

計畫編號：SWCB-110-025

以災害時空分佈熱區討論
劃設特定水土保持區可行性
**Delineation of designated soil and water
conservation area by using the disaster
spatiotemporal hotspot analysis**
成果報告書

執行單位：逢甲大學

執行期間：110 年 1 月 27 日至 110 年 12 月 31 日

計畫主持人：吳俊銘 副教授

研究人員：林政誼

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國一一〇年十二月

(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)

以災害時空分佈熱區討論劃設特定水土保持區可行性

摘要

本研究探討以曾文水庫集水區在 2009 年莫拉克颱風後的崩塌分佈為範例，探討是否具有符合水土保持法第 16-2 條(以上游集水區為劃設單元)及 16-3 條(以河段為劃設單元)法令而劃設特定水土保持區之可行性，討論劃設特定水土保持區以達到積極保育治理成效的目的。

本研究以曾文水庫集水區 2009 年至 2020 年年度崩塌圖層為分析材料，探討曾文水庫集水區歷年崩塌與降雨、地質分佈、近年地震發生次數因子關係，探討歷年崩塌數據演變。也以三期 DEM 資料探討曾文水庫集水區主流河川縱剖面與支流交匯口歷年高程變化情況。

為瞭解曾文水庫集水區歷年崩塌在時空上的分佈關係，本研究也以崩塌活躍性評估及崩塌時空熱區方式討論各子集水區崩塌的時空分佈特性與活躍性。經本研究評估結果，曾文水庫集水區最上游的達邦及長谷川溪子集水區符合本研究提出以水土保持法第 16-2 條劃設特定水土保持區的要求，而具有兩個大量土砂產出的子集水區匯入的下游河段及部分具有大量河岸崩塌的蜿蜒河段，也符合本研究提出以水土保持法第 16-3 條劃設特定水土保持區的要求。

本研究也發現在達邦及長谷川溪子集水區內，崩塌最難復育或最易誘發的都位於大規模崩塌鄰近區域、蜿蜒河段的河岸崩塌及蝕溝鄰近區域等位置，這些位置的崩塌活躍性都屬於極度活躍或非常活躍等級，這些位置的崩塌時空熱區分類則都以長久熱區或持續熱區為主。這些位置也是後續劃設特定水土保持區之主要治理區位。

關鍵詞：特定水土保持區、崩塌活躍性、崩塌時空熱區

Delineation of designated soil and water conservation area by using the spatiotemporal hotspot analysis

Abstract

The study focuses on discussing the possibility of delineating the designated soil and water conservation area by using the Soil and Water Conservation Law (16-2 & 16-3), and use the landslide distribution and landslide evolution in the Tsengwen reservoir watershed after 2009 Typhoon Morakot. The delineation unit by using the Soil and Water Conservation Law (16-2) is the upstream watershed, and that by using Soil and Water Conservation Law (16-3) is the reaches. The study discusses how to delineate the designated soil and water conservation area to achieve the active conservation.

The research material in the study is the annual landslide inventories from 2009 to 2020 in the Tsengwen reservoir watershed. The study discusses the relationship between the landslide distribution and the related factors, including rainfall, geological setting, and the occurrence frequency of earthquake. The study also discusses the change of longitude profile in the main stream of Tsengwen reservoir watershed by using the DEM in 2004, 2012, and 2016.

The study estimates the landslide activity and draws the distribution of spatiotemporal hotspots to analyze the spatiotemporal distribution of landslide from 2009 to 2020 in the Tsengwen reservoir watershed. The upstream sub-watersheds, including the Chang-ku-chuan and Da-ban sub-watersheds, are suitable to delineate the designated soil and water conservation area based on the analysis results. The intersection of two sub-watersheds with huge amount of sediment yield and the sinuous reaches with obvious bank-erosion landslide are also suitable to delineate the designated soil and water conservation area by using the Soil and Water Conservation Law (16-3) based on the analysis results. The locations with the heaviest landslide recovery in the Chang-ku-chuan and Da-ban sub-watersheds are the neighborhood area of large landslide and gullies, the bank-erosion landslide in the sinuous reaches, and those locations are also classified to extreme active or very active.

Keywords: Designated soil and water conservation area, Landslide activity, landslide spatiotemporal hotspots

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VII
第一章 前言.....	1-1
第一節 計畫目的	1-1
第二節 工作範圍	1-4
第三節 工作成果要求	1-5
第四節 工作進度及期限	1-6
第五節 期中報告進度查核	1-8
第六節 期末報告進度查核	1-11
第二章 相關文獻蒐集	2-1
第一節 特定水土保持區近年相關研究說明	2-1
第二節 集水區發生大量崩塌及後續演化相關研究說明	2-9
第三章 曾文水庫集水區資料分析	3-1
第一節 曾文水庫集水區基本資料及近年降雨資料分析	3-1
第二節 曾文水庫集水區流域地質與崩塌分佈關係	3-28
第三節 曾文水庫集水區近年地震資料與崩塌誘發關係	3-37
第四節 曾文水庫集水區近年崩塌數據分析	3-42
第五節 曾文水庫集水區河川縱剖面與支流交匯口高程變化	3-55
第四章 關鍵治理子集水區崩塌特性	4-1
第一節 崩塌活躍性評估說明	4-1
第二節 崩塌時空熱區分析評估說明	4-15

第五章 劃設特定水土保持區之原因及門檻	5-1
第一節 劃設特定水土保持區子集水區門檻及分析方式	5-3
第二節 劃設特定水土保持區之河段劃定門檻及分析方式 ..	5-14
第六章 結論.....	6-1
參考文獻.....	參-1
附錄一 期初報告審查意見回覆	附-1
附錄二 期中報告審查意見回覆	附-11
附錄三 期末報告審查意見回覆	附-12

圖目錄

圖 3-1-1 曾文水庫集水區高程與崩塌分布圖.....	3-8
圖 3-1-2 曾文水庫集水區坡度與崩塌分布圖.....	3-8
圖 3-1-3 曾文水庫集水區坡向與崩塌分布圖.....	3-9
圖 3-1-4 曾文水庫集水區土地利用分布圖.....	3-9
圖 3-1-5 曾文水庫集水區土壤分布圖.....	3-10
圖 3-1-6 曾文水庫集水區距離河川與崩塌分布表	3-11
圖 3-1-7 曾文水庫集水區斷層分佈圖.....	3-11
圖 3-1-8 曾文水庫集水區山崩與地滑地質敏感區分佈圖	3-12
圖 3-1-9 曾文水庫集水區土石流潛勢溪流分佈圖	3-12
圖 3-1-10 曾文水庫集水區 2009 及 2010 年有效降雨指標分佈 ..	3-21
圖 3-1-11 曾文水庫集水區 2011 年及 2012 年有效降雨指標分佈	3-21
圖 3-1-12 曾文水庫集水區 2013 及 2014 年有效降雨指標分佈 ..	3-22
圖 3-1-13 曾文水庫集水區 2015 及 2016 年有效降雨指標分佈 ..	3-22
圖 3-1-14 曾文水庫集水區 2017 及 2018 年有效降雨指標分佈 ..	3-23
圖 3-1-15 曾文水庫集水區 2019 及 2020 年有效降雨指標分佈 ..	3-23
圖 3-2-1 曾文水庫集水區地層分布圖.....	3-30
圖 3-2-2 曾文水庫集水區各地層年度崩塌率分布圖	3-34
圖 3-2-3 曾文水庫集水區各地層年度崩塌率分布圖	3-34
圖 3-3-1 曾文水庫集水區地震規模 4 以上與崩塌率分佈圖	3-40
圖 3-4-1 曾文水庫集水區 839 子集水區分佈.....	3-44
圖 3-4-2 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌個數分佈圖	3-47
圖 3-4-3 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌個數分佈圖	3-48
圖 3-4-4 曾文水庫集水區子集水區歷年大規模崩塌個數分佈圖 ..	3-49
圖 3-4-5 曾文水庫集水區子集水區歷年大規模崩塌個數分佈圖 ..	3-50

圖 3-4-6 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌面積分佈圖	3-51
圖 3-4-7 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌面積分佈圖	3-52
圖 3-4-8 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌率分佈圖	3-53
圖 3-4-9 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌率分佈圖	3-54
圖 3-5-1 曾文水庫集水區主流及支流交匯口分析位置	3-56
圖 3-5-2 曾文水庫集水區河川歷年縱剖面高程分佈圖	3-57
圖 4-1-1 曾文水庫集水區 2009 年比對 2010 年崩塌分佈圖	4-5
圖 4-1-2 曾文水庫集水區 2009 年比對 2013 年崩塌分佈圖	4-6
圖 4-1-3 曾文水庫集水區 2009 年比對 2017 年崩塌分佈圖	4-6
圖 4-1-4 曾文水庫集水區 2009 年比對 2020 年崩塌分佈圖	4-7
圖 4-1-5 崩塌活躍性判斷示意圖	4-8
圖 4-1-6 曾文水庫集水區極度活躍、非常活躍及活躍崩塌分佈圖	4-8
圖 4-1-7 曾文水庫集水區休眠崩塌分佈圖	4-9
圖 4-1-8 曾文水庫集水區不活躍崩塌分佈圖	4-9
圖 4-1-9 曾文水庫集水區歷年崩塌判釋累積次數	4-12
圖 4-2-1 時空分析理論圖	4-16
圖 4-2-2 曾文水庫集水區崩塌時空熱區分析流程圖	4-19
圖 4-2-3 曾文水庫集水區時空崩塌時空冷熱區分類分佈圖	4-21
圖 4-2-4 曾文水庫上游集水區時空崩塌時空冷熱區分類分佈圖 ..	4-21
圖 5-1-1 長谷川溪與達邦子集水區在 2009 年後崩塌判釋情況	5-12
圖 5-2-1 曾文水庫集水區主流分段編號分佈圖	5-20

表目錄

表 1-1-1	由 103 年至 110 年劃設為特定水土保持區統計資料.....	1-2
表 1-4-1	至期末報告執行進度表.....	1-7
表 3-1-1	曾文水庫集水區高程分布表.....	3-5
表 3-1-2	曾文水庫集水區坡度分布表.....	3-5
表 3-1-3	曾文水庫集水區坡向分布表.....	3-6
表 3-1-4	曾文水庫集水區土地利用與崩塌分布表	3-6
表 3-1-5	曾文水庫集水區土壤與崩塌分布表.....	3-7
表 3-1-6	曾文水庫集水區距離河川與崩塌分布表	3-7
表 3-1-7	曾文水庫集水區土石流潛勢溪流資料彙整	3-13
表 3-1-8	曾文水庫集水區上中下游代表性雨量站	3-15
表 3-1-10	馬頭山雨量站由 2009 年至 2020 年月雨量分佈	3-17
表 3-1-11	龍美雨量站由 2009 年至 2020 年月雨量分佈.....	3-18
表 3-1-12	曾文水庫集水區歷年日有效降雨指標達 300 彙整表 ..	3-24
表 3-1-13	集水區上中下游發生有效降雨指標達 300 日數統計 ..	3-26
表 3-2-1	曾文水庫集水區地層資料統計表.....	3-31
表 3-2-2	曾文水庫集水區各地層年度崩塌率統計表	3-32
表 3-2-3	曾文水庫集水區各地層年度崩塌率統計表	3-33
表 3-2-4	各地層年度崩塌率與復育崩塌面積數據表	3-35
表 3-3-1	曾文水庫集水區歷年發生規模 4 以上之地震紀錄	3-39
表 3-3-2	曾文水庫各年份發生規模 4 以上之地震統計紀錄	3-40
表 3-4-1	曾文水庫集水區 2009 年至 2017 年崩塌數據	3-43
表 3-4-2	曾文水庫集水區 839 子集水區資料表.....	3-45
表 3-4-3	曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌個數彙整表	3-47
表 3-4-4	曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌個數彙整表	3-48

表 3-4-5	曾文水庫集水區子集水區歷年大規模崩塌個數彙整表	3-49
表 3-4-6	曾文水庫集水區子集水區歷年大規模崩塌個數彙整表	3-50
表 3-4-7	曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌面積彙整表	3-51
表 3-4-8	曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌面積彙整表	3-52
表 3-4-9	曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌率彙整表	3-53
表 3-4-10	曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌率彙整表	3-54
表 3-5-1	主流河段流經子集水區長度與各年度地形起伏統計表	3-59
表 3-5-2	重點分析河段各年度地形起伏統計表	3-60
表 4-1-1	曾文水庫集水區已復育、未復育跟新崩塌統計表	4-4
表 4-1-2	崩塌活躍性判斷標準.....	4-7
表 4-1-3	曾文水庫集水區活躍性評估統計表.....	4-10
表 4-1-5	曾文水庫集水區歷年崩塌判釋累積次數統計表之二	4-14
表 4-1-6	曾文水庫集水區歷年崩塌判釋累積次數統計表之三	4-15
表 4-2-1	時空群聚分析冷熱區定義.....	4-18
表 4-2-2	曾文水庫集水區冷熱區面積統計數據	4-22
表 4-2-3	曾文水庫集水區冷熱區面積統計數據	4-23
表 4-2-4	曾文水庫集水區冷熱區面積統計數據	4-24
表 4-2-5	曾文水庫集水區冷熱區面積統計數據	4-25
表 4-2-6	各子集水區崩塌熱冷區面積比統計表	4-26
表 5-1-1	曾文水庫集水區各子集水區崩塌個數及面積數據	5-8
表 5-1-2	曾文水庫集水區各子集水區 2009 年與 2010 年比較表	5-11
表 5-1-3	建議劃設為特定水土保持區之子集水區篩選數據	5-11
表 5-2-1	曾文水庫主流河岸崩塌 2009 年與 2010 年比較表	5-17
表 5-2-2	曾文水庫主流河岸崩塌 2009 年與 2013 年比較表	5-18
表 5-2-3	曾文水庫主流河岸崩塌 2009 年與 2017 年比較表	5-18

表 5-2-4	曾文水庫各分段河岸崩塌 2009 與 2010 年比較表	5-20
表 5-2-5	曾文水庫各分段河岸崩塌 2009 與 2013 年比較表	5-21
表 5-2-6	曾文水庫各分段河岸崩塌 2009 與 2017 年比較表	5-23

第一章 前言

第一節 計畫目的

水土保持法於民國 83 年訂定並實行，立法目的如第一條所明述：「為實施水土保持之處理與維護，以保育水土資源，涵養水源，減免災害，促進土地合理利用，增進國民福祉，特制定本法。」，水土保持處理與維護類型依土地開發及處理需求，可以區分為「一般水土保持之處理與維護」及「特定水土保持之處理與維護」。在水土保持法第三條第五款即明定：「特定水土保持區：係指經中央或直轄市主管機關劃定亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區。」至此，專為「亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區」所設立之特定水土保持區因此衍生。

水土保持法第 16 條也詳細說明應劃定為特定水土保持區之定義，包含水庫集水區、主要河川集水區須特別保護者、海岸、湖泊沿岸、水道兩岸須特別保護者、沙丘地、沙灘等風蝕嚴重者、山坡地坡度陡峭，具危害公共安全之虞者及等其他對水土保育有嚴重影響者六項。以本研究查詢特定水土保持區公告資料而言(如表 1-1-1 所示)，於民國 110 年 7 月，全台灣共 54 處特定水土保持區資料中，共有 2 處屬於水庫集水區、16 處屬於崩塌地及 36 處屬於土石流。

依據 110 年特定水土保持區公告資料，2 處劃入特定水土保持區之水庫集水區為白河水庫及烏山頭水庫，乃在在民國 89 年 5 月 25 日由當時的經濟部水利處提議將白河及烏山頭水庫集水區劃為特定水土保持區，其所依據法令為水土保持法第 16 條第 1 款條文：「水庫集水區」；白河水庫集水區及烏山頭水庫集水區公告劃為特定水土保持區之面積分別為 2655 公頃及 6000 公頃，白河水庫集水區跨越台南市與嘉義縣，烏山頭水庫則全位於台南市內。兩個水庫集水區都於民國

109 年 8 月 14 日提出長期水土保持計畫。

表 1-1-1 由 103 年至 110 年劃設為特定水土保持區統計資料

年份	總數	水庫集水區	崩塌	土石流
103	72	2	24	46
104	74	2	24	47
105	71	2	23	46
106	68	2	24	42
107	66	2	24	40
108	65	2	24	39
109	62	2	23	37
110	54	2	16	36

備註：本資料來源為政府資料開放平台(<http://data.gov.tw>)。

依據 110 年特定水土保持區公告資料，16 處崩塌地及 36 處土石流之特定水土保持區則是歷年由地方政府或中央相關單位提議劃設為特定水土保持區，所依據的法令則為水土保持法第 16 條第 6 款條文：「其他對水土保育有嚴重影響者」。由此可知，依據水土保持法第 16 條共有 6 款條文可供劃設特定水土保持區之用，但至目前為止僅使用過第 1 款及第 6 款兩條文，水土保持法第 16 條第 2 款至第 5 款條文至今尚未被使用於劃設特定水土保持區。因應近年氣候變遷及土砂災害頻繁的特性，若考量啟動水土保持法第 16 條第 2 款至第 5 款條文而劃設特定水土保持區，則劃設的判別方式、方法及門檻是值得討論，這也是本研究的核心。

白河及烏山頭水庫集水區從民國 89 年劃設至今，所處地方政府

都持反對意見，主因在於限制集水區內土地開發。此限制對當地居民影響甚大，台南市歷屆縣市首長都曾反對將烏山頭水庫集水區劃設為特定水土保持區。

但民間環保團體基於台灣在近年土砂災害頻繁，更應積極以法令保育台灣山坡地，因此也要求中央主管機關應該基於水土保持法第 16 條第 1 款，將若干水庫集水區都劃設為特定水土保持區。夾於民意跟環保團體之間的中央主管機關：水土保持局也多次希望從法令上找出可執行方式，不論是與民間環保團體多次溝通，也或是希望從水土保持法第 16 條第 1 款的法令文字修改著手，到最後都未能找到執行法令與推動實務上的平衡點。

本研究目的在於探討由水土保持法第 16 條第 2 款至第 3 款兩法令條文，提出劃設特定水土保持區之判別方式、方法及門檻，並論述由此兩條文劃設的可行性，進而達到積極保育治理的目的。

特定水土保持區的想法在民國 83 年水土保持法立法就已經存在，水土保持法第 16 條談及特定水土保持區的涵蓋範圍也在水土保持法歷年共 4 次修法過程被提到 2 次，包含民國 83 年 10 月 21 日的修正及民國 89 年 5 月 17 日的修正。特定水土保持區的立法概念代表前人希望未來山坡地環境遇到「亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區」的問題時，以一般提報工程方式難以積極保育水土資源時，可以使用本條法令來處理。水土保持法第 16 條 6 款適用範圍中，目前第 2 款至第 5 款都尚未被啟用，啟用一條法令並非僅是現象符合即可啟動，法令的啟動應該要有完整的先行分析過程，並建立該法令的篩選門檻，並瞭解若啟動或未啟動該法令去治理亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區，則該環境會有什麼差異。如此的分析過程即為本研究的主要目的：從 2009 年莫拉克颱風後的嚴重崩塌及多年的崩塌

長期演化，來篩選適用於水土保持法第 16 條第 2 款及 3 款法令的環境，並嘗試建立篩選門檻值，及以過往案例說明在沒有啟動水土保持法第 16 條第 2 款及 3 款法令下，該類嚴重崩塌區域在後續幾年演變。

建立法規管理值是啟動法規最重要的環節，根據過往經驗而建立合適且穩定的管理值，除了得以善用前人辛苦建構下的法規文字外，也讓後人在因應環境變化得以使用過往法規上的文字。本研究的目的也在於此，本研究共有四個工作項目，第一個工作項目在於法規文字上的實務論述，第二個跟第三個工作項目則是本研究規劃的分析技術，分析技術的目的在於瞭解哪一種分析方法適用於建立法規管理值，或哪些分析更能展現環境所面臨的問題。第四個工作項目是討論將將上述分析資料應用在水土保持法第 16 條第 2 款及 3 款，所需建立的篩選門檻值跟法規上的對應處理方式。

啟動法規上的文字在實務執行過程需要繁瑣且嚴謹的過程，本研究的每一個分析技術未必都適合成為未來法規管理值建置的篩選過程，合適的管理值也未必會單從一份簡單的創新研究報告就得出，但若想針對變化的環境去更善用法規文字達到積極保育治理的目標，則從過往案例找出經驗、從相關分析得到合適門檻值並建立完整的執行過程供未來使用等都是必經過程。

第二節 工作範圍

本計畫工作範圍為以多期崩塌目錄及河川型態相關資料，找尋適合劃設特定水土保持區之子集水區或河段。全程目標可分為四點，包含特定水土保持區及崩塌熱區及演化分析的相關文獻蒐集、曾文水庫集水區相關基本資料分析、曾文水庫集水區崩塌活躍性及崩塌熱區分析及提出曾文水庫集水區內，適合劃設特定水土保持區之位置、門檻及原因。

第三節 工作成果要求

本計畫之委託專業服務採購說明所列工作項目如下：

一、蒐集近年特定水土保持區各種嘗試劃定的相關文獻五篇，以崩塌熱區及演化的分析研究相關文獻五篇。

(一)搜尋近年各研究團體對於如何以更小尺度且災害更集中的方式來劃設特定水土保持區，取代原始以水庫集水區為劃定單位的相關文獻五篇。

(二)搜尋極端降雨或地震誘發大量崩塌及後續演化相關文章，彙整各國崩塌復育情況，相關文獻蒐集五篇。

二、以曾文水庫集水區研究區域，分析長期降雨資料、地質資料、地震資料及崩塌資料。

(一)蒐集曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年降雨資料，分析歷年有效降雨指標演變情況。

(二)蒐集曾文水庫集水區流域地質資料，分析集水區內各種地質之崩塌復育與演化分佈情況。

(三)蒐集曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年地震資料，分析歷年地震對集水區內崩塌誘發之相關性。

(四)蒐集曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年崩塌圖層，分析歷年崩塌面積、個數、大規模崩塌個數、各子集水區崩塌率演

變情況。

(五)蒐集曾文水庫集水區範圍內多期數位高程資料(DEM)，至少需有 20mDEM、5mDEM 及 1mDEM 等三版資料，分析曾文水庫集水區主流河川縱剖面高程變化及各支流與主流匯流口高程變化。

三、以曾文水庫集水區研究區域，進行長期崩塌活躍性與崩塌時空熱區找尋。

(一)以 2009 年至 2020 年崩塌資料，進行曾文水庫集水區內之崩塌活躍性分析，並說明不同活躍性分佈位置及特性。

(二)以 2009 年至 2020 年崩塌資料，進行曾文水庫集水區內崩塌時空熱區分析，並說明不同熱區分佈位置及特性。

四、根據上述分析成果，提出曾文水庫集水區內，適合劃設特定水土保持區之位置、門檻及原因。

(一)綜合上述分析資料，提出建議劃設為特定水土保持區之子集水區劃定門檻及分析方式。

(二)綜合上述分析資料，提出建議劃設為特定水土保持區之河段劃定門檻及分析方式。

第四節 工作進度及期限

本計畫自 110 年 1 月 27 日起至民國 110 年 12 月 31 日完成，預

定執行進度如表 1-4-1 所示。

表 1-4-1 至期末報告執行進度表

重要工作項目	工作比重(%)	預定進度累計百分比(%)			
		1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月
蒐集近年特定水土保持區各種嘗試劃定的相關文獻五篇，以崩塌熱區及演化的分析研究相關文獻五篇。	25%	30%	80%	100%	100%
以曾文水庫集水區研究區域，分析長期降雨資料、地質資料、地震資料及崩塌資料。	25%	10%	50%	80%	100%
以曾文水庫集水區研究區域，進行長期崩塌活躍性與崩塌時空熱區找尋。	25%	0%	20%	50%	100%
根據上述分析成果，提出曾文水庫集水區內，適合劃設特定水土保持區之位置、門檻及原因。	25%	0%	10%	40%	100%
累計總進度	100%	10%	40%	68%	100%

第五節 期中報告進度查核

本研究截至 110 年 7 月 19 日繳交期中報告為止，進度檢核如下分述，初步檢核成果：有達到預期進度要求。

工作項目一：蒐集近年特定水土保持區各種嘗試劃定的相關文獻五篇，

以崩塌熱區及演化的分析研究相關文獻五篇。

期中報告進度：本研究已在第二章分別論述兩個子工作項目，2.1 節

說明以水庫集水區為特定水土保持區劃設，歷年相關研究的分析

成果，2.2 節也說明國際上曾出現過大量崩塌發生的地區，在後

續幾年的崩塌演化情況，並也比對期初報告審查意見，修正或補

充部分文獻。目前所蒐集文獻都超過預定值五篇。

工作項目二：以曾文水庫集水區研究區域，分析長期降雨資料、地質

資料、地震資料及崩塌資料。

期中報告進度：本研究對於曾文水庫集水區資料分析在報告第三章，

本研究於 3.1 節先論述曾文水庫集水區基本資料介紹，包含高程、

坡度、坡向、土地利用、土壤及距離河川等六個因子，再分析集

水區由 2009 年至 2020 年降雨分佈，以庫區內或鄰近包含曾文、

馬頭山及龍美等雨量站，分析由 2009 年至 2020 年之月降雨資

料，再將每一年雨季期間(五月至十月)以日降雨量估算有效降雨

指標，並分析各年度日有效降雨指標達 300 之日期及數值，也分

析集水區上中下游歷年發生日有效降雨指標達 300 之次數。

本研究於 3.2 節論述集水區地質分佈與歷年崩塌之關係，本研究先分析各種地層區在集水區內的分佈及崩塌率，並估算各地層歷年的崩塌率演化情況，而選出崩塌好發地層區。本研究也分析各地層年度崩塌率與復育崩塌面積，而找出崩塌難以復育的地層區域。

本研究於 3.3 節論述集水區歷年地震與崩塌之關係，採用集水區內或鄰近包含曾文水庫壩頂站、壩底站及大埔國小站等三個地震測站，分析由 2009 年至 2020 年，地震規模在 4 以上的地震紀錄，並說明歷年地震對集水區崩塌誘發的影響。

本研究於 3.4 節分析集水區內歷年崩塌數據，包含崩塌面積、個數、大規模崩塌個數及崩塌率等數據，除了全集水區數據以外，本研究也分析集水區內共 14 個子集水區的崩塌數據，並繪圖說明各子集水區之崩塌數據歷年分佈情況。

本研究於 3.5 節分析集水區內主流河段在不同年份數值高程模型下的起伏情況，共採用 2004 年 5mDEM、2010 年 1mDEM 及 2016 年 20mDEM 等數據，本研究分析尺度分為三種，包含主流全河段、主流位於各子集水區內河段及重點分析河段。

工作項目三：以曾文水庫集水區研究區域，進行長期崩塌活躍性與崩

塌時空熱區找尋。

期中報告進度：本研究對於曾文水庫集水區資料分析在報告第四章，

本研究於 4.1 節先論述崩塌活躍性執行方式跟目前執行成果，本研究已在 4.1 節提出對於曾文水庫集水區之崩塌活躍性分析方式，並先以 2009 年至 2017 年之崩塌數據，分別提出極度活躍、非常活躍、活躍、休眠及不活躍等五種崩塌活躍性等級、數據及分佈情況。

本研究於 4.2 節也提出崩塌時空熱區分析方式，並分別提出各種崩塌時空熱區的分佈位置、數據及分佈情況。

工作項目四：根據上述分析成果，提出曾文水庫集水區內，適合劃設特定水土保持區之位置、門檻及原因。

期中報告進度：本研究對於曾文水庫集水區資料分析在報告第五章，

本研究於 5.1 節先談以子集水區為劃設單位之論述，包含如何對應水土保持法法規文字及以子集水區劃定為特定水土保持區之管理值篩選，本研究也提出各子集水區歷年崩塌個數及崩塌面積復育數據，也比較各子集水區於 2009 年比對 2010 年、2013 年及 2017 年等數據。

本研究也於 5.2 節論述以河段為劃設單位之論述，包含如何對應水土保持法法規文字及以河段為特定水土保持區之管理值

篩選，本研究提出主流河岸崩塌 2009 年與 2010 年、2013 年及 2017 年比較表，也針對重點河段進行河岸崩塌 2009 年與 2010 年、2013 年及 2017 年比較。

第六節 期末報告進度查核

本研究截至 110 年 11 月 15 日繳交期末報告為止，進度檢核如下分述，本研究一併說明期末報告與期中報告差異之處。初步檢核成果：有達到預期進度要求。

工作項目一：蒐集近年特定水土保持區各種嘗試劃定的相關文獻五篇，以崩塌熱區及演化的分析研究相關文獻五篇。

期末報告進度：2.1 節特定區相關文獻維持期中報告已經完成進度，

2.2 節崩塌演化文稿持續更新 2005 年 Kashmir 地震跟 2008 年汶川地震後續崩塌演化文稿。

進度查核：特定水土保持區各種嘗試劃定及崩塌熱區及演化的分析研究相關文獻都超過五篇，有達成進度。

工作項目二：以曾文水庫集水區研究區域，分析長期降雨資料、地質資料、地震資料及崩塌資料。

期中報告進度：基本資料維持期中報告進度，主要更新有兩項：一則比對審查委員建議，將土地利用型態更細緻化，並探討各種土地利用型態的崩塌率。二則期中報告分析內容僅包含 2009 年至

2017 年年度崩塌圖層，於期末報告內容已經更新到 2009 年至 2020 年年度崩塌圖層，所有涉及崩塌圖層更動的分析數據都更改。

第 3.1 節更新土地利用與崩塌關係數據及圖資，第 3.2 節將崩塌圖層更新到 2020 年，所有地質與崩塌之數據跟圖資都更新到 2020 年。第 3.3 節更新地震規模 4 以上與崩塌率分佈圖，更新到 2020 年崩塌圖層。第 3.4 節更新所有崩塌相關數據至 2020 年。第 3.5 節則在期中報告進度已完成，期末報告內容並未更改。

進度查核：有達成進度。

工作項目三：以曾文水庫集水區研究區域，進行長期崩塌活躍性與崩塌時空熱區找尋。

期末報告進度：本研究期中報告先提出以 2008 年至 2017 年之崩塌活躍性評估跟崩塌時空熱區評估結果，至期末報告時，本研究已經更新為以 2009 年至 2020 年年度崩塌圖層作為崩塌活躍性與崩塌時空熱區評估的基礎，崩塌活躍性評估方式已更新，崩塌時空熱區分析結果也更新。

進度查核：有達成進度。

工作項目四：根據上述分析成果，提出曾文水庫集水區內，適合劃設特定水土保持區之位置、門檻及原因。

期末報告進度：本研究在期中報告已有提出初步版本，於期末報告中

提出更精進的內容，包含在法規上的對應適用區域、劃設原因分

析跟劃設區域與其他區域的差異比對。

進度查核：有達成進度。

第二章 相關文獻蒐集

本章說明工作項目一：「蒐集近年特定水土保持區各種嘗試劃定的相關文獻五篇，以崩塌熱區及演化的分析研究相關文獻五篇。」之預定進行方式跟預期內容，2.1 節說明工作項目一(一)：「搜尋近年各研究團體對於如何以更小尺度且災害更集中的方式來劃設特定水土保持區，取代原始以水庫集水區為劃定單位的相關文獻五篇。」，2.2 節說明工作項目一(二)：「搜尋極端降雨或地震誘發大量崩塌及後續演化相關文章，彙整各國崩塌復育情況，相關文獻蒐集五篇。」

第一節 特定水土保持區近年相關研究說明

本節分為兩小節說明，如下分述。

一、水庫集水區劃設為特定水土保持區緣由及相關建議

本節蒐集近年對於將水庫集水區劃設為特定水土保持區曾做過的相關研究，也收集地方政府歷年對於水庫集水區劃設為特定水土保持區之訊息公告，藉此瞭解依據水土保持法第 16 條第 1 款方式劃設特定水土保持區曾遇到什麼問題及相關研究曾提出什麼建議。

梁昇(2002)曾以鏡面水庫為例，探討依據水土保持法第 16 條第 1 款劃設為特定水土保持區可能產生的問題，文中提及集水區內土地所有人依據山坡地保育利用條例利用其土地從事種林、農作與果園，應不列入開發行為。

連惠邦等(2016)針對水庫集水區劃設為特定水土保持區之現況與

問題提出論述，該文認為「將水庫集水區全部劃定為特定水土保持區，因涵蓋部分非土砂災害區域，不符合特定水土保持區亟需實施水土保持處理與維護之原則」，且多半水庫集水區除了有水土保持法規範外，尚有其他相關法令有針對開發行為進行規範，造成在實務上窒礙難行。該文當時也提議：「修正水土保持法第 19 條第 1 項第 1 款為：「水庫集水區須特別保護者」」，才能符合危害公共安全之虞、亟需加強水土保持處理與維護(即可實施水土保持保育治理措施)、保護對象等三個必要條件等。

連惠邦等(2016)所提出修法建議，也為 2015 年水土保持法希望進行修法的主要內容，惟當時未獲朝野共識，因此該版修法內容並未進入實質審查，也未獲得通過。

黃奉琦(2020)曾提出在水庫集水區劃設為特定水土保持區範圍內，應該針對水庫集水區進行分級管理概念，該文認為應以對水庫集水區影響程度來區分為水庫蓄水區、水庫保護帶及水庫集水區等三區，並在考量距離庫區越近對環境影響越大，在保護帶以下之土地應禁止一切開發行為。而在保護帶以上之水庫集水區，則以評估土砂災害危害、地區產值估算來分析該地區脆弱度，並以脆弱度為水庫集水區內管理分級之基礎。

王珮茹(2020)也提出水庫集水區劃設為特定水土保持區，應該以

分級管理方式，該文將水庫集水區區分為水庫蓄水範圍、水庫上游集水區及水庫下游河道等三區域，水庫下游河道等三區域，水庫蓄水範圍採用水庫保護帶管理方式，水庫下游河道採用清疏方式，而水庫集水區則先區分為若干子集水區，各子集水區則根據保全對象、崩塌率、土石流潛勢溪流數量、以往治理工程經費、道路可及性及國有林班地範圍等因子列表評分，依據評分結果將治理等級區分為優先、重點及一般等，在優先治理集水區中的治理策略為採整體規劃治理，在重點治理集水區中的治理策略為採重點規劃治理，在一般治理集水區中的治理策略為進行一般構造物補強及維護。

由近年連惠邦等(2016)、黃奉琦(2020)及王珮茹(2020)等三篇研究都可發現，各研究都認為「將水庫集水區全區列為禁止開發方式，在實務上並不可行」，因此連惠邦等(2016)著手於修改水土保持法母法文字，黃奉琦(2020)及王珮茹(2020)則建議集水區內採分級管理方式，都在找尋能夠不走向「集水區全區列為禁止開發方式」的結果。

烏山頭水庫位於目前台南市轄區內，地方政府對於劃設特定水土保持區的論點，則可從幾則由地方政府所公布的消息來說明。台南市政府分別於民國 102 年 7 月 2 日及民國 108 年 10 月 7 日表達過相關意見，意見內容如下分述。

台南市政府水利局於民國 102 年 7 月 2 日公告消息指出：「考量

生態、水土資源及觀光併續，本局將朝向土地既有合法之使用、安全穩定及整體區域計畫考量，研提建議現況有部分解編需求之地區，經管理機關擬具長期水土保持治理計畫，俟實施治理完成並建構周遭安全環境後，再提報部分廢止白河水土保持特定區。」

台南市政府水利局於民國 108 年 10 月 7 日公告消息指出：「89 年 5 月 25 日行政院農業委員會劃定公告白河、烏山頭水庫集水區等 2 座特定水土保持區，依水土保持法第 19 條第 2 項：「經劃定為特定水土保持區之各類地區，區內禁止任何開發行為」，卻因劃定特定水土保持區而禁止開發，影響地主權益甚鉅，目前白河水庫集水區特定水土保持區由經濟部水利署辦理長期水土保持計畫及通盤檢討後，將無需特別保護地區劃出特定水土保持區；烏山頭水庫特定水土保持區由本府擬定「烏山頭水庫集水區特定水土保持區長期水土保持計畫」予中央主管機關(行政院農業委員會)辦理審查作業中。

目前烏山頭水庫管理機關由臺南市政府擔任，白河水庫管理機關由經濟部水利署擔任，依水土保持法第 18 條規定每五年通盤檢討一次，並檢討部分廢止特定水土保持區，以期廢止關子嶺特定區都市計畫範圍，使不具災害疑慮地區回歸一般山坡地管制，除了促進關子嶺地區觀光發展及土地合理利用、減少民怨，以期保育水土資源，涵養水源，減免災害，減少土砂淤積，增加庫容。」

由台南市政府所公告訊息內容可瞭解，地方政府仍希望在土地合理利用跟保育水土資源取得平衡點，並希望朝向以「無需特別保護地區」劃分。

本研究也說明挑選以曾文水庫集水區為研究案例之兩個原因：一則曾文水庫集水區為全台灣蓄水量最大的水庫，也為南台灣供水的主要來源，但近年水庫淤積率已接近 30%(以 2019 年淤積量估算，淤積率約為 28.18%)，水庫蓄水量多寡直接影響南台灣供水是否短缺，而這個問題在 2021 年 4 月至 5 月期間的中南台灣缺水旱象更為明顯。二則 2009 年莫拉克為最近 20 年來台灣所遭遇致災最嚴重的颱風事件，以水庫集水區為分析單位，曾文水庫集水區在 2009 年莫拉克颱風後誘發 1152 處崩塌地，總崩塌面積約為 13.93 平方公里，集水區崩塌率約為 2.88%，是台灣歷年歷經降雨誘發崩塌之水庫集水區案例中，具有最高崩塌率之水庫集水區。鑑於上述兩原因，未來相關單位檢討水庫集水區劃設為特定水土保持區過程，曾文水庫集水區可能成為討論上的焦點。

本研究一併討論將水庫集水區劃設為特定水土保持區在實務執行上的優缺點。在論述前，本研究先釐清觀點：法令文字並無絕對的優劣之分，只有對各地區的適合使用與否。本研究以水土保持法第 16 條第 1 款的「水庫集水區」為劃設特定水土保持區的優缺點論述如下：

(一)優點：劃設範圍明確，水庫集水區一詞在水土保持法第 3 條

第 6 款即有定義。對應相關法令的區分與使用相當明確，例如

全國區域計畫與國土計畫法，都是以水庫集水區為分析單元。

(二)缺點：將水庫集水區內所有對象以一致性法律對待，會面臨

並未對症下藥的問題，也因此會引來不少反對聲浪。以本研究

所分析的曾文水庫集水區為案例，曾文水庫集水區在 2009 年

莫拉克颱風(200 年頻率年降雨事件)仍有有 97.12%集水區面積

是沒有產生崩塌的。在面對高頻率年降雨事件也未發生崩塌或

土石流，但卻也位於水庫集水區內的土地，一概框列在特定水

土保持區範圍內，在對應水土保持法第 3 條第 5 款所提：「亟

需加強實施水土保持之處理與維護之地區」會有法規使用上問

題。全集水區劃設為特定水土保持區，易對地區觀光或經濟影

響過大，地方政府不易支持如此的劃設方式。

二、水庫集水區土地使用與管理單位相關法令

目前水庫集水區內土地使用管制機關主要以「水庫集水區保育綱

要」(行政院 95 年 3 月 20 日核定)為依據，由於水庫集水區涉及山坡

地、國有林地、道路及水庫等單位，因此水利署後續也提出「水庫集

水區治理權責分工暨有關事項處理原則」，該原則第六條及第七條明

確說明水庫集水區內各種土地類別跟管制單位，法條引述如下：

六、水庫集水區保育計畫有關水土保持工程，依業務權責及專長分工治理及其監督主管機關（構）如下：

- （一）水庫蓄水範圍（含保護帶）：由水利署監督並由各水庫管理機關（構）治理。
- （二）國有林班地治理（不含蓄水範圍）：由林務局負責。
- （三）上開二款以外之山坡地治理：由水保局負責。
- （四）有關道路水土保持部分：由道路主管機關依權責辦理（路權及上下邊坡不可分割之治理範圍）。

七、各水庫管理機關（構）於推動治理工作有協調各治理機關之必要時，得依下列協調機制為之：

- （一）如屬地方或局部性，涉及單位較少之業務，由各水庫管理機關（構）或成立水庫集水區協調小組協調。
- （二）水庫管理機關（構）無法協調事項，提報水利署進行協調。
- （三）需要跨部會協調之重大業務事項，提由水利署送「經濟部水資源協調會報」研議。
- （四）水利署得於必要時，依水庫的規模大小及為解決特殊個案情形，邀集相關單位另行成立跨部會專責機制。

內政部也於民國 106 年 5 月發佈「修正全國區域計畫」，在該計

畫第四章計畫目標與發展策略內容，提出未來發展的八大目標，第二目標：「配合流域綜合治理計畫，進行土地使用規劃與檢討」中即提及「面對全球氣候變遷的衝擊，水資源管理應以總量管制及節水型社會為目標，未來水資源應有效管理，以兼顧農業、工業與都市民生用水之公平性。為達水資源的永續經營，應以完整流域為單位，進行上、中、下游綜合治理規劃，包含整體規劃水資源利用、水質保護、治山防洪、海岸防護等，落實流域內土地使用規劃與管理。並加強水庫集水區山坡地管理，改善流域上游濫墾、濫伐等違規行為，減少水質污染與土壤侵蝕問題，確保供水品質與水庫蓄水容量。」，其中「加強水庫集水區山坡地管理...減少土壤侵蝕問題，確保供水品質與水庫蓄水容量」即為未來目標。

在未來國土保育及使用上，水庫集水區被列入為環境敏感地區，包含供家用或公共給水之水庫列為環境敏感地區第一級及非供家用或公共給水之水庫列為環境敏感地區第二級。在民國 105 年 5 月 1 日公布實行的國土計畫法中，一樣將水庫集水區列為國土保育地區第一類類。

第二節 集水區發生大量崩塌及後續演化相關研究說明

山坡地災害在災害過大時，才會達到特定水土保持區之「亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區」定義。土砂災害過大事件通常發生在極端降雨或地震事件之後，本節就以台灣及國際上曾發生由極端降雨或地震事件引發且災害偏大的事件，論述這些土砂災害發生時及後續幾年的演化情況，再由這點來討論特定水土保持區之應用方式。

土砂災害一直是台灣河川上游集水區地貌或河川型態發生改變的主要原因，尤其在 1999 年集集地震及 2001 年至 2009 年的頻繁颱風豪雨事件下，台灣河川上游集水區土砂災害的個數及規模都相當可觀，例如 2009 年莫拉克颱風(Typhoon Morakot)在南台灣高屏溪流流域的四個子集水區誘發崩塌率超過 6.5%(Wu et al., 2011)就是一個代表案例。如此大量的土砂崩落跟進入河川，勢必對當地的河川型態及邊坡地貌產生影響。過往土砂災害相關研究都聚焦於嚴重颱風豪雨事件後引發的災情敘述，例如 2004 年艾利颱風對北台灣石門水庫集水區(林昭遠等，2006)、2009 年莫拉克颱風在南台灣高屏溪集水區(Wu et al., 2011)、2015 年蘇迪勒颱風對北台灣新店河流域(吳亭燁等，2016)。

多數集水區在發生極端事件誘發災害後，只要後續幾年誘發力量（包含降雨與地震）不再增加，多數集水區都會逐漸走向崩塌復育，在此可將崩塌復育定義為崩塌面積或崩塌個數隨距離極端事件發生

時間越久而逐年降低。以 2009 年莫拉克颱風在南台灣誘發的大量崩塌災害而言，2010 年至 2015 年間的降雨事件都不若 2009 年莫拉克颱風的高強度及高累積雨量，理應在 2009 年莫拉克颱風誘發的坡面應該呈現逐漸復育的情況，但相關文獻分析卻認為並非如此。

Wu(2019)曾針對高屏溪流域在 2009 年莫拉克颱風產生的嚴重災害進行分析，研究結果顯示：旗山溪集水區在 2014 年崩塌位置與 2009 年崩塌位置有 53.4%重複，且上游集水區在 2010 年至 2014 年(2009 年後五年)是最難以復育且極易再度誘發崩塌的地區。該文章認為大量崩塌土砂匯入河川導致河川型態趨向蜿蜒發展，後續再誘發大量河岸崩塌，河岸崩塌土砂繼續進入河川，因此集水區的復育就需要更長時間，這段時間內崩塌無法達到快速復育，甚至在更低降雨量就會誘發崩塌。而需要等到河川跟土砂達到平衡後，崩塌才會開始快速復育。因為土砂匯入而導致該地區產生更多崩塌的地區，或許就是特定水土保持區可能劃設地區，因為要等河川跟土砂達到平衡需要時間，也會因此付出更多防災與治理上的成本。

在國際案例的搜尋上，本研究偏重於曾經因為極端事件而誘發大量崩塌的區域，並瞭解該地區在極端事件後的崩塌復育情況與特性。

學術上目前已經刊登屬於重大崩塌災害事件大概以 2005 年 Kashmir 地震跟 2008 年中國四川汶川地震兩場事件為主，地震崩塌

的演化已經在一些研究中被探討，包含集集地震(Liu et al., 2013)、Kashmir 地震(Khattak et al., 2010)、巴基斯坦地震(Saba et al., 2010)及 Wenchuan 地震(Li et al., 2016; Liu et al., 2018; Tang et al., 2015; Zhang and Zhang, 2017)。地震對於後續地質災害的影響是複雜，且跟地震震度、崩塌體積、地貌及地質環境、降雨及植生覆蓋等因子都有高度相關。近期研究也開始探討在大地震後的降雨誘發地質災害的發生特性、活躍性趨勢及延續時間(Huang, 2011; Huang and Li, 2009; Tang et al., 2009)。在地震影響區域的後續地質災害可能會持續活躍將近十年(Keefer, 1994; Korup et al., 2007; Mcphillips et al., 2014; Tang, 2010; Tang et al., 2011)，且之前的地震對於後續誘發地震有明顯影響(Samia et al., 2017; Squarzoni et al., 2003)，有明顯增加的研究投入在崩塌演化與土體運移的現象。

2005 年 Kashmir 地震發生在巴基斯坦地區，當時也在巴基斯坦地區誘發大量崩塌，Shafique(2020)文章提及在 2005 年 Kashmir 地震以前，研究區域崩塌主要是發生在 2004 年的降雨崩塌，當時僅有 37 處崩塌且總崩塌面積約為 6.17km^2 ，當時的崩塌圖層有 14 處是崩塌(佔 3.74km^2)，12 處是土石流(佔 1.28km^2)。而在 2005 年地震過後，總崩塌個數增加至 219 處，崩塌面積為 16.51 ，且有 134 處是落石(佔 5.78km^2)，31 處是崩塌(佔 6.62km^2)。而在 2010 年崩塌圖層內，崩塌

個數降為 135 處，崩塌面積為 14.94 km^2 ，且有一半是屬於落石(佔 5.79 km^2)，屬於崩塌的個數為 29 處(佔 5.84 km^2)。在 2014 年崩塌圖層內，崩塌個數持續降為 116 處，崩塌面積為 9.28 km^2 ，崩塌個數為 43 處(佔 4.17 km^2)，落石個數為 40 處(佔 2.70 km^2)，土石流個數為 25 處(佔 1.8 km^2)。在 2016 年崩塌圖層內，崩塌個數降為 96 處，崩塌面積為 8.23 km^2 ，有 40 處屬於落石(佔 2.43 km^2)，25 處屬於崩塌(佔 2.79 km^2)且 19 處屬於土石流(佔 2.06 km^2)。在 2018 年崩塌圖層內，崩塌個數增加為 118 處，崩塌面積為 6.39 km^2 ，有 49 處屬於落石(佔 3.3 km^2)，岩屑滑落則有 22 處(佔 0.89 km^2)，崩塌有 22 處(佔 1.29 km^2)。

根據 Shafique(2020)針對巴基斯坦內具有大量崩塌發生的區域進行長期觀測，該研究發現 2005 年 Kashmir 地震誘發的崩塌復育速率有分階段，由 2006 年至 2010 年的崩塌面積恢復速率約為 0.32 平方公里/年，但在 2011 年的恢復速率則升高至 0.99 平方公里/年，代表由 2006 年至 2010 年是崩塌復育上的震盪期。而在 2006 年至 2010 年集水區仍會發生大量新崩塌跟原崩塌擴大(new landslide or enlarged landslide)，而這兩種崩塌發生的區域就是集水區仍不穩定的主要區域，瞭解新崩塌跟擴大的崩塌位置即能判斷在後續幾年崩塌不穩定的主因。新崩塌跟原崩塌擴大發生區域集中在發生地震的 Muzaffarabad 斷層鄰近、具有高破碎度的地層區、水系分佈區、河川源頭區及大崩塌

區域。同樣為 2005 年 Kashmir 地震誘發崩塌相關研究，地震中心鄰近區域的山坡地邊坡崩塌的潛勢大量提高 (Petley et al., 2006)，Saba et al. (2010) 的研究認為該次地震導致後續降雨誘發崩塌的趨勢上升，但該趨勢到 2008 年即開始降低。

在空間上的演變，在全研究區域內，約有 2.8 km² 的崩塌屬於極度活躍(extremely active)，0.5 km² 的崩塌屬於非常活躍(very active)，2.8 km² 屬於活躍(active)、14.3 km² 屬於休眠(dormant)且 1.5 km² 屬於不活躍(inactive)。這結果顯示地震崩塌以長久時間而言，不活躍跟休眠是兩個主要崩塌型態。而極度活躍跟非常活躍的崩塌都跟降雨、河川下刷及人為開發有關。

該研究也以歷年崩塌圖層比對高程、坡度、坡向、地層組成及距離河川遠近等因子探討關係性。以歷年崩塌在高程因子的分佈而言，在 2005 年地震前，崩塌主要聚集在 800 公尺至 1200 公尺高程的區域上，但在 2005 年崩塌後，崩塌聚集在 1200 公尺至 1500 公尺區域為主，但 800 公尺至 1200 公尺及 1500 公尺至 1800 公尺公尺等區域則次之。但到 2010 年之後，崩塌只會聚集在 1200 公尺至 1500 公尺區域內。由 2010 年至 2014 年間，各高程區域內的崩塌都逐漸復育，極度活躍崩塌只出現在 1000 至 1600 公尺之間區域內。

以歷年崩塌在坡度因子的分佈而言，該研究發現地震前後崩塌在

坡度因子上的分佈非常相近，坡度介於 30 度到 40 度之間是崩塌主要聚集區間。在 2005 年至 2010 年之間，崩塌都聚集在 30 度到 40 度之間，但在 2014 年至 2018 年間，各坡度區間的崩塌都大量降低，且在坡度超過 55 度以上的陡坡，崩塌面積更少。極度活躍的崩塌都聚集在 30 度到 40 度之間，在各年度崩塌目錄中，約 70% 以上崩塌地都聚集在 30 度到 40 度之間，且僅有不到 15% 崩塌地都聚集在 20 度以下。各區間崩塌在地震後都逐漸降低，僅有極度活躍崩塌大量聚集在陡坡上。

以歷年崩塌在坡向因子的分佈而言，該研究發現大部分崩塌都落在南向或西向坡面，在地震前與地震後，約有 25% 崩塌地落在西南向坡面，極度活躍崩塌地也有相同趨勢，約有 28% 及 26% 的極度活躍崩塌地都落在西南向跟西向坡面，西向跟南向則為該次地震波主要傳遞方向。

以歷年崩塌在地層組成因子的分佈而言，多數崩塌地都聚集在 Muzaffarabad 地層跟 Murree 地層內。從 2005 年至 2010 年間，崩塌面積主要聚集在 Muzaffarabad 地層內，但在 2014、2016 及 2018 年間，在 Muzaffarabad 地層內的崩塌面積快速降低。極度活躍崩塌地都大量聚集在 Muzaffarabad 地層內，在 Muzaffarabad 地層內的崩塌率從 2005 年的 62% 增加到 2018 年的 84%，這也代表 Muzaffarabad 地

層的高崩塌潛勢。而在 Murree 地層的崩塌率則從 2010 年的 23% 降低到 2014 年的 9%，Murree 地層的崩塌率從 2010 年到 2014 年快速降低。崩塌率在 Hazara 地層則從 2010 年的 7% 增加到 2014 年的 12%，但在 2016 年降低為 4% 及 2018 年的 3%。

以歷年崩塌在距離斷層因子的分佈而言，歷年崩塌都高度集中在發生地震的 Muzaffarabad 斷層鄰近區域，且越接近 Muzaffarabad 斷層，崩塌率則越高。大約有超過 80% 以上的崩塌地都聚集在與斷層距離 350 公尺區域內，且極度活躍崩塌也都聚集在這個區域。

綜合討論而言，該研究認為大部分地震或地震後的崩塌都在地震後該年度會大量增加，但卻在地震事件後 10 年內會逐漸降低。以 2005 年 Kashmir 地震誘發崩塌地而言，2005 年 Kashmir 地震誘發崩塌地的崩塌面積降低速率是較慢於其他類似的地震案例。以現場觀測所發現的，極度活躍跟非常活躍崩塌地在季風降雨事件後會重新發生。

本研究也發現在地震前後，崩塌都以落石樣態發生，且都聚集在斷層鄰近區域、人為開發道路區域及陡峭且狹隘的溪谷中。在空間分佈上，崩塌主要聚集在 Muzaffarabad 斷層、水系及在 Muzaffarabad 地層與 Hazara 地層的破碎岩層區域內。

Khattak et al.(2010)跟 Khan et al. (2013)的文章也都顯示該次大地震對後續降雨誘發崩塌的趨勢已在地震發生後幾年逐漸趨緩。

另一個值得參考的國際案例則為 2008 年中國四川發生的汶川地震，2008 年 Wenchuan 地震在中國產生大量且廣泛的地震崩塌(Xu et al., 2014)。在一些區域內，地震崩塌改變了當地坡面的植生及土地利用情況(Cui et al., 2012)。一般相信經由地震在山區所產生的不穩定地層能維持依段非常長的時間並且在後續幾年造成相關問題發生(Huang and Fan, 2013)。從大量崩塌產生在山區的鬆散土砂會在後幾年影響集水區演化跟崩塌復育。

Wenchuan 地震引發大量落石、崩塌及土石流(Gorum et al., 2011; Parker et al., 2011)。自從這次事件已經十年過去，地震影響區域仍然處於二次地質災害的高風險區，例如崩塌、土石流及快速洪水。

增加對地震崩塌引發機制跟分佈的瞭解及相關問題能夠協助後續面臨大地震前的準備(Jibson et al., 2000; Wasowski et al., 2011; Chen et al., 2012)，且對於地震後的崩塌演化研究是對地震後崩塌災害降低的重要影響因子。之前研究顯示發生在山區的地震對崩塌會有長遠影響(Cui et al., 2011)，因為廣泛分佈的崩塌及土石流，在 Wenchuan 地區的誘發土石流的降雨門檻值將會明顯降低(Zhou and Tang, 2014)。根據比對 2010 年與 2008 年崩塌，Zhang et al. (2014)發現地震所產生的崩塌與地震後降雨誘發崩塌在一些空間分佈上的差異。Yang et al. (2015)也發現地震所產生的崩塌已經演變成為類似流動型態且導致

Wenchuan 地震後的重建區域重大損失。

儘管地震事件後的崩塌改變的重要性，在這些相關研究中仍有一些差異存在(Khattak et al., 2010; Saba et al., 2010)。經由比對在台灣發生的颱風誘發崩塌與地震誘發崩塌，Lin et al. (2006)發現地震對於後續的颱風誘發崩塌有明顯影響。

Zhang and Zhang (2017)分析 Wenchuan 地震後土石流活躍性，認為渠道化土石流在地震後的降雨事件增加。Tang et al. (2015)經由比對崩塌演化跟 Wenchuan 地震前後的土石流發展，發現新崩塌主要發生在受地震影響而弱化的坡面材料及一些因為地震所產生的坡面裂隙。

上述文稿列舉多篇跟 2008 年中國 Wenchuan 地震相關文獻結論，本研究則針對 Yang et al.(2017)的研究特別列舉重點說明。Yang et al.(2017)的研究蒐集 2005 年、2008 年、2009 年、2011 年及 2013 年的崩塌圖層進行分析，在 2008 年 Wenchuan 地震前，該地區僅有少數崩塌地，崩塌率小於 1%，且主要崩塌地都由降雨所誘發。在 2008 年 Wenchuan 地震後，地震誘發崩塌地增加至 24.9 km²，崩塌率快速上升到 38%。在 2009 年，崩塌面積降低為 21.7 km²，崩塌率約為 32.92%。到 2011 年，崩塌面積約為 14.4 km²，崩塌率約為 21.86%。到 2013 年，崩塌面積約為 8.8 km²，崩塌率約為 13.45%。

該研究也利用崩塌活躍性評估當地崩塌趨勢的轉變。該研究提出

四種崩塌活躍性的評估方式，經由比對崩塌個數及時間順序，崩塌活躍性可分為非常活躍(very active)、逐漸活躍(increasingly active)及其他類型(other)。當地崩塌活躍性分佈研究結果顯示非常活躍及其他的崩塌活躍性是該區域主要的崩塌活躍性分佈。在 2008 年地震事件後，非常活躍是該區域的主要崩塌活躍性。

該研究也探討歷年崩塌分佈與各地形因子之間的關係，地形因子包含高程、坡度、坡向，也探討非常活躍與逐漸活躍在各地形因子上的分佈關係。在歷年崩塌在各高程區間上的分佈而言，2008 年及 2009 年崩塌地都集中在 2000 公尺以下區域，從 2008 年至 2011 年，1500 公尺以下區域的崩塌快速降低，而在 1700 至 1900 公尺之間區域，崩塌面積也有些微降低，從 2011 年至 2013 年，崩塌面積在 1400 至 2400 公尺之間有非常明顯的降低。相反的，在高程超過 2700 公尺以上區域，崩塌面積幾乎沒什麼改變。

非常活躍的崩塌地在各高程區間上佔據面積都超過逐漸活躍崩塌地，且兩種崩塌活躍性也都聚集在 2000 公尺以下區域。若以崩塌率在各高程區間上的面積，且在接近 2000 公尺的區域，崩塌率是偏高的。歷年崩塌在高程上的分佈如圖 2.1.8 所示。各高程區間的崩塌率介於 10%至 50%之間，在 1500 公尺以下各高程區間的崩塌面積與崩塌率在 2008 年至 2013 年都逐漸降低。但在較高高程的區間，崩塌

率是有明顯改變。在高程高於 2100 公尺以上區間，崩塌率從 2008 年至 2011 年有明顯上升，但在 2011 年至 2013 年，崩塌率則明顯下降，非常活躍與逐漸活躍都集中在高程約為 2000 公尺的區域內。

該研究也討論歷年崩塌在不同坡度區間上的分佈，如圖 2.1.9 所示。發現坡度介於 30 度到 50 度是地震後崩塌主要聚集區間，低於 30 度的緩坡區域及高於 50 度以上的陡坡區域都有比較少的崩塌面積。從 2008 年到 2013 年的崩塌面積降低主要來自於坡度介於 30 度到 50 度的崩塌面積降低，崩塌率也都集中在 30 度到 50 度區間。陡坡的崩塌率較高，且緩坡崩塌率較低。低於 50 度以上的邊坡崩塌率從 2008 年到 2013 年逐漸降低，但在 50 度以上邊坡的崩塌率則在 2009 年達到高峰，然後逐漸降低。非常活躍的崩塌地都聚集在 40 度以上邊坡，代表陡坡的不穩定性。

該研究也討論歷年崩塌在不同坡向區間上的分佈，如圖 2.1.10 所示。發現各坡向的崩塌面積與崩塌率的分佈有相近趨勢，東向跟南向坡面有較高的崩塌面積跟崩塌率，而北方跟西方坡面則有較低的崩塌面積與崩塌率。從 2008 年至 2013 年間，幾乎所有坡向的崩塌面積與崩塌率都降低。在南向跟東向坡面上，崩塌面積與崩塌率降低速率是快過於其他坡向。然後，在南向跟東向坡面的非常崩塌面積與崩塌率仍然高過於其他坡向。

根據多筆文獻(Yang et al., 2017; Li et al., 2018; Yunus et al., 2020)對 2008 年汶川地震誘發崩塌地的長期觀測，汶川地震發生後的崩塌復育速率也出現分段現象，從 2009 年至 2011 年的崩塌復育速率約為 0.41 平方公里/年，但在 2012 年起的崩塌復育速率則升高至 0.96 平方公里/年，代表由 2009 年至 2011 年是崩塌復育上的震盪期。在這段震盪期內，新崩塌跟原崩塌擴大主要發生在深蝕溝區、土石流源頭區及大崩塌源頭區。

根據 Zhang(2014)的研究分析，在 2008 年在汶川地震後八年間，由降雨誘發的崩塌在 2010、2011、2013 年分別有 91%、86%、83%崩塌地是 2008 年曾經崩塌過的，顯示大多數崩塌再發生於 2008 年的高密度崩塌之上，坡面堆積土砂與河川中的粒料轉化為土石流往下游移動使河床抬升，也造成河床嚴重淤積跟河川型態明顯改變。

以極端降雨事件為例，Crozier(2005, 2017)提出重複發生多次區域性滑坡事件，指數百至數千個崩塌同時發生在幾十到數千平方公里範圍內的崩塌群，表示受降雨事件影響最大的區域，且在紐西蘭發生過案例(Page et al., 1994; Hancox and Wright, 2005)，並於往後年份造成河道拓寬、蜿蜒與河岸侵蝕(Tunncliffe et al., 2018; Poeppl et al., 2020)。

印度北阿坎德邦曼達基尼河(Mandakini)集水區也常產生降雨誘發崩塌影響，於 2013 年降雨事件中產生 81%新生崩塌率(Roy et al.,

2014)，在崩塌事件後幾年河川型態出現明顯演變，包含河川向左右岸侵蝕與河道束縮與拓寬演變(Bhambri et al., 2016; Pareta et al., 2019)。

第三章 曾文水庫集水區資料分析

本章說明工作項目二之預定進行方式跟預期內容，3.1 節說明工作項目二(一)：「蒐集曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年降雨資料，分析歷年有效降雨指標演變情況。」，3.2 節說明工作項目二(二)：「蒐集曾文水庫集水區流域地質資料，分析集水區內各種地質之崩塌復育與演化分佈情況。」，3.3 節說明工作項目二(三)：「蒐集曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年地震資料，分析歷年地震對集水區內崩塌誘發之相關性。」，3.4 節說明工作項目二(四)：「蒐集曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年崩塌圖層，分析歷年崩塌面積、個數、大規模崩塌個數、各子集水區崩塌率演變情況。」，3.5 節說明工作項目二(五)：「蒐集曾文水庫集水區範圍內多期數位高程資料(DEM)，至少需有 20mDEM、5mDEM 及 1mDEM 等三版資料，分析曾文水庫集水區主流河川縱剖面高程變化及各支流與主流匯流口高程變化。」

第一節 曾文水庫集水區基本資料及近年降雨資料分析

本節區分為三個段落說明，第一個段落說明曾文水庫集水區基本資料介紹，第二個段落說明曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年降雨分佈，第三個段落說明採用有效降雨指標評估曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年降雨情況。

一、曾文水庫集水區基本資料介紹

曾文水庫集水區為本計畫研究區域，本文先針對曾文水庫集水區內基本資料進行說明，並以 2009 年莫拉克颱風崩塌圖層來說明各種特性的崩塌率分佈。曾文水庫集水區總面積 482.3 平方公里，集水區平均高程 958.8 公尺，高程介於至 194.4 公尺至 2612.8 公尺，本集水區之崩塌總面積約為 15.4 平方公里，高程介於 500 公尺至 1000 公尺之間的崩塌面積約高達 7.4 平方公里，本集水區崩塌率為 3.2%，各區間高程崩塌率如表 3-1-1。集水區高程及崩塌分佈圖如圖 3-1-1。

坡度分區，集水區平均坡度 29.2 度，坡度介於至 0 度至 87 度，坡度介於 20 度至 40 度之間的面積約占總面積之 57.3%，該區間集水區之崩塌總面積約為 6.9 平方公里，本集水區崩塌率為 3.2%，當崩塌率超過 1.0%則可視為該區間發生嚴重崩塌，則集水區內各高程區間之崩塌率都超過 1.0%，全部高程區間都可視為發生嚴重崩塌各坡度崩塌率如下表 3-1-2。集水區坡度與崩塌分佈圖如圖 3-1-2。

以坡向分布而言，本集水區坡向分布均勻，若扣除平坦坡向，則其餘各坡向占總面積約介於 9.5%(東北)至 16%(西)之間，崩塌地集中在東北、東、東南跟南向坡，這四個坡向之崩塌率都超過 3.8%以上，而崩塌率最高的則為東坡向區間之 4.5%。集水區坡向資料數據如表 3-1-3，坡向與崩塌分佈圖如圖 3-1-3。

以土地利用分析而言，內政部國土測繪中心公告土地利用圖資顯

示，土地利用類別可概分為農業使用土地、森林使用土地、交通使用土地、水利使用土地、建築使用土地、公共使用土地、遊憩使用土地、礦鹽使用土地、其他使用土地等九大類，為更細緻瞭解崩塌與土地利用類別關係，分佈圖如圖 3-1-4，統計資訊如表 3-1-4 所示，本研究將土地利用區分為以下六類：

- 1.森林及草生地類別：包含天然與人工森林、伐木跡地、苗圃、防火線、土場及草生地等類別。
- 2.農業類別：包含稻作、旱作、果樹及廢耕地等類別。
- 3.水塘養殖類別：水產養殖、鹽業相關設施及濕地等類別。
- 4.建築類別：包含畜禽舍、牧場、溫室、倉儲設施、農產品展售場、其他設施、所有交通使用土地、防汛道路、所有建築使用土地、所有公共使用土地、所有遊憩使用土地及軍事用地等類別。
- 5.河道類別：所有水利使用土地。
- 6.邊坡穩定相關類別：包含礦場、土石採取場及相關設施、裸露地、灌木荒地、災害地、營建剩餘土石方用地及空置地等類別。

以上述六類土地利用分類區分，森林及草生地佔全集水區面積之 80.5%，其次則為佔 10.4%之農業地與佔 4.3%之河道用地。若以崩塌

在集水區內分佈而言，崩塌地在集水區內總面積為 15.4 平方公里，且崩塌地集中在邊坡穩定相關及森林及草生地，邊坡穩定相關用地之崩塌率為 11.9%，森林及草生地之崩塌率約為 2.7%。

以土壤分析而言，根據 20200224 土壤圖網路平台發布分析顯示，集水區土壤以無資料土壤佔 81.6%。崩塌在集水區內分佈而言，崩塌地在集水區內總面積為 15.4 平方公里，在已知的土壤種類中崩塌地集中在黃灰色崩積土，黃灰色崩積土之土壤崩塌率約為 3.6%。集水區土壤種類數據如表 3-1-5，土壤種類與崩塌分佈如圖 3-1-5。

以集水區河川分佈資料分析而言，本研究將距離河川分為六類，包含距離河川 100m 以內、100m 至 200m 之間、200m 至 300m 之間、300m 至 400m 之間、400m 至 500m 之間及超過 500m 以外區間，其中又距離河川 100m 以內佔 18.3%及超過 500m 以外區間佔 39.7%為最。崩塌地在集水區內總面積為 15.4 平方公里，且崩塌地距離河川 100m 以內及超過 500m 以外區間，距離河川 100m 以內崩塌率約為 3.2%，超過 500m 以外區間崩塌率約為 2.5%。距離河川與崩塌數據如表 3-1-6，分佈則如圖 3-1-6。

表 3-1-1 曾文水庫集水區高程分布表

高程 (m)	面積 (km ²)	占總面積 (%)	崩塌面積 (km ²)	崩塌率 (%)
>500	108.8	22.6	2.4	2.2
500-1000	178.5	37.0	7.4	4.1
1000-1500	112.2	23.3	4.6	4.1
1500-2000	57.2	11.9	1.0	1.7
2000-2500	25.3	5.2	0.0	0.0
2500-3000	0.4	0.1	0	0

表 3-1-2 曾文水庫集水區坡度分布表

坡度分區 (度)	面積 (km ²)	占總面積 (%)	崩塌面積 (km ²)	崩塌率 (%)
>20	110.2	22.9	1.7	1.5
20-30	132.9	27.6	3.7	2.8
30-40	143.3	29.7	5.9	4.1
40-50	71.8	14.9	3.1	4.3
50-60	19.5	4.0	0.7	3.6
>60	4.7	1.0	0.1	2.1

表 3-1-3 曾文水庫集水區坡向分布表

坡向區分	面積 (km ²)	占總面積 (%)	崩塌面積 (km ²)	崩塌率 (%)
平坦	6.5	1.4	0.0	0.0
北	51.5	10.7	1.3	2.5
東北	46.1	9.5	2.1	4.6
東	53.4	11.1	2.4	4.5
東南	55.9	11.6	2.4	4.3
南	56.6	11.7	2.2	3.9
西南	68.9	14.3	2.1	3.0
西	77.4	16.0	1.6	2.1
西北	66.1	13.7	1.3	2.0

表 3-1-4 曾文水庫集水區土地利用與崩塌分布表

土地利用	面積 (km ²)	占總面積 (%)	崩塌面積 (km ²)	崩塌率 (%)
森林及草生地	389.4	80.5	10.5	2.7
農業	50.5	10.4	0.9	1.8
水塘養殖	0.0	0.0	0.0	0.0
建築	5.6	1.2	0.1	1.4
河道	21.0	4.3	0.4	1.7
邊坡穩定相關	17.1	3.5	2.0	11.9

表 3-1-5 曾文水庫集水區土壤與崩塌分布表

土壤種類	面積 (km ²)	百分比 (%)	崩塌面 積(km ²)	崩塌率 (%)
石質土	2.2	0.5	0.0	0.0
砂岩頁岩非石灰性新沖積土	2.2	0.5	0.0	0.0
砂頁岩石質土	4.8	1.0	0.3	6.3
砂頁岩黃紅色黃壤	1.3	0.3	0.0	0.0
硬砂頁岩黃灰色石質土	2.0	0.4	0.0	0.0
黃灰色崩積土	67.9	14.1	2.5	3.7
黃灰色裸岩或崩崖	0.1	0.0	0.0	0.0
黃棕色黃壤	0.6	0.1	0.0	0.0
暗色崩積土	6.9	1.4	0	0.0
雜地	0.8	0.2	0.0	0.0
無調查資料	393.3	81.6	12.1	3.1

表 3-1-6 曾文水庫集水區距離河川與崩塌分布表

距離河川	面積 (km ²)	占總面積 (%)	崩塌面積 (km ²)	崩塌率 (%)
< 100 m	88.3	18.3	2.8	3.2
100 – 200 m	61.2	12.7	2.6	4.2
200 – 300 m	53.6	11.1	2.1	3.9
300 – 400 m	46.5	9.6	1.7	3.7
400 – 500 m	40.0	8.3	1.3	3.3
>500m	192.6	39.9	4.9	2.5

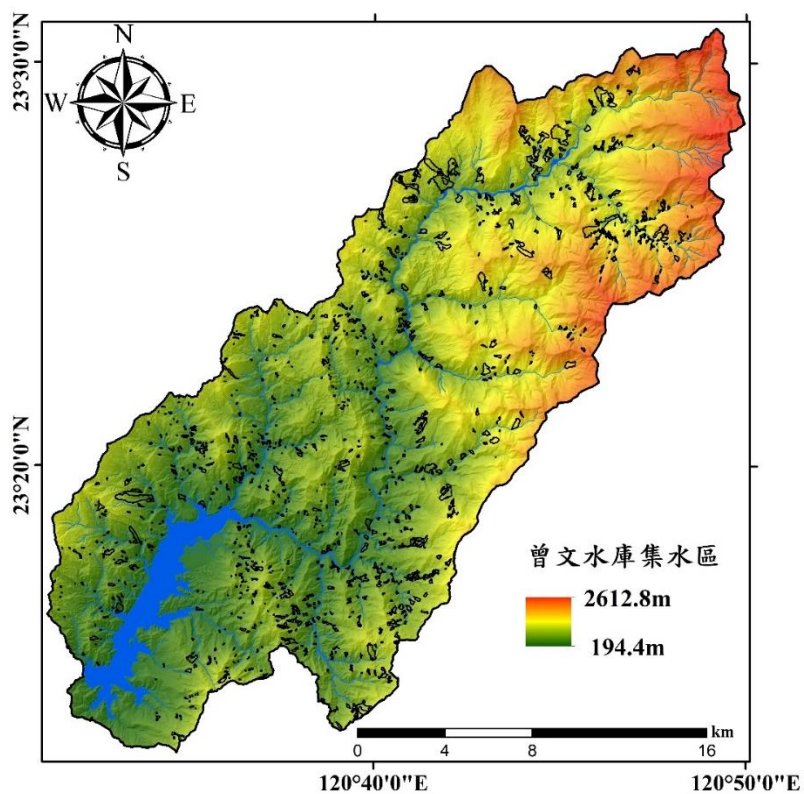


圖 3-1-1 曾文水庫集水區高程與崩塌分布圖

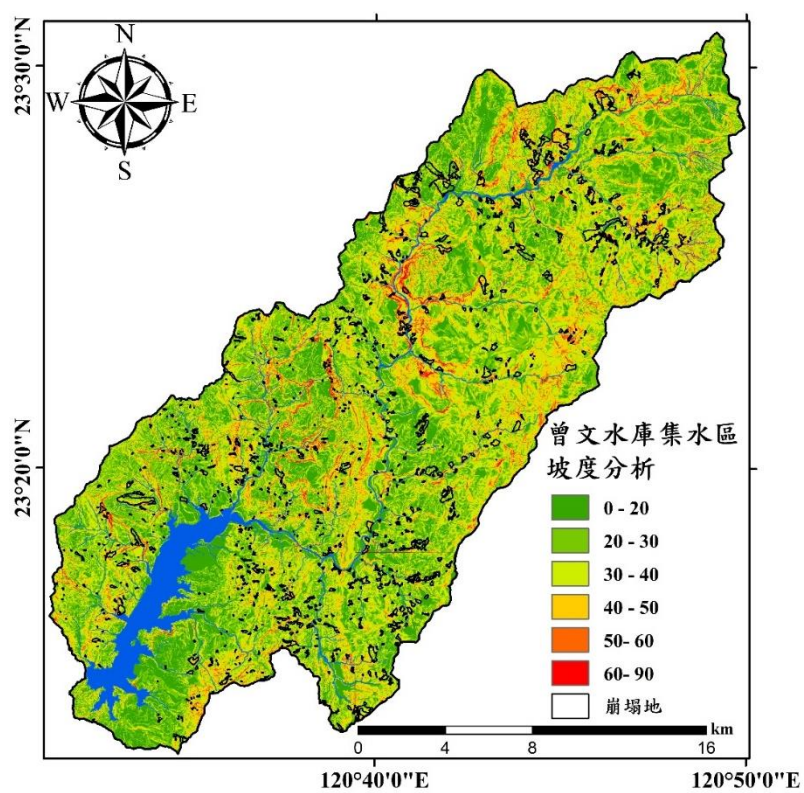


圖 3-1-2 曾文水庫集水區坡度與崩塌分布圖

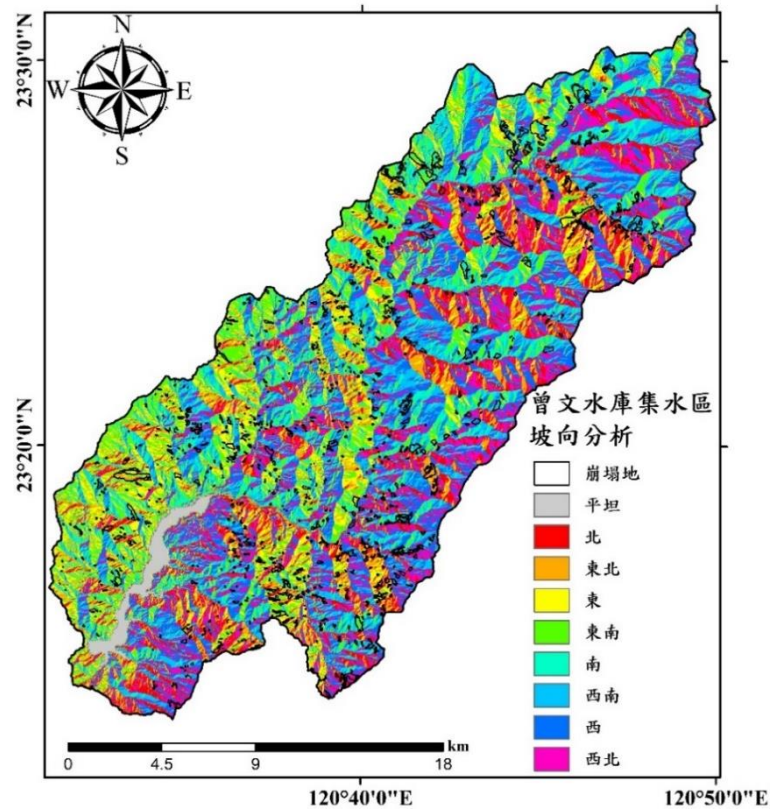


圖 3-1-3 曾文水庫集水區坡向與崩塌分布圖

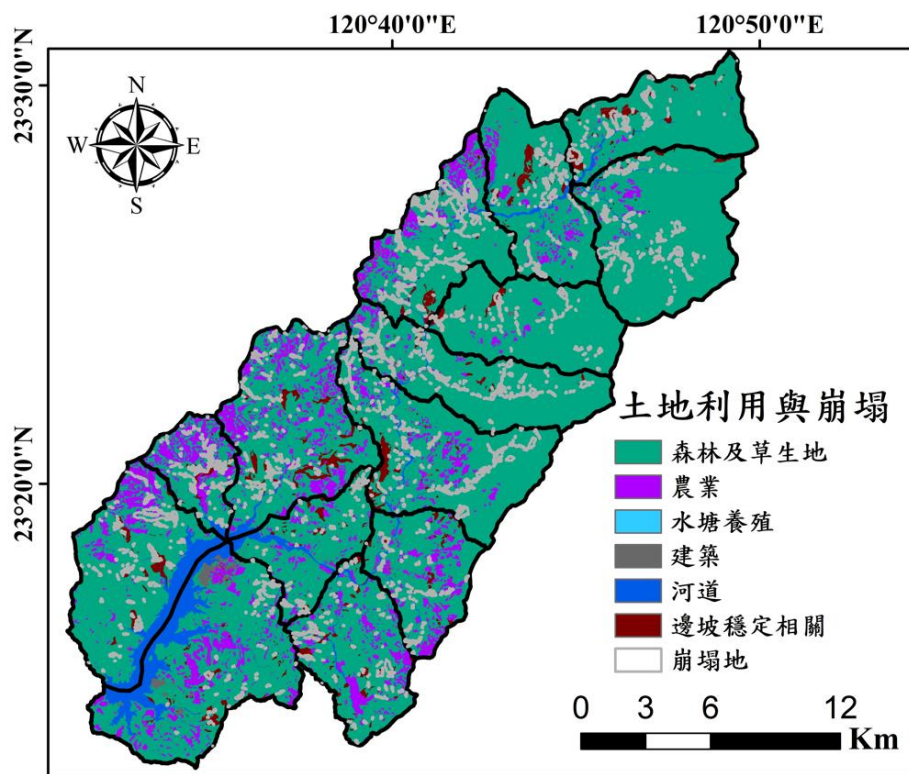


圖 3-1-4 曾文水庫集水區土地利用分布圖

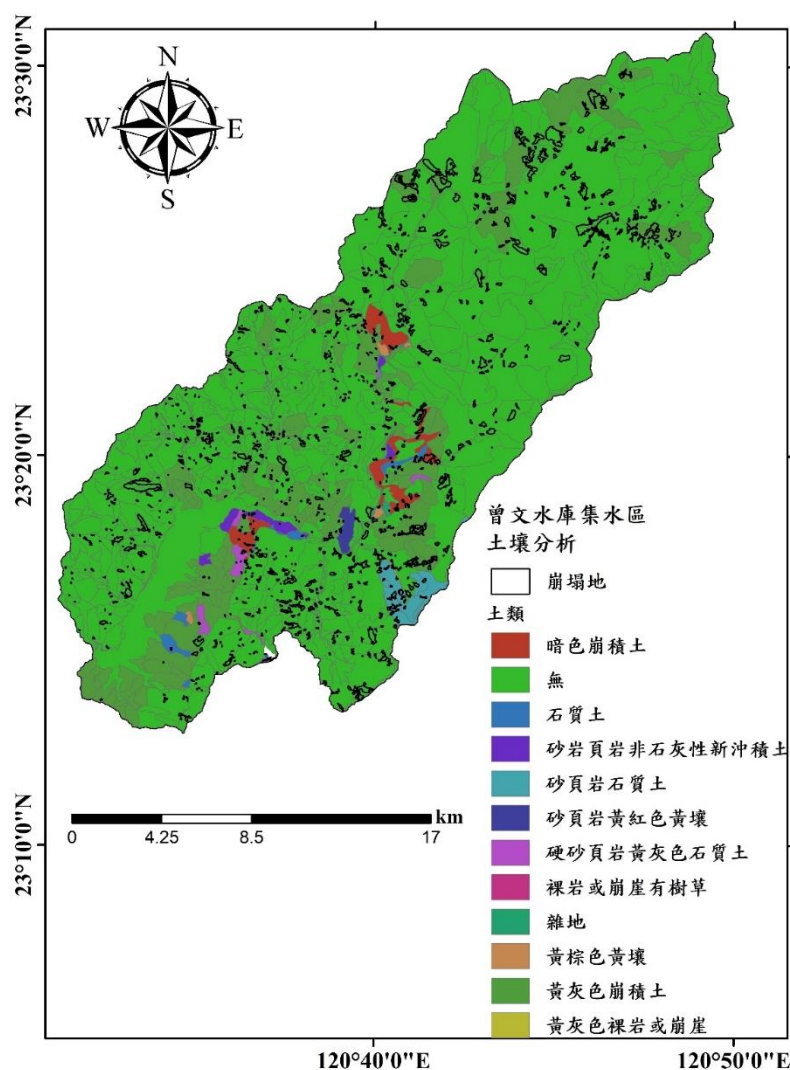


圖 3-1-5 曾文水庫集水區土壤分布圖

曾文水庫集水區內的地質敏感區以斷層及山崩與地滑敏感區位為主，集水區內與鄰近的斷層分佈如圖 3-1-7 所示，經比對經濟部中央地質調查所所公告的地質敏感區位資料，集水區內與鄰近的斷層皆未在公告的地質敏感區位內。而集水區內的山崩與地滑敏感區位則如圖 3-1-8 所示，山崩與地滑敏感區位遍佈全集水區，經概算山崩與地滑敏感區位總面積約 136.8 平方公里，約佔全集水區面積之 22.0%。

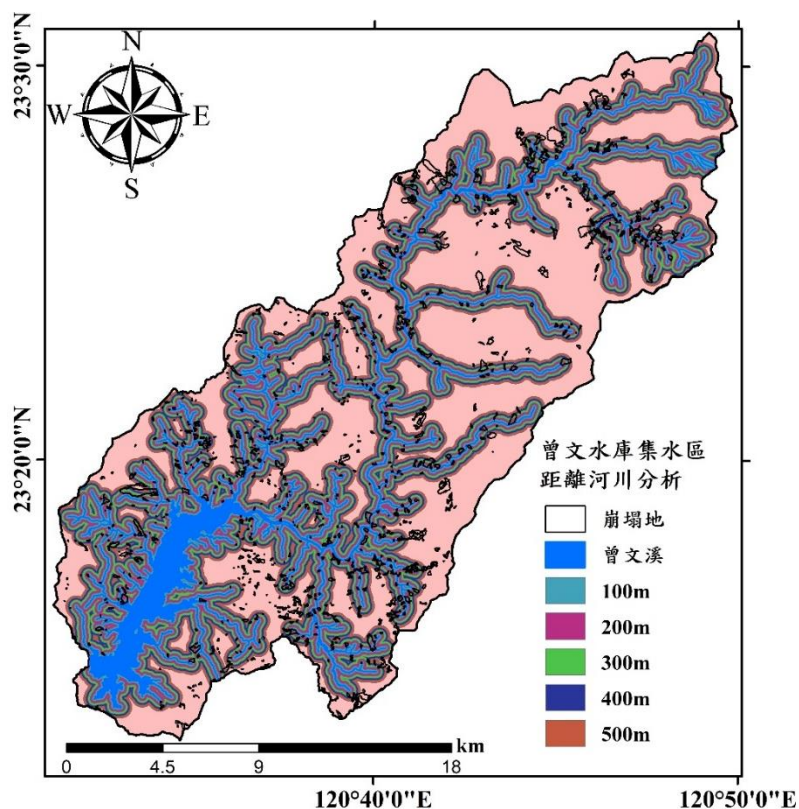


圖 3-1-6 曾文水庫集水區距離河川與崩塌分布表

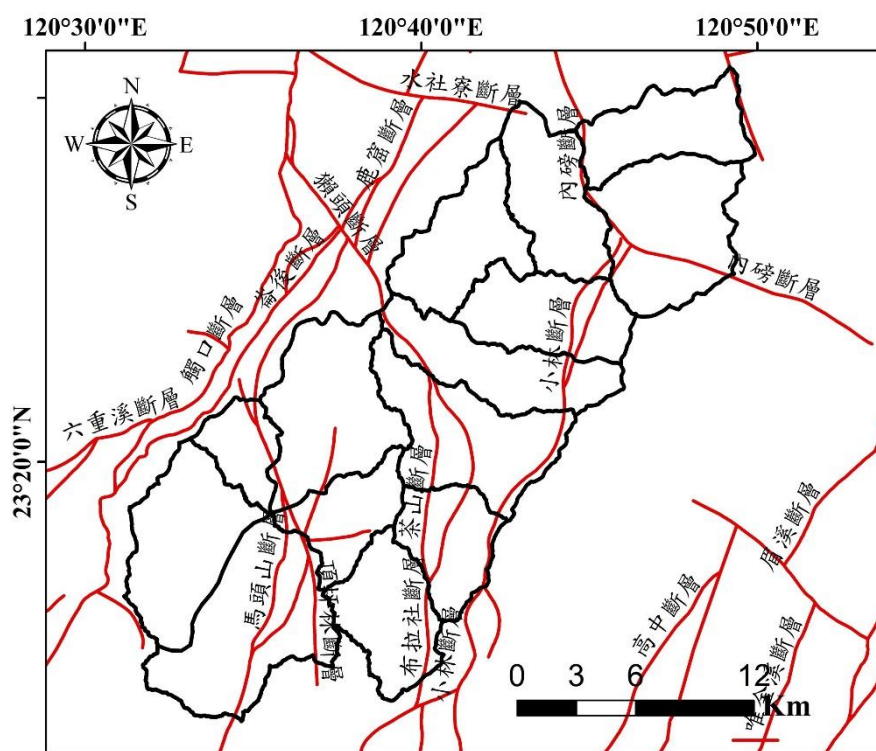


圖 3-1-7 曾文水庫集水區斷層分佈圖

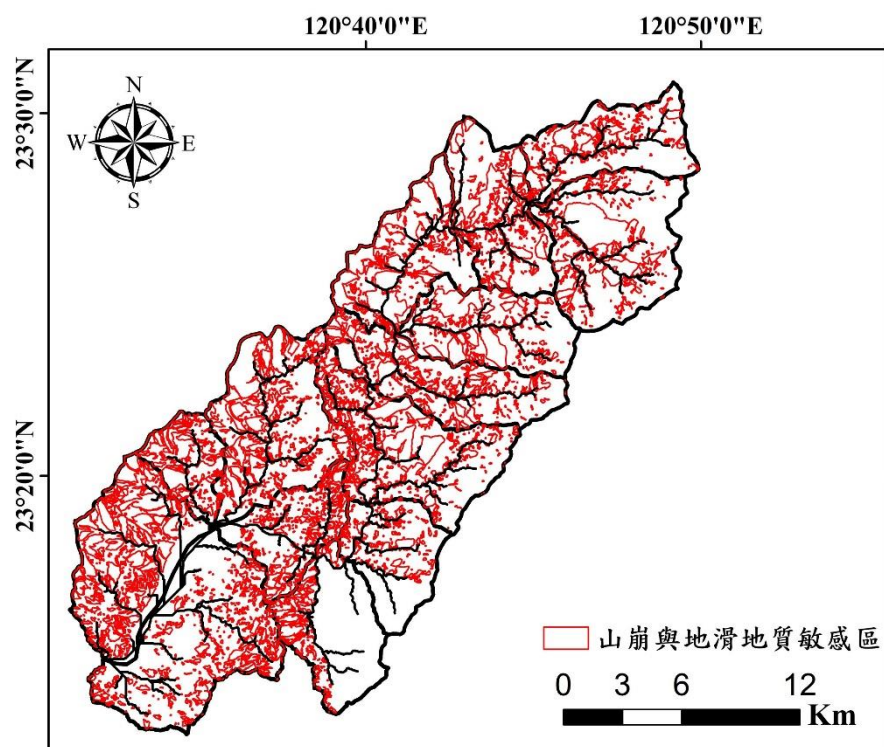


圖 3-1-8 曾文水庫集水區山崩與地滑地質敏感區分佈圖

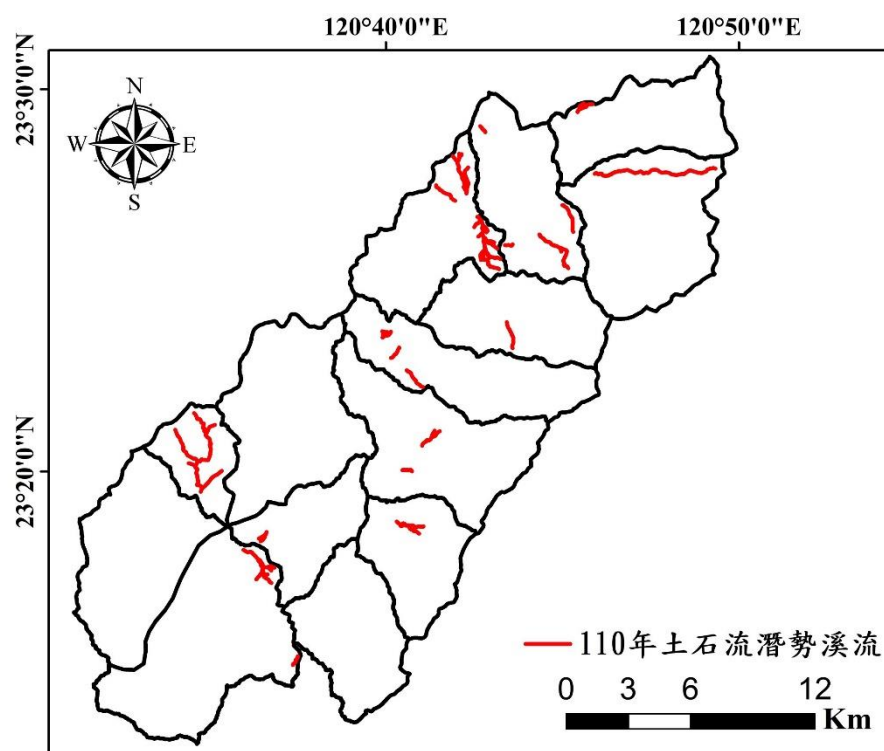


圖 3-1-9 曾文水庫集水區土石流潛勢溪流分佈圖

依據 110 年土石流潛勢溪流公布資料，曾文水庫集水區內共有 20 條土石流潛勢溪流，相關資料如表 3-1-7，分佈圖如圖 3-1-9 所示。

表 3-1-7 曾文水庫集水區土石流潛勢溪流資料彙整

編號	保全對象	風險	類型	隸屬子集水區
嘉縣 DF038	無	低	溪流型	後湖溪
嘉縣 DF044	1~4 戶	低	溪流型	隙頂
嘉縣 DF045	無	低	溪流型	達德安
嘉縣 DF046	1~4 戶	低	溪流型	里佳
嘉縣 DF054	5 戶以上	中	溪流型	曾文水庫東岸
嘉縣 DF056	1~4 戶	低	溪流型	隙頂
嘉縣 DF057	5 戶以上	高	坡面型	山美
嘉縣 DF058	5 戶以上	高	溪流型	達德安
嘉縣 DF062	5 戶以上	中	溪流型	茶山
嘉縣 DF071	1~4 戶	低	溪流型	大埔
嘉縣 DF074	1~4 戶	低	溪流型	達德安
嘉縣 DF075	1~4 戶	中	溪流型	石壁
嘉縣 DF076	1~4 戶	低	溪流型	山美
嘉縣 DF077	1~4 戶	低	溪流型	山美橋
嘉縣 DF078	1~4 戶	中	溪流型	新美
嘉縣 DF079	1~4 戶	中	溪流型	新美
嘉縣 DF080	5 戶以上	高	溪流型	長谷川溪
嘉縣 DF084	1~4 戶	低	溪流型	曾文水庫東岸
嘉縣 DF086	1~4 戶	中	溪流型	達德安
嘉縣 DF087	1~4 戶	中	溪流型	達邦

二、曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年降雨分佈

曾文水庫集水區在 2009 年莫拉克颱風期間是降雨量偏大的區域。陳樹群及吳俊鉉(2009)也經由降雨頻率年估算結果，認為同樣位於降雨中心的旗山溪中上游甲仙及表湖雨量站，在莫拉克颱風期間在 24 小時、48 小時及 72 小時皆超過 200 年頻率之推算值。

根據曾文水庫集水區內九處雨量站(包含曾文、馬頭山、里佳、水山、樂野、表湖、大棟山、龍美、三腳南山等)之降雨頻率年估算，曾文水庫集水區內 200 年頻率之最大一日暴雨估算值約為 412.7-816.0mm 之間，200 年頻率之最大兩日暴雨估算值約為 503.0-1071.4mm 之間，民國 98 年最大一日暴雨量是出現在莫拉克颱風期間，其降雨量已超過重現期距為 200 年的雨量。可見在曾文水庫集水區高頻率年強降雨事件的出現反而逐漸有常態性出現的跡象。

本研究對曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年降雨分佈分析方式，先挑選曾文水庫集水區內上中下游各一處雨量站為代表性雨量站，經本研究考量地理位置及資料殘缺情況進行挑選，分別以曾文雨量站、馬頭山雨量站及龍美雨量站代表曾文水庫集水區上中下游代表性雨量站，三個雨量站分佈資料如表 3-1-8 所示，三個雨量站由 2009 年至 2020 年月降雨資料如表 3-1-9 至表 3-1-11 所示。

土砂災害跟日降雨較有關係，但月降雨資料並無法呈現日降雨量

及強度的，因此本研究先由月降雨資料進行篩選，篩選方式為依據中央氣象局所公告的大豪雨門檻：「24 小時累積雨量達 350 毫米以上」，在本研究則以當月降雨大或等於 350 mm 以上，則將針對該月的日降雨詳細分析。此方式有助於將資料進行重點分析，且本研究先以月降雨大或等於 350 mm 為門檻，若該月有發生明顯致災豪雨，也會在月降雨資料中顯現。

表 3-1-8 曾文水庫集水區上中下游代表性雨量站

編號	站名	高程	經度	緯度	位置
C0O810	曾文	161.0	120.50	23.22	楠西區曾文新村(曾文水庫管理局內)
C0M410	馬頭山	245.0	120.58	23.32	嘉義縣大埔鄉永樂村 1 鄰內灣仔 2 號
C1M390	龍美	1090.0	120.65	23.41	嘉義縣番路鄉公興村 隆美地區

表 3-1-9 曾文雨量站由 2009 年至 2020 年月雨量分佈

月份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	0.0	12.0	14.5	16.0	6.0	0.0	9.0
2	7.5	47.5	24.0	48.5	1.0	70.0	21.0
3	49.5	8.0	14.0	9.5	11.0	56.0	5.5
4	116.0	43.0	17.0	69.5	198.5	22.5	48.0
5	36.0	277.0	213.5	455.0	41.0	321.0	743.0
6	401.0	345.0	208.5	1036.0	缺	319.0	17.0
7	188.5	549.0	489.5	258.0	缺	434.5	502.0
8	2120.0	662.5	485.0	990.5	1569.0	570.0	831.0
9	336.5	863.0	352.5	175.0	212.5	299.5	540.5
10	19.5	78.0	96.5	5.0	1.0	0.0	147.0
11	6.0	53.0	156.5	78.0	12.0	1.0	1.5
12	13.0	26.0	13.0	33.5	31.5	16.0	20.0
累計	3293.5	2964.0	2084.5	3174.5	2083.5	2109.5	2885.5
全台	2294.4	2269.7	2313.2	2441.5	2738.0	1921.0	2206.0
月份	2016	2017	2018	2019	2020	平均	
1	210.0	0.0	60.5	2.5	14.0	28.7	
2	12.5	0.5	24.0	1.0	21.0	23.2	
3	146.5	19.5	40.5	55.0	30.0	37.1	
4	251.0	87.0	7.5	83.0	31.5	81.2	
5	119.5	145.5	28.5	366.0	399.0	262.1	
6	576.5	658.5	694.5	284.5	129.5	389.2	
7	377.0	889.0	639.5	454.0	190.5	414.3	
8	383.5	160.0	1479.5	965.0	587.5	900.3	
9	1560.5	110.0	191.5	242.5	95.0	414.9	
10	78.5	133.0	32.5	48.0	3.5	53.5	
11	52.5	3.5	2.5	0.0	10.5	31.4	
12	7.5	2.0	0.5	73.5	19.0	21.3	
累計	3775.5	2208.5	3201.5	2575.0	1531.0	2657.2	
全台	3278.0	2601.0	2423.0	2450.0	2012.0	2412.3	

備註：灰色上底即為該月降雨大或等於 350 mm。全台代表當年度全台灣平均年降雨總量，此資料取自水利署公告之水利統計簡訊資料。

表 3-1-10 馬頭山雨量站由 2009 年至 2020 年月雨量分佈

月份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	0	17	13.5	31.5	9	0	11.5
2	1.5	67.5	9.5	63	0.5	50.5	34.5
3	68.5	6	25.5	14.5	15.5	78	12.5
4	186	86	10.5	169	缺	23	48.5
5	35.5	368	311	630.5	缺	468.5	748
6	345.5	352	177	1290.5	缺	458	32.5
7	218	508	669.5	188.5	缺	369	338
8	2424.5	358	515.5	911	1469.5	354.5	1159
9	130.5	627.5	178.5	168.5	190.5	238	580
10	21.5	50.5	94.5	2.5	4	3.5	52
11	9	39	199	83.5	14.5	2.5	6.5
12	13.5	12.5	21	16	32	31.5	27
累計	3454	2492	2225	3569	1735.5	2077	3050
全台	2294.4	2269.7	2313.2	2441.5	2738.0	1921.0	2206.0
月份	2016	2017	2018	2019	2020	平均	
1	220.5	0.5	79	2.5	16	33.4	
2	26	3.5	30.5	1	13	25.1	
3	159	38.5	59	94	60	52.6	
4	213.5	107	56.5	105	41.5	95.1	
5	136.5	203	58.5	449.5	640.5	368.1	
6	590	1170.5	541	455.5	66.5	498.1	
7	381.5	545.5	767	392.5	185.5	414.8	
8	329	200.5	1518	1285	458.5	915.3	
9	1288.5	41	178	246.5	195	338.5	
10	68	111.5	25	31	9	39.4	
11	55	3	3.5	0	14	35.8	
12	10	3.5	1	90.5	27	23.8	
累計	3477.5	2428	3317	3153	1726.5	2840.0	
全台	3278.0	2601.0	2423.0	2450.0	2012.0	2412.3	

備註：灰色上底即為該月降雨大或等於 350 mm。全台代表當年度全台灣平均年降雨總量，此資料取自水利署公告之水利統計簡訊資料。

表 3-1-11 龍美雨量站由 2009 年至 2020 年月雨量分佈

月份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	0	27.5	38.5	51.5	19	0	13
2	4.5	115	27.5	102.5	0	64	54
3	108.5	22	46	22.5	44.5	75	39.5
4	263	93.5	16	360	261	48	64
5	49.5	411	339	624.5	缺	698.5	952
6	489	470	282.5	1229	缺	338.5	62.5
7	94	785	622.5	185.5	缺	446	302.5
8	2580	422	546	1035.5	1547	448.5	1302.5
9	186	599.5	152	95.5	316	356.5	586.5
10	35.5	121	117	9	16.5	1	68
11	13	52.5	207.5	114.5	23	20.5	2
12	37	47.5	38.5	79.5	49.5	69	43
累計	3860	3166.5	2433	3909.5	2276.5	2565.5	3489.5
全台	2294.4	2269.7	2313.2	2441.5	2738.0	1921.0	2206.0
月份	2016	2017	2018	2019	2020	平均	
1	246	5.5	101	7	19	44.0	
2	35.5	13	51	11.5	12	40.9	
3	231	52	88	108	144	81.8	
4	211.5	169.5	66	133	67.5	146.1	
5	305.5	515.5	92	714	785	498.8	
6	734	1155.5	628	545	287	565.5	
7	310	743	666.5	383	308.5	440.6	
8	202.5	216.5	1087	1187.5	390.5	913.8	
9	1369.5	89	123.5	197	66	344.8	
10	87.5	103	72	32	13.5	56.3	
11	65.5	12	14	1	26.5	46.0	
12	20.5	15.5	3	116	31.5	45.9	
累計	3819	3090	2992	3435	2151	3224.5	
全台	3278.0	2601.0	2423.0	2450.0	2012.0	2412.3	

備註：灰色上底即為該月降雨大或等於 350 mm。全台代表當年度全台灣平均年降雨總量，此資料取自水利署公告之水利統計簡訊資料。

三、曾文水庫集水區日降雨資料及有效降雨指標分析

崩塌雖然跟日降雨量有明顯關係，但也跟發生崩塌當天之前幾天臨前降雨有關係，為了一併將臨前降雨對崩塌的影響納入考慮，本研究引入有效降雨指標來評估。有效降雨指標評估方式如(3.1)式，有效降雨指標已被使用在土石流評估及坡地致災相關實務操作上(詹錢登及李明熹，2004；陳振宇等，2019)。

$$R_t = \sum_{i=0}^7 \alpha^i R_i \quad (3.1)$$

於(3.1)式中， R_t 即為有效降雨指標(或稱有效降雨量，英文寫為 Effective Accumulated Rainfall，簡寫為 EAR)， i 為評估日之前 i 日，當 i 為 0 即為評估日當天，本研究建議由評估日當天至回算評估日前三天，因此 i 為 0 至 3； R_i 為評估日前 i 天之日降雨量，因此每往前回推一天，就需乘上衰減係數 α ， α 值目前採用 0.7(水土保持局，2016)。以此有效降雨指標即可評估一個地區所受到的當日降雨及臨前降雨的影響。

以表 3-1-8 至表 3-1-10 的月降雨資料顯示，三個雨量站每年具有月降雨超過 350mm 的月份都集中在五月至九月，僅有龍美雨量站在 2012 年 4 月曾出現過一次月降雨超過 350mm 的紀錄，但本研究在下列兩個說明下放棄 2012 年 4 月納入有效降雨指標的分析：

(一)2012 年 4 月月降雨量僅為 360mm，經本研究比對該月日降

雨紀錄，該月僅有 2012 年 4 月 18 日日降雨量超過 100mm(該日日降雨為 118mm)，其餘日降雨都低於 100mm。

(二)經查詢曾文水庫集水區於 2012 年 4 月並未發生土石流或大型崩塌事件。

本研究對有效降雨指標選用雨量站以曾文、馬頭山及龍美等三個雨量站，月份即以 2009 年至 2020 年每年 5 月至 9 月為主，若實際考量有效降雨指標需包含降雨當日的前七天雨量，則實際評估時間範圍則為 2009 年至 2020 年每年 4 月 24 日至 9 月 30 日為止。圖 3-1-10 至圖 3-1-15 為曾文水庫集水區歷年雨季期間之有效降雨指標分佈圖。

以歷年降雨在曾文水庫集水區下游曾文雨量站、中游馬頭山雨量站及上游龍美雨量站的降雨分佈而言，三個雨量站歷年的降雨分佈接近，並無明顯差異。而以歷年日有效降雨指標值分佈而言，除 2009 年 8 月莫拉克颱風期間之最高有效降雨指標曾達到 1300 以上（曾文雨量站為 1314.67，馬頭山雨量站為 1606.93 及龍美雨量站為 1343.02），其餘年份的日有效降雨指標值僅有少部分數據超過 300。本研究也將歷年日有效降雨指標達 300 以上的數據跟日期彙整於表 3-1-12。

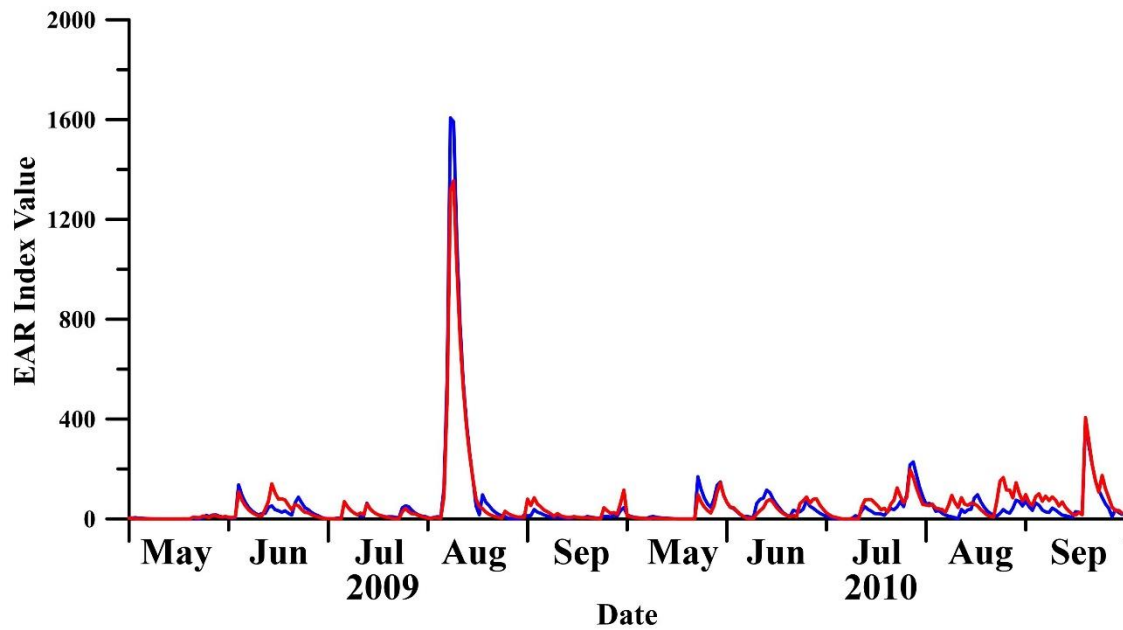


圖 3-1-10 曾文水庫集水區於 2009 年及 2010 年有效降雨指標分佈

(黑線、藍線及紅線分別為曾文、馬頭山及龍美雨量站)

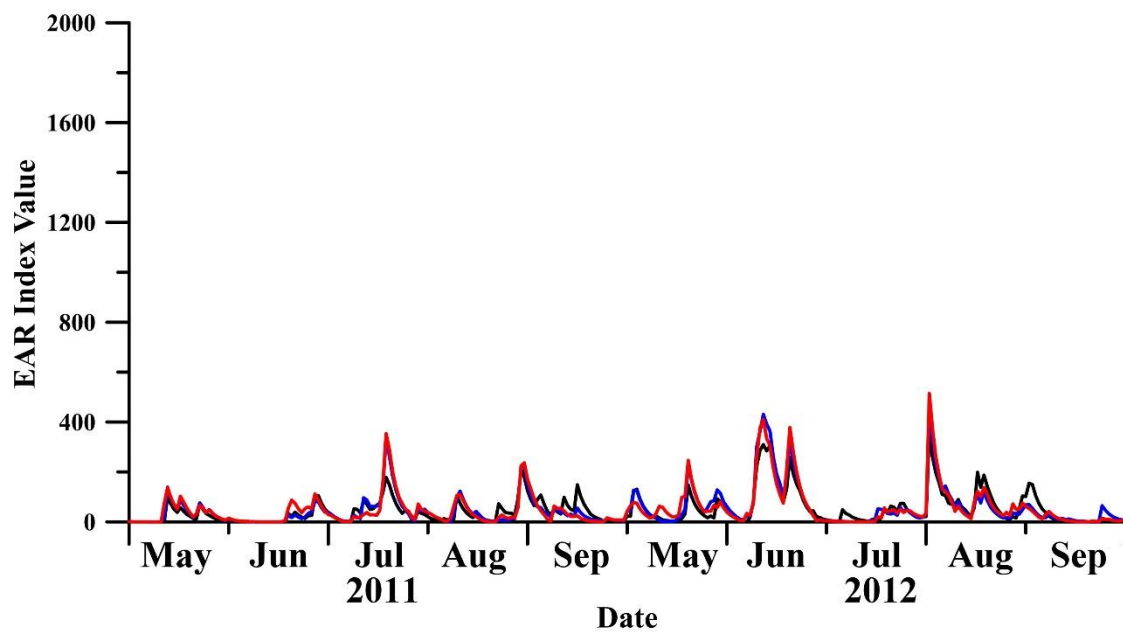


圖 3-1-11 曾文水庫集水區於 2011 年及 2012 年有效降雨指標分佈

(黑線、藍線及紅線分別為曾文、馬頭山及龍美雨量站)

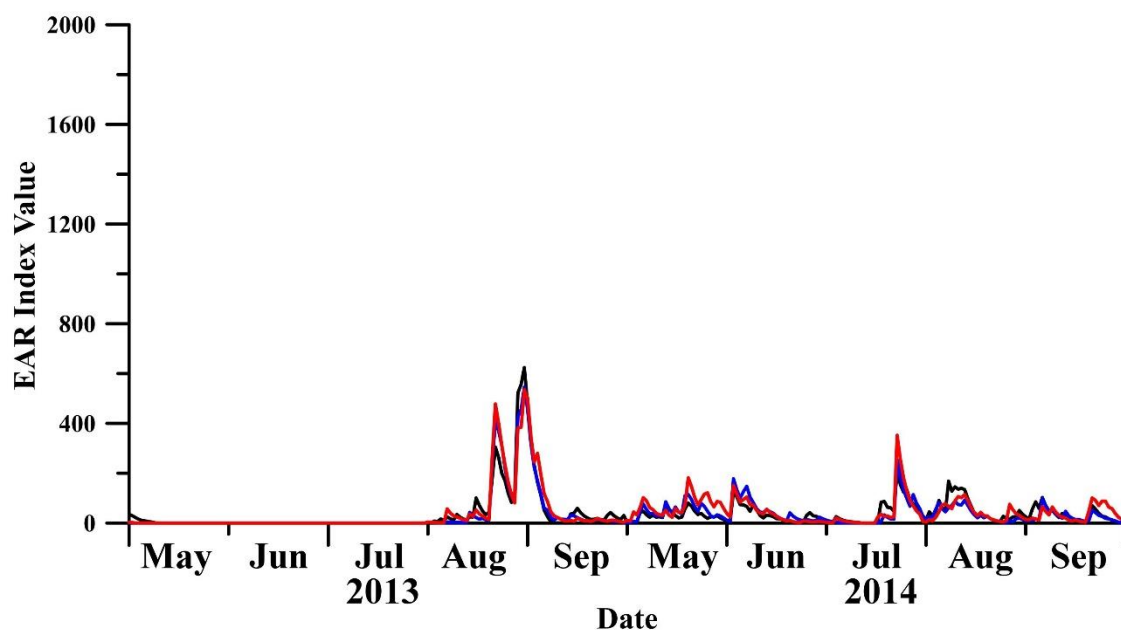


圖 3-1-12 曾文水庫集水區於 2013 年及 2014 年有效降雨指標分佈

(黑線、藍線及紅線分別為曾文、馬頭山及龍美雨量站)

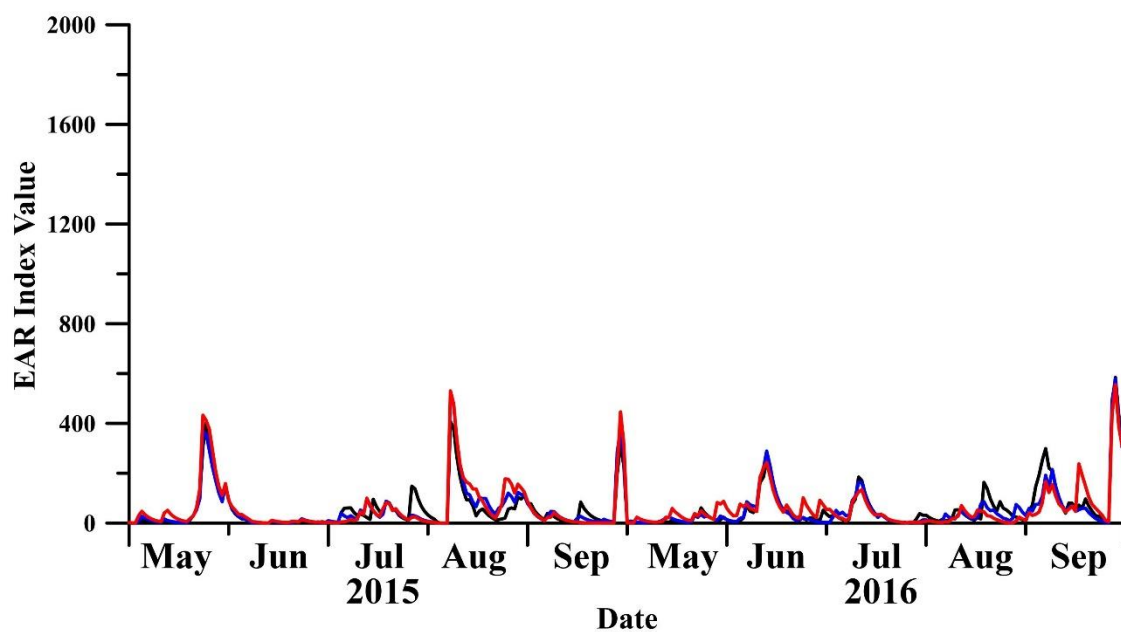


圖 3-1-13 曾文水庫集水區於 2015 年及 2016 年有效降雨指標分佈

(黑線、藍線及紅線分別為曾文、馬頭山及龍美雨量站)

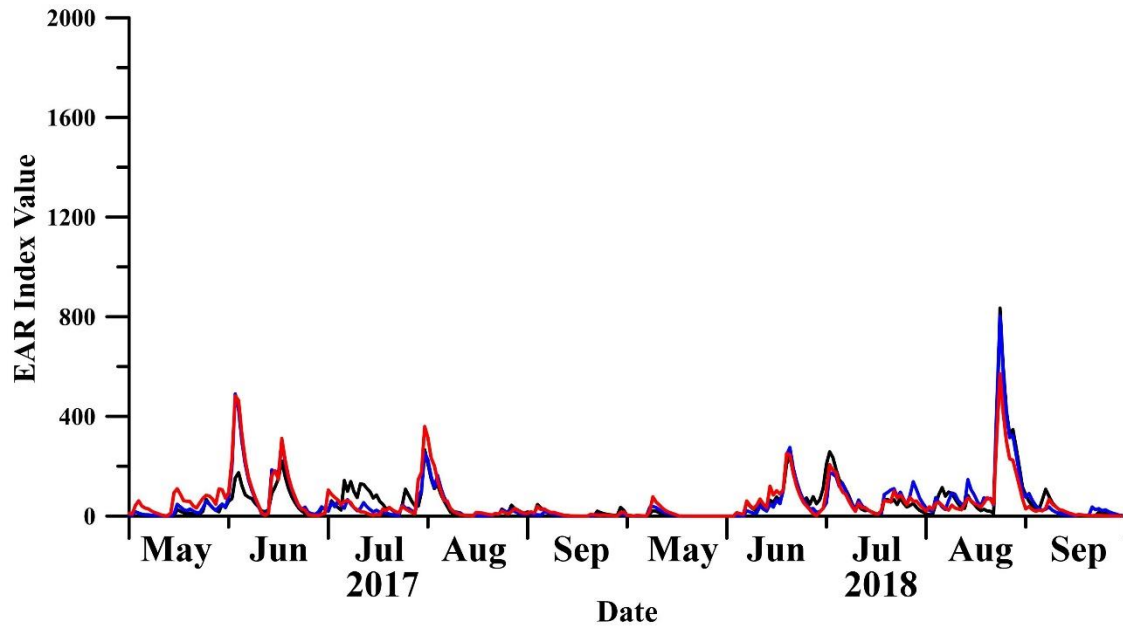


圖 3-1-14 曾文水庫集水區於 2017 年及 2018 年有效降雨指標分佈

(黑線、藍線及紅線分別為曾文、馬頭山及龍美雨量站)

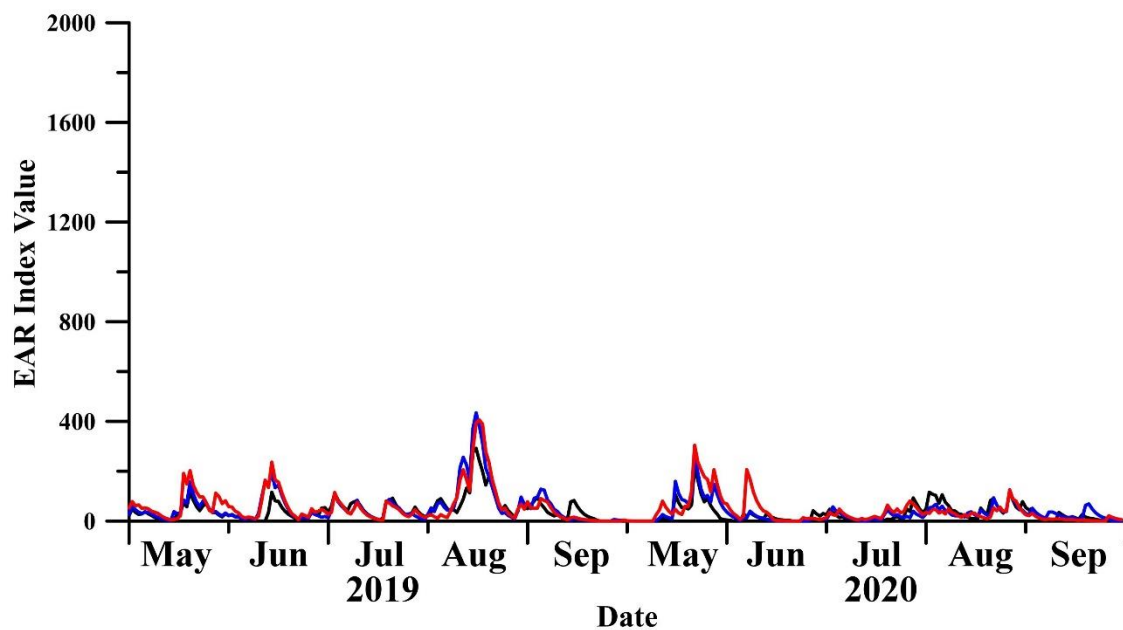


圖 3-1-15 曾文水庫集水區於 2019 年及 2020 年有效降雨指標分佈

(黑線、藍線及紅線分別為曾文、馬頭山及龍美雨量站)

表 3-1-12 曾文水庫集水區歷年日有效降雨指標達 300 以上彙整表

年份	日期	曾文	馬頭山	龍美
2009	8/7	486.0	573.0	517.9
	8/8	1314.7	1606.9	1343.0
	8/9	1354.3	1590.9	1672.6
	8/10	1014.5	1116.1	1324.8
	8/11	728.3	781.9	951.4
	8/12	525.3	547.0	684.3
	8/13	371.2	386.4	479.4
	8/14	255.5	263.9	332.1
2010	7/27	196.8	216.5	310.6
	9/19	405.8	393.5	362.6
2011	7/19	178.2	339.0	353.7
2012	6/10	222.4	301.0	260.9
	6/11	286.7	362.5	376.1
	6/12	309.7	430.8	410.3
	6/13	284.3	392.0	334.2
	6/14	305.5	364.2	304.8
	6/20	259.9	327.5	378.0
2013	8/2	360.8	453.8	514.4
	8/3	259.1	326.9	374.0
	8/22	305.0	409.0	478.1
	8/23	263.5	369.8	400.8
	8/24	199.1	310.8	310.2
	8/29	522.9	427.3	382.0

	8/30	556.1	456.1	384.4
	8/31	624.4	545.4	534.3
	9/1	477.9	458.3	502.2
	9/2	332.8	320.7	350.5
2014	7/23	212.8	253.5	352.3
2015	5/24	305.1	367.8	432.8
	5/25	401.1	357.9	412.0
	5/26	324.7	292.6	376.9
	8/8	408.0	502.5	530.7
	8/9	379.6	478.3	479.5
	8/10	265.7	334.8	335.6
	9/29	322.3	375.8	446.3
	9/30	227.1	262.9	316.4
2016	9/27	461.5	491.5	435.6
	9/28	584.6	578.6	555.4
	9/29	436.2	413.5	388.6
	9/30	340.8	304.9	310.0
2017	6/3	152.8	490.3	482.3
	6/4	173.9	426.2	463.9
	6/5	121.8	298.3	327.1
	9/17	221.5	303.5	311.6
	7/31	265.9	254.7	359.2
	8/1	209.4	224.7	314.1
2018	8/23	389.4	448.2	322.0
2018	8/24	834.7	803.0	571.4

	8/25	596.8	575.6	412.9
	8/26	422.2	410.9	299.8
	8/27	327.3	314.9	229.7
	8/28	347.5	322.9	224.1
2019	8/15	275.5	371.9	286.4
	8/16	292.0	434.6	393.4
	8/17	242.4	382.4	405.9
	8/18	199.5	312.6	389.0
2020	5/22	220.2	264.9	304.2

表 3-1-13 集水區上中下游發生有效降雨指標達 300 以上日數統計

年份	上游	中游	下游	年份	上游	中游	下游
2009	8	7	7	2016	4	4	4
2010	2	1	1	2017	6	3	0
2011	1	1	0	2018	3	6	6
2012	5	6	2	2019	4	4	0
2013	10	10	7	2020	1	0	0
2014	1	0	0	累計	53	48	33
2015	8	6	6	平均	4.4	4.0	2.8

每個雨量站的降雨有其代表範圍，因此本研究將曾文水庫集水區區分為集水區上游、中游及下游等地區，並將龍美、馬頭山及曾文雨量站分別視為集水區上游、中游及下游的代表性雨量站。對應集水區雨量站及各子集水區的分佈位置，本研究認為集水區上游可對應長谷

川溪、達邦、達德安、隙頂及里佳等五個子集水區，中游可對應山美、新美、茶山及沙力基溪等四個子集水區，下游可對應後湖溪、草蘭溪、大埔橋、曾文水庫西岸及曾文水庫東岸等五個五個子集水區。

本研究以各年份發生日有效降雨指標達 300 以上的次數進行統計，統計資料如表 3-1-13 所示。以 2009 年至 2020 年降雨紀錄而言，本研究以三個論點來分析各年份有效降雨指標的差異：

(一)單日有效降雨指標值比較：除了 2009 年 8 月莫拉克颱風期間以外，後續年份單日有效降雨指標少有能超過 500 以上的紀錄，具有單日有效降雨指標達 500 以上的年份包含 2013 年（3 次）、2015 年（1 次）、2016 年（1 次）及 2018 年（1 次），這幾年屬於具有單日強降雨特性的年份。

(二)上中下游降雨日數分佈比較：本研究以水庫集水區上中下游有效降雨指標達 300 以上之平均發生日數有達 5 天以上的年份，則 2013 年、2015 年及 2018 年都屬於上中下游平均發生日數有達 5 天以上的年份。

(三)上中下游降雨日數發生日數比較：以上中下游在各年份發生有效降雨指標達 300 以上的平均日數而言，上中下游分別為 4.4 天、4.0 天及 2.8 天，代表上游與中游最常出現有效降雨指標達 300 以上的降雨事件。2012 年是上中下游明顯降雨

差異的比較年份，上游與中游都有 5 次有效降雨指標達 300

以上的紀錄，但下游僅有 2 次。2017 年也出現類似情況。

(四)以上述上中下游的歷年降雨分佈而言，位於上游及中游的子

集水區，包含長谷川溪、達邦、達德安、隙頂、里佳、山美、

新美、茶山及沙力基溪等九個子集水區，承受較多場降雨事

件，因此相較於下游集水區而言，位於中上游子集水區會較

難復育且可能重新再誘發崩塌。

第二節 曾文水庫集水區流域地質與崩塌分佈關係

地質分佈是集水區的根本資料，也代表此集水區面對土砂災害的體質好壞，因此由地質資料上的分析就可初步掌握該集水區可能發生的土砂災害種類及位置。

本研究針對曾文水庫水區的流域地質與崩塌分佈關係分析方式如下分述：

一、地質圖層採用曾文水庫集水區流域地質圖，比例尺為 1/5000。

二、崩塌圖層採用 2009 年至 2020 年年度崩塌圖層。

三、逐年分析各地層分佈區域由 2009 年至 2020 年之崩塌率。

四、說明由 2009 年至 2020 年之崩塌好發地層種類，並說明各地層崩

塌面積年復育率(單位： km^2/year)。

五、由上述分析資料說明曾文水庫集水區在 2009 年所誘發的崩塌地，在 2009 年至 2020 年之崩塌演化關係。

本研究先以 2009 年莫拉克颱風於曾文水庫集水區之崩塌與地層分佈關係說明。以流域地質分析資料而言，本集水區於台灣南部，屬於曾文溪水系，本集水區地層以三民頁岩、北寮頁岩、竹頭崎層、沖積層、長枝坑層、南莊層、紅花子層、茅埔頁岩、階地堆積層、隘寮腳層、糖恩山砂岩、鹽水坑頁岩等十二種岩層所組成，其中以長枝坑層為占比最大地層，占總面積 34.2%，在崩塌率方面以茅埔頁岩崩塌率為 6.3%為最。集水區內流域地質分佈數據如表 3-2-1，流域地質分佈圖如圖 3-2-1。曾文水庫集水區各地層年度崩塌率統計表如表 3-2-2 及表 3-2-3 所示，曾文水庫集水區各地層年度崩塌率分布圖如圖 3-2-2 及圖 3-2-3 所示。

由圖 3-2-2 及 3-2-3 之各地層分佈區域各年度崩塌率分佈而言，可清楚發現 2009 年莫拉克颱風誘發的崩塌地在後續幾年的崩塌復育情況，可區分成兩個時段分析，包含 2009 年至 2011 年及 2012 年至 2017 年。從圖 3-2-2 及 3-2-3 都可發現由 2009 年至 2011 年期間崩塌率從莫拉克後的最高點快速下降，由 2012 年至 2020 年間各地層崩塌率分佈則維持在一定區間起伏。本研究定義以研究時間年份間之平均崩塌率在 1.0%以上視為崩塌好發地層，分析數據如表 3-2-4 所示，崩塌

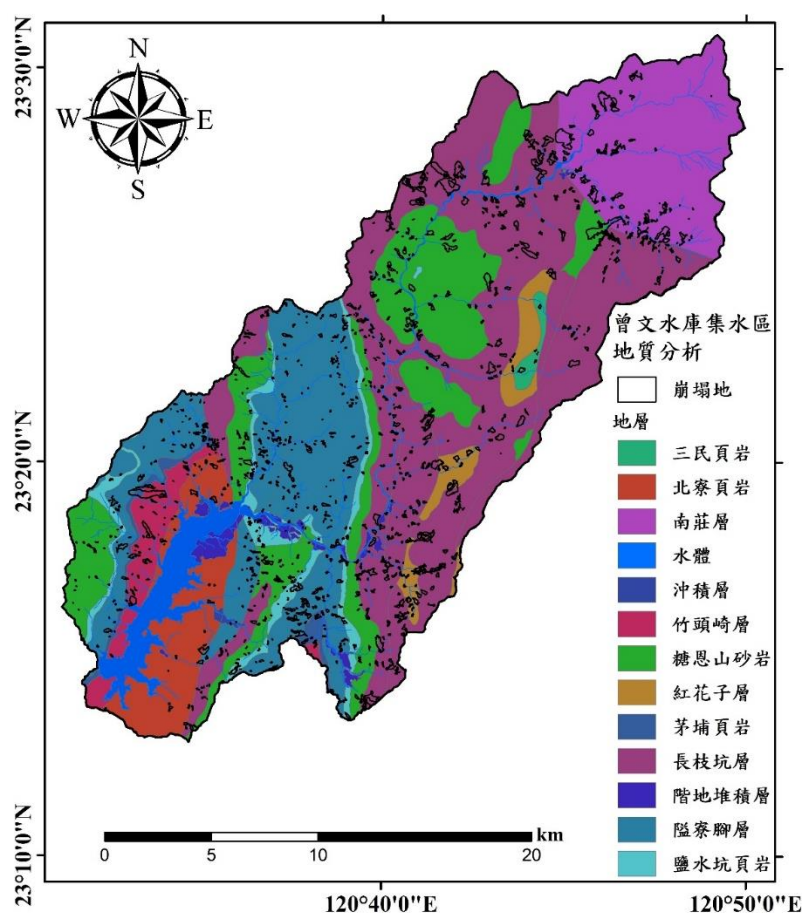


圖 3-2-1 曾文水庫集水區地層分布圖

好發地層可分為兩個研究時段來說明：

(一)2009 年至 2011 年崩塌好發地層：共 11 個地層，包含沖積層、

隘寮腳層、長枝坑層、竹頭崎層、紅花子層、茅埔頁岩、南

莊層、三民頁岩、糖恩山砂岩及鹽水坑頁岩等。

(二)2012 年至 2020 年之崩塌好發地層：共 2 個地層，包含竹頭

崎層及南莊層。

表 3-2-1 曾文水庫集水區地層資料統計表

地層名稱	岩性	面積 (km ²)	占總面積 (%)
水體	水體	14.8	3.1
沖積層	礫石、砂、粉砂及黏土	3.4	0.7
隘寮腳層	粉砂岩和頁岩薄互層	80.3	16.6
長枝坑層	砂岩及砂頁岩互層	164.8	34.2
竹頭崎層	泥質砂岩、泥質砂岩與頁岩互層	13.3	2.8
紅花子層	厚層細砂岩或粉砂岩、細砂岩及粉砂岩厚互層	12.0	2.5
茅埔頁岩	頁岩夾薄層砂岩	4.8	1.0
南莊層	砂岩及頁岩互層	60.1	12.5
北寮頁岩	頁岩和砂質頁岩	26.9	5.6
三民頁岩	頁岩及頁岩夾薄層粉砂岩	2.4	0.5
階地堆積層	砂、粉砂、泥及礫石	5.7	1.2
糖恩山砂岩	厚層塊狀砂岩和泥質砂岩	79.0	16.4
鹽水坑頁岩	塊狀頁岩，偶夾薄層粉砂岩	15.0	3.1

備註：崩塌率為崩塌面積除以該區域總面積，單位為%

表 3-2-2 曾文水庫集水區各地層年度崩塌率統計表

地層	2009	2010	2011	2012	2013	2014
水體	0.27	0.04	0.08	0.05	0.01	0.07
沖積層	1.96	1.31	0.22	0.43	0.37	0.12
隘寮腳層	2.52	0.54	0.12	0.28	0.27	0.23
長枝坑層	3.48	2.03	1.05	0.83	0.90	0.75
竹頭崎層	5.43	2.11	0.60	1.26	1.07	1.20
紅花子層	4.13	2.34	0.86	0.68	1.02	0.61
茅埔頁岩	5.69	1.69	0.80	1.50	1.10	1.43
南莊層	2.91	2.56	2.32	1.44	1.58	1.46
北寮頁岩	1.00	0.38	0.30	0.43	0.54	0.50
三民頁岩	5.30	4.15	1.17	0.12	0.51	0.09
階地堆積層	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
糖恩山砂岩	2.65	1.27	0.78	0.98	0.85	0.84
鹽水坑頁岩	2.13	0.66	0.23	0.35	0.60	0.73

備註：崩塌率為崩塌面積除以該區域總面積，單位為%

表 3-2-3 曾文水庫集水區各地層年度崩塌率統計表

地層	2015	2016	2017	2018	2019	2020
水體	0.04	0.07	0.02	0.02	0.07	0.02
沖積層	0.25	0.05	0.10	0.11	0.06	0.10
隘寮腳層	0.11	0.24	0.18	0.17	0.22	0.15
長枝坑層	0.48	0.39	0.60	0.58	0.37	0.56
竹頭崎層	1.06	1.30	0.61	0.58	1.27	0.56
紅花子層	0.31	0.22	0.43	0.36	0.20	0.15
茅埔頁岩	0.32	1.12	0.26	0.24	1.05	0.19
南莊層	0.89	1.27	1.51	1.48	1.25	1.46
北寮頁岩	0.35	0.70	0.33	0.29	0.67	0.29
三民頁岩	0.00	0.05	0.11	0.12	0.00	0.16
階地堆積層	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
糖恩山砂岩	0.81	0.74	1.01	0.99	0.72	0.96
鹽水坑頁岩	0.35	0.44	0.32	0.30	0.42	0.26

備註：崩塌率為崩塌面積除以該區域總面積，單位為%

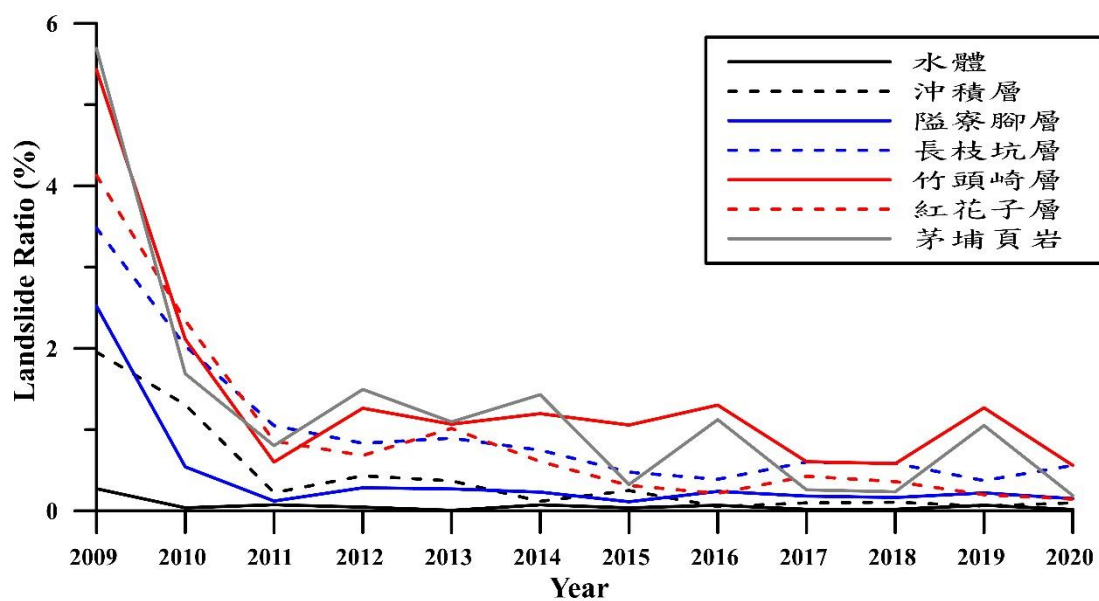


圖 3-2-2 曾文水庫集水區各地層年度崩塌率分布圖

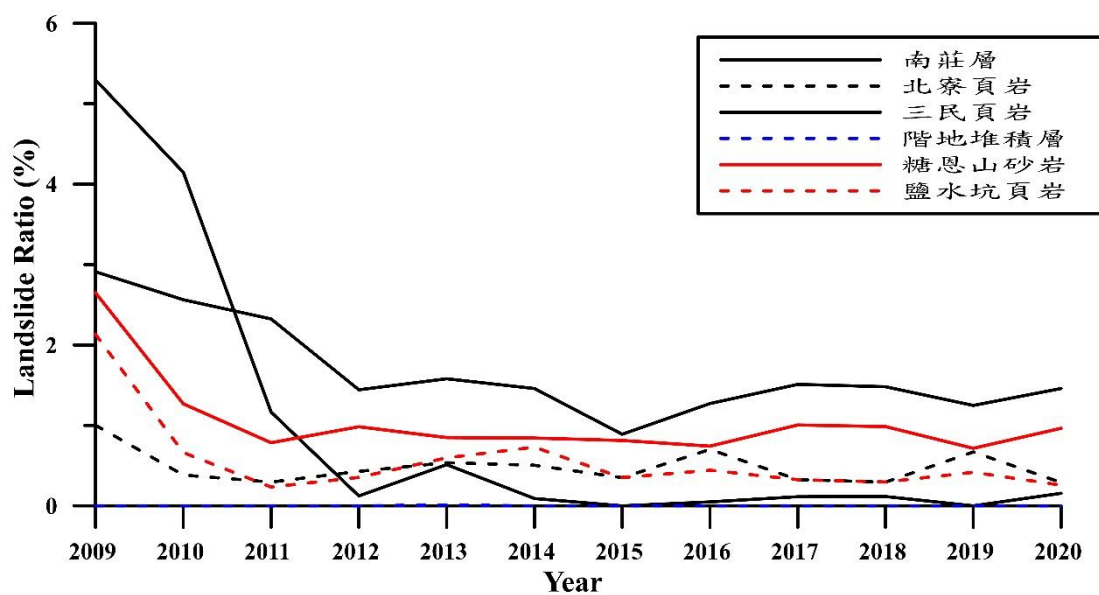


圖 3-2-3 曾文水庫集水區各地層年度崩塌率分布圖

表 3-2-4 各地層年度崩塌率與復育崩塌面積數據表

地層名稱	2009 年至 2011 年		2012 年至 2020 年		全年份
	LR	RA	LR	RA	RA
水體	0.13	9.8	0.04	0.5	4.7
沖積層	1.16	19.4	0.18	1.4	7.8
隘寮腳層	1.06	642.2	0.21	13.4	237.9
長枝坑層	2.19	1335.2	0.61	56.1	601.6
竹頭崎層	2.72	214.5	1.00	11.7	81.1
紅花子層	2.44	130.1	0.44	8.0	59.5
茅埔頁岩	2.73	77.7	0.80	7.8	32.8
南莊層	2.60	117.3	1.37	-1.2	108.8
北寮頁岩	0.56	63.4	0.46	4.6	23.9
三民頁岩	3.54	32.4	0.13	-0.1	15.1
階地堆積層	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0
糖恩山砂岩	1.57	491.1	0.88	1.9	166.5
鹽水坑頁岩	1.01	94.8	0.42	1.8	35.1

備註：LR (landslide ratio，單位%)為在研究年份間之年平均崩塌率，
RA (recovered area，單位 $10^{-3} \text{ km}^2/\text{yr}$)為崩塌面積年復育率，估算方式
為起始年份的崩塌面積扣最終年份的崩塌面積，並除以總年份數。

各地層之崩塌面積年復育率也如表 3-2-4 所示，本研究也以兩個研究時段分別挑出崩塌面積年復育率最高及最低的三個分別說明：

(一)2009 年至 2011 年各地層崩塌面積年復育率：最高的三個地層分別為長枝坑層、隘寮腳層及糖恩山砂岩，最低的三個地層分別為階地堆積層、沖積層及水體。

(二)2012 年至 2020 年各地層崩塌面積年復育率：最高的三個地層分別為長枝坑層、隘寮腳層及竹頭崎層，最低的三個地層分別為南莊層、三民頁岩及階地堆積層。

(三)全研究年份各地層崩塌面積年復育率：最高的三個地層分別為長枝坑層、隘寮腳層及糖恩山砂岩，最低的三個地層分別為階地堆積層、水體及沖積層。

本研究以前述的崩塌好發地層來論述 2009 年莫拉克颱風誘發崩塌在後續的演化關係：崩塌最難以復育的位置以位於集水區中上游且有水系通過的地層為主，因此包含南莊層、長枝坑層、糖恩山砂岩及隘寮腳層都具有此特性，而竹頭崎層則位於水庫鄰近但具有大量野溪蝕溝分佈，因此也成為較難以復育的地層。綜觀而言，2009 年莫拉克颱風後的崩塌復育跟水系分佈較相關。

第三節 曾文水庫集水區近年地震資料與崩塌誘發關係

地震跟降雨是台灣誘發崩塌的兩大主因，降雨對崩塌的誘發性是短期的，但地震對崩塌的誘發性卻是長期的，根據相關研究顯示：台灣在 2000 年至 2010 年間的降雨崩塌，都可能跟 1999 年台灣經歷集集強震有關。因此本研究也在本節說明曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年之地震紀錄，並討論這段期間之地震對崩塌誘發之影響性。

本研究針對曾文水庫水區的近年地震資料與崩塌分佈關係分析方式如下分述：

- 一、地震資料採用中央氣象局地震測報中心地震資料庫，採用地震紀錄站為曾文水庫壩頂站、壩底站及大埔國小站(嘉義縣大埔鄉)，搜尋時間為 2009 年至 2020 年，搜尋地震規模設定為 4 以上，地震深度則為 350km 以內。彙整此時間範圍內之地震資料。
- 二、比較由 2009 年至 2020 年曾文水庫集水區年度崩塌率與曾文地震紀錄站 4 級以上地震紀錄次數之關係，論述由 2009 年至 2020 年之地震紀錄與崩塌誘發之相關性。

本研究搜尋時間為 2009 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日，採以曾文水庫集水區中心點(東經 120.53 度，北緯 23.23 度)為圓心，並採逐步彙整資料方式，與圓心距離越近，篩選地震規模越低，與圓心距離越遠，篩選地震規模越高，方式說明如下：

- 一、以集水區中心點為圓心，半徑 20 公里以內曾發生過地震規模大或等於 4，且經檢視於集水區內地震測站(曾文水庫壩頂站、壩底站及大埔國小站)之地震規模也大或等於 4 以上之紀錄。
- 二、以集水區中心點為圓心，半徑 50 公里以內曾發生過地震規模大或等於 5，且經檢視於集水區內地震測站(曾文水庫壩頂站、壩底站及大埔國小站)之地震規模也大或等於 4 以上之紀錄。
- 三、以集水區中心點為圓心，半徑 100 公里以內曾發生過地震規模大或等於 6，且經檢視於集水區內地震測站(曾文水庫壩頂站、壩底站及大埔國小站)之地震規模也大或等於 4 以上之紀錄。

本研究彙整搜尋得出之地震相關資料，如表 3-3-1 及表 3-3-2 所示。以台灣每年平均發生有感地震約 1,000 次紀錄而言，曾文水庫集水區內曾經歷過地震規模達 4.0 以上的次數並不多，共有兩個原因：一則地震規模大於 6 以上的強震多半發生於東台灣及東台灣外海為主，東台灣及東台灣外海鄰近環太平洋火山帶(Ring of Fire)，因此發生地震次數頻繁且重大，但該地震傳到曾文水庫集水區的地震規模多半都在 3 以下。二則在曾文水庫集水區鄰近範圍內發生的地震多數是淺層地震，地震波傳遞到曾文水庫集水區時，地震規模已經降低。

表 3-3-1 曾文水庫集水區歷年發生規模 4 以上之地震紀錄

紀錄	日期	經度	緯度	規模	深度
1	2020-10-17 23:03:14	120.38	23.28	5.31	15.81
2	2019-02-08 00:52:05	120.61	23.26	5.07	13.71
3	2018-04-15 22:11:57	120.68	23.36	4.13	5.00
4	2018-03-20 17:22:56	120.54	23.3	5.31	11.21
5	2017-11-22 22:20:09	120.72	23.58	5.66	15.24
6	2017-05-24 21:10:54	120.51	23.42	5.13	12.43
7	2017-04-17 02:34:17	120.68	23.28	4.55	6.83
8	2017-03-25 23:02:58	120.63	23.27	4.12	10.29
9	2016-02-06 03:57:26	120.54	22.92	6.61	14.64
10	2013-10-31 20:02:09	121.35	23.57	6.42	14.98
11	2013-06-02 13:43:03	120.97	23.86	6.48	14.54
12	2013-02-19 10:12:45	120.55	23.35	4.61	15.14
13	2012-11-29 03:43:51	120.65	23.39	4.00	11.41
14	2012-02-26 10:35:00	120.75	22.75	6.35	26.31
15	2010-11-08 21:01:20	120.41	23.21	5.16	17.46
16	2010-03-04 08:18:52	120.71	22.97	6.42	22.64
17	2009-11-05 17:32:57	120.72	23.79	6.15	24.08
18	2009-06-18 01:17:45	120.65	23.44	4.41	12.73

備註：本表以時間排序，最接近現(遠離)在的時間在最上方(最下方)，規模為芮氏規模，深度單位為公里。資料來源為中央氣象局地震測報中心地震資料庫查詢，網址 <https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/history>

表 3-3-2 曾文水庫集水區各年份發生規模 4 以上之地震統計紀錄

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014
筆數	2	2	0	2	3	0
年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020
筆數	0	1	4	2	1	1

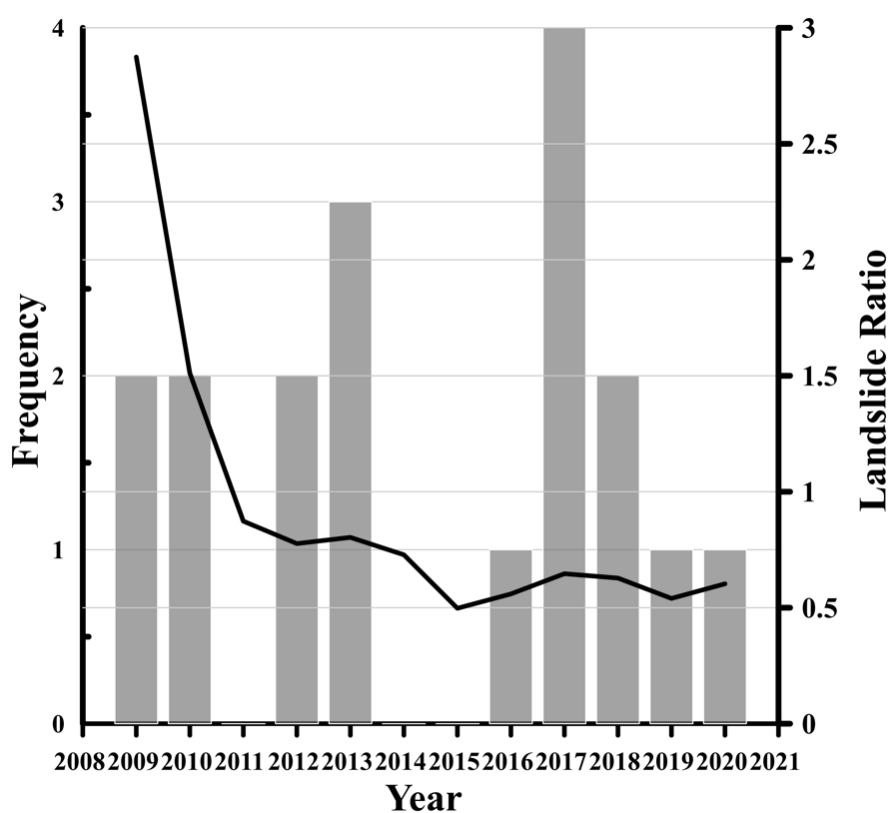


圖 3-3-1 曾文水庫集水區地震規模 4 以上與崩塌率分佈圖

(崩塌率為黑線比對左軸，地震規模 4 以上次數為長條圖比對右軸)

在論述曾文水庫集水區地震規模 4 以上之每年發生次數與每年崩塌發生情況，本研究以地震規模 4 以上之每年發生次數與年度崩塌率進行比較，本研究以 2009 年至 2020 年資料比較為主，如圖 3-3-1 所示。以各年度崩塌率與地震規模 4 以上發生次數進行比對，本研究認為當地震規模 4 以上達 3 次以上的年份，當年度崩塌率會有上升的現象，例如 2013 年與 2017 年，地震規模 4 以上年度發生次數在 2 以下時，則未見崩塌率有明顯影響。

地震跟降雨是台灣崩塌誘發的兩大主因，本研究比對 3.1 節降雨紀錄跟本節地震紀錄，由 2010 年至 2020 年內，2013 年屬於降雨偏大且具有明顯地震紀錄的年份。因此 2013 年可能是 2009 年莫拉克颱風後，崩塌重新誘發或難以復育較明顯的一年。

第四節 曾文水庫集水區近年崩塌數據分析

崩塌及土石流是曾文水庫集水區內主要產砂現象，也是曾文水庫集水區庫區土砂淤積的來源，因此歷年來的崩塌資料是判斷曾文水庫集水區產砂量的主要因子，也可從崩塌資料判斷曾文水庫集水區內土砂災害集中區域。

本研究對於曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年之崩塌資料分析方式如下分述：

一、蒐集曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年崩塌圖層：本研究有

2009 年至 2017 年全台灣年度崩塌圖層，該圖層乃由林務局所製作，因此曾文水庫集水區由 2009 年至 2017 年之崩塌圖層將採用此筆林務局製作之年度崩塌圖層。而 2018 年及 2019 年則跟水土保持局申請相關圖資取得，2020 年崩塌圖層則由本研究人員自行判釋。

二、針對曾文水庫集水區 2009 年至 2020 年崩塌圖層，分析歷年崩塌

資料，包含歷年崩塌面積、個數、大規模崩塌個數。

三、以曾文水庫集水區之 839 子集水區為分析單元，分析各 839 子集

水區之歷年崩塌面積、個數、大規模崩塌個數、各子集水區崩塌率演變情況。

四、說明曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年崩塌集中之 839 子集水

區，其該子集水區之歷年崩塌率演變情況。

曾文水庫集水區在 2009 年至 2020 年年度崩塌數據如表 3-4-1 所示。曾文水庫集水區之 839 子集水區分佈如圖 3-4-1 所示，本研究再以曾文水庫集水區之 839 子集水區為分析單元，曾文水庫集水區之 839 子集水區各區統計資料如表 3-4-2 所示，分析 2009 年至 2020 年於各子集水區之崩塌資料，如表 3-4-3 及表 3-4-10 所示。

表 3-4-1 曾文水庫集水區 2009 年至 2017 年崩塌數據

年份	崩塌個數	大規模崩塌個數	崩塌面積(km ²)	崩塌率(%)
2009	1161	22	13.9	2.87
2010	1098	12	7.3	1.51
2011	437	5	4.2	0.87
2012	515	2	3.8	0.78
2013	566	2	3.9	0.80
2014	466	4	3.5	0.73
2015	347	1	2.4	0.50
2016	410	2	2.7	0.56
2017	431	3	3.1	0.65
2018	373	3	3.0	0.64
2019	331	2	2.6	0.55
2020	298	3	2.9	0.61
平均	536.1	5.1	4.4	0.9

備註：灰色年份代表該年份崩塌率有上升。

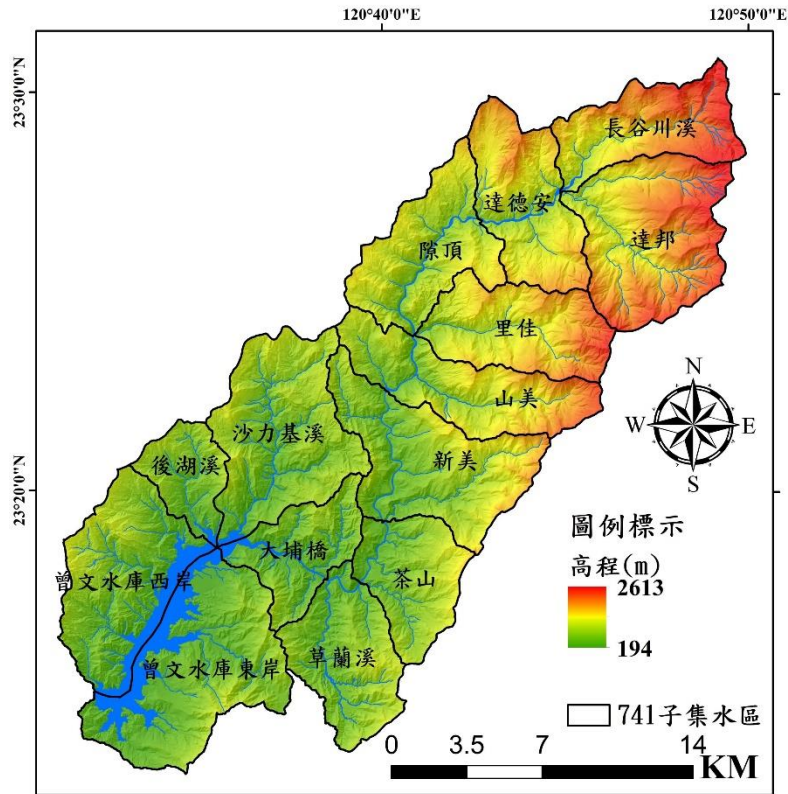


圖 3-4-1 曾文水庫集水區 839 子集水區分佈

以曾文水庫集水區內 839 子集水區的特性而言，平均坡度超過 30 度以上的子集水區共有 8 個，包含里佳、隙頂、達德安、達邦、山美、新美、長谷川溪及大埔橋等，除大埔橋子集水區位於水庫庫區鄰近以外，其餘 7 個子集水區都位於水庫集水區中上游區域。

以歷年崩塌個數在各子集水區的分佈而言，從 2009 年至 2011 年，大多數子集水區崩塌個數都呈現下降，唯一沒有明顯下降的是達邦子集水區，達邦子集水區崩塌個數開始明顯下降約從 2014 年之後才開始，這也代表達邦子集水區是曾文水庫全部子集水區內最難以復育的子集水區。若以歷年平均崩塌個數而言，則全部子集水區內具有最多

平均崩塌個數的子集水區分別為達邦、草蘭溪跟新美等三個子集水區，這三個子集水區平均每年崩塌個數都超過 53.2 個以上。

表 3-4-2 曾文水庫集水區 839 子集水區資料表

子集水區名稱	面積(km ²)	平均高程(m)	平均坡度(度)
曾文水庫東岸	54.3	433.5	22.1
里佳	31.6	1431.0	31.8
後湖溪	15.0	607.5	28.2
隙頂	32.8	1026.9	30.7
達德安	32.3	1312.9	30.2
達邦	46.0	1709.8	32.0
山美	34.3	1150.3	33.0
新美	43.8	859.1	31.0
沙力基溪	46.5	703.4	29.3
長谷川溪	28.6	1762.6	30.2
茶山	24.5	727.5	27.5
草蘭溪	30.0	634.1	29.4
大埔橋	22.0	493.3	30.0
曾文水庫西岸	41.8	546.1	27.1

若以大規模崩塌個數在各子集水區而言，達邦及長谷川溪兩個子集水區則是從 2009 年至 2020 年都仍具有大規模崩塌案例，達邦子集水區從 2009 年有 5 處，到 2019 年仍有 1 處。長谷川溪子集水區從 2009 年有 2 處，到 2019 年僅剩 1 處。其餘具有大規模崩塌個數的子

集水區都陸續在 2013 年至 2015 年間逐漸消失。

若以歷年子集水區崩塌面積而言，則在 2009 年至 2017 年間，崩塌面積起伏最明顯的仍是達邦子集水區，以平均歷年崩塌面積而言，崩塌面積最高的前三個子集水區分別為達邦、隙頂及山美等子集水區。若以年度崩塌率而言，則達邦子集水區是唯一從 2009 年至 2017 年間，歷年崩塌率都未低於 1.0%的子集水區，其他各子集水區都從 2012 年至 2014 年間逐漸低於 1.0%。

表 3-4-3 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌個數彙整表

子集水區名稱	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
曾文水庫東岸	64	67	15	19	27	21	11
里佳	63	40	23	22	22	24	16
後湖溪	70	38	5	19	34	10	6
隙頂	102	105	41	31	42	36	33
達德安	78	64	54	45	41	38	16
達邦	86	105	112	98	96	88	67
山美	109	93	38	43	50	38	29
新美	126	101	42	48	38	34	29
沙力基溪	126	71	8	18	22	21	28
長谷川溪	60	41	36	32	25	27	14
茶山	54	90	16	38	63	26	14
草蘭溪	80	141	25	44	52	49	36
大埔橋	54	51	10	18	22	15	7
曾文水庫西岸	89	91	12	40	32	39	41

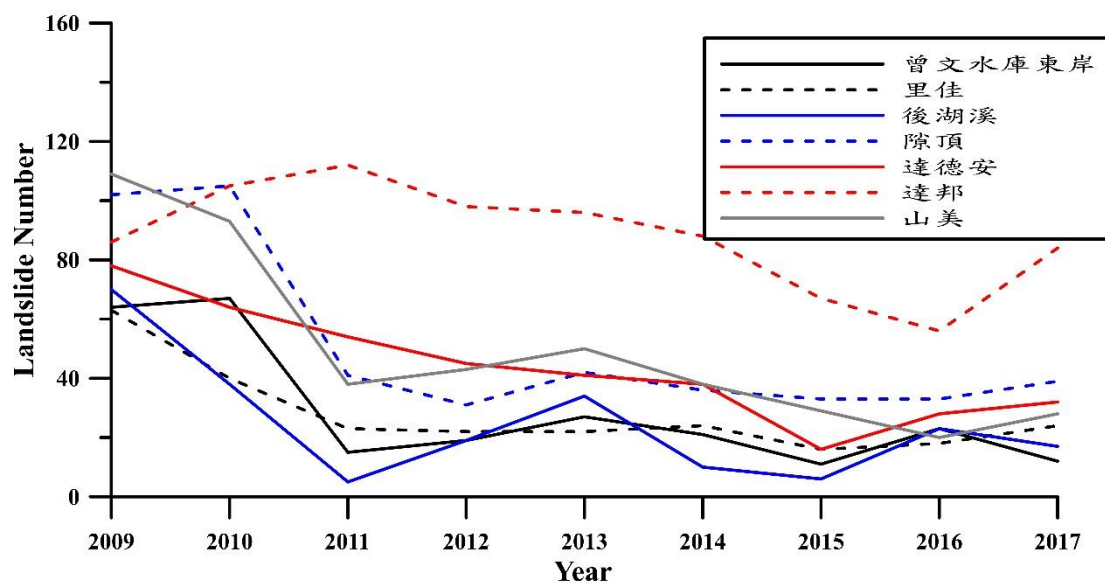


圖 3-4-2 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌個數分佈圖

表 3-4-4 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌個數彙整表

子集水區名稱	2016	2017	2018	2019	2020	平均
曾文水庫東岸	23	12	8	9	5	23.4
里佳	18	24	23	18	20	26.1
後湖溪	23	17	16	13	15	22.2
隙頂	33	39	31	30	24	45.6
達德安	28	32	26	25	20	38.9
達邦	56	84	75	65	60	82.6
山美	20	28	27	22	19	43.0
新美	23	38	33	29	26	47.3
沙力基溪	21	25	21	19	20	33.4
長谷川溪	25	26	22	20	15	28.6
茶山	12	23	20	18	16	32.4
草蘭溪	52	33	28	25	23	49.0
大埔橋	23	19	16	15	13	21.9
曾文水庫西岸	53	31	27	24	21	41.7

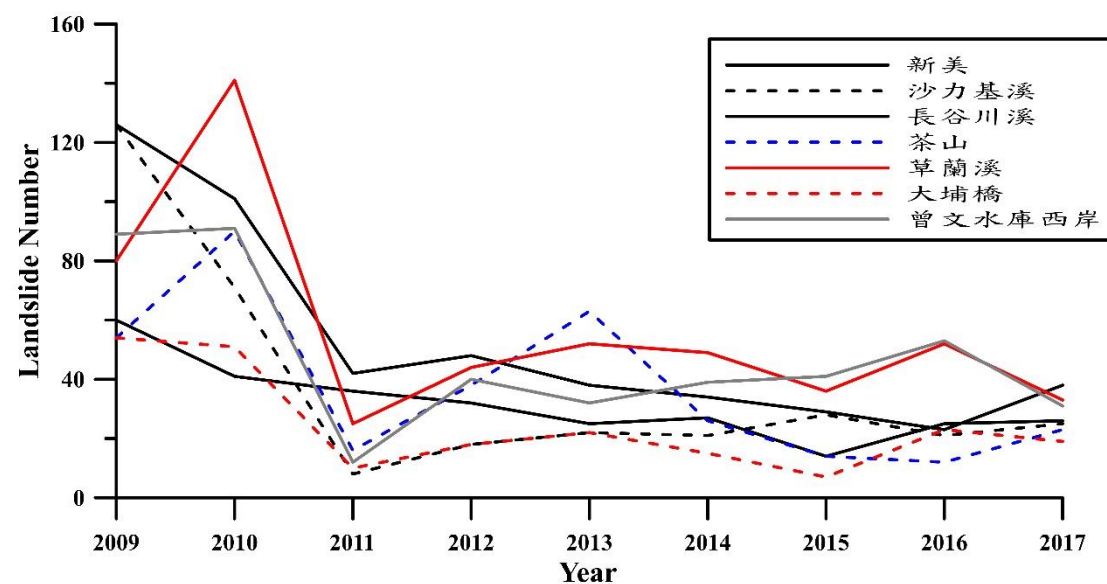


圖 3-4-3 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌個數分佈圖

表 3-4-5 曾文水庫集水區子集水區歷年大規模崩塌個數彙整表

子集水區名稱	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
曾文水庫東岸	0	0	0	0	0	0	0
里佳	1	1	0	0	0	0	0
後湖溪	1	0	0	0	0	0	0
隙頂	2	2	0	0	0	0	0
達德安	0	1	0	0	0	0	0
達邦	5	3	3	1	1	1	1
山美	3	1	0	0	0	0	0
新美	4	0	0	0	0	0	0
沙力基溪	0	0	0	0	0	0	0
長谷川溪	2	2	2	1	1	1	0
茶山	0	0	0	0	0	0	0
草蘭溪	1	1	0	0	0	1	0
大埔橋	1	0	0	0	0	0	0
曾文水庫西岸	2	1	0	0	0	1	0

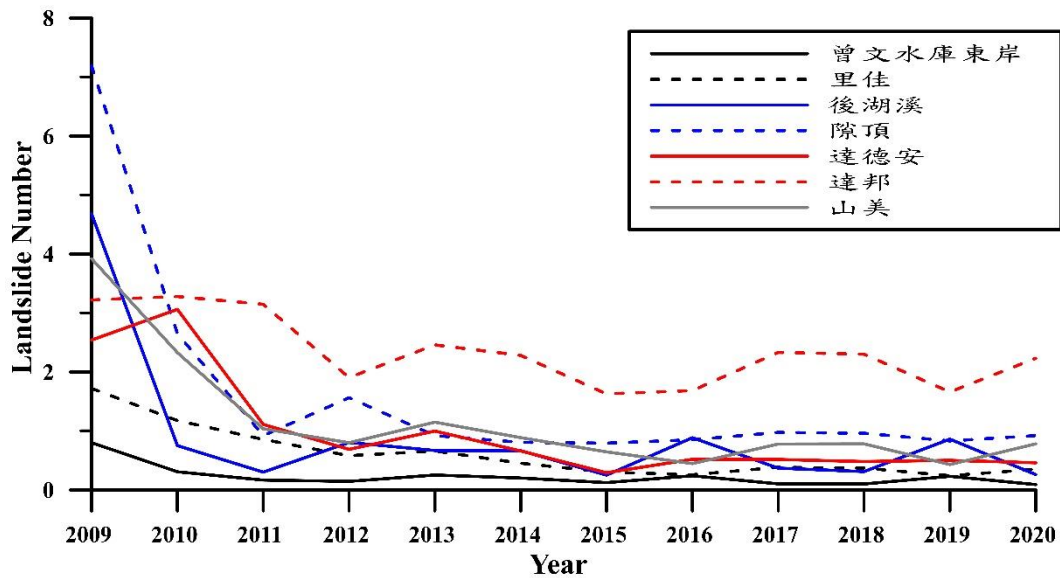


圖 3-4-4 曾文水庫集水區子集水區歷年大規模崩塌個數分佈圖

表 3-4-6 曾文水庫集水區子集水區歷年大規模崩塌個數彙整表

子集水區名稱	2016	2017	2018	2019	2020	平均
曾文水庫東岸	0	0	0	0	0	0.00
里佳	0	0	0	0	0	0.17
後湖溪	0	0	0	0	0	0.08
隙頂	0	0	0	0	0	0.33
達德安	0	0	0	0	0	0.08
達邦	1	2	2	1	2	1.92
山美	0	0	0	0	0	0.33
新美	0	0	0	0	0	0.33
沙力基溪	0	0	0	0	0	0.00
長谷川溪	1	1	1	1	1	1.00
茶山	0	0	0	0	0	0.00
草蘭溪	0	0	0	0	0	0.25
大埔橋	0	0	0	0	0	0.08
曾文水庫西岸	0	0	0	0	0	0.33

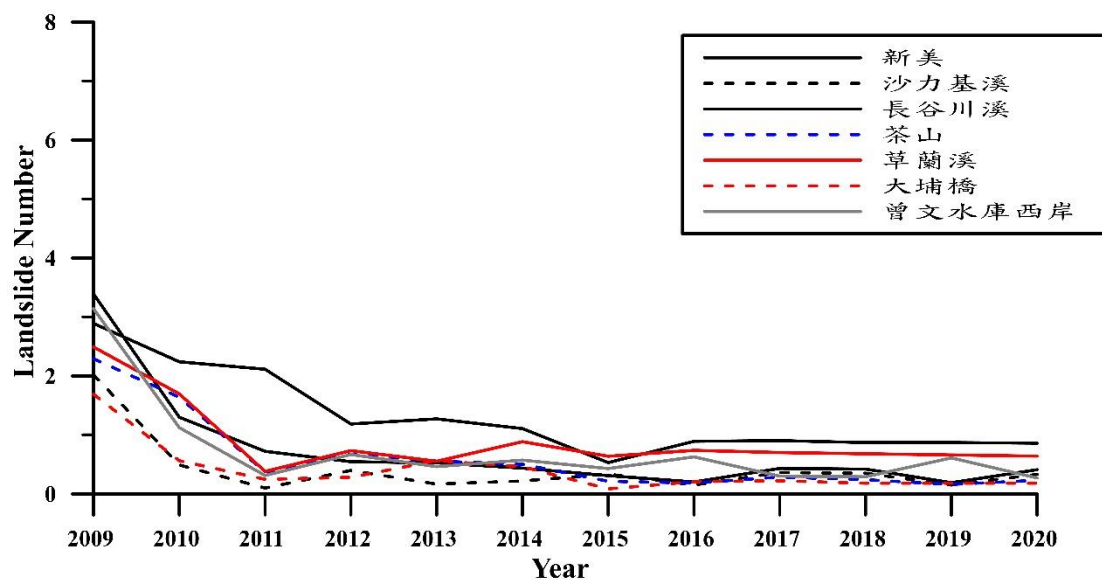


圖 3-4-5 曾文水庫集水區子集水區歷年大規模崩塌個數分佈圖

表 3-4-7 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌面積彙整表

子集水區名稱	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
曾文水庫東岸	0.44	0.17	0.09	0.08	0.14	0.11	0.07
里佳	0.55	0.37	0.27	0.18	0.21	0.14	0.10
後湖溪	0.7	0.11	0.05	0.12	0.10	0.10	0.04
隙頂	2.36	0.87	0.30	0.51	0.30	0.26	0.26
達德安	0.82	0.99	0.36	0.22	0.32	0.21	0.09
達邦	1.48	1.51	1.45	0.88	1.13	1.05	0.75
山美	1.35	0.80	0.36	0.27	0.39	0.30	0.22
新美	1.48	0.57	0.32	0.24	0.23	0.19	0.14
沙力基溪	0.94	0.23	0.05	0.18	0.08	0.10	0.16
長谷川溪	0.83	0.64	0.60	0.34	0.36	0.32	0.15
茶山	0.56	0.40	0.09	0.17	0.14	0.12	0.05
草蘭溪	0.75	0.51	0.11	0.22	0.17	0.27	0.19
大埔橋	0.37	0.12	0.05	0.06	0.12	0.10	0.02
曾文水庫西岸	1.31	0.47	0.13	0.28	0.19	0.24	0.18

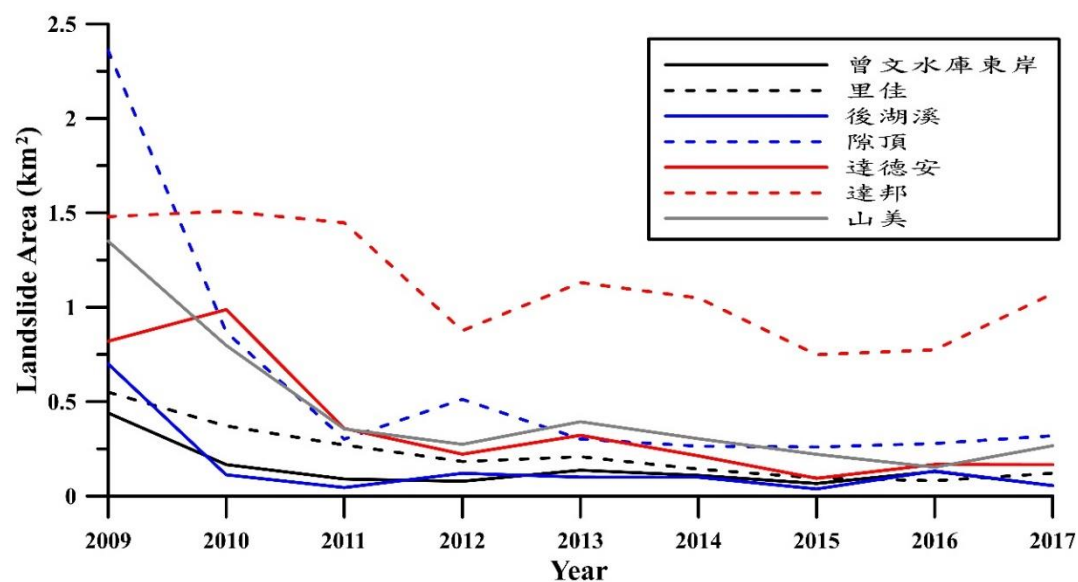


圖 3-4-6 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌面積分佈圖

表 3-4-8 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌面積彙整表

子集水區名稱	2016	2017	2018	2019	2020	平均
曾文水庫東岸	0.13	0.06	0.05	0.12	0.05	0.13
里佳	0.08	0.12	0.12	0.08	0.11	0.19
後湖溪	0.13	0.06	0.05	0.13	0.04	0.14
隙頂	0.28	0.32	0.31	0.27	0.30	0.53
達德安	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.32
達邦	0.77	1.07	1.06	0.76	1.03	1.08
山美	0.15	0.27	0.27	0.15	0.27	0.40
新美	0.09	0.19	0.18	0.08	0.18	0.32
沙力基溪	0.07	0.17	0.16	0.07	0.15	0.20
長谷川溪	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.38
茶山	0.05	0.07	0.06	0.04	0.06	0.15
草蘭溪	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.27
大埔橋	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.09
曾文水庫西岸	0.26	0.13	0.12	0.25	0.11	0.31

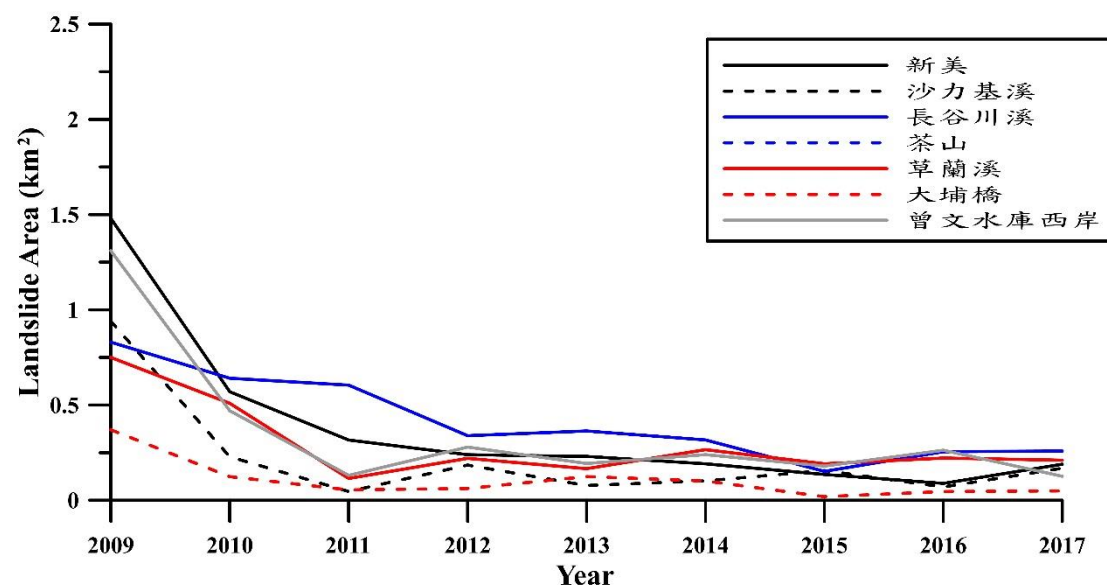


圖 3-4-7 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌面積分佈圖

表 3-4-9 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌率彙整表

子集水區名稱	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
曾文水庫東岸	0.80	0.31	0.17	0.14	0.25	0.20	0.12
里佳	1.72	1.17	0.86	0.58	0.66	0.45	0.30
後湖溪	4.68	0.75	0.30	0.80	0.67	0.66	0.25
隙頂	7.19	2.65	0.92	1.56	0.92	0.81	0.79
達德安	2.54	3.06	1.11	0.69	1.00	0.66	0.29
達邦	3.22	3.28	3.15	1.90	2.46	2.28	1.63
山美	3.92	2.33	1.04	0.80	1.15	0.89	0.64
新美	3.39	1.30	0.72	0.55	0.53	0.44	0.31
沙力基溪	2.02	0.49	0.10	0.40	0.17	0.22	0.34
長谷川溪	2.89	2.24	2.11	1.19	1.27	1.11	0.53
茶山	2.29	1.64	0.37	0.67	0.56	0.50	0.21
草蘭溪	2.49	1.70	0.38	0.73	0.55	0.88	0.64
大埔橋	1.69	0.56	0.25	0.28	0.56	0.46	0.09
曾文水庫西岸	3.14	1.12	0.31	0.67	0.46	0.57	0.43

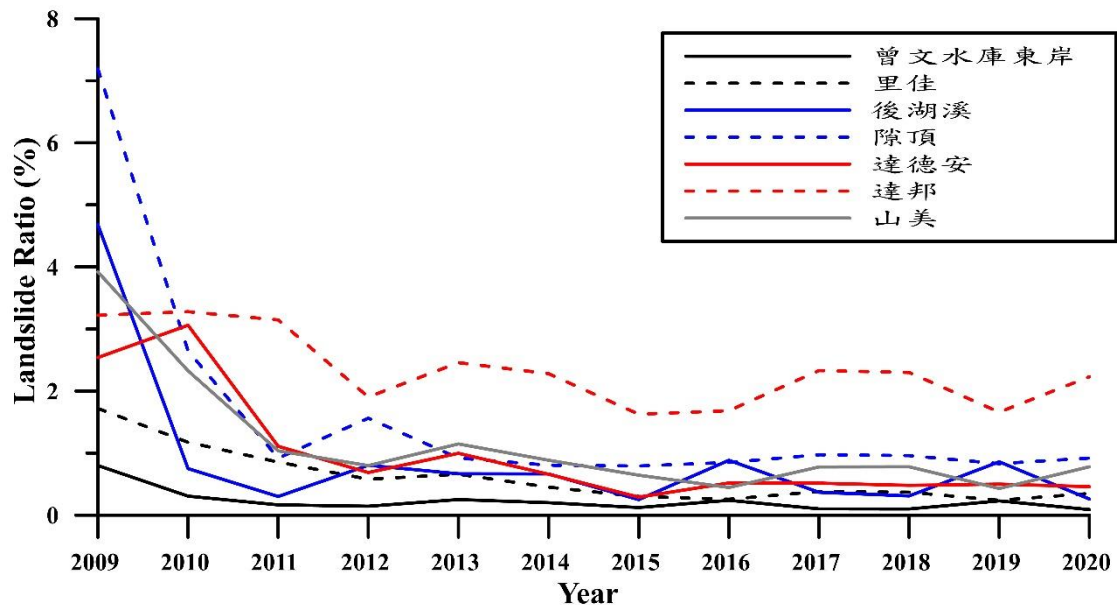


圖 3-4-8 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌率分佈圖

表 3-4-10 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌率彙整表

子集水區名稱	2016	2017	2018	2019	2020	平均
曾文水庫東岸	0.24	0.10	0.10	0.23	0.09	0.23
里佳	0.26	0.38	0.37	0.24	0.35	0.61
後湖溪	0.88	0.37	0.31	0.86	0.26	0.90
隙頂	0.85	0.97	0.96	0.83	0.92	1.61
達德安	0.52	0.52	0.48	0.50	0.46	0.99
達邦	1.68	2.33	2.30	1.66	2.23	2.34
山美	0.45	0.78	0.78	0.43	0.78	1.17
新美	0.20	0.43	0.42	0.19	0.41	0.74
沙力基溪	0.15	0.36	0.35	0.15	0.33	0.42
長谷川溪	0.89	0.90	0.87	0.87	0.86	1.31
茶山	0.18	0.29	0.24	0.16	0.23	0.61
草蘭溪	0.74	0.70	0.68	0.66	0.64	0.90
大埔橋	0.21	0.22	0.18	0.18	0.18	0.41
曾文水庫西岸	0.63	0.30	0.29	0.61	0.27	0.73

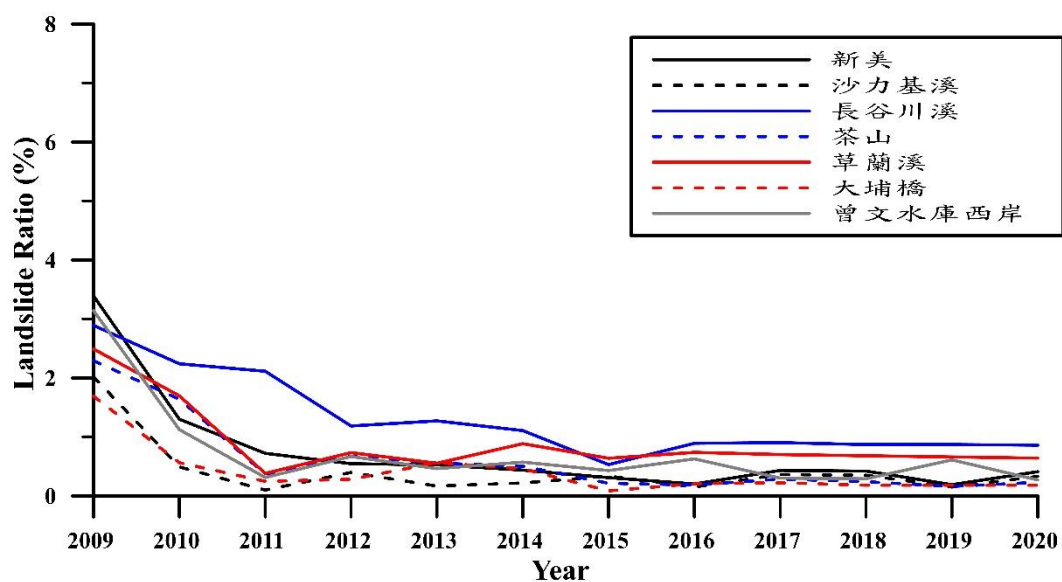


圖 3-4-9 曾文水庫集水區子集水區歷年崩塌率分佈圖

第五節 曾文水庫集水區河川縱剖面與支流交匯口高程變化

本節說明曾文水庫集水區河川長期土砂淤積情況，並以主流及各支流匯流口高程變化為主。歷經 2009 年莫拉克颱風風災，土砂淤積在河川及交匯口是河川地貌上最主要的改變，而土砂淤積也會造成河川型態趨向蜿蜒發展，並導致更多河岸崩塌發生。本研究針對此工作項目的執行方式如下：

一、選定預備分析的主流河段及各支流交匯口位置。

二、主流河段的土砂淤積分析，將以全主流河段為主，並以每 100m 一個斷面點的方式，將主流區分為若干的高程擷取點。支流與主流交匯口則選定特定交匯口，並以該交匯口往上下游各 500m 區域內，在此區域內以每 10m 一個斷面點的方式，將位於交匯口內的河段分為若干的高程擷取點。

三、本研究採用的數值高程資料有三版，分別為 2004 年由內政部製作的 5mDEM、2010 年至 2012 年間由中央地調所製作的 1mDEM 及 2016 年由內政部製作的 20mDEM，以上述三版 DEM 資料為底，分析上述主流河段與支流交匯口區域內在不同時期的土砂淤積造成河川地貌上的改變。

本研究目前選定的主流跟支流交匯口如圖 3-5-1 所示，主流設定為由河段進入庫區為起點，至最上游支流交匯口為終點。目前本研究

設定的主流總長度約為 32.65 km，以每 10m 設一個斷面點，則主流共可擷取 3265 個斷面點。而在支流與主流之交匯口設定，本研究除選擇支流交匯口以外，也增加選擇具有大量河岸崩塌的重點分析區域河段，全部共選擇八處重點分析區位，八處區位位置與說明如圖 3-5-1。編號 1 的重點分析區域河段為長谷川溪子集水區與達邦子集水區匯入口，這兩各子集水區在 2009 年莫拉克颱風後，都有接近或超過 3.0%崩塌率，代表有大量土砂匯入；編號 2 為大量河岸崩塌且凹岸地區，編號 3 至 8 皆為子集水區具有大量崩塌之溪流匯入口。

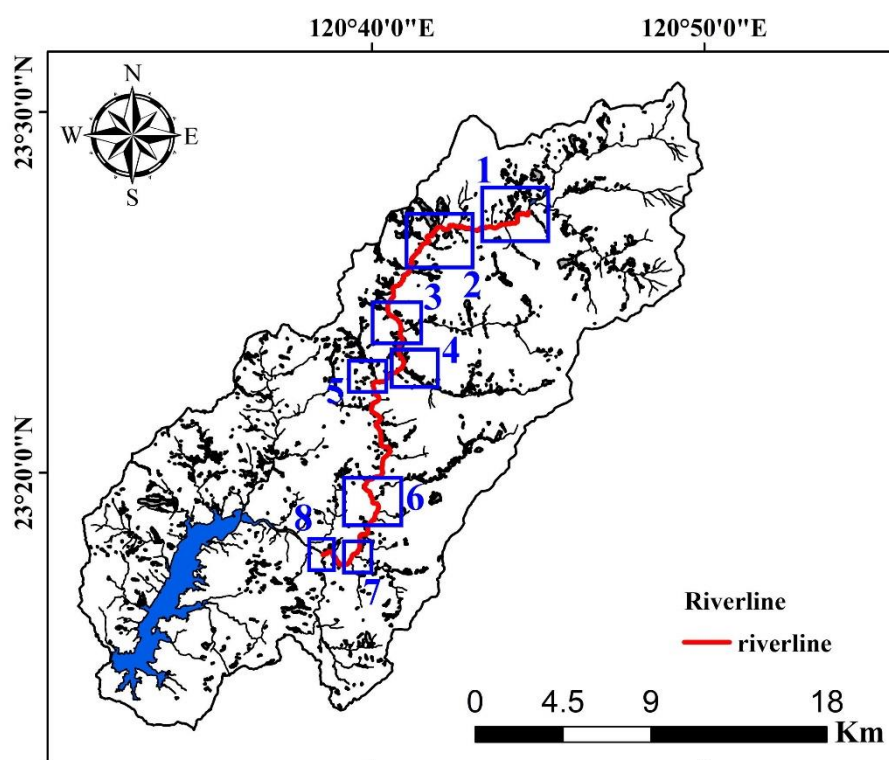


圖 3-5-1 曾文水庫集水區主流及支流交匯口分析位置

在集水區主流歷年縱剖面高程變化差異分析上，圖 3-5-2 為集水區主流在 3 種不同年份數值高程模型之分佈結果，本研究採用的 2004 年由內政部製作的 5mDEM 代表 2009 年莫拉克颱風發生前的河川縱剖面地形，採用 2010 年至 2012 年間由中央地調所製作的 1mDEM 代表 2009 年莫拉克颱風發生後的河川縱剖面地形，採用 2016 年由內政部製作的 20mDEM 代表 2009 年莫拉克颱風發生約 6 年後的河川縱剖面地形。

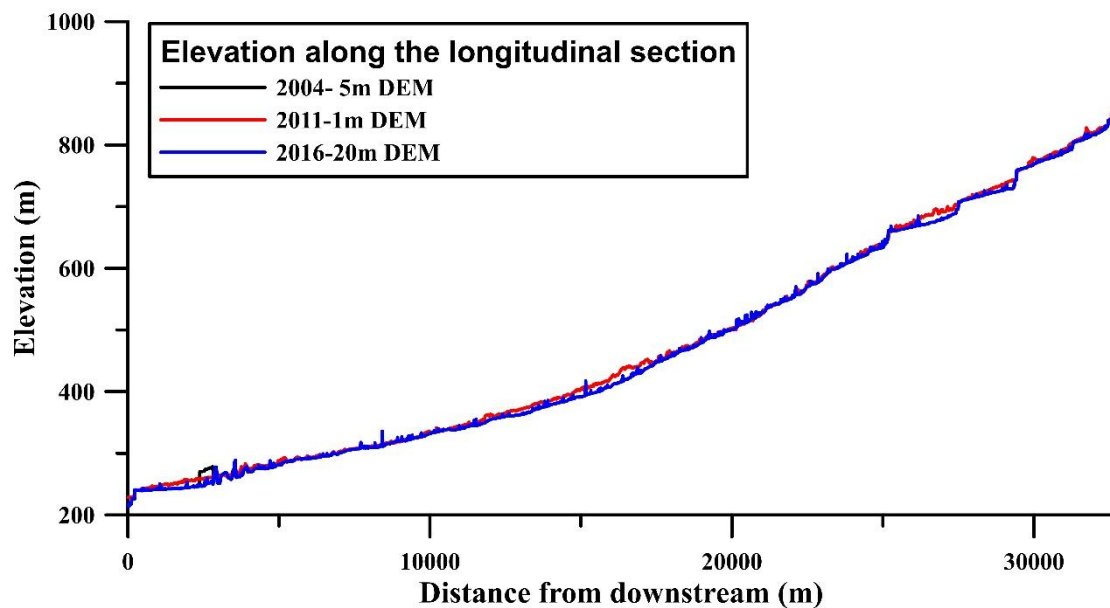


圖 3-5-2 曾文水庫集水區河川歷年縱剖面高程分佈圖

本研究提出幾點分析結論：

- 一、以全河段在 2009 年莫拉克颱風前後的河川縱剖面地形差異而言，莫拉克颱風發生後河川縱剖面地形平均抬升約 4.6m。但

只要位於具有大量崩塌的子集水區匯入主流位置或河岸兩旁具有大量崩塌產生的河段，該河段的平均淤積深度就會明顯超過 5m 以上，例如長谷川溪子集水區與達邦子集水區匯入口前 100m 河段的平均淤積深度為 8.3m，圖 3-5-1 之編號 2 重點分析區域的平均淤積深度為 5.8 m。此點顯示具有大量崩塌的支流匯入口跟具有大量河岸崩塌的河段是值得注意的區域。

二、以 2009 年莫拉克颱風前發生後跟發生 6 年後河川縱剖面地形差異，全河段平均下刷 4.4m，代表因為莫拉克颱風造成的河川大量淤積也在 2010 年至 2016 年間逐漸被帶往下游，仍有部分區域仍屬於河川淤積的情況，這些區域以上述具有大量崩塌的支流匯入口跟具有大量河岸崩塌的河段為主，例如長谷川溪子集水區與達邦子集水區匯入口前 100m 河段在這段分析時間的平均下刷深度為 7.9m，因此仍有約 0.4m 淤積量在河川縱剖面上。圖 3-5-1 之編號 2 重點分析區域在這段分析時間的平均下刷深度為 5.6 m，因此仍有約 0.2 m 淤積量在河川縱剖面上。

三、若以 2016 年 20mDEM 與 2004 年 5mDEM 比對，也代表以莫拉克颱風發生 6 年後地形與莫拉克颱風前發生地形比對，全河段平均淤積深度為 0.2m，明顯淤積河段都位於有大量崩塌的支流匯入口、具有大量河岸崩塌的河段跟彎曲河段處。

表 3-5-1 主流河段流經該子集水區的長度與各年度地形起伏統計表

子集水區	達德安	隙頂	山美
河段長度(km)	5.36	9.01	3.73
2004 VS 2011	4.93	3.74	10.62
2011 VS 2016	-4.43	-2.95	-10.08
2004 VS 2016	0.50	0.80	0.54
子集水區	新美	茶山	草蘭溪
河段長度(km)	8.46	3.82	2.26
2004 VS 2011	3.60	1.55	6.80
2011 VS 2016	-3.22	-4.09	-6.41
2004 VS 2016	0.39	-2.54	0.39

備註：2004 代表使用 2004 年 5mDEM，2011 代表使用 2011 年 1mDEM，2016 代表使用 2016 年 20mDEM。2004 VS 2011 代表以 2011 年 1mDEM 高程減 2004 年 5mDEM 高程，正值代表淤積，負值代表沖刷。

表 3-5-1 則為主流河段流經該子集水區的長度與各年度地形起伏統計。主流河段流經 6 個子集水區，比對 2009 年發生前後的河川地形起伏，6 個子集水區僅有茶山子集水區的河川地形起伏小於 2.0m 以外，其餘子集水區的河川地形起伏都超過 3.6m 以上。但若以 2016 年 20mDEM 與 2004 年 5mDEM 比對，中上游子集水區的河川地形起伏仍有 0.5m 以上的淤積量。

表 3-5-2 重點分析河段各年度地形起伏統計表

重點分析河段	1	2	3	4
2004 VS 2011	4.04	5.68	4.06	14.96
2011 VS 2016	-3.58	-5.01	-3.33	-14.77
2004 VS 2016	0.45	0.68	0.72	0.20
重點分析河段	5	6	7	8
2004 VS 2011	9.35	1.40	0.61	3.62
2011 VS 2016	-9.08	-1.18	-10.27	-3.24
2004 VS 2016	0.26	0.22	-9.66	0.37

備註：重點分析河段編號比對圖 3-5-1。

表 3-5-2 則為各重點分析區段歷年河川縱剖面地形起伏情況，由於本研究選的八個重點分析河段都是屬於具有大量土砂匯入的支流匯入點或大量河岸崩塌發生河段，因此即便以 2016 年 20mDEM 與 2004 年 5mDEM 比對，地形起伏量仍相當明顯，尤其在上游的重點分析河段編號 1 至 3，地形起伏量仍超過 0.45m 以上。

第四章 關鍵治理子集水區崩塌特性

本章說明工作項目三：「以曾文水庫集水區研究區域，進行長期崩塌活躍性與崩塌時空熱區找尋。」之進行方式跟內容，4.1 節說明工作項目三(一)：「以 2009 年至 2020 年崩塌資料，進行曾文水庫集水區內之崩塌活躍性分析，並說明不同活躍性分佈位置及特性。」，4.2 節說明工作項目三(二)：「以 2009 年至 2020 年崩塌資料，進行曾文水庫集水區內崩塌時空熱區分析，說明不同熱區分佈位置及特性。」

第一節 崩塌活躍性評估說明

當有多期崩塌目錄可提供分析時，崩塌活躍性是一個經常被拿來檢視崩塌在時空上分佈特性的指標，多份研究 (Hervás and Montanarella, 2007; Yang et al., 2017; Shafique, 2020) 都曾以一個分析網格在多期崩塌目錄中出現幾次的頻率來判斷崩塌活躍性。國際相關文獻曾以一個經歷過強烈地震或豪雨所誘發崩塌事件，以多期崩塌目錄方式來判斷該地區在數年過後的崩塌活躍性起伏，藉此瞭解當地的崩塌是否已經趨於緩和，這也是本研究想用此研究方式探討曾文水庫集水區在 2009 年誘發的崩塌地是否已經趨於緩和的主因。

Yang et al.(2017)針對中國汶川地震誘發的崩塌地以多期崩塌目錄分析崩塌活躍度，該研究作法也是以 2008 年汶川地震後的崩塌圖層為主，並比對 2009、2011 及 2013 年等三期崩塌目錄，在全部四期

崩塌目錄中，越接近近期出現的崩塌被視為非常活躍(very active)及逐漸活躍(increasingly active)，例如該篇研究對非常活躍的判別定義是「2008、2009、2011、2013 等四期都必須要被判釋為崩塌」，對逐漸活躍的判別定義是「在 2008 與 2009 不論有無被判釋為崩塌，但在 2011 及 2013 都被判釋為崩塌」，若全部四期崩塌目錄中都未被判釋為崩塌的網格則視為「無崩塌(no landslide)」，除去以上三種情況，剩餘的崩塌判釋情況都被認定為「其他(others)」。

另外在 Shafique(2020)的研究中共有五期崩塌目錄，包含 2005 年、2010 年、2014 年、2016 年及 2018 年等，該研究將崩塌活躍性以五種等級區分，包含極度活躍(extreme active)、非常活躍(very active)、活躍(active)、休眠(Dormant)、不活躍(inactive)等五種，極度活躍(extreme active)的判別方式是分析網格在全部五期崩塌目錄內都被判釋為崩塌的網格，非常活躍的判別方式是分析網格在 2014 年、2016 年及 2018 年等最後三期都曾被判釋為崩塌；活躍的判別方式是分析網格在 2016 年及 2018 年都曾被判釋為崩塌，或單在 2018 年被判釋為崩塌；休止的判別方式是分析網格在 2005 年、2010 年、2014 年及 2016 年等四期崩塌目錄中曾被判釋為崩塌一次或多次，但在 2018 年卻未被判釋為崩塌；不活躍的判別方式是分析網格在 2005 年曾被判釋為崩塌，但在後續四期中都未曾被判釋為崩塌。由此判釋方式可瞭解該

研究對崩塌活躍性的判釋方式帶有時間概念，越近期出現的崩塌代表越活躍。吳俊鉉等(2020)延續如此理念也提出判斷活躍性的方式，並且應用於南投縣信義鄉和社溪集水區，分析該集水區長期崩塌活躍性分佈。

鑑於上述各文獻的作法，本研究考量曾文水庫集水區之使用崩塌圖層介於 2009 年至 2020 年之間，提出崩塌活躍性評估方式如下：

一、以 2009 年至 2020 年崩塌資料，先分析各年度與 2009 年崩塌資料相比，區分出已復育崩塌地、尚未復育崩塌地及新崩塌地等三類，並評估各年度三類崩塌地之面積。

二、提出崩塌活躍性評估方式，並以曾文水庫集水區由 2009 年至 2020 年崩塌資料，分別評估水庫集水區內屬於各種活躍性的區域及數據。

曾文水庫集水區已復育、尚未復育及新崩塌地數據如表 4-1-1 所示，以已復育及未復育崩塌統計數據而言，2009 年莫拉克產生的崩塌地在集水區內的復育情況，颱風後 1 年及 2 年(2010 年至 2011 年)內約復育 64%及 80%，颱風後 3 年至 5 年間(2012 年至 2014 年)約復育至 85%，颱風後 6 年至 11 年間(2015 年至 2020 年)約復育至 87.2%至 88.6%之間。且在這段時間內，復育崩塌地的總面積已達上限，連續數年復育百分比都維持在 87%至 88%之間，這也代表發生嚴重崩塌

的集水區即便在長年復育情況下，復育仍有上限，並無法達到完全復育。

以 2009 年莫拉克後的新崩塌而言，颱風後 2 年內(2010 年至 2011 年)約有 10.5%至 16.6%的新崩塌產生，颱風後 3 年至 5 年間(2012 年至 2014 年)，新崩塌產生百分比約在 10.0%以下。颱風後 6 年至 11 年間(2015 年至 2020 年)，新崩塌產生百分比約在 5.9%至 10.0%。

表 4-1-1 曾文水庫集水區已復育、未復育跟新崩塌統計表

年份	已復育		未復育		新崩塌	
	面積 (km ²)	百分比 (%)	面積 (km ²)	百分比 (%)	面積 (km ²)	百分比 (%)
2010	8.9	64.0	5.0	36.0	2.3	16.6
2011	11.1	80.2	2.8	19.8	1.5	10.5
2012	11.3	81.3	2.6	18.7	1.2	8.4
2013	11.4	81.9	2.5	18.1	1.4	9.8
2014	11.6	83.5	2.3	16.5	1.2	8.8
2015	12.3	88.6	1.6	11.4	0.8	5.9
2016	12.1	87.2	1.8	12.8	0.9	6.6
2017	12.2	87.5	1.7	12.5	1.4	10.0
2018	12.21	87.9	1.69	12.1	1.34	9.6
2019	12.16	87.5	1.74	12.5	0.87	6.2
2020	12.26	88.2	1.64	11.8	1.28	9.2

比對前述降雨資料分析，根據表 3-1-11 數據，2010 年及 2011 年兩年間較大的颱風或豪雨事件之有效降雨指標僅約 353.7 至 362.6，約為 2009 年莫拉克颱風期間最大有效降雨指標的 21.1%至 21.7%，

這代表在極端降雨事件誘發大量崩塌的集水區，在後續幾年會產生崩塌誘發門檻值降低的現象。

本研究比對 2010 年、2013 年、2017 年及 2020 年崩塌圖層，分析已復育、尚未復育及新崩塌的分佈情況，如圖 4-1-1 至 4-1-4 所示。就上述圖資發現，尚未復育及新崩塌的崩塌地都集中在大規模崩塌、蝕溝或彎曲河道兩岸為主，隨距離 2009 年莫拉克颱風發生時間越久，尚未復育及新崩塌，會集中在上述三個區域。由 2020 年的崩塌復育情況也可發現：最難復育子集水區是最上游的長谷川及達邦子集水區。

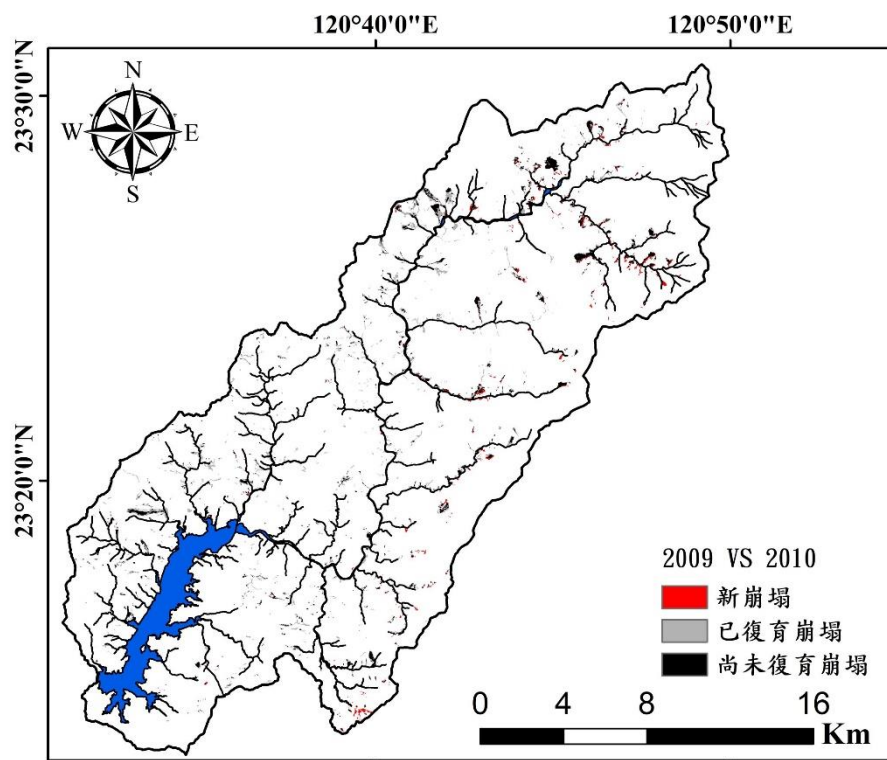


圖 4-1-1 曾文水庫集水區 2009 年比對 2010 年崩塌分佈圖

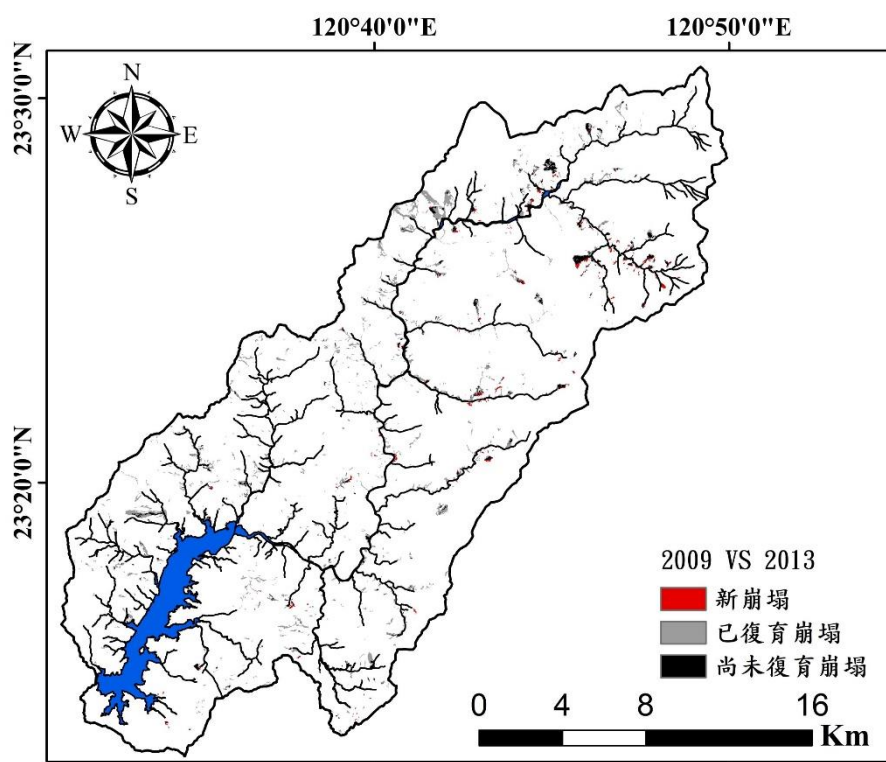


圖 4-1-2 曾文水庫集水區 2009 年比對 2013 年崩塌分佈圖

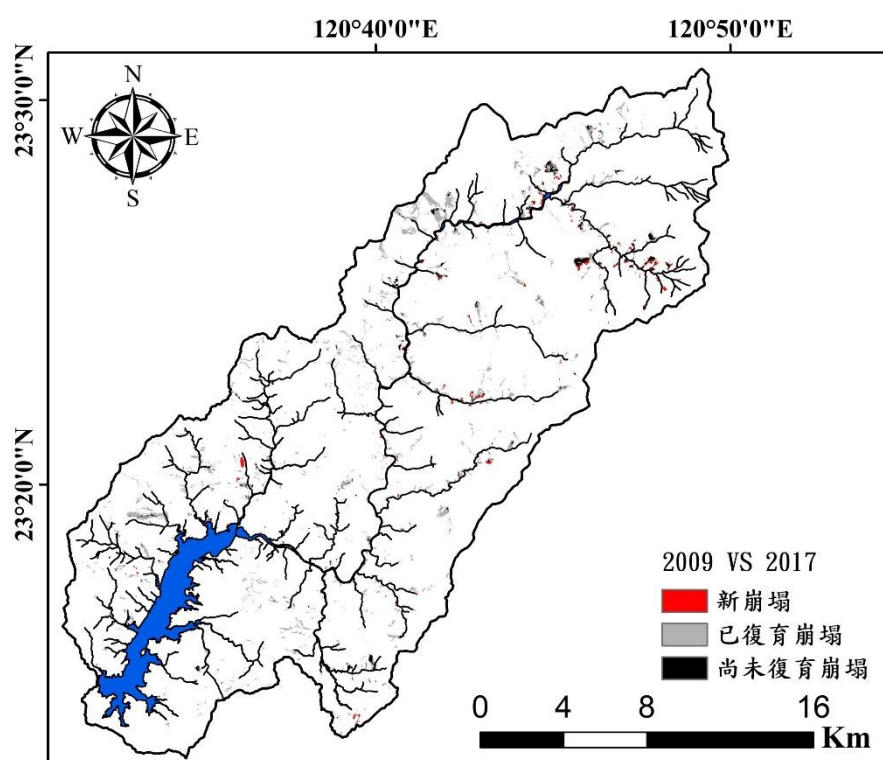


圖 4-1-3 曾文水庫集水區 2009 年比對 2017 年崩塌分佈圖

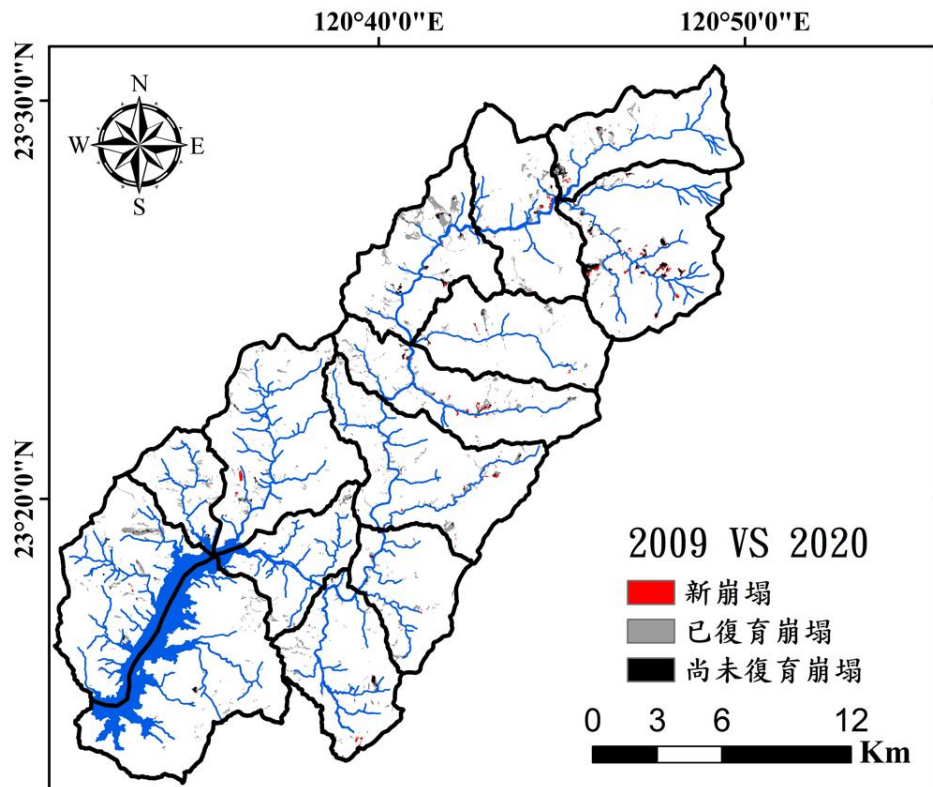


圖 4-1-4 曾文水庫集水區 2009 年比對 2020 年崩塌分佈圖

本研究對於曾文水庫集水區之崩塌活躍性評估方式如表 4-1-2 及圖 4-1-4，各種崩塌活躍性分佈圖如圖 4-1-5 至 4-1-8 及表 4-1-3 所示。

表 4-1-2 崩塌活躍性判斷標準

活躍性	判斷標準
極度活躍	網格在全部年份(2009 年至 2020 年)都被判釋為崩塌
非常活躍	網格在倒數五年中(2016 年至 2020 年)都被判釋為崩塌
活躍	網格在倒數三年中(2018 年至 2020 年)被判釋為崩塌
休眠	網格在 2009 至 2013 年(前五年)曾被判釋為崩塌一次或多次，但在 2014 年至 2020 年未被判釋為崩塌。
不活躍	網格在 2009 至 2011 年(前三年)曾被判釋為崩塌一次或多次，但在 2012 年至 2020 年未被判釋為崩塌。

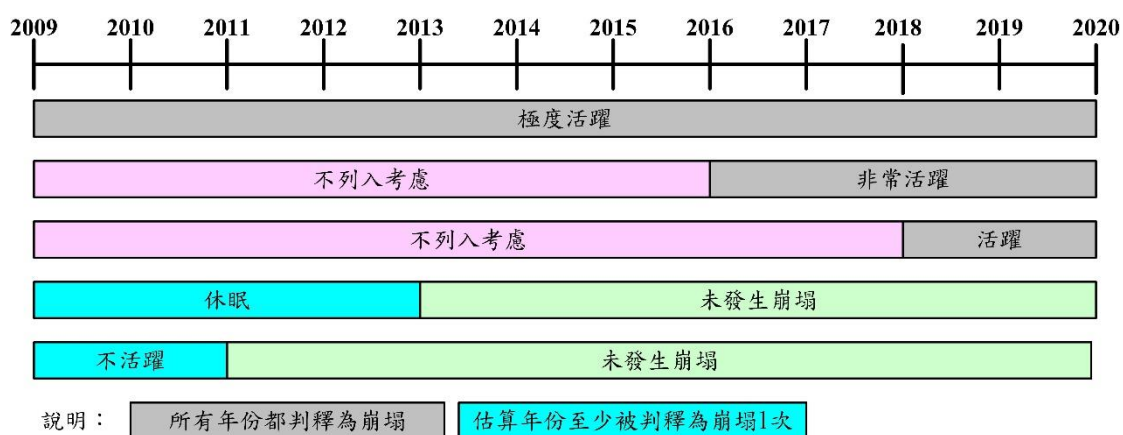


圖 4-1-5 崩塌活躍性判斷示意圖

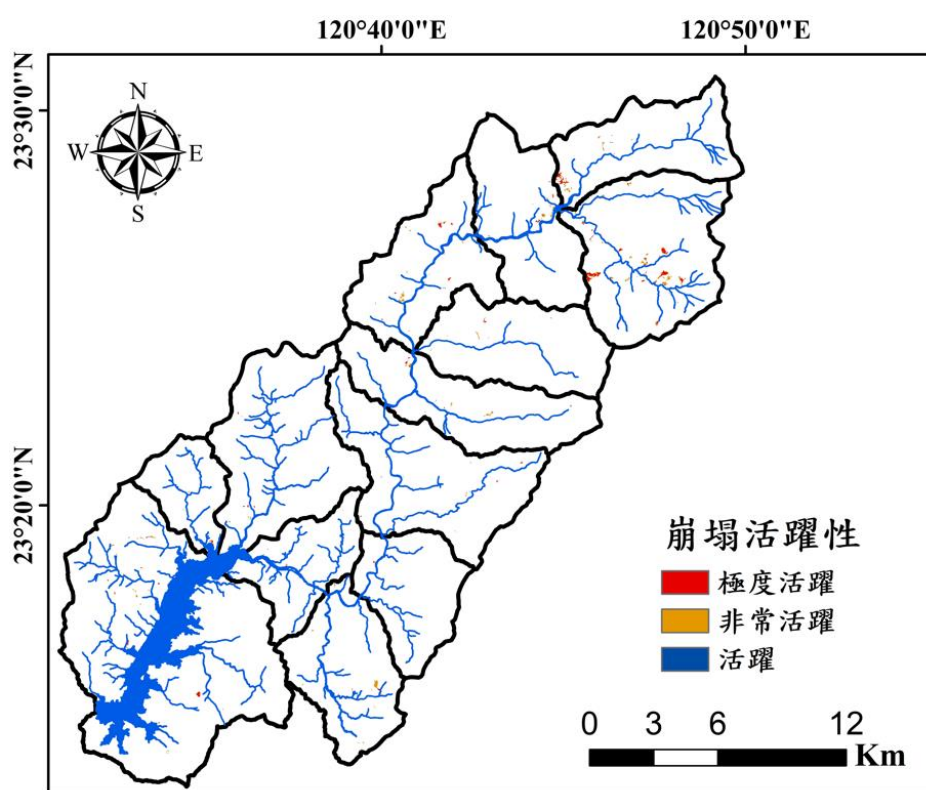


圖 4-1-6 曾文水庫集水區極度活躍、非常活躍及活躍崩塌分佈圖

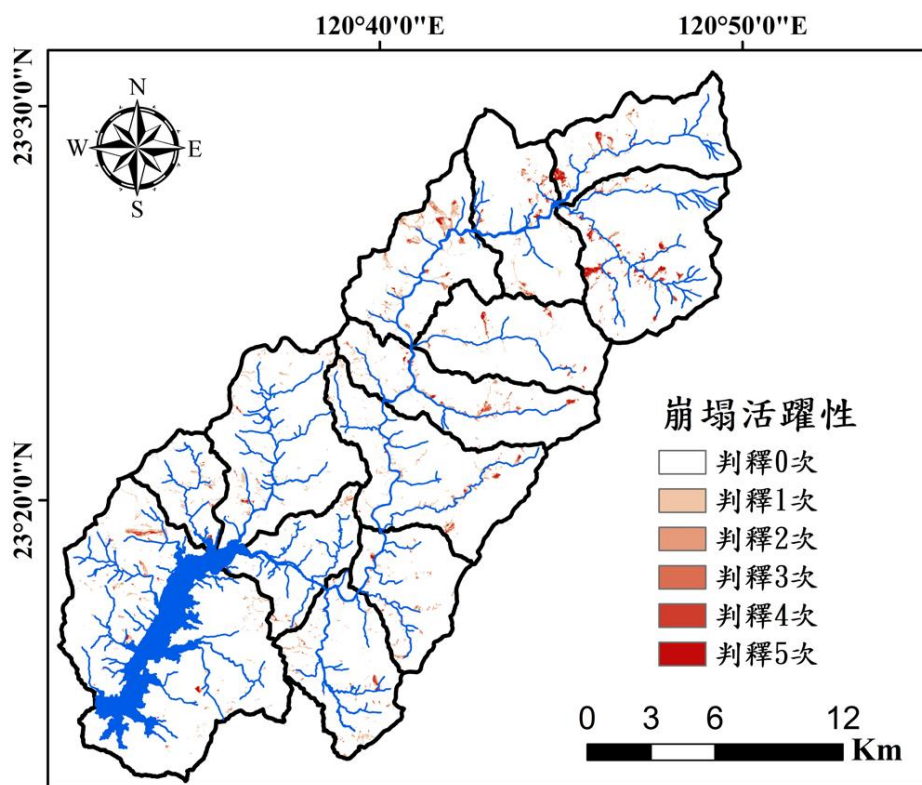


圖 4-1-7 曾文水庫集水區休眠崩塌分佈圖

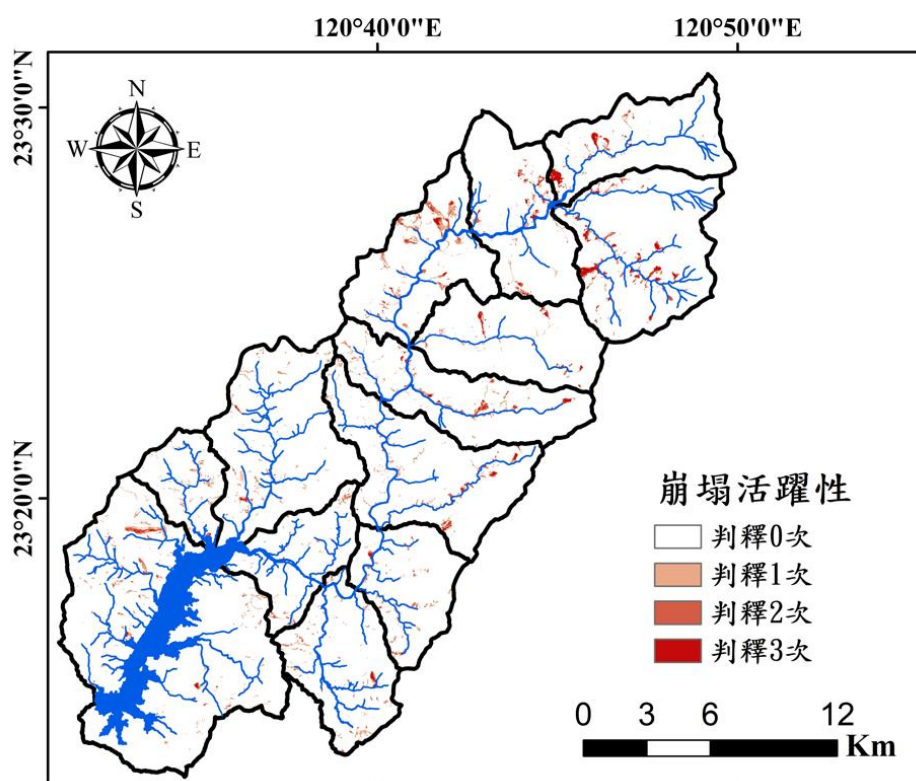


圖 4-1-8 曾文水庫集水區不活躍崩塌分佈圖

表 4-1-3 曾文水庫集水區活躍性評估統計表

集水區	全集水區	曾文水庫 東岸	里佳	後湖溪	隙頂
極度活躍	52.6	2.7	1.1	1.1	3.9
非常活躍	142.1	4.2	3.1	3.4	13.3
活躍	148.4	4.3	3.3	3.6	13.9
休眠	1303.7	41.1	52.8	61.0	203.3
不活躍	1135.1	36.8	42.3	56.1	181.7
集水區	達德安	達邦	山美	新美	沙力基溪
極度活躍	1.9	26.4	1.9	1.1	1.2
非常活躍	8.3	57.2	7.5	4.5	3.3
活躍	8.6	59.0	8.1	4.9	3.5
休眠	99.9	115.6	146.4	150.6	86.9
不活躍	82.1	93.9	125.3	137.8	81.6
	長谷川溪	茶山	草蘭溪	大埔橋	曾文水庫 西岸
極度活躍	6.9	1.0	1.3	0.2	1.9
非常活躍	15.3	1.4	10.5	1.1	9.0
活躍	16.0	1.6	10.9	1.2	9.5
休眠	66.3	64.8	73.7	34.8	106.7
不活躍	53.8	51.9	67.6	28.9	95.4

備註：面積單位為公頃。

崩塌活躍性分析結果，本研究分為以下幾點論述：

- 一、單以最難復育的極度活躍崩塌地分佈而言，全集水區約有 52.6 公頃公頃屬於極度活躍崩塌地，其中又有 40.2 公頃(約佔 76.2%)位於上游集水區內，達邦、長谷川溪跟隙頂則是

具有極度活躍崩塌地面積前三大的子集水區，也剛好都位於曾文水庫集水區內水系最上游的前四個內。而進入中游至下游的子集水區內，極度活躍崩塌地面積多數都小於 2.0 公頃以下，此點說明上游集水區所匯集流量無法有效消化土砂產量是上游集水區極度崩塌地偏多的主因。

二、若以屬於活躍崩塌地的極度活躍、非常活躍及活躍三種崩塌活躍性等級的數據而言，三種崩塌活躍性崩塌地總面積約為 343.3 公頃，且位於上游的子集水區就包含 238.2 公頃(佔 69.4%)，以其分佈而言，長谷川溪及達邦子集水區以廣泛分佈為主，但在達得安及隙頂子集水區則以分佈在河川兩岸為主。

三、以休眠及不活躍兩種崩塌活躍性等級的數據而言，兩種總面積約為 2438.8 公頃，分佈區域則以全集水區廣泛分佈為主，但仍看得出在較接近庫區的子集水區有較多休眠及不活躍崩塌的分佈，尤其在曾文水庫西岸、曾文水庫東岸、草蘭溪等子集水區內。

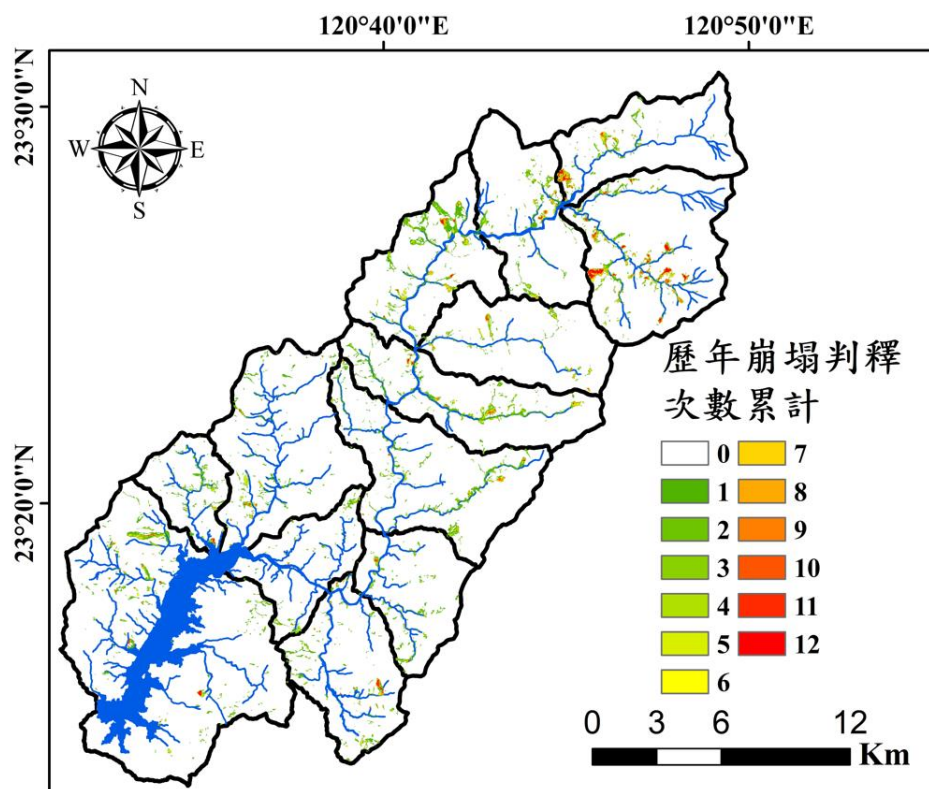


圖 4-1-9 曾文水庫集水區歷年崩塌判釋累積次數

本研究累計由 2009 年至 2020 年的崩塌圖層，以每年被列入崩塌圖層就視為判釋一次，則累計 12 年的崩塌圖層，估算各網格被判釋為崩塌的次數，如圖 4-1-9、表 4-1-4 至表 4-1-6 所示。由資料顯示：判釋為崩塌次數越高的網格幾乎都分佈在長谷川溪、達邦、達得安及隙頂子集水區，其他各子集水區都以崩塌判釋次數較少的網格為主。全集水區約有 3.9%面積是曾被判釋為崩塌，且有 96.1%面積在 2009 年至 2020 年未曾被判釋為崩塌。

表 4-1-4 曾文水庫集水區歷年崩塌判釋累積次數統計表之一

次數	全集水區	曾文水庫東岸	里佳	後湖溪	隙頂
0	46203.9	5238.8	3073.6	1416.0	2990.7
1	977.7	35.2	32.4	54.2	148.5
2	294.5	10.7	13.1	9.3	46.5
3	162.4	5.0	8.4	4.4	16.4
4	95.7	2.1	5.9	2.7	11.0
5	78.1	2.2	4.1	2.1	7.6
6	59.6	1.1	3.5	1.5	7.5
7	44.4	0.7	2.0	1.2	7.5
8	37.3	0.4	1.7	0.8	5.3
9	36.8	0.3	2.6	0.5	3.4
10	26.8	0.3	0.9	0.5	2.0
11	28.5	0.4	0.7	0.7	1.2
12	52.6	2.7	1.1	1.1	3.9
平均	2.82	2.42	3.01	2.05	2.39

備註：面積單位為公頃。平均次數不納入 0 次計算。

表 4-1-5 曾文水庫集水區歷年崩塌判釋累積次數統計表之二

次數	達德安	達邦	山美	新美	沙力基溪
0	3089.1	4306.0	3221.5	4194.8	4530.0
1	64.8	79.5	108.5	117.3	76.4
2	26.7	33.7	31.4	25.2	13.1
3	14.5	25.6	20.6	16.0	5.1
4	7.8	16.9	11.4	6.1	4.9
5	6.7	18.0	6.1	5.4	6.7
6	4.1	13.4	4.9	4.2	1.8
7	2.5	11.4	4.5	2.8	1.3
8	2.5	11.5	2.4	2.4	0.8
9	1.8	13.5	2.8	1.9	1.0
10	1.1	10.3	2.4	1.3	0.8
11	1.2	10.8	1.7	1.2	0.4
12	1.9	26.4	1.9	1.1	1.2
平均	2.59	4.77	2.41	2.10	2.06

備註：面積單位為公頃。平均次數不納入 0 次計算。

表 4-1-6 曾文水庫集水區歷年崩塌判釋累積次數統計表之三

次數	長谷川溪	茶山	草蘭溪	大埔橋	曾文水庫西岸
0	2725.7	2365.5	2867.8	2152.5	4029.1
1	39.6	45.3	63.5	28.5	84.0
2	14.9	18.0	18.4	9.7	23.7
3	11.9	9.0	8.3	5.1	12.2
4	7.5	4.0	5.5	3.0	6.8
5	6.0	2.3	4.0	2.1	5.0
6	6.3	1.8	3.2	1.0	5.4
7	3.3	1.0	2.8	0.6	2.7
8	3.7	0.4	2.3	0.3	2.6
9	4.2	0.8	2.1	0.3	1.7
10	3.5	0.3	1.7	0.3	1.4
11	3.3	0.2	4.4	0.1	2.2
12	6.9	1.0	1.3	0.2	1.9
平均	4.04	2.14	2.76	2.09	2.46

備註：面積單位為公頃。平均次數不納入 0 次計算。

第二節 崩塌時空熱區分析評估說明

時空分析方式(Spatial Temporal Analysis)主要分析某種現象的群聚特性，過往被使用在病毒傳播、空氣污染、犯罪、交通事故、公共衛生等議題上，用在環境災害的監測較少。相較於單一時間的空間分析，多重時間的空間分析則稱為時空分析，利用時空分析方法可瞭解特定現象從過往到現在的空間分佈與趨勢，更有助於掌握災害未來可能發生地點、原因及規模。

圖 4-2-1 為時空分析理論圖，其研究理論為將同一地區不同時間的資料套疊在一起，從過往(then)到現在(now)，從每一個分析單元(bin)在每一個時間間隔(time slice)中，找出該分析單元在不同時間資料上的分佈、群聚、擴散或消失等現象。

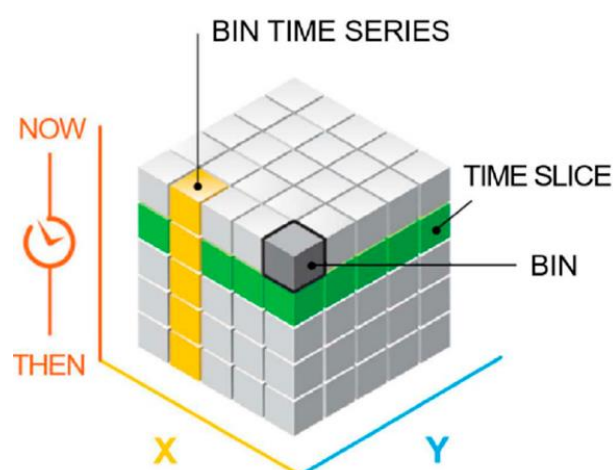


圖 4-2-1 時空分析理論圖

GIS 相關軟體於近年提出一套新的時空分析模組，稱為時空群聚分析模組(spatiotemporal cluster analysis)，該模組可以經由輸入資料去判斷特定現象在不同時空下的分佈樣態(distribution patterns)。根據時空群聚分析模組方式，將群聚現象區分為 17 種樣態，包含 8 種熱區、8 種冷區及 1 種無感應，包含歷史冷區(HCS，Historical cold spot)、震盪冷區(OCS，Oscillating cold spot)、零星冷區(SCS，Sporadic cold spot)、遞減冷區(DCS，Diminishing cold spot)、長久冷區(PCS，Persistent cold spot)、加劇冷區(ICS，Intensifying cold spot)、連續冷區(CCS，

Consecutive cold spot)、新冷區(NCS, New cold spot)、無感應(NO, No pattern)、新熱區(NHS, New hot spot)、連續熱區(CHS, Consecutive hot spot)、加劇熱區(IHS, Intensifying hot spot)、長久熱區(PHS, Persistent hot spot)、遞減熱區(DHS, Diminishing hot spot)、零星熱區(SHS, Sporadic hot spot)、震盪熱區(OHS, Oscillating hot spot)及歷史熱區(HHS, Historical hot spot)等, 各種熱冷區解釋如表 4-2-1 所示。

此類分析方式的最大優點在於可偵測鄰近網格的冷熱強度, 因此「一個崩塌地產生崩塌後, 崩塌土砂進入河川, 河川土砂淤積導致河川型態改變, 也導致鄰近下游邊坡也發生河岸崩塌」這種連續反應, 在過往分析中並無法偵測到彼此的關聯性, 但在時空群聚分析卻可以偵測到「前因後果」的關聯性。

Wu and Lin (2020)曾以隘寮溪集水區為崩塌冷熱區分析案例, 並以 2006 年至 2015 年崩塌圖層為材料, 探討隘寮溪集水區在 2009 年莫拉克颱風前後崩塌演化差異及分佈, 根據 Wu and Lin (2020)針對隘寮溪集水區的崩塌冷熱區分佈成果, 主要崩塌熱區為震盪熱區(OHS)、連續熱區(CHS)及長久熱區(PHS), 這些主要熱區都分佈在舊崩塌地的重新復發、源頭崩塌處、蜿蜒河段的河岸崩塌等區域, 而這些區域也是「若無人為工程治理進入, 則當地地貌與崩塌難以復育」的位置。

表 4-2-1 時空群聚分析冷熱區定義

中文	解釋
新熱區	在最近的時間間隔內首次出現熱色
新冷區	在最近的時間間隔內首次出現冷色
連續熱區	至少有 90%以上分析時間都有連續出現熱區
連續冷區	至少有 90%以上分析時間都有連續出現冷區
加劇熱區	至少有 90%以上分析時間都出現熱區，且趨勢隨時間逐漸增加。
加劇冷區	至少有 90%以上分析時間都出現冷區，且趨勢隨時間逐漸增加。
長久熱區	至少有 90%以上分析時間都出現熱區，但並未出現趨勢隨時間增加或減少。
長久冷區	至少有 90%以上分析時間都出現冷區，但並未出現趨勢隨時間增加或減少。
遞減熱區	至少有 90%以上分析時間都出現熱區，但並未出現趨勢隨時間增加或減少。
遞減冷區	至少有 90%以上分析時間都出現冷區，但並未出現趨勢隨時間增加或減少。
零星熱區	只有在一定時間才出現熱區
零星冷區	只有在一定時間才出現冷區
震盪熱區	在一些時間間隔內出現熱區，但在另外一些間隔內又出現冷區
震盪冷區	在一些時間間隔內出現冷區，但在另外一些間隔內又出現熱區
歷史熱區	在至少 90%以上的研究時間間隔內出現熱區，但最近一個時間間隔沒有出現
歷史冷區	在至少 90%以上的研究時間間隔內出現冷區，但最近一個時間間隔沒有出現
無感應	分析結果不符合上述所有冷熱區定義

曾文水庫崩塌時空熱區分析流程圖如圖 4-2-2 所示，曾文水庫集水區之崩塌時空熱區分析評估方式如下分述：

一、以 2008 年至 2020 年崩塌資料，以崩塌時空熱區分析評估分析

成果，列出各種冷熱區的分佈位置及面積。

二、比較 2008 年至 2020 年崩塌時空熱區分析評估分析成果，分析

在曾文水庫集水區內，哪些區域是屬於崩塌難以復育的位置，哪

些區域又是屬於在 2009 年莫拉克後，崩塌卻容易誘發的區域。



圖 4-2-2 曾文水庫集水區崩塌時空熱區分析流程圖

本研究採用 2009 年至 2020 年之年度崩塌資料進行時空崩塌冷熱區分佈，因評估時間已達模式基本要求資料年限。本研究分析過程所採用參數如後：分析時間階段為一年，分析空間距離為 25m，分析時間距離則為 5 年(意即 2020 年的崩塌在時間上相關性會搜尋 2015 年至 2019 年崩塌資料)。

曾文水庫集水區採 2009 年至 2020 年的崩塌進行時空崩塌冷熱區分析結果如圖 4-2-3 所示，本研究也將集水區最上游的五個子集水區放大顯示，可更清楚瞭解崩塌冷熱區的分佈與地形及水系的關係，如圖 4-2-4 所示。

套用冷熱區物理意義在崩塌分佈而言，崩塌熱區代表崩塌不易復育且維持時間久的區域，崩塌冷區則代表崩塌易復育或維持時間短的區域。由分析圖表可得出幾點結論：

一、以子集水區內的崩塌熱區分佈而言，崩塌熱區面積最高的前

三個子集水區分別為達邦(熱區面積 132.5 ha)、隙頂(熱區面積 47.6 ha)及山美(熱區面積 37.0 ha)等。崩塌熱區主要分佈在集水區中上游子集水區內。

二、以子集水區內的崩塌冷區分佈而言，崩塌冷區面積最高的前

三個子集水區分別為隙頂(冷區面積 205.2 ha)、新美(冷區面積 157.5 ha)及山美(熱區面積 156.0 ha)等。

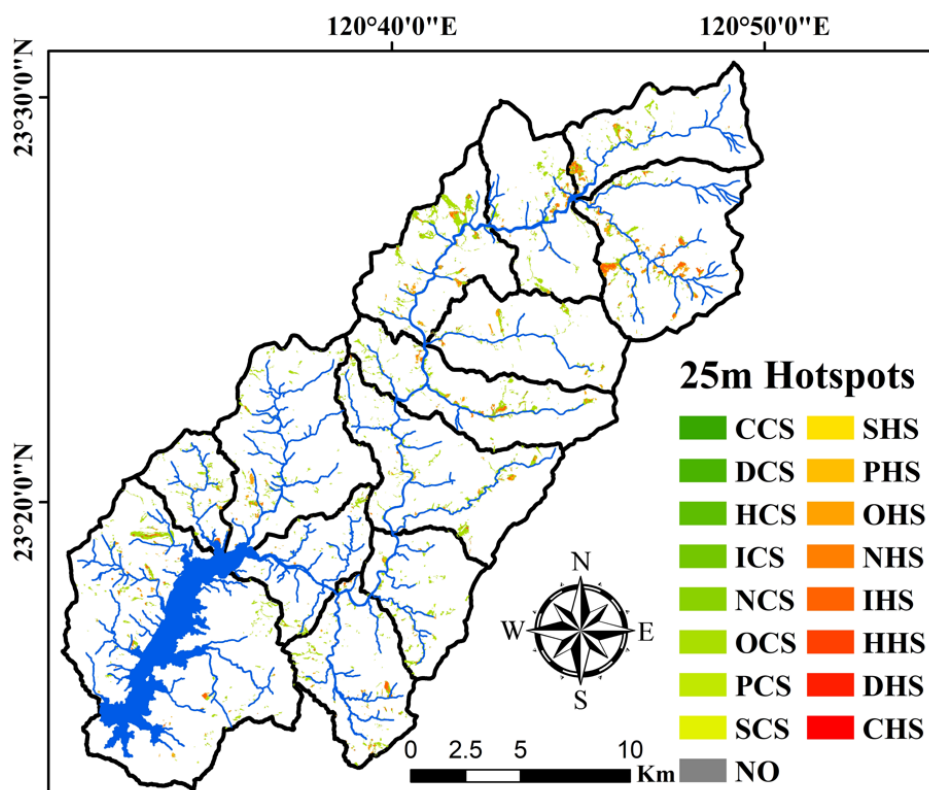


圖 4-2-3 曾文水庫集水區時空崩塌時空冷熱區分類分佈圖

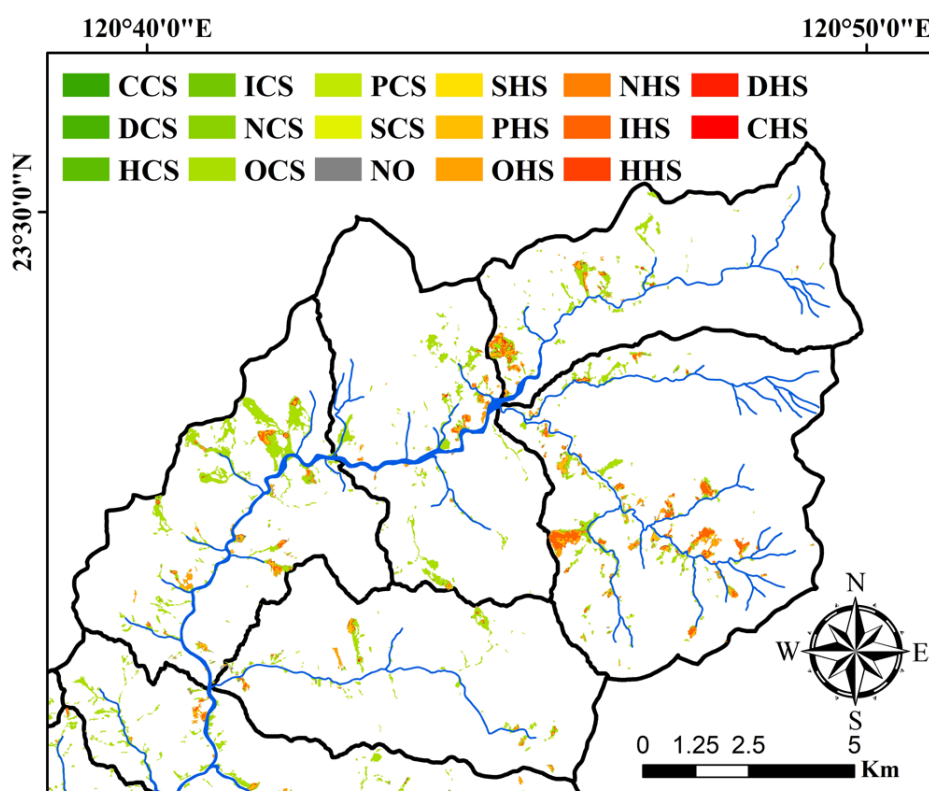


圖 4-2-4 曾文水庫上游集水區時空崩塌時空冷熱區分類分佈圖

表 4-2-2 曾文水庫集水區冷熱區面積統計數據

冷熱區	全集水區	長谷川溪	達邦	達德安
歷史冷區	1.4	0.1	0.2	0.0
震盪冷區	1329.0	68.2	117.9	105.2
零星冷區	20.6	0.8	3.4	0.7
遞減冷區	0.0	0.0	0.0	0.0
長久冷區	11.3	0.8	1.2	1.2
加劇冷區	0.2	0.1	0.0	0.0
連續冷區	0.2	0.0	0.0	0.0
新冷區	24.6	2.2	3.6	1.3
無感應	57.0	3.3	11.8	2.5
新熱區	19.7	0.8	4.6	0.9
連續熱區	1.2	0.0	0.7	0.1
加劇熱區	102.7	6.3	46.6	4.3
長久熱區	120.5	15.0	39.4	6.0
遞減熱區	38.7	6.3	9.0	1.7
零星熱區	12.3	0.8	2.9	0.4
震盪熱區	140.5	5.4	27.0	10.4
歷史熱區	13.5	1.2	2.2	0.7
冷區累計	1387.4	72.1	126.3	108.6
熱區累計	449.1	35.8	132.5	24.5

備註：單位皆為公頃。

表 4-2-3 曾文水庫集水區冷熱區面積統計數據

冷熱區	隙頂	里佳	山美	新美
歷史冷區	0.2	0.0	0.2	0.4
震盪冷區	201.7	53.8	150.1	152.3
零星冷區	1.1	0.9	2.2	2.5
遞減冷區	0.0	0.0	0.0	0.0
長久冷區	0.3	0.1	0.8	0.7
加劇冷區	0.0	0.0	0.0	0.0
連續冷區	0.0	0.0	0.0	0.0
新冷區	1.8	0.9	2.8	1.6
無感應	8.0	3.5	5.2	4.1
新熱區	0.9	0.3	6.1	2.4
連續熱區	0.1	0.0	0.1	0.0
加劇熱區	6.6	1.6	7.0	3.0
長久熱區	14.3	7.3	8.1	6.1
遞減熱區	4.9	2.1	1.5	2.3
零星熱區	1.8	0.4	0.4	0.7
震盪熱區	17.8	4.7	12.4	8.1
歷史熱區	1.2	0.7	1.4	1.0
冷區累計	205.2	55.8	156.0	157.5
熱區累計	47.6	17.0	37.0	23.5

備註：單位皆為公頃。

表 4-2-4 曾文水庫集水區冷熱區面積統計數據

冷熱區	茶山	草蘭溪	大埔橋	沙力基溪
歷史冷區	0.3	0.2	0.0	0.0
震盪冷區	67.2	74.2	40.5	85.0
零星冷區	1.5	2.0	1.8	1.2
遞減冷區	0.0	0.0	0.0	0.0
長久冷區	2.1	0.9	0.8	0.5
加劇冷區	0.0	0.0	0.0	0.0
連續冷區	0.0	0.0	0.0	0.0
新冷區	1.4	2.1	0.4	1.2
無感應	2.1	4.0	1.6	2.8
新熱區	1.8	1.3	0.0	0.2
連續熱區	0.0	0.1	0.1	0.0
加劇熱區	0.6	10.0	0.5	2.3
長久熱區	2.9	5.5	0.9	3.7
遞減熱區	0.9	2.4	0.5	1.5
零星熱區	0.2	1.2	0.3	0.7
震盪熱區	2.4	12.0	3.7	14.0
歷史熱區	0.5	1.3	0.2	0.5
冷區累計	72.4	79.4	43.5	87.9
熱區累計	9.4	33.6	6.0	23.0

備註：單位皆為公頃。

表 4-2-5 曾文水庫集水區冷熱區面積統計數據

冷熱區	後湖溪	曾文水庫東岸	曾文水庫西岸
歷史冷區	0.0	0.0	0.0
震盪冷區	62.2	108.0	42.7
零星冷區	0.3	1.2	1.1
遞減冷區	0.0	0.0	0.0
長久冷區	0.3	0.1	1.5
加劇冷區	0.0	0.0	0.0
連續冷區	0.0	0.0	0.0
新冷區	1.2	3.4	0.6
無感應	2.5	4.3	1.1
新熱區	0.0	0.1	0.2
連續熱區	0.0	0.0	0.0
加劇熱區	3.3	5.6	4.8
長久熱區	2.5	7.4	1.6
遞減熱區	0.7	4.8	0.1
零星熱區	0.4	1.8	0.4
震盪熱區	5.1	10.9	6.5
歷史熱區	0.6	1.8	0.2
冷區累計	64.0	112.7	45.9
熱區累計	12.7	32.5	13.8

備註：單位皆為公頃。

表 4-2-6 各子集水區崩塌熱冷區面積比統計表

子集水區	熱冷區面積比值	子集水區	熱冷區面積比值
全集水區	0.32	茶山	0.13
長谷川溪	0.50	草蘭溪	0.42
達邦	1.05	大埔橋	0.14
達德安	0.23	沙力基溪	0.26
隙頂	0.23	後湖溪	0.20
里佳	0.31	曾文水庫東岸	0.29
山美	0.24	曾文水庫西岸	0.30
新美	0.15		

備註：上灰色底色代表該子集水區熱冷區比值超過全集水區平均。

三、以崩塌熱區種類而言，震盪熱區(佔熱區面積 31.3%)、長久熱區(佔熱區面積 26.8%)及加劇熱區(佔熱區面積 22.9%)是主要的三種熱區種類。以崩塌冷區種類而言，震盪冷區(佔熱區面積 95.7%)則是主要的冷區種類。

四、以崩塌熱區與冷區面積之比值來看各子集水區崩塌冷熱區的分佈特性，集水區熱冷區面積比值平均為 0.32，子集水區比值超過平均值 0.32 的有三個，包含達邦、長谷川溪及草蘭溪。在這三個子集水區內也代表崩塌難以復育(難以成為冷區)或崩塌

易於誘發(易於成為熱區)。

五、由崩塌熱冷區細緻分類在上游五個子集水區的分佈而言，仍是震盪崩塌熱冷區為主，根據定義：震盪崩塌熱冷區的意義為「該區域頻繁出現冷熱區交替」，初期崩塌熱區出現跟 2009 年莫拉克相關，但 2009 年之後的崩塌熱區出現則跟地表逕流匯集所產生的蝕溝與洪水流量在土砂淤積河川中造成河岸崩塌相關，因此可發現在上游五個子集水區內，幾乎所有崩塌熱冷區都沿水系發展。

第五章 劃設特定水土保持區之原因及門檻

本章說明工作項目四：「根據上述分析成果，提出曾文水庫集水區內，適合劃設特定水土保持區之位置、門檻及原因。」之預定進行方式跟預期內容，5.1 節說明工作項目四(一)：「綜合上述分析資料，提出建議劃設為特定水土保持區之子集水區劃定門檻及分析方式。」，5.2 節說明工作項目四(二)：「綜合上述分析資料，提出建議劃設為特定水土保持區之河段劃定門檻及分析方式。」

以台灣集水區土砂災害分佈而言，概可區分為幾類重點區域，包含單一崩塌、單一土石流、子集水區崩塌群聚及河川兩岸崩塌群聚等四種，單一崩塌及單一土石流兩個類型都已經依據水土保持法第十六條第六款：「其他對水土保育有嚴重影響者。」而劃設為特定水土保持區，但唯有子集水區崩塌群聚及河川兩岸崩塌群聚這兩款尚未正式踏入劃定為特定水土保持區的範疇。

以子集水區崩塌群聚及河川兩岸崩塌群聚所可能對應劃設為特定水土保持區的法規而言，水土保持法第十六條第二款：「主要河川集水區須特別保護者。」可對應在本文所提的子集水區崩塌群聚，水土保持法第十六條第三款：「海岸、湖泊沿岸、水道兩岸須特別保護者。」可對應在本文所提的河川兩岸崩塌群聚，代表在水土保持法母法上都有對應支援法令，只是該如何劃設的門檻值尚未擬定。

根據本研究 2.1 節論述內容：水土保持法第十六條第一款：「水庫集水區。」歷經幾次想從母法文字上變通已不可行，本文提出的想法有二：一則啟動水土保持法第十六條第二款及第三款法令，針對子集水區崩塌群聚及河川兩岸崩塌群聚劃設為特定水土保持區；二則針對可能劃設為特定水土保持區之水庫集水區，以四種劃設為特定水土保持區的方式，包含單一崩塌、單一土石流、子集水區崩塌群聚及河川兩岸崩塌群聚，則剩餘地區可能不具劃設特定水土保持區之需求。一個集水區中真正嚴重且急需治理的區域不外乎這四種劃設單位，若將集水區以這四種劃設單位將嚴重區域劃設為特定水土保持區，則該集水區也可獲得實務上的治理推動，實際達到治理成效。

以 2009 年莫拉克颱風誘發的大量崩塌而言，特定水土保持區可以走向線(大量土砂匯入河段)或面(高崩塌率子集水區)的規模，兩種建議劃設案例在實務上都存在，也都具有需要多年治理才能達到穩定的特性。此兩種劃設單元也可針對水庫集水區主要土砂產出區域進行劃設，達到前述的「劃設嚴重災害點位，實際控制土砂來源」的功效。

為能實際啟動水土保持法第十六條第二款及第三款，本研究於本章目的在於分析未來執行水土保持法第十六條第二款及第三款之管理值，並以實際極端降雨誘發崩塌案例來討論哪些子集水區或河段需要被劃入特定水土保持區之門檻值及意義。

第一節 劃設特定水土保持區子集水區門檻及分析方式

本研究在本節區分為兩個子議題論述，包含如何對應水土保持法法規文字及子集水區劃定為特定水土保持區之管理值篩選。

一、如何對應水土保持法法規文字

依據水土保持法第 16 條第 2 款；「主要河川集水區須特別保護者」，法規文字中所提及的「主要河川集水區」一詞目前在相關法規上並沒有正式定義，本研究解釋如下：

(一)「主要河川」一詞曾在 1989 年(民國 78 年)由當時台灣省政府公告的主要河川(21 條)、次要河川(29 條)及普通河川(79 條)出現過，但該用法在 2009 年(民國 98 年)由經濟部水利署更改為目前現行的中央管河川、跨省市河川及縣(市)管河川等三種。因此以目前水利、水土保持及林務等上中下游主管單位所實際使用的名稱，並無「主要河川」一詞。

(二)「河川集水區」一詞也尚未被定義，所謂的「河川集水區」應該是「選定位於河川區域的某一個下游點，根據該點所劃出集水區範圍，該範圍將包含上游山坡地」。以水利法而言，位於水利相關單位管轄的溪流稱為河川，而位於河川界點以上的溪流則稱為野溪，屬於水土保持相關單位管轄。但至今水利及水土保持相關單位並未針對「河川集水區」有實際共識。

雖然法規上的文字尚未有正式定義，但全國各河川的子集水區已有合適圖層。水土保持局在 2011 年曾提出隸屬於山坡地範圍內的 741 子集水區，該版子集水區也在近年擴大到全國，而成為目前現行的 839 子集水區。此版子集水區也是目前山坡地主管單位在劃分子集水區的主要圖層。

依據水土保持法第 19 條所提到的「經劃定為特定水土保持區之各類地區，其長期水土保持計畫之擬定重點」，於水土保持法第 19 條第 2 款提及：「主要河川集水區：以保護水土資源，防治沖蝕、崩塌，防止洪水災害，維護自然生態環境為重點。」依據特定水土保持區劃定與廢止準則第 3 條：「...依本法第十六條第一項第二款至第六款規定應劃定為特定水土保持區者，其各款所稱須特別保護、風蝕嚴重、具危害公共安全之虞或對水土保持有嚴重影響者，指現況有需加強實施水土保持處理與維護，並有長期治理必要之情形。...」，由法律文字而言，以河川集水區劃定為特定水土保持區之目的仍在於防治土砂及洪水災害及保護水土資源為主，且現況有需加強實施水土保持處理與維護，並有長期治理必要之情形之需求。

本研究先針對法規文字提出暫時定義，以方便後續分析使用，如下分述：

(一)「主要河川」視為中央管及跨縣市河川，共有 24 條，22 條

中央管包含蘭陽溪、鳳山溪、頭前溪、中港溪、後龍溪、大安溪、大甲溪、烏溪、濁水溪、北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、鹽水溪、二仁溪、阿公店溪、高屏溪、東港溪、四重溪、卑南溪、秀姑巒溪、花蓮溪、和平溪等，2 條跨縣市河川包含淡水河及磺溪等。

(二)「集水區」則以目前水土保持局所劃設的 839 子集水區為主，劃設單元可為一個或多個 839 子集水區。

(三)「須特別保護者」則定義為災害面積過大或過於集中，導致採用一般工程提報方式並無法在短時間內降低災害影響者。災害面積過大可定義為單一崩塌面積超過 10 公頃以上，災害面積過於集中可定義為評估單元之崩塌率超過 3.0%，相較一般土砂評估採用 1.0% 為嚴重災害門檻，3.0% 的確有更集中之意。

因此在對應特定水土保持區相關法規上，本研究以 839 子集水區為分析單元並討論因崩塌災害引發的後續問題，符合水土保持法第 19 條第 2 款及特定水土保持區劃定與廢止準則第 3 條的法規要求。

二、子集水區劃定為特定水土保持區之管理值篩選

過往台灣相關研究曾定以崩塌率大或等於 1.0% 視為曾發生過嚴重崩塌事件的集水區，但災害嚴重程度要高到具有劃設為特定水土保

持區之資格，目前本研究建議將崩塌率門檻提高至 3.0%，並以曾文水庫集水區來評估合適情況。

根據吳俊鉉(2020)針對高屏溪上游的旗山溪集水區、荖濃溪集水區及隘寮溪集水區進行分析，並以 839 子集水區為分析單元，該研究發現隘寮溪集水區內的編號 2103001、2103002、2103003、2103007 子集水區(839 集水區編號)、旗山溪集水區內的編號 2101008 及 2101003 子集水區(839 集水區編號)、荖濃溪集水區內的編號 2102019、2102023、2102026、2102028 子集水區(839 集水區編號)都是屬於高崩塌率集水區，即為在 2009 年莫拉克颱風事件發生後，崩塌率超過 3.0%之子集水區，這些子集水區的崩塌復育比其他子集水區更慢，且在這些子集水區內的崩塌地更容易被重新誘發。崩塌率大或等於 3.0%的門檻在這幾條河川集水區是適用的。

討論曾文水庫集水區內各子集水區的崩塌復育概況，本研究以崩塌個數跟崩塌面積兩方面來討論。在崩塌個數歷年演化情況上，比對圖 3-4-2 及 3-4-3 與表 3-4-3 及 3-4-4 等資料，可清楚發現 2011 年是復育快慢的分界點，因此本研究將研究時間區分為兩段，分別為 2009 年至 2011 年及 2012 年至 2017 年兩段時間，取 2017 年為後段的終點是因為各子集水區在 2015 年至 2020 年間，崩塌個數跟面積都呈現小幅震盪，因此本研究取中間值的 2017 年為代表。

表 5-1-1 為兩段時間的崩塌降低個數、降低率、崩塌面積降低量及降低率，表 5-1-2 則為各子集水區 2009 年與 2010 年比較表。由表 5-1-1 數據可發現曾文水庫各子集水區由 2009 年至 2011 年間崩塌降低個數唯一呈現負值(代表崩塌個數反而增加)即為達邦子集水區，崩塌降低個數較為緩慢(降低率小於 50%以下)的則為達得安及長谷川溪，這三個子集水區剛好是曾文水庫集水區最上游的三個子集水區。

各子集水區由 2009 年至 2011 年間崩塌面積減少率多半都在 50% 以上，唯有達邦跟長谷川溪兩個子集水區之崩塌面積減少率在 30% 以下。比對本研究前述針對歷年降雨分析的數據，也代表達邦跟長谷川溪兩個子集水區在嚴重崩塌事件發生初期，集水區呈現難以復育或復育偏慢的情況。

再由圖 4-1-4 至 4-1-6 的新舊崩塌分佈圖瞭解，以 2010、2013 及 2017 年與 2009 年相比，尚未復育崩塌多數都位於達邦、達得安、長谷川溪、隙頂及里佳等五個子集水區內，且都以原大規模崩塌鄰近區域、蝕溝源頭、蜿蜒段河岸崩塌三種為主，新崩塌則都以河岸崩塌跟大規模崩塌鄰近區域為主。最上游的達邦及長谷川溪子集水區再度被列入範圍內。因此達邦跟長谷川溪子集水區是符合本研究所設定的劃設子集水區對象。

表 5-1-1 曾文水庫集水區各子集水區崩塌個數及面積數據

子集水區名稱	2009 年至 2011 年		2009 年至 2011 年	
	降低個數	降低率(%)	減少面積	減少率(%)
曾文水庫東岸	49	76.6	0.35	79.5
里佳	40	63.5	0.28	50.8
後湖溪	65	92.9	0.65	93.6
隙頂	61	59.8	2.06	87.2
達德安	24	30.8	0.46	56.3
達邦	-26	-30.2	0.03	2.2
山美	71	65.1	0.99	73.7
新美	84	66.7	1.16	78.6
沙力基溪	118	93.7	0.89	95.1
長谷川溪	24	40.0	0.23	27.2
茶山	38	70.4	0.47	83.9
草蘭溪	55	68.8	0.64	84.7
大埔橋	44	81.5	0.32	85.3
曾文水庫西岸	77	86.5	1.18	90.0

備註：降低個數為起使年份崩塌個數與結束年份崩塌個數之差異，降低率則為降低個數除以起使年份崩塌個數，並以百分比表示。減少面積(單位 km^2)為起使年份崩塌面積與結束年份崩塌面積之差異；減少率(百分比)則為減少崩塌面積除以起使年份崩塌面積。

為什麼位於最上游的子集水區是崩塌最難以復育的子集水區?以達邦子集水區為例，達邦子集水區是最上游集水區，集水區流量並無其他子集水區匯入，因此當此類集水區具有大量崩塌產生時，集水區流量並無法短期內將這些土砂量往下游運移，大量土砂淤積在水系上

(包含河道及蝕溝)，就引發了達邦在後續幾年崩塌個數跟崩塌面積都難以降低的情況。

依據水土保持法第三條第五款：「特定水土保持區：係指經中央或直轄市主管機關劃定亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區。」，代表劃設為特定水土保持區需先符合「亟需加強實施水土保持之處理與維護」的條件，以土砂災害分佈而言，崩塌率一直是台灣用以評估分析區域內的土砂災害嚴重程度指標，由表 3-4-9 及 3-4-10 數據而言，本研究上述所提出達邦跟長谷川溪子集水區並非唯二在 2009 年崩塌率超過 3.0% 以上的，仍有好幾個子集水區在 2009 年崩塌率超過 3.0% 以上。因此單以崩塌事件發生當年的崩塌率來當篩選門檻值未必合適。但如果在考量 2010 年崩塌率，就出現明顯差異，多數在 2009 年崩塌率超過 3.0% 以上的子集水區，在 2010 年都出現明顯降低，這代表不需要過多人為工程就可以快速復育。但最上游的達邦跟長谷川溪子集水區卻是反例。

本研究將「亟需加強實施水土保持之處理與維護」於本文稿中更清楚定義：「若無人為工程協助復育，該地區將在崩塌事件後幾年陸續出現新崩塌地或舊崩塌地難復育」，因此這樣的定義就清楚說明要以子集水區為劃設特定水土保持區單元，需考量極端事件發生當年的崩塌率(代表嚴重性)及事發隔年的新崩塌及舊崩塌未復育的情況，因

此本研究提出以 839 子集水區為劃設特定水土保持區單元的篩選門檻，以下門檻應全部符合方建議劃設為特定水土保持區，篩選門檻如下分述：

一、降雨誘發事件當年與隔年，兩年的崩塌率都大或等於 2.0%，

並以隔年崩塌率比事發當年崩塌率更高的子集水區為優先。

二、該子集水區位於水系最上游者，則受影響區域會以該子集水

區為主，屬於子集水區型(面型)特定水土保持區。

三、比對降雨誘發事件後隔年，新崩塌案例具有明顯增加現象，

且舊崩塌尚未復育面積仍多，並以新崩塌增加面積及舊崩塌

尚未復育面積累計為劃設為特定水土保持區之優先順序。

依據上述篩選門檻 1 套用 2009 年及 2010 年兩年數據(表 3-4-9 及表 5-1-2)，再以 2010 年崩塌率為排序，則如表 5-1-3 所示。子集水區型(面型)以達邦跟長谷川溪子集水區為主，兩者劃設優先順序為達邦，再者為長谷川溪。

表 5-1-2 曾文水庫集水區各子集水區 2009 年與 2010 年比較表

子集水區	2009 年比對 2010 年				2010 年 崩塌率
	新崩塌	已復育	未復育	增減率	
曾文水庫東岸	5	31	11	-0.49	0.31
里佳	11	30	24	-0.55	1.17
後湖溪	2	61	9	-3.93	0.75
隙頂	6	167	69	-4.54	2.65
達德安	32	45	37	0.52	3.06
達邦	58	56	93	0.06	3.28
山美	34	89	46	-1.59	2.33
新美	16	109	39	-2.09	1.30
沙力基溪	3	74	19	-1.53	0.49
長谷川溪	14	32	50	-0.65	2.24
茶山	16	32	24	-0.65	1.64
草蘭溪	23	48	27	-0.79	1.70
大埔橋	3	28	9	-1.13	0.56
曾文水庫西岸	5	89	42	-0.49	1.12

備註：新崩塌、已復育及未復育單位為公頃(ha)，增減率為 2010 年崩塌率扣與 2009 年崩塌率，單位為%。2010 年崩塌率單位也為%。

表 5-1-3 建議劃設為特定水土保持區之子集水區篩選數據

子集水區	崩塌率(%)		2010 VS 2009 年面積(ha)			排序
	2009	2010	新崩塌	未復育	新+未	
達邦	3.22%	3.28%	58	93	151	1
長谷川溪	2.89%	2.24%	14	50	54	2

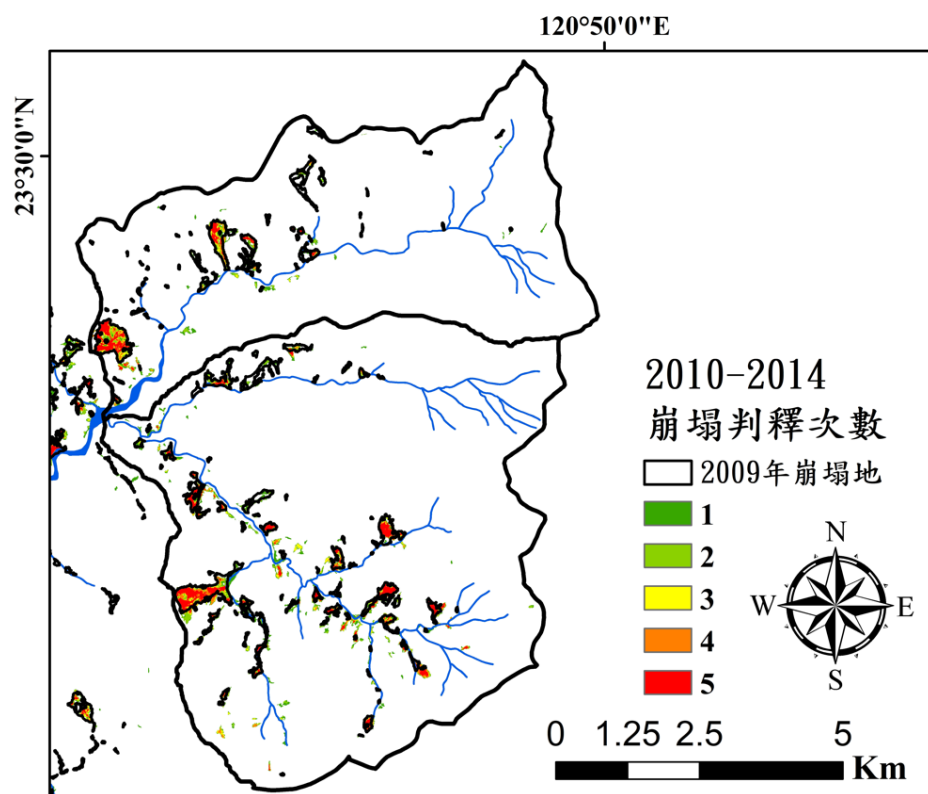


圖 5-1-1 長谷川溪與達邦子集水區在 2009 年後崩塌判釋情況

達邦跟長谷川溪兩個子集水區在 2009 年的後五年(由 2010 年至 2014 年)崩塌判釋情況如圖 5-1-1 顯示，圖 5-1-1 清楚顯示當過於密集的崩塌地在子集水區內產生時，在後五年的崩塌分佈情況會集中在蜿蜒河段、大規模崩塌案例鄰近區域或蝕溝區域。

綜合本研究前述相關分析，本研究建議以曾文水庫集水區之子集水區而言，達邦跟長谷川溪集水區是可在 2009 年嚴重崩塌發生過後，可考量劃設為特定水土保持區的兩個子集水區，本研究建議原因如下：

- 一、在嚴重崩塌事件後，兩子集水區具有崩塌難以復育跟易於誘發的特性。達邦子集水區在 2009 年崩塌率為 3.22%，達邦

子集水區經過 11 年時間，崩塌率仍無法低於 1.0%。長谷川溪子集水區在 2009 年崩塌率為 2.89%，長谷川溪子集水區經過 6 年時間才將崩塌率復育至 1.0%以下。兩個子集水區復育時間都超過 5 年以上。

二、兩個子集水區的崩塌都有超過 20%以上屬於極度活躍、非常活躍跟活躍等級的崩塌地。達邦子集水區約有 40.5%崩塌地屬於此等級，長谷川溪子集水區則有 24.1%崩塌地屬於此等級。

三、兩個子集水區在崩塌時空熱區分析結果中，熱區與冷區比值都達 0.5 以上。達邦子集水區熱區與冷區比值為 1.04，長谷川溪子集水區熱區與冷區比值為 0.50。

四、兩個子集水區的崩塌時空熱區分析結果都屬於難以復育的熱區種類，達邦子集水區主要熱區種類為加劇熱區、長久熱區及震盪熱區，長谷川溪子集水區主要熱區種類為長久熱區為主。

以上四點原因都可說明此兩個子集水區在符合水土保持法第三條第五款對於特定水土保持區劃設需求：「亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區。」

回到本研究於本章開始之敘述：應該針對重點區域劃設，代表能

將全集水區具有崩塌群聚現象的位置圈選出來。因此本研究針對達邦與長谷川溪兩個子集水區與全集水區之數據統計分析：達邦與長谷川溪兩個子集水區總面積約 74.6 km²，約佔全集水區之 15.4%。這兩個子集水區在 2009 年莫拉克颱風後的總崩塌面積為 2.31 km²，約佔全集水區崩塌面積之 16.5%。這兩個子集水區在 2009 年莫拉克颱風後的總崩塌個數為 146 處，約佔全集水區崩塌個數之 12.6%。

第二節 劃設特定水土保持區之河段劃定門檻及分析方式

相較於 5.1 節討論的面型劃設方式，本節討論的則是線型劃設方式，即為在特定河段劃設特定水土保持區的可能性。本研究在本節區分為兩個子議題論述，包含如何對應水土保持法法規文字及子集水區劃定為特定水土保持區之管理值篩選。

一、如何對應水土保持法法規文字

依據水土保持法第 16 條第 3 款：「海岸、湖泊沿岸、水道兩岸須特別保護者。」，水道一詞在水利法施行細則第四條定義為「本法所稱水道，指河川、區域排水及減河水流經過之地域。」。本研究建議先將水道視為「界點以下之河川區域及界點以上之野溪」，本研究就視為「曾文水庫主流兩岸」，並探討「須特別保護者」之劃設為特定水土保持區之管理值，並討論劃定的門檻及分析方式。

依據水土保持法第 19 條所提到的「經劃定為特定水土保持區之各類地區，其長期水土保持計畫之擬定重點」，於水土保持法第 19 條第 2 款提及：「海岸、湖泊沿岸、水道兩岸：以防止崩塌、侵蝕、維護自然生態環境、保護鄰近土地為重點。」依據特定水土保持區劃定與廢止準則第 3 條：「...依本法第十六條第一項第二款至第六款規定應劃定為特定水土保持區者，其各款所稱須特別保護、風蝕嚴重、具危害公共安全之虞或對水土保育有嚴重影響者，指現況有需加強實施水土保持處理與維護，並有長期治理必要之情形。」由法律文字而言，以水道兩岸劃定為特定水土保持區之目的仍在於「防止崩塌、侵蝕、維護自然生態環境、保護鄰近土地為重點」，因此本研究以防止土砂災害探討劃設水道兩岸的特定水土保持區，應符合上述法令要求。

「水道兩岸須特別保護者」一詞在台灣山坡地野溪可泛指為因為土砂大量匯入而引發河川變遷，誘發更多後續河岸崩塌的情況。因此本研究將此類河段定義為「河段上游或支流具有大量土砂匯入，且河段上也可能具有大規模崩塌提供土砂產出」，當一個河段的上游集水區或側邊的支流集水區都具有高崩塌率時，各集水區都會不斷匯入大量土砂，且若該河段沿岸具有大規模崩塌產出，也會對河段輸入更多量土砂。大量土砂在河段的不同位置匯入，會造成河川型態大量改變，而引發更多河岸崩塌。

此類河段發生河川型態改變而誘發更多河岸崩塌的時間並不在於極端降雨事件當年，因為上游或支流集水區要將土砂匯入河段需要下一場降雨事件，因此此類河段發生明顯河川型態改變跟河岸崩塌大量發生，通常是在極端降雨事件後一兩年，並且延續數年，若無人為工程介入治理，該河段將難以達到穩定且持續誘發新的土砂災害。

陳有蘭溪上游的和社溪集水區即為明顯案例，上游有神木集水區(愛玉子溪、霍薩溪及出水溪)，支流有松山溪及多條支流土砂匯入，因此導致和社溪河床淤高超過 10 公尺，河川明顯蜿蜒並誘發河岸崩塌大量發生。

二、水道兩岸劃定為特定水土保持區之管理值篩選

本研究先以主流河段流經各子集水區在歷年的崩塌演化數據來分析，表 5-2-1 至表 5-2-3 為主流河段以 2010 年、2013 年及 2017 年分別比對 2009 年的新舊崩塌比對表。本研究分析的主流河段由最上游處位於長谷川溪子集水區與達邦子集水區匯流口開始，往下游依序流經達德安、隙頂、山美、新美、茶山、草蘭溪及大埔橋子集水區並進入庫區。本研究設定的河道兩岸即以河川主流中心線往兩側擴張 300 公尺範圍為界。

由表 5-2-1 至表 5-2-3 數據而言，本研究認為新崩塌跟未復育崩

塌面積是分析的關鍵，由於 2010 年、2013 年及 2017 年的降雨情況都比 2009 年莫拉克颱風較小，因此新崩塌出現代表降雨誘發崩塌的門檻值下降，而未復育崩塌也代表在歷年多年後，這些崩塌地仍難以復育的位置。因此在 2010 年、2013 年及 2017 年的新崩塌與未復育崩塌累計面積，則代表在該年度還存在的崩塌總面積。

表 5-2-1 曾文水庫集水區主流河岸崩塌 2009 年與 2010 年比較表

子集水區	2009 年比對 2010 年					2010 年 崩塌率
	新崩塌	已復育	未復育	新+未	增減率	
達德安	8	8	6	14	0.03	4.77
隙頂	3	33	8	11	-5.99	2.33
山美	1	16	4	5	-6.45	2.37
新美	1	18	4	5	-3.44	1.02
茶山	0	9	7	7	-3.86	3.09
草蘭溪	1	4	1	2	-2.29	1.31
大埔橋	0	0	0	0	0	0.00

備註：新崩塌、已復育及未復育單位為公頃(ha)，增減率(單位為%)

為 2010 年崩塌率扣 2009 年崩塌率。2010 年崩塌率單位也為%。

表 5-2-2 曾文水庫集水區主流河岸崩塌 2009 年與 2013 年比較表

子集水區	2009 年比對 2013 年					2013 年 崩塌率
	新崩塌	已復育	未復育	新+未	增減率	
達德安	5	10	4	9	-1.51	3.23
隙頂	2	35	7	9	-6.47	1.85
山美	2	15	4	6	-5.71	3.10
新美	4	21	1	5	-3.51	0.95
茶山	0	12	4	4	-5.28	1.66
草蘭溪	0	4	1	1	-3.16	0.43
大埔橋	0	0	0	0	0.00	0.00

備註：新崩塌、已復育及未復育單位為公頃(ha)，增減率(單位為%)

為 2010 年崩塌率扣 2009 年崩塌率。2010 年崩塌率單位也為%。

表 5-2-3 曾文水庫集水區主流河岸崩塌 2009 年與 2017 年比較表

子集水區	2009 年比對 2017 年					2017 年 崩塌率
	新崩塌	已復育	未復育	新+未	增減率	
達德安	8	12	2	10	-1.46	3.28
隙頂	3	33	9	12	-6.02	2.31
山美	3	17	3	6	-6.40	2.41
新美	3	21	1	4	-3.73	0.73
茶山	0	14	2	2	-6.09	0.85
草蘭溪	0	5	0	0	-3.15	0.44
大埔橋	0	0	0	0	0.00	0.00

備註：新崩塌、已復育及未復育單位為公頃(ha)，增減率(單位為%)

為 2010 年崩塌率扣 2009 年崩塌率。2010 年崩塌率單位也為%。

達德安跟隙頂兩子集水區在歷年新崩塌及未復育崩塌累計值都為全部子集水區之最，以歷年新崩塌增加最多的子集水區是位於達德

安子集水區內河段，以歷年未復育崩塌最多的子集水區是位於隙頂子集水區內河段，達德安子集水區在 2010 年、2013 年及 2017 年的崩塌率都大於 3.23%，隙頂子集水區在 2010 年、2013 年及 2017 年的崩塌率都大於 1.85%，這些數據都足以顯示這兩個子集水區的河川兩岸地區屬於崩塌易發且難以復育的地區。

若以隸屬於 839 集水區內的主流河道兩岸為劃設特定水土保持區之單元，則達德安跟隙頂兩個子集水區主流河道兩岸都屬於具有劃設為特定水土保持區之資格。

將全子集水區主流河道兩岸都劃設為特定水土保持區優點在於方便選取，缺點則在於影響範圍過大。因此若不以子集水區河段為劃設單元，本研究也評估以特定距離的河段為劃設單元的可行性，本研究再曾文水庫集水區主流河道區分為 60 小段，每一小段主流河道約為 544m，並由最上游長谷川溪與達邦子集水區交匯口開始往下編號，主流河道編號分佈圖如圖 5-2-1 所示，各河段歷年與 2009 年比較的新崩塌、已復育崩塌及未復育崩塌分析數據如表 5-2-4 至 5-2-6 所示。

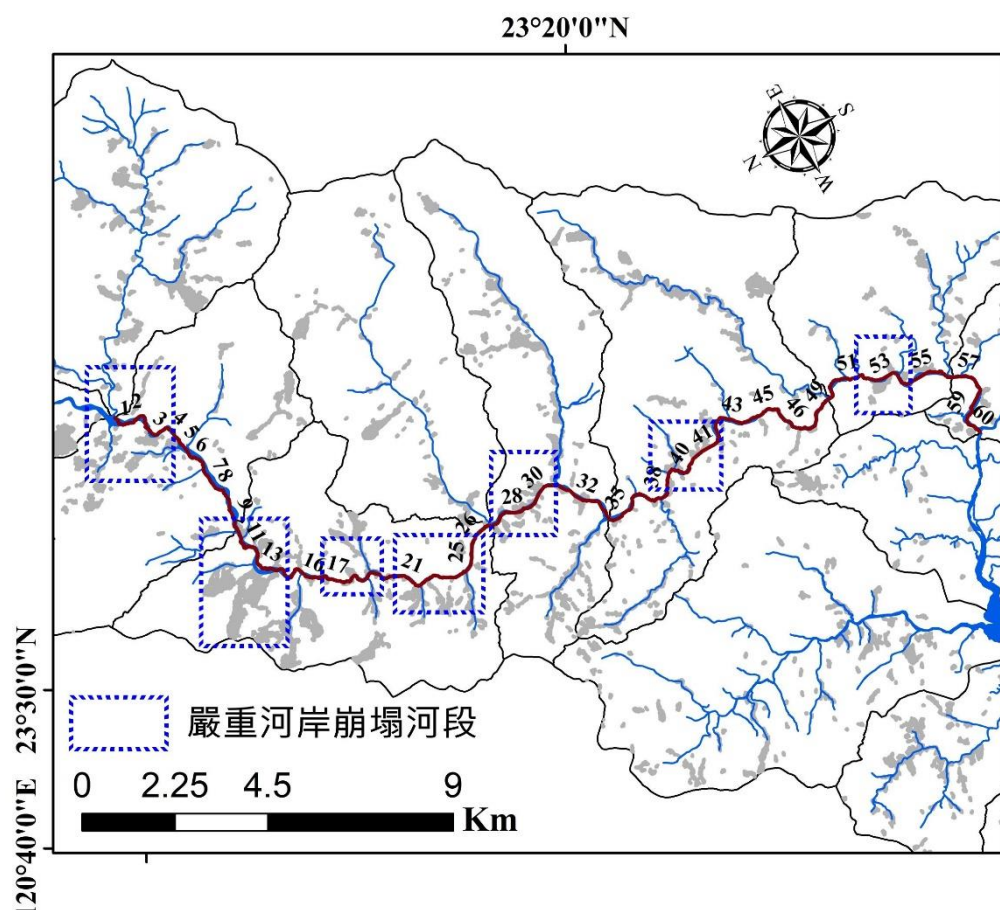


圖 5-2-1 曾文水庫集水區主流分段編號分佈圖

表 5-2-4 曾文水庫集水區各分段河岸崩塌 2009 年與 2010 年比較表

No	新	已	未	崩(%)	No	新	已	未	崩(%)
1	33.9	0.3	0.4	6.4	31	0.3	1.7	0.2	0.8
2	2.5	0.4	0.3	1.9	32	0.0	1.7	0.3	1.0
3	15.8	0.9	5.1	24.5	33	0.0	0.2	0.1	0.4
4	0.0	3.1	0.0	0.0	34	0.0	0.5	0.1	0.3
5	4.4	3.2	0.0	1.5	35	0.0	0.1	0.0	0.0
6	0.4	0.2	0.0	0.1	36	0.2	1.0	0.6	2.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	37	0.1	2.4	0.4	1.5
8	2.5	0.0	0.0	0.8	38	0.1	3.4	0.4	1.2
9	5.3	0.0	0.0	1.7	39	6.6	0.3	0.0	2.3
10	28.9	1.9	0.0	9.6	40	0.1	3.4	0.5	1.6
11	0.0	1.2	0.0	0.0	41	0.0	1.6	0.1	0.3

12	7.7	5.8	2.0	9.3	42	4.2	1.4	0.4	2.7
13	3.3	5.8	2.3	8.6	43	0.0	0.3	0.1	0.3
14	0.0	0.2	0.0	0.0	44	0.0	1.0	0.0	0.0
15	0.0	1.9	0.0	0.0	45	0.0	0.7	0.0	0.0
16	0.1	0.3	0.1	0.4	46	0.6	0.5	0.2	0.8
17	2.2	1.2	0.5	2.5	47	1.5	1.0	0.6	2.4
18	0.9	1.8	0.2	1.1	48	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	2.9	0.0	0.0	49	0.0	0.4	0.1	0.4
20	0.0	0.8	0.0	0.0	50	0.0	0.0	0.0	0.0
21	2.5	3.7	1.4	5.1	51	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	1.6	0.5	1.5	52	0.2	2.9	5.7	18.7
23	1.0	0.5	0.6	2.1	53	0.3	1.9	0.9	3.1
24	0.1	1.1	0.2	0.5	54	0.0	1.6	0.0	0.0
25	2.2	1.9	0.8	3.1	55	0.0	2.3	0.0	0.0
26	0.0	0.7	0.0	0.0	56	5.4	0.0	0.0	1.8
27	0.1	2.5	0.5	1.6	57	0.0	0.1	0.0	0.0
28	12.6	3.6	2.0	10.1	58	0.0	1.9	0.1	0.5
29	0.0	3.6	0.2	0.8	59	3.9	0.5	0.2	1.9
30	1.5	2.2	0.5	2.0	60	1.6	1.5	0.5	2.0

備註：No 為河段編號，新、已及未各代表新崩塌、已復育崩塌及未復育崩塌面積(單位 ha)，崩(%)代表該河段崩塌率(單位%)

表 5-2-5 曾文水庫集水區各分段河岸崩塌 2009 年與 2013 年比較表

No	新	已	未	崩(%)	No	新	已	未	崩(%)
1	17.2	0.4	0.3	3.4	31	0.0	2.0	0.0	0.0
2	0.1	0.7	0.0	0.1	32	0.0	2.0	0.0	0.0
3	21.5	2.0	4.0	22.7	33	0.0	0.3	0.0	0.0
4	1.2	3.1	0.0	0.4	34	0.0	0.5	0.0	0.0

5	0.0	3.2	0.0	0.0	35	0.0	0.1	0.0	0.0
6	5.8	0.2	0.0	1.9	36	0.0	1.6	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	37	0.2	2.5	0.3	1.1
8	0.6	0.0	0.0	0.2	38	0.0	3.8	0.0	0.0
9	5.1	0.0	0.0	1.6	39	9.9	0.3	0.0	3.4
10	0.0	1.9	0.0	0.0	40	0.0	3.9	0.0	0.0
11	0.0	1.2	0.0	0.0	41	0.0	1.7	0.0	0.0
12	0.6	5.9	1.9	6.7	42	28.0	1.5	0.3	9.9
13	5.7	6.1	2.0	8.5	43	0.0	0.4	0.0	0.0
14	4.8	0.2	0.0	1.6	44	0.0	1.0	0.0	0.0
15	3.2	1.9	0.1	1.4	45	0.0	0.7	0.0	0.0
16	0.0	0.4	0.0	0.0	46	0.0	0.7	0.0	0.0
17	0.2	0.9	0.9	3.0	47	0.3	1.4	0.2	0.7
18	2.3	0.8	1.1	4.8	48	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	2.9	0.0	0.0	49	0.0	0.5	0.0	0.0
20	0.0	0.8	0.0	0.0	50	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	5.1	0.0	0.0	51	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	2.0	0.0	0.0	52	0.1	5.7	2.9	9.5
23	0.0	1.0	0.0	0.0	53	0.0	2.9	0.0	0.0
24	0.1	1.2	0.0	0.0	54	0.0	1.5	0.1	0.4
25	8.1	2.0	0.7	4.7	55	0.9	1.7	0.6	2.0
26	0.0	0.7	0.0	0.0	56	0.0	0.0	0.0	0.0
27	3.3	2.3	0.6	3.2	57	0.0	0.1	0.1	0.2
28	20.5	1.9	3.7	18.1	58	0.3	1.8	0.3	1.1
29	0.0	3.9	0.0	0.0	59	0.0	0.7	0.0	0.0
30	0.8	2.7	0.0	0.2	60	0.0	1.8	0.2	0.6

備註：No 為河段編號，新、已及未各代表新崩塌、已復育崩塌及未復育崩塌面積(單位 ha)，崩(%)代表該河段崩塌率(單位%)

表 5-2-6 曾文水庫集水區各分段河岸崩塌 2009 年與 2017 年比較表

No	新	已	未	崩(%)	No	新	已	未	崩(%)
1	36.4	0.4	0.3	6.7	31	0.0	2.0	0.0	0.0
2	0.2	0.7	0.0	0.1	32	0.0	2.0	0.0	0.0
3	18.6	4.4	1.6	12.8	33	0.0	0.3	0.0	0.0
4	2.2	3.1	0.0	0.8	34	0.0	0.5	0.0	0.0
5	0.0	3.2	0.0	0.0	35	0.0	0.1	0.0	0.0
6	7.0	0.2	0.0	2.3	36	0.1	1.5	0.1	0.4
7	0.0	0.0	0.0	0.0	37	0.2	2.7	0.1	0.4
8	5.4	0.0	0.0	1.7	38	0.0	3.7	0.1	0.3
9	7.4	0.0	0.0	2.3	39	7.7	0.3	0.0	2.7
10	0.0	1.9	0.0	0.0	40	0.0	3.9	0.0	0.0
11	0.2	1.1	0.0	0.2	41	4.5	1.4	0.3	2.3
12	0.5	6.5	1.3	4.5	42	10.1	1.4	0.4	4.4
13	0.0	8.1	0.0	0.0	43	0.0	0.4	0.0	0.0
14	6.7	0.2	0.0	2.2	44	0.0	1.0	0.0	0.0
15	3.2	1.7	0.2	2.1	45	0.0	0.7	0.0	0.0
16	0.0	0.4	0.0	0.0	46	0.0	0.7	0.0	0.0
17	0.5	0.9	0.9	3.1	47	0.0	1.6	0.0	0.0
18	10.9	0.3	1.7	9.9	48	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.2	2.9	0.0	0.1	49	2.7	0.4	0.0	0.9
20	0.0	0.8	0.0	0.0	50	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.1	2.2	2.9	9.0	51	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.1	1.1	0.9	2.8	52	0.2	7.5	1.1	3.6
23	0.0	1.0	0.0	0.0	53	0.0	2.9	0.0	0.0
24	0.4	1.2	0.0	0.1	54	2.2	1.5	0.1	1.1
25	4.0	2.1	0.5	2.9	55	0.3	1.9	0.4	1.3
26	1.4	0.5	0.2	1.2	56	0.0	0.0	0.0	0.0

27	3.4	2.2	0.8	3.7	57	0.0	0.1	0.0	0.0
28	18.9	3.6	2.0	12.2	58	2.5	2.1	0.0	0.8
29	0.0	3.9	0.0	0.0	59	0.0	0.7	0.1	0.3
30	2.7	2.7	0.0	0.8	60	0.1	1.7	0.3	0.9

備註：No 為河段編號，新、已及未各代表新崩塌、已復育崩塌及未復育崩塌面積(單位 ha)，崩(%)代表該河段崩塌率(單位%)

本研究也將表 5-2-4 至 5-2-6 崩塌率數據超過 3.0%以上的河段視為嚴重河岸崩塌河段，並標示在圖 5-2-1 上，本研究也將具有高崩塌率河段的原因說明如下：

一、編號 1 至 3 河段：位於長谷川溪與達邦子集水區匯流口，長谷川溪與達邦子集水區兩子集水區在 2009 年莫拉克颱風後的崩塌率各為 2.89%與 3.22%，算是崩塌率偏高子集水區。

二、編號 10 至 13 河段：位於彎曲河段，且有近岸大量崩塌直接進入河川，尤其以編號 12 河段崩塌率最難以復育。

三、編號 17 至 18 河段：河段兩旁崩塌量少，2010 年崩塌率未偏高，但到 2013 年及 2017 年時，崩塌率偏高，判斷原因應受上游河段土砂量運移至此而開始產生大量河岸崩塌。

四、編號 21 河段：位於野溪集水區匯入口，該野溪近會入口位置有大量河岸崩塌，大量土砂匯入導致編號 21 河段在 2010 年崩塌率偏高，編號 21 河段在 2017 年崩塌率再度偏高的主因，推測是主流上游的土砂運移至此所影響。

五、編號 25 至 28 河段：位於彎曲河段，且有大量河岸崩塌產生，尤其在河段 28 的崩塌率長期偏高。

六、編號 39 至 42 河段：位於彎曲河段，河段內河岸崩塌量不多，因此 2010 年崩塌率並未偏高，但 2013 年及 2017 年崩塌率陸續偏高，推測是主流上游的土砂運移至此所影響。

七、編號 52 河段：位於彎曲河段，河段內有大量河岸崩塌，土砂直接進入該河段，且受到主流上游的土砂運移至此所影響，因此在 2010、2013 及 2017 年的崩塌率都偏高。

本研究分別以子集水區河段及以特定距離的河段兩者比較，以子集水區河段的崩塌增減率歷年比較(表 5-2-1 至 5-2-3)，僅有 2010 年於達德安子集水區之崩塌率比 2009 年崩塌率提升 0.03%，其餘各子集水區於各年度比較都降低；但若改以特定距離的河段進行比較，則可清楚發現在上述 8 個高崩塌率河段都有非常明顯的崩塌率提升現象。這也代表河道兩岸的崩塌有明顯的群聚特性。

以河道兩岸為特定水土保持區劃設單元的目的與前節以子集水區劃設單元的目的並不相同，以子集水區為劃設單元是控制產砂端的面積，但以河道兩岸為劃設單原則是在降低土砂運移對河川兩岸的影響。當大量土砂進入河川後，由表 5-2-4 至 5-2-6 數據可發現，河川兩岸的崩塌隨者土砂往下游運移的速率及位置而逐漸發生，例如河段

編號 12 至 13 與 17 至 18 分別在 2010 年及 2013 年崩塌率便可看出，河段編號 12 至 13 由 2010 年崩塌率 8.6%以上，降至 2013 年崩塌率 6.7%以上，但下游河段編號 17 至 18 受到上游來砂的影響，2013 年崩塌率上升至 3.0%及 4.8%。因此若能在 2010 年即時控制編號 12 至 13 河段的土砂大量往下游運移，或許就能控制編號 17 至 18 在 2013 年出現的大量河岸崩塌現象。

根據上述八個嚴重崩塌河段特性，本研究建議以河川兩岸為劃設特定水土保持區單元的篩選方式，如下分述：

一、位於崩塌率大或等於 2.0%之野溪集水區匯入口的河段，建議於匯入口往下游 1000 公尺區域內劃設為特定水土保持區：河段編號 1 即位於長谷川溪子集水區(2009 年崩塌率為 2.89%)與達邦子集水區(2009 年崩塌率為 3.22%)，因此河段編號 1 在 2010 年、2013 年及 2017 年崩塌率都未低於 3.4%。具有類似情況的河段包含河段編號 21 及 25。

二、位於河岸崩塌偏多(崩塌率大或等於 5.0%)的彎曲河段，建議以河岸崩塌群聚地為中心，往上下游各 1000 公尺區域內劃設為特定水土保持區：河段編號 3、12、21、28 及 52 都屬於此類型，在 2010 年、2013 年及 2017 年崩塌率都偏高。

第六章 結論

水土保持法第 16 條共 6 款法令明定各種各被劃設為特定水土保持區的種類，但過往至今僅有 2 款法令被啟動使用，但以水土保持法第 16 條第 1 款水庫集水區為劃設方式的作法，歷經多年仍無法獲得各界普遍認同，在氣候變遷導致環境災害頻傳的年代，考量啟動其他尚未啟動的法規來達到積極保育實有其必要性。

過往劃設特定水土保持區的方式可分為水庫集水區、單一崩塌跟單一土石流，近年雖然也有大規模崩塌正考量要劃入特定水土保持區，但仍屬單一崩塌的劃設樣態。近年因極端降雨事件頻繁發生，因此經常出現群聚崩塌現象，可能發生在子集水區或河道兩種尺度上。群聚崩塌所產生的巨量土砂對集水區地貌跟後續演化的影響已經在多篇研究中被提出，巨量土砂在河道的堆積與緩慢運移，是該集水區後續幾年災害發生及演化的主因。本研究的目的是在於說明群聚土砂需被列為重點考量，且需長期治理，可考量啟動水土保持法第 16 條第 2 款及第 3 款法令來做積極保育處理。

以本研究對曾文水庫集水區至期末階段的研究結果顯示：曾文水庫集水區的確有群聚崩塌在子集水區與河段的案例，經多年期崩塌資料比對，也發現具有群聚崩塌子集水區跟河段在後續幾年有難以復育或更易於誘發新崩塌產生的特性。本研究於第三章說明從各面向分析

曾文水庫集水區之子集水區在各時期的崩塌、河川地形及地貌演化的情況，第四章則說明集水區崩塌活躍性分佈及以時空熱區分析探討崩塌熱區類型、分佈位置及面積等數據。本研究於第五章彙整要啟動水土保持法第 16 條第 2 款及第 3 款法令，在法規上所可能遇到的問題，及在實務上要以哪些指標作為篩選門檻。

以曾文水庫集水區各子集水區歷年崩塌復育而言，要符合水土保持法對特定水土保持區之要求：「亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區」，則以子集水區為劃定單位的有長谷川溪子集水區及達邦子集水區符合資格，以河段為劃定單位的則有具有高產砂量匯入的交匯口與具有大量河岸崩塌的蜿蜒河段也符合資格。本研究主軸在於強調各子集水區或河段能否消化掉崩塌後的土砂量，所以位於最上游、崩塌案例最多且匯集流量最小的長谷川溪子集水區及達邦子集水區無法消化掉大量土砂，而衍生後續相關難以短期復育的大量河岸崩塌，而當大量土砂從支流匯入，蜿蜒的主流河段一樣會面臨無法消化土砂量而導致更多河岸崩塌發生的現象。這些現象都可被視為沒有人為工程進入積極保育的話，就無法快速復育，也符合「亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區」之要求。本研究建議後續可將劃設門檻值用於全台灣各子集水區長年崩塌分佈再做檢驗，已決定未來和適於各區劃設的門檻。

參考文獻

1. 行政院農委會水土保持局(2016),「105 年土石流警戒基準值檢討與更新」。
2. 行政院農委會水土保持局(2017), 水土保持手冊。南投：行政院農委會水土保持局。
3. 王珮茹(2020),「智慧國土之水庫特定水土保持區工程資訊化輔助管理研析」, 行政院農業委員會水土保持局創新研究報告(計畫編號： SWCB-109-231)
4. 吳俊鎡(2020), 以集水區崩塌長期演化談水土保持關鍵治理區位, 行政院農業委員會水土保持局創新研究報告(計畫編號： SWCB-109-238)
5. 吳俊鎡、周洲廷、林政誼(2020), 頻繁土砂災害在和社溪集水區地貌及崩塌演變分析, 中華水土保持學報 51(4):147-158。
6. 梁昇(2002), 水庫集水區特定水土保持區劃定面面觀, 坡地防災學報 1(1), 3-24。
7. 連惠邦、姜燁秀、王珮茹(2016),「臺灣特定水土保持區劃定及管理之探討」, 水保技術 10(2): 28-36。
8. 陳振宇、陳均維、陳國威及林詠喬(2019),「坡地降雨致災熱區警戒模式」, 中華水土保持學報 50(1):1-10。
9. 陳樹群、吳俊鎡(2009), 高雄縣小林村獻肚山巨型深層崩塌引致之地形變遷特性, 中華水土保持學報 40(4): 359-376。

10. 黃奉琦(2020),「水庫集水區特定水土保持區分級管理可行性之研究」,行政院農業委員會水土保持局創新研究報告(計畫編號:109保發-11.1-保-01-06-001(5))。
11. 詹錢登、李明熹 (2004),「土石流發生降雨警戒模式」, 中華水土保持學報 35(3), 275-285。
12. Hervás, J., Montanarella, L. (2007) Guidelines for mapping areas at risk of landslides in Europe. Expert Meeting, European Commission Institute for Environment and Sustainability. Joint Research Centre (JRS), Ispra, Italy.
13. Li, C., Wang, M., Liu, K. (2018) A decadal evolution of landslides and debris flows after the Wenchuan earthquake. *Geomorphology* 323, 1-12.
14. Shafique, M. 2020. Spatial and temporal evolution of co-seismic landslides after the 2005 Kashmir earthquake. *Geomorphology* 362, 107228.
15. Wu, C.H. (2019). "Landslide Susceptibility Based on Extreme Rainfall-Induced Landslide Inventories and the Following Landslide Evolution." *Water*, 11(12), 2609.
16. Yang, W., Qi, W., Wang, M., Zhang, J., Zhang, Y. (2017) Spatial and temporal analyses of post-seismic landslide changes near the epicentre of the Wenchuan earthquake. *Geomorphology* 276, 8-15.
17. Yunus, A.P., Fan, X., Tang, X., Jie, D., Xu, Q., Huang, R. (2020) Decadal vegetation succession from MODIS reveals the Spatial-temporal evolution of post-seismic landsliding after the 2008 Wenchuan earthquake. *Remote Sensing of Environment* 236, 111476.

18. Zhang, S., Zhang, L., Lacasse, S., Nadim, F. (2016). "Evolution of Mass Movements near Epicentre of Wenchuan Earthquake, the First Eight Years." *Scientific Reports*, 6, 36154(2016).

附錄一 期初報告審查意見回覆

審查意見	本研究回覆
蘇委員苗彬	
1.工作項目第一項為文獻蒐集，似乎不需單獨成項，分兩類各五篇應為至少，期初的文獻似乎已有。	感謝建議，本研究搜尋文獻意義有二，一為瞭解過往以水庫集水區為特定水土保持區劃設單元所遇到問題，二維瞭解國際上發生群聚崩塌區域後來的演化情況，上述兩目的也是目前本文第二章。本研究在期中報告陸續蒐集相關資料，豐富參考文獻章節。
2.工作內容應區分文獻引用與本研究創見，在描述上應說明清楚。	感謝建議，工作內容已有特定說明本研究創見部分。
3.曾文水庫的崩塌圖層應已有許多資料。	感謝建議，本研究至期中報告為止，已蒐集 2009 至 2017 年崩塌圖層，並以這些圖層進行相關分析，2018 年至 2020 年將向相關單位申請使用。
4.崩塌發生用活躍性，名稱與慣用不同。	感謝建議，崩塌活躍性一詞出自於國際文獻使用 landslide activeness 一詞，activeness 一詞譯為活躍性或積極性，本研究取活躍性使用。經本研究搜尋相關文獻，崩塌活躍性分析(landslide activeness)在過往國內並未曾使用過，本研究引入此分析方式以探討崩塌難復育或易誘發位置及原因。

5.研究水庫集水區不宜整體劃作特定水土保持區，應為必要可以考慮原文水庫集水區加但書或註明。	感謝建議，本研究在期中報告將述及「水庫集水區劃設為特定水土保持區」之文字重新潤飾，避免後續讀者產生誤會。
6.P.2-5 建議白河、烏山頭水庫、地方政府朝向”無需特別保護區”劃分。	感謝建議，比對委員意見修改。本建議已修正。
7.計畫書中用語力求能量化，如簡報 3.2%是大還是小，崩塌地演化受許多因子影響，用區狀群聚與線狀區分似乎無法說明相關性分析，應注意其物理意義。	感謝建議，以台灣崩塌分析經驗而言，崩塌率大或等於 1.0%即可視為發生嚴重崩塌，崩塌率達 3.2%即可視為發生罕見嚴重崩塌。本研究也將文稿中提及區狀群聚更改為子集水區崩塌群聚，線狀群聚更改為河川兩岸崩塌群聚。本修正已全文修改。
8.本研究所訴求應更清楚建立，納入工程個案實施以符合實際，水庫集水區重點應從支流野溪河道淤積演變的時空變化來看，以短期圖層來評定崩塌活躍性可能可以再檢討。	感謝建議，本研究訴求在於嘗試啟動水土保持法第 16 條第 2 款及第 3 款的可行性，野溪河道的淤積演變在期中報告第 3.5 節有完整敘述。崩塌活躍性只是一個分析方式，是否合適成為最後篩選成為特定水土保持區之因子仍待最後分析判斷。
9.曾文水庫當初有集水區治理計畫，應提出評估檢討。	感謝建議，「曾文、南化、烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫—水庫集水區保育治理實施計畫」，本研究放入文稿提供比對參考。

陳委員建元	
1.P.1-1 所述法規條文如水土保持法第 3 條第 5 款建議與最新版本特定水土保持區劃定與廢止準則(109 年 4 月 30 日)勾稽，另特定水土保持區資料(107 年版本)亦請查詢更新。	感謝建議，已將文稿內提及相關法令文字重新比對更新。
2. P.1-5 本計畫以崩塌時空熱區是否含土石流等其他可劃定為特定水土保持區之條件？	感謝建議，本研究主旨仍在探討啟動水土保持法第 16 條第 2 款及第 3 款法令，劃定為特定水土保持區的方法、判別方式與門檻，並藉由多期崩塌目錄及相關分析方式來找尋未來依據此兩款法令劃設的管理值。目前期中報告內容已有進行崩塌時空熱區分析，根據結果顯示：水庫上游集水區較多維持長時間的崩塌熱區，代表崩塌不易復育。崩塌時空熱區分析可顯現具有群聚崩塌子集水區或河段長期崩塌演化的結果。
3.水庫集水區以水庫為主要保全對象應屬長期與崩塌熱區之保全對象(道路、居民等)不同，若不以往水庫之劃定方式，是否應考慮水庫以外之保全對象，如現有崩塌及土石流特定水土保持區之劃定條件。	感謝建議，委員所提應是特定水土保持區劃定與廢止準則第三條第二項與水土保持技術規範第 146 及 147 條，這些規範的確是目前以崩塌及土石流劃設為特定水土保持區的判斷依據。本研究目的在於探討尚未啟動過的水土保持法第 16 條第 2 及 3 款，以

	創研計畫的目的跟規模，此案屬於前期研究，研究目的在於水土保持法第 16 條第 2 及 3 款是否在實務上有對應地區、這些地區是否具備「亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區」之條件及該如何篩選等議題。
4. P.4-12，技術規範第 145 條有環境風險率之評估，以冷熱區來劃定是否符合現有規範？	感謝建議，崩塌時空熱區在於展現一個地區若無相關工程進入積極治理，則該地區的崩塌將會維持多久的特性。
5. 目前規劃方法能符合特定水土保持區劃定與廢止準則第 3 條之規定，建議亦考慮第 5 條之規定，以非水庫特定水土保持區劃定時是否有符合廢止之情形。	感謝建議，崩塌率、新增崩塌跟舊崩塌難復育等三指標是本研究在期中報告內篩選的方式，也能夠顯示評估區域是否具有「亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區」，本研究會思考以這三指標低於多少以下即可符合廢止的條件。
6. 目前曾文水庫集水區是否有大規模崩塌、土石流溪流及其他地質敏感區？建議可列入考量。	感謝建議，曾文水庫集水區內大規模崩塌個數在期中報告 3.4 節有歷年資料，土石流潛勢溪流則補充於 3.1 節，地質敏感區則以斷層與山崩與地滑敏感區位兩者為主，本研究補充於 3.1 節。
7. 以曾文水庫集水區為例，若建議劃設特定水土保持區，主管機關之意願為何？民眾是否反對？	感謝建議，曾文水庫集水區目前並未被正式提出劃定為特定水土保持區，經濟部水利處南區水資

是否列入考量？	源局曾在 2000 年做過相關研究。由烏山頭及白河水庫在民國 89 年劃設為特定水土保持區案例而言，多數民眾跟地方政府都持反對意見(詳見本研究 2.1 節)。
8.以崩塌熱區來劃定特定水土保持區應先確認是否符合現有劃定規範，若改以崩塌及土石流特定水土保持區來劃定，則應符合現有劃定規範。	感謝建議，本研究僅屬於前期研究，崩塌時空熱區在於展現一個地區若無相關工程進入積極治理，則該地區的崩塌將會維持多久的特性，未必會成為後續篩選指標。
10.水庫周邊蓄水範圍崩塌對水庫有最直接影響，是否有納入分析需求？自然林無保全對象(水庫除外)，不建議納入劃定。	感謝建議，依據本研究圖 3-1-1 的高程與崩塌分佈圖可發現：以 2009 年莫拉克颱風誘發崩塌分佈而言，庫區蓄水範圍的崩塌較少，但沿庫區上游水系分佈的崩塌繁多，本研究已將水系崩塌納入分析。隸屬於國有林區域內，未來正式商談是否劃設過程並不會納入特定水土保持區考量範圍。
連委員榮吉	
1.本創研計畫從現行水土保持法相關法規研析提出特定水土保持區劃定實務見解，針對問題研議解決方式，工作執行計畫符合研究目的，認屬可行。	感謝委員建議。
2.本研究所提考量劃設為特定水	感謝委員建議，本研究的初衷在

土保持區單位之「群聚崩塌集水區」及「群聚崩塌河段」兩種方式，其論述可”大集水區(水庫集水區)”考量大小、河川型態及其關聯性，並以圖示展示說明，以利瞭解。	於「水庫集水區的崩塌仍會有群聚現象，群聚在特定的更小子集水區或河段」，並以此想法希望可不走向「全水庫集水區都劃設為特定水土保持區」。以本研究所分析的曾文水庫集水區為例，3.1 節的相關圖資有顯示幾個關鍵數據：2009 年莫拉克颱風是 200 年頻率年降雨事件，也是曾文水庫集水區歷年曾經歷過最嚴重的颱風，崩塌率約 2.88%，也代表有 97.12%集水區面積是在 200 年頻率年降雨事件下沒有產生崩塌的(圖 3-1-1)。本研究也從子集水區的分析中瞭解崩塌群聚現象發生在上游五個子集水區跟河段，如 3.3 至 3.5 節文稿。
3.本計畫積極目的，如係擬解決目前水土保持法第 16 條：「水庫集水區」、「主要河川上游之集水區須特別保護者」、「海岸、湖泊沿岸、水道兩岸須特別保護者」，並分別以「群聚崩塌集水區」及「群聚崩塌河道」對應後二者，可嘗試整合論述研究成果，擴大至水庫集水區之劃設論述(以曾文水庫集水區為例，啟動水土保持法第 16 條第 2 款、第 3 款→	感謝委員建議，本研究稍微調整說明文稿，若以「針對問題對症下藥」的處理方式，則面對具有群聚崩塌的子集水區或河段而言，使用水土保持法第 16 條第 2 款及第 3 款會更合適於使用水土保持法第 16 條第 1 款。委員其他建議，本研究遵從建議。

水土保持法第 16 條第 1 款之未來性)，即「暫時擱置水土保持法第 16 條第 1 款→預留伏筆→未來擴大研究成果」。	
4.由於河川型態改變，沖淤不一，是否僅引發更多河岸崩坍或仍有其他作用(如穩定河岸坡腳)，宜可討論。	感謝委員建議，本研究在 3.5 節及 4.1 與 4.2 節有完整敘述大量土砂匯入對河川型態的演變，以對具有大量土砂產出的野溪匯入口及具有大量河岸崩塌的彎曲河段這兩者而言，河川型態演變跟擺盪是明顯趨勢。
吳委員菁菁	
1.前言部分，請將特保區近幾年劃入劃出之變化及數據，以最近資料說明。	感謝建議，本研究由政府資料開放平台(http://data.gov.tw)彙整由 103 年至 110 年之特定水土保持區資料於表 1-1-1。
2.白河及烏山頭水庫之說明，包括範圍、已公告及管理機關等資訊，請修正補充。	感謝建議，已在第一章內容補充說明。
3.參考文獻應增加本局近幾年相關委辦研究之內容，尤其法制調整建議等。	感謝建議，已補充在 2.1 節。
4.本研究係創新研究，建議可以分為技術創新論述及實務執行情形等，相互搭配論述。	感謝建議，本文在期中報告結論章節提出補充說明。
姜委員燁秀	
1.對象第 2 款：主要河川上游之集水區需特別保護，及第 3 款：	感謝建議，以此兩款法律文字而言，泛指全國符合此兩款文字之

海岸、湖泊沿岸、水道兩岸需特別保護者，是否為水庫集水區？	區域，並非專指水庫集水區內。但如本研究 2.1 節所述，以第 16 條第 1 款水庫集水區欲劃設為特定水土保持區已有困難，為執行實際保育作為，改為以第 2 款及第 3 款針對水庫集水區內相對崩塌嚴重區域進行劃設。
2.103 年已針對台灣本島 67 座(68 座)水庫做調查，水庫之分類，加強論述為何挑曾文水庫集水區？	感謝建議，本文已在 2.1 節最後補充選擇曾文水庫集水區之論述：曾文水庫集水區是南台灣供水的主要來源，也是全台蓄水量最大水庫，但近年水庫淤積率已接近 30%(以 2019 年概算數據約為 28.18%)。
3. P.1-2、P.2-4 白河水庫集水區僅部分在台南市(可不提)。	感謝建議，比對建議修正文字。
本局保育治理組	
1.有關本案研究方法中，率定出崩塌的活躍性，因而決定治理工區區位，過去分析研究中是否有休眠或不活躍的崩塌區位短期快速轉變為活躍崩塌區位造成特例情況產生，請補充說明。	感謝建議，休眠或不活躍的崩塌活躍性判斷方式在於「以判斷年份為主，早期時間發生崩塌，但接近判斷年份的近年已無崩塌」，例如吳俊銘等(2020)針對和社溪集水區的分析即分析 2001 年至 2015 年崩塌分佈，休眠與不活躍都屬於「早期發生崩塌，但近期並無崩塌」，國際相關文獻判斷方式也類似(詳見本文 4.1 節)。要評斷被歸納為休眠與不活躍是否真

	的屬於崩塌發生低潛勢區，只要比對近年上述區域所經歷過的降雨量，即可瞭解降雨誘發崩塌門檻值是否已經提升。
本局技術研究發展小組	
1.表 3-1-4、表 3-1-5 及表 3-2-1 等崩塌分布表，崩塌率之計算方式為何？(以表 3-1-5 為例，崩塌面積為 0 者，卻有不同的崩塌率。)	感謝建議，崩塌率為評估區域內的崩塌面積足以評估區域總面積，並以百分比表示。表格部分錯誤數據已修正。
2.水土保持局劃設子集水區已於 110 年更新為 839 子集水區，建議以最新 839 子集水區來分析。	感謝建議，已全文更新。本研究也比對曾文水庫集水區內原本 741 子集水區跟目前使用的 839 子集水區，兩者並無差異。
3.如劃設特定水土保持區以崩塌率為門檻值，因上游、中游等區位之治理單位、治理方式不同，是否考慮崩塌區位、子集水區面積、保全對象。	感謝建議，本研究主軸在於思考啟動水土保持法第 16 條第 2 款及第 3 款的法規，對於群聚崩塌子集水區及河段考量是否劃設保全對象。以崩塌區位而言，本研究所考量的子集水區跟河段都具有群聚崩塌現象，子集水區面積則是比對 839 子集水區為劃設單元，但崩塌率需偏高才能達到群聚崩塌現象。保全對象則為水庫集水區庫容及河道兩岸土地等。
4.表 3-1-3，表名”坡”向分布表、第一欄欄名坡”向”分區	感謝建議，已修正。
本局監測管理組	
1.請蒐集水土保持法第 19 條第 2	感謝建議，本研究已在 2.1 節補

項水庫集水區特定水土保持區相關但書規定之法令，研析全區劃設水庫集水區特定水土保持區之可行性，並蒐集水庫集水區特定水土保持區與一般特定水土保持區之開發利用與限制，分析其劃設之利弊得失與難易度，以利後續論述。	充「以水庫集水區劃設為特定水土保持區」之優缺點分析。
2.表 3-2-1 曾文水庫集水區地層與崩塌分布圖表，僅以崩塌率判斷熱區是否合理，另既有崩塌面積多寡，是否應有加權考量。	感謝建議，崩塌率是崩塌面積除以全評估區域面積，因此崩塌率估算過程即帶有崩塌面積之考量。以目前本研究採用比例尺 1/5000 之流域地質圖而言，地層分佈資料上已夠細緻，並將同一類地層視為具有相同崩塌誘發特性，則崩塌率可視為該地層是否好發崩塌的指標。 本研究於期中報告也補上各地層種類歷年崩塌率變化及崩塌復育分析資料。

附錄二 期中報告審查意見回覆

審查意見	本研究回覆
陳委員建元	
一、建議於期末報告說明熱區選取方法，如用 GIS 分析可繪流程圖說明。	感謝建議，時空熱區分析流程圖已經補充在 4.2 節。
吳委員菁菁	
一、表 1-1-1 備註所提無 108 年資料，則表中資料來源為何？	感謝建議，原文誤植，本研究有找到當年度資料。
二、P3-13 降雨分佈建議增列全台雨量平均值，以對照當年整體環境。	感謝建議，以補充全台平均降雨資料在表 3-1-9 至 3-1-11 內容，該資料取自水利署公告水利統計簡訊資料。
三、P3-39 表 3-3-1 之紀錄排序方式為何？規模為何種標準？深度之單位為何？請說明補充。	感謝建議，該表以時間為排序，最接近現在的時間在最上方，最遠離現在的時間在最下方。此表資料是由中央氣象局地震測報中心地震資料庫查詢，規模為芮氏規模，深度單位為公里。本研究將上述相關資訊補充在該表底下
四、P5-8 表 5-1-1 及表 5-1-2 之標題，是否無需”復育”？	感謝建議，原表 5-1-1 與表 5-1-2 已合併，原表標題的確有贅字之嫌，本研究已刪除，避免產生誤解。
姜委員燁秀	
一、建議增加崩塌災害與土地利用型態之空間關係之探討。	感謝建議，已在 3.1 節增加更土地利用更細緻分類與分析

附錄三 期末報告審查意見回覆

審查意見	本研究回覆
1.依據水保法 16-2 或 16-3 條劃設特定水土保持區，未來的治理方式為何？今年 8 月的玉穗溪災害樣態是否也能用 16-3 條來解釋？	感謝委員建議。本研究所提出的理念都著重在當大量土砂進入河川後，會導致河川型態變遷並誘發更多河岸崩塌，促使該河段進入土砂惡性循環，因此未來治理策略應著重在評估各河段能承受的土砂量跟利用防砂工程控制河段，避免發生嚴重河川型態變遷。2021 年玉穗溪災害也是屬於集水區多年持續崩塌的土砂進入河川，降低降雨誘發土石流的門檻值，此類持續有崩塌產生的集水區的確是考量重點。
2.可檢討應用於未來特定水土保持區劃定類別之選項考量。	感謝委員建議。