

土石流與大規模崩塌災害

郭世文、林侑輝

「我家門前有小河，後面有山坡，山坡上面野花多，野花紅似火……」
這首兒歌描述了住在有山有水環境的恬適與美好。
但是現今若民衆真要居住在歌詞所描述的環境中，就必須戒慎恐懼，居安思危。

台灣是由菲律賓海板塊及歐亞大陸板塊擠壓形成的高山島嶼。山高、坡陡、地狹、土薄、雨驟、水急、風狂、溪淺，就是台灣地理環境的寫照。在台灣，高度在 100 公尺以上的山坡地占全島面積的 2 / 3 以上，若以「爬升高度除以水平面上的移動距離」來計算坡度，其中坡度在 10 度以下的土地僅有 34%，介於 10 到 40 度的占 16%，剩下的約 50% 的土地，坡度都在 40 度以上。可見台灣的山坡多且地勢陡峭，而山坡地災害較多也是人所皆知的事，我們生活在其中更應該去了解並趨吉避凶。

土石流災害

土石流的形成有 3 個要件，包括土砂、斜坡及水。台灣山區有許多溪流，有的看似不起眼，旱季時甚至整條溪都乾枯了，但若溪流上游平時就累積著那些因風化而形成的大小石塊、泥沙、土壤等，一旦雨季來臨，豪雨帶來的大量雨水便會形成破壞力很大的土石流，對於居住在中下游的居民恐怕是一個巨大的災難。

曾經發生過土石流的地區，由於上游的土砂已經鬆軟，若遇豪雨就很可能再次發生土石流。行政院農業委員會水土保持局依據土石流發生的自然條件，調查全國山區，把溪床坡度



土石流警戒標示。在鄉間看到這標誌，表示附近是土石流潛在發生區域，若遇到連續豪雨時必須特別注意。（圖片來源：林侑輝）



台東大鳥社區，莫拉克颱風所造成的土石流災害（左圖），以及災後，於溪流中上游建置攔砂壩及梳子壩攔阻土砂，保障下游的社區安全（右圖）。（圖片來源：行政院農業委員會水土保持局）

大於 10 度以上，其上方集水區的面積大於 3 公頃的，都視為是土石流潛在發生地點；若溪流下方出口或溢流處有住家、水庫、道路等，則登錄為「土石流潛勢溪流」。

依這標準，全台目前有 1,687 條土石流潛勢溪流，都可在水保局土石流防災資訊網 (<http://246.swcb.gov.tw>) 查詢到。另在鄉間偶也可見「土石流警戒標誌」，可識別附近是不是可能發生土石流的區域。

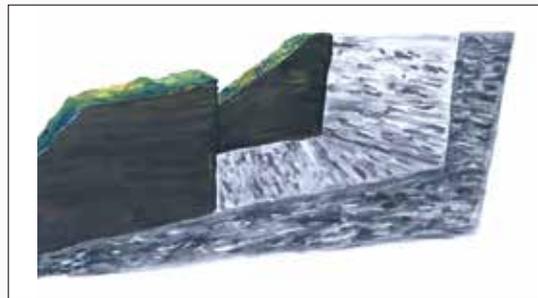
針對上述地區，政府除了設置「梳子壩」、「攔砂壩」等設施以阻擋上游的砂土往下衝外，也培訓當地的居民為「水保專員」，讓他們學習觀測危險的徵兆，在雨季時隨時測量降雨量。當降雨量達到警戒值時，則由政府單位發布「紅色警戒」強制居民撤離住所，以確保安全。

大規模崩塌和土石流的差異

土石流一般指的是斜坡上 1 至 3 公尺深的土石崩落，是屬於淺層崩塌；大規模崩塌則是指崩塌面積超過 10 公頃，或土方量達 10 萬立方公尺，或崩塌深度在 10 公尺以上的崩塌，也稱為深層崩塌，是一種類似高速運動的地滑。



淺層崩塌示意圖（圖片來源：黏智硯繪製）



深層崩塌示意圖（圖片來源：黏智硯繪製）

檢視台灣近年山坡地所發生的災害，符合上述大規模崩塌定義的，包括 1990 年 4 月發生的梨山地滑、1997 年 8 月 18 日的林肯大郡社區的順向坡滑動、1999 年 9 月

台灣近年山坡地所發生的災害，符合大規模滑動或崩塌的定義者及其發生的規模與致災原因。

發生時間	事件名稱	災害規模	致災原因
1990.4	台中梨山地滑	地滑動區域總面積約 230 公頃	豪雨及地下水滲入，降低土體的有效應力，破壞邊坡穩定性，導致地滑。
1997.8.18	林肯大郡順向坡滑動	巨大土體沖毀建築物，造成 28 人死亡，80 戶公寓全毀、22 戶半倒。	因開發而截斷坡腳，失去支撐力，加以豪雨及地下水入滲，使邊坡滑動，造成順向坡崩塌。
1999.9.21	九份二山崩塌	崩塌面積 102.5 公頃，土方量 3,285 萬立方公尺，滑動深度 34 公尺。	921 地震造成順向坡岩體滑動，導致大規模崩塌。
1999.9.21	草嶺山崩塌	崩塌面積約 400 公頃，土方量約 1 億 2 千萬立方公尺。	地層結構不穩定，加以地震豪雨，地下水入滲，造成地滑崩塌。
2009.8.9	小林村大規模崩塌	崩塌面積 69.2 公頃，土方量 2,771.8 萬立方公尺。	強降雨使邊坡土體水分飽和，水分使地下岩層和堆積層交界面滑動，導致順向坡大規模崩塌。
2010.4.25	國道 3 號 3.1K 崩塌	崩塌面積 1.14 公頃，土方量 16.5 萬立方公尺，滑動深度約 15 ~ 20 公尺。	高速公路開發，使順向坡坡趾外露，加以地下水入滲，造成順向坡滑動。

21 日九份二山崩塌及草嶺山崩塌、2009 年 8 月 9 日小林村大規模崩塌、2010 年 4 月 25 日國道 3 號 3.1K 崩塌等災害。

過去，大規模的崩塌較不常見，但近年來發生的頻率越來越高，對此學者也陸續進行了研究。初步的結論是，除了本身的地質地形條件不佳外，還有人為的不當開發，使得坡腳因被截斷而失去了支撐力，導致順向坡崩塌。更因近年來極端氣候異常，雖然年平均降雨量沒有大改變，但經常在某幾天內就把一整年的雨水都下完，這樣的強降雨造成山坡地無法負荷，便使大規模崩塌更為頻繁。

以下以 2009 年 8 月 9 日發生在小林村的大規模崩塌滅村事件的報導為例，分析其原因及未來因應之道。

小林村的大規模崩塌滅村事件

高雄六龜小林村前有楠梓仙溪，背靠獻肚山，共有居民 170 戶，原本是個風景優美的小村莊。2009 年 8 月 7 日莫拉克颱風過境，約 200 公里範圍的暴風雲系挾帶著旺盛的西南氣流，像是用桶子提水倒灌般地降下傾盆大雨，短短幾日小林村累計雨量就達 2,000 毫米。8 月 8 日晚上，溪水暴漲，村子開始淹水；8 月 9 日上午 6 點 09 分，村子的後山開始崩塌，土石以每小時 100 公里的速度向村子撲去，煙塵瀰漫，北邊的村落，包括做為指定避難場所的小林國小，都在一瞬間被崩落的土石吞沒。

崩落的土石也堵住了溪流，當大雨持續下，暴漲的溪水流不下去，就在上游處形成堰塞湖。獻肚山崩塌後 30 分鐘，堰塞

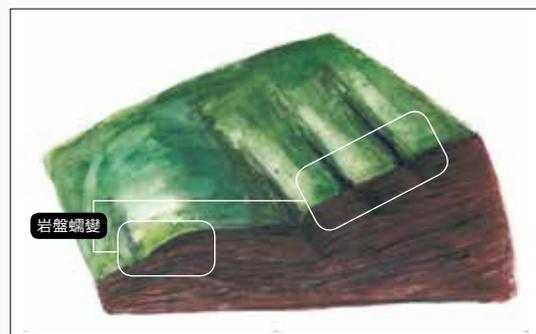


強降雨造成山坡地無法負荷，易造成大規模崩塌。（圖片來源：種子發）

湖內急漲的洪水沖垮了壩體導致堰塞湖潰堤，濃度高達 38% 的泥流衝進南邊的村子，把剩餘的住戶全數淹沒。美麗的村子就此消失，死亡人數共 474 人，舉世震驚！

在上述的事件中，獻肚山從深度 84 公尺，相當於 22 層樓高處剝落，崩塌面寬 1 公里，長 3 公里，崩塌角度約 25 度。專家調查造成這一大規模崩塌的原因，認為可能與強降雨及山坡底層岩盤結構變形有關，因為災後在獻肚山上發現了崩落後出土的大型岩板，其形狀極度變形彎曲，甚至龜裂，學術上稱為「岩盤蠕變」。

專家說，平緩的斜面受到重力影響會下沉，長久之後就會變形彎曲並導致龜裂，變形彎曲處便成了不穩定的岩盤結構。一般的雨量不會造成崩塌，但是當降雨超過負荷，而使整個岩盤都泡在水裡時，就容易使岩盤整個浮起又瞬間崩塌下去。這些



所謂「岩盤蠕變」，是指當平緩的斜面受到重力影響而下沉，經過長久的時間就會變形彎曲，並導致龜裂，變形彎曲處成了不穩定的岩盤結構。（圖片來源：黏智硯繪製）

變形的岩盤，經專家比對衛星照片和地形資料後發現，在崩塌前的緩坡斜面地表上有起伏凹凸的現象，研判這種地形可能就是大規模崩塌的前兆。



人類為了追求經濟發展，過度開發利用山坡地。（圖片來源：種子發）

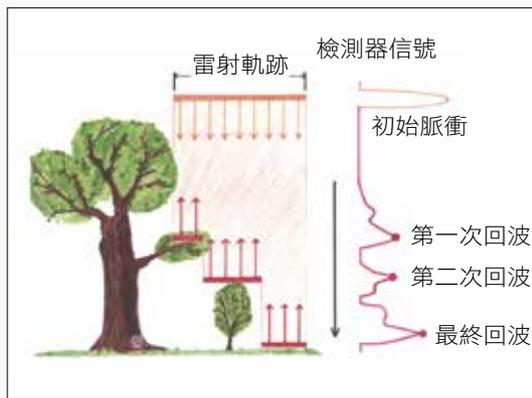
觀測與預防

在極端的氣候下，旱澇會更加明顯，而集中降雨會使大地不堪負荷，預期大規模崩塌的災害會更頻繁地發生。因此，觀測及應對災害的方法也須隨之調整。

一般來說，大規模崩塌的滑動面不會突然形成，需要經過長時期的孕育、演化。在過程中，地表上會留下地形變化的徵兆，因此若有良好的工具，並經詳細的分析調查，具崩塌潛勢的地點是可以事先判別的。

空載光達是一種很有幫助的測量技術。光達（light detection and ranging, LiDAR）就是利用雷射光對目標物進行高密度的掃描，可獲取目標物的 3D 形貌。空載光達就是以飛機為載具進行光達攝影，並以 GPS 定位飛行的軌跡，再計算雷射光回波的時間，就可以得知測量範圍內地形的 3D 結構。

更厲害的是，光達還可以同時量測地表、樹頂，甚至樹幹的位置。因為光達發射的雷射光呈圓錐狀，單一個光束投射在



光達回波示意圖（圖片來源：王建勳繪製）

地表的涵蓋範圍約是一個直徑 50 公分的圓形，而獲取的資料中有部分落在樹梢上、有些在樹幹上，有些則在地上，因此可同時測得上述的資訊；甚且根據反射回波，也可了解地面物體對於雷射光的穿透情形。再經過處理及判識，便可獲得地面起伏、植被狀況等資訊。這技術已應用於地圖測繪、洪災模擬、地質分析、災害調查等。

國內專家曾利用光達及航照圖對照地質資料，
找出全台灣有 84 個聚落須面對大規模崩塌災害的潛在危機。

在極端的氣候下，旱澇會更加明顯，而集中降雨會使大地不堪負荷，預期大規模崩塌的災害會更頻繁地發生。

災後，國內專家曾利用光達及航照圖對照地質資料，找出全台灣共 864 處可能產生大規模崩塌的區域，其中 94 個附近有聚落，而其中 84 個聚落須面對大規模崩塌災害的潛在危機。

為了更進一步了解大規模崩塌的動態資訊，須提早蒐集發生的徵兆，以便預先發出警報。中央地質調查所便針對 19 處具有大規模崩塌潛在危險的聚落進行即時監測，監測項目包括：降雨量、地下水壓、地表滑動量、滑動面深度、變位量等，並把監測的結果分別以綠燈（狀況良好）、藍燈（超過注意值）、黃燈（超過警戒值）、紅燈（超過行動值）、灰色（設備故障）呈現。上述資訊都已公告在政府的公開網站上。

居安思危

我家門前有小河，後面有山坡，山坡上面野花多，野花紅似火……這首兒歌大家都耳熟能詳，歌詞中描述了住在有山有

水環境的恬適與美好。但是現今的環境，因為追求經濟發展，過度開發利用山坡地，又因氣候變遷使得強降雨發生益加頻繁，在這樣人為和天然的雙重夾擊之下，若民眾真要居住在像歌詞中所描述的環境中，就更應該戒慎恐懼，居安思危。

平時就要注意社區周圍的環境，擋土牆是否有龜裂或排水不良的情形、山坡地是否出現裂縫，樹木或電線杆是否因為山崩裂而傾倒……這些都可能是崩塌的前兆。且需經常舉辦社區防災演練，重新檢討避難路線及避難場所是否確實安全，一旦發布警報，要趕緊前往避難場所，確實落實「防災重於救災，離災優於防災」。

郭世文
科學工藝博物館

林侑輝
行政院農業委員會水土保持局綜合企劃組

