

應用光達地形資料於莫拉克災後陳有蘭溪流域 崩塌與土石流地質敏感地區判釋與分析

林美聆¹ 陳彥澄²

摘要

台灣位處環太平洋地震帶，板塊運動活躍、地勢陡峭，地質構造複雜破碎提供了豐富的土石材料。季節性颱風豪雨帶來了豐沛的雨量，導致台灣地區崩塌和土石流災害頻傳。崩塌和土石流地質敏感區域常以航空照片或衛星影像進行判釋，但往往因為地形地貌、日照方向、雲覆或植被之影響導致判釋上的困難。目前高精度光達探測技術日益發展，本研究透過航空照片以及衛星影像及光達日照陰影圖，判釋研究區域崩塌及土石流等地質敏感區域。將光達資料所判釋的成果與航照及衛星影像之圈繪成果比對，並討論光達地形資料在崩塌和土石流之判釋適用性。

利用光達數值地形判釋時可以排除航照及衛星影像的不利因素，可以更精確的判釋大規模崩塌及土石流。光達數值地形所判釋的崩塌規模較大並可看出整體性，而且判釋不受植被影響。利用光達數值地形判釋土石流時，能得到河道的正確位置，土石流沖積扇也能輕易的判釋，但對於小規模及淺層崩塌則難以判釋。

關鍵詞：崩塌及土石流地質敏感地區、光達地形資料、航空照片、陳有蘭溪流域、莫拉克颱風

1. 前言

台灣位於環太平洋地震帶，板塊運動活躍使得地形陡峭，加上颱風及季節性之豪大雨所帶來的豐沛雨量常常導致坡地災害，造成生命財產的損失。加以全球氣候變遷之影響，對於坡地崩塌和土石流等地質敏感地區的資料實有必要建立及更新，以提供國土規劃及防災應用所需之資料。

近年來高精度空載光達的技術發展快速，對於應用在判釋地形地貌上有良好成效。本研究利用高精度光達數值地形判釋坡地崩塌及土石流地質敏感地區，配合莫拉克災後航照以及衛星影像判釋對於研究區域內的圈繪結果進行比對，並討論高精度光達數值地形在判釋崩塌及土石流地質敏感地區的適用性。

2. 光達地形資料於坡地崩塌與土石流判釋方法

光達數值地形運用於崩塌與土石流地質敏感區域的判釋，國內外已有相關的研究，有別於以往用航照及衛星影像的判釋工作，利用高精度光達數值地形更能看出細緻地形變化，有利於相關地質敏感區域的判釋。

2.1 文獻探討

Schulz (2004)針對美國西雅圖的 Puget Sound 地區進行研究，利用光達資料西雅圖 Duwamish Head 地區 2m 光達數值地形產生坡度及不同角度之陰影圖，求取較佳之判釋陰影圖。由研究區內地

¹ 國立台灣大學土木工程學系 教授

² 國立台灣大學土木工程學系 研究助理

收到日期:民國 102 年 06 月 03 日
修改日期:民國 102 年 11 月 18 日
接受日期:民國 102 年 12 月 27 日

*通訊作者, 電話: 02-23656444, E-mail: nonametochoice@gmail.com

形分析,發現光達數值地形對於大型複合型態之崩塌判釋有良好之成效,且可判釋出具有崩塌潛勢之崩塌地區。

Schulz(2005)利用美國西雅圖地區之光達數值地形和可能崩塌冠部及可能崩塌地點,利用影像疊合處理航拍影像及光達數值地形圖,判釋可能發生崩塌之冠部地區。光達資料特性可移除樹高呈現真實地表情形,故可進行微地形分析,有助於判釋可能發生崩塌之位置。

Miner *et al.*(2010)在澳洲維多利亞 Otway Ranges 山脈靠近 Johanna 地區進行植被所呈現之地表高程和光達數值地形所顯示真實地表高程之差異研究和由航照正射影像及 1m 解析度之光達數值地形比對,發現光達數值地形可明顯看出地表起伏,但在航空照片中卻難以看出地表變化。國外如 M. *et al.*, (2007)也利用光達數值地形進行舊崩塌地之研究,國內則吸收國外經驗,也利用光達數值進行分析,如水利規劃試驗所(2014),「水庫蓄水區邊坡深層滑動潛勢評估分析」,利用光達數值地形,對土文水庫及南化水庫上游第二水庫集水區內邊坡進行深層滑動潛勢評估分析。劉進金(2011)等人,「空載光達技術於大區域坡地災害調查與分析之應用」,利用空載光達對於大屯火山群進行分析,透過光達地形資料可看出火山錐體以及近代發生的斷層,並觀察山腳斷層的位置及錯移量,與現場調查的位置比對。

2.2 判釋方法

本研究主要針對研究區坡地破壞類型之崩塌及土石流進行判釋分析,另外將針對研究區以航照進行相關土砂災害判釋圈繪及比對。

航照判釋主要利用數值地形配合莫拉克災後航照以及衛星影像,依地質敏感區所在之坡度及特性,進行判釋與圈繪。判釋所使用影像的為研究區域內 1/5000 的航照,解析度為 25 公分,拍攝時間在莫拉克風災過後。衛星影像為福衛二號的原生影像,解析度為 8 公尺。

利用研究區域內的高精度光達數值資料模型

在地理資訊系統空間分析功能中可建立八方位日照陰影圖。可由不同方向日照陰影圖中看出地形的細微變化如線性構造及裂縫等以利在圈繪上得到更好的判釋效果,日照陰影的八方位圖如圖 1 所示。

2.2.1 崩塌判釋方法

航照判釋之崩塌型態包含落石以及岩屑崩滑,以下說明其發生要件及判釋要點。

a. 落石發生要件及判釋要點：

坡地具陡峭地形、堅硬岩層、富含節理等不連續面發達之地層條件下,在航照上崖面色調呈光亮,反映其為裸露或植被稀疏之坡面,或在陡崖下方可見坡度變緩且呈錐形堆積地形面,其平均坡度在 55° 以上的範圍地區,或具有曾經發生落石歷史紀錄的地區(經濟部中央地質調查所,2006)。落石之發生示意圖,如圖 2 所示。

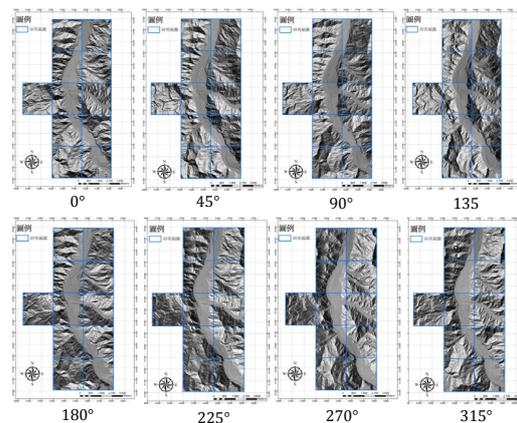


圖 1 研究區域內之八方位日照陰影圖

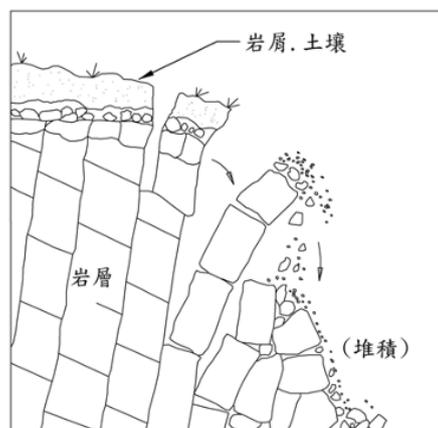


圖 2 落石發生示意圖(修改自經濟部中央地質調查所, 2012)

b. 岩屑崩滑發生要件及判釋要點：

岩屑崩滑係坡地破壞之移動物質為岩屑及土壤，其移動方式在陡坡地為崩落，緩坡為滑動，如圖 3 所示。陡坡岩屑崩滑後坡面常呈細長條狀之裸露狀態，土石堆積於坡趾處。若崩塌作用未完全停止或崖坡面缺乏植生保護時，常易受沖蝕而持續發生擴大現象。在航照判釋上色調呈光亮之長條型裸露地，坡面呈現淺凹槽狀，植生色調與周圍區域不協調，下方之坡度變平緩處具有崩塌堆積特徵，判釋與崩塌地形特徵有關。

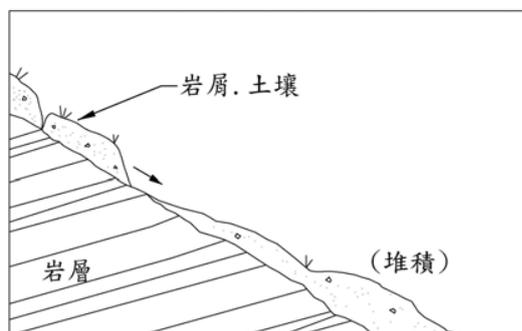


圖 3 岩屑崩滑示意圖(修改自經濟部中央地質調查所，2012)

由光達地形資料判釋崩塌時，無法像航照或是衛星影像直接從圖面上看出植被變化或是地層顏色等特徵，而是利用光達地形資料建立之日照陰影圖對於研究區域的地形變化進行判釋。針對崩塌地形特徵如圖 4 所示，從日照陰影圖中判釋出崩崖、側邊裂隙、橫向裂縫、線性構造及坡趾隆起等滑動徵兆，將此滑動徵兆連接起來可圈繪出崩塌範圍。如果為圓弧形或潛變形破壞之地形特徵主要於冠部呈現崩崖地形，崩崖下方可能有窪地或濕地。在順向坡地區，地表有平面滑動遺跡，坡頂具殘留岩塊，坡側具陡崖地形，坡趾具有堆積大量土石或隆起現象或河道異常彎曲，可研判為岩體曾經發生滑動的地區。

2.2.2 土石流判釋方法

土石流常發生於 1、2 級溪流，其流動材料通常來自溪谷兩側之坡地崩塌。土石流發生後河道常呈 U 字型，在河道匯流處或谷口則形成扇形堆積。

土石流動坡度剖面如圖 5 所示，判釋方法說明如下。

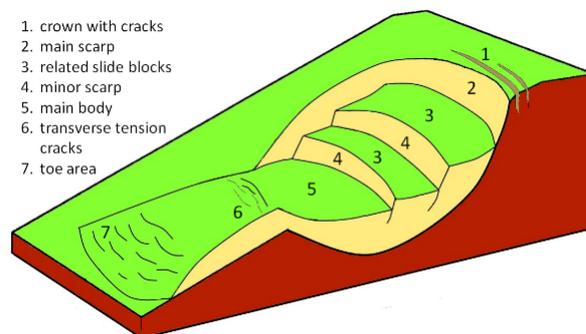


圖 4 大規模崩塌微地形特徵特徵示意圖(M. et al,2014)

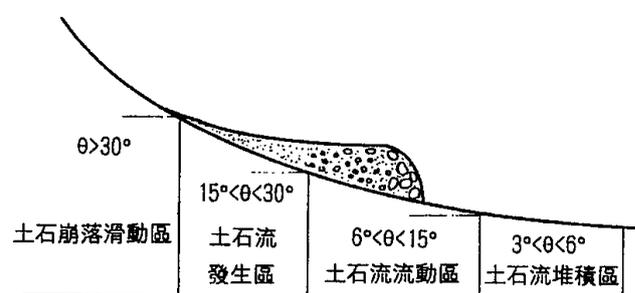


圖 5 土石流動坡度剖面示意圖(改繪自詹錢登，1998)

a. 土石流航照判釋要點：

航照上顯示集水區溪床有明顯土石且邊坡可能具崩塌分布，往下游的溪溝顯現出光亮，谷口有呈現扇形堆積等近期土石流發生的地貌特徵。土石流之水系及集水區範圍內，地形圖上研判山溝或溪谷之谷口地區是否有扇狀地形表徵及具有發生土石流歷史紀錄的坑溝，均為判釋之依據。

b. 土石流圈繪及數化原則：

圈繪符合航照判釋具有土石流地貌特徵或有發生土石流歷史紀錄的坑溝，圈繪範圍依坑溝中發生土石流之河道及土石流堆積區圈繪。土石流河道的圈繪方式依土石流影像與地形資料判釋方法判釋範圍。土石流堆積區為土石流注入主河道或流出谷口處之堆積區域。堆積區可能呈扇狀，包含早期土石流堆積造成，因地盤隆起及河道侵蝕作用，而破壞原有地貌，但仍可能保留扇狀地形的特徵，應圈繪其最大地形面範圍。

利用光達地形資料判釋土石流方法與航照及

衛星影像相同，建立研究區域內的日照陰影圖進行土石流判釋工作，由於少了植被、日照陰影或是雲覆的外在影響，加上高精度影像更清楚研判河道狀況以及下游堆積。

3. 研究區域

本研究針對陳有蘭溪流域中有保全對象的圖幅進行判釋工作。利用中央地質調查所所提供在陳有蘭溪流域中有保全對象的五千分之一圖幅共 11 幅高精度光達地形日照陰影資料圖幅進行判釋。

3.1 研究區地理位置

陳有蘭溪流域主流長約 42 公里，流域面積約為 449 平方公里，為南北縱向流路的溪流，也是濁水溪之重要支流之一。主流發源於玉山北麓，匯集該坡面及西方阿里山山脈東坡與郡大山脈之水流，向北於水里鄉注入濁水溪主流，陳有蘭溪全流域如圖 6。

本次的研究範圍位於陳有蘭溪的中下游段，包含有 11 個圖幅，分別為竹子腳、新山、安村、三十甲(三)、三十甲(四)、田底、郡坑口、信義、九層坑、風櫃斗和豐丘，研究範圍如圖 7 所示。行政區域包含南投縣鹿谷鄉鳳凰村；水里鄉新山村、興隆村、郡坑村和上安村；信義鄉明德村、愛國村、自強村、豐丘村、新鄉村以及羅娜村，等 11 村，行政區域分布如圖 8 所示。



圖 6 陳有蘭溪流域

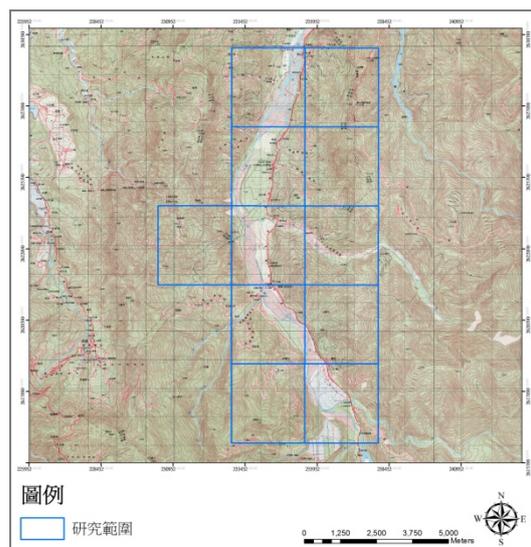


圖 7 研究範圍之地形圖



圖 8 研究範圍之行政區域

自民國 85 年賀伯颱風、民國 88 年 921 集集大地震、民國 90 年桃芝颱風以及民國 98 年莫拉克颱風等，皆在研究區內造成多次崩塌及土石流等災情，亦對生命財產形成嚴重衝擊。在莫拉克颱風時所帶來之豪大雨再陳有蘭溪流域內的水里鄉發生嚴重崩塌，導致土石流之發生，位於水里鄉的投縣 DF216 土石流溪流源頭之崩塌，直延伸至坡頂，有向源侵蝕之現象，如圖 9。在投縣 DF216 土石流溪流中下游處，大小不一之崩塌量體堆積於河道中央，土石粒徑約為 2 公尺以上，土石材料豐富，如圖 10。所幸此土石流未造成人命傷亡。



圖 9 投縣 DF216 土石流溪流源頭崩塌源頭區(拍照時間：2009/10/23，地點：南投縣水里鄉)



圖 10 投縣 DF216 土石流溪流堆積區(拍照時間：2009/10/23，地點：南投縣水里鄉)

3.2 區域地質

研究區流域地層多為沉積岩層之砂岩及頁岩，並有陳有蘭溪斷層以及褶皺通過，研究區域內多為破碎材料，研究區域之地層與地質構造分布如圖 11 (經濟部中央地質調查所，2007)。

研究區域內的地層包含了始新世的白冷層，此地層岩性以灰白色厚層中粒至粗粒石英砂岩為主，間夾深灰色炭質頁岩、灰色緻密粉砂岩、薄至厚層的細粒至中粒砂岩與頁岩之互層，薄至厚層礫石層及薄煤層。中新世和社層、樟湖坑頁岩以及深坑砂岩，其中和社層以塊狀或厚層砂岩與薄層頁岩之互層所成。砂岩呈灰色或淡青色，細粒或中粒，部分含石灰質，常造成懸崖或峭壁；樟湖坑頁岩特色為深灰色頁岩，無清晰層面，富含孔蟲化石；深坑砂岩主要是由厚層塊狀砂岩及暗灰色頁岩組成。砂岩通常為灰至淡灰色，細粒泥質或粉砂質，常連續出現而構成巨大厚層。上新世的桂竹林層，此地層主要由塊狀厚層灰色至棕色泥質砂岩

為主要岩性，間夾灰色泥岩或頁岩。更新世的階地堆積層地層中大多包含礫石及砂。全新世的沖積層，沖積層中多礫石、砂以及黏土。研究區域內的地質大都為砂岩及頁岩，此岩性在大量降雨的影響下容易產生崩塌以及土石流等災害。

研究區域內地質構造有三處斷層以及一處褶皺。斷層包含了有水里坑斷層、陳有蘭溪斷層以及苦苓腳斷層。褶皺則是集集大山向斜褶皺。研究區域內因為有斷層以及褶皺影響，岩石材料易產生破裂而產生許多的強度較弱的材料，如果加上大量降雨或地震等外來因素之影響下，容易造成嚴重災情。

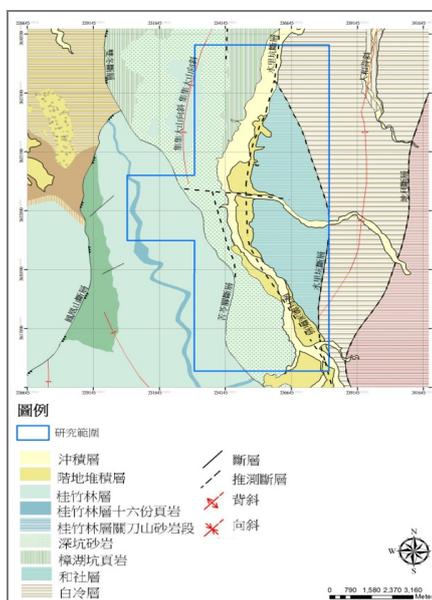


圖 11 研究區域之地質圖(經濟部中央地質調查所，2007)

4. 研究區崩塌判釋

分別利用航空照片以及衛星影像圈繪和高精度光達數值地形判釋研究區域內之崩塌，再將兩者成果比較並討論。

4.1 航空照片判釋

利用莫拉克颱風災後之航空照片以及衛星影像進行研究區域內之崩塌判釋，崩塌圈繪成果範例如圖 12 所示，此處為牛稠坑溪出口西北方約 550 公尺處之岩屑崩滑。

在研究區域內經由航空照片及衛星影像判釋後，所圈繪出的崩塌總共有 220 處，總面積為 182.43 公頃。崩塌形態多為岩屑崩滑，地質材料為砂岩或頁岩。多發生於土石流溪流中上游邊坡以及陳有蘭溪沿岸。

圖 13 為研究區域北方之四幅圖幅。分別為竹子腳、新山、安村以及三十甲(四)之崩塌判釋成果，合計有 59 處崩塌，總計面積為 46.6 公頃。圖 14 為研究區域中部三幅圖幅分別為田底、郡坑口以及三十甲(三)之崩塌判釋成果，合計有 67 處崩塌，總計面積有 50.6 公頃。圖 15 為研究區域南方四幅圖幅分別為信義、九層坑、風櫃斗和豐丘之崩塌判釋成果，合計有 94 處崩塌，總計面積為 85.2 公頃。

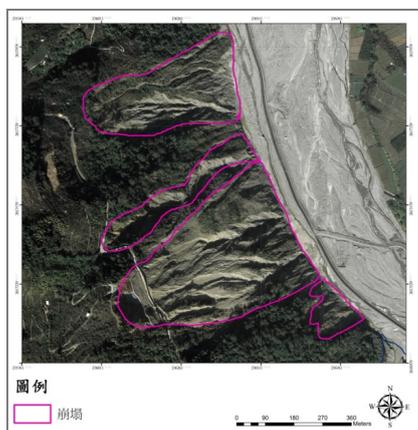


圖 12 牛稠坑溪出口西北方約 550 公尺處之崩塌圈繪成果圖

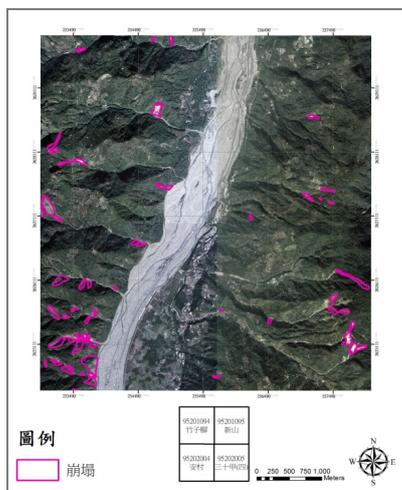


圖 13 研究區域北方四幅航照崩塌之圈繪成果(圖幅為: 竹子腳、新山、安村和三十甲(四))

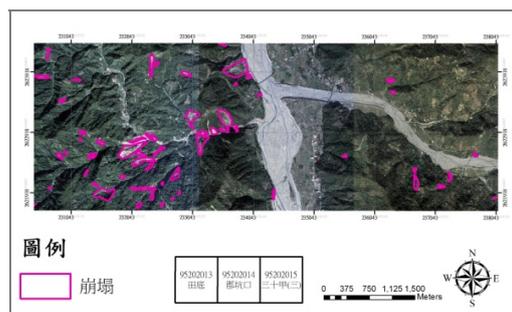


圖 14 研究區域中部三幅航照之崩塌圈繪成果(圖幅為: 田底、郡坑口和三十甲(三))

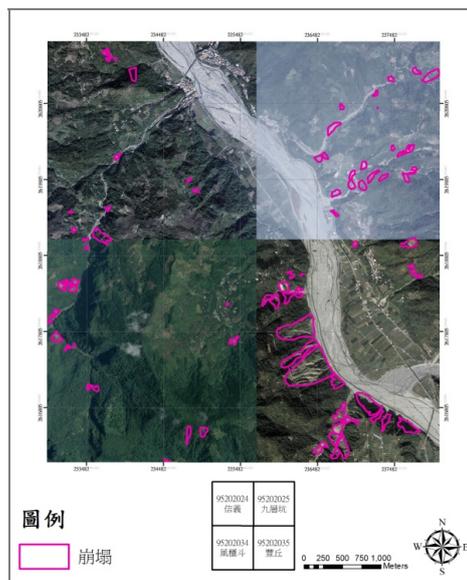


圖 15 研究區域南方四幅航照之崩塌圈繪成果(圖幅為: 信義、九層坑、風櫃斗和豐丘)

4.2 研究區光達資料崩塌判釋

研究區域內利用光達日照陰影圖判釋崩塌的結果崩塌總共有 43 處，總面積為 555 公頃。判釋結果大都為較大規模的崩塌，面積超過 10 公頃的有 17 處。

圖 16 為研究區域北方四幅圖幅分別為竹子腳、新山、安村以及三十甲(四)之崩塌判釋成果，合計有 16 處崩塌，總計面積為 141.3 公頃。圖 17 為研究區域中部三幅圖幅為田底、郡坑口以及三十甲(三)之崩塌判釋成果，合計有 12 處崩塌，總計面積有 282.6 公頃。圖 18 為研究區域南方四幅圖幅為信義、九層坑、風櫃斗和豐丘之崩塌判釋成果，合計有 15 處崩塌，總計面積為 131.1 公頃。

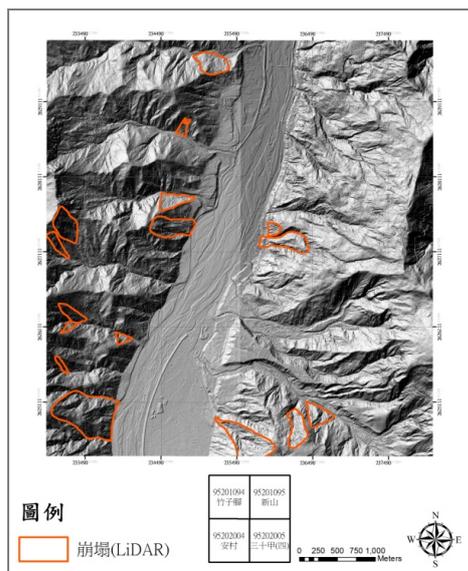


圖 16 研究區域北方四幅光達數值地形之崩塌圈繪成果(圖幅為: 竹子腳、新山、安村和三十甲(四))

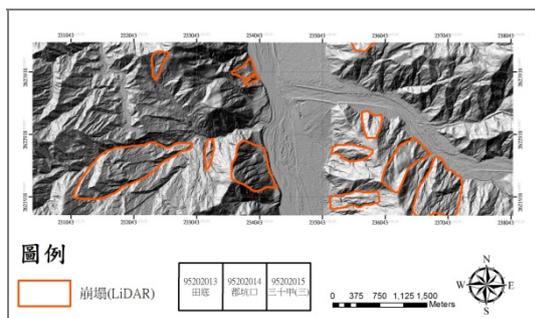


圖 17 研究區域中部三幅光達數值地形之崩塌圈繪成果(圖幅為: 田底、郡坑口和三十甲(三))

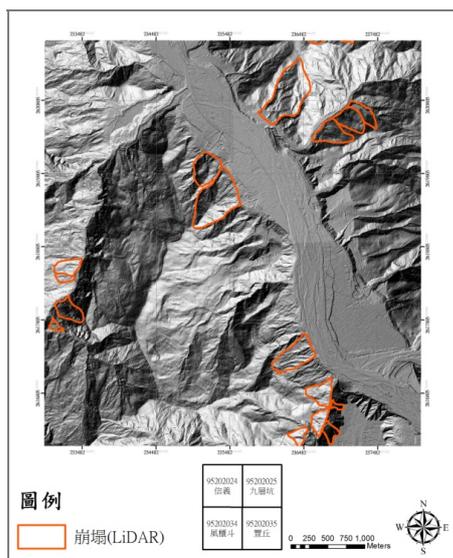


圖 18 研究區域南方四幅光達數值地形之崩塌圈繪成果(圖幅為: 信義、九層坑、風櫃斗和豐丘)

4.3 崩塌判釋成果比對

圖 19 為航照所圈繪之崩塌為發生於烏松崙聚落西方 800 公尺的岩屑崩滑。由航空照片中可清楚的判釋出崩塌的位置以及形態，但該地區光達數值地形所建立的日照陰影圖如圖 20，圖中無法清楚判讀，評估原因為此處崩塌為較淺層的滑動，地形變化量不大，導致光達資料無法清楚呈現崩塌形態。

圖 21 中所圈繪之崩塌發生於陳有蘭溪沿岸，牛稠坑溪出口西北方約 550 公尺處之岩屑崩滑。由航空照片中可研判出崩塌的大致位置，但由於坡地上的材料並未完全的崩落，所以在圈繪上有些困難。利用光達日照陰影圖則可清楚的看出崩塌的形狀以及堆積的位置，可圈繪出完整的崩塌形狀，如圖 22 所示。

圖 23 之航照崩塌圈繪成果位置在苦嶺腳山下，面對田仔底聚落。航空照片研判包含的陳有蘭溪沿岸之 18 處崩塌以及 2 條土石流。套疊日照陰影圖後，可看出沿著南北兩側的土石流溪溝發展出長 810 公尺，寬 550 公尺的一個大規模崩塌，如圖 24 所示。因此在判釋植被茂盛或是滑動區未明顯裸露的崩塌時，由光達數值地形所建立的日照陰影圖較容易看出地形變動而判釋出大規模崩塌的位置及範圍。



圖 19 航照所判釋之崩塌成果(烏松崙聚落西方 800 公尺的岩屑崩滑)

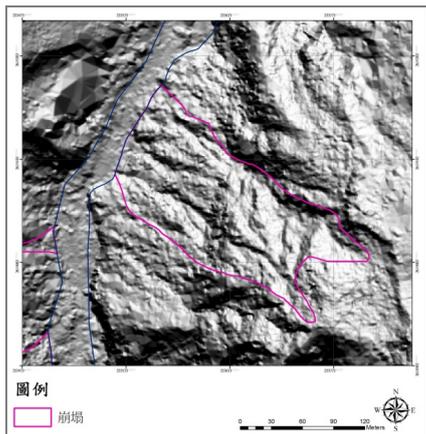


圖 20 光達數值地形所建立陰影圖比對航照判釋成果(烏松崙聚落西方 800 公尺的岩屑崩滑)

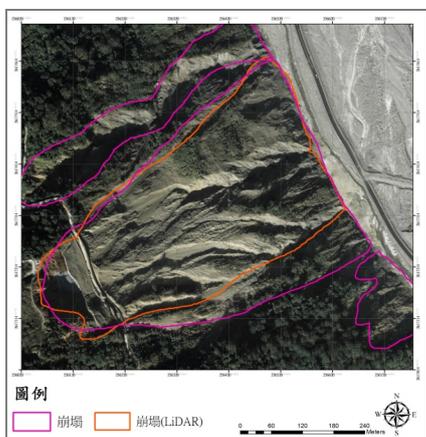


圖 21 航照與光達數值地形所判釋之崩塌成果由航照輸出(牛稠坑溪出口西北方約 550 公尺處之岩屑崩滑)

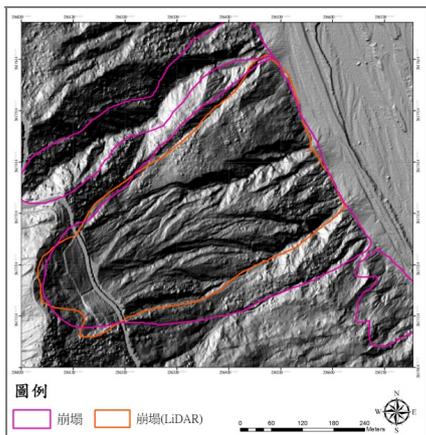


圖 22 航照與光達數值地形所判釋之崩塌成果由日照陰影圖輸出(溪出口西北方約 550 公尺處之岩屑崩滑)

圖 23 之航照崩塌圈繪成果位在苦嶺腳山下，面對田仔底聚落。航空照片研判包含的陳有蘭溪沿岸之 18 處崩塌以及 2 條土石流。套疊日照陰影圖後，可看出沿著南北兩側的土石流溪溝發展出長 810 公尺，寬 550 公尺的一個大規模崩塌，如圖 24 所示。因此在判釋植被茂盛或是滑動區未明顯裸露的崩塌時，由光達數值地形所建立的日照陰影圖較容易看出地形變動而判釋出大規模崩塌的位置及範圍。

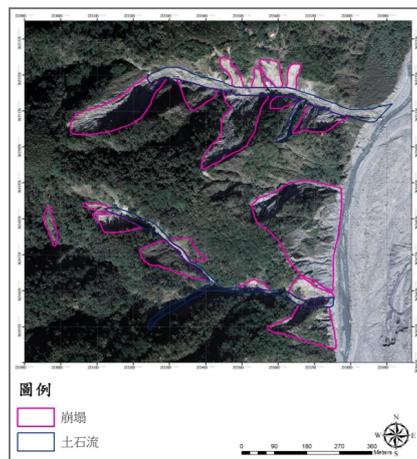


圖 23 航照判釋之崩塌及土石流位於苦嶺腳山下，面對田仔底聚落之岩屑崩滑

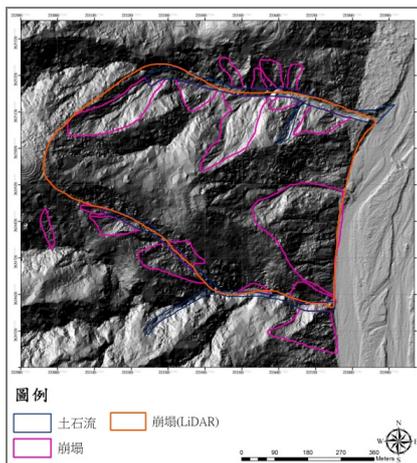


圖 24 光達數值地形判釋之崩塌，苦嶺腳山下，面對田仔底聚落之岩屑崩滑及大規模崩塌

4.4 航空照片與光達地形資料之崩塌判釋結果討論

光達探測具有可透過植被表現出原本的地形

地貌的特性，因此對於植被較茂密的區域有利於判釋出明顯地形變動的位置及範圍，又因為解析度甚高可看出地表的細微起伏，光達數值地形所建立的八方位日照陰影圖可由不同角度觀察地形地貌，在判釋崩塌上有很明顯的幫助。

然對於在崩塌深度較表淺、規模小或地形的變動較小時，在日照陰影圖上則較難辨識。因此採用航空照片或衛星影像配合光達八方位日照陰影圖使圈繪可互相比對驗證，崩塌位置以及範圍更精確。

將光達資料判釋的崩塌以及由航照及衛星影像圈繪的結果整理於表 1、表 2 及表 3。由表 1 可看出北方 4 幅由航照判釋的崩塌數量雖然多，但整體崩塌率只有 1.65%，而光達數值地形判釋的崩塌雖然只有 16 處，但所判釋出的崩塌面積都較大，因此判釋出的整體崩塌率有 5%，唯有新山圖幅的崩塌率較低，推測此處的地形較平緩。

中部 3 幅圖幅所判釋的狀況與北方 4 幅類似，由航照判釋的崩塌個數多，但面積較小，僅有田底圖幅的崩塌率偏高。由光達數值地形判釋的崩塌個數只有航照判釋的 1/5，但面積卻將近 5 倍，而且崩塌率都大於 10%。

南方 4 幅由航照判釋的崩塌個數約為光達數值地形所判釋的 5 倍，而崩塌面積僅有 0.5 倍。而豐丘圖幅由航照判釋出的崩塌率為 8.95%，為 13 幅圖幅中由航照判釋的崩塌率最高，推估為在莫拉克颱風時，大量的降雨進入陳有蘭溪流域，使得此處的邊坡受到強烈的河岸侵蝕，造成許多在溪流沿岸規模較大的崩塌，因此有較高的崩塌率。

整個研究區域的崩塌，由航照判釋的崩塌總共有 209 處，總面積為 185.9 公頃，崩塌率約為 2.4%；由光達數值地形所判釋的崩塌總共有 44 處，總面積為 578.3 公頃，崩塌率為 7.5%。可看出航照判釋的崩塌數量雖多，但崩塌的面積小，崩塌率較低；而光達數值地形所判釋崩塌數量較少，但崩塌面積大，崩塌率偏高。

表 1 研究區域北方四幅崩塌統計表

圖幅名稱	航照判釋			光達數值地形判釋		
	個數	面積 (公頃)	崩塌率 (%)	個數	面積 (公頃)	崩塌率 (%)
竹子腳	13	13.8	2.04	6	43.7	6.47
新山	5	2.0	0.30	2	13.1	1.94
安村	29	21.6	3.20	5	46.0	6.81
三十甲 (四)	12	9.2	1.36	3	38.5	5.70
合計	59	46.6	1.65	16	141.3	5.00

表 2 研究區域中部三幅崩塌統計表

圖幅名稱	航照判釋			光達數值地形判釋		
	個數	面積 (公頃)	崩塌率 (%)	個數	面積 (公頃)	崩塌率 (%)
田底	40	27.0	4.00	2	89.7	13.3
郡坑口	18	20.1	3.00	7	101.6	15.4
三十甲 (三)	9	3.5	0.52	3	91.3	13.5
合計	67	50.6	1.79	12	282.6	10.0

表 3 研究區域南方四幅崩塌統計表

圖幅名稱	航照判釋			光達數值地形判釋		
	個數	面積 (公頃)	崩塌率 (%)	個數	面積 (公頃)	崩塌率 (%)
信義	14	5.4	0.8	2	42.7	6.33
九層坑	26	15.5	2.30	4	56.5	8.37
風櫃斗	15	7.4	1.10	4	17.7	2.62
豐丘	28	60.4	8.95	6	37.5	5.56
合計	83	88.7	3.14	16	154.4	5.15

5. 土石流判釋成果

土石流判釋分別利用航空照片以及衛星影像圈繪和高精度光達地形資料判釋研究區域內之土石流溪流，再將兩者成果比較並討論。

5.1 航空照片土石流判釋成果

利用研究區域的航空照片以及衛星影像所圈繪出之土石流溪流總共 38 條，大都為陳有蘭溪之支流，僅有兩條發展於田底圖幅之山區。流經的地層大都為砂岩和頁岩，其中包含水保局已公開之土石流潛勢溪流共有 25 條。圖 25 為土石流潛勢溪流投縣 DF148 及投縣 DF214 土石流判釋圈繪成果圖。

圖 26 為研究區域北方四幅圖幅，分別為竹子腳、新山、安村以及三十甲(四)之土石流判釋成果，共計有 18 條土石流。圖 27 為研究區域中部三幅圖幅分別為，田底、郡坑口以及三十甲(三)之土石流判釋成果，共計有 9 條土石流。圖 28 為研究區域南方四幅圖幅，分別為信義、九層坑、風櫃斗和豐丘之土石流判釋成果，共計有 11 條土石流。

5.2 光達資料土石流判釋成果

由光達數值地形建立的日照陰影圖所判釋的土石流大致上跟航照判釋的結果相同，判釋出的土石流溪流為 38 條，但在圈繪上更能準確判釋出河道的位置，使圈繪成果更精確。

圖 29 為研究區域北方四幅圖幅，分別為竹子腳、新山、安村以及三十甲(四)之土石流判釋成果，共計有 18 條土石流。圖 30 為研究區域中部三幅圖幅分別為，田底、郡坑口以及三十甲(三)之土石流判釋成果，共計有 9 條土石流。圖 31 為研究區域南方四幅圖幅，分別為信義、九層坑、風櫃斗和豐丘之土石流判釋成果，共計有 11 條土石流。



圖 25 土石流潛勢溪流投縣 DF148 及投縣 DF214 土石流圈繪成果圖

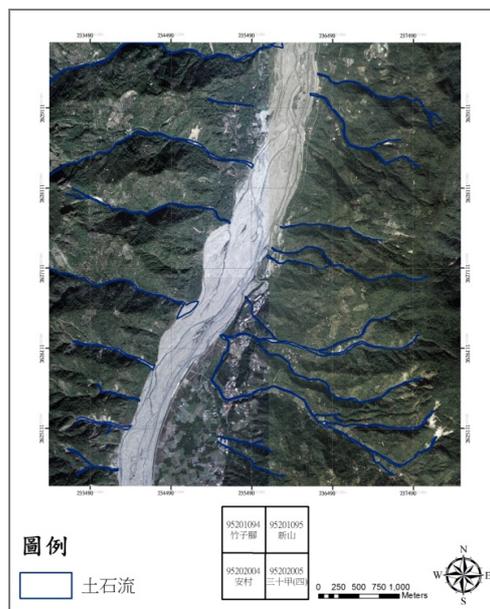


圖 26 研究區域北方四幅航照土石流圈繪成果(圖幅為: 竹子腳、新山、安村和三十甲(四))

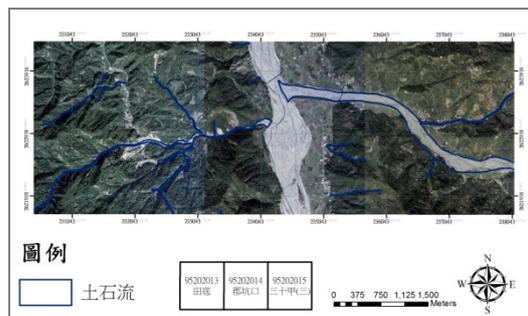


圖 27 研究區域中部三幅航照土石流圈繪成果(圖幅為: 田底、郡坑口和三十甲(三))

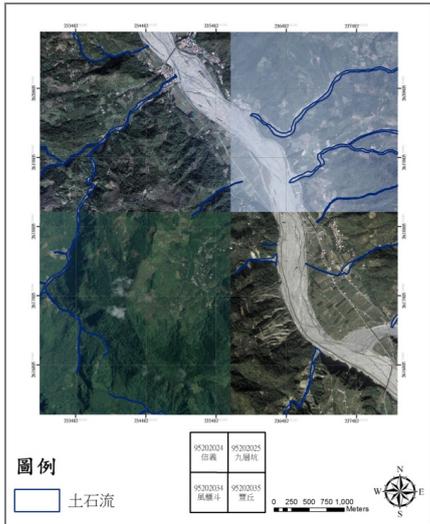


圖 28 研究區域南方四幅航照土石流圈繪成果(圖幅為: 信義、九層坑、風櫃斗和豐丘)

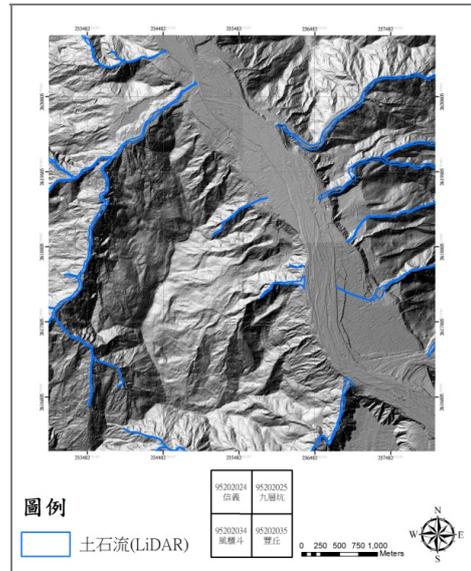


圖 31 研究區域南方四幅光達數值地形土石流之圈繪成果(圖幅為: 信義、九層坑、風櫃斗和豐丘)

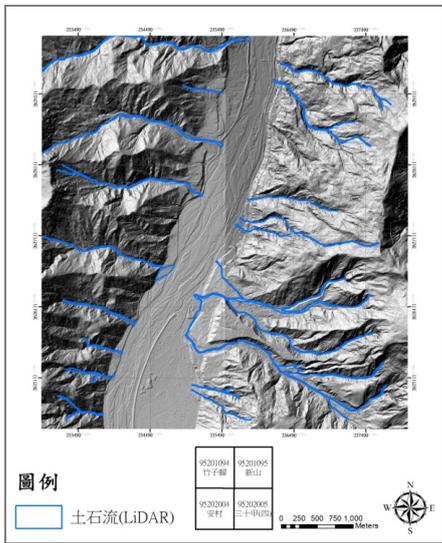


圖 29 研究區域北方四幅光達數值地形土石流之圈繪成果(圖幅為: 竹子腳、新山、安村和三十甲(四))

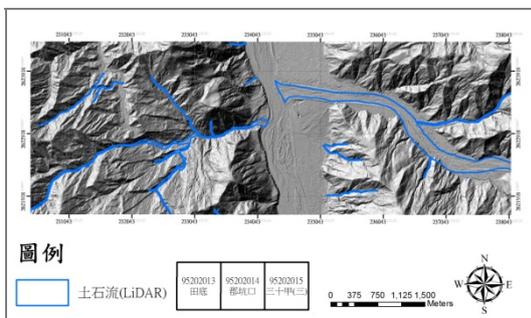


圖 30 研究區域中部三幅光達數值地形土石流之圈繪成果(圖幅為: 田底、郡坑口和三十甲(三))

5.3 航空照片與光達地形資料土石流判釋成果比對

在圖 32 中兩條土石流為水保局公開之土石流潛勢溪流投縣 DF148 及投縣 DF214，位於田底聚落北側。用航空照片判釋此兩溪流時，因河道被植被覆蓋且受陰影影響，在圈繪工作上較為困難，必須利用等高線圖協助圈繪。但利用光達日照陰影圖則可以穿透植被清楚判釋河道位置，在圈繪上較為明確，圖 33 為光達數值地形所圈繪之土石流成果。

圖 34 中所圈繪的土石流位於郡坑聚落對岸。雖不明顯但下游出口處可判釋出沖積扇。而圖 35 為同區域的光達地形日照陰影圖，在判釋土石流沖積扇上也有良好的表現，但沖積扇較不明顯，因陳有蘭溪的沖刷頻繁，許多沖積扇的土石已被帶走，以致於圖面上並不明顯，因此不論航空照片或光達拍攝，其拍攝時間點宜選取於地形變動後盡快進行。



圖 32 由航空照片所圈繪之土石流潛勢溪流投縣 DF148 及投縣 DF214

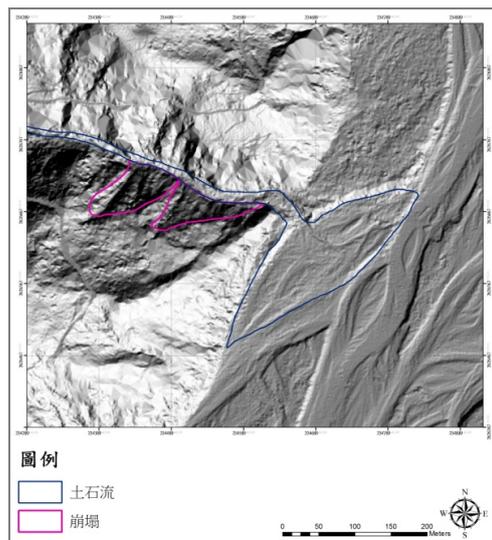


圖 35 由光達地形資料圈繪出之郡坑聚落對岸土石流沖積扇

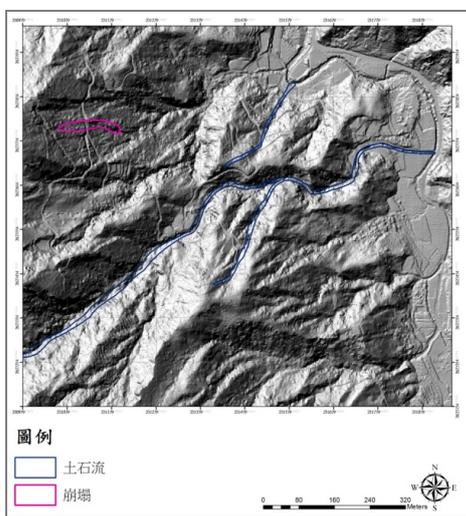


圖 33 由光達數值地形圖所圈繪之土石流潛勢溪流投縣 DF148 及投縣 DF214



圖 34 由航空照片圈繪出之郡坑聚落對岸土石流沖積扇

5. 4 航空照片與光達數值地形之土石流判釋成果討論

在圈繪土石流時，常會遇到河道遭到植被覆蓋或日照角度問題，導致河道位置不清楚。但光達可以穿透地表植被，取得地形的變化。因此可排除這些外在因素的影響，得到河道的正確位置。

高精度光達資料的解析度非常細緻，在航空照片或衛星影像中較無法辨識的土石流沖積扇及河道變遷也能輕易的判釋，對於沖積扇的範圍可得到更精確的數值。

沖積扇之堆積範圍常受主河道冲刷影響，故無論航照或光達拍攝，宜於地形明顯變動後盡快進行。

6. 航照及光達判釋成果差異分析

光達數值地形對於崩塌與土石流地質敏感區域判釋結果與航照或衛星影像所圈繪出的結果可由上述兩節中看出有所差異。

在判釋土石流時，光達數值地形的成果幾乎與航照及衛星影像圈繪成果相同，如航照及衛星影像所圈繪的圖 26、圖 27、和圖 28 以及由光達數值地形所判釋的圖 29、圖 30 和圖 31 中可看出兩者結

果相當一致。但由於航照及衛星影像容易因為植被、日照陰影或是雲覆等外在因素影響，對於河道的位置以及溪流的長度較不易判釋，而光達地形資料並不會受到這些因素影響，因此在判釋土石流溪流時能更精確的圈繪出溪流的位置及長度。因此由光達地形資料所判釋出的土石流溪流與航照及衛星影像所圈繪的土石流溪流成果相當一致，只是由光達地形資料在河道判釋的成果較為精確。

由光達地形資料和航照及衛星影像所判釋的崩塌面積整理如表 4。由百分比中可看出，由光達地形資料所判釋的崩塌面積在 5 至 10 公頃及大於 10 公頃部分遠較航照判釋成果高，並且面積沒有小於 1 公頃的崩塌，平均面積約為 13 公頃。而由航照及衛星影像所圈繪的崩塌面積小於 5 公頃的佔所有圈繪崩塌的 95.3%，並且面積不到 1 公頃的崩塌有 164 個佔所有圈繪崩塌的 77%，平均面積約為 0.97 公頃。可看出由光達地形資料所判釋崩塌面積規模偏大，甚至有大於 20 公頃以上之崩塌；而航照及衛星影像所判釋的崩塌面積則偏小，大部分的崩塌皆小於 1 公頃。

在判釋崩塌時，除了有面積大小上的不同，兩者判釋結果彼此間仍存在著關聯性，此關聯性可分成三種類型。第一種類型為相關，如圖 21 所示，光達地形資料所判釋的成果與航照圈繪出的成果非常相似，圈繪出的面積重疊處比例大於 80%，此類形崩塌總共有 9 處。此類型崩塌規模大，並且崩塌處植被稀少甚至裸露，能在航照及衛星影像中可清楚看出的崩塌。

表 4 崩塌判釋數量比較表

判釋 準則 崩塌 面積	光達地形資料		航照及 衛星影像	
	個數	百分比	個數	百分比
<5 公頃	13	29.6%	199	95.3%
5~10 公頃	13	29.6%	6	2.8%
>10 公頃	18	40.9%	4	1.9%

第二種類型為部分相關，如圖 22 和圖 24 所示。部分相關的崩塌在同一區域中，由航照及衛星影像判釋的崩塌及土石流成果合併起來觀察後，可看出此地區其實為一處規模較大的崩塌，但是由航照及衛星影像較難直接判釋；而從光達地形資料中則可以很清楚的由地形地貌的變化將其崩塌圈繪出來。由光達數值地形所判釋出此類型的崩塌有 10 處，其中包含了由航照及衛星影像所圈繪的崩塌共 33 處。光達地形資料所判釋的結果可能包含數個航照所圈繪出的結果所合併而成，或是數個崩塌加上土石流所組成的崩塌，此一現象與現地觀察大規模崩塌常包含數個較小崩塌之情形一致。因此由航照及衛星影像所圈繪出的崩塌數量較光達地形資料所判釋的量多，但規模相對小，對於包含數個崩塌之大規模崩塌整體性判釋成果較不理想。

最後一種類型則為二者無相關，此類型的崩塌為光達數值地形所判釋出的結果與航照或衛星影像所圈繪出的結果無關聯性，面積上不相重疊。此類型的崩塌由光達數值地形所判釋有 25 處，而由航照及衛星影像所圈繪的有 169 處。無相關的崩塌類型，由光達地形資料判釋出的崩塌大都規模較大並且崩塌塊體布滿著植生，由航照或衛星影像不易辨別，此類型崩塌可能為潛在崩塌或是植生復育舊崩塌；還有許多由航照或衛星影像所圈繪出的崩塌未被光達地形所判釋出來，這些崩塌為規模較小並且破壞較為表淺之崩塌，在航照或衛星影像能清楚看出崩塌位置，但是由光達地形不易判釋。尤其在莫拉克颱風後，造成研究區域內多處的淺層崩塌，而這些淺層崩塌在光達地形資料中不易判釋，因此造成崩塌圈繪的數量上差異。以上數據整理於表 5。

由上述討論，光達數值地形所判釋的崩塌大都為規模較大並可看出整體性，而且判釋不受植被影響。而由航照或衛星影像圈繪的崩塌結果，規模小的數量較多，並且需要有較明顯的破壞及裸露較易圈繪。

表 5 崩塌判釋成果差異統計表

崩塌類型		判釋準則	光達數值 地形	航照及 衛星影像
相關	<5 公頃		5	
	5~10 公頃		2	
	>10 公頃		2	
部分 相關	<5 公頃	3		30
	5~10 公頃	2		3
	>10 公頃	5		0
無相關	<5 公頃	5		164
	5~10 公頃	9		1
	>10 公頃	11		2

7. 結論

高精度光達數值地形因不受日照角度、植生和雲覆的影響，在判釋上較不會被外來的因素所遮蓋及干擾，再加上其解析度非常高，國內目前使用的光達資料已可達 1 公尺 x1 公尺，因此在使用上更為便利。光達技術中的「多重反射」訊號，可以穿透地表上的植生，取得地表的訊號。即可得到更完整及實際的地貌資料，可看出一些在航空照片中無法直接或甚至無法辨識的崩崖。因此在圈繪崩塌時可以判釋出更精確的範圍，甚至是潛在的崩塌；圈繪土石流時，易於找出河道的位置，並判釋沖積扇大小。

在判釋崩塌時，由光達數值地形和航照及衛星影像所判釋出兩者形狀面積彼此相關性時，皆為規模較大並在航照上能清楚看出的現生崩塌；由光達地形資料所判釋的崩塌，由航照及衛星影像無法直接判釋，但其圈繪出的土石流及山崩則可以看出崩塌的趨勢，列為部分相關；而兩者圈繪成果彼此無相關時，由光達數值地形所判釋的崩塌規模大並且植被茂盛，大部分為舊崩塌地或是有潛勢的崩塌。由航照及衛星影像圈繪的崩塌大都規模較小，並為較表淺的滑動，對於較淺層的崩塌光達地形資料相較於航空照片或衛星影像難以判釋，因此日照陰影圖並不利用於使用在判釋淺層滑動的崩塌上，由統計結果亦可看出此現象。

利用航照及衛星影像圈繪土石流時，常會遇到河道遭到植被覆蓋，或日照角度問題，導致河道位置不清楚。但光達可以穿透地表上的植被，取得地表的變化。因此可排除這些外在因素的影響，得到河道的正確位置。再加上光達資料的解析度非常細緻，因此在航空照片或衛星影像中較無法辨識的土石流沖積扇也能輕易的判釋，對於沖積扇的範圍可得到更精確的數值。

在崩塌判釋上光達地形資料能有效的判釋出規模較大且地形特徵明顯的崩塌，但對於只有淺層滑動的崩塌則因地表變動幅度小不易判釋；判釋土石流時，因為能排除外在因素，因此能更精確判釋河道位置和長度，加上高解析度的日照陰影圖，也能清楚圈繪出土石流沖積扇的位置，但對於河道兩側或是上游是否有崩塌或是河岸侵蝕較不易判釋，則不易了解土石材料來源在何處。因此在判釋崩塌或土石流時，光達地形資料的確能提昇判釋的準確性，彌補航照及衛星影像在判釋上缺點，將光達地形資料配合航照及衛星影像進行崩塌及土石流的判釋，對於包括淺層崩塌及大規模崩塌之整體判釋，可望能達到極高的效益，對於未來的防治工程及疏散工作上都有非常大的幫助。

致謝

本研究部分為經濟部中央地質調查所計畫「國土保育之地質敏感區調查計畫－莫拉克颱風受災區域之地質敏感特性分析(3/3)」，計畫編號：101-5826901000-7-D3-01。

參考文獻

- 經濟部中央地質調查所(2006)，「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置」
- 水利規劃試驗所(2014)，「水庫蓄水區邊坡深層滑動潛勢評估分析」。
- 經濟部中央地質調查所(2007)，「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置計畫」
- 經濟部中央地質調查所(2012)，「國土保育之地質敏感區調查計畫－莫拉克颱風受災區域之地

質敏感特性分析(3/3)」

詹錢登(1998),「土石流的發生與運動」, 土木技術
第一卷第一期, 第 132-144 頁。

劉進金(2011),「空載光達技術於大區域坡地災害
與分析之應用」, 土工技術, 第 129 期, 第 35-44
頁

M. Ling Lin, Te-Wei Chen, Ching-Weei Lin, Dia-Jie
Ho, Keng-Ping Cheng, Hsiao-Yuan Yin, and
Mei-Chen Chen, 2014, "Detecting Large-Scale
Landslides Using Lidar Data and Aerial Photos
in the Namasha-Liuoguey Area, Taiwan. " *Remote Sens.* 2014, 6, P.42-P.63.

M. Van Den Eeckhaut, J. Poesen, G. Verstraeten, V.
Vanacker, J. Nyssen, J. Moeyersons, L. P. H. van
Beek and L. Vandekerckhove, 2007, "Use of
LIDAR-derived images for mapping old
landslides under forest" *Earth Surface Processes
and Landforms, Earth Surf. Process. Landforms*
32, 754-769.

Miner, A.S., Flentje, P., Mazengarb, C. and Windle,
D.J. 2010. "Landslide Recognition using LiDAR
derived Digital Elevation Models-Lessons learnt
from selected Australian examples." *Geologically
Active, Proceedings of the 11th IAEG Congress of
the International Association of Engineering Geology
and the Environment, Auckland, New Zealand, 2010.*

Schulz, W.H., 2004, "Landslides mapped using
LIDAR imagery, Seattle, Washington", U.S.
Geological Survey Open-File Report 2004-1396.

Schulz, W.H., 2005, "Landslide Susceptibility
Estimated From Mapping Using Light Detection
and Ranging (LIDAR) Imagery and Historical
Landslide Records, Seattle, Washington", U.S.
Geological Survey Open-File Report
2005-1405.

Application of LiDAR Data on Identifications of Landslides and Debris Flow Geologically Sensitive Area of the Chen-Yo-Lan River Basin Post Typhoon Morakot

Meei-Ling Lin¹ Yen-Chen Chen²

ABSTRACT

Taiwan is located on the circum-Pacific seismic zone, the active tectonic actions, steep terrain, and geological structures provide abundant debris material. The seasonal typhoons with heavy rainfall often cause landslides and debris flow. The aerial photos or satellite images are often used for interpretation of landslides, debris flow, and other geohazards, but the results are affected by topography, shades, cloud cover, and vegetation. With the development of high resolution LiDAR technique, this study uses aerial photos and satellite images as well as LiDAR shading map for identification of landslides and debris flow. Comparisons of the results from LiDAR shading maps and aerial photos are made, and differences of the interpretation results are discussed.

Using LiDAR for interpretation of landslides and debris flow provides accurately large-scale landslides identifications of and can exclude unfavorable factors in using aerial photos or satellite images. The landslides interpreted by LiDAR are mostly large-scale landslides. By LiDAR also provides good results of debris flows interpretation along with river channels, and alluvial fan. However, the small-scale landslides are difficult to identify using LiDAR shading map.

Keywords: Landslide and debris flow geological sensitive area, LiDAR, aerial photos, Chen-Yo-Lan river basin, typhoon Morakot

¹ Professor, Dept. of Civil Engrg., National Taiwan Univ

² Research Assistant, Dept. of Civil Engrg., National Taiwan Univ

Received Date: Jun. 03, 2013

Revised Date: Nov. 18, 2013

Accepted Date: Dec. 27, 2013

*Corresponding Author, Phone: 886-2-233664361, E-mail: linml@ntu.edu.tw