

淺談森林之崩場地

文、圖 ■ 黃漢淨 ■ 林務局東勢林區管理處技士

一、前言

1999年9月21日發生之921集集大地震後，造成台灣山區地質鬆動，其中以中部山區受創最為嚴重，山坡地崩塌者不計其數，再加上從2000年起陸續有大型之颱風過境，例如2000年8月碧利斯颱風及10月象神颱風、2001年7月桃芝颱風及9月納莉颱風、2003年9月杜鵑颱風，乃至於2004年7月之敏督利颱風（七二水災）及8月艾莉颱風等，使得原本就已受重創的山坡地，因颱風夾帶之豐沛雨量，在大雨沖刷下釀成土石流災情，嚴重影響水庫壽命、農田灌溉，並危及居民之生命財產安全，造成農業巨大損失，而山川水利之源頭在於高山之森林區域，更顯森林生態環境之重要，本文謹對森林崩場地之定義及發生型態進行說明，並對其崩塌的原因及其影響因素加以討論，最後簡述一崩場地災害案例。

二、定義及發生型態

理論上具有相同類型的地質與地形條件，應有相同類型的崩塌，因此不同的崩塌類型有其特殊的辨識指標，而採取崩塌處理或是控制措施的第一步就是辨識崩塌類型

（Hansen, 1984）。根據張石角（1992）將台灣的崩塌分成山崩、地滑、潛移、土石流與沖蝕等五種，其中，山崩又細分為落石、岩屑滑移、岩屑滑落、岩屑滑崩；地滑則又分為平面型地滑、弧型地滑、楔型地滑與翻轉地滑等如表1。山崩主要發生在坡度 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之陡坡，屬於快速運動之崩塌類型。山崩與地滑在地質、土質、地形、誘因及滑動特性均不相同。地滑規模較大、移動較緩慢、有明顯的滑動面、發生在緩坡上。而急傾斜地之山崩則規模較小、移動速度快、無明顯的滑動面、發生在陡坡上。一般而言，急傾斜地之山崩易衍生成山坡型土石流，惟其不可預測性也較高。

三、崩塌的原因

（一）遠因：地質複雜脆弱、地震、颱風頻繁

台灣地區四面環海，且位處環太平洋地震帶上，因此不但天然災害頻仍，且因受到歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊的擠壓，地質複雜脆弱且斷層多，每年有感地震平均多達200次以上。此外3/4面積屬於山地地形的



表1 崩塌地類型與發生條件

崩塌類型		坡度 (%)	土壤厚度 (m)	岩質	坡型	地形作用	高差 (m)
山崩	落石	≥45	<1	硬	...	...	210
	岩石滑移	≥15	<4	軟	傾斜坡	...	...
	岩屑滑落	≥45	<4	軟	傾斜坡、崖坡	...	...
	岩屑滑崩	≥45	>4	...	斜交坡	...	25
地滑	平面型地滑	≥15	><4	硬、軟	傾斜坡	...	...
	弧型地滑	≥15、≥45	>4	軟	不連續面發達	...	...
	楔型地滑	...	<4	硬	兩組不連續面交線之順向坡	...	...
	翻轉地滑	...	<4	軟	傾斜坡、崖坡	...	>3
潛移	土壤潛移	≥15	>4	...	非斜交	...	...
	岩石潛移	≥45	<1	軟	傾斜坡、崖坡	...	>3
土石流		≥30	>4	...	...	≥3	...
沖蝕		≥30	>4	...	...	≥3	...
		≥30	<4	軟	...	≥3	...

資料來源：張石角，1992。

台灣，恰巧亦位於梅雨前線及西太平洋颱風路徑之上，每年常有異常梅雨（5~6月間）或強風豪雨（7~9月間），形成山高水急坡陡流急的特性，極易發生地滑、山崩、土石流及季節性缺水等天然災害。更而甚之的是颱風侵襲，依據統計，颱風災害已經從30年前平均每年2.2次增加為4.6次，災害損失也愈來愈大，敏督利與艾利颱風產生的災害即是如此。

（二）近因：921地震、濫墾濫建、超大雨量

台灣災害頻繁除了地質複雜脆弱、地震、颱風頻仍的遠因外，921大地震造成的土石

鬆軟與高山敏感地區的超限利用等因素是災害擴大的近因。鄭錦桐等人（2005）探討大甲溪流域集水區，在集集大地震以及桃芝、敏督利、艾利颱風等3次風災所誘發的崩塌災害，並統計此4次崩塌災害前後，崩塌地面積變化與整體變遷情形，針對地震與豪雨誘發原因、地質條件、坡度及其他地形因子的差異與崩塌比之關係進行探討。研究結果發現，集集地震前崩塌比相當低，集集地震後崩塌地明顯增加，因而提高崩塌比，崩塌比明顯增加之坡度約在30°以上，而崩塌比最大的坡度集中於坡度70°附近。而敏督利、艾利

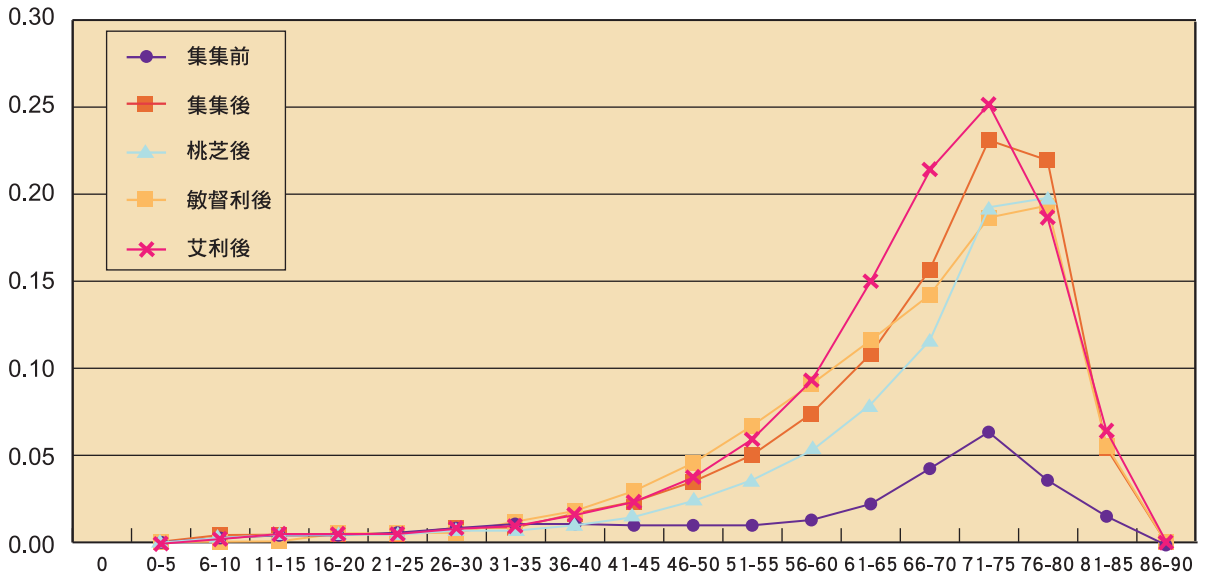


圖1 各崩塌災害事件於不同坡度下之崩塌比變化情形（鄭錦桐，2005）。



圖2 921地震前大甲河流域空照圖（資料來源：林務局農林航空測量所）。

颱風事件，將大甲河流域集水區的崩塌比提升至高點，顯示颱風災害確實帶給大甲河流域嚴重的災害如圖1。由此可見地震過後除在山區誘發多處大小不等之山崩、地滑與土石流等

災害外（圖2、3），更造成土石鬆動，若遇豪雨極易形成土石流而形成二次災害，造成國土嚴重流失。



圖3 921地震後大甲河流域空照圖（資料來源：林務局農林航空測量所）。

四、崩塌地之影響因子

土石崩落在大自然裡是時時刻刻在發生，產生災害卻是因為人而發生關聯，一般造成崩塌的因素，可分為自然因素與人為因素，其主要的影響因子可分成潛在因子（potential factors）與誘導因子（triggering factors）如圖4。

自然因素包括地質、地形、降雨、地下水及地震；人為因素包括坡趾與坡面的開挖、上方加重及水庫蓄水等；其中，地質與地形是屬於潛在因子，其餘因子則屬於誘發因子（李三畏，1984；王文能、黃鎮臺，2000）。一般針對崩塌地與土石流等坡地災害的分析研究而言，大多數的研究方法均是採取某些可能引發環境災害的因子，進行計算模擬或和統計分析，作為危險度評估與防治參考，這些因子包

括地質、植被、坡度、水文、節理、降雨強度、山崩歷史、人為開發與坡邊傾斜角…等（Tsukamoto and Noguchi, 1982；Gao and Lo, 1991；江永哲、黃怡仁，1991；鄭元振，1993；劉秀鳳，2005）。

由於台灣的地形及氣候容易誘發崩塌，對於人民的生命財產造成極大的威脅，而國內對於崩塌災害潛勢研究甚多，崩塌地危險度評估對於土地利用之規劃及災害預警有極大的助益，其因子對崩塌影響分述如下。

（一）潛在因子方面

1·坡度

坡度為前人研究中必然納入的崩塌危險因子，許多學者皆認為崩塌易發生在坡度較陡的邊坡上，坡度為邊坡穩定最直接相關的地形條件，坡度越陡，越容易發生崩塌，

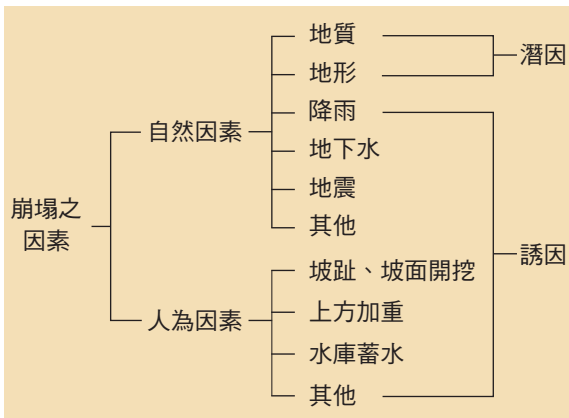


圖4 形成崩塌的因素（李三畏，1984；王文能、黃鎮臺，2000）。

從力的平衡觀點，坡度越陡，則土層或是岩層往下移動的作用力越大，然而岩層的強度越高才能存在於陡峻的坡面，因此產生崩塌的機率較低。從坡度和坡面上的崩塌作用示意圖（圖5），可說明山坡穩定度受制於坡度，即坡度大於100%（45°）之山坡，岩石裸露有凌空墜落或跳躍滾落之現象，屬崩塌敏感度極高的危險邊坡；坡度大於55%（30°）之山坡，亦屬於不穩定的邊坡；坡度在30%（14°）上下的山坡，則一般為深度風化層，山坡相對較為穩定，故常被開發利用（張石角，2004）。Keerfer *et al.*（1987）指出坡度越大土壤臨界摩擦係數相對減少，土層較容易崩潰，坡度大於56%的崩塌地具有較高的不穩定性，極易發生崩塌的情形。

胡蘇澄、李麗玲（1997）於台灣中部七家灣溪集水區潛在崩塌危險地區之評定研究中，利用GIS技術建立資料庫，進行地質、地形、土壤、植被、土地利用、崩塌地分布、林業經營及大型崩塌地等基本資料蒐集與

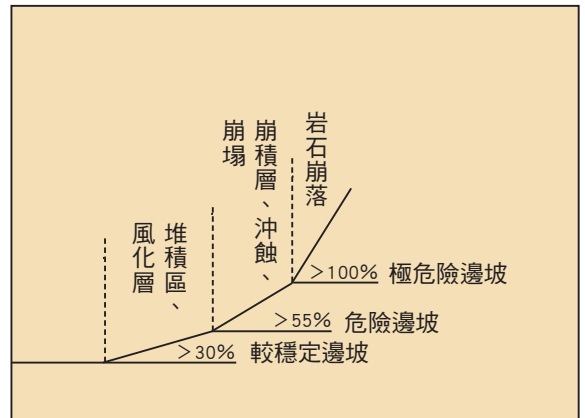


圖5 山坡地坡度與崩塌作用（張石角，2004）。

整理分析，並完成七家灣溪集水區之坡度等級分布、坡向分布及各坡度等級之崩塌地面積與百分比。分析發現，崩塌地發生於坡度等級第五級（45%）以上為主，其中第五級坡（45~100%）及第六級坡（>100%）內的崩塌地面積分別佔崩塌地總面積之46.4%及45.2%；再經評估七家灣溪集水區之潛在崩塌危險率，評估結果顯示，七家灣溪集水區潛在崩塌危險率，屬於高與極高二級者，分別佔總面積之63.24%及23.46%。吳久雄等（1989）等進一步對崩塌地的調查，發現台灣的崩塌多發生在30~60°之間，劉盈劭（2001）也指出濁水溪支流陳有蘭溪地區之崩塌，多發生在20~50°之間，張政亮（2004）則分析蘭陽地區之崩塌，多發生在30~50°之間，故崩塌發生與坡度有相當之關聯性。

2·地質

台灣島因歐亞大陸與菲律賓兩板塊相互撞擠，造成地質的構造運動仍相當活躍，



其地質活動造成西部山麓帶有幾項地質特徵：褶皺多、斷層多、岩層節理發達、地盤上昇速率快、岩性以砂、頁岩互層為主，並含有煤層，而這些地質特徵均充分影響山坡的地質災害種類。由於區域性劈理、節理構造極為發達，岩層易風化破碎，加上地層傾斜與源於此山地的溪流也多屬陡急的坡降，易造成劇烈的河川侵蝕以及頻繁的崩塌現象（何春蓀，1975；王鑫，1980），每遇地震與狂風豪雨襲擊，地層崩塌與土石流的危害便成為當地居民揮之不去的夢魘。

地質構造、岩性強度、土壤厚度等對崩塌及土石流的生成有一定程度之影響，謝有忠等（1999）在調查陳有蘭溪也都強調岩性會控制落石塊的型態與大小，而斷層、節理等構造若通過岩體，則岩層穩定度便會降低而增加崩塌的機率。由於不同的地層性質往往會產生出不同的地質災害，根據汪世輝（1997）針對旗山地區地質災害之研究，發現研究區內的泥岩層以沖蝕、泥流、災害性岩土等地質災害為主要，且研究區內砂岩層由於很多均夾有軟弱頁岩，且岩體構造上多褶皺、節理，因此岩性破碎程度很高，地質災害以向源侵蝕、順向坡滑動、崩塌等為主。

3 · 坡向

坡向因子能直接或間接提供判斷水文流向、岩盤結構、向陽面與日射量多寡、地表逕流、水系與嶺線等資訊，因此山坡地常因坡向不同，環境微氣候會有所差異，不同坡向所受之日照時間不同，其溫度會有所差異，而日夜溫差也有所不同；因迎風面之不同，所帶來之

降雨量也有所差異等等，間接影響坡地岩層崩解，且土壤風化程度不同，地表植群組成也有所差異，降水量之不同，所誘發崩塌潛能也可能不同，因此坡向之不同，間接影響崩塌地之發生（許輔仁，2002）。據林務局農林航空測量所（1988）之調查，西南部泥岩裸露地之坡向以南向坡較多，且以東南向、南向及西南向崩塌的增加率最大，其原因有二，一為南坡向之日照率較大，坡面易乾燥；二是夏季多南風，易受颱風暴雨之衝擊。

4 · 高程

近年來集水區與山坡地，從高至中低海拔地區遍佈超限利用之淺根農作，河川行水區亦遭佔用，導致豪雨引發崩塌及土石流或洪水災害，為害甚鉅。簡世宏（2004）研究清水溪集水區崩塌地之高程，統計發現崩塌於高程之分布主要在高於500 m之山坡地。根據王文能等人（2000）對於重建區崩塌地調查結果顯示，重建區94%的崩塌地多分布在車籠埔斷層帶附近，其崩塌數量大多分布在山坡地及林班地佔約93%、海拔高程在200~1,000 m間約佔73.9%、坡度15~60°內約佔80.2%。

5 · 植被

植被是影響因降雨所引致之崩塌及其移動的一個重要因素，同時植被的變化通常也會修改崩塌的行為（Thomasa, 2003），例如將廣泛丘陵區的天然森林與叢林轉變成牧場，必然減少了表土的附著強度，並使得山坡土質變得較敏感脆弱而易產生崩塌事件。而降雨是影響因土地利用變遷所引致之

崩塌最重要的因素之一。地表逕流是造成集水區坡面侵蝕及崩塌的主因之一，而地表的植生狀況直接影響到邊坡的穩定性。由於河川、溪流與水庫的泥砂災害，大部分與上游集水區的沖蝕和崩塌有關，而森林覆蓋有助於保護土壤、防止表面沖蝕、穩定坡地、減低泥砂流出和洪水為害下游等國土保安功能。謝豪榮（1991）研究發現森林地區，立木地根系可以吸收水分而防止或延遲土壤中孔隙水壓升高，增加粒子間摩擦力量，而有助於坡面之穩定。陳信雄、李錦育（1986）研究野外滲透試驗結果發現，在不同植生覆蓋下，土壤入滲率以森林地最高，裸露地最差。高橋保（1997）提出覆蓋率90%為影響土石流發生之指數，當覆蓋率小於90%時，發生土石流機率大增。而植生的種類為檳榔、茶葉或高山蔬菜等淺根性的植物時，縱使覆蓋率很高，其對土壤之保護作用仍相當的低，且經過人為的墾植及栽種，大部分的地表植被被破壞殆盡，因此地表的植生種類在判別土石流潛勢的區域時也須納入考量（廖偉民，2001）。

（二）外在誘因方面

1. 與河流、道路距離

道路為人為干擾崩塌地成因之一，一般學者則認為耕墾與道路修築，會破壞邊坡的穩定而誘發崩塌及土石流，陳信雄等人（2000）針對傳統調查崩塌地因子加以整理，以單因子如自然的河流侵蝕或人為的開闢道路分析崩塌地成因，並探討石門水庫集水區崩塌地特性，期能更加瞭解該集水區內崩塌的特性及機制。馮豐隆、林鴻鵬（2003）研究

惠蓀林場921地震崩塌地之特性，分析崩塌地與河流、道路的關係，發現崩塌發生區域、面積大小明顯地與河流與道路有關，愈接近河流及道路，崩塌面積愈大，因而針對河流、道路、人為活動區、崩塌地面積分布規劃崩塌地優先治理順序。陳榮河等（1999）對新中橫邊坡破壞的調查中提到，在該區土石流中，與人為土地利用有關的佔88%；產業道路的比例高，則會增加該區地層的擾動程度。簡碧梧（1995）亦提到修建產業道路會改變坡腳的地形，同時也改變邊坡的排水，因而造成邊坡的不穩定，而根據其調查的結果，因道路開闢而引發崩塌或土石流的佔81.4%。

2. 降雨

李三畏（1984）根據1964至1977年對台灣集水區上游的崩塌地調查，認為多量的降雨及集中性豪雨是崩塌的主因，簡碧梧（1995）根據「台灣過去20年重大崩山災害」的資料統計出崩塌與每年的颱風次數成正比，認為暴雨會增加山坡地的崩塌，林孟龍、林俊全（1998）則以蘭陽溪的崩塌輸沙為例，說明淺層崩塌主要係受單場暴雨所影響。張瑞津等（2001）也認為除了地震引發的崩塌規模與頻率外，人為因素與降雨規模等外部因素對不同坡地敏感區的地貌變動也很重要，例如陳有蘭溪之局部支流，只要颱風累積降雨量達200 mm以上，就會引發崩塌或土石流災情。

3. 土地利用與泥沙淤積

人類的土地利用型式是目前改變地表



覆蓋最主要的因素，地球表面的自然環境，因為人類的農業活動、工礦開發及都市發展等而有面積的改變，最明顯的表徵如森林面積縮減、土壤流失、生態系統改變、環境污染等，這些人為活動實際成為改變全球環境的重要因子。改變地表覆蓋及土地利用型態的基本驅動力，來自人類社會的發展，及因之而衍生的自然資源需求，根據社會經濟的狀態（包括其市場機制、決策程序、開發工具等），配合週遭之環境與資源，而對原本之地表覆蓋物進行人為的操作，如砍伐、焚燒、耕種、施肥、灌溉、挖掘等等。這些人為操作，常被歸類為土地利用變遷的近因（proximate sources of change）。Hicks *et al.* (2000) 認為平原及陡峭山坡上的天然森林，隨著人類活動被挪用作為農業用途而遭剷除，會加速沖溝和崩塌侵蝕作用。強大風雨除了帶來立即性的雨量輸入外，還會造成崩塌斷崖及長達12年的泥沙淤積情形，之後，創傷才會隨著時間漸趨穩定及進行再生。Page *et al.* (1994) 收集到1988年3月Tutira湖集水區因降雨事件造成的廣泛土石坍塌的泥沙量及淤積分布。將不同地帶（例如邊坡、氾濫平原）的淤積泥沙量量化，並對照這些地帶的挾帶泥沙到湖泊的情形，結果顯示崩塌事件中有89%的泥沙流失，43%的泥沙聚集在山坡下及谷底低地，51%則淤積在湖泊中。

五、崩塌地災害

（一）颱風對崩塌地之影響

因921地震後與桃芝颱風造成的地層變位



圖6 沖溝泥沙土石聚積在河床。

與土石鬆動，且造成中橫公路柔腸寸斷，面目全非，2001年桃芝颱風過境，在全台造成災害性降雨，大量泥沙土石已聚積分布在河床及山坡下及谷底低地（圖6）。2004年6月底，敏督利颱風在關島北方海面生成後，以穩定速度朝巴士海峽方向逼近，並增強為中度颱風。暴風圈於7月1日籠罩全台，在晚間從花蓮市南方登陸，並減弱為輕度颱風後，於7月2日晚間暴風圈脫離台灣陸地，中央氣象局於7月3日上午解除颱風警報如圖7。颱風本身對台灣並未造成太大災情，但其過後所伴隨的強烈西南氣流，對德基水庫集水區

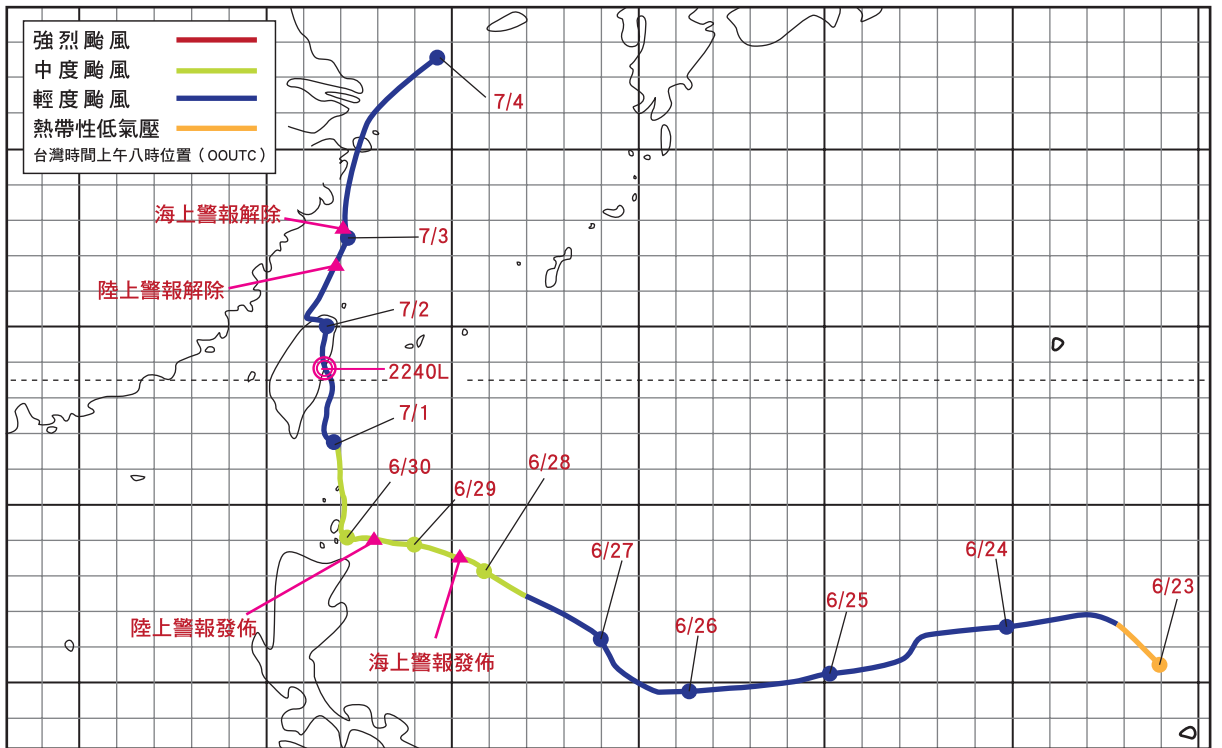


圖7 敏督利颱風路徑圖（中央氣象局）。

表2 敏督利颱風期間累積雨量表

站名	X座標	Y座標	7/1雨量 (mm)	7/2雨量 (mm)	7/3雨量 (mm)	7/4雨量 (mm)	累積雨量 (mm)
松茂	276248	2688200	29	161	297	122	609
環山	279742	2690540	46	143	235	85	509
桃山	279557	2700920	13	159	134	75	381
思源	285333	2699130	83	65	87	117	352
合歡啞口	280789	2675329	127	313	216	114	770
新伯公	233016	2679736	13	596	128	276	1,013
靜觀	271407	2664698	97	371	270	214	952
太平山	307011	2709406	148	48	18	22	236

造成高達100 mm/day以上的降雨，區域內如松茂、環山、桃山、思源、合歡啞口等地區在7月1日至7月4日其平均累積雨量為524 mm

如表2，佔全年平均降雨量（2,132.9 mm）24.5%，為台灣中南部地區帶來慘重之災情，強烈之雨量自然造成大甲河流域大規模的



崩塌與土石流，亦正是造成此區電廠毀損、德基水庫淤積等慘烈災害的罪魁禍首。

（二）崩塌對水庫泥沙淤積之影響

頻繁的小型風雨促使沖溝侵蝕活動的發生，但高強度、頻繁的風雨特別容易引起淺層崩塌現象（Page *et al.*, 1999），就德基水庫集水區而言，經921地震後與桃芝颱風造成的地層變位與土石鬆動，人類活動所造成坡地不當利用與開發、森林被亂砍濫伐、山坡地的道路開發、工程棄土的處理不當等，大量泥沙土石已聚積分布在河床及山坡下及谷底低地，已有足夠之土石堆積物，德基水庫自1974年至2004年之歷年來泥沙淤積最為嚴重者就屬敏督利颱風（表3）。敏督利颱風超強的雨量，部分地區更高達1,000 mm以上，每小時降雨量更是創下歷史最高紀錄，即足夠使土壤達飽和，將地震鬆動土壤沿坡面及坑溝沖刷而下，充份符合發生崩塌、土石流之主要條件。張政亮（2005）研究大甲河流域之坡地災害調查，指出敏督利水災主要的崩場地分佈在志樂溪、登仙溪、匹亞溪、石山溪與大甲溪主流之交匯處及其周遭地區。Thomasa（2003）認為土地利用變化是影響因降雨所引發之崩塌發生的最重要因素之一。

六、結語

就台灣的地質條件與氣候型態而言，自然災害的產生是不可避免的，預防的工作必須確實，而非只是把善後做好。因此，今後自然環境保護的工作的必須更加審慎，落實國土保安的政策及嚴格管理土地的使用是政府最重要

的職責。對於敏督利颱風所引發的國土不永續問題是台灣人民及政府的痛，但痛定思痛之後必須有更永續的具體作法，方能一勞永逸地解決國土保安復育的問題。因此對於更宏觀的國土永續發展政策及國土保安復育相關條例如何有更積極的作為，如何透過更多的聽證會、更廣泛的民眾參與、更詳實的資訊公開、及更公平的配套措施，讓永續發展的政策及法令落實，從而根本解決國土保安復育的問題，建構永續台灣，應是天災人禍不斷的台灣應該勇敢果決去作的永續行動。▲



表3 德基水庫淤積量比較表

年月	年雨量 (mm)	年流量 (sec / m ³)	淤積量 (m ³)	容量 (m ³)	淤積比 (%)	重要記事
1973.09	1,682	8,275	0	262,207,000		
1976.06	1,863	6,341	2,733,000	259,474,000	1.05	
1978.12	2,169	7,966	3,618,900	255,855,100	1.41	
1981.03	2,455	10,136	2,337,830	253,517,270	0.92	
1982.06	2,102	9,315	1,370,570	252,146,700	0.54	
1984.12	1,873	7,689	2,751,420	249,395,280	1.10	
1987.11	2,116	8,754	3,249,280	246,146,000	1.32	韋恩颱風
1990.08	3,299	16,169	1,643,928	244,502,072	0.67	
1992.11	3,066	14,021	2,461,198	242,040,874	1.02	
1994.01	2,732	11,268	721,845	241,319,029	0.30	道格颱風
1995.03	1,945	6,938	1,627,949	239,691,080	0.68	肯特颱風
1996.02	2,105	8,800	1,228,567	238,462,513	0.52	賀伯颱風
1997.03	2,128	8,772	864,091	237,598,422	0.36	
1998.09	2,754	11,764	471,180	237,127,242	0.20	
2001.05	2,101	11,119	1,268,470	235,858,772	0.54	桃芝颱風
2003.11	1,230	4,683	590,177	235,268,595	0.25	
2004.12	2,462	10,178	7,132,951	228,135,644	3.13	敏督利颱風

資料來源：德基水庫管理委員會。