

中橫公路東勢至太魯閣易坍段之山崩背景研究
A study on landslide problems along
Central Cross-Island Highway

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-150

執行期限：89/8/1-90/7/31

主持人：林銘郎 台灣大學土木工程學系 副教授

一、摘要

本研究以中橫公路東勢至太魯閣沿線地區為例，應用地理資訊系統，由無限邊坡穩定分析的力學機制出發，選擇少量的因子來模擬崩坍之背景因素與地震及豪雨兩種促崩因子，藉以了解地震及豪雨發生時中橫地區會產生坡地災害的危險區域並建立預測模式。其中地震事件是應用 1999 年 921 集集地震在中橫公路西段所造成之坡地災害為研究對象，豪雨則是利用 1997 年安珀颱風在中橫地區東段所造成之崩塌作為研究區。研究結果顯示利用無限邊坡配合地理資訊系統功能之分析方式，可以分析出研究區的崩塌與坡度、地層的關係，並迅速推求在已知地震或豪雨發生時較易發生坍塌之位置與範圍，作為優先整治之考量。

關鍵詞：中橫公路、地理資訊系統、促崩因子、地震、豪雨、降雨危險指數(RHI)、崩壞比(P_f)、Newmark 位移(D_n)

Abstract

The main purpose of this project is

to study the influence factors of landslide susceptibility based on the mechanical analysis of infinity slope through the GIS technology. The study area is located in the central Taiwan along the Central Cross-Island Highway. The study results reveal the relationships between the landslide susceptibility and the angle of slope and the mechanic properties of the strata, and the most probable areas, which would occur landslides induced by a major earthquake or a heavy rainfall.

Keyword: Geographic Information Systems (GIS), Central Cross-Island Highway, Triggering factor, Earthquake, Rainfall, Rainfall hazard index (RHI), Probability (P_f), Newmark's displacement.

二、計畫緣由與目的

目前國內外利用 GIS 進行山崩潛感分析時，對山崩因子間之權重關係較難客觀界定或量化；對地震及豪雨兩種促崩因子甚少加以分析考量。前人研究之所以較少探討促崩因子，是因為探討促崩因子時，判釋用之災前後

崩塌地影像必須是在災前後短時間內拍攝所得者，而以往國內外遙測技術、影像拍攝頻率及地理資訊系統功能尚未如今日之進步。而這些難題在今日均已得以解決。

本研究主要目的係利用國內近年來之重大地震(集集地震)及豪雨(安珀颱風)所引致之大範圍山崩事件，以中橫公路東勢至太魯閣沿線地區為例，探討如何利用遙測影像及 GIS 技術應用於山崩之背景因子研究(包括潛感及促崩)，並討論其可行性及限制。

三、研究區域

(1)地震引致山崩之研究區域(中橫公路西段-東勢至德基)

研究範圍係以東勢至德基之中橫公路附近為研究區域，矩形區域其左上角二度 TM 座標(依 TWD67 基準)為(229000,2686000);右下角二度 TM 座標為(267400,2671000)，共 38.4 乘 15 公里，面積為 576 平方公里。集集地震在此一區域共造成 1116 個崩塌，崩塌面積共 22940205 平方公尺。

(2)降雨引致山崩之研究區域(中橫公路東段-德基至太魯閣)

研究範圍係以德基至太魯閣之中橫公路附近為研究區域，矩形區域其左上角二度 TM 座標(依 TWD67 基準)為(267400,2686000);右下角二度 TM 座標為(316000,2671000)，共 48.6 乘 15 公里，面積為 729 平方公里。安珀颱風在此一區域共造成 121 個崩塌，崩塌面積共 4857664 平方公尺。

四、研究方法及流程

Jibson et al. (1998, 2000) 提出利

用無限邊坡之分析方法，配合 Newmark's 位移法，製作 1994 年發生於美國加州 Northridge 的地震誘發山崩之危險圖，得到不錯之研究成果。因此本研究採用 Jibson et al. 的精神，以無限邊坡極限平衡分析法，用 Newmark's 位移法及考慮降雨引致地下水水位上升之地下水位參數，比對由判釋地震及降雨所引致之崩塌地資料，推求地震或豪雨發生後可能引發山崩之範圍及分佈。圖 1 及圖 2 為本研究地理資訊資料庫建置之流程圖。

(1)地震引致山崩之研究方法

所須分析資料包括:(1)比對災前及災後之相片基本圖或衛星影像判釋其所誘發之崩塌地;(2)研究區域附近各地震測站之地震紀錄;(3)區域內的地質圖;(4)區域內地質單元工程性質資料，如表 1;(5)區域內的數值地形模型(DTM)。採用地理資訊套裝軟體 Arc/Info 及 Arcview 作為分析及展示工具，並撰寫 Fortran 程式以計算研究區域之 Arias Intensity (I_a)，由於在地理資訊資料庫中以二次積分地震加速度歷時紀錄來求取各網格的 Newmark 位移是極為繁複且幾乎難以達成的工作，因此本研究利用 Jibson and Keefer (1993) 所導出之經驗式推求因地震所引致之邊坡滑動塊體 Newmark's 位移值(D_n)，式(1)：

$$\log D_n = 1.521 \log I_a - 1.993 \log A_c - 1.546$$

式中 A_c 為 Newmark's 法之臨界加速度，如此可以分析出此地震所誘發山崩在每個網格所造成之位移，並與實際崩塌發生情形作一比較。可建立全區崩壞比(P_f)與 D_n 值之關係模式。

(2)降雨引致山崩之研究法

降雨所引致崩塌所需考量之地

形、地質及雨量因子，若考慮累積雨量及入滲率（植生覆蓋因素），簡化為地層之地下水位比例因子 m ，如此即能用無限邊坡之極限平衡法內之靜力安全係數來代表降雨所會誘發的不穩定區域，此靜力安全係數之值為 $FS = \tau_f / \tau$ ，其數學式(式 2)為：

$$F.S. = \frac{[(1-m)\gamma + m\gamma'] \times h \times \cos^2 \alpha \times \tan \phi + c}{[(1-m)\gamma + m\gamma_{sat}] \times h \times \cos \alpha \times \sin \alpha}$$

其中 c 、 ϕ 為地層材料參數， γ 為岩層單位重， γ' 為岩層浸水單位重， γ_{sat} 為岩層飽和單位重，如表 2， h 為地層滑動之深度， α 為坡度。利用 Arcview 空間分析功能搭配 Geoprocessing 分析模組，將每個網格內計算靜力安全係數所需之參數包含考量降雨強度、植生覆蓋因素之 m 值進行疊合，如此可以分析出每個網格之靜力安全係數，並將其倒數即降雨危險指數(RHI, rainfall hazard index)與實際崩塌發生情形作一比較，可建立崩壞比(P_f)與 RHI 值之關係模式。

五、結果與討論

(1)地震引致山崩之研究區域（中橫公路西段-東勢至德基）

研究區內因集集地震所引致之崩塌分佈情形如圖 3 所示，分析所得之 D_n 值分佈如圖 4 所示，疊合崩塌地圖層後，經分析即可得每個 D_n 值的崩壞比(P_f)，並建立 P_f 與 D_n 值之關係式及圖形如圖 5。

其 P_f 與 D_n 之關係式為 $P_f = 0.49[1 - \exp(-0.6223D_n^{1.3412})]$ ， $R^2 = 93.27\%$ ，顯示由此一方法利用 D_n 推求地震引致山崩位置與分佈應屬可行。另分析得知中橫公路西段地區的崩塌區域與坡度的關係為當坡度愈陡

峭時，崩塌比例有明顯上升趨勢。而崩塌區域與岩性之關係為當地震發生時，本區域之崩積層最易發生山崩，其次為頭崙山層、達見層及大桶山層。

(2)降雨引致山崩之研究區域（中橫公路東段-德基至太魯閣）

研究區內因安珀颱風所引致之崩塌分佈情形如圖 6 所示，分析所得之 RHI 值分佈如圖 7 所示，建立 P_f 與 RHI 之關係式及圖形如圖 8

$P_f = 0.236[1 - \exp(-1.2396(RHI)^{0.5967})]$ ， $R^2 = 90.28\%$ ，顯示由此一方法利用 RHI 推求豪雨引致山崩之位置與分佈應屬可行。另外得知本研究區域中未降雨時($m=0$)研究區域內之靜態安全係數均大於 1，全區都處在穩定之狀態；當促崩因子 m 值大於 0.4 時，崩壞比會大幅提昇。研究亦顯示本區之崩積層最易發生山崩，坡度對崩坍仍有一定程度之影響，惟 RHI 可綜合各因子與降雨引致山崩的關係並定量表示之。

六、結論

本研究由無限邊坡分析的觀點出發，將地震或降雨誘發山崩之因素予以量化進行模式研究，經由分析結果顯示，利用 Newmark's 位移法及 RHI 指數來建立促崩因子與邊坡穩定間關係的模式之確可行。利用地理資訊系統、航空照片或是衛星影像所得到的崩塌地資料、配合研究區域的工程性質輔以數值地形模型進行分析，可以便捷的處理大範圍且複雜的空間位相問題，作為工程規劃的參考。

七、參考文獻

1. Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.A., (1998), "A method for producing

digital probabilistic seismic landslide hazard maps: An example from the Los Angeles, California Area”, USGS Open-File Report 98-113.

2. Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.A., (2000), “A method for producing digital probabilistic seismic landslide

表1 中橫西段地區計算 Newmark 位移所使用之材料參數

地層名稱	C(max)	C(min)	C(kPa)	Phi(max)	Phi(min)	Phi	單位重 (KN/M ³)	來源
礫石山層	1,721	821	1,081	54	8	31	20.31	曉國敏(1994)
紅土台地堆積	500	500	500	38	38	38	17	T.Y. Irfan(1992)
遠見砂岩	50,000	30,000	42,000	54	42	50	23.7	Franklin et al., (1989)
赤藤層	3,300	1,900	2,500	37	32	35	23.64	林錫卿(1997)
佳陽層	81,038	28,243	50,920	54	6	31	20.31	洪如江(1995) Franklin et al., (1989)
四稜砂岩	81,038	28,243	50,920	54	6	31	20.31	*
大橋山層	48,097	28,940	31,003	42	17	39	20.31	蕭仁蒼等人 (1989) Franklin et al., (1989)
大坵層	5,647	2,038	3,548	54	6	31	20.31	洪如江(1995) Franklin et al., (1989)
桂竹林層	3,700	1,700	2,700	37	33	35	23.35	曉國敏(1994)
石炭層	14,500	14,500	14,500	17.42	17.42	17.42	26.18	林錫卿(1999)
崩積土	22	22	22	33	33	33	18.59	T.Y. Irfan(1992)

hazard maps”, Engineering Geology 58, pp. 271-289.

3. Jibson, R.W. and Keefer, D.K., (1993), “Analysis of the Seismic Origin of Landslides – Examples from the New Madrid Seismic Zone,” Geol. Soc. Am. Bull., 105: pp. 421-436.

表2 中橫東段地區計算 RHI 所使用之材料參數

地層名稱	C(max)	C(min)	C(kPa)	Phi(max)	Phi(min)	Phi	單位重 (KN/M ³)	來源
片麻岩	42,085	21,832	35,539	48	17	26	22.85	蕭仁蒼等人 (1989) Franklin et al., (1989)
大理岩	22,773	9,372	17,147	35	32	33	23.61	鄭寶山 (1992)
黑色或綠色片岩	38,848	20,153	32,808	48	17	26	23.61	蕭仁蒼等人 (1989) Franklin et al., (1989)
遠見砂岩	50,000	30,000	42,000	54	42	50	23.7	Franklin et al., (1989)
紅土台地堆積	500	500	500	38	38	38	17	T.Y. Irfan(1992)
佳陽層	81,038	28,243	50,920	54	6	31	20.31	洪如江(1995) Franklin et al., (1989)
崩積土	22	22	22	33	33	33	18.58	T.Y. Irfan(1992)
礫石山層	60,000	1,000	30,000	42	17	39	20.31	Franklin et al., (1989)
粵橋山層	60,000	1,000	30,000	42	17	38	20.31	Franklin et al., (1989)
四稜砂岩	81,038	28,243	50,920	54	6	31	20.31	洪如江(1995) Franklin et al., (1989)
大橋山層	48,097	28,940	31,003	42	17	39	20.31	蕭仁蒼等人 (1989) Franklin et al., (1989)

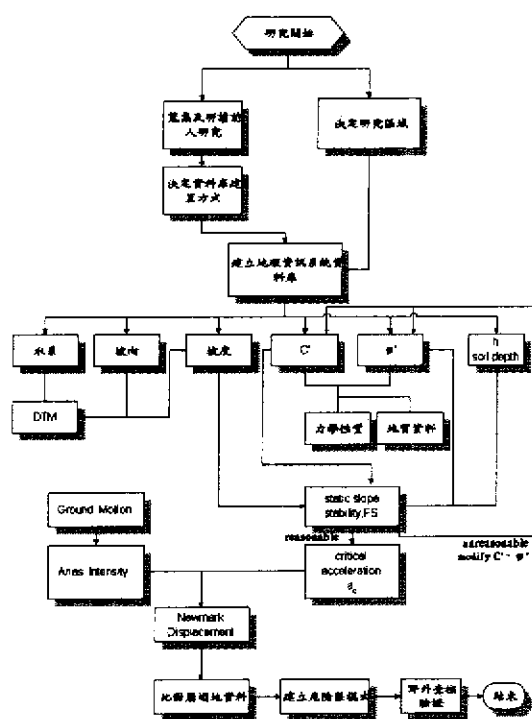


圖1 應用地理資訊系統製作中橫地區地震所引起之山崩

危險圖流程圖

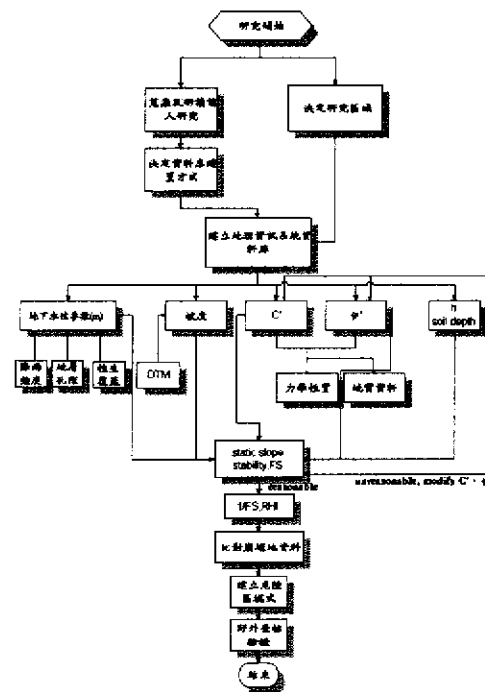


圖2 應用地理資訊系統製作中橫地區降雨所引起之山崩

危險圖流程圖

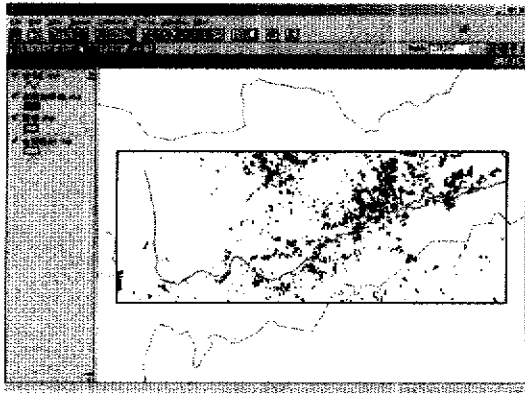


圖 3 中橫西段集集地震後崩塌地分布圖

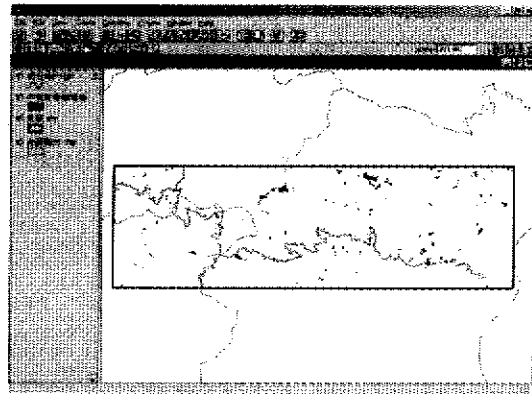


圖 6 中橫東段安珀颱風後崩塌地分布圖

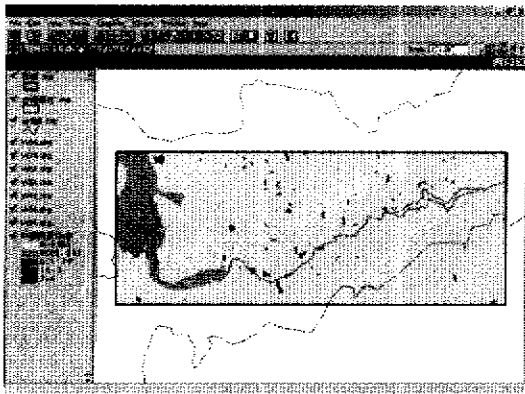


圖 4 中橫西段集集地震後 Dn 值分布圖

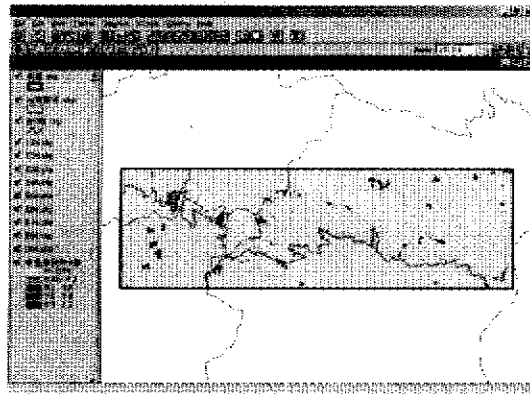


圖 7 中橫東段安珀颱風後 RHI 值分布圖

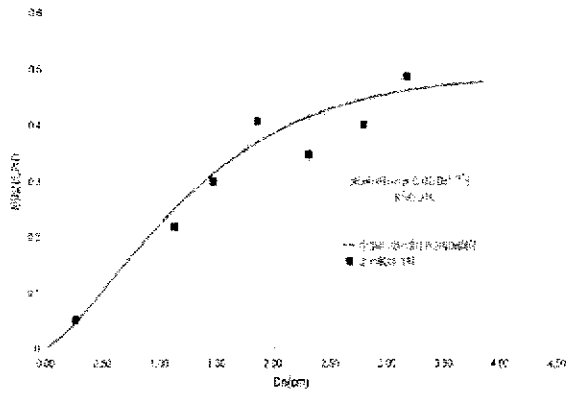


圖 5 中橫西段崩塌比與 Dn 關係圖

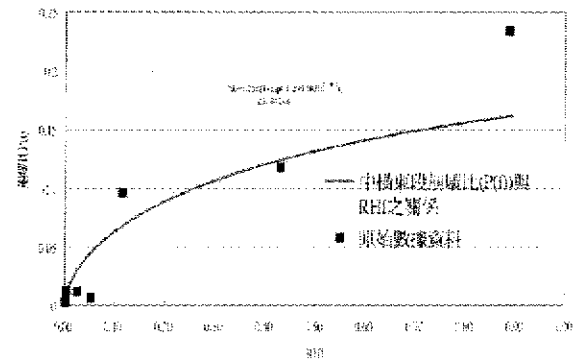


圖 8 中橫東段崩塌比與 RHI 關係圖