

石門水庫集水區崩塌地之調查研究

Landslides Investigation in Shihmen Reservoir Watershed

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

國立台灣大學生物環境系統
工程學系
碩士班研究生

涂肇斌

Chao-Pin Hsu

國立台灣大學生物環境系統
工程學系
碩士

謝孟荃

Meng-Chyung Shieh

摘 要

艾利颱風於 2004 年 8 月 24 日至 25 日通過北台灣海面時，帶來豐沛雨量，造成石門水庫集水區發生數量相當可觀之崩塌及土石流災害，大量土砂在水流運搬之下，除增加水庫集水區大量鬆動土石外，由於細顆粒泥砂導致之原水濁度過高，使得桃園地區停水長達十餘天。2005 年 8 月 4 日至 5 日馬莎通過台灣東北方海面時，大量豪雨再度造成石門水庫原水混濁，桃園地區停水之災情。本研究為瞭解崩塌之原因，蒐集 1986、1998、2003、2004 及 2005 年之崩場地，與不同之區位進行比較，以探討其中之關係。本研究並發現，由於不同之崩場地判釋方法及精度，將產生不等之誤差，而造成判釋結果有低估之現象，以桃 113 線之研究結果為例，成功判釋出之崩塌面積約為實際崩塌面積之百分之二十二。

關鍵詞：石門水庫，崩場地，崩場地判釋。

ABSTRACT

When the typhoon Aere passed through the sea north of Taiwan on August 24 and 25 in 2004, the extremely rainfall cause the huge landslides and debris-flow disasters in the Shihmen reservoir watershed. A large number of sand cause the reservoir to deposited and because the water muddied, there is no water to use for ten more days in Taoyuan. When the typhoon Matsa passed through the sea northeast of Taiwan on August 4 and 5 in 2005, the rainfall caused the water muddied and there is no water to use again. In order to understand the reason of the landslide, we compare with the landslide data included the years of 1986, 1998, 2003, 2004, 2005 and different location-specific in relationship. We

*通訊作者，台灣大學生物環境系統工程學系教授，106 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，benhuang@ntu.edu.tw

found that different methods and accuracy on landslides interpretation caused different error, and the result will be underrated. For example in road "Tao 113", the area of landslides interpretation is about thirty- percent of the area of real landslides.

Keywords: Shihmen reservoir, Landslides, Landslides interpretation.

一、前言

石門水庫位於大漢溪中游，提供北部廣大地區之飲水、灌溉、發電、防洪及公共給水等功能。2004年艾利(Aere)颱風在石門水庫集水區之平均降雨量為967mm，洪峰流量高達8,600cms，大於賀伯颱風之6,300cms，其進流量高達近7億立方公尺，約為水庫有效蓄水量之3倍多，造成上游集水區許多處崩塌、土石流和水質混濁。而隔年之馬莎(Matsa)颱風降雨量達818mm，洪峰流量達5,200cms，又集中降雨在艾利颱風造成大量崩塌，且尚未復原完全之水庫上游集水區。此兩場颱風所帶來之大雨，使細顆粒泥砂進入水庫庫區，造成原水混濁，桃園地區停水。許多學者專家為分析水質混濁原因，在第一時間直接從衛星影像或航空照片判釋出水庫集水區之崩塌地面積，雖然此種方式是最快速取得崩塌地面積資料之方式，然而這些資料在未經現場調查校正前，是否足以代表真正之崩塌地面積以及崩塌地和原水混濁之關係則不得而知，因此，如何藉由各項輔助技術使得此項判釋資料更為精準則是當今刻不容緩之議題。

二、前人研究

本研究蒐集1986年、1998年、2003年、2004年及2005年之崩塌地資料作為研究材料。1986年之崩塌地面積是由農林航測所使用立體鏡判釋航空照片，再輔以野外校對而得，石門水庫集水區總崩塌面積為859.34公頃；1998年之崩塌地面積是由工研院能資所使用立體鏡判釋航空照片，再輔以野外校對而得，具潛勢之總崩塌面積為2,744.46公頃；2003年之崩塌地面積則由水土保持局以衛星影像為底圖，使用常態化差異植生指標判釋而得，總崩塌面積為199.06公頃；

2004年之崩塌地面積是由桃園縣政府委託中興大學，以衛星影像為底圖，使用常態化差異植生指標從事判釋，得到總崩塌面積為587.15公頃；2005年之崩塌地是由林務局以衛星影像及航空照片為底圖，判釋總崩塌面積為698.59公頃。各年度崩塌地判釋方法及面積統計綜合如表1。表中1986年及1998年之像片比例尺為1/15,000及1/18,000，假設人眼所能判釋之精度為1mm時，故推算其判釋之精度分別為15m及18m。

由歷年水庫集水區之崩塌面積發現，1998年之崩塌面積最大，並與其他各年相差甚多，其原因為1998年所判釋之崩塌地為當年現有之崩塌地外，並加入具有潛在發生之崩塌地，因此崩塌面積會較其他判釋方式多。但2003年之崩塌面積為最少，與常理推斷之921地震後崩塌地增加之情況不符，顯示利用衛星影像或航空照片所判釋之崩塌地僅止於大型崩塌地面積，小於一定規模之崩塌地是無法辨識的，但這些小規模崩塌地之總面積佔全部崩塌面積之比例，是否會影響整治決策判斷，則需要藉由現場勘查校正。以SPOT衛星為例，其空間解析度僅12.5公尺，因此判釋對象或正攝投影面積若小於12.5公尺時，將無法辨識出來，因此對於利用衛星影像或航空照片所判釋之崩塌地，會有低估之情形發生，再加上調查方法與調查準則之差異，判釋結果僅呈現一定規模以上之崩塌面積變化。

三、研究區域概況

3.1 集水區概況

石門水庫為台灣地區第三大水庫，以淡水河上游之大漢溪為其主流。集水區東鄰台北縣、宜蘭縣，南接台中縣，西南與苗栗縣相鄰，分別隸屬桃園縣大溪鎮、龍潭鄉、復興鄉，新竹縣關西鎮、尖石鄉、五峰鄉及宜蘭縣大同鄉。而且，主

表 1 各年度崩塌地判釋方法及面積統計

年度	1986 年	1998 年	2003 年	2004 年	2005 年
調查單位	農林航測所	工研院能資所	水土保持局	桃園縣政府	林務局
使用底圖	航空照片	航空照片	衛星影像	衛星影像	衛星影像、航空照片
判釋方法	立體鏡觀查、 野外校對	立體鏡觀查、 野外校對	常態化差異植生 指標(NDVI)	常態化差異植 生指標(NDVI)	立體鏡觀查
精度(m)	15	18	40	10	10、0.375
崩塌面積(ha)	859.34	2,744.46	199.06	587.15	698.59

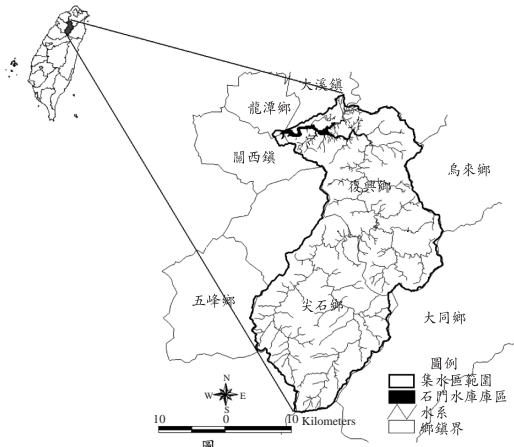


圖 1 石門水庫集水區

要集中在桃園縣之大溪、龍潭與復興等三鄉鎮，原先建造水庫之標的為灌溉與防洪，目前則以調節供應公共給水為其主要功能。

石門水庫集水區僅水庫庫區周圍為丘陵地外，其他則屬山岳地帶，海拔高度自最低處 135 公尺（石門水庫壩址）至最高處之 3,529 公尺（品田山），高差達 3,394 公尺。坡度自東南向西北傾斜，集水區形狀成南北向狹長型，主要山脈走向係由品田山沿著集水區邊境向東北蜿蜒延伸。

集水區總面積為 763.4 平方公里，水庫庫容為 3.09 億立方公尺，有效蓄水量為 2.36 億立方公尺。石門水庫集水區如圖 1 所示。

3.2 集水區內地質與土壤分佈

石門水庫集水區內地質構造非常複雜，有屈尺斷層、地利斷層通過及各類型構造等，其主要地層分屬第三紀之始新世、漸新世及中新世，第四紀之更新世及現代沖積層，出露之岩層大部分

為沉積岩。集水區上游主要為硬頁岩、板岩、石英岩及煤質岩；中游為硬頁岩、砂頁岩、板岩及少部分火山岩層；下游則為砂岩及頁岩。集水區內岩石劈理、節理及裂縫發達，再經地殼變動，強力擠壓破壞，以及地形陡峻、雨水充沛之條件，遂成為崩塌高潛能地帶與土石流之料源區。

集水區上游土壤大部分為未調查區；中游主要為石質土，其物理和化學性質都與其原始母岩相差不多；下游為淡色崩積土，為無構造或弱度發育，結構鬆脆；集水區北部有少許黃壤及幼黃壤分佈。

3.3 氣象與水文

石門水庫集水區氣象資料相當完備，有石門、霞雲、高義、巴陵、玉峰、嘎拉賀、池端、鎮西堡、白石、西丘斯山等十個雨量站，集水區年平均降雨量約在 2,200mm~2,800mm，雨季多集中於五至九月期間，其主要原因乃颱風所造成，另外尚有西南氣流所造成之雷陣雨、及熱帶性低氣壓所帶來之豪雨；集水區內之氣溫，由於受海拔高差影響，各地氣溫變化較大，全年氣溫溫差約在 12°C~26°C 間，年平均氣溫約為 20°C，以每年元月氣溫最低，約在 12°C 左右；七月與八月最熱，氣溫高達 24°C~26°C；濕度方面，集水區內各月分之平均濕度約在 80%~88%，年平均濕度約在 84%，顯示集水區之乾濕季節變化不明顯，屬亞熱帶重濕氣候。

2004 年 8 月 24 日至 25 日艾利颱風通過北台灣海域，帶來極為豐富之降雨量，石門水庫集水區平均降雨量高達 967mm，洪峰流量則高達 8,600cms，大於賀伯颱風之 6,300cms，進流量亦

表 2 子集水區歷年崩塌地統計表

(單位：公頃)

年 度	各子集水區面積	1986 年 (農林航測所)	1998 年 (能資所)	2003 年 (水保局)	2004 年 (桃園縣政府)	2005 年 (林務局)
石門下游子集水區	25,557	174.62(0.68%)	1,026.25(4.02%)	55.18(0.22%)	122.09(0.48%)	131.74(0.52%)
玉峰子集水區	8,049	126.74(1.57%)	273.97(3.40%)	14.44(0.18%)	146.47(1.82%)	135.32(1.68%)
三光子集水區	10,678	72.15(0.68%)	212.29(1.99%)	0(0.00%)	38.89(0.36%)	52.68(0.49%)
白石子集水區	12,099	176.13(1.46%)	374.24(3.09%)	41.95(0.35%)	190.96(1.58%)	208.56(1.72%)
泰崗子集水區	19,145	309.70(1.62%)	857.71(4.48%)	87.49(0.46%)	88.74(0.46%)	170.29(0.89%)
總 計	75,528	859.34	2,744.46	199.06	587.15	698.59

註：()內數值為崩塌率，崩塌率=該子集水區崩塌面積/該子集水區總面積

近 7 億立方公尺。隔年 8 月 4 日至 5 日馬莎颱風通過台灣東北方海域，其平均累積雨量雖小於艾莉颱風，但也高達 818mm，洪峰流量為 5,200cms。

石門水庫集水區內計有五個水位流量站，分別是霞雲、高義、稜角、玉峰及秀巒，其中以霞雲站位於集水區之最下游，年平均流量 13,243.51cms 最大；秀巒站年平均流量為 2,192.65cms 最小。一般流量以五至十月較大，為豐水期；十一月至翌年四月為枯水期，其中以十二月及一月流量最小。

3.4 土地利用現況

根據水利署 2000 年「石門水庫集水區第三階段治理規劃」報告指出，石門水庫內以針葉樹、闊葉樹及針闊葉混生林等林地居多，其次，以竹林經營為數較多，大部分種植於緩坡或由柑橘園改植，另有雜林、灌木、伐跡地、裸露地等。

隨著觀光旅遊需求及經濟效益影響，石門水庫集水區內之土地利用已有相當幅度之調整，早期以提供山地鄉居民自給式糧食作物為主之雜作、稻田面積最多，目前則代之以果園面積。海拔 800 公尺以上之坡地，以溫帶果樹(水蜜桃等)栽培為主；低海拔則以柑橘為主。

四、石門水庫集水區崩塌地分析

4.1 歷年崩塌地演變情形

本研究蒐集 1986 年、1998 年、2003 年、2004 年及 2005 年之崩塌地資料，並依水位流量站之位置分為五個子集水區分別探討，並整理如

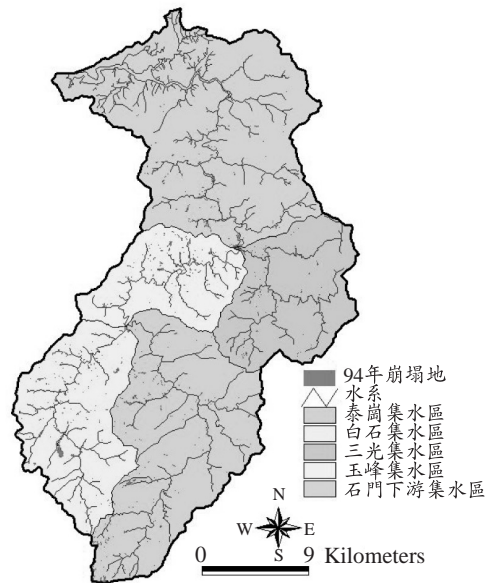


圖 2 石門水庫子集水區分布圖

表 2。圖 2 則為五個子集水區之分布。自表 2 知，泰崗子集水區於 1986 年、1998 年及 2003 年皆為崩塌率最大之區域，但於 2004 及 2005 年時玉峰子集水區及白石子集水區則變為主要之崩塌區域，而三光子集水區則一直為各年度崩塌率最小之區域。

4.2 崩塌地與含砂量變化之關係

北區水資源局調查統計 2004 年 7 至 12 月間，霞雲、高義、稜角、玉峰及秀巒等流量站之含砂量濃度如圖 3~7。其中，艾莉颱風期間只有玉峰站有完整之含砂量資料，而納坦颱風期間則

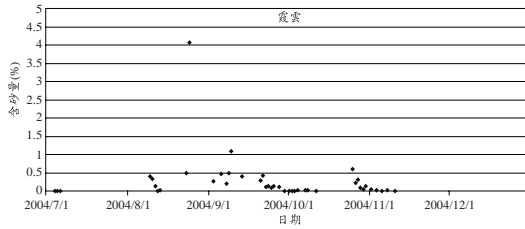


圖 3 2004 年霞雲站含砂量變化圖

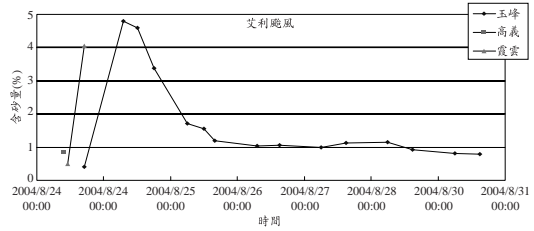


圖 8 艾利颱風各站之含砂量變化圖

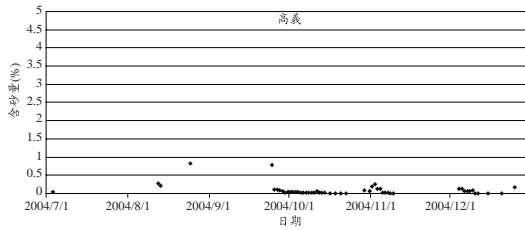


圖 4 2004 年高義站含砂量變化圖

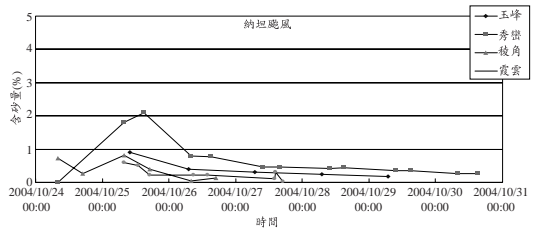


圖 9 納坦颱風各站之含砂量變化圖

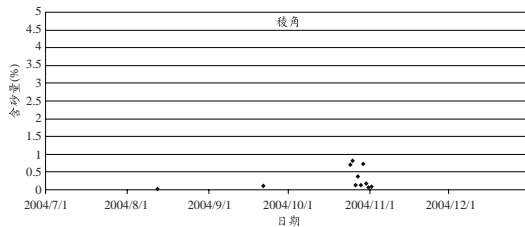


圖 5 2004 年稜角站含砂量變化圖

是缺高義站之含砂量資料。由各流量站之含砂量變化可知，8 月 24 及 25 日艾利颱風來臨期間及 10 月 24 及 25 日納坦颱風來臨期間，各站之含砂量均有明顯升高之情形，其中，8 月 25 日上午 7 時於玉峰流量站之含砂量甚至高達 4.79%，與平時之含砂量相比，相差有百倍之多，同時玉峰子集水區也為 2004 年崩塌率最高之區域。再者，以納坦颱風期間各站之含砂量變化為例，含砂量最高之秀巒站也位於 2004 年崩塌率第二高之白石子集水區。艾利颱風及納坦颱風期間各站之含砂量變化如圖 8、9 所示。

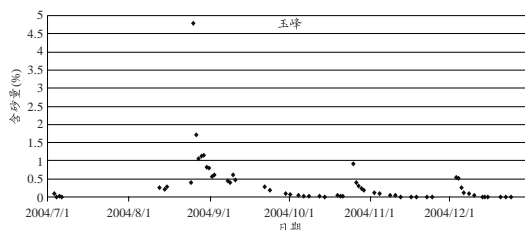


圖 6 2004 年玉峰站含砂量變化圖

林務局在馬莎颱風過後，於 2005 年 9 月 6 日在白石河流域進行水質採樣，採樣點共 8 處，其位置如圖 10 所示，1 號至 5 號河段為林班地範圍；6 號至 8 號河段，也就是養老至秀巒，右岸為原住民保留地，左岸為林班地。表 3 則為其水質採樣分析結果，由表中可知，固體懸浮質從 1 號採樣點之崩塌地到 8 號採樣點之秀巒由 45p.p.m 遞增為 4,330p.p.m，其中 5 號與 6 號採樣點為國有林班地與原住民保留地之分界點附近，懸浮質於短短 50 公尺內由 830p.p.m 明顯突升為 1,620p.p.m。由此可知，上游林班地之出流水水質良好，到了林班地和保留地分居左右範圍時，則有懸浮質大幅增加之現象，雖然如此，但

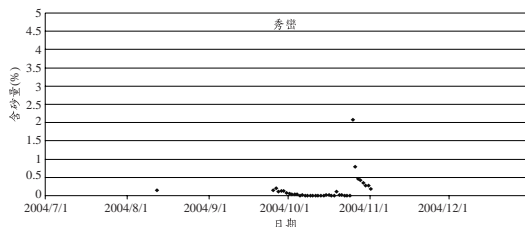


圖 7 2004 年秀巒站含砂量變化圖

表 3 2005 年 9 月 6 日林務局於白石溪流域採取水樣分析一覽表

採樣點	海拔高(m)	距秀巒距離(m)	河川平均坡度(%)	固體懸浮質(p.p.m)
8(秀巒橋前)	823	0	-	4,330
7(保留地之崩塌下游端)	997	7,263	2.40	1,740
6(保留地之崩塌上游端)	997	7,425	2.34	1,620
5(林班界內)	998	7,476	2.34	830
4(124 林班)	1,031	8,839	2.35	380
3(124 林班)	1,033	8,898	2.36	240
2(124 林班)	1,035	8,958	2.37	120
1(崩塌地)	1,098	10,578	2.60	45

資料來源：林務局

表 4 不同土地類別與各年崩塌地關係表 (單位：公頃)

土地利 用類別	土地利用 類別面積	崩塌面積				
		1986 年	1998 年	2003 年	2004 年	2005 年
林地	62,029	759.85(1.22%)	1,894.27(3.05%)	161.08(0.26%)	490.47(0.79%)	587.32(0.95%)
竹林	8,324	51.01(0.61%)	373.26(4.48%)	25.94(0.31%)	50.00(0.60%)	62.15(0.75%)
水體	1,365	29.42(2.16%)	29.70(2.18%)	5.57(0.41%)	13.01(0.95%)	18.75(1.37%)
人為用地	3,263	12.81(0.39%)	391.84(12.01%)	2.77(0.08%)	29.20(0.89%)	21.10(0.65%)
其他用地	547	6.25(1.14%)	55.39(10.13%)	3.70(0.68%)	4.47(0.82%)	9.27(1.69%)
總計	75,528	859.34	2,744.46	199.06	587.15	698.59

註：()內數值為崩塌率，崩塌率=該土地類別崩塌面積/該土地類別總面積。

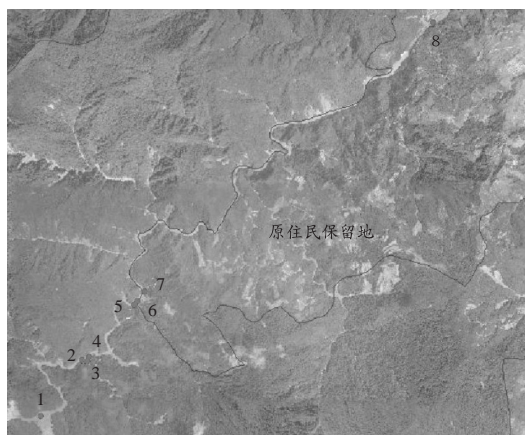


圖 10 白石溪流域水樣採集位置圖(資料來源：林務局)

這並不宜斷言保留地就是水質混濁之原因，因為該河段右岸有道路崩塌而且河床為澳底層，是否有較易產生沖刷懸浮之煤質岩層或頁岩出露，尚有待更深入之調查。

4.3 崩塌地與土地利用之關係

表 4 為不同土地利用類別與歷年崩塌地面積之比較，而本研究使用之土地利用資料為工研院能資所於 1998 年所調查之資料。由表 4 知，1986 年和 2004 年之水體區位崩塌率最高，亦即溪流邊之崩塌，如坡腳沖刷或彎道沖刷導致崩塌之比例蠻大。1998 年最高為人為用地崩塌率，其中人為用地包含開墾地、稻作地、茶園、建地、旱作地、果園及村落等，2003 年和 2005 年則為其他用地，如裸露地、草地或伐跡地等。土地利用之分布如圖 11 所示。

4.4 崩塌地與土地權屬之關係

當土地權屬分別為國有林班地、保留地和私有地等三類時，表 5 為各年崩塌地面積和土地權屬之關係。由表中可知，1998、2004 及 2005 年崩塌率最大之區位皆為原住民保留地，且為國有林班地之 2 至 3 倍；而 1986 年及 2003 年崩塌

表 5 各年不同土地權屬之崩塌地面積統計表

(單位：公頃)

土地權屬類別	土地權屬面積	崩塌面積				
		1986 年	1998 年	2003 年	2004 年	2005 年
國有林班地	53,632	650.71(1.21%)	1,462.84(2.73%)	151.05(0.28%)	332.25(0.62%)	453.95(0.85%)
原住民保留地	18,086	201.48(1.11%)	1,279.94(7.08%)	46.05(0.25%)	253.47(1.40%)	235.62(1.30%)
公私有地	3,810	7.15(0.19%)	1.68(0.04%)	1.96(0.05%)	1.43(0.04%)	4.31(0.11%)
總計	75,528	859.34	2,744.46	199.06	587.15	698.62

註：()內數值為崩塌率，崩塌率＝該土地權屬崩塌面積/該土地權屬總面積。

表 6 原住民保留地內各年不同土地利用類別之崩塌地面積統計表

(單位：公頃)

土地利用類別	土地利用面積	崩塌面積				
		1986 年	1998 年	2003 年	2004 年	2005 年
林地	8,574	137.36(1.60%)	503.18(5.87%)	23.05(0.27%)	166.62(1.94%)	157.33(1.83%)
竹林	6,171	39.81(0.65%)	354.27(5.74%)	19.25(0.31%)	47.00(0.76%)	51.52(0.83%)
水體	312	9.05(2.90%)	10.11(3.24%)	0.38(0.12%)	9.25(2.96%)	4.12(1.32%)
人為用地	2,680	12.90(0.48%)	383.79(14.32%)	1.87(0.07%)	27.08(1.01%)	19.02(0.71%)
其他用地	349	2.36(0.68%)	28.59(8.19%)	1.50(0.43%)	3.52(1.01%)	3.63(1.04%)
總計	18,086	201.48	1,279.94	46.05	253.47	235.62

註：()內數值為崩塌率，崩塌率＝該土地權屬崩塌面積/該土地權屬總面積。

表 7 原住民保留地向外擴張 50 公尺之範圍與崩塌地面積關係表 (單位：公頃)

	1986 年	1998 年	2003 年	2004 年	2005 年
原住民保留地崩塌面積	201.48(1.11%)	1,279.94(7.08%)	46.05(0.25%)	253.47(1.40%)	235.62(1.30%)
原住民保留地擴張 50 公尺之崩塌面積	270.78(1.50%)	1,320.89(7.30%)	51.51(0.28%)	285.83(1.58%)	259.51(1.43%)
面積增加百分比(%)	34.40	3.24	11.86	12.77	10.14

註：()內數值為崩塌率，崩塌率＝原住民保留地崩塌面積/原住民保留地總面積。

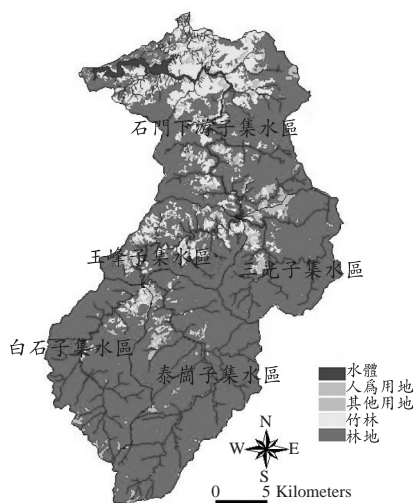


圖 11 土地利用分布圖

率最大之區位則為國有林班地；公私有地之崩塌率於各年皆極小。因此深入探討原住民保留地內不同土地利用之崩塌情形，由表 6 知原住民保留地內各年最大之崩塌面積皆為林地區位，但最大之崩塌率於各年均不一定。另外，若將原住民保留地之範圍向外擴張 50 公尺，探討其與崩塌地之關係，除 1986 年有較大 34.4%，以及 1998 年之最小 3.24%外，其餘各年均均有 10 至 13%之崩塌地增加比例(如表 7 所示)。其中，不同土地權屬之分布如圖 12 所示。

4.5 崩塌地與溪流及道路之關係

為探討溪流、道路與崩塌地之關係，本研究比照康恬慎(2001)之作法，將崩塌地分為四種類

表 8 道路、溪流與各年崩塌地關係表(1)

	1986 年崩塌地		1998 年崩塌地		2003 年崩塌地	
	面積(ha)	百分比(%)	面積(ha)	百分比(%)	面積(ha)	百分比(%)
近溪近路	184.29	21.45	614.12	23.49	26.52	13.32
近溪遠路	422.98	49.22	1744.13	66.72	92.82	46.63
遠溪近路	43.18	5.02	158.82	6.08	1.30	0.65
遠溪遠路	208.89	24.31	96.95	3.71	78.42	39.40
總計	859.34	100.00	2614.02	100.00	199.06	100.00

註：道路與溪流遠、近之分界為 200 公尺。

表 9 道路、溪流與各年崩塌地關係表(2)

	2004 年崩塌地(艾利颱風後)		2005 年崩塌地(馬莎颱風後)	
	面積(ha)	百分比(%)	面積(ha)	百分比(%)
近溪近路	106.89	18.69	96.82	14.49
近溪遠路	285.16	49.86	335.40	50.20
遠溪近路	34.68	6.06	35.63	5.33
遠溪遠路	145.24	25.39	200.34	29.98
總計	571.97	100.00	668.19	100.00

註：道路與溪流遠、近之分界為 200 公尺。

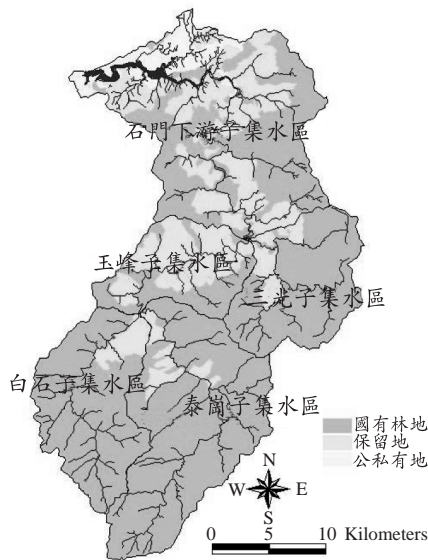


圖 12 不同土地權屬分布圖

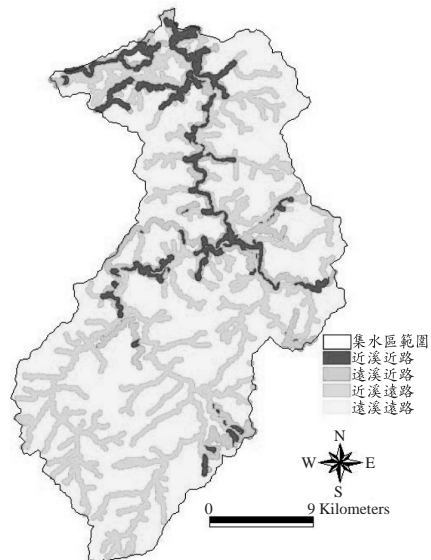


圖 13 道路與溪流之遠近分佈圖(遠、近之分界為 200 公尺)

型討論，包括近溪近路、近溪遠路、遠溪近路及遠溪遠路四種，而遠近之劃分則是以 200 公尺為界，如圖 13 所示。溪流及道路之遠近與崩塌地之關係如表 8、表 9 所示，從表中可知各年近溪遠路及遠溪遠路為最大之崩塌區位，且合計約佔

70~86%左右。由於鄰近溪流之崩塌是受水水量之影響，鄰近道路之崩塌是受人為因素之影響，而遠離溪流及道路是受自然條件，如地形、坡度、地質之不良等，因此遠溪遠路佔極大比例表

表 10 溪流 200 公尺內之凹岸崩塌統計表

	1986 年	1998 年	2003 年	2004 年	2005 年
凹岸崩塌面積(ha)	370.45	1,065.43	53.78	145.63	126.83
溪流 200 公尺內崩塌面積(ha)	607.27	2,358.25	119.34	392.05	432.22
所佔百分比(%)	61.00	45.18	45.06	37.15	29.34

表 11 道路周圍及溪流周圍 200 公尺內邊坡之平均坡度

	石門下游子集水區	玉峰子集水區	三光子集水區	白石子集水區	泰崗子集水區
近溪近路	66.03%	78.33%	91.25%	76.49%	80.76%
近溪遠路	73.55%	87.08%	85.15%	83.65%	87.22%
遠溪近路	70.69%	73.44%	78.70%	75.43%	77.75%

註：道路與溪流遠、近之分界為 200 公尺。

表 12 各子集水區之道路、溪流與 2005 年崩場地關係表(單位：公頃)

	石門下游子集水區	玉峰子集水區	三光子集水區	白石子集水區	泰崗子集水區	總計
近溪近路	40.79	44.40	9.31	0.78	1.54	96.82
近溪遠路	47.83	36.57	21.08	141.24	88.68	335.40
遠溪近路	3.30	10.19	6.60	4.41	11.13	35.63

註：道路與溪流遠、近之分界為 200 公尺。

示其自然條件不佳，尤其集水區中大多為國有林班地，因此顯示造林並非唯一之方法。若將近溪近路及近溪遠路之崩塌百分比相加，各年皆約佔 60% 以上，顯示崩塌與溪流有密切之關係。若將溪流 200 公尺內屬於凹岸之崩場地選出，如表 10 所示，可知溪流崩塌發生於凹岸處之比率約在 29 至 61%。若將近溪近路及遠溪近路之崩塌百分比相加，各年皆約佔 14~30% 左右，可知道路開闢與崩場地也呈現正相關，且開闢道路所產生之土砂多為細顆粒，若崩塌進入河道易形成懸浮質，造成水質混濁。另外，道路上、下邊坡崩塌大都屬於小規模崩塌，較不易自小尺度之衛星影像或航空照片中辨認出來。

馬莎颱風過後，公共工程委員會現勘調查發現桃 113 線之 0K 至 7K 間共有 31 處之道路上、下邊坡崩塌，但由 2005 年之崩場地判釋結果發現卻只有 18 處，圖 14 為艾利颱風後桃 113 線之航空照片，由於衛星影像或航空照片為使用正射影像判釋，因而忽略了邊坡坡度與投影面積之關係，導致判釋不出或低估小面積或陡坡之崩場地現象產生。如果以道路及溪流周圍 200 公尺之平



圖 14 艾利颱風後桃 113 線航照圖
(資料來源：國家災害防救科技中心)

均坡度加權重新估算道路及溪流周圍 200 公尺內之崩塌面積，如表 11 所示。由表中知石門下游、玉峰、白石及泰崗四個子集水區為近溪遠路之平均坡度最陡，三光子集水區則為近溪近路之平均坡度最陡。以 2005 年之崩場地為例，各子集水區之道路、溪流與崩場地之關係如表 12 所示，經表 11 之坡度加權後之各子集水區道路、溪流與崩場地之關係如表 13 所示。由於石門水庫各子集水區之坡度分布在 66 至 92% 之間，加權後之崩場地約增加 20 至 35%。

表 13 各子集水區坡度加權後之道路、溪流與 2005 年崩塌地關係表(單位：公頃)

	石門下游子集水區	玉峰子集水區	三光子集水區	白石子集水區	泰崗子集水區	總計
近溪近路	48.88	56.40	12.60	0.98	1.98	120.84
近溪遠路	59.37	48.49	27.69	184.14	117.67	437.36
遠溪近路	4.04	12.64	8.40	5.52	14.10	44.70

註：道路與溪流遠、近之分界為 200 公尺。

表 14 聚落與各年崩塌地關係統計表

	1986 年	1998 年	2003 年	2004 年	2005 年
聚落 500 公尺內之崩塌面積(ha)	99.19	413.95	15.31	60.23	56.36
佔總崩塌面積之百分比(%)	11.54	15.08	7.69	10.26	8.07

表 15 聚落 500 公尺內不同土地利用之崩塌統計表(單位：公頃)

土地類別	土地類別面積	聚落 500 公尺內崩塌面積				
		1986 年	1998 年	2003 年	2004 年	2005 年
林地	2,281	65.24(2.86%)	176.36(7.73%)	3.29(0.14%)	33.07(1.45%)	32.74(1.44%)
竹林	1,800	23.82(1.32%)	107.96(6.00%)	9.75(0.54%)	16.73(0.93%)	18.35(1.02%)
水體	223	3.59(1.61%)	3.68(1.65%)	0.11(0.05%)	3.14(1.41%)	2.39(1.07%)
人為用地	1,061	6.54(0.62%)	121.05(11.41%)	0.89(0.08%)	7.18(0.68%)	2.88(0.27%)
其他用地	75	0(0.00%)	4.90(6.53%)	1.27(1.69%)	0.11(0.15%)	0(0.00%)
總計	5,440	99.19	413.95	15.31	60.23	56.36

註：()內數值為崩塌率，崩塌率=該土地權屬崩塌面積/該土地權屬總面積。

4.6 崩塌地與聚落之關係

探討崩塌地與聚落之關係，聚落是指人類居所及其附帶環境的集合體，而本研究之聚落位置為依照兩萬五千分之一地形圖中之標示所訂定，位於石門下游子集水區有上高逸、高逸坪、合流、長興、下奎輝、中奎輝、上奎輝、內奎輝、下溪口、復興、霞雲坪、優霞雲、霞雲、庫志、卡普、下宇內、上宇內、羅浮、義興、高坡、大灣、榮華、上高義、高義、下蘇樂、蘇樂，玉峰子集水區有武道能敢、爺亨、三光、砂崙仔、復華、抬耀、上抬耀、平淪文、石磊、下文光、泰平、宇抬、玉峰、李埔、下宇老、上宇老、馬美、高臺、田埔，三光子集水區有巴陵、光華、新興，白石子集水區有秀巒、錦路、養老，泰崗子集水區有泰崗、新光、鎮西堡、司馬庫斯，而以聚落為中心之方圓 500 公尺行政區域為界，定為聚落之影響範圍。聚落與各年崩塌地關係如表 14 所示，並發現 2003 至 2005 年中之最大崩塌聚落皆

為秀巒，因此須對此區特別注意瞭解。若探討聚落 500 公尺內不同土地利用之崩塌情形，如表 15 所示，可知 1986 年、1998 年、2004 年及 2005 年聚落 500 公尺內之崩塌面積以林地區位為最大，2003 年則是以竹林區位為最大。由於山坡地聚落常會於其周邊土地進行耕作、開墾或建築等開發行為，對於崩塌有相當程度之影響，尤其是林地區位之區域。本研究將各年十大崩塌聚落整理如表 16 所示，選取五年中三年以上於十大排名內之七處聚落，觀察其歷年崩塌地之變化，如圖 15 所示，各年均有不同之變化。

4.7 崩塌地與降雨之關係

蒐集 2002 年至 2005 年石門水庫集水區之降雨資料，並於每年各取一個對石門水庫影響最大之颱風進行比較，其最大降雨強度及最大三日降雨量如表 17、18 所示。高義、玉峰、嘎拉賀、白石及鎮西堡等雨量站分別屬於石門下游、

表 16 各年十大崩塌聚落排序

年度	排 序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1986	聚落名稱	榮華	田埔	三光	玉峰	秀巒	砂崙仔	鎮西堡	石磊	泰崗	新光
	崩塌面積(ha)	9.31	8.82	7.37	7.30	6.64	5.18	5.14	4.43	3.75	3.70
1998	聚落名稱	鎮西堡	卡普	田埔	新光	司馬庫斯	上宇內	上高義	巴陵	上高遠	秀巒
	崩塌面積(ha)	78.08	42.51	38.41	36.21	34.38	27.20	23.27	18.66	15.51	15.41
2003	聚落名稱	秀巒	下奎輝	李埔	榮華	下文光	三光	義興	石磊	平淪文	-
	崩塌面積(ha)	6.15	3.56	1.43	1.24	0.91	0.83	0.53	0.33	0.33	-
2004	聚落名稱	秀巒	三光	玉峰	鎮西堡	養老	下文光	田埔	內奎輝	李埔	上抬耀
	崩塌面積(ha)	6.40	4.81	4.68	4.38	4.37	4.12	3.97	3.59	3.21	2.51
	艾利颱風最大三日雨量(mm)	1,607	1,578	1,578	1,073	1,670	1,578	1,578	1,214	1,578	1,578
2005	聚落名稱	秀巒	養老	李埔	鎮西堡	復華	三光	泰平	榮華	下文光	上抬耀
	崩塌面積(ha)	6.35	5.17	4.68	4.22	3.02	2.59	2.35	2.26	2.21	1.99
	馬莎颱風最大三日雨量(mm)	1,263	1,263	1,274	870	1,274	1,274	1,274	1,003	1,274	1,274

表 17 颱風之最大降雨強度及最大三日降雨量表(1)

	高義雨量站		玉峰雨量站		嘎拉賀雨量站	
	最大降雨強度(mm/hr)	最大三日降雨量(mm)	最大降雨強度(mm/hr)	最大三日降雨量(mm)	最大降雨強度(mm/hr)	最大三日降雨量(mm)
2002 年雷馬遜颱風	63	536	67	679	37	350
2003 年杜鵑颱風	20	87	10	80	21	122
2004 年艾利颱風	67	1,214	88	1,578	59	857
2005 年馬莎颱風	58	1,003	95	1,274	48	672

表 18 颱風之最大降雨強度及最大三日降雨量表(2)

	白石雨量站		鎮西堡雨量站	
	最大降雨強度(mm/hr)	最大三日降雨量(mm)	最大降雨強度(mm/hr)	最大三日降雨量(mm)
2002 年雷馬遜颱風	52	691	44	423
2003 年杜鵑颱風	24	108	29	172
2004 年艾利颱風	87	1,607	61	1,073
2005 年馬莎颱風	79	1,263	52	870

玉峰、三光、白石及泰崗等子集水區，因此將降雨資料與崩塌地進行比對可知，2004 及 2005 年之子集水區崩塌面積排序與雨量站之最大三日降雨量排序相符合，因此可判斷降雨量與崩塌面積有絕對之關係，而觀察 2005 或 2004 年之最大三日降雨量，與 2002 或 2003 年之最大三日降雨量相比，有著明顯之差距，因此造成水質混濁之原因，應與降雨量有直接之關係。

4.8 崩塌地判釋之準確性探討

已知利用航空照片或衛星影像於判釋崩塌地時會有低估之現象，在此以台 7 線及桃 113 線於馬莎颱風產生之崩塌為例，由於沒有實際測量崩塌地面積之資料，故以政府單位所公開招標於上下邊坡進行打樁編柵或栽植撒播之面積視為實際崩塌之面積，與利用航空照片及衛星影像所判釋之崩塌地面積做比較，詳如表 19、20 所示。由表中可知，台 7 線中利用衛星影像及航空照片

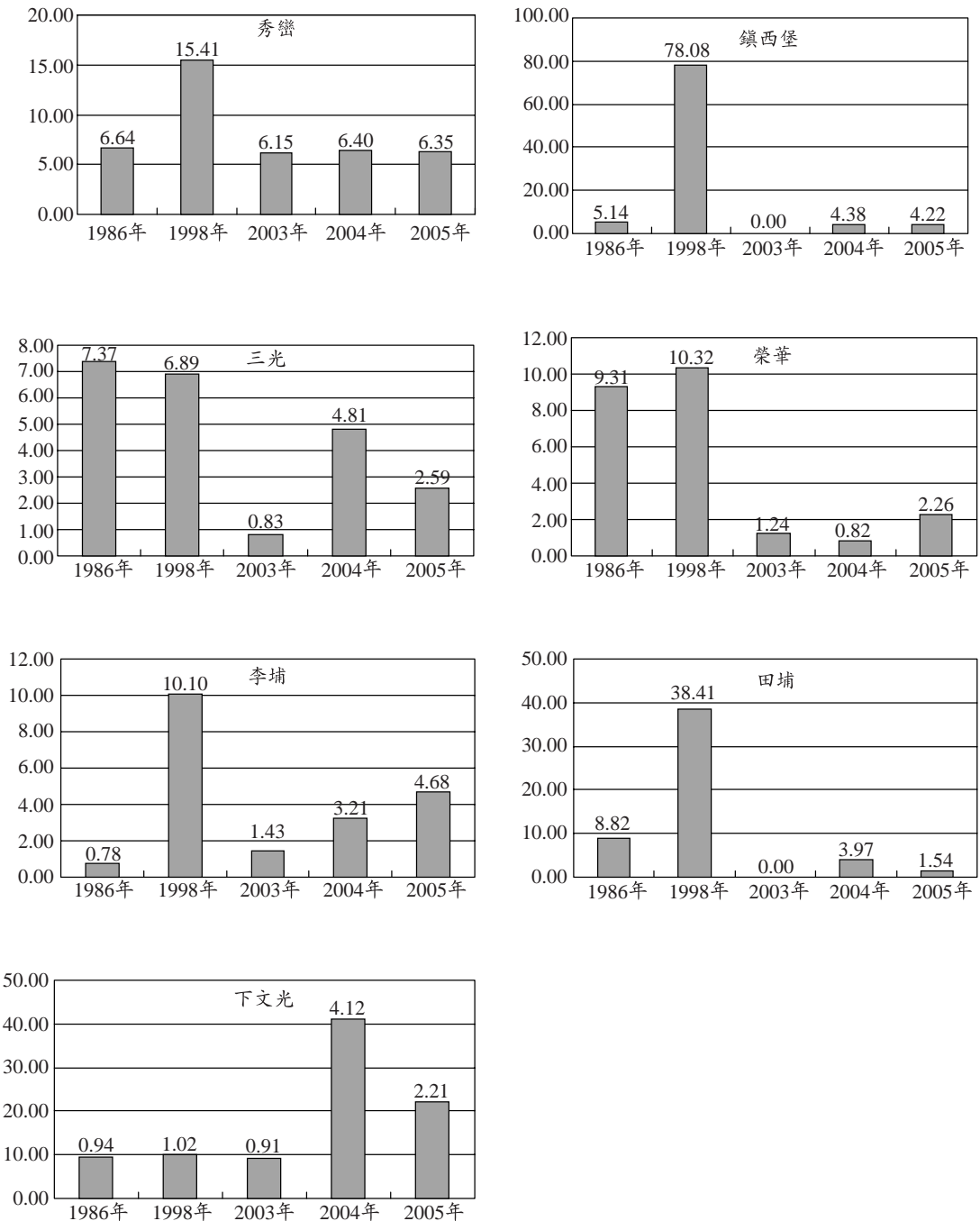


圖 15 聚落 500 公尺內崩場地之歷年演變圖

判釋之崩塌面積為實際打樁編柵面積之 50.26%，而桃 113 線中利用衛星影像及航空照片判釋之崩塌面積僅為實際打樁編柵面積之

22.17%。因為實際崩塌面積較公開招標之崩塌地處理面積大，因此，實際判釋面積比例應該還會更小。

表 19 台 7 線衛星影像及航空照片判釋面積與打樁編柵面積比較表

里 程	衛星影像及航空照片判釋面積(m ²)		打樁編柵面積(m ²)	
	平面面積	斜面積	平面面積	斜面積
37k+300	1,331	1,394	6,207	6,500
37k+500	5,760	6,033	5,156	5,400
42k+800	2,710	2,838	10,981	11,500
45k+200	1,751	1,834	2,836	2,970
46k+000	9,596	10,049	16,902	17,700
總 計	21,148	22,148	42,082	44,070

表 20 桃 113 線衛星影像及航空照片判釋面積與打樁編柵面積比較表

里 程	衛星影像及航空照片判釋面積(m ²)		打樁編柵面積(m ²)	
	平面面積	斜面積	平面面積	斜面積
0k+700-1k+100	804	853	24,898	26,400
1k+600	1,608	1,705	7,073	7,500
1k+650	2,893	3,068	6,602	7,000
1k+800	5,354	5,677	16,976	18,000
2k+000	6,856	7,270	7,073	7,500
2k+400	0	0	5,281	5,600
3k+200	0	0	943	1,000
3k+500	0	0	1,415	1,500
3k+700	0	0	1,415	1,500
4k+700	2,972	3,151	9,431	10,000
5k+350	0	0	5,659	6,000
5k+400	0	0	1,415	1,500
5k+500	0	0	2,829	3,000
5k+800	0	0	1,415	1,500
總 計	20,487	21,724	92,425	98,000

五、結論與建議

石門水庫之崩塌地，人為因素方面與道路之開闢、原住民保留地及聚落之分布有著密切之關係，尤其是位於原住民保留地及聚落周圍之林地區位；而自然因素方面，如降雨量過大和溪流沖蝕等。

本研究蒐集 1986 年、1998 年、2003 年、2004 年及 2005 年之崩塌地資料，並依水位流量站之位置分為五個子集水區分別探討，得到下列九項主要結論：

1. 泰崗子集水區於 1986 年、1998 年及 2003 年皆為崩塌率最大之區域，但於 2004 及

2005 年時玉峰子集水區及白石子集水區則變為主要之崩塌區域，而三光子集水區則一直為各年度崩塌率最小之區域。

2. 艾利颱風及納坦颱風來臨期間，各水位流量站之含砂量均有明顯升高之情形，其中，玉峰流量站之含砂量最高達 4.79%，與平時相差有百倍之多，而玉峰子集水區也為當年崩塌率最高之集水區。再者，納坦颱風期間含砂量最高之秀巒站也位於當年崩塌率第二高之白石子集水區。
3. 1986 年和 2004 年之水體區位崩塌率最高；1998 年最高為人為用地崩塌率；2003 年和 2005 年則為其他用地。

4. 1998、2004 及 2005 年崩塌率最大之區位皆為原住民保留地，且為國有林班地之 2 至 3 倍；而 1986 年及 2003 年崩塌率最大之區位則為國有林班地；公私有地之崩塌率於各年皆極小。若將原住民保留地之範圍向外擴張 50 公尺，除 1986 年有較大 34.4%，以及 1998 年之最小 3.24%外，其餘各年均以 10 至 13%之崩場地增加比例。
5. 將崩場地分近溪近路、近溪遠路、遠溪近路及遠溪遠路四種討論時，得知各年近溪遠路及遠溪遠路為最大之崩塌區位，合計約佔 70~86%左右。若將近溪近路及近溪遠路之崩塌百分比相加，各年皆約佔 60%以上；而溪流崩塌發生於凹岸處之比率約在 29 至 61%。若將近溪近路及遠溪近路之崩塌百分比相加，則各年皆約佔 14%~30%左右。由於石門水庫各子集水區之坡度分布在 66 至 92%之間，加權後之崩場地約增加 20 至 35%。
6. 2003 至 2005 年中之最大崩塌聚落皆為秀巒。1986 年、1998 年、2004 年及 2005 年聚落 500 公尺內之崩塌面積以林地為最大，2003 年則是以竹林區位為最大。
7. 將降雨資料與崩場地進行比對知，2004 及 2005 年之子集水區崩塌面積排序與雨量站之最大三日降雨量排序相符合。
8. 以政府單位所公開招標進行打樁編柵或栽植撒播之面積視為實際崩塌之面積，與利用航空照片及衛星影像所判釋之崩場地面積做比較知，台 7 線中利用衛星影像及航空照片判釋之崩塌面積為實際打樁編柵面積之 50.26%，而桃 113 線則為 22.17%。因為實際崩塌面積較公開招標之崩場地處理

面積大，因此，實際判釋面積比例應該還會更小。

9. 綜合各點討論可知，石門水庫集水區之崩塌與溪流沖刷有著極大關係，但人為之道路開闢及聚落聚集而產生之開發活動也有不小之影響，尤其是道路上、下邊坡崩塌大都屬於小規模崩塌，較不易自小尺度之衛星影像或航空照片中辨認出來，而近兩年全球氣候變遷所造成之極端降雨，也是形成崩塌之原因，尤其是玉峰及白石兩子集水區。

參考文獻

1. 工業技術研究院能源與資源研究所，「石門水庫集水區崩場地及土地利用航測調查計畫整體報告書」，臺灣省北區水資源局，1998.3。
2. 台灣省林務局農林航空測量所，「石門水庫集水區崩場地及土地利用航測調查報告」，台灣省石門水庫管理局，1986.6。
3. 和新工程顧問公司，「石門水庫集水區第三階段治理規劃」報告，經濟部水利署北區水資源局，2000.4。
4. 國立中興大學水土保持學系，「桃園縣水土保持工作對石門水庫集水區之影響報告」，桃園縣政府，2004.12。
5. 康恬慎，「石門水庫集水區不同時期崩場地調查成果分析」，國立台灣大學森林學研究所碩士論文，2001.6。

收稿日期：民國 95 年 1 月 2 日

修正日期：民國 95 年 3 月 17 日

接受日期：民國 95 年 3 月 21 日