

地工技術

小林村災變之地質背景探討

李錫堤 董家鈞

中央大學應用地質研究所

林銘郎

台灣大學土木工程學系

摘 要

2009年莫拉克颱風帶來的超級雨量在高雄縣甲仙鄉小林村後方山坡誘發大型山崩，造成掩埋村落而致五百人失蹤的巨災。山崩發生於8月9日清晨6時許，從高出村落約五百至九百公尺的山坡開始發生崩塌，大量的崩滑土石快速向下流動，一部份土石翻越590高地而掩埋了村落，大部份土石繼續沿山溝向下流動，進入旗山溪主流而堵塞河道並形成堰塞湖。山崩發生一小時後，堰塞湖潰決，大水沖刷被土石掩埋的村落，留下目前的殘景。

此次巨災的癥結點有三：(1)地質構造上，滑動區北側地層層面與南側東西向節理暨小斷層共同形成一組向西傾斜且呈虛懸狀態的不利岩楔；(2)發生滑動的溪溝源頭儲積甚厚的老崩積層與新崩積物，有利於地表水的入滲，使新鮮頁岩上方的破碎頁岩與崩積物容易含水飽和；(3)滑動區坡高太高，衝擊能量太大，擴大了災害的程度。

關鍵字：山崩、災變式山崩、地質調查、小林村。

Geological Investigation on the Catastrophic Landslide in Siaolin Village, Southern Taiwan

Chyi-Tyi Lee Jia-Jyun Dong

Graduate Institute of Applied Geology, National Central University, Taiwan

Ming-Lang Lin

Department of Civil Engineering National Taiwan University, Taiwan

Abstract

The 2009 Typhoon Morakot brought a huge amount of rainfall in southern Taiwan and caused a catastrophic landslide which buried houses and about 5 hundred people in the Siaolin Village, Jiasian Township, Kaohsiung County. The landslide initiated from a slope about 500m to 900m above the riverbed on about 6 o'clock in the morning, 9th August. Huge amount of slid materials moved quickly downward and became a debris flow. A part of debris topped over the 590 highland, spread on the hillslope, and finally reached and destroyed the Siaolin Village. Most debris kept downward movement along the gully and reached the Chishan Creek, and blocked the main stream forming a dam-up-lake. About 1 hour later, the lake started breaking, the flood flushed out the buried village remaining the present view.

The cruxes of the problem for the catastrophic landslide may include the following 3 points. (1) Geologically, there are unfavorable wedge combinations formed by bedding planes at north side and joints or small fault at south side, and also the wedges were overhanging. (2) The source area of slide locates at a stream head and was covered by very thick colluvium of different ages. These loose materials provided good chance for water infiltration and caused the unstable wedge easily saturated. (3) The source area of slide is too high above the village; the potential energy transferred into dynamic energy and enlarged the impact of the landslide.

Key Words : Landslide, Catastrophic landslide, Geological Investigation, Siaolin village.

地工技術

一、前言

莫拉克(Morakot)颱風中心於2009年8月7日23時50分在花蓮市附近登陸台灣，於8月8日下午2時由桃園附近出海。颱風登陸前，降雨集中在台灣北部地區。由於颱風結構不對稱，登陸後降雨開始偏往中南部山區。颱風遠離後，引進西南氣流，持續在中南部山區降下豪大雨。中南部主要降雨集中在8月8日至9日的48小時內，期間最大累積雨量超過2,000公釐。超大降雨導致台灣自濁水溪以南的重要河川流域內，發生嚴重之洪水暨山崩與土石流災害，其中尤以高屏溪、曾文溪、八掌溪、濁水溪等流域之災情最為嚴重。

依據官方災後之統計，本次莫拉克颱風造成中南部及台東地區嚴重淹水、河海堤潰決、坡地崩塌、土石流、居民房舍掩埋、沖毀、道路中斷、橋梁損毀等災害，農林漁牧損失超過164億元以上，並造成619人死亡及76人失蹤與多人受傷，是台灣氣象史上傷亡最慘重的侵台颱風(國家災害防救科技中心, 2009)。在各地災情中，又以位於旗山溪流域之高雄縣甲仙鄉小林村發生大規模山崩，導致整個村落遭掩埋最為慘重，此案透過國內外媒體之大幅報導，可謂震驚中外。

由於本次小林村災害之規模與影響均為歷年罕見，對於地質背景與災因又眾說紛紜，作者等人分三次前往現場做地質調查，重新測製比例尺為五千分之一之地質圖，並搭配災後重測之5mx5m網格數值地形模型(digital terrain model, DTM)與彩色之航空照片，進行地質分析與災因探討，提出相關災害因應之省思。

二、小林村災變經過

依據相關媒體報導小林村獲救災民之說法及現場訪談結果，彙整小林村災害發生過程如下：

(1)8月8日傍晚6時許，對外橋樑(八號橋)開始積水。

(2)8日晚上8時31分，水保局土石流防災志工小林村民陳漢源及劉金瑛回報最後一筆簡訊

「雨量1100mm」，從此兩名防災志工失聯(陳樹群, 2009)。

(3)8日晚上9時，第9鄰旁的台21線，因為猛烈的雨勢，形成了一條河流，村內的房屋也開始積水(當時旗山溪水位是375.02公尺，尚不及路面，故淹水可能是由小溪溢流)。

(4)9日凌晨1時，位於村落下方的楠峰橋水文站失去記錄，最後一筆水位記錄是375.65公尺，較平常水位高出約7公尺。

(5)9日凌晨3時30分，大部份村落已遭洪水吞噬，屋內積水及腰，這時整晚沒睡的姚茂雄和友人，驚覺情況不妙，於是開始挨家挨戶叫人起床，準備往高處逃。

(6)9日凌晨5點多，第9鄰的居民差不多都已撤離房屋準備往山上移動。

(7)9日清晨6時許，9鄰居民撤離時發生一聲大兩聲小突如其來的轟然巨響，巨響過後小林村旁的旗山溪竟完全不見一滴水流下來，乾枯的只剩下大石頭(NOW news 2009/8/15, <http://www.nownews.com>)。當時村落後方(東側)獻肚山發生大規模之山崩，崩塌土石掩埋小林村9到18鄰住戶與房舍共一百多戶人家，並堵塞旗山溪(右名楠梓仙溪)河道形成堰塞湖。

(8)9日上午7點左右，堰塞湖開始溢流，隨即發生潰壩，大量洪水沖刷被掩埋之村落，形成目前之地形景象。

(9)9日8時40分左右，此一潰壩之洪峰到達下游甲仙地區，造成包括甲仙吊橋、甲仙便橋、甲仙攔河堰及沿岸堤防在內之相關設施毀損。

“逃難時，黃金寶聽到巨響，回頭一望，只見「一條白影」過去，聽見身旁的村民驚呼：「崩山啊！」整個小林社區剎那間就不見了，部分房屋碎片被打到楠梓仙溪對面，停在村裡的一部怪手被彈出幾十公尺遠。「整個村莊就在我眼前飛了起來。」黃金寶說那是一輩子都忘不了的畫面。”(自由時報記者曾鴻儒、林良哲、楊久瑩2009/8/15報導)。由此可見，崩山的能量之大；大部份的房舍在崩山的一瞬間大概已被打碎、飛起，並有一部份被拋到旗山溪對面(右岸)。

“被陸軍輕航隊直升機救出的一對夫婦回憶起9日土石流肆虐小林村慘狀仍心有餘悸，這對夫婦住在村尾，小兒子回家過父親節，一場大

豪雨，村莊前的野溪被土石嚴重阻塞，9日清晨6時10分左右突然傳出兩聲巨響，如同地震一般，他們一家三口立即跑出屋外，發現鄰居也跑向後面山上，此時莊頭已遭土石流淹沒，3人往山上民宅避難，因橋梁被沖斷，只好躲到竹林工寮內避雨。”(NOWnews, 2009/8/10)。這表示山崩主要是覆蓋了小林村10到18鄰，位在較下游的第9鄰並未直接受害。不過，堰塞湖潰決時，洪水還是將第9鄰房舍沖走了，僅留下山邊較高處的兩棟。

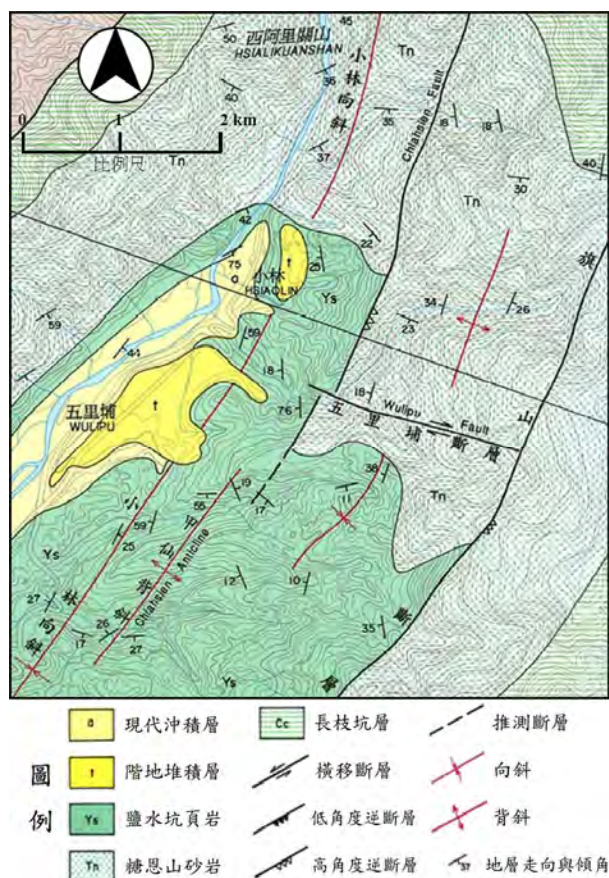
“一位住在比較下游位置的林先生向媒體表示...，清晨六點多，有人發現村旁快山崩了，要大家快逃命，聽到的人奪門而出，拚死往另一邊高處逃生。沒多久土石流傾洩而來，身後的村落立刻被掩埋”(中國時報, 2009/8/10)。”一名獲救的潘姓老婦人也透露同樣訊息...，9日清晨，整個村子發生像地震般的晃動，緊接著空中發出兩聲巨響，她就看到約3公尺高的土石流直衝過來，整片房子就被土石掩埋”(NOWnews, 2009/8/13)。”李文彥說，9日清晨6時，他隱約聽到一股「轟隆轟隆」的聲音，家中的狗一直不停狂吠，他警覺不對勁，帶著妻子與老鄰居就往山上衝，在山上往下看，他住家對岸的村落已被土石流夷為平地”(中央社, 2009/8/11)。小林村後方山坡滑動區最近距村落約1,800公尺，假設平均水平滑動速度是每秒50公尺，則從開始滑動到土石掩蓋村落約有36秒的預警時間。在這36秒內村民應該會感受到「像地震般的晃動」，而警覺到「快山崩了」。

三、一般地形與地質

小林村在行政區上隸屬高雄縣甲仙鄉，位於台21線里程約223公里處。村內聚落主要分布於旗山溪左岸之高灘地及低位河階上，與河床之高差約在5公尺至10公尺之間。聚落東側有一高位階地，可對比於小林村南側之五里埔高位階地。小林村東側山脈最高點位於大竹溪山，標高1,662公尺，西側旗山溪右岸山脈最高點標高為1,004公尺。小林村南側有角埔溪流過，村內分別有水保局公告之高雄A014及高雄A015土石流溪流，北側為一無名溪。

依據經濟部中央地質調查所出版之甲仙地質圖(圖一)顯示，小林村附近出露之地層為上新世鹽水坑頁岩及糖恩山砂岩，主要岩性分別為頁岩與砂岩或泥質砂岩。周邊之高位階地、低位階地及分布於河道上之現代沖積層，均以砂礫為主。

小林向斜是本區暨整個旗山流域自民族村以下最主要的地質構造，其褶皺軸以北北東-南南西走向通過小林村東側高位河階，並向南傾沒。向斜西翼之地層約呈東北-西南走向，地層傾角較大，約在50~60度；東翼地層走向多呈西北-東南走向，地層傾角較緩，約在20~30度之間，局部區域屬於順向坡(dip-slope)。因向斜軸往南傾沒，造成地層走向在軸部圈合處，逐漸轉為近東西走向。向斜軸東側約800~900公尺處有甲仙斷層通過，斷層走向亦呈北北東-南南西，係高角度向東南傾斜之逆斷層。再往東約2公里處另有旗山斷層通過，為台灣南部重要之逆斷層構造，並被歸為活斷層(林啟文等人, 2000)。



圖一 經濟部中央地質調查所出版之甲仙地質圖中的小林村及其鄰近地區地質圖(宋國城等人, 2000)

四、災後現地調查與結果

4.1 初步觀察

2009年8月20日災後道路搶通至五里埔後，作者首次到達現場遠眺，觀察崩塌地及其鄰近地區之地形與地質，以災前航照與5mx5mDTM進行初步之地形分析與地質剖面分析，並以災後之福衛二號正射影像進行山崩判釋與數化，提出初步看法(李錫堤, 2009a)。此次初勘確認了崩塌及堆積範圍共278公頃，高低差達900公尺，崩滑土石之動能可觀而會向下一路搜括山坡上的土壤與岩屑，擴大災情。

2009年9月9日再赴現場，對坡腳地形與崩積物做近距離之觀察與攝影，提出進一步之看法(李錫堤, 2009b)。此次勘查結果瞭解村落及後方山坡崩積物不多，且當時之旗山溪河床已刷深至相當於災前之高程(圖二)，而當時仍散布漂木之原村落位置亦僅高出河床約10公尺，故原村落之房舍在8月9日早上遭山崩掩埋後應隨即在堰塞湖潰決時沖刷殆盡。爾後若進行開挖，可能不易再找到被掩埋之房舍。

9月9日之勘查也在旗山溪河岸的崩積物中發現許多大塊的頁岩塊。當時認為這一些大頁岩塊可能是被崩滑體刮削自590高地的頁岩區；因為根據現有地質圖再往上全部是糖恩山砂岩的分布而不可能再有厚層頁岩。當時以旗山溪河岸的崩積物不多且崩積物中大砂岩塊不多，滑動區又無大崩崖，推論糖恩山砂岩應未被捲入滑動體而其滑動深度可能不深。

4.2 複查

2009年10月31日，作者等人連同朱傲祖、胡植慶暨相關之各校學生組團再赴小林村做調查。第一天全部時間在崩塌區做觀察、量測與記錄，第二天則移往角埔溪調查露頭與做地質填圖。

第一天除了初步完成山崩區的地質填圖外，主要的收穫包括：(1)無名溪下游段整個溪谷幾乎被崩積物堆滿。(2)山坡上一路往上都有頁岩塊的發現，尤其是在標高900公尺以上更全然是頁岩塊的分布，這暗示我們山上出露的主要是頁岩而非原地質圖中所繪的砂岩。(3)標高560公尺以上，山崩區的北半部開始有砂岩以順

向坡的型式出露；這應是糖恩山砂岩的頂部砂岩段，其上層則是鹽水坑頁岩(圖三)。(4)在山崩區的北坡，約標高600公尺處有寬約數公尺的斷層帶物質發現，可能是甲仙斷層的露頭。(5)在標高600公尺以上至標高800公尺，沿著山溝兩側的砂岩面上方多有新近的崩積物存留；此崩積物明顯地以粗顆粒在上而細顆粒在下的倒轉粒級層(reversely graded bedding)的現象呈現(圖四)，表示是顆粒流(granular flow)堆積物特徵。(6)在顆粒流堆積物下方的砂岩面上偶有新鮮的擦痕(striation)以15度的側傾角(rake)傾向下游(圖五)。(7)在崩塌區的山溝內一直維持著明顯的水流，可一直追蹤到約標高900公尺，水量幾乎保持定值，表示主要的出水點應在標高900公尺以上；標高900公尺以上的山坡多被頁岩塊覆蓋，未見地表水流。(8)崩塌區南側在標高850公尺至950公尺之間有一近東西向平直的大削壁出現，此大削壁應是一剪裂(shear)或小斷層(圖六)，可與層面共同構成一不利岩楔。大削壁當時仍有略具膠結的老崩積層黏貼(圖七)，暗示此地並非第一次崩塌而是老崩場地。(9)崩塌區的砂岩面上亦發現一組走向與小斷層走向相近的斜節理(diagonal joint)。(10)整體看來，標高800公尺以上是滑動區，標高570公尺至800公尺間是流通區，標高570公尺以下是堆積區。

第二天沿角埔溪往上游進行調查，除填圖外主要的收穫包括：(1)角埔溪下游段土石堆積深厚，兩岸偶有均質無顯著層理的頁岩出露，由層態分布可知小林向斜軸通過距旗山溪主流匯流口約五百公尺處。(2)角埔溪南支出口附近有一背斜構造發現，背斜軸部有泥質砂岩出露，可能可以歸屬糖恩山砂岩。(3)角埔溪北支出口附近有一小斷層發現，斷層走向N80°E，與崩塌區內的小斷層走向相近。

4.3 新地質圖繪製

山崩研究最基本的需求就是要有一份較大比例尺的地形圖與地質圖。本研究區目前可用的最大比例尺地形圖是五千分之一(西半)及一萬分之一(東半)；最大比例尺地質圖是五萬分之一。本研究採用災前5mx5mDTM產製五千分之一等高線圖做為地質調查的地形底圖，並套疊災後航空照片以利調查點的定位。



圖二 旗山溪中殘存的天然壩現況(2009.09.09)。圖中人站處是楠峰橋橋台的遺跡，以此當參考點可知當時之旗山溪河床已刷深至相當於災前之高程



圖五 堆積物下方的砂岩面上偶有新鮮的擦痕以側傾角15度向下游方向傾斜



圖三 由590高地東望崩塌區；下半是崩塌後形成的沖積扇，上半山溝左側是砂岩面構成的順向坡，山溝右側及崩塌區最上部是鹽水坑頁岩的分布



圖六 南側大削壁基本上是一剪裂或小斷層；上半壁是傾斜向西南的頁岩層，下半壁則是帶有滑痕的舊崩積層



圖四 砂岩上方的堆積物是以粗顆粒在上而細顆粒在下的倒轉粒級層呈現



圖七 大削壁上的舊崩積層極薄，局部僅數公分厚或直接露出削壁上的頁岩

本研究補充了崩塌區及角埔溪中下游的許多調查點資料，未及調查者沿用中央地質調查所(宋國城等人，2000)與中國石油公司(1989)的即有資料。依據這些資料做展圖並以剖面分析做確認，最後完成比例尺一萬分之一之初步地質圖，經再縮尺如圖八。

此地質圖與原有的地質圖在山崩滑動區附近有很大的不同，這是調查點多寡與比例尺大

小的差異而非對錯的問題。不過，此新地質圖目前仍是兩個野外工作天能掌握整體地質架構的初步成果，若欲達到更佳的地質圖精度，尚須十倍以上的工作天。

原地質圖上的甲仙斷層在新地質圖上暫不採用，因為剖面分析的結果顯示我們不須使用斷層來解釋此區地層的三維分布。縱然在野外調查時有疑似斷層帶的發現，經分析後我們更

相信該斷層帶可能是糖恩山砂岩與鹽水坑頁岩間的層面斷層 (bedding fault)。

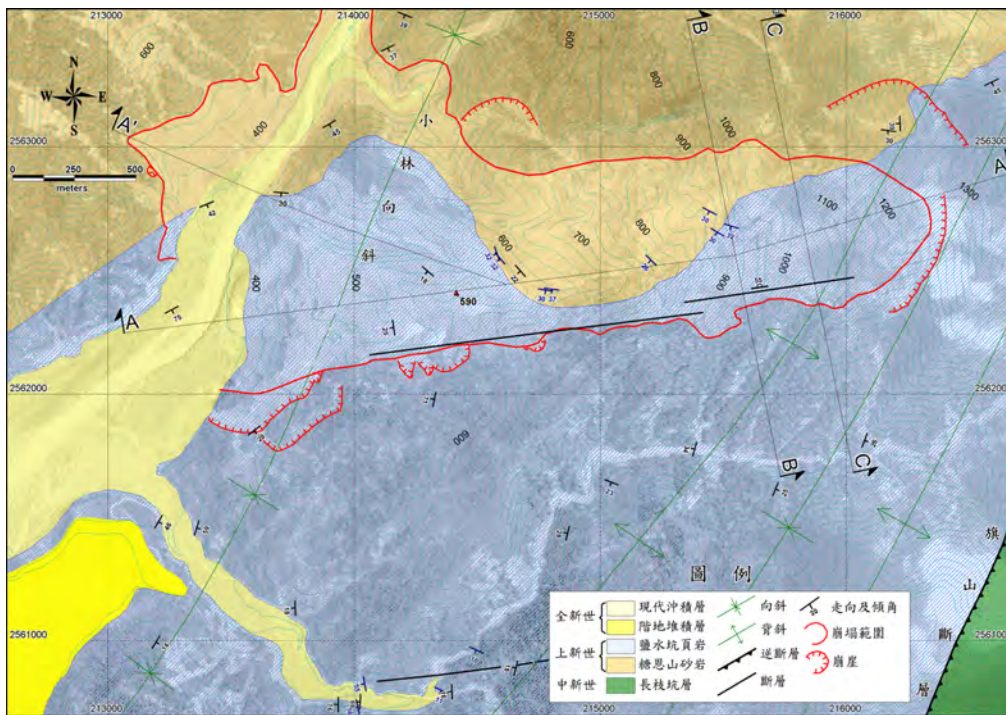
4.4 地質剖面分析

在地質圖製圖的過程中，地質剖面分析與平面上的展圖是交替進行的。代表性剖面包括：A-A、A'-A、B-B及C-C，位置如圖八所示。最後確認之地質剖面如圖九及圖十。此等剖面分析結果，我們確認了此次山崩的滑動區，甚至崩崖以上到標高1,445的山頭，均為鹽水坑頁岩的分布。

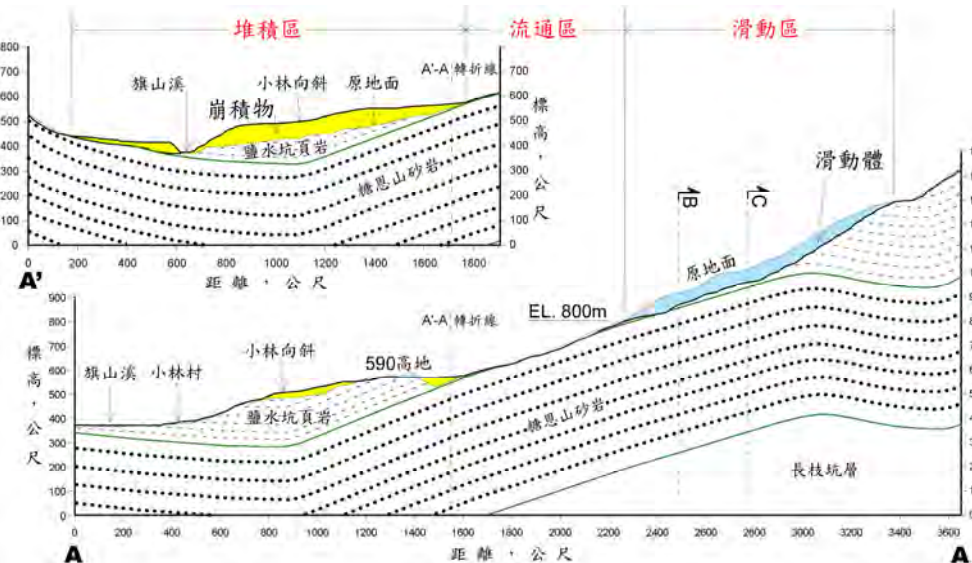
4.5 災後新測DTM的運用

在本文完稿前，我們及時取得由農林航空測量所測製的災後DTM。此DTM提供了本文驗證地質模型與解釋山崩的機會。將災後實測地形套疊在各個地質剖面上(見圖九及圖十)，吾人可以清楚地看出滑動區與堆積區的深度分布。此結果正如野外調查所知的：

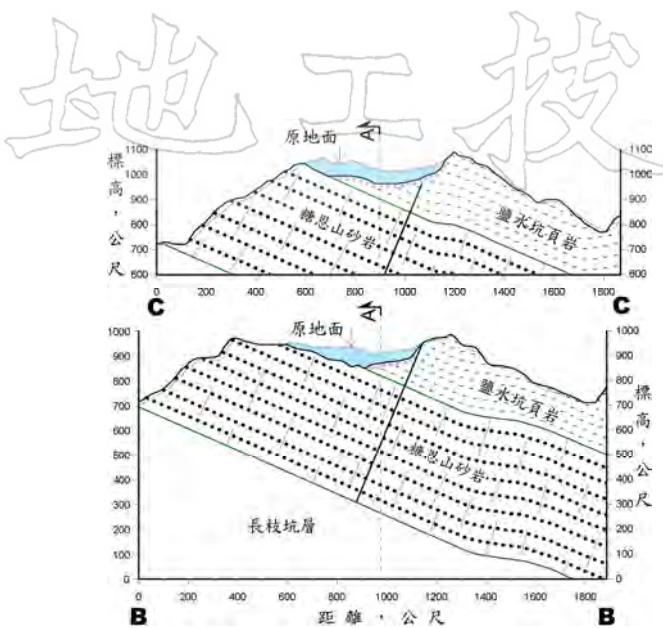
(1)滑動區是在標高約800公尺以上的無名溪山溝源頭，而在標高約570公尺至800公尺間



圖八 小林村新測地質圖



圖九 小林村地質剖面圖A-A與A'-A



圖十 小林村地質剖面圖 B-B & C-C

是此次山崩的流通區，標高570公尺以下之無名溪溪谷及旗山溪河床是主要的堆積區。

(2)標高約800公尺以上，順向坡上的頁岩岩體暨老崩積層呈砍腳的虛懸狀態，原本就十分危險。

(3)590高地有被刮削東側及頂部的情形，其頂部高度災後僅略逾標高570公尺。

(4)590高地以下的小林村後方山坡崩積物厚度甚微。

(5)小林村村落可能的山崩堆積物已被洪水沖刷殆盡，大致回復到災前的高度。

以農林航空測量所測製的災前與災後DTM相減後在各區積分結果可知：(1)此次主要滑動區面積約57公頃，滑動體積約2,387萬立方公尺，平均深度約40公尺。(2)在無名溪下半段及高雄A014土石流溪流上游堆積面積約36公頃，堆積體積約1,091萬立方公尺(鬆方)。(3)在旗山溪右岸堆積面積約22公頃，堆積體積約453萬立方公尺(鬆方)。若忽略590高地被刮削的量及在村落暨其後方山坡堆積的量，則可估計天然壩被沖走的體積約1,083萬立方公尺。整個原始天然壩的體積約1,536萬立方公尺(推論滑動體含過半原有崩積物，故鬆方以膨脹一成計)。

五、災變原因探討

本次莫拉克颱風在小林村附近的總降雨量超過1,800公釐(經濟部水利署，2009)，這是此

區有雨量紀錄的51年來(甲仙站)的最大降雨(重現期距>200年)。即使在2004年的敏督利颱風及2005年的海棠颱風總降雨量也僅分別為775公釐及1,193公釐，故此次小林村山崩應與莫拉克颱風帶來的超大降雨量有關；已穩定百年的山坡不堪此超大雨量的負荷，以致促發山崩。以下就地形、水文及地質等潛在因素分別做探討。

5.1 地質構造上的原因

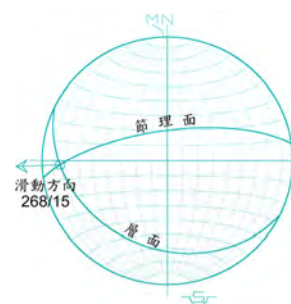
地質構造上，滑動區之地層層面呈西北西-東南東走向並向西南南傾斜約22~32度，有一組近東西向之較顯著節理，並有一組相似走向之剪裂或小斷層向北傾斜約55~75度。北側地層層面與南側東西向節理暨小斷層共同構成一組向西傾斜之不利岩楔。圖十顯示了崩塌體的三角形斷面與層面暨節理的關係。圖十一是在590高地上向東取景並拉近(zoom in)的一幅影像，顯示了南側(右邊)大削壁及北側(左邊)砂岩順向坡，河溝一帶則堆積著崩積物使崩塌谷的底部變得比較圓緩。

此岩楔在崩前已呈虛懸狀態，這很容易從剖面分析結果瞭解(見圖九)。地質弱面加上地形砍腳情況，使此楔形岩體/舊崩積層在崩前即已處於非常不利的狀態。

經選取代表性位態進行半球投影解析，獲得岩楔幾何如圖十二。兩組弱面的交線是方位



圖十一 南側大削壁與北側順向坡共同形成一不利岩楔



圖十二 岩楔幾何學之半球投影解析

角268度及傾沒角15度；也就是滑動方向指向西方並以15度之低角度滑動。此解析結果與現場的觀察與量測結果相近，而可以互相驗證。

5.2 水文地質上的原因

每一條溪流的最上游通常會有一個沒有溝槽的源頭區。在源頭區，因集水面積小而使降雨不足以形成集中的地表逕流來切蝕溝谷，也不容易將地表堆積物帶走，因此容易儲集崩積物(slope wash or colluvium)。源頭區堆累崩積物後，地表水更容易入滲，漫地流(overland flow)隨之減少，使崩積物更不容易被帶走而越積越厚，直到有一天崩積層終於滑走，而再開始另一個新的循環。

小林村無名溪的源頭介於標高900公尺至標高1,300公尺之間，正是此次崩塌的滑動區。由實地所見，崩前已累積相當大量的鬆散崩積物，降雨非常容易入滲。加以滑動區崩積物下伏岩盤主要是較不透水的頁岩，降雨時地下水位很容易升高，形成山崩之極不利條件。現勘當日已屬乾季而多日未雨的情況下，無名溪溪溝中仍有大量的地下水自崩積層中流出，可見此次山崩原因不止前述而必須考慮溪溝源頭另有出水管道，加重此區水文地質上的不利情況。

小林村後方的小林林道在標高800公尺至900公尺間橫越此次山崩的滑動區，且延伸到滑動區的東北側及更上方，一直到標高1,662公尺的大竹溪山稜線一帶。從荖濃溪右岸上來的高中林道也開闢至大竹溪山與之相接。近三十餘年來的林道及產業道路開闢，引入了大面積的土地開墾與農作物種植。此大面積的裸露地正是降雨進入地下水水體的入滲區。大量的雨水進入地下後，使地下水位升高並找自然管道流出。小林村無名溪的源頭可能就是其中的一處地下水流出管道(可能是順著東西向節理或小斷層滲出)。

5.3 地形上的加成作用

小林村大山崩的量體遠小於1999年草嶺大山崩的一億三千萬立方公尺及九份二山大山崩的七千萬立方公尺。然而，小林村大山崩的坡高900公尺卻略大於草嶺大崩山的700公尺及九份二山大崩山的340公尺。滑動區坡高太高，加以含水量過大而使滑動後形成顆粒流，加快移動之速度並擴大滑動體之規模，及至於坡腳終於演變成一發不可收拾的大災難。堰塞湖的潰決更加重了整體的災害程度。

六、結語

小林村山崩事件以地形與地質上的不利因素為潛在原因，以超大降雨為誘發山崩之外因，而大竹溪山稜線附近的大面積開發則可能是降雨入滲促成山崩之遠因。本文初步釐清地質背景與災因，或可提供坡地防災因應之參考。

台灣山區地形陡峭，自然風化、侵蝕與堆積速率快，加以不時地震搖晃而鬆動土石，因此山坡上遍布鬆散的崩積物，一經外力，隨時都有坍塌的可能。因此，及時進行山崩潛勢分析並劃設地質敏感區是正確的防災策略之一。此次小林村災變的教訓，提醒我們目前應該特別著重下列兩項調查重點及一項水土保持觀念：

(1) 加強順向坡坡腳穩定調查，並圈劃危險順向坡；

(2) 普查各個聚落後方山坡的穩定性，尤其著重聚落後方是否有「高長坡」之潛藏危機；

(3) 高地及稜線附近的緩坡地是山體地下水的主要入滲區，故必須加強保育，以免加重高地周圍山坡的地下水輸出負擔而致災。

本文僅屬初步調查的性質。建議未來仍應作進一步深入之調查，釐清此次事件發生之成因與破壞機制，並研擬可行之因應防治對策。長遠的區域性山崩災害分析方法亦可以此為鑑，尋求改進之道。

致 謝

本研究獲經濟部中央地質調查所計畫之部份支助，並獲得地調所環境與工程地質組同仁在研究工作上及資料使用上的許多協助，災後DTM是由農委會林務局農林航空測量所提供，在此一併申謝。

參考文獻

- 中國石油公司(1989)，十萬分之一台灣地質圖，台南幅，中國石油股份有限公司台灣油礦探勘總處編印。
- 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。
- 李錫堤(2009a)，8月31日財團法人地工技術研究發展基金會網站線上論壇：「部落安置與重建自然條件的考量」。
- 李錫堤(2009b)，水利署「八八水災小林村致災原因探討專家學者現場履勘紀錄」，專家學者意見一(一)~ 一(四)。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正(2000)，台灣活動斷層概論—五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書，第二版。經濟部中央地質調查所特刊，第十三號，共122頁。
- 國家災害防救科技中心(2009)，莫拉克颱風災害概述，地工技術，第121期，第15-24頁。
- 陳樹群 (2009)，8月18日聯合報投書「小林崩塌元凶是誰」。
- 經濟部水利署 (2009)，莫拉克颱風水文分析報告，共25頁。

註：本專輯純屬學術論述，不代表本會立場