

結合地文與降雨條件以判定 土石流發生之研究 —以陳有蘭溪集水區為例

Study of Judging Debris Flow Occurrence by combing the Physiographical Factors and Rainfall Condition

Chen-Yu-Lan Stream Watershed as an Example

陳文福*
Wen-Fu Chen

李毅宏**
Yi-Hong Li

吳輝龍***
Huei-Long Wu

摘 要

台灣因地理位置特殊，以致山區地勢陡峭、地質破碎、颱風頻襲，加上部份山坡地被超限利用。因此，每遇颱風豪雨侵襲輒易發生土石災害，嚴重威脅到山區居民生命及財產之安全。位於台灣中部之濁水溪的支流之陳有蘭溪集水區，因數十年前新中橫公路之開闢，加上 1999 年九二一大地震時最接近震央，均產生了大量之土石鬆方。2001 年之桃芝颱風豪雨即發生災情慘重之土石流，其後每逢颱風豪雨來襲時發生土石流之頻率特別高，故以其為探討之對象。

土石流的發生常因集水區內地文狀況的不同，致其發生的條件亦有差異。本研究利用 GIS 相關技術，分析並整合陳有蘭溪集水區之數位高程模型 (DEM) 及法國之 SPOT 衛星影像資料，利用主成份分析法找出影響土石流發生之地文因子，並利用群集分析法找出地文因子較一致之區域將試區予以分類，另外在考慮前期降雨量之情況下進行區別分析，建立陳有蘭溪集水區土石流發生之臨界降雨判別模式。本研究之成果可供防災警戒之參考。

關鍵字：主成份分析、群集分析、區別分析

* 國立中興大學水土保持學系教授，通訊作者(e-mail: wfchen@dragon.nchu.edu.tw)

Professor of Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Corresponding Author.

** 國立中興大學水土保持學系碩士

Master, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University.

*** 行政院農業委員會水土保持局局長

Director of Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan.



Abstract

Due to the special geographical location, Taiwan possesses those natural condition such as: steep topography, cracked and weak geology, and in addition to over land use, so the debris flow occurs frequently at the mountain area when typhoon with heavy rainfall attack Taiwan and those always threaten the safety of people's life and property. The Chen-Yu-Lan-stream watershed is the tributary of Chuo-Sui River in central part of Taiwan, due to the construction of central across high way over twenty years ago and then 921 heavy earthquake occurred in 1999, there produced lots loose earth and rocks. When Typhoon TORAJI attacked Taiwan in 2001, there occurred serious debris flow disaster, and from then on, the occurrence frequency of debris flow has been very high so we took Chen-Yu-Lan stream watershed as the research material.

The different geographic characteristics of various watersheds affect the occurrence of debris flow differently. We used ArcGIS software to analyze and integrate the DEM and SPOT image of Chen-Yu-Lan-Stream watershed, analyze the physiographical factors by GIS techniques and used the principal component analysis and the cluster analysis method to classify Chen-Yu-Lan-Stream watershed, which have the same characteristics. Finally, consider the previous accumulated rainfall to precede discrimination analysis method to establish the discrimination equation on critical rainfall for occurrence of debris flow in Chen-Yu-Lan-Stream watershed. The results of this research can be referred for warning on disaster prevention.

Keywords : principal component analysis, cluster analysis, discriminant analysis

前 言

台灣地區因居特殊地理位置以致地文條件不佳，諸如：山區地勢陡峭、地質破碎、颱風頻襲，加上近年來經濟之快速成長和社會結構的快速改變，土地利用之開發已由平地轉往山坡地，然而過度的開發與不當的土地利用嚴重的破壞了山坡地的水土保持，使山坡地產生不少的鬆散土石，當雨季時的豪雨及颱風所挾帶豐沛的雨量，經常引發土石流災害，嚴重威脅人民的生命財產與安全。尤其在九二一地震後，造成台灣中部山區多處崩塌，大量的鬆散土石，使得土石流的發生頻率較地震前提高。位於台灣中部之濁水溪的支流之陳有蘭溪集水區，因二十年前新中橫公路之開闢，加上 1999 年九二一地震時最接近震央，均產生了大量之土石鬆方。其後 2001 年桃芝颱風帶來豪雨時即發生災情慘重之土石流，接著每逢颱風豪雨來襲時發生土石流之頻率特別高，故以其為探討之對象。

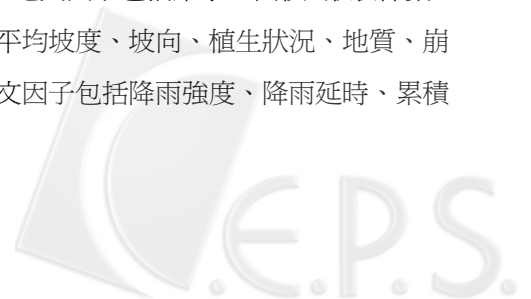
由於土石流的發生與降雨特性有很密切的關係，若

能利用土石流形成過程中與降雨特性之相互關係，分析出降雨特性與土石流發生的規律變化和發展趨勢，就有可能利用降雨條件建立土石流的預警系統。但由於集水區內地文狀況的不同，因而其發生土石流的降雨特性也有差異。因此，必須先確定在相同或類似的地文條件下，探討土石流發生與降雨特性之間的關係才更具意義。

故本研究先以統計方法中的群集分析方法將地文條件較類似之地區進行分類後，再配合雨量資料探討其土石流發生與降雨之間的關係，並利用區別分析方法建立一套研判模式，以作為防災預警之參考，期能對土石流之預警工作有所助益。

研究方法

影響土石流發生之因子不少，可概分為地文因子與水文因子兩大類。地文因子包括集水區面積、形狀係數、土地利用狀況、平均坡度、坡向、植生狀況、地質、崩塌地面積等；水文因子包括降雨強度、降雨延時、累積



雨量、前期降雨量、地表孔隙水壓等。

$$R_e = \frac{a}{b + I_e}$$

式中 I_e 為有效降雨強度 (mm/hr); R_e 為有效累積雨量 (mm); a 、 b 為待定係數。

(一) 相關研究

1. 地文因子

判別土石流的發生一般以坡度 15° 為臨界坡度，坡度在 25° 以上多為崩落段，由 15° 到 25° 間為發生段，土石流流到坡度 6° 以下時就會開始減速並產生堆積，是為堆積段，完全停止之堆積點坡度多在 3° 到 10° 之間，且以 6° 最多 (池谷浩, 1980)。

謝正倫等 (1993) 提出以「土石流有效集水區面積」作為危險溪流之判定指標 (溪床坡度大於 15° 以上之集水區面積)，並以流出土砂量作為危險度之評估標準。土石流發生之溪流大都集中在河川級序為 1 級或 2 級河川，平常流量小或為乾溝型態，但因位於集水區的上游，所以多有崩塌現象，溪床上常堆積著大量的土石材料，依謝正倫、張東炯 (1996)；江英政 (1998) 之研究可歸納台灣東部及中部地區之土石流發生溪流長度大多分佈於 500~3,000 公尺之間。

地表逕流是造成集水區坡面侵蝕及崩塌的主因之一，而地表之植生狀況則直接影響邊坡的穩定。良好的植生覆蓋除了能減少雨水對表土的打擊外，植物的根系固結作用亦能增加土壤的穩定，且植生亦能當作土石流的緩衝帶，如民國 85 年的賀伯颱風，溪頭營林區後的一處裸露懸崖引發土石流，幸有層層茂密的人造林攔截，而未到達遊客密集處 (洪如江, 1996)。

而范正成等 (2000) 利用遙測技術及 DTM 資料配合近年來普遍使用之地理資訊系統，求出南投地區土石流發生相關之水文及地文因子。經過分析後發現與土石流發生較相關之地文因子有土地利用因子、集水區有效面積、主流河川長度、粒徑大於四號篩百分比及溪床平均坡度等五項。

2. 水文因子

在累積雨量與降雨強度方面，瀨尾克美、船崎昌繼 (1973) 曾利用發生於日本六甲山系、大戶川流域、木津川上流域土石流案例之降雨資料，求出發生土石流之臨界條件，並定義土石流危險區與安全區之分界線：

川上浩等 (1981) (引自：游繁結與陳重光 (1987)) 研究降雨特性與日本宇原川土石流之關係，歸納出土石流發生之降雨條件：

1. 降雨強度超過 40mm/hr 以上，持續下 3 - 6 小時。
2. 降雨強度低於 30mm/hr，但持續下 3 - 6 小時之後，累積雨量達 150-200mm 以上者。
3. 累積雨量達 400mm 以上。

Keefner (1987) 亦曾以靜力學之觀點，推導出土石流發生降雨強度及降雨延時之臨界關係式以土石流之發生資料，以降雨延時和雨量資料做為基準，以迴歸分析求出土石流發生之臨界降雨條件式：

$$(I - I_0)T \geq Q_c$$

式中 I 為降雨強度 (mm/hr); I_0 為流失降雨強度 (mm/hr); T 為降雨延時 (hr); Q_c 為到達臨界孔隙水壓所需之臨界滲透量 (mm)。

(二) 試區概述

1. 試區地理位置

本研究是以陳有蘭溪集水區為研究對象，進行子集水區劃分，並將地文因子予以萃取，再進行統計分析，最後再配合時雨量資料並提出一套能研判土石流發生的警戒方法，以作為土石流預警之主要依據。

陳有蘭溪位於南投縣境內，是濁水溪流域中最為主要的支流之一，自南向北流，東側為雪山山脈、西側為西部麓山帶，是一北窄南寬之狹長型集水區，集水區面積約為 44,800 公頃，其行政範圍分屬於信義鄉、水里鄉、鹿谷鄉。

在水系分佈方面，陳有蘭溪發源於玉山北麓，集合阿里山山脈東坡之和社溪與郡大山脈西坡之水，在同富匯流北上，於水里的東側與濁水溪主流會合。主要支流有郡坑溪、十八重溪、坪瀨溪、筆石溪、和社溪、出水溪、沙里仙溪等 28 條。試區地理位置如圖 1 所示。

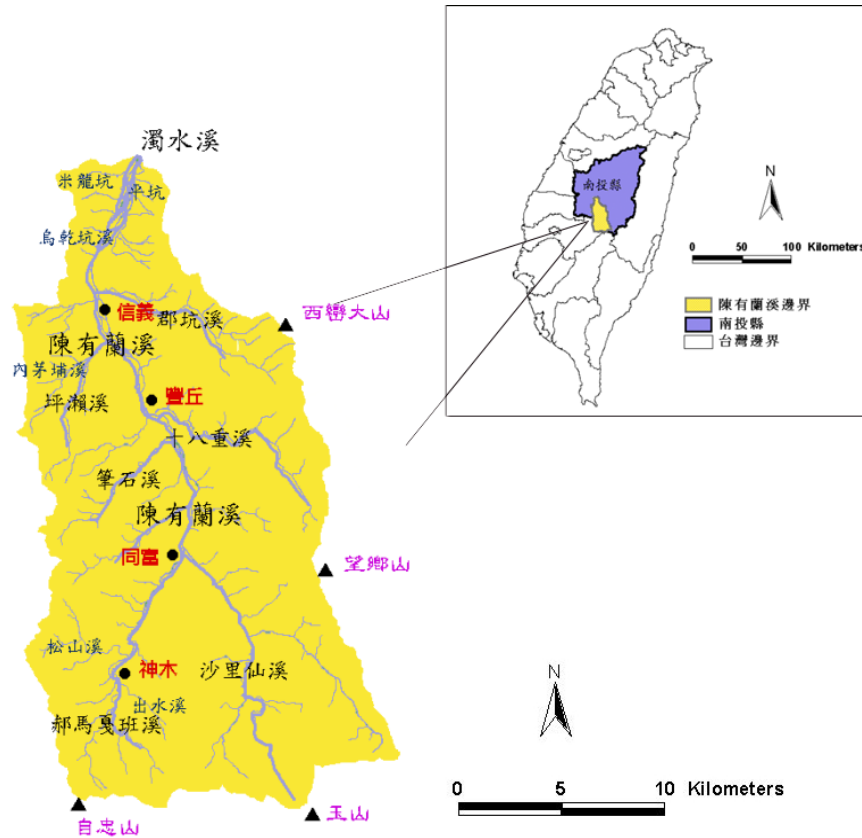


圖 1 陳有蘭溪集水區地理位置圖

2. 試區高程分佈

陳有蘭溪流域地勢南高北低、東高西低。試區高程介於 304~3,856m 間，平均高程為 1,588m，僅少數面積低於 500m，主要分佈於 1,000m~1,500m 與 1,500m~2,000m 兩個區間之間，約佔了總面積之 50%，2,500m 以上之面積約佔 10%，其高程分佈如圖 2 與表 1 所示。

3. 試區坡度、坡向分析

本研究利用 Arcview 軟體對陳有蘭溪集水區之 DTM 資料進行坡度、坡向分析。在坡度分析方面，依水土保持技術規範所訂之坡度級序來分級，試區坡度多集中於五級坡 (40%~55%) 與六級坡 (55%~100%) 之間，約佔了總面積的 70%，平均坡度約為 32°，其坡度分析如圖 3 與表 2 所示。

在坡向分析方面，由分析結果顯示，試區之坡向主要集中在於東北、東南、西北、北四個方向，分別佔了總面積的 14.8%、15.5%、14.08%、14.43%，其坡向分析

如圖 4 與表 3 所示。

4. 崩場地分佈情況

依照水土保持局所提供桃芝颱風後之調查報告，總計陳有蘭溪集水區內的崩場地有 582 處，崩塌面積約為 1,768 公頃，其崩場地分佈情況如圖 5 與表 4 所示。依照危險度定義來分級，可將崩塌情況分為 A (極不安定)、B (不安定)、C (稍安定)、D (安定)，其分析結果請參照表 5。

5. 地質概況

地質上大致是以陳有蘭溪為界，左岸為已變質之古第三紀地層，以硬頁岩、板岩、變質砂岩及石英岩等變質岩為主；右岸則為未變質之新第三紀沉積岩，包括砂岩、頁岩及砂頁岩互層等，另外，在本試區內並無斷層經過，地質分佈如圖 6 所示。



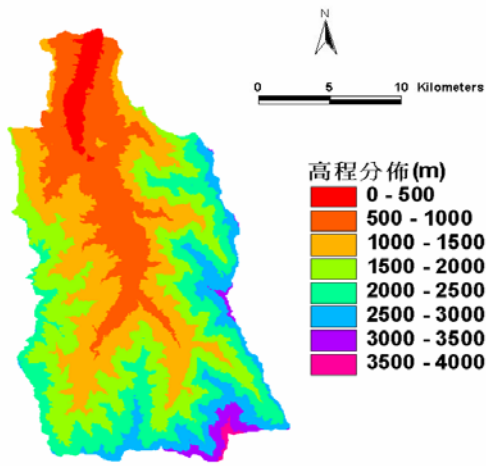


圖 2 試區高程分佈

表 1 試區高程分析結果表

高程 (m)	面積 (ha)	面積比 (%)
0-500	1,394.56	3.1
500-1,000	8,903.84	19.9
1,000-1,500	11,114.88	24.9
1,500-2,000	10,608.64	23.9
2,000-2,500	8,049.12	17.9
2,500-3,000	3,651.36	8.1
3,000-3,500	857.76	1.9
3,500-4,000	144	0.3
總和	44,724.16	100

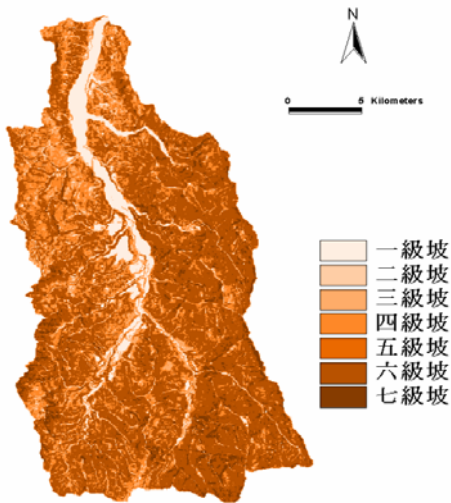


圖 3 試區坡度分佈

表 2 試區坡度分析結果表

坡度 (%)	面積 (ha)	面積比 (%)
一級坡 (<5)	1,043.88	2.3
二級坡 (5~15)	1,679.88	3.7
三級坡 (15~30)	2,756.59	6.2
四級坡 (30~40)	3,125.16	6.9
五級坡 (40~55)	7,187.24	16.3
六級坡 (55~100)	24,122.35	53.9
七級坡 (100<)	4,809.06	10.7
總和	44,724.16	100

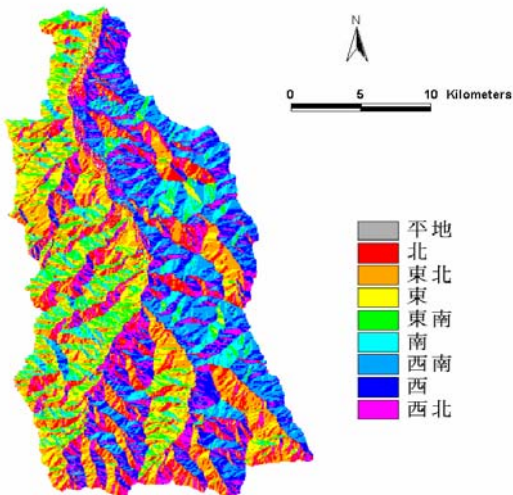


圖 4 試區坡向分佈

表 3 試區坡向分析結果表

坡向	面積 (ha)	面積比 (%)
東北	6,619.92	14.80
東	5,377.20	12.02
東南	6,931.60	15.50
南	5,164.87	11.55
西南	4,156.08	9.29
西	3,723.70	8.33
西北	6,298.80	14.08
北	6,451.99	14.43
總和	44,724.16	100



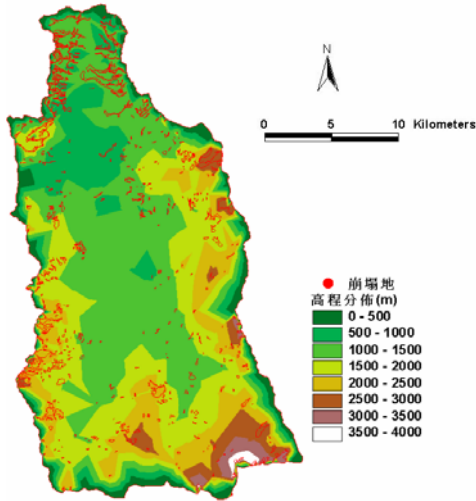


圖 5 崩塌地分佈圖

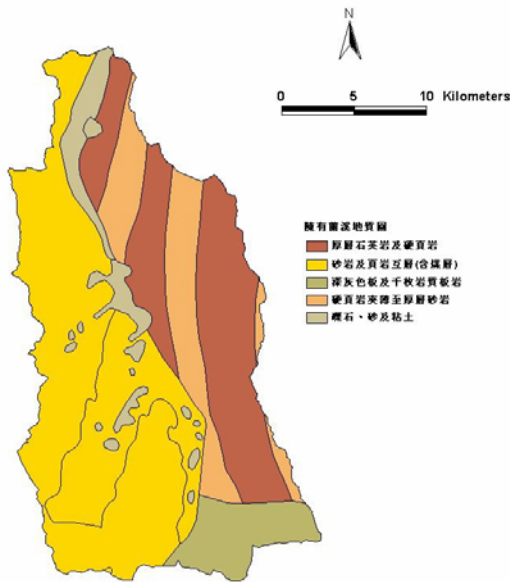


圖 6 地質分佈圖

表 4 崩塌地分佈

鄉鎮	信義鄉	水里鄉	鹿谷鄉
數量	515	48	19

表 5 崩塌地危險分級

危險度	A	B	C	D
數量	13	0	46	523

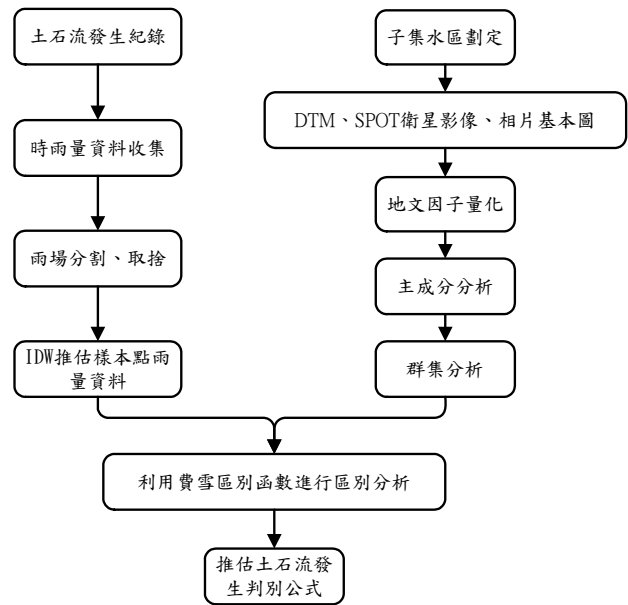


圖 7 研究流程圖

(三) 研究流程

本研究可分為地文與水文兩大部分。首先在地文方面，以陳有蘭溪集水區境內 34 條土石流潛勢溪流為例，進行子集水區之劃分，以 GIS 相關技術分析地文因子，並利用 SPSS 之主成份分析來檢定各項變因，再利用群集分析方法找出地文因子比較一致的區域將試區予以分類。在水文方面，則收集自民國 74 年~91 年間之時雨量資料，進行雨量資料之分析，與群集分析之結果相結

合，進行區別分析，最後推估出土石流發生臨界降雨之判別公式。研究流程圖如圖 7 所示。

(四) 研究方法

1.地文因子

(1).地文及相關資料之蒐集：包括 DTM 資料、SPOT 衛星影像、及各相關文獻與圖層資料之蒐集。

(2) 子集水區之劃定：依照水系將試區劃分為若干子集水區。



(3) 由相關文獻中提出對土石流發生較具影響力之地文因子：包括崩塌比率 (%)、溪床平均坡度 (S)、集水區面積 (ha)、形狀係數 (F)、主流長度 (km)、覆蓋與管理因子 (C)、土地利用因子。

(4) 利用 GIS 技術由 DTM 資料與 SPOT 衛星影像將上述之地文因子進行量化。

(5) 利用主成份分析方法進行分析，將地文因子經由主軸轉換，計算各主成份軸之特徵值與特徵向量，探討主要影響土石流發生的地文因子。最後，依主成份分析之結果，利用群集分析方法找出地質條件較為一致之均質區，將試區予以分類。

2. 水文因子

(1) 本研究收集經濟部水利署歷年之時雨量資料進行分析。位於試區內的雨量站有龍神橋、西巒、內茅埔、

望鄉、東埔、新高口；雨量資料的時間是自民國 74 年至民國 91 為止，其位置如圖 8、表 6 與所示。

(2) 雨場之數化與取捨：本研究是以時雨量大於 4mm 視為連續降雨之開始，而將降雨結束點修正為連續 6 小時之時雨量均低於 4mm，以減少低估降雨延時之情形 (詹錢登，2002)，如圖 9 所示。

(3) 依距離平方反比法來估算各子集水區樣本處之雨量資料：距離平方反比法的未知點乃是以鄰近點距離遠近之平方值來決定權重，距離越近則權重越高。

(4) 考慮前期降雨量，將土石流發生前 7 天之內之雨量都納入考量，再依其與土石流發生時刻之相距時間遠近乘以一衰減係數，最後將之累加起來，得到有效累積雨量與有效降雨強度，示意圖如圖 10 所示。

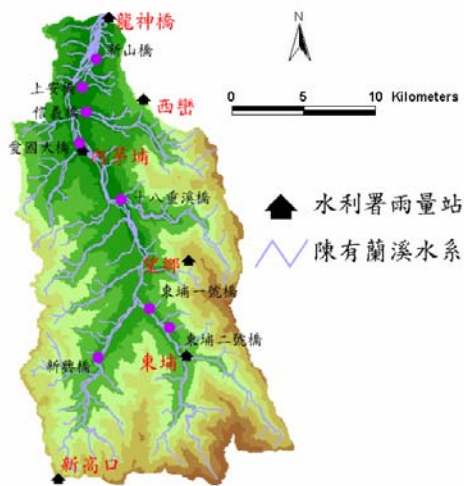


圖 8 雨量站分布圖

表 6 雨量站位置

所屬流域	雨量站名稱	雨量站位座標 (TM2)	
濁水溪流域	龍神橋	236,015	2,630,736
濁水溪流域	西巒	238,558	2,624,704
濁水溪流域	內茅埔	234,107	2,620,986
濁水溪流域	東埔	241,747	2,605,845
濁水溪流域	望鄉	241,893	2,612,828
高屏溪流域	新高口	232,356	2,596,748

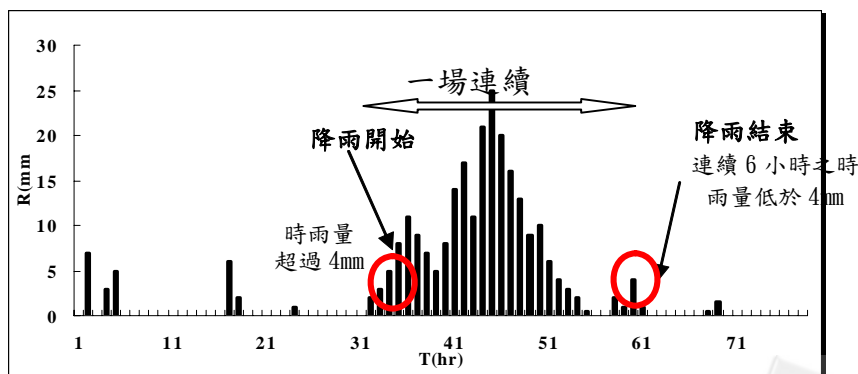


圖 9 雨場分割方法示意圖 (詹錢登，2002)

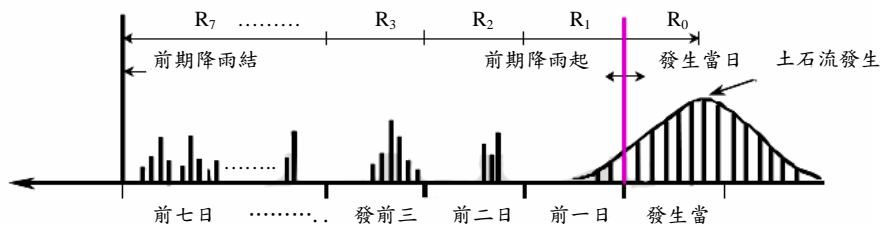


圖 10 有效累積雨量計算示意圖 (詹錢登, 2002)

(5) 將雨量資料處理之結果結合地文資料分析之成果，進行區別分析 (Discrimination Analysis)，利用費雪線性區別函數 (Fisher's Liner Discriminate Function)，建立出各群集之土石流發生臨界降雨判別模式，以供土石流警戒之參考。

結果與討論

(一) 土石流發生之空間差異

1. 子集水區劃定結果

本研究以 Wingrid 軟體之集水區劃分系統 (林昭遠等, 2000 及 2001) 配合土石流潛勢溪流調查資料，對陳有蘭溪集水區進行子集水區之劃分，將試區劃分為 44 個子集水區，參考過去土石流發生之紀錄得知，其中有 32 個子集水區曾有過發生土石流之紀錄，而另外 12 個子集水區 (八通關古道、塔塔加、陳有蘭溪橋...等) 過去則從未發生土石流，其劃分之結果如圖 11 所示。

2. 主成份分析結果

各因子因單位不同，無法直接進行相關性之比較，必須先將各因子之變量標準化，計算出各影響因子之間的相關矩陣，如表 7 所示。由表 7 得知，集水區面積與主流長度兩因子間存在高度的正相關，相關係數 $r=0.937^{**}$ ，表示集水區面積愈大，則河川之主流長度就會愈長；主流長度與形狀係數之間則是成較高之負相關， $r=-0.702^{**}$ ；至於其他因子之間之相關性不是非常小就是相關性不明顯。(由前二個相關係數進行 F-test 之結果： $F_{(1R=0.937)}=287.78 \gg 3.82$ ； $F_{(1R=0.702)}=40.35 \gg 3.82$ ，其相關均已達極顯著)

表 8 所示，得知主成份 1、2、3 之特徵值皆大於 1，且累積之總變異量已達 81.7%，代表此三個主成份對全體變數之解釋能力達 81.7%，顯示這些主成份具有重要之意義，由圖 12 之因素陡坡圖也可以看出，自第四個主成份後，其特徵值已無明顯之變化，故保留前三個主成份即可。

表 7 各影響因子間相關矩陣

	集水區面積	主流長度	形狀係數	溪床平均坡度	崩塌比率	C 值	土地利用
集水區面積	1.000	0.937	-0.498	-0.288	-0.104	-0.214	-0.618
主流長度	0.937	1.000	-0.702	-0.273	-0.080	-0.243	-0.612
形狀係數	-0.498	-0.702	1.000	0.112	-0.044	0.324	0.493
溪床平均坡度	-0.288	-0.273	0.112	1.000	0.100	-0.219	-0.070
崩塌比率	-0.104	-0.080	-0.044	.100	1.000	0.150	0.284
C 值	-0.214	-0.243	0.324	-0.219	0.150	1.000	0.640
土地利用	-0.618	-0.612	0.493	-0.070	0.284	0.640	1.000

將量化所得之數據，包括未發生與曾發生土石流等 44 個子集水區之地文相關資料，以 SPSS 軟體進行主成份分析，探討各地文變因中，在空間上與土石流發生最有直接關係之因子。依表 9 之分析結果顯示，可將 7 項影響因子歸類為 3 項主成份：集水區規模、集水區高低

起伏、集水區崩塌裸露狀態。選取相關係數絕對值大於 0.7 者作為代表。因此，將集水區面積、主流長度、集水區形狀係數、溪床平均坡度及崩塌比率等 5 項影響因子，視為影響土石發生之地文條件中最重要之因素。

表 8 解說總變異量

成份	初始特徵值			平方和負荷量萃取			轉軸平方和負荷量		
	總和	變異數的%	累積%	總和	變異數的%	累積%	總和	變異數的%	累積%
1	3.228	46.113	46.113	3.228	46.113	46.113	3.054	43.628	43.628
2	1.421	20.295	66.408	1.421	20.295	66.408	1.477	21.103	64.731
3	1.073	15.334	81.742	1.073	15.334	81.742	1.191	17.011	81.742
4	0.562	8.030	89.772						
5	0.482	6.881	96.653						
6	0.208	2.977	99.630						
7	0.0259	0.370	100.000						



圖 11 子集水區分布圖

圖 12 因素陡坡圖

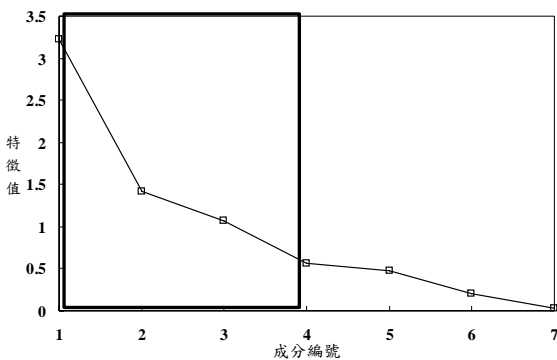
表 9 因素負荷矩陣

	成份		
	1	2	3
集水區面積	-0.872	0.291	4.106E-04
主流長度	-0.921	0.284	9.441E-02
形狀係數	0.751	-7.201E-02	-0.327
溪床平均坡度	0.195	-0.773	0.338
崩塌比率	0.209	0.200	0.913
C 值	0.528	0.684	-1.460E-02
土地利用	0.683	0.380	0.101

3. 群集分析結果

群集分析之結果顯示，此 32 個子集水區 (圖 11) 大致可分為 4 個群集，其中，屬於 A 群集的子集水區有 10 個，屬於 B 群集的有 15 個，C 群集有 5 個，而 D 群集僅有 2 個子集水區，另外將未發生過土石流之 12 個子集水區歸為一類。分佈情形如圖 13 所示。

各群集之特性可由表 10 之綜合統計結果看出。其中，A 群集之面積不大、主流長度也不長，但溪床平均坡度陡、崩塌比率低，形狀係數接近 1，顯示此群集之子集水區形狀較接近圓形。B 群集所包含之子集水區高



達 15 個，故其各項參數之標準差較其他群集為高，子集水區之間的相似度較不如其他群集表現的明顯，以其統計綜合結果觀之，其集水區面積與主流長度值偏高，溪床坡度較為平緩，崩塌比率也不高；形狀係數偏低，顯示此群集內有許多子集水區之形狀是偏屬狹長型。

C 群集比起其他群集而言，其集水區面積與河川主流長度均為最小，但其溪床平均坡度陡且崩塌比率相當高，在如此不利之因素下，故其過去之土石流發生率也較其他群集高，且 C 群集之子集水區皆是位於下游地區，居住的人口較多，若土石流一旦發生，勢必釀成嚴重之災禍，故需特別注意。D 群集僅有兩個子集水區，各項變量差異不大。此群集最明顯之特性就是集水區面積相當廣大，形狀係數低，屬於狹長型之集水區，唯其溪床平均坡度平緩，崩塌比率不高。

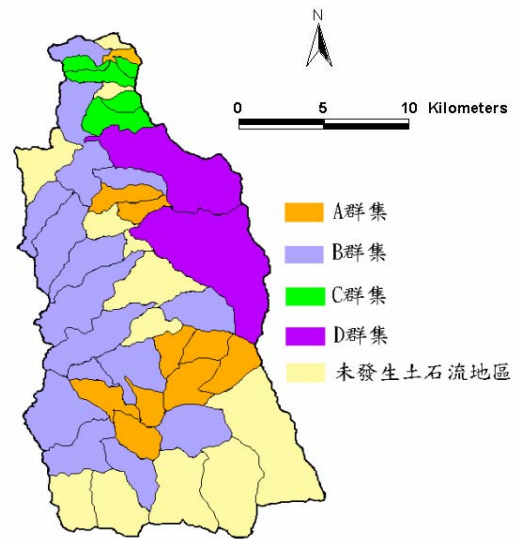


圖 13 各群集分佈情形

表 10 各群集地文因子參數之綜合統計結果

群集	統計參數	集水區面積 (km ²)	主流長度 (km)	形狀係數	溪床平均坡度 (°)	崩塌比率 (%)
A	平均數	5.54	2.636	0.789	19.315	1.555
	中位數	5.5	2.63	0.793	19.035	0.96
	標準差	2.073	0.535	0.2184	6.688	1.6871
B	平均數	10.933	5.753	0.3725	9.77	4.39
	中位數	11.4	5.59	0.33	10.25	4.53
	標準差	4.565	2.072	0.1918	3.3413	3.3248
C	平均數	3.38	2.186	0.753	15.41	15.438
	中位數	2.7	2.32	0.612	16.19	13.43
	標準差	2.095	0.809	0.3762	3.7699	3.2273
D	平均數	37.2	13.7	0.1975	8.04	5.16
	中位數	37.2	13.7	0.1975	8.04	5.16
	標準差	8.91	1.994	0.00919	0.9334	1.7678

(二) 降雨參數推估

1. 雨場數化與取捨

本研究之雨場分割方法是以時雨量大於 4mm 視為連續降雨之開始，連續 6 小時之時雨量均低於 4mm 視為降雨之結束。針對歷年發生之颱風豪雨進行雨場數化雨取捨之工作，將各雨量站歷年之降雨記錄整理如附錄一所示。

2. 樣本溪流降雨參數推估

首先，針對曾發生土石流之子集水區，於各子集水區內之代表溪流下游選定一樣本點，各樣本點分佈與詳細資料如表 11 所示。以該樣本點為中心，取鄰近之 3 個雨量站，利用簡易的 IDW (Inverse Distance Weighting) 內插法，依照距離之遠近，產生一組權重係數，再進行各子集水區降雨參數之推估，利用權重計算之結果，並將前期降雨量納入考量，計算各子集水區於每場降雨中之「有效累積雨量 R_e 」與「有效降雨強度 I_e 」，並配合

地文資料分析之結果，進行土石流發生臨界降雨判別模式之建立。

表 11 子集水區樣本點詳細資料

集水區名稱	樣本點	潛勢溪流編號	樣本點座標 TM2		集水區名稱	樣本點	潛勢溪流編號	樣本點座標 TM2				
			X	Y				X	Y			
米籠坑	林明橋	南投 065	234764	2630069	筆石溪	筆石橋	南投 073	237356	2615872			
九層橋	九層橋	南投 027	235193	2620647	望鄉	望鄉雨量站	同富 B008	241894	2612828			
南平坑	新安橋	南投 068	235511	2629462	和社四號溪	新興橋	南投 037	235306	2605920			
平坑	壽山橋	南投 025	235465	2629754	沙里仙橋	沙里仙橋	南投 033	241055	2606219			
火燒寮坑	新山橋	南投 067	235357	2628856	豐丘國小	豐丘國小	南投 029	236439	2618742			
桐子林橋	桐子林橋	南投 039	237993	2609574	烏乾坑溪	大勇橋	南投 035	239940	2602968			
		南投 040					同富 B024					
		南投 074					同富 B022-1					
八頂溪	東埔橋	南投 034	242049	2606659	東埔一號橋	東埔一號橋	南投 031	238976	2609279			
十八重溪	十八重溪橋	南投 030	237106	2617523	東埔二號橋	東埔二號橋	南投 032	239888	2608273			
愛玉橋	愛玉橋	南投 075	235553	2604850	郡安橋	郡安橋	南投 069	234546	2626593			
牛稠坑溪	新鄉一號橋	溪頭 B051	234924	2615646			南投 070					
出水溪	塔塔加遊憩區	南投 076	237945	2598381	信義	自愛橋	南投 A120	233961	2621113			
神木村六鄰	神木國小	阿里山 B014	234576	2602916			內茅埔溪		樣本點 1	南投 072	232149	2619761
		阿里山 B015					坪瀨溪		樣本點 2	南投 072	232612	2618835
阿里山 B016	竹子腳坑	樣本點 3			南投 066	234121	2628754					
上安橋	上安橋	南投 071	234417	2625684	和社三號溪	樣本點 4	南投 038	234890	2607296			
松山溪	松山橋	阿里山 B013	234824	2604457	南投 036	樣本點 5	南投 036	236886	2606518			
阿里不動溪	望鄉橋	同富 B001	238268	2612362	南投 028	樣本點 6	南投 028	234885	2619579			
郡坑溪	信義橋	南投 026	234520	2623718								

(三) 土石流發生臨界降雨判別模式之建立

本研究除了考量降雨參數，有效累積雨量 R_e 與有效降雨強度 I_e 之外，還加入了地文因子的合成函數 Z ，以此三種變量，進行費雪線性區別分析，配合群集分析之結果，建立各群集之土石流發生臨界降雨判別模式。

1. 判別模式建立結果

判別模式建立成果可分為地震前與地震後兩個時期如表 12 所示。

2. 判別模式準確度評估

利用區別分析所建立之判別模式對所有樣本進行驗證，判別驗證之結果整理如表 13、表 14，各群集在地震前、後，對於土石流不發生之判別準確率約為 97%，對於預測土石流發生的判別準確率也都有 80% 以上，除了 B 群集在地震前與 C 群集在地震後出現稍多的誤判情形外，其他地區之準確率均能維持在 80% 以上。

A 群集之子集水區地文條件較為一致，故其判別公式之準確率也相當高，其中，「豐丘國小」此集水區之溪床平均坡度高達 31° ，明顯高於其他子集水區，且此集水區過去發生土石流的次數較頻繁，故造成判別結果中

出現少數幾處誤判的情形，但整體之準確率仍是相當可靠。

B 群集因所包含之子集水區數量較繁多，各子集水區間之地文條件相似度並不如其他群集高，故對於其判別模式之準確率會有所影響，且 B 群集內包含「出水溪」與「神木村六鄰」等兩個較為特殊之子集水區，此二子集水區之發生條件較為特殊，由過去之記錄來看（附錄二），此二子集水區在地震前都曾發生過 4 次的土石流，

且發生日期之間隔不大，自從賀伯颱風造成大規模的土石流災害後，發生頻率約為一年一次，此乃由於每次發生土石流後都遺留大量的土砂在集水區內，此淤積未清之土砂為土石流的發生提供了豐富的土砂材料，故只要有降雨強度稍大之豪雨發生或颱風來襲時，就容易引發土石流，然而此項因素並無法從本研究所萃取之地文條件中觀察出來，故造成 B 群集在地震前土石流發生之判別準確率僅達 75%，與其他群集比較起來，準確度較低。

表 12 各群集之土石流發生臨界降雨判別方程式

群集	時期	判別方程式
A	地震前	$Func_s = 0.034635 R_e + 1.134 I_e + 0.992Z - 5.639$
	地震後	$Func_s = 0.026842 R_e + 0.581 I_e + 1.283Z - 14.594$
B	地震前	$Func_s = 0.018914 R_e + 0.988 I_e - 0.407Z - 16.738$
	地震後	$Func_s = 0.031684 R_e + 0.78 I_e + 0.189Z - 18.784$
C	地震前	$Func_s = 0.07724 R_e + 1.09 I_e + 0.888Z - 39.265$
	地震後	$Func_s = 0.023797 R_e + 0.244 I_e + 1.698Z - 9.376$
D	地震前	$Func_s = 0.021742 R_e + 0.988 I_e - 1.892Z - 14.05$
	地震後	$Func_s = 0.10302 R_e + 1.037 I_e + 0.033Z - 50.462$

其中

Funcs：合成函數，大於 0 代表會發生土石流，小於 0 則不會發生

Re：有效累積雨量 (mm)

Ie：有效降雨強度 (mm/hr)

Z：地文合成函數

$$Z = -0.542A + 1.953L + 3.42F + 0.293S + 0.177P - 8.805$$

其中

A：集水區面積 (km²)、L：主流長度 (km)、F：形狀係數、S：溪床平均坡度 (°)、P：崩塌比率 (%)

表 13 未發生土石流雨場判斷情形

群集	時期	實際量	推估量		準確率
		未發生資料點	正確判斷點數	誤判點數	
A	地震前	495	492	3	99.4%
	地震後	271	263	8	97%
B	地震前	746	717	29	96.1%
	地震後	414	401	13	96.9%
C	地震前	250	250	0	100%
	地震後	131	123	8	93.9%
D	地震前	96	91	5	95.1%
	地震後	56	56	0	100%
合計	地震前	1587	1550	37	97.7%
	地震後	872	843	29	96.7%

表 14 發生土石流雨場判斷情形

群集	時期	實際量	推估量		準確率
		發生資料點	正確判斷點數	誤判點數	
A	地震前	15	13	2	86.7%
	地震後	19	16	3	84.2%
B	地震前	16	12	4	75%
	地震後	21	17	4	81%
C	地震前	5	5	0	100%
	地震後	14	10	4	71.4%
D	地震前	6	6	0	95.1%
	地震後	2	2	0	100%
合計	地震前	42	36	6	85.7%
	地震後	56	45	11	80.4%

C 群集之判別模式準確率，在地震前發生，無論是發生土石流、或不發生土石流其判別準確率皆為 100%，但在地震後，準確率降至 71%，比之地震前的 100% 相去甚遠。由地震前後 C 群集土石流的發生記錄可發現地震後土石流的發生事件比地震前多很多，其中「火燒寮坑」與「竹子腳坑」兩子集水區在地震後就各有 5 次的發生紀錄，發生頻率比地震前高許多，推究其原因乃因九二一地震所造成之變動，此二子集水區受到地震之影響較劇烈，地形特徵產生較大的變動，且地震崩塌所帶來之鬆散土石亦有助於引發土石流，導致地震後之發生頻率激增，同樣的，連續發生的土石流災害，會遺留大量的土砂在集水區內，在相同的降雨條件下，會比其他子集水區更容易發生土石流，此隱藏性之因素導致 C 群集在地震後之土石流發生判別準確率降至 71%。

D 群集內僅有「十八重溪」與「郡坑溪」子集水區，地文條件相似，樣本間之差異不大，分析所得之判別公式準確率不論是地震前、地震後皆表現得相當理想。

結論與建議

(一) 結論

1. 本研究以 Wingrid 之集水區劃分系統，將陳有蘭溪集水區劃分為 44 個子集水區，其中 12 個子集水區未有發生過土石流之記錄，32 個子集水區有發生過土石流之

紀錄。

2. 本研究以「主成分分析」方法分析 44 個子集水區樣本，依 7 項主要影響土石流發生地文之變因進行分析，結果顯示集水區面積、主流長度、集水區形狀係數、溪床平均坡度及崩塌比率等 5 種地文變因對土石流的發生最具影響力。由此 5 種地文變因作為「群集分析」之變量，將會發生過土石流之子集水區分類，結果可分為 4 個群集，利用各群集之統計變量，比較出各群集間之相似與相異程度。

3. 本研究以有效累積雨量 Re 、有效降雨強度 I_e 以及地文合成參數 Z 進行費雪線性區別分析，配合群集分析之結果，建立各群集之土石流發生臨界降雨判別模式。利用區別分析所建立之判別模式對各群集之樣本進行驗證，結果顯示各群集對於不發生土石流之判斷準確率皆達 97% 以上，僅 C 群集於地震後地形特徵變動較大，表現較不理想。對於發生土石流的判別準確率，除了 B 群集在地震前與 C 群集在地震後出現較多之誤判外，準確率都在 80% 以上。

(二) 建議

1. 本研究所使用之 DTM 資料為農航所提供之 20m × 20m 規格之 DTM，對於一些地文資料之萃取，仍會有所遺漏，繼而影響判別模式之準確率，未來若能以精度更高之 DTM 進行分析，將更能掌握集水區之地形特徵，相信對判別模式準確率之提升必能有所裨益。

2.本研究所推導之判別模式是針對陳有蘭溪集水區所進行之分析，由於土石流之發生臨界條件與地域性有很大之關連性，不同地區之降雨型態與地文、水文條件都會有所差異，是否能推估出較大範圍區域適用之土石流發生臨界降雨判別模式，尚待進一步之研究。

引用文獻

- 江英政 (1998) 土石流危險溪流判定之研究，國立台灣大學土木工程學系碩士論文。
- 范正成 (2000) 土石流防災與監測之研究-雨量分析、降雨預報應用於土石流預警，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 林昭遠、林文賜 (2001) 集水區資訊系統(WinGrid)入門，臺中：暉帥股份有限公司出版：5-1-5-29。
- 林昭遠、林文賜 (2000) 集水區地形因子自動萃取研究-土石流危險溪流判釋之應用，中華水土保持學報，31 (1): 81-91。
- 洪如江 (1996) 賀伯颱風、新中橫公路與坍方及土石流災害，地工技術，57：25-30。
- 游繁結、陳重光 (1987) 豐丘土石流災害之探討，中華水土保持學報，18：76-92
- 詹錢登 (2002) 土石流發生降雨警戒值模式之研究，行政院農委會水土保持局科技計畫。
- 謝正倫、陳禮仁 (1993) 土石流預警系統之研究 (II)，研究試驗報告第 139 號，行政院農委會。
- 謝正倫、張東炯 (1996) 中部地區土石流現場調查與分析，農業工程學報，43 (3): 31-46。
- 池谷浩 (1980) 土石流災害調查法，國家科學委員會土石流研究群中譯本，臺北：國家科學委員會。
- 瀨尾克美、船崎昌繼 (1973) 土砂害降雨量之研究，新砂防，88: 22-28。
- Keefer, D. K. (1987) Real-Time Landslides Warning During Heavy Rainfall, *Science*, 38: 921-925。



附錄一 各雨量站歷年降雨記錄

單位 R : mm T : hr

日期	形成原因	龍神橋		新高口		望鄉		東埔		西巒		內茅埔	
		R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T
1985/08/22	尼爾森颱風	241.8	53	424.9	54	431.5	56	398.6	50	382.6	53	298.7	51
1986/08/21	韋恩颱風	262.7	16	235.6	24	289.6	22	266.4	23	275.2	24	253.7	20
1987/07/26	亞力士颱風	124	20	135	35	114.6	20	129.4	31	102.6	15	95.3	14
1987/09/08	傑魯得颱風	67	12	103.5	25	84.2	19	69.3	15	58.3	13	74.2	16
1988/05/22	豪雨	137	27	168	35	123.6	30	147.5	29	124.6	26	112.3	25
1988/08/10	豪雨	253.6	48	312.6	63	243.7	45	276.8	48	214.3	43	196.3	35
1989/09/11	莎拉颱風	321.9	52	412.3	67	347.	55	387.3	58	362.3	58	359	53
1990/04/22	暴雨	158	19	212.9	39	189.9	25	173.6	28	204.5	32	182.7	29
1990/06/02	暴雨	158	12	183.3	53	87.5	17	96.3	16	106.7	23	89.3	20
1990/06/22	歐菲莉颱風	189.6	40	263.4	47	221.8	45	235.2	42	176.3	37	197.3	40
1990/08/03	暴雨	109.4	22	211.8	36	107.2	25	185.4	30	157.8	32	137.4	33
1990/08/19	楊希颱風	368.4	53	598.67	81	454.1	85	380.3	55	423.5	65	397.6	60
1990/09/07	黛特颱風	47.8	8	116.8	30	136.3	26	150.4	23	102.6	25	136.7	30
1991/06/19	暴雨	187.5	45	230.6	60	219.4	65	187.4	50	167.5	47	203.9	53
1992/04/11	暴雨	87.5	22	168.6	41	133.4	50	89.6	26	98.6	39	115.3	42
1992/07/04	暴雨	100.8	25	346.9	85	165.4	35	214.3	39	168.9	26	264.5	33
1992/08/29	寶莉颱風	220.9	48	364.4	43	241.5	40	251.3	45	236.6	42	197.5	37
1992/09/04	歐馬颱風	74.4	10	106.7	27	74.7	24	97.6	23	98.6	25	76.8	21
1992/09/20	泰德颱風	62	20	103.6	20	94.4	24	78.2	23	86.5	23	74.6	21
1993/05/25	暴雨	80	16	200	39	109	36	136.7	32	96.5	20	108.6	35
1993/06/05	暴雨	129.9	30	287.4	36	152.3	45	143.7	35	165.3	30	157.9	28
1994/05/03	暴雨	150	38	149.6	36	108.1	35	159.2	36	132.6	32	149.7	34
1994/06/19	暴雨	74.9	7	55	11	72	12	86.3	13	72.3	9	62.3	8
1994/07/10	提姆颱風	44.7	12	153.7	49	185.9	36	87.5	18	123.6	23	109.7	25
1994/08/07	道格颱風	229	40	674.4	77	459	55	397.9	53	359.7	48	412.8	57
1994/10/10	席斯颱風	150.9	30	230.6	28	211.8	30	187.2	32	164.8	35	195.7	36
1995/03/02	暴雨	62.9	16	89	20	73.6	18	84.2	20	71.2	14	98.6	18
1995/06/07	荻安娜颱風	258.1	49	301.1	45	236.2	45	287.5	43	204.6	46	256.3	40
1995/07/24	暴雨	78.9	8	94.4	10	97	12	85.3	13	68.3	10	78.5	12
1995/09/20	賴恩颱風	66.5	12	76.9	10	84.4	15	63.7	11	78.2	11	89.6	15
1996/05/04	暴雨	230.1	45	252.3	62	200.8	56	217.3	48	157.6	35	198.6	42
1996/05/22	凱姆颱風	87.3	24	120.6	30	94.8	31	106.8	29	97.6	26	110.6	31
1996/07/31	賀伯颱風	512.7	39	797.8	38	876.3	40	728.6	40	675.8	35	579.6	38
1997/03/21	暴雨	98.7	38	234.2	60	144.3	44	163.8	45	124.8	40	189.6	48
1997/06/13	暴雨	124.8	37	117.9	13	130.5	20	120.6	31	108.2	29	98.6	27
1997/08/17	溫妮颱風	69.3	18	129.4	29	365	38	189.6	30	96.2	16	203.4	26
1997/08/28	安珀颱風	44	12	135.2	28	65.5	22	74.2	23	58.4	16	102.3	22
1997/09/3	暴雨	37	7	108.3	10	97.1	8	120.6	10	86.5	6	48.3	6
1997/09/08	暴雨	72.6	9	123.8	12	131.8	20	98.5	16	102.5	16	98.3	18
1998/01/14	暴雨	100.3	19	128.6	18	108.1	22	97.6	17	87.5	16	135.2	20
1998/02/19	暴雨	140.49	23	180.9	30	106.3	30	120.6	25	132.8	25	103.9	18
1998/03/10	暴雨	106.7	24	181	22	129.7	33	168.3	24	157.9	28	137.5	24

單位 R : mm T : hr

日期	形成原因	龍神橋		新高口		望鄉		東埔		西巒		內茅埔	
		R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T
1998/04/25	暴雨	98.5	18	146.7	60	111.5	24	87.2	16	89.5	15	105.7	23
1998/05/30	暴雨	101	10	204.8	15	187.4	13	230.6	15	168.3	12	213.6	17
1998/06/05	暴雨	109.5	24	313.6	43	156.1	24	144.9	23	167.2	19	207.6	21
1998/06/21	暴雨	70	12	129.5	20	87.4	12	113.2	18	98.6	13	105.7	19
1998/08/04	奧托颱風	180.1	21	203	24	210.2	20	159.7	17	186.3	18	216.3	21
1998/09/02	暴雨	36	9	60.5	9	63.2	10	45.8	9	35.2	9	59.7	12
1998/10/15	瑞伯颱風	178.8	32	289.5	36	427.8	40	325.7	38	158.9	30	210.3	39
1999/05/27	暴雨	163.4	20	173.5	38	144.7	35	132.8	28	156.3	29	198.7	31
1999/06/16	暴雨	150.8	30	87.9	15	66.3	17	98.6	18	123.5	26	102.1	15
1999/07/12	暴雨	70.2	16	95.8	17	93.6	15	84.6	18	65.9	13	102.6	19
1999/07/25	暴雨	103.8	9	130.8	15	100	13	126.3	11	98.3	9	103.6	10
1999/08/06	暴雨	113.9	30	146.4	23	123.6	24	130.6	25	98.5	25	129.6	26
1999/08/10	暴雨	158.9	35	198.1	40	172	38	164.5	39	132.9	36	149.2	35
1999/08/23	暴雨	46.1	10	70.3	15	82.8	12	75.2	14	65.3	12	56.9	10
2000/04/01	暴雨	94	13	145.6	16	75	14	132.8	12	106.8	10	123.8	11
2000/05/01	暴雨	84	13	549.2	30	112.2	26	250.3	25	267.5	20	187.6	16
2000/05/26	暴雨	36.9	7	50.3	7	35.8	8	48.6	7	39.8	7	62.5	10
2000/06/12	暴雨	231.7	41	314.6	67	146.4	43	276.4	42	263.2	40	216.7	39
2000/07/08	啓德颱風	66.4	10	122.3	41	86.9	18	96.3	23	70.6	16	85.3	23
2000/07/18	暴雨	54	9	197.9	15	102.5	11	154.2	12	76.9	9	153.2	10
2000/07/29	暴雨	94.6	10	86.5	9	102.1	13	120.3	11	89.5	9	124.2	10
2000/08/22	碧利斯颱風	70.4	26	267.5	47	166.8	30	247.6	40	96.3	30	204.6	37
2000/08/29	巴比倫颱風	30	10	48.7	14	57.3	15	42.3	13	39.7	9	49.5	12
2000/10/30	象神颱風	132.42	35	200.7	40	185.7	36	164.5	33	129.8	36	186.1	40
2001/03/27	暴雨	68.8	20	96.2	30	78.4	30	84.2	27	58.3	15	98.3	23
2001/04/11	暴雨	128.2	56	152.6	60	132.6	58	112.9	48	135.6	45	127.6	41
2001/06/07	暴雨	157.19	10	158.9	18	104.7	13	152.3	14	127.9	10	149.7	13
2001/06/13	暴雨	108.7	23	179.2	30	90.2	19	165.8	23	100.6	15	156.7	20
2001/06/18	暴雨	99.9	9	82.6	12	59.16	9	75.6	10	62.3	10	109.6	13
2001/07/14	暴雨	132.5	9	103.9	10	81.2	15	126.6	12	112.9	12	87.5	9
2001/07/24	暴雨	92.9	14	49	9	88.8	11	74.8	10	85.6	15	103.2	16
2001/07/29	桃芝颱風	521	24	618.5	37	607.2	25	586.9	30	543	28	621.3	35
2001/08/11	暴雨	28	7	54.5	7	46.2	8	63.5	8	42.6	6	59.6	7
2001/08/29	暴雨	25.4	8	116.2	20	122.6	18	87.5	13	89.3	12	99.7	15
2001/09/04	暴雨	44.8	9	100.2	19	86.9	19	97.6	17	65.3	9	78.2	13
2001/09/16	納莉颱風	108.8	25	264.3	32	363.7	62	297.1	50	189.6	40	305.9	53
2001/09/25	利奇馬颱風	150.2	35	196.8	42	180.6	38	134.6	36	134.3	30	179.5	40
2002/05/16	暴雨	34.4	8	151	21	114.1	21	123.7	23	56.9	13	79.5	16
2002/05/19	暴雨	53.4	9	72.6	11	68	10	67	10	49.6	8	69.6	13
2002/05/30	暴雨	128.3	12	102.6	12	189.5	15	175.2	13	129.6	11	103.5	12
2002/07/03	暴雨	256.7	27	323.9	32	390.9	30	341.3	28	296.8	24	317.5	31
2002/07/16	暴雨	75.8	16	108.1	25	51.9	14	65.3	11	69.4	15	79.6	19
2002/08/11	暴雨	94.1	14	101	17	121.8	16	97.3	15	89.2	12	113.9	17

附錄二 陳有蘭溪集水區歷年土石流發生資料

(一) 九二一地震前

集水區名稱	發生溪流	發生時間	致災原因
平坑	南投 025	民國 85 年 8 月 1 日 2~3 時	賀伯颱風
南投 028	南投 028	民國 85 年 8 月 1 日 1~2 時	賀伯颱風
豐丘國小	南投 029	民國 74 年 8 月 23 日 19:00 民國 75 年 8 月 22 日 18:50 民國 85 年 7 月 31 日 11~12 民國 87 年 6 月 9 日 18~19 民國 87 年 8 月 4 日 13:00	尼爾森颱風豪雨 韋恩颱風 賀伯颱風 豪雨 奧托颱風
十八重溪	南投 030	民國 74 年 8 月 23 日 19:00 民國 75 年 8 月 22 日 18:50 民國 85 年 7 月 31 日 11~12 民國 87 年 6 月 9 日 18~19 民國 87 年 8 月 4 日 13:00	尼爾森颱風豪雨 韋恩颱風 賀伯颱風 豪雨 奧托颱風
東埔一號橋	南投 031	民國 75 年 8 月 22 日 4~5 時	韋恩颱風
和社四號溪	南投 037 南投 A100	民國 85 年 8 月 1 日 0~1 時	賀伯颱風
桐子林橋	南投 040	民國 85 年 8 月 1 日 0~1 時	賀伯颱風
火燒寮坑	南投 067 南投 A087	民國 85 年 7 月 31 日	賀伯颱風
南平坑	南投 068	民國 85 年 8 月 1 日 2~3 時	賀伯颱風
郡安橋	南投 069 南投 070	民國 85 年 7 月 31 日	賀伯颱風
上安橋	南投 071	民國 85 年 7 月 31 日	賀伯颱風
筆石溪	南投 073	民國 85 年 7 月 31 日	賀伯颱風
出水溪	南投 076	民國 85 年 8 月 1 日 民國 87 年 5 月 9 日 民國 88 年 5 月 28 日 民國 88 年 7 月 20 日	賀伯颱風 豪雨 豪雨 豪雨
神木村六鄰	阿里山 B016	民國 86 年 9 月 1 日 民國 87 年 8 月 3 日 民國 88 年 7 月 20 日	豪雨 豪雨 豪雨

(二) 九二一地震後

集水區名稱	發生溪流	發生時間	致災原因
平坑	南投 025	民國 89 年 6 月 12 日 民國 90 年 7 月 30 日	豪雨 桃芝颱風
郡坑溪	南投 026	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
九層橋	南投 027	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
南投 028	南投 028	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
豐丘國小	南投 029	民國 89 年 5 月 1 日 民國 89 年 6 月 12 日 民國 89 年 7 月 20 日 17 時 民國 90 年 7 月 30 日 民國 90 年 8 月 10 日 民國 91 年 5 月 31 日 民國 91 年 7 月 3 日	豪雨 豪雨 豪雨 桃芝颱風 豪雨 豪雨 豪雨
十八重溪	南投 030	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
東埔一號橋	南投 031	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
東埔二號橋	南投 032	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
沙里仙橋	南投 033 南投 A122	民國 90 年 7 月 30 日 7 時	桃芝颱風
八頂溪	南投 034	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風

集水區名稱	發生溪流	發生時間	致災原因
烏乾坑溪	南投 035 同富 B022-1 同富 B024	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
南投 036	南投 036	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
和社四號溪	南投 037	民國 89 年 4 月 28 日 14 時 民國 90 年 7 月 30 日	豪雨 桃芝颱風
和社三號溪	南投 038	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
桐子林橋	南投 039 南投 074	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
米籠坑	南投 065 南投 A117	民國 90 年 7 月 30 日 7 時	桃芝颱風
竹子腳坑	南投 066	民國 89 年 4 月 1 日 20 時 民國 89 年 6 月 12 日 民國 90 年 6 月 6~7 日 民國 90 年 6 月 16 日 15 時 民國 90 年 7 月 30 日	豪雨 豪雨 豪雨 豪雨 桃芝颱風
竹子腳坑	南投 066	民國 89 年 4 月 1 日 20 時 民國 89 年 6 月 12 日 民國 90 年 6 月 6~7 日 民國 90 年 6 月 16 日 15 時 民國 90 年 7 月 30 日	豪雨 豪雨 豪雨 豪雨 桃芝颱風
南平坑	南投 068	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
郡安橋	南投 069 南投 070	民國 89 年 7 月 20 日 18~19 時 民國 90 年 7 月 30 日 7 時	豪雨 桃芝颱風
上安橋	南投 071	民國 90 年 7 月 30 日 19:00	桃芝颱風
火燒寮坑	南投 067 南投 A087	民國 89 年 4 月 1 日 20 時 民國 89 年 6 月 12 日 民國 90 年 6 月 6~7 日 民國 90 年 6 月 16 日 15 時 民國 90 年 7 月 30 日	豪雨 豪雨 豪雨 豪雨 桃芝颱風
內茅埔溪	南投 072	民國 90 年 7 月 30 日 7 時 民國 91 年 5 月 31 日	桃芝颱風 豪雨
筆石溪	南投 073	民國 90 年 7 月 30 日 民國 90 年 8 月 10 日	桃芝颱風 豪雨
愛玉橋	南投 075	民國 89 年 7 月 19 日 民國 90 年 7 月 30 日 6 時	豪雨 桃芝颱風
出水溪	南投 076	民國 89 年 7 月 23 日 民國 89 年 8 月 4 日 13:30 民國 90 年 7 月 30 日	豪雨 豪雨 桃芝颱風
信義	南投 A120 南投 A121	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
牛稠坑溪	溪頭 B051	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
阿里不動溪	同富 B001	民國 90 年 7 月 30 日 6 時	桃芝颱風
望鄉	同富 B008	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風
松山溪	阿里山 B013	民國 90 年 7 月 30 日 7 時	桃芝颱風
神木村六鄰	阿里山 B016	民國 89 年 7 月 21 日 民國 90 年 7 月 30 日	豪雨 桃芝颱風

93 年 12 月 08 收稿

94 年 01 月 12 修正

94 年 04 月 15 接受

