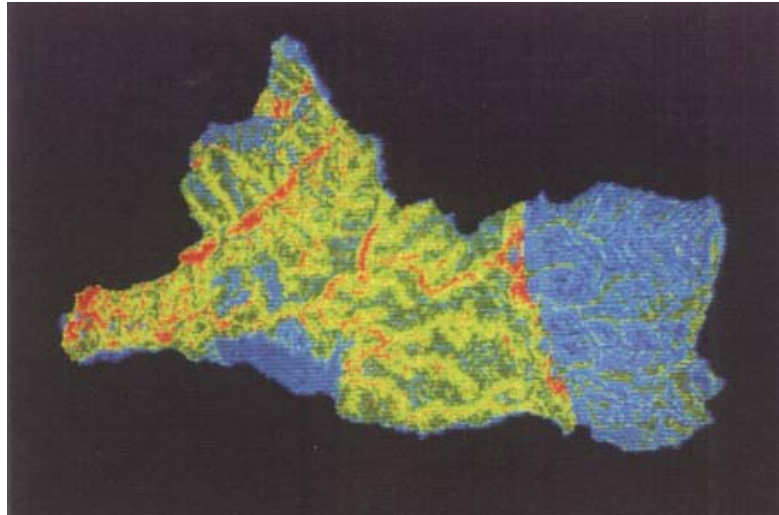


圖 9 鯉魚潭水庫集水區坡地整體評估之山崩潛感圖

顏色	藍→綠→紅
潛感值	安定→危險

五、結論與建議

本報告是在地理資訊系統的概念與架構下，對一區域性的坡地安定問題進行評估方法的研究，提出一套計量之分析方法，由現地資料的實際分析，製成四張不同災害類型、一張整體評估之山崩災害潛感圖及一張災害類型預測分佈圖，經其結果的討論，所得之結論與建議如下：

1. 結論

- (1)在地理資訊系統架構下，除了可從系統本身快速處理與有效整合空間分佈上大量的資料外，亦可由其技術或空間分析概念，取得許多人力所無法達成的空間因子參數，從不同的觀點來處理分佈於地表的各種事物，此對區域性的坡地安定評估工作，無疑提供了一良好的作業環境，在此環境中可一一對其可能之影響因子做空間相關性之探討研究，使得參與評估之各因子能真正了解其作用關係與影響程度。
- (2)以計量之分析方式，來評定各坡地的安定程度，可清楚地說明其影響程度之大小，而以各分區之現地崩塌的個數密度來對各因子分類等級進行量化的工作，可避免因人為因子權重或計分方式所造成評估因子對坡地安定影響作用的固定化，而無法反應現地區域的真实情形。
- (3)相對量化之分級概念，可清楚地表現出該資料在整體資料分佈狀況之大小，在本研究所分析之結果中，正可依其資料的大小，找出區域中較危險的地區，而先予以關注或治理，故對一區域的坡地安定評估，有其適用的價值。
- (4)利用現地災害類型為導向，以各類型之因子組合來評估山坡地的安定性，可使所關注的山坡地災害問題更清楚化，而不再是空泛討論在何種因子條件作用下邊坡的危險程度。以各種不同災害類型所需之因子條件的組合不同下，對同一邊坡進行分析可找出最可能發生災害的型式，而達預測之目的。

2. 建議

利用地理資訊系統做空間資料處理與空間因子參數的求取，以計量的方式

來評估山坡地的安定性雖然在本研究提出，但其中仍有許有待深入探討的問題，包括評估因子間是否互為獨立之影響變數、各類型災害的真正可代表性之評估因子為何、因子內各分類或分級的適當性以及網格面積大小對資料精度的影響等，均可做為進一步的研究方向。

六、參考文獻

- 1.洪如江 (1984) 我國臺灣地區邊坡穩定的問題與坡地科技研究現況, 地工技術雜誌, 7:4~6。
- 2.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):41~46。
- 3.蘇苗彬、蔡顯修、簡李濱, (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
- 4.Hansen, M.J. (1984), Strategies for Classification of Landslides. In *Slope Instability (Brunsden & Prioried.)*, 1-26.
- 5.Varnes, D.J. (1978) Slope Movements and Type and Processes. In *Landslide Analysis and control*, Transportation Res. Board Nat. Ac. Sci. Washington Spee. Rep. 176:11-13.