

## 莫拉克重大崩塌災害歷程探討

陳聯光<sup>[1]</sup> 游繁結<sup>[2]</sup> 劉格非<sup>[3]</sup> 林聖琪<sup>[1]</sup> 柯明淳<sup>[1]</sup>

**摘 要** 高雄縣甲仙鄉小林村於莫拉克侵台期間，發生大規模崩塌超過 2,500 萬立方之土石掩埋小林聚落超過 400 人死亡失蹤的重大坡地災害，本研究以小林村崩塌災害前後的地形、災害規模、地質、降雨、河川水位以及地表振動等資訊進行探討災害發生歷程與其影響。由分析結果顯示，超越歷史紀錄的強降雨以及地質構造脆弱區為小林村崩塌災害發生的主要原因，崩塌所引致之堰塞湖潰決形成之山洪暴發亦導致下游 10 公里外的橋樑與水利設施嚴重的衝擊。透過觀測資訊輔助探討災害歷程，將可提供未來災害防救各項預警時間以及應變處置之重要參考。

**關鍵詞：**莫拉克颱風、崩塌。

## Landslide Investigation from Typhoon Morakot

Lien-Kuang Chen<sup>[1]</sup> Fan-Chieh Yu<sup>[2]</sup> Ko-Fei Liu<sup>[3]</sup> Sheng-Chi Lin<sup>[1]</sup> Mei-Chun Kuo<sup>[1]</sup>

**ABSTRACT** Xiaolin village is located in Kaohsiung County, Taiwan. During typhoon Morakot, mass movement of over 25 million cubic meters of earth buried and killed more than 100 houses and 400 people. By comparing topographical changes, geological conditions, rainfall records, river water levels and ground vibrations, the conclusion shows the record-breaking rainfall and the fragile geological formation were the major causes. The disaster process analysis can provide important criterion for predicting and preventing similar large scale disasters.

**Key Words:** Typhoon Morakot, landslide.

### 一、前 言

小林村位於台灣高雄縣甲仙鄉東北(圖 1)，西以阿里山山脈與台南縣南化鄉為界，東以玉山與桃源鄉為鄰，北接那瑪夏鄉，南臨關山村，村落聚集旗山溪東岸河岸山腳下，東西兩岸都是高山，海拔最高是在東側的玉山山脈的大竹溪山有 1,664 公尺，西邊最高是阿里山山脈海拔 1,008 公尺，最低是河岸約 345 公

尺(圖 2)，年平均雨量 2,018.2 公釐。小林村聚落主要分佈於旗山溪左岸，由角埔溪分成南北兩部份，一為五里埔聚落位於角埔溪南半部的 1-8 鄰，聚落所在海拔約在 430-450 公尺以上，與河床平均差距 80 公尺為較高之河階地。另一為小林聚落位於角埔溪北半部的 9-19 鄰，聚落所在海拔高程約在 370-380 公尺，鄰近河床高程差距約僅有 5-10 公尺，位於較低河階地，本次發生崩塌掩埋的獻肚山即位於小林聚落的

- 
- [1] 國家災害防救科技中心助理研究員(通訊作者)  
Senior Assistant Research Follow, Slopland Disaster Reduction Division, National Science and Technology Center for Disaster Reduction, Taipei 231, Taiwan, R.O.C. (Corresponding Author)  
E-mail: steven\_chen@ncdr.nat.gov.tw
- [2] 國立中興大學水土保持學系教授  
Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University Taichung 402, Taiwan, R.O.C.
- [3] 國立臺灣大學土木工程學系教授  
Professor, Department Civil Engineering National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, R.O.C.

東北方(圖3)(高雄縣自然史教育館,甲仙鄉網站)。根據倖存的居民所述2009年8月8日下午15時30分許,莫拉克颱風侵襲台灣,風強雨大,高雄縣甲仙鄉小林聚落旁的小竹溪暴漲,水勢竄出公路護欄,到8月9日清晨約5點左右小林村東北側一千多公尺高的獻肚山因不堪豪大雨而崩塌,帶著大量土石流進入楠梓仙溪,楠梓仙溪河道被土石擋住形成大型堰塞湖,8月9日清晨6點多潰堤,洪水沖毀了附近的九號橋及八號橋,小林聚落第九鄰到十九鄰共有一百多戶人家,全數遭洪水及土石流覆滅,超過400人死亡失蹤。本調查研究就莫拉克風災造成小林村崩塌之情形分別以災害規模、地形、地質、累積降雨以及旗山溪河川流量等面向進行探討災害發生之影響與衝擊。



圖1 小林村崩塌災害位置圖

Fig.1 The Xiaolin landslide location in Taiwan



圖2 小林村地形圖與崩塌區域(資料來源:內政部國土測繪中心)

Fig.2 The topographic map of the Xiaolin village (Image from NLSC)



圖3 小林村受災範圍示意圖(底圖資料來源:Google earth)

Fig.3 The satellite image of the Xiaolin village before the landslide disaster (Image from Google earth)

## 二、地質構造

由經濟部中央地質調查所五萬分之一地質圖顯示(圖4),小林村座落於河階之現代沖積層,地質構造位於甲仙斷層、五里埔斷層、小林向斜,為鹽水坑頁岩區,岩性以塊狀頁岩為主並含階地堆積之泥砂及礫石,岩層以砂岩、頁岩互層為主要;另由小林地層斷面(圖5)顯示,小林村屬向斜之順向坡側,獻肚山因旗山斷層以及甲仙斷層橫向通過。由地質資料顯示小林村受災處之上方,有斷層以及褶皺等地質構造通過,岩體較破碎且較易風化,且位於順向坡地形為地

質災害脆弱地區。

## 三、災害規模探討

根據災害前後之影像分析結果顯示,小林村崩塌影響範圍由旗山溪左岸之崩塌頂點至下游堆積至旗山溪右岸之距離約為3.2公里,掩埋聚落處之寬度達1.6公里(圖6、圖7),如圖6中紫色線區域為崩塌災害影響範圍達350ha;災前之崩塌區位置由旗山溪左岸高程380公尺至崩塌頂點高程之1200公尺,崩塌水平距離約3000公尺,平均坡度約為27%(15°)。

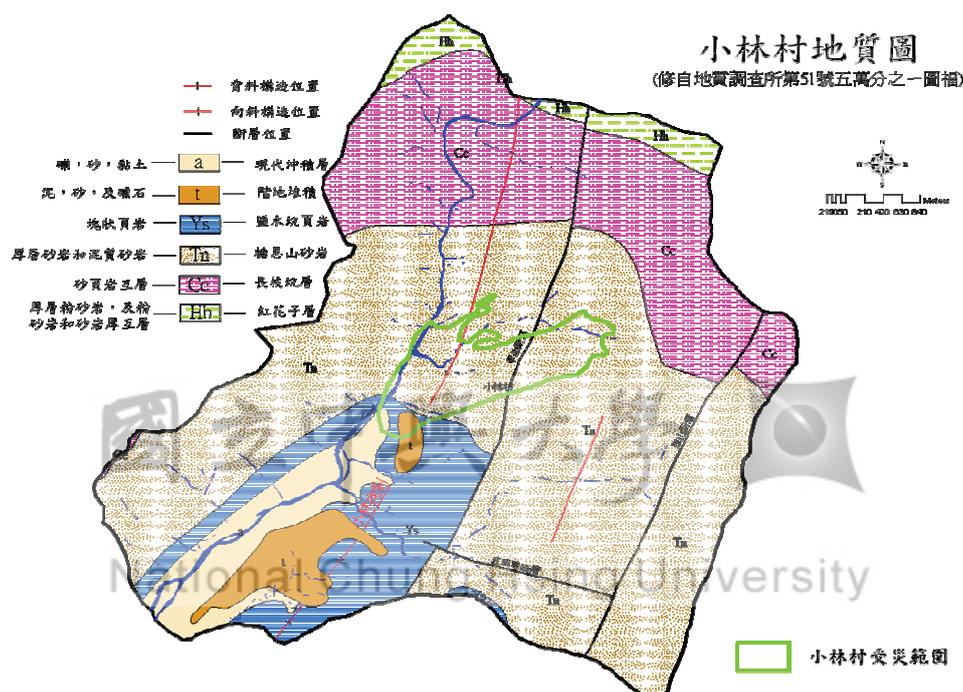


圖4 小林村五萬分之一地質圖與崩塌區域

Fig.4 The 1/50000 geological map (Data from CGS)

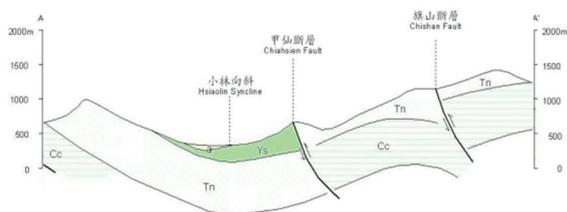


圖5 小林村地層剖面示意圖(修改自中央地質調查所)

Fig.5 The geological cross-section (Data from CGS)



圖6 小林村崩塌區災害後福衛二號衛星影像

Fig.6 The landslide satellite image from Formosa-2

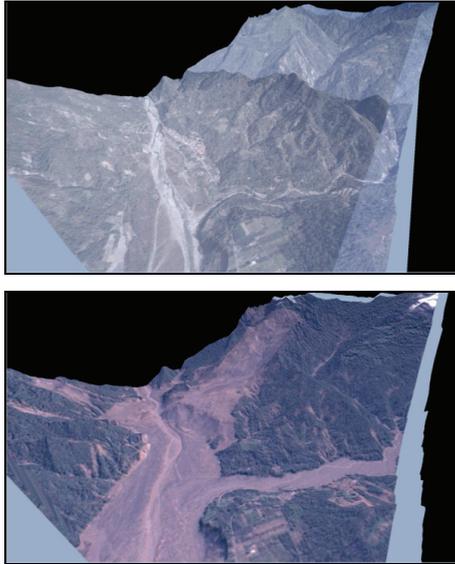


圖 7 小林村崩塌區災害前(上)後(下)3D 影像  
Fig.7 The before (top) and after (bottom) landslide 3D images of Xiaolin village



圖 8 小林村崩塌災後旗山溪河床狀況(上)向上游看  
(下)向下游看  
Fig.8 Xiaolin village landslide disaster photo looking upstream (top) and downstream (bottom)

由災後現地調查照片中顯示，位於河階之聚落原本超過 100 戶的房舍僅存位於下游端的一戶，其餘均遭土石掩埋或洪水流失，堆積的土石以風化崩積土石

為主。由崩塌區災害前後之數值地形高程 DTM 分析得知(圖 9)，崩塌深度最深超過 80 公尺，平均崩塌深度約 11 公尺，堆積深度最高超過 70 公尺，平均堆積深度約 18 公尺，總崩塌土方量超過 2,500 萬立方公尺。

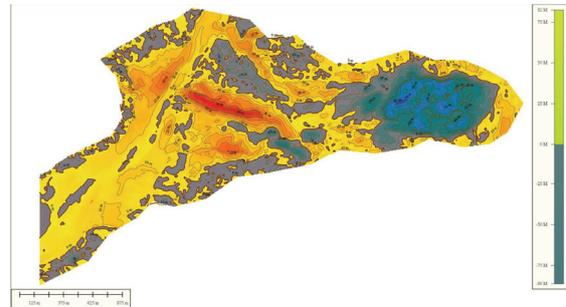


圖 9 小林村崩塌區地形變遷分佈  
Fig.9 The cut and fill analyzing for Xiaolin village landslide

為進一步分析小林聚落崩塌區的地形細部變遷，將崩塌區劃分成 A0-A1、B0-B1 以及 C0-C1 三條剖面線進行分析(圖 10)，剖面線 A0-A1 長度約為 2.7 公里，主要為探討小林聚落楠峰橋上游旗山溪河床與左岸小林聚落河階地以及角埔溪谷口之變遷；剖面線 B0-B1 長度約為 4.5 公里，主要為探討崩塌區縱向之崩塌與堆積對小林聚落北端與旗山溪橫斷面之影響；剖面線 C0-C1 長度約為 2.9 公里，主要為探討崩塌區南端對小林聚落以及旗山溪橫斷面之影響。

由剖面線 A0-A1 之災前災後高程分析結果顯示(圖 11)，楠峰橋上游旗山溪河床淤積平均上升約 10 公尺，旗山溪河階地聚落高程則由原來的 368-382 公尺、上升至 373-390 公尺，平均堆積深度超過 8 公尺，最高堆積深度達 13 公尺，另外於角埔溪谷口處河床高程最高亦抬升約 16 公尺。

由剖面線 B0-B1 之災前災後高程分析結果顯示(圖 12)，旗山溪右岸之平均崩塌深度約為 10 公尺，最深超過 20 公尺，旗山溪河床橫斷面土砂淤積平均抬升超過 10 公尺，最高超過 19 公尺；而旗山溪左岸獻肚山的平均崩塌深度約為 40 公尺，最深超過 80 公尺，崩塌長度達 1200 公尺，崩塌區原始坡度約為 40.6%(22°)。

由剖面線 C0-C1 之災前災後高程分析結果顯示(圖 13)，旗山溪河床至河階之平均堆積高度約為 5 公尺，最深可達 10 公尺，坡面堆積平均約為 9 公尺。

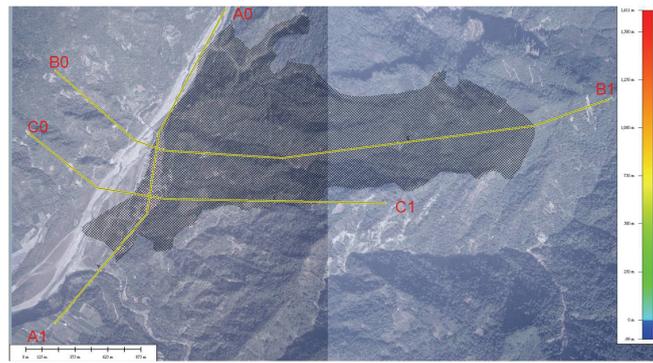


圖 10 小林村崩塌地形變遷分析剖面線分布

Fig.10 Cross-sections for analyzing topographic changes (Image from ASO)

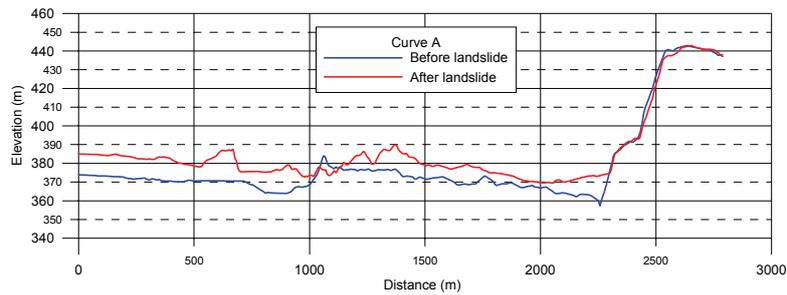


圖 11 剖面線 A0-A1 之高程變遷分布

Fig.11 The topographic change along A0-A1

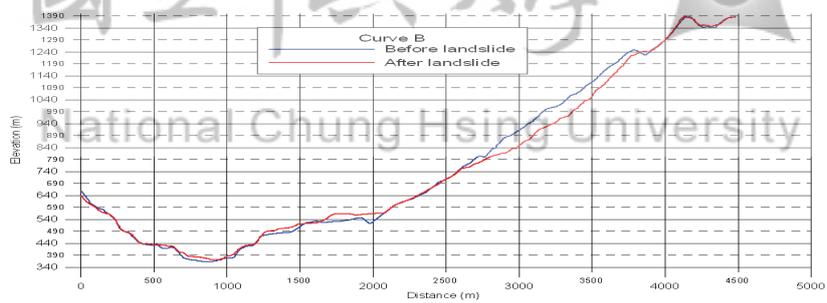


圖 12 剖面線 B0-B1 之高程變遷分布

Fig.12 The topographic change along B0-B1

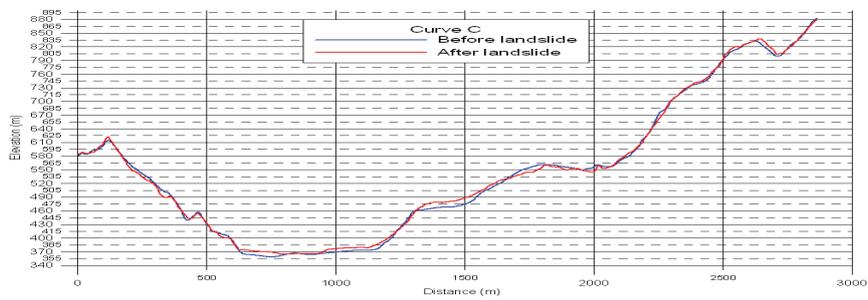


圖 13 剖面線 C0-C1 之高程變遷分布

Fig.13 The topographic change along C0-C1

### 四、災害時序與降雨及水文探討

根據莫拉克主要影響台灣降雨期間為 8 月 6 日至 8 月 10 日，主要降雨中心為南部山區，尤其阿里山站累積雨量為最高超過 3,000mm，而小林村鄰近之甲仙站雨量站整場累積雨量亦超過 2,100mm(圖 14)；為進一步回溯探討小林村崩塌災害事件歷程，本研究採用鄰近之甲仙雨量站與位於旗山溪之楠峰橋水位站與下游距離約 27 公里之杉林大橋站(圖 15)，探討莫拉克風災期間各階段災害情境以及降雨與水位的關係如圖 16 所示。

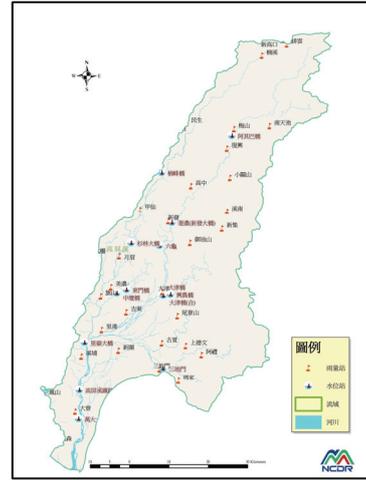


圖 15 高屏溪雨量與水位站分佈圖(資料取自水利署)  
**Fig.15 The rainfall and water level station distribution in Kaopin river (Data from WRA)**

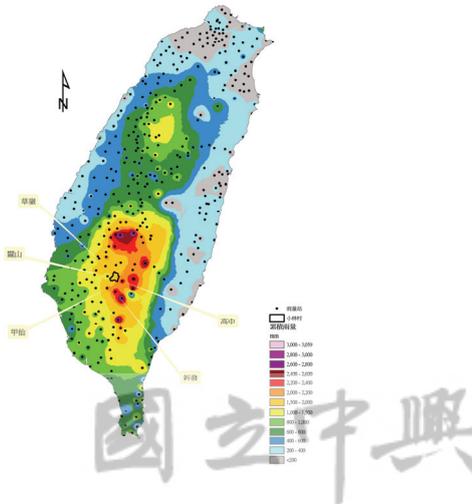


圖 14 莫拉克侵台期間累積降雨分佈(8月6日-8月10日)(資料取自中央氣象局)  
**Fig.14 Accumulated rainfall depth distribution during the typhoon Morakot (Data from CWB)**

圖 16 上半部之柱狀圖為莫拉克颱風期間甲仙站時雨量分佈、上半部點線圖為累積雨量，根據甲仙雨量站統計莫拉克颱風期間 8 月 6 日至 8 月 10 日之雨量分析得知，於 8 月 8 日上午 12 時開始至 8 月 8 日 23 時連續 12 小時瞬時雨量超過 40mm，其中最大瞬時降雨強度最高達 94mm/hr，3 小時降雨達 249mm，6 小時降雨達 430mm，12 小時降雨達 718mm，24 小時達 1,077mm，48 小時達 1,601mm，各階段的降雨強度與累積降雨均超越甲仙站於 1951 年設站以來 58 年之歷史紀錄並佔排名首位，如此大強度的降雨與累積雨量亦為造成如此大規模的崩塌災害發生原因之一。

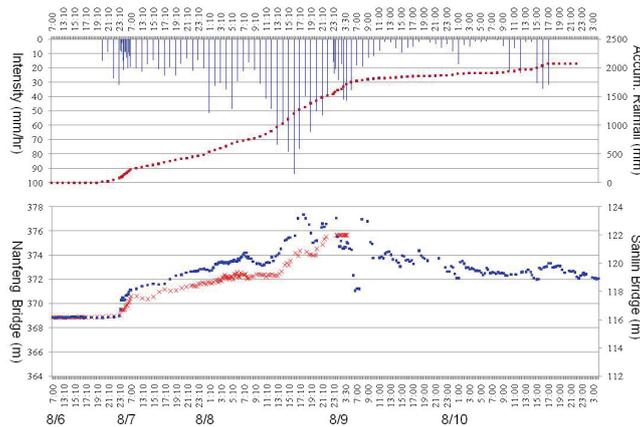


圖 16 莫拉克颱風侵台期間崩塌災害降雨歷線圖與水位變化(資料取自中央氣象局及水利署)  
**Fig.16 Combined records of rainfall and water levels for the landslide disaster (Data from CWB and WRA)**

圖 16 下半部為莫拉克颱風侵台期間旗山溪水位站之水位分佈圖，圖中紅色點線圖為位於小林崩塌上游處楠峰橋水位站水位資料，藍色點線為同一流域下游 27 公里外之杉林大橋水位站水位資料。由圖中得知約於 8 月 8 日 23 時楠峰橋水位達到 375.5m，並持續至 8 月 9 日 3:30 達到最高水位 375.7m，直到 6 時後水位資料停止。而下游之杉林大橋水位於 8 月 8 日 18:40 於連續強降雨後達最高水位 123.4m，另一洪峰則在 2:30 到達 123.2m，水位分別隨著降雨趨緩而下降，直至 7 時之 120.9m 於 20 分鐘 (7:20) 急速下降 1.8m 至 119.1m，並至 7:40 下降至 118.1m，直到 8:20 水位瞬間於 30 分鐘 (8:50) 上升 5m 至 123.1m，高水位延續超過 1 小時後開始下降，至 10:50 降至 120.4m。由此可推測小林崩塌阻斷旗山溪之時間約為 6 點前後，堰塞湖維持時間約 1 小時，並隨即潰決造成下游杉林大橋水位急速上升。

## 五、崩塌災害事件時序說明

小林村崩塌災害事件之影響與歷程由中央氣象局發布莫拉克颱風陸上警報開始，配合降雨強度、累積雨量、河川水位站、地表震動訊號以及各階段警戒等資訊進行說明，提供未來防災應變決策之參考。各階段之說明如下：

1. 8 月 6 日 8:30：中央氣象局發布陸上颱風警報，甲仙鄉於晚間 20 時開始下雨，楠峰橋水位於 23 時由 368.8m 開始上升，杉林大橋水位由 116.1m 開始上升。
2. 8 月 7 日 17:00：水土保持局依據中央氣象局預估甲仙鄉累積雨量超過土石流警戒基準值 500mm 發布土石流黃色警戒，此時實際累積雨量達 350mm。
3. 8 月 7 日 23:00：水土保持局依據實際累積雨量達 500mm，發布土石流紅色警戒。
4. 8 月 8 日 06:00：水利署依據 3 小時累積雨量達 67.5mm，最大時雨量達 48.5mm，發布甲仙鄉小林村淹水警戒；此時累積雨量超過 700mm，楠峰橋水位達 372.6m。
5. 8 月 8 日 15:30：小林聚落旁的小竹溪水暴漲，水勢竄出 21 線公路護欄；此時時雨量達 78.5mm，累積雨量達 1100mm，楠峰橋水位達 373.5m，並於 17:00 時雨量達最高 94mm。
6. 8 月 8 日 21:00：位於小林村南端接近角埔溪的 9 鄰台 21 線形成河流，村內開始積水；此時時雨量達 53mm，累積雨量達 1,485mm，此時超過 12 小時連續時雨量超過 40mm，楠峰橋水位達 374.8m，並於 23:30 水位達最高點 375.6m，下游杉林大橋水位達 123.2m，並於此時開始下降。
7. 8 月 9 日 3:30：小林村第 9 鄰屋內淹水高過腰部，影響聚落區民眾開始往高處撤離；此時時雨量達 42mm，累積雨量達 1,700mm，楠峰橋水位持續維持於 375.6m，下游杉林大橋水位由下降至 121.1m。
8. 8 月 9 日 5:30-6:30：小林村幸存居民聽到三聲巨響（一大、兩小），位於聚落後方之獻肚山崩塌，巨響後旗山溪乾枯只剩大石頭於河床，推測此時崩塌形成堰塞湖。
9. 8 月 9 日 6:17：根據中央氣象局寬頻地震網部分測站收得此事件波形紀錄，並經由震源掃描法 (SSA) 處理後，得知於 8 月 9 日上午 6:16:47.7 於北緯 23.1407、東經 120.6480 鄰近小林村處，深度 1 公里處測得最大能量釋放 (圖 17)。此時時雨量達 35mm，累積雨量達 1,752mm，楠峰橋水位持續維持於 375.6m，並於 6 時後楠峰橋水位站失聯，下游杉林大橋水位由下降至 120m；據居民所述堰塞湖僅維持短暫時間後即潰決。
10. 8 月 9 日 6:30-7:40：此時降雨量開始趨緩，時雨量約 18mm，累積雨量達 1770mm，下游杉林大橋水位由 6:40 之 121m 下降至 7:40 之 118.1m 達到最低。
11. 8 月 9 日 7:40-9:00：時雨量約 13mm，累積雨量達 1802mm，下游杉林大橋水位由 8:20 之 118.2m 開始上升至 8:50 之 123.1m 達到最高，瞬時於 30 分鐘內上升約 5 公尺，並於此期間造成位於楠峰橋下游約以及杉林大橋上游之甲仙攔河堰管理中心與鄰近四德橋遭山洪沖毀 (圖 18)。
12. 8 月 9 日 9:00-12:00：降雨持續減緩，時雨量約 8mm，累積雨量達 1,822mm，杉林大橋水位由 9:50 之 123m 開始下降至 10:20 之 121.5m，並 2 小時內持續下降至 120.4m。
13. 8 月 10 日 5:30：中央氣象局解除莫拉克颱風海上與陸上颱風警報。

由災害事件時序得知，有效之災前預警並疏散避難雖可減少災害之衝擊與人命傷亡，然對於大規模之崩塌以及崩塌土石阻河形成堰塞湖並潰決產生山洪暴

發之複合型災害的影響為未來防救災必須面對的新挑戰。

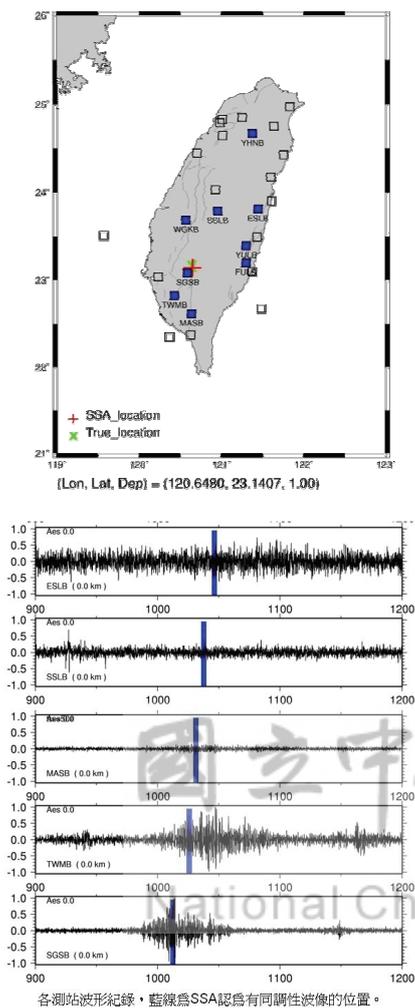


圖 17 寬頻地震網分佈與疑似小林崩塌引致之地表振動訊息（中央氣象局提供）

Fig.17 SSA data from Seismographs (Data from CWB)

## 六、結 語

莫拉克颱風於 8 月 9 日清晨因超大豪雨引致崩塌造成高雄縣甲仙鄉小林村 9-19 鄰超過 100 戶 400 人以上遭土石掩埋。由福衛二號衛星影像判釋得知，位於旗山溪左岸小林村崩塌之土石除淹沒臨近河岸之聚落並越過河道堆積於右岸山坡，推測崩塌可能形成堰塞湖阻斷河道並已潰決影響下游河道，造成原小林村 9-19 鄰房屋遭潰決洪水沖刷與土石掩埋。依照地形分

析小林村整體崩塌與堆積影響區約為 350 公頃，崩塌最深超過 80m，堆積區亦最高超過 80m，崩塌區土方量推估超過 2,500 萬立方公尺。超越 58 年歷史紀錄之強降雨觸發位於低階河階地與地質破碎的小林村嚴重崩塌災害，且小林村崩塌堰塞阻斷旗山溪至潰決短短 30 分鐘之山洪暴發引致之衝擊影響達下游 27 公里外，由此可知對於崩塌引致堰塞湖以及潰決所造成洪水之複合型災害為未來災害防救必須考量之重要課題。



圖 18 甲仙堰管理中心與四德橋遭洪水沖毀痕跡  
Fig.18 Flood destroyed Chihsien dam operation center(top) and Xider bridge (bottom)

## 參考文獻

1. Google earth website (2009), <http://earth.google.com.tw/>.
2. Google maps website (2009), <http://maps.google.com.tw/>.
3. 中央地質調查所(2009)，「五萬分之一地質圖」，經濟部。
4. 中央氣象局(2009)，「莫拉克颱風降雨統計」，交通部。
5. 中央氣象局(2009)，「寬頻地震網地表振動統計」，交通部。
6. 水利署(2009)，「河川水位資訊」，經濟部。

7. 甲仙鄉公所網站 (2009) ,  
<http://www.jiashian.gov.tw/>。
8. 林務局農林航空測量所(2009), 「航測像片基本圖」, 農業委員會。
9. 高雄縣自然史教育館網 (2009) , <http://dm.kyu.edu.tw/>。
10. 國土測繪中心(2009), 「數值地形圖」, 內政部。
11. 國家太空中心(2009), 「福衛二號衛星影像」, 國家實驗研究院。

---

2010年 1月 22日 收稿

2010年 3月 18日 修正

2010年 5月 1日 接受

(本文開放討論至 2010年 12月 31日)

