

計畫編號：113 保發-5.1-保-01-06-001(28)

坡地災害危害度分級探討
A Study on the Assessment of Risk Degrees
in Slope Disasters
成果報告書

執行單位：逢甲大學

執行期間：113 年 02 月 07 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳柏蒼 助理教授

行政院農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 113 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)

坡地災害危害度分級探討

摘要

本研究應大署徵求提案徵求主題「坡地災害危害度分級探討」，擬結合過去研究成果（112 年坡地災害辨識電腦視覺模式精進與應用評估之創新研發計畫，計畫編號：ARDSWC-112-064），結合氣候變遷所造成的降雨增量威脅，針對既有大規模崩塌潛勢區雨量警戒標準，探討在既有雨量警戒標準下，於氣候變遷 AR6 降雨推估結果中，就各坡地單元在未來被驅動頻率風險，提出坡地災害監視 CCTV 建置區位建議，以利於後續模式應用發展並依其為基礎建構非接觸式坡地災害監測網。本研究以臺中市山區為主要研究範圍，就研究目的規劃探討現有坡地災害警戒分析元素及警戒分級發布原則、導入氣候變遷降雨情境並建立適應氣候變遷之坡地單元風險分級、探討現有山區 CCTV 受險機率與相對安全區域及建議增設山區 CCTV 區位及備選區位列表建置等四大目標。

本研究透過 ESRI 發展之 ArcGIS 軟體中用於模式程序建置工具 ModelBuilder 完成坡地單元生成程序之建置並完成臺中市坡地單元建置，各坡地單元以大規模崩塌警戒值配合 TCCIP 氣候變遷 AR6 情境降雨完成各坡地單元之警戒發布超越機率計算，並以歷史事件探討超越機率分布變化，用以建置風險估列方式，包含單一事件的雨量值檢討與未來風險建議估列方式；前述單一事件風險檢討用於評估單一事件下該事件對各坡地單元的危害程度，例如本年度 113 年 10 月 29 日之康芮颱風之降雨分布進行評估，高風險區域集中於臺中市和平區平等里，和平區梨山里中有少部分坡地單元被評估為高風險；另一風險估列方式，則係利

用坡地單元空間上的相關性，定義所有坡地單元相對的高中低風險，用以評估未來是否進一步採取相關工程或非工程措施的參考，其中本研究已針對既有 CCTV 的安全性提供初步分析結果，包含臺中市轄內之公路總局 CCTV 及農村水保署觀測站資料展示平台 CCTV 等。

關鍵詞：坡地災害、氣候變遷、災害風險評估、風險等級劃分

A Study on the Assessment of Risk Degrees in Slope Disasters

Abstract

This study responds to the proposal theme "Assessment of Risk Degrees in Slope Disasters" by integrating previous research outcomes from the "Innovative Research and Development Project on Enhancing and Evaluating Applications of Computer Vision Models for Slope Disaster Identification" (Project No.: ARDSWC-112-064). It incorporates the increased rainfall threat posed by climate change, specifically examining existing rainfall alert standards for large-scale landslide-prone areas. The study aims to assess future activation frequency risks for each slope unit under AR6 rainfall projections related to climate change. Based on this, recommendations for the placement of CCTV monitoring systems for slope disasters are proposed to facilitate further model application development and to establish a non-contact monitoring network for slope disasters.

This research primarily focuses on the mountainous areas of Taichung City. To achieve the research objectives, it is structured around four main goals: (1) reviewing and analyzing current elements of slope disaster warning and the principles for issuing warning levels, (2) integrating climate change rainfall scenarios to establish risk classifications for slope units that adapt to climate change, (3) assessing the exposure probability of current mountain CCTV locations and identifying relatively safer areas, and (4) proposing new and alternative locations for CCTV installation in mountainous regions.

This study utilized the ModelBuilder tool in ArcGIS software developed by ESRI to complete the construction of a slope unit generation

process and establish slope units for the Taichung City area. Each slope unit was analyzed using exceedance probabilities of warning thresholds for large-scale landslides, integrating rainfall scenarios based on TCCIP AR6 climate change projections. Historical events were examined to explore variations in exceedance probability distributions, which were used to develop a risk evaluation matrix. The matrix includes methods for assessing rainfall values from single events and providing recommendations for future risk estimation approaches. The single-event risk assessment method evaluates the impact of a specific event on individual slope units. For instance, the rainfall distribution from Typhoon Koinu on October 29, 2024 (Year 113 in the ROC calendar) was analyzed, identifying high-risk areas concentrated in Pingdeng Village, Heping District, Taichung City, with a few high-risk slope units in Lishan Village, Heping District.

Another risk evaluation approach defines the relative high, medium, and low risks of all slope units based on their spatial correlations, serving as a reference for determining whether additional engineering or non-engineering measures should be implemented in the future. Furthermore, this study provided a preliminary analysis of the safety of existing CCTV installations. The slope unit risk assessment results were applied to integrate CCTV site information from the Directorate General of Highways and the Rural and Soil and Water Conservation Agency's observation platform within Taichung City, serving as a practical example.

Keywords: slope disaster, climate change, disaster risk assessment, risk level classification

目次

摘要.....	I
Abstract.....	III
目次.....	V
表次.....	VII
圖次.....	VIII
第一章 前言.....	1-1
第一節 計畫緣起與目的	1-1
第二節 計畫目的	1-2
第三節 計畫工作項目	1-3
第四節 研究方法	1-4
第二章 工作方法與步驟	2-1
第一節 文獻探討	2-1
第二節 資料蒐整	2-5
第三節 坡地災害風險與分級	2-7
第四節 坡地單元生成程序開發	2-13
第五節 應用平臺建置	2-16
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 計畫甘特圖	3-1
第二節 計畫交付項目	3-4
第四章 期末成果	4-1
第一節 資料蒐整成果	4-1
第二節 坡地單元建置成果	4-18
第三節 坡地單元災害警戒分級探討成果	4-26
第五節 示範平臺建置成果	4-38

第五章 結論與建議	5-1
第一節 結論	5-1
第二節 建議	5-3
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附錄-1
附錄一、期初審查會議紀錄回覆辦理情形	附錄-1
附錄二、期中審查會議紀錄回覆辦理情形	附錄-7
附錄三、期末審查會議紀錄回覆辦理情形	附錄-20

表次

表 2-1	災害風險定義	2-3
表 2-2	臺中市大規模崩塌及土石流警戒值	2-9
表 2-3	Focal Statistics 參數	2-14
表 3-1	預定執行工作進度表	3-2
表 4-1	AR6 極端氣候降雨情境.....	4-2
表 4-2	臺中市 AR6 各情境各模式 2023-2100 最大日平均降雨	4-3
表 4-3	臺中市轄內 TCCIP 格網 AR6 情境降雨統計分布	4-6
表 4-4	臺中市歷史重大坡地災害	4-9
表 4-5	農村水保署土石流潛勢溪流監測站資訊	4-12
表 4-6	公路總局公開 CCTV 資料結構.....	4-14
表 4-7	公路總局道路監視影像資訊	4-15
表 4-8	坡地單元屬性	4-25
表 4-9	歷史坡地災害坡地單元資訊	4-28
表 4-10	坡地單元災害風險計算結果	4-29
表 4-11	坡地單元事件災害風險評估矩陣	4-30
表 4-12	歷史坡地災害坡地單元及其鄰近單元警戒發布超越機率差 值統計成果.....	4-30
表 4-13	空間資訊統計方法之坡地單元警戒值發布風險評估邏輯	4-31
表 4-14	臺中市轄內各類雨量站及康芮颱風事件總累積雨量	4-33
表 4-15	高受災風險 CCTV.....	4-35
表 4-16	高坡地災害風險 CCTV 評估建議.....	4-38

圖次

圖 1-1	本研究研究架構圖	1-5
圖 2-1	臺灣數值地形模型	2-6
圖 2-2	農村水保署土石流 CCTV 站點分布	2-6
圖 2-3	土石流警戒基準值訂定示意圖	2-9
圖 2-4	坡地單元災害風險運算方式	2-10
圖 2-5	坡地單元災害風險分級流程與概念	2-11
圖 2-6	歷史坡地災害坡地單元鄰近格網統計範圍示意圖	2-12
圖 2-7	基期與未來警戒發布機率差值示意圖	2-12
圖 2-8	坡地單元劃設流程	2-14
圖 2-9	ArcGIS Focal Statistics 介面	2-14
圖 2-10	電腦視覺災害決策平臺功能規劃	2-16
圖 4-1	氣候變遷情境降雨格網分布	4-3
圖 4-2	坡地單元雨場劃分成果	4-4
圖 4-3	臺中市格網編號 60 之 AR6 氣候變遷降雨情境分布	4-6
圖 4-4	臺中市歷史重大坡地災害類型與分布	4-11
圖 4-5	臺中市坡地區域 CCTV 分布	4-17
圖 4-6	坡地單元萃取流程	4-19
圖 4-7	Reclassify 參數設定	4-20
圖 4-8	邊界椒鹽效應	4-21
圖 4-9	Focal Statistics 去除邊界椒鹽效應歷程	4-21
圖 4-10	河段萃取成果	4-22
圖 4-11	正、反集水區切割成果	4-23
圖 4-12	正、反集水區聯集運算參數設定	4-23
圖 4-13	正、反集水區聯集運算成果	4-23

圖 4-14	坡地單元萃取成果	4-24
圖 4-15	坡地碎小單元去除成果	4-24
圖 4-16	歷史災害坡地單元分布	4-28
圖 4-17	警戒值發布風險分級評估成果	4-31
圖 4-18	歷史坡地災害之坡地單元風險評估成果	4-32
圖 4-19	坡地單元雨場歸屬切割	4-34
圖 4-20	康芮颱風事件坡地單元災害風險評估結果	4-34
圖 4-21	高坡地災害 CCTV 分布	4-38
圖 4-22	網頁服務平臺	4-39
圖 4-23	點擊圖層單元呈現示意內容	4-40
圖 4-24	地圖平臺底圖樣式	4-41

第一章 前言

第一節 計畫緣起與目的

本研究團隊應大署徵求提案徵求主題「坡地災害危害度分級探討」，大署徵求說明提及本課題的想法為「利用既有的坡地水文、地文、監測資料，建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級，並以實際案例探討驗證。」；因既有坡地災害危害相關分級大署已有官方定義，本研究在既有水文監測資料項，朝向既有的水文監測記錄與臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, TCCIP) 使用既有水文紀錄與氣候變遷資料擬合後的降尺度氣候變遷推論資料，來達致大署課題想法所提出的「建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級」的想法。故本研究導入 TCCIP 於 2023 年所發布之 AR6 氣候變遷降雨情境降尺度資料並建立相應之坡地單元進行風險分級。本研究結合過去研發能量 (計畫編號：ARDSWC-112-064)，結合氣候變遷所造成的降雨增量威脅，針對既有土石流、大規模崩塌潛勢區雨量警戒標準，探討在既有雨量警戒標準下，在之於歷史降雨紀錄與氣候變遷 AR6 日降雨推估結果中，各劃設之土地單元在既有坡地災害警戒標準(即危害度)在未來被驅動的頻率風險，提出提出坡地災害監視 CCTV 建置區位建議，以利於後續模式應用發展並依其為基礎建構非接觸式坡地災害監測網。本研究根據現有 CCTV 分布及歷年實際發生大規模坡地災害區域發現，坡地災害多發生於 CCTV 未能監視之區域，而坡地災害 CCTV 影像對於非接觸式監測模式發展相當之寶貴，為能盡力保留坡地災害影像資訊，本研究預計以現有 CCTV 分布為基礎再提出可增設之區域，提供相關單位作為 CCTV 增設之參考，為達此目的需先瞭解臺灣山區坡地

災害危害度分級及分布，一般坡地災害分級考量因子包含降雨強度與時間，故本研究考量未來降雨形態因氣候變遷而有所改變，故結合國家災害防救科技中心（以下簡稱災防科技中心）根據國科會「建構面對氣候緊急狀態下之韌性臺灣」中程綱要計畫分項計畫需求所建置之臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, TCCIP) 於 2023 年公布的氣候變遷情境模擬推估雨量作為降雨因子，一併探究未來面對氣候變遷下對於坡地災害危害分級之影響，以此綜合考量下可再將因氣候變遷降雨增量對各土石流潛勢溪流警戒雨量及其他災害警戒雨量危害風險提升的大小，除建議增設位置外，並根據危害風險提出增設優先與增設順序建議。

第二節 計畫目的

根據本研究計畫之起緣與目的，擬定三大目標如下所示：

一、探討適應於氣候變遷情境下之坡地災害警戒風險：

現有坡地災害示警分級部分，尚未考量氣候變遷所帶來之衝擊，因此本研究導入國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫 (TCCIP)」所發布之氣候變遷降雨情境探討現有坡地災害警戒風險，並以其為基礎建構配適於未來氣候變遷條件下之坡地災害分級。本研究在既有水文監測資料項，擬朝向既有的水文監測記錄與 TCCIP 使用既有水文紀錄與氣候變遷資料 AR6 擬合後的降尺度氣候變遷推論資料，來達致大署課題想法所提出的「建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級」的想法。

二、以坡地單元為基礎之衝擊分析：

為描述前項成果對地表土地可能造成的影響，須以具備描述地表之單元進行評估，一般以數值地形所劃設之斜坡單元作為評

估對象，本研究透過文獻探討進行本研究參考單元劃設方法單元(本研究稱之為坡地單元)為基礎進行各單元的災害示警風險分析，預計以 AR6 模式評估基期資料與各情境下未來降雨推估，就 24 小時最大日降雨量的分布情形配適適當的分布型態描述，評估目前大署所定警戒雨量於 AR6 模式評估基期資料與各情境下未來降雨推估在兩者統計分布上所呈現的對應發生機率，續藉此進行風險等級劃分。

三、研擬坡地災害在氣候變遷威脅下之風險與視覺呈現方法：

本研究為視覺化各坡地單元之風險評估結果與各坡地單元之災害驅動機率的變化情況及應用範例，透過線上地圖平臺就顯示功能需求規劃地圖平臺介面與視覺呈現方法。

第三節 計畫工作項目

依據本研究計畫目的，擬定本研究之工作項目如下所示：

- 一、探討現有坡地災害警戒分析元素及警戒分級發布原則，透過文獻探討坡地單元之切割方法、坡地災害定義及坡地災害風險評估方法，作為本研究坡地單元於氣候變遷降雨情境下之災害風險分析基礎。
- 二、以氣候變遷降雨情境為基礎探討現有坡地災害警戒值之坡地單元於AR6評估基期與未來氣候變遷降雨推論上的風險分析與分級。
- 三、發展基於網頁服務之坡地單元災害風險評估展示平臺及應用示範範例，本研究以坡地災害風險評估結果結合現有CCTV所在區域之進行CCTV站點評估。

四、根據項目三之評估結果，建議增設CCTV區位或備選區位列表建置。

第四節 研究方法

本計畫以臺中市為探討區域，首先透過文獻探討，探究現有坡地災害評估單元及其建置方法、坡地災害之定義及坡地災害警戒分級，其中坡地單元建置方式以 ArcGIS 軟體所提供之 ModelBuilder 功能建置劃設程序，藉以此完成本年度目標 (1)；資料蒐整部分根據本研究分析需求取得 TCCIP 之氣候變遷情境降雨資料、農村水保署觀測站資料展示平台及交通部公路總局智慧化省道即時資訊服務網所公開位於山區的 CCTV 架設點位資訊、農村水保署歷史坡地災害點位資訊、交通部中央氣象署歷史日降雨資訊，配合本年度目標 (1) 之成果，進行坡地單元災害風險分析達到本年度目標 (2)；完成項目 (1)、(2) 後綜合探討農村水保署觀測站資料展示平台及交通部公路總局智慧化省道即時資訊服務網所公開位於山區的 CCTV 架設點位受災風險評估及尋找區域內相對安全之區域，藉以完成目標 (3)；最後根據整體研究成果擬定建議未來增設 CCTV 站點之區位及備選區域列表，完成本研究最後目標 (4)；待完成本年度所有項目後進行成果與討論，根據討論結果進行結論與後續研究之建議，本研究流程如圖 1-1 所示。

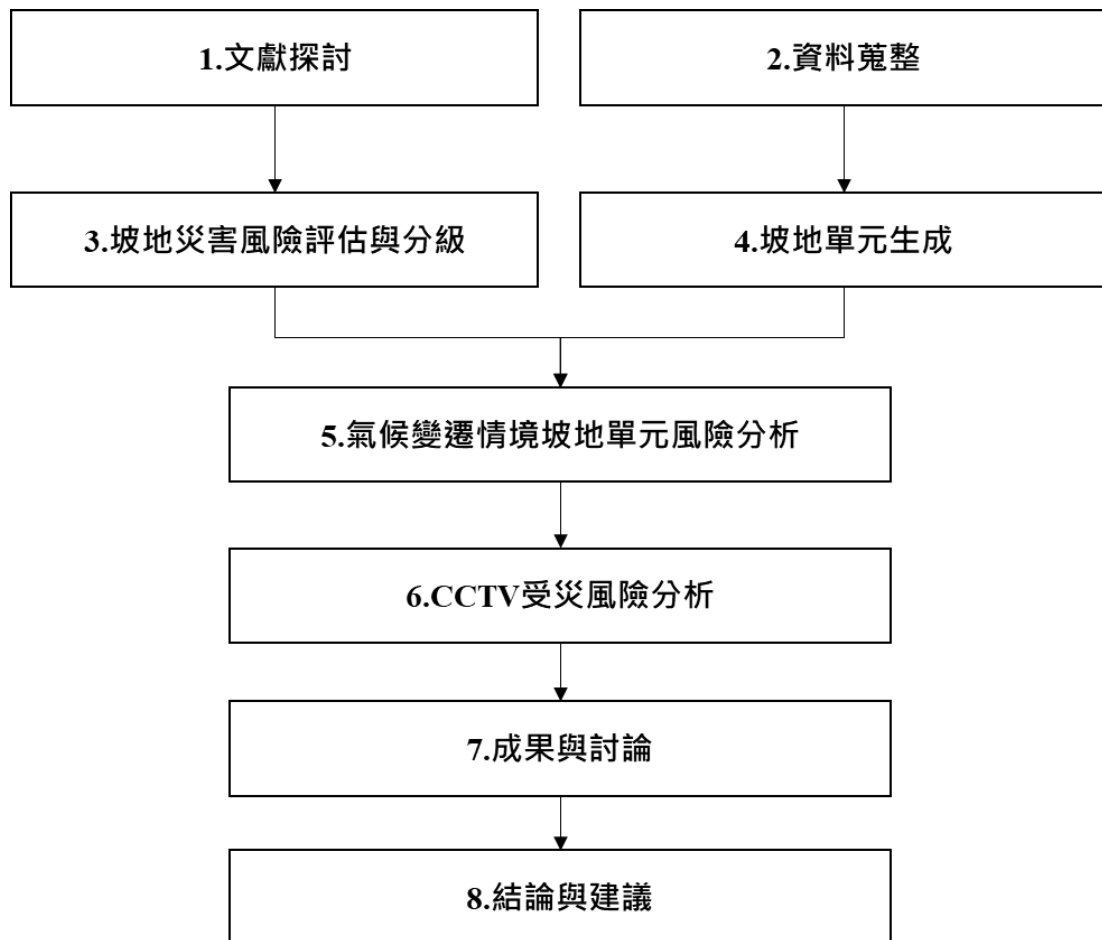


圖 1-1 本研究研究架構圖

第二章 工作方法與步驟

本章內容將就研究方法中所述之項目進行詳細說明，各項目之實際操作步驟分述於下：

第一節 文獻探討

本計畫所運用之研究方法，主要以文獻分析法為主，蒐集國內、外在坡地災害警戒等相關文獻進行歸納與探討，藉由相關著作、學術論文、期刊、政府出版品、報章雜誌與網路資料等文獻，進行閱覽、整理、描述、分類、歸納及分析，瞭解現有坡地單元劃分方法、坡地災害定義及坡地災害風險評估方法。

一、坡地單元劃分方法

根據水土保持法第三條第三款所定義之山坡地係指「國有林事業區、試驗用林地、保安林地，及經中央或直轄市主管機關參照自然形勢、行政區域或保育、利用之需要，就合於下列情形之一者劃定範圍，報請行政院核定公告之公、私有土地：(一) 標高在一百公尺以上者。；(二) 標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。」，就上述之定義可就地表高層值超過 100 公尺以上或以坡度達 5% 以上之區域列入坡地範圍並進行坡地單元建置。在單元 (slope unit) 繪製上，根據目的與分析方法可分為格網 (Grid)、斜坡 (Slope)、地形 (Terrain)、地貌 (Topographic)、行政區域或特殊條件進行單元繪製，其中以格網單元或斜坡單元 (Guzzetti 等人，1999、林俐玲等人，2011、涂永璿，2015、嚴文彬，2016) 兩類最常被應用於坡地分析上，格網單元優點在於矩形格網結構易透過電腦運算系統中之矩陣進行儲存與運算，但反應在地形地貌空間關聯性與表達程度較低，在實際操作上可透過

格網加密方式使其趨近於地形地貌，但相對所需的運算資源也將以指數方式增長，反而增加運算時間；而斜坡單元與地形地貌的關聯性最高，因此易於映射真實地表樣貌，但因其形狀較矩形格網複雜，故在電腦運算與儲存結構上需進行特殊設計，以符合電腦運算分析需求。本研究為能充分表達地表特性及後續分析需求，以斜坡單元進行臺中市坡地單元之繪製並作為本研究於坡地災害評估之單元。

二、坡地災害定義

坡地災害係指山坡區域之邊坡土壤、岩屑、岩石等坡地材料，因颱風、暴雨、地震及人為不當開墾等因素，受到重力作用而發生土壤沖蝕、崩塌、地滑，或是土石流等現象威脅位於坡地上及山坡下的房舍或建設，進而造成人類生命、社會經濟與生態環境等損失（國家災害防救科技中心，2016），而坡地災害類型可細究崩塌發生的條件與機制分為山崩、地滑、潛移、土石流、沖蝕等類型（蘇苗彬，2009），各類型的崩塌所造成的影響範圍、規模不盡相同，其中土石流及大規模崩塌已列為災害防救法中之天然災害，土石流定義係指因泥、砂、礫或巨石等物質與水之混合物，受重力作用產生黏稠流動體所造成之天然災害；大規模崩塌災害係指邊坡土石崩落或滑動之天然災害，其崩塌面積超過十公頃、土方量達十萬立方公尺或崩塌深度在十公尺以上者。大規模崩塌主要以土砂災害為主且擁有高度的災害發生不確定性及風險，因此在災害預警及緊急應變具有相當的困難度與挑戰性，再加上臺灣因地質、地形因素本就易受地震、颱風、強降雨影響破壞山區邊坡穩定引發坡地災害，未來面對氣候變遷所帶來的極端型氣候更加劇臺灣山區坡地災害影響範圍與層面的不確定性，對於山區

民眾之生活與經濟造成衝擊與損失更加難以評估（李欣輯、楊惠萱，2012；鄭耕秉、曾名賢，2015；張志新等人，2016），就上述對於坡地災害之定義，本研究以列入災害防救法中之大規模崩塌及土石流為坡地災害。

三、坡地災害風險評估

在風險管理上，於 1972 年 William Hammer 學者提出將風險表示為事件發生機率和其後果乘積之計算方法，為風險管理提供了一個基本的框架，後續學者根據各種情境定義適應於不同環境下之災害風險評估方法（如表 2-1 所示）。

表 2-1 災害風險定義

出處	災害風險定義
Hammer,1972	$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Consequence}$
UNDRO,1980；UNDHA, 1992；Satu K., 2006；K.M. DeBruijn, F. Klijn, 2009；行政院，1995；林漢良，2008	風險(Risk)=危害(Hazard)×脆弱度(Vulnerability)
Alexander,2000	$\text{Risk} = \text{Elements at risk} \times \text{Hazard} \times \text{Vulnerability}$
Benouar and Mimi,2001	$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability} / \text{Disaster Management}$
The World Bank Hotspots,2005	$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability} \times \text{Amount}$
Villagra'n de Leo'n, 2006	$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability} / \text{Coping Capacity}$
Yasuo Kannami and Kuniyoshi Takeuchi, 2008	$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Exposure} \times \text{Vulnerability} / \text{Capacity}$
蘇文瑞等，2010	$R(\text{災害風險}) = S(\text{災害潛勢}) \times P(\text{發生機率}) \times L(\text{損失程度})$ $R(\text{災害風險}) = H(\text{危害度}) \times L(\text{損失程度})$
陳慶和等，2012a，2012b；黃筱媚，2012	$\text{Risk} = (1 - \text{減緩危害能力}) \times \text{危害性} \times \text{危害暴露率} \times (1 - \text{受災對象抵抗衝擊能力})$

資料來源：吳瑞賢，2012，「水土資源利用管理及災害風險管理方法與系統之研究」

於災害風險管理領域中，災害風險評估部分目前多以危害度 (Hazard)、暴露度 (Exposure) 及脆弱度 (Vulnerability) 之乘積作為災害之風險值，其中危害度係指可能引發災害的物理現象，如地震、颱風、淹水災害、坡地災害等。坡地災害風險評估是識別、分析和預測坡地災害（如滑坡、崩塌、泥石流等）風險的過程，旨在確定可能的災害發生區域、災害的潛在影響以及有效的預防和緩解措施。當進行坡地災害風險評估時，可使用歷史災害記錄分析 (Historical Disaster Records Analysis)(Guzzetti, F. et al., 2005)、地形分析法 (Topographic Analysis)(Montgomery, D. R. et al., 1994)、地質統計分析法 (Geostatistical Analysis)(Van Westen C. J. et al., 2008)、機率分析法 (Probabilistic Analysis)(Lee, S., and Pradhan, B., 2007)、數值模擬法 (Numerical Modeling)(Zhang, L., 2015)、遙感技術與 GIS 分析 (Remote Sensing and GIS Analysis)(Lu, P. et al., 2011)、層次分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP)(Saaty, T. L., 1987)、多評準決策分析 (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA)(Malczewski, J., 2006) 等方法。本研究基於 Hammer(1972)的論述，即 $Risk=Probability \times Consequence$ ，以大署警戒資訊作為後果危害的定義，基於過去歷史降雨紀錄與未來氣候評估基期及變遷降雨情境作為坡地單元危害發生風險的評估基礎。

第二節 資料蒐整

本研究將蒐整臺中市範圍之數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM)、農村水保署觀測站資料展示平台 CCTV 站點、交通部公路總局之 CCTV 站點、TCCIP 氣候變遷情境模擬推估雨量、歷史坡地災害事件、歷史颱風降雨事件或歷史豪雨事件、交通路網等資料，本研究團隊透過政府資開放平臺 (<https://data.gov.tw/>) 取得內政部地政司所提供之全臺灣 20 公尺 DTM 資訊，如圖 2-1 所示；以農村水保署土石流潛勢溪流監測站資料作為研究對象，計有 24 處，共 59 支 CCTV 站點，分布如圖 2-2 所示；交通部公路總局 CCTV 部分選擇臺中市轄內範圍之 CCTV 作為主要評估對象；在氣候變遷情境降雨資料部分係透過 TCCIP 所提供之氣候變遷情境模擬推估雨量資料，其係以聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第六次評估報告(AR6)版本的評估基期及對未來推論的統計降尺度日降雨資料；歷史坡地災害事件部分主要蒐集自農村水保署所建置之土石流及大規模崩塌防災資訊網所公布之重大災害事件 (<https://246.ardswc.gov.tw/Achievement/MajorDisasters>)進行細緻化的坡地警戒風險分級探討。

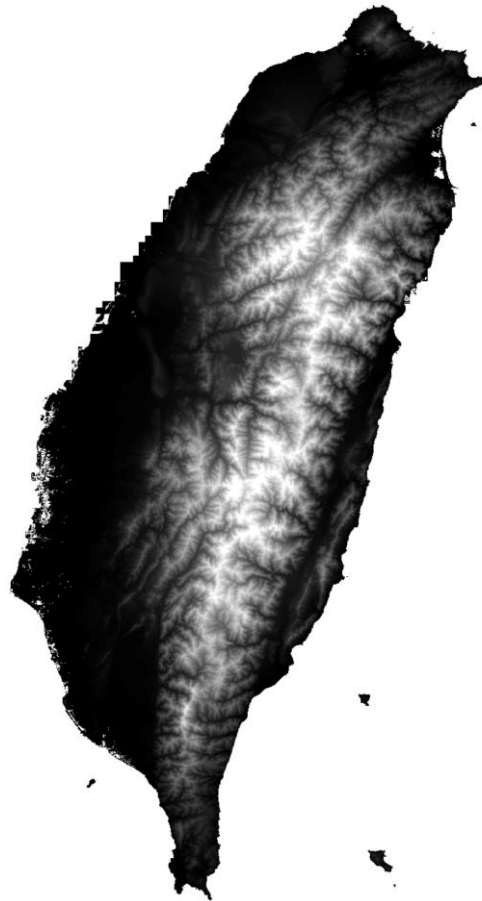


圖 2-1 臺灣數值地形模型

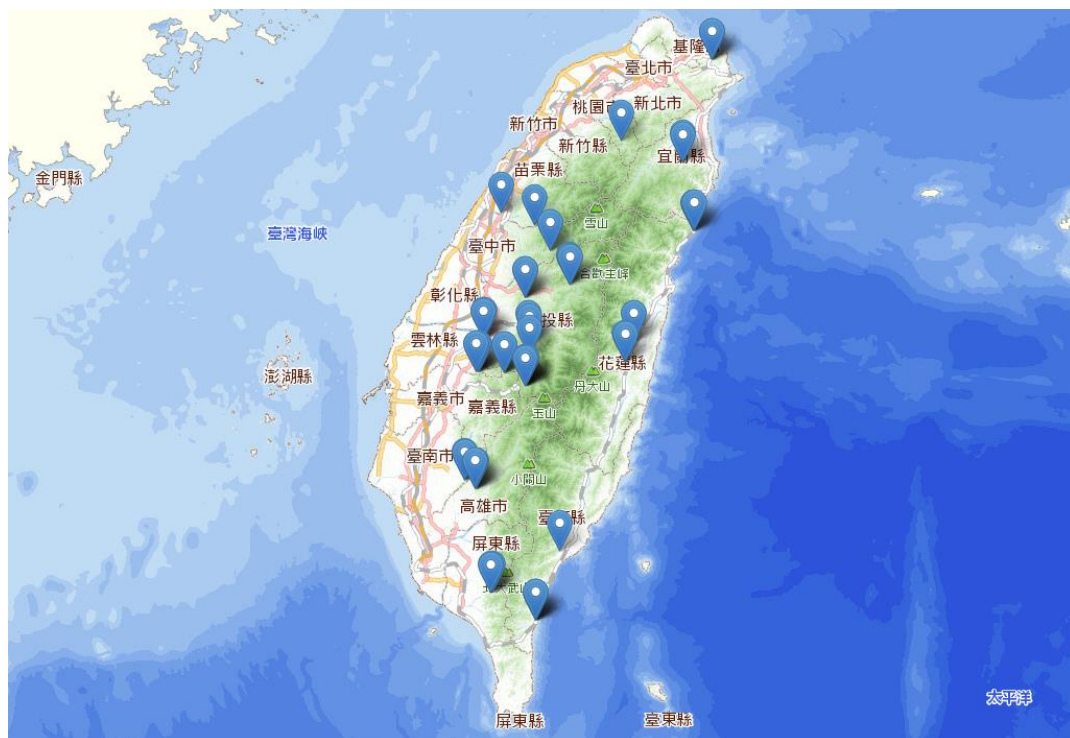


圖 2-2 農村水保署土石流 CCTV 站點分布

第三節 坡地災害風險與分級

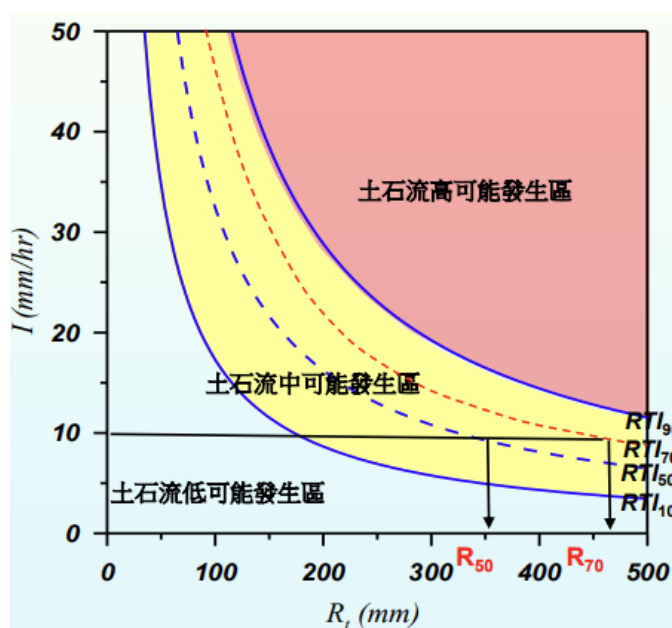
根據文獻探討結果，臺灣現有災害警戒主要以降雨量作為警戒發布之驅動因子，因此本研究以氣候變遷情境降雨探討臺中市坡地單元示警發布機率，再以發布機率作為坡地單元災害風險分級探討。在氣候變遷 AR6 降雨情境資料可分為基期（1960 年至 2014 年）、短期（2021 年至 2040 年）、中期（2041 年至 2060 年）及長期（2061 年至 2100 年），其中基期為歷史模擬結果，短、中、長期為未來推估，本研究以臺中市範圍內之氣候變遷基期情境年中最大日降雨量作為輸入，再以大規模崩塌警戒值或土石流警戒值（如表 2-2 所示）分析坡地單元警戒機率，其中大規模崩塌警戒值部分主要以歷史案例之累積降雨進行分析，建立大規模崩塌發生臨界雨量線，配合疏散避難準備之考量，再以發生臨界雨量轉換為大規模崩塌發生警戒雨量線做為警戒值設定之參考；土石流警戒基準值(rainfall threshold value for debris flow warning)係利用交通部中央氣象署之雨量資料，以有效累積雨量(Rt)及降雨強度(I)兩降雨參數之乘積為降雨驅動指標(RTI)，並依據土石流潛勢溪流鄰近之參考雨量站，統計其歷史雨量資料及土石流發生資料，計算出土石流降雨警戒門檻值 RTI_{70} (下標數字代表土石流發生可能性)，而為便於大眾瞭解及落實土石流政策，遂於後續在降雨強度 $I = 10 \text{ mm/hr}$ 條件下，簡化為採有效累積雨量當作土石流發生警戒指標的土石流警戒基準值 $R_c = R_{70}$ ，並以每 50 毫米為 1 個級距訂定全台土石流警戒基準值(農村水保署，2024，https://246.ardswc.gov.tw/Info/Debris_Function)，其示意如圖 2-3 所示，根據各警戒值進行坡地災害警戒發布機率探討坡地單元之災害風險分級。坡地單元災害風險分級評估部分，本研究分為歷史事件為基礎之風險評估方法及結合地理空間概念之評估方法，其中以歷史事件為基礎之風險評估流程，首

先以行政轄區進行坡地單元所屬行政區劃分後給予行政區大規模崩塌警戒值，如坡地單元內具有土石流潛勢溪流者再給予土石流警戒值；第二步驟計算 TCCIP 所提供之氣候變遷情境降雨值，分為基期與未來兩類進行格網之年最大日降雨值統計，根據坡地單元所在之行政區大規模崩塌警戒值進行警戒次數發布統計，再就其分布選擇適應之機率密度函數（如式 2.1 至 2.6 所示）進行坡地單元發生機率運算，分別為常態分布、參數對數常態分布、參數對數正態分布、甘保分布、皮爾 III 型分布及對數皮爾森 III 型分布等評估資料配適情況；第三步驟則以警戒雨量於基期與未來推估降雨之機率分布差值作為風險級距擬定方法，可據之評估計算坡地單元之低、中及高風險屬性，其計算方式如圖 2-4 所示，整體操作流程與概念如圖 2-5 所示，此部分用來呈現特定事件下，該事件相較於歷史基期與未來氣候變遷推論下，事件超越機率的變化情況；因本研究擬就目前各警戒值之於本研究劃定出的坡地單元下 24 小時降雨相對於評估基期與未來推論的在空間上的變化情形，就警戒值超越機率變化，設定警戒發布風險低、中、高的判定依據，因此本研究除就坡地單元本身警戒代表值超越機率在氣候變遷評估基期與推論期的變化情形進行評估外，基於降雨空間分布的相關性，同時納入鄰近單元作為警戒值發布風險界定的評估範圍，評估警戒代表值在氣候變遷基期與推論期對應之超越機率增加情況，作為警戒發布風險低、中、高的設定依據。因此，第二種以空間概念之風險評估方法係統計歷史坡地單元與其鄰近坡地單元（如圖 2-6 所示）之基期與未來警戒發布超越機率差值（如圖 2-7 所示）之最小差值、最大差值及平均差值特性，以邏輯判斷方式建立風險區分門檻值，考量降雨空間分布的差異與相關性，本研究採坡地單元的鄰近與次鄰近單元為警戒風險界定參考範圍。

表 2-2 臺中市大規模崩塌及土石流警戒值

行政區	坡地災害警戒值(mm)	土石流警戒基準值(mm)
沙鹿區	425	-
龍井區	425	-
大里區	335	-
外埔區	335	550
后里區	335	-
清水區	335	600
潭子區	335	550
太平區	275	450
北屯區	275	500
石岡區	275	-
豐原區	275	-
霧峰區	275	500
和平區	250	350
東勢區	250	-
新社區	250	500

資料來源: <https://dmap.ncdr.nat.gov.tw/1109/analysis-and-download/警戒值查詢/>



圖片來源：https://246.ardswc.gov.tw/Info/Debris_Function

圖 2-3 土石流警戒基準值訂定示意圖

A. 常態分布

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \dots\dots\dots (式 2.1)$$

B. 參數對數常態分布

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots (式 2.2)$$

C. 參數對數正態分布

$$f(x|\mu, \sigma, \theta) = \frac{1}{(x-\theta)\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x-\theta)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots (式 2.3)$$

D. 甘保分布

$$f(x|\mu, \beta) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x-\mu}{\beta}} e^{-\frac{x-\mu}{\beta}} \dots\dots\dots (式 2.4)$$

E. 皮爾森 III 型分布

$$f(x|\alpha, \beta, \gamma) = \frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)} (x - \gamma)^{\alpha-1} e^{-\frac{x-\gamma}{\beta}} \dots\dots\dots (式 2.5)$$

F. 對數皮爾森 III 型分布

$$f_Y(y|\alpha, \beta, \gamma) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} (e^y - \gamma)^{\alpha-1} e^{-\frac{e^y - \gamma}{\beta}} \dots\dots\dots (式 2.6)$$

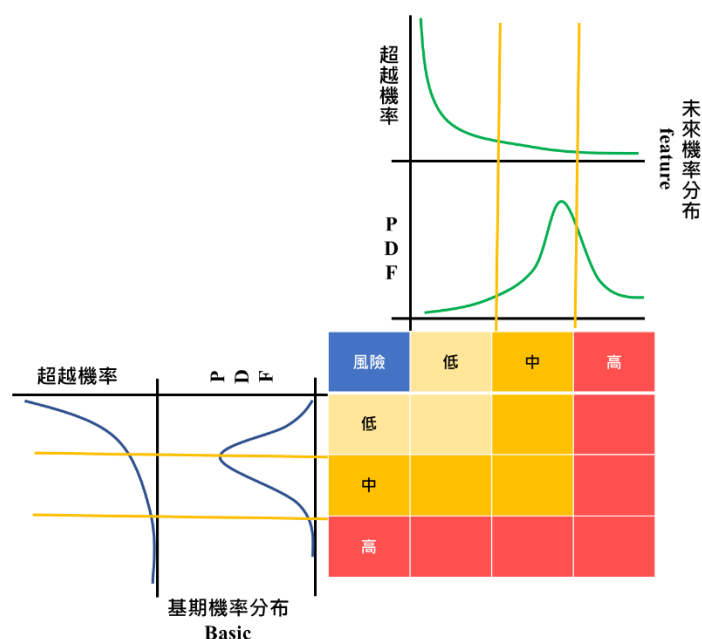


圖 2-4 坡地單元災害風險運算方式

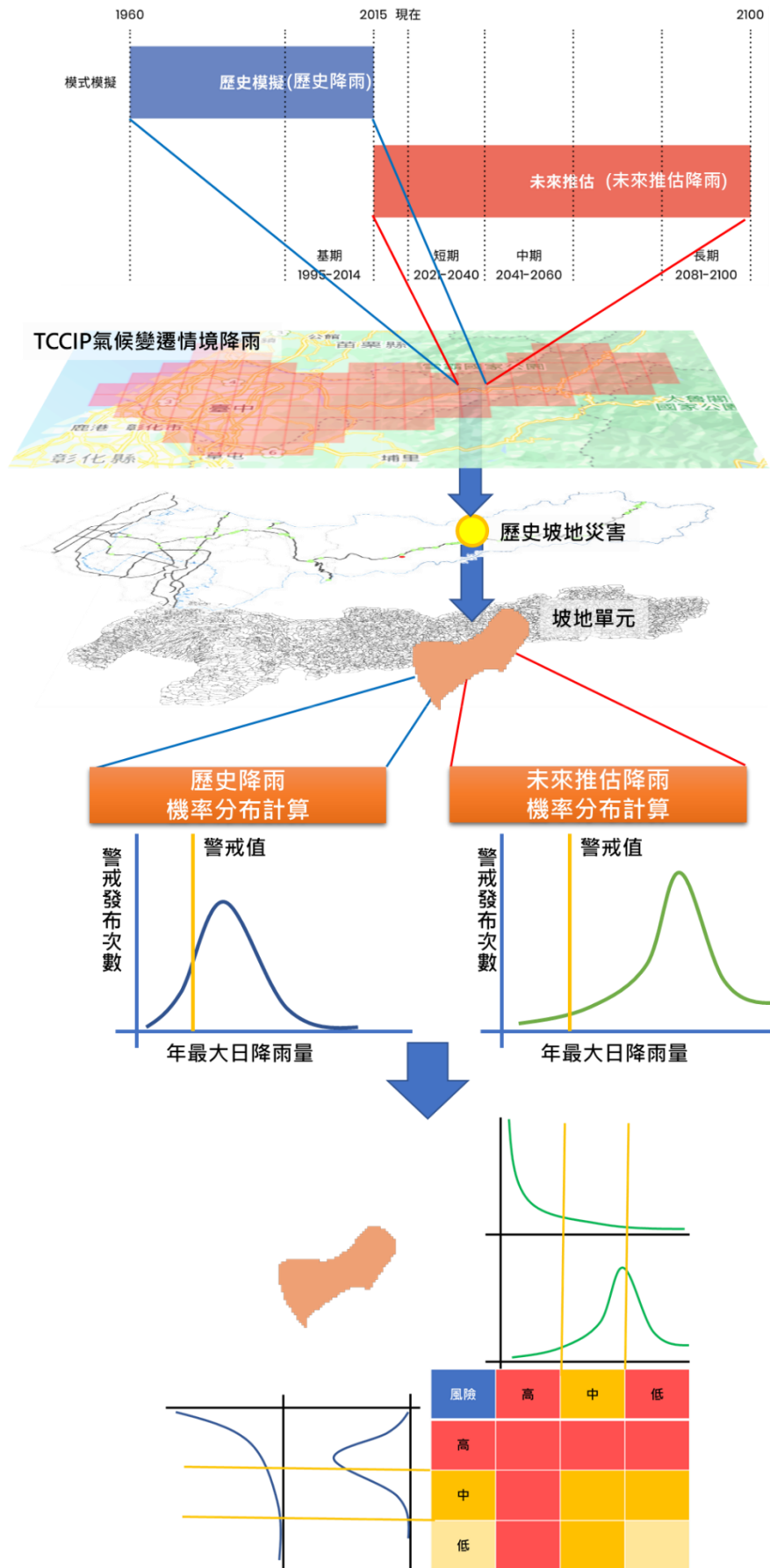


圖 2-5 坡地單元災害風險分級流程與概念

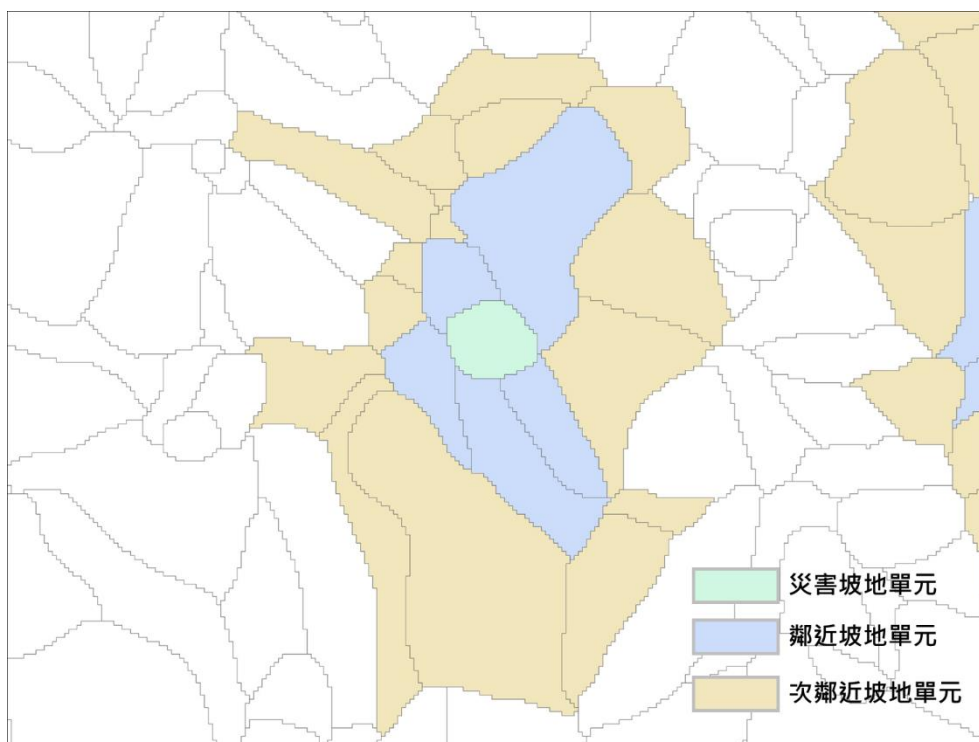


圖 2-6 歷史坡地災害坡地單元鄰近格網統計範圍示意圖

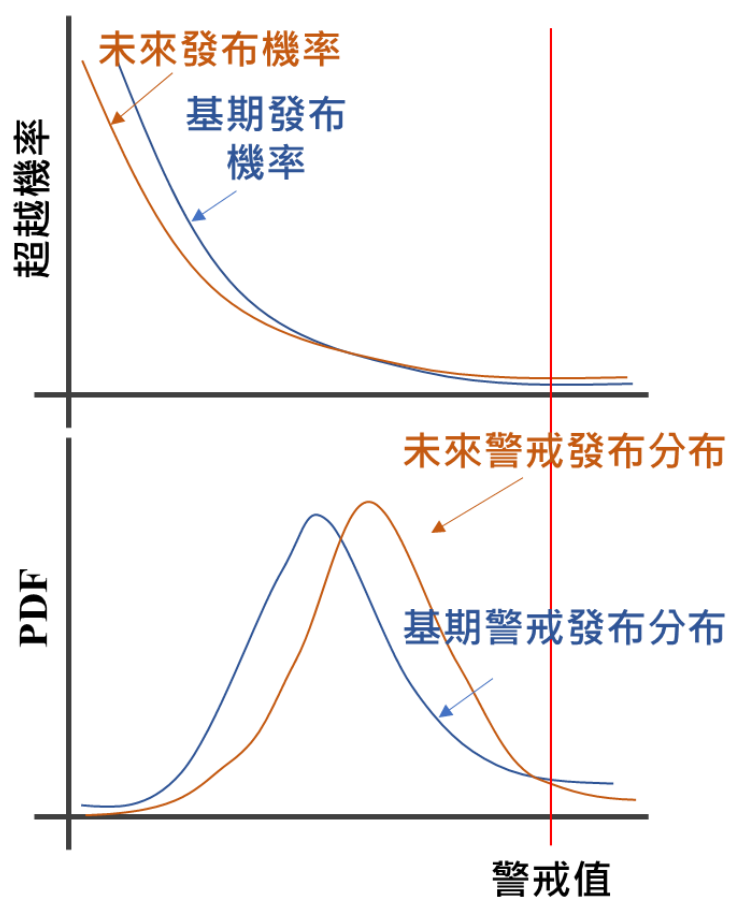


圖 2-7 基期與未來警戒發布機率差值示意圖

第四節 坡地單元生成程序開發

本研究使用 ArcGIS 軟體所提供之工具及參考 Xie (2004) 等人所提出的集水區重疊法進行本研究坡地單元之建置，本研究初步規劃之整體流程如圖 2-8 所示，首先針對所取之數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM) 進行坡地範圍選取 (高層值大於 100 公尺之區域)，並以就選取範圍進行 Reclassify 運算分為非坡地 (值為 0) 與坡地 (值為 1) 兩類，再透過 ArcGIS 軟體所提供的 Facal Statistics 功能去除椒鹽效應，其主要就所輸入的網格資料及所選擇的統計方式進行鄰近像元統計分析來決定中心像元值，介面如圖 2-9 所示，輸入參數部分主要有 Neighborhood 及 Statistics Type，各參數如表 2-3 所示，若 Facal Statistics 一次無法有效去除椒鹽效應時，可多次使用來達到消除效果，完成坡地範圍修正後使用 Extract by Mask 針對原始 DEM 影像重新選取坡地範圍，接下來使用 ArcGIS 水文分析 Hydrology 功具集之功能進行集水區運算並取得正、反集水區聯集結果，在進行集水區運算前需先計算流向 (Flow Direction)，再透過填充 (Fill) 運算進行窪地填充以消除 DEM 於內插運算時所產生的凹陷 (Sinks) 或突出 (Peaks) 等不合理地形，於取得無窪地 DEM 後即可計算集水區，在集水區部分可使用 Raster Calculator 功能計算反高層，以取得反集水區計算所需之高層資料，當完成正、反集水區計算後即可進行聯集運算，將正、反集水區合併為初步坡地單元，最後以人工檢視是否有不合理切割情境進行編修作業取得最終的坡地單元成果，為本研究之基礎坡地單元，整體程序本研究將透過 ArcGIS 軟體所提供之 ModelBuilder 進行建置作業。

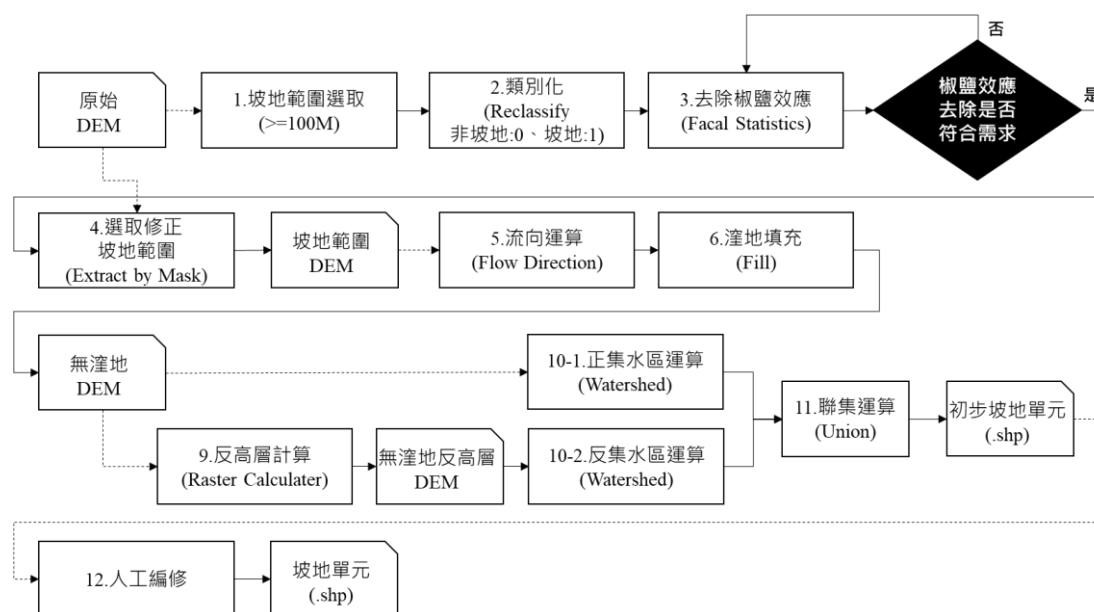


圖 2-8 坡地單元劃設流程

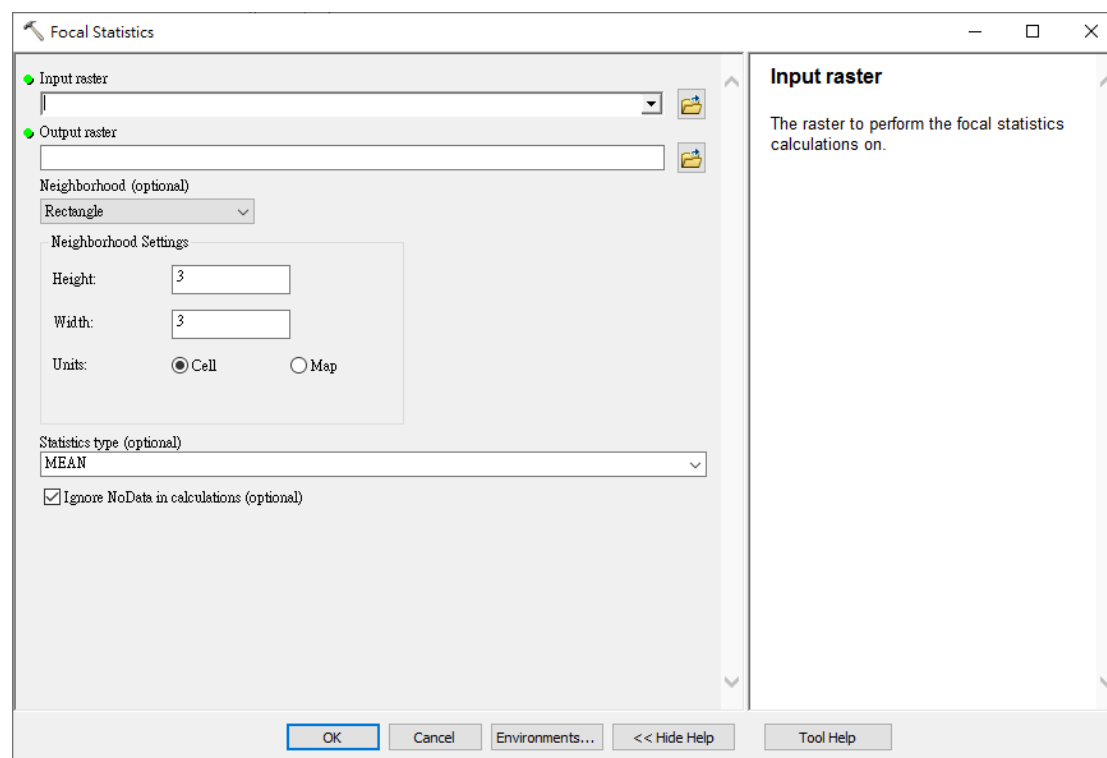


圖 2-9 ArcGIS Focal Statistics 介面

表 2-3 Focal Statistics 參數

參數	值	說明
Input raster	網格資料路徑	使用 Reclassify 網格資料。
Output raster	成果輸出路徑	運算後儲存的網格資料，檔案名稱需使用全英文，長度不可

參數	值	說明
		超過 13 字元。
Neighborhood	■ Annulus ■ Circle ■ Retangle ■ Wedge ■ Iregular ■ Weight	使用者可根據分析需求選擇取值的形狀或方式。
Statistics type	■ MEAN ■ MAJORITY ■ MAXIMUM ■ MEDIAN ■ MINIMUM ■ MINORITY ■ RANGE ■ STD ■ SUM ■ VARIETY	使用者可根據統計需求選擇中心像元值的統計方法。

第五節 應用平臺建置

本研究以 112 年坡地災害辨識電腦視覺模式精進與應用評估之創新研發計畫（計畫編號：ARDSWC-112-064）之網頁服務平臺建置經驗預計適用於本研究計畫示範應用所需功能之網頁服務，其中以地圖平臺為基礎，就所蒐集之 CCTV 資訊置入地圖平臺中，提供 CCTV 之點選播放及坡地單元風險分析成果套疊展示，平臺初步規劃如圖 2-10 所示，元素包含地圖平臺、地圖樣式選單、資訊窗格，其中地圖平臺主要呈現 CCTV 點位及相關圖資，例如省道、坡地單元等，並提供互動式操作功能，使用者可於點選 CCTV 點位後彈跳出資訊窗格；地圖樣式選單提供各式樣式底圖，使用者可依需求選擇樣式；資訊窗格主要進行 CCTV 影像內容或坡地單元警戒燈號發布機率。本研究以 Python 語法為基礎之 Django 架構進行網站服務建置，Django 係以 Python 為基礎進行 Web 應用程式開發環境，Django 可透過 cookies 中所記錄之密鑰進行後端資料庫的存取作業，可大幅提升網頁服務的安全性。

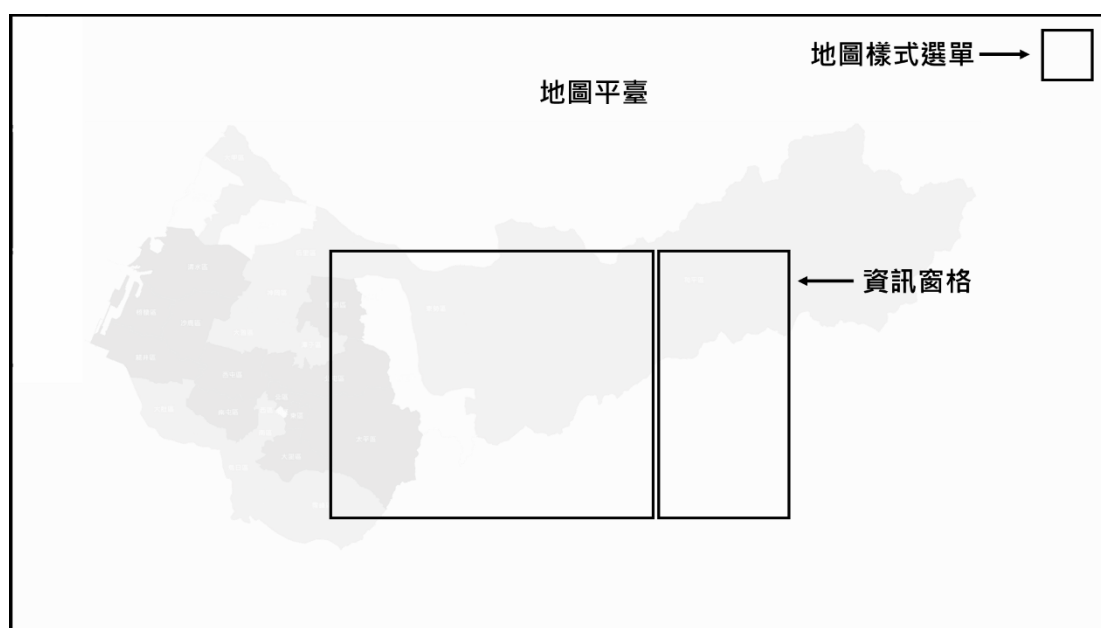


圖 2-10 電腦視覺災害決策平臺功能規劃

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

本研究期程自民國 113 年 02 月 7 日起至民國 113 年 12 月 31 日止，各項預期工作期程安排如表 3-1 所示，本研究預計以 2.5 個月完成文獻探討、資料蒐整及示範網站平臺架構規劃；以 4 至 5 個月完成模式的程序建構及測試；最後以 3 個月左右的時間進行模式的最後校正與應用測試範例平台建置及測試，以此達到本研究之各項目標。截至 11 月工作項目皆已達成，成果報告及成果光碟於 12 月完成修訂與繳送。

表 3-1 預定執行工作進度表

工作項目	開始	完成	民國 113 年											
			1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
文獻探討	113/02/07	113/03/31												
資料蒐整	113/02/07	113/03/31												
災害警戒分級探討	113/02/07	113/06/30												
坡地單元 生成程序開發	113/02/07	113/03/31												
氣候變遷情境 坡地單元分級分析	113/02/07	113/9/30												
CCTV 受災風險分析	113/02/07	113/10/30												
期中報告	113/07/01	113/07/17												
期末報告	113/11/01	113/11/13												
成果報告	113/11/01	113/12/25												
當月預定進度(%)			8%	14%	16%	8%	6%	5%	8%	10%	6%	8%	7%	4%

工作項目	開始	完成	民國 113 年											
			1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
累積預計進度(%)			8%	22%	38%	46%	52%	57%	65%	75%	81%	89%	96%	100%
實際累計進度(%)			8%	28%	41%	48%	52%	62%	70%	77%	84%	91%	97%	100%

第二節 計畫交付項目

本研究成果產出項目有基礎圖資資料乙式、坡地單元圖資乙式(包含坡地單元氣候變遷降雨情境風險分析成果)、展示平臺網頁乙式(包含整體網頁架構及原始碼),於成果報告中提供整體成果數位檔案。

第四章 期末成果

本章節就研究之目標與執行成果，文獻回顧成果於第二章第二節中已完成本研究之坡地單元劃分方法、坡地災害類型及災害風險評估方法之定義，下將就資料蒐整成果、坡地單元建置、坡地單元災害風險分級探討成果及應用示範平臺建置成果分述於下：

第一節 資料蒐整成果

本研究主要蒐集之資料項目有氣候變遷情境資料、歷史坡地災害及 CCTV 點位資料，其中氣候變遷資料係透過國科會「建構面對氣候緊急狀態下之韌性臺灣」中程綱要計畫之分項一及分項三所建置之「台灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」(Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP) 取得氣候變遷情境降雨資料；歷史坡地災害部分以農村水保署及臺中市地區災害防救計畫等管道進行蒐集作業；CCTV 部分以農村水保署觀測站資料展示平台 CCTV 及公路總局所發布之省道 CCTV 為主要蒐集來源，茲將就各資料蒐整成果分述於下：

一、氣候變遷資料

台灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台所提供之氣候變遷資料係基於聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第一工作小組(WGI) 所公布之氣候變遷評估報告所提供的情境資料，再以臺灣環境區域特性進行動力與統計降尺度演算，取得適合應用於臺灣尺度的情境資料。AR6 為 IPCC 於 2021 年發布之第六次評估報告，AR6 加入「共享社會經濟路徑 (Shared Socioeconomic Pathway, SSP)」因子進行情境評估，AR6 選取源自 21 個研究中心所開發

的模式，共有 31 組模式的模擬結果，降雨變數在各情境下模式數量為 SSP1-2.6 有 28 個、SSP2-4.5 有 29 個、SSP3-7.0 有 27 個、SSP5-8.5 有 29 個模式，AR6 情境各模式資訊如表 4-1 所示，氣候變遷情境降雨格網分布如圖 4-1 所示，臺中市每年最大日降雨量(mm/day)空間平均值如表 4-2 所示，AR6 最大降雨值 1,532mm 主要係 EC-Earth3-CC 模式於 ssp585 情境下之 2068 年。本研究以氣候變遷降雨格作為降雨區域，各區域內之坡地單元就各種情境之年最大日降雨值統計其機率密度函數與累積分布函數後，就坡地單元警戒值評估發布機率在本研究將氣候變遷的向量網格轉成格網(grid)後，再以 zonal static 抓取坡地單元中最具代表性之格網，代表該坡地單元之降雨區域，坡地單元雨場分布成果如圖 4-2 所示。

表 4-1 AR6 極端氣候降雨情境

編號	模式 \ 情境	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
1	ACCESS-CM2	1	1	1	1
2	ACCESS-ESM1-5	1	1	1	1
3	AWI-CM-1-1-MR	1	1	1	1
4	BCC-CSM2-MR	1	1	1	1
5	CanESM5	1	1	1	1
6	CESM2-WACCM	1	1	1	1
7	CMCC-CM2-SR5	1	1	1	1
8	CMCC-ESM2	1	1	1	1
9	EC-Earth3	1	1	1	1
10	EC-Earth3-AerChem	0	0	1	0
11	EC-Earth3-CC	0	1	0	1
12	EC-Earth3-Veg	1	1	1	1
13	EC-Earth3-Veg-LR	1	1	1	1
14	FGOALS-g3	1	1	1	1
15	GFDL-CM4	0	1	0	1
16	GFDL-ESM4	1	1	1	1
17	IITM-ESM	1	1	1	1
18	INM-CM4-8	1	1	1	1
19	INM-CM5-0	1	1	1	1
20	IPSL-CM5A2-INCA	1	0	1	0

編號	模式 \ 情境	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
21	IPSL-CM6A-LR	1	1	1	1
22	KACE-1-0-G	1	1	1	1
23	KIOST-ESM	1	1	0	1
24	MIROC6	1	1	1	1
25	MPI-ESM1-2-HR	1	1	1	1
26	MPI-ESM1-2-LR	1	1	1	1
27	MRI-ESM2-0	1	1	1	1
28	NESM3	1	1	0	1
29	NorESM2-LM	1	1	1	1
30	NorESM2-MM	1	1	1	1
31	TaiESM1	1	1	1	1

備註：0 表示無此資料。資料來源：https://tcip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_06_ar6_model.aspx

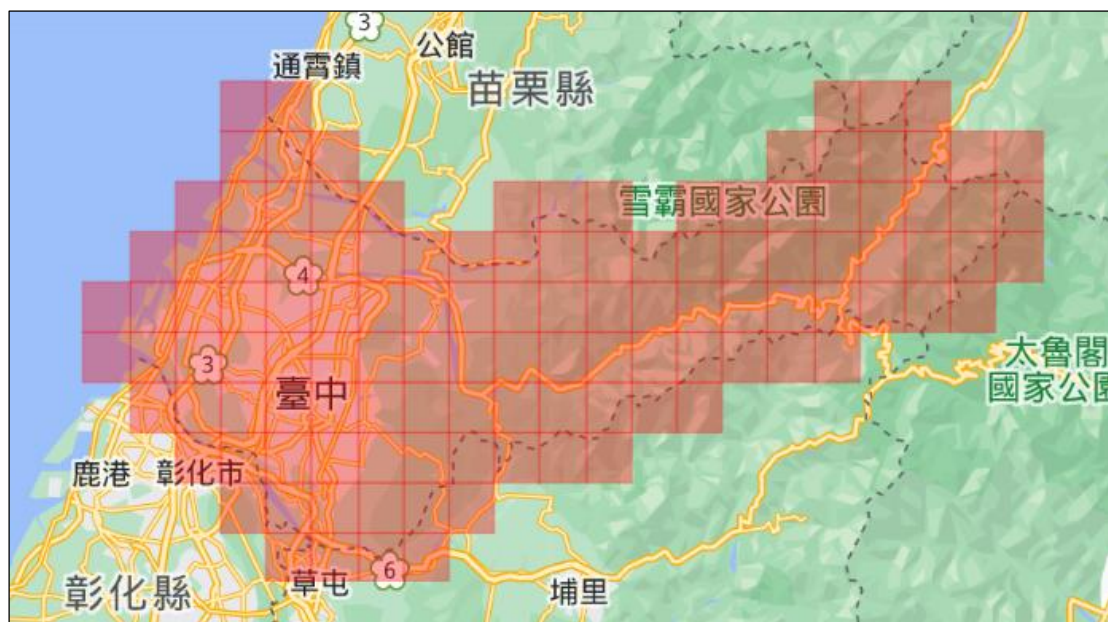


圖 4-1 氣候變遷情境降雨格網分布

表 4-2 臺中市 AR6 各情境各模式 2023-2100 最大日平均降雨

編號	模式 \ 情境	SSP1-2.6		SSP2-4.5		SSP3-7.0		SSP5-8.5	
		年度	日均降雨	年度	日均降雨	年度	日均降雨	年度	日均降雨
1	ACCESS-CM2	2087	835	2035	1,051	2094	656	2069	1,018
2	ACCESS-ESM1-5	2042	604	2071	663	2040	673	2071	714
3	AWI-CM-1-1-MR	2081	478	2067	632	2093	535	2092	454
4	BCC-CSM2-MR	2048	573	2049	570	2090	448	2055	596
5	CanESM5	2070	461	2052	429	2079	569	2096	513
6	CESM2-WACCM	2057	575	2078	861	2086	621	2074	748
7	CMCC-CM2-SR5	2043	435	2033	505	2076	468	2083	689
8	CMCC-ESM2	2065	764	2034	546	2041	583	2087	756

編號	模式 \ 情境	SSP1-2.6		SSP2-4.5		SSP3-7.0		SSP5-8.5	
		年度	日均降雨	年度	日均降雨	年度	日均降雨	年度	日均降雨
9	EC-Earth3	2070	698	2030	545	2086	903	2082	901
10	EC-Earth3-AerChem	-	-	-	-	2095	857	-	-
11	EC-Earth3-CC	-	-	2082	525	-	-	2086	1,532
12	EC-Earth3-Veg	2024	502	2088	582	2096	1,018	2092	1,110
13	EC-Earth3-Veg-LR	2068	508	2071	673	2070	485	2091	639
14	FGOALS-g3	2061	545	2077	424	2036	577	2088	633
15	GFDL-CM4	-	-	2047	429	-	-	2057	486
16	GFDL-ESM4	2081	717	2092	731	2088	473	2066	559
17	IITM-ESM	2054	531	2093	634	2069	489	2069	506
18	INM-CM4-8	2058	488	2088	564	2087	423	2100	503
19	INM-CM5-0	2038	511	2030	432	2090	413	2062	610
20	IPSL-CM5A2-INCA	2089	438	-	-	2059	565	-	-
21	IPSL-CM6A-LR	2047	523	2067	807	2085	708	2089	718
22	KACE-1-0-G	2025	807	2083	680	2077	777	2086	682
23	KIOST-ESM	2069	651	2065	640	-	-	2093	565
24	MIROC6	2084	499	2070	634	2052	732	2099	609
25	MPI-ESM1-2-HR	2064	485	2073	547	2067	458	2054	402
26	MPI-ESM1-2-LR	2042	679	2050	525	2065	541	2079	537
27	MRI-ESM2-0	2052	649	2083	589	2059	669	2093	656
28	NESM3	2036	524	2088	549	-	-	2095	580
29	NorESM2-LM	2053	641	2100	640	2079	519	2070	755
30	NorESM2-MM	2023	506	2048	614	2078	646	2040	1,124
31	TaiESM1	2078	613	2037	709	2088	600	2046	721

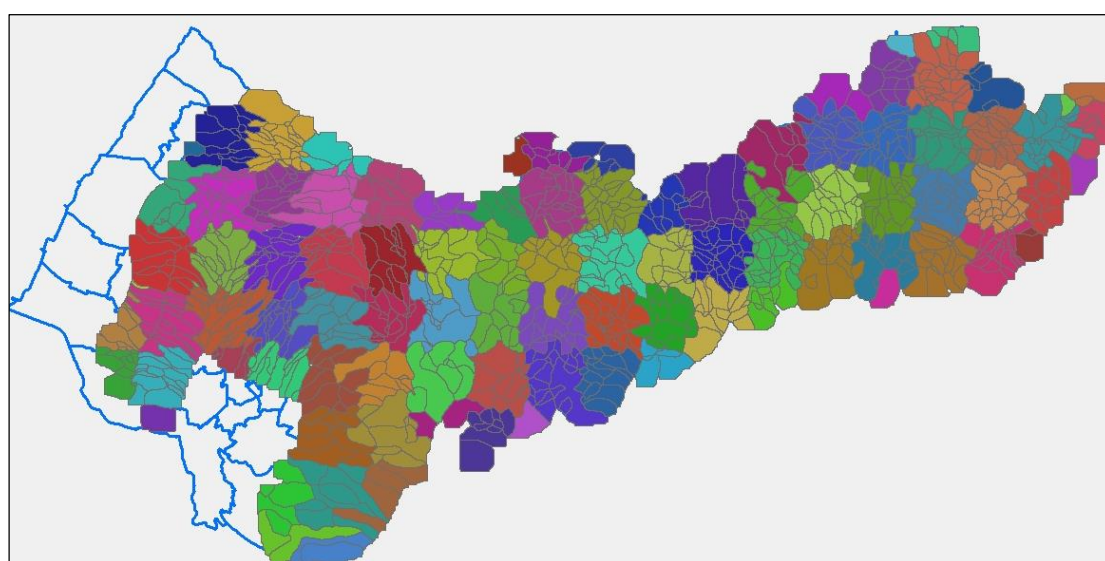
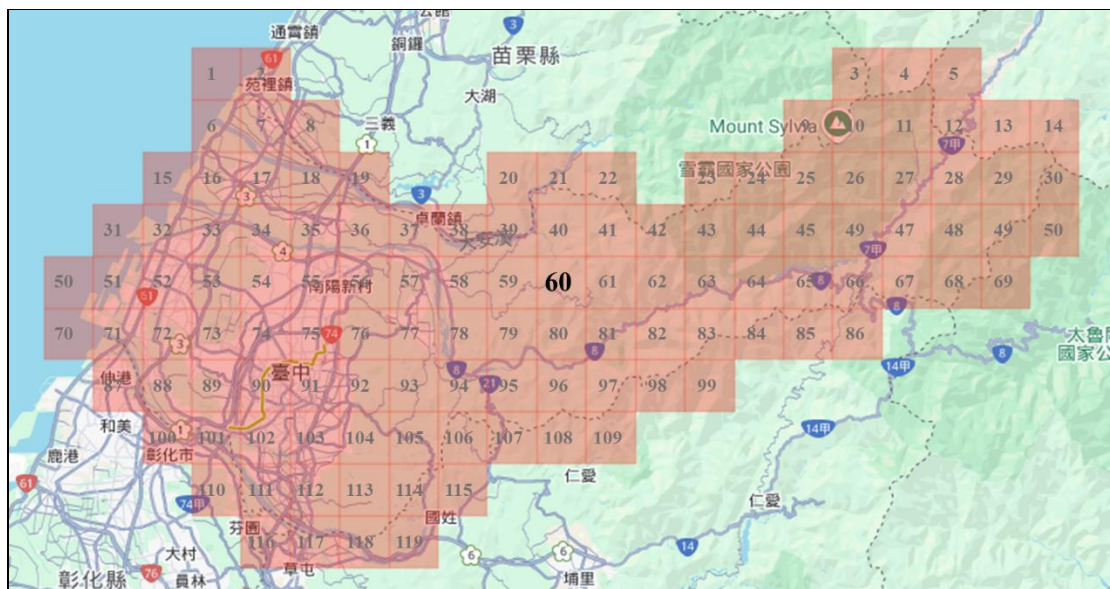


圖 4-2 坡地單元雨場劃分成果

本研究根據 TCCIP 所提供之 AR6 降雨情境進行 SSP-1、SSP-2、SSP-3 及 SSP-4 之統計分布分析，以編號 60 之格網為例(如圖 4-3 所示)，基期之分布為皮爾森 III 型 (Pearson Type III) 分布，氣候變遷情境 SSP-1、SSP-2、SSP-3、SSP-4 皆為甘保 (Gumbel) 分布，本研究以此機率值進行坡地單元災害風險評估與事件型坡地單元災害風險矩陣之建置，臺中市轄內各網格所適用之統計函數如表 4-3 所示，主要有常態分布 (Normal)、2 參數對數常態分布 (2-parameter Lognormal)、3 參數對數常態分布 (3-parameter Lognormal)、甘保分布、皮爾森 III 型分布。其中，在高程較高、變化較大的格網，多數配適於甘保分布與極端值分布，此兩種統計特性多用於描述極端值及明顯偏態數據，氣候變遷變遷情境將相較於評估基期呈現明顯的豐枯變化。本研究即據此研擬氣候變遷下坡地單元降雨警戒值發生機率對坡地單元穩定可能的危害分級。



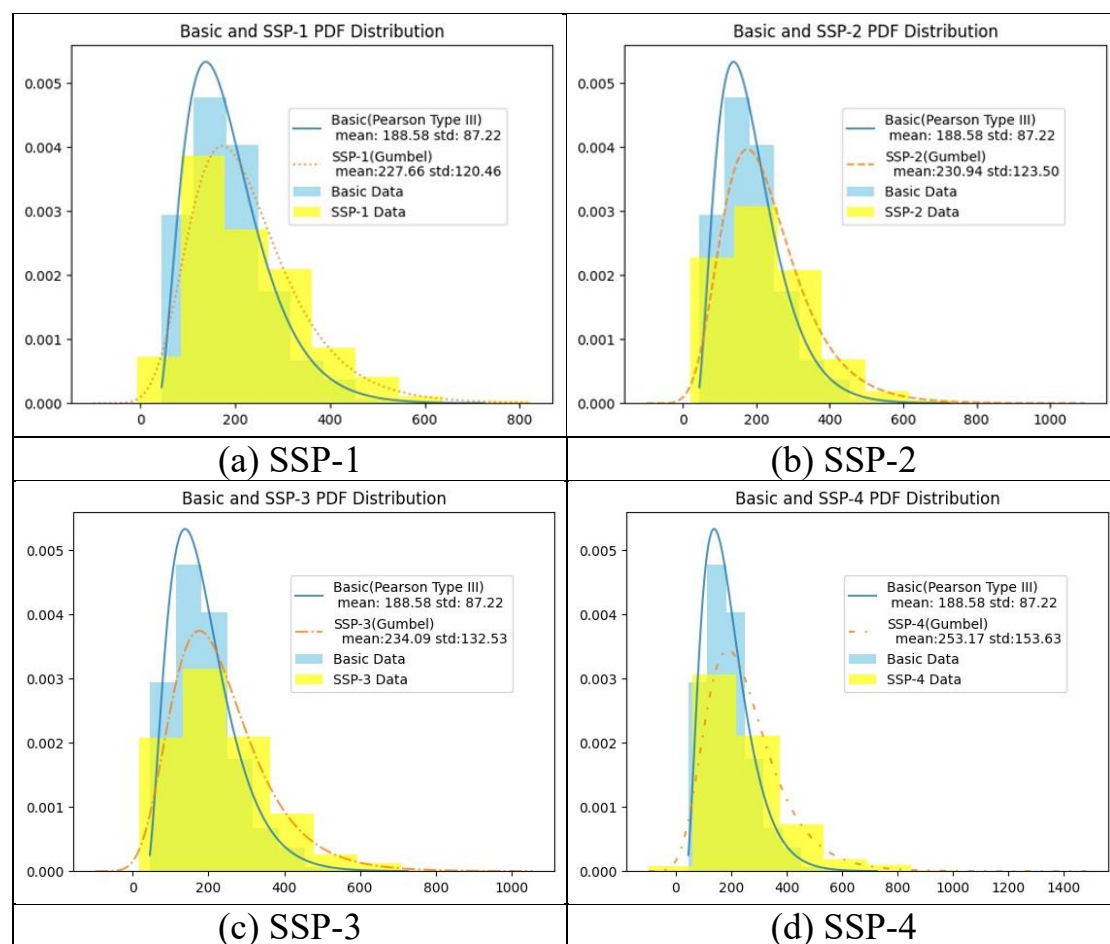


圖 4-3 臺中市格網編號 60 之 AR6 氣候變遷降雨情境分布

表 4-3 臺中市轄內 TCCIP 格網 AR6 情境降雨統計分布

編號	SSP-1	SSP-2	SSP-3	SSP-4
1	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
2	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
3	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
4	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
5	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
6	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
7	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
8	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
9	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
10	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
11	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
12	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
13	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
14	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
15	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL

編號	SSP-1	SSP-2	SSP-3	SSP-4
16	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
17	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
18	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
19	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
20	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
21	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
22	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
23	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
24	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
25	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
26	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
27	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
28	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
29	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
30	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
31	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
32	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
33	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
34	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
35	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
36	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
37	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
38	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
39	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
40	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
41	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
42	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
43	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
44	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
45	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
46	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
47	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
48	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
49	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
50	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
51	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
52	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
53	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
54	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
55	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL

編號	SSP-1	SSP-2	SSP-3	SSP-4
56	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
57	PT III	PT III	PT III	2-PL
58	2-PL	2-PL	PT III	2-PL
59	PT III	PT III	2-PL	2-PL
60	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel
61	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
62	PT III	PT III	PT III	PT III
63	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
64	PT III	PT III	PT III	PT III
65	PT III	PT III	PT III	PT III
66	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
67	PT III	PT III	PT III	PT III
68	PT III	PT III	PT III	PT III
69	PT III	PT III	PT III	PT III
70	PT III	PT III	PT III	PT III
71	PT III	PT III	PT III	PT III
72	2-PL	PT III	PT III	2-PL
73	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
74	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
75	PT III	PT III	PT III	PT III
76	2-PL	PT III	PT III	PT III
77	2-PL	2-PL	2-PL	PT III
78	PT III	PT III	PT III	PT III
79	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
80	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
90	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
91	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
92	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
93	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
94	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
95	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
96	2-PL	2-PL	2-PL	PT III
97	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
98	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
99	2-PL	PT III	2-PL	2-PL
100	PT III	PT III	2-PL	PT III
101	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
102	2-PL	2-PL	2-PL	PT III
103	Gumbel	Gumbel	Gumbel	PT III
104	Gumbel	PT III	PT III	PT III

編號	SSP-1	SSP-2	SSP-3	SSP-4
105	PT III	PT III	2-PL	PT III
106	PT III	Normal	Normal	Gumbel
107	3PL	Normal	Gumbel	PT III
108	Gumbel	Normal	Gumbel	PT III
109	2-PL	PT III	2-PL	2-PL
110	PT III	PT III	2-PL	2-PL
111	PT III	PT III	PT III	2-PL
112	3PL	Normal	Gumbel	PT III
113	Normal	Normal	Gumbel	PT III
114	PT III	PT III	PT III	PT III
115	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
116	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
117	PT III	PT III	PT III	PT III
118	Gumbel	Normal	PT III	PT III
119	PT III	PT III	PT III	Gumbel
120	2-PL	2-PL	2-PL	2-PL
121	PT III	PT III	PT III	PT III

註：2-PL 為 2-parameter Lognormal；3-PL 為 3-parameter Lognormal；PT III 為 Pearson Type III

二、歷史坡地災害資訊

本項目主要蒐整臺中市轄內歷史坡地災害部分透過農業部水土保持署建置之土石流及大規模崩塌防災資訊網中重大災害事件查詢結果顯示臺中市轄內於 2007 年至 2022 年計有 25 件重大坡地災害事件 (如表 4-4 所示)，其中崩塌計有 17 件、土石流計有 2 件、洪流計有 6 件，整體分布如圖 4-4 所示。

表 4-4 臺中市歷史重大坡地災害

災害時間	災害案件編號	土石流警戒基準值	受災地點	災害類型
111 年 07 月 31 日 02 時	111 年 0801 其他-臺中和平-00	350mm	台 8 線 77K 靈甫橋路段	崩塌 (山崩)
109 年 6 月 12 日 09 時	109 年其他-臺中和平-001	300mm	台八線臨 37 便道 22.5K	崩塌 (山崩)
108 年 8 月 21 日 4 時	108 年其他-臺中豐原-001	400mm	中 88 線(東陽路)	崩塌 (地滑、山崩)

災害時間	災害案件編號	土石流警戒基準值	受災地點	災害類型
108 年 8 月 9 日 10 時	108 年利奇馬颱風-臺中東勢-001	400mm	小山崙登山步道口	崩塌(沖蝕)
108 年 6 月 11 日 11 時	108 年 0611 豪雨-臺中太平-001	無	草湖溪糖廓橋	崩塌(地滑)
108 年 5 月 19 日 00 時	108 年 0520 豪雨-台中和平-001	無	青山橋	土石流
106 年 6 月 14 日 16 時	106 年 0613 豪雨-臺中豐原-001	350mm	南坑巷 5 號	崩塌(山崩)
102 年 8 月 29 日 13 時	102 年康芮颱風-台中霧峰-001	無	阿科土雞城(新生路 134 號)	崩塌(地滑)
102 年 8 月 29 日 13 時	102 年康芮颱風-台中霧峰-002	無	彩虹農路(復興路二段，松群護理之家東北方 700 公尺)	崩塌(山崩)
102 年 7 月 12 日 14 時	102 年蘇力颱風-台中和平-001	300mm	白冷國小	土石流
101 年 6 月 10 日 17 時	101 年 0610 豪雨-台中和平-00	300mm	東關路二段 115 之 1 號民宅(台 8 線 22k 旁)	洪水
101 年 6 月 12 日 11 時	101 年 0610 豪雨-台中太平-001	400mm	產業二號橋(中 99 線鄉道北田路)	洪水
101 年 6 月 10 日 17 時	101 年 0610 豪雨-台中東勢-001	300mm	石麻巷 57 號民宅	崩塌
101 年 6 月 10 日 17 時	101 年 0610 豪雨-台中和平-001	300mm	林務局佳陽分站(台 8 線 69.5K)	崩塌
101 年 6 月 10 日 17 時	101 年 0610 豪雨-台中新社-001	350mm	民俗 43 號民宅	崩塌
98 年 8 月 9 日 17 時	98 年莫拉克颱風-台中和平-001	300mm	雪山坑橋(約位於中 47 線 21K+400 附近)	洪水
97 年 9 月 15 日 11 時	97 年辛樂克颱風-台中北屯-001	無	電桿編號竹豐枝 45 號中 88 線於電桿編號竹豐枝 45 號前 10 公尺即為受災地點	崩塌
97 年 7 月 18 日 8 時	97 年卡玫基颱風-台中北屯-001	450mm	雙連橋與長壽橋上游(129 縣道連坑巷往善本巖旁)	洪水
97 年 7 月 18 日 8 時	97 年卡玫基颱風-台中東勢-001	300mm	天公廟	崩塌
96 年 7 月 18 日 6 時	97 年卡玫基颱風-台中新社-001	350mm	協中街與南華街口(中 99 鄉道往慶西村路口)	洪水

災害時間	災害案件編號	土石流警戒基準值	受災地點	災害類型
96 年 10 月 6 日 23 時	96 年柯羅莎颱風-台中太平-001	無	北田路 1k 處	崩塌(山崩)
96 年 10 月 6 日 16 時	96 柯羅莎颱風-台中石岡-001	無	石忠宮	崩塌(地滑)
96 年 6 月 8 日 14 時	960604 豪雨-台中東勢-001	無	勝玄宮	崩塌(地滑)
96 年 6 月 9 日約 15 時	960604 豪雨-台中東勢-002	300mm	省道台 8 線往谷關方向約 8K 處遇永安橋，左轉中 46 線約 2.7K 即可到達福南橋	山地洪流
96 年 6 月 8 日 14 時	960604 豪雨-台中東勢-001	無	勝玄宮	崩塌(地滑)

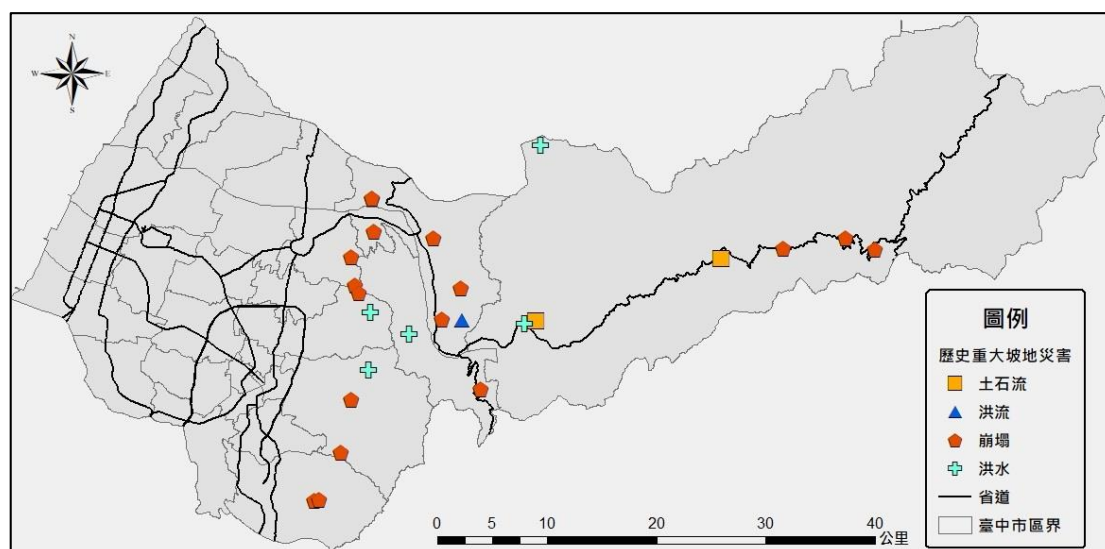


圖 4-4 臺中市歷史重大坡地災害類型與分布

三、CCTV 點位資訊

本研究主要以農村水保署觀測站資料展示平台 (<https://dfm.ardswc.gov.tw/dfm/>) 及交通部公路總局智慧化省道即時資訊服務網 (<https://168.thb.gov.tw/>) 所公開的 CCTV 資訊進行蒐整，其中農村水保署觀測站資料展示平臺中計有 24 處(其中明霸克露橋工區僅提供雨量計資訊)，共計有 59 支 CCTV，位於臺中市轄內計有 2 支，主要位於和平區博愛里松鶴部落內監視土

石流潛勢溪流編號中市 DF028(松鶴二溪)，土石流潛勢溪流監測站資訊如表 4-5 所示 (本研究示範對象為灰底之 CCTV)，在實際操作上，於資料取得部分本研究係透過農業資料開放平臺 (https://data.moa.gov.tw/open_search.aspx?id=111) 所提供之 CCTV 連結進行 CCTV 資訊線上即時更新；道路 CCTV 部分以交通部公路總局智慧化省道即時資訊服務網公開 CCTV 為資訊來源，分析範圍主要係以臺中市轄內坡地範圍內之台 8 線、台 7 甲線、台 10 線、台 12 線、台 13 線等之 CCTV 影像作為監測對象，共計有 76 支，公路總局所提供之 CCTV 影像資訊結構如表 4-6 所示，根據本研究就研究範圍所篩選出之 CCTV 資訊如表 4-7 所示，各 CCTV 之分布如圖 4-5 所示。

表 4-5 農村水保署土石流潛勢溪流監測站資訊

監測站	土石流潛勢 溪流編號	SID	CID	X	Y
白布帆-全景式攝影機	苗縣 DF058	1	2	120.9056	24.29807
九份二山-中游攝影機	投縣 DF101	2	1	120.8552	23.95073
九份二山-上游攝影機	投縣 DF101	2	3	120.8561	23.95028
九份二山-下游攝影機	投縣 DF101	2	6	120.8569	23.95199
神木-霍蔭攝影機	投縣 DF199	3	1	120.8564	23.52833
神木-愛玉子溪下游攝影機	投縣 DF199	3	3	120.8564	23.52833
神木-出水溪下游攝影機	投縣 DF199	3	4	120.8602	23.5267
神木-出水溪上游攝影機-1	投縣 DF199	3	6	120.8603	23.52659
神木-出水溪上游攝影機-2	投縣 DF199	3	7	120.8603	23.52655
神木-愛玉子溪上游攝影機	投縣 DF199	3	9	120.8533	23.52415
上安-全景式攝影機	投縣 DF165	4	2	120.8756	23.72506
郡坑-上游攝影機	投縣 DF167	5	1	120.8711	23.74022
郡坑-下游攝影機	投縣 DF167	5	2	120.8701	23.73952
豐丘-上游全景式攝影機	投縣 DF190	6	4	120.877	23.66839
大粗坑-下游攝影機 1	新北 DF174	7	2	121.837	25.09053
大粗坑-上游攝影機	新北 DF174	7	3	121.84	25.09101
大粗坑-下游攝影機 2	新北 DF174	7	4	121.837	25.09069
鳳義坑-下游攝影機	花縣 DF125	8	2	121.4269	23.74241
鳳義坑-上游全景式攝影機	花縣 DF125	8	3	121.4262	23.74186
射馬干-上游攝影機	東縣 DF058	9	1	121.037	22.7255

監測站	土石流潛勢 溪流編號	SID	CID	X	Y
華山-中游攝影機	雲縣 DF002	10	1	120.6091	23.59321
華山-上游攝影機	雲縣 DF002	10	3	120.6115	23.59254
華山-全景式攝影機	雲縣 DF002	10	4	120.6068	23.59314
華山-華山橋下游攝影機	雲縣 DF002	10	6	120.5989	23.59361
華山-華山橋上游攝影機	雲縣 DF002	10	7	120.5989	23.59357
大興-下游攝影機	花縣 DF118	11	2	121.3802	23.64091
大興-上游全景式攝影機	花縣 DF118	11	3	121.3777	23.64216
豐山-乾坑溪下游攝影機	嘉縣 DF039	12	1	120.7456	23.59057
豐山-野溪攝影機	嘉縣 DF039	12	2	120.7446	23.59101
豐山-乾坑溪上游攝影機	嘉縣 DF039	12	3	120.7454	23.59054
松鶴-下游攝影機	中市 DF028	13	1	120.9857	24.17664
松鶴-上游全景式攝影機	中市 DF028	13	3	120.9858	24.17662
坪頂-停車場攝影機	-	14	1	120.6379	23.75286
坪頂-邊坡攝影機(菜園)	-	14	2	120.637	23.75257
坪頂-入口處攝影機	-	14	4	120.6383	23.75386
蘇樂-上游攝影機	桃縣 DF035	15	2	121.3597	24.70069
羌黃坑-上游攝影機	南市 DF048	18	1	120.538	23.06977
羌黃坑-中游攝影機	南市 DF048	18	2	120.537	23.07185
羌黃坑-下游攝影機	南市 DF048	18	3	120.5357	23.074
集來-上游攝影機-1	高市 DF072	19	1	120.596	23.02931
集來-中游攝影機	高市 DF072	19	2	120.5941	23.02886
集來-下游攝影機	高市 DF072	19	3	120.594	23.0288
集來-上游攝影機-2	高市 DF072	19	4	120.5962	23.02929
來義-匯流口攝影機	屏縣 DF025	20	1	120.6842	22.52715
來義-主流攝影機	屏縣 DF025	20	2	120.6763	22.52607
來義-潛勢溪流攝影機	屏縣 DF025	20	3	120.676	22.5244
大鳥-崩塌地攝影機	東縣 DF097	21	1	120.91	22.38982
大鳥-中游攝影機	東縣 DF097	21	2	120.9092	22.39012
大鳥-下游攝影機	東縣 DF097	21	4	120.9101	22.38924
大鳥-沉砂池攝影機	東縣 DF097	21	5	120.9099	22.3888
南豐-中游前段攝影機	投縣 DF012	24	1	121.0872	24.01981
南豐-中游後段攝影機	投縣 DF012	24	2	121.0884	24.01739
南豐-下游攝影機	投縣 DF012	24	3	121.0892	24.01331
和中-上游攝影機	花縣 DF166	25	1	121.742	24.27402
和中-中游攝影機	花縣 DF166	25	2	121.7422	24.27382
和中-下游攝影機	花縣 DF166	25	3	121.743	24.27352
火炎山-攝影機	苗縣 DF036	26	1	120.7287	24.35587
寒溪-下游攝影機	宜縣 DF086	27	1	121.6859	24.60891
寒溪-上游全景式攝影機	宜縣 DF086	27	2	121.6846	24.59753

表 4-6 公路總局公開 CCTV 資料結構

CCTVList		
欄位名稱	中文解釋	備註
UpdateTime	XML 檔案更新時間	時間格式採 ISO8601 格式 (yyyy-MM-ddTHH:mm:sszzz) , 例: 2017-05-03T17:30:08+08:00
UpdateInterval	資料更新週期(秒)	1 天:86400;若為不定期更新則填「-1」
AuthorityCode	業管機關簡碼	如:TPE=台北市。(詳參閱附錄-業管機關代碼表)
CCTVs	CCTV 資訊	包絡多筆 CCTV 資料
CCTV		
CCTVID	CCTV 設備代碼	設備原編號,如:00001。
LinkID	基礎路段編碼	設備所在基礎路段之 LinkID
VideoStreamURL	動態影像串流網址	動態影像串流網址 url,連接網址即可顯示該影像。
LocationType	設置地點位置類型	設備設置地點位置:1:路側;2:道路中央分隔島;3:快慢分隔島 4:車道上門架;5:車道鋪面 6:其他 註:CCTV 不會裝設在 5:車道鋪面上
PositionLon	影像設備架設位置 X 坐標	坐標系統為 WGS84,如 121.54063。(小數點後五碼)
PositionLat	影像設備架設位置 Y 坐標	坐標系統為 WGS84,如 25.02516。(小數點後五碼)
檔案內容		
This XML file does not appear to have any style information associated with it. The document tree is shown below.		
<pre> <CCTVList xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns="http://traffic.transportdata.tw/standard/traffic/schema/" xsi:schemaLocation="http://traffic.transportdata.tw/standard/traffic/schema/" <UpdateTime>2024-05-17T09:10:18+08:00</UpdateTime> <UpdateInterval>86400</UpdateInterval> <AuthorityCode>THB</AuthorityCode> <CCTVs> <CCTV> <CCTVID>CCTV-14-0620-009-002</CCTVID> <SubAuthorityCode>THB-1R</SubAuthorityCode> <LinkID>1006200100900C</LinkID> <VideoStreamURL>https://cctv-ss02.thb.gov.tw:443/T62-9K+020</VideoStreamURL> <VideoImageURL>https://cctv-ss02.thb.gov.tw:443/T62-9K+020/snapshot</VideoImageURL> <LocationType>0</LocationType> <PositionLon>121.7321</PositionLon> <PositionLat>25.10529</PositionLat> <SurveillanceDescription>快速公路62號(暖暖交流道到大華系統交流道)(W)</SurveillanceDescription> <RoadID>100620</RoadID> <RoadName>台62線</RoadName> <RoadClass>1</RoadClass> <RoadDirection>W</RoadDirection> <LocationMile>9K+020</LocationMile> </CCTV> </CCTVs> </CCTVList> </pre>		

表 4-7 公路總局道路監視影像資訊

序號	路名	里程	X	Y
1	台 13 線	57K+960	120.730136	24.333169
2	台 1 乙線	1K+800	120.650618	24.210199
3	台 1 乙線	0K+100	120.645763	24.224541
4	台 3 線	150K+110	120.807130	24.303576
5	台 3 線	153K+400	120.797195	24.285201
6	台 3 線	157K+960	120.822711	24.261803
7	台 3 線	158K+810	120.815091	24.261048
8	豐勢路二段	165K+600	120.753200	24.272596
9	國豐路三段	166K+190	120.749705	24.268685
10	台 3 線	168K+560	120.730320	24.257698
11	台 3 線	171K+260	120.714246	24.244706
12	台 3 線	175K+350	120.705306	24.210527
13	台 3 線	177K+750	120.702419	24.189089
14	台 10 線	7K+245	120.590033	24.250025
15	台 10 線	17K+950	120.679682	24.244168
16	台 10 線	19K+900	120.697704	24.248662
17	台 10 線	20K+600	120.704880	24.249849
18	台 10 乙線	4K+490	120.600492	24.256572
19	台 12 線	7K+800	120.581018	24.213375
20	台 12 線	11K+460	120.587906	24.185244
21	枋寮路	64K+050	120.722396	24.284188
22	台 13 線	65K+180	120.721961	24.273489
23	台 7 甲線	46K+020	121.351656	24.390982
24	台 7 甲線	47K+070	121.347249	24.384465
25	台 7 甲線	48K+000	121.341403	24.379314
26	台 7 甲線	49K+060	121.336599	24.373735
27	台 8 線	0K+530	120.824671	24.256719
28	台 8 線	1K+960	120.832089	24.246768
29	台 8 線	13K+250	120.859850	24.160614
30	台 8 線	13K+520	120.861882	24.163651
31	台 8 線	15k+400	120.875071	24.171819
32	台 8 線	27k+800	120.962714	24.171632
33	台 8 線	30k+600	120.985818	24.184826
34	台 8 線	33K+400	121.001780	24.201320
35	台 8 線	35K+350	121.012224	24.207720
36	台 8 線	34K+550	121.012329	24.203007
37	台 8 線	35k+350	121.013120	24.206645
38	台 8 線	0K+800	121.031277	24.210289
39	台 8 線	1k+300	121.034474	24.211318

序號	路名	里程	X	Y
40	和平中正中興路圓環	81K+750	121.246069	24.254999
41	台 8 線臨 37 便道	4k+050	121.050504	24.223957
42	台 8 線臨 37 便道	5K+400	121.057669	24.225794
43	台 8 線臨 37 便道	5k+910	121.059394	24.227136
44	台 8 線臨 37 便道	6K+380	121.063050	24.226630
45	台 8 線臨 37 便道	6k+550	121.064576	24.227347
46	台 8 線臨 37 便道	7K+000	121.068001	24.228327
47	台 8 線臨 37 便道	8K+550	121.075488	24.231280
48	台 8 線臨 37 便道	9k+350	121.079656	24.236357
49	和平路三段	23k+600	121.162541	24.250161
50	台 21 線	0K+350	120.862813	24.159344
51	台 21 線	17K+400	120.888114	24.096341
52	台 8 線臨 37 便道	12k+510	121.094653	24.245837
53	台 7 甲線	65K+600	121.275347	24.297479
54	台 8 線臨 37 便道	12k+000	121.096471	24.241599
55	台 3 線	164K+350	120.764487	24.276882
56	和平路三段	63K+500	121.172109	24.252519
57	台 8 線臨 37 便道	13K+000	121.097168	24.248811
58	台 8 線臨 37 便道	14K+100	121.103322	24.245069
59	台 8 線臨 37 便道	17K+300	121.122884	24.234547
60	台 8 線臨 37 便道	18K+900	121.128467	24.243609
61	台 8 線臨 37 便道	20K+300	121.133963	24.249936
62	台 8 線臨 37 便道	21k+800	121.147378	24.248613
63	台 8 線臨 37 便道	22K+150	121.150252	24.249390
64	台 8 線	76k+500	121.227354	24.247350
65	台 8 線	76k+600	121.229059	24.247674
66	台 8 線	75K+200	121.229930	24.246310
67	台 8 線	78K+500	121.233067	24.243753
68	武陵路	53K+900	121.322000	24.348528
69	台 8 線	77K+150	121.235855	24.247273
70	台 8 線	77K+300	121.235855	24.247273
71	台 8 線	83K+550	121.258465	24.256355
72	台 7 甲線	54K+750	121.318239	24.343769
73	武陵路	53K+930	121.321961	24.348636
74	台 7 甲線	52K+000	121.327224	24.358648
75	台 7 甲線	49K+930	121.340624	24.369859
76	台 3 線	166K+900	120.744520	24.264726

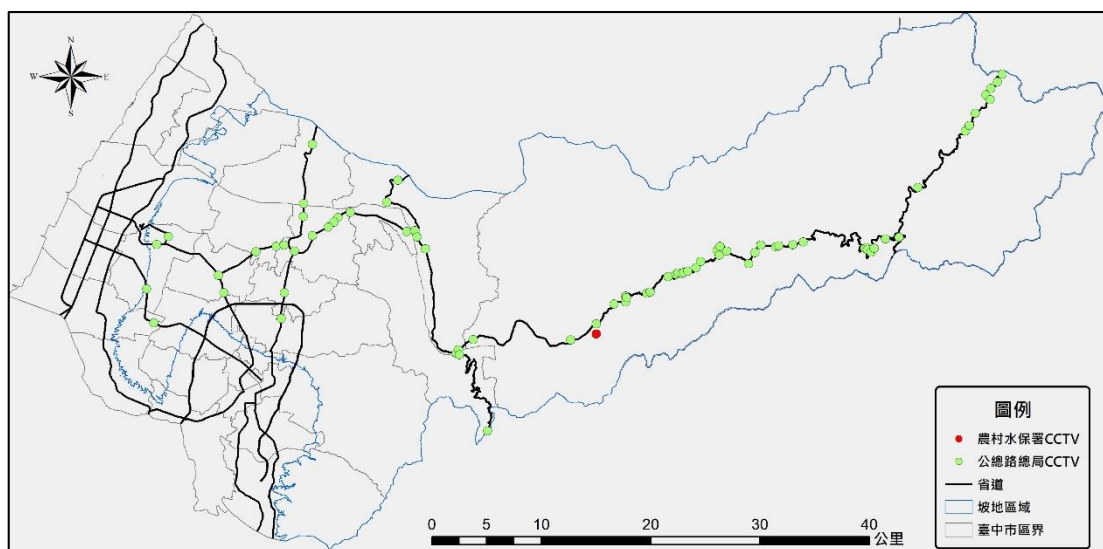


圖 4-5 臺中市坡地區域 CCTV 分布

第二節 坡地單元建置成果

本研究以臺灣 20 公尺 DTM 作為基礎資料，以 ArcGIS 軟體所提供之 ModelBuild 功能進行坡地單元生成程序建置與實踐，整體程序可分為坡地範圍圈選及填窪運算、正反高層集水區萃取與聯集運算兩大步驟，整體流程如圖 4-6 所示，其中包含坡地範圍選取、坡地單元萃取兩大步驟，各步驟詳如下所述：

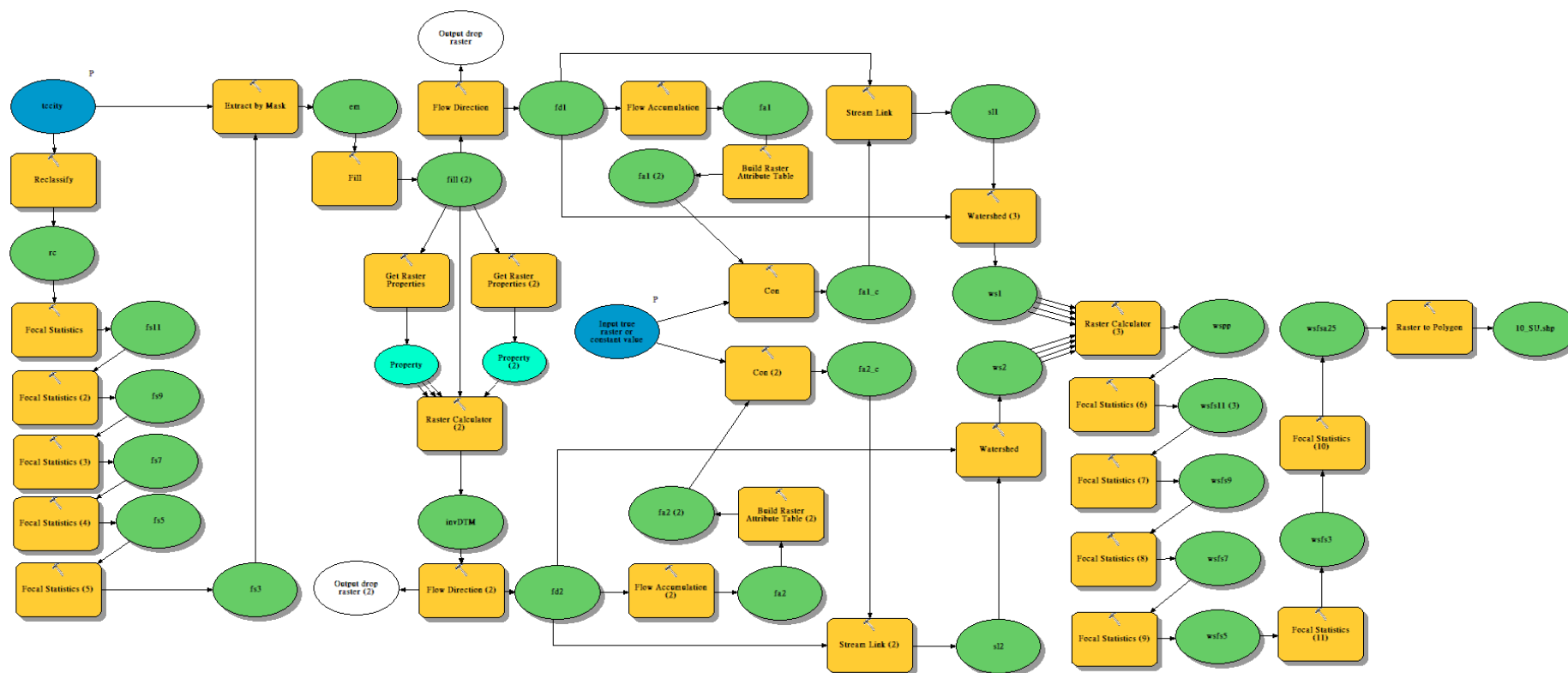


圖 4-6 坡地單元萃取流程

一、坡地範圍選取

採用的元件有 Reclassify、Focal Statistics、Extract by Mask 及 Fill，在 Reclassify 中以高層 100 公尺進行設定，100 公尺以下編碼為 NoData，100 公尺以以設定編碼為 1，參數如圖 4-7 所示，取得坡地範圍後可發現坡地範圍邊緣處易存在椒鹽效應（如圖 4-8 所示），本研究以 Focal Statistics 功能設計一由大至小之運算視窗（11x11、9x9、7x7、5x5、3x3）可有效消除邊緣之椒鹽效應，消除歷程如圖 4-9 所示，完成坡地範圍運算後可透過 Extract by Mask 取得範圍內之高層值，並進行填湟 (Fill) 作業，成果將提供第二部分萃取坡地單元。

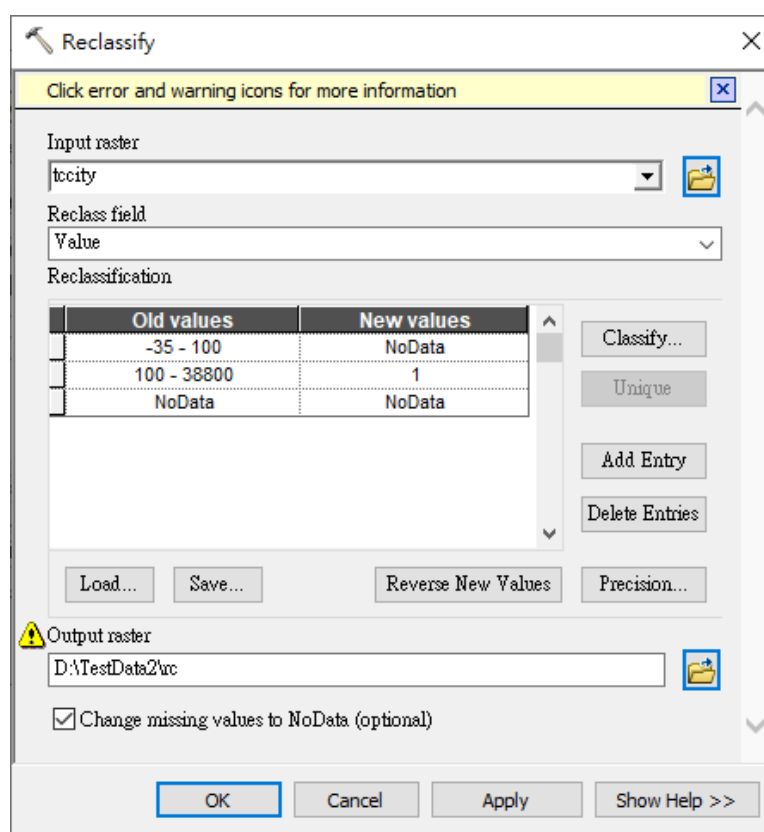


圖 4-7 Reclassify 參數設定

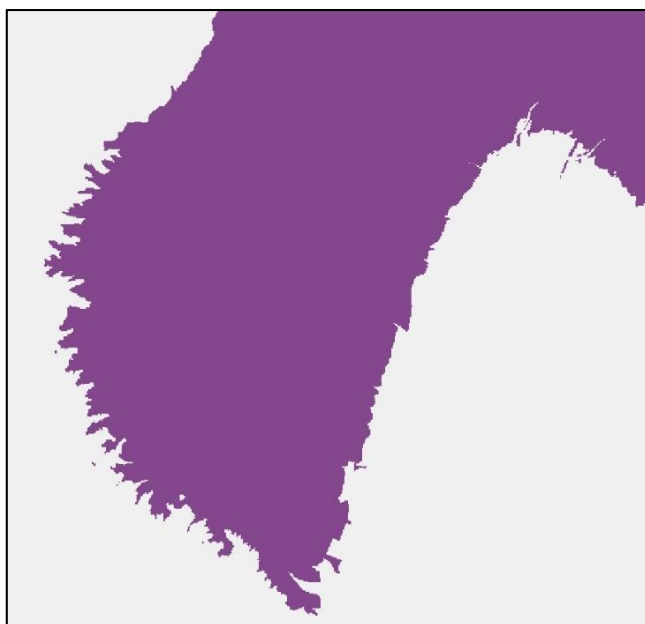


圖 4-8 邊界椒鹽效應

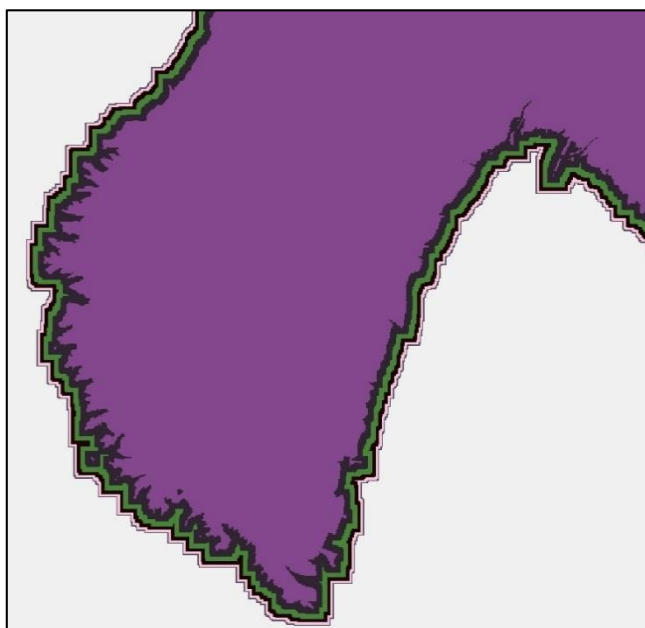


圖 4-9 Focal Statistics 去除邊界椒鹽效應歷程

二、坡地單元萃取

就坡地範圍填塗後之結果進行 Flow Direction 運算取得水流方向，同時進行反高層運算及取得反高層之水流方向，再以 Flow Accumulation 計算流量累積，再以條件運算 (Con) 功能取得總累積量大於 1000 值進行河段萃取 (Stream Link) 運算，最後根據

所萃取之河段 (如圖 4-10) 透過集水區 (Watershed) 運算集水區區塊取得正、反集水區塊分布，再透過網格運算 (Raster Calculator) 進行正、反集水區 (如圖 4-11 所示) 區塊之聯集運算，在聯集運算時 NoData 的部分需進行判斷式處理，參數設定部分如圖 4-12 所示，其主要透過 Con 函數判斷是否為 NoData，若為真其值指定為另一圖層，若為否為原圖層值，取兩圖層和之平均值作為聯集運算後之結果 (如圖 4-13 所示)，聯集運算結果會產生破碎或較奇零區塊，可透過本研究所設計之多種大小運算視窗進行部分破碎區塊之消除作業，最後再進行網格轉向量 (Raster to Polygon) 運算即可取得基礎之坡地單元 (如圖 4-14 所示)，此時之坡地單元中仍可見些許小碎塊，需透過人工操作方式進行合併作業，在本研究中透過 ArcGIS 軟體的操作來達成去除作業，其流程係根據所產生的坡地單元中所計算之面積進行選取 (Select by Attributed) 後，透過 Eliminate 功能進行區塊的合併作業，最後合併成果如圖 4-15 所示。

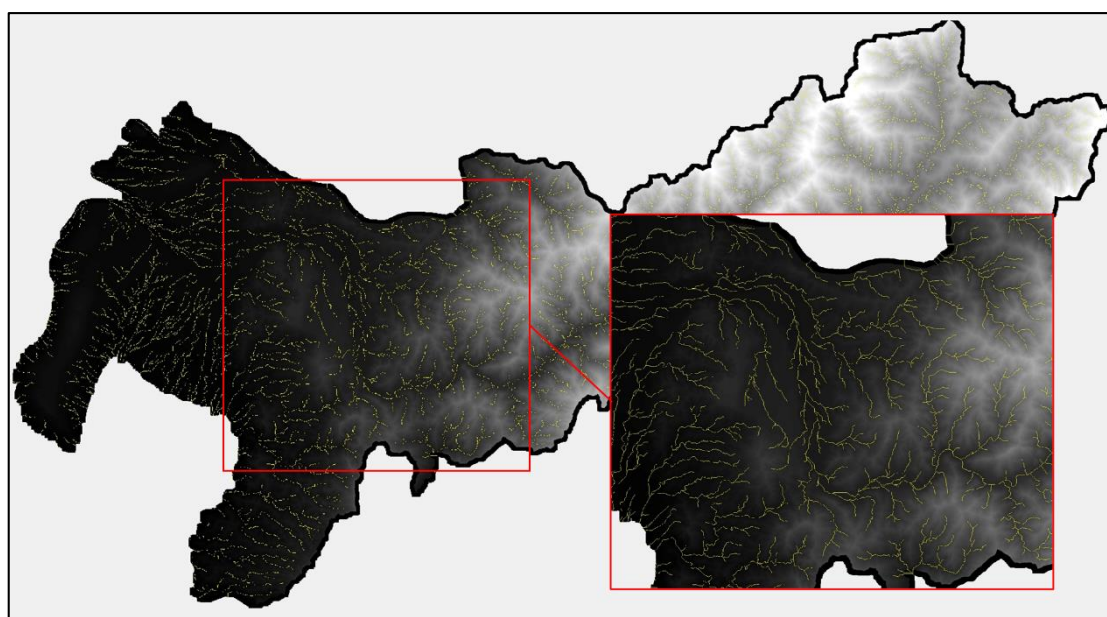


圖 4-10 河段萃取成果

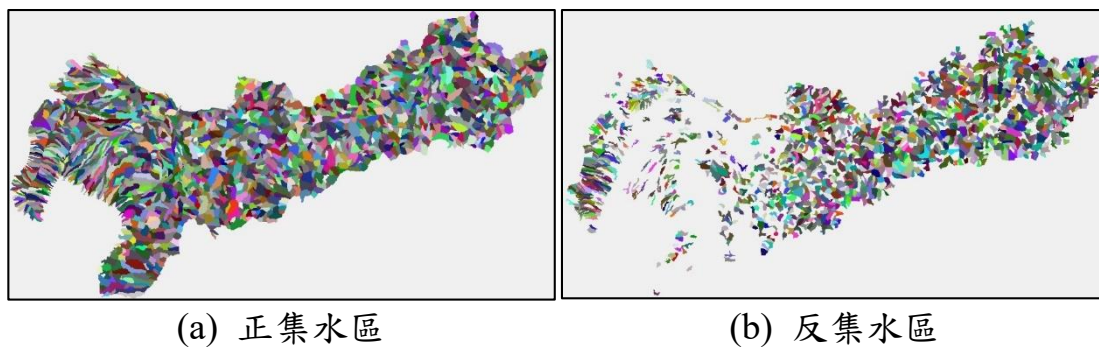


圖 4-11 正、反集水區切割成果

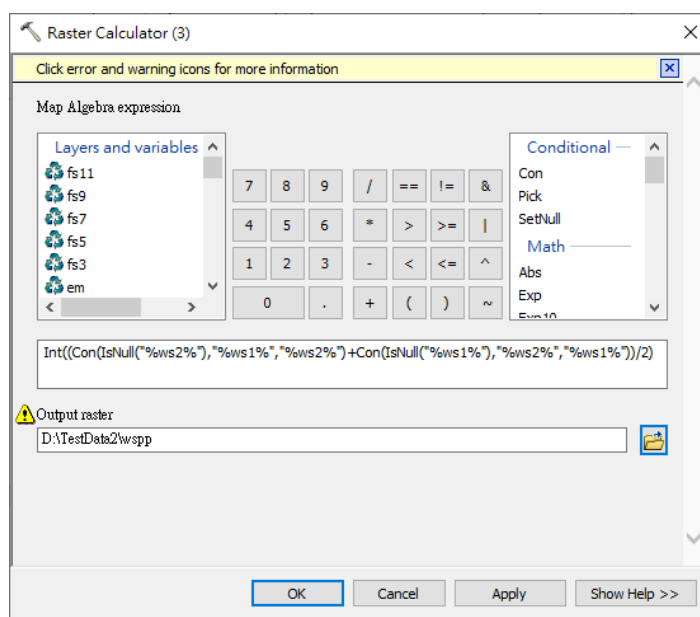


圖 4-12 正、反集水區聯集運算參數設定

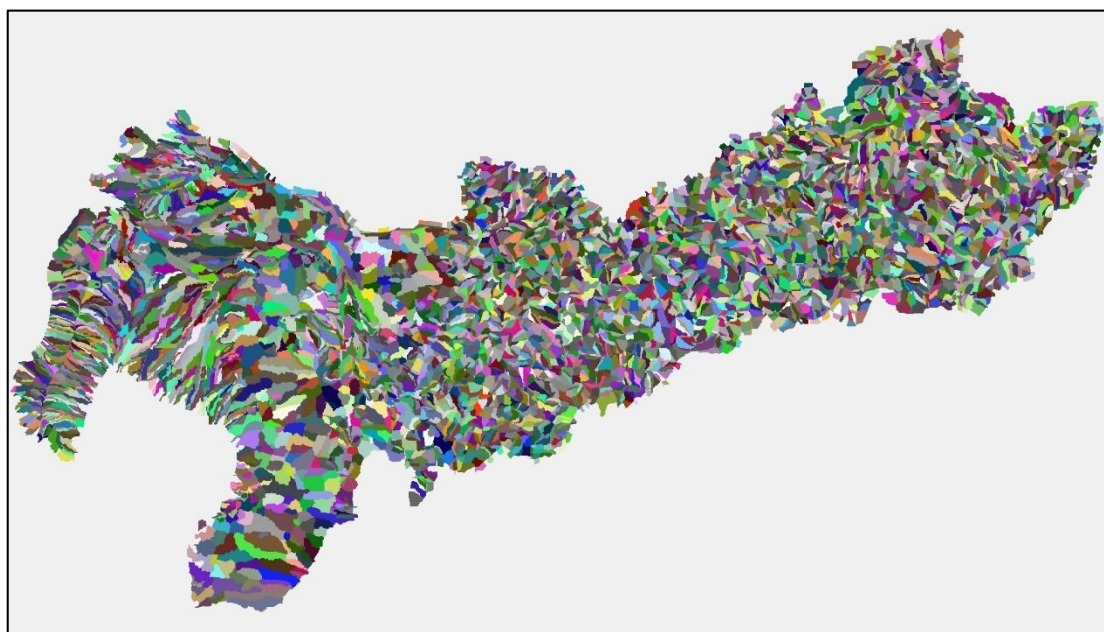


圖 4-13 正、反集水區聯集運算成果



圖 4-14 坡地單元萃取成果

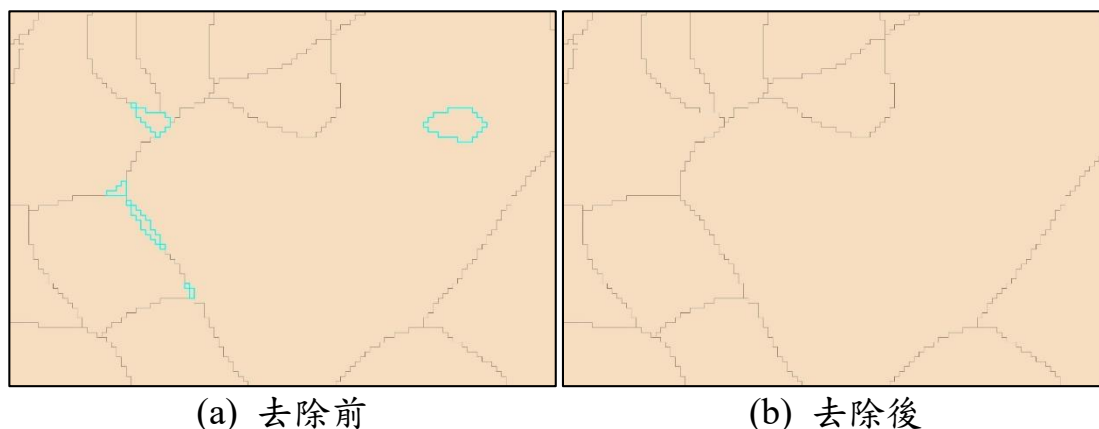


圖 4-15 坡地碎小單元去除成果

三、坡地單元屬性

坡地單元建置完成後可賦於其坡地相關之屬性，本研究考量坡地單元未來之應用性，賦予坡地單元編號(id)、面積(area)、所屬行政區 (section)、最小坡向 (aspmin)、最大坡向 (aspmax)、平均坡向 (aspmean)、最小坡度 (slpmin)、最大坡度 (slpmax)、平均坡度 (slpmean)、災害警戒值 (SDV)、氣候變遷雨量點位編號 (RID)、坡地單元警戒雨量於評估基期警戒發布超越機率(bep)、坡地單元警戒雨量於氣候變遷推論期未來警戒發布超越機率(fep)

及基期與未來氣候變遷推論期發布超越機率差值(bfepdv) 等屬性，編號部分後續可就行政區或氣候變遷雨量資料進行連接(join) 運算使用，坡地單元屬性詮釋資料類型及說明如表 4-8 所示。

表 4-8 坡地單元屬性

欄位名稱	資料類型	說明
id	Integer	坡地單元編號
area	Float	坡地單元面積
section	Integer	坡地單元所屬行政區
aspmin	Float	坡地單元最小坡向
aspmax	Float	坡地單元最大坡向
aspmean	Float	坡地單元平均坡向
slpmin	Float	坡地單元最小坡度
slpmax	Float	坡地單元最大坡度
slpmean	Float	坡地單元平均坡度
SDV	Integer	坡地單元警戒值
RID	Integer	雨量點位編號
bep	Float	坡地單元警戒雨量於評估基期超越機率
fep	Float	坡地單元警戒雨量於氣候變遷推論期超越機率
bfepdv	Float	基期與氣候變遷推論期超越機率差值

第三節 坡地單元災害警戒分級探討成果

一、坡地單元災害警戒分級與警戒值發布風險分級

本研究以歷史坡地災害之點位(共計有 25 件坡地災害紀錄，如表 4-4 所示)為探討對象，分布於 22 個坡地單元中，分布如圖 4-16 所示，各坡地單元資訊如表 4-9 所示，各坡地單元之災害風險計算成果如表 4-10 所示，由可知本研究劃分之坡地單元上的代表警戒雨量(取大署各類坡地警戒值最小者)，在氣候變遷推論期(2021~2100)的超越機率相較於評估基期(1960~2014)平均約提高 17%。

由於本研究目前蒐集的 25 件重大坡地災害事件時間介於 2007~2022 之間，而氣候變遷評估基期為 1960~2014、推論期為 2021~2100，其中，實際發生在氣候變遷推論期的事件僅有 1 件，因此，關於危害度等級區間切割方法，本研究原先研擬之方法論，不易呈現資料的代表性，故本研究另建立一較為保守的切割方式供參。

本研究原擬之方法論(方法一)，係以實際發生於基期的災害事件所對應的預警值區間，以預警區間最小值與最大值於評估基期及氣候變遷推論期超越機率變化的情況，劃分風險矩陣，但此法於驗證時實證力量將相顯薄弱，但可用於各實際降雨事件下，研究區域範圍相對高中低危害風險所在區位。本研究統計 22 個曾經發生坡地災害之坡地單元取其基期與未來各別之發布機率區間建置風險矩陣，其中基期年最大日降雨量下以現有大規模崩塌警戒值之警戒發布超越機率座落在 7%至 43%間，未來年最大日降雨量下警戒發布超越機率主要座落於 23%至 55%間，本研究根據基期與未來之警戒發布機率建置坡地單元災害風險評估

矩陣，如表 4-11 所示，此方法可用於評估特定降雨事件下，降雨分布對研究區域的危害等級。

其二(方法二)，考量既有可作為氣候變遷推論期的事件僅一件，因此將既有可用之 22 事件資料考量空間分布特性，以歷史坡地災害之坡地單元及其鄰近格網資訊分析，以歷史坡地災害之坡地單元及其鄰近坡地單元之基期與推論期超越機率之差值建置風險進行坡地單元之風險高、中、低切割門檻值，主要統計資訊有基期與推論期超越機率差值之最小 (min)、最大 (max) 及平均 (mean) 等資訊，並根據統計資訊給予風險評估門檻值，統計成果如表 4-12 所示；在門檻上本研究由既之已發生災害的事件，考量評估坡地單元本身、鄰近單元、次鄰近單元等區塊，就各單元所設定之警戒值，評估坡地單元本身警戒值的超越機率變化差值、鄰近坡地單元警戒值的超越機率變化差值區間變化以及次鄰近坡地單元警戒值的超越機率變化差值區間變化，並進行計算列表，用以選定界定警戒值未來發布警戒風險的低、中、高區間定義參考。考量「既有警戒值已經發生災害」的前提，在坡地單元、鄰近坡地單元(複數)及次鄰近坡地單元(複數)所計算的超越機率差值，本研究選用這三個數列中的最小值與最小值區間中的最小值作為發布警戒風險「低」與「中」的分割值；在發布警戒風險「中」與「高」的分割值設定部分，本研究則是選定在坡地單元、鄰近坡地單元(複數)及次鄰近坡地單元(複數)所計算的超越機率差值最大值中的最小值，作為保守估計下的代表參考，風險估評邏輯如表 4-13 所示，坡地單元之風險評估結果如圖 4-17 所示。

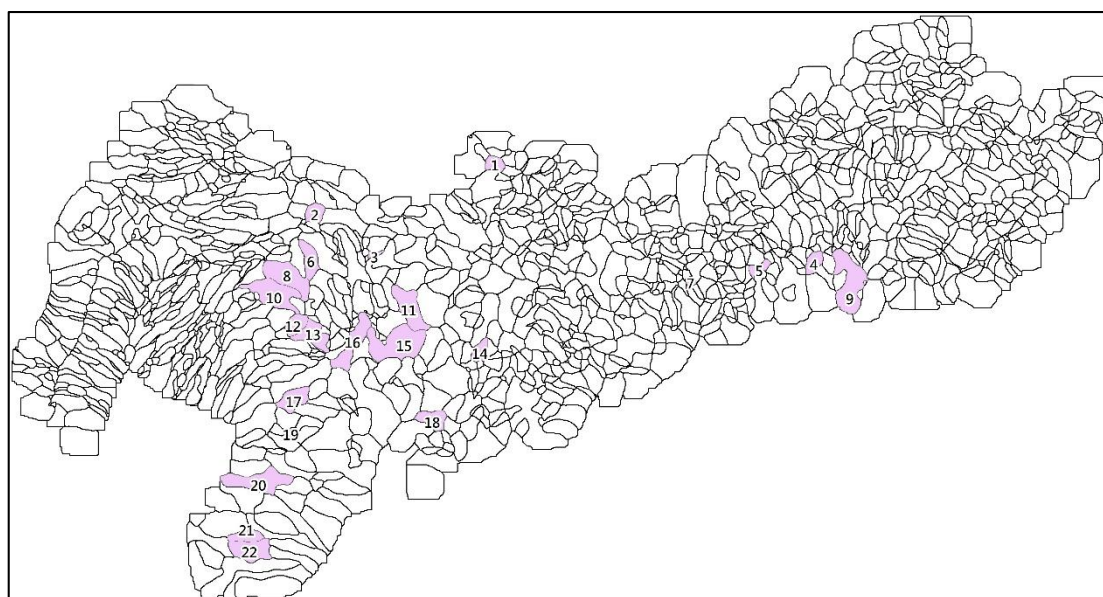


圖 4-16 歷史災害坡地單元分布

表 4-9 歷史坡地災害坡地單元資訊

SN	ID	AREA	secid	aspmin	aspmax	aspmean	slpmin	slpmax	slpmean	SDV	RID
1	266	1.6784	13	0.1026	359.8207	151.2056	1.0653	49.2500	26.2642	250	73
2	503	2.1328	6	0.5409	358.6671	182.8581	0.0979	31.3852	12.4978	250	55
3	723	0.4672	6	0.7832	352.7072	190.7020	0.2325	32.8807	9.9623	250	60
4	816	2.0112	13	-1.0000	359.2672	123.5699	0.0000	51.3548	27.7726	250	94
5	837	1.3360	13	0.1980	359.8063	210.4034	0.2893	61.2301	36.8122	250	90
6	854	3.2608	10	0.0374	359.9829	160.3280	0.0336	41.3532	13.8032	275	54
7	882	0.5264	13	1.1371	357.7641	226.7830	8.0994	54.8725	38.7944	250	86
8	952	6.8000	5	0.0366	359.8385	186.3550	0.0520	45.2998	19.6421	275	46
9	1018	9.2464	13	-1.0000	359.9565	171.4876	0.0000	88.3241	25.9124	250	99
10	1020	7.4160	5	0.2619	359.9920	195.7365	0.0239	48.9005	17.5632	275	46
11	1110	5.9760	6	0.1012	359.7133	197.0789	0.7222	45.0620	20.4234	250	59
12	1128	2.5104	26	0.0447	358.7665	198.0577	0.0965	39.4140	15.7462	275	45
13	1189	4.2576	26	0.0365	359.9706	216.5582	1.0167	45.0765	15.9578	275	53
14	1230	1.9552	13	1.0805	359.9323	185.3167	0.1395	46.6339	26.0239	250	70
15	1231	10.3920	6	0.0980	359.9458	216.6731	0.0431	51.9615	18.6296	250	59
16	1276	5.5008	9	0.0136	359.9319	154.1540	0.0503	36.3946	10.1008	250	53
17	1400	3.7472	29	0.3160	359.9669	173.3550	0.2835	43.1144	17.0855	275	44
18	1429	3.0224	9	0.8820	358.3779	181.7851	0.5177	46.0713	25.8424	250	63

SN	ID	AREA	secid	aspmin	aspmax	aspmeans	slpmin	slpmax	slpmean	SDV	RID
19	1434	0.7216	29	0.1184	359.7155	191.8131	0.1892	41.5583	19.9507	275	43
20	1477	7.3520	29	0.0237	359.9836	209.6669	0.0115	43.0385	13.8865	275	43
21	1489	2.3008	17	0.0453	359.8638	189.8823	0.6302	35.6638	16.3853	275	42
22	1494	5.2576	17	0.0197	359.8871	180.6960	0.1655	39.2654	15.0444	275	42

表 4-10 坡地單元災害風險計算結果

SN	ID	坡地單元警戒雨量於 評估基期超越機率	坡地單元警戒雨量於 氣候變遷推論期超越機率	差值
1	266	0.432	0.555	0.123
2	503	0.193	0.3	0.107
3	723	0.198	0.396	0.198
4	816	0.153	0.38	0.227
5	837	0.254	0.435	0.181
6	854	0.155	0.293	0.138
7	882	0.402	0.539	0.137
8	952	0.142	0.287	0.145
9	1018	0.166	0.411	0.245
10	1020	0.142	0.287	0.145
11	1110	0.227	0.413	0.186
12	1128	0.099	0.271	0.172
13	1189	0.143	0.317	0.174
14	1230	0.342	0.546	0.204
15	1231	0.227	0.413	0.186
16	1276	0.203	0.373	0.17
17	1400	0.08	0.249	0.169
18	1429	0.277	0.479	0.202
19	1434	0.093	0.257	0.164
20	1477	0.093	0.257	0.164
21	1489	0.068	0.229	0.161
22	1494	0.068	0.229	0.161

表 4-11 坡地單元事件災害風險評估矩陣

坡地單元風險評估		未來		
		低 ($X > 55\%$)	中 ($23\% < X < 55\%$)	高 ($X < 23\%$)
基期	低 ($X > 43\%$)	低	中	高
	中 ($7\% < X < 43\%$)	中	中	高
	高 ($X < 7\%$)	高	高	高

表 4-12 歷史坡地災害坡地單元及其鄰近單元警戒發布超越機率
差值統計成果

編號	單元 本身	鄰近坡地單元			次鄰近坡地單元		
		min	max	mean	min	max	mean
266	0.1200	0.1230	0.2020	0.1594	0.1230	0.2020	0.1657
503	0.1100	0.1070	0.1330	0.1122	0.1070	0.1980	0.1246
723	0.2000	0.1980	0.1980	0.1980	0.1460	0.1980	0.1926
816	0.2300	0.2270	0.2270	0.2270	0.2130	0.2450	0.2265
837	0.1800	0.1810	0.1950	0.1830	0.1810	0.2270	0.1844
854	0.1400	0.1380	0.1520	0.1436	0.1120	0.1700	0.1461
882	0.1400	0.1370	0.1370	0.1370	0.1370	0.1560	0.1396
952	0.1500	0.1380	0.1700	0.1502	0.1380	0.1730	0.1532
1018	0.2500	0.2270	0.2450	0.2366	0.2130	0.2450	0.2350
1020	0.1500	0.1450	0.1730	0.1549	0.1300	0.1740	0.1537
1110	0.1900	0.1810	0.1980	0.1893	0.1620	0.2040	0.1869
1128	0.1700	0.1450	0.1740	0.1681	0.1450	0.1740	0.1628
1189	0.1700	0.1700	0.1740	0.1718	0.1450	0.1740	0.1700
1230	0.2000	0.1810	0.2040	0.1989	0.1810	0.2160	0.1978
1231	0.1900	0.1620	0.1860	0.1803	0.1620	0.2020	0.1798
1276	0.1700	0.1620	0.1860	0.1760	0.1520	0.1980	0.1747
1400	0.1700	0.1690	0.1720	0.1707	0.1640	0.1740	0.1693
1429	0.2000	0.1620	0.2020	0.1901	0.1620	0.2020	0.1867
1434	0.1600	0.1640	0.1720	0.1673	0.1640	0.1720	0.1675
1477	0.1600	0.1610	0.1640	0.1627	0.1640	0.1900	0.1695
1489	0.1600	0.1180	0.1780	0.1596	0.1620	0.1900	0.1689
1494	0.1600	0.1180	0.1780	0.1530	0.1180	0.1780	0.1449
min	0.1100	0.1070	0.1330	0.1122	0.1070	0.1560	0.1246

編號	單元 本身	鄰近坡地單元			次鄰近坡地單元		
		min	max	mean	min	max	mean
max	0.2500	0.2270	0.2450	0.2366	0.2130	0.2450	0.2350
avg	0.1714	0.1597	0.1827	0.1723	0.1537	0.1937	0.1727

表 4-13 空間資訊統計方法之坡地單元警戒值發布風險評估邏輯

風險	判斷依據
低	$X < 0.107$
中	$0.107 \leq X < 0.156$
高	$X \geq 0.156$

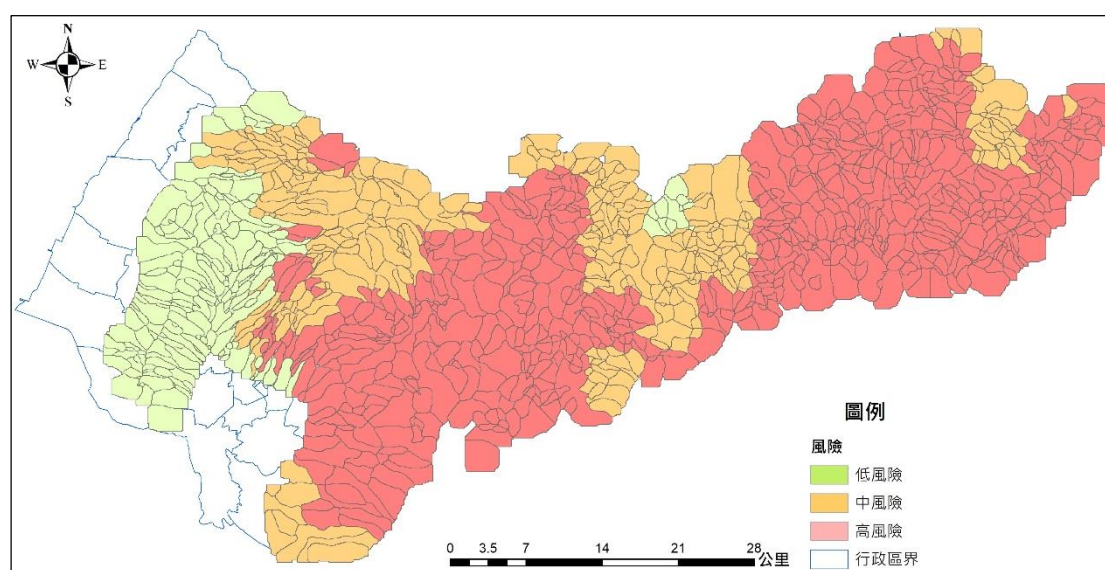
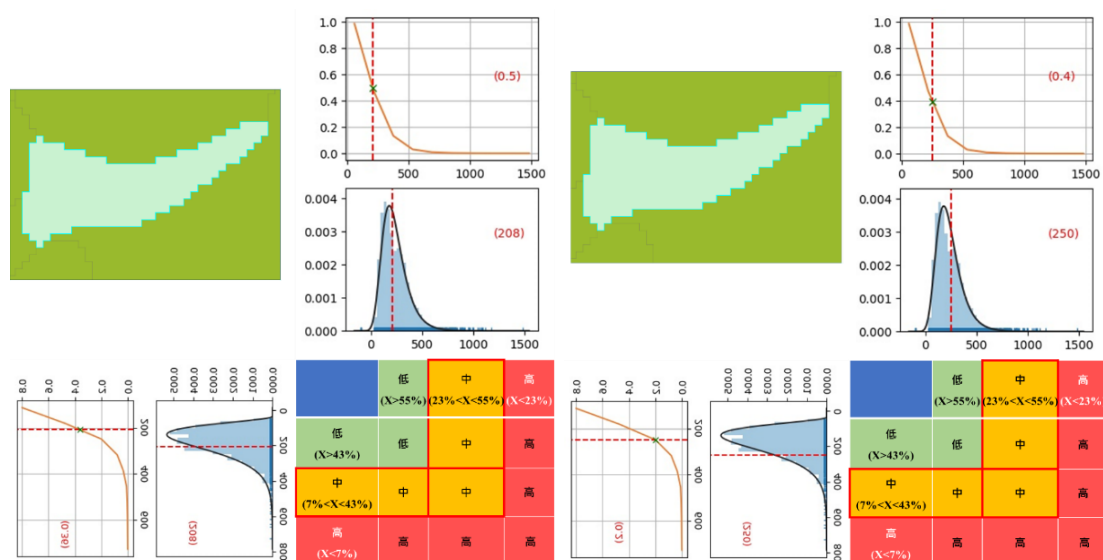


圖 4-17 警戒值發布風險分級評估成果

二、災害事件坡地單元危害度分級應用(方法一)

本分析方法以歷史坡地災害「108 年利奇馬颱風-臺中東勢-001」為例，其累積雨量為 208mm，對應坡地單元矩陣在基期上之警戒發布超越機率為 36%，未來之警戒發布超越機率為 50%；若以坡地單元之大規模警戒值 250mm 之基期警戒發布超越機率為 20%及未來 40%，兩者於風險矩陣中皆評估為中等風險，整體評估如圖 4-18 所示。



(a)事件累積雨量

(b)坡地單元大規模崩塌警戒值

圖 4-18 歷史坡地災害之坡地單元風險評估成果

在實際應用上，可使用實際降雨資訊進行坡地單元之災害風險評估，透過累積雨量值所對應之警戒發布機率值透過風險矩陣進行評估，即可得到坡地單元之風險，以今 (113) 年度之康芮颱風為例，雨量站資訊使用臺中市轄內中央氣象署所建置之雨量站 (如表 4-14) 量測值作為坡地災害風險評估之趨動值，本研究以康芮颱風事件 (113 年 10 月 30 日至 113 年 11 月 1 日) 之間臺中市轄內有雨量紀錄之雨量站計算徐昇氏格網 (如圖 4-19 所示) 作為坡地單元雨場歸屬，完成坡地單元雨場歸屬後即可根據康芮颱風整體事件各雨量站所紀錄之總累積雨量進行評估，結果如圖 4-20 所示，在風險分布上高風險區域之分布與本次颱風事件臺中市主要降雨區域相符，皆集中於臺中市和平區平等里中，其中包含了審馬陣、桃山及雪山東峰雨量站，臺中市和平區梨山裡也有部分坡地單元評估為高警戒風險，其雨量站為編號 1 之雪嶺雨量站，鄰近市區之新社區、太平區、豐原區及神岡區皆有中風險警戒。

表 4-14 臺中市轄內各類雨量站及康芮颱風事件總累積雨量

編號	站名	站號	總累積雨量(mm)
0	審馬陣	C0F0D0	1035.5
1	雪嶺	C1F941	397.5
2	桃山	C0F9Y0	366
3	雪山東峰	C0F9Z0	359
4	稍來	C1F891	274
5	白冷	C1F9C1	260
6	德基	C1F9W0	246.5
7	上谷關	C1F871	238.5
8	龍安	C1F9E1	228
9	新社	C0F9V0	202
10	白毛台	C1F9D1	199
11	清水林	C1F9J1	180.5
12	豐原	C0F9M0	176
13	石岡	C0F0B0	172.5
14	東勢	C0F850	171
15	中坑	C0F0C0	170
16	新伯公	C1F911	160.5
17	后里	C0F9L0	157
18	潭子	C0F9O0	134.5
19	外埔	C0F9Q0	125
20	西屯	C0F900	125
21	烏日	C0F9S0	124.5
22	大坑	C0F970	124
23	慶福山	C1F9G1	123
24	神岡	C0F9I0	119
25	南屯	C0F9U0	117.5
26	桐林	C1F9B1	116
27	龍井	C0F9R0	115
28	伯公龍	C1F9F1	107.5
29	臺中電廠	C0FA40	107
30	臺中	467490	107
31	梧棲	C0FA30	99
32	霧峰	C0FA50	96.5
33	大雅(中科園區)	C0F9X0	87.5
34	大安	C0F9K0	85.5
35	大里	C0F9N0	83
36	溫寮	C0FA20	78.5
37	清水	C0F9P0	67
38	松柏	C0FA10	48.5

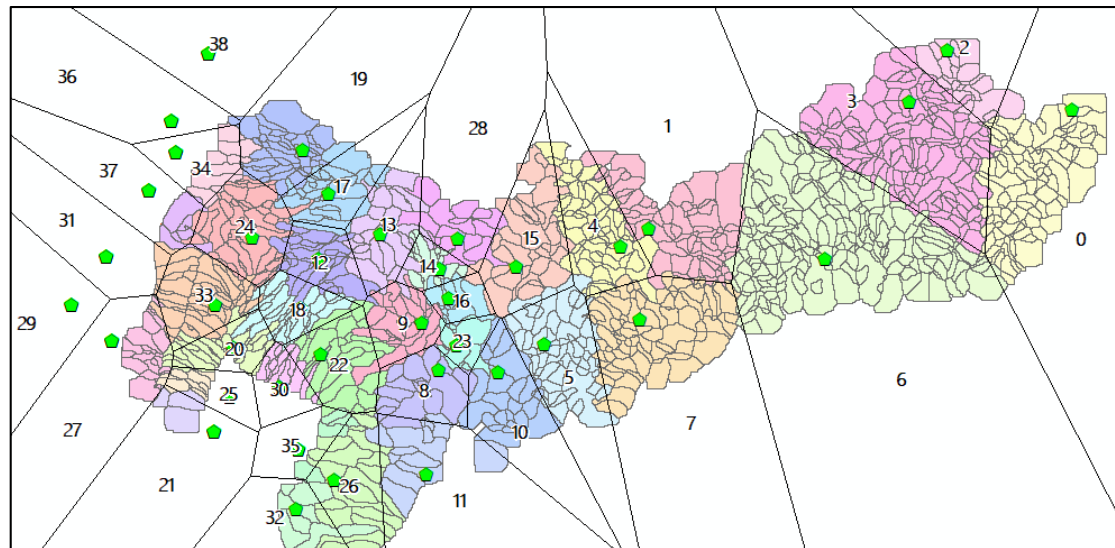


圖 4-19 坡地單元雨場歸屬切割

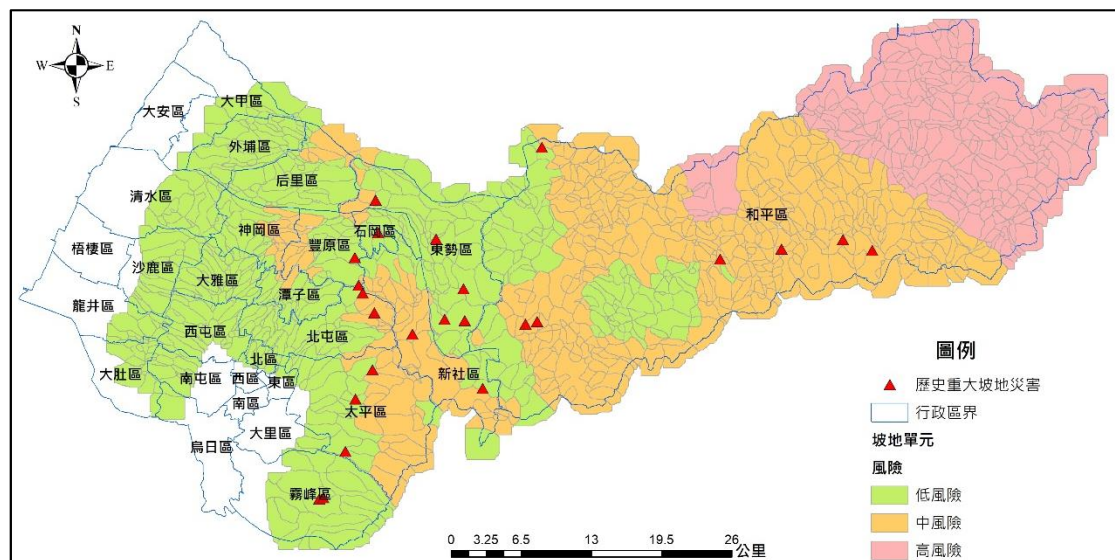


圖 4-20 康芮颱風事件坡地單元災害風險評估結果

三、警戒值發布風險分級下 CCTV 風險評估(方法二)

於 CCTV 風險評估部分，本研究以大規模崩塌警戒發布超越機率值進行風險評估，其中可分為基期與未來，在警戒發布超越機率上由小至大排列結果如表 4-15 所示，主要分布於台 8 線上與現有坡地災害重點區域係相符，其中 CCTV 所在坡地單元屬於高風險計有 38 支，其中包含農村水保署建置於松鶴部落中之 CCTV，分布如圖 4-21 所示，位於高坡地災害風險之 CCTV 經本研究以 GOOGLE MAP 進行初步檢示後給予之建議如表 4-16 所示，其中農村水保署所建置之 CCTV 所在區位經檢示後暫無遷移及進一步評估需求，公路總局之 CCTV 部分，需進一步評估者主要有和平路三段 63K+500、台 8 線臨 37 便道 18K+900 及台 8 線 77K+300，需透過現地詳細調查後再判斷是否遷移或增列備援 CCTV。

表 4-15 高受災風險 CCTV

CCTV 名稱	所在坡地單元編號	風險等級
松鶴-下游攝影機	1244	高
松鶴-上游全景攝影機	1244	高
台 13 線 57K+960	268	高
台 3 線 157K+960	777	高
台 3 線 171K+260	961	高
台 10 線 20K+600	957	高
台 13 線 65K+180	630	高
台 8 線 0K+530	777	高
台 8 線 1K+960	875	高
台 8 線 13K+250	1335	高
台 8 線 13K+520	1353	高
台 8 線 15k+400	1288	高
台 8 線 27k+800	1280	高

CCTV 名稱	所在坡地單元編號	風險等級
台 8 線 30k+600	1234	高
台 8 線 33K+400	1133	高
台 8 線 35K+350	1120	高
台 8 線 34K+550	1120	高
台 8 線 35k+350	1120	高
和平中正中興路圓環 81K+750	818	高
和平路三段 23k+600	837	高
台 21 線 0K+350	1416	高
台 21 線 17K+400	1480	高
台 7 甲線 65K+600	463	高
和平路三段 63K+500	849	高
台 8 線臨 37 便道 18K+900	859	高
台 8 線臨 37 便道 20K+300	868	高
台 8 線臨 37 便道 21k+800	876	高
台 8 線臨 37 便道 22K+150	837	高
台 8 線 76k+500	901	高
台 8 線 76k+600	901	高
台 8 線 75K+200	901	高
台 8 線 78K+500	1018	高
武陵路 53K+900	178	高
台 8 線 77K+150	1018	高
台 8 線 77K+300	1018	高
台 8 線 83K+550	818	高
台 7 甲線 54K+750	178	高
武陵路 53K+930	178	高
台 3 線 150K+110	445	中
台 3 線 153K+400	581	中
台 3 線 158K+810	927	中
豐勢路二段 165K+600	619	中
國豐路三段 166K+190	687	中
台 3 線 168K+560	721	中
台 3 線 175K+350	1066	中

CCTV 名稱	所在坡地單元編號	風險等級
台 3 線 177K+750	1211	中
枋寮路 64K+050	571	中
台 7 甲線 46K+020	47	中
台 7 甲線 47K+070	47	中
台 7 甲線 48K+000	47	中
台 7 甲線 49K+060	47	中
台 8 線 0K+800	1144	中
台 8 線 1k+300	1144	中
台 8 線臨 37 便道 4k+050	978	中
台 8 線臨 37 便道 5K+400	1104	中
台 8 線臨 37 便道 5k+910	1010	中
台 8 線臨 37 便道 6K+380	1010	中
台 8 線臨 37 便道 6k+550	1010	中
台 8 線臨 37 便道 7K+000	1010	中
台 8 線臨 37 便道 8K+550	914	中
台 8 線臨 37 便道 9k+350	908	中
台 8 線臨 37 便道 12k+510	851	中
台 8 線臨 37 便道 12k+000	882	中
台 3 線 164K+350	639	中
台 8 線臨 37 便道 13K+000	793	中
台 8 線臨 37 便道 14K+100	864	中
台 8 線臨 37 便道 17K+300	943	中
台 7 甲線 52K+000	105	中
台 7 甲線 49K+930	102	中
台 3 線 166K+900	727	中
台 1 乙線 1K+800	1063	低
台 1 乙線 0K+100	986	低
台 10 線 7K+245	869	低
台 10 線 17K+950	886	低
台 10 線 19K+900	796	低
台 10 乙線 4K+490	809	低
台 12 線 7K+800	1046	低

CCTV 名稱	所在坡地單元編號	風險等級
台 12 線 11K+460	1241	低

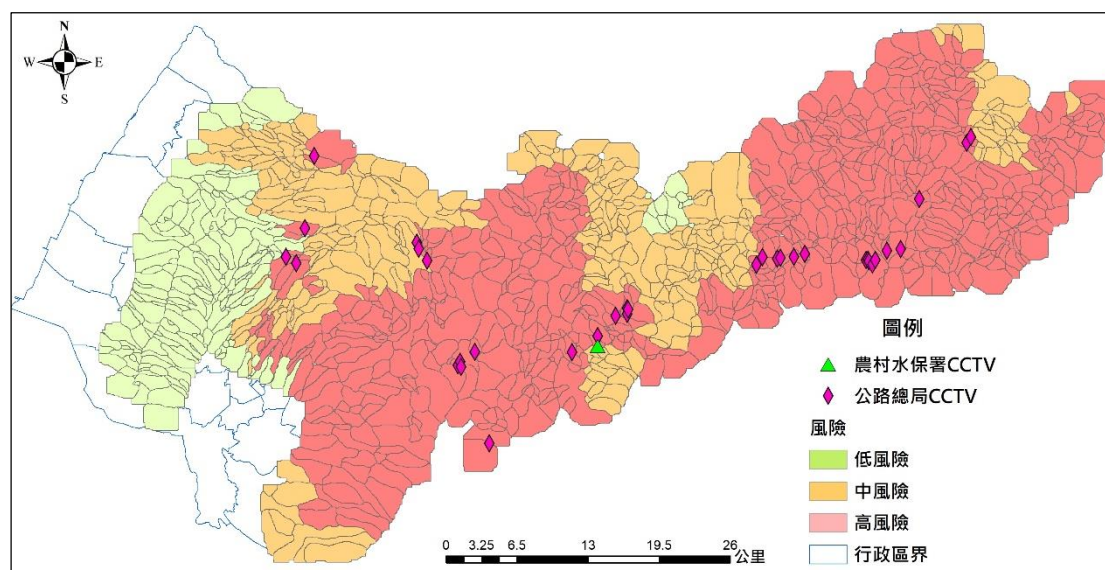


圖 4 - 21 高坡地災害 CCTV 分布

表 4 - 16 高坡地災害風險 CCTV 評估建議

CCTV 名稱	原坡地單元編號	評估建議
和平路三段 63K+500	849	臨近多為高風險之坡地單元，建議可增列備援 CCTV
台 8 線臨 37 便道 18K+900	859	可於 843 坡地單元建置備援 CCTV。
台 8 線 77K+300	1018	臨近多為高風險之坡地單元，建議可增列備援 CCTV。

第五節 示範平臺建置成果

本研究續以 112 年坡地災害辨識電腦視覺模式精進與應用評估之創新研發計畫 (計畫編號：ARDSWC-112-064) 之網頁服務平臺架構基礎發展坡地單元風險評估應用示範展示介面，以 CCTV 為評估對象，並產製 CCTV 站點風險評估報告及建議之備選點位資訊。示範展示平臺係以 Django 框架建構網頁服務內容，主要呈現本研究所產

製之坡地單元及各單元之屬性與風險評估結果，整合農村水保署觀測站資料展示平台 CCTV 站點及交通部公路總局之 CCTV 站點進行應用示範，CCTV 部分係介接開放資料平臺 CCTV 資訊可直接同步更新，完成 CCTV 介接更新及坡地單元圖資整合於平臺中，整體呈現結果如圖 4-22 所示，後續規劃於點擊圖層單元時透過跳出視窗呈現詳細資訊，如圖 4-23 所示，其中根據點選的目標可分為 CCTV 及坡地單元兩類，點選標為 CCTV 時呈現基礎資訊及受災風險評估結果；點選標的為坡地單元時，將呈現坡地單元之面積、坡度、坡向、致災風險評估結果等屬性資訊；另地圖中提供多種底圖可根據需求切換使用，各類底圖套疊成果如圖 4-24 所示。

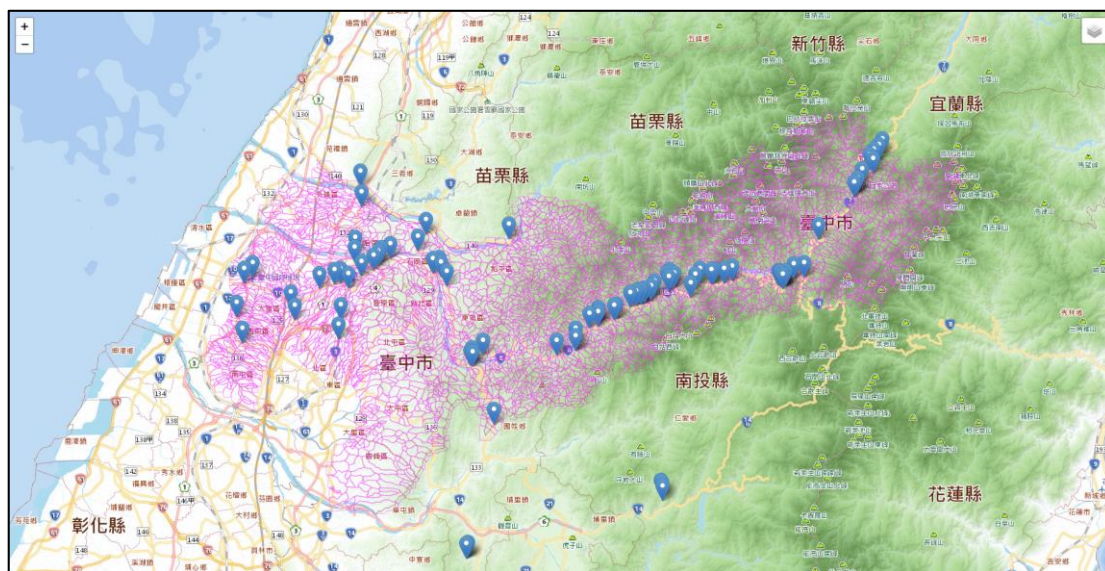


圖 4-22 網頁服務平臺

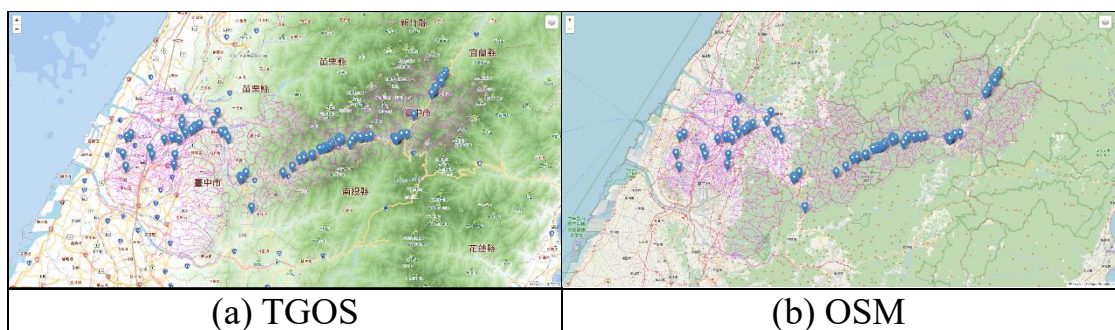


(a) 點擊 CCTV



(b) 點擊坡地單元

圖 4-23 點擊圖層單元呈現示意內容



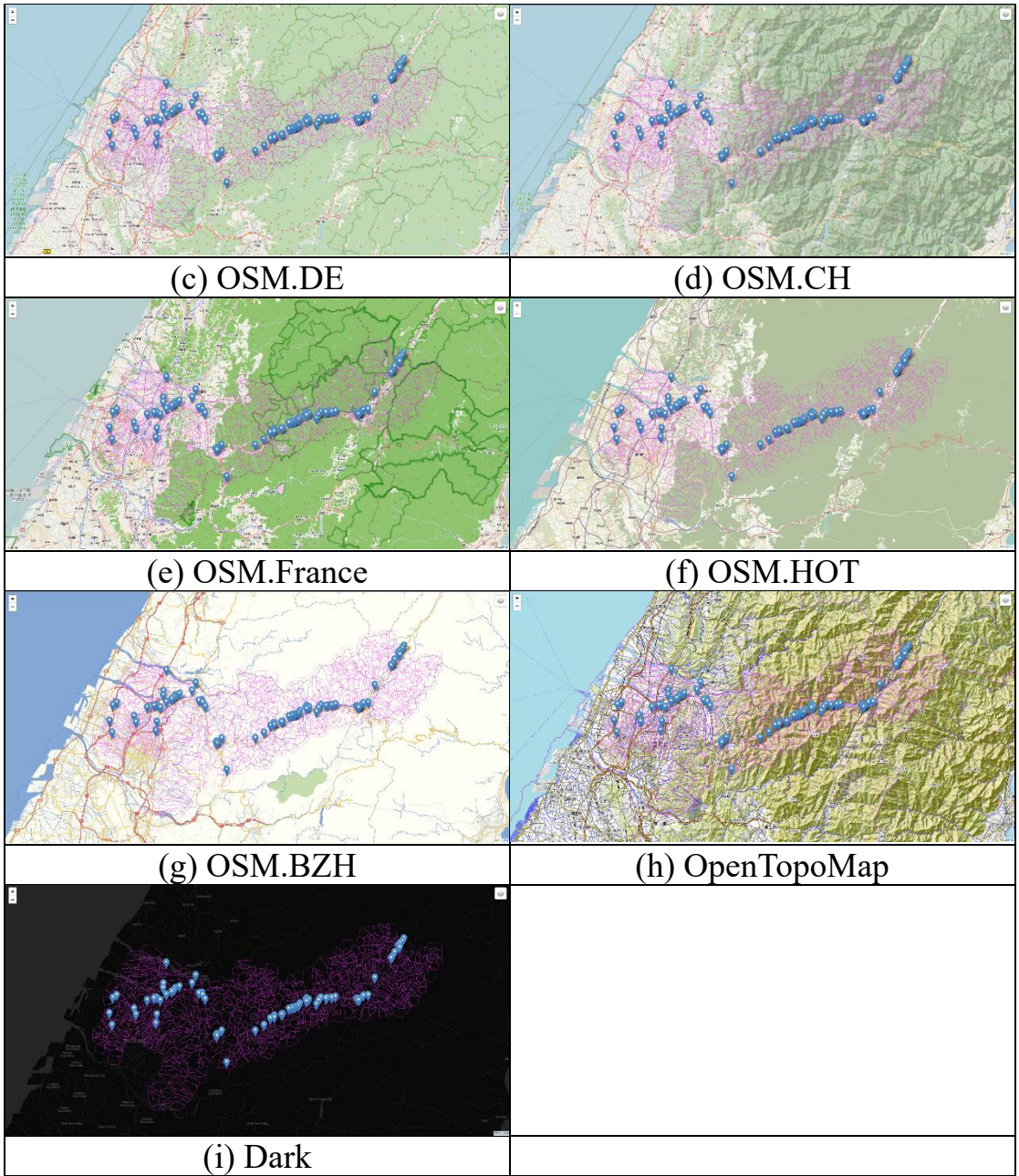


圖 4 - 24 地圖平臺底圖樣式

第五章 結論與建議

第一節 結論

本節將就本計畫整體成果進行結論說明，茲將分述於下：

一、坡地單元萃取成果

本研究使用 ArcGIS 軟體所提供之 ModelBuild 功能完成坡地單元生成程序建置並完成本研究分析坡地單元建置與災害風險評估，坡地單元之風險評估結果後現有 CCTV 座落區位進行空間分析進行應用範例展示，就各 CCTV 之受險情況並建立備選站點清單，於本研究中根據 CCTV 所在之坡地單元警戒發布超越機率進行評估結果計有 38 支位於較高風險區域，經人工初步判定後和平路三段 63K+500、台 8 線臨 37 便道 18K+900 及台 8 線 77K+300 之 CCTV 需透過現地詳細調查後再判斷是否遷移或增列備援 CCTV，最後成果皆呈現於本研究所建置之示範平臺中 (<http://140.134.166.91:8000>)。

二、坡地單元災害風險分級成果

本研究已完成各坡地單元之風險評估，並以歷史坡地災害單元之警戒發布超越機率區間進行坡地單元災害風險評估矩陣建置，透過歷史坡地災害 (108 年利奇馬颱風-臺中東勢-001) 所在之坡地單元探討結果顯示，以事件累積雨量 (208mm) 或警戒值 (250) 皆座落於中風險區間，對於曾經發生過之坡地單元可以此為基礎進行警戒值調整之參考。本研究再以今年度之康芮颱風於臺中市之降雨分布進行坡地單元之災害風險評估結果顯示高風險坡地單元分布與中央氣象署所監測之主要降雨區位皆集中於臺中市和平區平等里中，透過事件驗證結果顯示，本研究所建置

之坡地單元災害風險評估矩陣可於颱風事件進行坡地單元風險評估；以大規模崩塌警戒值所建置之警戒發布超越機率門檻值初步評估臺中市轄內之坡地單元風險結果顯示，臺中市轄內未來高坡地災害風險除了和平區外，新社區、霧峰區、太平區等山區係具有高坡地災害風險的存在，未來可針對這些行政區進行坡地災害風險管理或監測。

三、應用示範平臺建置成果

本研究已完成示範網站之建置，在圖資部分已完成農村水保署之土石流監測站 CCTV、公路總局 CCTV、坡地單元上架作業，於平臺中可進行簡易的點擊呈現 CCTV 及坡地單元資訊，CCTV 部分除了呈現影像外尚提供 CCTV 所在之坡地單元各燈號風險評估結果，坡地單元部分直接提供各燈號之風險評估結果資訊，展風平臺暫時連結網站為 <http://140.134.166.91:8000>。

第二節 建議

本節就後續執行方向與項目進行說明：

一、坡地單元災害警戒分級

本研究所建置之坡地單元災害風險評估矩陣及坡地單元災害風險門檻值，在災害風險評估上主要以氣候變遷情境之基期與未來降雨結合現有大規模崩塌警戒值發布之超越機率計算，在因子上僅考量降雨，後續可結合人文、土地使用現況、地質等因子細緻化風險評估。

二、坡地單元建置程序

本研究於透過 ArcGIS 軟體完成坡地單元生成程序之建置，但因使用套裝軟體建置，故在程序攜便性上有所限制，後續如欲發展成熟可以 python 語言進行執行檔 (exe) 程式製作，以提升程序之攜便性。

三、示範應用平臺部分

本研究已完成示範應用平臺之圖資建置與點擊互動視窗建置，後續可就需求增列各式資訊以豐富內容，此部分可就大署之需求或參考其他各式災害儀表板之資訊逐一評估建置，於後續亦可加入即時觀測雨量計算累積雨量後即時反應各坡地單元之災害風險燈號。

參考文獻

1. 國家災害防救科技中心，2016，臺灣氣候變遷災害衝擊風險評估報告，國家災害防救科技中心，新北市。
2. 蘇苗彬，2009，坡地防災預警技術-坡地災害的分類，水土保持技術，第4卷，第2期，第144-150頁。
3. 李欣輯、楊惠萱，2012，坡地災害社會脆弱度指標評估與應用，都市與計畫，第39卷，第4期，第375-406頁。
4. 李欣輯、楊惠萱，2012，坡地災害社會脆弱度指標評估與應用，都市與計畫，第39卷，第4期，第375-406頁。
5. 鄭耕秉、曾名賢，2015，氣候變遷衝擊下坡地災害風險評估及調適能力之探討，專題論壇，農業部，網址：
<https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=2502558>。
6. 張志新、林又青、王俞婷，2016，坡地災害風險分級與土地調適策略擬定，災害防救科技與管理學刊，第5卷，第1期，第73-93頁。
7. 陳昶憲、陳柏蒼、吳婉甄、李彥德，2017，颱風時期空間致災風險推論系統之建置研究，農業部農村發展及水土保持署，2017創新研究，計畫編號：SWCB-106-068。
8. 陳振宇、劉維則、許家祥，2017，使用 QPESUMS 雨量資料建

立崩塌災害預警模式，中華水土保持學報，第 48 卷，第 1 期，
第 44-55 頁。

9. Xie, M., Eskai, T., Zhou, G., and Mitani, Y., 2003. Geographic Information systems-Based Three-Dimensional Critical Slope Stability.
10. Guzzetti, F., Reichenbach, P., & Cardinali, M. (2005). "Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale." *Geomorphology*, 72(1-4), 272-299.
11. Montgomery, D. R., & Dietrich, W. E. (1994). "A physically based model for the topographic control on shallow landsliding." *Water Resources Research*, 30(4), 1153-1171.
12. Van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). "Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview." *Engineering Geology*, 102(3-4), 112-131.
13. Lee, S., & Pradhan, B. (2007). "Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models." *Landslides*, 4(1), 33-41.
14. Zhang, L., & Wang, Y. (2015). "Numerical simulation of landslide processes." *Landslides*, 12(6), 1057-1070.
15. Lu, P., Stumpf, A., Malet, J. P., & Ferrazzini, V. (2011). "Landslide monitoring using multi-temporal satellite remote sensing images." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(2), 147-160.
16. Saaty, T. L. (1987). "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used." *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176.

17. Malczewski, J. (2006). "GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature." *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	坡地單元不一，是否會造成警戒分級區域管理之複雜度，行政機關操作及民眾認知不易溝通。	感謝委員建議，本計畫初步規劃以地表坡度、坡向特徵建置研究計算單元，各單元評估結果再依後續所研議的警戒分級定義警界資訊，此為初步構想，未來將在既有基礎研究構想有初步成果時，進一步研議警戒區域管理層面的劃分考量。
二	CCTV 受災風險分析，如能取得更多機關之資訊，如公路或水利單位，更有利分析。	感謝委員建議，關於 CCTV 部分，本計畫預計以大署所建置之土石流監測站及公路總局所建置之山區 CCTV 為主要之分析族群，計畫執行過程亦將以既有已公開的 CCTV 為進一步評估標的，如有涉及使用權限或未對外公開者，則不納入考量。
三	可增加國內外研討會或期刊	感謝委員建議，關於發表部分

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
	之發表。	本計畫先以保守估計 1 篇國內研討會發表，於計畫執行過程或結束後評估各種發表之可能。
四	提送計畫前需重新校稿，內容需合理性(新技術(或改良技術)產出是” 0” 項?)	感謝委員指正，已進行數量之修正。
五	建議可將研究計畫單獨撰寫，精簡計畫說明書內容，研究計畫圖文同時呈現，以利閱讀研究。	感謝委員建議，本提案計畫書係以大署所規訂之系統平臺進行填列與產製，後續之期中與期末報告將以委員所述之方式呈現。
六	若計畫研判需遷移 CCTV，新點位是否有距離限制，無法提供正常情資研判，若周邊區域皆受到風災影響，是否就依照原地點不遷移？	感謝委員建議，本計畫主要目的在於建置坡地單元之風險評估方法與模式，將既有 CCTV 暴露於坡地災害風險相對較高區域者呈現的部分，屬於本計畫的資訊應用建議，為來在有具體研究成果後，將就風險資訊的可應用層面列出，而風險處置的部分則將建議大署另案辦理。

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
七	在「導入氣候變遷降雨情境」分面，建議說明如何建立山區降雨受氣候變遷影響之模型，例如可將以集水區或坡地單元為標的之降雨影響模型納入考量。	感謝委員建議，目前初步規劃將使用 TCCIP 發布的 AR6 資料為風險評估基礎，AR6 共計有 SSP5.85、SSP3.70、SSP2.45 及 SSP1.26 等四個情境，各情境下分別有數十個系集模式對 2015-2100 年的日降雨進行推論，這些日降雨量的空間分布將為本研究討論重點，研究將依計畫補助期程的推進、陸續表述於各期程報告中。
八	有關「探討現有山區 CCTV 受險機率與相對安全區域」是只局限於過去發布土石流及大規模崩塌紅黃警戒區域為檢討單位嗎？另建議補充說明 CCTV 檢討設置情形。	本計畫將就歷史雨量致災紀錄、災害潛勢資訊(包含土石流、大規模崩坍及坡地敏感等潛勢資訊)在未來氣候變遷推論雨量下致災風險建立評估方式，而 CCTV 設置情形檢討則為本研究方法建立後的風險資訊應用例，預計在風險定義後針對既有 CCTV 所在位置相對災害風險進行呈現，而風險處置的部分則將建議

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		大署另案辦理。
九	本計畫擬採用斜坡單元為坡地災害危害度分級的基本單元，其最大與最小斜坡單位之大小請補充說明。計畫之危害度定義、分級方法及影響因子，是否有雨量因子，可以依此採用作為目標中所示用作警戒分級發布之原因，亦請補充說明。	本計畫目前初步產製之坡地單元中最大約 153 公頃，最小於 1 公頃，目前最大與最小之單元雖差異大，但大坡地單元多分布於偏遠區位，最小單元多分布於河道或道路，初步檢視一般單元約以道路 500 公尺左右進行切割，對於單元過大或過小部分可根據本計畫需求以人工或半人工方式進行修正；本計畫與各類災害警戒分級一樣採用降雨驅動指標 (Rainfall Triggering Index, RTI) 建立坡地單元風險評估機制，應用於現有 CCTV 區位安全及備選區位方案選擇之參考或可額外繪製坡地災害風險圖等應用，而非警戒分級發布使用，各階段成果將依計畫補助期程的推進、陸續表述於各期程報告中。

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
十	本研究欲利用危害度分級作為建議增設山區 CCTV 區位及備選區位表列建置之構想值得肯定，唯目前欲採用之地形與地文解析度所製作之斜坡單元解析度太小，單元涵蓋的面積可能太大，可難以運用至決定山區 CCTV 區位。如能在決定優選單位後，搭配歷年山崩目錄及相關當地工作專業人員建議，或許是個解決目前單元解析度不足的可能途徑。	感謝委員肯定與建議，目前本計畫係初步產製坡地單元，後續可就實際狀況透過本計畫發展之坡地單元自動生成模式調整坡地單元大小並搭配歷年山崩目錄及相關當地工作專業人員建議以符合大署對於坡地災害風險評估之需求。
十一	長期氣候變遷降雨情境與山區 CCTV 近期的防災預警是兩種不同目標與方法之坡地管理作為，如何一併考量評析，值得再進步一深究。	本計畫主要係以 TCCIP 發布的 AR6 資料及歷史雨量致災紀錄、災害潛勢資訊(包含土石流、大規模崩坍及坡地敏感等潛勢資訊)進行坡地災害風險評估方法建置，而 CCTV 設置情形檢討則為本研究方法建立後的風險資訊應用例，研究成果將依計畫補助期程的

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		推進、陸續表述於各期程報告中。

附錄二、期中審查會議紀錄回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	本研究以坡地災害危害度分級為標的，但整本報告中，並未定義「危害度」。	感謝委員的細心審閱與惠賜寶貴建議。因計畫名稱與內容誤植造成委員困擾，實為本計畫之疏失，還請海涵。本計畫案之名稱係依大署「113 年度創新研究計畫公開徵求說明」中，領域四「軟體防災與新興科技應用」之研究課題 7「坡地災害危害度分級探」，大署徵求說明提及本課題的想法為「利用既有的坡地水文、地文、監測資料，建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級，並以實際案例探討驗證。」。因既有坡地災害危害相關分級大署已有官方定義，本研究在既有水文監測資料項，朝向既有的水文監測記錄與 TCCIC 使用既有水文紀錄與氣候變遷資料擬合後的降尺度氣候變遷推論資料(2023

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		年發布)，來達致大署課題想法所提出的「建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級」的想法。故本研究擬導入TCCIP所提供之AR6氣候變遷降雨情境降尺度資料並建立相應之坡地單元進行風險分級。 前述事項修正、補充於第一章第一節、第二節及第三節工作項目中。
二	本研究題目為「坡地災害危害度分級探討」，是要建立危害度分級的系統還是要檢討建立危害度分級體系所需要的各項地文因子？並未有明確的界定。	感謝委員的細心審閱與惠賜寶貴建議。因計畫名稱與內容誤植造成委員困擾，實為本計畫之疏失，還請海涵。本計畫案之名稱係直接使用大署「113 年度創新研究計畫公開徵求說明」中，領域四「軟體防災與新興科技應用」之研究課題7「坡地災害危害度分級探」，大署徵求說明提及本課題的想法為「利用既有的坡

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		地水文、地文、監測資料，建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級，並以實際案例探討驗證。」。因既有坡地災害危害相關分級大署已有官方定義，本研究在既有水文監測資料項，擬朝向既有的水文監測記錄與 TCCIC 使用既有水文紀錄與氣候變遷資料擬合後的降尺度氣候變遷推論資料，來達致大署課題想法所提出的「建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級」的想法。故本研究導入 TCCIP 於 2023 年所發布之 AR6 氣候變遷降雨情境降尺度資料以及既有的警戒標準就本研究擬建立的坡地風險評估單元進行風險分級。以歷史降雨資料及 AR6 統計出的日最大降雨量的機率密度函數，配合目前官方定義的警戒值，進行災害

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		風險的劃分。
三	P.2-2 中針對坡地災害進行回顧，但並未具體定義本研究中的坡地災害涵蓋哪些類型。本研究中並未對於坡地災害的危害因子進行討論，如坡度、坡長、地質狀況（覆土厚度、覆土強度）等。	感謝委員的細心審閱與惠賜寶貴建議。本研究泛稱坡地災害係根據災害防救法第三條、第一項、第三款所定中央災害防救業務主管機關及部內農村發展及水土保持署分工包含「土石流及大規模崩塌災害」；研究主題係根據大署「113 年度創新研究計畫公開徵求說明」中，領域四中「軟體防災與新興科技應用」之研究課題第 7「坡地災害危害度分級探」研究課題，大署徵求說明提及本課題的想法為「利用既有的坡地水文、地文、監測資料，建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級，並以實際案例探討驗證。」。因既有坡地災害危害相關分級大署已有官方定義，本研究在既有水文監測資料項，擬朝向既

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		有的水文監測記錄與 TCCIC 使用既有水文紀錄與氣候變遷資料擬合後的降尺度氣候變遷推論資料，來達致大署課題想法所提出的「建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級」的想法。故本研究擬導入 TCCIP 於 2023 年所提供之 AR6 氣候變遷降雨情境降尺度資料並建立相應之坡地單元進行風險分級。而「坡地單元」設定為風險呈現的基礎區塊，係依文獻回顧成果以與地形地貌的關聯性最高的斜坡單元，藉期能映射真實地表樣貌的特性，相對反應區塊的危害(土石流及大規模崩塌災害)發生風險。 前述部分，已修正、補充於第一章第一~三節中。
四	P.2-2 降雨為坡地災害的重要致災因子，但與坡地災害的	感謝委員指正，本計畫案之名稱係直接使用大署「113 年度

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
	「危害度因子」無關。因此，本研究的主題究竟是「危害度分級」或是「坡地災害警分級」，應釐清。	創新研究計畫公開徵求說明」中，領域四「軟體防災與新興科技應用」之研究課題7「坡地災害危害度分級探」，大署徵求說明提及本課題的想法為「利用既有的坡地水文、地文、監測資料，建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級，並以實際案例探討驗證。」。因既有坡地災害危害相關分級大署已有官方定義，本研究擬結合過去研發能量，結合氣候變遷所造成的降雨增量威脅，針對既有土石流、大規模崩塌潛勢區雨量警戒標準，探討在既有雨量警戒標準下，在之於歷史降雨紀錄與氣候變遷 AR6 推估結果中，各劃設之土地單元在既有坡地災害警戒標準(即危害度)在未來被驅動的頻率風險，提出提出坡地災害監視 CCTV

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		建置區位建議。 本研究在既有水文監測資料項，擬朝向既有的水文監測記錄與 TCCIC 使用既有水文紀錄與氣候變遷資料擬合後的降尺度氣候變遷推論資料，來達致大署課題想法所提出的「建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級」的想法。故本研究導入 TCCIP 所 2023 年發布之 AR6 氣候變遷降雨情境降尺度資料以及既有的警戒標準就本研究擬建立的坡地風險評估單元進行風險分級。以歷史降雨資料及 AR6 統計出的日最大降雨量的機率密度函數，配合目前官方定義的警戒值，進行災害風險的劃分。前述部分已修正、補充於第一章第一節內文中。
五	至今的期中成果，以萃取許多坡地單元，但這些坡地單元本	感謝委員建議，大署就本研究的徵求說明提及本課題的想

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
	身的各種危害度因子，並無相關資料。	法為「利用既有的坡地水文、地文、監測資料，建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級，並以實際案例探討驗證。」。因既有坡地災害危害相關分級大署已有官方定義，本研究擬結合過去研發能量，結合氣候變遷所造成的降雨增量威脅，針對既有土石流、大規模崩塌潛勢區雨量警戒標準，探討在既有雨量警戒標準下，在之於歷史降雨紀錄與氣候變遷 AR6 推估結果中，各劃設之土地單元在既有坡地災害警戒標準(即危害度)在未來被驅動的頻率風險，提出提出坡地災害監視 CCTV 建置區位建議。坡地單元資訊係就坡度、坡向、集水面積等因子而建置，透過地理資訊軟體運算後取得，因本計畫主要係以致災雨量風險為主要討

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		論對象，以 TCCIP 於 2023 年發布之 AR6 降尺度資料為探討標的，故未著墨於危害因子之探討，因此未於文中呈現。
六	P.4-3 圖 4-1 的氣候變遷降雨網格在不同情境下降雨趨勢變化，與坡地災害警戒值並無直接關連；與本計畫關係如何，報告中並無論述。	感謝委員指正，關於氣候變遷降雨格網係呈現降雨區域，各區域內之坡地單元將就各種情境之年最大日降雨值統計其機率密度函數與累積分布函數，續將氣候變遷的 shp 格網轉成 grid，再用 zonal static 抓取坡地單元中最具代表性之格網，代表該坡地單元。 相關敘述，已修正、補充於第四章、第一節之氣候變遷資料中。
七	CCTV 為連續影像，在沒有發生災害前影像顯示的狀況如何運用在「危害度分級」上？本計畫中並未說明。	感謝委員惠賜寶貴建議，在計畫上本研究係以氣候變遷情境降雨(機期及未來推估降雨)為基礎探討評估坡地單元現有警戒值之致災風險；相關分級結果將依據工作進度時

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		程於期末報告中呈現。另，CCTV 於本計畫中為坡地災害風險評估示範應用之範例，並非作為坡地災害風險評估之因子。
八	本計畫在期中報告之前，除進行文獻回顧與資料整理之外，具體工作僅為坡地單元萃取，是否符合。	感謝委員指正，部分內文有誤植到非關本研究之文句，深表抱歉。根據工作時程，期中報告應呈現災害警戒分級探討，相關內文補充於第二章、第三節。另，已於第四章第三節補述坡地單元災害警戒分級探討成果，本研究成果皆如實如質完成。
九	本研究並未提出明確具體的「坡地災害危害度分級」論述，所提的工作內容與目前的成果，與「坡地災害危害度分級」均無關連。應再釐清本研究的目的、預期成果與研究方法之間的關係。目前所提的研究方法與工作內容，並無法對	感謝委員指正，本計畫案之名稱係直接使用大署「113 年度創新研究計畫公開徵求說明」中，領域四「軟體防災與新興科技應用」之研究課題 7「坡地災害危害度分級探」，大署徵求說明提及本課題的想法為「利用既有的坡地水文、地

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
	應到「坡地災害危害度分級」之主軸。	文、監測資料，建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級，並以實際案例探討驗證。」。因既有坡地災害危害相關分級大署已有官方定義，本研究擬結合過去研發能量，結合氣候變遷所造成的降雨增量威脅，針對既有土石流、大規模崩塌潛勢區雨量警戒標準，探討在既有雨量警戒標準下，在之於歷史降雨紀錄與氣候變遷 AR6 推估結果中，各劃設之土地單元在既有坡地災害警戒標準(即危害度)在未來被驅動的頻率風險，提出提出坡地災害監視 CCTV 建置區位建議。 本研究在既有水文監測資料項，擬朝向既有的水文監測記錄與 TCCIC 使用既有水文紀錄與氣候變遷資料擬合後的降尺度氣候變遷推論資料，來

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		達致大署課題想法所提出的「建立以機率為基礎的坡地危害度或風險分級」的想法。故本研究導入 TCCIP 所 2023 年發布之 AR6 氣候變遷降雨情境降尺度資料以及既有的警戒標準就本研究擬建立的坡地風險評估單元進行風險分級。以歷史降雨資料及 AR6 統計出的日最大降雨量的機率密度函數，配合目前官方定義的警戒值，進行災害風險的劃分。前述部分已修正、補充於第一章第一節內文中。 另，「危害風險分級」相關論述，呈現於第二章、第三節中。
十	P4-19 建議可用 1m DTM 做後續研究，其結果較為精細。	感謝委員建議，礙於本研究所建置之坡地單元生成程序可適用於各種解析度之 DTM 資料，1m DTM 現仍為列管之機敏資料，故以 20 公尺解析度之 DTM 為示範資料，後續大

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		署如欲提升坡地單元精細度，本團隊可至署內協助製作。
十一	建議報告書中，英文名詞請統一方式書寫，如 P.4-21 編碼為 NoData... 與 P.4-23 運算時 Nodata 的部分...。	感謝委員指正，已統一書寫方式為” NoData” ，與軟體中所呈現之文字一致。

附錄三、期末審查會議紀錄回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	本研究在警戒發布風險分級下，依坡地所屬風險等級進行 CCTV 風險評估，該分析之坡地風險級別是否有套疊過往歷史災害或是事件型崩塌目錄來辨識坡地災害程度，請補充說明。	感謝委員，在風險分級部分，本研究根據現有大規模崩塌警戒值探討氣候變遷情境下各坡地單元之警戒發布風險，風險等級劃分上係以歷史坡地災害發生區位之坡地單元資訊進行統計分析所得，就所取得之分級門檻進行其餘坡地單元風險評估。本研究就坡地單元風險評估結果，以 CCTV 作為應用示範案例，套用坡地單元於氣候變遷情境下的災害風險評估，瞭解未來 CCTV 所在區位可能發生坡地災害之風險。
二	去除椒鹽效應，是去除圖像中的可能隨機生成的雜訊(如在均勻的灰色區域裡，有亮色素或暗色素出現)，但本研究使用 DEM 生成坡地單元，其需要去除椒鹽效應的原因為何？	感謝委員，本研究以 DTM 所建置之坡地單元生成程序中，取高層值大於 100 公尺之像元進行後續坡地單元的生成，透過門檻值的篩選於邊界會產生椒鹽效應，故透過多視窗

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		方法進行邊界椒鹽的消除作業，避免於產生獨立且細碎的坡地單元，提高坡地單元的完整性。
三	氣候(短時距)、地震均對坡地災害危害度有關，且有可能降低預警閥值，那未來該如何動態調整危害度？	感謝委員，本研究主要係以氣候變遷降雨情境為基礎探討現有坡地災害警戒值之坡地單元於 AR6 評估基期與未來氣候變遷降雨推論上的風險分析與分級，不再進行警戒值的調整。目前大規模崩塌警戒值已有明確的調整機制，本研究成果係可提供後續於氣候變遷部分之調整參考。
四	若不以坡面單元，是否可用網格單元操作，可能的效果為何？優缺點為何？	感謝委員，就風險分析角度而言，使用坡面單元或網格單元皆可操作，但坡面單元係以地形切割而成，故在地表描述能力較網格單元來得強，在後續單元的屬性統計或相關崩塌量體計算上也較網格單元來得貼實；網格單元就其形狀結

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
		構而言，單一適合進行平行演算，對於大面積範圍而言可透過 GPU 加速其運算，後續可朝多尺度坡地災害風險評估方式，以 DTM 建置網格單元，再透過屬性聚合成為坡地單元，此可結合兩種不同單元的優點。