

## 陽明山國家公園之土砂災害潛勢模式應用與比較

### Comparison and Application of Sediment Hazard Potential Model on Yangming Shan National Park

國立台灣大學生物環境系統工程學系  
博士班研究生

楊 凱 鈞  
Kai-Chun Yang

國立台灣大學生物環境系統工程學系  
教授兼水工試驗所特約研究員

黃 宏 斌  
Hung-Pin Huang

#### 摘 要

由於台灣本身獨特之地形、地質和水文特性，山坡地土砂災害發生率原本就高；再加上近年來休閒生活水準提高，進入陽明山國家公園園區遊憩之遊客越來越多。為保護園區既有聚落能夠免於土砂災害之威脅，本研究建立園區 GIS 資料庫，將園區分為 29 個集水區做為評估單元，並選取張石角教授之簡確工程調查評估法、謝正倫教授之土石流潛勢溪流調查計畫及林美聆教授之土石流危險溪流之潛能分析做為土砂災害敏感區判定之指標，初步找出園區可能存在之敏感區，並且，以民國 89 年發生之象神颱風，探討及驗證上述三種潛勢模式之準確性及適用性，並對驗證結果提出結論及建議。

**關鍵詞：**陽明山國家公園，土砂災害，土石流，象神颱風。

#### ABSTRACT

Because of the special properties of topography, geology and hydrology in Taiwan, the sediment hazard on hillside originally occurs frequently. In association with the increasing recreation activities, tourists entering into Yangming Shan National Park increase recently. In order to protect the existed settlements from the threat of sediment hazards, this study, build GIS database and divide the park into 29 watersheds for the evaluation units. This study use prof. Shin-Chiao Chang's method of simple investigating and evaluating the hazards of hillside, prof. Chejeng-Lun Shieh's project of investigating potential debris flow rivers and prof. Mei-Lin Lin's model of rating and zoning of potential debris flow rivers to be the index of sediment hazard sensitivity area. Finding out probably sensitivity area in the park first, then depending on Xangsane

typhoon occurred in year 2000, discuss and prove the accuracy of above three potential models, even submit conclusion and suggestion from verified result.

**Keywords:** Yangming shan national park, Sediment hazard, Debris flow, Xangsane typhoon.

## 一、前言

台灣地區之自然環境隨著山坡地高度開發，水土資源遭受到嚴重破壞和污染，這些破壞和污染已經深深地影響原有之生活品質和住民之身體健康。為了資源保護，並考慮永久性、合理性、教育性、本土研究和生態體系平衡之利用，內政部陸續地規劃出陽明山、墾丁、玉山、太魯閣、雪霸與金門等國家公園。近年來休閒生活水準提高，進入陽明山國家公園園區遊憩之遊客越來越多，為保護園區既有聚落能夠免於土砂災害之威脅，本研究針對整個園區聚落做全面之土砂潛在災害調查，並依集水區分別劃定敏感區。

由於台灣之地形、地質和水文特性，山坡地發生土砂災害之頻率原本就高，再加上民國 88 年發生 921 大地震，使得土壤鬆動，地層結構不穩定，故近年來一有颱風豪雨，各地往往發生土砂災害，而台灣地區在 921 地震後經歷民國 89 年象神颱風、90 年桃芝及納莉颱風，發生崩塌、地滑及土石流等土砂災害之山坡地更是不勝枚舉。為瞭解各集水區發生土砂災害之潛勢，以提供給山坡地災害主管機關將防災有限之經費做合理應用之參考，專家學者們紛紛提出各種土砂災害潛勢模式，本研究選定其中具代表性之三種模式，應用在陽明山國家公園園區中，找出園區中可能發生土砂災害之地區。本研究並在民國 89 年象神風災發生後現場踏勘園區，蒐集實際發生土砂災害之地點，以驗證各土砂災害潛勢模式之準確度，並探討各模式之適用性。

## 二、研究區域概況

本研究所探討之區域為陽明山國家公園，其面積約 11,364.687 公頃，位於北台灣，約有 43%

的面積隸屬於台北市，57%隸屬於台北縣，其地理位置如圖 1。

陽明山國家公園園區南半部隸屬於台北市士林區之溪山、平等及菁山里；北投區湖山、林泉、中心、泉源及中和里。北半部為台北縣淡水鎮之樹興、水源里；三芝鄉興華、店子及水源村；石門鄉山溪、乾華村；金山鄉兩湖、重和村；萬里鄉磺潭、雙興及溪底村。

陽明山國家公園園區內共有 4,486 棟建物，建物投影面積為 558,737.80m<sup>2</sup>（非樓地板面積），建物分布之各行政區域如表 1，圖 2 為建物及道路分布圖，由圖 2 可知大部分建物分布於南區和東南區邊緣地帶，其餘建物則零星分布在各集水區中。

散布在園區內之道路有四級，78 條道路，總長度共 118,139.46m，其中，省道 1 條，縣道 13 條，鄉鎮道路 33 條，步道及古道共 31 條。

陽明山舊稱「草山」，係指大屯山、七星山和紗帽山所圍繞之山谷地區，因其多芒草而得名。陽明山國家公園位處台北盆地北緣，東起磺嘴山、五指山東側，西至向天山、面天山西麓，北從竹子山、土地公嶺，南迄紗帽山南麓，海拔高度在 200 公尺至 1,120 公尺之間。

表 1 建物所在行政區域表

行政區域	建物棟數	建物投影面積 (m <sup>2</sup> )
士林區	1,356	135,577.70
北投區	2,446	274,334.30
淡水鎮	203	54,458.70
三芝鄉	184	35,940.23
石門鄉	34	8,364.38
金山鄉	140	21,374.16
萬里鄉	123	28,688.33
總計	4,486	558,737.80

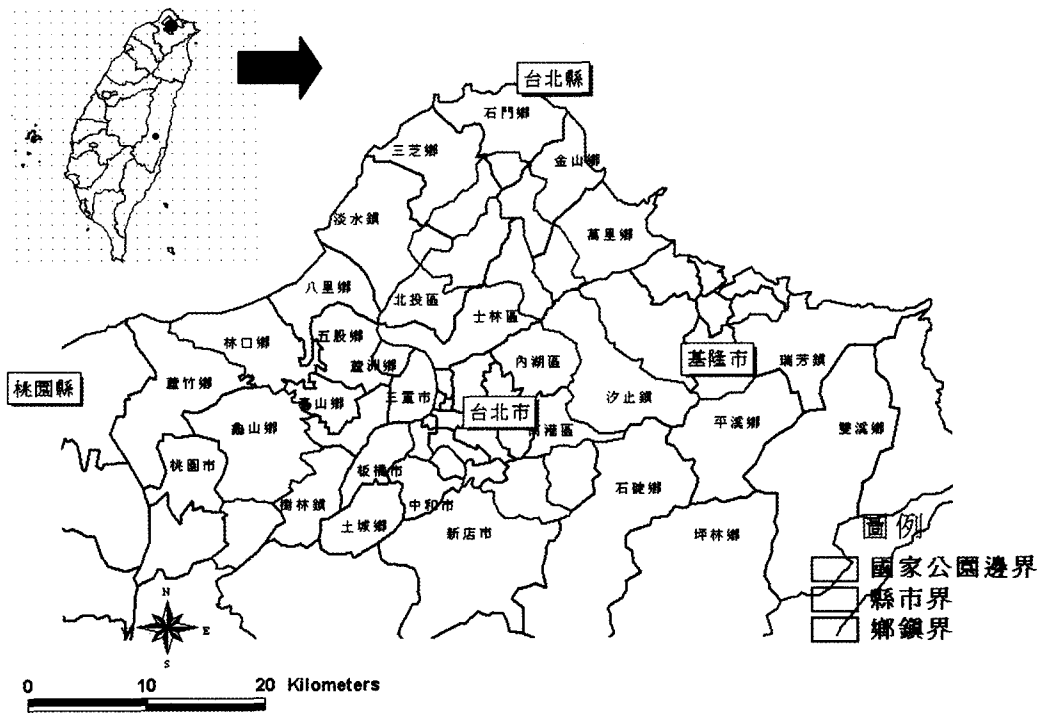


圖 1 園區地理位置圖

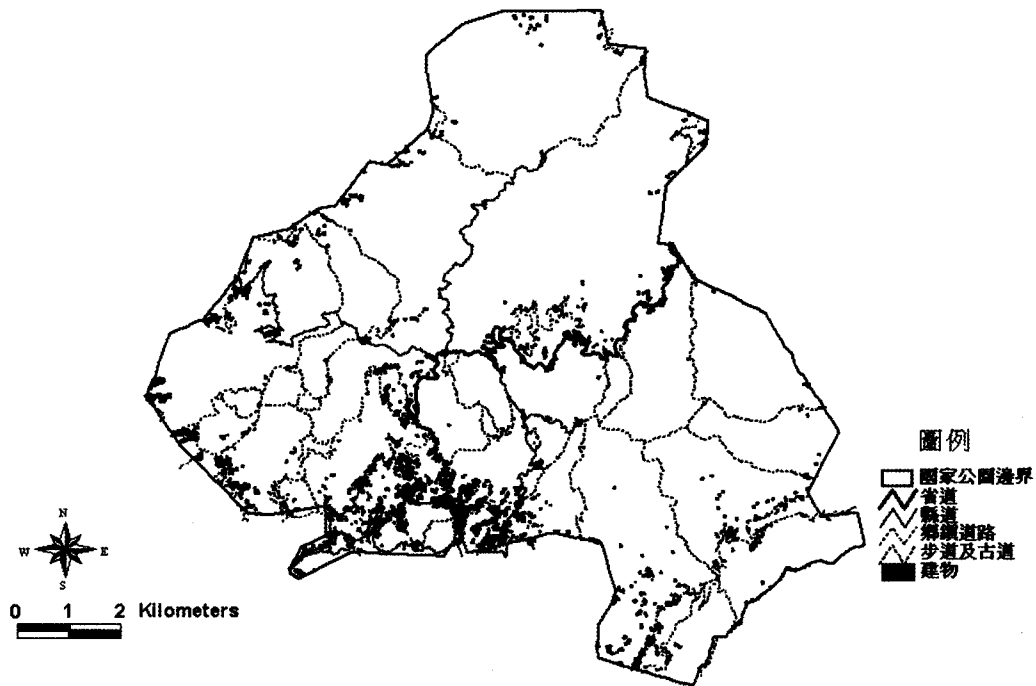


圖 2 建物及道路分布圖

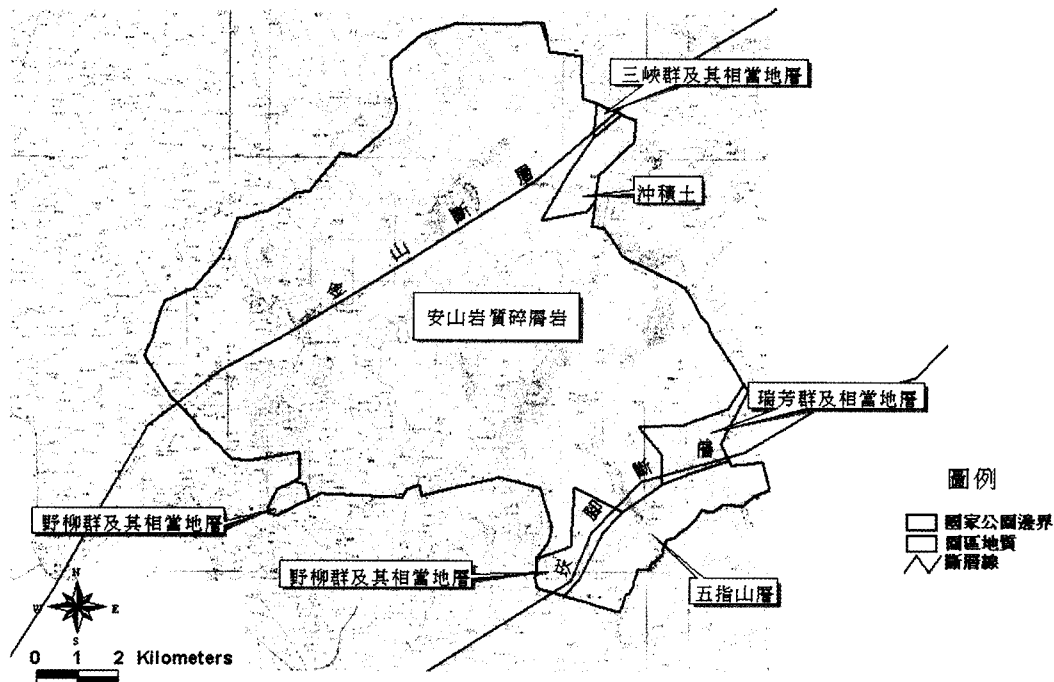


圖 3 園區地質分布圖

園區內最高峰為為海拔 1,120 公尺之七星山；其次有 1,103 公尺之竹子山；1,081 公尺之大屯山；977 公尺之面天山；912 公尺磺嘴山；882 公尺之大尖山；832 公尺之菜公坑山，以及山形特別明顯，海拔 643 公尺之紗帽山。

由於火山地形之影響，河流呈放射狀分布，分別注入台灣海峽和淡水河流域。各溪流之源頭海拔高而流程短，水流湍急。主要之溪流包括北磺溪(包括其支流鹿角坑溪和馬槽溪)、瑪鍊溪、外雙溪、內雙溪、南磺溪、磺港溪、公司田溪、大屯溪、八連溪、老梅溪和阿里磅溪等。火口湖有向天池和磺嘴池等。瀑布較著名者有大屯瀑布、楓林瀑布、絹絲瀑布和聖人瀑布等。

園區內有金山斷層及坎腳斷層通過，全區地質多屬安山岩質碎屑岩，邊緣則有瑞芳群、三峽群、野柳群及五指山層等地層分布。園區地質分布如圖 3。

園區中央山區為石質土，土層多淺，一般厚度約為 20~60cm，排水良好，底土多屬中、粗質地，其中以壤土或砂質壤土較為常見，土壤無構

造或為只弱度發育之鈍角塊狀結構，結構鬆脆。園區東南半部屬幼黃壤，土層不深厚，一般厚度約為 35~75cm，排水亦良好，上層底土多屬壤土或砂質壤土，而下層底土多屬中、細質地，其中以粘質壤土至粘土間者較為常見，土壤多屬弱至中度發育之鈍角塊狀結構，結構則隨深度之遞增而有越緊密之趨勢。園區西部零星區域屬紅壤，其土壤深厚，多逾 120cm 厚，排水亦良好，底土質地多趨細緻粘重，一般以粉質粘壤土至粘土間者最屬常見，土壤多屬明顯之稜角或鈍角塊狀結構，結構緊密但性脆。園區其餘地區為雜地，即非農業用地，例如村落、市集等建地。園區土壤分布如圖 4。

### 三、研究方法

本研究為探討陽明山國家公園之土砂災害潛勢模式之準確性及適用性，故先選定欲探討之模式，比較其所需參數，並將其應用於園區中，找出園區中土砂災害敏感區，最後利用民國 89 年發生之象神颱風驗證各模式之準確度，以下分

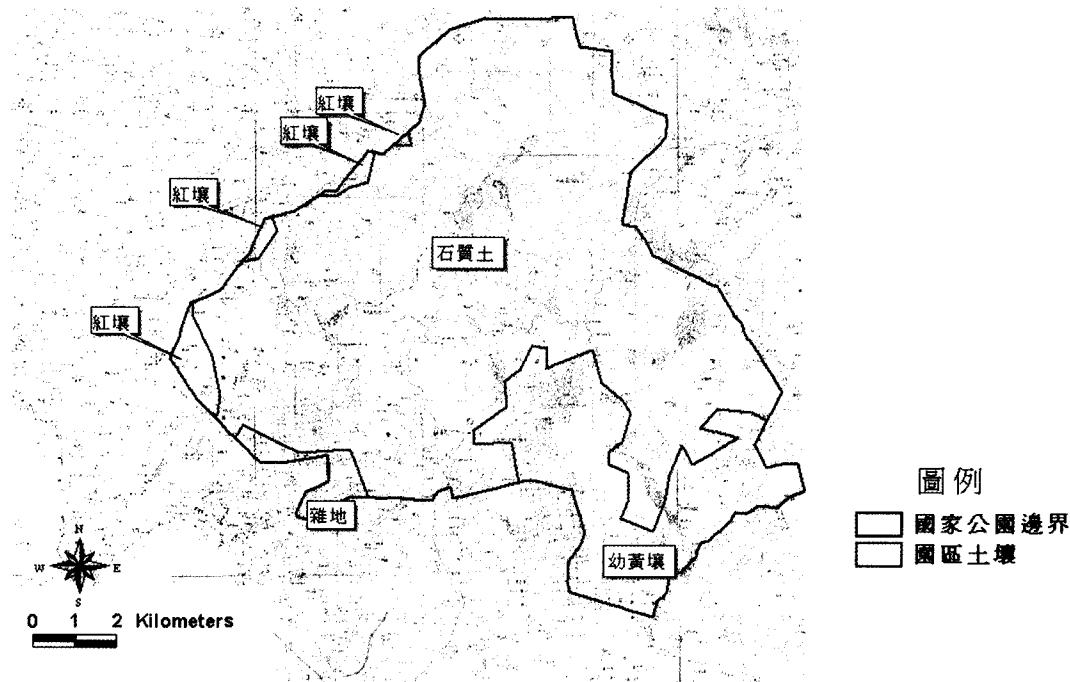


圖 4 園區土壤分布圖

別敘述各項研究工作之方法。

#### (一) 土砂災害潛勢模式選定

為選擇土砂災害潛勢模式，本研究蒐集國內山坡地環境地質調查和評估潛在災害之文獻，發現國內從事上述工作者有三個單位，分別提出三種評估之模式，其為經濟部中央地質調查所進行之「坡地社區工程地質調查與探勘」（中央地質調查所，1980、1981、1984、1985）、工業技術研究院能資所執行之「台灣省重要都會區環境地質資料庫」（能資所，1985、1986、1987、1988、1989、1990、1991、1992、1993），以及台灣大學地理系張石角教授提出之簡確工程地質調查評估法（張石角，1987、1993）。他們所採用之評估方法並不相同，其評估因子之多寡和分級亦有很大之差異，如地調所用了 4 個、能資所 13 個、簡確工程地質調查評估法 5 個；其中，「坡度」和「岩性」二項為共同採用之評估因子，但分級與內涵均不同。「地質構造」因子則為地調所和張石角教授所用，但內涵亦全然不同。其餘

各項評估因子則三者無一共通，但由於地調所之模式內容偏重於坡地社區之開發，能資所偏重都會區，且其評估方式甚為複雜，故本研究應用張教授之模式。

由於本研究主要針對陽明山國家公園園區中之土砂災害，除山坡地環境地質調查和評估其潛在災害外，亦需針對土石流溪流之潛勢進行分析，故本研究亦蒐集相關文獻，發現目前土石流溪流之潛勢分析以成大防災中心進行之「土石流潛勢溪流調查計畫」為山坡地土砂災害之主管機關—水土保持局所採用；而防災國家型科技計畫辦公室，接受國科會委託，執行「土石流危險溪流之潛能分析」計畫。另外「水土保持技術規範」及相關法規中有和「簡確工程地質調查評估法」、「土石流潛勢溪流調查計畫」及「土石流危險溪流之潛能分析」等三種評估模式相關之規定，故本研究主要選定上述三種評估模式應用在陽明山國家公園，找出園區內可能之土砂災害敏感區，以下分別列出上述三種評估體系，並將「水土保持技術規範」及相關法規中有關土石流危險

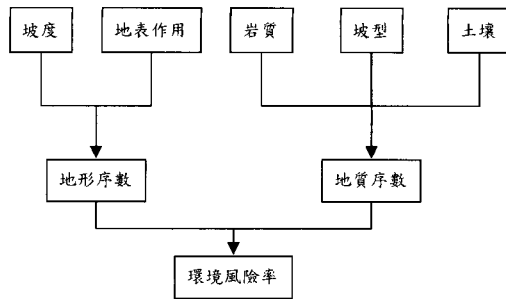


圖 5 簡確工程地質調查評估法資料處理流程圖  
資料來源：「水土保持技術規範」，民國 89 年

區之規定列出，探討其和各選定之潛勢模式之關係。

### 1. 簡確工程地質調查評估法

由台灣大學地理系張石角教授自創之「簡確工程地質調查評估法」，研究主題為山坡地環境地質及土地利用潛力調查，成果圖有工程環境地質圖、潛在自然災害分布圖、土地利用潛力分布圖（王鑫，林胤佐，民國 86 年）。評估參數有五種，包括坡度、地表現象（坡面沖蝕度）、工程地質因子（岩性、構造與土壤厚度）。此評估法最大特色為以「土地單元」為調查基礎，而「土地單元」係以地形圖上之坡向、坡度、以及坡面之複雜度三者之均質區。其中坡向決定地質構造與坡面之關係，坡度決定於岩性和土壤厚度，而坡面之複雜度即代表地表侵蝕或崩塌之現況。此法評估土地單元土砂災害潛勢指標稱為環境風險率，其流程如圖 5。

### 2. 土石流潛勢溪流調查計畫

成大防災中心首先於民國 80~85 年，進行第一次全國土石流危險溪流調查，並建立一判釋土石流潛勢溪流之準則，於 921 地震後，又根據此一準則加以修正，茲將土石流潛勢溪流調查計畫中之土石流潛勢溪流判定標準、土石流發生度評估指標、保全對象危害度評估指標及土石流潛勢溪流優先處理工程順序評估概述如下：

成大謝正倫教授將溪流地形縱剖面坡度大於 15 度以上之區域稱為土石流發生區，溪流縱剖面坡度界於 10 度~15 度為土石流之流動區，10 度以下為淤積區，因此土石流潛勢溪流

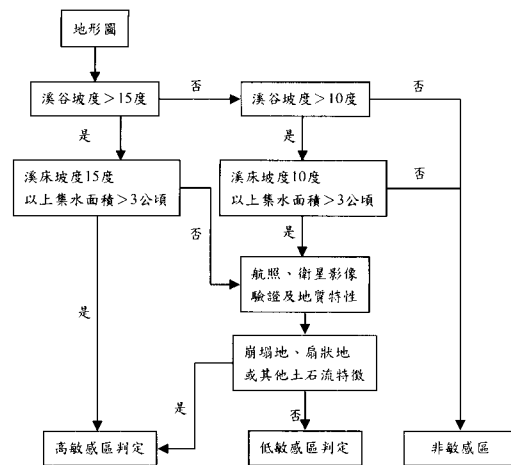


圖 6 土石流潛勢溪流室內判釋流程

資料來源：水土流潛勢溪流調查計畫，民國 91 年

判定標準以溪床坡度 15 度為集水點，該集水點之集水區面積稱為有效集水面積，當一溪流有效集水面積大於 3 公頃即為土石流潛勢溪流（921 地震以前第一次全國土石流危險溪流調查之有效集水面積為 10 公頃），其判定流程如圖 6。而判定為土石流潛勢溪流之野溪，再分別計算其土石流發生度評估指標（權重值如表 2）及保全對象危害度評估指標（權重值如表 3），其中謝教授是以溪床坡度 10 度點至應用池谷 浩(1982)所推估之土石流淤積長度所涵蓋之房屋、農田及道路來當做保全對象，池谷 浩公式如下：

$$\log(L) = 0.42 \times \log(V \times \tan \theta_d) + 0.935$$

$$V = 120,418A^{0.56}$$

式中，L：淤積長度（m）；V：土砂流出量（ $m^3$ ）； $\theta_d$ ：下游坡度（度）；A：集水區總面積（ $Km^2$ ）。

最後，謝教授將土石流發生度評估指標之四項權重值加總（ $W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ ）即為土石流之發生度，再將發生度乘上保全對象危害度評估指標加總（ $P_1 + P_2 + P_3$ ），即可得各土石流潛勢溪流之危險等級值，再依危險等級值 20% 以下劃分為低危險度溪流（即土石流潛勢溪流第三優先處理）、20%~50% 劃分為中危險度溪流（即土石流潛勢溪流第二優先處理）、50% 以上劃分為高危險度溪流（即土石流潛勢溪流第一優先處理）三個潛勢溪流等級。

表 2 土石流發生度指標權重值表（資料來源：土石流潛勢溪流調查計畫，民國 91 年）

土石流發生度指標權重值表		
評估指標	判斷基準	權重值(Wi)
有效集水面積 (A <sub>15</sub> )	A <sub>15</sub> >50 公頃	W <sub>1</sub> =50%
	15<A <sub>15</sub> ≤50 公頃	W <sub>1</sub> =30%
	A <sub>15</sub> ≤15 公頃	W <sub>1</sub> =15%
集水區內岩體之岩性	廣域變質岩	W <sub>2</sub> =10%
	古第三紀亞變質岩 (硬頁岩及板岩)	W <sub>2</sub> =6%
	新第三紀沈積岩	W <sub>2</sub> =3%
通過集水區內之斷層長度與總面積之比值(L)	L>1.5	W <sub>3</sub> =10%
	0<L≤1.5	W <sub>3</sub> =6%
	L=0	W <sub>3</sub> =3%
崩塌面積與總面積之比值為 (As)	As≥0.016	W <sub>4</sub> =30%
	0.016>As≥0.0055	W <sub>4</sub> =20%
	As<0.0055	W <sub>4</sub> =10%

表 3 保全對象危害度指標權重值表（資料來源：土石流潛勢溪流調查計畫，民國 91 年）

保全危害度指標權重值		
評估指標	判斷基準	權重值 (Pi)
住戶、學校、旅舍、公共建築 (有民眾居住者)	15 戶以上	P <sub>1</sub> =70%
	5-15 戶	P <sub>1</sub> =50%
	5 戶以下	P <sub>1</sub> =30%
重要公路、橋樑、道路	有	P <sub>2</sub> =20%
	無	P <sub>2</sub> =0%
農田、果園	有	P <sub>3</sub> =10%
	無	P <sub>3</sub> =0%

### 3. 土石流危險溪流之潛能分析

防災國家型科技計畫辦公室林美聆教授於民國 88 年提出「土石流危險溪流之潛能分析」模式，該研究以謝正倫教授於民國 80 年至 85 年所判定之土石流潛勢溪流為研究對象，以土石流發生之理論為基礎，歸納前人研究所得之土石流發生影響因素，在地理資訊系統之架構下，以單一潛勢溪流為分析單元，對影響土石流發生之各影響因素進行統計分析，選取適當之影響因素作為計算危險度之指標，以建立判定土石流潛勢溪流危險度之方法，作為土石流防治工作中防治對象選定優先順序之參考。在地理資訊系統應用方

面，使用 ESRI 所發展的視窗版 ArcView 軟體，針對農委會 85 年公佈之 485 條土石流潛勢溪流建立其自然環境資料庫並進行潛能分析，將土石流潛勢溪流分為低潛能、中潛能及高潛能三個類別（林美聆，民國 89 年）。

為突顯土石流潛勢溪流與地質特性之相關，她將全省分為五個地質分區，為海岸山脈及台東縱谷區，廣域變質岩區，亞變質岩區，沈積岩區，火成岩、紅土台地、盆地及平原區等，並分別針對各地質分區進行土石流潛勢溪流潛能分析。

林教授在選定土石流發生之各影響因子，亦是根據土石流發生之三大基本條件（足夠之水源供應、足夠之堆積物沈積、適當之地形條件）所衍生之水文與地文參數，如「足夠之水源供應」這項基本條件衍生出集水區面積、溪谷邊坡坡向等參數、「足夠之堆積物沈積」衍生出地質、殘土率、溪谷邊坡坡度等參數、「適當之地形條件」衍生出溪床平均坡度、形狀係數、溪流長度等參數。

在統計分析方面，林教授利用費雪區別分析原理，分析海岸山脈及台東縱谷區 200 條，廣域變質岩區 70 條，亞變質岩區 348 條，沈積岩區 274 條，火成岩、紅土台地、盆地及平原區 78 條溪流。並將潛勢溪流與非潛勢溪流條數取 1:1 之比例，以避免分類偏向於比例較大之母體。由於此模式先將全省分為 5 個工程地質分區，再根據不同地質分區之統計結果，加入不同之地文因子，故各區之土石流潛勢溪流與非潛勢溪流兩群體間之區別函數皆不相同，探討之地文因子也比成大防災中心「土石流潛勢溪流調查計畫」為多，但此模式和其他文獻回顧之模式一樣，並未加入水文因子，且亦並未將保全對象此一因子加入模式中。

### 4. 土石流危險區

「特定水土保持區劃定與廢止準則」和「水土保持技術規範」有關土石流危險區之規定如下：

- A. 「特定水土保持區劃定與廢止準則」第三條  
第三條第六項第三款：「土石流危險區：以

溪床坡度 15 度以上，其上游集水區面積在十公頃以上，且下游有聚落、重要公共設施、名勝、古蹟等須保護之重要對象，經主管機關認定有必要劃定者。」，所謂土石流危險區之定義即為謝教授於民國 85 年所採用之判釋準則。

第三條第六項第四款：「經主管機關評定該地區之環境風險率在十二以上，且總面積在五十公頃以上者。」，此規定即是利用張教授之簡確工程地質調查評估法，作為劃定特定水土保持區之一指標。

#### B. 「水土保持技術規範」第三百十三條

「水土保持技術規範」第三百十三條第三項：「土石流：其危險範圍之劃定方式，首先決定危險區之頂點 A，其以山谷之出口、扇狀地之頂點，或坡度十度為頂點；其次由 A 點依據土石流最大擴展角度（一百零五度）向下游劃出一扇狀區域；最後以扇狀區內坡度二度之等坡度線 B 作為土石流之到達邊界，則該扇形區與線 B 所涵括之範圍，即為土石流之危險範圍」，林美聆教授即採用此一劃定範圍準則，與成大謝正倫教授所用之池谷 浩經驗公式不同。

#### (二) 比較各模式所需參數

本研究主要在探討所選定之三種土砂災害潛勢模式應用在陽明山國家公園之適用性，故需列出及比較各模式之參數，找出其異同點，供蒐集資料及結論探討之用，本研究選定之土砂災害潛勢模式評估參數比較如表 4。

#### (三) 蒐集模式所需參數及既有成果

為求得本研究所選定之三種土砂災害模式劃定園區土砂災害敏感區之成果，將蒐集及利用其他文獻既有之成果，若無則蒐集該模式所需因子以劃定之，由表 4 可發現，三種土砂災害潛勢模式所使用之參數皆為地文因子，其中「岩性」為三種模式皆共有之參數，另外「邊坡坡度」、「集水區面積」、「溪床坡度」則為兩種模式所共有，故上述三種模式可應用 GIS(地理資訊系統)來蒐集其所需之參數，尤其「土石流潛勢溪流調查計畫」及「土石流危險溪流之潛能分析」之評

表 4 各土砂災害潛勢模式評估參數比較表

方法 評估內容	簡確工程調查 評估法	土石流潛 勢溪流調 查計畫	土石流危 險溪流之 潛能分析
評估基本單 位	「土地單元」即 坡向、坡度、坡 面複雜度三者 之均質區	集水區	集水區
邊坡坡度	有 <sup>[1]</sup>	—	有
坡面沖蝕度	有	—	—
岩性	有 <sup>[1]</sup>	有	有
坡型	有	—	—
土壤厚度	有	—	—
集水區面積	— <sup>[1]</sup>	有	有
斷層	—	有	—
崩塌面積	—	有	—
保全對象	—	有	—
溪流長度	— <sup>[1]</sup>	—	有
殘土率	—	—	有
溪床坡度	— <sup>[1]</sup>	有	有
形狀係數	—	—	有
坡向	—	—	有

<sup>[1]</sup>由於簡確工程地質調查評估法不以集水區為評估基本單元，故其無「集水區面積」、「溪流長度」及「溪床坡度」等評估參數，而其「邊坡坡度」參數意指土地單元之坡度。

估單元皆為集水區，可利用 GIS 軟體自動劃分集水區，套疊各種圖層，建立 GIS 資料庫，分析各集水區中各地文因子，例如：「岩性」這項地文因子，可套疊中央地調所出版之五十萬分之一地質分布圖，找出園區中之地質分布，「溪流長度」則可利用 DTM（數值地形模型）自動導出水系而求出其長度，其他地文因子皆可由基本資料圖層取得(本研究所利用之基本資料來源如表 5)。相對的，「簡確工程調查評估法」，由於其評估單元為坡向、坡度、坡面複雜度三者之均質區，其劃分步驟較為複雜，較難以利用電腦自動劃分且此模式中「土壤厚度」之資料亦較難取得，通常僅有部分地區才会有詳細之資料，故「簡確工程調查評估法」比另外兩種模式，更難以蒐集資料，有些地區必須靠現地調查才能得到所有之參數。



表 5 各項基本資料來源表

資料性質	資料來源	出版或取得年份年代(民國)
1/25000 經建版地形圖	內政部	84
1/5000 相片基本圖	林務局農林航測所	84
1/1000 陽明山國家公園地形圖	內政部營建署陽明山國家公園管理處	85
40m×40m DTM	內政部營建署陽明山國家公園管理處	86
道路及建物資料	內政部營建署陽明山國家公園管理處	85
行政區域圖	行政院農委會	75
水文	中央氣象局、經濟部水資源局	90
地質	經濟部中央地質調查所	75
土壤	國立中興大學土壤調查試驗中心	77

#### (四) 劃定土砂災害敏感區

張三郎將土砂災害界定為「因土砂的產生，致危害人民生命財產之安全，破壞公共設施妨礙經濟活動者均屬土砂災害」(環境教育季刊第 35 期，民國 87 年)。故若土砂產生在無保全對象處，並不能算是土砂災害，且應用土砂災害潛勢模式所劃定出之敏感區在無保全對象之區域中，探討其準確性並無意義，雖然本研究選定之三模式中僅有「土石流潛勢溪流調查計畫」考慮「保全對象」因子，但將利用「簡確工程調查評估法」找出之潛勢區套疊園區建物圖，並探討潛勢區和建物分布之關係，在應用「土石流危險溪流之潛能分析」時，亦加入園區建物分布以作為劃定其評估基本單位(即集水區)時之標準。

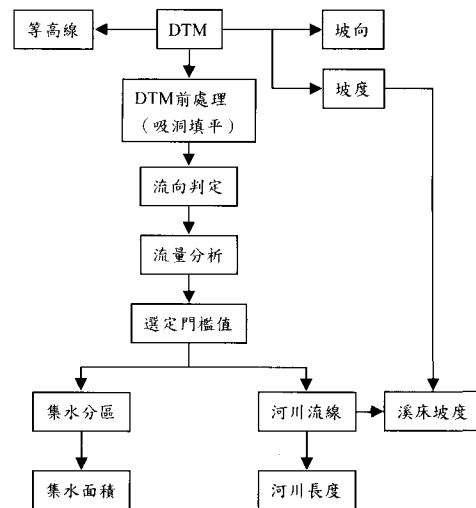


圖 7 DTM 求取地文因子流程圖

#### (五) 利用實際土砂災害驗證各模式

為瞭解本研究選定之三種模式預測的準確性，故利用民國 89 年象神颱風發生之災害檢驗之。由於本研究將建立 GIS 資料庫，把各模式所預測之「高」、「中」及「低」土砂災害敏感區皆數化成圖層，故將現地踏勘之颱風災害資料數化至 GIS (本研究將園區中象神颱風所造成之土砂災害分類為「崩塌」及「土石流」兩項)，再套疊土砂災害敏感區之圖層即可瞭解各模式預測象神颱風土砂災害之準確性。

### 四、結果與討論

#### (一) 土砂災害敏感區判釋

由於土砂災害之產生和「保全對象」密切相

關，因此，本研究利用「簡確工程地質調查評估法」、「土石流潛勢溪流調查計畫」、「土石流危險溪流之潛能分析」等模式，套疊園區保全對象之圖層，找出園區土砂災害敏感區。

#### 1. 園區 GIS 資料庫之建立

由於本研究欲應用之土砂災害潛勢模式需地文、水文資料，故應用數值地形模型 (DTM) 進行地形分析，求得地文因子並劃分評估單元及集水區是本研究之重要工作之一，本研究以陽明山國家公園管理處委託中華工程顧問公司於民國 86 年所完成之 40m×40m 數值地形檔加以組合、修補，並由電腦輔助，應用 ESRI 公司推出之 ArcView 3.2 軟體處理坡向、坡度分級並劃分集水區。圖 7 為 DTM 求取地文因子之流程圖。

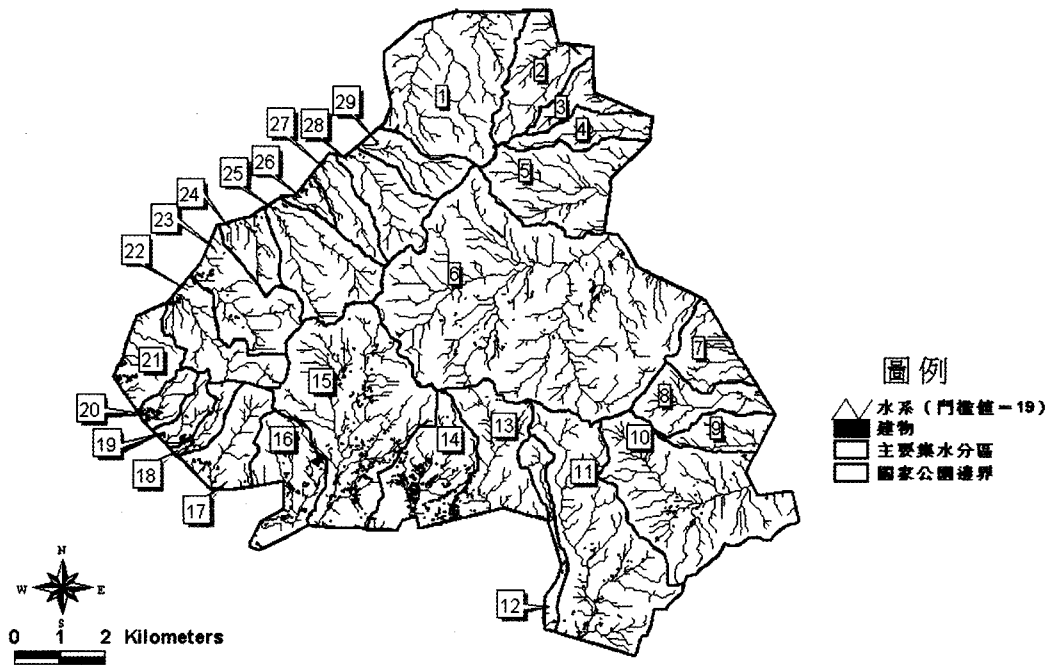


圖 8 集水區分區圖

由圖 7 可知，在自動劃出集水區之前，需先選定一門檻值 (Threshold)，所謂門檻值是指給定電腦多少流量累積值 (Flow accumulation value) 才將其判釋為溪流，選定此一流量累積值後，即可導出溪流流線之圖層，而流量累積值係指任一網格累積上游網格流入之個數，依此定義可知，流徑上之流量累積值一定較非流徑之網格者大，且愈向下游流量累積值愈大。林美聆教授所提出之「土石流危險溪流之潛能分析」，將溪流之門檻值訂為 100。另外，由於本研究亦選定謝正倫教授所執行「土石流潛勢溪流調查計畫」，他將有效集水面積大於 3 公頃當作土石流潛勢溪流判定標準之一重要指標，而由流量累積值之定義，吾人可將某網格之流量累積值視為以該網格為集水點之集水區面積，惟流量累積值之面積單位為網格數，故本研究將門檻值訂為 19，這是由於本研究選定之 DTM 為  $40\text{m} \times 40\text{m}$  之網格，而  $19(\text{格}) \times 40\text{m} \times 40\text{m} = 30400\text{m}^2 \approx 3\text{ha}$ 。

電腦分析程序可根據設定之門檻值 (Threshold) 或是集水區最小面積值自動找出集水

區之範圍，對同一區域而言，門檻值或是集水區最小面積值愈高，所劃定之集水區個數就愈少，由於集水區劃定之個數及範圍由門檻值決定，且園區面積甚為廣大，劃分過密過小之集水區並無意義且增加資料處理之難度，本研究欲先劃分園區主要集水區，再依需要劃分各主集水區中之子集水區，本研究主要集水區劃分依下列條件：(1) 由於本研究範圍為陽明山國家公園，且園區之水系以輻射狀分布，故各主集水區皆以園區邊界當作集水點。(2) 由於本研究針對園區聚落潛在土砂災害，故各集水區中皆有一棟以上之建物，若無則和鄰近相同流域之集水區合併。

當門檻值設 327 時，可滿足上述條件，並可將園區劃分為 29 個集水區，雖然部分集水區之劃定合乎「水土保持技術規範」中集水區之定義，但是也有部分集水區之範圍並不合理，最後就以人工套疊 1/25000 地形圖上之集水區範圍加以數值化補遺，並再加以編號，其結果套疊河系圖及建物圖如圖 8。

當集水區劃定後，將其套疊至坡度圖，即可

表 6 各集水區之基本資料

集水區 編號	面積 (ha)	溪流名稱	集水區平均 坡度(度)	流向	溪流總長 (門檻值=19)(m)	形狀係數	水系密度	建物棟數
1	773.048	土地公嶺溪、老梅溪左、右股	23.0791	北	28915.974	0.009246	3.740515	35
2	309.634	阿里磅溪	22.5161	東北	12169.646	0.020907	3.930333	18
3	125.091	兩湖溪	18.3231	東北	4969.117	0.05066	3.972402	4
4	167.891	重光溪	20.8555	東	6080.542	0.045409	3.62172	29
5	488.708	嵩山溪	26.4336	東	19975.732	0.012247	4.087458	14
6	2333.307	北礮溪	23.5821	東北	95174.761	0.002576	4.078964	321
7	203.051	貢寮溪	19.5476	東	10318.181	0.019072	5.081571	5
8	238.626	頭前溪	18.9944	東	9144.895	0.028534	3.832313	4
9	151.929	富士溪	22.0196	東	5883.161	0.043895	3.872309	3
10	858.235	瑪鍊溪	21.4251	東	35386.189	0.006854	4.123135	110
11	917.326	內雙溪	19.7654	南	34532.692	0.007692	3.764495	355
12	120.078	礁坑溪	17.7939	南	3714.948	0.087008	3.093779	42
13	387.351	外雙溪	17.4184	南	13658.381	0.020764	3.526099	257
14	409.214	松溪	19.1369	南	15232.573	0.017636	3.722398	1009
15	1032.230	南礮溪	20.2968	南	44454.8	0.005223	4.306676	1143
16	312.892	行義溪	19.6663	西南	12750.022	0.019247	4.074895	434
17	240.373	永春寮溪	27.4651	西南	8465.31	0.033543	3.521739	144
18	81.378	水磨坑溪	18.4734	西南	3435.458	0.068951	4.221605	82
19	90.880	貴子坑溪	22.5037	西南	3437.056	0.07693	3.781972	100
20	87.791	碧湖溪	23.6252	西南	3273.78	0.081913	3.729061	61
21	201.303	無名坑溝(碧湖溪之一支流)	25.2017	西	6697.457	0.044878	3.327053	59
22	299.534	楓樹湖溪	24.2051	西北	12186.119	0.02017	4.068359	55
23	333.594	公司田溪	21.3432	西北	12573.412	0.021101	3.769076	95
24	145.107	烘爐北溪	21.7545	西北	6251.171	0.037133	4.307973	28
25	409.794	菜公坑溪	27.5189	西北	14919.613	0.01841	3.640759	31
26	52.329	無名坑溝	14.2303	西北	2187.09	0.109398	4.179499	26
27	160.971	八連溪右股	25.1271	西北	5421.928	0.054757	3.368264	1
28	253.144	八連溪中股	27.3865	西北	9519.26	0.027936	3.760413	10
29	179.878	八連溪左股	25.2889	西北	7170.925	0.034981	3.986549	11
total	11364.687	—	—	—	—	—	—	4486

計算各集水區之平均坡度(單位為度)。其結果配合圖 8 之集水區編號,並再加上各集水區之面積資料、建物數目、坡向及溪流名稱,即如表 6。

## 2. 簡確工程地質調查評估法

本研究參考張石角教授所執行之「陽明山國家公園環境敏感區及潛在災害地區之調查研究」,並蒐集陽明山國家公園地理資料庫於民國

80 年根據此報告所數化之圖層資料,張教授依簡確工程地質調查評估法劃分土地單元,並找出各土地單元之環境敏感度,並將其分為 5 級序,本研究將環境敏感度級序圖套疊建物圖及集水區圖,詳圖 9,分析結果如表 7。

由圖 9 可知,簡確工程地質調查評估法劃分環境敏感度「高」、「中」者大部分集中在較陡

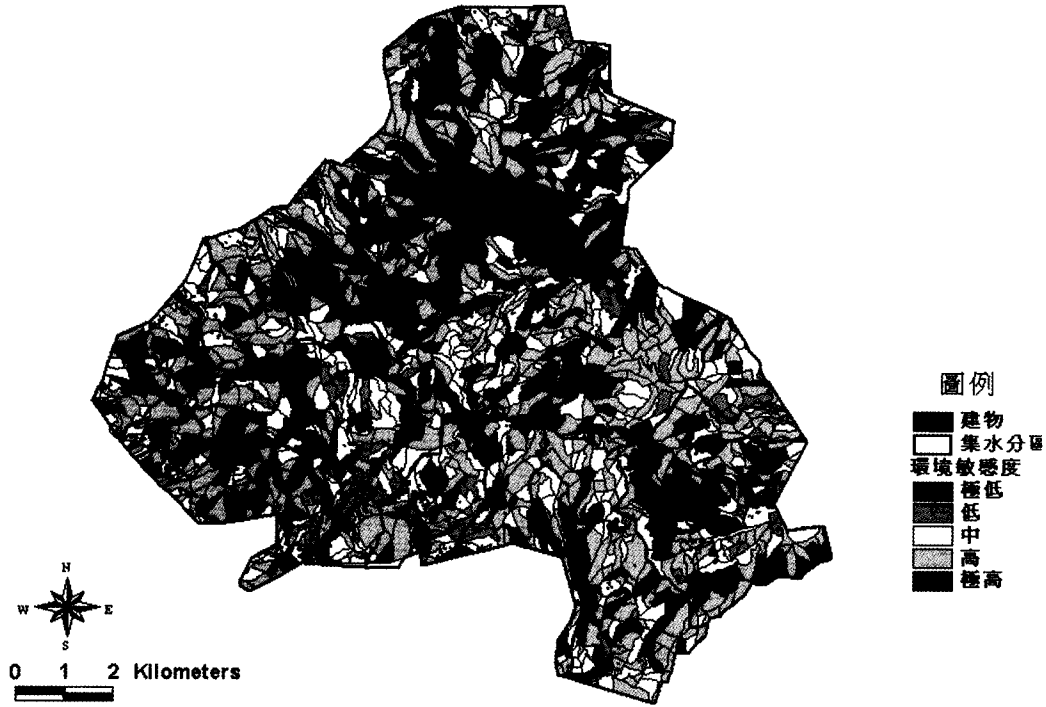


圖 9 園區環境敏感度圖

峭之山區，而聚落卻是散佈在較平坦或是坡度較平緩處，且以土地單元而不是以集水區做為敏感區之劃分單位，較難反應水文因子對土砂災害之影響。

由表 7，園區有 40.83% 位於「極高」敏感區，32.62% 位於「高」敏感區，另外有 17.81% 之建物位於「極高」敏感區上，故這些建物及聚落即為以簡確工程地質調查評估法初步劃定之敏感區。

### 3. 土石流潛勢溪流調查計畫

由於簡確工程地質調查評估法並不以集水區為評估單位，對於因土石流動而產生之土砂災害無法有效率地找出，故本研究亦蒐集成大防災中心民國 80 年~85 年所完成之第一次全國土石流危險溪流調查及 91 年完成「土石流潛勢溪流調查計畫」之成果，以找出園區內之土石流潛勢溪流，並將其數值化，以利和象神風災後本研究至園區實地踏勘之成果比較。

### 4. 土石流危險溪流之潛能分析

防災國家型科技計畫辦公室根據成大防災中心第一次全國土石流危險溪流調查所劃定之全省 485 條土石流潛勢溪流，利用費雪區別分析原理作土石流潛勢溪流之潛能判釋。本研究亦利用此模式來找出園區內可能存在之土石流潛勢溪流。

依據「台灣工程地質分區概圖」（洪如江，民國 86 年），研究區域位於「火成岩、紅土台地、盆地及平原區」，依據防災國家型科技計畫辦公室民國 89 年所執行之「土石流危險溪流之潛能分析」報告，本研究區域之區別函數如下式：

$$\begin{aligned}
 y &= b^T x = y_1 - y_0 \\
 &= 0.00106(\text{Area}) + 0.00067(\text{Length}) + 4.99(\text{Hi}) - \\
 &0.186(\text{SMA}) + 0.351(\text{SF}) - 0.114(\text{N}) - 0.165(\text{NE}) - \\
 &0.073(\text{E}) + 0.046(\text{SE}) - 0.112(\text{S}) - 0.081(\text{SW}) - 0.122 \\
 &(\text{W}) - 0.31(\text{D10}) - 0.347(\text{D15}) - 0.23(\text{D20}) - 0.234 \\
 &(\text{D30}) - 0.32(\text{D45}) + 0.062(\text{geoE}) + 0.05(\text{geoE2}) +
 \end{aligned}$$

表 7 各集水區環境敏感度各序數面積百分比

集水區編號	面積 (ha)	極低 (%)	低 (%)	中 (%)	高 (%)	極高 (%)	建物位於極 高之棟數	建物位於「極高」之 棟數佔全棟數百分比
1	773.048	0.24	1.55	14.75	38.29	45.15	0	0.00
2	309.634	0.48	6.46	9.37	37.79	45.54	0	0.00
3	125.091	4.11	5.60	32.78	43.17	14.39	0	0.00
4	167.891	0.00	8.34	11.91	23.82	55.39	10	34.48
5	488.708	0.05	0.00	14.53	11.87	73.46	2	14.29
6	2333.307	0.00	3.34	19.84	30.09	46.46	69	21.50
7	203.051	0.00	15.27	29.06	41.86	13.79	0	0.00
8	238.626	0.00	7.54	15.92	54.90	21.37	0	0.00
9	151.929	0.00	0.18	20.40	34.88	44.10	0	0.00
10	858.235	0.00	4.15	18.18	27.73	49.75	16	14.55
11	917.326	0.94	2.05	24.09	43.71	29.11	89	25.07
12	120.078	0.00	3.04	36.64	49.97	9.99	0	0.00
13	387.351	15.35	6.65	21.94	32.53	23.49	49	19.07
14	409.214	4.99	13.72	27.37	36.17	16.13	145	14.37
15	1032.230	2.94	11.30	30.23	19.57	35.65	256	22.40
16	312.892	0.00	8.85	19.50	32.28	38.99	64	14.75
17	240.373	0.00	2.81	9.57	34.95	52.42	30	20.83
18	81.378	0.00	1.47	30.72	47.92	20.89	3	3.66
19	90.880	0.00	2.61	16.51	35.21	48.42	37	37.00
20	87.791	1.58	22.36	29.62	34.17	33.03	1	1.64
21	201.303	2.04	11.86	28.32	30.80	37.75	4	6.78
22	299.534	0.32	0.71	21.37	39.39	32.05	1	1.82
23	333.594	1.21	1.87	31.18	41.97	18.59	4	4.21
24	145.107	0.00	2.22	24.12	57.20	17.23	1	3.57
25	409.794	0.00	0.00	16.35	24.40	57.83	6	19.35
26	52.329	0.00	0.00	28.66	64.97	0.00	0	0.00
27	160.971	0.00	0.00	17.39	37.27	44.73	0	0.00
28	253.144	0.00	0.00	8.69	33.58	57.67	8	80.00
29	179.878	0.24	0.00	6.12	15.57	78.39	4	36.36
total	11364.687	1.22	4.66	20.67	32.62	40.83	799	17.81

0.002(geoEO)+0.045(geoMI)+0.063(geoMJ)+  
0.0025(geoMS)+0.054(geoMY)-0.0218(geoO1)-  
0.013(geoO2)+0.059(geoP2)-0.097(geoP3)+  
0.066(geoPM3)-0.016(geoQ1)+0.046(geoQ3)+  
0.015(geoA2)+0.03(geoQ0)

式中，Area 為集水區面積，Length 為溪流  
長度，Hi 為殘土率，SMA 為溪床平均坡度(度)，  
SF 為形狀係數，N 為邊坡坡向北(%)，NE 為邊

坡坡向東北(%)，E 為邊坡坡向東(%)，SE 為邊  
坡坡向東南(%)，S 為邊坡坡向南(%)，SW 為邊  
坡坡向西南(%)，W 為邊坡坡向西(%)，D10 為邊  
坡坡度 0~10(%)，D15 為邊坡坡度 10~15(%)，D20  
為邊坡坡度 15~20(%)，D30 為邊坡坡度  
20~30(%)，D45 為邊坡坡度 30~45(%)，geoE 為  
畢祿山層(%)，geoE2 為達見砂岩(%)，geoEO 為  
西村層、佳陽層(%)，geoMI 為廬山層、蘇樂層  
(%)，geoMJ 為瑞芳群及相當地層(%)，geoMS 為

三峽群及相當地層(%), geoMY 為野柳群及相當地層(%), geoO1 為四稜砂岩、眉溪砂岩、白冷層(%), geoO2 為大桶山層、乾溝層、水長流層(%), geoP2 為卓蘭層及相當地層(%), geoP3 為利吉層及墾丁層(%), geoPM3 為大南澳片岩(%), geoQ1 為恆春石灰岩(%), geoQ3 為沖積層(%), geoA2 為安山岩及安山岩質碎屑岩(%), geoQ0 為頭嵙山層及卑南山礫岩及相當地層(%),  $y$  為區別函數多項式。

判別標準  $y^*$  為常數項, 為區別函數中之係數項, 其值為 -31.339。若  $(y-y^*)$  小於 0, 即為潛勢溪流; 反之, 則為非潛勢溪流 (土石流危險溪流之潛能分析, 林美聆, 民國 89 年)。

潛勢溪流及非潛勢溪流以發生頻率 (%) 為 Y 軸, 潛能指數  $(y-y^*)$  為 X 軸之潛能指數分布圖畫出, 針對潛勢溪流將其分布曲線下之面積積分, 並等分為三等分, 可定出分界指標 -1.588 及 -0.604, 因此此地質分區中任一溪流, 其潛能指數低於 -1.588, 則視為高潛能土石流潛勢溪流; 潛能指數在 -1.588 及 -0.604 之間者則視為中潛能土石流潛勢溪流; 潛能指數若大於 -0.604 則視為低潛能土石流潛勢溪流 (土石流危險溪流之潛能分析, 林美聆, 民國 89 年)。區別函數式中各項參數之定義及求取方法如下:

#### A. 集水區面積

由於本研究將陽明山國家公園劃為 29 個主要集水區, 為探討這些溪流是否為土石流潛勢溪流, 故將先前建立之 GIS 資料庫中 29 個集水區之集水區面積 (單位為 ha) 代入模式。

#### B. 溪流長度

此處之溪流長度所指的是集水區中之主流長度, 由於「土石流危險溪流之潛能分析」報告中, 土石流潛勢溪流判定模式建立所應用之溪流流量門檻值訂為 100, 故此處之溪流長度為 29 個集水區中流量門檻值為 100 之主流長度 (單位為 m)。

#### C. 溪床平均坡度

溪床平均坡度根據謝正倫教授 (土石流預警系統之研究 II, 謝正倫, 民國 82 年) 所提出之公式計算:

$$S = \sin^{-1}((\text{上游高程}-\text{下游高程})/\text{溪谷長度})$$

其中溪谷長度為先前所求之各集水區門檻值為 100 之主流長度, 上、下游高程為此溪流起始點及終點之高程 (由 40m×40mDTM 求得), 溪床平均坡度單位為度。

#### D. 形狀係數

流域之形狀係數 (Form factor) 為 1932 年荷頓氏所提出, 其定義為:

$$F = A / L^2$$

其中 L 為主流長度, A 為集水面積, 由先前所得出之 29 個集水區面積及其主流長度, 即可算出各集水區之形狀係數。

#### E. 集水區邊坡面積百分比

由已建立之 GIS 資料庫中之坡度圖, 將各集水區分成 0°~10°、10°~15°、15°~20°、20°~30°、30°~45°等 5 個區間, 將各區間之面積除以各集水區之總面積, 即得集水區中各坡度之面積百分比。

#### F. 集水區邊坡坡向百分比

由已建立之 GIS 資料庫中之坡向圖, 將各集水區依八分坡向法分成北、東北、東、東南、南、西南、西、西北等 8 個區間, 將各區間之面積除以各集水區之總面積, 即得集水區中各坡向之面積百分比。

#### G. 殘土率

將多邊形向量式圖形檔之集水區按等高線切割成若干區間, 求出各區間之面積與所對應之等高線值。將各區間之面積除以總集水區面積為 X 軸, 對應之等高線值與集水區之最低高程差除以集水區之最大高程差為 Y 軸。繪出高度-面積百分率曲線, 求出曲線下與 X-Y 軸所包圍之面積, 即為集水區之殘土率值。高度-百分率曲線表示於地形單位某高度所佔之集水區面積, 因此可用此項指標作為瞭解集水區地表發育的概況, 若一集水區殘土率越大, 表示其上游集水區面積越大, 該溪流即處於較不平衡之狀態 (土石流危險溪流之潛能分析, 林美聆, 民國 89 年)。殘土率與起伏量及起伏量比不同處在於, 起伏量及起伏量比為集水區坡度變化劇烈與否之指

表 8 各集水區土石流潛勢溪流潛勢分析表

集水區編號	溪流名稱	集水區面積 (ha)	溪流主流長度(m)(門檻值=100)	殘土率	溪床平均坡度(度)	形狀係數	N (%)	NE (%)	E (%)	SE (%)	S (%)	SW (%)	W (%)
1	土地公嶺溪、老梅溪左、右股	773.05	3676.55	0.40	10.98	0.57	21.21	17.59	7.89	3.75	2.33	5.04	17.46
2	阿里磅溪	309.63	2833.16	0.35	11.17	0.39	25.84	24.55	23.90	11.63	2.26	0.32	2.26
3	兩湖溪	125.09	1797.21	0.43	10.08	0.39	11.99	38.37	28.78	10.39	1.60	0.32	1.60
4	重光溪	167.89	2876.71	0.37	12.61	0.20	5.36	23.23	30.38	30.97	8.93	0.60	0.12
5	嵩山溪	488.71	2884.02	0.37	14.40	0.59	8.39	13.91	25.99	36.42	12.28	1.43	0.06
6	北礮溪	2333.31	7057.90	0.48	6.69	0.47	18.39	17.23	14.79	13.67	7.24	5.53	8.74
7	貢寮溪	203.05	1468.30	0.42	9.94	0.94	6.40	25.12	43.83	21.18	2.46	0.10	0.10
8	頭前溪	238.63	2698.39	0.52	6.18	0.33	16.34	18.02	17.60	22.63	15.09	3.77	1.26
9	富士溪	151.93	1448.12	0.40	9.94	0.72	5.92	16.46	17.11	30.94	24.35	3.29	0.20
10	瑪鍊溪	858.24	3899.57	0.46	5.69	0.56	15.38	17.36	17.36	14.91	10.72	6.64	4.54
11	內雙溪	917.33	5936.00	0.52	5.23	0.26	3.71	3.71	11.66	13.63	15.81	17.44	23.55
12	礁坑溪	120.08	1681.49	0.60	16.61	0.42	0.83	3.33	19.15	14.99	8.33	24.15	22.49
13	外雙溪	387.35	3037.48	0.35	5.73	0.42	1.55	5.42	15.23	19.10	16.52	20.39	15.49
14	松溪	409.21	2819.77	0.35	8.50	0.51	5.62	1.47	6.35	14.42	33.72	21.75	10.26
15	南礮溪	1032.23	5368.96	0.51	6.00	0.36	2.71	3.10	13.37	14.43	19.67	22.28	18.21
16	行義溪	312.89	2959.33	0.39	8.16	0.36	3.20	1.28	7.03	28.12	27.17	18.22	7.67
17	永春寮溪	240.37	2299.99	0.44	11.37	0.45	0.42	0.42	1.25	24.13	27.04	21.22	19.14
18	水磨坑溪	81.38	1911.38	0.48	12.63	0.22	0.00	0.37	2.46	12.29	18.43	29.49	30.72
19	貴子坑溪	90.88	1154.57	0.44	15.01	0.68	0.11	0.33	1.10	14.30	30.81	28.61	22.01
20	碧湖溪	87.79	912.30	0.43	13.32	1.05	1.37	0.57	0.68	3.19	19.36	41.01	23.92
21	無名坑溝(碧湖溪之一支流)	201.30	784.19	0.36	13.12	3.27	9.94	0.75	0.10	0.15	2.98	13.91	40.73
22	楓樹湖溪	299.53	3785.29	0.51	9.33	0.21	23.70	13.69	7.34	1.34	3.34	14.02	15.02
23	公司田溪	333.59	2628.47	0.48	10.66	0.48	18.59	3.90	2.10	3.00	6.00	8.69	28.18
24	烘爐北溪	145.11	1272.67	0.36	10.76	0.90	37.21	10.34	2.07	0.14	0.00	1.38	14.47
25	菜公坑溪	409.79	3076.49	0.56	9.45	0.43	17.33	20.74	4.15	0.24	0.98	16.35	26.35
26	無名坑溝	52.33	453.25	0.35	8.63	2.55	22.93	7.64	0.57	0.00	1.53	5.73	19.11
27	八連溪右股	160.97	2377.23	0.42	10.75	0.28	24.23	21.74	0.62	0.19	0.25	4.35	29.20
28	八連溪中股	253.14	2428.87	0.50	9.55	0.43	23.70	16.20	5.93	0.16	0.79	15.01	22.91
29	八連溪左股	179.88	2276.61	0.49	11.68	0.35	18.35	7.78	0.22	0.17	6.67	15.01	26.13

標，而殘土率為上游集水區佔全集水區面積比例多寡之指標。為簡化資料之複雜度及節省處理時間，本研究利用 ArcView 3.2 之外掛程式 3D Analyst 中之指令，再代入 40m×40m DTM 直接求取間距為 200m 之等高線，經運算後，即可求出各集水區之殘土率。

#### H. 地質

利用已蒐集之研究區域地質分區圖，將集水區中之各地質分布面積佔全集水區多少百分比找出，代入模式中。

由上述各參數，各集水區分析結果如表 8。

由表 7 可知，共有 13 個集水區為土石流潛勢溪流，其中有 6 條「高」潛能土石流危險溪，為 3、20、25、26、27 及 28 號集水區流；6 條

表 8 各集水區土石流潛勢溪流潛勢分析表(續)

集水區編號	D10 (%)	D15 (%)	D20 (%)	D30 (%)	D45 (%)	GeoMJ (%)	GeoMS (%)	GeoMY (%)	geoQ3 (%)	geoA2 (%)	區別函數值	判別標準	判別結果是否為潛勢溪流	潛能 <sup>(1)</sup>
1	8.15	13.19	18.11	35.19	24.19	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-30.833	-31.339	—	L
2	5.81	14.53	19.05	41.02	19.05	0.00	0.53	0.00	0.00	99.47	-32.155	-31.339	是	M
3	24.78	19.19	13.59	27.18	13.59	0.00	10.47	0.00	0.80	88.74	-34.780	-31.339	是	H
4	8.93	17.27	20.25	38.72	14.29	0.00	8.27	0.00	23.82	67.90	-29.518	-31.339	—	L
5	3.89	9.21	13.91	34.79	36.22	0.00	0.00	0.00	34.32	65.68	-27.907	-31.339	—	L
6	9.64	12.99	16.03	32.31	27.90	0.00	0.00	0.00	0.04	99.96	-25.373	-31.339	—	L
7	19.21	15.27	14.77	34.47	15.27	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-31.720	-31.339	是	L
8	17.18	16.76	20.95	31.85	12.99	0.68	0.00	0.00	0.00	99.32	-29.644	-31.339	—	L
9	8.56	13.16	15.80	45.42	17.11	26.94	0.00	0.00	0.00	73.06	-28.875	-31.339	—	L
10	8.51	16.08	21.91	35.19	17.83	22.60	0.00	0.00	0.00	38.92	-27.732	-31.339	—	L
11	12.43	17.22	22.02	36.63	11.34	0.00	0.00	21.15	0.00	47.42	-25.905	-31.339	—	L
12	16.66	23.32	21.65	30.81	5.83	0.00	0.00	20.05	0.00	79.95	-30.702	-31.339	—	L
13	21.94	20.14	19.36	30.98	7.49	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-29.820	-31.339	—	L
14	18.82	21.50	17.35	23.70	18.33	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-31.985	-31.339	是	M
15	15.79	17.44	18.02	29.16	19.47	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-27.764	-31.339	—	L
16	15.02	20.13	17.58	31.64	14.70	0.00	0.00	4.84	0.00	95.16	-28.474	-31.339	—	L
17	3.33	6.24	11.23	35.78	42.43	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-30.398	-31.339	—	L
18	9.83	18.43	27.03	39.32	4.92	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-31.309	-31.339	—	L
19	7.70	11.00	16.51	45.11	19.81	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-32.816	-31.339	是	M
20	6.83	13.67	15.95	36.45	27.34	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-34.110	-31.339	是	H
21	5.46	11.92	11.43	35.77	33.78	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-32.568	-31.339	是	M
22	10.02	12.02	15.36	30.05	29.71	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-30.891	-31.339	—	L
23	10.49	17.39	18.59	34.77	18.89	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-31.142	-31.339	—	L
24	9.65	17.23	18.61	36.52	17.92	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-32.890	-31.339	是	M
25	3.90	8.30	11.47	31.48	43.68	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-33.233	-31.339	是	H
26	24.84	36.31	24.84	11.47	1.91	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-33.294	-31.339	是	H
27	4.35	11.18	14.91	37.27	31.68	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-34.402	-31.339	是	H
28	3.56	6.32	11.46	33.58	44.24	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-33.572	-31.339	是	H
29	3.89	7.23	12.79	46.70	29.46	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-31.953	-31.339	是	M

<sup>(1)</sup>標示「H」表示高潛能；標示「M」表示中潛能；標示「L」表示低潛能

「中」潛能者，為 2、14、19、21、24 及 29 號集水區；1 條「低」潛能者，為 7 號集水區，而非潛勢溪流者亦皆為「低」潛能者。各危險集水區分布如圖 10。

由本區之區別函數公式，吾人可發現此模式所採用之地文因子比成大防災中心「土石流潛勢溪流調查計畫」還多，如：各地質之區分詳細，

且亦多加入坡向、殘土率、形狀係數及溪流長度等因子，但此模式卻未放入保全對象因子，故利用此模式僅能找出最有可能發生土石流的溪流，但卻不一定找得到災害最嚴重之土石流潛勢溪流，另外區別函數根據第一次全國土石流危險溪流調查所公佈之土石流潛勢溪流推導而來，母群體本身之正確性尚有討論空間。



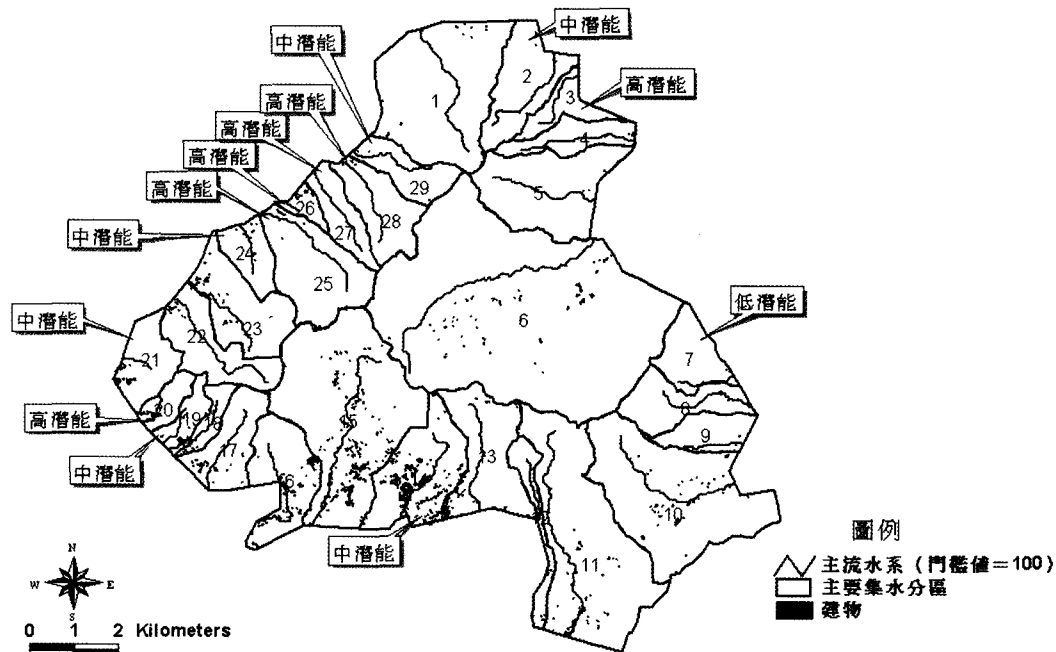


圖 10 各潛勢溪流集水區分布圖

## (二) 災情踏勘

由於雨量豐沛之象神颱風對北台灣地區帶來極大之災情，故實地探訪園區各聚落之實際狀況，而這正是檢驗敏感度之最佳時機，因此，本研究於 89 年象神颱風後踏勘園區聚落，以蒐集更具價值之資料，並將踏勘之災情，定出其地理位置，利用 ArcView 3.2 數化成一點圖層，並套疊各潛勢土石災害圖層，用以檢驗其正確性。

根據現場踏勘之結果，各集水區之植生良好。聚落最密集之地方在紗帽山周圍，即磺溪集水區中，由於該處係背風山谷，排水系統良好，颱風對其損傷不大，此次踏勘之結果發現該處並無明顯之災情發生。89 年象神颱風造成園區週邊土地許多災情，主要災情或較重大者均發生在緊鄰園區界線處外圍之民有地或租地。自東北方向沿著反時鐘方向繞至西南處之園區邊緣地帶都有規模大小不一、形態不同之崩塌或土石流出現，園區發生災害概述如下：

園區中受颱風影響而產生土石流之溪流有老梅溪（尖山湖村中），阿里磅溪，重光溪，楓樹湖溪，烘爐北溪，碧湖溪，菜公坑溪等，其中，

以北向老梅溪一處支流發生溪流型土石流淹沒產業道路，以及烘爐北溪一處崩塌型土石流衝入民房和東北向重光溪之溪流型土石流淹沒河谷出口處之重和村聚落和另一處崩塌型土石流沖毀產業道路和碧湖溪之災情最為嚴重。

阿里磅溪竹里一號橋上游河道有溪流型土石流發生之跡象，但是因為所有土砂仍然為河道所包容，故未發生任何災害。

楓樹湖溪集水區內並未發生危害聚落之災害；只是道路沿途多處之上邊坡崩塌，其崩落之土砂規模也不足以阻礙交通。

綜合以上災情及成大防災中心於民國 91 年所劃定之土石流潛勢溪流，整理如表 9，災害發生圖層套疊土石流潛勢溪流如圖 11。

## (三) 各模式實例驗證結果

將實地踏勘之資料套疊簡確工程地質調查評估法，其結果如分析表 9。

由分析表可知簡確工程地質調查評估法雖可大概預測土砂災害，略呈越高環境敏感度級序，越可能發生土砂災害之趨勢，但原本園區中

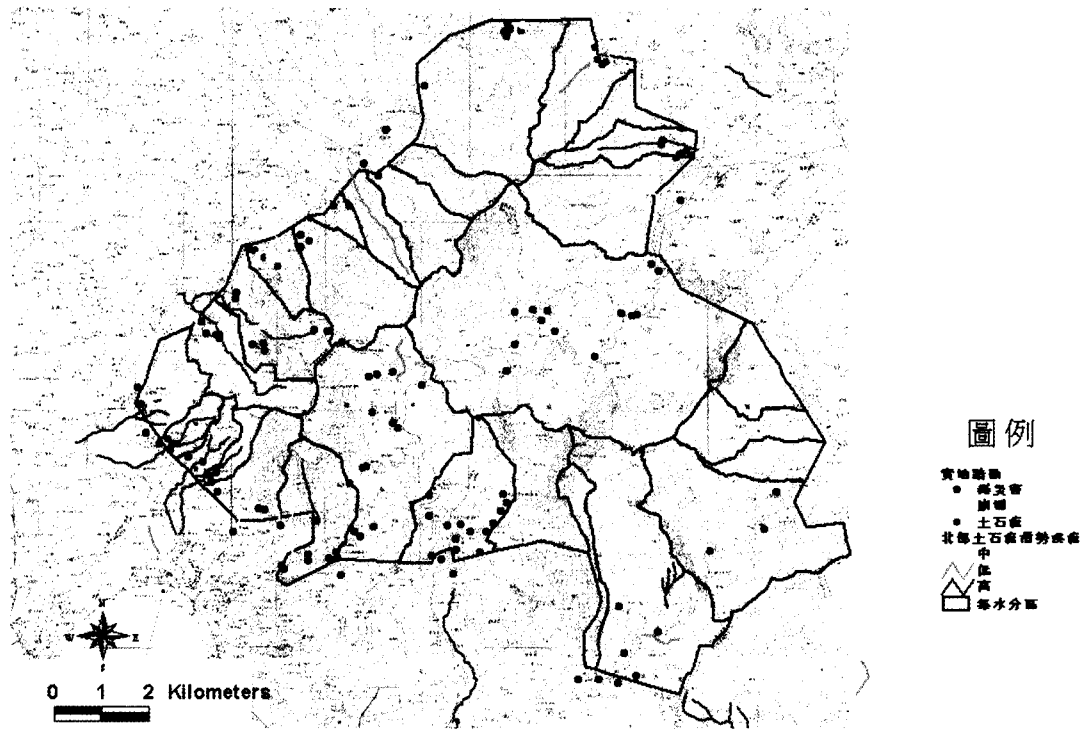


圖 11 災害套疊土石流潛勢溪流圖

表 9 實地災害套疊簡確工程地質調查評估法分析表

	極低	低	中	高	極高	總和
無災害	4 (4.55%)	15 (17.05%)	29 (32.95%)	26 (29.55%)	14 (15.91%)	88 (100%)
崩 塌	0 (0%)	0 (0%)	6 (25.00%)	13 (54.17%)	5 (20.83%)	24 (100%)
土石流	0 (0%)	3 (15.79%)	6 (31.58%)	4 (21.05%)	6 (31.58%)	19 (100%)

「極高」及「高」環境敏感度就佔了 73.45%，且土石流及崩塌等土砂災害，發生在「中」環境敏感度及「極高」環境敏感度區域之次數竟相當。發生最嚴重土石流之重和村其環境敏感度為「高」，但在重光溪上游道路發生大崩塌處為「低」；興福寮位於「中」環境敏感度，阿里磅溪河谷位於「低」敏感度上，故吾人可知，簡確工程地質調查評估法中雖有動態地形因子，將土地單元之坡面沖蝕度加入其評估指標中，但其卻未明確放入水文因子，使得其對評估以水流為主要作用力為主的土砂災害時，例如：土石流，準確性會較差，另外，其評估基本單位為土地單元，常常會有位於一溪流上、下游相鄰之土地單

元，其環境敏感度相差 2 個級序以上，這亦是其不合理處，土砂災害往往是由水所帶動，故每個土地單元之間皆會互相影響，而不是每個土地單元均質區互相獨立。

另外，在土石流潛勢溪流判定方面，根據表 10，吾人可知農委會所公佈之土石流潛勢溪流（即成大防災中心「土石流潛勢溪流調查計畫」）和實際災害發生之溪流仍有一段差距，尤其以民國 80~85 年第一次全國土石流危險溪流調查所劃定之準確度較差，在 10 條土石流潛勢溪流中，僅有 3 條發生，而且規模都不大，河道本身都能包容其土砂量，而未劃定之處共有 5 條溪流發生土石流，其中包括最嚴重之重光溪及碧

表 10 各土石流潛勢分析模式與實際災害比較表

集水區 編號	溪流名稱	成大防災中心全國土 石流危險溪流調查 (民國 80~85 年)	成大防災中心目前 「土石流潛勢溪流調 查計畫」	防災國家型科技計畫 辦公室「土石流危險 溪流之潛能分析」	象神颱風有 無發生土石 流災情
1	土地公嶺溪、老 梅溪左、右股	—	—	—	有
2	阿里磅溪	2 條	2 條 (中、低)	是 (中)	有
3	兩湖溪	—	—	是 (高)	—
4	重光溪	—	1 條 (高)	—	有
5	嵩山溪	—	—	—	—
6	北礮溪	—	1 條 (中)	—	—
7	貢寮溪	—	—	是 (低)	—
8	頭前溪	—	—	—	—
9	富士溪	—	—	—	—
10	瑪鍊溪	—	—	—	—
11	內雙溪	—	2 條 (高、低)	—	—
12	礁坑溪	—	—	—	—
13	外雙溪	—	—	—	—
14	松溪	—	—	是 (中)	—
15	南礮溪	2 條	2 條 (中、低)	—	—
16	行義溪	2 條	2 條 (高、中)	—	—
17	永春寮溪	—	1 條 (中)	—	—
18	水磨坑溪	—	1 條 (高)	—	—
19	貴子坑溪	1 條	1 條 (高)	是 (中)	—
20	碧湖溪	—	1 條 (高)	是 (高)	有
21	無名坑溝 (碧湖 溪之一支流)	—	1 條 (高)	是 (中)	—
22	楓樹湖溪	1 條	1 條 (高)	—	有
23	公司田溪	—	1 條 (高)	—	—
24	烘爐北溪	1 條	1 條 (中)	是 (中)	有
25	菜公坑溪	—	—	是 (高)	有
26	無名坑溝	—	—	是 (高)	—
27	八連溪右股	—	1 條 (低)	是 (高)	—
28	八連溪中股	—	—	是 (高)	—
29	八連溪左股	—	—	是 (中)	有

湖溪兩處。第二次劃定之土石流溪流，雖增加了不少潛勢溪流，但 1 號集水區中老梅溪，及 29 號集水區之八連溪左股目前還未被劃入。

若將防災國家型科技計畫辦公室「土石流危險溪流之潛能分析」與象神颱風實際災情一起比較 (如表 10)，會發現此模式在象神颱風發生之 8 條土石流溪流中，預測出 5 條，還有 3 條未劃

定，未劃定之 3 條包括了象神風災受災最嚴重的 4 號重光溪集水區，另外還有 1 號之老梅溪等，由於防災國家型科技計畫辦公室劃定土石流潛勢時並未加入保全對象及水文因子等指標，且其為針對第一次全國土石流危險溪流調查之資料來作為模式之根據，故應用在目前判斷土石流溪流危險等級時，會和實際狀況有所出入。

民國 90 年納莉颱風侵台，象神颱風與納莉颱風三站最大日降雨量平均為象神颱風 421mm、納莉颱風 400.8mm，故納莉颱風於園區附近之雨量約略等於象神颱風，而興福寮又再次爆發土石流，由此可知土石流之再發性甚高，而當時重和村因已實施初步之治理計畫，故減少土石災害之再發生機會，雖然納莉颱風園區中僅有興福寮受災，但老梅溪及八連溪左股之土石流再發性亦不可忽略。

## 五、結論

1. 比較各模式所使用之參數，以簡確工程地質調查評估法所需之「土壤厚度」參數較難有詳細資料可供蒐集，其評估基本單元一坡向、坡度、坡面複雜度三者之均質區，由於其劃定步驟複雜，亦較難以應用 GIS 軟體自動導出。
2. 本研究依簡確工程地質調查評估法全區有 40.83%位於極高環境敏感區，32.62%位於高敏感區，有 17.81%之建物位於環境敏感度極高處，但利用 89 年象神颱風災情檢討簡確工程地質調查評估法之土石災害預測準確率不佳，本研究探究其原因在於簡確工程地質調查評估法劃分環境敏感度「極高」、「高」大部分集中在較陡峭之山區，而聚落卻是散佈在較平坦或是坡度較平緩處，且以土地單元而不是以集水區做為敏感區之劃分單元，較難以反應水文因子對土石災害之影響，而其在評估模式中未放入水文因子，使得其對評估以水流為主要作用力為主的土石災害時，例如：土石流，準確性會較差。
3. 89 年象神颱風過境時，園區中以民國 80~85 年第一次全國土石流危險溪流調查所劃定之準確度較差，10 條土石流潛勢溪流中，僅有 3 條發生，而且規模都不大，河道本身都能容納其土砂量，而未劃定之處共有 5 條溪流發生土石流，其中包括最嚴重之重光溪及碧湖溪兩處。第二次劃定之土石流溪流，雖增加了不少潛勢溪流，但 1 號集水區中老梅溪，及 29 號集水區之八連溪左股目前還未被劃入。利用防災國家型科技計畫辦公室之「土石流危險溪流

之潛能分析」劃分研究區域中之土石流潛勢溪流，發現其預測準確率亦不佳，應用象神颱風後現地踏勘之結果發現其僅劃定出 5 條潛勢溪流，還有 3 條並未被預測出來，其中包括象神颱風受災最嚴重之重光溪。

4. 探究張教授之「簡確工程地質調查評估法」、成大防災中心之「土石流潛勢溪流調查計畫」及防災國家科技型辦公室之「土石流危險溪流之潛能分析」和實際狀況有所出入之原因，可能在於模式中皆未放入水文因子，而水文因子亦是發生土石流三要素中非常重要之因子。
5. 由民國 90 年納莉風災興福寮再度受災來看，土石流之再發性甚高，故老梅溪及八連溪左股目前雖尚未被劃為土石流潛勢溪流，但其再發性卻不可忽略。

## 參考文獻

1. 王鑫，李桂華（1984），"陽明山國家公園地質及地形景觀"，內政部營建署陽明山國家公園管理處。
2. 中華工程顧問公司（1996），"陽明山國家公園摺圖"，內政部營建署陽明山國家公園管理處。
3. 行政院農業委員會（2000），"水土保持技術規範"，行政院農業委員會。
4. 李乾朗（1988），"陽明山國家公園傳統聚落暨建築調查研究"，李乾朗古建築研究室。
5. 李麗玲（1994），"土地資源資料庫之建立與應用—以評估山坡地潛在災害為例"，碩士論文—國立臺灣大學地理學研究所。
6. 何春蓀（1994），"台灣地質概論"，經濟部中央地調所。
7. 林胤佐，王鑫（1997），"風景區潛在山崩評估系統之建立—以陽明山和觀音山為例"，碩士論文—國立臺灣大學地理學研究所。
8. 林峰田、藍國賓（1998），"陽明山國家公園一般管制區土地使用分區管制劃設原則探討之研究"，內政部營建署陽明山國家公園管理處。
9. 林美聆、洪鳳儀（2000），"土石流危險溪流

- 之潛能分析", 防災國家型科技計畫辦公室 88 年度成果報告。
10. 林信亨, 林美聆 (2000), "地理資訊系統應用於土石流危險溪流危險度判定之研究", 碩士論文—國立臺灣大學土木工程學研究所。
  11. 陳文恭、蔡清彥 (1984), "陽明山國家公園之氣候", 內政部營建署陽明山國家公園管理處。
  12. 張石角 (1989), "陽明山國家公園環境敏感區及潛在災害地區之調查研究", 內政部營建署陽明山國家公園管理處。
  13. 張三郎 (1998), "土砂災害之成因及其責任歸屬之探討", 環境教育季刊, 第 35 期, pp.25-30。
  14. 蔡佰祿 (1997), "陽明山國家公園簡介", 內政部營建署陽明山國家公園管理處。
  15. 劉哲欣, 范正成 (2000), "土石流潛在勢能及預警之研究", 碩士論文—國立臺灣大學農業工程學研究所。
  16. 謝兆申, 王明果 (1989), "台灣土壤", 國立中興大學土壤調查試驗中心。
  17. 謝正倫 (1993), "土石流預警系統之研究 (II)", 國立成功大學台南水工試驗所研究試驗報告第 139 號。
  18. 謝正倫 (2001), "桃芝颱風災後土石流災害潛勢調查分析", 國立成功大學防災研究中心。
  19. 謝正倫 (2002), "土石流潛勢溪流調查計畫", 國立成功大學防災研究中心。

收稿日期：民國 91 年 10 月 9 日

修正日期：民國 91 年 11 月 4 日

接受日期：民國 91 年 11 月 14 日