

# 莫拉克颱風降雨與崩塌分佈特性探討

陳聯光<sup>1</sup> 林聖琪<sup>1</sup> 林又青<sup>1</sup> 王俞婷<sup>1</sup> 林祺岳<sup>2</sup> 陳如琳<sup>2</sup>

1.國家災害防救科技中心坡地災害防治組 2.台北教育大學社會與區域發展學系

## 摘 要

莫拉克颱風於8月6日至8月10日長延時之強降雨引致中南部及東部地區大範圍的崩塌、土石流、堰塞湖、河床淤積、道路中斷與漂流木淤塞等複合型災害，而大部份土石災害與中上游崩塌土砂運移習習相關。根據調查莫拉克颱風災後的新增崩塌地面積達369平方公里，對於崩塌地與降雨之分佈及地文特性為目前坡地崩塌潛勢評估之重要指標。本文以莫拉克颱風災後之崩塌地所在區位與原地形高程、坡度以及累積降雨分佈進行分析結果顯示，崩塌地50%分佈於原地形高程600公尺到1600公尺，坡度則主要分佈於30°到40°之間約佔所有崩塌之35%，崩塌地與累積降雨量分佈則明顯呈現於400mm之中高海拔以上山區，以及900mm的低海拔以上山區，由此可根據崩塌面積與累積降雨量推估崩塌規模，此分析結果將可提供未來坡地崩塌災害潛勢與災害規模評估參考應用。

關鍵字：莫拉克颱風、降雨、崩塌、坡度

## 一、前言

降雨為引致山坡地崩塌的主要觸發因子之一，因此面對山坡地地質敏感區由降雨量評估崩塌之潛勢高低，為現階段崩塌預警的重要指標。Oberste-lehn(1976)於北美加州San Benito地區推估累積降雨量大於250mm時即將造成坡地之不穩定；Bhandari等人(1991)發現於斯里蘭卡地區，以三天累積降雨量大於200mm為預測崩塌之指標；Corominas和Moya(1999)則以西班牙庇里牛斯山的崩塌事件發現，崩塌發生於當24小時到48小時累積雨量於300mm時；由此可知可能觸發崩塌之累積雨量於200mm，而此一雨量值是否可應用於台灣之坡地災害預警，為現階段坡地防災之重要課題。現階段國內對於山坡地災害之預警以土石流災害為重點，依不同地區條件與過去受災情況，由24小時累積雨量200mm-600mm訂定為土石流警戒基準值，做為防災疏散避難之參考指標。然對於引致崩塌之警戒雨量目前仍不易研訂出一共同之指標。因此本研究擬由莫拉克颱風降雨所引致之崩塌地分佈進行探討，期由崩塌地與地形坡度、高程及累積雨量等分佈特性之探討，以作為未來降雨觸發崩塌警戒預警之參考。

## 二、崩塌地地文分析

根據中央地質調查所97年9月辛樂克颱風後與98年8月莫拉克颱風後的福衛二號影像判釋結果顯示(圖1)，莫拉克颱風降雨所引致的崩塌裸露地面積，約由97年辛樂克颱風後的194平方公里增加至563平方公里，增加約369平方公里，加上自然復育變遷之處，因莫拉克颱風所引致之崩塌裸露地面積則為435平方公里。由此可知莫拉克颱風降雨所引致之崩塌裸露地規模已超越921地震所引致之崩塌範圍，其崩塌鬆散土砂未來如遇豪雨沖蝕將可能引致的二次災害，對於鄰近的居民、道路以及中下游之河道衝擊不容忽視。

為進一步瞭解崩塌地之地文特性，本研究由崩塌地之原始高程與坡度分佈進行探討。崩塌地原始高程分析之方法為，由全台數值高程(圖2)與莫拉克颱風所引致之崩塌裸露地套疊於分析得知(圖3)，崩塌地75%分佈於2000公尺至200公尺間，尤其是600公尺至1600公尺間約佔全部崩塌地之50%，此區間亦為一般山坡地開發與聚落之所在，因此莫拉克颱風降雨所造成之崩塌造成山地聚落重大災害的主要區域。而崩塌率則以高程大於3200公尺至4000公尺間均大於10%為主要區域，尤其是3800公尺-4000公尺區間之崩塌裸露比率超過40%。

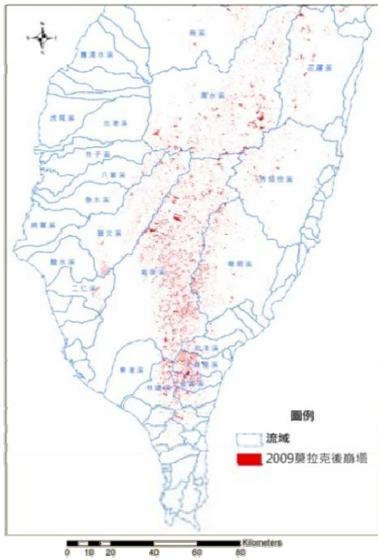


圖1 2009年莫拉克颱風後(右)崩塌地分佈

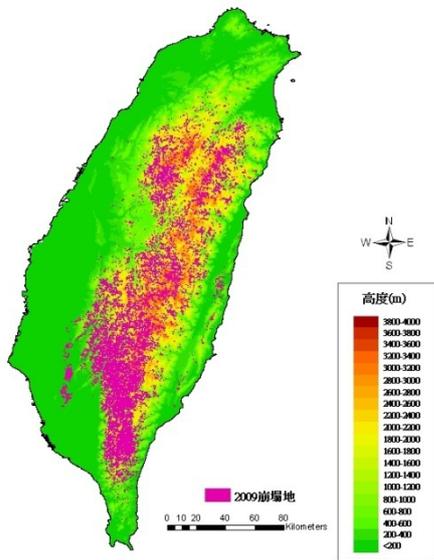


圖2 莫拉克崩塌地高程分佈圖

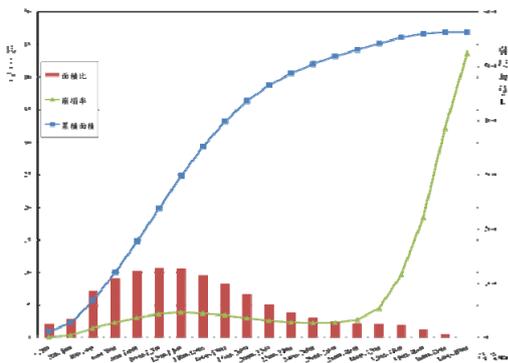


圖3 莫拉克崩塌地與地形高程分佈

度更高達35%；且20-30度間亦佔16%，通常此區間之山坡地即為山坡地可利用限度分類及保育處理分級的標準中利用開發使用之極限。而山坡地各分級坡度之面積不同，因此將各分級坡度區位之崩塌地面積除以各分級坡度區位之總面積，所得之各分級坡度崩塌率結果如圖6顯示，崩塌率隨著坡度之升高至80度而增加並呈現正相關，且當達70-80度區間之山坡地崩塌率最高可達5.2%。由以上崩塌地地文分析得知，尤其位於開發臨界區域山坡地高程600公尺-1600公尺區間及坡度20度-50度間，為本次莫拉克颱風降雨觸發崩塌之高敏區域。因此若於此坡度區域開發之山坡地，乃為崩塌之高潛勢區域，應避免任意開發造成各種坡地災害並加強水土保持措施之進行。

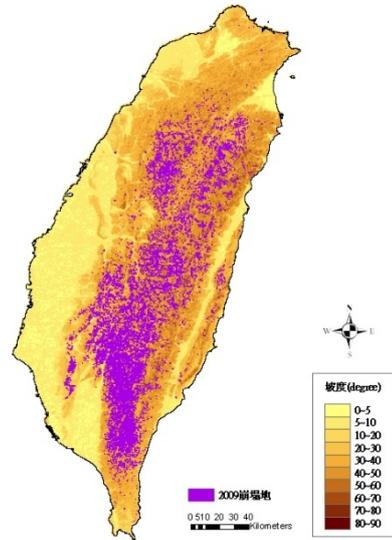


圖4 莫拉克崩塌地與坡度分佈圖

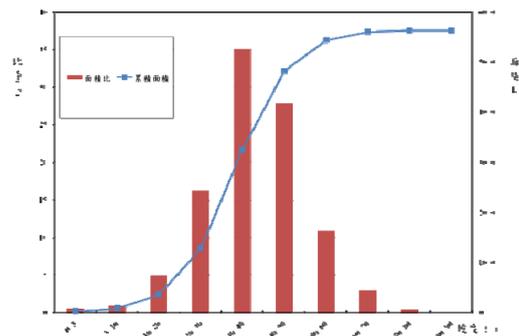


圖5 莫拉克崩塌地與坡度分佈圖

接著崩塌地原始坡度分析之方法為，由上述崩塌地分佈區間之高程區域再配合地形坡度分佈(圖4)進行套疊分析得知(圖5)，崩塌地主要分佈於坡度50度以下，20-50度間約佔全部崩塌地之80%，尤其是30-40

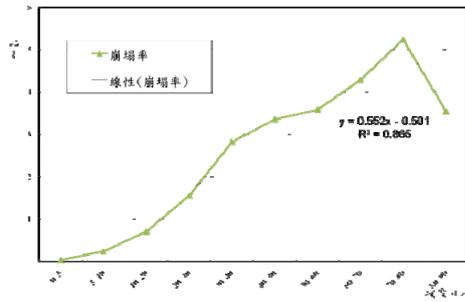


圖6 不同坡度分級崩塌率分佈

### 三、莫拉克颱風降雨與崩塌分佈

為瞭解崩塌與累積降雨量之關係，以作為評估災害規模之指標，本研究分析方法為利用中央氣象局莫拉克颱風期間(8月5日-8月10日)之累積雨量(圖7)，每100mm進行區域劃分，套疊莫拉克颱風災後之崩塌地，採用每100mm累積降雨量範圍內之崩塌面積佔總崩塌面積之比例與累積崩塌面積進行統計分析(圖8)，分析結果顯示，80%的崩塌地分佈於累積雨量800mm以上，50%的崩塌地分佈於1200mm以上；於累積雨量400mm-500mm範圍內，崩塌面積佔所有崩塌地比例達4.5%，且當累積雨量達500mm之山坡地範圍內，累積崩塌面積約50km<sup>2</sup>；當累積雨量達1000mm之山坡地範圍內，累積崩塌面積約124km<sup>2</sup>；當累積雨量達1500mm之山坡地範圍內，累積崩塌面積約238km<sup>2</sup>；當累積雨量達2000mm之山坡地範圍內，累積崩塌面積約342km<sup>2</sup>；當累積雨量達2500mm之山坡地範圍內，累積崩塌面積約428km<sup>2</sup>；且當累積雨量超過1000mm至2200mm範圍內，各降雨區域內之崩塌面積佔所有崩塌面積比例均超過4%，其中累積雨量900mm-1200mm之山坡地區域範圍內所佔之崩塌面積比例更接近19.5%；另由各累積降雨區域之崩塌率分佈亦顯示當累積降雨超過400mm及900mm時，崩塌率均呈現上升趨勢，尤其是在超過1100mm-1200mm時，崩塌率接近3.6%，且隨著累積雨量之增加，崩塌率亦呈現正相關之成長，當累積雨量達2100-2200mm時，崩塌率到達最高約6.6%。由此可初步推論當累積雨量超過400mm與900mm時，分別為兩波降雨觸發崩塌之重要臨界點。

進一步探討累積雨量與崩塌規模之關係如圖9所示。莫拉克颱風累積降雨分佈與崩塌面積進行多項式迴歸分析結果如式1所示：

$$LA = -0.036r^3 + 1.508r^2 + 1.506r, R^2 = 0.997 \text{ (式1)}$$

式中LA為崩塌地總面積、r為累積雨量，經分析結果R平方值達0.997，由此初步分析結果方程式，將可做為未來推估降雨量與崩塌面積與災害規模評估指標

之參考。另外由每500mm各雨量區間與每筆崩塌地規模之分析結果顯示(圖10)，不同降雨區域均可能引致超過10公頃之大範圍崩塌，主要為坡面崩塌因降雨觸發後，其崩塌規模大小主要為地文相關因子所控制，因此累積降雨量與每筆崩塌地之規模並無明顯特性。

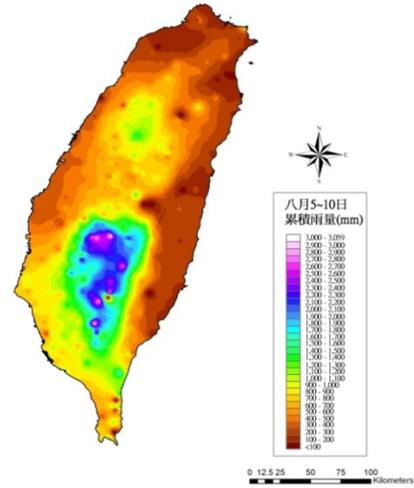


圖7 莫拉克颱風全台累積降雨分佈

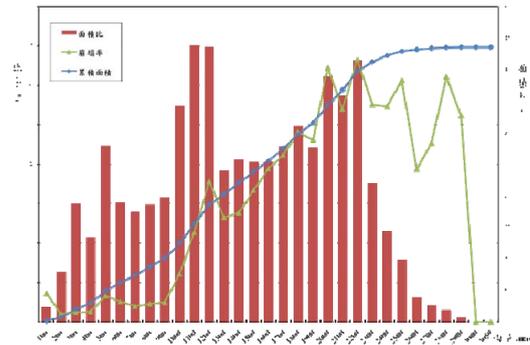


圖8 莫拉克颱風累積降雨與崩塌分佈

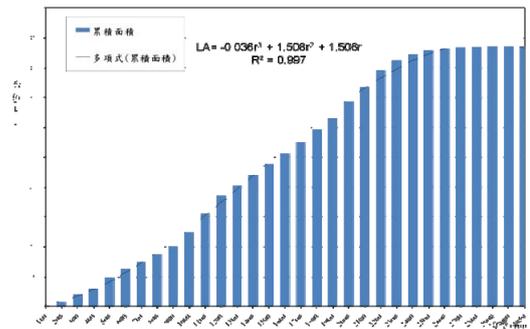


圖9 崩塌面積與累積雨量分佈

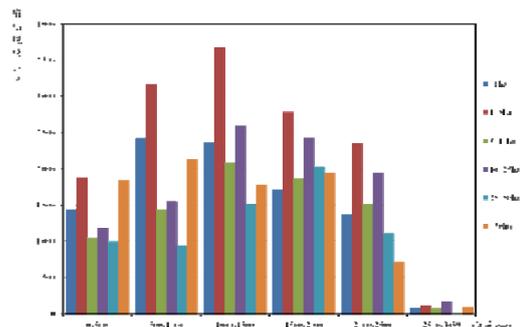


圖10 崩塌規模與累積雨量分佈

結合前一章之崩塌地地文分佈特性與莫拉克颱風累積雨量進行套疊分析，其結果分佈如圖11所示，降雨引致之崩塌主要可以區分成二個顯著區域，一為於累積雨量達300mm-500mm時，即可觸發一波崩塌發生於1200公尺以上的山區，尤其是超過3000公尺之高山區域，於降雨區間之崩塌率可超過40%；另一較明顯區域則為當累積雨量超過900mm時，則將觸發另一波崩塌發生於300公尺以上的山區，尤其是600公尺-2000公尺區間，崩塌率將隨著累積雨量之增加而顯著提昇，於中海拔約1400公尺區域當累積降雨量達1200mm時，或低海拔約800公尺區域當累積降雨量達2800mm時，於降雨區間之崩塌率最高均可超過10%，其影響衝擊不容輕忽。

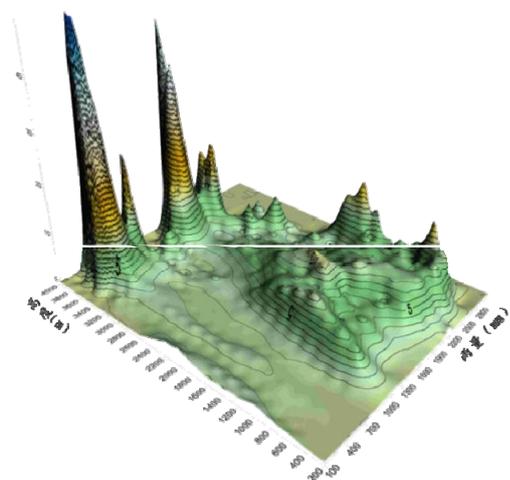


圖11 莫拉克颱風降雨與高程及崩塌率分佈

每年汛期5月至11月之颱風降雨最高可佔台灣年降雨量之8成以上，颱風降雨亦為造成台灣山坡地土砂災害的主要來源，根據近十年侵台之重大颱風事件(表2)，如2000年的碧利斯颱風與象神颱風、2001年的桃芝颱風與納莉颱風、2004年的敏督利颱風及引致的72水災與艾利颱風、2005年海棠颱風與泰利颱風及龍王颱風、2007年聖帕颱風與柯羅莎颱風、2008年卡玫基颱風與辛樂克颱風及薔蜜颱風以及2009年的莫拉克颱風，均造成重大坡地災害以及農業損失或人員死亡失蹤事件；根據統計顯示近十年來颱風侵台平均數為4.3個颱風，受颱風影響死亡或失蹤每年平均達143.2人，農業災害(包含農作物、畜產、漁產、林產、農田、漁業設施、林業設備、水土保持及農田水利設施)估計損失金額推估每年平均達109.89億(游繁結, 陳聯光,2010)。

另由國家災害防救科技中心統計2000年後歷年颱風降雨佔全年降雨之比例與當年颱風引致坡地災害發生件數之初步可知(圖12)，尤其是莫拉克颱風於中南部及東部山區累積降雨量，更是佔該站雨量站全年雨量70%以上，並造成大規模與大範圍的坡地土砂災害。由此歷史颱風降雨可知，當颱風所挾帶強降雨與長延時累積降雨佔全年總降雨量比例大於30%且集中於山區時，將有可能引致大範圍坡地災害超過500處。另從2000年至2004年五年颱風降雨佔全年的降雨比率平均值為30.1%，2005年至2009年之五年颱風降雨佔全年的降雨比率平均值為35.1，前後五年增加約5%，坡地災害筆數亦隨之增加，顯示近年來颱風降雨隨環境變遷對於台灣坡地災害之衝擊亦隨之增加，其變化之趨勢則需更進一步的探討。面對氣候與環境變遷對於山坡地之衝擊，應強化災害高敏感區之國土開發使用限制管理與加強民眾水土資源之保育及提昇防災意識等工程與非工程多面向之防護策略，以降低災害對民眾生命財產的威脅。

#### 四、颱風降雨引致坡地災害衝擊

表 2 2000-2009 年重大颱風農業災害估計損失

年度	發警報颱風	侵台/警報	死亡或失蹤	農業災害損失(億)
2000	啟德、碧利斯、巴比倫、寶發、雅吉、象神、貝碧佳	5/7	110	120.6
2001	西馬隆、奇比、尤特、潭美、玉兔、桃芝、納莉、利奇馬、海燕	7/9	354	145.8
2002	雷馬遜、娜克莉、辛樂克	2/3	6	1.6
2003	柯吉拉、南卡、蘇迪勒、尹布都、莫拉克、梵高、柯羅旺、杜鵑、米勒	3/9	7	31.3
2004	康森、敏督利、康柏斯、蘭寧、艾利、海馬、米雷、納坦、南瑪都	5/9	90	112.2
2005	海棠、馬莎、珊瑚、泰利、卡努、丹瑞、龍王	4/7	23	158.5

2006	珍珠、艾維尼、碧利斯、凱米、桑美、寶發、珊珊	4/7	3	16.6
2007	帕布、梧提、聖帕、韋帕、柯羅莎、米塔	5/6	15	137.8
2008	卡玫基、鳳凰、如麗、辛樂克、哈格比、薔蜜	4/6	54	179.5
2009	蓮花、莫拉菲、莫拉克、芭瑪	4/4	770	195
總計		43/67	1432	1098.9
年平均		4.3/6.7	143.2	109.89

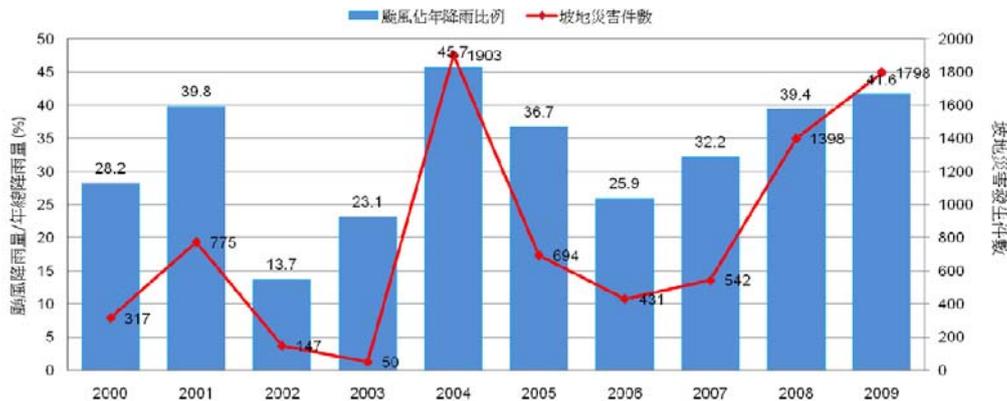


圖12 歷年颱風降雨佔全年總降雨比率與坡地災害發生件數分佈

## 五、結語

本研究由莫拉克颱風降雨所引致之崩塌地進行地文與累積雨量分析探討，重要結果如下：

1. 崩塌地75%分於於2000公尺至200公尺間，尤其是600公尺至1600公尺間約佔全部崩塌地之50%，坡度介於20-50度間約佔全部崩塌地之80%，尤其是30-40度更高達35%，此區間亦為一般山坡地開發與聚落之所在。
2. 累積雨量超過400mm與900mm時，分別為兩波降雨觸發崩塌之重要臨界點。當坡面崩塌因降雨觸發後，其每筆崩塌規模與累積降雨量並無明顯特性。
3. 降雨引致之崩塌主要可以區分成二個顯著區域，一為於累積雨量達300mm-500mm時，即可觸發一波崩塌發生於1200公尺以上的山區；另一較明顯區域則為當累積雨量超過900mm時，則將觸發另一波崩塌發生於300公尺以上的山區，尤其是600公尺-2000公尺區間，崩塌率將隨著累積雨量之增加而顯著提昇。
4. 統計結果顯示當颱風所挾帶強降雨與長延時累積降雨佔全年總降雨量比例大於30%

且集中於山區時，將有可能引致大範圍坡地災害。

## 六、參考文獻

1. Corominas J, Moya J (1999) Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenes, Spain. *Geomorphology* 30: 79-93.
2. Bhandari RK, Senanayake KS, Thayalan N (1991) Pitfalls in the prediction on landslide through rainfall data. In: *Landslides* (Bell DH, ed). Rotterdam: A.A. Balkema, 2: 887-890.
3. Oberste-lehn D (1976) Slope stability of the Lomerias Muertas area, San Benito County, California. PhD, Stanford University, California.
4. 中央氣象局網站, <http://www.cwb.gov.tw/>.
5. 國家災害防救科技中心, 2009, 莫拉克颱風災情普查成果報告。
6. 游繁結、陳聯光, 2010, 八八水災坡地災害探討, *土木水利*, 第37卷, 第1期, 第32-40頁。