

台灣土石流的時空背景

TIME AND SPACE BACKGROUND OF DEBRIS-FLOW IN TAIWAN

洪如江*

一、引言

土石流 (debris-flow)，為流動型坍方 (flow-type landslides) 的一種，由大水，尤其是異常豪雨的大水，推動一種由土、石與水所組成的滯性流體以相當高的速率流動。一個 (或一條) 發育完整的土石流，在空間上，通常包括發生區、流動區 (或段) 與堆積區，如圖一至圖三所示；在時間上，通常包括誕生、成長、與終結。近年來，國人聞土石流而色變；土石流不但越來越頻繁、越來越兇惡，而且竟然入侵台北市！

本文，希望從比較寬廣的時、空背景，來解讀台灣的土石流現象。

二、一條土石流的誕生、成長、與終結

2.1 一條土石流的誕生

土石流的誕生，主要有下列 4 種可能：

- (1) 陡坡、峭壁或懸崖之崩塌
- (2) 河道堆積、崖錐或崩積層之沖刷
- (3) 天然堰 (或壩) 之潰決
- (4) 河床湧升之水流推動河道積土石

部分學者稱第 (1) 類原因而發生的土石流為「崩塌型土石流」，而稱第 (2)、(3)、(4) 類原因而發生的土石流為「溪流型土石流」。絕大多數 (本文作者估計:70%以上) 的土石流係由崩場所觸發，而且，崩塌之誕生先於土石流之誕生。一些河流 (例如陳有蘭溪、台東縱谷的花蓮溪)

的支流、一些短促的山溝，其谷岸陡峭而且裸露，極易因豪雨而崩塌 (圖六)；一些山溝的「向源侵蝕」，也常造成崩塌；斷層崖 (例如雲林縣華山村的大尖山斷層崖)、台地崖 (例如埔里善天寺土石流之源頭，圖四與圖五)、與一些陡坡或峭壁 (例如溪頭的鳳凰山)，也可能會因為地震或豪雨而崩塌，但其數量遠少於谷岸的崩塌與向源侵蝕所造成的崩塌。谷岸的崩塌，因動能極大，加上河谷又是水流匯聚之處，故能產生猛烈而體積龐大的土石流。

河道堆積，受到大水 (河道流水或雨水，或兩者) 的沖刷，可能轉變成為土石流。崖錐堆積 (talus deposits) 或崩積層 (colluviums) 受到大水的沖刷，也可能發生個別的土石流。雲林縣華山村的土石流材料與溪頭的土石流材料，部分來自斷崖或峭壁，部分來自崖錐堆積與崩積層。來自斷崖或峭壁的巨石，常多稜角；來自崖錐堆積與崩積層的巨石，常呈多角形至近圓形。

河道因土石之淤積而形成天然堰 (或天然壩) 與堰塞湖，豪雨時或豪雨之後，天然堰 (或天然壩) 潰決，也可能發生洪水氾濫或土石流。一般而言，這種土石流巨石，多呈近圓形至圓形。

因河床湧升之水流而誕生土石流之案例，很少被報導。出水溪的土石流，是因河床湧升水流而誕生者的典範。此種土石流之巨石表面，皆塗滿泥漿；因沖刷而誕生之土石流，各巨石的表面大多潔淨。

學者常稱呼土石流之誕生地為土石流之「發生區」、「發生段」或「發生帶」。

2.2 一條土石流的成長

土石流誕生之後，開始向下游流動，一邊流動，一邊搜括河道堆積土石，既刷深河

床又侵蝕谷岸（圖七至圖十），引起谷岸新的崩塌，形成一種類似「滾雪球效應」的巨流，其體積終將成長到最初崩塌體積的十倍左右。土石流在流動時，巨石大多浮在最上面與最前面，因此無堅不摧，極為恐怖。

圖十一，主要在顯示埔里中心路土石流的流動段以縱向排水（白色）及攔砂壩（蛇籠），具穩定土石流流動段之功能，為土石流與崩塌地源頭處理的一部分。

學者常稱呼土石流之流動與成長處為「流動段」、「流動區」、或「輸送帶」。

2.3 一條土石流的終結

土石流出了谷口之後，在寬廣而坡度平緩的大河河床或平原上，因動能的消散、水份的脫逃，形成谷口土石流堆積扇（debris-flow fan）（圖十二至圖十五），是為土石流的終結。圖十五示雲林縣華山村的土石流堆積，其來源為大尖山斷層崖崩落的土石及早先堆積的崩積層土石。

學者常稱呼土石流之終結處為「堆積區」或「堆積段」。觀察土石流堆積之垂直剖面，顆粒粗者（巨石）在上，細者在下（圖十三）；而含沙水流中的沉積，粗者在下，細者在上，二者顯然不同。

三、台灣土石流的重大案例

3.1 史前「大洪水」造成的「紅土礫石台地堆積」

在更新世（Pleistocene）期間，幾乎全世界的許多地方，高山多冰河，一時由於氣候變化或其他原因，溶解成大洪水，或連下幾十天的大豪雨（基督教舊約記載者）而發生「大洪水」（Noachian flood），混合巨石、礫石及砂泥，形成有台灣島以來最大的土石流，衝至台灣西部丘陵的山麓，形成古沖積扇或洪積扇（Diluvium fan），後人稱之為洪積層（Diluvium）。之後，由於中央山脈之隆起（相對於洪積扇及平原）使

各河川之侵蝕力增強，以及斷層之作用，此等洪積扇被切割成許多台地（Tableland），包括：林口台地（250m）、桃園台地（250m）、中壢台地（250m）、平鎮台地（210m）、伯公崗台地（230m）、湖口台地（388.9m）、關西台地（250m）、后里台地（350m）、大肚山台地（203.5m）、八卦山台地（430m）。括號內的數字為各台地目前的最大標高，但各台地皆以數十公尺（例如40公尺）的台地崖與河床、平地或海邊接觸。當初洪積扇之厚度已不可考，因為數十萬年來的侵襲量難以估計。由於構成各台地的主要材料為礫石，所以大多數學者稱呼這些台地為礫石台地。各台地的表面大多發育出厚達數公尺的紅棕土（lateritic soil）；因此，部分學者稱呼這些台地為紅土礫石台地。紅棕土由礫石風化而成的證據，請參考洪（民國81年，*地工技術雜誌*38期）或洪（民國88年，*工程地質的影像*）。根據這些紅土礫石台地堆積的緊密度以及由礫石風化成為紅棕土所需要的時間，上述礫石台地堆積的時間應在數十萬年之前，而且有可能在40萬年之前。

3.2 台灣有史以來的最大土石流：八七水災（八卦山紅土台地西坡之崩潰）

民國48年8月6日至48年8月9日。艾倫颱風的豪雨（最大3日雨量1164mm，最大2日雨量1034mm，最大1日雨量754mm）侵襲台灣全島，造成八卦山紅土台地西坡的全面崩潰，土石流在彰化縣平原造成慘重災難，號稱八七水災。遇難者（包括失蹤者）高達1075人，財產損失34億元（當年幣值）。

3.3 琳恩颱風豪雨所造成的土石流

民國76年10月23日至10月25日，琳恩颱風的豪雨（最大3日雨量1833mm，最大2日雨量1341mm，最大1日雨量1136mm，最大1小時雨量113mm）使基隆河上游坡地發生土石流。全國遇難者73人（包括失蹤者）。財產損失數十億元。

重提此一個案的意義在於：許多人以為民國 85 年的賀伯颱風豪雨之後才有土石流，其實不然。

3.4 台灣有史以來最大日雨量所造成的土石流災難：(賀伯颱風豪雨)

民國 85 年 7 月 31 日至 8 月 1 日，賀伯颱風的豪雨(最大 3 日雨量 1994mm，最大 2 日雨量 1987mm，最大 1 日雨量 1749mm，最大 2 小時雨量 214mm，最大 1 小時雨量 113mm)造成陳有蘭溪兩岸坡地非常多的崩塌及土石流災難(圖一)。全國遇難者 73 人(包括失蹤者)。財產損失數百億元。

3.5 象神颱風豪雨所造成的土石流

民國 89 年 10 月 30 日至 11 月 1 日，象神颱風的豪雨(最大累積雨量 1037.5mm，最大連續 48 小時雨量 1011.5mm，最大連續 24 小時雨量 931mm，最大連續 3 小時雨量 225mm，最大 1 小時雨量 117.5mm)使基隆河上游、台灣東北部及東部等多處坡地發生土石流。遇難者 89 人(包括失蹤者)。

3.6 桃芝颱風豪雨所造成的土石流災難

民國 90 年 7 月 29 日至 7 月 30 日，桃芝颱風的豪雨(最大累積雨量 602mm，最大連續 6 小時雨量 515mm，最大連續 3 小時雨量 329mm，最大 1 小時雨量 146mm)造成濁水河流域(包括陳有蘭溪流域、東埔納溪、加走寮溪、北勢溪、溪頭、等等)、花蓮縣、台北市與台北縣無數坡地的許多崩塌及土石流。全國遇難者 214 人(包括失蹤 111 人)；其中，南投縣遇難者 119 人(包括失蹤 80 人)，花蓮縣遇難者 47 人(包括失蹤 16 人)。農林魚牧業產物損失近 20 億元，農業設施所需復建經費約 60 億元。這次土石流的分佈非常廣泛，許多土石流以及土石流之中的巨石，規模都大得非常恐怖。土石流居然入侵台北市的坡地！引起不少人的恐慌。

3.7 納莉颱風豪雨所造成的災難

民國 90 年 9 月 15 日至 9 月 18 日，納莉颱風的豪雨(竹子湖站最大累積雨量 1002mm，最大連續 24 小時雨量 862mm)

造成台北市與台北縣的大淹水與坡地的許多崩塌及土石流。全國遇難者 104 人，台北市遇難者 30 人。台北市與台北縣淹水面積分別為 3770 公頃與 2547 公頃。重運量捷運系統也因淹水而暫停。

四、台灣土石流發生的主要地帶

台灣土石流發生的主要地帶為：

- (1) 陳有蘭溪流域
- (2) 台東縱谷
- (3) 紅土礫石台地與平原或盆地交接之邊坡
- (4) 基隆河上游(指源頭至三貂嶺附近)

台灣土石流發生的主要地帶，幾乎全與台灣的大斷裂帶有直接或間接關係(圖十六)，分別說明於下。

陳有蘭溪本來就是從陳有蘭溪大斷層帶之中沖刷出來的。台東縱谷為菲律賓板塊與歐亞板塊之接縫，是台灣最大的斷層帶。紅土礫石台地與平原或盆地交接之邊坡，大多是台地崖或斷層崖。基隆河上游(源頭至三貂嶺附近)，距牡丹坑斷層(新店大斷層向東延伸的部分)不到 2 公里，牡丹坑斷層崖下的崩積層提供了這段基隆河流域發生土石流所需要的材料。

民國 85 年 7 月 31 日至 7 月 1 日的賀伯颱風與民國 90 年 7 月 29 日至 7 月 30 日的桃芝颱風，都造成陳有蘭溪流域重大的土石流災難。桃芝颱風造成花蓮縣幾個鄉鎮的土石流災難，都發生於台東縱谷北段花蓮流域的支流中。921 大地震之後的幾次豪雨，埔里的台地崖、大甲河流域，也發生好幾條土石流。

民國 48 年 8 月 7 日的八七水災，主要沿八卦山台地與彰化平原交接之邊坡而發生，彰化縣土石流之災難極為慘重。

高屏河流域在近年來尚少有土石流災難之報導，待進一步觀察。

五、結 論

1. 土石流，就全球觀點而言，原本是一種自然現象，因為可能危及人類生命財產的安全，所以是「天災」(natural hazards)中的一種；但是土石流未必然造成「災難」(disaster)。土石流入侵人類的生活環境、或人類入侵土石流的領域（發生區、流動區、堆積區），就有可能發生災難。

2. 最近，國人聞土石流而色變，最主要的原因是：

(1)人類入侵土石流的領域，難免與土石流遭遇而受難。過度開發，破壞坡地的穩定，因而促進土石流的發生。因此，台灣的土石流並非全由自然因素所造成。

(2)921大地震造成山丘及坡地的破裂，鬆動、與坍塌，提供了發生土石流所必要的土石。

(3)全球暖化推昇了台灣地區的降雨強度與頻率。

3. 台灣土石流發生的主要地帶，與台灣的大斷裂帶（重大斷層帶與重大地質帶交界）關係密切。近年來（民國85年的賀伯颱風算起）土石流災難最嚴重的地帶是陳有蘭溪流域，是台灣山區之中不當開發（道路、產業道路、農路、濫墾、濫伐、濫建）最嚴重的地帶。

4. 台灣土石流發生的時間，最早可以推測到幾十萬年前，「大洪水」(Noachian

flood)造成山地的全面崩潰與紅土礫石台地的堆積；這種天災，非人力所能對抗（西方人所謂的Act of God）。台灣有史以來，引發土石流並且造成重大災難的有：民國48年的八七水災、民國76年的琳恩颱風豪雨、民國85年的賀伯颱風、民國89年的象神颱風、民國90年7月的桃芝颱風、民國90年9月的納莉颱風。由時間上看，台灣重大土石流的發生，越來越緊迫。

5. 到幾條重大土石流災難現場觀察，土石流（流動區、堆積區）只不過是收回被不當佔用的河道或通道而已。只要人類不存心與天、地對抗，就算發生土石流，引起災難的機會其實非常小。更積極的態度是：有些自然發生的土石流，應該讓它流到平地或海域，否則，海岸線可能後退；因此，某些土石流通道不宜堵塞或阻擋。

六、誌 謝

本文相關之資料與現場勘察，曾獲呂副總統 秀蓮女士、蔡政務委員 清彥博士、郭副主任委員 清江博士、行政院科技顧問組、行政院九二一震災災後重建推動委員會、行政院農業委員會、行政院農業委員會水土保持局、國家型防災科技計劃辦公室、台大實驗林管理處、郭清江博士、林美聆教授、陳天健博士、林銘郎教授（提供圖一之照片）、鄭富書教授、連永旺先生（提供圖三之照片）等等之協助，敬此誌謝。



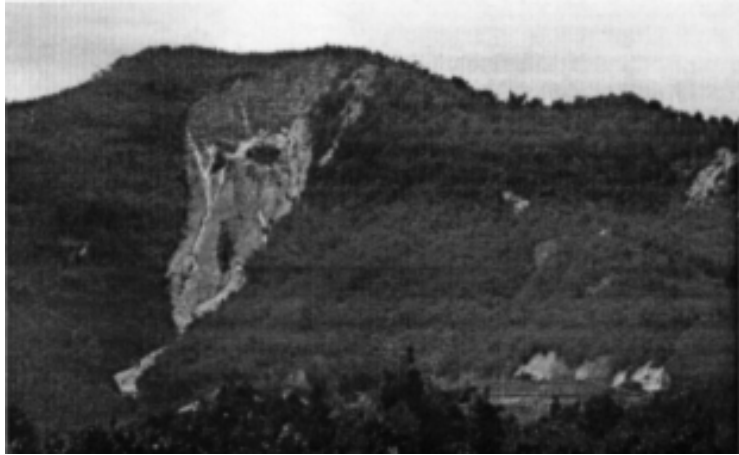
圖一 鳥瞰一條完整的土石流，民國 85 年賀伯颱風豪雨事件之豐丘土石流；上豐丘原住民社區安然無恙，下豐丘社區(土石流堆積扇)災情慘重 (林銘郎教授攝於民國 85 年)



圖二 桃芝颱風之後的陳有蘭溪上安村土石流現場：照片上部中央為土石流發生區，照片下部中央為土石流流動區與堆積區(洪如江攝於民國 90.08.07)



圖三 清水溪上游豐山村一條完整的土石流(連永旺先生攝於民國 90.11.19)



圖四 由埔里遠眺善天寺土石流發生區(源頭) (洪如江攝)



圖五 埔里善天寺土石流發生區(源頭) (洪如江攝於民國 90.05.05)



圖六 坡地崩塌是引發土石流的重大原因(洪如江攝)



圖七 土石流流動段(輸送帶)之刷深與刷寬現象(台灣東北部)



圖八 台大實驗林溪頭營林區有水坑中游坑谷冲刷及道路中斷情形



圖九 土石流流動段(輸送帶)之刷深與刷寬現象(水里鄉新山村平坑)



圖十 水里鄉新山村平坑被土石流刷深、刷寬之情形



圖十一 埔里中心路土石流及崩場地源頭處理系統中之蛇籠攔砂壩具穩定之功能



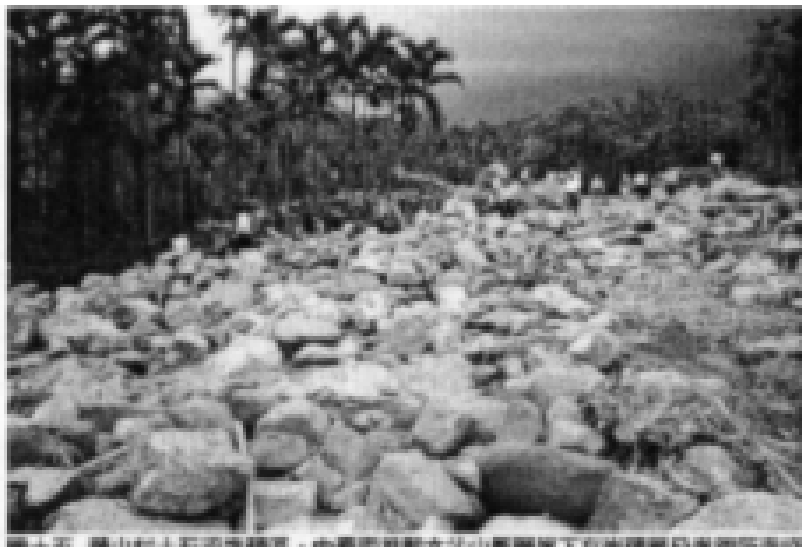
圖十二 賀伯颱風後，下豐丘社區土石流災難現場照片之一



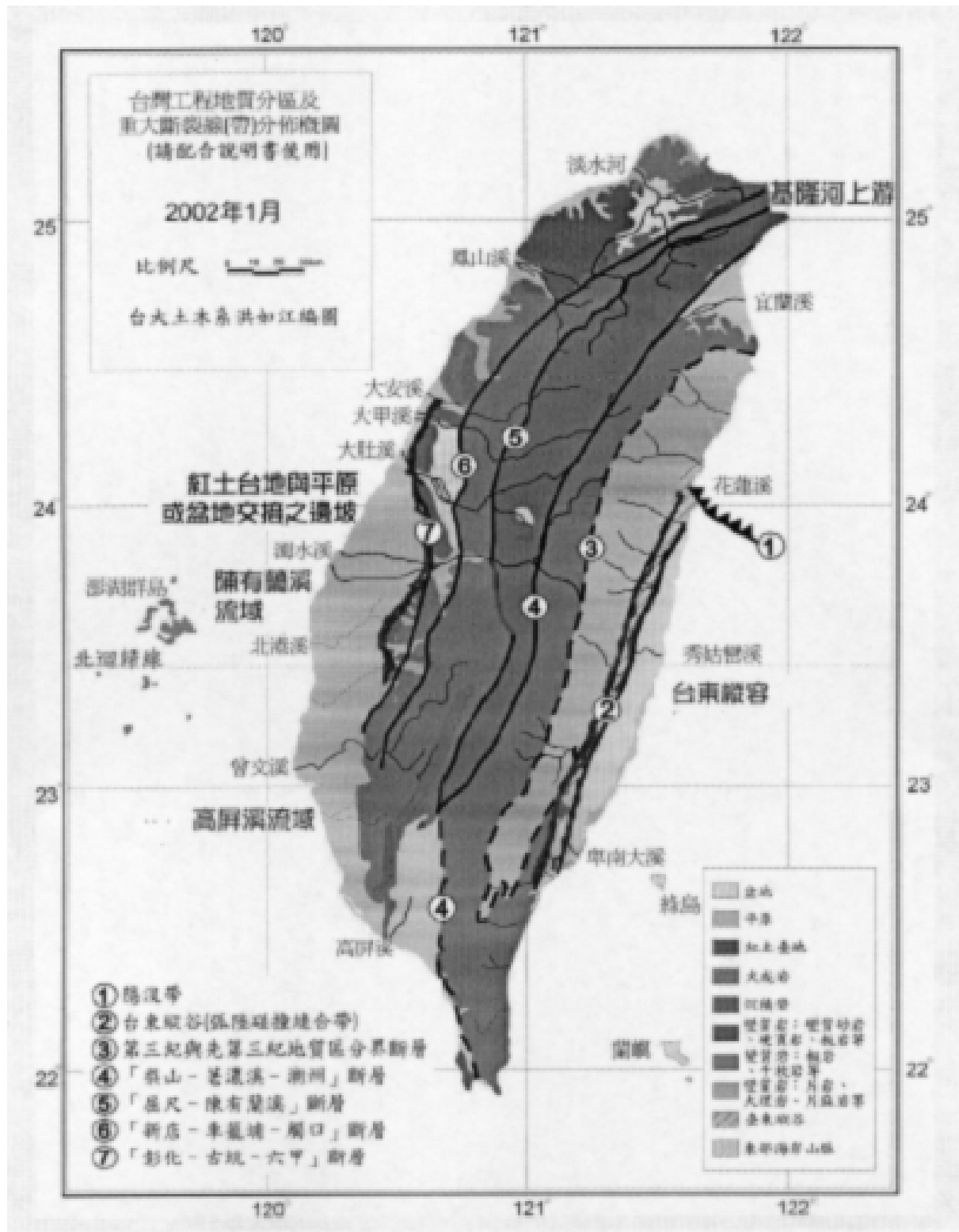
圖十三 賀伯颱風後，下豐丘社區土石流災難現場照片之二



圖十四 台大實驗林溪頭營林區三號坑之土石流堆積扇，範圍寬廣



圖十五 華山村土石流堆積區，土石來源為大尖山斷層崖及其下方之崩積層及崖錐



圖十六 台灣土石流發生的主要地帶幾乎全與大斷裂帶有直接或間接關係