

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

地震造成新山崩地質環境特性之研究（子計畫一）

南投地區塊體崩移之研究（II）

Mass movement study triggered by earthquake in Nantou area (II)

計畫編號：NSC 90-2116-M-002-025

執行期限：90 年8 月1 日至91 年7 月31 日

主持人：林俊全教授

執行機關：台大地理環境資源學系

一、 中文摘要

台灣由於地質構造複雜，夏季的颱風常挾帶豪雨，土石流與崩山的頻仍發生常造成嚴重的災害。本研究主要針對陳有蘭溪流域四條溪流的崩塌與土石流的現象進行調查，希望探討其特性、分布及變化。陳有蘭溪流域從民國74年起就有土石流的紀錄，85年的賀伯颱風、921地震、桃芝颱風，都在此地傳出災情，可說是臺灣主要的崩塌與土石流災害分佈區之一，其中尤以豐丘村與神木村地區災情更為重視。本研究藉由收集此二地區的四個集水區過去數年的崩塌分佈、土石流情況與災情，探討各事件前後崩塌地與土石流間的關連性。

研究方法主要是針對陳有蘭溪的地質分佈、地形特徵與水系等因子，計算該集水區的形狀係數；找出歷年航照進行崩塌地的判釋，比較賀伯颱風前後、921地震、桃芝颱風等重大事件對崩塌地的影響；並藉由研究區的立體地形圖、部分野外判釋，輔助了解崩塌地的特性。

研究結果發現豐丘與神木村的崩塌地有位在邊坡與河道上的，邊坡應以側向侵蝕為主，河道上的則以向源侵蝕為主。此二地區側向侵蝕的崩塌地面積大但數量較

少，向源侵蝕的崩塌地則面積小但數量多。賀伯、桃芝颱風後增加的崩塌地以小規模的向源侵蝕崩塌地為主，而921地震則增加了部分面積較大的崩塌地。

關鍵詞：塊體崩移、土石流、陳有蘭溪、地震

Abstract :

Debris flows and landslides always cause serious hazards in Taiwan because of Taiwan's geological, heavy rainfall and also typhoons. This research mainly focus on the debris flows and landslides in four tributaries of Chenyoulun river, we would like to discuss the characteristics, distribution, and evolution of those. The first recorded debris flow in that area is in 1985. More Hazards was happened after the typhoon Herb in 1996. Since that time, 921 earthquake and the typhoon Toraji in 2001 stroke that place severely.

The result shows that the causes of the landslides in Feng Chu and Hseng Mu can be divided into two types. On the slope, failure caused by erosion is an important factor. On

the contrary, headward erosion mainly occurs within gullies by heavy rainfall. Compared with heavy rainfall, earthquake relatively triggered bigger landslides.

In this two areas, typhoon Herb and Toraji caused many small scale, headward erosion landslides, while the 921 earthquake triggered off several big landslides.

Keywords : mass movement, debris flow, Chenyoulan river, earthquake

二、緣由與目的

台灣地處菲律賓板塊與歐亞大陸板塊的交界處，島上地形地貌深具特性，而整個地形發育也深受地質的影響。陳有蘭溪位於濁水溪南岸，為濁水溪重要支流之一。李錫堤（1996）認為陳有蘭溪主流為一標準的斷層線谷（faultline valley），其左岸大致為中新世的沈積岩地層，右岸則為古第三紀之板岩。由於陳有蘭溪正位於變質岩系與沈積岩系的交會處，地質相當程度的破碎（圖一）；除此之外，該流域有相當多的沖積扇，是屬於河谷沖積扇的類型，並且為臺灣本島河谷沖積扇最發達的河川之一。豐丘村上游的小山溝早在民國 75 年就曾發生土石流，賀伯颱風後，除豐丘村之外，神木村亦發生災情慘重的土石流。之後的 921 地震、桃芝颱風事件發生，又讓此地區增加了相當數量的崩塌地。因此，本研究希望能進一步從地形角度探討崩塌地與土石流之間的關連性。（附錄一、豐丘、神木災情調查）

土石流意指泥、砂、石與水混合所形成之高含砂流體，在重力作用下沿著自然坡面流動的現象。形成土石流之基本要件為豐富的鬆散土石、充分的水分及足夠大之坡度。（詹錢登，2000）由於土石流土

砂之供應多寡來自於溪床上之堆積物，而堆積物可能部分來自於溪床上游邊坡崩塌地所形成之礫石材料。

土石流的流動型態與泥、砂、石之成份及其佔有比例有密切關係。若土石流內所含之細顆粒泥沙含量很小時（粒徑在 0.1mm 以下之泥沙，總其含量小於 10% 以下），且主要由粗顆粒砂石所組成，其運動過程包含大量砂石間的碰撞與摩擦，而泥水主要扮演潤滑及催化的角色，則稱為礫石型土石流；若是介於泥流與礫石型土石流之間，而含有豐富之細泥及礫石，則稱為一般性土石流。（詹錢登，2000）

土石流若依發生的地貌條件則可分為河谷型土石流及山坡型土石流。河谷型土石流是指土石流的發生、運動和堆積過程在一條發育較為完整的河谷內進行，土石流所需之泥石材料主要來自於河床質；山坡型土石流是指土石流的發生和運動過程沿山坡或山坡蝕溝中進行，而堆積過程發生在坡角或蝕溝出口與主流交會處，土石流所需之泥石材料主要來自於坡面沖蝕。（詹錢登，2000）

針對道路開發是否增加崩塌地而成為土石流主要供應源，邱創益（1996）認為陳有蘭溪之所以會受新中橫公路的開發問題，除了新中橫公路道路邊坡地質脆弱外，該區亦坡度陡峭、坡面相當不穩定。因此當賀伯豪雨來襲，大量累積雨量加上強度大的集中豪雨，而造成嚴重路基流失與邊坡崩塌，當時山坡地或道路邊坡之崩塌數即佔了 70%。此大量崩塌堆積到河谷，的確可能成為日後土石流的主要供應源。

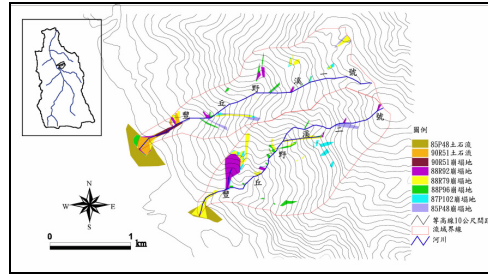
陳文福（1992）曾針對集水區地形因子與水文關係進行研究，認為集水區形狀會影響洪峰歷線的高峰與延時，若流域形狀屬狹長型，則洪峰歷線較平穩，洪水來

時峰流量也會較小；反之，如流域形狀近似圓形，則洪峰歷線會有一極大之高峰，且峰流量時間極短，易造成災害。

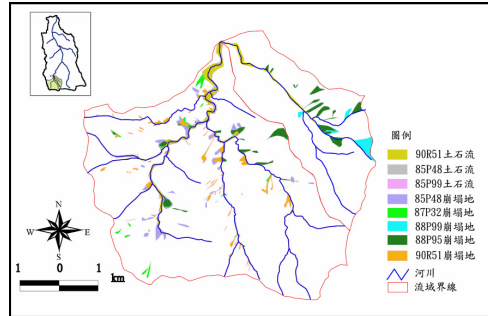
李錫堤（1996）針對崩塌地與水系的關係，認為陳有蘭溪的崩塌地主要有「向源侵蝕型」與「河岸侵蝕型」兩種崩塌地。

因此，本研究選擇豐丘野溪一號、二號集水區（圖二），及神木村的出水溪、郝馬嘎班溪（圖三）為主要研究對象。

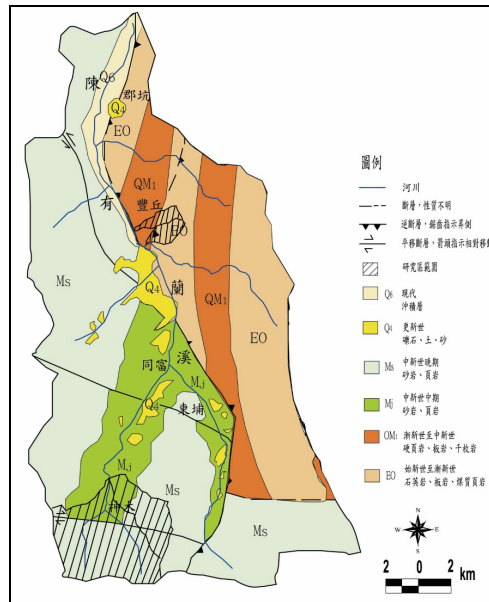
研究方法為收集研究區相關土石流資料、航空照片的崩塌地比對、向源侵蝕與側向(河岸)侵蝕崩塌的比較、流域的相關形狀係數計算、野外的判釋，依據時間順序，探討賀伯颱風、921地震、桃芝颱風等不同類型事件，對此區的崩塌地影響及土石流的狀況，以提供往後對崩塌、土石流研究相當重要的基礎。



圖二 豐丘野溪一號、二號流域及崩塌範圍分布圖



圖三 出水溪、郝馬嘎班河流域及崩塌範圍分布圖



圖一陳有蘭河流域地質圖與本研究區範圍（資料出處：中國測量工程學會出版之 1：100000 地質圖）

三、初步研究成果

本研究為求更細部了解豐丘野溪一號、豐丘野溪二號、出水溪、郝馬嘎班溪等四個流域的詳細形狀係數等，利用農林航測所出版的山區一萬分之一相片基本圖重新量測流域的基本資料。其中河川長度與等級計算皆以地圖上所繪製之水系計算，唯豐丘野溪一號因圖上無明顯水系，本研究乃自行由下游往上延伸到稜線，故在集水區河川級序及總長值，與其他三者有部分差異存在。

豐丘野溪一號、二號在各形狀係數方面值非常類似，都是屬於狹長型的集水區。但是坡度的陡峻、上游面積寬大有厚層崩積層，而下游出口處面積狹小，常使得豪雨時洪水或土石流滾滾而下無法宣洩，造成災害。

出水溪與郝馬嘎班溪的集水區在神木

國小附近匯流，由於上游水系眾多，匯流處河道縮減，使得豪雨來時溪床中的土石無處宣洩，土石流常跨越整個溪床、損毀民宅，並使得神木國小旁的霍薩溪橋一再被土石流沖毀。

豐丘野溪一號、豐丘野溪二號、出水溪皆屬狹長的小型山谷溪流，形狀係數在0.2-0.3之間；而郝馬嘎班溪流域形狀係數為0.5，而本研究四個集水區的形狀係數乃位於0.2-0.53之間，頗符合各相關研究的資料數據（尹承遠，1993；蘇育瑞，1995；陳榮河，1999），皆可算是土石流潛感溪流。

由上述相關地區研究調查可發現曾發生土石流的潛感溪流其形狀係數位在0.7以下，但此包括範圍相當廣泛。唯形狀係數接近1（圓形）的集水區其洪峰流量較大且較集中，而形狀係數較小的狹長型河川，其洪峰流量較小且時間分配較平均，應該發生土石流的機率較小。此間差異原因應與土石流發生機制之複雜性有關，即使非暴雨也可能發生土石流災害，以1996年8月3日發生之出水溪土石流為例，即在賀伯颱風大雨後數日一場小雨所引發，土石流發生之複雜性可此可見。

表一 四個流域的基本資料

河川名稱 資料	豐丘溪 1 號	豐丘溪 2 號	出水溪	郝馬嘎班溪
河川級序	1	2	3	4
主流長度 (km)	3.2	2.2	4.7	8.4
面積 (km ²)	1.76	2.13	8.7	26.25
細長比	0.5	0.62	0.57	0.82
環性比	0.38	0.65	0.51	0.62
形狀係數	0.2	0.3	0.28	0.53

為了解多次賀伯颱風、921地震及桃芝颱風對本研究區所造成的崩塌地變化及土石流影響，故選用了數年的航照資料（表二）進行判釋。

表二 本研究使用航照資料表

航線編號	拍攝日期	事件
85P48	85.08.21	賀伯颱風後
85P99	86.01.27	
87P32	87.05.14	
87P102	88.01.01	
88R79	88.09.27	921地震後
88R92	88.11.23	
88P96	88.12.10	
90R51	90.08.04	桃芝颱風後

（資料來源：農林航測所）

3-1 水里鄉豐丘村

豐丘村位於陳有蘭溪與十八重溪的交會口，旁邊有兩條山溝野溪一起匯入陳有蘭溪。該地區從民國七十餘年起，就有土石流發生的紀錄。而在賀伯颱風之後，嚴重的土石流問題開始浮上檯面。九二一大地震，震鬆了聚落上方原本就脆弱的變質岩層，更多的崩塌地與土石產生，成為新的土石流威脅來源。

由豐丘歷年崩塌資料（表三、表四）及圖四的立體圖來看，豐丘地區的崩塌向源侵蝕的比例不低，但面積較小；而側向侵蝕位在邊坡上的崩塌地，面積較大。由於豐丘這二個流域都屬於一、二級河的小規模，形狀又狹長，所以邊坡上的物質可以在颱風豪雨事件來臨後就快速沖積到河道上，造成主要土石供應的來源。

表三 豐丘歷年崩塌地個數資料表

航線 編號	向源 (個數)	側向 (個數)	向源 (個數%)	側向 (個數%)
----------	------------	------------	-------------	-------------

85P48	6	1	85.7	14.3
87P102	7	7	50.0	50.0
88R79	11	8	57.9	42.1
88R92	8	4	66.7	33.3
88P96	17	9	65.4	34.6
90R51	3	1	75.0	25.0

表四 豐丘歷年崩塌地面積資料表

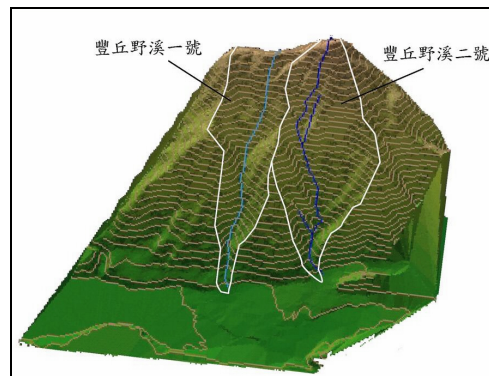
航線 編號	向源面積 (m ²)	側向面積 (m ²)	向源面積 (%)	側向面積 (%)
85P48	50085	12037	81	19
87P102	20625	107926	16.0	84.0
88R79	31342	105278	22.9	77.1
88R92	69262	34250	66.9	33.1
88P96	42241	111047	27.6	72.4
90R51	18016	29234	38.1	61.9

根據土石流顆粒組成來分類，豐丘的土石流多由巨礫組成，較少留下泥沙堆積，其類型為礫石型土石流。從航照配合立體地形圖（圖四）來看，野溪的上游沒有大型的河道，多是陡峭的山壁，坡度大都超過30度以上。由野外可觀察到，河道中沒有明顯的土石堆積。河道兩旁的山壁上有許多的崩塌地，崩塌地上有著鬆散土石的痕跡。土石的來源應是從山坡上直接滾落，甚至是先變成土石流才進入河道向下移動。若由此觀之，豐丘的土石流屬於山坡型土石流。

豐丘的土石流形成災害的區域，主要是在野溪下游的堆積區。這兩條野溪在豐丘聚落的附近匯入陳有蘭溪以及十八重溪，在匯入的地點成為一出谷口的現象，讓土石流展開堆積，形成現在豐丘聚落所位在的沖積扇。而由於河道堆積物的擠壓，豐丘溪下游出口的位置已有了偏移的情況。

從三個不同事件（賀伯颱風、921地震、桃芝颱風）配合航照來判釋，本區本

有不少崩塌地，部分接近河谷位置，有些崩塌地上大下小，類似於土石流的發生區。賀伯颱風後河谷變得寬大並堆積有相當多的土石，而後幾年則河谷縮小；但桃芝颱風後又有相當多上游土石被帶下，土石的堆積情況從豐丘野溪一號、二號上游直到下游都可以看見，並且有擴大的現象。可能的原因是原有崩塌的土石仍留在河道中，而921地震又增加了崩塌與土石材的供應。



圖四 豐丘野溪一號、二號流域立體圖

3-2 信義鄉神木村

神木村位於陳有蘭溪更上游的地方，神木國小即位在郝馬嘎班溪與出水溪的交會口旁邊的平地上。此二個流域上游高度達2800m左右，下游出口則在1300m左右，坡降相當大。這二條流域的土石流發生類型與作用與豐丘地區有著不同的成因。

神木村的土石流，組成的成分中混雜著巨礫、砂與泥。在二條溪流匯流處附近並沒有大型崩塌地，但在溪流上游則有著不少的崩塌地。

由表五、表六的崩塌地資料表，可得知此區的崩塌地多位在河道上游，以向源侵蝕的方式存在，崩塌形狀上大下小，呈漏斗狀，為土石流發生部的型態。向源侵

蝕的崩塌地雖然數量較多，但面積則較小；反之，位在邊坡上的崩塌地，數量雖較少但面積規模卻較大。

由於此二個地區流域規模較大，崩塌地也多位於支流上游處，故很多土石堆積在河道中，這些土石從崩塌地經過重力作用掉落，或以山坡型土石流的方式進入河道，由於河道長度以及坡度的關係，不一定會在一次豪雨事件中即快速進入中下游的河道，反而可能僅堆積在河道中。若下次大雨來臨，將一次一次分批將土石帶向下游移動。

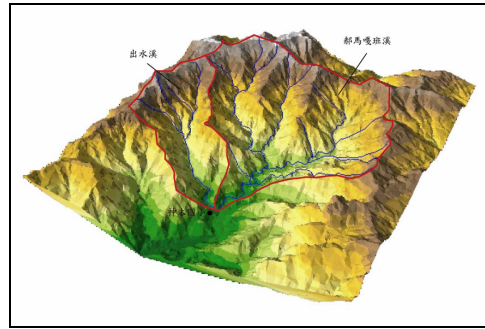
表五 神木地區歷年崩塌地個數資料表

航線 編號	向源 (個數)	側向 (個數)	向源 (個數%)	側向 (個數%)
85P48	12	20	37.5	62.5
85P99	9	3	75.0	25.0
87P32	8	8	50.0	50.0
88P95	9	3	60.6	39.4
90R51	55	19	74.3	25.7

表六 神木地區歷年崩塌地面積資料表

航線 編號	向源面積 (m ²)	側向面積 (m ²)	向源面積 (%)	側向面積 (%)
85P48	64648	455060	12.4	87.6
85P99	301718	5685	98.2	1.8
87P32	56013	174170	24.3	75.7
88P95	234749	391833	37.5	62.5
90R51	176405	212040	45.4	54.6

賀伯颱風、桃芝颱風後，此區增加的崩塌地多以面積小的向源型侵蝕為主，許多土石明顯的堆積在河道中。不若 921 地震後形成的崩塌地以邊坡上為主，且面積較大。



圖五 出水溪、郝馬嘎班溪流域立體圖

四、結論

豐丘地區的二個流域面積較小，但平日並無大規模崩塌，在大雨時崩塌土石易隨著大雨快速而下形成土石流，在下游出口沖積扇地方快速衝出，唯河道被人為河堤所束縮，並在沖積扇處建有聚落，致易產生大規模災情。神木村上游二個流域平常就有許多物質堆積在河道形成埋積的現象，雖然崩塌地仍然因為豪雨、地震而有所增加，但河道中的物質已累積足夠的土石材料，只待大雨一來即隨之而下。

豐丘與神木地區的崩塌型態因面積及河川等級有差異，側向侵蝕的崩塌多位於邊坡上，且面積大，顯而易見；向源侵蝕的很多崩塌地位於河川上游，不易觀察。

賀伯颱風與桃芝颱風後的崩塌地以小規模的上游蝕溝為主，而921地震則增加了部分較大面積的崩塌，應是不同作用所帶來的影響。

五、研究者自評

本研究受限於航照資料的校正問題，在崩塌地的判釋與使用上有誤差，但不至於有很大的影響，故仍可使用。若能將所有的航照資料進行良好的校正與正射化，則將使相關研究更良好。

由於航照受到角度拍攝問題影響，有些崩塌地會被植生所遮擋，而無法由該時

期的航照中判釋出，故判釋及統計出的崩塌數會有差異存在。

不易由圖上判釋的崩塌地應利用野外判釋加以輔助，以補充資料的正確性。但受限於許多河川上游地區交通不易到達，故圖像資料取得的正確與精密則更顯得重要。

崩塌地的坡形會影響土石流的來源供應，如能針對坡形加以判釋與了解，則將更有助於了解崩塌地與土石流之間的關係。

六、參考文獻

1. 尹承遠、翁勳政、吳仁明、歐陽湘(1993) 台灣土石流之特性，工程地質技術應用研討會(V) 論文集，70-90。
2. 李錫堤(1996) 從地形學的觀點看陳有蘭溪的賀伯風災，地工技術，57:17-24。
3. 林美聆、游繁結、林炳森、范正成、王國隆(2000) 集集震後土石流二次災害危險性之評估，地工技術，81: 97 - 104。
4. 張瑞津(1997) 陳有蘭溪流域的地形環境與自然災害之關係，中國地理學會會刊，25: 43-64。
5. 張瑞津、沈淑敏、劉盈劭(2001) 陳有蘭溪四個小流域崩塌與土石流發生頻率之研究，國立臺灣師範大學地理研究報告，34: 63-84。
6. 陳天健、王國隆、洪鳳儀、劉東京、蔡修毓、林美聆(2001) 桃芝颱風土石流災害特性與災因檢討，中華水土保持學報，32(4): 279-288。
7. 陳文福(1992) 集水區環境與水文之關係，水土保持學報，24(1): 113-129。
8. 陳榮河(1999) 土石流之發生機制，地工技術，74: 21-28。
9. 詹錢登(2000) 土石流概論－土木防災系列1，科技圖書股份有限公司，台北，4-20。
10. 雷祖強、周天穎、袁嵐焜、郭靜怡(2001) 運用3S技術於土石流災害調查之研究-以豐丘為例，中華水土保持學報，32(4): 315-326。
11. 謝正倫(2000) 土石流危險溪流調查計畫，財團法人成大研究發展基金會，台南。
12. 邱創益(1996) 賀伯颱風對阿里山公路山區路段造成崩塌之調查分析，賀伯颱風災害調查研討會論文集，國科會工程處工程科技推展中心，1-15。
13. 張長義(1999) 土地利用與環境災害關係之探討—以南投縣信義鄉為例，35-39。
14. 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(1): 76-92。

附錄一 陳有蘭流域歷年土石流災情調查表

時間	災害地點	災害原因	雨量(mm)	地形或坡度	地質狀況或岩層	災害情形	傷亡
74. 08.22	豐丘村	尼爾森颱風	300	53.17% (28°)	乾溝層(有斷層通過。變質板岩、片岩區，節理發達。地表為破碎砂礫、岩塊堆積而成，膠結不良、孔隙發達。)	土石堆積在公路上，泥漿衝入民宅達1m高。	0
74. 08.22	十八重溪	尼爾森颱風	308	31% (17°)	(砂岩、黑色板岩。鄰近有斷層通過，岩質破碎，表層多為鬆散且膠結不良之土礫。)	橫跨十八重溪之橋樑右岸橋墩幾被淹沒，幸其結構為遭破壞。)	
75. 08.22	豐丘村 (豐丘國小南)	韋恩颱風	200	80.97% (39°)	乾溝層(有斷層通過。變質板岩、片岩區，節理發達。地表為破碎砂礫、岩塊堆積而成，膠結不良、孔隙發達。)	果園遭掩埋，泥漿侵入民宅，公路、電線桿、供水排水設施損毀。	
75. 08.22	十八重溪	韋恩颱風	193		(砂岩、黑色板岩。鄰近有斷層通過，岩質破碎，表層多為鬆散且膠結不良之土礫。)		
85. 08.01	豐丘村	賀伯颱風	814		和社層、沖積層 N21° W/14° ~30° N	防沙壩及整流工程受損，上游崩塌20公頃	2人亡
85. 08.01	十八重溪	賀伯颱風	814		和社層、沖積層	橋前北側河床大量土石堆積	
85. 08.01	神木村 龍華橋	賀伯颱風	814		和社層、沖積層 N30° E/16° ~54° S 順向坡	橋台傾斜造成路面下陷	

85. 08.01	神木村 龍華國小 第二鄰	賀伯 颱風	814		和社層、沖積層 N30° E/16° ~54° S 順向坡	土石堆積公路 100 公尺，土石 流淹埋國小一樓 的 6 間教室	
85. 08.01	神木村 新興橋 第五鄰	賀伯 颱風	814		和社層、沖積層 N30° E/16° ~45° S 順向坡	橋墩被水沖走、 橋樑斷裂，河道 刷寬、危及兩岸 民房	
85. 08.01	神木村 第六鄰	賀伯 颱風	814		和社層、崩積層 N11° E/21° ~62° S	產業道路橋樑被 土石流沖毀	6 人 傷、5 人亡
85. 08.01	神木村	賀伯 颱風	814		和社層、沖積層	產業道路兩座橋 樑被土石流沖斷	
87. 05.11	神木村	豪雨				沖毀霍薩溪橋， 神木國小停課	
87. 06.09	豐丘、神 木村	豪雨	125		土石越過野溪攔砂 壩，淤積在新中橫 公路約一層高，道 路中斷		
87. 08.05	豐丘、神 木村	奧托 颱風			土石淹沒道路、交 通中斷、臨時便道 沖毀		
88. 05.29	神木村	豪雨			道路、河谷便道、 橋樑沖毀		
88. 07.21	神木村	豪雨			道路中斷、土石淤 積兩側，河堤、便 道、流籠沖毀		
89. 08.05	神木村	豪雨			沖毀溪床便道、民 眾受困、道路坍方		
90. 08.11	豐丘村	豪雨			土石阻斷道路八百 多公尺、交通受阻		

資料出處：1.張石角（1991）、2.陳宏宇（1995）、3.陳禮仁（1996）、4.張長義（1998）