

# 考慮水文模式的地形穩定分析 —以匹亞溪集水區為例

## Terrain stability analysis with hydrologic model for predicting shallow landslides — A Study on Pi-Ya Watershed

鍾欣翰（國立中央大學應用地質所）；李錫提（國立中央大學應用地質所）  
Chung Hsin-Han(Graduate Institute of Applied Geology, National Central University);  
Lee Chyi-Tyi (Graduate Institute of Applied Geology, National Central University)

關鍵詞：SHALSTAB、SINMAP、淺層山崩、艾利颱風

Key words: SHALSTAB、SINMAP、Shallow landslides、Typhoon Aere

### 摘要

台灣破碎的地質、陡峻的地形和強烈的降雨特性，經常引發山坡地崩塌。本研究針對大漢溪支流之匹亞溪集水區，以 2004 年艾利颱風降雨事件所發生的 23 個崩塌地為研究對象，配合 10 公尺解析度的 DEM 資料，並利用 SHALSTAB 和 SINMAP 這兩個皆以 TOPMODEL 為基礎所發展出來的模式，結合水文模式和無限邊坡模式進行邊坡穩定性的評估，進一步根據不同降雨量  $q$  與土壤本身的導水係數  $T$  探討其土壤濕度分佈所誘發的邊坡不穩定。以 ESRI 的 ArcView 軟體，搭配野外和室內實驗取得所需的物理參數，根據數值高程資料計算地形參數，將模擬結果與實際崩塌資料進行比對，據以檢測這兩個模式的適用性。

模式分析的結果顯示 SHALSTAB 與 SINMAP 模式所繪製的山崩穩定圖的分佈型樣相似，並且從預測率曲線（prediction rate curve）得知，SHALSTAB 的預測結果較 SINMAP 的預測結果佳，但是其誘發山崩的雨量門檻值過低，充其量只能當成山崩潛感圖，無法當成山崩的預測分析。

## 前言

台灣地區位於歐亞大陸板塊交接處，造山運動頻繁，地勢陡峭且地質脆弱，每逢豪大雨的侵襲，山坡地經常引發沖蝕、山崩、地滑及土石流等自然災害，往往造成重大的人員傷亡與經濟損失。2004 年八月艾利颱風肆虐北臺灣，造成石門水庫集水區的大量崩塌，災情十分慘重。

山坡地發生崩坍的原因牽涉範圍相當複雜，主要有地質、地形、地震、豪雨等。事實上，在崩坍原因中，地形與降雨是不可忽略之重要因子，因此對於地形的分佈以及土壤本身的飽和程度，可做為一評估潛在崩塌地之條件。

利用 SHALSTAB 和 SINMAP 模式以 2004 年艾利颱風降雨事件搭配野外和室內實驗取得所需的物理參數，選定位在石門水庫集水區上游的匹亞溪集水區，將模擬結果與實際崩塌資料進行比對，據以檢測這兩個模式的適用性。

## 模式介紹

Dietrich and Montgomery (1994) 發展出一套 SHALSTAB (SHALLOW Landsliding STABILITY) 的 GIS 工具，主要是在探討不同降雨量  $q$  使土壤達到飽和，並且根據土壤本身的導水系數  $T$  探討其土壤濕度分佈所誘發的邊坡不穩定。Pack, R.T. et al. (2001) 亦發展了一套稱之為 SINMAP (Stability INDEX Mapping) 的 GIS 工具，主要是以參數值給定的範圍，快速計算邊坡的安全系數 (FS) 並評選最佳模擬結果。

這兩個模式皆以 TOPMODEL (Beven and Kirkby, 1979) 為基礎所發展出來的工具，並且結合穩定水文模式 (steady-state hydrologic model) 和無限邊坡模式 (infinite slope model) 進行邊坡穩定性的評估。利用 ESRI 的 ArcView 軟體，輸入物理參數值，根據數值高程資料計算地形參數，可以很快評估網格的穩定狀況。

## 資料來源

研究中所使用的降雨事件為 2004 年的艾利颱風，資料取自水利署的雨量測站之逐時雨量記錄，在匹亞溪集水區鄰近的雨量測站為高義雨量站，所以選擇高義雨量站的資料為本研究的資料來源；土壤的參數值則是在集水區內採樣進行室內試驗，求取其密度  $\rho_s$ 、凝聚力  $C$ 、摩擦角  $\phi$  (表一)。

## 資料處理

在 SHALSTAB 模式裡所需要輸入的數值有：土壤密度  $\rho_s$ 、凝聚力  $C$ 、摩擦角  $\phi$ 、土壤厚度  $h$ ，而 SINMAP 模式裡所需要的數值則是：土壤密度  $\rho_s$ 、

摩擦角  $\phi$  的範圍、土壤導水系數與雨量比值  $T/R$  的範圍、無因次凝聚力  $C$  的範圍，其計算方式為  $C/h\rho_s g$ 。因此本研究根據高義雨量站的資料得知艾利颱風內的最大降雨強度為 67mm/hr，72 小時的累積降雨量為 1214mm，平均時雨量為 16.86mm/hr，並且以實際量測到的土壤參數，再假設土壤導水系數和厚度皆為一常數 ( $T=65m^2/day$ ,  $h=2m$ )，計算模式需要輸入的參數值進行分析 (表二、表三)。

### 初步成果

研究區中的山崩發生地點有 23 個，利用 SHALSTAB 與 SINMAP 模式，針對匹亞溪集水區進行地形穩定分析。SHALSTAB 的結果顯示有 19 個山崩位於無條件不穩定的區域中，詳細的分析結果如表四、圖一和圖二所示。而 SINMAP 的分析結果顯示只有 1 個山崩位於無條件不穩定的區域中，其它的山崩分別座落於各個 SI (Stability Index) 分區中，結果如表五、圖三和圖四所示。雖然 SHALSTAB 與 SINMAP 模式所繪製的山崩穩定圖的分佈型樣相似，然而從預測率曲線 (prediction rate curve) 得知，SHALSTAB 的曲線下面積 (Area under curve, AUC) 為 0.69，其預測結果尚可接受，但是其誘發山崩的雨量門檻值過低，充其量只能當成山崩潛感圖，而無法當成山崩的預測分析；SINMAP 的 AUC 為 0.53，顯示其預測率極差，其原因有待進一步探討。

### 參考文獻

- Dietrich, W.E., D.R. Montgomery (1994) A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding, *Water Resources Research*, 30, 1153-1171.
- Beven, K. J. and M. J. Kirkby (1979) A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology, *Hydrological Sciences Bulletin*, 24, 43-69.
- Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N. (2001) SINMAP User's Manual (Terrain Stability Mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.00), Utah State University

表一、土壤參數值

$\rho_{s-min}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\rho_{s-max}$ (KN/m <sup>3</sup> )	C <sub>-min</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	C <sub>-max</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	$\phi_{-min}$ (度)	$\phi_{-max}$ (度)
18.4	19.4	12.0	16.0	28.4	33.9
meau		meau		meau	
18.9		14.0		31.15	

表二、SHALSTAB 模式的參數輸入值

$\rho_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	C (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (度)	h (m)
18.9	14.0	31.15	2

表三、SINMAP 模式的參數輸入值

$\rho_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi_{-min}$ (度)	$\phi_{-max}$ (度)	C <sub>-min</sub>	C <sub>-max</sub>	T/R <sub>-min</sub>	T/R <sub>-max</sub>
18.9	28	34	0.32	0.43	40	2700

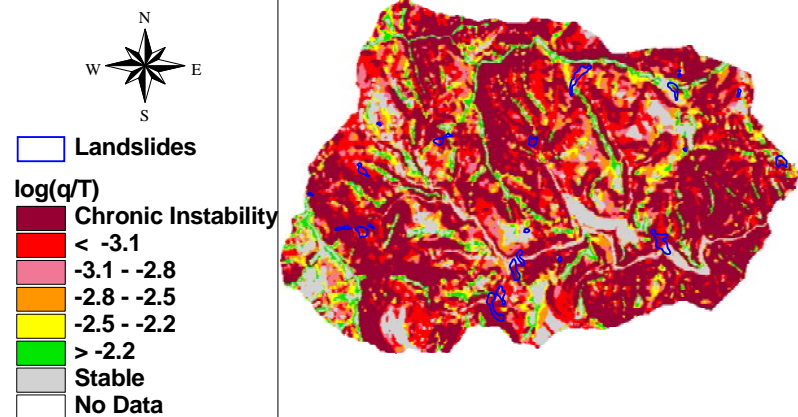
表四、SHALSTAB 模式的分析結果

	雨量門檻 (mm/day)	研究區面積 (%)	山崩數	山崩面積 (%)
Chronic Instability	雨量起始	48.08	19	82.61
< -3.1	< 26	17.47	3	13.04
-3.1 - -2.8	51 - 102	6.83	0	0
-2.8 - -2.5	102 - 205	6.89	1	4.35
-2.5 - -2.2	205 - 411	5.41	0	0
> -2.2	> 411	4.51	0	0
Stable		10.81	0	0
Total		100	23	100

表五、SINMAP 模式的分析結果

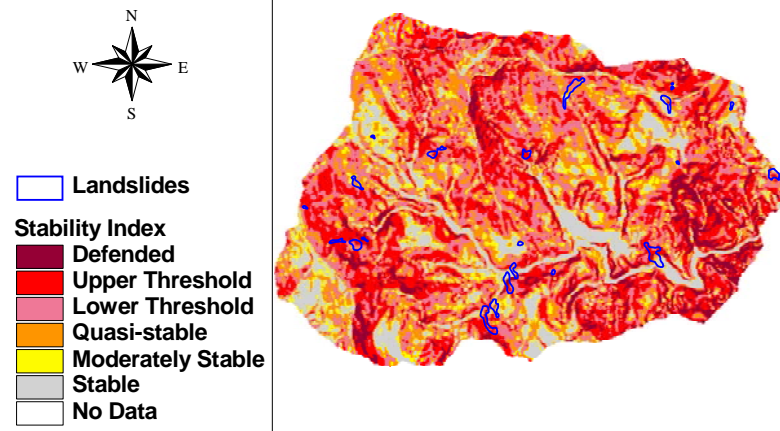
	穩定指數(SI)	研究區面積(%)	山崩數	山崩面積(%)
Defended	SI < 0	3.8	1	4.3
Upper Threshold	0 > SI > 0.5	30.9	7	30.4
Lower Threshold	1.0 > SI > 0.5	25.8	9	39.1
Quasi-Stable	1.25 > SI > 1.0	18.5	2	8.7
Moderately Stable	1.5 > SI > 1.25	8.2	1	4.3
Stable	SI > 1.5	12.8	3	13
Total		100	23	100

# SHALSTAB



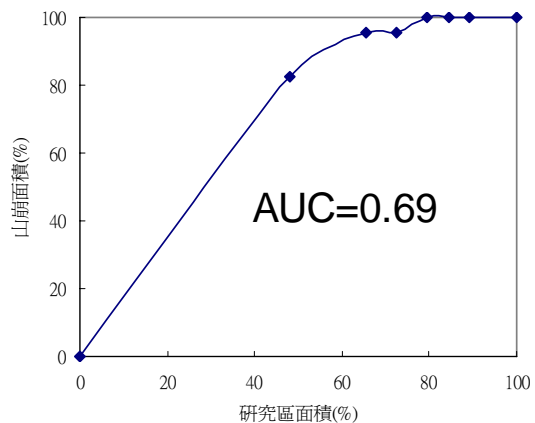
1000 0 1000 2000 Meters

# SINMAP



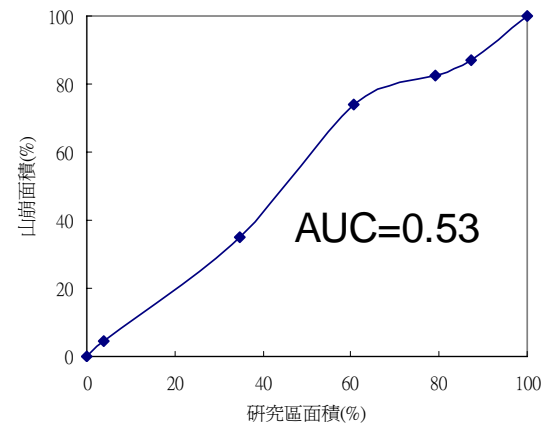
1000 0 1000 2000 Meters

圖一、SHALSTAB 模式的分析結果



圖二、SHALSTAB 模式的預測率曲線

圖三、SINMAP 模式的分析結果



圖四、SINMAP 模式的預測率曲線