
高屏溪流域研究區坡地崩塌與致災降雨關聯性分析
Correlation Analysis of Disastrous Rainfall and Landslides of
Kaoping River Basin Study Area

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系

執行期間： 105 年 04 月 01 日至 105 年 12 月 31 日

計畫主持人：林美聆 教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 105 年 12 月 23 日

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

高屏溪流域研究區坡地崩塌與致災降雨關聯性分析

摘要

臺灣地區由於山坡地受颱風豪雨之侵襲，往往因強降雨引發嚴重的坡地災害，其後續可能引發流域內土石流動及土石遷移，而對地形演化造成影響，使得流域內受到崩塌及土石下移而誘發土石流災害。

本研究針對高屏溪流域那瑪夏研究區範圍內崩塌災害前後光達、航照與衛星資料，對流域坡地災害與其引致之土砂遷移進行圈繪及調查。收集辛樂克颱風及莫拉克颱風災害事件之降雨量資料進行熱點分析，並建立崩塌發生區位及破壞型態、破壞位置與深度、分析其與致災降雨之關聯性。

由研究結果可得知，不同降雨事件的最大降雨強度與淺層崩塌有最顯著的相關性，並可作為預警之參考。同一集水區的淺層崩塌量體，如完全崩落至河道將不可小覷其後續可能發生的土石流災害。而本研究各項崩塌與致災降雨之關聯分析成果可提供未來之崩塌預警及土石運移情形對於復建策略、減災管理之重要參據。

關鍵詞：崩塌區位、致災降雨、熱點分析、關聯分析、土砂運移

Correlation Analysis of Disastrous Rainfall and Landslides of Kaoping River Basin Study Area

ABSTRACT

High intensity and large accumulation rainfall often causes slope hazards in mountain area of Taiwan, which subsequently affect debris migration and terrain evolution in stream basins.

In this study the LiDAR data, aerial photos and SPOT5,6 satellite images before and after typhoon events were used to identify the landslides in the Namashia study area of Kaoping River basin. The rainfall data of Typhoons Sinlak and Morakot were collected and hot spot analysis was conducted to establish the correlation of landslides location and failure type versus the hot spot results of rainfall. The location and failure depth of the landslides were also studied.

From the analysis results, the maximum rainfall intensity appeared to have the most significant correlation with landslide distributions in the two rainfall events. The amount of debris associated with landslides is huge, and its transportation in basin may lead to debris flow and severe hazard. The resulting correlation between landslides and rainfall in this study provides references for early warning, debris migration and terrain evolution for hazard mitigation and rehabilitation policy.

Keywords: landslides location, disastrous rainfall events, hot spot analysis, correlation analysis, debris migration

目次

摘要	I
ABSTRACT	II
目次	III
表次	IX
第一章 前言	1-1
第二章 研究區域及降雨事件	2-1
第一節 研究區域	2-1
第二節 研究區歷史災情	2-3
第三節 致災降雨事件	2-6
第三章 研究區域崩塌判釋與特性分析	3-1
第一節 影像圖資說明	3-1
第二節 崩塌判釋	3-3
第三節 地形因子建立方法	3-9
第四節 崩塌特性分析	3-10
第四章 雨量熱點分析	4-1
第一節 雨量站分佈及雨量資料統計	4-1
第二節 雨量資料分析	4-6
第五章 崩塌土砂量體評估	5-1
第一節 不同崩塌破壞機制及力學模式分析	5-1
第二節 崩塌量體分析	5-2
第六章 結論與建議	6-1
第一節 結論	6-1
第二節 建議	6-2
參考文獻	參-1

附錄	附錄-1
附錄一、期中審查會議紀錄暨回復辦理情形.....	附錄-1
附錄二、期末審查會議紀錄暨回復辦理情形.....	附錄-4

圖次

圖 1-1 本研究計畫之研究項目流程	1-3
圖 2-1 研究區域位置圖.....	2-2
圖 2-2 研究區域地形圖.....	2-2
圖 2-3 研究區域地質圖.....	2-3
圖 2-4 南沙魯里土石流災情速報（水土保持局，2009）	2-4
圖 2-5 南沙魯里崩塌災情速報（水土保持局，2009）	2-5
圖 2-6 辛樂克颱風行徑路線圖(中央氣象局 2008).....	2-7
圖 2-7 辛樂克颱風累積雨量圖(中央氣象局 2008).....	2-7
圖 2-8 莫拉克颱風行徑路線圖(中央氣象局 2009).....	2-8
圖 2-9 莫拉克颱風累積雨量圖(中央氣象局 2009).....	2-8
圖 3-1 研究區崩塌圈繪成果(2008).....	3-5
圖 3-2 研究區崩塌圈繪成果(2009).....	3-5
圖 3-3 研究區崩塌圈繪成果(2010).....	3-6
圖 3-4 研究區崩塌圈繪成果(2011).....	3-6
圖 3-5 研究區崩塌圈繪成果(2012).....	3-7
圖 3-6 研究區崩塌圈繪成果(2013).....	3-7
圖 3-7 研究區崩塌圈繪成果(2014).....	3-8
圖 3-8 研究區崩塌圈繪成果(2015).....	3-8
圖 3-9 崩塌面積形狀-長寬比測量方法	3-10
圖 3-10 曲率計算示意圖（ArcGIS）	3-10
圖 3-11 莫拉克後大規模崩塌判釋結果.....	3-13
圖 3-12 崩塌面積分佈圖(辛樂克颱風).....	3-14
圖 3-13 崩塌長寬比分佈圖(辛樂克颱風).....	3-15
圖 3-14 崩塌坡度分佈圖(辛樂克颱風).....	3-15

圖 3-15 崩塌坡向分佈圖(辛樂克颱風).....	3-16
圖 3-16 平面曲率分佈圖(辛樂克颱風).....	3-16
圖 3-17 縱坡剖面曲率分佈圖(辛樂克颱風).....	3-17
圖 3-18 橫剖面曲率分佈圖(辛樂克颱風).....	3-17
圖 3-19 研究區淺層崩塌分佈圖(莫拉克颱風).....	3-19
圖 3-20 崩塌面積分佈圖(莫拉克颱風).....	3-19
圖 3-21 崩塌長寬比分佈圖(莫拉克颱風).....	3-20
圖 3-22 崩塌坡度分佈圖(莫拉克颱風).....	3-20
圖 3-23 崩塌坡向分佈圖(莫拉克颱風).....	3-21
圖 3-24 平面曲率分佈圖(莫拉克颱風).....	3-21
圖 3-25 縱坡剖面曲率分佈圖(莫拉克颱風).....	3-22
圖 3-26 橫剖面曲率分佈圖(莫拉克颱風).....	3-22
圖 4-1 辛樂克颱風選用雨量站	4-5
圖 4-2 莫拉克颱風選用雨量站	4-5
圖 4-3 辛樂克颱風最大降雨強度及各累積雨量圖	4-8
圖 4-4 莫拉克颱風最大降雨強度及各累積雨量圖	4-9
圖 4-5 辛樂克颱風最大降雨強度及 12 小時累積雨量	4-10
圖 4-6 辛樂克颱風最大降雨強度及 24 小時累積雨量	4-10
圖 4-7 辛樂克颱風最大降雨強度及 36 小時累積雨量	4-11
圖 4-8 辛樂克颱風最大降雨強度及 48 小時累積雨量	4-11
圖 4-9 辛樂克颱風最大降雨強度及總累積雨量	4-12
圖 4-10 莫拉克颱風最大降雨強度及 12 小時累積雨量	4-12
圖 4-11 莫拉克颱風最大降雨強度及 24 小時累積雨量	4-13
圖 4-12 莫拉克颱風最大降雨強度及 36 小時累積雨量	4-13
圖 4-13 莫拉克颱風最大降雨強度及 48 小時累積雨量	4-14

圖 4-14 莫拉克颱風最大降雨強度及總累積雨量	4-14
圖 4-15 48 小時累積雨量區間之崩塌個數	4-15
圖 4-16 總累積雨量區間之崩塌個數	4-15
圖 4-17 最大降雨強度區間之崩塌個數	4-16
圖 4-18 48 小時累積雨量區間之崩塌個數	4-16
圖 4-19 總累積雨量區間之崩塌個數	4-17
圖 4-20 最大降雨強度區間之崩塌個數	4-17
圖 4-21 P 值與 Z 得分涵義圖 (ArcGIS 10 線上說明, 2012)	4-20
圖 4-22 12 小時累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風).....	4-21
圖 4-23 24 小時累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風).....	4-21
圖 4-24 36 小時累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風).....	4-22
圖 4-25 48 小時累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風).....	4-22
圖 4-26 總累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風).....	4-23
圖 4-27 降雨強度之熱點分析(辛樂克颱風).....	4-23
圖 4-28 12 小時累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風).....	4-24
圖 4-29 24 小時累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風).....	4-24
圖 4-30 36 小時累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風).....	4-25
圖 4-31 48 小時累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風).....	4-25
圖 4-32 總累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風).....	4-26
圖 4-33 降雨強度之熱點分析(莫拉克颱風).....	4-26
圖 4-34 最大降雨強度熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風).....	4-27
圖 4-35 總累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風).....	4-27
圖 4-36 12 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風).....	4-28
圖 4-37 24 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風).....	4-28
圖 4-38 36 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風).....	4-29

圖 4-39 48 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風).....	4-29
圖 4-40 最大降雨強度熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風).....	4-30
圖 4-41 總累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風).....	4-30
圖 4-42 12 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風).....	4-31
圖 4-43 24 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風).....	4-31
圖 4-44 36 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風).....	4-32
圖 4-45 48 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風).....	4-32
圖 4-46 辛樂克颱風最大降雨強度雨量值與 Z 值比對圖	4-34
圖 4-47 莫拉克颱風最大降雨強度雨量值與 Z 值比對圖	4-34
圖 4-48 研究區高屏溪流域辛樂克颱風最大降雨強度之等 Z 值圖 ...	4-35
圖 4-49 研究區高屏溪流域莫拉克颱風最大降雨強度之等 Z 值圖 ...	4-35
圖 4-50 辛樂克颱風最大降雨量熱點 Z 值之累積崩塌面積圖	4-36
圖 4-51 莫拉克颱風最大降雨量熱點 Z 值之累積崩塌面積圖	4-36
圖 4-52 辛樂克颱風最大降雨量熱點 Z 值之累積崩塌面積圖	4-37
圖 4-53 莫拉克颱風最大降雨量熱點 Z 值之累積崩塌面積圖	4-37
圖 5-1 邊坡圓弧型滑動破壞	5-1
圖 5-2 邊坡平面型(含楔型)滑動破壞.....	5-1
圖 5-3 邊坡複合型滑動破壞	5-2
圖 5-4 淺層崩塌破壞示意圖	5-4
圖 5-5 土壤性質與破壞深度比對圖	5-4

表次

表 3-1 崩塌圈繪使用圖資及降雨事件	3-2
表 3-2 崩塌判釋成果.....	3-4
表 3-3 不同類別崩塌區分	3-18
表 4-1 雨量事件選取之雨量站	4-3
表 4-2 雨量資料統計表.....	4-4
表 5-1 淺層崩塌材料參數	5-3
表 5-2 淺層崩塌量體量.....	5-3

第一章 前言

臺灣地區由於山坡地受颱風豪雨之侵襲，往往因強降雨影響，引發嚴重的山崩和土石流等自然災害。檢視歷年來重大災害，多受到明顯崩塌及土石下移之影響，尤其以 98 年莫拉克颱風引致高屏溪流域之嚴重坡地崩塌，導致流域下游嚴重災害。

本研究針對高屏溪流域內那瑪夏區域進行研究。利用研究區範圍內崩塌災害前後期之光達數值地形、航空照片以及衛星影像等資料，對研究區域內之坡地災害與其引致之土砂遷移進行圈繪及調查。並配合災害事件搜集之降雨量資料進行熱點分析，建立崩塌發生區位及破壞型態、破壞位置與深度並分析其與致災降雨之關聯性，討論其對於後續引發流域內土石遷移及地形演化造成之影響。崩塌與致災降雨之關聯分析成果將可提供未來之土石運移與地形變遷對於復建策略、減災管理之重要參據。

本團隊之計畫作業流程圖如圖 1-1 所示。工作大項分為：

一、 研究區流域坡地崩塌資料建立與區位特性分析

比對研究區災害前後航照進行圈繪，依其圈繪崩塌之特性形態及地形特徵分析，進行詳細分類並進行比對驗證，以建立崩塌資料庫，並進行區位特性分析。

二、 致災降雨熱點與崩塌破壞區位關聯分析

針對研究區之致災降雨進行熱點分析，並將其熱點分佈與相關崩塌建立關聯性，並進一步分析其與崩塌區位之關聯，以提供評估崩塌—降雨分佈之關聯，以做為崩塌及土石流誘發狀態之參考，進一步進行破壞機制趨勢特性分析，可助於災害潛勢及後續土石遷移影響評估。

三、 崩塌破壞機制模擬

由崩塌判釋分類成果選取崩塌案例進行破壞機制分析，分析成果及災害前後地形演化、航照資料進行比對驗證，進一步進行破壞機制趨勢特性分析，綜合評估崩塌滑移距離及運移量體。

四、 致災降雨與土砂遷移關聯分析

分析成果及災害前後地形演化、航照資料進行比對驗證，依破壞機制建立滑移行為分析，由分析成果與地形、航照資料比對，綜合評估運移量體。由前項崩塌區位特性、致災降雨與土砂運移分析其關聯性，並比對崩塌土砂運移趨勢，討論土石運移及地形變遷對於後續災害與復建之影響。

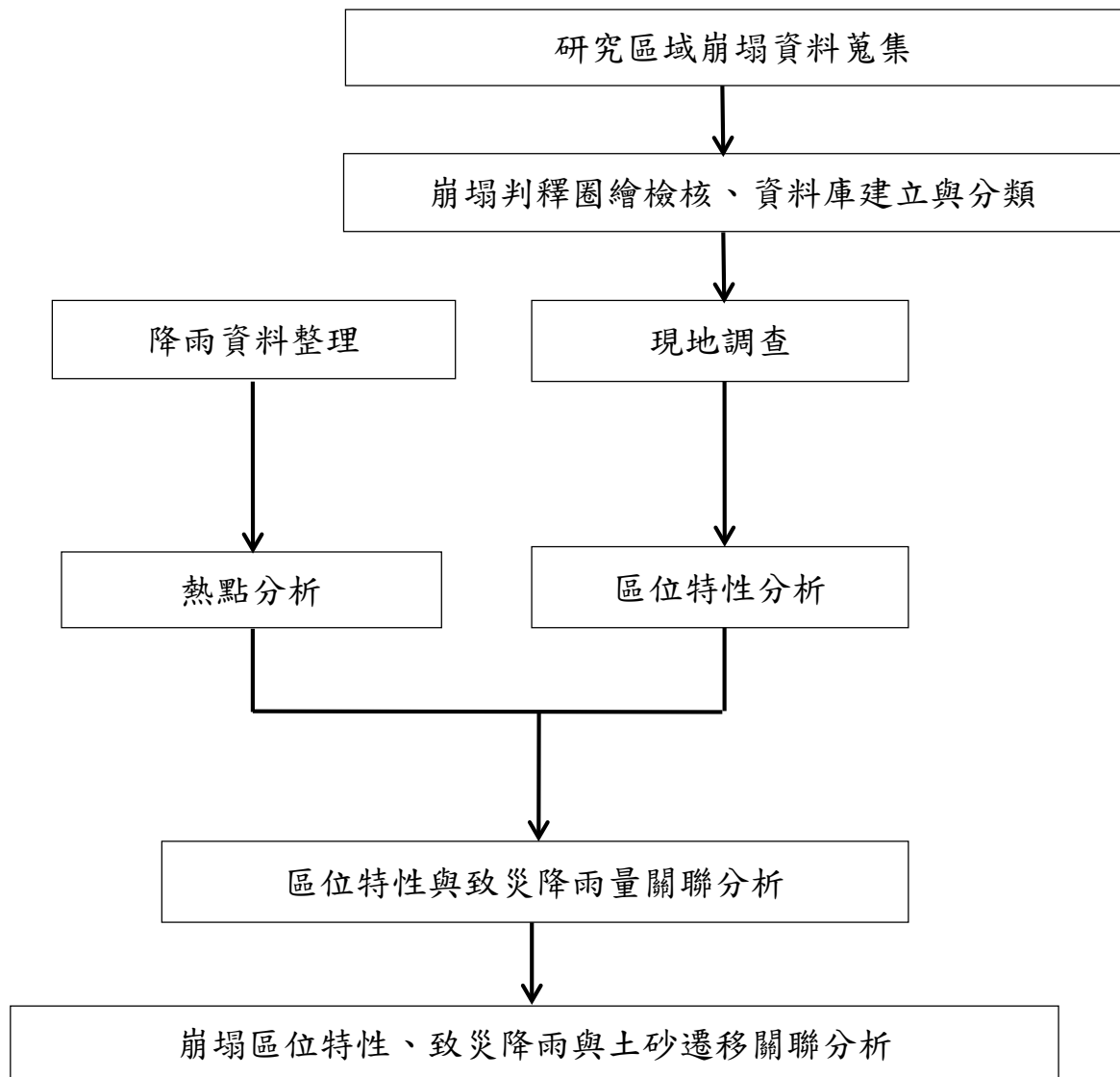


圖 1-1 本研究計畫之研究項目流程

第二章 研究區域及降雨事件

第一節 研究區域

本計畫研究區域選取光達數值地型資料較完整且莫拉克颱風受災嚴重之高屏溪流域那瑪夏區為研究範圍，研究區域位置如圖 2-1 所示。研究區包含整個那瑪夏區之三個行政區：南沙魯里、瑪雅里及達卡努瓦里。而研究區之地形圖如圖 2-2 所示，主要聯外道路有台 21 線縱貫全研究區；研究區之水系有楠梓仙溪貫穿全區，曾文溪僅流經西處。地勢為東北高西南低，最高處約為 2480 公尺，最低處約為 430 公尺。那瑪夏研究區岩層為未變質之中新世地層。研究區內地質構造線發育密集，多呈東北—西南走向，其中楠梓仙溪沿主流有紅花子背斜。主要地層為長枝坑層、紅花子層及三民頁岩，研究區地質圖如圖 2-3 所示，而地質特性分別為：

1. 長枝坑層：海相沉積岩，由砂岩與砂頁岩互層組成，砂岩與頁岩均細緻堅硬，部分有石灰岩。
2. 紅花子層：沿著甲仙區與那瑪夏區之紅花子背斜周圍分布，岩性乃灰色且細粒至中粒厚狀層砂岩，夾有細砂岩和粉砂岩之厚互層。
3. 三民頁岩：以紅花子背斜構造中心部分頁岩而命名，岩性為深灰色頁岩和少量薄層粉砂岩構成。

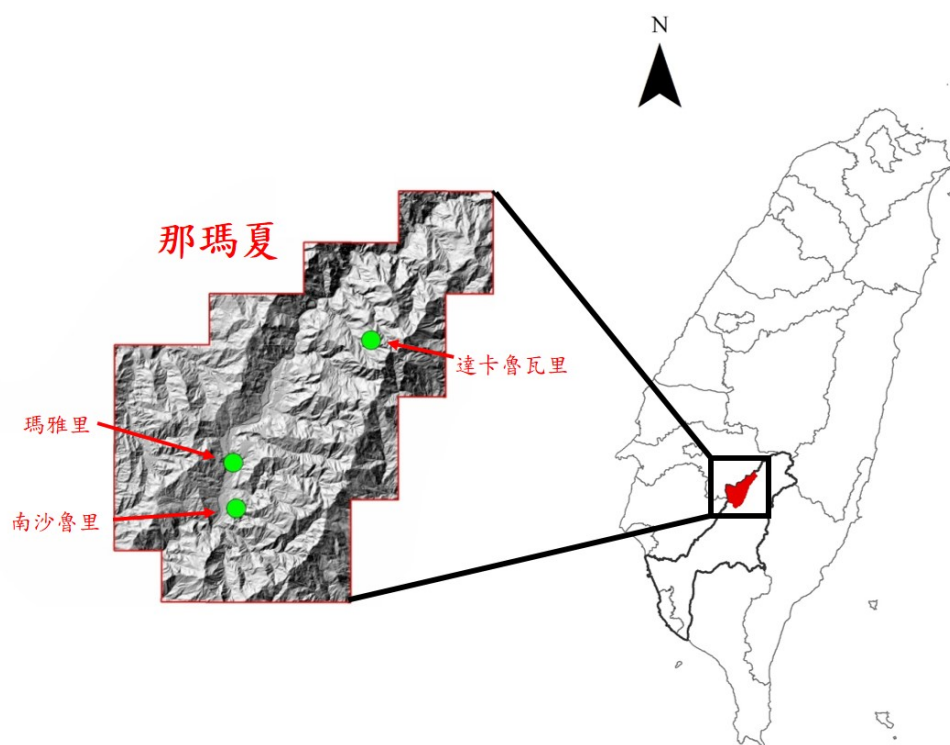


圖 2-1 研究區域位置圖

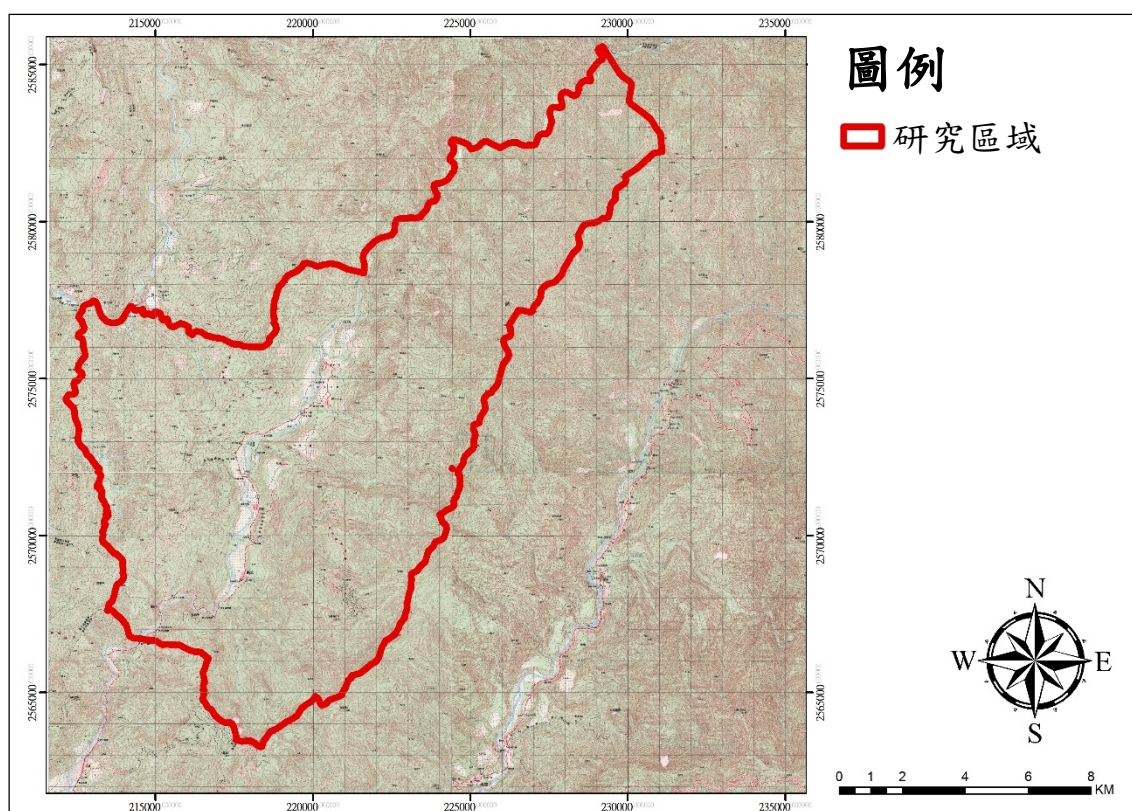


圖 2-2 研究區域地形圖

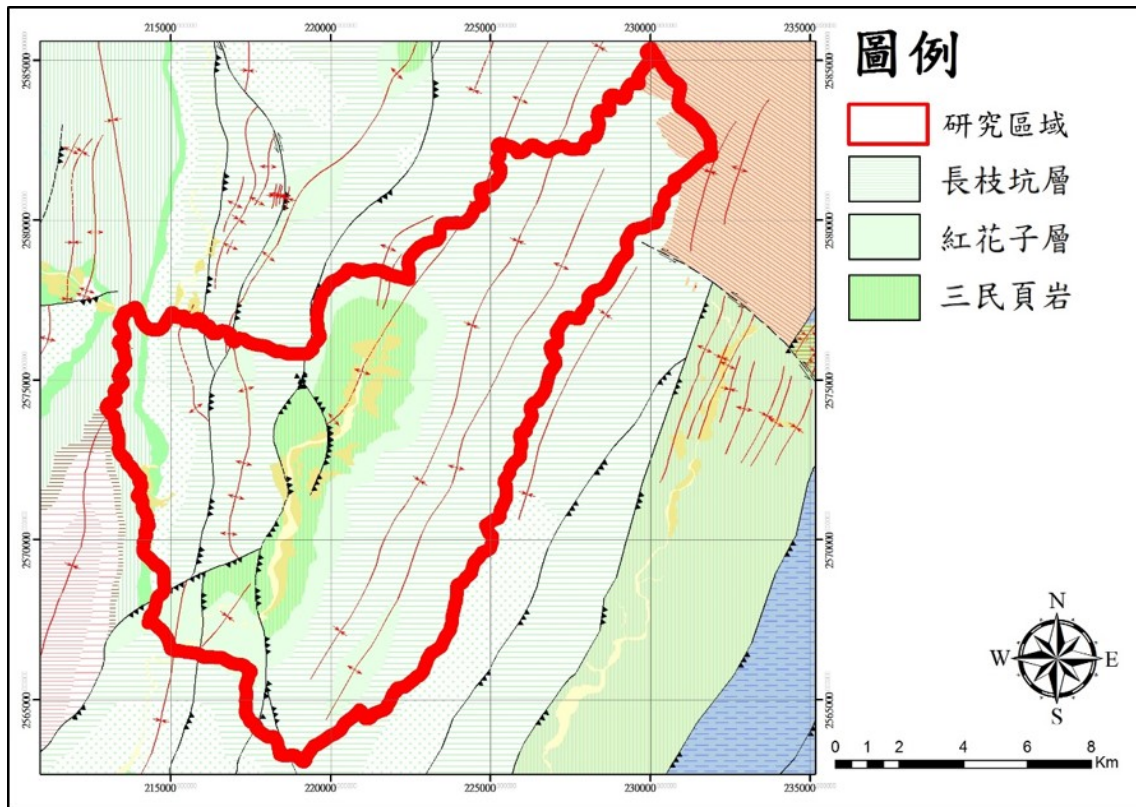


圖 2-3 研究區域地質圖

(流域地質圖，精度比例尺 1/50000)

第二節 研究區歷史災情

那瑪夏區歷年發生的災害事件，自 2007 年起紀錄的土石災害總報告中，一筆為 2008 年卡玫基颱風造成三民國中旁的野溪產生蝕溝沖蝕災害，另外有四筆為莫拉克颱風造成的土石流與崩塌災害，圖 2-4 及圖 2-5 為莫拉克颱風在那瑪夏地區造成災情之速報表。

由 2013 年水土保持局報告與 2014 年水土保持局報告之統計，可能影響那瑪夏區崩塌之重大降雨事件，2005 年為 0612 豪雨、海棠颱風，2006 年有 0609 豪雨、碧利絲颱風，2007 年有聖帕颱風，2008 年有卡玫基颱風，2009 年之莫拉克颱風，2010 年有凡那比颱風，2012 年有 0610 豪雨。報告中以歷年衛星影像判釋崩塌面積，2005 年有 149 處崩塌，2006 年有 719 處崩塌，2007 年有 437 處，2008 年有 633 處崩塌，2009 年莫拉克災前共 47 處，莫拉克災後之 2010 年影像判釋則多達 2,427 處崩塌，2011 年有 2430 處崩塌，2012 年有 2349 處崩塌。

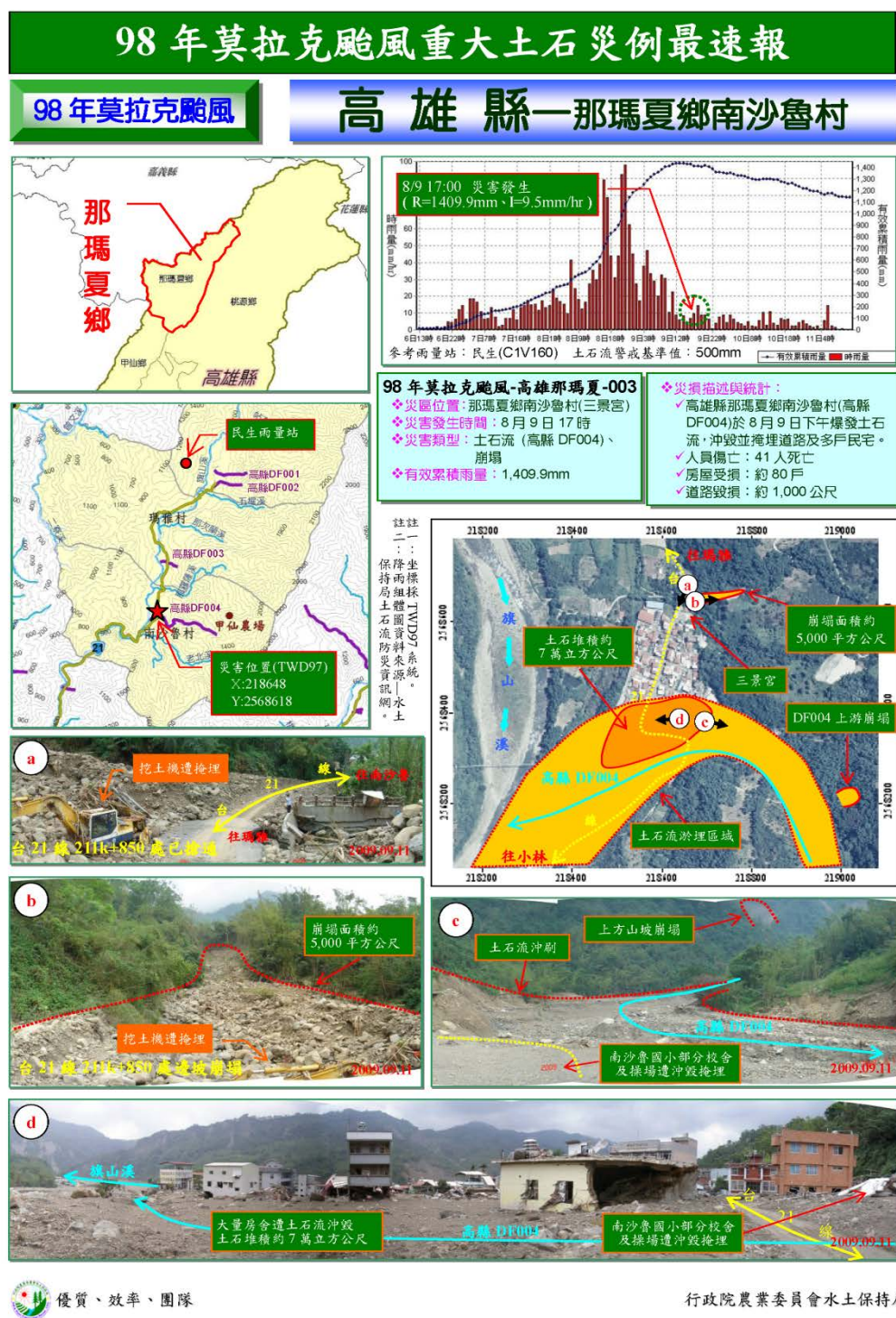


圖 2-4 南沙魯里土石流災情速報（水土保持局，2009）

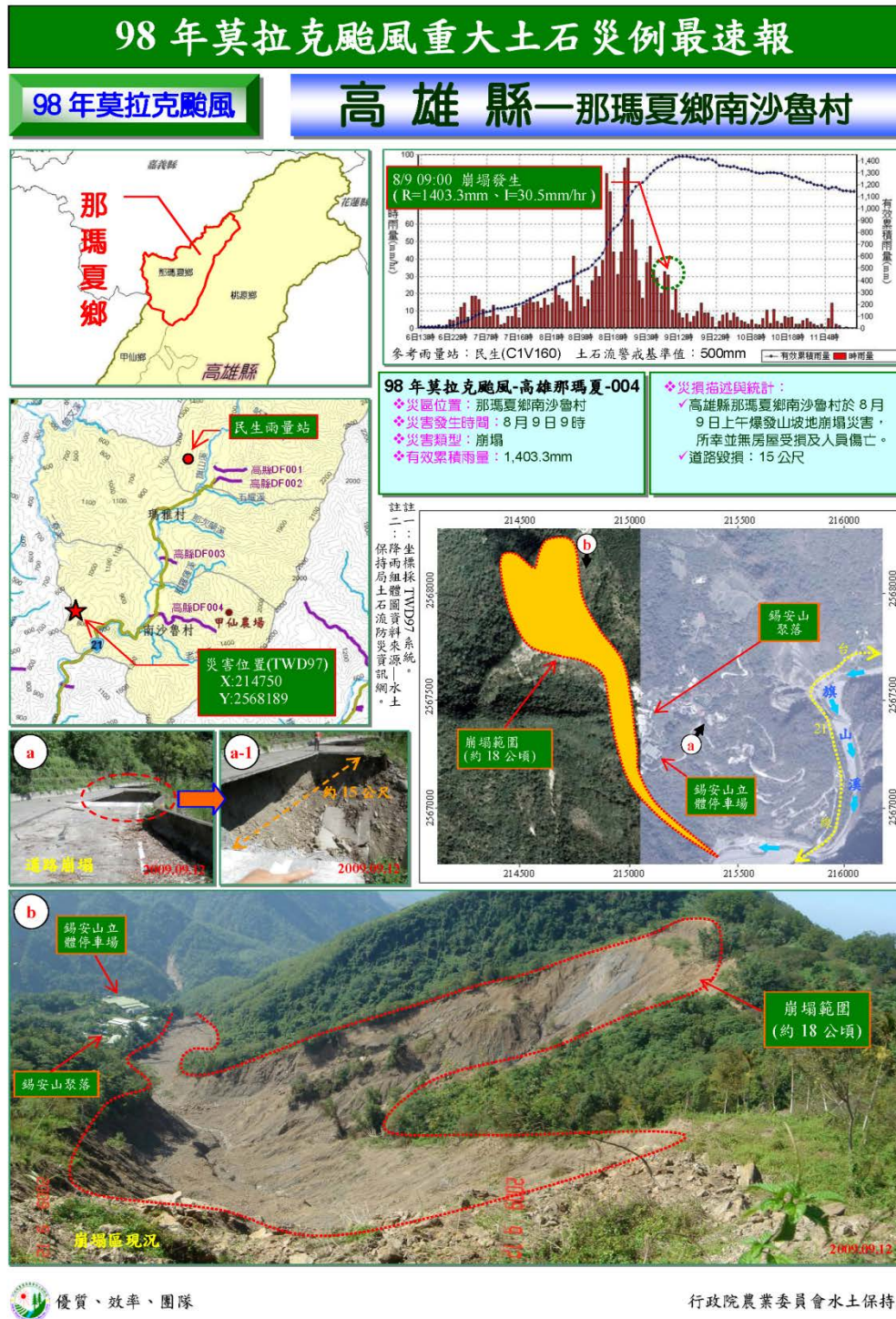


圖 2-5 南沙魯里崩塌災情速報（水土保持局，2009）

第三節 致災降雨事件

在降雨事件中以 2009 年莫拉克颱風對那瑪夏地區造成最嚴重的災情，有多處的崩塌及土石流發生，因此挑選莫拉克颱風事件作為研究對象，並挑選 2008 年辛樂克颱風事件作為前後期之比較分析。

- 一、 辛樂克颱風：辛樂克颱風於 2008 年 9 月 13-15 日侵襲臺灣，其屬於第一類颱風，而行經路線及全臺累積降雨量如圖 2-6 及圖 2-7。辛樂克颱風在侵臺時帶來豪雨，並且移動緩慢，有多數地方累積降雨量大於 1,000 公厘。其豪大雨使得后豐大橋斷落及多處因溪水暴漲造成交通中斷事件；亦在山區造成多處崩塌及土石流，造成嚴重的生命財產損失。
- 二、 莫拉克颱風：莫拉克颱風於 2009 年 8 月 5-10 日侵襲台灣，其屬於第三類颱風，而行徑路線及全臺累積降雨量如圖 2-8 及圖 2-9，本次莫拉克颱風降雨集中在嘉義縣、高雄縣及屏東縣等山區，其分佈流域範圍相當廣，最大總累積雨量發生在嘉義縣阿里山鄉阿里山站，並有 15 處雨量站累積雨量超過 2000mm。莫拉克颱風挾帶大量降雨，颱風期間的全台累積降雨量極為驚人，使土壤含水無法適度宣泄，導致土石鬆軟，造成多處邊坡滑動及土石流等。劇烈降雨改寫先前的雨量歷史紀錄，在山區多處有交通中斷、土石崩落等災情發生，也因連續豪雨使得淹水災情頻傳。

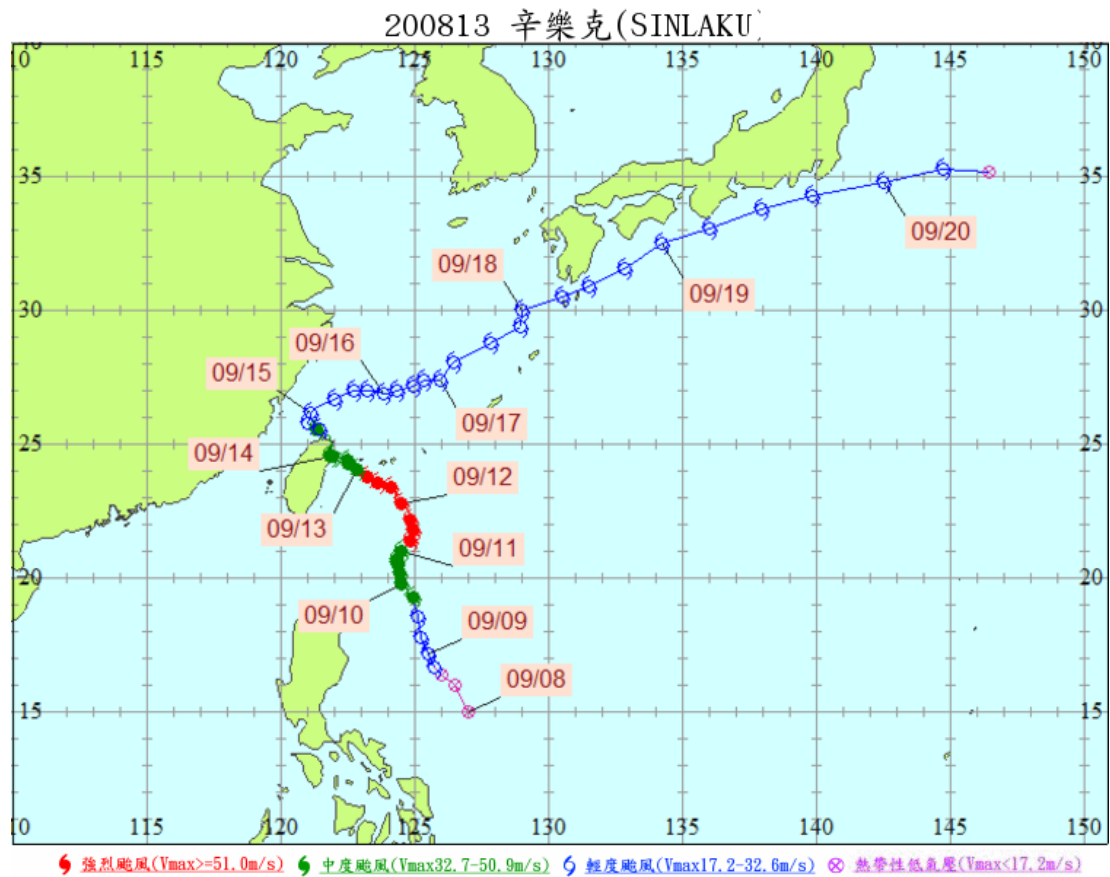


圖 2-6 辛樂克颱風行徑路線圖(中央氣象局 2008)

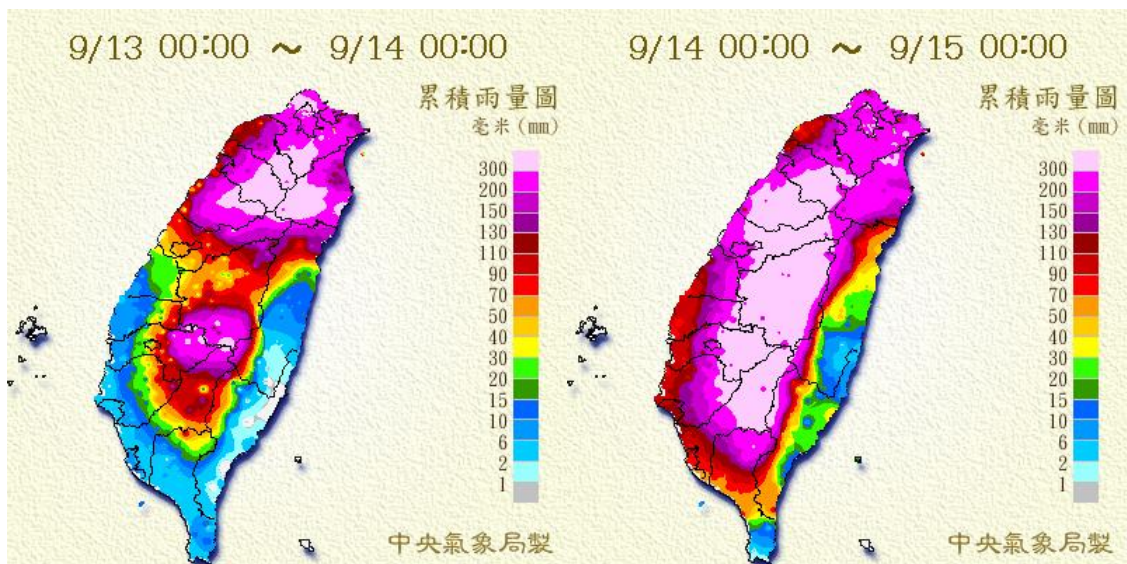


圖 2-7 辛樂克颱風累積雨量圖(中央氣象局 2008)

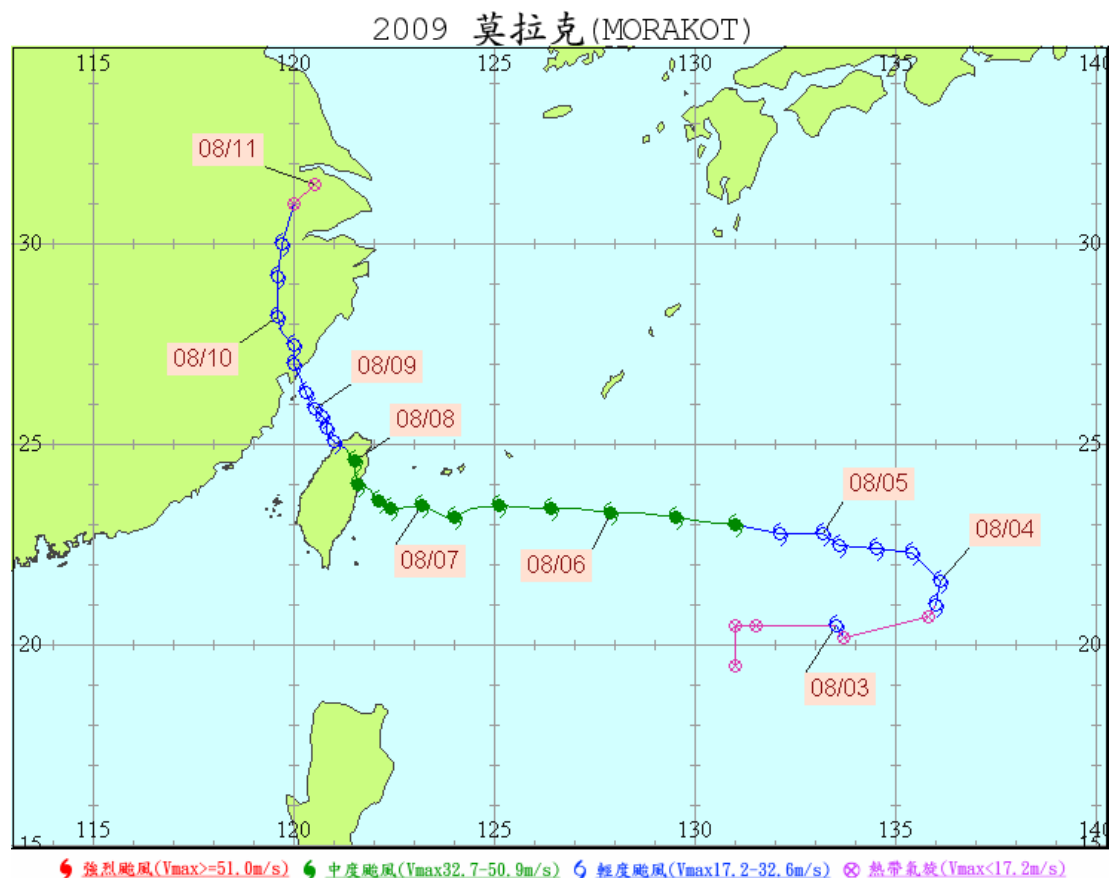


圖 2-8 莫拉克颱風行徑路線圖(中央氣象局 2009)

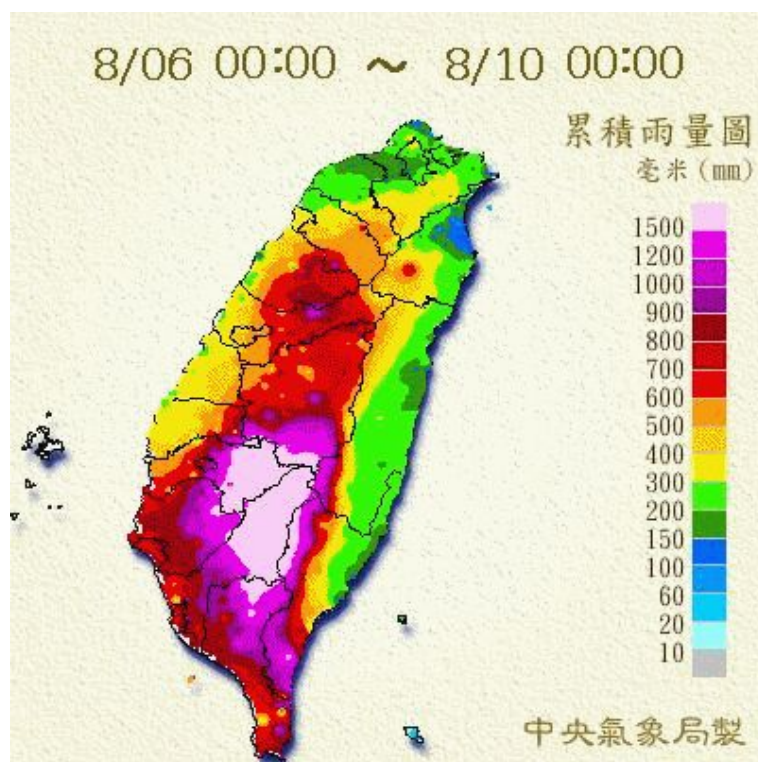


圖 2-9 莫拉克颱風累積雨量圖(中央氣象局 2009)

第三章 研究區域崩塌判釋與特性分析

利用多期航空照片及衛星影像，對研究區域崩塌進行圈繪，並將圈繪成果進行各項分析，依據圈繪成果及數值地型特徵因子分析，選取地形特徵包括長寬比、面積、坡度、坡向以及曲率等，對不同型態崩塌加以分類並討論分析。

第一節 影像圖資說明

利用多期之航空照片以及衛星影像，找出引致崩塌之颱風或豪雨事件之關連性。本研究圈繪之崩塌為 2008 至 2015 年，其中 2009 年之莫拉克颱風事件，採用莫拉克颱風後之正射航照影像進行圈繪。其餘 2008 及 2010~2015 為採用福衛二號影像及 SPOT 衛星影像進行崩塌圈繪。其中由於福衛二號每日都會經過台灣上空，且取樣角度較佳，故採用福衛二號影像之彩色融合影像進行崩塌圈繪。本研究同時採用 SPOT5 衛星及 SPOT6 衛星之全色態影像進行圈繪，將其成果和福衛二號之圈繪成果交叉比對。SPOT5 之全色態影像之解析度為 2.5 公尺，SPOT6 衛星之全色態影像為 1.5 公尺，和福衛二號彩色融合影像解析度為 2 公尺，可互相比對成果。而 2008~2015 年中對應到的降雨事件分別為，2008 年的辛樂克颱風，2009 年的莫拉克颱風，2010 年為凡那比颱風，2011 年為南瑪都颱風，2012 年為 0610 豪雨事件，2013 年為康炳颱風，2014 年為麥德姆颱風，2015 年為蘇迪勒颱風。使用圖資以及對應的降雨事件整理於表 3-1 中。

表 3-1 崩塌圈繪使用圖資及降雨事件

年份	使用影像	降雨事件
2008	福衛影像 (cell size 2x2m)	辛樂克颱風
2009	航空照片	莫拉克颱風
2010	航空照片	凡那比颱風
2011	SPOT5 (cell size 2.5x2.5m)	南瑪都颱風
2012	SPOT5 (cell size 2.5x2.5m)	0610 豪雨事件
2013	SPOT5 (cell size 2.5x2.5m)	康芮颱風
2014	SPOT6 (cell size 1.5x1.5m)	麥德姆颱風
2015	SPOT6 (cell size 1.5x1.5m)	蘇迪勒颱風

第二節 崩塌判釋

利用航空照片及衛星影像圈繪出那瑪夏地區之崩塌，從 2008 年至 2015 年的崩塌圈繪成果如圖 3-1 至圖 3-8。2008 年利用解析度 2m 的福爾摩沙衛星影像判釋，圈繪出 75 處崩塌，崩塌總面積為 97.4 公頃，裸露率 0.57%。2009 年用莫拉克颱風後的航照判釋出，圈繪出 2238 處崩塌，崩塌總面積為 1823.68 公頃，裸露率為 10.60%。2010 年利用航空照片判釋，圈繪出 1277 處崩塌，總面積為 1571.6 公頃，崩塌率為 9.14%。2011 年利用解析度為 2.5m 衛星影像 SPOT5 判釋，圈繪出 1019 處崩塌，總面積 1323.2 公頃，裸露率為 7.69%。2012 年利用解析度 2.5m 衛星影像 SPOT5 判釋，圈繪出 963 處崩塌，崩塌總面積為 1357.9 公頃，裸露率為 7.89%。2013 年利用衛星影像 SPOT5 判釋出 865 處崩塌，崩塌總面積為 1296.1 公頃，裸露率為 7.53%。2014 年利用解析度 1.5m 衛星影像 SPOT6 判釋，圈繪出 704 處崩塌，崩塌總面積為 1219.9 公頃，裸露率為 7.09%。2015 年利用解析度 1.5m 衛星影像 SPOT6 判釋，圈繪出 640 處崩塌，崩塌總面積為 1083.9 公頃，裸露率為 6.3%，將以上結果整理至表 3-2。

因莫拉克颱風侵台時，在那瑪夏地區帶來嚴重災情，造成此區域多處的崩塌發生，因此崩塌率在 2009 年莫拉克颱風時升高到相當大的值。而 2010 年後因後續颱風降雨較低，未有特殊災情發生，但受到莫拉克颱風影響，裸露率仍在相當高的值，在 2012 年裸露率稍微升高外，其餘年份的裸露率稍呈緩慢的下降，但其值仍高。而 2010 年的裸露率 9.14%，但到了 2011 年卻降至 7.69%，研判可能因為判釋時使用的衛星影像解析度遠低於航照，導致判釋上的明顯差異。另外在判釋崩塌個數逐年呈現明顯下降，但裸露率則緩慢降低，推測是因為小面積崩塌其植生回復後較為快速所導致。

表 3-2 崩塌判釋成果

年份	崩塌個數	崩塌面積 (公頃)	崩塌率(%)
2008	75	97.4	0.57
2009	2238	1823.6	10.60
2010	1277	1571.6	9.14 (裸露率)
2011	1019	1323.2	7.69 (裸露率)
2012	963	1357.9	7.89 (裸露率)
2013	865	1296.1	7.53 (裸露率)
2014	704	1219.9	7.09 (裸露率)
2015	640	1083.9	6.3 (裸露率)

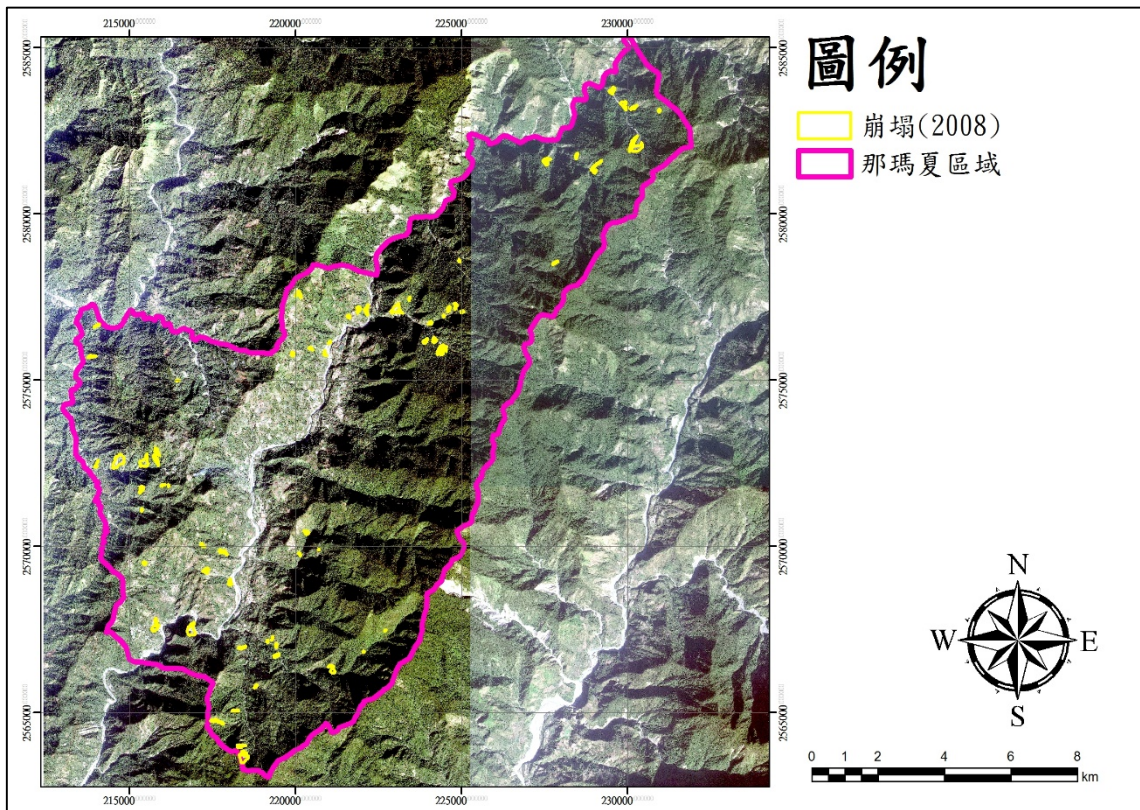


圖 3-1 研究區崩塌圈繪成果(2008)

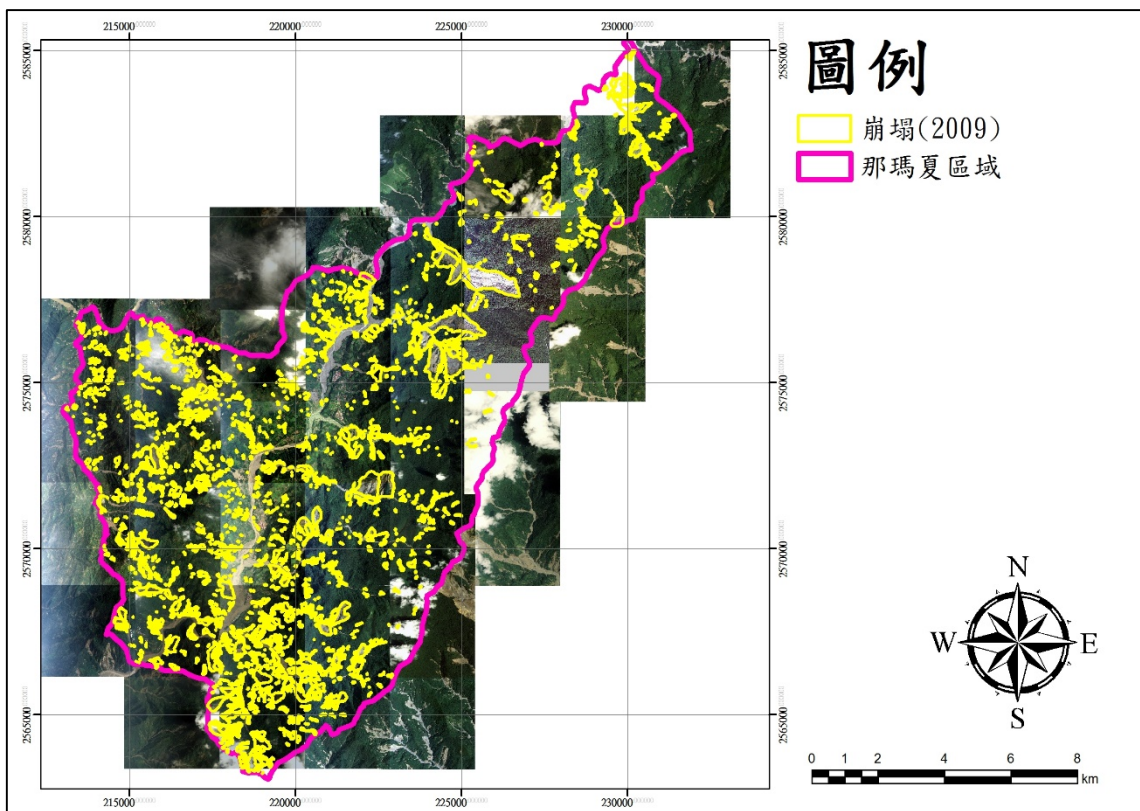


圖 3-2 研究區崩塌圈繪成果(2009)

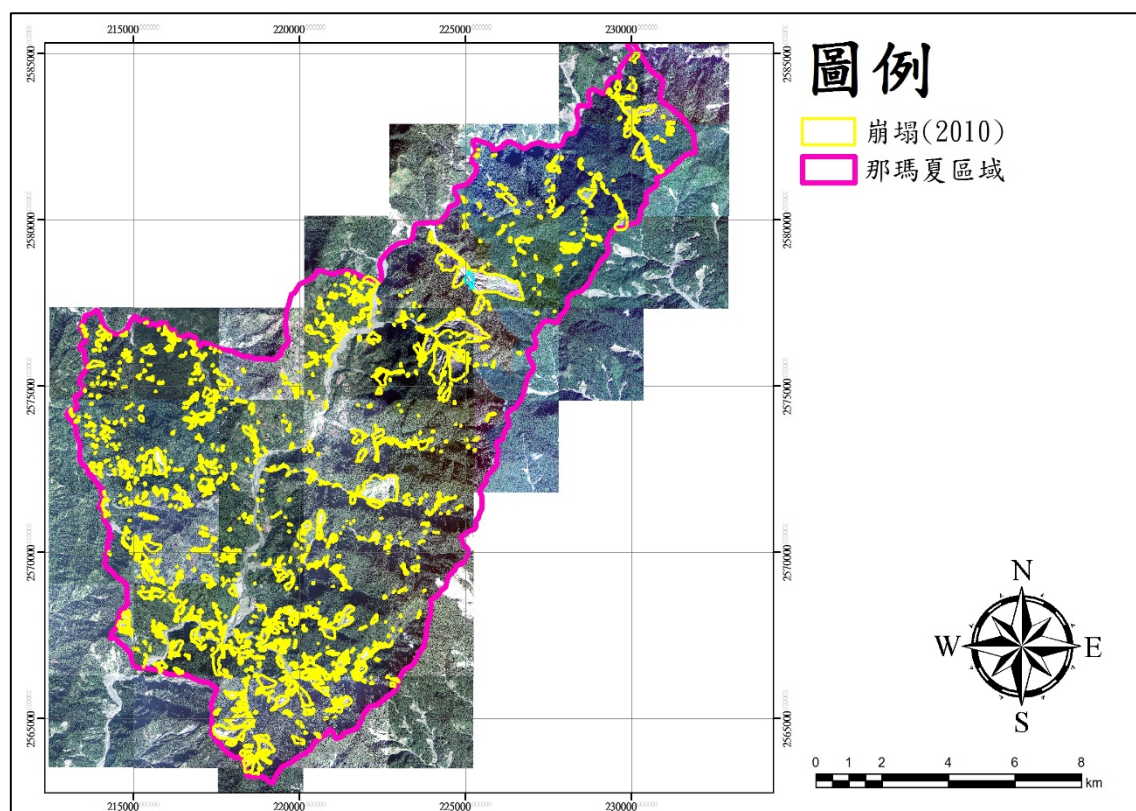


圖 3-3 研究區崩塌圈繪成果(2010)

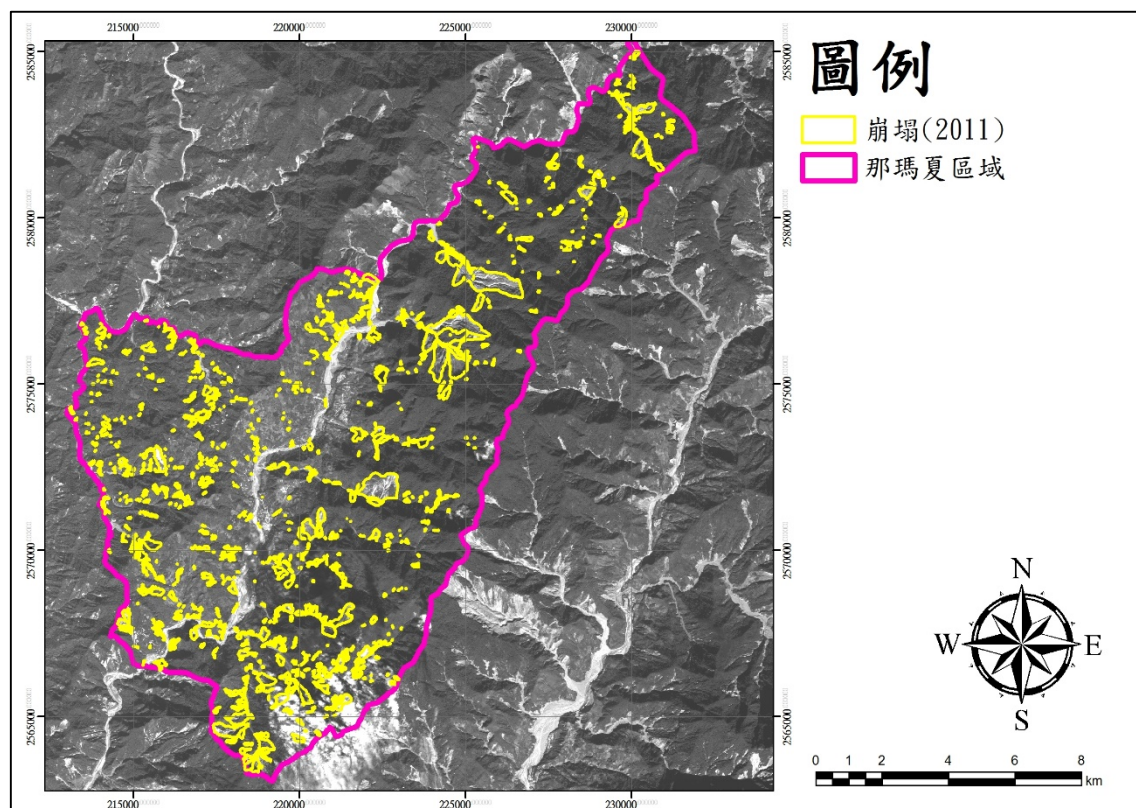


圖 3-4 研究區崩塌圈繪成果(2011)

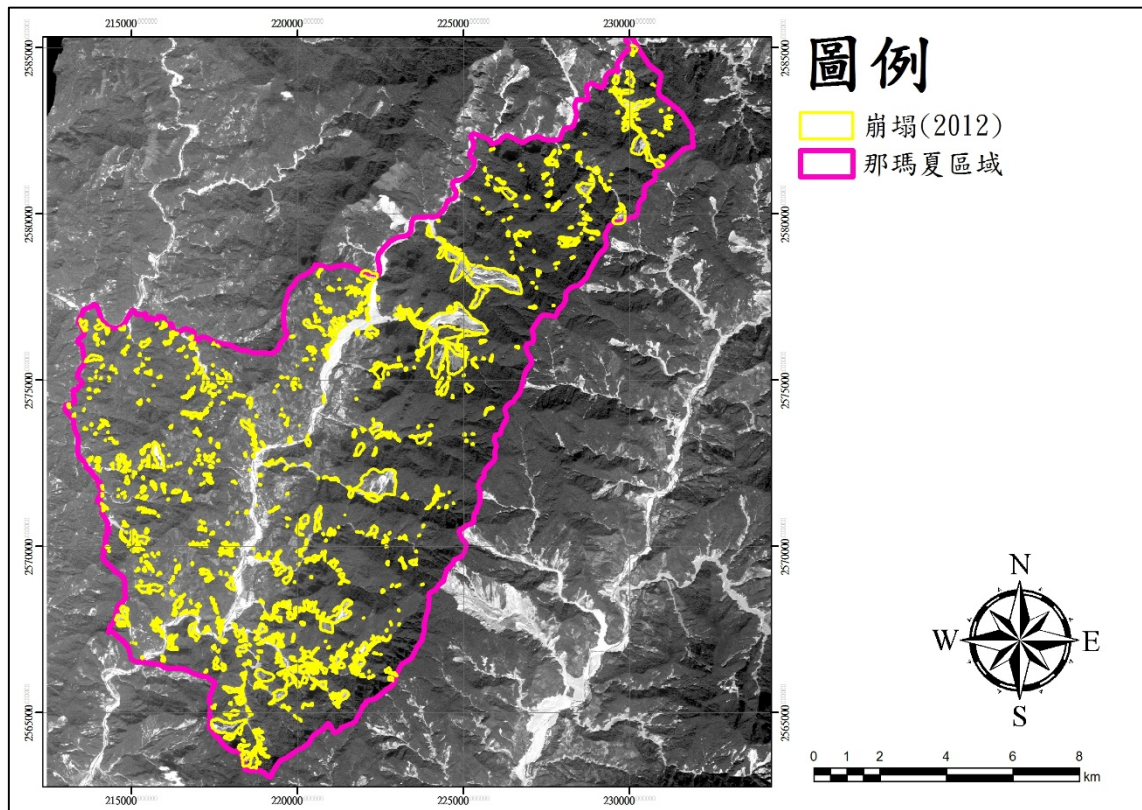


圖 3-5 研究區崩塌圈繪成果(2012)

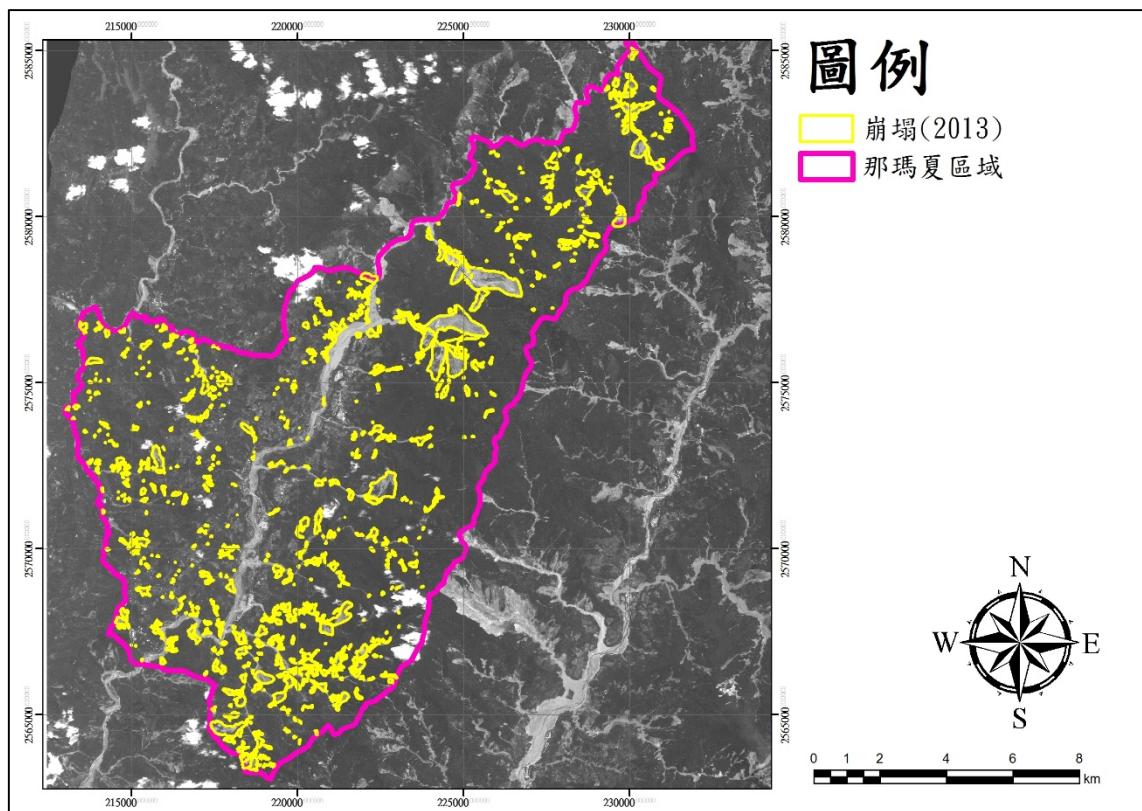


圖 3-6 研究區崩塌圈繪成果(2013)

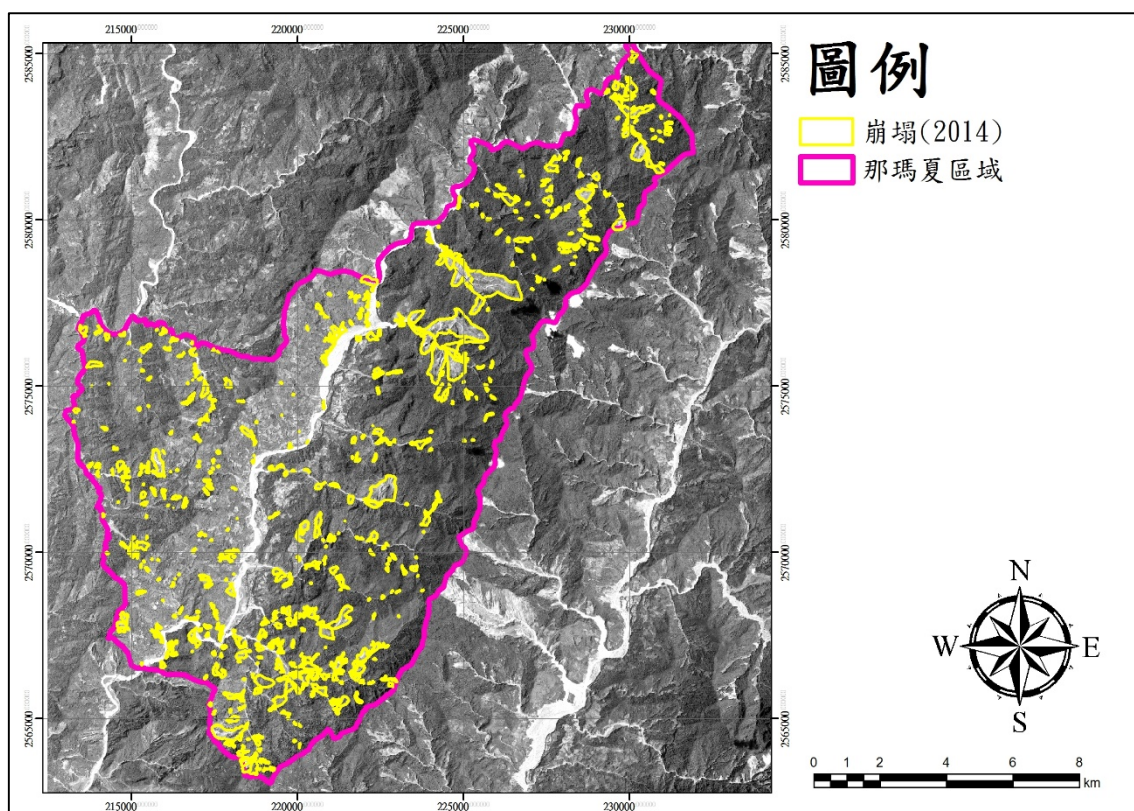


圖 3-7 研究區崩塌圈繪成果(2014)

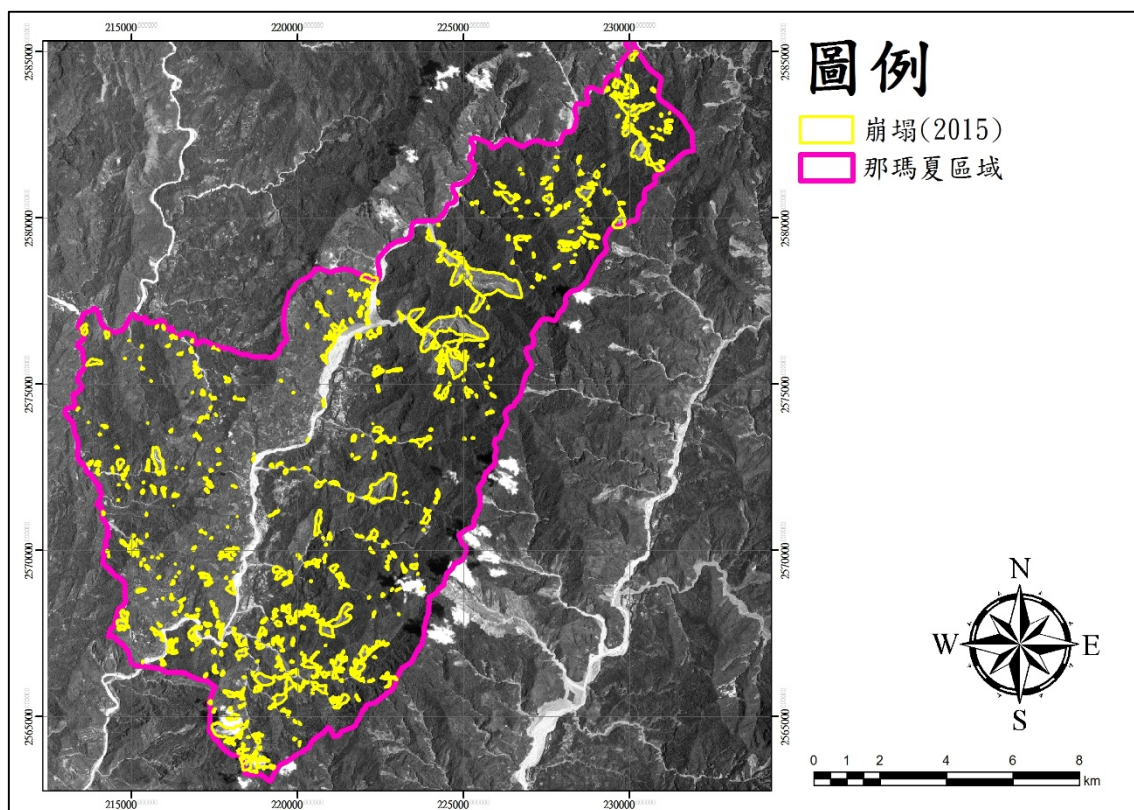


圖 3-8 研究區崩塌圈繪成果(2015)

第三節 地形因子建立方法

依據「光達數值地型應用於大規模崩塌與土石流關係研究」(2012)、「台灣中部災區坡地型土石流發生特性之研究」何明憲(2003)中針對崩塌及土石流災害影響因子選用上，在崩塌面積、長寬比、坡度、坡向及曲率皆有不錯之代表性，以下分別對崩塌之地形特徵(面積、長寬比、坡度、坡向、曲率)加以定義：

- 一、長寬比：若將流域內圈繪之崩塌以其最高點往崩塌最低點投影水平距離訂為崩塌長度，經過形心平行於坡腳及坡頂距離訂為崩塌寬度。並將長度除寬度之比值為崩塌形狀長寬比，若比值大於 1 則此崩塌形狀接近細長型，反之則接近寬扁形，等於 1 則是接近圓形之崩塌形狀，如圖 3-9 所示意。
- 二、面積：面積因子為颱風後崩塌圈繪成果之投影面積。
- 三、坡度：坡度因子為颱風前之數值地型資料，崩塌邊坡之平均坡度。
- 四、坡向：坡度因子為颱風前之數值地型資料，崩塌邊坡之平均坡向。
- 五、曲率：坡度因子為颱風前之數值地型資料，利用區域統計取得每個崩塌內的曲率平均值、標準差，用以表示地形變化的趨勢，如圖 3-10 所示。可計算出平面、縱坡剖面以及橫剖面曲率。曲率正號代表該區的地形起伏是凸向上，負號代表地形起伏凹向上。

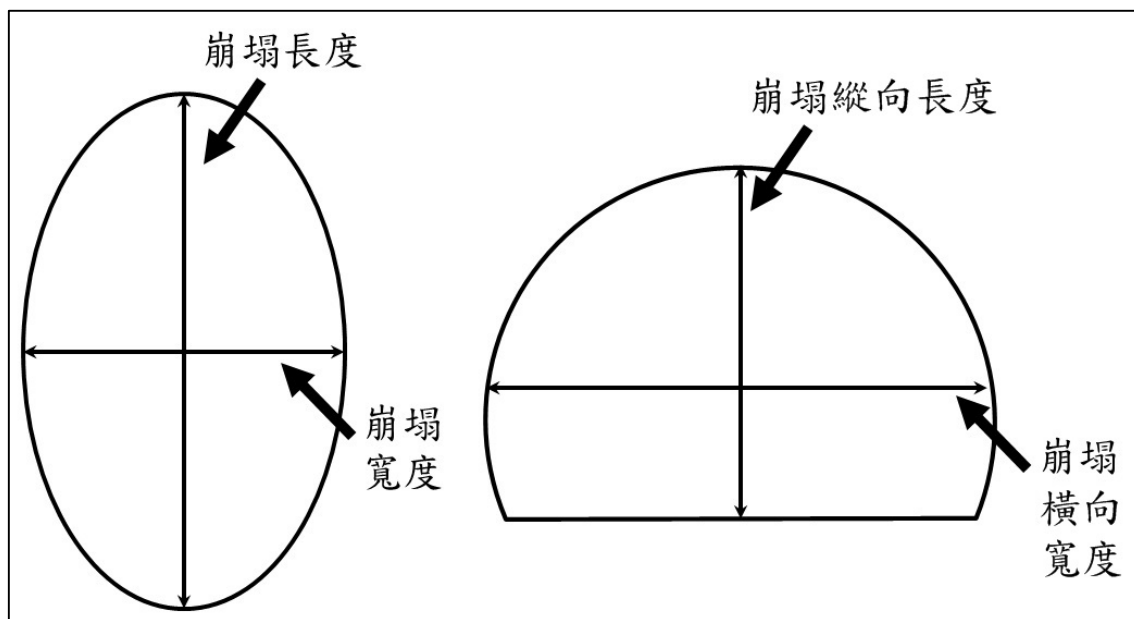


圖 3-9 崩塌面積形狀-長寬比測量方法

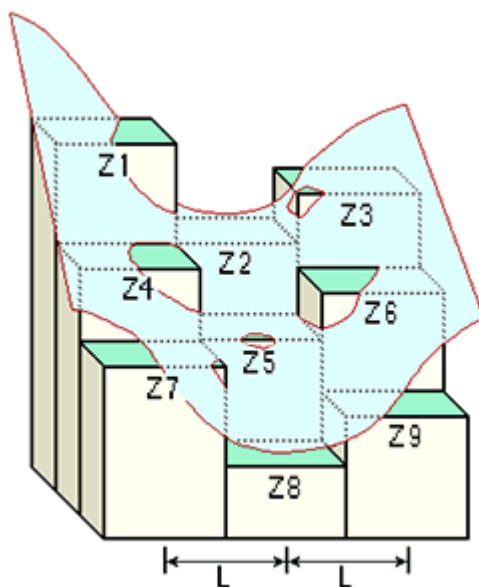


圖 3-10 曲率計算示意圖 (ArcGIS)

第四節 崩塌特性分析

本小節將分別對辛樂克颱風以及莫拉克颱風，兩次降雨事件所造成的崩塌進行特性分析討論。

一、大規模崩塌目錄

因大規模崩塌發生機制與淺層崩塌不同，因此將大規模崩塌取出

後另外建立目錄。大規模崩塌目錄為描述大規模崩塌的檔案，包含大規模崩塌圈繪資料以及屬性資料，為水土保持局在 2009 莫拉克颱風之後圈繪判釋的資料。目錄中的大規模崩塌分類為 A、B、C 三類，因大規模崩塌目錄乃自莫拉克之後建立，A 類代表莫拉克颱風造成的大規模崩塌。

因為在萃取因子與統計分析之前，必須獲得具有正確性與代表性的調查樣本，故必須檢查原始資料的正確性。換句話說，必須檢查修正判釋之大規模崩塌，比對是否具有大規模崩塌發生後的地形特徵，以及編修大規模崩塌的邊界範圍，藉以降低統計資料的錯誤，確保統計分析的準確性與可信度。

依據水保局（2012）判釋那瑪夏區在莫拉克颱風造成的大規模崩塌，進行細部的檢查與邊界編修。水土保持局（2013）針對那瑪夏區的五個流域在莫拉克颱風造成的崩塌進行力學分析並分辨是否為淺層崩塌或大規模崩塌，包含那多羅薩溪流域、那托爾薩溪流域、那次蘭溪流域、五權溪流域、土石流潛勢溪流 DF068 之流域。因此崩塌圈繪在這些流域中，沿用水保局原始的大規模崩塌資料庫。

其餘未有文獻進行詳細分析的地區，則以水保局原始的大規模崩塌目錄為基礎，依照林美聆等人（2014）提出以 Lidar 量測之高解析度數值地形，在地理資訊系統（Geographic Information Systems, GIS）計算轉換成多個方位角的陰影圖，判釋出明顯的崩崖，並且以坡度圖觀察坡面隆起的情況，再配合數值高程以 3D 模型呈現，協助判釋大規模崩塌。

所使用的地形資料與影像皆在莫拉克颱風後，配合 Lidar 2m 解析度的數值地形、陰影圖、坡度圖、3D 模型，地形上可由崩崖的構造、坡面上凹下凸的底部隆起現象判斷，並與災前 5m 解析度數值地形比對地

形變化的情況，加上航照與多期衛星影像的比對，判斷植生覆蓋情況，可判別該崩塌是否因為莫拉克颱風發生的，並且明確看出大規模崩塌的兩側範圍與崩塌影響範圍。以災前與災後影像分辨出A類與B類大規模崩塌，另外再次比對主要崩崖與大規模崩塌的邊界是否符合，判釋後的大規模崩塌圈繪結果如圖3-11所示。

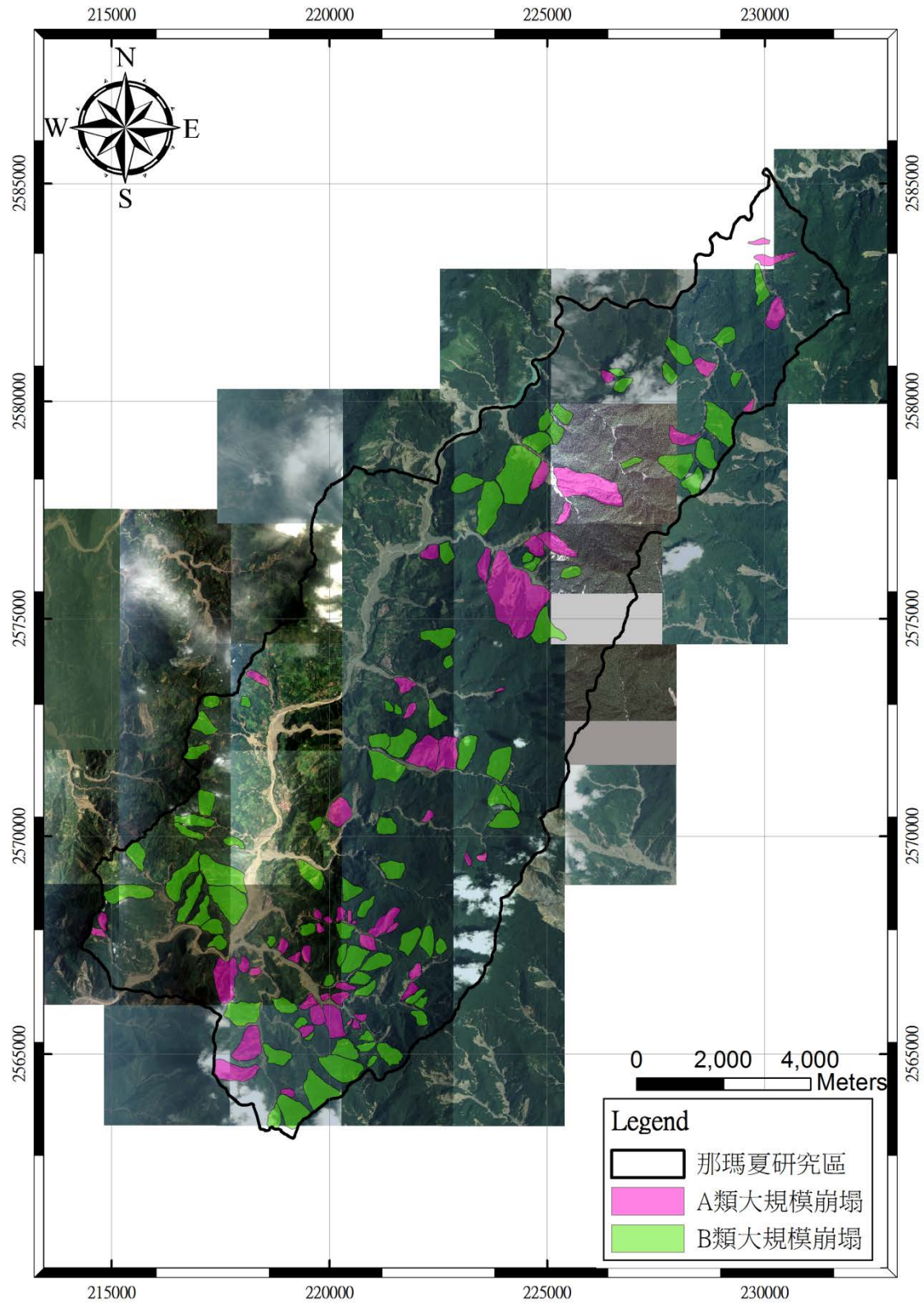


圖 3-11 莫拉克後大規模崩塌判釋結果

二、辛樂克颱風崩塌特性分布

辛樂克颱風侵臺時間在那瑪夏地區造成 75 處崩塌，如圖 3.1 所示。崩塌總面積為 97.4 公頃，最大面積為 8.95 公頃，裸露率為 0.57%，而面積分佈如圖 3-12，可看出崩塌面積大致上介於 0.5~2.5 公頃，面積大於 2.5 公頃為少數。崩塌長寬比分佈如圖 3-13，由此圖可看出崩塌的長寬比並無集中於某個區塊，除了 0.5~1.5 此區間較多外，其餘的崩塌數量分佈平均並無明顯的特徵。再來利用數位值地形計算出崩塌的坡度、坡向以及曲率。崩塌坡度分佈如圖 3-14 所示，可看出邊坡坡度在 30~40 度時，有較多的崩塌發生。崩塌的坡向分佈如圖 3-15 所示，發生崩塌的坡向介於 67.5~247.5 度時，亦為邊坡朝向東至西南發生最多崩塌，而其餘的面向的邊坡發生崩塌數量少甚至無崩塌。崩塌曲率分佈如圖 3-16~圖 3-18 所示，平面曲率大致落在-2~0，而縱剖面落在-0.5~1 以及橫剖面曲率集中在-1~0.5，由此可得知崩塌的曲率接近於平面而微凹。

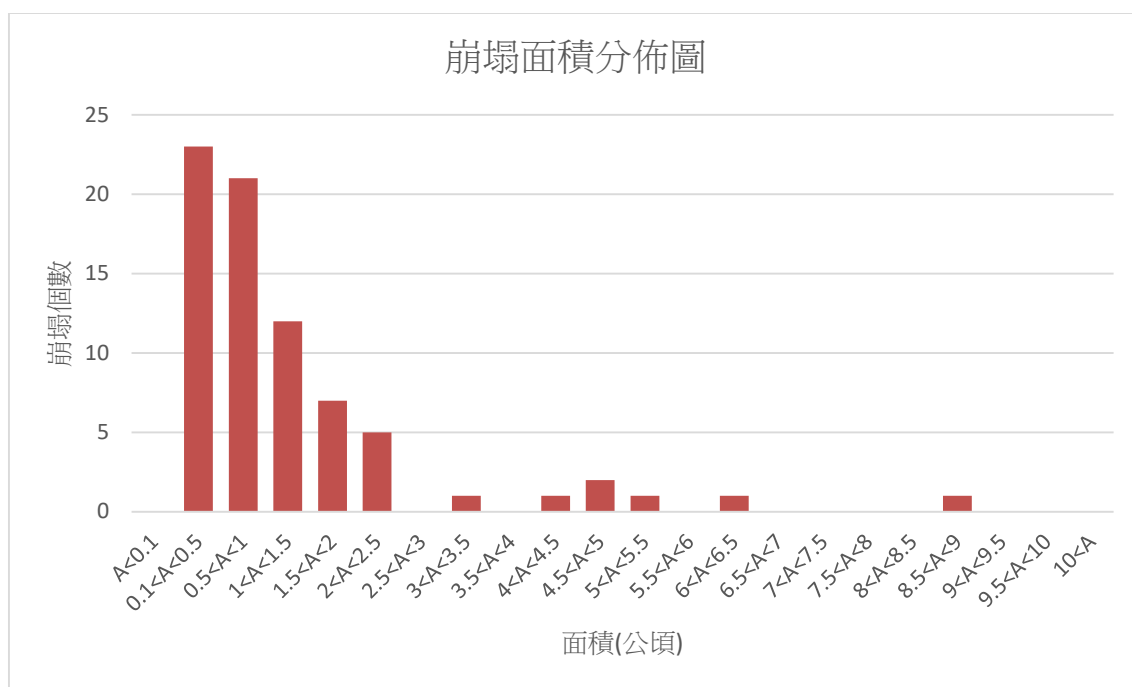


圖 3-12 崩塌面積分佈圖(辛樂克颱風)

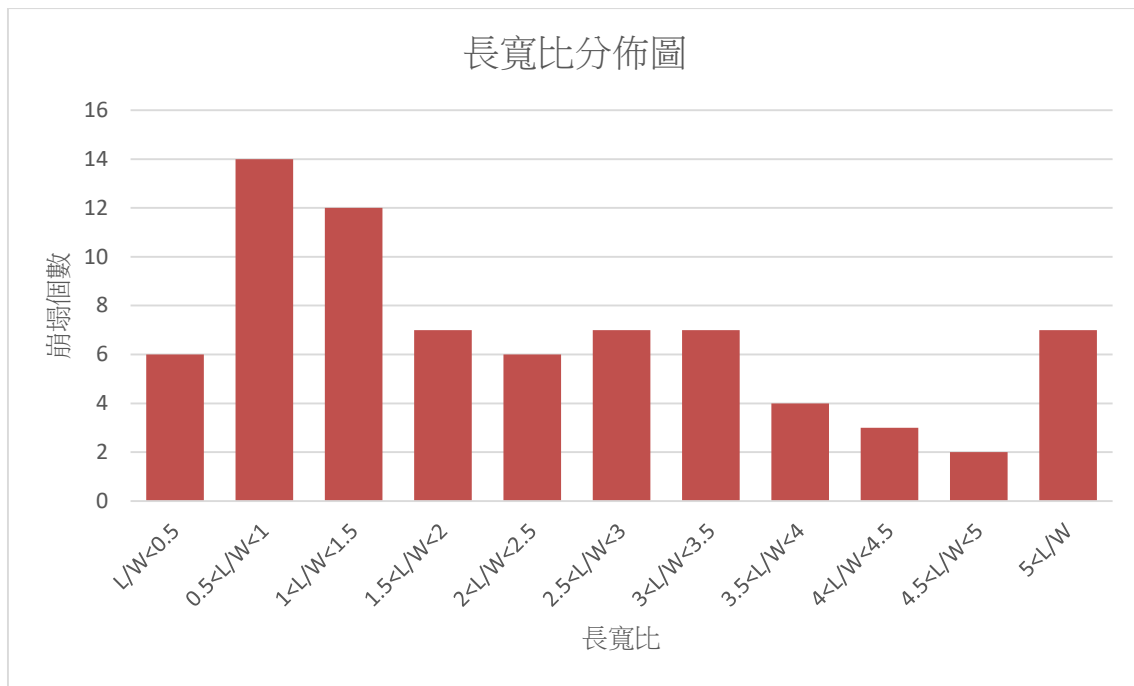


圖 3-13 崩塌長寬比分佈圖(辛樂克颱風)

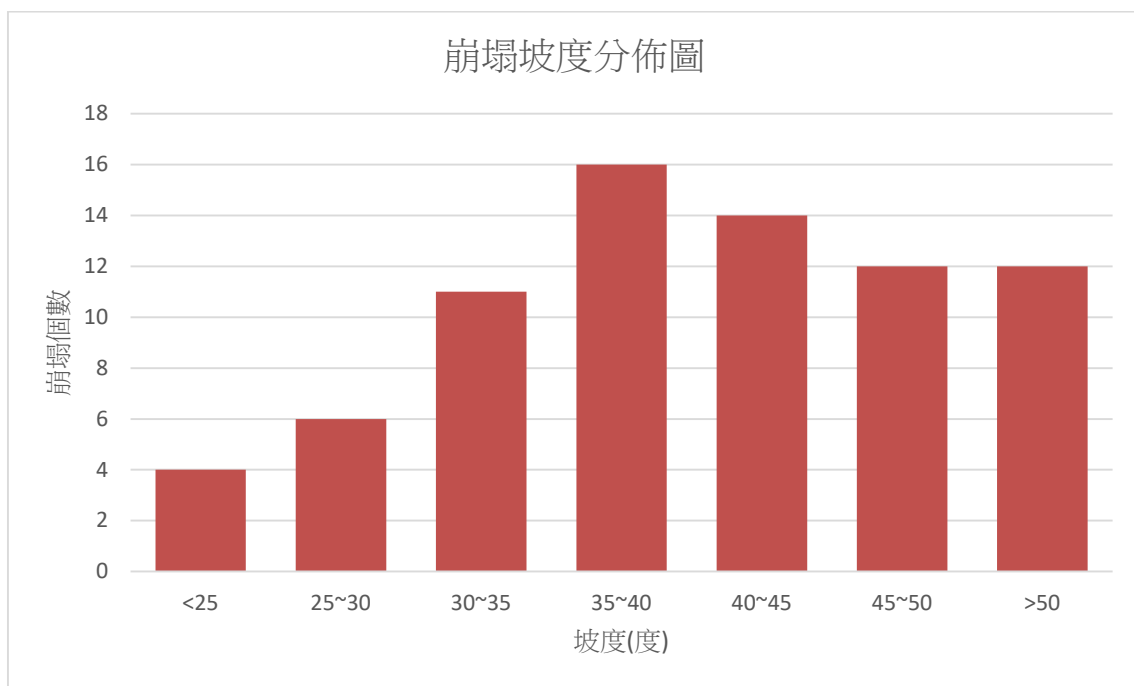


圖 3-14 崩塌坡度分佈圖(辛樂克颱風)

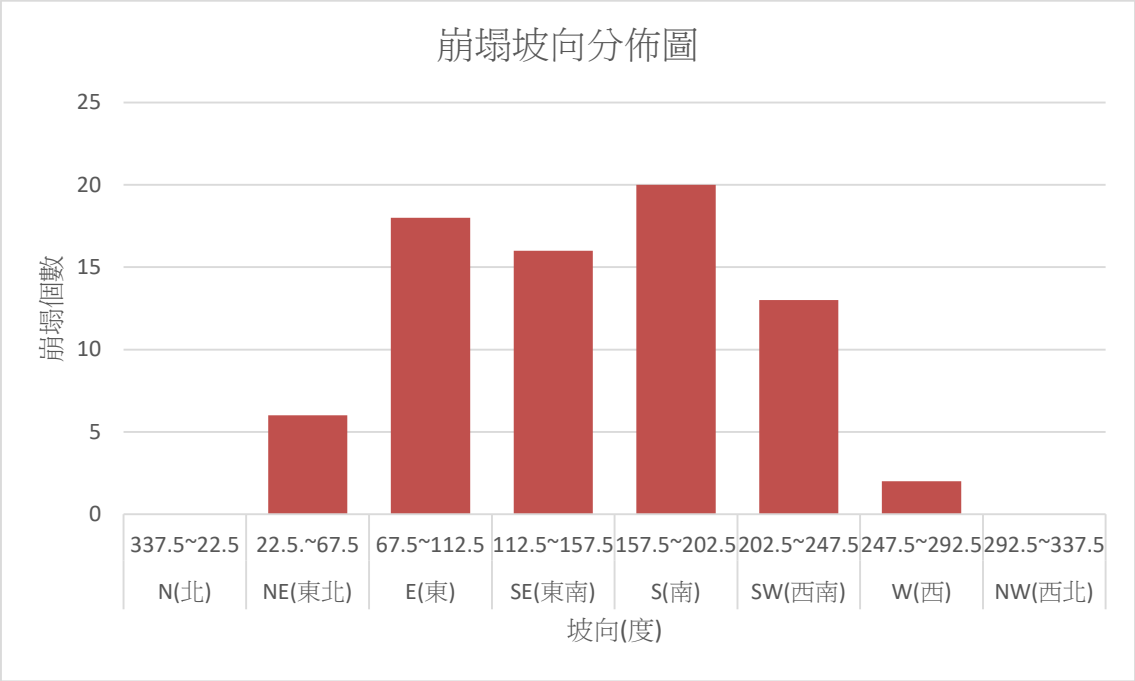


圖 3-15 崩塌坡向分佈圖(辛樂克颱風)

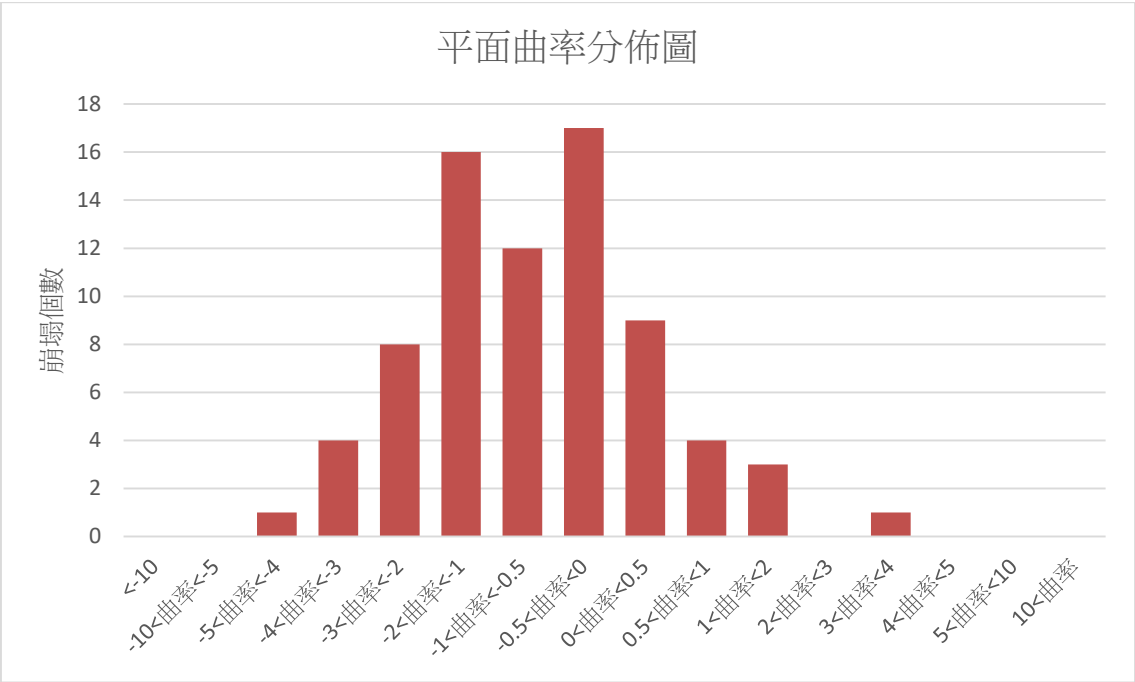


圖 3-16 平面曲率分佈圖(辛樂克颱風)

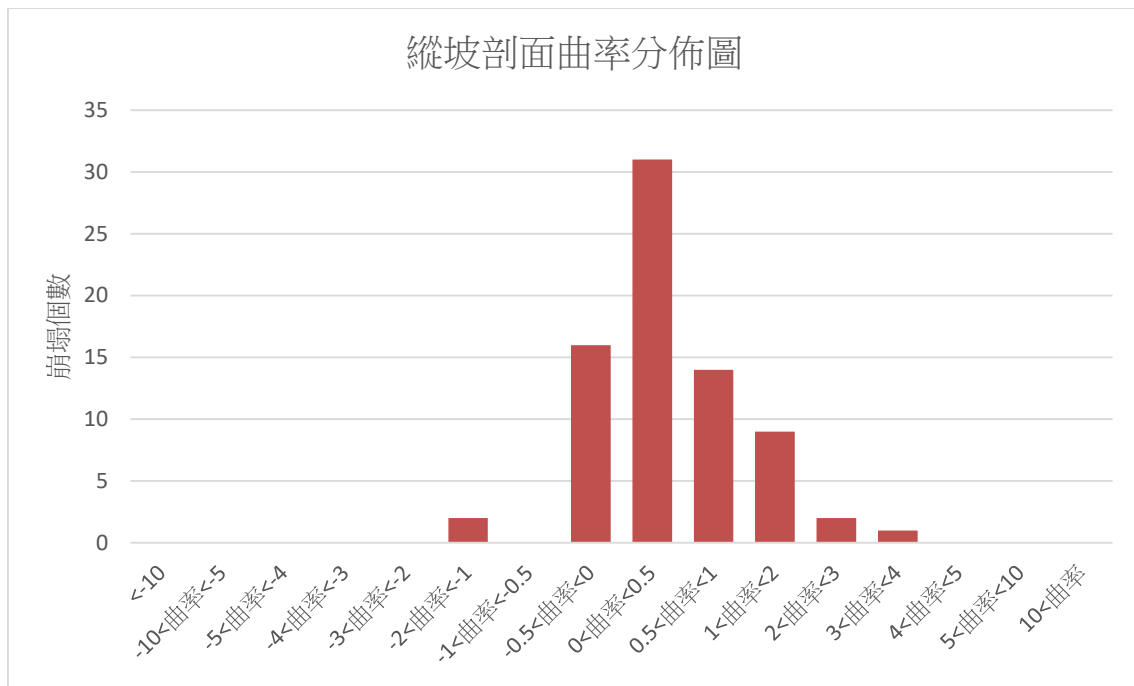


圖 3-17 縱坡剖面曲率分佈圖(辛樂克颱風)

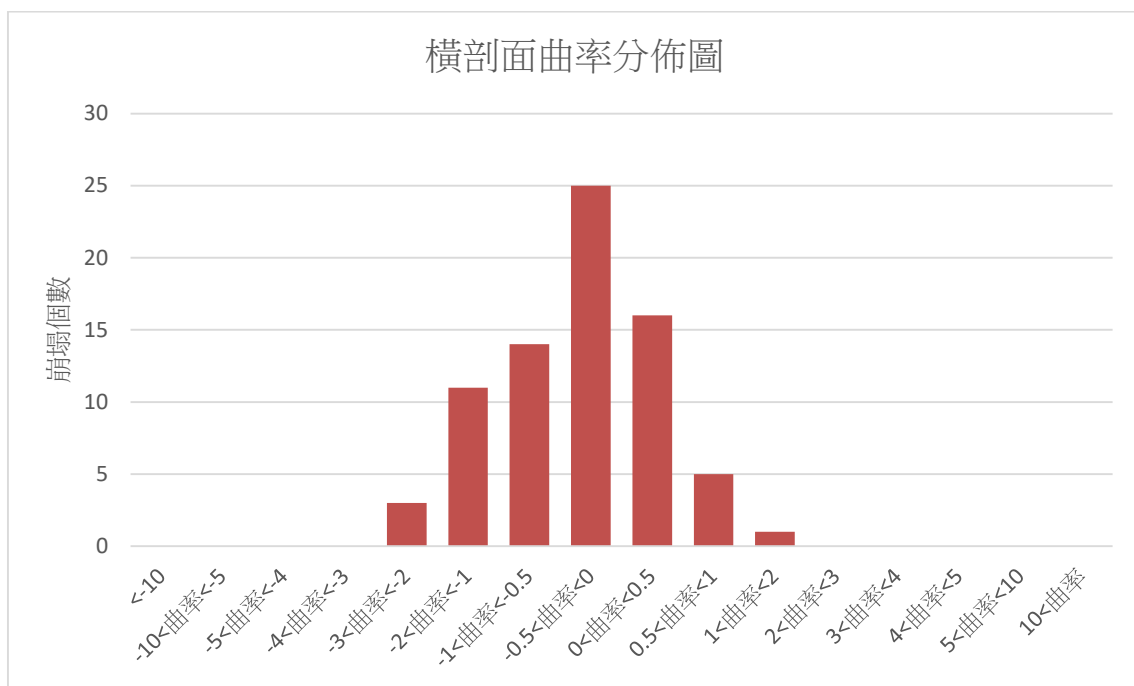


圖 3-18 橫剖面曲率分佈圖(辛樂克颱風)

三、莫拉克颱風崩塌特性分布

莫拉克颱風侵臺時間在那瑪夏地區造成 2238 處崩塌，如圖 3-2 所示。但此次降雨事件造成多處大規模崩塌，而大規模崩塌的發生機制與淺層崩塌不同，因此暫不討論大規模崩塌部分，而將大規模崩塌刪除後，可得淺層崩塌數量為 2191 處，如圖 3-19 所示，而大規模崩塌及淺層崩塌個數及面積整理於表 3-3。

淺層崩塌總面積為 1128.77 公頃，而最大面積為 9.4 公頃，裸露率為 7.12%。莫拉克颱風造成崩塌的面積分佈如圖 3-20 所示，可看出大部份的面積小於 1 公頃。崩塌的長寬比分佈如圖 3-21，由此圖可看出長寬比約在 1~2.5 之間，崩塌型狀大致上為圓形偏長橢圓。崩塌的坡度分佈圖如圖 3-22 所示，大部分的崩塌發生在 30~40 度的邊坡上，此現象可能為那瑪夏地區地形特徵之一。崩塌的坡向分佈圖如圖 3-23 所示，坡向並沒有特別明顯集中區域，唯獨坡向朝北的邊坡發生崩塌數量較少，其於坡向所發生的崩塌個數並沒有差距太多，此因子在這事件中並沒有特別顯著。崩塌曲率分佈如圖 3-24~圖 3-26 所示，可看出平面曲率分佈於-3~0.5 之間，縱坡剖面曲率集中在-0.5~2，而橫剖面曲率分佈於-2~0.5，由此可知崩塌的曲率接近平面而微凹，可能因為此次事件所討論的崩塌為淺層所影響。

表 3-3 不同類別崩塌區分

崩塌類型	個數	總面積(公頃)	面積佔有比例(%)
全部崩塌	2238	1823.68	61.9
淺層崩塌	2191	1128.77	
大規模崩塌	47	694.91	

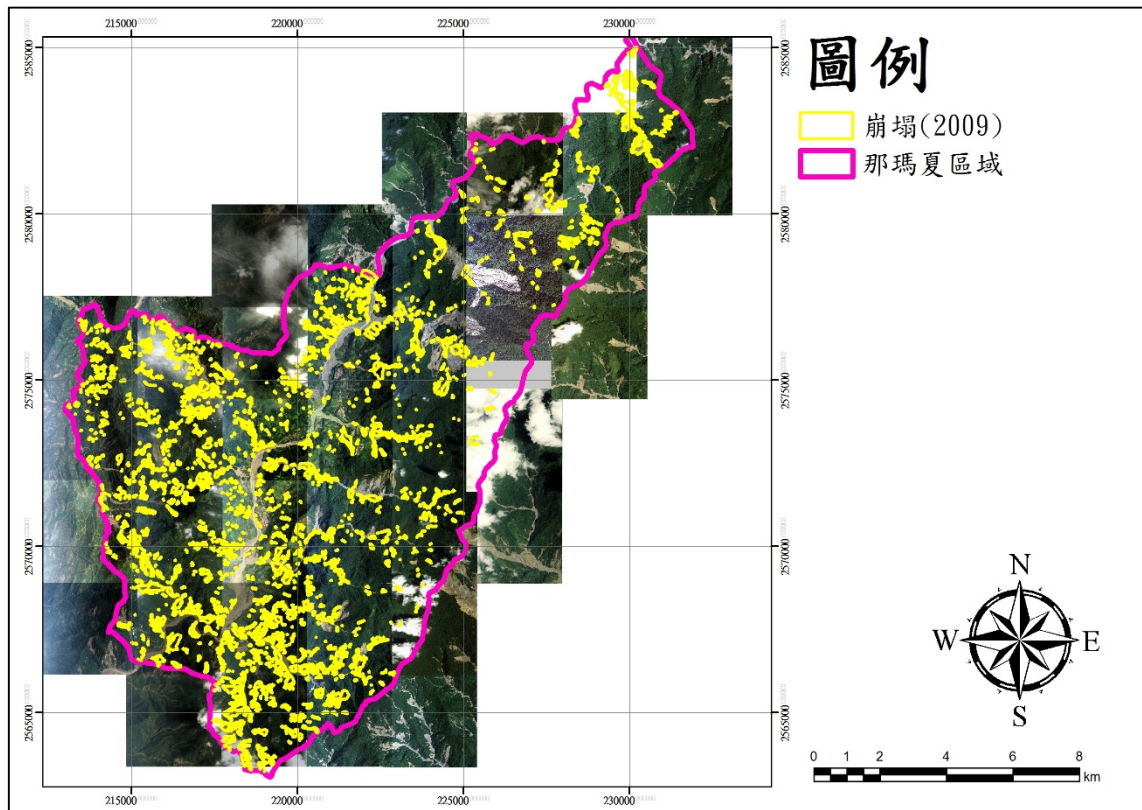


圖 3-19 研究區淺層崩塌分佈圖(莫拉克颱風)

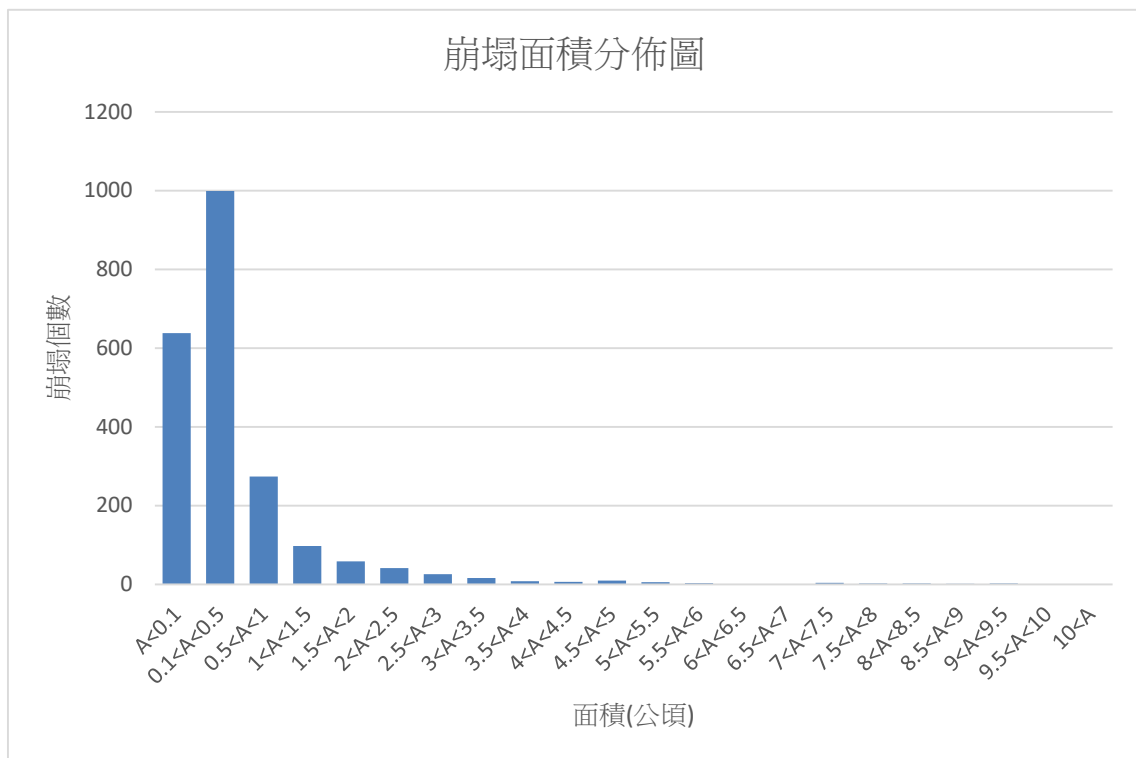


圖 3-20 崩塌面積分佈圖(莫拉克颱風)

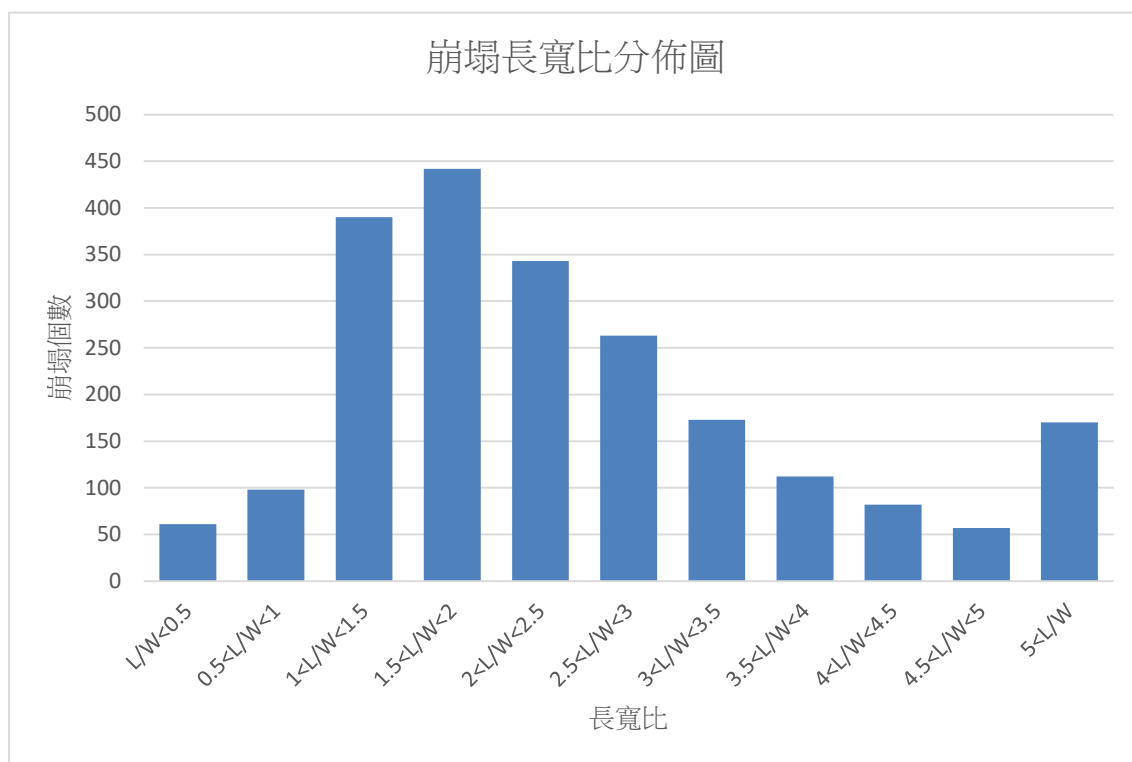


圖 3-21 崩塌長寬比分佈圖(莫拉克颱風)

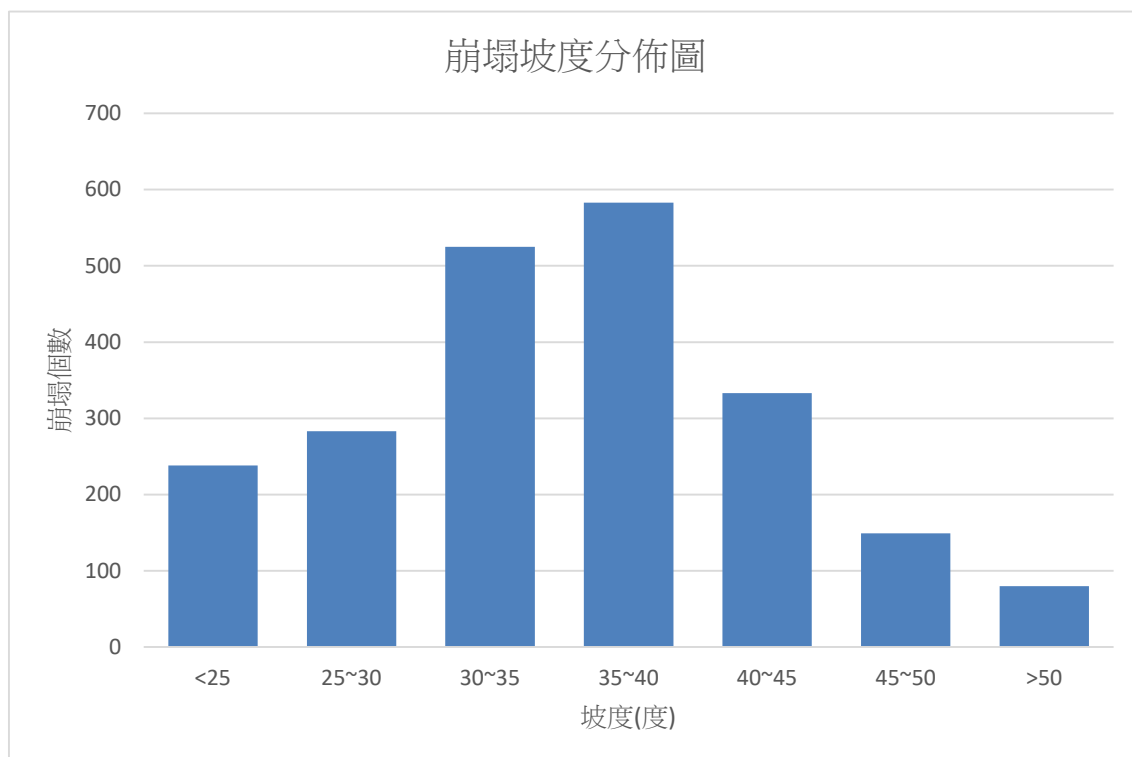


圖 3-22 崩塌坡度分佈圖(莫拉克颱風)

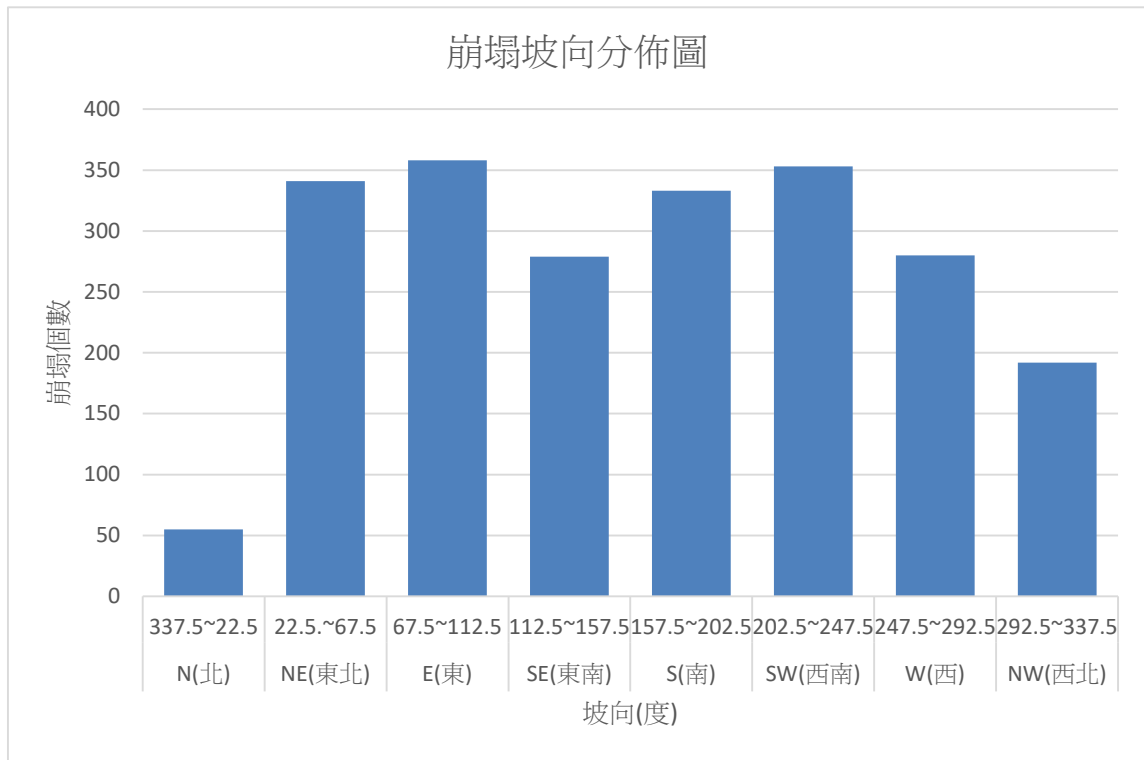


圖 3-23 崩塌坡向分佈圖(莫拉克颱風)

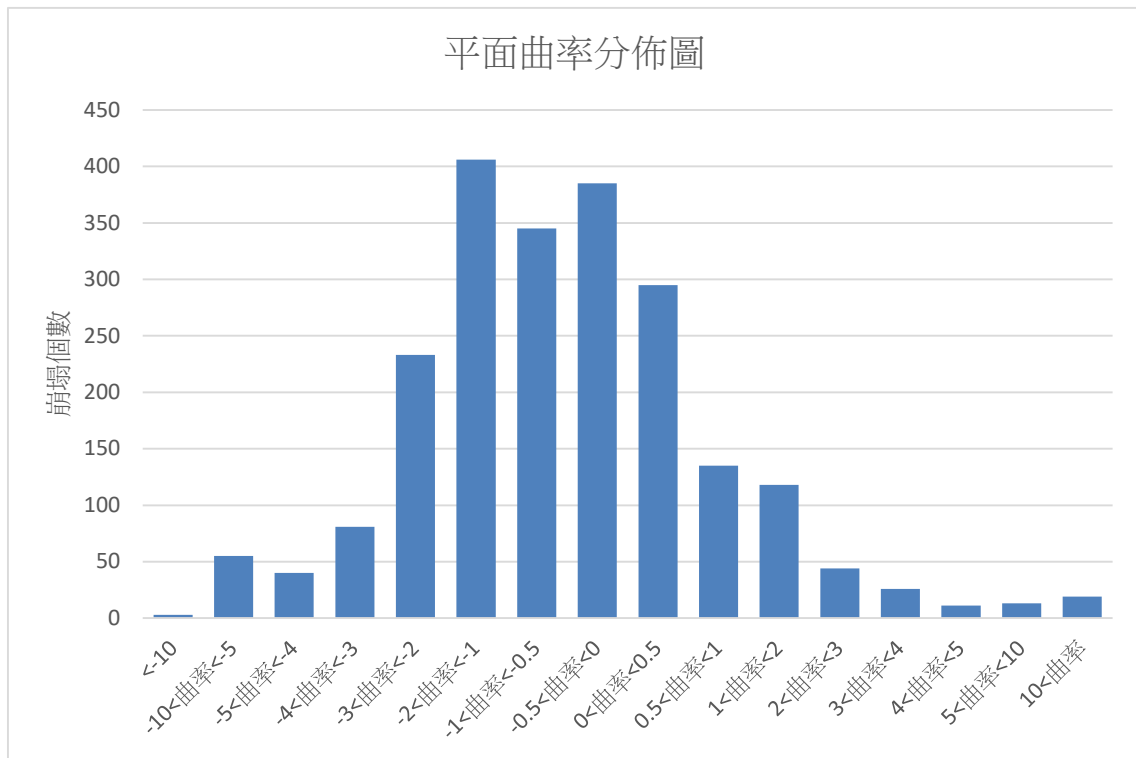


圖 3-24 平面曲率分佈圖(莫拉克颱風)

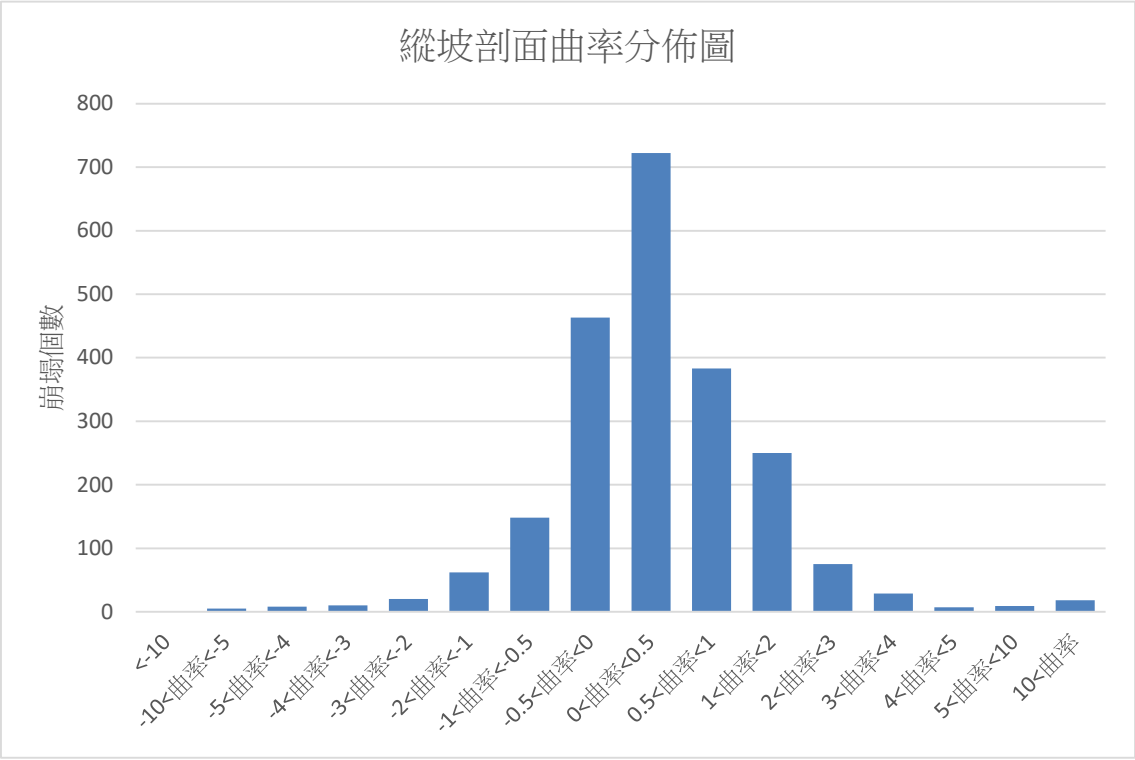


圖 3-25 縱坡剖面曲率分佈圖(莫拉克颱風)

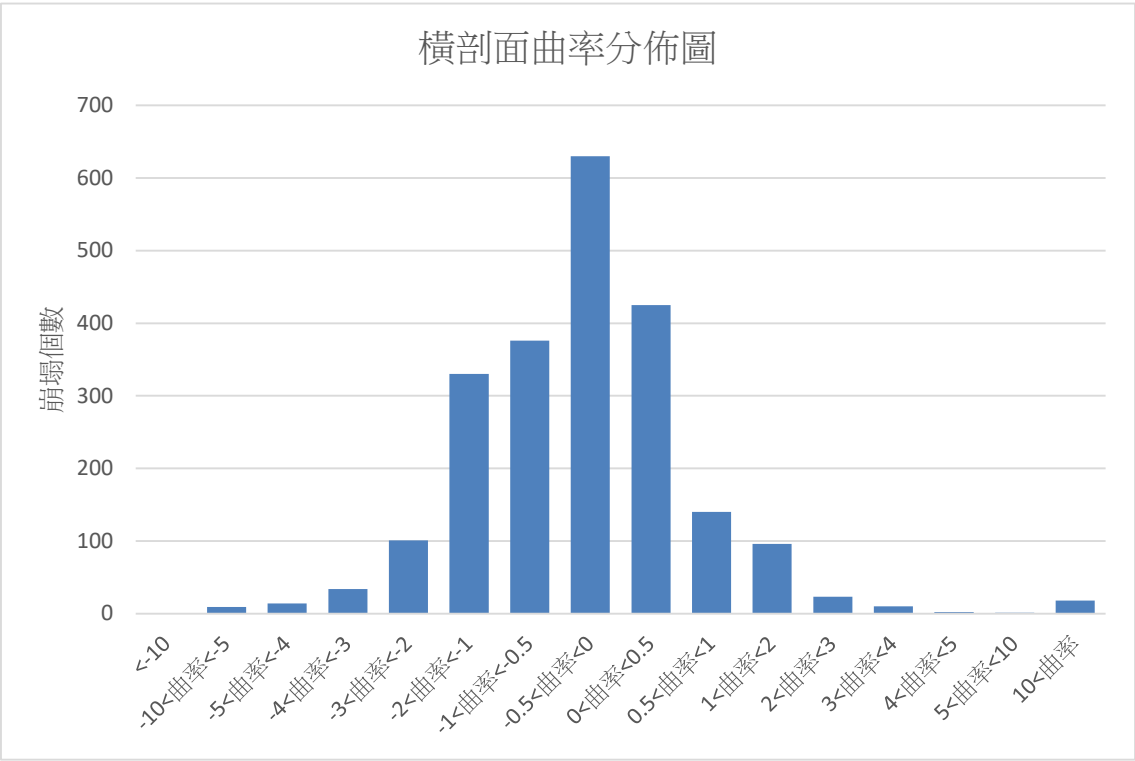


圖 3-26 橫剖面曲率分佈圖(莫拉克颱風)

由前面 2 小節可辛樂克颱風的崩塌特性因子在面積、坡度以及曲率上有較集中的趨勢。而莫拉克颱風的崩塌特性因子，則為面積、長寬比、坡度以及曲率有明顯的特徵。而兩次事件的因子可看出坡度和縱坡剖面曲率都有一致的趨勢，容易發生崩塌的坡度介於 30~40 度，而曲率介於-2~0.5 之間，而且發生的崩塌面積都小於 2 公頃，可能原因為本次所討論的崩塌為淺層破壞，其面積較小所致，與一般預期之特性相符合。

第四章 雨量熱點分析

本章整理颱風導致崩塌發生的分布情形與雨量資訊，然後採用熱點分析了解雨量資料發生頻率及強度關係，以熱點分析結果決定使用之雨量參數，並將熱點分析結果與崩塌圈繪成果作比對，探討雨量與崩塌發生關聯性。

第一節 雨量站分佈及雨量資料統計

對於辛樂克與莫拉克颱風雨量資料，蒐集整理高雄地區中央氣象局和水利署雨量站資料，本研究針對整個高雄地區做雨量探討，且為了進行雨量數據內差與熱點分析，故選定能含括整個高雄地區分布且距離不會太遠的雨量站，以提高分析時的準確性。

由於雨量站紀錄有時候發生錯誤，故剔除資料錯誤雨量站資料，又因為平地雨型與山區不同，亦不將座落於平地的雨量站納入研究。最後研究選定之雨量站分別為辛樂克颱風有 24 站，莫拉克颱風有 35 站，雨量站名稱如表 4-1，而雨量站分佈如圖 4-1 及圖 4-2。

降雨是由不連續的時間序列組成，故對不同的降雨分析，會先選定雨場分割方式當作一場連續降雨的定義，以決定連續降雨的起始與結束時間，然後計算整體雨場累積降雨量，回顧前人對於雨場分割研究有六種，雨場分割方法如下：

- a.：一場連續降雨事件，其前後連續 24 小時內均無降雨。
- b.：一場連續降雨事件，其前後連續 12 小時內均無降雨，。
- c.：一場連續降雨事件，以時雨量大於 4mm 處做為降雨開始的時間，以時雨量連續 3 小時均小於 4mm 處為降雨結束時間點。
- d.：一場連續降雨事件，以 24 小時累積雨量達 10mm 處為降雨開始的時間，以 24 小時累積雨量小於 10mm 之開始點為降雨結束時間點。

e.：一場連續降雨事件，以時雨量大於 4mm 處做為降雨開始的時間，以時雨量連續 6 小時均小於 4mm 處為降雨結束時間點。

f.：一場連續降雨事件，以 12 小時累積雨量達 10mm 處為降雨開始的時間，以 12 小時累積雨量小於 10mm 之開始點為降雨結束時間點。

在臺北市政府產業發展局(2006)中探討六種方法對於颱風帶來的集中降雨的合適性，最後歸納出 c~e 方法相互間誤差不會太大，考慮到雨場分割的便利性及適當性，最後選定方法為 c，即在一場連續降雨事件中以時雨量大於 4mm 為降雨開始時間，以時雨量連續 3 小時小於 4mm 處為該次降雨結束時間，而此法為目前最多學者所採用的雨場分割方法。

從蒐集的雨量資料統計後結果如表 4-2，可得知辛樂克颱風在那瑪夏地區的降雨延時為 33~73 小時，最大降雨強度為 65.5 mm/hr；而莫拉克颱風的降雨延時為 60~111 小時，最大降雨強度為 121 mm/hr。兩個颱風事件的降雨方式為比較分散的，但雨量特徵不同。為探討不同颱風降雨對於崩塌發生的影響，所以選擇的降雨參數有最大降雨強度、各時間段累積雨量以及總累積雨量。

表 4-1 雨量事件選取之雨量站

辛樂克颱風雨量站				莫拉克颱風雨量站			
代號	站名	X 座標	Y 座標	代號	站名	X 座標	Y 座標
C0S75	向陽	247754.5	2572000.7	467550	玉山	245063.1	2598486.8
C0V15	表湖	214813.9	2573364.9	C0R100	尾寮山	216727.1	2526081.9
C1M40	草嶺	205829.8	2572466.1	C0S750	向陽	247754.5	2572000.7
C1M44	新高口	236748.9	2597569	C0V150	表湖	214813.9	2573364.9
C1O88	關山	207595.7	2563755.5	C0V250	甲仙	207224.9	2553420.9
C1V16	民生	219024.9	2575539.7	C1M400	草嶺	205829.8	2572466.1
C1V17	排雲	244523	2595841.4	C1M440	新高口	236748.9	2597569
C1V19	南天池	240138.7	2574864.5	C1O880	關山	207595.7	2563755.5
C1V20	梅山	231100.6	2574104.3	C1V160	民生	219024.9	2575539.7
C1V21	復興	229303.3	2569154.3	C1V170	排雲	245310.9	2595576.9
C1V22	小關山	230060.7	2561586	C1V190	南天池	240138.7	2574864.5
C1V23	高中	220186.3	2559480.1	C1V200	梅山	231100.6	2574104.3
C1V24	新發	214389.4	2550295.3	C1V210	復興	229303.3	2569154.3
C1V27	溪南	229337.6	2552943.4	C1V220	小關山	230060.7	2561586
C1V30	御油山	219957.7	2544777.1	C1V230	高中	220186.3	2559480.1
C1V46	楠溪	238192.2	2592830.6	C1V240	新發	214389.4	2550295.3
C0V250	甲仙	207224.9	2553420.9	C1V270	溪南	229337.6	2552943.4
C1M570	大湖	211203.2	2596934.1	C1V300	御油山	219957.7	2544777.1
C1M610	石磐龍	215591	2599270.9	C1V460	楠溪	238192.2	2592830.6
C0M410	馬頭山	207252.7	2580267.4	01V080	民族	217959.4	2568582
C1M400	菜瓜坪	206625.8	2572240.5	01V040	六龜(4)	211606.5	2544300
C0M530	奮起湖	219277.6	2599030.1	01N840	西阿里關	206500.2	2558138.8
C1M600	頭凍	209455.9	2589319.8	01V050	藤枝	224105	2551973
C1M390	龍美	214678.6	2589361.7	01P260	多納	220083.3	2534593.1
				C1R120	上德文	219194.4	2518846.1
				01P140	小關山	236345.1	2559062.7
				01V010	高中	220387.5	2558743
				wr0701	楠溪	239769	2596855
				C1M570	大湖	211203.2	2596934.1
				C1M610	石磐龍	215591	2599270.9
				C0M410	馬頭山	207252.7	2580267.4
				C1M400	菜瓜坪	205829.8	2572466.1
				C0M530	奮起湖	219277.6	2599030.1
				C1M600	頭凍	209455.9	2589319.8
				C1M390	龍美	214678.6	2589361.7

表 4-2 雨量資料統計表

		最大值	最小值	平均值
辛 樂 克 颱 風	降雨延時(hr)	73	33	60
	最大降雨強度 (mm/hr)	65.5	20	39
	12 小時累積雨 量(mm)	128	18.5	71
	24 小時累積雨 量(mm)	512.5	94	231
	36 小時累積雨 量(mm)	758	242	445
	48 小時累積雨 量(mm)	1166	392	661
	總累積雨量 (mm)	1441	392	764
莫 拉 克 颱 風	降雨延時(hr)	111	60	86
	最大降雨強度 (mm/hr)	121	41	89
	12 小時累積雨 量(mm)	338	79	167
	24 小時累積雨 量(mm)	878	191	395
	36 小時累積雨 量(mm)	1487	384	744
	48 小時累積雨 量(mm)	2051	800	1289
	總累積雨量 (mm)	2904	1119	2117

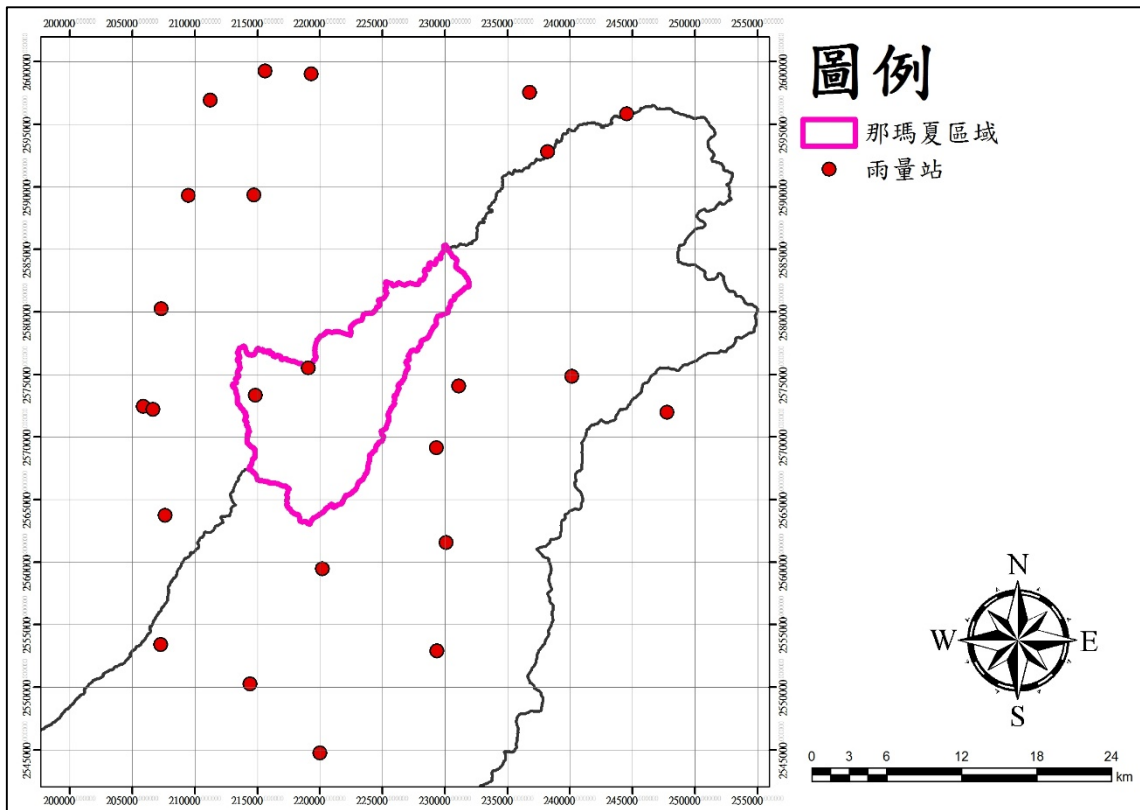


圖 4-1 辛樂克颱風選用雨量站

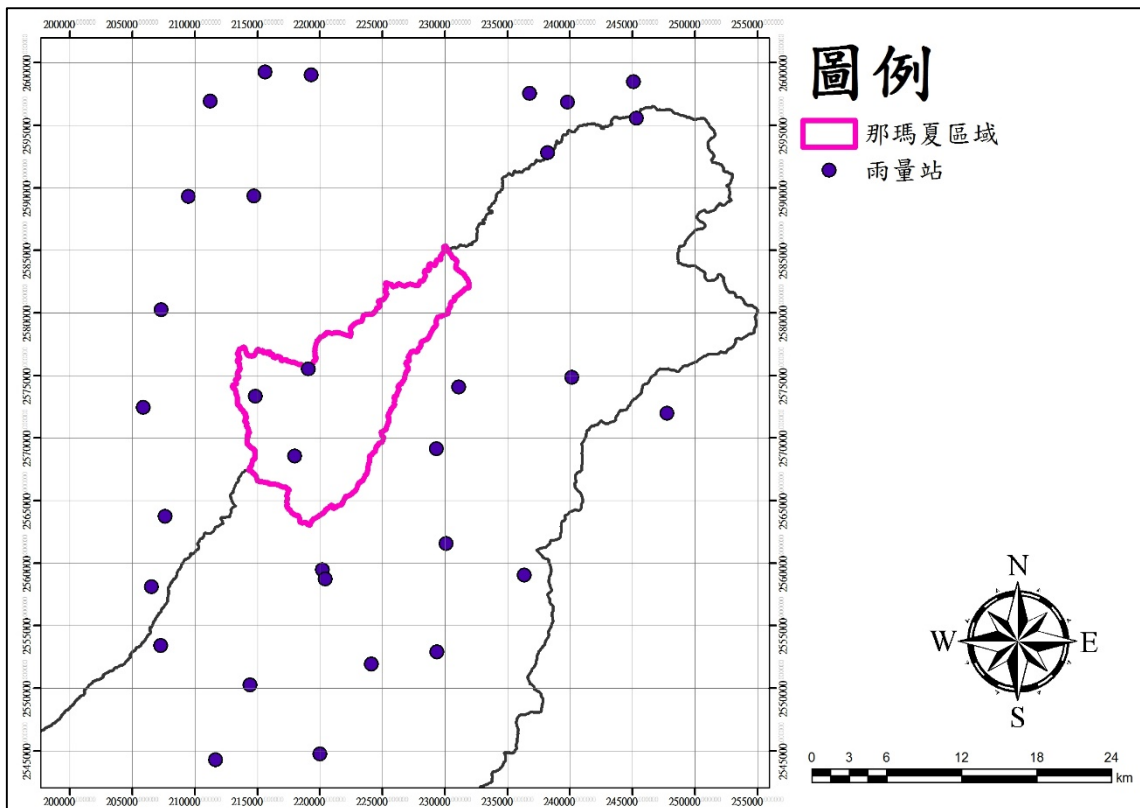


圖 4-2 莫拉克颱風選用雨量站

第二節 雨量資料分析.

由於降雨資料不可能每一個地方都有設立紀錄站來紀錄，故必須使用現有雨量站資訊來內插出其他地點的雨量數據，由內插出得到高雄地區雨量特性分布情形，將不同颱風不同考慮因素之雨量分布全部整理出來，再使用熱點分析分析降雨於不同地點之頻率與強度，然後再與蒐集之颱風導致崩塌發生的位置做比對，確認不同情形下，降雨聚落分布與崩塌發生之關係。

一、雨量內插

崩塌發生位置降雨資料不易取得，現有方法是以各種內插方式，由周邊既有雨量測站推估現地降雨，因此內插方法的精度極為重要。現有的雨量內插方法常用的有距離反比法、距離平方反比法、克利金法，以距離反比法及距離平方反比法較常被人使用，且在台北市產業開發局(2005)中有利用距離反比法、距離平方反比法、克利金法內插計算雨量預估值與量測值誤差，距離反比法、距離平方反比法誤差較小，且考慮台北市雨量站較密集，而高雄雨量站較為鬆散，故研究選用距離平方反比法進行雨量內插，其公式原理如下：

$$X_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{ij}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_{ij}^2}} \quad (4-1)$$

X_j ：推算點的雨量

X_i ：雨量站的實際雨量

D_{ij} ：推算點與雨量站之間距離

距離平方反比法(Inverse distance square method)所得數據會隨各雨量站距離增加而影響減弱，距離愈近雨量站影響較大，反之亦然，但由於其屬移動平均法，所得推估插值不會超過原始數據；將辛樂克與莫拉克颱

風整理出雨量站數據，使用 ArcGIS 中擴充模組空間分析中的插值功能 (Spatial Analyst/Interpolation)，可運算出高雄地區整體降雨分布情形。將蒐集的雨量資料進行內插後所得辛樂克及莫拉克颱風的累積雨量分佈如圖 4-3 及圖 4-4 所示。將各崩塌的降雨強度和各累積雨量作比對後的成果如圖 4-5~圖 4-14 所示。辛樂克颱風的降雨強度和各累積雨量都有正相關的趨勢，尤其在 48 小時和總累積雨量特別明顯，將崩塌個數與累積雨量作比對後，如圖 4-15 和圖 4-16，可看出在累積雨量為 48 小時 400mm 及總累積 500mm 時為一個門檻值，而最大降雨強度亦有明顯的門檻值於 30mm/hr，因辛樂克颱風的降雨歷時較短，所以累積雨量的門檻值較接近。而莫拉克颱風的比對結果並沒有如辛樂克颱風一樣的正相關趨勢，而是展現另一種趨勢。在具有很高的最大降雨強度之崩塌，相對的累積雨量比較少，然而累積雨量少的地方不一定有很高的最大降雨強度。一樣將 48 小時累積雨量及總累積雨量與崩塌個數作比對後可得到圖 4-17 及圖 4-18，48 小時累積雨量的雨量門檻值約落在 850mm，而總累積雨量的門檻值約為 1400mm，最大降雨強度亦有明顯門檻值於 70mm/hr。兩次降雨事件的門檻值不同可能為雨型不同所導致。

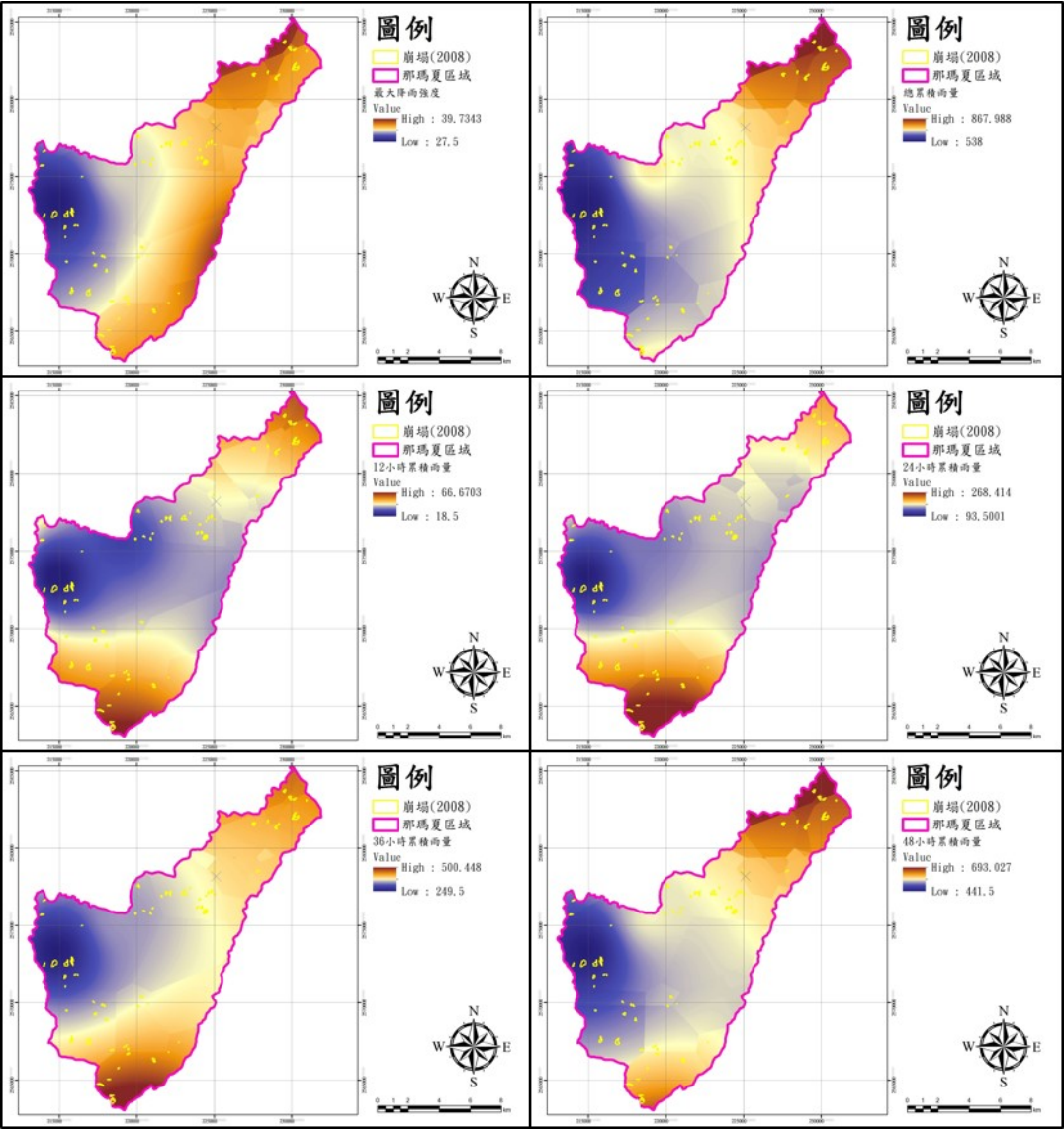


圖 4-3 辛樂克颱風最大降雨強度及各累積雨量圖

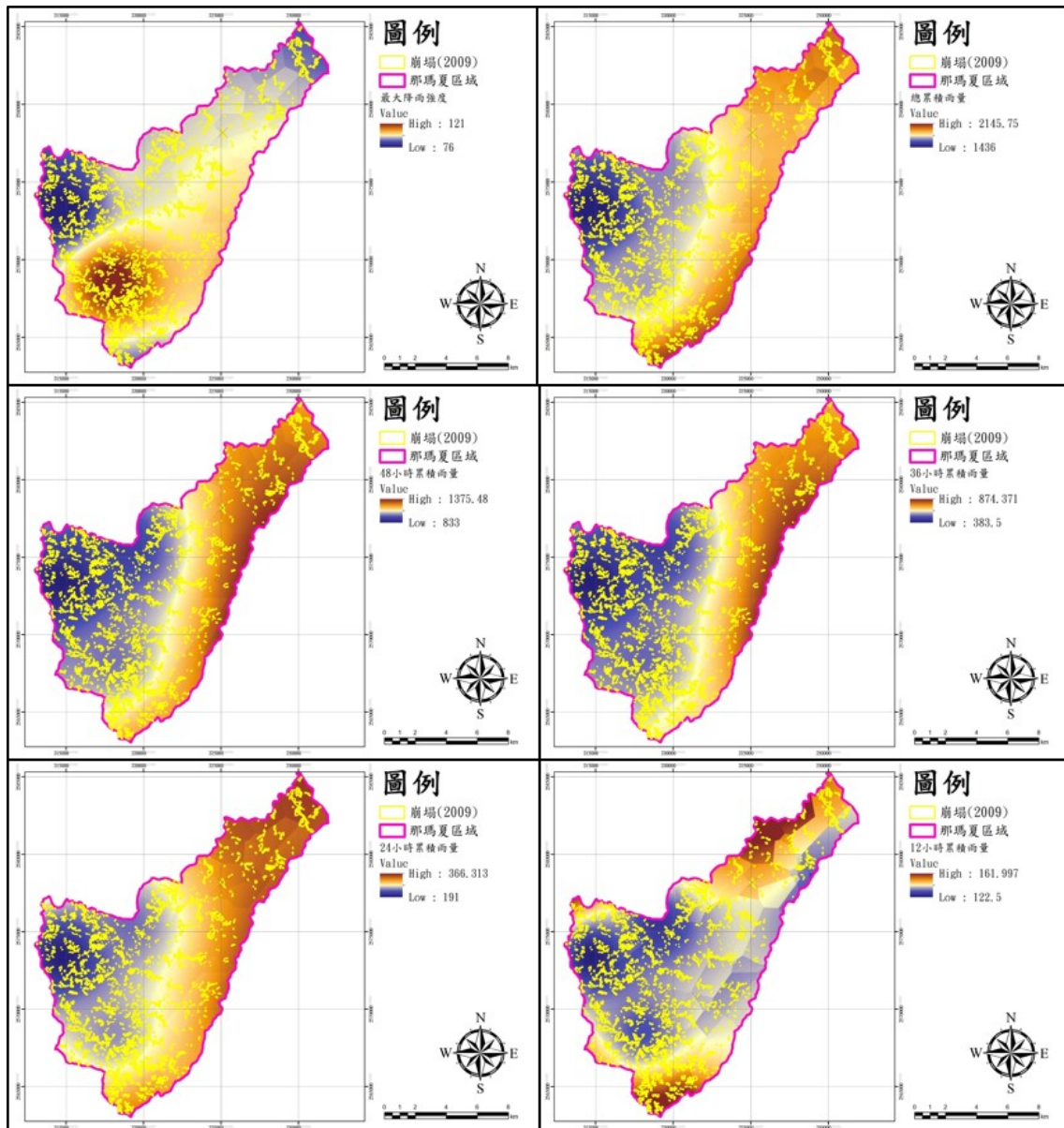


圖 4-4 莫拉克颱風最大降雨強度及各累積雨量圖

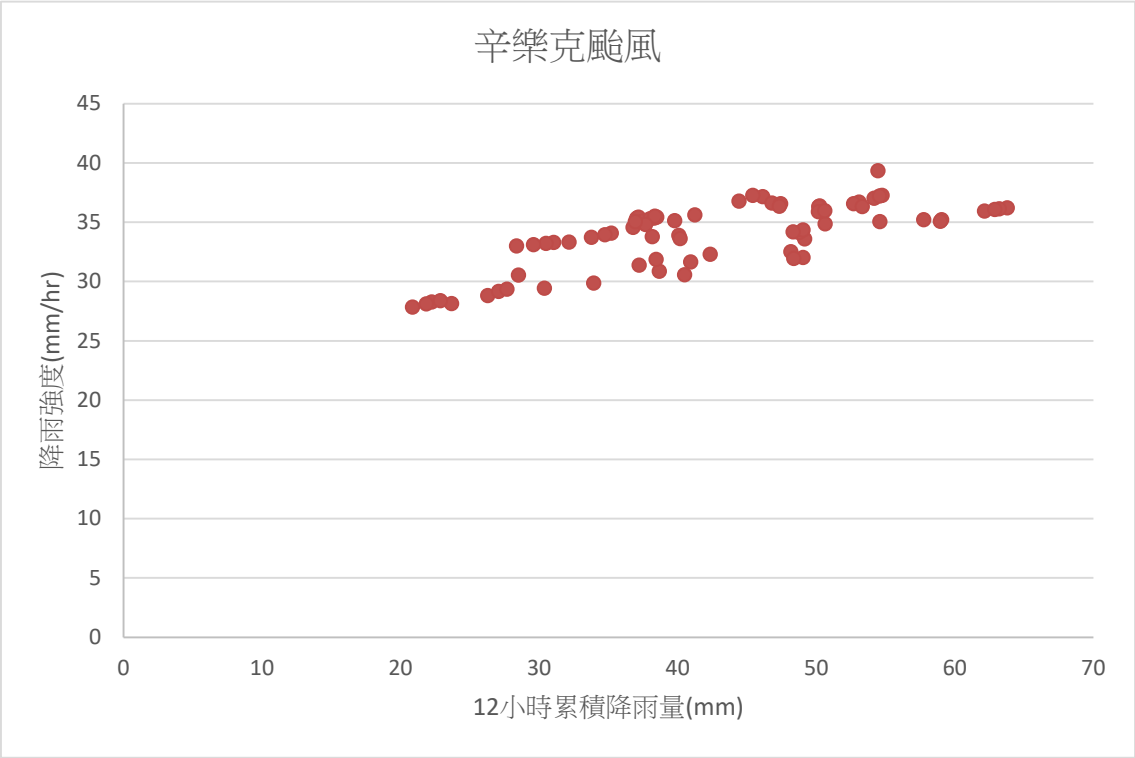


圖 4-5 辛樂克颱風最大降雨強度及 12 小時累積雨量

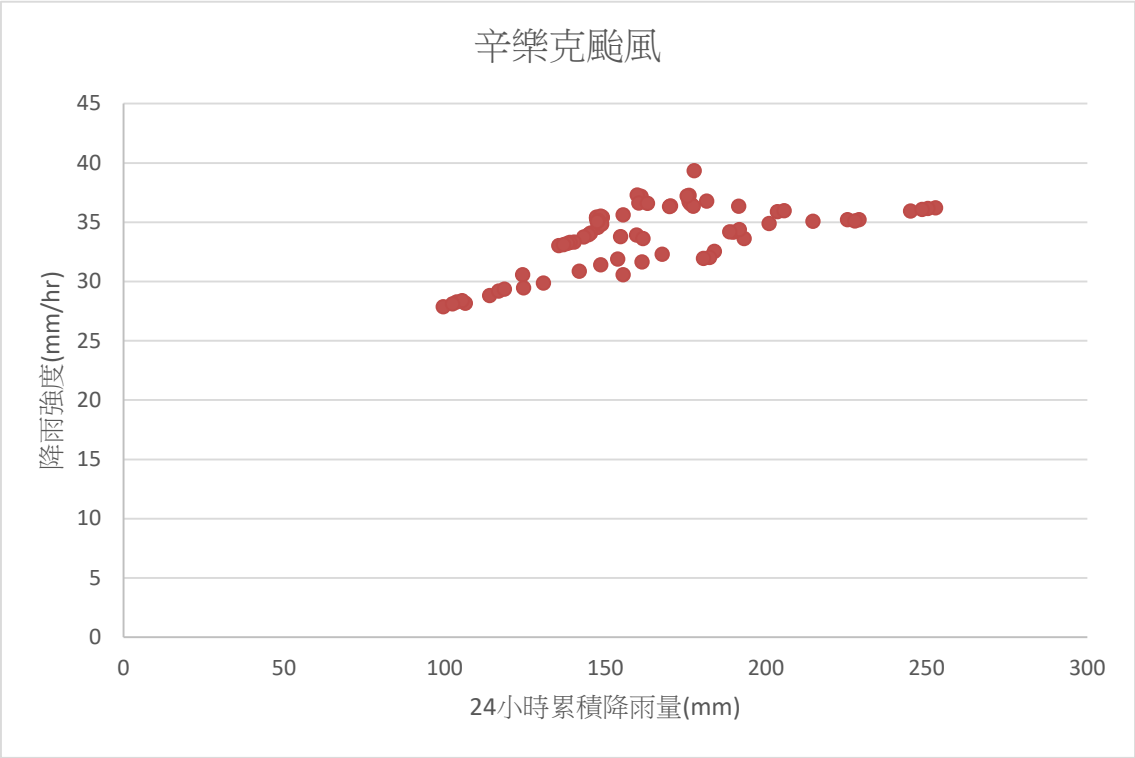


圖 4-6 辛樂克颱風最大降雨強度及 24 小時累積雨量

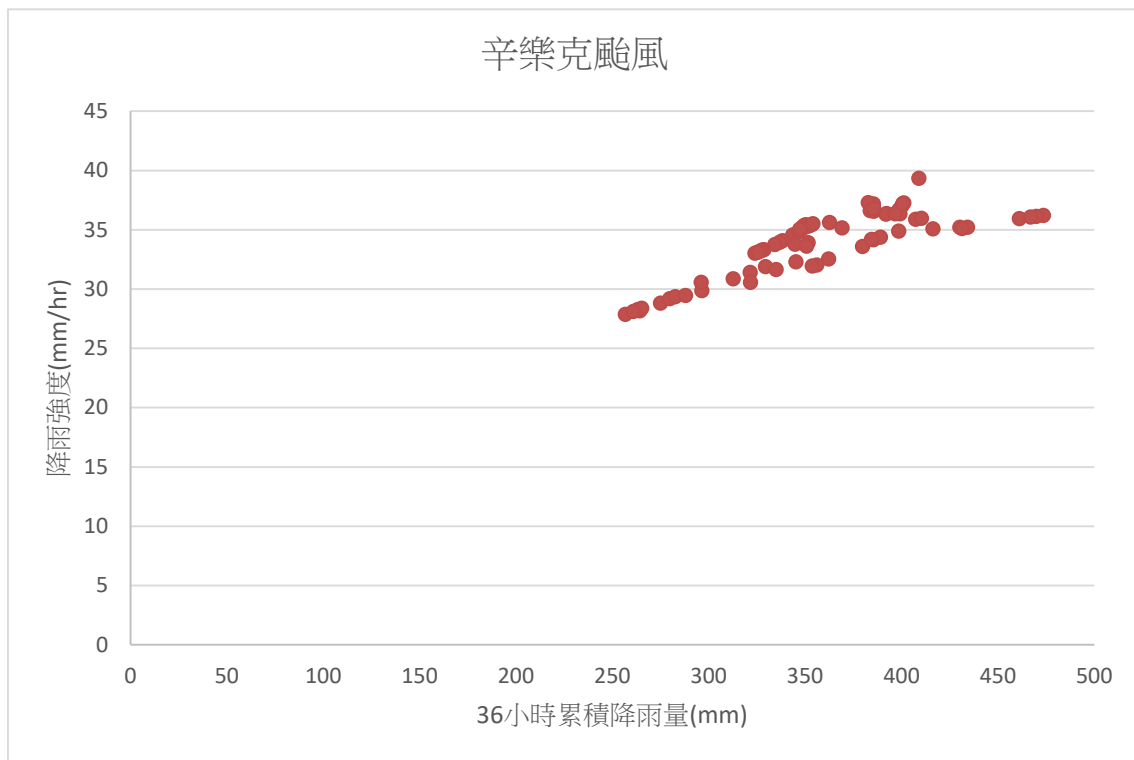


圖 4-7 辛樂克颱風最大降雨強度及 36 小時累積雨量

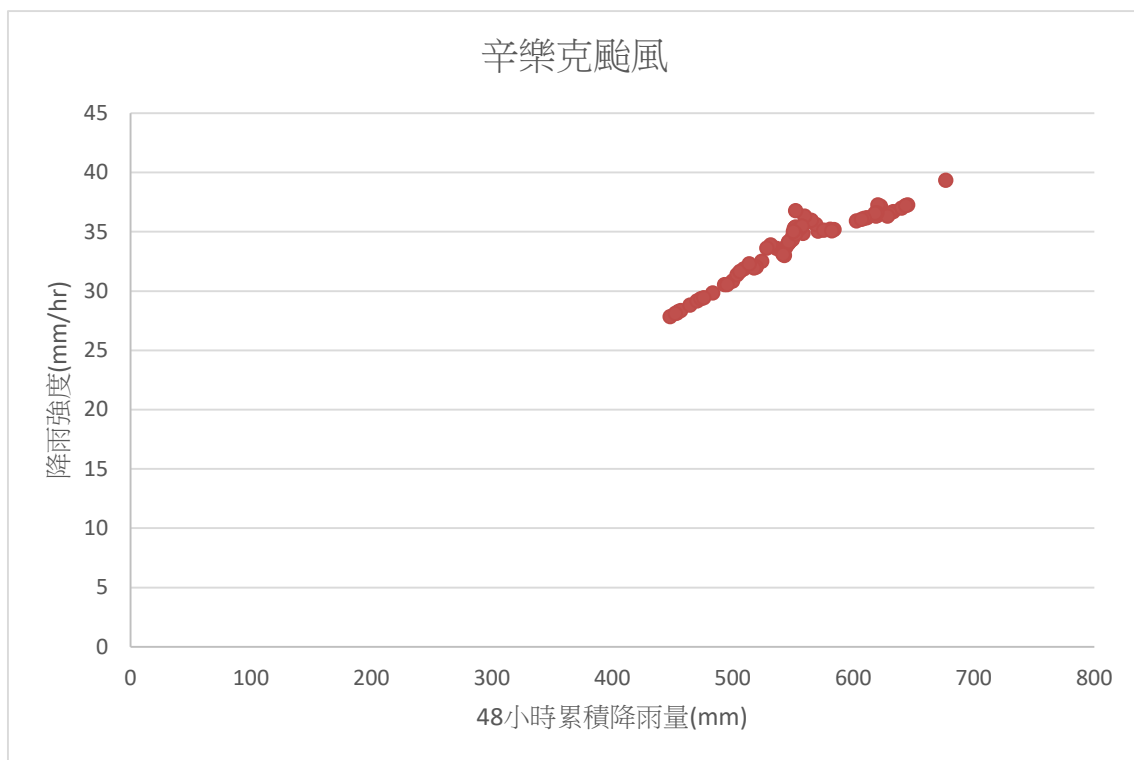


圖 4-8 辛樂克颱風最大降雨強度及 48 小時累積雨量

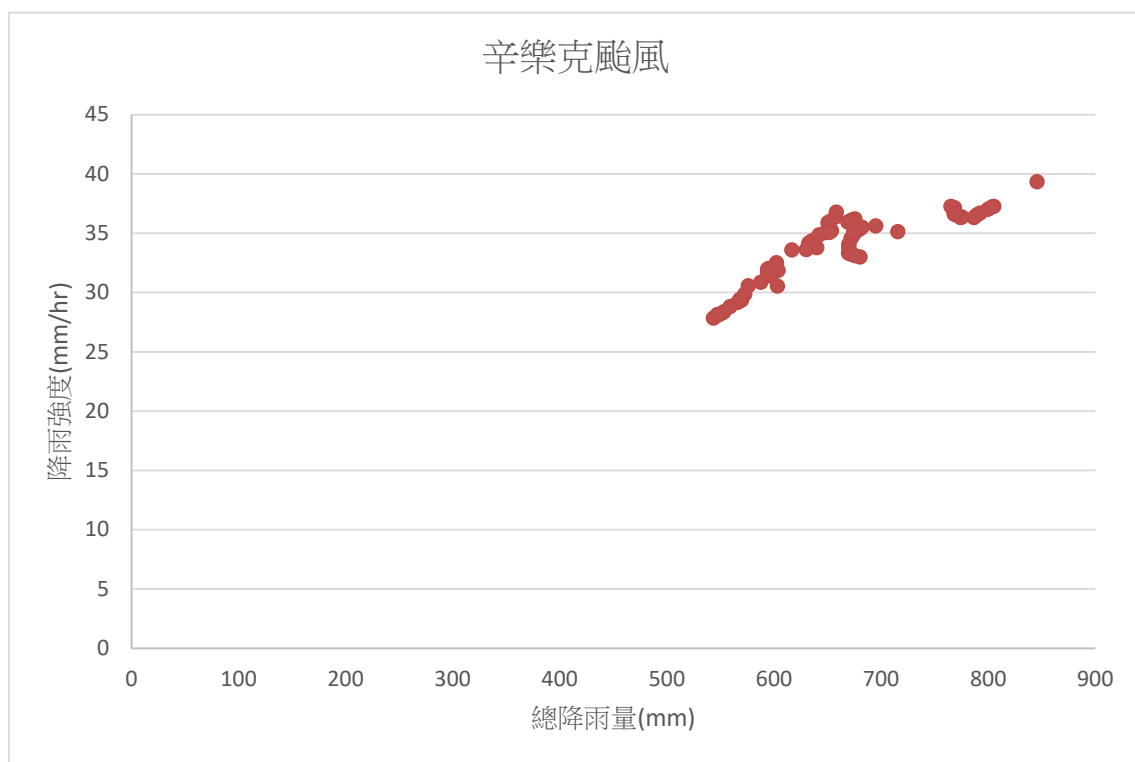


圖 4-9 辛樂克颱風最大降雨強度及總累積雨量

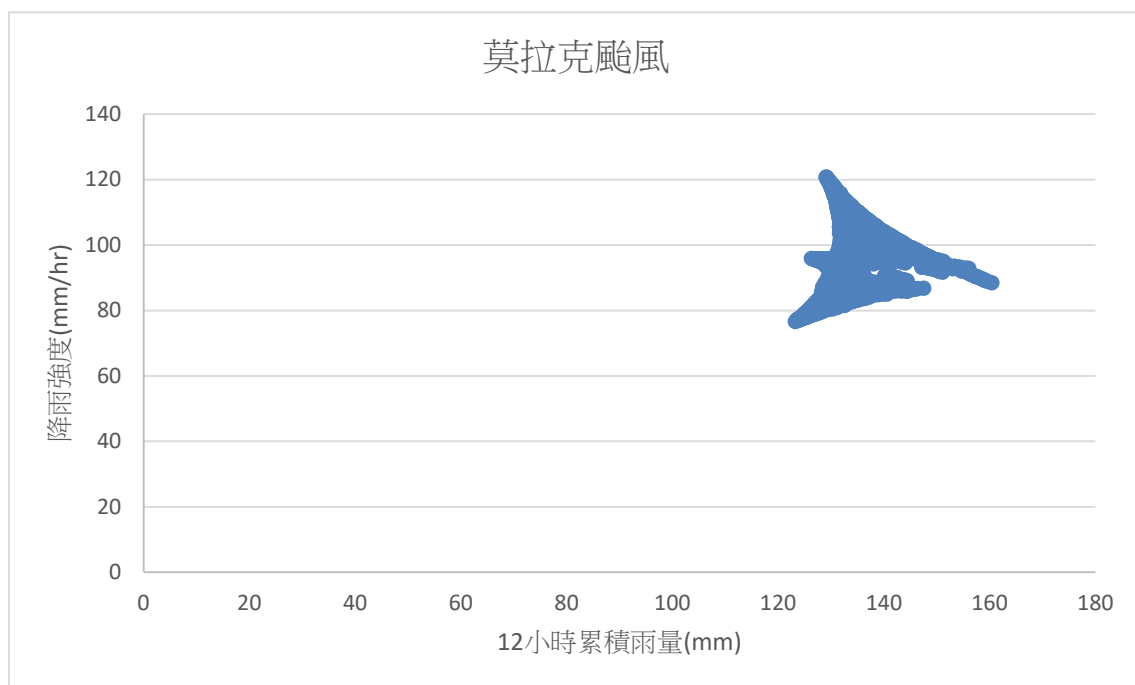


圖 4-10 莫拉克颱風最大降雨強度及 12 小時累積雨量

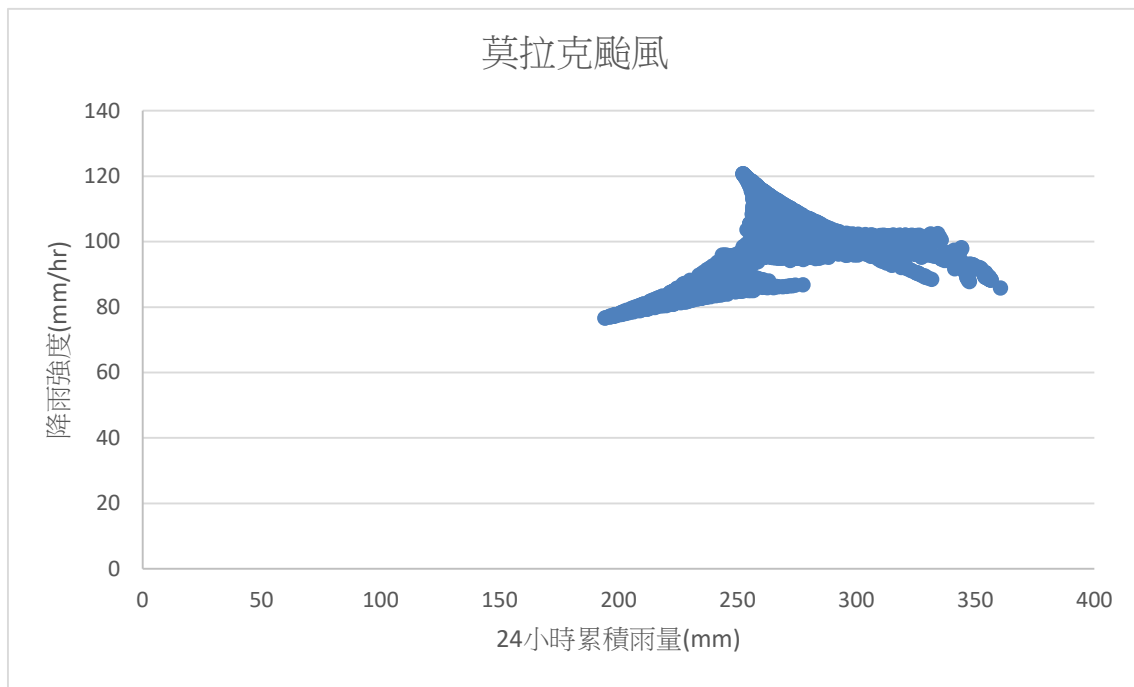


圖 4-11 莫拉克颱風最大降雨強度及 24 小時累積雨量

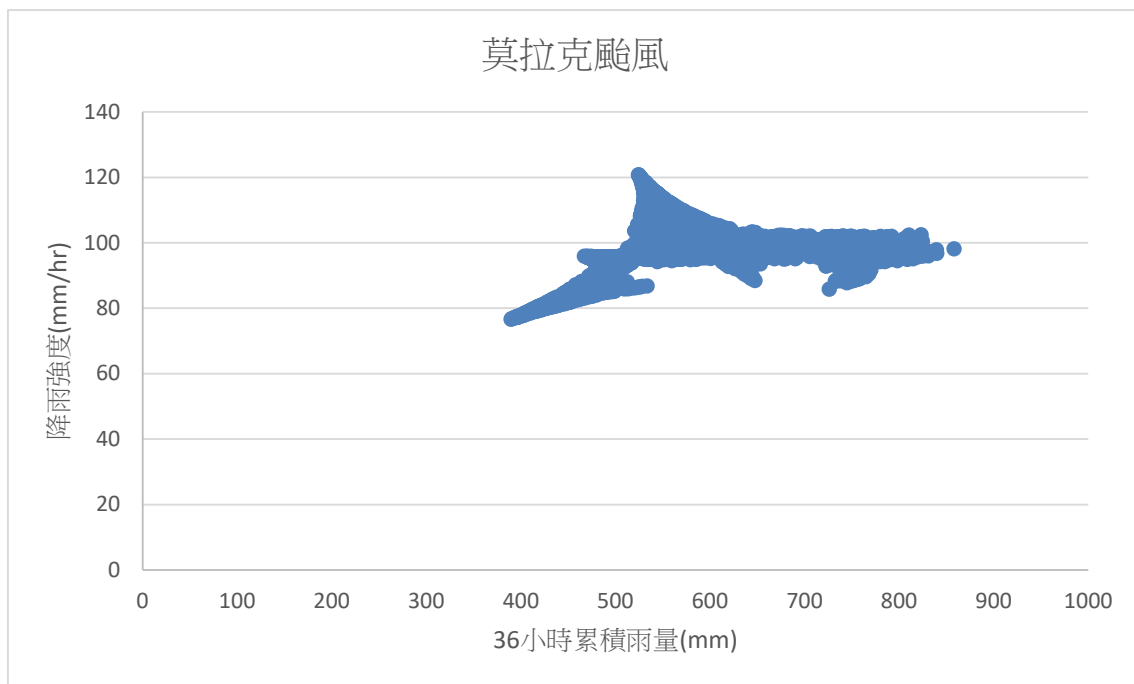


圖 4-12 莫拉克颱風最大降雨強度及 36 小時累積雨量

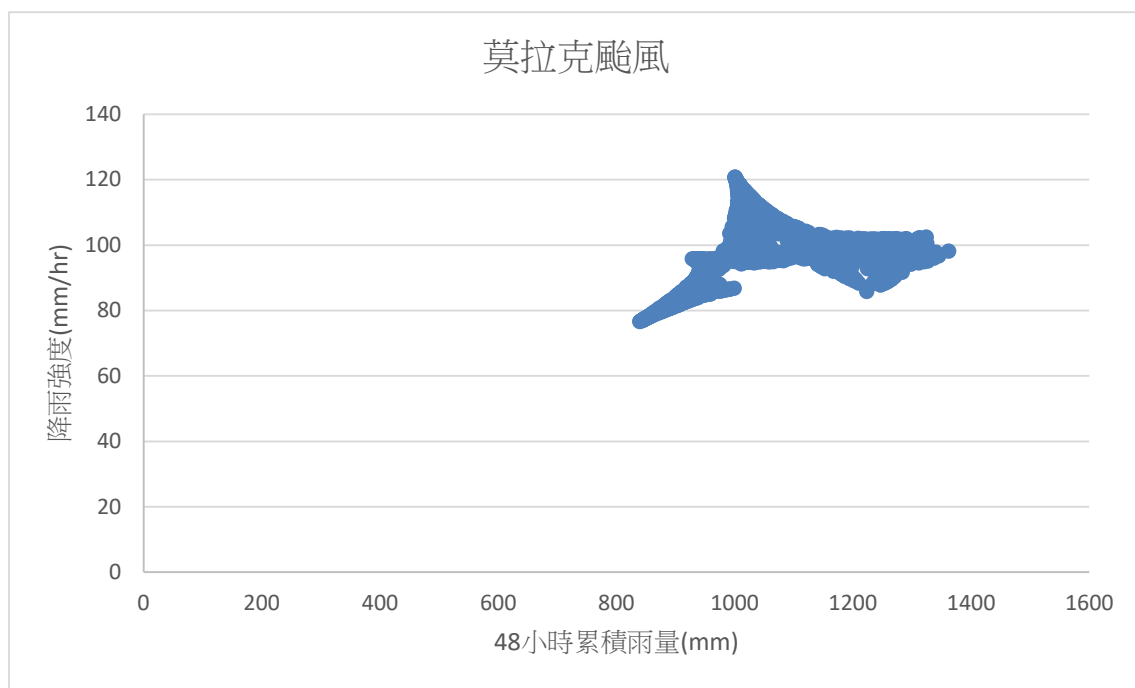


圖 4-13 莫拉克颱風最大降雨強度及 48 小時累積雨量

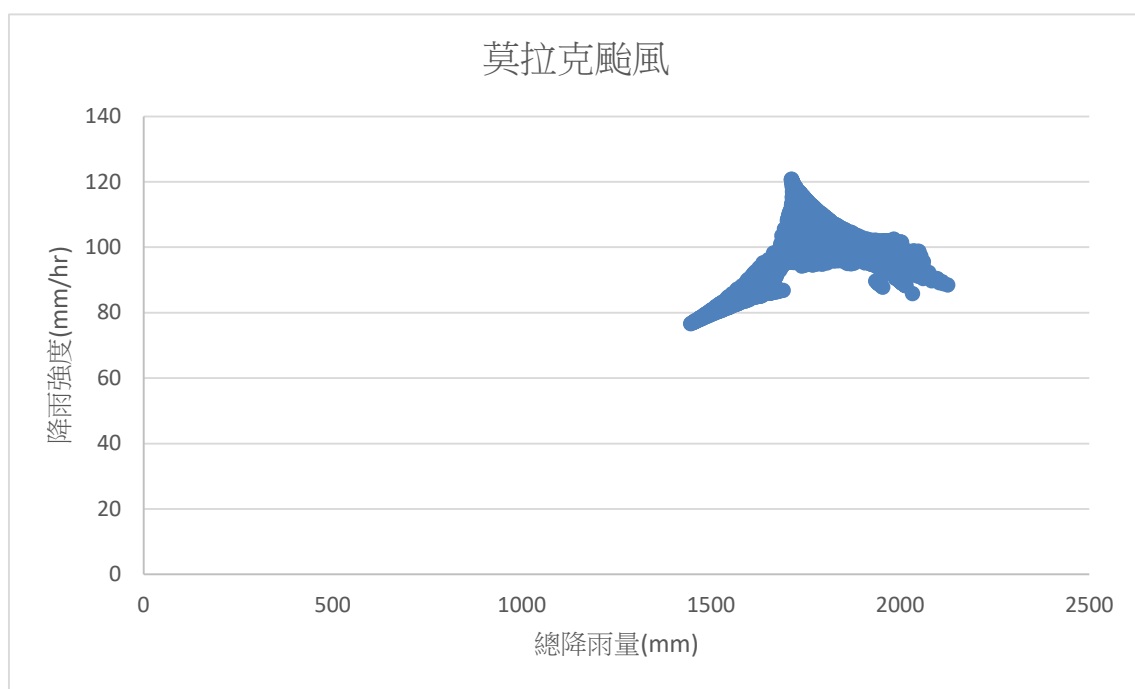


圖 4-14 莫拉克颱風最大降雨強度及總累積雨量

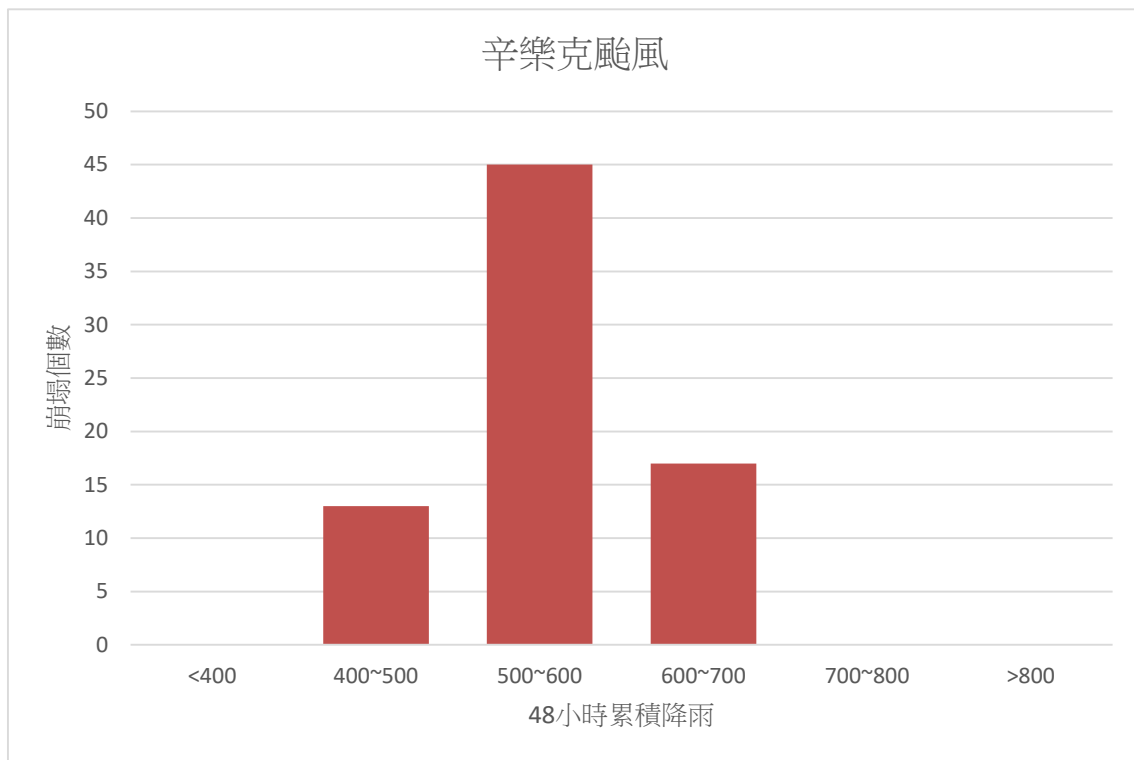


圖 4-15 48 小時累積雨量區間之崩塌個數

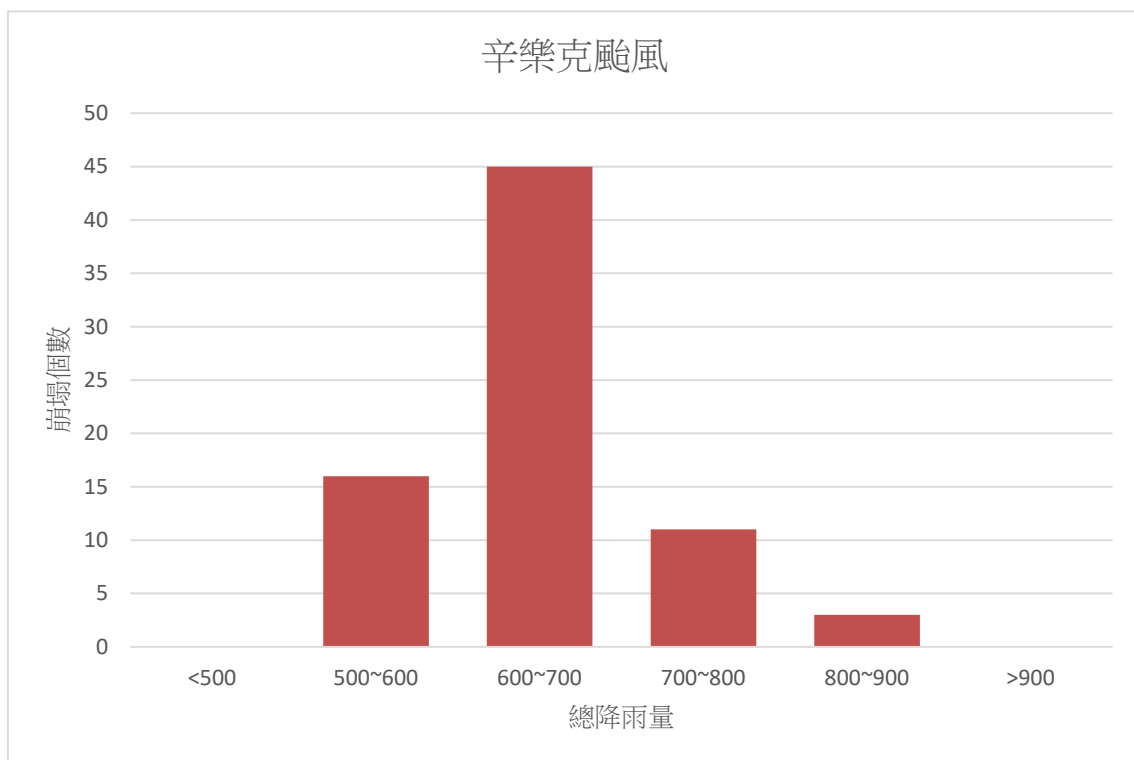


圖 4-16 總累積雨量區間之崩塌個數

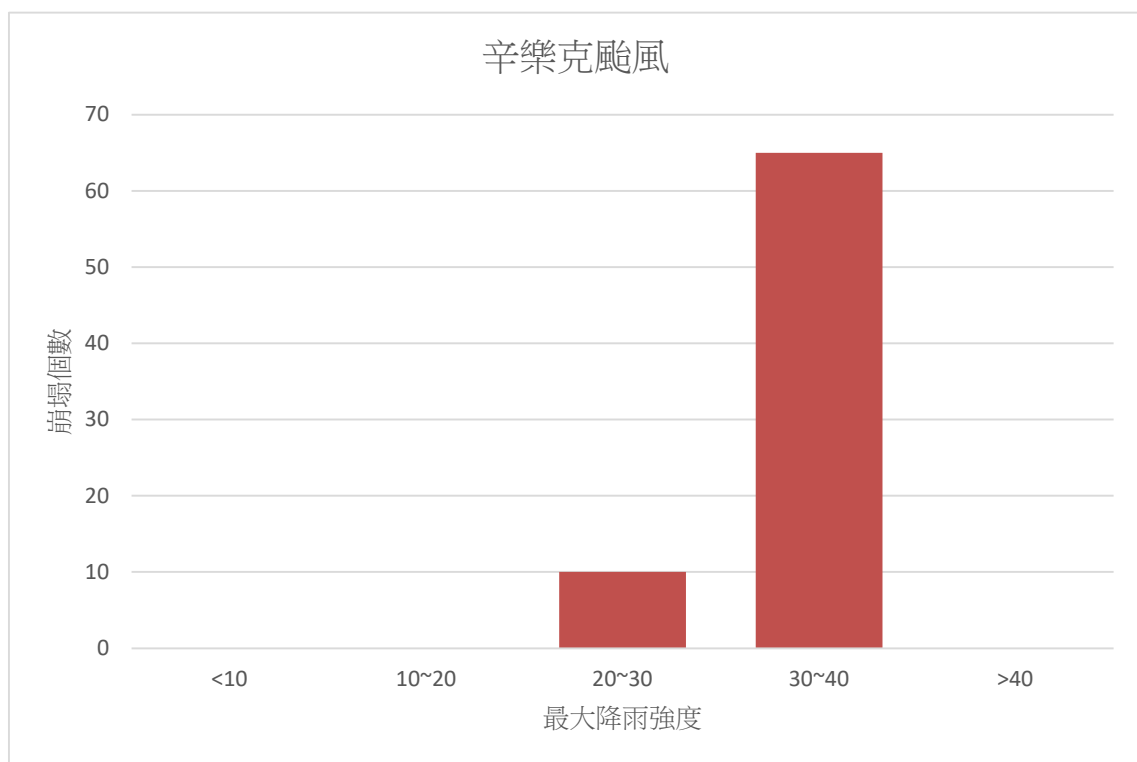


圖 4-17 最大降雨強度區間之崩塌個數

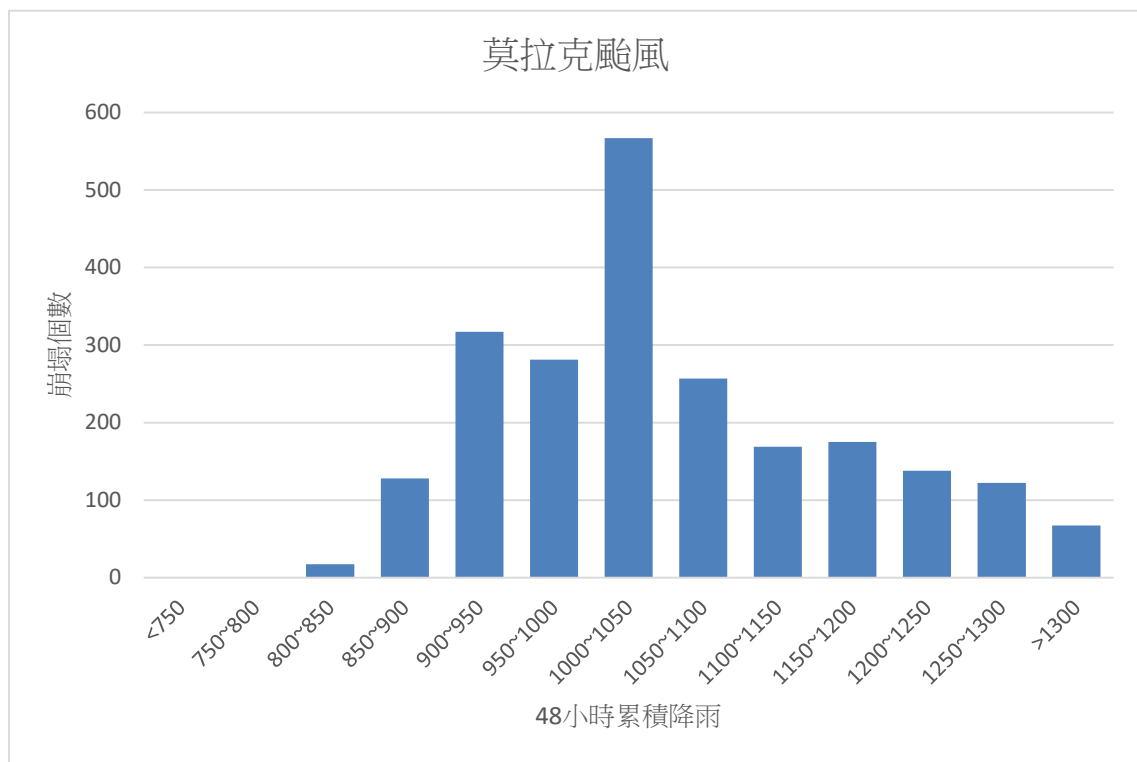


圖 4-18 48 小時累積雨量區間之崩塌個數

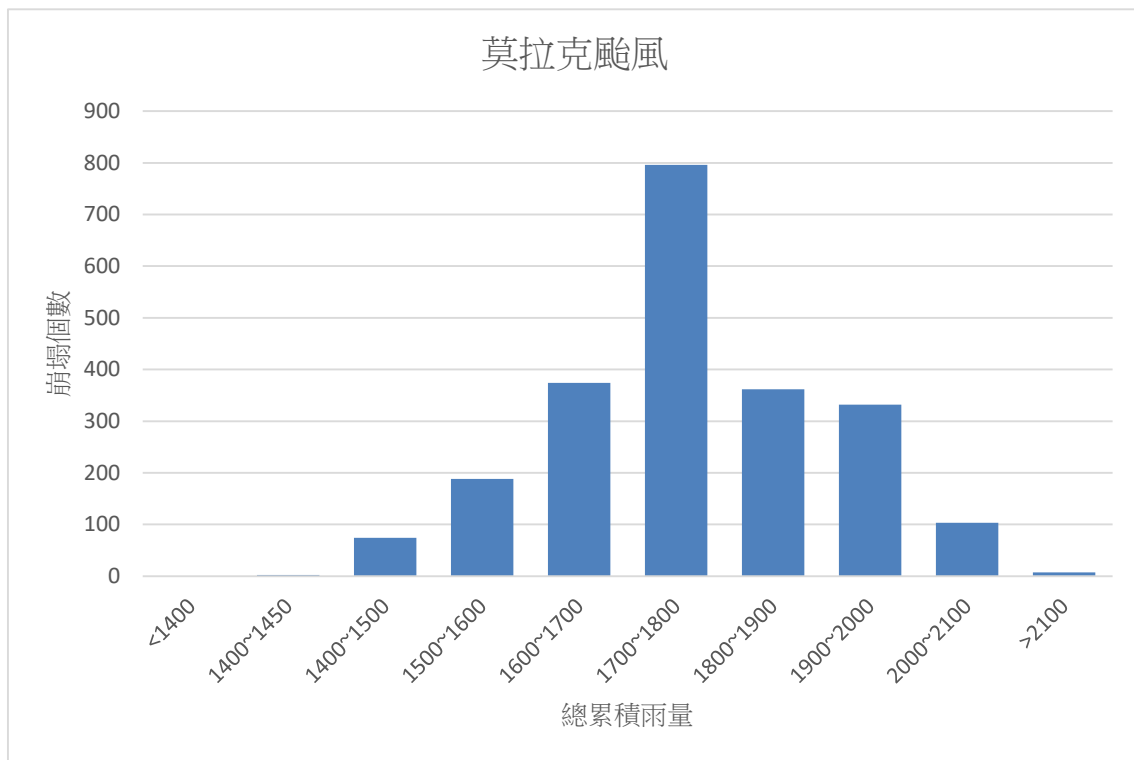


圖 4-19 總累積雨量區間之崩塌個數

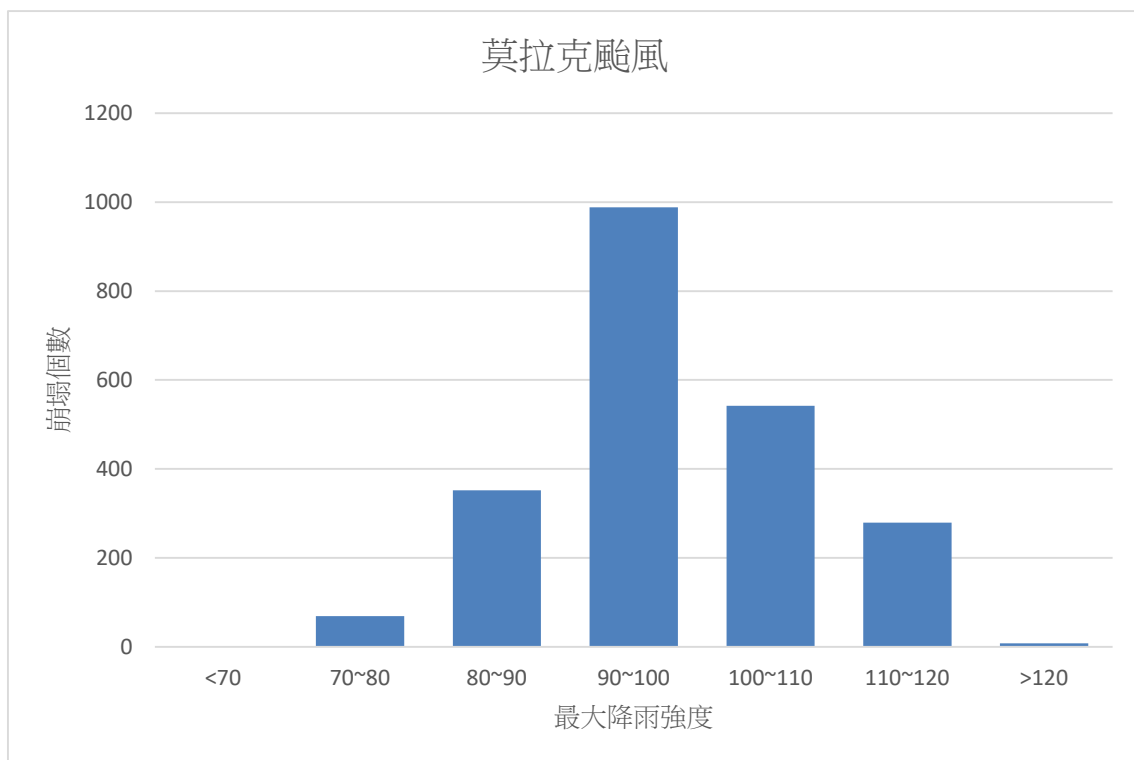


圖 4-20 最大降雨強度區間之崩塌個數

二、熱點分析

熱點分析目的主要在於找尋具有高密度的地區，參考柯明淳(2010)、溫在弘(2010)、Jackson(2010)知熱點分析一般常用於分析社會經濟，觀察某些地區於部分因子之集中性，例如人口分布、犯罪比例、疫情分布等等；目前於地質研究上面，也常使用熱點分析針對邊坡崩塌等，尋求災害易發生區藉此建立災害敏感圖，以便探討環境因子之影響。

研究參考熱點分析具有找尋發生事件之密度與強度觀念，將辛樂克與莫拉克颱風所選定之降雨參數分別利用 ArcGIS 擴充模組空間統計中的聚類分布功能(Spatial Statistics/Mapping Clusters)，進行空間熱點分析(Getis-Ord G_i^*)，原理公式如下：

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n \omega_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (4-2)$$

其中 x_j 為要素 j 的觀測值， ω_{ij} 為要素 ij 之間的空間權重， n 為要素總數，並且：

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (4-3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (4-4)$$

其中 $\bar{X}$ 為變異量平均值，而 S 為樣本的標準差。

將由熱點分析可得 G_i^* 之 P 值與 Z Score 其含義如圖 4-21，當 P 值大於 0.1 為顯著，因此可由 Z 值看出顯著水準，而颱風事件整體降雨分布經由熱點分析計算後，可在 ArcGIS 將計算後結果以顏色漸層方式顯示，

其中當 Z 值較高呈現紅色代表降雨分布較密集處為熱點，而 Z 值較低呈現藍色屬降雨強度較低處為冷點，並與各颱風導致崩塌發生之災害點位做比較，是否崩塌發生情形與不同降雨參數的強度有關，且所得 Z 值可以將不同颱風降雨轉成同維度做比較，一般 Z 值所使用分界點為 1.65 與 -1.65 劃分冷熱交界點。

將辛樂克颱風與莫拉克颱風之雨量資料分別對各累積雨量以及降雨強度做熱點分析後可得到圖 4-22~圖 4-33，可看出那瑪夏區域的雨量分析結果， Z 值大致上都偏低，而那瑪夏區域中較為高的 Z 值分佈在南北兩側，而高屏溪流域的熱點大致上維持在中上的值，大致上都有黃色以上的狀態；但曾文溪流域的熱點都偏低，皆呈現藍色狀態。由圖 4-22~圖 4-27，可看出辛樂克颱風在累積雨量圖中，除了南北兩側的崩塌外，其餘的崩塌都落在藍色區域，而最大降雨強度的圖中，崩塌大致上發生在黃色以上的區域，唯獨圖中左側的崩塌發生在藍色區域，亦即發生在曾文溪流域處，所以辛樂克颱風的最大降雨強度的熱點分析結果與崩塌發生的位置較符合。由圖 4-28~圖 4-33 可看出莫拉克颱風的 12 小時累積雨量圖只有南北兩側有較高的 Z 值分佈，其餘地區都是較低的藍色，而 24、36 和 48 小時累積雨量以及總累積雨量圖中，可看出高屏溪流域大致上都是值較高的 Z 值分佈，而曾文溪流域的 Z 值依然較低呈現藍色，但崩塌發生位置落在藍色區域較多；在最大降雨量圖中， Z 值最高的地方落在那瑪夏區域的南側，亦為崩塌發生最多的地方，因此莫拉克颱風的最大降雨的熱點分析與崩塌發生處較符合。

將最大降雨強度與各累積雨量之熱點分析所得到的 Z 值區分個數後所得到的崩塌個數作比對後可得到圖 4-34~圖 4-45。而圖 4-34~圖 4-39 為辛樂克颱風事件，12 小時累積雨量的熱點分析 Z 值門檻約在 -3.5，此值過於小，因此不將此值列於崩塌門檻值；而 24 和 36 小時累積雨

量的熱點分析 Z 值並無明顯的門檻值出現；48 小時累積雨量出現門檻值，Z 值落於-1.5，而最大降雨強度及總降雨量出現門檻值，Z 值分別落於-1.5 及 2。

圖 4-40~圖 4-45 為莫拉克颱風事件，由圖中可看出最大降雨強度的熱點 Z 值門檻出現在-1.5，而崩塌皆發生在 Z 值較大的區域，而 12 小時累積雨量熱點 Z 值門檻約發生在-1，24、36 以及 48 小時累積雨量熱點的 Z 值門檻約發生在-3~-2.5，而總累積雨量熱點的 Z 值門檻發生在-1.5。由比對結果可得到兩次降雨事件的門檻值皆落在最大降雨強度熱點 Z 值為-1.5 時。

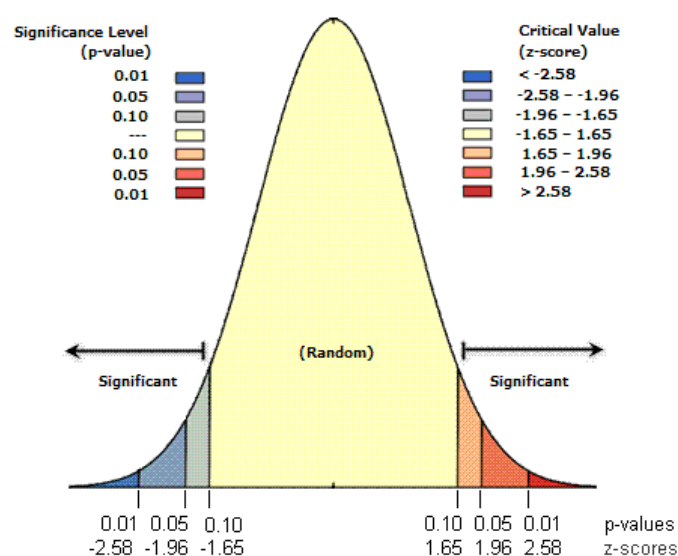


圖 4-21 P 值與 Z 得分涵義圖 (ArcGIS 10 線上說明，2012)

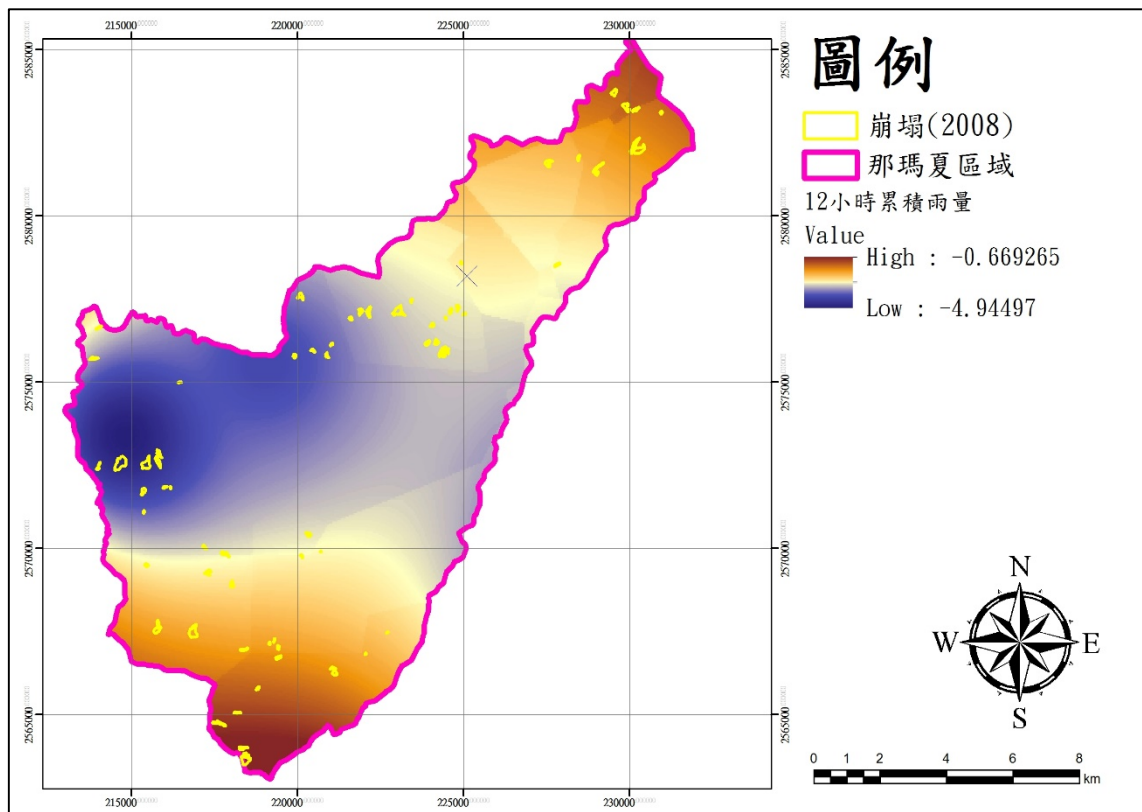


圖 4-22 12 小時累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風)

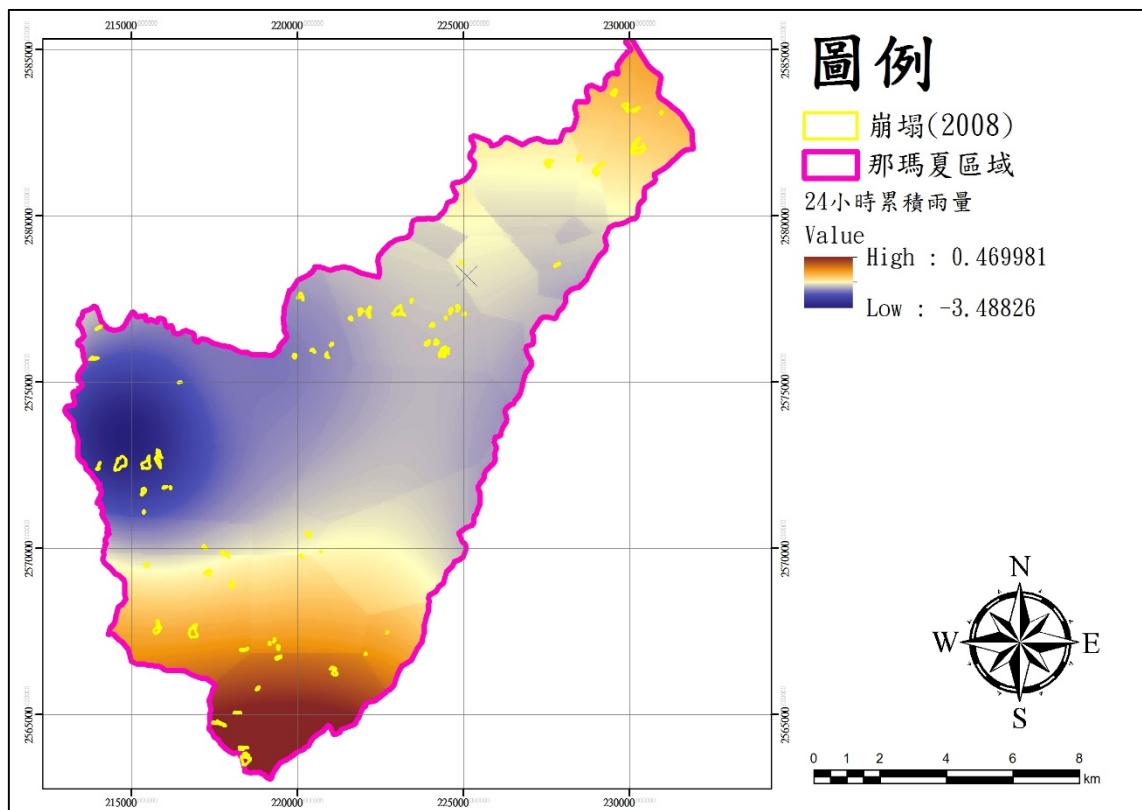


圖 4-23 24 小時累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風)

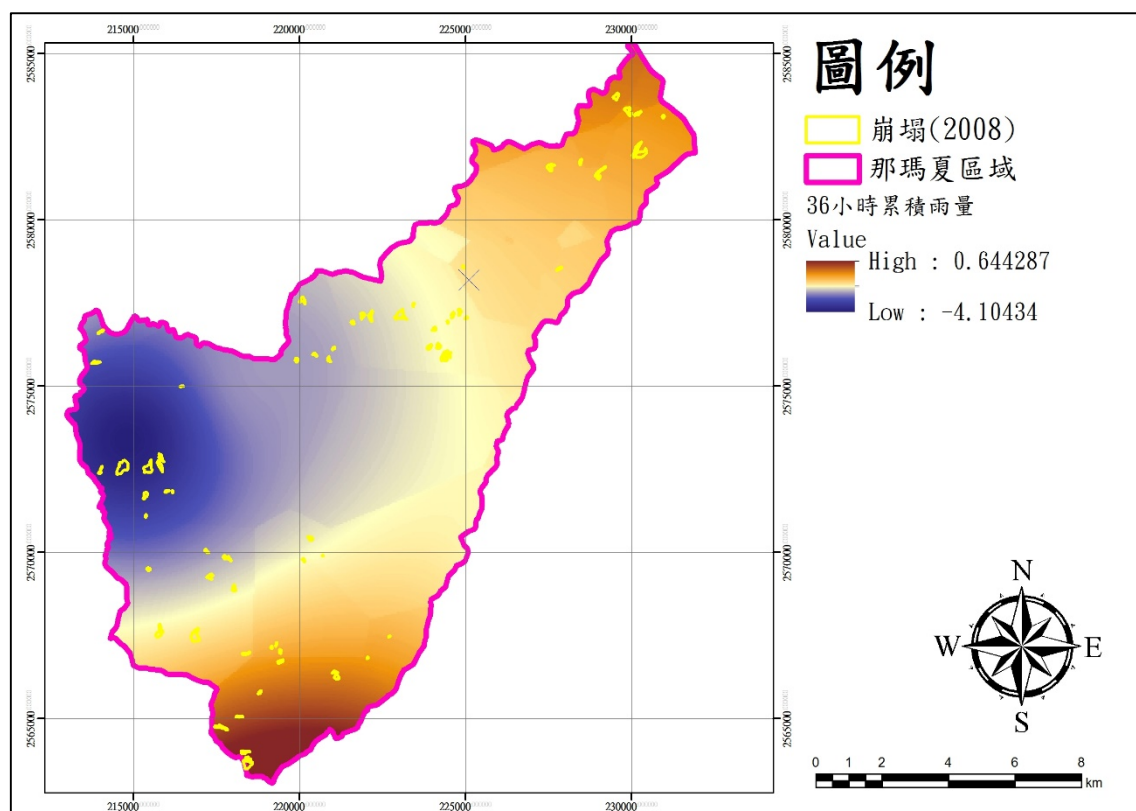


圖 4-24 36 小時累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風)

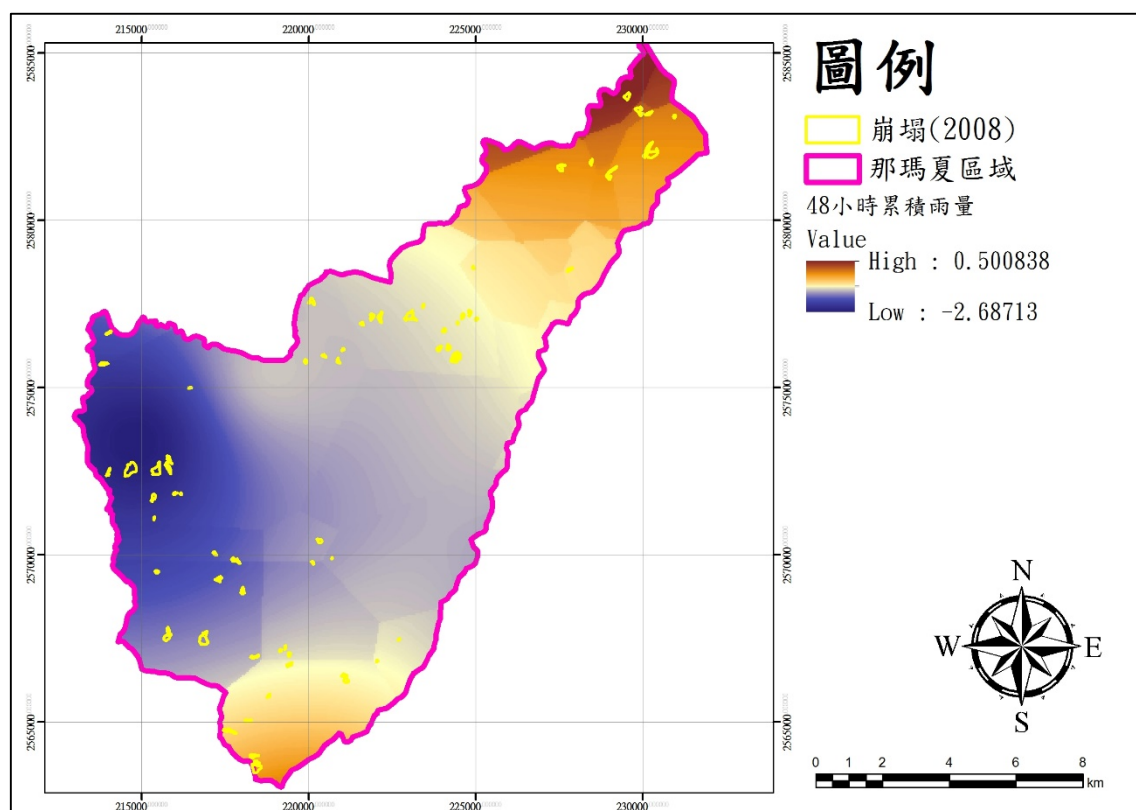


圖 4-25 48 小時累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風)

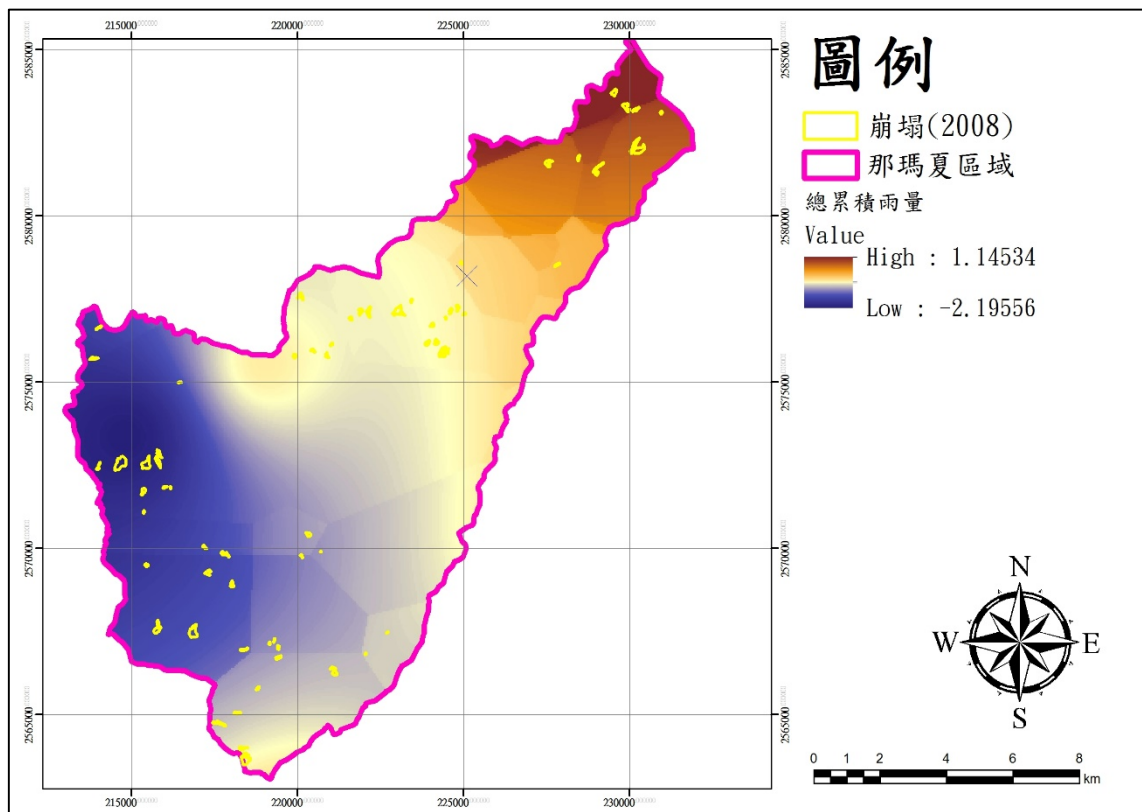


圖 4-26 總累積雨量之熱點分析(辛樂克颱風)

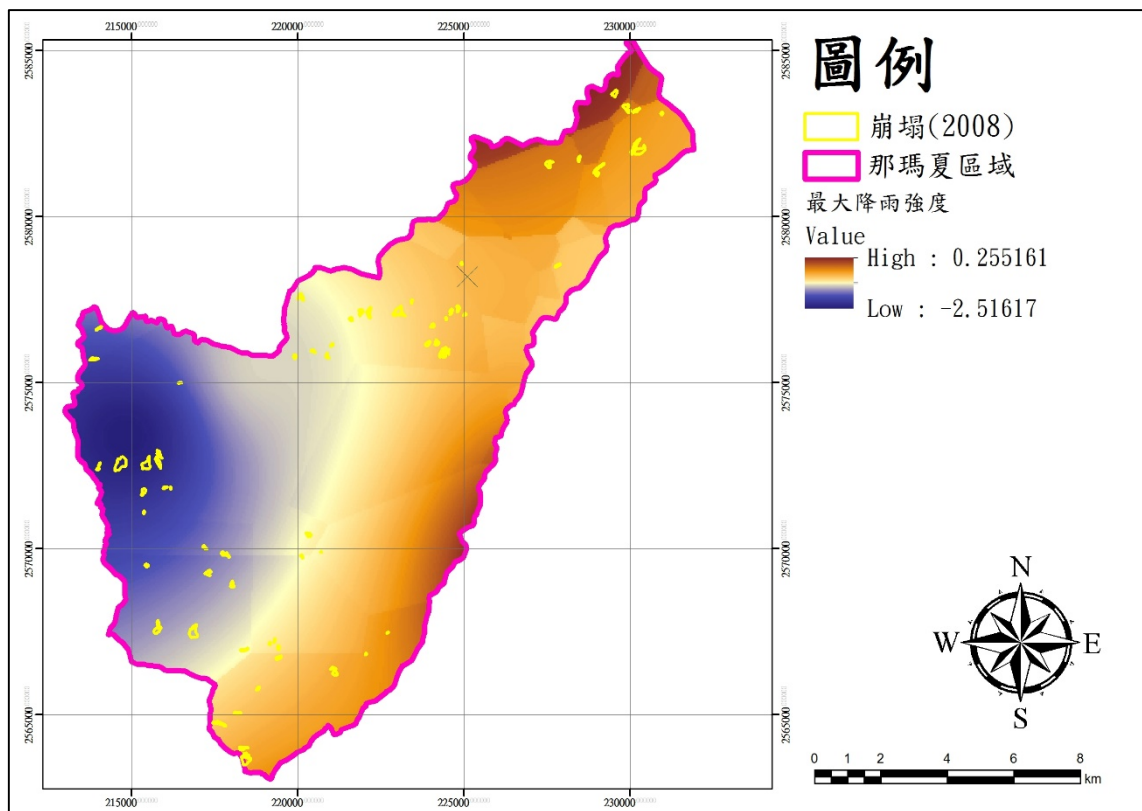


圖 4-27 降雨強度之熱點分析(辛樂克颱風)

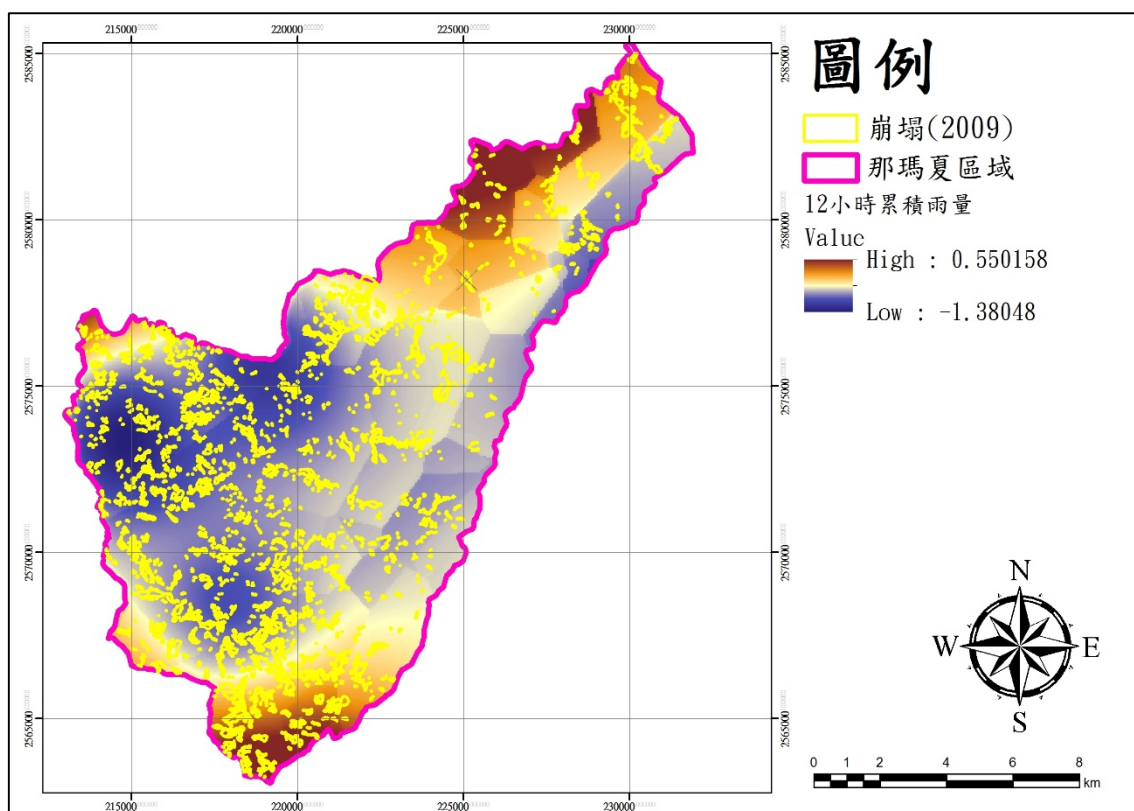


圖 4-28 12 小時累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風)

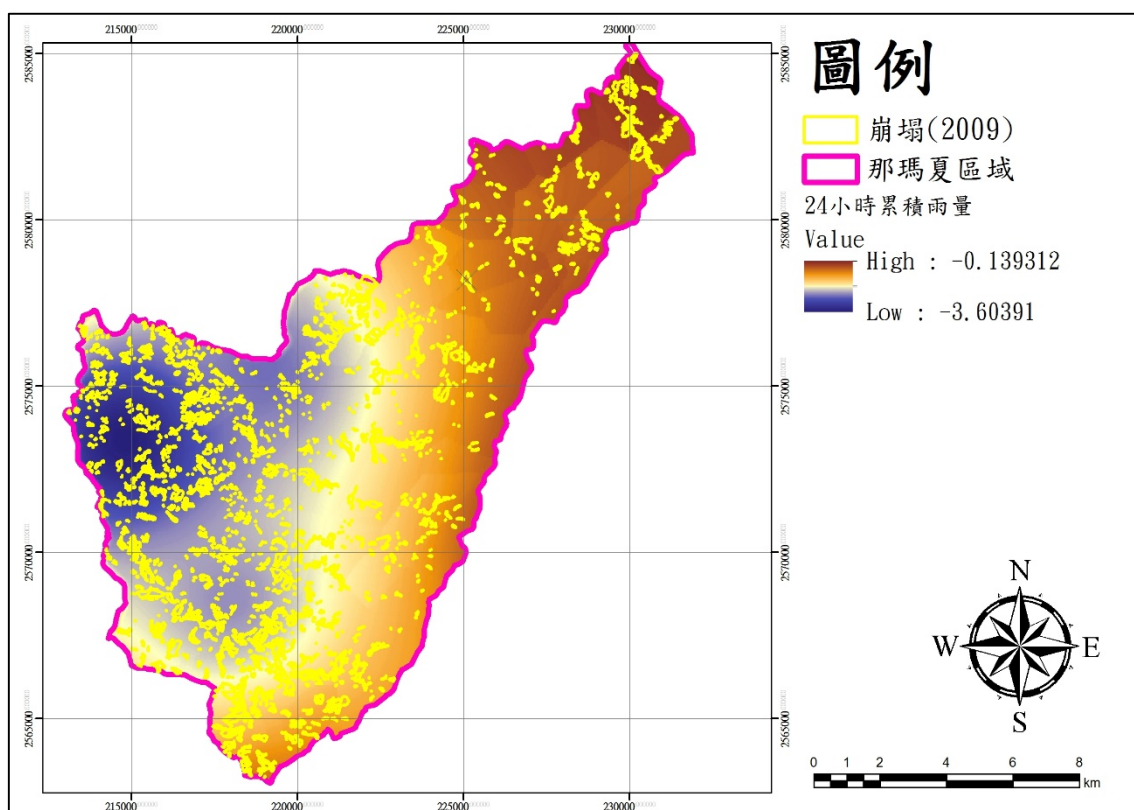


圖 4-29 24 小時累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風)

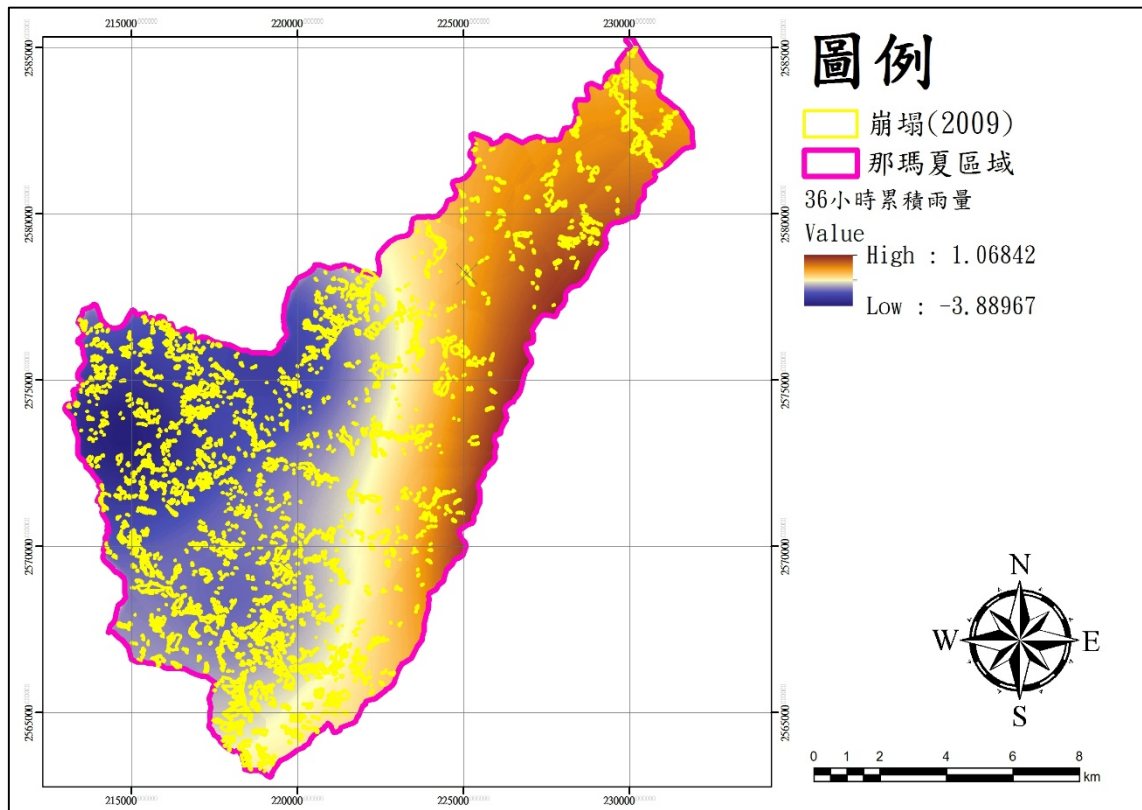


圖 4-30 36 小時累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風)

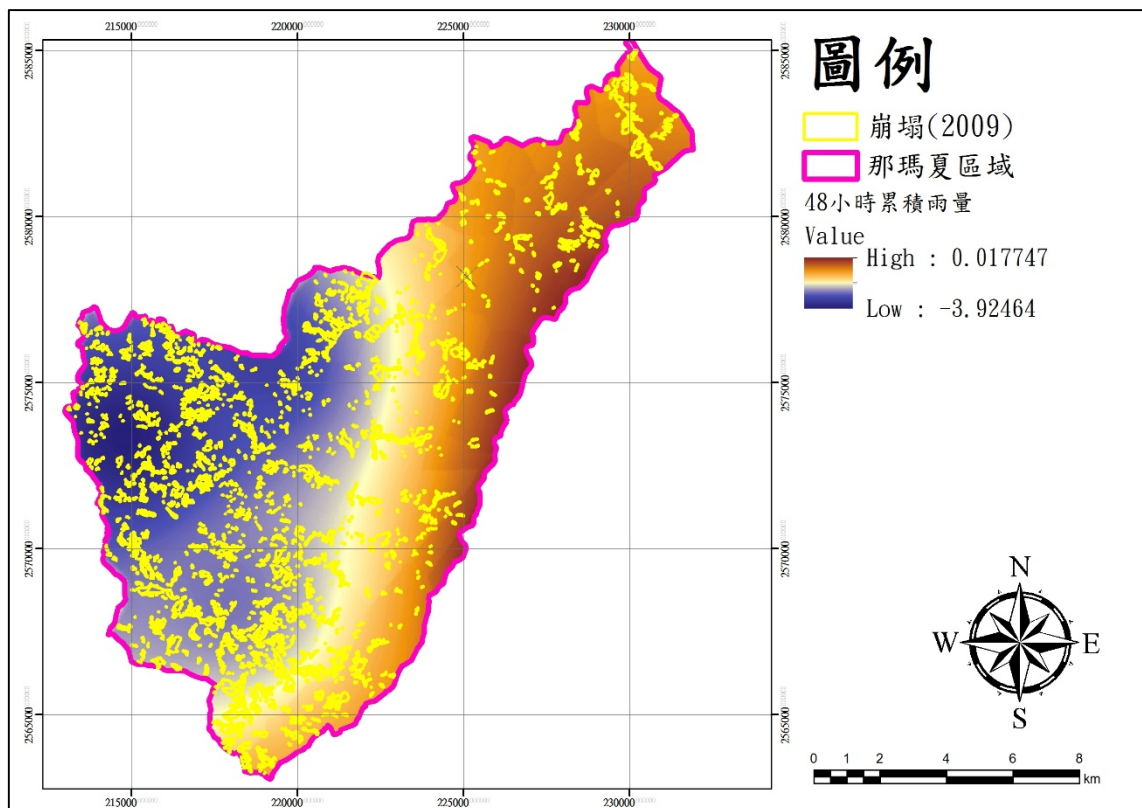


圖 4-31 48 小時累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風)

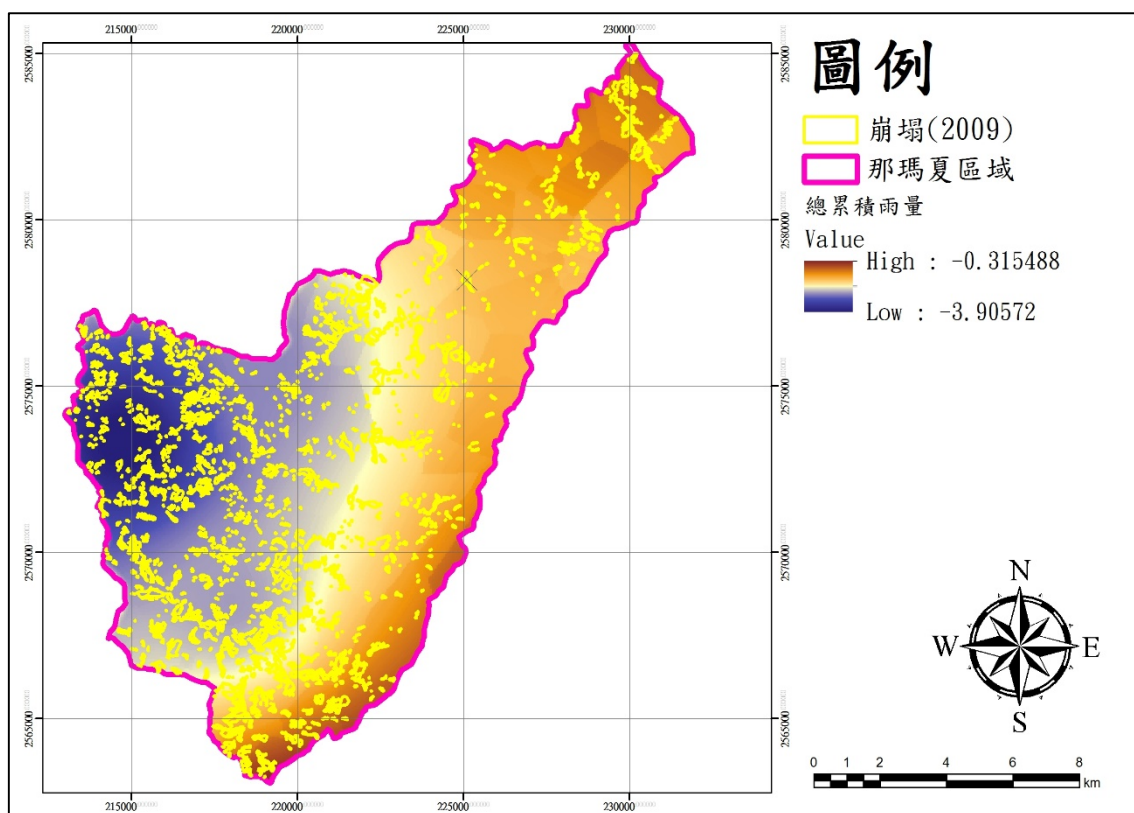


圖 4-32 總累積雨量之熱點分析(莫拉克颱風)

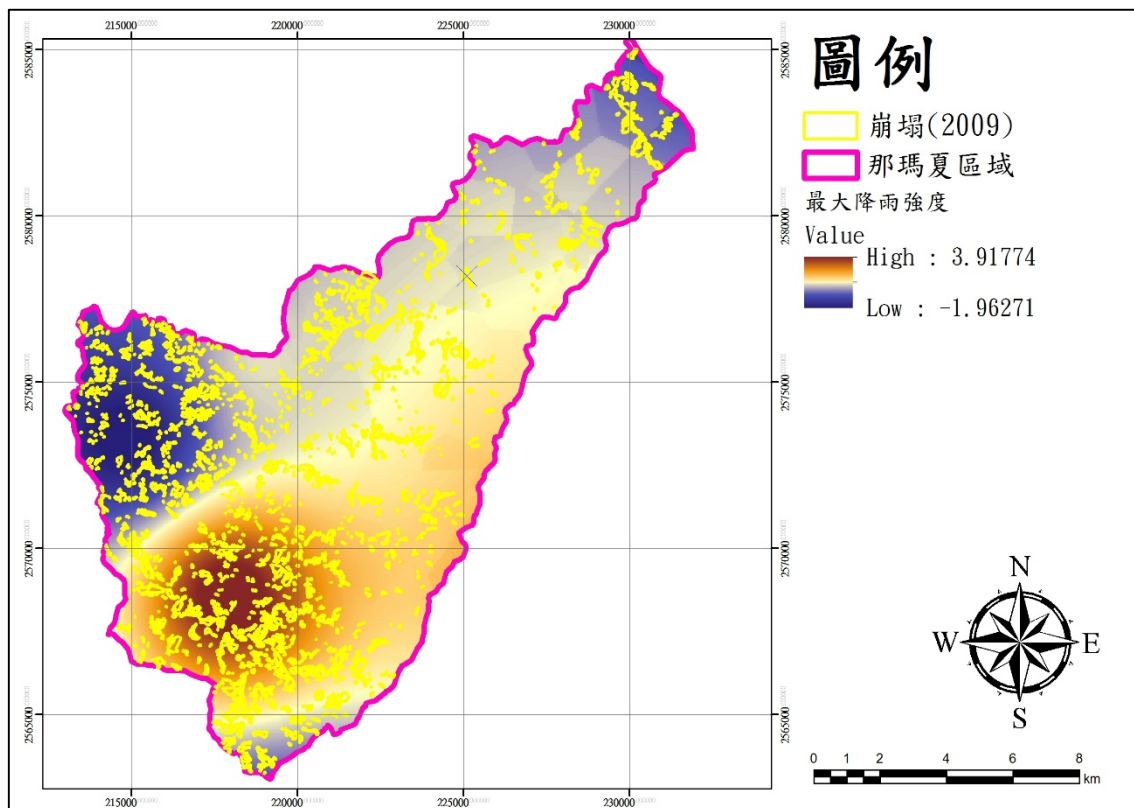


圖 4-33 降雨強度之熱點分析(莫拉克颱風)

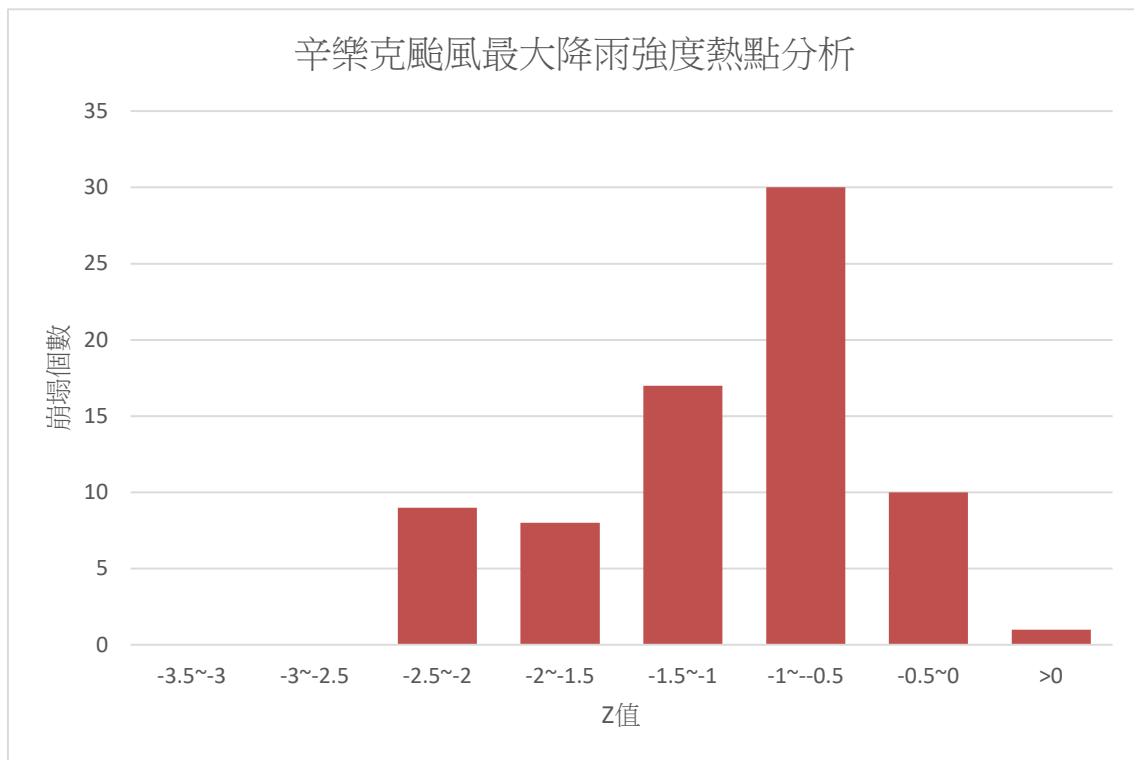


圖 4-34 最大降雨強度熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風)

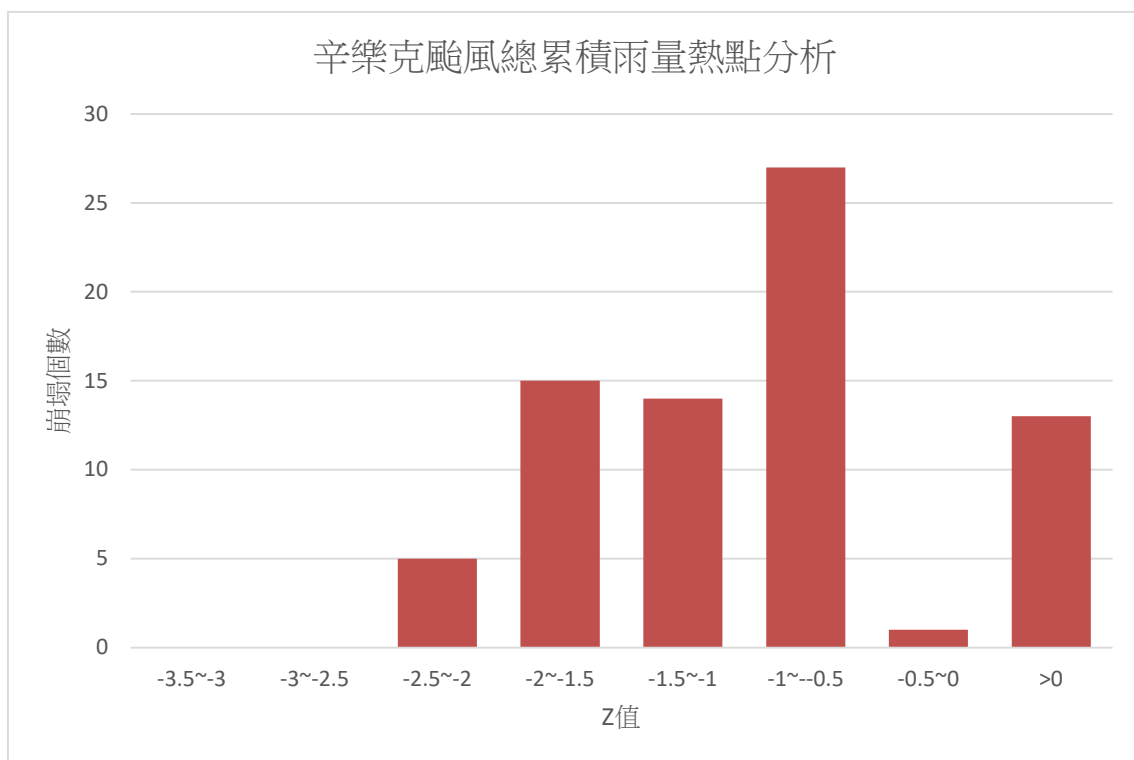


圖 4-35 總累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風)

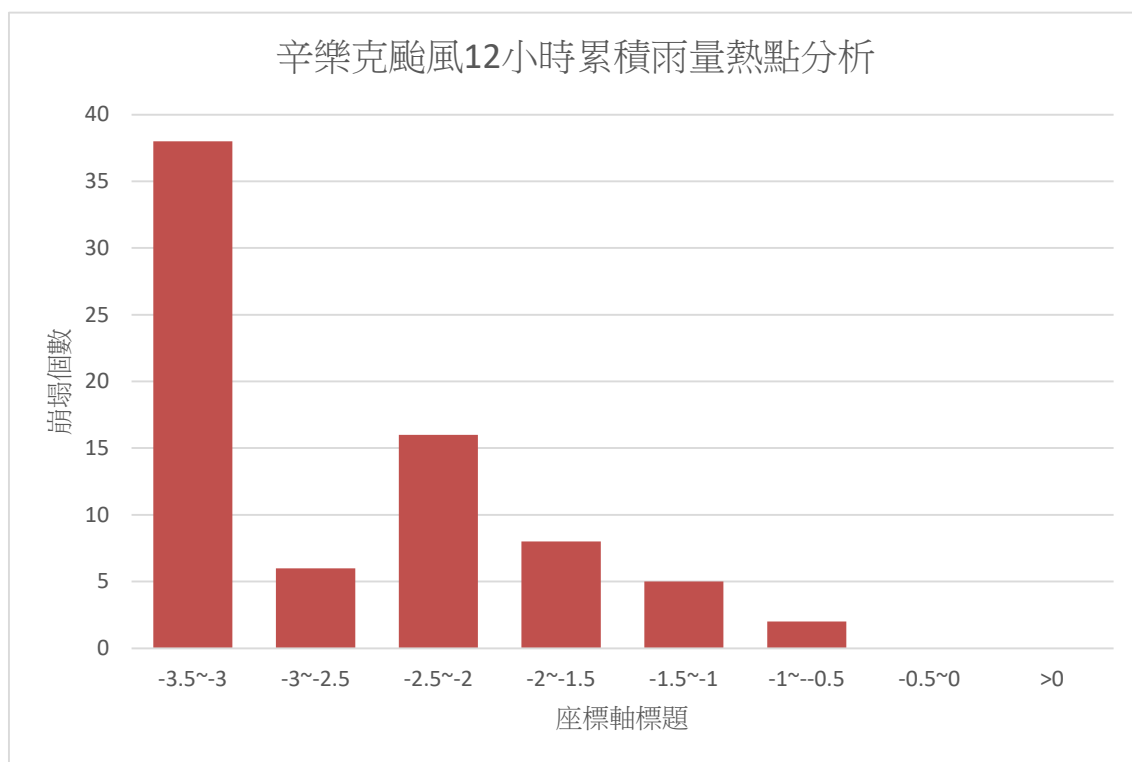


圖 4-36 12 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風)

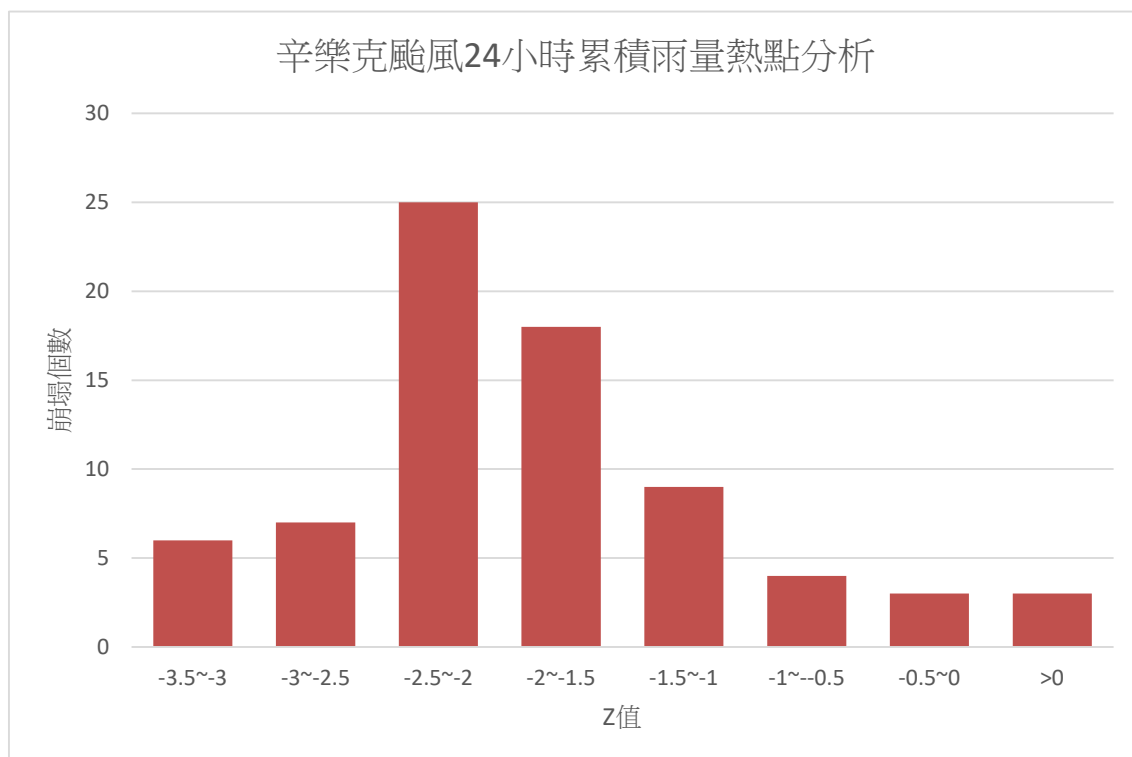


圖 4-37 24 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風)

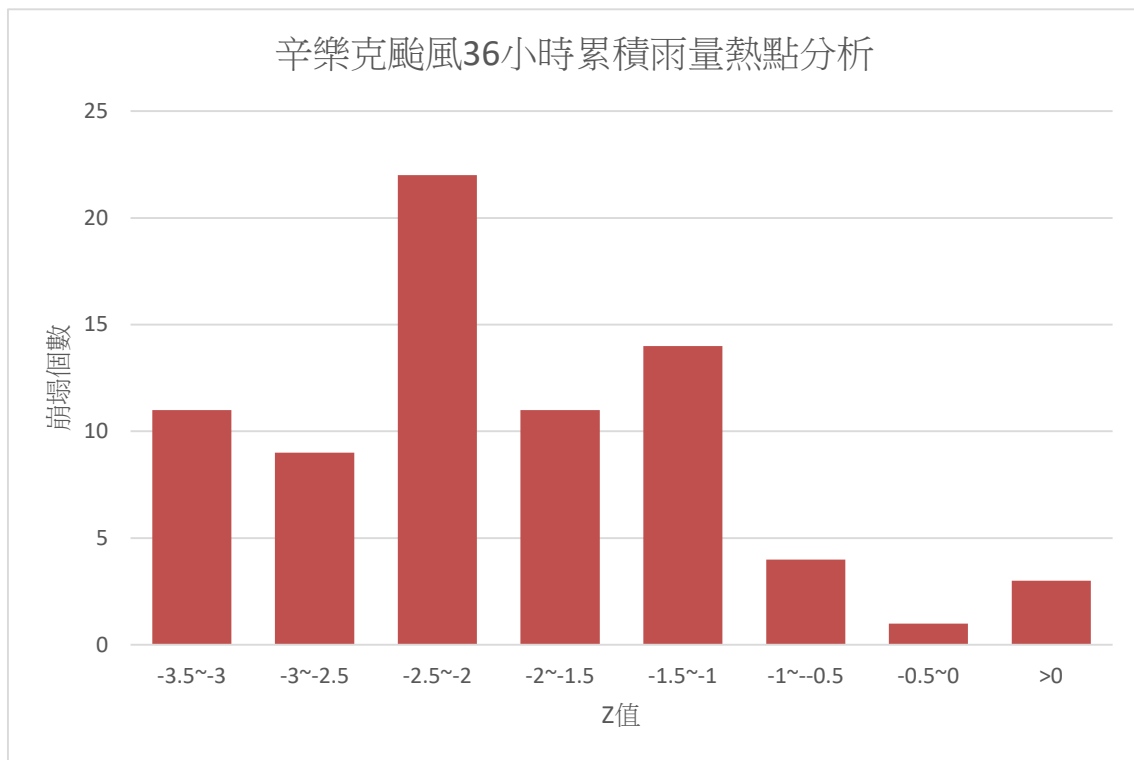


圖 4-38 36 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風)

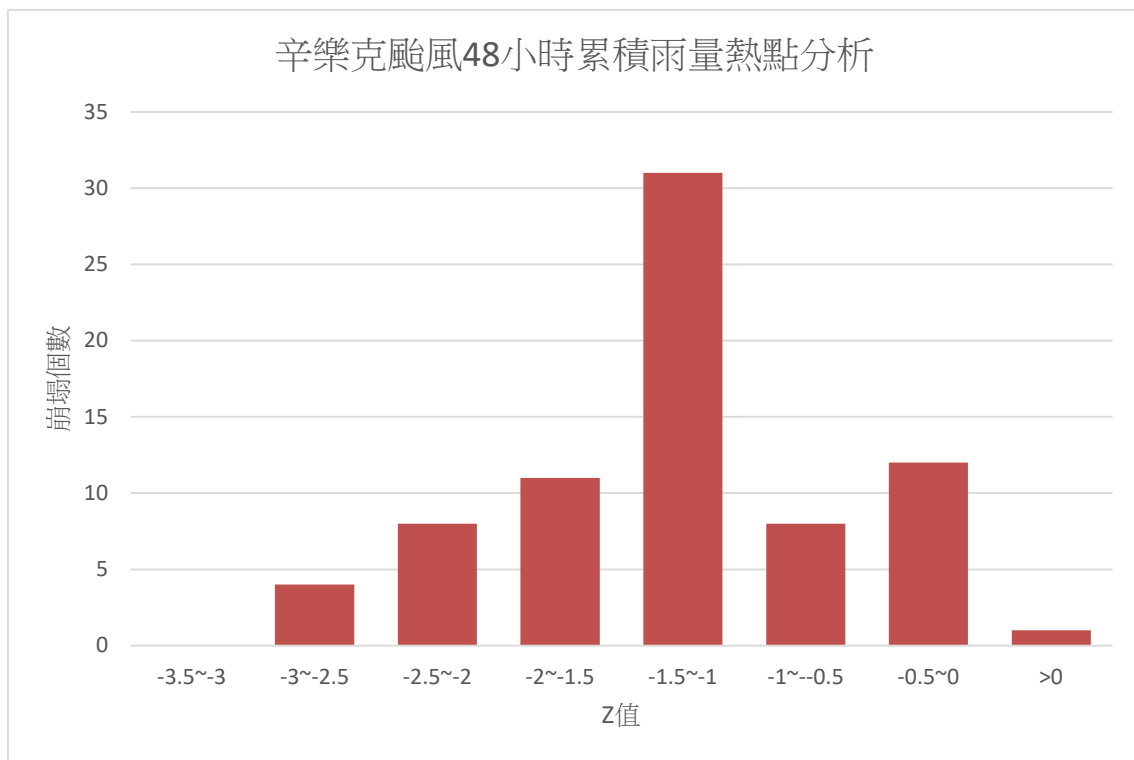


圖 4-39 48 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(辛樂克颱風)

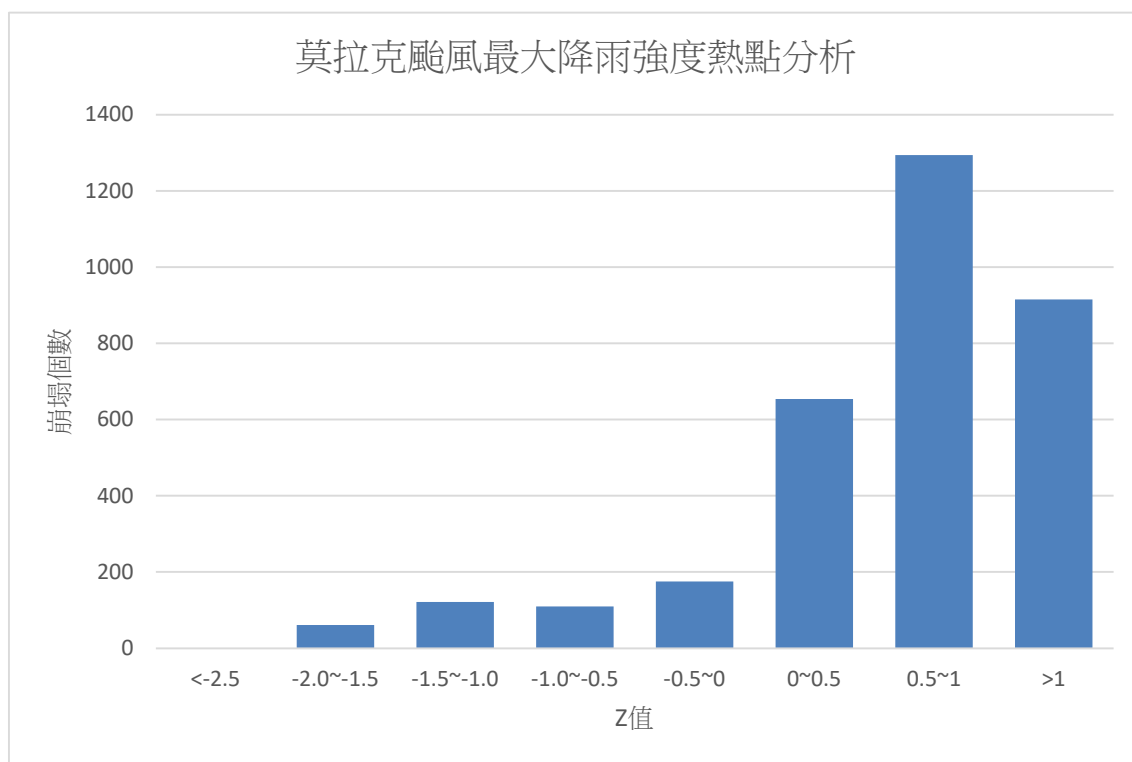


圖 4-40 最大降雨強度熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風)

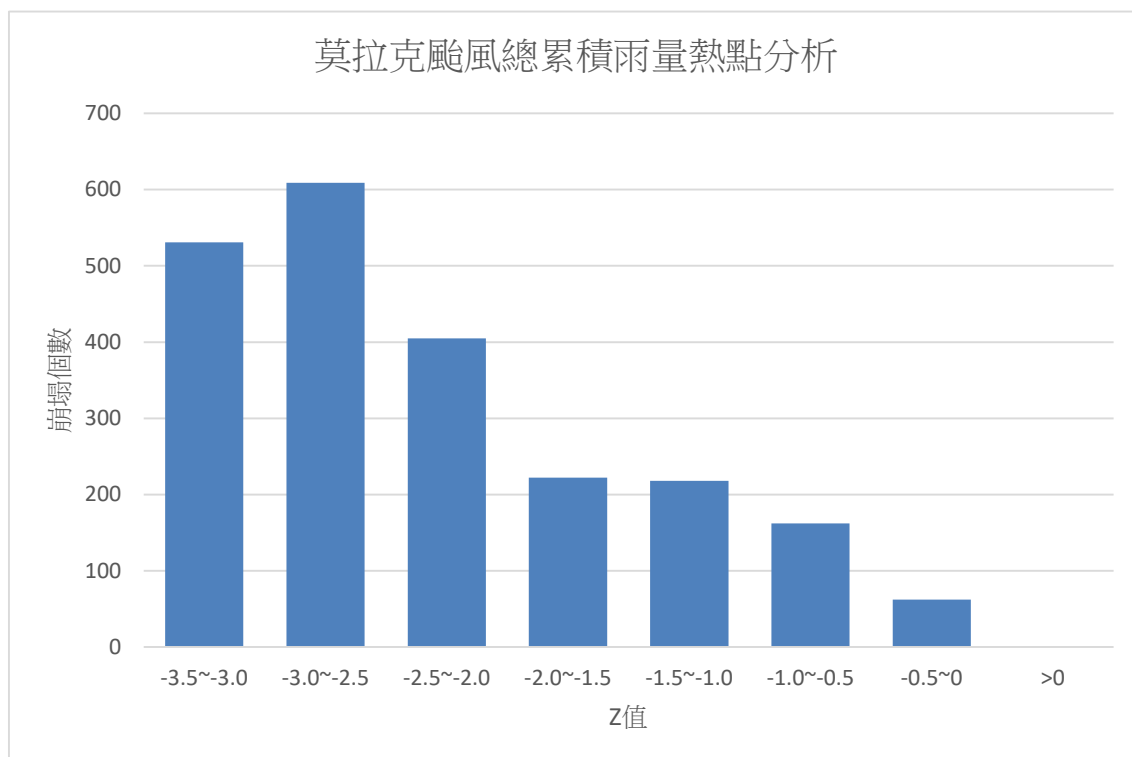


圖 4-41 總累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風)

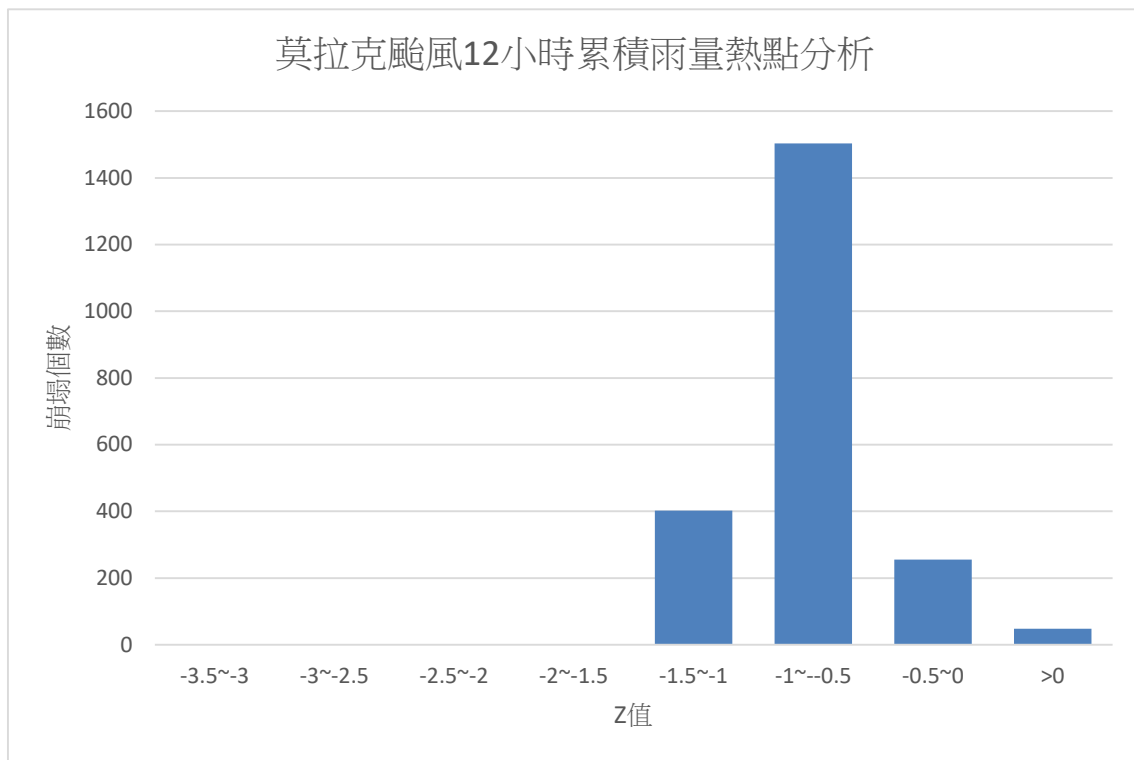


圖 4-42 12 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風)

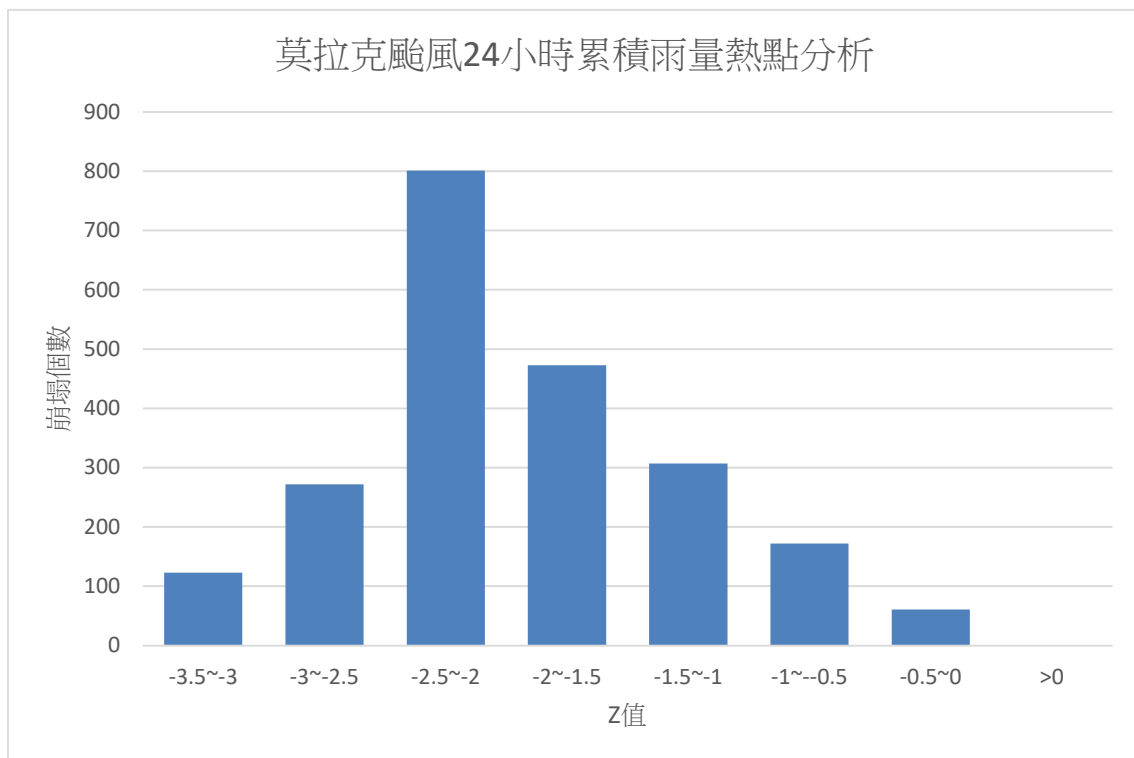


圖 4-43 24 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風)

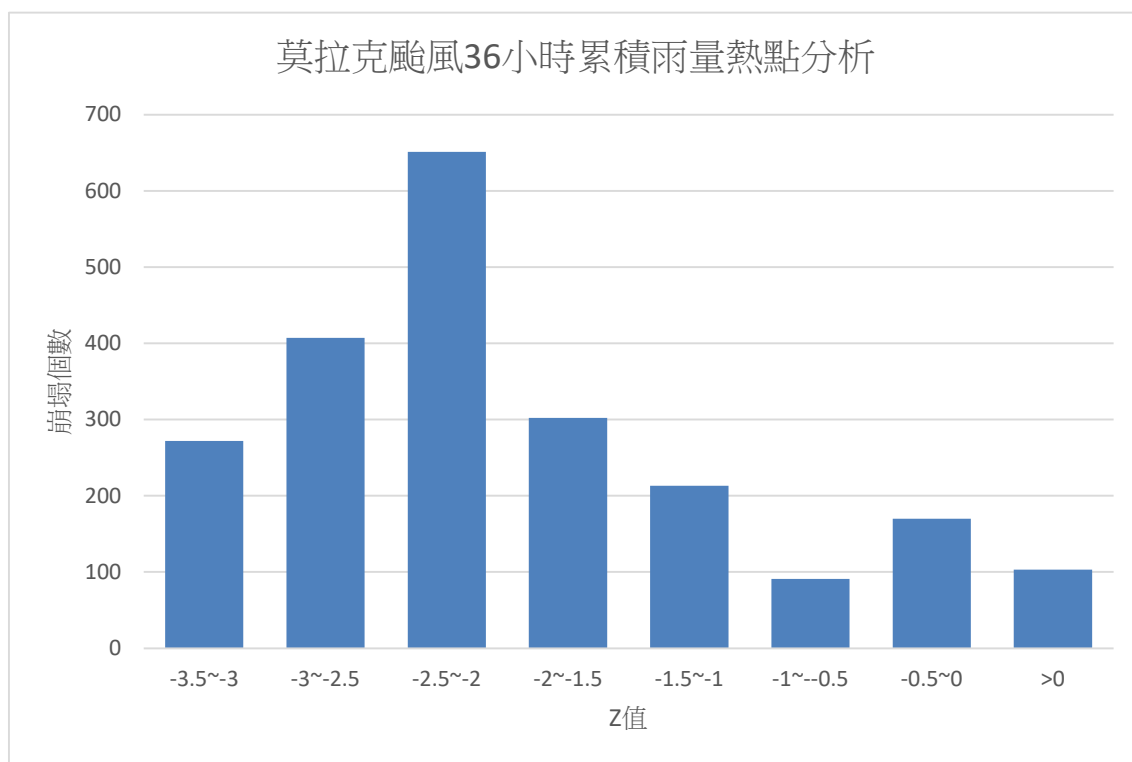


圖 4-44 36 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風)

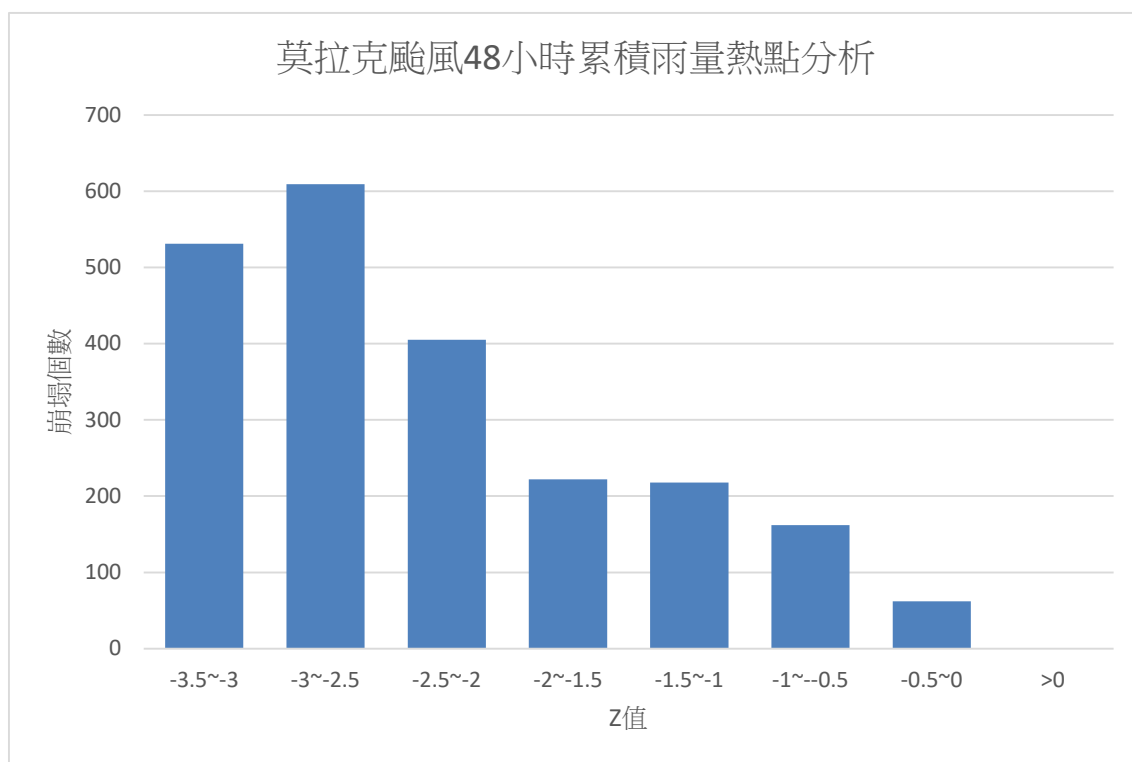


圖 4-45 48 小時累積雨量熱點分析之崩塌個數(莫拉克颱風)

將兩次事件的最大降雨強度及其 Z 值做比對後，兩次降雨事件的結果如圖 4-46 以及圖 4-47 所示。由上一段所得的 Z 值門檻值-1.5 可對應到辛樂克颱風最大降雨強度為 32mm/hr，莫拉克颱風的最大降雨強度為 77mm/hr，和崩塌個數與最大降雨強度所得到的值非常接近，由此結果得知最大降雨強度與其 Z 值有相當的一致性。

將研究區內最大降雨量熱點 Z 值以-0.5 為區間做出等 Z 值圖，辛樂克與莫拉克颱風的等 Z 值圖如圖 4-48 與圖 4-49 所示，將高屏溪流域範圍標示出來後，可明確發現 Z 值較低的點都落在西南側的曾文溪流域。將各區間內的崩塌面積對 Z 值做累加後可得圖 4-50 及圖 4-51，可看出辛樂克颱風的累積崩塌面積在 Z 值-1.75 時開始有明顯上升的趨勢，而莫拉克颱風大致上也是在-1.75 的位置開始上升。而把曾文溪流域內的崩塌面積扣除掉後可得圖 4-52 及圖 4-53，因曾文溪流域內的 Z 值偏低，在將此部分的崩塌扣除後，能看出高屏溪流域中在辛樂克颱風事件裡， Z 值在-1.25 時上升的更明顯，而莫拉克颱風的 Z 值從-0.25 開始，亦有明顯上升。由面積累積圖中可看出，辛樂克颱風在 Z 值為-1.75 時出現門檻值，而莫拉克颱風在-0.75 時出現門檻值，與前幾小節所找出 Z 門檻值-1.5 相距甚小，亦可表示最大降雨強度與崩塌發生的關聯性非常超高，也累積崩塌面積對 Z 值的圖中看出 Z 值越大累積崩塌面積亦逐漸上升。

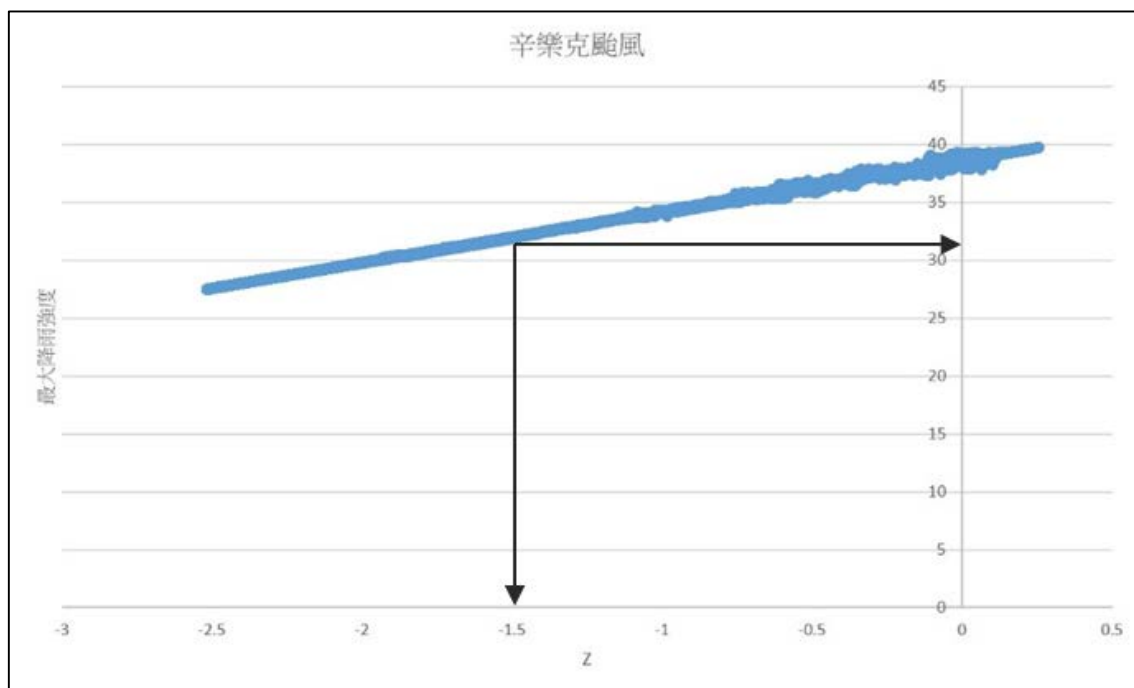


圖 4-46 辛樂克颱風最大降雨強度雨量值與 Z 值比對圖

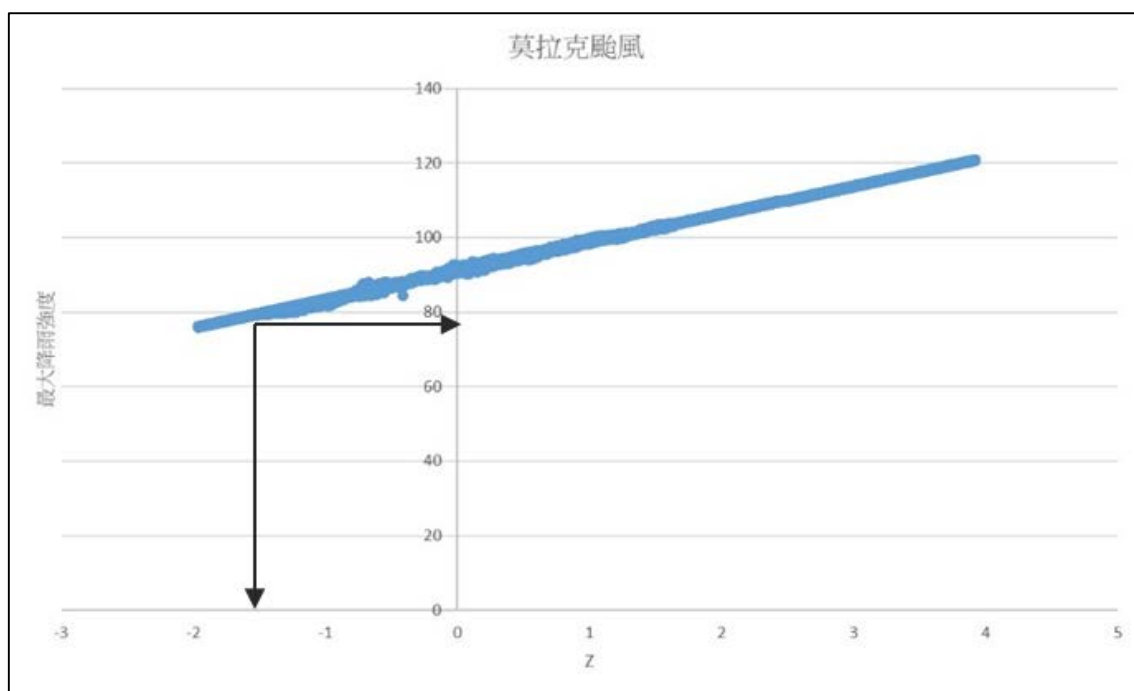


圖 4-47 莫拉克颱風最大降雨強度雨量值與 Z 值比對圖

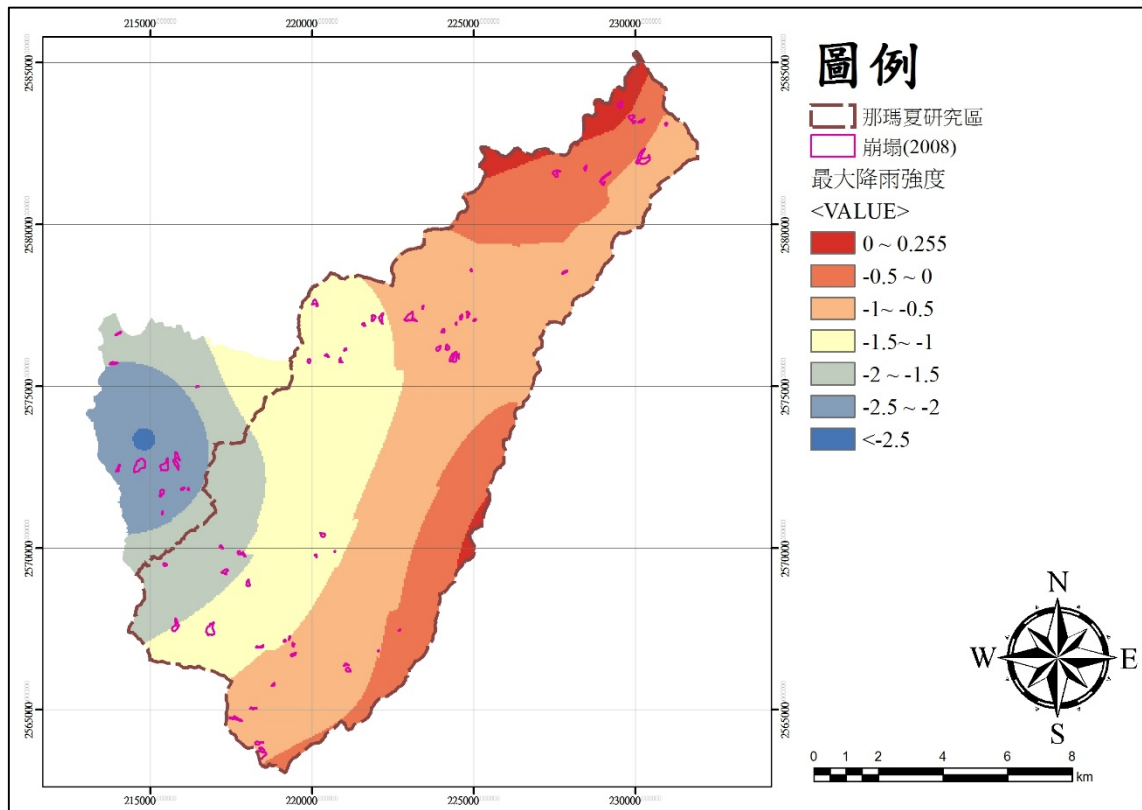


圖 4-48 研究區高屏溪流域辛樂克颱風最大降雨強度之等 Z 值圖

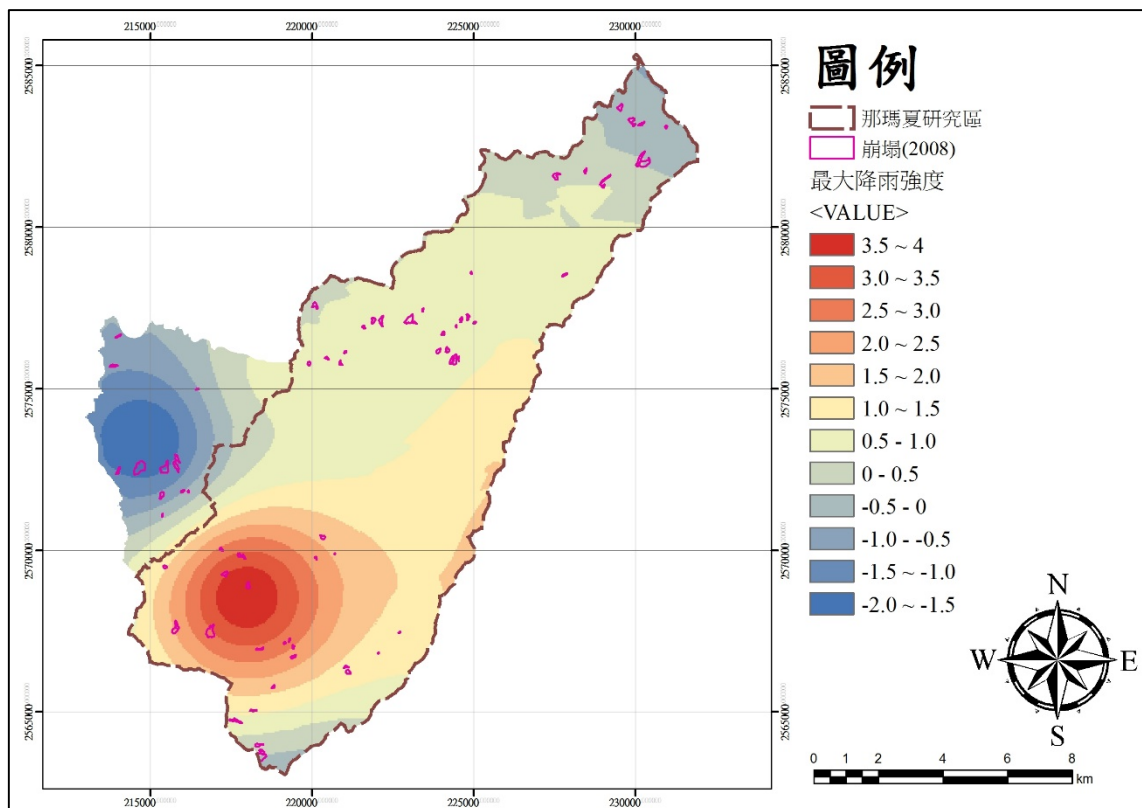


圖 4-49 研究區高屏溪流域莫拉克颱風最大降雨強度之等 Z 值圖

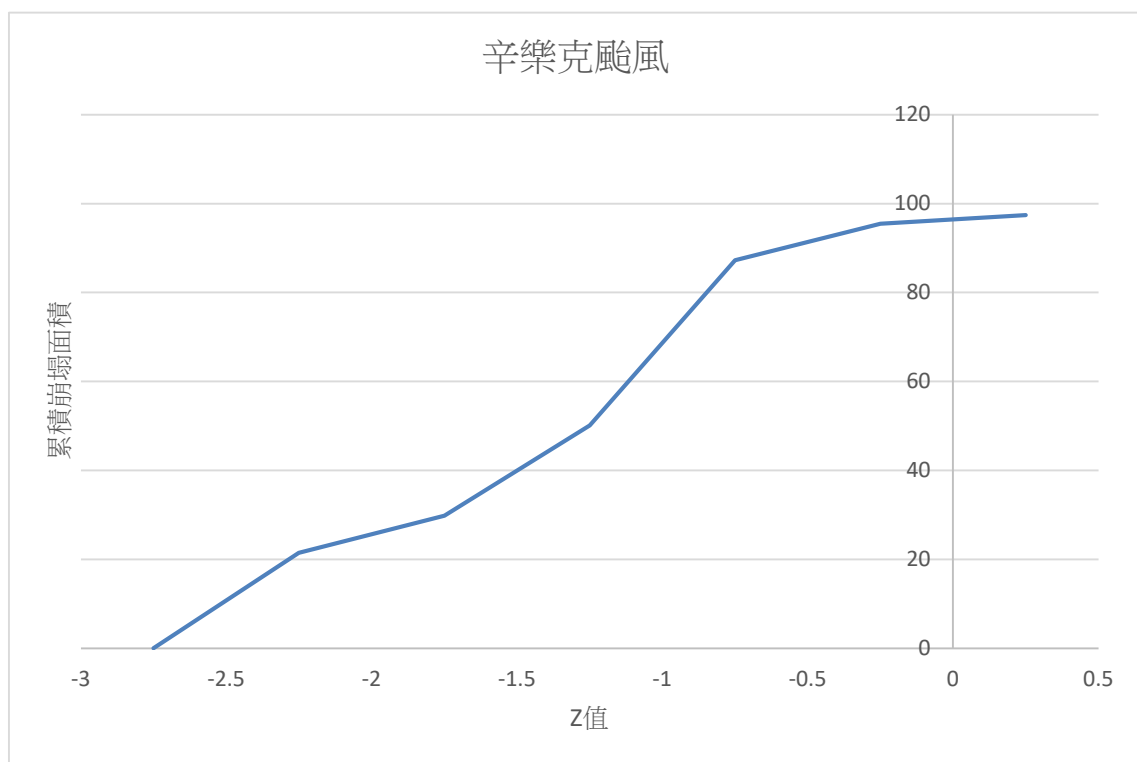


圖 4-50 辛樂克颱風最大降雨量熱點 Z 值之累積崩塌面積圖

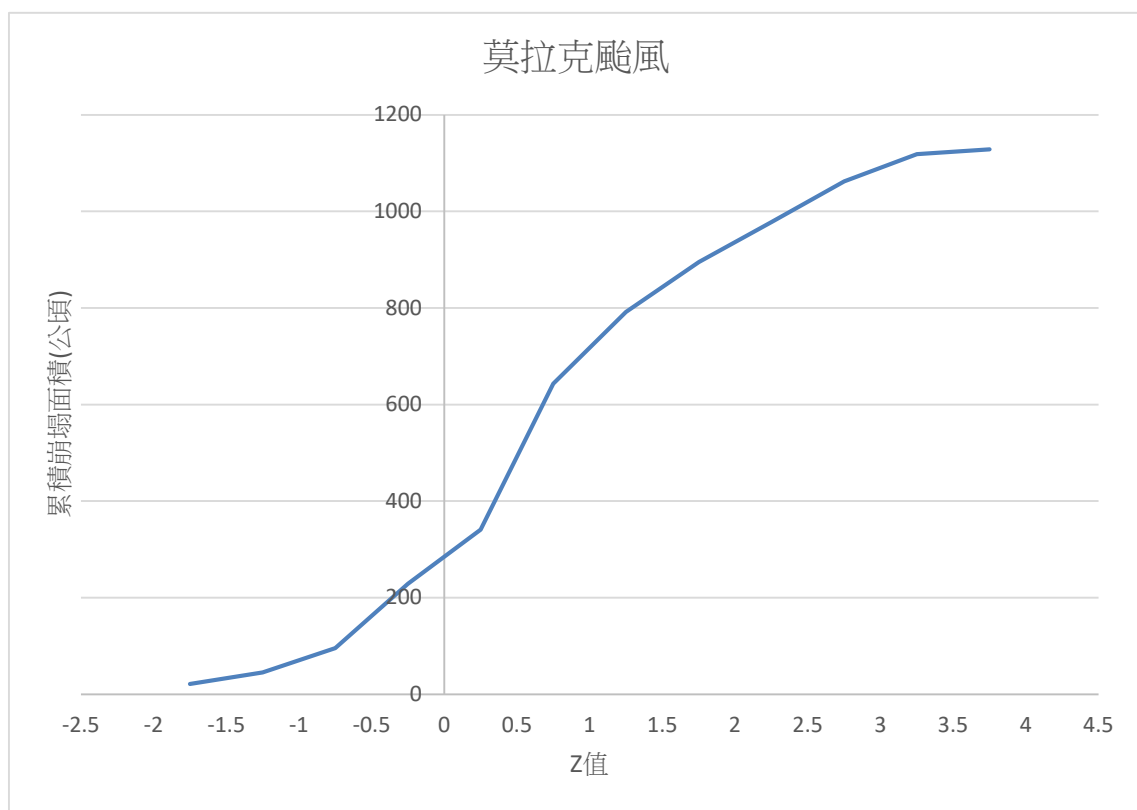


圖 4-51 莫拉克颱風最大降雨量熱點 Z 值之累積崩塌面積圖

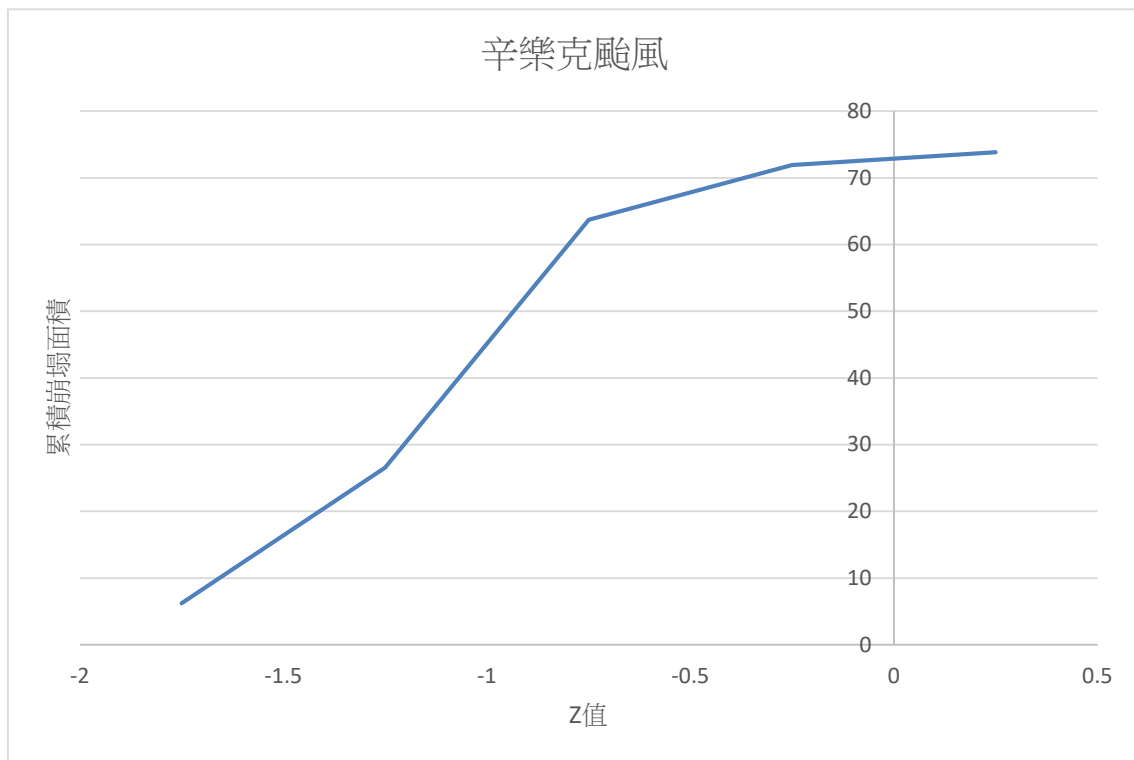


圖 4-52 辛樂克颱風最大降雨量熱點 Z 值之累積崩塌面積圖
(扣除曾文溪流域面積)

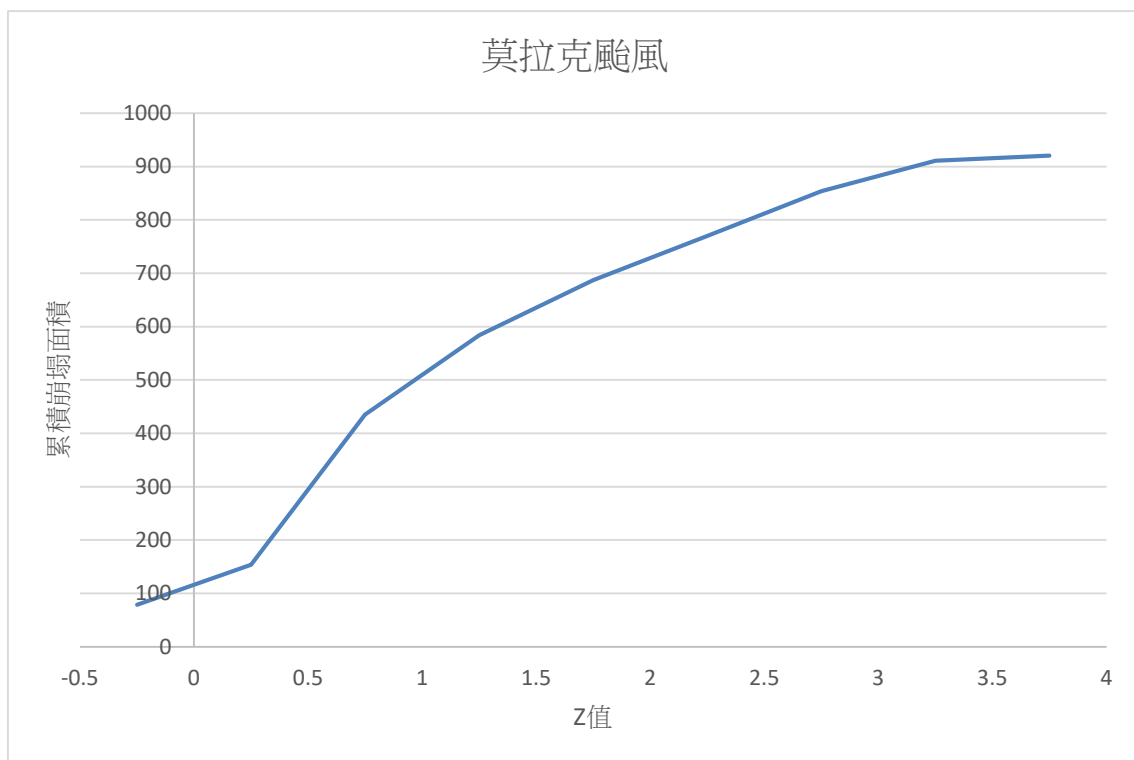


圖 4-53 莫拉克颱風最大降雨量熱點 Z 值之累積崩塌面積圖
(扣除曾文溪流域面積)

由雨量分析中可看出，辛樂克颱風的降雨強度與各累積雨量有正相關的趨勢，而莫拉克颱風則沒有，而呈現另一種集中的趨勢。而辛樂克颱風在 48 小時累積雨量和總累積雨量的門檻值分別為 400mm 以及 500mm，而最大降雨強度亦有明顯的門檻值於 30mm/hr；而莫拉克颱風的門檻值則分為 850mm 及 1400mm，最大降雨強度亦有明顯門檻值於 70mm/hr，可能原因為兩次的雨型不同導致門檻值不同，亦有可能為辛樂克颱風的崩塌數量較少。在熱點分析中兩次降雨事件的最大降雨強度 Z 值門檻都出現在 -1.5，顯示熱點分析可將降雨資料加以正規化，較不受到雨型差異之影響。再將兩次事件的最大降雨強度及其 Z 值做比對並以 Z 值的門檻值 -1.5 會對應到辛樂克颱風最大降雨強度為 32mm/hr，莫拉克颱風的最大降雨強度為 77mm/hr，其結果與崩塌個數和最大降雨強度所得到的值非常接近。得知最大降雨強度與其 Z 值有相當的一致性，將兩次降雨事件的最大降雨強度熱點 Z 值製作等值圖並比對各區間的崩塌率，將兩次降雨事件累積崩塌面積與 Z 值作比對後可發現，辛樂克颱風 Z 值在 -1.75 時累積面積有明顯上升的趨勢，而莫拉克颱風則發生在 Z 值為 -0.75 時，與先前得到的門檻值 -1.5 非常接近。由此由雨量特性以及熱點分析結果可知，淺層崩塌發生的雨量門檻值與位置跟最大降雨強度有非常高的關聯性。

第五章 崩塌土砂量體評估

第一節 不同崩塌破壞機制及力學模式分析

由水土保持局（2014）研究中對崩塌進行力學模擬分析，瞭解不同類型崩塌破壞機制後，即可將研究範圍內不同類型崩塌依不同破壞機制建立分析模型，配合適當之力學模式，以分析崩塌破壞面深度、崩塌滑動範圍及滑動面安全係數，進一步可作為滑動面位置分析、崩塌量體評估、潛存土砂量體探討等之參考。因此分析崩塌前應分開討論，一般滑動型崩塌的破壞機制大致有三種：平面型破壞、圓弧型破壞及複合型破壞，由圖 5-1、圖 5-2 以及圖 5-3 所示。而淺層崩塌因一般滑動深度較淺，適合以平面型破壞進行分析。

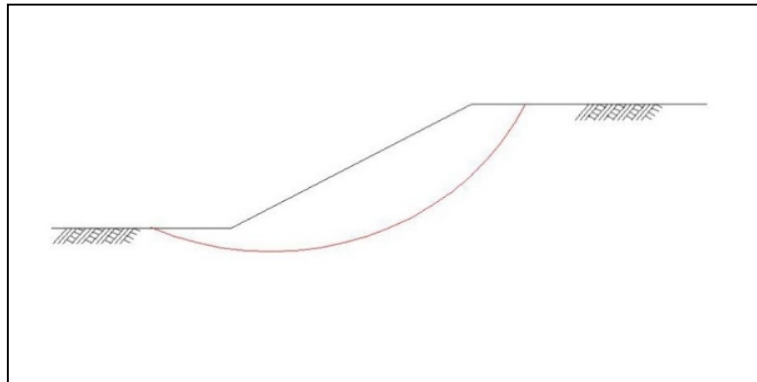


圖 5-1 邊坡圓弧型滑動破壞

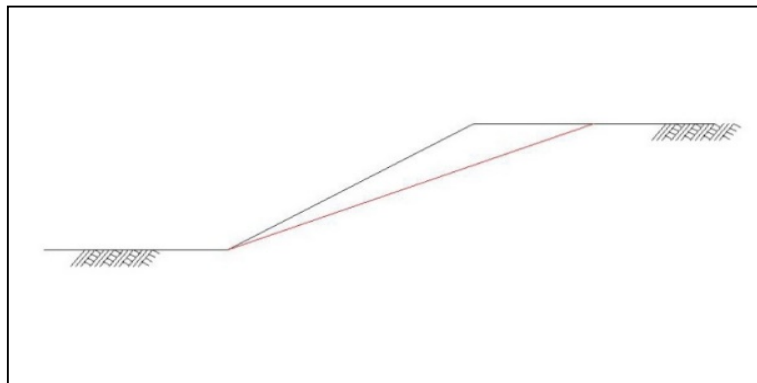


圖 5-2 邊坡平面型(含楔型)滑動破壞

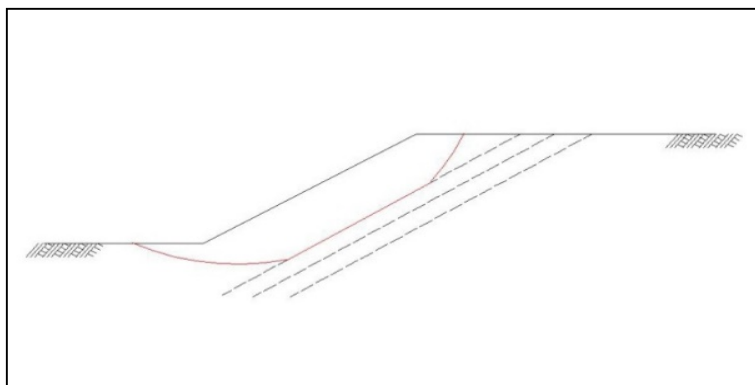


圖 5-3 邊坡複合型滑動破壞

第二節 崩塌量體分析

本研究主要探討淺層崩塌，而淺層崩塌多為表淺風化層滑動，破壞機制與無限邊坡破壞類似，故淺層崩塌採用平面型破壞分析。力學分析之可能破壞面大致呈一平行坡面之直線，如圖5-4所示。由水土保持局（2014）研究中，針對淺層崩塌的凝聚力、摩擦角及破壞深度進行關聯性探討，15處淺層崩塌的材料參數如表5-1，將其 $c/\gamma h \cdot \tan \Phi$ 與破壞深度做比對後可得圖5-5，由圖5-5可看出破壞深度與 $c/\gamma h \cdot \tan \Phi$ 之間關係大致集中於同一區間內，但線性關係並不顯著，而淺層崩塌深度大致上為4~6公尺。

因此計算淺層崩塌的量體時，破壞深度可採用平均值 5 公尺帶入。可得到辛樂克颱風時，所造成的崩塌量體約為 9,935,780 立方公尺；莫拉克颱風所造成的淺層崩塌量體約為 96,876,082 立方公尺，統計結果如表 5-2 所示。由統計結果得知，雖然辛樂克颱風僅有 75 處淺層崩塌，但仍產生了大量的崩塌量體，莫拉克颱風所產生的崩塌量體更是可觀。由於淺層崩塌量體可以採平面型破壞深度推估，故崩塌量體與 Z 值之關係如第四章所列 Z 值對崩塌面積有同樣之變化關係，亦即如此量體落入河道內加上颱風所帶來的豪大雨，後續將可能產生嚴重的土石流災害。

表 5-1 淺層崩塌材料參數

崩塌編號	單位重 (kN/m ³)	飽和 單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (度)	長寬比	破壞面 深度 (m)	安全 係數
1	23.5	24.5	26.8	25.0	1.54	5.71	0.99
2	23.5	24.5	27.9	26.1	1.37	5.78	0.99
5	23.5	24.5	24.8	22.0	2.58	5.17	0.99
7	23.5	24.5	21.0	17.4	1.46	4.89	0.99
8	23.5	24.5	30.3	28.8	2.10	5.44	0.99
9	23.5	24.5	26.3	24.1	3.03	5.99	0.99
10	23.5	24.5	25.1	22.6	1.56	5.24	0.99
11	23.5	24.5	21.6	18.6	2.75	4.78	0.99
12	23.5	24.5	26.5	24.2	1.69	6.08	0.99
13	23.5	24.5	21.0	18.0	1.73	4.81	0.99
14	23.5	24.5	23.8	21.0	2.28	6.31	0.99
15	23.5	24.5	25.5	23.0	1.35	4.94	0.99
19	23.5	24.5	26.5	24.6	1.43	6.16	0.99
20	23.5	24.5	25.0	22.5	0.42	5.38	0.99
21	23.5	24.5	20.5	17.0	1.17	5.18	0.99

資料來源：「六龜-寶來地區不同崩塌類型分類方法與土砂遷移分析」(2014)

表 5-2 淺層崩塌量體量

降雨事件	崩塌面積 (公頃)	崩塌量體 (m ³)	降雨強度 (mm/hr)
辛樂克颱風	97.4	9,935,780	30
莫拉克颱風	1128.8	96,876,082	70

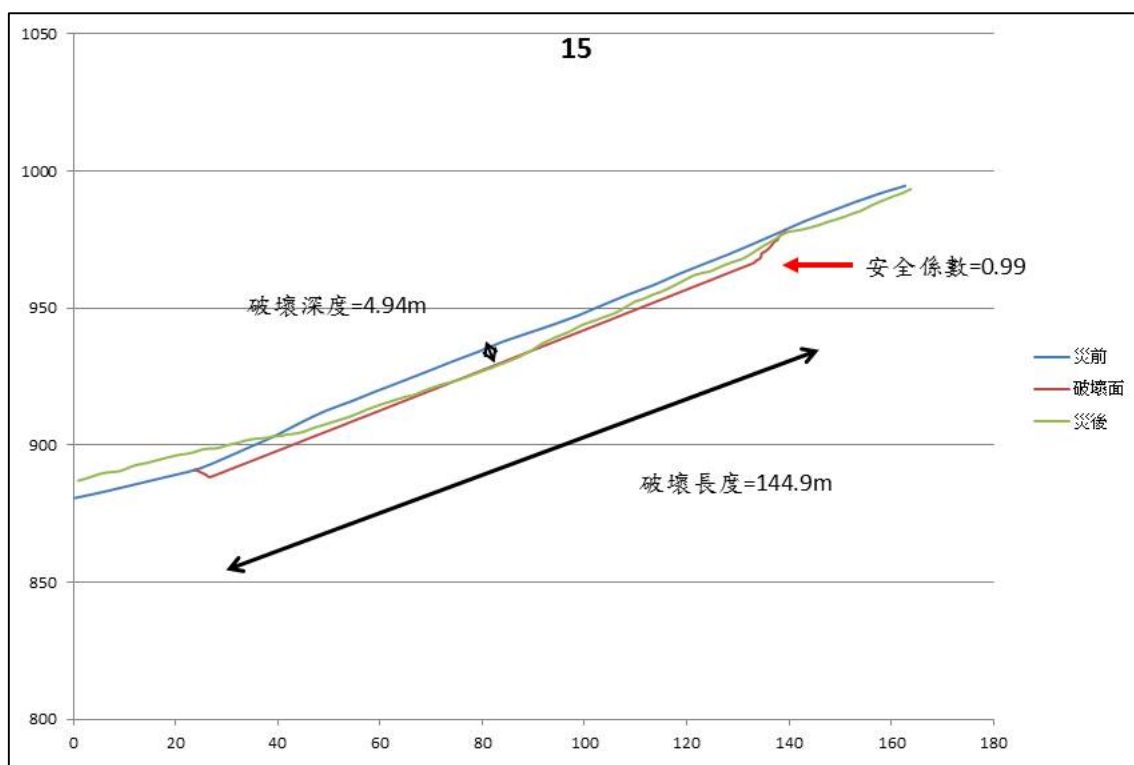


圖 5-4 淺層崩塌破壞示意圖

資料來源：「六龜-寶來地區不同崩塌類型分類方法與土砂遷移分析」(2014)

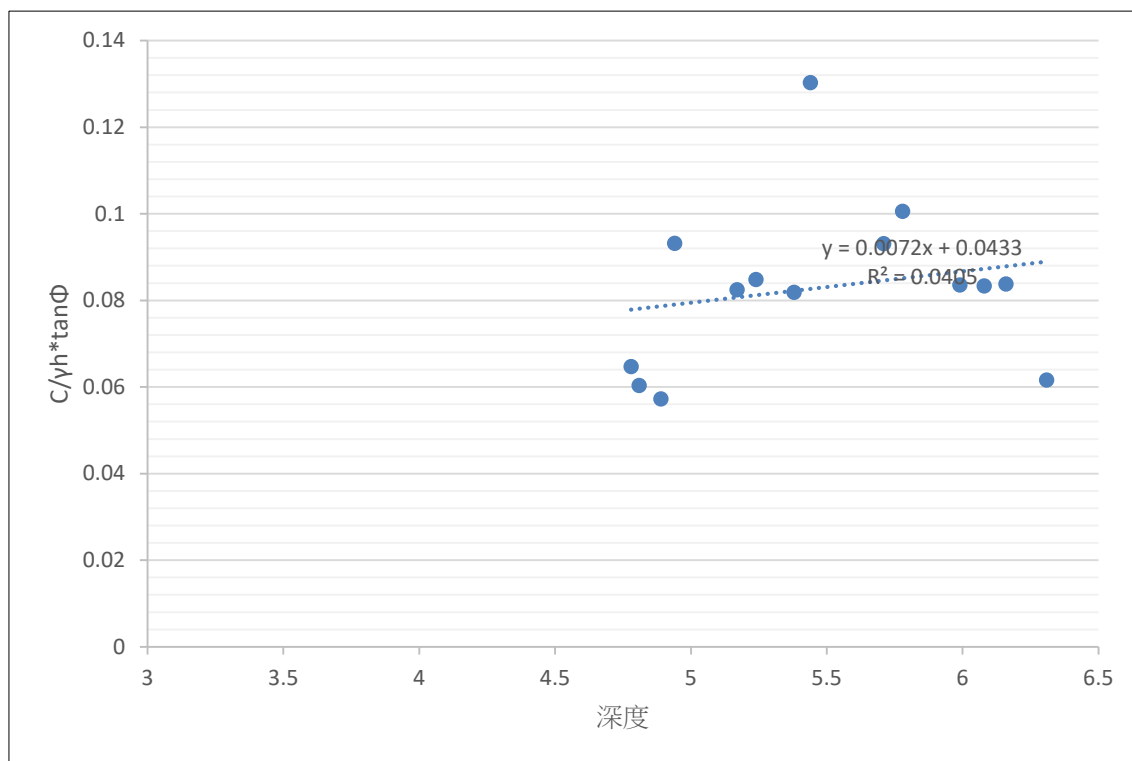


圖 5-5 土壤性質與破壞深度比對圖

資料來源：「六龜-寶來地區不同崩塌類型分類方法與土砂遷移分析」(2014)

第六章 結論與建議

第一節 結論

- 一、研究區重新圈繪崩塌由 2008 年至 2015 年，2008 年辛樂克颱風事件，圈繪出 75 處崩塌，2009 年莫拉克颱風事件後圈繪出 2238 處崩塌，其餘年份並未有重大災情發生，因此崩塌數量及面積遞減。
- 二、影像解析度對於判釋崩塌有明顯的影響，如 2010 年由航空照片所判釋的裸露率為 9.14%，而 2011 利用 SPOT5 所判釋的崩塌率降至 7.69%，這一年的裸露率差距甚大，其可能原因為福衛影像解析度遠低於航空照片，導致判釋上的差異
- 三、兩次降雨事件在發生淺層崩塌的雨量門檻值，可由 48 小時和最大降雨強度得出，辛樂克颱風的雨量門檻值分別為 400mm 及降雨強度 30mm/hr；莫拉克颱風的雨量門檻值分別為 850mm 及降雨強度 70mm/hr。
- 四、兩次降雨事件中，由最大降雨強度熱點分析結果可看出，研究區域內 Z 值較高的區域內崩塌發生較密集；在 Z 值與崩塌數量比對下，最大降雨強度的 Z 值明顯較大且有明顯門檻值，而兩次降雨事件的 Z 值門檻值都為-1.5，顯示 Z 值可有正規化效益，不受雨型變化之影響。
- 五、由兩次降雨事件的最大降雨強度等 Z 值圖中求得各 Z 值區間內的崩塌面積，將 Z 值與累積崩塌面積比對後可得到辛樂克颱風的門檻值為-1.75 與莫拉克颱風的門檻值-0.75，與先前得到的門檻值-1.5 非常接近。

- 六、 由雨量特性以及熱點分析結果可知，最大降雨強度與其 Z 值正相關的一致性相當好，淺層崩塌發生的雨量門檻值與位置跟最大降雨強度有非常高的關聯性。
- 七、 單一淺層崩塌所造成的土石量體有限，但集水區中所有的淺層崩塌累積起來的量體非常可觀，如果所有土石都落入河道內，有可能引發嚴重的土石流災害。
- 八、 由於淺層崩塌量體可以採平面型破壞深度推估，故崩塌量體與 Z 值之關係如對崩塌面積有同樣之變化關係，亦即如此量體落入河道內加上颱風所帶來的豪大雨，後續將可能產生嚴重的土石流災害。

第二節 建議

- 一、 本研究只針對那瑪夏區域進行兩次降雨事件的研究。未來應對不同地區及降雨事件進行比對驗證，對於雨量熱點與崩塌之間的關係能更明確。
- 二、 崩塌土砂量體推估已經初步的成果，未來應要未來應用要更詳細的討論崩塌破壞機制及量體推估，配合雨量熱點分佈達到預警效果。

參考文獻

1. Jackson, J.(2010), The use of Getis and Ord Cluster Analysis for Analuzing Rainfall Data in Relation to Rift Valley Fever Outbreaks, Old Dominion University, Norfolk.
2. Lin, M. L., Chen, T.W., Lin, C. W., Ho, D. J., Cheng, K. P., Yin, H. Y. , Chen, M. C. (2014). Detecting Large-Scale Landslides Using Lidar Data and Aerial Photos in the Namasha-Liuoguey Area, Taiwan. Remote Sensing, 6, 42-63.
3. 中央氣象局(2008)，辛樂克颱風行徑路線圖。
4. 中央氣象局(2008)，辛樂克颱風累積降雨量圖。
5. 中央氣象局(2009)，莫拉克颱風行徑路線圖。
6. 中央氣象局(2009)，莫拉克颱風累積雨量圖。
7. 水土保持局(2012)，光達數值地形應用於大規模崩塌與土石流關係研究。
8. 水土保持局(2013)，流域崩塌及土砂災害演化對土石流災害影響研究。
9. 水土保持局(2014)，六龜-寶來地區不同崩塌類型分類方法與土砂遷移分析。
10. 台北市政府建設局(2005)，台北市雨量監測資料及邊坡崩塌預警基準操作訂定（第一期）成果報告。
11. 台北市政府建設局(2006)，台北市雨量監測資料及邊坡崩塌預警基準操作訂定（第二期）成果報告。
12. 何明憲(2003)，「台灣中部災區坡地型土石流發生特性之研究」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
13. 柯明淳、林聖琪、陳韻如(2010)，「崩塌與土石流預警技術之精進-

地文災害敏感與坡地災害熱點之分析與應用」，國家災害防科技研究中心。

14. 溫在弘、劉擇昌、林民浩(2010)，「犯罪地圖繪製與熱區分析方法及其應用：以 1998-2007 年台北市住宅竊盜犯罪為例」，地理研究，第 52 期。
15. 莊漢鑫(2012)，「考慮空間與雨量變異之土石流影響因子潛勢分析」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，182 頁。
16. 嚴文彬(2016)，「應用邊坡單元預測大規模崩塌」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，182 頁。

附錄

附錄一、期中審查會議紀錄暨回復辦理情形

委員意見	意見回復
1. 莫拉克事件淺層崩塌之降雨門檻分別為 900mm 與 1700mm 之可能物理意義為何?	到達雨量之門檻值則發生崩塌的機率會明顯上升，亦可返翻推崩塌可能發生的時間。
2. 研究區崩塌判釋之崩塌率是否為裸露率?	2008 年以及 2009 年的崩塌為原生崩塌，所以崩塌判釋結果為崩塌率，而 2010 年後的圈繪結果多為莫拉克颱風後遺留下的裸露地，故改為裸露率
3. 熱點分析之 Gi 值計算是取雨量站的資料或是崩塌地之代表雨量?	蒐集兩次降雨事件那瑪夏區域附近的雨量站資料進行雨量內插，再利用 GIS 取得各崩塌形心位置的雨量作為此崩塌的代表雨量。
4. P 值與 Z 值分布之統計解釋有商榷之處，宜注意統計推論之嚴謹性。(顯著差異水準之選定如何?)	主要的選定方式為依照 ArcGIS 手冊中建議，顯著差異水準為 5%，已在後續研究中更嚴謹使用。
5. 坡向之角度表示方式易誤解，宜詳加說明定義之。	已將角度表示以中文及角度一起標示以利閱讀。
6. 本計畫選取的兩場颱風辛樂克及莫拉克是否足資建立坡地崩塌與致災關聯性分析，是否另納入非颱風事件加以分析，建請補充。	辛樂克颱風以及莫拉克颱風在那瑪夏區域造成多處崩塌，而莫拉克颱風後的降雨事件並未造成嚴重的崩塌，可由 2010 年~2015 年的圈繪圖及裸露率中看出，因此選定這兩次事件

7. 有關全崩塌、淺層崩塌及大規模崩塌三個類型，如何區分，建請補充。	在文中全崩塌表示全部圈繪的崩塌，可能造成誤解已經其改成「所有崩塌」，大規模崩塌為水保局前期成果經本研究編修，而非大規模崩塌地之崩塌地則為淺層崩塌。
8. 本計畫研究高屏溪流域崩塌與降雨之關聯性，進而討論土砂運移極可能致災部分，建議可以將相關土砂處理，尤其疏濬的工作等，以符合現地實際狀況。	已增加第五章討論土砂量體分析。
9. 建議熱點分析中 Z 值的計算與原則及其結果的應用，有進一步的說明。	計算與原則依照主要是 ArcGIS 手冊。Z 值主要應用是將研究區域內的降雨量做正規化後找出易發生崩塌的區域，已補充說明餘報告內。
10. 同一研究區域內不同降雨型態之 48 小時及總累積雨量之崩塌門檻值不同，以及崩塌與雨量熱點之關係亦因降雨型態不同而有差異，故如何建立其規律性可能是下階段的重點工作。	在後期研究中發現最大降雨強度的門檻值更具代表性，在不同降雨事件仍有相同的門檻 Z 值。
11. 計畫以行政區(那瑪夏區)範圍為研究區，探討降雨與崩塌關聯性，建議可考慮地形重要因子，如集水區範圍探討。	因本團隊在那瑪夏區域有多年研究並且有明顯的崩塌事件，因此在此研究中選擇此研究區域，同時已發現曾文溪流域有不同之分佈，故予剔除。將來會以此研究模式再繼續討論其他區域及降雨事件

12 研究中使用不同時期航照及不同衛星的影像，其對崩塌地之判釋成果應能有 accuracy matrix 解釋其可信賴準確度。	本研究主要再討論崩塌發生與降雨量之關聯性，所以並未對影像或崩塌圖層做精度矩陣。
13. 各颱風事件降雨熱點分析結果如何應用在未來坡地災害預警方面之工作。	可利用歷年的降雨資料找出各地區的降雨熱點，並找出發生崩塌的雨量門檻值。可在熱點較高的區域進行必要的防治工程，亦或是在後續疏散作業的順序可作為依據。
14. 降雨熱點分析似乎未和崩塌區域有足夠得關聯性，應如何解釋此現象。	在兩次降雨事件的最大降雨量熱點與崩塌發生區域非常吻合，多數的崩塌都發生在熱點較高的區域，其餘區域仍有發生但崩塌較少。
15. 計畫中兩次颱風事件不同雨型造成之降雨門檻不同，但在實際樣用時雨型是未知的，此時應如何進行崩塌預警？	在後期研究中發現不同降雨事件的最大降雨強度 Z 值有相同的門檻值，因此未來可由最大降雨強度 Z 值來訂定崩塌預警的雨量。未來研究可再進一步考量如何由推測雨型進行運用。
16. 崩塌特性分析僅就長寬比、面積、坡度、坡向和曲率等 5 因子分析，如何選定？另岩性與崩塌發生息息相關，是否需考量？	在先前研究中有利用更多因子嘗試，最後找出這 5 個因子為最具代表性。岩性為相當重要因素，但在研究區域中岩性相當接近，主要都為砂岩及頁岩，因此在本研究中不考慮此因子

附錄二、期末審查會議紀錄暨回復辦理情形

審查意見	意見回復
1. 值得繼續進行不同集水區及更深入的探討，對於本局淺層崩塌預警工作有實質助益。	謝謝指教。
2. 門檻 Z 值為-1.5，是否適用於其他地形或位置？	此 Z 值主要為那瑪夏區域之門檻，不同地形或是降雨事件之門檻值可能會有差異，因此建議未來對其餘區域要再研究討論。
3. 影像解析度受限無法均一，影響判釋成果。	不同的解析度之影像在圈繪上真的有很大差異，除了航空照片外，其餘影像都在細節判釋上都有相當難度。
4. 本計畫以衛星影像與降雨事件，前後比對結果，惟僅對坡向、坡度探討論述，但會影響崩塌因素很多，現況的使用情況也是因素之一，應將土地使用與水土保持處理的因子納入參考。	現地土地使用及水土保持的確也是影響崩塌的主要因素之一，但在那瑪夏區域中，多數的崩塌皆發生在山區未開墾地區，較無人為因素影響，因此本研究並無考慮此因素。