

集水區崩塌潛勢劃定之研究

林芬玲⁽¹⁾ 林家榮⁽²⁾ 林昭遠⁽³⁾

摘要

台灣地形陡峻且岩層破碎，地震頻繁及颱風造成土石崩塌、泥砂淤積水土資源流失，每當發生地震及颱風時，常導致坡地演變成災害。本研究以南投水里溪為研究區域，選定1999年的地震誘發型崩塌地及2002年、2004年二期之降雨誘發型崩塌地；利用地理資訊系統並配合數值地型模型進行整合分析，考量坡度、坡向、地層及土壤分佈、土地利用等因子，制定潛在崩塌指標分數用以分析集水區潛在崩塌區位；將各潛在崩塌指標分數配合各指標權重值以不安定指數疊加法計算崩塌潛勢。由資料分析結果得知，地震誘發型崩塌地主要的崩塌影響因子權重值由大而小依序為坡度、地層、土地利用；降雨誘發型崩塌地由大而小則依序為地層、土地利用、坡度。最後，將這些影響因子之崩塌潛勢值繪製成崩塌地之潛在崩塌指標圖，進一步評估其潛在危險的效度。

(**關鍵字**：潛在崩塌指標、不安定指數、集水區)

A Zonation Technique for Landslide Susceptibility in Watershed

Fen-Lin Lin⁽¹⁾, Chia-Rung Lin⁽²⁾, Chao-Yuan Lin⁽²⁾

Graduate Student⁽¹⁾, Graduate Student⁽²⁾, Professor⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

Abstract

With the properties of steep terrain, fragile geologic stratum, frequent earthquakes and typhoons, lots of landslides occurred at the slopeland lead to the loss of natural resources and cause tremendous disaster in Taiwan. Event of earthquake and/or typhoon play an important role on the calamity of soil and water conservation, therefore; Shui-Li-Si watershed in Nan-Tou county was chosen as the research area coupled with the three phases of landslide data extracted from the events of earthquake

-
- (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

and storms occurred in 1999, 2002, and 2004 respectively for a comprehensive analysis by using geography information system to establish the potential landslide index and analyze the potential areas of landslide of the watershed. A potential landslide hazard map can be derived by instability index which are calculated from the grading and weighting of the potential landslide index. The result showed that the factors which significantly affect the earthquake-induced landslides are slope, geologic stratum and landuse; the typhoon-induced landslides are geologic stratum, landuse and slope in order. A potential landslide hazard map produced in this study can be used for assisting the priority decision of the landslide management.

(**Keywords** : Potential Landslide Index, Instability Index, Watershed)

前 言

(一) 研究動機

台灣由於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互擠壓，造成台灣島的地形陡峻，岩層破碎，地震頻繁，各河川均流短水急侵蝕力大，加上每年颱風季節，常帶來持續降雨或集中豪雨，引發許多崩塌或土石流災害；因為人口壓力及經濟成長，人為活動遂朝山坡地擴張，使原本脆弱的山坡地經不當開發，無形中影響了坡地的穩定性，因此防災工作顯得格外的重要。水里溪因受颱風、豪雨及地震的作用，區內的山坡地產生多數崩塌，二年內遭受桃芝、納莉颱風侵襲，崩塌土砂匯集於下游處發生了土石流，除造成民宅沖毀與道路中斷外，亦造成水土資源大量流失。

(二) 研究目的

本研究利用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)之分析能力，配合數值地形模型(DTM)；及相關因子分析崩塌地並計算「潛在崩塌指標分數」，評估集水區之潛在崩塌區位。期能作為坡地災害防治之參考，藉此可作為工程治理規劃之輕重緩急

依據，並對於未來防災計畫提供具體規劃藍圖，以達保障居民與遊客生命財產安全之目標，供相關單位在日後維修和防護工作之優先順序參考的依據。

前人研究

(一) 崩塌之定義及型態

廣義之崩塌泛指地表經風化作用產生破碎之岩屑及土壤，在重力影響下，向下坡運動之各種作用，其中不包括風化物質受風、冰及流水等介質之搬運作用，冰、雪、流水等在下坡運動中參與的只是增加地面風化物之重量，或減低風化物內部之摩擦力，使它們更容易往下移動而以。山崩最常使用之分類方式為 Varnes (1978) 所提出的，依其移動方式而言分為墜落 (Falls)、傾覆 (Topples)、滑動 (Slides)、側滑 (Spreads) 與流動 (Flows) 等五大類型，即一般統稱之山崩 (Landslide)。吳佐川(1993)針對台灣地區崩塌地的區域特性進行研究，發現台灣崩塌地分佈多位於海拔高 100 公尺至 500 公尺間，坡度集中於 15 度至 45 度間，小面積之淺層崩塌最多，地質則以砂頁岩互層發生機率最高。

(二) 邊坡崩塌之影響因子

導致崩塌發生的因素，一般可分為潛因 (inherent causes) 與誘因 (initiating causes) (李三畏, 1984)。林孟龍、林俊全 (1999) 以曾文水庫集水區為研究範圍，對山崩之規模與頻率分佈進行研究。其認為在調查大區域之山崩資料時，會面臨幾個限制，包括資料的品質、不易累積不同特性之區域資料、歷史資料的缺乏等等，故對於大區域的山崩調查與研究成果仍嫌不足。林昭遠等 (2006) 即以 SPOT 衛星影像進行南投縣九九峰地區之崩塌區位判釋，萃取崩塌區位之高程、坡度、坡向、地質、土壤、土地利用、河道凹岸及泥砂遞移率等，評估影響植生復育率最鉅因子。許煜煌 (2002) 針對九二一地震之山崩以不安定指數法對每個影響因子進行分區與量化的處理，分析各個因子的崩壞比與分區的關係，進而建立彼此的權重關係，最後建立不安定指數法的評估模式。

林家榮 (2003) 以地理資訊系統為工具，由災害觀點分析影響崩塌之相關因子，包含地質、道路遠近、溪流遠近、斷層遠近、高程、坡度及坡向等，計算其潛在崩塌指標分數，作為集水區分級分區之依據，並配合現場實際調查，分析結果顯示道路及斷層遠近因子未達整體趨勢，而影響因子之權重，依次為溪流遠近、地質、坡度、坡向及高程；若單由崩塌災害觀點，建議可參考此評估結果進行集水區之治理，並配合現場之觀測調查，掌握集水區實際狀況。Florina(2002)認為影響坡地危險傾向之重要變因，包含岩石強

度、地形(形成過程、坡度及水系密度)、土壤及植生。

綜而言之，影響邊坡崩塌的因子大致上可分為潛因和誘因兩類，包括了地質、地形、土壤、植被、土地利用、降雨條件等等。但實際上當崩塌發生時，往往是數種因子所構成的，各因子間影響的比重亦不相同。所以在對大面積的集水區進行崩塌地進行研究時，往往需要選定若干因子，如坡度、降雨等作為主要分析的因子。

材料與方法

(一) 研究區域

本研究以水里溪集水區為材料 (圖1)，集水區面積約為 83Km²。海拔高介於 262~1,462 m之間，區域地形為西南端為較低緩之丘陵地外；大部份為山岳地帶，海拔高集中於400m至800m之間，占集水區75%(圖2)，坡度依據水土保持技術規範分為七級，集水區內坡度主要分布以四級坡及六級坡為主，全區平均坡度為29.1%；坡向分布以東向 (15.2%)最多，其次為西向。地質主要為四稜砂岩；其次為乾溝層所示。

(二) 研究材料與分析流程

本研究利用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)，配合數值地形模型(DTM)及相關因子，以不安定指數法進行

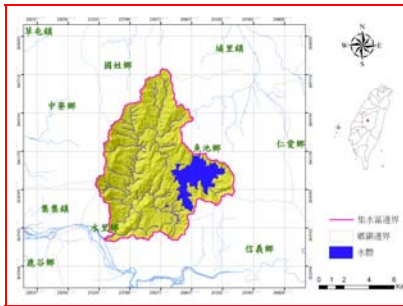


圖 1. 研究區域
Figure 1. The study areas.

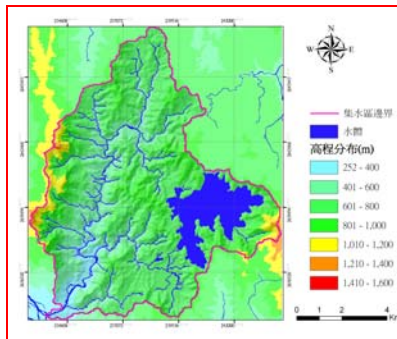


圖 2. 試區內高程分佈
Figure 2. Spatial distribution of elevation classification.

整合分析，建置集水區「潛在崩塌指標分數」劃定分析系統，作為集水區整體治理及災害防治之參考；不安定指數法包括各因子內的評分、因子間彼此之權重及潛在崩塌指標分數疊加方式，為一種加權線性組合法（Weighted Linear Combination）。資料來源及分析架構如表 1 及圖 3 所示。

(三) 分析步驟

本研究考量下列之相關因子，包括：1. 地形因子：坡度、坡向；2. 地質因子：地層、土壤分佈狀況；3. 區位因子：土地利用、距建築物距離。(許煜煌，2002；許輔仁，2002；林家榮 2003；陳蕙華 2005)。選取之因子會

表 1 圖資格式與來源

Table 1. Type and source of the thematic maps

圖資名稱	格式	來源
數值地形模型	網格檔	中央大學
崩塌地分布圖	向量檔	水土保持局
土壤圖及地質圖	向量檔	中央地質調查所
土地利用圖	向量檔	水土保持局

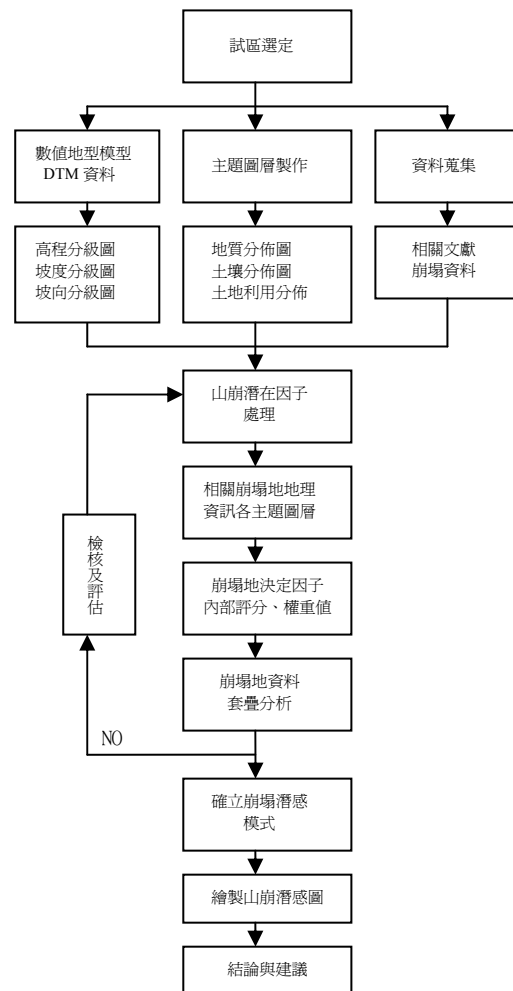


圖 3. 研究流程圖
Figure 3. Flow chart of the study.

直接影響評估之結果，所以必先了解各因子之性質，才可確定該因子在分析過程中所扮演之角色；並採用因子變異係數計算各因子之權重，最後計算各網格之崩塌潛感值。

1. 求算崩塌密度值

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

式中：

G_i ：第*i*級崩塌網格密度；
 G_i ：該分級崩塌網格數；
 G_{total} ：分級網格總數。

2. 求算崩塌網格密度

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

式中：

S_i ：第*i*級崩塌百分比；
 G_i ：該分級崩塌網格密度；
 $\sum G_i$ ：崩塌網格密度總和。

3. 求算因子之評分值並標準化

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

式中：

D ：因子之評分值；
 S_i ：崩塌網格密度；
 S_{min} ：因子分類中崩塌網格密度最小值；
 S_{max} ：因子分類中崩塌網格密度最大值。

4. 計算變異係數

利用各類因子內各級所佔百分比之變異係數 (Coefficient of Variation)，代表各因子分級反應崩塌機率之靈敏度。當變異係

數較小時，各分級發生崩塌機率相近，表示此因子之分級無法反應崩塌機率高之地區；反之，若變異係數較大者，則可利用此因子分級，而清楚反應出坡地安定或崩塌之機率，故利用變異係數可做為各相關因子的權重。

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

式中：

V ：變異係數；
 σ ：標準偏差；
 μ ：平均值。

5. 計算因子權重值

各因子所計算出之變異係數，除以全部變異係數值之總和，即可得該因子之權重值。各權重值為各因子對坡地發生崩塌之影響程度，其範圍介於0~1間，而各權重值總和為1。

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

式中：

W_j ：第*j*個因子之權重值；
 V_j ：第*j*個因子之變異係數。

6. 計算崩塌潛在因子之疊加

$$D_{total} = D_1^{W_1} \times D_2^{W_2} \times D_3^{W_3} \times \dots \times D_n^{W_n} \quad (6)$$

式中：

D_{total} ：潛在崩塌值(或不安定指數值)；
 D_i ：各潛在崩塌指標分數；
 W_i ：各潛在崩塌指標權重。

各因子疊加後所得各網格之潛在崩塌指標分數介於1~10之間，當值越高表示發生崩塌之可能性越大，反之則越小。

結果與討論

本研究分析集水區之地形因子、地質因子及區域因子，首先探討潛在崩塌指標分數之合理性及潛在崩塌指標之權重(表 2)，接著探討各期潛在崩塌指標圖之合理性及敏感度。

(一) 潛在崩塌指標合理性探討

1. 地形因子

坡度是指邊坡之傾斜斜率，與邊坡穩定有極大之相關性，較陡邊坡具有較高重力位能，發生崩塌機率亦較大，由 1999、2002 及 2004 年之坡度因子得知以>100%之潛在崩塌指標分數佔最高為 10 分，1999 年可能因地震造成使坡度集中於 100%以上；而 2002 年 15-30%潛在崩塌指標分數為 8.274 分，30-40%為 4.065 分，由分析圖資發現此區域潛在崩塌指標分數占居第二（8.274 分）及崩塌面積（260800m²），因此推測有可能是人為開發頻繁及道路開闢等原因，導致 15-30%之處人類活動率頻繁且較常接觸致使崩塌指標分數較高；2004 年其次於 55-100%崩塌指標分數為 2.988 分，於山坡坡度愈陡之地方，愈容易產生山崩，尤以 100%以上之山坡地勢陡峭石，對落石穩定有極大關係，最容易發生山崩，此項結果甚屬合理。

而坡向因子 1999 年以東南崩塌指標分數最高 10 分，西南向最小 1.0 分，2002 年以東方所佔潛在崩塌指標分數最高為 10 分，北方最小 1.0 分；2004 年亦以東方所佔潛在崩塌指標分數最高為 10 分，其次為東南 6.297 分，最小為西南 1.0 分；由結果顯示向陽坡發生機

率較高，因其東方潛在崩塌指標分數高，其北方及西北方向崩塌指標分數甚低，此兩方向之颱風入侵次數少，且太陽照射能量較弱，因此得知颱風及向陽面對坡面崩塌造成相當之影響，根據颱風路徑 1897-2003 年間之統計，颱風侵台之入徑圖如圖(7)所示；通過台灣南部海面向西或西北進行者，最多共 67 次，占百分之 17%，且造成災害比例最高(中央氣象局，2007)。及產生災害之比例呈相關之結果符合，故此三年結果大致合理；而集集地震中，車籠埔斷層大致成南北走向之逆衝斷層，以 NE、E、SE 及 S 有較大之崩塌面積百分比；與前人所提出之北部崩塌地分佈坡向主要集中於東向（東、東南、東北）相符合，另外崩塌發生與當地之岩性、構造及人為開發亦有很大之相關性。

2. 地質因子

石底層為一含煤地層，地質年代為中新世中期，其由青灰色細粒砂岩及砂岩與頁岩之薄互層所組成，此互層之頁岩呈黑灰色，砂岩多呈青灰色，含有雲母碎片及炭化物豐富，易於剝落，外觀似板岩；南莊層屬中新世晚期，主要岩性為白色塊狀至厚層中粒，岩層中夾含有鐵質結核及碳質碎屑物。乾溝層屬漸新世，由黑色頁岩夾少量深灰石英質砂岩所組成，成暗灰色片狀構造，受劇烈之地殼變動而硬化。沖積層由黏土、砂及礫石組成，組成物之粒徑大小參差不齊，多富稜角；由 1999 年分析結果得知地層主要以石底層潛在崩塌指標分數最高為 10 分，其次南莊層為 9.087 分，沖積層最低 1.0 分；2002 年以石底層潛在崩塌指標分數最高為 10 分，乾溝層為 7.738 分次之，沖積層最低 1.0 分；2004 年以南莊層潛在崩塌指標分數 10 分最高，石

底層 8.922 分次之，沖積層及未調查區潛在崩塌指標分數最低為 1.0 分；其中以 1999 年及 2002 年潛在崩塌指標分數之依序較符合上述之特性且較合理。

土壤之生成，受母質及地形影響較大，土壤分布，很明顯的亦與地形及地質分布有密切關係。分布土壤於 1999 年以石質土占崩塌指標分數最高 10 分，黃壤最低 1.0 分；2002 年以崩積土之潛在崩塌指標分數最高 10 分，未調查區 1.0 分最低；2004 年以石質土占潛在崩塌指標分數最高 10 分，沖積土及紅壤所占潛在崩塌指標分數最低 1.0 分；由 2002 年土壤以崩積土為高，主要分布於丘陵及山地較陡之坡腳，因地形不安定，因此土壤難有良好之化育。

3. 區域因子

坡地之穩定主要是由於坡地間之土壤、植生及水之間各處於平衡狀態，只要一方狀態產生變化，穩定性皆可能產生變化；土地利用圖因三期皆使用 2003 年份圖資，假設其三年變化不大，結果以崩場地此項的潛在崩塌指標分數為最高，顯示其可能由地震造成之舊崩塌，因本項於分類上並未重新合併檢討，以致於產生潛在崩塌指標分數結果時有多項分類潛在崩塌指標分數過低之現象。

距建築物距離因子之各分級中潛在崩塌指標分數最高者為距離建築物 120 公尺，最小者為 < 40 公尺，表示其距離集水區越近並不會產生嚴重之災害，為所有因子中對本區域影響最小，故本因子可考慮剔除。

(二) 潛在崩塌指標權重探討

將各項之潛在崩塌指標分數與潛在崩塌

指標權重以不安定指數疊加後，不安定指數值之計算可由表 3 表示；各相關因子之潛在崩塌指標權重值大小之分佈情形如圖 6 所示，並討論如下：

由 1999 年各因子之潛在崩塌指標權重值大小依序為：坡度(0.563)>地層(0.254)>土地利用(0.061)>土壤(0.049)>建物距離(0.038)>坡向(0.036)；2002 年各因子之指標權重值依序為：地層(0.382)>土地利用(0.239)>坡度(0.135)>坡向(0.122)>土壤(0.088)>建物距離(0.034)；2004 年各因子之潛在崩塌指標權重值依序為：坡度(0.373)>地層(0.224)>土地利用(0.175)>土壤(0.129)>坡向(0.052)>建物距離(0.047)。

由 1999 年及 2004 年中各項因子之潛在崩塌指標權重中以坡度因子潛在崩塌指標之權重為最高，分別為 0.563 及 0.373；其次為地層因子潛在崩塌指標，權重分別為 0.254 及 0.224。2002 年則以地層因子潛在崩塌指標權重最大 0.382，但坡度僅 0.135，與 1999 年及 2004 年之分數相比顯現略低，可見對山崩潛在崩塌指標之影響以坡度與地層狀況影響最大；1999 年及 2004 年所有因子中對影響程度最小之因子為土壤、建築物距離及坡向，其權重 1999 年僅占 0.049、0.038 及 0.036；2004 年占 0.129、0.052 及 0.047。

(三) 各期崩場地潛感圖討論

本研究依據潛在崩塌指標分數之疊加，求得潛在崩塌值，並定義各期之累計潛在崩塌值百分比比例，如表 4、圖 4a-c 所示。將累計崩塌值在面積百分比差異，介於 0-5%劃分為低潛在崩塌區、5%-15%劃分為中低潛在崩塌區、15%-35%劃分為中潛在崩塌區；

35%-50%劃分為中高潛在崩塌區、>50%劃分為高潛在崩塌區，繪出如圖 5(a-c)之山崩潛感值區分情形。

由 1999 年推估潛在崩塌指標區分圖中其累計曲線圖於累計崩塌比於 50.03%網格數之潛在崩塌指標比為 2.7，此曲線開始緩慢上升至累計崩塌比於 79.89%網格數之潛在崩塌指標比為 3.88 處，曲線圖有明顯變化上升之趨，此曲線變化度大應與地震後所導致有關。如圖 5(a)、表(4)所示。由 2002 年相對於累計 49.62%網格數之潛在崩塌指標比為 2.88，相對於累計 80.25%網格數之潛在崩塌指標比為 3.16，該累計曲線為均勻緩慢上升並無落差明顯跡象，較符合一般優良正常曲度變化。如圖 5(b)、表(4)所示。

由 2004 年相對於累計 48.04%網格數之潛在崩塌指標比為 2.34，相對於累計 80.07%網格數之潛在崩塌指標比為 4.24，該曲線為緩慢上升後於累計 80.07%網格數處往上上升曲度變化大。如圖 5(c)、表(4)所示。

以上得知 1999 年之累計曲線走勢較為合

理，且累計 50.3%網格數之潛在崩塌指標比為 2.7，由圖 5(a)中之累計曲線顯示 1999 年因子分析潛在崩塌指標區分圖推估結果，較能夠反應出較高之潛感值，亦能表示其推估崩場地指標潛在值評估之敏感度相對提高。其中以 2004 年因最接近現代年份所推估崩場地指標潛在崩塌區分圖，較能呈現出目前水里溪集水區邊坡不穩定之現況。

本研究進一步計算各潛在崩塌指標值各網格數與該值級全部網格數之比值，若位於較高潛感值值級呈現較高網格比值，即表示於較高潛感值區域有較多崩塌網格分佈，及評估潛感值較為準確性，如圖 5(d)中之累計曲線圖。

研究中潛在崩塌指標影響，其原因諸多可能是外力(地震、道路開闢、種植檳榔椰子等)、因子間之相依性等使某些因子的影響力受其他因子的干擾，使分析出的結果受到影響，案例資料為 1999 年 921 地震後之資料，研究中未考慮地震造成之影響，而地震發生勢必會造成邊坡影響，故分析上會產生精準度降低之趨勢。

表 2. 潛在崩塌指標值及權重值
Table 2. The potential landslides index and weighting.

因子	分級	範圍	1999 年		2002 年		2004 年	
			潛在崩塌指標值	潛在崩塌權重值	潛在崩塌指標值	潛在崩塌權重值	潛在崩塌指標值	潛在崩塌權重值
坡度 (°)	1	<5%	1.000	0.563	1.000	0.135	1.000	0.373
	2	5-15%	1.156		5.138		1.383	
	3	15-30%	1.412		8.274		2.079	
	4	30-40%	1.793		4.065		1.664	
	5	40-55%	1.746		3.301		1.444	
	6	55-100%	2.736		4.825		2.988	
	7	>100	10.000		10.000		10.000	

坡向	1	東北	2.352	0.036	2.078	0.122	2.147	0.052
	2	東	6.003		10.000		10.000	
	3	東南	10.000		6.835		6.297	
	4	南	6.796		3.595		1.145	
	5	西南	1.000		1.748		1.000	
	6	西	2.032		1.397		4.221	
	7	西北	5.032		1.736		5.956	
	8	北	3.080		1.000		1.769	
地層	1	沖積層	1.000	0.254	1.000	0.382	1.000	0.224
	2	四稜砂岩	2.289		3.582		2.761	
	3	石底層	10.000		10.000		8.922	
	4	乾溝層	7.216		7.738		4.002	
	5	南莊層	9.087		4.787		10.000	
	6	未調查	1.051		1.160		1.000	
土壤	1	未調查	5.804	0.049	1.000	0.088	3.633	0.129
	2	崩積土	6.237		10.000		5.876	
	3	黃壤	1.000		1.227		1.924	
	4	雜地	5.449		8.754		2.120	
	5	沖積土及紅壤	7.689		7.100		1.000	
	6	石質土	10.000		5.423		10.000	
土地利用	1	公園	1.000	0.061	1.000	0.239	1.000	0.175
	2	水田	1.000		1.000		1.000	
	3	水池	1.000		1.000		1.000	
	4	竹林	2.322		1.739		1.739	
	5	旱田	1.000		1.000		1.192	
	6	果園	2.841		1.435		1.086	
	7	河流	1.000		1.135		1.023	
	8	花園	1.000		1.000		1.000	
	9	建築區	1.321		1.379		1.075	
	10	香蕉園	2.802		1.000		1.000	
	11	荒地	1.683		2.239		1.276	
	12	草地	4.321		1.349		1.138	
	13	茶園	2.489		1.000		1.000	
	14	針葉林	1.584		1.071		1.100	
	15	高爾夫球	1.000		1.000		1.000	
	16	崩塌地	10.000		10.000		10.000	
	17	道路	2.032		2.627		1.275	
	18	墓地	1.000		1.000		1.000	
	19	闊葉林	2.463		1.372		1.422	
	20	檳榔椰子	2.147		1.826		1.527	
	21	雞豬舍菇	1.000		1.000		1.000	
	22	灌木區	1.000		1.000		1.000	
建築物	1	建物	1.000	0.038	1.000	0.034	4.359	0.047
	2	40	3.333		5.223		8.190	
	3	80	4.359		7.177		8.650	
	4	120	5.679		10.000		1.000	
	5	>120	10.000		9.369		10.000	

*指數分數 D 由方程式(3)求算

*權重值 W_j 由方程式(5)求算

表 3. 潛在崩塌值預測式
Table 3. Predictive equations for landslide potential.

年度	潛在崩塌值預測式
1999	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.5629} \times (D_{坡向})^{0.036} \times (D_{地層})^{0.2537} \times (D_{土壤})^{0.0489} \times (D_{土地利用})^{0.061} \times (D_{建築物})^{0.0375}$
2002	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.1348} \times (D_{坡向})^{0.1217} \times (D_{地層})^{0.382} \times (D_{土壤})^{0.088} \times (D_{土地利用})^{0.2392} \times (D_{建築物})^{0.0344}$
2004	$D_{total} = (D_{坡度})^{0.3734} \times (D_{坡向})^{0.0523} \times (D_{地層})^{0.2239} \times (D_{土壤})^{0.1291} \times (D_{土地利用})^{0.1746} \times (D_{建築物})^{0.0467}$

*山崩潛在預測值 D_{total} 由方程式(6)求算

表 4. 潛在崩塌指標危險分級表
Table 4. Definition and classification of potential landslides index.

分級	累計崩塌面積百分比(S_i)	分級指標範圍(D_{total})		
		1999 年份	2002 年份	2004 年份
低潛在崩塌區	$S_i \leq 5\%$	$1 < D \leq 1.3$	$1 < D \leq 1.38$	$1 < D \leq 1.2$
中低潛在崩塌區	$5\% < S_i \leq 15\%$	$1.3 < D \leq 1.5$	$1.38 < D \leq 1.69$	$1.2 < D \leq 1.56$
中潛在崩塌區	$15\% < S_i \leq 35\%$	$1.5 < D \leq 2.0$	$1.69 < D \leq 2.35$	$1.56 < D \leq 2.0$
中高潛在崩塌區	$35\% < S_i \leq 50\%$	$2.0 < D \leq 2.7$	$2.35 < D \leq 2.88$	$2.0 < D \leq 2.34$
高潛在崩塌區	$S_i > 50\%$	$2.7 < D \leq 10$	$2.88 < s_i \leq 10$	$2.34 < D \leq 10$

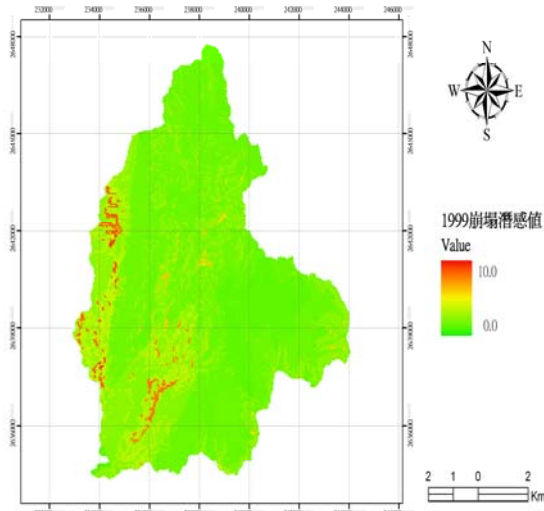


圖 4a. 1999 年崩塌指標潛在圖
Figure 4a. Map of potential landslides for the year of 1999.

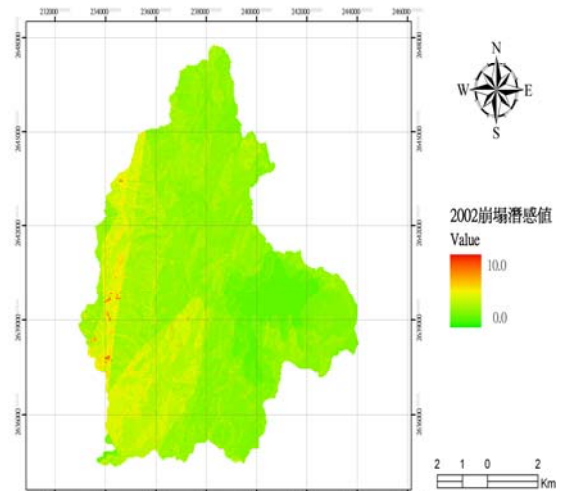


圖 4b. 2002 年崩塌指標潛在圖
Figure 4b. Map of potential landslides for the year of 2002.

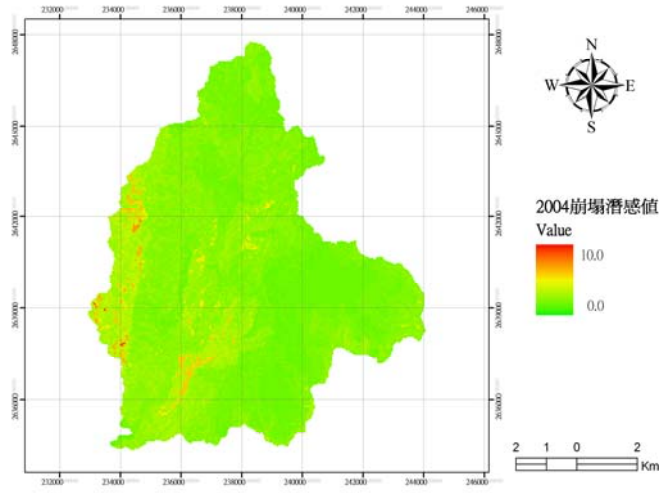


圖 4c. 2004 年崩塌指標潛在圖
Figure 4c. Map of potential landslides for the year of 2004.

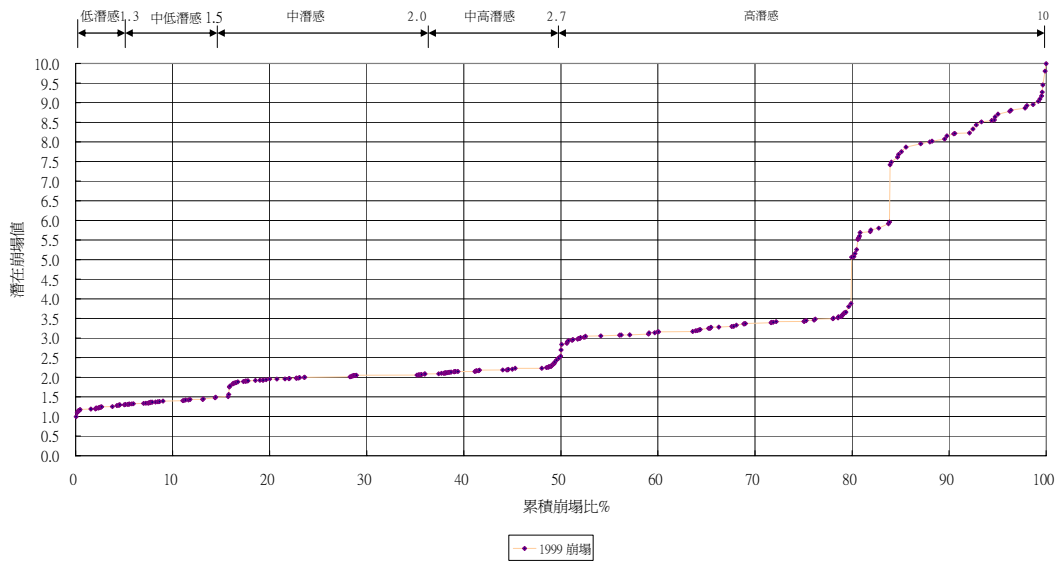


圖5a. 1999年潛在崩塌指標與累積崩塌比關係
Figure 5a. Potential landslides index vs. landslide accumulation for the year of 1999.

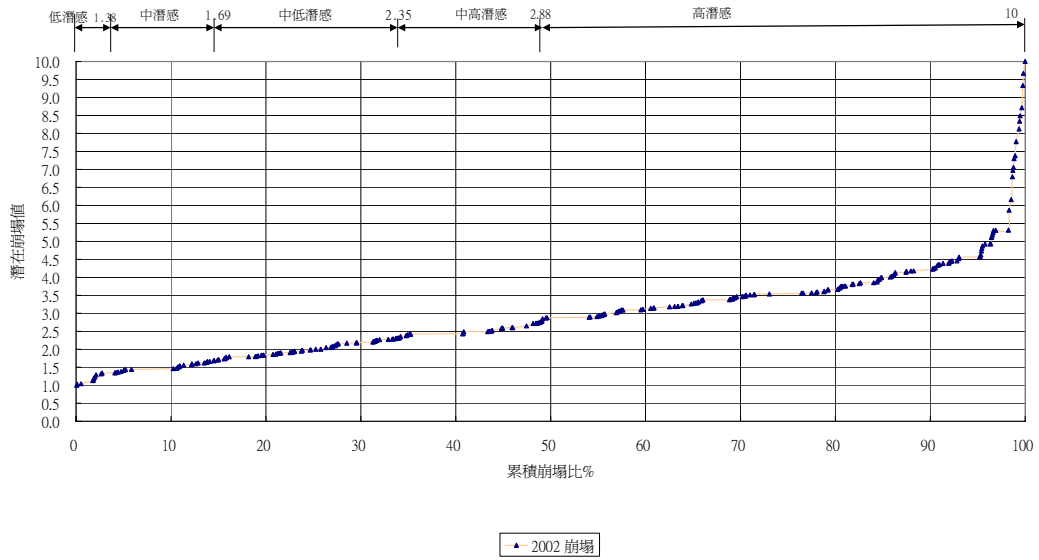


圖5b. 2002年潛在崩塌指標與累積崩塌比關係
 Figure 5b. Potential landslides index vs. landslide accumulation for the year of 2002.

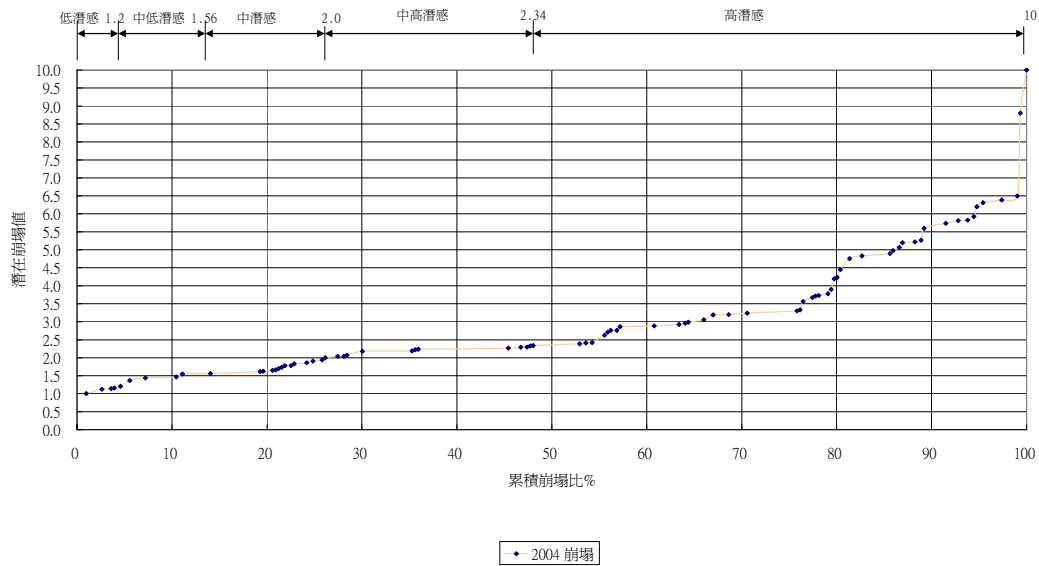


圖5c. 2004年潛在崩塌指標與累積崩塌比關係
 Figure 5c. Potential landslides index vs. landslide accumulation for the year of 2004.

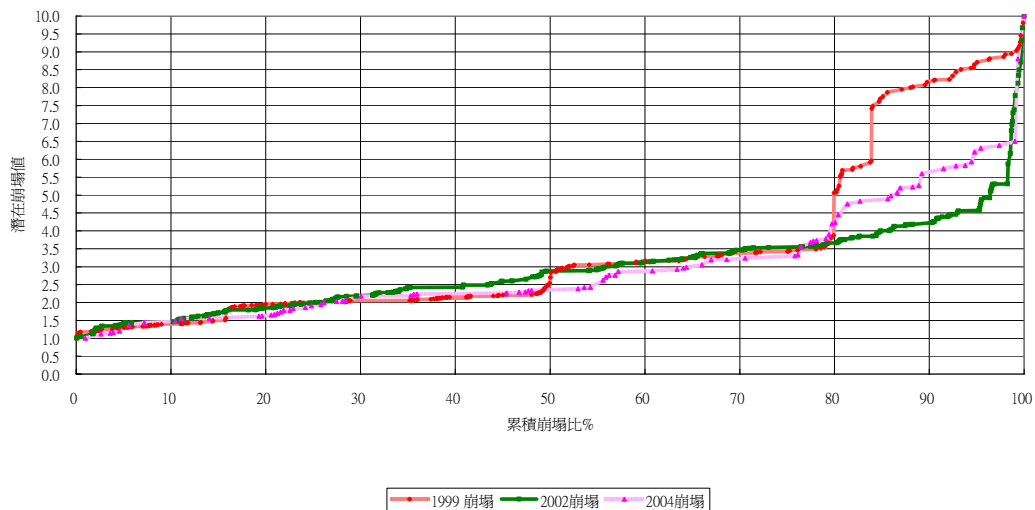


圖5d. 潛在崩場指標與累積崩場比關係

Figure 5d. Potential landslides index vs. landslide accumulation.

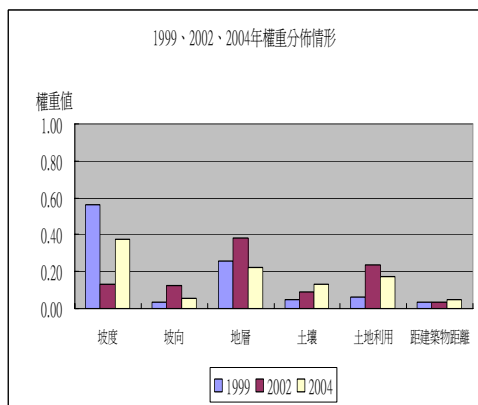


圖 6 因子權重指標分佈圖

Figure 6. Weight of potential landslide index.

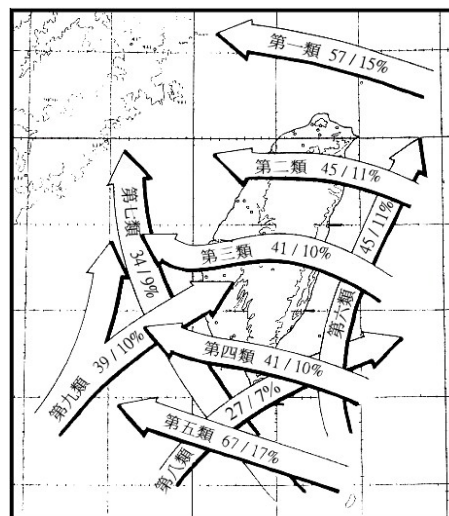


圖 7 台灣地區颱風路徑分類圖 (1897—2003 年)

Figure 7. Track of typhoon encroach on Taiwan. (1897—2003year)

結論

1. 由 1999、2002 及 2004 三年中分析結果以坡度、地層重要性明顯高於他者，土壤、坡向重要性次之，分析中距離建築物距離因子對本區域影響最小，故本因子可考慮剔除，而土地利用部份三年皆使用 2003 年份圖資作分析，故於結果上不易判斷比較各相關分級之潛在崩塌指標。
2. 本研究中並未考慮地震造成之影響，而地震之發生勢必會對邊坡產生影響，故分析之誤判率或許是此因素所造成之結果；在坡度方面，坡度愈陡的山坡愈容易發生山崩。在坡度大於 55%以上之地點較容易發生山崩，坡度大於 100%的山坡發生崩塌之比率更高，與本結果較相符。
3. 各相關因子選取主要依據前人研究和已知的理論背景，選出可能影響崩塌發生的因素分析，但每個研究區的崩塌相關因子權重並不相同，對於發生崩塌的原因差異性可能非常大；本區域之崩塌主要以小型落石為主。除了因子之選取外，因子之分級亦會對分析之結果造成影響，研究中某些因子分級是參考前人研究之內容，但仍舊有些因子分級並沒有一個明確之分級依據，這樣可能會造成變異係數的差異，進而影響所獲得權重值；對於分級的定義還需後續研究討論。

參考文獻

1. 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，第29卷，第二期，P105-114。
2. 林家榮(2003)，「潛在危險指標應用於屏東縣集水區分級分區之研究」，屏東科技大學水土保持系研究所碩士論文，P84。
3. 許輔仁(2002)「鯉魚潭水庫集水區之崩塌地潛感分佈研究」，屏東科技大學森林系研究所碩士論文，P65-69。
4. 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」，台灣大學土木工程學研究所碩士論文。P59-60。
5. 廖軒吾(2000)，「集集地震誘發之山崩」，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。P48-49。
6. 陳蕙華(2005)，「台灣地理資訊學會年會暨學術研討會論文集」，P9。
7. 李三畏，(1984)「台灣崩場地問題探討」，土工技術，7，43-49。
8. 林昭遠、劉祐如、林文賜(2006)「九九峰崩塌區位植生復育影響因子之研究」，中華水土保持學報，38(3)：279-286。
9. 高嘉隆(2006)，岩盤工程研討會論文集，台南；「台十四省道31K~75K沿線邊坡山崩潛感分析」。
10. 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，(2000)。
11. 吳佐川(1993)「台灣地區崩塌地區域特性之研究」，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
12. 林孟龍、林俊全(1999)，「曾文水庫集水

- 區山崩之規模與頻率分佈關係之探討」，
國立台灣大學地理學系地理學報，26，
13-23。
13. 中央氣象局(2007)颱風資料庫。http：
//photo.cwb.gov.tw/。
14. Varnes,D.J.(1978)Landslide types and
processes.Washington D.C.： Highway
Research Board， Special Report 29： 20-47。
15. Florina . G (2002)Risk-prone lands in hilly
regions： Mapping stages. Applied
geomorphology . John Wiley & Sons .
P.49-64。