

## 新開村山崩災害肇生因素之探討

張鴻成<sup>[1][2]\*</sup> 陳春盛<sup>[1]</sup> 宋國城<sup>[3]</sup>

**摘要** 本研究綜和雨量、地質、衛星影像與數值地形資料，探討 2009 年莫拉克颱風於新開地區所引發的土石流地質災害成因探討，並同時與小林村的地質災害成因比較。在災區進行植生綠化工程之後，地質調查資料更顯彌足珍貴，本研究認為新開地區發生土石災害的因素為：低度變質板岩區受岩石劈理與節理切割，岩性變的脆弱，加上高累積雨量與長降雨歷時，使岩層飽含水分，增加荷重，上方岩塊沿岩石劈理面與節理面形成順向坡滑動並構成楔形破壞，岩塊和著水形成土石流向下游流動造成災害。此一土石流災害肇生因素與高雄小林村土石流災害發生背景有相似之處，且兩地最引人注目的特徵是皆位於曾經發生過土石流災害的地區，說明山坡地開發前進行地質調查的重要性。

**關鍵詞：**莫拉克颱風、順向坡、楔形破壞、新開村。

## On The Causes of Landslides in Shinkai Village

Hung-Cheng Chang<sup>[1][2]\*</sup> Chun-Sung Chen<sup>[1]</sup> Quo-Cheng Sung<sup>[3]</sup>

**ABSTRACT** This study combines rainfall records, geological surveys, satellite images, and digital terrain model data to explore the possible factors causing landslides in Shinkai. The geological data surveyed soon after disasters has become invaluable due to a reclamation project in the landslide area. The results show that the landslide area consists of low metamorphic rocks which have been severely schistosed and jointed into wedge-shaped weak planes. When a typhoon brought large quantities and long durations of rainfall, the rock wedges slipped along the weak planes when they were lubricated by water and moved to the Shinkai village, finally leading to large disasters. The causes of landslides in Shinkai are similar to those in Siaolin village, and the landslides happened repeatedly. These findings point to the importance of geological surveys prior to hillside development.

**Key Words :** Typhoon Morakot, dip slope, wedge type failure, Shinkai.

### 一、前言

台灣島由歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊碰撞所形成，山高水急，經 1999 年 921 地震之後，地質環境變的脆弱。台灣島位處西太平洋邊緣，在高壓氣流導引下，為每年夏季颱風侵襲之處。脆弱的地質環境加上每年從春末至秋初，梅雨與颱風固定帶來可觀的降雨，使台灣隨時處於可能發生山崩、落石與土石流的地質災害當中。

2009 年 8 月 6 日侵襲台灣的莫拉克颱風，帶來驚人的降雨量，三天中於嘉義、高屏地區共累積了超過 3,000 mm 降雨量(周仲島等, 2010)。莫拉克颱風累積雨量超過 2,000 毫米之區域集中於嘉義、高雄至屏東山區，所造成的山區坡地災害多發生於累積雨量達 1,000 毫米以上之降雨區，且時降雨平均達 80 毫米以上，南部地區之崩塌發生區域與累積雨量與時降雨量有高相關性(陳天健等, 2009)。由於此次颱風具有累積雨

量高與強降雨歷時長的特性(陳天健等, 2009)，降雨規模超過現有防洪設計，於南台灣造成山崩、土石流、洪患等天然災害，使道路、橋樑毀壞，洪水侵襲家園、農作物，造成經濟損失慘重。而更令人震撼的地質災害發生於高雄市小林村與六龜新開遭土石流掩埋而滅村的事件。

小林村山崩發生於 8 月 9 日清晨 6 時許，從村落東方高約五百至九百公尺的山坡開始發生崩塌，大量的崩滑土石混和降雨形成土石流快速向下流動。一部份土石翻越 590 高地而掩埋了村落，造成五百人失蹤的巨災(李錫堤等, 2009)；新開災情從 8 月 8 日晚間開始出現崩塌與土石流現象，位於坑溝谷口堆積扇之下新開社區受災嚴重，有 32 名居民遭山洪沖失或土石掩埋，房屋損毀或被掩埋者達數十戶(陳天健等, 2009)。

當國內學者著重於小林村土石流災害崩塌機制的研究(李錫堤等, 2009；陳樹群與吳俊銓, 2009a；2009b；Tsou et. al., 2011；Wu et. al., 2011；潘國樑等, 2011；李延彥, 2011；陳

[1] 健行科技大學應用空間資訊系

Department of Applied Geomatics, Chien Hsin University, Taoyuan, Taiwan, R.O.C.

[2] 達雲科技有限公司

LIDAR Technology Co., Ltd., Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

[3] 健行科技大學物業管理學系

Department of Property Management, Chien Hsin University, Taoyuan, Taiwan, R.O.C.

\* Corresponding Author. E-mail : harrychang@lidar.com.tw

建宏，2011；李鎮洋等，2011；曾文孝等，2011；黃志杰等，2012；林家興等，2012)、山崩過程模擬 (Kuo et al., 2013) 與山崩所產生的地震訊號特性時 (Feng, Z., 2011)。本研究認為新開土石流災害應同樣受到重視，其地質條件與小林村不同，因此值得對其地質災害成因進行瞭解。本研究經由國科會補助，對六龜新開進行土石流崩塌機制調查與監測，地質調查期間為 99 年 9 月至 100 年 4 月，隨後該崩塌區域即進行植生綠化工程，原本出露於地表的岩石露頭已被覆蓋，不易看出當初崩塌時的地質狀況，本文藉由當初災後的地質調查，提供土石流成因的地質見解。

本研究以衛星影像、數值地形 (digital terrain model, DTM)、雨量資料與地質調查對新開土石流發生因素進行探討。於災區中量測岩石劈理 (rock cleavage) 與節理面 (joint) 等滑動面的地態，以立體投影圖統計滑動面與滑動方向並分析滑動類型，再以衛星影像資料與現地調查所觀察邊坡實際滑動情況做比較。從災前、災後 DTM 資料計算土石流崩塌量、堆積量與崩塌面積試圖了解土方變化以及未來土石流災害再發生的可能性。最後從堆積區舊土石堆積層中推論該地可能曾經發生過土石流災害，說明地質事件會於原地重複發生，並留下地質紀錄，若能於住宅開發前先進行地質調查，必能減輕災害。

## 二、研究區域

研究區域位於高雄市六龜區新開村荖濃溪左岸的舊土石堆積扇上，由一條無名野溪 (以下稱為新開野溪) 產生的土石流所造成的傷亡，研究區北邊與南邊另有不老溪與頂新發附近的野溪 (以下稱為頂新發野溪)，同樣有土石流災情傳出 (圖 1)。這些野溪皆是由東向西匯流入荖濃溪，不老溪長度約 5.5 km，集水面積約 5.7 km<sup>2</sup>；頂新發野溪長度約 5.6 km，集水面積約 7.0 km<sup>2</sup>；新開野溪的集水區範圍較小，其長度約 1.35 km，集水面積約 0.33 km<sup>2</sup>，土石流最後因堆積在較多人居住的平緩階地堆積層上，因此發生較為嚴重的傷亡。

土石流發生於荖濃溪左岸的溪谷中，參考中央地質調查所五萬分之一甲仙圖幅 (宋國城等，2000)，該區地層屬於樟山層下段，為板岩夾薄層砂岩，屬於輕度變質的地層，靠近荖濃溪處可見發達的鉛筆狀構造，代表該區的岩石強度不高；靠近荖濃溪河岸是屬於階地堆積層，是由溪流所堆積而成，通常山區中較為平坦的河階、沖積扇或土石扇通常是人口聚集的區域，因此新開地區的土石災害所產生的重大傷亡是發生於階地堆積層上人口聚集處。離災區最近的地質構造為土壠灣斷層，但位於老濃溪右岸，與災區距離約 1,200 m，推論與土石流發生關聯性不大 (圖 1)。荖濃溪左岸因地層岩性相當，本研究為探討土石流發生的因素，於前述三條位於荖濃溪左岸的溪流進行野外地質調查，以蒐集更多的地質資料。

災區地形平均坡度約 30°，坡度主要界於在 31°~ 47°之間，分佈於溪流旁的坡度都非常陡，約在 60°~70°之間 (圖 2)，代表位於溪流附近的邊坡相對較為不穩定，若遇大雨使溪流侵蝕率增高，便會增加坡腳的不穩定，或當地震發生時都容易造成邊坡地層崩落。研究區域的溪流皆由東向西流，因此集水區主要是由位於南邊面向北的坡 (紅色調) 與位於北邊面向南

的坡 (藍色調) 所組成。南邊坡可以看出地形上由面向東北方 (紅、橘) 與面向南方的坡 (藍) 所組成的 V 型河谷；北邊坡向較為均一，大致以面向南方的坡 (藍色) 為主，較不易看出 V 型河谷的特徵 (圖 3)。

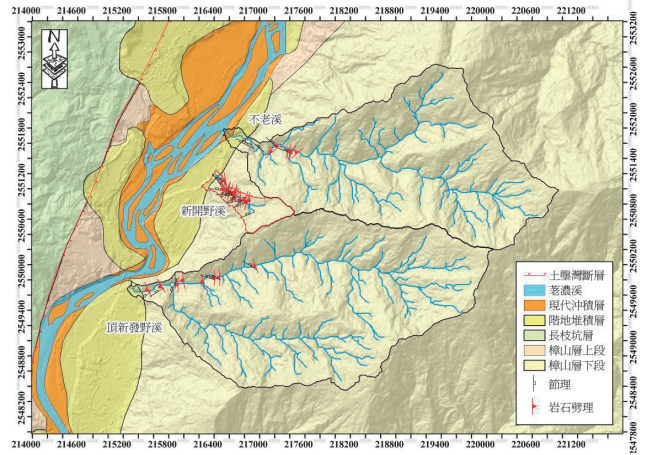


圖 1 高雄可六龜區新開地區地質圖，修改自宋國城等 (2000)，紅色集水區為發生土石流滅村的集水區

Fig.1 The geological map of Shinkai area modified from Sung et al. (2000), the disaster area is circumscribed by the red line

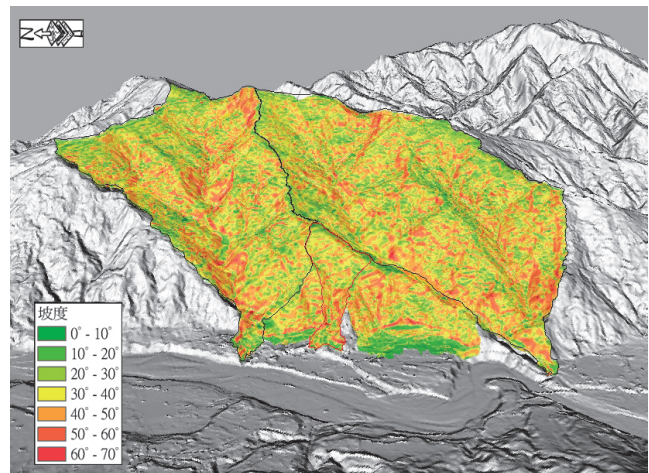


圖 2 災區坡度圖

Fig.2 Slope analysis of the disaster area

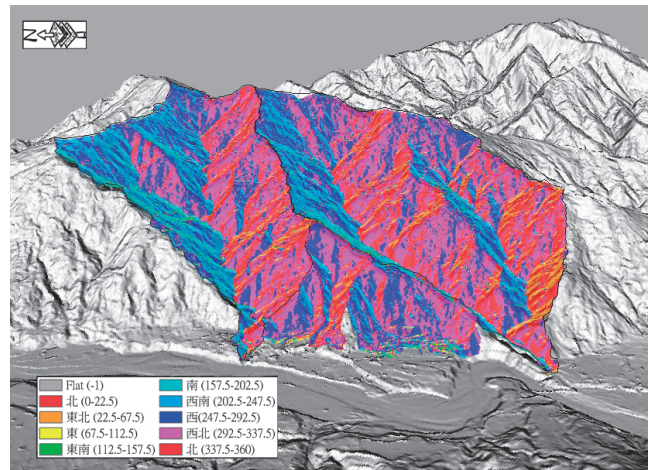


圖 3 災區坡向圖

Fig.3 Aspect analysis of the disaster area

### 三、研究方法

本研究利用中央氣象局雨量紀錄,以新發雨量站資料,分析新開地區總降雨量與降雨強度,並與莫拉克颱風前發生豪降雨的侵台颱風比較,討論莫拉克颱風降雨特性。

新開附近三條溪流的水系、地形與地質條件相似,本研究初步認為造成此三條溪流發生土石流的地質因素相同。為全面蒐集地質資料,本研究對這三條溪流進行地質調查,調查項目包含岩性分布、地質弱面位態測量、地層位態測量與邊坡滑動類型調查。

地質調查所量測的地質弱面位態,以立體投影法統計邊坡滑動方向與滑動坡度,再分析其滑動類型。最後將立體投影分析結果配合野外地質調查結果,歸納土石流發生機制。

舊崩塌區是以 Google Earth 2001 年衛星影像判斷舊崩塌地分布,並與莫拉克颱風之後的崩塌區位置作比較,觀察崩塌位置是否一直重複於相同位置發生。舊崩塌區的判斷方式是尋找具有陡峭崖坡以及圓弧頂的位置,另外考慮舊崩塌可能已長出新植被,且植被可能相對較為稀疏,因此判斷不同程度綠色的植被或是從植被中可看到地表亦是找尋舊崩塌的方式。由於研究區溪流接近東西流向,因此從 Google Earth 衛星影像中分別以朝北與朝南俯視兩個視角尋找舊崩塌地位置,以避免衛星照片拍攝時因日照陰影所產生的干擾。本研究共使用了災前與災後 DTM、衛星影像,其出處、拍攝年份、精度與座標系統列於表 1。

### 四、結 果

地質調查沿新開野溪、不老溪以及頂新發野溪進行,不老溪調查長度約 1 km,頂新發野溪調查長度約 2 km,而新開野溪則調查至崩塌源頭,長度約有 1 km。研究區為樟山層下段,以輕度變質板岩為主,普遍存在節理面與岩石劈理面等地質弱面(圖 4a);加上變質度不高,地層破碎,徒手就能輕易將位於地層表面的岩石輕鬆扳落(圖 4b);河道旁隨時可見由崩落的角礫岩所堆積的崖錐(圖 4c),說明鬆散的堆積物平常就堆積在河道旁,等待足夠的搬運營力便形成土石流往下游移動;雖然本區以輕度變質板岩為主,變質度不高,地層雖呈現沉積同時變形,但層面難以追蹤,地層位態於本區相較於節理面與岩石劈理面已不是那麼重要(圖 4d)。

表 1 本研究所使用圖資

Table 1 The images used in this study

圖資類型	出處	拍攝年份	精度	座標系統
災前數值地形	計畫購置	2006	5 m	TWD97
災後數值地形	計畫購置	2010	5 m	TWD97
災前衛星影像	Google Earth	2001	0.61 m *	WGS84
災後衛星影像	Google Earth	2010	0.61 m *	WGS84

\*: 新開地區 Google Earth 衛星影像由 DigitalGlobe 的 QuickBird 等衛星拍攝,而 QuickBird 解析度可達 61 公分。

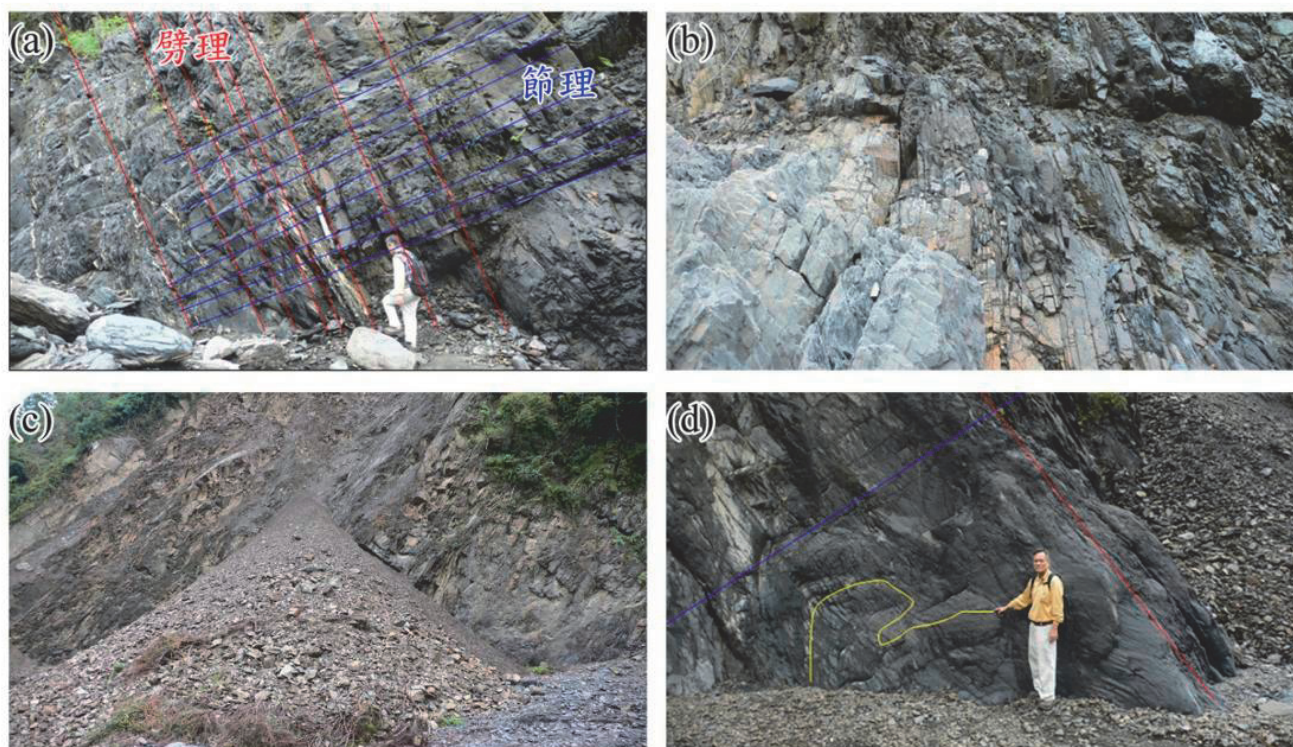


圖 4 野外地質調查照片。(a) 樟山層被岩石劈理(紅色輔助線)與節理(藍色輔助線)切碎;(b) 切碎之後的地層強度變弱;(c) 崩落的碎石形成崖錐堆在河道旁;(d) 原地層層面(黃色輔助線)呈現沉積同時變形。

Fig.4 The pictures of field work, (a) Changshan formation was cut by cleavages(red line) and joints(yellow line), (b) the rock strength becomes weak due to schitosing and jointing, (c) the talus on the slope, (d) the strata has been deformed(yellow line indicates bedding)

從野外地質調查判斷，新開地區的邊坡破壞方式可分為沿著岩石劈理面與節理面滑動的順向坡滑動（圖 5a），或是前述兩種滑動方式所構成的楔形滑動（圖 5b）。這兩種滑動型態中以楔形滑動最常見，滑動方式與調查區中的地質弱面分布有非常大的關係。下游堆積區有一處較現今土石流堆積區高程較高的舊土石堆積層（圖 6），明顯與莫拉克颱風所造成的土石堆積有所區隔，是由 3~4 層由未磨圓的土石所組成，且具有反礫級層特徵，因此推論新開地區過去曾經發生過土石流。

將地質弱面（表 2、圖 7）經立體投影分析，結果與先野外觀察一致，災區邊坡滑動方式皆是屬於楔形滑動。可依楔形滑動方向分成幾個區域（圖 7）：北方不老溪楔形滑動方向與滑動坡度為 22°與 32.4°；頂新發野溪可分為東段與西段兩部

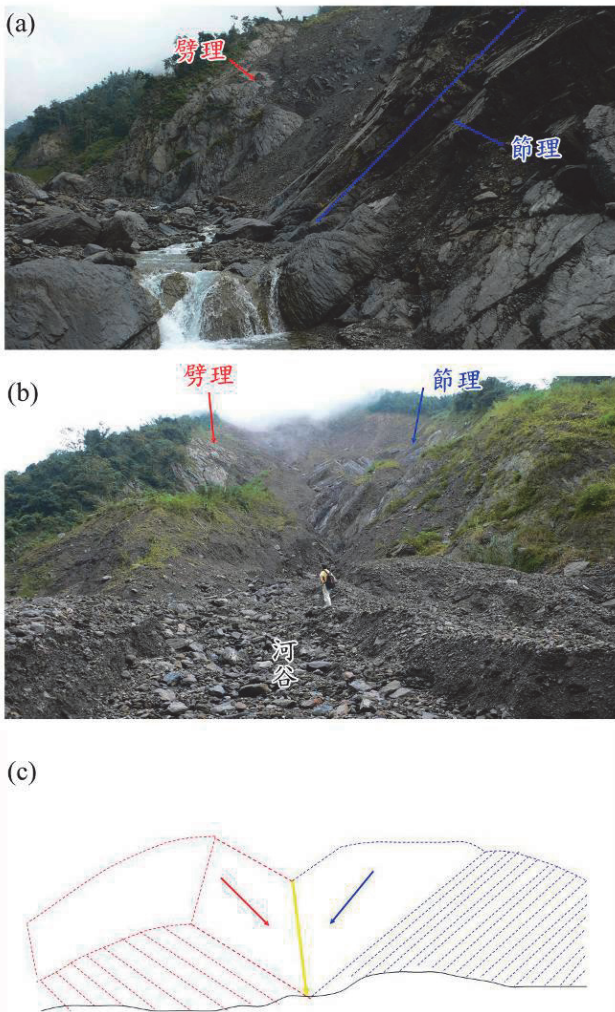


圖 5 災區邊坡破壞方式。(a) 當岩石劈理或節理某一破壞面規模較小，而以另一方為主要滑動面時就形成順向坡滑動；(b) 當岩石劈理與節理兩破壞面相當時，就構成楔形破壞；(c) 災區楔形破壞的崩塌機制

**Fig.5 Slope failure type in disaster area, (a) dip slope: when rock cleavages or joints are indistinct the failure type is dip slope, (b) wedge type failure: when rock schistosing and jointing is equal in scale, then the wedge type failure forms, (c) the mechanisms of wedge type failure**

份，西段滑動方向與滑動坡度為 316°與 30°、東段滑動方向與滑動坡度為 340°與 26°；而新開野溪滑動方向與滑動坡度為 350°與 44°。這些楔形破壞的滑動方向由北到南從北北東 (22°) 轉南北向 (350°) 再轉成北北西 (316°~340°)，楔形滑動方向與從衛星影像上的所觀察到的邊坡滑動方向一致，也與岩石劈理位態接近，代表該區邊坡破壞方式受岩石劈理面與解理面所控制。

分析新發雨量站所記錄近年侵襲台灣之颱風降雨，包括 94 年海棠、97 年卡玫基及 98 年莫拉克等颱風雨量紀錄（圖 8）。總降雨量以莫拉克颱風所帶來的 2,417.5 mm 最高，其總雨量超過卡玫基颱風之 2 倍。莫拉克颱風最大時雨量達 103 mm/hr，小於卡玫基的 148 mm/hr；高於海棠的 67 mm/hr，但莫拉克颱風降雨歷時達 4.5 日，較海棠的 3.5 日與卡玫基颱風的 2.5 日要多。莫拉克颱風最大時雨量雖小於卡玫基颱風，但超過 50 mm/hr 大雨的降雨歷時卻相當久，於 8 日下午 1 時起連續下 10 小時，共降下 702 mm 雨量，而海棠大雨持續時間僅為 2 小時，卡玫基颱風雖然有很強之降雨，但其持續時間約為 5 小時，共降下 529 mm 雨量。與上述兩起颱風降雨特性比較結果，莫拉克颱風具有累積雨量高與強降雨時間長的特性。此次莫拉克颱風造成嚴重崩塌及土石流災害，除降雨量外，也與長時間強降雨有很高之相關性。（陳天健等，2009）

判釋出的舊崩塌區（圖 9）大部分是位於南面坡上，與先前由衛星影像觀察的土石流崩塌區大多發生於南面坡相近，推論舊的崩塌地滑動方式同樣是由節理與劈理所形成的楔形滑動所造成。由於判釋出的舊崩塌區並未全部於莫拉克颱風時發生崩塌，推論可能於未來遇上豪雨或地震時會產生滑動，所以這些區域具有較高的滑動潛勢。莫拉克颱風所造成的崩塌位置大多位於植生顏色較淺的區域，似乎透露出若植生未能鞏固好下方邊坡，崩塌較容易重複發生。

經由災前、災後 DTM 計算土石流崩塌所造成的高程差（圖 10），新開村土石流主要崩塌區域位於集水區南方的坡面，面積約為 9.3 公頃，最大崩塌深度達 55 公尺，平均深度為 33 公尺，整體土石崩塌量約有 290 萬立方公尺；堆積區域主要位於老濃溪旁的階地上，也就是新開被掩埋的區域，土石堆積高度約有 1~10 公尺，堆積面積約 14.5 公頃，土方計有 210 萬立方公尺。崩塌與堆積土方相差 80 萬立方公尺，由災後衛星影



圖 6 位於下游堆積區上的舊土石堆積層，紅色虛線為堆積層層位位置

**Fig.6 The accumulated strata indicated repeated landslides**

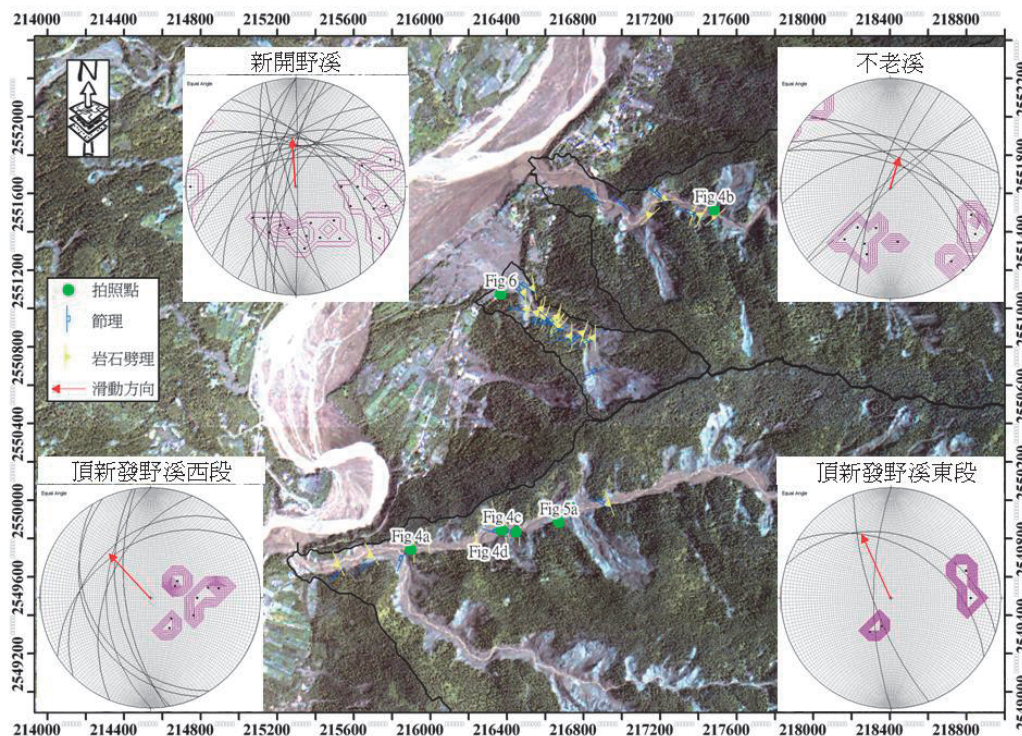


圖 7 地質弱面位態立體投影。(a) 不老溪；(b) 新開野溪；(c) 頂新發野溪東段；(d) 頂新發野溪西段

Fig.7 The stereographic projection of geological weak planes

表 2 新開地區地質弱面位態分析

Table 2 Attitude of geological weak planes in Shinkai area

岩石劈理				節理			
座標 (X)	座標 (Y)	走向	傾角/方向	座標 (X)	座標 (Y)	走向	傾角/方向
215505.00	2549662.00	154	28/W	216850.04	2551608.61	290	42/N
215679.94	2549708.14	148	32/W	216875.67	2551568.08	295	58/N
215897.54	2549740.77	180	46/W	217212.83	2551575.75	312	64/E
215969.00	2549789.00	172	64/W	217029.00	2551526.00	310	50/E
216226.00	2549770.00	170	56/W	217395.73	2551488.24	290	65/E
216447.23	2549831.25	180	72/W	216479.04	2551074.71	324	52/E
216920.93	2549976.54	160	72/W	216494.28	2550992.62	280	42/E
216524.55	2551105.55	170	65/W	216581.59	2550951.16	262	60/E
216377.12	2549830.36	180	72/W	216630.55	2550932.75	262	60/E
216571.29	2551000.43	190	72/W	216642.35	2550922.67	278	48/E
216656.23	2550959.10	188	82/W	216655.34	2550911.18	315	45/E
217137.00	2551494.00	228	90/W	216692.20	2550899.01	245	55/W
217220.28	2551579.56	262	52/W	216842.56	2550839.86	248	42/W
217356.72	2551503.34	198	76/W	216719.84	2550851.74	258	50/N
217401.94	2551491.31	208	83/W	216782.94	2550867.41	230	64/W
217478.01	2551491.58	230	82/W	216889.00	2550689.00	248	40/W
216480.00	2551082.00	180	59/W	215519.93	2549629.08	225	30/N
216497.84	2550995.84	192	80/W	215685.78	2549676.07	238	36/N
216545.00	2550980.00	196	73/W	215895.47	2549737.82	0	70/E
216585.20	2550959.16	200	56/W	216374.54	2549825.71	288	30/E
216634.15	2550941.47	200	56/W	216444.85	2549826.89	288	30/E
216648.27	2550927.00	212	84/W	216924.64	2549971.68	302	40/E
216660.09	2550913.90	222	50/W	216523.94	2551105.94	300	52/E
216804.33	2550828.13	196	84/W	215860.67	2549730.23	202	46/W
216844.14	2550847.96	180	88/W				
216721.85	2550856.99	180	45/W				
216784.83	2550873.74	198	65/W				

像資料顯示 (圖 7)，土石流堆積扇前緣已被荖濃溪侵蝕得與河岸平行，顯示崩塌與堆積土石之差額部份被荖濃溪帶走還有一部份尚留於河道上。由野溪上普遍存在堆積高度約 5 公尺的土石，推論若遇雨水的冲刷，河道上鬆散的土石隨時可能再形成土石流。

主要崩塌區中組成楔形滑動的兩組地質弱面，經由統計結果其走向與傾角分別為 132°/39°N 與 239°/19°N，分別朝東北方與西北方滑動，這兩組滑動面與主要崩塌區所產生的崩塌深度形狀相似 (圖 10)，代表主要崩塌區的破壞方式也是由楔形滑動所引起，其崩塌之後的地貌呈現接近楔形滑動的兩個滑動面。

本研究試圖將災區的主要破壞方式：楔形破壞繪製成崩塌機制簡圖 (圖 5c)，以利解說山崩的過程。以圖 5b 楔形破壞為例，當降雨使地質弱面上的岩體或風化層荷重增加，並形成潤滑作用，使河谷右岸崩塌物沿岩石劈理面滑落；左岸沿節理面滑落，一同匯集於溪谷中再往下游流。

### 五、討 論

從土石流堆積區一處未被磨圓且具層狀的舊堆積層 (圖 6) 推論新開地區曾經發生過土石流，因附近的地質條件沒有改變，推論地質災害會不斷於該處上演，莫拉克颱風所造成的地質災害就是最好的驗證。經觀察堆積區上舊土石堆積層，其層面較緩，且可分出 4~3 層，代表該區曾經發生過 4 次土石堆積事件，可惜的是缺乏定年資料，無法推論這 4 次土石堆積事件是由幾次土石流所造成。由該區於過去以及現在都曾發生過土石流災害，推論未來再發生的機率非常高。潘國樑等 (2011) 從衛星影像判識認為小林村也是位於一古土石流堆積

區上，新開亦同，所以調查古地質災害發生位置，並加以預警、防範將是避免不幸事件發生的法則。

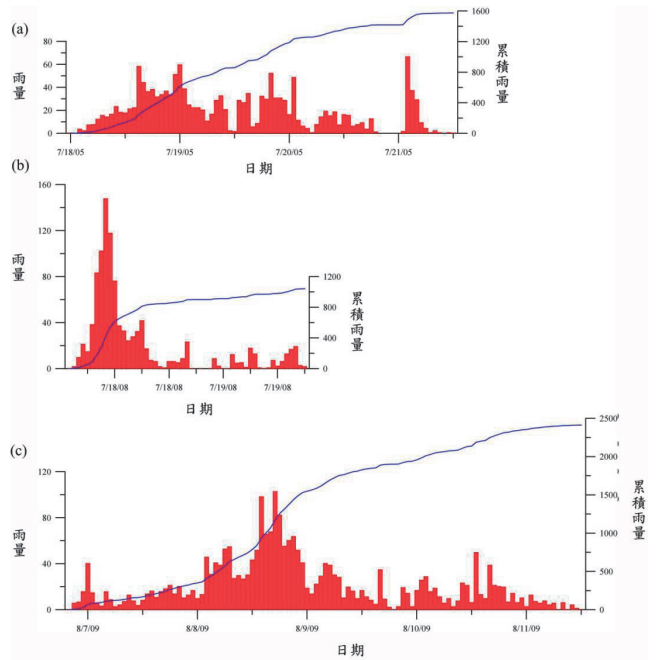


圖 8 新開地區造成豪雨事件的颱風，(a) 2005 海棠颱風；(b) 2008 卡玖基颱風；(c) 2009 莫拉克颱風。紅色長條圖為時降雨量，藍色線段為累積雨量

Fig.8 Typhoons bring heavy rains in Shinkai area, (a) 2005 Typhoon Haitang, (b) 2008 Typhoon Kalmegi, (c) 2009 Typhoon Morakot. Red bar chart indicates daily precipitation, blue line is accumulative precipitation

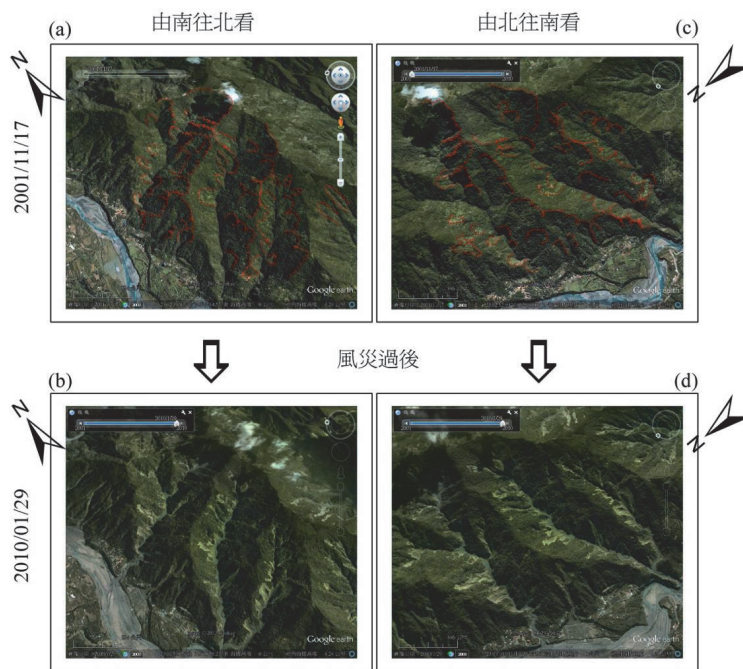


圖 9 新開地區舊崩塌扇區。紅色柵狀線為辨識出的舊崩塌扇位置，(a)、(c) 為風災前；(b)、(d) 為風災後 (影像來源：Google Earth，災前、災後取像日期請參考表 1)

Fig.9 The potential landslides in Shinkai area. Red lines denote the interpreted potential landslides, (a) and (c) are the images prior to the disaster, (c) and (d) are the images post to the disaster

高雄市小林村的土石流發生原因一致認為是莫拉克颱風所帶來的超大降雨量所誘發 (Tsou et al., 2011; Wu et al., 2011; Kuo et al., 2013), 在地質方面經由李錫堤等 (2009) 的調查認為是由節理與小斷層所形成的不利岩楔發生滑動; 潘國樑等 (2011) 與 Wu et al. (2011) 認為是順向坡滑動所產生的深層滑動 (Deep-Seated Landslide) 所致; Tsou et al. (2011) 亦是認為順向坡滑動所造成, 並有由層面、節理與斷層所組成的楔形破壞出現; 黃志杰等 (2012) 認為是地層層面與節理暨小斷層共同構成一組向下坡傾斜之不利岩楔所致。上述地質因素多認為是由地質弱面所形成的楔形破壞造成小林村的地質災害發生。小林村與新開村有相似的崩塌機制, 且兩者都位於東北-西南走向的山脈中的西北方坡面上, 皆屬於迎風坡可能接收較高的降雨與強風侵襲而誘發山崩。

前述深層滑動於地調所分類中屬於岩體滑動, 其定義為滑動面深入新鮮岩體以及滑動面積大於 10 公頃且滑動體多能保持岩體的完整性。新開的崩塌型式因崩塌面積未達 10 公頃且滑動體已被地質弱面切割成岩屑 (圖 5b), 所以本研究認為新開崩塌方式屬於岩屑崩滑 (楊樹榮等, 2011)。

而兩者的不同點還有地層岩性以及地質弱面組成的不同, 小林村災區的地層是鹽水坑頁岩與糖恩山砂岩是屬於沉積岩, 由層面與節理暨小斷層等地質弱面所構成的不利岩楔; 而新開的地層是屬於輕度變質板岩的樟山層, 是由岩石劈理與節理等地質弱面所形成的楔形破壞。

小林村地質環境與新開地區不同, 但其發生崩塌的機制卻像相似, 皆是由楔形破壞所產生的崩塌。小林村主要滑動面積為 57 公頃, 滑動體積約 2,387 萬立方公尺, 平均深度約 40 公尺, 堆積面積約 36 公頃 (李錫堤等, 2009), 被認為是深層滑動。而新開滑動面積因小於 10 公頃且滑動體已成岩屑, 本研究認為是岩屑崩滑。其崩塌類型不同於小林村的深層滑動, 規模亦相對較小, 但都同樣都造成村落被掩沒的結果。說明在山坡地進行開發建設前不得不對附近地質環境進行深入調查, 以防地質災害發生造成生命、財產損失。

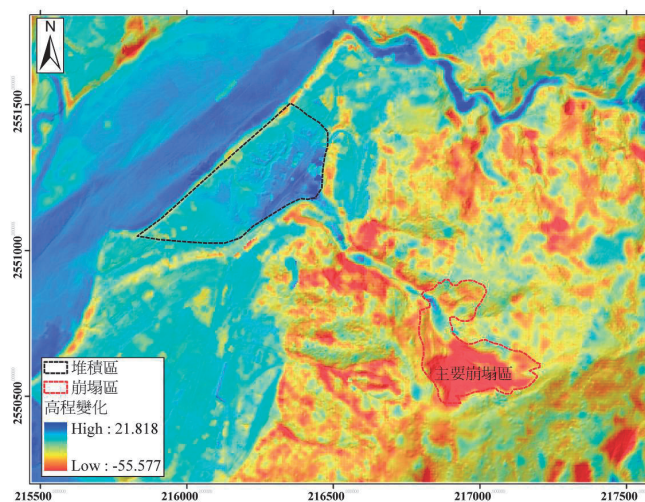


圖 10 災前、災後高程差

Fig.10 The altitude difference between pre-disaster and post-disaster

## 六、結 論

總和野外地質調查、立體投影分析與降雨量資料, 推論新開地區土石流發生因素為: 災區原為一舊土石流發生區域, 河道上平時可能有土石堆積於上。板岩受節理與岩石劈理等地質弱面切割, 使地層變的破碎, 於板岩中產生許多裂隙。莫拉克颱風侵襲時於新開地區累積雨量約為 2,400 mm, 雨水從破碎的板岩裂隙中滲入, 潤滑地質弱面並使上覆岩體荷重增加, 破碎的板岩或是風化層便容易沿弱面滑動, 發生崩塌。和著水向下滑動的崩塌物, 往下流動時再帶動原位於河道上的堆積物形成土石流, 使下游地區被淹埋。而破壞型態依其不同的位置可分為楔形滑動與順向坡滑動, 從野外地質調查、立體投影分析與衛星影像分析, 推論災區土石崩塌主要由岩石劈理面與節理面等地質弱面所控制。

新開與小林村發生土石流因素的異同為: 相同的是皆由莫拉克颱風所帶來的豪降雨所誘發山崩, 兩災害點同樣是位於東北-西南走向山脈中的面西北坡的迎風面上, 可能因此又增加強風侵襲, 使崩塌更易發生; 崩塌區破壞方式是由兩組沿地質弱面滑動的順向坡所構成的楔形破壞為主; 災區都是位於曾經發生過土石流災害的位置上, 讓我們不得不重視坡地開發時地質調查的重要性。不同的是兩災區的地層岩性不同, 小林村附近的地層是由砂、頁岩等沉積岩所組成, 新開是由低度變質的板岩所組成; 雖說組成的地層不一樣, 但都存在許多地質弱面, 小林村的地質弱面以地層層面與節理暨小斷層所構成, 新開是由岩石劈理與節理所構成, 無論構成地質弱面的單元為何, 他們都是造成此次山崩的次要因素; 最後是崩塌的方式不同, 小林村是岩體滑動而新開是岩屑崩滑。

新開與小林村發生土石流的崩塌機制相似, 且由堆積區存在舊的層狀堆積物, 推論該區於過去與現在都發生過土石流, 目前河道上仍有土石堆積其上, 且該區地質條件未被改善, 土石流仍然可能再次侵襲此區, 因此對於該區的土地利用方式不能不重視。由兩地所發生的巨大地質災害顯示, 地質災害會重複於同區域發生, 因此調查古地質災害發生位置, 加以預警、防範, 妥善利用、開發山坡地將是避免不幸事件發生的法則。

## 誌 謝

感謝國科會補助私立大學提升研究能力計畫, 讓本校能夠順利執行「土石流潛勢區之坡地動態偵測與防災科技整合應用」(NSC 99-2632-E-231-001-MY3) 研究案, 該計畫除了提昇敝校研究應用能力外, 亦對莫拉克颱風於高雄市六龜區新開地區所造成的土石流成因有更深入的了解。最後感謝潘國樑博士對新開地區崩塌方式所提供的建議。

## 參考文獻

- [1] Feng, Z. (2011). "The seismic signatures of the 2009 Shiaolin landslide in Taiwan." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 1559-1569.
- [2] Kuo, Y.S., Tsai, Y.J., Chen, Y.S., Shieh, C.L., Miyamoto, K., and Itoh, T. (2013). "Movement of deep-seated rain-

- fall-induced landslide at Hsiaolin Village during Typhoon Morakot.” *Landslides*, 10,191-202.
- [3] Tsou, C.Y., Feng, Z.Y., and Chigira, M. (2011). “Catastrophic landslide induced by Typhoon Morakot, Hsiaolin, Taiwan.” *Geomorphology*, 127, 166-178.
- [4] Wu, C.H., Chen, S.C., and Chou, H.T. (2011). “Geomorphologic characteristics of catastrophic landslides during typhoon Morakot in the Kaoping Watershed, Taiwan.” *Engineering Geology*, 123, 13-21.
- [5] 宋國城、林慶偉、林偉雄、林文正 (2000)，五萬分之一台灣地質圖說明書，圖幅第五十一號，甲仙，經濟部中央地質調查所出版。(Sung, K.C., Lin, C.W., Lin, W.S., and Lin, W.C. (2000). *Explanatory Text of the Geologic Map of Taiwan, scale 1:50000, Chiahsien*, Central Geological Survey, Taiwan. (in Chinese))
- [6] 李延彥 (2011)，「高雄市小林崩塌地之地質及引發山崩之機制研究」，國立成功大學地球科學系碩士論文。(Lee, Y.Y. (2011). *Site Geology and its Implication in the Initiation of Hsiaolin Catastrophic Landslide, Kaohsiung City, Taiwan*, Master thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [7] 李錫堤、董家鈞、林銘郎 (2009)，「小林村災變之地質背景探討」，地工技術，122，87-94。(Lee, C.T., Dong, J.J., and Lin, M.L. (2009). “Geological Investigation on the Catastrophic Landslide in Siaolin Village, Southern Taiwan.” *Sino-Geotechnics*, 122, 87-94. (in Chinese))
- [8] 李鎮洋、賴文基、陳振宇、黃效禹、郭力行 (2011)，「莫拉克颱風複合型災害發生歷程的時空重建—以小林村深層崩塌為例」，中華水土保持學報，42(4)，313-324。(Lee, C.Y., Lai, W.C., Chen, C.Y., Huang, H.Y., and Kuo, L.H. (2011). “The Reconstruction of the Processes of Catastrophic Disasters Caused by the 2009 Typhoon Morakot.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 42(4), 313-324. (in Chinese))
- [9] 周仲島、于宜強、鳳雷、陳永明、李清勝、鄭明典 (2010)，「莫拉克颱風綜觀環境以及降雨特徵分析」，大氣科學，38(1)，21-38。(Jou, B.J.D., Yu, Y.C., Feng, L., Chen, Y.M., Lee, C.S., and Cheng, M.D. (2010). “Synoptic Environment and Rainfall Characteristics of Typhoon Morakot (0908).” *Atmospheric Sciences*, 38(1), 21-38. (in Chinese))
- [10] 林家興、謝正倫、曾志民、蔡元融、陳俞旭 (2012)，「天然壩潰壩水位模擬之研究—以小林村為例」，中華防災學刊，4(1)，5-15。(Lin, C.H., Shieh, C.L., Tseng, C.M., Tsai, Y.J., and Chen, Y.S. (2012). “Research on Water Level Simulation during Natural Dam Breach in Hsiaolin Village.” *Journal of the Taiwan Disaster Prevention Society*, 4(1), 5-15. (in Chinese))
- [11] 陳天健、吳嘉俊、翁孟嘉、謝坤宏、王建智 (2009)，「莫拉克颱風荖濃溪坡地災害調查」，地工技術，122，13-20。(Chen, T.C., Wu, C.C., Weng, M.C., Hsieh, K.H., and Wang, C.C. (2009). “Slope Failure of Lawson Basin Induced by Typhoon Morakot.” *Sino-Geotechnics*, 122, 13-20. (in Chinese))
- [12] 陳建宏 (2011)，「小林村獻肚山深層崩塌地質構造及地質材料特性之研究」，國立成功大學土木工程學系博士論文。(Chen, C.H. (2011). *The Characteristics of Geological Structures and Material Properties of Hsien-du-shan Rock Avalanche at Hsiaolin, Chiahsien, Kaohsiung*, doctoral dissertation, National Cheng Kung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [13] 陳樹群、吳俊鉉 (2009a)，「高雄縣小林村獻肚山巨型深層崩塌引致之地形變遷特性」，中華水土保持學報，40(4)，359-376。(Chen, S.C., and Wu, C.H. (2009a). “The Geomorphological Variation Triggered by Catastrophic Deep Landslide in Siaolin Village.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 40(4), 359-376. (in Chinese))
- [14] 陳樹群、吳俊鉉 (2009b)，「莫拉克颱風引致小林村堰塞湖之形成與潰決歷程」，中華水土保持學報，40(4)，377-392。(Chen, S.C., and Wu, C.H. (2009b). “The Formation and Failure of Typhoon Morakot-Triggered Landslide Dam in Siaolin Village.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 40(4), 377-392. (in Chinese))
- [15] 曾文孝、徐郁超、賴文基、詹錢登、謝正倫 (2011)，「土石流沖淤模式應用於小林村角埔溪災害模擬」，中華水土保持學報，42(3)，219-227。(Tseng, W.H., Hsu, Y.C., Lai, W.C., Jan, C.D., and Shieh, C.L. (2011). “The Debris Flow Numerical Model with Erosion and Deposition Effects: An Application in Jiaopu Creek, Hsiaolin Village.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 42(3), 219-227. (in Chinese))
- [16] 黃志杰、張中白、張文和 (2012)，「莫拉克風災引發之山崩與區域地質構造之關係：以高屏溪上游為例」，災害防救科技與管理學刊，1(2)，1-15。(Huang, C.C., Chang, C.P., and Giletycz, S.J. (2012). “Typhoon Morakot Triggered Landslides and Their Regional Geological Structures: Case from Kaoping River.” *Journal of Disaster Management*, 1(2), 1-15. (in Chinese))
- [17] 楊樹榮、林忠志、鄭錦桐、潘國樑、蔡如君、李正利 (2011)，「臺灣常用山崩分類系統」，第十四屆中華民國大地工程研討會，桃園，台灣。(Yang, S.L., Lin, C.C., Cheng, C.T., Pan, K.L., Tsai, R.C., and Lee, C.L. (2011). “Landslide Classification in Common Use in Taiwan.” *The 14<sup>TH</sup> Conference on Current Researches in Geotechnical Engineering in Taiwan*, Taoyuan, Taiwan. (in Chinese))
- [18] 潘國樑、林彥享、黃春銘、柯傑夫、鄭錦桐、冀樹勇 (2010)，「小林埋村事件之還原—衛星影像判釋」，航測及遙測學刊，16(1)，63-78。(Pan, K.L., Lin, Y.H., Huang, C.M., Keck, J., Cheng, C.T., and Chi, S.Y. (2010). “Reconstruction of the Hsiaolin Village Catastrophe Using Methods of Satellite Image Interpretation.” *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 16(1), 63-78. (in Chinese))

2013年07月01日 收稿

2013年08月06日 修正

2013年09月18日 接受

(本文開放討論至2014年9月30日)