
**自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管
理之研究**

**Study of Adoptive Landslide Evaluation Model and
Applications for the Landslide Disaster Response and
Management**

執行單位:逢甲大學

執行期間:109年1月1日至109年12月31日

計畫主持人 :逢甲大學土木工程學系李秉乾教授

共同主持人 :逢甲大學都市計畫與空間資訊學系雷祖強教授

協同主持人 :逢甲大學營建及防災中心謝孟勳研究助理教授

逢甲大學土木工程學系黃亦敏助理教授

逢甲大學GIS研究中心方耀民研究副教授

逢甲大學土地管理學系周天穎教授

行政院農業委員會水土保持局委託研究

中華民國 109 年 12 月

(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)

自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究

摘要

本團隊近期在農委會水土保持局(以下簡稱水保局)相關計畫中，針對陳有蘭溪、旗山溪、荖濃溪集水區等示範區進行相關資料蒐集彙整，透過人工智慧類神經網路建立的崩塌潛勢評估模式，針對不同類型之坡面導出不同雨量觸發因子(最大小時降雨和總有效累積雨量)及崩塌地文因子(地質、坡度、坡向、河道遠近、植生、歷史崩塌)之崩塌潛勢評估模型，並與降雨危害曲線整合為一套崩塌風險警戒機制模式。

本計畫今年將以擴增各年度衛星判釋全島崩塌地圖萃取各年度間新增之崩塌地圖以及蒐集對應年度之颱風豪雨事件雨量組體資料進行崩塌關聯資料庫為主要目標，並探索及挖掘雨量時機點與實際發生崩塌之不確定性，透過更多時序的雨量特徵提取與過去年度崩塌進行關聯性模型訓練，使崩塌潛勢評估模型之準確性提高，進而提供更加精準之崩塌潛勢資訊，經過上述的人工智慧技術於崩塌潛勢評估模式精進後，後續亦將持續整合降雨危害曲線於本計畫過去所發展之崩塌風險警戒機制模式，同樣透過崩塌風險的三項因子(危害度、易損性以及暴露量)整合於崩塌風險警戒管理模式，其可有效掌握到個別因子的影響性，即降雨時序特徵對地面環境的影響性(危害度)、地面環境對於降雨的承受能力(易損性)以及保全對象所在的位置(暴露度)，因此為了能夠有效地應用於災害應變管理，對於設定各指標之警戒門檻則亦是本計畫今年度之研究目標，然過去在崩塌警戒管理上中本計畫僅透過歷史速報資料之最小機率作為最小致災門檻曲線，而其對於無速報資料之行政區無法有效之訂定警戒值，且因近年來受極端氣候常態化影響其不確定性增加，作為減災策略擬定之依據尚有許多不足之處；因此，對於本計畫後續針對多年度的崩塌雨量資料擴增，將嘗試利用 AI 技術的機器學習演運算，透過大數據崩塌雨量數據對警戒管理內容進行警戒值訂定模型之建置，並持續收蒐集崩塌事件進行模式驗證，以作為崩塌災害警戒值之訂定及管理應用之依據，有效達到協助防災應變決策之全面性以及提升國內坡地崩塌量化分析、警戒與風險評估之研究發展。

另一方面，如何有效提供民眾於崩塌災害前之重要潛勢風險資訊，亦是本計畫後續將崩塌災害警戒管理落實於自主防災之主要目的，所以本計畫將進行自主防災崩塌警戒發布管理流程設計，並挑選一處社區落實坡地崩塌評估模式於社區自主災害警戒應用，規劃相關避難路線及崩塌風險地圖等，進而達社區自主避災、防災及'減災的目標。

關鍵詞:崩塌、人工智慧、警戒模式、風險管理

Study of Adoptive Landslide Evaluation Model and Applications for the Landslide Disaster Response and Management

Abstract

The research team have developed a system for Soil and Water Conservation Bureau (SWCB) about the subjects of landslide potential evaluation and landslide disaster warning model. The model was built based on the data from watersheds of Chen-Yo-Lan River, Qishan River, and Laonong River. The methods of artificial intelligent (AI) was used in the model to describe the influence of triggering factors of rainfall intensity and accumulation, as well as the environmental factors of geology, slope, aspect, distance to stream channel, vegetation, and historical landslides.

The program this year will be to expand the satellite interpretation images of each year's landslide map, and to collect the corresponding rainfall data of typhoons and heavy rainfalls in each year. The database will be used for exploring the correlation of landslide and environmental changes. Uncertainty about the timing of rainfall and actual landslide will be included in the model training. Through more time-series rainfall features in training, the model will be expected to be more accurate about the potential evaluation of landslide. After the above-mentioned artificial intelligence technology, the model is improved and integrated with previous fragility-curve model. The landslide risk, therefore, will be determined by considering hazard, vulnerability, and exposure factors in the model. The proposed model will be able to effectively capture the characteristics of landslide in terms of environmental susceptibility, withstand capability (fragility), and the object (exposure) to be protected. Therefore, in order to be effectively applied to disaster contingency management, setting the alert thresholds of various indicators is also the research goal of this plan this year. However, in the past, in regard to landslide alert management, the model only used the historical event notices to determine the minimum hazard threshold curve, and it cannot effectively set a warning value for regions

without event notices. The uncertainty of landslide occurrence has increased due to the impact of extreme weather in recent years. There are still many deficiencies as a basis for the development of disaster reduction strategies. Therefore, an attempt will be made to use AI technology of machine learning algorithms to build a warning value model for landslide alert management. The proposed model and evaluation procedures will be effectively achieve the comprehensiveness of disaster prevention and response, and improve the understanding of landslide risk assessment.

On the other hand, how to effectively provide people with important potential risk information before the landslide disaster is also the main purpose of this study. Therefore, the program will conduct a procedure of landslide alert for autonomous disaster prevention communities. A community will be selected to implement the landslide alert assessment, including determining evacuation routes and making landslide risk maps. With the program, the community will achieve the goal of autonomous disaster prevention.

Keywords: Landslide, Artificial Intelligence, Warning Criteria, Risk Management

摘 要	I
Abstract.....	III
目 次.....	V
表 次.....	VII
圖 次.....	IX
第一章 前言	1-1
第一節 計畫緣起與目的	1-1
第二節 工作項目與內容	1-2
第二章 崩塌事件資料庫擴增.....	2-1
第一節 研究地區崩塌資料庫	2-5
第二節、降雨誘發資料庫	2-26
第三節、崩塌資料萃取.....	2-33
第三章 坡地崩塌風險評估模型建立.....	3-1
第一節 崩塌降雨危害評估模型建立	3-1
第二節 坡地崩塌潛勢評估模型建立	3-14
第三節 重點聚落崩塌風險警戒機制模式	3-24
第四章 自主防災崩塌警戒發布管理流程設計.....	4-1
第一節 行政區/社區警戒發布機制研析	4-1
第二節 系統化崩塌警戒機制於自主防災評估	4-7
第三節 崩塌風險警戒機制以及自主防災管理推播模式實測	4-15
第五章 結論	5-1
第一節 結論	5-1
第二節 後續建議方向	5-2

參考文獻.....	參 1
附錄一 各類資料庫資訊明細表.....	附錄-1
附錄二 期初計畫審查委員意見與回復.....	附錄-3
附錄三 期中計畫審查委員意見與回復.....	附錄-5
附錄四 期末計畫審查委員意見與回復.....	附錄-9
附錄五 公文往返.....	附錄-11

表次

表 2-1	崩塌種類定義.....	2-1
表 2-2	環境資料庫之類型和檔案格式	2-4
表 2-3	I_1-R_{tc} 之降雨因子定義	2-28
表 2-4	97 年度至 107 年重大颱風豪雨事件詳表	2-29
表 2-5	97 年度至 98 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表	2-34
表 2-6	98 年度至 99 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表	2-35
表 2-7	99 年度至 100 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表	2-36
表 2-8	100 年度至 101 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表	2-37
表 2-9	101 年度至 102 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表	2-38
表 2-10	102 年度至 103 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表	2-39
表 2-11	103 年度至 104 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表	2-40
表 2-12	104 年度至 105 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表	2-41
表 2-13	颱風豪雨崩塌事件新增崩塌地詳表	2-43
表 3-1	南部集水區 15 處重點聚落對應之鄰近雨量站表	3-2
表 3-2	I_1-R_{tc} 之降雨因子定義	3-4
表 3-3	本計畫模型訓練資料集欄位說明	3-17
表 3-4	地文潛勢因子以及當年度降雨驅動因子之模型驗證精度表	3-22
表 3-5	地文潛勢因子以及當年度降雨驅動因子之資料庫 8 評估精度表 ..	3-22
表 3-6	地文潛勢因子、歷五年之崩塌時序特徵資料庫以及當年度降雨驅 動因子之模型驗證精度表	3-22
表 3-7	地文潛勢因子、歷五年之崩塌時序特徵資料庫以及當年度降雨驅 動因子之資料庫 8 評估精度表	3-22
表 3-8	簡化的風險矩陣.....	3-25

表 3-9	17 處南部集水區重點聚落村里崩塌與降雨警戒機率表(109 年度)	3-28
表 4-1	18 處重點聚落崩塌雨量警戒值	4-15
表 4-2	鄉(鎮、區)行政區崩塌雨量警戒值	4-16
表 4-3	六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨崩塌警戒發布試做	4-25
表 4-4	雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落利奇馬颱風崩塌警戒發布試做 ..	4-30
表 4-5	雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落 0815 豪雨崩塌警戒發布試做	4-35
表 4-6	那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)利奇馬颱風崩塌警戒發布試做	4-39
表 4-7	那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)0815 豪雨崩塌警戒發布試做 ..	4-44
表 4-8	六龜區寶來里(竹林(16、17 鄰)聚落)0815 豪雨崩塌警戒發布試做	4-48

圖次

圖 2-1	陳有蘭溪地理位置圖.....	2-5
圖 2-2	荖濃溪地理位置圖.....	2-6
圖 2-3	旗山溪地理位置圖.....	2-7
圖 2-4	陳有蘭溪集水區地質圖	2-8
圖 2-5	荖濃溪集水區地質圖.....	2-8
圖 2-6	旗山溪集水區地質圖.....	2-9
圖 2-7	陳有蘭溪集水區數值高程模型	2-10
圖 2-8	荖濃溪集水區數值高程模型	2-10
圖 2-9	旗山溪集水區數值高程模型	2-10
圖 2-10	陳有蘭溪集水區坡度影像	2-11
圖 2-11	荖濃溪集水區坡度影像.....	2-11
圖 2-12	旗山溪集水區坡度影像	2-11
圖 2-13	陳有蘭溪集水區坡向圖	2-12
圖 2-14	荖濃溪集水區坡向圖.....	2-12
圖 2-15	旗山溪集水區坡向圖.....	2-12
圖 2-16	各集水區剖面曲率圖.....	2-13
圖 2-17	各集水區平面曲率圖.....	2-14
圖 2-18	各集水區坡度變率圖.....	2-15
圖 2-19	各集水區坡向變率圖.....	2-16
圖 2-20	各集水區地形起伏度分析圖	2-17
圖 2-21	各集水區地表切割深度分析圖	2-18
圖 2-22	各集水區地表粗糙度分析圖	2-19
圖 2-23	各集水區高程變異係數分析圖	2-20
圖 2-24	陳有蘭溪集水區土壤分布圖	2-22

圖 2- 25	荖濃溪集水區土壤分布圖	2-22
圖 2- 26	旗山溪集水區土壤分布圖	2-23
圖 2- 27	各集水區 2020 年汛期前植生現況分析	2-25
圖 2- 28	本計畫蒐集之雨量測站分布	2-27
圖 2- 29	本計畫之雨場分割定義	2-27
圖 2- 30	97 年度至 98 年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-30
圖 2- 31	98 年度至 99 年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-30
圖 2- 32	99 年度至 100 年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-30
圖 2- 33	100 年度至 101 年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-31
圖 2- 34	101 年度至 102 年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-31
圖 2- 35	102 年度至 103 年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-31
圖 2- 36	103 年度至 104 年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-31
圖 2- 37	104 年度至 105 年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-32
圖 2- 38	崩塌地分類示意圖.....	2-33
圖 2- 39	97 年度至 98 年度間崩塌變異類型分布圖	2-34
圖 2- 40	98 年度至 99 年度間崩塌變異類型分布圖	2-35
圖 2- 41	99 年度至 100 年度間崩塌變異類型分布圖	2-36
圖 2- 42	100 年度至 101 年度間崩塌變異類型分布圖	2-37
圖 2- 43	101 年度至 102 年度間崩塌變異類型分布圖	2-38
圖 2- 44	102 年度至 103 年度間崩塌變異類型分布圖	2-39
圖 2- 45	103 年度至 104 年度間崩塌變異類型分布圖	2-40
圖 2- 46	104 年度至 105 年度間崩塌變異類型分布圖	2-41
圖 2- 47	新增崩塌地分布圖(98 年度崩塌地圖-97 年度崩塌地圖).....	2-44
圖 2- 48	新增崩塌地分布圖(99 年度崩塌地圖-98 年度崩塌地圖).....	2-44
圖 2- 49	新增崩塌地分布圖(100 年度崩塌地圖-99 年度崩塌地圖).....	2-44

圖 2- 50	新增崩塌地分布圖(101 年度崩塌地圖-100 年度崩塌地圖).....	2-44
圖 2- 51	新增崩塌地分布圖(102 年度崩塌地圖-101 年度崩塌地圖).....	2-45
圖 2- 52	新增崩塌地分布圖(103 年度崩塌地圖-102 年度崩塌地圖).....	2-45
圖 2- 53	新增崩塌地分布圖(104 年度崩塌地圖-103 年度崩塌地圖).....	2-45
圖 2- 54	新增崩塌地分布圖(105 年度崩塌地圖-104 年度崩塌地圖).....	2-45
圖 2- 55	新增崩塌地分布圖(106 年度崩塌地圖-105 年度崩塌地圖).....	2-46
圖 2- 56	陳有蘭溪集水區之坡面單元	2-48
圖 2- 57	荖濃溪集水區之坡面單元	2-49
圖 2- 58	旗山溪集水區之坡面單元	2-50
圖 2- 59	陳有蘭溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$).....	2-51
圖 2- 60	荖濃溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$).....	2-52
圖 2- 61	旗山溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$).....	2-52
圖 2- 62	陳有蘭溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$).....	2-53
圖 2- 63	荖濃溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$).....	2-53
圖 2- 64	旗山溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$).....	2-54
圖 2- 65	崩塌地坡度與深度分佈	2-55
圖 2- 66	崩塌塊體斜面與投影面關係示意圖	2-55
圖 2- 67	97 年度至 98 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈	2-57
圖 2- 68	98 年度至 99 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈	2-57
圖 2- 69	99 年度至 100 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈	2-57
圖 2- 70	100 年度至 101 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈	2-57
圖 2- 71	101 年度至 102 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈	2-58
圖 2- 72	102 年度至 103 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈	2-58
圖 2- 73	103 年度至 104 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈	2-58
圖 2- 74	104 年度至 105 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈	2-58

圖 3-1	本計畫採用之雨場分割方法示意圖	3-3
圖 3-2	自然對數 $\ln(x)$ 的函數圖像.....	3-6
圖 3-3	屈尺雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-10
圖 3-4	桶後雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-10
圖 3-5	高中雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-10
圖 3-6	御油山雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-11
圖 3-7	梅山雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-11
圖 3-8	神木村雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-11
圖 3-9	豐丘雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-12
圖 3-10	那瑪夏國中雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-12
圖 3-11	達卡努瓦(民生)雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-12
圖 3-12	新發雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-13
圖 3-13	上德文雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-13
圖 3-14	瑪家雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面.....	3-13
圖 3-15	本計畫訓練模型簡易架構圖	3-18
圖 3-16	105-106 年度評估結果分布圖	3-23
圖 3-17	坡地崩塌警戒模式評估指標建立流程	3-26
圖 3-18	警戒曲線訂定示意圖.....	3-27
圖 3-19	警戒曲線訂定示意圖.....	3-27
圖 3-20	崩塌風險警戒機制示意圖	3-30
圖 4-1	複合型土砂災害行政區警戒發布模式	4-2
圖 4-2	自主防災崩塌風險行政區警戒發布模式	4-4
圖 4-3	崩塌警戒發佈流程 (考量 H 及 F 指標)	4-4
圖 4-4	最小累積降雨警戒值訂定示意圖	4-5
圖 4-5	自主防災警戒推播流程規劃	4-6

圖 4-6	系統化流程圖.....	4-8
圖 4-7	崩塌警戒展示模組介接 FEMA 雨量資料.....	4-9
圖 4-8	崩塌紅黃警戒值及圖台展示.....	4-9
圖 4-9	以行政區發布崩塌警戒展示.....	4-10
圖 4-10	崩塌警戒展示模組首頁.....	4-11
圖 4-11	圖層套疊功能展示.....	4-11
圖 4-12	崩塌警戒展示模組--豐丘聚落坡面單元.....	4-12
圖 4-13	17 處重點聚落崩塌警戒清單展示.....	4-12
圖 4-14	達警戒聚落詳細資訊.....	4-13
圖 4-15	達警戒坡面單元及屬性展示.....	4-13
圖 4-16	豐丘聚落地文崩塌潛勢分布與保全對象空間套疊圖.....	4-17
圖 4-17	豐丘聚落地文崩塌潛勢分布與疏散道路評估圖.....	4-18
圖 4-18	豐丘聚落於 109 年度 0522 豪與社區自主防災推播建議歷程..	4-18
圖 4-15	高雄市各重點聚落之崩塌風險警戒機制圖.....	4-21
圖 4-16	雲林縣古坑鄉草嶺村摸時乳聚落之崩塌風險警戒機制圖.....	4-21
圖 4-17	六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨崩塌警戒機制圖.....	4-28
圖 4-18	六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨降雨組體圖(御油山雨量站)	4-29
圖 4-19	雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落利奇馬颱風崩塌警戒機制圖	4-33
圖 4-20	雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落利奇馬颱風降雨組體圖(草嶺雨量站).....	4-33
圖 4-21	108 年利奇馬颱風重大土砂災例最速報-雲林縣古坑鄉草嶺村	4-34
圖 4-22	108 年利奇馬颱風雲林縣古坑鄉草嶺村坡面單元崩塌潛勢機率分布.....	4-34
圖 4-23	雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落 0815 豪雨崩塌警戒機制圖..	4-38
圖 4-24	雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落 0815 豪雨降雨組體圖(草嶺雨量	

站).....	4-38
圖 4- 25 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)利奇馬颱風崩塌警戒機制圖 .	4-42
圖 4- 26 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)利奇馬颱風降雨組體圖(那瑪夏國中雨量站).....	4-42
圖 4- 27 108 年利奇馬颱風重大土砂災例最速報-高雄市那瑪夏區南沙魯里	4-43
圖 4- 28 108 年利奇馬颱風高雄市那瑪夏區南沙魯里坡面單元崩塌潛勢機率分布	4-43
圖 4- 29 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)0815 豪雨崩塌警戒機制圖	4-47
圖 4- 30 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)0815 豪雨降雨組體圖(那瑪夏國中雨量站).....	4-47
圖 4- 31 六龜區寶來里(竹林(16、17 鄰)聚落)0815 豪雨崩塌警戒機制圖 .	4-51
圖 4- 32 六龜區寶來里(竹林(16、17 鄰)聚落)0815 豪雨降雨組體圖(高中雨量站).....	4-51
圖 4- 33 108 年 0815 豪雨重大土砂災例最速報-高雄市六龜區寶來里 ..	4-52
圖 4- 34 108 年 0815 豪雨高雄市六龜區寶來里坡面單元崩塌潛勢機率分布	4-52
。	

第一章 前言

第一節 計畫緣起與目的

921 大地震後讓臺灣原已脆弱之地質更不穩定，加上全球氣候變遷，颱風豪雨之強度日益驚人，從桃芝、納莉、海棠、敏督利、辛樂克颱風，到重創大半個台灣的莫拉克颱風，暴雨導致之崩塌及土石流造成慘重之生命財產損失。加上近年來極端降雨事件發生頻繁，山坡地易因降雨引發不同規模崩塌，故對於山坡地的易崩特性、崩塌風險及警戒機制實有必要加以研究。

然而，國內外學者對於崩塌機制及發生的原因，均指出其原因極為複雜，且很少由單一因子構成。導致崩塌發生的影響因子一般被分成潛在因子(簡稱潛因)與誘發因子(簡稱誘因)(李三畏，1984，1986；張石角，1987)。本研究認為潛因是指坡地本身具備的基本環境條件造成破壞之因素，包括地質、地形、岩石強度、節理方向、植生等。另一類係非自然因素，例如人為開墾、開闢道路、社區、開墾土石礦等活動，屬人為因素造成，一般可稱之為人工邊坡。誘因則指可直接誘發坡地崩壞之變動因素，如降雨、地震、河道沖刷、地下水等。

而本團隊參考水保局相關計畫，已透過大數據空間環境資訊空間環境資訊以及多年度的崩塌醬與資訊建立崩塌關聯資訊料庫，並於 108 年度計畫採用人工智慧機器學習之演算法對資料以及模式進行重新適配以及模型建置，針對坡地崩塌發生之可能性進行研究，針對陳有蘭溪、旗山溪、荖濃溪集水區等示範區進行相關資料蒐集彙整，針對集水區坡面導出不同雨量觸發因子(最大小時降雨和總有效累積雨量)及地文潛勢因子(地質、坡度、坡向、河道遠近、植生、歷史崩塌)之雙變量(I_{max}, R_{te})崩塌潛勢評估模型，並與降雨危害曲線整合為一套崩塌風險警戒機制模式，而為了精進本計畫所發展之崩塌風險警戒模式，進而根據上述問題分析，綜觀面對的問題可能是崩塌事件資料庫必須增加以及分析模式能夠處理未來不同規模的降雨強度

的能力，再加上環境本身也有自癒能力，這會形成一個非常複雜機理之問題，而上述的兩種變動再加上模式本身必須快速演算的計算能力，就是本研究所要面對之研究課題。

另外，上述的人工智慧技術於崩塌潛勢評估模式精進後，後續亦將持續整合降雨危害曲線於本計畫過去所發展之崩塌風險警戒機制模式，同樣透過崩塌風險的三項因子(危害度、易損性以及暴露量)整合於崩塌風險評估模式，其可有效掌握到個別因子的影響性，即降雨時序特徵對地面環境的影響性(危害度)、地面環境對於降雨的承受能力(易損性)以及保全對象所在的位置(暴露度)，因此為了能夠有效地應用於災害應變管理，本計畫將崩塌災害警戒管理落實於自主防災為主要目的，將進行自主防災崩塌警戒發布管理流程設計並嘗試落實坡地崩塌評估模式於社區自主災害警戒應用於高風險潛勢社區，並規劃相關避難路線及崩塌風險地圖等，進而達社區自主避災、防災及減災的目標。

第二節 工作項目與內容

一、 坡地崩塌因子資料庫擴增及更新

本計畫期於今年度計畫中將盤點歷年(2008-2019)全台重大颱風豪雨事件，經資料探索，初探各事件於陳有蘭溪、荖濃溪以及旗山溪集水區過去不同型態之降雨事件的雨量範圍，並針對雨量範圍決定事件規模，以挑選具有各規模代表性之事件的衛星影像進行環境資料(地文資料)的萃取，以擴增崩塌事件資料庫，進而取得更多事件樣本於後續進行人工智慧演算法之模式訓練。

二、 坡地崩塌潛勢評估模式誘發因子檢討與更新

在誘發因子中多採用颱風豪雨事件之雨場特徵挖掘，而根據前人研究試圖透過對降雨以及崩塌之時空特性之分析，找出誘發崩塌發生之降雨特徵，由各結論並可發現，降雨因子對坡地穩定程度之主要影像，在於促使土壤飽和度上

升，而為了瞭解影響程度，故降雨量(mm)、降雨強度(mm/hr)與降雨延時等指標應運而生(莊永忠等人，2011)，因此如何在特定之颱風豪雨事件雨場時間範圍內估算影響集水區坡面穩定性之有效降雨量為目前須克服之主要重點，而由於上述之降雨入滲，乃至於坡面內部反應均為互相關聯之連鎖反應，故 O’Loughlin (1986)、Montgomery and Dietrich (1994)等均建議利用物理模式串聯各類影響參數，以完整呈現崩塌事件作用過程，因此，本研究希望透各年度颱風豪雨事件之雨場資訊挖掘代表性之時序特徵，以進行坡面穩定程度與降雨時序因子之時序變化分析。

三、崩塌風險評估模型精進

本計畫透過以自然災害(降雨)引致崩塌為問題的切入角度，並整合危害度(Hazard)、易損性(Vulnerability)以及暴露量(Exposure)三項因子作為坡地崩塌風險問題表述的核心項目，進而發展出一套適合國內崩塌風險機率推估的評估方法。

(一)崩塌降雨危害評估模型建立

為分析單一聚落發生崩塌可能性的臨界降雨基準值，以近 10 年間降雨資料作為建立雨量等比率曲線模式之基礎，並分析十年間各雨場之最大小時降雨強度(I_{max} : mm/hr)，以及總有效累積降雨(R_{te} : mm)，綜合評估建立降雨危害臨界曲線。

(二)資料庫因子環境資訊更新

本計畫研究範圍包括已建置完成崩塌資料庫之陳有蘭溪、旗山溪以及荖濃溪集水區，並透過 109 年度汛期影像之現況植生分析，以更新研究區坡面單元之坡面類別屬性，以利後續模型適用於現況環境資料。

(三)自適性類神經坡地崩塌潛勢評估模型建立

本計畫旨在藉由空間資料搭配序列颱風挾帶豪雨導致的已知崩塌事件和範圍，以不確定型和優化型的空間資料探勘技術萃取崩塌潛勢條件，進行

風險預警應變之應用，後續將持續透過構建更複雜的深度網絡，在能夠在獲取到新的資料後再次調整自身參數，以保持良好的推估模式及精準度。

因此本年度計畫將透過持續擴增之崩塌事件關聯資料庫，同時檢討降雨規模、雨量時序特徵等相關誘發因子與崩塌地的關聯性，並投入人工智慧演算模型進行崩塌潛勢評估模型之精進，其設計目的乃是探索全域變動因子對於坡地崩塌災害的影響性，並透過機率模型建立與歷年事件之實測驗證，進行警戒訂定之問題研究，進而透過科學統計分析之概念建立一套全國可用的崩塌災害防災預警與警戒模式。

四、 崩塌風險警戒機制模式於精密防災之應用與實測

針對本計畫上述發展之崩塌潛勢評估模式以及降雨危害評估模式，研析大區域(集水區)空間尺度之評估方式以及實際防災應變之操作，設計有效之崩塌警戒發布管理流程，並試作今年度颱風豪雨事件(0522 豪雨)於本團隊前期計劃中評估之 15 處於陳有蘭溪、荖濃溪 以及旗山溪集水區重點社區對象以評估崩塌潛勢評估模式於不同集水區間之自適性以及警戒發佈機制成效，以達到協助防災應變決策之目的。

五、 自主防災崩塌警戒發布管理流程設計

本計畫將崩塌災害警戒管理落實於自主防災為主要目的，將進行自主防災崩塌警戒發布管理流程設計並嘗試落實坡地崩塌評估模式於社區自主災害警戒應用於高風險潛勢社區(南投縣信義鄉豐丘村)，規劃相關避難路線及崩塌風險地圖等，進而達社區自主避災、防災及減災的目標。

第二章 崩塌事件資料庫擴增

回顧學者之研究，各學者對於崩塌的定義有著不同的解釋，Varnes(1958)認為崩塌是指山坡上的物質，受到重力作用影響後，產生向下、向外的運動如表 2-1；坡地中部分坡面，因土塊受重力作用，向下或向側面移動的現象，皆以崩塌稱之；李三畏(1986)則表示崩塌是指山坡面上之土壤，受到外力影響而失去平衡，所產生向外、向下的移動現象。由此可以發現，崩塌的發生是因受到外力之引響下，導致坡地之組成結構性不穩不足以支撐本身之重量，而引致坡地上岩土層脫落本體之現象。

表 2-1 崩塌種類定義

物質運動之型態 Type of Movement		塊體移動物質種類 Type of Material		
		基岩 Bedrock	工程土壤 Engineering Soils	
			粗粒為主	細粒為主
墜落 Falls		岩石墜落 Rock Fall	岩屑墜落 Debris Fall	土墜落 Earth Fall
傾覆 Topples		岩石傾覆 Rock Topple	岩屑傾覆 Debris Topple	土墜落 Earth Fall
滑動 Slides	轉動 Rotational	岩石崩移 Rock Slump	岩屑崩移 Debris Slump	土崩移 Earth Slump
	移動 Translational	岩塊滑動 Rock Block slide(Glide) 岩石滑動 Rock Slide	岩屑塊滑動 Debris Block Slide 岩屑滑動 Debris Slide	土塊滑動 Earth Block Slide(Glide) 土滑動 Earth Slide
側落 Lateral Spreads		岩石側落 Rock Spread	岩屑側落 Debris Spread	土側落 Earth Spread
流動 Flows		岩石流動 Rock Flow(深層潛移 Deep Creep)	岩屑流動 Debris Flow 土流動 Earth Flow 土壤潛移 Earth Creep	
複合運動 Complex		複合兩種或兩種以上之運動方式		

其他學者的研究也顯示出相似的論點，藉著整理這些不同研究的觀點，廣義之坡地崩塌泛指經過風化作用後地表上破碎支岩屑與土壤，受到重力作用的影響之下，順著坡面向下或向外側之運動現象，在此尚不考慮風化物質受到風、流水以冰等介質之搬運作用。這些介質於下坡運動所產生的現象，

只是降低風化物質內部之摩擦力，或是增加風化物質之重量，致使風化物質往下運動更加容易而已（陳信雄，1995）。蘇苗彬（2009）也指出崩塌為土石移動現象，包括崩（collapse）、坍（clump）、塌（slump）、滑（sliding）、陷（caving）、落（falling）等，常見分為山崩、潛移、地滑、沖蝕及土石流等類型。

雖我國與日、美等國對於崩塌之定義有些微差異，但同樣的是大規模崩塌破壞面深入岩盤、滑動面較為深層、滑動速度快速、地下水之影響大、崩塌量體大、影響之範圍廣、易造成重大災損。對於發生崩塌之因素，國內外學者皆認為其造成原因非常複雜，而且很少是由單一因子所引發。致使崩塌災害發生之影響因子一般分為潛在因子(略稱為潛因)與誘發因子(略稱為誘因)（李三畏，1984，1986；張石角，1987）。

潛因與誘因造成坡地崩塌的力學機制，可從塊體受力之分析探討坡地是否穩定或可能發生滑動問題。目前國內外學者普遍認為影響塊體可能滑動之力有滑動力與抵抗力(吳俊鎡，2005)，若兩力達到平衡時，則塊體穩定不動。以坡地而言，若有其他因素促使滑動面下滑力大於抗剪強度時，則塊體開始發生滑動或崩塌等現象。由上可知，對於影響邊坡穩定的因素，即是足以影響剪應力及抗剪強度之因素。Fookes *et al.*(1985)認為大地構造環境、地質、地形及氣候等因素足以影響坡地穩定。張石角(1987)則認為坡地崩塌的主要致災因子為雨水和地震，且涉及之相關因子可能有八項：坡度、岩質、高差、地質構造與坡向之關係、土壤、不連續面之傾角、動態地形作用及水。張石角(1988)也提出由於坡地的地質與地形條件組合有利於邊坡運動，才使得在降雨或地震事件發生時，常造成崩塌現象發生。Koukis & Ziourkas(1991)提出可能影響邊坡崩塌的因子有 64 個之多，包括動態的致災因子及潛在的環境因子。溫振宇(2005)整理 1996 年~2005 年 43 篇與崩塌製圖相關文獻，指出在前人研究中，崩塌因子選取次數的多寡依次為為坡度、岩性、坡向、

高程、土地利用、與水系相關(包括距離、密度等)、植生相關(包括種類、密度、年齡等)、與地文相關(包括距離、種類、構造單元等)、土壤相關(包括種類、厚度、組織等)、坡形、曲率相關(包括水平、垂直等)、降雨相關(包括累積雨量、降雨強度等)等。

本研究認為潛因是坡地本身所具備之環境條件所構成之破壞因素，包含地質、地形、岩石特性、地表植生狀況、節理方向等。誘因為直接導致坡地崩塌發生之變動因素，如地震、地下水、降雨、河水滔蝕等，因此進行坡地易損性分析前須建立集水區各類環境因子資料，集水區資料蒐集自林務局農林航測所繪製之陳有蘭溪集水區、荖濃溪集水區以及旗山溪集水區之相關地文、水文地理資訊圖資以及水土保持局全國集水區圖層，採用圖層範圍包括主、次、子集水區範圍圖、河系圖等地理資訊基本圖資。

在集水區環境因子方面，本計畫藉由網格資料庫建置各類環境因子屬性、植生變異因子、驅動因子及崩塌事件等資訊。而本計畫將以環境資料庫以 20m×20m 之網格尺度使不同集水區範圍內所有屬性因子鏈結，環境資料庫細分為四個部分：一、環境潛勢因子；二、前期擾動誘發因子；三、降雨驅動因子及四、崩塌資訊。資料庫基礎為調查蒐集之基本資料，例如集水區基本圖資(水土保持局提供)、各年度汛前衛星影像(購自中央大學太遙中心)、數值高程模型(內政部地政司衛星測量中心提供)、二十五萬分之一地質圖(中央地質調查所提供)、土地利用圖(內政部國土測繪中心提供)、降雨資料(土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料)以及全島崩塌地圖(林務局)等基本共通資料，並且須進一步處理各類資訊，例如坡度、坡向、距河道遠近、植生、高程、雨量因子、崩塌地資訊等，如表 2-2 所示。

表 2-2 環境資料庫之類型和檔案格式

類型	資料名稱	檔案形式
環境潛勢因子	地質	向量檔案(Shapfile, 類型: Ploygon)
	高程	影像檔案(Raster, 解析度: 5m)
	坡度	影像檔案(Raster, 解析度: 5m)
	坡向	影像檔案(Raster, 解析度: 5m)
	土壤	向量檔案(Shapfile, 類型: Ploygon)
	距河道遠近	向量檔案(Shapfile, 類型: Ploygon)
	差異化植生指標	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
前期擾動誘發因子	距斷層遠近	向量檔案(Shapfile, 類型: Ployline)
	前期崩塌	向量檔案(Shapfile, 類型: Ploygon)
	前期降雨強度	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	前期總有效累積降雨	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	前期降雨延時	資料庫檔案
降雨驅動因子	降雨強度 I_{max}	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	總有效累積降雨 R_{te}	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	前期降雨延時	資料庫檔案
崩塌資訊	各年度全島崩塌地判釋地圖	向量檔案(Shapfile, 類型: Ploygon)

第一節 研究地區崩塌資料庫

一、研究地區說明

本計畫研究地區包含陳有蘭溪集水區、荖濃溪集水區、旗山溪集水區等 3 集水區，以下分述研究地區基本環境。

陳有蘭溪集水區位於南投縣信義鄉山區境內，其地理位置圖如圖 2-1 所示。主流陳有蘭溪係濁水溪重要支流之一，全長約 42.4 公里，發源於玉山北峰之八通關(標高 3,910 公尺)，自南向北流經山區，於東埔附近匯入沙里仙溪，並於和社附近匯入和社溪後，蜿蜒流經信義、鹿谷鄉境，於下游水里鄉新山、永興村匯入濁水溪。集水區東與花蓮溪及秀姑巒溪接壤，西側為清水溪，南臨旗山溪、荖濃溪。陳有蘭溪地形之特色為高差大、坡降陡為典型急流河川，集水區面積約 448.13km²，平均坡度超過 55%。

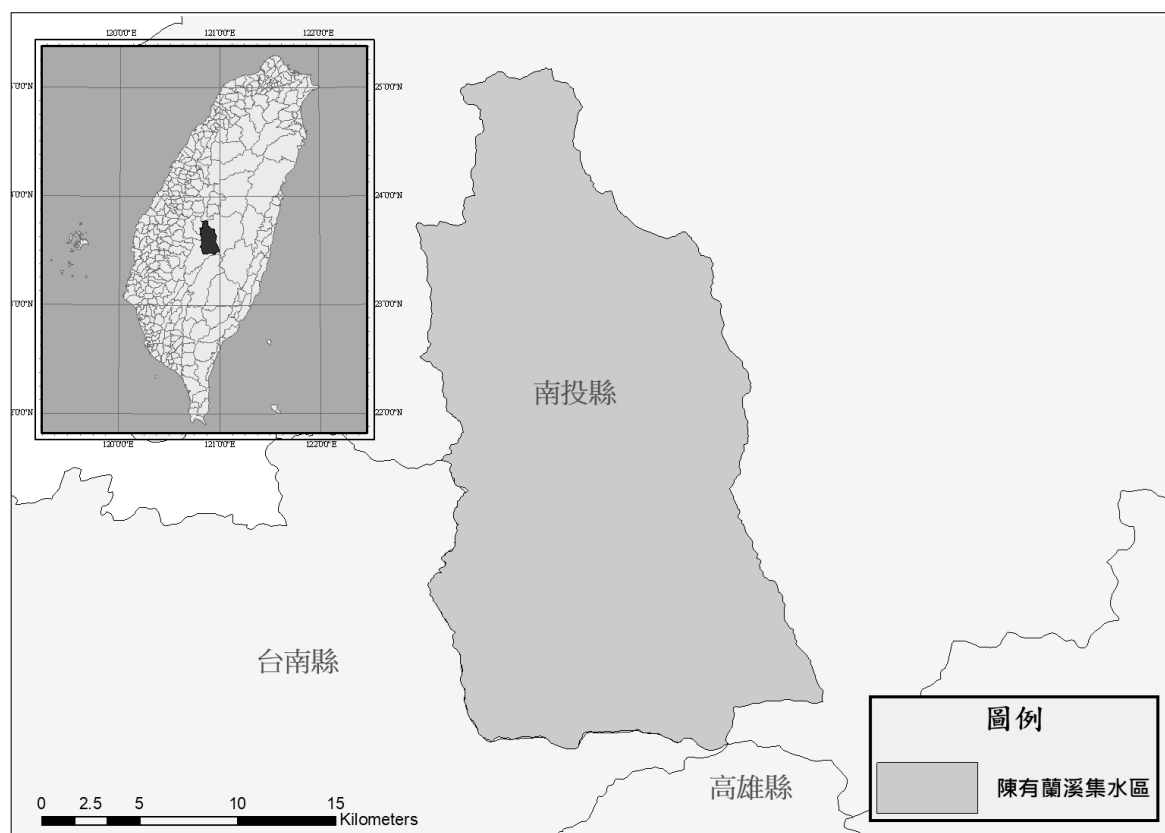


圖 2-1 陳有蘭溪地理位置圖

荖濃溪集水區大部分位於高雄市桃源區、茂林區、六龜區，其地理位置圖如圖 2-2 所示。主流荖濃溪為高屏溪的流域的第一大支流，全長約 137 公里，發源於中央山脈玉山主峰東北坡，先向東北流，至八通關轉向東南，匯集分別源自秀姑巒溪南坡及大水窟山西坡的支流後，轉向南南西進入高雄縣境內，流經梅山、桃源、寶來、六龜，轉向南流至大津，期間並有南部橫貫公路(台 20)沿溪谷而行，納東側流入之濁口溪後，轉向西南流至里港，納東南方流入之隘寮溪，續流至嶺口與來自北方之旗山溪合流後，最終流入高屏溪。集水區東側為新武呂溪、卑南溪，北與陳有蘭溪、郡大溪、秀姑巒溪接壤，西臨旗山溪、南接隘寮溪。荖濃溪地形之特色為河谷地形，並在下游突然寬闊為土砂堆積區，且集水區範圍大，面積約 1,408.71km²，平均坡度則超過 65%。

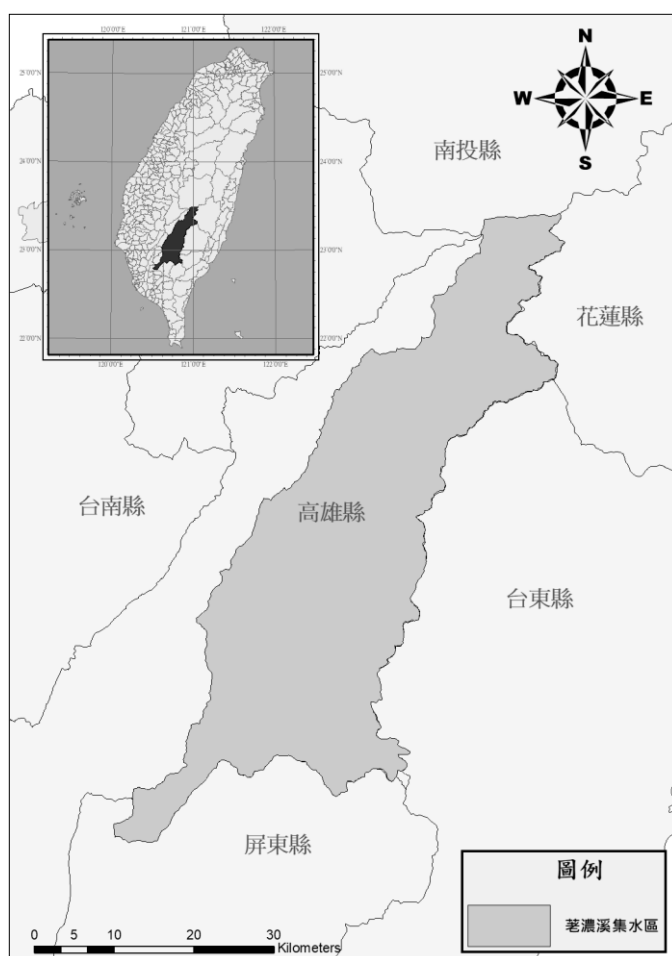


圖 2-2 荖濃溪地理位置圖

旗山溪集水區位於高雄市甲仙區、那瑪夏區、桃源區及嘉義縣阿里山鄉，其地理位置圖如圖 2-3 所示。主流旗山溪為高屏溪之支流，全長約 117 公里，原名楠梓仙溪，發源於中央山脈玉山之西南麓，集水區內高山聳立，懸崖峭壁，溪流坡陡湍急。旗山溪由發源地向西南流至小林，再向南流至甲仙後河道漸寬，復向西南流至旗山後進入平原區，本溪再向南流至嶺口附近與荖濃溪匯合後進入高屏溪。集水區東鄰荖濃溪，北鄰陳有蘭溪，西邊與曾文溪相接，南邊則接阿公店溪及東港溪。旗山溪地形之特色為屬於河階地縱谷地形，河道蜿蜒遷徙不定，並在下游突然寬闊為土砂堆積區，且集水區範圍大，面積約 750.79km²，平均坡度則超過 55%。

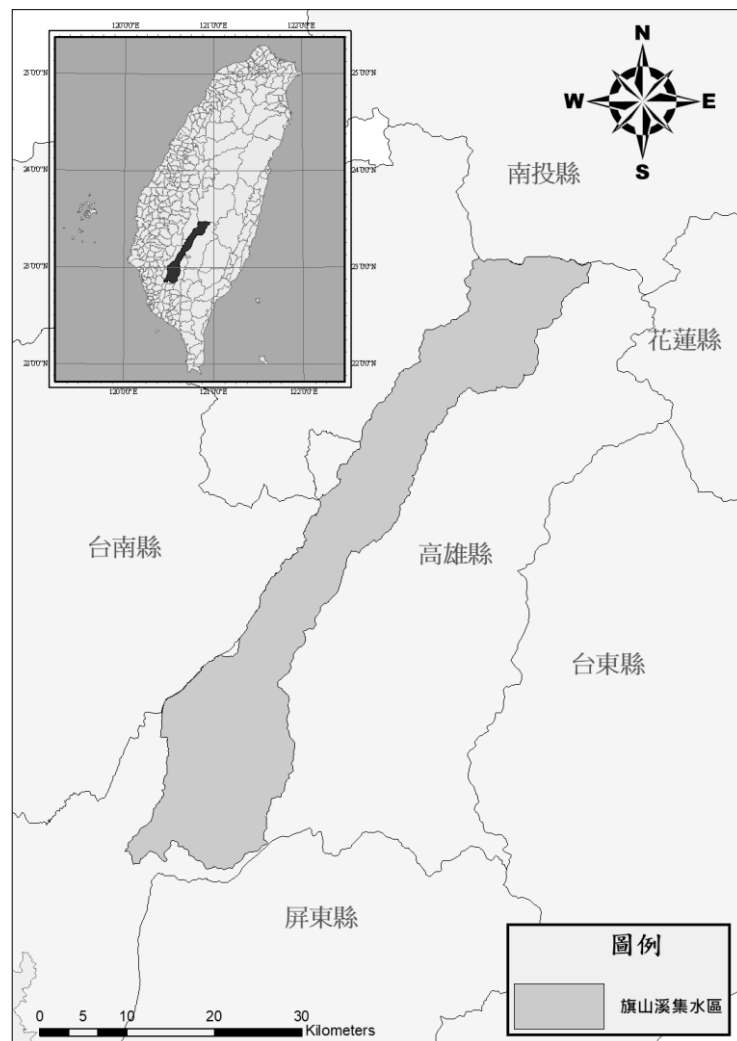


圖 2-3 旗山溪地理位置圖

而為了後續本計畫發展之模式可適配於全台各流域，因此對於環境潛

勢因子將同時針對全台環境進行廣域之 20 米網格環境因子資料庫建置，以利於後續試作與延伸應用之用。

二、地質資料

地質資料方面，本計畫採用中央地質調查所產製之二十五萬分之一地質圖，詳細繪出地質之年代、地層及岩性分類，三集水區之地質分布如圖 2-4 至圖 2-6。

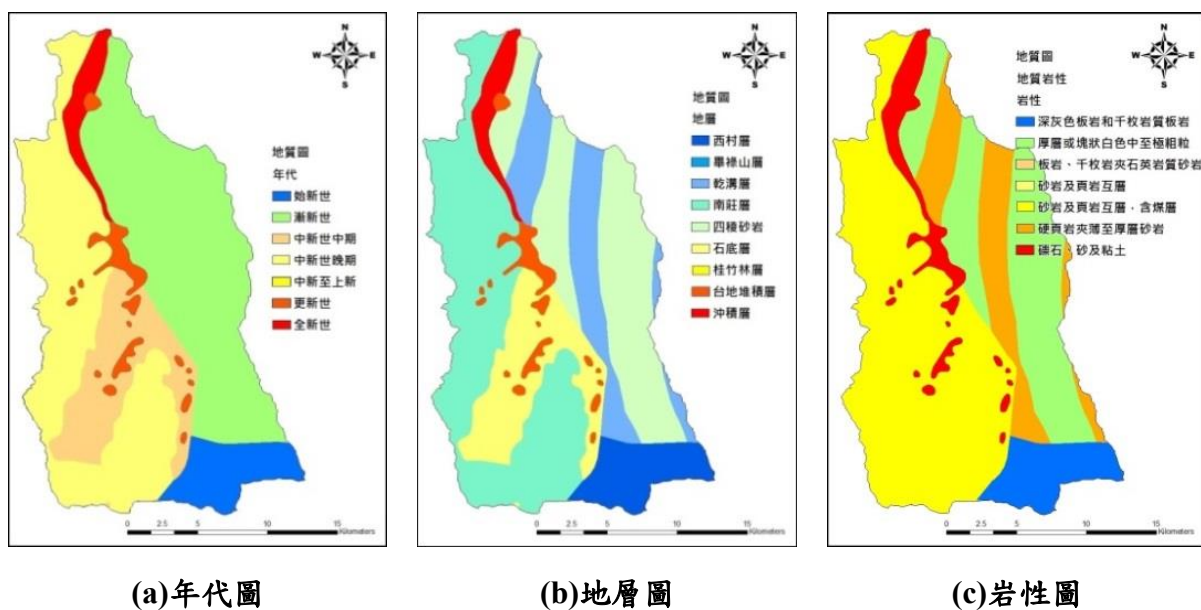


圖 2-4 陳有蘭溪集水區地質圖

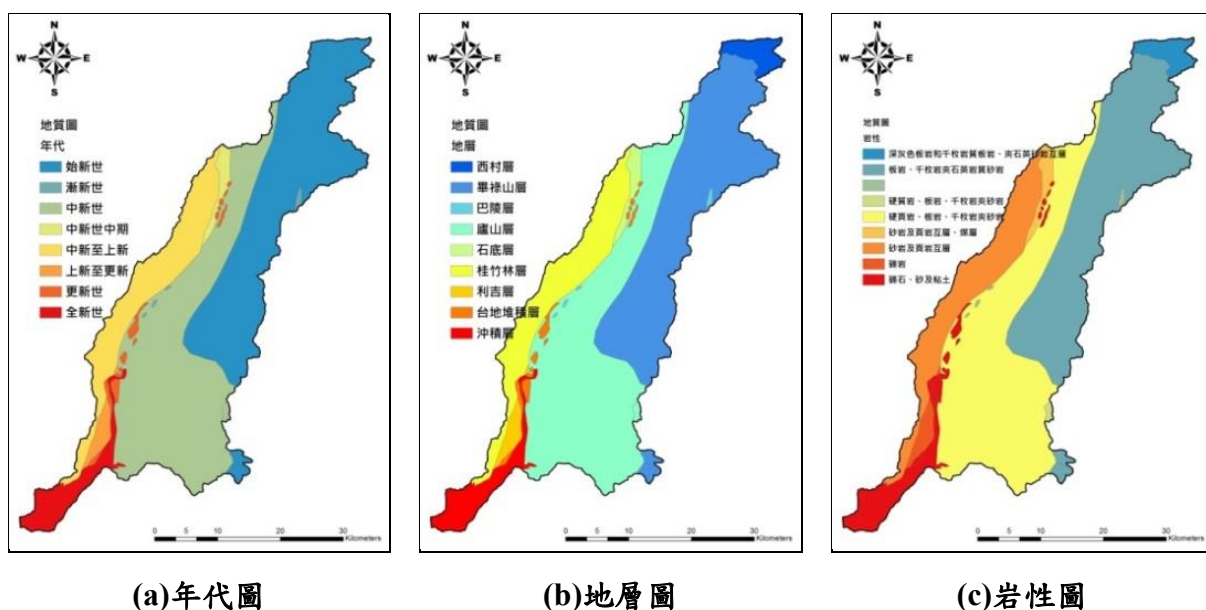


圖 2-5 荖濃溪集水區地質圖

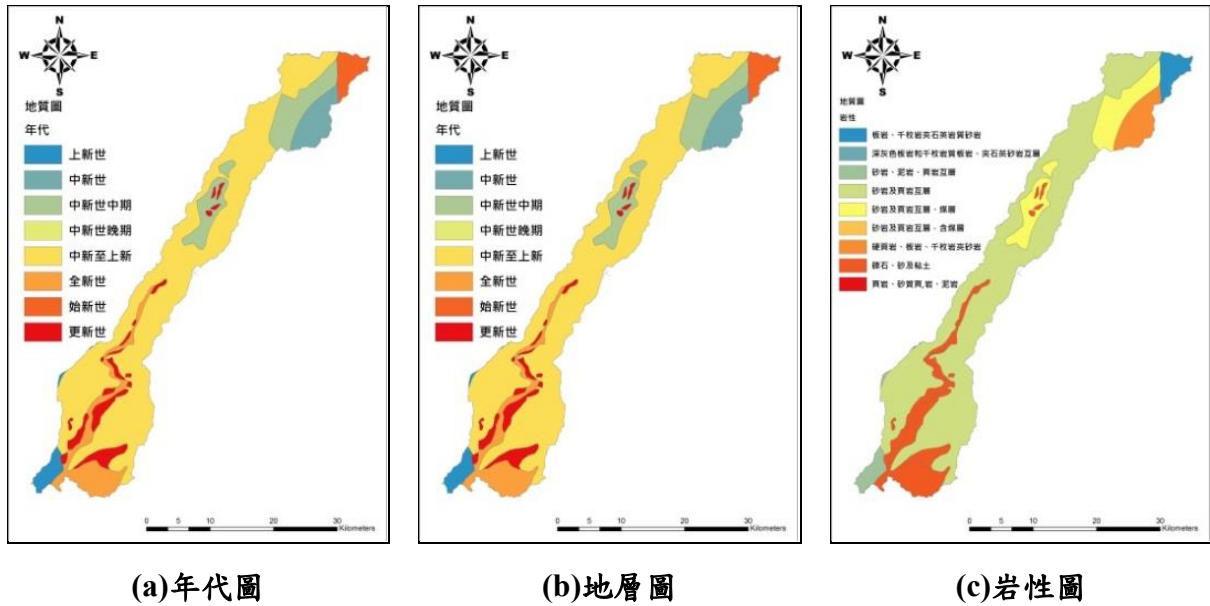


圖 2-6 旗山溪集水區地質圖

三、數值高程資料

數值高程模型(digital elevation model; DEM)是指所有關於地形表面的數值表現及描述(Carter, 1988；Miller and Leflamme, 1985)，可視為地表的替代模式。本研究蒐集內政部所製作，解析度為 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 網格尺度之數值高程模型，如圖 2-7 至圖 2-9 所示。

此資料提供計畫區域空間位置之高程資訊，並應用於計算相關地形參數，例如高程、坡度、坡向以及坡面單元劃定等基礎資料，以下為各地面因子之特徵萃取說明與結果。

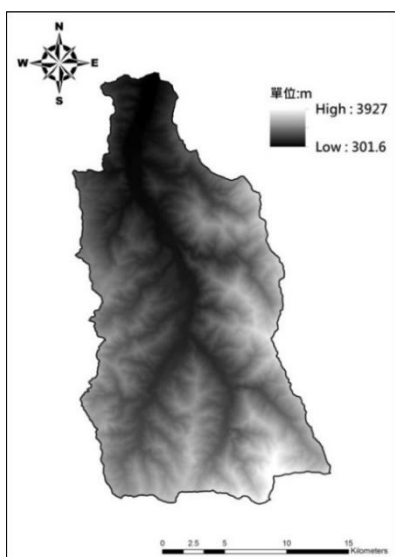


圖 2-7 陳有蘭溪集水區數值高程模型

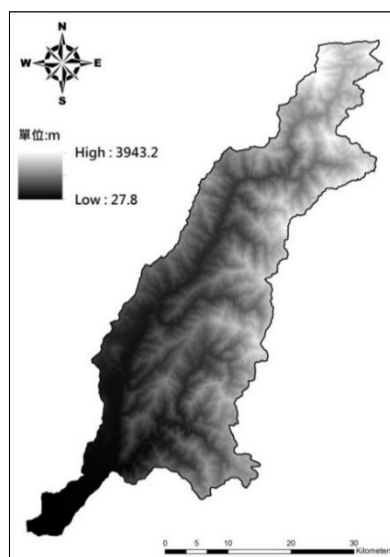


圖 2-8 荖濃溪集水區數值高程模型

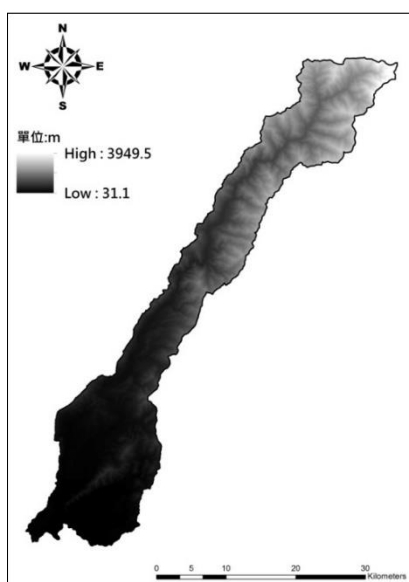


圖 2-9 旗山溪集水區數值高程模型

(一) 坡度資料

水土保持技術規範(2012)第 23 條指出：「山坡地坡度係指一坵塊土地之平均傾斜比」。本計畫坡度亦以此定義，其計算方式係以 DEM 資料利用 ArcGIS 軟體輔助計算集水區 5m 網格之平均傾斜比。ArcGIS 預設坡度計算係採用「坵塊法」，為水土保持技術規範內二種容許方法之一(另一為等高線法)。如圖 2-10 至圖 2-12 所示，各集水區以水土保持技術規範之坡級為坡度值級距，所得數值為度數(°)。

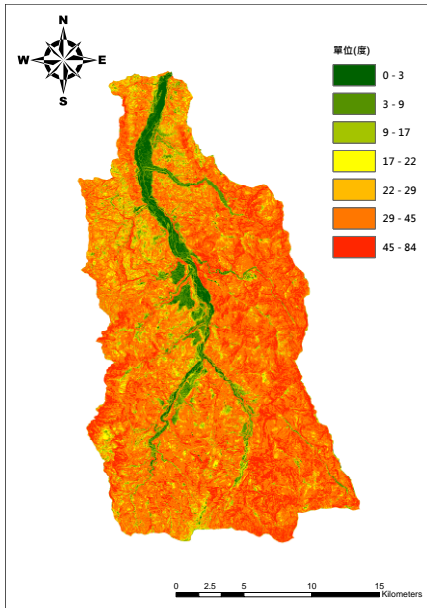


圖 2-10 陳有蘭溪集水區坡度影像

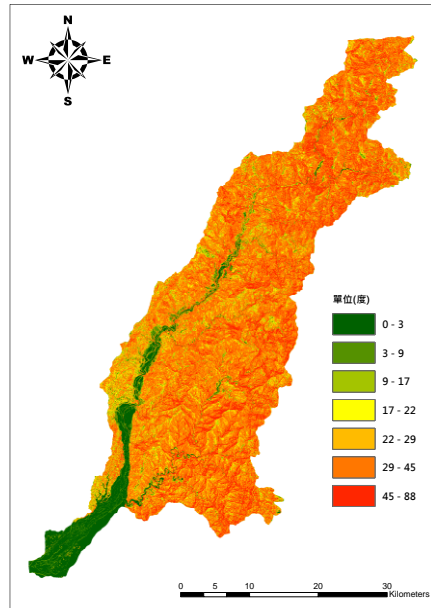


圖 2-11 荖濃溪集水區坡度影像

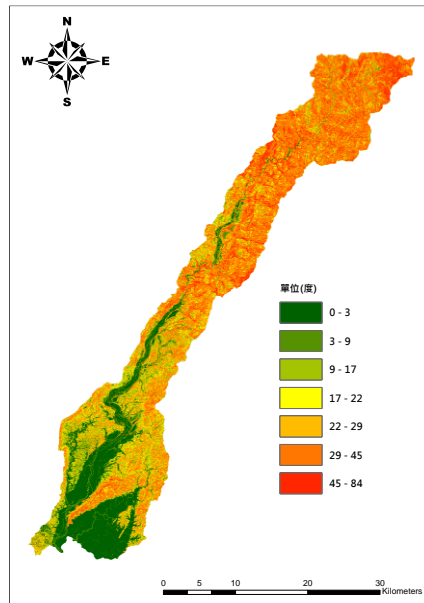


圖 2-12 旗山溪集水區坡度影像

(二) 坡向資料

過去文獻顯示崩塌與坡向有關(Sidle, Percea and O'loughlin, 1985)，由於降雨的雨量多寡與該區域的氣流、地形、迎背風向相關，使得區域某一坡向常具有較易崩塌的潛勢。坡向是指坡面的朝向，它表示表面某處最陡的傾斜方向。在計算坡向的過程中，坡向以度為單位按逆時針方向從 0 度(正北方向)至 360 度來度量，可分為九方向。坡向圖中的每個網格單元的值表示此網格單元所在的坡面方向。水平的坡沒有面向，均被賦予-1 值。三個集水區

之坡向如圖 2-13 至圖 2-15 所示。

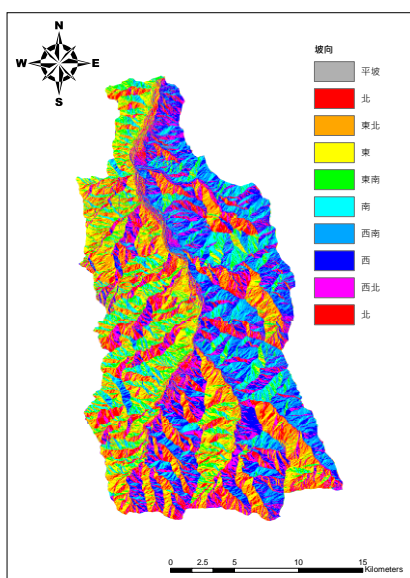


圖 2-13 陳有蘭溪集水區坡向圖

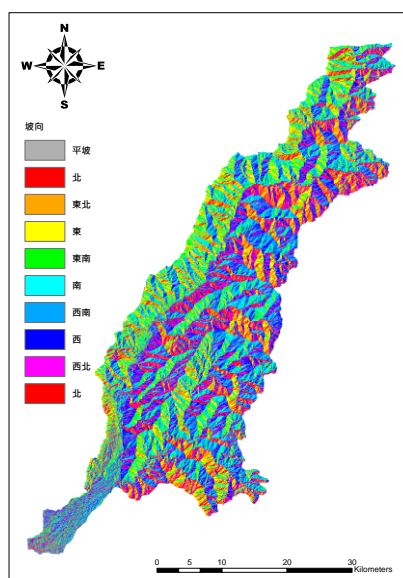


圖 2-14 荖濃溪集水區坡向圖

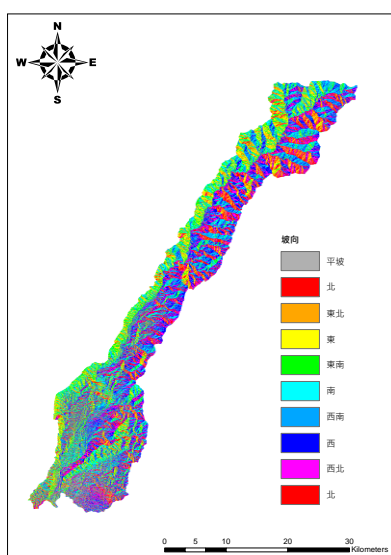
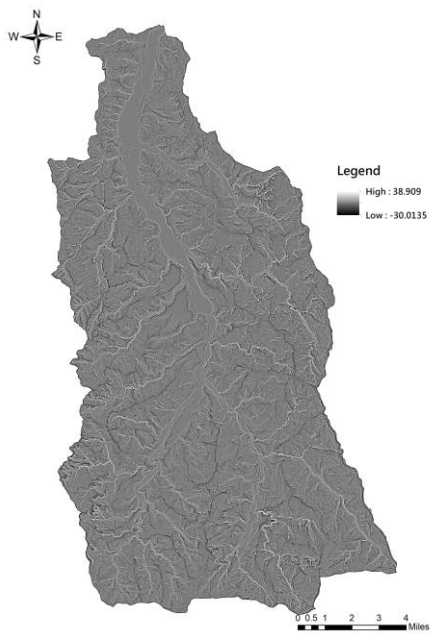


圖 2-15 旗山溪集水區坡向圖

(三) 地面曲率因子

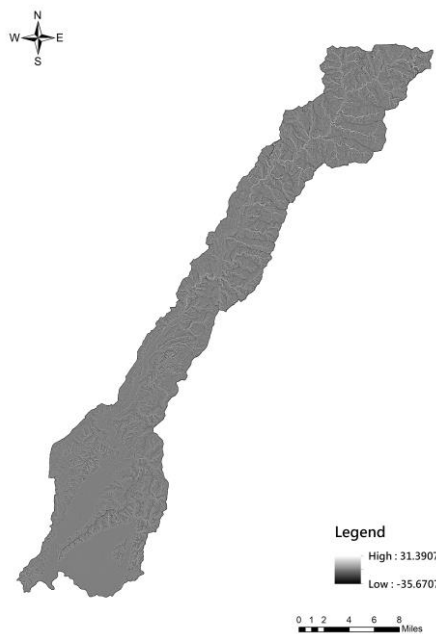
地面曲率是對地形表面點的扭曲變化程度的度量化度量因子，而其又分為剖面曲率，即對地面坡度的沿最大坡降方向地面高程變化率的度量，以及平面曲率，即過地形表面上某點得水平面沿水平方向切地形表面所得的曲線在該點的曲率值，即該點所在的地面等高線的彎曲程度，下圖 2-16 為研究實證範圍之剖面曲率圖，下圖 2-17 為研究實證範圍之平面曲率圖。



(a) 陳有蘭溪集水區

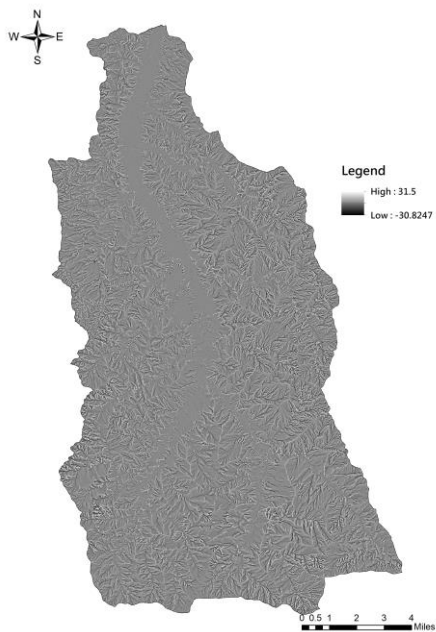


(b) 老濃溪集水區

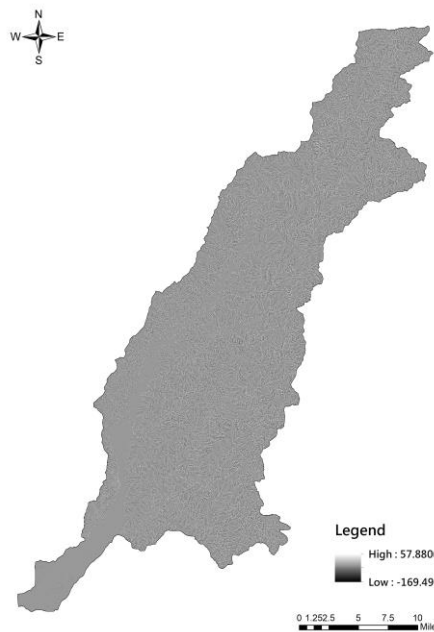


(c) 旗山溪集水區

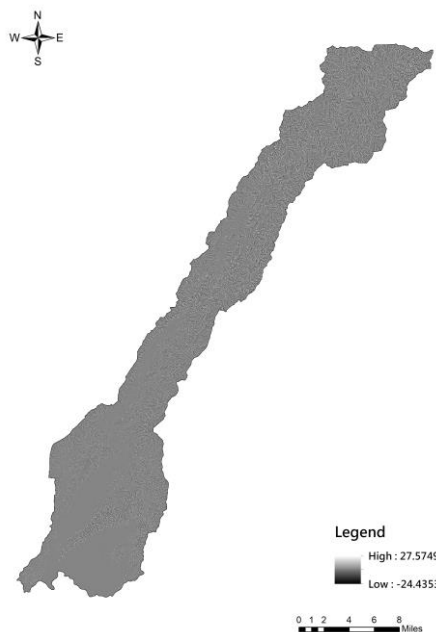
圖 2-16 各集水區剖面曲率圖



(a) 陳有蘭溪集水區



(b) 老濃溪集水區



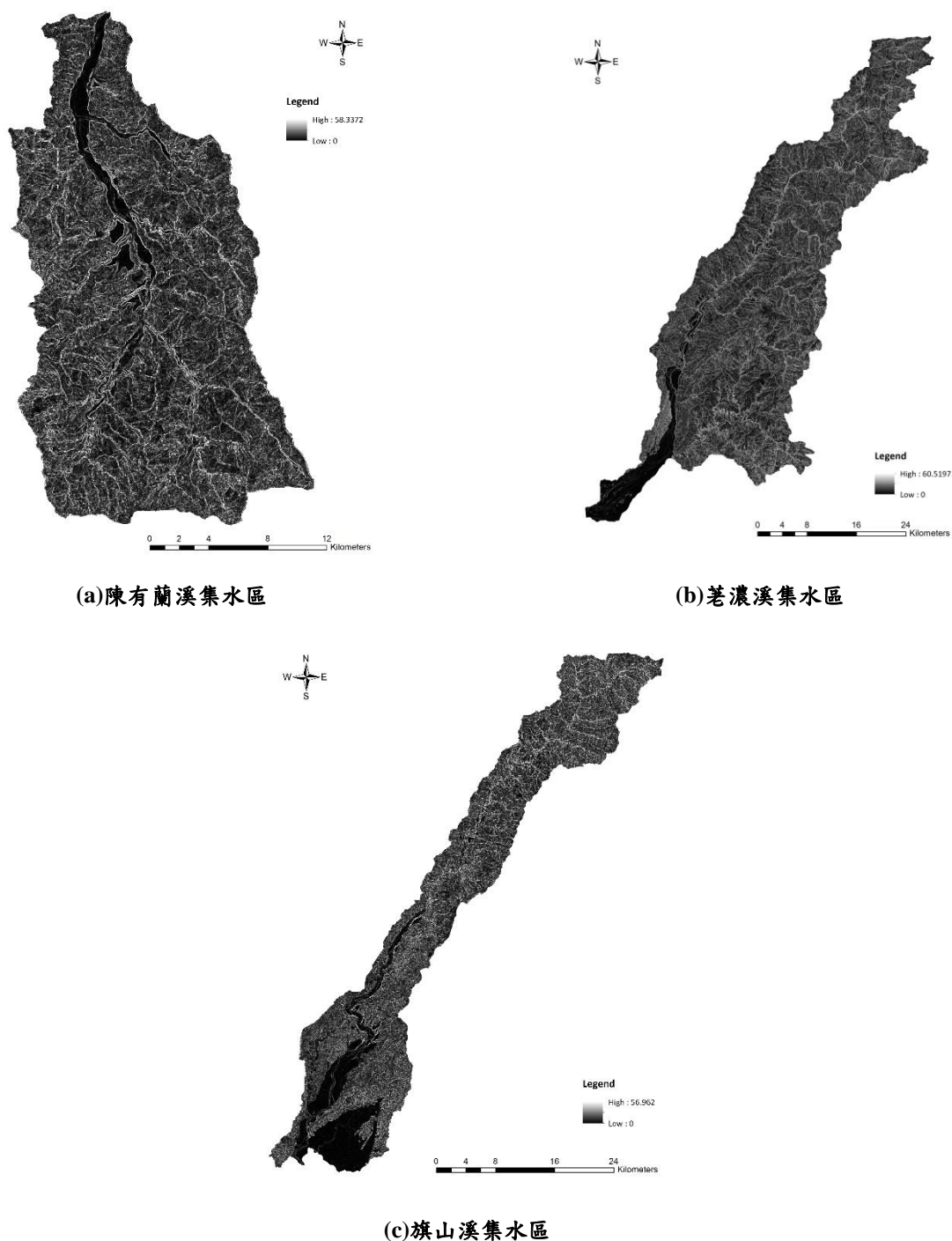
(c) 旗山溪集水區

圖 2-17 各集水區平面曲率圖



(四) 坡度變率 (Slope of Slope of DEM, SOS)

即地面坡度的變化，反映地面有沒有一個陡坎，有變化的地方才出現大值，下圖 2- 18 為研究實證範圍之坡度變率圖。



(a) 陳有蘭溪集水區
(b) 荖濃溪集水區
(c) 旗山溪集水區
圖 2- 18 各集水區坡度變率圖

(五) 坡向變率 (Slope of Aspect of DEM, SOA)

即地面坡向的坡度，可以很好地反映等高線的彎曲程度，下圖 2- 19 為研究實證範圍之坡向變率圖。

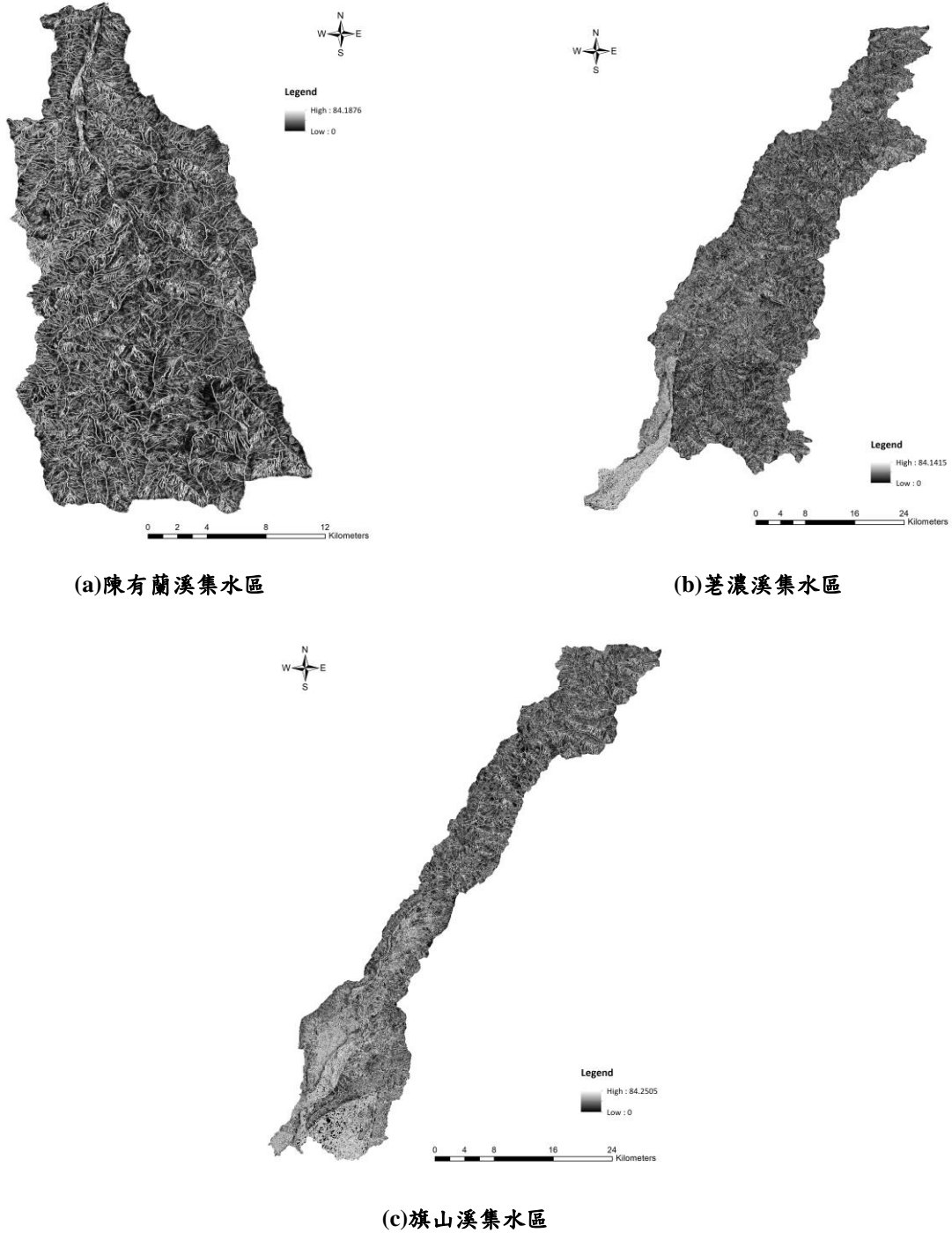


圖 2- 19 各集水區坡向變率圖

(六) 地形起伏度

即在指定區域內，最高海拔點和最低海拔點的差值，下圖 2- 20 為研究實證範圍之地形起伏度圖。

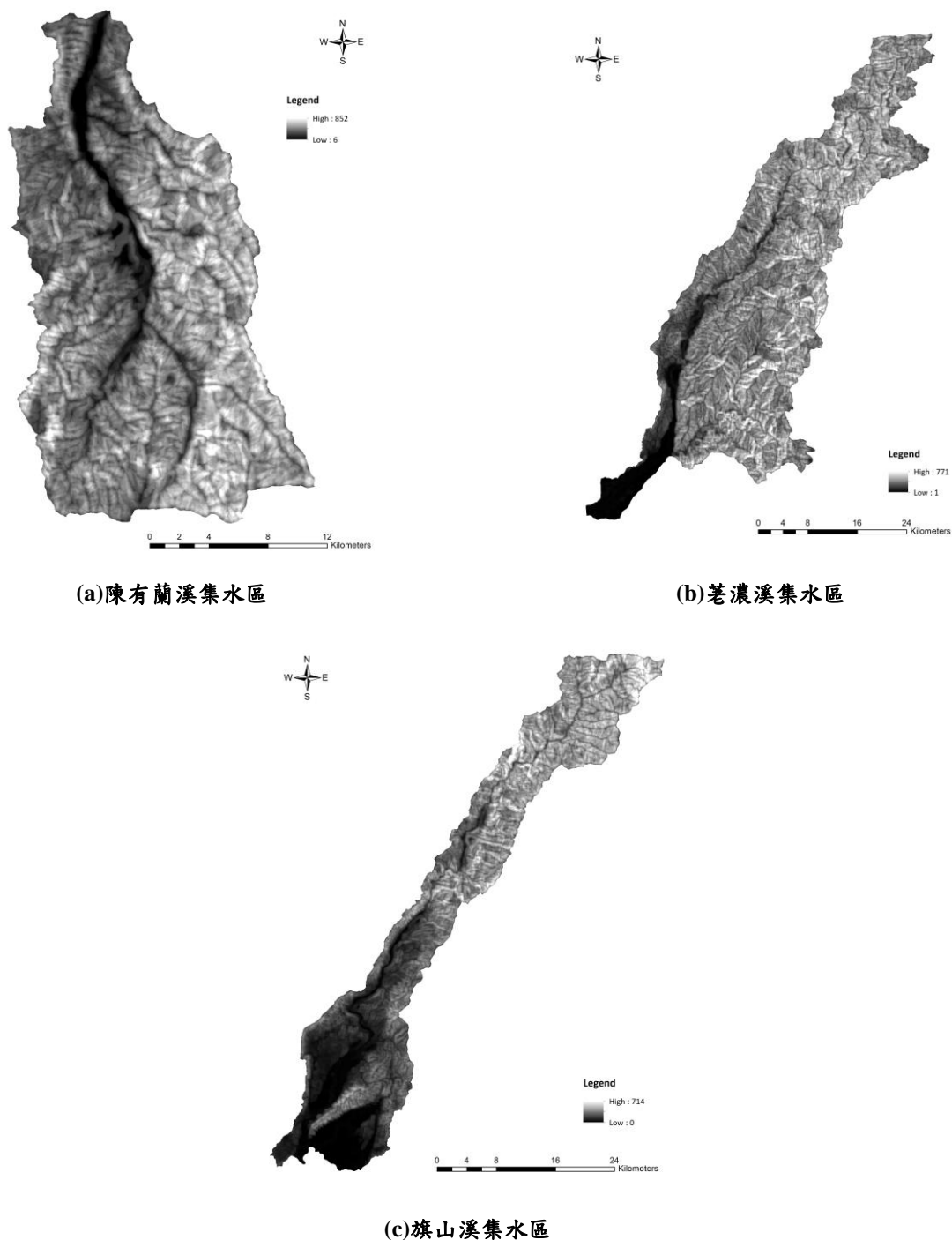
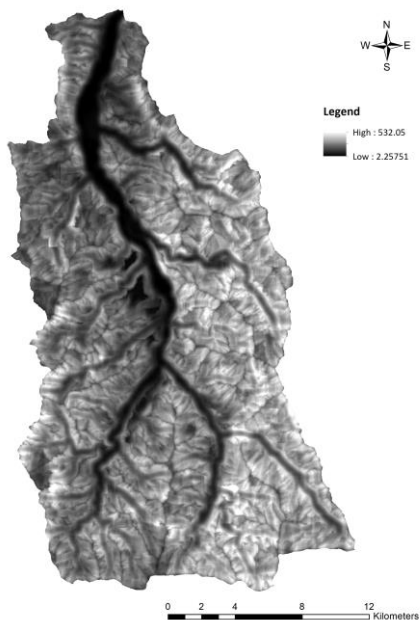


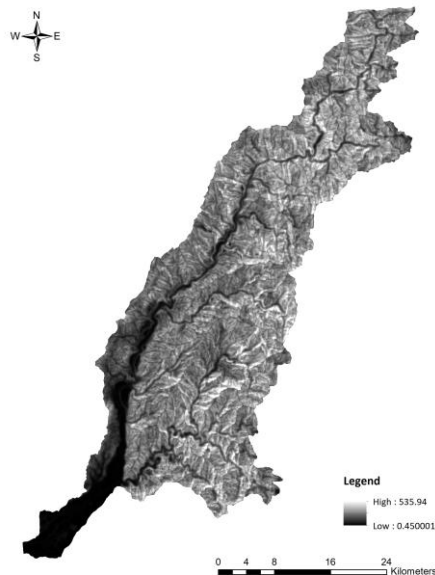
圖 2- 20 各集水區地形起伏度分析圖

(七) 地表切割深度

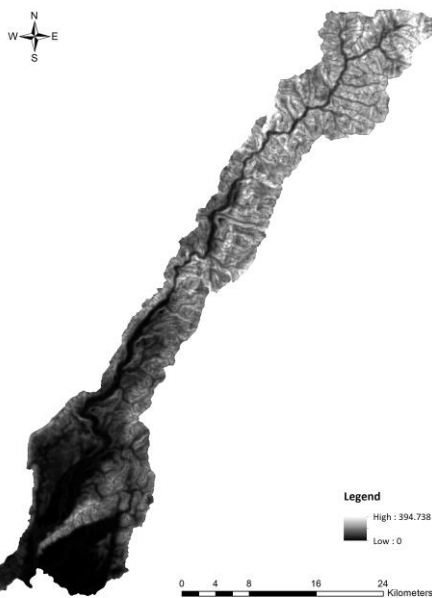
地面某點的鄰域範圍的平均高程與該鄰域範圍內的最小高程的差值,反映地表被侵蝕切割的情況,下圖 2-21 為研究實證範圍之地表切割深度圖。



(a) 陳有蘭溪集水區



(b) 荖濃溪集水區



(c) 旗山溪集水區

圖 2-21 各集水區地表切割深度分析圖

(八) 地表粗糙度

反映地表的起伏變化和侵蝕程度的指標，一般定義為地表單元的曲面面積與其在水平面上的投影面積之比，下圖 2- 22 為研究實證範圍之地表粗糙度圖。

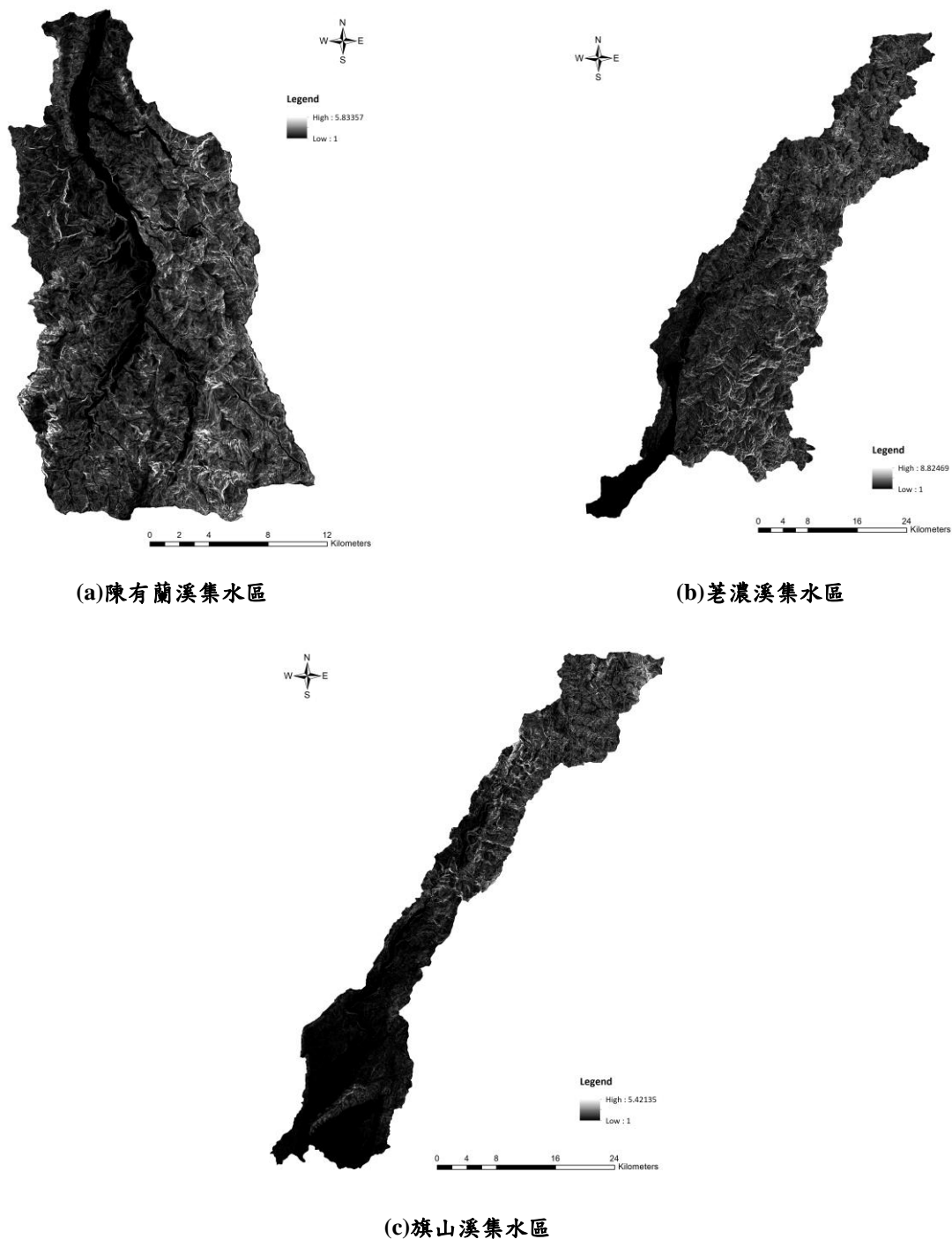


圖 2- 22 各集水區地表粗糙度分析圖

(九) 高程變異係數

反映分析區域內地表單元格網各頂點高程變化的指標,其以格網單元頂點的標準差與平均高程的比值來表示,如下圖 2- 23 所示。

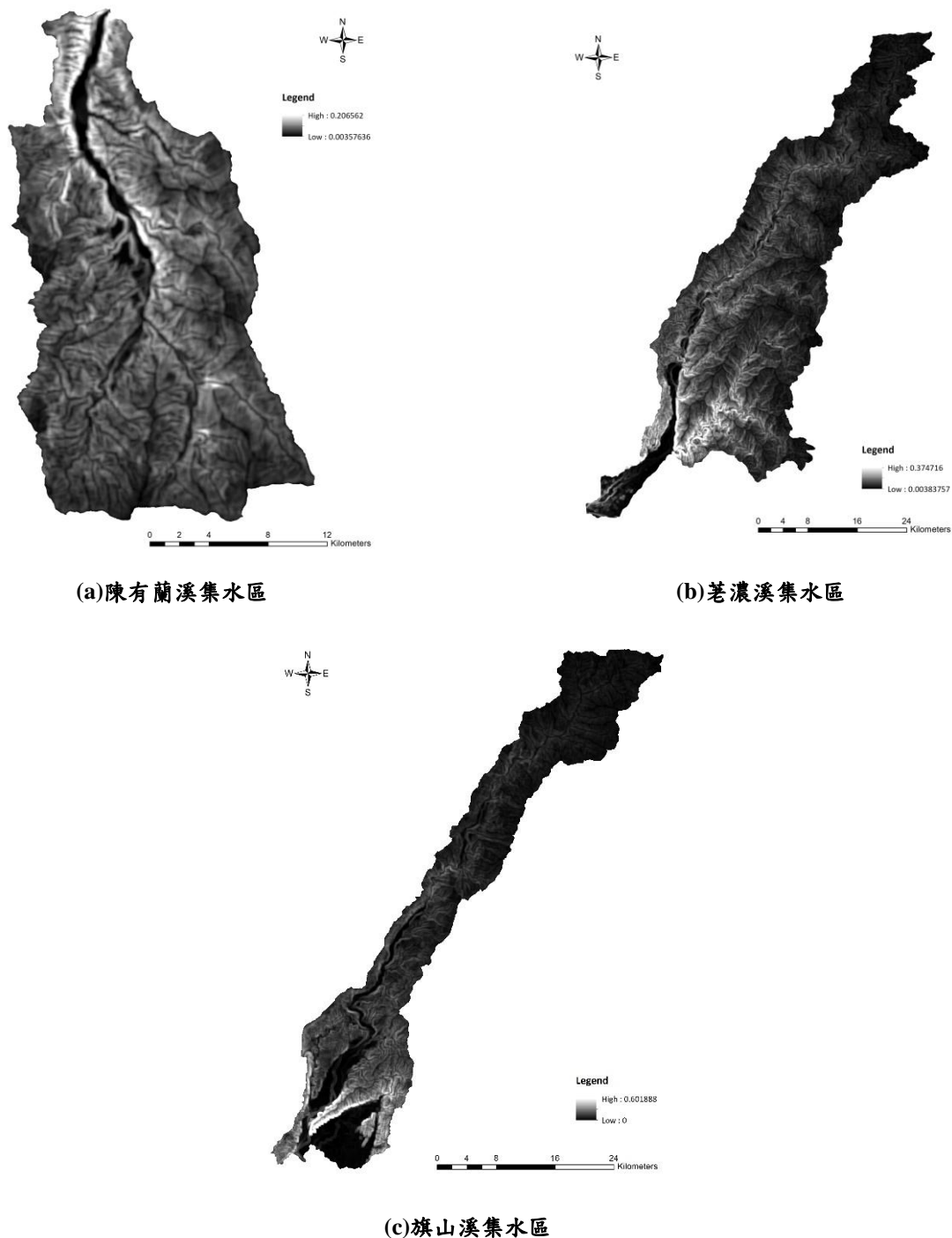


圖 2- 23 各集水區高程變異係數分析圖

四、水文因子資料

由於降雨在坡面形成地表逕流，對地表產生侵蝕並形成河道。通常在坡面上，隨著流程的增加，地表逕流將逐漸累積。當流量增加到一定程度，在當地坡度及糙度的情況下，使得地表逕流的沖刷能力超過當地土壤或裸岩所能承受的抗沖蝕力時，則坡面便開始發生沖蝕；而為輔助建立地表逕流模型的地理處理分析工具，本團隊運用數值高程模型處理分析工具，運用數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，即可分析獲取地表逕流模型之水流方向、匯流累積量、水流長度、河流網路 河網分級、流域及集水區分割等資訊，而其中水流長度、匯流累積量則是可作為流域集水區之特徵環境因子。

五、土壤資料

降雨所引發之崩塌大多以淺層土壤滑動及土砂混合形態之土石流為主，發生原因則可能為土壤孔隙水壓增加所造成之抗剪強度降低，因此對於土壤類別相關資料之取得上，本計畫透過以行政院農業委員會農業試驗所維護管理之『土壤資料庫』GIS 圖形資料內容為主。該資料庫涵蓋層面廣泛，涵蓋各項土壤相關應用資料，資料的生產提供單位分別為農田土壤資料提供單位為行政院農業委員會農業試驗所，坡地土壤資料提供單位為行政院農業委員會水利保持局，森林土壤資料提供單位為行政院農業委員會林業試驗所，下圖 2- 24(a)至圖 2- 26(a)分別為陳有蘭溪集水區、荖濃溪集水區以及旗山溪集水區之全台平地與坡地土壤分布圖，而圖 2- 24(b)至圖 2- 26(b)則為森林土壤調查圖。

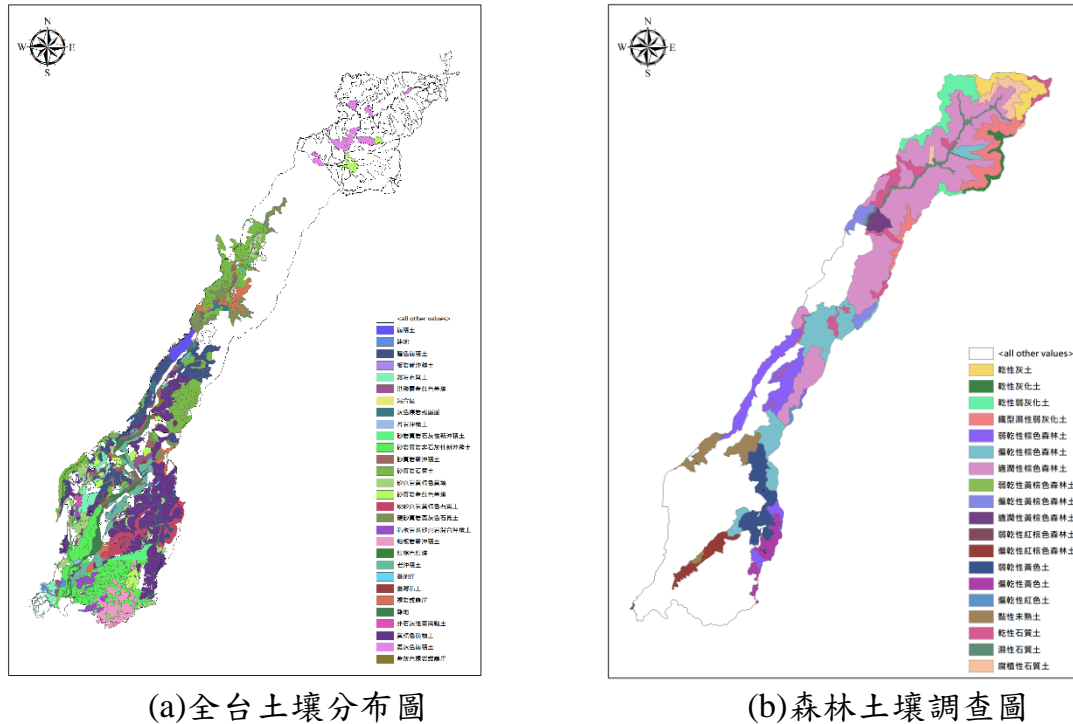


圖 2-26 旗山溪集水區土壤分布圖

六、植生樣態資料

前述提及之各項因子資料，皆屬短期間不易變動、更新週期較長或者變動幅度不大者，因此可視其為不變之環境因子；另一類環境因子，則為具易變異之環境因子，在較短期間內必須考慮其變異特徵，因此應視其為變動之環境因子，例如坡地之植生、崩塌狀況等。這些因子可藉由定期拍攝之衛星遙測影像加以分析，進而瞭解環境變遷、變異，以及更新、擴充崩塌資料庫。

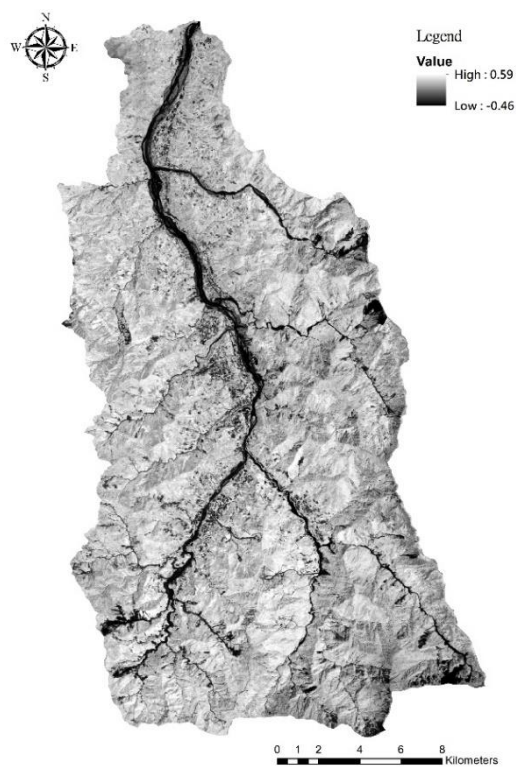
在環境因子中，植生狀況變異可利用常態化差異植生指標(Normalised Difference Vegetation Index, NDVI)來解釋地表的植生狀況。NDVI 是數值指標，主要用於分析衛星所得訊息，利用衛星影像的近紅外光波段，評估目標地區綠色植被的生長狀況。計算方式是利用紅光與近紅外光的反射，顯示出植物生長、生態系的資訊，其值介於-1~1 之間，數值愈大表示綠色植物生長愈多，公式如下：

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2-1)$$

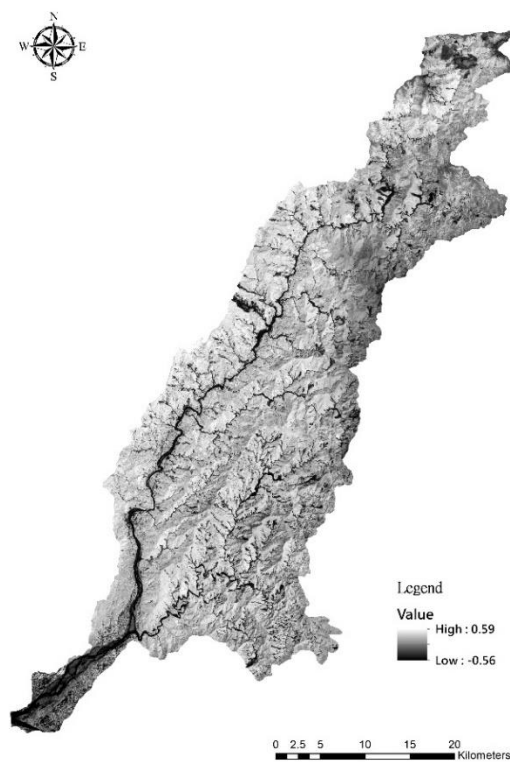
上式中，NIR 為近紅外光反射；RED 為紅光反射。當 RED=0 時，有最大值 1；反之，當 NIR=0 時，有最小值-1。由式(3-1)中，利用(NIR-RED)即能偵測植物生長量之特性，使其再除以(NIR+RED)之目的在於使其正規化，正規化的用途是防止除以零的數值誤差，並使比值能限於+1 與-1 之間以方便做比較。此外，小於零的 NDVI 值，通常屬於非植生之雲層、水域、道路和建物、裸露地等，故指數愈大時，代表綠色植物量之增加，NDVI 為綠色植物探勘最常用之指標，綠色植物生長愈旺盛，其吸收之紅光愈多，紅外光之反射愈強，故其間差異愈大之原理，以二者波段相差與和的比例而成。

崩塌資料庫中對於各事件之植生狀況，以事件前期之衛星影像資料利用 ERDAS Imagine 計算不同影像時期的 NDVI 值並使資料網格化。

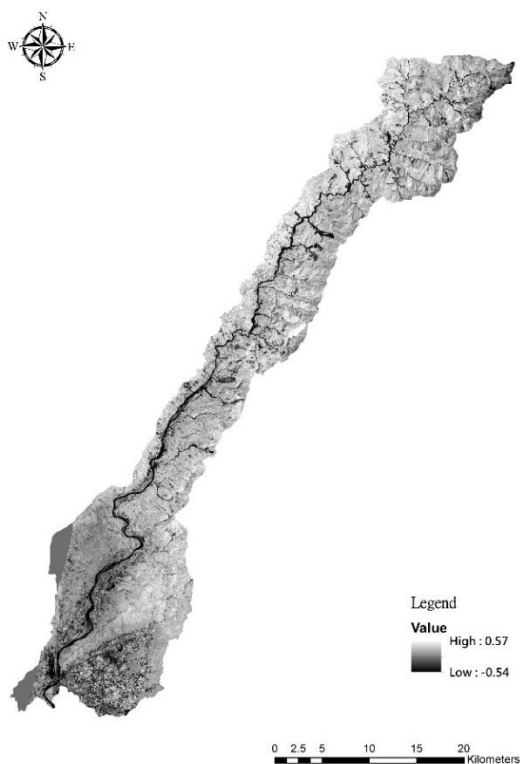
而本計畫建立之崩塌事件資料庫及環境因子資料庫中，對於現地環境條件和植生現況等變動因子需定期予以更新至最新環境資料，因此，為掌握本年度計畫重點聚落之坡地植生環境狀況作為崩塌評估模式之修正參考，必須針對研究區域蒐集本年度汛期前可取得之衛星影像並分析其植生現況。新的植生分析結果會使聚落坡面單元之崩塌植生因子產生變化。因此，屬變動因子的植生現況分析係本計畫重要工作，目前已自水土保持局取得本年度汛期前第一期及第二期拍攝之衛星影像完成 109 年度研究區之植生分析所示。本計畫中屬變動之崩塌植生因子並已同步更新，且重新定義了各集水區坡面單元之坡面類別屬性，以利於後續模型訓練參數之更新，下圖為各集水區之 109 年度汛期前衛星影像植生特徵分析圖。



(a) 陳有蘭溪集水區



(b) 荖濃溪集水區



(c) 旗山溪集水區

圖 2-27 各集水區 2020 年汛期前植生現況分析

第二節、降雨誘發資料庫

崩塌資料庫中還包括事件之降雨誘發因子資料，颱風事件雨量資料來源主要為中央氣象局之全國各雨量測站資料。統計全國共計自動氣象站 103 站，全自動雨量站 259 站。本計畫目前已蒐集 98 年度至 108 年度重大颱風事件中央氣象局之各雨量測站資料，依據中央氣象局公布的颱風侵台時間、經濟部水利署的颱風事件以及水保局土石流警戒發布時間為準。研究中集水區用以分析之雨量測站圖 2-28 所示。各雨量站蒐集之資料內容主要為小時降雨歷時紀錄，並利用小時降雨量資料計算事件之各降雨因子，作為後續空間雨量推估及分析之依據。

在相同的降雨時間序列中，各類雨場分割方法計算所得的降雨因子可能會有不同的結果。由於降雨引致崩塌發生之致災因素極為複雜，除量的多寡(雨下多大)還有時間的因素(雨下多久)，此即降雨型態的因素；因此單一觀察任何一種雨量因子對崩塌發生並不是非常的敏感，微小的差異並不會對崩塌是否發生造成極大的影響，這也是崩塌臨界降雨門檻值難以訂定的原因。因此，本計畫採用目前水土保持局針對土石流潛勢溪流警戒管理相同之定義，即：「一場連續降雨過程，以時雨量大於 4mm 處視為有效降雨時間之開始，以時雨量連續 6 小時總累積雨量不超出 24mm，且其中任 1 小時之降雨量不超過 10mm 時視為降雨結束。」此有效降雨開始至降雨結束區間，即為一場有效連續降雨事件，如圖 2-29 所示。在後續警戒應變中亦採用相同事件定義。

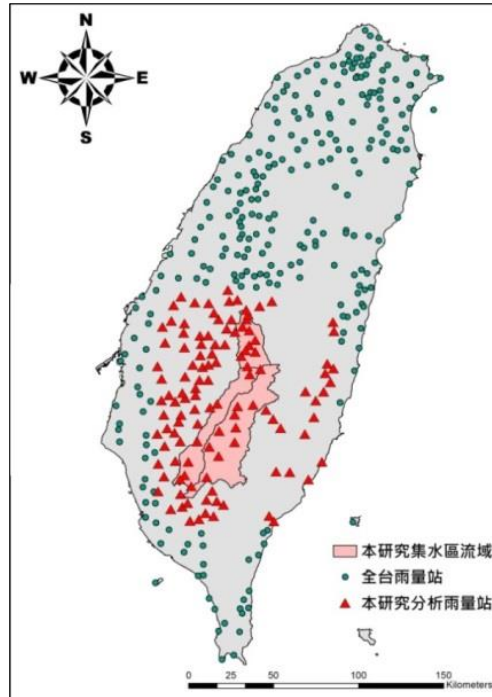


圖 2-28 本計畫蒐集之雨量測站分布

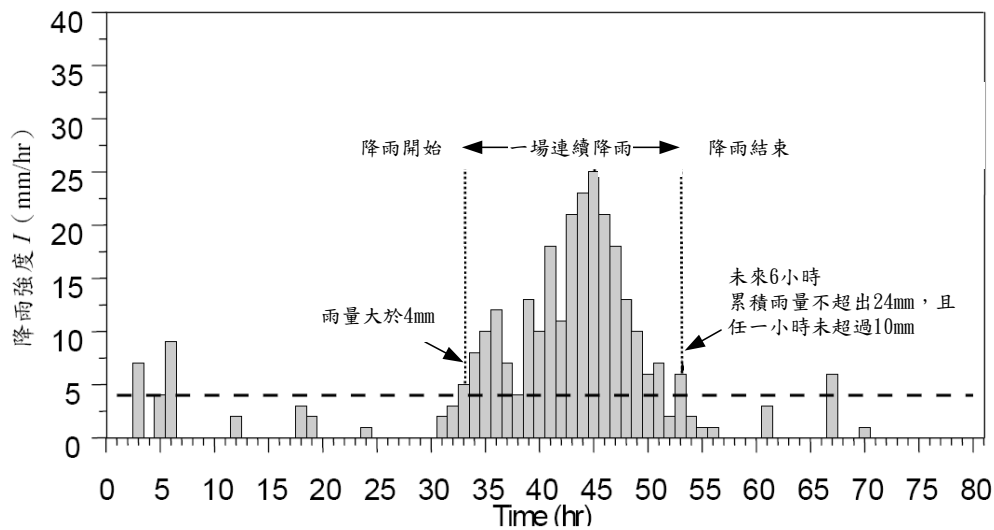


圖 2-29 本計畫之雨場分割定義

崩塌、土石流相關之降雨強度與有效累積雨量因子具有許多不同定義，不同的降雨因子定義在不同研究背景和應用層次有所不同，但並非其中某一種雨量因子即能概括崩塌、土石流，通常需要綜合多個因子共同考量。本研究探討之雙變量雨量因子，在團隊過去的研究已經建立 I_1-R_{tc} 模式，即採用 1 小時降雨強度定義為最大小時降雨強度(I_1 : mm)；而對應的累積雨量

定義為總有效累積降雨(R_{te} : mm)，如表 2-3 所示。

表 2-3 I_1-R_{te} 之降雨因子定義

降雨因子名稱	代號	定義
最大小時降雨強度	I_{max}	本次降雨開始時刻後之最大小時降雨強度
對應 I_1 之總有效累積降雨	R_{te}	本次降雨開始時刻前七天的加權降雨量(註 1)與開始時刻至最大小時降雨強度前一時刻之累積雨量之和

註 1：加權雨量係前七天降雨量每日折減 0.7，即每日(每 24 小時之總和)折減；例如前 3 日之降雨應折減權重為 0.7^3 ，前 2 日之降雨應折減權重為 0.7^2 。

因此，本計畫依據中央氣象局公布的 97 年度至 106 年度颱風侵台時間、經濟部水利署的颱風事件以及農委會水土保持局過去於各颱風豪雨事件啟動應變小組之時間作為各事件影響目標集水區之時間，各年度重大颱風豪雨事件詳表如下表 2-4 所示，其中上述所考量之颱風豪雨事件期間，本計畫針對研究中集水區內篩選資料有問題及無紀錄測站後，共計 54 個雨量測站蒐集小時降雨以及前期累積降雨之歷時紀錄，根據本計畫定義之雨場事件，計算各場颱風事件雨量站之降雨因子，包括 I_{max} 及 R_{te} 。計算之結果利用地理資訊系統軟體內的空間分析工具，該工具之克利金空間內插模組來進行降雨空間分布推估。對於 $I_{max}-R_{te}$ ，各集水區內颱風事件之最大小時降雨強度及總有效累積雨量之空間分布如圖 2-30 至圖 2-37。

表 2-4 97 年度至 107 年重大颱風豪雨事件詳表

土石流災害緊急應變小組開設記錄						土石流災害緊急應變小組開設記錄							
年度	開設時間		解除時間		災害編號	災害名稱	年度	開設時間		解除時間		災害編號	災害名稱
107年度	107/06/13	20:00	107/06/15	18:14	107A	0613豪雨	101年度	101/05/04	14:00	101/05/04	21:09	101A	0504豪雨
	107/06/19	14:00	107/06/21	10:04	107B	0619豪雨		101/05/12	23:00	101/05/13	10:55	101B	0512豪雨
	107/07/02	14:00	107/07/04	20:04	107C	0702豪雨		101/05/20	08:46	101/05/20	19:56	101C	0520豪雨
	107/07/09	14:30	107/07/11	15:22	107D	瑪莉亞颱風		101/06/10	09:26	101/06/16	19:56	101D	0610豪雨
	107/08/23	08:00	107/08/30	20:01	107E	0823熱帶低壓		101/06/18	15:30	101/06/21	19:56	101E	泰利颱風
	107/09/09	08:00	107/09/11	08:25	107F	0909豪雨		101/06/28	05:30	101/06/29	10:07	101F	杜蘇芮颱風
	107/09/14	11:30	107/09/16	18:30	107G	山竹颱風		101/07/30	20:30	101/08/03	17:32	101G	蘇拉颱風
106年度	107/11/10	05:00	107/11/10	15:41	107H	1110豪雨	101/08/06	11:30	101/08/07	18:02	101H	海棠颱風	
	106/06/02	08:00	106/06/05	00:30	106A	0601豪雨	101/08/14	14:30	101/08/15	18:10	101I	啟德颱風	
	106/06/13	18:00	106/06/19	06:29	106B	0613豪雨	101/08/21	14:30	101/08/25	17:10	101J	天秤颱風	
	106/07/28	08:30	106/07/31	21:34	106C	尼沙暨海棠颱風	101/08/26	11:30	101/08/28	23:58	101K	天秤颱風	
	106/08/01	15:43	106/08/02	20:12	106D	0801豪雨	101/09/15	04:30	101/09/15	20:09	101L	0915豪雨	
	106/08/21	08:00	106/08/23	07:18	106E	天鵝颱風	101/09/27	02:30	101/09/28	20:37	101M	杰拉華颱風	
	106/09/06	11:30	106/09/07	06:37	106F	谷超颱風	100/05/09	08:00	100/05/10	17:54	100A	艾利颱風	
105年度	106/09/12	14:30	106/09/14	20:25	106G	泰利颱風	100/05/27	08:00	100/05/28	14:39	100B	桑達颱風	
	106/10/12	13:30	106/10/16	14:35	106H	1011豪雨	100/06/24	08:00	100/06/25	14:48	100C	米雷颱風	
	105/06/11	02:11	105/06/14	19:52	105A	0611豪雨	100/07/19	08:30	100/07/20	22:15	100D	0719豪雨	
	105/07/06	14:30	105/07/09	17:17	105C	尼伯特颱風	100/08/04	17:30	100/08/06	11:53	100E	梅花颱風	
	105/07/10	01:09	105/07/12	17:03	105D	0710豪雨	100/08/27	09:00	100/08/31	20:25	100F	南瑪都颱風	
	105/09/13	08:30	105/09/15	20:26	105E	莫蘭蒂颱風	100/10/02	08:00	100/10/04	14:51	100G	1001豪雨	
	105/09/16	08:30	105/09/20	11:01	105F	馬勒卡颱風	100/11/17	12:40	100/11/18	13:38	100H	1117豪雨	
104年度	105/09/26	08:26	105/09/29	14:50	105G	梅姬颱風	40321	15:30	40322	11:28	099B	0523豪雨	
	105/10/05	19:00	105/10/11	06:43	105H	艾利颱風	40327	20:00	40329	07:18	099C	0529豪雨	
	105/10/12	14:00	105/10/13	08:19	105I	1012豪雨	40386	07:00	40388	08:07	099D	0726豪雨	
	104/05/23	16:00	104/05/27	08:14	104B	0520豪雨	40420	23:00	40423	15:08	099E	南修-萊羅克颱風	
	104/07/06	08:30	104/07/11	11:36	104C	蓮花暨昌鴻颱風	40429	17:00	40431	12:22	099F	莫蘭蒂颱風	
	104/08/06	11:30	104/08/11	19:03	104D	蘇迪勒颱風	40438	23:30	40442	18:13	099G	凡那比颱風	
	104/08/20	17:30	104/08/23	20:33	104E	天鵝颱風	40445	13:00	40445	20:55	099H	0924豪雨	
103年度	104/09/27	08:30	104/09/29	17:30	104F	杜鵑颱風	40467	23:00	40468	11:07	099I	1016豪雨	
	103/05/20	21:30	103/05/22	08:02	103A	0520豪雨	40468	21:00	40475	00:17	099J	1017豪雨-梅姬颱風	
	103/06/06	21:00	103/06/07	08:01	103B	0606豪雨	40010	22:10	40012	08:38	098B	莫拉非颱風	
	103/06/14	23:30	103/06/15	17:47	103C	哈吉貝颱風	40030	20:30	40056	19:23	098C	莫拉克颱風	
102年度	103/07/21	17:40	103/07/24	08:12	103D	麥德姆颱風	40089	08:00	40093	16:23	098D	芭瑪颱風	
	102/04/05	23:00	102/04/06	11:31	102A	0405豪雨	40097	13:50	40100	08:49	098E	1011豪雨	
	102/05/17	08:30	102/05/22	16:06	102B	0517豪雨	39645	14:30	39652	21:14	097A	卡玫基颱風	
	102/07/11	08:30	102/07/13	23:38	102D	蘇力颱風	39655	11:30	39660	19:44	097B	鳳凰颱風	
	102/07/17	10:30	102/07/18	11:58	102E	西馬隆	39679	11:30	39681	08:51	097C	如麗颱風	
	102/08/20	08:00	102/08/22	22:52	102F	潭美颱風	39702	08:40	39710	18:32	097D	辛樂克颱風	
	102/08/27	11:30	102/09/01	15:58	102G	康芮颱風	39712	15:30	39714	08:58	097E	哈格比颱風	
101年度	102/09/19	23:30	102/09/22	18:29	102H	天兔颱風	39717	23:30	39721	18:09	097F	蕾蜜颱風	
	102/10/04	23:30	102/10/07	09:03	102I	菲特颱風							

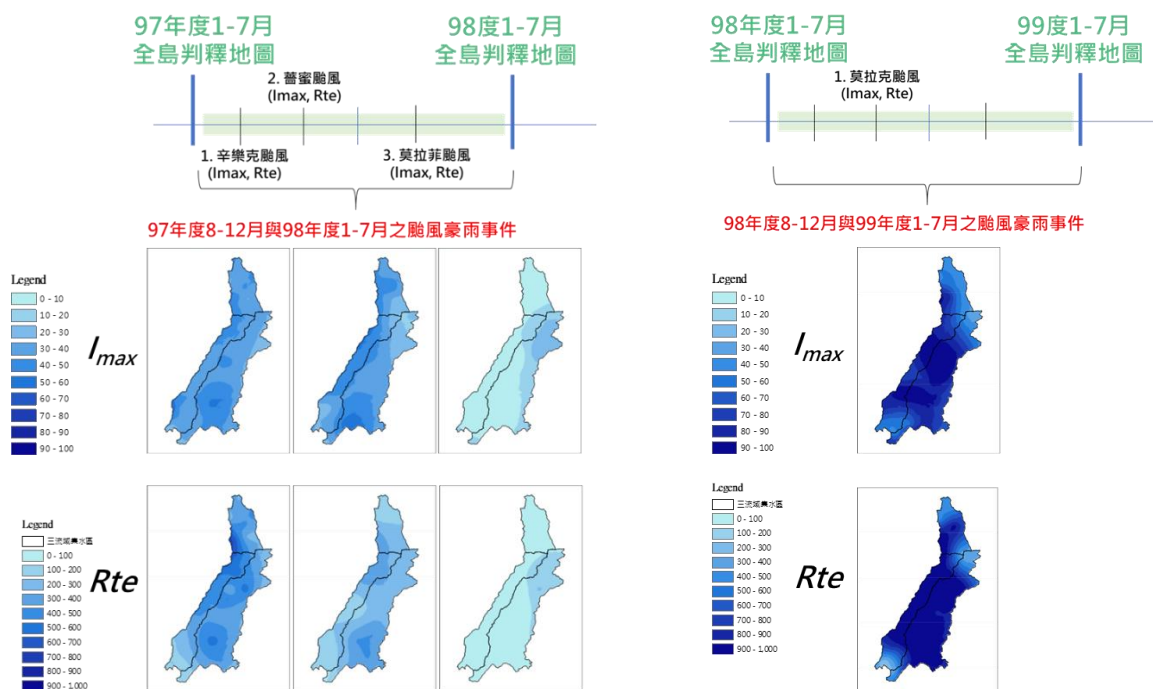


圖 2-30 97 年度至 98 年度各事件颱風豪雨雨量推估

圖 2-31 98 年度至 99 年度各事件颱風豪雨雨量推估

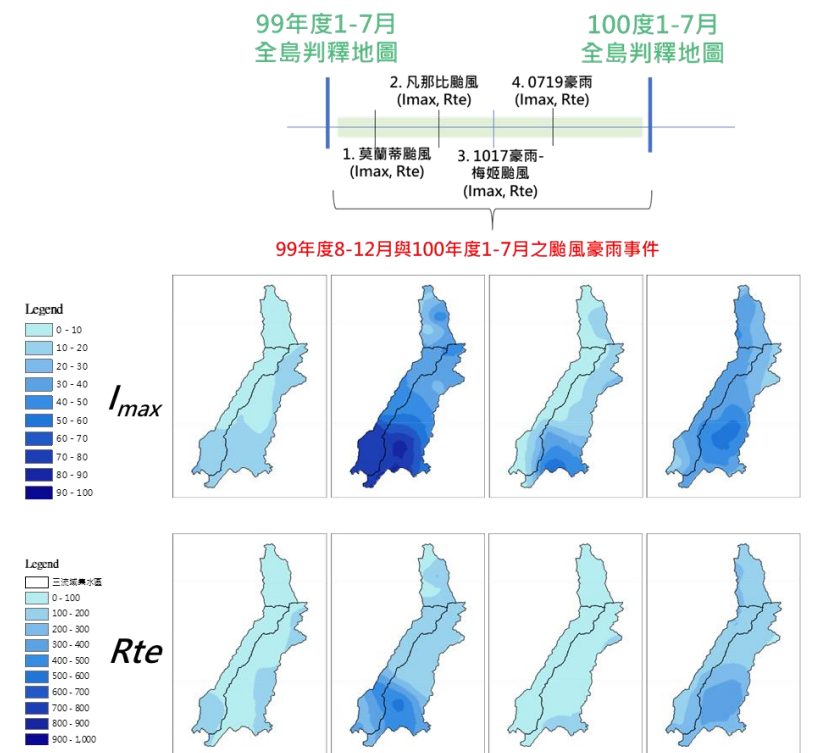
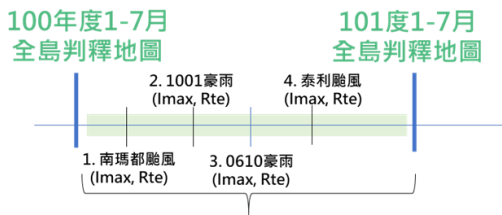


圖 2-32 99 年度至 100 年度各事件颱風豪雨雨量推估



100年度8-12月與101年度1-7月之颱風豪雨事件

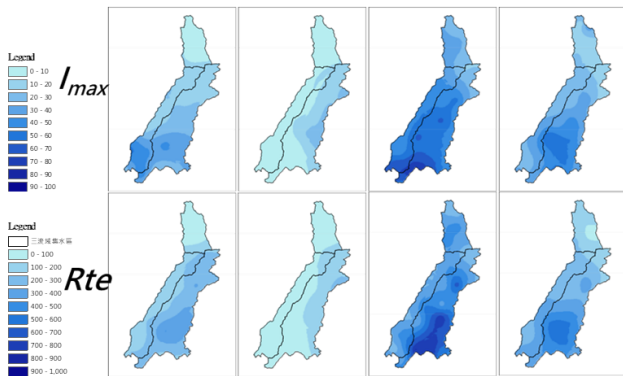
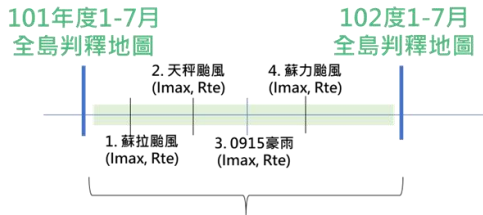


圖 2-33 100 年度至 101 年度各事件颱風豪雨雨量推估



101年度8-12月與102年度1-7月之颱風豪雨事件

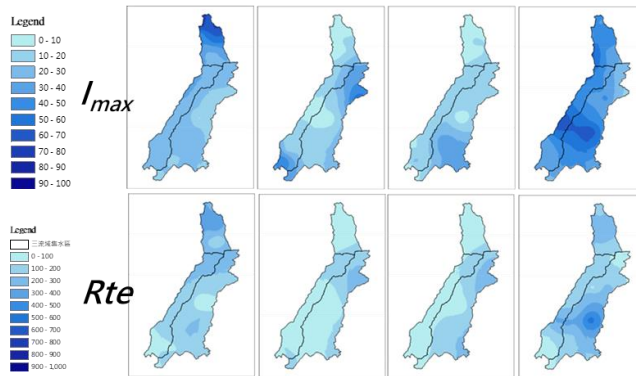
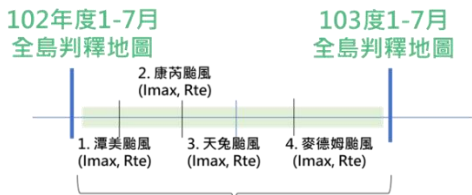


圖 2-34 101 年度至 102 年度各事件颱風豪雨雨量推估



102年度8-12月與103年度1-7月之颱風豪雨事件

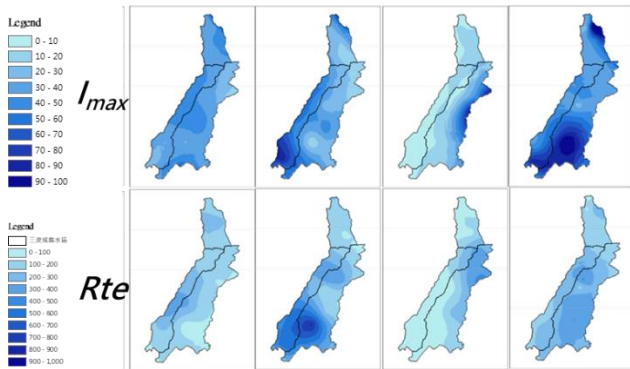
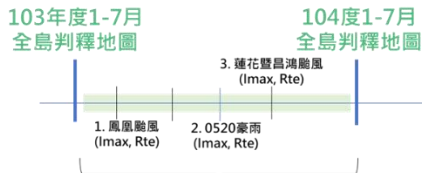


圖 2-35 102 年度至 103 年度各事件颱風豪雨雨量推估



103年度8-12月與104年度1-7月之颱風豪雨事件

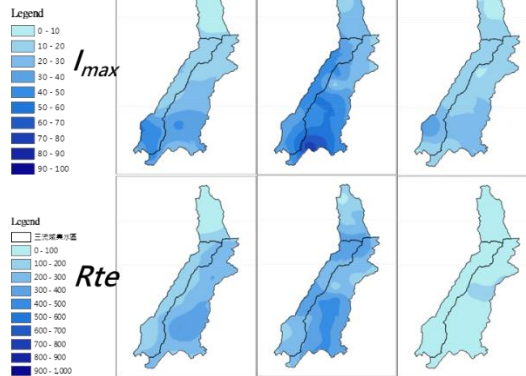


圖 2-36 103 年度至 104 年度各事件颱風豪雨雨量推估

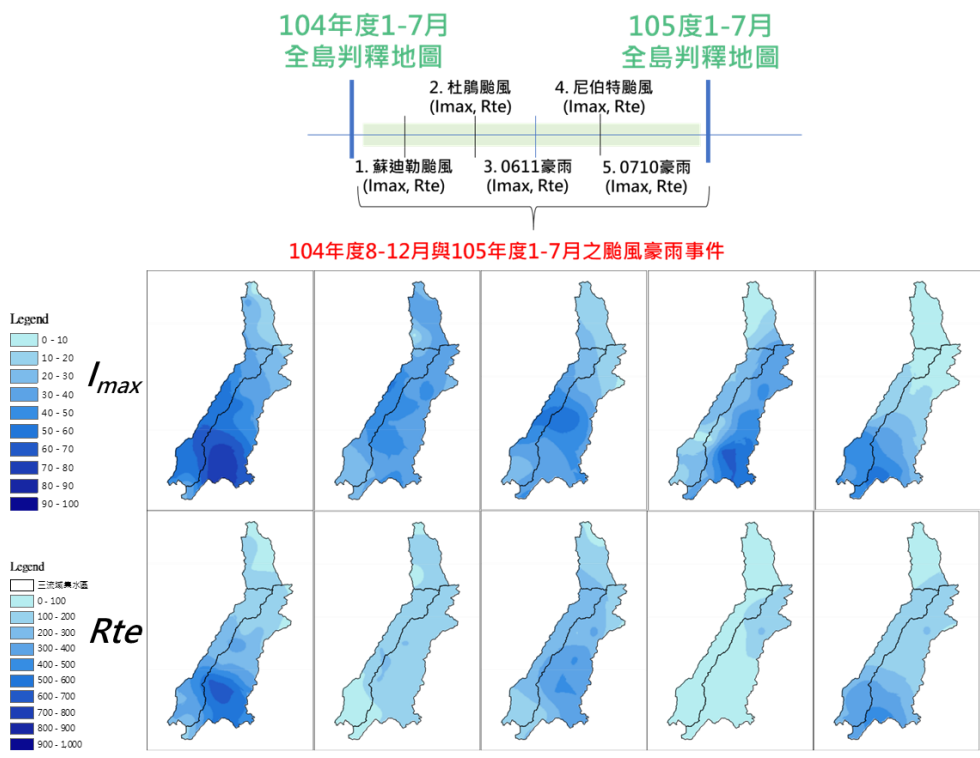


圖 2-37 104 年度至 105 年度各事件颱風豪雨雨量推估

第三節、崩塌資料萃取

對於各年度事件之崩塌地可藉由前後時期之裸露地變異情形獲得。本計畫將崩塌地分類為四類。如圖 2-38 所示，包括：

- 一、崩塌復育：(1)與(5)
- 二、舊有崩塌地：(2)
- 三、舊有崩塌地擴大：(3)
- 四、新生崩塌地：(4)

而定義「新增崩塌地」則為「舊有崩塌地擴大」加上「新生崩塌地」的部分，即(3)與(4)。上述之分類方法，對於前後期崩塌地變遷情形具有清楚的定義，可由此判定某區塊

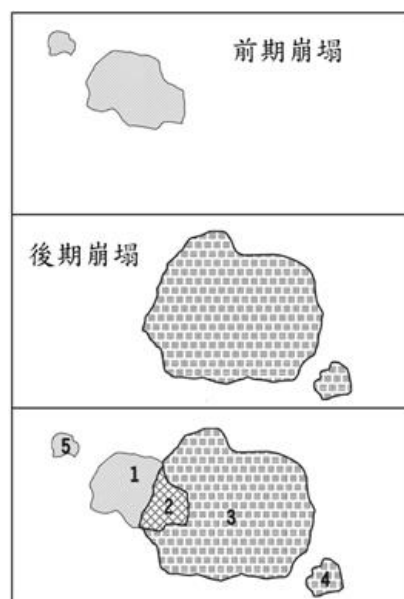


圖 2-38 崩塌地分類示意圖

是否確實發生崩塌。然而，雖然在大部份的情形下，舊有崩塌地的擴大確實與事件相關，但無法確切知道舊有崩塌地也在該次事件產生崩塌。尤其擴大有時並非只是往外擴增，也可能有內部加深之情形；然而此狀況並不能以平面空間區位判別而獲得，且其內部是否真的發生加深情形，須進行現地勘查才可能得知，因此根據上述崩塌變異分類資料萃取上，本計畫透過政府開放資料平台取得由林務局委託成功大學，其是以各年度 1~7 月全島鑲嵌福衛二號衛星影像建立自動判釋崩塌地作業標準，繪製全島崩塌地判釋成果，並取得 98 年度至 106 年度(107 年度、108 年度尚未上網)之衛星判釋全島崩塌地圖，對各年度颱風事件前後時期之崩塌地圖資進行套疊，將各崩塌地之變異類型特徵化，由此獲得各類變異崩塌地類型與坡面單元間之變遷資訊，以提高資料中崩塌地與坡面單元間之空間鏈結，而下圖 2-39 至圖 2-46 以及表 2-5 至表 2-12 為 97 年度至 106 年度間各前後期崩塌套疊結果，最後將前後期崩塌套疊結果中之舊有崩塌地擴大以及新增崩塌地相加，彙整於表

2-13。

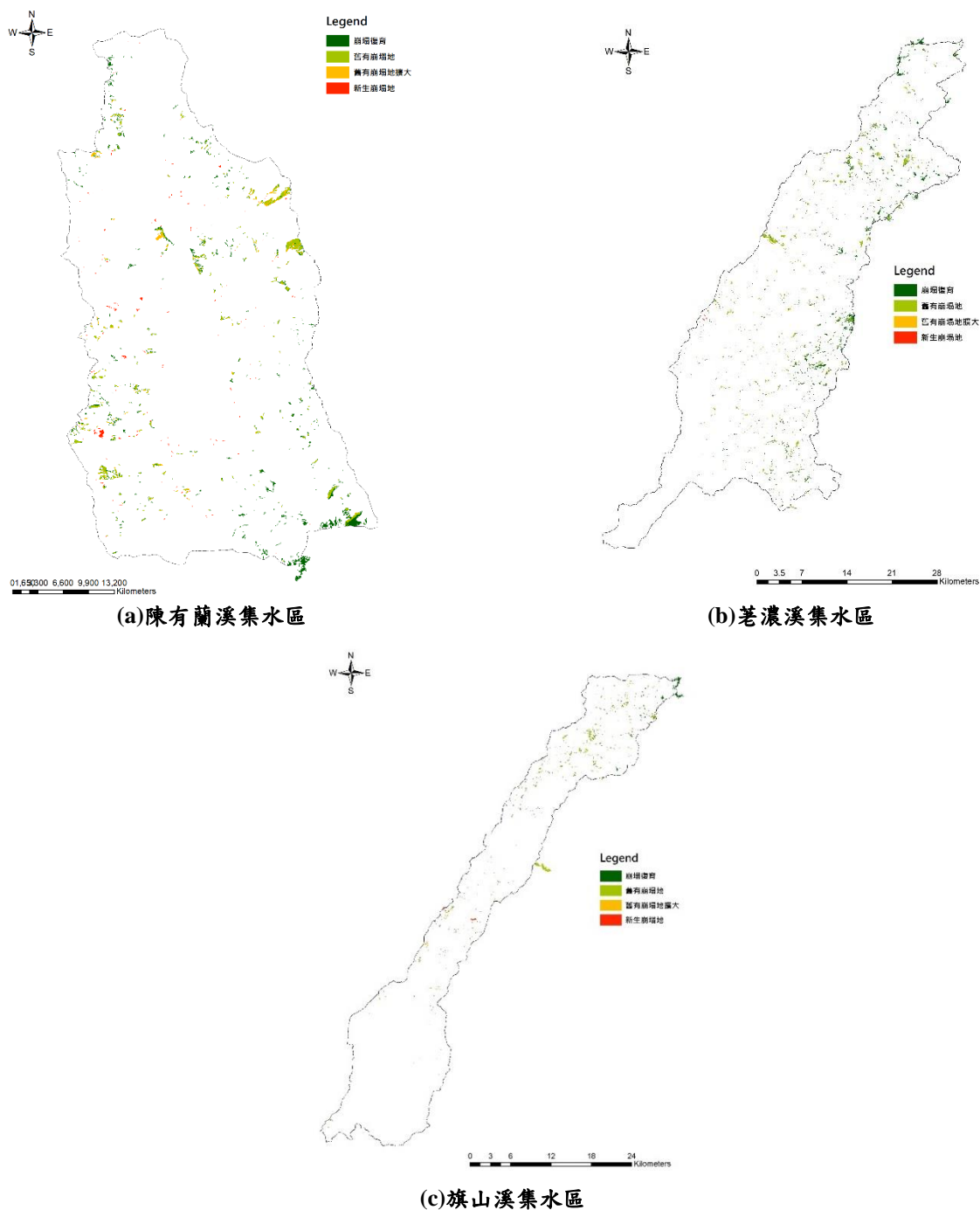


圖 2-39 97 年度至 98 年度間崩塌變異類型分布圖

表 2-5 97 年度至 98 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表

類型	面積(HA)
崩塌復育	2652.24
舊有崩塌地	1767.20
舊有崩塌地擴大	383.47
新生崩塌地	272.60

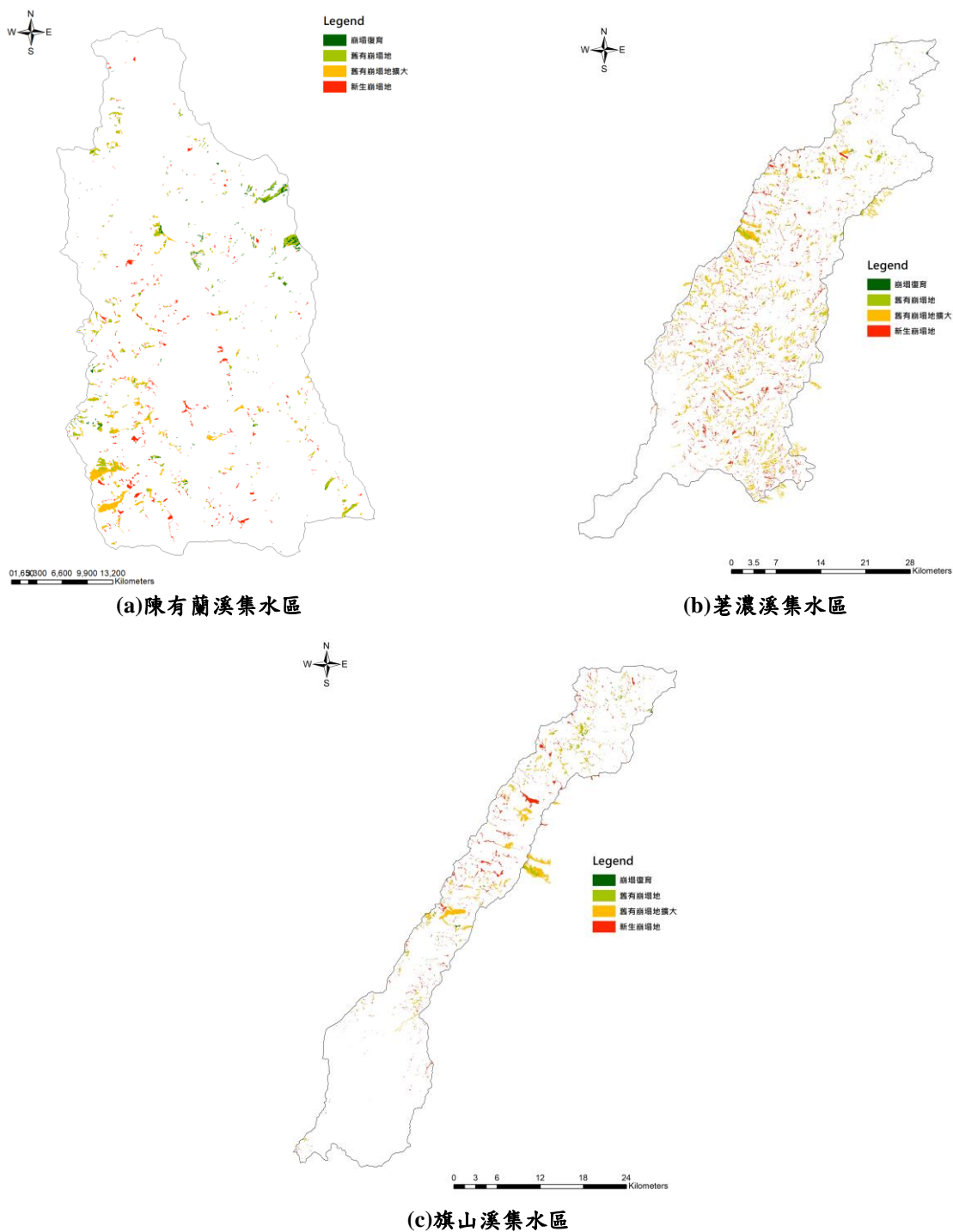


圖 2-40 98 年度至 99 年度間崩塌變異類型分布圖

表 2-6 98 年度至 99 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表

類型	面積(HA)
崩塌復育	499.08
舊有崩塌地	1932.89
舊有崩塌地擴大	7670.08
新生崩塌地	5225.89



圖 2-41 99 年度至 100 年度間崩塌變異類型分布圖

表 2-7 99 年度至 100 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表

類型	面積(HA)
崩塌復育	6021.12
舊有崩塌地	8603.46
舊有崩塌地擴大	3125.98
新生崩塌地	1505.55

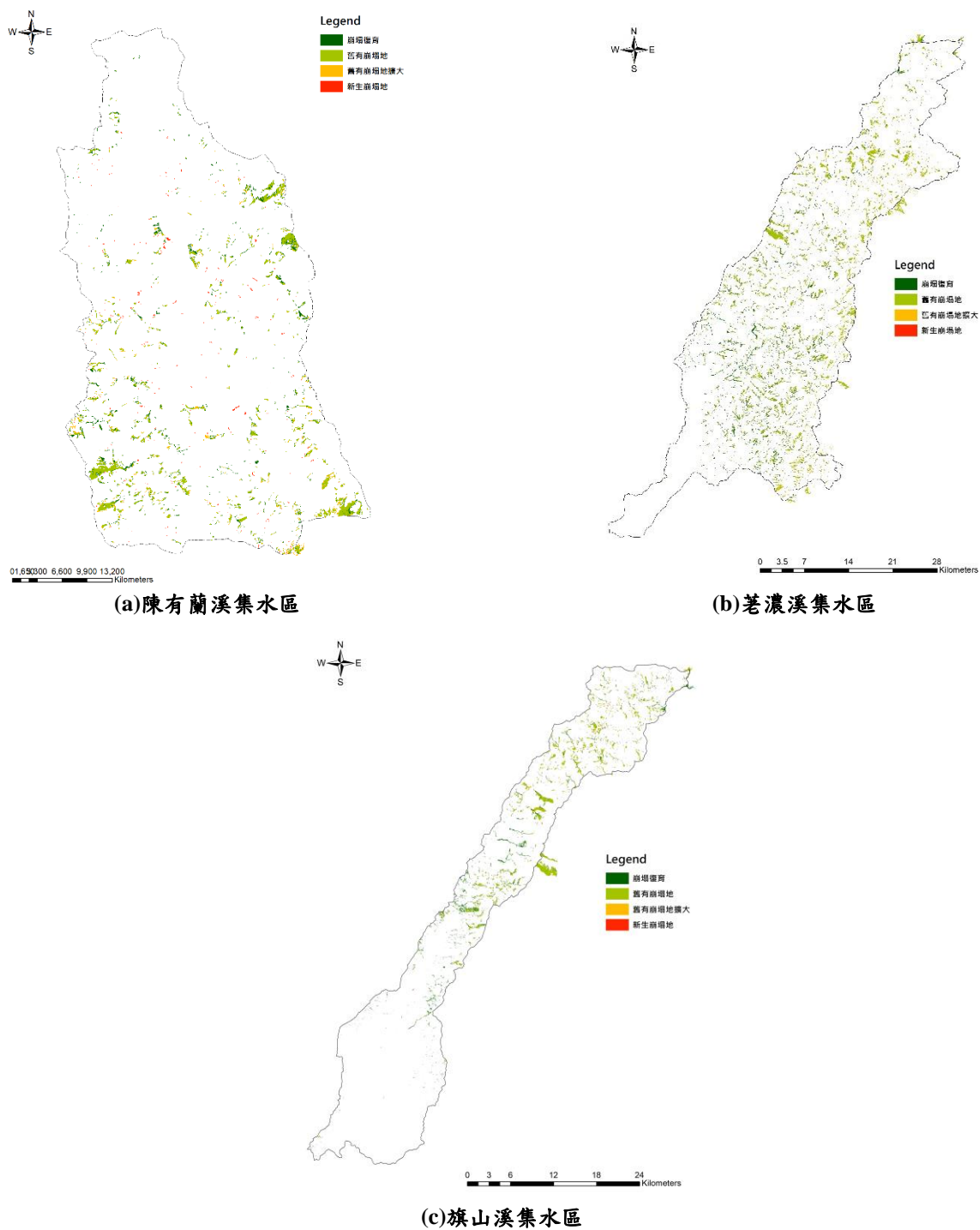


圖 2-42 100 年度至 101 年度間崩塌變異類型分布圖

表 2-8 100 年度至 101 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表

類型	面積(HA)
崩塌復育	4517.74
舊有崩塌地	8697.53
舊有崩塌地擴大	1943.32
新生崩塌地	326.72



圖 2-43 101 年度至 102 年度間崩塌變異類型分布圖

表 2-9 101 年度至 102 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表

類型	面積(HA)
崩塌復育	3567.05
舊有崩塌地	7460.27
舊有崩塌地擴大	1659.96
新生崩塌地	383.17

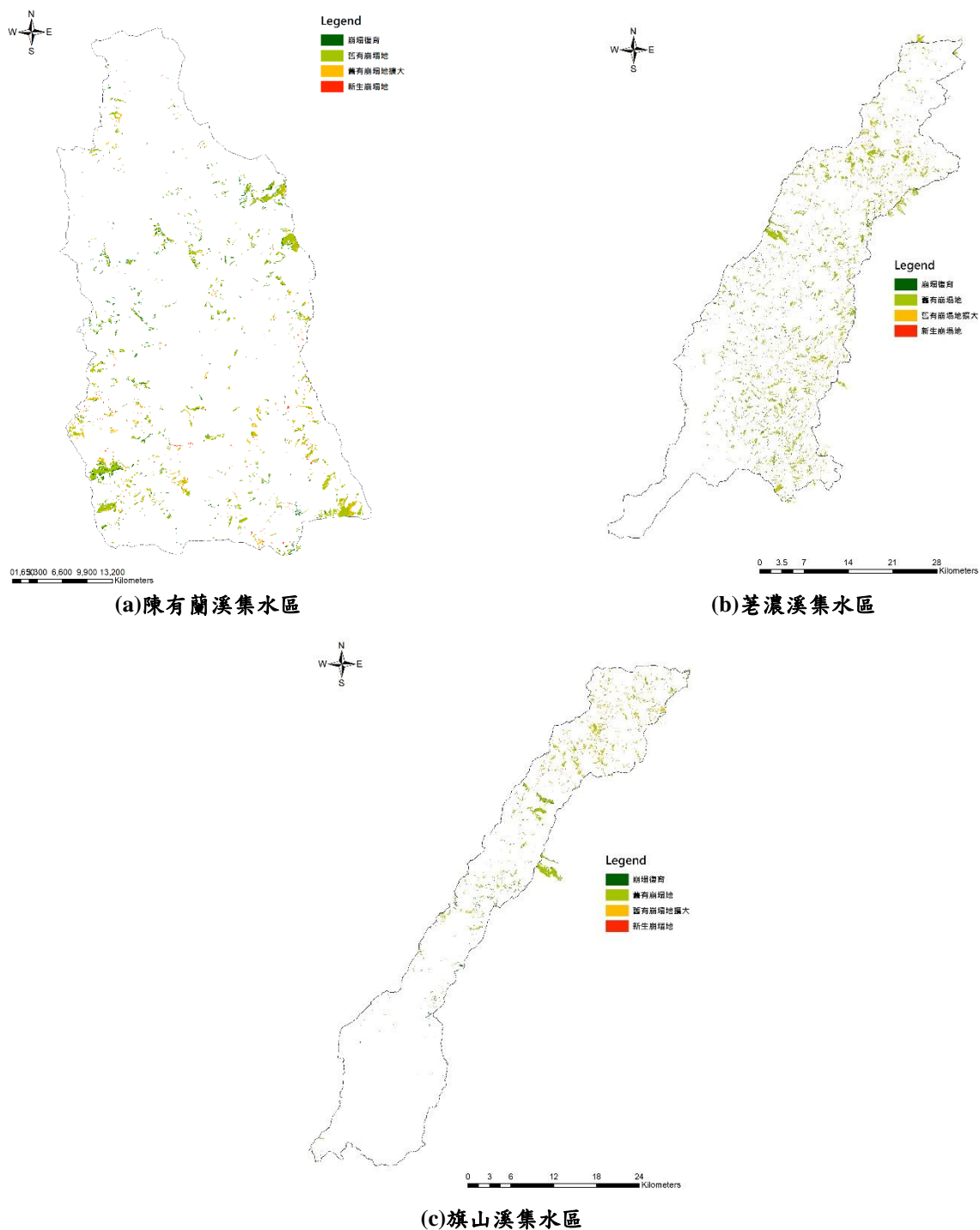


圖 2-44 102 年度至 103 年度間崩塌變異類型分布圖

表 2-10 102 年度至 103 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表

類型	面積(HA)
崩塌復育	2129.30
舊有崩塌地	7362.65
舊有崩塌地擴大	2207.48
新生崩塌地	472.78

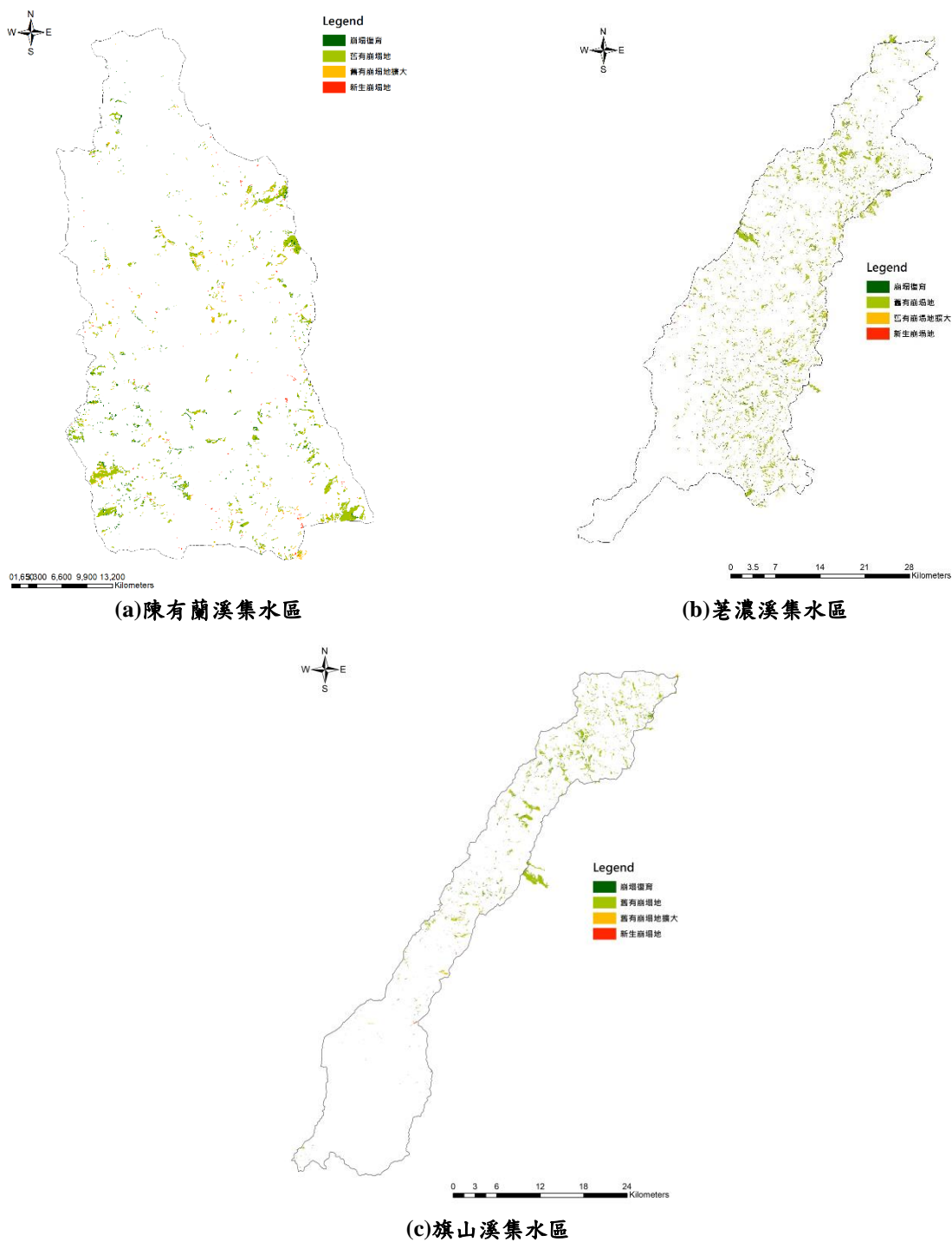


圖 2- 45 103 年度至 104 年度間崩塌變異類型分布圖

表 2- 11 103 年度至 104 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表

類型	面積(HA)
崩塌復育	1912.71
舊有崩塌地	8202.75
舊有崩塌地擴大	1802.94
新生崩塌地	296.60

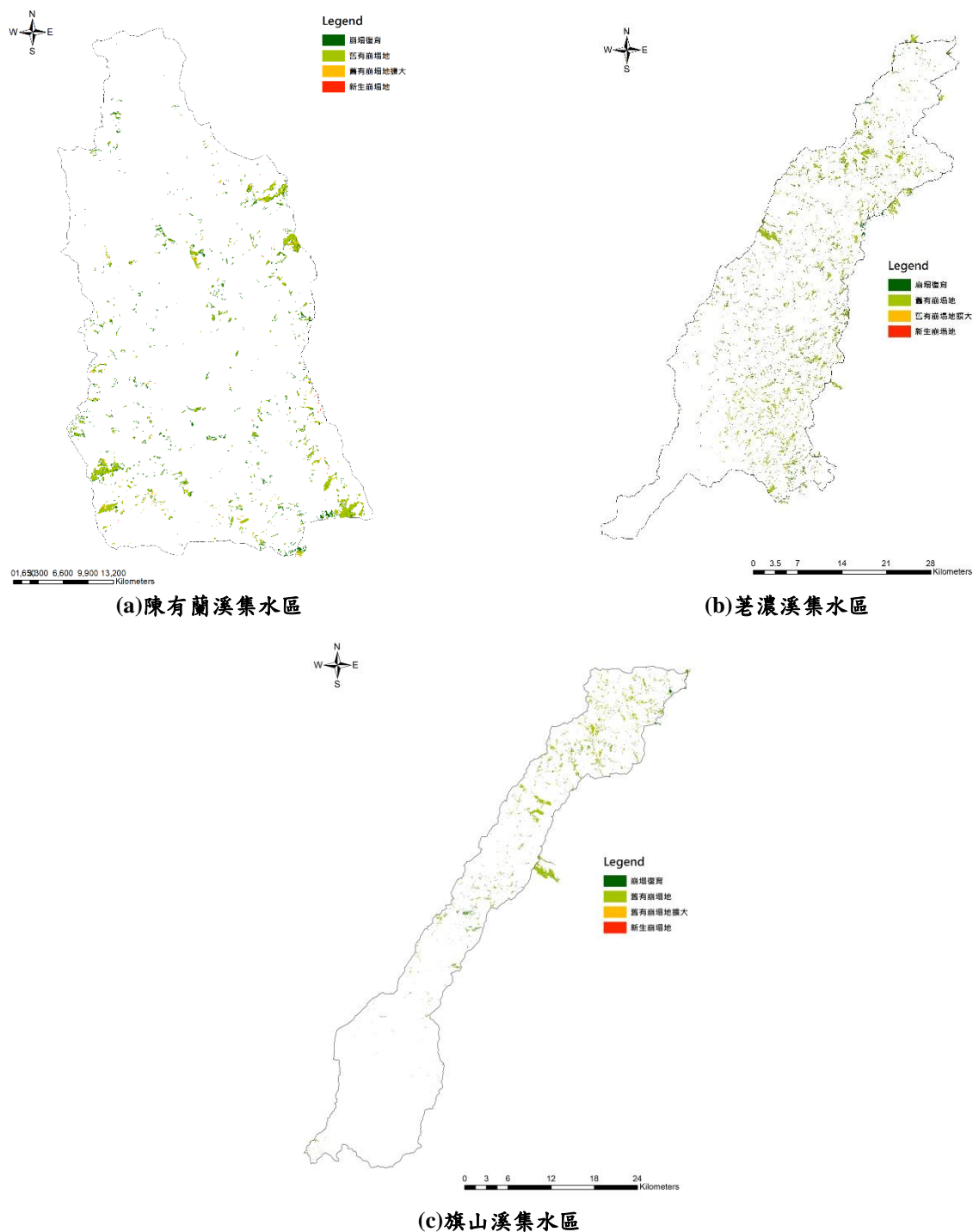


圖 2-46 104 年度至 105 年度間崩塌變異類型分布圖

表 2-12 104 年度至 105 年度間各類變異崩塌地類型面積統計表

類型	面積(HA)
崩塌復育	3446.60
舊有崩塌地	6828.19
舊有崩塌地擴大	963.30
新生崩塌地	98.15

分別統計統計各年度所新增的崩塌地分布，詳細統計表如表 2- 13 所示，其中 98 年度與 97 年度間崩塌地圖所萃取出之新增崩塌地分布圖中荖濃溪新增之崩塌地共 284.15 公頃(0.20%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 183.79 公頃(0.41%)，旗山溪新增之崩塌地共 104.32 公頃(0.14%)，如下圖 2- 47 所示，99 年度與 98 年度間崩塌地圖所萃取出之新增崩塌地分布圖中荖濃溪新增之崩塌地共 8,446.72 公頃(5.99%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 888.87 公頃(1.98%)，旗山溪新增之崩塌地共 3,027.11 公頃(4.03%)，如下圖 2- 48 所示，100 年度與 99 年度間崩塌地圖所萃取出之新增崩塌地分布圖中荖濃溪新增之崩塌地共 1311.03 公頃(0.93%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 409.31 公頃(0.91%)，旗山溪新增之崩塌地共 493.63 公頃(0.66%)，如下圖 2- 49 所示，101 年度與 100 年度間崩塌地圖所萃取出之新增崩塌地分布圖中，荖濃溪新增之崩塌地共 1,796.45 公頃(1.28%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 329.73 公頃(0.74%)，旗山溪新增之崩塌地共 389.44 公頃(0.74%)，如下圖 2- 50 所示；102 年度崩塌地圖減去 101 年度崩塌地圖所萃取出之崩塌地分布圖中，荖濃溪新增之崩塌地共 1,371.89 公頃(0.97%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 325.98 公頃(0.73%)，旗山溪新增之崩塌地共 358.97 公頃(0.48%)，如下圖 2- 51 所示，103 年度崩塌地圖減去 102 年度崩塌地圖所萃取出之崩塌地分布圖中，荖濃溪新增之崩塌地共 488.74 公頃(0.35%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 133.93 公頃(0.30%)，旗山溪新增之崩塌地共 216.04 公頃(0.29%)，如下圖 2- 52 所示，104 年度崩塌地圖減去 103 年度崩塌地圖所萃取出之崩塌地分布圖中，荖濃溪新增之崩塌地共 378.72 公頃(0.27%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 101.15 公頃(0.23%)，旗山溪新增之崩塌地共 148.27 公頃(0.20%)，如下圖 2- 53 所示，105 年度崩塌地圖減去 104 年度崩塌地圖所萃取出之崩塌地分布圖中，荖濃溪新增之崩塌地共 514.47 公頃(0.37%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 134.76 公頃(0.30%)，旗山溪新增之崩塌地共 178.55 公頃(0.24%)，

如下圖 2- 54 所示，106 年度崩塌地圖減去 105 年度崩塌地圖所萃取出之崩塌地分布圖中，荖濃溪新增之崩塌地共 1716.29 公頃(1.22%)，陳有蘭溪新增之崩塌地共 200.32 公頃(0.45%)，旗山溪新增之崩塌地共 393.76 公頃(0.52%)，如下圖 2- 55 所示。

表 2- 13 颱風豪雨崩塌事件新增崩塌地詳表

年度間	集水區	新增崩塌地(面積)	年度間重大颱風豪雨事件
98-97	荖濃溪	284.15ha	卡孜基颱風/鳳凰颱風/辛樂克颱風/蕃蜜颱風
	陳有蘭溪	183.79ha	
	旗山溪	104.32ha	
99-98	荖濃溪	8,446.72ha	莫拉克事件
	陳有蘭溪	888.87ha	
	旗山溪	3,027.11ha	
100-99	荖濃溪	1311.03ha	凡那比颱風/0924 豪雨/1016 豪雨/1017 豪雨-梅姬颱風/艾利颱風
	陳有蘭溪	409.31ha	
	旗山溪	493.63ha	
101-100	荖濃溪	1,796.45ha	南瑪都颱風/0610 豪雨/泰利颱風
	陳有蘭溪	329.73ha	
	旗山溪	389.44ha	
102-101	荖濃溪	1,371.89ha	天秤颱風/蘇拉颱風
	陳有蘭溪	329.73ha	
	旗山溪	389.44ha	
103-102	荖濃溪	488.74ha	潭美颱風/康芮颱風/天兔颱風/0520 豪雨/0606 豪雨
	陳有蘭溪	133.93ha	
	旗山溪	216.04ha	
104-103	荖濃溪	378.72ha	鳳凰颱風/0520 豪雨/蓮花暨昌鴻颱風
	陳有蘭溪	101.15ha	
	旗山溪	148.27ha	
105-104	荖濃溪	514.47ha	蘇迪勒颱風/杜鵑颱風/0611 豪雨/尼伯特颱風/0710 豪雨
	陳有蘭溪	134.76ha	
	旗山溪	178.55ha	
106-105	荖濃溪	1716.29ha	莫蘭蒂颱風/梅姬颱風/0601 豪雨/尼莎暨海棠颱風
	陳有蘭溪	200.32ha	
	旗山溪	393.76ha	

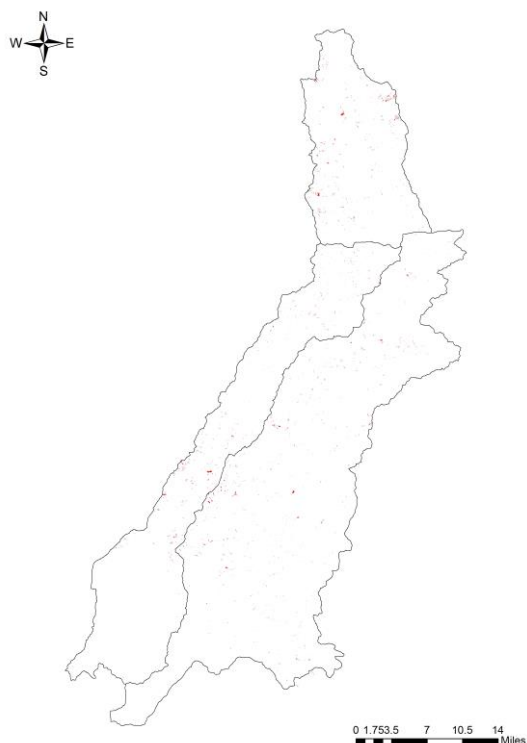


圖 2-47 新增崩塌地分布圖(98 年度崩塌地圖-97 年度崩塌地圖)

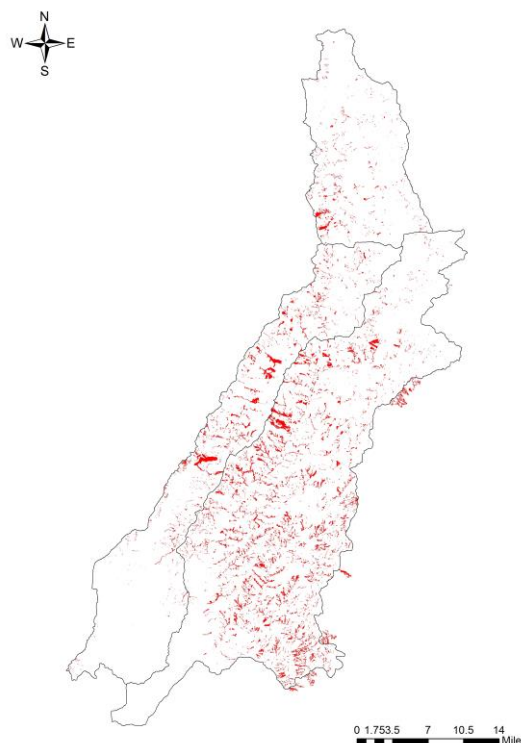


圖 2-48 新增崩塌地分布圖(99 年度崩塌地圖-98 年度崩塌地圖)

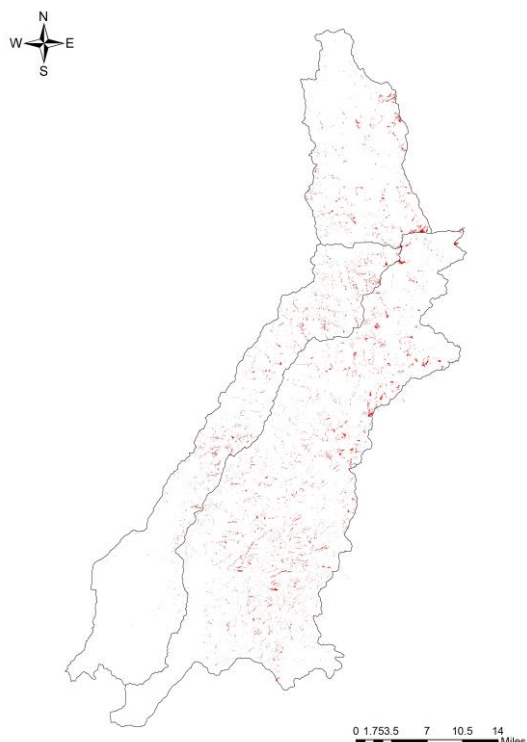


圖 2-49 新增崩塌地分布圖(100 年度崩塌地圖-99 年度崩塌地圖)

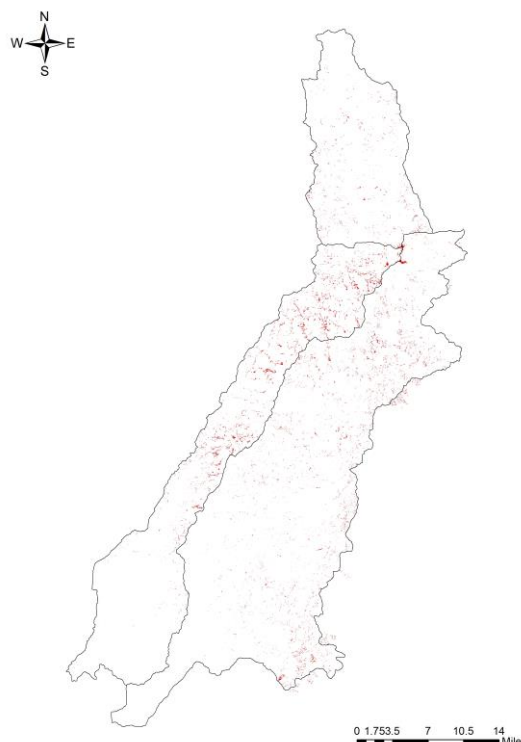


圖 2-50 新增崩塌地分布圖(101 年度崩塌地圖-100 年度崩塌地圖)

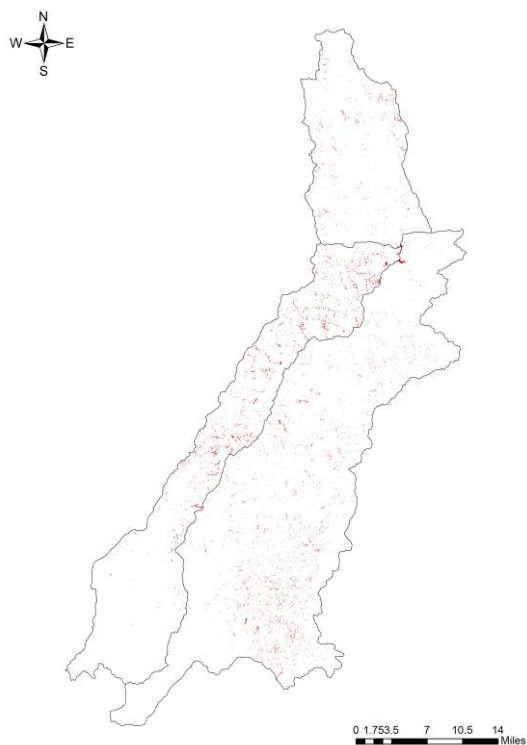


圖 2- 51 新增崩塌地分布圖(102 年度崩塌地圖-101 年度崩塌地圖)

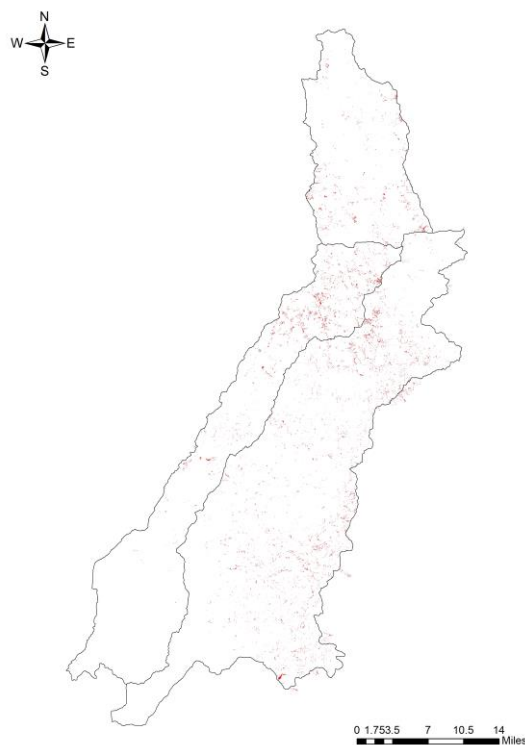


圖 2- 52 新增崩塌地分布圖(103 年度崩塌地圖-102 年度崩塌地圖)

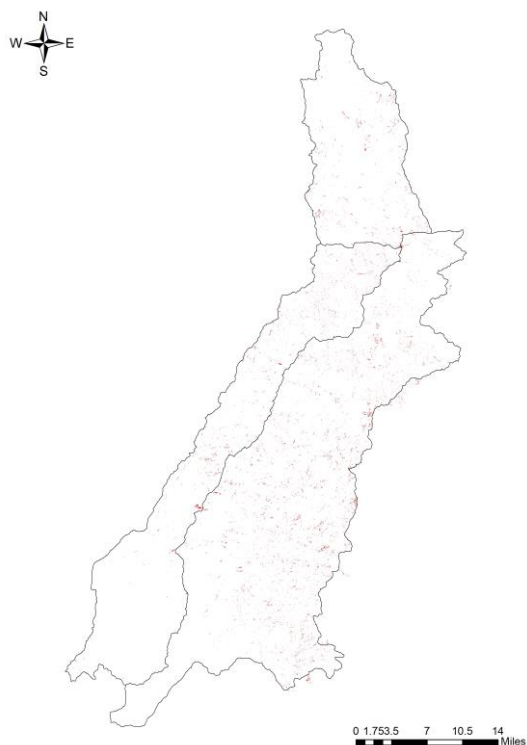


圖 2- 53 新增崩塌地分布圖(104 年度崩塌地圖-103 年度崩塌地圖)

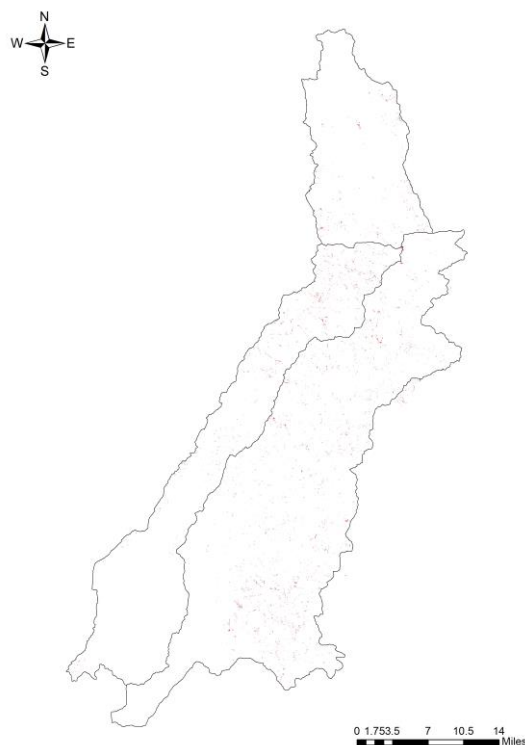


圖 2- 54 新增崩塌地分布圖(105 年度崩塌地圖-104 年度崩塌地圖)

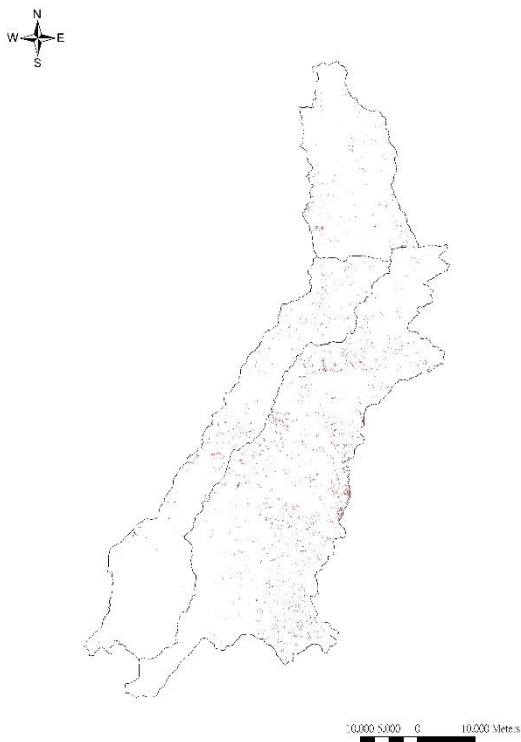


圖 2-55 新增崩塌地分布圖(106 年度崩塌地圖-105 年度崩塌地圖)

本計畫在上述進行新增之颱風豪雨事件進行相關崩塌特徵資料庫之擴增後，後續可以擴增後之崩塌事件資料庫進行坡地崩塌風險評估模型之建立，以探索更全域之最佳解。

第四節 坡面單元繪製與坡面分類定義

由於坡面單元具地形之特徵，能呈現邊坡特性，特別適合用來做崩塌潛勢分析(Guzzetti, 2006)。本計畫使用地理資訊系統軟體 ArcGIS 10.0 之水文及地形工具進行坡面單元分析。藉由 DEM 分析得到之集水區，多邊形的輪廓線就是山脊線；而山谷線則使用反轉之 DEM 資料，藉由 DEM 網格分析互換其高低值，原山谷線即能反轉為山脊線，同樣地亦可得到反轉之山谷線。繪製原則為二：1. 坡面單元須符合地形特徵，其邊界不可跨越地形邊界，例如稜線、河谷；2. 為避免聚落管理單元面積過小，坡面單元控制在約 3 至 10 公頃為原則。

在實際繪製過程中，雖坡面單元希望控制在 10 公頃以內，但坡面單元分析時若有大於 10 公頃之坡面單元，則會獨立處理使之小於 10 公頃。此外，部分坡面單元若藉由坡向與山影圖檢視，並無明顯的地形起伏，則無須再編修，因此會有部分坡面單元大於 10 公頃。對於小於 3 公頃之坡面單元，編修時須再與 Google Earth 三維立體地圖比對，小於 3 公頃之坡面單元則與鄰近之坡面單元合併處理。

依據前述劃設及篩選程序，陳有蘭溪集水區劃分完成之坡面單元如圖 2-56 所示，總計有 6,651 個坡面單元。荖濃溪集水區劃分完成之坡面單元如圖 2-57，總計有 21,279 個坡面單元。旗山溪集水區劃分完成坡面單元如圖 2-58 所示，總計有 10,985 個坡面單元。

完成坡面單元劃分後，即可瞭解整體集水區之坡面總數量以及納入監控管理之坡面數量，接下來即可藉由環境因子資料庫進行每個坡面之平均統計轉換，由於環境因子資料庫皆為 20m×20m 之網格尺度，必須轉化為坡面尺度之定義。

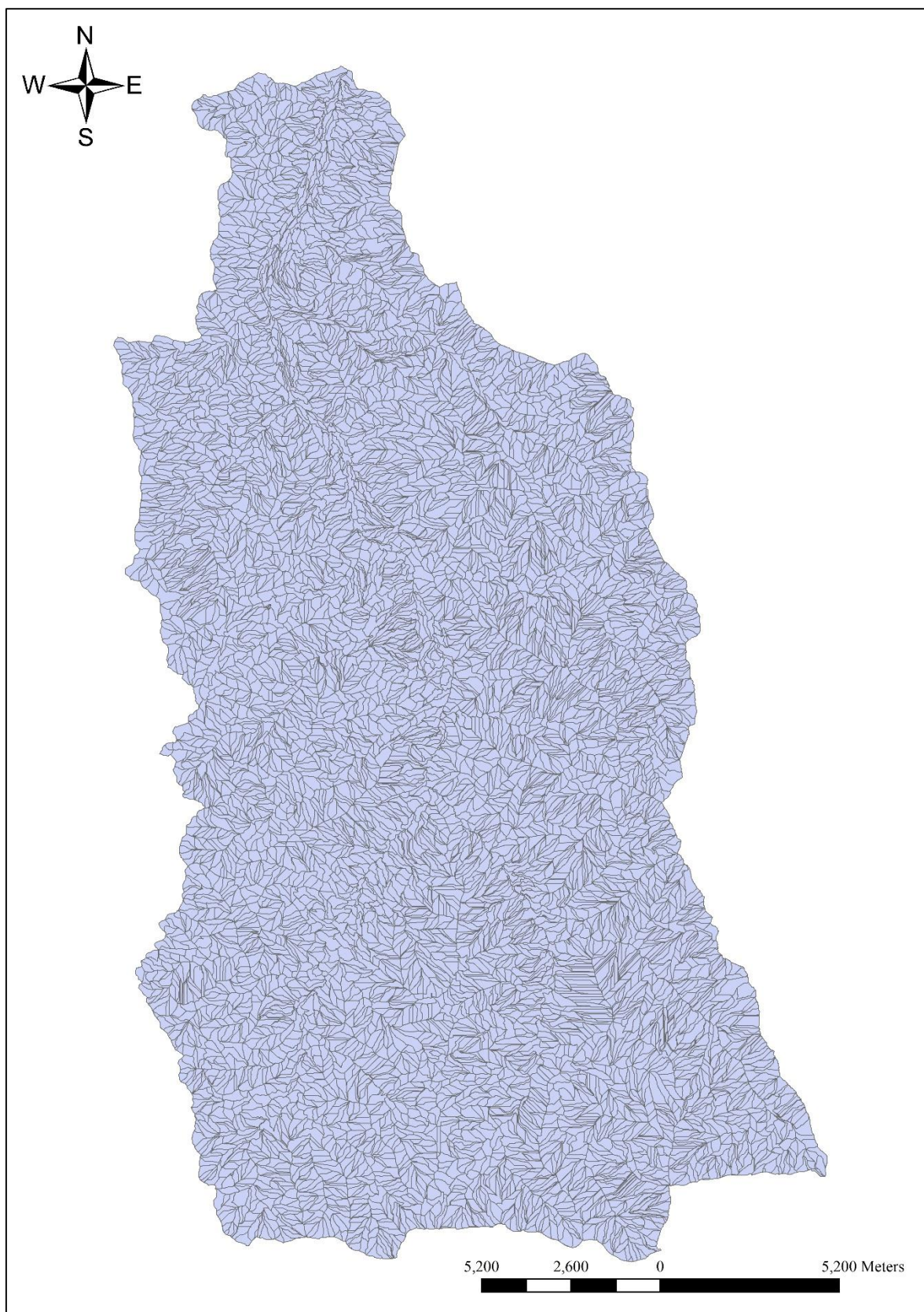


圖 2-56 陳有蘭溪集水區之坡面單元

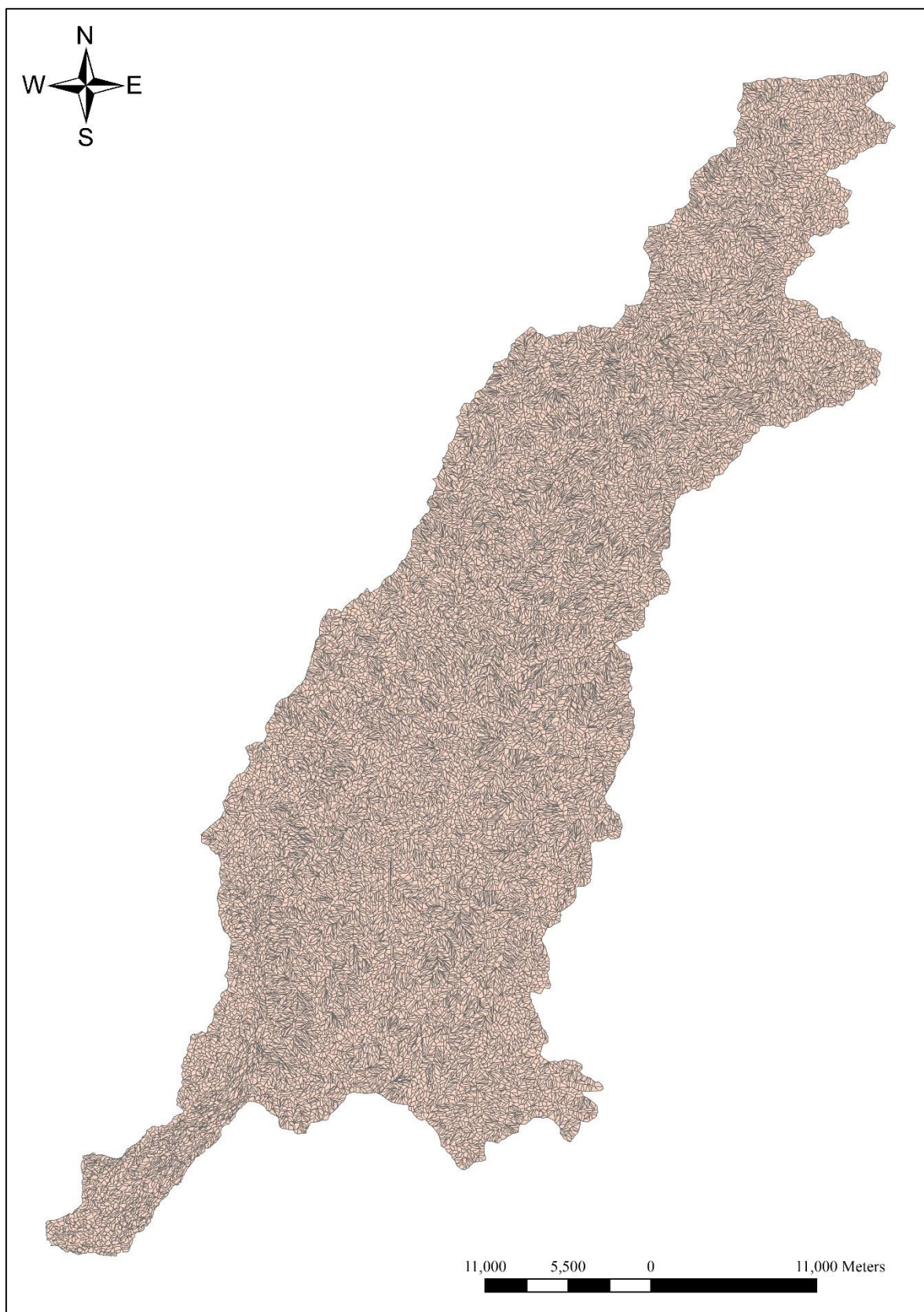


圖 2-57 荖濃溪集水區之坡面單元

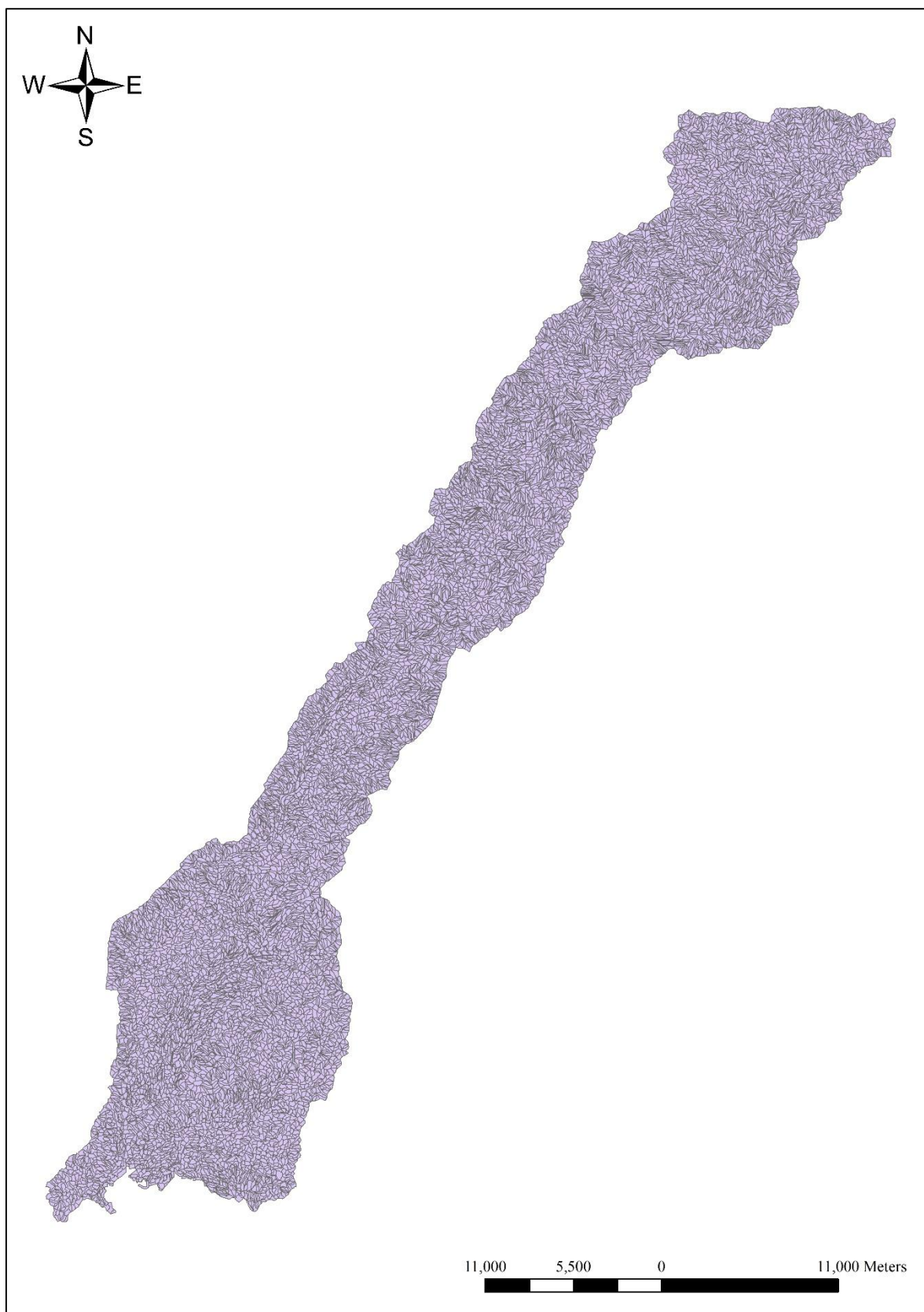


圖 2- 58 旗山溪集水區之坡面單元

一、坡面之雨量定義

前述已說明雨量因子的推估，本研究對於坡面單元之雨量因子，採用坡面單元內之平均雨量。使用平均雨量是因為若採用坡面單元內最大雨量值，會放大坡面單元的雨量值，會有較多高降雨低崩塌之事件產生；若採用最小雨量值，則易產生低降雨高崩塌之事件。

對於 $I_1 - R_{te}$ 雨量推估，以辛樂克颱風在陳有蘭溪、荖濃溪和旗山溪集水區中之坡面單元雨量分布為例，其雨量推估分布圖如圖 2- 59 至圖 2- 61 所示。而莫拉克颱風在陳有蘭溪、荖濃溪和旗山溪集水區中之坡面單元雨量分布如圖 2- 62 至圖 2- 64 所示。

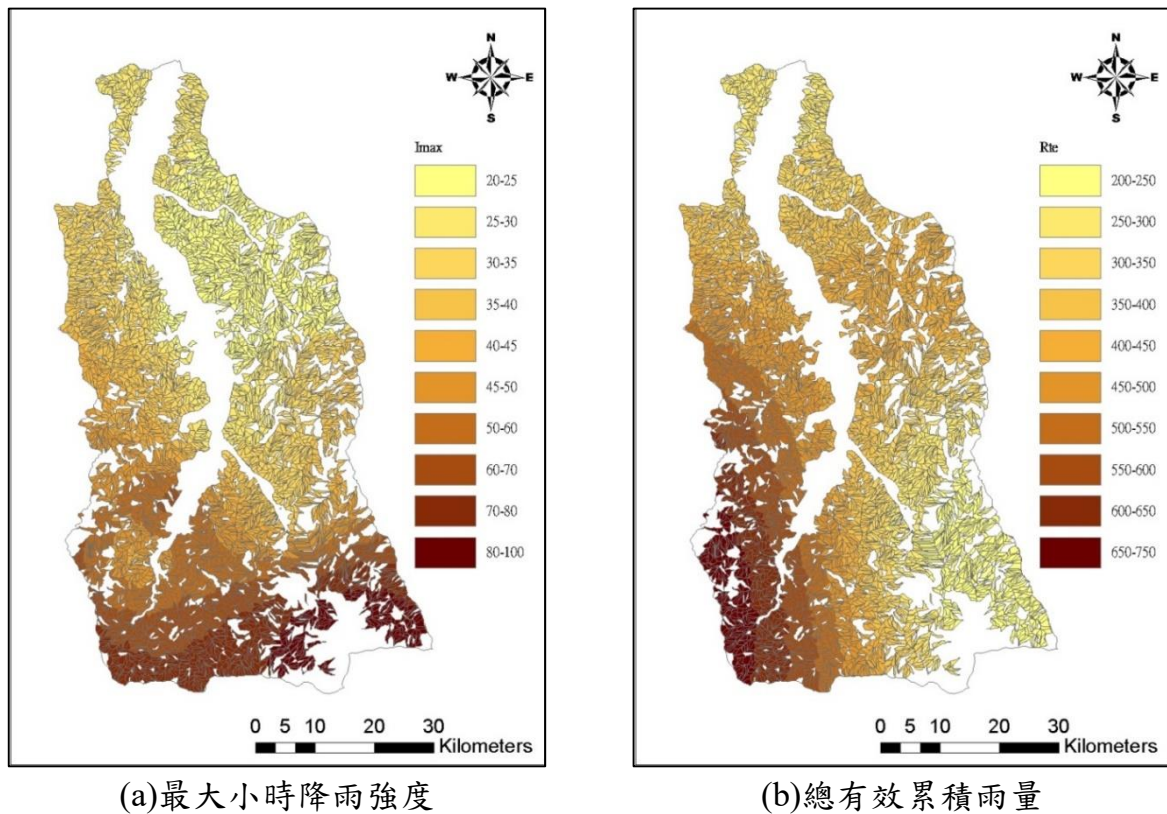
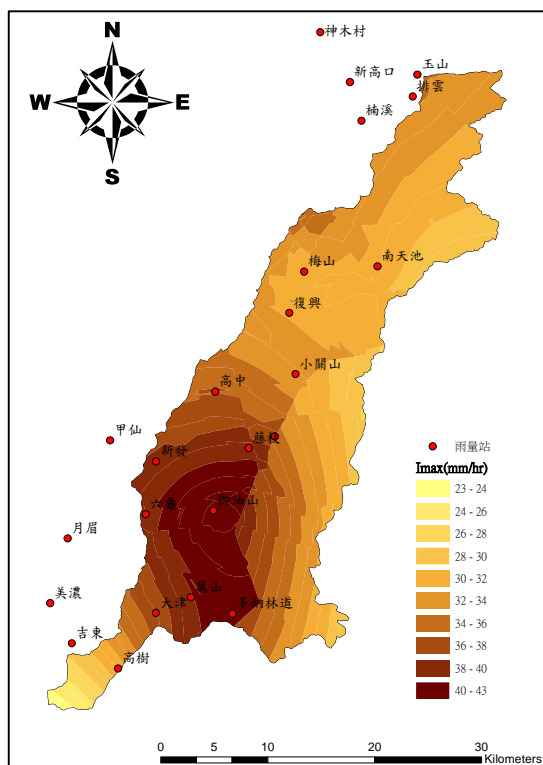
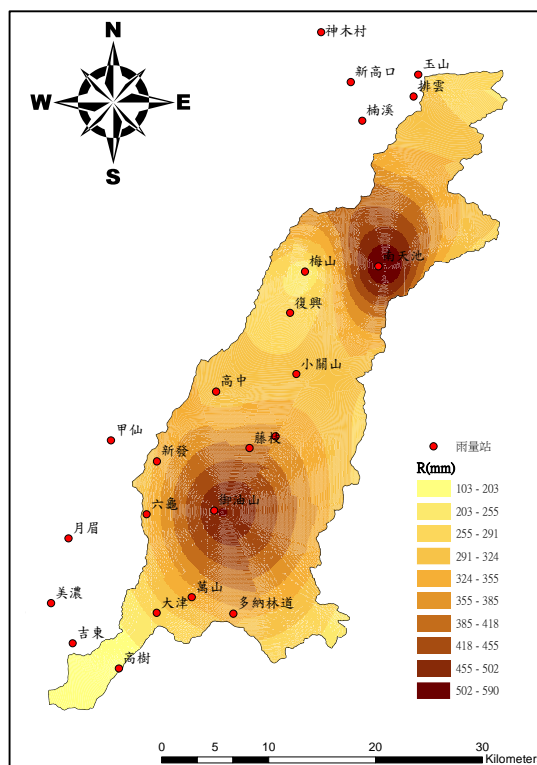


圖 2- 59 陳有蘭溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$)

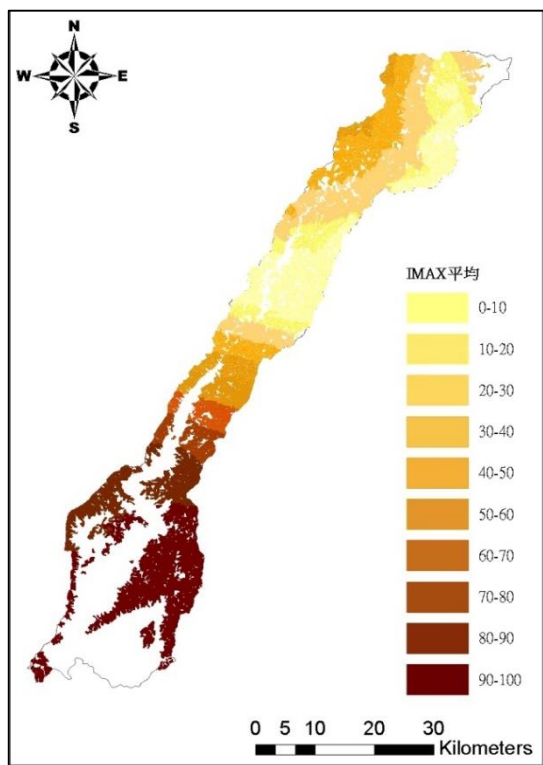


(a)最大小時降雨強度

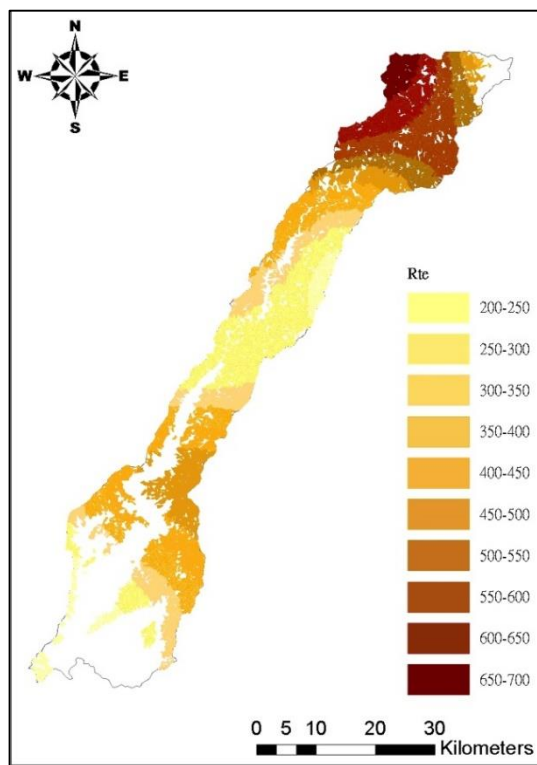


(b)總有效累積雨量

圖 2-60 荖濃溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布(I_1-R_{te})

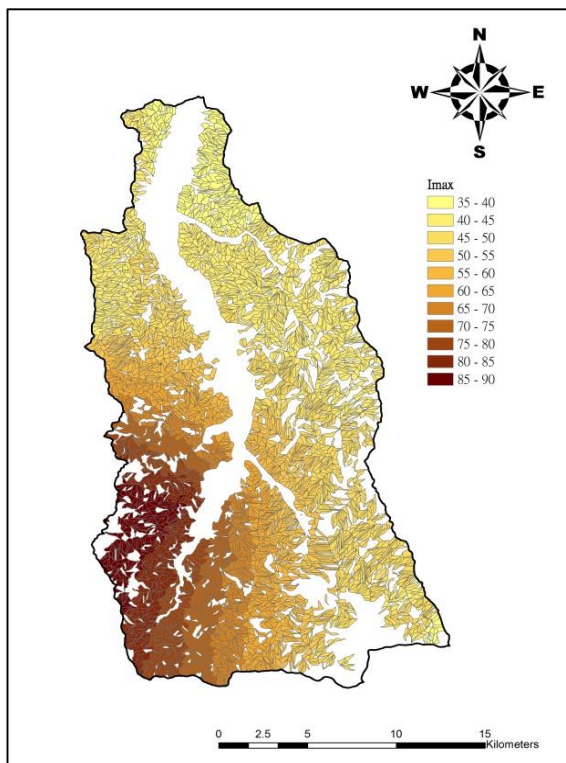


(a)最大小時降雨強度

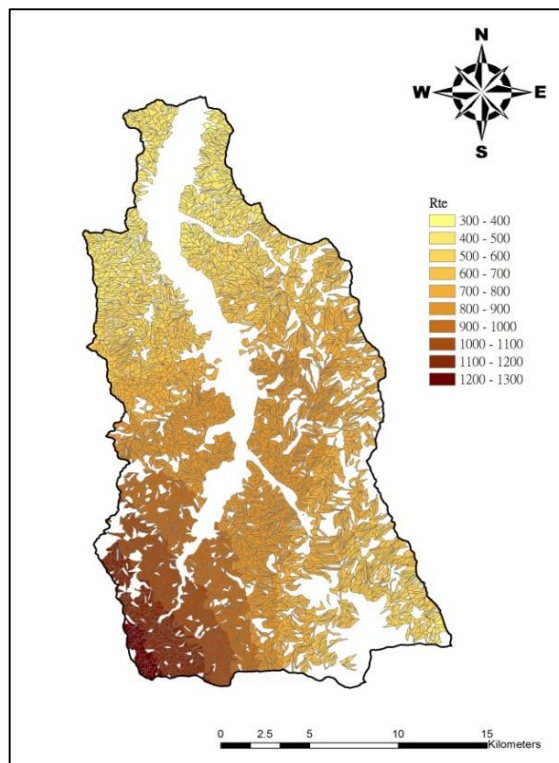


(b)總有效累積雨量

圖 2-61 旗山溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布(I_1-R_{te})

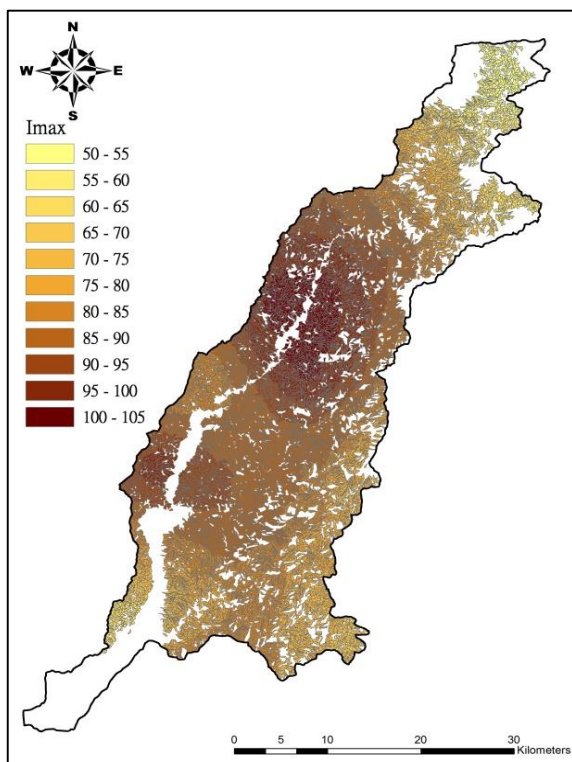


(a)最大小時降雨強度

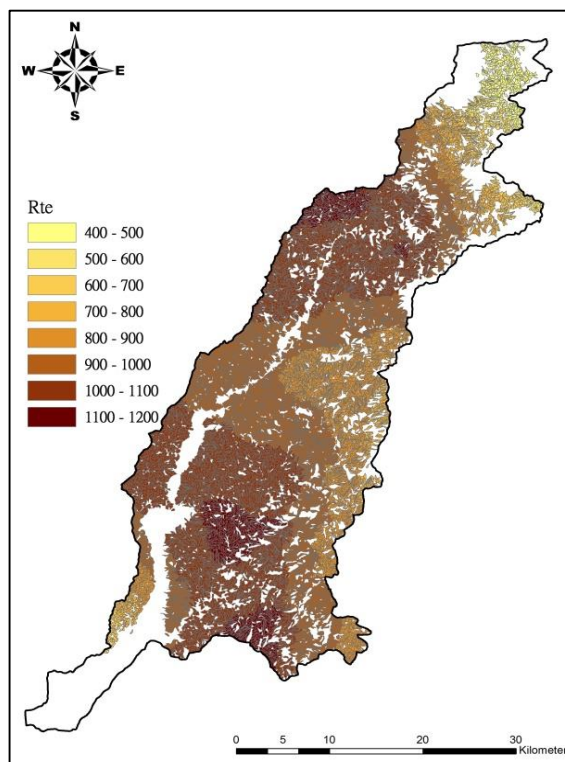


(b)總有效累積雨量

圖 2- 62 陳有蘭溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布(I_1-R_{te})



(a)最大小時降雨強度



(b)總有效累積雨量

圖 2- 63 荖濃溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布(I_1-R_{te})

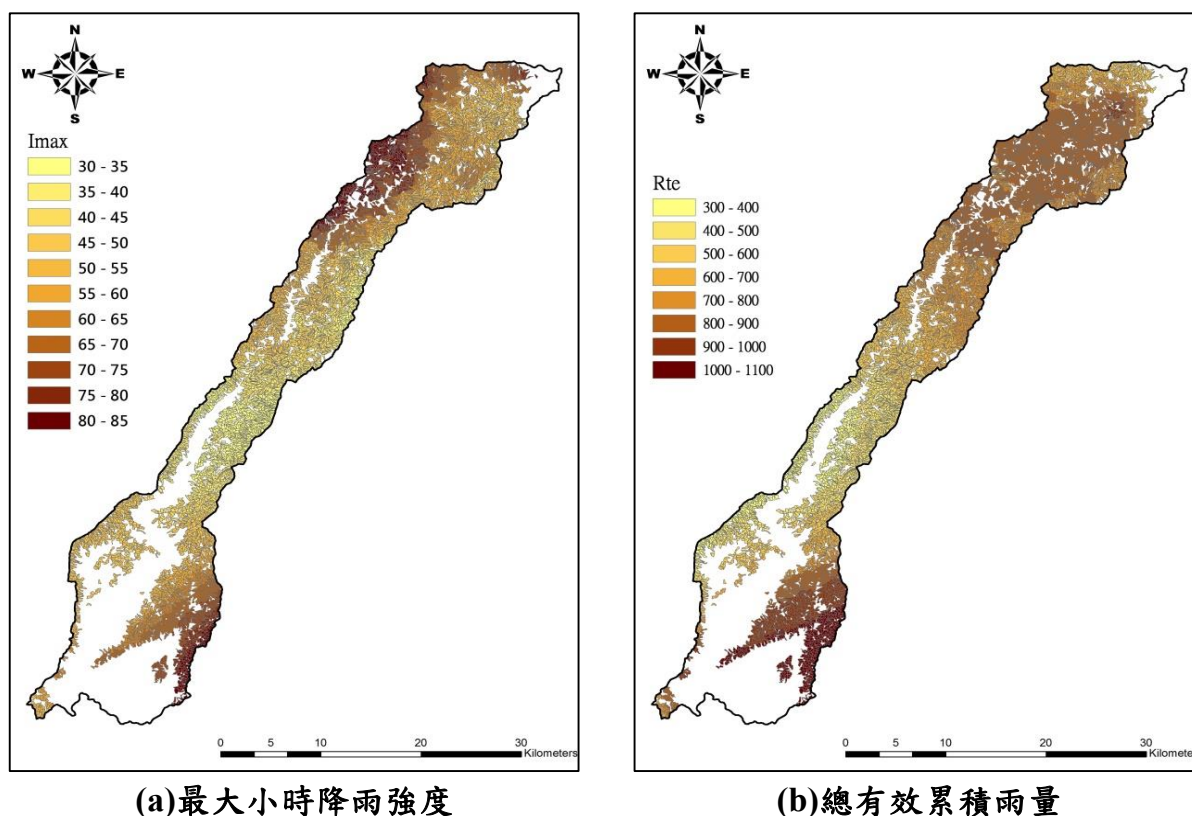


圖 2- 64 旗山溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布(I_1-R_{te})

二、坡面單元崩塌定義

坡面單元必須針對坡面崩塌情形予以定義是否發生崩塌。由於崩塌是否發生必須以門檻值來決定，而門檻值又與崩塌體積和崩塌斜面積是相關的，因此必須將衛星影像判釋所得的平面投影崩塌面積與空間量體之崩塌體積的轉換關係予以考量。也就是說，衛星影像判釋並不能夠考慮地形地勢與崩塌深度(通常指最大深度的垂直距離)的影響，因此有必要予以修正。這個修正概念在過去已有許多研究者針對坡地崩塌斜面積、體積與深度的關係作過相關研究(例如 Evans and DeGraff, 2002; Imaizumi *et al.*, 2008; Guzzettiet *et al.*, 2009; 經濟部水利署，2006, 2010, 2011)。以經濟部水利署(2006, 2010, 2011)針對石門水庫集水區與高屏溪集水區崩塌地深度與坡度相關研究為範例，藉由野外量測結果發現崩塌地深度與坡度呈現鐘型曲線，坡度在 30-40 度之間崩塌深度最大，且在相同的坡度間距內深度變異相當大，如圖 2- 65 所示。

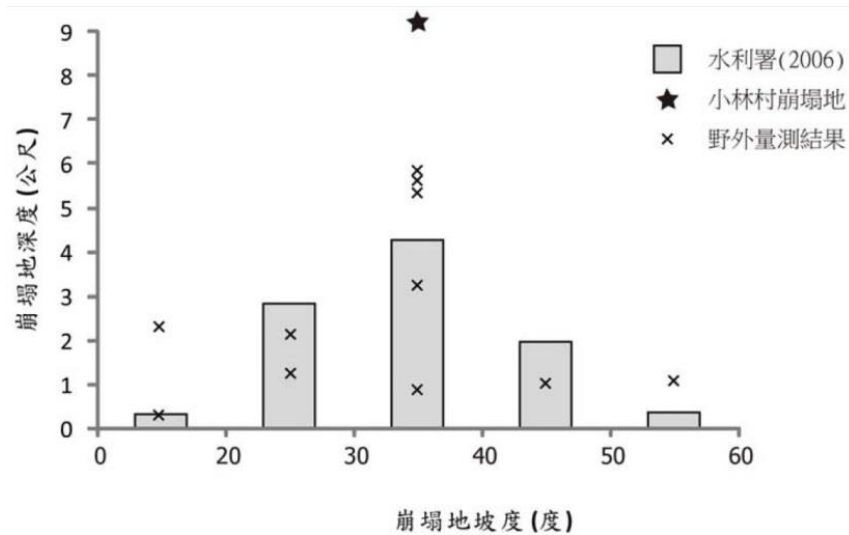


圖 2-65 崩塌地坡度與深度分佈

(資料來源：氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例，經濟部水利署，2010)

過去研究結果顯示崩塌地深度與坡度具有一定相關性，通常坡度越大崩塌深度有越大的趨勢、崩塌體積亦越大。因此崩塌體積、斜面積與崩塌深度是有一定關係的，如圖 2-66 所示，若可獲得崩塌體積與斜面積關係式，即可進一步以崩塌體積估算不同坡度下之崩塌斜面積，進而估計出可能的崩塌面積(水平投影面積)，這個崩塌投影面積也就是影像判釋所得之崩塌面積。

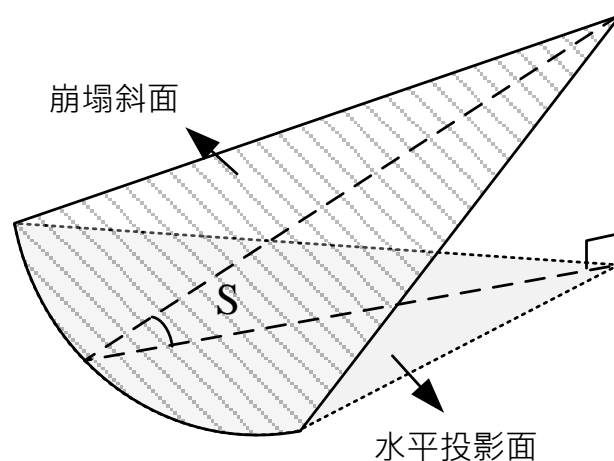


圖 2-66 崩塌塊體斜面與投影面關係示意圖

據此，本研究針對坡面單元之崩塌定義，參考水利署曾於 2010 至 2011

年間執行之「氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例」，該計畫針對高屏溪流域以野外量測之崩塌地斜面積與產砂量迴歸崩塌體積與崩塌斜面積關係式，由於是經驗公式，因此並未考慮深度因子：

$$V = 0.2 \times A^{1.3} \quad (2-2)$$

式中， V 為崩塌體積(立方公尺)； A 為崩塌斜面積(平方公尺)；相關係數為 0.84。此公式可藉由崩塌斜面積推估大約的崩塌體積，亦可藉由崩塌體積反算可能崩塌斜面積，再由已知的坡度估計崩塌面積。本年度計畫中對坡面單元是否崩塌之定義，參考該計畫所調查崩塌地中，屬中高程度崩塌的六處崩塌地之平均崩塌體積約 $V=5,692$ 立方公尺估算(例如小林村崩塌深度有疑慮即剔除)，將崩塌體積期望值取整數定為 $V=6,000$ 立方公尺，藉由式(2-2)計算得到崩塌斜面積並由坡度估計崩塌面積，結合崩塌率(崩塌面積/斜坡單元的水平投影面積)和判釋所得之崩塌面積以試誤法得到最佳門檻值組合：

- (一) S1類坡度：坡面單元崩塌率達5%，或崩塌投影面積達0.28公頃者判定坡面單元為崩塌；其餘為未發生崩塌。
- (二) S2類坡度：坡面單元崩塌率達5%，或崩塌投影面積達0.24公頃者定坡面單元為崩塌；其餘為未發生崩塌。
- (三) S3類坡度：坡面單元崩塌率達5%，或崩塌投影面積達0.22公頃者判定坡面單元為崩塌；其餘為未發生崩塌。

所得各集水區在 97-105 年度間之颱風豪雨事件下坡面單元崩塌分級如圖 2- 67 至圖 2- 74 所示。

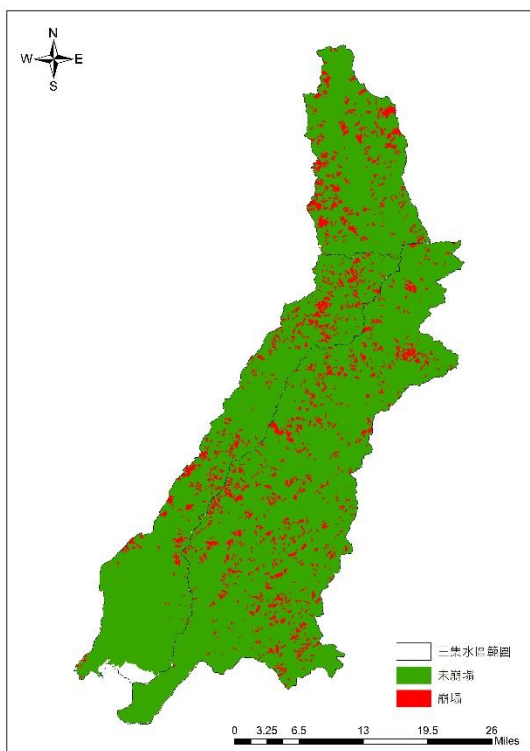


圖 2-67 97 年度至 98 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈

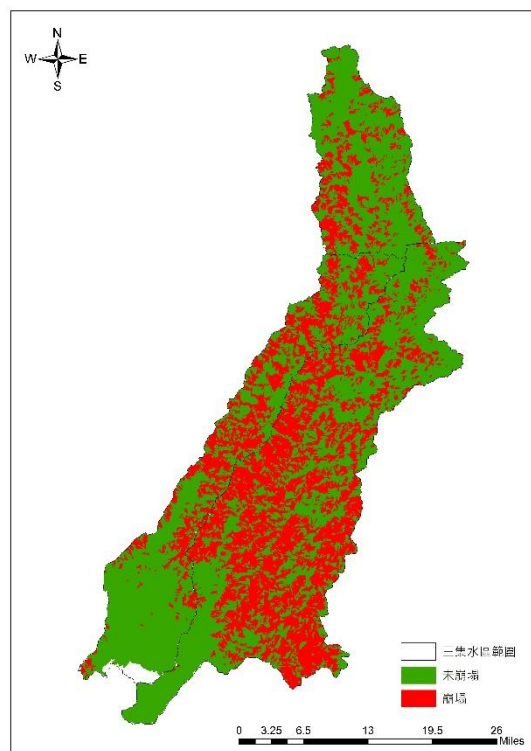


圖 2-68 98 年度至 99 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈

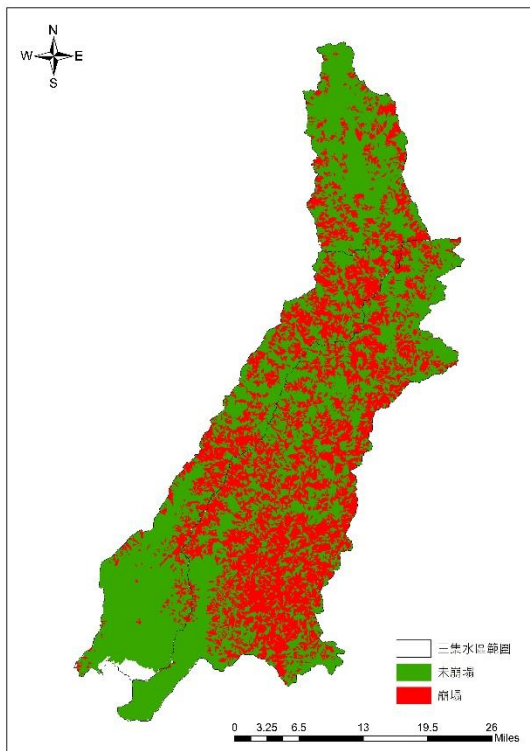


圖 2-69 99 年度至 100 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈

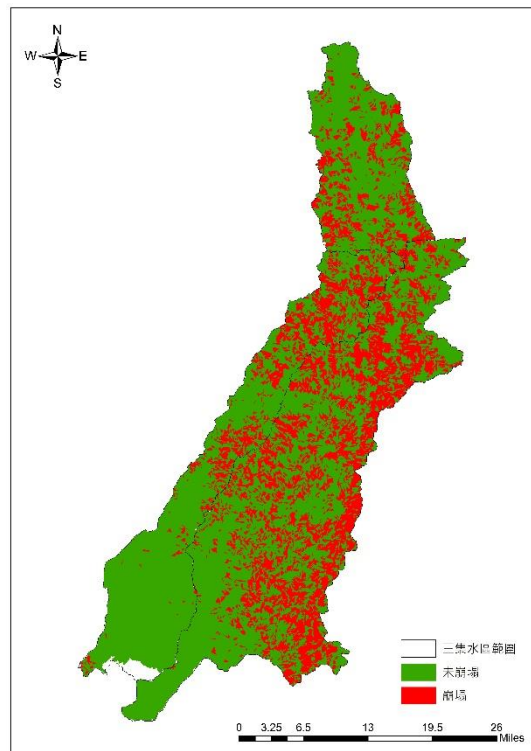


圖 2-70 100 年度至 101 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈

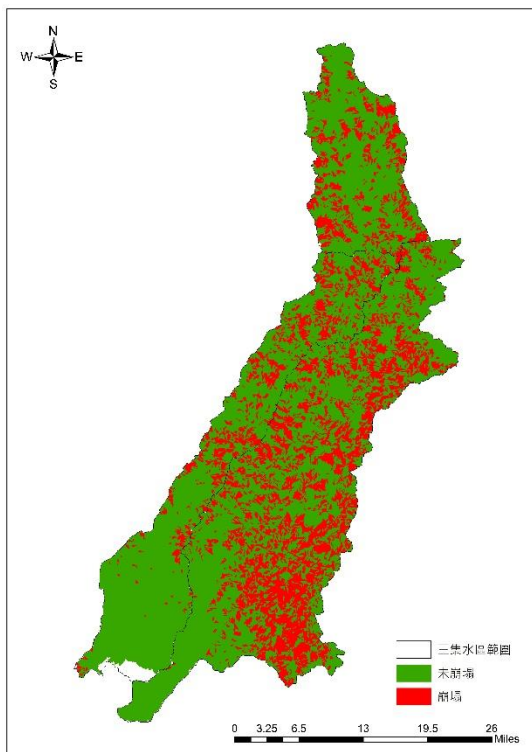


圖 2-71 101 年度至 102 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈

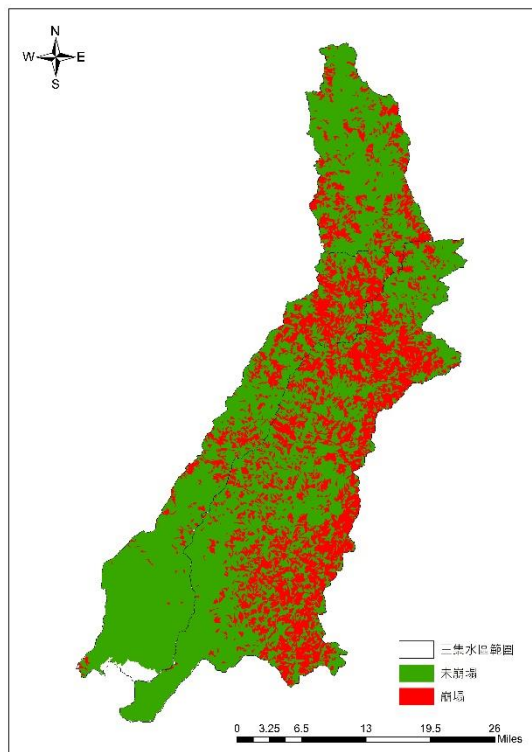


圖 2-72 102 年度至 103 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈

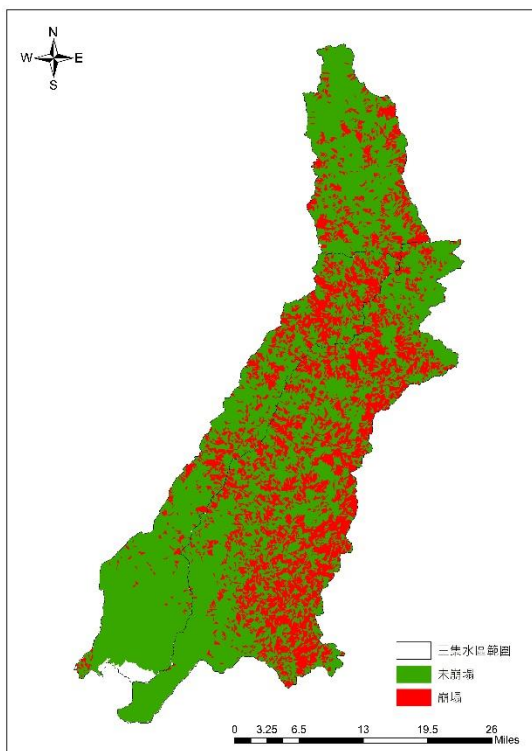


圖 2-73 103 年度至 104 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈

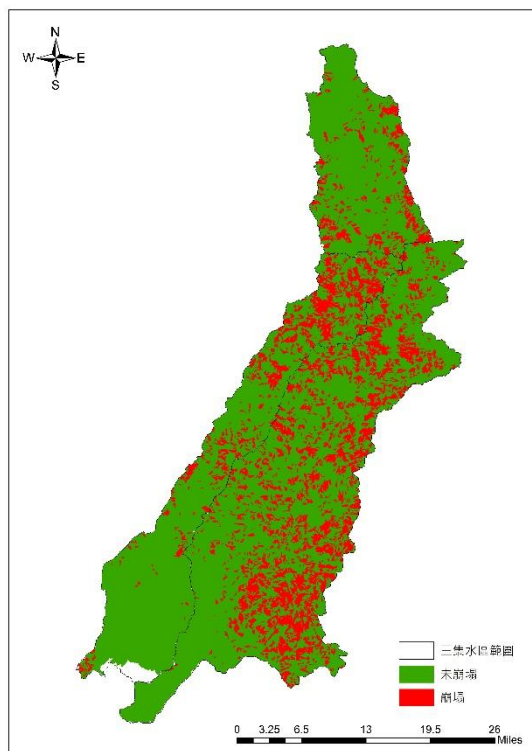


圖 2-74 104 年度至 105 年度間颱風豪雨造成之崩塌坡面分佈

第三章 坡地崩塌風險評估模型建立

第一節 崩塌降雨危害評估模型建立

由於土石流潛勢溪流都在山區，要實際量測土石流發生前溪流溝床內土體的孔隙水壓及地下伏流水狀況困難度很高，而降雨資料的取得又比孔隙水壓及地下伏流水資料來的容易。因此，在過去的研究中，大部份的研究人員都藉由土石流發生之前的降雨量（前期降雨）來間接說明土體的含水狀況（即孔隙水壓），直接探討降雨條件與土石流發生之關係，並利用降雨條件建立土石流發生降雨警戒關係式。因此本計畫團隊同理在分析崩塌災害發生降雨特性時，通常需考量崩塌發生當時的直接誘發雨量（包括降雨強度與當場累積雨量）及間接激發雨量（如前期降雨）。

而此章以降雨資料及統計方法，分析單一聚落發生崩塌可能性的臨界降雨基準值，其中以 10 年間降雨資料作為建立雨量等比率曲線模式之基礎，歷史雨量資料庫依新年度持續更新，以反映近年氣候變化。

本計畫團隊針對南部集水區 15 處重點聚落管理單元最鄰近之雨量站（如下表 3- 1 所示）進行蒐集其民國 98 至民國 108 年間之時雨量及有效累積雨量資料，進行每小時降雨雨量處理，以及過去崩塌事件發生之時間資料作為本研究之基礎，雨量資料先進行雨場分割，建立各雨場之 $(\ln R, \ln I)$ 雨型組數據，並建立各重點聚落中歷史雨場之時雨量及有效累積雨量之聯合機率質量函數，以下將先分述本計畫雨量資料處理方法：

表 3-1 南部集水區 15 處重點聚落對應之鄰近雨量站表

重點聚落			對應雨量站
鄉(鎮、區)	村(里)	聚落	
桃源區	寶來里	竹林(16、17 鄰)	高中 C1V231
桃源區	寶山里	新藤枝	御油山 C1V300
桃源區	寶山里	舊藤枝	御油山 C1V300
桃源區	梅山里	梅山口	梅山 C1V200
桃源區	寶山里	寶山	御油山 C1V300
信義鄉	神木村	神木	神木村 C0H9A0
信義鄉	豐丘村	豐丘(信義)	豐丘 C1H290
那瑪夏區	瑪雅里	瑪雅	那瑪夏國中 81V830
那瑪夏區	達卡努瓦里	達卡努瓦	達卡努瓦(民生)C1V160
那瑪夏區	南沙魯里	南沙魯	那瑪夏國中 81V830
甲仙區	東安里	白雲巷	新發 C1V590
六龜區	新發里	新發部落山邊	新發 C1V590
六龜區	興龍里	新開部落(26 鄰)	新發 C1V590
霧台鄉	霧台佳暮村	新佳暮部落	上德文 C1R120
瑪家鄉	瑪家村	瑪家聚落	瑪家 C0R140

一、雨場分割方法

降雨事件是由大大小小不連續的時間序列所組成，在分析雨量資料之前，需先選定一種雨場分割方法作為一場連續降雨的定義，才能進一步計算影響土石流發生之各種降雨因子。而本研究將一降雨時間序列中以時雨量大於 4mm 為本次降雨開始時刻，再以時雨量連續六小時均小於 4mm 為該雨場結束時刻，降雨開始時刻至降雨結束時刻為本次之降雨延時，定義為一次雨場。此方式亦為目前水土保持局分割雨場之方法，如下圖 3-1 所示。

本計畫採用之雨量站經雨場分割後結果，在 98 年至 108 年雨量資料中屈尺雨量站共分割為 812 個雨型組，桶後雨量站共分割為 804 個雨型組，高中雨量站共分割為 632 個雨型組，御油山雨量站共分割為 808 個雨型組，梅山雨量站共分割為 605 個雨型組，神木村雨量站共分割為 756 個雨型組，

豐丘雨量站共分割為 577 個雨型組，民生雨量站共分割為 543 個雨型組，表湖雨量站共分割為 513 個雨型組，新發雨量站共分割為 678 個雨型組，上德文雨量站共分割為 692 個雨型組以及瑪家雨量站共分割為 565 個雨型組。

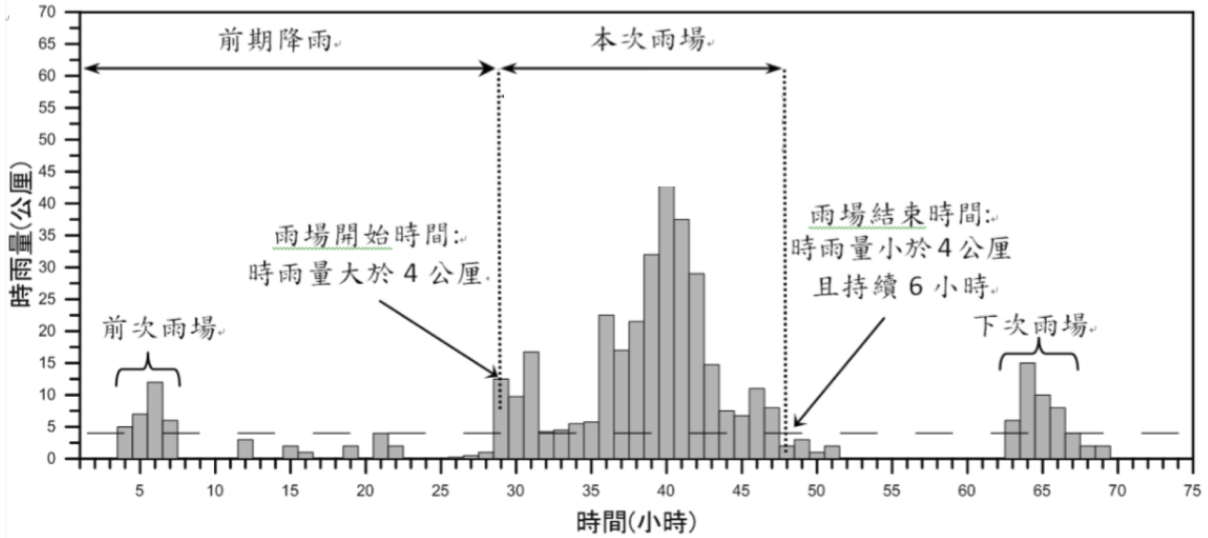


圖 3-1 本計畫採用之雨場分割方法示意圖

資料來源：李明熹（2006）

二、雨量資料處理方法

本計畫團隊所使用之降雨資料包含長期降雨指標(有效累積雨量)及短期降雨指標(時雨量, 降雨強度), 並透過雨場分割之方式, 求取各雨場之最大小時降雨強度與其對應總有效累積降雨(I_l, R_{te}), 定義如下表 3-2 所示, 其資料處理方法說明如下。

表 3-2 I_l-R_{te} 之降雨因子定義

降雨因子名稱	代號	定義
最大小時降雨強度	I_l	本次降雨開始時刻後之最大小時降雨強度
對應 I_{max} 之總有效累積降雨	R_{te}	本次降雨開始時刻前七天的加權降雨量(註 1)與開始時刻至最大小時降雨強度前一時刻之累積雨量之和

註 1: 加權雨量係前七天降雨量每日折減 0.7, 即每日(每 24 小時之總和)折減; 例如前 3 日之降雨應折減權重為 0.7^3 , 前 2 日之降雨應折減權重為 0.7^2 。

(一) 時雨量

本研究之降雨指標之一為降雨強度, 一般而言均採用時雨量代表降雨強度, 本研究將其定義為 (I), 本研究之時雨量資料為向水土保持局申請, 取自土石流防災應變系統介接中央氣象局之時雨量資料, 其資料單位為公釐 (mm)。

(二) 有效累積雨量

根據前人研究, 除了崩塌發生時刻的短歷時直接激發雨量外, 本次降雨開始時刻前七天的加權降雨量與開始時刻至最大小時降雨強度前一時刻之累積雨量之和, 是本次降雨事件中對崩塌發生有直接貢獻之長期降雨指標, 其降雨量稱為本次前段降雨累積雨量。本次降雨開始時刻之前的降雨(本次降雨的前期降雨), 會影響土體的含水程度, 而土壤中含水量的多寡有助於土體的滲透速率, 產生較高的孔隙水壓, 降低土體的抗剪強度。因此, 如果沒有足夠的前期降雨量就不會發生崩塌。由此可知, 前期降雨對崩塌的發生也有相當程度的影響, 而且越接近本次降雨事件的前期降雨,

對激發本次崩塌所需的降雨強度影響越大。反之，越遠離本次降雨事件的前期降雨對激發本次崩塌所需的降雨強度影響越小。而大多數的研究者會以一衰減係數 α 乘上土石流發生時刻前 7 日至 20 日不等之日降雨量，累加後代表影響此場崩塌發生的前期降雨。

水土保持局以有效累積雨量作為發佈土石流警戒之依據，本研究亦以水土保持局之有效累積雨量計算方式進行計算，而非單一雨場之累積雨量，標註為 (R_t) ，有效累積雨量其公式如下：

$$R_t = \sum_{i=0}^7 \alpha^i R_{t_i} \quad (3-1)$$

其中， R_0 為該時刻之前 0-24 小時之累積雨量， R_1 為該時刻之前 25-48 小時之累積雨量，其餘以此類推， α 為加權係數 $\alpha=0.7$ ，本研究之有效累計雨量係根據前述取得之時雨量資料依據 (3-1) 式進行計算。

(三) 降雨資料標準化

本研究將各雨場之降雨強度(最大小時降雨強度(I_{max} :mm/hr)與有效累積降雨在一個二維坐標軸上展現，而由於時雨量與有效累積降雨之數值範圍差異頗大，時雨量資料範圍在 0mm 到 80mm 之間，有效累積降雨資料範圍在 0mm 到 2,200mm 之間，如直接使用資料進行分析會造成有效累積降雨之影響遠大於時雨量，失去雙因子分析之意義，為避免此狀況發生應進行資料標準化 (Normalization)。然而，一般的資料標準化需計算整個雨場之時雨量及有效累積降雨個別之平均數及標準差，亦即需雨場結束後才能進行分析，而本研究建立崩塌預警臨界線之意義在於能在應變期間雨場尚未結束前能作為預警之用。因此，一般的資料標準化不適用於本研究。本研究為解決此問題，將時雨量及有效累積降雨取自然對數後之數值作為降雨指標。

常用對數 (以 10 為底) 主要是用於日常生活、工程、乘除、乘方和開方的計算，對數的好處是可以把數字縮小，也可以把比較複雜的乘法、除

法變成比較簡單的加法、減法。自然對數 (Natural Logarithm) 主要是用於數學 (例如微積分)、自然科學和生物學的計算。

自然對數是以 e 為底數 (e 等於 $2.71828\dots$) 的對數函數，自然對數的一般表示方法為 $\ln x$ 或 $\log_e(x)$ ，其函數圖像如圖 3- 2 (a)，其逆函數是指數函數 ex 。 $\ln(a)$ 正式定義為積分 (圖 3- 2 (b))。

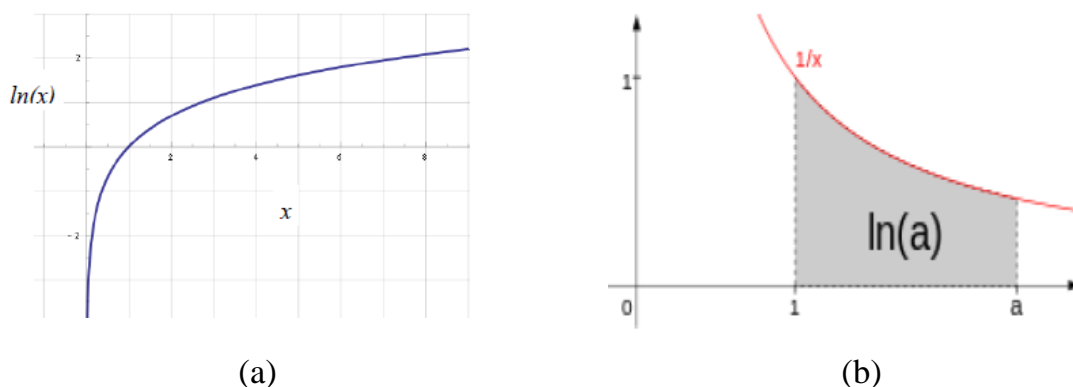


圖 3- 2 自然對數 $\ln(x)$ 的函數圖像

本研究將時雨量代入 (3-2) 式取自然對數後之原始數值定義為 ($\ln I_o$)，以及有效累積降雨取自然對數後之原始數值定義為 ($\ln Rt_o$)，可將雨量資料之定義域縮限於 0 到 10 之間。

$$\ln(a) = \int_1^a \frac{1}{x} dx \quad (3-2)$$

(四) 降雨資料分組方法

為簡化研究之複雜度，並利於後續建立聯合機率質量函數及聯合累積分布函數，本研究將前述產生之 $\ln Rt_o$ 及 $\ln I_o$ 原始數據進行分組，將資料的定義域設定為 0 至 10 之間，並以 0.1 為間距， $\ln R$ 設為 X 軸， $\ln I$ 設為 Y 軸，並將原始雨量資料中各組 ($\ln Rt_o, \ln I_o$) 資料利用 (3-3) 式計算並對應到距離最短之分組點，並以該分組點之數值代替原有之 $\ln Rt_o, \ln I_o$ ，並稱將分組後之成對 ($\ln Rt, \ln I$) 資料為「雨型組」。

$$dIRt_{ij} = \sqrt{(\ln Rt_0 - \ln Rt_i)^2 + (\ln I_0 - \ln I_j)^2} \quad i, j = 1 \text{ to } 2 \quad (3-3)$$

$$\text{MinIRt}_{ij} = \text{Min}\{dIRt_{ij}\}$$

當 dRt 最小時，將原數值更新為 $(\ln Rt_i, \ln I_j)$ 兩型組。為方便後續表述，本研究以大寫 LR, LI 代表對數化分組後有效累積及對數化分組後時雨量兩變數，以小寫 $(\ln R, \ln I)$ 代表數值。

三、聯合機率質量函數及聯合累積分布函數

時雨量及有效累積雨量資料分別取對數並分組後即轉換為成對的離散隨機變數，本研究稱之為兩型組，本研究主要針對十年間雨場之兩型組進行分析，求得各降雨型態（兩型組）之分布機率，因此需計算兩型組之聯合機率質量函數及聯合累積分布函數。

聯合機率質量函數 (Joint Probability Mass Function, jpmf) 為能直接描述兩個或多個離散隨機變數之共同特性之函數。讓 X 與 Y 為二維離散隨機變數 (在本研究即為 LR 與 LI 兩變數)，並假設其數值 (x_i, y_j) 為可數無窮多個 (在本研究即為 $(\ln Rt_i, \ln I_j)$)，即 $i, j = 1, 2, \dots$ ，且所對應的機率均不為零。則對所有的 i, j 而言， X 與 Y 的聯合機率質量函數定義為：

$$p_{xy}(x, y) = p(X = x \cap Y = y) \quad (3-4)$$

(2-4) 式只有在點 $(x_i, y_j), i, j = 1, 2, \dots$ 才有值，且等同於聯合機率 $P(X=x \cap Y=y)$ 。其他定義如下：

$$\begin{aligned} 0 < p_{XX}(x, y) &\leq 1 \\ \sum_i \sum_j p_{XY}(x_i, y_j) &= 1 \\ \sum_i p_{XY}(x_i, y) &= p_Y(y) \\ \sum_j p_{XY}(x, y_j) &= p_X(x) \end{aligned} \quad (3-5)$$

其中(3-5)式的最後兩個關係式，即 $p_Y(y)$ 與 $p_X(x)$ ，又稱為邊界機率質量

函數 (marginal probability mass function)。至此，可推得：

$$F_{XY}(x, y) = \sum_{i=1}^{i:x_i \leq x} \sum_{j=1}^{j:y_j \leq y} p_{XY}(x_i, y_j) \quad (3-6)$$

(3-6) 式即為聯合累積分布函數 (Joint Cumulative Distribution Function, JCDF)，聯合累積分布函數性質：

(一) 聯合累積分布函數皆為非負值

$$F_{XY}(x, y) \geq 0, \forall x \in R, y \in R$$

(二) 聯合累積分布函數的上限為 1

$$F_{XY}(x, y) \leq 1, \forall x \in R, y \in R$$

(三) 聯合累積分布函數為單調遞增函數

$$F_{XY}(x_1, y_1) \leq F_{XY}(x_2, y_2), \forall x_1 \leq x_2, y_1 \leq y_2$$

(四) 聯合累積分布函數為右連續函數

$$\lim_{x \rightarrow a^+} F(x, y) = F(a, y)$$

$$\lim_{x \rightarrow b^+} F(x, y) = F(x, b)$$

(五) 聯合累積分布函數的極限值為 1 或 0

$$\lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ y \rightarrow \infty}} F_{XY}(x, y) = F(\infty, \infty) = 1$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x, y) = F(-\infty, y) = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x, y) = F(x, -\infty) = 0$$

四、聯合機率質量函數及聯合累積分布函數

前述雙因子可建立三維空間聯合累積分布曲面，其三維空間圖形為從座標原點像右上方逐漸凹陷之曲線，X 軸為 $\ln Rt$ ，Y 軸為 $\ln I$ ，Z 軸為機率值，而定義某一機率值，可在曲面上找出與該機率值相同之點，進而繪出等高線 (等機率線)，其定義如下：

$$\{(\ln Rt, \ln I) | S_{LR, LI}(\ln Rt, \ln I) = k\} \quad (3-7)$$

其中 k 為在 $S(\ln Rt, \ln I)$ 值域中的數值。

從三維空間聯合累積分布曲面之等高線可映射到二維空間。每一條機率曲線本研究定義為此線上所對應之 $\ln I$ 以及 $\ln Rt$ 發生崩塌事件之機率。因此，映射到二維空間之機率曲線即可作為崩塌預警臨界曲線設定之基礎。

經上述建立雨量等機率曲線模式架構後，以下為各重點聚落之雨量等機率曲線建立成果。將各雨量站民國 97 至民國 107 年間之資料進行標準化等處理後，並基於全部歷史雨場之雨型組 $(\ln Rt_i, \ln I_j)$ 之聯合累積分布函數定義如下：

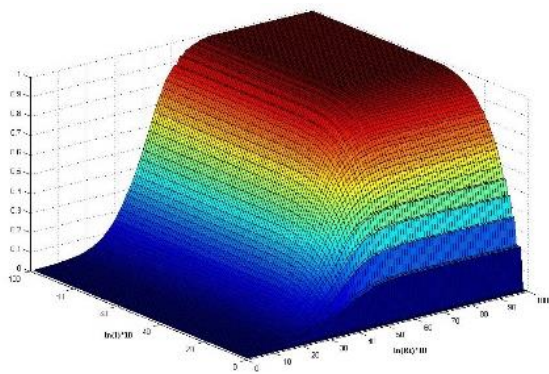
$$F_{\ln Rt, \ln I}(\ln Rt, \ln I) = \sum_{i=1}^{i: \ln Rt_i \leq \ln Rt} \sum_{j=1}^{j: \ln I_j \leq \ln I} p_{\ln Rt, \ln I}(\ln Rt_i, \ln I_j) \quad (3-8)$$

歷史雨場聯合累積分布函數分析成果實際上為 100×100 大小的矩陣。為方便運用，任一雨型組 $(\ln Rt_i, \ln I_j)$ 乘以 10 後對應到該矩陣之位置，即可求得對應的機率值，因此對於後續各雨量資料即可求得對應之雨量機率值。

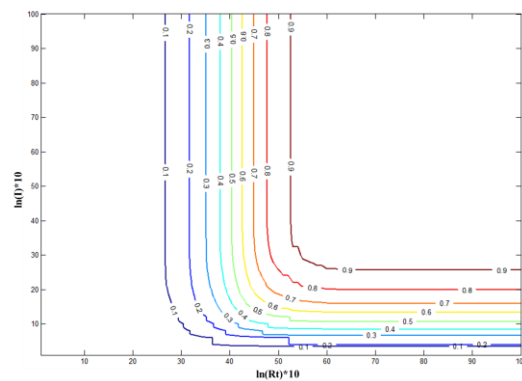
(3-8)式即為歷史雨場之聯合累積分布函數，本研究針基於 10 年雨量資料雨場之雨型組 $\ln Rt$ 與 $\ln I$ 聯合機率質量函數計算成果代入(3-8)式進行計算，建立 $F_{LR, LI}(\ln R, \ln I)$ ，透過各雨量站 10 年間雨量資料建立之三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖，並將其三維空間映射至二維空間，以建立各聚落鄰近雨量站之歷史雨場等機率曲線圖。

五、各雨量站 $I_1 - R_{te}$ 歷史雨量等比率曲線建立

本計劃針基於 10 年雨量資料雨場之雨型組 $\ln Rt$ 與 $\ln I$ 聯合機率質量函數計算成果代入(3-8)式進行計算，建立 $F_{LR, LI}(\ln R, \ln I)$ ，透過各雨量站 10 年間雨量資料建立之三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖，並將其三維空間映射至二維空間，以建立各聚落鄰近雨量站之歷史雨場 $(I_1 - R_{te})$ 等比率曲線圖，本計劃針對 18 處重點聚落管理單元最鄰近之雨量站繪製各歷史雨場 $(I_1 - R_{te})$ 等比率曲線圖如下所示：

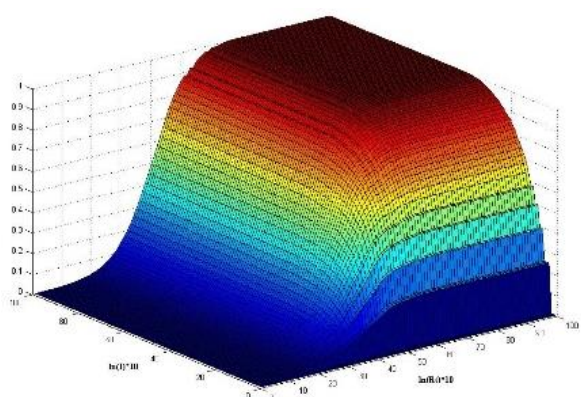


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

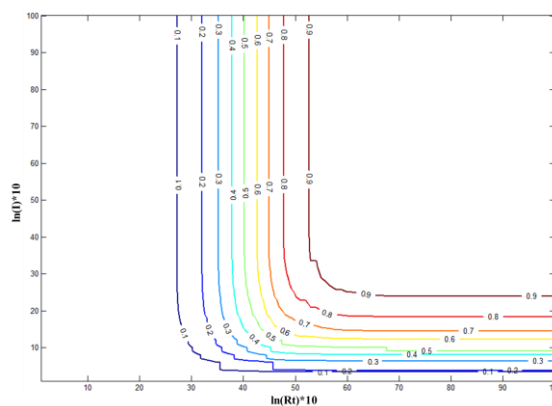


(b) 雨量等機率線

圖 3-3 屈尺雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

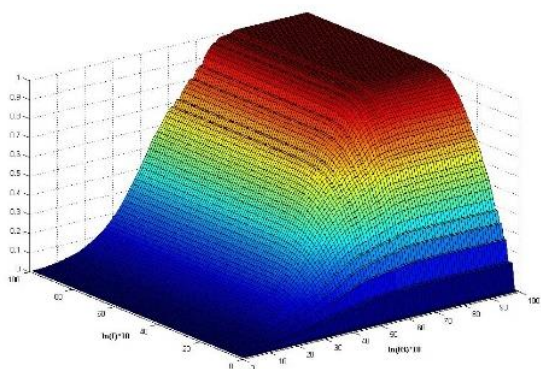


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

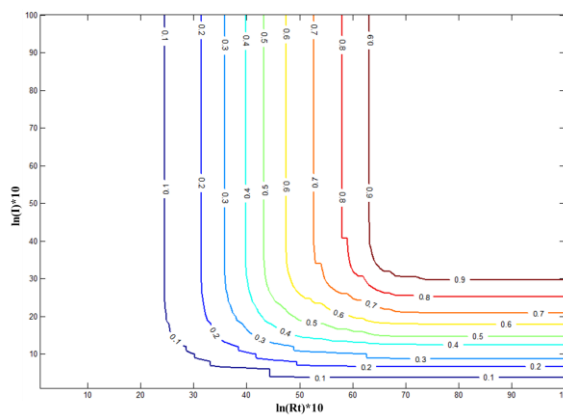


(b) 雨量等機率線

圖 3-4 桶後雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

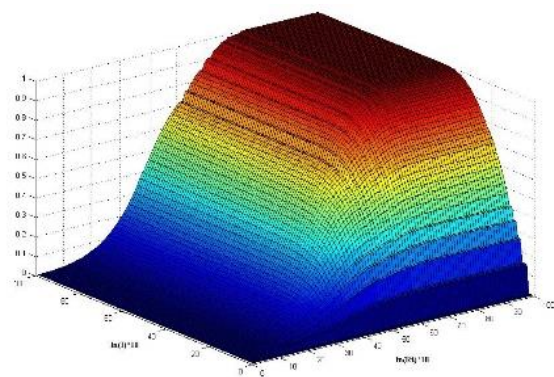


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

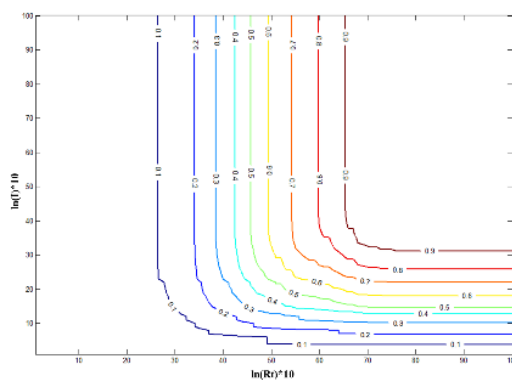


(b) 雨量等機率線

圖 3-5 高中雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

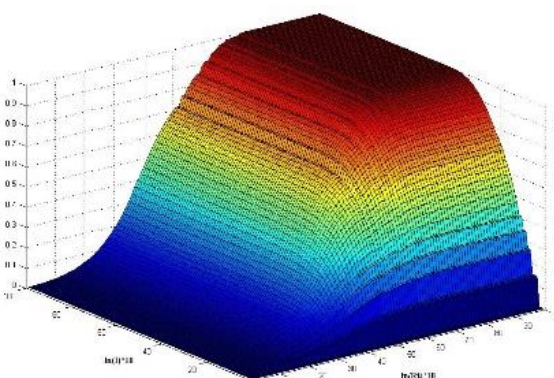


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

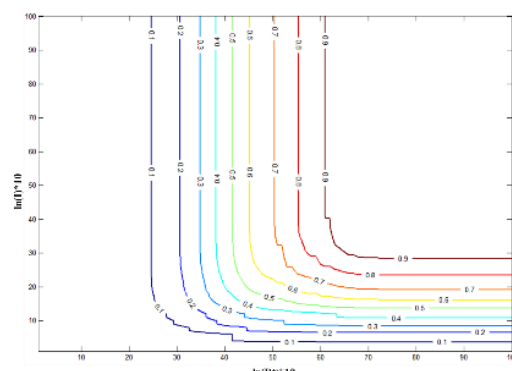


(b) 雨量等機率線

圖 3-6 御油山雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

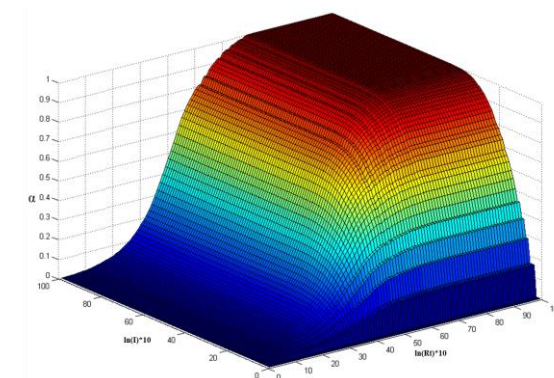


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

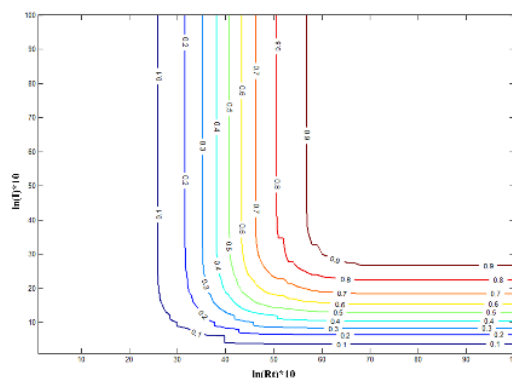


(b) 雨量等機率線

圖 3-7 梅山雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

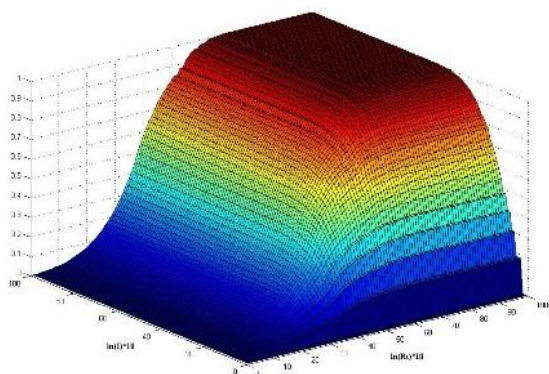


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

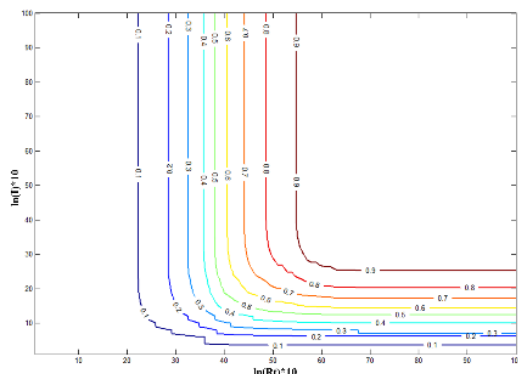


(b) 雨量等機率線

圖 3-8 神木村雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

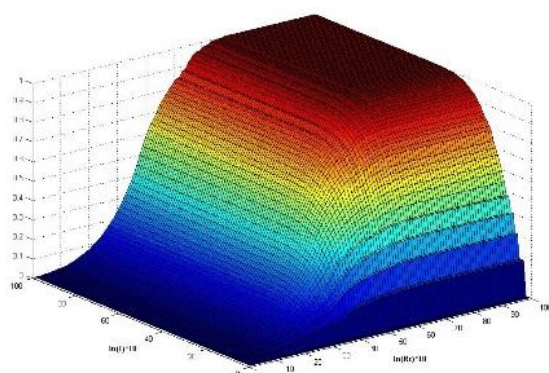


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

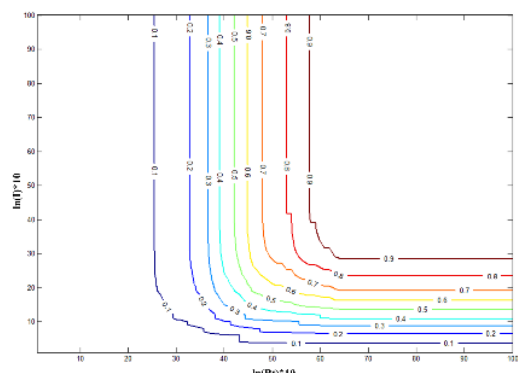


(b) 雨量等機率線

圖 3-9 豐丘雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

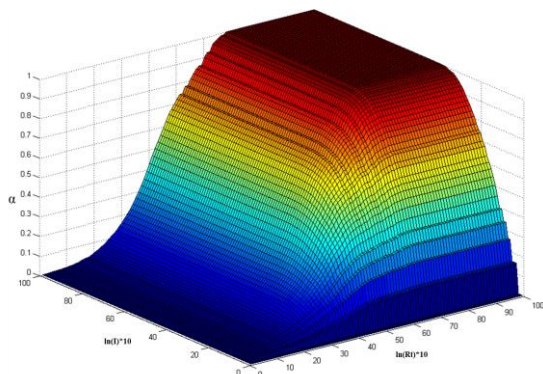


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

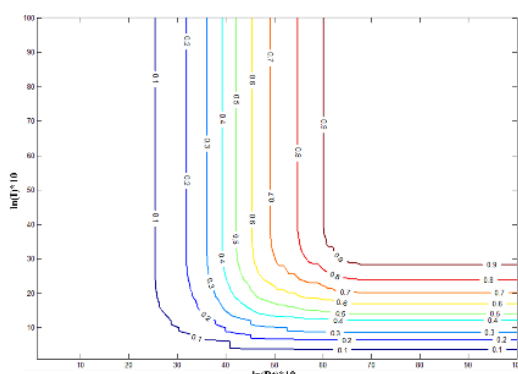


(b) 雨量等機率線

圖 3-10 那瑪夏國中雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

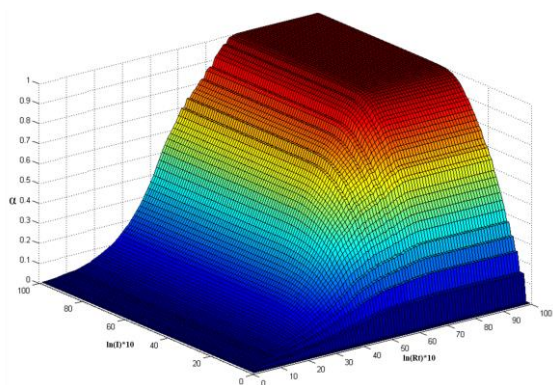


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

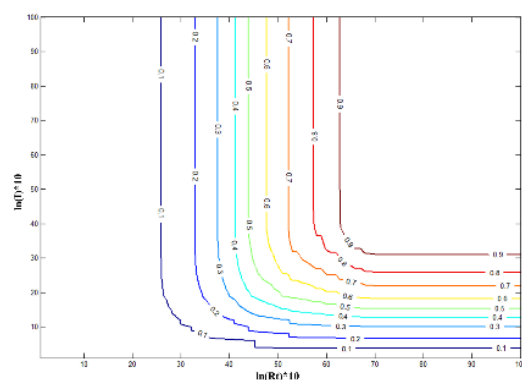


(b) 雨量等機率線

圖 3-11 達卡努瓦(民生)雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

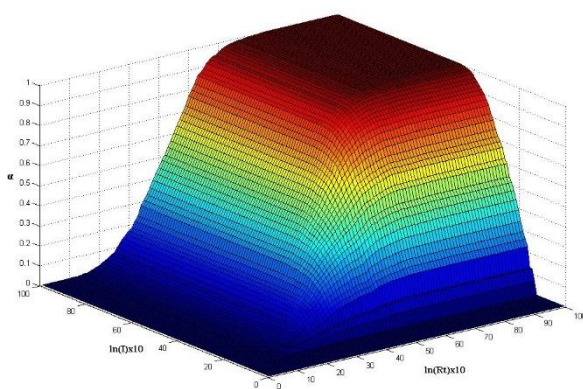


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

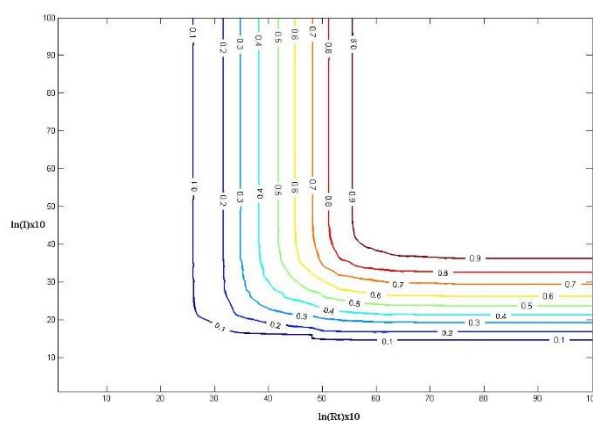


(b) 雨量等機率線

圖 3-12 新發雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

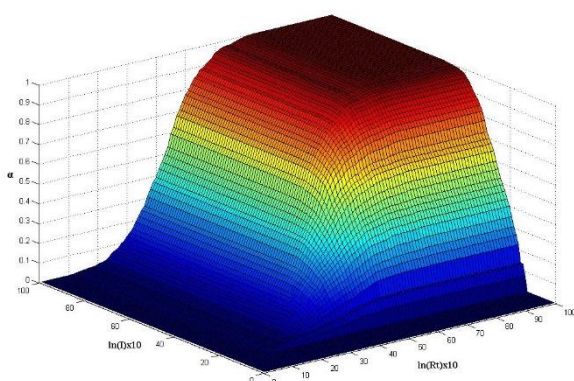


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

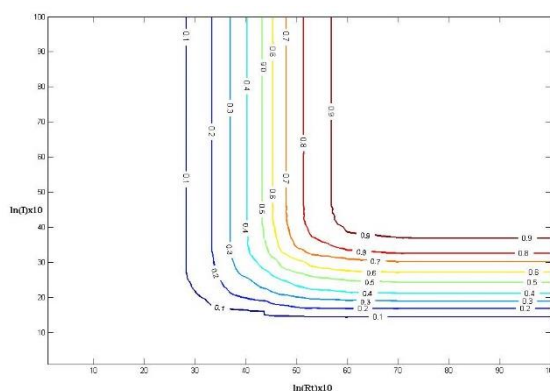


(b) 雨量等機率線

圖 3-13 上德文雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面



(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖



(b) 雨量等機率線

圖 3-14 瑪家雨量站歷史雨量($I_{max} - R_{te}$)等機率曲面

第二節 坡地崩塌潛勢評估模型建立

在進行坡地易損性分析中，必須要考量的另一特性即是坡地崩塌的幾何特性。對於網格崩塌資訊，目前已可藉由高精度衛星影像判釋得到，但此資訊未必完全符合地形特性，同時具有一定的不確定性。因此，本研究考量地形特徵單元與未來評估合理性期望引入坡面單元 (slope unit) 分析，坡面單元因具有符合地形特徵之特點，此特點利於進一步之分析及坡面評估，相較網格單元更可靠及合理可行。然而，網格法具有相同之幾何條件，利於資料分析並可消除空間幾何權重之影響。因此，本研究直接以坡面單元作為分析評估單元，並以網格式分析來消除樣本差異的影響，將可更有助於坡地崩塌警戒管理分析之應用。

在過去的計畫中，本團隊透過歷史資料依據機率密度函數做為函數進行擬合，以此經驗法來得到一條可描述之坡地崩塌可能性曲線，而其假定崩塌發生之現象會符合對數常態分佈(Lognormal Distribution)之假說，透過最大似然性函數的計算(危害事件機率的平均值與標準差兩個參數)，進而套配出所謂的崩塌易損性曲線(Hsieh et al. 2013; Lei et al., 2014)，在歷史資料量不足或雨量資料涵蓋量不足的形況下，可能產生局部最佳解而非全域最佳解，另外一方面，這樣模式的樣本採樣，又受限於事件規模的稀少性與昂貴性，導致無法針對研究區進行二十至三十年所有崩塌災害事件的事件目錄建置，這又會導致分析出來的模式有其限用性。

然而，類神經網路是近年來最受矚目的人工智慧模型之一，只要給予類神經網路系統輸入及輸出，他們即能調整自身的參數，模擬出該系統的狀況，並以最有效率的方式解決。這是因為類神經網路具有下述的優點：(1)使用者不需要對於系統有通盤的瞭解，僅需要將設定好的輸入及輸出交給目標的類神經網路，該網路就能夠成功的去模擬這個系統。(2)類神經網路本身所需的參數量非常少，這點相較於傳統使用迴歸分析或是數學分析所獲得

的模擬模型而言是非常有利的，因為低參數量代表我們不用耗費太多的資源來儲存這些參數，而在進行模型建立時，其效能也較多參數量的方法高，這點對模擬龐大的環境來說特別有用，例如本計畫案所要模擬的山坡地崩塌情況。因此本計劃會使用類神經網路的相關概念來完成目標系統的建置，而模型框架設計中將包含一個基礎模型，以及用來微調基礎模型的多個外掛式參數，而每一種坡面單元都有一組類神經網路來進行模擬，其意涵則表示影響本次崩塌事件的因果關係，並可檢討地面環境對於降雨的承受能力(易損性)對於崩塌之敏感性，進而修正縮減模式所參考之因子屬性，此處我們稱這些類神經網路為基礎模型，並可用來模擬大範圍山坡地的基礎情況，進而以降雨對地面環境的影響性(危害度)之降雨因子(I_{max} , R_{te})做為模型輸入變數，將歷史雨量資料與判釋崩塌結果為目標，放入類神經網路進行訓練，並建立類神經網路坡地崩塌潛勢評估模型。

一、類神經網路模型基礎架構

神經網路即是仿造人腦或生物的思考系統，藉由神經元連結輸入資料與變數，再配合迭代運算與更新權重，取得輸出資訊。現今神經網路模式很多，葉怡成(2009)將其概分為監督式學習(supervised learning)、非監督式學習(unsupervised learning)、聯想式學習(associate learning)與最佳化應用(optimization application)等四種。監督式學習就是事先定義已知的樣本及類別，經由學習(或稱訓練)過程，將未知樣本歸置對應類別。非監督式學習則是根據資料的相近程度分群，但同群僅代表相似度高，並無實際意義，還需使用者給予明確定義。聯想式學習依賴歷史資料的學習記憶，推論資料不完整的新案例。最佳化應用是針對特定目標和限制，使解算成果達最佳狀態，如設計最短路徑或都市規劃等問題。由於本研究旨在運用空間資料與歷史崩塌範圍萃取坡地崩塌知識，因此採用監督式學習，並嘗試聯想式學習及最佳化應用降低不確定性影響，希冀建立較具代表性的預測模型。

而類神經是由多個人工神經元與其連結而成，並且可組成各種網路模式，神經網路中基本單位為「神經元」，神經元組合而成「層」，層組合成「網路」，其中層的原件有輸入層、隱藏層、輸出層，輸入層接受輸入訊息，其處理單元依照問題而定，隱藏層在於輸入與輸出層間傳遞訊息，可以有一層或多層，隨著問題而有著不同的層數，其中隱藏層之節點數目不定，輸出層在神經元傳遞訊息、分析、權衡後，形成輸出結果，其最後輸出節點依問題決定。

在本次模式建立中，除了基礎的環境潛勢因子資料庫做為模式之變數外，本研究將探索各坡面單元中歷年的最大事件降雨擾動，以及其崩塌頻率與崩塌變異與當年度之降雨誘發造成之崩塌間之關聯性分析，因此在模式建立之資料庫上，將串聯環境潛勢因子資料庫以及歷五年間之降雨以及崩塌特徵時序資料，作為模式建立之輸入變數，而我們所使用的資料集欄位如下表 3- 3 所示，其中可以看出，在本資料集中，我們可將分為因素分為兩大種類，分別為環境因子及事件因子，環境因子代表的是該坡面之環境相關因素，包含其地質分類、坡度、距離河道遠近及植生，但由表中我們可以看出，前 19 項變數者皆為靜態環境因子，而植生則是動態環境因子，其本身會受到當年之氣候、環境等影響，而會有不同的數值，屬於變動性較大之時間序列資訊，因此其屬於動態環境因子。而前期降雨擾動因子以及當年度降雨誘發因子，則是代表該欄位是由過去五年所造成之相關降雨以及崩塌變異數值，如 93 年度與 94 年度間至 97 年度與 98 年度間之各年度颱風豪雨之最大降雨數值以及崩塌變異特徵等，其數值表示代表的是各年度中颱風豪雨事件間之最大時雨量及其對應之累積雨量以及各類崩塌變異類型之面積以及比例，最後以當年度之最大事件時雨量以及對應之累積雨量進行崩塌之潛勢預測，根據上述之崩塌時序特徵資料庫之串連與建立，本研究共建立 8 組之資料庫，其各組資料庫之年度時序索引如下所圖 3- 15 示。

表 3-3 本計畫模型訓練資料集欄位說明

編號	名稱	因素分類
G	地質	靜態環境因子
Soiltype	土壤類別	靜態環境因子
H	高程	靜態環境因子
Slope	坡度	靜態環境因子
Aspect	坡向	靜態環境因子
curvature	曲率	靜態環境因子
c_section	剖面曲率	靜態環境因子
c_surface	平面曲率	靜態環境因子
sos	坡向變率	靜態環境因子
soa	坡度變率	靜態環境因子
elev_var	地表起伏度	靜態環境因子
cut_depth	地表切割深度	靜態環境因子
roughth	地表粗糙度	靜態環境因子
acc	匯流累積量	靜態環境因子
flowLength	水流長度	靜態環境因子
upstream_L	上坡長度	靜態環境因子
downstream_L	下坡長度	靜態環境因子
River_d	河道遠近	靜態環境因子
E_d	斷層遠近	靜態環境因子
N	植生	動態環境因子
y1_imax	前五年度間事件最大時雨量	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_R(imax)	前五年度間事件最大時雨量對應累積雨量	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code1_area	前五年度間崩塌復育面積	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code1_rati	前五年度間崩塌復育面積比例	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code2_area	前五年度間舊有崩塌地面積	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code2_rati	前五年度間舊有崩塌地面積比例	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code3_area	前五年度間舊有崩塌地擴大面積	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code3_rati	前五年度間舊有崩塌地擴大比例	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code4_area	前五年度間新生崩塌地面積	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code4_rati	前五年度間新生崩塌地面積比例	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code5_area	前五年度間崩塌復育面積	動態環境因子(Y1-Y5)
y1_code5_rati	前五年度間崩塌復育面積比例	動態環境因子(Y1-Y5)
Y6_add3+4_area	當年度新增崩塌地面積	動態事件因子(Y6)
Y6_add3+4_rati	當年度新增崩塌地比例	動態事件因子(Y6)
Y6_add3+4	當年度有崩(1)/未崩(0)	動態事件因子(Y6)

Imax	當年度事件最大時雨量	動態事件因子(Y6)
Rte	當年度事件最大時雨量對應累積雨量	動態事件因子(Y6)

鑒於本次研究計畫所使用之資料因素分類，在本次研究計畫中，我們針對淺層崩塌之關聯資料設計適應其之模型，其模型簡易結構圖如下圖 3-15，從圖中可以看出，本計畫將兩個模型進行串接，分別為環境分類器以及預測崩塌模型，首先第一個模型，也就是環境分類器，我們的設計主要目的在於，想要針對靜態因子先進行一次簡易的分類，其最後一層輸出為 12 即為分類成為 12 群的意思。而第二個模型，則是再輔以動態時序因子，最終以其分類結果及動態因子進行崩塌預測模型的建置及訓練，而在崩塌潛勢評估模型之建置中，我們將下圖之資料庫 1 以及資料庫 7 進行合併，並根據各資料庫之目標年度之崩塌以及非崩塌數量比例進行樣本平衡抽樣以進行後續之模型訓練驗證，並以資料庫 8 最為模式建立後之整體評估驗證。

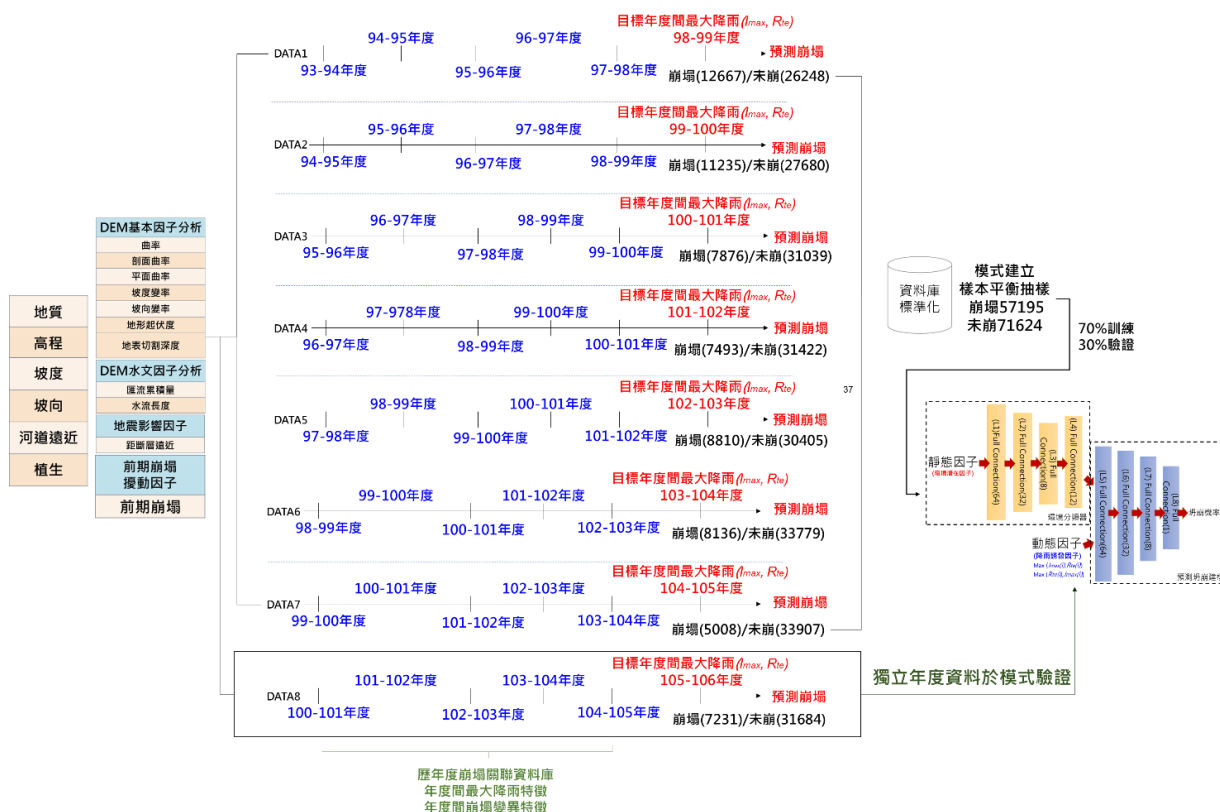


圖 3-15 本計畫訓練模型簡易架構圖

二、數據前處理

而在進行模型建立之前，為減少輸入特徵間之差異過大導致結果無法收斂，故須將輸入資料及目標值進行正規化(Data Normalization)處理，同時亦可加快模型之收斂，使輸入特徵皆於 0 至 1 之間，其正規化公式如下(3-9)所示：

$$Data = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3-9)$$

其中： $Data$ ：正規化後數據， X ：原始數據樣本， X_{max} ：原始數據樣本中最大值， X_{min} ：原始數據樣本中最小值。

三、坡地崩塌風險評估模型建立

本次計畫所用的模型(如上圖 3-15)，雖有八層，但其實本質都是全連結層，但不同的在於激活函數的挑選，而在本模型中，其中較特別的分別是分類器及建模的輸出層(即 L4 及 L8)，其中對於各層中，第 i 個神經元對應其第 j 個輸入資料，該神經元輸出我們可以寫作：

$$o_i = act(w_{ij} \times input_j + b_i). \quad (3-10)$$

其中 $input_j$ 為神經元之輸入， o_i 即為該神經神輸出， w_{ij} 、 b_j 則為其對應權重及神經元之偏移，而 act 則是激活函數。如同我們先前所述，在除了 L4 及 L8 之外，本計畫中所用之激活函數都為 $relu$ 函數，即為 $f(x) = \max(0, x)$ 。而 L4，即為分類器輸出，因此這部份我們改用 $softmax$ ，L8 則是 $sigmoid$ 。

四、坡地崩塌風險評估模型驗證

本研為明確表明人工智慧類神經網路基礎模型於坡地崩塌風險評估之預測能力，於模式建立之過程中，以抽樣 70% 做為訓練神經網路模型之數據，30% 做為測試訓練成果之數據，將前述之設定完成後，即開始進行訓練，

總資料樣本數為 101,711 筆，訓練資料樣本數為 71,363 筆，測試資料樣本數為數 30,348 筆。

本計畫根據模型建立時隨機抽樣 70%資料作為訓練樣本輸入並於達到完成網路的訓練後，以餘下的 30%資料進行驗證，來評估網路學習成果的效能以及神經網路輸出之預測準確率，其為在驗證之前總是希望能控制所有會影響誤判的因素，但造成坡面崩塌的因素非常複雜，且崩塌災害是屬於隨機發生的事件，因此本計畫將針對不同的崩塌因素組合進行模式之建立比較，詳表如下，分別討論過去僅用地文因子以及當年度之降雨驅動因子作為模式變數之輸入，以及地文因子加上前期擾動因子以及當年度之降雨驅動因子作為模式變數之輸入，以比較不同變數組合在模型表現上之成效，並將事件崩塌地可分為崩塌與非崩塌地，藉由坡地易損性分析亦可得到預測(評估)之崩塌與非崩塌地，而驗證可分為三種情形，包括正判、漏判、誤判，而準確率計算方式如下式：。

$$A: \text{未發生準確率} = \frac{\text{正判(未崩)}}{\text{正判(未崩)} + \text{誤判}}$$

$$B: \text{誤判率} = \frac{\text{漏判}}{\text{正判(未崩)} + \text{誤判}}$$

$$C: \text{漏判率} = \frac{\text{誤判}}{\text{正判(已崩)} + \text{漏判}}$$

$$D: \text{已發生準確率} = \frac{\text{正判(已崩)}}{\text{正判(已崩)} + \text{漏判}}$$

$$E: \text{總體準確率} = \frac{\text{正判(未崩)} + \text{正判(已崩)}}{\text{正判(未崩)} + \text{誤判} + \text{正判(已崩)} + \text{漏判}}$$

在完成建立基礎類神經坡地風險評估模型，並將坡面單元環境因子組成，並加入為崩塌潛勢評估分析模型之變數，進行訓練已取得全域環境下適用之模型，並投入兩種雨量參數，分別為各年度颱風豪雨雨場中之最大之

$I_{max}(i)$ 及其對應之 $R_{te}(i)$ ，而在僅投入地文潛勢因子以及當年度降雨驅動因子(I_{max}, R_{te})之模型建立中驗證樣本得到 68.19%之準確率，其中輸入降雨參數為(I_{max}, R_{te})之未發生準確率為 56.05%(誤判率為 0.44)，已發生準確率為 80.41%(漏判率為 0.20)，如下表 3-4 所示，而在此以發生準確率達到 80.41% 主要是樣本中部份樣本因抽樣平衡下，所產生部分重複樣本，因此在模式建立後，將資料庫 8 進行崩塌潛勢評估模式之獨立驗證，以取得實證範圍內合理的評估分布進行驗證，而資料庫 8 則是目標判釋年度為 105 年度至 106 年度，並同樣輸入地文潛勢因子以及當年度降雨驅動因子(I_{max}, R_{te})之模型建立中驗證樣本得到 67.89%之準確率，其中輸入降雨參數為(I_{max}, R_{te})之未發生準確率為 68.81%(誤判率為 0.31)，已發生準確率為 63.07%(漏判率為 0.37)，如下表 3-5，而 105 年度至 106 年度之崩塌判釋評估結果圖如下圖 3-16(a) 所示；另外將比較投入地文潛勢因子、歷五年之崩塌時序特徵資料庫以及當年度降雨驅動因子(I_{max}, R_{te}) 之模型建立中全區域樣本得到 79.96%之準確率，其中輸入降雨參數為(I_{max}, R_{te})之未發生準確率為 73.13%(誤判率為 0.27)，已發生準確率為 86.84%(漏判率為 0.14)，如下表 3-6 所示，而在資料庫 8 進行崩塌潛勢評估模式之獨立驗證中，並同樣輸入地文潛勢因子、歷五年之崩塌時序特徵資料庫以及當年度降雨驅動因子(I_{max}, R_{te})之模型建立中全區域樣本得到 85.76%之準確率，其中輸入降雨參數為(I_{max}, R_{te})之未發生準確率為 86.31%(誤判率為 0.14)，已發生準確率為 82.88%(漏判率為 0.17)，下表 3-7，而 105 年度至 106 年度之崩塌判釋評估結果圖如下圖 3-16(b) 所示，而根據兩種不同之變數模型組合之評估結果，其說明對於單一坡面單元於過去崩塌發生頻率以及變異狀況是有可能擾動坡面的結構進而影響該坡面發生崩塌的可能性。

表 3-4 地文潛勢因子以及當年度降雨驅動因子之模型驗證精度表

		分類結果		總計	生產者精度
		崩塌	未崩塌		
地真分類	崩塌	8534	6691	15225	56.25%
	未崩塌	296	12161	15123	80.41%
總計		11496	18852	30348	
使用者精度		74.23%	64.51%		68.19%

表 3-5 地文潛勢因子以及當年度降雨驅動因子之資料庫 8 評估精度表

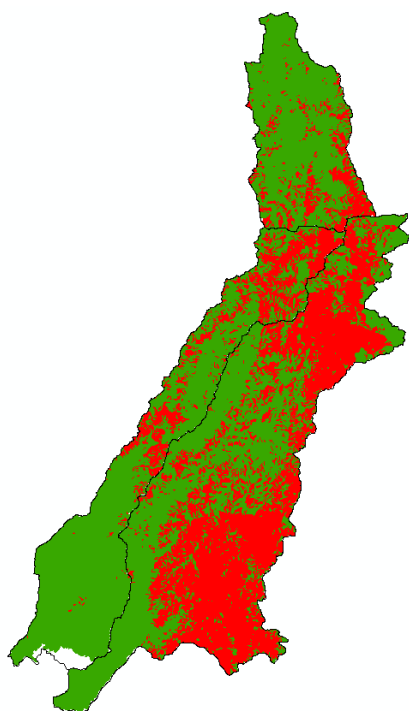
		分類結果		總計	生產者精度
		崩塌	未崩塌		
地真分類	崩塌	22519	10209	32728	68.81%
	未崩塌	2285	3902	6187	63.07%
總計		24804	14111	38915	
使用者精度		90.79%	27.65%		67.89%

表 3-6 地文潛勢因子、歷五年之崩塌時序特徵資料庫以及當年度降雨驅動因子之模型驗證精度表

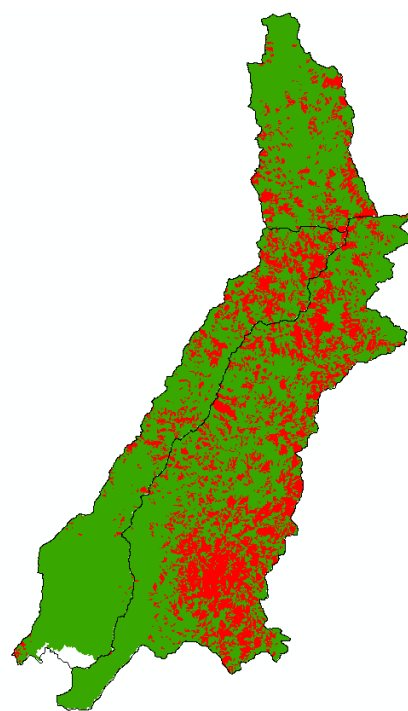
		分類結果		總計	生產者精度
		崩塌	未崩塌		
地真分類	崩塌	11134	4091	15225	73.13%
	未崩塌	1991	13133	15123	86.84%
總計		13124	17224	30348	
使用者精度		84.84%	76.25%		79.96%

表 3-7 地文潛勢因子、歷五年之崩塌時序特徵資料庫以及當年度降雨驅動因子之資料庫 8 評估精度表

		分類結果		總計	生產者精度
		崩塌	未崩塌		
地真分類	崩塌	28246	4482	32728	86.31%
	未崩塌	1059	5128	6187	82.88%
總計		29305	9610	38915	
使用者精度		96.39%	53.36%		85.76%



(a) 地文潛勢因子以及當年度降雨驅動因子模型評估結果



(b) 地文潛勢因子、歷五年之崩塌時序特徵資料庫以及當年度降雨驅動因子評估結果

圖 3-16 105-106 年度評估結果分布圖

第三節 重點聚落崩塌風險警戒機制模式

基本上坡地災害警戒範圍的訂定規劃內容不外乎掌握災害的時間範圍與空間範圍兩個方向，通常時間範圍的推求可說是警戒管理基準值訂定問題，也就是當降雨量在逐步增加到某種階段時，人們應當進行某種的處置作為；而空間範圍的推求就更為直接，也就是當雨量逐步增加到某一種階段時，何處是空間上的危險範圍，且在危險範圍內有多少人應當進行某些的處置作為，因此本節的核心目的則是如何建立重點聚落崩塌風險評估模式？而這個崩塌風險評估模式未來可供重點聚落警戒與預警之用。

所謂的災害風險就是指遭受損失的可能性，國內近年來亦嘗試把風險的概念導入災害或安全管理範疇中，林新皓(2006)以土石流潛勢溪流集水區中所產生之土砂量，計算土石流淹沒範圍，及土石流淹沒範圍內所造成的災害損失，進行風險值之評估，陳樹群、王价巨等(2006)提出以土石流危害度評估、易致災性分析及承受度評估等三部份作為土石流風險評估，以作為風險管理決策之參考。陳振宇(2007)亦提出風險管理於土石流減災工程效益評估之具體明確之作法，並提出於土石流疏散避難決策之應用。冀樹勇等(2008)亦將風險管理之理念導入天然災害之管理上，陳天健等(2009)亦嘗試將風險管理與風險分析之方法應用於坡地災害管理上。

過去的研究顯示藉由危害度分析結果與易損性分析結果的結合，可決定出風險值的高低，而一個風險估算可以設計成矩陣表的形式(施鴻志，2002)(如表 3-8)之形式。陳亮全等(2003)依據不同之地震危險潛勢、災感度與風險分布，透過風險-效益分析的方式，估計不同土地使用方案轉變，以及潛藏效益變動之風險。周士雄(2004)以權重值調整實證地區之土壤液化災害發生機率，及暴露於此災害機率下的社經傷害程度大小，運用多準則分析(MCDA)方法利用排序、評點與加權的方法得到完整的風險分數，提出具有各風險效益優勢的土地使用組合方案，並評估以民眾所能接受之風險減緩

措施後，決定不同之管理決策。

表 3-8 簡化的風險矩陣

易損性機率	危害程度		
	高	中	低
高	非常高風險	高風險	一般風險
中	高風險	一般風險	低風險
低	一般風險	低風險	非常低風險

資料來源:Brookes, A.,2001

因此本研究對於重點聚落崩塌風險警戒機制模式設計上，同樣也是採取建立所謂的風險矩陣的概念來建立崩塌風險評估模式，也就是所謂的**崩塌風險管理圖**(Landslide Risk Management Diagram, LRMD)的概念來建立崩塌警戒模式，經由前兩節所建立的各雨量站之崩塌降雨危害評估模型以及坡地崩塌潛勢評估模型後，而本節主要在建立重點聚落崩塌風險警戒機制評估指標上，並建立降雨危害評估以及坡地崩塌潛勢評估(如下圖 3- 17 所示)，並配合真實致災紀錄取得最小致災門檻臨界值，在此研究稱為**降雨危害度最小致災門檻值(H_c)**以及**坡地崩塌潛勢最小致災門檻值(F_c)**，就可繪製其一崩塌風險警戒機制圖，其中 X 軸所指的是降雨危害值(範圍從 0 到 1)，Y 軸所指的是**坡地崩塌潛勢機率值**(範圍從 0 到 1)，在這崩塌風險警戒機制圖中，透過降雨危害警戒曲線(HCL)及崩塌易損評估曲線(FCL)的劃定，其可分為安全、紅一警戒以及紅二警戒，關於警戒機制的發布流程與說明將於下一章節進行討論。

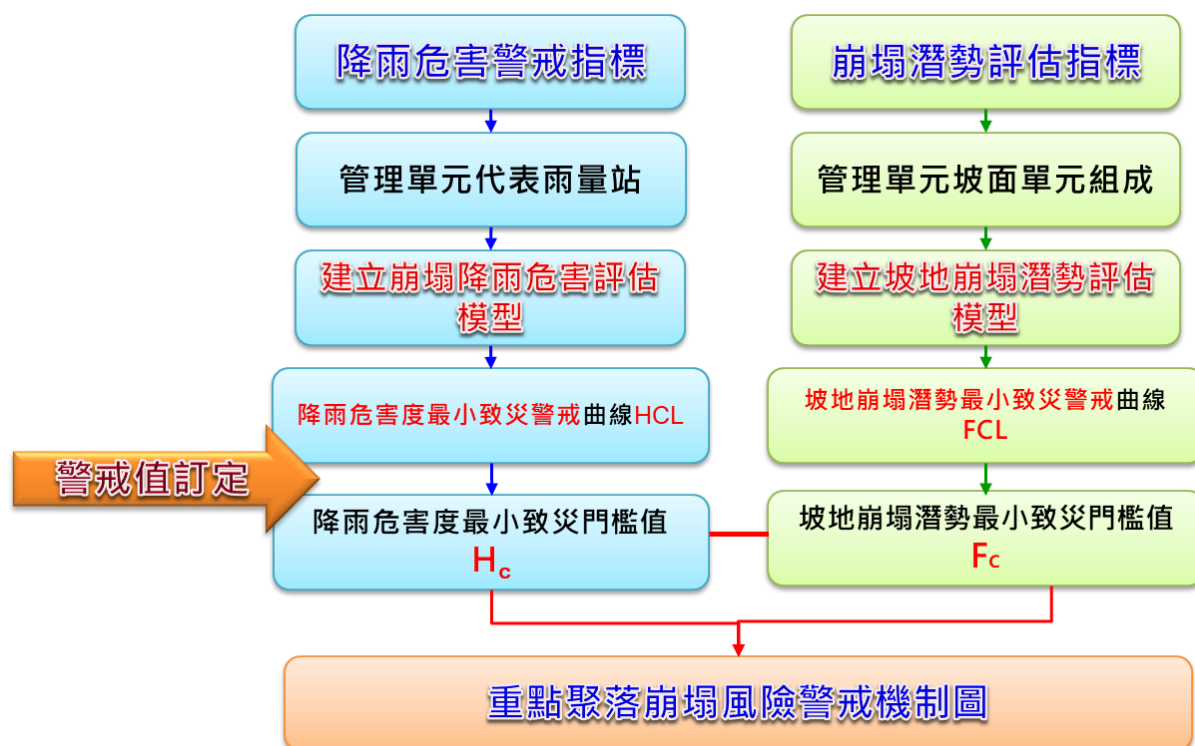


圖 3-17 坡地崩塌警戒模式評估指標建立流程

一、降雨危害及崩塌易損最小致災警戒線訂定

在界定各聚落所位在之村里降雨危害度最小致災門檻值(H_C)以及崩塌潛勢機率最小致災門檻值(F_C)，則採用位於該聚落之行政區界(鄉鎮界)速報資料，其提供著該重點聚落實際發生崩塌災害之時間點以及雨量資料，並利用速報資料繪製於歷史降雨比率曲線以及崩塌潛勢模型中，即可在圖面上點繪出最小致災門檻曲線，以訂定降雨危害警戒值(H_C)及崩塌潛勢警戒值(F_C)，以下圖 3-18 等比率曲線示意圖為例，其中將行政區內之速報資料(圖中藍點)繪製上去，以最小致災雨量之比率作為警戒曲線，即為警戒值等於 0.29 之曲線，如下圖 3-19，而當某一時刻之雨量資料對應到等比率曲線中，若其對應之比率值大於本計畫團隊所訂定之警戒值，則可即代表該時段之時雨量及有效累積雨量達到警戒狀態，其具有客觀評估不同聚落警戒曲線之差異，以及具一致性的行政區警戒值訂定的優點。

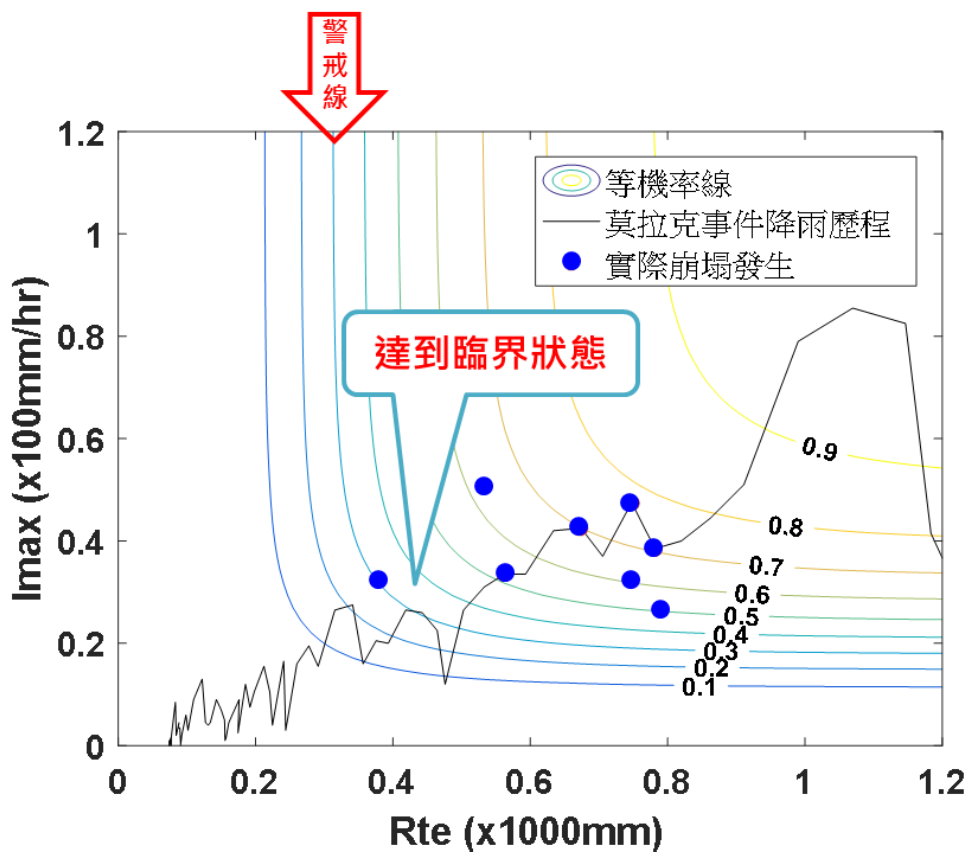


圖 3-18 警戒曲線訂定示意圖

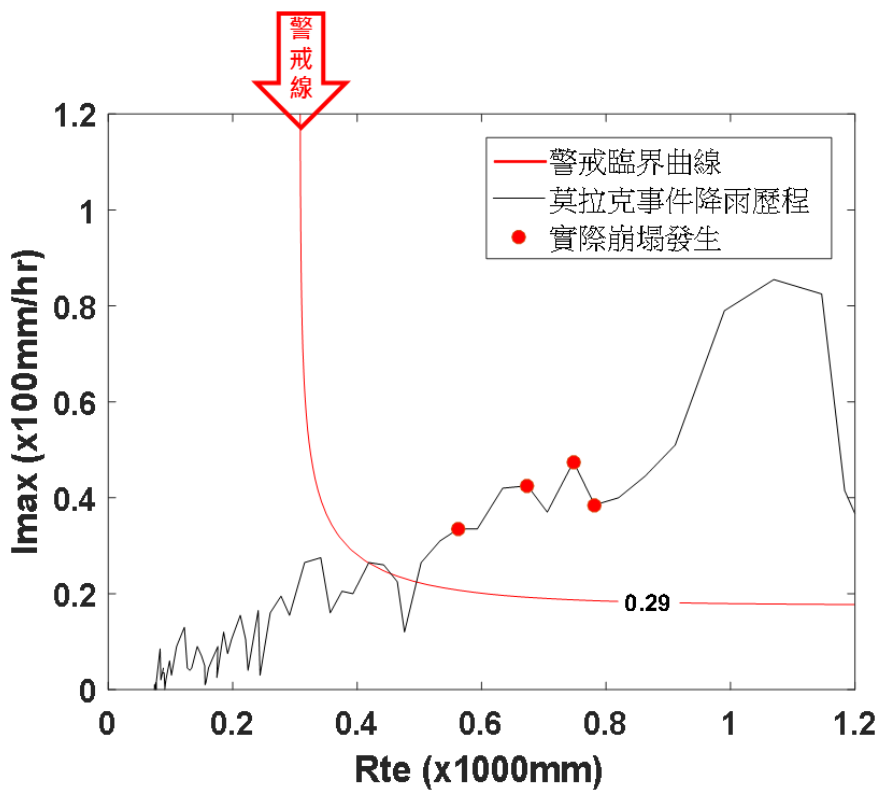


圖 3-19 警戒曲線訂定示意圖

根據上述對本團隊已針對計畫南部集水區之 17 處具崩塌潛勢重點聚落進行降雨危害度最小致災警戒值(H_C)以及崩塌潛勢最小致災警戒值(F_C)訂定，包含今年度計畫新增之高雄市六龜區中興里尾庄聚落以及雲林縣古坑鄉草嶺村之降雨危害度最小致災警戒值(H_C)以及崩塌潛勢機率最小致災警戒值(F_C)，並持續於各年度透過雨量資料庫的擴增更新以及現況植生更新，進而更新降雨危害度最小致災警戒值(H_C)以及崩塌潛勢機率最小致災警戒值(F_C)，如下表 3-9 所示，以後續應用於行政區警戒發布機制研析。

表 3-9 17 處南部集水區重點聚落村里崩塌與降雨警戒機率表(109 年度)

縣市	鄉(鎮、區)	村(里)	聚落	代表雨量站	min RH (mm)	警戒曲線(I1-Rte1)	
						H_C	F_C
南投縣	信義鄉	神木村	神木	神木村	320.5	0.82	0.46
		豐丘村	豐丘(信義)	豐丘	308	0.84	0.4
高雄市	桃源區	寶山里	新藤枝	御油山	555.6	0.81	0.61
			舊藤枝	御油山	555.6	0.81	0.39
			寶山	御油山	555.6	0.81	0.33
		梅山里	梅山口	梅山	601.8	0.95	0.64
	那瑪夏區	瑪雅里	瑪雅	表湖	445.9	0.92	0.69
		達卡努瓦里	達卡努瓦	民生	445.9	0.92	0.23
		南沙魯里	南沙魯	表湖	445.9	0.92	0.63
	甲仙區	東安里	白雲巷	新發	365	0.92	0.54
	六龜區	新發里	新發部落山邊	新發	308	0.87	0.42
		新發里	新開部落(26 鄰)	新發	308	0.87	0.58
		寶來里	竹林(16、17 鄰)	高中	595.9	0.81	0.49
		中興里	尾庄聚落	御油山	340.733	0.81	0.51
屏東縣	霧臺鄉	佳暮村	新佳暮部落	上德文	343	0.85	0.46
	瑪家鄉	瑪家村	瑪家聚落	瑪家	628	0.95	0.4
雲林縣	古坑鄉	草嶺村	摸時乳聚落	草嶺	311.62	0.82	0.50

二、崩塌風險警戒機制圖繪製

在前述訂定完本計畫試辦之 17 處重點聚落的降雨危害度最小致災警戒值(H_C)以及崩塌潛勢最小致災警戒值(F_C)，即可對各重點聚落繪製其崩塌風險警戒機制圖(如下圖 3- 20)，透過歷史降雨最小致災警戒曲線(H_{CL})及崩塌潛勢評估最小致災警戒曲線(F_{CL})分別劃定該崩塌風險警戒機制圖之 X 軸以及 Y 軸，當中的 X 軸所指的是降雨危害值(範圍從 0 到 1)，Y 軸所指的是崩塌潛勢機率值(範圍從 0 到 1)，並其可分為成四個次空間，是 H 低-F 低的範圍，乃屬安全性高的空間；而是 H 低-F 高的範圍以及 H 高-F 低的範圍，乃屬中高風險的空間，已存在崩塌風險的不確定性區域；而是 H 高-F 高的範圍，則屬於高風險的空間，當雨量紀錄累積至此，重點聚落則存在高度崩塌風險，應當要積極的進行預警或警戒作為。而當一降雨時段的雨量資訊(雨場開始至該時段間之最大降雨量以及有效累積雨量)分別於歷史降雨等比線曲線以及崩塌潛勢評估模型中之對應比率，並將其點(H_i, F_i)繪製於崩塌風險警戒機制圖，當該點碰觸到歷史降雨最小致災警戒曲線(H_{CL})則代表已達到高崩塌的情況，若降雨歷時點在延伸碰觸到崩塌易損度最小致災警戒曲線(F_{CL})，則應當積極進行疏散的狀態，並可細緻化的對坡面單元進行崩塌潛勢評估，可明確呈現高風險之坡面單元的位置，掌握何處發生崩塌的潛勢以及可能性較高，以進行相對應之警戒模式，更重要的一點則是不同的重點聚落則會存在不同的最小致災警戒值，這個概念融合了保全對象的暴露度精神在其中，因此透過上述的本研究完整的建立起崩塌風險評估模式。

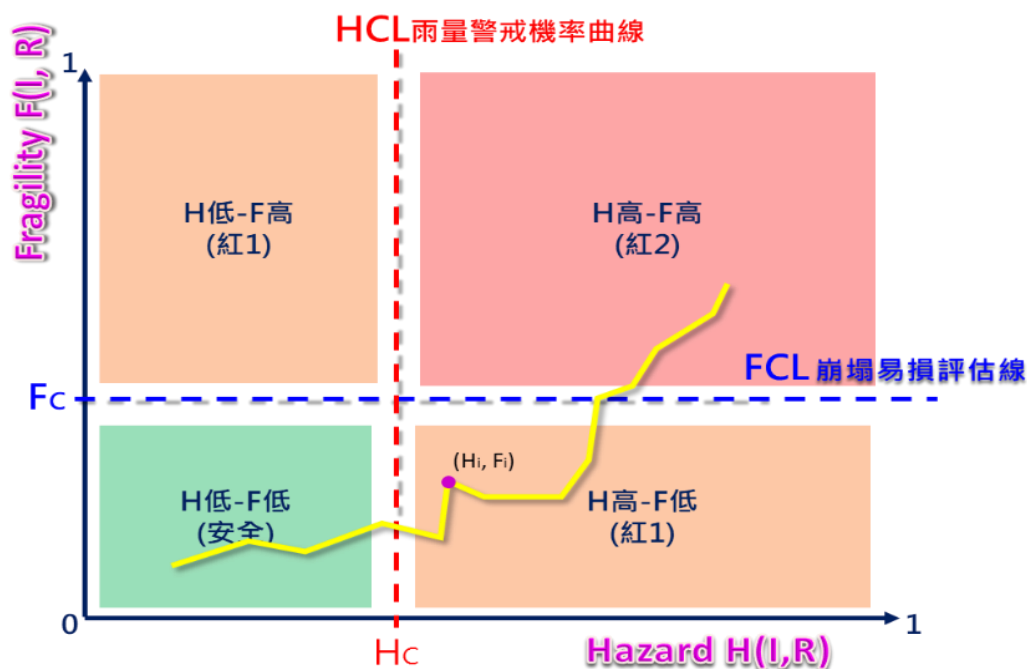


圖 3-20 崩塌風險警戒機制示意圖

更進一步來說，本模式的優勢在於過去國內外相關的研究多著重在危害度預警模式的建立，然如前述所討論之崩塌風險概念之內容，若是缺乏了與崩塌潛勢機率值合併表述的機會，將會增加崩塌機制掌握的不確定性，也會不易改善崩塌預報高度不確定性這項課題。因此透過上述一系列程序的探討，本研究所發展出來之崩塌風險警戒機制模式可針對不同重點聚落之各種時空與環境不同等因素，建立出屬於各重點聚落特性之崩塌風險管理圖以及崩塌風險警戒機制圖(Landslide Alert Map, LAM)，這項工作的建立將有助於細緻化我國崩塌防災工作的整備與預警能力，因為重點聚落將會存在不同的時空與環境特徵，而這種特徵的有效呈現是目前防災工作尚未達到的項目之一。

第四章 自主防災崩塌警戒發布管理流程設計

第一節 行政區/社區警戒發布機制研析

本項工作主要目的為研析崩塌及土石流之複合型土砂災害警戒之行政區發布機制以及社區自主警戒管理發布機制，並自本研究計畫範圍內選擇豐丘聚落模擬崩塌及土石流之複合型土砂災害警戒發布歷程。

依據前期計畫（106年及107年）計畫成果，崩塌警戒模式考量保全對象及管理單元大小，優先針對保全聚落定義警戒發布範圍，之後納入防災應變實務操作之需求，擴大警戒發布範圍，將聚落位置包含在村里等大小之行政區，改以行政區概念作為崩塌警戒發布範圍。本計畫以前期計畫成果，配合系統化崩塌風險評估流程，藉由警戒範圍內所包含之鄉鎮、村里、及保全聚落等的位置，視防災應變需求，逐一聚焦至不同尺度對象（縣市→鄉鎮→村里→社區），最終呈現出保全聚落的坡面單元分布，決定該保全聚落的崩塌雨量警戒值，作為發布警戒之判斷標準(如圖4-1)。前述的崩塌警戒值的訂定，係利用崩塌潛勢評估模式、坡面單元及保全聚落管理單元，訂定崩塌雨量警戒值，作為警戒發布標準。

前述(107年)的研究成果中，警戒發布對象為保全聚落管理單元，其行政區以村里為單位，針對具有高崩塌潛勢的聚落，訂定崩塌警戒值。本期計畫則進一步應用相同的警戒發布方式，擴大發布對象為以鄉(鎮、區)為基礎的行政區界範圍，做為崩塌警戒發布對象。如此能配合水保局目前土石流應變警戒發布至鄉(鎮、區)的做法，亦保留對重點保全聚落發布崩塌警戒的彈性，使崩塌警戒發布能因情況提供細緻資訊，供做情資研判。



圖 4-1 複合型土砂災害行政區警戒發布模式

本計畫所研擬之崩塌警戒發布機制，除以行政區為警戒發布範圍外，在發布條件及操作上，同時考慮土石流及崩塌二種坡地災害，引入複合型土砂災害的概念，以相同的警戒因子（例如雨量）作為警戒發布標準，訂定相同的警戒等級（例如紅黃警戒），使水保局在崩塌警戒操作上，與現行土石流警戒發布有相同模式，以利整合至現行防災應變體制內。

由於土石流及崩塌警戒都與雨量有關，且現行土石流防災警戒機制係以預報累積雨量為黃色警戒基準，實際累積雨量為紅色警戒基準，因此本計畫所擬行政區警戒發布機制將同樣以雨量做為發布參考，配合本計畫研究成果，利用 H 及 F 指標來判斷是否有達到崩塌警戒，並分別考慮土石流雨量警戒值及崩塌雨量警戒值，據以建議一致之警戒發布流程及機制。

一、 多尺度警戒發布流程如圖 4-2 所示，說明如下：

坡地崩塌及土石流聚落單元—決定行政區範圍以重點聚落所在村里為基礎，考量位在同一鄉（鎮、區）行政區內的崩塌警戒重點保全聚落，彙整為統一警戒發布對象，即以鄉（鎮、區）為警戒研判的基礎。

在應變過程中，崩塌警戒發布流程先以大尺度的縣、市範圍為判斷對象，一旦縣、市範圍內的各鄉、鎮、區有任何一處雨量達到崩塌警戒值，則會對

該縣、市發出警戒。若對崩塌警戒位置有進一步了解之需求，則可以聚焦至鄉、鎮、區尺度，以顯示達崩塌警戒所在之村里及聚落。本計畫研擬之崩塌警戒流程可細緻到聚落尺度，達到顯示各坡面單元之精細度，提供災害應變主管機關掌握崩塌風險資訊。

二、崩塌警戒發布條件—決定崩塌雨量警戒值

本計畫所訂定之崩塌雨量警戒值，訂定各別重點聚落的崩塌雨量警戒值，如圖 4- 2；其中崩塌最小致災警戒值考量 H 及 F 二種指標，此二種指標各別最小之 $\min H_c$ 以及 $\min F_c$ 來代表達到臨界狀況 (H_c 及 F_c)，完成鄉（鎮、區）警戒值訂定之後，再將行政區內所有重點保全聚落一起考量，亦即挑選行政區內，各重點聚落之崩塌降雨及崩塌警戒機率值中最小者為此行政區警戒值。

三、預警發布判斷機制—考量土石流警戒及崩塌警戒

警戒發布以雨量值為判斷依據，配合水保局現行土石流紅黃警戒的做法，分別以預報雨量值（黃色值）及實際雨量值（紅色警戒）來判斷該行政區是否有到達警戒發布標準。實務上的警戒流程中，由於土石流及崩塌二者的警戒值不同，在發布時間點上，預期會有先後之關係。本計畫以崩塌分析為主，因此以崩塌警戒為優先判斷，當達到崩塌警戒時，可列出該行政區土石流警戒發布的狀況（有無達土石流警戒），相互參考。

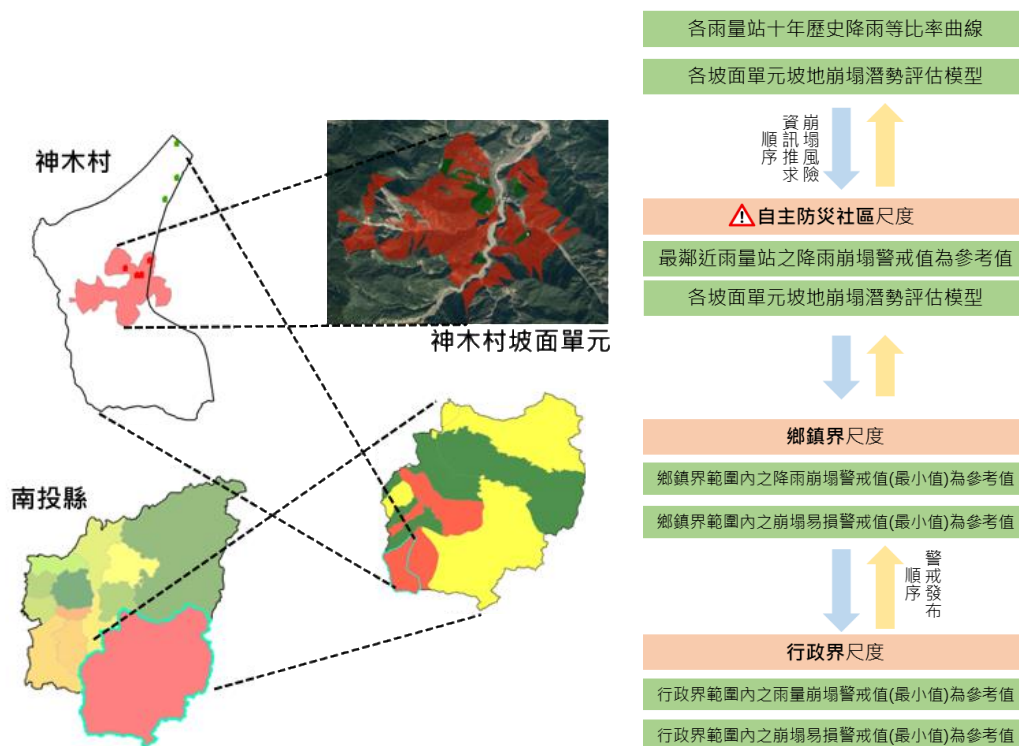


圖 4-2 自主防災崩塌風險行政區警戒發布模式

在崩塌警發布流程研擬中，本計畫利用雙參數易損曲線模式及降雨因子，同時考量 H 及 F 指標，其崩塌警戒發佈流程調整如圖 4-3。崩塌警戒發佈流程包含黃色、紅色及解除警戒 3 階段，說明如下。

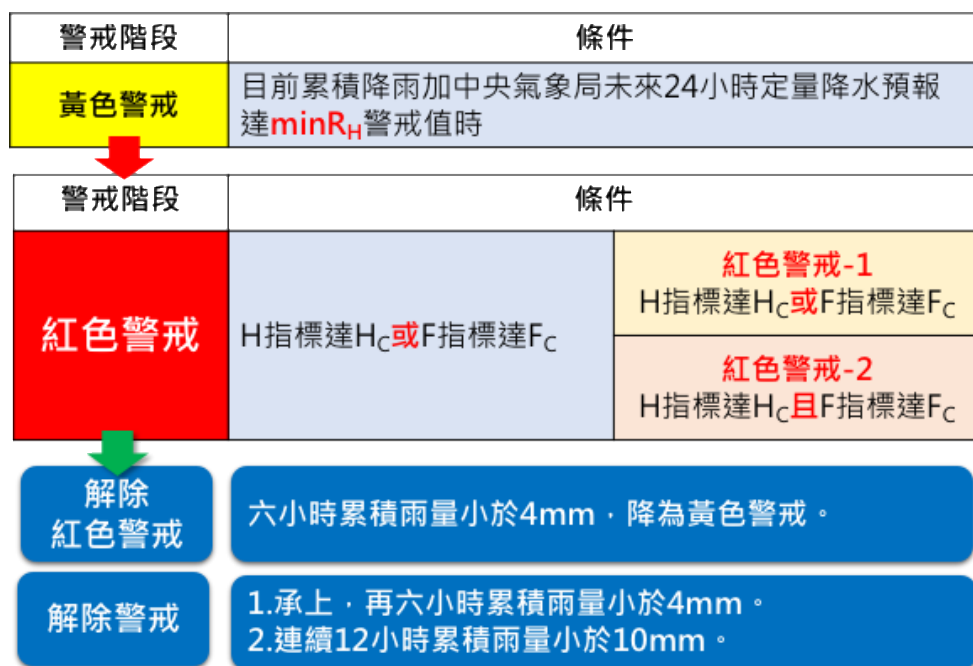


圖 4-3 崩塌警戒發佈流程 (考量 H 及 F 指標)

一、黃色警戒

目前累積降雨加上中央氣象局未來 24 小時定量降水預報達 $minR_H$ 時，而求取雨量警戒曲線(H_{CL})的最小累積降雨值，如下圖 4-4 所示，即 $minR_H$ ，此門檻值即可作為黃色警戒之依據。

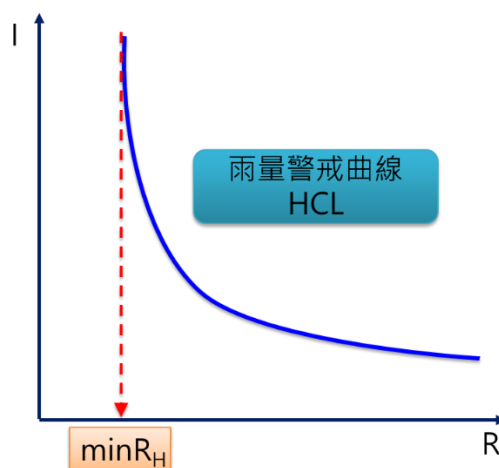


圖 4-4 最小累積降雨警戒值訂定示意圖

二、紅色警戒

紅色警戒判斷依據為 H 指標及 F 指標是否達到警戒值。若 H 指標或 F 指標其中一項達到警戒值，則發佈紅色警戒。而紅色警戒中，本計畫依據 H 指標或 F 指標是否同時達到警戒值，再細分為二個等級：紅色警戒 1 及紅色警戒 2，提供防災業務上之額外參考資料。若是達到 H 指標或 F 指標其中一項警戒值，則為紅色警戒 1；若二者皆達到警戒值，則定義紅色警戒 2。紅色警戒 1 及紅色警戒 2 有危險程度上的不同，紅色警戒 2 危險程度較高。

臺灣歷經多起重大天然災害，廣域防救災技術已達世界水準，然多數防災架構多以中央主管機關委託研發及應用，各類災害潛勢圖資、降雨預報及災害預警，僅能達到鄉鎮層級或村里層級，社區層級或邊坡層級等局部區域大比例尺的防災預警成果仍相當缺乏，致使地方政府難以聚焦於易致災。因此本計畫將建議社區自主防災需考量到社區管理層須優先接收到崩塌警戒之預警推播，若等到歷時雨量達到 H 指標或 F 指標，在進行防災應變決策

恐怕因災害規模已達依訂標準，而導致防災決策難以執行，因此本計畫建議針對 H 指標或 F 指標下修一個標準差，作為社區警戒推播之標準，而其標準後續可再依據實測過程以及防災需求進行調整，而下圖以豐丘聚落之標準為例，豐丘聚落在前章節訂定之 H_C 以及 F_C 分別為 0.84 與 0.40，而分別下修一個標準差為 H_C' 以及 F_C' 分別為 0.70 與 0.30，作為豐丘聚落之社區警戒推播之標準，並依照崩塌風險警戒機制圖之不同階段建議不同對象之接收警戒推播，以提高民眾之風險警戒意識，因此本案設計社區自主防災警戒推播流程規劃如下圖 4-5 所示，當災害規模($I_{max}(i), R_{te}(i)$)達一定標準觸碰到(F_C', H_C')即下圖 4-5 之黃色區塊則建議社區管理層級提前接收警戒推播，而當($I_{max}(i), R_{te}(i)$) 達一定標準觸碰到 F_C 或 H_C ，即下圖 4-5 之橘色(即紅 1)區塊則社區保全對象主動接收警戒推播，並建議當($I_{max}(i), R_{te}(i)$) 達一定標準觸碰到 F_C 且 H_C ，即下圖 4-5 之紅色(即紅 2)區塊則建議社區以完成全面性疏散，並以此為基礎以作為未來進行推播系統雛型之參考。

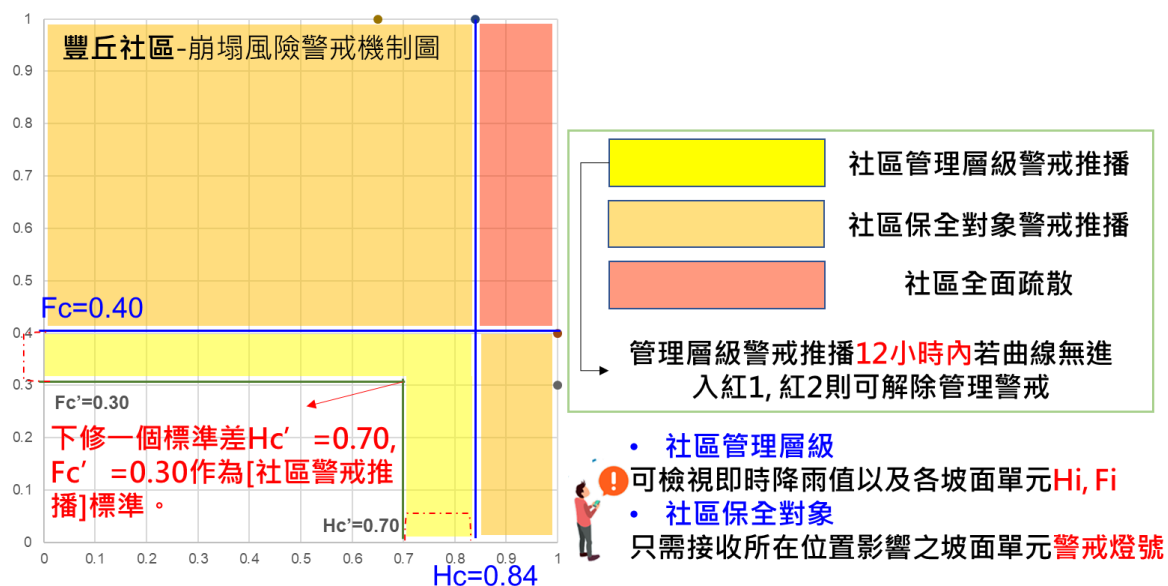


圖 4-5 自主防災警戒推播流程規劃

三、解除警戒

解除時機為雨場結束後，連續 12 小時內，時雨量都小於 4 mm 或累積雨量小於 10 mm 時，解除崩塌警戒。實際應用上會依應變中心解除時間來判斷，考量雨量對引發崩塌可能有時間延遲性，因此應變中心解除應變後，需要觀察一段時間(例如 12 小時)，再發佈解除崩塌警戒，本計畫內初步設定以 12 小時累積雨量小於 10 mm 為警戒解除依據，在試作案例結果中是可行的，考量崩塌發生的延遲特性，建議未來可以試行 24 小時或 48 小時的觀察期，用以評估崩塌警戒解除條件。

第二節 系統化崩塌警戒機制於自主防災評估

為能應用本計畫多尺度崩塌警戒發布機制，針對不同區域(行政區)空間尺度提出警戒流程，經前節說明，本計畫研擬之作法可行。為能利於未來在業務上合併崩塌警戒預報及土石流警戒預報，本計畫規劃並開發崩塌警戒展示模組，將多尺度崩塌警戒發布流程系統化，並試作擷取中央氣象局的雨量資訊，透過系統化(線上操作)的方式提供崩塌警戒分析結果，並將崩塌警戒資料提供給水保局防災應變系統，結合土石流防災資訊網來呈現颱風、豪雨事件時，土石流警戒及崩塌警戒的即時資訊，資料提供及交換流程概念如圖 4-6。

本計畫嘗試介接土石流防災應變系統(FEMA)雨量資訊於崩塌警戒展示模組中，已完成相關程式碼(圖 4-7)開發及試作介接，即時接收中央氣象局雨量資料。崩塌警戒展示模組為線上操作環境，可以 24 小時不間斷運作，未來當颱風、豪雨來襲時，可立即呈現各行政區崩塌紅黃警戒狀態。

為因應每年崩塌警戒機率值調整作業，崩塌警戒展示模組可輸入或整批資料匯入每個行政區的降雨危害度最小致災警戒值(H_C)及崩塌易損度最小致災警戒值(F_C)，於颱風、豪雨事件發生時，可透過中央氣象局雨量資訊

判斷該行政區是否達崩塌紅黃警戒，如圖 4- 8 所示，圖中以那魯灣聚落為例，可顯示聚落中每一塊邊坡單元是否達紅黃警戒的狀態，並提供崩塌警戒分析速報。

本計畫開發之崩塌警戒展示模組已完成以縣（市）、鄉（鎮、區）為基礎的行政區界警戒發布範圍，圖 4- 9 所示為以烏來區為警戒發布範圍，雨量達到崩塌警戒值時，系統將呈現紅色表示該區達到紅色警戒，以提醒使用者及業管單位注意。



圖 4- 6 系統化流程圖

```

Search by name or XPath
<DataSet xmlns="http://tempuri.org/">
  <xs:schema xmlns="" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:msdata="urn:schemas-microsoft-com:xml-msdata" id="NewDataSet">
    <xs:element name="NewDataSet" msdata:IsDataSet="true" msdata:UseCurrentLocale="true">
      </xs:element>
    </xs:schema>
  </DataSet>
  <diffgr:diffgram xmlns:msdata="urn:schemas-microsoft-com:xml-msdata" xmlns:diffgr="urn:schemas-microsoft-com:xml-diffgram-v1">
    <NewDataSet xmlns="">
      <Table1 diffgr:id="Table11" msdata:rowOrder="0" diffgr:hasChanges="Inserted">
      <Table1 diffgr:id="Table12" msdata:rowOrder="1" diffgr:hasChanges="Inserted">
      <Table1 diffgr:id="Table13" msdata:rowOrder="2" diffgr:hasChanges="Inserted">
        <DEBRISNO> 桃市DF001 </DEBRISNO>
        <COUNTY> 桃園市 </COUNTY>
        <TOWN> 龜山區 </TOWN>
        <VILL> 免坑里 </VILL>
        <KML>
          <KML>
            121.378219268451,24.9842314201839,0 121.37797823983,24.9844438553354,0 121.377899531089,24.9845414795537,0
            121.377751336685,24.9847069982896,0 121.37753367645,24.9848727841423,0 121.37731874582,24.9850131193931,0
            121.377018670341,24.9852595417798,0 121.376944527119,24.9853275382338,0 121.376740423809,24.9854593383627,0
            121.376536681403,24.9857897798592,0 121.37640014478,24.9858678638643,0 121.376247182329,24.9860249968692,0
            121.376084952745,24.9861440486759,0 121.375844670883,24.9862996879885,0
          </KML>
          <lat> 24.9825726 </lat>
          <lon> 121.376678 </lon>
          <stationid_major> 1207 </stationid_major>
          <stationid_minor> 10244 </stationid_minor>
          <name> 山佳 </name>
          <County1> 新北市 </County1>
          <Town1> 樹林區 </Town1>
          <alert_value> 550 </alert_value>
          <RT> 3.37340474 </RT>
          <QPF6> 8.512551 </QPF6>
          <QPF12> 12.3774452 </QPF12>
          <QPF18> 13.3801937 </QPF18>
          <QPF24> 13.3801937 </QPF24>
          <QPFTime> 2017-11-08 14:00:00 </QPFTime>
          <QPF6Time> 2017-11-08 14:00:00-2017-11-08 20:00:00 </QPF6Time>
          <QPF12Time> 2017-11-08 20:00:00-2017-11-09 02:00:00 </QPF12Time>
          <QPF18Time> 2017-11-09 02:00:00-2017-11-09 08:00:00 </QPF18Time>
          <QPF24Time> 2017-11-09 08:00:00-2017-11-09 14:00:00 </QPF24Time>
        </Table1>
      </Table1 diffgr:id="Table14" msdata:rowOrder="3" diffgr:hasChanges="Inserted">
    </diffgram>
  </NewDataSet>

```

圖 4-7 崩塌警戒展示模組介接 FEMA 雨量資料

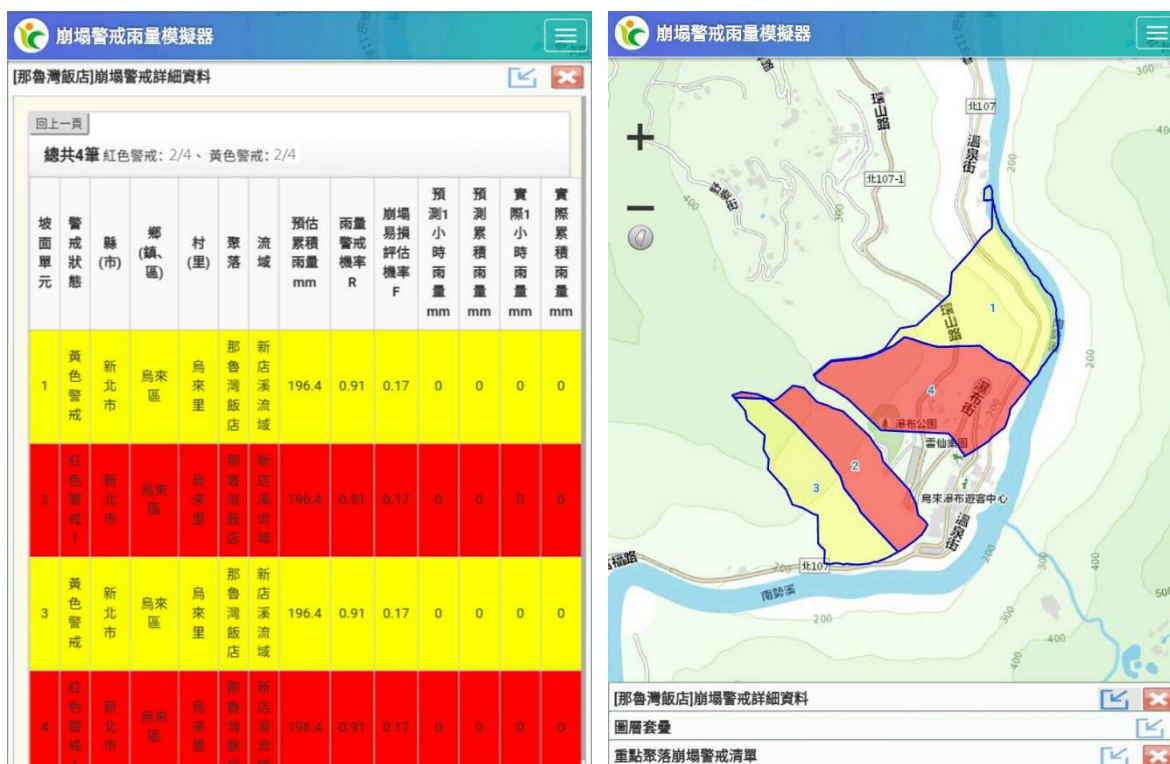


圖 4-8 崩塌紅黃警戒值及圖台展示

序號	縣(市)	鄉(鎮、區)	村(里)	聚落	警戒狀態	預測1小時雨量mm	詳細	地圖
1	新北市	新店區	廣興里	DF091	未達警戒	0		
2	新北市	新店區	廣興里	平廣路一段7號民宅	未達警戒	0		
3	新北市	萬里區	萬里里	翠峰海山莊	紅色警戒	0		
4	南投縣	信義鄉	神木村	神木	未達警戒	0		
5	南投縣	信義鄉	豐丘村	豐丘	未達警戒	0		
6	高雄市	桃源區	寶來里	竹林	未達警戒	0		
7	高雄市	桃源區	寶山里	新藤枝	未達警戒	0		
8	高雄市	桃源區	寶山里	舊藤枝	未達警戒	0		
9	高雄市	桃源區	寶山里	梅山口	未達警戒	0		
10	高雄市	桃源區	寶山里	寶山	未達警戒	0		

圖 4-9 以行政區發布崩塌警戒展示

本計畫以 106 年 0601 豪雨為例，展示崩塌警戒模組詳細操作流程如下所述：

- 一、 開啟崩塌警戒展示模組後（圖 4-10），於首頁點選下方圖層套疊功能，可顯示 18 處重點聚落清單（圖 4-11），以豐丘聚落為例，勾選後，系統則跳至豐丘聚落範圍並展示其坡面單元，如圖 4-12 所示。
- 二、 於首頁點選右上角按鈕，可顯示 17 處重點聚落警戒清單（圖 4-13），此清單可看出聚落的警戒狀態，也可匯出及匯入降雨危害度最小致災警戒值(H_c)及崩塌易損度最小致災警戒值(F_c)。
- 三、 以 106 年 0601 豪雨事件為例，點選黃框處詳細資料，系統依據介接 FEMA 的雨量資訊，可呈現達紅、黃警戒時的狀態及每個坡面單元中紅、黃警戒值 (F_c 值及 H_c 值) 及實際雨量值，如圖 4-14 所示；點選地圖可呈現每一塊坡面單元的警戒狀態及屬性資料，如圖 4-15 所示。

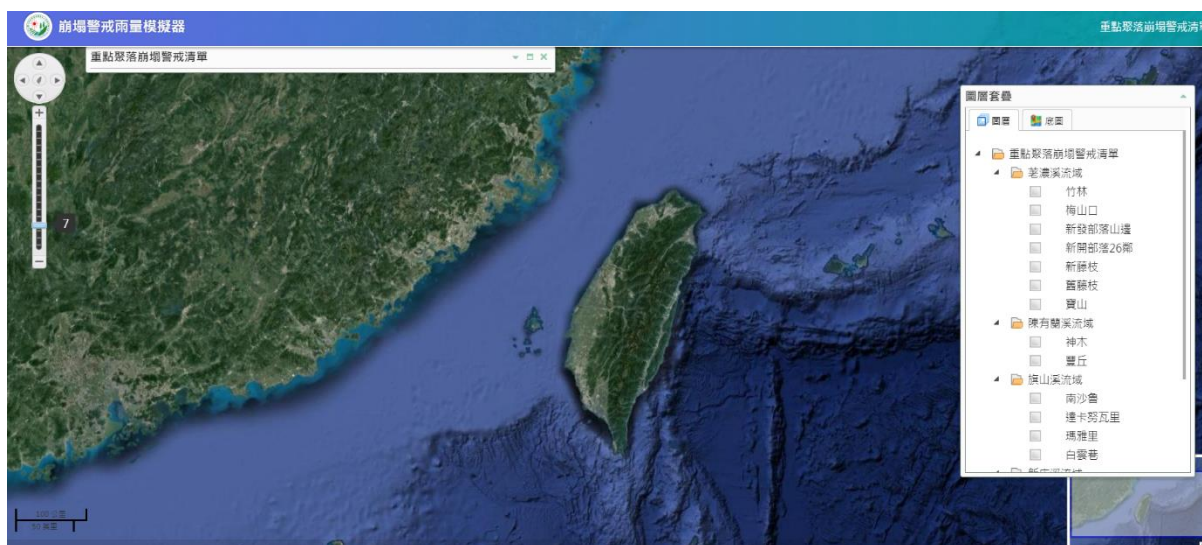


圖 4-10 崩塌警戒展示模組首頁

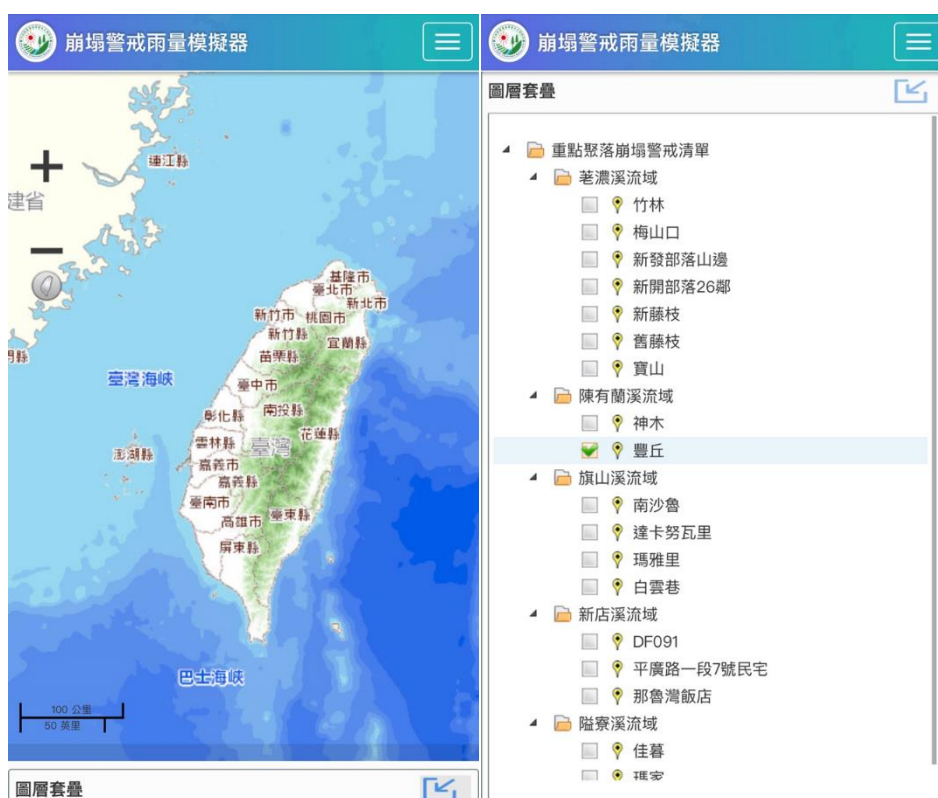


圖 4-11 圖層套疊功能展示



圖 4-12 崩塌警戒展示模組--豐丘聚落坡面單元



圖 4-13 17處重點聚落崩塌警戒清單展示

崩塌警戒雨量模擬器						崩塌警戒雨量模擬器									
重點聚落崩塌警戒清單						重點聚落崩塌警戒清單									
2	新北市	新店區	廣興里	平廣路一段7號民宅	未達警戒	3	黃色警戒	南投縣	信義鄉	豐丘村	豐丘	陳有蘭溪流流域	308	0.95	0.22
3	新北市	烏來區	烏來里	那魯灣飯店	未達警戒	4	紅色警戒1	南投縣	信義鄉	豐丘村	豐丘	陳有蘭溪流流域	308	0.95	0.22
4	南投縣	信義鄉	神木村	神木	未達警戒	5	紅色警戒1	南投縣	信義鄉	豐丘村	豐丘	陳有蘭溪流流域	308	0.95	0.22
5	南投縣	信義鄉	豐丘村	豐丘	紅色警戒1	6	紅色警戒1	南投縣	信義鄉	豐丘村	豐丘	陳有蘭溪流流域	308	0.95	0.22
6	高雄市	桃源區	寶來里	竹林	未達警戒	7	紅色警戒1	南投縣	信義鄉	豐丘村	豐丘	陳有蘭溪流流域	308	0.95	0.22
7	高雄市	桃源區	寶山里	新藤枝	未達警戒										

圖 4-14 達警戒聚落詳細資訊

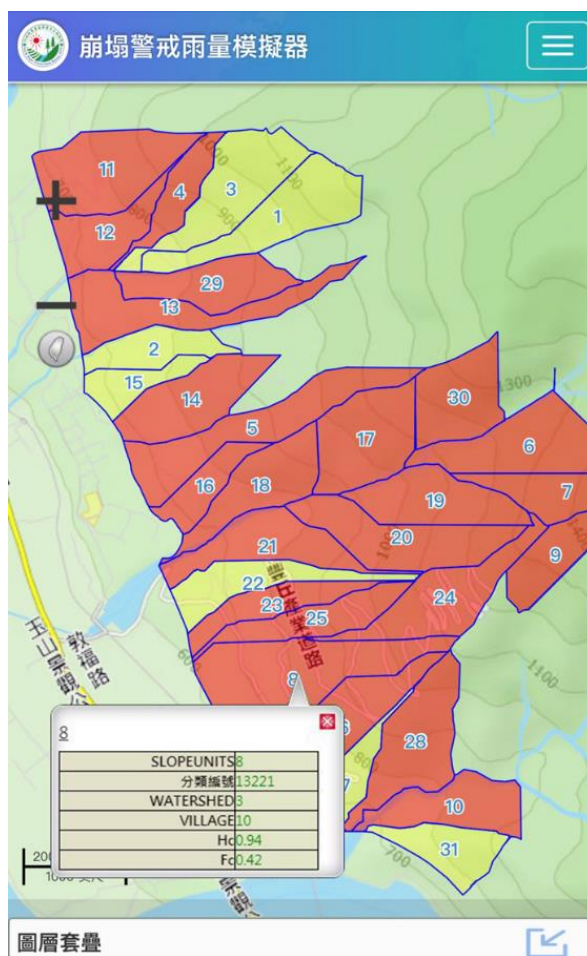


圖 4-15 達警戒坡面單元及屬性展示

本計畫所開發崩塌警戒展示模組經由試作成果，展示利用系統化操作方式協助自主防災崩塌警戒發布之可行性，同時因該警戒模組已納入不同尺度行政區以及社區警戒範圍，故可於災害應變期間，配合各級政府單位以及社區管理層級提供崩塌警戒資訊。未來可經由增加境內受崩塌潛勢影響的保全聚落數目，進一步了解各行政區內的「崩塌熱區」，同時突顯本研究計畫所規劃多尺度崩塌警戒流程的實用性，達到「精準防災」的目標。

第三節 崩塌風險警戒機制以及自主防災管理推播模式實測

本計畫過去亦於水保局土石流防災中心應變小組開設期間，協助提供 103-107 年度已完成之 18 處重點聚落崩塌紅黃警戒發布，並於後續根據本年度實測結果檢討 103-107 年度建立之重點聚落崩塌警戒發布機制並修正管理值，進而在今年度於水保局土石流防災中心應變小組開設期間，完成南部集水區之 17 處重點聚落崩塌紅黃警戒發布，其中包含 0522 豪雨、0528 豪雨、米克拉颱風、哈格比颱風以及閃電颱風等等。

本計畫團隊利用前期計畫所挑選南部集水區之 1 處重點聚落，作為實作崩塌風險警戒機制模式的對象，當上章節中訂定了本計畫南部集水區之 17 處重點聚落之降雨危害度最小致災警戒值(H_C)以及崩塌潛勢致災警戒值(F_C)，並以 108 年度中利奇馬颱風以及 0815 豪雨進行崩塌風險警戒機制發布試作以及分析發布，其中根據本團隊所研究的尺度，其可視防災應變需求，逐一聚焦至不同尺度對象（縣市→鄉鎮→村里→聚落），最終呈現出保全聚落的坡面單元分布；因此，當決定崩塌雨量警戒值後，即可依據水保局土石流紅黃警戒概念，設定崩塌警戒發佈流程(圖 4-3)，目前在案例實測上，本計畫以中央氣象局雨量站資料為來源數($I_{max}-Rte$)，配合雙參數模式建立成果，使用有效累積降雨量進行案例實作並分析其結果。

表 4-1 18 處重點聚落崩塌雨量警戒值

縣市	鄉(鎮、區)	村(里)	聚落	代表雨量站	min RH (mm)	警戒曲線($I_1 - Rte_1$)	
						H_C	F_C
南投縣	信義鄉	神木村	神木	神木村	320.5	0.82	0.46
		豐丘村	豐丘(信義)	豐丘	308	0.84	0.4
高雄市	桃源區	寶山里	新藤枝	御油山	555.6	0.81	0.61
			舊藤枝	御油山	555.6	0.81	0.39
			寶山	御油山	555.6	0.81	0.33
	梅山里	梅山口	梅山	601.8	0.95	0.64	
	那瑪夏區	瑪雅里	瑪雅	表湖	445.9	0.92	0.69

		達卡努瓦里	達卡努瓦	民生	445.9	0.92	0.23
		南沙魯里	南沙魯	表湖	445.9	0.92	0.63
	甲仙區	東安里	白雲巷	新發	365	0.92	0.54
	六龜區	新發里	新發部落山邊	新發	308	0.87	0.42
		新發里	新開部落(26 鄰)	新發	308	0.87	0.58
		寶來里	竹林(16、17 鄰)	高中	595.9	0.81	0.49
		中興里	尾庄聚落	御油山	340.733	0.81	0.51
屏東縣	霧臺鄉	佳暮村	新佳暮部落	上德文	343	0.85	0.46
	瑪家鄉	瑪家村	瑪家聚落	瑪家	628	0.95	0.4
雲林縣	古坑鄉	草嶺村	摸時乳聚落	草嶺	311.62	0.82	0.50

本計畫運用所試辦南部集水區之 17 處重點聚落之崩塌警戒值(表 4-1)，依前述行政區劃分方式，將各鄉(鎮、區)內的重點聚落崩塌雨量警戒值彙整，挑出 8 個鄉(鎮、區)如下，所採用之崩塌雨量警戒值如表 4-2 所示。

- 一、 南投縣信義鄉(2 處重點聚落)
- 二、 高雄市桃源區(4 處重點聚落)
- 三、 高雄市六龜區(4 處重點聚落)
- 四、 高雄市那瑪夏區(3 處重點聚落)
- 五、 高雄市甲仙區(1 處重點聚落)
- 六、 屏東縣霧臺區(1 處重點聚落)
- 七、 屏東縣瑪家區(1 處重點聚落)
- 八、 雲林縣古坑區(1 處重點聚落)

表 4-2 鄉(鎮、區)行政區崩塌雨量警戒值

流域名稱	縣(市)	鄉(鎮、區)	H 指標	F 指標
荖濃溪	高雄市	桃源區	0.81	0.33
陳有蘭溪	南投縣	信義區	0.82	0.40
旗山溪	高雄市	那瑪夏區	0.92	0.23
旗山溪	高雄市	甲仙區	0.92	0.54
荖濃溪	高雄市	六龜區	0.81	0.42
隘寮北溪	屏東縣	霧臺區	0.85	0.46
隘寮南溪	屏東縣	瑪家區	0.95	0.40
清水溪	雲林縣	古坑區	0.82	0.50

而在自主防災社區管理可行性評估中，本計畫以豐丘聚落為例，針對 109 年度 0522 豪雨為例，進行社區自主防災管理推播是作，而在降雨雨場開始以前，提供地文崩塌潛勢圖並套疊保全對象之位置圖資(如下圖 4- 16)以及周邊道路圖(如下圖 4- 17)，其可讓管理層級能夠於災害發生前掌握全面之保全對象資訊，以及擬定合宜之疏散路線，進行風險評估，以作為社區災前應變之整備參考，而在災時應變時，本計畫以上德文雨量站之降雨歷時為例，評估各階段推播之時序，當 5/22 01:00 時，災害規模($I_{max}(i), R_{te}(i)$)達 7mm 以及 119.3mm 時，(H_i, F_i)已達該時段最高(0.53, 0.40)，以達 F_c' ，即黃色區塊，因此建議社區管理層級啟動警戒狀態，並關注後續動態降雨狀況，而當災害規模($I_{max}(i), R_{te}(i)$)於 05/22 04:00 達 67mm 以及 203.83mm 時，(H_i, F_i)已達該時段最高(0.53, 0.40)，以達 F_c ，即紅 1 之狀態，因此建議社區保全對象能夠主動性接收到警戒推播，而當害規模($I_{max}(i), R_{te}(i)$)於 05/22 14:00 達 36.5mm 以及 203.83mm 時，(H_i, F_i)已達該時段最高(0.85, 0.57)，已同時達 F_c 以及 H_c ，即紅 2 之極高風險狀態，因此建議社區進行全面之疏散，以避免二次災害之擴大，而降雨規模下之坡面警戒分布狀態則可透過視覺化之警戒分布圖進行檢視，而上述歷時推播歷時過程如下圖 4- 18 所示，以作為決策應變之參考。

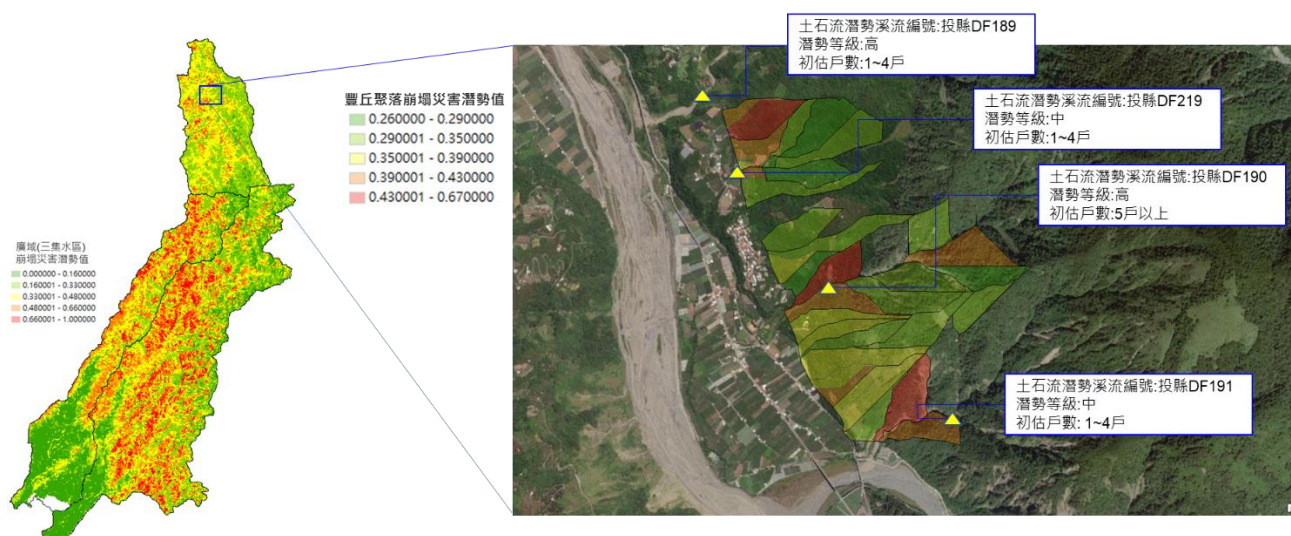


圖 4- 16 豐丘聚落地文崩塌潛勢分布與保全對象空間套疊圖

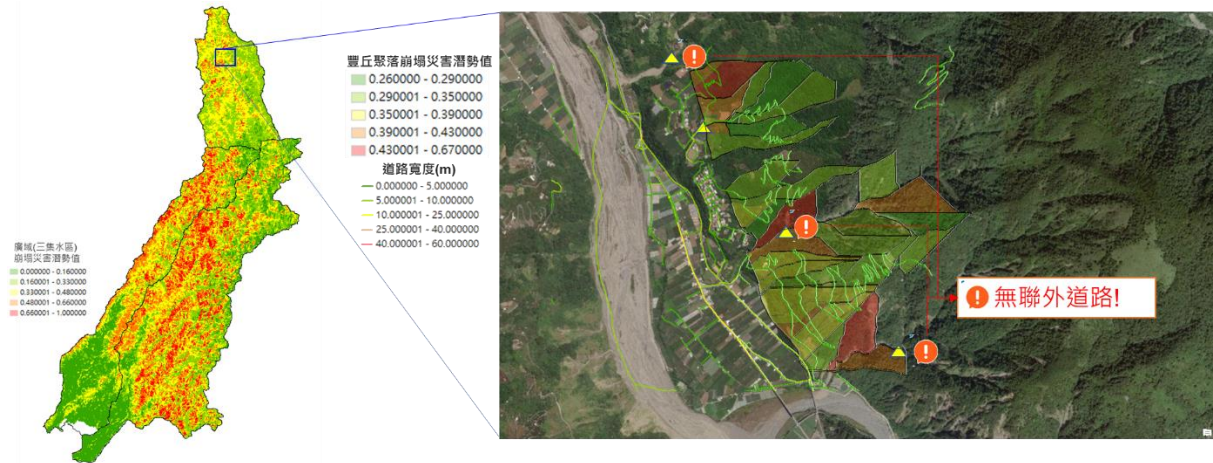


圖 4-17 豐丘聚落地文崩塌潛勢分布與疏散道路評估圖

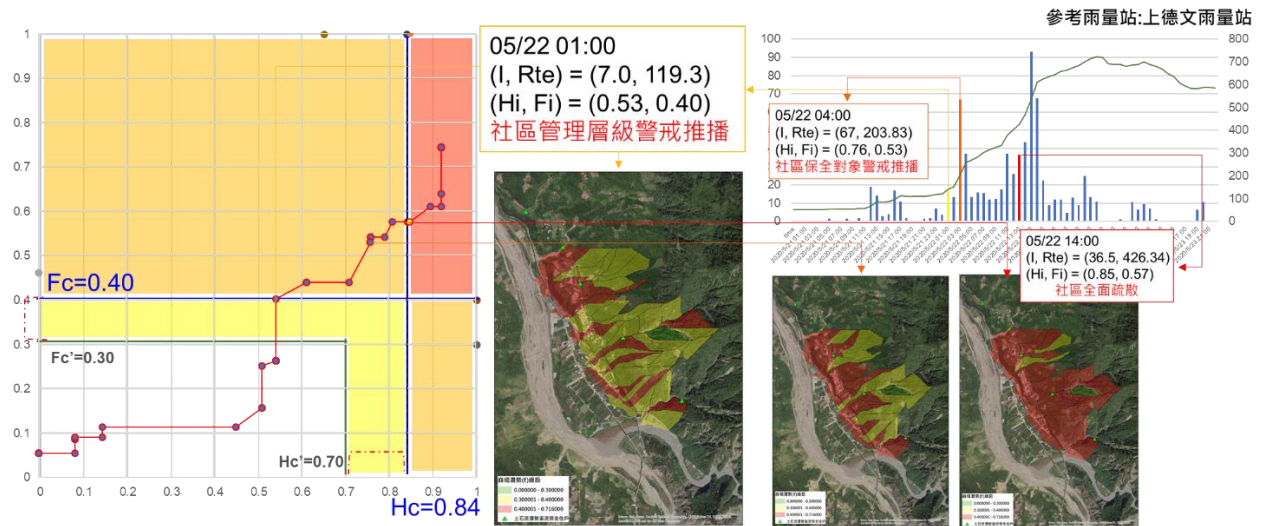
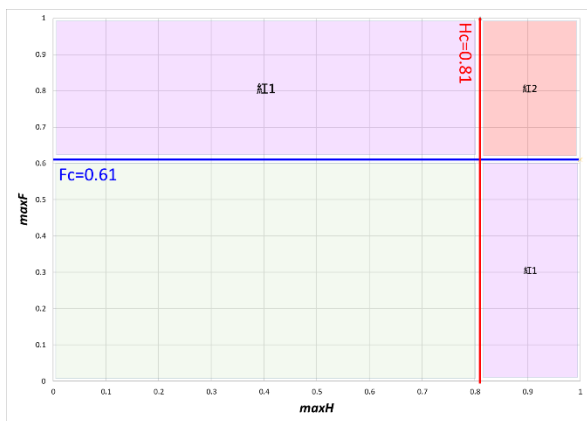


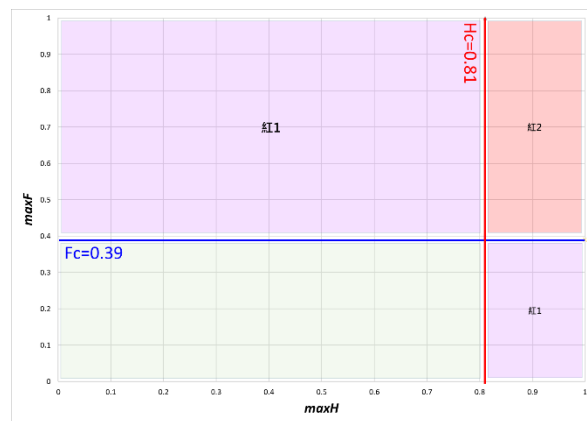
圖 4-18 豐丘聚落於 109 年度 0522 豪與社區自主防災推播建議歷程

另外本計畫亦以另外兩場叫大規模之颱風豪雨事件進行風險警戒機制之試作，並以 108 年度利奇馬颱風以及 0815 豪雨為例，進行崩塌警戒發布試作及分析發布結果，以下以高雄市與本年度新增兩處之重點聚落(高雄市六龜區中興里尾庄聚落以及雲林縣古坑鄉草嶺村摸時乳聚落)作為多尺度崩塌風險資訊與精準防災試作與警戒發布試作，其中在前期研究中已歸納高雄市内之重點聚落的降雨危害度最小致災警戒值(Hc)以及崩塌潛勢最小致災警戒值(Fc)，高雄市六龜區包含 4 處重點聚落，分別為新發里新發布落山邊聚落，其 Hc 為 0.87 而 Fc 為 0.42；新開部落(26 鄰)，其 Hc 為 0.87 而 Fc

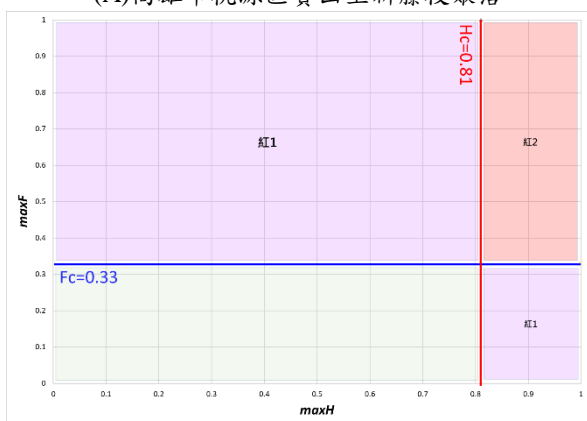
為 0.58，寶來里竹林聚落，其 H_c 為 0.81 而 F_c 為 0.49；今年度新增之重點聚落中興里尾庄聚落，其 H_c 為 0.81 而 F_c 為 0.51；高雄市那瑪夏區包含 3 處重點聚落，分別為瑪雅里瑪雅聚落，其 H_c 為 0.92 而 F_c 為 0.69，達卡努瓦里達卡努瓦聚落，其 H_c 為 0.92 而 F_c 為 0.23，南沙魯里南沙魯聚落，其 H_c 為 0.92 而 F_c 為 0.63；高雄市桃源區包含 4 處重點聚落，分別為寶山里新藤枝聚落，其 H_c 為 0.81 而 F_c 為 0.61，舊藤枝聚落，其 H_c 為 0.81 而 F_c 為 0.39，寶山聚落，其 H_c 為 0.81 而 F_c 為 0.33，梅山里梅山口聚落，其 H_c 為 0.95 而 F_c 為 0.64；以及高雄市甲仙區包含 1 處重點聚落，為東安里白雲巷聚落，其 H_c 為 0.92 而 F_c 為 0.54；各聚落之崩塌風險警戒機制圖如圖 4-19 及圖 4-20 所示，而本試作將根據各聚落鄰近的雨量站進行歷時降雨資料(I_t, R_{te})記錄並透過前章節所建立歷史降雨等比率曲線(H)以及坡地崩塌潛勢評估模型 (F)之轉換為降雨危害值(h_i)以及崩塌潛勢機率值(f_i)，並逐一繪點至各聚落之崩塌風險警戒機制圖，以進行警戒資訊之發布。



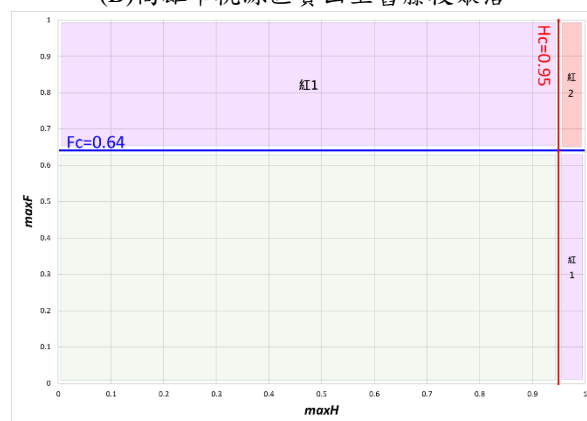
(A)高雄市桃源區寶山里新藤枝聚落



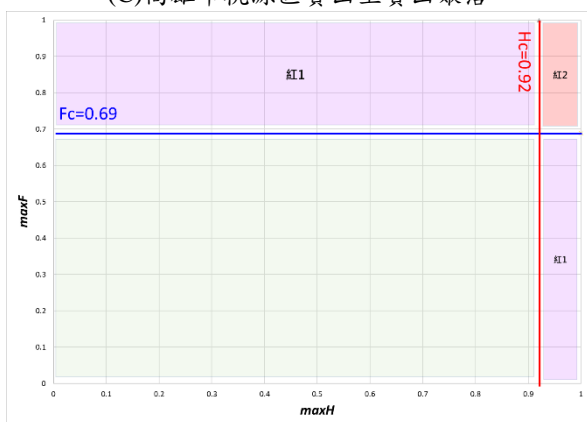
(B)高雄市桃源區寶山里舊藤枝聚落



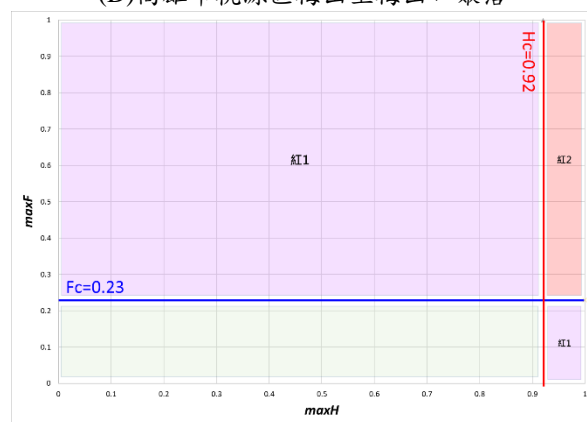
(C)高雄市桃源區寶山里寶山聚落



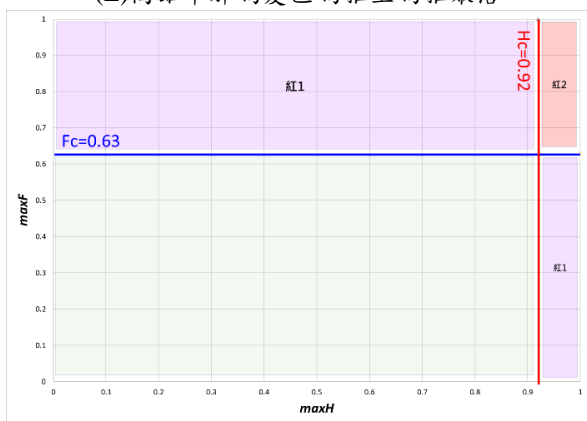
(D)高雄市桃源區梅山里梅山口聚落



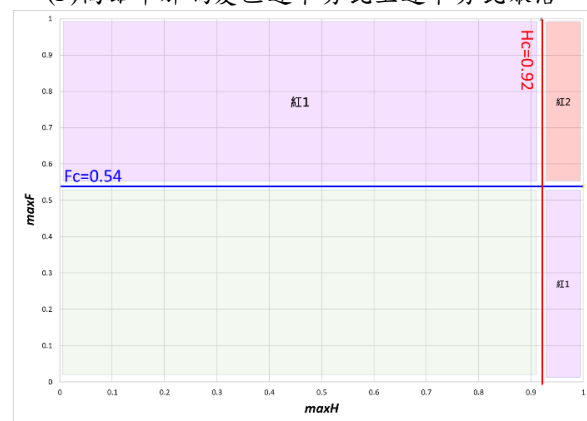
(E)高雄市那瑪夏區瑪雅里瑪雅聚落



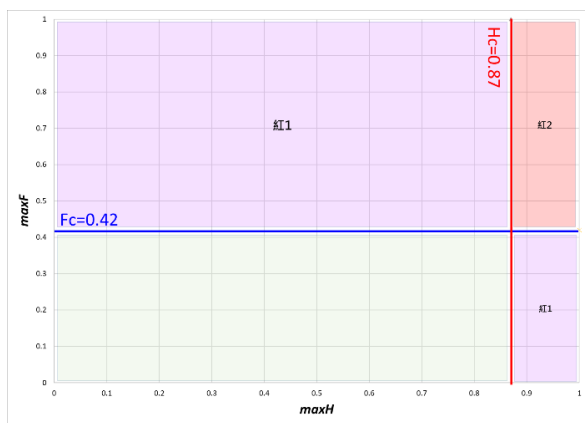
(F)高雄市那瑪夏區達卡努瓦里達卡努瓦聚落



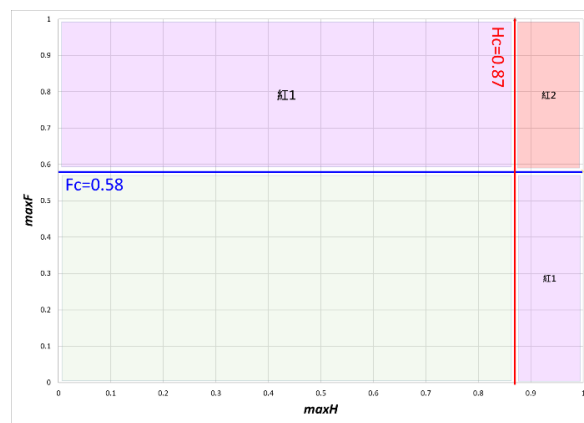
(F)高雄市那瑪夏區南沙魯里南沙魯聚落



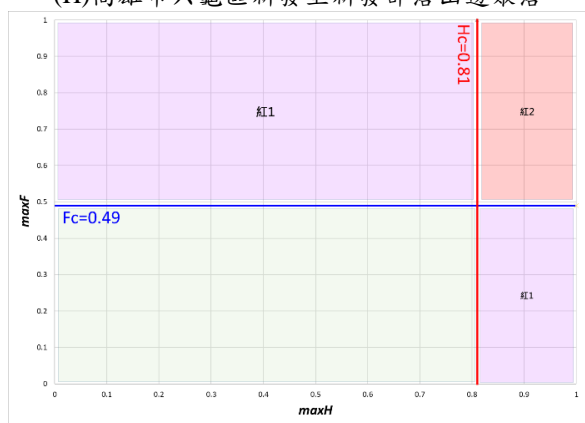
(G)高雄市那瑪夏區東安里白雲巷聚落



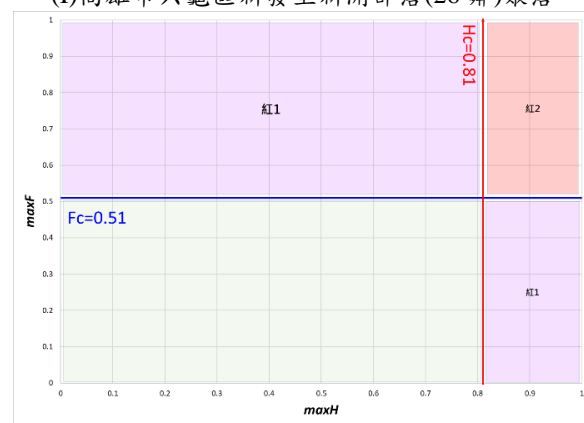
(H) 高雄市六龜區新發里新發部落山邊聚落



(I) 高雄市六龜區新發里新開部落(26鄰)聚落



(J) 高雄市六龜區寶來里竹林(16、17鄰)聚落



(K) 高雄市六龜區中興里尾庄聚落

圖 4-19 高雄市各重點聚落之崩塌風險警戒機制圖

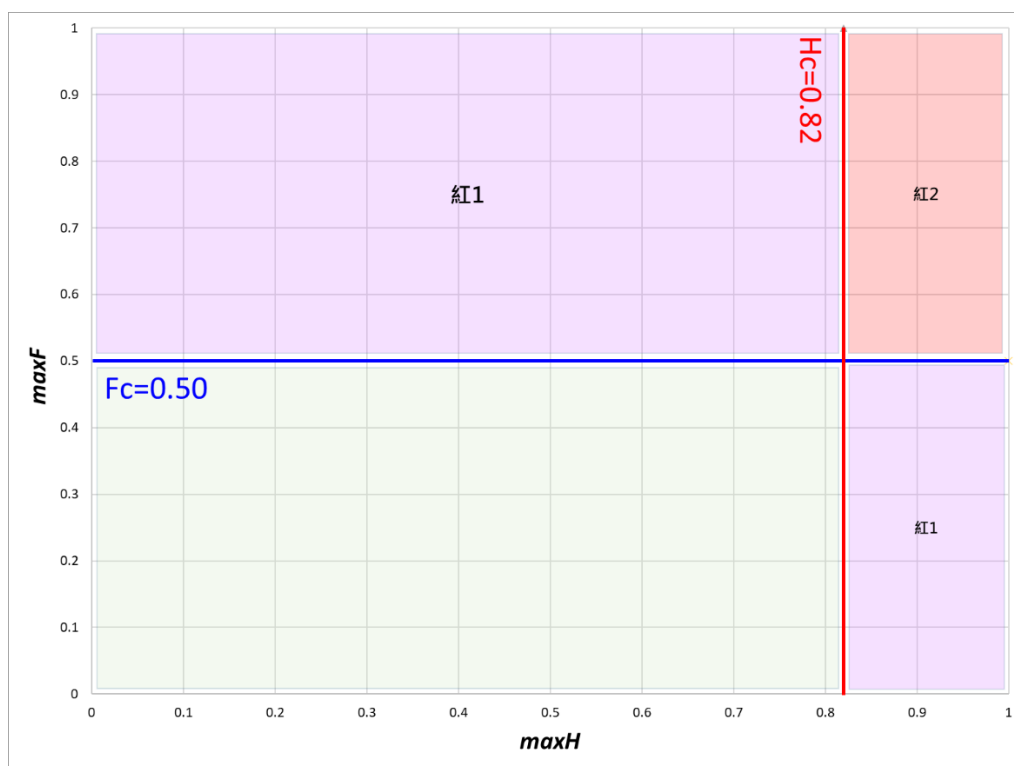


圖 4-20 雲林縣古坑鄉草嶺村摸時乳聚落之崩塌風險警戒機制圖

而根據下表 4-3 至表 4-8，以下為利奇馬颱風實測結果：

- 一、 8 月 10 日 06:00，由於那瑪夏區南沙魯里南沙魯聚落當下所參考之那瑪夏國中雨量站所紀錄之雨量為 $I=13.5\text{mm}$, $R_{te}=136\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.68, 0.63)$ ，因此突破 F 指標，那瑪夏區發布紅色(1)警戒，如圖 4-29 與圖 4-30。
- 二、 8 月 11 日 10:00，由於雲林縣古坑區草嶺村摸時乳當下所參考之草嶺雨量站所紀錄之雨量為 $I=15\text{mm}$, $R_{te}=229\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.80, 0.52)$ ，因此突破 F 指標，雲林縣古坑區發布紅色(1)警戒。
- 三、 8 月 11 日 18:00，由於雲林縣古坑區草嶺村摸時乳聚落當下所參考之草嶺雨量站所紀錄之雨量為 $I=16\text{mm}$, $R_{te}=270\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.82, 0.52)$ ，因此同時突破 F 及 H 指標，雲林縣古坑區發布紅色(2)警戒，如圖 4-23 及圖 4-24。

以下為 0815 豪雨之實測結果：

- 一、 8 月 15 日 07:00，由於雲林縣古坑區草嶺村摸石乳聚落當下所參考之草嶺雨量站所紀錄之雨量為 $I=26\text{mm}$, $R_{te}=200.17\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.83, 0.40)$ ，因此突破 H 指標，雲林縣古坑區發布紅色(1)警戒。
- 二、 8 月 15 日 08:00，由於那瑪夏區南沙魯里南沙魯聚落當下所參考之那瑪夏國中雨量站所紀錄之雨量為 $I=25\text{mm}$, $R_{te}=246.87\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.81, 0.63)$ ，因此突破 F 指標，那瑪夏區發布紅色(1)警戒。
- 三、 8 月 15 日 10:00，由於六龜區寶來里竹林(16、17 鄰)聚落當下所參考之高中雨量站所紀錄之雨量為 $I=35\text{mm}$, $R_{te}=177\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.65, 0.58)$ ，因此突破 F 指標，六龜區發布紅色(1)警戒。

- 四、 8月15日12:00，由於那瑪夏區南沙魯里南沙魯聚落當下所參考之那瑪夏國中雨量站所紀錄之雨量為 $I=53\text{mm}$, $R_{te}=406.06\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.93, 0.73)$ ，因此同時突破 F 及 H 指標，那瑪夏區發布紅色(2)警戒，如圖 4-33 及圖 4-34。
- 五、 8月15日12:00，由於雲林縣古坑區草嶺村摸時乳聚落當下所參考之草嶺雨量站所紀錄之雨量為 $I=8\text{mm}$, $R_{te}=285.12\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.88, 0.63)$ ，因此同時突破 F 及 H 指標，雲林縣古坑區發布紅色(2)警戒，如圖 4-27 及圖 4-28。
- 六、 8月15日23:00，由於六龜區中興里尾庄聚落當下所參考之御油山雨量站所紀錄之雨量為 $I=15\text{mm}$, $R_{te}=428.25\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.79, 0.53)$ ，因此突破 F 指標。
- 七、 8月16日02:00，由於六龜區中興里尾庄聚落當下所參考之御油山雨量站所紀錄之雨量為 $I=14.5\text{mm}$, $R_{te}=497.18\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.82, 0.63)$ ，因此同時突破 F 及 H 指標，如圖 4-21 及圖 4-22。
- 八、 8月16日12:00，由於六龜區寶來里竹林(16、17 鄰)聚落當下所參考之高中雨量站所紀錄之雨量為 $I=8\text{mm}$, $R_{te}=285.12\text{mm}$ ，其對應之 (H_i, F_i) 為 $(0.88, 0.63)$ ，因此同時突破 F 及 H 指標，六龜區發布紅色(2)警戒，如圖 4-35 及圖 4-36。

另外，根據本計畫透過水土保持局土石流防災資訊網取得之重大土砂災例最速報中，發現在利奇馬颱風中於雲林縣古坑區草嶺村於8月11日08時00分發生崩塌事件，而該速報資料以及崩塌時間點之崩塌潛勢機率分布圖，如圖 4-25 及圖 4-26，其為該聚落達 F_c 以前所記錄之崩塌事件；以及在那瑪夏區南沙魯里於8月11日06時00分發生崩塌事件，其為該聚落達 F_c 以後所記錄之崩塌事件，而該速報資料以及崩塌時間點之崩塌潛勢機率

分布圖如下圖 4- 31 及圖 4- 32；在 0815 豪雨中於六龜區寶來里於 8 月 15 日 15 時 00 分發生崩塌事件，其為該聚落達 Fc 以後所記錄之崩塌事件，而該速報資料以及崩塌時間點之崩塌潛勢機率分布圖如下圖 4-37 及圖 4-38，後續亦將此速報資料進行警戒管理值之修正，這次警戒發佈流程試做驗證發佈機制是可行的，本計畫所訂定崩塌雨量警戒值在實際應變操作上，皆可供做崩塌警戒判斷，其主要採用雙參數來考量崩塌雨量警戒值，即同時考量 H 指標及 F 指標，與前期計畫分開考慮最大時雨量及累積雨量不同；後續建議持續協助水保局於應變期間提供崩塌警戒資料，並檢討崩塌警戒發佈管理值。

表 4-3 六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨崩塌警戒發布試做

<i>Time</i>	<i>I</i>	<i>Rte</i>	<i>Max(Hi)</i>	<i>Max(Fi)</i>	水保局發布動態	本警戒模式發布動態
2019-08-14 06:00:00	0.5	229.07	0	0.237122		
2019-08-14 07:00:00	4.5	225.35	0.401077	0.237122		
2019-08-14 08:00:00	7.5	231.28	0.501824	0.237122		
2019-08-14 09:00:00	0	230.43	0.501824	0.237122		
2019-08-14 10:00:00	0.5	223.11	0.501824	0.237122		
2019-08-14 11:00:00	0	221.11	0.501824	0.237122		
2019-08-14 12:00:00	0	218.67	0.501824	0.237122		
2019-08-14 13:00:00	0	214.55	0.501824	0.237122		
2019-08-14 14:00:00	0	210.78	0.501824	0.237122		
2019-08-14 15:00:00	0	208.66	0.501824	0.237122		
2019-08-14 16:00:00	0.5	205.27	0.501824	0.237122		
2019-08-14 17:00:00	0	203.11	0.501824	0.237122		
2019-08-14 18:00:00	0	197.37	0.501824	0.237122		
2019-08-14 19:00:00	0	193.83	0.501824	0.237122		
2019-08-14 20:00:00	0	190.63	0.501824	0.237122		
2019-08-14 21:00:00	0	190.58	0.501824	0.237122		
2019-08-14 22:00:00	0	189.19	0.501824	0.237122		
2019-08-14 23:00:00	0	188.6	0.501824	0.237122		
2019-08-15 00:00:00	0.5	187.84	0.501824	0.237122		
2019-08-15 01:00:00	2.5	189.17	0.501824	0.237122		
2019-08-15 02:00:00	15	201.61	0.617683	0.34173		
2019-08-15 03:00:00	4	204.45	0.617683	0.34173		
2019-08-15 04:00:00	0.5	199.65	0.617683	0.34173		
2019-08-15 05:00:00	18	205.71	0.638874	0.44173		
2019-08-15 06:00:00	14	226.16	0.638874	0.456534		
2019-08-15 07:00:00	8	229.93	0.638874	0.456534		
2019-08-15 08:00:00	17.5	234.18	0.676394	0.456534		
2019-08-15 09:00:00	25	258.23	0.711482	0.456534		
2019-08-15 10:00:00	31	288.61	0.740664	0.456534		
2019-08-15 11:00:00	34	319.71	0.760813	0.456534		
2019-08-15 12:00:00	23.5	343	0.760813	0.456534		
2019-08-15 13:00:00	22.5	359.12	0.760813	0.456534		
2019-08-15 14:00:00	10.5	370.98	0.760813	0.456534		
2019-08-15 15:00:00	41	409.99	0.796769	0.456534		

自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究

2019-08-15 16:00:00	2	412.9	0.796769	0.500702		
2019-08-15 17:00:00	2.5	412.19	0.796769	0.503397		
2019-08-15 18:00:00	0.5	409.42	0.796769	0.503397		
2019-08-15 19:00:00	4	408.88	0.796769	0.503397		
2019-08-15 20:00:00	7	415.67	0.796769	0.503397		
2019-08-15 21:00:00	7	422.14	0.796769	0.503397		
2019-08-15 22:00:00	1	422.66	0.796769	0.5057		
2019-08-15 23:00:00	15	428.25	0.796769	0.534415		紅 1(達 Fc)
2019-08-16 00:00:00	5.5	442.57	0.796769	0.534415	紅色警戒	
2019-08-16 01:00:00	48.5	487.97	0.81605	0.534415		紅 2(同時達 Fc 及 Hc)
2019-08-16 02:00:00	14.5	497.18	0.81605	0.639995		
2019-08-16 03:00:00	38	532.37	0.837589	0.639995		
2019-08-16 04:00:00	39.5	567.8	0.843147	0.639995		
2019-08-16 05:00:00	37.5	602.95	0.853048	0.639995		
2019-08-16 06:00:00	37	622.52	0.853048	0.639995		
2019-08-16 07:00:00	24	647.03	0.853048	0.639995		
2019-08-16 08:00:00	20	657.56	0.853048	0.658631		
2019-08-16 09:00:00	6.5	663.05	0.853048	0.658631		
2019-08-16 10:00:00	19	663.81	0.853048	0.667277		
2019-08-16 11:00:00	39	690.63	0.876672	0.667277		
2019-08-16 12:00:00	26.5	704.39	0.876672	0.667277		
2019-08-16 13:00:00	4	708.62	0.876672	0.667277		
2019-08-16 14:00:00	6	705.62	0.876672	0.667277		
2019-08-16 15:00:00	0.5	693.22	0.876672	0.667277		
2019-08-16 16:00:00	0	690.71	0.876672	0.667277		
2019-08-16 17:00:00	0	689.16	0.876672	0.667277		
2019-08-16 18:00:00	0	679.99	0.876672	0.667277		
2019-08-16 19:00:00	0	678.79	0.876672	0.667277		
2019-08-16 20:00:00	0	673.11	0.876672	0.667277		
2019-08-16 21:00:00	0	671.48	0.876672	0.667277		
2019-08-16 22:00:00	0	670	0.876672	0.667277		
2019-08-16 23:00:00	0	674.21	0.876672	0.667277		
2019-08-17 00:00:00	0.5	663.94	0.876672	0.667277		
2019-08-17 01:00:00	0	649.77	0.876672	0.667277		
2019-08-17 02:00:00	0.5	640.51	0.876672	0.667277		
2019-08-17 03:00:00	0.5	631.4	0.876672	0.667277		

2019-08-17 04:00:00	0	614.65	0.876672	0.667277		
2019-08-17 05:00:00	1.5	602.6	0.876672	0.667277		
2019-08-17 06:00:00	0	589.3	0.876672	0.667277		
2019-08-17 07:00:00	2.5	576.46	0.876672	0.667277		
2019-08-17 08:00:00	0.5	574.53	0.876672	0.667277		
2019-08-17 09:00:00	0	558.24	0.876672	0.667277		
2019-08-17 10:00:00	11	540.07	0.876672	0.667277		
2019-08-17 11:00:00	4	538.07	0.876672	0.667277		
2019-08-17 12:00:00	0	526.66	0.876672	0.667277		
2019-08-17 13:00:00	0.5	516.68	0.876672	0.667277		
2019-08-17 14:00:00	0.5	508.79	0.876672	0.667277		
2019-08-17 15:00:00	2.5	499.97	0.876672	0.667277		
2019-08-17 16:00:00	1	501.07	0.876672	0.667277		
2019-08-17 17:00:00	0.5	501.49	0.876672	0.667277		
2019-08-17 18:00:00	0	500.03	0.876672	0.667277	紅降黃	
2019-08-17 19:00:00	0	499.77	0.876672	0.667277		
2019-08-17 20:00:00	12.5	503.24	0.876672	0.667277		
2019-08-17 21:00:00	3	509.78	0.876672	0.667277		
2019-08-17 22:00:00	0.5	509.22	0.876672	0.667277		
2019-08-17 23:00:00	0	511.73	0.876672	0.667277		
2019-08-18 00:00:00	0	502.83	0.876672	0.667277		
2019-08-18 01:00:00	0	492.77	0.876672	0.667277		
2019-08-18 02:00:00	0	485.5	0.876672	0.667277		
2019-08-18 03:00:00	0	478.89	0.876672	0.667277		
2019-08-18 04:00:00	0	465.42	0.876672	0.667277		
2019-08-18 05:00:00	0	457.52	0.876672	0.667277		
2019-08-18 06:00:00	0	445.03	0.876672	0.667277	解除警戒	
2019-08-18 07:00:00	0.5	433.37	0.876672	0.667277		
2019-08-18 08:00:00	0	431.29	0.876672	0.667277		
2019-08-18 09:00:00	0	419.37	0.876672	0.667277		
2019-08-18 10:00:00	8.5	420.77	0.876672	0.667277		
2019-08-18 11:00:00	0.5	399.67	0.876672	0.667277		
2019-08-18 12:00:00	1	390.58	0.876672	0.667277		
2019-08-18 13:00:00	4	385.68	0.876672	0.667277		
2019-08-18 14:00:00	1.5	381.49	0.876672	0.667277		
2019-08-18 15:00:00	0	375.15	0.876672	0.667277		
2019-08-18 16:00:00	0	371.37	0.876672	0.667277		

2019-08-18 17:00:00	0.5	371.56	0.876672	0.667277	
2019-08-18 18:00:00	8	376.72	0.876672	0.667277	
2019-08-18 19:00:00	11.5	386.97	0.876672	0.667277	
2019-08-18 20:00:00	2.5	388.3	0.876672	0.667277	
2019-08-18 21:00:00	0	381.41	0.876672	0.667277	
2019-08-18 22:00:00	0.5	380.98	0.876672	0.667277	
2019-08-18 23:00:00	0	383.15	0.876672	0.667277	
2019-08-19 00:00:00	0	377.78	0.876672	0.667277	
2019-08-19 01:00:00	0.5	370.88	0.876672	0.667277	
2019-08-19 02:00:00	0	366.29	0.876672	0.667277	
2019-08-19 03:00:00	0	361.92	0.876672	0.667277	
2019-08-19 04:00:00	0	352.64	0.876672	0.667277	
2019-08-19 05:00:00	0	347.4	0.876672	0.667277	
2019-08-19 06:00:00	0	338.85	0.876672	0.667277	
2019-08-19 07:00:00	0	330.52	0.876672	0.667277	解除警戒

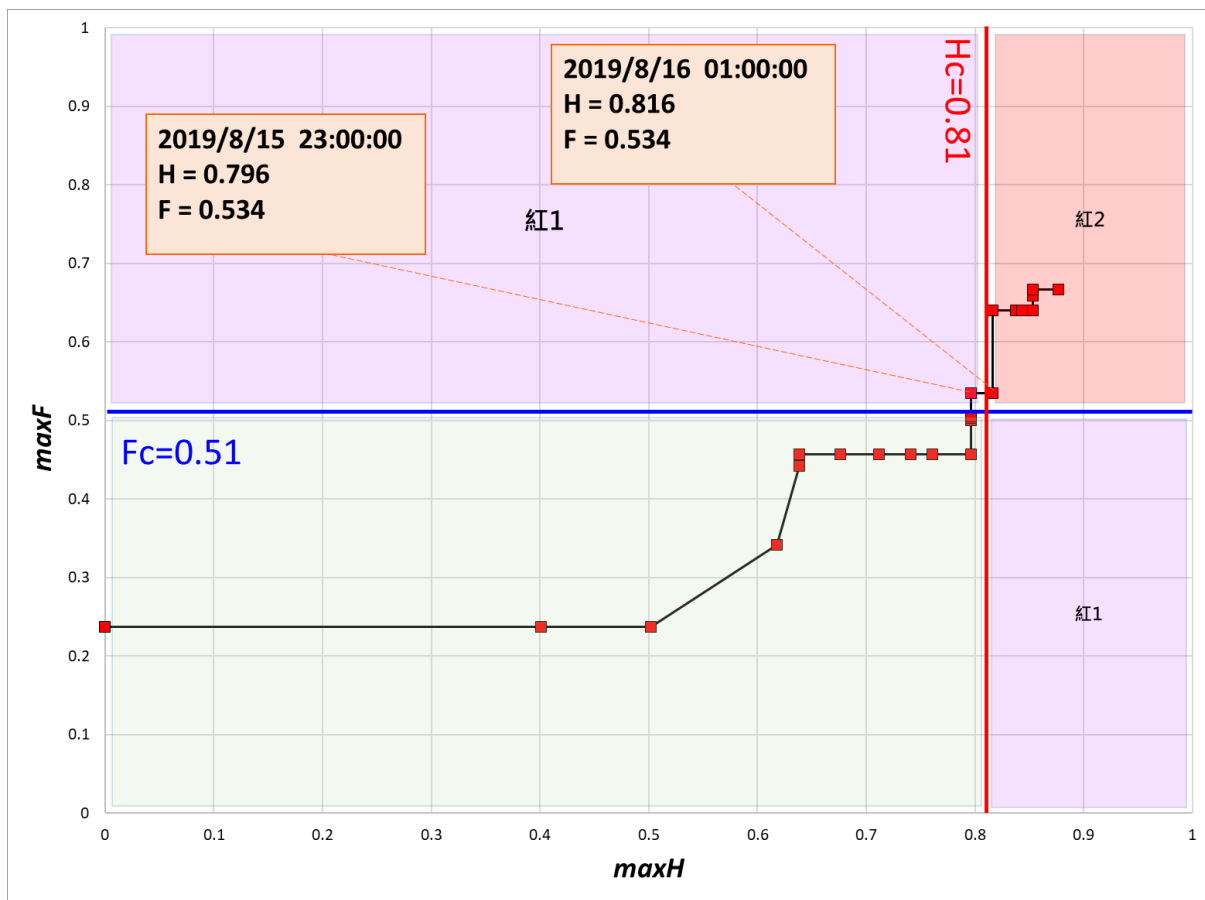


圖 4-21 六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨崩塌警戒機制圖

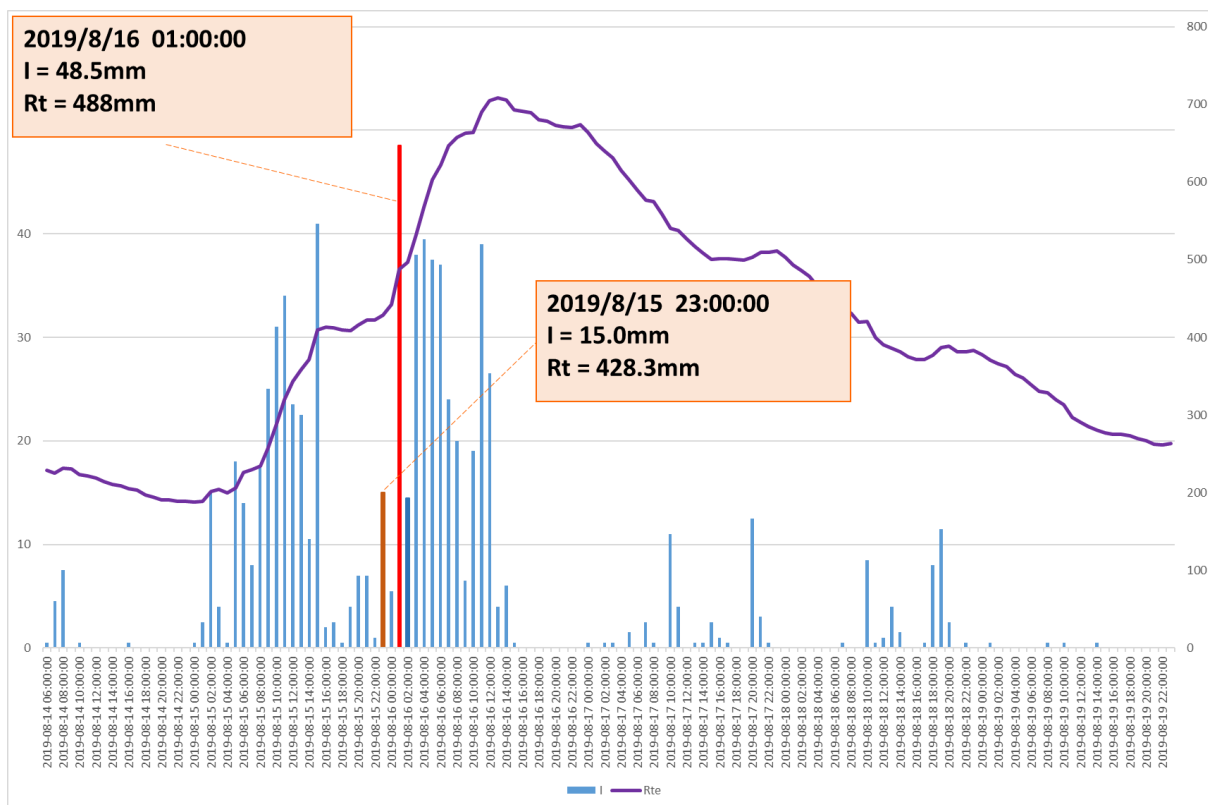


圖 4-22 六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨降雨組體圖(御油山雨量站)

表 4-4 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落利奇馬颱風崩塌警戒發布試做

Time	I	R _{te}	Max(Hi)	Max(Fi)	水保局發布動態	本警戒模式發布動態
2019/8/8 16:00	11	16.9	0.1307	0.3188		
2019/8/8 17:00	14	28.3	0.2295	0.3188		
2019/8/8 18:00	4	32.5	0.2295	0.3188		
2019/8/8 19:00	0	32.4	0.2295	0.3188		
2019/8/8 20:00	1	32.7	0.2295	0.3188		
2019/8/8 21:00	0	32.7	0.2295	0.3188		
2019/8/8 22:00	0	32.7	0.2295	0.3188		
2019/8/8 23:00	1	33.2	0.2295	0.3188		
2019/8/9 00:00	0	33.2	0.2295	0.3188		
2019/8/9 01:00	0	33.2	0.2295	0.3188		
2019/8/9 02:00	0	33.2	0.2295	0.3188		
2019/8/9 03:00	1	34.2	0.2295	0.3188		
2019/8/9 04:00	2	35.2	0.2295	0.3188		
2019/8/9 05:00	3	38.2	0.2295	0.3188		
2019/8/9 06:00	3	40.2	0.2295	0.3188		
2019/8/9 07:00	10	49.2	0.4014	0.3188		
2019/8/9 08:00	11	59.7	0.4756	0.3188		
2019/8/9 09:00	16	75.2	0.5702	0.3188		
2019/8/9 10:00	7	83.7	0.5702	0.3188		
2019/8/9 11:00	3	86.2	0.5702	0.3188		
2019/8/9 12:00	11	95.2	0.6333	0.3188		
2019/8/9 13:00	9	106	0.6333	0.3188		
2019/8/9 14:00	4	110	0.6333	0.3188		
2019/8/9 15:00	1	109	0.6333	0.3188		
2019/8/9 16:00	0	106	0.6333	0.3188		
2019/8/9 17:00	0	102	0.6333	0.3188		
2019/8/9 18:00	0	99.6	0.6333	0.3188		
2019/8/9 19:00	3	102	0.6333	0.3188		
2019/8/9 20:00	0	102	0.6333	0.3188		
2019/8/9 21:00	0	102	0.6333	0.3188		
2019/8/9 22:00	2	103	0.6333	0.3188		
2019/8/9 23:00	0	103	0.6333	0.3188		
2019/8/10 00:00	3	106	0.6333	0.3188		
2019/8/10 01:00	1	106	0.6333	0.3188		
2019/8/10 02:00	0	106	0.6333	0.3188		

2019/8/10 03:00	2	107	0.6333	0.3188	
2019/8/10 04:00	14	120	0.6976	0.3188	
2019/8/10 05:00	5	123	0.6976	0.3188	
2019/8/10 06:00	4	127	0.6976	0.3188	
2019/8/10 07:00	5	129	0.6976	0.3188	
2019/8/10 08:00	2	129	0.6976	0.3188	
2019/8/10 09:00	2	126	0.6976	0.3188	
2019/8/10 10:00	1	124	0.6976	0.3188	
2019/8/10 11:00	2	124	0.6976	0.3188	
2019/8/10 12:00	2	125	0.6976	0.3188	
2019/8/10 13:00	1	122	0.6976	0.3188	
2019/8/10 14:00	2	121	0.6976	0.3188	
2019/8/10 15:00	4	124	0.6976	0.3188	
2019/8/10 16:00	2	124	0.6976	0.3188	
2019/8/10 17:00	2	122	0.6976	0.3188	
2019/8/10 18:00	0	121	0.6976	0.3188	
2019/8/10 19:00	3	122	0.6976	0.3188	
2019/8/10 20:00	0	123	0.6976	0.3188	
2019/8/10 21:00	6	127	0.6976	0.3188	
2019/8/10 22:00	5	131	0.6976	0.3188	
2019/8/10 23:00	1	133	0.6976	0.3188	
2019/8/11 00:00	3	135	0.6976	0.3188	
2019/8/11 01:00	2	137	0.6976	0.3188	
2019/8/11 02:00	2	139	0.6976	0.3188	
2019/8/11 03:00	7	143	0.6976	0.3188	
2019/8/11 04:00	10	153	0.6976	0.3188	
2019/8/11 05:00	5	152	0.6976	0.3188	
2019/8/11 06:00	36	189	0.8030	0.3457	
2019/8/11 07:00	17	195	0.8030	0.3519	
2019/8/11 08:00	11	210	0.8030	0.4348	崩塌發生
2019/8/11 09:00	12	218	0.8030	0.4878	
2019/8/11 10:00	15	229	0.8030	0.5244	紅 1(過 Fc)
2019/8/11 11:00	3	232	0.8030	0.5244	
2019/8/11 12:00	12	243	0.8030	0.5244	
2019/8/11 13:00	10	249	0.8030	0.5244	
2019/8/11 14:00	2	249	0.8030	0.5244	
2019/8/11 15:00	1	250	0.8030	0.5244	

2019/8/11 16:00	4	251	0.8030	0.5244		
2019/8/11 17:00	9	256	0.8030	0.5244		
2019/8/11 18:00	16	270	0.8252	0.5244		紅 2 (同時達 Fc 及 Hc)
2019/8/11 19:00	0	271	0.8252	0.5244		
2019/8/11 20:00	0	270	0.8252	0.5244		
2019/8/11 21:00	1	271	0.8252	0.5244		
2019/8/11 22:00	0	269	0.8252	0.5244		
2019/8/11 23:00	0	267	0.8252	0.5244		
2019/8/12 00:00	0	266	0.8252	0.5244		
2019/8/12 01:00	0	265	0.8252	0.5244		
2019/8/12 02:00	5	268	0.8252	0.5244		
2019/8/12 03:00	4	274	0.8252	0.5244		
2019/8/12 04:00	15	277	0.8252	0.5244		
2019/8/12 05:00	4	283	0.8252	0.5244		
2019/8/12 06:00	12	280	0.8252	0.5244	黃色警戒	
2019/8/12 07:00	2	285	0.8252	0.5244		
2019/8/12 08:00	0	271	0.8252	0.5244		
2019/8/12 09:00	0	266	0.8252	0.5244		
2019/8/12 10:00	0	259	0.8252	0.5244		
2019/8/12 11:00	0	256	0.8252	0.5244		
2019/8/12 12:00	2	254	0.8252	0.5244	黃色警戒解除	
2019/8/12 13:00	2	248	0.8252	0.5244		
2019/8/12 14:00	6	254	0.8252	0.5244		
2019/8/12 15:00	1	255	0.8252	0.5244		
2019/8/12 16:00	0	251	0.8252	0.5244		
2019/8/12 17:00	0	249	0.8252	0.5244		
2019/8/12 18:00	0	243	0.8252	0.5244		
2019/8/12 19:00	0	241	0.8252	0.5244		
2019/8/12 20:00	0	241	0.8252	0.5244		
2019/8/12 21:00	0	240	0.8252	0.5244		
2019/8/12 22:00	0	239	0.8252	0.5244		
2019/8/12 23:00	0	238	0.8252	0.5244		
2019/8/13 00:00	0	237	0.8252	0.5244		
2019/8/13 01:00	0	236	0.8252	0.5244		
2019/8/13 02:00	0	236	0.8252	0.5244		解除警戒

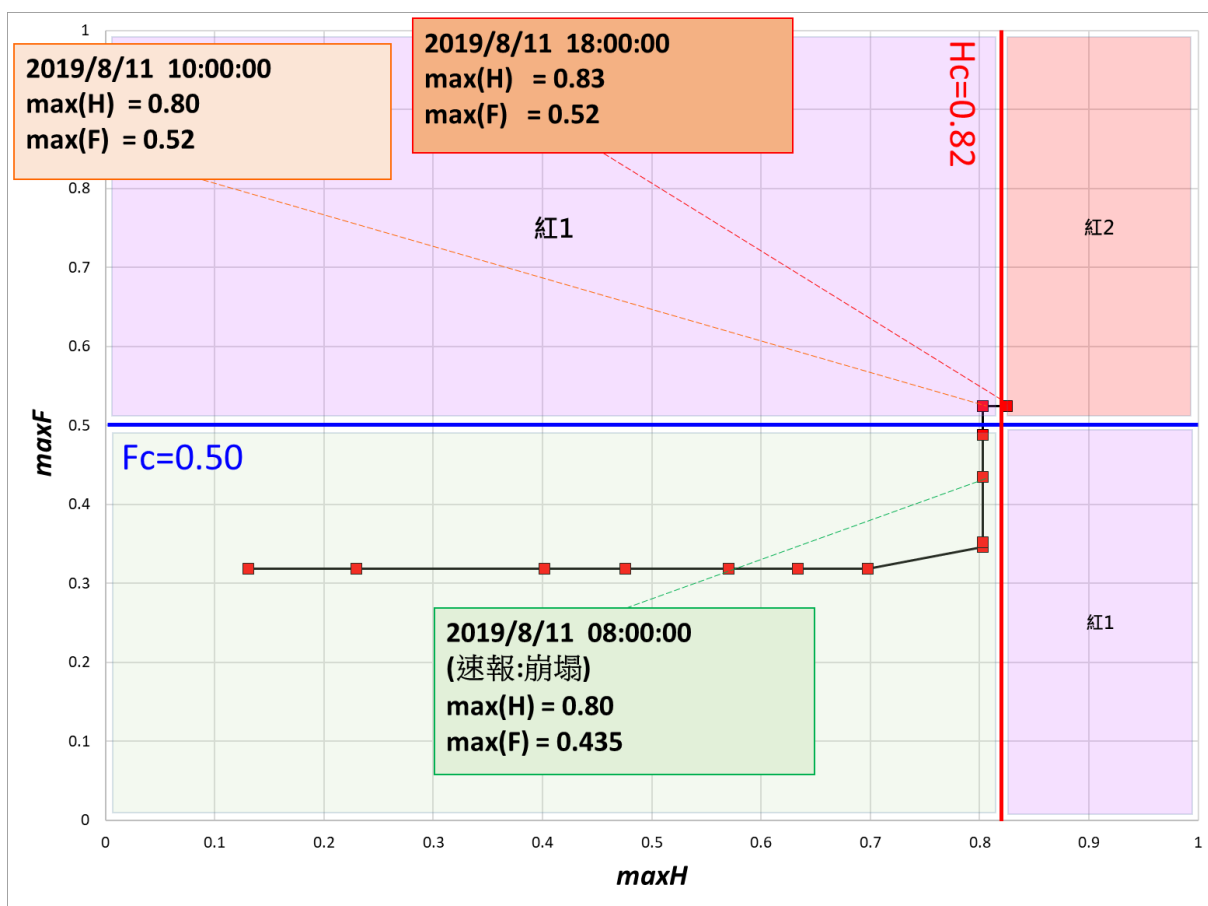


圖 4-23 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落利奇馬颱風崩塌警戒機制圖

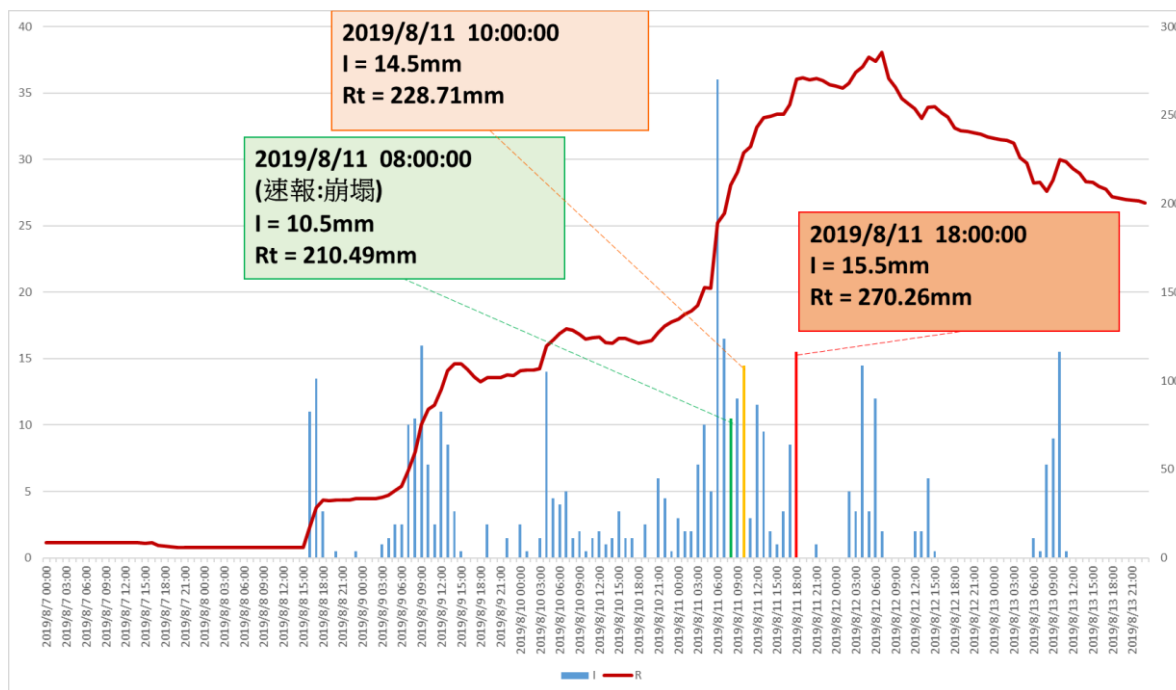
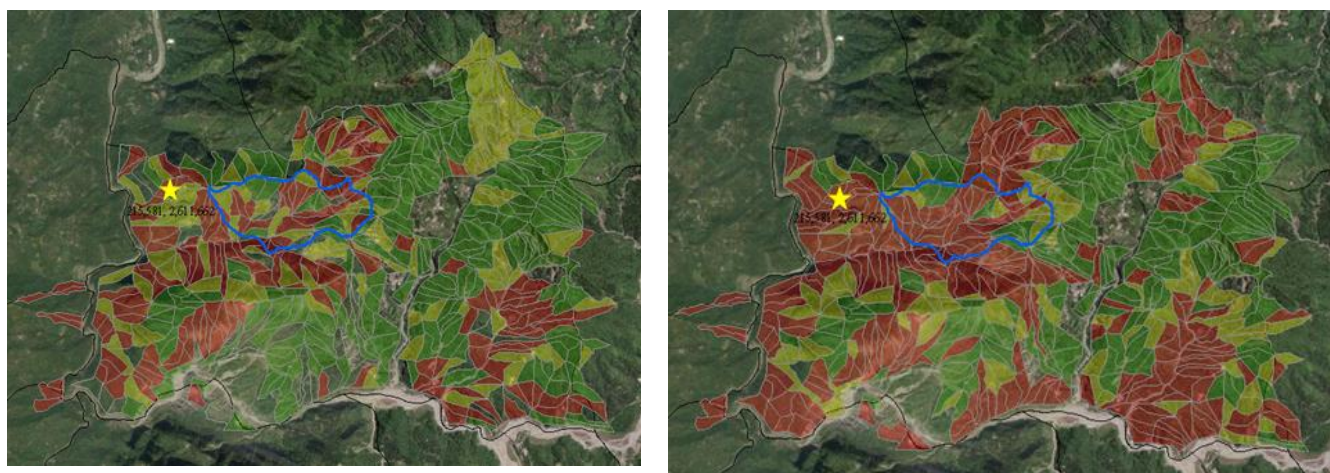


圖 4-24 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落利奇馬颱風降雨組體圖(草嶺雨量站)



圖 4-25 108 年利奇馬颱風重大土砂災例最速報-雲林縣古坑鄉草嶺村



2019/8/11 08:00:00 (崩塌時間點)

2019/8/11 18:00:00 (達紅 2)

圖 4-26 108 年利奇馬颱風雲林縣古坑鄉草嶺村坡面單元崩塌潛勢機率分布

表 4-5 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落 0815 豪雨崩塌警戒發布試做

<i>Time</i>	<i>I</i>	<i>R_{te}</i>	<i>Max(Hi)</i>	<i>Max(Fi)</i>	水保局 發布動態	本警戒模式 發布動態
2019/8/15 00:00	0	159.45	0.0000	0.0242		
2019/8/15 01:00	4	162.03	0.4939	0.0665		
2019/8/15 02:00	1	163.83	0.4939	0.0665		
2019/8/15 03:00	3	166.02	0.4939	0.0665		
2019/8/15 04:00	10	171.54	0.7049	0.2134		
2019/8/15 05:00	1.5	171.53	0.7049	0.2134		
2019/8/15 06:00	10.5	171.42	0.7251	0.2218		
2019/8/15 07:00	26	200.17	0.8331	0.4000		紅 1(過 Hc)
2019/8/15 08:00	8	201.21	0.8331	0.4000		
2019/8/15 09:00	14.5	210.71	0.8331	0.4000		
2019/8/15 10:00	32.5	225.02	0.8379	0.4000		
2019/8/15 11:00	42	278.51	0.8849	0.4000	黃色警戒	
2019/8/15 12:00	8	285.12	0.8849	0.6320		紅 2 (同時達 Fc 及 Hc)
2019/8/15 13:00	1.5	287.37	0.8849	0.6320		
2019/8/15 14:00	0	284.93	0.8849	0.6320		
2019/8/15 15:00	0.5	286.01	0.8849	0.6320		
2019/8/15 16:00	0	279.32	0.8849	0.6320		
2019/8/15 17:00	0	278.62	0.8849	0.6320		
2019/8/15 18:00	0	276.49	0.8849	0.6320		
2019/8/15 19:00	0	276.08	0.8849	0.6320		
2019/8/15 20:00	0	275.82	0.8849	0.6320		
2019/8/15 21:00	0.5	276.15	0.8849	0.6320		
2019/8/15 22:00	9	284.87	0.8849	0.6320		
2019/8/15 23:00	1.5	284.83	0.8849	0.6320		
2019/8/16 00:00	18.5	296.61	0.8849	0.6320		
2019/8/16 01:00	9	311.62	0.8849	0.6320		
2019/8/16 02:00	35	339.18	0.9119	0.6320		
2019/8/16 03:00	17.5	354.21	0.9119	0.6320		
2019/8/16 04:00	13.5	365.43	0.9119	0.6320		
2019/8/16 05:00	12	379.42	0.9119	0.6320		
2019/8/16 06:00	32	400.94	0.9296	0.6320	紅色警戒	
2019/8/16 07:00	13	407.47	0.9296	0.6320		
2019/8/16 08:00	0.5	404.75	0.9296	0.6320		

自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究

2019/8/16 09:00	13.5	408.6	0.9296	0.6320		
2019/8/16 10:00	6.5	416.37	0.9296	0.6320		
2019/8/16 11:00	3	390.21	0.9296	0.6320		
2019/8/16 12:00	4.5	392.48	0.9296	0.6320		
2019/8/16 13:00	0	389.66	0.9296	0.6320		
2019/8/16 14:00	2	389.95	0.9296	0.6320		
2019/8/16 15:00	0	390.2	0.9296	0.6320		
2019/8/16 16:00	0.5	385.39	0.9296	0.6320		
2019/8/16 17:00	0	384.12	0.9296	0.6320		
2019/8/16 18:00	0	382.43	0.9296	0.6320		
2019/8/16 19:00	0	382.14	0.9296	0.6320		
2019/8/16 20:00	0	381.93	0.9296	0.6320		
2019/8/16 21:00	0	381.66	0.9296	0.6320		
2019/8/16 22:00	0	378.76	0.9296	0.6320		
2019/8/16 23:00	1	379.91	0.9296	0.6320		
2019/8/17 00:00	0	380.71	0.9296	0.6320		
2019/8/17 01:00	11	375.81	0.9296	0.6320		
2019/8/17 02:00	18	387.3	0.9296	0.6320		
2019/8/17 03:00	8	396.97	0.9296	0.6320		
2019/8/17 04:00	2	387.63	0.9296	0.6320		
2019/8/17 05:00	8	386.33	0.9296	0.6320		
2019/8/17 06:00	23	398.26	0.9296	0.6320		
2019/8/17 07:00	11	396.6	0.9296	0.6320		
2019/8/17 08:00	4.5	395.54	0.9296	0.6320		
2019/8/17 09:00	0.5	389.56	0.9296	0.6320		
2019/8/17 10:00	4.5	388.34	0.9296	0.6320		
2019/8/17 11:00	1	372.14	0.9296	0.6320		
2019/8/17 12:00	1	366.2	0.9296	0.6320		
2019/8/17 13:00	1	363.38	0.9296	0.6320		
2019/8/17 14:00	0	361.89	0.9296	0.6320		
2019/8/17 15:00	2.5	364.53	0.9296	0.6320	紅降黃	
2019/8/17 16:00	0	361.3	0.9296	0.6320		
2019/8/17 17:00	11.5	369.13	0.9296	0.6320		
2019/8/17 18:00	1.5	373.2	0.9296	0.6320	解除警戒	
2019/8/17 19:00	4	374.36	0.9296	0.6320		
2019/8/17 20:00	1	377.74	0.9296	0.6320		
2019/8/17 21:00	0	377.55	0.9296	0.6320		

2019/8/17 22:00	0	375.44	0.9296	0.6320		
2019/8/17 23:00	0	375.27	0.9296	0.6320		
2019/8/18 00:00	0	375.68	0.9296	0.6320		
2019/8/18 01:00	0	371.43	0.9296	0.6320		
2019/8/18 02:00	0	363.17	0.9296	0.6320		
2019/8/18 03:00	0	350.01	0.9296	0.6320		
2019/8/18 04:00	0	341.6	0.9296	0.6320		
2019/8/18 05:00	0	334.3	0.9296	0.6320		
2019/8/18 06:00	0	323.79	0.9296	0.6320		
2019/8/18 07:00	0	305.06	0.9296	0.6320		
2019/8/18 08:00	0	300.33	0.9296	0.6320		
2019/8/18 09:00	0	296.43	0.9296	0.6320		
2019/8/18 10:00	4	291.54	0.9296	0.6579		
2019/8/18 11:00	19.5	302.75	0.9296	0.6579		
2019/8/18 12:00	0.5	298.5	0.9296	0.6579		
2019/8/18 13:00	0.5	297.42	0.9296	0.6579		
2019/8/18 14:00	0	295.67	0.9296	0.6579		
2019/8/18 15:00	0	294.82	0.9296	0.6579		
2019/8/18 16:00	2	293	0.9296	0.6579		
2019/8/18 17:00	1.5	295.84	0.9296	0.6579		
2019/8/18 18:00	0	291.24	0.9296	0.6579		
2019/8/18 19:00	7	296.3	0.9296	0.6579		
2019/8/18 20:00	3	299.42	0.9296	0.6579		
2019/8/18 21:00	5.5	304.44	0.9296	0.6853		
2019/8/18 22:00	0.5	302.79	0.9296	0.6853		
2019/8/18 23:00	0	303.14	0.9296	0.6853		

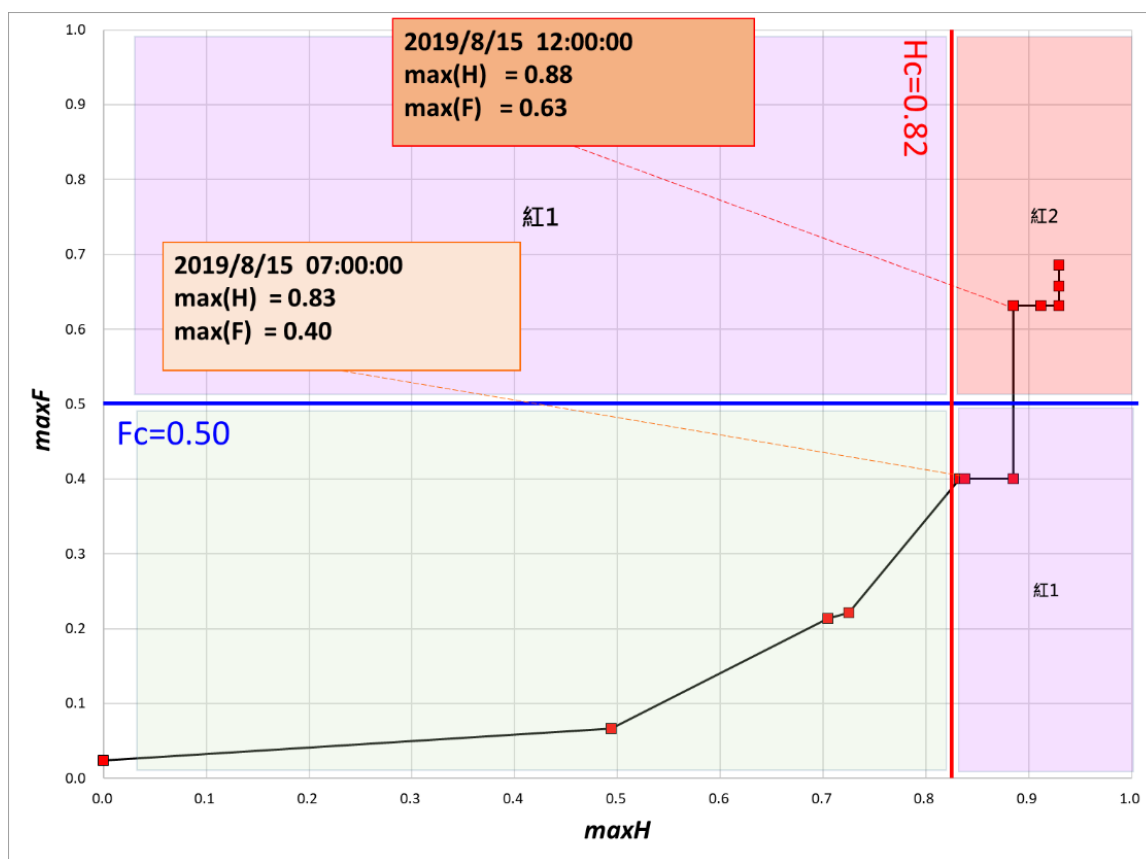


圖 4-27 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落 0815 豪雨崩塌警戒機制圖

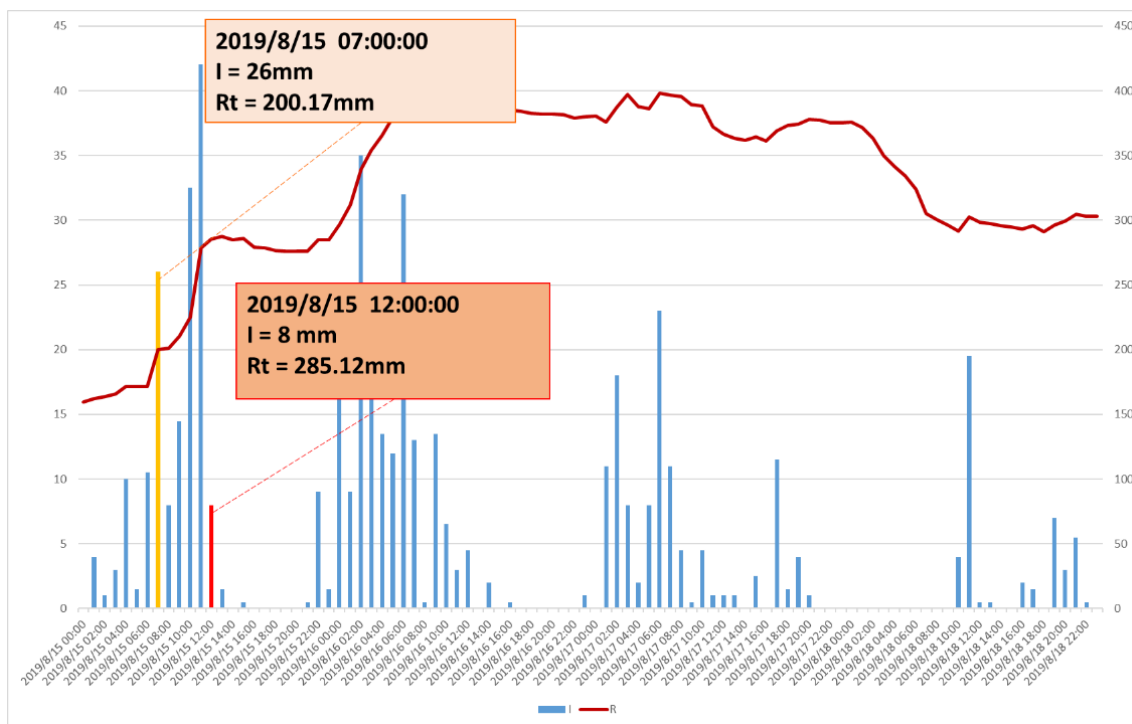


圖 4-28 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落 0815 豪雨降雨組體圖(草嶺雨量站)

表 4-6 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)利奇馬颱風崩塌警戒發布試做

Time	I	R_{te}	$Max(Hi)$	$Max(Fi)$	水保局發布動態	本警戒模式發布動態
2019/8/8 15:00	0	23.35	0.1440	0.3522		
2019/8/8 16:00	1.5	20.78	0.1440	0.3522		
2019/8/8 17:00	16	34.94	0.2696	0.3522		
2019/8/8 18:00	3.5	39.97	0.2696	0.3805		
2019/8/8 19:00	3	42.09	0.2696	0.3805		
2019/8/8 20:00	2	43.56	0.2696	0.3805		
2019/8/8 21:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/8 22:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/8 23:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 00:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 01:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 02:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 03:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 04:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 05:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 06:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 07:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 08:00	0	43.47	0.2696	0.3805		
2019/8/9 09:00	0.5	43.97	0.2696	0.3805		
2019/8/9 10:00	2.5	46.47	0.2696	0.3960		
2019/8/9 11:00	0.5	46.47	0.2696	0.3960		
2019/8/9 12:00	2	48.97	0.2696	0.4075		
2019/8/9 13:00	0	48.97	0.2696	0.4075		
2019/8/9 14:00	2	51.11	0.2696	0.4222		
2019/8/9 15:00	3.5	51.35	0.2696	0.4382	黃色警戒	
2019/8/9 16:00	0.5	53.1	0.2696	0.4382		
2019/8/9 17:00	1	49.74	0.2696	0.4382		
2019/8/9 18:00	0.5	46.01	0.2696	0.4382		
2019/8/9 19:00	1.5	46.44	0.2696	0.4382		
2019/8/9 20:00	1	45.62	0.2696	0.4382		
2019/8/9 21:00	0	45.53	0.2696	0.4382		
2019/8/9 22:00	0.5	46.03	0.2696	0.4382		
2019/8/9 23:00	4.5	50.03	0.2769	0.4421		
2019/8/10 00:00	2	50.53	0.2769	0.4421		
2019/8/10 01:00	3	55.53	0.2769	0.4600		

2019/8/10 02:00	15.5	70.03	0.4681	0.4600		
2019/8/10 03:00	13	81.03	0.5298	0.5007		
2019/8/10 04:00	15.5	96.03	0.6044	0.5084		
2019/8/10 05:00	26.5	120	0.6858	0.5084		
2019/8/10 06:00	13.5	136	0.6858	0.6379		紅 1(過 Fc)
2019/8/10 07:00	12	151.5	0.6858	0.6379		
2019/8/10 08:00	10	161.5	0.6858	0.6379		
2019/8/10 09:00	4.5	165.9	0.6858	0.6808		
2019/8/10 10:00	9	173.1	0.6858	0.6808		
2019/8/10 11:00	9	182	0.6858	0.6808		
2019/8/10 12:00	17	198.9	0.7360	0.6808		
2019/8/10 13:00	4	202.9	0.7360	0.6808		
2019/8/10 14:00	3	205.2	0.7360	0.6808		
2019/8/10 15:00	2	205	0.7360	0.6808		
2019/8/10 16:00	4.5	207.3	0.7360	0.6808		
2019/8/10 17:00	5	208.1	0.7360	0.6808		
2019/8/10 18:00	7	209.9	0.7360	0.6808		
2019/8/10 19:00	20	225.8	0.7574	0.6808		
2019/8/10 20:00	15	245.2	0.7600	0.6808		
2019/8/10 21:00	6	251.2	0.7600	0.6808		
2019/8/10 22:00	18.5	268.5	0.8110	0.6808		
2019/8/10 23:00	1	269.7	0.8110	0.6808		
2019/8/11 00:00	1	271.6	0.8110	0.6808		
2019/8/11 01:00	2.5	269.7	0.8110	0.6808		
2019/8/11 02:00	21	285.5	0.8371	0.6808		
2019/8/11 03:00	13	298.6	0.8371	0.6808		
2019/8/11 04:00	4.5	299	0.8371	0.6808		
2019/8/11 05:00	37.5	321	0.8924	0.6808	紅色警戒	
2019/8/11 06:00	24.5	348.5	0.8924	0.6808		
2019/8/11 07:00	11	351.9	0.8924	0.6808		
2019/8/11 08:00	3.5	353.9	0.8924	0.6808		
2019/8/11 09:00	18	366.9	0.8924	0.6808		
2019/8/11 10:00	13	381.2	0.8924	0.6808		崩塌發生
2019/8/11 11:00	0.5	380.2	0.8924	0.6808		
2019/8/11 12:00	2.5	375.9	0.8924	0.6808		
2019/8/11 13:00	14.5	387.7	0.8924	0.6808		
2019/8/11 14:00	4.5	392.2	0.8924	0.6808		

2019/8/11 15:00	14	406.6	0.8924	0.6808		
2019/8/11 16:00	0	402.9	0.8924	0.6808		
2019/8/11 17:00	16.5	408.3	0.8924	0.6808		
2019/8/11 18:00	14	429.5	0.8924	0.6808		
2019/8/11 19:00	2	426.7	0.8924	0.6808		
2019/8/11 20:00	0	415.1	0.8924	0.6808		
2019/8/11 21:00	9.5	420.3	0.8924	0.6808		
2019/8/11 22:00	1.5	419.7	0.8924	0.6808		
2019/8/11 23:00	0.5	418.3	0.8924	0.6808		
2019/8/12 00:00	0	418.6	0.8924	0.6808		
2019/8/12 01:00	0	417.3	0.8924	0.6808		
2019/8/12 02:00	0	410	0.8924	0.6808		
2019/8/12 03:00	2.5	404.7	0.8924	0.6808		
2019/8/12 04:00	4.5	405	0.8924	0.6808		
2019/8/12 05:00	19	413.9	0.8924	0.6808		
2019/8/12 06:00	14	411.5	0.8924	0.6808		
2019/8/12 07:00	4	408.2	0.8924	0.6808		
2019/8/12 08:00	4	407.6	0.8924	0.6808		
2019/8/12 09:00	1	405.1	0.8924	0.6808		
2019/8/12 10:00	0.5	397.2	0.8924	0.6808		
2019/8/12 11:00	0	395.2	0.8924	0.6808		
2019/8/12 12:00	0	389.6	0.8924	0.6808		
2019/8/12 13:00	0	385.9	0.8924	0.6808		
2019/8/12 14:00	0	382.9	0.8924	0.6808		
2019/8/12 15:00	0	378.1	0.8924	0.6808		
2019/8/12 16:00	6.5	381.5	0.8924	0.6808		
2019/8/12 17:00	0.5	386.8	0.8924	0.6808		
2019/8/12 18:00	0	371.5	0.8924	0.6808		
2019/8/12 19:00	0	366.7	0.8924	0.6808		
2019/8/12 20:00	0	358.5	0.8924	0.6808		
2019/8/12 21:00	0	356.9	0.8924	0.6808		
2019/8/12 22:00	0	350.7	0.8924	0.6808		
2019/8/12 23:00	0	349.2	0.8924	0.6808		
2019/8/13 00:00	0	349.5	0.8924	0.6808		
2019/8/13 01:00	0	348.6	0.8924	0.6808		
2019/8/13 02:00	0	343.4	0.8924	0.6808		
2019/8/13 03:00	0	338.1	0.8924	0.6808		

2019/8/13 04:00	0	333.8	0.8924	0.6808	解除警戒
-----------------	---	-------	--------	--------	------

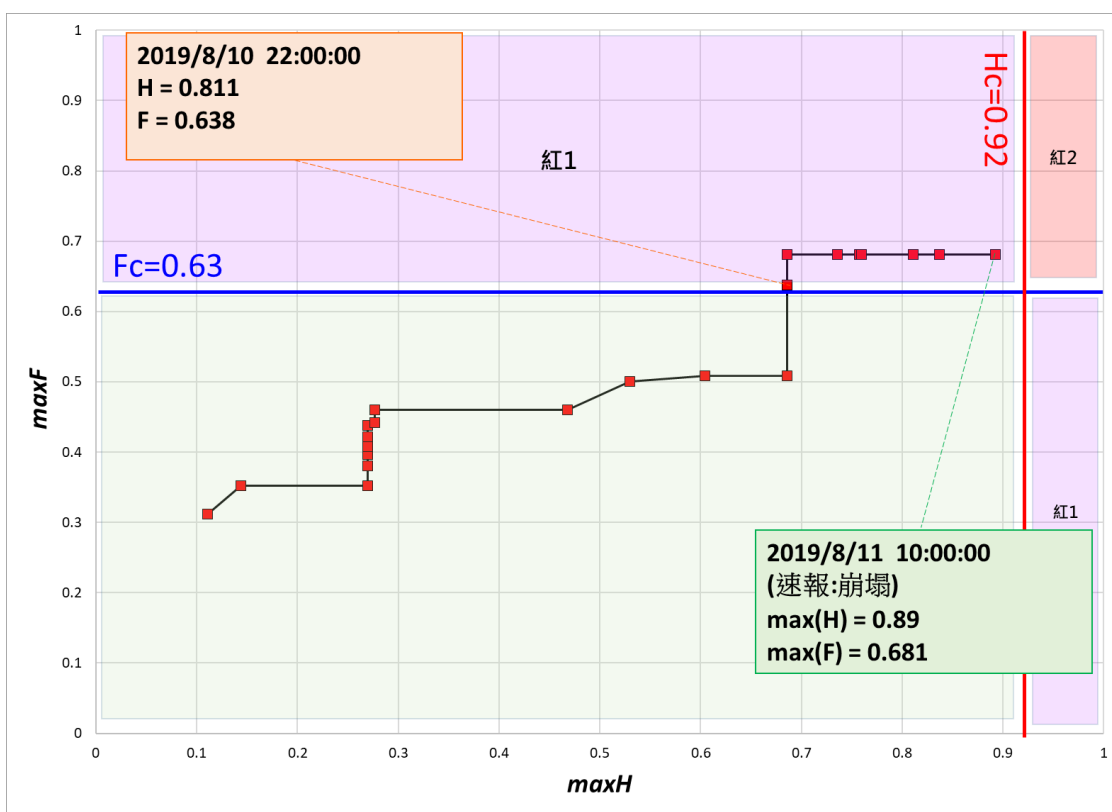


圖 4-29 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)利奇馬颱風崩塌警戒機制圖

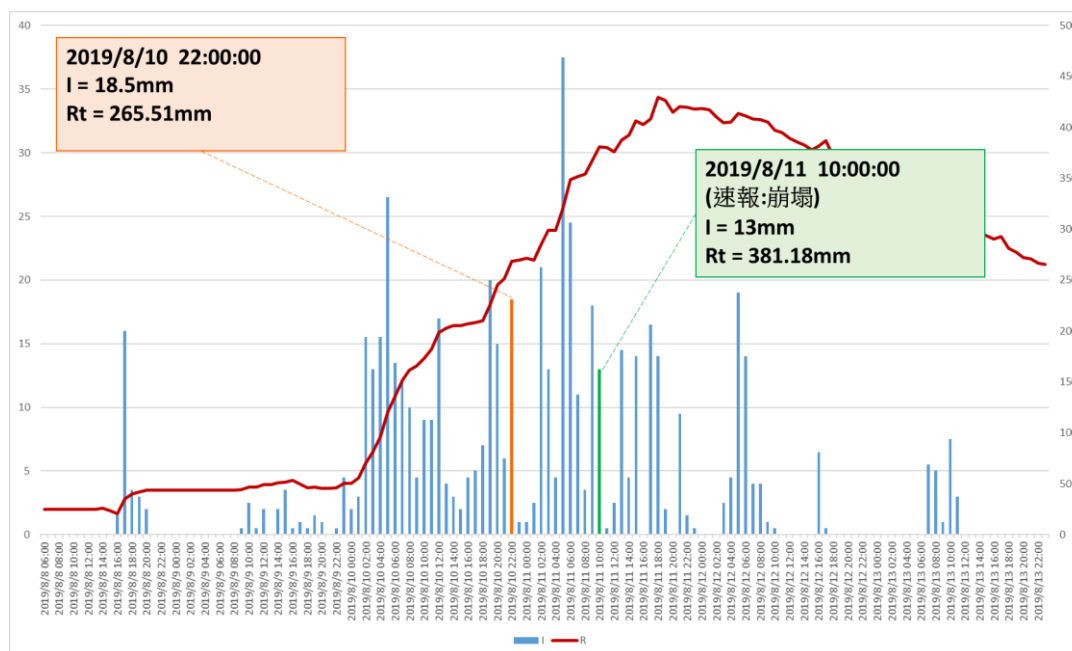


圖 4-30 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)利奇馬颱風降雨組體圖(那瑪夏國中雨量站)



圖 4-31 108 年利奇馬颱風重大土砂災例最速報-高雄市那瑪夏區南沙魯里

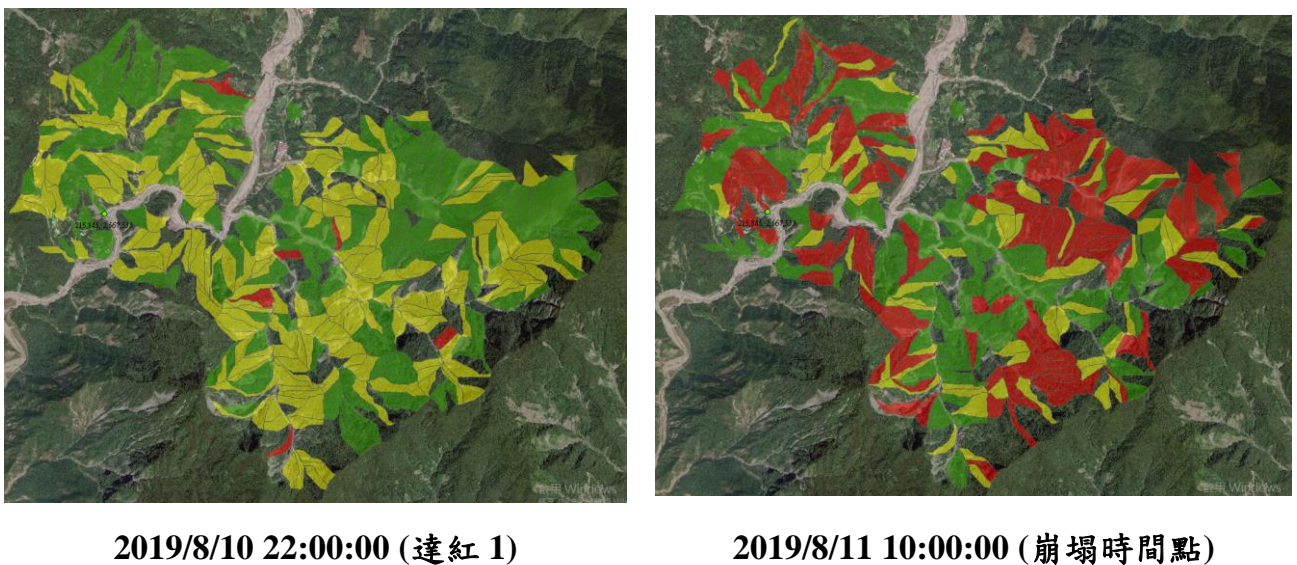


圖 4-32 108 年利奇馬颱風高雄市那瑪夏區南沙魯里坡面單元崩塌潛勢機率分布

表 4-7 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)0815 豪雨崩塌警戒發布試做

Time	I	R_{te}	$Max(Hi)$	$Max(Fi)$	水保局發布動態	本警戒模式發布動態
2019/8/14 16:00	4.5	208.16	0.4861	0.4434		
2019/8/14 17:00	0	211.8	0.4861	0.4434		
2019/8/14 18:00	0	204.42	0.4861	0.4843		
2019/8/14 19:00	0	202.2	0.4861	0.5075		
2019/8/14 20:00	0	198.22	0.4861	0.5442		
2019/8/14 21:00	0	197.43	0.4861	0.5508		
2019/8/14 22:00	0	194.39	0.4861	0.5743		
2019/8/14 23:00	0.5	193.66	0.4861	0.5771		
2019/8/15 00:00	0	194.28	0.4861	0.5771		
2019/8/15 01:00	11.5	201.34	0.6815	0.5771		
2019/8/15 02:00	6.5	205.82	0.6815	0.5771		
2019/8/15 03:00	12	218.71	0.6957	0.6145		
2019/8/15 04:00	2.5	217.59	0.6957	0.6145		
2019/8/15 05:00	4	220.26	0.6957	0.6145		
2019/8/15 06:00	8	215.25	0.6957	0.6145		
2019/8/15 07:00	18.5	224.45	0.7492	0.6198		
2019/8/15 08:00	25	246.87	0.8161	0.6291		紅 1(過 Fc)
2019/8/15 09:00	2.5	252.1	0.8161	0.6291		
2019/8/15 10:00	55.5	291.79	0.8873	0.6291	黃色警戒	
2019/8/15 11:00	62	348.96	0.9023	0.6291	紅色警戒	
2019/8/15 12:00	53	406.06	0.9267	0.7291		紅 2 (同時達 Fc 及 Hc)
2019/8/15 13:00	17.5	430.29	0.9267	0.7291		
2019/8/15 14:00	2.5	432.25	0.9267	0.7291		
2019/8/15 15:00	8.5	438.92	0.9267	0.7291		
2019/8/15 16:00	1.5	439.35	0.9267	0.7291		
2019/8/15 17:00	0	438.53	0.9267	0.7291		
2019/8/15 18:00	0	433.36	0.9267	0.7291		
2019/8/15 19:00	0	431.72	0.9267	0.7291		
2019/8/15 20:00	7	435.44	0.9267	0.7291		
2019/8/15 21:00	4.5	439.38	0.9267	0.7291		
2019/8/15 22:00	1.5	438.25	0.9267	0.7291		
2019/8/15 23:00	4	441.6	0.9267	0.7291		
2019/8/16 00:00	31	471.18	0.9267	0.7291		
2019/8/16 01:00	22	486.92	0.9267	0.7291		

2019/8/16 02:00	21.5	510.7	0.9267	0.7291		
2019/8/16 03:00	24.5	523.78	0.9340	0.7291		
2019/8/16 04:00	9	534.55	0.9340	0.7291		
2019/8/16 05:00	28	553.87	0.9408	0.7291		
2019/8/16 06:00	24.5	573.86	0.9447	0.7291		
2019/8/16 07:00	13	575.8	0.9447	0.7291		
2019/8/16 08:00	24.5	592.29	0.9447	0.7291		
2019/8/16 09:00	18	610	0.9447	0.7291		
2019/8/16 10:00	8.5	609.13	0.9447	0.7291		
2019/8/16 11:00	8	600.61	0.9447	0.7291		
2019/8/16 12:00	6	579.87	0.9447	0.7291		
2019/8/16 13:00	1.5	571.24	0.9447	0.7291		
2019/8/16 14:00	0.5	569.76	0.9447	0.7291		
2019/8/16 15:00	3	569.28	0.9447	0.7291		
2019/8/16 16:00	1	568.87	0.9447	0.7291		
2019/8/16 17:00	0	567.38	0.9447	0.7291		
2019/8/16 18:00	0	563.56	0.9447	0.7291		
2019/8/16 19:00	0	562.26	0.9447	0.7291		
2019/8/16 20:00	0	558.66	0.9447	0.7291		
2019/8/16 21:00	0	556.92	0.9447	0.7291		
2019/8/16 22:00	0	555.48	0.9447	0.7291		
2019/8/16 23:00	0	554.67	0.9447	0.7291		
2019/8/17 00:00	0	546.08	0.9447	0.7291		
2019/8/17 01:00	1	546.65	0.9447	0.7291		
2019/8/17 02:00	4.5	535.74	0.9447	0.7291		
2019/8/17 03:00	0.5	525.15	0.9447	0.7291		
2019/8/17 04:00	6.5	525.93	0.9447	0.7291		
2019/8/17 05:00	1.5	519.26	0.9447	0.7291		
2019/8/17 06:00	7	505.05	0.9447	0.7291		
2019/8/17 07:00	3	509.66	0.9447	0.7291		
2019/8/17 08:00	1	493.1	0.9447	0.7291		
2019/8/17 09:00	1	480.33	0.9447	0.7291		
2019/8/17 10:00	0	470.72	0.9447	0.7291		
2019/8/17 11:00	21	478.08	0.9447	0.7291		
2019/8/17 12:00	0	463.9	0.9447	0.7291		
2019/8/17 13:00	0	449.55	0.9447	0.7291		
2019/8/17 14:00	0.5	447.9	0.9447	0.7291		

自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究

2019/8/17 15:00	1	446.71	0.9447	0.7291		
2019/8/17 16:00	0	444.55	0.9447	0.7291		
2019/8/17 17:00	0	444.28	0.9447	0.7291		
2019/8/17 18:00	0	441.92	0.9447	0.7291	紅降黃	
2019/8/17 19:00	0	441.1	0.9447	0.7291		
2019/8/17 20:00	2.5	441.17	0.9447	0.7291		
2019/8/17 21:00	0.5	439.95	0.9447	0.7291		
2019/8/17 22:00	0	439.41	0.9447	0.7291		
2019/8/17 23:00	0	438.59	0.9447	0.7291		解除警戒
2019/8/18 00:00	0	432.46	0.9447	0.7291		
2019/8/18 01:00	0	432.53	0.9447	0.7291		
2019/8/18 02:00	0	418.66	0.9447	0.7291		
2019/8/18 03:00	0	409.99	0.9447	0.7291		
2019/8/18 04:00	0	403.15	0.9447	0.7291		
2019/8/18 05:00	1	397.3	0.9447	0.7291		
2019/8/18 06:00	0.5	380.92	0.9447	0.7291		
2019/8/18 07:00	0	379.61	0.9447	0.7291		
2019/8/18 08:00	0	365.59	0.9447	0.7291		
2019/8/18 09:00	0	356.27	0.9447	0.7291		
2019/8/18 10:00	0.5	348.82	0.9447	0.7291		
2019/8/18 11:00	5	338.3	0.9447	0.7291		
2019/8/18 12:00	0.5	327.19	0.9447	0.7291		
2019/8/18 13:00	2	317.91	0.9447	0.7291		
2019/8/18 14:00	0.5	318.52	0.9447	0.7291		
2019/8/18 15:00	0	315.84	0.9447	0.7291		
2019/8/18 16:00	0	314.21	0.9447	0.7291		
2019/8/18 17:00	0	313.76	0.9447	0.7291		
2019/8/18 18:00	1	312.24	0.9447	0.7291	解除警戒	

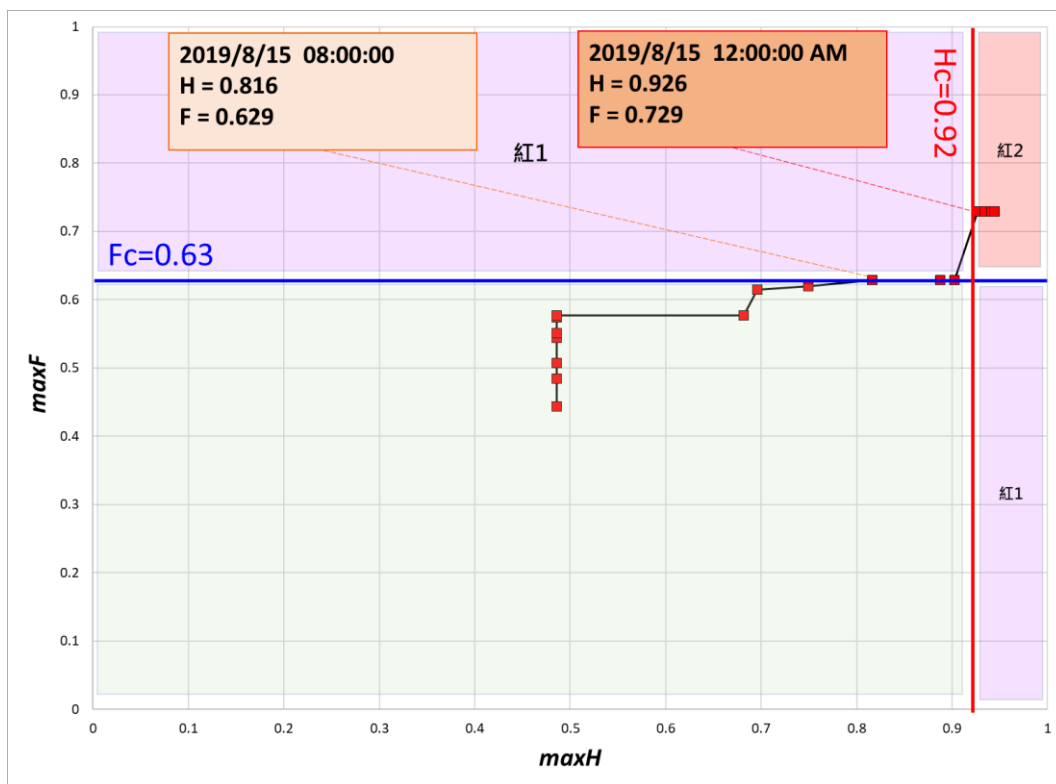


圖 4-33 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)0815 豪雨崩塌警戒機制圖

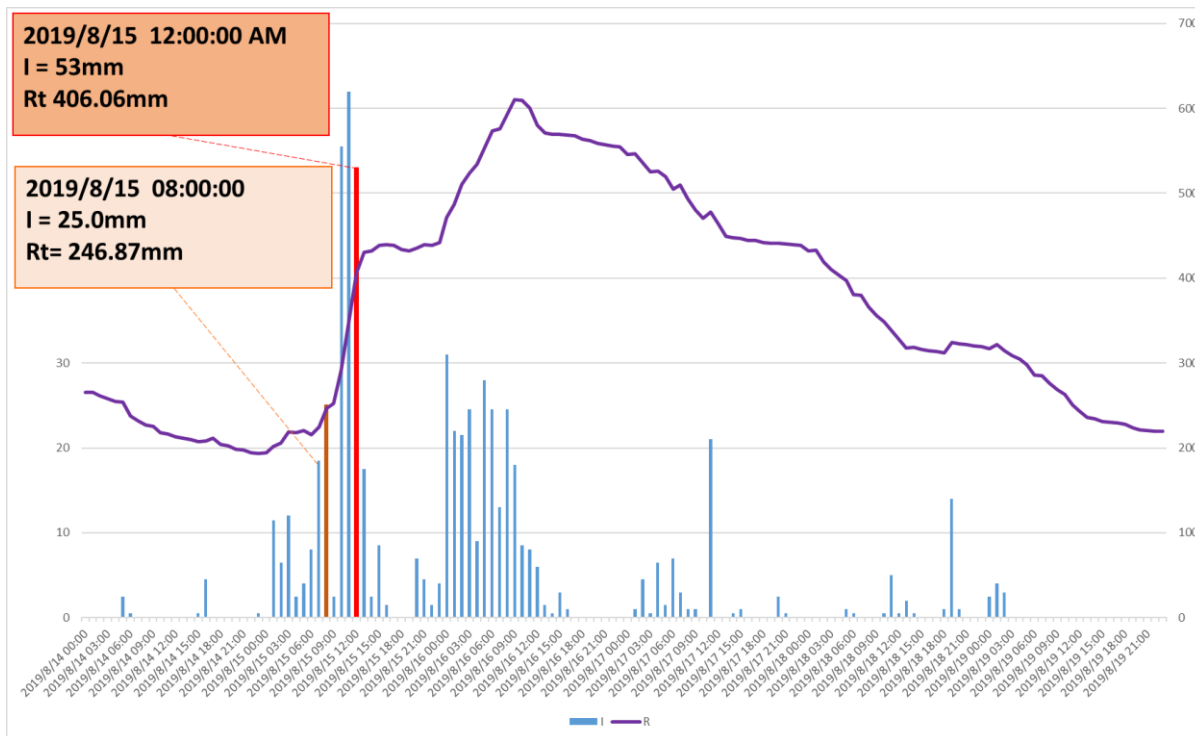


圖 4-34 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)0815 豪雨降雨組體圖(那瑪夏國中雨量站)

表 4-8 六龜區寶來里(竹林(16、17 鄰)聚落)0815 豪雨崩塌警戒發布試做

<i>Time</i>	<i>I</i>	<i>R_{te}</i>	<i>Max(Hi)</i>	<i>Max(Fi)</i>	水保局發布動態	本警戒模式 發布動態
2019/8/14 00:00	0	81.32	0.0000	0.0000		
2019/8/14 01:00	0	79.85	0.0000	0.0000		
2019/8/14 02:00	0	79.71	0.0000	0.0000		
2019/8/14 03:00	0	79.61	0.0000	0.0000		
2019/8/14 04:00	0	79.68	0.0000	0.0000		
2019/8/14 05:00	0	76.31	0.0000	0.0000		
2019/8/14 06:00	2	75.97	0.1650	0.3997		
2019/8/14 07:00	0	77.93	0.1650	0.3997		
2019/8/14 08:00	0	74.73	0.1650	0.3997		
2019/8/14 09:00	0	73.02	0.1650	0.3997		
2019/8/14 10:00	0	70.1	0.1650	0.3997		
2019/8/14 11:00	0	69.04	0.1650	0.3997		
2019/8/14 12:00	0	66.89	0.1650	0.3997		
2019/8/14 13:00	0	66.34	0.1650	0.3997		
2019/8/14 14:00	0	65.99	0.1650	0.3997		
2019/8/14 15:00	0	65.51	0.1650	0.3997		
2019/8/14 16:00	2	65.21	0.1650	0.3997		
2019/8/14 17:00	0	64.97	0.1650	0.3997		
2019/8/14 18:00	0	63.58	0.1650	0.3997		
2019/8/14 19:00	0	63.61	0.1650	0.3997		
2019/8/14 20:00	0	62.77	0.1650	0.3997		
2019/8/14 21:00	0	62.52	0.1650	0.3997		
2019/8/14 22:00	2	62.35	0.1650	0.3997		
2019/8/14 23:00	3	66.79	0.2388	0.3997		
2019/8/15 00:00	0	64.77	0.2388	0.3997		
2019/8/15 01:00	0	67.74	0.2388	0.3997		
2019/8/15 02:00	14	83.64	0.4882	0.3997		
2019/8/15 03:00	1	84.57	0.4882	0.3997		
2019/8/15 04:00	3	87.62	0.4882	0.3997		
2019/8/15 05:00	2	87.26	0.4882	0.3997		
2019/8/15 06:00	0	97.03	0.4882	0.4566		
2019/8/15 07:00	28	136.4	0.6304	0.4566		
2019/8/15 08:00	2	136.2	0.6304	0.4566		
2019/8/15 09:00	13	140	0.6304	0.4566		

2019/8/15 10:00	35	177	0.6750	0.5807		紅 1(過 Fc)
2019/8/15 11:00	25	203.2	0.6897	0.5807		
2019/8/15 12:00	4	202.7	0.6897	0.5807		
2019/8/15 13:00	26	219.3	0.6955	0.5807		
2019/8/15 14:00	14	238.1	0.6955	0.5807		
2019/8/15 15:00	8	248.8	0.6955	0.5807	黃色發布	崩塌發生
2019/8/15 16:00	16	265.5	0.7046	0.5807		
2019/8/15 17:00	0	265.3	0.7046	0.5807		
2019/8/15 18:00	1	265.3	0.7046	0.5807		
2019/8/15 19:00	0	265.3	0.7046	0.5807		
2019/8/15 20:00	0	278.8	0.7046	0.5807		
2019/8/15 21:00	0	279.6	0.7046	0.5807		
2019/8/15 22:00	0	280.9	0.7046	0.5807		
2019/8/15 23:00	0	287.6	0.7046	0.5807		
2019/8/16 00:00	0	302.2	0.7046	0.5807	紅色發布	
2019/8/16 01:00	0	316.7	0.7046	0.5807		
2019/8/16 02:00	10	327.4	0.7046	0.5807		
2019/8/16 03:00	0	337	0.7046	0.5807		
2019/8/16 04:00	12	355.2	0.7046	0.5807		
2019/8/16 05:00	27	370.9	0.7763	0.6522		
2019/8/16 06:00	13	384.8	0.7763	0.6522		
2019/8/16 07:00	9	382.3	0.7763	0.6522		
2019/8/16 08:00	14	387.2	0.7763	0.6522		
2019/8/16 09:00	4	400	0.7763	0.6522		
2019/8/16 10:00	0	394.1	0.7763	0.6522		
2019/8/16 11:00	10	403.1	0.7763	0.6522		
2019/8/16 12:00	25	429.8	0.8127	0.6522		紅 2 (同時達 Fc 及 Hc)
2019/8/16 13:00	5	433.4	0.8127	0.6522		
2019/8/16 14:00	2	428	0.8127	0.6522		
2019/8/16 15:00	1	424.3	0.8127	0.6522		
2019/8/16 16:00	1	417.7	0.8127	0.6522		
2019/8/16 17:00	0	417.2	0.8127	0.6522		
2019/8/16 18:00	0	415	0.8127	0.6522		
2019/8/16 19:00	1	415.8	0.8127	0.6522		
2019/8/16 20:00	0	411.8	0.8127	0.6522		
2019/8/16 21:00	0	410.7	0.8127	0.6522		

自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究

2019/8/16 22:00	0	411.6	0.8127	0.6522		
2019/8/16 23:00	0	410.5	0.8127	0.6522		
2019/8/17 00:00	0	400.5	0.8127	0.6522		
2019/8/17 01:00	0	400.5	0.8127	0.6522		
2019/8/17 02:00	2	387.2	0.8127	0.6522		
2019/8/17 03:00	1	390.8	0.8127	0.6522		
2019/8/17 04:00	2	381.6	0.8127	0.6522		
2019/8/17 05:00	2	379.8	0.8127	0.6522		
2019/8/17 06:00	0	378.2	0.8127	0.6522		
2019/8/17 07:00	0	357.3	0.8127	0.6522		
2019/8/17 08:00	1	359.6	0.8127	0.6522		
2019/8/17 09:00	0	352	0.8127	0.6522		
2019/8/17 10:00	0	351.2	0.8127	0.6522		
2019/8/17 11:00	15	346.2	0.8127	0.6522		
2019/8/17 12:00	0	342.2	0.8127	0.6522		
2019/8/17 13:00	0	341.4	0.8127	0.6522		
2019/8/17 14:00	0	332.2	0.8127	0.6522		
2019/8/17 15:00	0	327.9	0.8127	0.6522		
2019/8/17 16:00	0	322.1	0.8127	0.6522		
2019/8/17 17:00	0	322	0.8127	0.6522		
2019/8/17 18:00	0	321.8	0.8127	0.6522	紅降黃	
2019/8/17 19:00	4	325.5	0.8127	0.6522		
2019/8/17 20:00	1	323.8	0.8127	0.6522		
2019/8/17 21:00	0	329	0.8127	0.6522		
2019/8/17 22:00	5	337.5	0.8127	0.6522		
2019/8/17 23:00	0	335.5	0.8127	0.6522		解除警戒

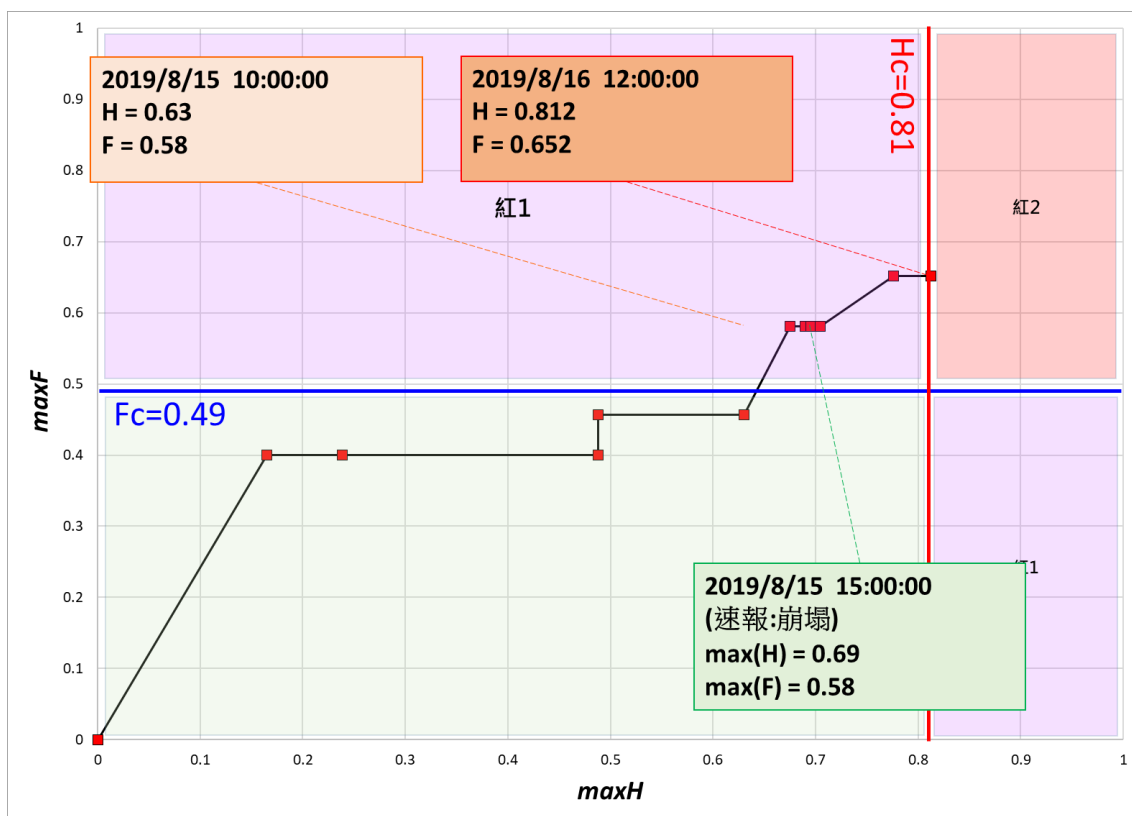


圖 4-35 六龜區寶來里(竹林(16、17 鄰)聚落)0815 豪雨崩塌警戒機制圖

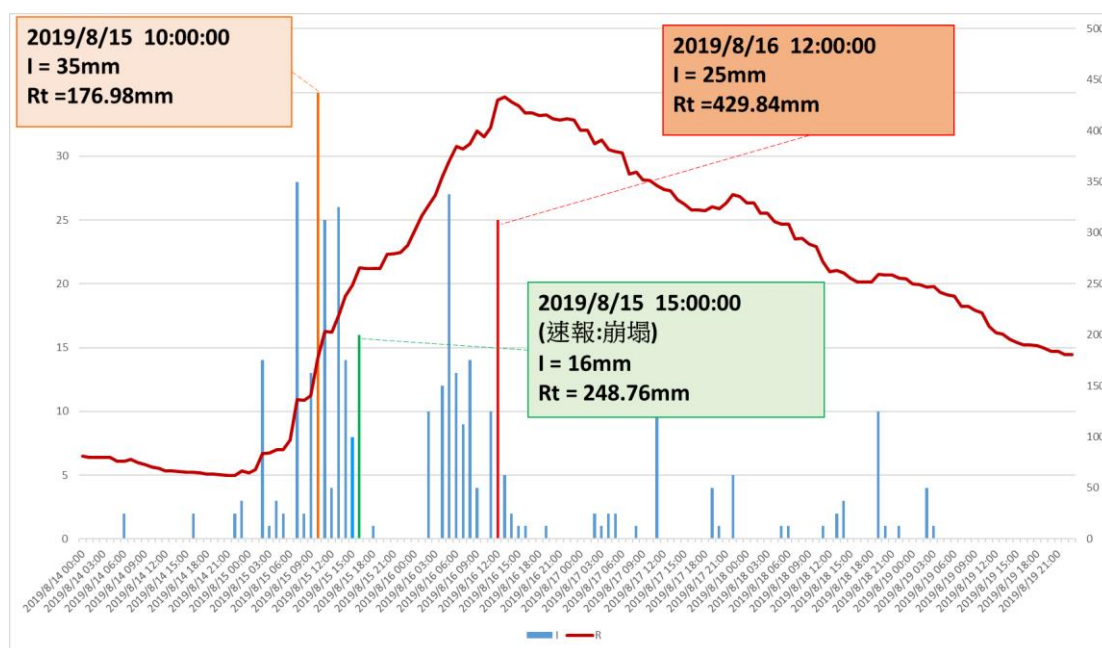


圖 4-36 六龜區寶來里(竹林(16、17 鄰)聚落)0815 豪雨降雨組體圖(高中雨量站)

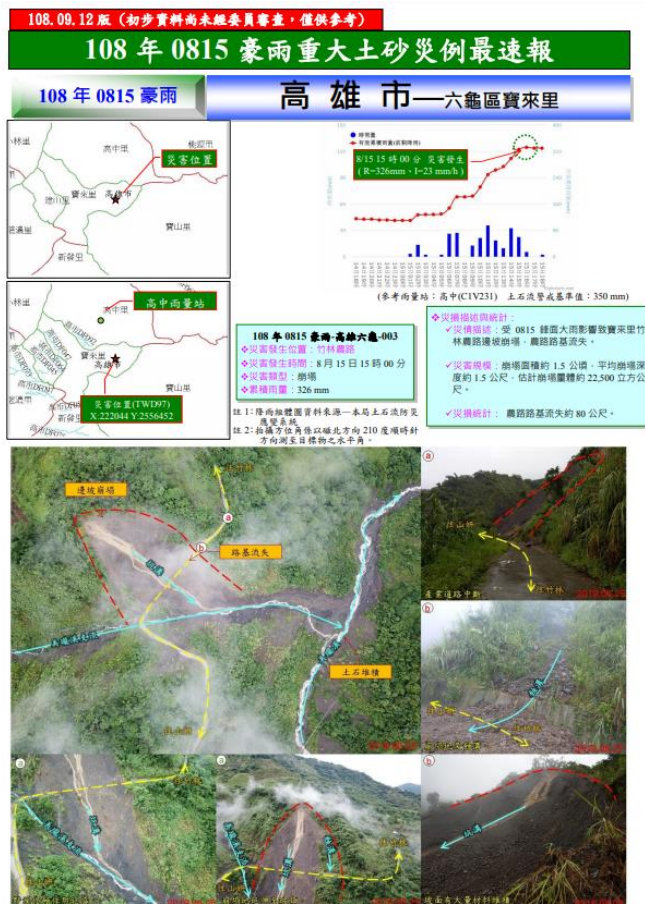


圖 4-37 108年0815豪雨重大土砂災例最速報-高雄市六龜區寶來里

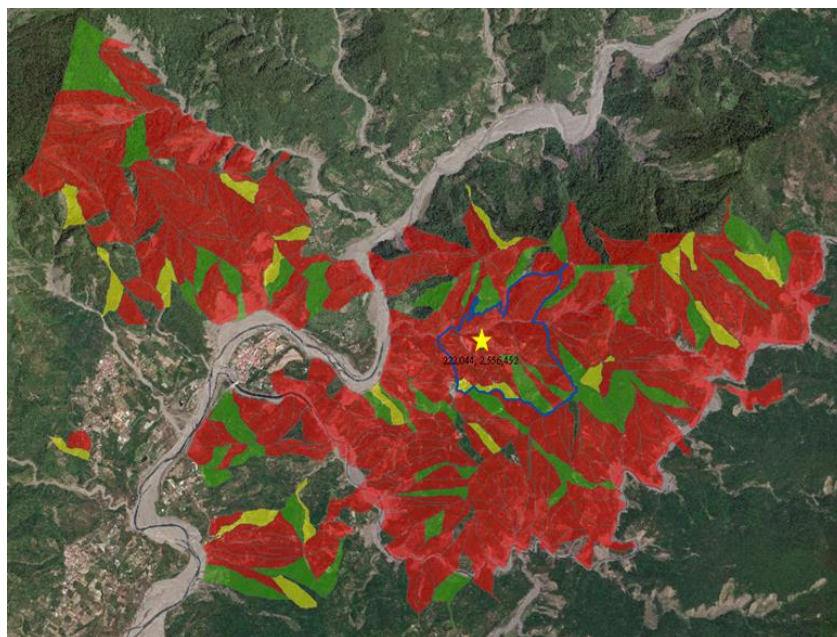


圖 4-38 108年0815豪雨高雄市六龜區寶來里坡面單元崩塌潛勢機率分布

第五章 結論

第一節 結論

- 一、 本計畫已完成針對研究區內陳有蘭溪集水區、荖濃溪集水區、旗山溪集水區之多元地文環境因子之擴增。
- 二、 本計畫已完成針對研究區內陳有蘭溪集水區、荖濃溪集水區、旗山溪集水區之崩塌事件資料庫擴增以取得更多事件(98年度至106年度)崩塌樣本，而以擴增後之崩塌事件資料庫進行人工智慧演算法之模式訓練，進而探索全域變動因子(雨量驅動因子: (I_{max}, R_{te}) 以及 (R_{max}, I)) 對於坡地崩塌災害的影響性。
- 三、 本計畫完成建立基礎類神經坡地風險評估模型，並將坡面單元環境因子組成以及歷年的最大事件降雨擾動因子之崩塌時序特徵資料庫，加入為崩塌潛勢評估分析模型之變數，進行訓練已取得全域環境下適用之模型，並投入兩種雨量參數，分別為各年度颱風豪雨雨場中之最大之 $I_{max}(i)$ 及其對應之 $R_{te}(i)$ ，於驗證樣本中得到 77.64% 之準確率，其中輸入降雨參數為 (I_{max}, R_{te}) 之未發生準確率為 70.84% (誤判率為 0.29)，已發生準確率為 84.48% (漏判率為 0.16)。
- 四、 在模式建立後，將目標判釋年度為 105 年度至 106 年度之資料庫進行崩塌潛勢評估模式之獨立驗證，經過模式的驗證結果，其整體精度為 82.92%，其中未發生準確率為 82.66% (誤判率為 0.17)，已發生準確率為 84.27% (漏判率為 0.15)，其說明對於單一坡面單元於過去崩塌發生頻率以及變異狀況是有可能擾動坡面的組構進而影響該坡面發生崩塌的可能性。
- 五、 本計畫完成 0522 豪雨之自主防災風險警戒管理發布試作，其中各雨量站資訊透過本計畫所建立之崩塌風險警戒機制模式後，經降雨危害 H 以及崩塌潛勢 F 之推估比率後，取得各時段之警戒狀態，其說明了本

計畫所發展之風險警戒模式之適用性，並於坡面風險地圖進行空間視覺化展示，可提供後續自主防災應用之重要參考。

- 六、 本計畫發展之崩塌風險警戒機制模式並可細緻化的對坡面單元進行崩塌易損評估，可明確呈現高風險之坡面單元的位置，掌握何處發生崩塌的潛勢以及可能性較高，以進行相對應之警戒模式。
- 七、 本計畫以崩塌災害警戒管理落實於自主防災為主要目的，並完成進行社區自主防災崩塌警戒發布管理流程設計，提供豐丘專屬之崩塌警戒值、專屬社區空間崩塌風險潛勢圖，以協助社區自主防災應變決策，並規劃相關避難路線及崩塌風險地圖等，進而達社區自主避災、防災及減災的目標。

第二節 後續建議方向

- 一、 過去僅透過人工之假設判斷崩塌發生在颱風豪雨事件中之 I_{max}, R_{te} ，並僅透過單一 I_{max}, R_{te} 與崩塌建立關係演算，對於實際發生崩塌之不確定性須透過更多之輸入雨量變數進行訓練，以建立更多發生崩塌關鍵點之訓練模式，後續計畫建議在持續擴增環境潛在因子的同時，對於雨量誘發因子的探索亦須增加更多時序特徵組合(多時序 I, R 或 I_{3hr}, R_{3hr})，以建立更多發生崩塌關鍵點之訓練模式，崩塌之不確定性須透過更多之輸入雨量變數進行使模式在不同降雨規模條件下，以提高崩塌潛勢評估敏感程度。
- 二、 過去在綜合潛勢因子以及誘發因子的關聯性分析中，往往忽略了各因子在空間上之連結性，並將各坡面單元視為各自獨立之單元，這往往在分析評估結果中，產生過多之雜訊，如一定的降雨規模下，可能產生多處的崩塌警戒，因此本研究認為崩塌應該是具有「強空間化、強時間化與強規模化」的特徵結果，這是毫無疑義的，如何優化本計畫之崩塌

關聯資料庫以及災害潛勢評估模型亦是本計畫後續要探討之課題之一。

- 三、 本計畫旨在藉由空間資料搭配序列颱風挾帶豪雨導致的已知崩塌事件和範圍，以不確定型和優化型的空間資料探勘技術萃取崩塌潛勢條件，進行風險預警應變之應用，後續將持續透過構建更複雜的深度網絡，在能夠在獲取到新的資料後再次調整自身參數，以保持良好的推估模式及精準度。
- 四、 當在獲得崩塌風險模式推估模式之後，下一個階段則是設定崩塌警戒的模型。在崩塌防災的課題中，設定崩塌警戒是未來發展的趨勢，但在決定崩塌警戒模式的研究中，本計畫也後續將嘗試納入科學演算之方法來表達類別歸屬問題以進行警戒訂定之問題，進而透過科學統計分析之概念建立一套社區尺度可用的崩塌災害自主防災預警與警戒模式。
- 五、 本計畫模式未來將嘗試研析在社區自主防災的兵棋推演或實作演練時提供社區防災組織啟動的時機，以及探討疏散避難路線與避難處所的安全性。

參考文獻

1. 行政院農業委員會(2012)。水土保持技術規範。農水保字第 1011862646 號公告修正。何春蓀(1999)。普通地質學。國立編譯館(修訂第三版)。
2. 王維毓(2016)。以坡地易損性曲面建立崩塌警戒機率值之研究，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
3. 李三畏(1984)。台灣崩塌地問題探討。地工技術 7：43-49。
4. 李三畏(1986)。台灣的崩塌地。水土保持文獻專輯。
5. 李秉乾、周天穎、雷祖強、林哲彥、黃碧慧、吳政庭(2005)。利用集集大地震資料建立建築震害危險度評估模式 I-地震建築損害資料庫建立。中國土木水利工程學刊。17(1)：121-131。
6. 李秉乾、劉純之、雷祖強、謝孟勳、黃亦敏、方耀民、周天穎、連惠邦(2014)。易損性曲線於坡地崩塌警戒模式應用與坡地巨災保險研析。行政院農業委員會水土保持局，委託計畫成果報告。
7. 李秉乾、雷祖強、謝孟勳、黃亦敏、方耀民、周天穎、連惠邦(2015)。104 年應用坡地易損性模式於崩塌風險評估與警戒模式研析。行政院農業委員會水土保持局，委託計畫成果報告。
8. 李明熹(2006)。土石流發生降雨警戒分析及應用。國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
9. 余濬、洪志豪(2010)。降雨量重現期推估之探討—以莫拉克颱風甲仙雨量站為例。水利會訊，13：34-43。
10. 京華工程顧問股份有限公司(2010)。氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究—以高屏溪為例(1/2)。經濟部水利署水利規劃試驗所，委辦計畫成果報告。
11. 京華工程顧問股份有限公司(2011)。氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究—以高屏溪為例(2/2)。經濟部水利署水利規劃試驗所，委辦計畫成果報告。
12. 徐裕博(2016)。建立降雨引致崩塌之坡地易損性曲面及其驗證，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
13. 許瓊文(2008)。應用類神經網路模擬高雄都會區臭氧濃度趨勢變化之研究，國立中山大學環境工程學系碩士論文。
14. 國立中興大學(2006)。水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究。經濟部水利署。
15. 陳信雄(1995)。崩塌地調查與分析。渤海堂出版社，臺北。
16. 陳俞旭(2008)。地震對崩塌與土石流發生影響之研究。成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，臺南。
17. 陳樹群、吳俊毅、黃柏聰(2007)。松鶴地區土石流災害之風險評估。中華水土保持學報，38(3)：287-298。
18. 張石角(1987)。山坡地潛在危險之預測及其在環境影響評估之應用。中華水土保持學報，18(2)：41-48。
19. 張石角(1998)。雪霸國家公園地質災害敏感地區之調查與防範研究(大雪山地區)。國家公園學報，8(2)，100-121。
20. 彭育隆(2002)。利用貝氏理論修正橋梁易損性曲線，國立中央大學土木工程學系碩士論文。

21. 溫振宇(2005)。結合地震與颱風因子之山崩模式分析。國立成功大學地球科學系博士論文。
22. 葉怡成(2003)。類神經網路應用與實作第八版。
23. 費立沅(2009)。臺灣坡地災害與地質敏感區的關係。地質，28(1)：16-22。
24. 董鴻誼(2017)。應用坡地崩塌易損性曲面於山區道路預警，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
25. 楊智堯(1999)。類神經網路於邊坡破壞潛能分析之應用研究。國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
26. 潘國樑(2007)。山坡地的地質分析與有效防災。科技圖書股份有限公司。
27. 蔡光榮、陳昆廷、王宣惠、林欽川(2008)。類神經網路分析法應用於台灣南投坡地社區環境潛勢災害風險評估模式之建置。鑛冶工程，52(43),55-74。
28. 賴志強(2007)。台灣地區降雨及地震誘發崩塌之特性研究。國立成功大學水及海洋工程學系碩士論文。
29. 謝孟勳(2013)。以網格集群最大概似法建立建築物易損性曲線及其用於震災緊急運送路徑之選擇。逢甲大學土木及水利工程博士學位學程博士論文。
30. 蘇苗彬(2009)。坡地防災預警技術(二)－坡地災害的分類。水保技術，2(4)：144-150。
31. Bonham-Carter, G. F. (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS, Pergamon, Ottawa, 398 p. :305.
32. Burnett, A.D., Brand, E.W., Styles, K.A. (1985). Terrain classification mapping for a landslide inventory in Hong Kong, 4th International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo, 63-68.
33. Carter, J.R. (1988). Digital Representations of Topographic Surfaces. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 1577-1580.
34. Crichton, D. (1999). The Risk Triangle. In Journal Ingleton, ed., Natural Disaster.
35. Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation.
36. Carrara, A. (1988). Drainage and divide networks derived from high-fidelity digital terrain models. NATO ASI series. Series C, Mathematical and Physical Sciences, 223: 581-597.
37. Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995). GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 135-176.
38. Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999). Use of GIS Technology in The Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. Natural Hazards, 20: 117-135.
39. Fookes, P.G., Sweeney, M., Manby, C.N.D., Martin, R.P. (1985). Geological and Geotechnical Engineering Aspects of Low-cost Roads in Mountainous Terrain. Engineering Geology, 21: 1-152.
40. Giles, P.T., Franklin, S.E. (1998). An Automated Approach to the Classification of the Slope Units Using Digital Data. Geomorphology, 21(3-4), 251-264.
41. Hansen, A., Franks, C.A.M., Kirk, P.A., Brimicombe, A.J., Tung, F. (1995). Application of GIS to hazard assessment, with particular reference to landslides in Hong Kong, Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135-175.
42. Koukis, G., Ziourkas, C. (1991). Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43, 47-60.
43. Lump, P. (1975). Slope failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, 8: 31-65.

44. Lewis , E. B., (1982). Control of body segment differentiation in *Drosophila* by the bithorax genecomplex, *Embryonic Development, Part A:Genetics Aspects*, Edited by Burger, M. M. and R. Weber. Alan R. Liss, New York, 269-288.
45. Miller, C.L., Laflamme, R.A. (1985). The Digital Terrain Model-theory and Application. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 24(3): 433-443.
46. Rota, M., Penna, A., Strobbia, C.L. (2008). Processing Italian Damage Data to Derive Typological Fragility Curves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 933-947.
47. Makridakis,S., (1993). Accuracy measures:Theoretical and practical concerns. *Int. J.Forecast.*, 9, 527-529.
48. Rossetto, T. & Elnashai A. (2003). Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data. *Engineering Structures*, 25(10), 1241-1263.
49. Sidle, R.C., Percea, A.J., O'loughlin, C.L. (1985). *Hillslope Stability and Land Use*. American Geophysical Union, Washington, D.C: 19-20.
50. Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J. Naganuma, T. (2000). Statistical Analysis of Fragility Curves. *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 126(7): 769-777.
51. Varnes, D.J.(1958). *Landslide Types and Process*. in E.B. Eckel (ed.). *Special Report 29: Landslides and Engineering Practice* (Washington, DC: HRB, National Research Council), 20-47.
52. Van Westen, C.J., van Asch, T.W.J., Soeters, R. (2006). *Landslide Hazard and Risk Zonation : Why Is It Still So Difficult?* *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 65: 167-184.
53. Xie, M., Esaki, T., Zhou, G. (2004). GIS-Based Probabilistic Mapping of Landslide Hazard Using a Three-dimensional Deterministic Model. *Natural Hazards*, 33: 265-282.
54. 齋藤迪孝(1980)。斜面崩壊予測。土と基礎，29(5)，72-8

附錄一 各類資料庫資訊明細表

資料庫名稱	欄位名稱	年份	資料來源
環境因子	地質	102	中央地質調查所二十五萬分之一臺灣區域地質圖 數值檔
	坡度	105	全台數值高程模型
	坡向		全台數值高程模型
	高程		全台數值高程模型
	距河道遠近	105	國土利用調查圖
	差異化植生指標	97	97/02/21、97/01/11 以及 97/11/28 之 spot4 影像
		98	98/01/15 以及 98/01/17 之 spot4 影像
		101	101/03/17 spot5 影像
		102	102/06/03 spot5 影像
		108	107/12/01 spot7 影像
崩塌資料庫	新增崩塌地	97	林務局衛星影像判釋全島地圖
		98	林務局衛星影像判釋全島地圖
		99	林務局衛星影像判釋全島地圖
		100	林務局衛星影像判釋全島地圖
		101	林務局衛星影像判釋全島地圖
		102	林務局衛星影像判釋全島地圖
降雨資料	卡孜基颱風雨量歷時	97	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	鳳凰颱風雨量歷時	97	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	辛樂克颱風雨量歷時	97	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	蕃蜜颱風雨量歷時	97	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	莫拉克颱風雨量歷時	98	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	南瑪都颱風雨量歷時	100	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	0610 豪雨雨量歷時	101	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	泰利颱風雨量歷時	101	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	天秤颱風雨量歷時	101	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料
	蘇拉颱風雨量歷時	102	土石流防災應變系統(FEMA)歷史氣象資料

附錄二 期初計畫審查委員意見與回復

委員意見	團隊回復
1. 崩塌機率模式之建立是否可行，有許多疑慮，應再深入檢討；本研究之應用性如何，宜就行政人員之需求考量之。	感謝委員意見，崩塌潛勢機率評估模式之建立綜合了多種之複雜因素，本團隊將持續檢討，使模式推估之適宜性增加，並根據災害應變可輸入之關鍵因子，調整模式於應變時可應用之介面模組。
2. 智慧判釋之方法論，應檢討其邏輯思路之論證法則，及其適用條件。	遵照委員意見，本團隊將檢討各人工智慧之邏輯法則以選用最合宜之模式推估方法。
3. 團隊持續研究崩塌評估模式的適用性有其必要；模式的建立仍以驗證為必要，應持續進行。	感謝委員意見，本團隊將持續進行模式之應用性以及驗證模式之精準性分析，以提高模式於崩塌評估之適用性。
4. 本案之災害警戒管理之成果應與局內相關團隊的結果作比對，給局方提供一個經評定較佳之方法。	感謝委員意見，本案於水保局應變開設時，會同步進行多時序崩塌警戒分析報告並提供給局裡進行參考應用。
5. 可蒐集實地案例與現行警戒分析成果，多做分析與比較，以了解差異性。	感謝委員意見，本案將於各種大颱風豪雨事件期間，會於水土保持局防災資訊網取得之重大土砂災例蒐集相關之實地案例，並取得相關之崩塌關鍵雨量資訊、崩塌位置以進行本團隊之警戒分析結果之比較。
6. 地震及斷層對崩塌之效應如何推估？	感謝委員意見，本案將嘗試對於降雨前之地震事件之擾動納入主要考量之時序變化因子，並將採用各重大颱風豪雨事件前所發生之地震事件 PGA 分佈，以及斷層遠近等與坡面單元之空間連結性作為崩塌誘發影響因子之一。
7. 衛星影像崩塌事件發生時間不確定，如何推估驗證降雨相關參數之準確性。	感謝委員意見，本研究將透過各年度間之重大颱風豪雨事件做為可能致災之事件假設，並透過取得實證範圍內中央氣象局之全國雨量測站資料，在相同的降雨時間序列中，計算多種降雨誘發因子特徵進行萃取，以於後續模型建立時萃取出較具代表性以及貢獻性較高之因子。
8. 相關 model 參數是否容易取得，未來如何與現行自主防災工作結合？	感謝委員意見，相關模式之參數將於計畫期間進行訓練，並取得模式最佳化參數後，進行模式之包裝，於應變期間將無進行參數調整之問題，而與自主防災工作之結合，本案將嘗試針對高風險之重點社區進行崩塌警戒之模式訓練，以建立專屬該社區之崩塌潛勢評估資訊，並於應變期間提供動態之崩塌警戒資訊，以提供自主防災期間之對應措施。

附錄三 期中計畫審查委員意見與回復

崩塌事件資料庫擴增	
委員意見	團隊回復
9. 報告書第 2 章建議說明「本年度」增加的資料事件、資料庫內容或補充說明資料庫中各項資料的年份。	感謝委員意見，已補充說明於附錄一。
10. 報告書第 2-9 頁，第 1、2 行，「數值高程模型」、「二十五萬分之一地質圖」等圖資之來源出處請再確認。	感謝委員意見，已補充說明於第 2-7 頁。
11. 報告書第 2-44 頁之崩塌變異類型，資料模糊不清，無法顯示真正的變異，採用林務局崩塌圖資與本案討論崩塌的模式是否相關應進一步說明。	感謝委員意見，已補充說明於第 2-38 頁，而本案採用林務局崩塌圖資主要是減少影像判釋崩塌地的不確定性以及處理時間成本，並有效提高崩塌地於模式應用的比例，進而增加模式的適配性。
12. 報告書第 2-55 頁之坡面單元太細，是否能分類崩塌，土石流等致災，看不出集水路徑等，無法評估水量影響。	感謝委員意見，本案之坡面單元多控制在 3 至 10 公頃為原則，其仍能夠表現分類崩塌，土石流等致災特徵。
13. 報告書表 2-4，應更新至 108 年，報告書第 2-47 頁的分析只有到 105 年，建議增加到 108 年。	感謝委員意見，本計畫根據行政院農委會資料開放平台中檢視各年度崩塌地資料，目前全島崩塌第圖更新至 106 年度，而本計畫崩塌變異類型分析更新分析至 106 年，後續將持續追蹤，若新的年度崩塌地資料上架，將持續下載並更新崩塌事件資料庫。
14. 簡報第 15 頁之等比率曲線之累計雨量為降雨事件中之發生雨量或一次降雨事件的累積降雨量，兩者之雨量值有差別，另為何有些發生事件是分布在等比率曲線下方？	等比率曲線之累計雨量為各降雨事件之兩場分析中之最大小時降雨以及對應之前期有效累積降雨進而進行聯合機率質量函數分析，因此產生 100x100 大小之矩陣(0.1 至 1.0 之機率矩陣)，而根據發生事件之兩場中之最大小時降雨以及對應之前期有效累積降雨標示於矩陣中，根據不同事件之規模，較小規模事件之(I_{max} , R_{te})對應於機率矩陣中是有可能分布在較低機率值之下方。
15. 簡報第 16 頁崩塌之潛因之因子包括距離河道遠近，惟坡面如距離河道一定沖刷距離對崩塌即無影響。	感謝委員意見，本計畫將檢視各因子對於崩塌地之關聯性分析，進而透過模式之權重分配模式，剔除權種較低(影響性較低)之因子，以降低模式潛勢評估產生之過多雜訊。
16. 簡報第 31 頁，102 年至 103 年範圍為何這麼大？	根據 102 至 103 年度之資料檢視，該年度區間各坡面之最大 I_{max} 事件，分別有潭美颱風、康芮颱風、天兔颱風以及強豪雨事件 0520 豪雨以及 0606 豪雨事件，因此所涵蓋之 I_{max} 範圍為不同之事件規模。
17. 雨量資料目前只使用 98-108 年資料，惟相較於 98 年之前的雨量，近年極端降雨情況較少，是否影響雨量模型之建構。	感謝委員意見，在降雨危害度之部分，為了能夠反映近年降雨情況，因此降雨危害評估模型部分將更新近十年之降雨資料，而在坡地易損性之部分則採用重大至災颱風豪雨事件，則採用之颱風豪雨事件將從 93 年至 106 年，將持續增加，以確保各種規模之颱風豪雨事件所造成之風險適當之反應於災害潛勢評估模型中。
18. 崩塌資料庫目前已考量各年度新增之崩塌面積，另建議宜考量同一坡面新生崩塌之發生頻率，以呈現其脆弱度。	感謝委員意見，本計畫將逐年建立各種崩塌變異類型，將各坡面歷年之崩塌變異情形作為模型之參考變數，以呈現各坡面之脆弱程度，詳見 xx 頁。
19. 本年度 DEM 基本因子新增曲率等多項因子，是否已考量各因子之獨立性及代表性？	感謝委員意見，本計畫主要是要透過增加多元地文因子，以提高坡面分析單元之異質性，而各地文因子間則各具有代表性。

20. 斜坡單元建議可逕採用地調所已建立之全臺行政單元資料，以便後續成果之銜接。	感謝委員意見，本計畫已取得全臺行政單元資料並已著手進行向量資料之套疊比對，並更新分析單元，以利後續成果之應用以及銜接。
21. 雨量等因子採用 20 米之網格，實務上是否有意義？	感謝委員意見，本計畫之細部基礎資料皆由 20 米網格資料進行坡面單元之合併延伸，因此為了能夠讓雨量因子以及地文網格因子能個於同一尺度上進行套疊整合，將需要進行內插等圖資產製至基礎網格大小(20 米)。
22. 如是針對一場事件之累積降雨對特定集水區之崩塌面積增加則不必考慮哪一塊崩塌是在何累積雨量時崩塌。	感謝委員意見，遵照辦理。
23. 目前資料庫建立的部分採用年度資料來做為崩塌地位置來源，並據此建立模型，惟之前採用事件前後影像來建立崩塌地資料庫，這二種做法在分析上有什麼不同？	本案前期計畫採用事件前後影像來建立崩塌地資料庫，其在蒐集影像期間，影像易受到雲復之影響以及需投入高時間成本進行影像處理與崩塌樣本萃取，才能確保畔試後之崩塌位置之精準度，因此後續本案透過林務局委託成功大學所建立之自動崩塌地作業標準，繪製各年度崩塌地圖，針對各年度前後之套疊，仍可有效率之萃取更多之崩塌特徵資。
24. 目前資料庫增加地文因子或許對分析模式有益，但可能會增加蒐集時間跟難度，能否說明何者屬高重要性的因子？	感謝委員意見，本計畫將透過模式建立後，檢視各因子與崩塌間之關聯性排序，而各基礎地文因子本計畫亦以具有全台範圍之資料作為擴增之考量之一，以降低後續範圍擴增後蒐集各因子資料之難度
25. 崩塌資料庫中納入地震相關因子，但地震與降雨引發崩塌屬不同誘發因子，在分析時如何區分？	感謝委員意見，本計畫所建立之崩塌評估模型將以降雨誘發崩塌為前提，而地震以及前期降雨則作為崩塌前之擾動因子，非誘發因子。
坡地崩塌風險評估模型建立	
1. 神經網格模型之分析將樣品簡單分類為崩塌與非崩塌，而忽略其崩塌面積大小、形狀、土壤厚度、植生種類等等之差異，似將崩塌簡化成一種符號，而未考慮其內涵，此等訓練結果之代表意義如何，宜將加檢討，並做合理之解釋。另，其抽樣之各觀測值應屬獨立因子，且隨機取得！	感謝委員意見，神經網路模型主要是透過各變數間之差異，其中變數包含崩塌面積大小、形狀、土壤厚度、植生種類，以及對應重大颱風豪雨事件之降雨誘發因子，進而分類為崩塌以及非崩塌，因此透過廣域的特徵組成進行崩塌以及非崩塌之訓練所建立之模型即具有空間機率評估之意義。
2. 利用類神經網路訓練樣本，其最小單元為何?崩塌佔比例多少?請說明何種方式準確率較高?	感謝委員意見，關於模型訓練樣本之抽樣比例為訓練 70%，驗證 30%，而各資料組之崩塌以及非崩塌比例則透過平衡抽樣，於非崩塌隨機抽樣至與崩塌之樣本達至平衡，詳細說明以即各資料組抽樣筆數說明詳見報告書第 xx 章。
3. 本案如何校正跨時期標準化植被指數數值 (Normalized Difference Vegetation Index；NDVI)？	感謝委員意見，由於每時期的衛星影像會因不同大氣、季節、日照及氣膠等因素，導致相同地物卻擁有極大差異的輻射反應。若直接依此比對多時序資料，成果將受上述條件影響，有所偏差，因此本案用統計影像灰階值進而正規化(直方圖匹配)的相對輻射校正。
4. 請檢視不同時間事件標準化之最大值與最小值之定義。	感謝委員意見，遵照辦理。
5. 報告書第 3-28 頁，模式驗證精度表之數值甚高，請說明其判斷標準，若一個含多個坡面單元的山坡地，其中有一個坡面單元達標，是否就判斷整塊山坡地即為崩塌？	感謝委員意見，本案在崩塌潛勢評估模型之分析單元為坡面單元，因此一個含多個坡面單元的山坡地，其中有一個坡面單元達標，仍是以該坡面單元為崩塌為主，後續將檢視坡面單元為崩塌之比例，以判斷整塊山坡地是否崩塌。
6. 報告書第 3 章「坡地崩塌潛勢評估模型」中納入了事件最大時雨量因子，有效累積雨量...等動態環境	感謝委員意見，本計畫所建立之「坡地崩塌潛勢評估模型」以及「崩塌降雨危害評估模型」皆共同採用事

因子，與「崩塌降雨危害評估模型」中的降雨有無相關係?是否有重複?	件最大時雨量因子，有效累積雨量作為動態環境因子，
7. 「坡地崩塌潛勢評估模型」成果表 3-4、表 3-5(報告書第 3-28 頁) 精度指的是訓練樣本成果或測試樣本成果?請補充說明。	感謝委員意見，本案表 3-4 以及 3-5 之精度指的是測試樣本成果，而期末將根據模式的精進調整，補充說明樣本抽樣說明以及精度呈現說明，詳見 3-21 頁。
8. 如果上述模型已考量降雨動態因子，應該就可以去做後續的預警作業，為何再用另一降雨危害的警戒值?	感謝委員意見，降雨動態因子可於同時帶入降雨危害評估模型以及崩塌易損潛勢評估模型，其分別代表降雨危害度以及崩塌易損性，綜觀兩種指標之交叉評估，並根據不同高風險社區(暴露度)，可有效並提高風險警戒參考價值。
9. 針對特定的坡面其坡面之內在體質會隨時間累積降雨及地震事件而減弱，所以同一坡面，即便在相同雨量仍有可能發生崩塌與不崩塌情形。如果以一個子集水區為單元，去討論其降雨對整體集水區崩塌發生機率較能避免前開問題	感謝委員意見，遵照辦理。
10. 除了了解坡面或集水區之耐受力外，了解復原力對整治及防災亦很重要。	感謝委員意見，遵照辦理。
複合型坡地災害行政區警戒機制研析	
1. 請針對三處試作區特性做定義以及為何選擇這三處試作區?	感謝委員意見，其中階段針對三處試作區主要是因為此三處試作區於試作之颱風豪雨事件過程中有達到紅 2 警戒並於速報資料中有對應之崩塌事件發生。
2. 各坡面單元或網格之 Fc、Hc 等建立之可靠性請說明。	感謝委員意見，本案透過經驗法則，將歷年之重大颱風豪雨事件且最小致災資訊做為參考值。
3. 報告書第 4-18 頁的崩塌發生是否過早，沒有達紅 1 及紅 2，即已發生。	感謝委員意見，本案將透過新增之速報資料進行警戒管理值之修正。
4. 報告書第 4-42 頁崩塌發生在 Fc 與 Hc 之前? 報告中 min RH 有達 500、600 等是否過大?	感謝委員意見，本案透過經驗法則，將歷年之重大颱風豪雨事件且最小致災資訊做為參考值。
5. 警戒模式之對象與目標，建議鎖定在一定規模以上之群發型崩塌，避免因零星個案影響模式成果。	感謝委員意見，遵照辦理。
綜合建議	
1. 本案係屬科技研究，宜對研究方法、步驟與結果之討論力求充分、完整，請斟酌報告之編撰方式。	感謝委員意見，遵照辦理。
2. 本案研究自適性坡地崩塌評估模式，採用過去資料建立防災預測模型，已累積數年經驗，應力求驗證可行性與正確性，以利推廣。	感謝委員意見，遵照辦理。
3. 研究區使用之處過去的重要災區，可以增加歷史災害的描述，以供瞭解問題所在。	感謝委員意見，遵照辦理。
4. 前言似嫌冗長，且用詞、文意與文章之連貫性有在改善的空間，請再斟酌的檢視。尤以對本研究之目的，宜有簡潔扼要地呈現，不宜以長篇累牘呈現之。	感謝委員意見，遵照辦理。
5. 本案既屬科技計畫，宜有創新構想，而非資料庫擴增，更新等一般例行工作?	感謝委員意見，遵照辦理。
6. 本研究思維之邏輯概念，請做條例說明，以利瞭解。	感謝委員意見，遵照辦理。
7. 報告書第 5-1 頁提及模型準確率達 74.14% 與 75.4%，可否再詳細說明其準確率為何可致如此優秀標準。	感謝委員意見，該模型之精度表主要是針對驗證樣本進行數據資料呈現，而根據抽樣過程，部分坡面單元可能重複，期末階段將採用單一事件之驗證以加強模型精準度之說明，詳見第 3-21 章。
8. 考量到社區自主防災使用，請再說明報告書第 5-2 頁之「崩塌警戒值」與「社區空間崩塌風險潛勢圖」之內容為何。	感謝委員意見，社區自主防災之應用可行性分析詳見第 4-1 章。
9. 何謂自適性坡地崩塌評估? 報告書第 1-5 頁之說明看不出何謂自適性	感謝委員意見，本計畫旨在藉由空間資料搭配序列颱風挾帶豪雨導致的已知崩塌事件和範圍，以不確定型

	<p>和優化型的空間資料探勘技術萃取崩塌潛勢條件，進行風險預警應變之應用，後續可持續透過構建更複雜的深度網絡，在能夠在獲取到新的資料後再次調整自身參數，以保持良好的推估模式及精準度，即自適性坡地崩塌評估模型。</p>
<p>10. 以下為報告書排版問題，請修正：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 報告書第 1-6 頁跳到 2-7 頁，是否漏頁。 (2) 圖表等引用應注意出處之標示，表 2-1 的名稱不符，出處亦應增加。 (3) 報告書第 2-53 頁，以「一」、「二」標示之段落及與第 2-57 頁標示之「一」標題段落用同級之編號，不妥，宜注意文章編輯之次序。 (4) 報告書第 2-54 頁~2-57 頁，圖說跳頁。 (5) 報告書第 2-57 頁之段號「一」，報告書第 2-4 頁(現況該頁碼在 2-57 之後，不妥!)為「三」之段號，缺「二」之段號。 (6) 報告書第 2-57 頁後有一大段落的文件跳頁與誤植，請調整(另 報告書第 2-4 頁~2-8 頁，頁上標是第 3 章)。 (7) 報告書第 5-2 頁，倒數第 5 行「科學統化分析」語意不明，請修正。 	<p>感謝委員意見，遵照辦理修正。</p>

附錄四 期末計畫審查委員意見與回復

崩塌事件資料庫擴增	
委員意見	團隊回復
1. 報告書表 2-13，崩塌預警之雨量因子(I _{max} , R _{te})之案例驗證及條件，建議就重大案列表整理，以利量化及判釋。	感謝委員意見，本團隊將彙整各年度所採用的重大事件(I _{max} , R _{te})進行列表彙整，以供參考，詳見報告書 P2-43 頁。
2. 報告書圖 2-39 中降雨條件與崩塌地分類或報告書表 2-13 新增崩塌地關係，建議補充說明。	感謝委員意見，表 2-13 之新增崩塌地主要是由圖 2-39 中之「舊有崩塌地擴大」(3)加上「新生崩塌地」(4)的部分，詳見報告書 P2-33 頁。
3. 多時期衛星影像之標準化植被指數數值(Normalized Difference Vegetation；NDVI)比較需有前處理，尤其是輻射校正過程需詳述。	感謝委員意見，由於每時期的衛星影像會因不同大氣、季節、日照及氣膠等因素，導致相同地物卻擁有極大差異的輻射反應。若直接依此比對多時序資料，成果將受上述條件影響，有所偏差，因此本案用統計影像灰階值進而正規化(直方圖匹配)的相對輻射校正。
4. 報告書第 2-47 頁坡面單元之劃分，坡面單元須符合地形特徵，地形特徵指那些？	感謝委員意見，坡面單元的繪製主要藉由 DEM 分析得到之集水區，多邊形的輪廓線就是山脊線；而山谷線則使用反轉之 DEM 資料，藉由 DEM 網格分析互換其高低值，原山谷線即能反轉為山脊線，同樣地亦可得到反轉之山谷線，因此透過上述劃設方式，坡面單元具地形之特徵以及能夠呈現邊坡之特性。
坡地崩塌風險評估模型建立	
1. 本計畫建立崩塌評估模式，應用多種因子作為警戒管理之基準與過去土石流警戒方式很類似，應有發展之合理性。	感謝委員意見，本計畫將持續與土石流警戒方式進行探索，以調整目前發展之模式適用性。
2. 受限於前兩年缺乏資料，故前二年事件不再推估的時間序列，有遠離事件越近，影響越大的原則，建議再敘明，並且在前兩年發生重大事件時予以修正。	感謝委員意見，本計畫將針對前兩年發生重大事件時序特徵進行探索，以修正模式對於前兩年事件擾動缺乏之延伸問題。
3. 數值高程模型及後續水文、地文等統合模型訓練資料很多再由 AI 模型建立其相關性，偏向大區域的評估對個案式的評估可能不太適合，尤其面對社區為個案影響，可能有差異。	感謝委員意見，本團隊所發展之崩塌潛勢評估模型是以廣域尺度之資料建置以及串連進行評估，並針對各高風險社區進行實際應用以及颱風豪雨之實測分析，後續將嘗試放大個案分析之成果，以綜合評估模型於個案應用之成效。
4. 本案主體以雨量為紅黃警戒，可能適用於土石流，以水量驅動為主，但對於坡地崩塌，可能要有不同的思考。崩塌考慮的水主要為地下水，而土石流以地表水為主，崩塌仍有其監測系統可以運用。	感謝委員意見，本計畫目前主要針對相較於於應變期間容易取得之資料進行參考應用，因此目前模式之驅動主體主要透過雨量站之即時雨量資訊進行應用，然本案亦透過相關文獻發現逕流更適合解釋降雨對地表之影響，且逕流量會依地地表地貌特徵而不同的效應，這樣的效應過去受限於監測點不足而導致模式樣本不足能力而往往被忽略，本案亦會思考地表逕流或地下水特徵之廣域萃取可能性，以優化本案模式於崩塌風險警戒之指標合理性。
5. 本案所選擇 97-107 年，三個研究區的主要災害並非均在這期間發生，可能要再擴大，時雨量大於 40，累積 200-600 為發生可能性高，對崩塌地發生定義仍應再將機制納入考量。	感謝委員意見，本案所萃取的崩塌災害主要是各年度之全島崩塌地以及對應之重大颱風豪雨事件，而計畫後續將持續擴大年度間之對應資料以探索崩塌發生之門檻，進而提高模式於崩塌機制之適配性。
6. 是否蒐集到足夠多之單一降雨事件前後崩塌面積的變化，才能作為機器學習使用？	感謝委員意見，本案在崩塌地之萃取上主要是透過政府開放資料平台取得由林務局委託成功大學，其是以各年度 1~7 月全島鑲嵌福衛二號衛星影像建立自動判釋崩塌地作業標準，繪製全島崩塌地判釋成果，並取

	得 98 年度至 106 年度(107 年度、108 年度尚未上網)之衛星判釋全島崩塌地圖，對各年度颱風事件前後時期之崩塌地圖資進行套疊，以取得足夠之崩塌事件樣本，而在對應事件由於單一事件可能有降雨分布不均，因此事件前後之崩塌面積變化並不適用歸屬單一降雨事件所導致，因此透過多年度對應之重大颱風豪雨事件，進行空間內插，以取得所有可能導致崩塌之降雨門檻，作為模型之訓練。
7. 崩塌的分類只有崩塌及無崩塌兩類，應用性較低，建議分為輕微、中度、重度、嚴重崩塌再未來警戒應用性較高。	感謝委員意見，後續將嘗試納入不同崩塌規模上之應用於模式上之建立。
自主防災崩塌警戒發布管理流程設計	
1. 本模式只適用淺層崩塌，請於報告中指正，以利後續利用情境設定。	感謝委員意見，遵照辦理。
2. 實際預警操作上如何崩塌事前判定最大降雨強度之時間宜補充說明。	感謝委員意見，實際預警操作主要是透過雨量站之降雨強度以及累積降雨進行模式上之應用，僅能透過前期的降雨時序判斷該時段是否達該雨場最大降雨強度，而在實際應用上無法得知未來的降雨趨勢。
3. 於聚落自主防災管理時以 Fc 與 Hc 之低於 1 個標準差為初始警戒之標準，請於報告中敘述理論基礎與後續相對操作策略。	感謝委員意見，目前以低於 1 個標準差為初始警戒之標準，主要是基於機率常態分布情況下，低於一個標準差較適用於提前警戒之標準，而後續亦可持續探討合宜之提前警戒之門檻標準。
4. 建議未來挑選試作聚落時，考量當年度有進行兵推演或實作演練者，並請與團隊至現地參與，以了解相關內容與流程。	感謝委員意見，本案將進行評估以及了解當年度有進行兵推演或實作演練者，作為挑選試作聚落之參考。
5. 目前報告書只呈現如何用警戒模組查詢到南投豐丘聚落，建議成果報告就期末簡報所提自主防災崩塌警戒發布管理流程設計，再詳細說明。	感謝委員意見，遵照辦理。
6. 建議團隊未來可就以下 2 點進行研究： (1) 若本案模式可針對聚落坡地進行預警，請思考如何在兵棋推演或實作演練時，利用相關預警來啟動社區防災組織？ (2) 坡面的警戒或許可讓社區及鄉(鎮市區)公所探討疏散避難路線與避難處所的安全性。	感謝委員意見，本案後續將持續針對以下兩點進行研究以及討論。
綜合建議	
1. 中英文摘要之題目與封面不一致，請修正。	感謝委員意見，遵照辦理。
2. 題目中之自適性，英文應為 adaptive，請查核。	感謝委員意見，遵照辦理。
3. 內文之自動連結，部分無效，請檢視。	感謝委員意見，遵照辦理。
4. 報告書中應注意引用資料應註明出處，如第 2-1 頁崩塌之分類，報告中依崩 個案為基礎，多為各單位以衛星資料做判釋，部分資料可能不確定。	感謝委員意見，本案所採用之崩塌主要是以年度之綜合颱風豪雨事件萃取最大降雨規模之事件作為致災基礎，而多年度之崩塌判釋則是採用林務局委託成功大學以各年度 1~7 月全島鑲嵌福衛二號衛星影像建立自動判釋崩塌地作業標準，繪製全島崩塌地判釋成果進行應用，並無採用各單位之衛星影像進行個案崩塌判釋，以降低衛星資料判釋之不確定性以及高成本之作業。

附錄五 公文往返

逢甲大學 函

地址：台中市西屯區文華路100號

聯絡人：許羽忻

電話：04-24517250 分機3063

電子郵件：huiyhsu@fcu.edu.tw

受文者：行政院農業委員會水土保持局

發文日期：中華民國108年11月28日

發文字號：逢建營字第1080011295號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：檢送本校土木工程學系李秉乾教授辦理108年度農委會科技計畫「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案之提案書1式2份，請查照。

正本：行政院農業委員會水土保持局

副本：本校營建及防災研究中心

校長 李秉乾

裝

訂

線

1080012490
欣萍

正本

檔 號：
保存年限：

行政院農業委員會水土保持局 開會通知單

40724

臺中市西屯區文華路100號

受文者：逢甲大學(李秉乾教授)

發文日期：中華民國108年12月10日

發文字號：水保企字第1081859917號

速別：最速件

密等及解密條件或保密期限：

附件：議程及附件

開會事由：召開本局109年度「坡地防災與保育」推動小組科技
補助計畫審查會議

開會時間：108年12月23日(星期一)上午9時30分

開會地點：本局第一會議室(南投市中興新村光華路6號)

主持人：王副局長晉倫

聯絡人及電話：徐啓倫(正工程司) 049-2347337

出席者：游委員繁結、蘇委員苗彬、周委員良勳、許委員中立、陳委員天健、徐委員
森彥、尹委員孝元

列席者：行政院農業委員會(科技處)、本局綜合企劃組、本局土石流防災中心、國立
成功大學(地球科學系林冠璋助理教授)、國立臺灣大學(土木工程學系劉格非
教授)、逢甲大學(李秉乾教授)

副本：本局綜合企劃組(企劃科)(含附件)

備註：

- 一、檢附會議議程1份，審查委員併附計畫說明書1份。
- 二、請各研究計畫主持人簡報10分鐘(摘要說明計畫目標、重點
工作項目、解決問題之必要性、預期效益等內容)，並請於
108年12月19日下班前將簡報檔E-mail至sc@mail.swcb.gov.tw。

行政院農業委員會水土保持局



行政院農業委員會水土保持局

109 年度「坡地防災與保育」推動小組科技補助計畫審查會議議程

壹、時間：108 年 12 月 23 日(星期一)上午 9 時 30 分

貳、地點：本局第一會議室(南投市中興新村光華路 6 號)

參、主持人：王副局長晉倫

肆、報告事項：

案由：109 年度林業領域—「坡地防災與保育推動小組」子項計畫辦理情形，報請公鑒。

說明：

一、本局配合行政院農業委員會辦理 109 年度農委會及所屬機關科技計畫施政重點、補助計畫研究重點之公告及計畫提審作業，本局 109 年度科技補助公開徵求計畫研究重點如附件 1，徵求施政項目/計畫計 3 案，其名稱、主辦單位及研提單位如下：

(一) 集水區尺度坡地土砂運動之地表振動訊號監測研究(土石流防災中心/學研機構研提數：1 家-計畫主持人：林冠瑋國立成功大學地球科學系)

(二) 坡地土砂災害觀測資訊進階增值分析與應用(土石流防災中心/學研機構研提數：1 家-計畫主持人：劉格非國立臺灣大學土木工程學系(所))

(三) 自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究(土石流防災中心/學研機構研提數：1 家-計畫主持人：李秉乾逢甲大學)

二、依農委會一般農業科技計畫補助作業要點及相關規定，由本局邀集審查委員辦理審查排序推薦補助計畫，並應於 109 年 2 月 28 日前完成核定。

三、本局 109 年度科技補助計畫預算 445 萬元，公開徵求結果研提總經費 519.63 萬元，本會議後將提供各錄取計畫建議經費，惟確切補助經費將俟立法院通過後，配合調整經費再辦理簽約。

決定：

伍、討論事項：

案由：109 年度林業領域—「坡地防災與保育推動小組」科技補助計畫共研提 3 案，提請討論。

說明：

- 一、計畫說明書初核符合農委會 109 研究重點及施政項目之施政需求且無涉敏感科技範疇（附件 2），及各項計畫書研提人主持本局補助計畫之計畫項目未超過 2 項者。請審查委員依「109 年度農委會科技計畫說明書評審結果表」填寫審查意見及評分（附件 3），平均 70 分以上者，始得排序推薦補助。
- 二、本案擬依附件 4 順序進行報告，各計畫主持人報告簡報為 10 分鐘（摘要說明計畫目標、重點工作項目、解決問題之必要性、預期效益等內容），第 8 分鐘時響鈴 1 聲、第 10 分鐘時響鈴 2 聲並停止報告，每案討論 15 分鐘，先由出席委員全部發問後，再統一進行回復。

決議：

陸、臨時提案：

柒、散會：

109年度「坡地防災與保育」推動小組科技補助計畫公開徵求計畫研究重點

施政項目/計畫	補助計畫公開徵求計畫說明書研究重點	109年經費需求 (千元)	本局主辦單位及專家之電話及傳真
集水區尺度坡地地表砂運動之地表振動訊號監測研究	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用已知觸發較多崩塌的三場降雨事件，找出可記錄下崩塌地動訊號的現有各類地震站。 2. 利用可記錄下崩塌地動訊號之地震站紀錄，建立崩塌地動訊號自動分類器。並且探討建立流域尺度之崩塌訊號自動辨識網路的可行性。 3. 利用崩塌訊號分類器，收集歷史崩塌發生時間資訊，統計分析流域尺度之促崩降雨基準值。 	1,400	土石流防災中心李憲昆 電話：049-2347518 傳真：049-2394209
坡地土石災害觀測資訊進階加值分析與應用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建構神木土石流觀測站地聲資訊分析演算系統。 2. 神木土石流觀測站地聲訊號模擬演算。 3. 神木土石流觀測站地聲訊號模擬推估土石流流速。 4. 建構土石流觀測站影像分析演算系統。 5. 神木土石流觀測站集水區網頁規劃建置。 	1,900	土石流防災中心林建良 電話：049-2347412 傳真：049-2394210
自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究	<ol style="list-style-type: none"> 1. 更新崩塌資料庫(植生)及警戒值更新。 2. 擴增106-108年度三流域崩塌地變化資料，以精進自適性坡地崩塌評估模式在氣候變遷下警戒標準的適配性。 3. 嘗試利用AI技術的機器學習演算，透過大數據崩塌雨量數據對警戒管理內容進行警戒值訂定模型之建置，並持續蒐集崩塌事件進行模式驗證。 4. 自主防災崩塌警戒發布管理流程設計。 5. 應用坡地崩塌評估模式於社區自主災害警戒可行性分析(挑選2處社區試作)。 	1,150	土石流防災中心李憲昆 電話：049-2347518 傳真：049-2394210
總計		4,450	

敏感科技項目如下：

一、農業科技 (中央主管機關：農委會)

(一) 種苗(含作物、魚苗及種禽畜)繁殖之關鍵技術(agr01)

(二) 食藥用菇液體培養之關鍵技術(agr02)

(三) 新品種育種之關鍵技術(agr03)

(四) 功能性基因體及其生物晶片(agr04)

(五) 家畜幹細胞技術(agr05)

詳細內容與代碼可至農委會網站

(<http://www.coa.gov.tw>) 之「技術與資材」項下查詢。

二、製造業關鍵技術 (中央主管機關：經濟部)

經濟部「在大陸地區從事投資或技術合作業別項目」

中列為禁止類項目中製造業之關鍵技術、知識及資料。

其詳細項目與代碼可至經濟部投資審議委員會網站

(<http://www.moeaic.gov.tw>) 查詢。

三、航太及衛星科技 (中央主管機關：國科會)

(一)航太技術(nsc01)

1.使用飛行體至太陽系外探測所獲得之相關數據

(nsc0101)

2.與國防相關的極音速載人航空器之飛航實測資料

(nsc0102)

(二)遙測科技及資料(nsc02)

- 1.遙測儀器研製技術--高解析度(2 公尺以下)光學系統之設計與研製(nsc0201)
- 2.可以處理高解析度(2 公尺以下)之遙測影像處理技術，尤其是可能具軍事用途者(nsc0202)
- 3.衛星遙測資料之加碼、解碼過程(nsc0203)
- 4.政府資助機關所列入管制之遙測影像成品(nsc0204)
- 5.足以判讀出軍事要塞基地之遙測資料或影像成品

(nsc0205)

(三)衛星相關技術(nsc03)

- 1.衛星操作(nsc0301)
- 2.發射入軌(nsc0302)
- 3.衛星酬載研製技術(nsc0303)
- 4.衛星本體研製技術(nsc0304)

四、海洋科技 (中央主管機關：國科會)

(一)水下研究：水下聲學研究之「實海域聲場環境參數」

(nsc04)

(二)海洋地質—細部地形資料(利用多頻道聲納收集之原始水

深資料) (nsc05)

(三)海洋物理—原始水文資料管制3 年 (nsc06)

五、先進積體電路設計及製程技術 (中央主管機關：國科會)

(一)微影技術：包含電子束微影技術及深紫外光線技術 (5
年) (nsc07)

(二)90 奈米以下 IC 製程技術(3 至 5 年) (nsc08)

行政院農業委員會水土保持局
109年度「坡地防災與保育」推動小組科技補助計畫審查會議
報告順序及時程分配表

議程	時間	備註		
報告事項	09:30~09:40	109年度林業領域—「坡地防災與保育推動小組」子項計畫辦理說明		
討論事項	09:40~12:10	108年度林業領域—「坡地防災與保育推動小組」科技補助計畫共研提3案(土石流防災中心3案)		
報告單位	時間分配	計畫名稱	報告時間	討論時間
國立成功大學	09:50~10:15	崩塌地動訊號自動化辨識技術精進及其應用之研究	10分鐘	15分鐘
國立臺灣大學	10:15~10:40	坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用	10分鐘	15分鐘
逢甲大學	10:40~11:05	應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式	10分鐘	15分鐘

欣華

檔 號：
保存年限：

行政院農業委員會水土保持局 函

地址：54044南投市中興新村光華路6號
承辦人：徐啟倫
電話：049-2347337
傳真：
電子信箱：scl@mail.swcb.gov.tw

受文者：逢甲大學(李秉乾教授)

發文日期：中華民國108年12月25日
發文字號：水保企字第1081859950號
速別：最速件
密等及解密條件或保密期限：
附件：如主旨(8768_1081859950ATTCH1.pdf)

主旨：檢送108年12月23日召開109年度「坡地防災與保育」推動小組科技補助計畫審查會議紀錄，請查照。

正本：王副局長晉倫、游委員繁結、蘇委員苗彬、周委員良勳、許委員中立、陳委員天健、徐委員森彥、尹委員孝元、本局綜合企劃組、本局土石流防災中心、國立成功大學(地球科學系林冠璋助理教授)、國立臺灣大學(土木工程學系劉格非教授)、逢甲大學(李秉乾教授)

副本：行政院農業委員會(科技處)、本局局長室、本局林副局長室、本局主計室、本局綜合劃組、本局綜合企劃組(企劃科)(均含附件)

電 2019/12/25 文
交 16:26:03 章



裝
訂
線

營建及防災研究中心 108/12/25



1080013561

行政院農業委員會水土保持局

109 年度「坡地防災與保育」推動小組科技補助計畫審查會議紀錄

壹、時間：108 年 12 月 23 日（星期一）上午 9 時 30 分

貳、地點：本局第一會議室

參、主持人：王副局長晉倫

紀錄：徐啓倫

肆、出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、結論：

- 一、 109 年度「林業」領域項下「坡地防災與保育」各單一計畫需求及執行之排序經出席委員確認無誤，審查平均分數均於 80 分以上，符合行政院農業委員會一般農業科技計畫補助作業要點規定審查評分平均為 70 分以上者，並經委員審查同意辦理。
- 二、 本次審查結果各研提機關之總評分平均如下：
 - (一) 集水區尺度坡地土砂運動之地表振動訊號監測研究(土石流防災中心/國立成功大學)：83.8 分
 - (二) 坡地土砂災害觀測資訊進階增值分析與應用(土石流防災中心/國立臺灣大學)：84.2 分
 - (三) 自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究(土石流防災中心/逢甲大學)：80.0 分
- 三、 錄取計畫之建議經費，經委員討論結果如下：
 - (一) 集水區尺度坡地土砂運動之地表振動訊號監測研究(土石流防災中心/國立成功大學)：1,400 千元
 - (二) 坡地土砂災害觀測資訊進階增值分析與應用(土石流防災中心/國立臺灣大學)：1,900 千元
 - (三) 自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究(土石流防災中心/逢甲大學)：1,150 千元
- 四、 請主辦單位(土石流防災中心)參酌委員建議列入未來計畫之研究內

行政院農業委員會水土保持局

109 年度「坡地防災與保育」推動小組科技補助計畫審查會議
簽到簿

壹、時間：108 年 12 月 23 日上午 9 時 30 分

貳、地點：本局第一會議室

參、主持人：王副局長晉倫

記錄：徐啓倫

肆、出席(列)席單位及人員：

列席單位及人員(執行機關)			
集水區尺度坡地土砂運動之地表振動訊號監測研究			
單位	職稱	姓名	簽名
國立成功大學	副教授	林冠璋	林冠璋
	助理	張簡意達	張簡意達
坡地土砂災害觀測資訊進階加值分析與應用			
單位	職稱	姓名	簽名
國立臺灣大學	教授	劉松非	劉松非
自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究			
單位	職稱	姓名	簽名
逢甲大學	助理教授	黃亦敏	黃亦敏

伍、散會：上午 時 分

容。

五、 本次審查會議結果，請受補助單位依委員意見修正計畫說明書內容及回覆意見處理情形，於 109 年 1 月 10 日前至農業計畫管理系統填報完竣後，再請主辦單位(土石流防災中心)於 109 年 1 月 22 日前至該系統下載修正計畫說明書並簽奉首長完成核定，再逕至農業計畫管理系統填送審查通過事宜，同時將核定清單送綜企組彙辦。

六、 補助經費將俟立法院通過政府總預算後，視情況調整經費再辦理計畫簽約，計畫應儘量自 109 年 1 月 1 日即開始執行。

捌、 臨時動議：無

玖、 散會：上午 11 時 45 分

行政院農業委員會水土保持局
109 年度「坡地防災與保育」推動小組科技補助計畫
委員審查意見

壹、集水區尺度坡地土砂運動之地表振動訊號監測研究(國立成功大學)

委員意見：

- 一、本計畫具有地震站網加值應用之價值；前期執行結果具體，對崩塌之地震信號已有較具體之認知。
- 二、人工智慧判釋之推動研究有再深入探討之必要；不同地震信號之儀器特性對本計畫對象之需求性，可再進一步研究之；崩塌訊號與土石流訊號能否區別之？
- 三、土砂運動產生之振動訊號相關研究有其可行性，應可深入分析探討，以各種科學方法研擬更佳之歸納方法。
- 四、配合大規模崩塌之發生時間結合訊號分析可提供防災警戒之運用；可加強研究成果之論文發表。
- 五、前期以蒐集寬頻地震資料有效偵測崩塌發生時間，若以集水區尺度進行需與相關計畫執行成果整合。
- 六、建議針對計畫使用不同地震儀特性、效能，進行成本效益分析，並提出具體建議之規劃方案。
- 七、計畫使用數值模擬崩塌過程，請說明模式各項參數如何取得或推估，模式 IC、BC 假設及限制亦請一併提出。
- 八、全球環議題對於本計畫研究方向的差異及差距。

貳、坡地土砂災害觀測資訊進階加值分析與應用(國立臺灣大學)

委員意見：

- 一、地聲信號之傳遞路徑如何選定，乃與儀器裝置位置之最佳化有關，前期對此點已有論述。
- 二、影像分析以判釋流速之分析方法，其分析時間需多久，與訊息傳遞至下游之時間有關，宜考量分析之時間效率。
- 三、計畫能持續在神木國小建立展示系統很好，可以加入後續防災應變的整備，提供現地居民了解。
- 四、神木村現地土石流災害嚴重，其土石災害時空分佈已有逐步轉移變

- 化，對研究工作之影響應有評定。
- 五、以防災實務為導向，善用現地監測分析，值得研究。
 - 六、經費建議修正為 1,900 千元。
 - 七、影像或地聲如何自動辨識洪水，高含砂水流，土石流（包含夜間是否可行），請說明其可行之研究方式。
 - 八、本計畫終極目標希望能由影像、地聲及其它相關儀器即時估算並展示土石流流速、流量等資訊，建議列入本計畫長期目標。

參、自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究(逢甲大學)

委員意見：

- 一、崩塌機率模式之建立是否可信，有許多疑慮，應再深入檢討；本研究之應用性如何，宜就行政人員之需求考量之。
- 二、智慧判釋之方法論，應檢討其邏輯思路之論證法則，及其適用條件。
- 三、團隊持續研究崩塌評估之模式的適用性有其必要；模式的建立仍以驗證為必要，應持續進行。
- 四、本案之災害警戒管理之成果應與局內相關團隊的結果作比對，給局方提供一個經評定較佳之方法。
- 五、可蒐集實地案例與現行警戒分析成果，多做分析與比較，以瞭解差異性。
- 六、地震及斷層對崩塌之效應如何推估？
- 七、衛星影像崩塌事件發生時間不確定，如何推估驗證降雨相關參數之準確性。
- 八、相關 model 參數是否容易取得，未來如何與現行自主防災工作結合？

109年度農委會水土保持局科技補助計畫說明書評審結果表
(彙總簽核版)

- 一、審查會主持人：王副局長晉倫
 二、評審委員：游委員繁結、蘇委員苗彬、許委員中立、徐委員森彥、尹委員孝元
 三、審查結果(各委員評分如後附表)：

序號	計畫名稱	評分 (1~100)	建議修正 經費 (仟元)	評審意見
1	集水區尺度坡地土砂運動之地表振動訊號監測研究(林冠璋 國立成功大學地球科學系 1,400千元)	83.8	1,400	無與其他計畫重複，餘意見詳如會議紀錄
2	坡地土砂災害觀測資訊進階加值分析與應用(劉格非 國立臺灣大學土木工程學系(所) 2,646千元)	84.2	1,900	無與其他計畫重複，餘意見詳如會議紀錄
3	自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究(李秉乾 逢甲大學 1,150千元)	80	1,150	無與其他計畫重複，餘意見詳如會議紀錄

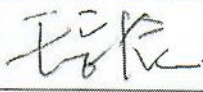
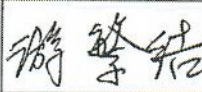
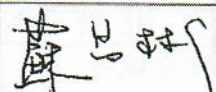

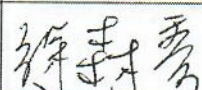
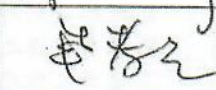
評分說明：

1. 擬解決問題之必要性：是否為達成計畫依據目標之重要、核心或亟待解決之問題。
2. 計畫目標之妥適性：是否依據擬解決問題分析結果而具體明確訂定目標內容及預期效益貢獻。
3. 重要工作項目與預定實施方法之充分可行性：是否完備可行而有助計畫目標達成。
4. 預期產出成果之有效性：是否有助計畫目標或預期效益之達成。
5. 預期效益之明確性：是否可充分用以衡量計畫目標達成情形。
6. 資源投入配置之效率性與適當性：經費與人力之配置是否符合成本效率且合理適當。

四、評審結果：

序號	計畫名稱	審查結果	經費(千元)	
			調整前	調整後
1	集水區尺度坡地土砂運動之地表振動訊號監測研究	<input type="checkbox"/> 無異議通過 <input checked="" type="checkbox"/> 修正後通過，應修正事項：詳如會議紀錄 <input type="checkbox"/> 不予通過，說明：	1,400	1,400
2	坡地土砂災害觀測資訊進階加值分析與應用	<input type="checkbox"/> 無異議通過 <input checked="" type="checkbox"/> 修正後通過，應修正事項：詳如會議紀錄 <input type="checkbox"/> 不予通過，說明：	2,646	1,900
3	自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究	<input type="checkbox"/> 無異議通過 <input checked="" type="checkbox"/> 修正後通過，應修正事項：詳如會議紀錄 <input type="checkbox"/> 不予通過，說明：	1,150	1,150

五、審查(出席)委員簽名

姓名	簽名	姓名	簽名	姓名	簽名
王委員晉倫		游委員繁結		蘇委員苗彬	
許委員中立		徐委員森彥		尹委員孝元	

附表

各委員評分總表

委員 \ 計畫	集水區尺度坡地土砂運動之地表振動訊號監測研究	坡地土砂災害觀測資訊進階加值分析與應用	自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究
王晉倫	82	84	80
游繁結	85	80	75
蘇苗彬	83	82	81
許中立			
徐森彥	83	85	84
尹孝元	86	90	80
總平均	83.8	84.2	80

主辦專家/科技聯絡人(簽名):

本局土石流防災中心:

李德昆 林建良

本局綜合企劃組:

徐啓倫

日期: 108年12月23日

行政院農業委員會水土保持局

109 年度「坡地防災與保育」推動小組科技補助計畫審查會議
簽到簿

壹、時間：108 年 12 月 23 日上午 9 時 30 分

貳、地點：本局第一會議室

參、主持人：王副局長晉倫

王副局長

記錄：徐啓倫

肆、出(列)席單位及人員：

出席人員

出席委員			
單位	職稱	姓名	簽名
中興大學水土保持學系(退休)	教授	游繁結	游繁結
中興大學土木工程學系	教授	蘇苗彬	蘇苗彬
嘉義大學土木與水資源工程學系	教授	周良勳	請假
屏東科技大學水土保持系	教授	許中立	請假
屏東科技大學水土保持系	教授	陳天健	請假
本局綜合企劃組	組長	徐森彥	徐森彥
本局防災中心	副總工程司 兼主任	尹孝元	尹孝元
列席單位及人員			
單位	職稱	姓名	簽名
農委會科技處			請假

列席單位及人員

單位	職稱	姓名	簽名
本局土石流防災中心			
	工程員	林建良	林建良
		李憲其	李憲其
		柯怡安	柯怡安
本局綜合企劃組	組長	符壽亭	符壽亭
	科長	羅文俊	羅文俊

伍、散會：上午 11 時 45 分

正本

檔 號：
保存年限：

欣萍
1090002934

行政院農業委員會水土保持局 函

40724
臺中市西屯區文華路100號

地址：54044南投市中興新村光華路6號
承辦人：李憲昆
電話：049-2347518
傳真：049-2394209
電子信箱：agrikuen99@mail.swcb.gov.tw

受文者：逢甲大學

發文日期：中華民國109年2月13日
發文字號：水保防字第1091830741號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：如主旨



主旨：檢送「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」（109農科-10.7.1-保-S3）科技計畫契約書正、副本各1份，請查照。

說明：依據行政院農業委員會一般農業科技計畫補助作業要點暨貴校109年2月10日逢建營字第1090002410號函辦理。

正本：逢甲大學(土木工程學系李教授秉乾)
副本：本局綜合企劃組(契約書副本1份)、本局主計室(契約書副本1份)、本局土石流防災中心(契約書副本4份)(均含附件)

局長李鎮洋

檔 號：

保存年限：

行政院農業委員會水土保持局 函

地址：54044南投市中興新村光華路6號

承辦人：李憲昆

電話：049-2347518

傳真：049-2394209

電子信箱：agrikuen99@mail.swcb.gov.tw

受文者：逢甲大學

發文日期：中華民國109年3月19日

發文字號：水保防字第1091831533號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：無

主旨：撥付本局補助貴校辦理「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」科技計畫第1期款新臺幣34萬5,000元整，款由財政部國庫署逕匯貴校指定帳戶，請查收。

說明：

- 一、依據貴校109年3月16日逢建營字第1090005058號函辦理。
- 二、依據旨案契約書第4條第1款，契約生效後撥付第1期款（計畫總金額30%），後續工作仍請依契約書規定辦理。

正本：逢甲大學

副本：本局主計室、本局秘書室、本局綜合企劃組、本局土石流防災中心

電 2020/03/19 文
交 11:26:02 章



營建及防災研究中心 109/03/19



1090005359

裝

訂

線

逢甲大學 函

地址：台中市西屯區文華路100號

聯絡人：許羽忻

電話：04-24517250 分機3063

電子郵件：huiyhsu@fcu.edu.tw

407301

台中市西屯區文華路100號

受文者：營建及防災研究中心

發文日期：中華民國109年7月1日

發文字號：逢建營字第1090012581號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文

主旨：檢送本校土木工程學系李秉乾教授辦理貴局「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案之期中報告書1式10份，請查照。

正本：行政院農業委員會水土保持局

副本：本校營建及防災研究中心

校長 李秉乾

檔 號：

保存年限：

行政院農業委員會水土保持局 開會通知單

受文者：逢甲大學(土木系李教授秉乾)(僅含議程)

發文日期：中華民國109年7月8日

發文字號：水保防字第1091833935號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：本案期中報告書、期中摘要報告、會議議程與發言單1份(17714_期中審查會議議程.pdf、17714_期中審查會議發言單.pdf)

開會事由：召開「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案期中審查會議

開會時間：109年7月20日(星期一)下午2時

開會地點：本局A區第二會議室(南投市中興新村光華路6號)

主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮

聯絡人及電話：李憲昆工程員049-2347518

出席者：游委員繁結、蘇委員苗彬、楊委員明德、張委員志新、陳委員振宇、林委員仕修、逢甲大學(土木系李教授秉乾)(僅含議程)

列席者：

副本：本局局長室、本局總工程司室、本局秘書室、本局土石流防災中心

備註：

- 一、檢附本案期中報告書、期中摘要報告、會議議程與發言單1份，請攜帶與會。
- 二、請逢甲大學準備電腦及簡報資料，並針對所提供期中報告書進行20分鐘簡報。
- 三、如有呼吸道症狀且發燒者，請來電告知請假。
- 四、為響應紙杯減量，請自備環保杯。

電 2020/07/08 文
交 16:56:03 章

裝

訂

線



「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案期
中審查會議議程

壹、會議時間：109 年 7 月 20 日(星期一)下午 2 時

貳、會議地點：本局 A 區第二會議室

參、主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮

肆、出(列)席單位人員：

伍、主席致詞：

陸、報告事項：

案由：「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」
案期中報告書，報請公鑒。

說明：

一、依據契約書第 4 條規定辦理。

二、本科技計畫案依契約書所提，應辦事項如下：

(一)更新最新災情速報資料以及崩塌警戒資訊。

(二)坡地崩塌因子資料庫擴增及更新。

(三)崩塌潛勢評估模型精進。

(四)崩塌風險警戒機制模式於精密防災之應用與實測。

三、查本科技計畫案廠商於本階段審查時須完成工作為：

(一)完成崩塌資料庫更新與植生現況分析工作以及崩塌降雨警戒值更新。

(二)完成擴增 106-108 年度三流域(陳有蘭溪、荖濃溪與旗山溪流域)崩塌地變化資料以及對應年度降雨時序資料，以精進自適性坡地崩塌評估模式在氣候變遷下警戒標準的適配性。

(三)完成檢討降雨規模以及相關誘發因子與崩塌地的關聯性。

決定：

柒、受委託單位簡報：

捌、委員審查：

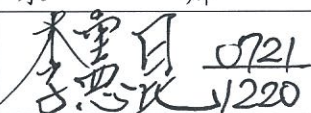

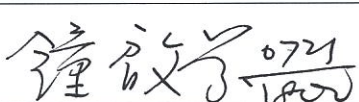

玖、臨時動議：

拾、散會：

行政院農業委員會水土保持局 函(稿)

地址：54044南投市中興新村光華路6號
承辦人：李憲昆
電話：049-2347518
傳真：049-2394209
電子信箱：agrikuen99@mail.swcb.gov.tw

承辦單位：土石流防災中心
第 2 層決行

承 辦 人	會 辦 單 位	副 首 長
 <small>李憲昆 0721 1220</small>		
科 (課) 長		
 <small>黃啟平 0790</small>		副 首 長
單 位 核 稿		
單 位 副 主 管	核 稿	首 長
單 位 主 管	主 任 秘 書	
 <small>鍾啟榮 0721 1800</small>		



受文者：如正副本行文單位

發文日期：中華民國 年 月 日
發文字號：水保防字第1091866867號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：如主旨

主旨：檢送本局109年7月20日「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案期中審查會議紀錄1份，請查照。

正本：游委員繁結、蘇委員苗彬、楊委員明德、張委員志新、鍾委員啟榮、陳委員振宇、林委員仕修、逢甲大學(土木系李教授秉乾)
副本：本局土石流防災中心

打字	校對	監印	發文
----	----	----	----



1/19

局長 李 ○ ○



裝

訂

線

行政院農業委員會水土保持局
「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案
期中審查會議紀錄

壹、時間：109年7月20日(星期一)下午2時

貳、地點：本局A區第二會議室

參、主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮

紀錄：李憲昆

肆、出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、結論：

一、請逢甲大學參照與會人員相關意見辦理。

二、本案自主防災崩塌警戒發布管理流程設計與可行性分析試作地點為南投縣信義鄉豐丘村。

三、逢甲大學所提期中報告書與期中摘要報告，經審查通過，同意依契約書規定撥付第2期款。

四、請逢甲大學依契約書規定於109年11月13日以前提出期末報告書，俾利召開期末審查會議。

捌、臨時動議：無

玖、散會：下午3時50分

「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案 期中審查會議與會人員綜合意見

一、崩塌事件資料庫擴增：

- (一) 報告書第 2 章建議說明「本年度」增加的資料事件、資料庫內容或補充說明資料庫中各項資料的年份。
- (二) 報告書第 2-9 頁，第 1、2 行，「數值高程模型」、「二十五萬分之一地質圖」等圖資之來源出處請再確認。
- (三) 報告書第 2-44 頁之崩塌變異類型，資料模糊不清，無法顯示真正的變異，採用林務局崩塌圖資與本案討論崩塌的模式是否相關應進一步說明。
- (四) 報告書第 2-55 頁之坡面單元太細，是否能分類崩塌，土石流等致災，看不出集水路徑等，無法評估水量影響。
- (五) 報告書表 2-4，應更新至 108 年，報告書第 2-47 頁的分析只有到 105 年，建議增加到 108 年。
- (六) 簡報第 15 頁之等比率曲線之累計雨量為降雨事件中之發生雨量或一次降雨事件的累積降雨量，兩者之雨量值有差別，另為何有些發生事件是分布在等比率曲線下方？
- (七) 簡報第 16 頁崩塌之潛因之因子包括距離河道遠近，惟坡面如距離河道一定沖刷距離對崩塌即無影響。
- (八) 簡報第 31 頁，102 年至 103 年範圍為何這麼大？
- (九) 雨量資料目前只使用 98-108 年資料，惟相較於 98 年之前的雨量，近年極端降雨情況較少，是否影響雨量模型之建構。
- (十) 崩塌資料庫目前已考量各年度新增之崩塌面積，另建議宜考量同一坡面新生崩塌之發生頻率，以呈現其脆弱度。
- (十一) 本年度 DEM 基本因子新增曲率等多項因子，是否已考量各因子之獨立性及代表性？
- (十二) 斜坡單元建議可逕採用地調所已建立之全臺行政單元資料，以便後續成果之銜接。
- (十三) 雨量等因子採用 20 米之網格，實務上是否有意義？
- (十四) 如是針對一場事件之累積降雨對特定集水區之崩塌面積增加則不必考慮哪一塊崩塌是在何累積雨量時崩塌。
- (十五) 目前資料庫建立的部分採用年度資料來做為崩塌地位置來源，並據此建立模型，惟之前採用事件前後影像來建立崩塌地資料庫，這二種做法在分析上有什麼不同？
- (十六) 目前資料庫增加地文因子或許對分析模式有益，但可能會增加蒐集時間跟難度，能否說明何者屬高重要性的因子？
- (十七) 崩塌資料庫中納入地震相關因子，但地震與降雨引發崩塌屬不

同誘發因子，在分析時如何區分？

二、坡地崩塌風險評估模型建立：

- (一) 神經網格模型之分析將樣品簡單分類為崩塌與非崩塌，而忽略其崩塌面積大小、形狀、土壤厚度、植生種類等等之差異，似將崩塌簡化成一種符號，而未考慮其內涵，此等訓練結果之代表意義如何，宜將加檢討，並做合理之解釋。另，其抽樣之各觀測值應屬獨立因子，且隨機取得！
- (二) 利用類神經網路訓練樣本，其最小單元為何？崩塌佔比例多少？請明何種方式準確率較高？
- (三) 本案如何校正跨時期標準化植被指數數值（Normalized Difference Vegetation Index；NDVI）？
- (四) 請檢視不同時間事件標準化之最大值與最小值之定義。
- (五) 報告書第 3-28 頁，模式驗證精度表之數值甚高，請說明其判斷標準，若一個含多個坡面單元的山坡地，其中有一個坡面單元達標，是否就判斷整塊山坡地即為崩塌？
- (六) 報告書第 3 章「坡地崩塌潛勢評估模型」中納入了事件最大時雨量因子，有效累積雨量…等動態環境因子，與「崩塌降雨危害評估模型」中的降雨有無相關係？是否有重複？
- (七) 「坡地崩塌潛勢評估模型」^{4.4}成果表 3-4、表 3-5(報告書第 3-28 頁) 精度指的是訓練樣本成果或測試樣本成果？請補充說明。
- (八) 如果上述模型已考量降雨動態因子，應該就可以去做後續的預警作業，為何再用另一降雨危害的警戒值？
- (九) 針對特定的坡面其坡面之內在體質會隨時間累積降雨及地震事件而減弱，所以同一坡面，即便在相同雨量仍有可能發生崩塌與不崩塌情形。如果以一個子集水區為單元，去討論其降雨對整體集水區崩塌發生機率較能避免前開問題。
- (十) 除了了解坡面或集水區之耐受力外，了解復原力對整治及防災亦很重要。

三、複合型坡地災害行政區警戒機制研析：

- (一) 請針對三處試作區特性做定義以及為何選擇這三處試作區？
- (二) 各坡面單元或網格之 F_c 、 H_c 等建立之可靠性請說明。
- (三) 報告書第 4-18 頁的崩塌發生是否過早，沒有達紅 1 及紅 2，即已發生。
- (四) 報告書第 4-42 頁崩塌發生在 F_c 與 H_c 之前？報告中 min RH 有達 500、600 等是否過大？
- (五) 警戒模式之對象與目標，建議鎖定在一定規模以上之群發型崩塌，避免因零星個案影響模式成果。

四、綜合建議：

- (一) 本案係屬科技研究，宜對研究方法、步驟與結果之討論力求充分、完整，請斟酌報告之編撰方式。
- (二) 本案研究自適性坡地崩塌評估模式，採用過去資料建立防災預測模型，已累積數年經驗，應力求驗證可行性與正確性，以利推廣。
- (三) 研究區使用之處過去的重要災區，可以增加歷史災害的描述，以供瞭解問題所在。
- (四) 前言似嫌冗長，且用詞、文意與文章之連貫性有在改善的空間，請再斟酌的檢視。尤以對本研究之目的，宜有簡潔扼要地呈現，不宜以長篇累牘呈現之。
- (五) 本案既屬科技計畫，宜有創新構想，而非資料庫擴增，更新等一般例行工作？
- (六) 本研究思維之邏輯概念，請做條例說明，以利瞭解。
- (七) 報告書第 5-1 頁提及模型準確率達 74.14% 與 75.4% ，可否再詳細說明其準確率為何可致如此優秀標準。
- (八) 考量到社區自主防災使用，請再說明報告書第 5-2 頁之「崩塌警戒值」與「社區空間崩塌風險潛勢圖」之內容為何。
- (九) 何謂自適性坡地崩塌評估？報告書第 1-5 頁之說明看不出何謂自適性？
- (十) 以下為報告書排版問題，請修正：
 1. 報告書第 1-6 頁跳到 2-7 頁，是否漏頁。
 2. 圖表等引用應注意出處之標示，表 2-1 的名稱不符，出處亦應增加。
 3. 報告書第 2-53 頁，以「一」、「二」標示之段落及與第 2-57 頁標示之「一」標題段落用同級之編號，不妥，宜注意文章編輯之次序。
 4. 報告書第 2-54 頁~2-57 頁，圖說跳頁。
 5. 報告書第 2-57 頁之段號「一」，報告書第 2-4 頁(現況該頁碼在 2-57 之後，不妥!)為「三」之段號，缺「二」之段號。
 6. 報告書第 2-57 頁後有一大段落的文件跳頁與誤植，請調整(另報告書第 2-4 頁~2-8 頁，頁上標是第 3 章)。
 7. 報告書第 5-2 頁，倒數第 5 行「科學統化分析」語意不明，請修正。

「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案

期中審查會議簽到單

壹、開會時間：109年7月20日（星期一）下午2時

貳、開會地點：本局A區第二會議室

參、主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮

紀錄：李憲昆

李憲昆

肆、出（列）席單位及人員：

出席委員			簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名	職稱	姓名
國立中興大學	委員	游繁結	委員	<i>游繁結</i>
國立中興大學	委員	蘇苗彬	委員	<i>蘇苗彬</i>
國立中興大學	委員	楊明德	委員	<i>楊明德</i>
國家災害防救科技中心	委員	張志新	委員	<i>張志新</i>
水土保持局	副總工程司兼主任	鐘啟榮	副總工程司兼主任	<i>鐘啟榮</i>
水土保持局	副總工程司	陳振宇	副總工程司	<i>陳振宇</i>
水土保持局	簡任正工程司	林仕修	簡任正工程司	<i>林仕修</i>
列席單位及人員	簽名處			
	職稱	姓名	職稱	姓名
主辦單位(土石流防災中心)				
				<i>李憲昆</i>

				張科偉
				曾名賢
				林玉如
				黃馳富
		張麗惠		許家祥
		陳柏成		周郁婷
逢甲大學	教授	李秉乾		
		尚祖強		陳禾
				王欣萍
		黃亦政		謝嘉勳

伍、散會： 時 分



行政院農業委員會109年度科技計畫期中摘要報告

自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究

審議編號：1092101011909-100701S3

農委會計畫編號：109農科-10.7.1-保-S3

主管機關：農委會水保局

執行機關：逢甲大學

計畫主持人：李秉乾

聯絡人：李秉乾

電話號碼：0936579520

傳真號碼：

期程：自 109年1月1日 至 109年12月31日

經費：全程 1,150 千元 / 109年度 1,150 千元

執行情形：

執行進度：	預定%	實際%	比較
當年	63.00	63.00	0.00
全程	63.00	63.00	0.00

經費支用：	預定(千元)	實際(千元)	支用率%
當年	1,150.00	575.00	50.00
全程	1,150.00	575.00	50.00

目標達成狀況：

期中預定進度63.00%，實際進度為63.00%，均依據核定之計畫預定進度達成預定進度。期中預定支用經費1,150,000元，實際支用經費575,000元，支用率50.00%，經費支用均依據農委會主管計畫經費處理手冊辦理。

資源使用情形：

在執行(及合作)機關之充分配合下，研究人員與助理同心協力，使本計畫能夠如期完成。

主要執行成果：

一、期中評核標準達成情形

項次	期中評核標準	達成情形	辦理情形
----	--------	------	------





1	完成崩塌資料庫更新與植生現況分析工作以及崩塌降雨警戒值更新	是	已完成本計畫研究範圍包括已建置完成崩塌資料庫之陳有蘭溪、旗山溪以及荖濃溪集水區，植生現況分析以及多元地文環境因子擴增的工作，目前已取得本年度汛期前第一期及第二期拍攝之衛星影像並完成109年度研究區之植生分析，以瞭解目前植生狀況並更新環境屬性資料，本計畫中屬變動之崩塌植生因子並已同步更新，且重新定義了各集水區坡面單元之坡面類別屬性，以利於後續管理值訂定。
2	完成擴增106-108年度三流域(陳有蘭溪、荖濃溪與旗山溪流域)崩塌地變化資料以及對應年度降雨時序資料，以精進自適性坡地崩塌評估模式在氣候變遷下警戒標準的適配性	是	完成透過政府開放資料平台取得由林務局委託成功大學擴增陳有蘭溪、荖濃溪與旗山溪流域歷年崩塌地變化資料以及對應年度颱風豪雨事件降雨時序資料之擴增。
3	完成檢討降雨規模以及相關誘發因子與崩塌地的關聯性	是	崩塌行為影響因素眾多，除地震及降雨兩誘發因子可掌握外，其他環境因子對崩塌行為之影響皆因各地區情況不一而有所差異，因此本研究透過相關文獻回顧彙整並與本計畫所擴增的颱風豪雨事件進行綜合分析，完成各年度颱風豪雨事件之雨場相關誘發因子與崩塌地的關聯性分析。

二、其他執行情形概述

1. 完成最新災情速報資料蒐集
2. 對應年度颱風豪雨事件蒐集及特徵挖掘
 - (1) 本計畫研究範圍包括已建置完成崩塌資料庫之陳有蘭溪、旗山溪以及荖濃溪集水區，並透過109年度汛期影像之現況植生分析，以更新研究區坡面單元之坡面類別屬性，並同時完成歷年年度前期崩塌資料庫擴增以及環境潛勢因子擴增(地文特徵挖掘、水文分析與斷層遠近等)，以利後續模型適用於現況環境資料。
3. 基礎模型的訓練
 - (1) 完成針對研究區域陳有蘭溪集水區、荖濃溪集水區、旗山溪集水區，使用多重演算法對於不同特性之坡面單元分類，並以多年度之崩塌資料庫為基礎，建立基礎類神經坡地風險評估模型，其中輸入變數包含多重事件雨量因子、地質、坡度、坡向、河道距離、植生等擴增之環境地文因子，並於模式中找出最佳化層數以及參數，並根據本計畫多重演算法模型進行模型之驗證。
4. 完成基礎模型訓練，並透過歷年速報資料及歷年度崩塌事件雨量資料庫探索，訂定降雨危害及崩塌潛勢最小致災警戒線作為後續警戒實測應用。
5. 完成警戒值訂定更新

10





三、重要成果

1. 本計畫已完成針對研究區內陳有蘭溪集水區、荖濃溪集水區、旗山溪集水區之多元地文環境因子之擴增。
2. 本計畫已完成針對研究區內陳有蘭溪集水區、荖濃溪集水區、旗山溪集水區之崩塌事件資料庫擴增以取得更多事件(98年度至106年度)崩塌樣本，而以擴增後之崩塌事件資料庫進行人工智慧演算法之關聯性分析模式訓練，進而探索全域變動因子(雨量驅動因子： (I_{max}, R_{te}) 以及 (R_{max}, I_1))對於坡地崩塌災害的影響性。
3. 本計畫完成建立基礎類神經坡地風險評估模型，並將坡面單元環境因子組成，並加入為崩塌潛勢評估分析模型之變數，進行訓練已取得全域環境下適用之模型，並投入兩種雨量參數，分別為各年度颱風豪雨雨場中之最大之 $I_{max}(i)$ 及其對應之 $R_{te}(i)$ 與最大之 $R_{te}(i')$ 及其對應之 $I_1(i')$ ，分別得到74.14%以及75.40%之準確率，間接評估崩塌發生之雨量誘因未必為 $I_{max}(i), R_{te}(i)$ ，其可能之降雨誘發因子需進一步探索。

計畫變更說明：

無

落後原因及檢討：

無

以下欄位請於期中評核(審查)後，由主辦專家至系統考評作業填寫列印，並請單位主管簽章。

一、經費支用情形評核：

(一)支用率 是 否 達60% 以上

二、計畫期中執行情形評核：

(一)期中評核標準達成情形：(若辦理期中審查者，則綜合參考委員評審結果後填寫以下內容者)

序號	期中評核標準	是否已達成
1	完成崩塌資料庫更新與植生現況分析工作以及崩塌降雨警戒值更新	是
2	完成擴增106-108年度三流域(陳有蘭溪、荖濃溪與旗山溪流域)崩塌地變化資料以及對應年度降雨時序資料，以精進自適性坡地崩塌評估模式在氣候變遷下警戒標準的適配性	是
3	完成檢討降雨規模以及相關誘發因子與崩塌地的關聯性	是

(二)主管機關之因應對策(檢討與建議)：

一、崩塌事件資料庫擴增：

(一)報告書第2章建議說明「本年度」增加的資料事件、資料庫內容或補充說明資料庫中各項資料的年份。





(二) 報告書第2-9頁，第1、2行，「數值高程模型」、「二十五萬分之一地質圖」等圖資之來源出處請再確認。

(三) 報告書第2-44頁之崩塌變異類型，資料模糊不清，無法顯示真正的變異，採用林務局崩塌圖資與本案討論崩塌的模式是否相關應進一步說明。

(四) 報告書第2-55頁之坡面單元太細，是否能分類崩塌，土石流等致災，看不出集水路徑等，無法評估水量影響。

(五) 報告書表2-4，應更新至108年，報告書第2-47頁的分析只有到105年，建議增加到108年。

(六) 簡報第15頁之等比率曲線之累計雨量為降雨事件中之發生雨量或一次降雨事件的累積降雨量，兩者之雨量值有差別，另為何有些發生事件是分布在等比率曲線下方？

(七) 簡報第16頁崩塌之潛因之因子包括距離河道遠近，惟坡面如距離河道一定沖刷距離對崩塌即無影響。

(八) 簡報第31頁，102年至103年範圍為何這麼大？

(九) 雨量資料目前只使用98-108年資料，惟相較於98年之前的雨量，近年極端降雨情況較少，是否影響雨量模型之建構。

(十) 崩塌資料庫目前已考量各年度新增之崩塌面積，另建議宜考量同一坡面新生崩塌之發生頻率，以呈現其脆弱度。

(十一) 本年度DEM基本因子新增曲率等多項因子，是否已考量各因子之獨立性及代表性？

(十二) 斜坡單元建議可逕採用地調所已建立之全臺行政單元資料，以便後續成果之銜接。

(十三) 雨量等因子採用20米之網格，實務上是否有意義？

(十四) 如是針對一場事件之累積降雨對特定集水區之崩塌面積增加則不必考慮哪一塊崩塌是在何累積雨量時崩塌。

(十五) 目前資料庫建立的部分採用年度資料來做為崩塌地位置來源，並據此建立模型，惟之前採用事件前後影像來建立崩塌地資料庫，這二種做法在分析上有什麼不同？

(十六) 目前資料庫增加地文因子或許對分析模式有益，但可能會增加蒐集時間跟難度，能否說明何者屬高重要性的因子？

(十七) 崩塌資料庫中納入地震相關因子，但地震與降雨引發崩塌屬不同誘發因子，在分析時如何區分？

二、坡地崩塌風險評估模型建立：

(一) 神經網格模型之分析將樣品簡單分類為崩塌與非崩塌，而忽略其崩塌面積大小、形狀、土壤厚度、植生種類等等之差異，似將崩塌簡化成一種符號，而未考慮其內涵，此等訓練結果之代表意義如何，宜將加檢討，並做合理之解釋。另，其抽樣之各觀測值應屬獨立因子，且隨機取得！

(二) 利用類神經網路訓練樣本，其最小單元為何？崩塌佔比例多少？請明何種方式準確率較高？

12





(三) 本案如何校正跨時期標準化植被指數數值 (Normalized Difference Vegetation Index ; NDVI) ?

(四) 請檢視不同時間事件標準化之最大值與最小值之定義。

(五) 報告書第3-28頁，模式驗證精度表之數值甚高，請說明其判斷標準，若一個含多個坡面單元的山坡地，其中有一個坡面單元達標，是否就判斷整塊山坡地即為崩塌？

(六) 報告書第3章「坡地崩塌潛勢評估模型」中納入了事件最大時雨量因子，有效累積雨量…等動態環境因子，與「崩塌降雨危害評估模型」中的降雨有無相關係？是否有重複？

(七) 「坡地崩塌潛勢評估模型」成果表3-4、表3-5(報告書第3-28頁)精度指的是訓練樣本成果或測試樣本成果？請補充說明。

(八) 如果上述模型已考量降雨動態因子，應該就可以去做後續的預警作業，為何再用另一降雨危害的警戒值？

(九) 針對特定的坡面其坡面之內在體質會隨時間累積降雨及地震事件而減弱，所以同一坡面，即便在相同雨量仍有可能發生崩塌與不崩塌情形。如果以一個子集水區為單元，去討論其降雨對整體集水區崩塌發生機率較能避免前開問題。

(十) 除了了解坡面或集水區之耐受力外，了解復原力對整治及防災亦很重要。

三、複合型坡地災害行政區警戒機制研析：

(一) 請針對三處試作區特性做定義以及為何選擇這三處試作區？

(二) 各坡面單元或網格之Fc、Hc等建立之可靠性請說明。

(三) 報告書第4-18頁的崩塌發生是否過早，沒有達紅1及紅2，即已發生。

(四) 報告書第4-42頁崩塌發生在Fc與Hc之前？報告中min RH有達500、600等是否過大？

(五) 警戒模式之對象與目標，建議鎖定在一定規模以上之群發型崩塌，避免因零星個案影響模式成果。

四、綜合建議：

(一) 本案係屬科技研究，宜對研究方法、步驟與結果之討論力求充分、完整，請斟酌報告之編撰方式。

(二) 本案研究自適性坡地崩塌評估模式，採用過去資料建立防災預測模型，已累積數年經驗，應力求驗證可行性與正確性，以利推廣。

(三) 研究區使用之處過去的重要災區，可以增加歷史災害的描述，以供瞭解問題所在。

三、期中評核結果：(若辦理期中審查者，則參考評審委員之總體評等後勾選)

無異議通過

修正或 變更後通過，應修正或變更事項：

不予通過，辦理 複審或 計畫終止，說明：

13



1090386_CM



評核日期：109/07/20

主辦專家簽章 李雲日 $\frac{0721}{1430}$
李思敏

單位主管簽章

鍾敏 $\frac{0721}{1860}$

14



行政院農業委員會水土保持局
「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案
期中審查委員發言單

單位：

發言人：

謝繁結

發言內容：

1. 本案係屬科技研究，宜對研究方法、步驟與結果之討論力求充分、完整，請斟酌報告之編撰方式。
2. 前言似嫌冗長，且用詞、文意與文章之連貫性有再改善的空間。請再斟酌檢視。尤以對本研究之目的，宜有簡潔扼要的呈現，不宜以長篇累牘呈現之。
3. 本案既屬科技計畫，宜有創新構想，而非資料庫擴增，更非等一般例行工作。
4. 本研究思維之邏輯概念，請作條理之說明，以利瞭解。
5. 何謂自適性坡地崩塌評估？ p. 1-5 之說明看不出何謂自適性？
6. p. 2-53, "15"-", "=" 標示之段落及 p. 2-57, 標示 "-" 標題段落用同級之編號，不妥，宜洽意文章編輯之次序。
7. p. 2-57 之段落 "-", p. 2-4 (視該頁碼在 2-57 之後，不妥!) 為 "三" 之段落，缺 "=" 之段落。
8. p. 1-6 跳至 p. 2-7，是否漏頁。
9. 類神經網路模型之分析將樣品簡單分類為崩塌或非崩塌，而忽略其崩塌面積大小、形狀、土壤厚度、植生種類等之差異，似將崩塌簡化成一種符號，而未考慮其內涵，此等訓練結果之代表意義如何，宜再加檢討，並作合理之解釋。另，其抽樣之各觀測值應屬獨立因子，且隨機取得！
10. p. 4-6 ~ p. 4-12, 以不同地類為例，其所呈現之主要內容如何，何以不一例全標示之？
11. 各坡面單元式網格之 F_c 、 H_c 等建立之可靠

請於會後擲交承辦人員，謝謝！

行政院農業委員會水土保持局
「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案
期中審查委員發言單

單位： 中興土	發言人： 葉若林
發言內容：	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案研究自適性坡地崩塌評估模式，採用過去資料建立防災預測模型，已累積相當經驗，應力求驗證可行性與正確性，以利推廣。 2. 圖表等引用應注意出處之標示，如表 2-1 的名字不符，出處亦應增加。 3. 研究區使用三處過去的重要災區，可以增加歷史災害的描述，以供了解問題所在。 4. p. 2-44 等的崩塌變異類型，資料看不出是海浩默平真正的變異，採用林務局崩塌圖資與本案討論崩塌的模式是不相同，應有進一步的說明。 5. p. 2-55 等的坡面單元太細，是否能分數崩塌，土石流等致災，看不出集水路線等，無法評估水量的影響。 6. p. 4-18 的崩塌材料摸時乳聚落，名稱是否有錯！ 7. p. 4-24 的崩塌發生是否過早，沒有達紅 1 及紅 2 即已發生。 8. p. 4-42 崩塌發生在淺 Fc 與 Hc 之前？報表中 min RH 有達 500, 600 等是否過大！ 	

請於會後擲交承辦人員，謝謝！

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author outlines the various methods used to collect and analyze the data. This includes both primary and secondary data collection techniques. The primary data was gathered through direct observation and interviews with key stakeholders.

The analysis phase involved using statistical software to identify trends and correlations within the data set. It is noted that while the data shows a general upward trend, there are significant fluctuations that require further investigation.

Finally, the document concludes with a series of recommendations based on the findings. These include improving data collection processes, enhancing communication channels, and implementing more robust security measures to protect sensitive information.

行政院農業委員會水土保持局
「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案
期中審查委員發言單

單位： NCDR 發言人： 張志新

發言內容：

* ^{Ch2}建議說明“本年度”增加的资料事件、資料庫內容
or 補充說明、資料庫中各項資料的年份。

* 表 2-4, 應更新至 108 年, pp. 2-47 的分析只有到 105 年
* 建議增加 00 到 108 年。

* PP 2-54 ~ 2-57. 圖說跳頁

* PP 2-57 後有一大段落的文件跳頁。--- 誤植 ---
請調整。(頁數 2-1 ~ 2-8, 頁上標是 Ch3 ---)

* Ch3 「坡地崩塌潛勢評估模型」中 加入了
事件最大時雨量因子、有效累積雨量 --- 等動態
環境因子。如「崩塌降雨危害評估模型」中的
降雨有無相關性？是否有重覆？

* 坡地崩塌潛勢評估模型成果表 3-4, 表 3-5, (pp. 3-28)
精度指的是訓練樣本的成果 or 測試樣本
成果？請補充說明。

* 如果上述模型已考量降雨動態因子, 應該就可以
去做後續的驗證作業, 為何再用另一降雨危害的

請於會後擲交承辦人員, 謝謝! 擊式值?

*

行政院農業委員會水土保持局
「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案
期中審查委員發言單

單位：

發言人：

陳永亨

發言內容：

- 一、雨量資料目前只使用 98-108 年資料，惟相較於 98 年之前^的雨量，近年極端降雨情況較少，是否影響雨量基礎之建構。
- 二、崩塌資料庫目前已彙集各年度新增之崩塌面積，另建議宜彙集同一坡面新生崩塌之發生頻率，以呈現其脆弱程度。
- 三、DEM 基因子新增由許多項目因子，是否^{系統}已彙集各因子之獨立性及代表性？
- 四、斜坡單元建議可選擇用地類所已建立之全台斜坡單元資料，以便~~來~~彙集彙成單一之銜接。
- 五、雨量等因子採用 20m 之分辨率，實務上是否有意義？
- 六、警戒模式之對象與目標建議鎖定在~~一~~一定規模

請於會後擲交承辦人員，謝謝！

以上之研究型崩塌，避免因素是個案影響
模式成果。

行政院農業委員會水土保持局
「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案
期中審查委員發言單

單位：

發言人：

叶任修

發言內容：

發生雨量

降雨

1. 關於 P15 之等比率曲線之累計雨量圖為事件中之一次事件之事件的累積降雨量，兩者之雨量值有差別
另為行有些發生事件是在等比率曲線下。

2. 關於 P16，崩塌之誘因之因子包括距離最近河道最近，唯如距離河道一定沖刷距離即無影響
對崩塌

3. 如是針對一端事件之累積降雨對子集水區之崩塌面積增加則不少是屬於崩塌是在那行累積雨量時崩塌

4. 針對對特定之坡面其崩塌之發生會隨時的累積降雨之地震事件，而所成崩塌，所以同一坡面，即便在相同雨量，仍有可能發生崩塌之不同情形。

5. 如果以一個子集水區為單元，去討論其自降雨時的

請於會後擲交承辦人員，謝謝！
如何能避免以上之問題。

6. 除了了解坡面或地形之色之向坡度外，了解原有之整治及防範措施。

行政院農業委員會水土保持局

「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案 期中審查會議紀錄

壹、時間：109 年 7 月 20 日(星期一)下午 2 時

貳、地點：本局 A 區第二會議室

參、主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮

紀錄：李憲昆

肆、出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、結論：

一、請逢甲大學參照與會人員相關意見辦理。

二、本案自主防災崩塌警戒發布管理流程設計與可行性分析試作地點為南投縣信義鄉豐丘村。

三、逢甲大學所提期中報告書與期中摘要報告，經審查通過，同意依契約書規定撥付第 2 期款。

四、請逢甲大學依契約書規定於 109 年 11 月 13 日以前提出期末報告書，俾利召開期末審查會議。

捌、臨時動議：無

玖、散會：下午 3 時 50 分

「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案 期中審查會議與會人員綜合意見

- 一、崩塌事件資料庫擴增：
 - (一) 報告書第 2 章建議說明「本年度」增加的資料事件、資料庫內容或補充說明資料庫中各項資料的年份。
 - (二) 報告書第 2-9 頁，第 1、2 行，「數值高程模型」、「二十五萬分之一地質圖」等圖資之來源出處請再確認。
 - (三) 報告書第 2-44 頁之崩塌變異類型，資料模糊不清，無法顯示真正的變異，採用林務局崩塌圖資與本案討論崩塌的模式是否相關應進一步說明。
 - (四) 報告書第 2-55 頁之坡面單元太細，是否能分類崩塌，土石流等致災，看不出集水路徑等，無法評估水量影響。
 - (五) 報告書表 2-4，應更新至 108 年，報告書第 2-47 頁的分析只有到 105 年，建議增加到 108 年。
 - (六) 簡報第 15 頁之等比率曲線之累計雨量為降雨事件中之發生雨量或一次降雨事件的累積降雨量，兩者之雨量值有差別，另為何有些發生事件是分布在等比率曲線下方？
 - (七) 簡報第 16 頁崩塌之潛因之因子包括距離河道遠近，惟坡面如距離河道一定沖刷距離對崩塌即無影響。
 - (八) 簡報第 31 頁，102 年至 103 年範圍為何這麼大？
 - (九) 雨量資料目前只使用 98-108 年資料，惟相較於 98 年之前的雨量，近年極端降雨情況較少，是否影響雨量模型之建構。
 - (十) 崩塌資料庫目前已考量各年度新增之崩塌面積，另建議宜考量同一坡面新生崩塌之發生頻率，以呈現其脆弱度。
 - (十一) 本年度 DEM 基本因子新增曲率等多項因子，是否已考量各因子之獨立性及代表性？
 - (十二) 斜坡單元建議可逕採用地調所已建立之全臺行政單元資料，以便後續成果之銜接。
 - (十三) 雨量等因子採用 20 米之網格，實務上是否有意義？
 - (十四) 如是針對一場事件之累積降雨對特定集水區之崩塌面積增加則不必考慮哪一塊崩塌是在何累積雨量時崩塌。
 - (十五) 目前資料庫建立的部分採用年度資料來做為崩塌地位置來源，並據此建立模型，惟之前採用事件前後影像來建立崩塌地資料庫，這二種做法在分析上有什麼不同？
 - (十六) 目前資料庫增加地文因子或許對分析模式有益，但可能會增加蒐集時間跟難度，能否說明何者屬高重要性的因子？
 - (十七) 崩塌資料庫中納入地震相關因子，但地震與降雨引發崩塌屬不

同誘發因子，在分析時如何區分？

二、坡地崩塌風險評估模型建立：

- (一) 神經網格模型之分析將樣品簡單分類為崩塌與非崩塌，而忽略其崩塌面積大小、形狀、土壤厚度、植生種類等等之差異，似將崩塌簡化成一種符號，而未考慮其內涵，此等訓練結果之代表意義如何，宜將加檢討，並做合理之解釋。另，其抽樣之各觀測值應屬獨立因子，且隨機取得！
- (二) 利用類神經網路訓練樣本，其最小單元為何？崩塌佔比例多少？請明何種方式準確率較高？
- (三) 本案如何校正跨時期標準化植被指數數值（Normalized Difference Vegetation Index；NDVI）？
- (四) 請檢視不同時間事件標準化之最大值與最小值之定義。
- (五) 報告書第 3-28 頁，模式驗證精度表之數值甚高，請說明其判斷標準，若一個含多個坡面單元的山坡地，其中有一個坡面單元達標，是否就判斷整塊山坡地即為崩塌？
- (六) 報告書第 3 章「坡地崩塌潛勢評估模型」中納入了事件最大時雨量因子，有效累積雨量…等動態環境因子，與「崩塌降雨危害評估模型」中的降雨有無相關關係？是否有重複？
- (七) 「坡地崩塌潛勢評估模型」成果表 3-4、表 3-5(報告書第 3-28 頁) 精度指的是訓練樣本成果或測試樣本成果？請補充說明。
- (八) 如果上述模型已考量降雨動態因子，應該就可以去做後續的預警作業，為何再用另一降雨危害的警戒值？
- (九) 針對特定的坡面其坡面之內在體質會隨時間累積降雨及地震事件而減弱，所以同一坡面，即便在相同雨量仍有可能發生崩塌與不崩塌情形。如果以一個子集水區為單元，去討論其降雨對整體集水區崩塌發生機率較能避免前開問題。
- (十) 除了了解坡面或集水區之耐受力外，了解復原力對整治及防災亦很重要。

三、複合型坡地災害行政區警戒機制研析：

- (一) 請針對三處試作區特性做定義以及為何選擇這三處試作區？
- (二) 各坡面單元或網格之 F_c 、 H_c 等建立之可靠性請說明。
- (三) 報告書第 4-18 頁的崩塌發生是否過早，沒有達紅 1 及紅 2，即已發生。
- (四) 報告書第 4-42 頁崩塌發生在 F_c 與 H_c 之前？報告中 min RH 有達 500、600 等是否過大？
- (五) 警戒模式之對象與目標，建議鎖定在一定規模以上之群發型崩塌，避免因零星個案影響模式成果。

四、綜合建議：

- (一) 本案係屬科技研究，宜對研究方法、步驟與結果之討論力求充分、完整，請斟酌報告之編撰方式。
- (二) 本案研究自適性坡地崩塌評估模式，採用過去資料建立防災預測模型，已累積數年經驗，應力求驗證可行性與正確性，以利推廣。
- (三) 研究區使用之處過去的重要災區，可以增加歷史災害的描述，以供瞭解問題所在。
- (四) 前言似嫌冗長，且用詞、文意與文章之連貫性有在改善的空間，請再斟酌的檢視。尤以對本研究之目的，宜有簡潔扼要地呈現，不宜以長篇累牘呈現之。
- (五) 本案既屬科技計畫，宜有創新構想，而非資料庫擴增，更新等一般例行工作？
- (六) 本研究思維之邏輯概念，請做條例說明，以利瞭解。
- (七) 報告書第 5-1 頁提及模型準確率達 74.14% 與 75.4% ，可否再詳細說明其準確率為何可致如此優秀標準。
- (八) 考量到社區自主防災使用，請再說明報告書第 5-2 頁之「崩塌警戒值」與「社區空間崩塌風險潛勢圖」之內容為何。
- (九) 何謂自適性坡地崩塌評估？報告書第 1-5 頁之說明看不出何謂自適性？
- (十) 以下為報告書排版問題，請修正：
 1. 報告書第 1-6 頁跳到 2-7 頁，是否漏頁。
 2. 圖表等引用應注意出處之標示，表 2-1 的名稱不符，出處亦應增加。
 3. 報告書第 2-53 頁，以「一」、「二」標示之段落及與第 2-57 頁標示之「一」標題段落用同級之編號，不妥，宜注意文章編輯之次序。
 4. 報告書第 2-54 頁~2-57 頁，圖說跳頁。
 5. 報告書第 2-57 頁之段號「一」，報告書第 2-4 頁(現況該頁碼在 2-57 之後，不妥!)為「三」之段號，缺「二」之段號。
 6. 報告書第 2-57 頁後有一大段落的文件跳頁與誤植，請調整(另報告書第 2-4 頁~2-8 頁，頁上標是第 3 章)。
 7. 報告書第 5-2 頁，倒數第 5 行「科學統化分析」語意不明，請修正。

「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案

期中審查會議簽到單

壹、開會時間：109年7月20日（星期一）下午2時

貳、開會地點：本局A區第二會議室

參、主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮

紀錄：李憲昆

肆、出（列）席單位及人員：

出席委員			簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名	職稱	姓名
國立中興大學	委員	游繁結	委員	游繁結
國立中興大學	委員	蘇苗彬	委員	蘇苗彬
國立中興大學	委員	楊明德	委員	楊明德
國家災害防救科技中心	委員	張志新	委員	張志新
水土保持局	副總工程司兼主任	鐘啟榮	副總工程司兼主任	鐘啟榮
水土保持局	副總工程司	陳振宇	副總工程司	陳振宇
水土保持局	簡任正工程司	林仕修	簡任正工程司	林仕修
列席單位及人員	簽名處			
	職稱	姓名	職稱	姓名
主辦單位(土石流防災中心)				
				李憲昆

				張科偉
				曾名賢
				林子怡
				黃馳富
		張麗惠		許家祥
		陳柏成		周郁鴻
逢甲大學	教授	李秉乾		
		尚祖強		陳禾
				王欣萍
		黃亦政		謝嘉勳

伍、散會： 時 分

秋萍

檔 號：

保存年限：

行政院農業委員會水土保持局 函

地址：54044南投市中興新村光華路6號

承辦人：李憲昆

電話：049-2347518

傳真：049-2394209

電子信箱：agrikuen99@mail.swcb.gov.tw

受文者：逢甲大學(土木工程學系李教授
秉乾)

發文日期：中華民國109年8月25日

發文字號：水保防字第1091834974號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：無

主旨：撥付本局補助貴校辦理「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」科技計畫第2期款新臺幣46萬元整，款由財政部國庫署逕匯貴校指定帳戶，請查收。

說明：

- 一、依據貴校109年8月19日逢建營字第1090016339號函辦理。
- 二、依據旨案契約書第4條第1項，經期中評核通過、繳交期中摘要報告，且前期撥付款執行數超過60%，撥付本案第2期款（計畫總金額40%），後續工作仍請依契約書規定辦理。

正本：逢甲大學(土木工程學系李教授秉乾)

副本：本局秘書室、本局主計室、本局綜合企劃組、本局土石流防災中心

電 2020/08/25 文
交 11:11:02 章

裝

訂

線

營建及防災研究 109/08/25



1090016761

逢甲大學 函

地址：407802台中市西屯區文華路100號

聯絡人：許羽忻

電話：04-24517250 分機3063

電子郵件：huiyhsu@fcu.edu.tw

54044

南投市中興新村光華路6號

受文者：行政院農業委員會水土保持局

發文日期：中華民國109年11月12日

發文字號：逢建營字第1090023304號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文

主旨：檢送本校土木工程學系李秉乾教授辦理貴局「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案期末報告書1式10份，請查照。

正本：行政院農業委員會水土保持局

副本：本校營建及防災研究中心

校長 李秉乾

裝

訂

線

檔 號：

保存年限：

行政院農業委員會水土保持局 開會通知單

受文者：逢甲大學(土木系李教授秉乾)(僅含議程)

發文日期：中華民國109年11月19日

發文字號：水保防字第1091836794號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：本案期末報告書、期末暨成果效益報告、會議議程與發言單1份(24782_易損性
期末審查會議議程.pdf)

開會事由：召開「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理
之研究」案期末審查會議

開會時間：109年12月10日(星期四)下午2時

開會地點：本局A區第二會議室(南投市中興新村光華路6號)

主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮

聯絡人及電話：李憲昆工程員049-2347518

出席者：周委員憲德、游委員繁結、蘇委員苗彬、楊委員明德、林委員仕修、黃委員
效禹、逢甲大學(土木系李教授秉乾)(僅含議程)

列席者：

副本：本局局長室、本局總工程司室、本局秘書室、本局土石流防災中心

備註：

- 一、檢附本案期末報告書、期末暨成果效益報告、會議議程與
發言單1份，請攜帶與會。
- 二、請逢甲大學準備電腦及簡報資料，並針對所提供期末報告
書進行20分鐘簡報。
- 三、如有呼吸道症狀且發燒者，請來電告知請假。
- 四、為響應紙杯減量，請自備環保杯。

電 2020/11/19 文
交 17:17:54 章

土木工程學系 109/11/19



1090023965

欣萍

檔 號：

保存年限：

行政院農業委員會水土保持局 函

地址：54044南投市中興新村光華路6號

承辦人：李憲昆

電話：049-2347518

傳真：049-2394209

電子信箱：agrikuen99@mail.swcb.gov.tw

受文者：逢甲大學(土木系李教授秉乾)

發文日期：中華民國109年12月14日

發文字號：水保防字第1091867138號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如主旨(25980_自適性科技計畫期末審查會議紀錄.pdf、25980_簽到表.pdf)

主旨：檢送本局109年12月10日召開「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案期末審查會議紀錄1份，請查照。

正本：游委員繁結、蘇委員苗彬、楊委員明德、周委員憲德、鐘委員啟榮、林委員仕修、黃委員效禹、逢甲大學(土木系李教授秉乾)

副本：本局土石流防災中心

電 2020/12/14 文
交 10:46:00 章

裝

訂

線

營建及防災研究中心 109/12/14




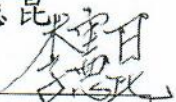
1090025875

「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案


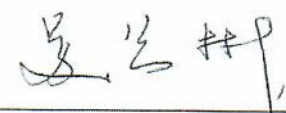

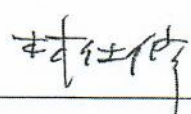
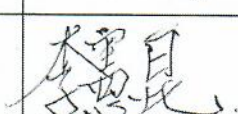
期末審查會議簽到單

壹、開會時間：109年12月9日（星期四）下午2時

貳、開會地點：本局A區第二會議室

參、主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮  紀錄：李憲昆 

肆、出（列）席單位及人員：

出席委員			簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名	職稱	姓名
國立中央大學	委員	周憲德	委員	
國立中興大學	委員	游繁結	委員	請假
國立中興大學	委員	蘇苗彬	委員	
國立中興大學	委員	楊明德	委員	
水土保持局	副總工程司兼主任	鐘啟榮	副總工程司兼主任	請假
水土保持局	簡任正工程司	林仕修	簡任正工程司	
水土保持局	科長	黃效禹	科長	請假
列席單位及人員	簽名處			
	職稱	姓名	職稱	姓名
主辦單位(土石流防災中心)				

				黃馳富
				曾名賢
				鄭利軍
				許家祥
		柯仲英		張麗惠
		陳柏成		周郁婷
逢甲大學	教授	李秉乾		
鍾翔宇		黃亦敏		

伍、散會： 時 分

行政院農業委員會水土保持局
「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案
期末審查會議紀錄

壹、時間：109 年 12 月 10 日(星期四)下午 2 時

貳、地點：本局 A 區第二會議室

參、主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮（林簡任正工程司任修代）

紀錄：李憲昆

肆、出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、結論：

一、請逢甲大學參照與會人員相關意見辦理後續工作。

二、逢甲大學所提期末報告書，經審查通過，請於 109 年 12 月 21 日以前
提送成果報告書初稿 2 份，俟繳交正式成果報告書、期末暨成果效益
報告後再行撥付第 3 期款。

三、請依本案契約書第 11 條規定，於成果報告書初稿納入本案研究紀錄(以
分月大事紀方式呈現)。

捌、臨時動議：無

玖、散會：下午 3 時 50 分

「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案

期末審查會議與會人員綜合意見

一、崩塌事件資料庫擴增：

- (一) 報告書表 2-13，崩塌預警之雨量因子(I_{max} , R_{te})之案例驗證及條件，建議就重大案例列表整理，以利量化及判釋。
- (二) 報告書圖 2-39 中降雨提條件與崩塌地分類或報告書表 2-13 新增崩塌地之關係，建議補充說明。
- (三) 多時期衛星影像之標準化植被指數數值 (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) 比較需有前處理，尤其是輻射校正過程需詳述。
- (四) 報告書第 2-47 頁坡面單元之劃分，坡面單元須符合地形特徵，地形特徵指哪些？

二、坡地崩塌風險評估模型建立：

- (一) 本計畫建立崩塌評估模式，應用多種因子作為警戒管理之基準與過去土石流警戒方式很類似，應有發展之合理性。
- (二) 受限前二年缺乏資料，故前二年事件不在推估的時間序列，有遠離事件愈近，影響愈大的原則，建議再述明，並且在前二年發生重大事件時予以修正。
- (三) 數值高程模型及後續水文、地文等統合模型訓練資料很多再由 AI 模型建立其相關性，偏向大區域的評估對個案式的評估可能不太適合，尤其面對社區為個案影響，可能有差異。
- (四) 本案主體以雨量為紅黃警戒，可能適用於土石流，以水量驅動為主，但對於坡地崩塌，可能要有不同的思考。崩塌考慮的水主要為地下水，而土石流以地表水為主，崩塌仍有其他監測系統可運用。
- (五) 本案所選擇 97-107 年，三個研究區的主要災害並非均在這期間發生，可能要再擴大，時雨量大於 40，累積 200-600 為發生可能性高，對崩塌地發生定義仍應再將機制納入考量。
- (六) 是否搜集到足夠多之單一降雨事件前後崩塌面積的變化，才能作為機器學習使用？
- (七) 崩塌的分類只有崩塌及無崩塌兩類，應用性較低，建議分為輕微、中度、重度、嚴重崩塌在未來警戒應用性較高。

三、自主防災崩塌警戒發布管理流程設計：

- (一) 本模式只適用淺層崩塌，請於報告中指正，以利後利用情境設定。
- (二) 實際預警操作上如何崩塌事前判定最大降雨強度之時間宜補充說明。
- (三) 於聚落自主防災管理時以 F_c 與 H_c 之低於 1 個標準差為初始警戒

之標準，請於報告中敘述理論基礎與後續相對操作策略。

- (四) 建議未來挑選試作聚落時，考量當年度有進行兵棋推演或實作演練者，並請團隊至現地參與，以了解相關內容與流程。
- (五) 目前報告書只呈現如何用警戒模組查詢到南投豐丘聚落，建議成果報告就期末簡報所提自主防災崩塌警戒發布管理流程設計，再詳細說明。
- (六) 建議團隊未來可就以下 2 點進行研究：
 1. 若本案模式可針對聚落坡地進行預警，請思考如何在兵棋推演或實作演練時，利用相關預警來啟動社區防災組織？
 2. 坡面的警戒或許可讓社區及鄉（鎮市區）公所探討疏散避難路線與避難處所的安全性。

四、綜合建議：

- (一) 中英文摘要之題目與封面不一致，請修正。
- (二) 題目中之自適性，英文應為 adaptive，請查核。
- (三) 內文之自動連結，部分無效，請檢視。
- (四) 報告書中應注意引用資料應註明出處，如第 2-1 頁崩塌之分類，報告中依崩塌個案為基礎，多為各單位以衛星資料做判釋，部分資料可能不確定。

逢甲大學 函

地址：407802台中市西屯區文華路100號

聯絡人：許羽忻

電話：04-24517250 分機3063

電子郵件：huiyhsu@fcu.edu.tw

54044

南投市中興新村光華路6號

受文者：行政院農業委員會水土保持局

發文日期：中華民國109年12月17日

發文字號：逢建營字第1090026236號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文

主旨：檢送本校土木工程學系李秉乾教授辦理貴局「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案成果報告書初稿1式2份，請查照。

正本：行政院農業委員會水土保持局

副本：本校營建及防災研究中心

校長 李秉乾

裝

訂

線

正 本

檔 號：
保存年限：

行政院農業委員會水土保持局 函

40724

臺中市西屯區文華路100號

地址：54044南投市中興新村光華路6號

承辦人：李憲昆

電話：049-2347518

傳真：049-2394209

電子信箱：agrikuen99@mail.swcb.gov.tw

受文者：逢甲大學(土木系李教授秉乾)

發文日期：中華民國109年12月24日

發文字號：水保防字第1091837855號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：本案審查意見單與成果報告書初稿註記意見版

主旨：有關本局補助貴校辦理「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案成果報告書初稿送審案，復請查照。

說明：

- 一、復貴校109年12月17日逢建營字第1090026236號函。
- 二、有關旨揭成果報告初稿，經審核尚符合本局要求，惟部分內容及文字，請依本案成果報告初稿審查意見單與成果報告初稿註記意見（詳附件）確實修正後，並於履約期限（109年12月31日）以前函送本案正式成果報告與相關資料過局。

正本：逢甲大學(土木系李教授秉乾)

副本：本局土石流防災中心

局長李鎮洋

水土保持局成果報告書初稿（稿本）審查意見 及注意事項

填表日期：109 年 12 月 23 日

計畫名稱	自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究
計畫執行單位	逢甲大學
計畫主持人	李秉乾 教授
主辦人(科別、姓名)	土石流防災中心 李憲昆
<p>審核意見（請條列說明）：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 封面及內頁首頁應列本局計畫出版品編號：SWCB-109-299。 2. 內文編號位階順序應為一、(一)、1.、(1)、A、a。 3. 請修正成果報告書初稿註記意見，並請加強確認文字語句之順暢與錯別字之校正，圖片請用彩色列印，並請注意圖面排版。 4. 後續提送成果報告書正式稿時，請將成果報告書初稿(本局註記版)一併送交本局。 5. 期末暨成果效益報告請上農業計畫管理系統確認並補充「主要成就與量化成果」缺漏部分。 	

逢甲大學 函

地址：407802台中市西屯區文華路100號

聯絡人：許羽忻

電話：04-24517250 分機3063

電子郵件：huiyhsu@fcu.edu.tw

54044

南投市中興新村光華路6號

受文者：行政院農業委員會水土保持局

發文日期：中華民國109年12月25日

發文字號：逢建營字第1090026858號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：檢送本校土木工程學系李秉乾教授辦理貴局109年度研究計畫「自適性坡地崩塌評估模式於崩塌災害警戒管理之研究」案成果報告書1式5份，請查收。

正本：行政院農業委員會水土保持局

副本：本校營建及防災研究中心

校長 李秉乾

裝

訂

線