

# 力行產業道路之深淺層崩塌潛勢分析研究

壽克堅<sup>[1]\*</sup> 陳婉君<sup>[1]</sup> 林佳霏<sup>[1]</sup>

**摘要** 中部橫貫公路(台 8 線)自 921 地震後中斷,經過合歡山之台 14 線替代道路交通擁擠且冬季常因降雪而封閉;因此,力行產業道路(投 89 線)又成為台 14 線之替代道路,成為梨山地區住戶及沿線部落進出與運送農產品對外的重要交通通路。力行產業道路 921 地震後也是受損嚴重,民國 93 年 8 月艾莉颱風,又造成道路多處山壁崩塌、路基掏空流失。目前力行產業道路多處路段仍以簡易方式搶通,道路崎嶇不平且無法抵擋颱風豪雨之衝擊。本研究針對烏溪上游之力行產業道路之崩塌,以不同因子判釋崩塌地,並有效劃分深、淺層崩塌進行潛感分析;除提高崩塌地之自動判釋準確度,並以不同影響因子進行潛感分析,可得山崩潛感模型,並提出相關之預測,可做為未來道路設計、減災、防災之重要依據。

**關鍵詞**: 力行產業道路、山崩潛感分析、山崩判釋。

## Susceptibility Analysis of Shallow and Deep Landslides along the Nantou County Road No. 89

Keh-Jian Shou<sup>[1]\*</sup> Wan-Chun Chen<sup>[2]</sup> Jia-Fei Lin<sup>[1]</sup>

**ABSTRACT** Highway No.8, i.e. the Central Cross-Island Highway, has been closed since the 921 earthquake. And Highway No.14, the alternative detour of the highway, is closed frequently due to heavy traffic and winter snow. Therefore, Nantou County Highway No.89 has become an important bypass to transport agricultural products for the people who living in the Li-shan area and nearby tribes. However, No.89 County Highway of Nantou has also damaged in the 921 earthquake, and the worse situation is that the Aire typhoon, which landed on Aug. 2004, induced more landslides and road foundation damages. At present, the road is reluctantly opened, but still rugged and unable to bear the invasion of typhoon or heavy rain in many sections. This study focuses on the landslides along the No.89 County Road of Nantou in the upstream of Wu River. We improve the automatic landslides interpretation, classify them as shallow and deep landslides and use them to do landslide susceptibility analysis. We further use the landslide susceptibility model to predict the incidence of landslides in future rainfall events and the results can be used the important basis as future road design, mitigation, and disaster prevention.

**Key Words** : Nantou County Road No. 89, landslide susceptibility analysis, interpretation of landslide.

---

[1] 國立中興大學土木工程學系

Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University, Taichng 402, Taiwan

\* Corresponding Author. E-mail: jcswc@nchu.edu.tw

## 一、前言

中部橫貫公路(台 8 線)自 921 地震後中斷，經過清境農場及合歡山之台 14 線替代道路交通擁擠且冬季常因降雪而封閉；因此，力行產業道路(投 89 線)又成為台 14 線之替代道路，成為梨山地區住戶及沿線部落進出與運送農產品對外的重要交通通路。

力行產業道路 921 地震後也是受損嚴重，民國 93 年 8 月艾莉颱風，又造成道路多處山壁崩塌、路基掏空流失，其中力行一號橋受到洪水挾帶土石之衝毀。目前力行產業道路多處路段仍以簡易方式搶通，道路崎嶇不平且無法抵擋颱風豪雨之衝擊。

本文以烏溪上游力行產業道路為例，以 2004 年敏督利颱風、2012 年蘇拉颱風、2013 蘇力颱風之 SPOT 衛星影像萃取 NDVI、GI 和 BRI 進行崩塌地判釋，並利用崩塌地判釋結果做初步深、淺層崩塌圈繪。本文選取坡度、坡向、順逆向指標(Ids)、道路距、水系距、斷層距、坡高、崩塌降雨指標(Id)、BRI/GI 共九項山崩潛感因子進行分析，產製不安定指數和羅吉斯回歸潛感模型。進一步比較蘇拉颱風不安定指數法潛感模型在未區分深、淺層崩塌及區分深淺層崩塌底下的準確率，並利用敏督利颱風與蘇拉颱風不安定指數法潛感模型對蘇力颱風做潛感預測，發現其 AUC 值為 0.802 與 0.887，可見兩個潛感模型有一定的可信度。

## 二、研究流程與方法回顧

山崩潛感分析流程中各項目與方法於以下小節簡述。

### 1. 各山崩潛感因子圖層建立

為探討因子之相關性與造成邊坡不穩定之影響情形，本研究參考許惠瑛(2007)、吳秋靜(2010)、洪嘉妤(2010)、楊志銘(2012)等人以 GIS 建立坡度、坡向、順逆向指標(Ids)、道路距、水系距、斷層距、坡高、崩塌降雨指標(Id)、NDVI 共九項山崩潛感因子。

其中順逆向指標(Ids)為將岩層不連續面傾向與坡面方向進行角差計算，相互關係之差異值依序分類為高度順向坡( $\pm 0^\circ \sim \pm 30^\circ$ )、中度順向坡( $\pm 30^\circ \sim \pm 60^\circ$ )、斜交坡( $\pm 60^\circ \sim \pm 120^\circ$ )、中度逆向坡( $\pm 120^\circ \sim \pm 150^\circ$ )與高度逆向坡( $\pm 150^\circ \sim \pm 180^\circ$ )五類。

崩塌降雨指標為利用崩塌地與累積雨量、最大時雨量關係圖得到上、下臨界線，再以 GIS 求得崩塌點到上下臨界線之距離  $d_1$  及  $d_2$ ，將其帶入公式(1)得到崩塌降雨指標，其值介於 0~1 之間。當  $I_d$  越接近 1 時，該邊坡越易因降雨而產生滑動；反之，當崩塌點離下限臨界線越近時，該區邊坡越不容易因降雨影響而產生滑動。

$$\text{崩塌降雨指標 } I_d = \frac{d_2}{d_1 + d_2} \quad (1)$$

常態化差異植生指標(NDVI)之原理主要是以綠色植物會強烈吸收紅光，強烈反射近紅外光，計算兩種波段吸收與反射的差異性，用來監測植生變化。其公式如下：

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{R})}{(\text{NIR} + \text{R})} \quad (2)$$

其中，NIR 為近紅外光，R 為紅外光。

綠度指標(GI)之原理為紅光波段會被植物葉綠素吸收，而葉綠素為光合作用之重要元素，因此紅光波段可視為光合作用的代表性波段，而綠光段則被葉綠素反射，因此可利用此關係求取植物的綠度指標，用來做植生區域的偵測，並藉此區別出裸露地與陰影區。計算方式如下：

$$\text{GI} = \frac{(G - R)}{(G + R)} \quad (3)$$

其中，G 為綠光，R 為紅外光。

亮度指標(BRI)之原理為植生植物葉片斜舉向上而影響其對紅光與近紅外光之吸收與反射，可辨識葉部非完全開展向上之大面積植群(如草本類植物或針葉樹木等)，藉由光譜波段反應構成的指數波動，來評估植物的生長狀態及植群的變化，BRI 即植物在 R 與 NIR 之反射值強弱關係，藉以用來區分陰影與非陰影區。其亮度指標公式如

下：

$$BRI = \sqrt{NIR^2 + R^2} \quad (4)$$

其中，NIR 為近紅外光，R 為紅外光。

## 2. 崩塌地自動判釋

崩塌地判釋方是利用 NDVI 植生指標搭配數值地形模型(DTM)數化成坡度(slope)圖層，將兩圖層設定其門檻值做套疊，完成崩塌地影像自動判釋。本研究以反覆試誤法，將不同 NDVI 與坡度門檻值之判釋結果與中央地調所提供之山崩目錄進行比對，將山崩目錄上及自動判釋皆為崩塌地面積(A1)、山崩目錄上為崩塌地但自動判釋為非崩塌地面積(A2)、山崩目錄為非崩塌地但自動判釋為崩塌地面積(A3)及山崩目錄及自動判釋皆為非崩塌地面積(A4)，再計算其山崩組正確率(A1/(A1+A2))、非山崩組正確率(A4/(A3+A4))、整體正確率((A1+A4)/(A1+A2+A3+A4))。選出判釋正確率最高之門檻值組合為 NDVI=0.2、坡度=20%，並以人工圈繪方式刪除雲遮、陰影等處。

崩塌地圖層為新增崩塌地，係將事件後崩塌地與事件前崩塌相減，即為新增崩塌地，並以此為依據進行事件型山崩潛感分析。本研究共判釋敏督利、蘇拉、蘇力颱風之新增崩塌地如圖 1。

圖 1

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜，圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 1 崩塌地判釋結果 (a) 敏督利颱風\_BRI、(b) 敏督利颱風\_GI、(c) 蘇拉颱風\_BRI、(d) 蘇拉颱風\_GI、(e) 蘇力颱風\_BRI、(f) 蘇力颱風\_GI

**Fig.1 Interpretation of landslide (a) Typhoon Mindulle\_BRI, (b) Typhoon Mindulle\_GI, (c) Typhoon Saola\_BRI, (d) Typhoon Saola\_GI, (e) Typhoon Soulik\_BRI, (f) Typhoon Soulik\_GI**

## 3. 深層崩塌圈繪

用 BRI 或 GI 判釋蘇拉颱風事件之崩塌地做深層崩塌圈繪，在此我們將稜線與水系位置先標示出來，再搭配地形資料繪製等高線找出上、下邊坡和陡坡位置，以及比對衛星影像陰影區域，與先前崩塌地判釋出之崩塌地做套疊，依據判釋之崩塌地比對稜線、水系、等高線與陰影所在位置。

在本研究大致圈繪出 20 處可能潛在深層滑動的區域。將判釋出崩塌地可能為深層崩塌的部分分離出來，而這只是初步圈繪出可能潛在深層滑動範圍，其圈繪出之區域內崩塌仍是無法明確定義其為深層或是淺層崩塌，初步圈繪深層崩塌地如圖 2。

圖 2

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜，圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 2 蘇拉颱風事件之深層崩塌圈繪結果(a)BRI、(b)GI

**Fig.2 Interpretation of deep landslide in Typhoon Saola (a)BRI, (b)GI**

## 4. 山崩潛感模型

本文使用不安定指數法、羅吉斯回歸及證據權重法進行山崩潛感分析，各分析方法敘述如下：

## (1) 不安定指數法

先將山崩影響因子進行分級，接著把崩塌地位置與各影響因子分級圖層進行套疊分析，以量化各山崩影響因子與崩塌地的關係，並將各因子依不同的分級給予評分與其權重，最後再進行不安定指數疊加，參考蘇苗彬、簡李濱(1992)。其疊加方式如下所示：

$$D_{total} = D_1^{W_1} \times D_2^{W_2} \times D_3^{W_3} \times \dots \times D_n^{W_n} \quad (5)$$

其中  $D_{total}$  為整體不安定指數值， $D_1$ 、 $D_2$  ...  $D_n$  代表各因子分級評分值， $W_1$ 、 $W_2$  ...  $W_n$  代表各因子權重值。疊加之後得到的不安定指數值介於 1~10 之間，其數值代表的意義為：當數值越接近 10 時，其邊坡發生破壞的可能性為最大，反之，當數值越接近 1 時，邊坡發生破壞可能性為最小。

## (2) 羅吉斯回歸

其方法為利用一組實際發生的山崩作為訓練樣本，根據訓練樣本可分類山崩組與非山崩組，山崩組與非山崩組圖層與各因子圖層套疊，利用各因子與崩塌之相關性進行二元羅吉斯回歸。參考 Atkinson and Massari (1998)、李錫堤等(2008、2010)。

羅吉斯回歸模型是對數線性模型的一種特殊形式，當應變數為二元變數時即屬之，其形式如下：

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_k x_{ki} \quad (6)$$

其中， $P_i = P(y_i=1 \mid x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki})$  為在給定一系列自變數  $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$  值時的事件發生機率， $\alpha$ 、 $\beta_k$  為係數。在山崩潛感分析中，該點若為山崩  $P_i=1$ ，非山崩  $P_i=0$ 。以訓練資料回歸後即得係數  $\alpha$ 、 $\beta_k$ 。

## 5. 潛感模型驗證方法

本文所使用之驗證方法為 ROC 曲線(Swets,1988)。由曲線下面積(area under curve, AUC)來判斷潛感模型之優劣，AUC 的值域介於 0~1 之間，若判釋正確的比例越高，而誤判率越低，ROC 曲線的切線斜率則越高，且曲線下所覆蓋的面積也越大，代表分析模式呈現較佳的結果，但當 AUC 低於 0.5 時此結果不值得使用。

## 三、潛感分析

以下將呈現各潛感分析所判釋之結果。

## 1. 不安定指數法分析結果

將各影響因子及其權重帶入公式(1)計算，可求得整體之不安定指數  $D_{total}$ ，其值介於 1~10 之間，值域越高代表崩塌潛感機率高。三颱風事件對於烏溪上游力行產業道路之不安定指數潛感模型其公式如下所示，潛感圖如圖 3 所示。

圖 3

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜，圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 3 不安定指數法分析之潛感圖 (a) 敏督利颱風\_BRI、(b) 敏督利颱風\_GI、(c)蘇拉颱風\_BRI、(d)蘇拉颱風\_GI、  
Fig.3 Landslide susceptibility map of instability index method (a) Typhoon Mindulle\_BRI, (b) Typhoon Mindulle\_GI, (c) Typhoon Saola\_BRI, (d) Typhoon Saola\_GI

敏督利颱風\_BRI

$$D_{total} = D_1^{0.086} \times D_2^{0.105} \times D_3^{0.140} \times D_4^{0.097} \times D_5^{0.130} \times D_6^{0.100} \times D_7^{0.137} \times D_8^{0.128} \times D_9^{0.08} \quad (7)$$

敏督利颱風\_GI

$$D_{total} = D_1^{0.070} \times D_2^{0.087} \times D_3^{0.134} \times D_4^{0.089} \times D_5^{0.147} \times D_6^{0.089} \times D_7^{0.152} \times D_8^{0.152} \times D_9^{0.078} \quad (8)$$

蘇拉颱風\_BRI

$$D_{total} = D_1^{0.111} \times D_2^{0.0899} \times D_3^{0.121} \times D_4^{0.100} \times D_5^{0.142} \times D_6^{0.080} \times D_7^{0.119} \times D_8^{0.099} \times D_9^{0.133} \quad (9)$$

蘇拉颱風\_GI

$$D_{total} = D_1^{0.092} \times D_2^{0.066} \times D_3^{0.093} \times D_4^{0.103} \times D_5^{0.167} \times D_6^{0.083} \times D_7^{0.139} \times D_8^{0.136} \times D_9^{0.120} \quad (10)$$

其中,  $D_1$  為坡向、 $D_2$  為坡度、 $D_3$  為坡高、 $D_4$  為斷層距、 $D_5$  為水系距、 $D_6$  為道路距、 $D_7$  為 NDVI、 $D_8$  為順逆向指標、 $D_9$  為崩塌降雨指標。

由公式(7)~(10)可發現, 三個颱風事件之不安定指數潛感模型, 其各因子權重差不多, 權重較大因子均為高程因子、距水系因子、BRI/GI 因子和順逆向指標因子。而順逆向指標中, 逆向坡之不安定指數大於順向坡, 敏督利與蘇拉颱風多集中在中度逆向坡, 蘇力颱風則是集中在中、高度逆向坡, 可以看出烏溪之力行產業道路沿線邊坡崩壞類型, 因為道路主要位於河流東側, 所以崩壞類型以逆向崩塌為主。

## 2. 羅吉斯回歸分析結果

呈現羅吉斯回歸成果之前, 必須先說明在本文中使用的崩塌地為利用 SPOT 衛星影像所萃取的 NDVI, 並給定 NDVI 門檻值所自動判釋而得, 單獨將 NDVI 值和崩與不崩相關進行驗證, 其正確率高達 0.948。若使用 NDVI 該項因子進行羅吉斯回歸分析其權重值將遠大於其他因子, 而不能突顯其他因子對崩塌之權重, 因此剔除 NDVI 此項因子; 對於 BRI 與 GI 也做相同驗證發現其結正確率也甚高因此也個別剔除此兩項因子做後續分析。各颱風事件之羅吉斯回歸公式如下所示, 潛感圖如圖 4 所示。

圖 4

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜, 圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 4 羅吉斯回歸分析之潛感圖 (a) 敏督利颱風\_BRI、(b) 敏督利颱風\_GI、(c) 蘇拉颱風\_BRI、(d) 蘇拉颱風\_GI  
Fig.4 Landslide susceptibility map of logistic regression method (a) Typhoon Mindulle\_BRI, (b) Typhoon Mindulle\_GI, (c) Typhoon Saola\_BRI, (d) Typhoon Saola\_GI

敏督利颱風\_BRI

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = -0.232F_1 - 0.291F_2 - 0.100F_3 - 0.496F_4 - 0.166F_5 - 0.408F_6 - 0.022F_7 + 0.102F_8 + 0.000 \quad (11)$$

敏督利颱風\_GI

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = -0.049F_1 - 0.115F_2 - 0.084F_3 - 0.408F_4 - 0.393F_5 - 0.328F_6 - 0.505F_7 + 0.136F_8 + 0.007 \quad (12)$$

蘇拉颱風\_BRI

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = -0.266F_1 - 0.093F_2 - 0.056F_3 - 0.488F_4 - 0.324F_5 - 0.335F_6 - 0.052F_7 + 0.198F_8 + 0.003 \quad (13)$$

蘇拉颱風\_GI

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = 0.293F_1 + 0.133F_2 + 0.007F_3 - 0.446F_4 - 0.503F_5 - 0.449F_6 - 0.074F_7 + 0.108F_8 + 0.007 \quad (14)$$

其中 P 為羅吉斯函數,  $F_1$  為坡向,  $F_2$  為坡度,  $F_3$  為坡高,  $F_4$  為斷層距,  $F_5$  為水系距,  $F_6$  為道路距,  $F_7$  為順逆向指標,  $F_8$  為各事件之崩塌降雨指標。

由公式(11)~(14)可看到兩個颱風事件中, 斷層、水系、道路因子為高度負相關, 可能原因為我們已將崩塌地

判釋因子 NDVI、BRI 與 GI 剔除，所以可看出力行產業道路沿線呈現距斷層、水系、陸路越近其發生崩塌機會越高。由潛感分析結果看來不論是敏督利颱風或是蘇拉颱風其潛感模型趨勢大致相同。

### 3. 分析結果比較

上述介紹完兩種方法後，本節再將對於兩種方法做討論與比較，由潛感模型結果來看，不論是不安定指數法或是羅吉斯回歸，其潛感模型趨勢都是愈靠近道路的位置有較高的潛勢，其中不安定指數法權種值較高為高程因子、距水系因子、BRI/GI 因子與順逆向指標因子；而羅吉斯回歸是以距斷層、距水系、距道路為高度負相關，表示離力行產業道路越近處有較高發生崩塌的機會，而崩塌降雨指標是正相關，表示降雨越多其發生崩塌機會越高。

本研究用 ROC 曲線下之 AUC 面積做驗證可以發現，不論是敏督利颱風事件或是蘇拉颱風事件均是不安定指數法之 AUC 值高於羅吉斯回歸，由此可知不安定指數法在本研究上其準確度較羅吉斯回歸法還要高，如圖 5、圖 6 所示。

圖 5

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜，圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 5 不安定指數法 ROC 曲線 (a) 敏督利颱風\_BRI、(b) 敏督利颱風\_GI、(c) 蘇拉颱風\_BRI、(d) 蘇拉颱風\_GI

Fig.5 ROC of instability index method (a) Typhoon Mindulle\_BRI, (b) Typhoon Mindulle\_GI, (c) Typhoon Saola\_BRI, (d) Typhoon Saola\_GI

圖 6

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜，圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 6 羅吉斯回歸 ROC 曲線(a)敏督利颱風\_BRI(b) 敏督利颱風\_GI (c)蘇拉颱風\_BRI(d)蘇拉颱風\_GI

Fig.6 ROC of logistic regression method (a) Typhoon Mindulle\_BRI, (b) Typhoon Mindulle\_GI, (c) Typhoon Saola\_BRI, (d) Typhoon Saola\_GI

### 4. 深淺層山崩潛感比較

本研究進一步使用圖 2 判釋之深層崩塌地圖層，使用準確度表現較佳的不安定指數法潛感模型(公式 9、公式 10)進行山崩潛感分析，結果如圖 7，並以 ROC 曲線法下做驗證，如圖 8，與未區分深淺層崩塌之潛感模型 ROC 驗證(圖 5(c)、圖 5(d))相比，可以發現其 AUC 值分別從 0.848 變成 0.882；0.812 變為 0.863，皆有所提升，可見區分深淺層崩塌對山崩判釋準確度的提升是有益的。

圖 7

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜，圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 7 使用不安定指數法之蘇拉颱風深層崩塌潛感圖 (a) BRI、(b)GI

Fig.7 Deep landslide susceptibility map of Typhoon Saola by using instability index method (a) BRI, (d) GI

圖 8

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜,圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 8 圖 7 之 ROC 曲線 (a) BRI、(b)GI

**Fig.8 ROC of Fig. 7 (a) BRI, (b) GI**

### 5. 敏督利、蘇拉潛感模型預測蘇力颱風

最後本研究使用 AUC 表現較高的敏督利\_GI 不安定指數法潛感模型(公式 8), 與蘇拉\_BRI 不安定指數法潛感模型(公式 9)對蘇力颱風進行山崩潛感分析, 結果如圖 9, 並以蘇力颱風自動判釋之崩塌地(圖 1(e)、圖 1(f))使用 ROC 曲線法驗證, 得到結果如圖 10, 可以發現其 AUC 值分別為 0.887 與 0.802, 可見上述兩個潛感模型對未來事件之山崩預測, 有一定之可靠度。

圖 9

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜,圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 9 預測蘇力颱風山崩潛感圖 (a) 使用敏督利\_GI、(b)使用蘇拉\_BRI

**Fig.9 Landslide susceptibility map of Typhoon Soulik by using (a) Typhoon Mindulle\_GI, (b) Typhoon Saola\_GI modle**

圖 10

(圖之清晰度以縮小 1/2 時尚可判讀為宜,圖解析度至少為 300 DPI 或以上可用於印刷出刊之圖檔)

圖 10 圖 9 之 ROC 曲線 (a) 使用敏督利\_GI、(b)使用蘇拉\_BRI

**Fig.10 ROC of Fig. 9 (a) Typhoon Mindulle\_GI, (b) Typhoon Saola\_GI modle**

## 四、結論

本文所得之結果可歸納以下幾點:

1. 一般在做自動判釋為了提高整體正確率, 往往會忽略到山崩組的數量; 而以降低整體正確率以提高山崩組判釋數量, 則可能會將陰影誤判為崩塌。本研究以綠度指標以及亮度指標來處理陰影相關的誤判。
2. 衛星影像之品質受拍攝時間、日照角度、雲量等因素影響, 因此本研究發現綠度指標以及亮度指標之山崩判釋門檻值, 應依事件來進行調整; 反之, 初步篩選之 NDVI 與坡度門檻值可選用固定值, 以烏溪上游力行產業道路為例, 可選用 NDVI<0.2 及坡度大於 20%。
3. 於不同颱風事件中, 對不安定指數法及羅吉斯回歸法得到的模型, 進行 ROC 曲線下之 AUC 驗證, 其判釋山崩準確度都是在可接受的範圍內; 其中不安定指數法是兩者間準確度較高的, 雖然羅吉斯回歸之準確度較低了一些, 但兩種潛感模型用於山崩潛勢分析中仍是有參考價值的。
4. 不安定指數法表現優於羅吉斯回歸法, 可能的原因為, 本研究之自動判釋之崩塌地是以 NDVI 及坡度加上綠度

指標或是亮度指標作為門檻值使用，而在羅吉斯回歸分析當中，我們將崩場地判釋因子剔除分析，若加入其模型中分析，應該是會使山崩準確度有提高的現象；亦或是我們在兩種潛感模型中加入更多影響因子進行進行評估，其分析結果或許更能符合實際情形。

5. 本研究進一步對圈繪出之深層崩塌進行潛感模型解釋山崩能力分析。由兩種潛感模型可以發現，相較於未區分深淺層崩塌之潛感模型分析，其山崩判釋準確度是有提高的，因此欲再提高山崩判釋準確度，可以使用解析度較高之衛星影像，做更詳細之深層崩塌圈繪分析使用。
6. 本研究最後挑選 AUC 值較高的兩個模型—不安定指數法敏智利\_GI 以及不安定指數法蘇拉\_BRI，對蘇力颱風進行山崩潛感分析，並以蘇力颱風自動判釋之崩場地劑型 ROC 曲線驗證，得到的 AUC 值皆在 0.8 左右，可見兩個潛感模型在未來事件的山崩預測上中有一定的可信度，因可做為未來力行產業道路設計、減災、防災之依據。

## 參考文獻

- [1] 許惠瑛(2007)，「台灣中部地區降雨誘發崩塌之影響因子研究」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。(Hsu, H.Y. (2007). Study on the Control Factors of Rainfall Induced Landslides in Central Taiwan, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [2] 吳秋靜 (2010)，「以 GIS 探討台灣大甲溪及烏溪上游崩場地之影響因子」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。(Wu, C.C. (2010). GIS Study on the Control Factors of Landslides in the Upstream Area of Ta-chia River and Wu River in Taiwan, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [3] 洪嘉好 (2010)，「台灣中部地區山崩影響因子之時間序列分析」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。(Hung, C.Y. (2010). Time Series Analysis of Control Factors of Landslides in Central Taiwan, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [4] 楊志銘 (2012)，「氣候變遷條件下不同時間空間尺度之山崩潛勢分析-以清水溪為例」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。(Yang, C.M. (2012). Temporal and Spatial Landslide Susceptibility Analysis of Ching-Shuei Watershed with Consideration of Climate Change, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [5] 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學系碩士論文。(Jian, L.B. (1992). Application of geographic information system in the quantitative assessment of hillslope stability, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [6] 李錫堤、費立沅、李錦發、林銘郎、董家鈞、張瓊文 (2008)，「石門水庫集水區的山崩與土石流潛感分析」，第六屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會論文集，逢甲大學編印，台中，台灣，1-10。(Lee, C.T., Fei, L.Y., Lee, C.F., Lin, M.L., Dong, J.J., and Chang, C.W. (2008). "Landslides and Debris Flow Susceptibility Analysis in Shimen Reservoir Watershed." Proceedings of the Researches on Mountain Disasters and Environmental Protection across Taiwan Strait, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, 1-10. (in Chinese))
- [7] 李錫堤、費立沅、陳勉銘、李彥良、林銘郎、董家鈞、張瓊文 (2010)，「蘭陽溪流域之山崩土石流災害潛勢分析」，2010 流域地質與坡地災害研討會論文集，經濟部地質調查所編印，台北，台灣，D1-D18。(Lee, C.T., Fei, L.Y., Chan, M.M., Lee, Y.L., Lin, M.L., Dong, J.J., and Chang, C.W. (2011). "Landslides and Debris Flow Susceptibility Analysis in Lan-Yang Catchment." Proceedings of 2010 Geology and landslide disaster of basin Conservation, Central Geological Survey, Taipei, Taiwan, D1-D18. (in Chinese))
- [8] Atkinson, P.M., and Massari, R., (1998). "Generalized linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Apennines," Italy, Computers & Geosciences, 24, 373-385.
- [9] Swets, J. A., (1998). "Measuring The Accuracy of Diagnostic Systems," Science, 1.240(4857), 1285-1293.