計畫編號：**SWCB-110-045**

臺灣地區沉積岩地質區淺層崩塌與土石流潛勢關聯性分析

成 果 報 告

主辦單位：行政院農業委員會水土保持局

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系

計畫主持人：林美聆教授

中華民國 110 年 12 月

臺灣地區沉積岩地質區淺層崩塌與土石流潛勢關聯性分析

摘要

在目前氣候變遷之趨勢下，全球及臺灣地區極端降雨有增加趨勢，導致山坡地土砂災害事件發生頻率增加。其中以淺層崩塌常發生在土石流潛勢溪流集水區中並引致土石流，兩者間關係非常密切(中筋章人，1977)。農業委員會水土保持局(2017~2020)分別選取沉積岩地質區不同研究區內的土石流潛勢溪流集水區進行淺層崩塌研究，對於土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢建立良好的評估模式。本研究進一步針對臺灣南部地區沉積岩地質區的土石流潛勢溪流集水區尺度淺層崩塌潛勢等級以及土石流潛勢溪流發生潛勢等級之間的關聯進行分析。

研究先收集近年水保局土石流集水區發生之土砂災害速報案例，提供淺層崩塌發生與土石流潛勢溪流之關聯分析比較驗證。在研究中參考 Zheng(2009)土石流潛勢溪流集水區進行分區位討論，並採用水保局(2019)「土石流潛勢溪流劃設作業手冊」提及之集水區劃分方法，將研究區內隨機選取 26 處的土石流潛勢溪流集水區進行上、中以及下游區位劃分，再刪除 26 處中無發生淺層崩塌紀錄以及發生潛勢為低的集水區後之 15 處土石流潛勢溪流集水區進行集水區內各區位的面積崩塌率以及淺層崩塌潛勢分布之間的關聯分析。可發現面積崩塌率以中游區位高於上游區位，而淺層崩塌潛勢值分布則發現淺層崩塌高潛勢分布在上游區位較多，而且上游區位的淺層崩塌高潛勢面積分布位於土石流集水區發生潛勢高的數量高於發生潛勢為中的集水區。

將研究區內的 5 處有歷史災情的土石流潛勢溪流集水區進行分

析驗證，可得到其面積崩塌率於上游區位皆高於中游區位。淺層崩塌潛勢值在發生等級為中的集水區中，其中游區位的淺層崩塌中、高潛勢值高於上游區位，而發生等級為高的集水區中，上游區位的淺層崩塌潛勢值面積分布高於中游區位，兩等級合併之集水區情形後亦然，可得到良好一致之關聯。

然而在研究過程中發現，地質年代因子中因上新世地層的面積崩塌率遠大於其他地質年代，因此部分集水區淺層崩塌潛勢值受到上新世地層所控制。並且在後續討論中發現，包含泥岩性質的地層上有較多的面積崩塌率，而有多數淺層崩塌發生於地質構造附近，顯示地質特性之變異造成分析結果的差異，未來建議持續討論地質因子並加入土石流發生次數，來分析土石流潛勢溪流集水區發生潛勢等級以及淺層崩塌潛勢之間的關聯性，期許為土石流潛勢溪流防災研究上能有更進一步的發展，以期能提供相關災害後續防治策略之參考依據。

關鍵字：南部沉積岩區帶、淺層崩塌、土石流潛勢溪流潛勢等級、淺層崩塌潛勢

Correlation of Shallow Landslide and Debris Flow Potential in Sedimentary Rock Area of Southern Taiwan

Abstract

With the climate change tendency, heavy rainfall becomes increasingly frequent which may increase the frequency of landslides and debris flow. Among various types of landslides, shallow landslide is the most common one, and often triggers debris flow (Akihito Nakasuji，1977). In the previous studies (SWCB, 2017~2020), various study areas, in the sedimentary rock area of Taiwan were selected to analyze the potential of shallow landslides in the debris flow basins, and an assessment model for the potential of shallow landslides was constructed. This study analyzes the correlation between the potential of shallow landslides on a basin scale and the potential level of debris flow streams in the sedimentary rock area of southern Taiwan.

We collected cases from “The Damage Report on Major Sediment Disasters” of SWCB in recent years for study and comparison of the potential of shallow landslide in debris flow basin. Then 26 debris flow basins were randomly selected in the study area and 11 debris flow basins without shallow landslides or with low potential debris flow basins were deleted. Refer to zoning discussion in Zheng (2009), and the basins were divided to upstream, midstream, and downstream zones following "Debris Flow Potential Watershed Design Manual" (SWCB, 2019). The correlation between the potential of shallow landslides and the potential of debris flow in 15 basins was discussed, it was found that the landslide ratio is higher in the midstream zone than in the upstream zone, and the ratio of high landslide potential is distributed in the upstream zone more, while the high landslide potential area distribution of basins in the upstream of high potential debris flow basins were more than medium potential basin.

5 debris flow basins with historical records in the study area were discussed. For the upstream zone of the 5 debris flow basins the landslides ratio is higher than that of the midstream zone. In the intermediate potential debris flow basins, the landslide are ratio in the midstream is higher than that in the upstream, and landslide area ratios are higher in the upstream in the high potential debris flow basins suggesting a good and consistent correlation.

During this research process, it was found that the landslide ratio in the Pliocene strata zone is much greater than that of other geological zone, and the shallow landslide potential is affected by the Pliocene strata zone. In addition, a higher landslide ratio in the stratums containing mudstone was found, and most of the shallow landslides occurred near geological structures, indicating a change of geological characteristics cause could significant differences in the potential analysis results. It is suggested that the geological factors be discussed in the future study, and the number of recurring debris flow be added to discuss the relationship between the potential of debris flow and the potential of shallow landslide.

Keyword: Sedimentary rock geological zone of southern Taiwan , Shallow landslide, Debris flow, the potential of shallow landslide

目錄

摘要.....I

Abstract.....I

目錄 III

表目錄 V

圖目錄 VII

第一章 前言.....1

第一節 目的.....1

第二節 前期研究摘要.....2

第三節 相關研究文獻回顧.....10

第二章 研究區簡介.....15

第一節 沉積岩區之土石流潛勢溪流集水區與淺層崩塌.....15

第二節 研究區及分析集水區與淺層崩塌選取.....20

第三節 歷史土砂災害案例整理.....25

第三章 土石流潛勢溪流淺層崩塌潛勢集水區尺度評估.....31

第一節 土石流潛勢溪流選取.....31

第二節 土石流潛勢溪流集水區區位劃分.....35

第三節 集水區不同區位淺層崩塌潛勢分布.....43

第四章 集水區尺度淺層崩塌潛勢與土石流發生潛勢之關聯.....51

第一節 歷史事件驗證.....51

第二節 地層年代分布探討.....65

第三節 區域地質特性對集水區崩塌潛勢之影響.....70

第五節 結論與建議.....77

第一節 結論.....77

第二節 建議.....78

第六章 參考文獻 79

附件一、審查意見 81

附件二 土石流潛勢溪流集水區劃分成果 82

附錄三 淺層崩塌潛勢分布 108

表目錄

表 2-1　水保局(2017~2020)各研究區面積崩塌率比較表 17
表 2-2　歷年土砂災害案例速報資料整理 25
表 3-1　範例土石流潛勢溪流集水區之面積崩塌率(1/2) 41
表 3-2　範例土石流潛勢溪流集水區之面積崩塌率(2/2) 42
表 3-3　淺層崩塌發生潛勢於集水區中、上游區位之面積分布(土石流潛勢溪流發生潛勢：中) 45
表 3-4　淺層崩塌發生潛勢於集水區中、上游區位之面積分布(土石流潛勢溪流發生潛勢：高) 47
表 3-5　各土石流潛勢溪流集水區不同區位面積崩塌率比較 50
表 3-6　不同區位及發生等級之土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌潛勢面積百分比 50
表 4-1　土石流潛勢溪流集水區之面積崩塌率 52
表 4-2　歷史土石流潛勢溪流集水區各流域之淺層崩塌潛勢值面積百分比 61
表 4-3　五處土石流潛勢溪流集水區不同區位面積崩塌率比較 62
表 4-4　不同區位及發生等級之土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌潛勢面積百分比 62
表 4-5　各地層年代之面積崩塌率 66
表 4-6　研究區各年代地層中地質構造長度 72
表 4-7　水保局(108 年)及水保局(109 年)研究區內各年代地層之面積崩塌率比較 72

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖 2
圖 1-2 土石流潛勢溪流高市 DF007 區別分析 Z 值分佈圖 3
圖 1-3 土石流潛勢溪流竹縣 DF045 集水區淺層崩塌潛勢 Z 值分佈圖(單一土石流潛勢流集水區分析結果) 5
圖 1-4 土石流潛勢溪流竹縣 DF045 集水區淺層崩塌潛勢 Z 值分佈圖(合併土石流潛勢溪流集水區分析結果) 6
圖 1-5 2019 年研究區之淺層崩塌潛勢值分布圖 7
圖 1-6 2019 年研究區之簡化公式淺層崩塌潛勢值分布圖 8
圖 1-7 2020 年研究區淺層崩塌潛勢圖 9
圖 1-8 非土石流潛勢溪流集水區區域之淺層崩塌潛勢分布圖.....10
圖 1-9 研究用土石流分區示意圖 11
圖 1-10 敏感區域分布圖(a)崩塌潛勢分布圖；(b)土石流潛勢分布圖 12
圖 2-1 沉積岩工程地質分區之土石流潛勢溪流集水區及淺層崩塌分布 16
圖 2-2 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌分布(辛樂克颱風).....18
圖 2-3 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌分布(莫拉克颱風).....19
圖 2-4 研究區範圍 21
圖 2-5 面積分布圖 22
圖 2-6 坡度分布圖 22
圖 2-7 坡向分布圖 23
圖 2-8 長寬比分布圖 23
圖 2-9 高程分布圖 24
圖 2-10 高程差分布圖 24

圖 2-11 水保局重大土砂災害速報表(水保局，2016) 29
圖 3-1 研究區土石流潛勢溪流集水區抽樣分布 33
圖 3-2 土石流潛勢溪流集水區坡度分布圖 34
圖 3-3 土石流潛勢溪流集水區坡向分布圖 34
圖 3-4 土石流潛勢溪流集水區年代地層分布圖 35
圖 3-5 土石流潛勢溪流集水區溪床分界範例圖(投縣 DF129).....36
圖 3-6 劃設投縣 DF129 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位 ..
.....37
圖 3-7 投縣 DF129 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布
.....37
圖 3-8 劃設嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位 ..
.....38
圖 3-9 嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布
.....38
圖 3-10 劃設南市 DF008 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位 ..
.....39
圖 3-11 南市 DF008 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布
.....39
圖 3-12 環境潛勢因子 Z 值分級示意圖 48
圖 3-13 嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值
分布 48
圖 3-14 土石流潛勢溪流集水區南市 DF008 內淺層崩塌及評估潛勢值
分布 49
圖 4-1 歷史事件土石流潛勢溪流集水區分布 53
圖 4-2 劃設土石流潛勢溪流集水區投縣 DF235 中、上游分界區位 ..
.....54

圖 4-3　土石流潛勢溪流集水區投縣 DF235 之區位劃分.....54
圖 4-4　劃設土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF039 中、上游分界區位 ..
.....55
圖 4-5　土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF039 之區位劃分.....55
圖 4-6　劃設土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF049 中、上游分界區位 ..
.....56
圖 4-7　土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF049 之區位劃分.....56
圖 4-8　劃設土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF051 中、上游分界區位 ..
.....57
圖 4-9　土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF051 之區位劃分.....57
圖 4-10 劃設土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 中、上游分界區位 ..
.....58
圖 4-11 土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 之區位劃分.....58
圖 4-12 土石流潛勢溪流集水區投縣 DF235 內淺層崩塌及評估潛勢值
分布 63
圖 4-13 土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF039 內淺層崩塌及評估潛勢值
分布 63
圖 4-14 土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF049 內淺層崩塌及評估潛勢值
分布 64
圖 4-15 土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF051 內淺層崩塌及評估潛勢值
分布 64
圖 4-16 土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 內淺層崩塌及評估潛勢值
分布 65
圖 4-17 地質年代分布圖 67
圖 4-18 上新世地層分布圖 68
圖 4-19 土石流潛勢溪流集水區南市 DF008 之淺層崩塌潛勢與上新世

地層比對圖 69
圖 4-20 土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 之淺層崩塌潛勢與上新世地層比對圖 69
圖 4-21 土石流潛勢溪流集水區南市 DF039 之淺層崩塌潛勢與上新世地層比對圖 70
圖 4-22 研究區周圍之斷層分布圖 73
圖 4-23 研究區周圍之褶皺分布圖 74
圖 4-24 20 處土石流潛勢溪流集水區中游區位之面積崩塌率與淺層崩塌面積百分比分布圖 75
圖 4-25 20 處土石流潛勢溪流集水區上游區位之面積崩塌率與淺層崩塌面積百分比分布圖 75

第一章 前言

第一節 目的

在目前氣候變遷之趨勢下，全球及臺灣地區極端降雨有增加趨勢，行政院國家發展委員會「國家氣候變遷調適政策綱領」(2012~2017 年)分析顯示，極端降雨與氣候變異是坡地災害發生的重要原因之一，導致山坡地土砂災害事件之發生頻率增加。淺層崩塌常發生在土石流潛勢溪流集水區中並引致土石流，兩者間關係非常密切。農業委員會水土保持局(以下稱水保局)(2017~2020)分別選取沉積岩地質區不同研究區內的土石流潛勢溪流集水區進行淺層崩塌研究，對於土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢有良好的分析成果。

本研究為進一步探討集水區內淺層崩塌潛勢分布與土石流發生潛勢的關係，將針對臺灣地區沉積岩地質區的土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢分布以及土石流潛勢溪流發生潛勢等級之間的關聯進行分析，以期能提供相關災害後續防治策略之參考依據。

研究蒐集土石流以及淺層崩塌土砂災害事件。再用 2020 年研究得到的南部淺層崩塌潛勢模式，討論南部研究區(2019 和 2020 年)內的土石流潛勢溪流發生潛勢以及淺層崩塌潛勢之間的關係提供土石流潛勢溪流發生潛勢的評估參考；利用蒐集到研究區內的土石流以及淺層崩塌的歷史災情，進行評估方法的驗證，評估方法研究流程如圖 1-1。

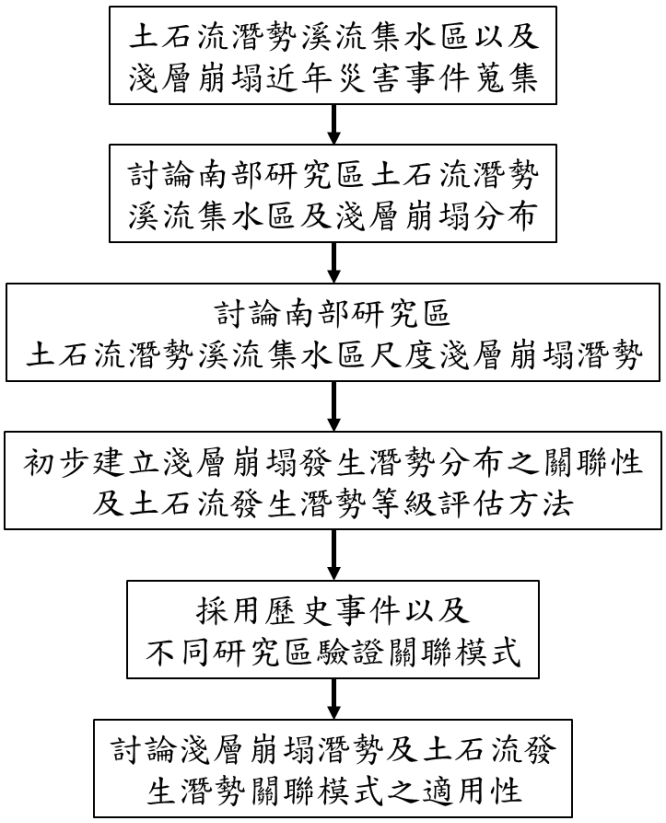


圖1-1　研究流程圖

第二節 前期研究摘要

本團隊由 2017 年至 2020 年針對臺灣西部地區的沉積岩區進行土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌的發生潛勢分析。依據「臺灣地質」(林朝棨，1974)提到沉積岩為可類比地層，但是在臺灣北、中和南地區發現其沉積性質隨著沉積環境會略有改變，因此 2017 年至 2020 年挑選不同研究區進行討論。前期研究中採用經濟部中央地質調查所(以下稱地調所)在 2010~2015 年期間執行的「國土保育之地質敏感地區調查分析計畫」所產製的崩塌圖層，水保局(2020)編修成果後所得到的淺層崩塌圖層。在每期研究中選擇 10 處淺層崩塌進行現地調查，由現地調查觀察現場實際情形並加以記錄，然而有多數的崩塌圈繪與現場觀察有所差異，此現象造成後續研究分析時的誤差。在研究中探討多種淺層崩塌潛勢因子的適用性，以及分析單元大小的選擇，亦統整不同研究區的淺層崩塌潛勢公式，歸納出可行及具有代表性的區域

性淺層崩塌潛勢公式。後續討論不同分析方法的優劣，包含統計分析中的區別分析和不安定指數法，以及機器學習中的隨機森林法，其中以區別分析法對於淺層崩塌分析較為適宜，並可得到穩定之結果。以下將依序簡介不同時期中對於淺層崩塌潛勢的研究成果。

一、「淺層崩塌防災管理規劃與研究」(2017 年)

沉積岩帶研究區中以那瑪夏研究區為主，利用區別分析法得到淺層崩塌潛勢公式。在那瑪夏研究區所使用的淺層崩塌潛勢因子為坡度、橫剖面曲率、縱剖面曲率、坡向。因為在研究過層中發現那瑪夏地區的數值高程會有明顯的不連續現象，為解析度 5 公尺的數值地型的誤差所導致，因此在那瑪夏地區未使用高程因子進行分析。以研究區內的土石流潛勢溪流高市 DF007 集水區為代表，將淺層崩塌潛勢公式帶入後可得淺層崩塌潛勢值如圖 1-2 所示，多數的淺層崩塌都落於中、高潛勢區。

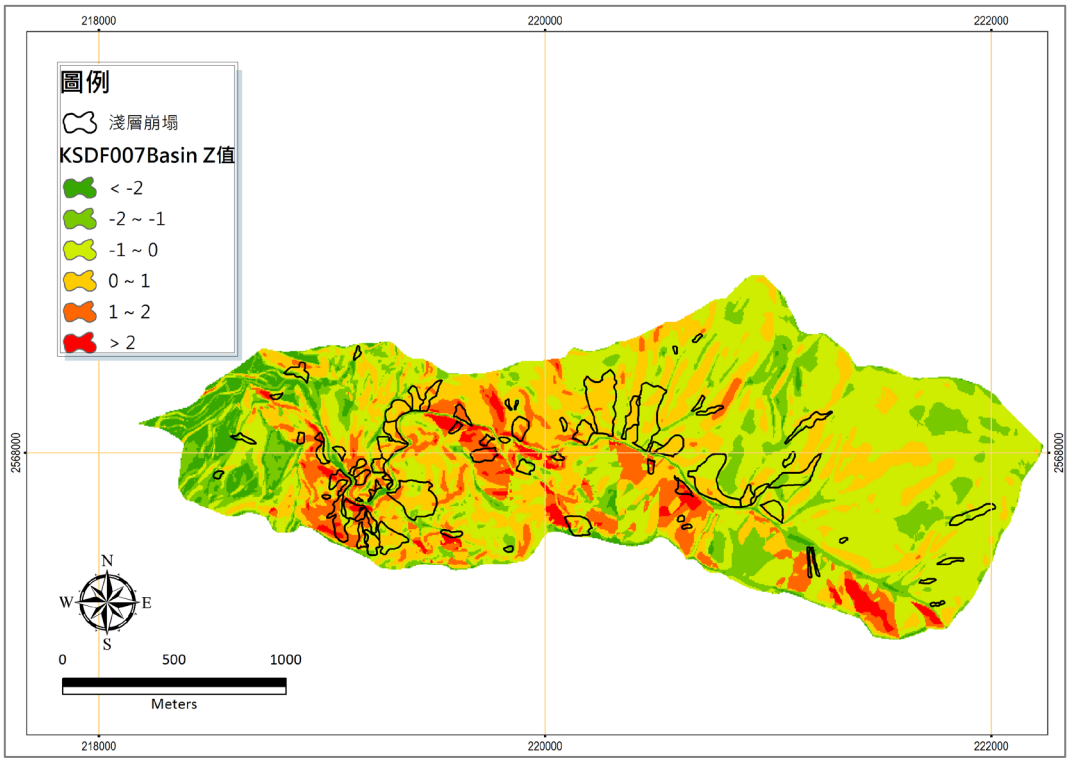


圖1-2　土石流潛勢溪流高市 DF007 區別分析 Z 值分佈圖

二、「淺層崩塌影響範圍調查劃設及聚落致災評估方法之研究」(2018年)

在北部研究區的沉積岩區挑選了土石流潛勢溪流竹縣 DF041 及竹縣 DF045 等 2 個集水區為代表，進行淺層崩塌潛勢分析。本團隊在先前之研究發現，淺層崩塌的圈繪圖層中約有 1/2~2/3 的範圍可能是圈繪到淺層崩塌影響範圍而不是淺層崩塌本體，因此在進行分析時取淺層崩塌上坡 1/2 以及 1/3 處網格代表淺層崩塌進行研究，最後以淺層崩塌上坡 1/2 處網格所得到的正確率較佳。而區別分析中的正確率可由其混淆矩陣表示為表 1-1，區別公式判斷為崩塌單元，而實際情形為崩塌單元，或判斷為非崩塌單元，實際情況也是非崩塌單元的情況，皆視為正確判斷，其他情況視為錯誤判斷。表格中 abcd 代表判定之各項目數量，由此四種判定結果可計算正判率如式 1-1 所示，亦即正確判斷數量佔總數量的百分比。

$$正確率 = \frac{a+d}{a+b+c+d} \times 100\% \qquad （式 1\text{-}1）$$

除了得到各別的土石流潛勢溪流集水區的淺層崩塌潛勢公式外，並將兩個集水區合併分析。竹縣 DF041 的淺層崩塌潛勢公式的正確率約在 75%，而竹縣 DF045 公式的正確率約 63%在，而將兩個土石流潛勢溪流集水區合併分析後，其淺層崩塌的正確率約在 68%，兩個土石流潛勢溪流集水區所得到的預測正確率都與原來的正確率相似，由此可知，如果將相似地質特性的多個集水區合併進行分析，可以消除彼此的差異性，其預測正確率相當穩定不會與各別計算之結果明顯差異。以竹縣 DF045 為例，將公式套入後可得淺層崩塌潛勢圖，如圖 1-3 和圖 1-4。圖 1-3 為單就竹縣 DF045 分析結果，圖 1-4 為竹縣 DF045 以及竹縣 DF041 合併後所得公式所得到的結果，可看出圖 1-4 的高潛勢區域有略多於圖 1-3，但多數淺層崩塌都發生在中、高潛勢區。

表1-1 區別分析之分類結果混淆矩陣

實際分類	依區別公式推估的分類	
	崩塌單元	非崩塌單元
崩塌單元	正判 a	誤判 b
非崩塌單元	誤判 c	正判 d

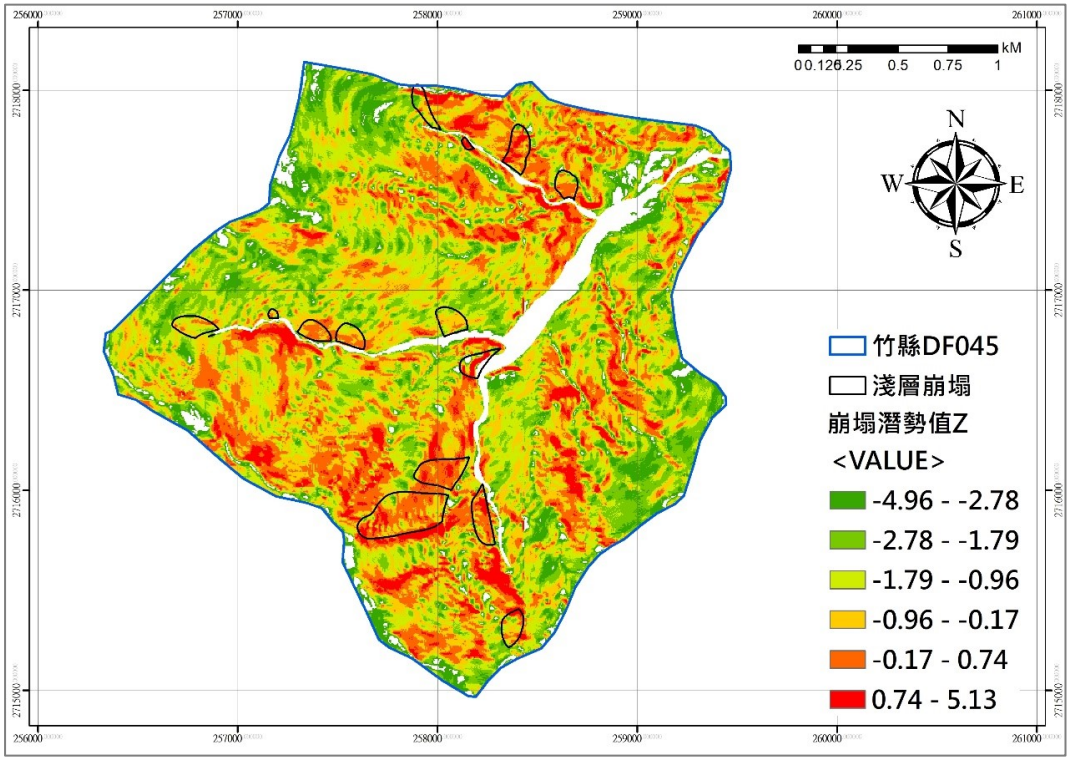


圖1-3 土石流潛勢溪流竹縣 DF045 集水區淺層崩塌潛勢 Z 值分佈圖(單一土石流潛勢流集水區分析結果)

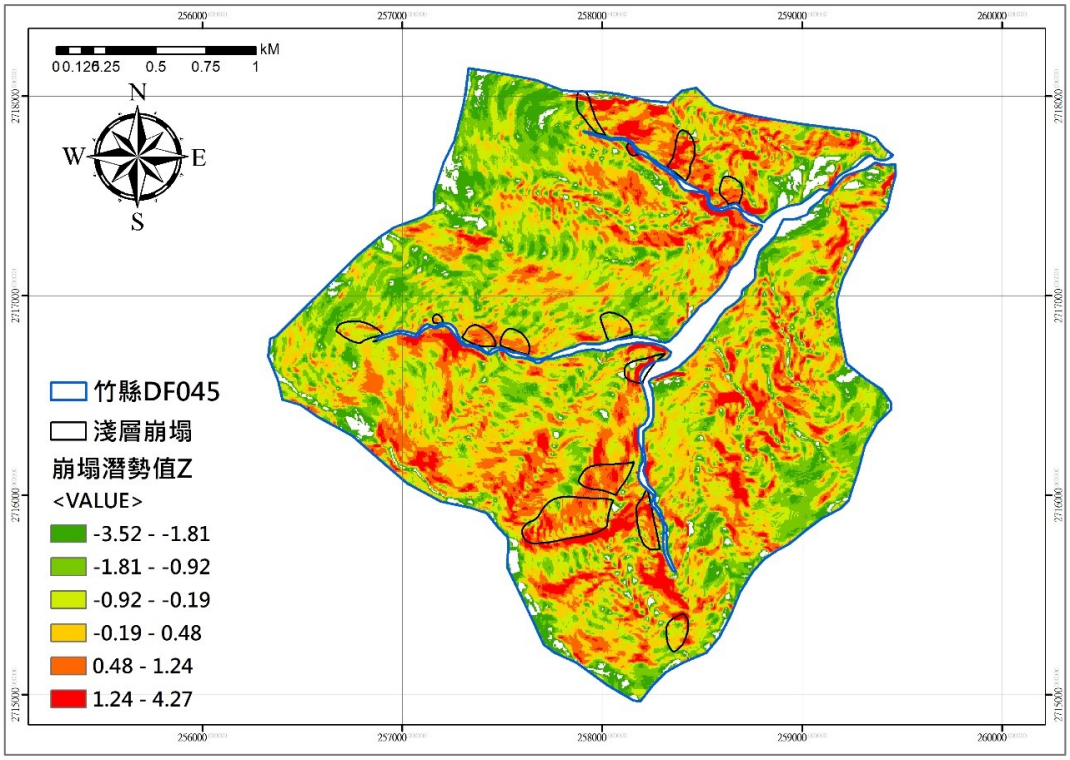


圖1-4　土石流潛勢溪流竹縣 DF045 集水區淺層崩塌潛勢 Z 值分佈圖(合併土石流潛勢溪流集水區分析結果)

三、「建立沉積岩區帶廣域性淺層崩塌潛勢模式」(2019 年)

選取中部及南部研究區，在討論淺層崩塌潛勢因子中，除了討論相依性及顯著性之外，亦採用各因子的 AUC 值討論其預測能力，得到中部研究區的坡度、坡向(崩塌率)、縱剖面曲率、地質構造距離、道路距離以及地層類別(崩塌率)等因子能有較好的預測效果；南部研究區以坡度、坡向(崩塌率)、縱剖面曲率、地質構造距離以及地層類別(崩塌率)等 5 個潛勢因子能有較好的預測能力，因此採用此 5 個淺層崩塌潛勢因子進行南部研究區的淺層崩塌潛勢分析。而分析單元亦利用 AUC 值得到 5 公尺分析單元預測能力最佳。在淺層崩塌潛勢分析中，中部研究區的淺層崩塌預測正確率約 71%，而南部研究區的正確率約 62%。而淺層崩塌潛勢圖如圖 1-5，多數的淺層崩塌都發生在高潛勢區中。

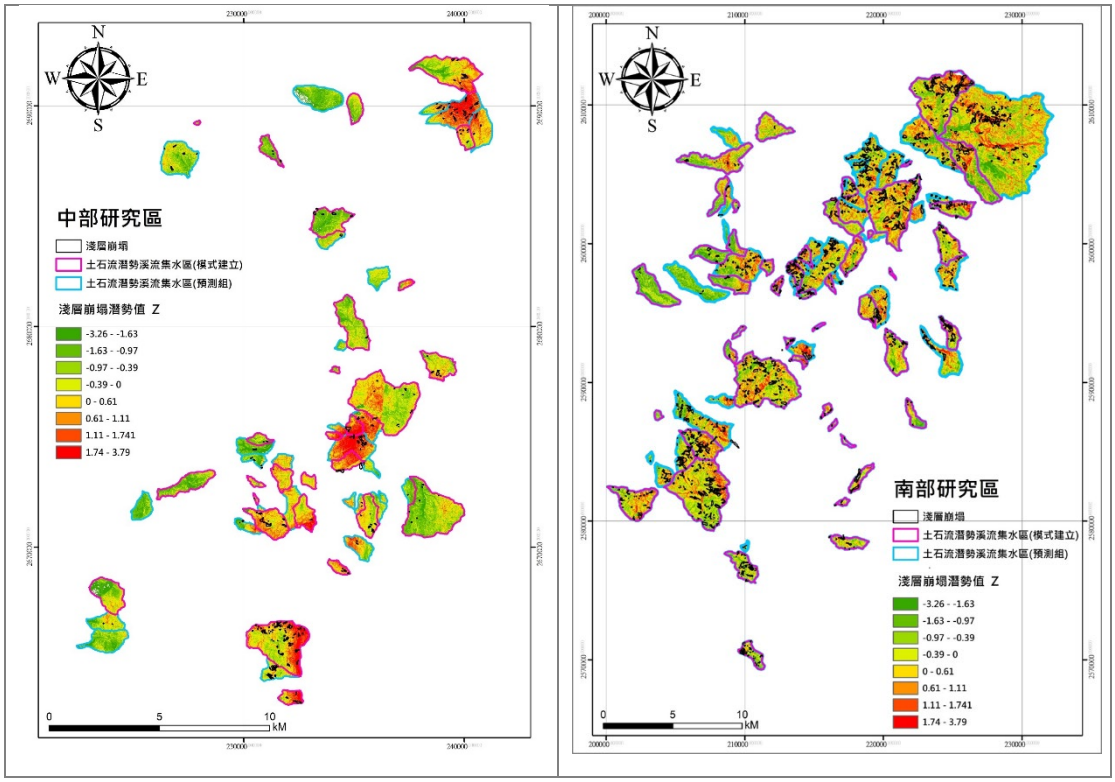


圖1-5　2019 年研究區之淺層崩塌潛勢值分布圖

將地調所在較早時期產製的崩塌圖層套疊 2019 年淺層崩塌潛勢公式所得到的淺層崩塌潛勢圖中，其淺層崩塌的正確率約在 60%，表示此淺層崩塌潛勢公式不管是預測或是回推過去事件都能有良好一致表現。

將 2017 年以及 2018 年所得到的淺層崩塌潛勢公式與本次研究得到的公式比對後發現，坡度、坡向(崩塌率)、地層類別(崩塌率)為最重要因子，將簡化的公式帶回研究區的正確率與原本的相近，而新公式得到的淺層崩塌潛勢值用自然間斷法(natural breaks)將淺層崩塌潛勢值分成高、中以及低潛勢(分別為紅色、黃色以及綠色區)，分布如圖 1-6，多數的淺層塌都發生在中、高潛勢區，表示此模式能有效的預測淺層崩塌發生位置。

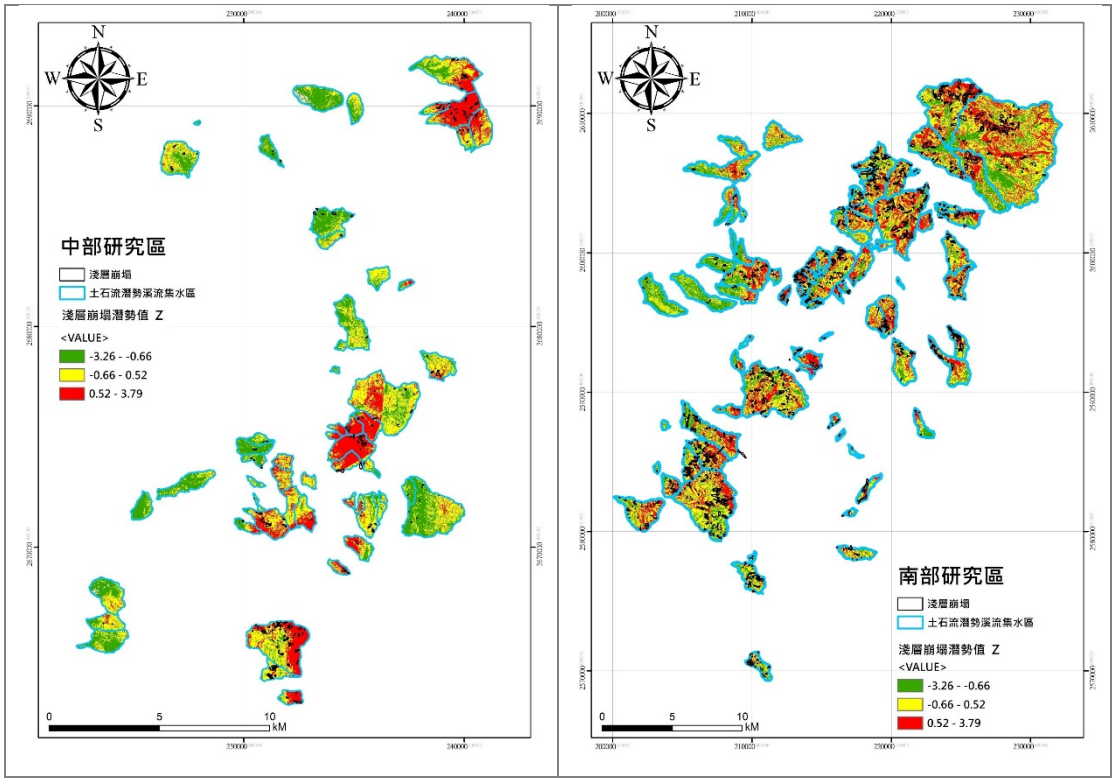


圖1-6　2019 年研究區之簡化公式淺層崩塌潛勢值分布圖

四、「建立淺層崩塌通用潛勢評估模式可行性研究－南部沉積岩地區（2）」(2020 年)

在研究中挑選臺灣南部兩處研究區進行淺層崩塌潛勢研究，並將各研究區內的土石流潛勢溪流集水區一起進行分析。持續進行潛勢因子以及分析單元討論，在最後規納出坡度、坡向(崩塌率)以及地層類別(崩塌率)為研究中最重要的淺層崩塌潛勢因子，與 2019 年簡化淺層崩塌潛勢公式所使用的潛勢因子相同。而分析單元考慮到分析資料之精度一致性所造成之影響，以及分析效率及預測正確率，使用 10×10 公尺的網格單元進行分析。而除了將兩研究區分開研究外，亦將兩個研究區合併討論，在淺層崩塌預測正確率都能有良好表現。繼 2019 利用自然間斷法區分高、中以及低潛勢區，2020 年改用環境潛勢因子 Z 值中的淺層崩塌數值以及非崩塌數值，兩者相交處的值設定為低潛勢的上限，另外參考土石流潛勢評估時，分級以累積機率 70% 處作為中、高等級之分界，取淺層崩塌數值曲線底下面積的 70%處設

為中、高潛勢的分界線。以此區分法套用至合併研究區分析所得到的淺層崩塌潛勢分布圖如圖 1-7。

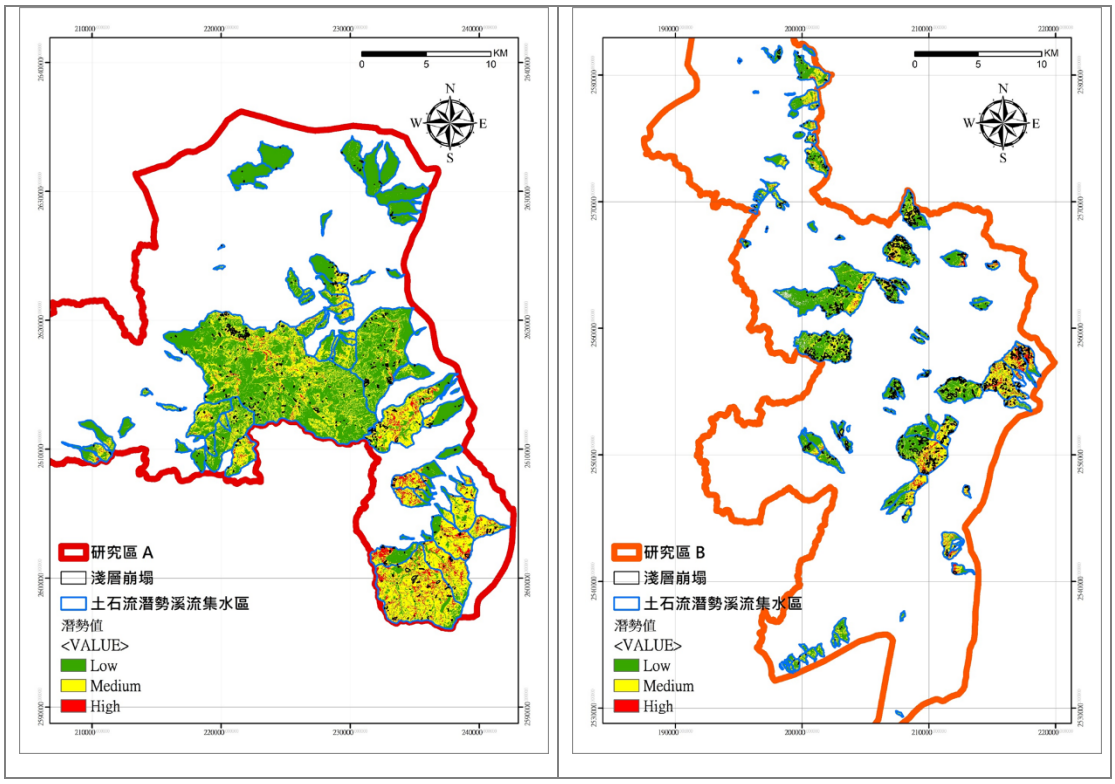


圖1-7　2020 年研究區淺層崩塌潛勢圖

在研究中比較以機器學習方法、不安定指數法和區別分析法等不同分析方法之成效。機器學習方法可以在三種方法中得到最高的正確性，但僅能在特定區域中使用，無法提出分析公式或如其他方法帶入到其他區域進行預測分析；不安定指數法為三種方法中最簡易使用，但在研究中用三種潛勢因子進行分析時，容易被特定潛勢因子主導，導致最後預測正確率非常不穩定，不具良好之通用性；區別分析法在預測正確率上有良好穩定表現並且其建立潛勢公式適用範圍較廣，因此推論區別分析法在分析淺層崩塌潛勢時為較佳的分析方法。

2020 年的研究區域與 2017 年的那瑪夏區域以及 2019 年的研究區甚近，因此將合併後得到的淺層崩塌潛勢公式帶入，那瑪夏區域因數值地形及崩塌圈繪誤差導致正確率僅有 45%；2019 年研究區的正確率則可達到 75%以上。最後將合併的淺層崩塌潛勢公式帶入研究區

的非土石流潛勢溪流集水區的區域，在淺層崩塌預測的正確率約有75%以上，表示此方法得到的淺層崩塌潛勢公式不僅是在土石流潛勢溪流集水區，在非土石流潛勢溪流集水區區域亦能有良好表現，在非土石流潛勢溪流集水區區域的淺層塌塌潛勢分布如圖 1-8。

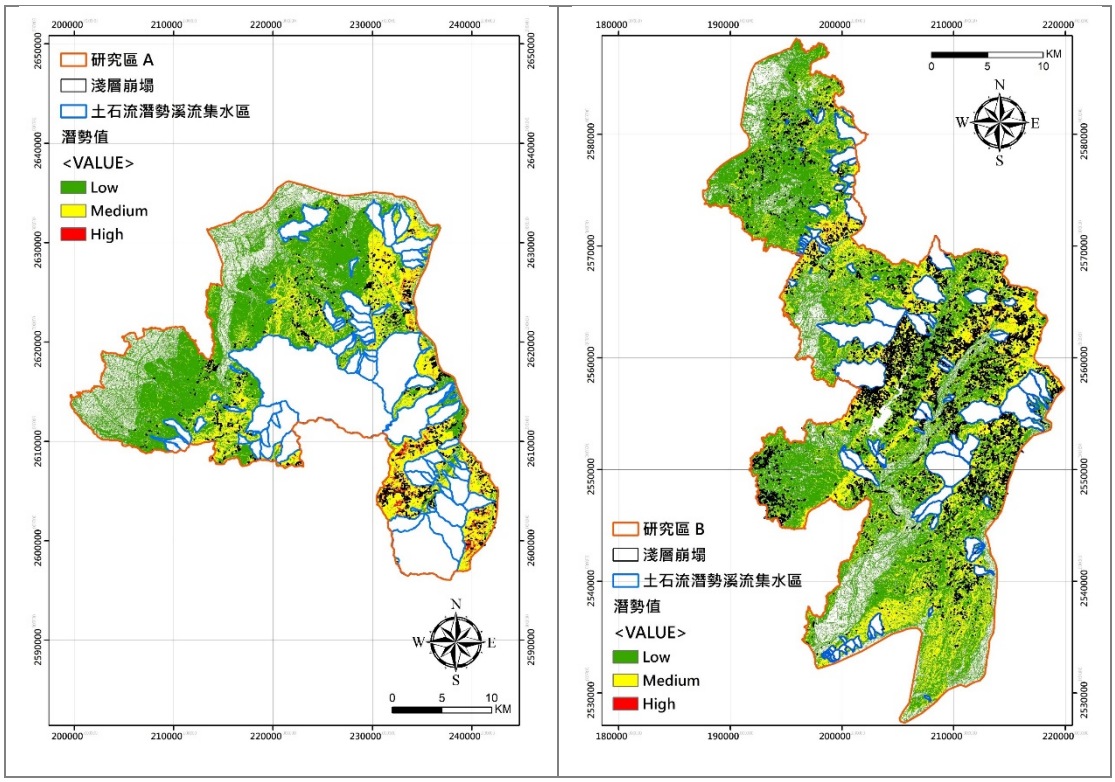


圖1-8　非土石流潛勢溪流集水區區域之淺層崩塌潛勢分布圖

本研究在四年的研究計畫後，本期研究持續探討淺層崩塌潛勢分布與土石流發生潛勢的關係，以提供未來減災管理策略之參考。

第三節 相關研究文獻回顧

中筋章人等(1977)針對日本仁淀川流域中 140 條土石流進行土石流潛勢溪流誘發類型分類，而分成 4 種形式，其中大規模崩塌誘發型佔所有土石流總數的 19%，源頭崩塌誘發型佔 32%，小規模崩塌誘發型佔 44%，而溪床堆積物流動型佔 5%。USGS 研究報告(Harp et al, 2006)中提到，淺層崩塌不管是弧形滑動或平面滑動，為具有潛在導致土石流發生的崩塌，其淺層崩塌深度約在 2~4 公尺，進而以無限邊坡法繪製西雅圖土石流災害地圖。林慶偉(2011)在分析荖濃溪流域內的

崩塌及土石流的關聯時，利用影像判釋並利用野外調查修正判釋結果，並討論發育形式、區位以及岩性等因素後發現，因地震及降雨後大量的崩塌產生造成材料增加直接影響土石流的形成。

Zheng(2009)在討論土石流與崩塌之間的關係時，將土石流分成多個集水區如圖 1-9，並利用各集水區的熵值討論各集水區的發展狀況，並與其歷史災情進行比對。

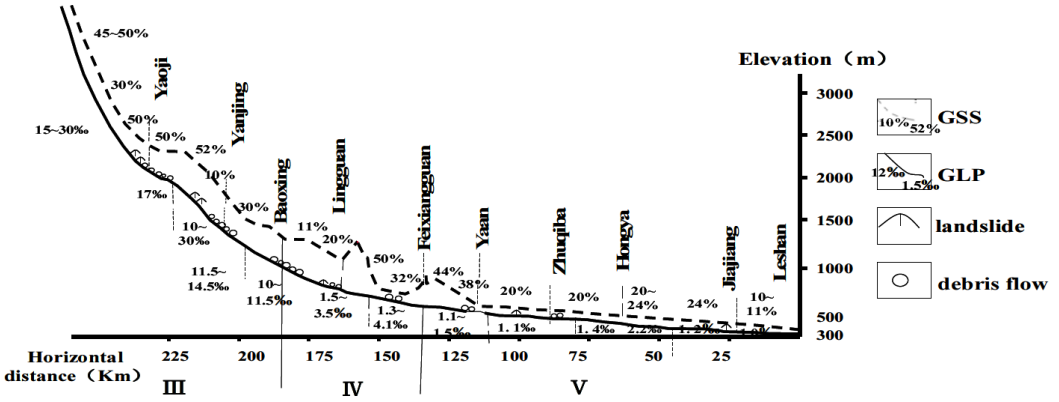


圖1-9　研究用土石流分區示意圖

Liang(2020)在討論土石流與崩塌的關係時，先分別製作土石流與崩塌的潛勢圖如圖 1-10，再將兩個潛勢圖套疊，可藉此討論出兩者潛勢值的關係。

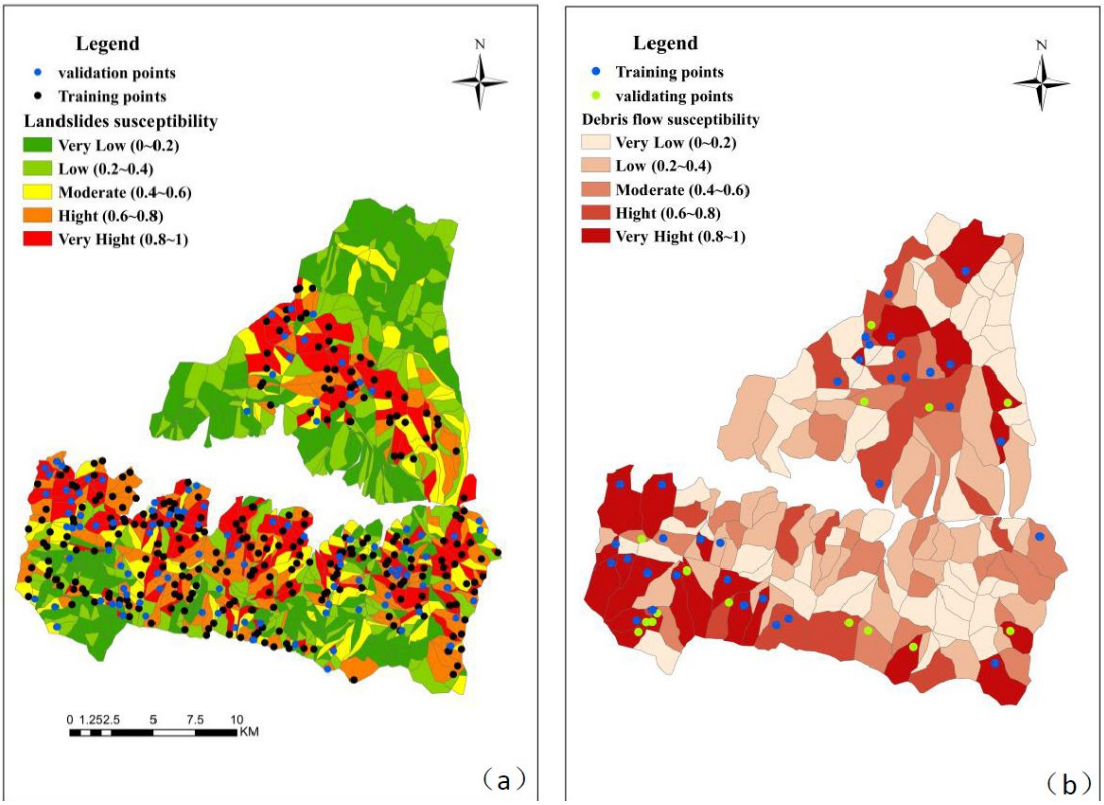


圖1-10 敏感區域分布圖(a)崩塌潛勢分布圖；(b)土石流潛勢分布圖

在討論土石流潛勢溪流集水區的特性分析時，范正成(2012)以溪床平均坡度、有效集水區面積、形狀係數以及崩塌率等 4 個土石流發生潛勢影響因子進行土石流潛勢溪流集水區的分析。莊漢鑫(2012)在研究土石流潛勢溪流集水區的因子特性時，利用溪流長度、集水區面積、形狀係數、邊坡坡向分布、邊坡坡度分布、殘土率、地質種類以及溪床平均坡度進行討論。

因水保局在「土石流潛勢溪流發生潛勢因子配分表」中原本是以各土石流潛勢溪流集水區內的崩塌率來代表崩塌規模。然而崩塌率是用已發生的崩塌來進行計算，而水保局(2016~2020)持續研究土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢，並且在水保局(2020)中建立一個南部研究區的淺層崩塌潛勢通用模式，而淺層崩塌潛勢是對未來的可能發生的事件進行分析，可以對未來的防範上先提前作準備。本研究再將集水區分上、中、下游區位探討，討論不同區位的淺層崩塌潛勢

對於土石流潛勢溪流集水區的發生之的關聯，以期能提供相關災害後續防治策略之參考依據。

第二章 研究區簡介

第一節 沉積岩區之土石流潛勢溪流集水區與淺層崩塌

水保局(2017~2020)已經分別在臺灣西部不同區域的沉積岩地質區進行一連串的淺層崩塌研究，本研究於前期研究區選取土石流潛勢溪流集水區，以集水區為單元討論臺灣地區沉積岩地質區內的土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌。其中沉積岩區帶參考工程地質分區，淺層崩塌圖層是由經濟部中央地質調查所(以下稱地調所)在莫拉克颱風後執行之「國土保育之地質敏感地區調查分析計畫」的岩屑崩滑圖層，並且依水保局(2017~2020)編修成果之圖層。

沉積岩地質區從北到南包含了有，基隆市、新北市、臺北市、桃園市、新竹縣、苗栗縣、台中市、南投縣、雲林縣、嘉義縣、台南市、高雄市以及屏東縣共有 13 縣市政府，其中有 754 處土石流潛勢溪流，33,702 處淺層崩塌，而土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌共有 6,983 處如圖 2-1 所示。由圖 2-1 可看出水保局 2017~2020 年之間各個研究區的分布已經包含相當廣泛區域的沉積岩區，而各研究區土石流潛勢溪流集水區的淺層崩塌潛勢分析研究成果已對於淺層崩塌潛勢建立良好評估。本研究由這些研究區選取足夠數量之土石流潛勢溪流集水區為基準，進行集水區內的淺層崩塌潛勢分布以及土石流潛勢溪流發生潛勢等級之間的關聯分析。

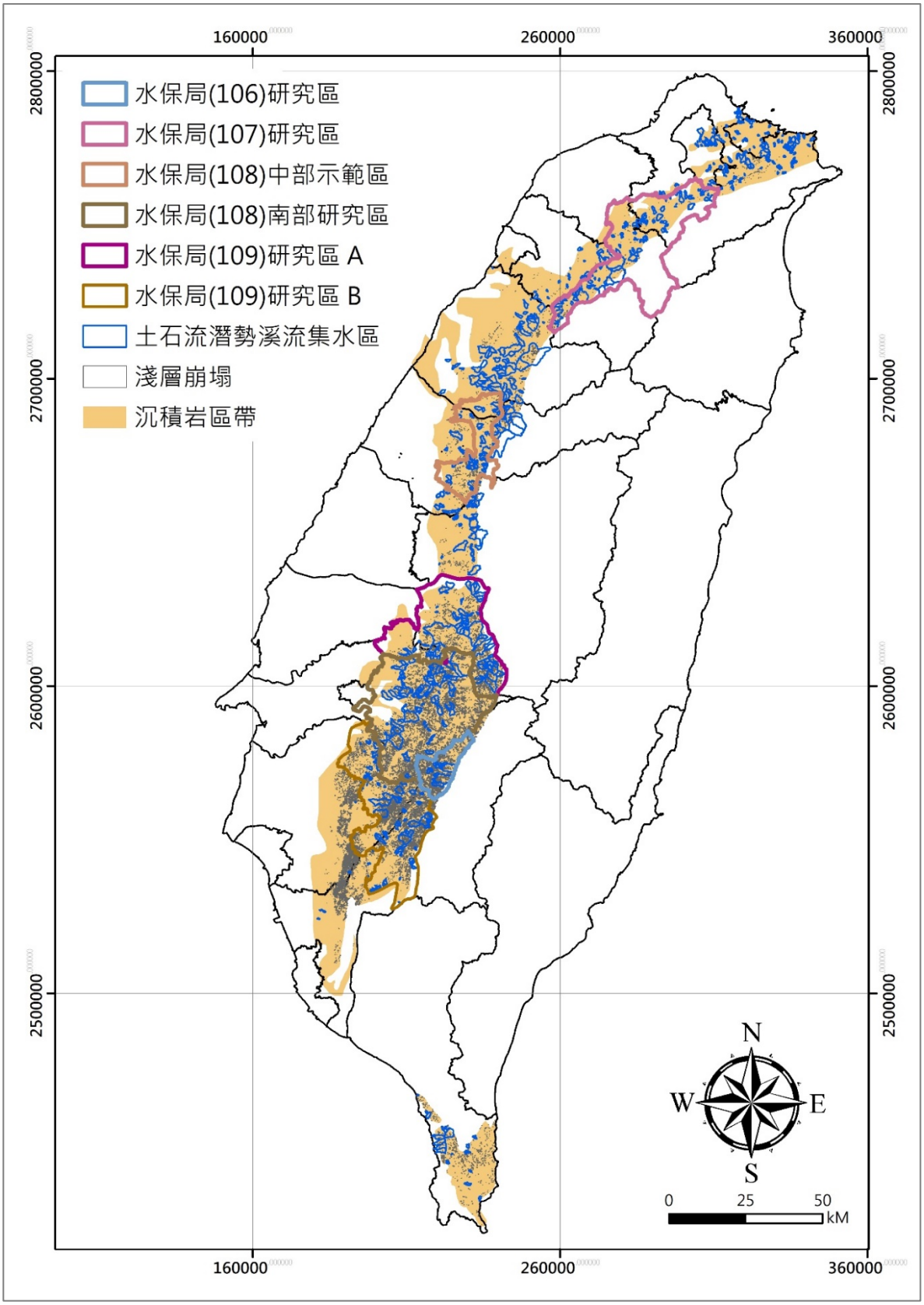


圖2-1　沉積岩工程地質分區之土石流潛勢溪流集水區及淺層崩塌分布

水保局(2017~2020)的沉積岩地質區淺層崩塌研究，發現土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌面積崩塌率都大於整個區域的面積崩塌率，如表 2-1，表示淺層崩塌發生在土石流潛勢溪流集水區內之比例明顯較高，進而引致土石流。然而水保局(2017~2020)研究主要以莫拉克颱風後的淺層崩塌為主，在土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌有 6,983 處，其面積崩塌率為 2.84%。以不同年份所產製的崩塌圖層如在辛樂克颱風後所得到的崩塌圖層來說，在沉積岩地質區土石流潛勢溪流集水區的崩塌數量有 754 處，其面積崩塌率為 0.74%，由此可得知在土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌持續發生或擴大，而辛樂克颱風後的淺層崩塌分布與莫拉克颱風後的淺層崩塌圖層分布，如圖 2-2 及圖 2-3，由兩圖可發現崩塌有在同一位置重複發生之現象。

表2-1　水保局(2017~2020)各研究區面積崩塌率比較表

		研究區整體 面積崩塌率	土石流潛勢溪流集水區內 面積崩塌率
水保局(2017)		2.04%	3.30%
水保局(2018)		0.25%	0.38%
水保局 (2019)	中部研究區	0.86%	1.67%
	南部研究區	3.77%	4.50%
水保局 (2020)	研究區 A	1.96%	2.98%
	研究區 B	3.92%	6.93%

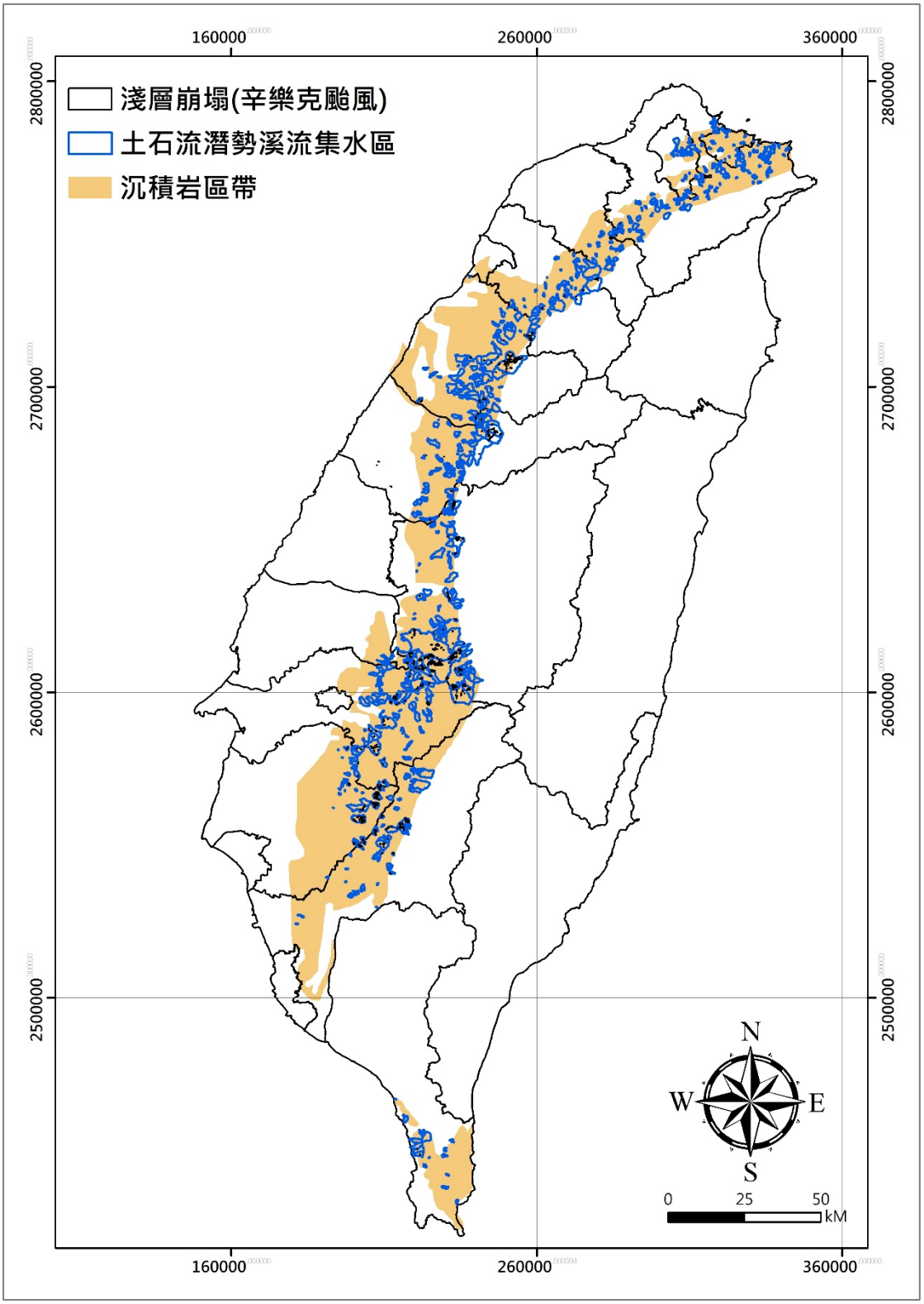


圖2-2　土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌分布(辛樂克颱風)

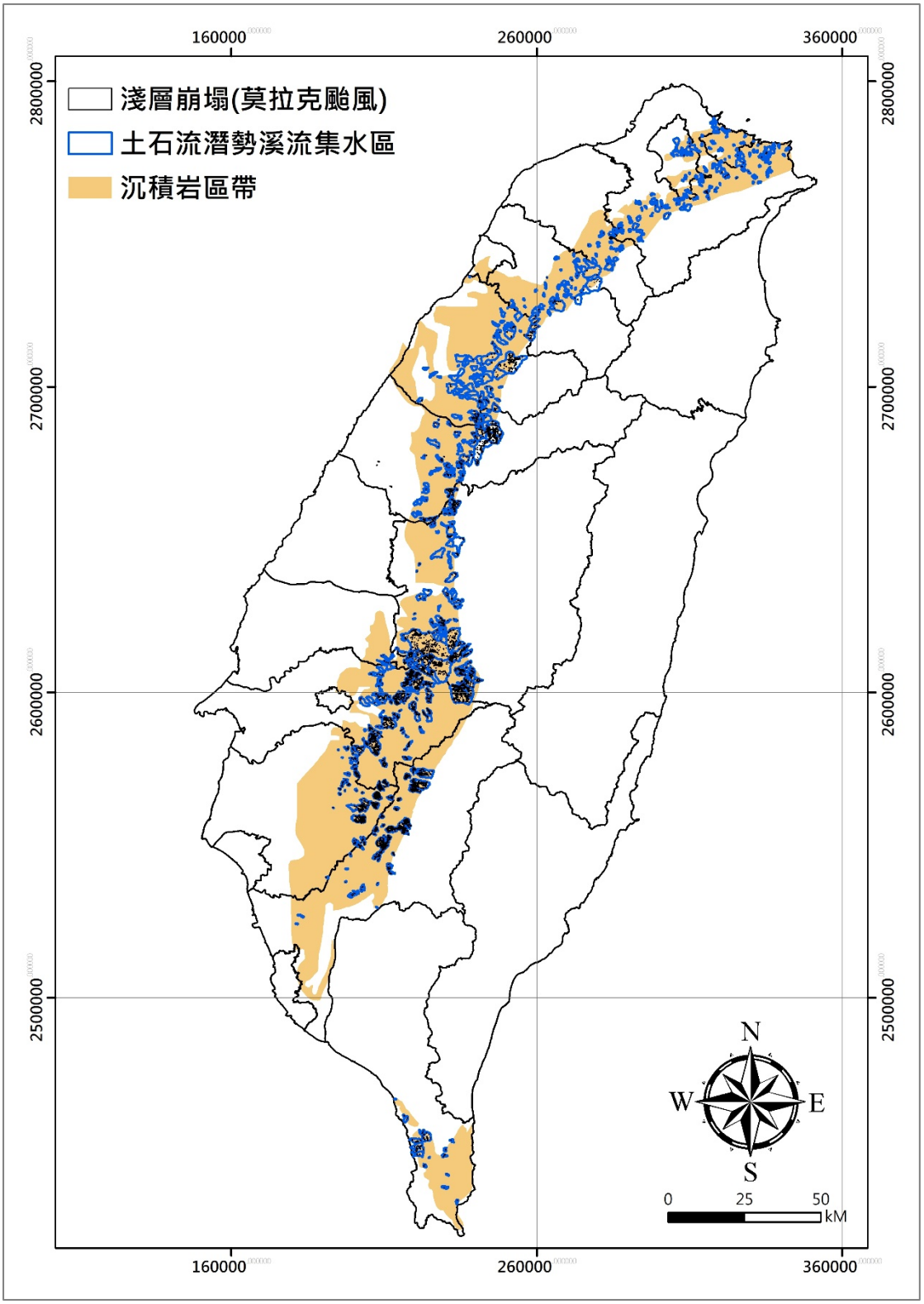


圖2-3　土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌分布(莫拉克颱風)

第二節 研究區及分析集水區與淺層崩塌選取

水保局(2020)整理了現地調查資料，討論在土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌特性，其中包含地層性質、地質構造(與距離)、邊坡位置，敏感區位、崩塌區位、坡向、坡度、坡型、材料類型、表土厚度、幾何形狀、坡面殘留材料以及保全對象等 13 項現地調查資料。

水保局在 2019 以及 2020 皆在臺灣南部進行淺層崩塌潛勢研究，研究區範圍如圖 2-4，因此本研究將兩個研究區合併後進行研究，鵝黃色區域為水保局(2019)南部研究區，灰色區域為水保局(2020)，兩年度研究區彼此相鄰，因此彼此性質相似，並且在水保局(2020)建立淺層崩塌潛勢通用模式，可藉由此模式得到南部沉積岩區域內土石流潛勢溪流集水區內之淺層崩塌圖層，因此本研究將兩年度研究區合併進行討論。

本年度研究區內共有 243 條土石流潛勢溪流集水區，總面積為 2,835,401,299.5 平方公尺，淺層崩塌共有 20,587 處淺層崩塌，其面積約為 93781309.54 平方公尺，研究區內的面積崩塌率約為 3.31%；發生在土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌共有 4,788 處，面積約為 27979448.60 平方公尺。研究區內的面積崩塌率為 4.40%，可由面積崩塌率看出土石流潛勢溪流集水區內較容易有淺層崩塌發生。

在萃取土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌的面積、坡度、坡向、長寬比、高程以及高程差進行討論，各因子分布如圖 2-5 至圖 2-10。研究區土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌面積多數小於 0.12 公頃；邊坡坡度在 20~40 度之間發生淺層崩塌的數量最多；坡向在 101.25~258.75 度之間的崩塌數量較多，則表示邊坡的坡向在東南東至南西南之間較易發生崩塌；研究區內的長寬比都大於 1 表示，崩塌形狀圓形接近長條狀；由高程分布可看出高程在 200 公尺以上容易發

生淺層崩塌；觀察淺層崩塌的高程差分布，其數量差距不大，而高程差在 20~50 公尺的數量較多。

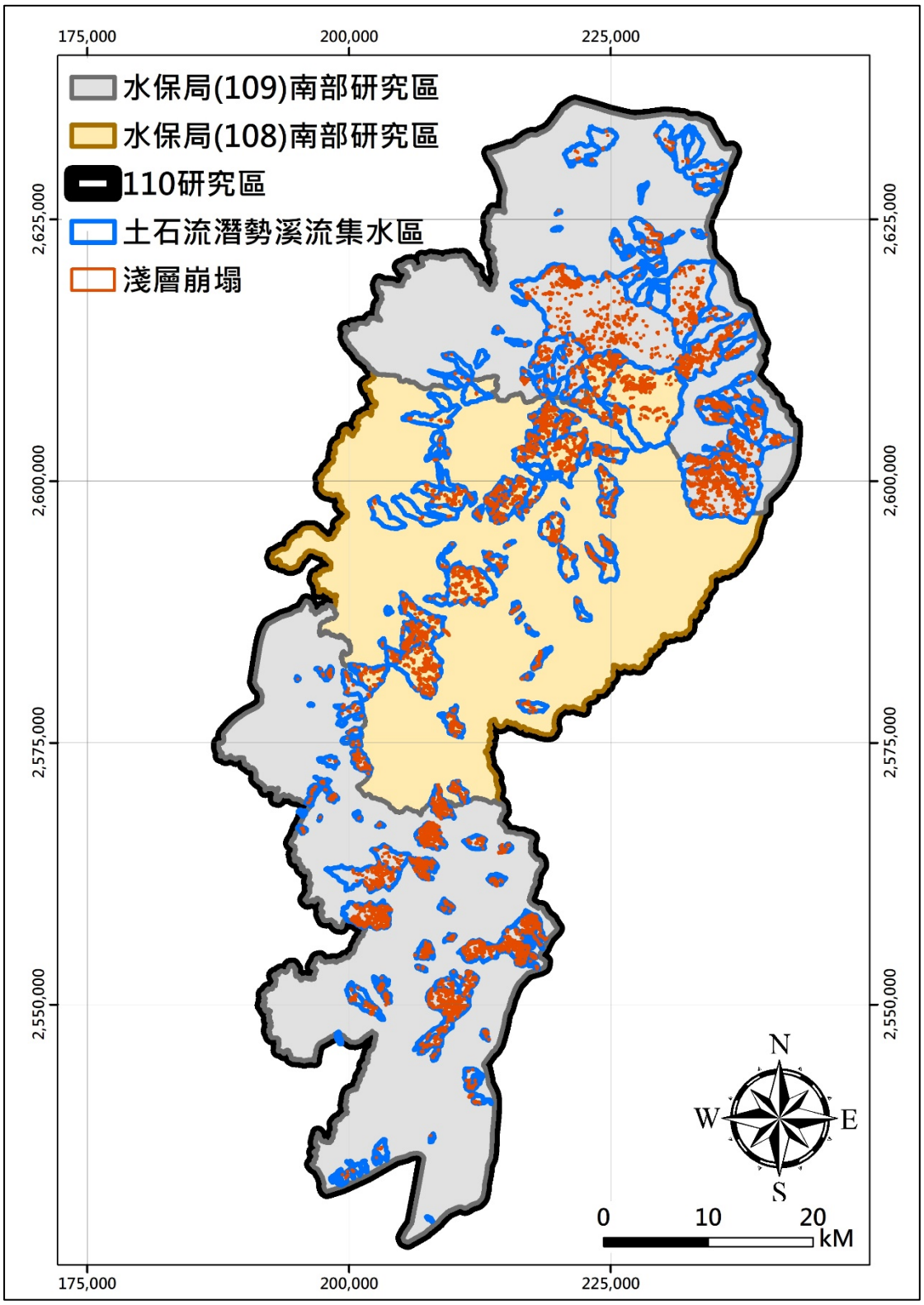


圖2-4　研究區範圍

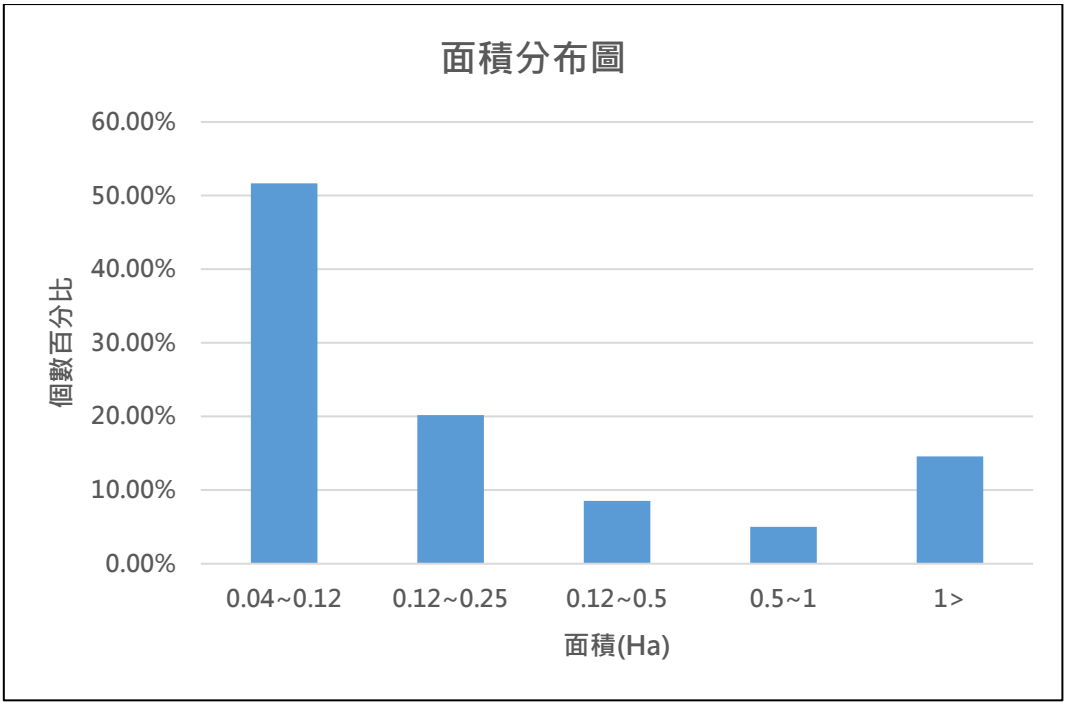


圖2-5　面積分布圖

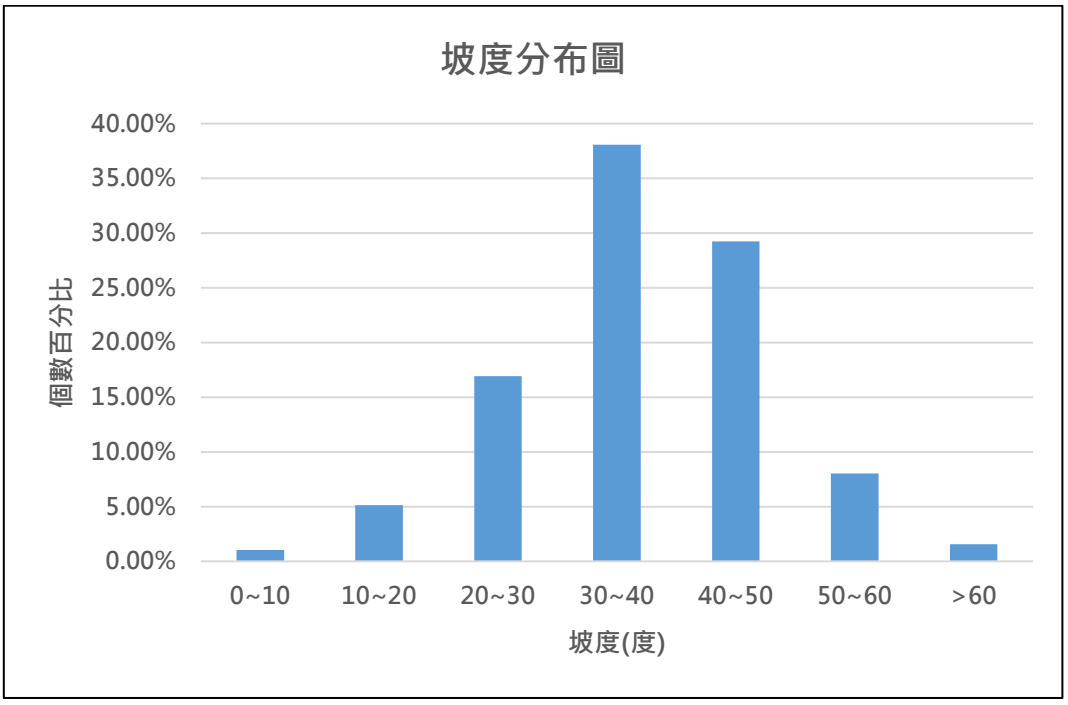


圖2-6　坡度分布圖

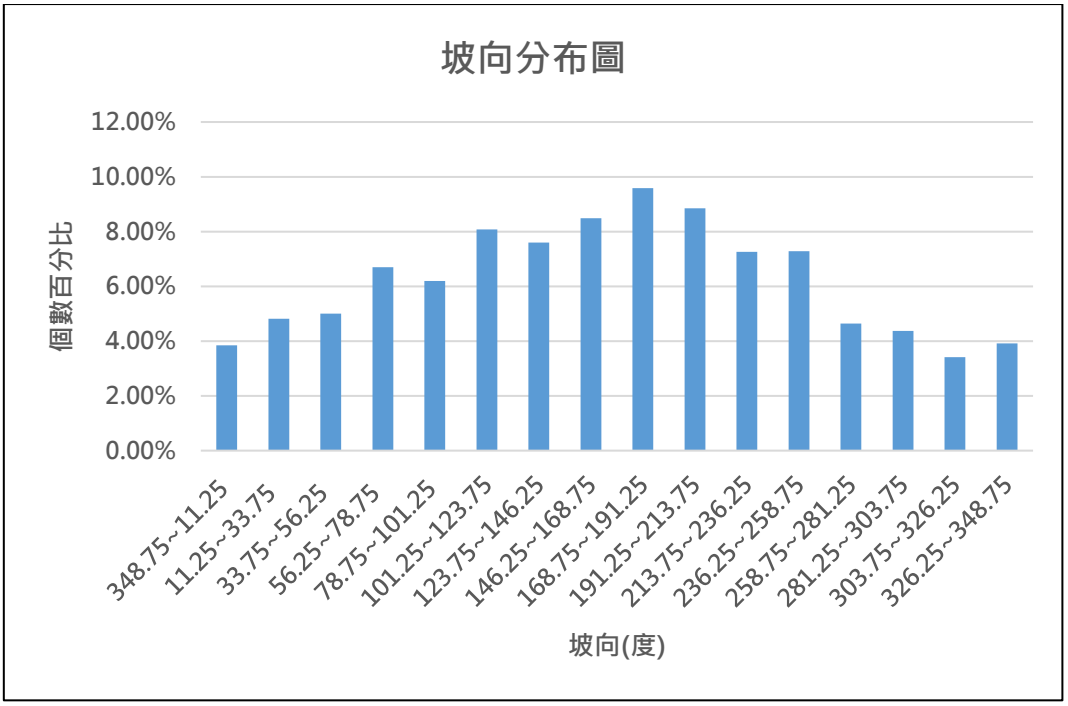


圖2-7　坡向分布圖

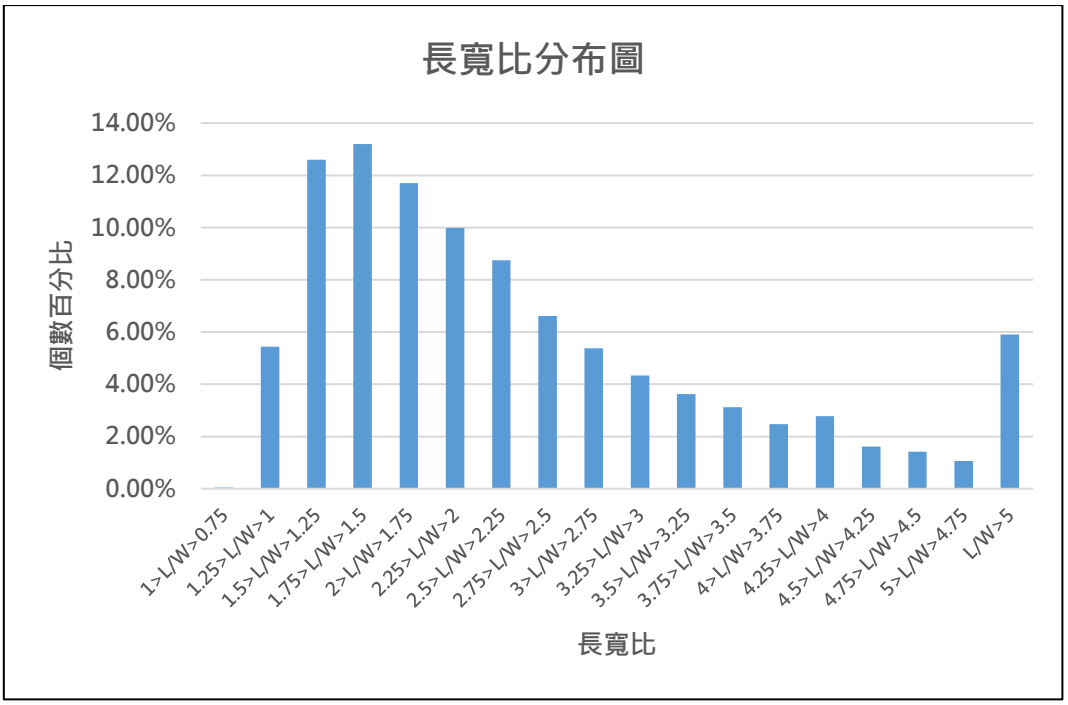


圖2-8　長寬比分布圖

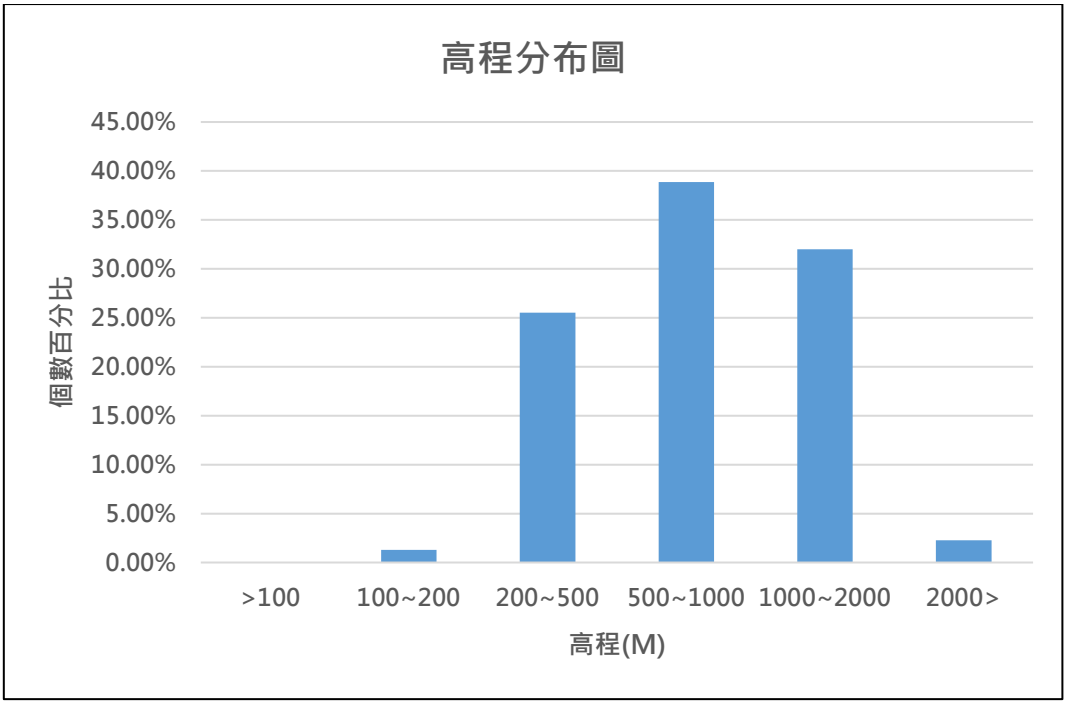


圖2-9　高程分布圖

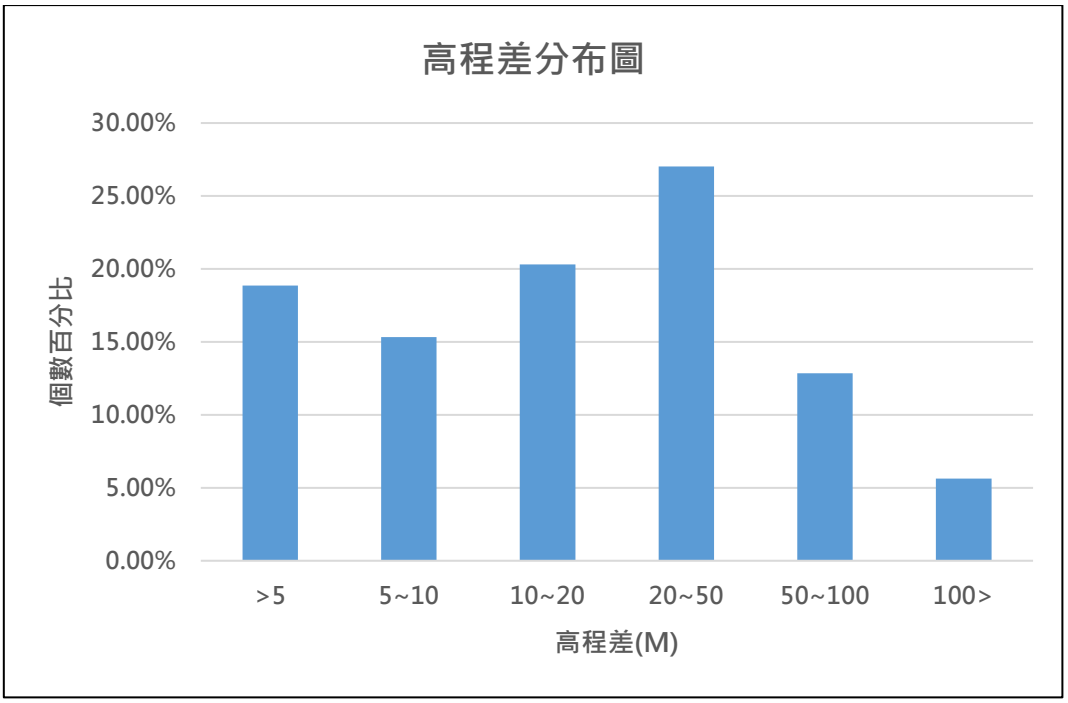


圖2-10　高程差分布圖

第三節 歷史土砂災害案例整理

本研究收集近年水保局土石流集水區發生之土砂災害案例速報如圖 2-11 之案例，目前蒐集資料從 101 年至 109 年，在沉積岩地區內包含有土石流以及崩塌的資料共有 103 筆，將資料整理至表 2-2，提供淺層崩塌發生與土石流潛勢溪流之關聯分析參考。圖 2-11 為 105 年於台南市楠西里發生之土石流災害範例，後續將由土砂災例資料中，選取研究區內崩塌誘發土石流之案例進行分析。

表2-2　歷年土砂災害案例速報資料整理

年度	日期	事件	縣市	鄉鎮區	類型
101	5 月 3 日	0504 豪雨	南投縣	信義鄉豐丘村	土石流(崩塌)
101	6 月 10 日	0610 豪雨	台中市	新社區福興里	崩塌
101	6 月 10 日	0610 豪雨	南投縣	信義鄉神木村	土石流
101	6 月 10 日	0610 豪雨	台中市	太平區頭汴里	崩塌
101	6 月 10 日	0610 豪雨	南投縣	信義鄉神木村	土石流(崩塌)
101	6 月 10 日	0610 豪雨	南投縣	國姓鄉大旗村	崩塌
101	6 月 10 日	0610 豪雨	南投縣	仁愛鄉合作村	崩塌
101	6 月 10 日	0610 豪雨	南投縣	仁愛鄉萬豐村	土石流(崩塌)
101	6 月 10 日	0610 豪雨	南投縣	國姓鄉南港村	崩塌(崩塌)
101	6 月 10 日	0610 豪雨	高雄市	六龜區興龍里	土石流(崩塌)
101	6 月 10 日	0610 豪雨	高雄市	六龜區新發里	土石流(崩塌)
101	6 月 11 日	0610 豪雨	台中市	和平區梨山里	崩塌
101	6 月 12 日	0610 豪雨	嘉義縣	阿里山鄉來吉村	土石流
101	6 月 12 日	0610 豪雨	雲林縣	古坑鄉樟湖村	崩塌
101	6 月 12 日	0610 豪雨	台北市	文山區龍泉里	土石流、崩塌
101	6 月 12 日	0610 豪雨	台北市	信義區松隆里	崩塌
101	6 月 12 日	0610 豪雨	台中市	東勢區隆興里	崩塌
101	8 月 2 日	蘇拉颱風	宜蘭縣	南澳鄉碧侯里	崩塌
101	8 月 2 日	蘇拉颱風	苗栗縣	南庄鄉南富村	崩塌

年度	日期	事件	縣市	鄉鎮區	類型
101	8 月 2 日	蘇拉颱風	苗栗縣	大湖鄉大寮村	崩塌
101	8 月 2 日	蘇拉颱風	新北市	三峽區插角里	土石流
101	8 月 24 日	天秤颱風	屏東縣	滿洲鄉港口村	土石流
102	5 月 20 日	517 豪雨	南投縣	信義鄉明德村	崩塌
102	6 月 2 日	0602 地震	南投縣	鹿谷鄉鳳凰村	崩塌
102	6 月 2 日	0602 地震	南投縣	信義鄉望美村	崩塌
102	7 月 6 日	其他	嘉義縣	阿里山鄉豐山村	土石流(崩塌)
102	7 月 13 日	蘇力颱風	台中市	和平區天輪里	土石流(崩塌)
102	7 月 13 日	蘇力颱風	南投縣	魚池鄉日月村	土石流(崩塌)
102	7 月 14 日	蘇力颱風	苗栗縣	大湖鄉武榮村	崩塌
102	8 月 4 日	其他	嘉義縣	竹崎縣桃源村	崩塌
102	8 月 29 日	康芮颱風	台中市	霧峰區坑口里	崩塌
102	8 月 29 日	康芮颱風	嘉義縣	中埔鄉東興村	崩塌
102	8 月 29 日	康芮颱風	台南市	新化區大坑里	崩塌
102	8 月 29 日	康芮颱風	新北市	五股區觀音里	崩塌
102	8 月 29 日	康芮颱風	嘉義縣	中埔鄉東興村	崩塌
102	8 月 29 日	康芮颱風	屏東縣	獅子鄉南世村	土石流(崩塌)
102	8 月 31 日	康芮颱風	屏東縣	獅子鄉內獅村	崩塌
102	9 月 1 日	康芮颱風	新北市	烏來區信賢里	崩塌
102	9 月 21 日	天兔颱風	台東縣	太麻里鄉美和村	崩塌
102	10 月 6 日	菲特颱風	桃園縣	復興鄉華陵村	崩塌
102	10 月 6 日	菲特颱風	新竹縣	尖石鄉錦屏村	崩塌
103	7 月 23 日	麥德姆颱風	高雄市	杉林區月眉里	崩塌
104	8 月 1 日	其他(無)	南投縣	仁愛鄉精英村	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	台北市	文山區興旺里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	宜蘭縣	大同鄉四季村	土石流(崩塌)
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	桃園市	復興區羅浮里	土石流(崩塌)
104	9 月 2 日	蘇迪勒颱風	桃園市	復興區奎輝里	土石流(崩塌)
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	三峽區竹崙里	崩塌

年度	日期	事件	縣市	鄉鎮區	類型
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	三峽區金圳里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	三峽區有木里	土石流(崩塌)
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	烏來區烏來里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	烏來區烏來里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	烏來區信賢里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	烏來區忠治里	土石流
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	烏來區忠治里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	新店區屈尺里	土石流
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	新店區廣興里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	新店區廣興里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	新店區廣興里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	新店區廣興里	土石流(崩塌)
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	新店區廣興里	崩塌
104	8 月 8 日	蘇迪勒颱風	新北市	新店區廣興里	土石流(崩塌)
104	9 月 28 日	杜鵑颱風	新北市	烏來區烏來里	崩塌
104	9 月 28 日	杜鵑颱風	新北市	坪林區大林里	土石流(崩塌)
104	9 月 28 日	杜鵑颱風	新北市	坪林區粗窟里	崩塌
105	3 月 16 日	其他	新竹縣	寶山鄉寶山村	崩塌
105	6 月 11 日	611 豪雨	屏東縣	霧台鄉霧台村	土石流(崩塌)
105	8 月 19 日	其他	桃園市	復興區霞雲里	崩塌
105	9 月 6 日	其他	台南市	楠西區照興里	土石流(崩塌)
105	9 月 6 日	其他	嘉義縣	中埔鄉沄水村	崩塌
105	9 月 8 日	其他	嘉義縣	中埔鄉沄水村	崩塌
105	9 月 15 日	莫蘭蒂颱風	台東縣	大武鄉大竹村	土石流(崩塌)
105	9 月 27 日	梅姬颱風	嘉義縣	竹崎縣緞繻村	土石流(崩塌)
105	9 月 27 日	梅姬颱風	高雄市	六龜區荖濃里	土石流
105	9 月 28 日	梅姬颱風	高雄市	旗山區新光里	土石流和崩塌
105	9 月 28 日	梅姬颱風	高雄市	燕巢區東燕里	崩塌
105	10 月 1 日	其他	新竹縣	尖石鄉秀巒村	崩塌

年度	日期	事件	縣市	鄉鎮區	類型
105	10 月 10 日	其他	基隆市	仁愛區龍門里	崩塌
106	6 月 2 日	0601 豪雨	新北市	金山區永興里	土石流(崩塌)
106	6 月 2 日	0601 豪雨	南投縣	仁愛鄉榮興村	崩塌
106	6 月 3 日	0601 豪雨	南投縣	埔里鎮蜈蚣里	土石流和崩塌
106	6 月 3 日	0601 豪雨	南投縣	仁愛鄉春陽村	崩塌
106	6 月 3 日	0601 豪雨	南投縣	水里鄉新山村	崩塌
106	6 月 3 日	0601 豪雨	南投縣	鹿谷鄉竹林村	崩塌
106	6 月 3 日	0601 豪雨	南投縣	信義鄉明德村	崩塌(土石流)
106	6 月 3 日	0601 豪雨	雲林縣	古坑鄉桂林村	土石流和崩塌
106	6 月 15 日	0613 豪雨	南投縣	國姓鄉石門村	崩塌
106	6 月 15 日	0613 豪雨	苗栗縣	泰安鄉中興村	崩塌
106	7 月 30 日	尼莎和海棠颱風	屏東縣	枋山鄉善餘村	土石流
106	7 月 30 日	尼莎和海棠颱風	南投縣	信義鄉同富村	崩塌
106	10 月 14 日	1011 豪雨	台東縣	卑南鄉溫泉村	崩塌
106	10 月 14 日	1011 豪雨	台東縣	卑南鄉溫泉村	土石流
108	8 月 11 日	利奇馬颱風	雲林縣	古坑鄉草嶺村	崩塌
108	8 月 13 日	利奇馬颱風	嘉義縣	中埔鄉中崙村	土石流(崩塌)
108	8 月 13 日	利奇馬颱風	台中市	東勢區泰昌里	崩塌
108	8 月 15 日	0815 豪雨	高雄市	六龜區寶來里	崩塌
108	8 月 15 日	0815 豪雨	台南市	六甲區大丘里	崩塌
108	8 月 16 日	0815 豪雨	南投縣	名間鄉仁和村	土石流和崩塌
108	8 月 16 日	0815 豪雨	屏東縣	霧台鄉霧台村	崩塌
108	8 月 16 日	0815 豪雨	嘉義縣	中埔鄉中崙村	土石流(崩塌)
108	8 月 16 日	0815 豪雨	南投縣	國姓鄉長豐村	崩塌
108	8 月 17 日	0815 豪雨	南投縣	仁愛鄉萬豐村	崩塌
109	5 月 22 日	522 豪雨	南投縣	仁愛鄉發祥村	崩塌
109	6 月 12 日	其他	台中市	和平區梨山里	崩塌

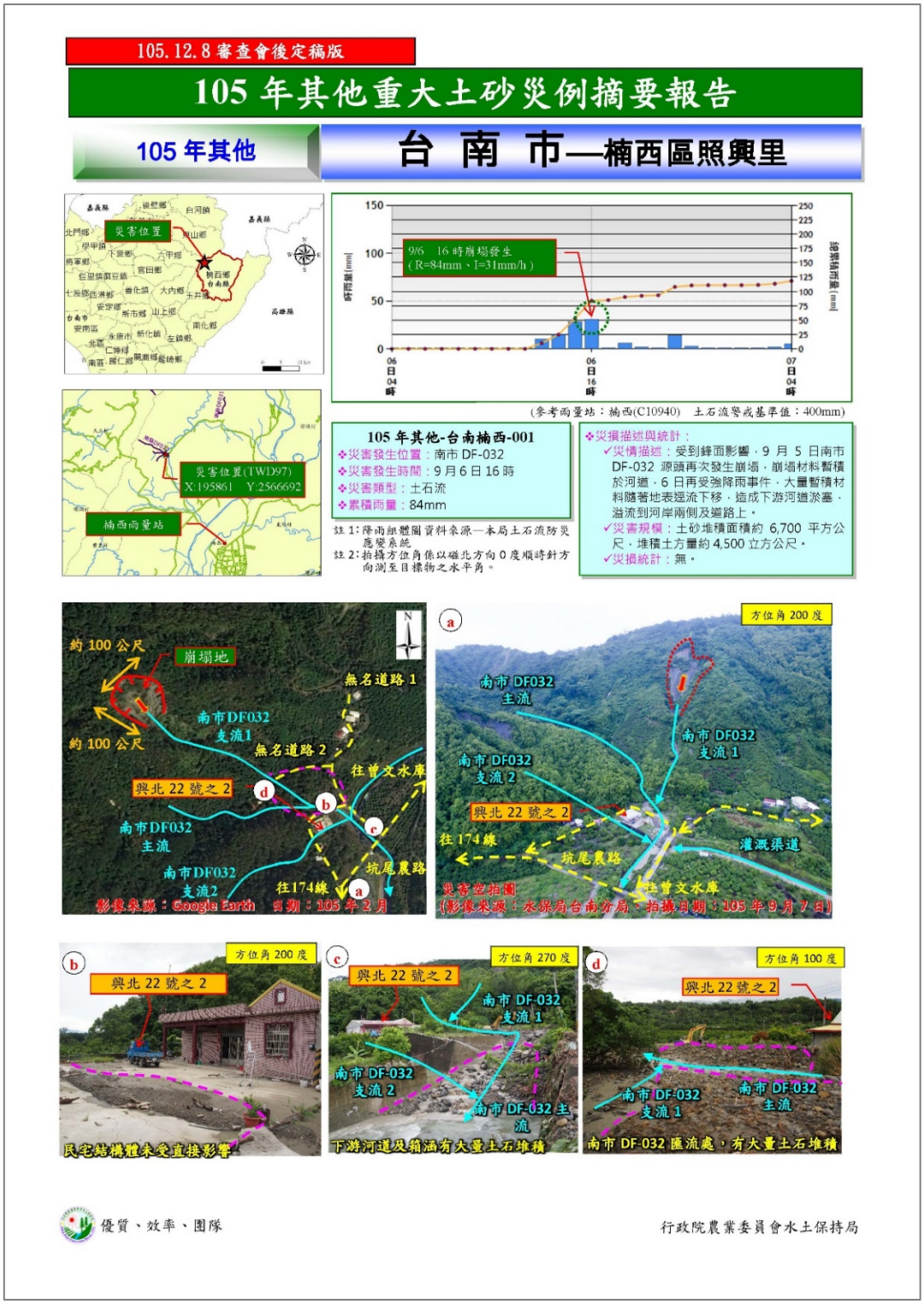


圖2-11 水保局重大土砂災害速報表(水保局，2016)

第三章 土石流潛勢溪流淺層崩塌潛勢集水區尺度評估

本研究主要針對土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌進行討論，對於淺層崩塌潛勢採用水保局(2020)中所得到的淺層崩塌潛勢模式進行計算。水保局(2020)在臺灣南部沉積岩區的土石流潛勢溪流集水區淺層崩塌研究，其中討論淺層崩塌因子的相依性、預測能力以及分析單元大小的適性用，最後得到坡度因子、坡向因子以及地質年代因子為主要的 3 個淺層崩塌潛勢因子，以及分析單元則為 10 公尺網格，所得到之通用潛勢分析模式在計算效率以及預測能力上都能有良好表現。使用區別分析法建立淺層崩塌潛勢通用模式，在臺灣南部有非常良好的適用性，其公式如下：

$$Z = \left(0.714 \times Z_{Slope}\right) + \left(0.17 \times Z_{Aspect}\right) + \left(0.681 \times Z_{\mathrm{Geochron}}\right) - 0.436 \quad \text{(式 3-1)}$$

其中 Z：環境潛勢因子

Z_{Slope}：正規化坡度因子

Z_{Aspect}：正規化坡向因子

Z_{Geochron}：正規化地質年代因子

因此本研究首先選取水保局(2019，2020)南部研究區對土石流潛勢溪流集水區進行取樣分析討論，集水區內之淺層崩塌潛勢則採用式 3-1 通用模式進行評估。

第一節 土石流潛勢溪流選取

本研究將由水保局(2019、2020)南部研究區內選取土石流潛勢溪流集水區進行分析討論。此研究區中共有 243 處土石流潛勢溪流集水區，參考莊漢鑫(2012)利用隨機抽樣法挑選研究區內約 1/10 數量的土石流潛勢溪流集水區，但因不同年代地層固定區域分布，並不是平均

分布在研究區內，並希望抽取出的土石流潛勢溪流集水區能大致平均分布在不同地質特性研究區中，因此用隨機挑選法挑出來後，再經過人工篩選得到 26 處集水區，分別為投縣 DF129、投縣 DF131、投縣 DF139、投縣 DF198、投縣 DF214、投縣 DF234、雲縣 DF005、嘉縣 DF001、嘉縣 DF004、嘉縣 DF017、嘉縣 DF029、嘉縣 DF050、嘉縣 DF063、嘉縣 DF070、嘉縣 DF075、南市 DF004、南市 DF006、南市 DF008、南市 DF023、南市 DF030、南市 DF039、高市 DF011、高市 DF013、高市 DF022、高市 DF034 以及高市 DF048，分布如圖 3-1，可看出挑選出的土石流潛勢溪流集水區平均分布在研究區內，其中藍色框為研究區內所有的土石流潛勢溪流集水區，桃色框為利用隨機抽樣法及進一步篩選取的土石流潛勢溪流集水區。

因式 3-1 中所使用的淺層崩塌因子包含坡度、坡向以及不同年代地層，因此將整個研究區內的集水區以及選取的 26 處集水區內的淺層崩塌因子分布進行比較，由圖 3-2、圖 3-3 以及圖 3-4 中可看出抽取的因子分布與母體分布非常接近，坡度較集中在 20^{o}~40^{o}，坡向則以西北向較多，而地層年代則是集中在上新世至更新世，表示此 26 處的土石流潛勢溪流集水區具良好代表性 。

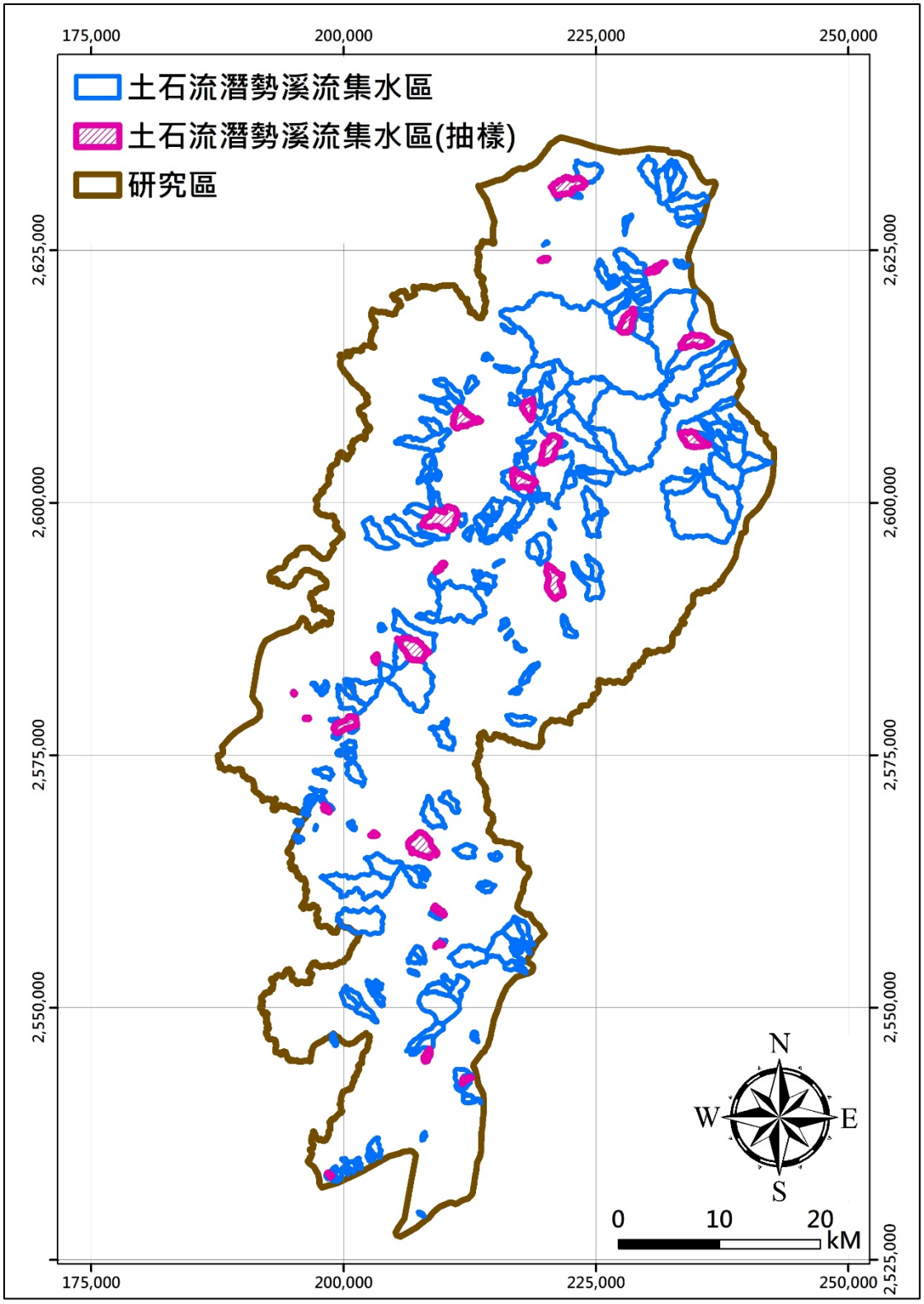


圖3-1　研究區土石流潛勢溪流集水區抽樣分布

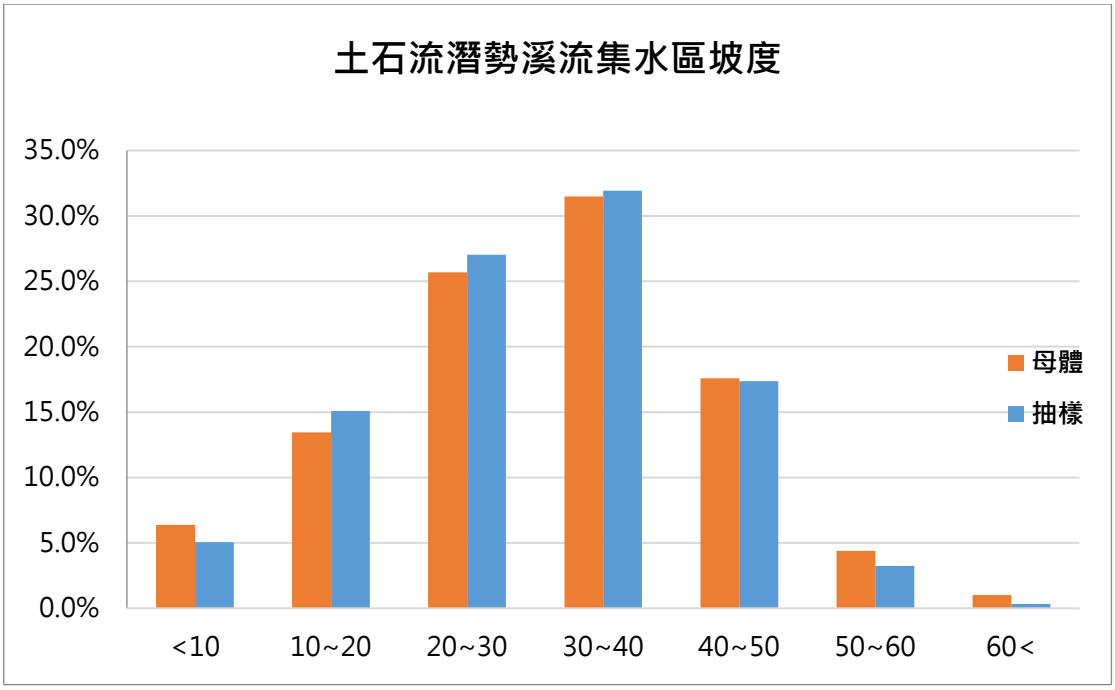


圖3-2　土石流潛勢溪流集水區坡度分布圖

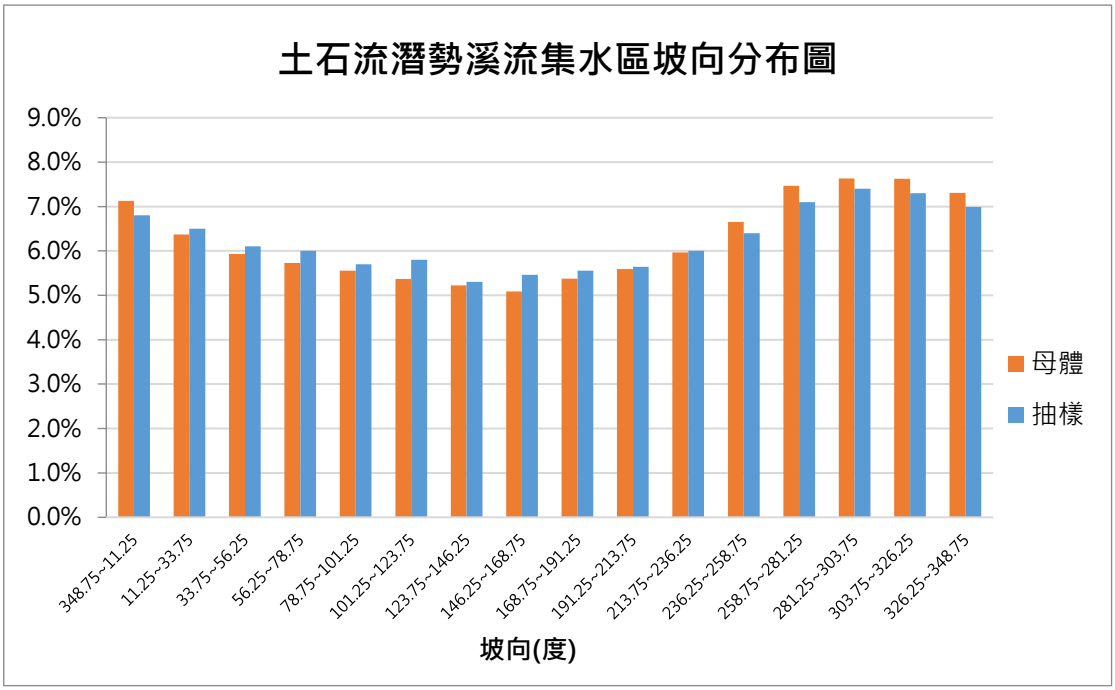


圖3-3　土石流潛勢溪流集水區坡向分布圖

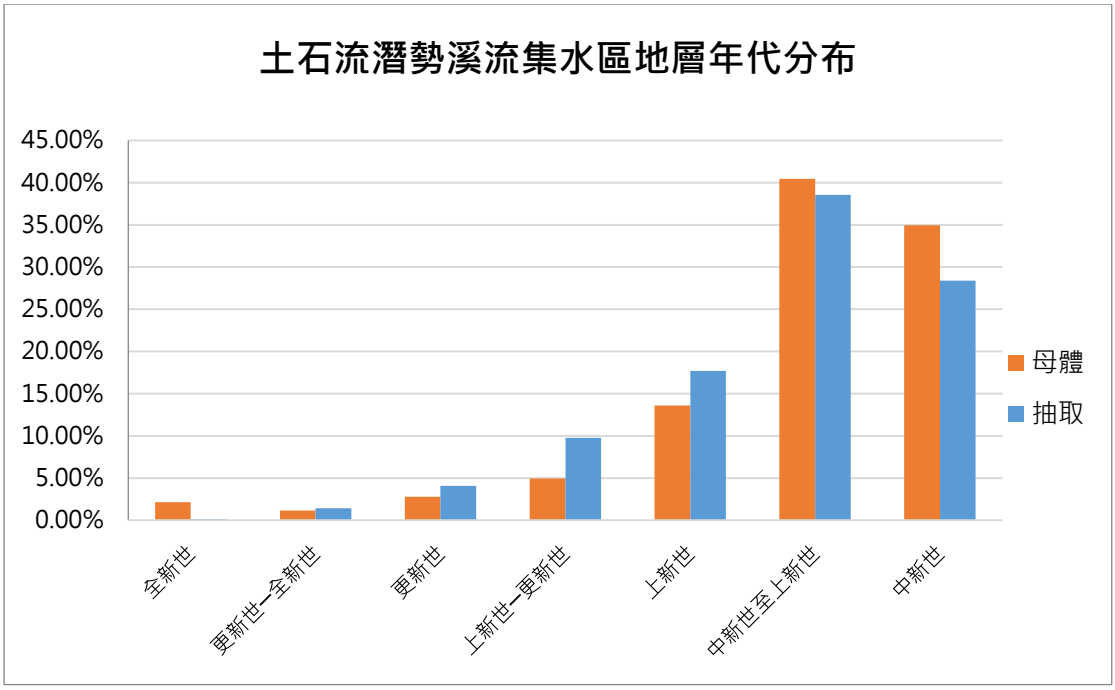


圖3-4 土石流潛勢溪流集水區年代地層分布圖

第二節 土石流潛勢溪流集水區區位劃分

本研究參考 Zheng(2009)將土石流潛勢溪流集水區進行分區位討論，因此進行土石流潛勢溪流集水區區位劃分，參考水保局(2019)「土石流潛勢溪流劃設作業手冊」中以溪床平均坡度在 0°~6° 為下游，6°~15°為中游，15°以上為上游，將集水區可分為上游、中游及下游地區。其次將淺層崩塌的發生位置分別依上、中以及下游區位加以劃分，討論在集水區內不同區位的淺層崩塌分布及與誘發土石流之關聯。在此 26 處土石流潛勢溪流集水區進行集水區不同區位劃分方法建立，並初步討論不同區位內之淺層崩塌分布情形。

土石流溪床界點之決定，以土石流潛勢溪流集水區投縣 DF129 為例，於 GIS 中採用溪流線萃取溪流上的溪床坡度分布如圖 3-5 中的藍色線條所示，由圖中可看出溪床坡度不斷的變化，但仍可觀察出溪床中坡度明顯變化呈現趨於緩和的位置，從上游溪床往下游方向依據溪床坡度連續出現緩降至 15°及 6°之區段判釋出中、下游的邊界，即溪

床 6°以及 15°的分界位置，如圖 3-5 中淡綠色的點為下、中游的分界線，而桃紅色的點為中、上游的分界線。將集水區坡度圖與溪床區位分段點疊合，可明顯看出在上游段之地形坡度明顯較高。

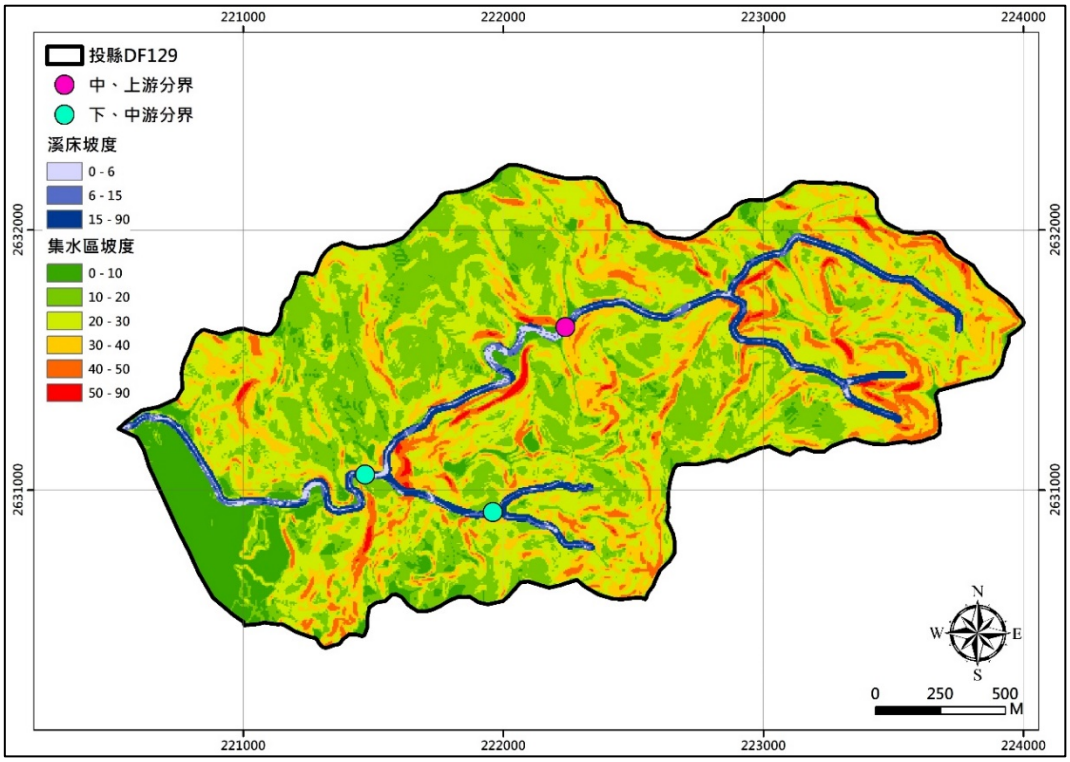


圖3-5　土石流潛勢溪流集水區溪床分界範例圖(投縣 DF129)

分別將此兩分界點設定為溢流點，利用 ArcGIS 進行集水區的劃設，如圖 3-6，可由此決定中游以及上游的分區邊界線，進而可劃分土石流的不同區位，疊合溪流線、區位分界及坡度圖得到圖 3-7。由圖中可明顯看出上游區位之坡度高於中游，中游區位坡度高於下游。

依照此方法對其他土石流潛勢溪流集水區進行溪床界點劃定，再疊合區位分界、坡度圖以及淺層崩塌，其劃分成果以嘉縣 DF050 以及南市 DF008 為例，如圖 3-8 至圖 3-11 所示，在進行集水區劃設時會發現，得到的中上游區位外圈邊界與水保局所劃設的集水區範圍邊界略有不同，由坡度圖可看出集水區範圍在圈繪時可能略有誤差，而後續研究將採用 GIS 所繪出的中、上游區位進行研究，其他集水區的區位分界圖整理至附錄二。

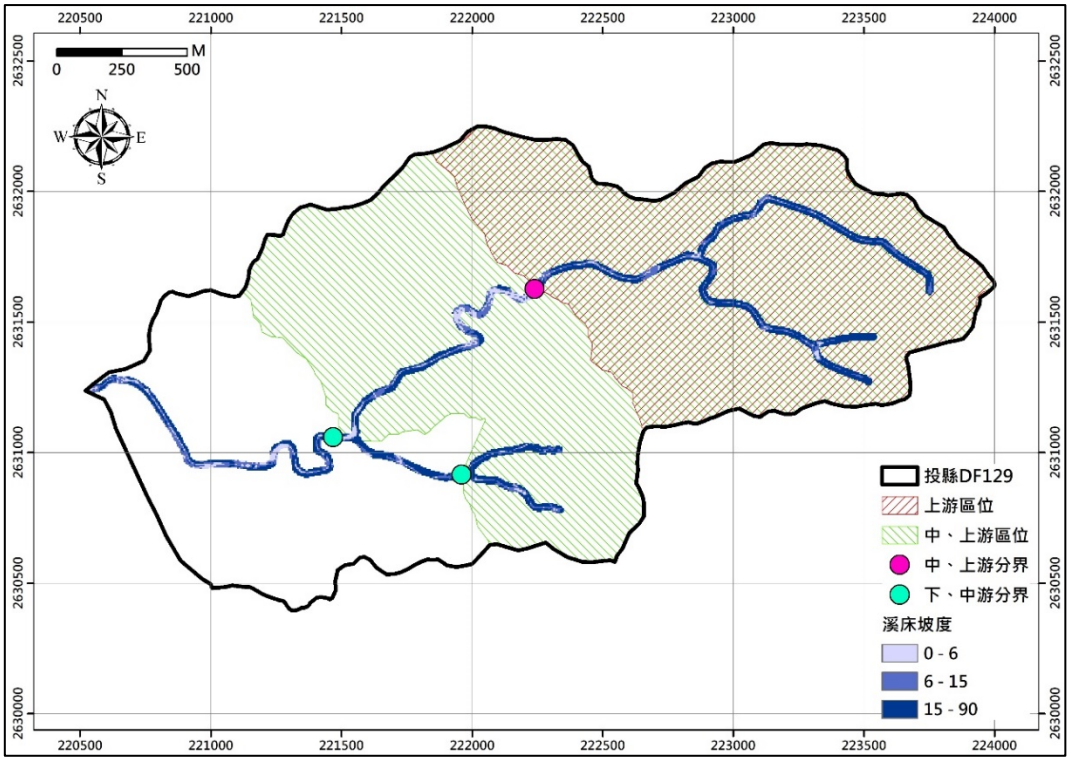


圖3-6　劃設投縣 DF129 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位

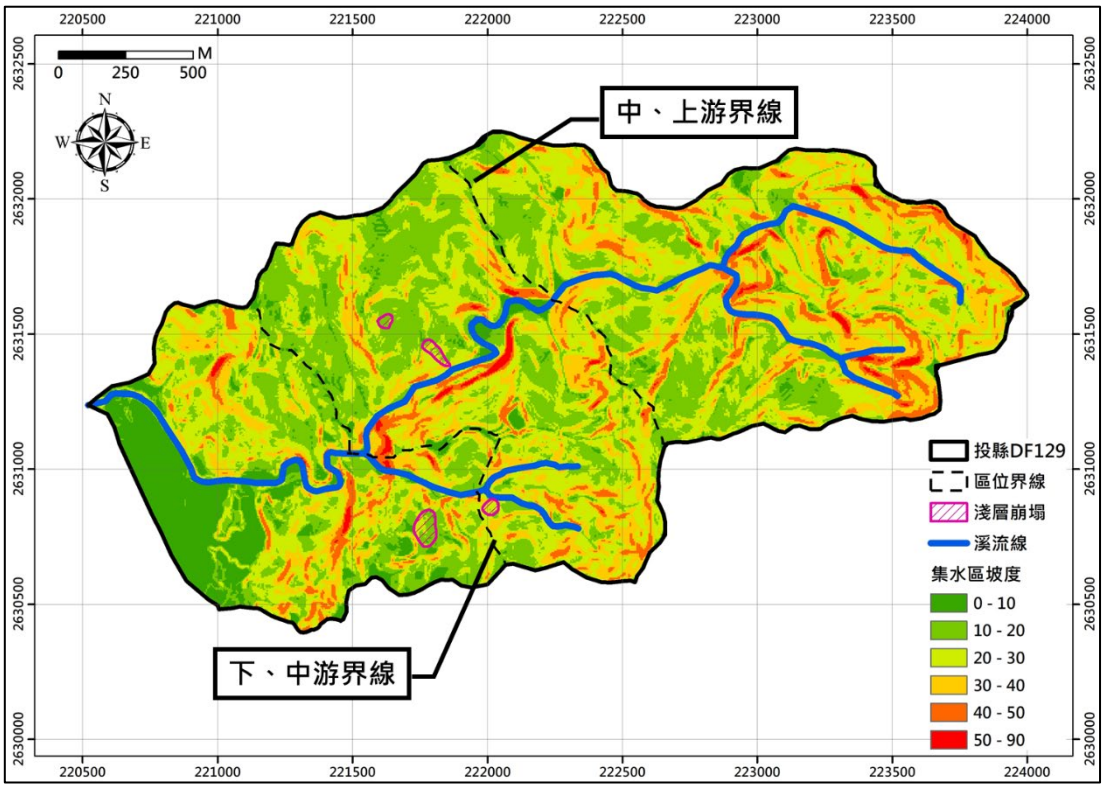


圖3-7　投縣 DF129 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布

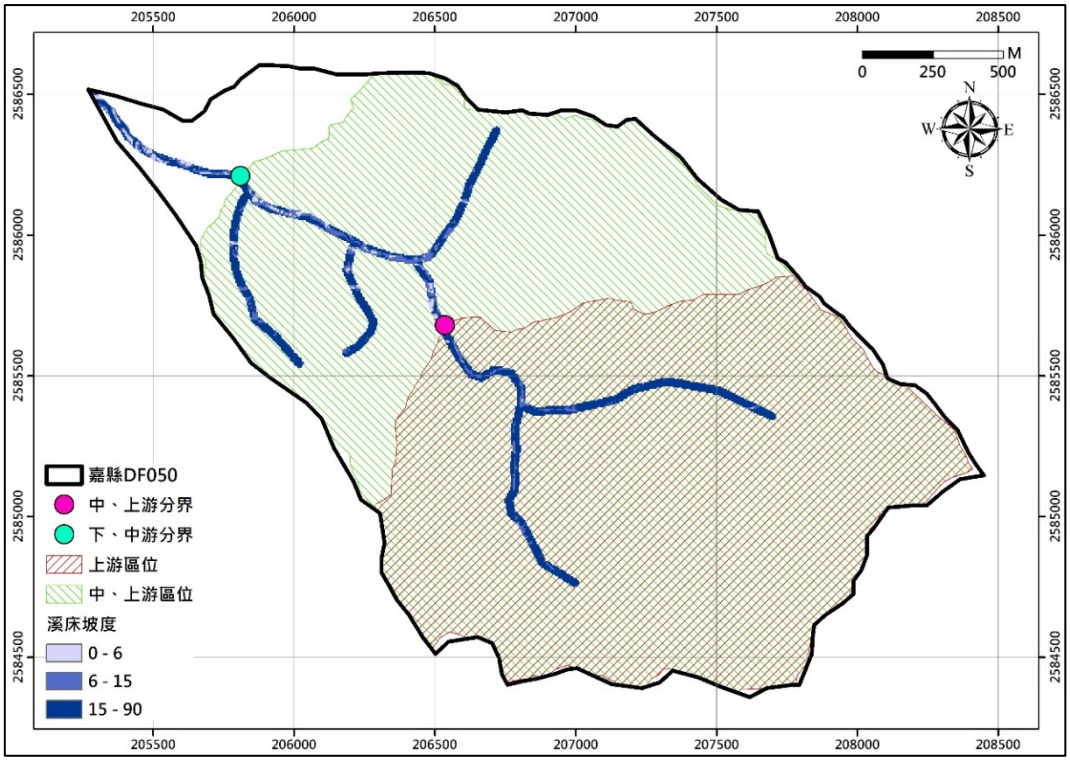


圖3-8　劃設嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位

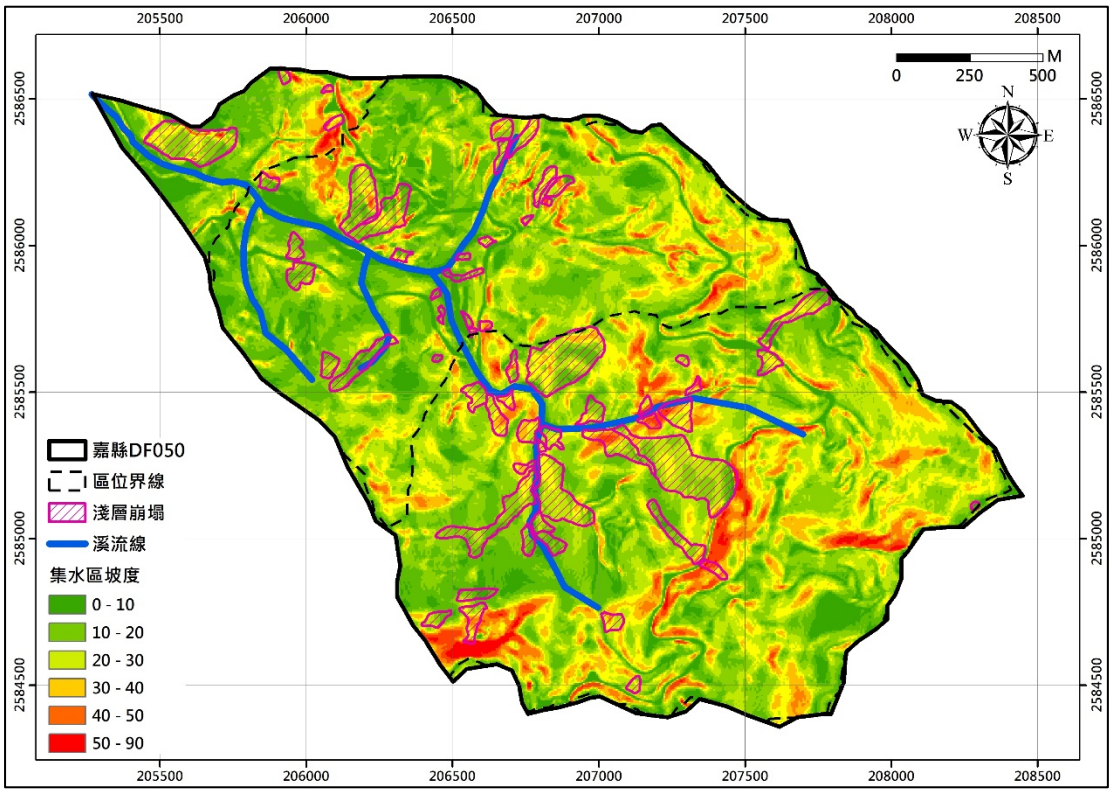


圖3-9　嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布

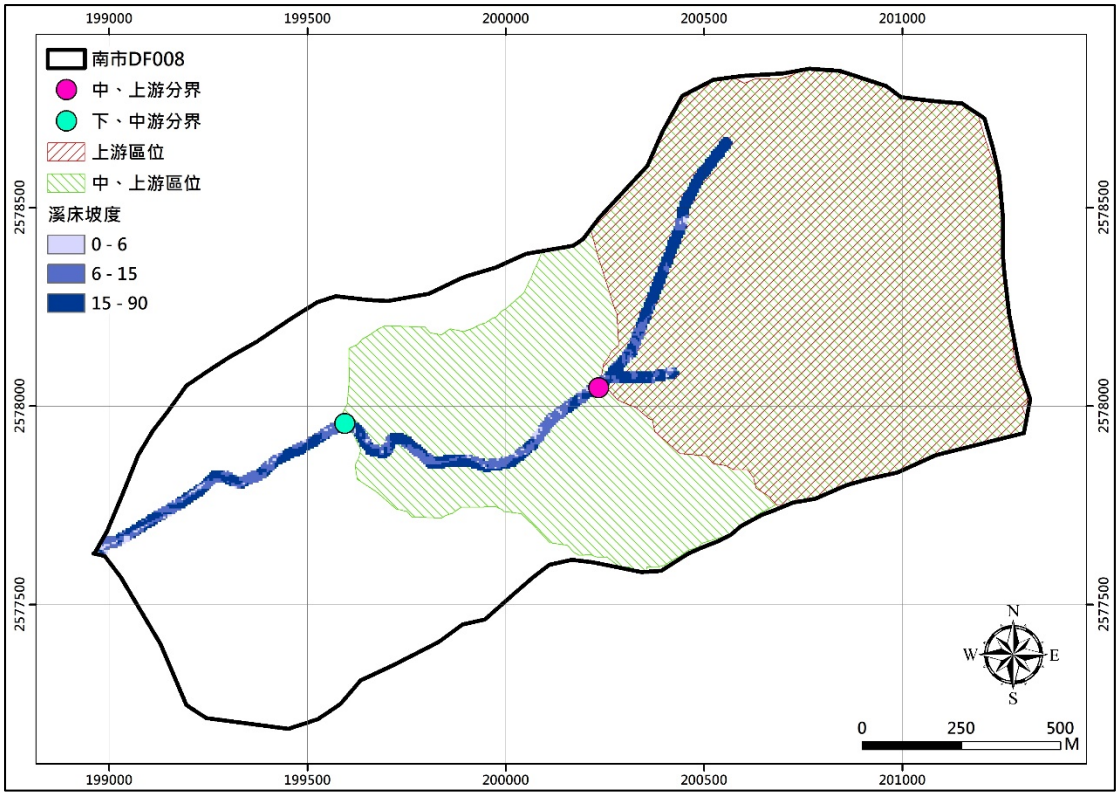


圖3-10 劃設南市 DF008 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位

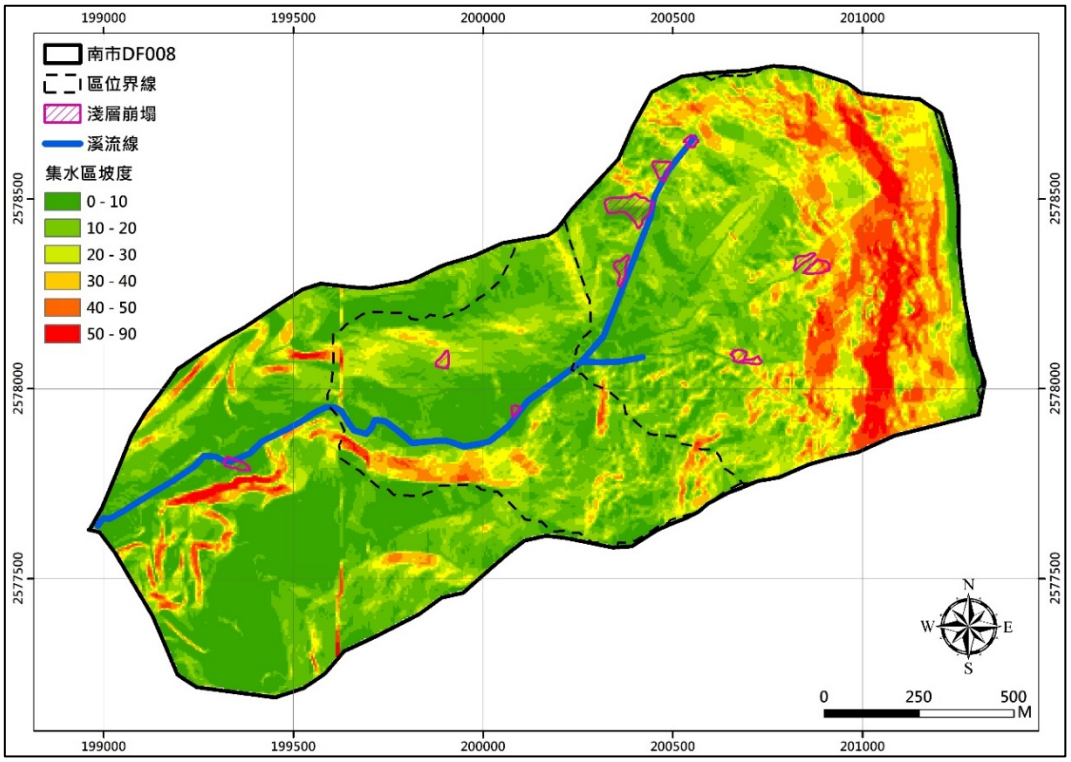


圖3-11 南市 DF008 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布

將土石流潛勢溪流集水區區位劃分完成後，將各集水區的中、上游區域的區位面積、崩塌面積以及面積崩塌率整理至表 3-1 以及表 3-2。可由列表中可看出，發生潛勢低的土石流潛勢溪流集水區多數中、上游區位的面積崩塌率合併後都偏小，其中南市 DF004 和南市 DF023 面積崩塌率大於 5%，而南市 DF048 的面積崩塌率大於 1%；發生潛勢中的土石流潛勢溪流集水區多數中、上游區位的面積崩塌率合併後觀察，多處的土石流潛勢溪流集水區的面積崩塌率都大於 5%，僅南市 DF008 為 1.81%、投縣 DF214 為 0.67%崩塌率較小，嘉縣 DF029 則沒有崩塌發生；發生潛勢高的土石流潛勢溪流集水區多數中、上游區位的面積崩塌率合併後觀察，多數的面積崩塌率大於 5%，而高市 DF022 的面積崩塌率為 2.61%，投縣 DF131、投縣 DF139、投縣 DF214、南市 DF006 以及高市 DF034 等五處土石流潛勢溪流集水區中沒有崩塌發生，代表這 5 處土石流潛勢溪流並未因淺層崩塌造成土石流，或資料未能表現崩塌，因此後續研究將刪除未發生淺層崩塌以及土石流潛勢溪流發生潛勢等級為低的集水區共 11 處集水區。

表3-1 範例土石流潛勢溪流集水區之面積崩塌率(1/2)

集水區名稱	發生潛勢等級	區位	面積 (m^2)	崩塌面積 (m^2)	面積崩塌率
投縣 DF129	低	中	1,245,766.82	8,578.02	0.69%
		上	1,478,467.77	0.00	0.00%
投縣 DF131	高	中	40,422.48	0.00	0.00%
		上	88,227.19	0.00	0.00%
投縣 DF139	高	中	479,208.84	0.00	0.00%
		上	1,207,794.41	0.00	0.00%
投縣 DF198	中	中	702,347.32	139,540.01	19.87%
		上	1,463,326.70	17,333.86	1.18%
投縣 DF214	中	中	38,053.58	0.00	0.00%
		上	393,899.19	0.00	0.00%
投縣 DF234	中	中	499,136.90	11,740.20	2.35%
		上	1,361,768.67	20,540.48	1.51%
雲縣 DF005	低	中	348,791.24	1,185.07	0.34%
		上	691,596.92	3,509.17	0.51%
嘉縣 DF001	低	中	375,778.49	0.00	0.00%
		上	2,395,719.99	4,500.93	0.19%
嘉縣 DF004	高	中	308,947.24	16,159.97	5.23%
		上	2,031,951.35	41,058.17	2.02%
嘉縣 DF017	高	中	699,320.49	30,333.41	4.34%
		上	3,320,381.52	90,938.97	2.74%
嘉縣 DF029	中	中	58,477.99	0.00	0.00%
		上	173,739.09	1,164.13	0.67%
嘉縣 DF050	高	中	1,513,775.29	94,455.33	6.24%
		上	2,190,492.05	254,131.02	11.60%
嘉縣 DF063	中	中	960,186.86	88,642.01	9.23%
		上	1,681,566.05	101,258.39	6.02%

表3-2 範例土石流潛勢溪流集水區之面積崩塌率(2/2)

集水區名稱	發生潛勢等級	流域	面積 (m^2)	崩塌面積 (m^2)	面積崩塌率
嘉縣 DF070	中	中	58,646.67	0.00	0.00%
		上	103,071.04	8,094.62	7.85%
嘉縣 DF075	高	中	852,697.10	57,286.20	6.72%
		上	2,616,636.89	19,435.17	0.74%
南市 DF004	低	中	7,108.46	564.71	7.94%
		上	10,542.52	0.00	0.00%
南市 DF006	低	中	8,577.46	0.00	0.00%
		上	23,471.54	0.00	0.00%
南市 DF008	中	中	459,963.49	1,427.10	0.31%
		上	914,847.27	13,755.77	1.50%
南市 DF023	低	中	34,497.71	1,548.41	4.49%
		上	191,689.63	7,112.34	3.71%
南市 DF030	高	中	39,538.01	4,966.48	12.56%
		上	85,301.74	500.92	0.59%
南市 DF039	中	中	1,176,233.86	107,754.32	9.16%
		上	2,896,840.13	458,966.51	15.84%
高市 DF011	中	中	52,217.30	2,461.43	4.71%
		上	222,447.57	24,817.56	11.16%
高市 DF013	中	中	67,979.04	4,106.71	6.04%
		上	34,400.08	5,469.36	15.90%
高市 DF022	高	中	130,803.77	576.55	0.44%
		上	189,533.20	4,106.71	2.17%
高市 DF034	低	中	11,016.34	0.00	0.00%
		上	61,179.93	0.00	0.00%
高市 DF048	低	中	14,944.12	0.00	0.00%
		上	125,672.29	1,904.83	1.52%

第三節 集水區不同區位淺層崩塌潛勢分布

完成土石流潛勢溪集水區區位劃分後，採用式 3-1 計算土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢值，並參考水保局(2020)的淺層崩塌潛勢值分級，環境潛勢因子 Z 值可分為淺層崩塌區別函數以及非崩塌，兩者區別值為區分網格是否為淺層崩塌或非崩塌網格，將此數值設定為低潛勢的上限，將淺層崩塌分布曲線之中值設為中、高潛勢的分界線，如圖 3-12 所示。將潛勢值分成高(紅)、中(黃)以及低(綠)，以嘉縣 DF050 及南市 DF008 為例，處土石流潛勢溪流集水區的淺層崩塌潛勢分布如圖 3-13 以及圖 3-14，並將淺層崩塌標示在圖中。土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢分布整理至附錄三。由式 3-1 可看出坡度因子的權重最高為最主要的因子，而多數土石流集水區下游處地形較平坦，因此淺層崩塌潛勢值偏低，且由範例土石流潛勢溪流集水區的區位劃分圖以及淺層崩塌潛勢分布圖中可看出，多數淺層崩塌都發生在中、上游區域，因此在後續研究將不考慮集水區下游部分的淺層崩塌潛勢值分布。在剩下的 15 處土石流潛勢溪流集水區中可觀察出，集水區內的淺層崩塌與坡度分布情況非常相似，在坡度高的地方較易出現淺層崩塌中、高潛勢。

由圖可看出，土石流潛勢溪流發生潛勢等級為高的嘉縣 DF050 中，上游區位的黃色及紅色區域皆多於中游區位，而上游區位的淺層崩塌多數發生於中、高潛勢區域，在中游區位中的淺層崩塌則有發生在低潛勢的區域；土石流潛勢溪流發生潛勢等級為中的南市 DF008，可由圖看出上游區位的黃色區域範圍多於中游的區位，然而中游的區位內有些許紅色出現，而集水區內的淺層崩塌發生位置則發生於黃色區域居多。由 2 張圖可看出，土石流潛勢溪流發生潛勢與中、上游區位的淺層崩塌的中、高發生潛勢面積有良好關聯，將 15 處土石流潛勢溪

流集水區的中、上游區位內淺層崩塌潛勢面積百分比依照土石流潛勢溪流發生潛勢整理至表 3-3 以及表 3-4。

由表 3-3 中可看出，土石流潛勢溪流發生潛勢為中的 9 處集水區內，有 5 處土石流潛勢溪流集水區有出現淺層崩塌的高潛勢，而投縣 DF198、南市 DF039、高市 DF013 的淺層崩塌中潛勢值在中、上游區位中亦佔有 80%以上。其中嘉縣 DF029 則為 10 處集水區中淺層崩塌中潛勢面積百分比為最低的。

土石流潛勢等級為高的 6 處土石流潛勢溪流集水區整理至表 3-4。可由表看出嘉縣 DF004、嘉縣 DF017 以及嘉縣 DF050 有淺層崩塌高潛勢發生，僅有嘉縣 DF004 的中、高淺層崩塌潛勢值分布較少的上游區位僅有 1%左右的中潛勢值分佈。

2 個表格中比較後可看出土石流潛勢溪流發生等級為中、高時，集水區內的中、上游區位確實有較多的淺層崩塌中、高潛勢值分布，而在此 15 處土石流潛勢溪流集水區中，土石流發生潛勢等級為中時，其淺層崩塌潛勢面積百分比較高。

表3-3 淺層崩塌發生潛勢於集水區中、上游區位之面積分布(土石流潛勢溪流發生潛勢：中)

投縣 DF198		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	86.8%	0.0%
	上	84.9%	0.0%
投縣 DF234		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	57.1%	0.0%
	上	38.0%	0.0%
嘉縣 DF029		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	12.1%	0.0%
	上	31.1%	0.0%
嘉縣 DF063		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	46.8%	0.0%
	上	40.7%	0.0%
嘉縣 DF070		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	26.6%	19.2%
	上	22.0%	8.3%
南市 DF008		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	45.3%	4.0%
	上	49.4%	0.0%

南市 DF039		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	83.1%	16.7%
	上	62.8%	33.9%
高市 DF011		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	48.9%	6.6%
	上	19.4%	0.0%
高市 DF013		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	96.8%	2.3%
	上	99.0%	1.0%

表3-4 淺層崩塌發生潛勢於集水區中、上游區位之面積分布(土石流潛勢溪流發生潛勢：高)

嘉縣 DF004		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	60.5%	38.6%
	上	56.4%	9.4%
嘉縣 DF017		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	51.2%	3.9%
	上	51.3%	26.8%
嘉縣 DF050		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	29.9%	0.0%
	上	54.9%	4.2%
嘉縣 DF075		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	35.7%	0.0%
	上	26.6%	0.0%
南市 DF030		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	11.7%	0.0%
	上	1.1%	0.0%
高市 DF022		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	7.5%	0.0%
	上	29.1%	0.0%

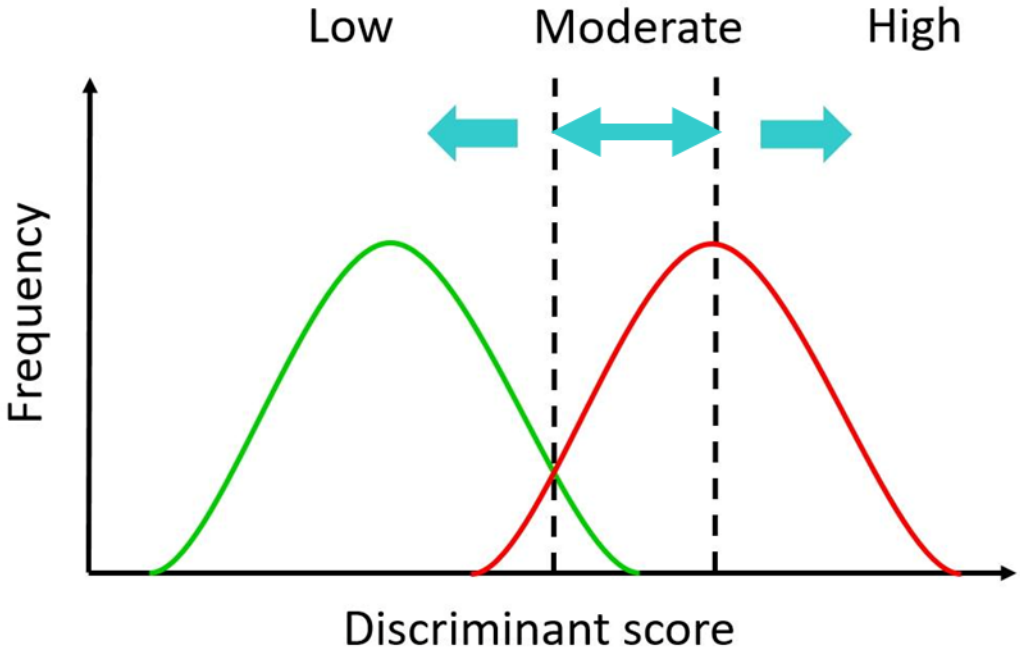


圖3-12 環境潛勢因子 Z 值分級示意圖

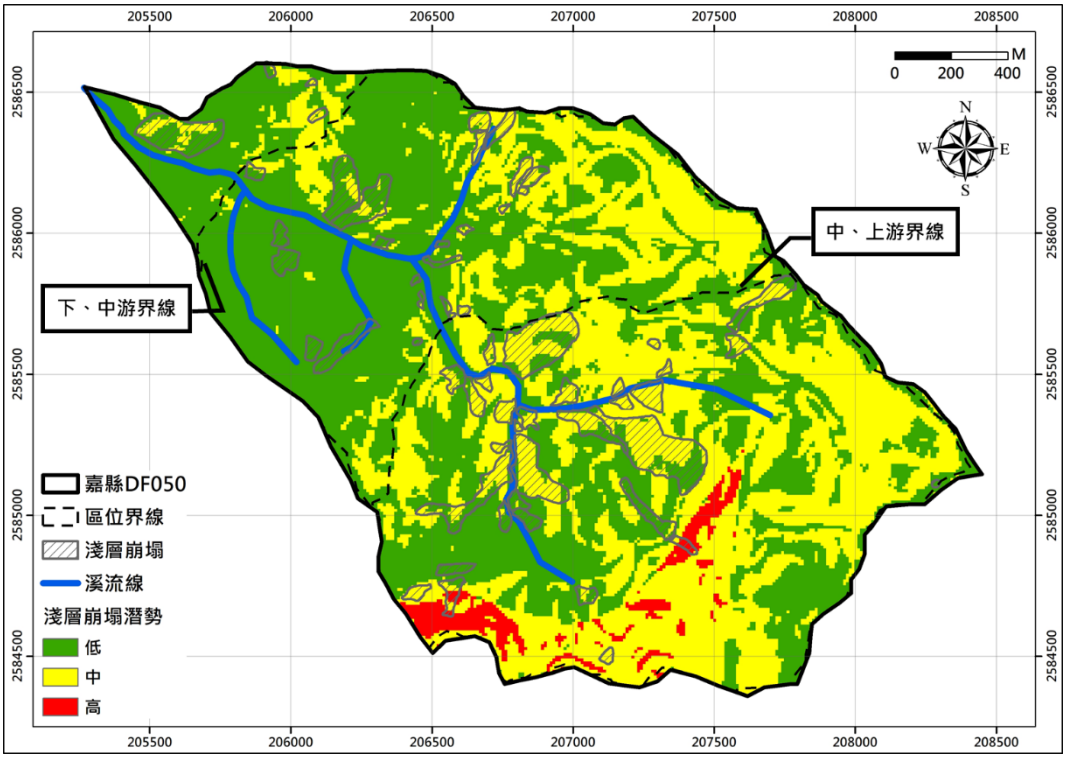


圖3-13 嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布

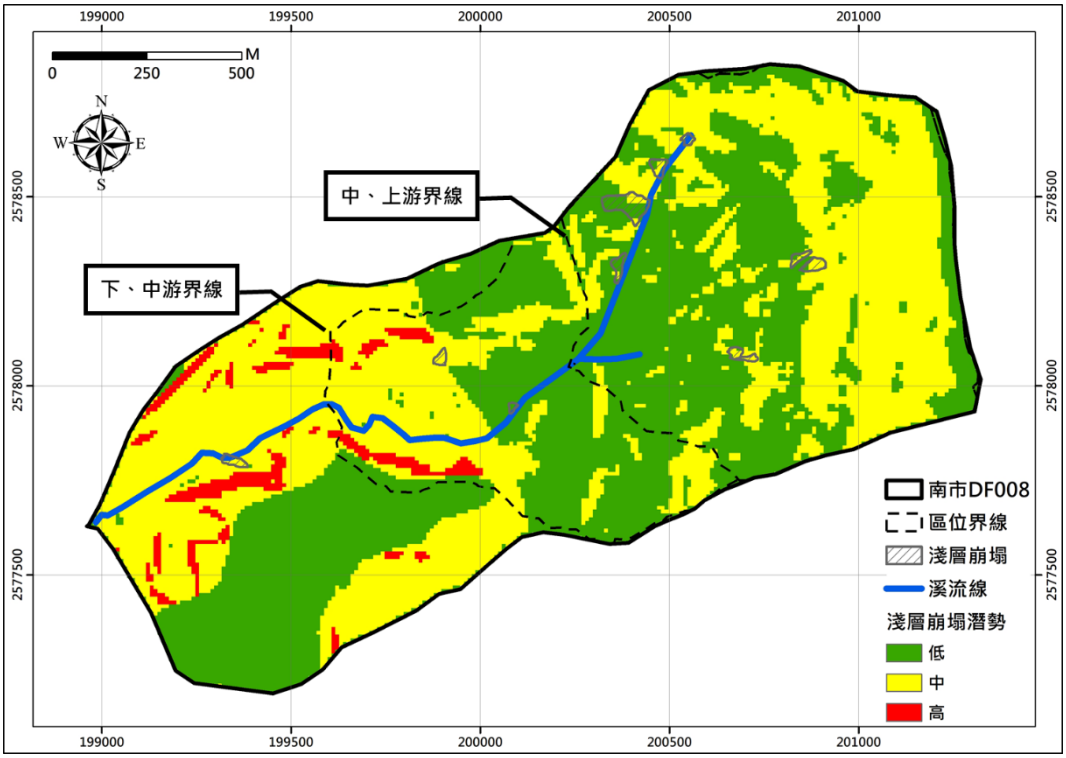


圖3-14 土石流潛勢溪流集水區南市 DF008 內淺層崩塌及評估潛勢值分布

將 15 處土石流潛勢溪流集水區中、上游區域合併來觀察，各區位合併後的面積崩塌率以及淺層崩塌潛勢值面積百分比如表 3-5 及表 3-6 所示。

由面積崩塌率來看此 15 處的中游區位中的面積崩塌率都略大於上游區位，並且在土石流潛勢溪流發生等級為中的面積崩塌率大於等級高的集水區。而在淺層崩塌潛勢面積百分比，在土石流潛勢溪流發生潛勢等級為中時，中游區位的淺層崩塌中潛勢略高於上游區位，然而在淺層崩塌高潛勢的分布則是上游區會高於中游；而土石流潛勢溪流發生潛勢等級為高時則不管是淺層崩塌的中、高潛勢面積百分比都是上游區會高於中游區位，並且整體合併來看亦是如此。並且發生等級高的集水區其淺層崩塌高潛勢面積百分比也高於發生等級中的集水區，因此由集水區內中、上游區位的淺層崩塌高潛勢分布可初步判斷此土石流潛勢溪流集水區的發生等級。

表3-5 各土石流潛勢溪流集水區不同區位面積崩塌率比較

發生等級:中	區位	區位面積 (m^2)	崩塌面積 (m^2)	面積崩塌率
	集水區中游	3,575,225.94	354,244.68	9.91%
	集水區上游	7,937,159.33	637,644.91	8.03%
發生等級:高	區位	區位面積 (m2)	崩塌面積 (m2)	面積崩塌率
	集水區中游	3,545,081.9	203,777.9	5.75%
	集水區上游	10,434,296.8	410,171.0	3.93%
中、高等級合併	區位	區位面積 (m^2)	崩塌面積 (m^2)	面積崩塌率
	集水區中游	7,580,271.33	559,449.72	7.38%
	集水區上游	19,286,303.35	1,061,571.64	5.50%

表3-6 不同區位及發生等級之土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌潛勢面積百分比

發生等級:中		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	63.7%	5.2%
	上	54.9%	10.1%
發生等級:高		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	32.0%	5.1%
	上	54.6%	14.9%
中、高等級合併		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	49.8%	5.2%
	上	54.7%	12.4%

第四章 集水區尺度淺層崩塌潛勢與土石流發生潛勢之關聯

第一節 歷史事件驗證

表 2-2 蒐集到的歷史事件中有 5 處土石流潛勢溪流集水區位在此研究區內，分別為投縣 DF235、嘉縣 DF039、嘉縣 DF049、嘉縣 DF51 以及南市 DF032 等 5 處土石流潛勢溪流集水區如圖 4-1。

採用第二節劃分集水區區位的方法，將 5 處土石流潛勢溪流集水區進行集水區的劃分，劃分好的結果如圖 4-2 至圖 4-11 所示。由 5 處土石流潛勢溪流集水區的區位劃分圖中可明顯看出，淺層崩塌多數發生於中、上游區域，將各集水區以及其中、上游的淺層崩塌面積崩塌率整理至表 4-1，由表 4-1 可看出各集水區的上游區位之淺層崩塌發生數量都大於中游。並可看出土石流發生潛勢等級與面積崩塌率有良好的一致趨勢，在嘉縣 DF039、嘉縣 DF049 以及嘉縣 DF051 等 3 個高發生潛勢等級的土石流潛勢溪流集水區中，其中、上游面積崩塌率皆較高，而投縣 DF235 以及南市 DF032 兩個中等發生潛勢的土石流潛勢溪流集水區則面積崩塌率較低。在進行集水區分區劃設時會發現，得到的中上游區位與水保局所劃設的集水區範圍有部分差異產生，與第三章劃設的狀況相同。

表4-1 土石流潛勢溪流集水區之面積崩塌率

集水區名稱	發生潛勢等級	流域	面積 (m^2)	崩塌面積 (m^2)	面積崩塌率
投縣 DF235	中	上游	447761.64	13939.10	3.11%
		中游	61406.22	0	0.00%
嘉縣 DF039	高	上游	5857201.53	914437.49	15.61%
		中游	4554805.84	117003.91	2.57%
嘉縣 DF049	高	上游	910657.49	58288.08	6.40%
		中游	508753.31	26713.22	5.25%
嘉縣 DF051	高	上游	1442612.47	306139.94	21.22%
		中游	789335.75	50514.27	6.40%
南市 DF032	中	上游	258274.67	14846.85	5.75%
		中游	43583.63	0	0.00%

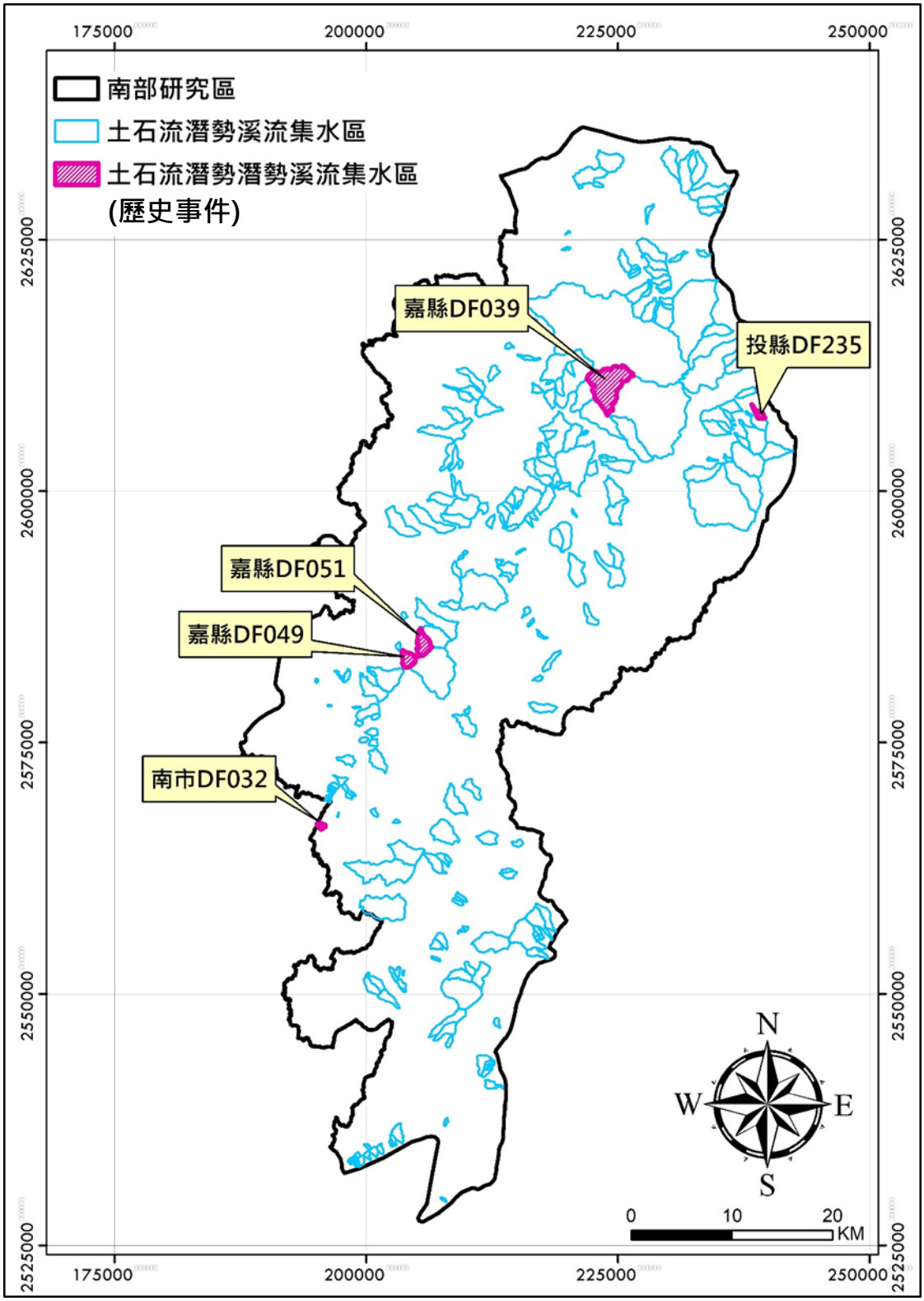


圖4-1　歷史事件土石流潛勢溪流集水區分布

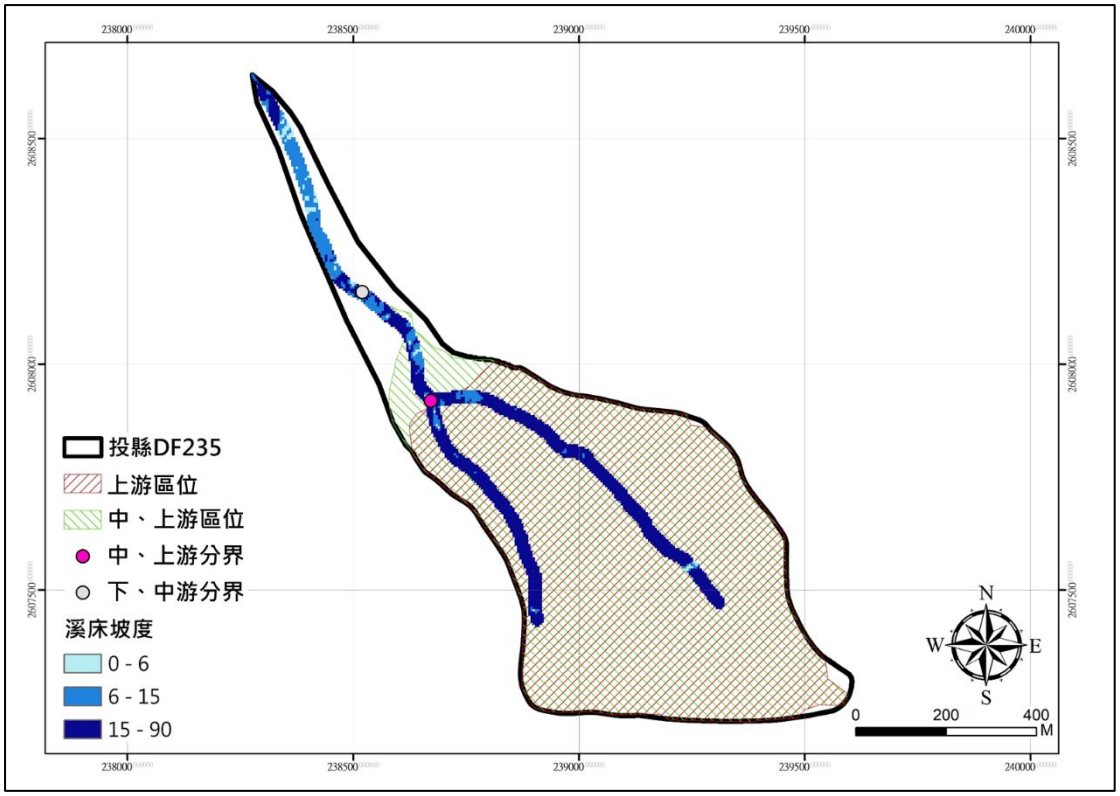


圖4-2　劃設土石流潛勢溪流集水區投縣 DF235 中、上游分界區位

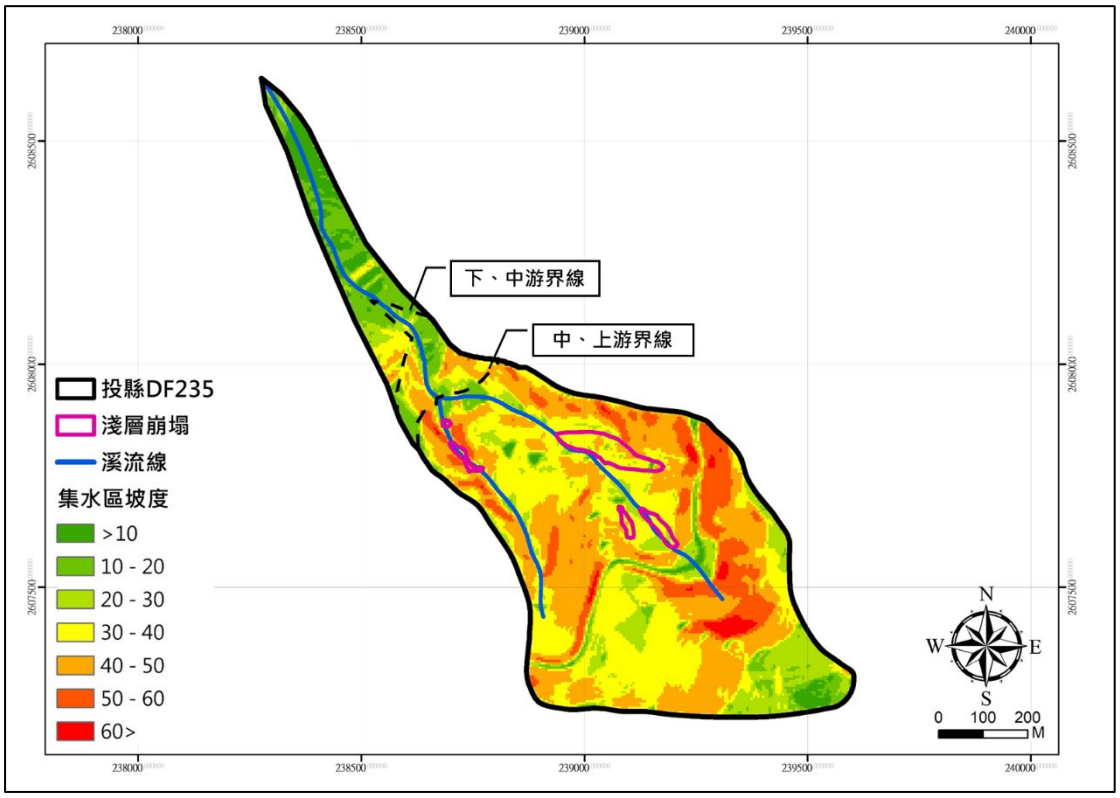


圖4-3　土石流潛勢溪流集水區投縣 DF235 之區位劃分

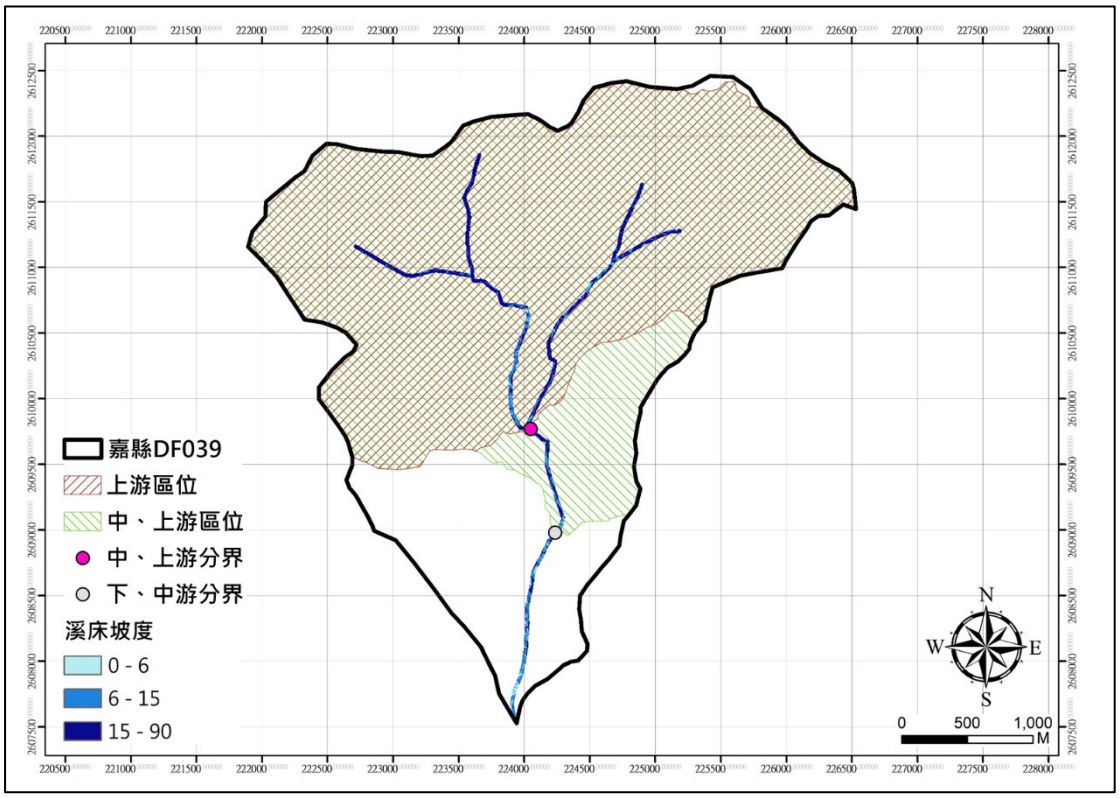


圖4-4　劃設土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF039 中、上游分界區位

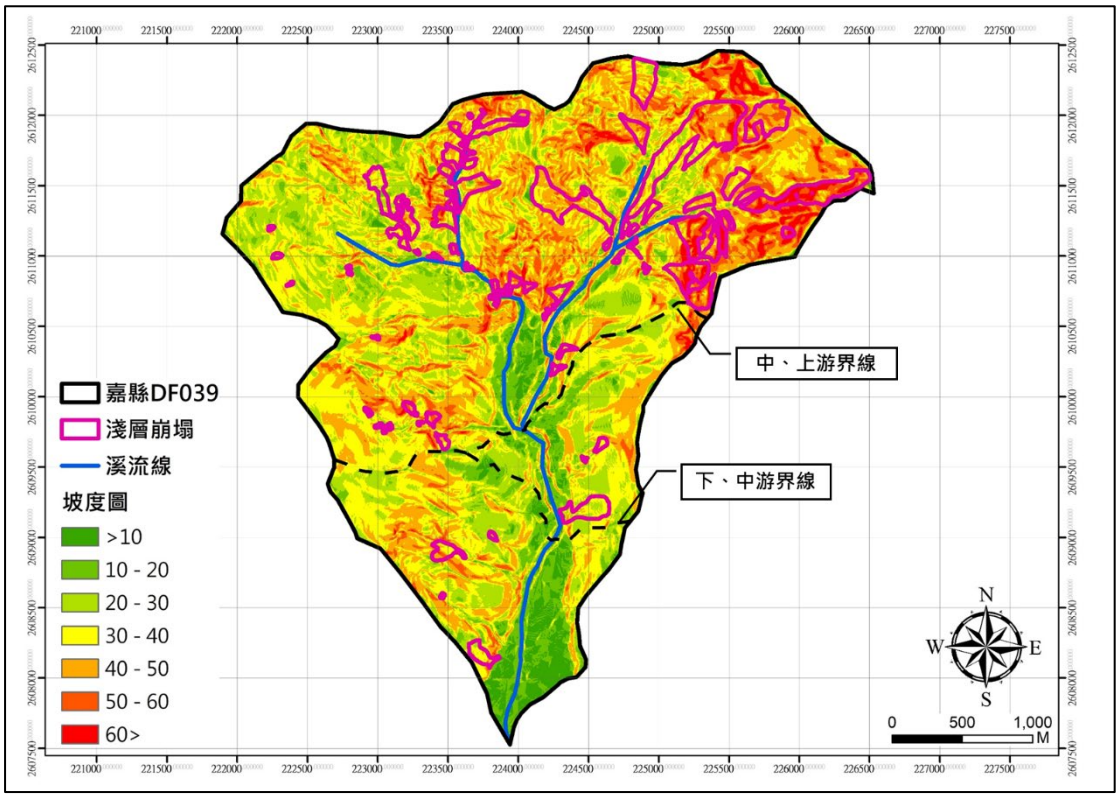


圖4-5　土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF039 之區位劃分

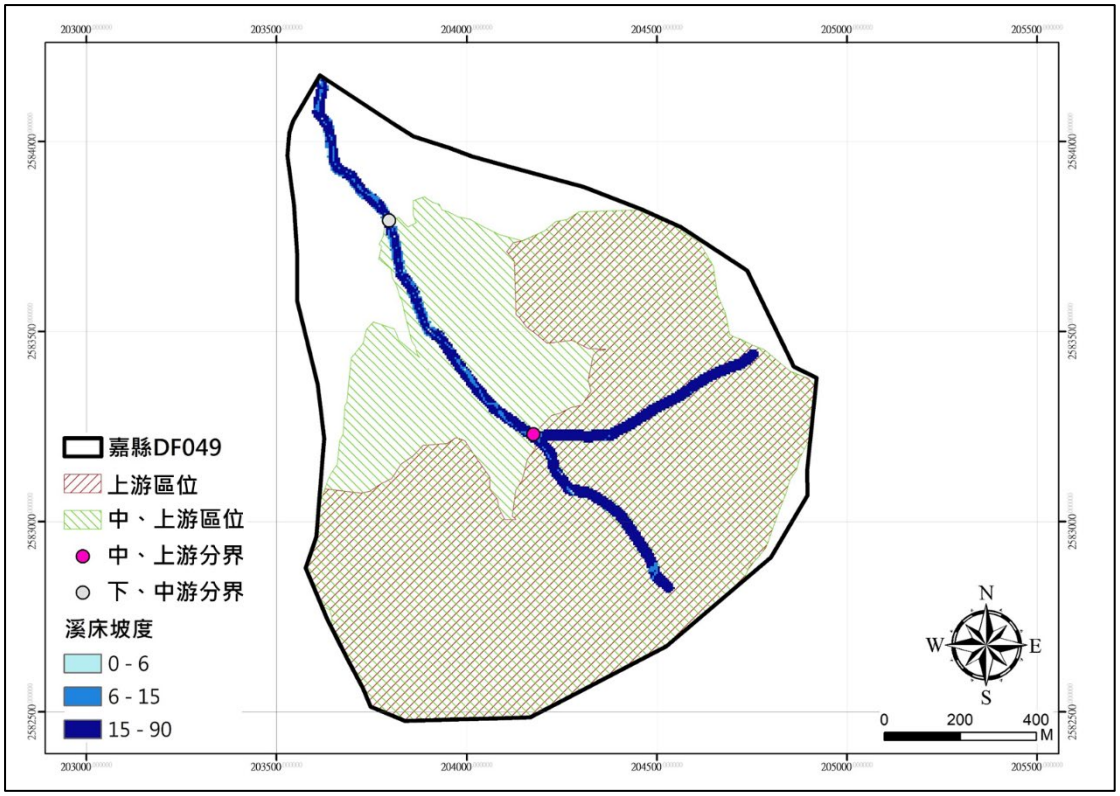


圖4-6　劃設土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF049 中、上游分界區位

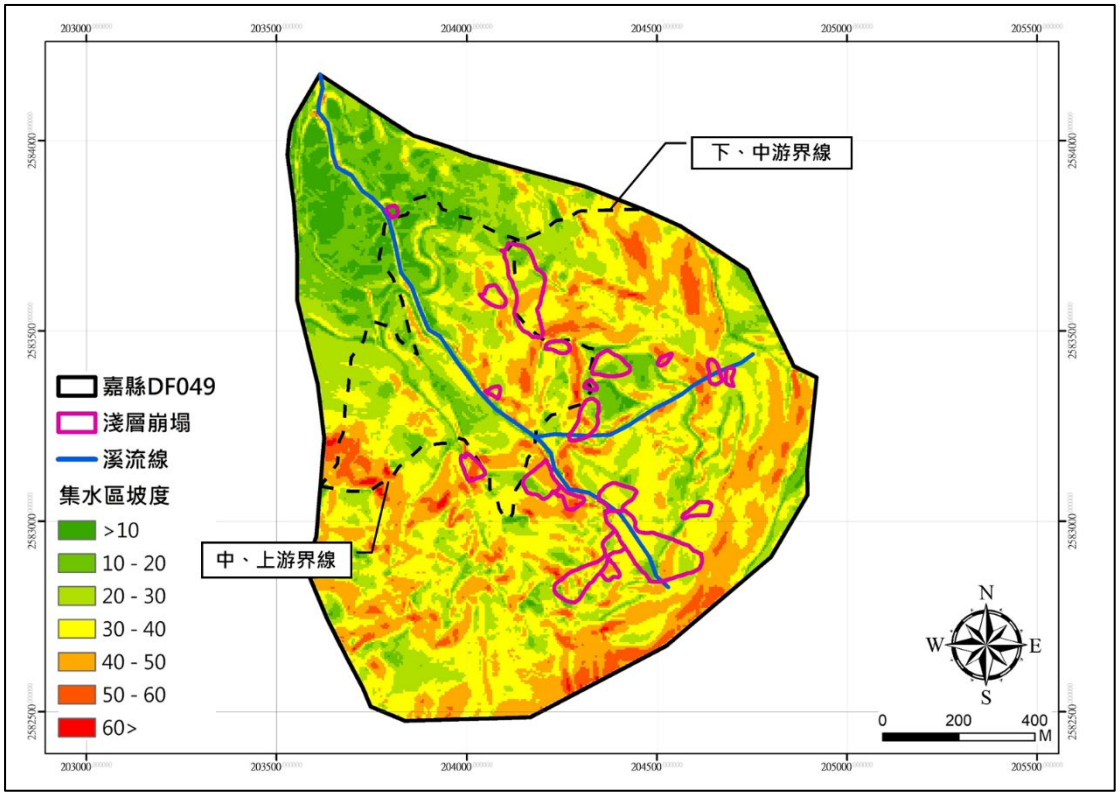


圖4-7　土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF049 之區位劃分

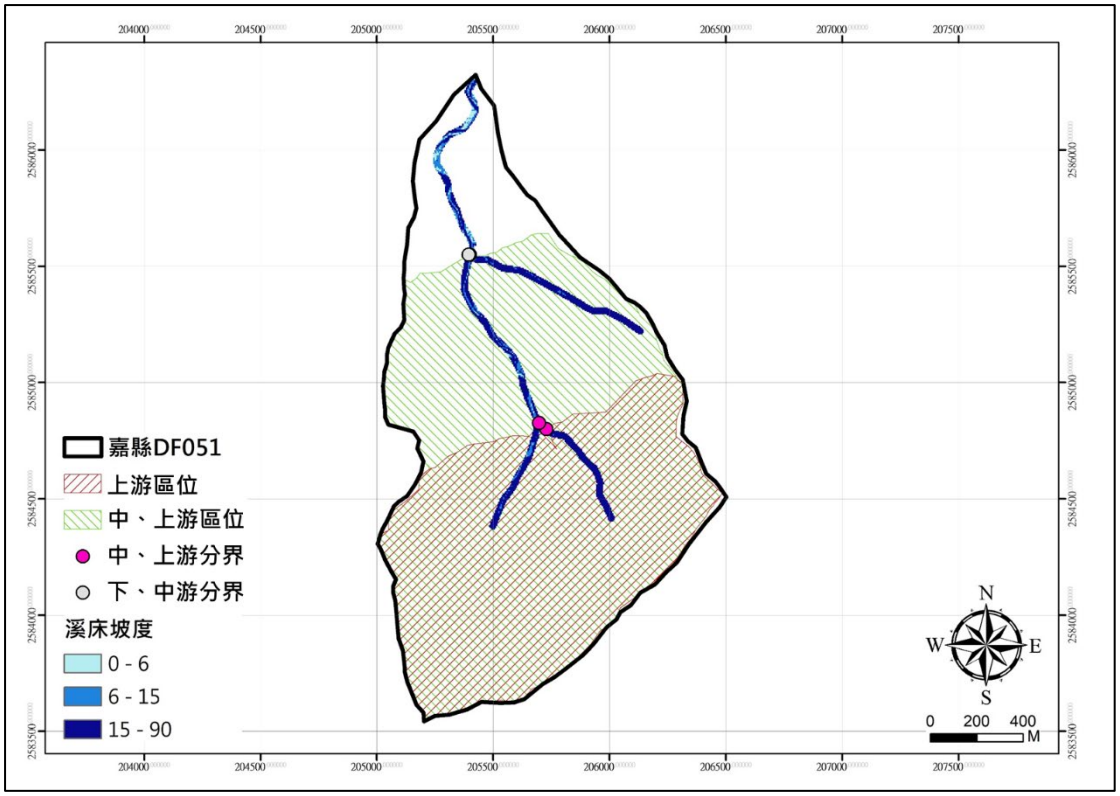


圖4-8　劃設土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF051 中、上游分界區位

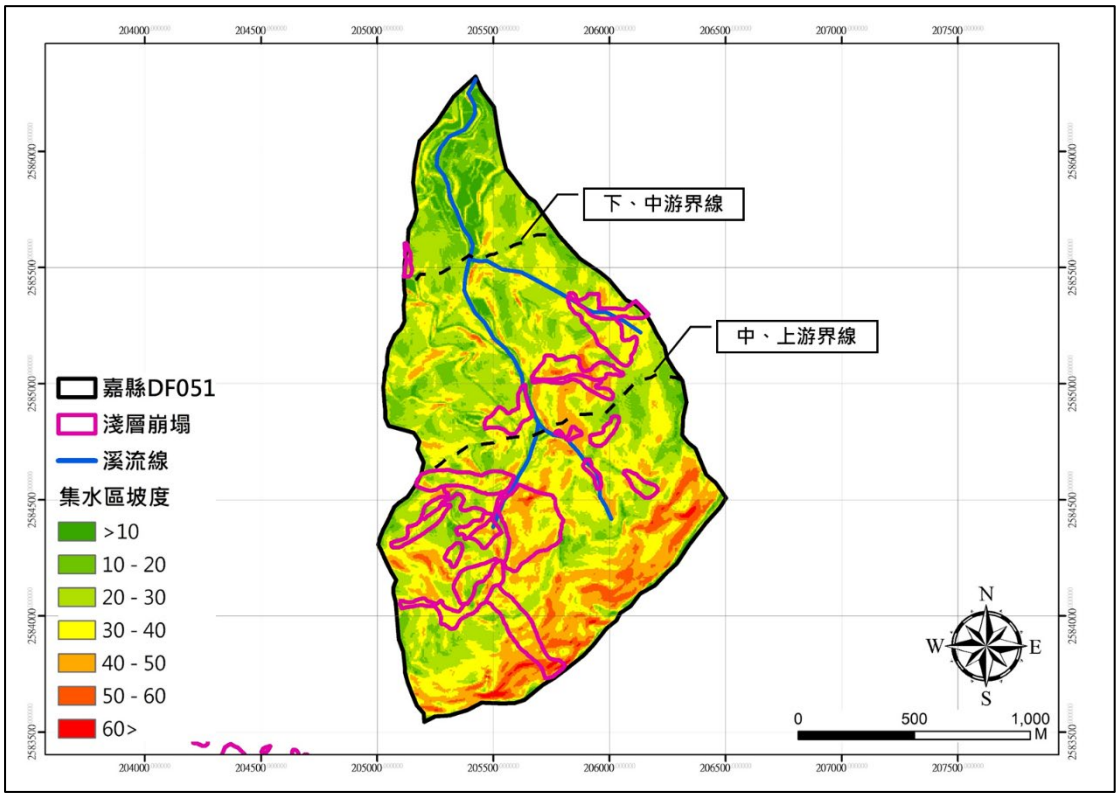


圖4-9　土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF051 之區位劃分

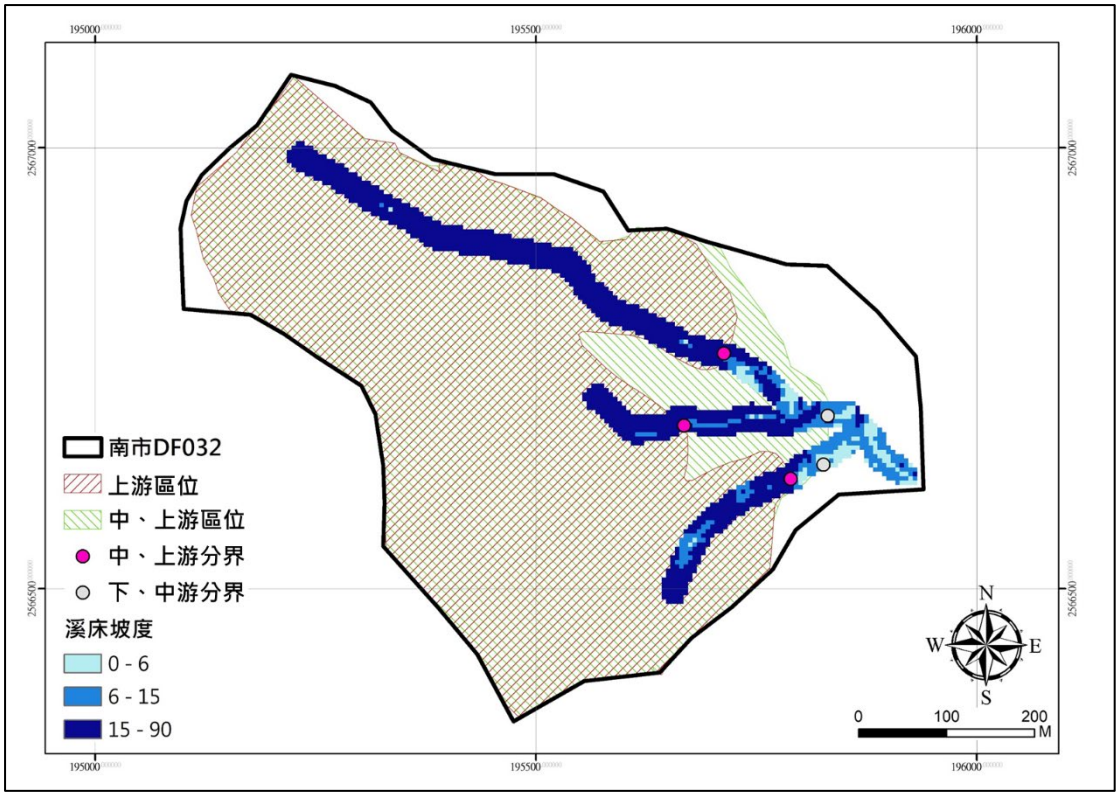


圖4-10 劃設土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 中、上游分界區位

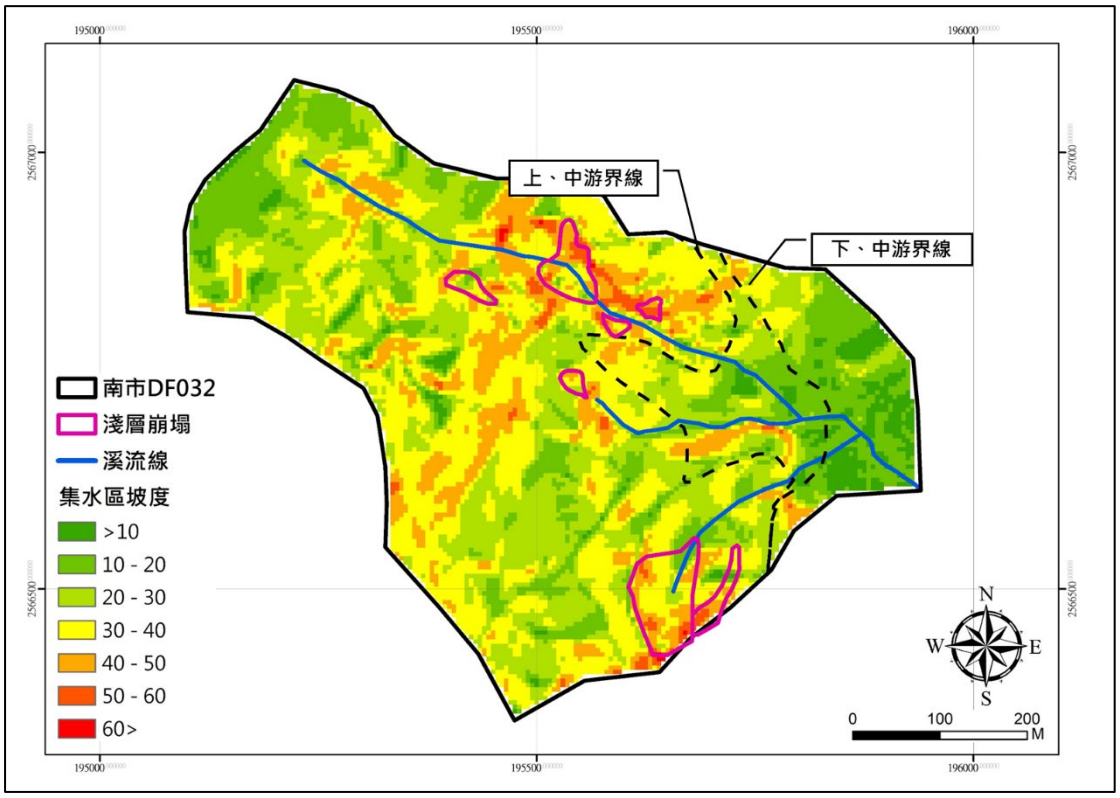


圖4-11 土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 之區位劃分

完成 5 處土石流潛勢溪集水區區位劃分後，亦採用式 3-1 計算土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢值，並參考水保局(2020)的淺層崩塌潛勢值分級，如圖 4-12 至圖 4-16，可看出各集水區下游區為皆呈現綠色即淺層崩塌低潛勢，且圈繪之淺層崩塌數量較少，而多數淺層崩塌的中、高潛勢發生於中、上游區域，並且多數的淺層崩塌都發生在中、高潛勢值上。將其與坡度圖合併觀察，確實集水區內淺層崩塌中、高潛勢值與坡度趨勢相似，坡度越高其潛勢值越高。

圖 4-12 至圖 4-16 顯示，多數的淺層崩塌中、高潛勢值都分布於集水區的中、上游區域，將其各集水區發生潛勢等級以及其中、上游的淺層崩塌潛勢面積百分比整理至表 4-2。可由表 4-2 看出，確實有多數的淺層崩塌中、高潛勢值分布在中、上游區域。

比較表 4-1 以及表 4-2 後可發現，目前由 5 處土石流潛勢溪流集水區區域劃分圖以及淺層崩塌潛勢值分布圖中，可明顯看出淺層崩塌以及其中、高潛勢值多數發生於集水區的中、上游區域。表 4-2 中除嘉縣 DF039 及高市 DF032 外，大致上以上游區位之中、高潛勢比例高於中游區位，與面積崩塌率趨勢一致。

將 5 處土石潛勢溪流集水區的面積崩塌率以及淺層崩塌潛勢值的面積百分比進行整理，如表 4-3 及表 4-4。在這 5 處的面積崩塌率可明顯看出，上游區位的面積崩塌率都大於中游區位。在淺層崩塌潛勢面積百分比中，在土石流潛勢溪流發生潛勢等級為中時，其淺層崩塌中潛勢的面積百分比在中游區位高於上游區位，而在淺層崩塌高潛勢面積百分比則為上游區位高於中游區位，在發生潛勢等級為高時，則不管是淺層崩塌中、高潛勢，都是上游區位高於中游區位，將中、高等級合併後的集水區，其淺層崩塌潛勢值的分布亦為上游區位高於中游區位。然而此 5 處的土石流潛勢溪流集水區，在發生等級為中的

淺層崩塌中、高潛勢面積比大於發生等級為高的集水區。

由圖 4-12 至圖 4-16 可看出，淺層崩塌中高潛勢區域分布情形並非隨著坡度改變而造成差別，又如嘉縣 DF039 中游區位的高潛勢分佈甚廣，嘉縣 DF049 以及嘉縣 DF051 上游區位有帶狀分布的情形產生，推估為受到地質年代不同區帶分布以及其特性狀況不同，造成淺層崩塌潛勢值亦受到影響。

表4-2 歷史土石流潛勢溪流集水區各流域之淺層崩塌潛勢值面積百分比

投縣 DF235	區位	淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
土石流發生潛勢等級	中	24.3%	0.0%
中	上	36.6%	9.1%
嘉縣 DF039	區位	淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
土石流發生潛勢等級	中	22.3%	0.0%
高	上	30.2%	0.0%
嘉縣 DF049	區位	淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
土石流發生潛勢等級	中	6.7%	0.0%
高	上	18.6%	1.4%
嘉縣 DF051	區位	淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
土石流發生潛勢等級	中	1.3%	0.0%
高	上	17.1%	9.2%
南市 DF032	區位	淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
土石流發生潛勢等級	中	91.9%	0.7%
中	上	53.8%	1.8%

表4-3 五處土石流潛勢溪流集水區不同區位面積崩塌率比較

發生等級:中	區位	區位面積(m2)	崩塌面積(m2)	面積崩塌率
	集水區中游	104,989.9	0	0.0%
	集水區上游	706,036.3	28,785.95	4.1%
發生等級:高	區位	區位面積(m2)	崩塌面積(m2)	面積崩塌率
	集水區中游	5,852,895	194,231.4	3.3%
	集水區上游	8,210,471	1,278,866	15.6%
中、高等級合併	區位	區位面積(m2)	崩塌面積(m2)	面積崩塌率
	集水區中游	5,957,885	194,231.4	3.3%
	集水區上游	8,916,508	1,307,651	14.7%

表4-4 不同區位及發生等級之土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌潛勢面積百分比

發生等級:中		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	58.2%	0.3%
	上	39.6%	7.8%
發生等級:高		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	12.9%	0.0%
	上	27.3%	1.3%
中、高等級合併		淺層崩塌發生潛勢面積百分比	
		中潛勢	高潛勢
區位	中	14.0%	0.0%
	上	28.9%	2.1%

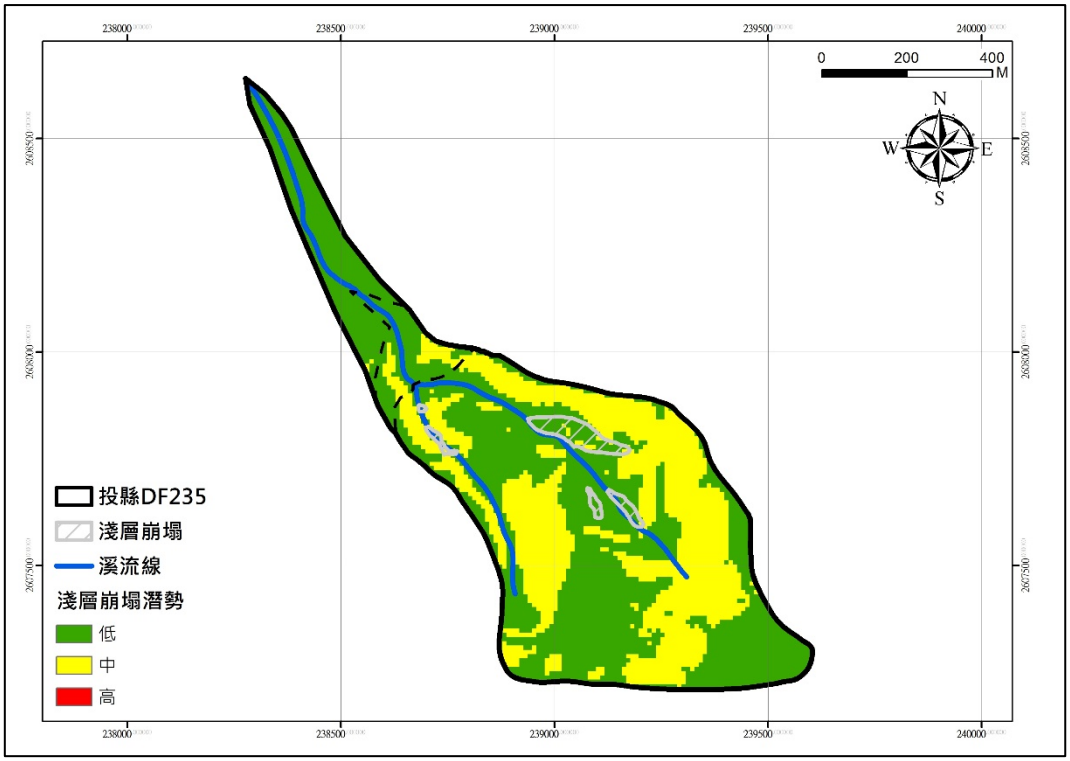


圖4-12 土石流潛勢溪流集水區投縣 DF235 內淺層崩塌及評估潛勢值分布

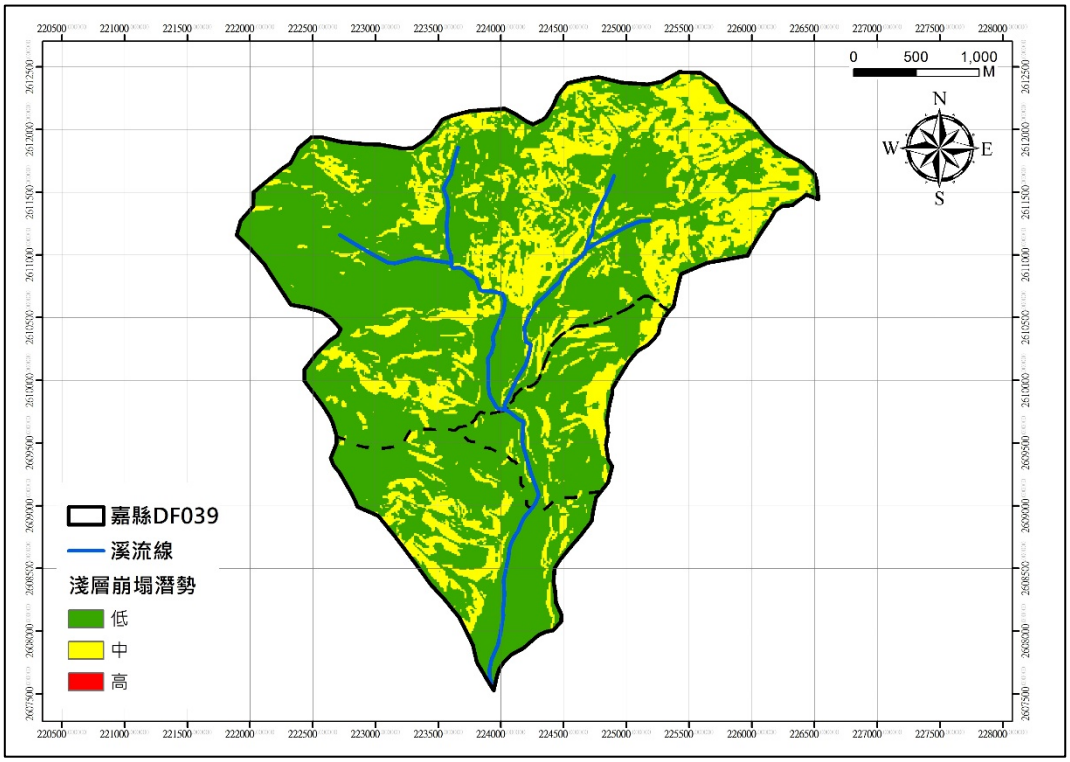


圖4-13 土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF039 內淺層崩塌及評估潛勢值分布

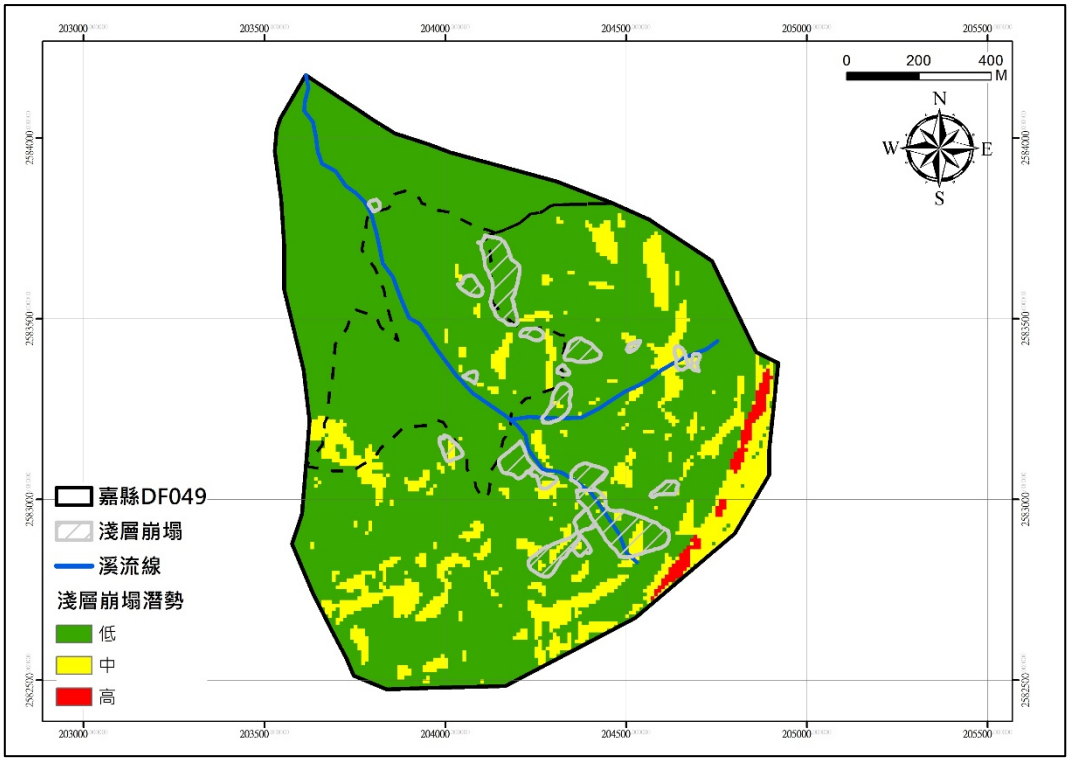


圖4-14 土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF049 內淺層崩塌及評估潛勢值分布

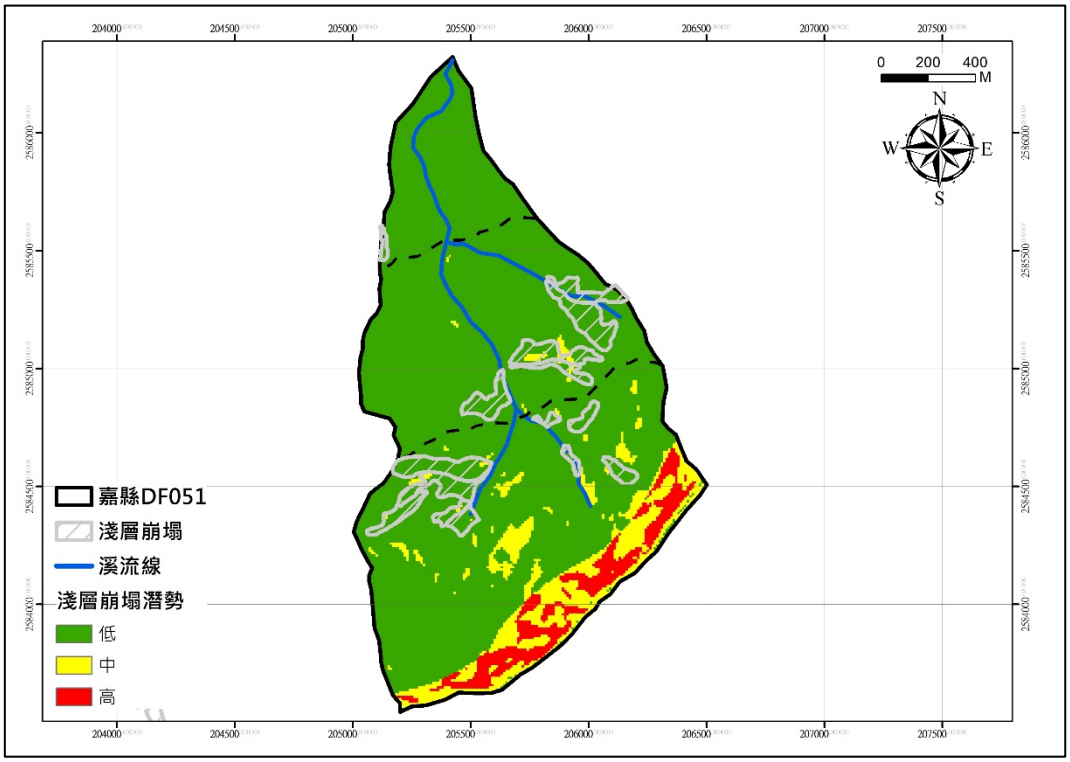


圖4-15 土石流潛勢溪流集水區嘉縣 DF051 內淺層崩塌及評估潛勢值分布

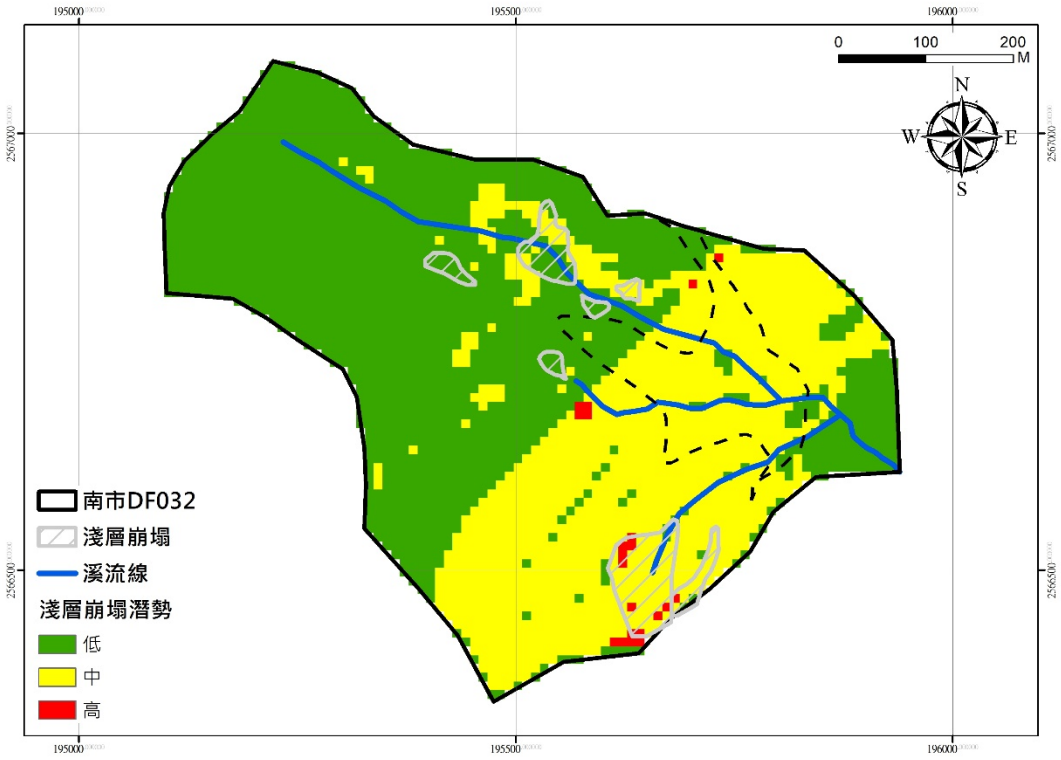


圖4-16 土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 內淺層崩塌及評估潛勢值分布

第二節 地層年代分布探討

在討論淺層崩塌潛勢值分布時，可在淺層崩塌潛勢分布圖中可看出有幾處土石流潛勢溪流集水區的中、高潛勢有如帶狀分布，其淺層崩塌中、高潛勢值的面積分布也較不同，如發生潛勢等級低的南市 DF006、南市 DF023 和雲縣 DF005，其中、高潛勢的面積百分比略高，且如帶狀的發展，而發生潛勢等級中的南市 DF032 亦有此狀況產生。

因此將地質年代分布套疊土石流潛勢溪流集水區與淺層崩塌圖層，如圖 4-17 可看出各年代地層上的土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌數量略有不同，其中上新世地層上的土石流潛勢溪流集水區面積較小，且集水區內的淺層崩塌數量確實較多，將上新世地層分別出來後如圖 4-18。再將各年代地層的面積崩塌率整理出來後如表 4-5，可看出上新世地層年代為 6.08%高出其他地層年代許多。以土石流潛

勢溪流集水區南市 DF008、南市 DF032 以及南市 DF039 為例，3 處土石流潛勢溪流集水區中有上新世地層分布如圖 4-19、圖 4-20 以及圖 4-20，可看出中、高潛勢區確實都落在上新世地層上，再加上在式 3-1 中，地層年代之係數甚高，因此中、高潛勢會沿著上新世地層發展，明顯造成淺層崩塌潛勢分析結果之影響，導致上新世地層分布在中游區段之潛勢值偏高。

表4-5 各地層年代之面積崩塌率

地層年代	面積崩塌率
全新世	0.18%
更新世	0.35%
上新世至更新世	0.99%
上新世	6.08%
中新世至上新世	0.98%
中新世	2.07%

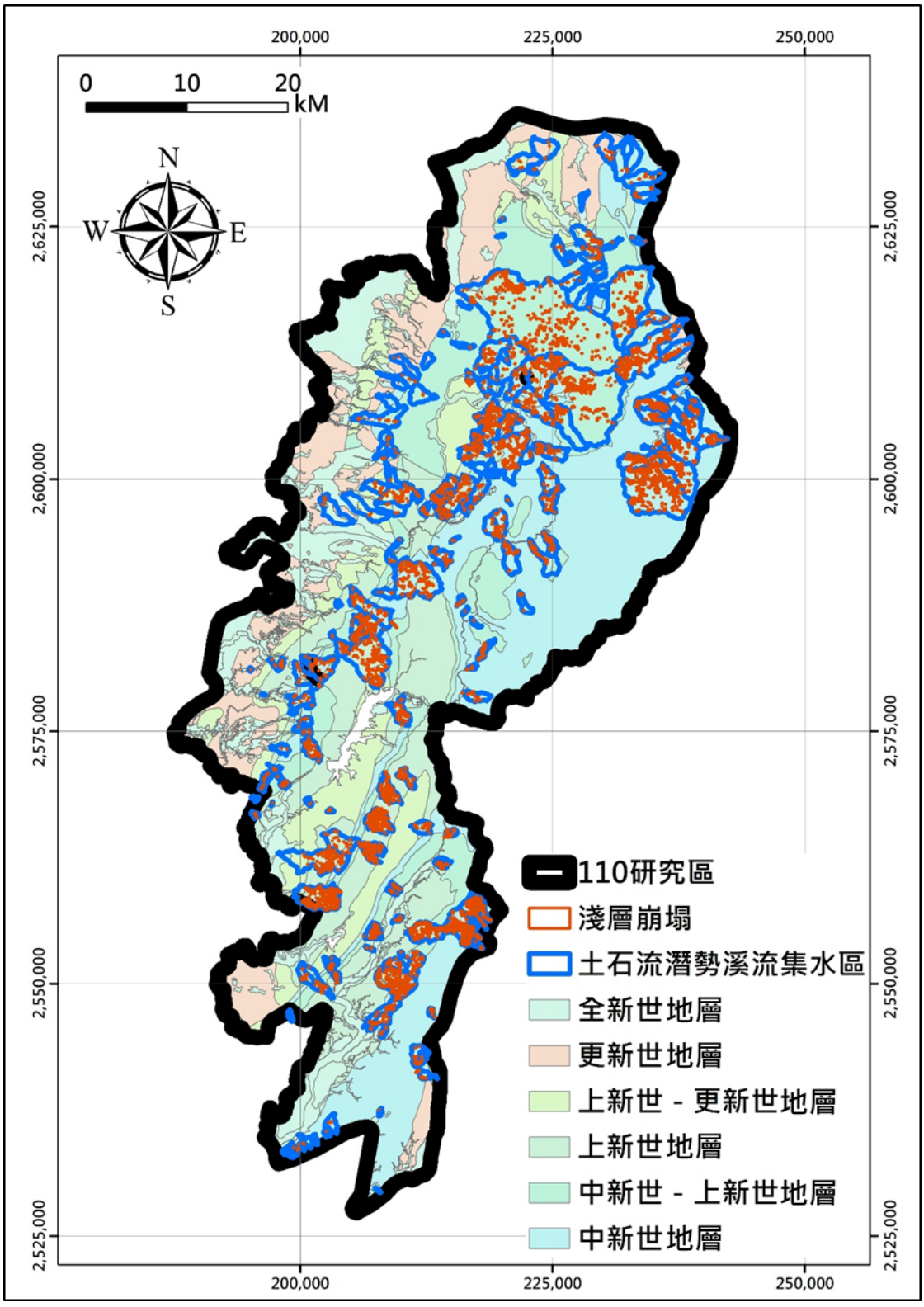


圖4-17 地質年代分布圖

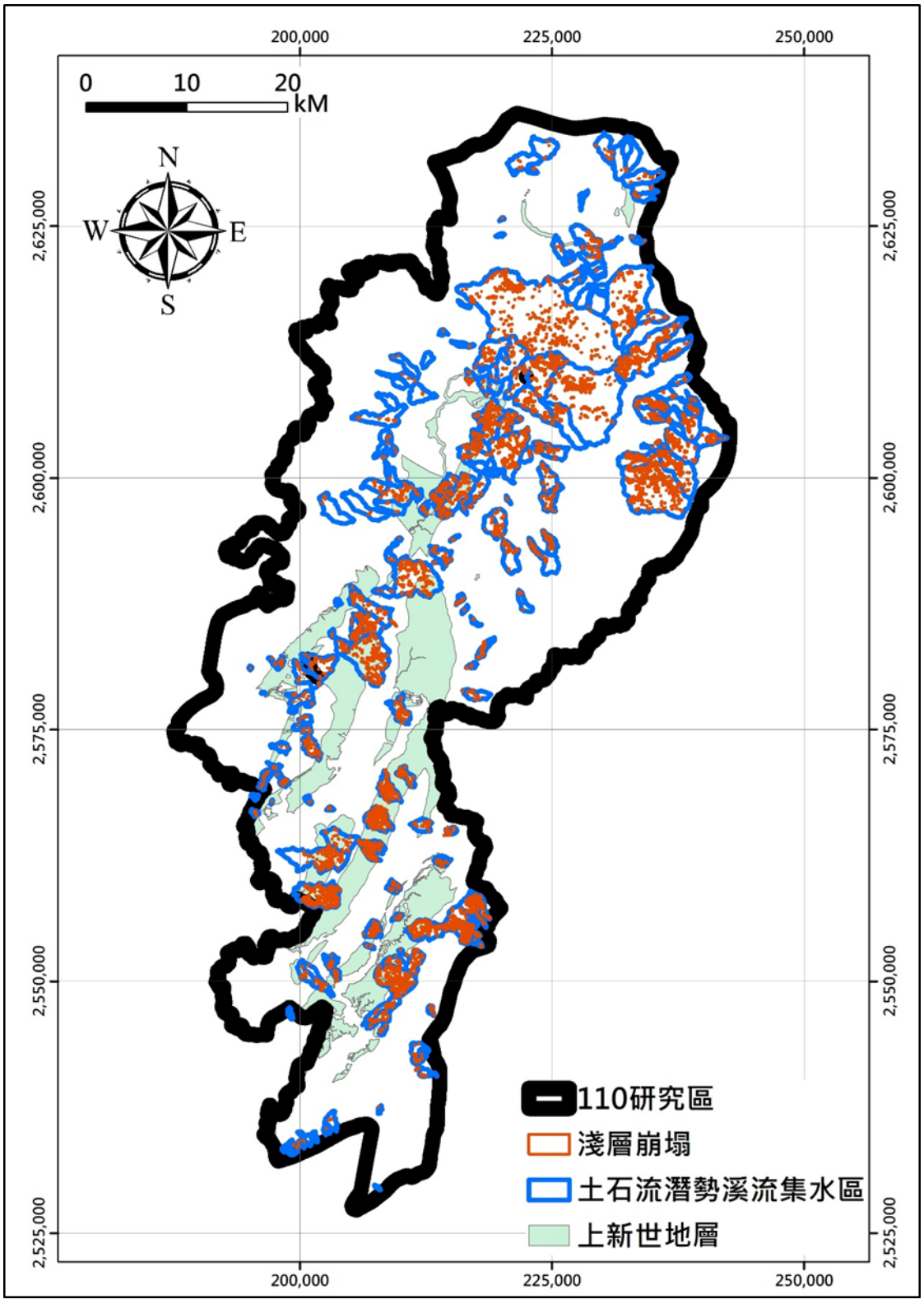


圖4-18 上新世地層分布圖

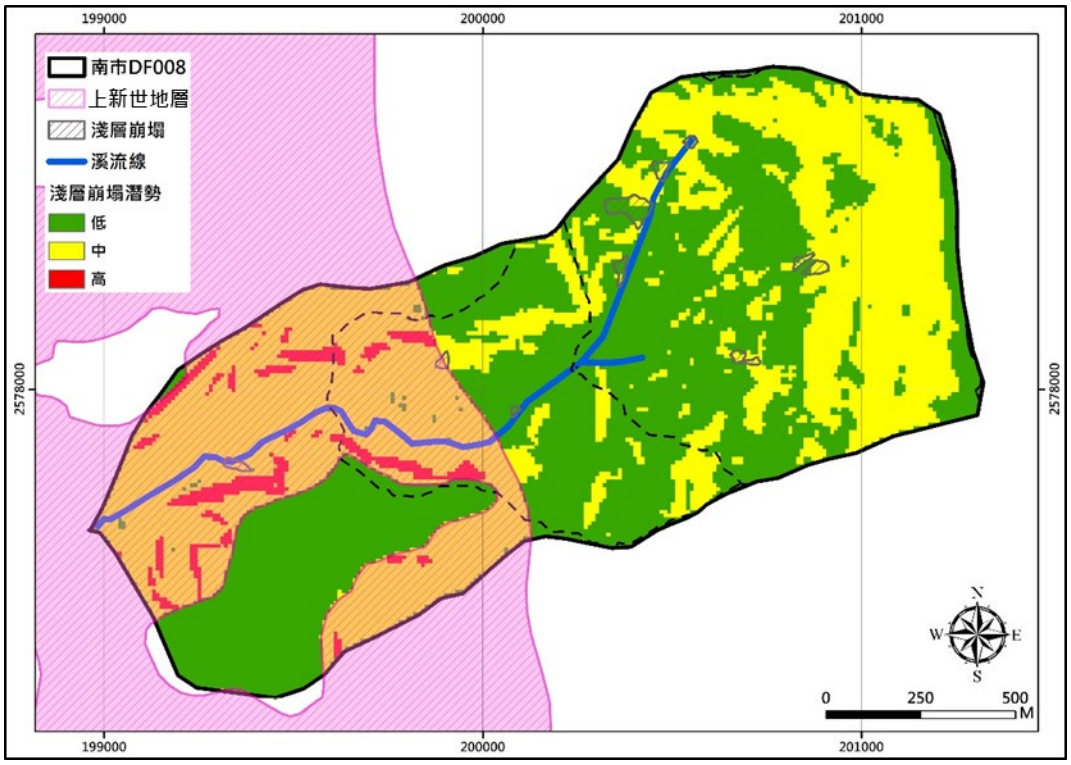


圖4-19 土石流潛勢溪流集水區南市 DF008 之淺層崩塌潛勢與上新世地層比對圖

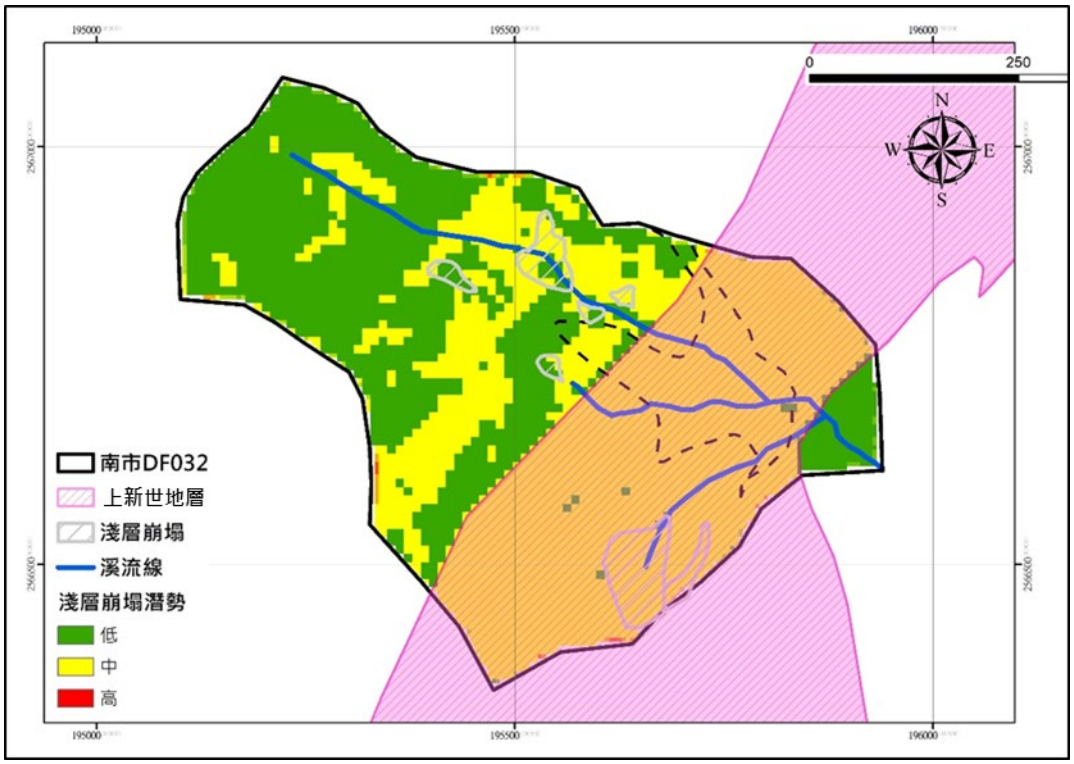


圖4-20 土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 之淺層崩塌潛勢與上新世地層比對圖

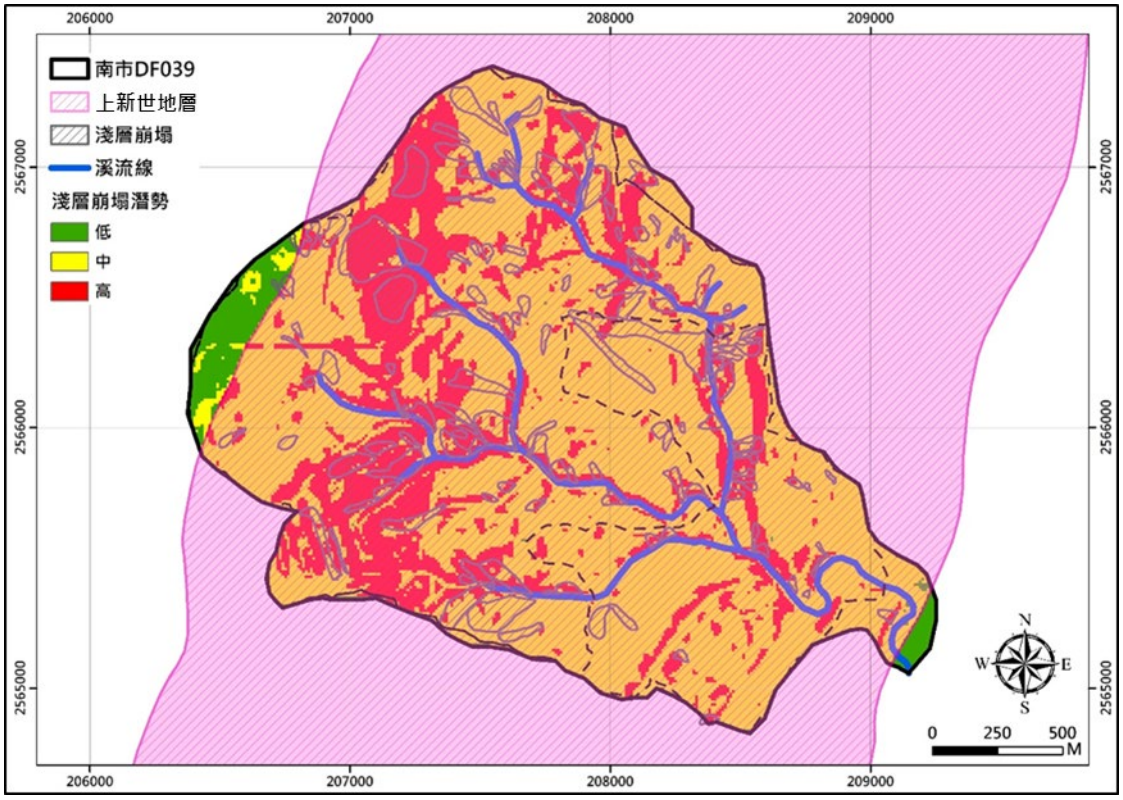


圖4-21 土石流潛勢溪流集水區南市 DF039 之淺層崩塌潛勢與上新世地層比對圖

第三節 區域地質特性對集水區崩塌潛勢之影響

在討論研究區內的地質時，除了地層年代的特性外，也觀察到研究區內的地質構造附近有較多的淺層崩塌產生，如圖 4-22 與圖 4-23 所示。圖 4-23 為研究區內的斷層分布，圖 4-22 為研究區內的褶皺分布，因地質構造在地殼作動的時候造成大量破碎帶，因此在地質構造附近的地質材料強度較低，較易產生淺層崩塌。將各地層年代的斷層以及摺皺之長度面積比整理後如表 4-6 所示。在表 4-6 中可看出，在數量上全新世以及中新世的數量最多，然而比較地質構造的在各年代地層中分布的情況，由地質構造的長度在各年代地層的面積做比較，可看出最高的長度面積比為中新世，再來為上新世，再其次為上新世-更新世，將表 4-5 與表 4-6 進行比較後可發現，此 3 個地層年代的面

積崩塌率亦為在研究區中前 3 多的，雖無明顯的正相關但其趨勢非常接近，表示地質構造對於造成淺層崩塌的影響非常大。再考慮到研究區內的上新世地層多數都為頁岩，中新世地層中以砂岩為多數，頁岩在剪力強度上又相較的弱，因此在地質較破碎的地質構造附近形成的淺層崩塌又更多了。

將第三章的 15 處土石流潛勢溪流集水區與本章的 5 處歷史事件中的面積崩塌率與淺層崩塌潛勢面積百分比分上游區為以及中游區位進行比對，如圖 4-24 和圖 4-25，藍色點位為第三章的 15 處土石流潛勢溪流集水區，橘色點位為歷史事件的 5 處集水區。可由圖中看出中游區位的點位分布並未有規律，在上游區位則略有往斜上方發展的趨勢。在 2 張圖中點位散步並沒有太明顯的規律，可能原因也為上新世地層影響，未來會再討論地質特性，使這點位分布能有一定的趨勢發展。

因本年度的研究區為水保局 108 年以及 109 年研究區合併的範圍，如果將兩研究區的年代地層分開看，將兩研究區的地層年代面積崩塌率整理至表 4-7，可由表看出，兩個年度的研究區在上新世地層的面積崩塌率都較為突出，在 109 年研究區中上新世地層的面積崩塌率與其他地層年代的崩塌率較為接近，因此在水保局(109)討論淺層崩塌潛勢通用公式時，較不易被地層所控制。然而套用到 108 年研究區時，其上新世地層的特性又更為明顯因此造成在分析淺層崩塌潛勢時，受到上新世地層的影響。因此水保局(109)的通用公式需再檢討，特別在地質特性上額外要再加強檢視。

表4-6 研究區各年代地層中地質構造長度

地層年代		地質構造	長度面積比(L/A)
名稱	面積(m^2)	總長(m)	
全新世	444,323,885.80	130,606.02	0.0294%
更新世	320,826,468.83	145,816.29	0.0455%
上新-更新世	265,895,673.07	167,941.86	0.0632%
上新世	396,642,995.75	261,635.52	0.0660%
中新-上新世	545,353,989.05	336,875.50	0.0618%
中新世	845,458,055.66	641,870.46	0.0759%

表4-7 水保局(108 年)及水保局(109 年)研究區內各年代地層之面積崩塌率比較

地層年代	面積崩塌率	
	108 年研究區	109 年研究區
全新世	0.10%	0.89%
更新世	0.19%	0.98%
上新-更新世	0.44%	1.70%
上新世	7.12%	4.50%
中新-上新世	0.89%	1.31%
中新世	2.27%	1.72%

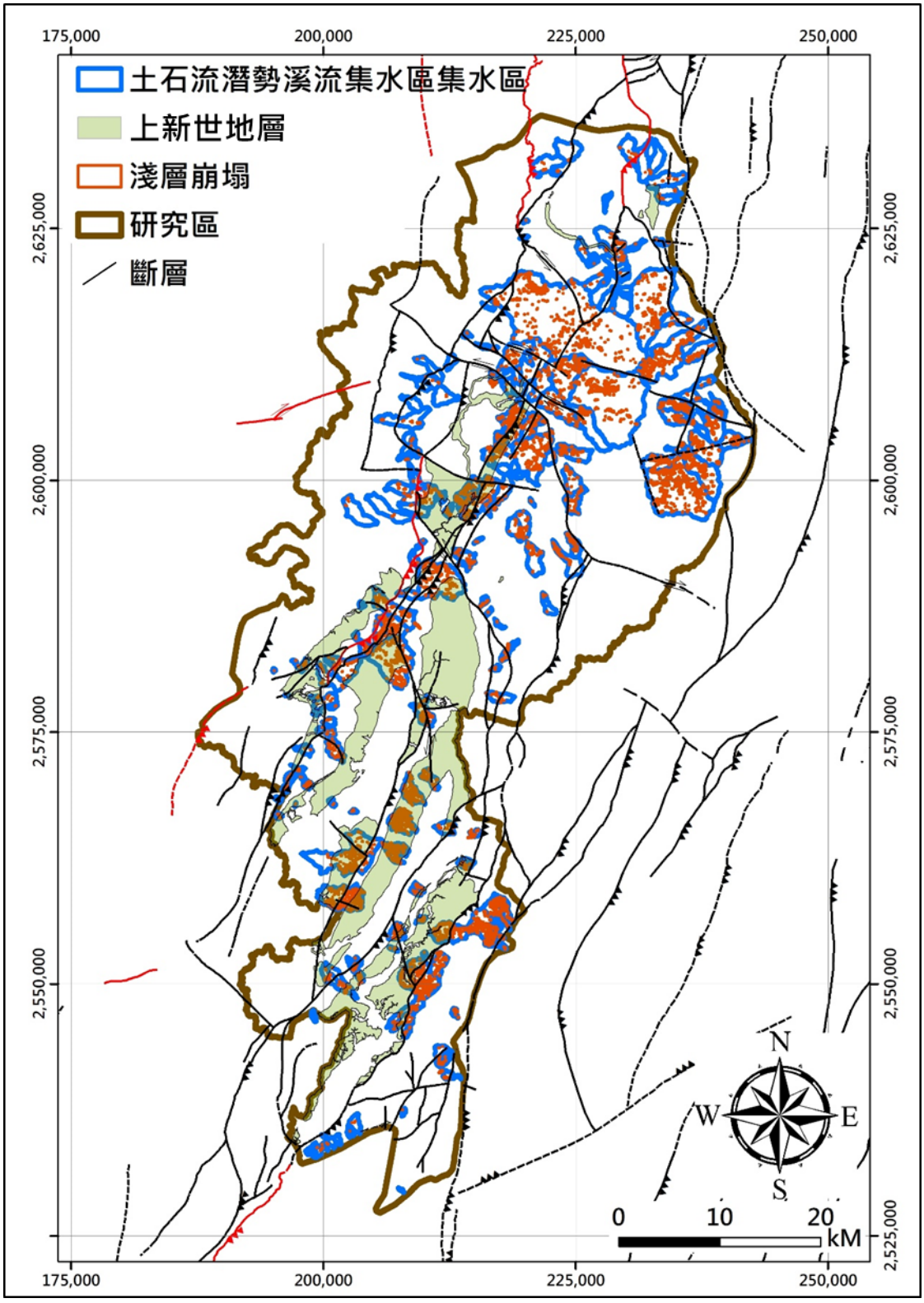


圖4-22 研究區周圍之斷層分布圖

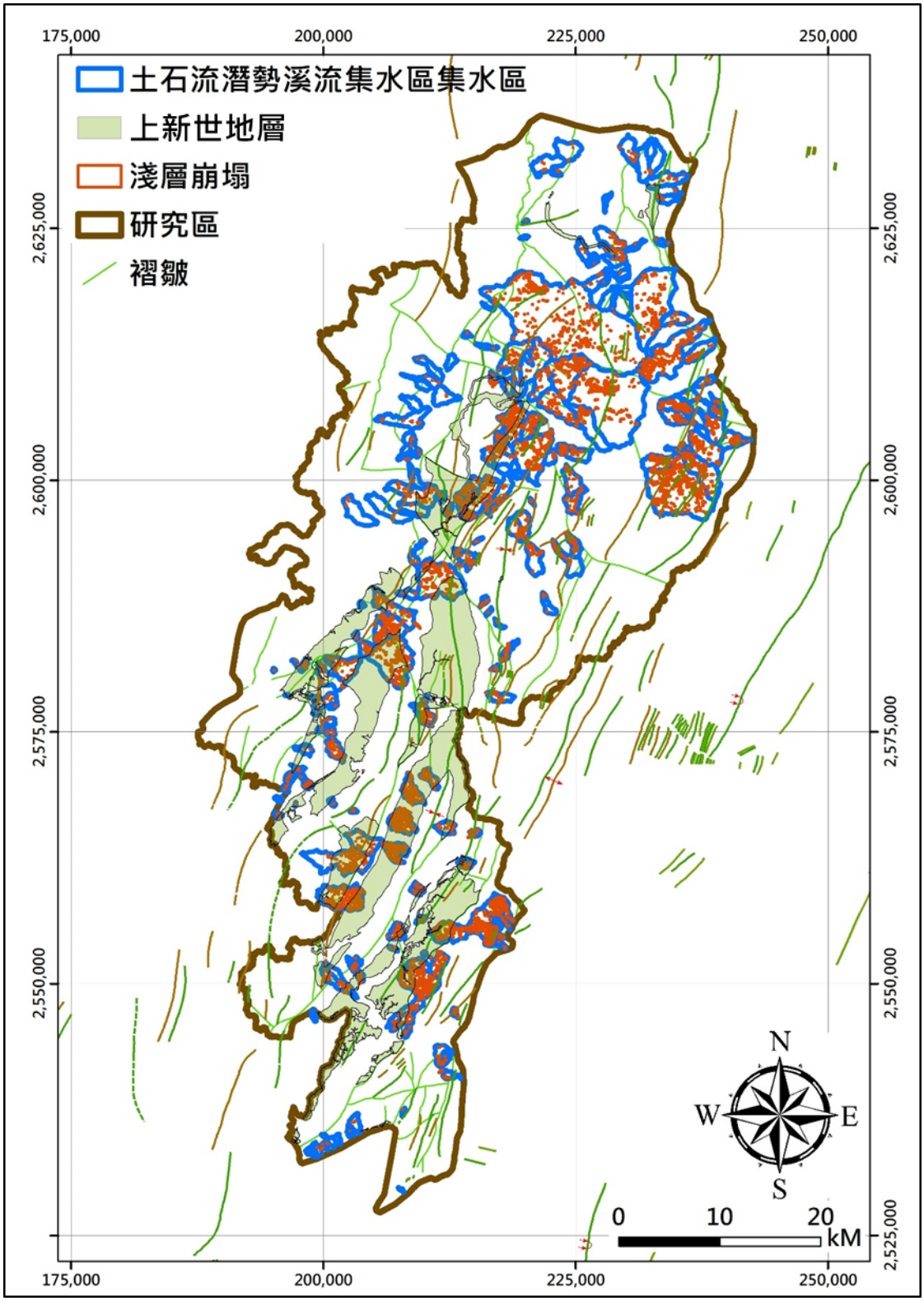


圖4-23 研究區周圍之褶皺分布圖

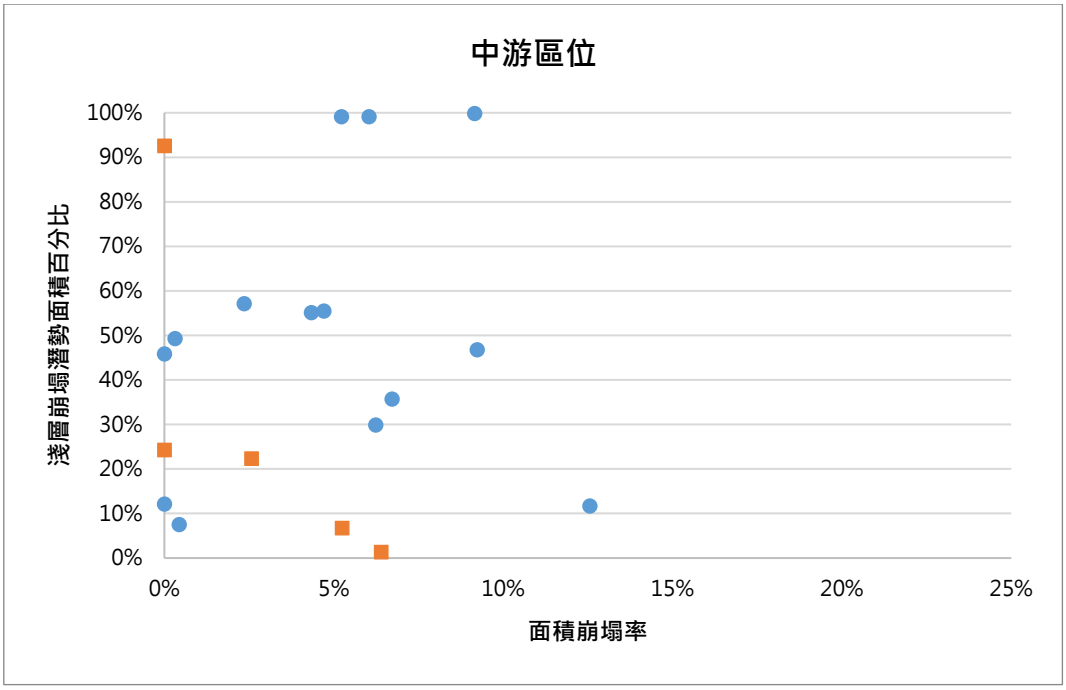


圖4-24 20處土石流潛勢溪流集水區中游區位之面積崩塌率與淺層崩塌面積百分比分布圖

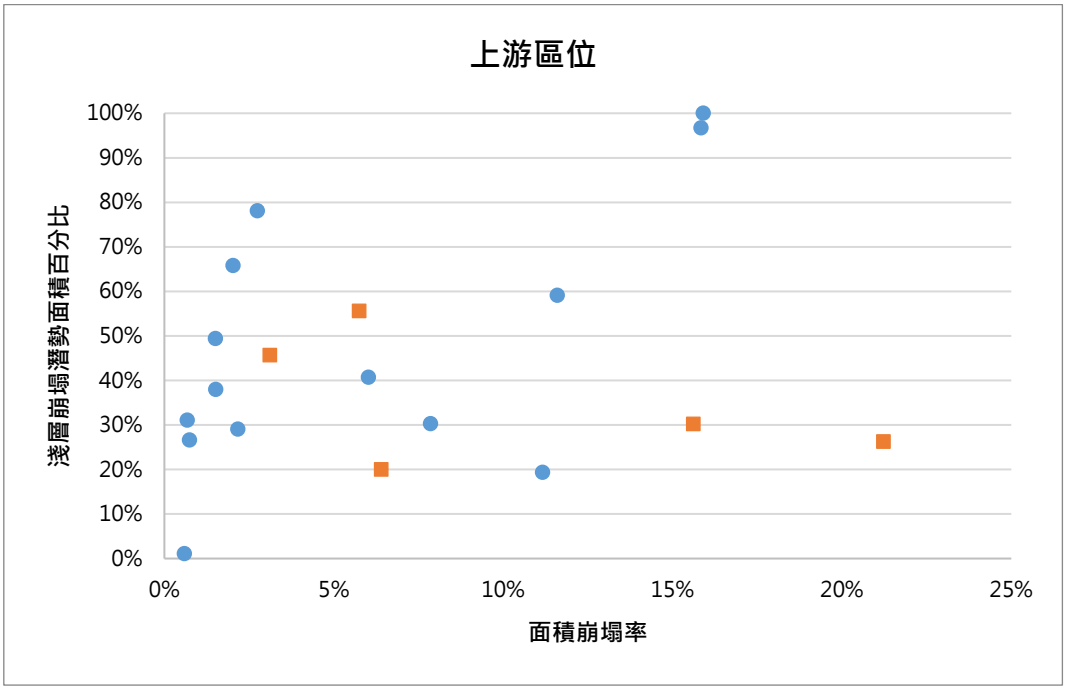


圖4-25 20處土石流潛勢溪流集水區上游區位之面積崩塌率與淺層崩塌面積百分比分布圖

第五節 結論與建議

第一節 結論

1. 完成歷史土砂災害事件收集整理，收集近年水保局土石流集水區發生之土砂災害案例速報，目前蒐集資料從101年至109年，在沉積岩地區內包含有土石流以及崩塌的資料共有103筆，提供淺層崩塌發生與土石流潛勢溪流之關聯分析參考。
2. 完成建立土石流潛勢溪流集水區劃分區位之方法， 並完成研究區內26處土石流潛勢溪流集水區劃設工作，並可由坡度圖以及淺層崩塌潛勢分布圖中可發現，淺層崩塌中、高潛勢的位置多位於中、游，且與坡度的分布非常相近。集水區尺度之淺層崩塌可以中、高潛勢在中、上游區位之面積比表示。
3. 將研究區內無發生淺層崩塌紀錄以及發生潛勢為低的集水區去除後之15處土石流潛勢溪流集水區合併後討論，可發現面積崩塌率都是在中游區位高於上游區位，而淺層崩塌潛勢值分布則能發現在淺層崩塌高潛勢分布在上游區位較多，而且上游區位的淺層崩塌高潛勢面積分布位於土石流集水區發生潛勢高的數量高於發生潛勢為中。
4. 在歷史土砂災害的5處土石流潛勢溪流集水區中，其面積崩塌率上游區位高於中游區位。淺層崩塌潛勢值在發生等級為中的集水區中，其中游區位的淺層崩塌中、高潛勢值高於上游區位，而發生等級為高的集水區中，上游區位的淺層崩塌潛勢值面積分布高於中游區位，兩等級合併之集水區情形後亦然，可得到良好一致之關聯。
5. 在研究過程中發現有幾處土石流潛勢溪流集水區內的中、高潛勢值呈帶狀分布，經研究比對後判定為受到上新世地層影響。因上新

世地層之面積崩塌率為6.08%高於其他年代地層不少，導致此區域的淺層崩塌潛勢值被上新世所控制，並且在討論地質特性時發現研究區內有多數淺層崩塌發生於地質構造附近，顯示地質特性之變異造成分析結果的差異。

6. 在套用水保局(109)淺層崩塌潛勢通用模式時，因受到上新世地層影響過大，導致分析結果受到上新世地層分布的控制，因此此通用模式未來在地質特性上可再進一步研究其影響。

第二節 建議

1. 本研究初步在集水區尺度淺層崩塌與土石流潛勢溪流之發生潛勢等級，可得到良好之關聯性，未來可進一步討論集水區尺度淺層崩塌潛勢對於土石流潛勢溪流發生潛勢等級進行討論，並對於研究區內的地質特性進行更多的探討，以利未來對擬定防災策略上能做為參考依據。
2. 未來可考量加入土石流潛勢溪流發生次數來進行討論，與發生潛勢等級以及淺層崩塌潛勢之間的關聯性探討，期許為土石流潛勢溪流防災策略上能有更進一步的發展。

第六章 參考文獻

1. 中筋章人(1977)，昭和 50 年仁淀川流域土砂災害。
2. 林慶偉(2011)，台灣南部荖濃溪流域崩塌與土石流發生特性與觸發基準之研究(II)，行政院國家科學委員會。
3. 范正成(2012)，崩塌對土石流降雨警戒基準值影響之研究-以南投神木村為例(II)，行政院國家科學委員會。
4. 林美聆，陳天健，葉俊麟，蘇群雅，林京翰，陳德偉，2009.12，98 年土石流潛勢溪流資料更新與潛勢分析，行政院農業委員會水土保持局研究委託研究計畫報告。
5. 行政院農業委員會水土保持局-土石流災資訊網(2019)。
6. 林美聆,陳天健,王國隆（2017）。淺層崩塌防災管理規劃與研究。行政院農業委員會水土保持局。
7. 林美聆,王國隆（2018）。淺層崩塌影響範圍調查劃設及聚落致災評估方法之研究。行政院農業委員會水土保持局。
8. 林美聆(2019)。建立沉積岩區帶廣域性淺層崩塌潛勢模式。行政院農業委員會水土保持局。
9. 林美聆(2020)。建立淺層崩塌通用潛勢評估模式可行性研究－南部沉積岩地區（2）。行政院農業委員會水土保持局。
10. 林美聆,陳天健,王國隆,陳永昇、蘇群雅、莊漢鑫（2014）。六龜-寶來地區不同 崩塌類型分類方法與土砂遷移分析。行政院農業委員會水土保持局。
11. 林美聆,王國隆,葉俊麟,林京翰,陳天健（2009）。921 震後坡地及土石流災害及其後續管理。土木水利，第 36 卷，第 4 期，第 101-110 頁。
12. 陳振宇、黃奉琦、李苡宣、劉維則、陳國威、莊志展、嚴曉嘉(2017)

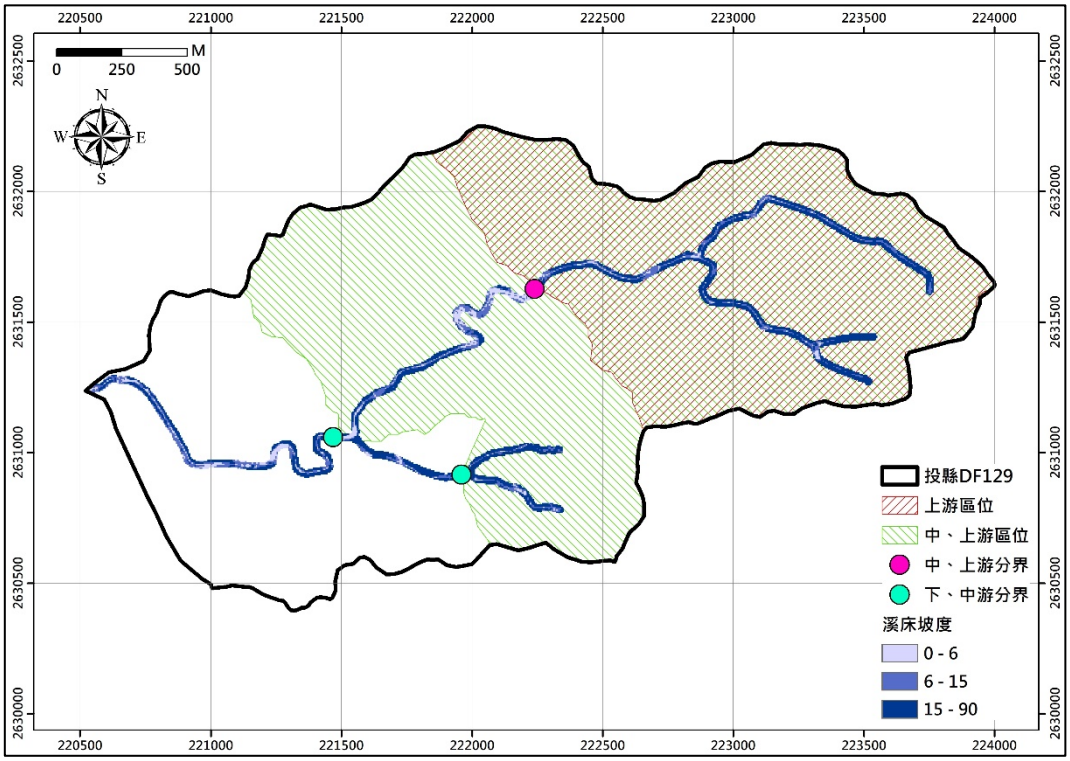
國內外水土保持技術與研究發展趨勢。行政院農業委員會水土保持局。

13. 莊漢鑫，碩士論文，考慮空間與雨量變異之土石流影響因子潛勢分析，國立臺灣大學土木工程研究所，2012。
14. 國家災害防救科技中心，災害潛勢地圖網站，網址：https://dmap.ncdr.nat.gov.tw/
15. A. Carrara, M. Cardinali, F. Guzzetti and P. Reichenbach, Gis Technology in Mapping Landslide Hazard, Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, pp. 135-175, 1991.
16. Edwin L. Harp, John A. Michael, and William T. Laprade(2006)，Shallow-Landslide Hazard Map of Seattle, Washington，USGS.
17. Ming-Xin ZHENG(2009), “Study On The Relationship Between Landslides, Debris Flows And The Modern River Geological Processes”, Hangzhou, China, ISGE2009
18. Zhu Liang, ChangmingWan, and Kaleem Ullah Jan Khan(2020), “Exploring the potential relationship 1 between the occurrence of landslides and debris flows: A new approach”, EGU.

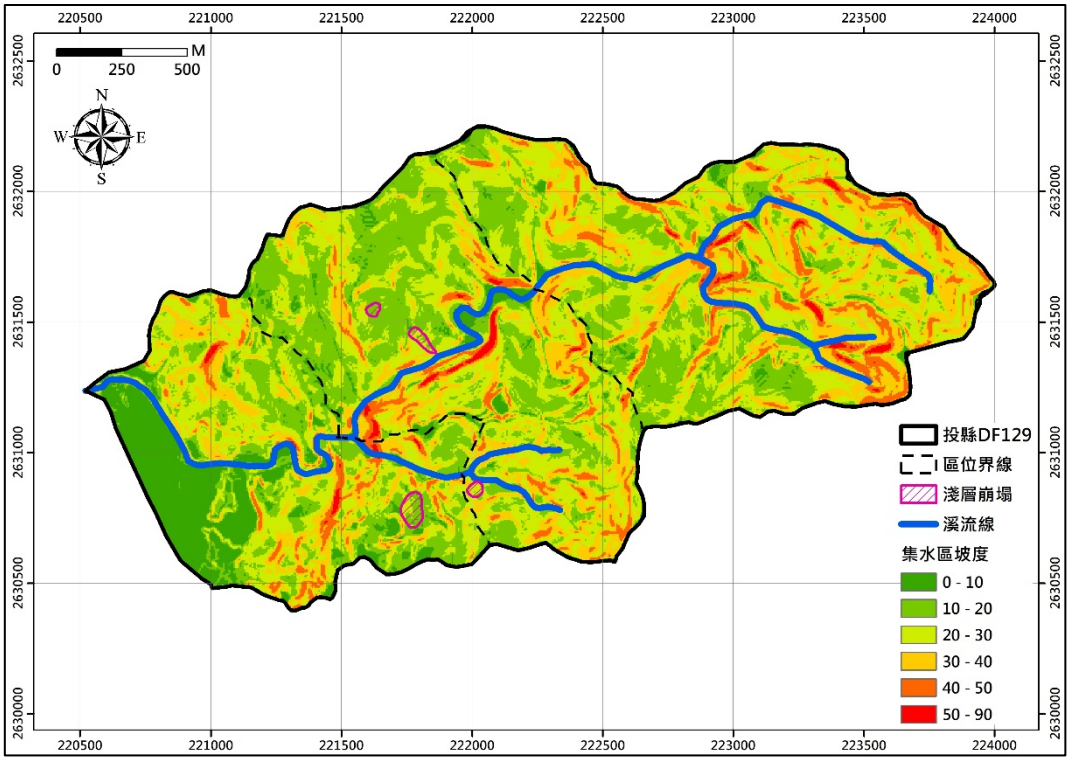
附件一、審查意見

審查意見	意見回覆
1. 泥岩有較多崩塌，有含泥質砂岩的部份?	本研究將所有將含有泥岩特性的地層都進行統計，先概略討論其他地質因子的可行性，未來會再進行更仔細的探討地質特性。
2. 試驗區之土石流潛勢溪流集水區以淺崩塌面積去評估外，土石量亦為重要因素，如何轉換？	在前人文獻以及本團隊先前研究(水保局，2017)中可發現，淺層崩塌深度約在 5~7 公尺，因此知道面積後可直接進行量體估算。
3. 原則可行。	感謝意見

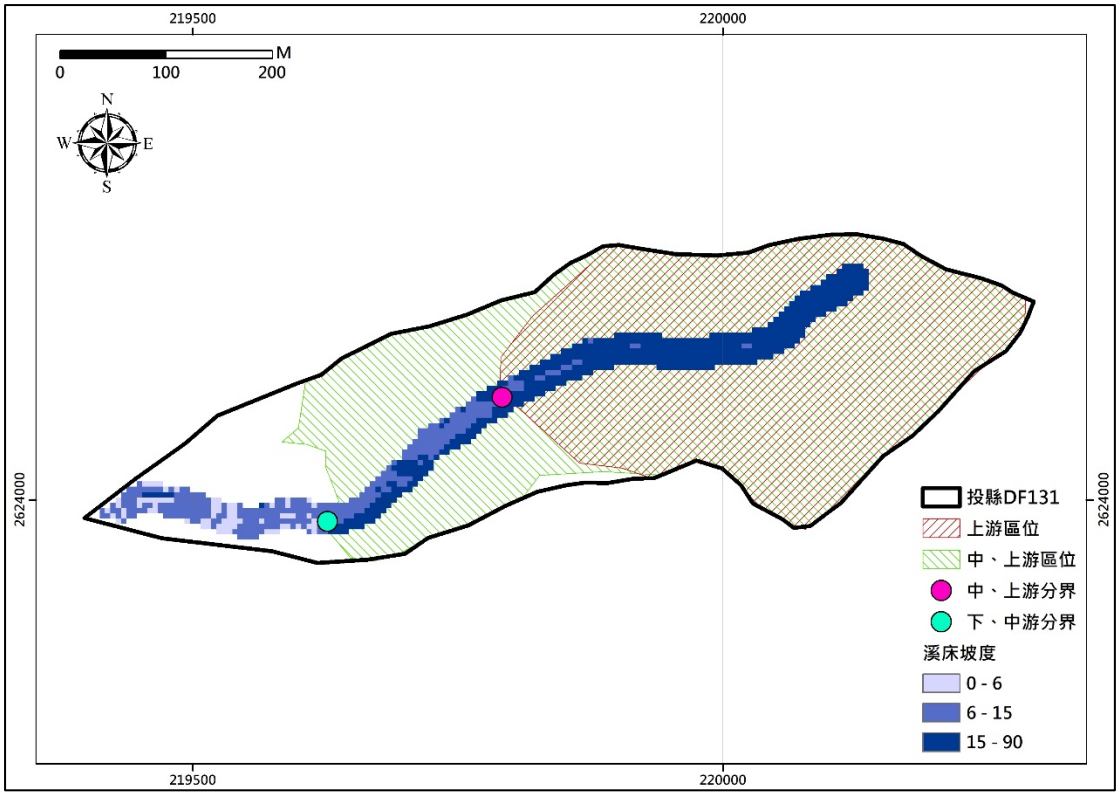
附件二 土石流潛勢溪流集水區劃分成果



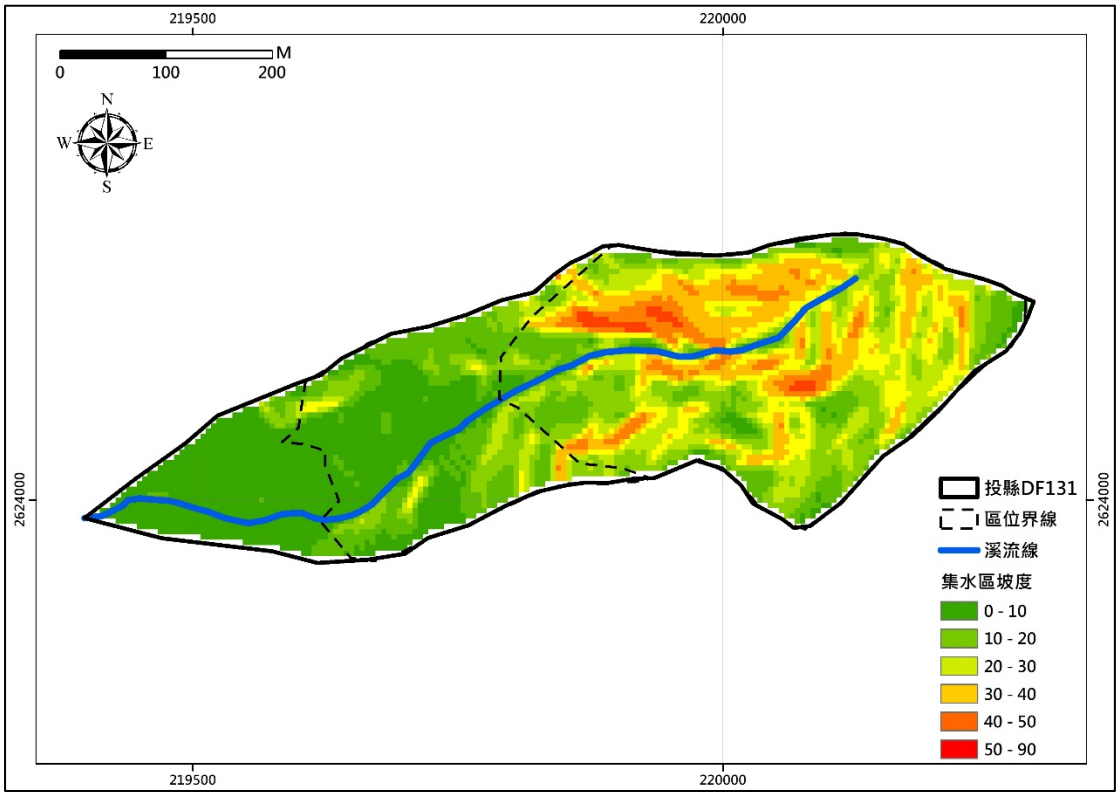
附錄二 - 1　劃設投縣 DF129 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



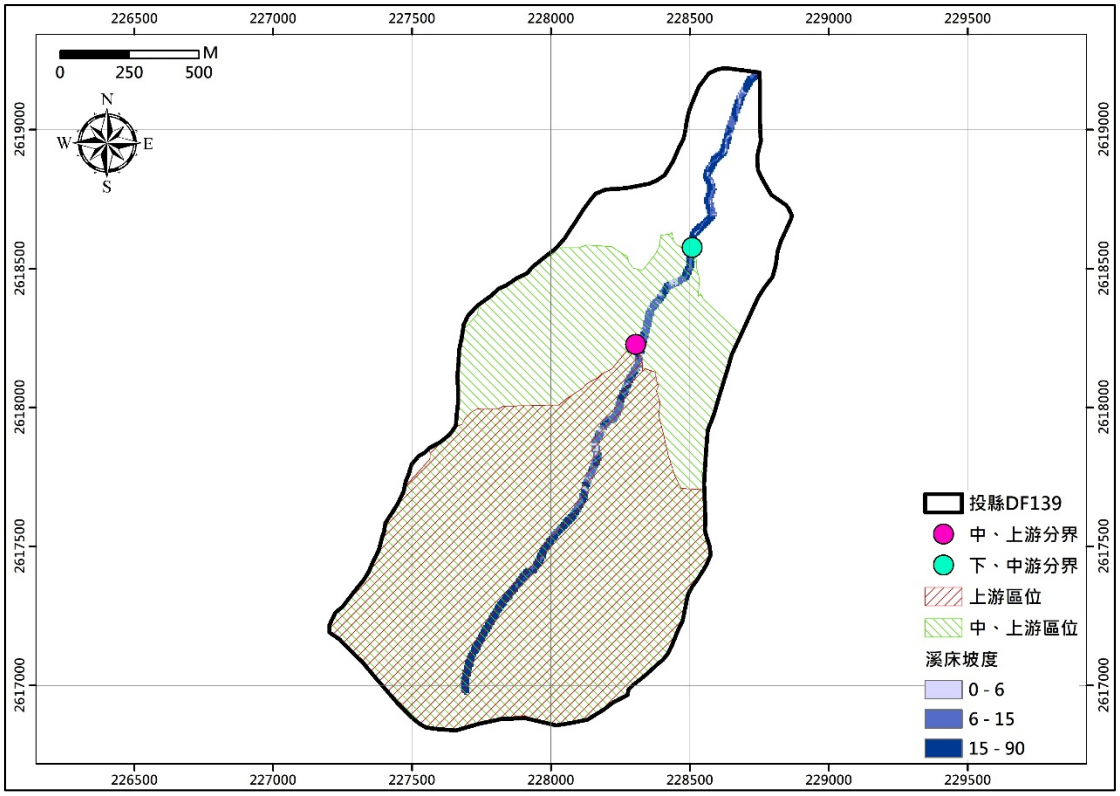
附錄二 - 2　投縣 DF129 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



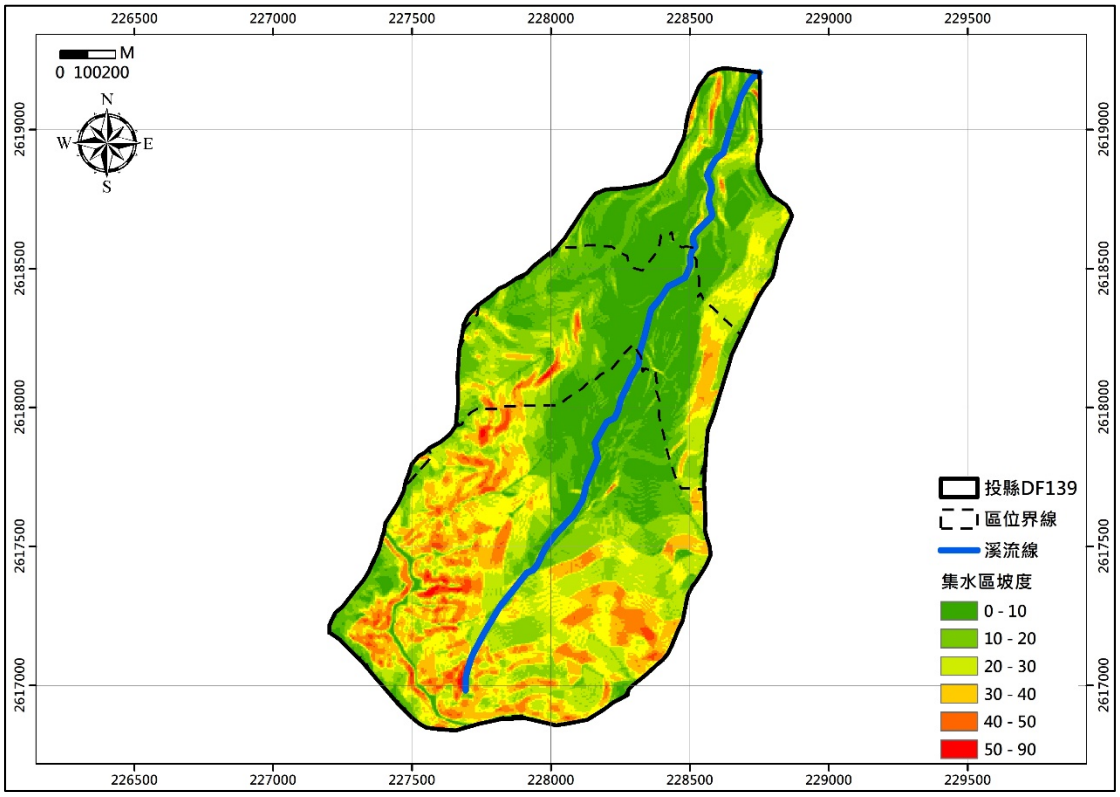
附錄二 - 3　劃設投縣 DF131 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



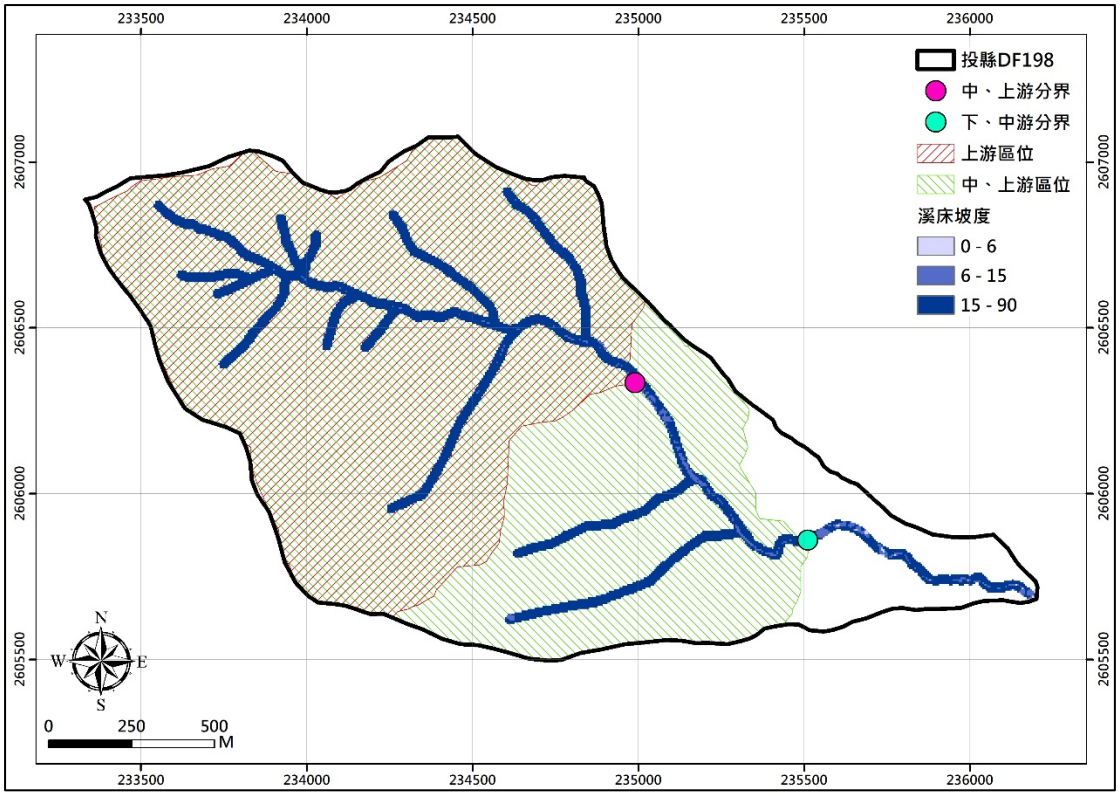
附錄二 - 4　投縣 DF131 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



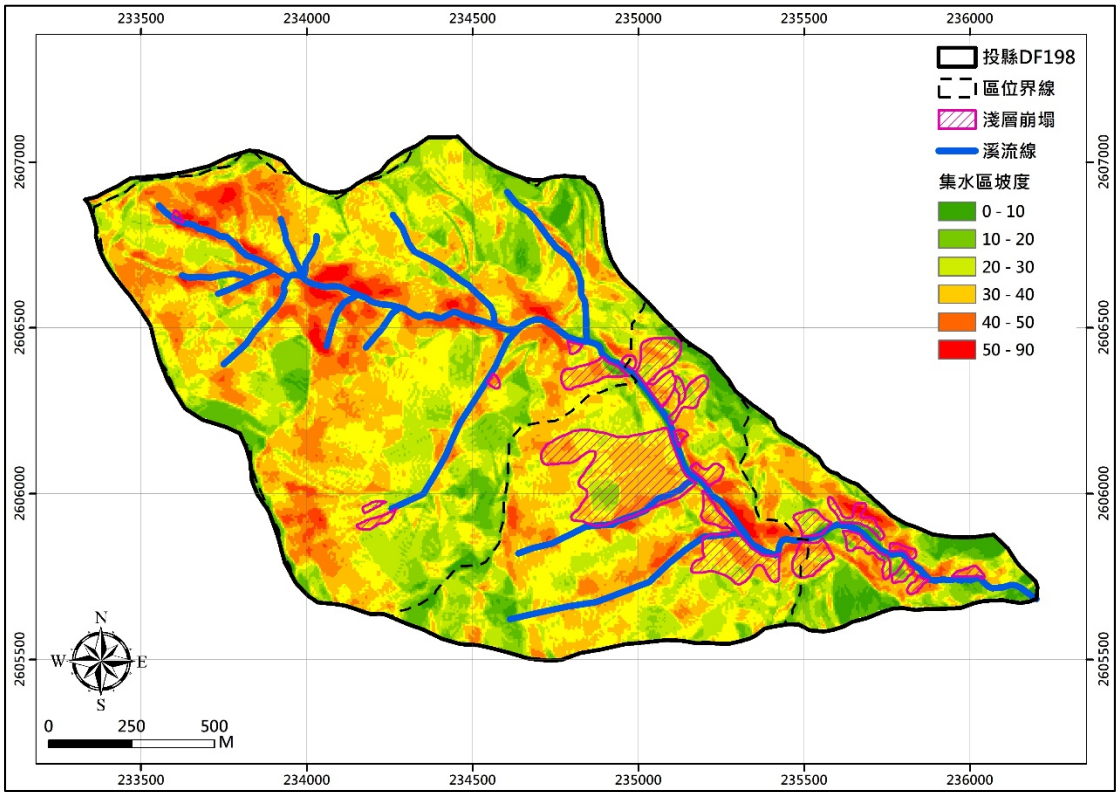
附錄二 - 5　劃設投縣 DF139 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



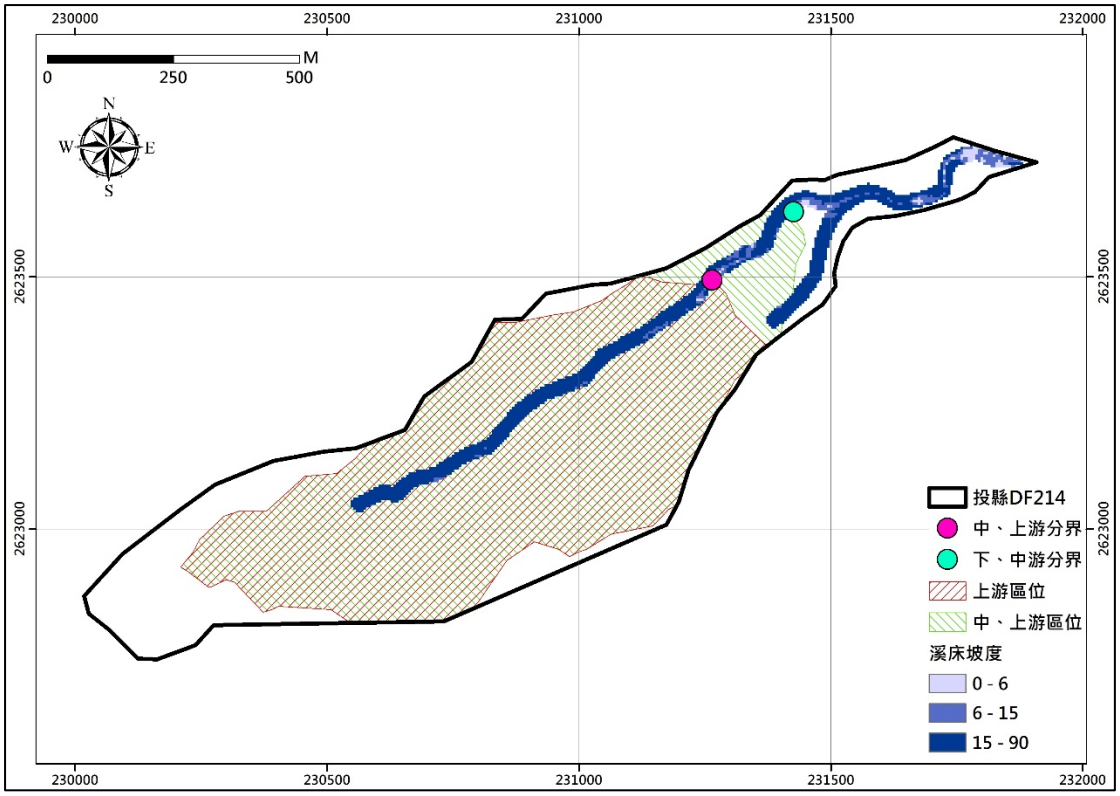
附錄二 - 6　投縣 DF139 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



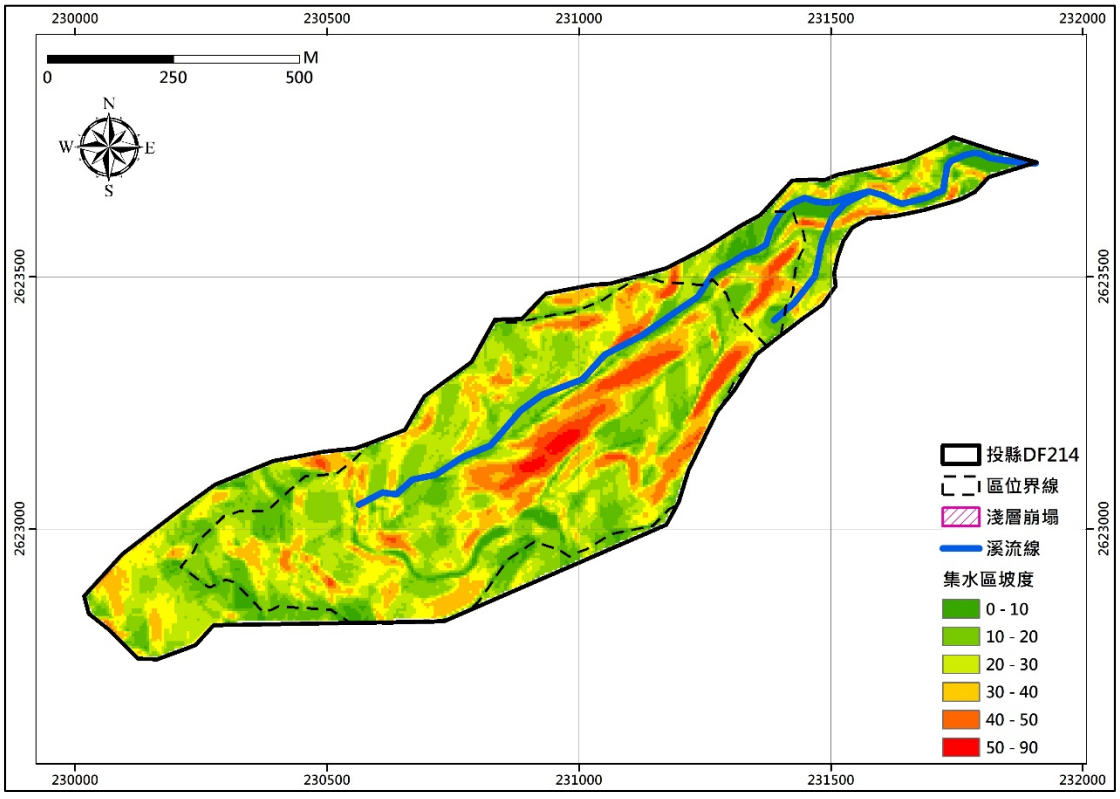
附錄二 - 7　劃設投縣 DF198 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



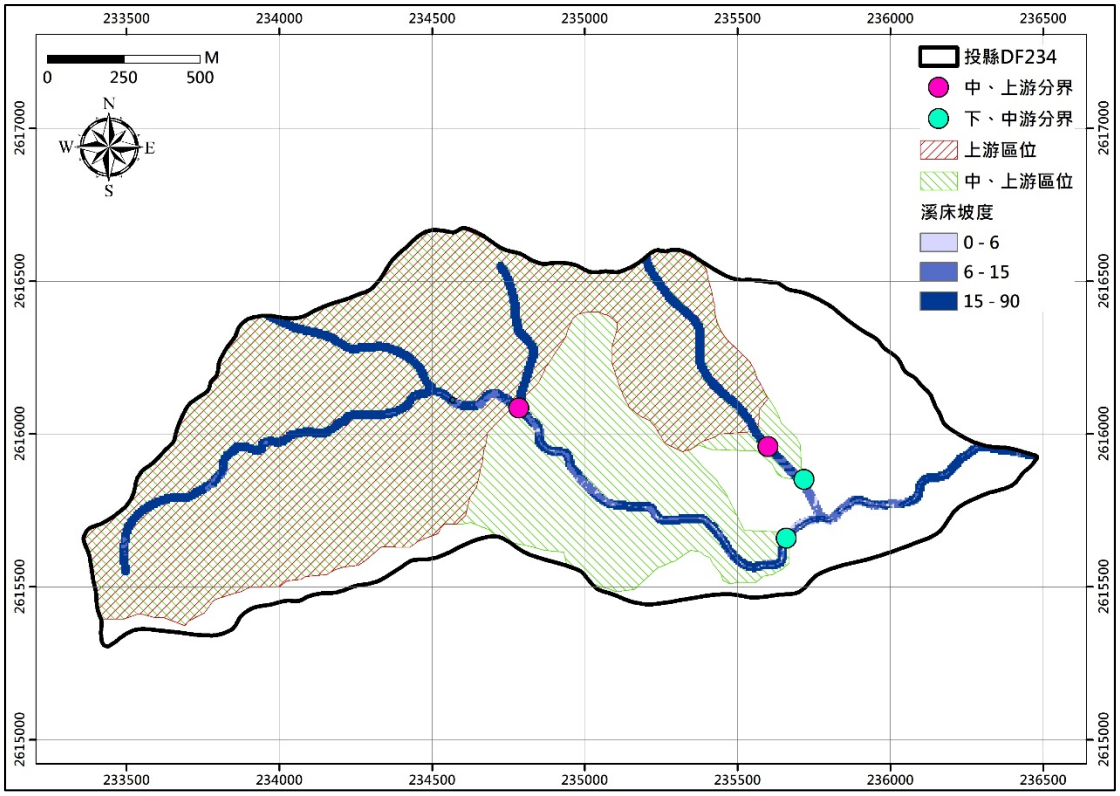
附錄二 - 8　投縣 DF198 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



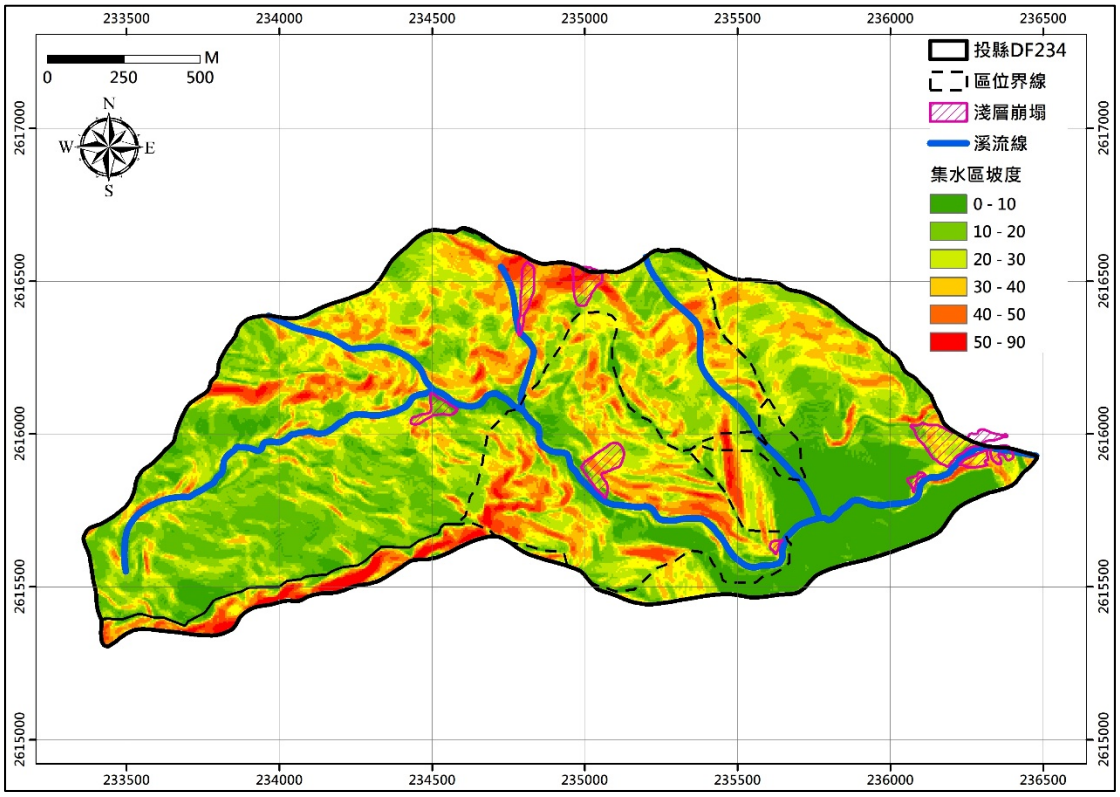
附錄二 - 9　劃設投縣 DF214 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位.



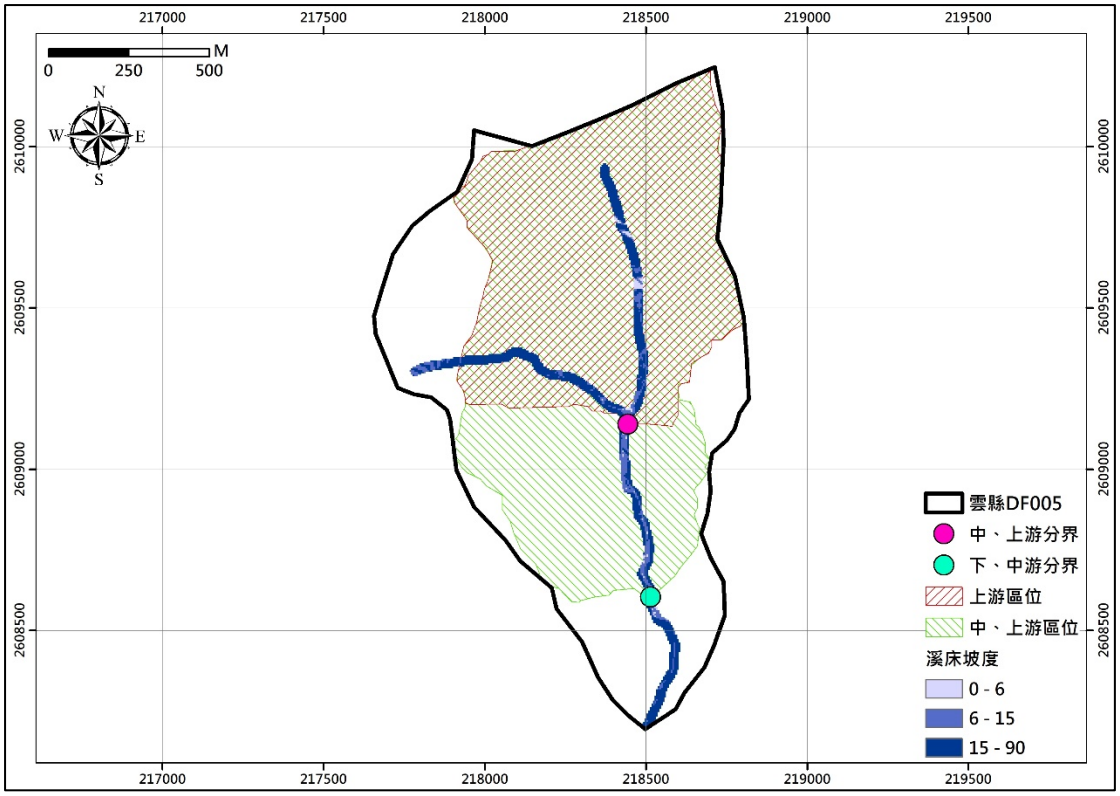
附錄二 - 10　投縣 DF214 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



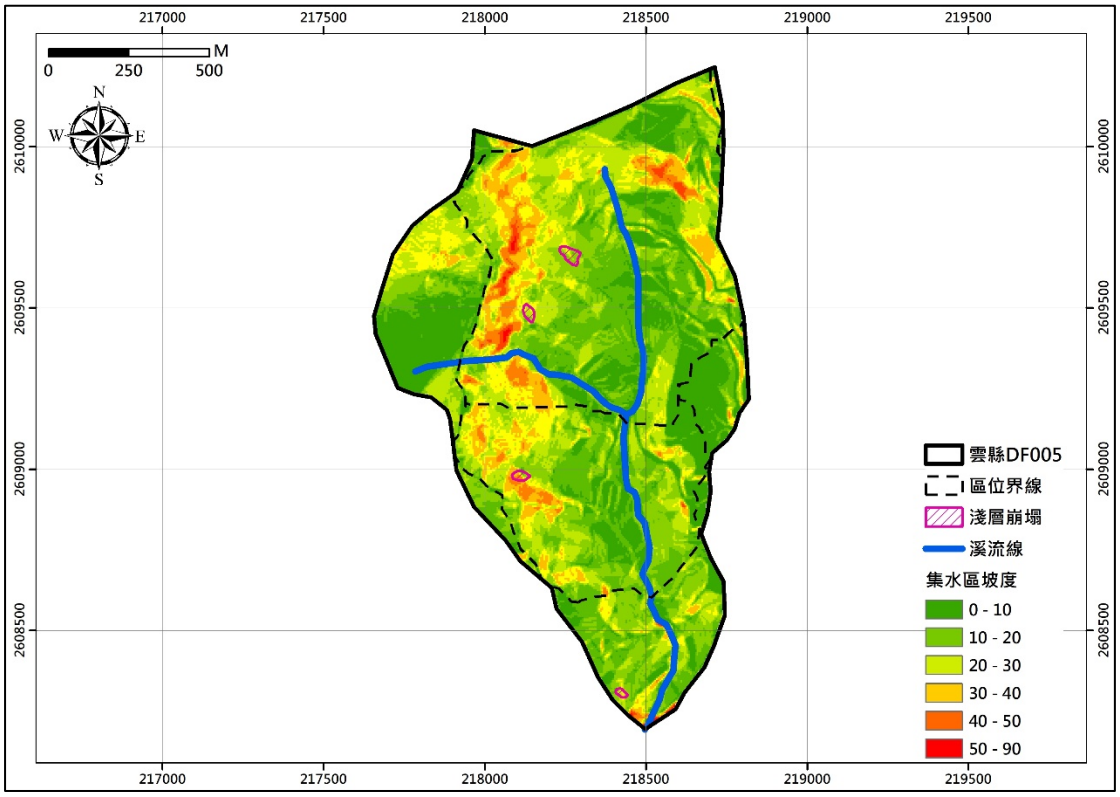
附錄二 - 11　劃設投縣 DF234 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



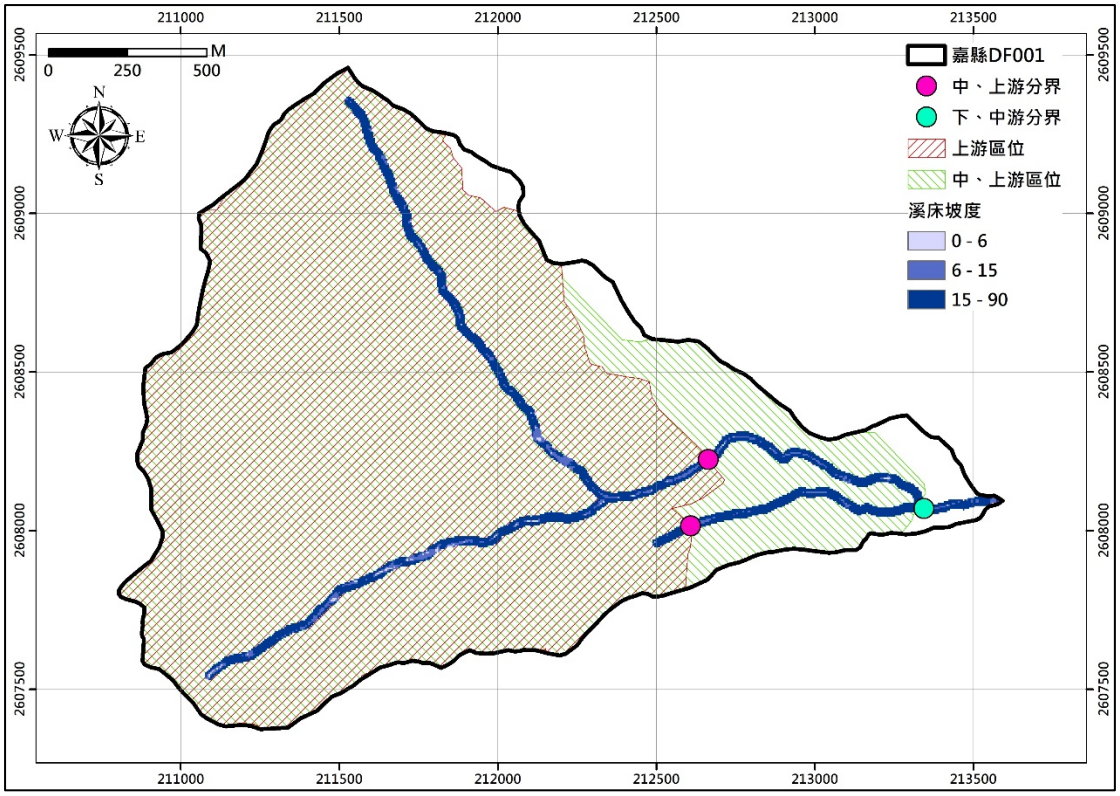
附錄二 - 12　投縣 DF234 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



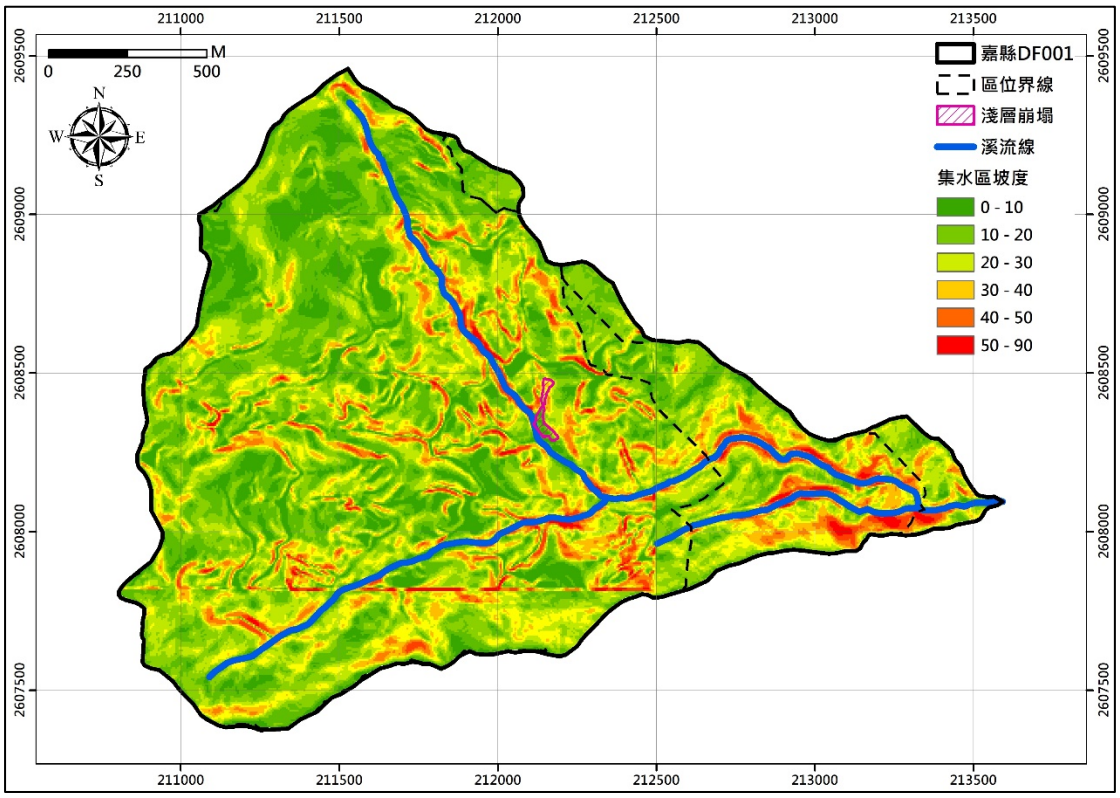
附錄二 - 13　劃設雲縣 DF005 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



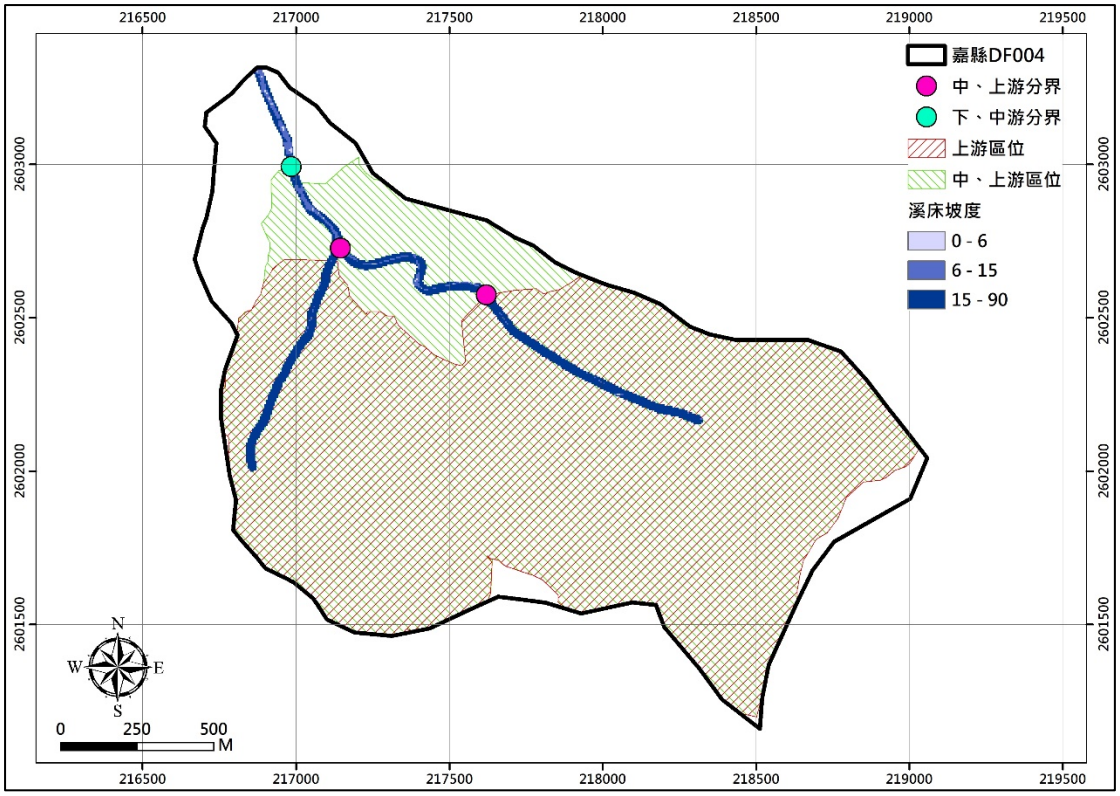
附錄二 - 14　雲縣 DF005 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



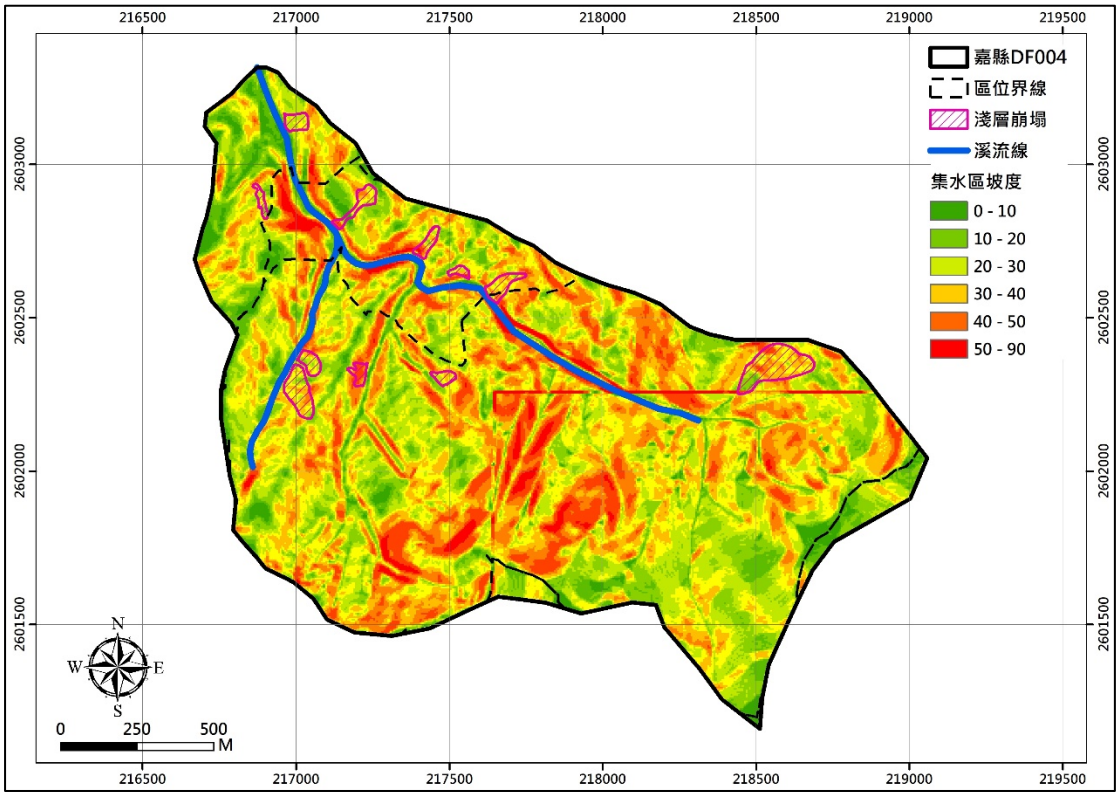
附錄二 - 15　劃設嘉縣 DF001 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



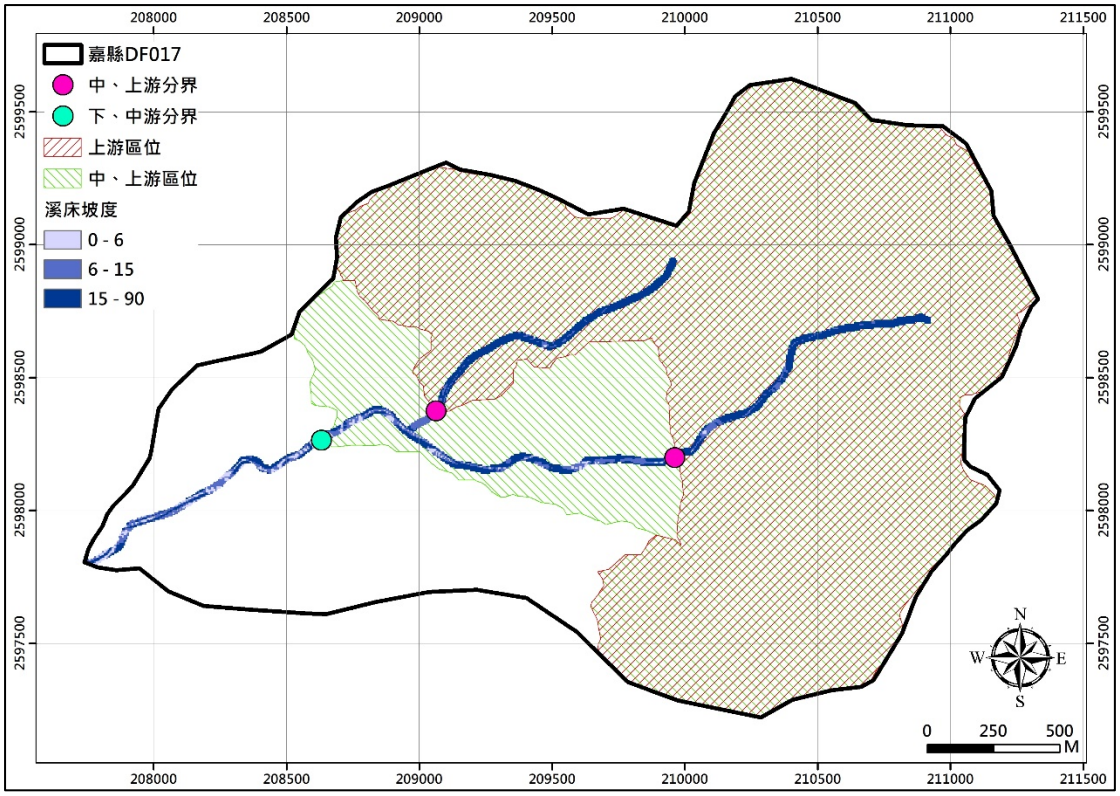
附錄二 - 16　嘉縣 DF001 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



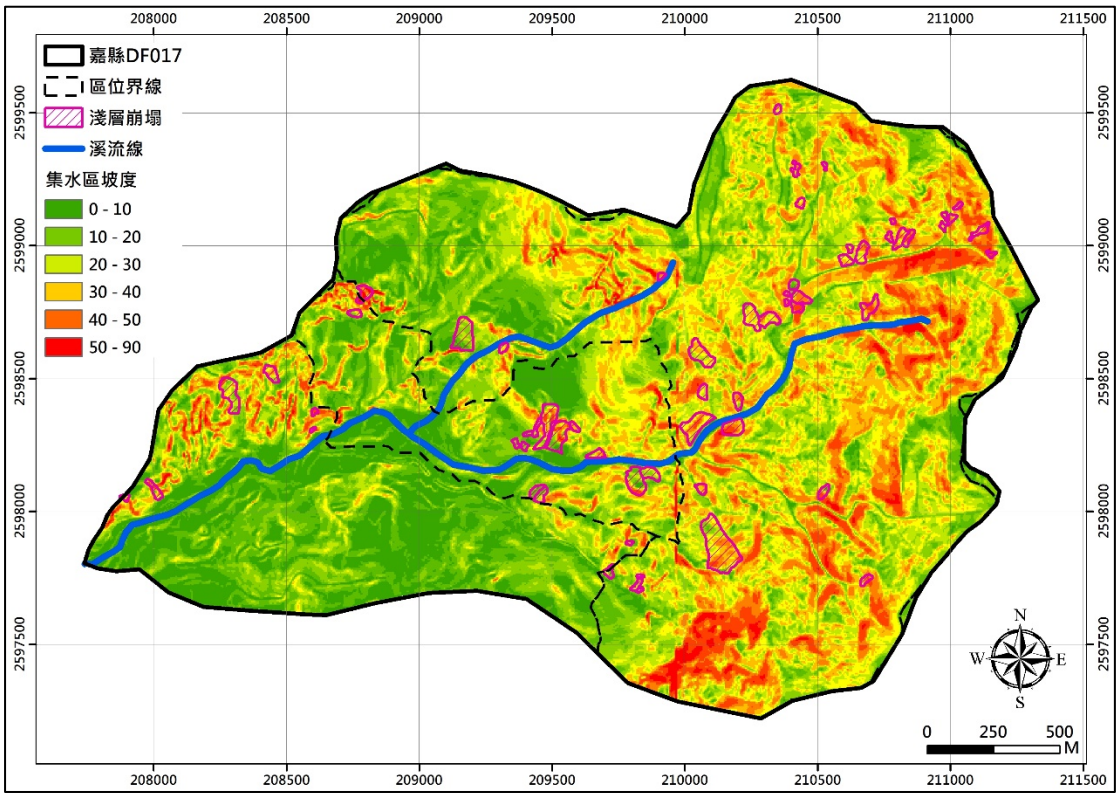
附錄二 - 17　劃設嘉縣 DF004 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



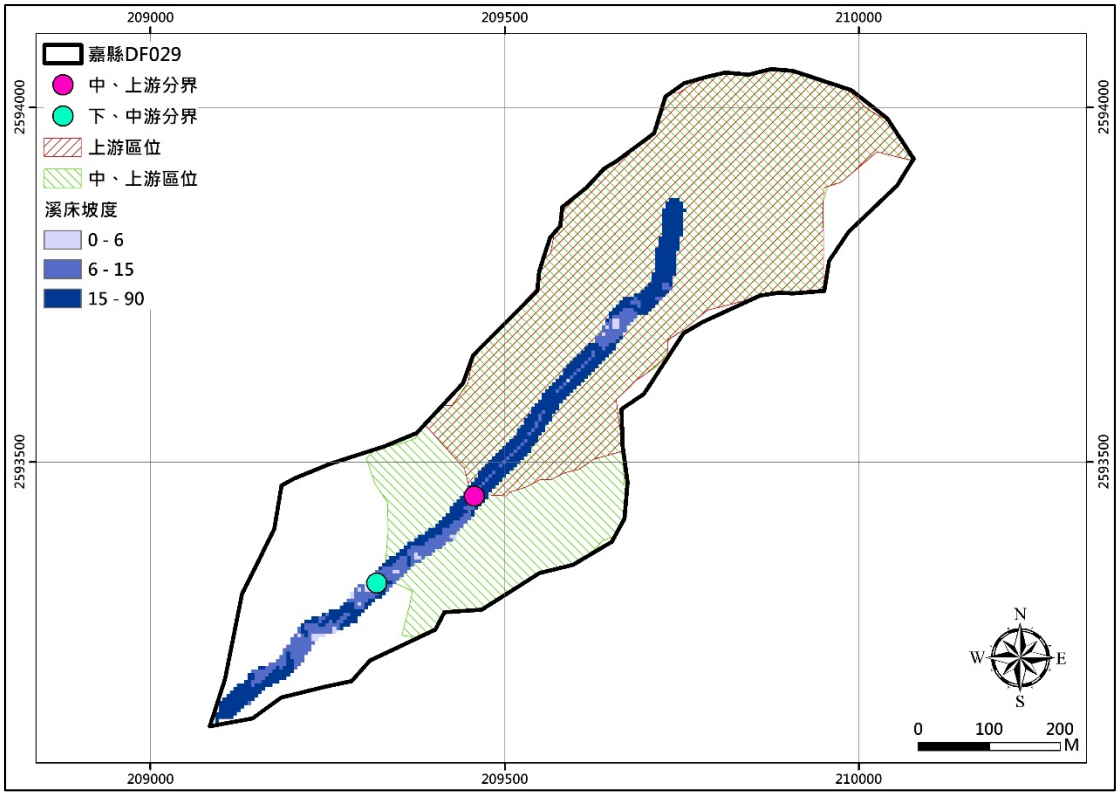
附錄二 - 18　嘉縣 DF004 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



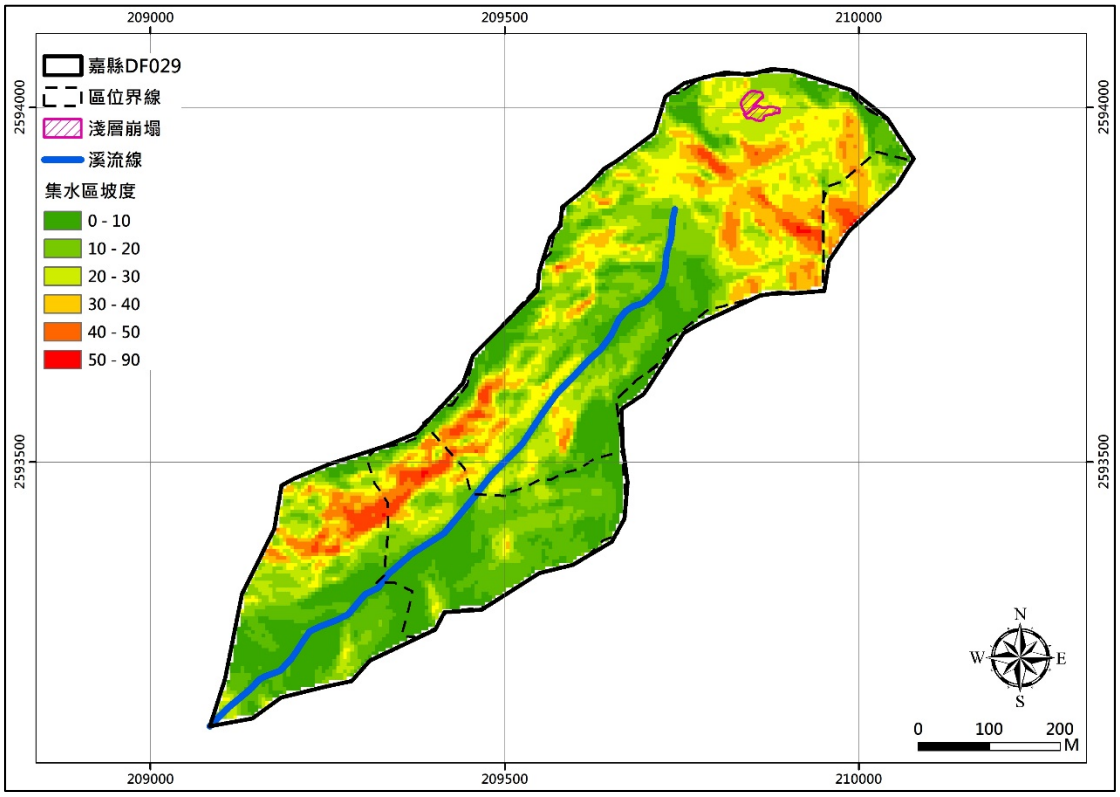
附錄二 - 19　劃設嘉縣 DF017 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



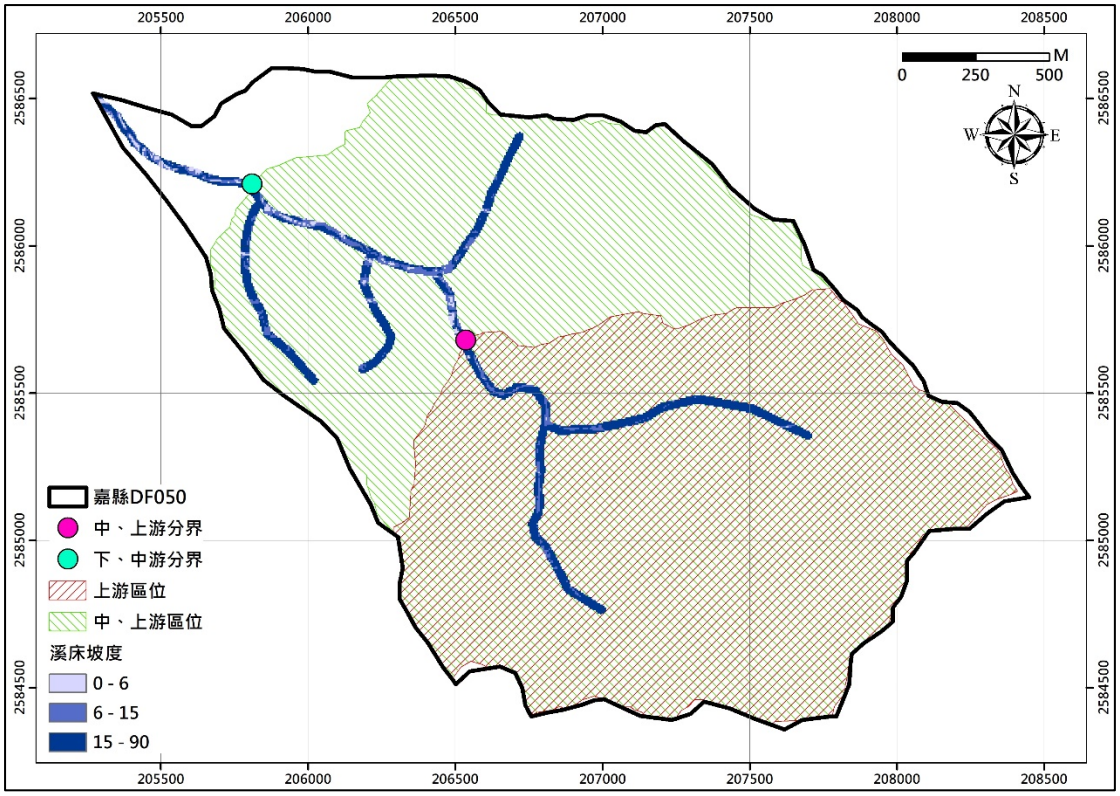
附錄二 - 20　嘉縣 DF017 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



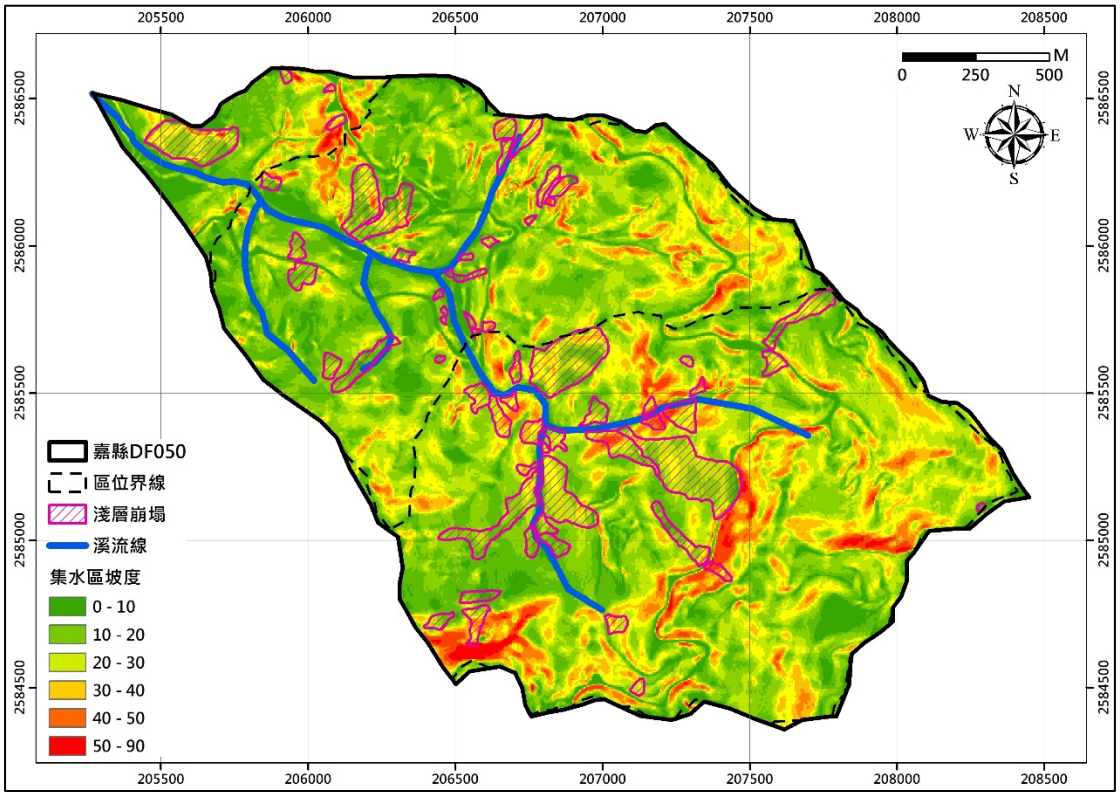
附錄二 - 21　劃設嘉縣 DF029 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



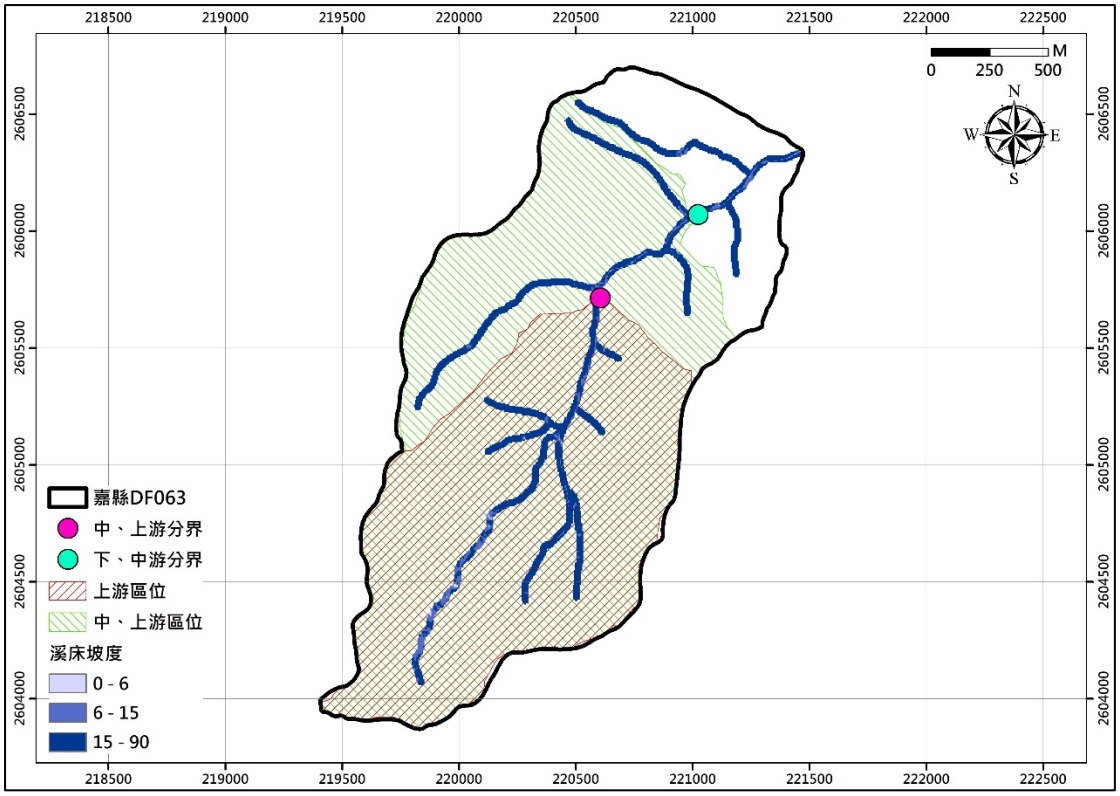
附錄二 - 22　嘉縣 DF029 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



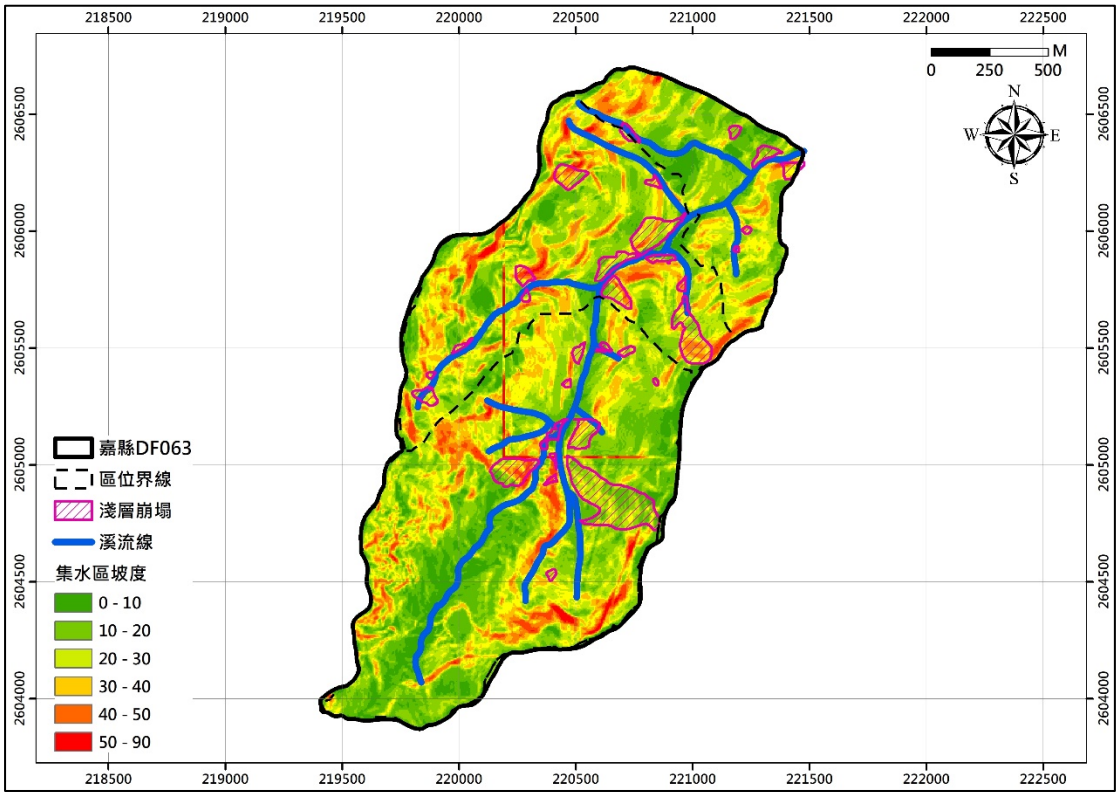
附錄二 - 23　劃設嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



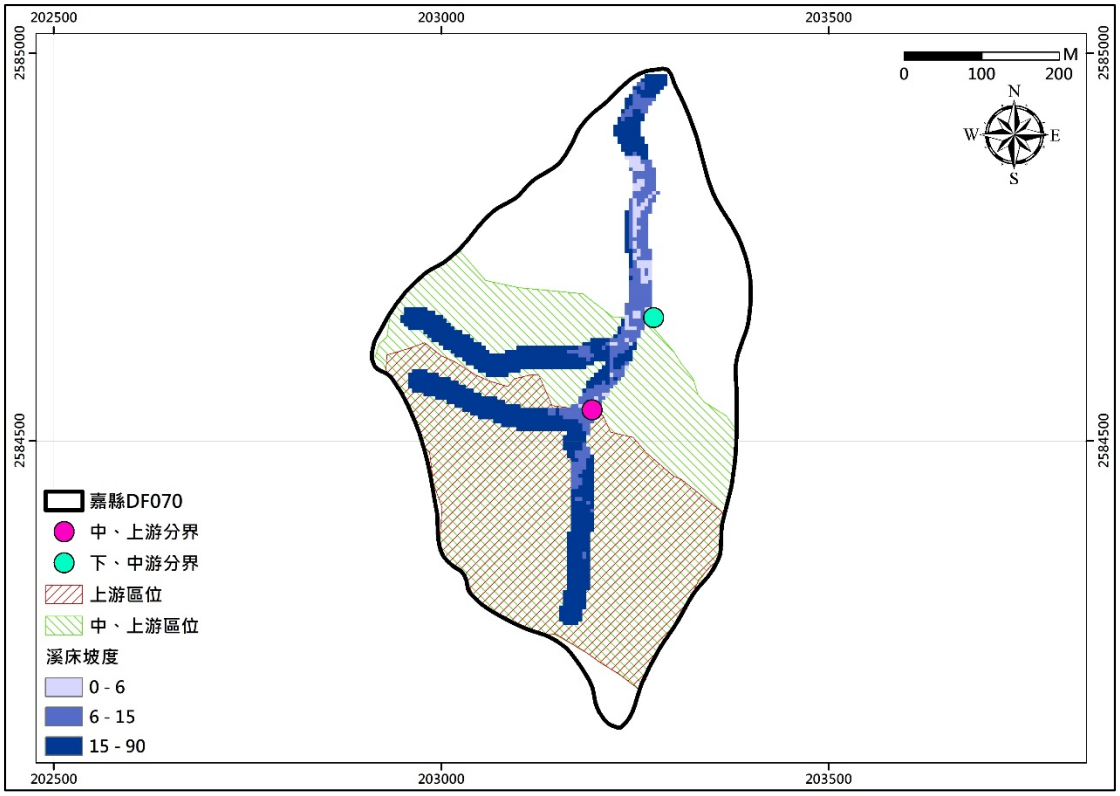
附錄二 - 24　嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



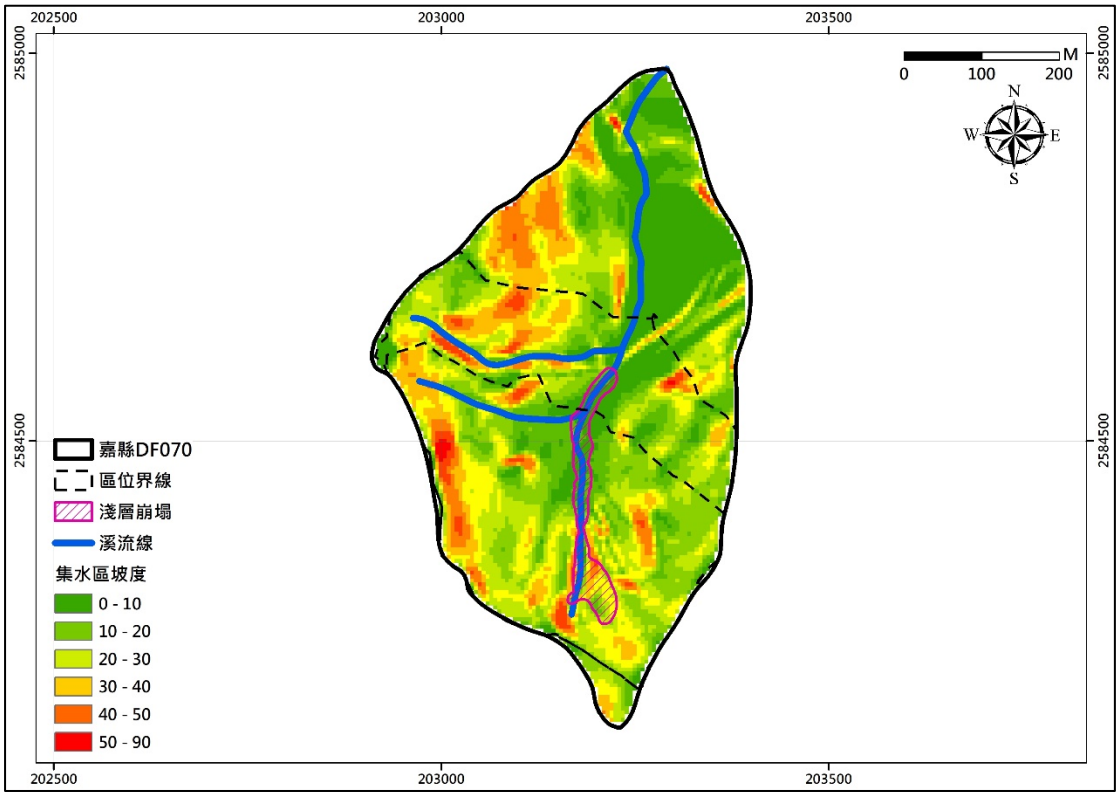
附錄二 - 25　劃設嘉縣 DF063 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



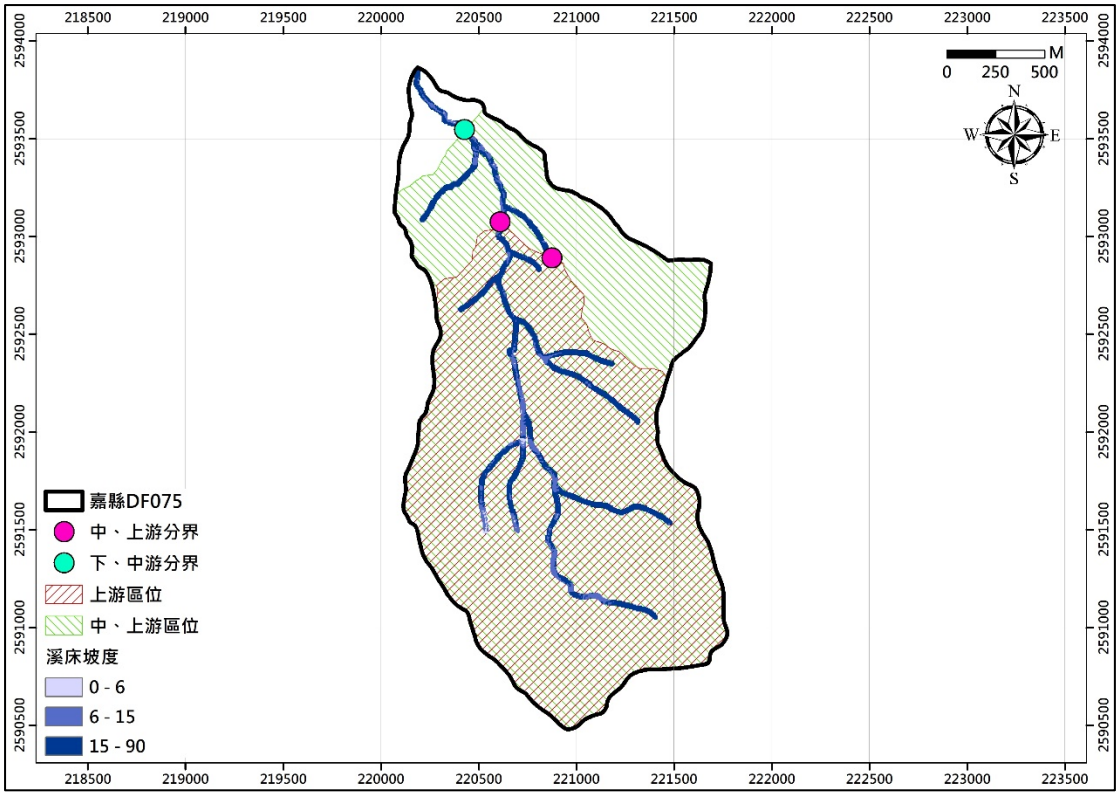
附錄二 - 26　嘉縣 DF063 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



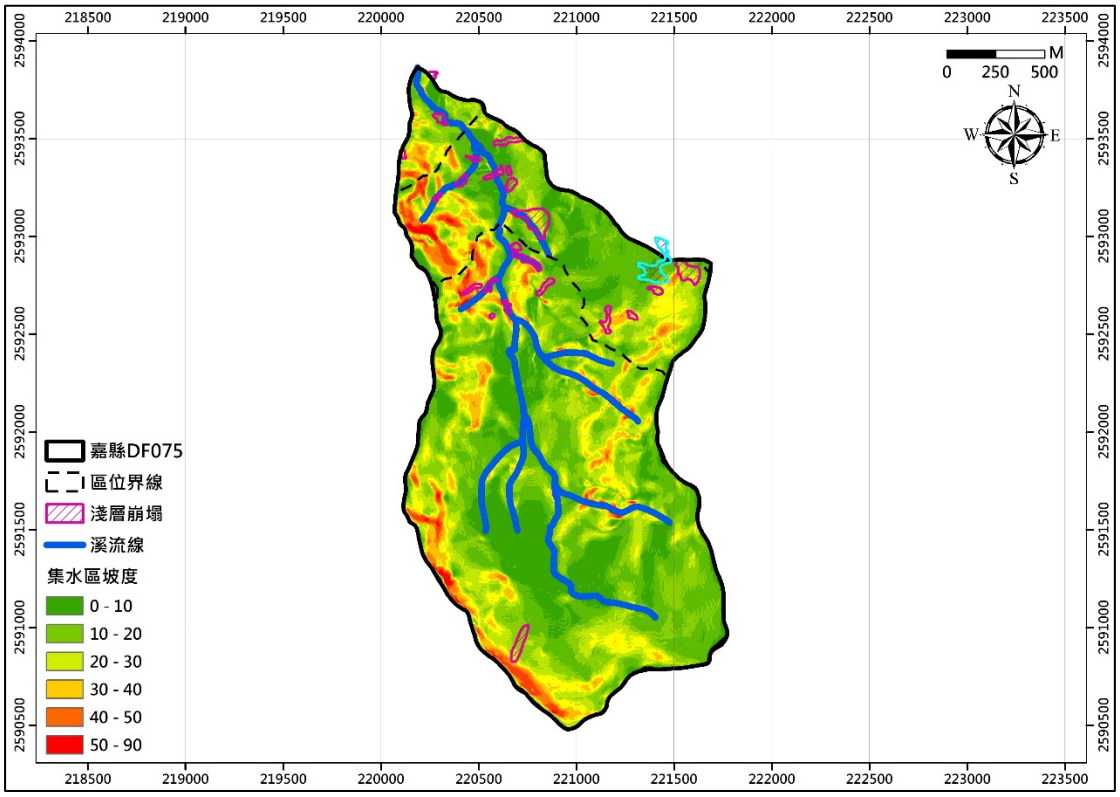
附錄二 - 27　劃設嘉縣 DF070 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



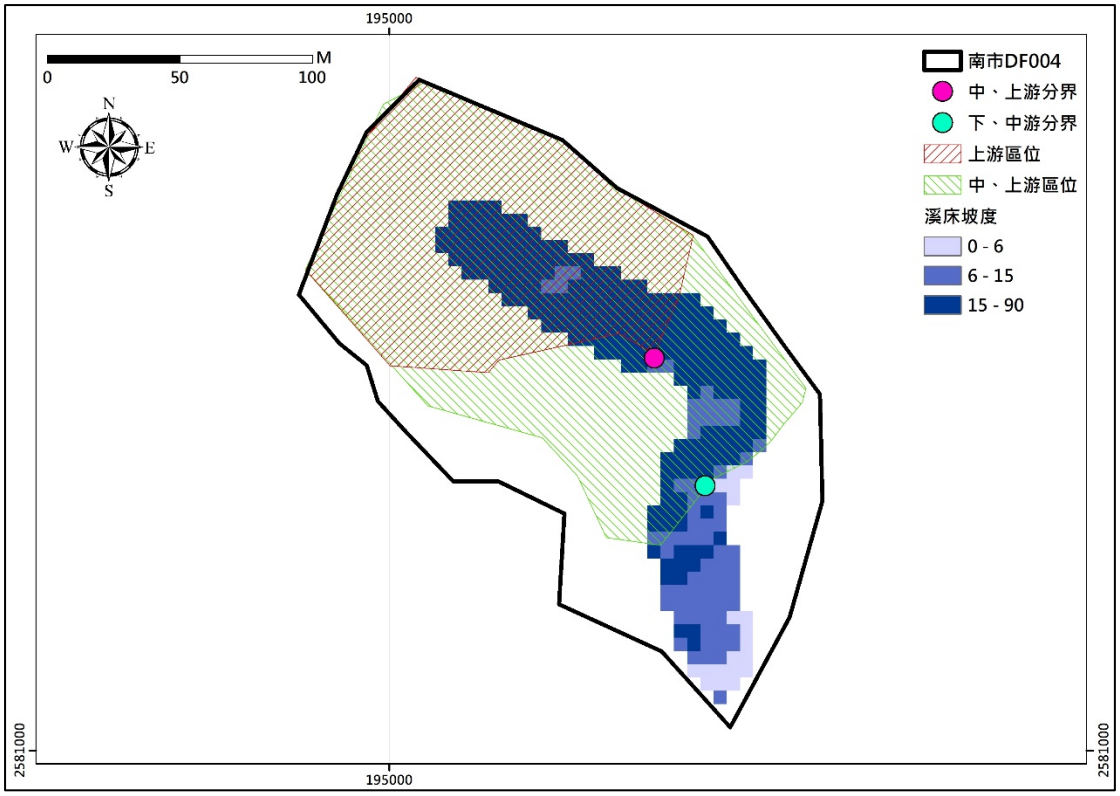
附錄二 - 28　嘉縣 DF070 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



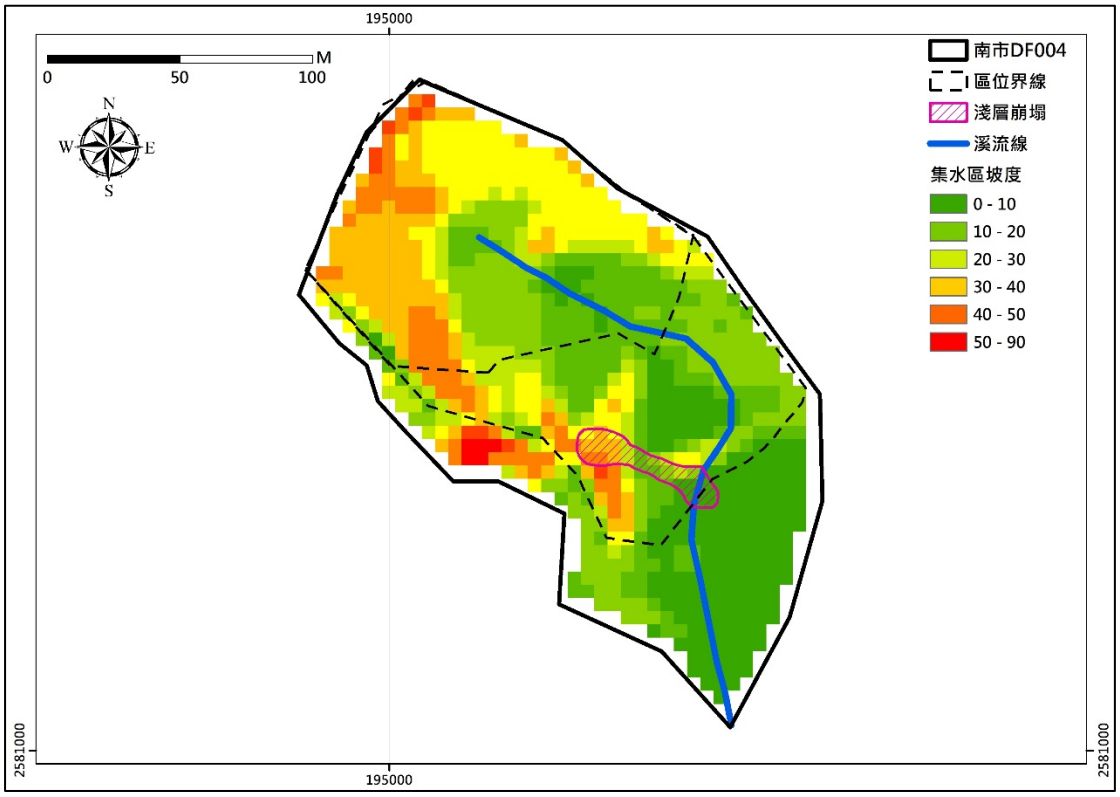
附錄二 - 29　劃設嘉縣 DF075 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



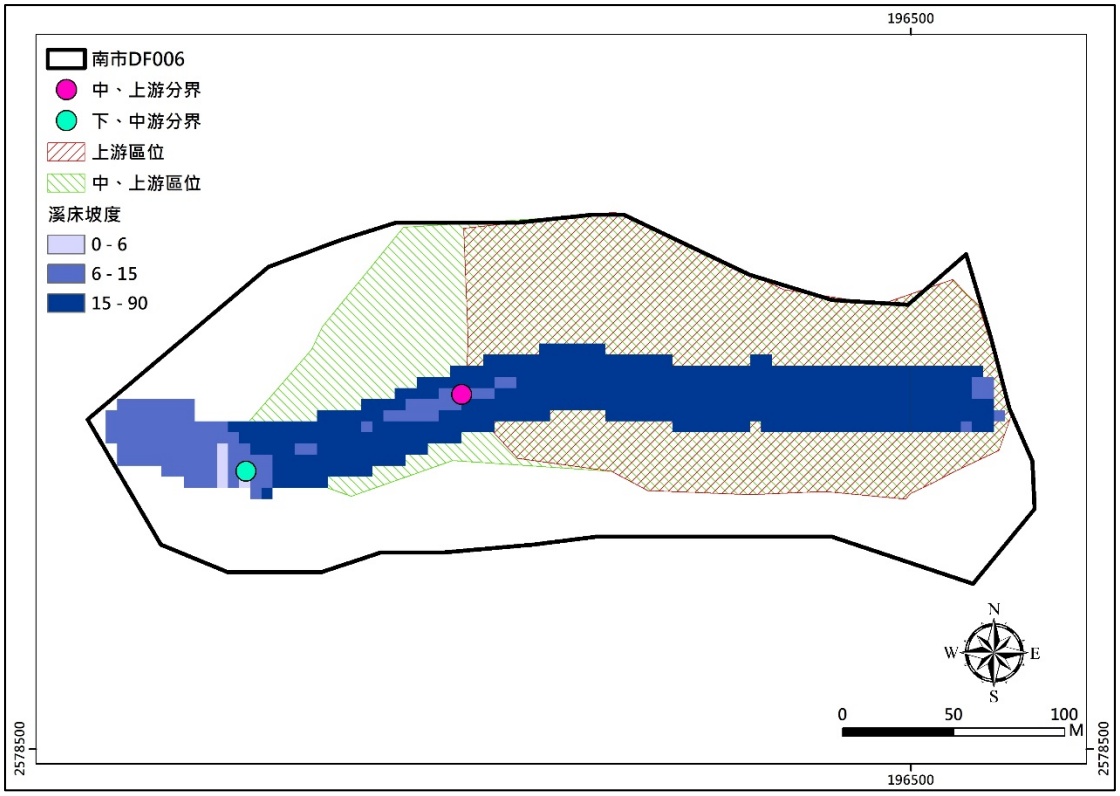
附錄二 - 30　嘉縣 DF075 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



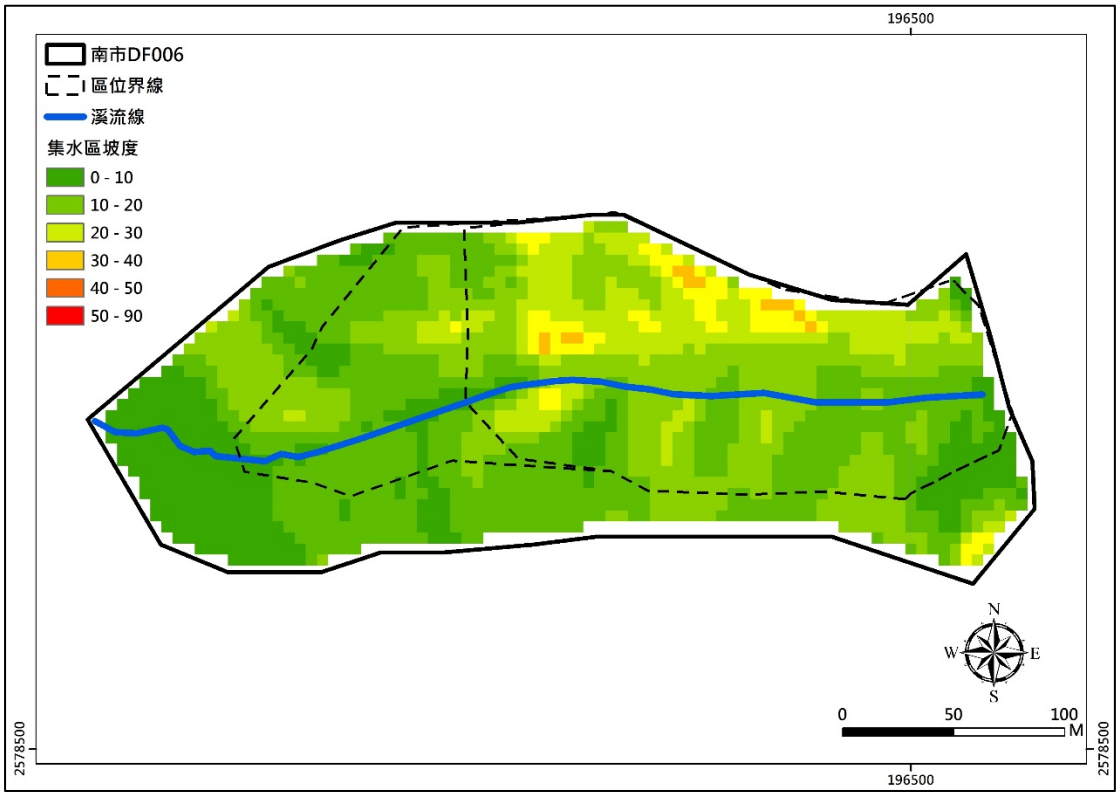
附錄二 - 31　劃設南市 DF004 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



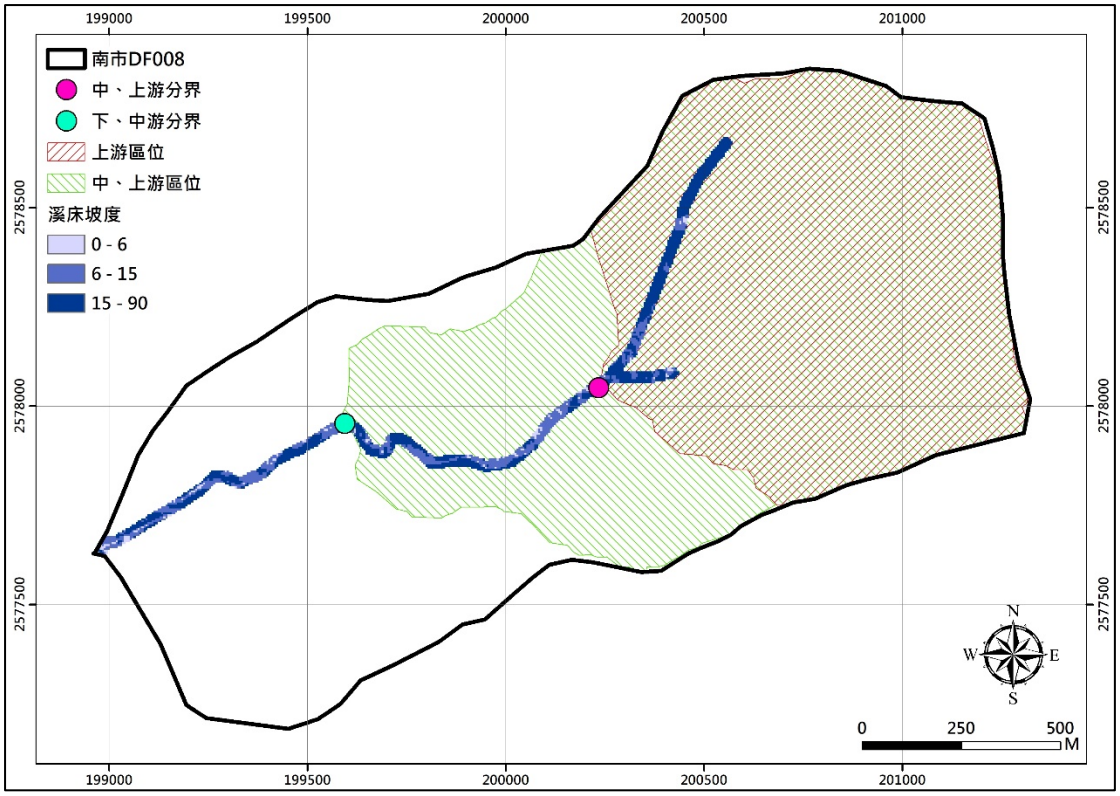
附錄二 - 32　南市 DF004 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



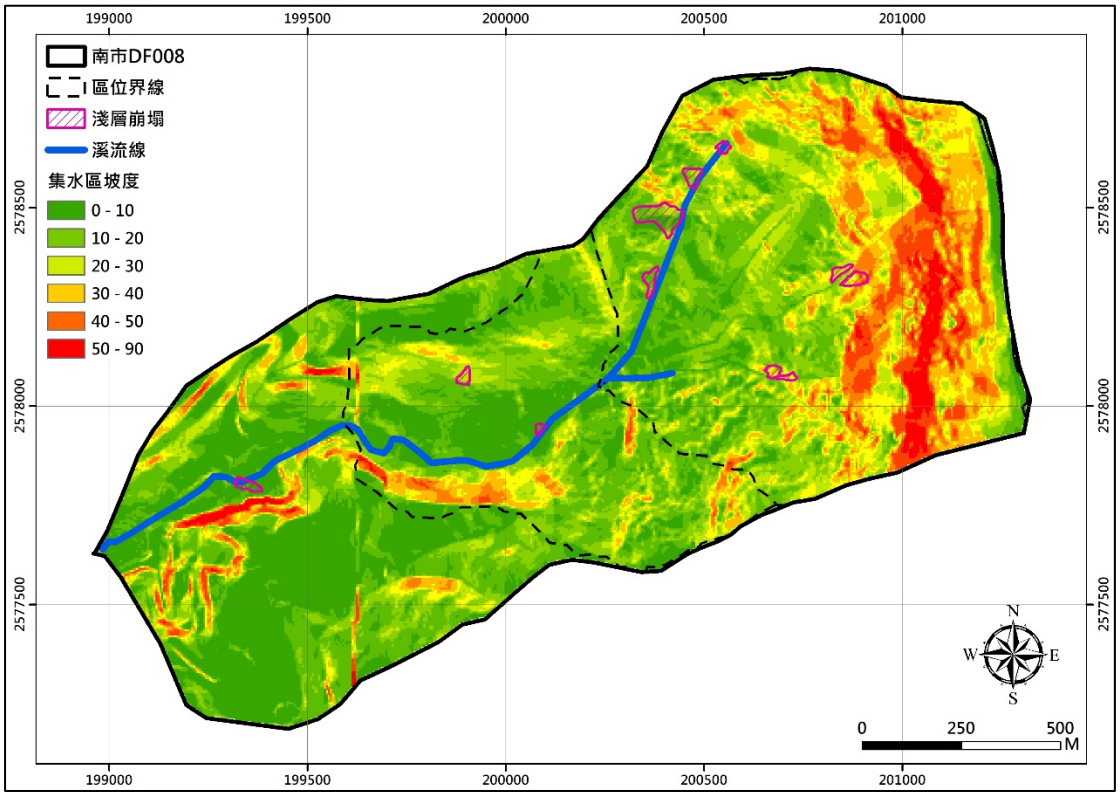
附錄二 - 33　劃設南市 DF006 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



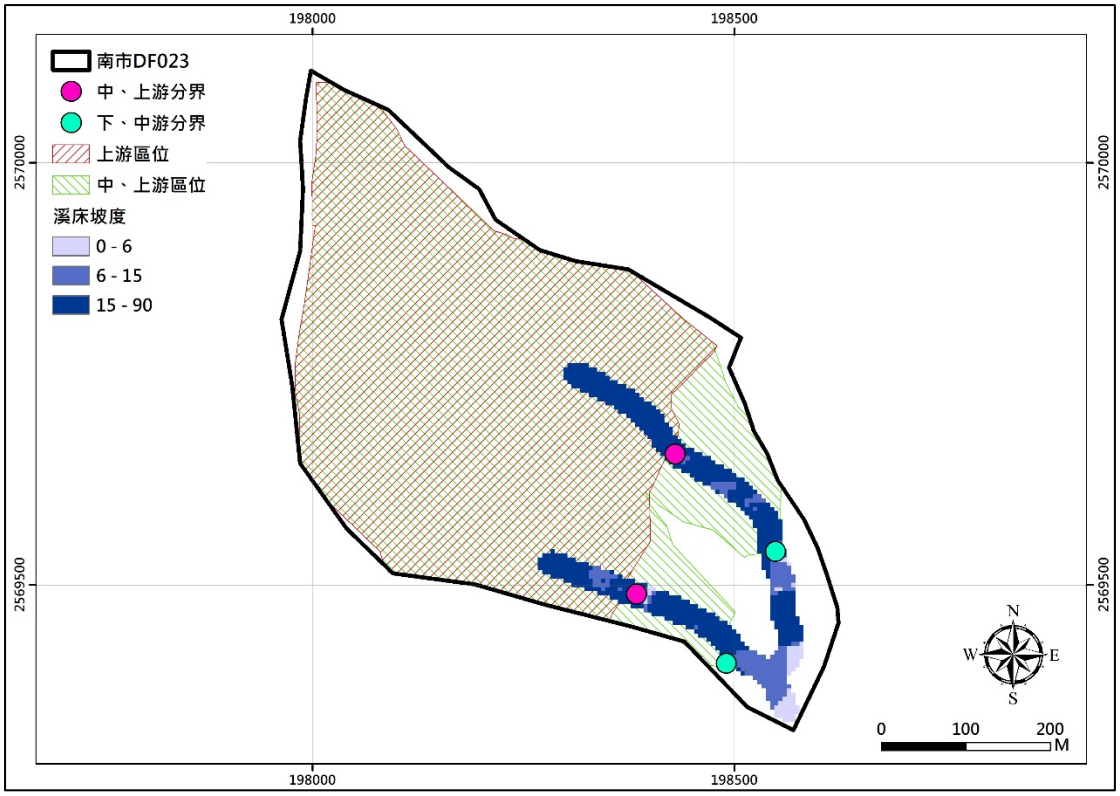
附錄二 - 34　南市 DF006 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



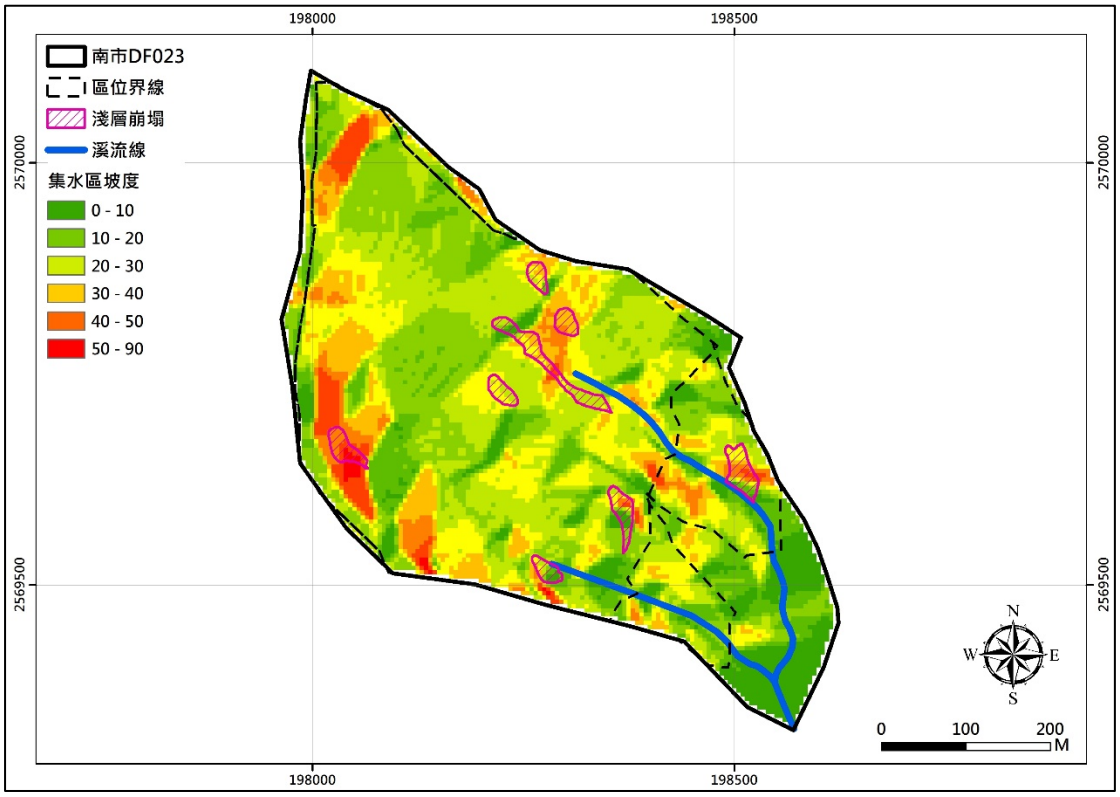
附錄二 - 35　劃設南市 DF008 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



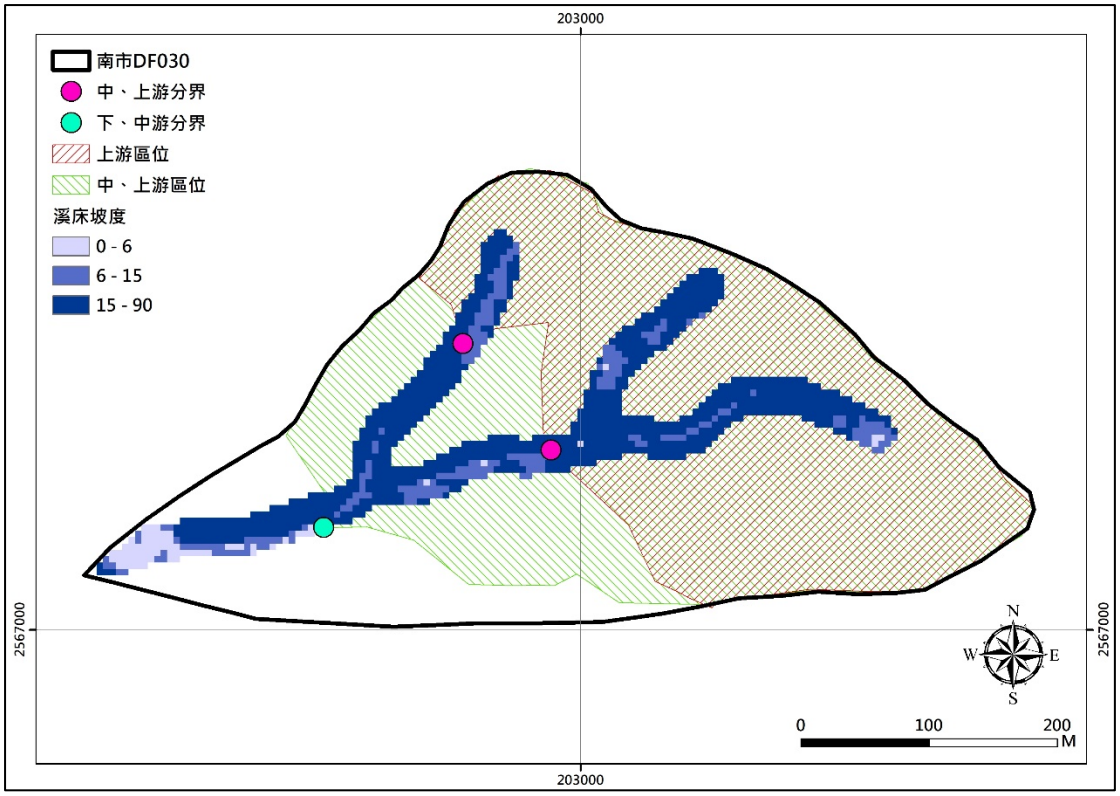
附錄二 - 36　南市 DF008 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



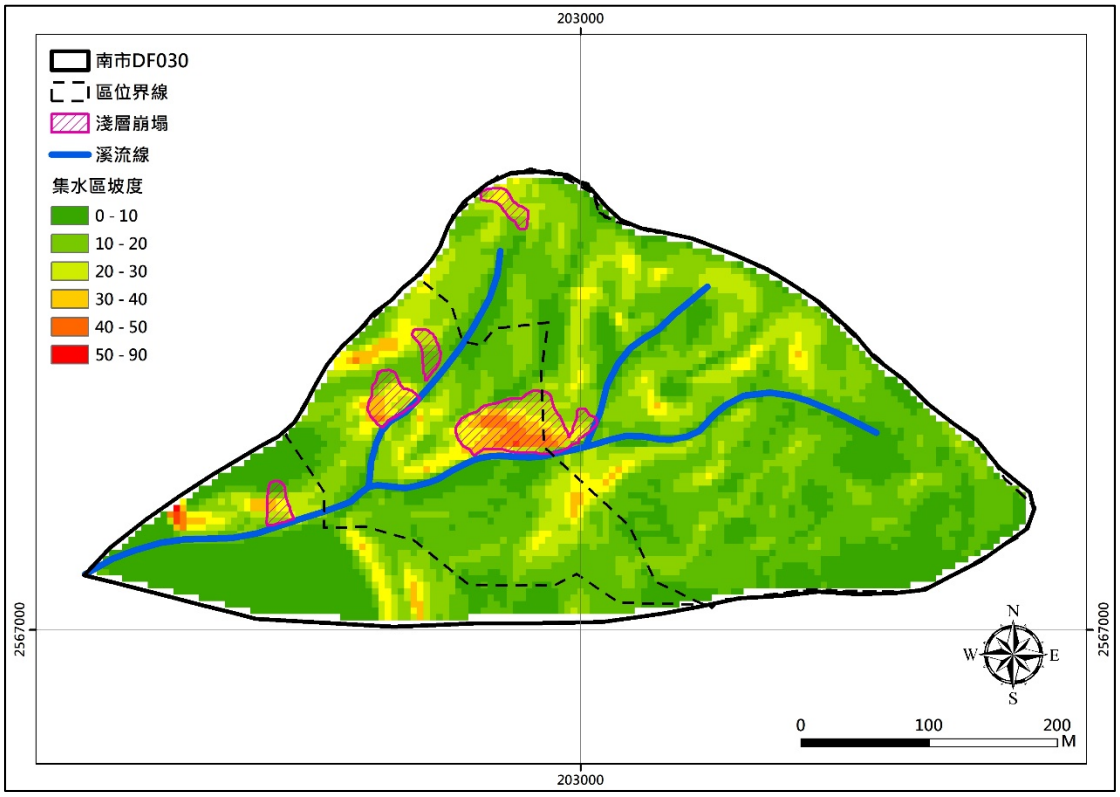
附錄二 - 37　劃設南市 DF023 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



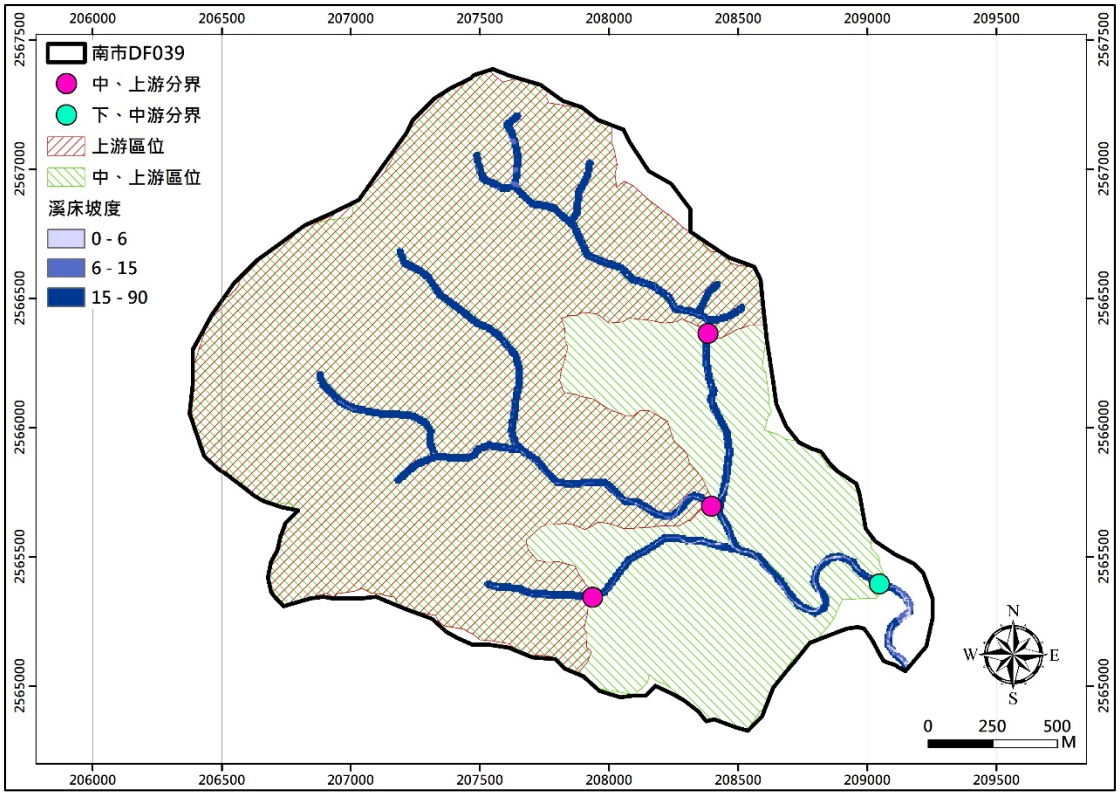
附錄二 - 38　南市 DF023 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



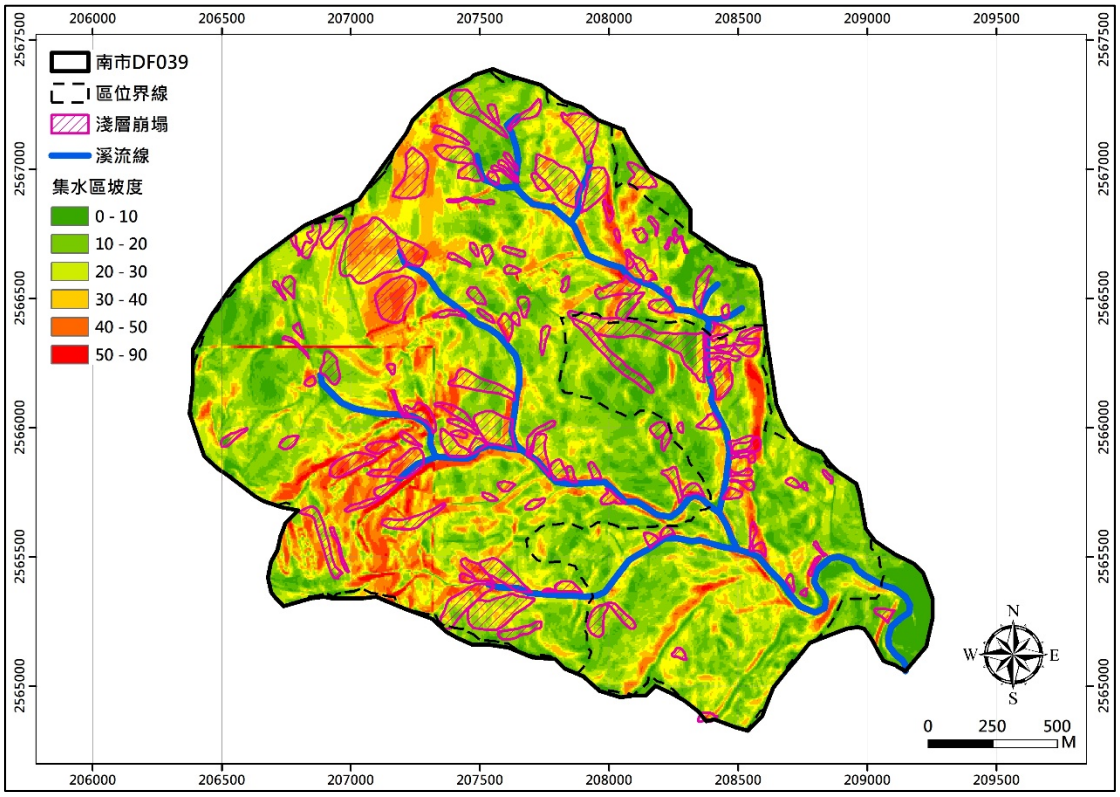
附錄二 - 39　劃設南市 DF030 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



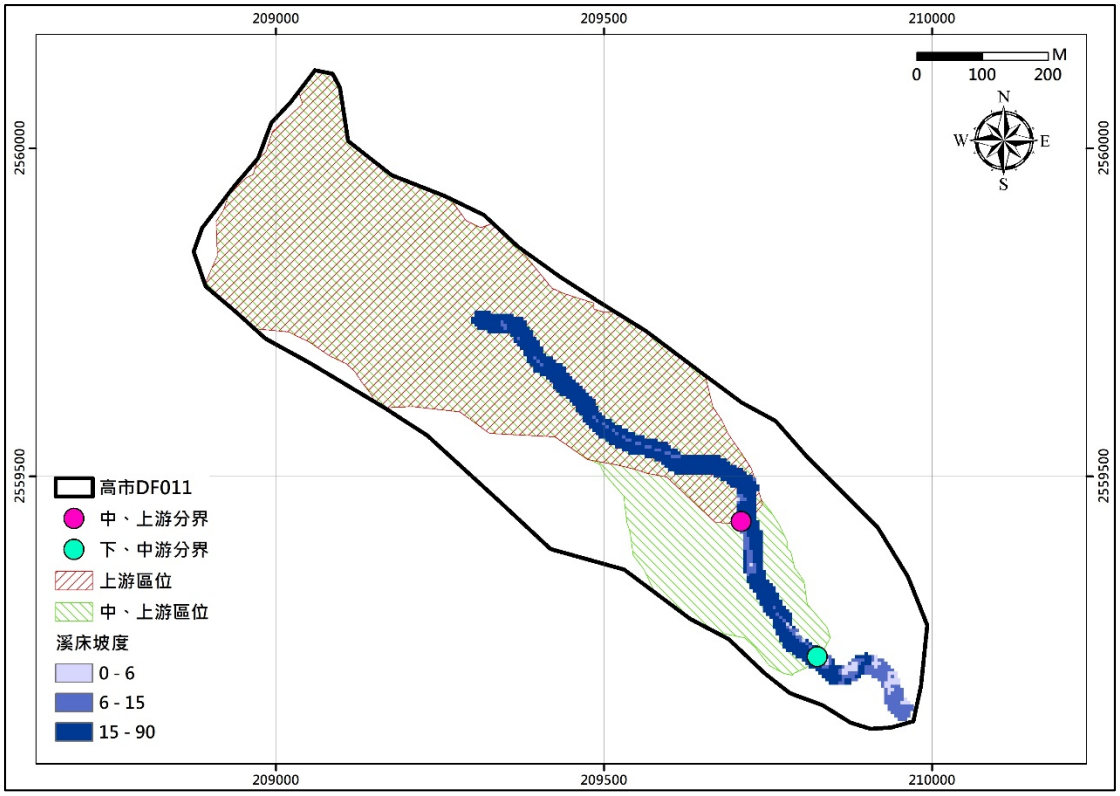
附錄二 - 40　南市 DF030 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



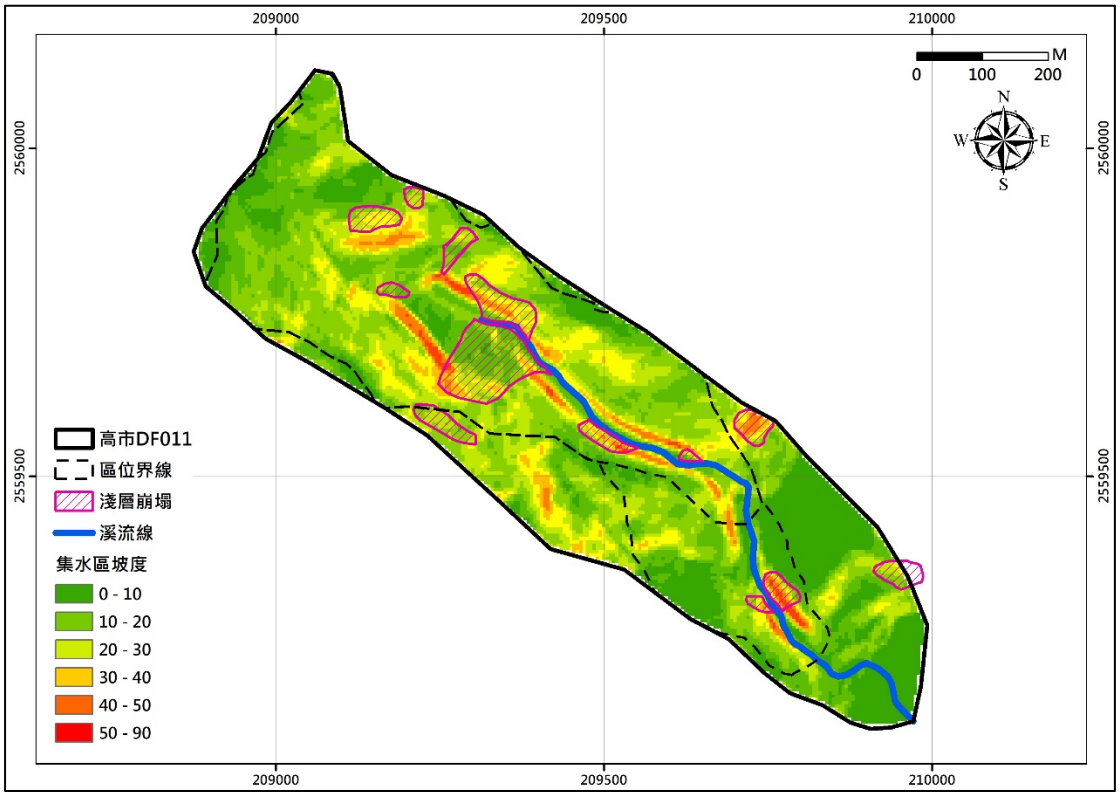
附錄二 - 41　劃設南市 DF039 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



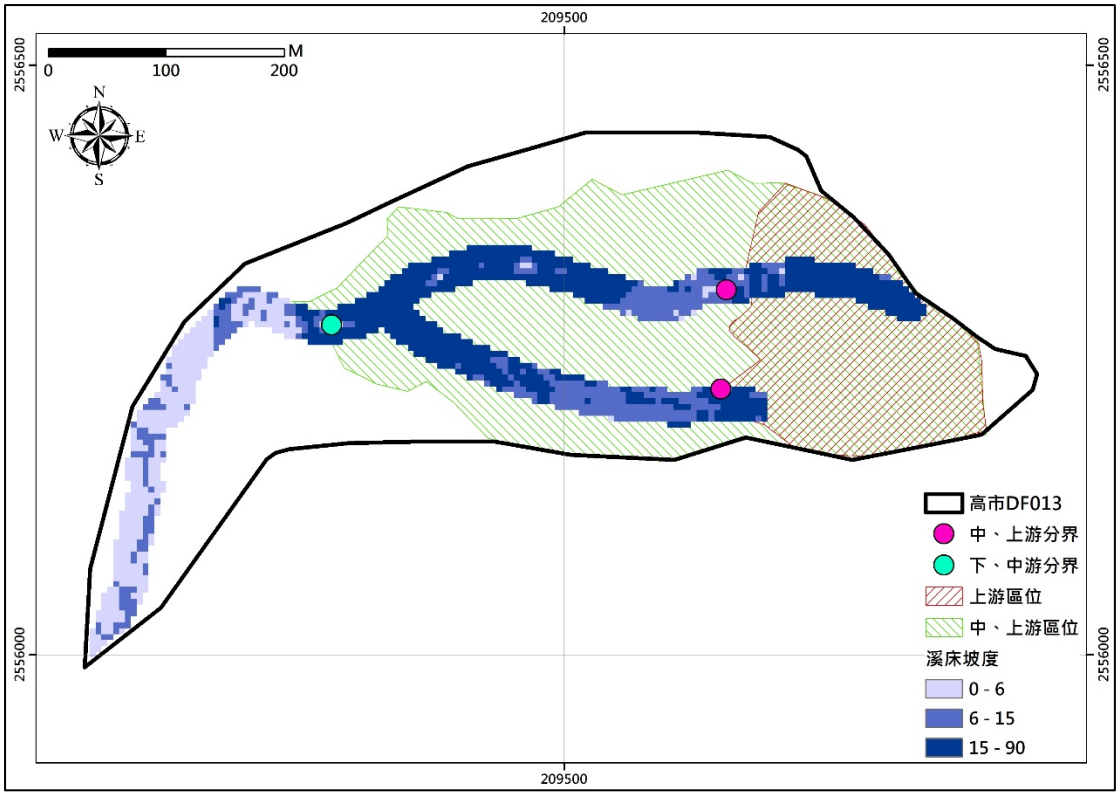
附錄二 - 42　南市 DF039 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



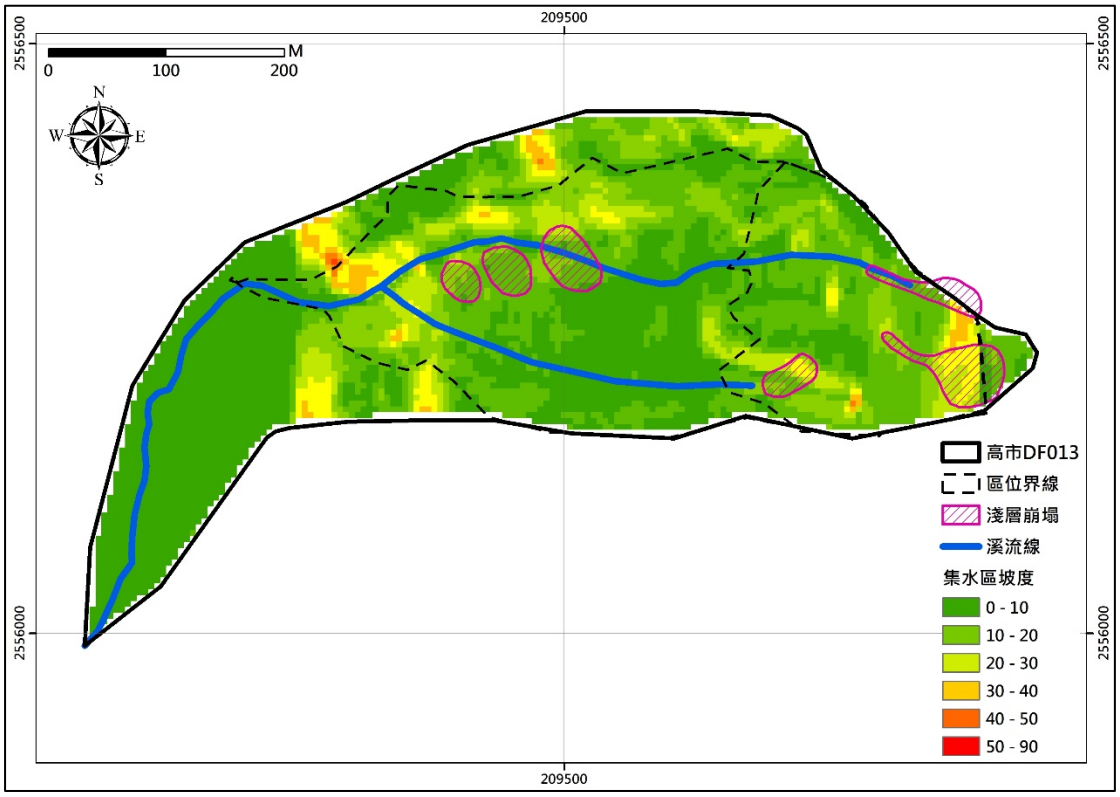
附錄二 - 43　劃設高市 DF011 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



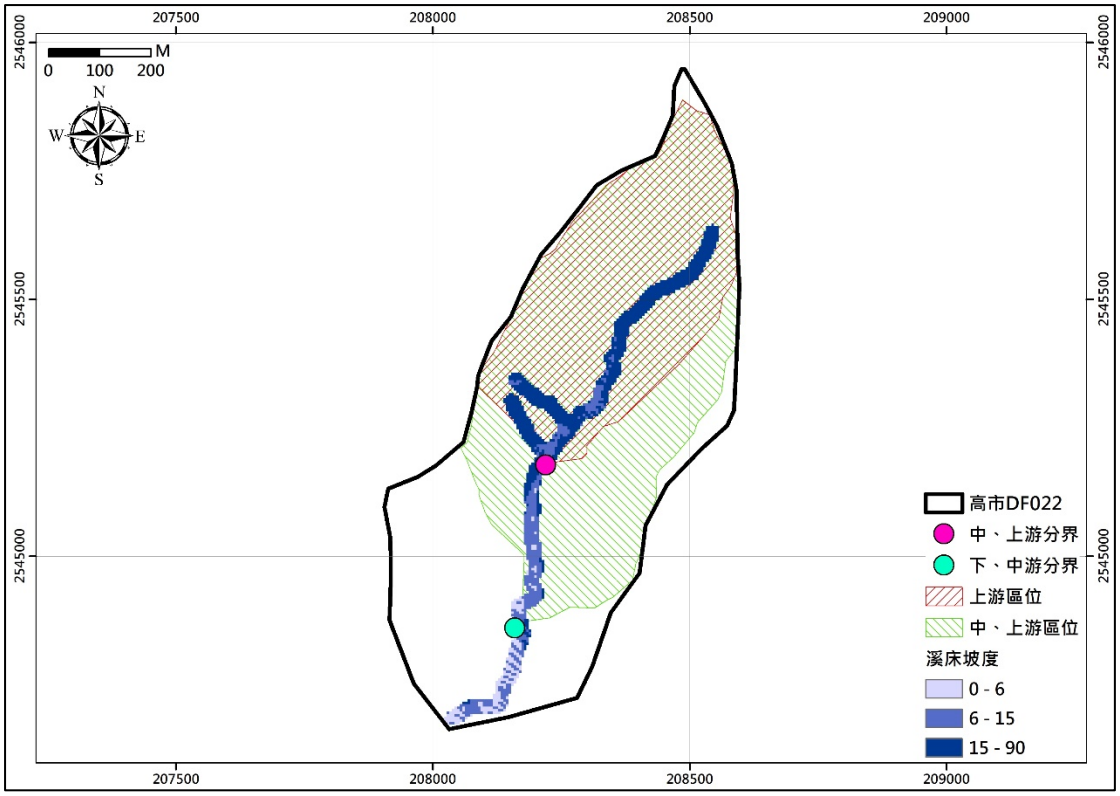
附錄二 - 44　高市 DF011 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



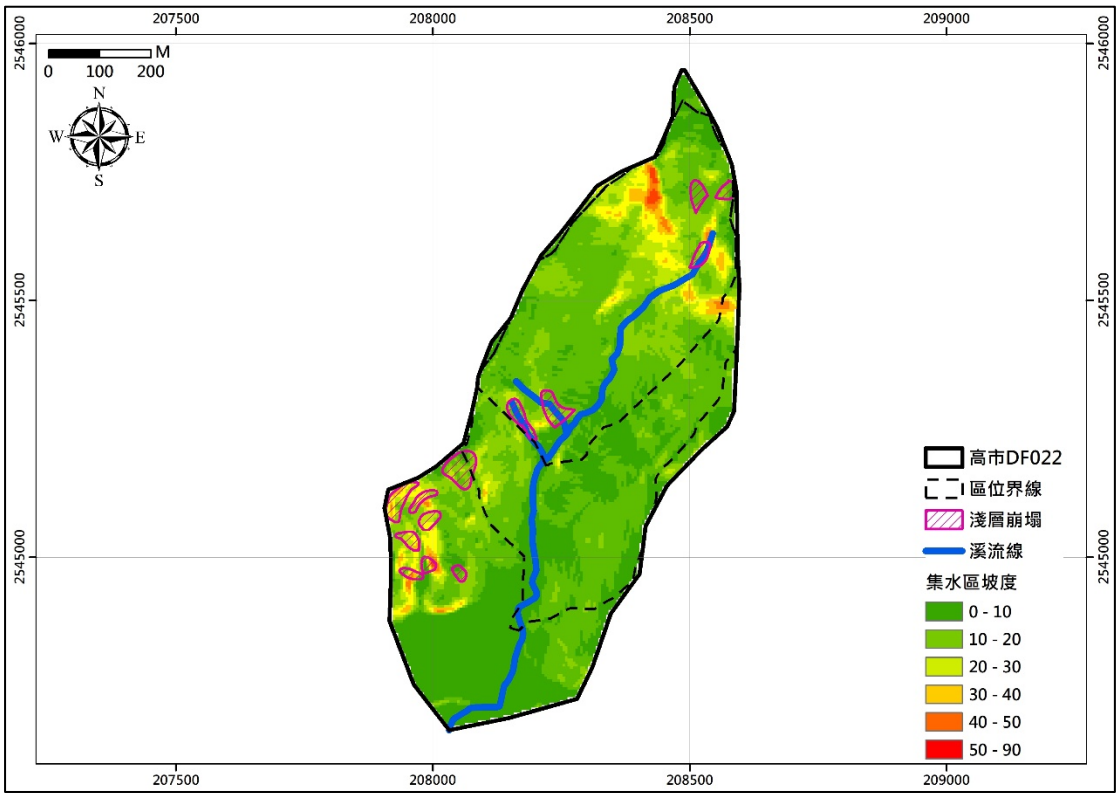
附錄二 - 45　劃設高市 DF013 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



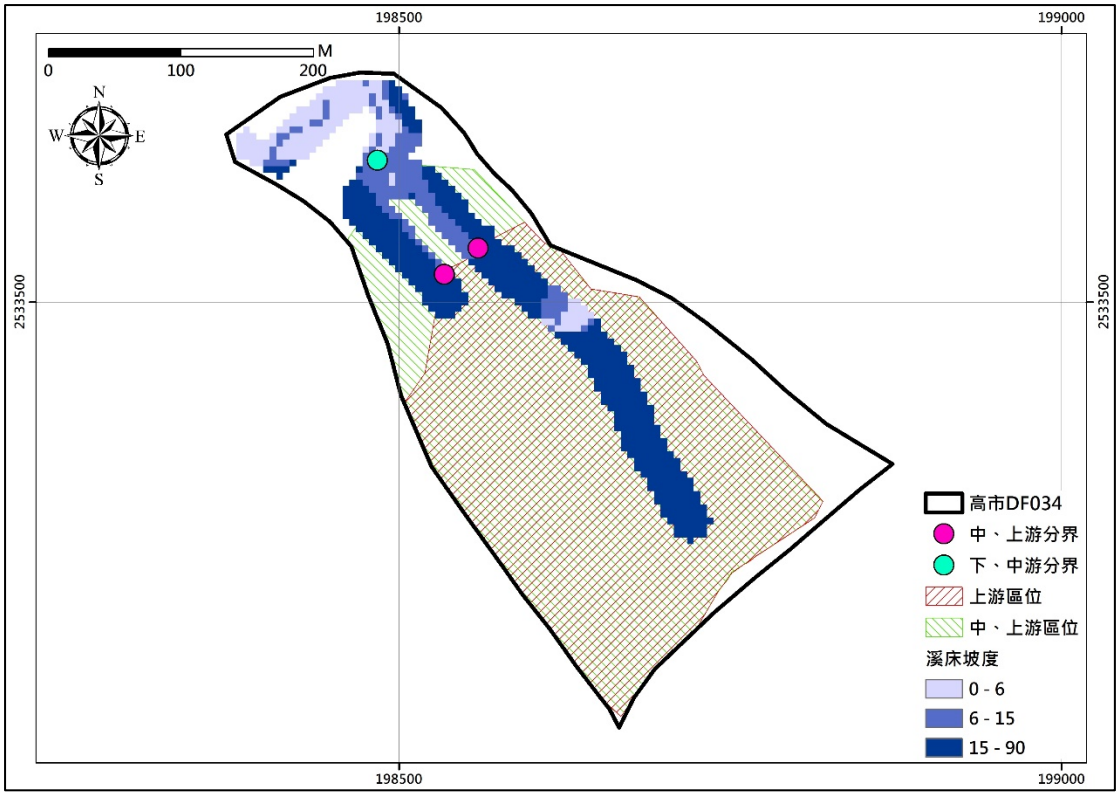
附錄二 - 46　高市 DF013 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



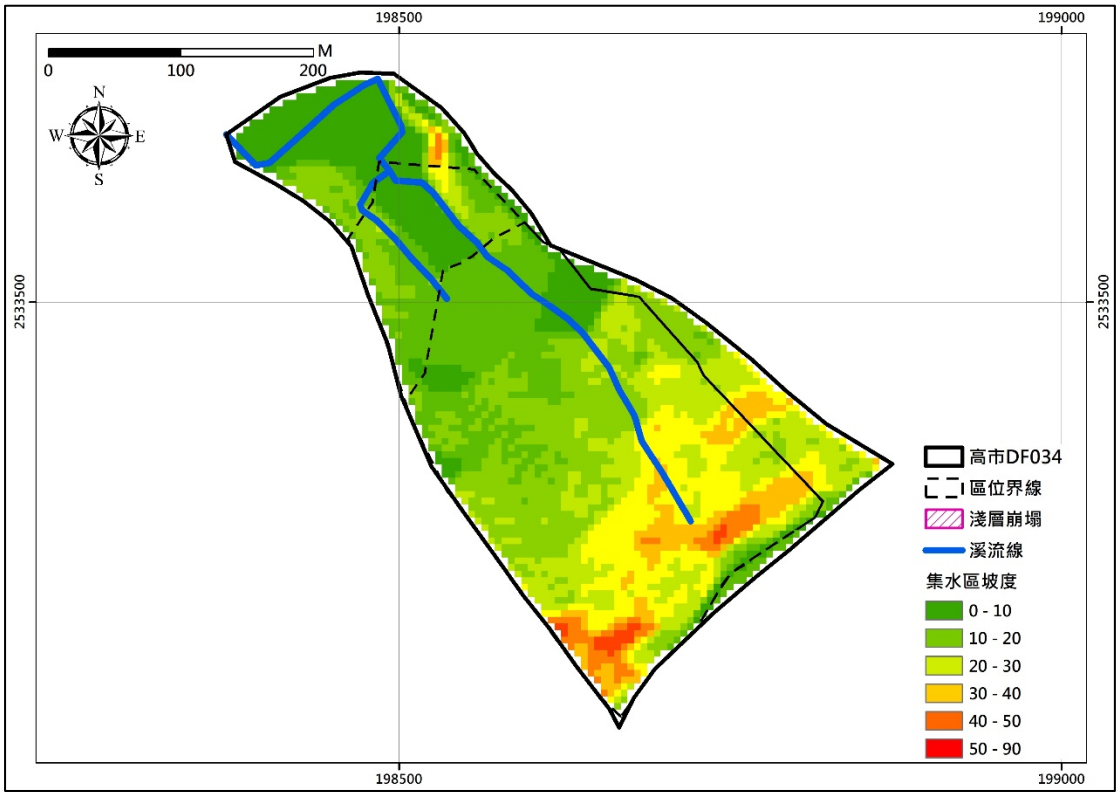
附錄二 - 47　劃設高市 DF022 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



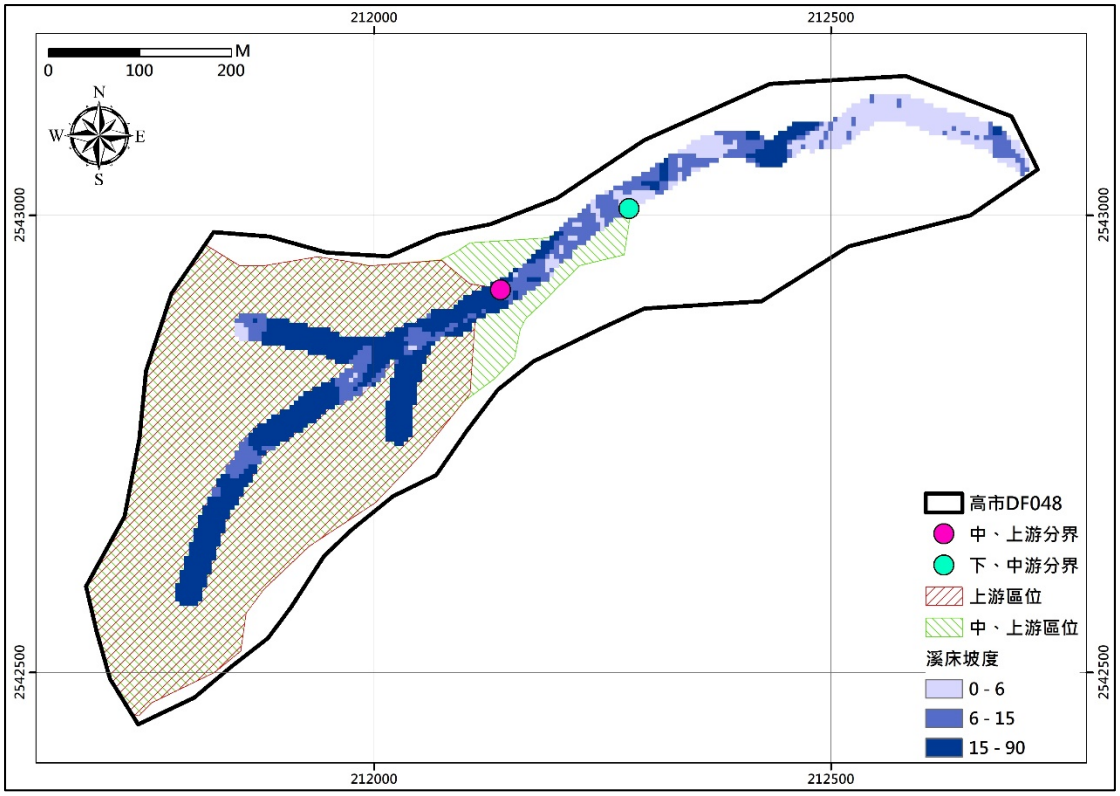
附錄二 - 48　高市 DF022 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布



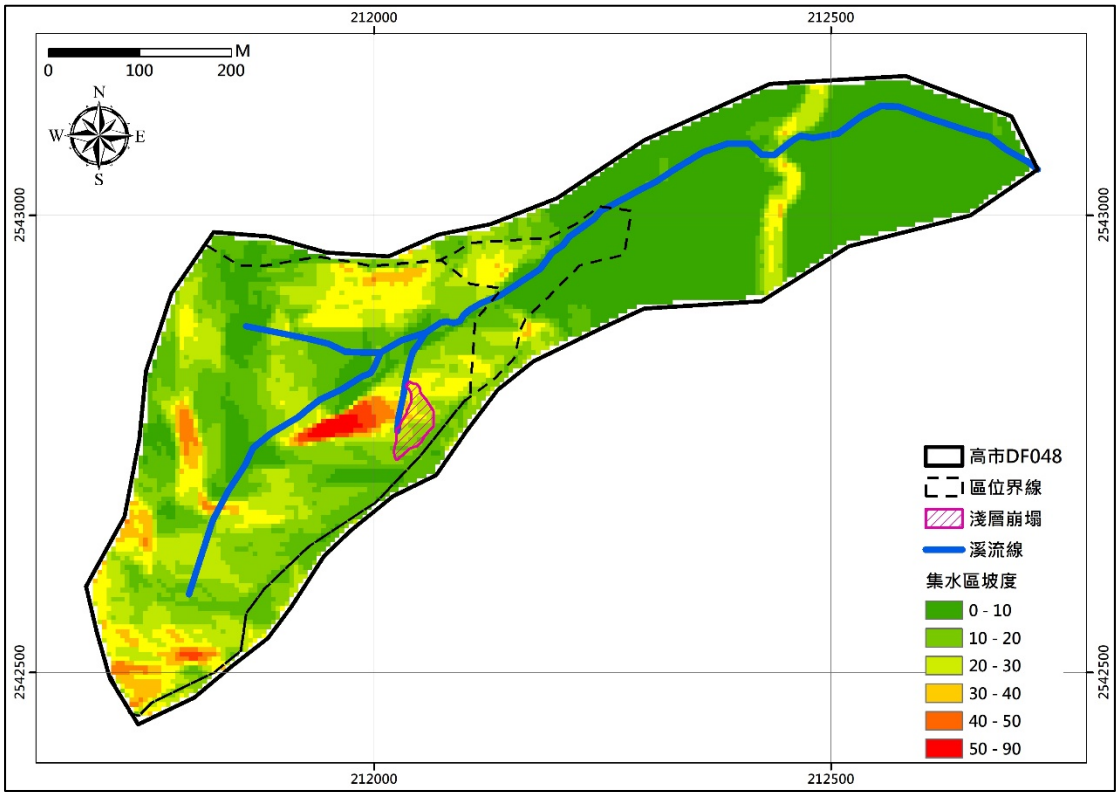
附錄二 - 49　劃設高市 DF034 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位



附錄二 - 50　高市 DF034 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布

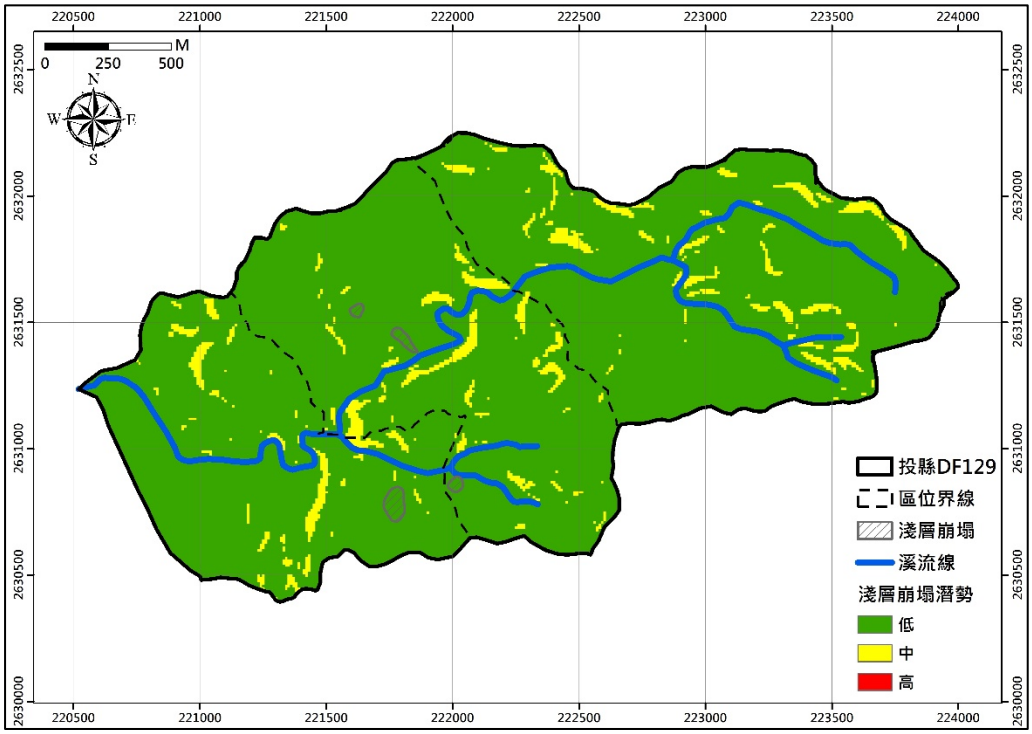


附錄二 - 51　劃設高市 DF048 土石流潛勢溪流集水區中、上游分界區位

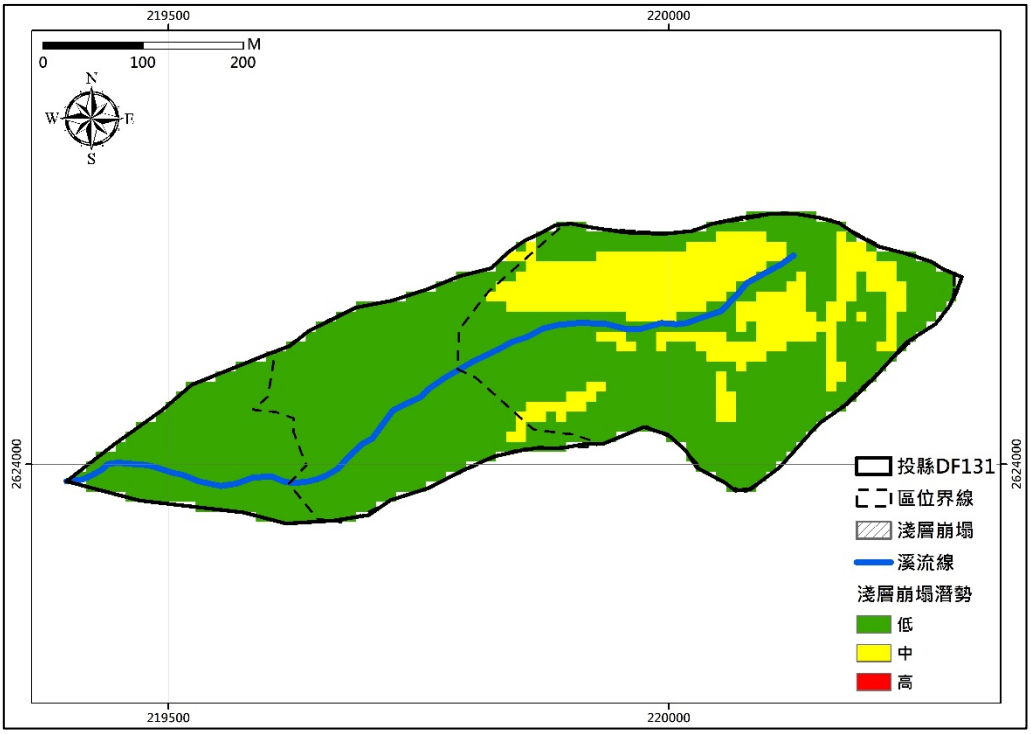


附錄二 - 52　高市 DF048 土石流潛勢溪流集水區之區位劃分與坡度圖分布

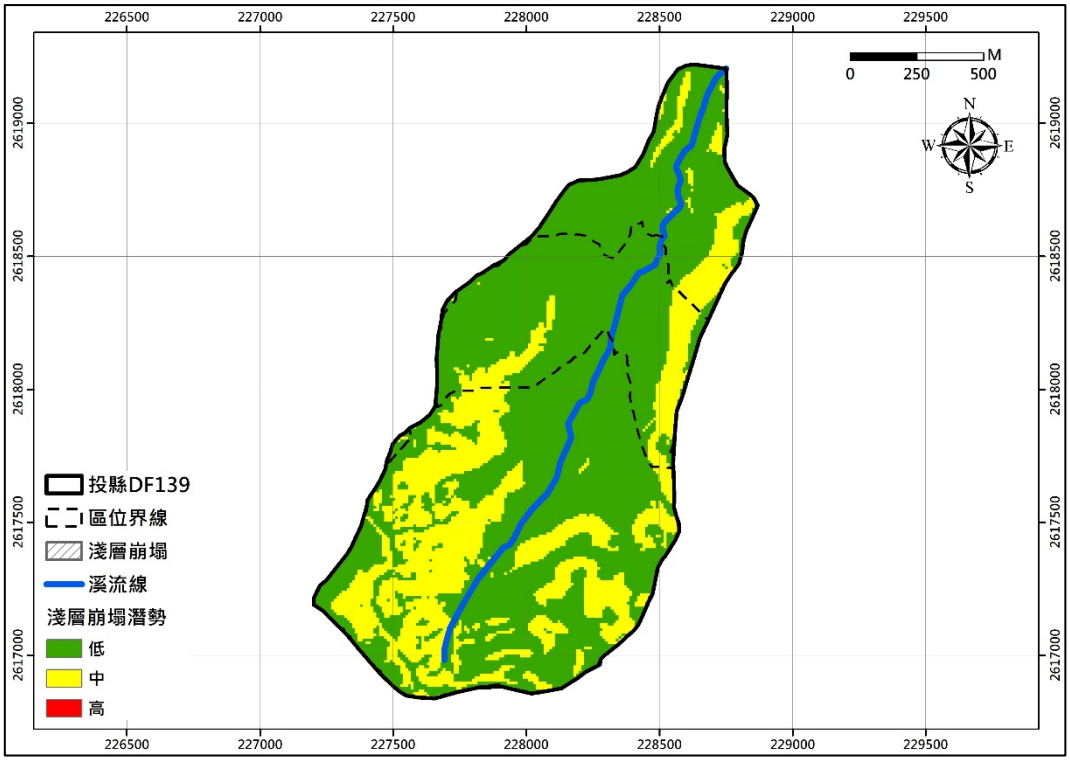
附錄三 淺層崩塌潛勢分布



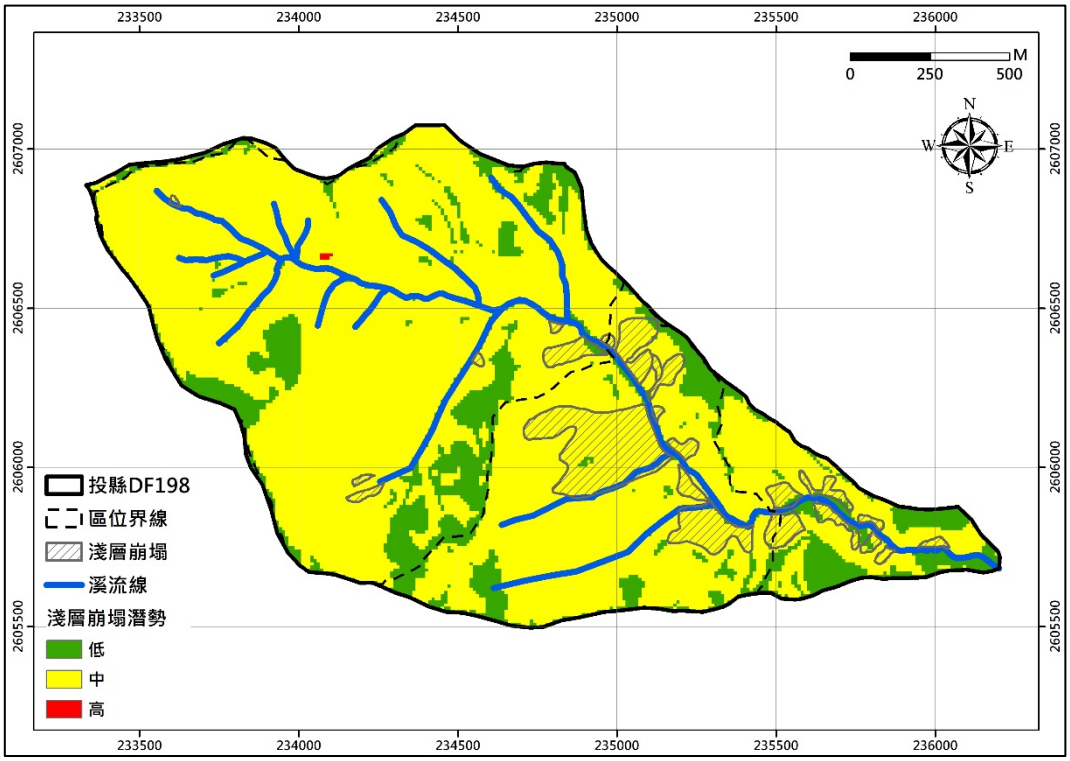
附錄三 - 1　投縣 DF129 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



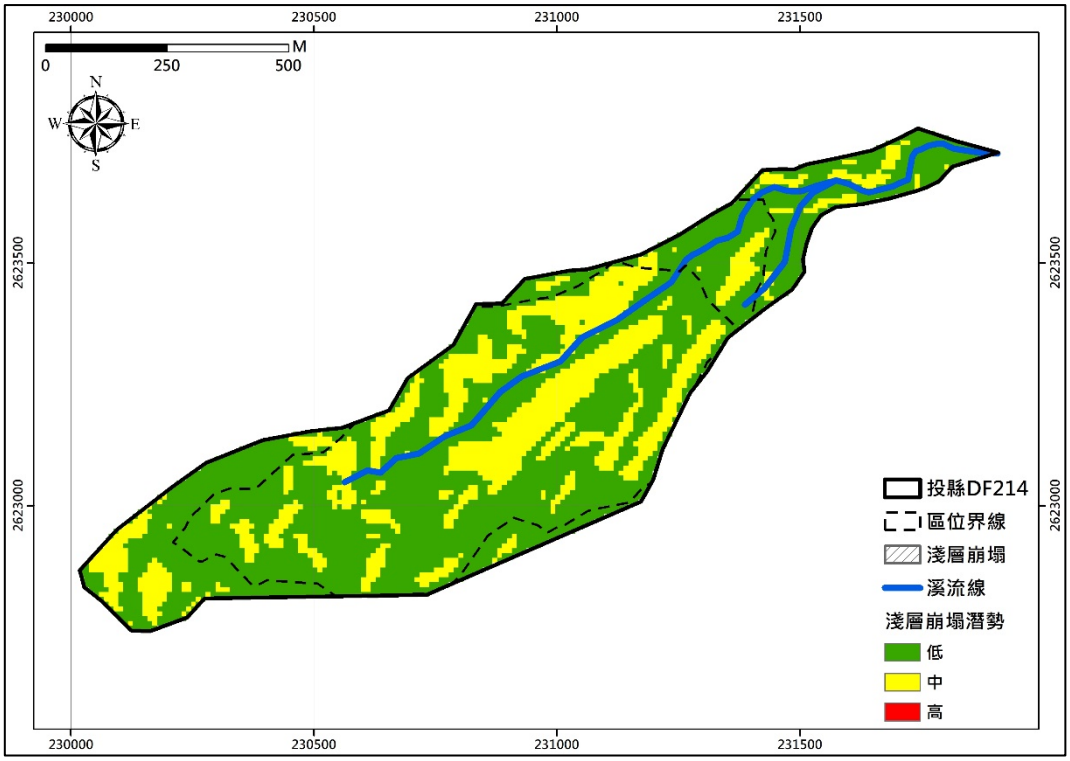
附錄三 - 2　投縣 DF131 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



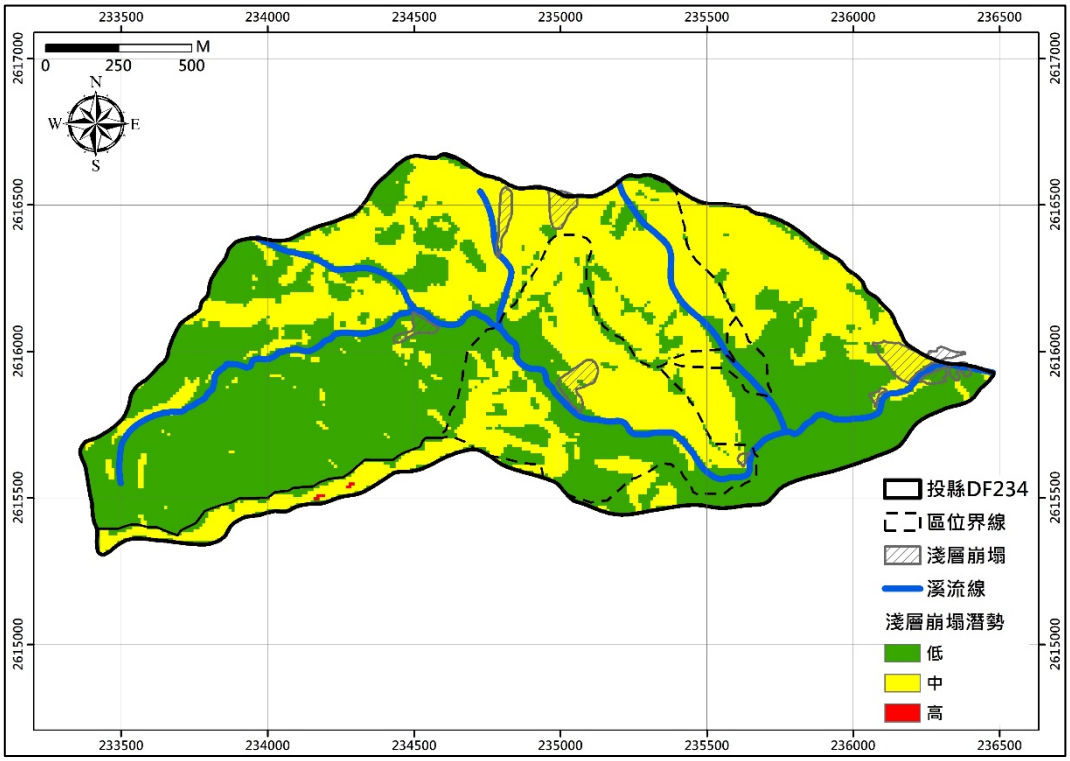
附錄三 - 3　投縣 DF139 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



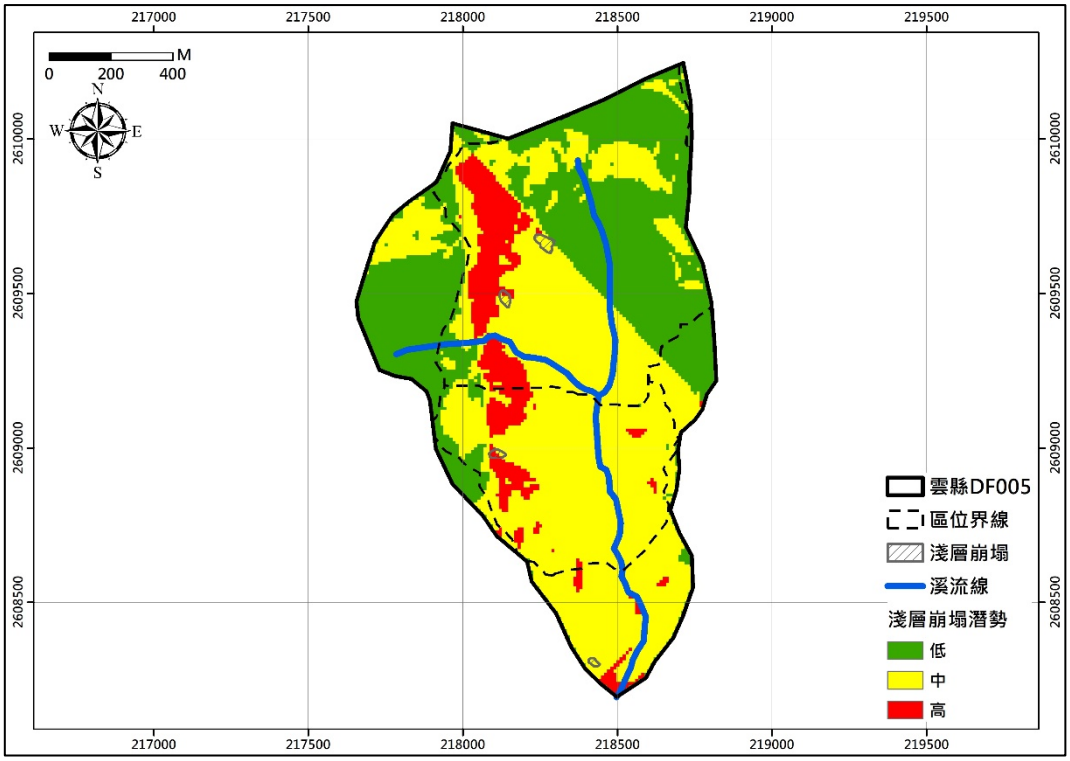
附錄三 - 4　投縣 DF198 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



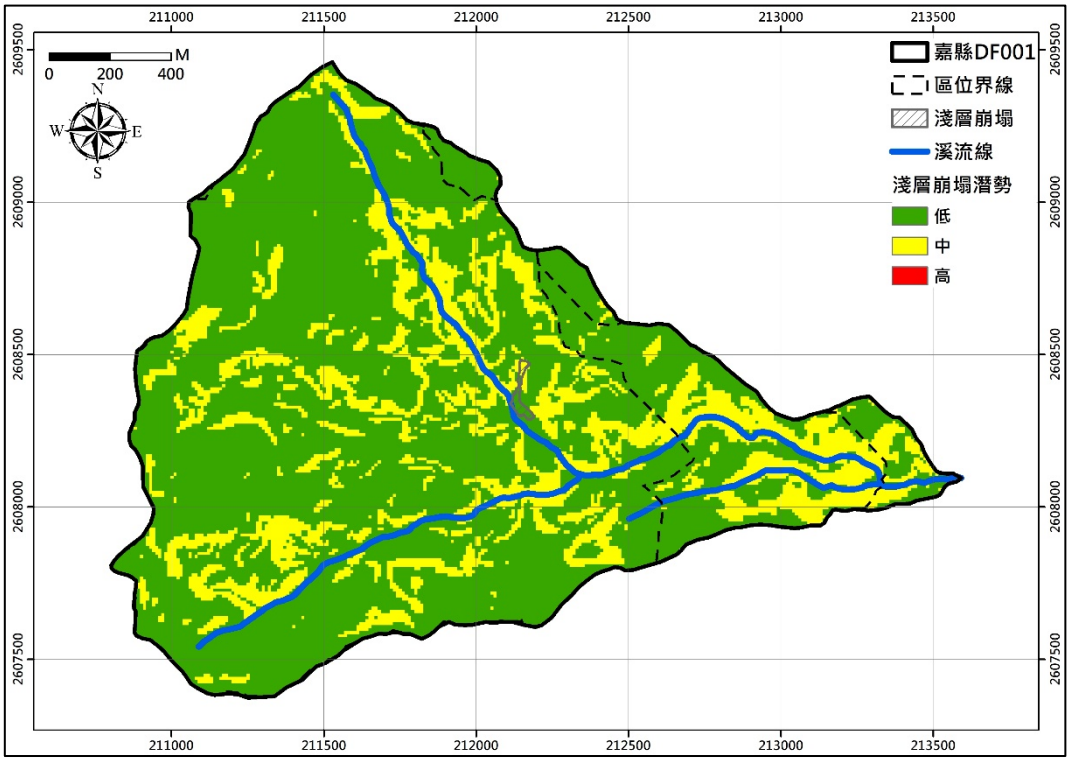
附錄三 - 5　投縣 DF214 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



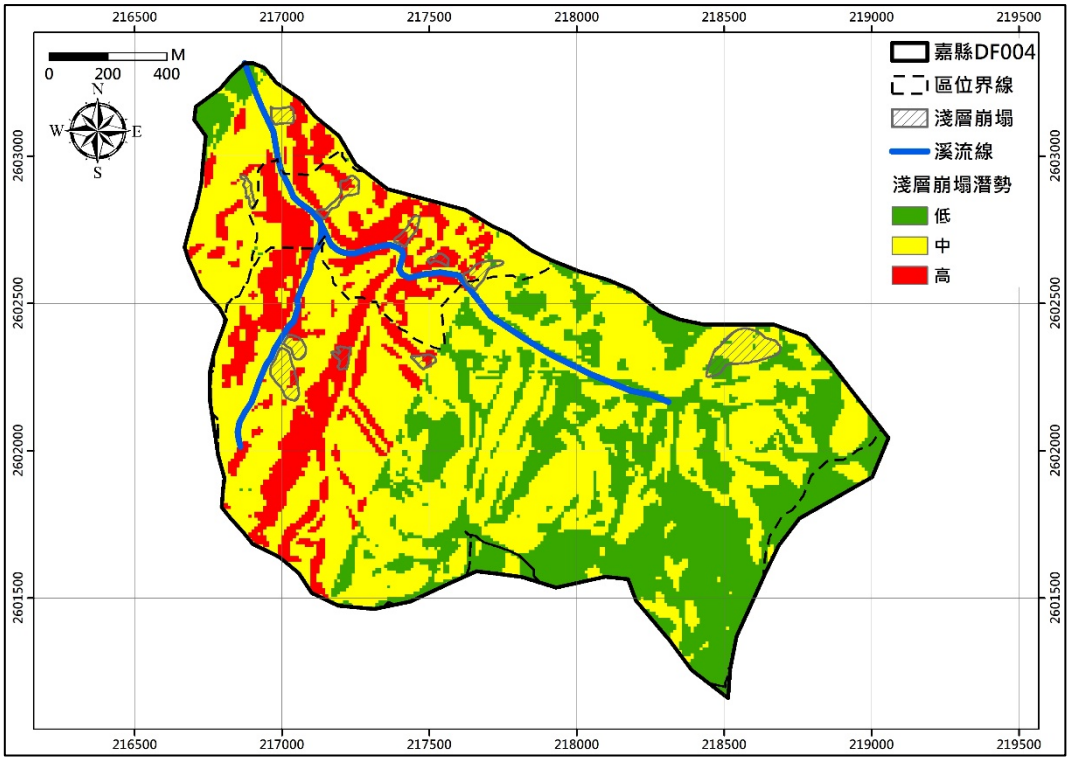
附錄三 - 6　投縣 DF234 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



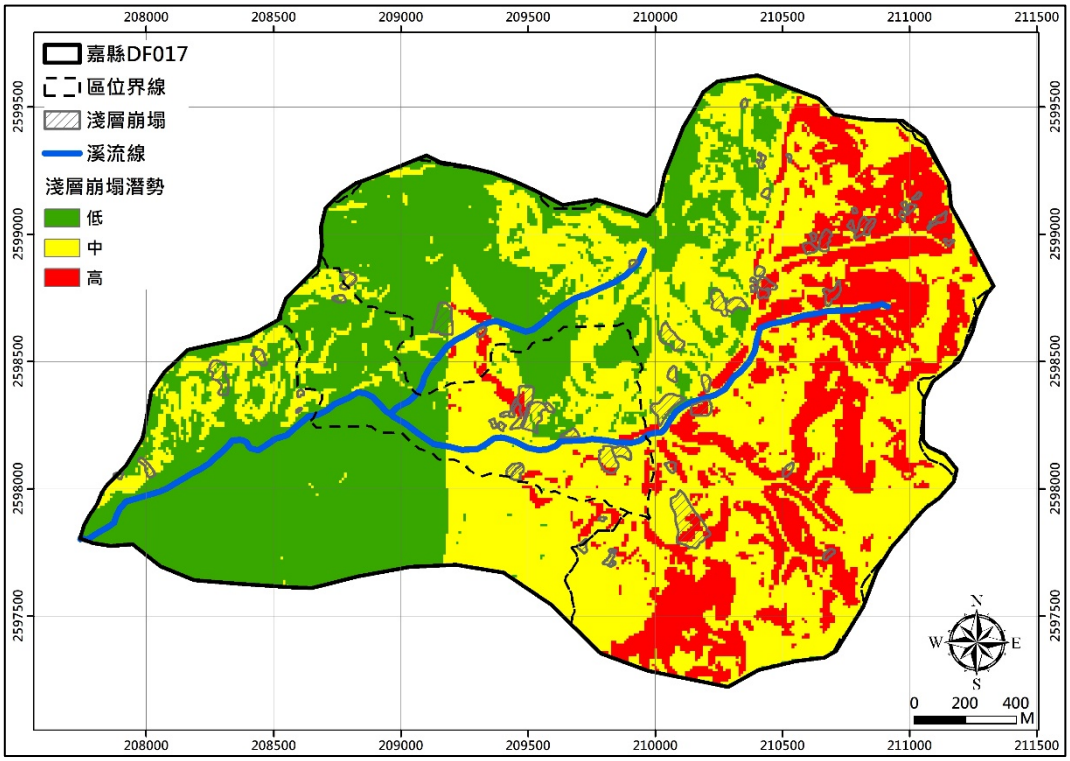
附錄三 - 7　雲縣 DF005 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



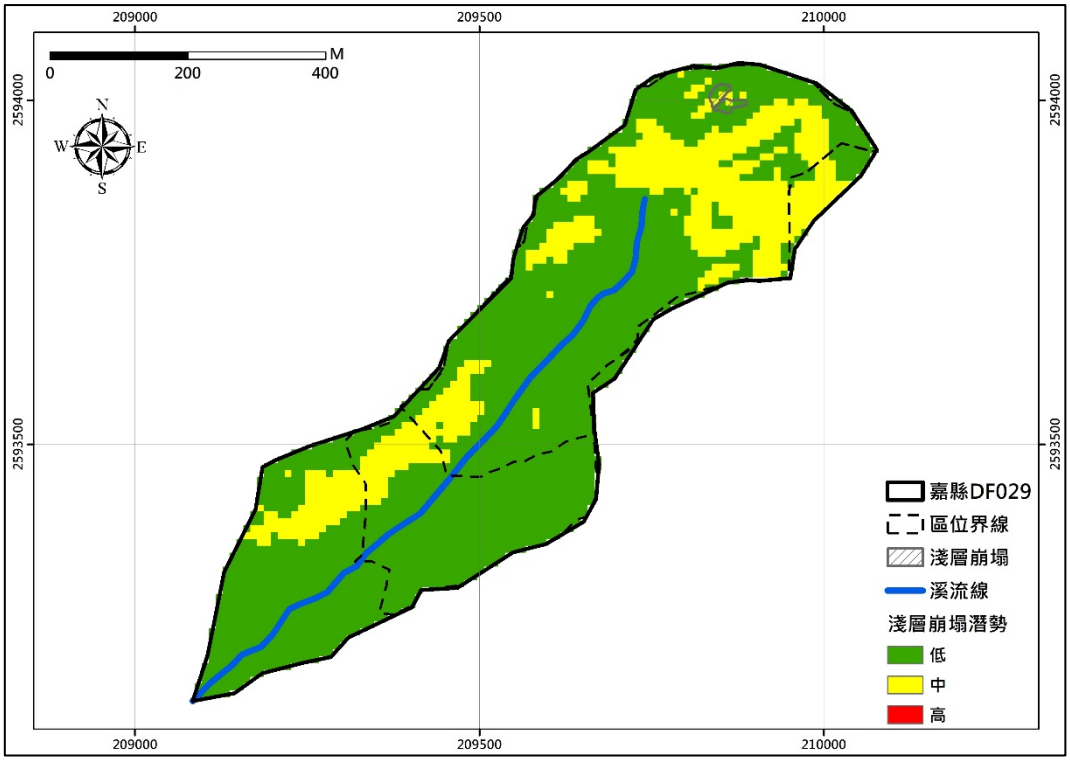
附錄三 - 8　嘉縣 DF001 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



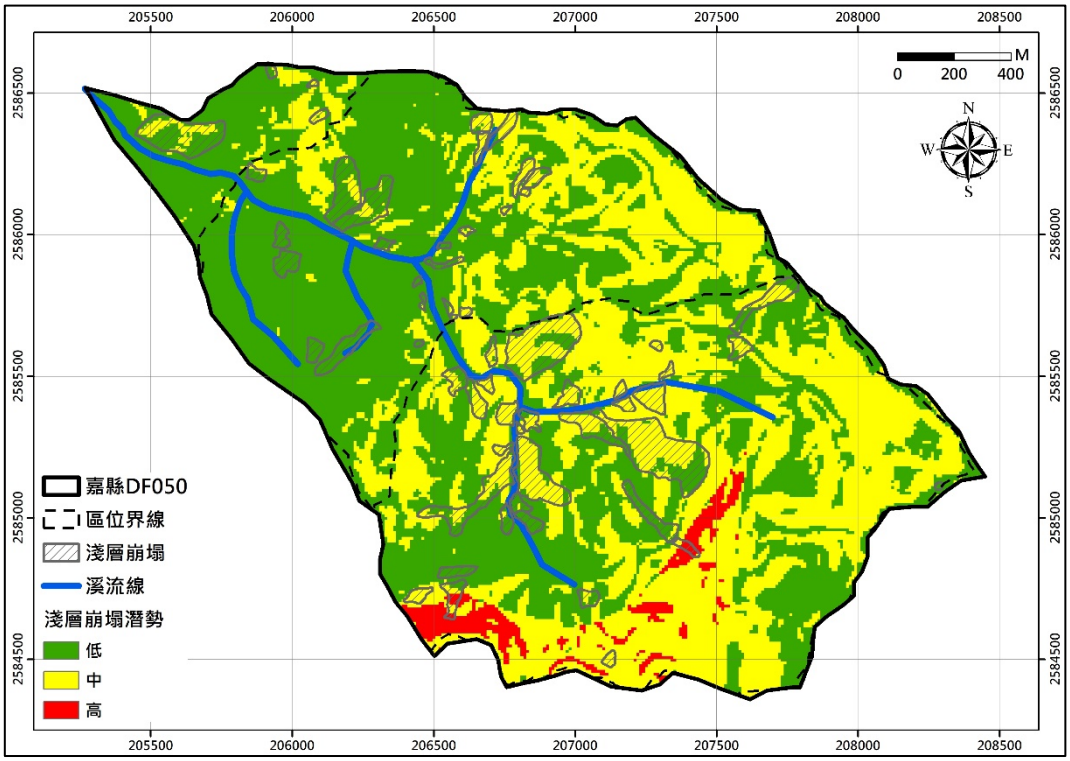
附錄三 - 9　嘉縣 DF004 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



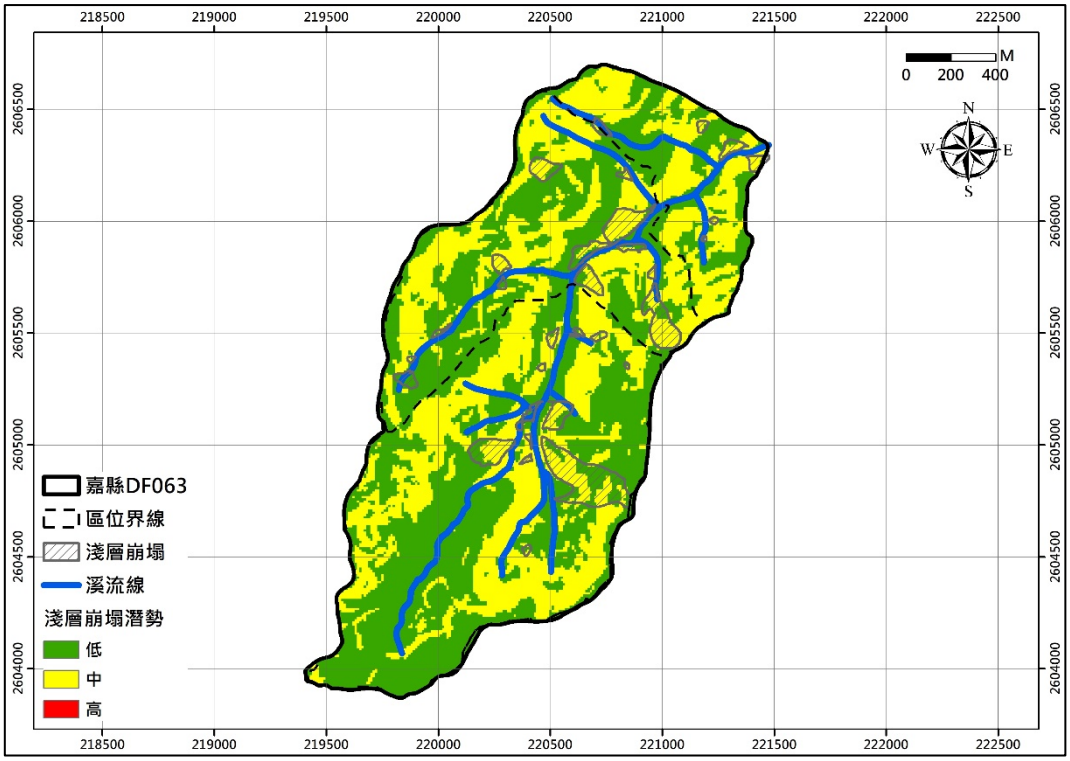
附錄三 - 10　嘉縣 DF017 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



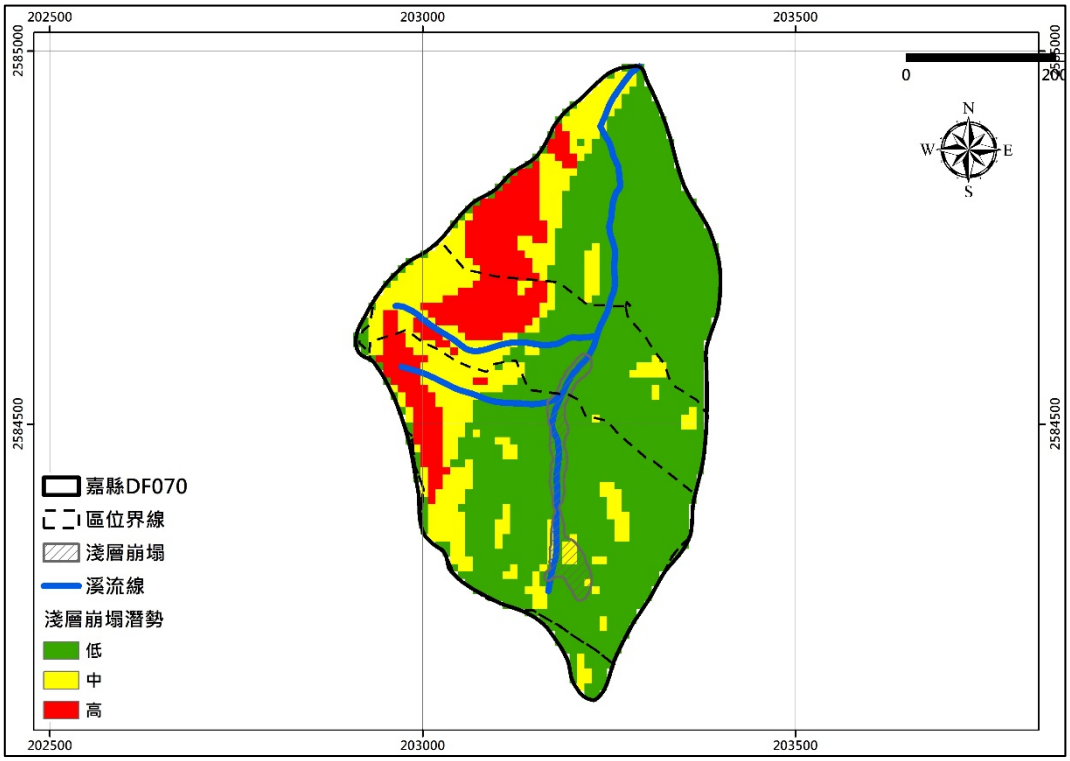
附錄三 - 11　嘉縣 DF029 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



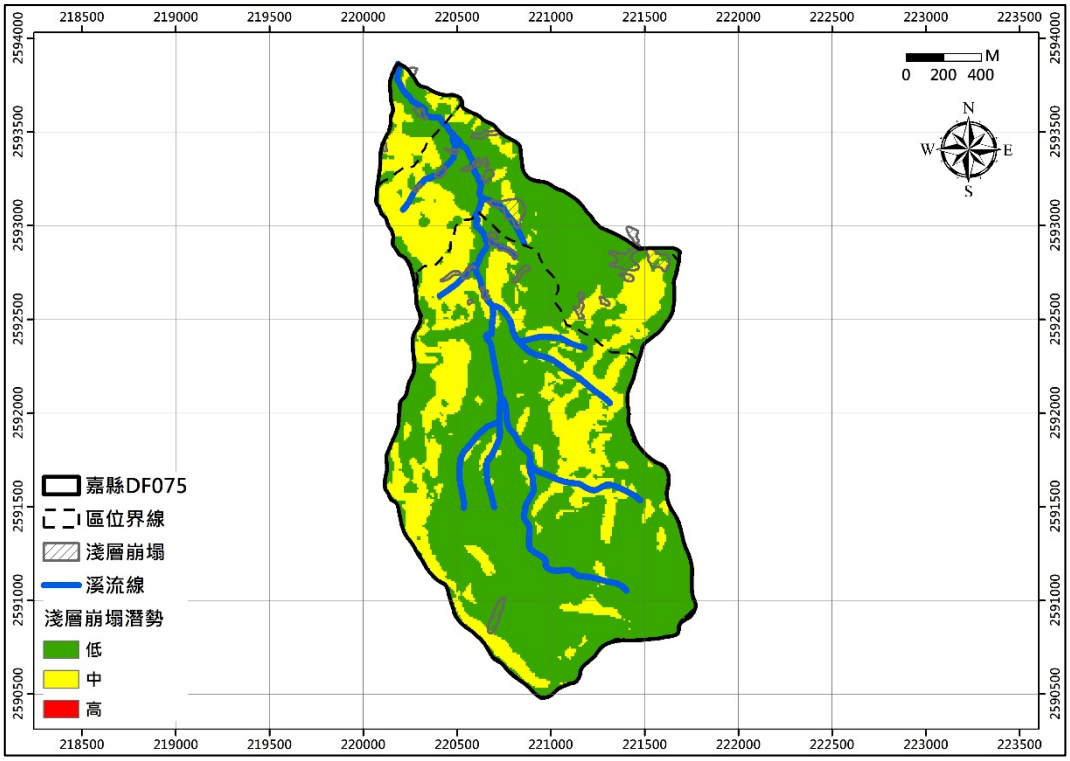
附錄三 - 12　嘉縣 DF050 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



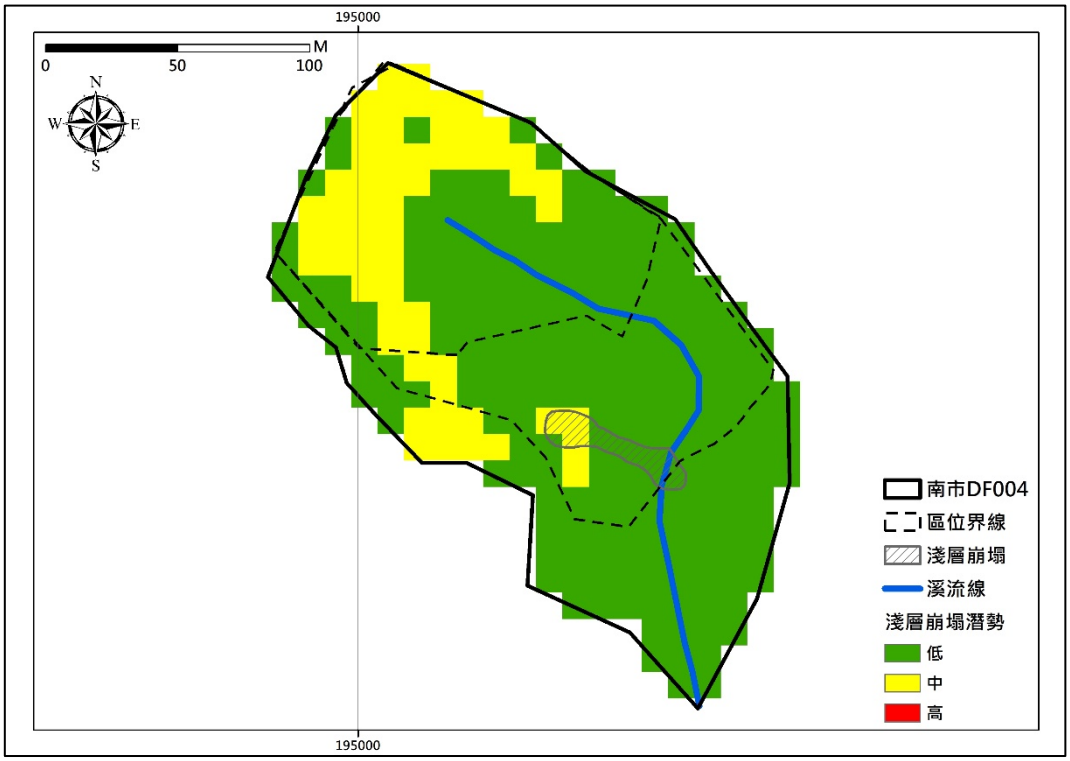
附錄三 - 13　嘉縣 DF063 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



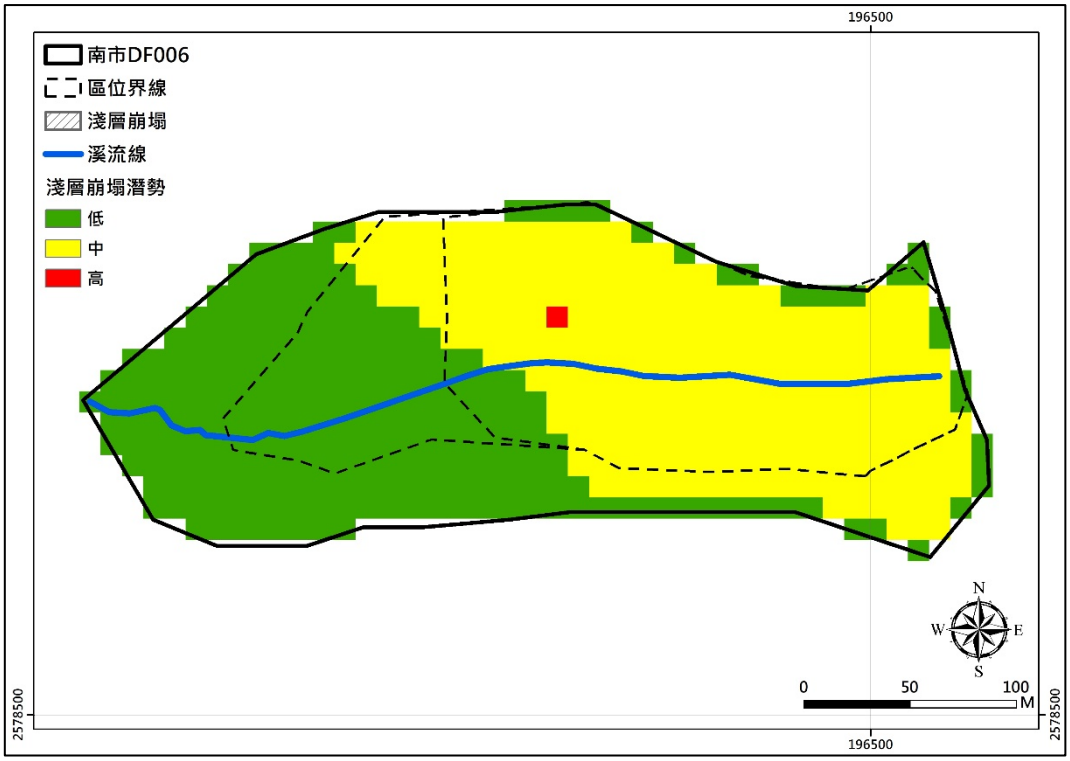
附錄三 - 14　嘉縣 DF070 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



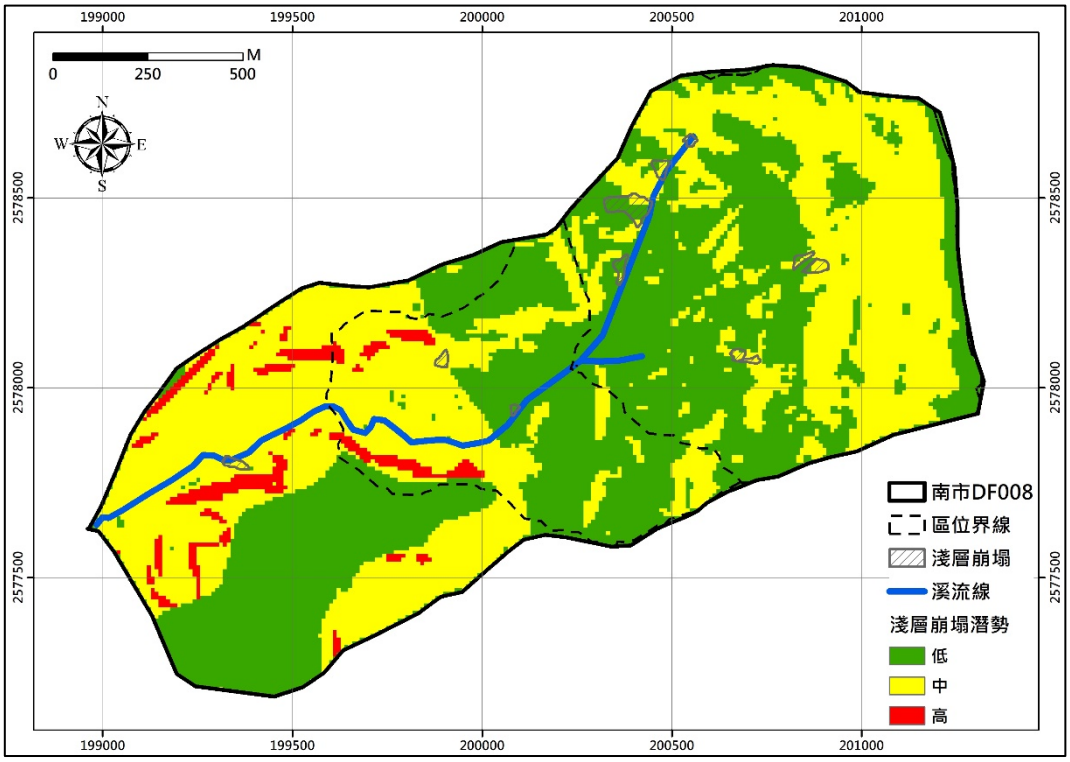
附錄三 - 15　嘉縣 DF075 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



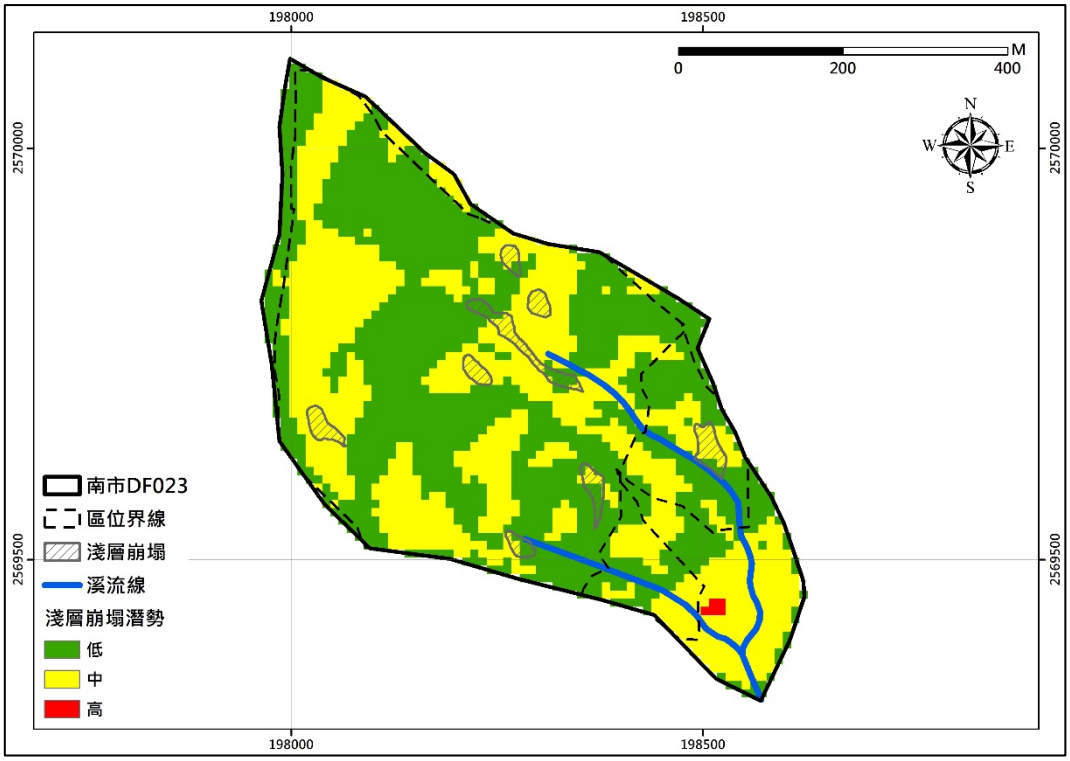
附錄三 - 16　南市 DF004 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



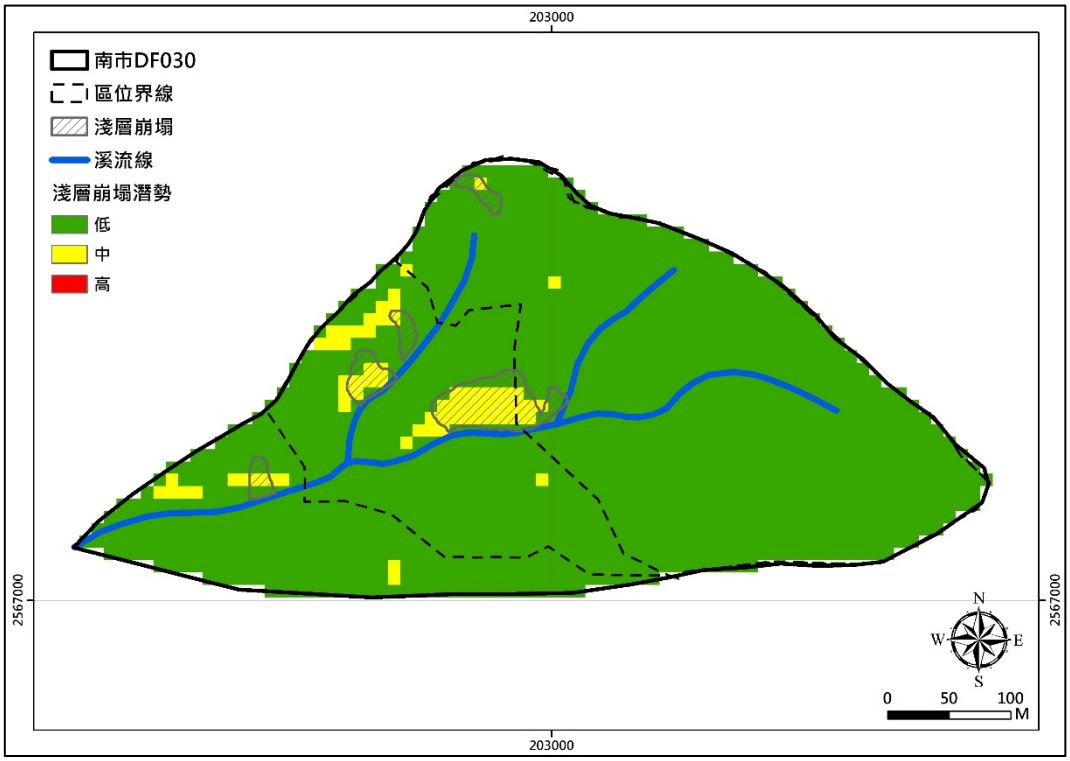
附錄三 - 17　南市 DF006 土石流潛勢溪流集水區南市 DF032 內淺層崩塌及評估潛勢值分布



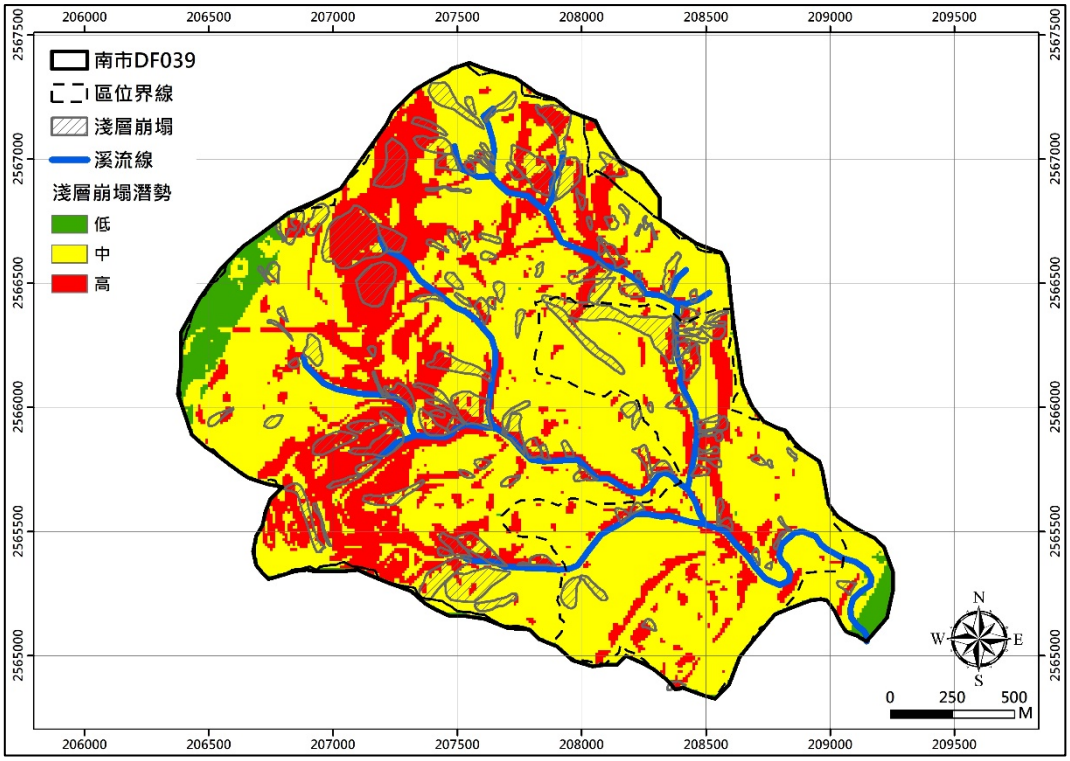
附錄三 - 18　南市 DF008 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



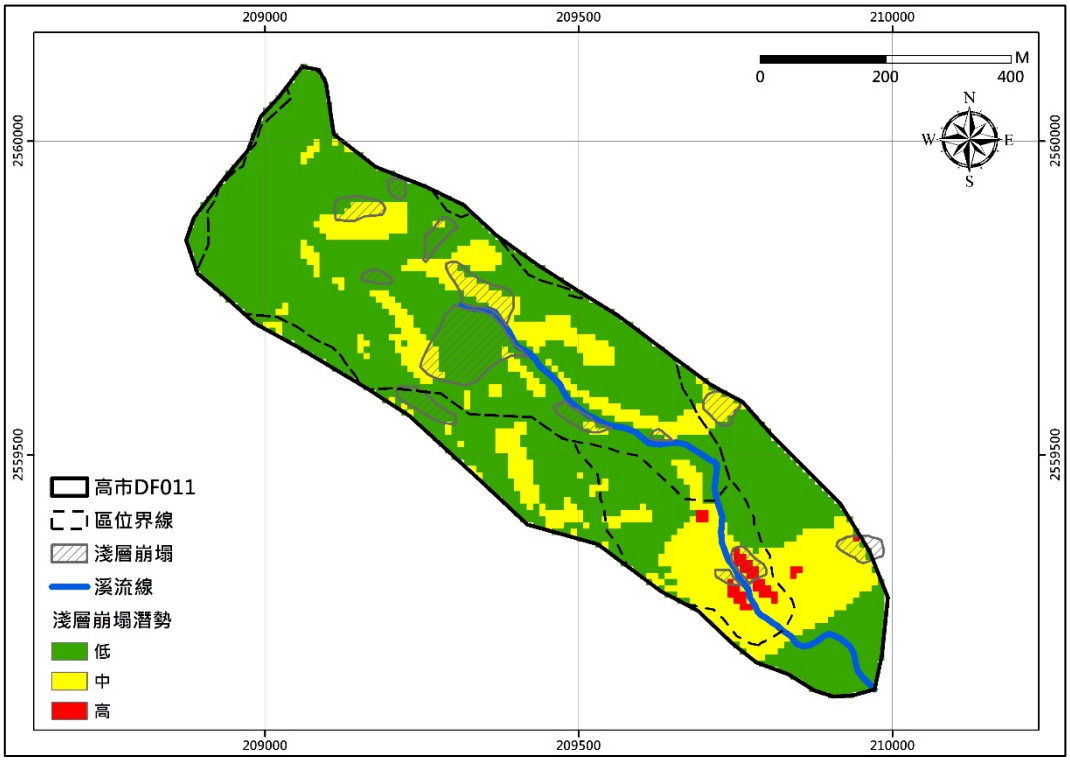
附錄三 - 19　南市 DF023 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



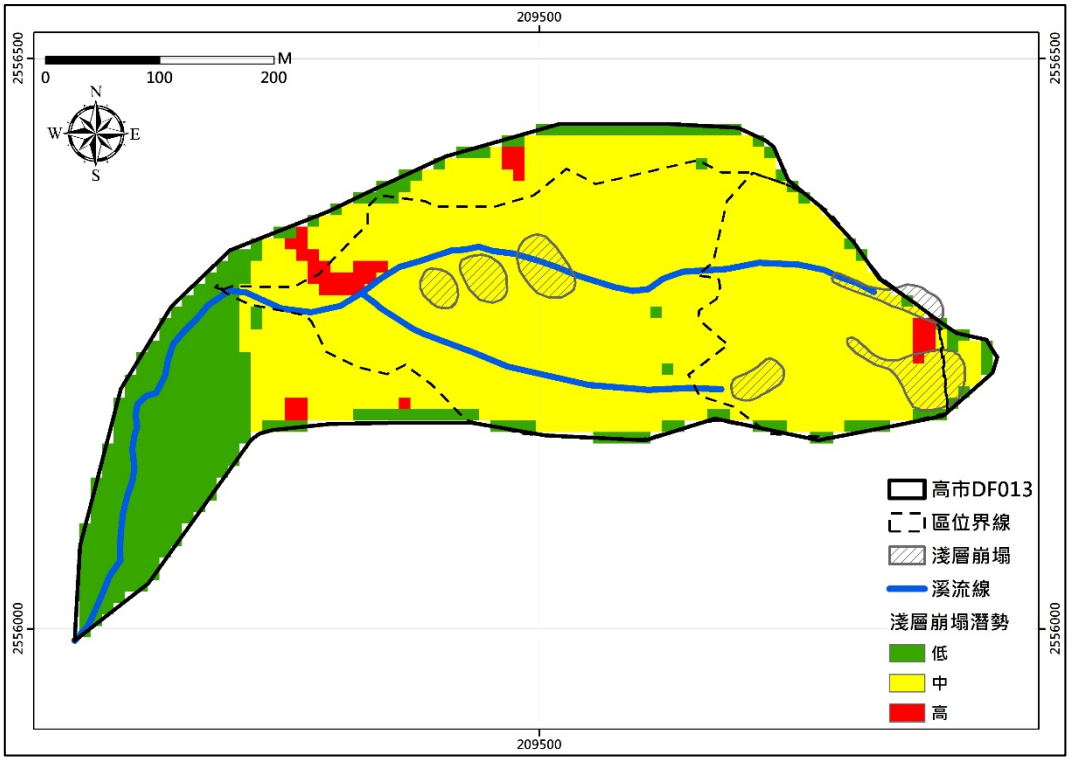
附錄三 - 20　南市 DF030 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



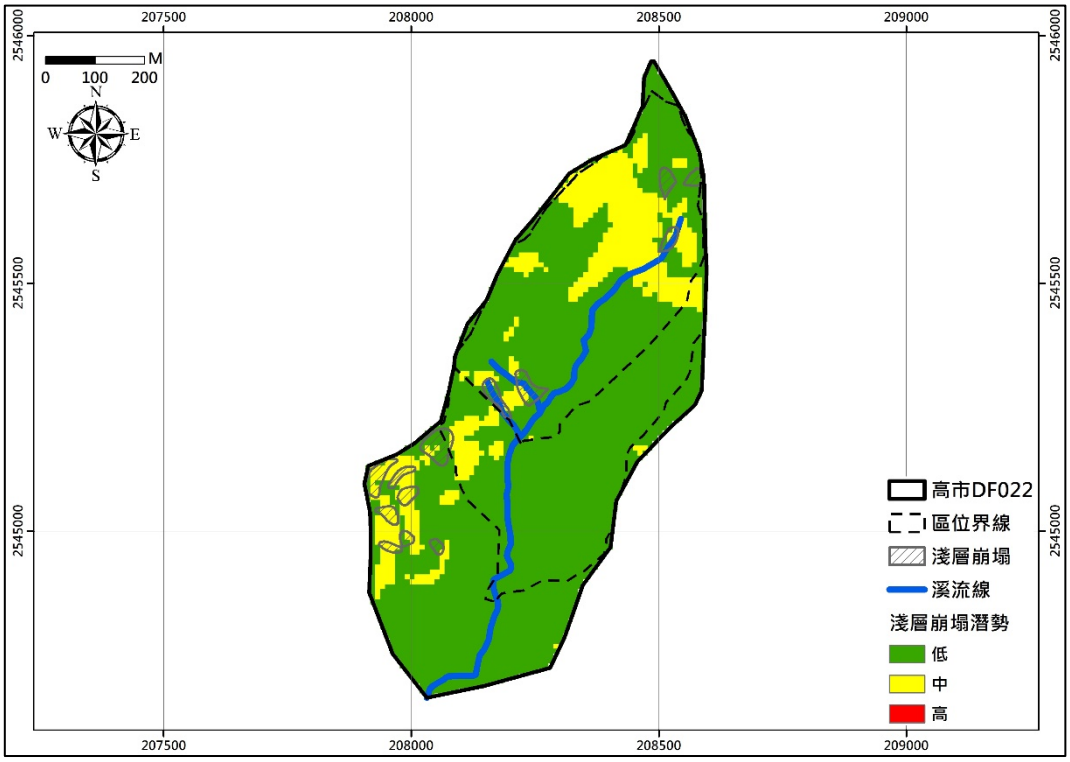
附錄三 - 21　南市 DF039 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



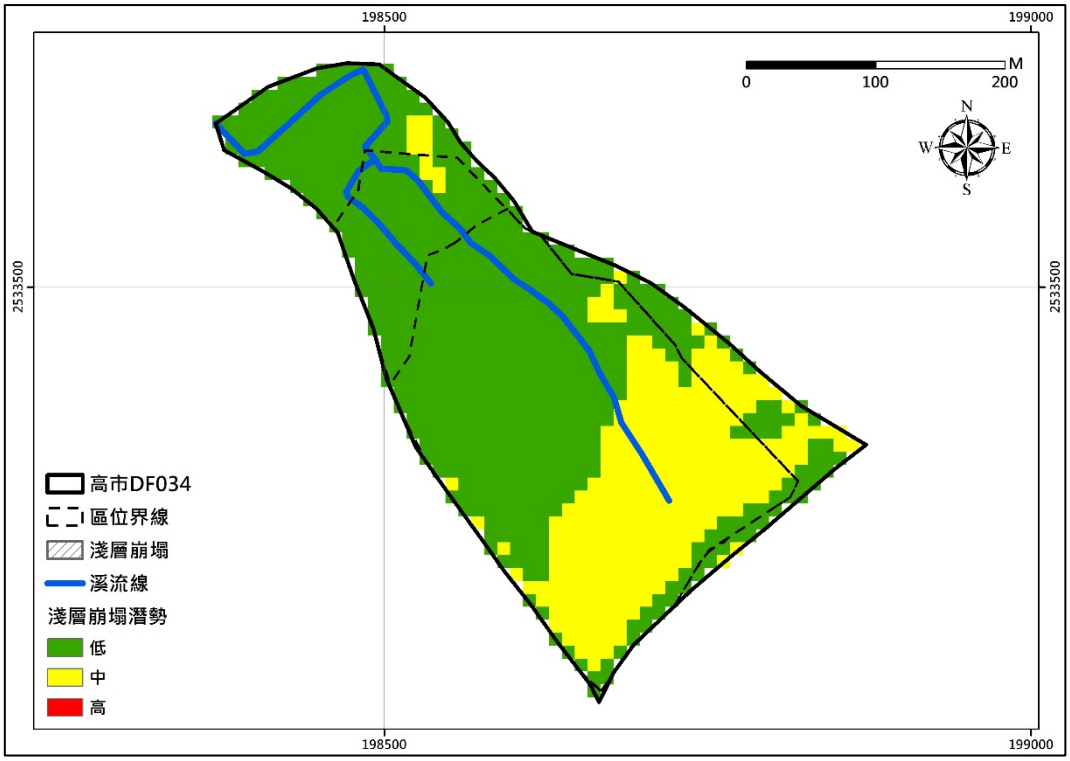
附錄三 - 22　高市 DF011 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



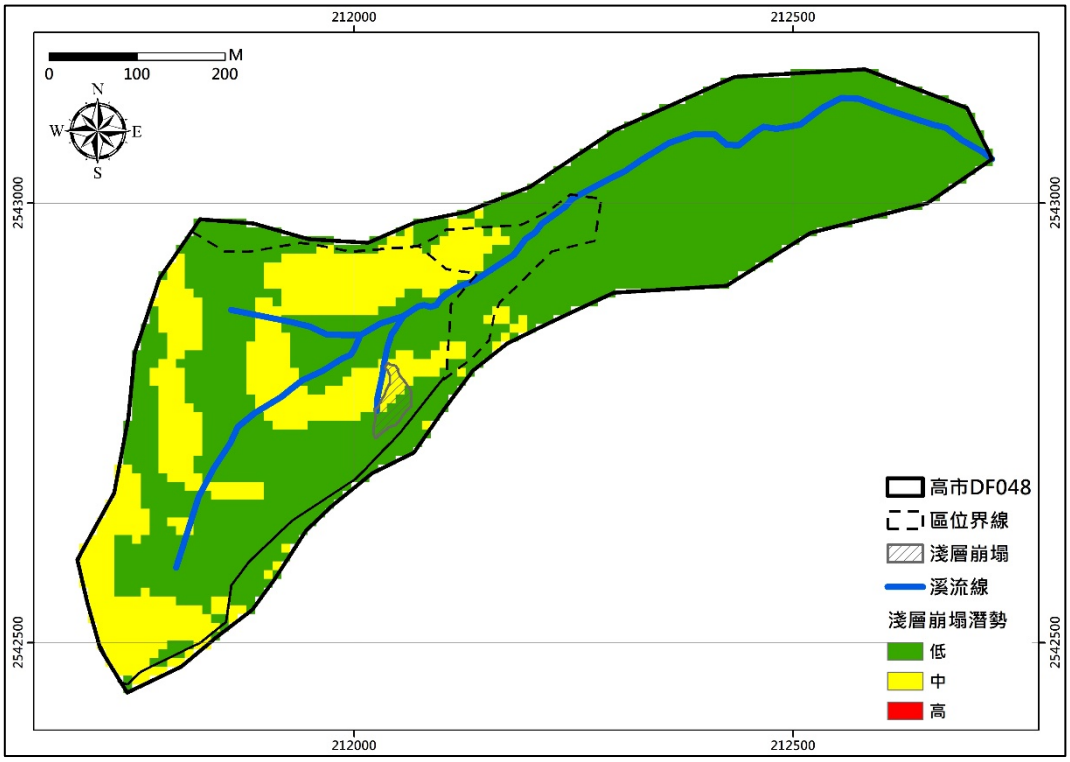
附錄三 - 23　高市 DF013 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



附錄三 - 24　高市 DF022 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



附錄三 - 25　高市 DF034 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布



高市 DF048 土石流潛勢溪流集水區內淺層崩塌及評估潛勢值分布