



應用地理資訊系統建立坡地安定評估之計量方法

Application of Geographic Information System in The
Quantitative Assessment of Hillslope Stability

蘇苗彬)(Miau-Bin Su) 簡李濱)(Bin JienLi)

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。本研究的目的即是在應用地理資訊系統概念與技術，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，以相對量化分級之概念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，以決定坡地的整體安定性與可能發生之災害類型。在此系統下運用空間分析技術而發展的坡地安定評估之計量方法，以不同災害類型之因子組合來評估坡地時，除可決定坡地安定性外，亦可對可能發生之災害類型進行預測，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 concept and technology of GIS. The method developed was based on estimating the relative dangerous degree for slopes. And, Li-Yu-Tan reservoir basin was chosen to be the study site.

The prediction results compared with records of landslide in situ. It is proved that using GIS technology to assess the stability of hillside slope offer a better operation environment and is helpful to slopeland resources investigation and land use planning in large area of slopeland.

Keywords : GIS , quantitative assessment , Hillslope stability.

一、前言

台灣地區地狹人稠，山坡地面積佔全島近四分之三地區，在工商業經濟快速發展下，山坡地的開發早已成為不可避免的趨勢，然台灣島地形、地質錯綜複雜，加上台灣海島型的氣候型態，故對山坡地即將經理開發的地區，做好事前的規劃與周遭環境完善的影響評估，是一重要的課題。

運用地理資訊系統來決定評估坡地安定性問題時，其將提供了一良好之作業環境來處理大批之空間資料，此空間資料可以是地形之坡度、坡向資料亦可是地質之岩性位態資料或其他空間表現之屬性資料，無疑是對坡地安定性評估作業中一大助益。

山坡地安定性評估擬對所需評估之山坡地區邊坡的質與量進行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是評估工作之內容。

然由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，是有其邏輯推論上之疑慮，其疑慮為：

1. 由一穩定之坡地至不穩定坡地的發生，其破壞作用過程之型式是否均相同？
2. 不同之邊坡破壞型式其影響因子的種類與影響程度是否一致？
3. 僅考慮發生山崩等地質災害來評估坡地安定性問題上，相同因子之組合可否代表不同地點上有同樣之安定程度？

探討上述之問題時，可得下列之概述：

1. 山坡地之災害型式有許多不同之類型，而對各種破壞現象亦有許多不同之分類標準 (Varnes, 1978[1]; 張石角, 1987[2])。這些不同之斜坡破壞型式，在一般坡地安定性評估之問題上卻概括了一切，故對坡地安定問題探討上，若要預測其山崩破壞之發生，則將要對其可能發生之破壞型態進行判識或預估。此即為山崩處理或控制措施的第一步 (Hansen, 1984[3])。

1. 對各種邊坡發生之地質災害，因為發生之原因不同，其影響因子的決定與影響程度應當不相同[4][5][6]。對影響之因子，大致可分潛因 (Inherent causes) 與誘因 (Initiating causes) 等兩種，潛因係指各坡地本身之基本條件，是一內在因素，一般認定有地形、地質等因子，而誘因則泛指可誘發坡地發生山崩等破壞之因子，有雨水、地震、風化、人為等外在之因素。在評估可能發生地質災害的坡地時，潛因大致決定了坡地的類型，誘因則決定了發生破壞時機。由長期之觀點，不同之因子組合可孕育出不同之坡地類型。故當面對坡地之災害時，其不同因子組合與影響所造成不同之災害類型是應加以注意的。

3. 對相同之因子組合在常理上之推斷，其應有相同的坡地安定性。但若考量因子不能完全決定坡地安定程度時，則上述之推論是值得懷疑的。仔細觀察國內在此問題之研究上，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不以為慮，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。

二、研究方法

(一)、研究方法

本研究是在地理資訊系統的概念架構下，對影響坡地安定之各因子進行評估分析，而依評估因子、地理資訊系統與坡地安定分析之觀點，研究中各分析於整體評估作業之角色如圖 2-1 所示。

1. 空間分析

除直接數化之因子資料外，並從地理資訊系統觀點下求得其他具有空間特性之因子，以共同做為評估因子之用。空間分析方法主要採用網格資料之特性，資料於各網格中以單一數值 (屬性值) 存放，利用數值地理模型 (DTM) 網格鄰近八點之資料值，即可做空間地形上之分析，而建立在評估作業中之各因子資料。

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，再利用統計分佈之離散情形，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 2-2 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。

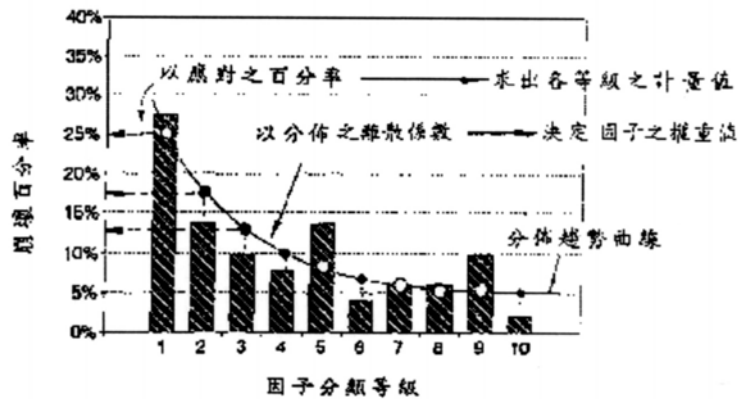


圖2-2 因子計量方式之示意圖

(二)、研究項目與流程

研究之工作以針對鯉魚潭水庫集水區內之坡地邊坡區域特性為主，其主要項目如下：

1. 資料蒐集

資料蒐集先取得鯉魚潭水庫集水區已建立或調查過之資料[7][8]，除對該地區作一通盤之瞭解，其相關之資料可做為後續評估分析之數據。資料蒐集的範圍則包括了基本圖幅、各主題圖幅、調查報告與研究報告以及相關之電腦檔案。

2. 現場勘測

現場勘測為瞭解現場最直接的方法，現場之研究工作主要分為三個不同之項目：初步的現場踏勘。以瞭解鯉魚潭整體之現況，其中包括了地形、地勢、土地利用的調查以及現有地質災區之勘查等。資料之現場比對與未收集到資料的現場量測。資料之現場比對是比對資料的正確性，亦可認知資料內容描述在現地之實際狀況；現場量測則是補足資料收集不足而做之量測，包括地層走向、傾角的量測等，評估結果的驗證，以做為分析成果優劣之評判。

3. 資料庫的建立

以地理資訊系統來做空間資料分析而言，資料庫的建立是首要的工作。首先必須決定與設計資料庫的內容與型式，再對現有之資料行數化建檔之工作，以做為分析時之資料提供。

4. 工具程式的開發

工具程式的開發，主要是因分析工作時之需求而來，由於地理資訊系統一處理地理空間資訊之概念，雖國內外已有許多套裝軟體之出現，但對各分析之模組尚嫌不足，須發展一些工具程式以因應分析之所需，本研究主要開發之模組有資料處理部份、資料分析部份、資料轉換部份、及資料之顯示部份。

5. 資料分析

此項目之工作主要對已建立好之資料庫各主題資料庫進行分析，依區域之相對比較概念下進行各因子之分級化工作。主要目的是要求因子中各分類對坡地安定之評估指數，以為評估作業之依據。

6. 坡地安定性評估

為本研究之重心所在，擬對四種不同之災害類型分別對坡地之安定性進行評估，利用四種不同災害類型評估之結果，再做整體坡地安定性最終評估之依據。

7. 成果驗證

將鯉魚潭水庫集水區坡地安定性評估之結果，利用現有之地質災害分佈之資料，與高度不安定區，亦即評估結果為可能發生邊坡破壞機率高者，利用疊合(Overlay)分析，做為成果驗證之方法。

三、地理資訊系統資料庫之建立

(一)、資料蒐集

本研究根據所需之資料，經蒐集整理而得之相關資料如下：

(A)數值地形模型(DTM)資料

(B)鯉魚潭上游集水區環境地質資料庫

(C)基本圖

(D)土壤圖

(E)地質圖

(F)調查報告

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，是本研究極重要之基本資料檔，其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、幾何形狀等。

四、坡地安定評估分析

(一)、分析概念架構

本研究對坡地安定評估之分析概念如圖4-1所示，以鯉魚潭水庫集水區內統計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，做為評估坡地安定程度的研究主題。而對於坡地安定程度之描述，以計量之觀點，在一相對量化的概念下，提出一不安定指數(D)以描述該邊坡在整個區域坡地安定平衡下，會發生邊坡破壞的風險度。依圖4-2分析計算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的依據。再由各類型災害因子組合所計算出不安定指數，來計算坡地整體之不安定指數，以描述該坡地在四大類型災害綜合考量下之危險程度；亦可由四種類型中，找出最大不安定指數者，做為該坡地若發生災害時之可能類型。

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。

(二)、計量分析方法

1. 坡地評估之不安定指數

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：

$$\text{不安定指數}(D_{\text{TOTAL}}) = D_1^{W_1} \times D_2^{W_2} \times D_3^{W_3} \dots \times D_n^{W_n} \quad [4-1]$$

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。

依相對量化分級之概念，〔4-1〕式中之不安定指數(D_{TOTAL})與各因子值(D_1, D_2, \dots, D_n)的內容以相對等級數值來代表，其數值以1~10為計量範圍，數值大小所代表的意義為：當數值等於10時，表示為所有資料中對坡地發生崩壞的可能機率為最大者；數值等於1時則表示所有資料中對坡地發生崩壞可能機率為最小者，資料均介於1~10之間之任意值，故值愈大者其代表坡地不安定的程度愈高。

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

$$W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n = 1 \quad [4-2]$$

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。權重值以次方之指數型式出現於〔4-1〕式中，其代表之意義為：當權重值為0時，則此因子值變為1，不影響乘積之結果，即因子為無效因子，當權重值愈大時，其影響不安定指數值愈大，即因子愈重要。

2. 各因子不安定指數之計算方法

在〔4-2〕式中之 D_1, D_2, \dots, D_n 之各因子不安定指數，是以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。

本研究因利用網格式分析，崩壞地點之面積在網格式轉換之後有失真之現象，僅供參考之用，而利用崩壞個數密度之大小，做為地域、材料強弱的指標。由於計算網格式之方便性，崩壞個數密度使用崩壞網格式密度。

$$\text{崩壞網格式密度} = \text{崩壞的網格式數} / \text{區域總網格式數} \dots [4-3]$$

故對地質因子（岩性、土性）採用崩壞網格式密度，來表示各岩層或土壤分類之材料抵抗強弱之特性。將所有崩壞網格式密度之資料範圍依〔4-4〕式計算對應至1~10之間，即可求得不安定指數之值。

$$D = \frac{9(X_j - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} + 1 \quad [4-4]$$

〔註〕其中D為因子之不安定指數， X_j 表崩壞網格式密度或百分比； X_{\max} 、 X_{\min} 則分別表示因子分類中崩壞網格式密度或百分比最大與最小者。

對非地質之因子如坡度、幾何形狀、離河道距離等各分級（類）之面積大致相等，則對不安指數之求法則可由統計在各分區之崩壞個數之百分比，將各分區的百分比分佈範圍亦可依〔4-4〕式所示，將資料對應至1~10之間，將數值成為1~10中之任意數，以完成不安定指數之計算。

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，則各因子間就必須找出一個可供比較計算數值以做權重之計算，故權重值之計算可分為兩個步驟，一、各因子權重比較值的計算，二、由各因子間權重比較值的大小計算因子權重值。

(1). 各因子權重比較值之計算

各因子值的計算，是由因子資料本身的分類或分區，從各分區類別中計算出一不安定指數，來描述對坡地發生崩壞的風險程度所以分區、分類的好壞，直接影響了此因子能否敏銳地描述對坡地安定性問題之相關程度。利用各類等級統計而得崩壞個數所佔有百分比的離散係數（Coefficient of Variation），可代表因子分類（級）對發生崩壞機率的靈敏度，當離散係數較小時，各分類（級）發生崩壞機率相近，亦表示此因子之分類無法將崩壞機率高地區決定出來，反之若離散係數較大者，則可利用此因子分類而決定出較清楚的坡地安定等級，故可利用離散係數之計算做為各因子權重的比較值。

$$\text{離散係數}(V)=\frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots [4-5]$$

其中 σ 為標準偏差(Standard Deviation)， \bar{X} 為平均值。

(2). 權重值之計算

利用各因子間所計算出之離散係數，除以全部離散係數值之總和即可得該因子之權重值。其中 W_i 表第 i 個因子之權重值， V_i 表第 i 個因子之離散係數。

$$\text{權重值}(W_i)=\frac{V_i}{(V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n)} \quad \dots\dots [4-6]$$

其中 W_i 表第 i 個因子之權重值， V_i 表第 i 個因子之離散係數。

(三)、評估因子的選定

評估因子選擇之適當與否會直影響評估之結果，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、坡向及幾何形狀對坡地之安定是有其不同之意義。

對利用地形因子來評估坡地時，有一點必須加以注意，地形中坡度與幾何形狀因子本身即是坡地發展的結果，其地形演變必受地層材料或相關因素的影響故若要使用此因子時，不同區域下所造成因子資料有不同之分佈情況是要加以考慮。

2. 地質因子

本研究考慮岩層與土壤之材料性質，是以描述該地區邊坡本身材料對抵抗破壞外力之指標。岩層材料與土壤材料雖考慮的對象不同，但山坡地上土壤大多是從原地層上風化而來，其間存在著許多的關連性，故若同時以岩層與土壤代表坡地材料之因子出現時，宜考慮選擇其中敏感度較高之因子，對災害發生百分比之離散係數求法，以決定岩層或土壤分類因子中，其中之一來代表地層材料強弱之評估因子。

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，可以用距離河道之遠近之帶狀區域(buffer)而加以考量；對向源侵蝕類型之坡地破壞，可利用集水面積大小的分區資料，將向源侵蝕現象之空間位置加以確定；而對河岸侵蝕之情況亦可利用集水面積資料較大者（為河川通過處）與流向之資料，找出河岸可能侵蝕之地區。故區位因子在坡地分析因子中扮演著誘因（本研究考慮水的影響）發生在空間上分布之機率情形，而把影響坡地安定之時間性的誘因，轉換成在空間上發生機率的分布因子。

(四)、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 [4-1] 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

[4-4] 式轉換數值而得，但由於災害個數在鯉魚潭集水區內，墜落型災害有44個、滑動式災害有90個、河岸與向源侵蝕各有18與51個，而且由因子內各級分別統計之，會因統計資料點的不足會造成統計上結果之偏差。故對於以資料大小分級之坡度、幾何形狀、距河道距離、集水面積等因子用統計迴歸之方法找出各等級在直方圖上分佈之趨勢曲線如圖2-2，以求出各等級所應對之百分率值。而對岩層分類與土壤分類之地質資料，因各分類間並無大小等級之相關性，迴歸之方法並不適用。過程中，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依 [4-1] 式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。

對地質因子中之岩層分類與土壤分類於災害類型之不安定指數算式中同為材料因子，擇其離散係數大者做為算式中之材料因子。而依 [4-6] 式求得各因子之權重值，其結果與各災害類型之不安定指數計算式如表4-1所列。由表4-1所列之各災害類型之算式，即可求出各坡地在不同之災害類型考慮下之不安定指數，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（照片1-4）。

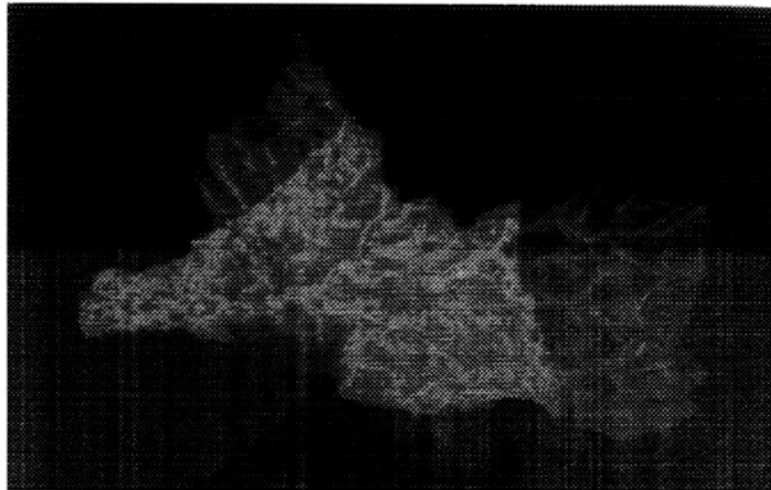
1. 預測與現地調查災害區的比較

表4-2則是對山崩潛感圖中各資料點的不安定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4-1 各災害類型之不安定指數計算式

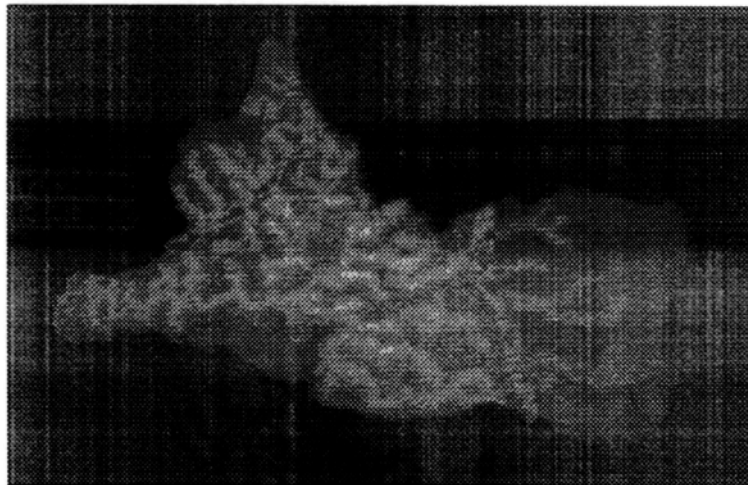
災害類別	不安定指數計算式
墜落	$D = (D_{\text{slope}})^{0.236} \cdot (D_{\text{shape}})^{0.129} \cdot (D_{\text{rock}})^{0.260} \cdot (D_{\text{buffer}})^{0.195} \cdot (D_{\text{type}})^{0.181}$
滑動	$D = (D_{\text{slope}})^{0.041} \cdot (D_{\text{shape}})^{0.109} \cdot (D_{\text{rock}})^{0.399} \cdot (D_{\text{buffer}})^{0.222} \cdot (D_{\text{type}})^{0.239}$
河岸侵蝕	$D = (D_{\text{slope}})^{0.095} \cdot (D_{\text{shape}})^{0.171} \cdot (D_{\text{rock}})^{0.183} \cdot (D_{\text{buffer}})^{0.276} \cdot (D_{\text{erosion}})^{0.275}$
向源侵蝕	$D = (D_{\text{slope}})^{0.154} \cdot (D_{\text{shape}})^{0.164} \cdot (D_{\text{rock}})^{0.264} \cdot (D_{\text{wtarea}})^{0.256} \cdot (D_{\text{type}})^{0.162}$

[註] D_{slope} 、 D_{shape} 、 D_{rock} 、 D_{buffer} 、 D_{type} 、 D_{erosion} 、 D_{wtarea} 分別表示坡度、幾何形狀、坡型、岩性、距河道距離分帶、河岸侵蝕區位、與集水面積等因子之不安定指數。



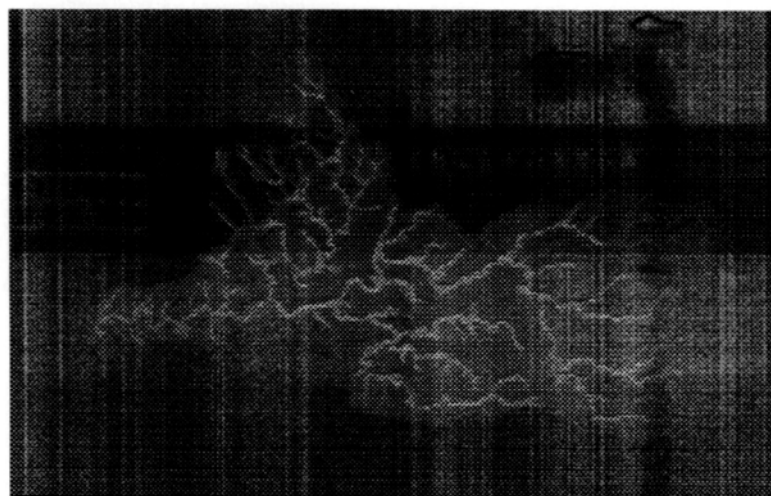
照片1 鯉魚潭水庫集水區墜落型災害山崩潛感圖

顏色	藍綠紅
潛感值	安定危險



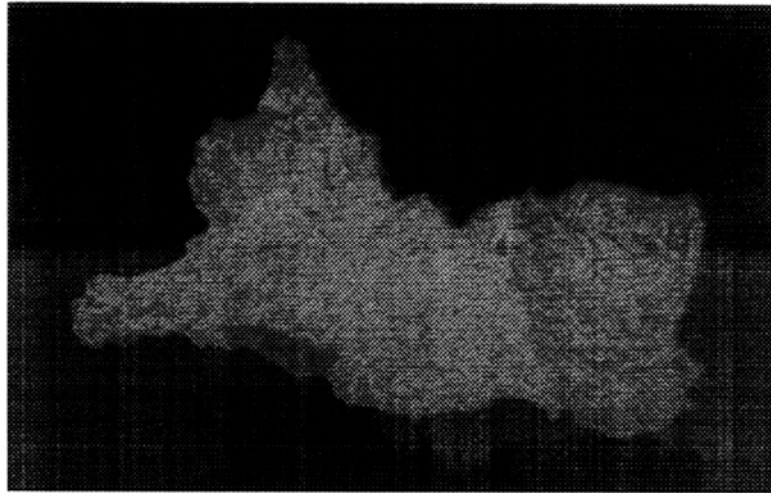
照片2 鯉魚潭水庫集水區滑動型災害山崩潛感圖

顏色	藍綠紅
潛感值	安定危險



照片3 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



照片4 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

表4-2 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											
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。

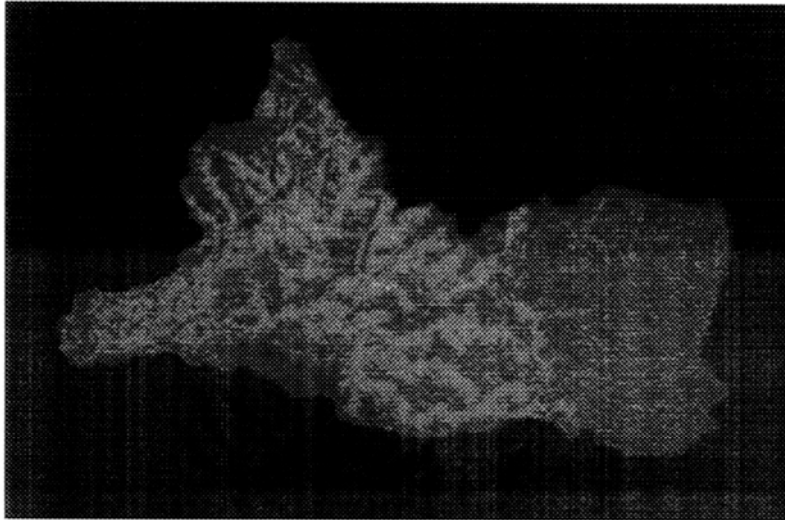
(五)、各災害類型之聯合分析

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（照片5）。

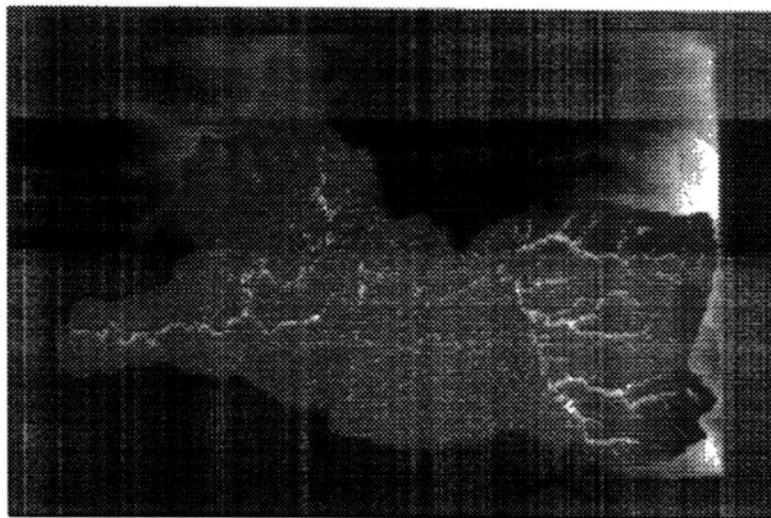
2. 由四種災害類型之不安定指數最大者，視為該坡地不安定指數，製成坡地山崩潛感圖（照片6），以評估對發生坡地災害問題之坡地的危險程度。

1. 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。



照片5 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



照片6 鯉魚潭水庫集水區坡地災害類型預測分佈圖

紅色	墜落型
綠色	滑動型
白色	河岸侵蝕型
藍色	向源侵蝕型

五、結論與建議

本研究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：

(一)、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正情形。
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。

(二)、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，但其中仍有許多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。

參考文獻

- [1] 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. pp.11-33
- [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, 第 18 卷, 第 2 期, 第 41-46 頁
- [3] Hansen, M.J. (1984), Strategies for Classification of Landslides. In "Slope Instability" (Brunsdan & Priored.) pp. 1-26
- [4] 李三畏 (1984) "臺灣崩塌問題探討", 地工技術雜誌, 第 7 期, 第 43-49 頁
- [5] 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, 第 7 期, 第 4-6 頁
- [6] 劉柏宏譯 (1982) "山坡地分析" (原著: Finlayson & stathaml, 1980, Hillslope Analysis), 科技圖書股份有限公司, 200 頁
- [7] 工研院能資所 (1990) "鯉魚潭水庫上游集水區地理資訊系統環境地質資料庫之建立", 能資所第 79-R120 號報告
- [8] 中央地質調查所 (1980) "臺灣坡地社區工程地質調查與探勘報告"