

修正型土石流潛勢溪流模式

Modified Debris-flow potential Rivers Model

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

本研究根據成大防災中心謝正倫教授所執行之「土石流潛勢溪流調查計畫」，利用在民國 89 年象神颱風後實地踏勘陽明山國家公園發生土石流災害之結果，檢討「土石流潛勢溪流調查計畫」劃定園區中土石流危險溪流之準確性，並實例操作檢討其判釋方法，調整各項因子之權重值，最後加入年平均降雨量這項水文因子，提出「修正型土石流潛勢溪流模式」。本研究亦利用象神颱風實地踏勘之資料來驗證「修正型土石流潛勢溪流模式」，結果發現修正後之模式較能將潛勢較高之溪流篩選出來，並較能預測出園區中發生土石流之野溪。

關鍵詞：土石流潛勢溪流，象神颱風，陽明山國家公園，水文因子。

ABSTRACT

This study is based on prof. Chejeng-Lun Shieh's study in investigating debris-flow potential rivers. Depending on the debris-flow hazard occurred in Yangming Shan National Park during Xangsane typhoon in year 2000, this study reviewed the accuracy of prof. Shieh's study, and re-executed the model presented by prof. Shieh in the park. Then this study adjusted the weight values of the factors, and added hydrological factor (average rainfall per year) in the model. Finally this study presented modified debris-flow potential rivers model. This modified model also was examined by debris-flow hazard in the park during Xangsane typhoon. The results of modified model are more capable of finding out higher potential debris-flow rivers in the the park than prof. Shieh's model.

Keywords: Debris-flow potential rivers, Xangsane typhoon, Yangming Shan National Park, Hydrological factor.

一、前言

由於台灣之地形、地質和人文特性，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，其中以成大防災中心謝正倫教授所執行之「土石流潛勢溪流調查計畫」為農委會水土保持局所採用，而第一次全國土石流危險溪流調查亦為成大防災中心所執行。

民國 89 年象神颱風為北台灣造成嚴重之災害，其中，大部分為山坡地之陽明山國家公園亦發生嚴重之土石流災情，但農委會所公佈之第一次全國土石流危險溪流調查對此區域土石流預測之結果不佳，而目前成大防災中心之「土石流潛勢溪流調查計畫」已完成北台灣土石流潛勢溪流之判定，故本研究利用在象神風災後實地踏勘園區發生土石流災害之結果，檢討「土石流潛勢溪流調查計畫」劃定園區中土石流潛勢溪流之準確性，並嘗試加入新的評分因子或調整其參數，提出一「修正型土石流潛勢溪流模式」，期使修正後之模式更能將潛勢較高之溪流篩選出來。

二、研究區域概況

本研究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內共有 4,486 棟建物，建物投影面積為 558,737.80m²（非樓地板面積），建物分佈之各行政區域如表 1，圖 2 為建物及道路分佈圖，由圖 2 可知大部分建物分佈於南區和東南區邊緣地帶，其餘建物則零星分佈在各集水區中。散布在園區內之道路有四級，78

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 ²)
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

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。

由於 89 年象神颱風和 90 年納莉颱風對北台灣造成重大災害，因此本研究亦蒐集園區附近之三和、金山氣象站之降雨資料，以作為竹子湖雨量站之參考，各氣象站之基本資料如表 2，其分佈位置如圖 3。

本研究亦由中央氣象局網站蒐集竹子湖近 6 年（民國 86 年 1 月～91 年 5 月）之雨量資料得知，竹子湖氣象站近 6 年之年平均雨量為 4,523.5mm，如表 3。其近 6 年一日、二日、三日、月、年最大降雨則如表 4 所示。

由中央氣象局所公佈之颱風路徑，歷年颱風直接侵襲北台灣之機率達 27%，而民國 89 年象神颱風及 90 年納莉颱風侵襲北台灣時，園區內亦發生土砂災害，故本研究蒐集象神及納莉颱風侵台期間金山、三和及竹子湖氣象站之逐時降雨量資料，以瞭解災害發生原因。民國 89 年象神颱風於 11 月 1 日侵台，雖然該颱風並未登陸，但卻為台灣北部帶來歷年罕見之豪雨，民國 89 年 10 月 29 日至 11 月 2 日竹子湖、三和及金山等氣象站五日總雨量分別為 916mm、942.5 mm 及 677.5mm；納莉颱風於 9 月 17、18 日侵台，於台北縣三貂角至宜蘭縣頭城一帶登陸，直撲北台灣，其所挾帶之豪雨量並不亞於象神颱風，民國 90 年 9 月 16 日至 18 日納莉颱風竹子湖、三和及金山等氣象站三日總雨量分別為 1270.5mm、607 mm 及 460.5mm。

表 2 各氣象站基本資料表

測站名稱	站號	經度		海拔 (m)	測站位址	設站 年月	所屬機關	資料類型
		緯度						
三和 氣象站	C0A93	121°35'09"	E	200	台北縣 金山鄉	1996.01	中央 氣象局	降雨量、氣溫、風速、 風向
		25°14'12"	N					
金山 氣象站	C0A94	121°38'08"	E	135	台北縣 金山鄉	1996.01	中央 氣象局	降雨量、氣溫、風速、 風向
		25°13'31"	N					
竹子湖 氣象站	46693	121°32'10.58"	E	607	台北市	1937	中央 氣象局	降雨量、氣溫、風速、 風向
		25°09'53.95"	N					
鞍部 氣象站	46691	121°31'12.66"	E	826	台北市	1937	中央 氣象局	降雨量、氣溫、風速、 風向
		25°11'11.45"	N					

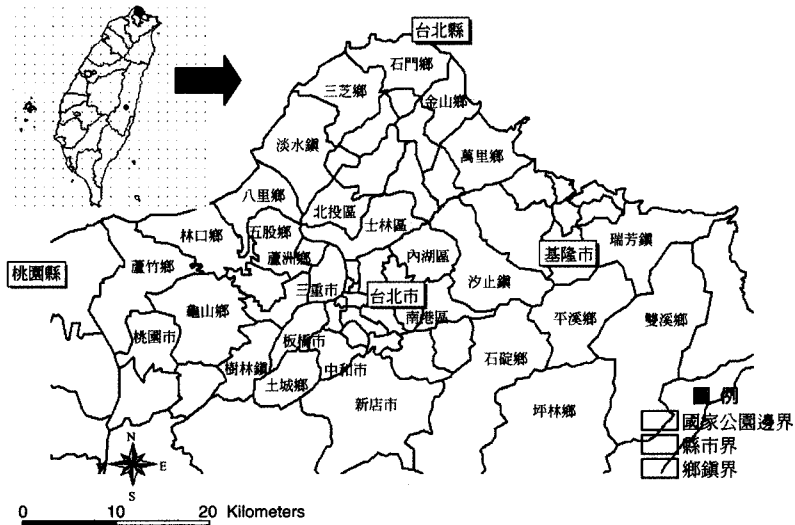


圖 1 園區地理位置圖

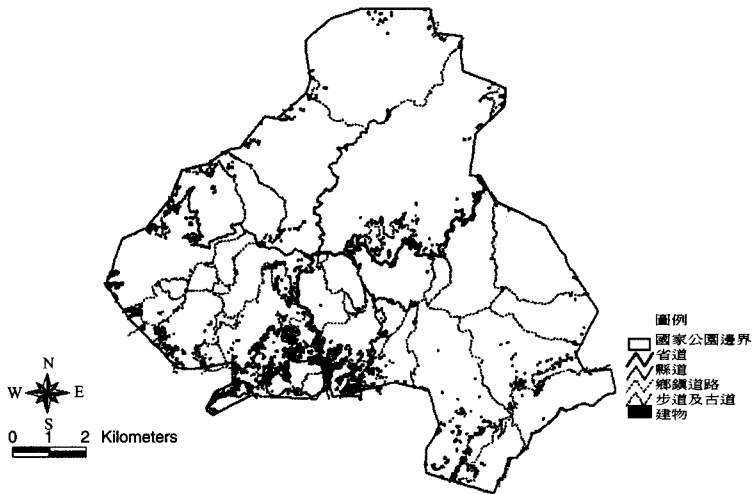


圖 2 建物及道路分佈圖

表 3 竹子湖氣象站 6 年逐月降雨量(mm) (民國 86 年 1 月~91 年 5 月)

年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
86	159.9	268.9	147.1	85.0	310.0	714.8	143.6	920.1	259.7	202.7	90.8	242.7	3545.3
87	189.4	439.8	221.0	257.8	320.3	262.4	188.6	207.3	505.9	2112.6	481.2	642.5	5828.8
88	192.5	74.7	235.2	66.3	373.2	334.6	135.0	148.6	249.7	841.4	317.2	527.0	3495.4
89	316.8	548.0	166.5	398.6	43.0	299.2	222.7	498.5	311.2	779.5	1153.2	501.0	5238.2
90	224.0	185.0	155.8	164.8	335.5	61.3	206.0	98.5	2976.0	339.5	127.0	202.0	5075.4
91	90.0	83.0	191.0	26.1	107.0	—	—	—	—	—	—	—	—
平均	195.4	266.6	186.1	166.4	248.2	334.5	179.2	374.6	860.5	855.1	433.9	423.0	4523.5

表 4 竹子湖氣象站近 6 年一日、二日、三日、月、年最大降雨

	近年一日 最大降雨 (mm)	近年二日 最大降雨 (mm)	近年三日 最大降雨 (mm)	近年月最 大降雨 (mm)	近年年最 大降雨 (mm)	近年年平 均降雨 (mm)
竹子湖氣象站	685	1024.5	1270.5	2976	5828.8	4523.5

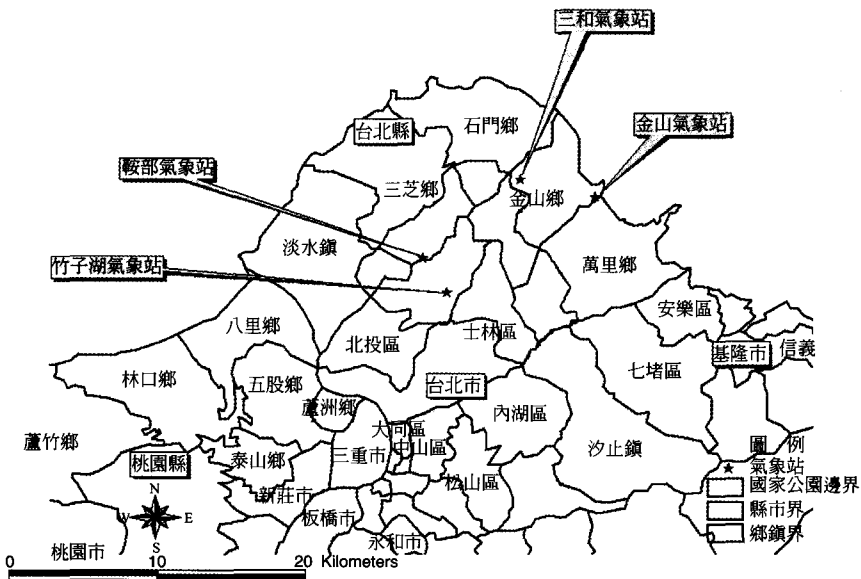


圖 3 各氣象站分佈位置圖

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。

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，河流呈放射狀分佈，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、

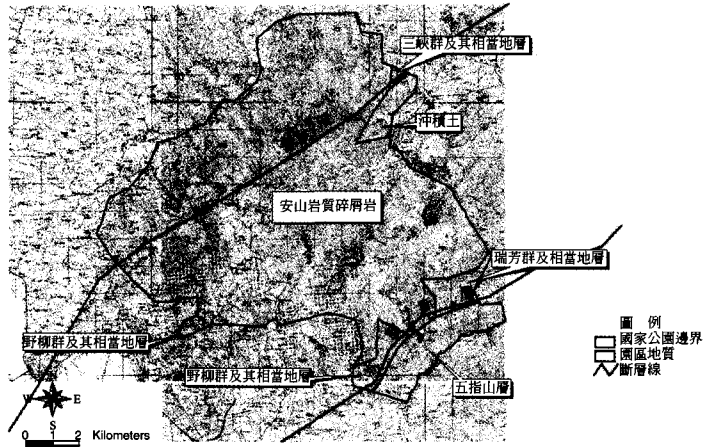


圖 4 園區地質分佈圖

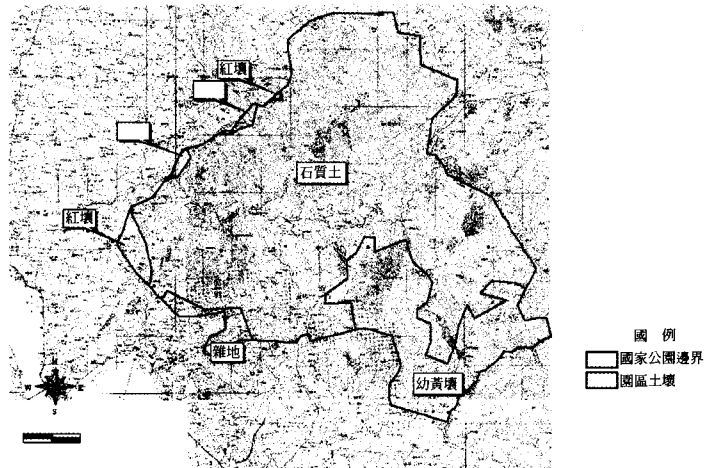


圖 5 園區土壤分佈圖

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崁腳斷層通過，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佈。園區地質分佈如圖 4。

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。園區土壤分佈如圖 5。

三、前人研究

1. 坡地社區工程地質調查與探勘

中央地調所於民國 68 年起進行之「坡地社區工程地質調查與探勘」，調查之內容包括地質調查、工程地質調查及工程地質試驗等三大項。此計畫完成之成果圖分別為坡度分析圖、坡地社區開發建議圖及地質圖等三種，其所評估之因子共有坡度、構造、環境、岩性及地層等五項地文因子，其內容較偏重坡地社區之開發。

2. 台灣省重要都會區環境地質資料庫

工業技術研究院能資所能資所之研究主題為「台灣省重要都會區環境地質資料庫」，其成果圖為環境地質圖、山崩潛感圖及土地利用潛力圖等三種，每一種圖均有多個評估參數，由坡度、七種地質災害種類及斷層計九項評估參數形成環境地質圖；依坡度、基岩性質、新舊崩塌地、崩塌堆積、河岸侵蝕、向源侵蝕、表層沖蝕、廢棄土石及人為填土等七項評估參數形成山崩潛感圖；依坡度、地盤下陷、基礎沉陷、土壤侵蝕、及邊坡破壞等五項評估參數形成土地利用潛力圖，且其中三個評估參數又再分別由不同參數組合而成。由以上可知能資所之調查和製圖系統十分複雜，應用難度較高。

3. 簡確工程地質調查評估法

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，完成之成果圖有工程環境地質圖、潛在自然災害分佈圖、土地利用潛力分佈圖等。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，此法評估土地單元土砂災害潛勢指標稱為環境風險率，環境風險率為「水土保持技術規範」劃定特定水土保持區之一重要指標。

4. 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。此計畫首先利用坡度及集水面積等因子，室內判釋一溪流是否為土石流潛勢溪流，若是，則再利用有效集水面積、集水區內岩體之岩性、通過集水區內之斷層長度與總面積之比值及崩塌面積與總面積之比值等四項因子推求土石流發生度評估指標，並利用土石流淤積長度所涵蓋之房屋、農田及道路之數量來推求保全對象評估指標，最後將土石流發生度評估指標乘上保全對象危害度評估指標即可得出土石流潛勢溪流之潛勢等級值，此法目前為山坡地土砂災害主管機關—水土保持局所採用，評估土石流潛勢所需利用之參數全部皆為地文因子。

5. 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，將全省分為五個地質分區，分別利用費雪區別分析，加入不同之地文因子，推求各土石流潛勢溪流之潛勢等級，此法和上述各評估法一樣，所用參數皆為地文因子，並未加入水文因子。另外，此評估法利用第一次全國土石流危險溪流調查為母群體，由於年代較為久遠，且目前又新增多條土石流潛勢溪流，故其母群體之正確性，仍有待商榷。

6. 土石流危險區

「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」，此處所定義之土石流危險區與成大謝正倫教授所用之池谷 浩經驗公式不同。

四、研究方法

由於目前山坡地土砂災害主管機關農委會水土保持局，採用成大防災中心謝正倫教授所執行之「土石流潛勢溪流調查計畫」做為判定土石流潛勢溪流之依據，故本研究主要針對此模式進行探討，最後根據探討之結論提出一修正型土石流潛勢溪流模式，研究方法分別如下所述：

1. 檢討判釋工具

成大謝正倫教授將溪流地形縱剖面坡度大於 15 度以上之區域稱之為土石流發生區，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，因此謝教授所提出之土石流潛勢溪流判定標準是以溪床坡度 15 度為集水點之集水面積（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。室內土石流潛勢溪流之判釋工具謝教授建議以 1/25000 之地形圖為主，航照圖及衛星照片為輔。

為探討謝教授建議之室內判釋工具之適用性與準確性，本研究利用土石流發生段之指標—溪床坡度 15 度點、溢流段—溪床坡度 10 度點及淤積終點—溪床坡度 2 度點，分別算出上述坡度下，1/25000 地形圖兩條等高線之間距，並以是否容易判別坡度 15 度和坡度 10 度兩條等高線間距之差別，做為檢討以 1/25000 地形圖做為判釋工具是否有精度過小之虞，並利用相同之方法檢討 1/5000 及 1/1000 地形圖。1/25000 地形圖上各坡度等高線之間距如下式：

$$X_{15^\circ} = \frac{H_{1/25000}}{\tan 15^\circ} \quad X_{10^\circ} = \frac{H_{1/25000}}{\tan 10^\circ}$$

$$X_{2^\circ} = \frac{H_{1/25000}}{\tan 2^\circ} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中， $H_{1/25000}$ 為 1/25000 地形圖兩條等高線高差， X_{15} 、 X_{10} 及 X_2 為坡度 15、10 及 2 度相鄰兩條等高線間距。

2. 檢討並調整原模式各因子之權重值

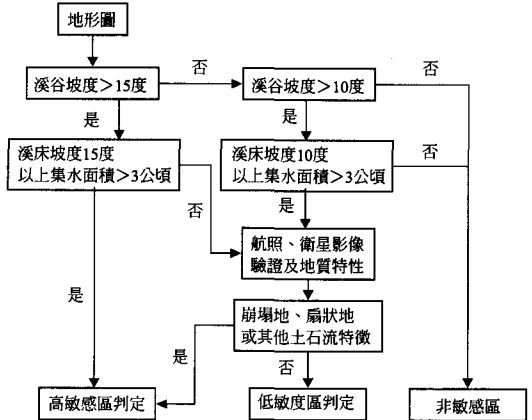


圖 6 土石流潛勢溪流室內判釋流程（資料來源：「土石流潛勢溪流調查計畫」，民國 91 年）

成大防災中心「土石流潛勢溪流調查計畫」將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 5）及保全對象危害度評估指標（權重值如表 6），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：

$$\log(L) = 0.42 \times \log(V \times \tan \theta_d) + 0.935 \dots(2)$$

$$V = 120,418A^{0.56} \dots\dots\dots(3)$$

式中，L：淤積長度(m)； V：土砂流出量(m³)；
 θ_d ：下游坡度(度)；A：集水區總面積(Km²)。

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潛勢等級值，再依潛勢等級值 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）三個危險溪流等級。

由於水文因子亦為土石流發生要素之一，故本研究主要根據成大防災中心所提出土石流發

生度指標及保全對象危害度等指標，再加入年平均降雨量這項水文因子，最後再調整各因子間之權重值。由表 5 及表 6，原模式各項評估指標之判斷基準間距太大，易造成評分過高或過低，向兩端集中之現象，本研究根據其指標嘗試增加判斷基準，減少給分間距，最後以實例驗證模式修正後之正確性。

由於本研究欲增加年平均降雨量此項水文因子，故必須減少其他項目之權重值，增加至此項，綜觀其他因子，發現「集水區內岩體之岩性」及「通過集水區內之斷層長度與總面積之比值」此兩項因子與年平均降雨量獨立性較高，故並不改變此二因子之權重，轉而減少其餘兩項因子之權重。

另外，由於「水土保持技術規範」第三百十三條第三項對土石流危險區有明確之規定，故本研究並不利用池谷 浩公式來推估保全對象危害度評估指標，而是利用「水土保持技術規範」所規定之土石流危險區中之保全對象數量以推估之。至於潛勢等級值「高」、「中」及「低」之範圍則仍沿用謝教授所提出者。

3. 建立園區 GIS 資料庫

由前人研究可知，本研究欲應用之土石流潛勢溪流模式需地文、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 12m×12m 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，以找出各溪流之坡度，並利用套疊圖層之方法，進行分析研究。由於園區範圍甚為廣大，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楊凱鈞、黃宏斌(2002)之成果。其劃分成果如圖 7 集水區編號圖，各集水區基本資料如表 7。

表 5 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 ₁₅)	A ₁₅ >50 公頃	W ₁ =50%
	15<A ₁₅ ≤50 公頃	W ₁ =30%
	A ₁₅ ≤15 公頃	W ₁ =15%
集水區內岩體之岩性	廣域變質岩	W ₂ =10%
	古第三紀亞變質岩 (硬頁岩及板岩)	W ₂ =6%
	新第三紀沈積岩	W ₂ =3%
通過集水區內之斷層長度與總面積之比值 (L)	L>1.5	W ₃ =10%
	0<L≤1.5	W ₃ =6%
	L=0	W ₃ =3%
崩塌面積與總面積之比值為 (As)	As≥0.016	W ₄ =30%
	0.016>As≥0.0055	W ₄ =20%
	As<0.0055	W ₄ =10%

表 6 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 ₁ =70%
	5-15 戶	P ₁ =50%
	5 戶以下	P ₁ =30%
重要公路、橋樑、道路	有	P ₂ =20%
	無	P ₂ =0%
農田、果園	有	P ₃ =10%
	無	P ₃ =0%

4. 實例驗證

為比較修正後模式之正確性，本研究利用民國 89 年發生之象神颱風造成在園區中之土石流災害，用以驗證修正後模式與原模式之準確性。

五、結果與討論

1. 土石流潛勢溪流調查計畫之檢討

成大防災中心建議以 1/25000 之地形圖為主，航照圖及衛星照片為輔做為土石流潛勢溪流之判釋工具，但其指標為溪床坡度 15 度以上之

表 7 各集水區之基本資料(資料來源：楊凱鈞、黃宏斌，農工學報，第 48 卷第 4 期，民國 91 年)

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 (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	0.050666	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	北磺溪	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	南磺溪	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

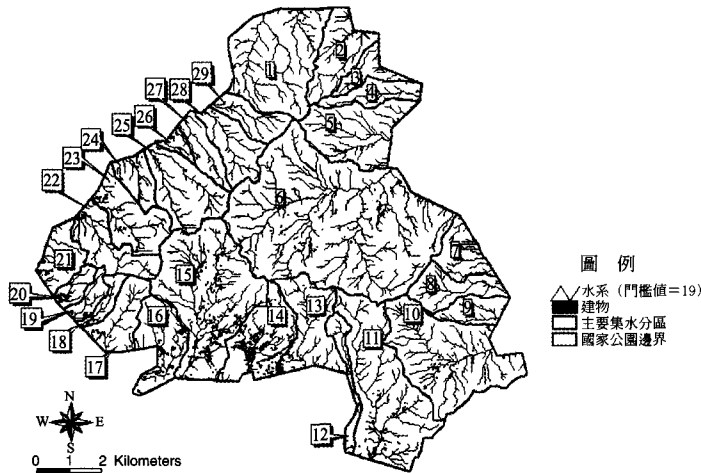


圖 7 集水區分區圖(資料來源：楊凱鈞、黃宏斌，農工學報，第 48 卷第 4 期，民國 91 年)

表 8 各比例尺所需圖幅及判釋難易度

	坡度 15 度相鄰兩條等高線相距 (X_{15}) (cm)	坡度 10 度相鄰兩條等高線相距 (X_{10}) (cm)	坡度 2 度相鄰兩條等高線相距 (X_2) (cm)	$X_{10}-X_{15}$ (cm)	圖面上 3 公頃之面積 (cm ²)	所需圖幅
1/25000	0.149	0.227	1.145	0.078	0.693	1
1/5000	0.373	0.567	2.864	0.194	3.464	6
1/1000	0.373	0.567	2.864	0.194	17.321	32

集水面積 3 公頃即為土石流潛勢溪流，但在 1/25000 地形圖中，實際面積 3 公頃，在圖面上僅為邊長 0.693 公分之正方形網格，實際判釋使用上必會遇到若等高線稍有彎曲，稍有溪谷之形狀，吾人就需檢討其坡度，或者易於忽略可能之土石流潛勢溪流。再者，1/25000 之地形圖肉眼亦甚難判定溪床坡度。

根據式(3)，1/25000 地形圖兩條等高線高差 ($H_{1/25000}$) 為 10m，故坡度 15 度相鄰兩條等高線間相距 (X_{15}) 實際上為 37.32m，圖面上為 0.149cm；坡度 10 度相鄰兩條等高線間相距 (X_{10}) 實際上為 56.71m，圖面上為 0.227cm；坡度 2 度相鄰兩條等高線間相距 (X_2) 實際上為 286.36m，圖面上為 1.145cm，故溪床坡度 10 度及 15 度在 1/25000 之地形圖之判定差距僅為 0.078cm，肉眼已甚難辨識。若遇到圖面較為複雜，等高線不明顯狀況時，則更難判斷。1/5000 地形圖兩條等高線間距 ($H_{1/5000}$) 為 5m、1/1000 兩條等高線間距 ($H_{1/1000}$) 為 1m，故做為判釋工具，精度較高，但所需圖幅將增加，使得應用及蒐集資料之困難度增加不少，以園區 15 號集水區為例，1/25000，1/5000 及 1/1000 所需圖幅及判釋難易度如表 8。

由上表可知，運用 1/5000 及 1/1000 之地形圖於坡度之判釋上判釋難易度相當，不過 1/1000 地形圖精度較高，較易判釋出微地形中之小坑溝，但全區若要用 1/5000 及 1/1000 地形圖以肉眼加以判釋，資料處理上甚為費時，故本研究應用 12m×12m DTM 自動找出溪床坡度 15 度以上且其集水面積大於 3 公頃之河系，以免漏判，再配合 1/1000 地形圖判釋，本研究在全園區可找出 48 條土石流潛勢溪流。

由於目前水保局已利用謝教授所提出之模式完成台灣北部之潛勢溪流調查，本研究選擇具

代表性之集水區進行檢討，以探討其劃分之正確性。依各集水區之面積和保全對象做選擇之依據，大集水區中選擇 15 號南磺溪集水區，該集水區為園區內 29 個集水區中第二大者，但保全對象最多者；另外兩個則是在象神颱風時發生嚴重災害之中、小型集水區，為 4 號重光溪和 20 號碧湖溪集水區。

15 號南磺溪集水區於民國 80~85 年第一次全國土石流危險溪流調查時，已被畫出 2 條土石流潛勢溪流。921 地震後，此集水區並未新增加土石流潛勢溪流，僅將原有 2 條土石流潛勢溪流給定其潛勢等級值為「低」及「中」潛勢，本研究判釋此集水區之潛勢溪流共 14 條，包含水保局劃定 2 條，另外又增加了 12 條。

4 號重光溪集水區於民國 80~85 年第一次全國土石流危險溪流調查時並未劃定土石流潛勢溪流，雖然當初劃定條件為有效集水面積大於 10 公頃，但依此條件此溪依然應被劃定為土石流潛勢溪流，由此可知重光溪可能因判釋工具精度不足，造成漏判。象神風災後，此集水區發生嚴重之土石流災害，水保局即將重光溪劃為「高」潛勢土石流潛勢溪流，本研究判釋此集水區之潛勢溪流共 1 條，即目前水保局劃定之重光溪。

20 號碧湖溪集水區集水區於民國 80~85 年第一次全國土石流危險溪流調查時亦未劃定土石流潛勢溪流，但依有效集水面積大於 10 公頃之條件此溪亦應被劃定為土石流潛勢溪流，象神風災後，此集水區發生嚴重之土石流災害，水保局即將碧湖溪劃為「高」潛勢土石流潛勢溪流，本研究判釋此集水區之潛勢溪流共 1 條。

由各集水區 (15、4、20 號集水區) 潛勢溪流判釋表 (如表 9) 可知，本研究所試做之潛勢溪流等級和農委會公佈之潛勢等級，僅潛勢溪流

表 9 各集水區 (15、4、20 號集水區) 潛勢溪流判釋表

潛勢溪流編號	潛勢溪流名稱	可能溢流處	有效集水面積 (ha)	岩性	斷層長度 (m)	保全對象	土砂流出量 (m ³)	下游坡度 (度)	淤積長度 (池谷浩公式) (m)	淤積長度 (「水土保持技術規範」)	等級值
15-1	無名坑溝	湖底	17.077	新第三紀沉積岩	0	15 戶以上	44755	12.376	47.50	237.22	中
15-2	無名坑溝	陽金公路	43.6	新第三紀沉積岩	0	5 戶以下, 公路	75649	4.57	38.75	無 (註)	中
15-3	無名坑溝	陽金公路	20.18	新第三紀沉積岩	0	10~15 戶, 公路	49141.37	8.83	42.73	無 (註)	中
15-4	無名坑溝	湖田國小附近	8.89	新第三紀沉積岩	0	15 戶以上, 公路	31051	5.32	28.43	無 (註)	中
15-5	無名坑溝	湖田國小附近	7.55	新第三紀沉積岩	0	15 戶以上, 公路	28336	9.94	35.67	91.74	中
15-6	無名坑溝	竹子湖	5.25	新第三紀沉積岩	0	5 戶以下, 公路	23120	9.13	31.58	無 (註)	低
15-7	竹子湖溪右股	大屯橋	10.59	新第三紀沉積岩	0	5 戶以下, 公路	34248	7.41	34.08	462.25	低
15-8	無名坑溝	頂湖	19.17	新第三紀沉積岩	0	5 戶以下	47749	1.6	20.54	73.74	低
15-9	竹子湖溪左股	頂湖	36.64	新第三紀沉積岩	0	5 戶以下	68629	3.3	32.43	139.73	低
15-10	無名坑溝	水尾	22.84	新第三紀沉積岩	0	15 戶以上	52670	8.88	44.10	327.74	中
15-11	無名坑溝	水尾	30.96	新第三紀沉積岩	402.52	15 戶以上	62451	10.82	51.56	541.58	中
15-12	無名坑溝	水尾	11.8	新第三紀沉積岩	0	5 戶以下	36387	9.48	38.83	284.94	低
15-13	泉源溪	雷隱橋	59.73	新第三紀沉積岩	0	5 戶以下	90232	8.39	53.97	無 (註)	低
15-14	無名坑溝	雷隱橋	34.67	新第三紀沉積岩	0	5 戶以下	66537	8.39	47.49	無 (註)	低
4-1	重光溪	環湖二橋	119.14	新第三紀沉積岩	922.54 (m)	15 戶以上	132826.2	5.39	52.62447	1037.95	高
20-1	碧湖溪	過水路面	75.17	新第三紀沉積岩	597.39 (m)	15 戶以上	102630.5	9.2	59.25198	1092.71	高

註：由於這些溪流位於溢流點處有保全對象，且其下游坡度又變陡，並無法找出溪床坡度 2 度點，故並不列出其扇狀堆積區

編號 15-9 不一樣，農委會公佈之潛勢等級為「中」，本研究所計算之潛勢等級為「低」，其餘皆同。另外在 15 號集水區中，本研究多劃定 12 條土石流潛勢溪流，由此可知，在此模式中利用 1/25000 地形圖作為主要判釋工具，容易造成潛勢溪流漏判。

在此三集水區中之土石流扇狀淤積長度應用池谷浩公式所算出之值，小於利用「水土保

持技術規範」土石流危險區扇狀地劃定標準所得出之淤積長度值，故利用溪床坡度 10 度到 2 度之距離為半徑所劃定之堆積區較為保守，可是並非每條潛勢溪流之溢流口都有完整之堆積腹地，故不是每條潛勢溪流之堆積區都能找出坡度為 2 度之點，此為其應用困難之處，且溪床坡度 10 度到 2 度之扇狀範圍，有時會包含到土石流根本淤積不到之山稜線或小山丘區域，例如圖 8

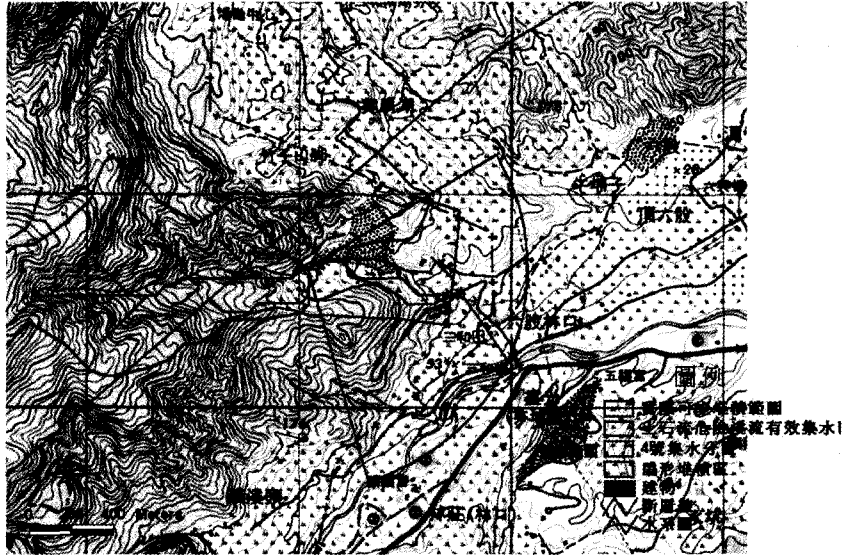


圖 8 重光溪（4 號）集水區潛勢溪流判釋圖

重光溪（4 號）集水區潛勢溪流判釋圖中土石流危險溪流之扇狀淤積範圍皆包含到山丘及稜線，故在應用「水土保持技術規範」劃定土石流危險區之扇狀淤積區時，需檢討當地地形，找出實際土石可能淤積處所。

2. 修正型土石流潛勢溪流模式

本研究嘗試放入水文因子，利用經濟部水利署在網站上所公佈之台灣地區年等雨量圖，將其數化定位，以瞭解研究區域中之年平均降雨量分佈。由於目前水土保持局土石流潛勢溪流之判定亦是利用成大防災中心第二次調查結果，故本研究根據成大防災中心所訂定之四種指標（有效集水面積、集水區岩性、集水區內之斷層長度與面積比值、溪流上游之崩塌面積與面積比值）再加上水文因子（平均年雨量）以完成修正型土石流潛勢溪流模式，而各指標之給分亦將調整。

由實例試做發現成大防災中心訂定有效集水面積大於 3 公頃之標準，相當保守，故本研究亦將沿用此一標準，逐一調查 29 個集水區中可能之潛勢溪流；為免遺漏，本研究並不用 1/25000 地形圖為主要判釋工具，而是應用 DTM 自動找出溪床坡度 15 度以上且其集水面積大於 3 公頃之河系，並配合 1/1000 地形圖及現場勘察判釋，

另外，為節省資料處理時間，本研究並未將無保全對象之溪流納入調查。

(1) 有效集水面積— W_1

由於謝正倫教授所提出之基準其權重值差距太大，造成權重值判斷上之困難，例如：一集水區有效集水面積（ A_{15} ）為 50 公頃，其雖然僅差 1 公頃即達 51 公頃，但其權重值卻和有效集水面積 16 公頃一樣，皆為 30%，而有效集水面積 51 公頃集水區權重值卻有 50%，是故相差 1 公頃，權重卻相差了 20%，為改善原有模式之不合理，本研究修正如下：

a、 $A_{15} \geq 40$ 公頃， $W_1 = 40\%$ 。

b、 $3 \leq A_{15} < 40$ 公頃， $W_1 = 3 \sim 39\%$ ，即 A_{15} 多 1 公頃，多 1% 之得分。

(2) 集水區岩性— W_2 、集水區斷層長度— W_3

由於此二指標之權重並不大，且其得分間距相差亦不會太大，故本研究目前並不改變其權重值。

(3) 溪流上游之崩塌面積— W_4

為了加入水文因子及合理分配此一指標各得分之間距，故本研究亦修正此項參數之權重值。本研究修正如下：

a、 $A_5 \geq 0.016$ ， $W_4 = 20\%$

b、 $0.016 > A_5 \geq 0.012$ ， $W_4 = 16\%$

c、 $0.012 > A_s \geq 0.008$ ， $W_4 = 12\%$

d、 $0.008 > A_s \geq 0.004$ ， $W_4 = 8\%$

e、 $A_s < 0.004$ ， $W_4 = 4\%$

(4) 年平均降雨量— W_5

將本研究區域套疊台灣地區年等雨量圖，找出各集水區之平均年降雨量(P_y)，若一集水區有兩條以上等雨量線經過，則利用面積加權法，找出一集水區之平均年降雨量。本研究訂定如下：

a、 $P_y \geq 5500\text{mm}$ ， $W_5 = 20\%$

b、 $5500\text{mm} > P_y \geq 5000$ ， $W_5 = 18\%$

c、 $5000\text{mm} > P_y \geq 4500$ ， $W_5 = 16\%$

d、 $4500\text{mm} > P_y \geq 4000$ ， $W_5 = 14\%$

e、 $4000\text{mm} > P_y \geq 3500$ ， $W_5 = 12\%$

f、 $3500\text{mm} > P_y \geq 3000$ ， $W_5 = 10\%$

g、 $3000\text{mm} > P_y \geq 2500$ ， $W_5 = 8\%$

h、 $2500\text{mm} > P_y \geq 2000$ ， $W_5 = 6\%$

i、 $P_y < 2000\text{mm}$ ， $W_5 = 4\%$

(5) 保全對象危害度評估指標— P_i

將各潛勢溪流套疊 1/1000 地形圖及園區建物及道路圖，先將其溢流點找出(10 度點)，再根據「水土保持技術規範」土石流危險區扇狀地劃定標準所得出之淤積長度劃出扇狀淤積區，配合 1/1000 地形圖判釋及實地踏勘結果找出在此扇狀區中土石可能淤積範圍，在此範圍中之建物、道路或農田即為此潛勢溪流之保全對象。

原標準之權重值分級的間距太大，若保全對象之戶數有 14 戶，雖其只與 15 戶差 1 戶，但其評估指標即相差 20%，而 5 戶到 14 戶之權重值則皆為 50%，另外，原先 5 戶以下權重值為 30%，0 戶之權重值亦為 30%，上述為此指標不合理之處，故本研究將 0 戶權重值改為 0%，其他調整如表 10。

(6) 土石流潛勢溪流優先處理工程順序評估

土石流潛勢溪流優先處理工程順序，即其潛勢度判定同謝正倫教授之所訂定之基準，計算方法如下：將有效集水面積、集水區內岩體之岩性、通過集水區內之斷層長度、溪流上游之崩塌面積及集水區年平均雨量等 5 個評估指標加總 ($W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5$) 即為土石流發生度，再將發生度乘上保全對象危害度評估指標加總

表 10 本研究修正之保全對象危害度指標權重值表

保全危害度指標權重值		
評估指標	判斷基準	權重值 (P_i)
住戶、學校、旅舍、公共建築 (有民眾居住者)	15 戶以上	$P_1 = 60\%$
	1~14 戶	$P_1 = 4 \sim 56\%$
	0 戶	$P_1 = 0\%$
重要公路、橋樑、道路	有	$P_2 = 25\%$
	無	$P_2 = 0\%$
農田、果園	有	$P_3 = 15\%$
	無	$P_3 = 0\%$

註：每多一戶，多 4% 之得分

($P_1 + P_2 + P_3$) (表 11 為土石流發生度指標權重值表)，即可得各土石流潛勢溪流之潛勢等級值，謝教授再將潛勢等級值 20% 以下劃分為「低」潛勢溪流、20%~50% 劃分為「中」潛勢溪流、50% 以上劃分為「高」潛勢溪流三個潛勢溪流等級。

若由上述劃分方法，吾人會將潛勢等級值為 21% 及 49% 之溪流，皆劃分為「中」潛勢溪流，但其潛勢值卻相差近 30%，故原標準之分級間距太大，造成使用者不易判斷不同溪流之土石流潛勢等級。鑑於以上原因，本研究將潛勢等級值 12.5% 以下者劃分為「低」潛勢溪流、12.5%~25% 劃分為「中低」潛勢溪流、25%~37.5% 劃分為「中」潛勢溪流、37.5%~50% 劃分為「中高」潛勢溪流、50% 以上劃分為「高」潛勢溪流等五個潛勢溪流等級。

利用上述之模式，本研究找出園區中之所有可能之潛勢溪流，共 48 條，其分佈如圖 9，分別判定其潛勢後，整理如表 12。其中判定為「高」潛勢土石流潛勢溪流僅有重光溪 1 條，「中高」潛勢土石流潛勢溪流共 2 條，分別為水磨坑溪及碧湖溪，「中」、「中低」及「低」潛勢土石流潛勢溪流則分別為 10、13 及 22 條。

由圖 9 可知，潛勢較高之溪流分佈在園區東北及西南角，探究其原因，園區東半部之雨量較大，潛勢較高，而西半部雖然雨量相對較少，但由於其集水區坡度較陡，有效集水面積較大，故潛勢溪流之潛勢亦高，另外在 15 號集水區，由於保全對象甚多，故被判定為潛勢溪流之坑溝亦多，有 5 條「中」潛勢、3 條「中低」潛勢及 6

表 11 本研究修正之土石流發生度指標權重值表

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_{15})	$A_{15} \geq 40$ 公頃	$W_1=40\%$
	$3 \leq A_{15} < 40$ 公頃	$W_1=3\sim 39\%$ _{0.1}
集水區內岩體之岩性	廣域變質岩	$W_2=10\%$
	古第三紀亞變質岩 (硬頁岩及板岩)	$W_2=6\%$
	新第三紀沈積岩	$W_2=3\%$
通過集水區內之斷層長度與總面積之 比值 (L)	$L > 1.5$	$W_3=10\%$
	$0 < L \leq 1.5$	$W_3=6\%$
	$L = 0$	$W_3=3\%$
崩塌面積與總面積之比值為 (A_s)	$A_s \geq 0.016$	$W_4=20\%$
	$0.016 > A_s \geq 0.012$	$W_4=16\%$
	$0.012 > A_s \geq 0.008$	$W_4=12\%$
	$0.008 > A_s \geq 0.004$	$W_4=8\%$
	$A_s < 0.004$	$W_4=4\%$
年平均降雨量	$P_y \geq 5500\text{mm}$	$W_5=20\%$
	$5500 \text{ mm} > P_y \geq 5000$	$W_5=18\%$
	$5000 \text{ mm} > P_y \geq 4500$	$W_5=16\%$
	$4500 \text{ mm} > P_y \geq 4000$	$W_5=14\%$
	$4000 \text{ mm} > P_y \geq 3500$	$W_5=12\%$
	$3500 \text{ mm} > P_y \geq 3000$	$W_5=10\%$
	$3000 \text{ mm} > P_y \geq 2500$	$W_5=8\%$
	$2500 \text{ mm} > P_y \geq 2000$	$W_5=6\%$
	$P_y < 2000 \text{ mm}$	$W_5=4\%$

註 1: A_{15} 多 1 公頃, 多 1% 之得分。

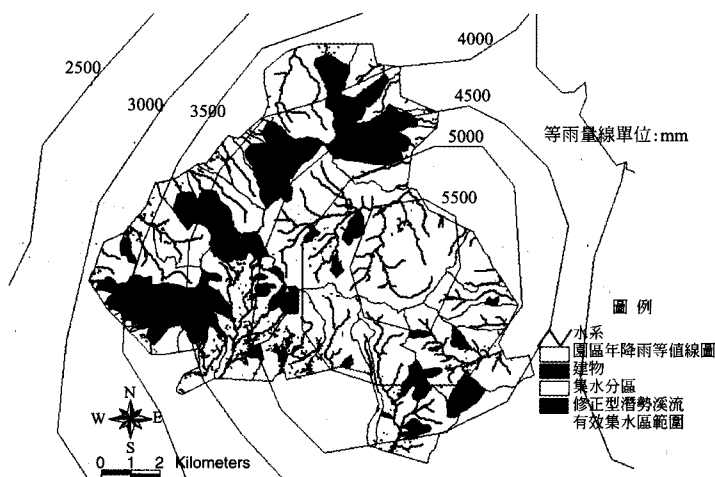


圖 9 修正型土石流潛勢溪流模式有效集水區分佈圖

表 12 修正型土石流潛勢溪流模式判釋表

潛勢溪流編號	潛勢溪流名稱	可能溢流處	有效集水面積 (ha)	岩性	斷層長度(m)	崩塌面積 (ha)	年平均降雨量 (mm)	保全對象	處理等級值	處理分級
1-1	老梅溪左股	石門鄉尖山湖3號民宅	123.72	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	3844.29	14 戶	0.3472	中
2-1	阿里磅溪	竹里二號橋	131.89	新第三紀沈積岩	0.00	0.18	4250.00	5 戶，北 21 縣道	0.2880	中
4-1	重光溪	環湖二橋	119.14	新第三紀沈積岩	922.54	3.54	4544.02	29 戶	0.5340	高
5-1	磺溪支流	金山鄉磺溪頭	15.26	新第三紀沈積岩	62.73	0.00	4750.00	3 戶	0.0576	低
5-2	磺溪支流	金山鄉磺溪	9.05	新第三紀沈積岩	0.00	0.10	4750.00	9 戶	0.1548	中低
5-3	嵩山溪	磺溪頭天然羊牧場	214.99	新第三紀沈積岩	1395.68	2.55	4709.04	2 戶	0.0680	低
6-1	馬槽溪支流	日月農莊	15.30	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5250.00	4 戶，陽金公路	0.1763	中低
6-2	馬槽溪支流	竹子湖路 215 巷 16 號	44.63	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5251.12	2 戶	0.0544	低
6-3	清水溪支流	自來水公司陽明淨水廠鹿角坑第一加壓站	11.94	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5175.88	1 戶	0.0160	低
8-1	頭前溪支流	頭前溪	7.52	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5250.00	1 戶	0.0144	低
10-1	瑪鍊溪支流	萬里鄉瑞泉路	3.28	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5250.00	1 戶	0.0124	低
10-2	瑪鍊溪支流	萬溪產業道路	14.11	新第三紀沈積岩	175.12	0.00	5250.00	7 戶	0.1372	中低
10-3	瑪鍊溪支流	萬里靈泉寺	98.58	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4775.06	5 戶	0.1320	中低
10-4	瑪鍊溪支流	萬里鄉溪底 12 號民宅	25.89	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5250.00	1 戶	0.0216	低
10-5	桃園南溪	與瑪鍊溪會流處	11.95	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5395.61	2 戶	0.0320	低
11-1	田尾仔溪	至善路	40.94	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5150.59	5 戶	0.1360	中低
11-2	內雙溪支流	至善路	3.83	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4750.00	1 戶	0.0120	低
11-3	內雙溪支流	至善路	8.45	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4729.88	3 戶	0.0408	低
11-4	內雙溝溪支流	內雙溝溪	24.24	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4750.00	4 戶	0.0800	低
11-5	內雙溪支流	內雙溪	26.97	新第三紀沈積岩	698.17	0.00	4872.54	5 戶	0.1200	低
13-1	外雙溪支流	菁山路	5.48	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	5250.00	12 戶	0.1584	中低
15-1	南磺溪支流	湖底	17.08	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4493.02	16 戶	0.2460	中低
15-2	南磺溪支流	陽金公路	43.60	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4750.00	2 戶，陽金公路	0.2178	中低
15-3	南磺溪支流	陽金公路	20.18	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4750.00	12 戶，陽金公路	0.3358	中
15-4	南磺溪支流	湖田國小附近	8.89	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4750.00	15 戶，陽金公路	0.2975	中

表 12 修正型土石流潛勢溪流模式判釋表 (續)

潛勢溪流編號	潛勢溪流名稱	可能溢流處	有效集水面積 (ha)	岩性	斷層長度(m)	崩塌面積 (ha)	年平均降雨量 (mm)	保全對象	處理等級值	處理分級
15-5	南磺溪支流	湖田國小附近	7.55	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4718.87	22 戶, 陽金公路	0.2890	中
15-6	南磺溪支流	竹子湖	5.25	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4582.38	2 戶, 陽金公路	0.1023	低
15-7	竹子湖溪右股	大屯橋	10.59	新第三紀沈積岩	0.00	1.94	4750.00	1 戶, 陽金公路	0.1537	中低
15-8	南磺溪支流	頂湖	19.17	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4323.29	1 戶	0.0172	低
15-9	竹子湖溪左股	頂湖	36.64	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4288.35	1 戶	0.0244	低
15-10	南磺溪支流	水尾	22.84	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4250.00	19 戶	0.2820	中
15-11	南磺溪支流	水尾	30.96	新第三紀沈積岩	402.52	0.00	4250.00	15 戶	0.3720	中
15-12	南磺溪支流	水尾	11.80	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4250.00	2 戶	0.0288	低
15-13	泉源溪	雷隱橋	59.73	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4250.00	1 戶	0.0256	低
15-14	南磺溪支流	雷隱橋	34.67	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4250.00	4 戶	0.0944	低
16-1	行義溪支流	頂湖	10.89	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4250.00	32 戶	0.2100	中低
16-2	十八份溪	風溪橋	39.65	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4250.00	12 戶	0.3072	中
16-3	中正溪	泉源三號橋	58.49	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4182.55	1 戶	0.0256	低
17-1	永春寮溪	大屯橋	144.93	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	3791.30	12 戶	0.2976	中
18-1	水磨坑溪	青巒橋	70.29	新第三紀沈積岩	147.22	0.00	3750.00	25 戶	0.4140	中高
19-1	貴子坑溪	觀雲橋	75.87	新第三紀沈積岩	669.54	0.00	3730.16	9 戶	0.2484	中低
20-1	碧湖溪	過水路面	83.56	新第三紀沈積岩	666.89	0.60	3457.10	20 戶	0.4260	中高
21-1	碧湖溪支流	樹興里活動中心	22.96	新第三紀沈積岩	0.00	5.29	3250.00	3 戶	0.0708	低
22-1	楓樹湖溪支流	過水路面	21.88	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	3250.00	14 戶	0.2352	中低
24-1	烘爐北溪	菜公坑	70.65	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	3750.21	14 戶	0.3472	中
25-1	菜公坑溪	菜公坑	172.23	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4180.38	1 戶, 魚塭	0.1216	低
28-1	八連溪中股	西內柑宅橋	213.91	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4266.81	1 戶, 魚塭	0.1216	低
29-1	八連溪左股	過水路面	150.01	新第三紀沈積岩	0.00	0.00	4250.00	2 戶, 魚塭	0.1472	中低

註：潛勢溪流編號前一碼為所在集水區之號碼。

條「低」潛勢之土石流潛勢溪流；園區之東南半部為雨量最豐富處，可是由於其坡度較緩，有效集水面積不大，且保全對象不多，故潛勢溪流等級都不高，如 10 號、11 號集水區中之潛勢溪流等級皆為「中低」及「低」潛勢者。以處理等級值來說，最高為重光溪（潛勢溪流編號 4-1），次高為碧湖溪（潛勢溪流編號 20-1），第三高則為水磨坑溪（潛勢溪流編號 18-1）。重光溪及碧湖溪為象神颱風受災最嚴重處，另外碧湖溪及水磨坑溪於民國 90 年 9 月 5 日暴雨發生土石流，由此可驗證，重新修正後之指標權重值在園區中較能將潛勢較高之溪流篩選出來。

3. 實例驗證

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，而這正是驗證模式之最佳時機，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，並套疊各潛勢土砂災害圖層，用以檢驗其正確性。本研究將成大防災中心全國土石流危險溪流調查（民國 80~85 年）、目前「土石流潛勢溪流調查計畫」、修正型土石流潛勢溪流模式與實際是否有發生災情整理成表 13。

本研究所劃定之潛勢溪流皆包括到象神颱風發生土石流之溪流，雖然判定之條件是以成大防災中心所訂定之以有效集水面積（溪床坡度 15 度為集水點，以上之集水面積）大於 3 公頃，來作為初步判釋依據，但本研究由於應用 GIS 輔助 1/1000 地形圖代替以 1/25000 地形圖為主要判釋工具，將精度大幅提高，故可將漏判之情況減低。

在本研究調整各指標之給分後，使得高潛勢之土石流潛勢溪流能較易被篩選出來，如成大防災中心 921 地震後於園區中劃定 9 條「高」潛勢，6 條「中」潛勢，4 條「低」潛勢土石流潛勢溪流，象神颱風時，劃定「高」潛勢之溪流僅有 3 條發生，其餘皆未發生，準確率較低，但調整給分後，發生土石流之溪流除菜公坑溪、八連溪左股及楓樹湖溪等保全對象較少或土石流規模較

小之溪流外，其餘等級皆為「中」潛勢以上。若直接比較潛勢等級值，象神颱風災情最嚴重之重光溪（重和村）及碧湖溪（興福寮）亦為所有潛勢溪流潛勢等級值最高及次高。至於潛勢等級值第三高之水磨坑溪（中青畷），雖然在象神颱風肆虐時未發生土石流，但於民國 90 年 9 月 5 日暴雨，水磨坑溪（中青畷）與碧湖溪（興福寮）均發生嚴重之土石流災情，故本研究調整之指標及權重值已達初步之成效。另外，民國 90 年 9 月 5 日暴雨事件及象神颱風陽明山鞍部雨量站最大一日累積雨量分別為 422.5mm 及 671.5 mm，在 9 月 5 日暴雨事件累積雨量較少之情況下，興福寮又再次爆發土石流，由此可知預測為「高」及「中高」潛勢區域之土石流再發性不可輕忽，而當時重和村因已實施初步之治理計畫，故減少土砂災害之再發生機會。納莉颱風（鞍部雨量站最大一日累積雨量為 517mm）緊接在 9 月 5 日暴雨事件後肆虐園區，雖然其並未對園區造成土石流災害，但未來還是不能忽視其他具有高潛勢及曾經發生過土石流之區域。

由象神颱風之驗證，有效集水面積為 3 公頃之指標，應用在園區土石流潛勢溪流之判定太小，由此一指標所找出之潛勢溪流達 48 條，但發生土石流之溪流僅有 8 條，尤其在 15 號集水區，判釋出 14 條潛勢溪流，但風災後現場踏勘時，並無重大災情，使得土石流潛勢溪流之判釋需配合現場調查及歷史災害之佐證，準確性才能提高，而有效集水面積為 3 公頃之指標亦需檢討。

目前初步加入年平均降雨量於成大防災中心「土石流潛勢溪流調查計畫」之模式中，建議未來更進一步加入其他之水文因子，例如暴雨發生機率，另外，土石流潛勢溪流判定標準亦建議加入水文因子或是土地利用情況等地文因子，例如：在年平均降雨量較高處，或者是當地植生較差，地表逕流係數高，有效集水面積可能小於 3 公頃即為土石流潛勢溪流；而有效集水面積亦不一定為溪床坡度 15 度以上之集水面積，若集水區上游皆為堅硬之岩盤，雖然其坡度大於 15 度，但亦不會發生土石流。

表 13 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」	修正型土石流 潛勢溪流模式	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	—	—	1 條 (中)	有
2	阿里磅溪	2 條	2 條 (中、低)	1 條 (中)	有
3	兩湖溪	—	—	—	—
4	重光溪	—	1 條 (高)	1 條 (高)	有
5	嵩山溪	—	—	2 條 (低) 1 條 (中低)	—
6	北磺溪	—	1 條 (中)	2 條 (低) 1 條 (中低)	—
7	貢寮溪	—	—	—	—
8	頭前溪	—	—	1 條 (低)	—
9	富士溪	—	—	—	—
10	瑪鍊溪	—	—	3 條 (低) 2 條 (中低)	—
11	內雙溪	—	2 條 (高、低)	4 條 (低) 2 條 (中低)	—
12	礁坑溪	—	—	—	—
13	外雙溪	—	—	1 條 (中低)	—
14	松溪	—	—	—	—
15	南磺溪	2 條	2 條 (中、低)	6 條 (低) 3 條 (中低) 5 條 (中)	—
16	行義溪	2 條	2 條 (高、中)	1 條 (低) 1 條 (中低) 1 條 (中)	—
17	永春寮溪	—	1 條 (中)	1 條 (中)	—
18	水磨坑溪	—	1 條 (高)	1 條 (中高)	—
19	貴子坑溪	1 條	1 條 (高)	1 條 (中低)	—
20	碧湖溪	—	1 條 (高)	1 條 (中高)	有
21	無名坑溝 (碧湖溪 之一支流)	—	1 條 (高)	1 條 (低)	—
22	楓樹湖溪	1 條	1 條 (高)	1 條 (中低)	有
23	公司田溪	—	1 條 (高)	—	—
24	烘爐北溪	1 條	1 條 (中)	1 條 (中)	有
25	菜公坑溪	—	—	1 條 (低)	有
26	無名坑溝	—	—	—	—
27	八連溪右股	—	1 條 (低)	—	—
28	八連溪中股	—	—	1 條 (低)	—
29	八連溪左股	—	—	1 條 (中低)	有

陸、結 論

1. 在應用「水土保持技術規範」第三百十三條第二項劃定土石流危險區之範圍時，由於非每條潛勢溪流之溢流口都有完整之堆積腹地，故非每條潛勢溪流之堆積區都能找出坡度為 2 度之點，此為其應用困難之處，且溪床坡度 10 度到 2 度之扇狀範圍，有時會包含到土石流根本淤積不到之山稜線或小山丘區域，故在劃定土石流潛勢區之扇狀淤積區時，需檢討當地地形，找出實際土石之可能淤積處所。
2. 本研究根據成大防災中心之模式，加入年平均降雨量因子，並調整各項給分，主要判釋工具則因為 1/25000 地形圖精度不足，故改以利用 DTM 自動找出溪床坡度 15 度以上且其集水面積大於 3 公頃之河系，再配合 1/5000 及 1/1000 地形圖判釋土石流潛勢溪流，以免漏判。判釋出來之結果尚屬良好，除了將象神颱風發生土石流之溪流皆判釋出來之外，若比較潛勢等級值，象神颱風災情最嚴重之重光溪及碧湖溪亦為所有潛勢溪流潛勢等級值最高及次高，至於潛勢等級值第三高之水磨坑溪（中青營），雖然在象神颱風肆虐時未發生土石流，但於民國 90 年 9 月 5 日暴雨，水磨坑溪（中青營）與碧湖溪（興福寮）發生嚴重之土石流災情，故本研究所調整之指標及權重值已達初步之成效。
3. 由象神颱風之驗證，有效集水面積為 3 公頃之指標，應用在園區土石流潛勢溪流之判定太小，由此一指標所找出之潛勢溪流達 48 條，但發生土石流之溪流僅有 8 條，尤其在 15 號集水區，判釋出 14 條潛勢溪流，但風災後現場踏勘時，並無重大災情，使得土石流潛勢溪流之判釋需配合現場調查及歷史災害之佐證，準確性才能提高，而有效集水面積為 3 公頃之指標亦需檢討。

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. 何春蓀(1994)，「台灣地質概論」，經濟部中央地調所。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 楊凱鈞、黃宏斌(2002)，「陽明山國家公園之土砂災害潛勢模式應用與比較」，農業工程學報，第 48 卷第 4 期，pp.35-55。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 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。
15. 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 92 年 4 月 1 日

修正日期：民國 92 年 8 月 25 日

接受日期：民國 92 年 9 月 15 日