
應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險
評估模式

Developing Landslide Risk Evaluation Model using
Artificial Intelligence (AI) Techniques

執行單位:逢甲大學

執行期間:108年1月1日至108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編印

中華民國 108 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)

應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式

摘要

本團隊過去在農委會水土保持局(以下簡稱水保局)相關計畫中，已透過建立易損性模式，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，完成雙變量坡地易損性分析，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)之易損性曲線，並與降雨危害曲線整合為一套崩塌風險警戒機制模式。

過去本計畫所發展之雙變量坡地易損性曲面是建立在有限的颱風事件中，不能將其視為適用於所有豪大雨及颱風事件，因為不同的災害事件代表不同災害規模(Scale disaster)，這對重點聚落而言將會造成不同程度的災害問題，因此本計畫期於今年度計畫中將盤點2008-2018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、旗山溪、荖濃溪集水區的雨量範圍，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。另一方面，隨著機器學習及人工智慧(AI)技術的興起，如何將本計畫過去所累積大量之崩塌資料庫(事件、雨量、地文資訊、崩塌地判釋等)與人工智慧技術有效的融合亦將是本計畫今年目的之一：精進求取崩塌比率之研究，由於人工智慧演算法建立通常需要一個包含大量資料的資料庫做為支撐，因此對於擴大資料數據集及資料數據之品質控管則就相對重要，本計畫將利用人工智慧類神經網路建立崩塌比率評估模型，基本上，其具有包含許多外部神經元的主要架構，該概念可以使用類似的神經網絡結構來構建更複雜的深度網絡，其優勢為大量資料能夠即時回應、處理及快速運算，減少人工求取參數之成本，且其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。經過上述的人工智慧技術於崩塌比率評估模式精進後，後續亦可整合於本計畫過去所發展之崩塌風險警戒機制模式，以達到協助防災應變決策之目的。

關鍵詞:風險管理、易損性曲線、警戒模式、坡面單元、崩塌

Developing Landslide Risk Evaluation Model using Artificial Intelligence (AI) Techniques

Abstract

The research group of this project has been worked with Soil and Water Conservation Bureau (SWCB) for years in developing fragility curve model for landslide potential evaluation. The study areas in the previous projects are at Chenyoulan, Laonong, and Qishan catchments. The research group had completed the bi-variable landslide model, including the triggering factors (max. hourly rainfall and accumulated rainfall), and environmental factors (geology, slope, aspects, distance to rivers, vegetation coverage, and landslide history). In association with the rainfall hazards, the landslide potential evaluation model was established.

In the previous studies, the data used to develop the landslide potential evaluation model was from limited events of typhoons and heavy rainfalls. To extend the database and the capability of the model, more typhoon or heavy rainfall events will be included in the model in order to consider the impacts of scale and intensity of an event. The events occurred during 2008 to 2018 will be selected to estimate the event scale and impact range, and be used to reasonably represent the influence in terms of rainfall indices. The satellite images of selected events will be also used for identifying landslide locations and areas. Besides, the application of artificial intelligence (AI) is increasing in many fields. Lots of data obtained from the previous researches will be used for AI application, in order to enhance the data processing and parameter determination of landslide ratio curves. Because a database of lots of data is usually necessary for AI adoption, extending current database and increasing quality of data is very important. The Artificial Neural Network (ANN) algorithm will be applied in estimating landslide ratio and its curve parameters. Basically, ANN contains a lot of neurons, and can be used to construct complicated networks. The advantages of using ANN are fast data processing, calculation, and responds, and reduced cost of manual operations. ANN can self-adjust to match

a better results and accuracy. Through the ANN process, the landslide potential evaluation will be enhanced in data processing and better capacity of representing the landslide risk. The combination of AI application and the models from previous researches will result in a considerably reasonable model for landslide risk evaluation.

Keywords: Risk management, Landslide fragility curves, Warning criteria, Slope unit, Landslides

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	1-4
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	2-1
第二節 坡面單元繪製與坡面分類定義	2-23
第三節 崩塌事件資料庫擴增	2-48
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	3-22
第四章 複合型坡地災害行政區警戒機制研析.....	4-1
第一節 行政區警戒發布機制研析	4-1
第二節 系統化崩塌警戒機制評估	4-6
第三節 崩塌風險警戒機制模式實測	4-13
第五章 結論與建議.....	5-1
第一節 結論	5-1
第二節 建議	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-13

表次

表 2-1	環境資料庫之類型和檔案格式	2-6
表 2-2	環境資料庫之類型和檔案格式	2-8
表 2-3	陳有蘭溪集水區各時期衛星影像資料	2-14
表 2-4	荖濃溪集水區各時期衛星影像資料	2-15
表 2-5	旗山溪集水區各時期衛星影像資料	2-16
表 2-6	I_1-R_{tc3} 之降雨因子定義	2-19
表 2-7	本計畫選擇之地質分類	2-29
表 2-8	本計畫之坡度分級.....	2-31
表 2-9	本計畫之距河道遠近分級	2-33
表 2-10	本計畫之坡向敏感因子	2-35
表 2-11	本計畫之崩塌植生指標分級.....	2-37
表 2-12	颱風豪雨崩塌事件新增崩塌地詳表	2-59
表 3-1	18 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	3-16
表 3-4	模式驗證精度表.....	3-21
表 3-5	簡化的風險矩陣.....	3-23
表 3-6	17 處南部集水區重點聚落村里崩塌與降雨警戒機率表(108 年度)	3-26
表 4-1	18 處重點聚落崩塌雨量警戒值	4-13
表 4-2	鄉(鎮、區)行政區崩塌雨量警戒值	4-14
表 4-3	六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨崩塌警戒發布試做	4-21
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 ..	4-26

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 4-31

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4-35

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 ..4-40

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
.....4-44

圖次

圖 2-1	陳有蘭溪集水區地質圖	2-1
圖 2-2	荖濃溪集水區地質圖.....	2-1
圖 2-3	旗山溪集水區地質圖.....	2-2
圖 2-4	陳有蘭溪地理位置圖.....	2-3
圖 2-5	荖濃溪地理位置圖.....	2-4
圖 2-6	旗山溪地理位置圖.....	2-5
圖 2-7	陳有蘭溪集水區數值高程模型	2-9
圖 2-8	荖濃溪集水區數值高程模型	2-9
圖 2-9	旗山溪集水區數值高程模型	2-9
圖 2-10	陳有蘭溪集水區坡度影像	2-10
圖 2-11	荖濃溪集水區坡度影像.....	2-10
圖 2-12	旗山溪集水區坡度影像	2-10
圖 2-13	陳有蘭溪集水區坡向圖	2-11
圖 2-14	荖濃溪集水區坡向圖.....	2-11
圖 2-15	旗山溪集水區坡向圖.....	2-11
圖 2-16	崩塌地分類示意圖.....	2-13
圖 2-17	陳有蘭溪集水區各時期衛星影像及新增崩塌地分布	2-14
圖 2-18	荖濃溪集水區各時期衛星影像	2-15
圖 2-19	旗山溪集水區各時期衛星影像	2-16
圖 2-20	本計畫蒐集之雨量測站分布	2-18
圖 2-21	本計畫之雨場分割定義	2-18
圖 2-22	陳有蘭溪各事件雨量推估($I_1 - R_{te}$).....	2-20
圖 2-23	荖濃溪各事件雨量推估($I_1 - R_{te}$).....	2-21
圖 2-24	旗山溪各事件雨量推估($I_1 - R_{te}$).....	2-22

圖 2- 25	陳有蘭溪集水區之坡面單元	2-24
圖 2- 26	荖濃溪集水區之坡面單元	2-25
圖 2- 27	旗山溪集水區之坡面單元	2-26
圖 2- 28	陳有蘭溪坡面單元地質分類	2-29
圖 2- 29	荖濃溪坡面單元地質分類	2-29
圖 2- 30	旗山溪坡面單元地質分類	2-30
圖 2- 31	陳有蘭溪坡面單元坡度分類	2-32
圖 2- 32	荖濃溪坡面單元坡度分類	2-32
圖 2- 33	旗山溪坡面單元坡度分類	2-32
圖 2- 34	陳有蘭溪坡面單元距河道遠近分級	2-33
圖 2- 35	荖濃溪坡面單元距河道遠近分級	2-33
圖 2- 36	旗山溪坡面單元距河道遠近分級	2-34
圖 2- 37	方位角角度示意圖	2-35
圖 2- 38	陳有蘭溪坡面單元坡向分級	2-36
圖 2- 39	荖濃溪坡面單元坡向分級	2-36
圖 2- 40	旗山溪坡面單元坡向分級	2-36
圖 2- 41	陳有蘭溪坡面單元崩塌植生分級	2-38
圖 2- 42	荖濃溪坡面單元崩塌植生分級	2-38
圖 2- 43	旗山溪坡面單元崩塌植生分級	2-38
圖 2- 44	陳有蘭溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$)	2-40
圖 2- 45	荖濃溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$)	2-40
圖 2- 46	旗山溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$)	2-41
圖 2- 47	陳有蘭溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$)	2-41
圖 2- 48	荖濃溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$)	2-42
圖 2- 49	旗山溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布($I_1 - R_{te}$)	2-42

圖 2- 50	崩塌地坡度與深度分佈	2-43
圖 2- 51	崩塌塊體斜面與投影面關係示意圖	2-44
圖 2- 52	辛勒克颱風崩塌坡面分佈	2-46
圖 2- 53	莫拉克颱風崩塌坡面分佈	2-47
圖 2- 54	各年度新增崩塌地及颱風豪雨事件對應結構圖	2-50
圖 2- 55	各集水區 2019 年汛期前植生現況分析	2-52
圖 2- 56	各年度各事件颱風豪雨雨量推估	2-55
圖 2- 57	100 年度前期植生分析	2-56
圖 2- 58	101 年度前期植生分析	2-57
圖 2- 59	新增崩塌地分布圖(98 年度崩塌地圖-97 年度崩塌地圖).....	2-59
圖 2- 60	新增崩塌地分布圖(99 年度崩塌地圖-98 年度崩塌地圖).....	2-59
圖 2- 61	新增崩塌地分布圖(101 年度崩塌地圖-100 年度崩塌地圖).....	2-60
圖 2- 62	新增崩塌地分布圖(102 年度崩塌地圖-101 年度崩塌地圖).....	2-60
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	3-17
圖 3- 16	雙線驗證方法示意圖.....	3-20
圖 3- 17	坡地崩塌警戒模式評估指標建立流程	3-24
圖 3- 18	警戒曲線訂定示意圖.....	3-25
圖 3- 19	警戒曲線訂定示意圖.....	3-25
圖 3- 20	崩塌風險警戒機制示意圖	3-28
圖 4- 1	複合型土砂災害行政區警戒發布模式	4-2
圖 4- 2	多尺度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	系統化流程圖.....	4-7
圖 4- 6	崩塌警戒展示模組介接 FEMA 雨量資料.....	4-7
圖 4- 7	崩塌紅黃警戒值及圖台展示	4-8
圖 4- 8	以行政區發布崩塌警戒展示	4-8
圖 4- 9	崩塌警戒展示模組首頁	4-9
圖 4- 10	圖層套疊功能展示.....	4-10
圖 4- 11	崩塌警戒展示模組--豐丘聚落坡面單元.....	4-10
圖 4- 12	17 處重點聚落崩塌警戒清單展示	4-11
圖 4- 13	達警戒聚落詳細資訊.....	4-11
圖 4- 14	達警戒坡面單元及屬性展示	4-12
圖 4- 15	高雄市各重點聚落之崩塌風險警戒機制圖	4-17
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	4-17
圖 4- 17	六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨崩塌警戒機制圖	4-24

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)	4-25
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	4-29
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).....	4-29
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	4-30
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	4-30
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 ..	4-34
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).....	4-34
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 .	4-38
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).....	4-38
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	4-39
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	4-39
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	4-43
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).....	4-43
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 .	4-47
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).....	4-47
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 ..	4-48
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4-48

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。

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。

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(吳俊鎰，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。

計畫中利用歷史強降雨資料、崩塌相關因子及崩塌事件建立坡地易損性模式，並應用於坡地崩塌風險評估及坡地崩塌警戒模式。在農委會水土保持局(以下簡稱水保局)103 年度「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」、104 年度「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」以及 105 年度「105 年應用坡地易損性模式於崩塌風險與警戒機制研析」等計畫中，已透過易損性模式發展，針對坡地崩塌發生之可能性進行研究，針對陳有蘭溪、旗山溪以及荖濃溪集水區等示範區進行相關資料蒐集彙整，完成雙變量坡地易損性分析，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)之易損性曲線。本計畫易損性模式之成果已應用於崩塌風險、警戒模式和巨災保險研究，尤其對於坡地易損性曲線應用於重點聚落警戒機制之課題，已完成崩塌警戒發佈機制建立並訂定警戒雨量值，可作為汛期發佈崩塌警戒之重要參考。

然而，過去本計畫所發展之雙變量坡地易損性曲面是建立在有限的颱風事件中，不能將其視為適用於所有豪大雨及颱風事件，因為不同的災害事件代表不同災害規模(Scale disaster)，這對重點聚落而言將會造成不同程度的災害問題，因此本計畫期於今年度計畫中將盤點 2008-2018 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。另一方面，隨著機器學習及人工智慧(AI)技術的興起，如何將本計畫過去所累積大量之崩塌資料庫(事件、雨量、地文資訊、崩塌地判釋等)與人工智慧技術有效的融合亦將是本計畫今年目的之一：精進求取崩塌比率之研究，由於人工智慧演算法建立通常需要一個包含大量資料的資料庫做為支撐，因此對於擴大資料數據集及資料數據之品質控管則就相對重要，本計畫嘗試利用類神經網路(Recurrent Neural Networks, RNN)建立崩塌比率評估模型，基本上，RNN將具有包含許多外部神經元的主要架構，該概念可以使用類似的神經網絡結構來構建更複雜的深度網絡，其優勢為大量資料能夠即時回應、處理及快速運算，減少人工求取參數之成本，且其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。經過上述的人工智慧技術於坡地崩塌風險評估模式精進後，後續亦可整合於本計畫過去所發展之崩塌風險警戒機制模式，以達到協助防災應變決策之目的。

第二節 工作項目與內容

一、 崩塌資料庫擴增

本計畫期於今年度計畫中將盤點 2008-2018 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、 坡地崩塌風險評估模型建立

(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 108 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

本計畫於主要先針對目前之崩塌資料庫進行基礎模型之建置，建立神經網路模型，採監督式學習，給予目標與各特徵值，進行訓練，並透過 python 環境撰寫程式碼建立模型，以評估準確度。

三、 複合型坡地災害行政區警戒機制研析

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，並自本研究計畫範圍內選擇一行政區模擬崩塌及土石流之複合型土砂災害警戒發布歷程，並大規模崩塌納入考量。

第二章 崩塌事件資料庫擴增

第一節 研究地區崩塌資料庫

一、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 2-1 至圖 2-3。

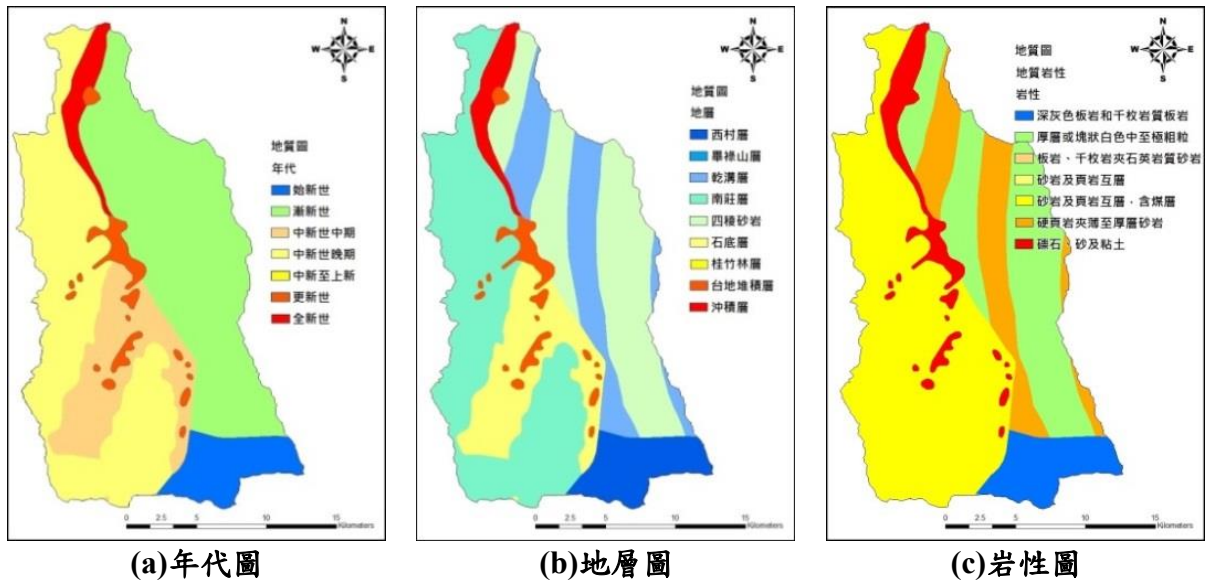


圖 2-1 陳有蘭溪集水區地質圖

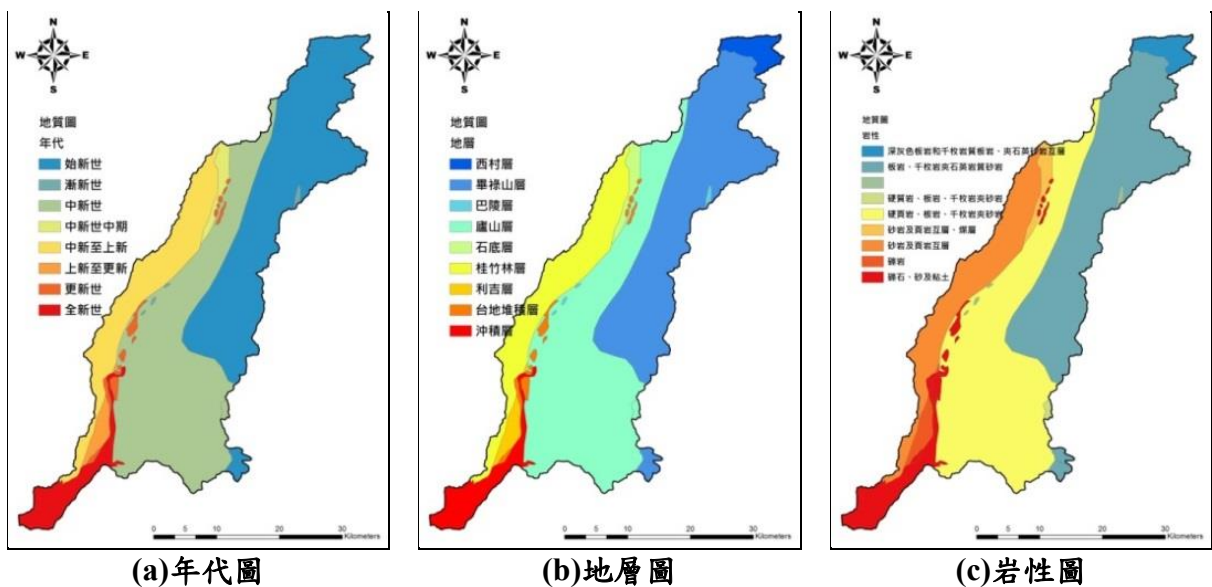


圖 2-2 荖濃溪集水區地質圖

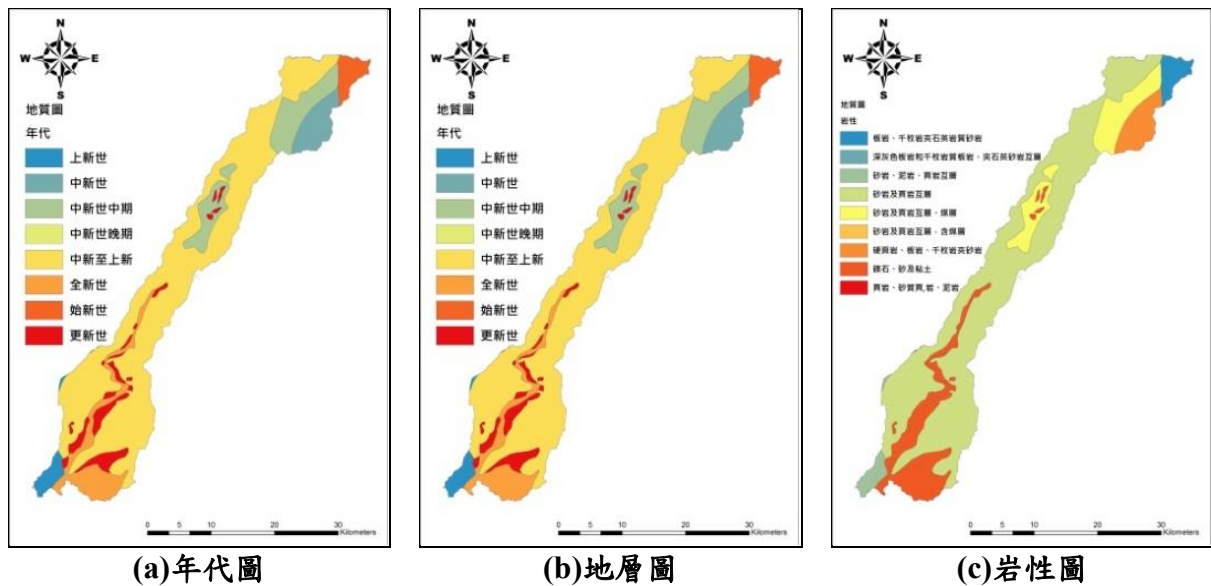


圖 2-3 旗山溪集水區地質圖

二、 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 2-4 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%。

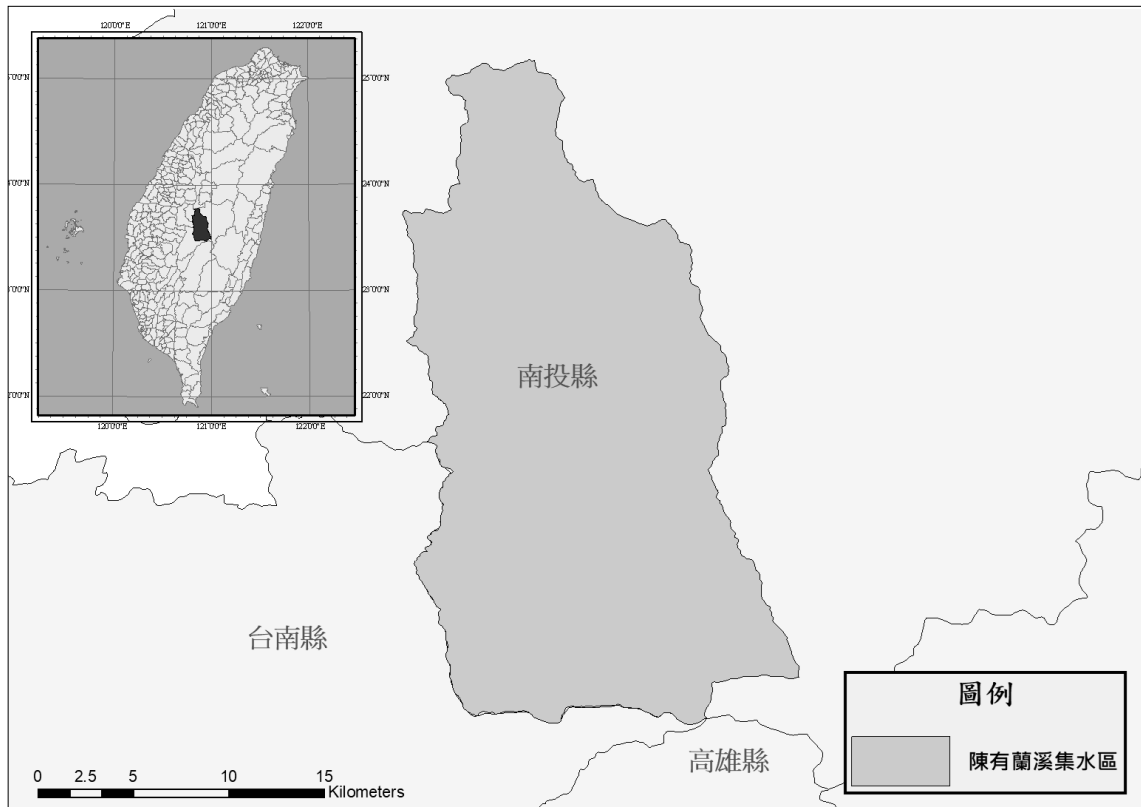


圖 2-4 陳有蘭溪地理位置圖

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 2-5 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%。

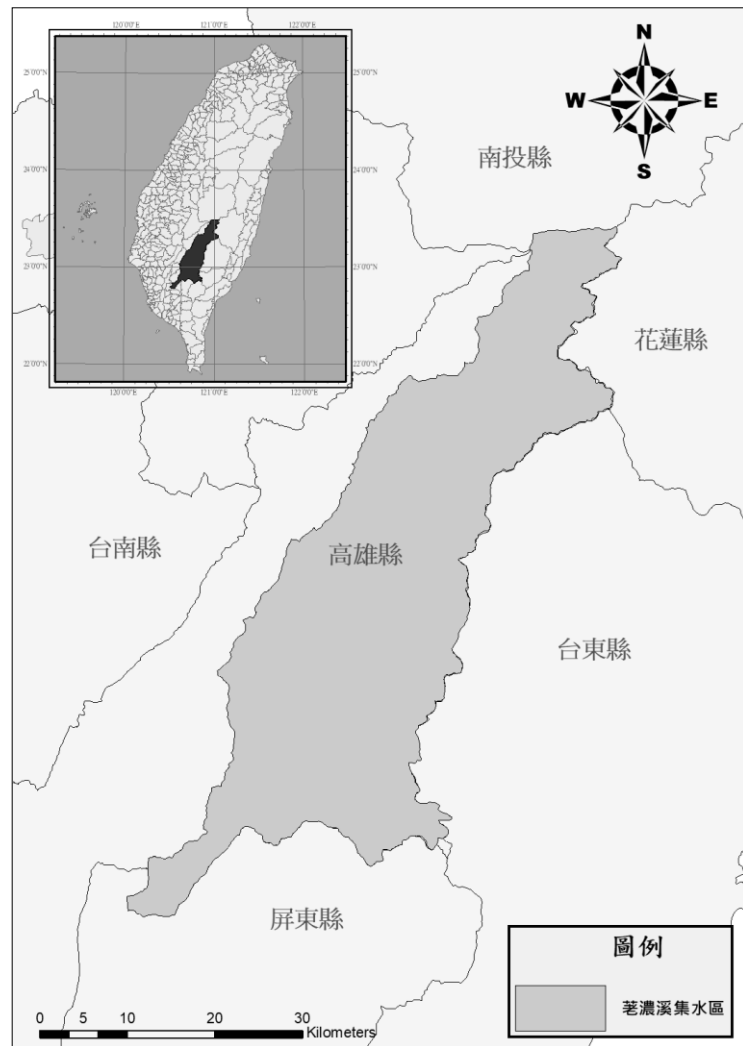


圖 2-5 荖濃溪地理位置圖

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- 6 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，並在下流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%。

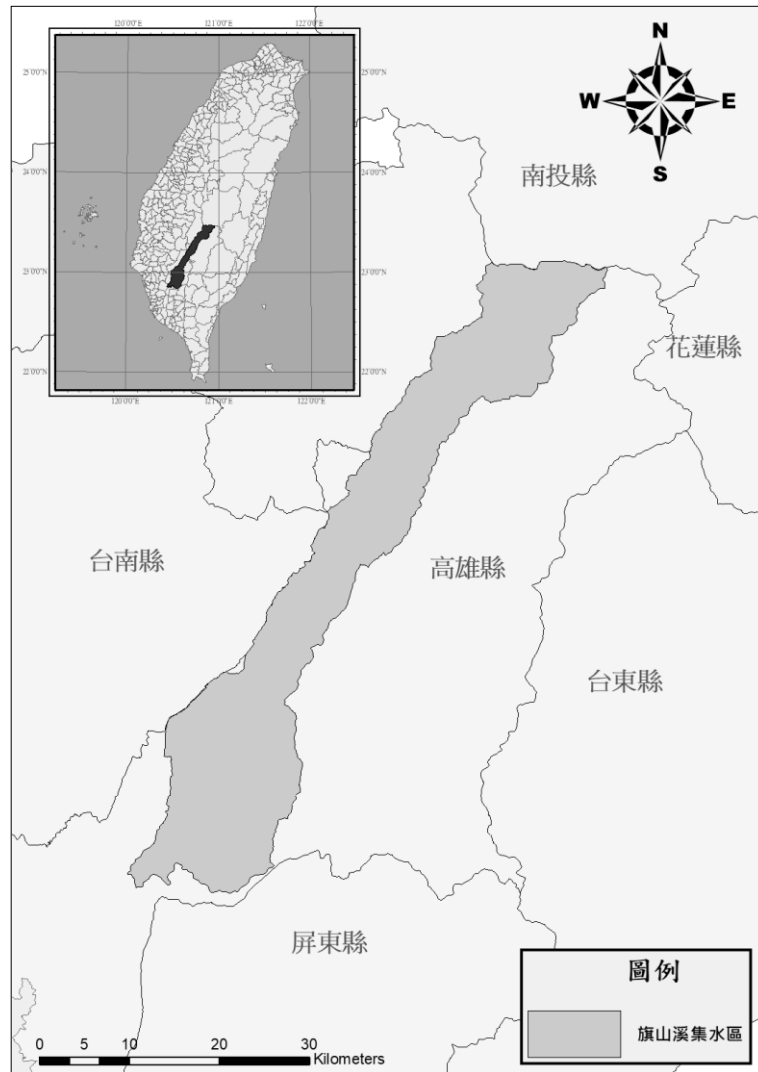


圖 2-6 旗山溪地理位置圖

三、坡地崩塌因子之探討

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 21；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 環境資料庫之類型和檔案格式

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，本研究稱驅動因子)(李三畏，1984，1986；張石角，1987)。

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。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：(1)環境因子；(2)驅動因子；(3)篩選因子及(4)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)、事件衛星影像(購自中央大學太遙中心)、數值高程模型(水土保持局提供)、二十五萬分之一地質圖(水土保持局提供)、土地利用圖(內政部提供)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、事件陰影、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
環境因子	地質	向量檔案(Shapfile, 類型: Ploygon)
	坡度	影像檔案(Raster, 解析度: 5m)
	坡向	影像檔案(Raster, 解析度: 5m)
	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)
篩選因子	高程	影像檔案(Raster, 解析度: 5m)
	河系圖	向量檔案(Shapfile, 類型: Ploygon)
	土地利用	向量檔案(Shapfile, 類型: Ploygon)
	海棠颱風後期陰影	向量檔案(Raster, 解析度: 20m)
	辛樂克颱風後期陰影	向量檔案(Raster, 解析度: 20m)
	莫拉克颱風後期陰影	向量檔案(Raster, 解析度: 20m)
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)
崩塌資訊	海棠颱風前期崩塌地	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	海棠颱風後期崩塌地	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	辛樂克颱風前期崩塌地	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	辛樂克颱風後期崩塌地	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	莫拉克颱風前期崩塌地	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)
	莫拉克颱風後期崩塌地	影像檔案(Raster, 解析度: 20m)

四、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。

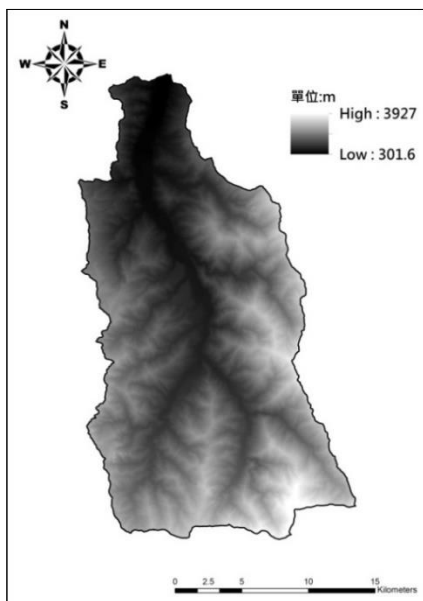


圖 2- 7 陳有蘭溪集水區數值高程模型

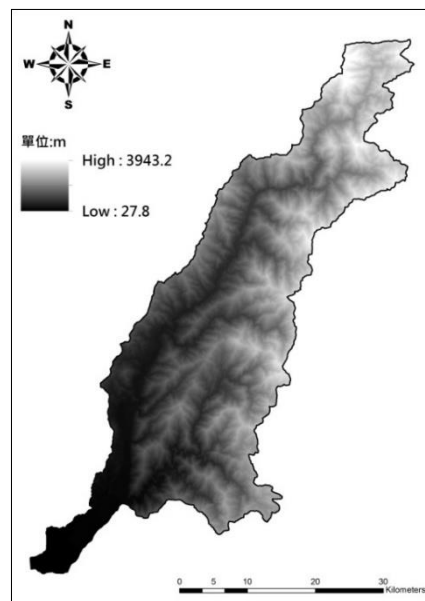


圖 2- 8 荖濃溪集水區數值高程模型

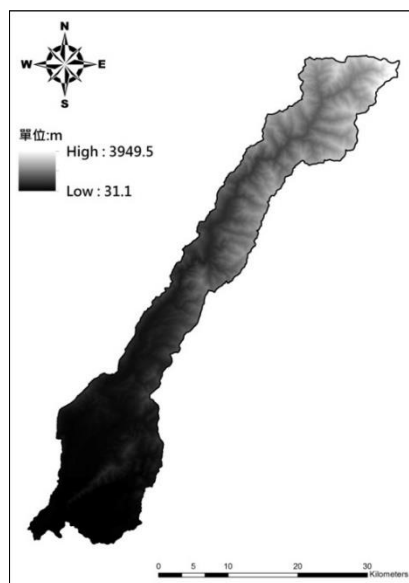


圖 2- 9 旗山溪集水區數值高程模型

五、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(°)。

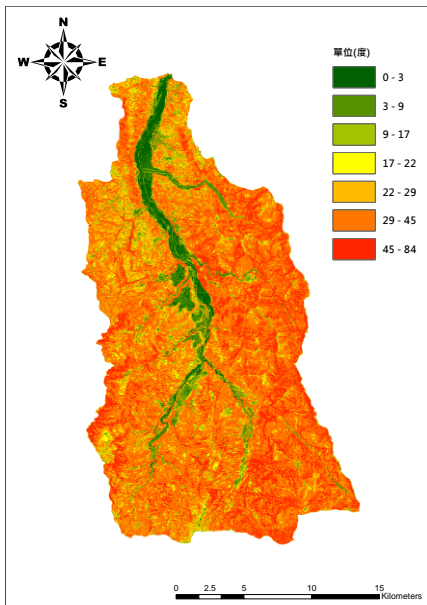


圖 2-10 陳有蘭溪集水區坡度影像

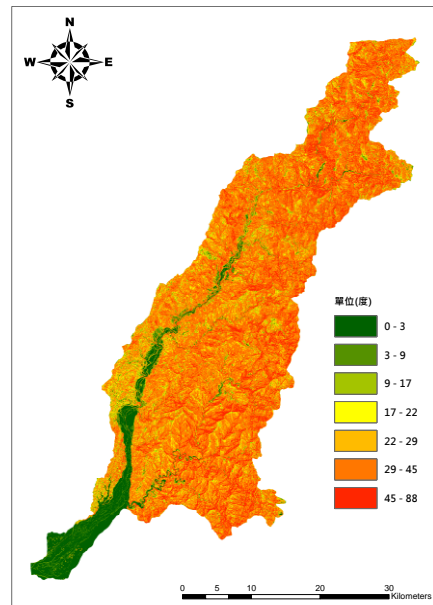


圖 2-11 荖濃溪集水區坡度影像

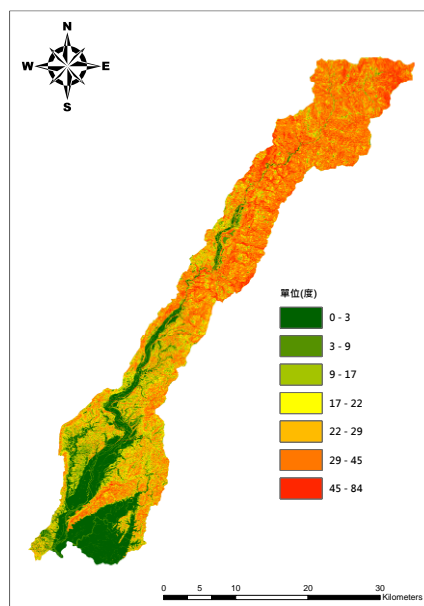


圖 2-12 旗山溪集水區坡度影像

六、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。

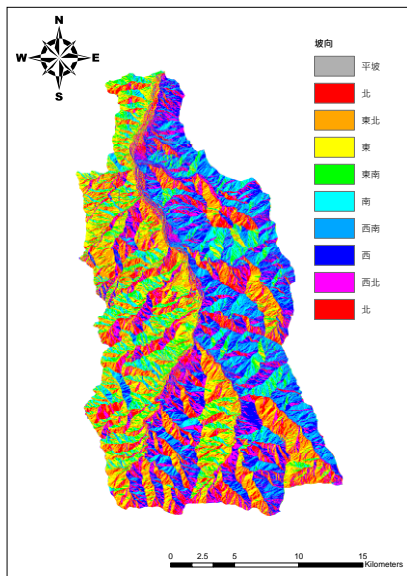


圖 2- 13 陳有蘭溪集水區坡向圖

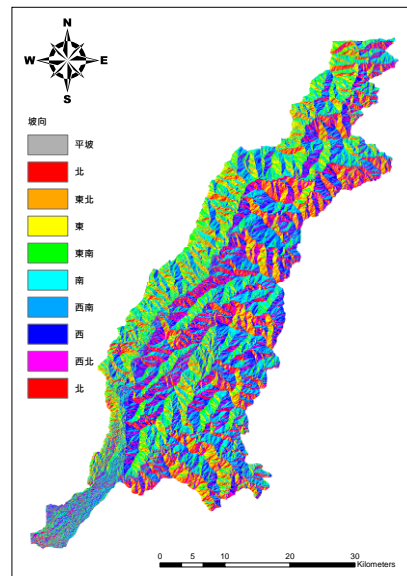


圖 2- 14 荖濃溪集水區坡向圖

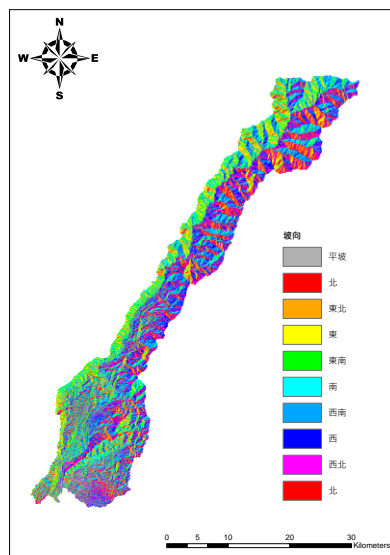


圖 2- 15 旗山溪集水區坡向圖

七、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。

八、崩塌資料萃取

本計畫過去計劃中已建置研究區 94 年海棠颱風、97 年辛樂克颱風、98 年莫拉克颱風、104 年蘇迪勒颱風之衛星影像資料，可藉由衛星影像判釋植生狀況、崩塌地狀況。為瞭解計畫區域颱風事件發生前後之坡地變遷資訊，自中央大學太空及遙測研究中心購買多幅不同時期之法國 SPOT4 及 SPOT5 衛星之多波段(XS)影像資料。各計畫區域之影像拍攝時間挑選自各颱風時期之前後期影像為主，並根據影像可用性及雜訊程度有所不同，已建置之各時期影像基本資料如表 2- 3 至表 2- 5 所示。各幅衛星影像皆經過相對輻射校正及影像幾何、正射校正等程序，像元大小為 12.5m×12.5m，如圖 2- 17 至圖 2- 19 所示。

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- 16 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。根據上述崩塌地之分類，本研究

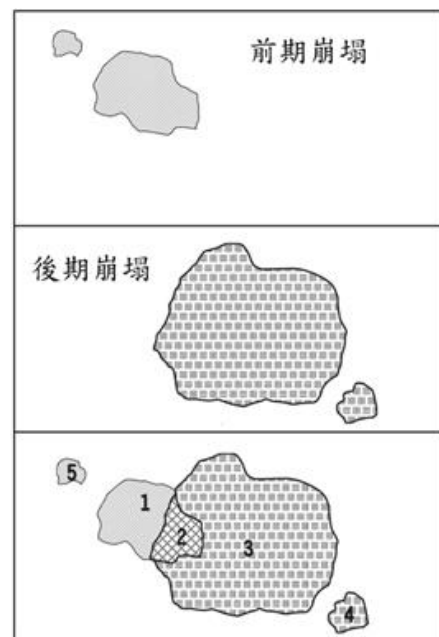


圖 2- 16 崩塌地分類示意圖

對各颱風事件前後時期之崩塌地圖資進行套疊，由此獲得崩塌地變遷資訊。

表 2-3 陳有蘭溪集水區各時期衛星影像資料

集水區名稱	事件名稱	拍攝時間	衛星名稱	新增崩塌地
陳有蘭溪 44,813.52ha	海棠前期	94 年 02 月 09 日	SPOT4	2,451.44ha (5.47%)
	海棠後期	94 年 09 月 16 日	SPOT4	
	辛樂克前期	97 年 02 月 21 日	SPOT5	951.97ha (2.12%)
	辛樂克後期	97 年 11 月 28 日	SPOT5	
	莫拉克前期	98 年 11 月 28 日	SPOT5	1,021.46ha (2.28%)
	莫拉克後期	98 年 10 月 14 日	SPOT5	

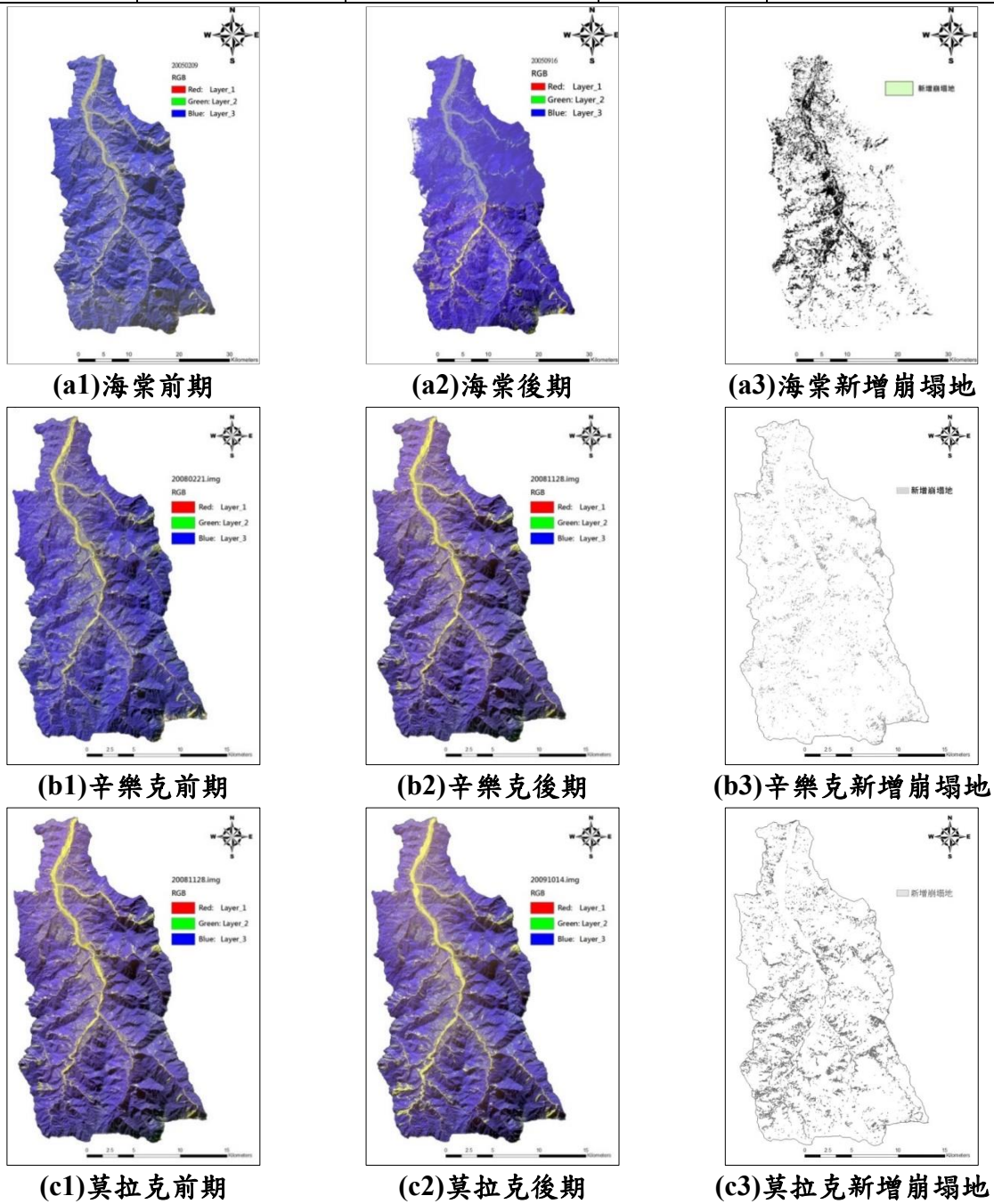
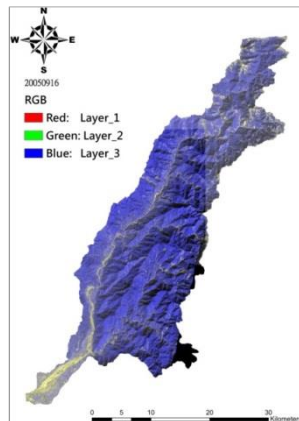


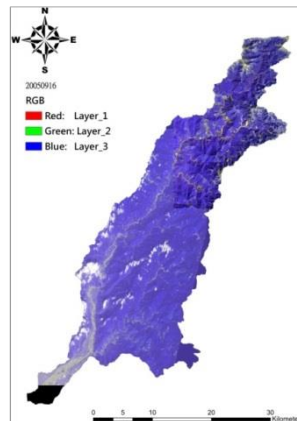
圖 2-17 陳有蘭溪集水區各時期衛星影像及新增崩塌地分布

表 2-4 荖濃溪集水區各時期衛星影像資料

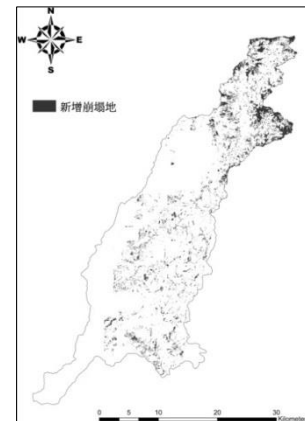
集水區名稱	事件名稱	拍攝時間	衛星名稱	新增崩塌地
荖濃溪 140,871.00ha	海棠前期	94 年 02 月 09 日	SPOT4	9,573.53ha (6.80%)
	海棠後期	94 年 09 月 16 日	SPOT4	
	辛樂克前期	97 年 01 月 11 日	SPOT4	6,156.76ha (4.37%)
	辛樂克後期	97 年 10 月 24 日	SPOT4	
	莫拉克前期	98 年 01 月 15 日	SPOT4	11,401.98ha (8.09%)
	莫拉克後期	98 年 10 月 15 日	SPOT4	



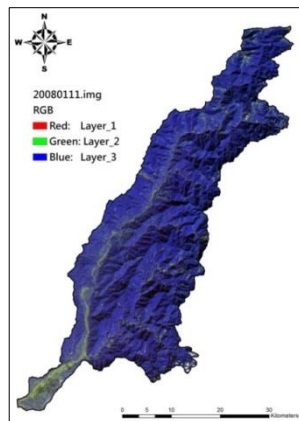
(a1)海棠前期



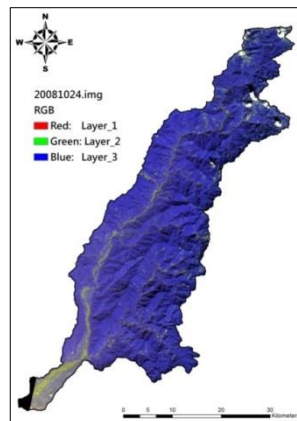
(a2)海棠後期



(a3)海棠新增崩塌地



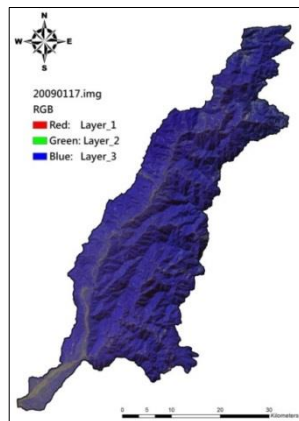
(b1)辛樂克前期



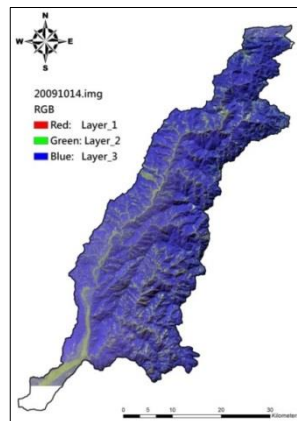
(b2)辛樂克後期



(b3)辛樂克新增崩塌地



(c1)莫拉克前期



(c2)莫拉克後期

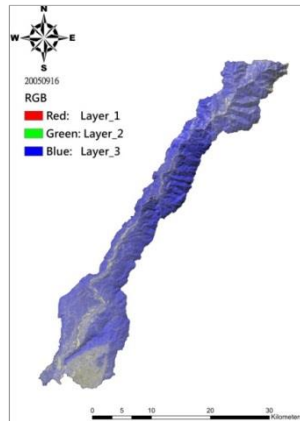


(c3)莫拉克新增崩塌地

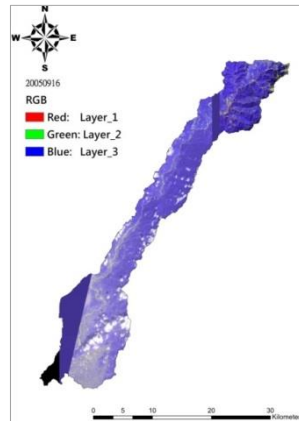
圖 2-18 荖濃溪集水區各時期衛星影像

表 2-5 旗山溪集水區各時期衛星影像資料

集水區名稱	事件名稱	拍攝時間	衛星名稱	新增崩塌地
旗山溪 75,078.76ha	海棠前期	94 年 02 月 09 日	SPOT4	1,070.23ha (1.43%)
	海棠後期	94 年 09 月 16 日	SPOT4	
	辛樂克前期	97 年 01 月 11 日	SPOT4	1,951.05ha (2.60%)
	辛樂克後期	97 年 10 月 24 日	SPOT4	
	莫拉克前期	98 年 01 月 17 日	SPOT4	6,220.23ha (8.28%)
	莫拉克後期	98 年 12 月 15 日	SPOT4	



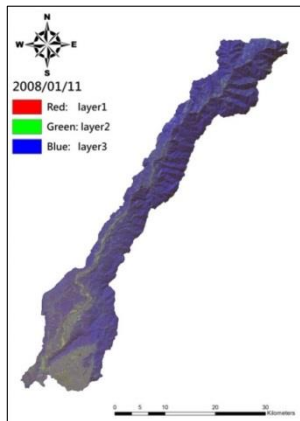
(a1)海棠前期



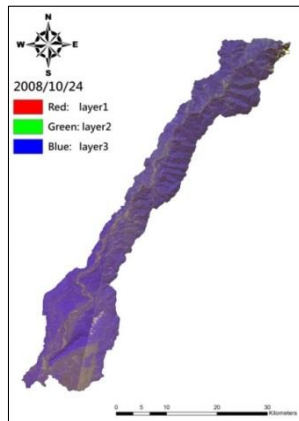
(a2)海棠後期



(a3)海棠新增崩塌地



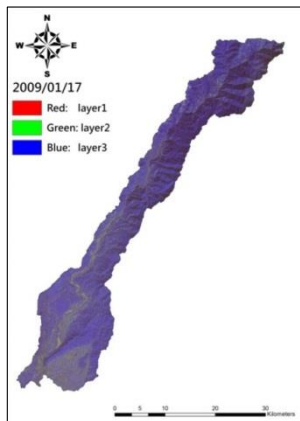
(b1)辛樂克前期



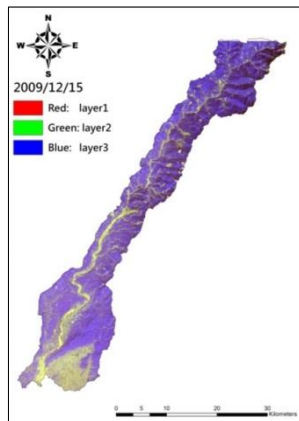
(b2)辛樂克後期



(b3)辛樂克新增崩塌地



(c1)莫拉克前期



(c2)莫拉克後期



(c3)莫拉克新增崩塌地

圖 2-19 旗山溪集水區各時期衛星影像

九、雨量資料

崩塌資料庫中還包括事件之降雨因子資料，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。本計畫目前已蒐集海棠颱風、辛樂克颱風及莫拉克颱風事件中央氣象局之全國各雨量測站資料，依據中央氣象局公布的颱風侵台時間，以及經濟部水利署的颱洪事件為準，海棠颱風事件時間於 94 年 7 月 16 日至 7 月 20 日為止；辛樂克颱風事件時間於 97 年 9 月 11 日至 9 月 16 日為止；莫拉克颱風警報之時間於 98 年 08 月 05 日至 8 月 10 日為止；蘇迪勒颱風事件時間於 104 年 8 月 6 日至 8 月 9 日為止。研究中集水區用以分析之雨量測站圖 2-20 所示。篩選資料有問題及無紀錄之測站後，經統計海棠颱風事件計 79 站；辛樂克事件計 62 站；莫拉克事件計 64 站；蘇迪勒事件計 36 站。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 2-21 所示。在後續警戒應變中亦採用相同事件定義。

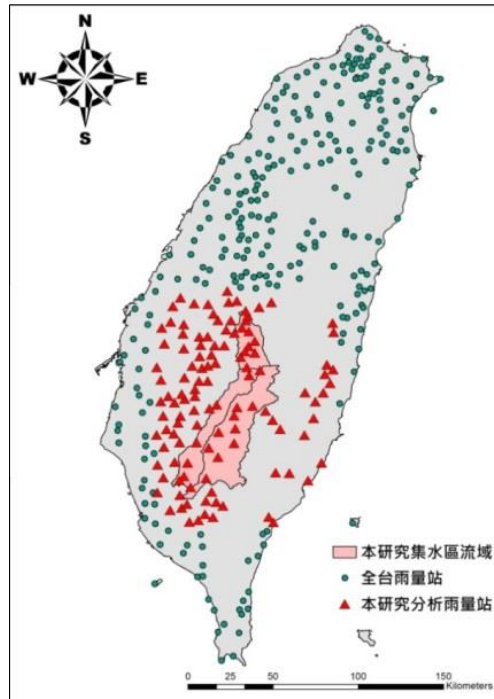


圖 2-20 本計畫蒐集之雨量測站分布

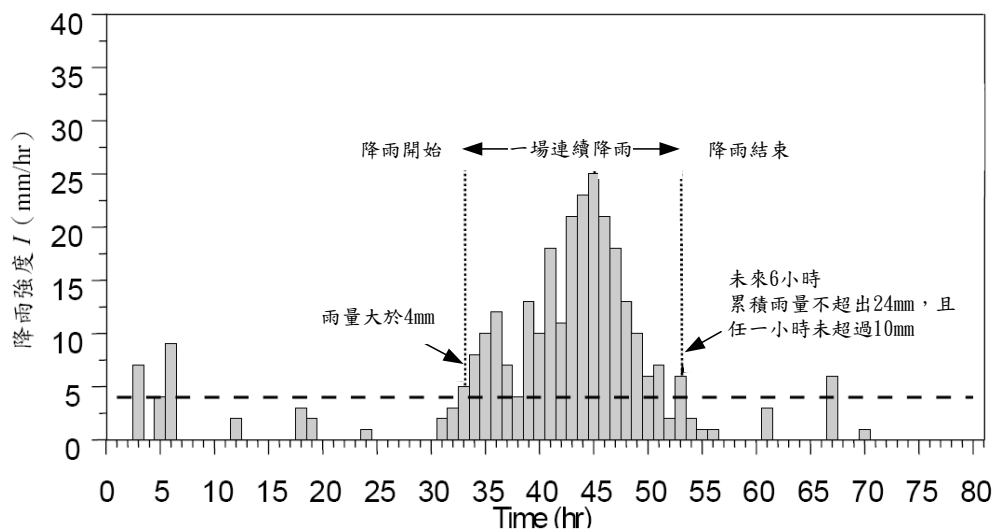


圖 2-21 本計畫之雨場分割定義

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_{tc} : mm)，如表 2-6 所示。

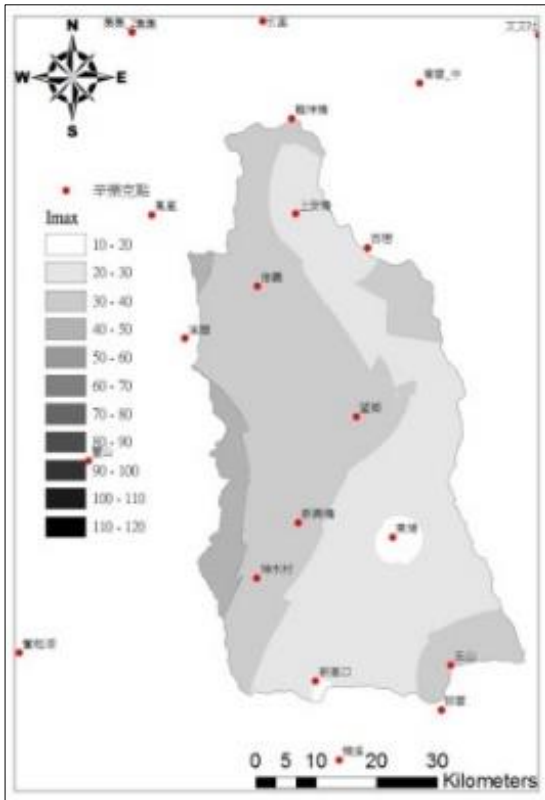
表 2-6 I_1-R_{te} 之降雨因子定義

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

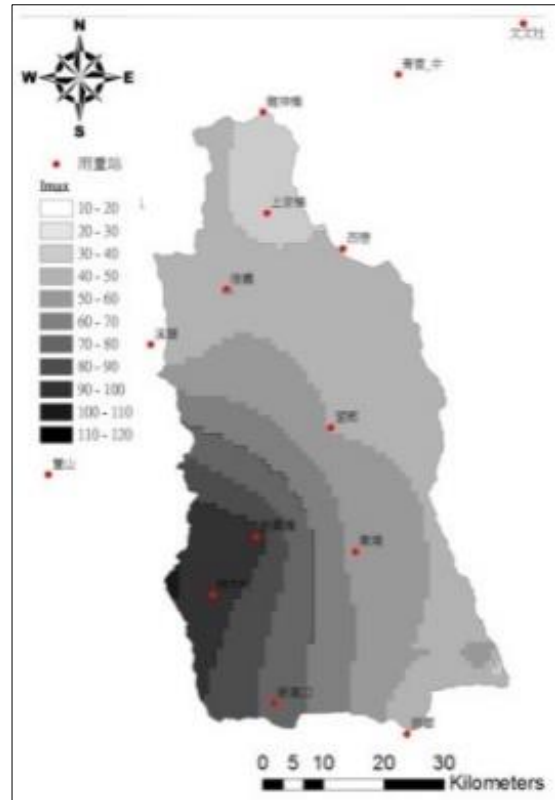
註 1：加權雨量係前七天降雨量每日折減 0.7，即每日(每 24 小時之總和)折減；例如前 3 日之降雨應折減權重為 0.7^3 ，前 2 日之降雨應折減權重為 0.7^2 。

本研究根據定義之雨場事件，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 2-22 至圖 2-24。

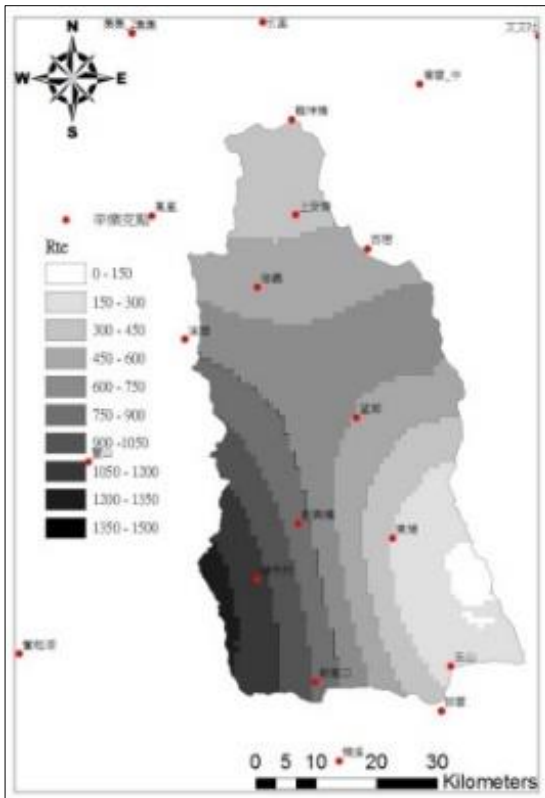
辛樂克颱風在陳有蘭溪集水區中，雨量因子分別為 I_1 介於 35mm—44mm， R_{te} 介於 170mm—763mm；在荖濃溪集水區中，雨量因子分別為 I_1 介於 27mm—83mm， R_{te} 介於 153mm—518mm；在旗山溪集水區中，雨量因子分別為 I_1 介於 46mm—109mm， R_{te} 介於 304mm—1,180mm。莫拉克颱風在陳有蘭溪集水區中，雨量因子分別為 I_1 介於 43mm—91mm， R_{te} 介於 309mm—1,234mm；在荖濃溪集水區中，雨量因子分別為 I_1 介於 31mm—83mm， R_{te} 介於 109mm—687mm；在旗山溪集水區中，雨量因子分別為 I_1 介於 48mm—100mm， R_{te} 介於 153mm—518mm。



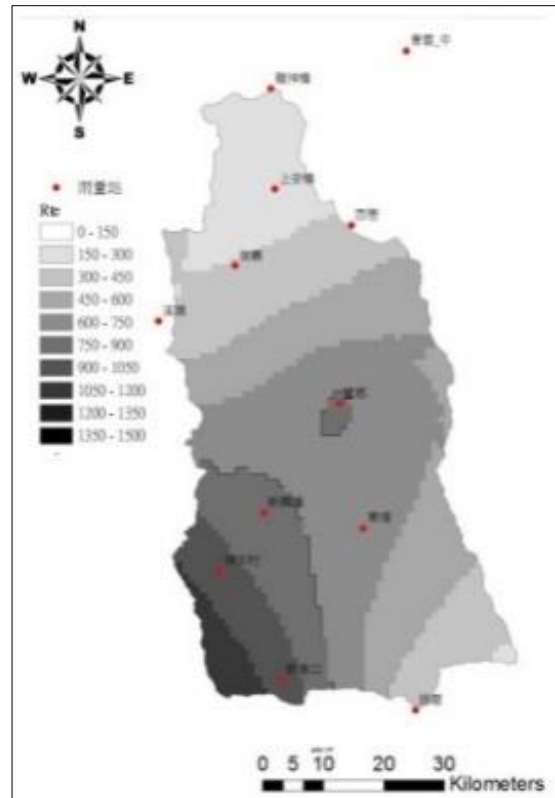
(a1) 辛樂克- I_1



(b1) 莫拉克- I_1

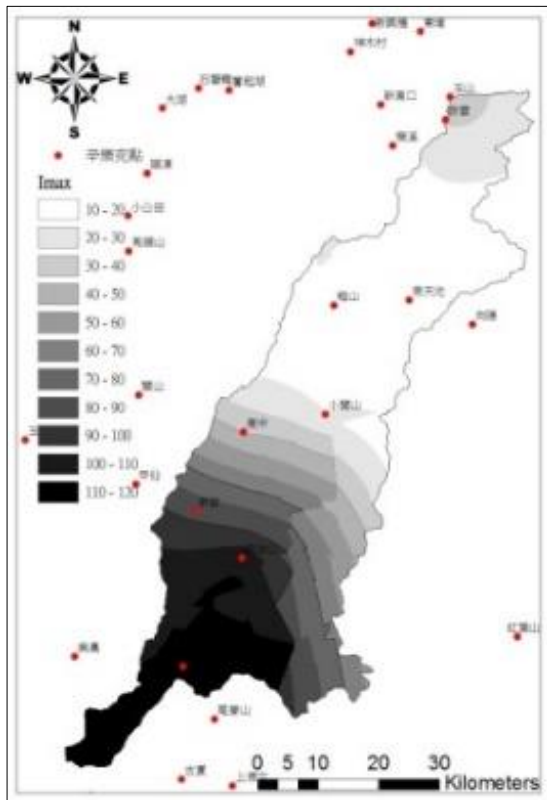


(a2) 辛樂克- R_{te}

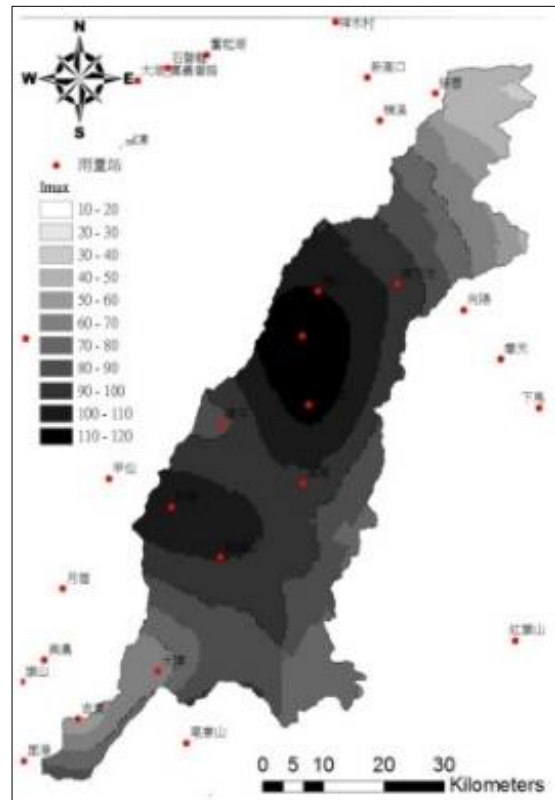


(b2) 莫拉克- R_{te}

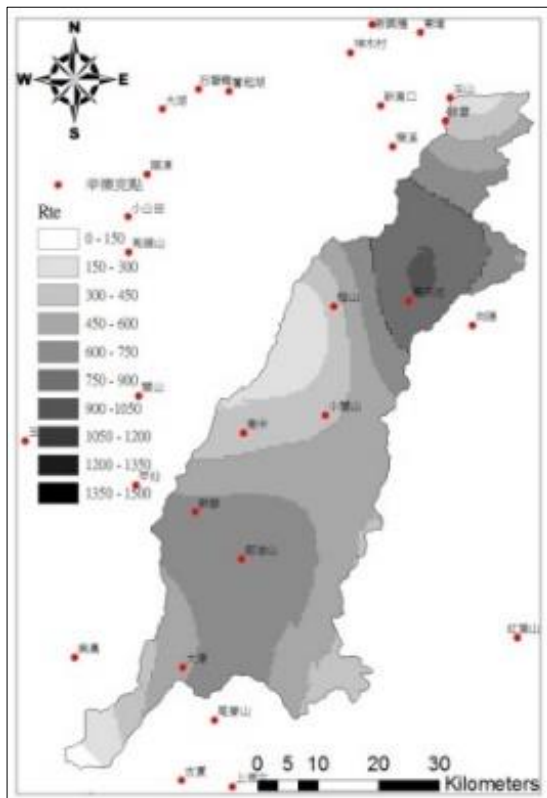
圖 2-22 陳有蘭溪各事件雨量推估(I_1-R_{te})



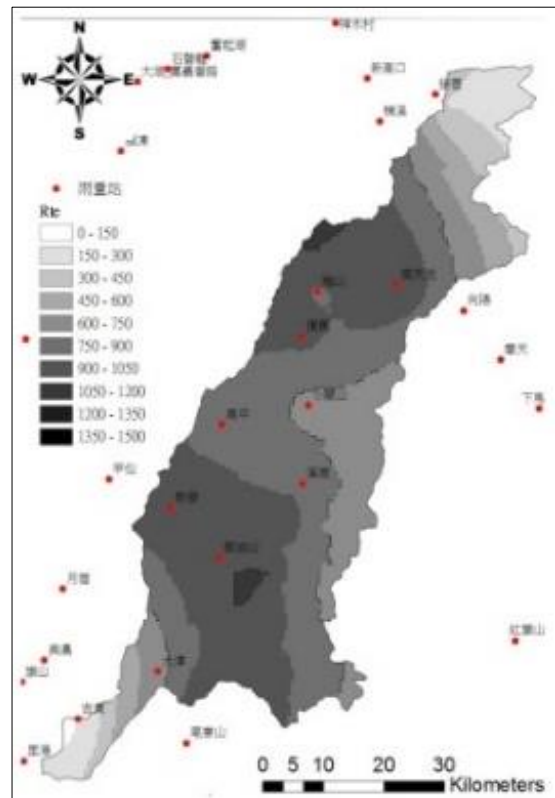
(a1) 辛樂克- I_1



(b1) 莫拉克- I_1

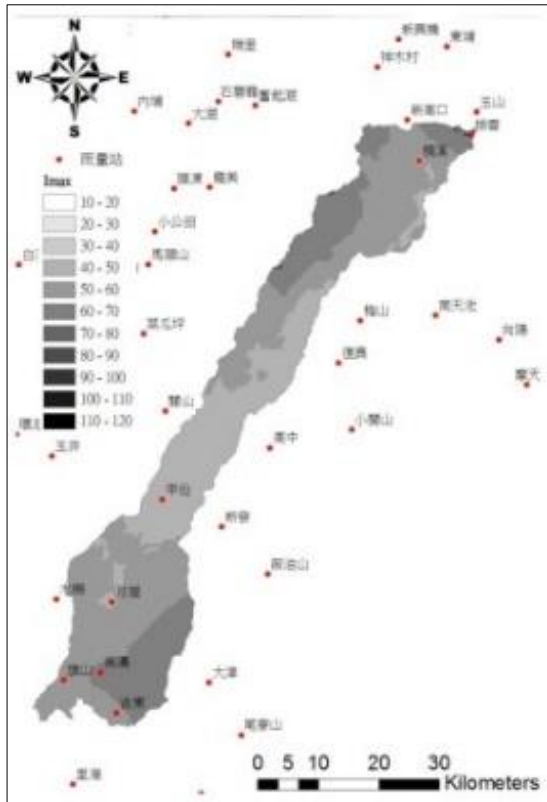


(a2) 辛樂克- R_{te}

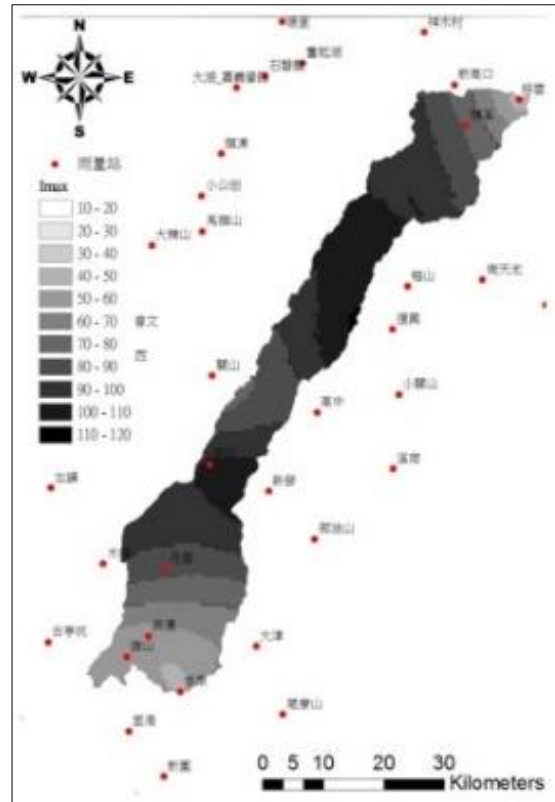


(b2) 莫拉克- R_{te}

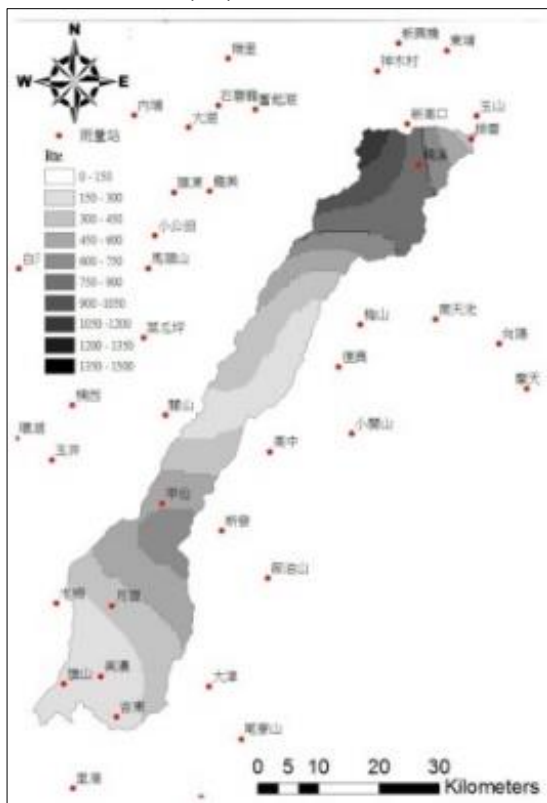
圖 2-23 荖濃溪各事件雨量推估(I_1-R_{te})



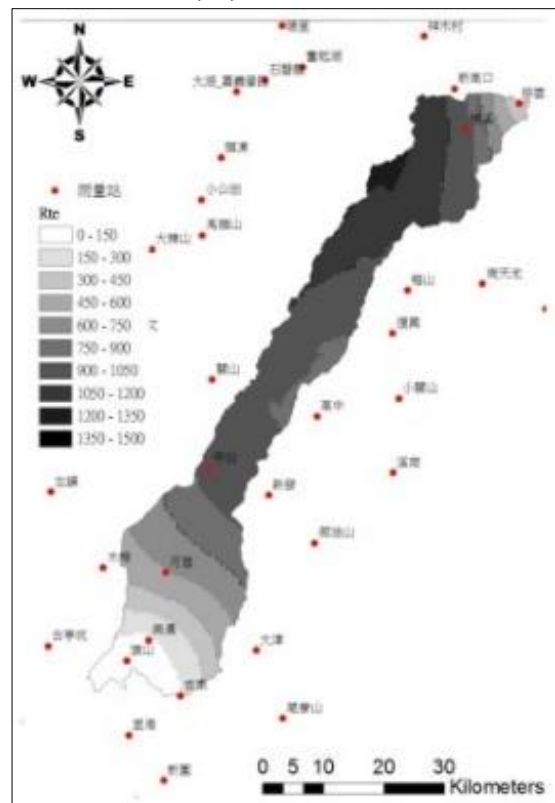
(b1) 辛樂克- I_{1t}



(c1) 莫拉克- I_{1t}



(b2) 辛樂克- R_{te}



(c2) 莫拉克- R_{te}

圖 2-24 旗山溪各事件雨量推估(I_{1t} - R_{te})

第二節 坡面單元繪製與坡面分類定義

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。繪製原則如下：

一、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。

二、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。

為了使所建立之降雨引致崩塌之坡地易損性曲線更可靠，所繪製之坡面單元必須考量是否會崩塌的可能性及納入分析合理性。因此，除不考慮沖積層、平坦地以及平坡之區域外。亦不考慮(1)河道區域；(2)非自然邊坡；(3)低坡度之坡面單元。此步驟係使坡面單元匯入 Google Earth，把不納入考慮之研究因子進行切除，包括河系、河道、農業用地、水利用地、聚落、建物等。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 2-25 所示，總計有 5,872 個坡面單元。荖濃溪集水區劃分完成之坡面單元如圖 2-26，總計有 18,779 個坡面單元。旗山溪集水區劃分完成坡面單元如圖 2-27 所示，總計有 9,504 個坡面單元。

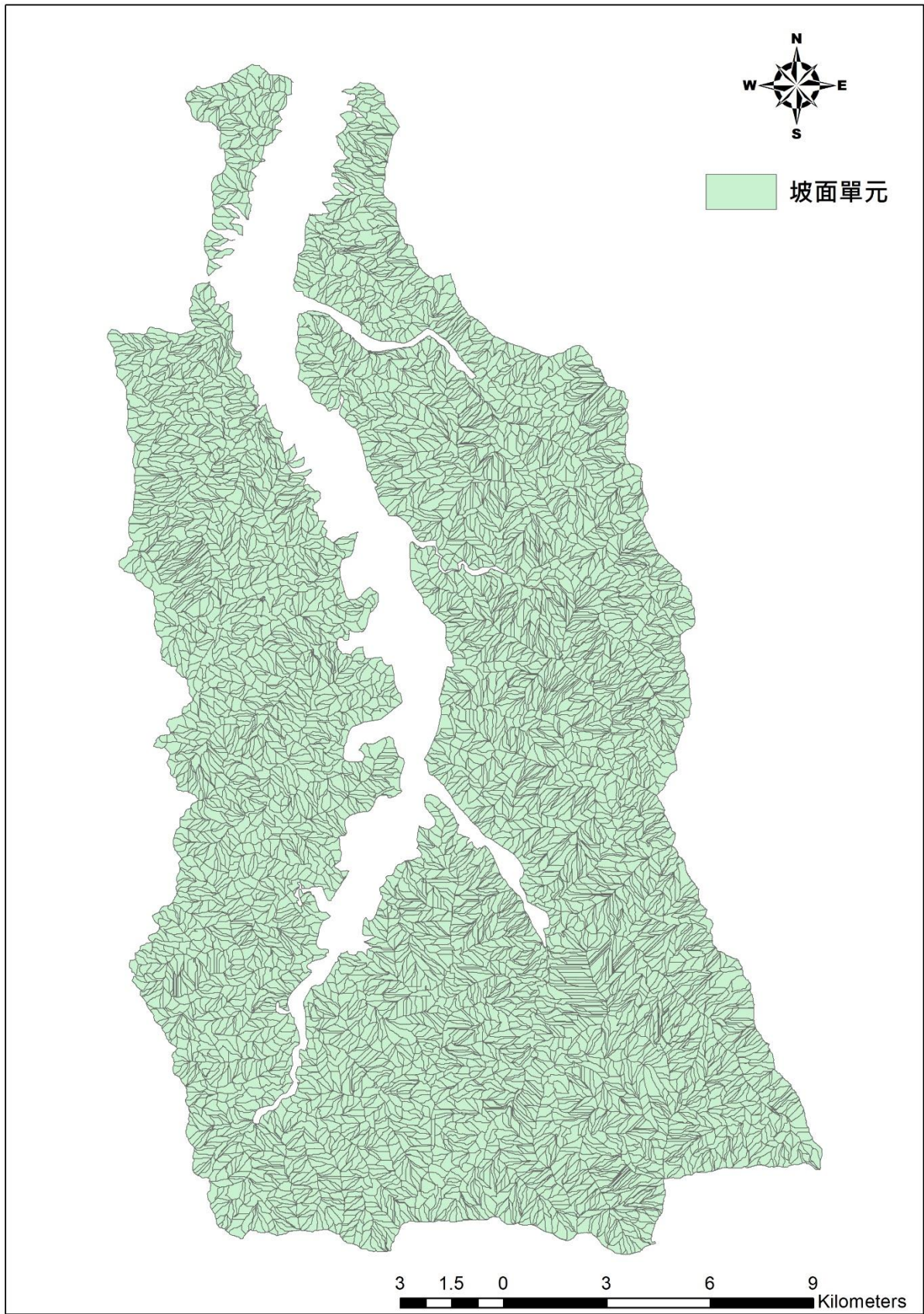


圖 2-25 陳有蘭溪集水區之坡面單元

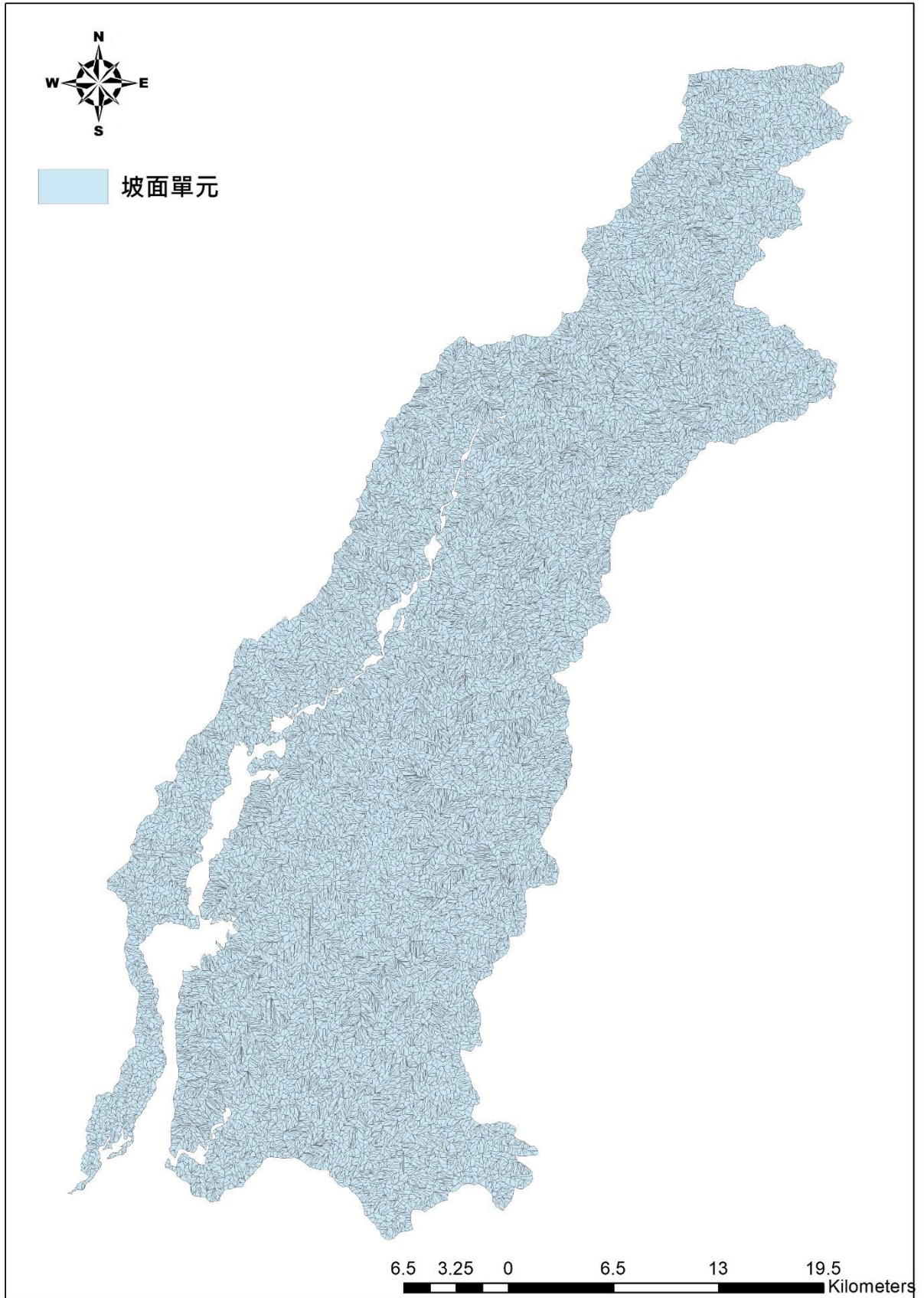


圖 2-26 老濃溪集水區之坡面單元

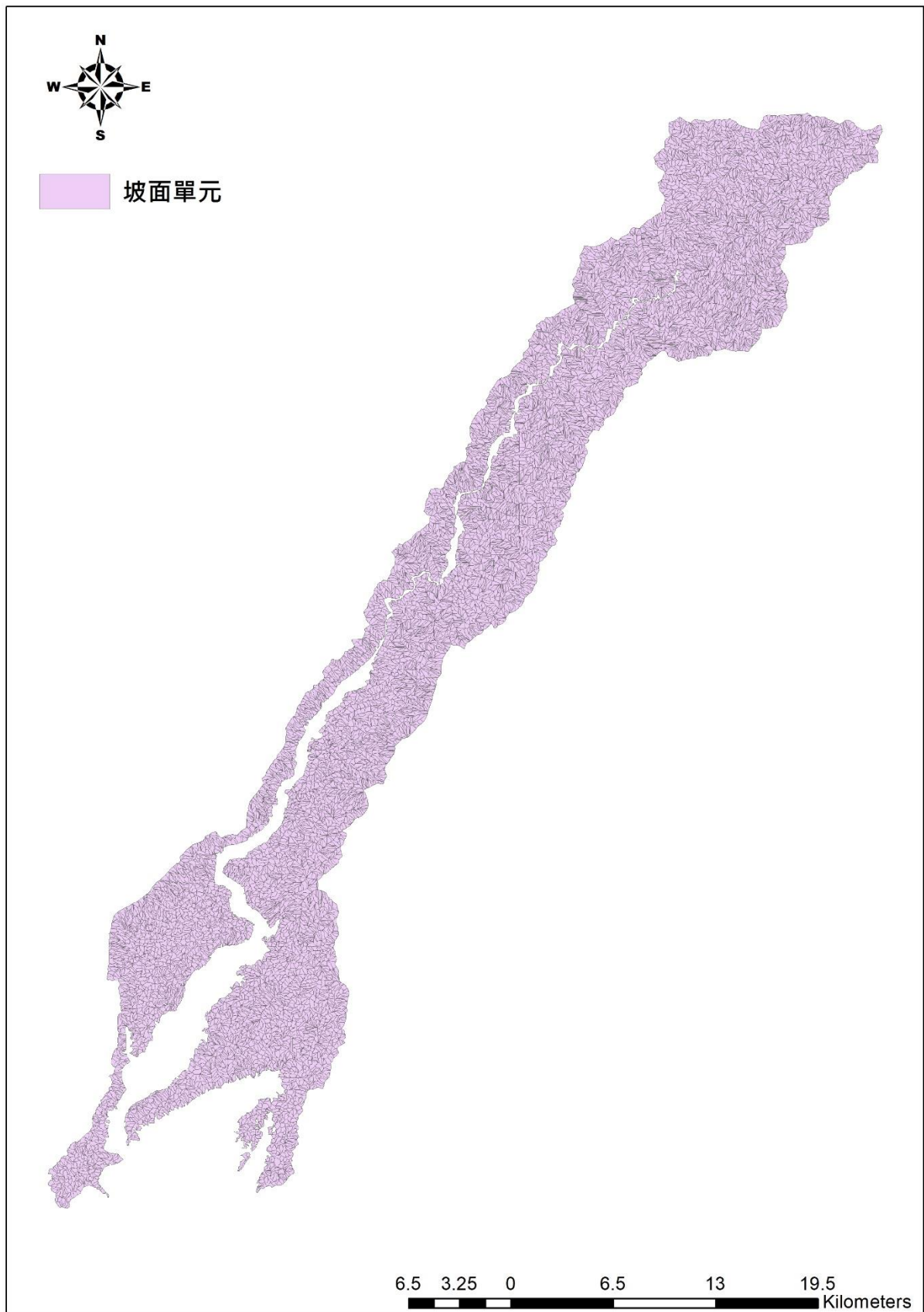


圖 2-27 旗山溪集水區之坡面單元

一、坡面單元分類

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分類，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。本研究藉由坡面之物理特徵與坡面分級尺度進行最佳的分類，分類因子包括：「地質岩性分類」；「坡度分級」；「距河道遠近分級」；「坡向敏感因子」以及「崩塌植生指標」。以下分述之：

(一) 坡面之地質岩性分類(G)

本計畫在前期成果中，發現不同地質特性對於易損性之影響並不顯著，這表示易損性分析對於地質岩性的細微差異不敏感，其原因在於崩塌受限由影像判釋得到，對於地質的差異可能不顯著，因此以大尺度分類予以考量，例如砂岩、頁岩、礫岩等崩塌率較高，因此使地質岩性作為參考因素之一。本計畫對地層年代以地質及岩性因子概分為始新世、漸新世、中新世、上新世及更新世等，並將其概分為 G1(始新世~漸新世)、G2(中新世~更新世)兩個年代，定義如

表 2-7 所示。坡面單元之定義則取各類地質面積比例最大者，即某坡面單元內計算 G1 及 G2 的面積，面積上相對多數者即作為該坡面單元地質分類(代表地質)。各集水區劃分完成之坡面單元地質分類如圖 2-28 至圖 2-30 所示。

表 2-7 本計畫選擇之地質分類

編碼	年代	岩性名稱
G1	始新世	深灰色板岩和千枚岩質板岩、夾石英砂岩互層
	始新世	板岩、千枚岩夾石英岩質砂岩
	漸新世	硬頁岩夾薄至厚層砂岩
	漸新世	厚層或塊狀白色中至極粗粒石英岩及硬頁岩
G2	中新世	硬頁岩、板岩、千枚岩夾砂岩
	中新世中期	砂岩及頁岩互層、煤層
	中新世晚期	砂岩及頁岩互層、煤層
	中新至上新	砂岩及頁岩互層、煤層
	上新世	頁岩、砂質頁岩、泥岩
	上新世	砂岩、泥岩、頁岩互層
	上新至更新	礫岩
	更新世	礫石、砂及粘土

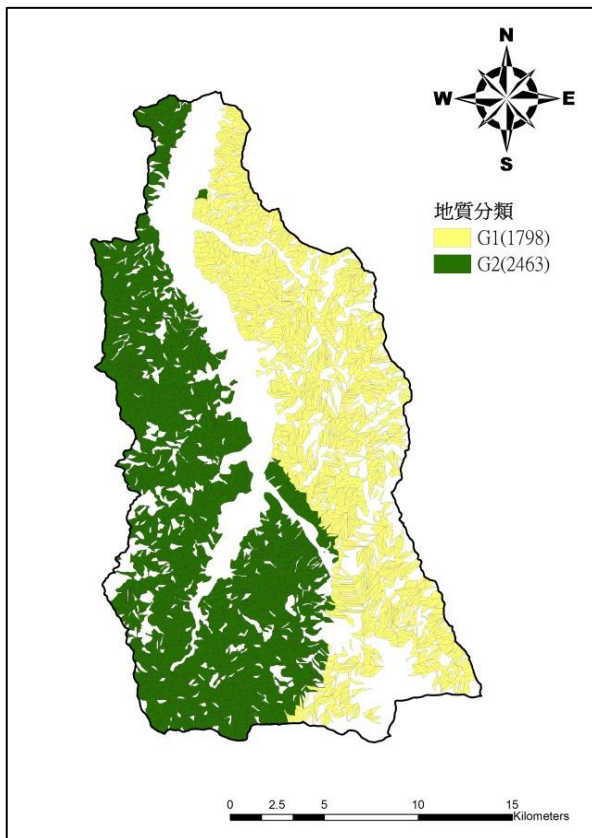


圖 2-28 陳有蘭溪坡面單元地質分類

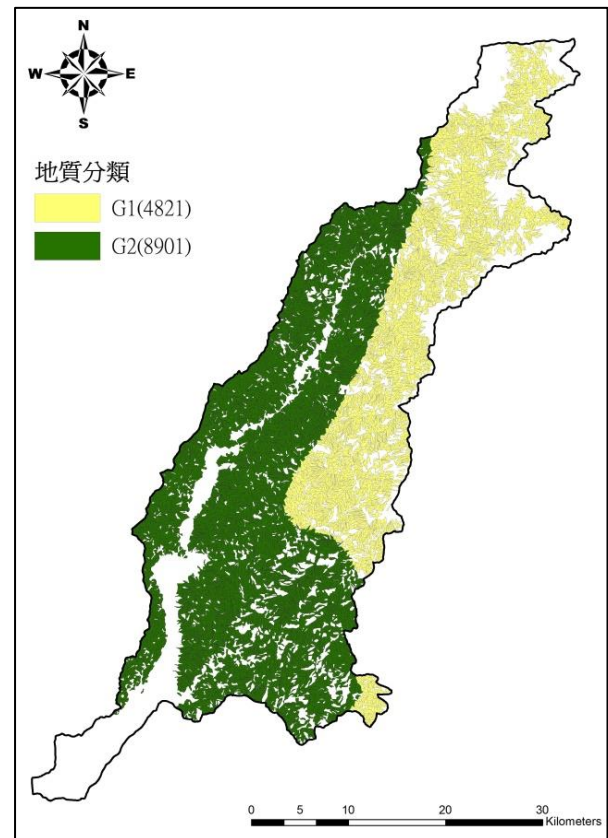


圖 2-29 荖濃溪坡面單元地質分類

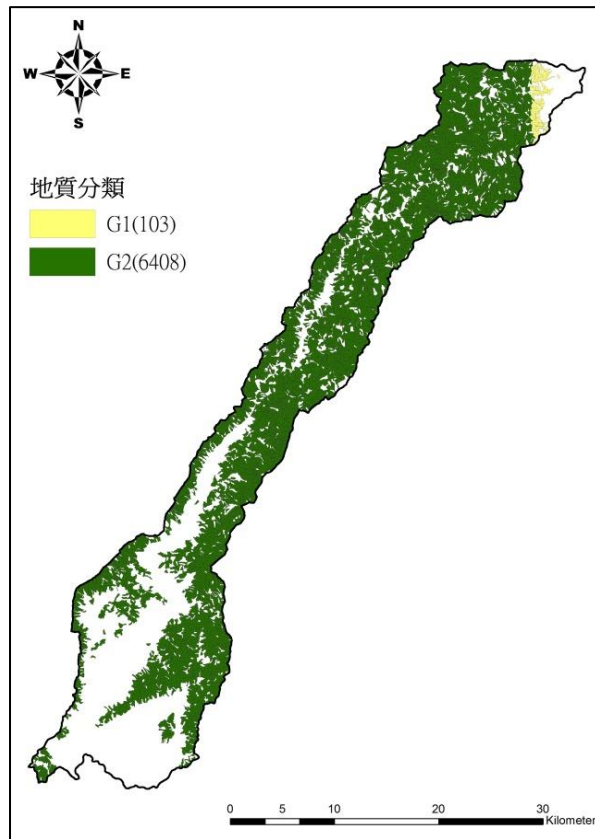


圖 2-30 旗山溪坡面單元地質分類

(二) 坡面之坡度分級(S)

坡面單元在坡度分級選擇方面，本計畫首先以水土保持技術規範(2013)坡度分級定義為依據，使坡度自五級坡之上下界分三個分級，定義為 S1(緩坡)、S2(中坡)以及 S3(陡坡)，如表 2- 8 所示。再採用坡面斜率法來計算坡面單元坡度，其計算方式是把坡面單元最高點至最低點的高程差作為坡高，及最高點至最低點水平投影下的水平距離作為坡長，計算該坡面單元之斜率即求得坡度分級。採用坡面斜率法不僅結果較佳，也具有其物理意義存在，各集水區劃分完成之坡面單元坡度分級如圖 2- 31 至圖 2- 33 所示。

表 2-8 本計畫之坡度分級

編碼	規範分級	水土保持技術規範	
		坡度(S)分級範圍	坡度(°)
S1	三級坡	$15\% < S \leq 30\%$	$8.53 < S \leq 16.70$
	四級坡	$30\% < S \leq 40\%$	$16.70 < S \leq 21.80$
S2	五級坡	$40\% < S \leq 55\%$	$21.80 < S \leq 28.81$
S3	六級坡	$55\% < S \leq 100\%$	$28.81 < S \leq 45.00$
	七級坡	$S > 100\%$	$S > 45.00$

註：三級坡以下在網格中已刪除，但坡面單元計算仍可能有三級坡之坡度值。

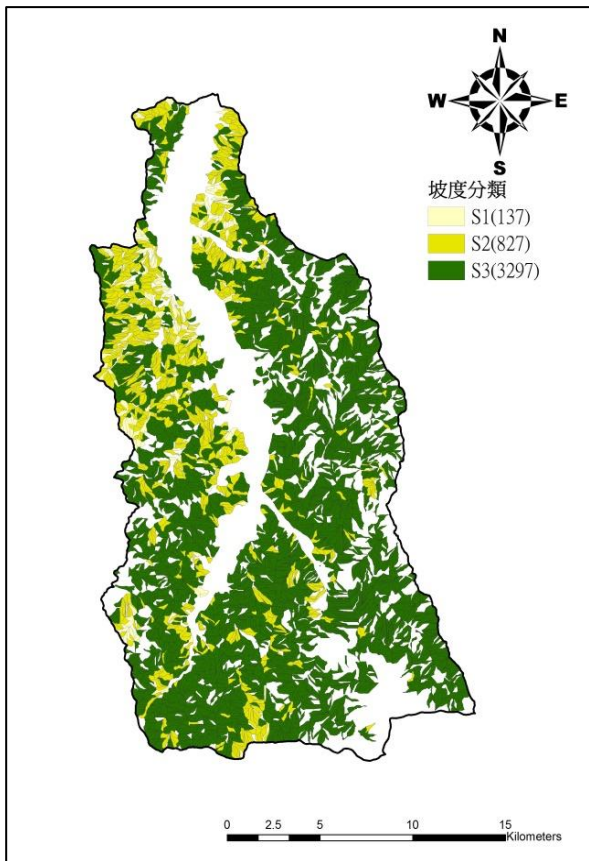


圖 2- 31 陳有蘭溪坡面單元坡度分類

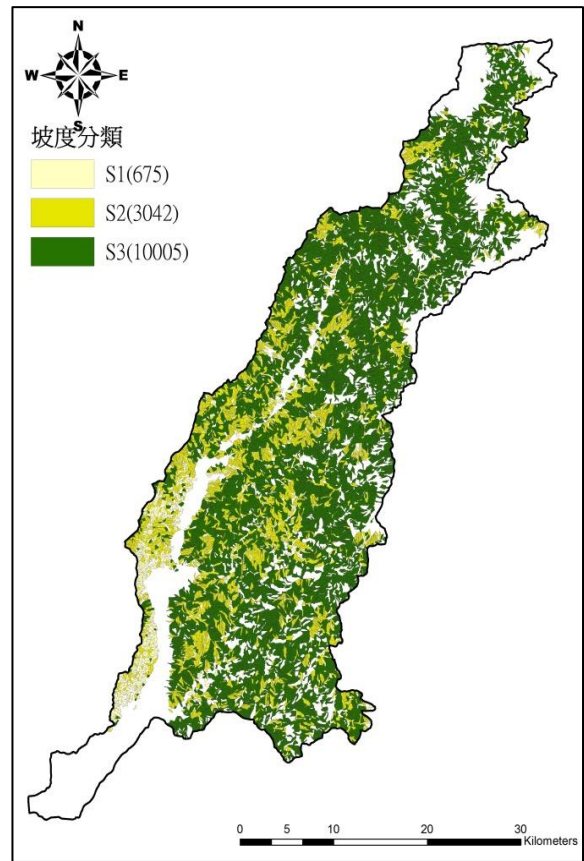


圖 2- 32 荖濃溪坡面單元坡度分類

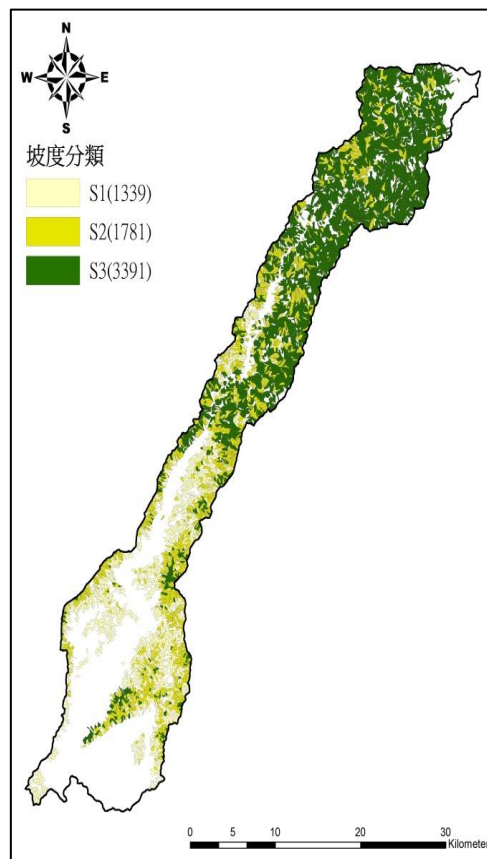


圖 2- 33 旗山溪坡面單元坡度分類

(三) 坡面之距河道遠近分級(R)

本計畫依據前述距河道遠近之因子分析，發現距河道 300 公尺以下崩塌即相當明顯，過細之分類並無必要。因此，本計畫建議距河道遠近定義如表 2-9，以 300 公尺為界分為 R1(鄰近)和 R2(非鄰近)二級。本計畫對於坡面單元距河道遠近之距離計算，並非直接採用坡面單元與河道之最近距離計算，而是採用坡面單元之最低點與河道之距離計算，避免坡面崩塌現象與河道遠近關係之誤判。河道範圍採用水利署公告之水系及河道範圍圖層，並與影像裸露邊緣比對校對。各集水區劃分完成之坡面單元距河道遠近分級如圖 2-34 至圖 2-36 所示。

表 2-9 本計畫之距河道遠近分級

編碼	定義	距離(m)
R1	鄰近	300 以下
R2	非鄰近	超過 300

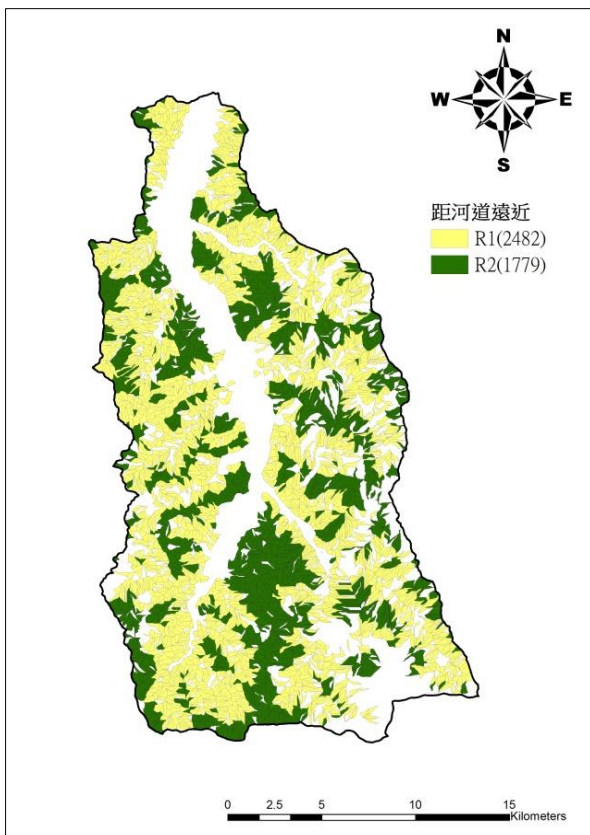


圖 2-34 陳有蘭溪坡面單元距河道遠近分級

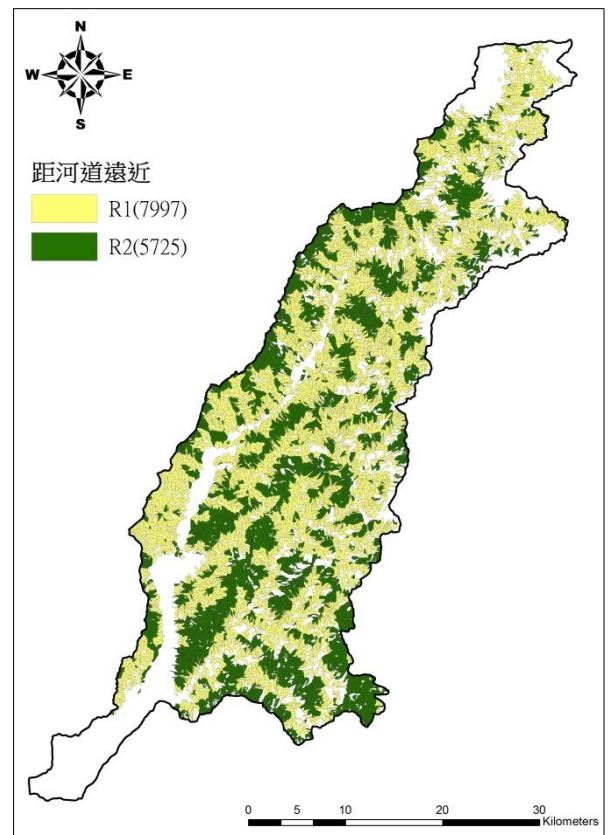


圖 2-35 荖濃溪坡面單元距河道遠近分級

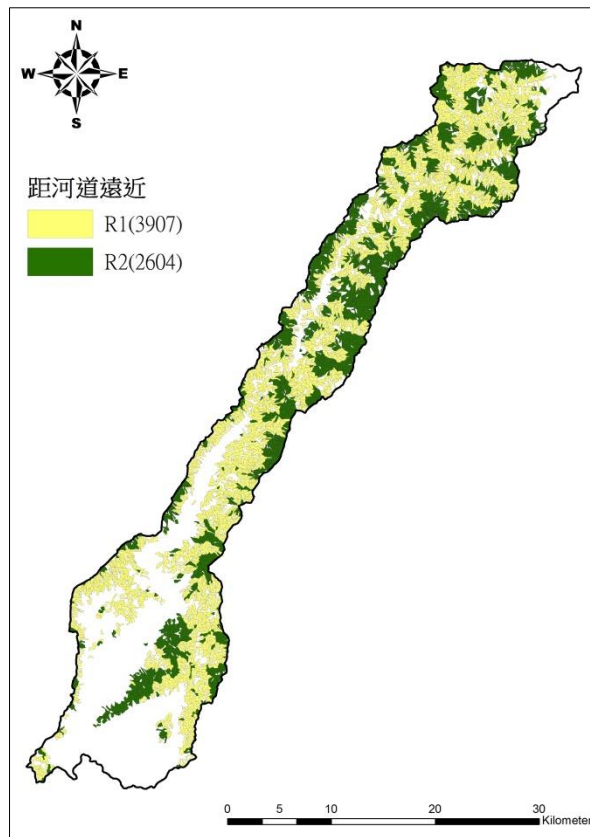


圖 2-36 旗山溪坡面單元距河道遠近分級

(四) 坡面之坡向敏感因子(A)

集水區在不同颱風事件由於山脈走勢、地形等不同方向會有不同的易崩特性，同時也與臨災時颱風的走勢有關，不同的路徑造成同一個坡面上有著迥異的降雨量。因此，崩塌與否除了與該地區地貌型態的變化有著顯著的關係，也與風向有關，這也表示坡面的迎風或背風並不是固定不變的，而是每次事件可能不同。所以坡向因子在災時應變時其實是動態的變化，這也使得坡向分級難以定義。為定義坡向的強弱差別，本計畫將坡向定義為變動之環境因子，稱之為坡向敏感因子。也就是說針對各事件必須獨立的考慮其坡向分級定義，本計畫對於易崩程度概分為 A1 和 A2 二級，如表 2-10 所示，分別為弱面向及強面向。地形對於風向的弱面向對來說具有較易崩塌的情形。強面向則相對表示較不易崩塌。

在坡向數值計算上，本研究利用坡面單元內網格之高層最高點 X 座標

Y 座標與高層最低點 X 座標與 Y 座標計算方位角，實際地計算出該坡面單元方向，包含北向(337.5°~360°；0°~22.5°)、東北向(22.5°~67.5°)、東向(67.5°~112.5°)、東南向(112.5°~157.5°)、南向為(157.5°~202.5°)、西南向(202.5°~247.5°)、西向(247.5°~292.5°)、西北向(292.5°~337.5°)，如圖 2-37 所示。坡面單元坡向分級如圖 2-38 至圖 2-40 所示。

表 2-10 本計畫之坡向敏感因子

編碼	分級定義
A1	弱面向：各集水區取事件崩塌率較高之四方向
A2	強面向：各集水區取事件崩塌率較低之四方向

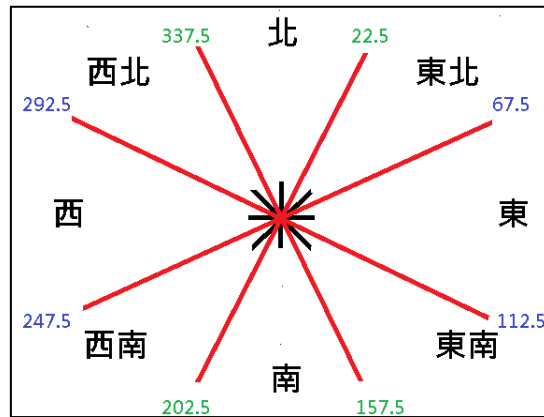


圖 2-37 方位角角度示意圖

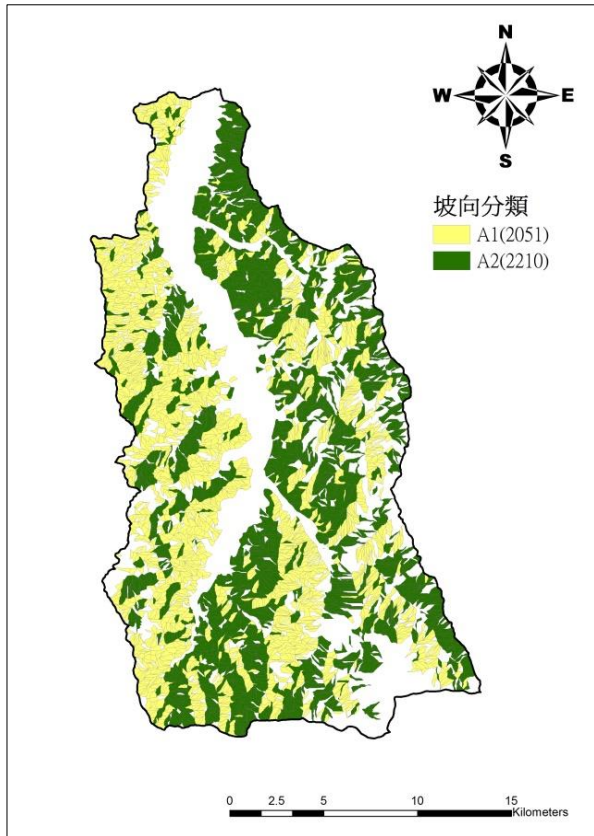


圖 2-38 陳有蘭溪坡面單元坡向分級

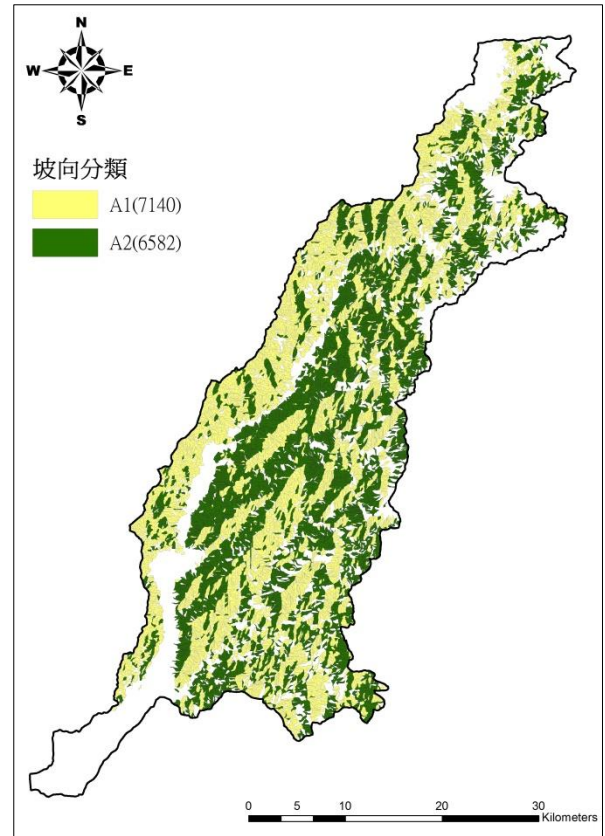


圖 2-39 荖濃溪坡面單元坡向分級

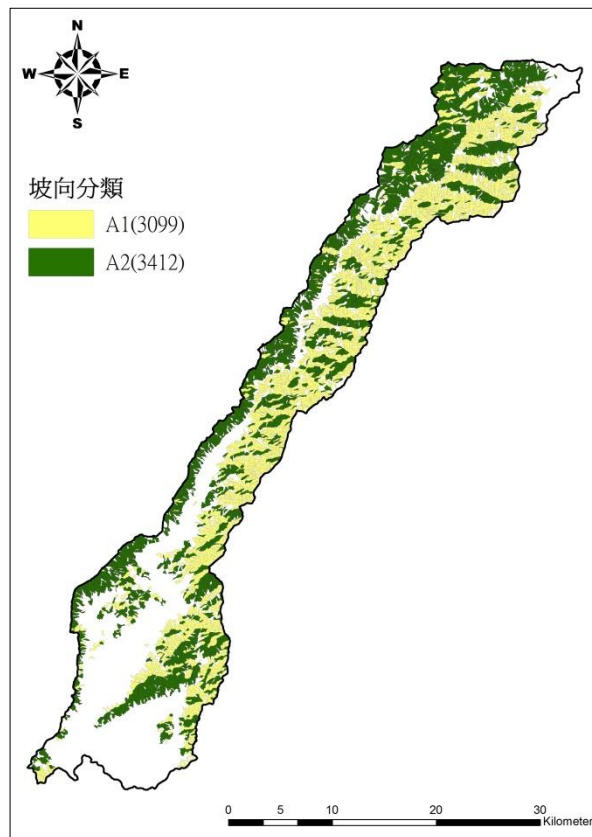


圖 2-40 旗山溪坡面單元坡向分級

(五) 坡面之崩塌植生指標(N)

本計畫提出以「崩塌植生指標」描述坡面單元之變動因子，係考量僅藉由 NDVI 判斷一個坡面單元之植生狀況及易崩特性並不容易。而「崩塌植生指標」即是考量前期裸露地與植生狀況皆是由影像得到，對於易崩特性之影響應同時考量。因此，把植生分為低植生地($-1 < NDVI \leq NDVI_c$)和中高植生地($NDVI_c < NDVI \leq 1$)兩類，其中 $NDVI_c$ 為植生條件門檻值；再把事件前期影像判釋之裸露地與非裸露地予以綜合考量，得到崩塌植生指標二種定義，分別為 N1(崩塌植生差)和 N2(崩塌植生佳)，如表 2- 11 所示。

本計畫對於坡面單元崩塌植生指標之計算，首先藉由各網格之 NDVI 值與裸露地判釋結果計算每個網格之崩塌植生指標，再計算坡面單元中 N1 和 N2 比例來定義分級。本研究以 N1 面積達 30%以上時該坡面單元定義為崩塌植生指標差之坡面。各集水區劃分完成之坡面單元崩塌植生指標分級如圖 2- 41 至圖 2- 43 所示。

表 2- 11 本計畫之崩塌植生指標分級

代號定義		低植生地	中高植生地
		$-1 < NDVI \leq NDVI_c$	$NDVI_c < NDVI \leq 1$
前期影像	裸露地	N1	N1
	非裸露地	N1	N2

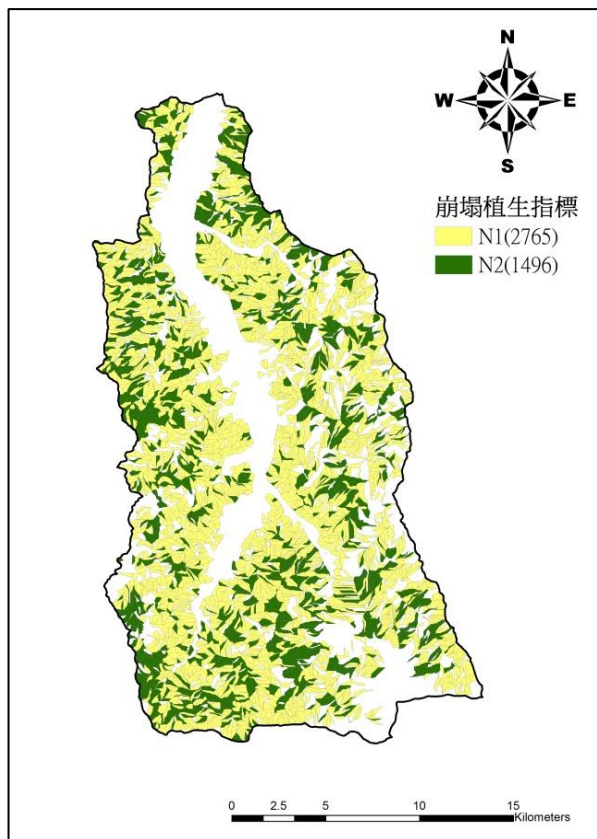


圖 2-41 陳有蘭溪坡面單元崩塌植生分級

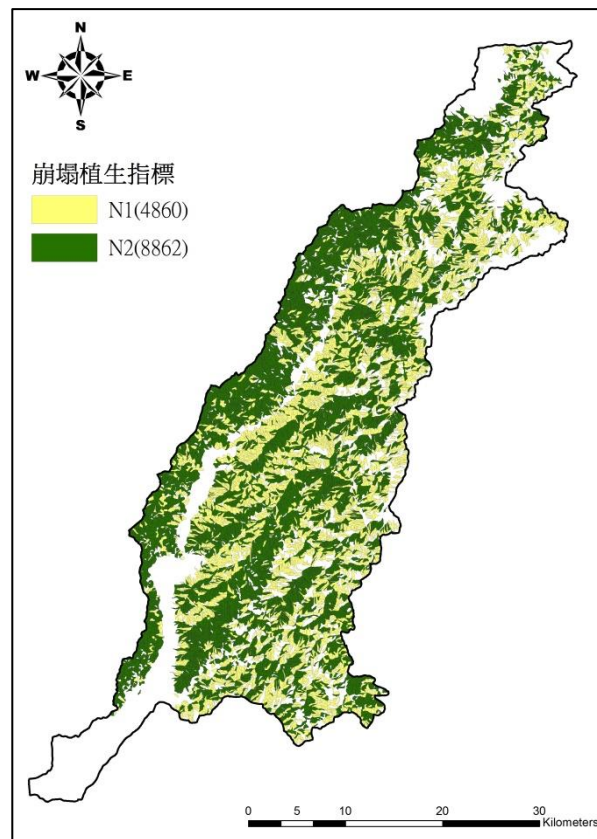


圖 2-42 老濃溪坡面單元崩塌植生分級

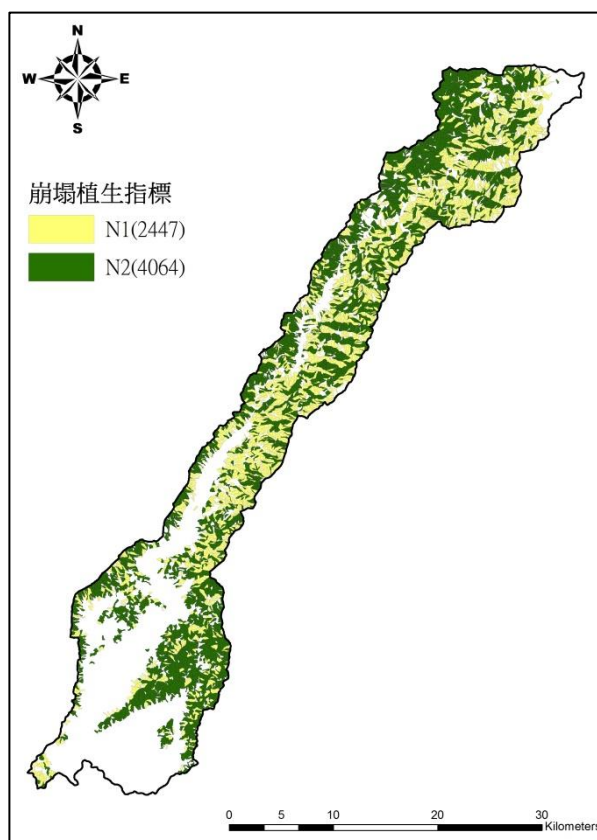
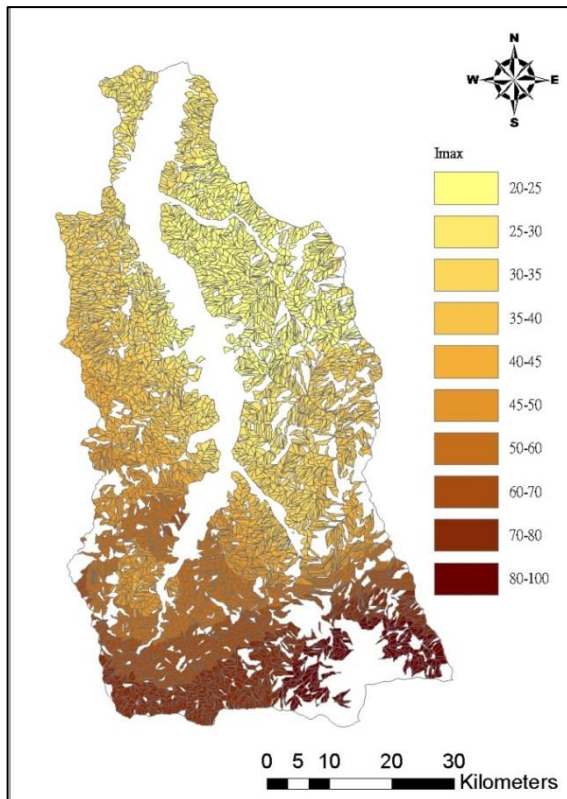


圖 2-43 旗山溪坡面單元崩塌植生分級

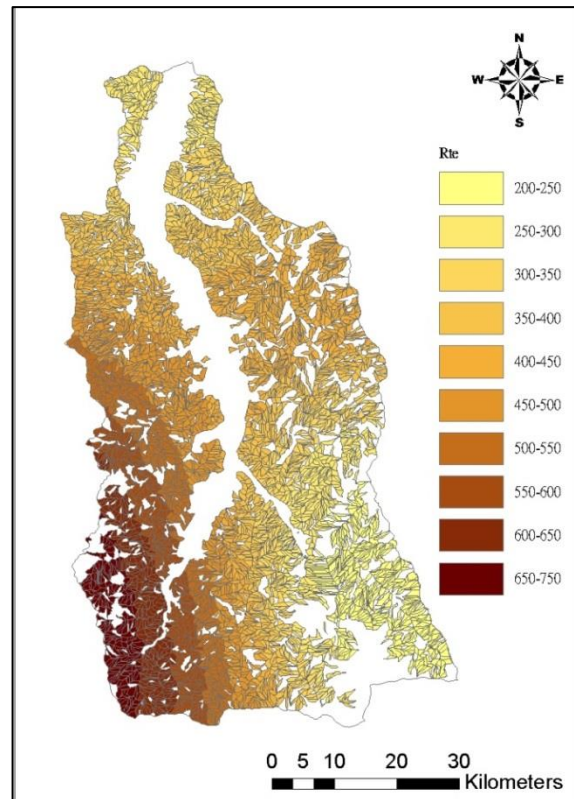
二、坡面之雨量定義

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_t-R_{tc} 雨量推估，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如圖 2- 44 至圖 2- 46 所示。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- 47 至圖 2- 49 所示。

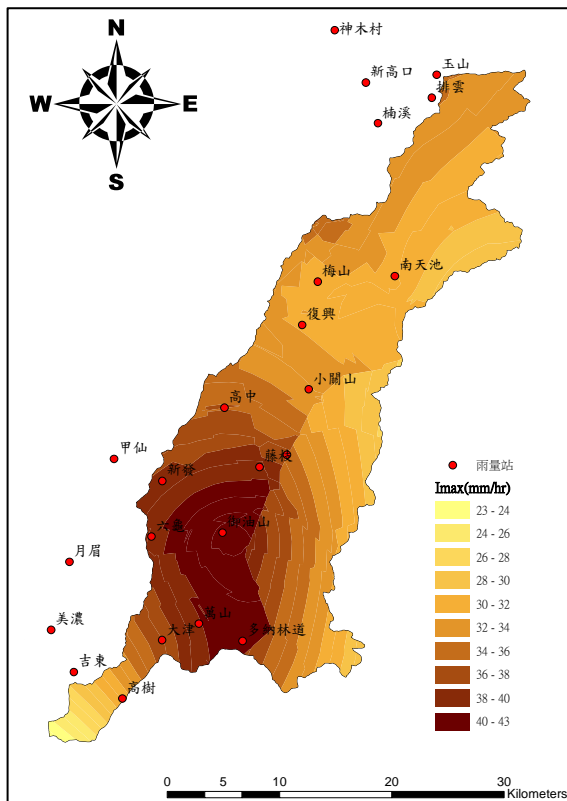


(a)最大小時降雨強度

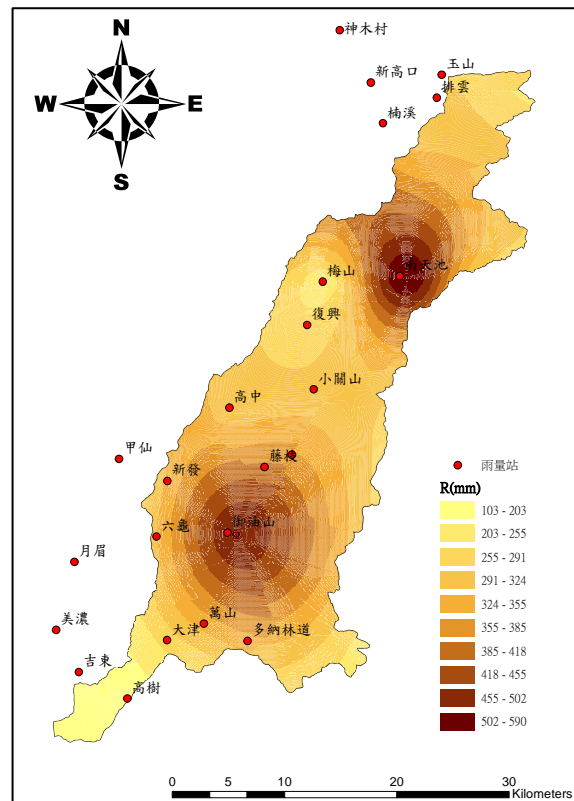


(b)總有效累積雨量

圖 2-44 陳有蘭溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布(I_1-R_{te})

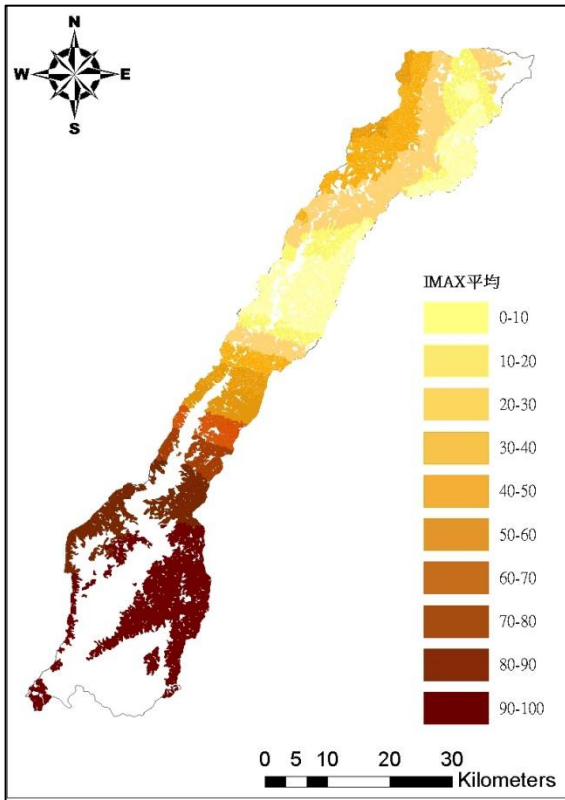


(a)最大小時降雨強度

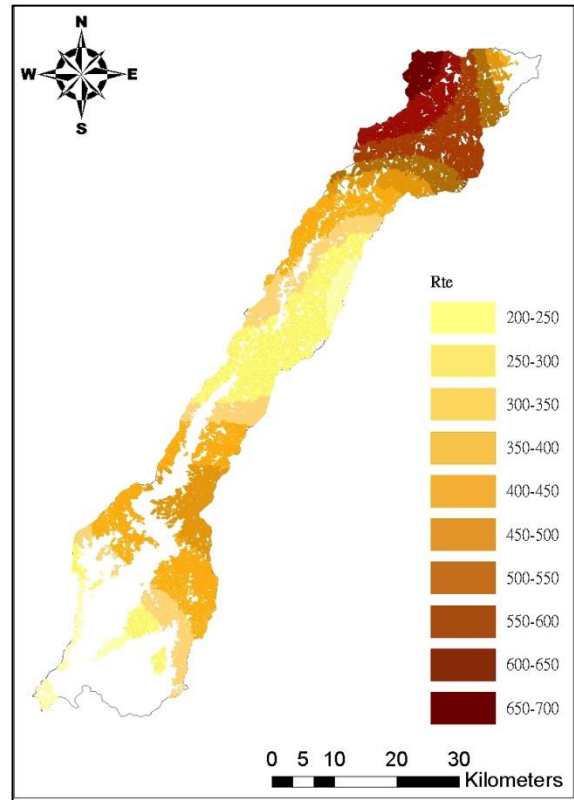


(b)總有效累積雨量

圖 2-45 荖濃溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布(I_1-R_{te})

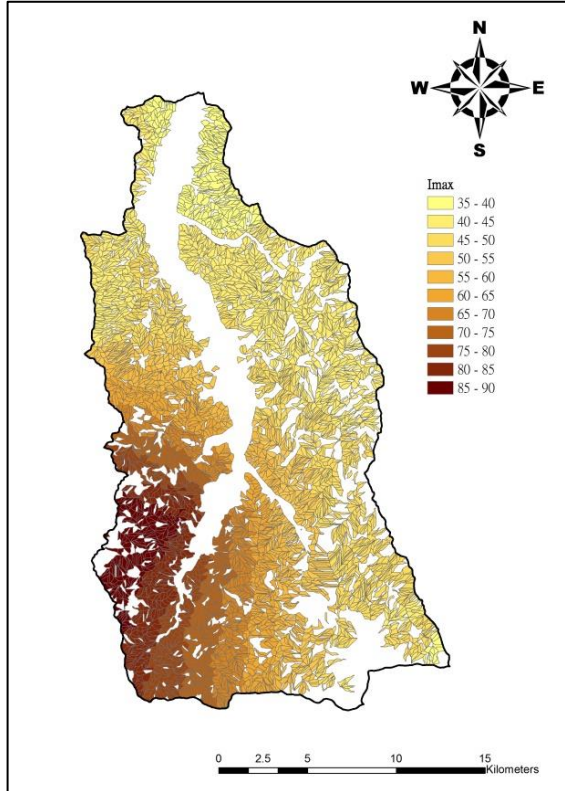


(a)最大小時降雨強度

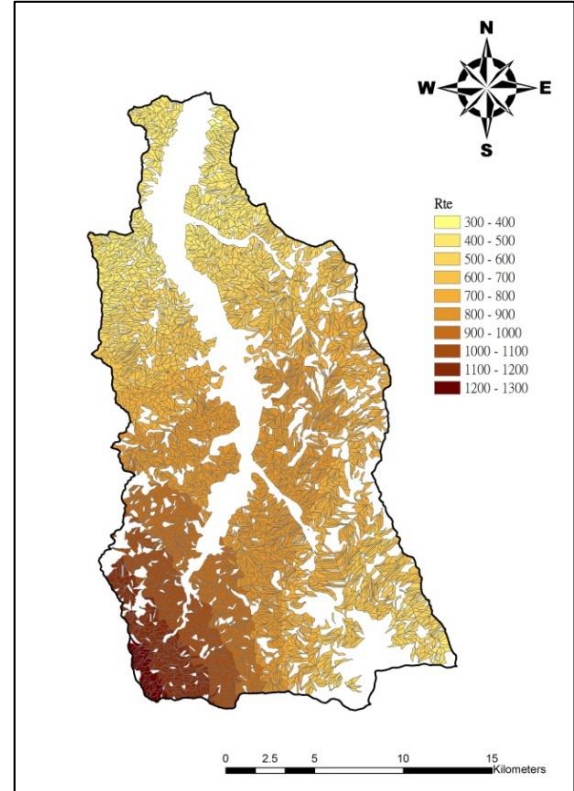


(b)總有效累積雨量

圖 2-46 旗山溪坡面單元辛樂克颱風雨量分布(I_1-R_{te})

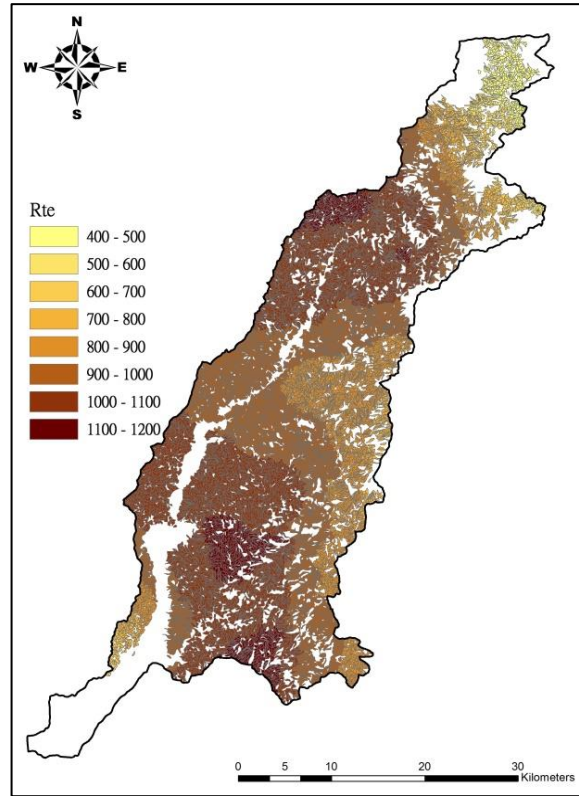
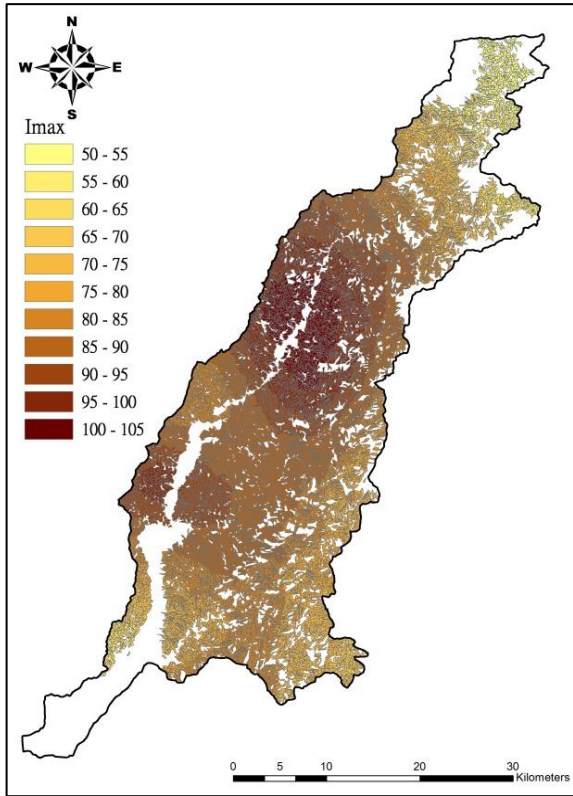


(a)最大小時降雨強度



(b)總有效累積雨量

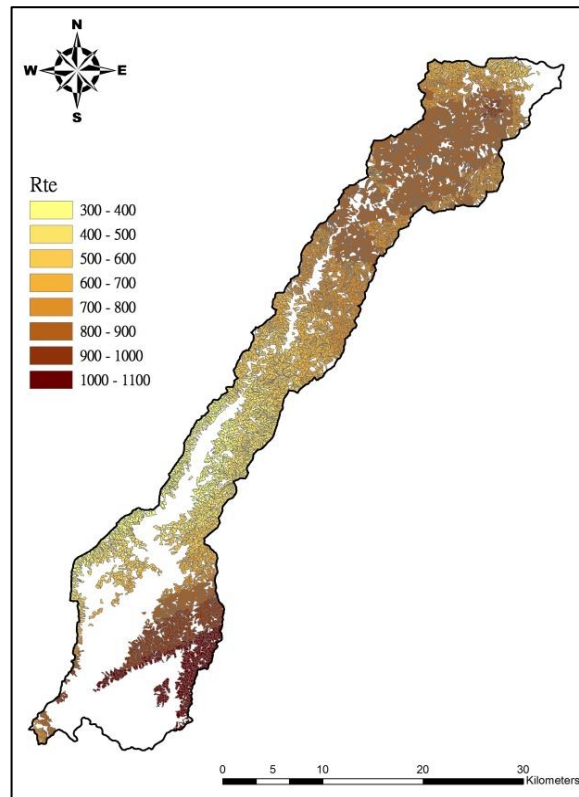
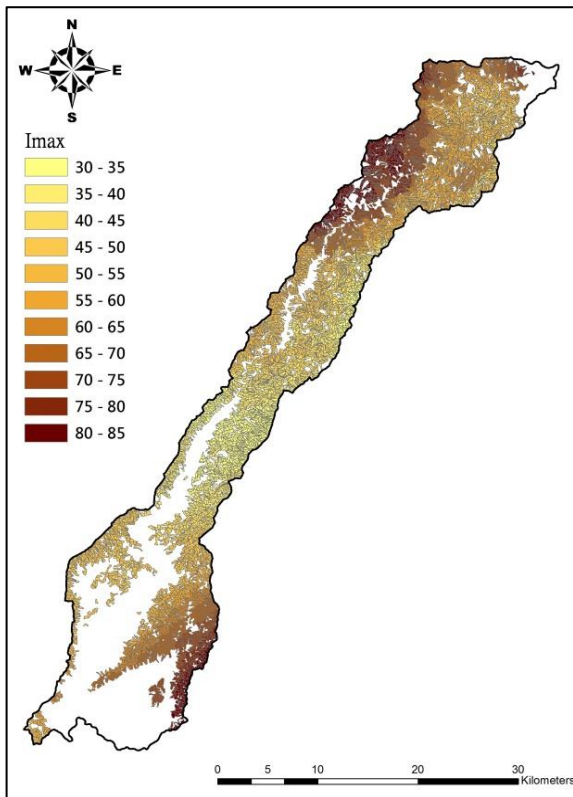
圖 2-47 陳有蘭溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布(I_1-R_{te})



(a)最大小時降雨強度

(b)總有效累積雨量

圖 2-48 荖濃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 2-49 旗山溪坡面單元莫拉克颱風雨量分布(I_1-R_{te})

三、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 2-50 所示。

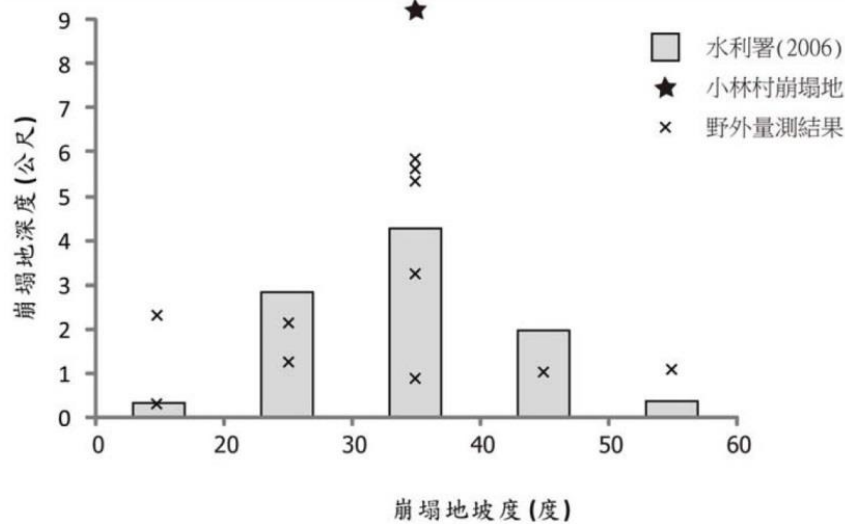


圖 2-50 崩塌地坡度與深度分佈

(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 2-51 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。

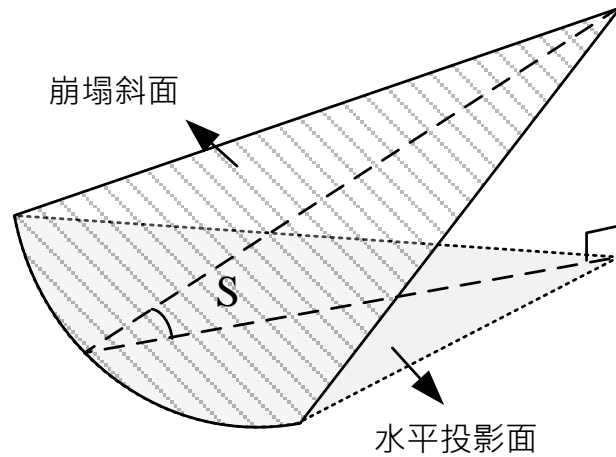


圖 2-51 崩塌塊體斜面與投影面關係示意圖

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」，該計畫針對高屏河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：

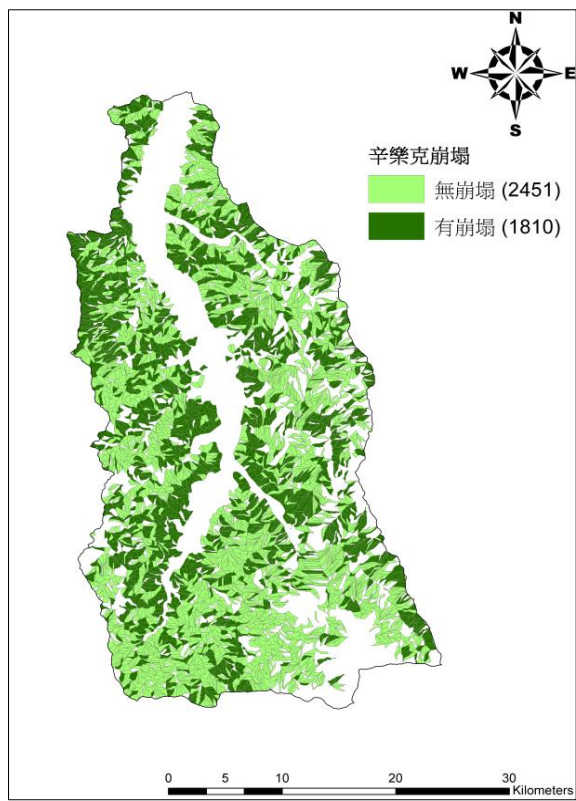
- 一、 S1類坡度：坡面單元崩塌率達5%，或崩塌投影面積達0.28公頃者

判定坡面單元為崩塌；其餘為未發生崩塌。

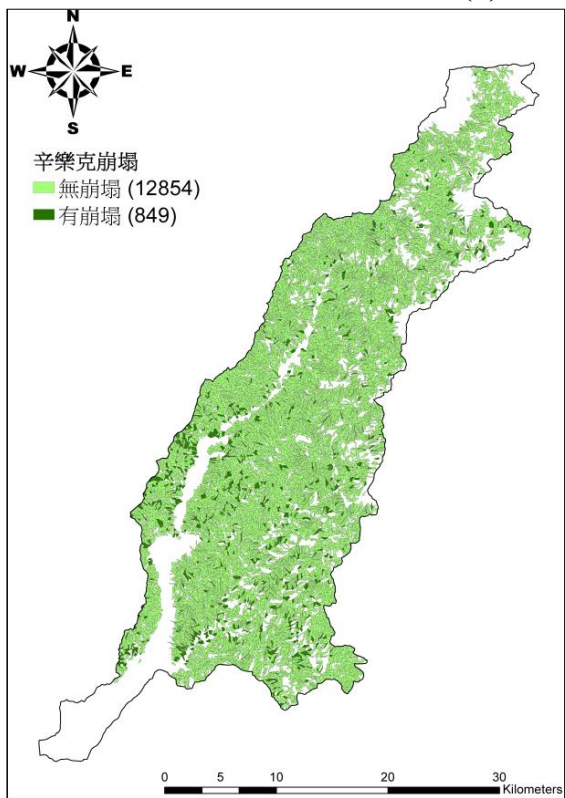
二、 S2類坡度：坡面單元崩塌率達5%，或崩塌投影面積達0.24公頃者判定坡面單元為崩塌；其餘為未發生崩塌。

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。

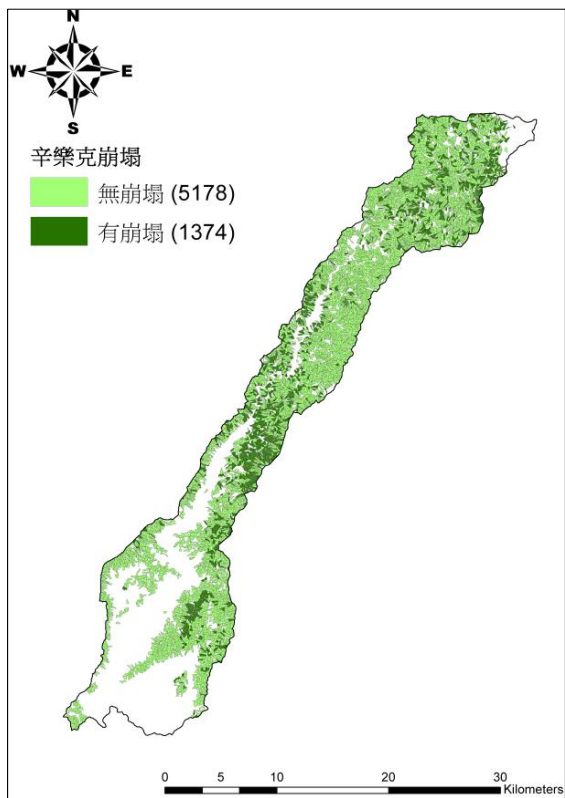
所得各集水區在莫拉克及辛樂克事件下坡面單元崩塌分級如圖 2-52 至圖 2-53 所示。



(a)陳有蘭溪集水區

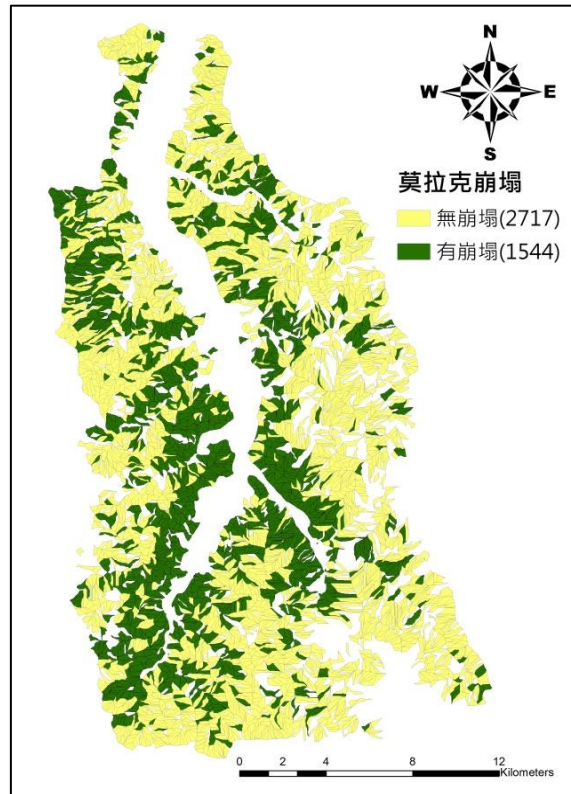


(b)荖濃溪集水區

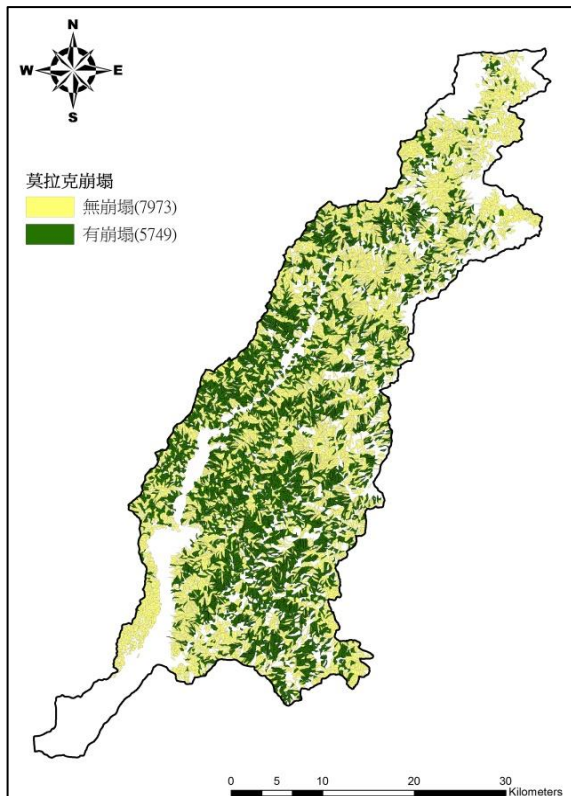


(c)旗山溪集水區

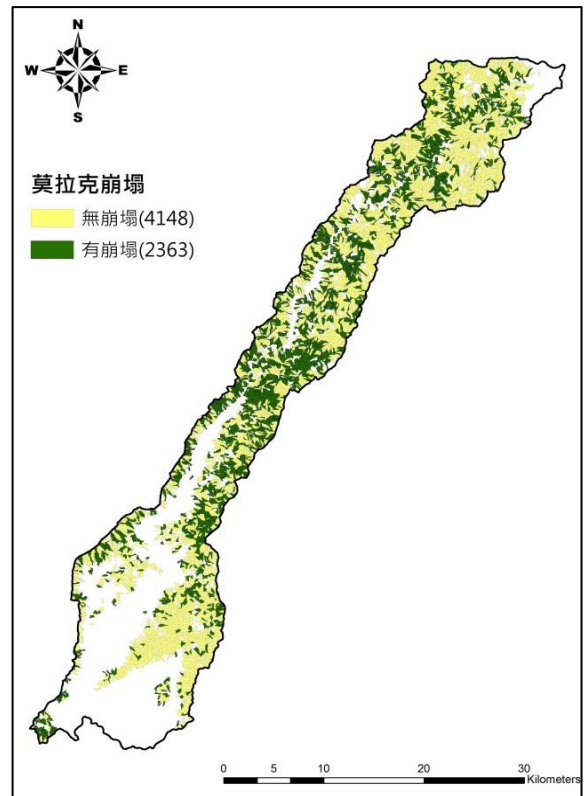
圖 2-52 辛勒克颱風崩塌坡面分佈



(a)陳有蘭溪集水區



(b)荖濃溪集水區



(c)旗山溪集水區

圖 2-53 莫拉克颱風崩塌坡面分佈

第三節 崩塌事件資料庫擴增

過去本計畫所發展之雙變量坡地易損性曲面是建立在有限的颱風事件中，其中過去選用之颱風事件為極端規模之莫拉克颱風及辛樂克颱風，因此所建立之模式則不能將其視為適用於所有豪大雨及颱風事件，因為不同的災害事件代表不同災害規模(Scale disaster)，這對重點聚落而言將會造成不同程度的災害問題，因此本計畫期於今年度計畫中將盤點 2008-2018 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。

而本計畫盤點 2008-2018 全台重大颱風豪雨事件，並根據雨型分析、颱風豪雨類型以及對本計畫之目標範圍(陳有蘭溪、荖濃溪以及旗山溪)具有不同程度影響的颱風或豪雨事件進行資訊擴增，進而考量了近年來極端降雨事件頻繁發生，對於易致災型暴雨需加強災害應變，然本計畫在過去計畫執行過程發現在影像萃取崩塌判釋之過程，取得影像之時間較屬不穩定，且定義該颱風豪雨前以及該颱風豪雨後所取得影像之時，為配合影像能夠在判釋技術操作能夠進行前提下，所選取之影像拍攝時間上相距甚大，其前後期影像判釋之崩塌未必是由單一颱風豪雨事件所造成的，因此本計畫在進行崩塌事件資料庫擴增之時，採用新增年度崩塌資料庫為基準，並利用行政院農委會資料開放平台中由林務局委託成功大學以當年度 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所判釋之崩塌地判釋結果進行崩塌資料庫過增，同時針對當年度 1~7 月且對本團隊實證區之南部集水區於土石流警戒有達到紅色警戒之颱風豪雨事件進行雨量資料蒐集擴增，進而交叉比對，取得當年度 1-7 月崩塌地對應之坡面單元於當年度 1-7 月最

大時雨量之颱風豪雨事件，以進行崩塌雨量資料庫之擴增。

因此本計畫團隊綜合過去採用之颱風豪雨事件之年度(97年至98年)以及新增100年至101年度1-7月之颱風豪雨事件以及101年至102年1-7月之颱風豪雨事件，進行資料庫擴增，其中下圖2-54各年度新增颱風豪雨事件示意圖中之颱風豪雨事件屬該事件期間，在本研究範圍內為土石流警戒期間有達到紅色警戒之事件，因此以下對本計畫所新增的各年度之重大颱風豪雨事件進行資料庫擴增，以利後續透過不同雨量強度與崩塌地關聯性歸納建立動態降雨崩塌風險潛勢評估模式。

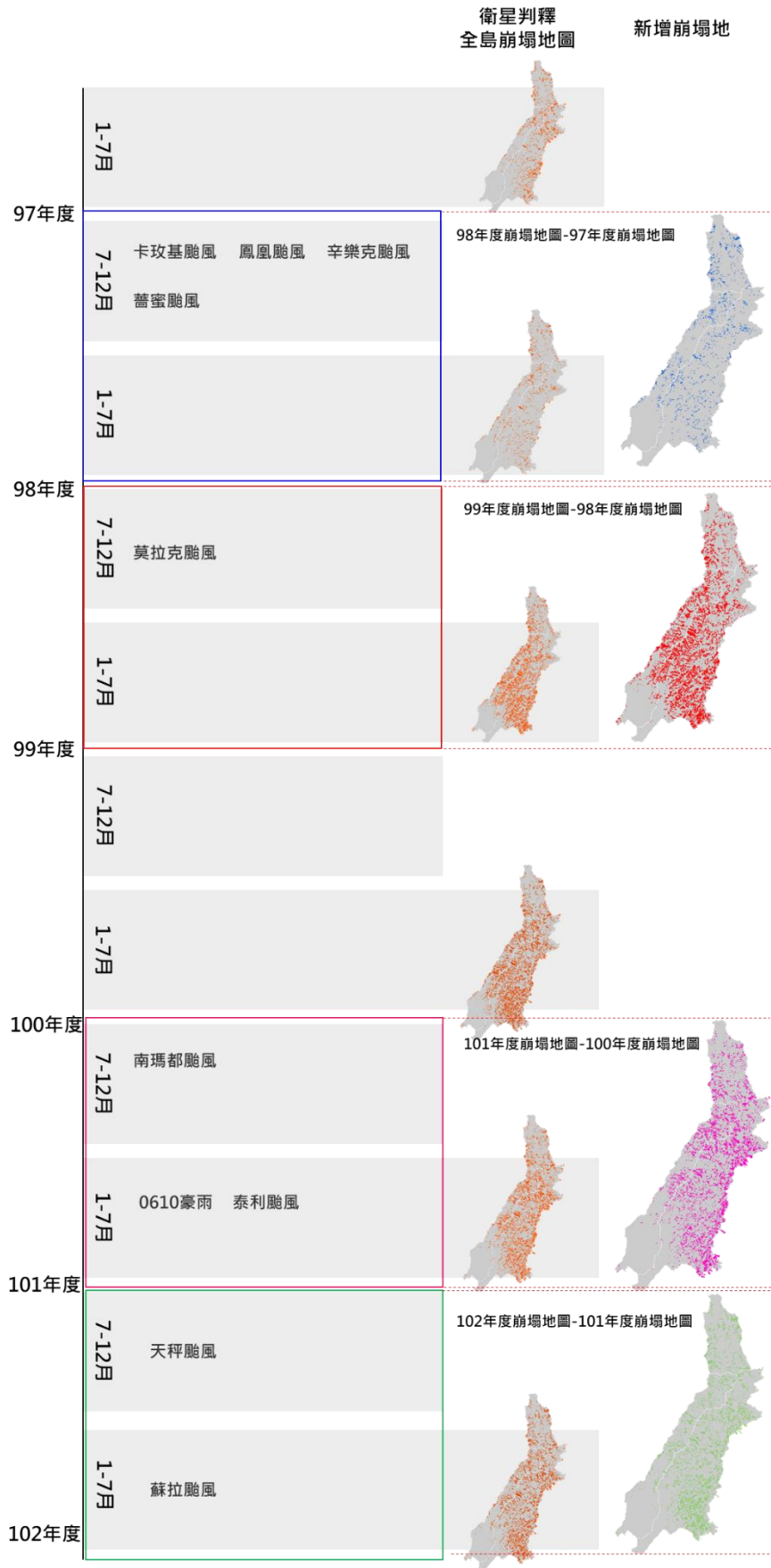
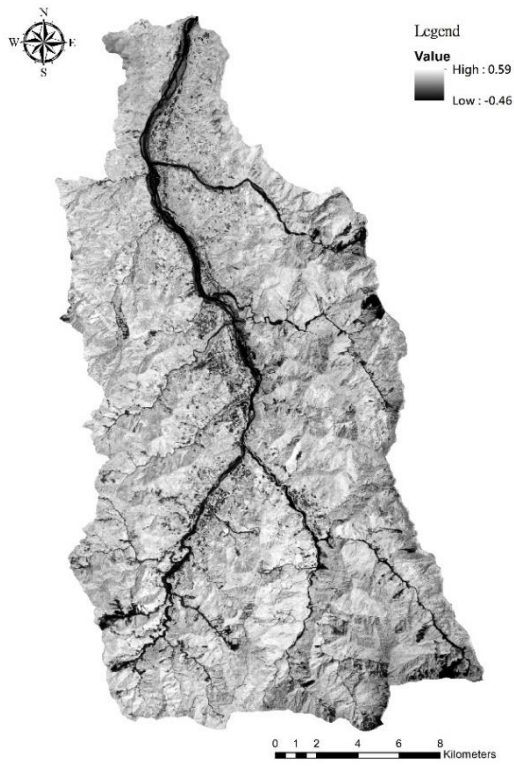


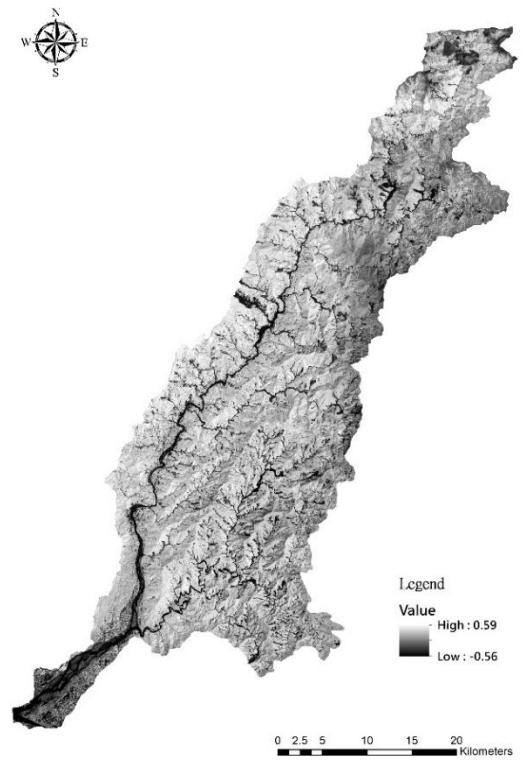
圖 2-54 各年度新增崩塌地及颱風豪雨事件對應結構圖

一、植生現況分析

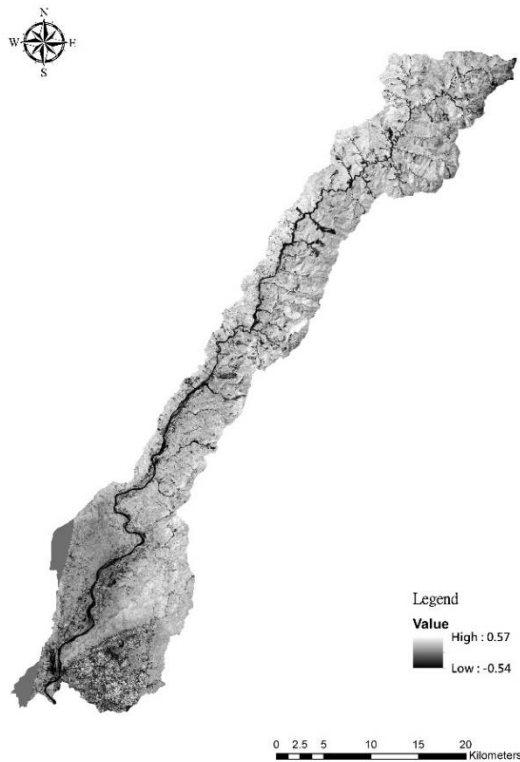
本計畫建立之崩塌事件資料庫及環境因子資料庫中，對於現地環境條件和植生現況等變動因子需定期予以更新至最新環境資料，因此，為掌握本年度計畫重點聚落之坡地植生環境狀況作為崩塌評估模式之修正參考，必須針對研究區域蒐集本年度汛期前可取得之衛星影像並分析其植生現況。新的植生分析結果會使聚落坡面單元之崩塌植生因子產生變化。因此，屬變動因子的植生現況分析係本計畫重要工作，目前已自水土保持局取得本年度汛期前第一期及第二期拍攝之衛星影像完成 108 年度研究區之植生分析所示。本計畫中屬變動之崩塌植生因子並已同步更新，且重新定義了各集水區坡面單元之坡面類別屬性，以利於後續模型訓練參數之更新。



(a) 陳有蘭溪集水區



(b) 荖濃溪集水區

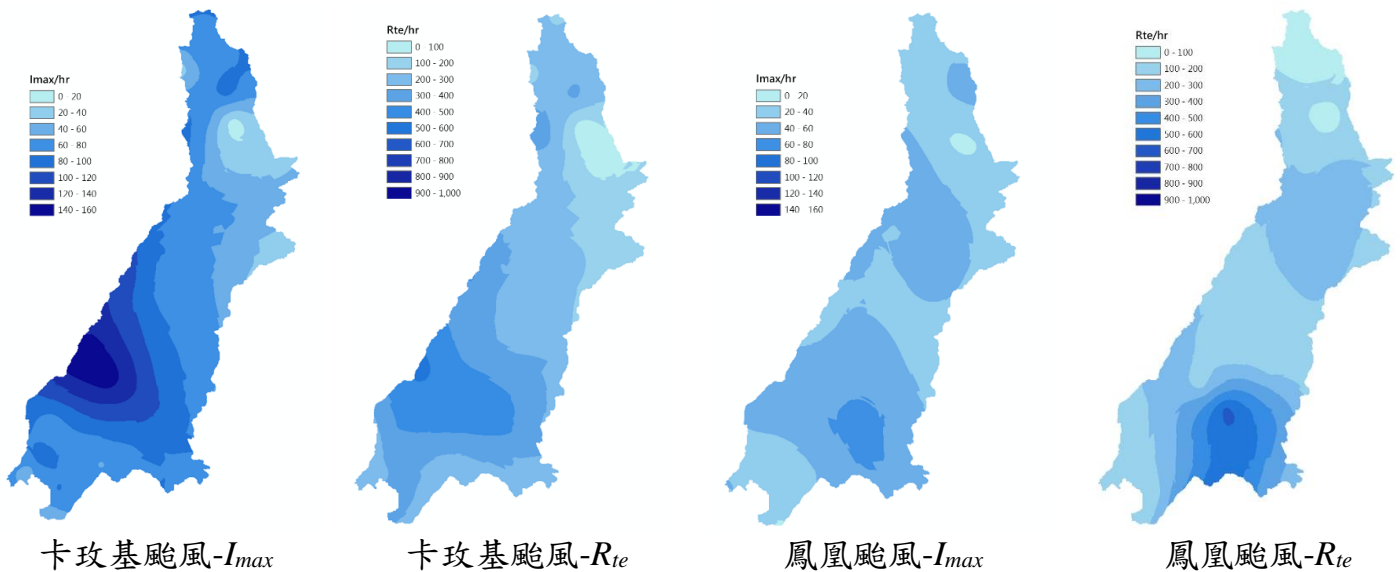


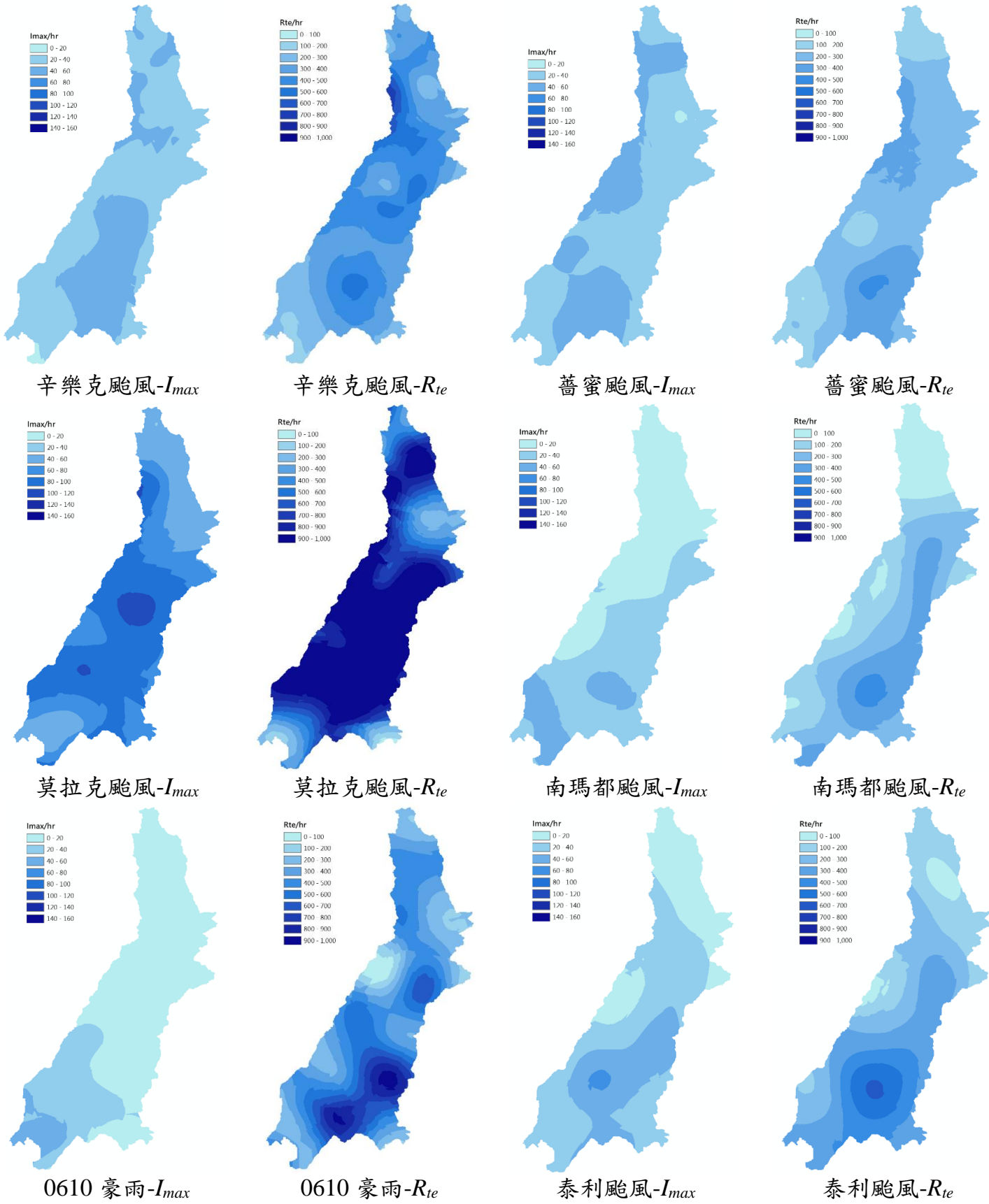
(c) 旗山溪集水區

圖 2-55 各集水區 2019 年汛期前植生現況分析

二、颱風豪雨雨量資料擴增

本計畫在前述第二章雨量資料處理進行說明，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，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} 及 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 2-56。





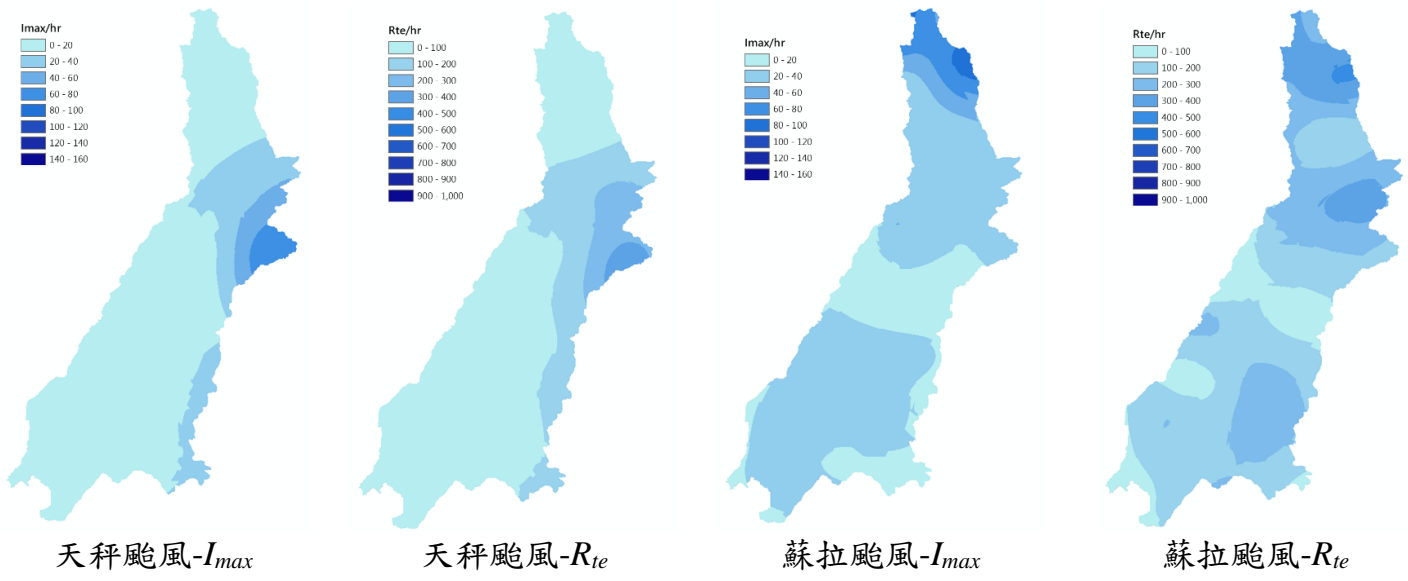


圖 2-56 各年度各事件颱風豪雨雨量推估

三、 颱風豪雨植生樣態資料新增

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，下圖 2-57 及圖 2-58 分別為 0610 豪雨以及天秤颱風前之植生指標分析結果。

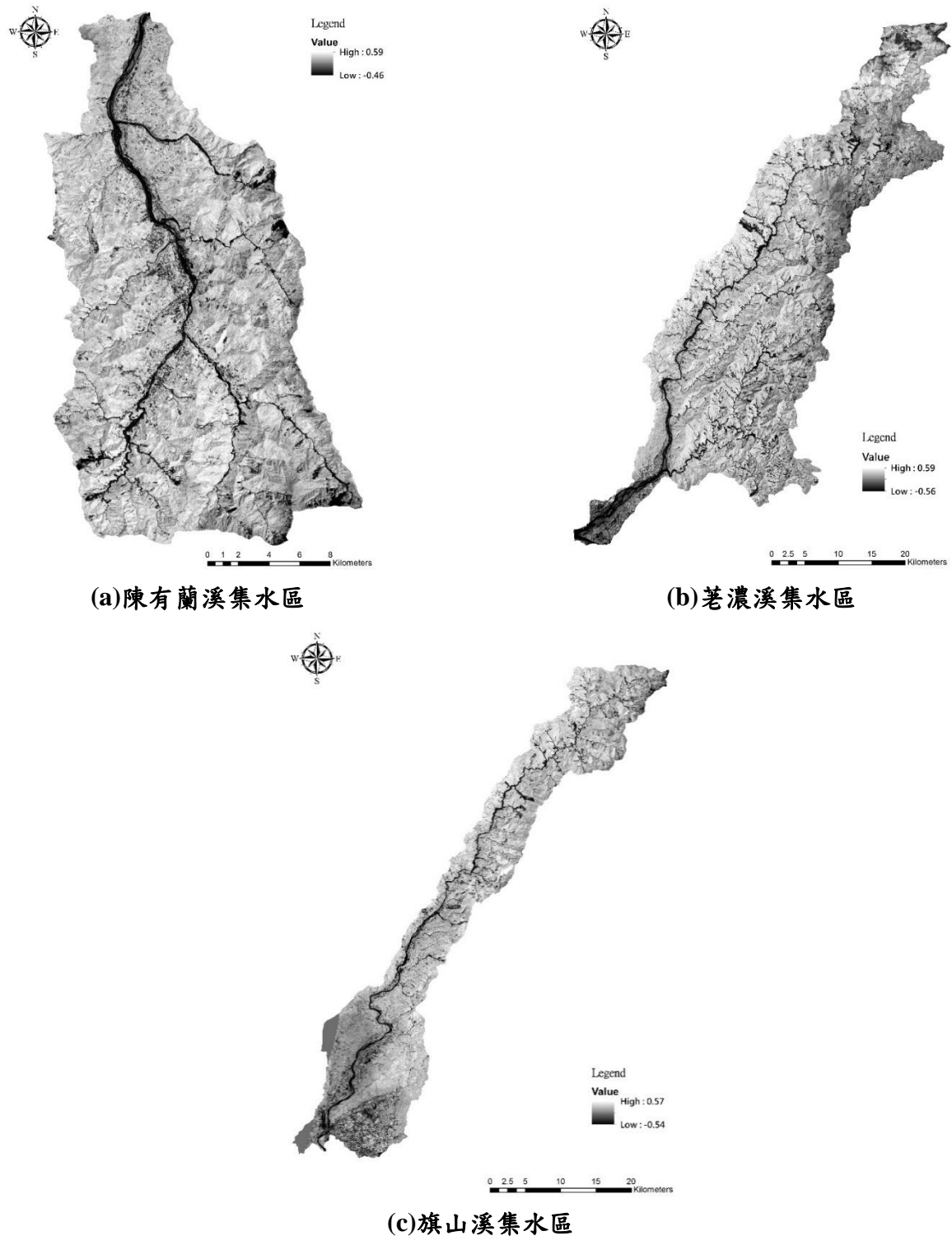
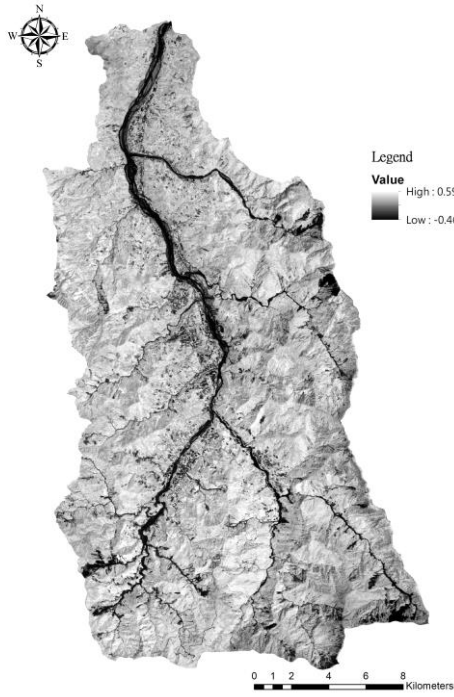
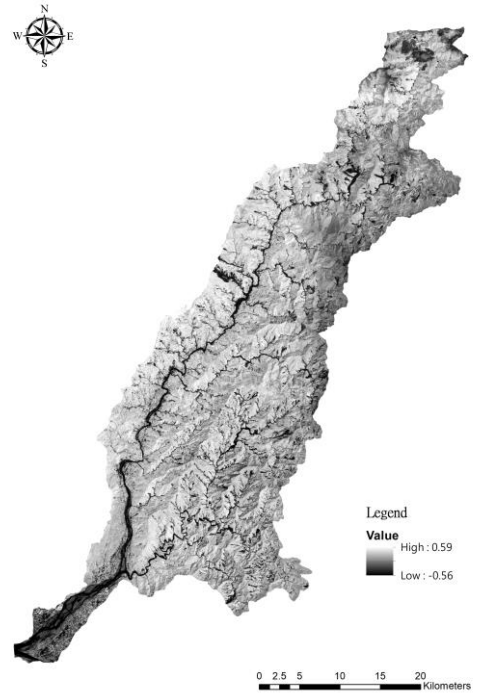


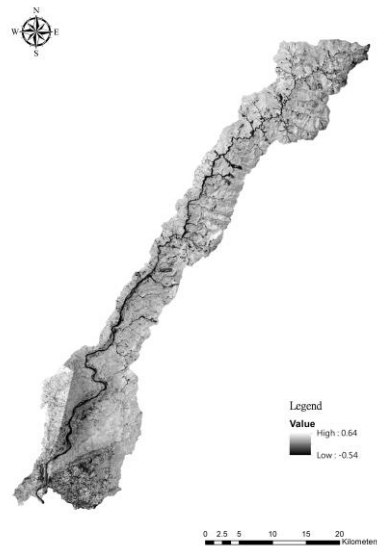
圖 2-57 100 年度前期植生分析



(a)陳有蘭溪集水區



(b)荖濃溪集水區



(c)旗山溪集水區

圖 2-58 101 年度前期植生分析

四、 颱風豪雨崩塌事件資料新增

在颱風豪雨崩塌資料萃取上，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，並分別將 98 年度崩塌地圖減去 97 年度崩塌地圖、99 年度崩塌地圖減去 98 年度崩塌地圖、101 年度崩塌地圖減去 100 年度崩塌地圖以及 102 年度崩塌地圖減去 101 年度崩塌地圖，統計各年度所新增的崩塌地分布，詳細統計表如表 2- 12 所示，其中 98 年度崩塌地圖減去 97 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 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- 59 所示，99 年度崩塌地圖減去 98 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 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- 60 所示，101 年度崩塌地圖減去 100 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 1,796.45 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- 61 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- 62 所示。

表 2-12 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	
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	
102-100	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	

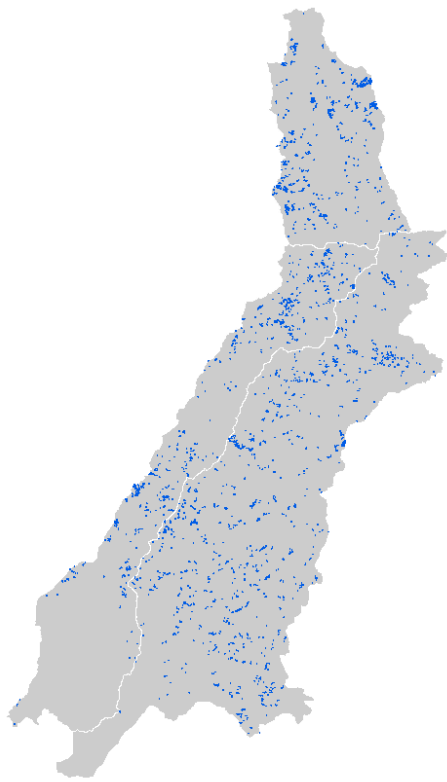


圖 2-59 新增崩塌地分布圖(98 年度崩塌地圖-97 年度崩塌地圖)

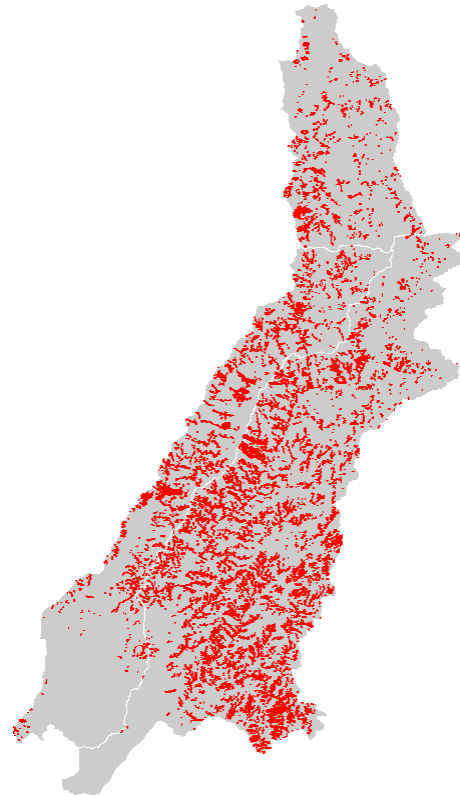


圖 2-60 新增崩塌地分布圖(99 年度崩塌地圖-98 年度崩塌地圖)

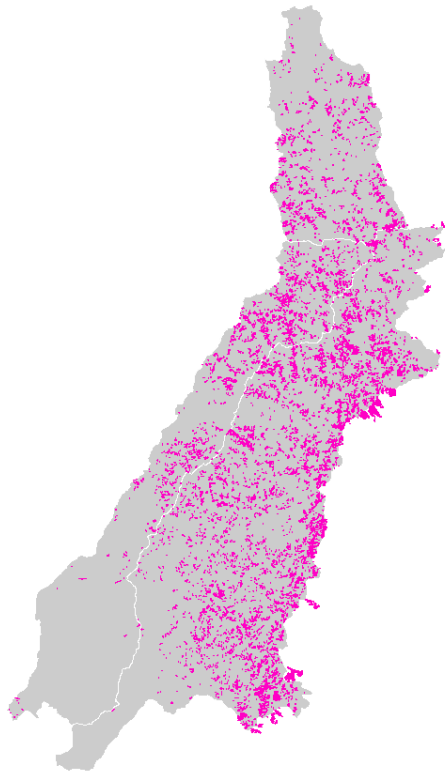


圖 2- 61 新增崩塌地分布圖(101 年度崩塌地圖-100 年度崩塌地圖)

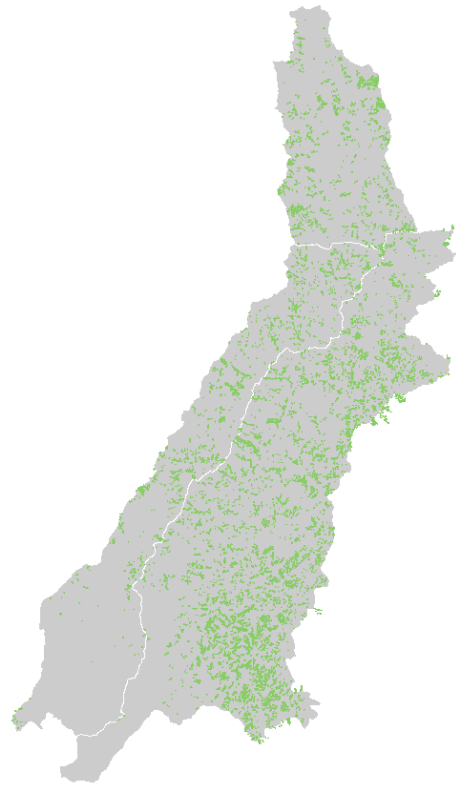


圖 2- 62 新增崩塌地分布圖(102 年度崩塌地圖-101 年度崩塌地圖)

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 18 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 97 至民國 107 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 18 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	
新店區	廣興里	FD091	屈尺 C0A580
新店區	廣興里	平廣路一段 7 號民宅	屈尺 C0A580
烏來區	烏來里	那魯灣飯店	桶後 C0A570
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 C1I290
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 96 年至 106 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。

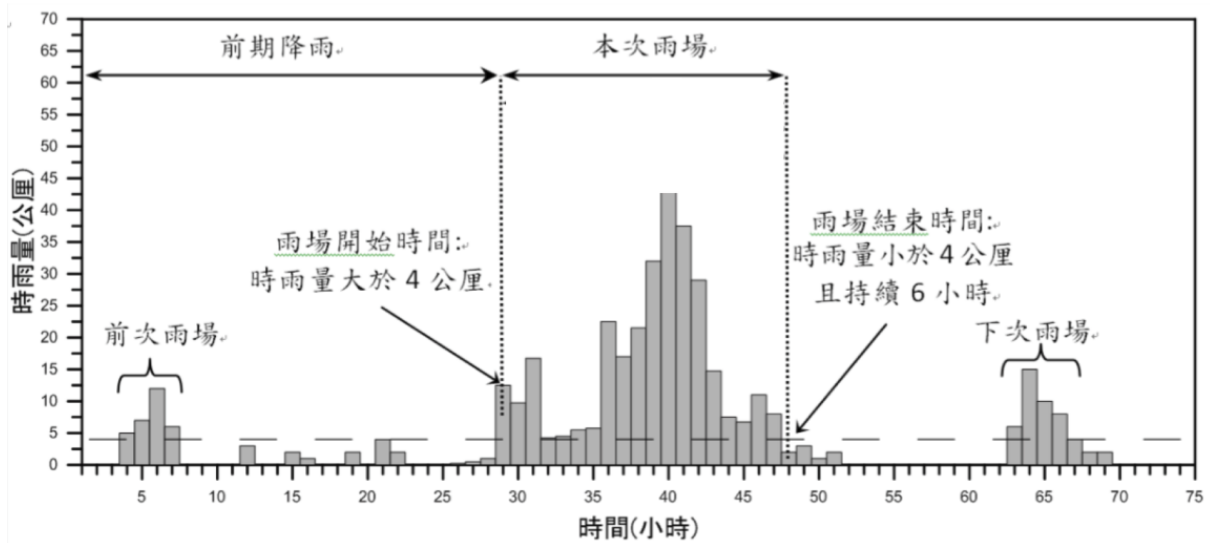


圖 3-1 本計畫採用之雨場分割方法示意圖

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 。

1. 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)。

2. 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。

3. 降雨資料資料標準化

本研究將各雨場之降雨強度(最大小時降雨強度(I_{\max} :mm/hr)與三小時最大降雨強度($I_{3\max}$:mm/3hr))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))。

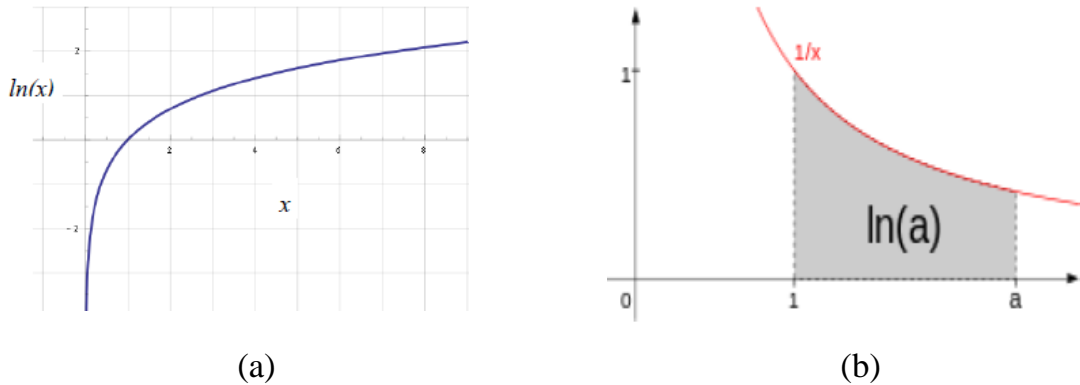


圖 3- 2 自然對數 $\ln(x)$ 的函數圖像

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 ($\ln R_{t_o}$)，可將雨量資料之定義域縮限於 0 到 10 之間。

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

4. 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 $\ln R_{t_o}$ 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 ($\ln R_{t_o}$, $\ln I_o$) 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 $\ln R_{t_o}$, $\ln I_o$ ，並稱將分組後之成對 ($\ln R_t$, $\ln I$) 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，本研究稱之為雨型組，本研究主要針對十年間雨場之雨型組進行分析，求得各降雨型態（雨型組）之分布機率，因此需計算雨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：

1. 聯合累積分布函數皆為非負值

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

2. 聯合累積分布函數的上限為 1

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

3. 聯合累積分布函數為單調遞增函數

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

4. 聯合累積分布函數為右連續函數

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

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

5. 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：

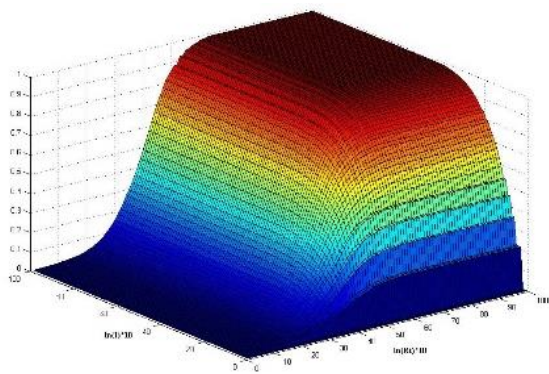
$$F_{\ln Rt, \ln I}(\ln Rt, \ln I) = \sum_{i=1}^{i: \ln Rt_i \leq \ln Rt} \sum_{j=1}^{j: \ln I_j \leq \ln I} p_{\ln Rt, \ln I}(\ln Rt_i, \ln I_j) \quad (3-8)$$

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。

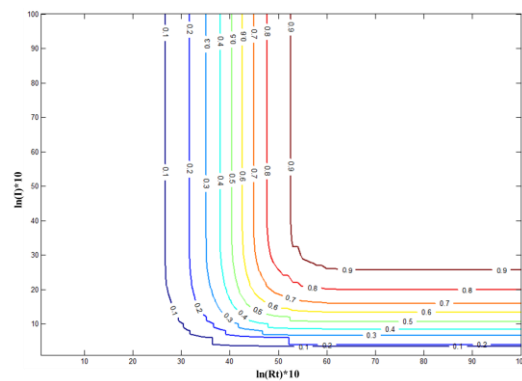
(3-8)式即為歷史雨場之聯合累積分布函數，本研究針基於 10 年雨量資料雨場之雨型組 $\ln Rt$ 與 $\ln I$ 聯合機率質量函數計算成果代入(3-8)式進行計算，建立 $F_{LR, LI}(\ln R, \ln I)$ ，透過各雨量站 10 年間雨量資料建立之三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖，並將其三維空間映射至二維空間，以建立各聚落鄰近雨量站之歷史雨場等機率曲線圖。

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：

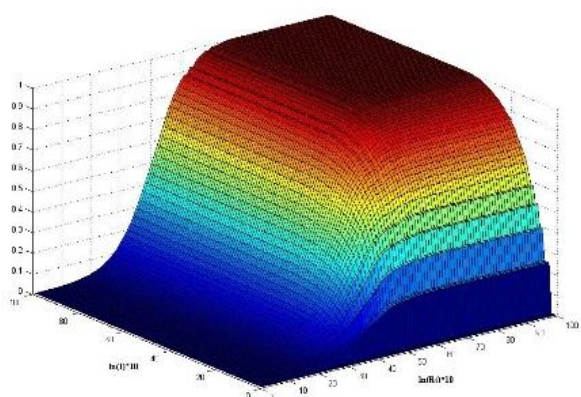


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

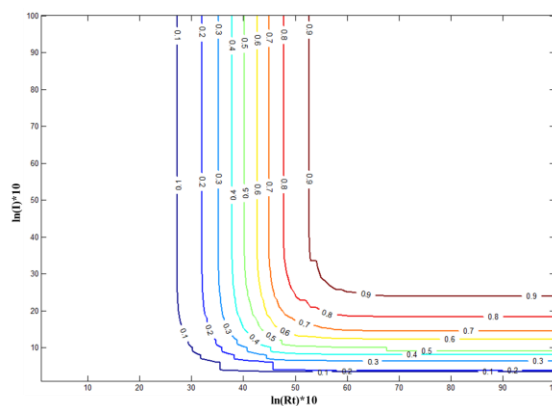


(b) 雨量等機率線

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

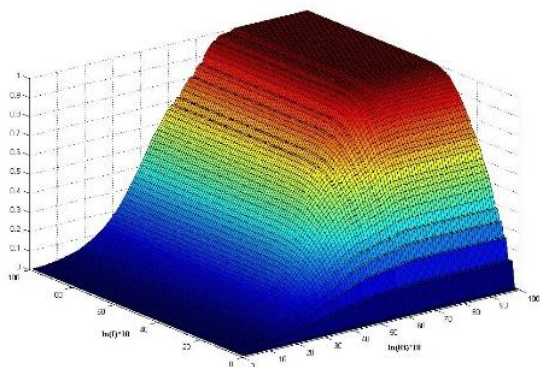


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

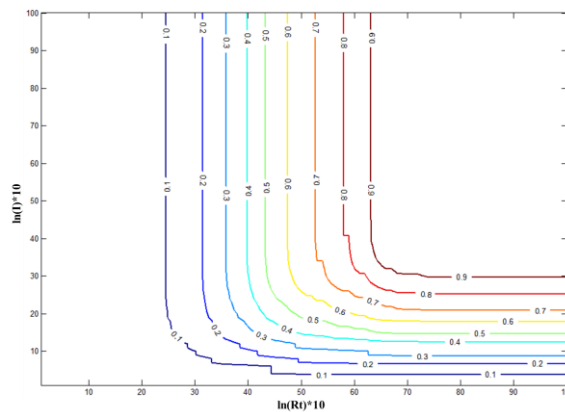


(b) 雨量等機率線

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

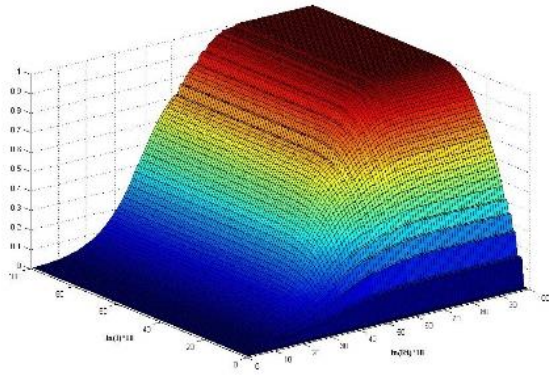


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

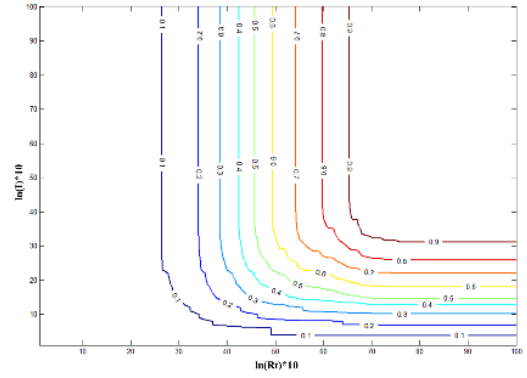


(b) 雨量等機率線

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

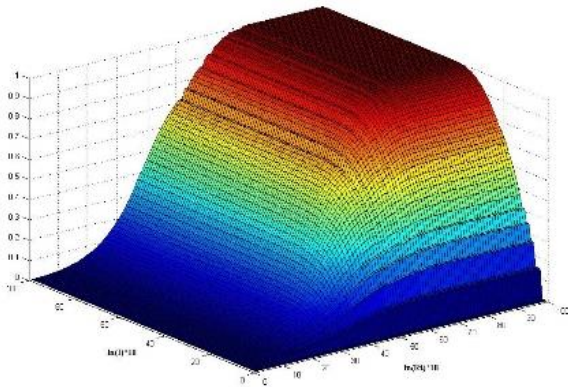


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

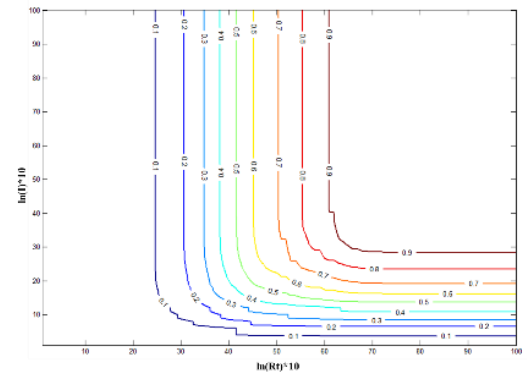


(b) 雨量等機率線

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

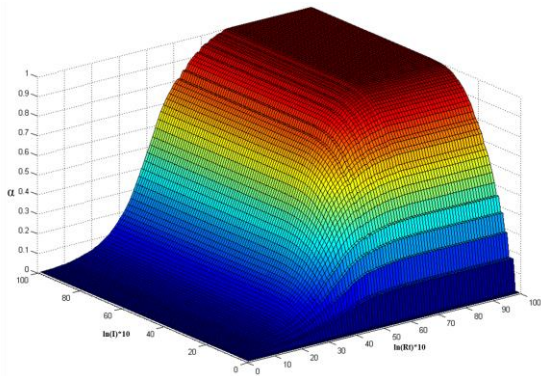


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

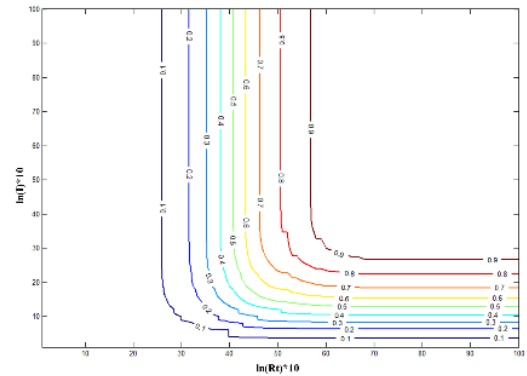


(b) 雨量等機率線

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

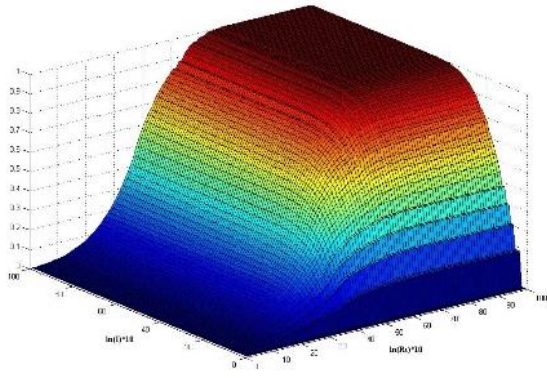


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

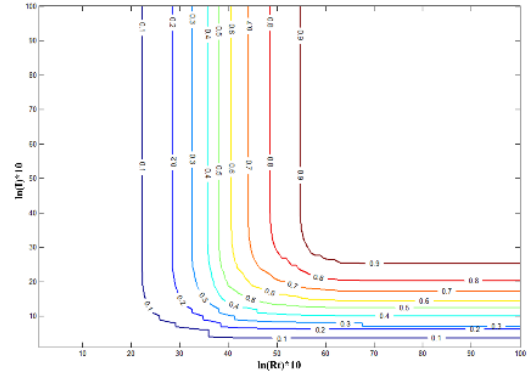


(b) 雨量等機率線

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

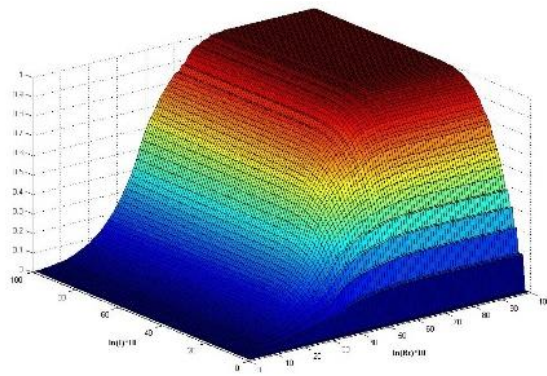


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

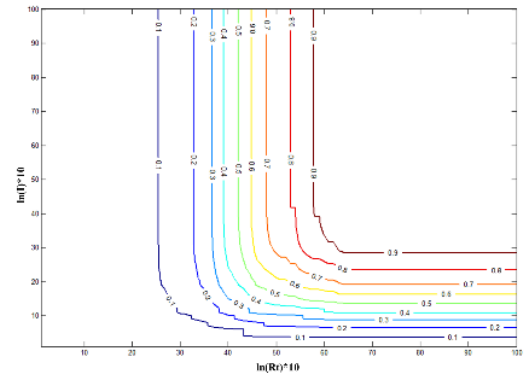


(b) 雨量等機率線

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

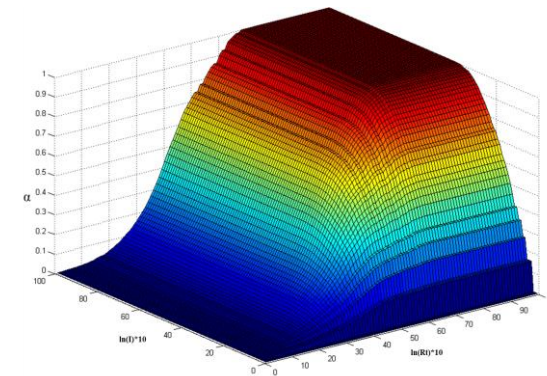


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

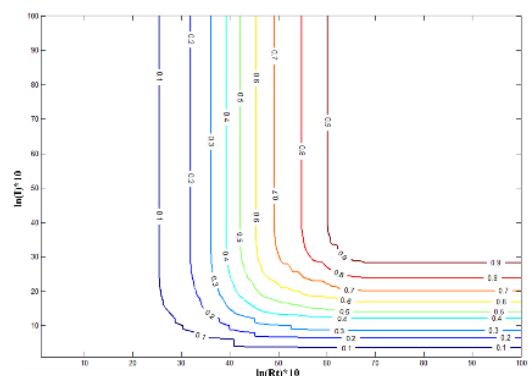


(b) 雨量等機率線

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

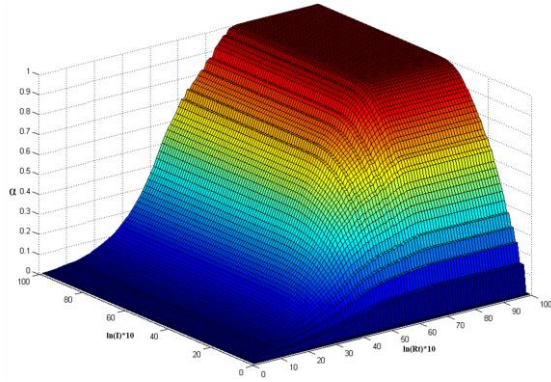


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

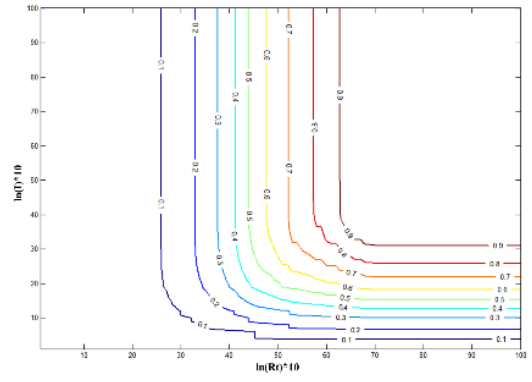


(b) 雨量等機率線

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

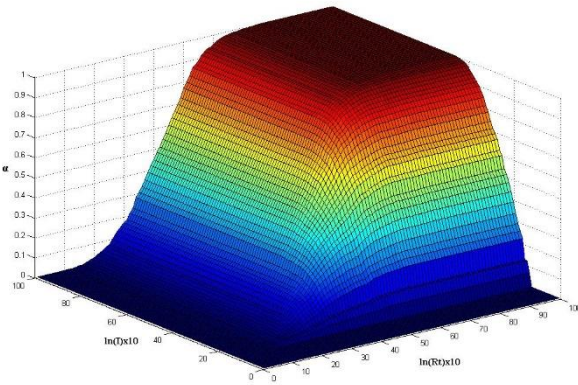


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

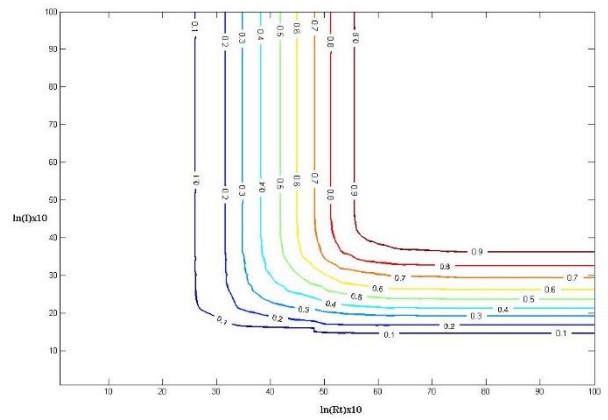


(b) 雨量等機率線

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

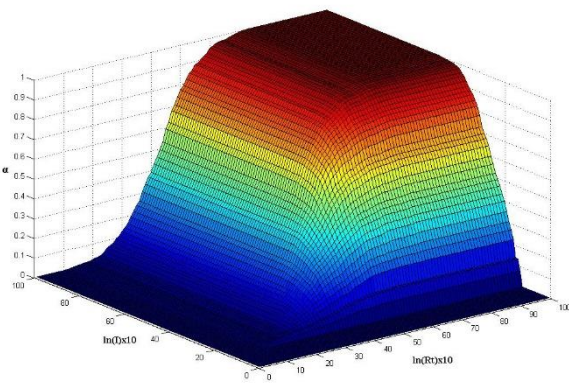


(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

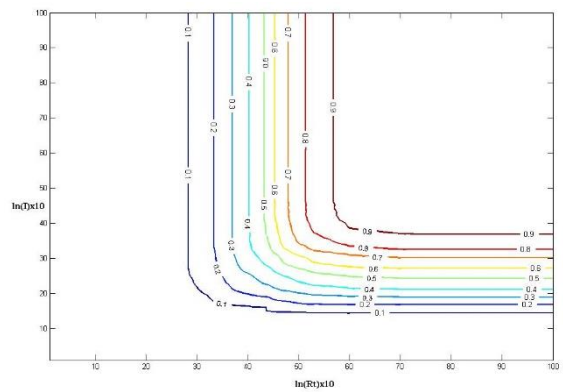


(b) 雨量等機率線

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。

在本次計畫中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，前三者皆為靜態環境因子，而植生則是動態環境因子，這是因為前三者數值較為固定，但植生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，因此他屬於動態環境因子。而事件因子，則是代表該欄位是由某事件所造成之數值，如辛樂克颱風、莫拉克颱風及泰利颱風等，其數值表示代表的是該事件於各年度中之最大時雨量及其對應之累積雨量。

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	地質分類	靜態環境因子
S	坡度	靜態環境因子
R	河道遠近	靜態環境因子
N	植生	動態環境因子
I	事件最大時雨量	動態事件因子
Rte	事件最大時雨量對應累積雨量	動態事件因子

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，我們針對此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，分別為環境分類器及預測坍塌模型，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，然而莫拉克事件由於於當年度屬於最大規模之降雨，其年度所取得之 I_{max} , R_{te} 規模過大，該事件的崩塌極有可能於 I_{max} , R_{te} 之前期降雨已造成崩塌，因此作為該事件之崩塌點較不適合，易造成模型建立上之不連續，因此本計畫暫不將莫拉克事件之崩塌事件作為模型訓練之應用，而建議後續降雨序列取得不同時段之 I_{max} , R_{te} ，再進行模式之訓練已取的最佳崩塌點之 I_{max} , R_{te} 。

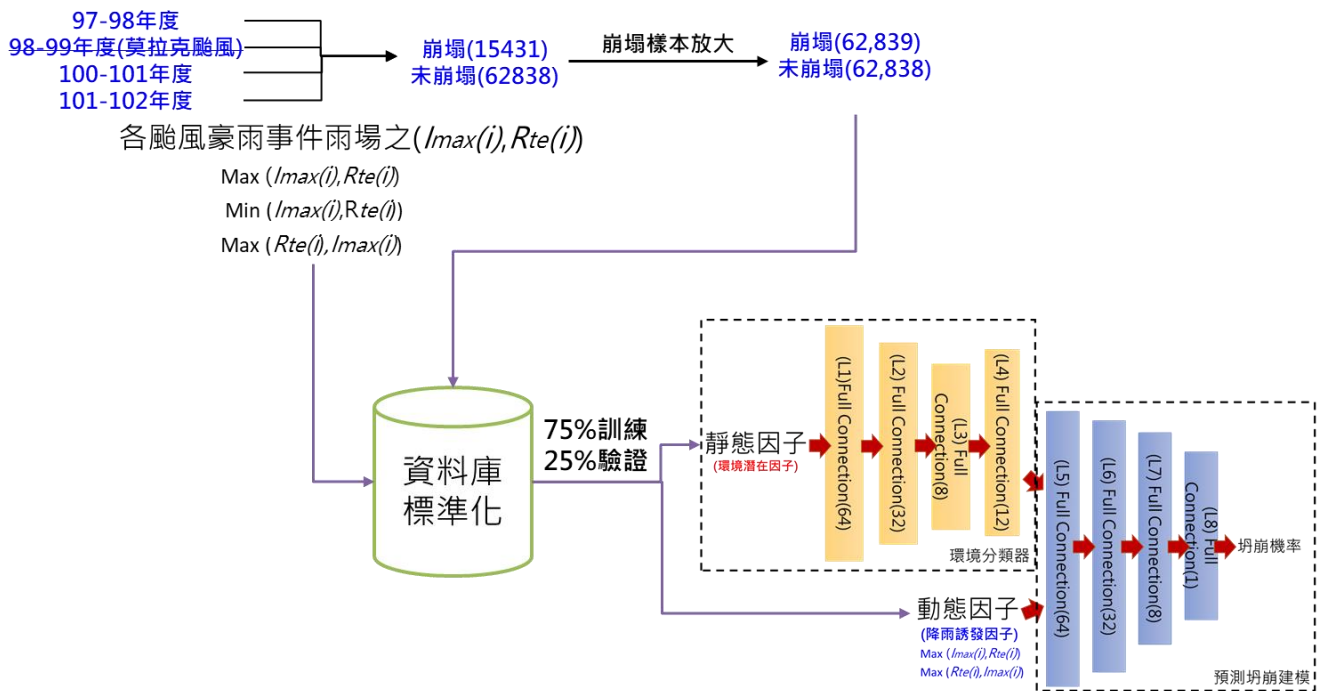


圖 3-15 本計畫訓練模型簡易架構圖

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 75%做為訓練神經網路模型之數據，25%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 125,678 筆，訓練資料樣本數為 100,544 筆，測試資料樣本數為數 25,134 筆。

1. 崩塌風險期望機率值 P

進行驗證時並須針對坡地在某個雨量下是否發生崩塌進行估計，也就

是計算臨界崩塌機率值。訂定臨界崩塌機率值常以經驗法為之，藉由過去歷史事件的紀錄與足跡，掌握崩塌的可能性。因此，臨界崩塌機率值的大小除了與坡地環境特性相關，必然會與事件大小相關。例如莫拉克颱風累積雨量與小時降雨非常高，屬於規模較大之事件，則依莫拉克事件訂定之臨界崩塌機率值相對來說則會較大，辛樂克事件或海棠事件規模較莫拉克事件小，因此訂定臨界崩塌機率值門檻時會較低。通常基於過去歷史最低事件所定訂的臨界崩塌機率值，較為保守適當且真實可靠，但仍須檢討合理性作適宜的修訂。

本計畫將各分類致災資料(I、R)代入坡向敏感因子 As_1 與坡向敏感因子 As_2 曲面，也就是評估對象的依不同坡地分類來組合， As_1 與 As_2 各自代表 24 個分類的特性，並求得每個分類的坡面單元崩塌風險對應之 P 值，並定義機率值 Pa_1 與 Pa_2 ，其中 Pa_1 與 Pa_2 稱為可能機率，取最小值過於保守，取最大值風險太高，因此取樣崩塌中位數 P 值較能符合實際雨量到達一定程度發生狀況之機率，而由於 Pa_1 是屬於坡向弱面向(Weak)雨量較小即可能崩塌，因此崩塌發生機率 P 值即為 As_1 對應之中位機率，即最悲觀機率值；另外 Pa_2 屬於強面向(Strong)，坡面較 Pa_1 不易崩塌，發生機率 P 值即為 As_2 對應之中位機率，即最樂觀機率。

P 值稱為期望機率，能準確區分崩塌與非崩塌之界線，機率小於 Pa_2 值屬於未崩，機率大於 Pa_1 值屬於已崩，下節驗證則是將 P 值作為準則，進行驗證。

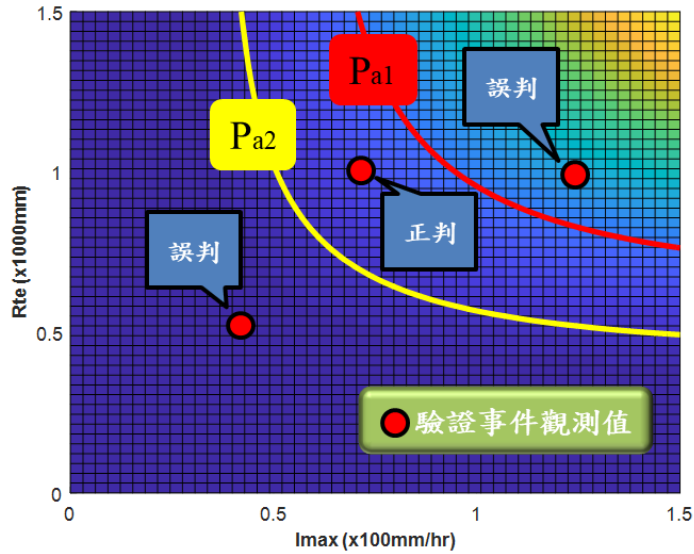


圖 3-16 雙線驗證方法示意圖

本計畫根據模型建立時隨機抽樣 80%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 20%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，故採用雙線法進行驗證，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，因此本研究雙線法的驗證過程給予一個合理誤差範圍區間，機率小於 P_{a2} 值屬於未崩，機率大於 P_{a1} 值屬於已崩。

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：。

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

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

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

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

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

2. 驗證結果

本計畫根據雙線法驗證分析中，雙線法驗證之未發生準確率 58%、誤判率 42%、已發生準確率 84%、漏判率 16%、總體準確率 70.56%，如下表 3-4 所示。

表 3-4 模式驗證精度表

		分類結果		總計	生產者精度
		崩塌	未崩塌		
地真分類	崩塌	10419	2052	12471	83.55%
	未崩塌	5348	7315	12663	57.77%
總計		15767	9367	25134	
使用者精度		66.08%	78.09%		70.56%

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 3-5)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 3-5 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。

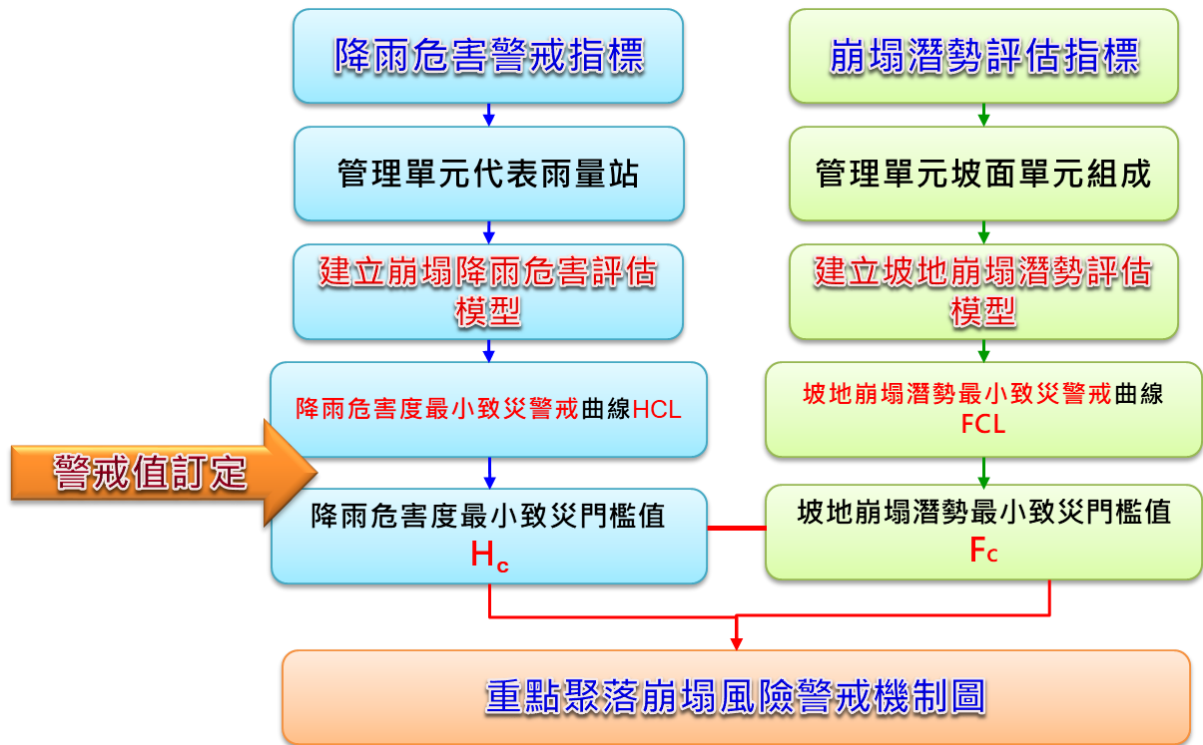


圖 3-17 坡地崩塌警戒模式評估指標建立流程

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。

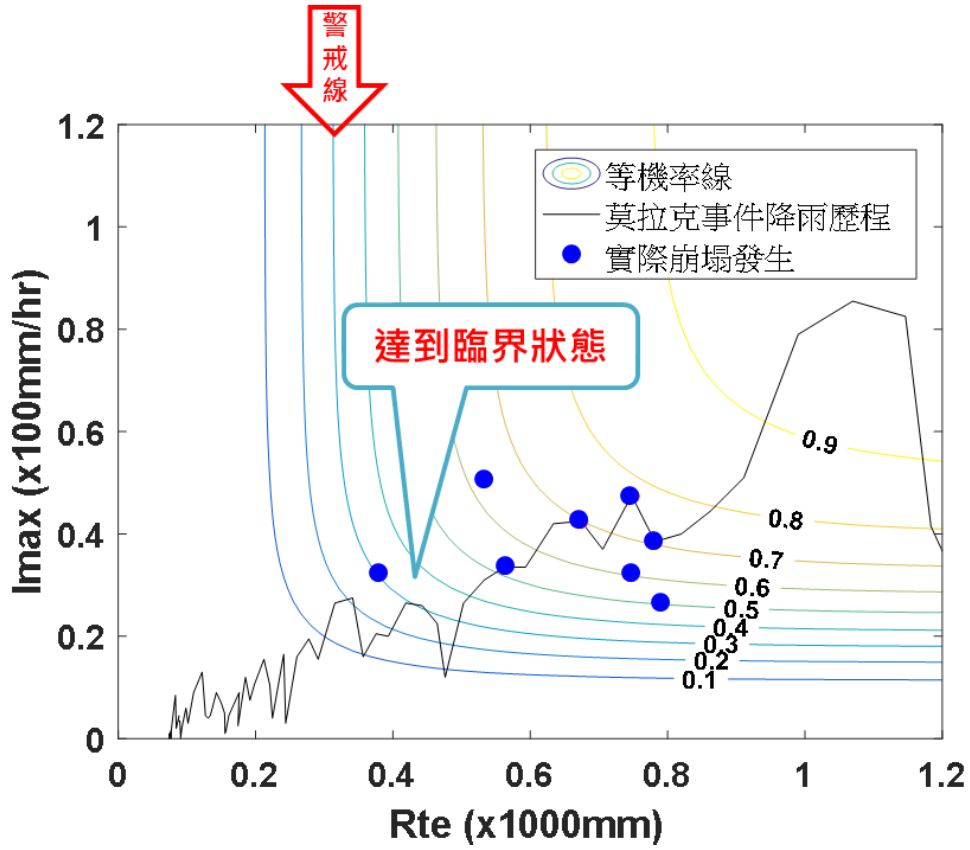


圖 3-18 警戒曲線訂定示意圖

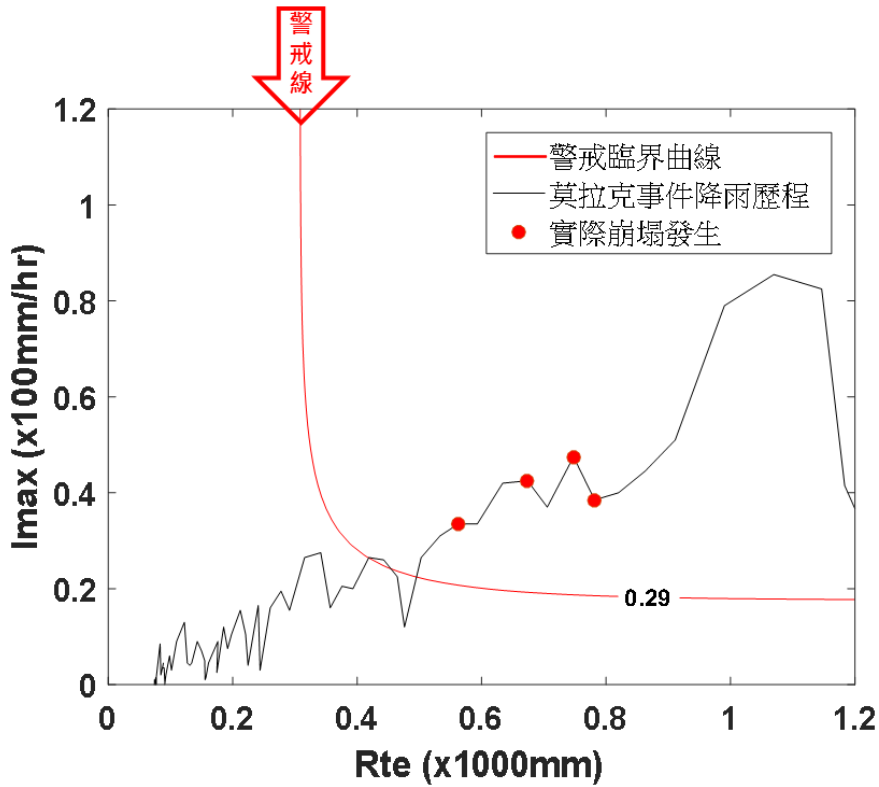


圖 3-19 警戒曲線訂定示意圖

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 3-6 所示，以後續應用於行政區警戒發布機制研析。

表 3-6 17 處南部集水區重點聚落村里崩塌與降雨警戒機率表(108 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
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。

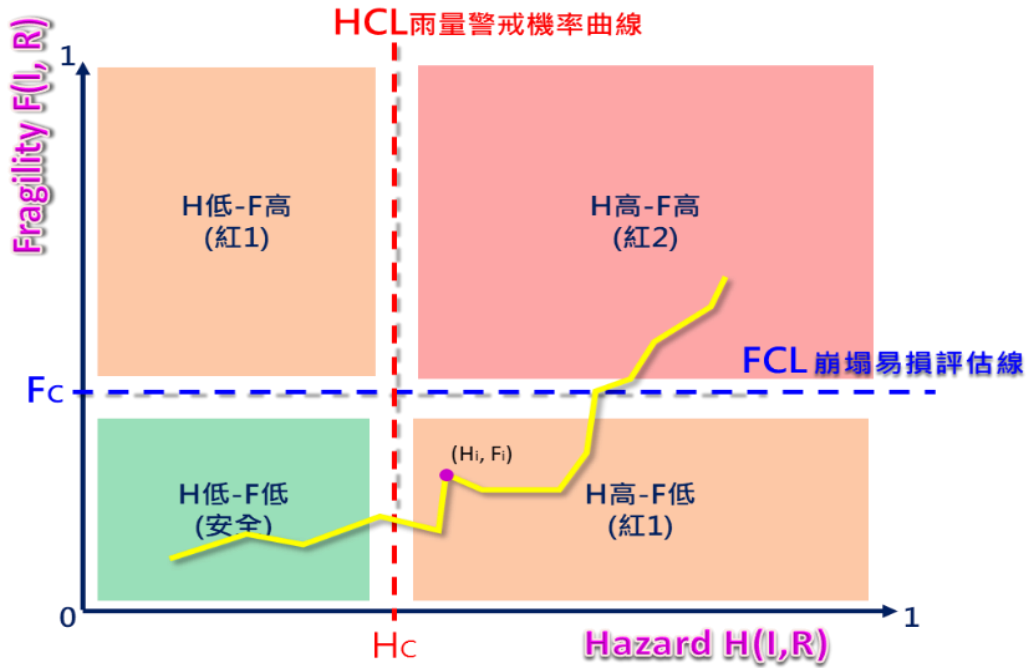


圖 3-20 崩塌風險警戒機制示意圖

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 複合型坡地災害行政區警戒機制研析

第一節 行政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，並自本研究計畫範圍內選擇一行政區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→聚落），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 $minH_c$ 以及 $minF_c$ 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。

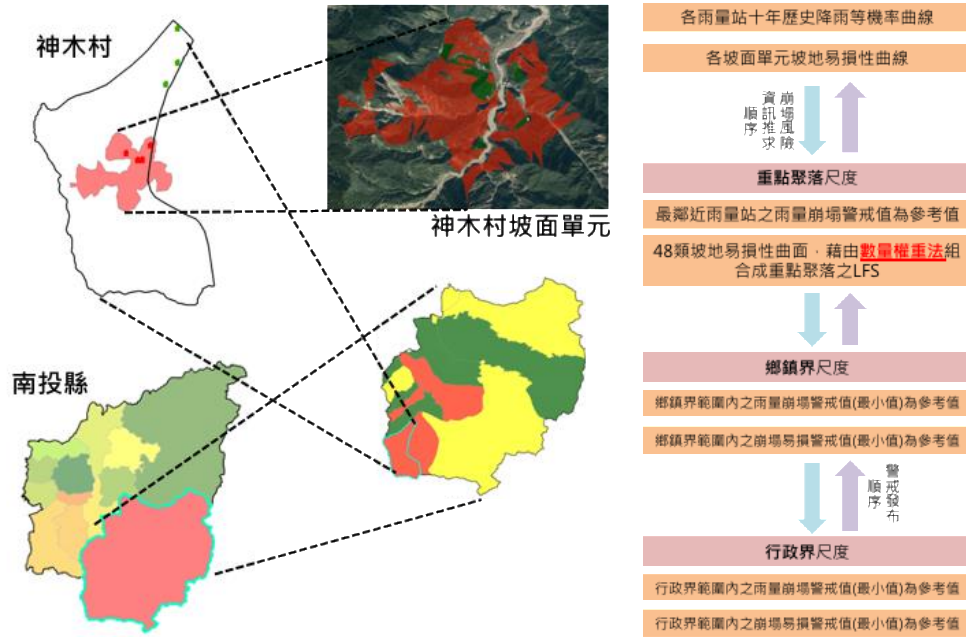


圖 4-2 多尺度崩塌風險行政區警戒發布模式

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。

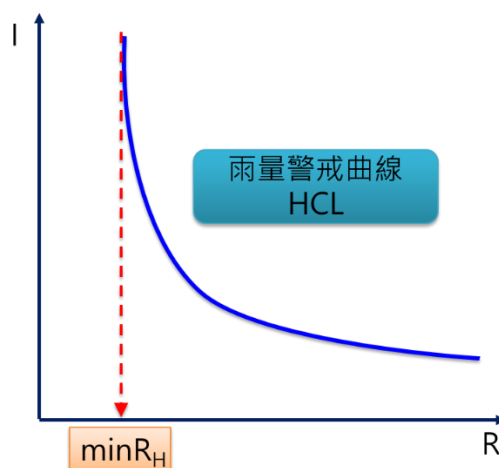


圖 4-4 最小累積降雨警戒值訂定示意圖

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。

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 4-5。

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 4-6）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 4-7 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 4-8 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 4-5 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">
    <xss:element name="NewDataSet" msdata:IsDataSet="true" msdata:UseCurrentLocale="true">
      </xs:schema>
    <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> 兔坑型 </VILL>
          <KML>
            121.378219268451,24.9842314201839,0 121.37797823983,24.9844438555354,0 121.377899531089,24.9845414795537,0
            121.37751336685,24.9847869982696,0 121.377533567645,24.9848727841423,0 121.37731874582,24.9850131189931,0
            121.377018679341,24.9852595417780,0 121.376944527119,24.9853275382338,0 121.376749423866,24.9854593383627,0
            121.376536681403,24.9857097798592,0 121.37640014478,24.9858678638643,0 121.376247182329,24.9860249968692,0
            121.376084952745,24.9861440486759,0 121.375844670883,24.9862996870885,0
          </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">

```

圖 4-6 崩塌警戒展示模組介接 FEMA 雨量資料

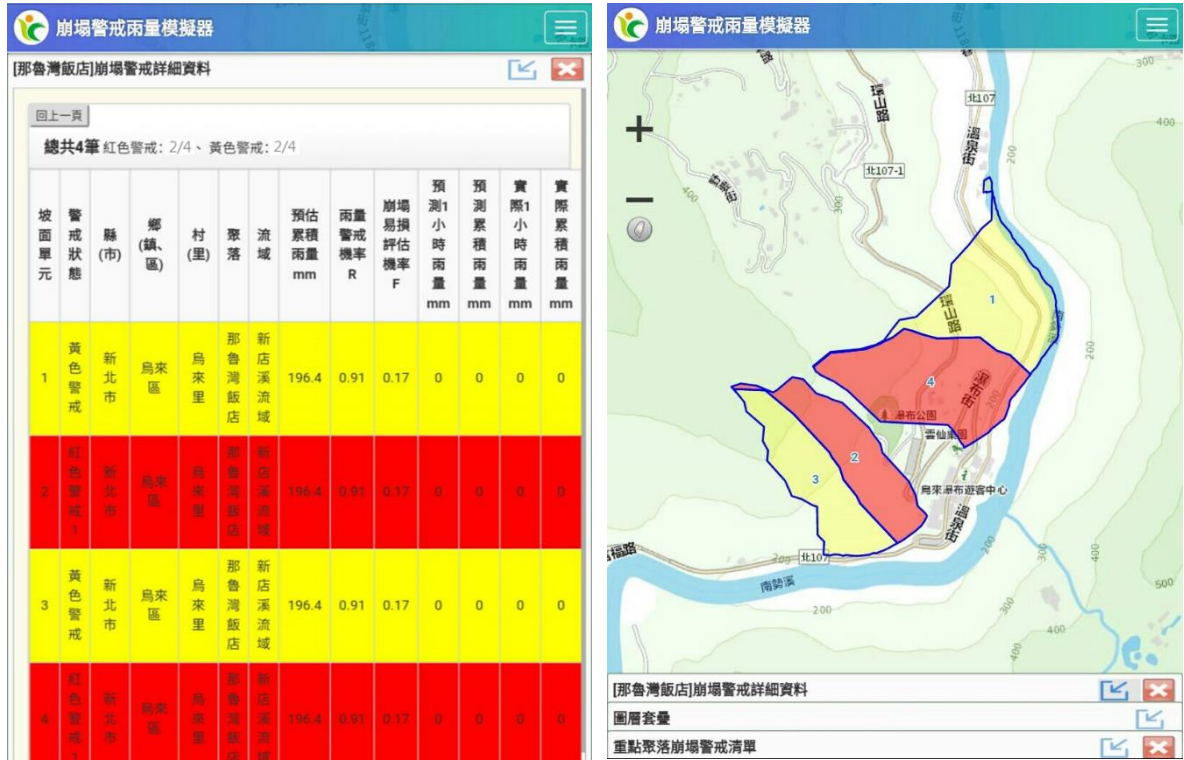


圖 4-7 崩塌紅黃警戒值及圖台展示



圖 4-8 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 4-9)，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 4-10)，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 4-11 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 4-12)，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 4-13 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 4-14 所示。

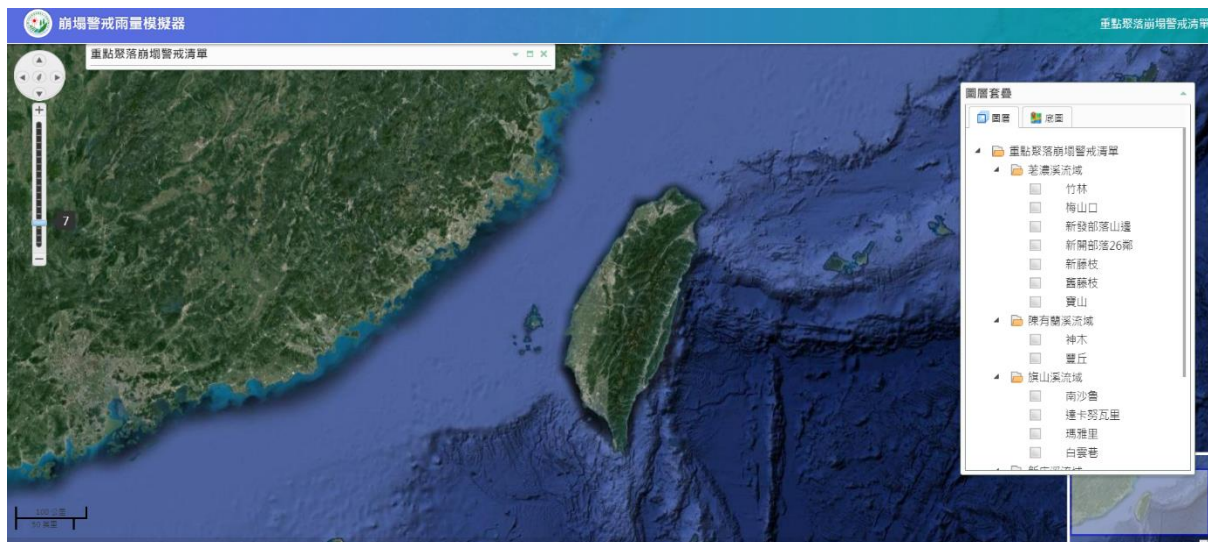


圖 4-9 崩塌警戒展示模組首頁



圖 4-10 圖層套疊功能展示



圖 4-11 崩塌警戒展示模組--豐丘聚落坡面單元



圖 4-12 17 處重點聚落崩塌警戒清單展示



圖 4-13 達警戒聚落詳細資訊

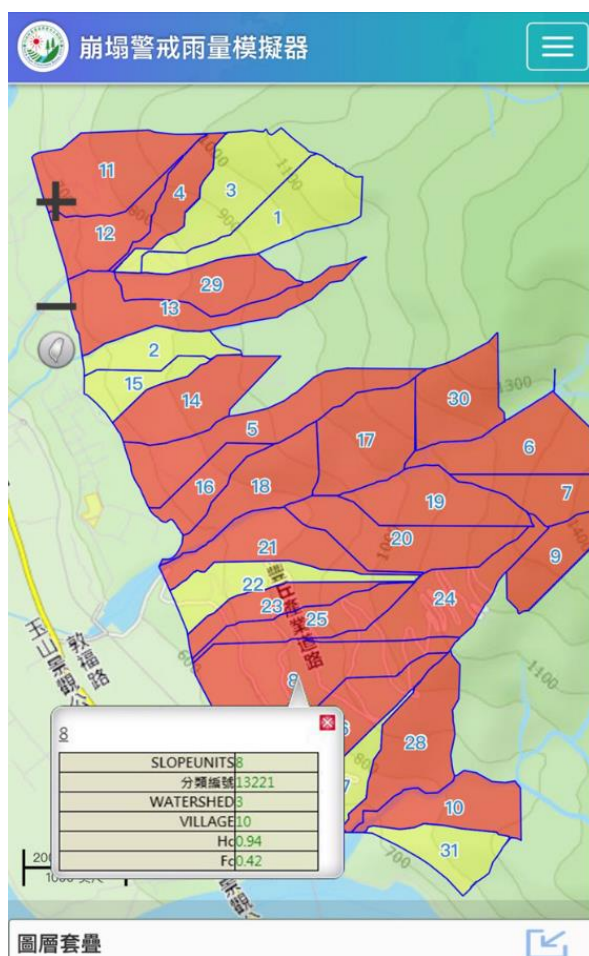


圖 4-14 達警戒坡面單元及屬性展示

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警戒範圍，故可於災害應變期間，配合各級政府單位提供崩塌警戒資訊。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，其中包含等奇利馬颱風、0815 豪雨、白鹿颱風以及米塔颱風等。

本計畫團隊利用前期計畫所挑選南部集水區之 17 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

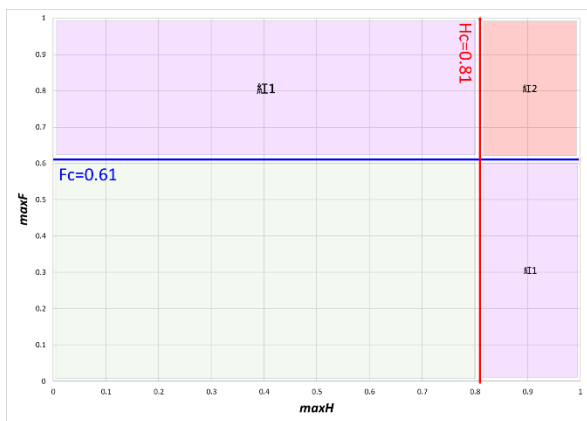
本計畫運用所試辦南部集水區之 17 處重點聚落之崩塌警戒值(表 4-1)，依前述行政區劃分方式，將各鄉(鎮、區)內的重點聚落崩塌雨量警戒值彙整，挑出 9 個鄉(鎮、區)如下，所採用之崩塌雨量警戒值如表 4-2 所示。

1. 南投縣信義鄉(2 處重點聚落)
2. 高雄市桃源區(4 處重點聚落)
3. 高雄市六龜區(4 處重點聚落)
4. 高雄市那瑪夏區(3 處重點聚落)
5. 高雄市甲仙區(1 處重點聚落)
6. 屏東縣霧臺區(1 處重點聚落)
7. 屏東縣瑪家區(1 處重點聚落)
8. 雲林縣古坑區(1 處重點聚落)

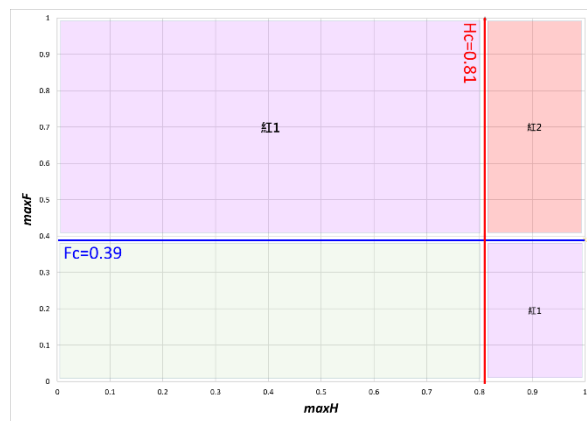
表 4-2 鄉(鎮、區)行政區崩塌雨量警戒值

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

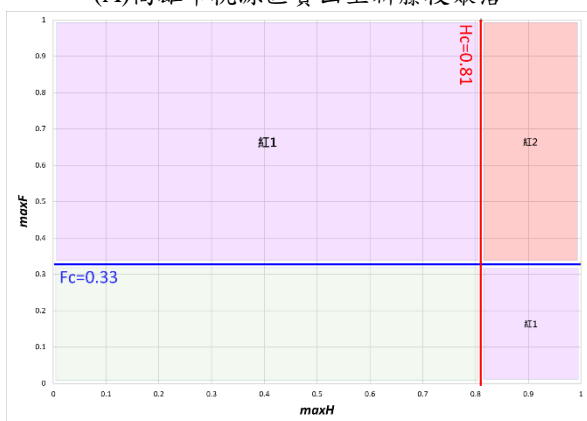
本計畫以 108 年度利奇馬颱風以及 0815 豪雨為例，進行崩塌警戒發布試作及分析發布結果，以下以高雄市與本年度新增兩處之重點聚落(高雄市六龜區中興里尾庄聚落以及雲林縣古坑鄉草嶺村摸時乳聚落)作為多尺度崩塌風險資訊與精準防災試作與警戒發布試作，其中在前期研究中已歸納高雄市內之重點聚落的降雨危害度最小致災警戒值(Hc)以及崩塌潛勢最小致災警戒值(Fc)，高雄市六龜區包含 4 處重點聚落，分別為新發里新發布落山邊聚落，其 Hc 為 0.87 而 Fc 為 0.42；新開部落(26 鄰)，其 Hc 為 0.87 而 Fc 為 0.58，寶來里竹林聚落，其 Hc 為 0.81 而 Fc 為 0.49；今年度新增之重點聚落中興里尾庄聚落，其 Hc 為 0.81 而 Fc 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 Hc 為 0.92 而 Fc 為 0.69，達卡努瓦里達卡努瓦聚落，其 Hc 為 0.92 而 Fc 為 0.23，南沙魯里南沙魯聚落，其 Hc 為 0.92 而 Fc 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 Hc 為 0.81 而 Fc 為 0.61，舊藤枝聚落，其 Hc 為 0.81 而 Fc 為 0.39，寶山聚落，其 Hc 為 0.81 而 Fc 為 0.33，梅山里梅山口聚落，其 Hc 為 0.95 而 Fc 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 Hc 為 0.92 而 Fc 為 0.54；各聚落之崩塌風險警戒機制圖如圖 4-15 及圖 4-16 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(hi)以及崩塌潛勢機率值(fi)，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。



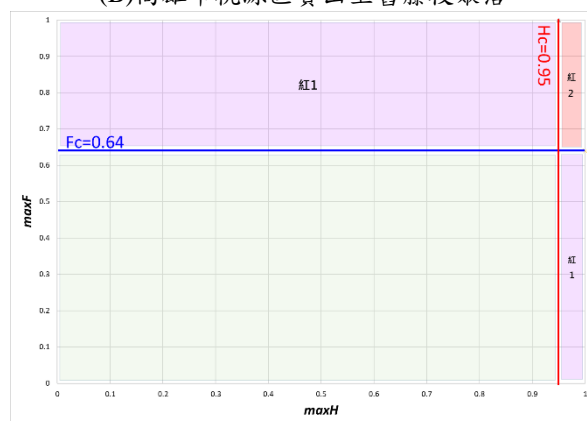
(A) 高雄市桃源區寶山里新藤枝聚落



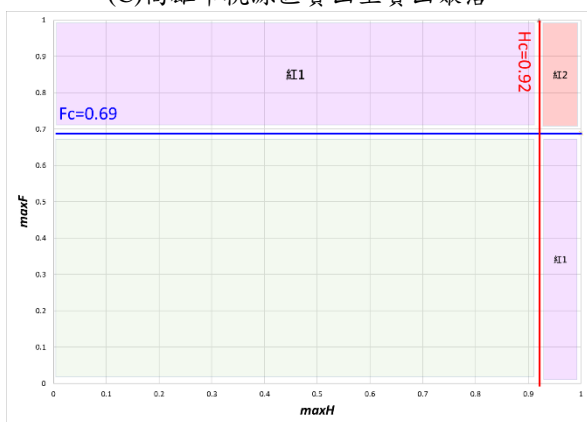
(B) 高雄市桃源區寶山里舊藤枝聚落



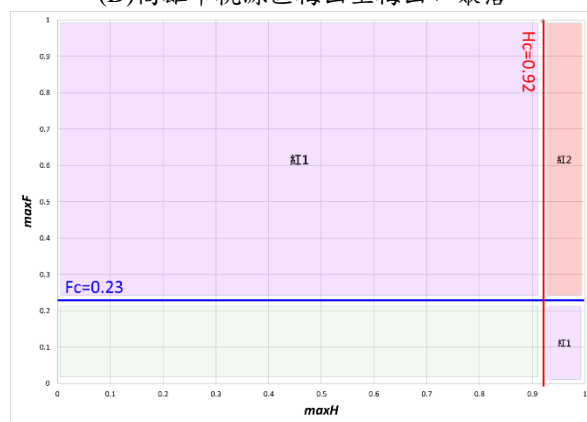
(C) 高雄市桃源區寶山里寶山聚落



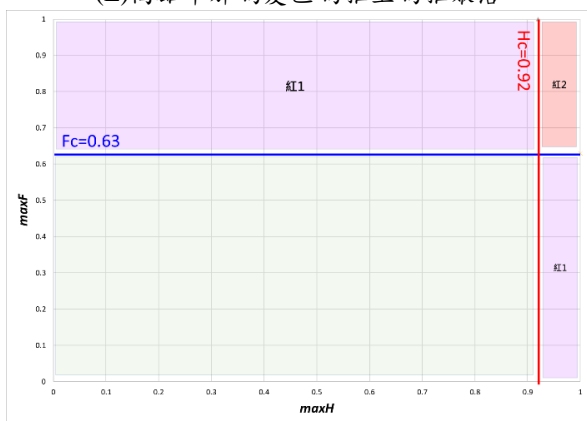
(D) 高雄市桃源區梅山里梅山口聚落



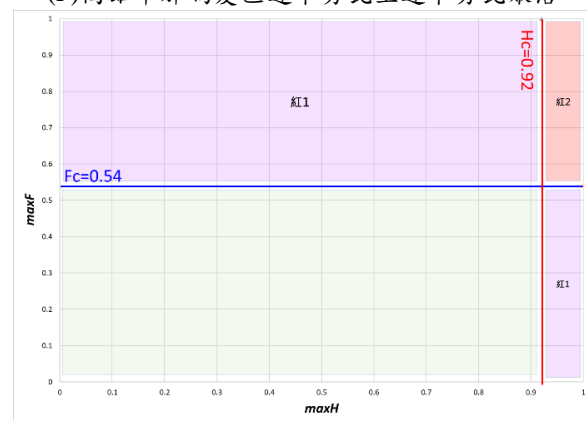
(E) 高雄市那瑪夏區瑪雅里瑪雅聚落



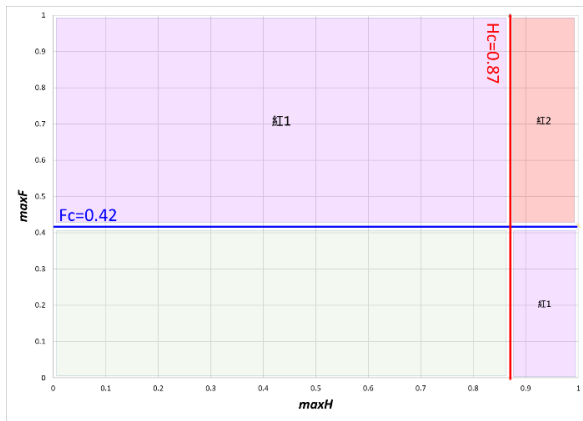
(F) 高雄市那瑪夏區達卡努瓦里達卡努瓦聚落



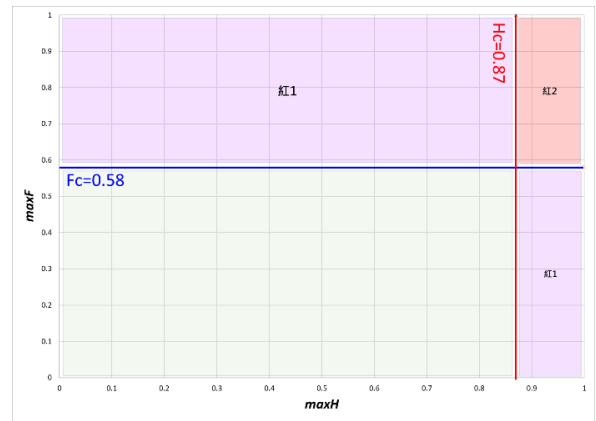
(F) 高雄市那瑪夏區南沙魯里南沙魯聚落



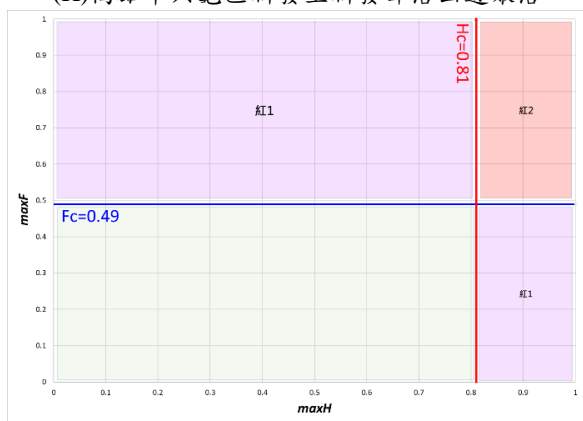
(G) 高雄市那瑪夏區東安里白雲巷聚落



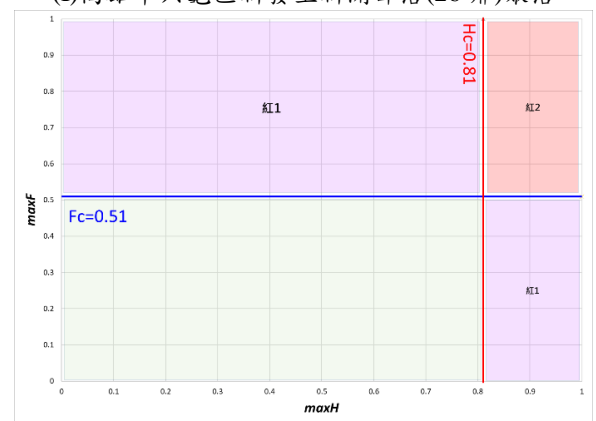
(H)高雄市六龜區新發里新發部落山邊聚落



(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 4-15 高雄市各重點聚落之崩塌風險警戒機制圖

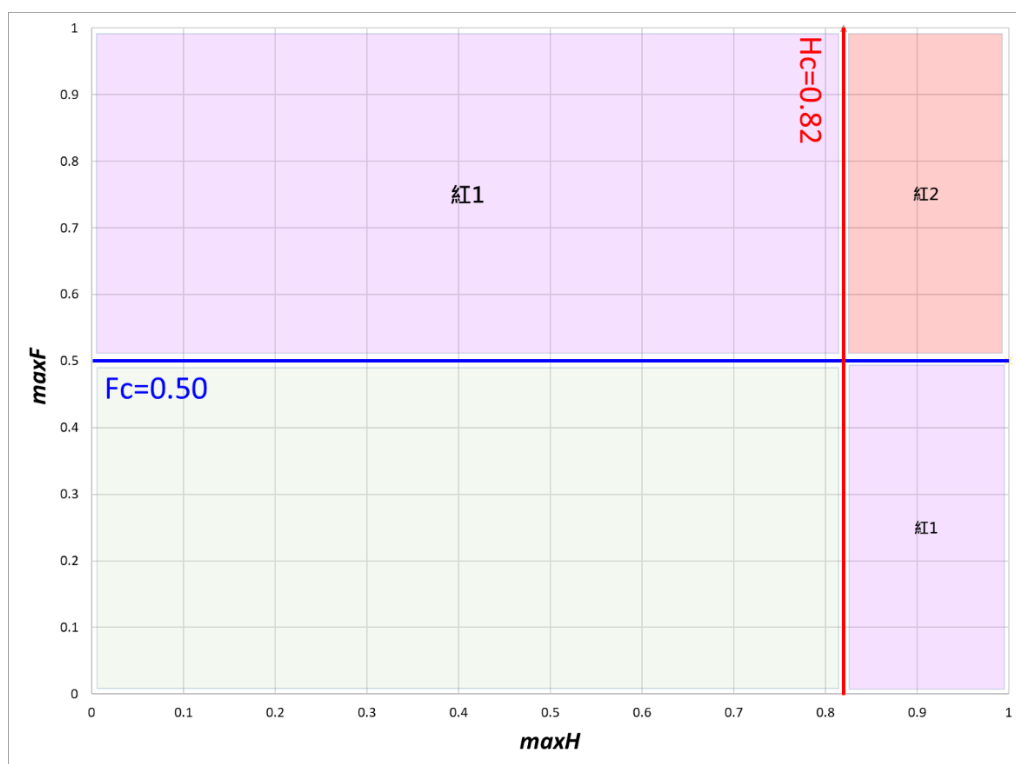


圖 4-16 雲林縣古坑鄉草嶺村摸時乳聚落之崩塌風險警戒機制圖

而根據下表 4-3 至表 4-8，以下為利奇馬颱風實測結果：

1. 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 4-25 與圖 4-26。
2. 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。
3. 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 4-19 及圖 4-20。

以下為 0815 豪雨之實測結果：

1. 8 月 15 日 07:00，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 $I=26\text{mm}$, $R_{te}=200.17\text{mm}$ ，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。
2. 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。
3. 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。
4. 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

(Hi,Fi)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- 29 及圖 4- 30。

5. 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(Hi,Fi)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- 23 及圖 4- 24。
6. 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(Hi,Fi)為(0.79,0.53)，因此突破 F 指標。
7. 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(Hi,Fi)為(0.82,0.63)，因此同時突破 F 及 H 指標，如圖 4- 17 及圖 4- 18。
8. 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(Hi,Fi)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- 31 及圖 4- 32。

另外，根據本計畫透過水土保持局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- 21 及圖 4- 22，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- 27 及圖 4- 28；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 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- 33 及圖 4- 34，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		

應用坡地易損性模式於坡地災害損失評估及警戒模式研究

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

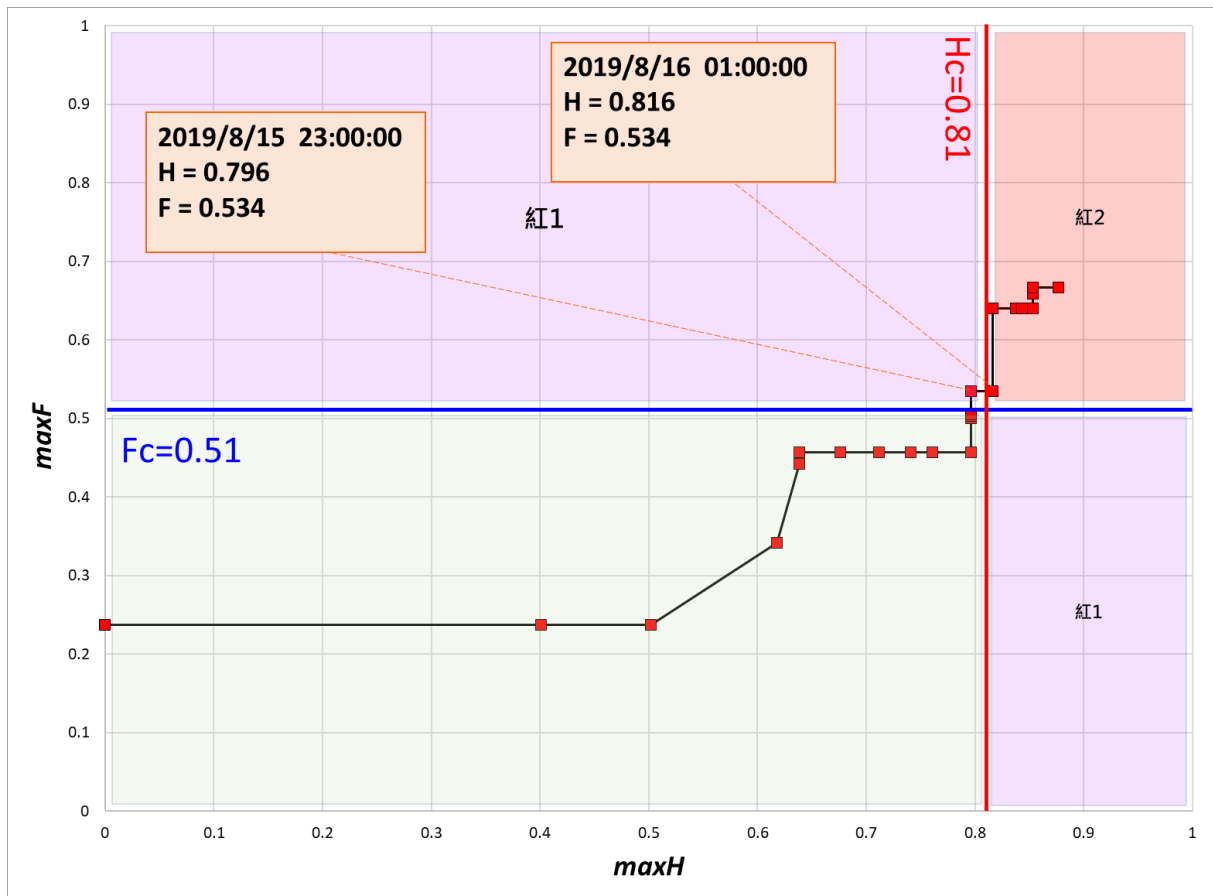


圖 4-17 六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨崩塌警戒機制圖

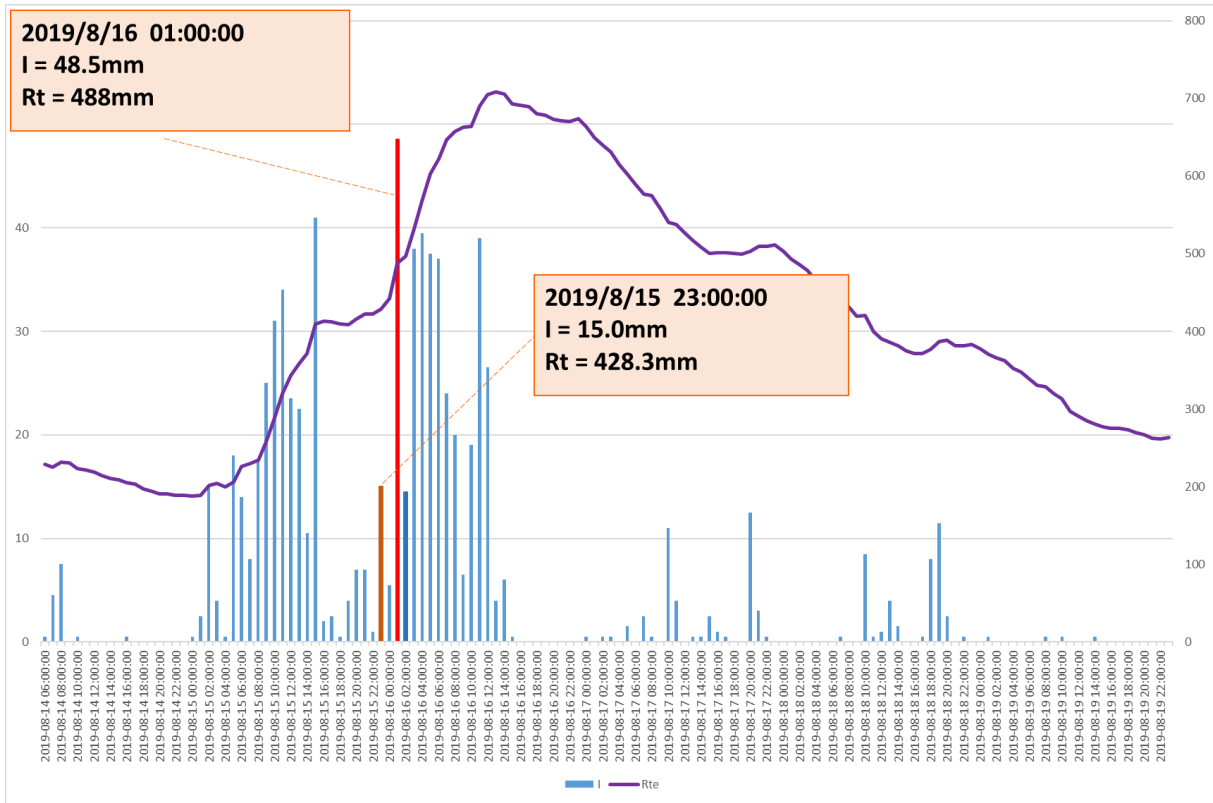


圖 4-18 六龜區中興里尾庄聚落 0815 豪雨降雨組體圖(御油山雨量站)

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	

應用坡地易損性模式於坡地災害損失評估及警戒模式研究

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

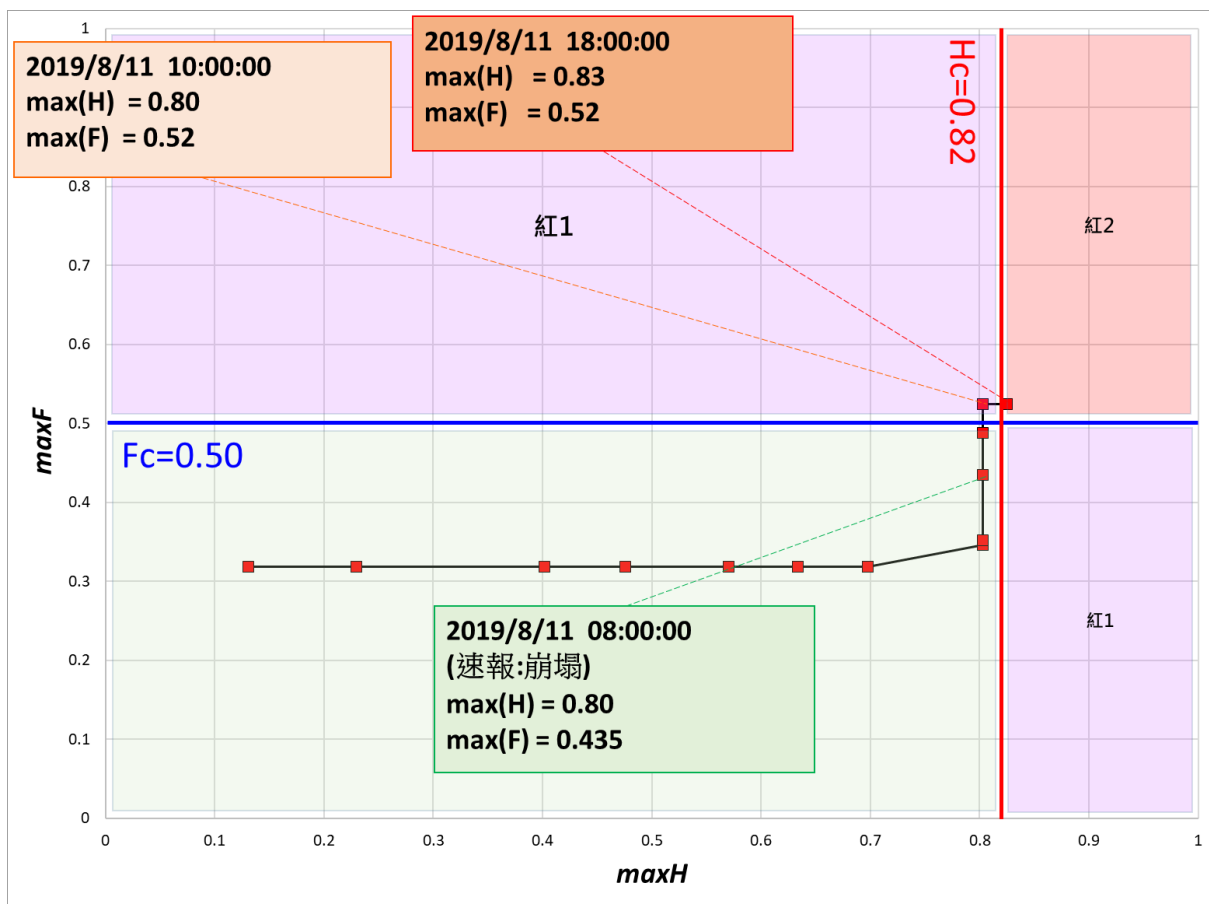


圖 4-19 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落利奇馬颱風崩塌警戒機制圖

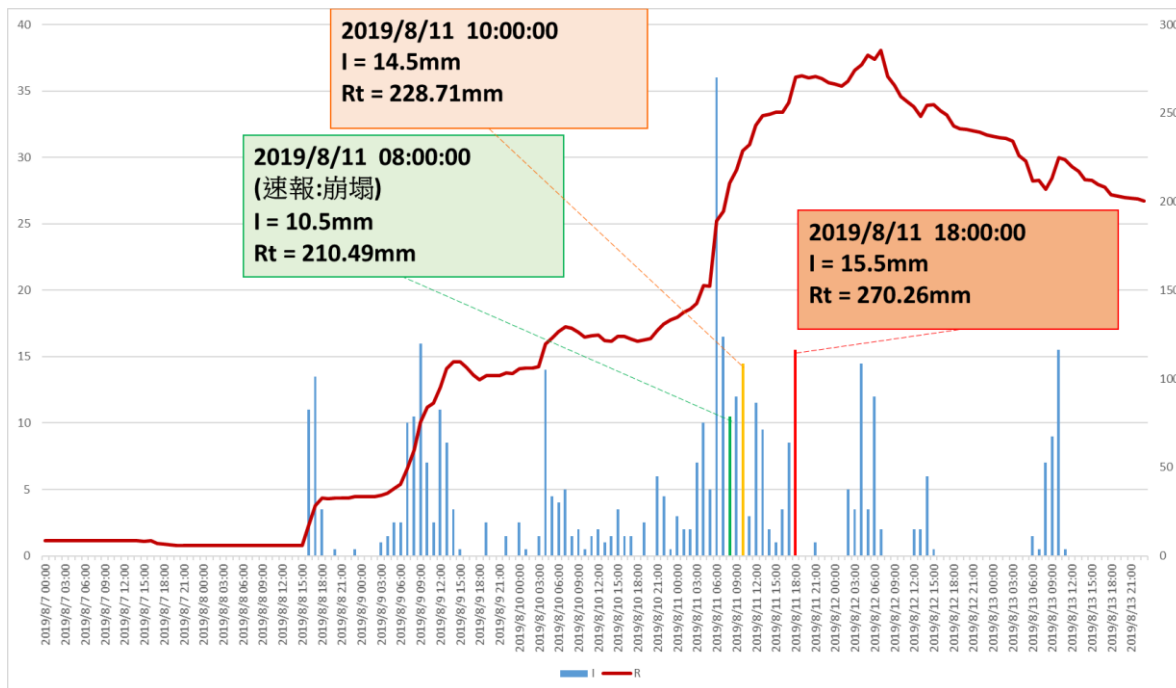


圖 4-20 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落利奇馬颱風降雨組體圖(草嶺雨量站)

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		

應用坡地易損性模式於坡地災害損失評估及警戒模式研究

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		

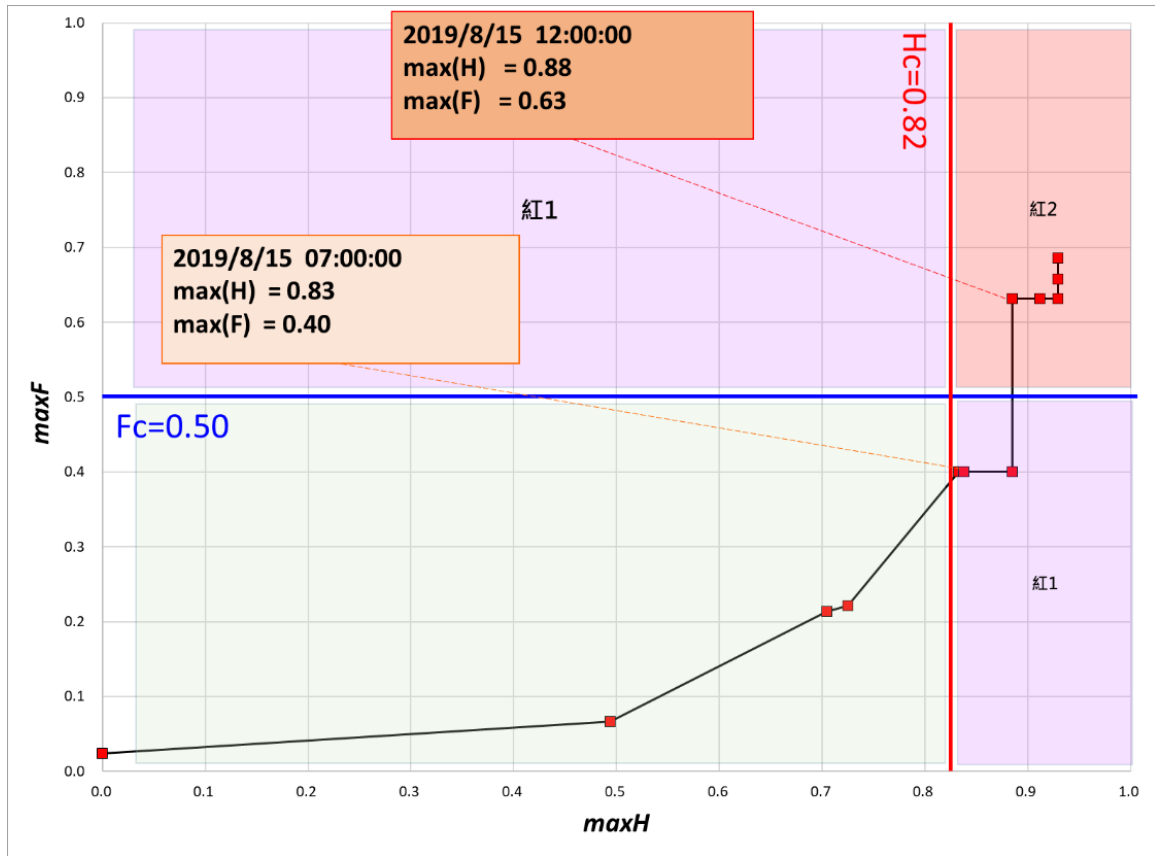


圖 4-23 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落 0815 豪雨崩塌警戒機制圖

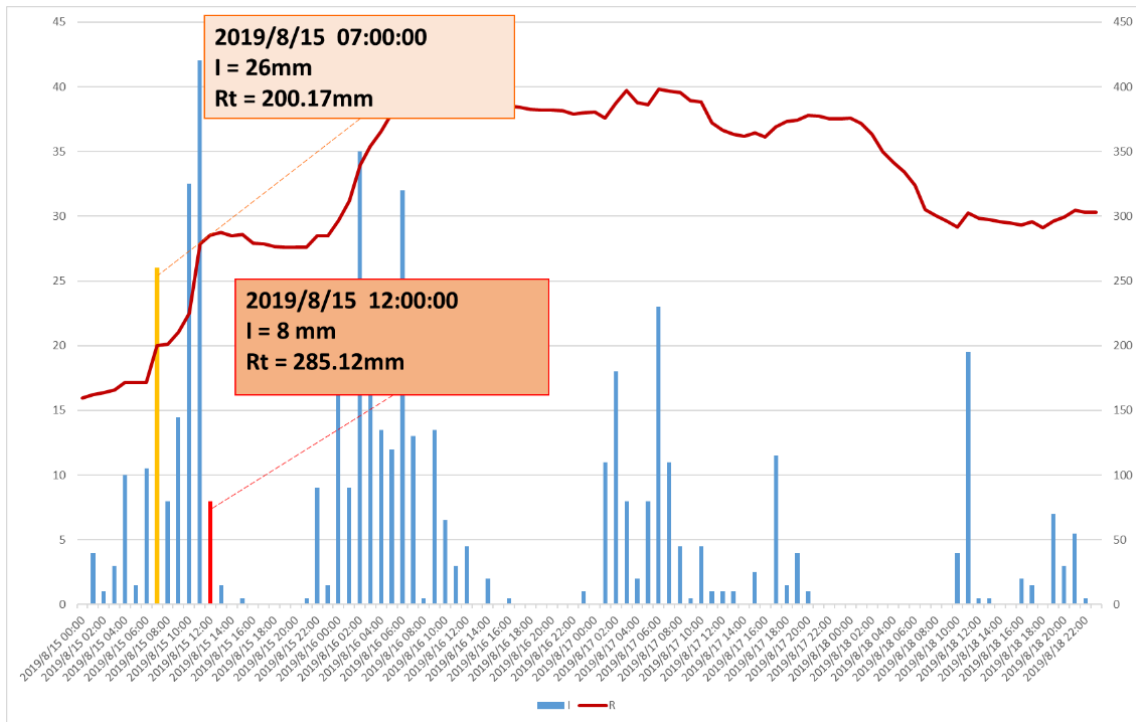


圖 4-24 雲林縣古坑鄉草嶺村摸石乳聚落 0815 豪雨降雨組體圖(草嶺雨量站)

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		

應用坡地易損性模式於坡地災害損失評估及警戒模式研究

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 4-25 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

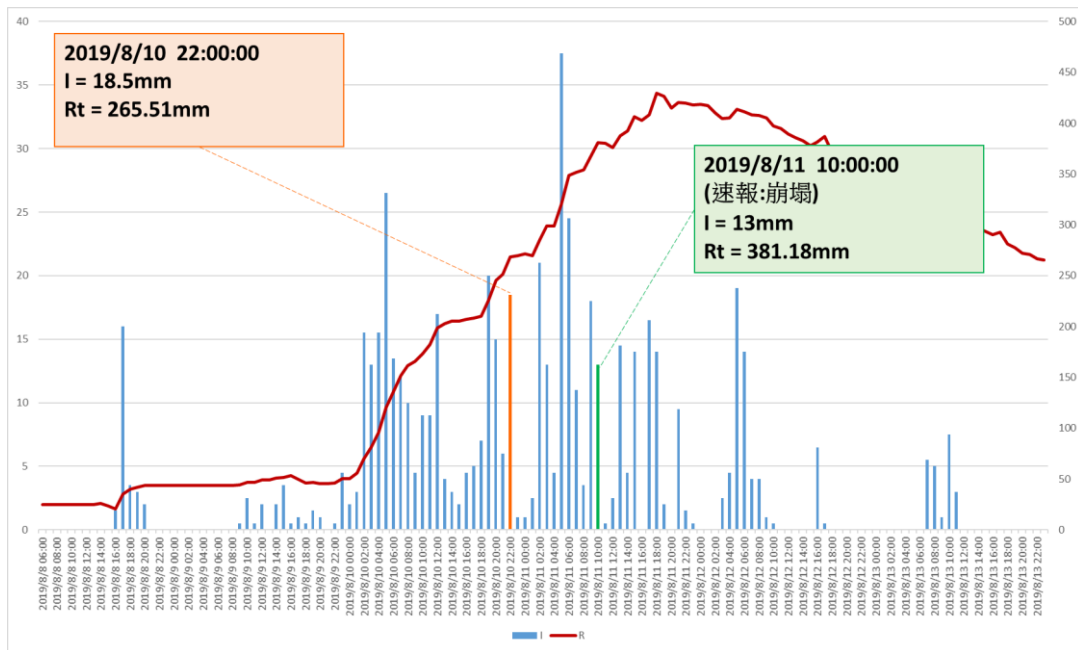
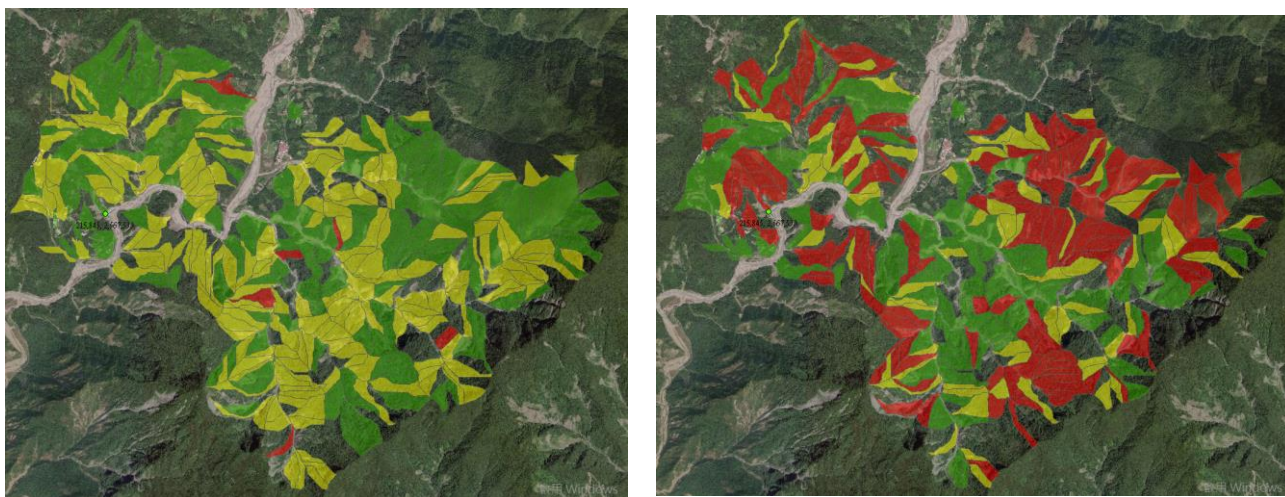


圖 4-26 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)利奇馬颱風降雨組體圖(那瑪夏國中雨量站)



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



2019/8/10 22:00:00 (達紅 1)

2019/8/11 10:00:00 (崩塌時間點)

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

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		

應用坡地易損性模式於坡地災害損失評估及警戒模式研究

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	

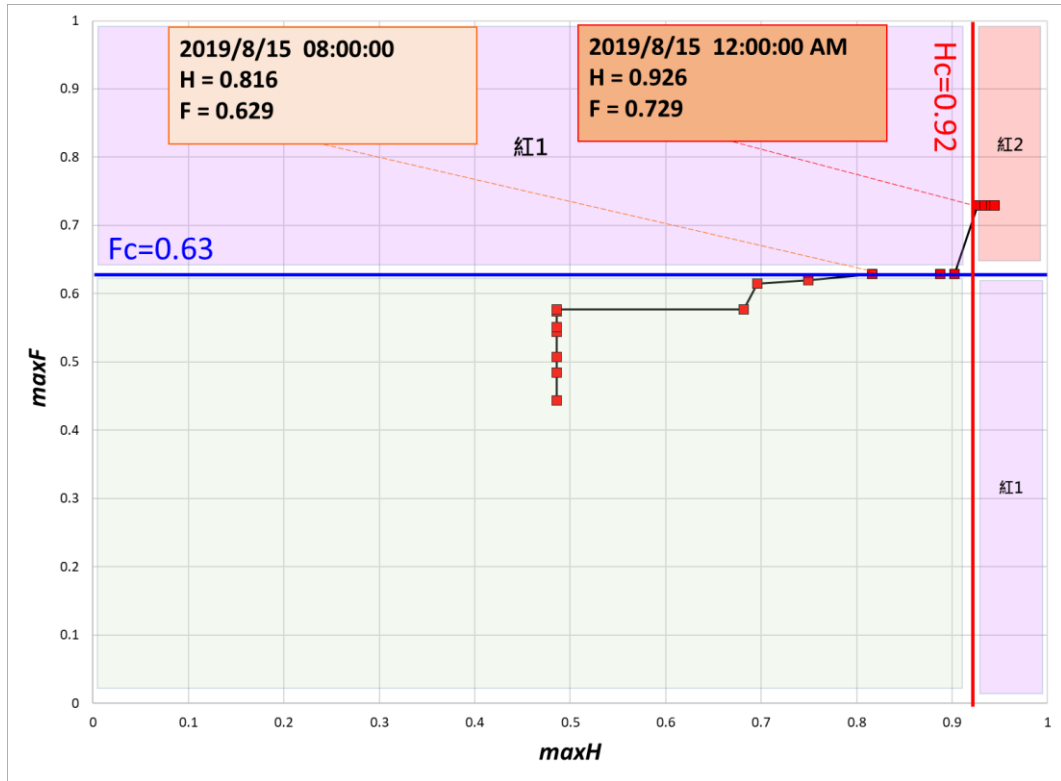


圖 4-29 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)0815 豪雨崩塌警戒機制圖

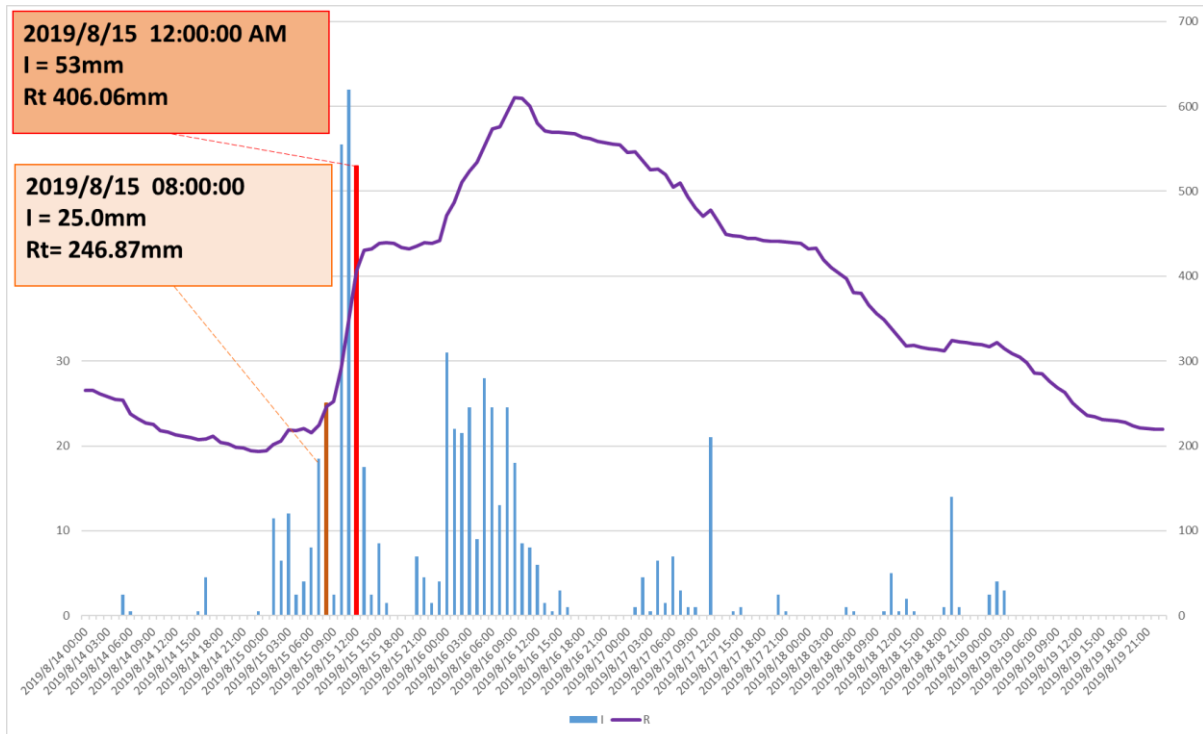


圖 4-30 那瑪夏區南沙魯里(南沙魯聚落)0815 豪雨降雨組體圖(那瑪夏國中雨量站)

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		

應用坡地易損性模式於坡地災害損失評估及警戒模式研究

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

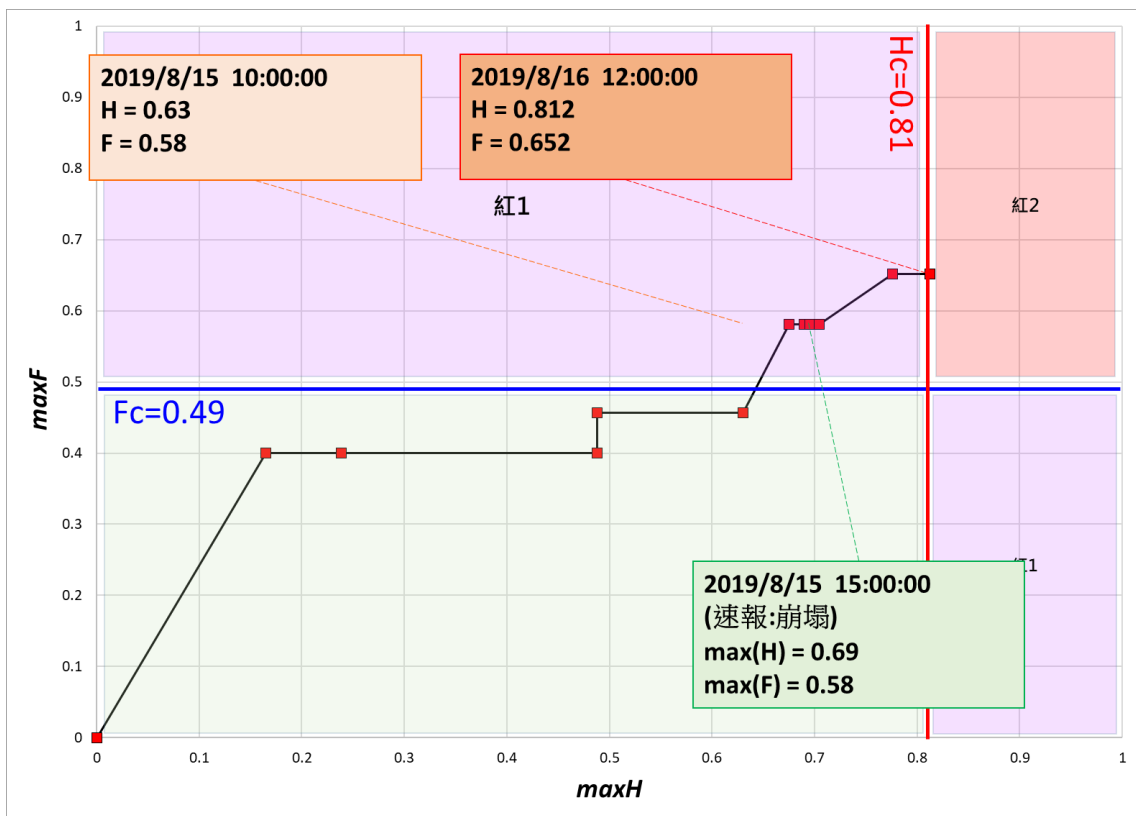


圖 4-31 六龜區寶來里(竹林(16、17 鄰)聚落)0815 豪雨崩塌警戒機制圖

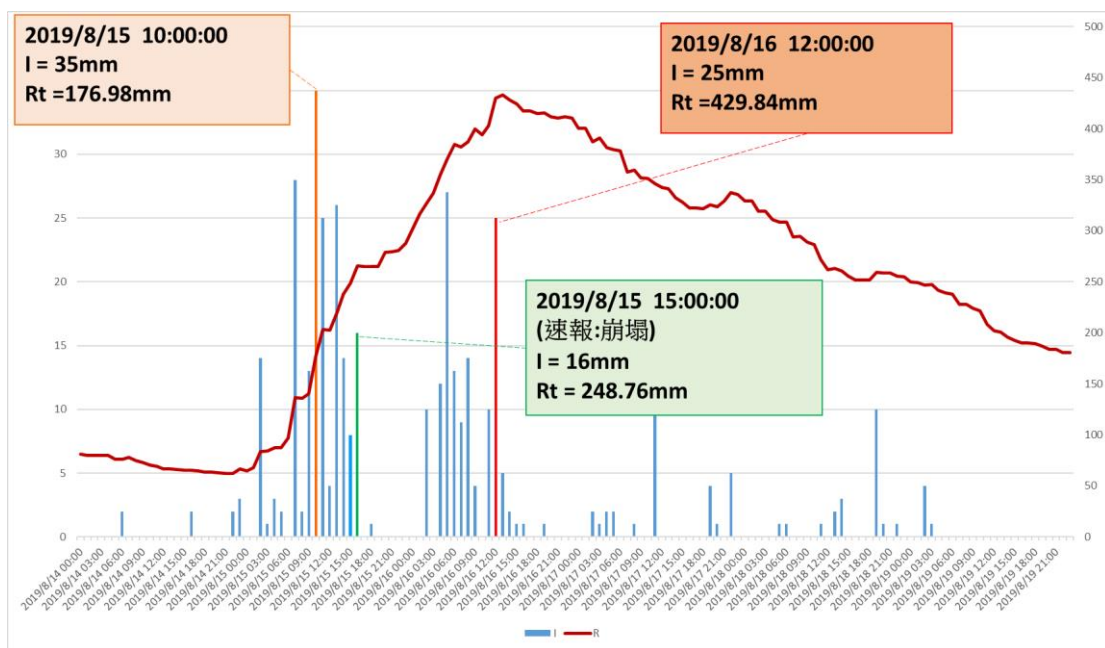


圖 4-32 六龜區寶來里(竹林(16、17 鄰)聚落)0815 豪雨降雨組體圖(高中雨量站)

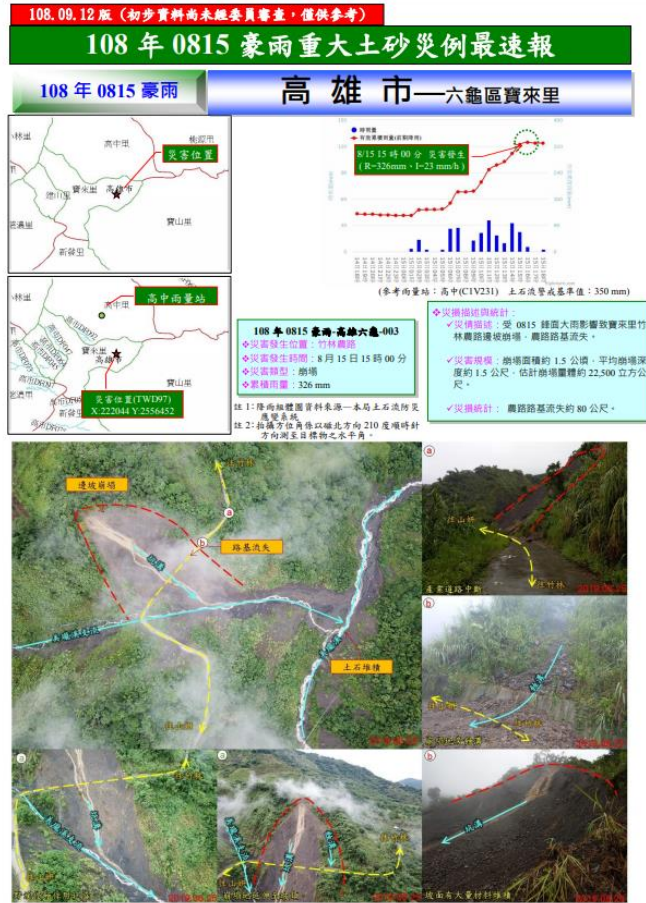
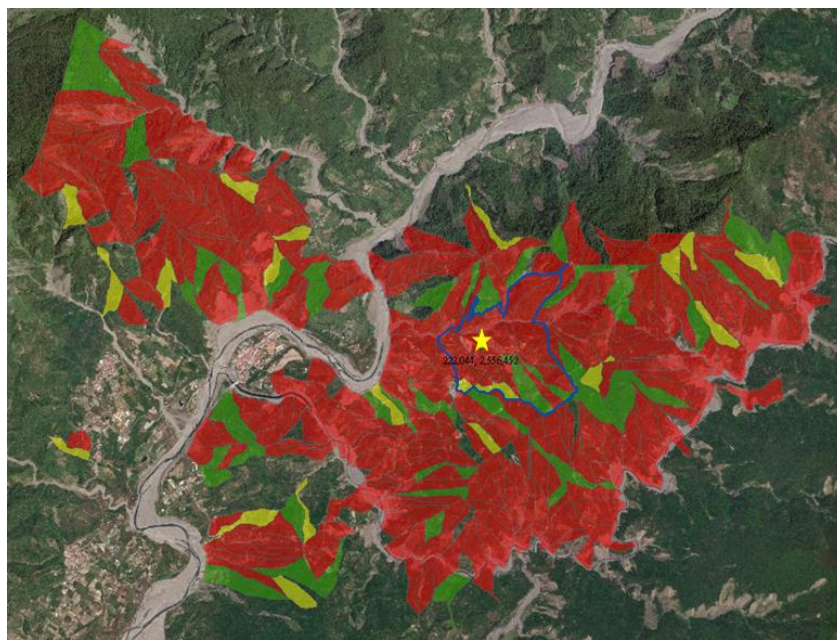


圖 4-33 108 年 0815 豪雨重大土砂災例最速報-高雄市六龜區寶來里



2019/08/15 15:00 (崩塌時間點)

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

第五章 結論與建議

第一節 結論

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、旗山溪集水區之崩塌事件資料庫擴增以取得更多事件(97-98 年度)樣本，而建議後續將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})對於坡地崩塌災害的影響性。
2. 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，並加入為易損性分析模型之變數，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($I_{max}(i), R_{te}(i)$)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 $I_{max}(i')$ ，分別得到 70.56% 以及 72.22% 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。
3. 本計畫完成 108 年利奇馬颱風以及 0815 豪雨之風險警戒發布試作，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，對應速報資料，3 處村里坡面單元於通過 F_c 時發生了崩塌，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，可提供後續崩警戒危害程度之重要參考。
4. 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，並進行風險預警應變之應用，其中雨量因子對於崩塌的影響在模型上顯著程度須在透過更細緻之資料探索，如:探討時序性之連續降雨輸入是否與崩塌地發生具有關聯性，並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。

5. 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。

第二節 建議

1. 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}) 以進行訓練，而非單一的雨量組合進行崩塌之關聯性模型訓練。
2. 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。
3. 本計畫完成崩塌警戒流程調整，考量 H 及 F 指標，來訂定警戒發佈流程。崩塌警戒分為黃色及紅色警戒，與現行水保局土石流警戒作業相同，其中崩塌紅色警戒區分為二等級（紅色-1 及紅色-2），判斷依據為是否達到 H_c 或 F_c 指標，後續將嘗試將紅色警戒發布精簡化發佈，以提供崩塌警戒危險程度的一項重要參考。
4. 本計畫針對前期計畫所訂定之重點聚落崩塌雨量警戒值，以鄉(鎮、區)為行政區域，作為發布對象，並進行行政區警戒發布機制測試，由測試結果來看，本計畫所訂之行政區域警戒流程是可行的，能配合水保局土石流警戒發布，一同針對坡地災害進行警戒。
5. 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，本計畫也建議嘗試納入模糊理論的隸屬函數來表達類別歸屬問題以進行警戒訂定之問題，進而透過科學統化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。

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 gene complex, *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	意見回復
主辦單位初審意見	
本案提及利用人工智慧技術，能具體說明主要改進目前崩塌警戒模式中那個流程？本年度之相關預期成果請具體說明。	本計畫利用人工智慧技術主要改進對於崩塌易損性評估模式，而本年度則完成坡面單元為基礎之崩塌易損性評估模式建置，同時透過自適性類神經網路之模式建立下，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，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。其亦具有外掛式參數之設定，可因應不同颱風豪雨事件規模下適配不同之崩塌災害評估模式，使評估精確度及合理度增加，具體預期效益詳見研提計畫書。
本案在坡面單元崩塌之警戒操作著力甚深，惟是否可具體說明紅、黃警戒之取消機制？	紅黃警戒取消機制初步規劃配合應變作業，依水保局應變作業時程辦理，當應變開設結束時，會進入崩塌警戒解除階段。考量崩塌發生時間的延遲可能性，未來計畫將針對解除時機進行研究。
期末評核標準，請補充第3點「上開2項以外之計畫工作項目亦須全部完成」。	遵照辦理
計畫審查委員意見	
可考量聚落為核心進行統計與驗證	感謝委員意見，本計畫分析的單元採用坡面單元，並以重點聚落範圍內的坡面單元為關注對象，因此本計畫之模式可以針對聚落尺度進行分析，也能視需要而討論個別坡面單元的崩塌潛勢。
易損性部分是否需每年更新，在未來行政業務如何因應？以坡面單元建置警戒機制，如何因應降雨事件當下之防災操作(即 AI 技術可達何等水準)	感謝委員意見，易損性更新的部分，由於近年來對於極端降雨的發生較為頻繁，因此若要使易損模式對於崩塌發生可適配於多變的氣候環境下，對於每年颱風降雨規模的探索，降雨規模以及崩塌災害資訊有擴增的情況下，有必要更新易損模式。而在實際防災操作上，主要利用本計畫之模式，配合預報雨量，提供未來崩塌的可能潛勢，並利用崩塌風險圖，判斷目前的崩塌潛勢分級為何。而 AI 技術則用於判斷降雨與崩塌的關係，希望未來能夠協助預測崩塌風險在風險圖中的趨勢，協助防災預警。
崩塌風險評估最重要的評估基準，各點位的風險是會隨時空有所變化，後續應注意可使	感謝委員意見，目前本研究是屬於以 10 年為一個週期的滾動式方式來收集崩塌與雨量災害資料，並且會將過去歷史上曾發生

<p>用性；AI 發揮的功能應補充說明。</p>	<p>的災害紀錄，記錄在雨量警戒門檻資訊當中，因此會保留過去歷史重要資訊在崩塌警戒門檻資訊當中，會考量崩塌風險是會隨時空有所變化其評估基準的特性。此外目前時空環境變換極快，因此在崩塌預警模式上也必須發展快速的推估模式，本模式利用 AI 技術當中的 RNN 模式來推估崩塌災害的比率值，希望透過大數據與 AI 技術來快速求取崩塌預警模式，進而改善傳統統計法求解不易的困擾。</p>
<p>宜敘明和前期計畫之差異性，為何選擇陳荖旗溪等示範區。</p>	<p>前期計畫對於所建立之易損性部分是建立在有限的颱風事件中，導致分析出來的模式有其限用性，因為不同的災害事件代表不同災害規模(Scale disaster)，這對重點聚落而言將會造成不同程度的災害問題，因此本期計畫將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，並不同於前期計畫透過最大似然法套配出崩塌易損性曲線，本期計畫將透過人工智慧(AI)技術進行坡地崩塌易損評估模式建立。</p> <p>而前期計畫已於陳有蘭溪、荖濃溪以及旗山溪集水區完成部分的資料庫建置，以及坡面單元的分類，由於人工智慧演算法建立通常需要一個包含大量資料的資料庫做為支撐，因此對於擴大資料數據集及資料數據之品質控管則就相對重要，所以本計畫期能夠以前期計畫所完成的資料庫基礎下持續進行相關崩塌事件資料擴增，以達到人工智慧對於大數據資料處理及演算的有效性及模式建立後之適用性。</p>
<p>AI 1.0/1945-2005 基礎理論、基礎科學建立，AI 2.0/2006-2016 學術到應用，AI 3.0/2017-迄今，資訊到服務透過遞迴類神經網路，本案以何方式呈現？</p>	<p>本案之精神則是透過類神經網路建立崩塌災害發生與不發生的分類模式，透過長期歷史資料的收集，可利用 RNN 類神經網路建立模式，因為是用於崩塌災害的預測應用，因此屬於服務應用模式。</p>

附錄三 期中計畫審查委員意見與回復

委員意見	意見回復
(一) 崩塌事件資料庫擴增	
<p>植生現況分析以 NDVI 判釋，惟該等判釋只能呈現色調改變，能否判釋對崩塌地安定較有效之林木覆蓋？</p>	<p>NDVI 之值介於-1 至+1 之間，小於零的像元值，通常屬於非植生之雲層、水域、道路及建築物等像元，故指標值愈大時，代表綠色生物量之增加，NDVI 為綠色植物探勘最常用之指標，因此本計畫以 NDVI 作為林木覆蓋率之指標，並透過人工智慧演算法對環境潛在因子(包含 NDVI)與崩塌地安定進行關聯性分析後判釋崩塌。</p>
<p>坡面分析有兩種方法，一是網格法，二是坡面單元法。網格法的網格尺度為何？報告書第 2-27 頁指出往格子度為 20 公尺 X20 公尺(400 平方公尺)，網格面積為 0.4 公頃。坡面單元法，在報告書第 2-23 頁指出坡面單元面積設定在 3 至 10 公頃之間。顯然前述兩種方式在面積尺度上有明顯之差異，何種方式在坡面崩塌分析比較好？</p>	<p>感謝委員意見，本計畫為能夠便於此模式能夠在應變管理階段能夠加以應用，採用之式坡面單元法，而網格則是為了將環境因子透過網格單位進行資料擴增，最後在崩塌定義上仍是在坡面單元上進行評估以及後續模式分析。</p>
<p>環境因子多但其影響程度會有變動且不一定互相獨立，或許是本案分析困難之原因。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫將持續對多元尺度資訊進行模式與崩塌關係之探索，目前在模式上，影響崩塌之主要因子主要還是由雨量因子占較大之關係。</p>
<p>植生指標分析的極致就會與崩塌有重複，而崩塌的規模則不易求得，此部分是否也會考量，例如 5%裸露就代表崩塌的說明可再加強。</p>	<p>感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見，嘗試進行討論崩塌的規模考量。</p>
<p>雨量指標中降雨強度與有效累積雨量在運算時是否有時間序列的影響可能，是否需要長時間之累積才會發生，故兩個因子有一定的競合。</p>	<p>感謝委員意見，有效累積雨量還是有包含長時間之累積才會發生，而本計畫之有效累積雨量則為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。</p>
(二) 坡地崩塌風險評估模型建立	
<p>簡報第 12 頁中，指出坡地易損性 F 及降雨危害度 H 均為降雨強度 I 跟累積雨量 Re 的函數，但如何決定 F 及 H 值?以及如何決定 F 及 H 之臨界值(Hc 及 Fc)?</p>	<p>感謝委員意見，詳見補充報告書內第三章之說明。</p>

<p>簡報第 50 頁起的内容為今年度計畫提之採用之分析法，直接採用環境淺在因子及降雨誘發因子，配合類神經技巧分析崩塌地之可能性。目前所提的方法大致可行。惟建議增加本案方法之文獻回顧，並點出本研究所採用之方法和前人方法之異同。</p>	<p>感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見，補充相關論述。</p>
<p>要想突破非僅大雨量事件的崩塌結果分析，可能討論之分類與因子也須有所改變。建議是否要考慮不同規模，利用於不同管制使用。 需考量何種型態的崩塌體積才能適用，或是要再檢討本案模式之使用。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫將持續發展模式的完整性以及精緻度並遵照委員意見探索不同規模颱風豪雨事件，達到多元尺度觀測之成效。</p>
<p>坡地易損性曲線分類，可考慮將其轉換成災害地圖(Hazard Map)，並延伸其未來應用性。</p>	<p>感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見，嘗試進行資訊的導出。</p>
<p>崩塌發生時間資料不易取得，再依此迴歸雨量參數可能造成較大之誤差，應如何解決？</p>	<p>感謝委員意見，本計畫對於崩塌發生時間資料不易取得之問題，利用多年度間之颱風豪雨事件進行資料分析，針對該崩塌下可能之不同颱風豪雨降雨因子組成，而非認定僅單一事件而造成一個全面的崩塌事件。</p>
<p>中央地質調查所嘗試過將降雨、地文、水文指標混合建立淺層崩塌模式，其結果不甚理想，建議可參考其不理想之原因加以改進。</p>	<p>感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見，嘗試進行資訊的導出。</p>
<p>目前重點聚落風險警戒模式來自於兩大因子 H 與 F，然這兩大因子的警戒門檻主要來自於速報資料，但速報資料畢竟無法全面且有疏漏，是否有其他資訊可以應用？</p>	<p>感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見，嘗試針對警戒門檻進行相關研究，並歸納出一套適用於各種情況之警界門檻訂定規則。</p>
<p>(三) 坡地崩塌風險評估模型驗證</p>	
<p>期中評核標準第二項係要完成新增兩場不同型態降雨事件之崩塌事件資料庫擴增，而本期中報告所採 2012 年之兩場事件，是否屬新增？另，何以只挑選此兩事件作為新增？</p>	<p>感謝委員意見，本計畫利用多年度間之颱風豪雨事件進行資料分析，其包含多場不同型態颱風豪雨，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。</p>
<p>模型驗證之總資料共 2,011 筆，是否均屬崩塌</p>	

地，請說明。	
報告書第四章論述多以「人工智慧類神經網路」模型為主，惟簡報第 51 頁顯示「隨機森林」模式結果似較佳，可否說明此節內容無法對應之原因。	感謝委員意見，計畫過程中本計畫嘗試透過多種機器學習演算法進行模式的建立，而隨機森林雖模式結果較佳，但其模式適用於網格上的應用，對於坡面單元上的成效仍需探討，本年度後續仍持續以坡面單元並透過人工智慧類神經網路進行模式之建立以及精進。
本案類神經分析出來的結果，就雨量門檻值而言，未來是否每年須修正。	感謝委員意見，由於植生指標屬於變動因子，因此模式需根據植生指標變動於每年進行模式的再訓練，進而根據模式修正雨量門檻值，使整體模式能夠在最新的環境資訊下進行崩塌潛勢之預測。
(四) 綜合建議	
建議將計畫使用之不同型態之坡地災害樣本列表說明，以釐清本案計畫建立模式之適用性。	感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見，嘗試進行資訊的導出。

附錄四 期末計畫審查委員意見與回復

委員意見	意見回復
(一) 崩塌事件資料庫擴增	
報告書第 2-2 頁，研究地區說明指出，研究區包括陳有蘭溪、荖濃溪、旗水溪及新店溪 4 個集水區，是否有誤？	感謝委員意見，已修正，修正內容詳見報告書。
本計畫蒐集建置之資料相當多，建議各項資料之蒐集時間予以列表，俾利未來更新參考。	感謝委員意見，本計畫已補充，詳見內容見報告書附錄一。
建議資料庫可列總表（DEM、植生、衛星影像…等等），記錄引用了哪些資料、採用品年份的資料。	感謝委員意見，本計畫已補充，詳見內容見報告書附錄一。
報告書第 2-54 頁，有關颱風豪雨崩塌事件資料更新，建議除以圖 2-59 ~圖 2-62 展示外，尚可以表格化呈現新增崩塌數量，俾利相互比較。	感謝委員意見，本計畫已補充，詳見內容見報告書 P2-55(表 2-12)。
(二) 坡地崩塌風險評估模型建立	
報告書第 3-8 頁，各雨量法 I1-Rte 等比率曲線建立有何意義？另，圖 3-5 之圖形模糊，座標單位不易判讀。	I1-Rte 等比率曲線，主要針對十年間雨場之雨型組進行分析，求得各降雨型態（雨型組）之分布機率。
報告書第 3-13 頁，假定崩塌現象符合對數常態分佈，此等假設之意義如何？當變數與應變數均取對數值時，其有效範圍即被壓縮在一小區間，其常態分佈意義不大，請再斟酌。	感謝委員意見，報告書 P3-13 主要是在檢討過去本計畫所採用標準常態累積分布函數求取損害機率分布函數之作法，而今年亦參照委員意見在處理人工智慧類神經網路時並無對崩塌現象進行常態分布之處理。
人工智慧之訓練樣本數決定推估之準確性，能否輸入有崩塌之地方環境因子與無崩塌之相同地方條件，以判釋該人工智慧之可靠度？	感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見進行強化說明，並細探空間環境以及坡面單元串聯性與崩塌空間位置之關聯，以確認模式之可靠度。
大、中、小規模坡面單元其最終之預測之準確率狀況，建議可進一步分析，以瞭解預測模式是否受坡面單元大小而影響。	感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見進行探討分析。
如何定義崩塌之坡面單元，建議說明。其中若 10 公頃之坡面單元，但僅 20 平方公尺的崩塌是否為崩塌單元？在數學可忽略之微小數概念，是否亦能套入研究中？	感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見進行探討分析。

<p>在本案類神經模型中，若去掉莫拉克事件，會不會對模型有影響？</p>	<p>感謝委員意見，莫拉克事件由於於當年度屬於最大規模之降雨，其年度所取得之 I_{max}, R_{te} 規模過大，該事件的崩塌極有可能於 I_{max}, R_{te} 之前期降雨已造成崩塌，因此作為該事件之崩塌點較不適合，易造成模型建立上之不連續，因此本計畫暫不將莫拉克事件之崩塌事件作為模型訓練之應用，而建議後續降雨序列取得不同時段之 I_{max}, R_{te}，再進行模式之訓練已取的最佳崩塌點之 I_{max}, R_{te}。</p>
<p>(三) 複合型坡地災害行政區警戒機制研析</p>	
<p>本計畫成果範疇，適宜鄉鎮層級應用，若以聚落尺度，相對而言，其困難度及效力誤差，均可能大幅提高合宜的應用尺度，可再進一步探討，提供參考。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫分析基礎尺度是以坡面單元為單位，因此其可利用不同尺度的方式操作警戒發布範圍，在實際運用上，可以就有達到之崩塌警戒行政區，縮小範圍至聚落尺度，以清楚了解達到崩塌警戒之坡面單元。</p>
<p>災害其內涵隱含「規模及量體概念」，因此災害警戒作業應考慮土砂之可能規模，此課題或可再探討。</p>	<p>感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見進行探討分析。</p>
<p>報告書第 4-13 頁，18 處重點聚落崩塌雨量警戒值得到之 RH，可以與本局土石流警戒值做比較，檢討其合理性？（如高雄桃源區土石流警戒值為 300mm，而 RH 卻達 555mm）</p>	<p>感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見進行探討分析。</p>
<p>崩塌風險警戒機制紅色警戒分為二等級（紅色-1 及紅色-2），需思考防災預警上依何等級告知民眾疏散避難，避免分兩次重複告警。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫後續將實測在應用防災實務上有效之簡化發布之研究。</p>
<p>警戒值紅 1 與紅 2 意義為何？</p>	<p>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。</p>
<p>(四) 綜合建議</p>	
<p>成果報告請納入 108 年度本局土石流災害緊急應變小組開設期間發布之土石流警戒與本案模式發布警戒之比較。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫已補充，詳見內容見報告書 P4-20(表 4-3 至表 4-8)。</p>
<p>成果報告請說明新增 2 處重點聚落在 2 場不同</p>	<p>感謝委員意見，本計畫已補充，詳見內容見報告</p>

型態颱風豪雨事件下之崩塌風險警戒機制模式試作內容。	書第四章第三節之部分。
報告書宜附摘要，以完備報告書件。	感謝委員意見，本計畫已補充，詳見內容見報告書。
報告書第 3-24、4-3、4-8、4-13、4-16 等頁出現亂碼。	感謝委員意見，本計畫已修正，詳見內容見報告書。
報告書第 5-1 頁結論第 4 行，「後續」一詞是何意義？何以不在本計畫辦理，需要留待「後續」？	感謝委員意見，本計畫主要是建議後續模式優化之方法，而本計畫已於今年計畫進行第一階段之資訊擴增，而為使模式提升適用性需長期之進行更多之資訊擴增。
前言中所提「陳荖旗」集水區之一辭，較罕用，建議避免過於簡化名稱。	感謝委員意見，本計畫已修正，詳見內容見報告書。
目次頁小節字樣有錯誤加粗體，請修正。	感謝委員意見，本計畫已修正，詳見內容見報告書。

附錄五 公文往返

檔 號：
保存年限：

逢 甲 大 學 函

地址：台中市西屯區文華路100號
聯絡人：許羽忻
電子信箱：huiyhsu@fcuoa.fcu.edu.tw
聯絡電話：(04) 24517250 轉 3063
傳真電話：(04) 24510081

受文者：行政院農業委員會水土保持局

發文日期：中華民國 107 年 12 月 06 日

發文字號：逢建字第 1070063035 號

速別：普通

密等及解密條件或保密期限：普通

附件：如文

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「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案之提案書一式 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

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：徐啟倫

電話：049-2347337

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107年12月28日

發文字號：水保企字第1071853451號

速別：最速件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如主旨

主旨：檢送107年12月26日召開108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、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)、中國文化大學(地質學系陳柔妃助理教授)、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(均含附件)

局長李鎮洋

行政院農業委員會水土保持局

108 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：107 年 12 月 26 日（星期三）下午 2 時 0 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(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、108 年度「林業」領域項下「坡地防災與保育」各子項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 82 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) 崩塌地動訊號自動化辨識技術精進及其應用之研究(土石流防災中心/國立成功大學)：83.6 分
 - (二) 坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用(土石流防災中心/國立臺灣大學)：83.8 分
 - (三) 運用多期雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表變形量解算(土石流防災中心/中國文化大學)：82.2 分
 - (四) 應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式(土石流防災中心/逢甲大學)：82.8 分
- 三、錄取計畫之建議經費，經委員討論結果如下：
 - (一) 崩塌地動訊號自動化辨識技術精進及其應用之研究(土石流防災中心/國立成功大學)：1,000 千元
 - (二) 坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用(土石流防災中心/國立臺灣大學)：1,740 千元
 - (三) 運用多期雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表變形量解算

(土石流防災中心/中國文化大學)：4,060 千元

(四) 應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式(土石流防災中心/
逢甲大學)：1,200 千元

四、各子項計畫研究重點與分工，請土石流防災中心，依委員意見建議列入未來計畫之研究內容。

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 108 年 1 月 15 日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 108 年 1 月 28 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後調整經費後辦理計畫簽約，但計畫應由 108 年 1 月 1 日即開始執行。

捌、臨時動議：無

玖、散會：下午 16 時 20 分

行政院農業委員會水土保持局
108 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、崩塌地動訊號自動化辨識技術精進及其應用之研究(國立成功大學)

委員意見：

- 一、可考量與現有大崩塌警戒門檻值的研發成果相互結合。
- 二、本計畫尚有何改善地動訊號辨識之新技術；連續性崩塌之地震訊號辨識其精度可達何種程度似可深加探討。
- 三、前期計算統計結果採 log 變異太大，是否適合推到降雨門檻。
- 四、宜敘明和前期計畫之差異性、串聯性(包括崩塌地動訊號自動化辨識技術和降雨門檻值)。

貳、坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用(國立臺灣大學)

委員意見：

- 一、可考量訂定地聲檢知器之安裝準則及標準作業程序。
- 二、加值應用對防災預警之提升有何貢獻；監測訊號分析如何融入 AI 技術以提升價值。
- 三、資訊加值分析尤其應用影像分析有很大的空間，理論可行實際可資應用仍有一段距離待努力。
- 四、地聲探測器的安裝位置是否有初步成果；宜敘明和前期計畫之差異性；攝影機下雨天如何處置鏡頭的清晰度。
- 五、加值分析與應用，初步建立即時監測資料分析之介面程式或網頁，可否提供水保局成果產出？
- 六、本案預算細目中有編列「資本門」購置資訊硬體設備 29 萬 5 仟元，建議酌減刪除改列為相關物品租用項目，總體經費調降為 174 萬元。
(土石流防災中心)

參、運用多期雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表變形量解算(中國文化大學)

委員意見：

- 一、可考量以廣域監測方式，提高監測頻率，以了解變動情形。
- 二、雷達影像解算有何創新方法？其精度之提高如何？本案工作性質屬全省性之地表變形判釋，何不採一兩個案例；研究之經費編列之妥適性宜再斟酌，尤以薪俸即佔總經費一半以上。
- 三、前期計畫成果尚佳，可以持續辦理；採雷達與光學的影像長期應比較具成效。
- 四、敘明雷達衛星影像和地貌特徵量測尺規精度(變形量)；和先期計畫之差異性；覆蓋層量測變形量的精度。
- 五、如何選定5處重點邊坡進行大規模崩塌潛勢區之地表地形變化，廬山及九份二山為何沒涵蓋在內？

肆、應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式(逢甲大學)

委員意見：

- 一、可考量聚落為核心進行統計與驗證
- 二、易損性部分是否需每年更新，在未來行政業務如何因應？以坡面單元建置警戒機制，如何因應降雨事件當下之防災操作(即AI技術可達何等水準)
- 三、崩塌風險評估最重要的評估基準，各點位的風險是會隨時空有所變化，後續應注意可使用性；AI發揮的功能應補充說明
- 四、宜敘明和前期計畫之差異性，為何選擇陳荖溪等示範區
- 五、AI 1.0/1945-2005 基礎理論、基礎科學建立，AI 2.0/2006-2016 學術到應用，AI3.0 /2017-迄今，資訊到服務透過遞迴類神經網路，本案以何方式呈現？

108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、周委員良勳、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	崩塌地動訊號自動化辨識技術精進及其應用之研究(林冠璋 國立成功大學地球科學系 1,000千元)	83.6	1,000	無與其他計畫重複,餘意見詳會議記錄
2	坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用(劉格非 國立臺灣大學土木工程學系(所) 2,000千元)	83.8	1,740	//
3	運用多期雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表變形量解算(陳柔妃 中國文化大學地質學系 4,060千元)	82.2	4,060	//
4	應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式(李秉乾 逢甲大學 1,800千元)	82.8	1,200	//

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	崩塌地動訊號自動化辨識技術精進及其應用之研究(林冠璋 國立成功大學地球科學系)	<input type="checkbox"/> 無異議通過 <input checked="" type="checkbox"/> 修正後通過，應修正事項： <u>詳會議記錄</u> <input type="checkbox"/> 不予通過：	1,000	1,000
2	坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用(劉格非 國立臺灣大學土木工程學系(所))	<input type="checkbox"/> 無異議通過 <input checked="" type="checkbox"/> 修正後通過，應修正事項： <u>詳會議記錄</u> <input type="checkbox"/> 不予通過：	2,000	1,740
3	運用多期雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表變形量解算(陳柔妃 中國文化大學地質學系)	<input type="checkbox"/> 無異議通過 <input checked="" type="checkbox"/> 修正後通過，應修正事項： <u>詳會議記錄</u> <input type="checkbox"/> 不予通過：	4,060	4,060
4	應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式(李秉乾 逢甲大學)	<input type="checkbox"/> 無異議通過 <input checked="" type="checkbox"/> 修正後通過，應修正事項： <u>詳會議記錄</u> <input type="checkbox"/> 不予通過：	1,800	1,200

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	
周委員良勳		許委員中立	請假	徐委員森彥	
尹委員孝元	公出				

附表

各委員評分總表

委員 \ 計畫	崩塌地動訊號自動化辨識技術精進及其應用之研究	坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用	運用多期雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表變形量解算	應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式
王晉倫	87	83	82	84
游繁結	85	82	80	78
蘇苗彬	85	82	83	87
周良勳	85	86	82	86
許中立				
徐森彥	82	86	84	85
尹孝元				
總平均	83.6	83.8	82.2	82.8

主辦專家/科技聯絡人(簽名): 徐啓倫

本局土石流防災中心: 李聖敏

本局綜合企劃組: 羅文俊

日期: 107年12月26日

行政院農業委員會水土保持局

108 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：107 年 12 月 26 日下午 14 時 0 分

貳、地點：本局第一會議室

參、主持人：王副局長晉倫

肆、出(列)席單位及人員：

王晉倫

記錄：徐啓倫

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	周良勳
屏東科技大學水土保持系	教授	許中立	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	公出
列席單位及人員			
單位	職稱	姓名	簽名
農委會科技處			請假
本局土石流防災中心		鍾啟宗	
	李憲昆	林建良	鄭翔東

列席單位及人員

單位	職稱	姓名	簽名
本局綜合企劃組	科長	羅文俊	羅文俊

伍、散會：下午 4 時 20 分

行政院農業委員會水土保持局

108 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：107 年 12 月 26 日下午 14 時 0 分

貳、地點：本局第一會議室

參、主持人：王副局長晉倫

記錄：

肆、出(列)席單位及人員：

列席單位及人員(執行機關)			
崩塌地動訊號自動化辨識技術精進及其應用之研究			
單位	職稱	姓名	簽名
國立成功大學	助理教授	林冠璋	林冠璋
坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用			
單位	職稱	姓名	簽名
國立臺灣大學	教授	劉乾弘	劉乾弘
運用多期雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表變形量解算			
單位	職稱	姓名	簽名
中國文化大學	助理教授	陳柔妃	陳柔妃
	專任助理	鄭吃平	鄭吃平

	專任助理	陳志豪	陳志豪
應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式			
單位	職稱	姓名	簽名
逢甲大學	教授	曾祖強	曾祖強
	助理教授	黃亦政	黃亦政
	專任助理	王欣萍	王欣萍
	專任助理	黃建勳	黃建勳

伍、散會：下午 4 時 20 分

檔 號：
保存年限：

逢 甲 大 學 函

地址：台中市西屯區文華路 100 號
聯絡人：許羽忻
電子信箱：huiyhsu@fcuoa.fcu.edu.tw
聯絡電話：(04) 24517250 轉 3063
傳真電話：(04) 24510081

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 2 月 11 日
發文字號：逢建營字第 1080002869 號
速別：普通
密等及解密條件或保密期限：普通
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「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案之契約書正本 2 份、副本 7 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

正 本

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

40724

臺中市西屯區文華路100號

受文者：逢甲大學

發文日期：中華民國108年2月15日

發文字號：水保防字第1081830931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：檢送貴我雙方簽訂之「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」（108農科-10.10.1-保-S7）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108年2月11日逢建營字第1080002869號函辦理。

正本：逢甲大學

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

201907500

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

發文日期：中華民國108年3月20日

發文字號：水保防字第1081831676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「應用人工智慧技術發展坡地崩塌
風險評估模式」科技計畫第1期款新臺幣36萬元整，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108年3月14日逢建營字第1080005536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



檔 號：
保存年限：

逢 甲 大 學 函

地址：台中市西屯區文華路 100 號
聯絡人：許羽忻
電子信箱：huiyhsu@fcua.fcua.edu.tw
聯絡電話：(04) 24517250 轉 3063
傳真電話：(04) 24510081

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 07 月 02 日
發文字號：逢建營字第 1080017315 號
速別：普通
密等及解密條件或保密期限：普通
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「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」期中報告書乙式 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108年7月5日

發文字號：水保防字第1081834623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(204_期中審查議程.pdf、204_期中審查發言單.pdf)

開會事由：召開「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案期中審查會議

開會時間：108年7月18日(星期四)下午2時

開會地點：本局第二會議室(南投市中興新村光華路6號)

主持人：尹副總工程司兼主任孝元

聯絡人及電話：李憲昆工程員049-2347518

出席者：游委員繁結、詹委員錢登、許委員中立、張委員志新、鐘委員啟榮、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，並針對所提期中報告書進行20分鐘簡報。
- 三、為響應紙杯減量，請自備環保杯。

電 2019/07/08 文
交 09:26:05 章

裝
訂
線



行政院農業委員會水土保持局
「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案
期中審查委員會發言單

單位：

發言人：

發言內容：

請於會後擲交承辦人員，謝謝！

「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案 期中審查會議議程

壹、會議時間：108 年 7 月 18 日(星期四)下午 2 時

貳、會議地點：本局第二會議室

參、主持人：尹副總工程司兼主任孝元

肆、出(列)席單位人員：

伍、主席致詞：

陸、報告事項：

案由：「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」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)植生因子資料庫擴增及警戒值更新。

(二)自適性坡地崩塌易損評估模式誘發因子檢討與更新。

(三)自適性坡地崩塌易損評估模式建立。

(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)完成新增兩場不同型態降雨事件之崩塌事件資料庫擴增。

(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：

羽忻

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108年7月19日

發文字號：水保防字第1081866860號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如主旨(777_簽到表.pdf、777_易損性科技計畫期中審查會議紀錄-v2.pdf)

主旨：檢送本局108年7月18日「應用人工智慧技術發展坡地崩塌
風險評估模式」案期中審查會議紀錄1份，請查照。

正本：游委員繁結、詹委員錢登、許委員中立、張委員志新、尹委員孝元、鐘委員啟
榮、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 2019/07/22 文
交 09:26:03 章

裝
訂
線



行政院農業委員會水土保持局
「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案
期中審查會議紀錄

壹、時間：108 年 7 月 18 日(星期四)下午 2 時

貳、地點：本局第二會議室

參、主持人：尹副總工程司兼主任孝元

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、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。

三、請逢甲大學依契約書規定於 108 年 11 月 8 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

「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」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) 植生現況分析以 NDVI 判釋，惟該等判釋只能呈現色調改變，能否判釋對崩塌地安定較有效之林木覆蓋？
- (二) 坡面分析有兩種方法，一是網格法，二是坡面單元法。網格法的網格尺度為何？報告書第 2-27 頁指出網格尺度為 20 公尺 x 20 公尺 (400 平方公尺)，網格面積為 0.4 公頃。坡面單元法，在報告書第 2-23 頁中指出坡面單元面積設定在 3 至 10 公頃之間。顯然前述兩種方式在面積尺度上有明顯之差異，何種方式在坡面崩塌分析比較好？
- (三) 環境因子多但其影響程度會有變動且不一定互相獨立，或許是本案分析困難的原因。
- (四) 植生指標分析的極致就會與崩塌有重複，而崩塌的規模則不易求得，此部份是否也會考量，例如 5% 裸露就代表崩塌的說明可再加強。
- (五) 雨量指標中降雨強度與有效累積雨量在運算時是否有時間序列的影響可能，是否要有長時間的累積才會發生，故兩個因子有一定的競合。

二、坡地崩塌風險評估模型建立：

- (一) 簡報第 12 頁中，指出坡地易損性 F 及降雨危害度 H 均為降雨強度 I 及累積雨量 Re 的函數，但如何決定 F 及 H 值？及如何決定 F 及 H 之臨界值 (F_c 及 H_c)？
- (二) 簡報第 50 頁起的內容為今年度計畫提之採用之分析法，直接採用環境潛在因子及降雨誘發因子，配合類神經技巧分析崩塌地之可能性。目前所提的方法大致可行。惟建議增加本案方法之文獻回顧，並點出本研究所採用之方法和前人方法之異同。
- (三) 要想突破非僅大雨量事件的崩塌結果分析，可能討論之分類與因子也需有所改變。建議是否要考慮不同規模，俾利用於不同管制使用。
- (四) 需考量何種形態的崩塌體積才能適用，或是要再檢討本案模式之使用。
- (五) 坡地易損性曲線分類，可考慮將其轉化成災害地圖 (Hazard Map)，並延伸其未來應用性。
- (六) 崩塌發生時間資料不易取得，再依此迴歸雨量參數可能造成較大誤差，應如何解決？
- (七) 中央地質調查所嘗試過將降雨、地文、水文指標混合建立淺層崩塌模式，其結果不甚理想，建議可參考其不理想之原因後加以改進。

- (八) 目前重點聚落風險警戒模式來自於兩大因子H與F，然這兩大因子的警戒門檻主要來自於速報資料，但速報資料畢竟無法全面且有疏漏，是否有其它資訊可以應用？

三、坡地崩塌風險評估模型驗證：

- (一) 期中評核標準第二項係要完成新增兩場不同型態降雨事件之崩塌事件資料庫擴增，而本期中報告所採2012年之兩場事件，是否屬新增？另，何以只挑選此二事件作為新增？
- (二) 模型驗證之總資料2,011筆，是否均屬崩塌地，請說明。
- (三) 報告書第四章論述多以「人工智慧類神經網路」模型為主，惟簡報第51頁顯示「隨機森林」模式結果似較佳，可否說明此節內容無法對應之原因。
- (四) 本案類神經分析出來的結果，就雨量門檻值而言，未來是否每年需修正？

四、綜合建議：

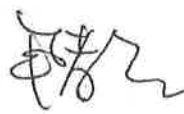
- (一) 建議將計畫使用之不同型態之坡地災害樣本列表說明，以釐清本計畫建立模式之適用性。

「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案


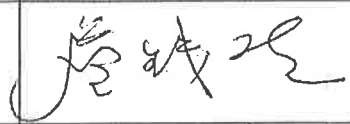


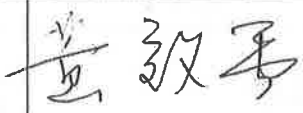
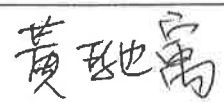
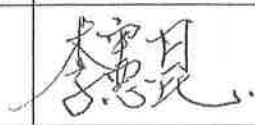
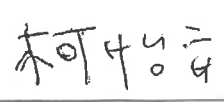
期中審查會議簽到單

壹、開會時間：108 年 7 月 18 日（星期四）下午 2 時

貳、開會地點：本局第二會議室

參、主持人：尹副總工程司兼主任孝元  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	
國立成功大學	委員	詹錢登	委員	
國立屏東科技大學	委員	許中立	委員	
國家災害防救科技中心	委員	張志新	委員	請假
水土保持局	副總工程司兼主任	尹孝元	副總工程司兼主任	
水土保持局	簡任正工程司	鐘啟榮	簡任正工程司	請假
水土保持局	科長	黃效禹	科長	
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)				
				

		李文元 ✓		
		鄧語濤		嚴樹行
		周郁揚		張麗真
		吳俊龍		譚家祥
		林佑聰		曾名賢
		曾奕忠		鄭樹華
		蔣子淇		劉楚焯
				黃珮琦
逢甲大學	教授	李秉乾		
	助理教授	黃永成		
	助理	王欣萍		
	研究生	陳禾		

伍、散會：15時50分

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108年8月9日
發文字號：水保防字第1081835472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「應用人工智慧技術發展坡地崩塌
風險評估模式」科技計畫第2期款新臺幣48萬元整，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108年8月1日逢建營字第1080002021號函辦理。
- 二、依據旨案契約書第4條第1款，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 2019/08/09 文
交 11:16:02 章

營建及防災研究中心08/08/09



1080002642

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7日

發文字號：逢建營字第1080009083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「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案之期末報告1式10份，請查照。

說明：依據貴局108年7月19日水保防字第1081866860號函辦理。

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

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7日

發文字號：逢建營字第1080009083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「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案之期末報告1式10份，請查照。

說明：依據貴局108年7月19日水保防字第1081866860號函辦理。

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

副 本

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：本局土石流防災中心

發文日期：中華民國108年11月28日
發文字號：水保防字第1081867031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108年11月26日「應用人工智慧技術發展坡地崩塌
風險評估模式」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、陳委員天健、張委員志新、尹委員孝元、鐘委員啟
榮、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

內部傳遞
交14:換28章

裝

訂

線

行政院農業委員會水土保持局
「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案
期末審查會議紀錄

壹、時間：108年11月26日(星期二)上午10時

貳、地點：本局土石流災害緊急應變小組會議室

參、主持人：尹副總工程司兼主任孝元（鐘簡任正工程司啟榮代）

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108年12月13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。

捌、臨時動議：無

玖、散會：11時50分

「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」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) 報告書第 2-2 頁，研究地區說明指出，研究區包括陳有蘭溪、荖濃溪、旗水溪及新店溪 4 個集水區，是否有誤？
 - (二) 本計畫蒐集建置之資料相當多，建議各項資料之蒐集時間予以列表，俾利未來更新參考。
 - (三) 建議資料庫可列總表 (DEM、植生、衛星影像…等等)，記錄引用了哪些資料、採用哪些年份的資料。
 - (四) 報告書第 2-54 頁，有關颱風豪雨崩塌事件資料更新，建議除以圖 2-59 ~圖 2-62 展示外，尚可以表格化呈現新增崩塌數量，俾利相互比較。
- 二、坡地崩塌風險評估模型建立：
 - (一) 報告書第 3-8 頁，各雨量法 I1-Rte 等比率曲線建立有何意義？另，圖 3-5 之圖形模糊，座標單位不易判讀。
 - (二) 報告書第 3-13 頁，假定崩塌現象符合對數常態分佈，此等假設之意義如何？當變數與應變數均取對數值時，其有效範圍即被壓縮在一小區間，其常態分佈意義不大，請再斟酌。
 - (三) 人工智慧之訓練樣本數決定推估之準確性，能否輸入有崩塌之地方環境因子與無崩塌之相同地方條件，以判釋該人工智慧之可靠度？
 - (四) 大、中、小規模坡面單元其最終之預測之準確率狀況，建議可進一步分析，以瞭解預測模式是否受坡面單元大小而影響。
 - (五) 如何定義崩塌之坡面單元，建議說明。其中若 10 公頃之坡面單元，但僅 20 平方公尺的崩塌是否為崩塌單元？在數學可忽略之微小數概念，是否亦能套入研究中？
 - (六) 在本案類神經模型中，若去除掉莫拉克事件，會不會對模型有影響？
- 三、複合型坡地災害行政區警戒機制研析：
 - (一) 本計畫成果範疇，適宜鄉鎮層級應用，若以聚落尺度，相對而言，其困難度及效力誤差，均可能大幅提高合宜的應用尺度，可再進一步探討，提供參考。
 - (二) 災害其內涵隱含「規模及量體概念」，因此災害警戒作業應考慮土砂之可能規模，此課題或可再探討。
 - (三) 報告書第 4-13 頁，18 處重點聚落崩塌雨量警戒值得到之 RH，可以與本局土石流警戒值做比較，檢討其合理性？(如高雄桃源區土石流警戒值為 300mm，而 RH 卻達 555mm)
 - (四) 崩塌風險警戒機制紅色警戒分為二等級 (紅色-1 及紅色-2)，需思

考防災預警上依何等級告知民眾疏散避難，避免分兩次重複告警。

(五) 警戒值紅 1 與紅 2 意義為何？

四、綜合建議：

- (一) 成果報告請納入 108 年度本局土石流災害緊急應變小組開設期間發布之土石流警戒與本案模式發布警戒之比較。
- (二) 成果報告請說明新增 2 處重點聚落在 2 場不同型態颱風豪雨事件下之崩塌風險警戒機制模式試作內容。
- (三) 報告書宜附摘要，以完備報告書件。
- (四) 報告書第 3-24、4-3、4-8、4-13、4-16 等頁出現亂碼。
- (五) 報告書第 5-1 頁結論第 4 行，「後續」一詞是何意義？何以不在本計畫辦理，需要留待「後續」？
- (六) 前言中所提「陳荖旗」集水區之一辭，較罕用，建議避免過於簡化名稱。
- (七) 目次頁小節字樣有錯誤加粗體，請修正。

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

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108年12月12日

發文字號：逢建營字第1080012336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「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式」案之成果報告書初稿1式2份，請查照。

說明：依據貴局108年11月28日水保防字第1081867031號函辦理。

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

欣萍
1080613/23

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

發文日期：中華民國108年12月18日
發文字號：水保防字第1081838676號
速別：速件
密等及解密條件或保密期限：
附件：如說明二

主旨：有關本局補助貴校辦理「應用人工智慧技術發展坡地崩塌風
險評估模式」案成果報告書初稿送審案，復請查照。

說明：

- 一、復貴校108年12月12日逢建營字第1080012336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（108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
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：108 年 12 月 17 日

計畫名稱	應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式
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. 封面應列本局計畫出版品編號：SWCB-108-139。 2. 內頁首頁應包含「行政院農業委員會水土保持局 編印」字樣。 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。 	