

土石流監測與防災應變實務應用探討

水土保持局科長 / 王晉倫

自從民國85年，賀伯颱風在南投縣信義鄉神木村爆發土石流災害後，經媒體不斷宣傳災害之嚴重性，並由電視新聞將土石流之畫面直接呈現給國人，大家對土石流才有一初步認識。

土石流防災措施，基本上有兩種方式，一是消極的「避災」，以及積極的「防災」。有效避災包括劃定土石流潛勢地區，然後根據可能受害程度的輕重，施行不同的土地利用管制，危險度低的過渡地帶禁止更進一步的開發，而高度危險區則應該強制撤離居民。有效的「防災」則主要以崩塌地工程防治措施為主，如植樹造林、護坡與加強河流渠道疏濬功能。此外，長遠的做好國土利用規劃，使山坡地的開發利用，都經過確實的環境影響評估及水土保持，都能減少土石流發生。

土石流是自然現象，人類無法使它不發生，只能盡最大努力降低災害程度，因此許多的「軟體」工法，如疏散安置、防災避難管理等事前防災措施，是該取代「人定勝天」觀念的時候了。以土石流潛勢區內的居民來說，平常就應做好防災措施，熟悉土石流發生之徵兆，當溪流量激增、

水色變濁、溪谷有異常聲響、異常崩塌發生等，就得提高警覺，備好防災物品，這樣才能在土石流發生時採取最佳的應變方式，以保護自身生命安全。

歷年重大土石流災例介紹

自民國79年迄今致災資料比較完整的土石流災例，可以列為重大案例分析者計有16件，如表1所示，其相關地理位置，如圖1所示。表中，位於東部地區有4件，北部地區有2件，中部地區因近年來土石流較為頻繁而有10件。茲就16件重大土石流災例的基本資料，表列如下。

災害管理之四階段

88年921大地震催生了災害防救法，是以國內的災害防救法擬定之初，主要著眼在天然災害。目前國內外對於災害管理的相關理論大多強調災害管理一定要包含下列四階段：(1)減災，主要是透過政策來管理、調和人文環境及實質環境，以期能夠減低天然力帶來的破壞。例如透過土地使用管制，將災害敏感區限制開發。鼓勵民眾購買災害保險等；(2)整備，災害來臨前的準備。例如氣象局的預警

→ 表1 重大土石流案例選定地點及其下游保全對象一覽

編號	縣市別	村里別	地點別	保 全 對 象	受 災 情 形
1	台北縣	瑞芳鎮	大粗坑	侯硐國小橋樑	侯硐國小遭淹覆，河口九芎橋沖斷，部份民宅遭土石淹覆致半毀或全毀、部份建物鋼筋混凝土結構支柱折斷
2	台北縣	金山鄉重和村	重和坑	三和國小房舍十數戶(重和村)	三和國小遭土石流重創，道路中斷，並造成民房、橋樑沖毀
3	苗栗縣	卓蘭鎮內彎里	白布帆	房舍26戶 橋樑1座	大安溪橋孔的洪水來不及宣洩，白布帆社區淹水，有房舍遭土石流淹沒
4	南投縣	水里鄉郡坑村	二廊坑	房舍約140戶 活動中心 道路(台21線) 橋樑2座	郡坑村房屋被巨石砸毀，土石流淹沒房舍，堤坊斷裂
5	南投縣	水里鄉上安村	三廊坑	房舍約100戶 道路(台21線) 橋樑2座	上安村2人死亡、17人失蹤，房舍遭土石流淹沒，橋樑遭土石沖毀
6	南投縣	信義鄉豐丘村	豐丘野溪	房舍約10戶 道路(台21線)	民眾遭土石流掩沖走，房舍遭掩埋
7	南投縣	信義鄉新鄉村	筆石溪	信和產業道路 農耕地 橋1座	新鄉村筆石路段30多人疑遭土石流吞噬，鄰近的筆石橋、十八重溪橋、羅美橋及龍發橋，都已經毀於土石洪流
8	南投縣	信義鄉地利村	地利野溪	房舍約50戶、 橋樑、道路等	桃芝颱風造成該村民房全倒58戶，半倒9戶，並奪走16條人命
9	南投縣	信義鄉神木村	出水溪	房舍(包含神木國小附近約十戶)	發生多次土石流，位居出水溪、霍薩溪、愛玉子溪匯流處的十、十一鄰，三座橋梁陸續被沖毀
10	雲林縣	古坑鄉華山村	華山溪柯角溪	房舍約30戶 道路	十餘戶民宅與天秀山莊遭到土石流入侵或淹沒，一棟房屋被沖入華山溪內
11	嘉義縣	阿里山鄉豐山村	乾坑溪 蛟龍溪 石鼓盤溪	豐山村、豐山橋、 農地及部分房舍	嘉義縣阿里山鄉豐山村房屋遭到泥石流的淹沒，行天橋二度遭土石流沖垮
12	嘉義縣	竹崎鄉緞繡村	科尾坑	房舍約20戶	爆發嚴重土石災情，多戶民宅被土石流侵入
13	花蓮縣	秀林鄉銅門村	銅門野溪	銅門橋 房舍約60戶	當地29人喪生、6人失蹤，居民受傷及財物損失亦十分慘重
14	花蓮縣	鳳林鎮鳳義里	水源地	道路、農舍、 橋樑等	爆發土石流，民宅遭土石掩埋或半埋
15	花蓮縣	萬榮鄉見晴村	見晴野溪	房舍約10戶 橋樑1座	見晴村五鄰土石流沖毀房屋14戶、半倒13戶
16	花蓮縣	光復鄉大興村	大興野溪	房舍20戶 鐵路	桃芝颱風帶來空前大浩劫，幾乎整個村子都被土石掩埋。12人罹難，至少還有30餘人失蹤待尋

系統、地方政府的防災應變計畫等；(3)應變，災害來臨後的因應措施。例如救災指揮系統、緊急避難所、緊急醫療網的運作等；(4)復建：災害後恢復至（甚至更好）災害前的措施。例如住屋及公共設施的重建，災民心理諮詢等。然而，在復建階段，一定要考量減災措施，否則將陷入一個惡循環：災害損失→政府慰助金或低利代款→重建→同樣的災害損失→政府再提供慰助金或低利代款。災害管理四階段，每階段皆環環相扣，一個階段沒作好，就會影響下一階段的工作。

早期國內的災害防救政策較著重於災害整備及應變階段，921地震後開始注意到復建的問題，然而最根本的減災政策卻是到近年才開始受到重視。減災政策不受重視，這與國內災害管理制度有極密切的關係；依據災害防救法規定，農委會為土石流災害之中央災害防救業務主管機關，並依災害防救基本計畫訂定「土石流災害防救業務計畫」，於91年1月16日奉中央災害防救會報核定後實施；其中有關土石流災害防救相關業務之執行與推動，主要係由農委會水土保持局辦理，目前重要之工作項目依災害管理之四個階段，可分為土石流防災調查、土石流防災宣導、土石流防災監測、土石流防災資訊及土石流防災科技研發等多元化主題辦理。

現階段土石流防災應變 工作推動架構

(一) 土石流潛勢溪流及崩場地調查

土石流潛勢溪流及崩場地調查為掌握坡地防災基本資訊之重點工作，以上二項調查主要係利用各種有效之影像並配合遙測方式進行初步調查，再以人工踏勘方式確認潛在災害地點之危險等級，以土石流潛勢溪流調查為例，主要係考量溪流上方之災害可能發生度因子，如崩塌地面積、斷層長度及集水區坡度等要素，再配合保全度因子，如人口數之多寡與重大公共設施數量等，結合以上二項因子進行綜合計算，以進行防災危險等級之判定，截至91年底調查結果，土石流潛勢溪流共計1,420條，其中以台北縣214條最多，南投縣199條次之，台東及花蓮縣各160條再次之崩塌地為40,266公頃（較90年度減少10,487公頃，主要原因概為有效源頭處理與自然植生復育），調查結果已送各單位參考，並供民眾上網查詢。

(二) 土石流防災宣導

本項工作將採較多元化之方式進行土石流防災教育宣導，主要期增進自主防災能力，並建立自主防災社區，該項工作主要內容如下：

1. 土石流防災疏散避難路線規劃：依據土石流防災調查成果之災害可能發生地點，進行現地調查，並選定安全的避難場所及安全的路線，截至92年度已完成158處，並以地理資訊系統製作土石流防災疏散避難圖，以提供並教育區域內所有民眾的災害應變常識。

→ 2. 辦理土石流防災疏散避難演練：依據所完成土石流防災疏散避難路線規劃成果，邀集危險區當地居民進行實際防災演練，演練項目包含防災宣導與預防、發布警報、社區自衛編組動員、成立災害應變中心、開設前進指揮所、居民避難疏散、災情蒐集、管制交通、強制疏散、道路搶通、治安維護、災情彙整及其他災害處理等，截至92年已辦理117場土石流防災疏散演練，已辦理之地區如南投縣信義鄉神木村、豐丘村等，當地居民對土石流警覺性高，避難疏散相當熟悉，對於降低人員傷亡著有成效，各項工作成果如圖一、二。



圖一 土石流防災演練



圖二 土石流疏散路線規劃

3. 地方災害通報聯絡人教育訓練：每年於汛期前均針對易生重大災

害地區緊急通報人，辦理相關講習訓練，並設置土石流災害免付費電話0800-246246（土石流-土石流）。

4. 加強防汛期前整備措施宣導：已研訂土石流防災整備自主檢查表及防災小手冊，內容包含週遭環境檢查需知，緊急防災應變用品明細及督導地方政府及在地人辦理自主檢查，同時編印文宣手冊2萬份進行分送與解說，期增加自主防災能力。

5. 防災簡易雨量筒製作：為使危險區居民可有效觀測周遭環境變化，水土保持局已研發土石流防災簡易雨量筒及DIY材料包4,500個供民眾自行製作雨量筒，該雨量筒係可利用回收寶特瓶進行製作，推廣至今，使用情形良好（圖三、四）。



圖三 簡易雨量筒安裝情形



圖四 簡易雨量筒分送及解說

6. 推動學校及社會防災教育：除於全國設置十九處水土保持戶外教室外，並於92年8月起於台中國立自然科學博物館開闢土石流劇場教室（圖五、六），將土石流防災觀念向下紮根落實。

7. 設置土石流潛勢溪流警告牌：為加強山坡地公共安全，農委會水土保持局已依據土石流潛勢溪流調查成果，設立



圖五 科博館土石流劇場教室



圖六 互動式土石流發生模型

2,420面土石流潛勢溪流警告標誌，並分送各縣市政府設置。

8. 辦理土石流防災相關講習及研討會：為加強國內土石流防災應變能力及提供防災資訊之新技術與新知，農委會水土保持局將定期辦理相關講習及國內與國際研討會，由學者與行政機關代表就理論面與實用應用面共同探討目前所完成之各項土石流防災工作，期做為防災工作創新參考。

(三) 土石流防災監測

1. 土石流防災警戒值訂定：土石流發生與降雨有一定關係，為此水土保持局已開始辦理「土石流警戒分區與發生基準值之訂定計畫」，期利用中

央氣象局10分鐘即時雨量資料配合土石流警戒分區之劃定與基準值之訂定，以非接觸性之土石流觀測方式，進行大區域土石流警戒之觀測中央氣象局已於全省架設4百餘座雨量站，另於重建區內已選定土石流災害嚴重地區增設37座雨量站，另該項資料亦且可透過專線將10分鐘雨量資料即時傳輸至水土保持局，該項工作，主要以重建區為範圍，將過去調查完成土石流潛勢溪流，針對各土石流潛勢溪流之崩塌率、有效集水區之坡面坡度、溪床坡度及岩性等基本資料，依所訂之配分予以評分，並劃分為八大警戒分區，再依曾經發生土石流之歷史雨量資料進行統計分析，並利用中央氣象局即時雨量資料推算各土石流潛勢溪流所在地之降雨強度及累積雨量，訂定各分區之土石流發生臨界雨量線及避難雨量線，另為應用方便，該計畫業依研究成果於每一鄉鎮選定警戒值最低者為該鄉鎮之代表警戒值；如以臨界雨量線(CL)與有效累積雨量與有效降雨強度之交點做為警戒基準值，警戒基準值累積雨量約位於150公厘至455公厘間，降雨強度界於15至40 mm/hr間，另為有效推廣，92年度開始朝向機率預測模式發展。

2. 土石流觀測示範站建立：由於蒐集土石流現地資料工作時克不容緩，因為無法蒐集到足夠的資料就無法使土石流研究順利進行另為驗證土石流警戒基準值之準確性，且土石流研究如果要有突破性發展，就必需如 →

→ 同孫子兵法所言：知己知彼百戰百勝，想要掌握土石流就必需先瞭解土石流發生時的環境因素著手，為此，水土保持局於90年度已先行辦理土石流觀測示範站架站先期評估計畫，該計畫已選定過去所建立18站土石流觀測示範站地點及桃芝、納莉颱風所產生之新興災害地點共計41處，就集水區整治情形、災害演變情形及通訊傳輸之可行性進行評估後，已選定南投縣國姓鄉九份二山、水里鄉上安、郡坑地區、信義鄉豐丘地區、神木村及苗栗縣草蘭鎮白布帆、台北縣瑞芳鎮大粗坑、花蓮縣鳳義坑、台東縣卑南鄉射馬干社區及雲林縣古坑鄉華山地區等十處進行土石流觀測示範站之架設，架設儀器包含攝影機、鋼索檢知器、地聲、水位計及雨量計等儀器，期確實掌握土石流發生之現象與時間，做為土石流警戒基準值調整之參考數據，目前該系統為克服偏遠山區之通訊問題，已採用衛星傳輸架構(VSAT)，並將現地影像資料已整合於土石流防災應變系統，期透過網際網路方式提供各級防災單位現場訊息，並於民國91年陸續正式啓用，歷經多次颱風及豪雨的考驗，充份驗證新的通訊技術可以排除惡劣的天氣環境，將資料傳送回到水土保持局防災資料庫，也重新開啓了土石流研究的新契機，92年度將進行行動觀測站之研究與測試，觀測站現場情形如圖七、八。



圖七 土石流觀測站



圖八 行動觀測站執勤示意圖

(四) 土石流防災資訊建立與應變工作推動架構

本項工作主要係為將各項土石流防災資訊即時公開，為此將藉由網際網路方式即時通知各級防災單位，該系統，主要為提供水土保持局土石流災害應變小組於颱風豪雨來臨時，能夠依非接觸型監測方法採用中央氣象局即時雨量資料研判土石流發生可能性，並適時發佈土石流警戒訊息，同時提供為各級防災單位進行疏散命令下達之依據，該系統主要利用地理資訊系統 (GIS, Geographic Information Systems) 與網際網路之技術，是一套結合空間與屬性資訊，以提供展示、儲存、管理及分析之決策支援系統。它不但可以進行多元化的資料展示，

亦可以充分提供管理單位多方面的資訊，以作為防災政策研擬之參考依據，並提供管理者更綜觀的防災管理規劃；該系統可分區為應變中心整備、氣象資訊整備、土石流警戒作業、防救災資訊整備、災情通報作業及工程管考作業等六大功能。

1. 系統架構

土石流防災應變系統採用多階層架構規劃，以提昇系統效率及穩定性。依據目前土石流防災應變系統硬體規劃架構，可區分中央氣象局、水土保持局土石流災害應變小組及使用者三大部分。

中央氣象局主要負責提供各種氣象資料，如颱風預報資料、各類型衛星雲圖及10分鐘即時雨量資料，目前水土保持局土石流災害應變小組與中央氣象局間以512K專線方式連接，由氣象局端氣象資料伺服器主動將即時氣象資料傳送到水土保持局土石流應變小組端之雨量接收伺服器，水土保持局並將氣象資料加值處理後儲存於資料庫中，並透過土石流發生警戒基準值模式演算後，獲得各地區土石流警戒參考狀態。

土石流防災應變系統的核心工作分別有雨量加值工作站、土石流警戒分析工作站及土石流資訊伺服器三部電腦所構成，雨量加值工作站主要針對氣象局颱風預報單、雨量站10分鐘即時雨量及衛星雲圖三種資料做加值處理；土石流警戒分析工作站主要針對氣象局雨量站資料進行分析，並計

算出各鄉鎮累積雨量及降雨強度等雨量資料後，透過土石流警戒臨界值分析模式加以計算以評估各地土石流警戒狀況；土石流資訊伺服器中架設有土石流防災應變系統網站，可將雨量加值工作站及土石流警戒分析工作站所處理後的結果公佈到網際網路上以提供民眾或其他防救災應變中心獲最即時土石流警戒與災情狀況。

2. 土石流防災應變措施：

(1) 加強土石流災害通報及應變體系：中央災害應變中心成立或氣象局發佈豪雨特報每日累積雨量達200公厘時，水土保持局即應用土石流防災應變系統自動研判並發送簡訊通知相關人員成立土石流災害應變小組，處理緊急應變事宜，期達到迅速通報與緊急處理目標。

(2) 研訂土石流防災相關標準作業程序：為訂定土石流防災應變標準作業流程，水土保持局目前已完成「土石流防災疏散避難作業程序」、「土石流災情蒐集與通報作業程序」、「土石流防災教育暨宣導實施要領」、「土石流災害預報與警報作業程序」、「防止土石流二次災害復原重建作業程序」等五項災害防救相關措施作業程序之研修，並據以編訂相關作業手冊，俾作為各級政府辦理土石流災害防救工作時之參據。

(3) 完成重機械待命配置：為防止土砂淤積河道造成二次土砂災害，水土保持局已選定防災重點區域，請所屬各工程所就轄區內較易發生土石流

(文接62頁下)

柚花飄香滿西湖

文圖 / 陳朝棟



西湖鄉雪白柚花飄香四溢

62

苗栗縣西湖鄉盛產文旦柚，種植面積有數百公頃。由於西湖鄉生產的文旦柚廣受全省消費者喜愛，鄉公所及農會對於西湖鄉農友所種植的文旦柚，全力協助拓展銷售點，使西湖文旦柚成了近幾年西湖鄉的主要農特產品。

每年3、4月是文旦柚花盛開季節，走在西湖鄉種植區，好遠的地方就可聞到一股清香花味，而走進產區，看到朵朵白柚花在向遊客親切招手，遊客如果有時間，坐在滿是文旦柚花開的柚園，享受一身的花香，這生活是何等快樂逍遙。



- 一 潛勢區，擇定地區，洽請鄉（鎮）公所於颱風豪雨時先調遣重機械待命，隨時緊急處理土石流災害疏通，搶險工作，以達即時搶災之功效。

(4) 以無人載具飛行器拍攝災情：災害發生後，為即時瞭解土石流災害規模、大小及影響範圍、水土保持局已訂定完成各項緊急空拍及影像分析技術，可於災後最短時間僱用無人載具飛行器實施空中照相得以快速全面研判災情，期於第一時間進行災後復建，水土保持局並於93年針對台東縣東河鄉河道堰塞進行空拍，以瞭解災情規模及影響範圍。

結語

水土保持局目前已應用數化神經系統方式朝向電子商務、企業管理及知識管理等三方向，依不同使用者特性進行系統開發，並加速各項防災資

訊流動，同時整合5S/4E/3C新興技術進行土石流防災應變與地形及地理資訊系統開發，並在知識管理上已整合土石流潛勢溪流調查成果、土石流警戒值訂定成果、土石流防災疏散路線訂定成果及土石流觀測示範站所回傳之現地影像與資訊並透過中央氣象局所提供之即時雨量資訊進行警戒分析，並以系統化及標準化方式，將土石流災害應變小組之開設程序、災害通報程序、災情回傳程序及應變小組開設時之各項應變經驗累積，進行知識管理，該系統為國內第一套網際網路版土石流防災應變系統並已落實應用，未來仍需在與使用者共同探討下，加快研究腳步與應用推廣，共同與各級政府建構完成符合數位神經系統之坡地防災技術體系，以加速資訊流動，期減少土石流災害來臨時之生命財產損失。

