

2009 年莫拉克颱風中南部災區災害調查分析

陳聰文⁽¹⁾ 傅桂霖⁽²⁾ 林俐玲⁽³⁾

摘要

2009 年莫拉克颱風造成台灣中南部地區嚴重受災，災害型態由洪水或崩塌等單一形式災害，轉變為崩塌、洪水、堰塞湖之複合型災害，本分析藉著「全流域管理」的精神、「尊重大自然」的思維及「國土復育」的理念，使集水區有專業知識以整體治理。

本研究主要針對降雨因子造成的「超大洪水量」、「崩塌災害」及「土石流災情」，進行探討分析，以有效減輕災害之發生。並以中部災區為例進行集水區歷史災害調查分析演算。直接探討莫拉克颱風災害前後崩塌與延時雨量的關係；分析水土保持現行策略對土砂整治率、水土保持構造物、區域性避難規劃及聚落區之合適性。

在無法預知之極端氣候發生機率增加情況下，策略目標應以聚落安全為核心，評估各類災害的影響範圍；除加強軟硬體減災措施外，更應著重於土石流防災監測及預報等非工程措施。

(**關鍵詞**：莫拉克颱風、崩塌、88 水災、中部災區歷史災害)

Investigation and Analysis of Disasters in Central and Southern Taiwan due to Typhoon Morakot in 2009

Chen, Chong-Wun⁽¹⁾ *Fu, Kui-Lin*⁽²⁾ *Lin, Li-Lin*⁽³⁾

Graduate Student⁽¹⁾ Doctoral Student⁽²⁾, Professor⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

2009 Typhoon Morakot resulted in serious disasters in central and southern Taiwan. The type of disaster is changed from single flooding or landslide to compound disasters, which includes avalanches, floods and barrier lakes. This analysis is based on the spirit of "Total Catchment Management (TCM)", the thought of "Respect to Nature" and the idea of "Land Restoration", so that the watershed area could be comprehensively governed by professional knowledge.

(1)國立中興大學水土保持學系碩士生(通訊作者 e-mail: beer@mail.swcb.gov.tw)

(2)國立中興大學水土保持學系博士生

(3)國立中興大學水土保持學系教授

This study focuses on the rainfall factors of “Tremendous Floods,” “Collapse Hazard” and “Mudslide”, to take an effective approach to reduce the occurrence frequency of disasters. Taking Taiwan Central Disaster Area as an example to investigate, analyze and to perform calculation of historical watershed disaster data. Directly investigate the relationship between the collapse and rainfall before and after Typhoon Morakot. Analyze the appropriateness of the current policy to the “Ratio of Sediment, “Soil and Water Conservation Structures” and “Regional Refuge Planning and Settlement District of Soil and Water Conservation.”

Under the increasingly possibility of unpredictable extreme weather, the core of the strategic objectives should be the “Settlement Security” to evaluate all influence of disasters. In addition to strengthening the hardware and software mitigation measures and also emphasis on the debris flow monitoring and forecasting.

(**Keywords:** Morakot typhoon, landslide, 88 floods, historical hazard events Central-Taiwan)

一、前言

有鑒於莫拉克颱風造成台灣中、南部地區嚴重受災，災害型態亦由洪水或土砂災害，轉變為崩塌、洪水、堰塞湖之複合型災害，並因水、砂、土、石之混合流動形成土石流，嚴重淤積或沖刷河道，危及下游地區居民生命財產安全，因此災害調查需落實並分析比較災害帶來的影響，考量各專家學者建議，提出有效的治理概念，甚至需建立預先防範之觀念。為使集水區「整體治理」的理念得以落實，並以「全流域管理」精神，尊重大自然的思維及重視國土復育的理念進行規劃，以供專業設計參考。

二、莫拉克災害及災損情形

建構台灣泥砂遞移率與集水區型態關係圖南部高屏河流域造成了重大的災情外，亦對研究區域造成不少災情，依據內政部消防署中央災害應變中心(2009)「莫拉克颱風災害應變處置報告第 74 報」，統計至 9 月 8 日為

止，莫拉克颱風造成全台共 619 人死亡、76 人失蹤，農林漁牧損失累計新台幣 164 億 6,863 萬元。農委會水土保持局於颱風期間緊急應變，依據氣象局風雨資料研判，於 8 月 6 至 11 日分 21 次發布土石流警戒，協助地方政府疏散避難 11,032 人次；勸離 18 個森林遊樂區全部旅客 1,311 人及安置大陸船員進港避風 3,430 人。全台各地發布 519 條土石流潛勢溪流(全部共有 1,503 條土石流潛勢溪流)紅色警戒，其中本研究區發布紅色警戒之土石流潛勢溪流有 142 條，佔本研究區總土石流比例約 83%，顯示因莫拉克所帶來的雨量驚人，影響的範圍廣，讓中部大部分地區皆處於高度紅色警戒狀態。

根據行政院經濟建設委員會(2009)「以國土保育為先之區域重建綱要計畫」之災害統計資料可知，本次中部地區淹水地區以流域來區分，主要包含八掌河流域、朴子河流域、濁水河流域及大甲河流域等 4 個流域。而以土石流和崩場地來分，中部受災集水區主要有曾水水庫、八掌溪、朴子溪、清水溪、虎

尾溪、南港溪及陳有蘭溪等 7 處，其中嘉義縣梅山鄉太和地區、中埔鄉中崙地區、雲林縣古坑鄉和南投縣國姓鄉 7 區更被列為土石災害重大災區(如表 1 及圖 1 所示)。

由於災害位置大多屬崩塌嚴重且溪床嚴重淤積之土砂災害區域，造成二次災害的可能性將大為提高。



資料來源：行政院經濟建設委員會(2009)

圖 1 中部地區重大土石災區位置圖

Figure 1 Locations of significant debris disaster areas in Central Taiwan

表 1 中部地區重大土砂災區

Table 1 Significant debris disaster areas in Central Taiwan

縣市	重大災區	X 坐標(TWD67)	Y 坐標(TWD67)	所屬分局
南投縣	仁愛鄉眉溪	258135	2655820	南投分局
南投縣	埔里鎮東埔野溪	249775	2646940	南投分局
南投縣	國姓鄉九份二山	234450	2649750	南投分局
雲林縣	古坑鄉華山溪	209485	2610235	南投分局
嘉義縣	阿里山鄉來吉村	222395	2604325	南投分局
嘉義縣	中埔鄉中崙村漂水溪	204565	2586450	南投分局
嘉義縣	梅山鄉太和阿里山溪	221065	2604065	南投分局

資料來源: 行政院經濟建設委員會(2009)

表 2 莫拉克後道路災情統計表

Table 2 Statistics of disaster situation for roadway after Typhoon Morakot

道路型式	災害總數 (處)	已搶通 (處)	未搶通 (處)	備註
國 道	3	3	0	
省 道	69	63	6	
代養縣道	49	45	4	
自養縣道	0	0	0	主管機關為地方政府
鄉 道	17	17	0	主管機關為地方政府
市區道路 (由營建署提供)	6	6	0	市區道路主管機關係內政部(營建署)
農 路 (由農委會提供)	100	100	0	農路主管機關係農業委員會
原住民部落道路 (由原民會提供)	10	10	0	原住民部落道路主管機關係原住民族委員會
合 計	254	244	10	

資料來源: 內政部消防署中央災害應變中心(2009)

表3 莫拉克空中救援執行成果統計表

Table 3 Statistics of execution results via air rescue during Typhoon Morakot

項目 日期	執行案件		物資運送 (公斤)		運送救災 人員(人)		傷患及災民救 援後送(人)		空勤		大體運送		出動空中救 災人次		出動 總架次	
	國軍	空勤 總隊	國軍	空勤 總隊	國軍	空勤 總隊	國軍	空勤 總隊	國軍	空勤 總隊	國軍	空勤 總隊	國軍	空勤 總隊	國軍	空勤 總隊
8月8日	1	1						24					4	5	1	1
8月9日	3	15		1,380		18	9	44		1			16	81	4	20
8月10日	12	15	1,300	3,610	15	46	108	96		2	0	0	108	155	27	31
8月11日	35	33	17,650	8,400	94	20	482	326	0	0	1	4	406	319	97	70
8月12日	36	6	16,789	2,300	99	0	375	94	0	0	2	3	337	86	84	17
8月13日	69	9	35,070	8,220	21	0	1,692	518	0	0	0	0	376	127	361	25
8月14日	83	12	79,947	7,070	204	5	2,216	302	0	0	0	0	416	90	473	18
8月15日	67	13	41,269	4,100	209	28	1,376	64	0	0	1	0	1,632	72	408	15
8月16日	43	6	27,890	3,300	51	25	625	20	0	2	2	0	1,136	60	269	12
8月17日	38	7	25,818	1,900	477	18	430	18	0	1	3	0	964	40	241	8
8月18日	26	6	13,668	0	220	7	154	4	1	2	1	0	956	40	239	8
8月19日	22	5	34,644	900	302	16	242	9	0	1	0	0	1,300	30	325	6
8月20日	30	6	23,325	200	96	27	152	11	0	0	2	0	1,388	30	347	6
8月21日	26	2	27,894	200	186	3	105	0	0	0	0	0	1,348	20	337	4
8月22日	16	6	11,206	400	55	21	93	42	0	1	0	0	748	35	187	7
8月23日	8	2	12,500	0	46	5	42	1	0	0	0	0	408	15	102	3
8月24日	26	3	20,384	510	194	35	40	0	0	1	0	0	844	50	211	10
8月25日	26	2	21,060	0	37	13	36	0	0	0	0	0	404	15	108	3
8月26日	17	2	12,588	0	118	4	38	9	0	1	0	0	180	10	206	2
8月27日	20	2	10,604	0	83	4	20	0	0	2	0	0	708	10	177	2
8月28日	26	2	6,104	0	110	5	93	1	0	1	0	0	620	10	155	2
8月29日	10	2	7,145	0	62	4	36	2	0	0	0	0	244	10	61	2
8月30日	3	6	0	0	0	21	34	0	0	0	0	0	24	10	6	2
8月31日	6	3	260	487	11	27	0	1	0	1	0	0	60	15	15	3
9月1日	11	1	13,789	170	27	5	2	2	0	0	0	0	224	5	56	1
9月2日	12	0	8,421	0	74	0	0	0	0	0	0	0	224	0	56	0
9月3日	9	0	12,900	0	8	0	0	0	0	0	0	0	180	0	45	0
9月4日	11	1	7,750	0	27	30	0	0	0	0	0	0	188	5	63	1

9月5日	0	1	0	0	0	6	0	5	0	0	0	0	0	5	0	1	
9月6日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9月7日	5	1	12,028	0	66	46	2	0	0	0	0	0	232	10	58	2	
9月8日	11	2	14,727	0	5	12	4	0	0	0	0	0	136	10	34	2	
小計	708	172	516,730	43,147	2,897	451	8,406	1593	1	16	12	7	15,815	1,370	4,754	284	
總計	880		559,877			3,348		9,999			17		19		17,185		5,038

資料來源:內政部消防署中央災害應變中心(2009)

據內政部消防署中央災害應變中心(2009)「莫拉克颱風災害應變處置報告第 74 報」,其災情統計項目得知,在交通狀況方面,總計道路發生災害的總數約 254 處(詳表 2 所示),另在空中救援方面,累計物資運送 559,877kg、出動空中救災人次達 17,185 人(詳表 3 所示)。由上述的資料及新聞媒體報導可知,莫拉克颱風重創臺灣中南部後,幾乎大部分中南部山區村落都因道路中斷而受困山區,較輕微無立即危險的部落以空投物資為主,較嚴重災情的部落則以空中救援撤離災區為主。

三、莫拉克颱風災害前後比較分析

參考經濟部水利署(2009)「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」,得知主要降雨集中於 8 月 7 日~8 月 10 日,多項降雨統計記錄均創下或接近歷史新高。總雨量部分,本次莫拉克颱風降雨時間長達 5 天,8 月 6 日零時至 11 日零時,總雨量最大發生在阿里山站 3,004.5mm,總計有 18 站破 2,000mm,莫拉克颱風總累積降雨量分布圖(詳圖 2 所示)。

由莫拉克颱風之降雨量資料,顯示莫拉克颱風不僅單位時間內之降雨強度高,而且

降雨延時亦相當長。以阿里山站為例,其延時 24 小時最大累積雨量發生為 1,623.5mm,換算成平均降雨強度為 67.6mm/hr,若以一般土石流累積雨量警戒值 200~300mm 而言,只需 3~5 個小時之降雨即可達到發生土石流之條件。此種高強度且長延時之降雨型態與台灣現有降雨記錄相比,極為罕見,也因此重創中南部山區。另外由降雨分布範圍而言,主要降雨中心位於嘉義山區至高雄山區一帶,而此區域亦正是災害最嚴重之區域。

(一) 88 水災與臺灣洪水紀錄比較

本次超大豪雨造成中南部河川之超大洪水,根據中興顧問公司(2009)「莫拉克颱風雨量中心移至曾文水庫集水區之降雨逕流探討」報告成果顯示,於濁水溪流域、八掌溪流域、朴子溪流域及曾文溪流域等各流域水文站之洪峰流量皆已大於 200 年重現期洪峰流量。

而以位於莫拉克降雨中心的曾文水庫集水區為例,莫拉克颱風中心雖由北部通過,但其降雨中心則位於中南部山麓一帶,其中對曾文水庫(集水面積 481 平方公里)而言,莫拉克連續降雨造成集水區入流量大增,並使得曾文水庫於 8 月 8 日進行水庫排洪操作,其水庫有效蓄水量由 8 月 6 日 24.2% 上升至 8 月 9 日 100%。由 8 月 6 日~13 日止水庫累積

進水量達 12 億 272 萬 m^3 ，洪峰流量為 $Q_p = 11,810 \text{cms}$ ，其值已接近臺灣最大洪水紀錄（詳圖 3 所示），亦遠高於曾文溪流域 200 年之保護標準。

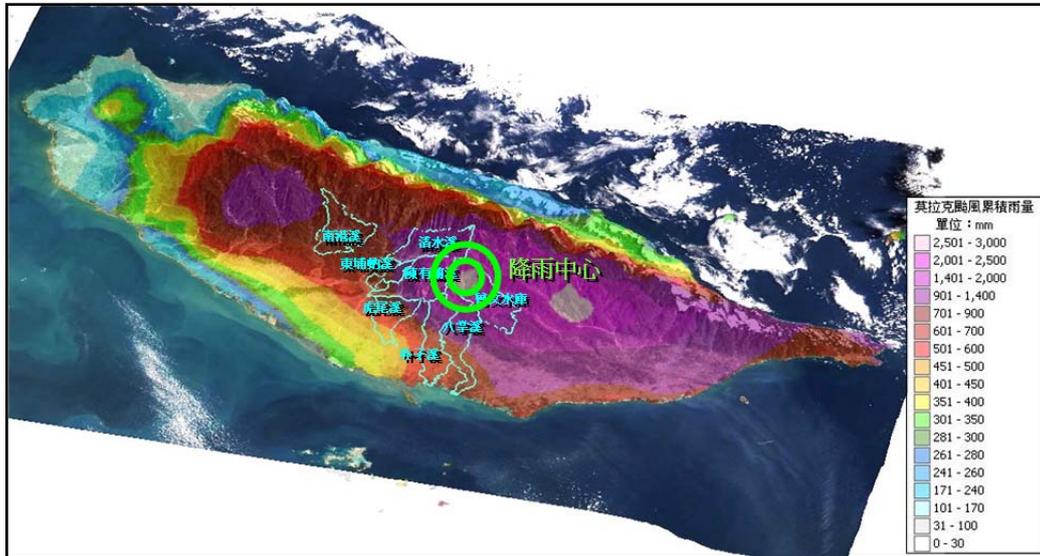


圖 2 莫拉克颱風事件累積雨量圖

Figure 2 Cumulative rainfall for Typhoon Morakot event.

因此莫拉克之極端降雨事件，除對位於降雨中心之曾文水庫造成大量新增崩塌地外，據行政院農業委員會水土保持局(2009)「中部地區災後集水區水土保持策略規劃成果報告」，水庫於颱風期間亦受洪水挾帶之土砂影響，於一場颱風事件之土砂淤積量高達 9,000 萬 m^3 ，其土砂淤積量相當於一座烏山頭水庫之庫容。

(二) 88 水災與世界降雨極值比較

本研究將研究區域內各次集水區，於莫拉克颱風之最大降雨記錄及臺灣歷年發生之較大颱風記錄，與世界最大降雨包絡線一併繪(詳圖 4 所示)。根據分布結果顯示，本次阿里山站總累積雨量 3,004.5mm 已超越 1996 年賀伯颱風(阿里山站，1,987mm)及 2001 年納

莉颱風(下盆站，2,319mm)之降雨紀錄，且該站降雨延時 24、48 及 72 小時累積雨量均為莫拉克颱風發生最大降雨量之測站，亦為台灣歷年之冠(分別為 1,623.5mm、2,361mm 及 2,748mm)，累積降雨已接近世界最大降雨記錄(2,646.12mm，印度乞拉朋齊)。另外由各集水區 72 小時降雨情況亦可知，本次莫拉克於曾文水庫之降雨為最大，其次為清水溪、八掌溪、朴子溪、陳有蘭溪、南港溪及虎尾溪，其大致災害嚴重程度接近。

(三) 降雨延時分布與崩塌災害之關係探討

將研究區域莫拉克災後新增崩塌地與不同延時最大降雨強度套疊分析，得知集水區最大降雨強度與延時關係圖(詳圖 5 所示)，可知若以一般土石流累積雨量警戒值 300mm

進行比對，研究區域除虎尾溪集水區外，其餘集水區之降雨情況皆已超出於 300mm 警戒值。顯示研究區域之降雨狀況多已高出致

災降雨條件許多，也因此造成研究區域內集水區發生大規模崩塌與土石流等災害。

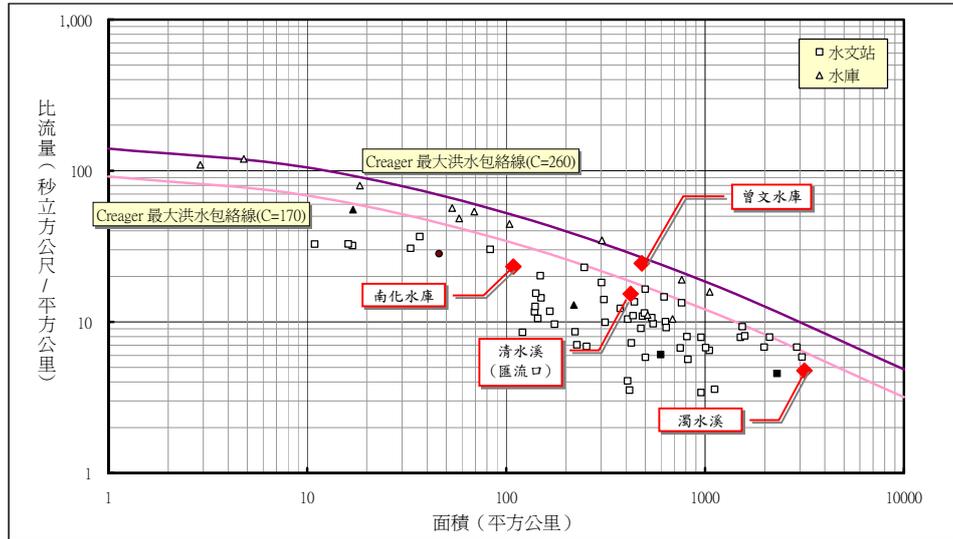


圖 3 莫拉克颱風與臺灣最大洪水紀錄包絡線之比較

Figure 3 Envelope comparison between Typhoon Morakot and the maximum flood record in Taiwan

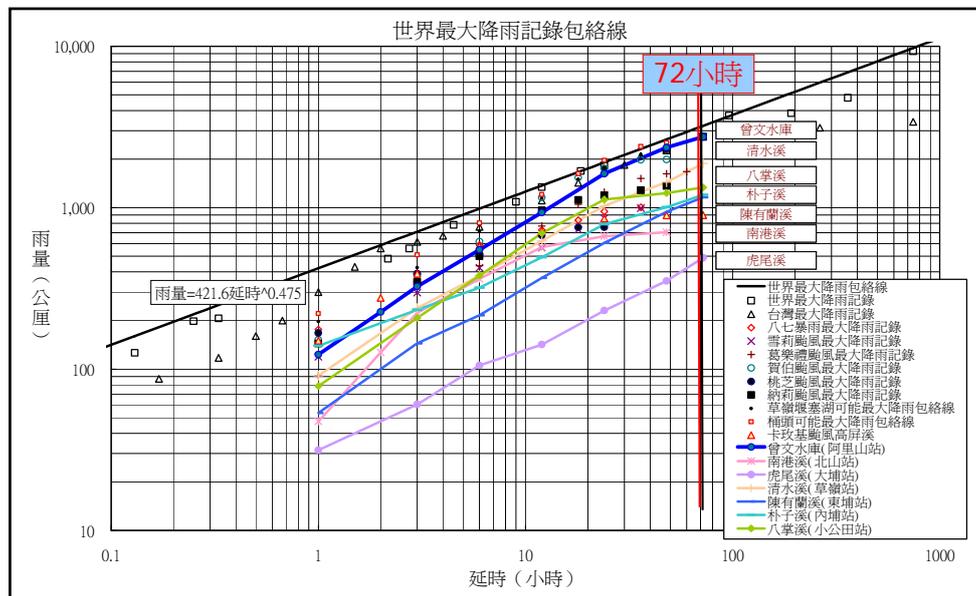


圖 4 莫拉克颱風與世界最大降雨紀錄包絡線之比較

Figure 4 Envelope comparisons between Typhoon Morakot and the maximum global rainfall record

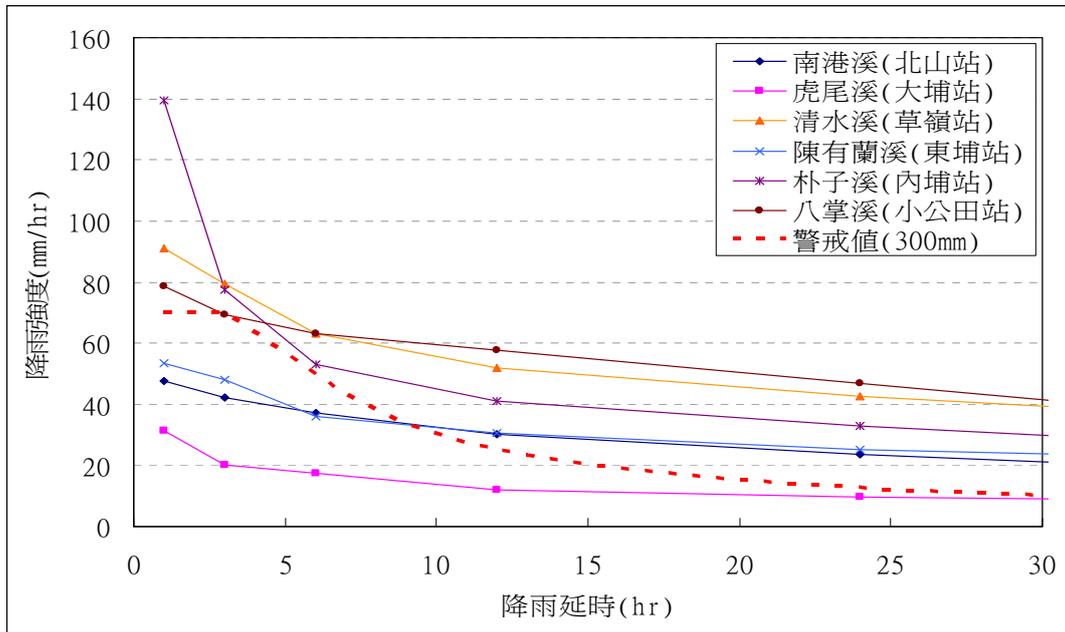


圖 5 計畫集水區最大降雨強度與延時關係圖

Figure 5 Relationship between maximum rainfall strength and duration in the project watershed.

(四) 歷年崩場地變化

本研究蒐集自民國 88 年九二一地震後崩塌地面積，至 2009 年莫拉克颱風後崩塌地面積，(詳表 4 及圖 6 所示)，因農委會水土保持局分年分期長期投入水土保持保育治理措施，崩塌地逐年下降，整治成效顯著。而 2009 年八八水災帶來的超大豪雨，讓位於莫拉克降雨中心之中部地區新增大量崩塌地，其中曾文水庫、清水溪及陳有蘭溪等次集水區之變化量最大。

(五) 崩塌與延時雨量之關係

本研究根據 2009 年莫拉克颱風後新增崩塌地分布及莫拉克延時雨量分布情形，劃定各次集水區莫拉克致災延時曲線，並取其崩塌發生時降雨延時所對應之最低降雨強

度，作為集水區訂定崩塌發生臨界值之參考。因崩塌地是土石流主要土砂來源，且降雨配合大量新增崩塌地通常誘發土石流機率很高，故本研究加入水土保持局所公告各次集水區內鄉鎮之土石流發生警戒值，比對目前土石流警戒發布基準線與崩塌發生臨界線之關係。(詳圖 7 所示)以清水溪次集水區為例，得知由短延時(約 7hrs 以內)來看，會產生實際累積雨量未達土石流警戒值，但已超過致災臨界值，故會有崩塌災害已產生但未發布紅色警戒之情況。由長延時(約 7hrs 以上)來看，會產生實際累積雨量已達土石流警戒值，且發布紅色警戒，但並未超過致災臨界值，故會產生紅色警戒發布、人員撤離，但離致災臨界值仍有一段距離，易造成民眾抱怨及浪費資源之情形。建議未來可加入歷史致災紀錄，

劃定更接近實際致災之臨界線，並重新研究 石流紅色警戒發布時機。
 土石流警戒值之訂定標準，以更精準掌握土

表 4 中部地區歷年崩場地面積統計表

Table 4 Statistics of landslide area over the years in Central Taiwan

次集水區 名稱	崩場地面積(ha)			
	90 年	94 年	97 年	98 年
南港溪	458.48	586.09	279.20	231.67
虎尾溪	10.65	16.65	1.51	1.97
清水溪	2,543.77	1,842.81	707.44	1,329.33
東埔蚋溪	307.93	46.01	22.73	26.79
陳有蘭溪	1,772.06	2,164.29	1,117.36	1,653.28
朴子溪	119.89	26.72	18.42	47.22
八掌溪	502.62	188.85	105.48	477.05
曾文水庫	949.90	441.13	535.93	1,542.49
合計	6,665.30	5,312.55	2,788.05	5,309.80

資料來源：(1)水土保持局(2005)「崩場地資料」；(2)經濟部中央地質調查所(2009)

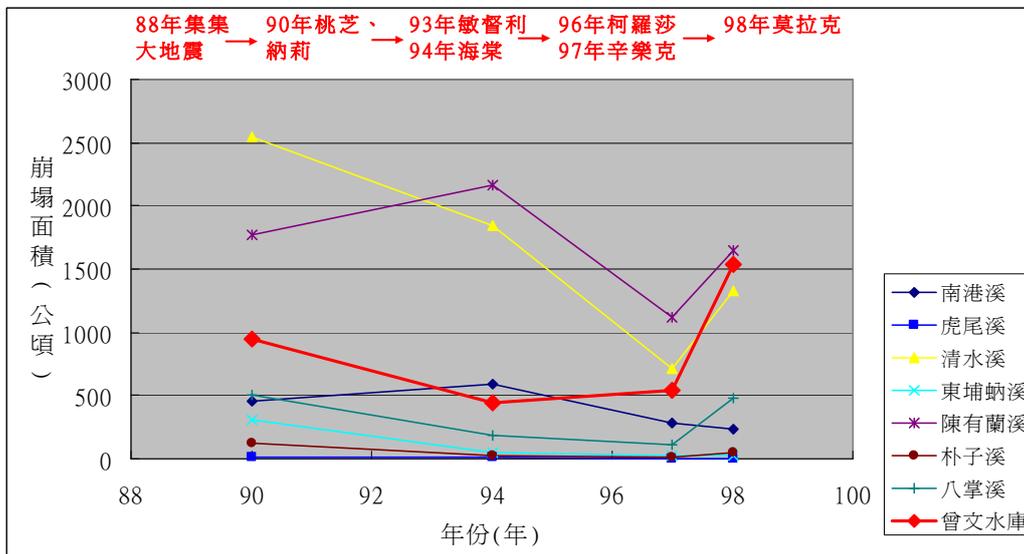


圖 6 中部地區歷年崩場地變化圖

Figure 6 Variations of landslide in Central Taiwan

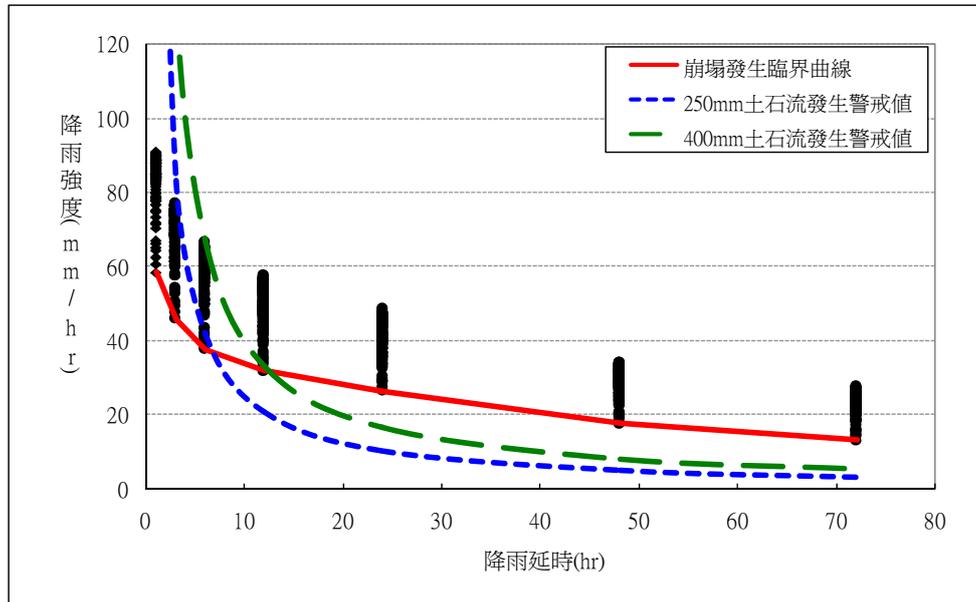


圖 7 清水溪次集水區致災延時曲線

Figure 7 Disaster-resulted duration curve in the sub-watershed of Ching Shui Creek.

四、水土保持現行策略檢討分析

(一) 土砂整治率之重新檢討

根據水土保持局「整體性治山防災中長程計畫(98至101年度)」(2008)，前期94至97年度集水區整治率已由33.0%提昇至39.0%，未來98至101年度集水區整治率將由39.0%提升至41.7%。

治山防災計畫屬水土保持局中長程計畫，故以4年為計畫研擬基期，但由於集水區環境每年受颱風豪雨影響甚劇，亦將影響集水區整治率。2009年莫拉克颱風在臺灣造成嚴重災情，經統計中部8個次集水區新增加約2,500ha之崩塌面積，已嚴重影響現況土砂整治率之目標，故本研究重新檢討中部地區集水區災後整治率，採用水土保持局「集水區整體調查規劃參考手冊」(2008)中土砂生產整

治率，推估2009年莫拉克颱風後其整治率變化情形，分析說明如下：

1、治理前集水區泥砂生產量(S_{s0})

集水區泥砂生產量總計約41,878萬 m^3 ，包含崩塌土石量9,758萬 m^3 與土壤沖蝕量32,120萬 m^3 ，推估方法說明如下：

(1) 崩塌土石量

崩塌土石量以崩塌面積與崩塌深度乘積推估，2008年崩塌地面積約為2,788ha，崩塌深度則參考水土保持局「集水區整體調查規劃參考手冊」(2008)中崩塌深度估計參考表，(詳表5所示)，本研究採用全島40m×40m解析度數值地形資料，求得中部地區集水區平均坡面坡度約為21.02度，故崩塌平均深度採3.5m，則治理前集水區崩塌土石量為9,758.2萬 m^3 。

表 5 崩塌深度估計參考表

Table 5 Depths of estimated landslide.

坡面坡度(度)	深度(m) 註1	深度(m) 註2	平均深度(m)
<30	5	2	3.50
30~40	4	1.5	2.75
40~60	3	1	2.00
>60	2	0.5	1.25

註1：國家災害科技研究中心
 註2：Khazai and Sitar(歐陽元淳，2003)

資料來源：水土保持局(2008)「集水區整體調查規劃參考手冊」

(2) 土壤沖蝕量

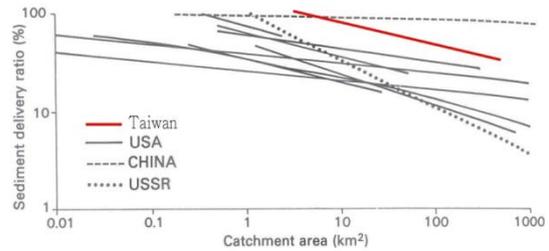
土壤沖蝕量以中部地區集水區面積 (3,019,944ha) 與沖蝕深度乘積推估，依據歷史文獻記載西部地區土壤流失量年沖蝕平均深度為 10.64mm，故土壤沖蝕量為 32,120 萬 m³。

2、治理時所設定合理泥砂排放量(S_{sp})

合理泥砂排放量採用泥砂平衡(sediment budget)之概念以集水區泥砂遞移率推估，根據「台灣泥砂遞移率與集水區型態關係圖」(詳圖 8 所示)，推估中部地區集水區遞移率約 60%，又集水區泥砂生產量約為 41,878m³，則合理泥砂排放量為 25,127 萬 m³。

3、治理後集水區泥砂控制量(S_{so}-S_s)

水土保持設施泥砂控制量主要為穩定溪床及復育崩塌裸露坡面，以抑止崩塌持續擴大、溪床持續淘刷與土砂過量下移，且防砂設施淤滿後仍具有防止土砂生產及調整溪床坡度降低土砂運移功能。



資料來源：水利規劃試驗所(2006)

圖 8 台灣泥砂遞移率與集水區型態關係圖

Figure 8 Relationship between sediment delivery ratio and drained area in Taiwan

依據上述推估成果，集水區泥砂生產量約為 41,878 萬 m³，合理泥砂排放量為 25,127 萬 m³，根據水土保持局「90 至 97 年治山防災計畫績效評估」(2009)得知 2008 年土砂生產整治率約 40.07%，故依據(1)式推估，求得 2008 年治理後集水區泥砂控制量為 6,712 萬 m³。

$$CR_S(\%) = \frac{S_{SO}-S_S}{S_{SO}-S_{SP}} \quad (1)$$

式中：

S_s：治理後現況泥砂生產量

在 2009 年莫拉克颱風過後，根據表 4 經濟部中央地質調查所崩塌地初步判釋成果，可知中部地區集水區災後崩塌地面積增加至 5,310ha，故本研究由上述所求得之 2008 年底(莫拉克颱風前)整治率相關參數，推估 2009 年莫拉克颱風後其整治率變化情形，分析說明如下：

1、治理前集水區泥砂生產量(S_{so})

集水區泥砂生產量總計約 50,704 萬 m^3 ，包含崩塌土石量 18,584 萬 m^3 與土壤沖蝕量 32,120 萬 m^3 ，推估方法說明如下：

(1) 崩塌土石量

崩塌土石量以崩塌面積與崩塌深度乘積推估，由經濟部中央地質調查所於莫拉克災後崩塌地初步判釋成果，可知 2009 年崩塌地面積約為 5,310ha，崩塌平均深度採 3.5m，則治理前集水區崩塌土石量為 18,584 萬 m^3 。

(2) 土壤沖蝕量

土壤沖蝕量以集水區面積 (3,019,944ha) 與沖蝕深度(10.64mm)乘積推估，故土壤沖蝕量為 32,120 萬 m^3 。

2、治理時所設定合理泥砂排放量(S_{sp})

本集水區遞移率約 60%，又集水區泥砂生產量約為 50,704 萬 m^3 ，則合理泥砂排放量為 30,423 萬 m^3 。

3、治理後集水區泥砂控制量($S_{so}-S_s$)

依據上述推估成果，97 年度集水區泥砂控制量為 6,712 萬方，本研究假設 2009 年莫拉克颱風後未進行相關水土保持設施來增加泥砂控制量，故 98 年度集水區泥砂控制量仍

採用 6,712 萬 m^3 。

4、集水區土砂生產整治率

依據上述推估成果，集水區泥砂生產量約為 50,704 萬 m^3 ，合理泥砂排放量為 30,423 萬 m^3 ，治理後集水區泥砂控制量約為 6,712 萬 m^3 ，依據(1)式莫拉克颱風過後土砂生產整治率約為 33.1%(詳圖 9 所示)。因為前述各集水區內地文資料皆引用自莫拉克災前之資訊，故建議未來可根據各子集水區災後地文資料更新後，重新評估災後實際整治率，以作為後續計畫研擬之依據。

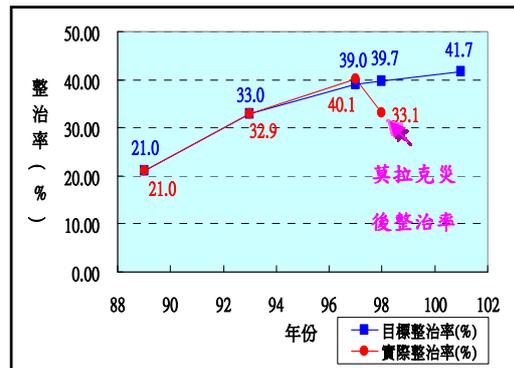


圖 9 中部地區歷年整治率變化圖
Figure 9 Ratio of sediment remediation variation by years in Central Taiwan.

(二) 區域性避難規劃

行政院農業委員會水土保持局於桃芝風災後，特別加強土石流防災疏散避難相關工作之推動，如今成效顯著，無形中已提昇民眾平時之準備及災害來臨之應變能力，但遭遇莫拉克颱風如此極端的氣候，反映出疏散避難仍有不足之處。目前避難處所規劃提及「避難處所距離不可過長，步行以不超過 30 分鐘為宜」，即以社區性避難為主。

以本次莫拉克颱風來看，因災害規模遠大於歷年已知災害，使得許多山區主要聯外及居民維生道路、橋樑同時中斷導致山區聚落形成孤島，居民無法藉由既有道路逃生與進行維生物資補給(詳圖 10 所示)，使得莫拉克期間空中救援出動歷年災害最多的 5,038 架次。故面對未來可能再發生極端氣候，應考量從社區性避難擴大為區域性避難，檢討避難路線與避難地點是否應依不同累積雨量，採取分級避難機制，以減低災害受困及傷亡人數。

(三) 水土保持構造物安全性的檢討

因莫拉克颱風屬極端氣候，中南部很多雨量測站之雨量紀錄皆已超過 50 年重現期距甚多，故不應將極端氣候雨量紀錄在資料有限情形下加入 50 年頻率保護標準中探討，建議應維持原有 50 年設計洪水量，並藉由其他方式補強設施，如下所述：

- 1、提升工程整體品質－提高材料強度或加配置鋼筋亦或基樁設計。
- 2、落實執行品管制度－嚴格執行各項品質稽查及監造作業等。
- 3、提高滑動之安全檢討標準－原有檢討標準是在 50 年頻率洪水下，檢討不同有效壩高之安全係數 F.S，據行政院農業委員會水土保持局(2005)「水土保持手冊」不同洪峰流量訂定不同安全係數檢核標準，以提高防砂壩之承受能力，(詳表 6 及圖 11 所示)。
- 4、以軟體設施補強硬體之不足，(如圖 12 所示)，包含土石流監測、避難規劃、土地使用管制、防災教育宣導...等。

(四) 野溪流域擴大及聚落區位合適性檢討

據台灣總督府(1904)「臨時台灣土地調查局地形圖」，即通稱的堡圖，堡圖採用二萬分之一之比例尺，每幅地圖涵蓋經度六分、緯度四分。以嘉義縣阿里山溪來吉村為例，將 1904 年古河道地形與莫拉克風災前後(2008 年及 2009 年)衛星影像做套疊比對，(詳圖 13 所示)，由套疊比對結果可知，現況保全聚落(來吉村 1、2 鄰)有部分區域位於古河道地形上，在本次超大降雨量的影響下已有 4.2ha 農地和 6 棟房屋遭大水沖毀或遭土石掩埋，若將現況河道(2009 年莫拉克災後河道)與 1904 年古河道位置比對，仍有部分未被沖毀的聚落位於古河道上，故評估阿里山溪未來再次生洪災之可能性仍高，建議可將原居住於河道旁之居民予以搬遷安置，阿里山溪可採自然演替復育方式還地於河，且未來仍必須嚴密監控，避免災情超乎預期。

建議未來可全面檢討土石流或野溪沖積扇和河道岸邊崩場地，造成河道流路變動間接影響之保全對象，另亦可利用 1904 年古河道地形與莫拉克災後衛星影像之套疊比對，探討未來可能造成災害之地區，以先期推動各策略方案，降低次生災害造成的生命財產的損失。

表 6 安全係數表修正

Table 6 Revised table of safety factor.

條件	安全係數 F.S
50 年洪峰流量	F.S=1.5
100 年洪峰流量	F.S=1.2
200 年洪峰流量	F.S=1.0

資料來源：水土保持手冊(2005)



圖 10 阿里山溪太和區域莫拉克災後照片

Figure 10 Bird-view of the Tai He area of Ali Shan Creek after Typhoon-Morakot disaster.

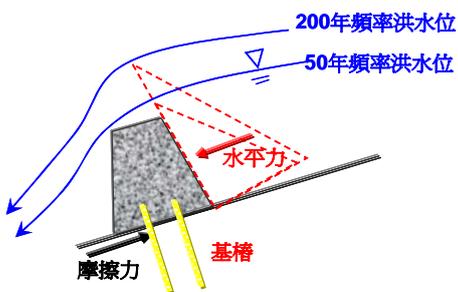
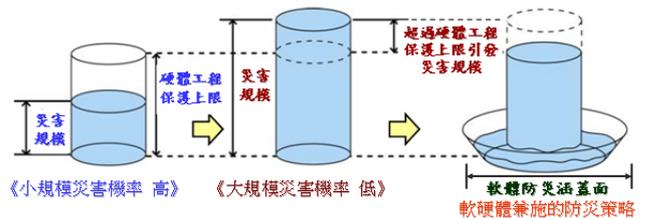


圖 11 防砂設施示意圖

Figure 11 Illustration of erosion-control facility.



資料來源:日本地方再生戰略(2008)

圖 12 軟硬體兼施防災策略示意圖

Figure 12 Illustration for strategy on disaster prevention via both hardware and software

五、分析成果

災害管理應為持續性的工作，需要經過長期規劃與執行；應從平時、災前、災時到災後，每個階段都具有其相互連結之關係。災害發生時，若能迅速做好緊急應變措施，即可在有效時間內進行搶救災工作、減輕生命財產損失、降低二次災害發生的可能性，且有助於復原重建工作之推動，但所有的緊急應變有賴於平時做好準備，也是目前國內外防救災工作之共識。

本研究組合前述章節土砂平衡、水文平衡、生態保育、環境營造及坡地管理所擬定之相關策略，針對歷年災害包含土石流、崩

塌、河道侵蝕、暴雨事件、道路阻斷及生態環境破壞等類型，以軟體、硬體並重方式依「治山、防災、保育、永續」四個面向，訂定適合各災害類型之災前預防、災時應變及災後復建等相關防救對策，(詳表 7 所示)。

其中土石流災害常挾帶大量的砂石，強大的破壞力更造成中、下游民眾的威脅；除了平時應規劃完善的防救災工作外，對於災後可能發生的二次災害更要提高警覺，故提升大眾對土石流災害之應變能力之目標，建立土石流災害防救體系中各階段之實施應變運作機制格外重要。常見土石流災害型態及其應變對策，(詳表 8 所示)。

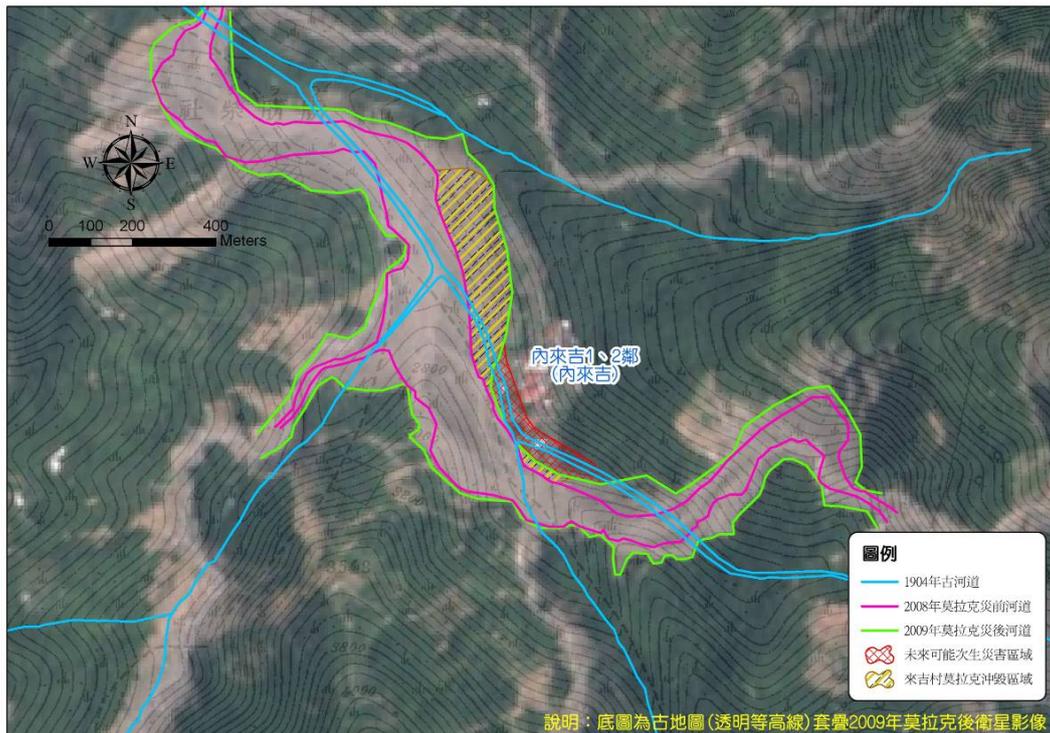


圖 13 阿里山溪來吉村河段歷年河道變遷圖

Figure 13 Channel migration over the years in the section of Lai Ji village of Ali Shan Creek.

表 7 各類災害相關防救對策方法

Table 7 Methods to all kinds of relevant disaster prevention and rescue.

災害類型	災前預防	災時應變	災後復建
土石流	1.災害潛勢評估 2.擬定防災計畫 3.防救災演練與教育宣導 4.源頭整治 5.土石流監測站之建立	1.警告標誌設立 2.交通管制通報 3.土石流災害路段勘查 4.緊急保護工 5.土石清除疏通	1.疏導工法 2.抑制與抑止工法 3.停止淤積工法
崩塌	1.災害潛勢評估 2.擬定防災計畫 3.防救災演練與教育宣導 4.源頭整治	1.警告標誌設立 2.崩場地調查 3.緊急排水 4.坡趾加固	1.崩場地調查 2.發生機制分析 3.抑制與抑止工法 4.穩定分析
河道侵蝕	1.災害潛勢評估 2.擬定防災計畫 3.防救災演練與教育宣導	1.河岸侵蝕路段勘查 2.緊急河岸保護工 3.坡趾緊急加固 4.坡面排水	1.公路邊坡穩定 2.溪流側向侵蝕控制
暴雨事件	1.自記雨量站數據分析研判 2.防災專員培訓 3.雨量警戒值調整 4.加強避難路線規劃及避難處所安全檢視	1.紅色及黃色警戒的發布時機 2.災區雨量站的通報 3.防災專員對外通訊之效能	1.雨量站的功能維護 2.評估雨量站設置的密度及效益 3.檢討防災專員回報的情形 4.強化自主防災能力
道路阻斷	1.擬定防災計畫 2.防救災演練與教育宣導 3.加強避難路線規劃及避難處所安全檢視	1.緊急標誌設立 2.交通管制通報 3.坡趾緊急加固 4.坡面排水	1.公路邊坡穩定
生態環境破壞	1.生物棲息型態特性之調查維護 2.改善受嚴重污染之水質 3.加強生物多樣性保育之考量 4.評估水工構造物對生態之影響 5.進行生態敏感區域監測	1.生物棲地演變之調查 2.生物棲地的維護 3.生物物種之調查 4.生物量調查	1.生態棲地復育及環境營造 2.調查維護相關措施之災後情況 3.加速植生復育 4.生態工法之應用

資料來源：水土保持局(2005)「台灣土石流災害管理策略」

表 8 常見土石流災害型態及其應變對策

Table 8 Common types of debris-flow disaster and their emergency strategies.

土石流災害型態	災害說明	應變對策	
		硬體設施	軟體設施
淤埋	下游沖積扇堆積淤埋	1.溪流工法 2.生態工法	1.劃定土石流潛勢區 2.限制土地開發 3.下游堆積區民眾遷移或及早疏散避難
沖刷	沖刷河道兩側造成侵蝕及溪床向下切深	1.溪流工法	1.河道兩岸設置緩衝帶 2.限制開發 3.兩岸居民及早疏散避難
堵塞	溪流過窄及橋涵過低均易造成泥砂、石塊或流木堵塞	1.疏通或清淤河道避免堵塞 2.加大河寬 3.減少橋墩並加大橋涵通水斷面	1.注意河水水位是否漲高及橋涵是否堵塞 2.及早通知易堵塞河道兩側居民疏散避難
撞擊	土石流流動時撞擊力極強、易將構造物撞毀穿透	1.溪流工法 2.橋樑工法	土石流潛勢區居民遷移或及早疏散避難
溪流改道	原有河道受土石流堆積或河岸崩塌而產生溪流改道	1.溪流工法	易發生崩塌或河道堆積區域居民遷移或及早疏散避難
磨蝕	堤防、固床工等混凝土結構物受土石流磨損	1.溪流工法 2.護坡工法	注意檢測工程結構物是否受損造成防護效益降低
擠壓主河道	河道兩側崩塌及支流帶入泥砂堆積會造成主河道擠壓	1.溪流工法	1.劃定土石流潛勢區 2.限制開發 3.遷移居民或及早疏散避難

資料來源：水土保持局(2005)「台灣土石流災害管理策略」

六、結論與建議

本研究欲推動綜合治水觀念，故將近年致災之整體轉變因子納入防災、治災應變考

量，相信新的思維可以守護受災之集水區。以下就研究分析所得，提供未來專業設計建議：

1. 在當今全球氣候變異的情況之下，災害型態已由單一型態類別的洪水或土砂災害轉變為複合型態類別的崩塌、洪水、堰塞湖災害等。
2. 由本文可知，近年降雨強度及降雨延時皆變強變長，故容易達到土石流累積雨量警戒值造成土石流災害。而崩塌發生時對應之最低降雨強度應作為致災臨界值參考。但短延時(約 7hrs 以內)，實際發生雨量未達土石流警戒值，卻已超過致災臨界值。而長延時(約 7hrs 以上)來看，實際累積雨量會達土石流警戒值卻沒超過致災臨界值。故應重新整合此兩項歷史值以更精準掌握紅色警戒發布時機。
3. 用泥砂平衡概念檢討現行土砂生產整治率，可做為後續計畫研擬之依據。
4. 因極端氣候，故避難路線及地點也應依照災害分級有所不同，由現行社區型避難再擴充升級成區域型避難以防更極端氣候之災害發生。
5. 水土保持構造物建議應維持原有 50 年設計洪水量強度再藉由其他方式補強。並規劃軟體設施補足硬體設施不足如監測系統、避難規劃、防災教育宣導等。
6. 全面檢討土石流或野溪沖積扇和河道岸邊崩塌地，造成河道流路變動間接影響之保全對象，亦可利用 1904 年古河道地形與莫拉克災後衛星影像之套疊比對，探討未來可能造成災害之地區，

以先期推動各策略方案，降低次生災害造成的生命財產。

參考文獻

1. 內政部消防署中央災害應變中心(2009)「莫拉克颱風災害應變處置報告第 74 報」
2. 中興顧問公司(2009)「莫拉克颱風雨量中心移至曾文水庫集水區之降雨逕流探討」
3. 水土保持局(2005)「崩塌地資料」
4. 水利規劃試驗所(2006)
5. 日本地方再生戰略(2008)
6. 台灣總督府(1904)「臨時台灣土地調查局地形圖」
7. 行政院經濟建設委員會(2009)「以國土保育為先之區域重建綱要計畫」
8. 行政院農業委員會水土保持局(2009)「中部地區災後集水區水土保持策略規劃成果報告」
9. 行政院農業委員會水土保持局(2008)「整體性治山防災中長程計畫(98 至 101 年度)」
10. 行政院農業委員會水土保持局(2008)「集水區整體調查規劃參考手冊」
11. 行政院農業委員會水土保持局(2008)「90 至 97 年治山防災計畫績效評估」
12. 行政院農業委員會水土保持局(2005)「水土保持手冊」。

水土保持學報 45 (2): 663 – 682 (2013)

Journal of Soil and Water Conservation, 45 (2): 663 – 682 (2013)

- | | |
|--|----------------------------------|
| 13. 行政院農業委員會水土保持局(2005)
「台灣土石流災害管理策略」 | 102年 02月 18日收稿 |
| 14. 經濟部水利署(2009)「莫拉克颱風暴雨
量及洪流量分析 | 102年 03月 06日修改
102年 04月 30日接受 |
| 15. 經濟部中央地質調查所(2009) | |