The background of the page is a detailed topographic map of Nantou County and the Shuixi River Basin. The map shows the river network, major roads, and various land use patterns. Three specific areas are highlighted with different patterns: Area A (top center) has a dotted pattern, Area B (top right) has a cross-hatch pattern, and Area C (bottom center) has a diagonal line pattern. The title and author information are overlaid on this map.

## 自然和人為因子對南投縣和社溪流域之邊坡崩壞的影響

劉盈劭

沈淑敏

國立台灣師範大學地理系博士班研究生，國立台灣師範大學地理系副教授

## 摘要

本研究以位於南投縣信義鄉之陳有蘭溪流域和社溪上游三個支流為研究區，利用八個年度的航空照片判讀崩塌與土石流的分布，以及道路與人為開發的範圍，配合數值地形模型（DTM）分析，探討影響本區邊坡崩壞的自然與人為因素。影響邊坡災害的因素中，自然因素著重在坡度、地層種類和颱風地震事件順序的討論；人為因素則包括道路興築和開墾地，探討人類對自然環境的措施如何影響本區的邊坡穩定性。

關鍵詞：陳有蘭溪、和社溪、邊坡崩壞、土地利用

## 一、緒論

臺灣的構造條件使臺灣的相對起伏大，地質鬆散。再加上夏、秋兩季常發生的暴雨，流域邊坡發生崩塌，河道出現土石流，下游低窪地區氾濫是臺灣常見的自然作用。如果這些作用造成人類的生命財產的災害，才造成災害。過去臺灣地區受人民注意的災害相關報導，多為洪水災害所造成的農損。直至1996年賀伯颱風重創南投縣陳有蘭溪沿岸聚落（如神木村）的報導畫面，「土石流」一詞才在大家的印象中扎根。賀伯颱風後的十餘年來，每遇颱風，台灣各地就會陸陸續續傳出土石流災害的消息。由1971 - 2000的文獻資料統計的災害時空特性圖表中，崩塌災害紀錄以台北縣市最為多件，而南投的崩塌案例在1991 - 2000年間有大幅度的成長。此外，同一份資料也顯示，南投縣1971 - 1980年並沒有土石流的紀錄，1981 - 1990也僅有4件，1991 - 2000年間，土石流紀錄大增為14件（林雪美，2004）。上述的災害時空分布顯示，崩塌、土石流等的自然災害過去不常在報章媒體上刊出，是否與當時山區人口密度與土地利用密度尚低，較少影響人民生活有關？近年來，臺灣人口日增，平地的開發日漸飽和，加上平地土地利用多有農地變更為工業或其他用途，使得進入山區開發的人數增加，原本崩塌、土石流等的自然作用就因為人口增加，造成災害的可能性大增。倘若能夠藉由圖像資料判斷歷年的邊坡災害與土石流的發生，再加上歷年人為的開發利用分布，也許可以一窺人為作用與這些自然作用的關連。本文希望透過數年的航空照片判讀，試圖從歷年的崩塌與土石流發生位置，以及人為的開發範圍，配合上自然環境的資料，歸納出影響崩塌與土石流的自然因素與人文因素。研究對象則鎖定陳有蘭溪南端的三條小支流，包括出水溪、頭坑溪及四號野溪。

本研究利用航空照片判釋出該年的崩塌位置分布、道路及開墾範圍。是否有土石流發生則以河谷內是否有明顯的刷深，谷口是否有土石流的堆積體判別。利用ArcGis將以上資訊數化，作為分析的主體資料。選用的航空照片包括早期空軍照相技術隊於1963年拍攝的航照，以及



農林航空測量所所拍攝的1980、1985、1993、1996、1999、2001、2004共八個年度的資料（表1）。

表1 航照年度與事件發生日期一覽表

年度	1963	1980	1985	1993	1996	1999	2001	2004
代表事件	最早航照	新中橫開始修築	新中橫修築中	新中橫完工	賀伯颱風	集集地震	桃芝颱風	敏督利颱風

本研究區位在臺灣中部濁水溪南岸，陳有蘭溪南部支流和社溪的三個支流，這三條支流的流域面積各差1個等級（表2），皆屬於2級河。河道坡降大，流域坡度在30 - 35度之間，反應了山地型河川陡峭的環境特性。河長的部分多在5公里以下，流路短，對事件反應較為快速，易觀察變動情況。組成地層以南港層與南莊層為主，前者多分布在中下游，後者則在中上游位置（圖

1）。南港層（和社層）主要由暗灰色至暗黑色緻密頁岩或厚層粉砂岩構成。頁岩多成球狀風化，較大岩塊易崩解成小岩塊，粉砂岩則抗蝕性較強，會出現瀑布或陡壁的現象（謝有忠，1998）。南莊層則為淺灰色細粒厚層砂岩為主，略成馬蹄形，厚層砂岩常風化成大岩塊，本區河道中多巨石，大部分都由南莊層風化而成。區內有許多構造線，顯示本研究區岩體較為不穩定，由大部分溪流中下游的露頭可見大量崩積層及河道豐富的土石堆積，都可顯示本區地質的破碎狀況。依據望鄉測站資料顯示，本區年平均雨量為2509.4公釐（1961 - 2002年），雨量集中

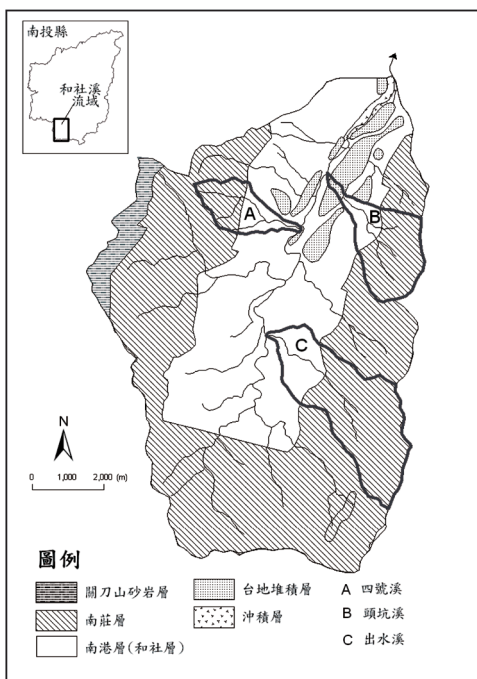


圖1、研究區位置與地質圖





5 - 9月份，佔了全年雨量的76%，主要的大型降雨為春雨（5 - 6月）及颱風雨（7 - 9月），其中颱風雨的雨量及強度又超過春雨。冬季每月平均降雨量不及50公釐，為乾濕分明的區域。

表2 流域概況統計表

河名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	河長 (km)	河流坡降 (°)	流域坡度(°)	河流等級
四號溪	2.45	3.21	12.7	35.5	2
出水溪	8.57	5.08	11.3	34.8	2
頭坑溪	4.42	3.74	14.2	33.0	2

## 二、歷年崩塌的分布

本研究選擇了和社溪左岸的四號溪以及右岸的頭坑溪、出水溪共三條支流做為研究對象。每一條支流都有八個年代的崩塌分布圖（圖2 - 4），以下分別敘述三個流域在不同年代的崩塌分布與特性（表3）。

### （一）四號溪

在1985年以前，崩塌零星且隨機發生在邊坡上。1985年，北面邊坡發生數個溝狀的崩塌，1993年崩塌集中在源頭區與北岸邊坡。1996年賀伯颱風後則在源頭和北邊坡新增幾個崩塌，1993年的崩塌在1996年時部分已消失。1999年的集集地震和2001年的桃芝颱風，除了之前發生在北邊坡的崩塌在發生崩塌外，首次在南邊坡稜線及河岸邊附近判讀出新增的崩塌。2004年的敏督利颱風的崩塌多發生在河岸邊，發生在邊坡上的崩塌數量很有限，之前的崩塌位置多已恢復。此外，四號溪在1996年、2001年、2004年的航照中，可判讀出谷口處有土石堆積的扇狀地，掩沒了匯流口過去較低位扇狀地附近的農地（圖2）。

### （二）頭坑溪

頭坑溪在1963年判讀的崩塌只有上游一個崩塌，下游右岸有一片

較為大面積的裸露地，由於其形狀規則，判斷應非崩塌，且1980年就已消失，並未計算在崩塌數據中。1980及1985年河道下游邊坡有重複的崩塌，中上游的崩塌分布零星且隨機。1993年下游的崩塌沒有再發生，中上游崩塌也是出現在之前未發生的區位。1996年賀伯颱風發生後，在1980年代出現的下游崩塌重新發生崩塌，其他崩塌都發生在中游區段，與之前的崩塌重複程度低。1999年的集集地震崩塌多發生在流域東北向的邊坡上，2001年桃芝颱風的崩塌與集集地震的崩塌位置重複，且在中上游河岸及稜線新增數個崩塌。2004年的敏督利颱風所判讀出的崩塌發生區位與前幾次事件不盡相同，且都是河岸侵蝕為主。

整體而言，下游出谷口以上的河岸崩塌重複性較高，中上游的崩塌分布零星且隨機，僅集集地震與桃芝颱風的重複性較高。此外，1996年及2001年都有在高位扇階之下的匯流口判讀出扇狀地（圖3）。

### （三）出水溪

出水溪1963年判讀的崩塌集中在下游部分，1980年的崩塌主要為山崩溝的形式，上游則有一個較大的底岩崩塌。1985年的崩塌區域多集中在上游稜線區位。1993年與1996年的崩塌有三個明顯的集中區位，分別是下游部分集中上游多條支流匯集處，以及最上游的稜線部分。1999年的崩塌集中在中游的邊坡上，下游部分的崩塌零星且面積與個數偏少。2001年的崩塌沿主流有多個山崩溝狀的崩塌，上游多條支流匯集處仍有崩塌集中的趨勢。2004年的崩塌分布有兩個趨勢，規模較大的崩塌多分布在前述支流匯集處，規模小的崩塌多為新增且零星分布在邊坡及河岸邊。土石堆積扇狀地則出現在1996年及2001年。掩沒了出水溪與和社溪匯流口低位扇狀地上的神木國小一帶的建築（圖4）。

表3 三條支流崩塌個數與面積統計表

流域	1963		1980		1985		1993		1996		1999		2001		2004	
	個數	面積	個數	面積	個數	面積	個數	面積	個數	面積	個數	面積	個數	面積	個數	面積
四號溪	2	0.6	2	0.5	8	4.5	18	5.0	11	12.4	23	21.2	37	19.4	18	8.0
出水溪	6	18.2	6	14.1	13	44.5	22	33.0	17	76.3	57	45.8	42	57.2	46	36.0
頭坑溪	1	3.6	4	4.0	6	12.3	3	2.6	10	15.9	15	8.1	25	12.0	6	2.3

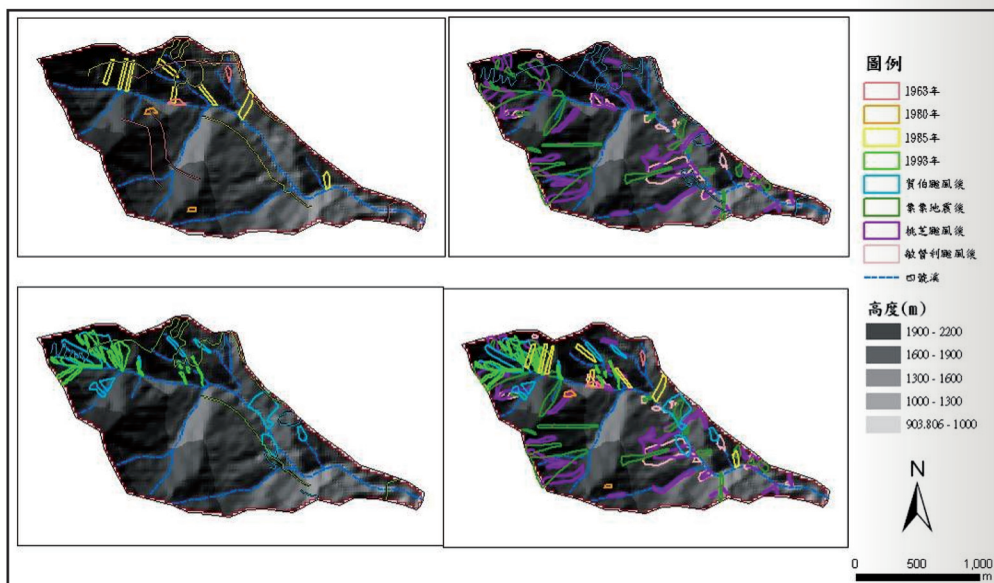


圖2、四號溪各年度崩塌分布與道路疊合圖

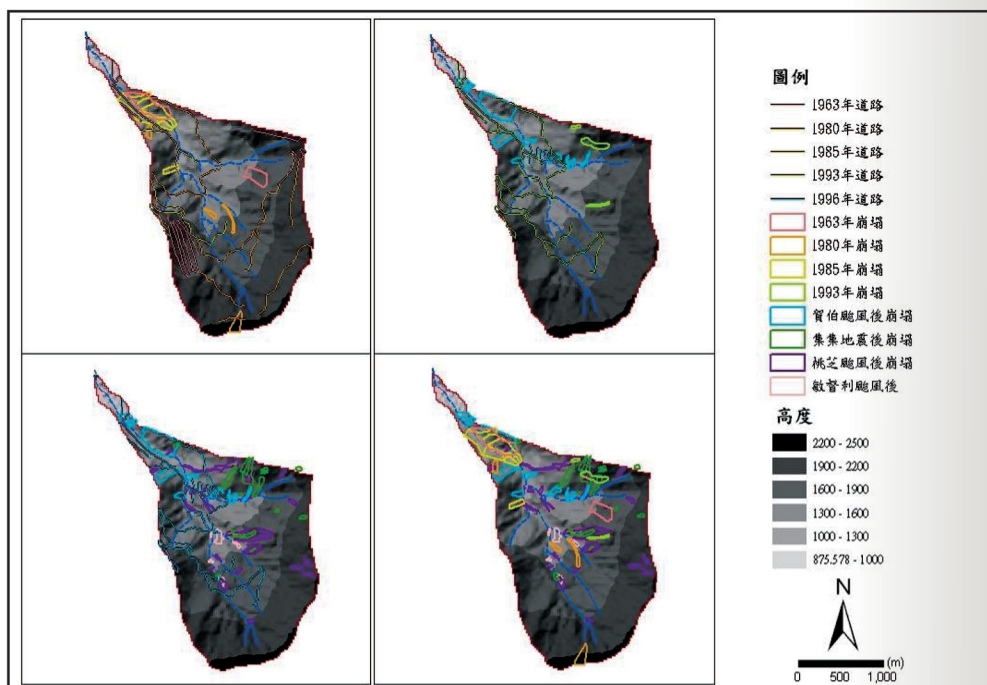


圖3、頭坑溪各年度崩塌分布與道路疊合圖

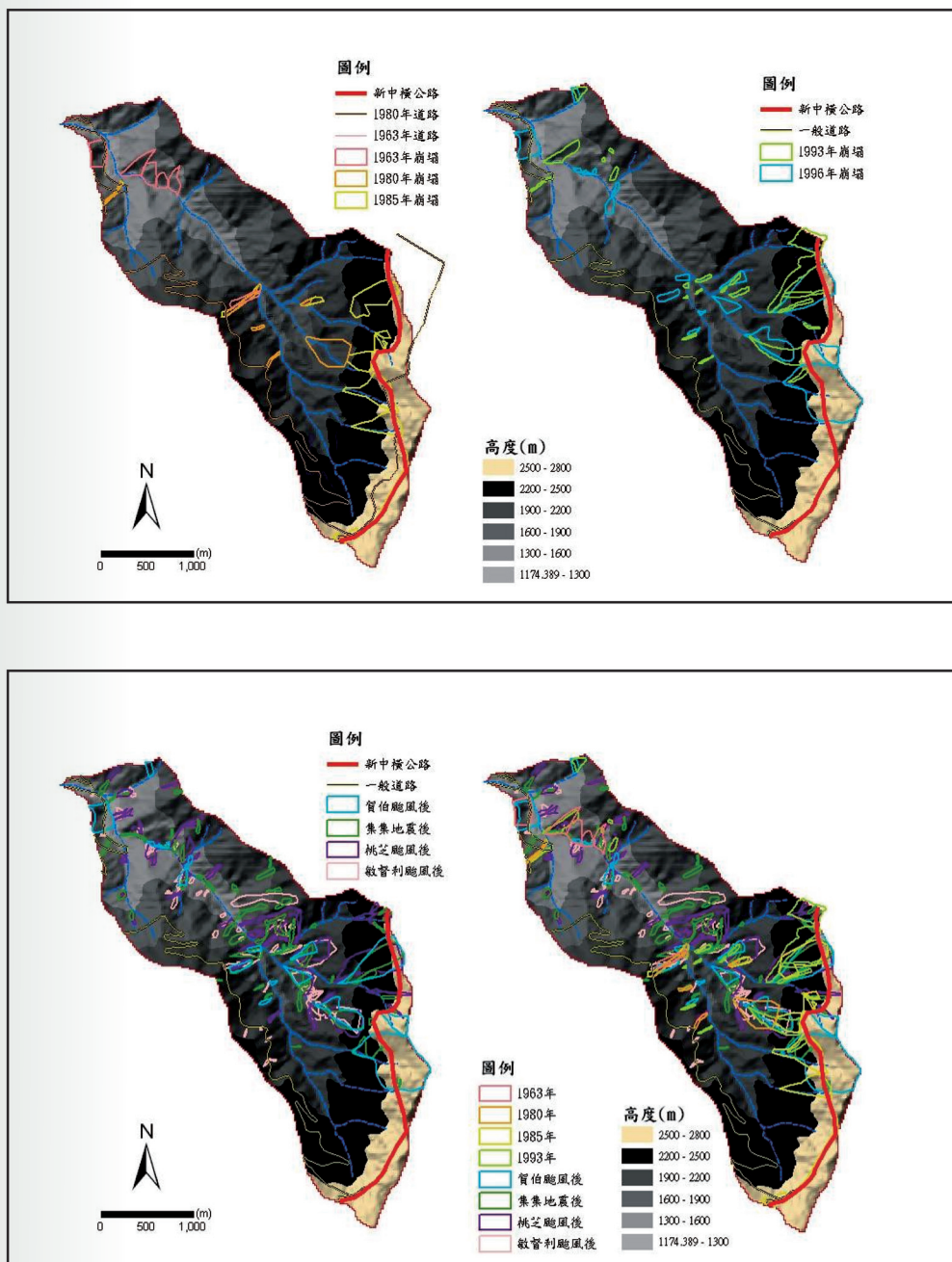


圖4、出水溪各年度崩塌分布與道路疊合圖

### 三、影響崩塌分布的可能因素

影響崩塌發生的原因包括自然環境與人為活動兩大類，自然環境（如：坡度）的變動在數十年的尺度中，較為細微，但人為的活動就可能有比較明顯的變動，如道路的興建、人為開發的程度等等。本文採用疊圖分析的方式，討論自然環境與人為活動對本區崩塌發生的影響。



自然和人为因子對南投縣和社溪流流域之邊坡崩壞的影響

#### （一）自然環境對崩塌分布的影響

##### 1、坡度對崩塌的影響

三條支流的崩塌坡度大多分布在30~45度之間（圖5 - 7），集集地震和桃芝颱風的崩塌平均坡度較之前發生的崩塌高，至敏督利颱風則趨緩。這種現象可能跟地震的地形效應有關，即震波會集中在高處（D.K. Keefer, 2000），使得上邊坡的崩塌增加，平均坡度的數值也因此增加。

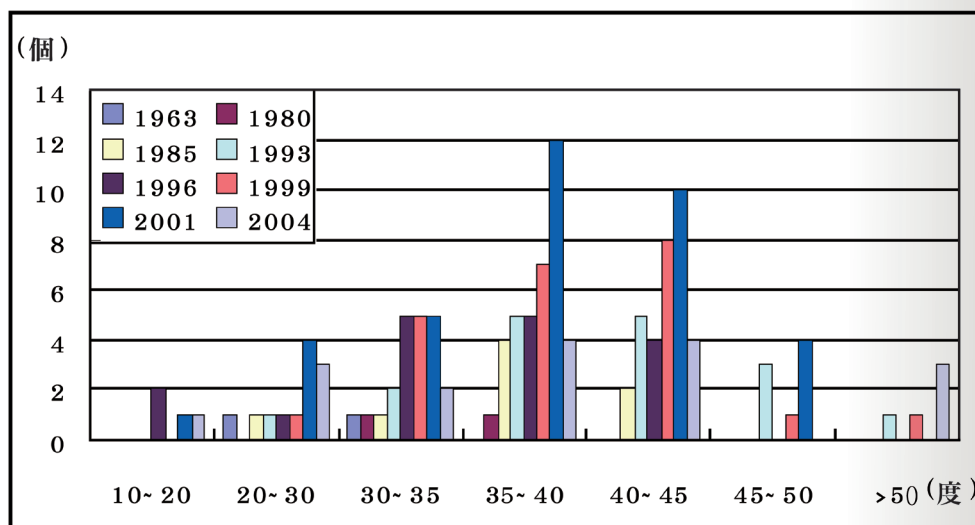


圖5、四號溪崩塌平均坡度分布圖



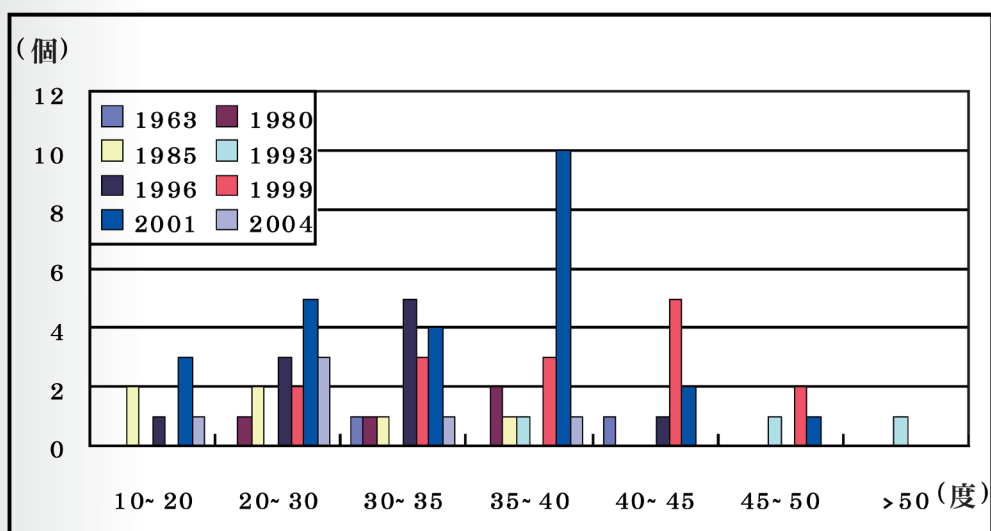


圖6、頭坑溪崩塌平均坡度分布圖

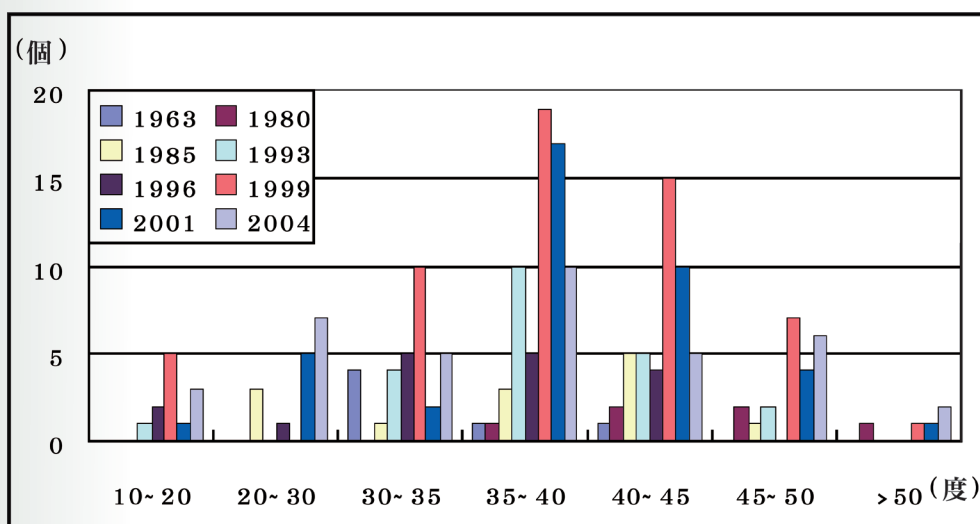


圖7、出水溪崩塌平均坡度分布圖

本研究進一步將三條支流的崩塌疊合本區的坡度圖（圖8 - 10），發現三條支流的崩塌都發生在流域中相對坡度最大的區位。雖然該區位不是每個年度都會有崩塌出現，也未必整片坡度較陡的邊坡都會一起崩塌，但其崩塌重複發生的機率相對較高，顯示邊坡坡度的陡峭程度，對本區的崩塌有相當重要的影響。

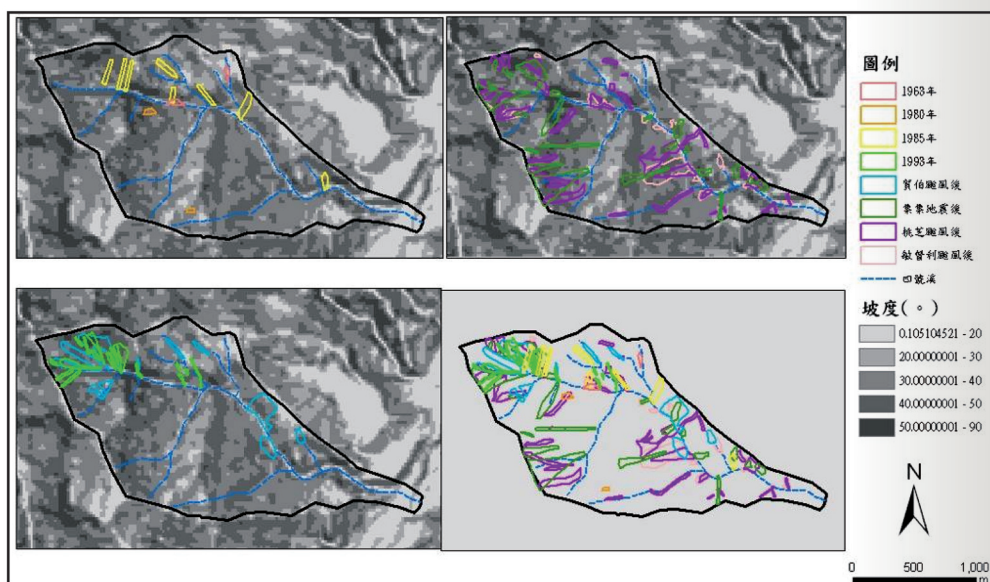


圖8、四號溪崩塌與坡度疊合圖

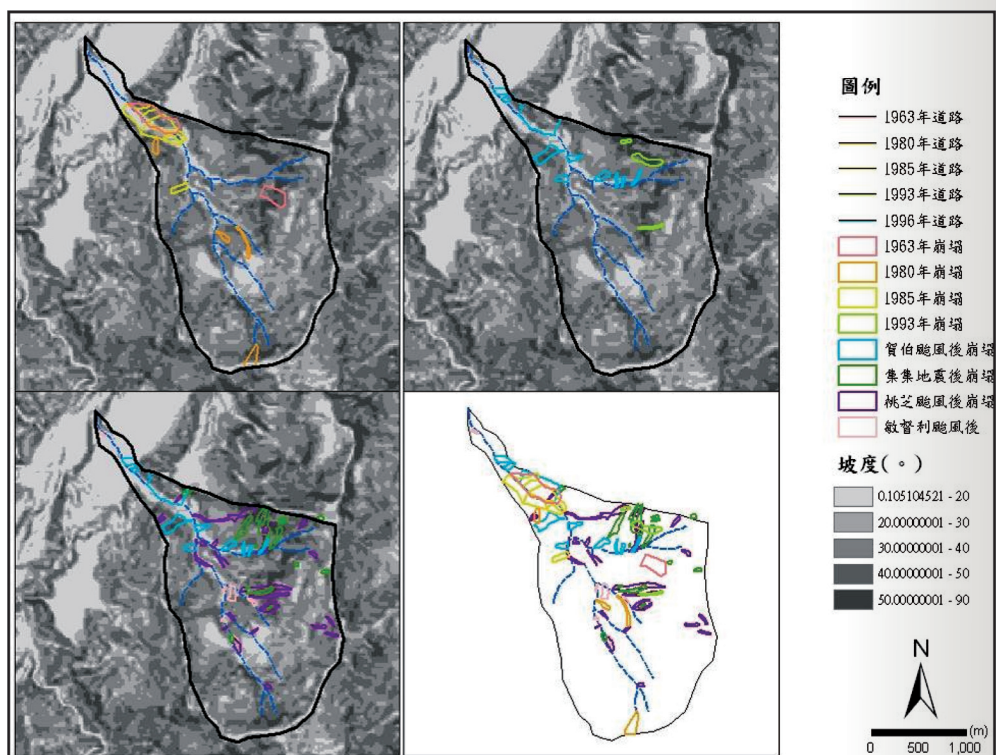


圖9、頭坑溪崩塌與坡度疊合圖

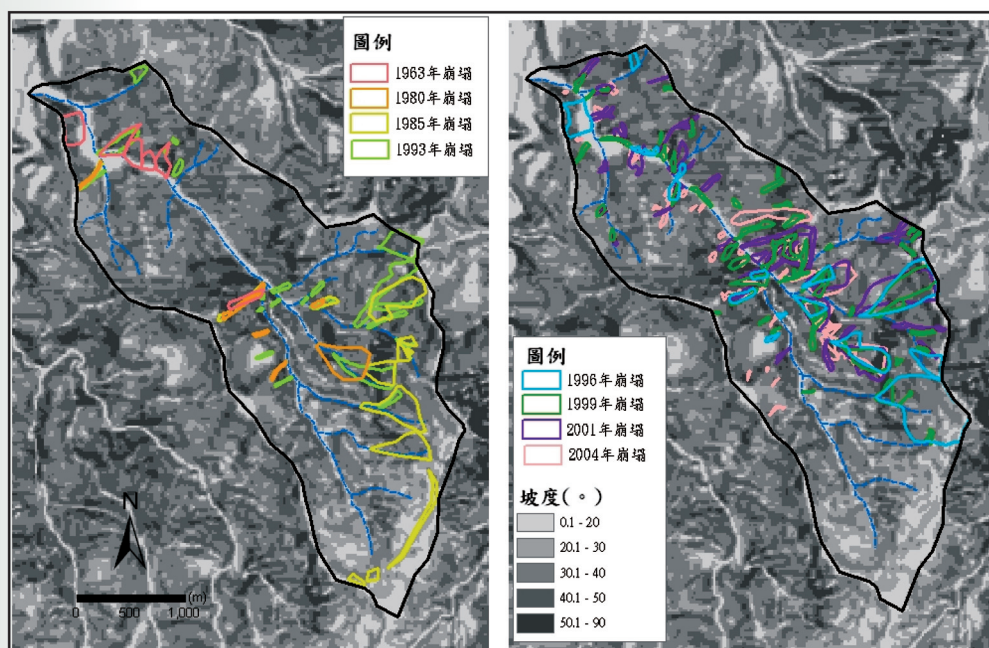


圖10、出水溪崩塌與坡度疊合圖

## 2、地層對崩塌的影響

將崩塌分布圖與本區的地質圖加以疊合（圖11），可得和社溪整體的崩塌多發生在南莊層的部分，本研究區的三條支流亦然。南莊層雖以厚層砂岩為主，但本區的南莊層多有褶皺與小斷層經過（林慶偉，1996），岩體品質相對其他地區為低，因此崩塌重複性高，為本區較容易發生崩塌的地層。

綜上所述，本區崩塌的自然影響因素包括邊坡坡度與地層性質關係密切，邊坡相對陡峭的南莊層是本區相對容易發生崩塌的自然環境。



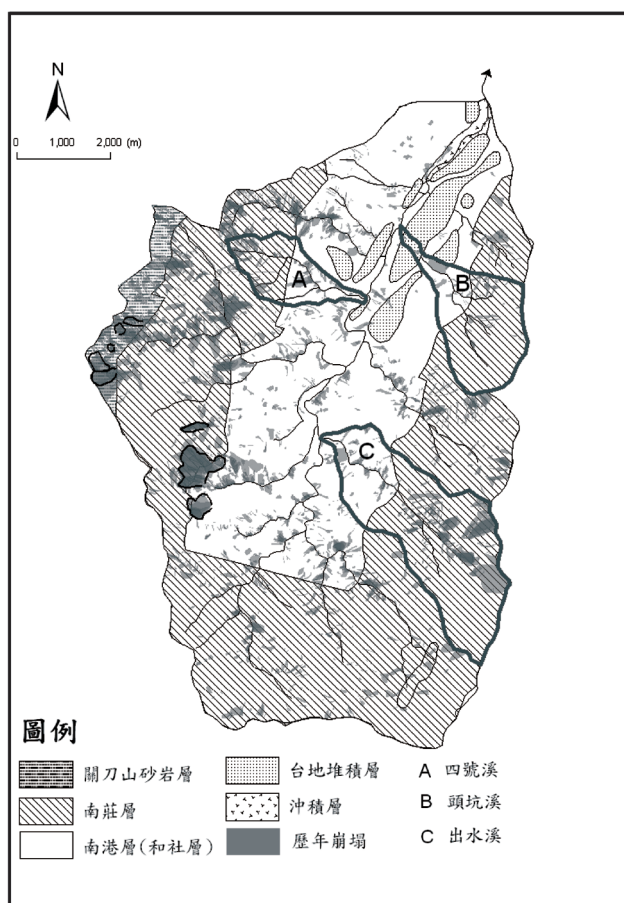


圖11、和社溪歷年崩塌與地質疊合圖

## (二) 人為因素對崩塌的影響

由航照判讀過程中，發現本區的人為活動在1980年代中期，有明顯的增加，包括開墾的範圍與道路的興築等利用方式。因此，本研究除了判讀崩塌分布之外，再增加了判釋各年度道路的分布（圖2-4）與開墾地的分布（圖12、14-15）。1963年比例尺雖小，卻是本區同時涵蓋三個次流域的最早航照，判讀後發現本研究區多屬於台大實驗林（圖13），該時期仍屬伐林與合作造林期間，林業為本區主要的土地利用。此外，在各年度中幾乎都有新增的道路，或為農路，或為林業道路，其中1985年的航照則可以看出新中橫公路建築中的現況。受限於航照的品質，與立體鏡的放大倍率，部分道路無法繪製完整的路線，故有道路

孤立於邊坡，沒有前後連結。本研究區早期仍有伐林的行為，若可以判斷航照中的裸露地為伐林地，就不列為崩塌裸露地。此外，計算三個次流域的崩塌密度（ $\text{ha}/\text{km}^2$ ），藉以比較各年度次流域的崩塌消長（圖16）。

### 1、道路對崩塌的影響

由圖2 - 4中可知，三個次流域1963年與1980年的崩塌分布零星，也看不出有重複或集中的現象。崩塌密度普遍較後續事件低，表示本研究區在1980年代尚屬安定，尤以四號溪最為明顯。1985年各次流域的崩塌分布明顯變多，崩塌密度的數值也一致上揚，三個支流都有外力的影響，也就是道路的修築。新中橫公路通過頭坑溪的下游與出水溪的上游，在開挖的同時，於下邊坡傾倒大量的工程棄土，使得這兩個次流域的邊坡有大面積的土石裸露區域（圖3 - 4）。新中橫於出水溪流域上游經過的路段很長，棄土面積明顯，崩塌密度增加的幅度最高。四號溪新中橫僅通過最下游的部分，影響不明顯，但同時期四號溪北岸卻有一般道路的修築，由北側的三號溪向南延伸，進入四號溪後一路向四號溪的上游修築，沿線出現多條大小不等的山崩溝與崩塌。與四號溪1985年以前的崩塌分布互相比較，崩塌密度的明顯上升說明了道路的修築的確影響了四號溪的邊坡穩定度，在過去很少崩塌的四號溪造成一定的影響。出水溪和四號溪在1993年的崩塌多還是沿著新中橫與一般道路分布。但因為新中橫的棄土部分已被草覆蓋，所以崩塌密度的數值都有下降；四號溪的崩塌仍有多處沿道路新增，崩塌密度反而上升。1996年賀伯颱風發生，根據內茅埔雨量站的累積雨量顯示，賀伯颱風是近五十年來最大的一次風災。出水溪和頭坑溪原本的棄土堆又再次發生崩塌，出水溪原本只在下邊坡的棄土崩塌連帶影響上邊坡的不穩定，反而使得崩塌擴大。崩塌密度的數值明顯上升。由此可知新中橫的棄土對頭坑溪與出水溪的邊坡穩定的影響。此後的三年間並沒有大規模的颱風發生，所以大部分的崩塌都被草或新生林木覆蓋。

### 2、人為開墾對崩塌的影響

四號溪在1963年的航照中，主要的開墾地分布在北岸的平坦稜





線，與下游出谷口的沖積扇。隨後數年，下游邊坡相對較緩的區位陸續開發，這些區塊直至集集地震後才有崩塌發生在開墾區的下邊坡處，且分布零星，重複性較低。這些崩塌的形成原因可能有兩種可能，正好位在河道的基蝕坡，河道沖刷坡腳造成坡腳不穩而崩塌；稜線的農業開發造成邊坡的排水狀態發生改變，從而造成岩層弱化而崩塌。1985年開始在北岸的上游邊坡有大規模的開發，包括道路的修築與邊坡的開發。該區正好在台大實驗林的範圍之外（圖13），且實驗林的政策也已不再大規模砍伐森林。因此，雖無法在航照中判讀土地利用的類型，但可推測為人為的開發利用。1993年的開發更向上游源區擴張，此區段邊坡坡度相對較陡，加上道路興築與開墾的擾動，邊坡從1985年開始每次事件都有數處崩塌發生。四號溪北岸也有一例為崩塌發生後，人類直接在崩塌的堆積層整地、農耕，這樣的空間做為農地，鬆散的土石堆積很容易在大規模的降雨之下，發生崩塌。

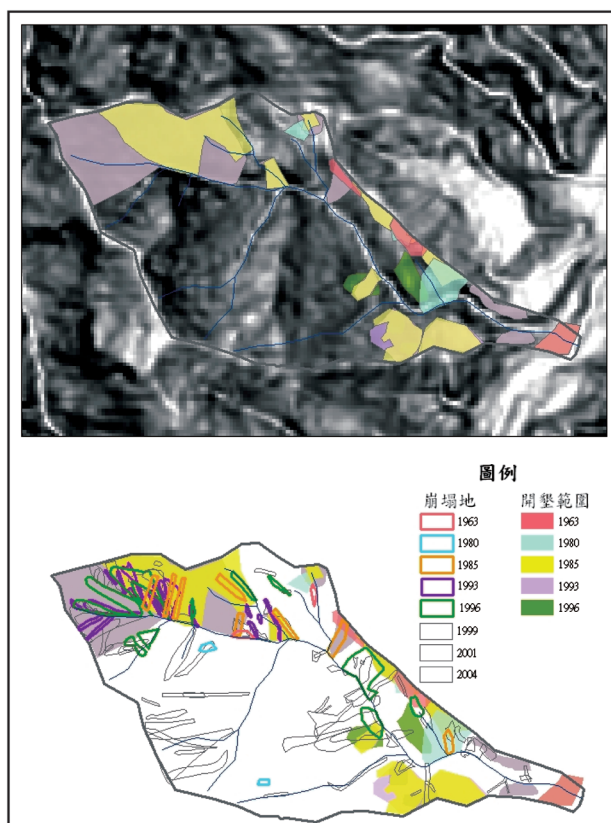


圖12、四號溪歷年開墾範圍與崩塌及坡度疊合圖

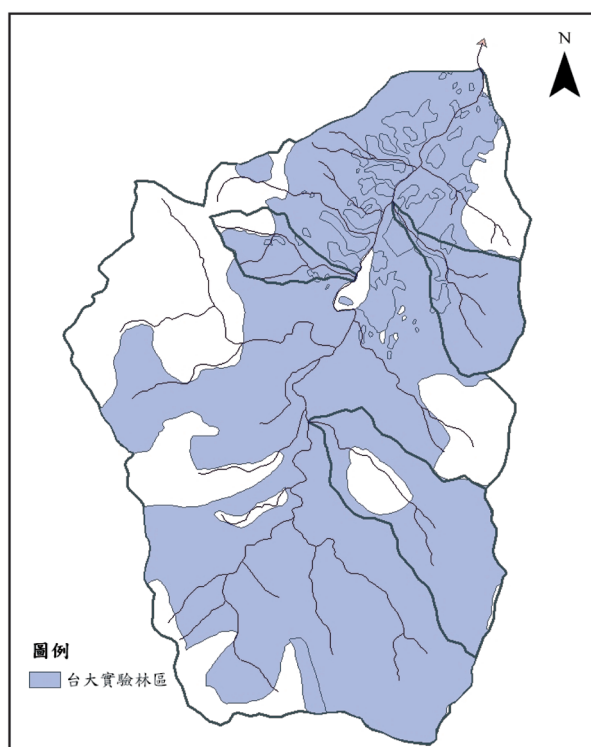


圖13 和社溪台大實驗林區分布圖

頭坑溪及出水溪在1963年的開發主要為林務局的伐林政策（1999年將此地的管理移交台大實驗林），面積廣大。頭坑溪的伐林集中在下游的邊坡，出水溪的伐林則在上游南坡較為平坦的區塊。1980年後頭坑溪的開墾都集中在坡度相對較為平緩的中下游，崩塌的分布與坡度相對關係較大，開墾對崩塌發生的影響在頭坑溪較不明顯，大多分布在道路的上下邊坡崩塌與道路的關係相對較為明顯。出水溪的邊坡開墾範圍僅限在下游處，中上游沒有可辨識的人為開發，因此崩塌發生與開墾的關係相對較不明顯。頭坑溪和出水溪的開墾地除了邊坡的利用之外，當地人還會利用河道內的埋積階地或土石堆積而成的河中洲進行農墾活動，頭坑溪的這種現象從1980年開始陸續出現，由下游的階地漸次向中上游匯流口處的平坦階地。出水溪則從1993開始陸續在航照中判釋出下游的埋積階地被開發利用。這些河谷中的利用雖然不會直接影響崩塌的發生，但以河谷配置而言，該河段河道較為狹窄，在大規模的事件發生時，河道中作物與設施不僅有沖毀的危險，也有可能阻擋流路，造成更大的災害。

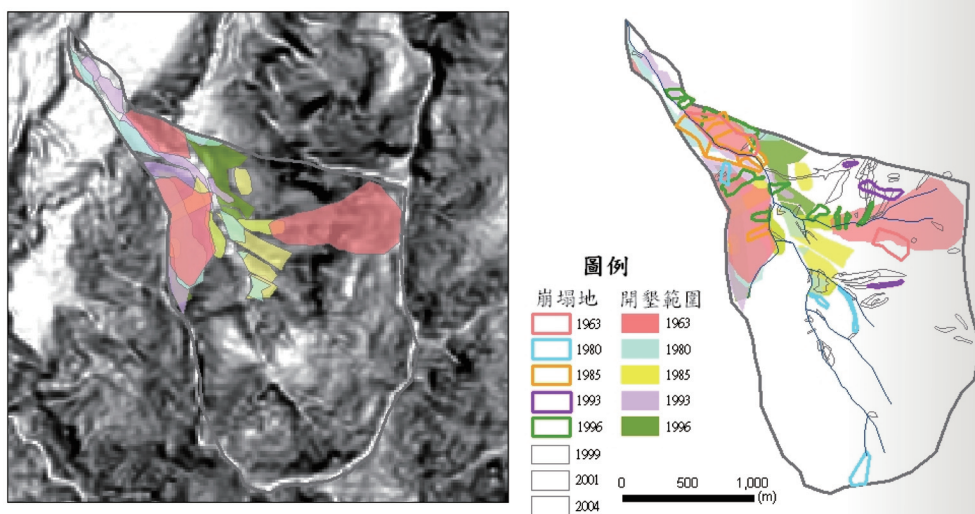


圖14 頭坑溪歷年開墾範圍與崩塌及坡度疊合圖

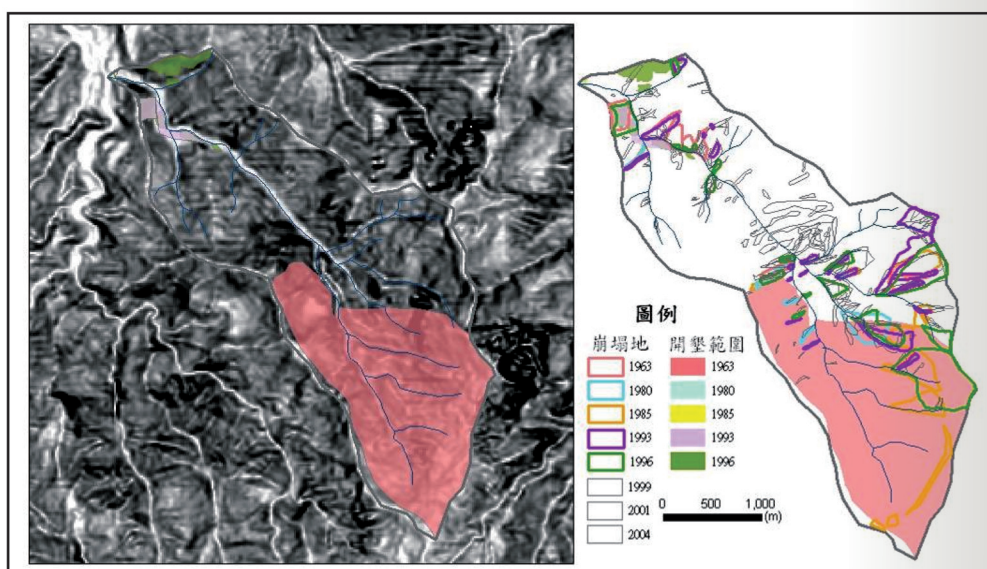


圖15 出水溪歷年開墾範圍與崩塌及坡度疊合圖

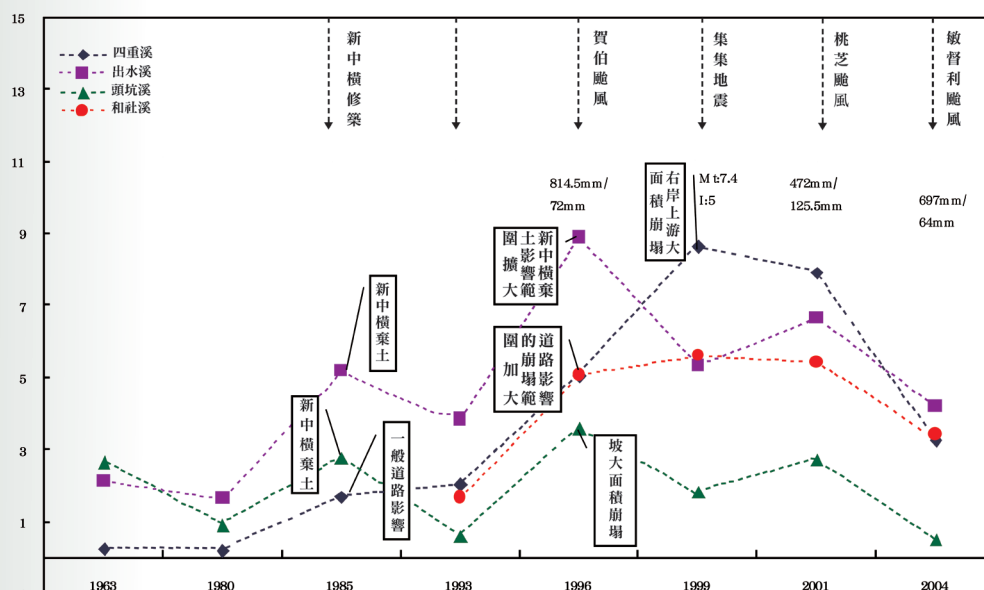


圖16 次流域歷年崩塌密度與事件規模比較圖

綜合上述，可以得到比較三個支流崩塌與人為活動的影響特點：

- 1、新中橫公路與一般道路的修築，的確對支流的崩塌發育有明顯的影響。一方面棄土造成下邊坡的不穩定，也增加邊坡可供給的沈積物數量；另一方面，道路的挖方、填方，容易造成邊坡的安定角改變，使邊坡處於不穩定的狀態。
- 2、棄土的影響主要在賀伯颱風後最為明顯，僅頭坑溪與出水溪有零星發生在棄土區的小規模崩塌，其餘都已穩定，這樣的結果可能暗示著棄土的影響大多在敏督利颱風前就已相對穩定。
- 3、開墾地的部分，在1963年以伐林為主，面積雖廣大卻沒有明顯的崩塌。之後的開墾地地勢相對平坦，集中在稜線、階地、河中洲，對崩塌的影響相對較小。但不當的利用舊崩塌整地或利用行水區農耕的行為，都有可能影響邊坡及河床的穩定性。



#### 四、結論

本研究利用八個年度的航空照片判讀崩塌與土石流的分布，以及道路與人為開發的範圍，配合數位地形模型（DTM），希望可以找出影響邊坡災害的自然與人為因素。以崩塌分布而言，1996年賀伯颱風前崩塌數量相對較少，之後在颱風與地震交相侵襲下，崩塌數量與面積都有成長，至2004年敏督利颱風後逐漸回復至1996年或之前的狀態。

影響邊坡災害的因素中，自然因素中最重要的是坡度與地層性質，邊坡陡峭的南莊層區位是本區容易發生崩塌的位置。三條支流都有土石流的現象，不只搬運了大量的不穩定物質進入主流，也造成河道出口低位階面的土地利用被掩埋。敏督利颱風的邊坡災害與土石扇狀地的減少，反應了流域系統逐漸穩定的趨向。

人為的影響部分以道路最為明顯，包括四號溪的邊坡道路影響邊坡穩定性而造成崩塌，以及新中橫公路廢棄在頭坑溪、出水溪道路下邊坡的工程棄土在颱風豪雨之下崩塌，都是明顯的例證，當時的崩塌地在數次崩塌與邊坡工程整治後，現在已趨於穩定。開墾地的部分，在1963年以伐林為主，面積雖廣大卻沒有明顯的崩塌。之後的開墾地地勢相對平坦，集中在稜線、階地、河中洲，對崩塌的影響相對較小。但不當的利用舊崩塌整地或利用行水區農耕的行為，都有可能影響邊坡及河床的穩定性。



自然和人為因子對南投縣和社溪流流域之邊坡崩壞的影響



## 五、參考書目

- 林慶偉，1996，南投縣和社地區崩塌地發育之地質影響，地工技術雜誌，57，pp.5 - 16。
- 謝有忠，1998，陳有蘭溪流域土石流發育之地質控制，國立成功大學地球科學系碩士論文。
- 林雪美，2004，臺灣地區近三十年自然災害的時空特性，國立臺灣師範大學地理研究報告，41，pp.99 - 128。
- Keefer D.K. ,2000, Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution : the 1989 Loma Prieta, California event. Engineering Geology 58 : 231 - 249.

# Natural and human-induced factors on slope failures in the Hoshe Basin, Chenyulan River, Nantou County

Yin-Shao Liu   Su-Min Shen

## Abstract

This research aims to understand the relationship between slope failures and various natural and human-induced factors in the Hoshe Basin, located in upstream area of the Chenyulan River, Nantou County. Spatial and temporal distributions of slope failures and major types of land-use were interpreted and digitized from 8 sets of aerial photographs. Morphometric analyses were also incorporated. The factors discussed include slope angle, types of strata, road construction and reclaimed slopelands.

Keywords : Chenyulan River, Hoshe River, Slope failure, Land use



自然和  
人為  
因子  
對南  
投縣  
和社  
溪流  
流域  
之邊  
坡崩  
壞的  
影響

臺灣文獻

第六十卷第四期