

花蓮地區集水區土砂潛勢災害風險評估分析之研究*

Risk Assessment Model for Evaluating the Potential Occurrence of Sediment Disasters at Hualien Watershed in Taiwan

蔡光榮¹ ■ 陳昆廷² ■ 王宣惠³ ■ 林岱本⁴ ■ 謝正倫⁴
K.J. Tsai¹, K.T. Chen², S.H. Wang³, T.P. Lin³, C.L. Shieh⁴

花蓮地區地形東西短南北長，地勢陡急狹長，受颱風豪雨影響甚大，且近年來降雨量屢創新高，土砂災害問題頻傳。尤其花蓮地區境內重要集水區之坡地遭受崩塌、沖蝕與土石流肆虐為害，危及花蓮地區重大公共工程建設與居民生命財產安全更為顯鉅。有鑑於此，本研究乃針對花蓮縣轄秀姑巒溪及壽豐溪集水區內 131 處土砂災害防治工程進行現況調查，並蒐集該區域內相關自然環境、土砂災害與衛星影像資料，據以建構相關 GIS 主題圖層，另針對致災誘因進行分析，以 Pearson 積差相關分析、 χ^2 獨立性檢定及因子融合性檢定等複相關迴歸統計分析後，加以萃取區域內各項土砂災害之重要致災因子，並運用多變量不安定指數分析法建立適用於花蓮地區集水區之土砂潛勢災害風險評估模式，據以評估花蓮地區境內土砂災害發生風險機率，以提供相關單位作為花蓮地區集水區土砂災害防治方案研擬之重要參考依據。

關鍵字：風險評估、土砂災害、全球衛星定位 / 地理資訊系統

The topography of slope lands at Hualien County in the eastern Taiwan is quite steep, narrow, and elongated. It is susceptible to heavy rainfall causing sediment related disasters. Hsiukuluan and Shoufeng watersheds were selected as two research spots for the potential risk analysis of sediment disaster. Mechanism, behavior and scale of sediment disasters were analyzed to determine the factors contributed to these disasters. Global positioning systems (GPS) was used to collect all fundamental informations including site positioning, disaster scale investigation, and other disaster related factors. Geographic information systems (GIS) was also utilized to establish the database systems of sediment related disaster. GPS/GIS integrated with multivariable regression analysis method were applied on analyzing field data collected from 131 sediment disaster areas. All results demonstrated by this study can help Hualien County set up its disaster prevention program.

Key Words: Risk Assessment, Sediment Disasters, GPS/GIS

壹、前言

台灣東部花蓮地區地形地勢陡峭、地質構造脆弱，位屬板塊交界處，地震更加頻繁，加以颱風豪雨季節所帶來之集中性豪雨，山區常引發大規模之土砂災害。原住民族委員會自 1998-2001 年調查花蓮地區之坡地環境災害，其中以崩塌地和土石流所佔比例分別高達 50.92% 及

*一〇一年十一月二日在本會一〇一年宣讀之論文
長榮大學土地管理與開發學系 ¹講座教授 ³碩士

¹Chair Professor, ³Master, Department of Land Management and Development, Chang Jung Christian University.

國立成功大學水利及海洋工程學系 ²博士候選人 ⁴碩士班⁵教授

²Ph. D. Candidate, ⁴Graduate Student, ⁵Professor, Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University.

20.99%，近年更因受極端降雨事件影響，降雨量屢創新高，誘使花蓮地區發生大規模土砂災害，威脅居民生命財產安全甚鉅⁽⁴⁾，因此崩落地治理與土石流災害防治乃成為花蓮坡地環境安全之首要課題，尤其以花蓮縣轄內之秀姑巒溪與壽豐溪等重要治理集水區內之土砂災害最為嚴重^(10,11)。有鑑於此，本研究乃針對秀姑巒溪及壽豐溪二集水區中上游之土砂災害現況進行調查，並建立花蓮地區土砂災害發生區之空間分佈資訊，再輔以 GIS 技術萃取出影響區域內之土砂災害致災因子與進行各致災因子間之 *Pearson* 積差相關、 χ^2 獨立性及融合性統計檢定分析後，獲知各致災因子間之相關程度及其交互關係，另針對各因子間之融合與刪除影響性進行檢定測試。進而利用多變量不安定指數分析法建立適用於花蓮地區之集水區土砂潛勢災害風險評估模式，以期用以評估區域環境內之土砂災害發生風險程度，進而提供花蓮縣政府等相關單位於花蓮地區集水區境內研擬土砂災害防治方案之重要參考依據。

貳、研究區域環境說明

2.1 地理地形

花蓮縣地形主要以山地、河川、平原組成，平原面積僅占 7%；其餘 6% 為河川和 87% 屬山地。山地主要由西部中央山脈和東邊海岸山脈所構成，海拔最高可至 3,822 m（如圖 1～2）。本文以秀姑巒溪及壽豐溪集水區作為研究區域，其中秀姑巒溪集水區位於花蓮縣南部，為秀姑巒溪支流（如：樂樂溪、樂合溪、豐坪溪、紅葉溪及九岸溪等）匯集之區域，區域內多屬平原地形，所涵蓋之鄉鎮有玉里鎮、富里鄉、豐濱鄉、瑞穗鄉、萬榮鄉、卓溪鄉等鄉鎮。壽豐溪集水區屬花蓮河流域，其地形為西北地區地勢較高，溪流走向為西北向東南流入花蓮溪，所屬行政區域為秀林鄉、萬榮鄉及壽豐鄉等鄉鎮（如圖 3）。

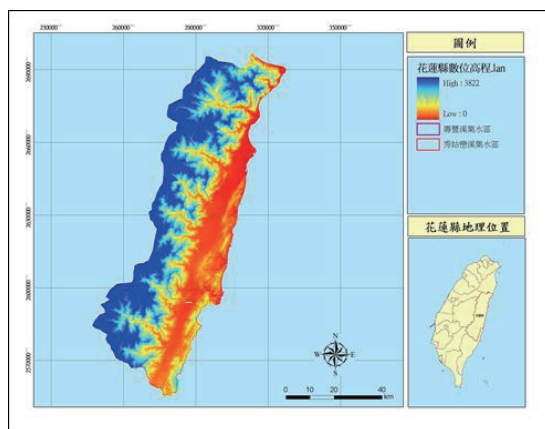


圖1 花蓮地區數位高程圖

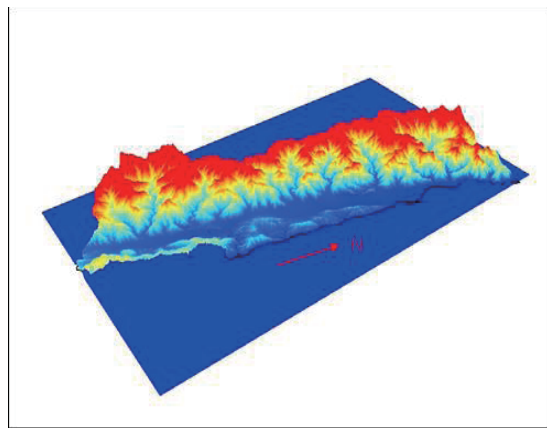


圖2 花蓮地區3D數位地形圖

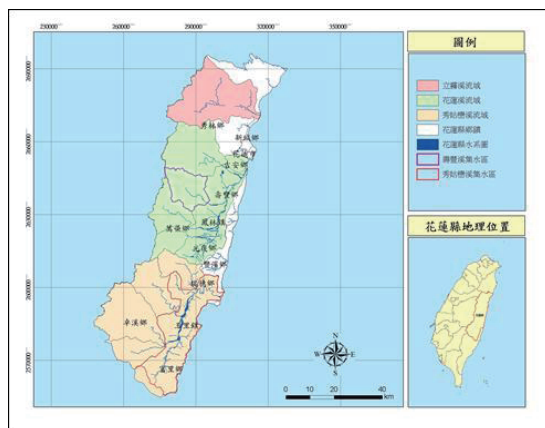


圖3 花蓮地區流域水系圖

2.2 氣象水文

研究區域位於北迴歸線以北，屬亞熱帶海洋型氣候，北迴歸線以南屬於熱帶海洋型氣候，西面受中央山脈屏蔽，冬季季風不致長驅直入；東面則受太平洋之調節，因此氣候濕潤溫和，全年平均氣溫為 23.5℃，依中央氣象局 1998-2011 年⁽³⁾針對花蓮縣地區所量測之氣象資料加以統計分析(如表 1)，獲知全區平均最高氣溫為七月之 34.1℃，平均最低氣溫為一月之 11.0℃，而區域內之溫度隨著海拔之增加而呈現遞減之趨勢。花蓮地區由於地形之故，全年雨量豐沛，依據水利署 2011 年臺灣水文年報資料⁽¹⁵⁾可得知，花蓮地區年平均雨量 2511.6mm，平均相對溼度為 78.2%，降雨主要集中在每年 5 月至 11 月間。又花蓮地區屬南北狹長之地區，故每年 6 月至 10 月受颱風影響之機會較其他縣市高。依據中央氣象局(2012)颱風路徑分類統計⁽²⁾，約有 11% 之颱風由花蓮地區登陸台灣，挾帶大量豪雨造成花蓮地區土砂災害甚鉅，更危及民眾之生命財產安全。

表 1 花蓮氣候觀測站氣象資料一覽表(中央氣象局，2012)⁽³⁾

項目 \ 月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均
平均氣溫(℃)	17.8	19.7	20.0	22.0	25.1	27.2	28.6	28.1	27.2	25.0	22.5	19.2	23.5
平均最高氣溫(℃)	25.6	27.6	28.2	30.3	32.1	33.1	34.1	33.5	32.9	30.6	29.1	26.9	30.3
平均最低氣溫(℃)	11.0	12.9	12.9	15.8	18.5	21.4	24.2	23.7	22.3	19.5	16.7	12.3	17.6
降水量(mm)	51.4	77.6	75.0	64.1	150.9	161.2	142.8	207.3	344.0	630.8	199.5	65.4	180.8
平均相對溼度(%)	73.0	76.1	75.2	74.7	77.3	79.3	75.8	75.8	77.1	74.8	73.6	70.2	75.2
降雨日數(day)	12.6	12.7	12.9	13.9	13.9	11.3	8.4	9.6	14.0	14.5	13.3	11.9	12.4
日照時數(hr)	80.4	87.6	88.8	92.5	132.3	183.4	262.7	241.2	170.0	111.2	89.7	78.4	134.8

2.3 地質構造

依據經濟部中央地質調查所(2000)五十萬分之一地質圖得知⁽¹⁴⁾，秀姑巒溪集水區內地層分佈為都巒山層、臺地堆積層、大南澳片岩、大港口層、沖積層、利吉層與墾丁層、基性火成岩、安山岩及安山岩質碎屑岩、畢祿山層等九種岩層，多為東北-西南走向分佈，區域內有奇美斷層、池上斷層、玉里斷層經過；而壽豐溪集水區地質構造較單純，主要地層分佈為大南澳片岩，僅少部分為臺地堆積層與沖積層，其區域內無斷層經過，其距離米崙斷層及月眉斷層約為 10 公里左右(如圖 4～5)。



圖4 花蓮地區地質分佈圖

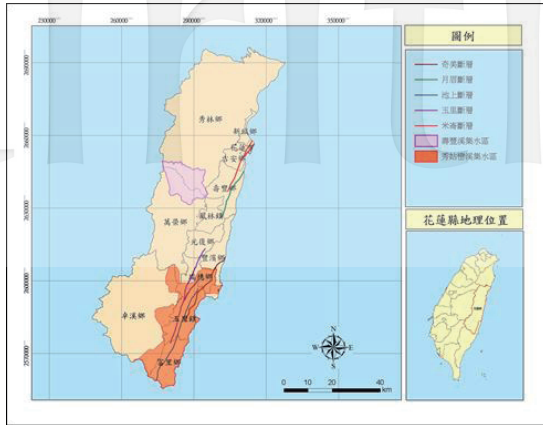


圖5 花蓮地區斷層分佈圖

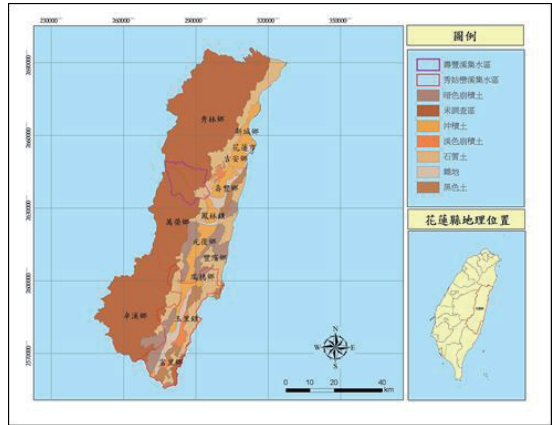


圖6 花蓮地區土壤分佈圖

2.4 土壤分佈

參考水土保持局 (1995) 五十萬分之一坡地土壤圖可得知⁽⁵⁾，秀姑巒溪集水區土壤分佈為暗色崩積土、沖積土、淡色崩積土、石質土及黑色土，其中石質土分佈於秀姑巒溪集水區東西兩側，靠近溪流則為暗色崩積土、淡色崩積土、黑色土分佈，沖積土則分佈於秀姑巒溪中下游地區。壽豐溪集水區土壤分佈多為未調查區域，而其東部土壤則為石質土與沖積土分佈（如圖6）。

2.5 歷史土砂災害

本研究蒐集分析歷年來花蓮地區之土砂災害資料，獲知其重大土砂災害皆因颱風所挾帶之豪大雨造成坡面崩塌堆積，而此崩塌之土石則成為區域內供應土石流之主要土砂料源，依水土保持局 2012 年⁽⁸⁾統計花蓮地區之土石流潛勢溪流總數高達 165 條，而歷年重大土砂災害如表 2 所示。

參、土砂潛勢災害因子選定

本研究參考國內外學者常用之土砂潛勢災害因子⁽¹²⁾，並藉由現地土砂防治工程調查結果，據以決定本研究土砂潛勢災害風險評估模式之土砂潛勢災害因子^(16,17)。計包含平均 $NDVI$ 、高程、年二日最大降雨量、表土種類、岩層類型、工程種類、平均坡向及平均坡度等八項因子^(19,20)分別敘述如下：

3.1 平均 $NDVI$ 因子

標準化植生指數 ($NDVI$) 為最早根據波段比所發展出之植生指數，其使用層面較廣泛，且較易被一般使用者所接受，本研究利用植生參數之標準化植生指數進行萃取，獲知花蓮區域內之平均 $NDVI$ 值分佈介於 0.05~0.757 間，並依組內區別效力程度將其區分為四個分級，包括 $N_i \leq 0.2$ 、 $0.2 < N_i \leq 0.4$ 、 $0.4 < N_i \leq 0.6$ 、 $N_i > 0.6$ 等作為分析考量。

3.2 土壤分佈高程因子

經由區域內之數位高程資料 (40 x 40m)，依據統計學之組內區別效力分級，將區域內之高程分佈劃為四個分級： $E_i \leq 150m$ 、 $150 < E_i \leq 250m$ 、 $250 < E_i \leq 350m$ 及 $E_i > 350m$ 等作分

表 2 花蓮地區歷年災害一覽表 (水土保持局, 2012)⁽⁹⁾

發生時間	發生地點	災情概述
2000.07.10 (啟德颱風)	鳳林鎮鳳義里	道路路基破損。
2000.08.22~2000.08.23 (碧利斯颱風)	光復鄉大興村	土石流土方量約 150 萬立方公尺, 造成近 150 戶遭掩埋、27 人死亡、16 人失蹤、8 人受傷, 而公墓河底便道、大興瀑布護堤沖毀及福壽產業道路、大興村道路產業道路損壞。
	鳳林鎮鳳義里	崩坍 100*5m; 道路面沖毀 1000*3m。
2001.07.29~2001.08.01 (桃芝颱風)	萬榮鄉見晴村	見晴村計有 8 戶房舍被土石掩埋。
	鳳林鎮鳳義里	死亡 2 人、失蹤 4 人、受傷 1 人, 房舍遭土石淹沒 3 戶、淹水疏散百餘戶, 土石淹沒面積約 30 公頃, 下移土石方量約 7 萬立方公尺。
	光復鄉大興村	土石流造成近 150 戶遭土石掩埋, 造成 27 人死亡、16 人失蹤、8 人受傷。
2002.07.09 (娜克莉颱風)	台 9 線 169 公里處	因土石崩落交通中斷。
2003.09.02 (杜鵑颱風)	鳳林鎮鳳義里	花蓮 A112 潛勢溪流因水流集中使原有老舊堤防基礎及堤岸流失, 危及兩岸農作及居民安全。
	光復鄉大興村	因水流集中且直沖堤防, 使原有堤防回填土流失, 造成原有砌石護岸下陷。
2008.07.28 (鳳凰颱風)	光復鄉大興村	南清水溪梳子壩上游側河道淤積約 30 萬立方公尺及其右岸下游側護岸淘空約 10 公尺長。另造成鳳林溪梳子壩上游側河道淤積約 7000 立方公尺。
2010.10.16 (1016 豪雨)	光復鄉大興村	花蓮 DF117 潛勢溪流上游大量土砂, 造成大興溪下游河道堵塞, 產業道路淹水 20 公尺。
	光復鄉南富村	麗太溪溪水暴漲, 溢淹農地 3 公頃; 並造成東富四號橋河岸堤防坍塌, 泥流侵入堤防旁日豐磚窯廠與宿舍淤積約 45 公分高。
	豐濱鄉新社村	花蓮縣 DF099 上游支流溪水暴漲, 加塑溪河床固床工淘刷, 大不岸溪溪水溢流至周圍農耕地。
	豐濱鄉豐濱村	八里灣上游排水道保護蛇籠損毀, 溪水灌入堤防內, 5 戶民宅與其聯通道路 70 公尺受土石淤埋。
2011.10.01 (1001 豪雨)	富里鄉石牌村	枋仔崙山壁崩塌, 崩落土石阻斷該區產業道路 250 公尺, 並堵塞枋仔崙溪河道 170 公尺。

析。

3.3 年二日最大降雨量因子

另蒐集水利署水文年報(2011)資料，統計自1951年至2010年間花蓮地區雨量站之年二日最大降雨量⁽¹⁵⁾，並依雨量站資料繪製等雨量線圖，以劃分研究區域內之降雨分佈圖，再依據組內區別效力分級，將研究區域內之雨量分為五級，包括 $R_d \leq 600\text{mm}$ 、 $600 < R_d \leq 650\text{mm}$ 、 $650 < R_d \leq 700\text{mm}$ 、 $700 < R_d \leq 750\text{mm}$ 及 $R_d > 750\text{mm}$ 等。

3.4 表土種類因子

根據水土保持局(1995)⁽⁵⁾五十萬分之一土壤圖，將研究區域內之表土種類因子分為五大類，包括淡色與暗色崩積土、沖積土、石質土、黑色土、雜地等。

3.5 岩層類型因子

根據中央地質調查所(2000)繪製之五十萬分之一地質圖⁽¹⁴⁾，本研究將區域內之不同岩層依其岩性作分類，可區分為：都巒山層、臺地堆積層與沖積層、大南澳片岩、大港口層、利吉層與墾丁層、畢祿山層等六種岩性類別。

3.6 工程種類因子

本研究依據王宣惠(2009)於研究區域內之現況調查結果將工程種類分為五項⁽¹⁾，包括防砂壩、固床工/潛壩、排水設施、堤防/護岸及擋土牆等作為分析考量。

3.7 平均坡向因子

又依據水土保持技術規範(2003)將DEM所計算出之坡向 0° - 360° ，轉換成八方位角⁽⁶⁾，分別為北向(N)、東北向(NE)、東向(E)、東南向(SE)、南向(S)、西南向(SW)、西向(W)及西北向(NW)等方位。

3.8 坡度因子

同時依據水土保持手冊(2006)所訂定之坡度分級⁽⁷⁾，將區域內之坡度分析後劃分為：一級坡($\leq 5\%$)、二級坡(6~15%)、三級坡(16~30%)及四級坡以上($> 30\%$)等4級，作為土砂潛勢災害風險評估模式之考量因子。

肆、土砂潛勢災害風險評估模式建置

4.1 土砂潛勢災害因子檢定

本研究於建置花蓮地區集水區土砂潛勢災害風險評估模式前，先將初步篩選出之八項土砂潛勢災害因子進行相關性、獨立性與融合性統計檢定分析，以瞭解各土砂潛勢災害因子間之相依程度。首先經Pearson積差進行相關性檢定分析，其結果顯示如表3所示，各因子間相關程度介於低度相關至中度相關間。其中年二日最大降雨量與平均坡向及工程種類與平均坡向之相關係數分別為0.02及0.12，表示兩因子間呈非常低度相關；而高程與平均NDVI、表土種類與高程、岩層類型與高程、岩層類型與年二日最大降雨量、岩層類型與表土種類、工程種類與表土種類、工程種類與岩層類型、平均坡度與平均NDVI、平均坡度與高程及平均坡度與工程種類其相關係數為0.4至0.55，表示兩因子間具中度相關顯著，其中表土種類與高程相關係數0.55為最高；而其他土砂潛勢災害因子間則具低度相關。另應用 χ^2 獨立性檢定兩土砂潛勢災害因子間是否為獨立，若檢測結果呈現相依，則需再進行關聯性分析，據以瞭解兩因子間之相關

表 3 各因子間之 Pearson 積差相關檢定

土砂潛勢災害因子	平均 NDVI	高程	年二日最大降雨量	表土種類	岩層類型	工程種類	平均坡向	平均坡度
平均 NDVI	1	0.50	0.33*	0.39*	0.36*	0.23*	0.34*	0.40
高程	0.50	1	0.26*	0.55	0.48	0.24*	0.28*	0.46
年二日最大降雨量	0.33*	0.26*	1	0.33*	0.45	0.35*	0.02**	0.32*
表土種類	0.39*	0.55	0.33*	1	0.50	0.45	0.34*	0.38*
岩層類型	0.36*	0.48	0.45	0.50	1	0.40	0.31*	0.38*
工程種類	0.23*	0.24*	0.35*	0.45	0.40	1	0.12**	0.50
平均坡向	0.34*	0.28*	0.02**	0.34*	0.31*	0.12**	1	0.27*
平均坡度	0.40	0.46	0.32*	0.38*	0.38*	0.50	0.27*	1

註：** 表示非常低(弱)度相關；* 表示低(弱)度相關，其他則表示中度相關。

表 4 各因子間之獨立性檢定及列連相關程度分析表

土砂潛勢災害因子	平均 NDVI	高程	年二日最大降雨量	表土種類	岩層類型	工程種類	平均坡向	平均坡度
平均 NDVI	1	0.52(高)	0.43(中)	0.52(中)	0.44(中)	X	X	0.54(高)
高程	0.52(高)	1	0.51(中)	0.62(高)	0.61(高)	0.40(中)	0.55(中)	0.62(高)
年二日最大降雨量	0.43(中)	0.51(中)	1	0.57(高)	0.70(高)	0.45(中)	X	0.49(中)
表土種類	0.52(中)	0.62(高)	0.57(高)	1	0.72(高)	0.59(高)	0.52(中)	0.55(中)
岩層類型	0.44(中)	0.61(高)	0.70(高)	0.72(高)	1	0.55(中)	0.57(中)	0.57(中)
工程種類	X	0.40(中)	0.45(中)	0.59(高)	0.55(中)	1	X	0.50(中)
平均坡向	X	0.55(中)	X	0.52(中)	0.57(中)	X	1	X
平均坡度	0.54(高)	0.62(高)	0.49(中)	0.55(中)	0.57(中)	0.50(中)	X	1

註：X 表示兩因子間互為獨立，其餘表示兩因子間互為相依；() 表示列連相關程度；以上檢定採 95% 信賴區間做為顯著性比對。

程度。其檢定分析結果顯示，工程種類與平均 NDVI、平均坡向與平均 NDVI、平均坡向與年二日最大降雨量、平均坡度與工程種類及平均坡度與平均坡向均屬兩獨立因子（如表 4）。俟完成因子間之相關性及獨立性檢定分析後，再應用 ANOVA 統計檢定分析(F 檢定)選定 4 種因子進行融合模式檢測，以決定最具顯著效果之因子融合模式，而 ANOVA 統計分析主要係利用各變數組間與組內之差異關係，據以評比出最具顯著效果（變異性最大）之變數組。由（表 5）顯示表土種類與高程及表土種類與岩層類型因子皆以 $(A^2+B^2)/(A+B)$ 之融合模式最具顯著性。

表 5 ANOVA 檢定分析表

融合模式 \ 因子名稱	Dunnett(tD), $F_{0.95}=1.64$		自由度 (n)
	表土種類與高程	表土種類與岩層類型	
$\ast (A^2+B^2)/(A+B)$	16.71	15.90	131
$(A+B)/2$	14.58	14.69	131
$2\ast(A\ast B)/(A+B)$	12.45	13.47	131
$SQRT(A\ast B)$	13.45	14.04	131
※ 表示為融合模式檢定各組中最顯著者。			

4.2 土砂潛勢災害風險評估模式

復以統計多變量分析理論，進行不安定指數模式之建置，參考蔡光榮 (2009) 之多變量不安定指數分析法理論架構，選定研究區內 8 項土砂潛勢災害因子，分別依檢定分析結果給予不同權重評分值，依序為表土種類、工程種類、高程、年二日最大雨量、岩層類型、平均坡度、平均 $NDVI$ 、平均坡向等，而據以建立本研究試區之土砂潛勢災害風險評估模式如式 (1) 所示：

$$D_i = S_k^{0.18} \times S_e^{0.15} \times E_l^{0.13} \times R_d^{0.13} \times G_e^{0.12} \times S_s^{0.12} \times N_i^{0.1} \times S_a^{0.06} \quad (1)$$

式中， S_k ：表土種類因子； S_e ：工程種類因子； E_l ：高程因子； R_d ：年二日最大雨量因子；

G_e ：岩層類型因子； S_s ：平均坡度因子； N_i ：平均 $NDVI$ 因子； S_a ：平均坡向因子

本研究所建立之風險評估模式以採用 95% 信賴區間作為統計檢定分析依據，採自動演算程式設計，予以決定風險評估模式 D_i 值之上下限區間，再將 131 處樣區作區間分級，據以比對模式推論值與實際評估值之差異，進而驗證整體評估模式之誤判率，其檢算結果顯示該模式整體誤判率之最大值為 13.56%、最小者為 12.09%，唯其平均誤判率為 13.05% (如表 6)。

表 6 多變量不安定指數分析法之 8 項土砂潛勢災害因子誤判率混亂矩陣表

以上限 $D_i=4.378$ 分界		最大誤判率		13.65%
現況 \ 推估	推估	推估受損	推估未受損	合計
現況受損		36	14	50
現況未受損		3	78	81
合計		39	92	131
以平均值 $D_i=4.050$ 分界		最小誤判率		12.09%
現況 \ 推估	推估	推估受損	推估未受損	合計
現況受損		38	12	50
現況未受損		3	78	81
合計		41	90	131
以下限 $D_i=3.722$ 分界		平均誤判率		13.05%

現況 \ 推估	推估受損	推估未受損	合計
現況受損	39	11	50
現況未受損	5	76	81
合計	44	87	131

為期降低模式之整體誤判率，本研究另再針對統計方法中之最高度相關與最高列連相關，進行各因子間之融合與剔除影響性測試。經檢測結果得知（如表 7），若剔除表土種類、岩層類型或高程因子，則模式演算誤判率分別上升為 12.23%、14.67% 及 14.58%。若同時刪除表土種類與岩層類型因子及表土種類與高程因子，誤判率則分別向上提升為 12.87% 及 14.71%。而融合表土種類及高程高相關性因子或表土種類及岩層類型高列連相關因子，誤判率則分別向上提升為 16.37% 及 15.53%。若融合表土種類及高程高相關性因子，但將岩層類型因子剔除，則模式誤判率為 14.70%；唯將高程因子剔除，但融合表土種類及岩層類型高列連相關因子，其誤判率為 16.35%。依此檢測分析結果，可推導出適用性較高且誤判率較低之多變量不安定指數迴歸模式仍是原經檢定分析所篩選出之八項因子，其整體模式推估誤判率約介於 12.09%~13.65%。

表 7 土砂潛勢災害風險評估模式之各項土砂潛勢災害因子測試表

因子測試模式	最小誤判率 (%)	平均誤判率 (%)	最大誤判率 (%)
原 8 項因子	12.09	13.05	13.65
刪除表土種類因子	12.23	12.70	12.99
刪除岩層類型因子	14.67	14.71	15.42
刪除高程因子	14.58	14.65	16.37
刪除表土種類、岩層類型因子	12.87	12.99	14.56
刪除表土種類、高程因子	14.71	16.75	16.91
融合表土種類、高程因子	16.37	16.91	17.91
融合表土種類、岩層類型因子	15.53	16.28	16.35
融合岩層類型、表土種類因子 刪除高程因子	14.70	18.52	22.67
融合表土種類、高程因子 刪除岩層類型因子	16.35	18.67	19.05

伍、結論與建議

1. 經因子檢測分析結果得知，無論刪除或融合最高相關性及最高列連相關之土砂潛勢災害因子，其誤判率皆明顯提高(12.23%-16.37%)，唯若取土砂潛勢災害風險評估模式中列八項致災因子所建置之模式演算推估最小誤判率為 12.09%，故本研究確認取該 8 項土砂潛勢災害因子作為本模式建置之依據，應屬合理。

2. 經由現地調查之各項因子間變異係數之大小，進行其影響土砂災害發生風險程度排序，可獲知研究區域內以表土種類及工程種類等二因子影響程度較具顯著性，其次為地形高程及年二日最大降雨量，而以平均坡向因子影響程度最低。
3. 本研究以多變量不安定指數分析方法結合 GPS/GIS 整合技術之調查分析與複相關因子迴歸統計檢定分析法；所建立之花蓮地區土砂潛勢災害風險評估模式。經模式評比驗證結果顯示，以多變量不安定指數所推導之風險評估模式為可行性較佳（誤判率介於 12.09%~13.65%）之數理模式。
4. 本研究選定平均坡向、平均坡度、高程、年二日最大降雨量、岩層類型、土壤種類、平均 NDVI 及工程種類等八項土砂潛勢災害因子作為模式建置架構，但影響土砂災害之潛在因子因地域關係與限制，建議後續研究可配合地域特性與人為活動影響性，將地震、治理工法與土地利用等相關因子納入考量，應可再提升本風險評估模式之準確度與適用性。

參考文獻

- (1) 王宣惠，2009，「花蓮地區土砂潛勢災害風險評估模式建置之研究」。碩士論文，長榮大學土地管理與開發學系，台南。
- (2) 交通部中央氣象局網站，2012，「颱風路徑資料」。網址：<http://www.cwb.gov.tw/>。
- (3) 交通部中央氣象局網站，2012，「氣象資料」。網址：<http://www.cwb.gov.tw/>。
- (4) 行政院原住民族委員會，2002，「九十一年度原住民居住環境潛在災害調查研究」。財團法人成大研究發展基金會，第 1-1~9-3 頁。
- (5) 行政院農業委員會水土保持局，1995，「五十萬分之一坡地土壤圖」。網址：<http://www.swcb.gov.tw/index.asp>。
- (6) 行政院農業委員會水土保持局，2003，「水土保持技術規範」。行政院農業委員會，第 280~296 頁。
- (7) 行政院農業委員會水土保持局，2006，「水土保持手冊」，行政院農業委員會，第 2-15~2-143 頁。
- (8) 行政院農業委員會水土保持局，2012，「花蓮地區土石流資料」。網址：<http://www.swcb.gov.tw/index.asp>。
- (9) 行政院農業委員會水土保持局，2012，「花蓮地區土砂災害歷史資料」。網址：<http://www.swcb.gov.tw/index.asp>。
- (10) 行政院農業委員會林務局花蓮林管處，2010，「花蓮處轄崩塌地衛星監控判釋及災害緊急調查評估工作」。財團法人成大研究發展基金會，第 1~70 頁。
- (11) 行政院農業委員會林務局花蓮林管處，2011，「100 年度壽豐溪河床監測及分析」。財團法人成大研究發展基金會，第 2-1~2-30 頁。
- (12) 陳宏宇，1999，「地質災害與山坡地開發」，地工技術雜誌。第 73 期，第 31~44 頁。
- (13) 陳時祖，2006，「山崩之調查與分析」。2006 岩盤工程研討會論文集，第 K11~K23 頁。
- (14) 經濟部中央地質調查所網站，2000，「五十萬分之一地質圖」。網址：<http://www.moeacgs.gov.tw>。
- (15) 經濟部水利署，2011，「中華民國九十九年台灣水文年報」。經濟部水利署，第 231~285 頁。
- (16) 蔡光榮、謝正倫、陳昆廷、王宣惠，2009，「台灣東部山地社區環境潛勢災害評估模式建置之研究」，臺灣鑛業，第 61 卷，第 4 期，第 11~24 頁。
- (17) Chen, K.T., Tsai, K.J., and Shieh, C.L., 2010, "An Establishment on the Risk Assessment Model of Sediment Disasters Occurred at Taitung County in the Eastern Taiwan", Proceedings of the 20th 2010 International Offshore and Polar Engineering Conference, Beijing, China, pp. 714-719.
- (18) Neaupane, K. M., Piantanakulchai, M., 2006, "Analytic Network Process Model for Landslide Hazard Zonation", Engineering Geology, 85, pp. 281-294.
- (19) Tsai, K.J., Chen, K.T. and Lin, C.C., 2008, "An Establishment on the Disaster GIS Mapping System for Nantou County in Taiwan", Proceedings of the 18th 2008 International Offshore and Polar Engineering Conference, Vancouver, Canada, pp. 649-653.
- (20) Yesilnacar, E., Topal, T., 2005, "Landslide Susceptibility Mapping: A Comparison of Logistic Regression and Neural Networks Methods in a Medium Scale Study, Hendek Region (Turkey)", Engineering Geology, 79, pp. 251-266. *