

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

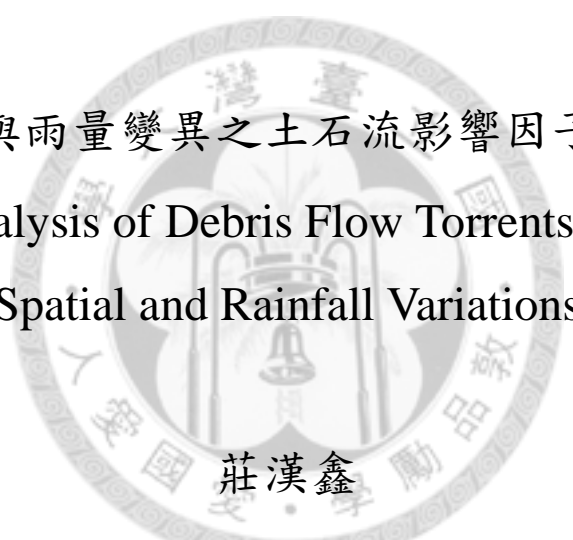
College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

考慮空間與雨量變異之土石流影響因子潛勢分析

Potential Analysis of Debris Flow Torrents Considering
Spatial and Rainfall Variations



莊漢鑫

Chuang, Han-Hsin

指導教授：林美聆 教授

Advisor: Prof. Lin, Meei-Ling

中華民國 101 年 7 月

July, 2012



國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書
考慮空間與雨量變異之土石流影響因子潛勢分析
Potential Analysis of Debris Flow Torrents Considering
Spatial and Rainfall Variations

本論文係莊漢鑫君（R99521120）在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 101 年 7 月 24 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

林美聆

(指導教授)

陳天健

王國隆

林美聆

陳天健

王國隆

系主任

呂良正

呂良正

(簽名)

口試委員會審定書



謝誌

當論文定稿完成同時，兩年的研究生學涯也將畫下句點。看著完成的論文定稿，可以回憶起，論文研究過程之點點滴滴，有許多師長親友對我不吝相助，讓我於艱辛的研究過程感受到關懷與溫暖。

本文能順利完成，首先必須感謝恩師 林美聆老師，老師於研究上的悉心指導，讓我懂得獨立思考、注意細節，建立對論文研究該有的態度與想法，感謝恩師不辭辛勞地在各方面的鼓勵與照顧。感謝口試委員 陳天健教授對論文提出不同觀點的建言，使論文能更加完整。感謝口試委員 王國隆教授對論文細節的指導，使得能修正論文細節錯誤。感謝台灣大學、中興大學曾經教導我課業的老師們，專業的教導讓我能學以致用。

兩年研究生活期間，感謝我們美聆老師研究團隊的聖琪學姊、德偉學長、育崇學長、彥澄學長，當研究陷入迷惘時，給予我許多的提示與幫助，讓我有更多方向能夠前進。感謝同門夥伴宇翔跟我共患難，一起最後口試、最後定稿與努力奮鬥撐到最後一刻；感謝學弟妹定國、靖雅、耘昇，讓咪挺時充滿歡樂。

另外感謝研究室的麻吉們，妮妮集團的伯伯、育祥；興爺集團的厲神、Alan；RHCT 的家齊、黃渝、志信；黃老團隊的瑞慈、卓翰、宗翰機長與雅筑學姊；卿門的炳勳、治豪、琇瑋；翁老徒弟某魚、諳平與黑熊單傳維維，大家在兩年的研究生生活中，互相扶持與努力，讓研究室充滿歡樂，使得大家的研究都能夠上層樓。感謝姪君對我的包容與幫忙，每每煩悶時就對她亂吐苦水，姪君也能體諒我、幫助我。

感謝家人無私關愛，讓我有機會上研究所學習，且每當想家時，家人都會適時上來找我，讓我能夠有動力大步向前邁進，以此小小成果，希望你們感到欣慰。

莊漢鑫 謹致

民國 101 年 8 月 15 日



摘要

台灣位處板塊交界帶，造山運動盛行，使得地質破碎複雜。近年來山區開發過當，而邊坡破壞亦多有發生，加上台灣常受到颱風侵襲，其所帶來豪大降雨常導致土石流發生。2008 年卡玫基颱風、2009 年莫拉克颱風造成台灣南部地區嚴重土石流事件，所以對土石流進行潛勢分析，以了解誘發因子與環境因子對土石流發生之影響。

研究針對 2011 年水保局公開之全台 1578 條土石流潛勢溪流，蒐集高雄地區 92 條潛勢溪流相關資料與災害事件，分別對外在誘發因子與自然環境潛勢因子作土石流發生之探討。以高雄地區土石流潛勢分析為基準，將重要的自然環境影響因子列入考量，以費雪區別分析進行土石流潛勢分析。利用高雄地區所得費雪區別函數預測台南 48 條潛勢溪流、嘉義 62 條潛勢溪流；使用熱點分析針對不同降雨參數分析其與災害點位分布之關係。探討誘發因子與環境因子對土石流發生之關係。

本研究從外在誘發因子熱點分析與環境潛勢值合併討論中發現，外在誘發因子對土石流發生有顯著影響，當環境潛勢值介於中潛勢或高潛勢，只要降雨達一定門檻就會形成土石流，而當環境潛勢值較低時，其土石流發生所需降雨條件提高，或是幾乎不會發生土石流，故土石流潛勢分析除環境因子之影響外，降雨誘發條件為引致土石流之重要條件。

關鍵字：土石流、颱風、費雪區別分析、熱點分析、潛勢分析



Abstract

Taiwan is situated in the junction of tectonic plates, which causes fragile and complex geological condition. In recent years, mountainous areas have been overdevelopment, and slope failures often occur. Moreover, typhoons carrying torrential rainfalls often cause debris flow. Recently, there are two typhoons causing severe debris flow in the Kaohsiung area: Typhoon Kalmaegi in 2008 and Typhoon Morakot in 2009. Therefore, this study focused on the debris flow potential analysis in order to understand the predisposing factors and environmental factors, which affect the occurrence of debris flow.

In our study, debris flow information and disaster events in the Kaohsiung area were collected, based on the 1578 debris flow streams in Taiwan published by Soil and water Conservation Bureau (2011). We investigate torrents of predisposing factors and environmental factors for potential debris flow. Potential torrents analysis of debris flow selected important environmental factors was performed, using Fisher discriminant analysis to analyze potential debris flow. Then the discriminant model based on Kaohsiung is used for prediction of Tainan and Chiayi counties. We used hot spot analysis for investigating the relationship of disaster points and their rainfall parameters. Explore the relationship between predisposing factors and environmental factors on the occurrence of debris flow.

Our study found that the occurrence of debris flow mainly influenced by the predisposing factors, and environmental factors. The rainfall threshold conditions for inducing decreased as debris flow potential increased. Predisposing factors are important conditions for causing debris flow.

Keyword: debris flow, typhoon, Fisher discriminant analysis, hot spot analysis, potential analysis



目錄

口試委員會審定書	I
謝誌	II
摘要	III
Abstract	IV
目錄	V
表目錄	VIII
圖目錄	X
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究方法與內容	2
第二章 文獻回顧	3
2.1 土石流定義與特徵	3
2.1.1 土石流定義	3
2.1.2 土石流特徵	3
2.2 土石流種類	4
2.3 土石流成因	7
2.4 土石流潛勢分析相關文獻	9
第三章 研究區域與資料庫建立	21
3.1 研究區域概況	21
3.2 基本資料庫建立	24
3.3 影響因子	26
3.3.1 影響因子選定條件	26
3.3.2 影響因子說明	27
3.3.3 影響因子資料建立	31

第四章 自然環境影響因子分布特性與費雪區別分析	47
4.1 自然環境影響因子統計與分析	47
4.1.1 地質分區說明	47
4.1.2 高雄地區影響因子特性	48
4.1.3 高雄、台南與嘉義 D 地質區影響因子分布特性	50
4.2 影響因子數據標準化	52
4.3 費雪區別分析	53
4.3.1 原理與假設	53
4.3.2 分析流程	54
4.3.3 影響因子假設檢定	55
4.4 抽樣概念	57
4.4.1 簡單隨機抽樣	57
4.4.2 抽樣樣本代表性	58
4.5 影響因子討論	59
第五章 自然環境因子之土石流潛勢分析與預測	87
5.1 高雄地區土石流潛勢分析	87
5.1.1 不分地質區之費雪區別分析	87
5.1.2 高雄 C 地質區之費雪區別分析	90
5.1.3 高雄 D 地質區之費雪區別分析	91
5.1.4 數據標準化對於費雪區別函數影響	93
5.2 高雄土石流潛勢分級	95
5.2.1 高雄土石流潛勢等級劃分	95
5.2.2 高雄土石流潛勢等級驗證	97
5.3 區別分析預測其他地區之可行性	99
5.3.1 高雄 D 地質區區別函數預測其他地區	99

5.3.2	影響因子相似性與預測誤差	102
5.3.3	影響因子相似性與預測誤差之討論	103
5.4	小結	105
第六章	誘發因子之土石流潛勢分析	127
6.1	誘發因子資料庫	127
6.1.1	歷年颱風事件	127
6.1.2	雨量站分布及雨量資料統計	128
6.2	誘發因子分析	129
6.2.1	雨量內插	129
6.2.2	熱點分析	130
6.3	土石流發生之降雨型態分析	133
6.4	綜合影響因子之土石流潛勢分析	134
6.4.1	單一誘發因子與環境因子潛勢分析	134
6.4.2	整體影響因子潛勢分析	141
6.5	小結	143
第七章	結論與建議	169
7.1	結論	169
7.2	建議	171
	參考文獻	173
	附錄 A	179



表目錄

表 2.1	土石流綜合成因分類系統表(何明憲，2003)	14
表 2.2	前人土石流研究之影響因子整理表	15
表 2.2	前人土石流研究之影響因子整理表(續)	16
表 3.1	高雄、台南與嘉義主要地質分類一覽表	35
表 3.2	影響因子表	36
表 3.3	邊坡坡度基本統計檢定	36
表 3.4	前人所使用的兩場分割方法	37
表 4.1	高雄地區土石流和非土石流地質分布表	60
表 4.2	高雄地區土石流和非土石流影響因子基本統計表	60
表 4.3	高雄、台南與嘉義土石流影響因子基本統計表	61
表 4.4	獨立樣本 T 檢定表(依顯著性大小排列) $p < 0.1$ 達顯著水準	62
表 4.5	不分地質區 Pearson 相關係數檢定表 $r < 0.2 $ 彼此獨立	63
表 4.5	不分地質區 Pearson 相關係數檢定表(續) $r < 0.2 $ 彼此獨立	64
表 4.6	C 地質區 Pearson 相關係數檢定表 $r < 0.2 $ 彼此獨立	65
表 4.6	C 地質區 Pearson 相關係數檢定表(續) $r < 0.2 $ 彼此獨立	66
表 4.7	D 地質區 Pearson 相關係數檢定表 $r < 0.2 $ 彼此獨立	67
表 4.7	D 地質區 Pearson 相關係數檢定表(續) $r < 0.2 $ 彼此獨立	68
表 4.8	各分區選定之影響因子表	69
表 5.1	費雪區別函數分析判別矩陣	107
表 5.2	不分地質區費雪區別分析正判率表(依顯著性檢定大小)	107
表 5.3	不分地質區費雪區別分析正判率表(依函數係數權重大小)	107
表 5.4	C 地質區費雪區別分析正判率表(依顯著性檢定大小)	107
表 5.5	C 地質區費雪區別分析正判率表(依函數係數權重大小)	107
表 5.6	D 地質區費雪區別分析正判率表(依顯著性檢定大小)	108

表 5.7	D 地質區費雪區別分析正判率表(依函數係數權重大小).....	108
表 5.8	費雪區別函數整理表	108
表 5.9	不分地質區費雪區別函數分析判別矩陣表	109
表 5.10	C 地質區費雪區別函數分析判別矩陣表	109
表 5.11	D 地質區費雪區別函數分析判別矩陣表	109
表 5.12	高雄土石流潛勢分級結果整理表	110
表 5.13	高雄不分地質區土石流潛勢分級結果驗證表	110
表 5.14	高雄 C 地質區土石流潛勢分級結果驗證表	111
表 5.15	高雄 D 地質區土石流潛勢分級結果驗證表	111
表 5.16	D 地質區土石流費雪函數正判率與預測準確率結果表	112
表 5.17	D 地質區費雪區別函數值分布表	112
表 5.18	D 地質區費雪函數值平均值表	112
表 5.19	高雄、台南、嘉義 D 地質區影響因子代表性數值表	113
表 5.20	高雄、台南、嘉義 D 地質區影響因子經標準化轉換後數目表	113
表 5.21	高雄、台南、嘉義 D 地質區兩地間各影響因子之相似性指數表	113
表 5.22	高雄、台南、嘉義兩地間預測準確率差距與相似性指標表	113
表 6.1	雨量資料基本統計表	145
表 6.2	降雨熱點分析分界 Z 值對應原始降雨數據表	145
表 6.3	卡孜基降雨強度土石流發生比例九宮格表	146
表 6.4	莫拉克降雨強度土石流發生比例九宮格表	146
表 6.5	綜合降雨強度土石流發生比例九宮格表	146
表 6.6	卡孜基累積雨量土石流發生比例九宮格表	147
表 6.7	莫拉克累積雨量土石流發生比例九宮格表	147
表 6.8	綜合累積雨量土石流發生比例九宮格表	147
表 6.9	溪流環境潛勢值與雨量 Z 值數據表	148

圖目錄

圖 2.1	土石流於各坡度形成行為(詹錢登，2000)	17
圖 2.2	土石流流動狀態及各坡段粒徑示意圖(Johnson，1984)	17
圖 2.3	(a)Briones 地質剖面簡圖及水壓計位置示意圖(Sitar，1992)	18
圖 2.4	現地應力路徑圖 (Sitar，1992)	19
圖 3.1	研究區域地理位置	38
圖 3.2	台灣工程地質分區概圖(洪如江，1997)	39
圖 3.3	全台灣 1578 條土石流潛勢溪流分布圖	40
圖 3.4	集水區面積地形示意圖(李光敦，2005)	41
圖 3.5	集水區形狀係數與流量歷線關係圖(Robet,L.S，1978)	41
圖 3.6	1897-2011 年侵台颱風路徑分類統計圖(中央氣象局，2012)	42
圖 3.7	高度面積百分比曲線示意圖(王一琮，1992)	43
圖 3.8	地形發育型態之殘土率曲線圖(王如意，1992)	43
圖 3.9	邊坡坡度原始分布與等間距分割後分布情形	44
圖 3.10(a)	前後 24 小時以上無降雨之一場連續降雨示意圖	45
圖 3.10(b)	前後 12 小時以上無降雨之一場連續降雨示意圖	45
圖 3.10(c)	以降雨量 4mm-3hr 為門檻值之一場連續降雨示意圖	45
圖 3.10(d)	以累積雨量 10mm-24hr 為門檻值之一場連續降雨示意圖	46
圖 3.10(e)	以降雨量 4mm-6hr 為門檻值之一場連續降雨示意圖	46
圖 3.10(f)	以累積雨量 10mm-12hr 為門檻值之一場連續降雨示意圖	46
圖 4.1	高雄土石流與非土石流分佈圖	70
圖 4.2	高雄土石流與非土石流溪流長度分佈圖	71
圖 4.3	高雄土石流與非土石流集水區面積分佈圖	72
圖 4.4	高雄土石流與非土石流形狀係數分佈圖	73
圖 4.5	高雄不分地質區土石流與非土石流邊坡坡向分佈圖	74

圖 4.6	高雄 C 地質區土石流與非土石流邊坡坡向分佈圖	74
圖 4.7	高雄 D 地質區土石流與非土石流邊坡坡向分佈圖	75
圖 4.8	高雄土石流與非土石流殘土率分佈圖	76
圖 4.9	高雄土石流與非土石流邊坡坡度佈圖	77
圖 4.10	高雄土石流與非土石流地質種類分佈圖	78
圖 4.11	高雄土石流與非土石流溪床平均坡度分佈圖	79
圖 4.12	高雄、台南與嘉義 D 地質區土石流溪流分佈圖	80
圖 4.13	高雄、台南與嘉義土石流溪流長度分佈圖	81
圖 4.14	高雄、台南與嘉義土石流集水區面積分佈圖	81
圖 4.15	高雄、台南與嘉義土石流形狀係數分佈圖	81
圖 4.16	高雄、台南與嘉義土石流邊坡坡向分佈圖	82
圖 4.17	高雄、台南與嘉義土石流殘土率分佈圖	82
圖 4.18	高雄、台南與嘉義土石流邊坡坡度分佈圖	83
圖 4.19	高雄、台南與嘉義土石流地質種類分佈圖	83
圖 4.20	高雄、台南與嘉義土石流地質種類分佈圖	83
圖 4.21	高雄不分區溪流母體與抽樣樣本殘土率分佈圖	84
圖 4.22	高雄不分區溪流母體與抽樣樣本邊坡坡度分佈圖	84
圖 4.23	高雄不分區溪流母體與抽樣樣本地質種類分佈圖	84
圖 4.24	高雄不分區溪流母體與抽樣樣本邊坡坡向分佈圖	85
圖 4.25	高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本殘土率分佈圖	85
圖 5.1	不分地質區土石流與非土石流分布圖(擬合)	114
圖 5.2	不分地質區土石流與非土石流分布圖(驗證)	114
圖 5.3	C 地質區土石流與非土石流分布圖(擬合與驗證).....	115
圖 5.4	D 地質區土石流與非土石流分布圖(擬合).....	116
圖 5.5	D 地質區土石流與非土石流分布圖(驗證).....	116

圖 5.6	不分地質區費雪區別函數值分布圖	117
圖 5.7	C 地質區費雪區別函數值分布圖	117
圖 5.8	D 地質區費雪區別函數值分布圖	118
圖 5.9	不分地質區土石流潛勢分級圖	119
圖 5.10	C 地質區土石流潛勢分級圖	119
圖 5.11	D 地質區土石流潛勢分級圖	120
圖 5.12	高雄、台南、嘉義新增因子 HI 之費雪區別函數分布圖	121
圖 5.13	高雄、台南、嘉義新增因子 FF 之費雪區別函數分布圖	121
圖 5.14	高雄、台南、嘉義新增因子 W 之費雪區別函數分布圖	122
圖 5.15	高雄、台南、嘉義新增因子 SD40 之費雪區別函數分布圖	122
圖 5.16	高雄、台南、嘉義新增因子 SD90 之費雪區別函數分布圖	123
圖 5.17	高雄、台南、嘉義新增因子 Ms 之費雪區別函數分布圖	123
圖 5.18	台南、嘉義對高雄費雪函數平均值差值圖	124
圖 5.19	台南、嘉義對高雄影響因子增減百分比圖	124
圖 5.20	高雄、台南與嘉義土石流殘土率分佈圖	124
圖 5.21	高雄、台南與嘉義土石流形狀係數分佈圖	125
圖 5.22	高雄、台南與嘉義土石流邊坡坡度分佈圖	125
圖 5.23	高雄、台南與嘉義土石流地質種類分佈圖	125
圖 6.1	2008 年卡玫基颱風行徑路線圖(中央氣象局，2008).....	149
圖 6.2	2008 年卡玫基颱風累積雨量圖(中央氣象局，2008).....	149
圖 6.3	2009 年莫拉克颱風行徑路線圖(中央氣象局，2009).....	150
圖 6.4	2009 年莫拉克颱風累積雨量圖(中央氣象局，2009).....	150
圖 6.5	土石流災害點位分布圖	151
圖 6.6	選用雨量站分布圖	152
圖 6.7	總累積雨量等雨量線圖	153

圖 6.8	P 值與 Z 得分涵義圖 (ArcGIS 10 線上說明, 2012)	154
圖 6.9	最大降雨強度熱點分布圖	155
圖 6.10	卡玫基颱風 12 小時累積雨量熱點分布圖	156
圖 6.11	莫拉克各時點累積雨量熱點分布圖	157
圖 6.12	莫拉克各時點累積雨量熱點分布圖	158
圖 6.13	總累積雨量熱點分布圖	159
圖 6.14	卡玫基與莫拉克發生土石流潛勢溪流 I-R 圖	160
圖 6.15	卡玫基與莫拉克發生與未發生土石流潛勢溪流 I-R 圖	160
圖 6.16	卡玫基與莫拉克雨量型圖(六龜雨量站)	161
圖 6.17	最大降雨強度 Z 值與環境潛勢值分布圖	162
圖 6.18	最大降雨強度 Z 值與環境潛勢值綜合比較分布圖	163
圖 6.19	災害發生累積雨量 Z 值與環境潛勢值分布圖	164
圖 6.20	災害發生累積雨量 Z 值與環境潛勢值綜合比較分布圖	165
圖 6.21	降雨強度與累積雨量 Z 值分布圖	165
圖 6.22	卡玫基綜合影響因子分布圖	166
圖 6.23	莫拉克綜合影響因子分布圖	166
圖 6.24	卡玫基與莫拉克綜合影響因子分布圖	167
圖 6.25	卡玫基與莫拉克綜合影響因子原始數據分布圖	167
圖 A.1	高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本形狀係數分佈圖	179
圖 A.2	高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本邊坡坡度分佈圖	180
圖 A.3	高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本地質種類分佈圖	181
圖 A.4	高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本邊坡坡向分佈圖	182

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

台灣位處歐亞大陸板塊、菲律賓海板塊、太平洋板塊交界帶，造山運動盛行，使得地質破碎與複雜、地形起伏變化大，且近幾年來人為開發向山區移動，山區邊坡穩定失衡，因此每當颱風、豪雨與地震來襲，崩塌、土石流等災害頻傳，導致人民生命、財產的損失。災害中以土石流具有突發性、範圍廣、衝擊力強等特性，其影響人民生命、財產損失較為嚴重。近年來台灣土石流災害日漸嚴重，從1999年921集集大地震使得台灣山區地質情況更為破碎，山區地層更不穩定；2009年莫拉克颱風帶來的劇烈降雨，造成台灣南部地區發生多起重大土石流災害，甚至造成小林村重大事件。

鑒於土石流災害導致人民生命財產等損失，必須去探討土石流發生的影響因素，能夠對於土石流進行有效防治，以減少土石流災害導致的破壞情形。研究蒐集之土石流相關資訊，以2011年農業委員會水土保持局所公開之1578條土石流潛勢溪流為研究項目，並以高雄地區92條潛勢溪流為土石流潛勢分析基準，先考慮其自然環境影響因子之選取與建立，將影響因子數據進行標準化，以消除不同影響因子間單位差異性，並確認抽樣樣本與母體間影響因子分布趨勢而能代表原始數據，然後進行費雪區別分析，並探討標準化對於費雪區別分析之區別函數與分析結果是否有所成效；利用高雄地區建立之費雪區別函數預測不同地區相同地質區台南與嘉義，討論影響因子在不同地區之代表性與預測誤差關聯，並利用相似性指標評斷不同地區相似程度與費雪區別分析適用性。最後使用熱點分析區探求降雨誘發因子對於土石流災害分布與降雨之關係，並與自然環境影響因子之潛勢值做疊加，比較外在誘發因子與自然環境影響因子對於土石流發生之影響重要性。

1.2 研究方法與內容

本研究先蒐集土石流研究相關文獻，回顧前人對於土石流研究所採用的方法與影響因素，並依據 2011 年水土保持局公開之 1578 條土石流潛勢溪流資料，整理收集土石流重大災害事件，再利用地理資訊系統 ArcGIS 來建立影響因子資料庫，包含溪流長度、集水區面積、邊坡坡度、邊坡坡向、殘土率、形狀係數、地質種類、溪床平均坡度等。將影響因子用統計分析進行其分布特性與影響因子選定之討論，並比較抽樣樣本與母體間的代表性，進一步利用統計分析軟體 SPSS 軟體做多變量分析之費雪區別分析，先建立高雄地區費雪區別函數，考慮標準化數據與否對於費雪區別函數分析結果之影響，並利用高雄地區所得費雪區別函數預測台南與嘉義地區，參考相似性指標以探討費雪區別分析預測的適用性。降雨誘發因子採用 ArcGIS 內建擴充模組熱點分析來討論不同颱風降雨集中情況，利用蒐集的土石流災害比對發生情形與降雨分布特性之關聯，並利用熱點分析所得之標準化 Z 得分與費雪區別分析之環境潛勢值對土石流發生潛勢進行分析，觀察兩因子對於土石流發生之影響。

研究論文內容：第一章為緒論，說明動機、目的與方法；第二章為回顧前人對土石流之相關研究；第三章介紹研究區域，並針對研究區域收集相關基本資料，建立資料庫；第四章影響因子分布特性與抽樣代表性，和介紹標準化方法與費雪區別分析的原理，並利用費雪區別分析假設檢定討論影響因子之重要性；第五章先以高雄地區為土石流潛勢分析之出發點，探討標準化數據與否對於不同地質情況之效果，並利用高雄所建立之區別函數預測台南與嘉義，然後參考相似性指標來討論費雪區別分析之預測適用性；第六章以卡玫基與莫拉克颱風降雨為主，使用熱點分析，並對照不同颱風土石流災害點位，探討不同降雨參數與土石流之關係，並綜合五、六章劃分土石流潛勢結果，探討不同因子對土石流之影響性；第七章總結研究討論結果並提出可能之研究方向。

第二章 文獻回顧

2.1 土石流定義與特徵

下面兩小節對於土石流的定義與特徵做介紹，由於土石流通常發生在山區且暴雨時期，對於土石流即時觀測較為困難，所以每個學者的觀點都會不同，以下整理不同學者定義的土石流特徵。

2.1.1 土石流定義

土石流會隨著不同材料混和而有不同的稱呼，主要由泥、砂、礫石及巨石等物質與足夠的水分混和，再受到重力作用之下所形成的流動體。由於固體物質會與水體充分混和，使得流體運動型態與力學機制非一般流體力學能完全描述，且土石流由泥、砂、礫石和水混合而成的流體並非單純的河流輸砂行為，泥、砂等固體物質本來的摩擦阻抗會因與水混合降低而提高流動速度，流動之中會沖刷河谷兩岸，使得土石流獲得更多土砂材料，具有更強衝擊力與破壞威力。

2.1.2 土石流特徵

土石流多發生於雨季、颱風等有大量降雨的時期，導致土石流即時觀測不易，所以各個學者切入的觀點各有不同，但是都能夠對於土石流特徵與現象有一定的描述。綜合 Varnes(1958)、Takahashi(1978)、Johnson & Rodine(1984)、周必凡等人(1991)、蘇育瑞(1995)、詹錢登(2004)、水土保持技術規範(2005)、謝育樺(2007)整理歸納學者對於土石流的描述特徵如下：

1. 土石流為濕流的一種，搬運型態由於流體濃度高而產生集合搬運，相較於一般表土侵蝕或溪流對於溪床沖蝕的個別搬運不相符。
2. 土石流流動過程可區分為三階段，發生段、流動段與堆積段。發生段坡度分布大約在 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，且山坡面受地震或豪大雨使得坡面上土層不穩定而有崩塌發生，進而形成土石流的土砂材料。流動段坡度大約 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ，上游崩塌之

土砂材料與水混和形成流體，在流動過程中土石流向兩側谷壁及谷底進行掏刷作用，使得谷壁產生崩塌，導致溪谷留下鋸齒狀痕跡。堆積段坡度大約在 6° 以下最多，由於河床坡度減緩使得土石流向下流動速度變慢、河道於下游處變寬而產生堆積現象，並逐漸向外擴散形成沖積扇，如圖 2.1 所示。

3. 土石流由高比例的粗質碎屑組成，材料會受到地質與風化程度影響，加上在流動過程中逐漸沖蝕谷溝進而補充土砂材料，使得粒徑分布會隨整個土石流流道的地質種類而有不同分布情形。
4. 土石流具有高含水量特性，流速約 $3\text{m/sec} \sim 20\text{m/sec}$ 之間，常發生於陡峭山坡，沿溪谷沖下沖刷出鋸齒或 V 型痕跡；土石流表面流速明顯的高於整體平均流速，表現出表面快而底面慢之流速分布特性。
5. 流動過程中前端部分會有巨石集中現象呈波浪狀，極具衝擊力和直進性，隨波的週期不定，在流動之橫斷面形狀中，前端中央隆起，而後續部分則中央凹下之形狀，各波段粒群大小分布如圖 2.2。
6. 土石流在流動期間，沿途物體、樹木、巨石皆會被捲入，坡度減緩且土石含量減少或巨石在流道上堆積成天然土壩阻斷土石流流道，使土石流呈間歇性發生，土石流沿慣性作用而逐漸堆高，當壓力加大而迫使前端再次流動，因此常呈間歇性流動，且向下流動力增加，而造成更大的災害。

2.2 土石流種類

研究土石流的學者眾多，但各個學者對於土石流的特性切入觀點都不同，有針對發生原因、粒徑分布、地形特色、破壞型態、動力條件等來區分。土石流活動與形成環境間有複雜的交互影響，所以沒有任何一種能完全區分土石流的分類標準，所以依據不同原則進行分類，不同原則也為分類體系訂立不同的層次，且須滿足以下原則：

1. 簡明性原則：分類指標和依據簡單明瞭，容易從現地情況觀察得知，以便學術、工程和政府能有效使用。
2. 普遍性原則：必須考慮到收集不同時期土石流資料的可行性，資料要廣泛收集，而能夠統合出土石流較多的資訊。

將土石流型態做分類，能夠更加清楚土石流發生、流動、堆積等特性，以下介紹前人對於土石流不同特性所做的不同分類方式：

1. 中筋氏(1977)調查仁淀川流域土石流災害，將發生類型歸納為四類：
 - (1) 源頭部崩塌誘發型：土石流源頭處發生崩塌，再混入溪床堆積材料，使土石材料大增，發生頻率約 32%。
 - (2) 溪床堆積物流動型：堆積層受到逕流形成蝕溝土石流，轉變成土砂流，發生頻率約 5%。
 - (3) 大規模崩塌誘發型：山坡面、溪流兩岸側壁發生大規模崩塌，規模大破壞性強，發生頻率 19%。
 - (4) 小規模崩塌誘發型：流域內各處有崩塌土砂堆積，進而形成土石流，發生頻率 44%。

2. 張石角(1983、1995)：

吳素慧(1997)根據張石角(1983、1995)，依據土石流發生地之地形特色區分為以下三類：

- (1) 山坡型：土石材料來源為積累於斜坡之鬆散土層及崩塌之崩積物，因暴雨及滲流作用，使堆積物質過度飽和而破壞平衡，受重力作用下產生流動，常形成坡度大，規模小之土石流。

- (2) 溪谷型：屬發育中溪谷，一、二級溪床上堆積大量活動土石，被洪流沖刷或崩塌形成土石流。形成區域較不明顯，且由於沖刷與堆積同時進行，形成逐次搬運的再生式土石流。
- (3) 山谷型：蝌蚪狀淺谷形似圓柄扇，進行強烈之崩塌和溯源侵蝕作用，故谷內堆積大量土石。當豪雨時期則形成土石流，迅速通過谷口，堆積成沖積扇。

3. Takahashi(1997)依發生機制整理出的破壞類型：

- (1) 沖蝕型：土層為均勻飽和土層，受到暴雨或逕流作用使水位上升，產生剪切力增加而引發土石流。
- (2) 滑動型：滑動土體在飽和情形下，由於滑動導致塊體內變形量增大，進而激發出超額孔隙水壓，使土體逐漸發生液化現象而發生土石流。
- (3) 潰壩型：土石流流動堆積或坡體崩塌形成天然土石壩，潰決時常引發大型土石流，導致災害增加。破壞方式與某些土石流發生前，溝谷流量銳減的現象符合。

4. 詹錢登(2004)依泥沙體積含量與顆粒粒徑區分為三類：

- (1) 泥流型：土石流固體物質之泥砂含量大且礫石含量少，泥砂含量佔 50% 以上。
- (2) 礫石型：土石流固體物質之泥砂含量少且礫石含量多，泥砂含量佔 10% 以下。
- (3) 一般型：土石流固體物質分布較均勻、顆粒分佈範圍廣，包含黏土、粉土、砂、礫石及巨石等，泥砂含量約 10%~50%。

5. 何明憲(2003)、謝育樺(2007)綜合歸納學者 Takahashi(1991)、武居(1980)、高橋和水山(1984)，將發生原因分為以下六種型態：

- (1) 崩塌土砂堆積形成天然土石壩潰決，產生較大土石流。
- (2) 山腹崩壞型土石流。
- (3) 邊坡滑動型土石流，邊坡不穩定，土體滑動含大量水分混合而成土石流。
- (4) 溪谷堆積土石材料受暴雨或逕流等大量水分補充，土體逐漸達到過飽和而變得不穩定，而形成土石流向下游流動。
- (5) 火山噴發型土石流，火山爆發常伴隨豪雨發生，豪雨和鬆軟火山灰及噴出物混和成稠狀物，向火山下坡方向沖刷。
- (6) 流黏土的液化現象。

其中(1)、(2)常發生在土石沖蝕溪谷段，使坡趾不穩導致大量土石崩落；(3)、(4)屬一般情形下最常發生的土石流；(5)、(6)屬特殊促發條件所帶動發生的土石流型態。綜合以上不同層面之分類原則，整理如表 2.1。

2.3 土石流成因

土石流發生並非由單一條件符合下就會產生，並須同時具備基本地文條件與外在誘發條件下才會形成。不同學者對土石流影響因子提出不同的看法，原則上主要在找尋具代表性且適合研究上使用的影響條件，根據上一節土石流分類方式整理出土石流之影響因子，分為兩種條件說明：

1. 自然環境條件：

- (1) 豐富土砂材料：土石流流體中土石材料來源多為源頭處崩塌的土石堆積物，在流動過程中對溪谷兩側的沖刷與侵蝕作用也是增加土石材料來源

之一。土石材料的粒徑分佈需在一定範圍才易形成土石流，若是堆積材料僅含粗顆粒的卵礫石，粒徑均在 10cm 以上，則無法有效與水混和成泥狀；若堆積材料過細，均小於 0.1cm 者，則懸浮於水表面形成懸浮載而無法形成土石流。

對土石流的土砂來源討論，主要在地層構造複雜、破碎的地方，或褶皺發達、斷層活動強烈區段。近幾年來人為因素同樣會造成土石流形成要素之一，人工填土邊坡、山坡地開發不當、水土保持不良等均會造成土砂流失形成土砂材料；在 2008 年汶川大地震導致大規模崩塌、地表土層變鬆散，進而土石堆積原本河道形成堰塞湖，為土石流發生的危險地點。

- (2) 適當的坡度條件：土石流流動的下滑力源自外力作用或溪床坡度的重力作用。當溪床坡度過小，則下滑推動力不足促使土石流流動；當坡度太陡，易有崩塌持續產生而土砂材料堆積無法流動，或溪流流動速度較快土砂材料尚無法與水混和成泥狀形成土石流，故土石流形成必須要有適當的坡度。

各學者對於坡度對土石流形成的研究：Takahashi(1981)認為土石流發生的溪床坡度需大於 15 度；謝正倫(1992)等人調查花蓮縣土石流危險溪流坡度多集中在 10~25 度，而平均坡度在 5 度以下或 35 度以上幾乎沒有土石流發生；詹錢登(2000)認為不同坡度會產生不同種類的土石流種類。

- (3) 充沛水分供給：由於土石流是由土砂材料與水混和而成，水量多且供應強度足夠是促使水與土體混和的條件，當流體濃度達一定程度會開始向下流動。土石流中水流來源，主要是由地表逕流與地下水滲流使堆積土體平衡不穩定。水量來源與流域的基本地文因子有關係，如集水區面積、溪流長度、溪流級數、地質狀況、地表植生等等。

Takahashi(1991)認為地表逕流為土石流重要的促發條件，當土體內孔隙水壓突然上升，導致土體穩定平衡改變，進而造成土石流形成。Sitar 等人(1992)依照土石流鄰近處所獲得的水壓計紀錄，如圖 2.3，發現大部分雨季時期，土體有負孔隙水壓產生，而暴雨時期促發土石流發生時，土體會激發正孔隙水壓現象，莫耳圓向左改變達到破壞包絡線，土體破壞，如圖 2.4。

2. 外在誘發條件：依陳榮河(1999)研究可得，土石流發生條件，除基本地理因子外，還需有誘發條件才可能觸發土石流，條件如下：

- (1) 土體平衡喪失：邊坡崩塌發生、滑動、雪崩或火山爆發等。
- (2) 地形突然改變：人類活動使坡度改變、鬆散土體增高，使土體本來平衡狀態改變，易發生土石流事件。
- (3) 震動：地震、爆破等突然的外加力，促使土石流啟動，或激發土體液化發生流動。
- (4) 水量急遽增加：當颱風帶來集中降雨、梅雨時期長期降雨或壩體潰決，使水量增大而加強推動與沖刷堆積土石材料。
- (5) 森林植被破壞：植物根系對於土層穩固改變、岩層裸露風化使土石材料增加。

2.4 土石流潛勢分析相關文獻

由於土石流的發生條件有自然環境條件和外在誘發條件，本研究會分別對兩種土石流發生條件做潛勢分析的探討，故收集近幾年來和土石流潛勢分析相關的研究文獻，各個學者對於土石流有不同的研究方法、方向和所採用土石流影響因子，以下整理相關文獻分為兩種不同條件作探討：

1. 自然環境條件：

(1) 蘇育瑞(1995)「地理資訊系統應用於花蓮地區土石流危險溪流判定之研究」：

- A. 研究目的：依據土石流發生特性確定土石流發生之影響因子，判定模式主要將土石流發生之各影響因素進行量化，並利用統計分析，建立評估土石流危險溪流之判定公式。
- B. 研究流程：使用卡方檢定求出在土石流危險溪流與非土石流間較為顯著的影響因子，然後使用計量公式來評估土石流發生可能性，計量公式主要是分別去給予單一影響因子評分，最後再將各單一因子評分相乘，即得危險指數。
- C. 影響因子：地質、集水區面積、集水區邊坡坡度、邊坡坡向、殘土率、形狀係數、溪流長度、溪床坡度。

(2) 何明憲(2003)「台灣中部災區坡地型土石流發生特性之研究」：

- A. 研究目的：蒐集 921 地震及桃芝颱風之土石流資料，針對台灣中部地區之坡地型土石流，進行現地調查與判釋，並建置較完整的土石流資料庫，對中部災區坡地型土石流特性加以研究。
- B. 說明現地調查方法、步驟以及破壞型態判釋，影響因子選取與研究資料庫建立，基本數值資料蒐集與影響因子選取和計算，初步作統計與分析，對影響因子數據分別特性有了解，再使用費雪區別分析建立土石流分析公式，最後對坡地型土石流潛勢分析及特性加以研討。
- C. 影響因子：集水區面積、形狀係數、溪流長度、邊坡坡度、溪床坡度、殘土率、地質。

(3) 謝育樺(2007)「南投地區土石流發生潛勢分析」：

- A. 研究目的：蒐集南投地區重大土石流事件，針對水保局於 2003 年公布的 1420 條潛勢溪流，進行土石流潛勢分析，以費雪區別分析探討南投地區土石流發生潛勢等級。
- B. 研究流程：將研究地區的基本資料庫建立，選定土石流發生影響因子，以主成分分析萃取部分影響因子，再利用統計分析處理影響因子，做顯著性與獨立性檢定，並用費雪區別分析作土石流判斷公式，對土石流判斷結果作潛勢分級並加以探討。
- C. 影響因子：集水區面積、溪流長度、形狀係數、邊坡坡度、邊坡坡向、殘土率、溪床坡度、地質。
- (4) 林裕翔(2008)「土石流發生潛勢—區別分析的擬合與預測」：
- A. 研究目的：以南投地區土石流潛勢分析為主，確認費雪區別函數公式正判率與驗證率來決定函數模式，利用南投地區函數模式反應各地區土石流潛勢，以探討費雪區別在預測之可行性。
- B. 研究流程：建立南投地區土石流與非土石流資料庫，使用主成分分析對分地質區塊下的影響因子做萃取，確認主成分分析的效果，使用費雪區別分析建立南投地區的判別式，並將判別式用於台中和嘉義地區，最後利用相似性指標探討預測準確率與影響因子間其相似性的關係。
- C. 影響因子：集水區面積、溪流長度、形狀係數、邊坡坡度、邊坡坡向、殘土率、溪床坡度、地質。
- (5) 高子瑀(2009)「土石流災害風險管理之探討-以台北縣三峽鎮為例」：
- A. 研究目的：利用費雪區別分析了解影響溪流會不會發生土石流之主要地文因子為何，並建立土石流自然災害風險管理模式。

- B. 研究流程：建立河川基本資料庫，評估其危害度與發生度，並整合危害度與發生度進行風險分析，以利於風險示警、風險溝通與防災教育。
- C. 影響因子：地質、通過斷層長度、邊坡坡度、崩塌面積、有效集水區面積、形狀係數、溪床平均坡度、溪流長度。

2. 外在誘發條件：

(1) Matthias Jakob(2003) 「A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver」

- A. 研究目的：結合前期降雨和逕流數據，收集風暴數據，使用判別函數分析滑坡受風暴引發，並以後來風暴事件驗證判別函數，在風暴發生時雨量達到極限值，則發出警報疏散人員。
- B. 研究流程：收集山體滑坡在風暴降雨下導致發生事件總共 25 個風暴事件，選擇土石流與滑坡的發生影響因子，區域降雨因子先做統計分析再加以調整修正，使用判別函數判斷風暴引發滑坡發生正判率，分析出來的判別函數與發生風暴事件做確認。
- C. 影響因子：累積雨量(1 小時~48 小時)、前期降雨(事件前四天)、溪流流量。

(2) 李明熹(2006) 「土石流發生降雨警戒分析及其應用」：

- A. 研究目的：土石流常發生在豐富降雨之陡峭溪谷中，台灣地區山勢陡峭、降雨集中、地層破碎使得土層較為鬆軟，如果可評估出土石流可能發生地點、發生時間，做好事先疏散和減災功能。
- B. 研究流程：蒐集台灣中部地區土石流資訊，整理出土石流降雨特性，歸納出雨場分割方法、降雨參數與警戒指標選擇。建立降雨驅動指標 RTI，

對區域性土石流發生降雨警戒基準值訂立規則，對警戒區域做劃分，不同降雨型態的警戒值不同。

- C. 影響因子：集水區面積、崩塌比、溪流長度、溪床坡度、岩性、降雨強度、前期降雨、降雨延時。

由近幾年來學者對於土石流潛勢分析之文獻回顧，整理不同學者對於土石流潛勢分析所採用的土石流發生影響因子，並參考其適用性與影響性；將不同學者對所選定的土石流影響因子整理如表 2.2。



表 2.1 土石流綜合成因分類系統表(何明憲，2003)

分類級別	分類依據	分類屬性	分類細目	備註
地貌特徵	地貌區段	區	峽谷區、寬谷區	
	流域特徵	形	溝谷形、山坡形	
成因類型	水體供給	型	降雨、潰壩、冰雪消融	水-土組合構成 成因類型
	土體供給		崩塌滑坡、坡面侵蝕、火山 碎屑、工程棄料	
基本特徵	形成動力	類	土力、水力	
	顆粒組成	質	水石質、泥石質、泥質	
	流體性質	性	稀性、黏性	
發育狀況	發生頻率	類	高頻、低頻	
	爆發規模	級	特大、大、中、小	
	發育階段	期	發展期、旺盛期、衰退期、 停歇期、潛伏期	



表 2.2 前人土石流研究之影響因子整理表

1994~2000	林美聆、詹士勝	張成璞	林美聆、蘇育瑞	李心平	范正成、林森榮	陳榮河、江英政	范正成、彭光宗	林美聆、林信亨	范正成、吳明峰	劉政良	張東炯	范正成、劉哲欣
有效集水區面積	V	V	V	V	V	V		V			V	V
溪流長度					V	V	V	V			V	V
殘土率			V			V		V				
溪床平均坡度	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
集水區形狀係數	V	V	V		V	V		V		V		V
集水區邊坡坡向	V		V					V				
集水區邊坡坡度	V	V	V			V		V				
地質	V					V		V		V		
岩性		V	V									
土壤孔隙率					V		V					V
土壤塑性指數					V							V
植生因子					V	V	V					
土壤粒徑>#4 之%					V		V		V			V
土壤粒徑<#200 之%					V		V					V
土地利用因子									V			V
內摩擦角									V			V
溪流寬度											V	
溪床堆積物											V	
地下水											V	
上游崩積地											V	
崩塌面積												
RMR												
崩塌比												
水系密度												
雨量強度		V								V		
累積降雨量				V					V	V		
有效降雨時期									V			

表 2.2 前人土石流研究之影響因子整理表(續)

2000~2011	劉軒耘	鄭貴卿	蔡易達	林美聆、何明憲	陳榮河、歐泰林	吳雯惠	林美聆、謝育樺	林美聆、林裕翔	蔡元芳、高子珺	范正成、張綸纖	詹錢登、簡佐伊
有效集水區面積	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
溪流長度		V		V			V	V	V		
殘土率				V			V	V			
溪床平均坡度	V	V		V	V	V	V	V	V	V	V
集水區形狀係數	V			V	V	V	V	V	V		
集水區邊坡坡向				V			V	V			
集水區邊坡坡度				V	V		V	V	V		
地質				V		V	V	V	V		
岩性											V
土壤孔隙率											
土壤塑性指數											
植生因子	V										
土壤粒徑>#4 之%			V								
土壤粒徑<#200 之%											
土地利用因子			V								
內摩擦角											
溪流寬度											
溪床堆積物											
地下水											
上游崩積地											
崩塌面積	V		V		V	V			V	V	
RMR		V									
崩塌比		V									V
水系密度						V					
雨量強度	V					V					V
累積降雨量	V									V	V
有效降雨時期											

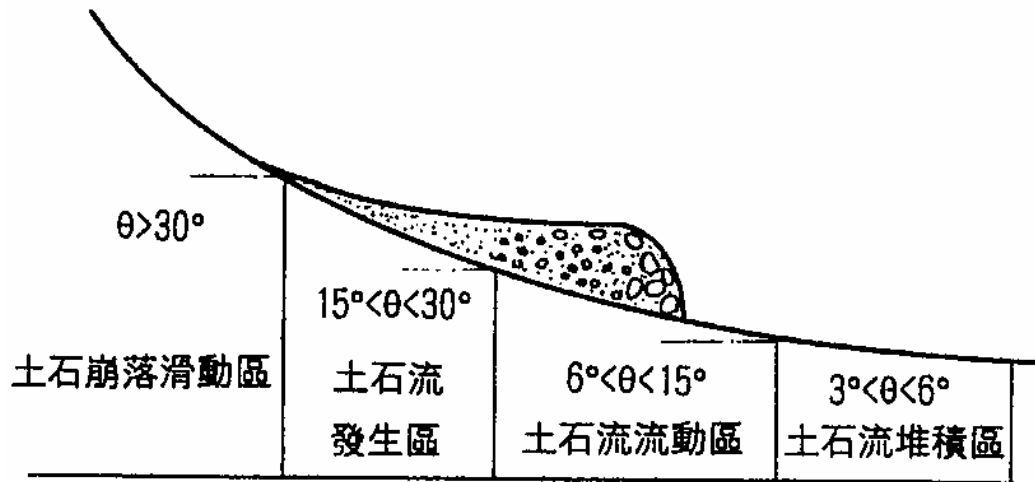


圖 2.1 土石流於各坡度形成行為(詹錢登, 2000)

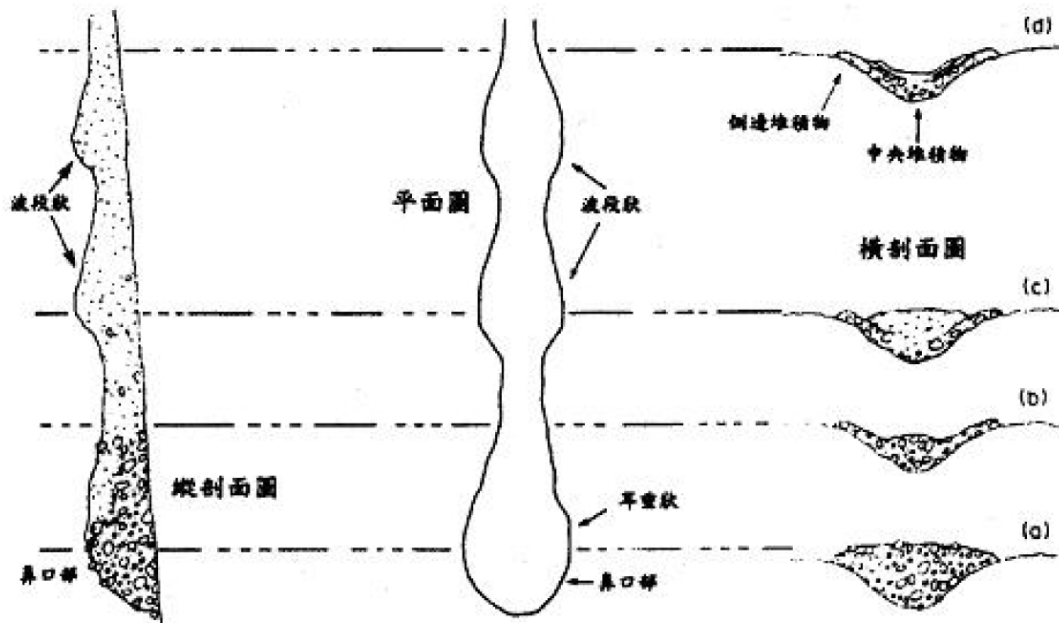


圖 2.2 土石流流動狀態及各坡段粒徑示意圖(Johnson, 1984)

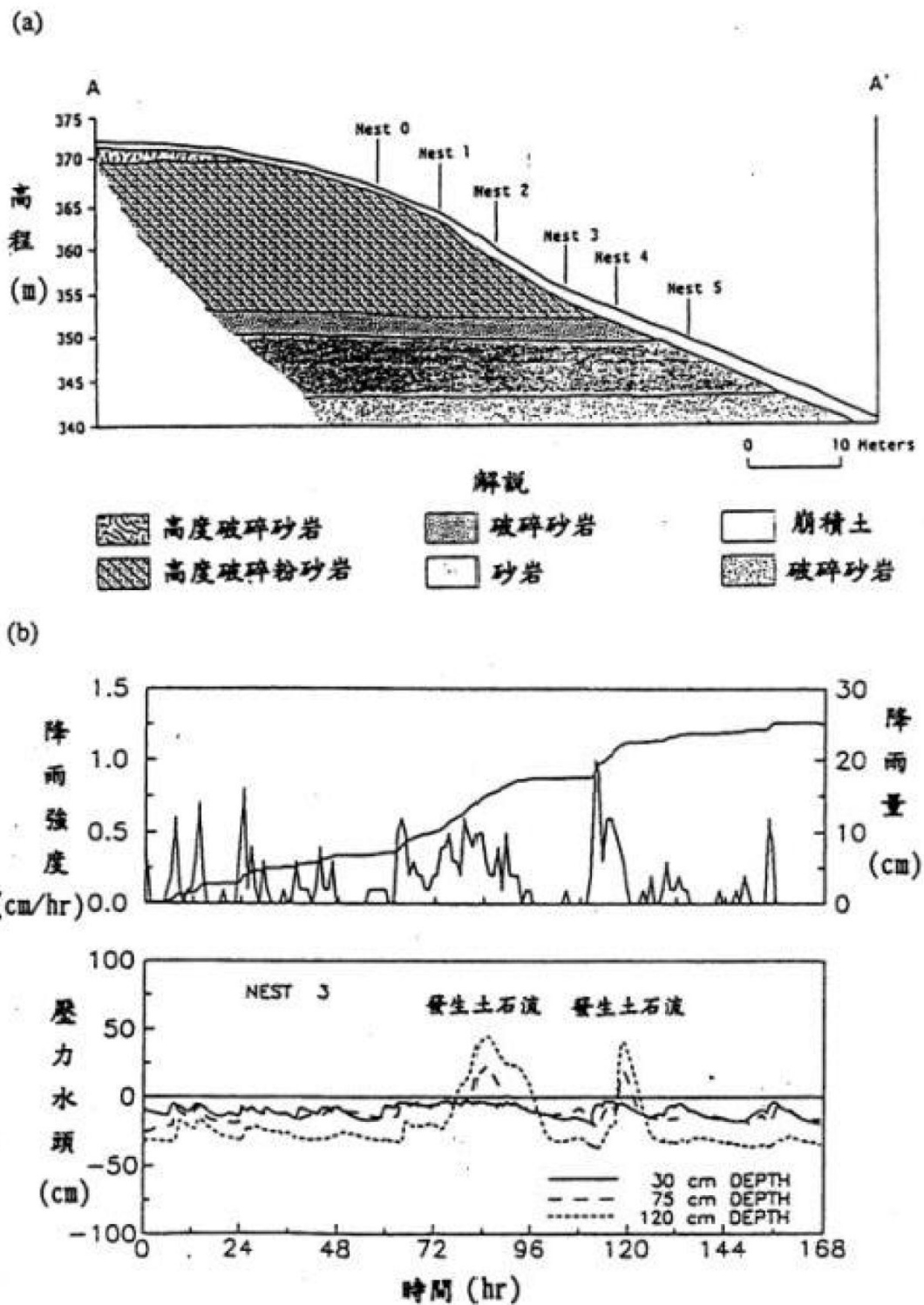


圖 2.3 (a)Briones 地質剖面簡圖及水壓計位置示意圖(Sitar, 1992)

(b)雨量紀錄及所測得水壓紀錄圖(Sitar, 1992)

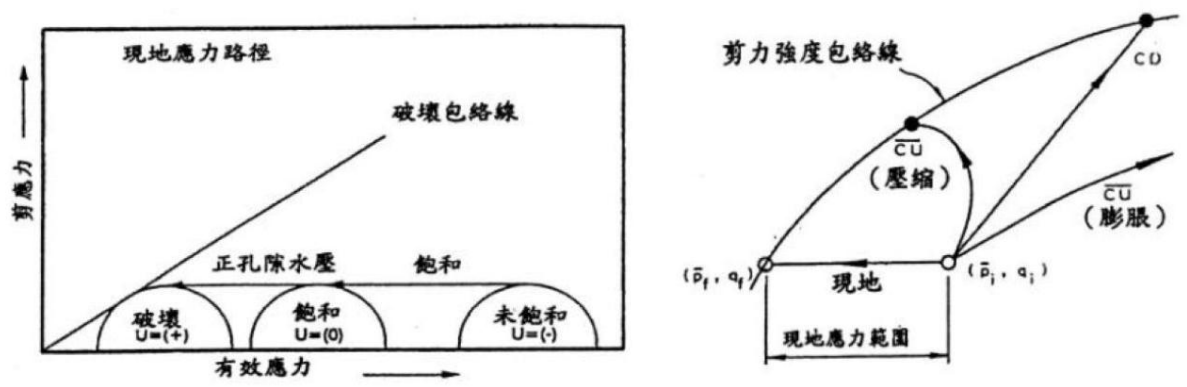


圖 2.4 現地應力路徑圖 (Sitar, 1992)





第三章 研究區域與資料庫建立

研究資料使用地理資訊系統來做蒐集，主要利用建立資料庫間互相套疊來做統計分析，所以資料庫建立之優良與否，會對分析結果有重大影響。使用地理資訊系統對於現有現地資料建立資料庫，以進行土石流發生潛勢分析研究所需資料之求取。研究選定高雄地區做為出發點，進而探討台南、嘉義之土石流潛勢判定，由於近幾年來高雄地區土石流災害日益嚴重，在颱風豪雨時期常常有土石流事件發生，尤其是 2009 年莫拉克颱風，對於高雄地區帶來強烈的破壞和大量的損失。由行政院農委會水土保持局所公開的台灣 1578 條土石流潛勢溪流之中，高雄地區土石流潛勢溪流條數為 92 條，相較於以前的 1420 條潛勢溪流包含的 57 條，可明顯看出高雄地區的土石流災害影響加重，而嘉義地區土石流潛勢溪流 62 條和台南地區土石流潛勢溪流 48 條也提供足夠的觀察資料。

3.1 研究區域概況

本節針對主要研究區域於南部地區如圖 3.1 所示，台灣南部高山平原皆有分布，故可探討在不同地形起伏情況下，土石流發生潛勢的情形；由於 1999 年 921 地震增加地層不穩定，加上近幾年來颱風災害逐漸加劇，使南部地區發生嚴重土石流災害，本節描述研究地區之地理位置、氣候、地質分布、歷史災害。

1. 高雄市：位於台灣本島的西南部，在高雄附近的其他縣市，分別有台南市、嘉義縣、南投縣、花蓮縣、台東縣及屏東縣。高雄市於 2010 年由原高雄市和高雄縣合併而成，行區面積約 2950 平方公里，總共有 38 個行政區塊，其中 11 個為原高雄市管轄，27 個為原高雄縣管轄。高雄市是一個東北往西南延伸的長型行政管轄區域，西南方向靠近台灣海峽，東北方向則有玉山山脈及中央山脈高山地區。高山土地面積約 1555 平方公里 (52.78%)，平原和丘陵土地面積約 1391 平方公里 (48.22%)。依交通部中央氣象局高雄測候站統計，年平均最低溫為 19.3 度(1 月)、年平均最高溫 29.2 度(7 月)。

高雄地區氣候屬熱帶季風氣候，有明顯的雨季和旱季區分，在雨季時期偶爾會出現單日 500 毫米以上降雨量，旱季時期曾有連續半年無降雨發生。高雄市最大河流為高屏溪，高屏溪主要支流有荖濃溪及旗山溪等。高雄市地質狀況依地質年代不同可分為始新世新高層、中新世廬山層、中新世中晚期瑞芳群、三峽群、上新世卓蘭層、頭嵙山層。

高雄地區主要土石流事件是近幾年來逐漸變多，從 2005 年海棠颱風、2006 年聖帕颱風、2008 年卡玫基颱風、2008 年辛樂克颱風一直到 2009 莫拉克颱風，逐年土石流事件大量增加。土石流事件主要集中在荖濃溪流域和旗山溪流域，尤其在甲仙與那瑪夏區造成嚴重的土石流事件，鑒於高雄地區土石流事件嚴重性，故採用高雄地區為土石流危險溪流潛勢分析之主要研究區域。

2. 台南市：位於台灣的西南部，在台南附近的其他縣市，有嘉義縣、高雄市。台南市於 2010 年由原台南市和台南縣合併而成，面積 2,192 平方公里，中西部為鹽水溪、曾文溪淤積平原，地勢平緩且有大小河川橫互；東側有丘陵，屬於阿里山山脈的尾段，有部分丘陵、山地分布。台南市位於北回歸線以南，屬副熱帶季風氣候與熱帶氣候的過渡帶，全年溫和少雨、日照充足；全年平均氣溫 23.8℃，年平均最低溫為 17.1 度(1 月)、年平均最高溫 29.0 度(7 月)。

降雨受季風及地形影響，乾濕季分明，雨量多集中於夏季，主要因鋒面及季風影響，佔全年降雨量 80% 以上，且西南季風盛行，及對流作用午後易生局部性對流雨。台南地層以新第三紀碎屑狀沉積岩為主，在西部麓山帶有中新世地層由砂岩、頁岩互層組成；而在上新世地層有糖恩山層、鹽水坑頁岩、隘寮腳層、茅埔頁岩。

3. 嘉義縣：嘉義縣位於中南部，鄰近縣市為雲林、南投、台南、高雄，北回歸線通過，此線以南為熱帶圈，以北為亞熱帶圈，形成沙漠或半沙漠氣候，唯有因季風或氣流帶來的充沛雨水，使森林蓬勃生長。依中央氣象局之觀測紀

錄，年均溫為 22.7 度，最高氣溫為 33.1 度(7 月)，最低溫度為 12.2 度(1 月)。雨量分布山區多於平原，年平均雨量山區在 3000mm 以上，丘陵地區及平原地區之雨量分別為 1700~3000mm 及 900~1500mm。

嘉義地區地質構造以海岸平原之沖積層及嘉義東邊山地之中新世為主。沖積層以東近山麓一帶為砂岩、泥岩構成之頭嵙山層及紅土台地堆積層。山地地區之地質構造為西部麓山帶地質區與第三世紀變質岩區，兩者以荖濃溪斷層為界；斷層以東包括廬山層與新高層之千枚岩、板岩及頁岩；斷層西側屬三峽群，瑞芳群之相關地層。

依照洪如江(1997)修訂之台灣工程地質分區概圖(如圖 3.2)，本研究將台灣地區的地質區依照地質概圖編號，分布使用英文字母由東向西次序訂為 A 地質區(台東縱谷、東部海岸山脈)、B 地質區(變質岩：片岩、大理岩、片麻岩帶)、C 地質區(變質岩：板岩、硬頁岩、千枚岩、變質砂岩等)、D 地質區(沉積岩)、E 地質區(紅土台地)、F 地質區(火成岩區)、G 地質區(平原盆地)。在研究區域高雄、台南、嘉義地區所包括之主要地質區帶有 C、D、E、G，將地質種類及岩性列舉部分如表 3.1。

3.2 基本資料庫建立

研究區域之基本資料庫是使用水土保持局、地調所、內政部等公開的相關資訊所建立的，求取研究所需影響因子所使用之基本數值資料如下所示：

1. 數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)：

精度為 5m*5mDTM；藉由 DTM 所提供的高程數值，應用 Arc GIS，可得坡度變化與坡向走向。

2. 航空照片(Aerial Photo)：

使用農林航測所 2009 年所拍攝且正射過後的彩色航空照片，解析度為 1/5000，能過詳細的從航空照片上看清事發當地的地貌與實際位置，並可與地形圖加以比對確認發生地之地形起伏。

3. 地質資料：

主要利用經濟部中央地質調查所 1974 年公開的 1/250000 的台灣全省地質分布圖，對於小區域的地質組成成分做資料的蒐集，再參考洪如江(1997)所修訂之台灣工程地質分區圖。

4. 地形檔案：

地形圖層為經建版 2000 年 1/25000 地形圖。由 DTM 與地形圖層套疊可以比較土石流發布地區的地形起伏，用來確認實際資料點位。

5. 溪流資料：

研究針對水土保持局 100 年公開之 1578 條土石流潛勢溪流其分布如圖 3.3，1578 條皆為發生過土石流災害，且有復發之疑慮者，再以 ArcGIS 參考相關資料，進行溪流集水區繪製，其繪製原則如下。

- (1) 土石流溪流：圖層的繪製原則：(a)依照水土保持局公開的 1578 條土石流潛勢溪流為點位參考。(b)以經建版之 1/25000 地形圖做為底圖，以圖上溪流資料建立研究所需之土石流水系資料。(c)1/25000 溪流水系圖辨別溪流分布。(d)以彩色航空照片辨識溪流符合土石流流動機制。高雄地區 1578 條潛勢溪流包含之潛勢溪流為 92 條，經由航照判釋土石流溪流包含潛勢溪流最終為 105 條。
- (2) 非土石流溪流：為能與土石流溪流做對照之研究，故額外圈繪非土石流溪流做對照組，非土石流溪流圈繪原則如下：(a)於 1/25000 地形圖之溪流且不屬水保局公開的 1578 條土石流潛勢溪流。(b)土石流溪流附近未曾發生過土石流之溪流。(c) 1/25000 溪流水系圖所未包含於 1578 條土石流潛勢溪流中。(d)以彩色航空照片辨識溪流不具備土石流流動現象。

將自行圈繪的土石流與非土石流溪流和彩色航空照片比對，土石流與非土石流溪流的地貌情形，是否與土石流和非土石流判斷方式吻合，土石流有土砂材料來源段、土石流動段、土石堆積段來作為判斷，所圈繪的土石流下游以溢流點為終點，溢流點判別由地形圖以及彩色航照圖做為輔助判斷。由於以水保局潛勢溪流為準，集水區面積要大於 3 公頃，故確認圈繪的土石流與非土石流集水區面積大小，圈繪 105 條土石流與 90 條非土石流。

上述 DTM、地質條件、水系、航照等，均可使用 ArcGIS 系統進行套疊繪製，並使用 ArcGIS 所包含的擴充模組進行細部影響因子資料蒐集，建立影響因子資料庫於後面幾節說明。

3.3 影響因子

在研究土石流潛勢分析時，使用統計分析來做研究，故必須建立有效判斷土石流潛勢的影響因子資料庫，提供統計軟體運行統計分析的資料。本章節對於所選取的影響因子做說明，並描述如何獲得影響因子數據。

3.3.1 影響因子選定條件

土石流潛勢分析的研究，要能準確判斷土石流發生潛勢，影響因子的選取十分重要，必須挑出影響力大的因子，去除不具影響力的因子，以達能節省分析時間、提高正確判斷能力，不同學者對於土石流發生潛勢，都有不同的切入點。

根據第二章文獻回顧中，學者對於土石流發生條件與各項條件下所選取的影響因子如下：

1. 水文因子：

充沛水分補給：自然含水量、集水區面積、形狀係數、溪流長度。

2. 地文因子：

(1) 豐富土砂材料：土壤粒徑分布、塑性指數、殘土率、土地利用情形、植被覆蓋率、土壤粒徑大於4號篩的重量百分比、土壤粒徑小於200號篩的重量百分比、崩塌率、地質種類、邊坡坡度、邊坡坡向。

(2) 適當的坡度條件：溪床平均坡度、邊坡坡度等。

3. 外在誘發因子：

(1) 地震：震央距離、地震規模、斷層距離。

(2) 降雨：有效累積雨量、降雨強度、總累積雨量、降雨延時。

由於研究主要探討颱風事件導致土石流發生潛勢，依照上述三項條件，且考量資料取得方便性，選定的自然環境影響因子為：集水區面積、溪流長度、殘土率、溪床平均坡度、形狀係數、邊坡坡向、邊坡坡度、地質種類，將所選定之環境影響因子整理如表 3.2；選定的誘發因子為：降雨強度、累積雨量。

3.3.2 影響因子說明

1. 水文因子：

(1) 溪流長度：集水區水系是由多條小支流匯聚而成，溪流長度選取水系中最長的主支流為準；潛勢溪流長度越長所包括的集水區面積越大，與溪流流量、集流時間、逕流分布等有影響，故溪流長度可以視為水分供給條件之一。

(2) 集水區面積：集水區為以山脊陵線為邊界將水系劃分開來的水文系統如圖 3.4。當雨水降於地表，一部分由土壤孔隙滲流、一部分在地表漫流，凡是鄰近區域內的雨水，經匯流後都會通過同一地點，降雨和匯流區域則稱為集水區。由於土石流發生主要在三個階段的發生段和流動段，堆積段已形成擴散堆積，故集水區面積選取土石流溢流點上方的集水區面積為土石流有效集水面積。

由式(3-1)可看出，河川的尖峰流量和集水區面積大小成正比，集流時間隨流域面積增加而增加，因此可由集水區面積來評估河川流量，故研究中將集水區面積視為水分供給條件之一。

$$Q_p = a \times A^b \quad (3-1)$$

Q_p ：尖峰流量

A：集水區面積

a,b：係數

- (3) 形狀係數：流域形狀係數為 1920 年由荷頓氏所提出，可稱為荷頓因子 (Horton's Form Factor) 或流域形狀 (Basin Shape)，其定義如下：

$$F = A/L^2 \quad (3-2)$$

L：主要溪流長度

A：集水區面積

形狀係數意義為主要溪流長度之流域面積，形狀係數小者，代表集水區形狀為狹窄形狀，反之形狀係數大者，集水區形狀為寬宏狀，因此不同形狀係數代表的集水區形狀會影響河川之流量歷線分布，如圖 3.5 所示。此特性可以看出流量分布情形，以推測土石流發生流動與水流之間的關係，視為水分補給條件之一。

2. 地文因子：

- (1) 邊坡坡向分布：將歷年土石流發生情形可以發現，大多數土石流發生於颱風或暴雨期之後，由中央氣象局統計台灣地區颱風路徑發現，颱風走向多為東南向西北方向，侵台颱風路徑統計如圖 3.6。迎風面承受之降雨會較背風面為鉅，且強風對邊坡風化有一定程度影響，因此邊坡坡向分布影響集水區承受降雨與崩塌物質的多寡。根據上述情形邊坡坡向可代表降雨分布情形，因此可視為水分供給指標之一。為探討邊坡坡向對土石流發生潛勢之影響，將邊坡坡向劃分為八個類別項目，依序為北、東北、東、東南、南、西南、西、西北八個類別。
- (2) 殘土率：殘土率 (Hypsometric Integral, Hi) 指的是集水區高度面積百分率曲線之積分值，曲線本身表示地形某單位高度所占集水區面積，因此用來代表集水區地表發育的參數，集水區模式與高度面積百分率曲線如圖 3.7，可代表流域地形高程分布狀態。

Strahler(1952)認為可將高度面積百分率曲線區分為三種，非平衡狀態(In-equilibrium, Young stage)、平衡狀態(Equilibrium, Mature stage)、殘丘地形(Monadnock phase)，圖 3.8 中三條曲線分別代表上述三種地形發育狀態。高度百分率曲線屬 A 曲線，殘土率大於 0.6 者，地形仍處於發育演化過程，溪流上游處集水面積較大，地表侵蝕嚴重，屬幼年期地形；如屬 B 曲線型態，且殘土率介於 0.4~0.6 之間，地表不斷進行侵蝕及堆積之交替作用，屬壯年期地形；如屬 C 曲線，且殘土率小於 0.4 者，溪流下游集水區面積大於上游，可以視為侵蝕作用後之地形，堆積作用旺盛，屬老年期地形。由於殘土率可以評估流域的侵蝕與堆積情形，故將殘土率視為豐富土砂材料之一項指標。

- (3) 邊坡坡度分布：邊坡坡度能夠表現出集水區邊坡的陡峭程度，當邊坡坡度越陡，邊坡坡面上的土壤或固體物質受到的向下重力分量越大，越容易有土體不平衡產生崩塌；如果坡度越平緩，土體相對處於較平衡狀態，崩塌不易發生。邊坡坡度會影響到土體崩塌，進而產生土砂材料，故視為土砂材料的一項指標。為探討邊坡坡度對土石流發生潛勢之影響，不採用邊坡平均坡度，因平均坡度會消除土石流集水區內的坡度分布特性，故將邊坡坡度作等間距劃分，依序為 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 、 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 、 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 、 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 、 $50^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 六個類別，劃分完成後檢驗分布特性，其相關檢定如表 3.3 與分布圖如圖 3.9，可看出原始分布與等間距劃分後兩者偏態與峰值均小於 1 滿足常態分佈，並且標準差差異幅度不大。
- (4) 地質種類：土砂材料來源多是由自然鬆散土體崩塌堆積形成，會受到岩性不佳、地質構造複雜、地殼運動或斷層摺皺發達等地質特徵影響，有這些地質特徵地區之岩層大多破碎，風化、山崩、地滑等自然作用盛行，提供大量的土砂材料。不同地層組成成分對於強度與破碎程度都有不同

影響，提供土砂材料也不同，故研究探討土石流較易發生於何種地質，為土砂材料指標之一。

- (5) 溪床平均坡度：溪床坡度決定溪流流速之大小，坡度越大則流速越快，反之則越慢。土石流發生流動需有適當之溪床坡度，如溪床坡度太陡，水流不易與土石混和成泥狀而形成土石流；如溪床坡度太平緩，向下重力分量不足使土石流產生流動。研究以溪床平均坡度代表整體溪流坡度，採用謝正倫(1993)所定義之計算公式：

$$\text{溪谷平均坡度} = \sin^{-1}((\text{上游高程} - \text{下游高程}) / \text{溪谷長度}) \quad (3-3)$$

上游高程：溪流上游起始點之高程(m)

下游高程：溪流下游谷口結尾處之高程(m)

至於溪床平均坡度要大於幾度才會導致土石流發生，目前相關研究仍沒有一致標準，因此將溪床平均坡度納入討論，視為適當坡度條件之一。

3. 外在誘發因子：

- (1) 最大降雨強度：降雨量會對邊坡土壤產生沖刷與漫流，使得土壤孔隙水壓上升，而容易發生土體崩塌，當降雨達到一定程度，會造成土壤孔隙水壓無法排除使土壤有效應力降低，且地表沖蝕嚴重，進而形成土石流。
- (2) 累積雨量：降雨雨量越多，超過土體能夠負荷的含水量，會使土體轉變成不穩定狀態，且土壤孔隙充滿水會降低土壤承载力、降低顆粒間摩擦力，使土體崩壞，充沛的降雨導致溪流具較大的流量，溪流較容易與土砂混和成泥狀形成土石流；前人的研究中有使用有效累積雨量作為影響因子，但是由於研究地區部分人口不多，土石流影響到人口居住區域，土石流已發生多時，通報時間會受到感受時間影響，故土石流發生時間

點無法準確得知，故以 12 小時為區間，將 12 小時~48 小時累積雨量與總累積雨量作為探討項目。

3.3.3 影響因子資料建立

由於土石流發生主要在發生段與流動段，這兩個區段之間地文與水文因子會有直接的影響，而到堆積段土石流向外溢流堆積，已達土石流流動尾聲，天然影響因子於堆積段已無明顯作用，故在求取影響因子數據以溢流點以上為準，而溢流點主要由航照與地形圖來判斷。研究選定集水區面積、溪流長度、形狀係數、殘土率、溪床平均坡度、邊坡坡度分佈、邊坡坡向分佈與地質種類等影響因子作為統計分析之資料，所選定之影響因子資料之求取如下：

1. 水文因子：

- (1) 溪流長度：經由模組管理功能(File/Extensions)載入空間分析模組，將研究區域數值地形模型資料(DTM)利用空間分析模組中的水文分析(Hydrology)，進行流向分析(Flow Direction)、水流累積(Flow Accumulate)，再採地圖代數(Map Algebra)繪製溪流曲線，比對航照圖利用距離測量功能，量測溪流上游到下游的長度。
- (2) 集水區面積：前部分採用溪流長度分析模式，分析出溪流分布趨勢，利用集水區產生功能(Hydro/Watersheds)即可劃分分水嶺而產生集水區流域，而此一集水區圖檔格式為網格式(raster)資料，可將其轉換成向量式(Vector)圖檔格式，此時研究區域被劃分成多個集水區流域。選取單一流域套疊DTM進行鄰域分析(Neighborhood Analysis)，即可產生單一流域之DTM，為集水區進行影響因子資料建立的底圖。使集水區網格式主題圖成為可運作狀態，利用計算面積功能(Hydro/Area)即可計算出集水區面積，由於土石流以水保局潛勢溪流為主，故集水區面積必須大於3公頃。
- (3) 形狀係數：將求得之各集水區面積除以溪流長度平方，即公式(3-2)，可計算出個別集水區的形狀係數。

2. 地文因子：

- (1) 邊坡坡向分布：使用 ArcGIS 之空間模組的坡向分析(Spatial Analysis/Aspect)可將集水區 DTM 分析出不同邊坡走向，再採重分類分析(Reclassify)分類出八個坡向類別項含括的面積，然後個別類別項目的面積除以總集水區面積，即可得不同坡向分布占集水區面積百分比，以此來探討坡向分布對土石流發生之影響。
- (2) 殘土率：ArcGIS 內建空間分析模組(Spatial Analysis)選定分析集水區圖層，利用重分配功能(Reclassify)，可以將選定集水區之 DTM 分配成不同高度區間含括的面積。將各高程區間面積(a)除以總集水區面積(A)為 X 軸，對應之高程數值與集水區最低高程差(h)除以集水區最大高程(H)為 Y 軸，如圖 3.7 右圖所示，繪出高度面積百分率曲線，求出曲線下面積，即為集水區之殘土率。
- (3) 邊坡坡度分布：使用 ArcGIS 之空間模組的坡度分析(Spatial Analysis/Slope)可將集水區 DTM 分析出不同邊坡坡度趨勢，再採重分類分析(Reclassify)分類出六個坡度類別項含括的面積，然後個別類別項目的面積除以總集水區面積，即可得不同坡度分布占集水區面積百分比，以此來探討坡度分布對土石流發生之影響。
- (4) 地質種類：將經濟部地質調查所公布數化之台灣省二十五萬分之一地質分布圖與多邊形向量式圖形檔之集水區圖層套疊，使用 ArcGIS 內建分析模組之疊合(Analysis/Overlay)進行兩圖層交集運算，可求出集水區地層分布面積大小，除以集水區總面積即為集水區各地層種類之面積百分比。
- (5) 溪床平均坡度：利用 GIS 內建辨識工具(Identify)查詢溪流上游及下游溢流點位置，可得集水區 DTM 於上游和下游谷口之高程屬性數值。將所得之上下游高程和溪流長度帶入公式(3-3)，可求得溪床平均坡度。

3. 外在誘發因子：

降雨是由不連續的時間序列組成，故對不同颱風事件的降雨分析，會先選定雨場分割方式當作一場連續降雨的定義，以決定連續降雨的起始與結束時間，然後計算整體雨場累積降雨量，回顧前人對於雨場分割研究有六種如表 3.4，雨場分割方法如下：

- a. 第一種：一場連續降雨事件，其前後連續 24 小時內均無降雨，如圖 3.10(a) 所示。
- b. 第二種：一場連續降雨事件，其前後連續 12 小時內均無降雨，如圖 3.10(b) 所示。
- c. 第三種：一場連續降雨事件，以時雨量大於 4mm 處做為降雨開始的時間，以時雨量連續 3 小時均小於 4mm 處為降雨結束時間點，如圖 3.10(c) 所示。
- d. 第四種：一場連續降雨事件，以 24 小時累積雨量達 10mm 處為降雨開始的時間，以 24 小時累積雨量小於 10mm 之開始點為降雨結束時間點，如圖 3.10(d) 所示。
- e. 第五種：一場連續降雨事件，以時雨量大於 4mm 處做為降雨開始的時間，以時雨量連續 6 小時均小於 4mm 處為降雨結束時間點，如圖 3.10(e) 所示。
- f. 第六種：一場連續降雨事件，以 12 小時累積雨量達 10mm 處為降雨開始的時間，以 12 小時累積雨量小於 10mm 之開始點為降雨結束時間點，如圖 3.10(f) 所示。

在臺北市政府產業發展局(2006)中探討六種方法對於颱風帶來的集中降雨的合適性，最後歸納出圖 3.10(c)~圖 3.10(e)方法相互間誤差不會太大，考慮到雨場分割的便利性及適當性，最後選定方法為圖 3.10(c)，即在一場連續降

雨事件中以時雨量大於 4mm 為降雨開始時間，以時雨量連續 3 小時小於 4mm 處為該次降雨結束時間，而此法為目前最多學者所採用的雨場分割方法。

研究以高雄地區發生土石流重大災害之颱風事件為基準，主要導致重大土石流災害之颱風有 2008 年卡玫基、辛樂克和 2009 年莫拉克，因有較明確的發生地點、時間，可以與分析結果做比對。

- (1) 最大降雨強度：以高雄地區發生重大土石流災害之颱風降雨量來做為探討，對一場連續降雨的最大每小時降雨量作為最大降雨強度，田坤國(2001)研究中山坡淺層崩塌主要發生在最大降雨強度的時候，可以作為參考指標。
- (2) 累積雨量：以高雄地區發生重大土石流災害之颱風降雨量來做為探討，颱風帶來的連續降雨雨場會因時間地點而有所變化，故研究分別探討 12 小時~48 小時累積雨量以及總累積雨量，由於在相關研究中山坡大規模深層滑動幾乎發生在累積雨量達一定水準，可以作為參考指標。

表 3.1 高雄、台南與嘉義主要地質分類一覽表

地質分區	代號	岩石種類	地層名稱
變質岩區 (C 地質區)	E	板岩、千枚岩夾石英岩質砂岩	畢祿山層
	Mj	砂岩、頁岩	瑞芳群及其相當地層
	Ml	硬頁岩、板岩、千枚岩夾砂岩	廬山層、蘇樂層
	Ms	砂岩、頁岩	三峽群集其相當地層
	Q2	礫石、紅土、土、砂	台地堆積
	Q3	土、砂、礫	沖積層
沉積岩區 (D 地質區)	Mj	砂岩、頁岩	瑞芳群及其相當地層
	Ml	硬頁岩、板岩、千枚岩夾砂岩	廬山層、蘇樂層
	Ms	砂岩、頁岩	三峽群集其相當地層
	Q2	礫石、紅土、土、砂	台地堆積
	Q3	土、砂、礫	沖積層
	Qo	砂岩、泥岩、頁岩、礫岩	頭嵙山層、卑南山礫岩及其相當地層
	P1	頁岩、砂質頁岩、泥岩	錦水頁岩及其相當地層
P2	砂岩、泥岩、頁岩	卓蘭層及其相當地層	
紅土台地 (E 地質)	E1	板岩夾板岩與砂岩薄頁層	十八重溪層
	E2	硬砂岩夾灰質板岩	達見砂岩
	EO	板岩、千枚岩、夾砂岩	西村層、佳陽層
	O1	石英質砂岩、板岩、 石墨質頁岩	四稜砂岩、白冷層
	O2	硬頁岩、硬砂岩、板岩	大桶山層、乾溝層
	Q2	礫石、紅土、土、砂	台地堆積
	Q3	土、砂、礫	沖積層
盆地平原區 (G 地質)	E2	硬砂岩夾灰質板岩	達見砂岩
	EO	板岩、千枚岩、夾砂岩	西村層、佳陽層
	P1	頁岩、砂質頁岩、泥岩	錦水頁岩及其相當地層
	P2	砂岩、泥岩、頁岩	卓蘭層及其相當地層
	Q2	礫石、紅土、土、砂	台地堆積
	Q3	土、砂、礫	沖積層
	Qo	砂岩、泥岩、頁岩、礫岩	頭嵙山層、卑南山礫岩及其相當地層
	Ms	砂岩、頁岩	三峽群集其相當地層
Mj	砂岩、頁岩	瑞芳群及其相當地層	

表 3.2 影響因子表

土石流發生要素	中文名稱	英文代號	單位
豐富土砂材料	殘土率	HI	無
	邊坡坡度	SD10、SD15、SD20、SD30、SD45、SD90	面積百分比
	邊坡坡度	N、NE、E、ES、S、SW、W、WN	面積百分比
	地質種類	Ms、Mj、MI、Qo、Q2、Q3、P1、P2	面積百分比
適當的坡度條件	溪床平均坡度	SMS	Deg
充沛水分補給	集水區面積	BA	Ha
	溪流長度	SL	M
	形狀係數	FF	無

表 3.3 邊坡坡度基本統計檢定

分布	溪流	加權平均數	中位數	標準差	變異係數	偏態	峰度
原始分佈	土石流溪流	32.36	33	10.86	33.56	-0.176	0.168
	非土石流溪流	32.33	32.5	11.84	36.61	-0.042	-0.022
等間距分割	土石流溪流	32.20	32.5	11.96	37.13	-0.073	0.753
	非土石流溪流	32.32	32.5	13.06	40.41	-0.037	0.449

表 3.4 前人所使用的雨場分割方法

雨場分割方法	研究者
第一種	謝正倫等人(1993,1995)、陸源忠(1995)、陳晉琪(2000)
第二種	譚萬沛(1999)
第三種	瀨尾克美與船崎昌繼(1973)、謝正倫等人(1993,1995)、 陸源忠(1995)、江永哲與林啟源(1991)、詹錢登等人(2001)
第四種	范正成等人(1999,2002)
第五種	詹錢登與李明熹(2004)
第六種	詹錢登等人(2003)



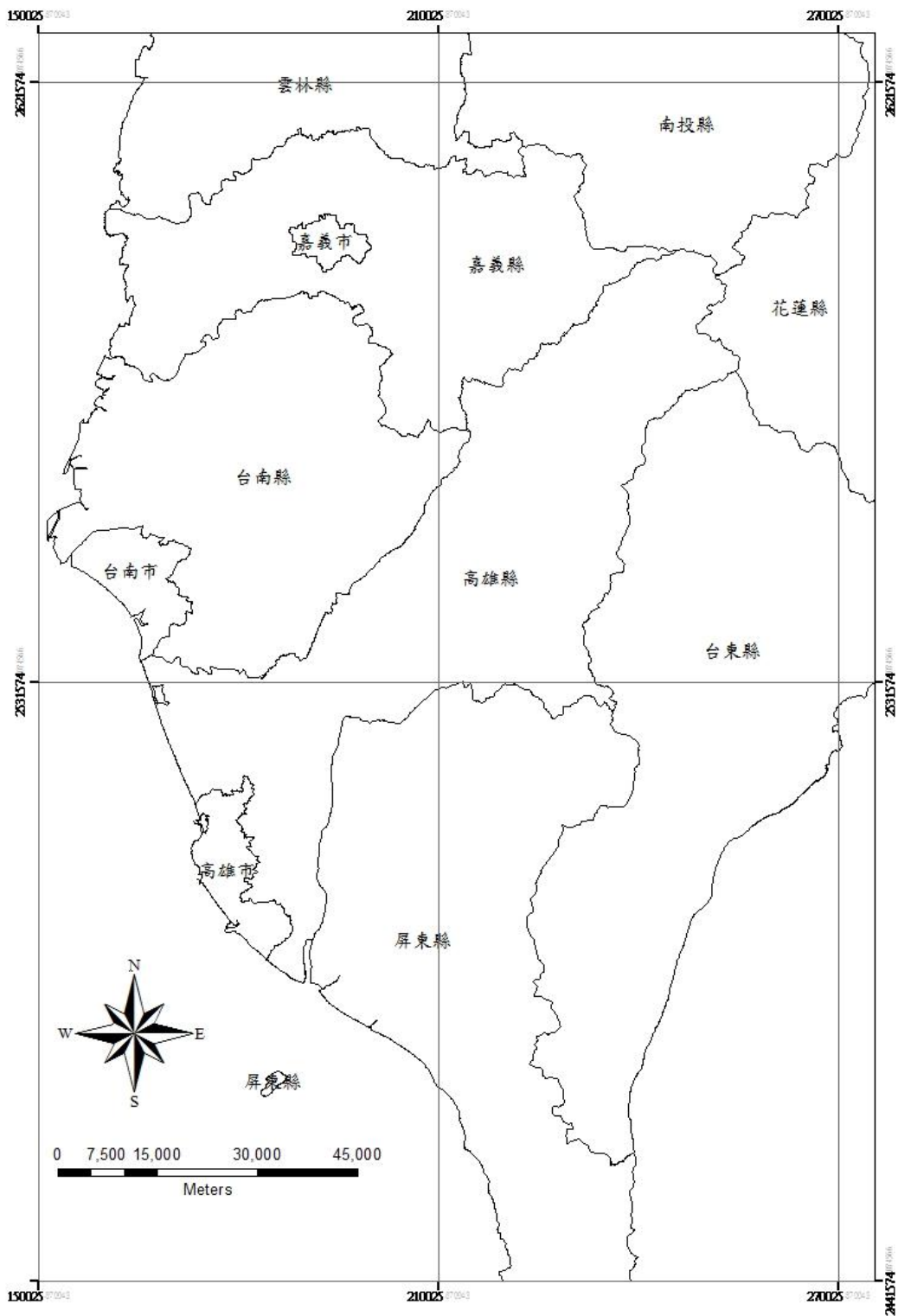


圖 3.1 研究區域地理位置

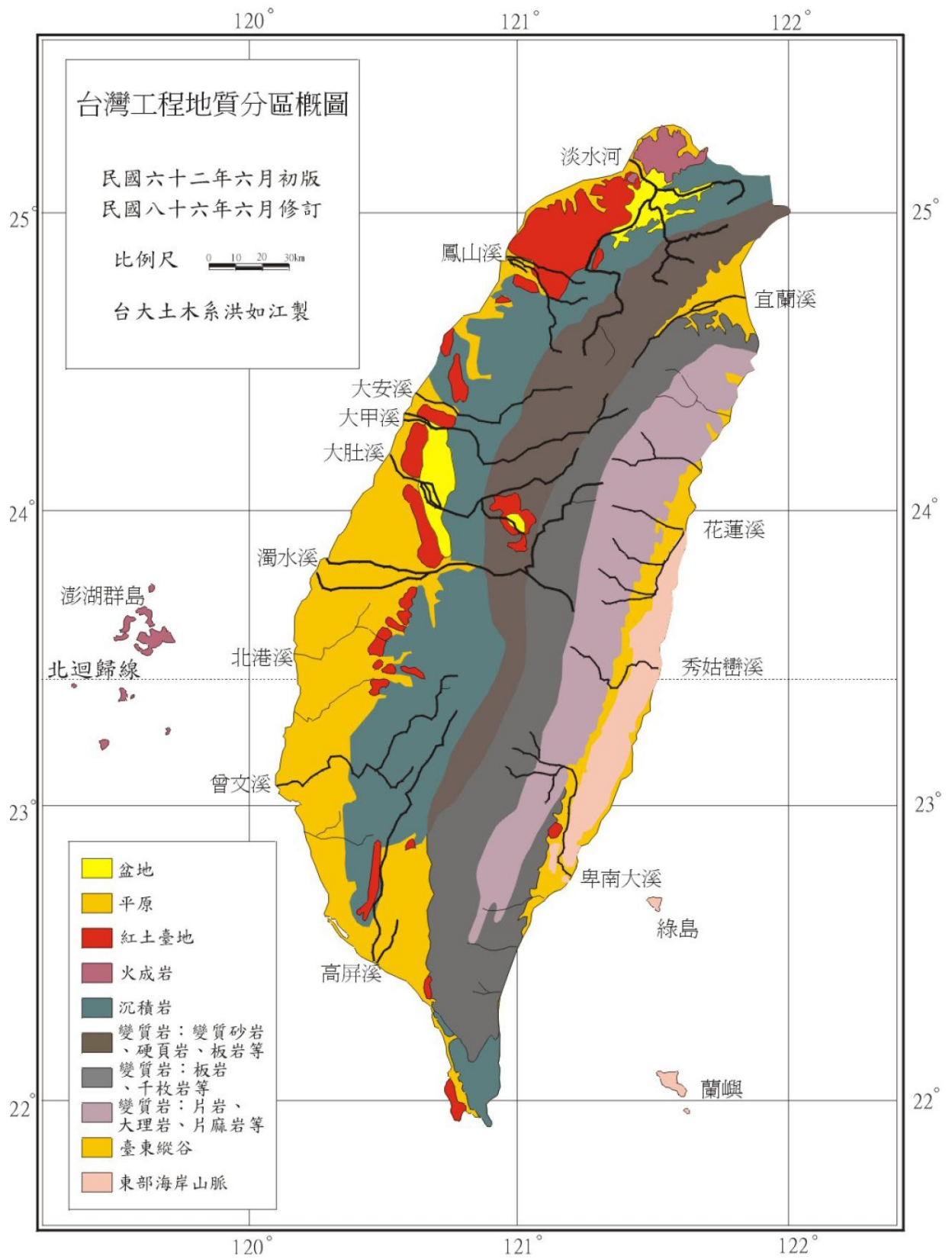


圖 3.2 台灣工程地質分區概圖(洪如江，1997)

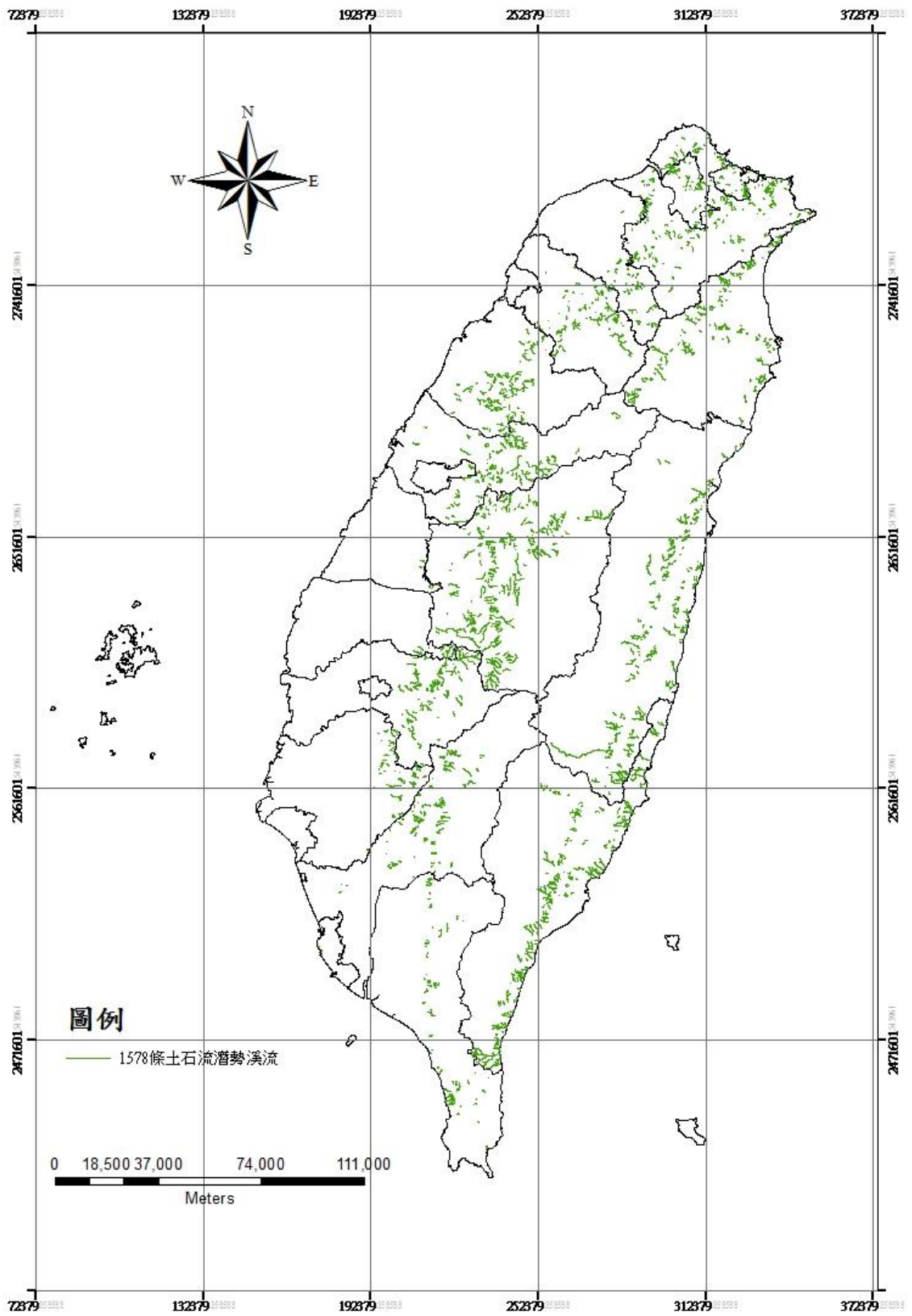


圖 3.3 全台灣 1578 條土石流潛勢溪流分布圖

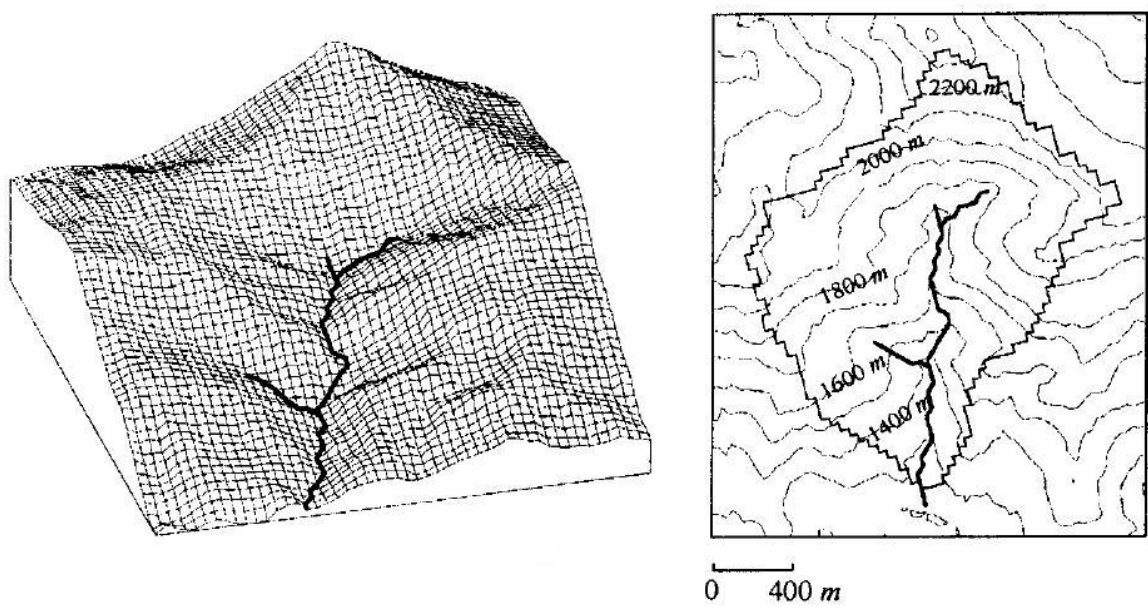


圖 3.4 集水區面積地形示意圖(李光敦，2005)

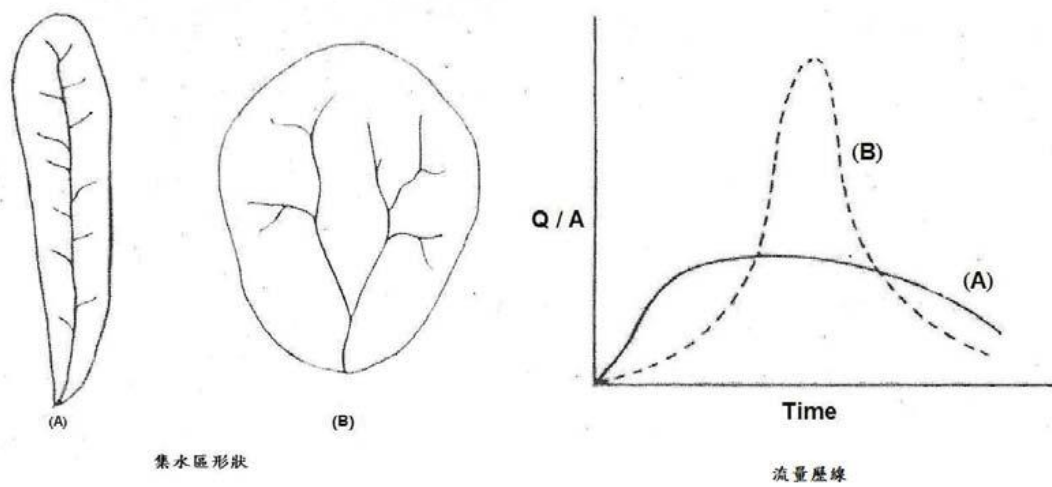


圖 3.5 集水區形狀係數與流量歷線關係圖(Robet,L.S，1978)

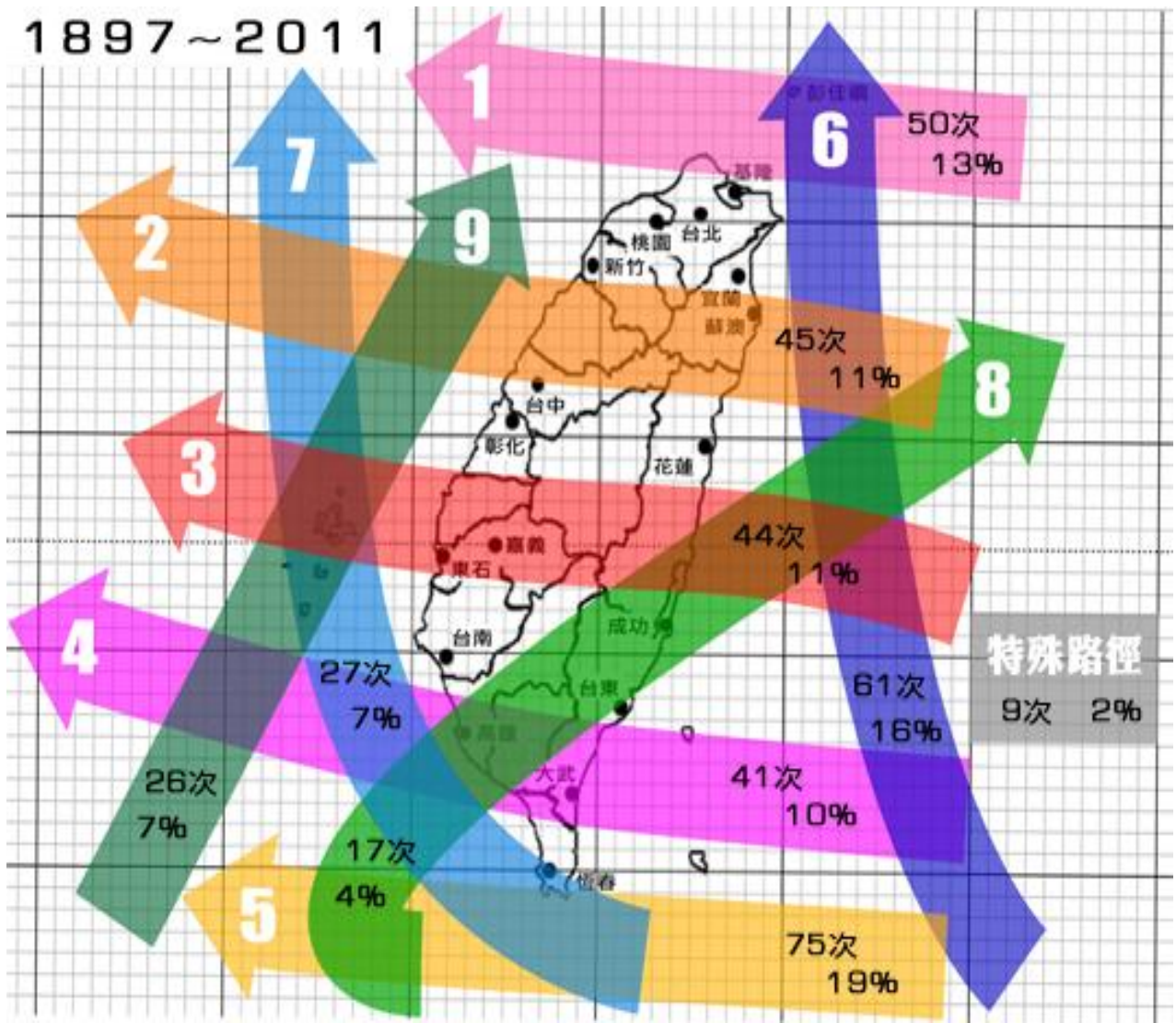


圖 3.6 1897-2011 年侵台颱風路徑分類統計圖(中央氣象局，2012)

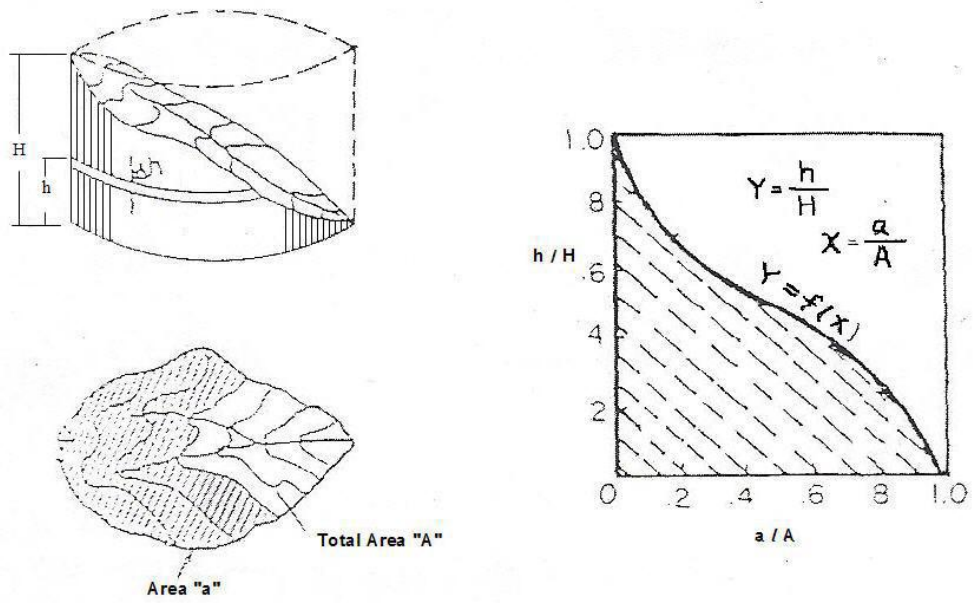


圖 3.7 高度面積百分比曲線示意圖(王一琮, 1992)

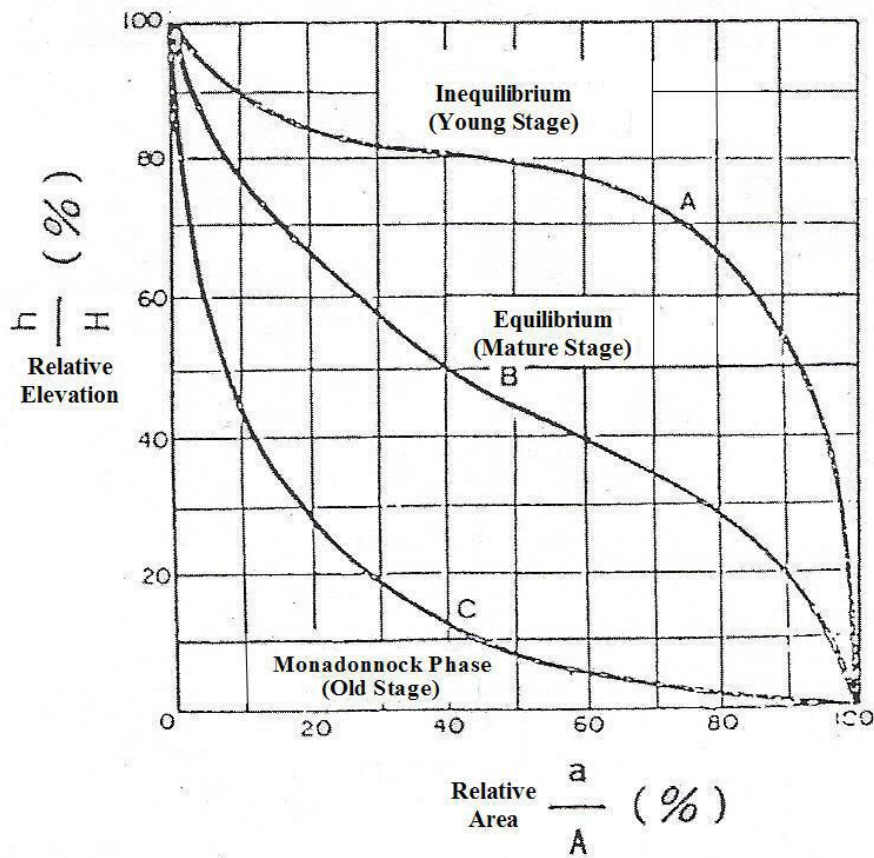


圖 3.8 地形發育型態之殘土率曲線圖(王如意, 1992)

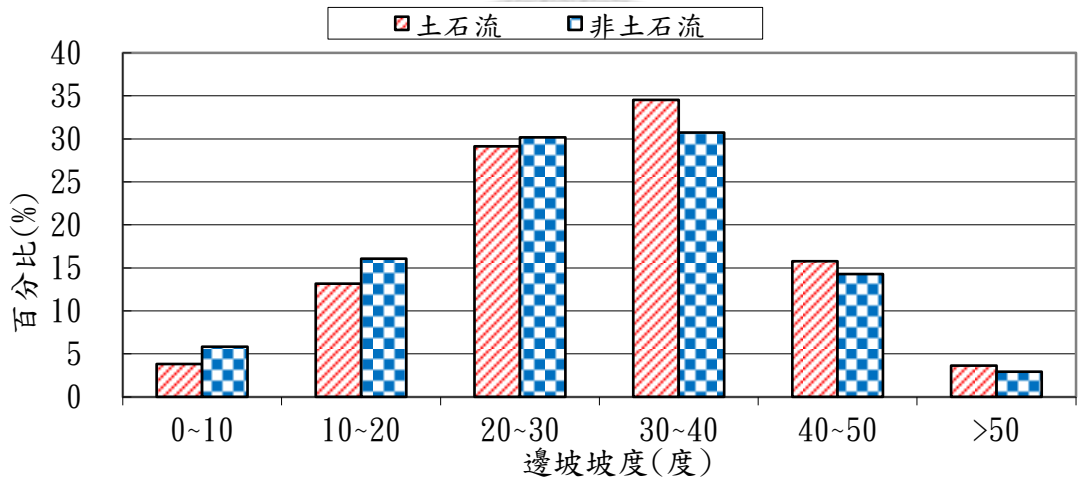
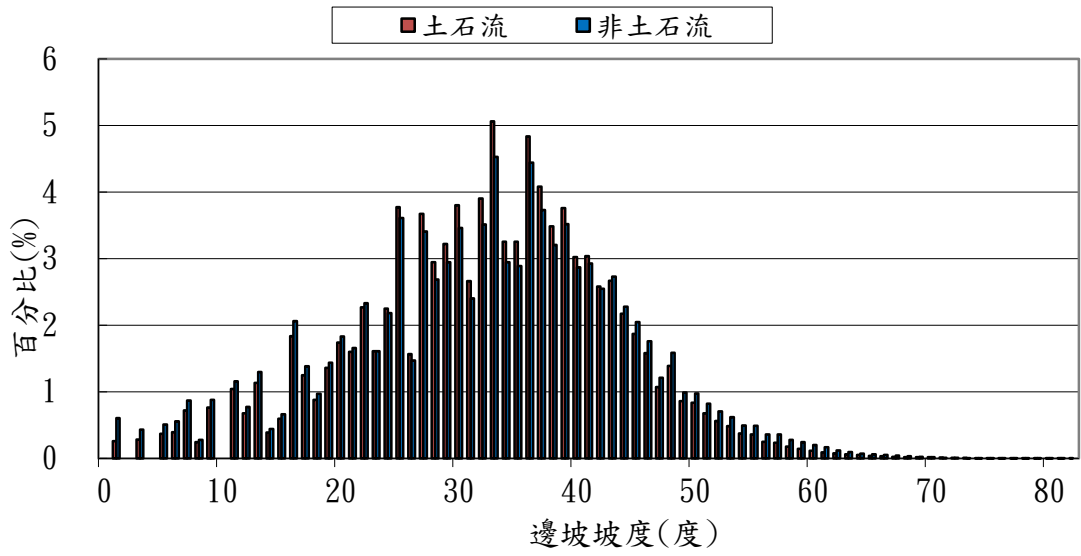


圖 3.9 邊坡坡度原始分布與等間距分割後分布情形

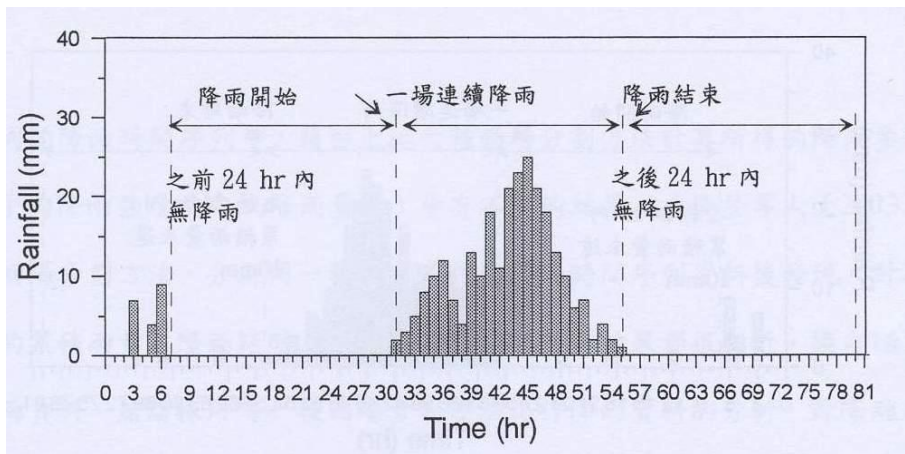


圖 3.10(a) 前後 24 小時以上無降雨之一場連續降雨示意圖

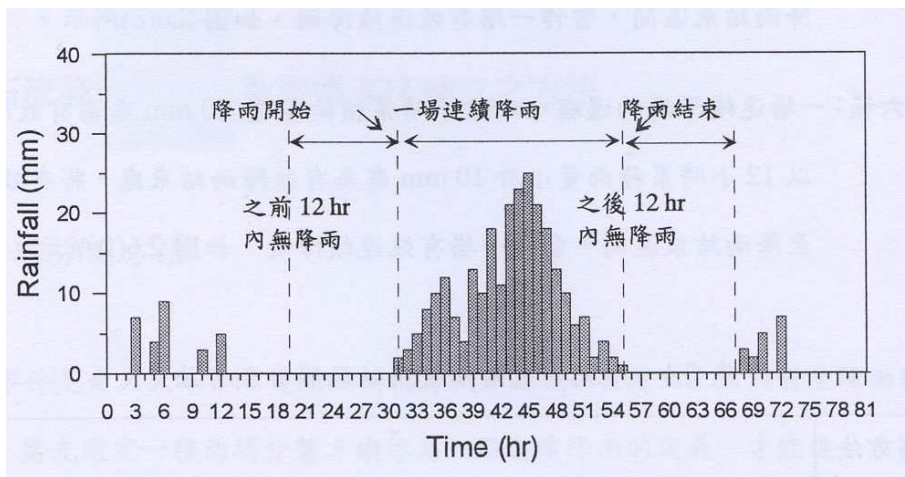


圖 3.10(b) 前後 12 小時以上無降雨之一場連續降雨示意圖

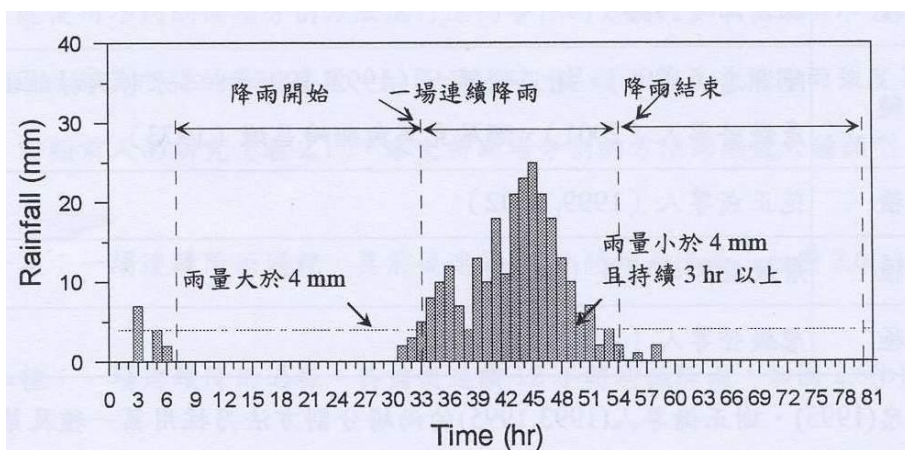


圖 3.10(c) 以降雨量 4mm-3hr 為門檻值之一場連續降雨示意圖

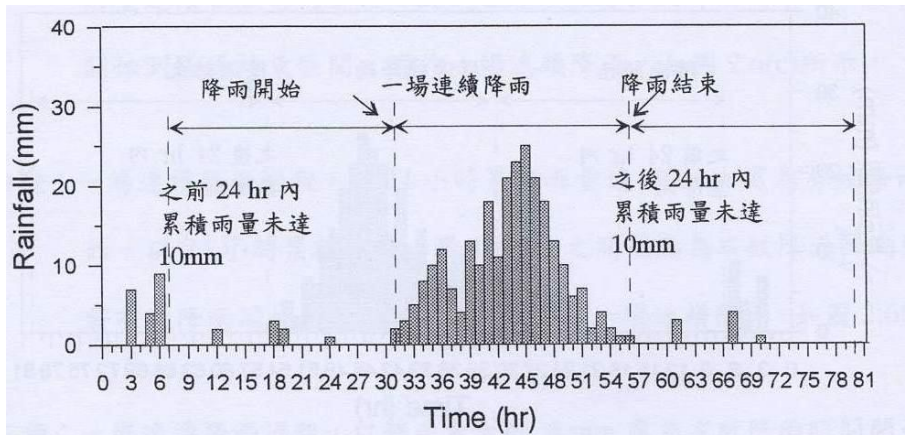


圖 3.10(d) 以累積雨量 10mm-24hr 為門檻值之一場連續降雨示意圖

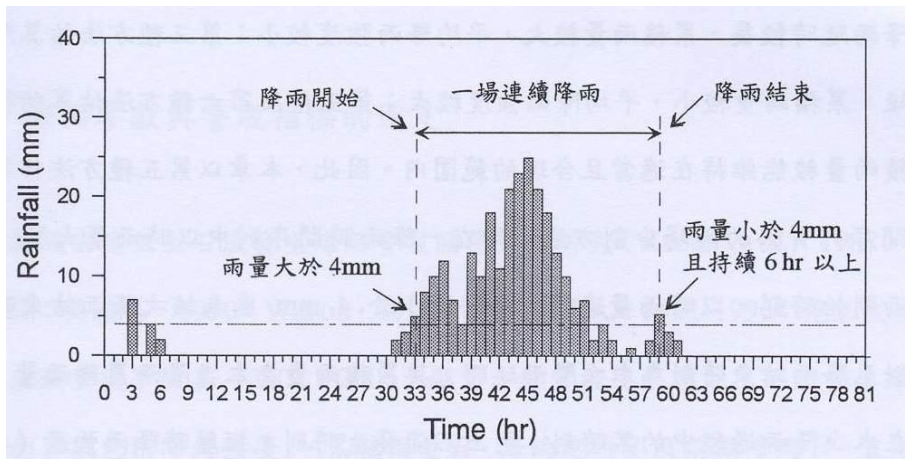


圖 3.10(e) 以降雨量 4mm-6hr 為門檻值之一場連續降雨示意圖

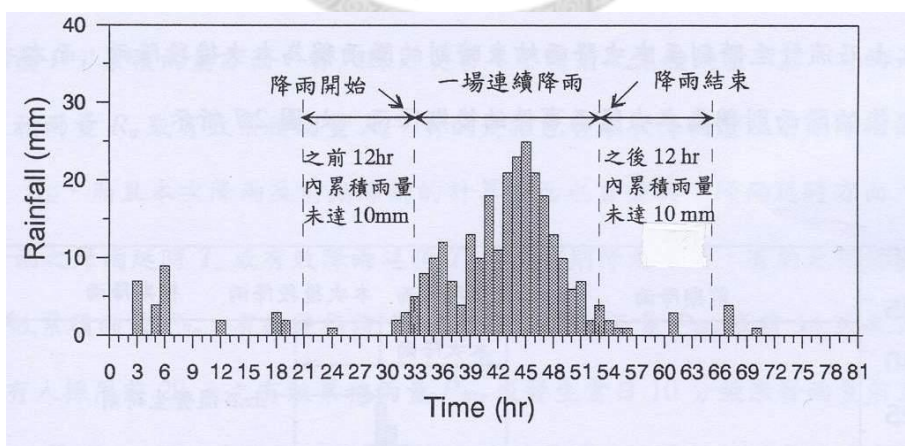


圖 3.10(f) 以累積雨量 10mm-12hr 為門檻值之一場連續降雨示意圖

第四章 自然環境影響因子分布特性與費雪區別分析

研究以高雄來做為土石流潛勢分析之出發點，本章將高雄地區區分為不分地質區、C地質區與D地質區，把各地質區塊之溪流資料庫整理，以便初步分析統計，藉由初步統計分析，確認土石流與非土石流間影響因子之差異特性。為進一步探討費雪區別分析用於預測之適用性，故多加入嘉義、台南加以比較。本節介紹研究使用的統計分析方法與原理，包括基本統計、抽樣方法、費雪區別分析。

4.1 自然環境影響因子統計與分析

土石流潛勢分析採用的影響因子很多，需要針對龐大的數據資料進行分析，來確認土石流與影響因子間之關係，故先探求各影響因子之分布特性。首先統計高雄地區土石流溪流與非土石流溪流之基本統計量最大值、最小值、平均值與標準差做觀察，再繪製影響因子的分布圖來比較土石流與非土石流間之分布趨勢，探討不同影響因子對於土石流發生潛勢影響之重要性。

4.1.1 地質分區說明

不同地質組成可能對於土石流發生潛勢會有影響，亦有可能在不同地質條件區塊下土石流潛勢的影響因子會有不同的重要性，故研究針對不同地質組成區塊分別探討各地質區塊的土石流潛勢分析。由於高雄土石流溪流主要分布在C地質區與D地質區，故就不分地質區塊、C地質區和D地質區來了解不同地質區塊下土石流影響因子之差異。

高雄土石流溪流與非土石流溪流分布如圖 4.1，不分地質區有土石流 105 條與非土石流 90 條；C地質區有土石流 34 條與非土石流 30 條；D地質區有土石流 71 條與非土石流 60 條，溪流如位於地質交界帶則依集水區面積百分比決定代表地質區，整理地質區面積與土石流條數如表 4.1。

4.1.2 高雄地區影響因子特性

不同地區各種影響因子對於土石流發生潛勢都會有不同方面的影響，必須先探討各種影響因子之分布特性，才能夠了解該地區土石流發生與影響因子之關聯性。將高雄地區土石流影響因子繪製成分布圖加以比較，可以從土石流溪流與非土石流溪流間因子分布圖來觀察各因子在不同地質分區的影響力。

1. 溪流長度：土石流溪流與非土石流溪流之溪流長度分布情形如圖 4.2，高雄地區土石流溪流長度與非土石流溪流長度多集中於 3000 公尺以下，只有少數溪流長度大於 4000 公尺，大於 4000 公尺長度之溪流僅在 C 地質區非土石流溪流較土石流溪流為多。
2. 集水區面積：土石流溪流與非土石流溪流之集水區面積分布情形如圖 4.3，不論不分地質區和 C、D 地質區之集水區面積分布來看，土石流與非土石流溪流都集中在 20~500 公頃之間，而土石流溪流之集水區面積在小於 20 公頃和大於 1000 公頃相對高於非土石流溪流。
3. 形狀係數：土石流溪流與非土石流溪流之形狀係數分布情形如圖 4.4，由三種分區來看，形狀係數多集中在 0.1~0.6 之間，形狀係數大於 0.8 只有非土石流溪流存在，土石流溪流相對在 0.2 以下所占比率高於非土石流。
4. 邊坡坡向：土石流溪流與非土石流溪流之邊坡坡向分布情形如圖 4.5~圖 4.7，在不分地質區和 D 地質區看來，土石流集中在西、西北、西南與非土石流溪流集中在東北、東南有明顯不同；而在 C 地質區土石流與非土石流差異在於西北與東北兩個坡向，可以看出不同地質區坡向有不同的影響。

5. 殘土率：土石流溪流與非土石流溪流之殘土率分布情形如圖 4.8，殘土率在三個分類中可以看出差異在於 0.7~0.75 及 0.5~0.55 之間，尤其在 D 地質區在兩個差異區間相對更加明顯，殘土率之左端數值極值多為非土石流溪流，右端數值極值多為土石流溪流。
6. 邊坡坡度：土石流溪流與非土石流溪流之邊坡坡度分布情形如圖 4.9，不論不分地質區與 C、D 地質區邊坡坡度主要集中在 20~40 度之間，但在大於 30 度與小於 20 度兩個區段中仍有差異存在，由不分地質區和 D 地質區可以發現土石流溪流邊坡大於 30 度較多，而在小於 20 度則相對於非土石流溪流為少。
7. 地質種類：土石流溪流與非土石流溪流之地質種類分布情形如圖 4.10，地質種類代號如表 3.1，不分地質區地質總類較多，土石流與非土石流主要差異於 Mj(砂岩、頁岩)、Ms(砂岩、頁岩)、Qo(砂岩、泥岩、頁岩、礫岩)；C、D 地質區受分區而地質種類較少，C 地質區於 MI(硬頁岩、板岩、千枚岩夾砂岩)、Ms(砂岩、頁岩)差異大；D 地質區土石流主要集中在 Ms(砂岩、頁岩)，與非土石流差異於 Ms(砂岩、頁岩)、Q2(礫石、紅土、土、砂)、Mj(砂岩、頁岩)、MI(硬頁岩、板岩、千枚岩夾砂岩)。
8. 溪床平均坡度：土石流溪流與非土石流溪流之溪床平均坡度分布情形如圖 4.11，不論土石流與非土流多集中在 25 度以下，在不分地質區與 D 區可以看出非土石流在 10 度以下多出土石流很多，而在大於 10 度以後土石流相較於非土石流所占百分比為多，C 地質區趨勢不同可能與樣本數量較少或地質區特性有關。

除了土石流溪流與非土石流溪流各影響因子分布圖外，統計計算出溪流長度、集水區面積、形狀係數、殘土率、溪床平均坡度之最大值、最小值、平均數與標準差整理如表 4.2。

4.1.3 高雄、台南與嘉義 D 地質區影響因子分布特性

由於想進一步研究費雪區別分析對於預測其他地區相同地質區塊之適用性，故比較高雄與台南、嘉義 D 地質區之影響因子分布，高雄 105 條、嘉義 62 條、台南 48 條 D 地區土石流溪流分布如圖 4.12，整理比較高雄、台南與嘉義 D 地質區各影響因子平均值與標準差如表 4.3，分布特性如下：

1. 溪流長度：高雄、台南與嘉義土石流溪流之溪流長度分布情形如圖 4.13，高雄、台南土石流溪流長度多集中在 2000 公尺以下；嘉義地區土石流溪流長度分布範圍很廣，且在大於 4000 公尺所佔比例明顯高於其他長度分布，由平均值與標準差可看出高雄、台南溪流長度較短，嘉義溪流長度變異程度高出許多。
2. 集水區面積：高雄、台南與嘉義土石流溪流之集水區面積分布情形如圖 4.14，高雄、台南主要分布在 100 公頃以下；嘉義地區在大於 100 公頃以後所佔百分比急遽增加，從標準差可知嘉義土石流集水區面積變化大，且與溪流長度做比較可以得知，嘉義地區溪流長度較高雄、台南長，故集水區面積也會較大，屬於流域較大的土石流種類。
3. 形狀係數：高雄、台南與嘉義土石流溪流之形狀係數分布情形如圖 4.15，高雄、台南與嘉義分布情形與趨勢大致相同，主要分布在 0.1~0.6 之間，而在小於 0.3 高雄所佔比例多於其他兩地，土石流流域形狀偏向狹窄型。
4. 邊坡坡向：高雄、台南與嘉義土石流溪流之邊坡坡向分布情形如圖 4.16，坡向方面台南與嘉義較為相近，而高雄地區邊坡坡向差異明顯，在 W、SW、SE、E 有較為明顯不同存在，而 WN、W 所佔比率均高，可能與地形走向有關。
5. 殘土率：高雄、台南與嘉義土石流溪流之殘土率分布情形如圖 4.17，由高雄與嘉義殘土率分布看來，分布情形與趨勢大致相同，均為以 0.5~0.75 為中心呈現常態分佈形狀，但台南地區殘土率分布大多小於 0.6，差異性可能與地形

有關，台南地區平原多，溪流發展趨向老年期堆積較旺盛。

6. 邊坡坡度：高雄、台南與嘉義土石流溪流之邊坡坡度分布情形如圖 4.18，高雄、台南與嘉義皆為常態分佈，高雄與嘉義主要邊坡坡度集中在 20~40 度之間，但台南地區在 20 度以下所占百分比高於高雄、嘉義，而大於 40 度則高雄、嘉義地區大於台南。由於地形上的起伏差異，故導致在邊坡坡度 30 以上與 20 度以下有所差異。
7. 地質種類：高雄、台南與嘉義土石流溪流之地質種類分布情形如圖 4.19，雖然選取的研究區塊均在同一地質分區，高雄、台南嘉義分別缺少部分地質組成成分，可由圖明顯看出，主要地質集中在 Ms(砂岩、頁岩)、P1(頁岩、砂質頁岩、泥岩)、P2(砂岩、泥岩、頁岩)、Ml(硬頁岩、板岩、千枚岩夾砂岩)，高雄缺乏 P1(頁岩、砂質頁岩、泥岩)、P2(砂岩、泥岩、頁岩)地質，嘉義缺乏 Mj(砂岩、頁岩)、Ml(硬頁岩、板岩、千枚岩夾砂岩)地質，台南介於兩者之間，由分布可得知地質從嘉義到高雄逐漸變化，在整體組成成分可以看出主要以 Ms(砂岩、頁岩)地質組成。
8. 溪床平均坡度：高雄、台南與嘉義土石流溪流之溪床平均坡度分布情形如圖 4.20，高雄與台南分布情形與趨勢雷同，嘉義在 5~10 度比例大於其他兩地，但在 20~25 度以上則小於其他兩地，由於前面溪流長度可知嘉義溪流長度較長，使溪床平均坡度降低。

以上兩個小節分別介紹高雄地區、台南地區與嘉義地區之影響因子基本分布特性，以此來做為影響因子初步探討，而嘉義地區與高雄地區在整體影響因子相似性會於下一章作討論，接下來說明研究所考慮之分析方法與步驟，以及統計方法原理與假設檢定結果。

4.2 影響因子數據標準化

各種影響因子對於土石流發生潛勢都會有不同程度的影響，但各種影響因子所用的單位不盡相同，不同單位會導致費雪區別分析所得的函數不易解釋，且單一變數與不同變數間具有較大差異時，會使得不同變數所占比重差異拉大。例如集水區面積數值分布在 3.22~1340 公頃之間，而殘土率數值分布在 0.39~0.83 之間，兩個變數之間最大差異達 1000 倍左右，且集水區面積自身數值也變化極大，為消除單位影響及變數自身變化大小，故將影響因子數據進行標準化。目前在生物、統計、地質方面常使用到的標準化方法如下：

Z Score 標準化：將變數之觀察值與母體平均值相減，再除以母體標準差，亦即原始分數和母體平均值之間的距離，以標準差為單位計算；計算所得之 Z 分數平均值為 0、標準差為 1，且分布情形會較接近常態分佈。

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4-1)$$

x：需要標準化的原始數值

μ ：母體平均值

σ ：母體標準差

研究中以不分地質區整體溪流與 C、D 地質區各別溪流作為標準化的對象，第五章先以高雄地區進行費雪區別分析，然後比較不同標準化標準下對於費雪區別分析正判率的影響，再將成果較好的標準化標準帶入嘉義與台南的土石流溪流，探討未標準化與標準化後，費雪區別分析應用於預測其他地區的適用性。

4.3 費雪區別分析

研究採用費雪區別分析作為土石流發生潛勢的判斷方法，費雪區別分析主要在判斷群體的差異，將多個連續變項經一線性組合轉換為區別變數當作自變數，一類別變數作為依變項，如土石流溪流定義為 1，非土石流溪流定義為 0，並加以檢查經由區別函數判斷群組的準確性。區別函數需有樣本資料點的分群資料，才能求取各群體資料區別能力較準確的函數，並可將新的資料點進行分類。

4.3.1 原理與假設

區別分析是一種相依方法，其準則變數為事先定義的類別變數，尋找區別函數的線性組合之最佳權重，使組間變異對組內變異之比值為最大。費雪區別分析求解時會使用到特徵值與特徵向量，以尋找群體差異最大，當導出費雪判別函數後，得到區別變數的費雪權重，與複迴歸分析有很多相似之處，其標準化後的費雪權重越大，代表該因子對於辨別能力越顯著，其基本公式如下：

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_ix_i \quad (4-2)$$

其中變數，y：判別函數值

X_i ：各區別變數

a_i ：相對應之費雪判別係數

區別分析目的在於確定兩個以上事先定義之群體在一組變數上是否有顯著差異，找出哪些變數最能解釋群體間平均分數差異，建立一組預測變數上的分數劃歸到不同群體，為達到以上目的須符合區別分析的假設條件，分述如下：

1. 需有兩個或兩個以上事先定義之群體：區別分析是由兩組以上已知定義群體歸納出群體間差異性。
2. 每群體至少包含兩個樣本單位：由於費雪區別分析主要在探求組內變異與組

間變異之比值，樣本太少無法計算組內變異。

3. 一個區別變數不得為其他變數的線性組合：區別變數如為其他變數的線性組合，那變數所提供的資訊就會重複使用，且使得參數估計的標準誤差變大，參數檢定變成不顯著，為複共線性(Multicollinearity)。
4. 組內變異數-共變異矩陣應為相等：區別分析最常用的是線性判別函數，為區別變數的簡單線性組合，當符合假設，才能使用公式計算判別函數和顯著性檢定。
5. 自變數具有多變量常態分布：當符合常態分布可準確計算顯著性檢定值和每個樣本觀察值歸屬的機率。

4.3.2 分析流程

費雪區別分析流程可簡單分為兩部分，即費雪區別函數變數選定擬合和費雪區別函數的驗證，說明如下：

1. 費雪區別函數變數選定擬合：由事先定義之分類群組的觀察值建立判別函數，來分析與解釋變數在各分類群組間的差異性，利用兩母群影響因子做顯著性與獨立性檢定篩選出代表性影響因子，再依據隨機抽樣的溪流樣本數建立費雪區別函數，並將抽樣的溪流樣本帶入得溪流判別情形。
2. 費雪區別函數驗證：要以未知分類的溪流樣本來與第一部分求得的費雪區別函數做驗證，並將溪流樣本分類。之後用來預測未分類的溪流是否為土石流溪流，並將實際驗證成果與建立判別結果比較，了解判別函數之正確性。

4.3.3 影響因子假設檢定

進行費雪區別分析所使用的樣本必須達到前小節描述的假設條件，當達到假設條件才能有效提升判別準確性，並能有效歸納較為顯著之影響因子，使用到的影響因子與簡化變數代號整理如表 3.2。介紹區別分析之假設檢定與研究檢定結果如下：

1. 自變數多變量常態分佈：統計學將統計資料分為常態分佈與非常態分佈，迴歸分析研究中，自變數為常態分佈，多採用線性區別分析，線性迴歸中有費雪區別分析等，如自變數為非常態分佈，各種顯著性檢定仍然適用，但準確性會降低，在一般統計依照中央極限定理，當樣本數約達到 30 個，則可假設為常態分佈，且 Z Score 標準化可使數據趨向常態分佈，並考量研究分析方便性，故假設各影響因子為常態分佈。
2. 自變數顯著性檢定：統計資料分析常比較不同兩群體間變數是否所差異性存在，往往可由兩群體間變數的期望值來判斷，當樣本數量大於 30 以上可假設為常態分佈，故採用獨立樣本 T 檢定來進行兩母體平均數分析，分析公式由於變異數相等與否會影響 T 檢定的計算公式，故先使用 F 檢定確認兩母體變異數相等。

研究使用統計分析軟體 SPSS 可直接計算母體間變異數相等與否，故可獲得 T 檢定的顯著數值。分析過程中，虛無假設定義為某一變數之母體間中心無差異($\mu_1 - \mu_2 = 0$)，即此影響因子在土石流溪流與非土石流溪流中差異不明顯；對立假設為變數之母體間中心不相等($\mu_1 \neq \mu_2$)。信賴區間常使用的有 90%、95%、99.5%，本研究採用信賴區間為 90%，亦即顯著水準為 0.1。若該變數經獨立樣本 T 檢定分析後，落在所取的 90% 信賴區間內(即顯著水準大於 0.1)，則接受虛無假設 H_0 ，代表該變數在兩母體間不存在顯著差異，視為不顯著變數，

反之拒絕虛無假設 H_0 ，則是為顯著變數。本研究檢定結果如表 4.4，說明如下：

- (1) 不分地質區：土石流與非土石流兩母體間有顯著差異之影響因子包含殘土率 HI、邊坡坡向 NE、邊坡坡度 SD10；SD20；SD40、形狀係數 FF。
 - (2) C 地質區：土石流與非土石流兩母體間有顯著差異之影響因子包含殘土率 HI、邊坡坡向 NE、地質種類 Ms；MI；Mj。
 - (3) D 地質區：土石流與非土石流兩母體間有顯著差異之影響因子包含殘土率 HI、邊坡坡度 SD10；SD20；SD40、形狀係數 FF。
3. 自變數獨立性檢定：為有效區分兩群樣本，進行費雪區別分析時選用區別力較佳之變數，變數之間可能會有相關性存在，而使得可能產生共線性問題降低變數顯著性，故費雪區別分析之自變數必須具備獨立性。獨立性檢定有 Pearson 積差相關係數、Spearman 等級相關係數，由於 Pearson 相關係數數值較 Spearman 相關係數為大，故採用 Pearson 積差相關係數，其變化範圍為 -1~+1。當其值趨近於 1 時，兩變數為完全正相關；而趨近於 -1 時，兩變數完全負相關；又當值趨近於 0 時，兩變數完全獨立。故可將 Pearson 相關係數劃分五個等級，相關係數絕對值小於 0.2 為無相關、0.2~0.4 為低度相關、0.4~0.6 為中度相關、0.6~0.8 為中高度相關、0.8~1.0 為高度相關，研究檢定結果，說明如下：
- (1) 不分地質區各影響因子之 Pearson 相關係數 $r < |0.2|$ ，結果如表 4.5，表中陰影部分為因子間彼此獨立 ($r < |0.2|$)。許多影響因子彼此獨立如：集水區面積 BA 與形狀係數 FF、集水區面積 BA 與邊坡坡向 NE、殘土率 HI 與形狀係數 FF、Q2 與 Mj 等。
 - (2) C 地質區各影響因子之 Pearson 相關係數 $r < |0.2|$ 以下，結果如表 4.6，表中陰影部分為因子間彼此獨立 ($r < |0.2|$)。集水區面積 BA 與殘土率 HI、集水區面積 BA 與邊坡坡向 ES、形狀係數 FF 與 SD20、SD10 與 Mj 等。

- (3) D地質區各影響因子之Pearson相關係數 $r < |0.2|$ 以下，結果如表4.7，表中陰影部分為因子間彼此獨立($r < |0.2|$)。集水區面積BA與形狀係數SMS、集水區面積BA與邊坡坡向WN、殘土率HI與N、殘土率HI與Ms等。

以未標準化的影響因子數據為主進行假設檢定，然後將影響因子數據分別以不分區全體溪流和分地質區溪流標準化，再依照相同的假設假定進行影響因子篩選；經由假設檢定所得結果與未標準化數據結果相同，可能由於Z Score標準化屬於線性轉換，故變數之間關係仍然一致；影響因子經由顯著性與相關性檢定後，其能夠用於費雪區別分析的因子過少，且在顯著性檢定中所得P值雖然大於0.1，但其仍可以用作判別因子，故依序將顯著性大小且其為獨立之因子篩選出來，整理如表4.8，其可作為費雪區別分析之影響因子。

4.4 抽樣概念

進行統計分析隨機選取的溪流樣本數目、樣本分布狀況，對於進行分析所得到的結果會有所影響；由於研究使用的土石流溪流與非土石流溪流樣本並非含括全部研究區域，使得隨機抽樣選取的樣本可能會發生局部集中的現象，故本節對抽樣做說明與探討。

統計目的在於歸納大量資料以便進行觀測，而抽樣在統計中能夠達到節省時間，在母體過大無法對於每一樣本進行觀測時，採用抽樣來達到簡化；抽樣樣本一定會誤差存在，抽樣樣本觀測結果與真實母體之間有一定的差距，稱作抽樣誤差(Sampling Error)；由於抽樣不可能無限次的進行，只能假定單一抽樣能代替無限次抽樣的平均。

4.4.1 簡單隨機抽樣

隨機抽樣種類眾多，包括系統抽樣(Systematic Sampling)、分層抽樣(Stratified Sampling)、集群抽樣(Cluster Sampling)、簡單隨機抽樣(Simple Random Sampling)，研究採用簡單隨機抽樣描述如下：

1. 方法：從總體 N 個樣本的母體中隨機抽取 n 個樣本，使每一個樣本都有相同的抽中機率，且樣本之間為完全獨立，彼此間無一定的關聯性和排斥性。
2. 性質：
 - (1) 每個樣本抽取機率均相等，參數估計簡單。
 - (2) 任一樣本抽中與否，不影響其他樣本。
 - (3) 樣本統計量不會高估，也不會低估。
 - (4) 樣本代表性恐有不足(樣本差異大或重要性不同)。

4.4.2 抽樣樣本代表性

以 Excel 建立土石流與非土石流之影響因子資料庫，並將每條溪流加以編號以便於抽樣，同時可以進行母體影響因子分布探討，由於簡單隨機抽樣對於影響因子的重要性會隨著抽樣分布和樣本差異性而變化，使得進行費雪區別分析前其顯著性檢定與獨立性檢定所篩選出之影響因子在每次抽樣有不同結果產生。

由於 C 地質區溪流過少，故僅針對不分地質區、D 地質區進行抽樣，而為達到抽樣樣本能分布平均，且抽樣樣本能夠代表母體，故先將要進行抽樣的不分地質區、D 地質區做影響因子顯著性檢定，以了解原始母體在土石流溪流與非土石流溪流間較為顯著的影響因子項目，接著比較抽樣樣本和母體之間在顯著的影響因子分布圖是否有相同的分布情形與趨勢，以確保抽樣結果能代表母體，其中顯著影響因子有殘土率、邊坡坡度、地質及邊坡坡向，抽樣樣本於顯著性高的不分地質區影響因子項目分布圖部分如圖 4.21~圖 4.24，將原始溪流基本分布數據以分布曲線表示，而抽樣分布數據以長條圖表示；基本上抽樣與母體在不同區間所佔百分比分布情形相似，但仍然會有部分誤差產生，其誤差稱為抽樣誤差，而抽樣誤差會隨著不同抽樣比例而有所變動，當抽樣樣本佔母體比例越大時其相對較為穩定，為確保後面分析擬合的穩定性，故抽樣 60% 為抽樣擬合標準；因先以高雄地區建立費雪區別函數，勢必要驗證所擬合出來的費雪區別函數，而剩餘 40% 為驗證樣本，由於 40% 為抽樣剩下的也必須確認其是否符合母體代表性，以避免驗

證樣本差異過大使準確性降低，舉不分地質區其中一例分布圖如圖 4.25，其餘抽驗與驗證溪流影響因子分布圖放置附錄 A。

4.5 影響因子討論

本節探討影響因子經過假設檢定後各分區所得之差異性與代表性，並推估各分區差異對於建立費雪區別函數之影響。

1. 經由假設檢定篩選影響因子後，各地質分區具有顯著性區別力之因子如表 4.5，與各分區之基本分布特性比對，可以得知對於土石流與非土石流均有不錯判別效果，即假設檢定具有代表性。
2. 從表 4.5 可觀察到，各分區最為顯著影響因子皆為殘土率 HI，其中 D 地質區分布差異較為明顯，推測殘土率 HI 因子在判別土石流與非土石流區別提供較大影響性，代表土石流由所在地質區提供足夠土砂材料，為土石流重要發生條件。
3. 從表 4.5 觀察出，顯著性大於 0.1 信心水準的，不分地質區與 D 地質區對於邊坡坡度因子都有較明顯的顯著性，而 C 地質區顯著因子沒有邊坡坡度因子出現，可能由於 C 地質區溪流條數過少，導致土石流與非土石流差異性不明顯，但整體而言邊坡坡度亦為土石流發生之顯著影響因子。
4. 從表 4.9 可觀察到，不分地質區選取之因子為 HI、FF、NE、SD40、SD90、N、Ms 與 D 地質區選取之因子大致上相同，與 C 地質區選取之因子差異較大，並由表 4.1 可知，D 地質區面積小但土石流數量較多，而 C 地質區面積大但土石流數量較少，不分地質區混和 C、D 地質區後，主要是受到土石流數量多的 D 地質區控制，但也會混入 C 地質區較少土石流的影響。

表 4.1 高雄地區土石流和非土石流地質分布表

地質區	不分地質區	C 地質區	D 地質區
土石流數目	105	34	71
非土石流數目	90	30	60
面積(km ²)	2950	1317	984

表 4.2 高雄地區土石流和非土石流影響因子基本統計表

影響因子	參數	土石流溪流	非土石流溪流
溪流長度(m)	最大值	6200	7628
	最小值	354	318
	平均值	1626	1654
	標準差	1260	1362
集水區面積(ha)	最大值	1340	967
	最小值	3.22	7.62
	平均值	114	111
	標準差	203	164
形狀係數	最大值	0.79	1.05
	最小值	0.04	0.12
	平均值	0.31	0.39
	標準差	0.16	0.22
殘土率	最大值	0.83	0.78
	最小值	0.49	0.39
	平均值	0.67	0.59
	標準差	0.08	0.10
溪床平均坡度(度)	最大值	32.18	58.10
	最小值	4.86	1.81
	平均值	15.60	14.67
	標準差	6.64	9.41

表 4.3 高雄、台南與嘉義土石流影響因子基本統計表

影響因子	參數	高雄	台南	嘉義
溪流長度(m)	平均值	1589	1555	2673
	標準差	1290	1483	2224
集水區面積(km ²)	平均值	104	119	364
	標準差	209	209	715
形狀係數	平均值	0.30	0.36	0.40
	標準差	0.16	0.21	0.21
殘土率	平均值	0.66	0.48	0.67
	標準差	0.08	0.11	0.11
溪床平均坡度(度)	平均值	14.26	13.72	11.61
	標準差	6.16	6.15	5.18



表 4.4 獨立樣本 T 檢定表(依顯著性大小排列) $p < 0.1$ 達顯著水準

影響因子 (不分區)	p	影響因子 (C 區)	p	影響因子 (D 區)	p
HI	.000	HI	.003	HI	.000
FF	.004	MI	.017	SD10	.001
NE	.014	NE	.021	FF	.002
SD40	.021	Mj	.081	SD40	.021
SD10	.029	MS	.092	SD20	.033
SD20	.053	SD40	.155	SD90	.107
W	.105	SL	.172	W	.134
Mj	.243	E	.178	MS	.163
SD50	.302	WN	.178	NE	.256
SD90	.307	SW	.205	SMS	.267
ES	.354	SD30	.329	SD50	.280
N	.378	SD90	.384	N	.321
SW	.385	W	.387	Mj	.398
Qo	.402	BA	.431	SL	.424
MS	.409	SD20	.535	ES	.431
SMS	.420	FF	.561	MI	.496
WN	.438	ES	.582	Q2	.532
SD30	.451	S	.772	BA	.540
Q2	.584	SD50	.786	Qo	.541
E	.681	SMS	.823	E	.662
MI	.761	N	.877	S	.726
S	.860	SD10	.886	SD30	.734
SL	.918			Q3	.954
BA	.925			SW	.964
Q3	.941			WN	.990

表 4.5 不分地質區 Pearson 相關係數檢定表 $r < |0.2|$ 彼此獨立

	BA	SL	HI	SMS	FF	N	NE	E	ES	S	SW	W	WN
BA	1.00	0.87	-0.01	-0.15	-0.11	0.18	0.07	-0.17	-0.14	0.07	0.16	0.00	-0.01
SL	0.87	1.00	-0.02	-0.21	-0.37	0.18	0.05	-0.18	-0.14	0.13	0.21	-0.02	-0.03
HI	-0.01	-0.02	1.00	0.31	-0.13	-0.14	0.03	0.19	0.15	0.05	-0.11	-0.04	-0.17
SMS	-0.15	-0.21	0.31	1.00	0.11	-0.08	-0.07	0.02	0.02	-0.11	-0.04	0.11	0.04
FF	-0.11	-0.37	-0.13	0.11	1.00	0.06	0.03	-0.06	-0.05	-0.18	-0.05	0.09	0.11
N	0.18	0.18	-0.14	-0.08	0.06	1.00	0.16	-0.40	-0.55	-0.52	-0.20	0.12	0.52
NE	0.07	0.05	0.03	-0.07	0.03	0.16	1.00	0.52	0.23	-0.06	-0.52	-0.55	-0.40
E	-0.17	-0.18	0.19	0.02	-0.06	-0.40	0.52	1.00	0.68	0.19	-0.52	-0.71	-0.67
ES	-0.14	-0.14	0.15	0.02	-0.05	-0.55	0.23	0.68	1.00	0.54	-0.38	-0.73	-0.73
S	0.07	0.13	0.05	-0.11	-0.18	-0.52	-0.06	0.19	0.54	1.00	0.14	-0.48	-0.61
SW	0.16	0.21	-0.11	-0.04	-0.05	-0.20	-0.52	-0.52	-0.38	0.14	1.00	0.52	0.01
W	0.00	-0.02	-0.04	0.11	0.09	0.12	-0.55	-0.71	-0.73	-0.48	0.52	1.00	0.56
WN	-0.01	-0.03	-0.17	0.04	0.11	0.52	-0.40	-0.67	-0.73	-0.61	0.01	0.56	1.00
SD10	-0.12	-0.06	-0.19	-0.37	-0.08	-0.09	-0.04	-0.01	0.04	0.07	0.08	-0.03	-0.03
SD20	-0.18	-0.14	-0.18	-0.40	-0.14	-0.13	0.07	0.17	0.14	0.14	0.00	-0.13	-0.20
SD30	-0.19	-0.18	-0.12	-0.31	-0.07	-0.09	-0.05	0.17	0.09	0.19	-0.06	-0.12	-0.13
SD40	0.16	0.13	0.16	0.35	0.10	0.04	-0.09	-0.16	-0.19	-0.05	0.09	0.18	0.15
SD50	0.20	0.15	0.16	0.41	0.13	0.14	0.05	-0.14	-0.06	-0.23	-0.04	0.09	0.17
SD90	0.15	0.13	0.16	0.31	0.05	0.18	0.11	-0.03	0.02	-0.19	-0.09	-0.01	0.04
Mj	-0.04	-0.01	0.31	0.06	-0.01	-0.21	0.01	0.27	0.26	0.21	-0.11	-0.23	-0.21
MI	0.05	0.05	0.14	0.32	0.04	0.03	-0.15	-0.22	-0.24	-0.22	0.10	0.35	0.22
MS	0.12	0.16	0.02	-0.15	-0.13	0.14	0.11	-0.01	-0.03	0.05	0.05	-0.11	-0.06
Q2	-0.16	-0.23	-0.39	-0.16	0.15	-0.02	-0.06	0.02	0.12	0.10	-0.12	-0.17	0.08
Q3	-0.11	-0.14	-0.05	-0.17	0.11	-0.11	0.05	0.14	0.22	0.09	-0.11	-0.13	-0.15
Qo	-0.08	-0.10	-0.21	-0.10	-0.07	-0.08	0.14	0.12	-0.02	-0.06	0.04	0.03	-0.12

表 4.5 不分地質區 Pearson 相關係數檢定表(續) $r < |0.2|$ 彼此獨立

	SD10	SD20	SD30	SD40	SD50	SD90	Mj	MI	MS	Q2	Q3	Qo
BA	-0.12	-0.18	-0.19	0.16	0.20	0.15	-0.04	0.05	0.12	-0.16	-0.11	-0.08
SL	-0.06	-0.14	-0.18	0.13	0.15	0.13	-0.01	0.05	0.16	-0.23	-0.14	-0.10
HI	-0.19	-0.18	-0.12	0.16	0.16	0.16	0.31	0.14	0.02	-0.39	-0.05	-0.21
SMS	-0.37	-0.40	-0.31	0.35	0.41	0.31	0.06	0.32	-0.15	-0.16	-0.17	-0.10
FF	-0.08	-0.14	-0.07	0.10	0.13	0.05	-0.01	0.04	-0.13	0.15	0.11	-0.07
N	-0.09	-0.13	-0.09	0.04	0.14	0.18	-0.21	0.03	0.14	-0.02	-0.11	-0.08
NE	-0.04	0.07	-0.05	-0.09	0.05	0.11	0.01	-0.15	0.11	-0.06	0.05	0.14
E	-0.01	0.17	0.17	-0.16	-0.14	-0.03	0.27	-0.22	-0.01	0.02	0.14	0.12
ES	0.04	0.14	0.09	-0.19	-0.06	0.02	0.26	-0.24	-0.03	0.12	0.22	-0.02
S	0.07	0.14	0.19	-0.05	-0.23	-0.19	0.21	-0.22	0.05	0.10	0.09	-0.06
SW	0.08	0.00	-0.06	0.09	-0.04	-0.09	-0.11	0.10	0.05	-0.12	-0.11	0.04
W	-0.03	-0.13	-0.12	0.18	0.09	-0.01	-0.23	0.35	-0.11	-0.17	-0.13	0.03
WN	-0.03	-0.20	-0.13	0.15	0.17	0.04	-0.21	0.22	-0.06	0.08	-0.15	-0.12
SD10	1.00	0.48	0.04	-0.54	-0.43	-0.25	-0.05	-0.12	0.04	-0.01	0.09	0.24
SD20	0.48	1.00	0.57	-0.84	-0.75	-0.44	0.11	-0.42	0.20	-0.08	0.23	0.35
SD30	0.04	0.57	1.00	-0.44	-0.83	-0.63	0.05	-0.29	0.13	0.10	0.20	0.01
SD40	-0.54	-0.84	-0.44	1.00	0.48	0.07	-0.09	0.47	-0.20	0.02	-0.18	-0.31
SD50	-0.43	-0.75	-0.83	0.48	1.00	0.67	-0.04	0.28	-0.12	-0.01	-0.23	-0.14
SD90	-0.25	-0.44	-0.63	0.07	0.67	1.00	0.02	-0.03	0.11	-0.05	-0.13	-0.07
Mj	-0.05	0.11	0.05	-0.09	-0.04	0.02	1.00	-0.18	-0.20	-0.10	-0.07	-0.05
MI	-0.12	-0.42	-0.29	0.47	0.28	-0.03	-0.18	1.00	-0.66	-0.26	-0.20	-0.10
MS	0.04	0.20	0.13	-0.20	-0.12	0.11	-0.20	-0.66	1.00	-0.22	-0.17	-0.15
Q2	-0.01	-0.08	0.10	0.02	-0.01	-0.05	-0.10	-0.26	-0.22	1.00	-0.02	-0.06
Q3	0.09	0.23	0.20	-0.18	-0.23	-0.13	-0.07	-0.20	-0.17	-0.02	1.00	-0.04
Qo	0.24	0.35	0.01	-0.31	-0.14	-0.07	-0.05	-0.10	-0.15	-0.06	-0.04	1.00

表 4.6 C 地質區 Pearson 相關係數檢定表 $r < |0.2|$ 彼此獨立

	BA	SL	HI	SMS	FF	N	NE	E	ES	S	SW	W	WN
BA	1.00	0.92	-0.20	-0.47	-0.17	0.20	0.21	-0.04	0.05	0.27	0.06	-0.28	-0.15
SL	0.92	1.00	-0.33	-0.52	-0.42	0.20	0.23	-0.03	0.08	0.31	0.07	-0.32	-0.17
HI	-0.20	-0.33	1.00	0.11	-0.03	-0.08	0.06	0.20	0.17	-0.01	-0.16	-0.08	-0.10
SMS	-0.47	-0.52	0.11	1.00	0.41	-0.11	-0.07	0.06	-0.16	-0.40	0.01	0.26	0.15
FF	-0.17	-0.42	-0.03	0.41	1.00	0.01	0.06	0.07	-0.10	-0.21	0.02	0.12	-0.03
N	0.20	0.20	-0.08	-0.11	0.01	1.00	0.16	-0.31	-0.44	-0.39	-0.16	-0.05	0.33
NE	0.21	0.23	0.06	-0.07	0.06	0.16	1.00	0.67	0.30	0.05	-0.47	-0.63	-0.50
E	-0.04	-0.03	0.20	0.06	0.07	-0.31	0.67	1.00	0.76	0.34	-0.53	-0.75	-0.70
ES	0.05	0.08	0.17	-0.16	-0.10	-0.44	0.30	0.76	1.00	0.74	-0.41	-0.76	-0.72
S	0.27	0.31	-0.01	-0.40	-0.21	-0.39	0.05	0.34	0.74	1.00	-0.08	-0.58	-0.63
SW	0.06	0.07	-0.16	0.01	0.02	-0.16	-0.47	-0.53	-0.41	-0.08	1.00	0.50	0.01
W	-0.28	-0.32	-0.08	0.26	0.12	-0.05	-0.63	-0.75	-0.76	-0.58	0.50	1.00	0.58
WN	-0.15	-0.17	-0.10	0.15	-0.03	0.33	-0.50	-0.70	-0.72	-0.63	0.01	0.58	1.00
SD10	-0.13	-0.09	0.18	-0.33	-0.18	-0.09	0.01	0.06	0.14	0.21	-0.01	-0.11	-0.11
SD20	0.00	0.05	-0.14	-0.45	-0.21	0.00	-0.06	0.02	0.14	0.26	0.04	-0.06	-0.22
SD30	-0.12	-0.16	-0.20	-0.09	0.08	-0.02	-0.20	-0.14	-0.01	0.09	0.11	0.20	-0.02
SD40	-0.13	-0.20	-0.03	0.38	0.17	-0.14	-0.24	-0.12	-0.15	-0.24	0.07	0.18	0.34
SD50	0.22	0.22	0.10	0.23	0.11	0.10	0.35	0.11	-0.07	-0.17	-0.08	-0.11	0.00
SD90	0.31	0.39	0.09	0.10	-0.12	0.28	0.52	0.18	0.02	-0.07	-0.21	-0.26	-0.15
Mj	0.14	0.24	0.05	-0.09	-0.15	-0.04	0.29	0.21	0.17	0.23	-0.14	-0.26	-0.23
MI	-0.44	-0.51	0.07	0.20	0.22	0.03	-0.20	-0.36	-0.32	-0.28	0.16	0.43	0.40
MS	0.46	0.50	-0.06	-0.22	-0.21	-0.12	0.34	0.32	0.32	0.31	-0.08	-0.38	-0.38

表 4.6 C 地質區 Pearson 相關係數檢定表(續) $r < |0.2|$ 彼此獨立

	SD10	SD20	SD30	SD40	SD50	SD90	Mj	MI	MS
BA	-0.13	0.00	-0.12	-0.13	0.22	0.31	0.14	-0.44	0.46
SL	-0.09	0.05	-0.16	-0.20	0.22	0.39	0.24	-0.51	0.50
HI	0.18	-0.14	-0.20	-0.03	0.10	0.09	0.05	0.07	-0.06
SMS	-0.33	-0.45	-0.09	0.38	0.23	0.10	-0.09	0.20	-0.22
FF	-0.18	-0.21	0.08	0.17	0.11	-0.12	-0.15	0.22	-0.21
N	-0.09	0.00	-0.02	-0.14	0.10	0.28	-0.04	0.03	-0.12
NE	0.01	-0.06	-0.20	-0.24	0.35	0.52	0.29	-0.20	0.34
E	0.06	0.02	-0.14	-0.12	0.11	0.18	0.21	-0.36	0.32
ES	0.14	0.14	-0.01	-0.15	-0.07	0.02	0.17	-0.32	0.32
S	0.21	0.26	0.09	-0.24	-0.17	-0.07	0.23	-0.28	0.31
SW	-0.01	0.04	0.11	0.07	-0.08	-0.21	-0.14	0.16	-0.08
W	-0.11	-0.06	0.20	0.18	-0.11	-0.26	-0.26	0.43	-0.38
WN	-0.11	-0.22	-0.02	0.34	0.00	-0.15	-0.23	0.40	-0.38
SD10	1.00	0.54	-0.16	-0.61	-0.41	-0.14	-0.05	0.09	-0.07
SD20	0.54	1.00	0.39	-0.68	-0.65	-0.31	-0.07	0.01	0.10
SD30	-0.16	0.39	1.00	-0.05	-0.74	-0.60	-0.19	0.25	-0.14
SD40	-0.61	-0.68	-0.05	1.00	0.16	-0.29	-0.18	0.22	-0.20
SD50	-0.41	-0.65	-0.74	0.16	1.00	0.69	0.26	-0.33	0.18
SD90	-0.14	-0.31	-0.60	-0.29	0.69	1.00	0.40	-0.47	0.32
Mj	-0.05	-0.07	-0.19	-0.18	0.26	0.40	1.00	-0.50	0.24
MI	0.09	0.01	0.25	0.22	-0.33	-0.47	-0.50	1.00	-0.89
MS	-0.07	0.10	-0.14	-0.20	0.18	0.32	0.24	-0.89	1.00

表 4.7 D 地質區 Pearson 相關係數檢定表 $r < |0.2|$ 彼此獨立

	BA	SL	HI	SMS	FF	N	NE	E	ES	S	SW	W	WN
BA	1.00	0.84	0.06	-0.12	-0.09	0.17	0.02	-0.19	-0.17	0.03	0.20	0.09	0.02
SL	0.84	1.00	0.06	-0.18	-0.36	0.16	-0.03	-0.22	-0.18	0.11	0.26	0.08	0.00
HI	0.06	0.06	1.00	0.33	-0.16	-0.19	0.07	0.25	0.21	0.11	-0.12	-0.11	-0.25
SMS	-0.12	-0.18	0.33	1.00	0.02	-0.10	-0.02	0.09	0.19	0.07	-0.12	-0.10	-0.09
FF	-0.09	-0.36	-0.16	0.02	1.00	0.08	0.01	-0.10	-0.02	-0.16	-0.08	0.07	0.16
N	0.17	0.16	-0.19	-0.10	0.08	1.00	0.16	-0.44	-0.59	-0.57	-0.23	0.21	0.61
NE	0.02	-0.03	0.07	-0.02	0.01	0.16	1.00	0.44	0.17	-0.17	-0.54	-0.48	-0.33
E	-0.19	-0.22	0.25	0.09	-0.10	-0.44	0.44	1.00	0.62	0.08	-0.51	-0.69	-0.64
ES	-0.17	-0.18	0.21	0.19	-0.02	-0.59	0.17	0.62	1.00	0.42	-0.34	-0.70	-0.71
S	0.03	0.11	0.11	0.07	-0.16	-0.57	-0.17	0.08	0.42	1.00	0.30	-0.36	-0.57
SW	0.20	0.26	-0.12	-0.12	-0.08	-0.23	-0.54	-0.51	-0.34	0.30	1.00	0.53	-0.02
W	0.09	0.08	-0.11	-0.10	0.07	0.21	-0.48	-0.69	-0.70	-0.36	0.53	1.00	0.51
WN	0.02	0.00	-0.25	-0.09	0.16	0.61	-0.33	-0.64	-0.71	-0.57	-0.02	0.51	1.00
SD10	-0.08	0.00	-0.38	-0.39	-0.03	-0.07	-0.12	-0.11	-0.08	-0.05	0.19	0.14	0.08
SD20	-0.17	-0.12	-0.14	-0.31	-0.14	-0.14	0.04	0.10	0.01	0.02	0.06	0.03	-0.11
SD30	-0.17	-0.14	-0.04	-0.27	-0.12	-0.09	0.04	0.20	0.01	0.14	-0.09	-0.13	-0.09
SD40	0.20	0.17	0.16	0.22	0.09	0.06	0.05	-0.04	-0.05	0.16	0.02	-0.06	-0.05
SD50	0.15	0.08	0.13	0.38	0.13	0.14	-0.03	-0.15	0.05	-0.18	-0.08	0.04	0.15
SD90	0.08	0.02	0.17	0.38	0.10	0.14	-0.07	-0.10	0.04	-0.22	-0.04	0.09	0.11
Mj	-0.04	-0.02	0.38	0.13	0.01	-0.24	-0.07	0.26	0.25	0.20	-0.09	-0.22	-0.20
MI	0.00	0.02	0.09	0.09	-0.07	-0.16	0.24	0.18	0.25	0.04	-0.17	-0.21	-0.18
MS	0.22	0.29	0.14	0.08	-0.14	0.32	-0.03	-0.30	-0.37	-0.18	0.22	0.20	0.20
Q2	-0.16	-0.24	-0.20	-0.10	0.18	0.00	-0.13	-0.05	0.06	0.06	-0.11	-0.12	0.17
Q3	-0.11	-0.14	-0.03	-0.14	0.14	-0.12	0.03	0.12	0.20	0.06	-0.11	-0.09	-0.14
Qo	-0.08	-0.10	-0.24	-0.10	-0.08	-0.10	0.13	0.09	-0.08	-0.09	0.09	0.13	-0.10

表 4.7 D 地質區 Pearson 相關係數檢定表(續) $r < |0.2|$ 彼此獨立

	SD10	SD20	SD30	SD40	SD50	SD90	Mj	MI	MS	Q2	Q3	Qo
BA	-0.08	-0.17	-0.17	0.20	0.15	0.08	-0.04	0.00	0.22	-0.16	-0.11	-0.08
SL	0.00	-0.12	-0.14	0.17	0.08	0.02	-0.02	0.02	0.29	-0.24	-0.14	-0.10
HI	-0.38	-0.14	-0.04	0.16	0.13	0.17	0.38	0.09	0.14	-0.20	-0.03	-0.24
SMS	-0.39	-0.31	-0.27	0.22	0.38	0.38	0.13	0.09	0.08	-0.10	-0.14	-0.10
FF	-0.03	-0.14	-0.12	0.09	0.13	0.10	0.01	-0.07	-0.14	0.18	0.14	-0.08
N	-0.07	-0.14	-0.09	0.06	0.14	0.14	-0.24	-0.16	0.32	0.00	-0.12	-0.10
NE	-0.12	0.04	0.04	0.05	-0.03	-0.07	-0.07	0.24	-0.03	-0.13	0.03	0.13
E	-0.11	0.10	0.20	-0.04	-0.15	-0.10	0.26	0.18	-0.30	-0.05	0.12	0.09
ES	-0.08	0.01	0.01	-0.05	0.05	0.04	0.25	0.25	-0.37	0.06	0.20	-0.08
S	-0.05	0.02	0.14	0.16	-0.18	-0.22	0.20	0.04	-0.18	0.06	0.06	-0.09
SW	0.19	0.06	-0.09	0.02	-0.08	-0.04	-0.09	-0.17	0.22	-0.11	-0.11	0.09
W	0.14	0.03	-0.13	-0.06	0.04	0.09	-0.22	-0.21	0.20	-0.12	-0.09	0.13
WN	0.08	-0.11	-0.09	-0.05	0.15	0.11	-0.20	-0.18	0.20	0.17	-0.14	-0.10
SD10	1.00	0.54	0.09	-0.55	-0.44	-0.32	-0.08	-0.12	-0.05	-0.06	0.10	0.35
SD20	0.54	1.00	0.53	-0.83	-0.75	-0.50	0.07	-0.12	-0.09	-0.23	0.17	0.39
SD30	0.09	0.53	1.00	-0.42	-0.83	-0.67	0.03	-0.09	-0.08	0.01	0.18	0.00
SD40	-0.55	-0.83	-0.42	1.00	0.46	0.16	-0.02	0.09	0.06	0.18	-0.11	-0.36
SD50	-0.44	-0.75	-0.83	0.46	1.00	0.69	-0.03	0.18	0.07	0.08	-0.22	-0.17
SD90	-0.32	-0.50	-0.67	0.16	0.69	1.00	-0.02	0.00	0.16	-0.04	-0.15	-0.09
Mj	-0.08	0.07	0.03	-0.02	-0.03	-0.02	1.00	-0.08	-0.39	-0.14	-0.10	-0.06
MI	-0.12	-0.12	-0.09	0.09	0.18	0.00	-0.08	1.00	-0.26	-0.11	-0.08	0.05
MS	-0.05	-0.09	-0.08	0.06	0.07	0.16	-0.39	-0.26	1.00	-0.48	-0.37	-0.29
Q2	-0.06	-0.23	0.01	0.18	0.08	-0.04	-0.14	-0.11	-0.48	1.00	-0.07	-0.09
Q3	0.10	0.17	0.18	-0.11	-0.22	-0.15	-0.10	-0.08	-0.37	-0.07	1.00	-0.07
Qo	0.35	0.39	0.00	-0.36	-0.17	-0.09	-0.06	0.05	-0.29	-0.09	-0.07	1.00

表 4.8 各分區選定之影響因子表

顯著性順序	不分地質區	C 地質區	D 地質區
1	HI	HI	HI
2	FF	MI	FF
3	NE	NE	SD40
4	SD40	SD30	SD90
5	SD90	BA	W
6	N	SD10	Ms
7	Ms		



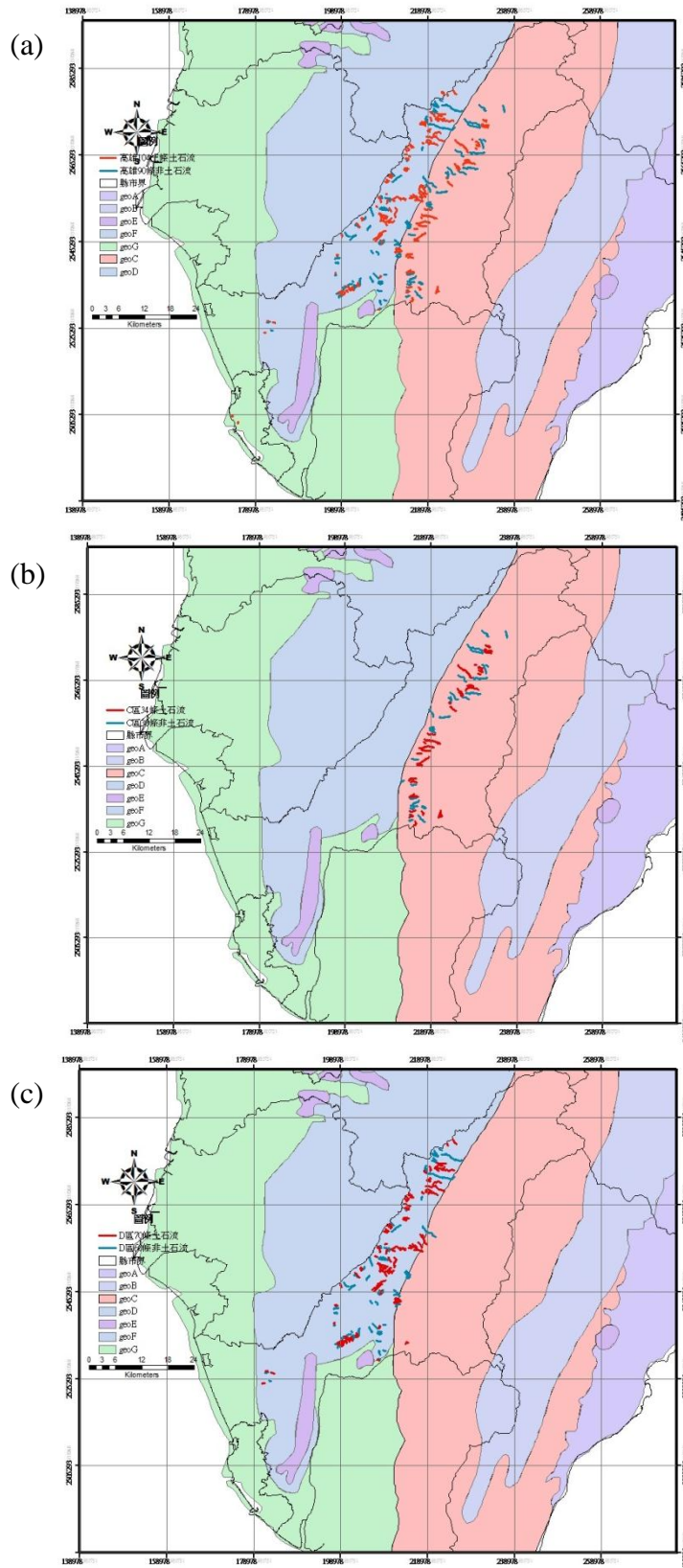


圖 4.1 高雄土石流與非土石流分佈圖

(a) : 不分地質區

(b) : C 地質區

(c) : D 地質區

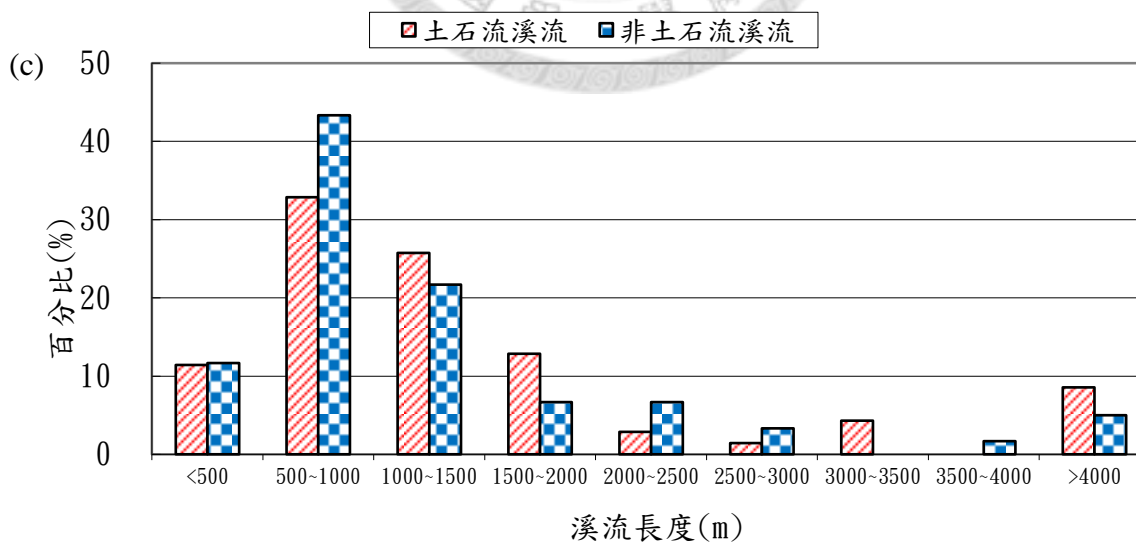
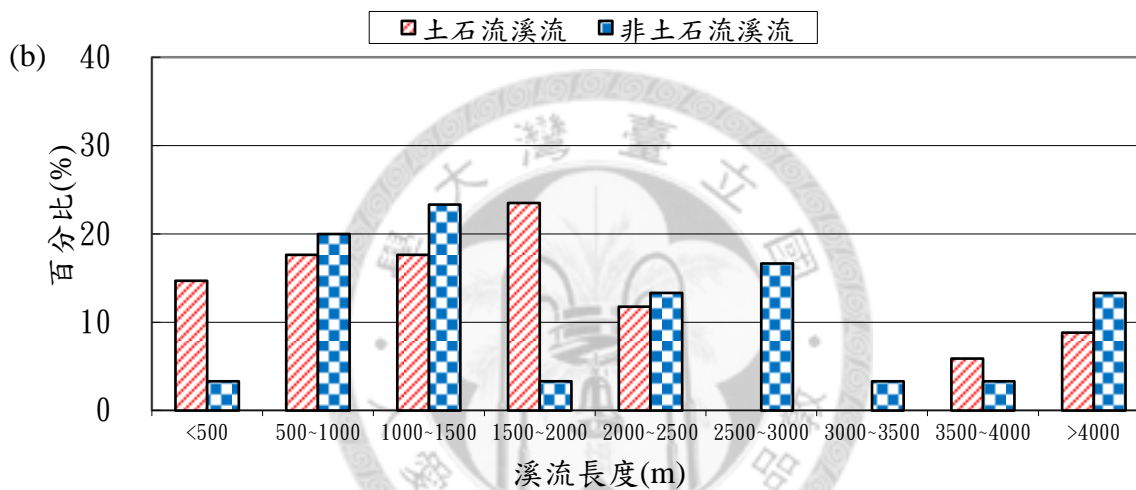
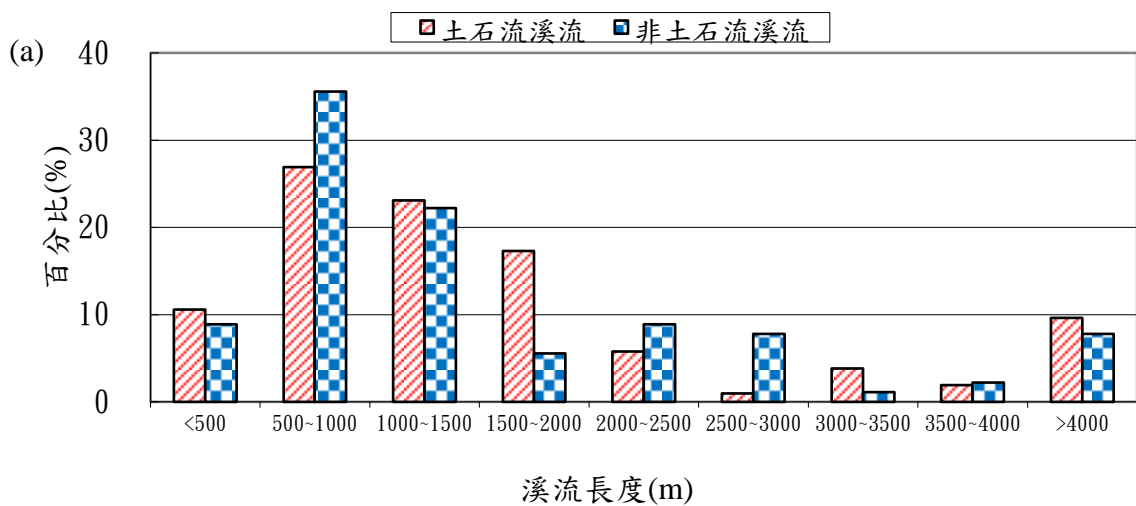


圖 4.2 高雄土石流與非土石流溪流長度分佈圖

(a)：不分地質區

(b)：C 地質區

(c)：D 地質區

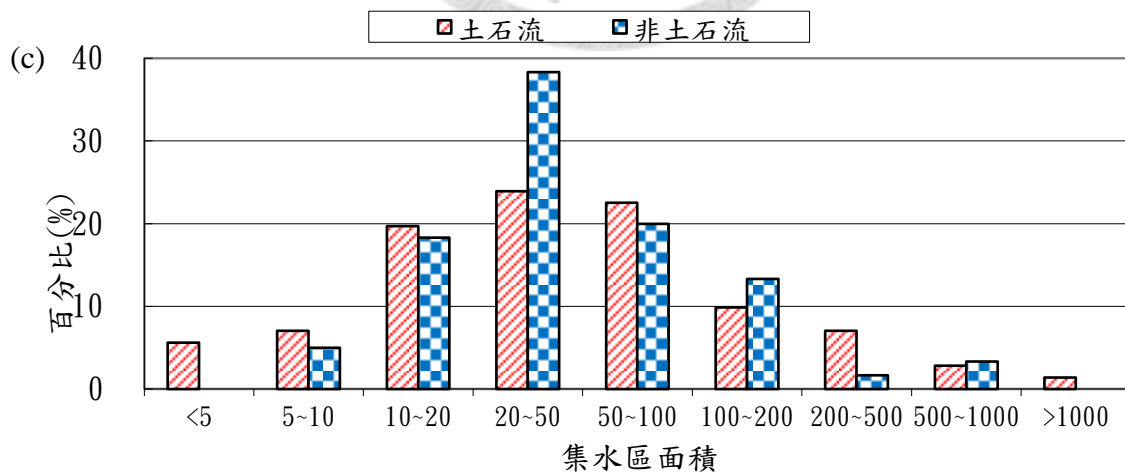
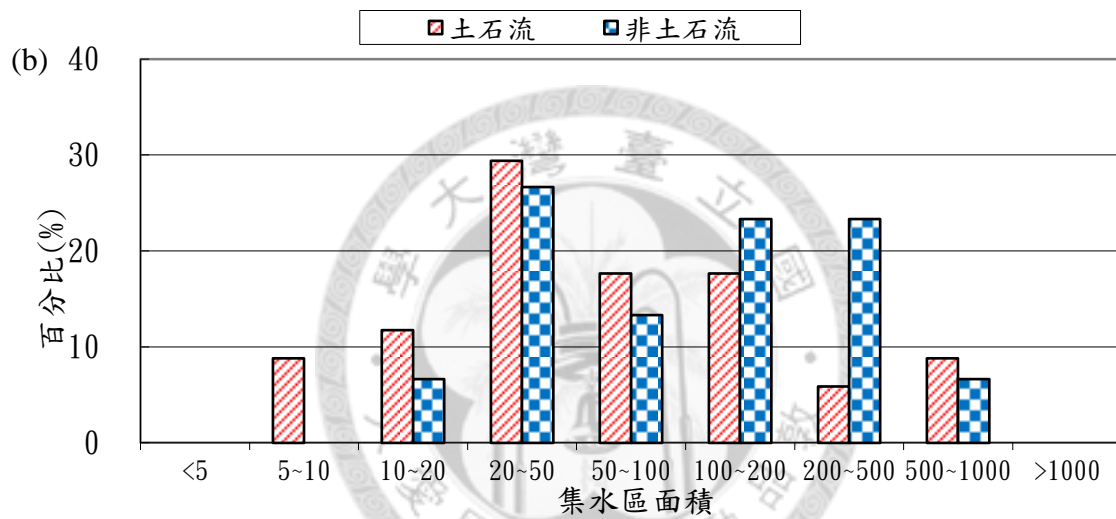
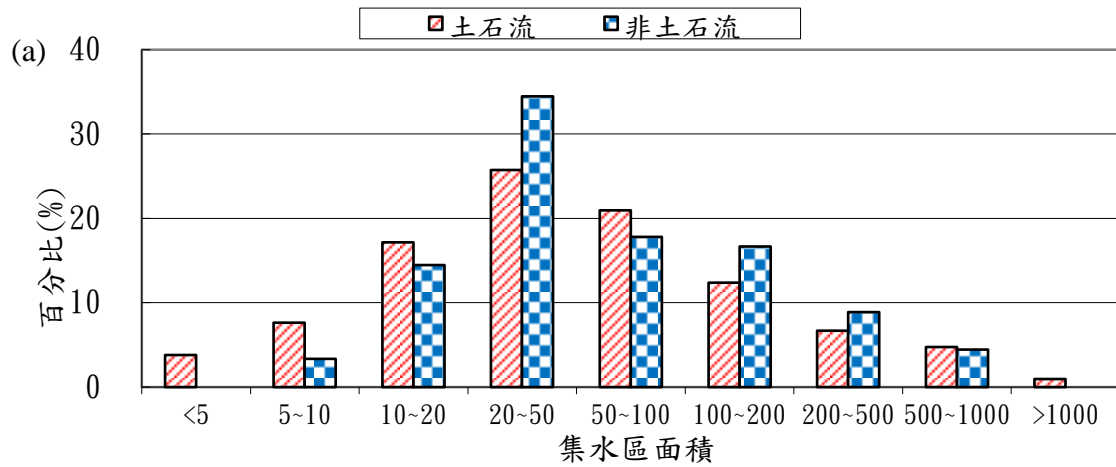


圖 4.3 高雄土石流與非土石流集水區面積分佈圖

(a)：不分地質區

(b)：C 地質區

(c)：D 地質區

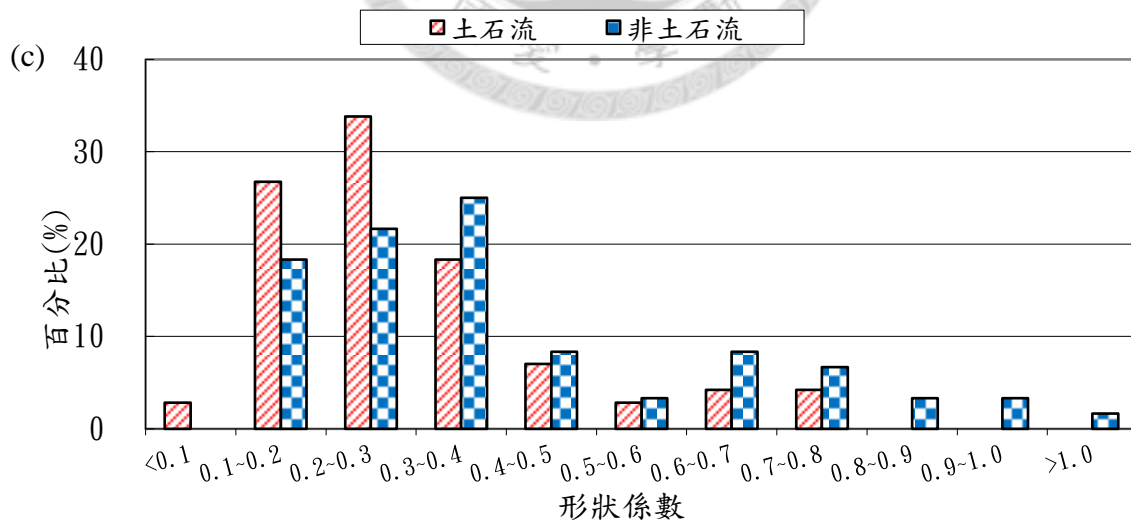
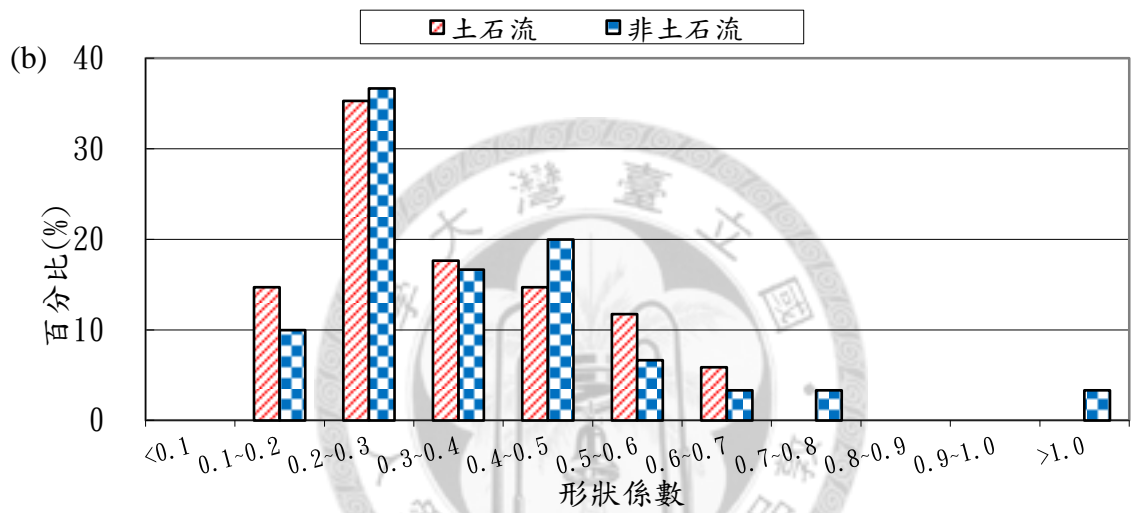
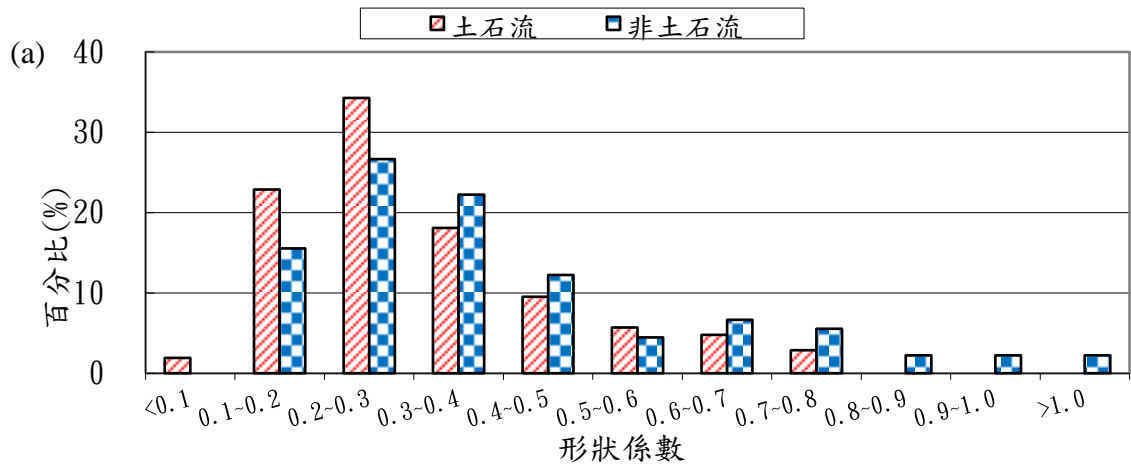


圖 4.4 高雄土石流與非土石流形狀係數分佈圖

(a)：不分地質區

(b)：C 地質區

(c)：D 地質區

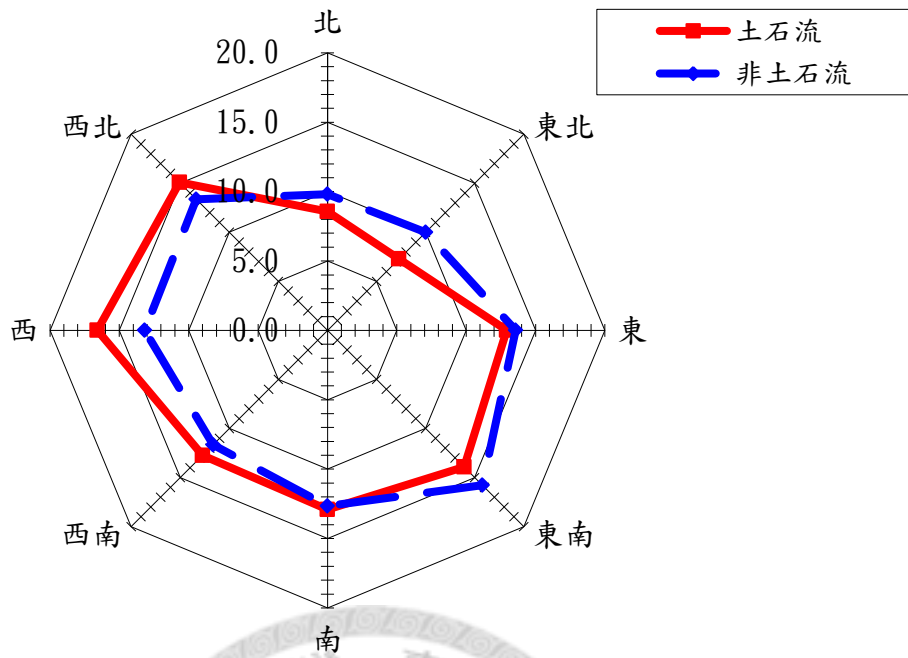


圖 4.5 高雄不分地質區土石流與非土石流邊坡坡向分佈圖

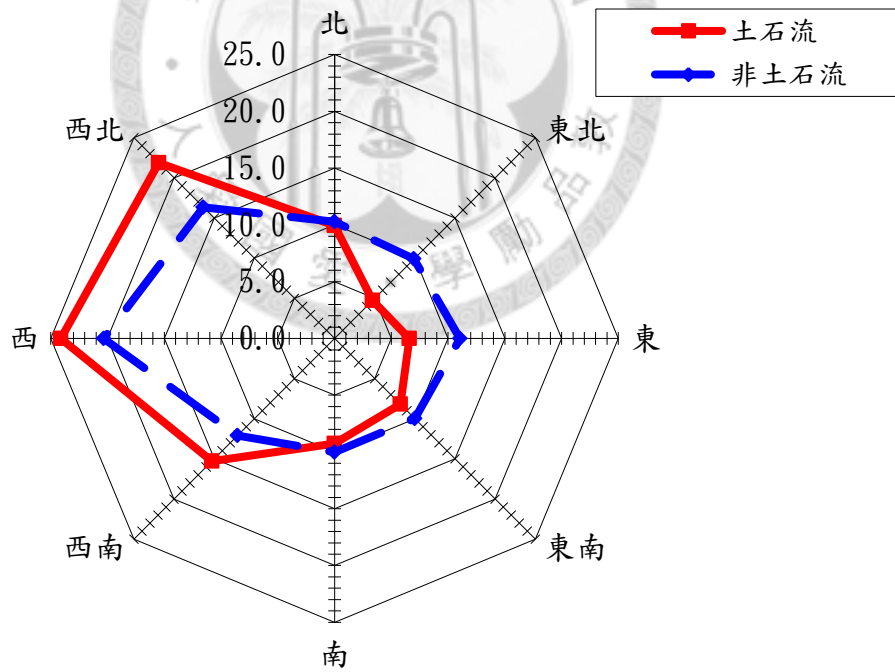


圖 4.6 高雄C地質區土石流與非土石流邊坡坡向分佈圖

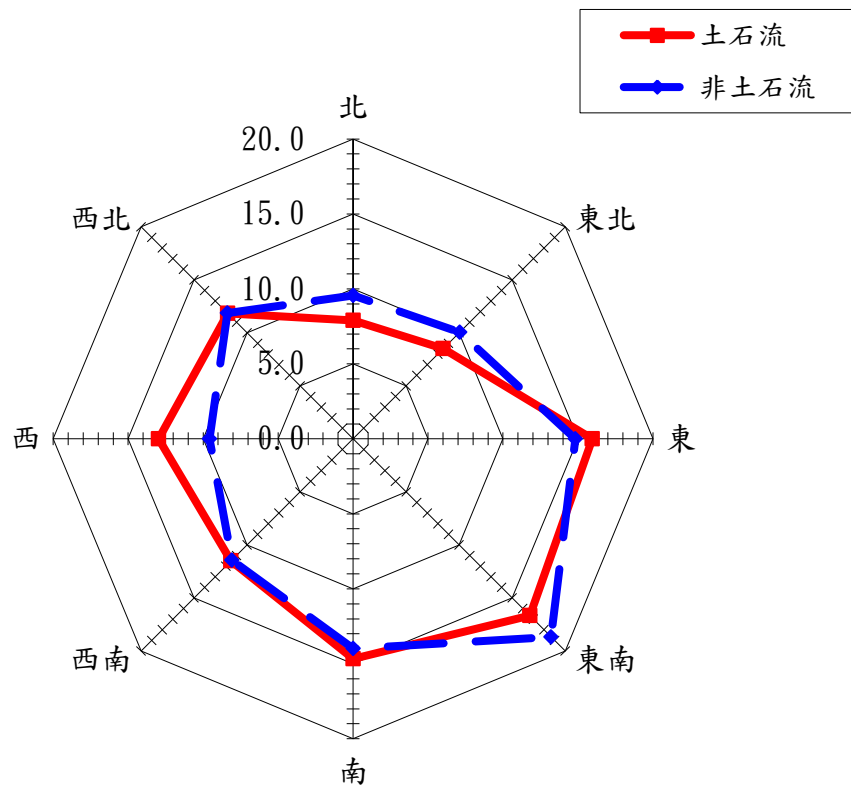


圖 4.7 高雄 D 地質區土石流與非土石流邊坡坡向分佈圖



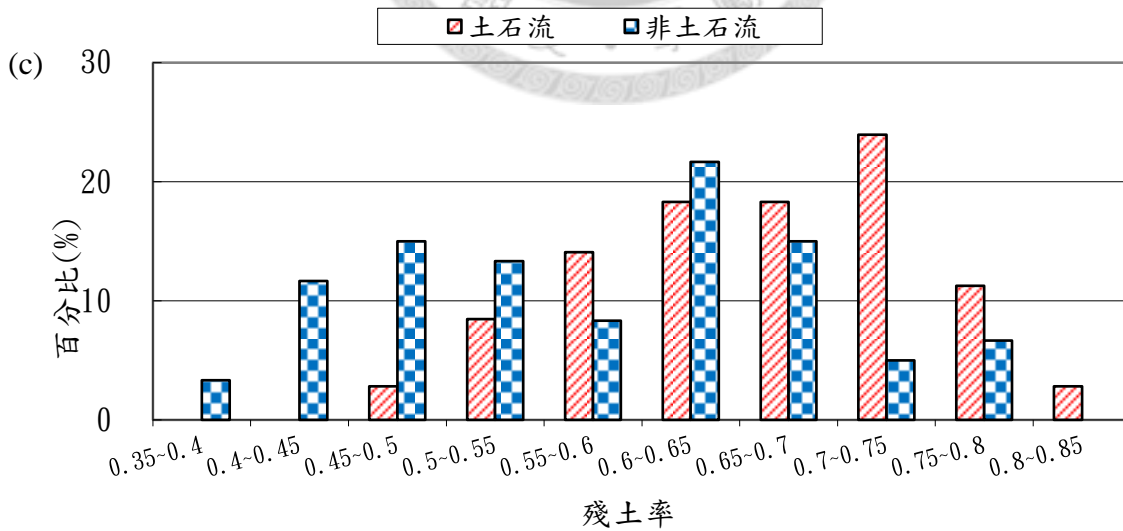
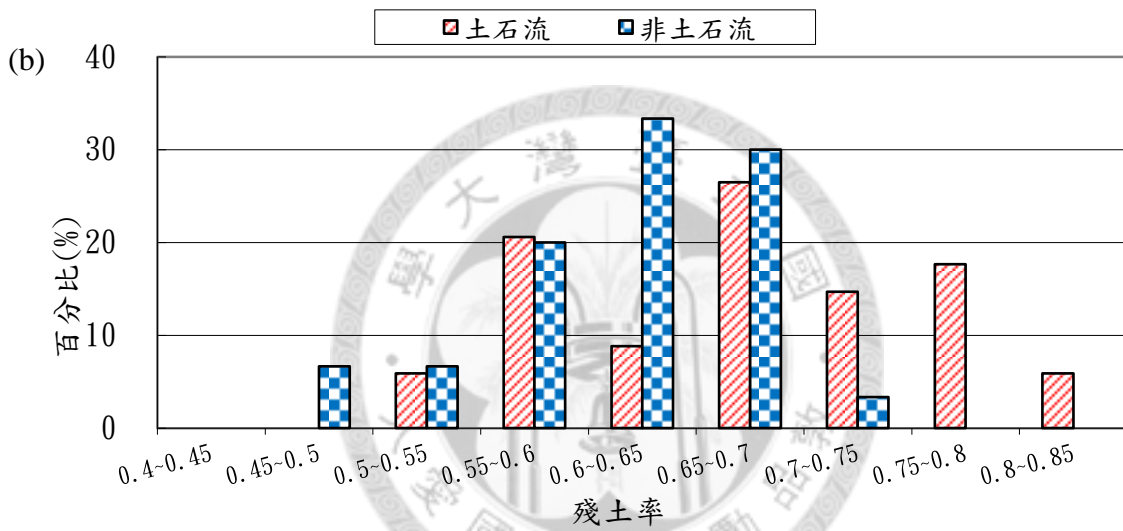
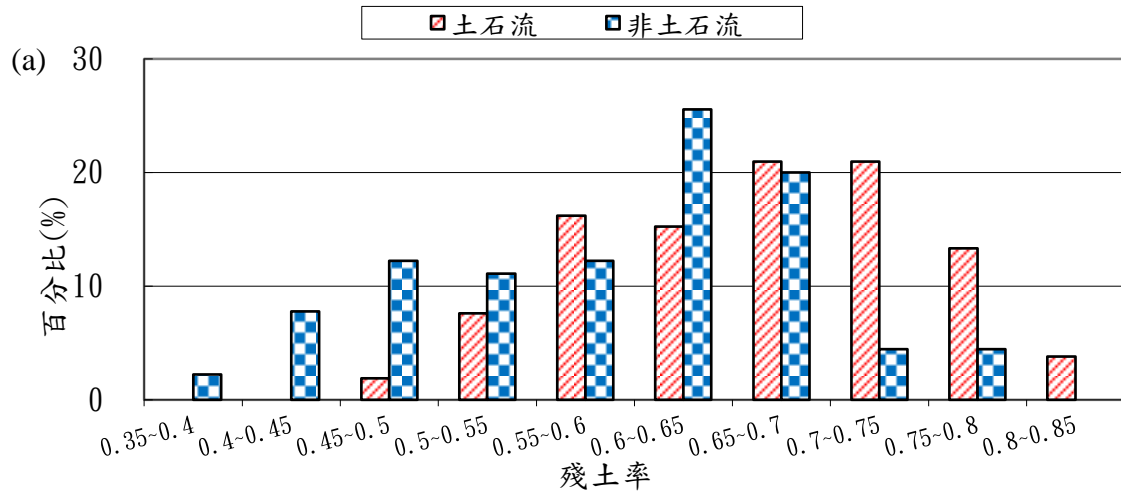


圖 4.8 高雄土石流與非土石流殘土率分佈圖

(a)：不分地質區

(b)：C 地質區

(c)：D 地質區

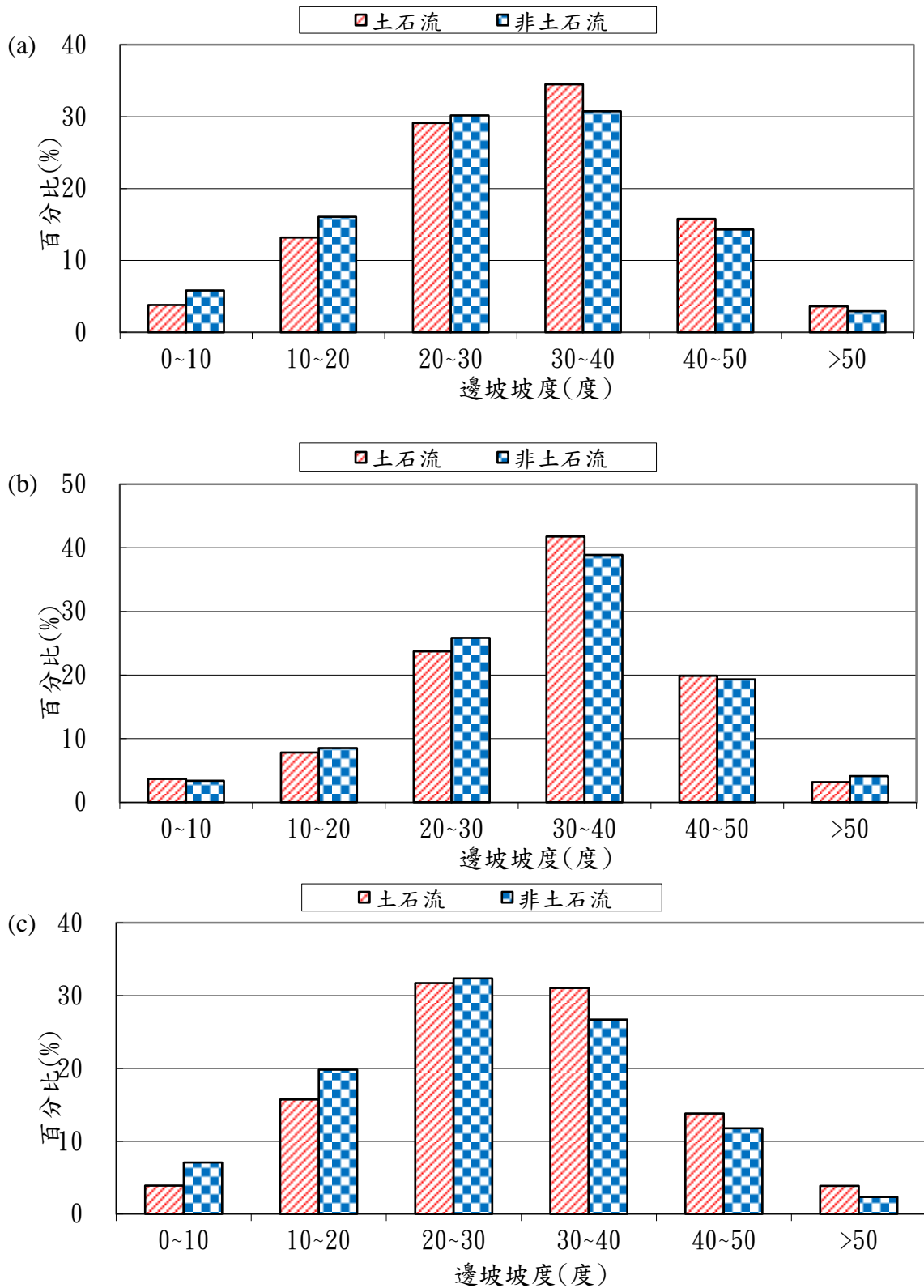


圖 4.9 高雄土石流與非土石流邊坡坡度佈圖

(a)：不分地質區

(b)：C 地質區

(c)：D 地質區

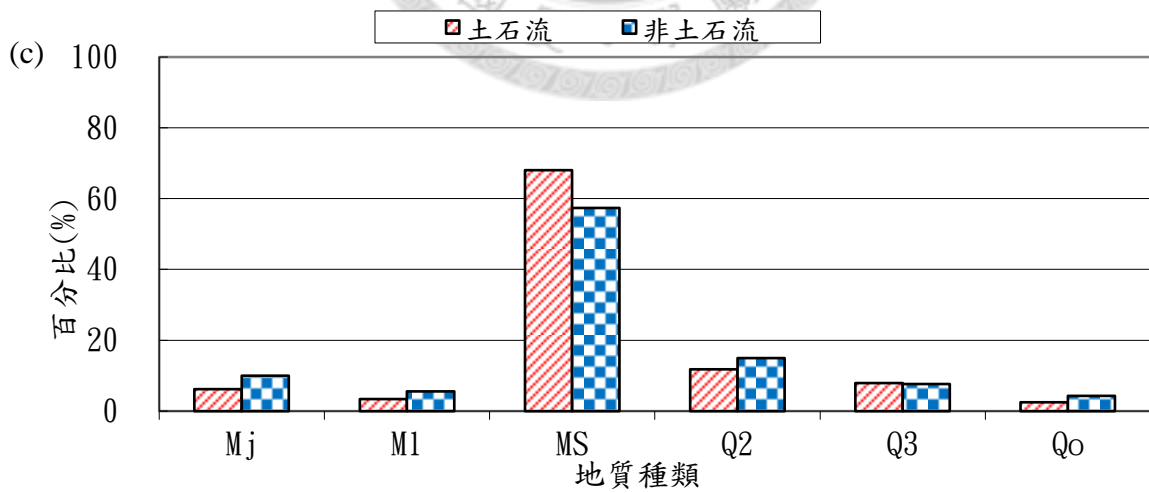
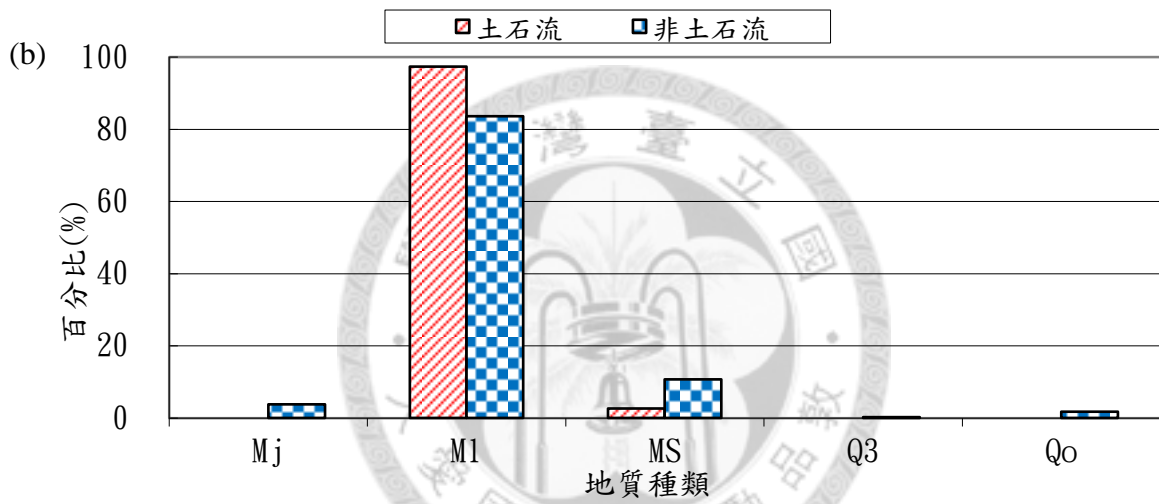
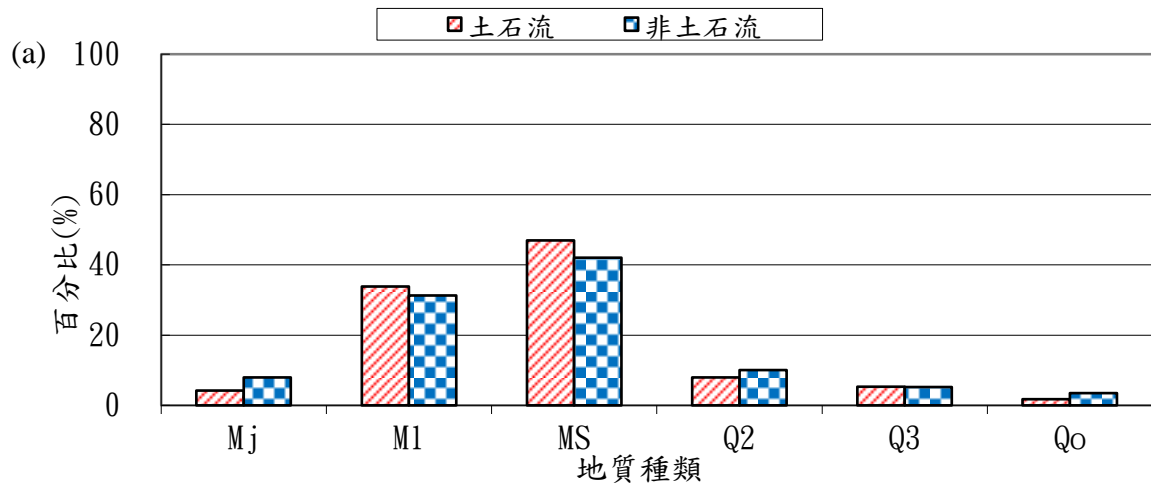


圖 4.10 高雄土石流與非土石流地質種類分佈圖

(a)：不分地質區

(b)：C 地質區

(c)：D 地質區

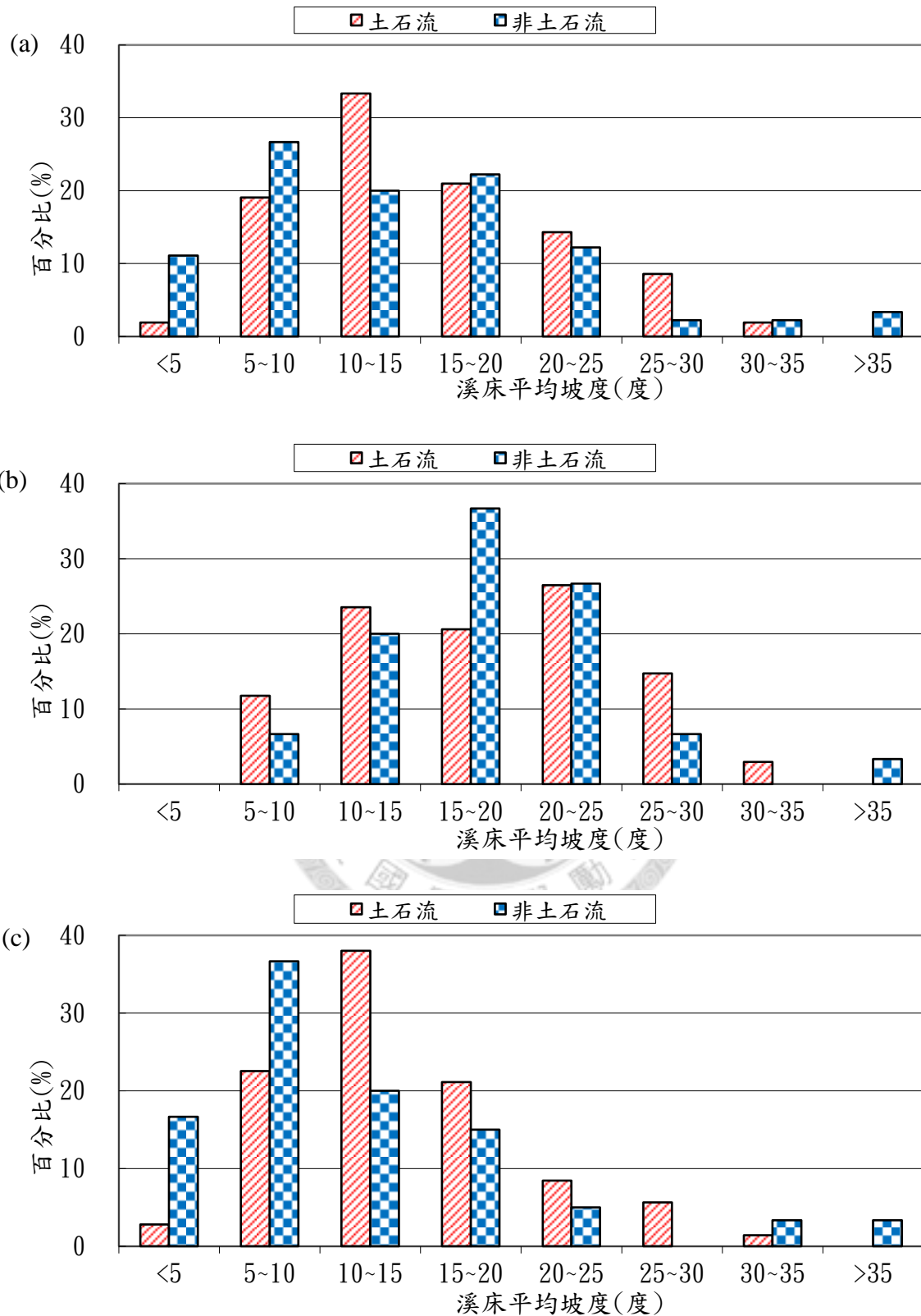


圖 4.11 高雄土石流與非土石流溪床平均坡度分佈圖

(a)：不分地質區

(b)：C地質區

(c)：D地質區

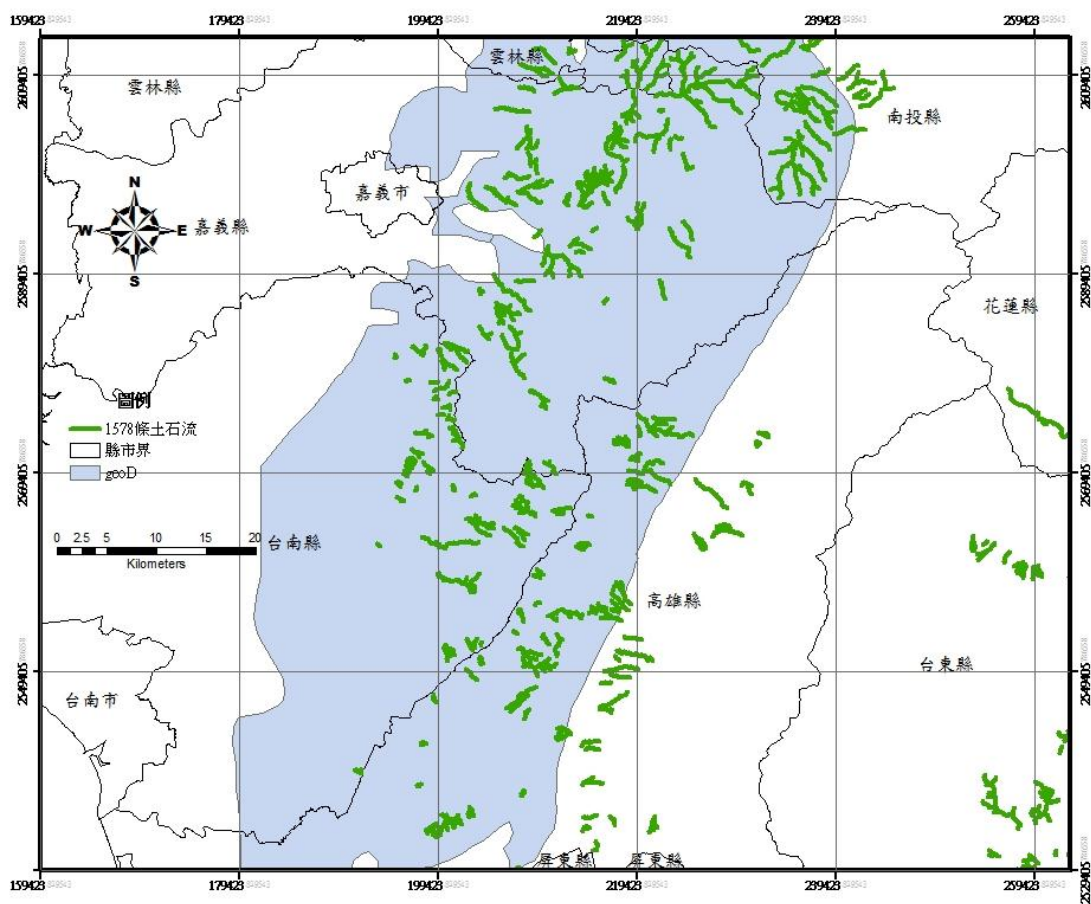


圖 4.12 高雄、台南與嘉義 D 地質區土石流溪流分佈圖

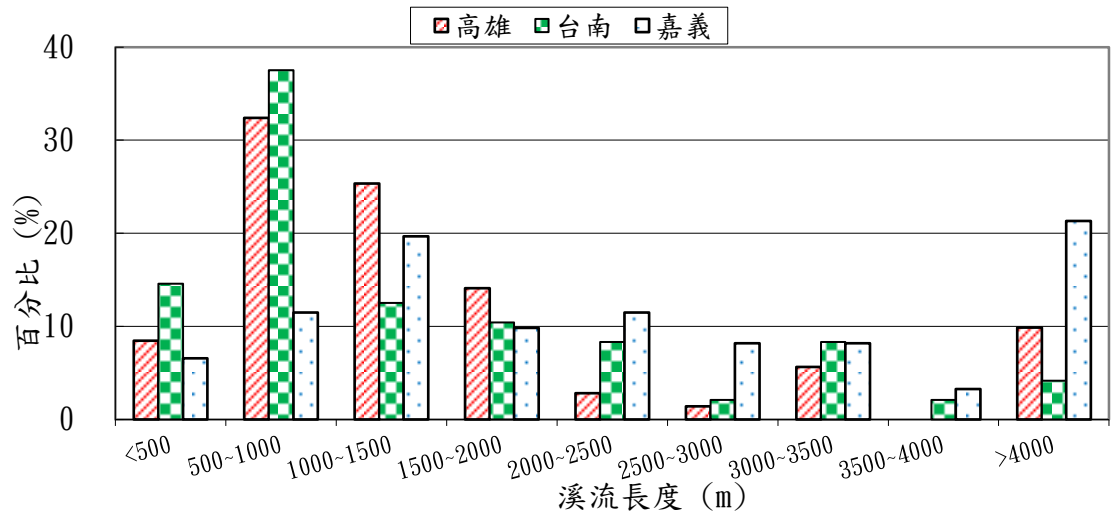


圖 4.13 高雄、台南與嘉義土石流溪流長度分佈圖

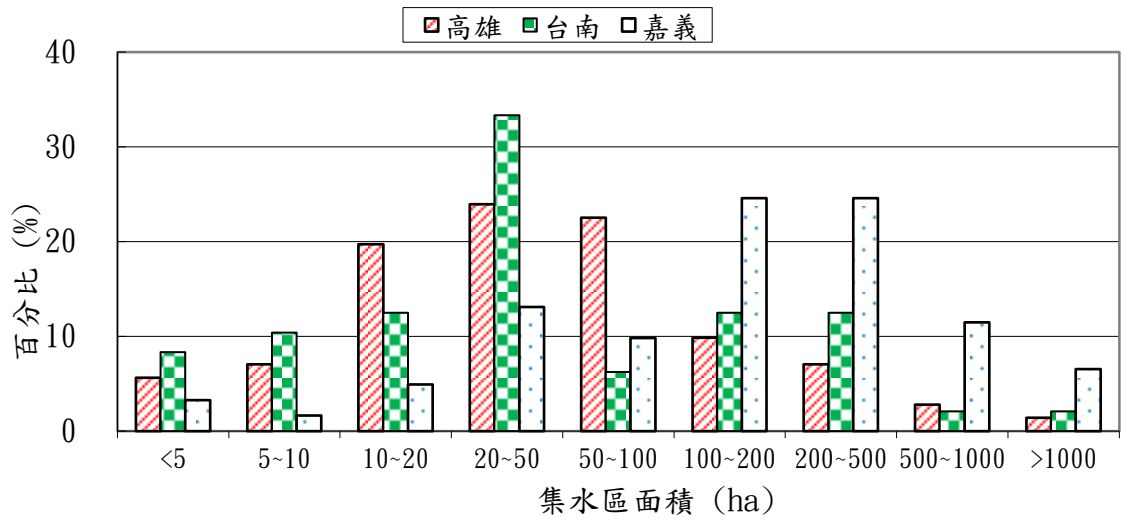


圖 4.14 高雄、台南與嘉義土石流集水區面積分佈圖

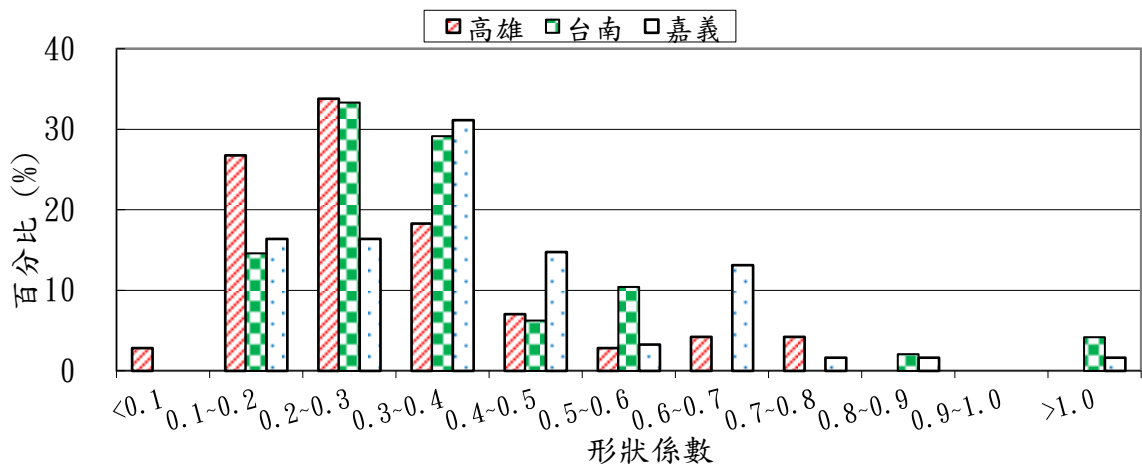


圖 4.15 高雄、台南與嘉義土石流形狀係數分佈圖

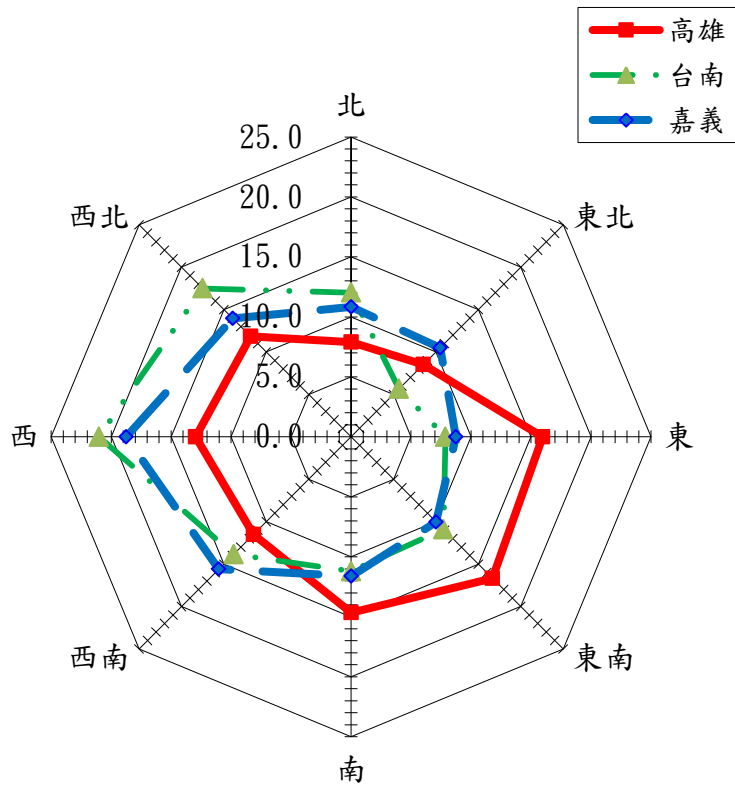


圖 4.16 高雄、台南與嘉義土石流邊坡坡向分佈圖

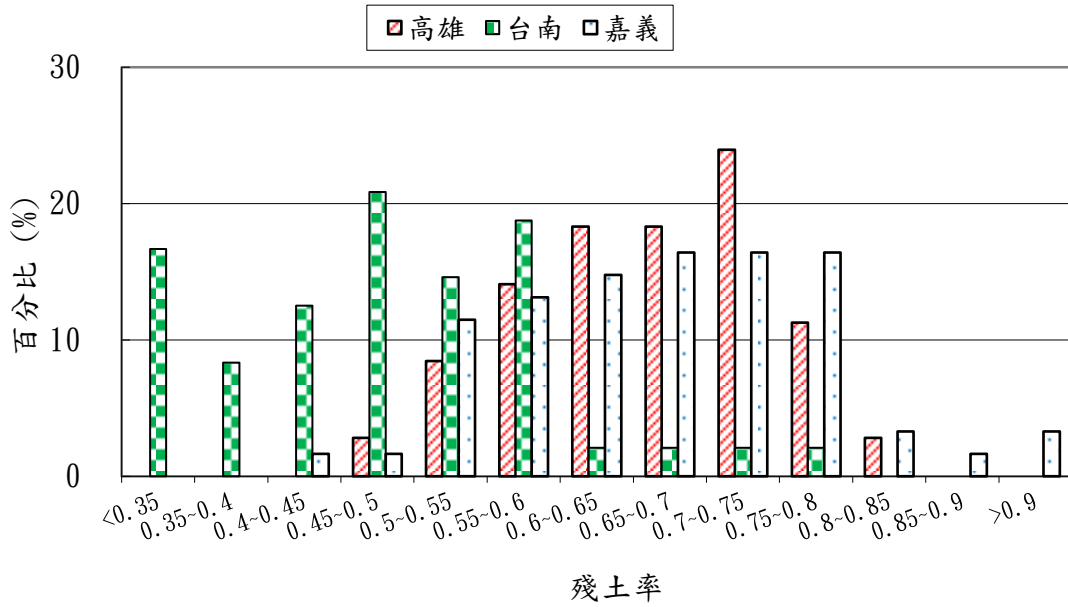


圖 4.17 高雄、台南與嘉義土石流流殘土率分佈圖

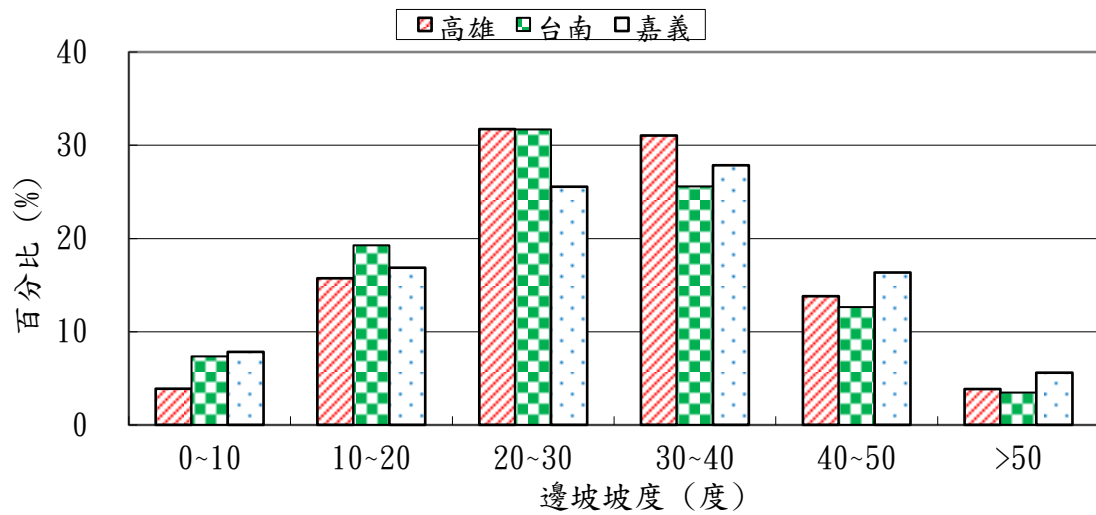


圖 4.18 高雄、台南與嘉義土石流邊坡坡度分佈圖

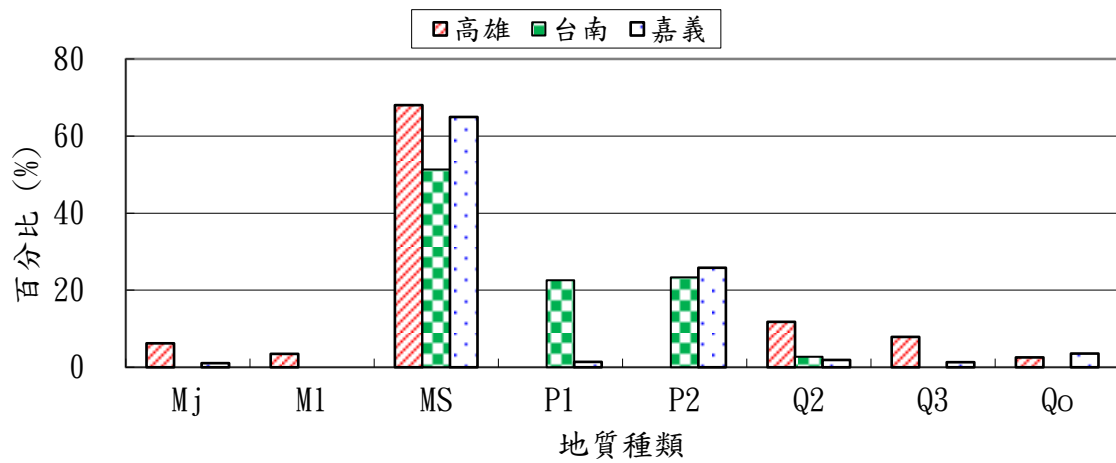


圖 4.19 高雄、台南與嘉義土石流地質種類分佈圖

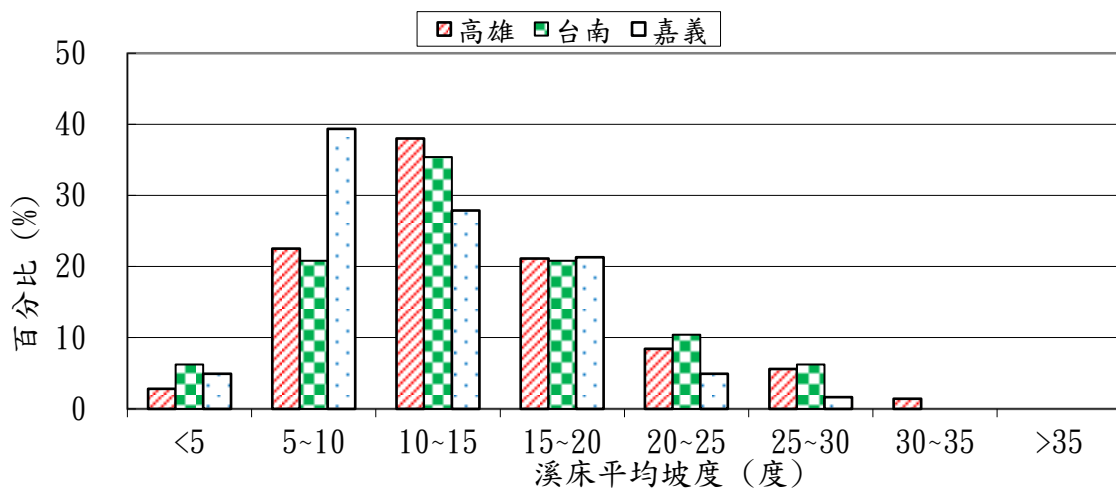


圖 4.20 高雄、台南與嘉義土石流地質種類分佈圖

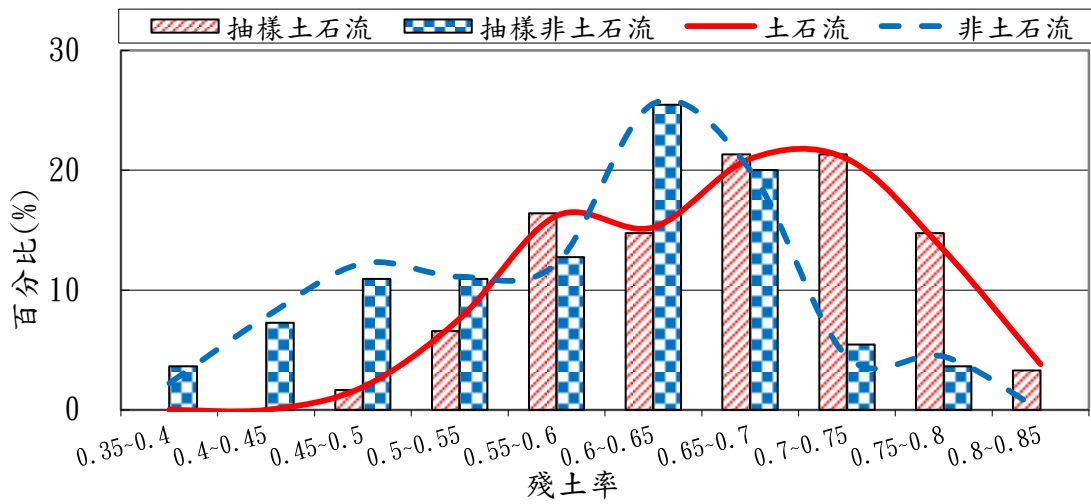


圖 4.21 高雄不分區溪流母體與抽樣樣本殘土率分佈圖

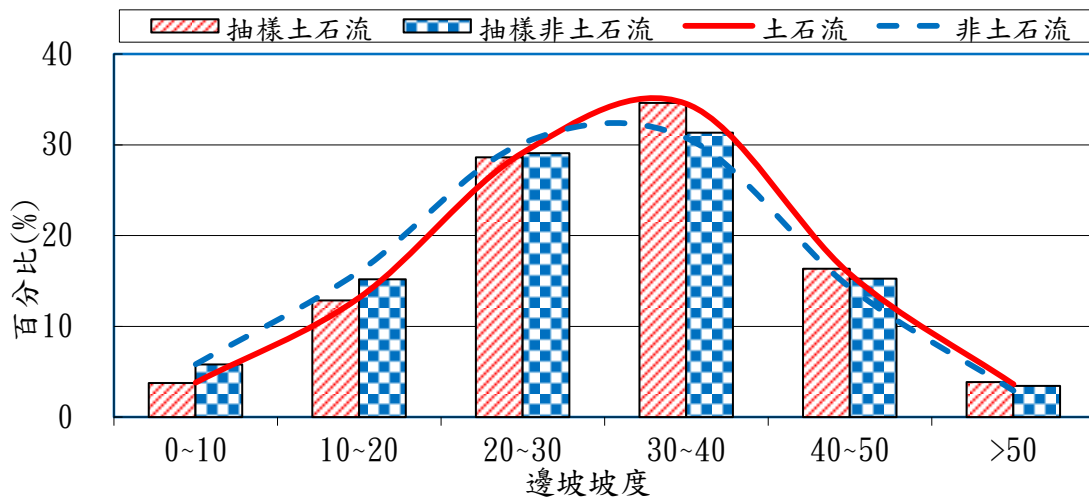


圖 4.22 高雄不分區溪流母體與抽樣樣本邊坡坡度分佈圖

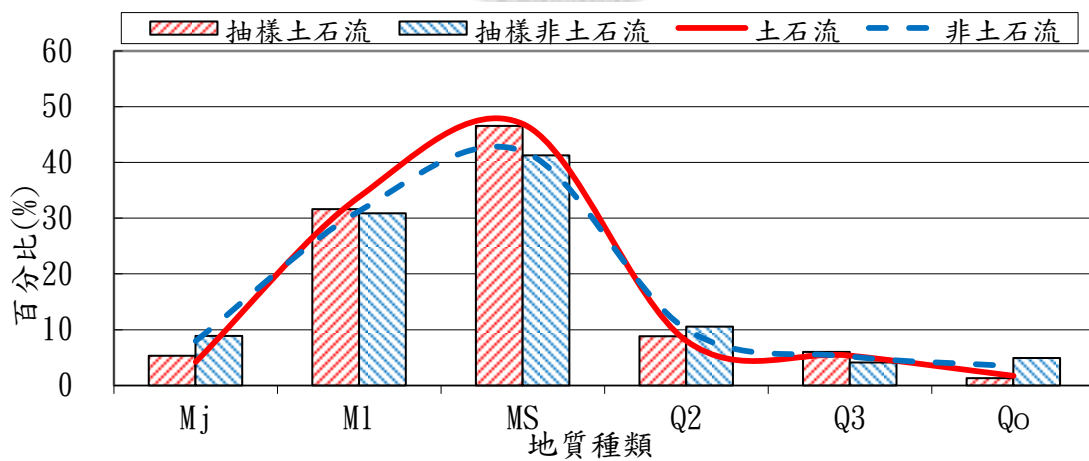


圖 4.23 高雄不分區溪流母體與抽樣樣本地質種類分佈圖

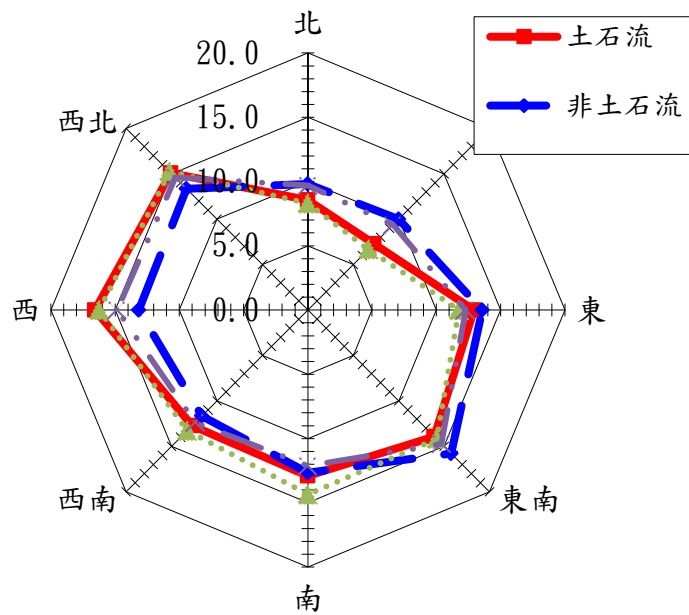


圖 4.24 高雄不分區溪流母體與抽樣樣本邊坡坡向分佈圖

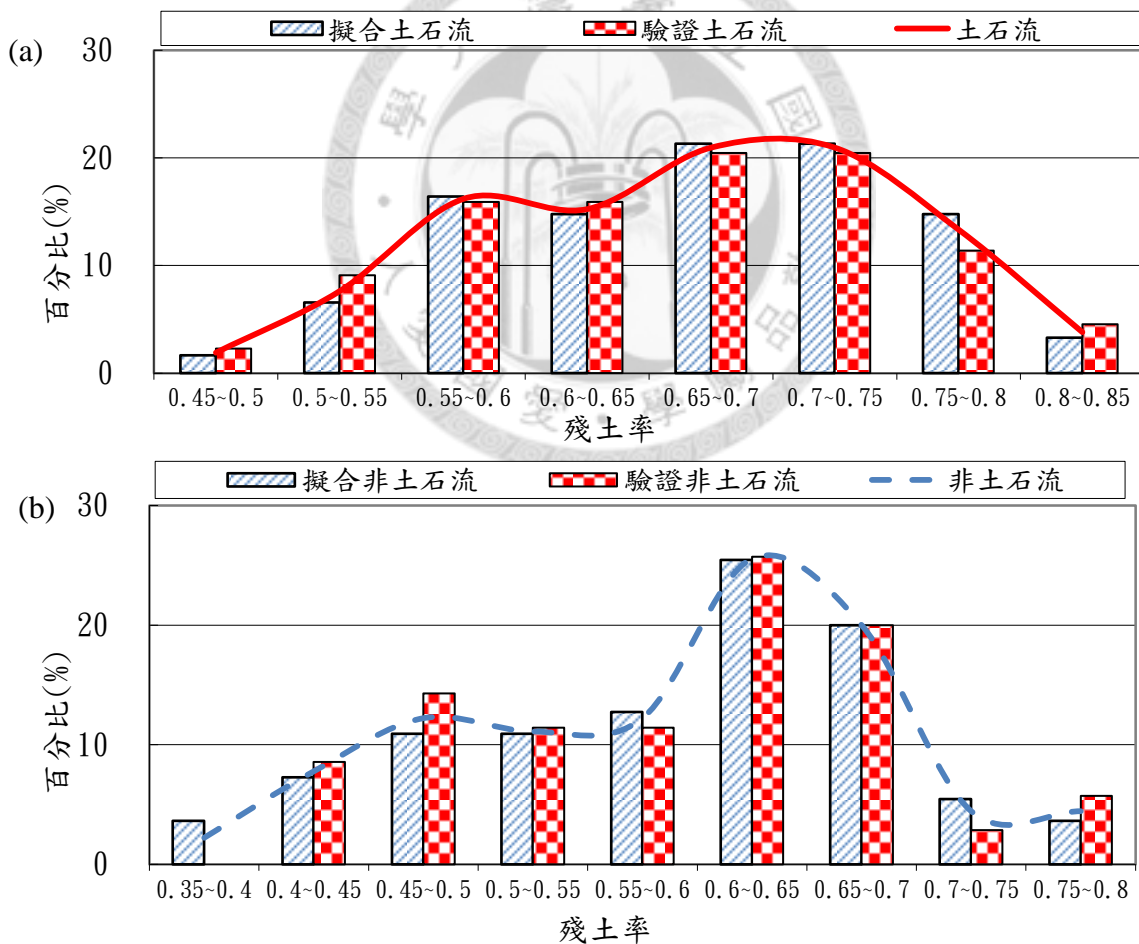


圖 4.25 高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本殘土率分佈圖

(a)：土石流 (b)：非土石流



第五章 自然環境因子之土石流潛勢分析與預測

本章先以高雄來做為土石流潛勢分析之出發點，藉由不分地質區、C地質區與D地質區之土石流與非土石流資料，將抽樣樣本與未抽樣樣本作為費雪區別函數之擬合與驗證，由擬合與驗證組之正判率確定費雪區別函數之形式，並比較未標準化與標準化數據對於費雪區別函數與正判率之影響；運用D地質區費雪區別函數預測台南、嘉義土石流，觀察不同地區同地質區情況下費雪區別函數之誤差與穩定性，並以相似性指標探討影響因子對於預測準確率誤差之關係。最後探討高雄、台南與嘉義由費雪區別分析計算出的費雪函數分布，將其建立土石流潛勢分級。

5.1 高雄地區土石流潛勢分析

本節將高雄分為不分地質區、C地質區、D地質區作為探討，在不同地質區塊下費雪區別函數之準確性與穩定性，並分別對不分區與分地質區情形下進行標準化，判斷地質分區對於標準化的影響，是否有不同情況發生。利用SPSS統計軟體進行費雪區別分析，為確保不失原始資料土石流與非土石流相對比例，所選取的擬合與驗證樣本會與原始母體資料數量比例相近，從原本資料抽取60%進行擬合，剩餘40%留作驗證使用。定義土石流為分組變數1，非土石流為分組變數0，並假設各影響因子為自變項，符合區別分析之資料型態，然後依照各地區將假設檢定篩選後之影響因子重要性如表4.9，依序加入費雪區別函數擬合。定義平均正判率為土石流判為土石流及非土石流判為非土石流，除以全部資料點數，判別矩陣如表5.1。

5.1.1 不分地質區之費雪區別分析

高雄不分地質區進行費雪區別分析之擬合與驗證部分，並分為原始數據、整體溪流標準化，觀察其費雪區別函數變化情形，以及區別函數模式決定如下：

1. 擬合：由高雄整體 105 條土石流與 90 條非土石流隨機抽取 61 條與 55 條，抽取後與兩母體之間比例相近，其擬合樣本溪流分布如圖 5.1，將溪流樣本資料帶入區別函數，若區別函數值大於 0，則歸為土石流溪流；當區別函數值小於 0，則歸為非土石流溪流。依照假設檢定篩選出影響因子 HI、FF、NE、SD40、SD90、N、Ms 之順序，分別將未標準化與標準化數據帶入費雪區別分析。

a. 原始數據：增加各別因子所得的正判率分別為 62.9%、64.7%、70.7%、70.7%、69%、69%、71.6%，所得之費雪區別函數如下：

$$Y=9.700(HI)-1.365(FF)-0.046(NE)+0.014(SD40)-0.012(SD90)-0.005(N) \\ +0.002(Ms)-5.833 \quad (5-1)$$

b. 整體溪流標準化：增加各別因子所得的正判率分別為 62.9%、64.7%、70.7%、70.7%、69%、69%、71.6%，所得之費雪區別函數如下：

$$Y=0.928(HI)-0.262(FF)-0.379(NE)-0.161(SD40)-0.061(SD90)-0.050(N) \\ +0.094Ms)-0.020 \quad (5-2)$$

觀察上面兩種數據所得之區別函數，可知原始數據由於單位不同無法直接由函數係數得知各別影響因子的權重，而標準化後數據可較明顯得知影響因子對土石流發生的影響權重；由標準化所得函數可以發現權重分布與顯著性檢定所得顯著性大小不完全吻合，故將其依照標準化後所得權重大小順序重新放入因子以觀察因子實際權重對正判率之影響，順序為 HI、FF、NE、SD40、Ms、N、SD90，其公式與所得正判率如下：

c. 原始數據：依權重大小順序所得的正判率分別為 62.9%、68.1%、70.7%、70.7%、72.4%、71.6%、71.6%，所得之費雪區別函數如下：

$$Y=9.700(HI)-1.365(FF)-0.046(NE)+0.014(SD40)-0.012(SD90)-0.005(N) \\ +0.002(Ms)-5.833 \quad (5-3)$$

d. 整體溪流標準化：依權重大小順序所得的正判率分別為 64.6%、67.1%、

70.9%、72.2%、74.7%、74.7%、73.4%，所得之費雪區別函數如下：

$$Y=0.928(HI)-0.379(NE)-0.262(FF)-0.161(SD40)+0.094(Ms) \\ -0.061(SD90)-0.050(N)-0.020 \quad (5-4)$$

2. 驗證：將不分地質區隨機抽取完剩下之 44 條土石流與 35 條非土石流溪流資料，當作費雪區別分析之驗證部分，驗證樣本數量比例也與母體比例相近，驗證溪流樣本分布如圖 5.2。將樣本分別依照顯著性大小與函數係數權重大小順序帶入上述區別函數。

整理不分地質區區別函數於擬合與驗證之正判率關係，如表 5.2、表 5.3，觀察兩表可知，標準化所得正判率結果與原始數據所得正判率結果一致，主要是因為標準化只是轉換尺度計算，其所得結果本來就會相同，而其差異在於各項係數較能顯示各因子影響性，故後面標準化與否正判率取其中之一為說明；不論影響因子帶入區別函數方式，所得之正判率皆逐漸提升，且擬合與預測間正判率變化趨於穩定，但依照函數係數大小加入因子所得之正判率較顯著性大小順序加入因子更早趨於穩定，且正判率最大值也有所提升。

由以上分析可得，依係數權重大小順序加入因子能提高費雪判斷穩定性，故以權重大小重新加入因子方式為觀察項目，原始數據與標準化後之擬合正判率、驗證正判率最後趨於穩定，於影響因子 Ms，其擬合與驗證之正判率判斷誤差為 1.7%；而在增加後面幾項因子 SD90、N，數據正判率皆維持穩定或下滑，可從係數權重觀察出 SD90、N 對於不分區情形下土石流判斷較不有效；函數隨因子增加而增加且最後達到穩定，當區別因子增至 Ms，以可代表不分地質區土石流發生之費雪區別函數，其最終費雪區別函數如下：

a. 原始數據：

$$Y=9.861(HI)-0.045(NE)-1.297(FF)+0.015(SD40)+0.002(Ms)-5.982 \quad (5-5)$$

b. 整體溪流標準化：

$$Y=0.943(HI)-0.373(NE)-0.249(FF)+0.167(SD40)+0.091(Ms)-0.014 \quad (5-6)$$

5.1.2 高雄 C 地質區之費雪區別分析

高雄 C 地質區進行費雪區別分析之擬合與驗證部分，並分為原始數據、C 區溪流標準化，觀察其費雪區別函數變化情形：

1. 擬合：在統計假設下樣本大於 30 條才可根據中央極限定理，樣本平均數趨近常態分佈，故 C 地質區以整體 34 條土石流與 30 條非土石流溪流樣本進行費雪區別分析，其溪流樣本如圖 5.3，依照假設檢定篩選出的影響因子 HI、MI、NE、SD30、BA、SD10 之順序，分別將未標準化與標準化數據帶入費雪區別分析，再觀察所得費雪函數將其重新依照函數係數大小重新帶入觀察其正判率變化。

a. 原始數據：加入所有因子後將所得費雪區別函數依照標準化數據之函數係數權重大小重新排列如下：

$$Y=13.760(HI) -0.091(NE) +0.031(MI)-0.070(SD30)+0.003(BA)-0.030(SD10) -9.593 \quad (5-7)$$

b. C 區自行標準化：加入所有因子後將所得費雪區別函數依照標準化數據之函數係數權重大小重新排列如下：

$$Y=1.070(HI) -0.820(NE) +0.774(MI)-0.595(SD30)+0.440(BA)-0.238(SD10) -0.055 \quad (5-8)$$

2. 驗證：由於 C 地質區土石流與非土石流樣本僅 34 條與 30 條，故驗證方式採交叉驗證法(Cross Validation)中的留一驗證(Leave One Out Cross Validation)，只使用原樣本中一項當驗證樣本，其他當作訓練資料，持續到每個樣本均當過驗證樣本，由於標準化與未標準化所得正判率情形一致，故擇一當作說明。

整理 C 地質區區別函數於擬合與驗證之正判率關係，如表 5.4、表 5.5，

由兩表可知，依權重大小重新加入因子擬合與驗證正判率會產生變動，使部分正判率可相對較高，可看出 NE、MI 重新按照權重大小加入，於 NE 正判率有明顯上升，而 MI 則下降，但擬合與驗證正判率誤差在最後幾項因子趨於穩定。

由以上分析發現，係數權重大小順序加入因子較按照顯著性大小加入因子更能提高費雪區別函數判斷穩定性與準確性，由表 5.5 擬合與驗證正判率誤差來看，於因子 BA 時達到擬合正判率 81.3%與驗證正判率 75%，但其擬和與驗證誤差達 6.3%大於 5%，屬於過大誤差；而加入因子 SD10 時，雖然擬合正判率下降，但是驗證正判率上升，使得擬合與驗證的正判率誤差只有 1.5%，較僅達因子 BA 的誤差 6.3%為小，故影響因子選用到最後一項 SD10，以確保費雪區別函數的穩定性，其最終費雪區別函數如下：

a. 原始數據：

$$Y=13.760(HI) -0.091(NE) +0.031(MI)-0.070(SD30)+0.003(BA)-0.030(SD10) \\ -9.593 \quad (5-9)$$

b. C 區溪流標準化：

$$Y=1.070(HI) -0.820(NE) +0.774(MI)-0.595(SD30)+0.440(BA)-0.238(SD10) \\ -0.055 \quad (5-10)$$

5.1.3 高雄 D 地質區之費雪區別分析

高雄 D 地質區進行費雪區別分析之擬合與驗證部分，並分為原始數據、D 區溪流標準化，觀察其費雪區別函數變化情形：

1. 擬合：由 D 地質區整體 71 條土石流與 60 條非土石流隨機抽取 40 條與 35 條，抽取後與兩母體之間比例相近，其擬合樣本溪流分布如圖 5.4，依照假設檢定篩選出的影響因子 HI、FF、SD40、SD90、W、Ms 之順序，分別將未標準化

與標準化數據帶入費雪區別分析，再觀察所得費雪函數將其重新依照函數係數大小重新帶入觀察其正判率變化。

- a. 原始數據：加入所有因子後將所得費雪區別函數依照標準化數據之函數係數權重大小重新排列如下：

$$Y=10.992(HI)-3.016(FF)+0.047(W)+0.041(SD40)+0.034(SD90)+0.002(Ms) \\ -7.419 \quad (5-11)$$

- b. D 區溪流標準化：加入所有因子後將所得費雪區別函數之函數係數依照標準化數據權重大小重新排列如下：

$$Y=1.125(HI)-0.615(FF)+0.603(W)+0.437(SD40)+0.184(SD90)+0.062(Ms) \\ +0.118 \quad (5-12)$$

2. 驗證：將 D 地質區隨機抽取完剩下之 31 條土石流與 25 條土石流溪流資料，當作費雪區別分析之驗證部分，驗證樣本數量比例也與母體比例相近，驗證溪流樣本分布如圖 5.5。將樣本分別依照顯著性大小與函數係數權重大小順序帶入上述區別函數，由於標準化與未標準化所得正判率情形一致，故擇一當作說明。

整理 D 地質區區別函數於擬合與驗證之正判率關係如表 5.6、表 5.7，由兩表可知，依函數係數大小重新加入因子對於正判率有提升及穩定作用，改變 W、SD40、SD90、Ms 加入順序，可發現擬合與驗證正判率間差異較快趨於穩定，並於 SD40 正判率已可達 70% 以上；擬合與驗證部分正判率皆為逐漸上升，兩者在最後幾項因子擬合與驗證之正判率誤差趨於穩定。

由以上分析可得，依係數權重大小順序加入因子較按照顯著性大小加入因子更能提高費雪區別函數判斷穩定性與準確性，故以權重大小重新加入因子方式為觀察項目。在加入 SD40 因子時，擬合正判率提升至 72% 與驗證正判

率 71.4%，擬合正判率與驗證正判率誤差為 0.6%，但增加後面幾項因子 SD90、Ms，正判率仍有上升趨勢；當加入 Ms 因子，擬合正判率提升至 76% 與驗證正判率 71.4%，擬合正判率與驗證正判率誤差為 4.6% 小於 5%，屬於可接受的誤差範圍，故為確保費雪區別函數的穩定性，將影響因子選取到最後一項因子 Ms，其最終費雪區別函數如下：

a. 原始數據：

$$Y=10.992(HI)-3.016(FF)+0.047(W)+0.041(SD40)+0.034(SD90)+0.002(Ms)-7.419 \quad (5-13)$$

b. D 地質區溪流自行標準化：

$$Y=1.125(HI)-0.615(FF)+0.603(W)+0.437(SD40)+0.184(SD90)+0.062(Ms)+0.118 \quad (5-14)$$

綜合以上三小節所得擬合與正判率結果如表 5.2~表 5.7，觀察不分地質區、C 地質區、D 地質區擬合與驗證正判率變化，最後選定費雪區別函數所得正判率結果，不分地質區為擬合正判率 72.4% 與驗證正判率 74.7%，C 地質區擬合正判率 78.1% 與驗證正判率 76.6%，D 地質區擬合正判率 76% 與驗證正判率 71.4%，可知 C、D 地質區最後判斷土石流與非土石流判斷成效較不分地質區佳，由於不分地質區混和 C、D 兩地質區影響因子分布特色，其影響因子分布如第四章所述，使得判斷效果降低。

5.1.4 數據標準化對於費雪區別函數影響

將前三小節進行費雪區別分析所得之函數整理如表 5.8，觀察不分地質區與 C、D 地質區原始數據的費雪區別函數，發現各項變數的係數變化較大，無法明確從係數大小來判斷不同變數對於影響土石流發生的重要性，由於單位不同，原始數據分布有些介於 0~6000、有些介於 0~1 之間，不管單一變數或是不同變數間數據

變化差異極大，使得數據分布較廣的變數於費雪區別函數之係數較小，而變數數據介於 0~1 之間的係數則相對較大，而容易因小數位數的決定而影響判斷之準確性。

由前三小節整理的未標準化與標準化之正判率變化表表 5.2~表 5.7，觀察不分地質區、C 地質區、D 地質區經由費雪區別分析之擬合與驗證正判率，可以得知數據標準化後進行費雪區別分析，所得費雪區別數值與原始數據之結果一致，標準化對於費雪區別分析應用主要在於能明顯從係數得知該項因子之重要性，其影響因子重要性與顯著性檢定所得結果不同；從兩種不同加入因子方法比較，可發現依照係數權重大小所得之正判率有較快達最大值與呈現逐漸上升趨於穩定，而依照顯著性大小所得正判率會有跳動現象，因其因子權重會有變化，導致因子重要性變模糊。以下繪製不同區塊所得之費雪函數分布圖，由函數分布圖觀察是否能有效分別土石流與非土石流，由於不論數據標準化與否，所得函數皆相同，且不論何種地質區塊，原始數據所得之費雪區別函數其各項因子皆無係數過小的情況，故後面以原始數據所得結果做說明。

1. 不分地質區費雪函數值分布圖：將高雄全部土石流與非土石流資料庫套用於式(5-5)，其經由費雪區別函數所得之費雪區別函數值分布如圖 5.6，橫軸代表費雪區別函數值，縱軸為溪流判別於該函數值所佔之全部資料百分比，可看出經由費雪區別分析，土石流與非土石流兩群體有明顯不同之分布情形，以函數值 0 當作分界點，若土石流溪流所得函數值小於 0，則為誤判；若非土石流溪流所得函數值大於 0，亦為誤判。土石流溪流函數值分布於-1.785~2.642 之間，非土石流溪流函數值分布於-4.424~1.424 之間，正判率為 72.4%，不分地質區判別矩陣如表 5.9。
2. C 地質區費雪函數值分布圖：將高雄 C 地質區全部土石流 34 條與非土石流 30 條資料庫套用於式(5-9)，其經由費雪區別函數所得之費雪區別函數值分布如

圖 5.7。土石流溪流所得函數值分布於-2.055~3.836 之間，非土石流溪流所得函數值分布於-3.610~1.914 之間，兩群體有明顯差異存在，正判率為 78.1%，表示採用以上六項因子判別土石流與非土石流有一定程度功效，C 地質區判別矩陣如表 5.10。

3. D 地質區費雪函數值分布圖：將高雄 D 地質區全部土石流 71 條與非土石流 60 條資料庫套用於式(5-13)，其經由費雪區別函數所得之費雪區別函數值分布如圖 5.8，土石流溪流函數值分布於-2.229~5.472 之間，非土石流溪流函數值分布於-4.025~1.780 之間，兩群體有明顯差異存在，正判率為 76%，表示區別函數判別土石流與非土石流有一定程度功效，D 地質區判別矩陣如表 5.11。

觀察上面三種費雪函數值分布圖，可以發現 C、D 地質區的費雪函數值分布圖於不同群尖峰值有明顯差異，而不分地質區土石流與非土石流尖峰值很接近，由此可見，不分地質區判別土石流與非土石流效果較分 C、D 地質區判別效果較差，可由各分區所得正判率看出；由於分 C、D 地質區地質因素影響較顯著，而不分地質區混和 C、D 地質區的各自地質區特色，使得原本地質區影響因子特性模糊化，致使判別效果降低。而因子 HI 可由在不同地質區最終標準化係數看出，與一開始加入 HI 正判率皆可達 60% 以上，故其對於判別土石流具顯著影響性。

5.2 高雄土石流潛勢分級

藉由費雪區別分析可將土石流溪流資料，從影響因子資料建立費雪區別函數值分布，其所得費雪區別函數值越高，代表其有相對較高之發生潛勢；反之，所得費雪區別函數值越低，代表其有相對較低之發生潛勢。

5.2.1 高雄土石流潛勢等級劃分

區別函數值除了作為土石流發生判別指標，亦可當作土石流發生潛勢高低判斷，將土石流溪流區分為潛勢高、中、低，採用 3 等分法並取整數，選擇 30%、70% 為分界以方便研究使用，利用前一節所建立之判別分析模式，將費雪函數值分

布曲線下累積面積百分比 30%、70%，作為土石流高、中、低潛勢值之分界標準。

1. 不分地質區：不分地質區土石流溪流費雪區別分析函數值分布如圖 5.9，原始數據之分界標準為-0.162 以及 1.025，若不分地質區之土石流溪流函數值大於 1.025 者，則可視該土石流發生潛勢大於或等於 70%，為高潛勢之土石流溪流；若不分地質區之土石流溪流函數值介於-0.162~1.025 者，則可視該土石流發生潛勢介於 30%~70%，為中潛勢之土石流溪流；若不分地質區之土石流溪流函數值小於-0.162 者，則可視該土石流發生潛勢小於 30%，為低潛勢之土石流溪流。
2. C 地質區：C 地質區土石流溪流費雪區別分析函數值分布如圖 5.10，其分界標準為-0.4 以及 0.982，若不分地質區之土石流溪流函數值大於 0.982 者，則可視該土石流發生潛勢大於或等於 70%，為高潛勢之土石流溪流；若不分地質區之土石流溪流函數值介於-0.4~0.982 者，則可視該土石流發生潛勢介於 30%~70%，為中潛勢之土石流溪流；若不分地質區之土石流溪流函數值小於 -0.4 者，則可視該土石流發生潛勢小於 30%，為低潛勢之土石流溪流。
3. D 地質區：D 地質區土石流溪流費雪區別分析函數值分布如圖 5.11，其分界標準為 0.088 以及 1.247，若不分地質區之土石流溪流函數值大於 1.247 者，則可視該土石流發生潛勢大於或等於 70%，為高潛勢之土石流溪流；若 D 地質區之土石流溪流函數值介於 0.088~1.247 者，則可視該土石流發生潛勢介於 30%~70%，為中潛勢之土石流溪流；若 D 地質區之土石流溪流函數值小於 0.088 者，則可視該土石流發生潛勢小於 30%，為低潛勢之土石流溪流。

將以上高雄不分地質區、C 地質區、D 地質區土石流潛勢分析模式，整理如表 5.12。

5.2.2 高雄土石流潛勢等級驗證

蒐集高雄地區颱風引致土石流災情資料，包括 2005 年海棠、2007 年聖帕、2008 年卡玫基、辛樂克、2009 年莫拉克，然後將高雄地區歷年潛勢溪流發生土石流次數與上小節土石流潛勢分級結果比對驗證，並和水保局(2011)1578 條潛勢溪流之判定潛勢結果比對，包括高縣 DF002、高縣 DF003、高縣 DF010、高縣 DF017、高縣 DF017-1、高縣 DF027、高縣 DF032、高縣 DF047、高縣 DF050、高縣 DF075 共 10 條溪流。由三種不同地質區塊模式結果顯示，區別分析判定潛勢等級為高者有高縣 DF002、高縣 DF003、高縣 DF010、高縣 DF017、高縣 DF050、高縣 DF075 等，潛勢等級為中者有高縣 DF017-1、高縣 DF047 等，潛勢等級為低者有高縣 DF027、高縣 DF032 等。將潛勢溪流歷年發生土石流事件數、費雪函數值、潛勢分析劃分之潛勢等級、水保局判定結果整理如表 5.13、表 5.14、表 5.15。

土石流潛勢等級驗證結果以不分地質區、C 地質區、D 地質區分別詳細討論如下：

1. 不分地質區：土石流潛勢分級結果與驗證如表 5.13。
 - a. 高縣 DF002：包括 2002 年前及莫拉克發生兩次土石流，依照歷年發生次數其發生頻率為中等，高縣 DF002 經潛勢分析判定為高，且水保局判定為高，判定結果相符。
 - b. 高縣 DF003：包括 2002 年前、卡玫基及莫拉克共發生三次土石流，發生頻率高，高縣 DF003 經潛勢分析判定為高，但水保局判定為低，潛勢分析判定結果與土石流歷史發生次數較吻合；高縣 DF003 位於民權河階，莫拉克導致礫石層露出，土壤厚度介於 5~10 公尺，極有可能再受到豪大雨發生土石流，與潛勢分析結果符合。
 - c. 高縣 DF027：2002 年前發生一次土石流，發生頻率低，高縣 DF027 經潛勢分析判定為低，且水保局判定為低，判定結果相符。

2. C地質區：土石流潛勢分級結果與驗證如表 5.14。
- a. 高縣 DF047：2002 年前發生一次土石流，發生頻率低，高縣 DF047 經潛勢分析判定為中，但水保局判定為高，兩者判定結果相近。
 - b. 高縣 DF050：從 2002 年前、卡玫基、莫拉克共發生三次土石流，發生頻率極高，高縣 DF050 經潛勢分析判定為中，但水保局判定為低，潛勢值為 0.412，故潛勢分析判定結果與土石流歷史發生次數較吻合，由於卡玫基、莫拉克屬近年來颱風且皆有發生，潛勢分析判斷結果較準確。
 - c. 高縣 DF075：於莫拉克颱風發生一次土石流，發生頻率低，高縣 DF075 經潛勢分析判定為高，水保局判定為高，且莫拉克屬近年來颱風，潛勢分析判斷結果尚屬合理。
3. D地質區：土石流潛勢分級結果與驗證如表 5.15。
- a. 高縣 DF010 到莫拉克颱風為止發生兩次土石流，發生頻率中等，高縣 DF010 經潛勢分析判定為高，水保局判定為高，潛勢分析與水保局判定相符。
 - b. 高縣 DF017 於卡玫基、莫拉克颱風發生兩次土石流，發生頻率高，高縣 DF017 經潛勢分析判定為高，且水保局判定為高，分析結果相符
 - c. 高縣 DF017-1 為高縣 DF017 劃分出來的，主要由於兩條有不同溢流點位，故分開為兩條討論，由於歷史土石流事件與高縣 DF017 相同，發生頻率為高，且水保局判定也為高，但經潛勢分析結果為中，可能是因分兩條討論，其主要發生土石流為高縣 DF017，而高縣 DF017-1 只是被歸入其中，使高縣 DF017-1 發生紀錄受高縣 DF017 影響。
 - d. 高縣 DF032：2002 年前發生一次土石流，發生頻率低，高縣 DF032 經潛勢分析判定為低，且水保局判定為低，判定結果相符。

綜合以上驗證結果可知，不管哪種潛勢分析判別結果都會與水保局判定有出入，其可能由於潛勢分析主要考量環境因素，而水保局判定以全台潛勢溪流、土石流出量體、坡度等影響，使得水保局評定會受地形變動影響，故潛勢分析對於土石流發生有一定成效，雖然水保局潛勢判定會依環境變動改變，但由於無法每條潛勢溪流重新勘查，判定結果沒辦法全部修改，所以部分溪流的潛勢變化無法及時修正；從整體發生事件來看，卡玫基與莫拉克屬近年來造成重大土石流災害之颱風，而從卡玫基與莫拉克發生土石流之潛勢溪流經潛勢分析所判斷結果多介於中至高以上，故潛勢分級結果與莫拉克發生土石流吻合，其潛勢分級成效不錯；而從三種模式驗證結果得知，分地質區判別結果較不分地質區佳。

5.3 區別分析預測其他地區之可行性

前幾節探討高雄地區進行費雪區別分析結果，本節探討不同地區但相同地質區帶下費雪區別分析之適用性，利用高雄 D 地質區所建立之區別函數，套用於台南、嘉義土石流溪流，以其所得正判率之誤差與穩定性以及費雪函數值分布，來探討區別分析預測之可能性，並以相似性指標評估不同地區影響因子變化與區別分析之關係。

5.3.1 高雄 D 地質區區別函數預測其他地區

5.1.2 節高雄 D 地質區溪流樣本進行費雪區別分析，建立高雄 D 地質區原始數據與標準化數據判別土石流的費雪區別函數式(5-13)、(5-14)，由於所得函數值相同，故以原始數據最終所決定之費雪區別函數為主以節省進行標準化之時間，以式(5-13)套用於台南、嘉義 D 地質區之土石流溪流樣本，藉此評估區別函數公式應用於其他地區之適用性。以台南 D 地質區土石流 48 條與嘉義地區土石流 62 條，進行費雪區別函數預測，其 D 地質區土石流分布於第三章所提。由於高雄 D 地質區進行費雪區別分析所得之正判率，包括了土石流與非土石流之正判率，故於此

扣除非土石流正判率，並以 D 地質區土石流正判率加以比較。

1. D 地質區之正判率與新增因子關係：依照函數係數權重大小順序將影響因子 HI、FF、W、SD40、SD90、Ms 加入區別分析。高雄整體 D 地質區經由費雪區別函數所得之土石流溪流部分的正判率為 66.2%~83.1%；台南 D 地質區土石流溪流預測準確率為 6.3%~31.3%；嘉義 D 地質區土石流溪流預測準確率 67.2%~72.1%，將各地區預測準確率整理如表 5.16。

由 5.1 節以高雄 D 地質區土石流溪流正判率與驗證率來決定之區別函數，不論是否標準化情形下，套用於台南與嘉義地區之預測正判率，可由正判率變化，發現嘉義地區正判率在 67.5% 左右，而台南地區正判率最高為 31.3%，所以高雄地區區別函數較適用於嘉義地區，台南地區適用性較低。

2. D 地質區土石流費雪區別函數值分布圖：以橫軸代表費雪區別函數值，縱軸為溪流判別於該函數值所佔之全部資料百分比。將高雄 D 地質區 71 條、台南 D 地質區 48 條與嘉義 D 地質區 62 條土石流資料，依序將係數權重從大到小分別加入，其費雪區別函數值分布圖變化情形如圖 5.12~圖 5.17。可看出三地在加入殘土率 HI 因子時，分布型態較接近，但台南地區整個向左偏移，可從第四章基本分布情形看出台南地區殘土率明顯較低，導致預測準確率下降，而加入其他因子，台南地區明顯與高雄不符，嘉義地區整體分布皆和高雄地區相近。

以依序帶入影響因子對於費雪函數值分布之平均值、分布範圍來做進一步探討：

- a. 費雪函數值分布範圍：將高雄、台南和嘉義之費雪函數值做基本統計，觀察逐步加入影響因子對於函數值分布範圍的變化，將分布範圍整理如表 5.17。高雄 D 地質區費雪函數值分布於 -2.23~5.47；台南 D 地質區費雪

函數值分布於-5.25~4.64；嘉義 D 地質區費雪函數值分布於-2.59~6.30，可看出台南費雪函數值分布變動較大，導致預測準確率下降。

- b. 費雪函數值平均值：影響因子為依照函數係數權重大小遞減帶入，每加入因子費雪函數值隨之改變，計算費雪函數值平均值如表 5.18。以高雄費雪函數值為準與台南、嘉義相減，其差異變化如圖 5.18，可知高雄、台南與嘉義新增因子之費雪函數平均值差異，由於台南費雪函數所得之正判率誤差過大，故參考嘉義費雪函數值平均值差變化，可發現當費雪函數值平均值差異越小，費雪區別函數之正判率越好，由此可見，在新增影響因子 Ms 已達最好結果，影響因子 FF 差異最大使得嘉義預測準確性下降，影響因子 SD40 之費雪區別數值平均值差有向下趨勢，故對於台南與嘉義判別預測效果降低。

以上對於費雪區別函數應用於其他地區之分析結果，針對影響因子對於判別準確性與函數值分布之初步結論如下：

1. 由表 5.16 可知，高雄 D 地質區費雪區別函數預測其他地區，嘉義預測結果較好，預測結果有先降低再提升的趨勢；台南預測結果最好只達 31.3%，預測成效低落，就影響因子表現來看，以 W、SD90、Ms 成果較好，SD40 誤差較大。
2. 從第四章之因子分布特性可知，雖然高雄、台南與嘉義皆選擇 D 地質區當作分析目標，土石流分布之地質種類相對較為集中，但不同地區所占地層種類百分比會有所變化，Ms 對高雄、嘉義、台南判別皆有一定成效。
3. 不論預測正判率、費雪區別函數值分布性質與平均值差變化，使用高雄 D 地質區所得之費雪區別函數應用於台南、嘉義相同地質分區，當新增因子 Ms 時，其預測效果達到最好；並從函數分布圖與平均值差圖推論，嘉義 D 地質區影響因子數據特性與高雄 D 地質區較為相似，預測效果才會較佳，故下節

以影響因子相似性與預測結果作探討。

5.3.2 影響因子相似性與預測誤差

本節針對不同地區影響因子特性與預測誤差作探討，前小節選定費雪區別函數之代表性影響因子，分別為 HI、FF、W、SD40、SD90、Ms，高雄、台南與嘉義影響因子分布特性如第四章所述，由於標準化數據必須將過轉換才能得到數據，且以高雄地區為標準化標準，可能導致台南、嘉義忽略原有影響因子分布特性，故以原始分布數據來探討相似性。

兩群集的比較在生物方面為常見的問題，為探討物種分布不同之處，利用指標來評估兩群集物種之相似程度。研究使用 Bray-Curtis 相似性指標，來評估不同群集物種之間的相似程度，相似性指標通常標準化使其介於 0~1 之間，其值越大，代表兩群落越相似，反之，值越小代表兩群落差異大。

Bray-Curtis 相似性指標純粹比較各物種所包含之個體數目，優點為指標公式簡單又快速，其公式如下：

$$C_{BC} = \frac{2 \sum_{i=1}^{D_{12}} \min(X_i, Y_i)}{\sum_{i=1}^{D_1} X_i + \sum_{i=1}^{D_2} Y_i} \quad (5-15)$$

C_{BC} ：Bray - Curtis 指標

D_{12} ：兩個樣本共同種類數

D_1 ：第一個樣本種類數

D_2 ：第二個樣本種類數

X_i ：第一個樣本中，第 i 種類的個體數

Y_i ：第二個樣本中，第 i 種類的個體數

下面小節會介紹 Bray-Curtis 相似性指標進行前所需的數據前置處理，土石流影響因子帶入相似性指標，並將結果與費雪區別分析應用於其他地區之準確性作探討。

5.3.3 影響因子相似性與預測誤差之討論

由於 Bray-Curtis 相似性指標是針對物種個數，故需要先將土石流影響因子數據做轉換，首先決定各地不同影響因子之代表數值，HI、FF 以各地區土石流之平均數，在單位為面積百分比之因子 Ms 使用所占各地區土石流全部地質之面積百分比；W 以各地區 W 所佔各地區其土石流全部坡向之面積百分比；SD40、SD90 以各地區 SD40、SD90 所佔各地區其土石流全部坡度之面積百分比，整理各地不同影響因子之代表數值如表 5.19。然後將台南、嘉義以高雄為基準進行數據標準化轉換，則可比較台南、嘉義對於高雄地區影響因子之增減百分比，如圖 5.19。將轉換後之影響因子數目帶入相似性指標公式，轉換後之影響因子代表數量如表 5.20。

討論不同地區影響因子相似性與費雪區別函數預測誤差之關係，首先做每個影響因子分別作相似性指標計算，討論各別影響因子增加時導致預測準確性變化與相似性之間關係。

將表 5.20 中轉換後之影響因子數據帶入相似性公式計算，所得之各影響因子相似性程度如表 5.21，因子 HI 嘉義與高雄有顯著的相似程度，而台南對於高雄與嘉義相似程度明顯低落；因子 FF 台南對高雄相似指標 0.905 高於嘉義對高雄相似指標 0.842，並可由第四章分布特性明顯得知台南與嘉義較為相似，而高雄則稍為趨向較大的 FF；因子 W 不論高雄、台南與嘉義兩兩之間相似性指標大於 0.9，顯示三地相似程度都不錯；因子 SD40 嘉義與台南之間較為相似，但嘉義、台南對於高雄地區相似指標皆高於 0.85，達一定相似水準；因子 SD90 高雄與台南之間較為

相似，而嘉義則有部分差異；因子 Ms 不論高雄、台南與嘉義兩兩之間相似性指標大於 0.9，顯示三地相似程度都不錯。

綜合觀察表 5.16 與因子分布圖，可發現因子 HI 高雄地區費雪區別函數應用於嘉義地區有 65% 以上準確性，而台南地區相似性指標 0.837 遠低於嘉義，並由圖 5.20 可看出台南溪流殘土率分布與高雄、嘉義差異性甚大，使得台南整體預測效果不佳；而在增加因子 FF 時，嘉義 FF 相似性指標 0.842 小於 HI 相似性指標，而台南相似性指標 0.905 逐漸變大，並配合圖 5.21 可看出高雄、台南、嘉義的 FF 分布情形，嘉義與高雄、台南分布差異較大，雖然相似性指標大於 0.8，但嘉義預測準確率仍下降；當增加至因子 W，高雄、台南與嘉義三地之間相似性指標皆有不錯相似程度，也可從預測準確性有明顯跳躍看出相似程度對預測準確性影響；增加因子 SD40，雖然其中嘉義 SD40 相似性指標達 0.9，但從圖 5.22 可看出台南、嘉義與高雄 SD40 分布差異可達 5% 以上，所以加入 SD40 時，不論台南、嘉義預測準確性皆下降；增加因子 SD90，台南相似性指標 0.919 與嘉義相似性指標 0.750，嘉義相似性指標較低，並由圖 5.22 發現，雖然嘉義相似性指標較低，但嘉義、台南對高雄 SD90 分布情形差異約 2% 不到，整體差異小，故不論台南、嘉義預測準確率均上升；增加因子 Ms，台南、嘉義的相似性指標皆大於 0.9，有不錯相似程度，並觀察圖 5.23，可發現不同地區地質種類分布不同，但 D 地質區地質分布主要集中於 Ms，故加入因子 Ms 使得台南、嘉義兩地預測準確率提高。

把全部選定之影響因子帶入公式計算其相似性指標大小，並將影響因子增至 Ms 時不同地區間預測準確性差距(將台南、嘉義之預測準確率對高雄正判率相減)，整理如表 5.22，以觀察加入全部影響因子時相似性指標大小與預測準確性差距大小之間是否有關連，可發現相似性指標越大，其預測準確性差距越小，即代表影響因子數據越相似，如高雄與嘉義數據所示；相似性指標越小，其預測準確性差距越大，故推論由於高雄與嘉義相似性指標高於高雄與台南之相似性指標，套用

相同費雪區別模式時，嘉義預測準確率比台南 D 區來的好。由上述結果可知，相似性指標可提供預測準確率和預測穩定性評估之依據。

5.4 小結

對前面土石流區別分析結果與費雪區別函數值分布特性做整理，不論不分地質區與 C、D 地質區之區別分析，以及數據標準化的適用性；將高雄 D 地質區區別函數應用於其他地區相同地質區之預測準確性與影響因子間相似性指標的，做以下幾點結論：

1. 高雄地區經由抽驗決定擬合與驗證溪流樣本，必須先檢驗兩種抽樣後分布特性是否與原始母體相似，然後可藉由擬合與驗證之正判率變化，並比較正判率誤差、影響因子重要性與函數係數值來做決定，重新決定因子後之原始數據正判率，不分地質區擬合正判率為 72.4% 與驗證正判率 74.7%；C 地質區擬合正判率 78.1% 與驗證正判率 76.6%；D 地質區擬合正判率 76% 與驗證正判率 71.4%。
2. 標準化數據於費雪區別函數應用性，可明顯從費雪區別函數式之係數得知該影響因子對於整體判別效果的影響，其係數越大、影響力越強，故重新依照區別函數係數大小加入影響因子，其增加的正判率情形為逐漸上升且趨於穩定，而原始按照顯著檢定值大小帶入費雪區別函數則正判率會有跳動現象，故標準化能夠有效決定費雪區別函數所使用之因子。
3. 對應於分布曲線累積面積 30% 及 70% 為分界，不分地質區之函數值高於 1.025 者，為高潛勢之土石流潛勢溪流，函數值低於 1.025 且高於或等於 -0.162，為中潛勢之土石流潛勢溪流；函數值低於 -0.162，為低潛勢之土石流潛勢溪流；C 地質區之函數值高於 0.982 者，為高潛勢之土石流潛勢溪流，函數值低於 0.982 且高於或等於 -0.4，為中潛勢之土石流潛勢溪流，函數值低於 -0.4，為低

潛勢之土石流潛勢溪流；D 地質區之函數值高於 1.247 者，為高潛勢之土石流潛勢溪流，函數值低於 1.247 且高於或等於 0.088 為中潛勢之土石流潛勢溪流，函數值低於 0.088，為低潛勢之土石流潛勢溪流。

4. 殘土率對於判別土石流與非土石流溪流為最重要因子，不論不分地質區與 C、D 地質區甚至嘉義地區，加入殘土率時擬合與驗證之正判率均有 60% 以上，但仍需增加其他影響因子坡度、坡向、地質來提升正判率；台南地區由於殘土率分布與高雄、嘉義差異較大，故台南預測結果受殘土率影響明顯低落。
5. 從預測準確性結果可知，不同地區情況下即使相同地質分區，土石流溪流所占地質種類面積百分比集中在 MS、P2 等，但各地區土石流所占各地質種類百分比分佈仍會有所差異，由地質種類分布圖 5.23 可看出三地地質分布主要集中於 Ms，故台南與嘉義於增加 Ms 預測準確性均提高。
6. 由 Bray-Curtis 相似性指標結果可知，相似性指標大小與預測準確率和預測穩定性有所關連，就區別分析預測適合性討論，當嘉義 D 地質分區影響因子分佈相似性指標越高，對於預測準確率越佳，但仍需與原始分布情形比對，因相似性指標無法顯示整體分布狀態；台南 D 地質分區影響因子分佈相似性較小，故在預測準確率較差。從整體影響因子相似性可發現相似性指標越大，其預測準確性差距越小，反之亦然。

表 5.1 費雪區別函數分析判別矩陣

各分區(組別)		判別結果分組個數	
		非土石流	土石流
原始組別個數	非土石流	正判個數(1)	誤判個數(2)
	土石流	誤判個數(3)	正判個數(4)
平均正判率 = $[(1) + (4)] / [(1) + (2) + (3) + (4)]$			

表 5.2 不分地質區費雪區別分析正判率表(依顯著性檢定大小)

數據說明	新增因子	HI	FF	NE	SD40	SD90	N	Ms
原始數據	正判率(擬合)	62.9%	64.7%	70.7%	70.7%	69%	69.0%	71.6%
	正判率(驗證)	64.6%	65.8%	70.9%	72.2%	72.2%	72.2%	73.4%
標準化	正判率(擬合)	62.9%	64.7%	70.7%	70.7%	69.0%	69.0%	71.6%
	正判率(驗證)	64.6%	65.8%	70.9%	72.2%	72.2%	72.2%	73.4%

表 5.3 不分地質區費雪區別分析正判率表(依函數係數權重大小)

數據說明	新增因子	HI	NE	FF	SD40	Ms	SD90	N
原始數據	正判率(擬合)	62.9%	68.1%	70.7%	70.7%	72.4%	71.6%	71.6%
	正判率(驗證)	64.6%	67.1%	70.9%	72.2%	74.7%	74.7%	73.4%
標準化	正判率(擬合)	62.9%	68.1%	70.7%	70.7%	72.4%	71.6%	71.6%
	正判率(驗證)	64.6%	67.1%	70.9%	72.2%	74.7%	74.7%	73.4%

表 5.4 C 地質區費雪區別分析正判率表(依顯著性檢定大小)

新增因子	HI	MI	NE	SD30	BA	SD10
正判率(擬合)	65.6%	68.8%	68.8%	75.0%	81.3%	78.1%
正判率(驗證)	65.6%	64.1%	67.2%	73.4%	75.0%	76.6%

表 5.5 C 地質區費雪區別分析正判率表(依函數係數權重大小)

新增因子	HI	NE	MI	SD30	BA	SD10
正判率(擬合)	65.6%	70.3%	68.8%	75.0%	81.3%	78.1%
正判率(驗證)	65.6%	68.8%	67.2%	73.4%	75.0%	76.6%

表 5.6 D 地質區費雪區別分析正判率表(依顯著性檢定大小)

新增因子	HI	FF	SD40	SD90	W	MS
正判率(擬合)	65.3%	66.7%	72.0%	72.0%	74.7%	76.0%
正判率(驗證)	62.5%	67.9%	71.4%	71.4%	73.2%	71.4%

表 5.7 D 地質區費雪區別分析正判率表(依函數係數權重大小)

新增因子	HI	FF	W	SD40	SD90	Ms
正判率(擬合)	65.3%	66.7%	69.3%	72.0%	74.7%	76.0%
正判率(驗證)	62.5%	67.9%	71.4%	71.4%	73.2%	71.4%

表 5.8 費雪區別函數整理表

	數據說明	費雪區別函數
不分地質區	原始數據	$Y=9.861(HI)-0.045(NE)-1.297(FF)+0.015(SD40)+0.002(Ms)-5.982$
	標準化	$Y=0.943(HI)-0.373(NE)-0.249(FF)+0.167(SD40)+0.091(Ms)-0.014$
C地質區	原始數據	$Y=13.760(HI)+0.031(MI)-0.091(NE)-0.070(SD30)+0.003(BA)-0.030(SD10)-9.593$
	標準化	$Y=1.070(HI)+0.774(MI)-0.820(NE)-0.595(SD30)+0.440(BA)-0.238(SD10)-0.055$
D地質區	原始數據	$Y=10.992(HI)-3.016(FF)+0.047(W)+0.041(SD40)+0.034(SD90)+0.002(Ms)-7.419$
	標準化	$Y=1.125(HI)-0.615(FF)+0.603(W)+0.437(SD40)+0.184(SD90)+0.062(Ms)+0.118$

表 5.9 不分地質區費雪區別函數分析判別矩陣表

不分地質區(擬合)		判別結果分組個數 (%)	
		非土石流	土石流
原始組別個數 (%)	非土石流	35 (63.6%)	20 (36.4%)
	土石流	12 (19.7%)	49 (80.3%)
平均正判率 72.4%			
不分地質區(驗證)		判別結果分組個數 (%)	
		非土石流	土石流
原始組別個數 (%)	非土石流	28 (80.0%)	7 (20.0%)
	土石流	13 (29.5%)	31 (70.5%)
平均正判率 74.7%			

表 5.10 C地質區費雪區別函數分析判別矩陣表

C地質區(擬合)		判別結果分組個數 (%)	
		非土石流	土石流
原始組別個數 (%)	非土石流	23 (76.7%)	7 (23.3%)
	土石流	7 (20.6%)	27 (79.4%)
平均正判率 78.1%			
C地質區(驗證)		判別結果分組個數 (%)	
		非土石流	土石流
原始組別個數 (%)	非土石流	22 (73.3%)	8 (26.7%)
	土石流	7 (20.6%)	27 (79.4%)
平均正判率 76.6%			

表 5.11 D地質區費雪區別函數分析判別矩陣表

D地質區(擬合)		判別結果分組個數 (%)	
		非土石流	土石流
原始組別個數 (%)	非土石流	24 (68.6%)	11 (31.4%)
	土石流	7 (17.5%)	33 (82.5%)
平均正判率 76%			
D地質區(驗證)		判別結果分組個數 (%)	
		非土石流	土石流
原始組別個數 (%)	非土石流	15 (60.0%)	10 (40.0%)
	土石流	6 (19.4%)	25 (80.6%)
平均正判率 71.4%			

表 5.12 高雄土石流潛勢分級結果整理表

不分 地質區	高潛勢	$y \geq 1.025$
	中潛勢	$1.025 > y \geq -0.162$
	低潛勢	$y < -0.162$
C 地質區	高潛勢	$y \geq 0.982$
	中潛勢	$0.982 > y \geq -0.4$
	低潛勢	$y < -0.4$
D 地質區	高潛勢	$y \geq 1.247$
	中潛勢	$1.247 > y \geq 0.088$
	低潛勢	$y < 0.088$

表 5.13 高雄不分地質區土石流潛勢分級結果驗證表

溪流編號	歷史事件	發生次數	費雪函數值	不分區 判定結果	水保局判定 (2011)
高縣 DF001	2002 前	1	1.547	高	低
高縣 DF002	2002 前	2	1.510	高	高
高縣 DF003	2002 前、卡孜基、 莫拉克	3	1.534	高	低
高縣 DF008	2002 前	1	0.919	中	中
高縣 DF020	2002 前	1	-0.841	低	低
高縣 DF024	2002 前	1	-0.859	低	低
高縣 DF027	2002 前	1	-0.859	低	低
高縣 DF037	2002 前	1	-0.863	低	低
高縣 DF038	2002 前	1	-0.910	低	高
高縣 DF064	莫拉克	1	1.110	高	高

表 5.14 高雄 C 地質區土石流潛勢分級結果驗證表

溪流編號	歷史事件	發生次數	費雪函數值	C 區 判定結果	水保局判定 (2011)
高縣 DF047	2002 前	1	0.154	中	高
高縣 DF048	2002 前、海棠、 卡孜基、莫拉克	4	0.525	中	中
高縣 DF050	2002 前、卡孜基、 莫拉克	3	0.412	中	低
高縣 DF055	2002 前	1	1.991	高	中
高縣 DF058	2002 前	1	1.678	高	高
高縣 DF059	2002 前	1	0.330	中	高
高縣 DF060	2002 前	1	2.259	高	高
高縣 DF073	莫拉克	1	0.209	高	高
高縣 DF075	莫拉克	1	1.089	高	高
高縣 DF078	莫拉克	1	0.120	中	高

表 5.15 高雄 D 地質區土石流潛勢分級結果驗證表

溪流編號	歷史事件	發生次數	費雪函數值	D 區 判定結果	水保局判定 (2011)
高縣 DF009	2002 前	1	1.417	高	高
高縣 DF010	2002 前、莫拉克	2	1.642	高	高
高縣 DF017	卡孜基、莫拉克	2	2.671	高	高
高縣 DF017-1	卡孜基、莫拉克	2	0.778	中	高
高縣 DF019	2002 前	1	0.335	中	中
高縣 DF021	2002 前	1	0.059	低	中
高縣 DF031	2002 前	1	-1.174	低	低
高縣 DF032	2002 前	1	-0.377	低	低
高縣 DF062	莫拉克	1	1.943	高	高
高縣 DF083	莫拉克	1	1.399	高	高

表 5.16 D 地質區土石流費雪函數正判率與預測準確率結果表

新增因子	HI	FF	W	SD40	SD90	Ms
高雄	66.2%	76.1%	76.1%	78.9%	78.9%	83.1%
台南	6.3%	8.3%	25.0%	22.9%	27.1%	31.3%
嘉義	67.2%	62.3%	67.2%	65.6%	68.9%	72.1%

表 5.17 D 地質區費雪區別函數值分布表

分布範圍	高雄	台南	嘉義
HI	-1.34~2.11	-3.38~1.72	-1.98~3.11
FF	-1.89~2.14	-4.14~1.93	-2.92~2.93
W	-2.05~4.19	-5.17~4.25	-2.96~6.19
SD40	-2.34~5.20	-5.43~4.65	-2.84~6.15
SD90	-2.30~5.10	-5.48~4.47	-2.86~5.91
Ms	-2.23~5.47	-5.25~4.64	-2.59~6.30

表 5.18 D 地質區費雪函數值平均值表

平均值	高雄	台南	嘉義
HI	0.430	-1.454	0.466
FF	0.576	-1.476	0.381
W	0.726	-1.244	0.733
SD40	0.863	-1.259	0.748
SD90	0.880	-1.210	0.812
Ms	1.114	-1.013	1.046

表 5.19 高雄、台南、嘉義 D 地質區影響因子代表性數值表

新增因子	HI	FF	W	SD40	SD90	Ms
高雄	0.66	0.30	16.09	35.23	4.02	88.14
台南	0.48	0.36	18.93	27.63	3.49	74.94
嘉義	0.67	0.40	17.12	28.78	6.69	79.46

表 5.20 高雄、台南、嘉義 D 地質區影響因子經標準化轉換後數目表

新增因子	HI	FF	W	SD40	SD90	Ms
高雄	100	100	100	100	100	100
台南	72	121	118	78	87	85
嘉義	101	134	106	82	167	90

表 5.21 高雄、台南、嘉義 D 地質區兩地間各影響因子之相似性指數表

新增因子	HI	FF	W	SD40	SD90	Ms
BC(高雄-嘉義)	0.9996	0.8418	0.9677	0.9046	0.7503	0.9470
BC(高雄-台南)	0.8365	0.9051	0.9191	0.8792	0.9302	0.9190

表 5.22 高雄、台南、嘉義兩地間預測準確率差距與相似性指標表

	高雄-台南	高雄-嘉義
預測準確率差距	51.8%	11.0%
BC 指標	0.8492	0.8938

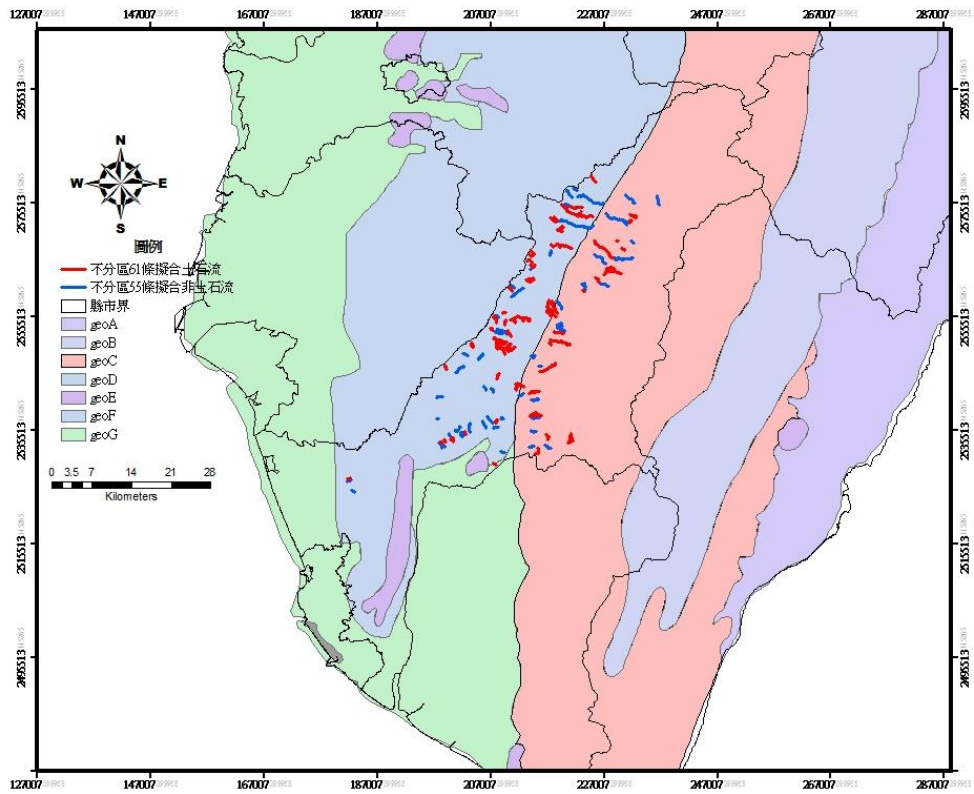


圖 5.1 不分地質區土石流與非土石流分布圖(擬合)

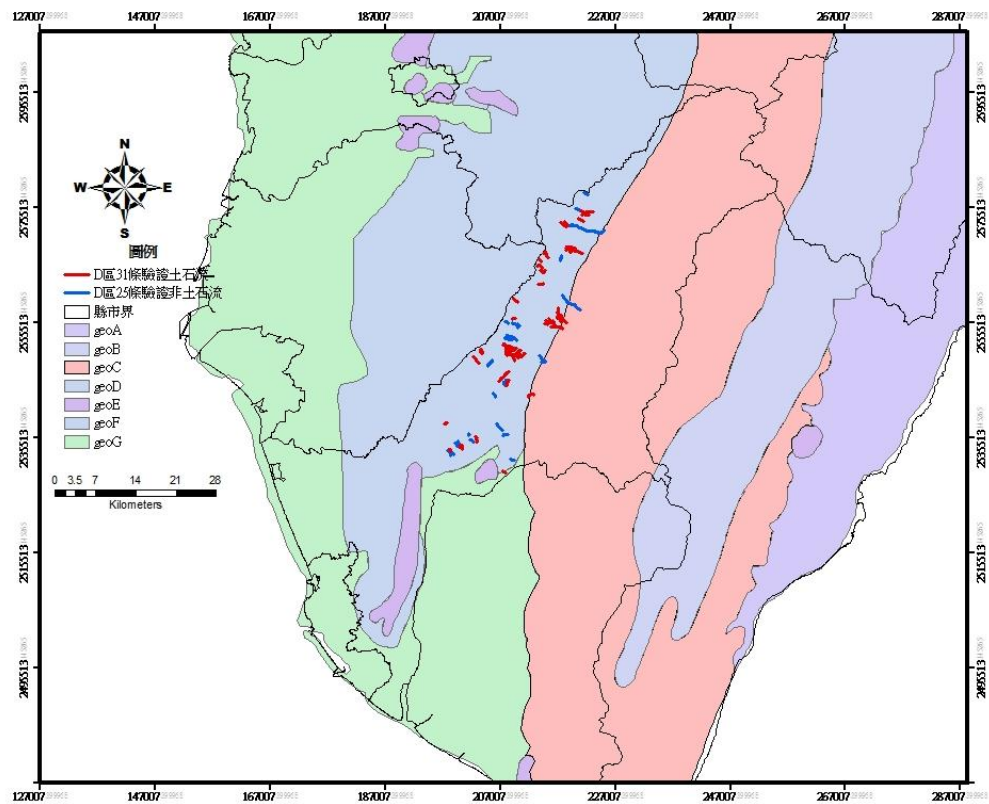


圖 5.2 不分地質區土石流與非土石流分布圖(驗證)

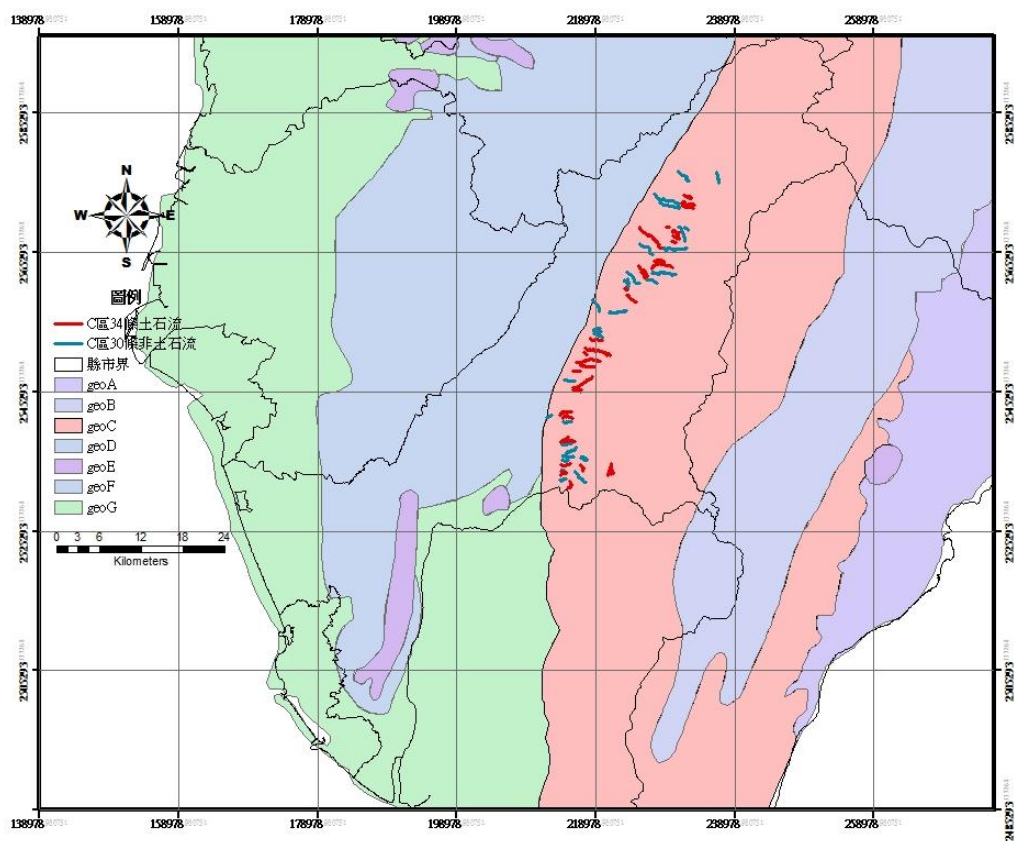


圖 5.3 C 地質區土石流與非土石流分布圖(擬合與驗證)



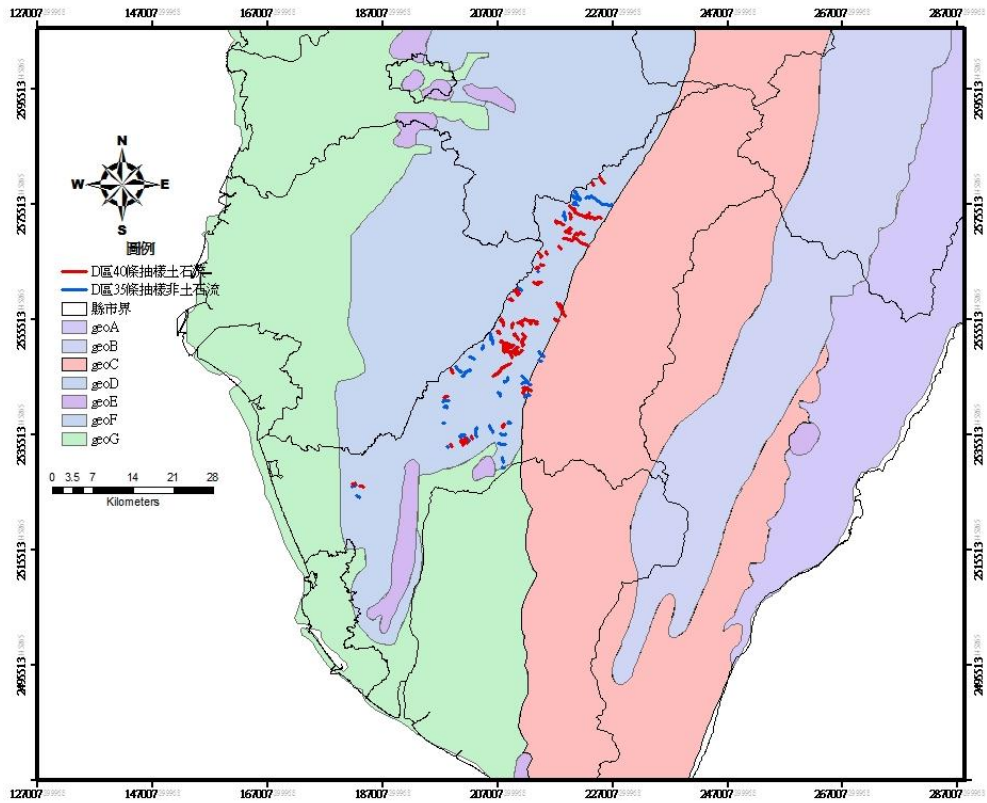


圖 5.4 D地質區土石流與非土石流分布圖(擬合)

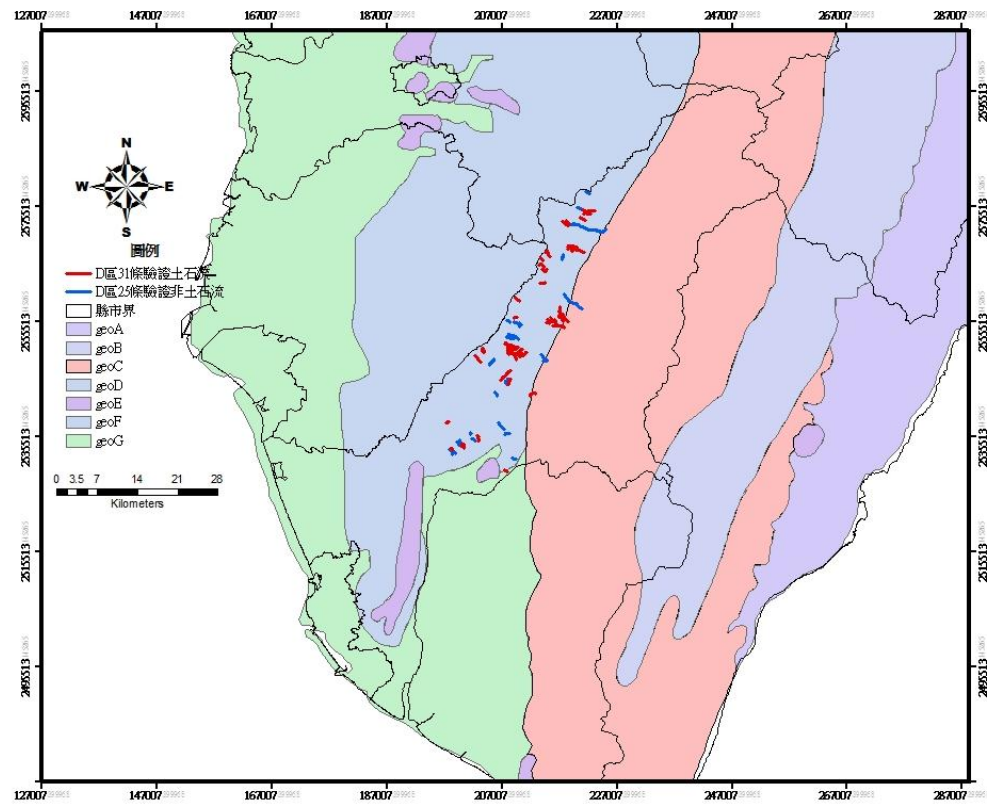


圖 5.5 D地質區土石流與非土石流分布圖(驗證)

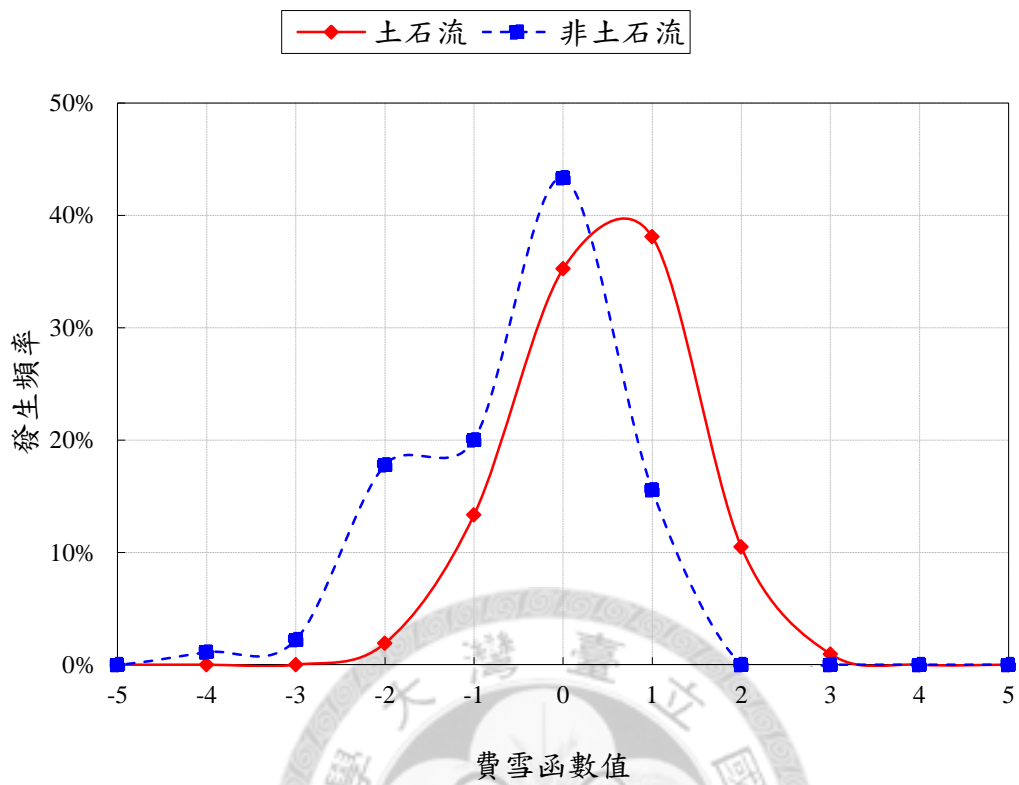


圖 5.6 不分地質區費雪區別函數值分布圖

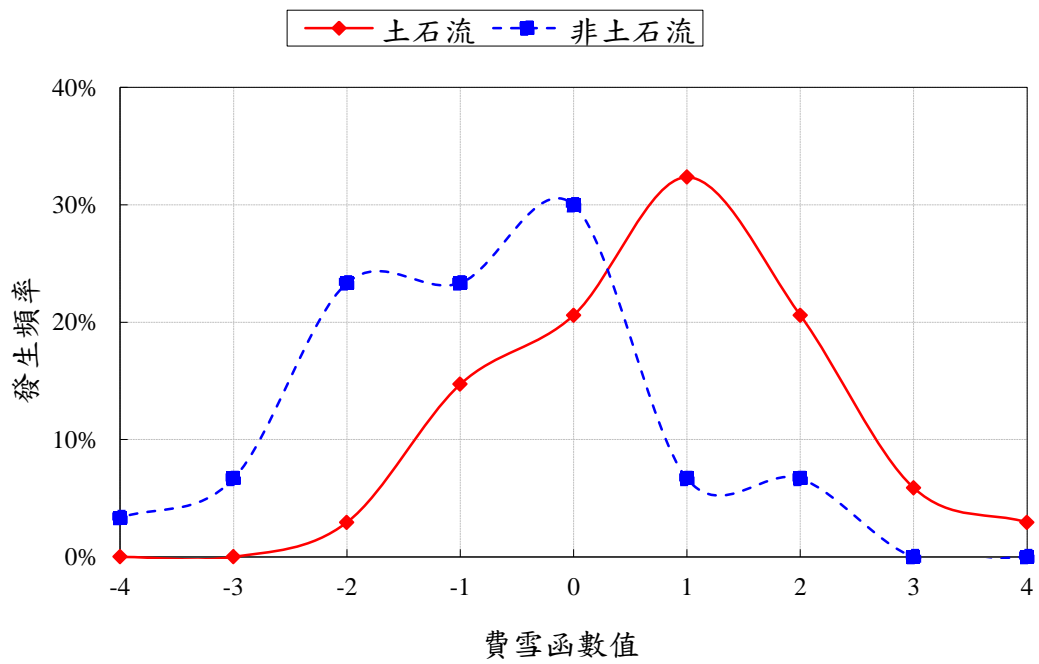


圖 5.7 C 地質區費雪區別函數值分布圖

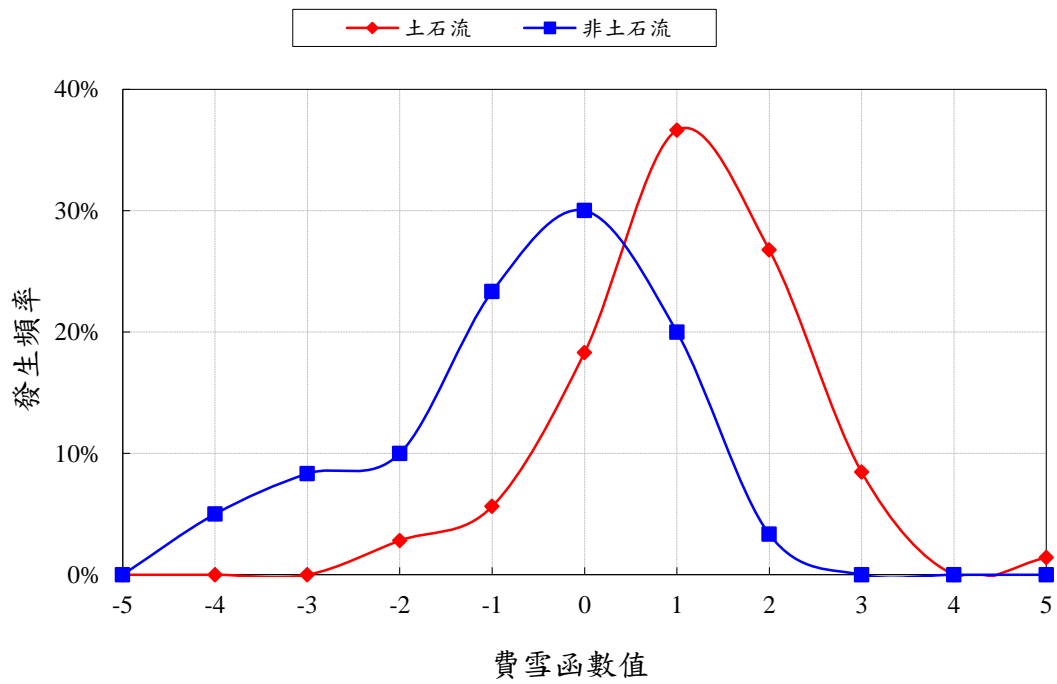


圖 5.8 D地質區費雪區別函數值分布圖



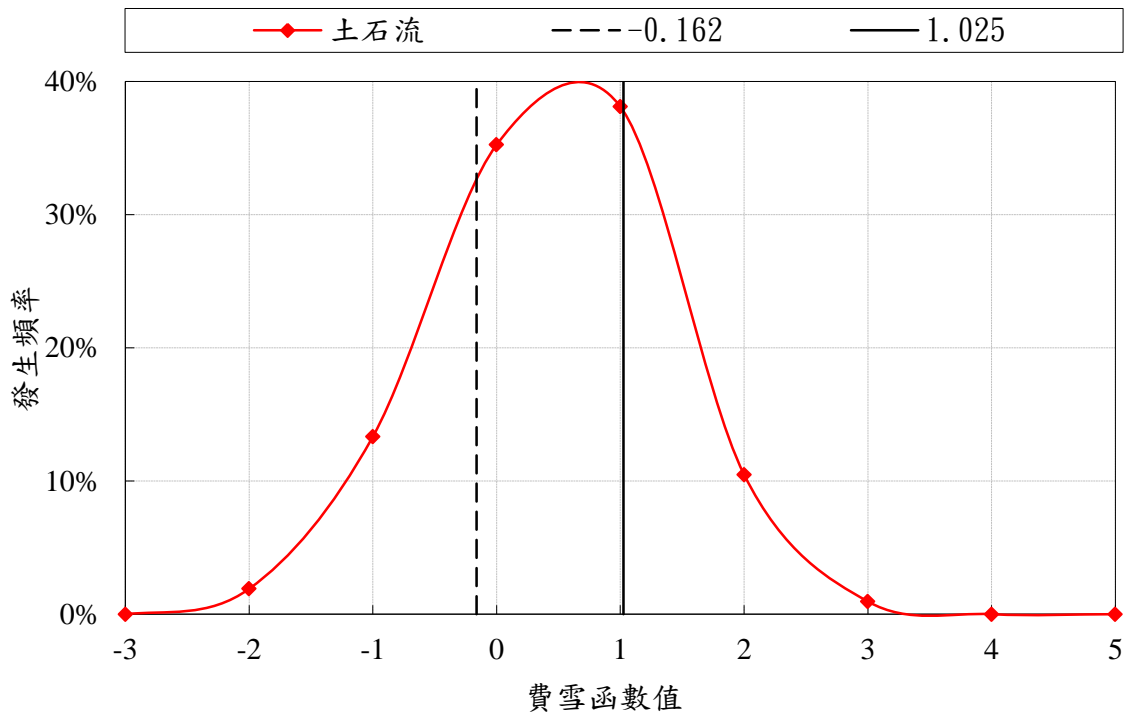


圖 5.9 不分地質區土石流潛勢分級圖

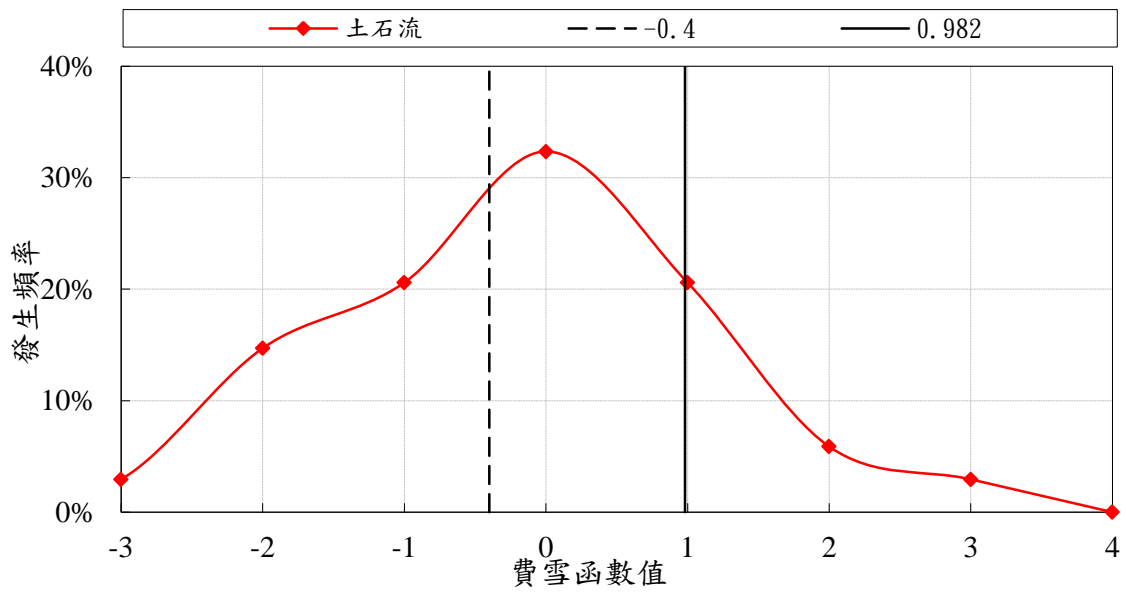


圖 5.10 C 地質區土石流潛勢分級圖

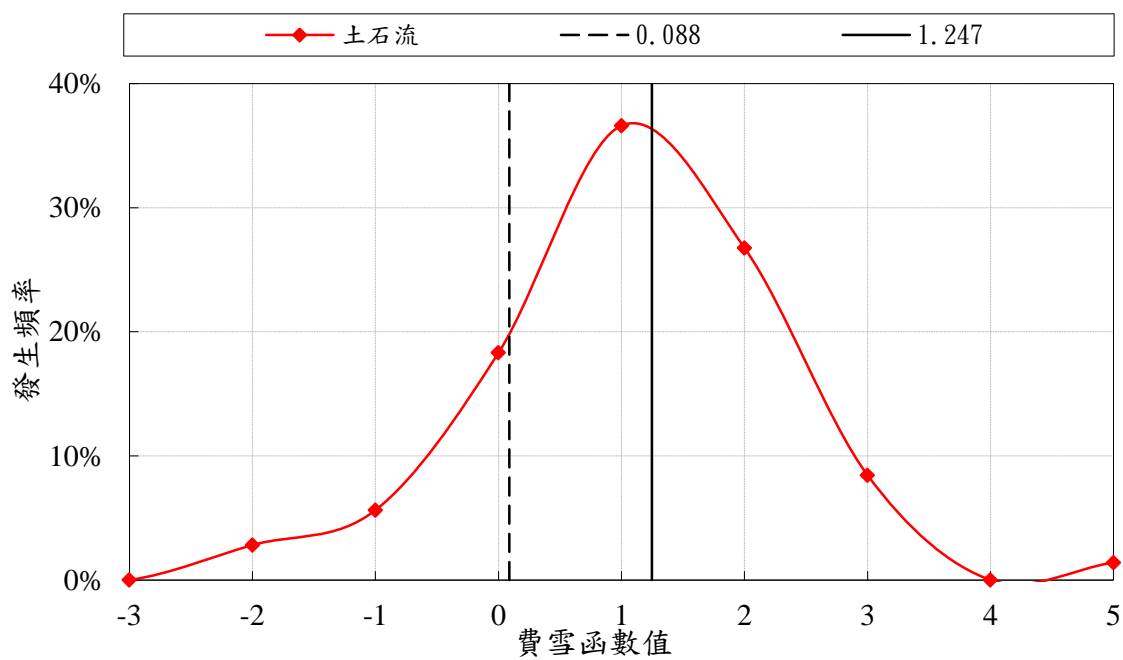


圖 5.11 D 地質區土石流潛勢分級圖



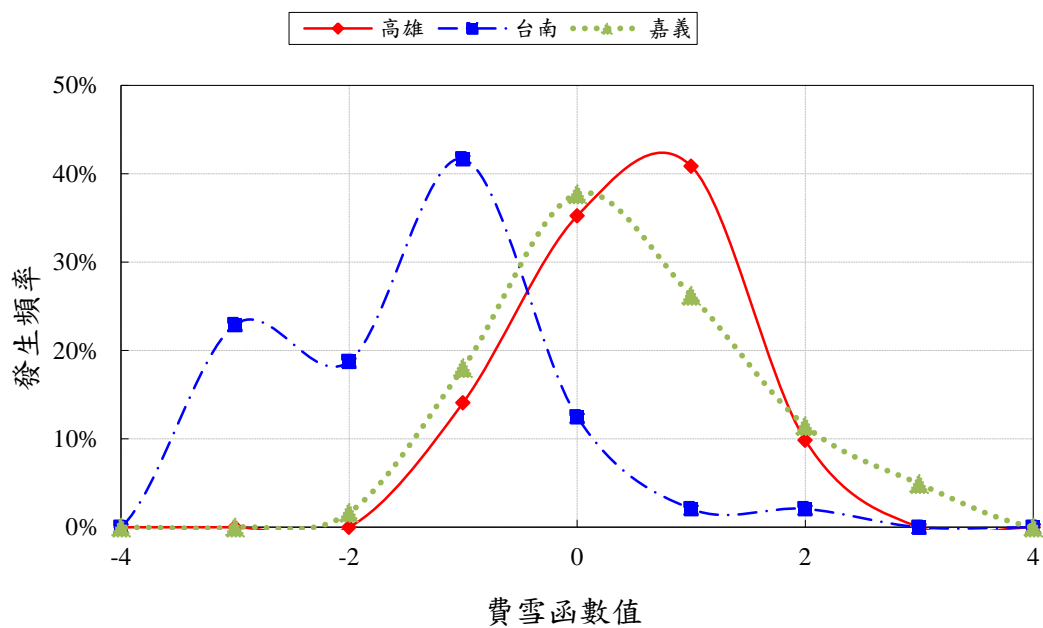


圖 5.12 高雄、台南、嘉義新增因子 HI 之費雪區別函數分布圖

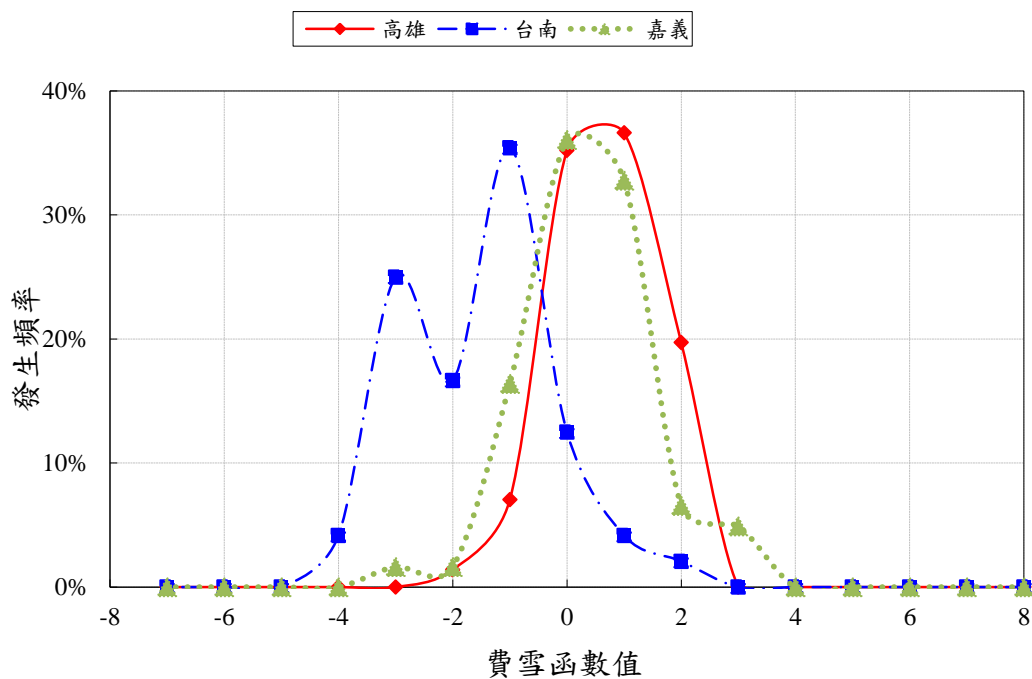


圖 5.13 高雄、台南、嘉義新增因子 FF 之費雪區別函數分布圖

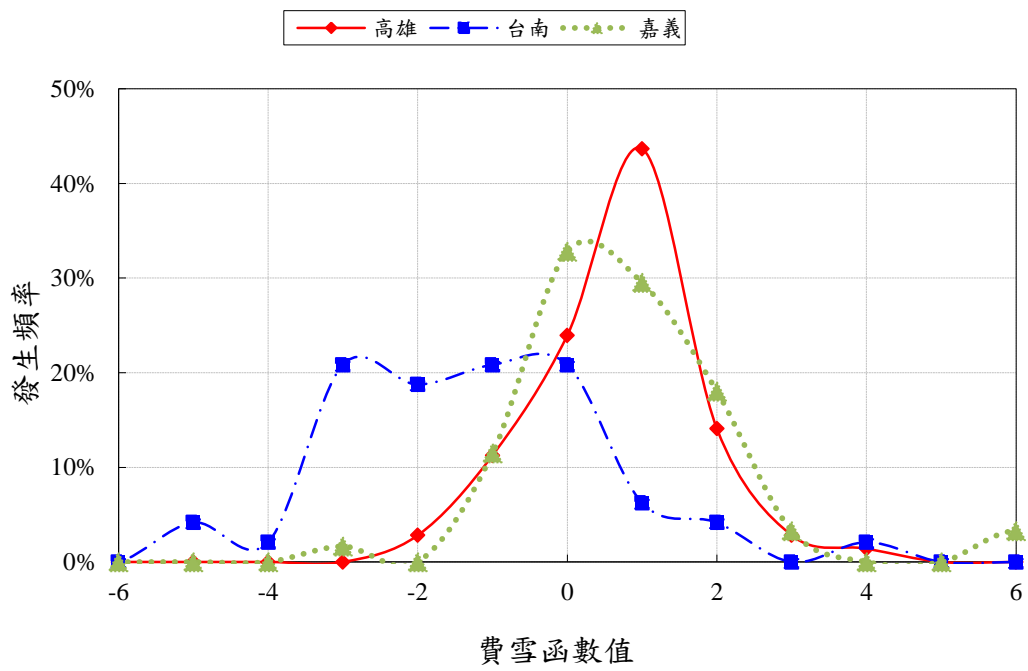


圖 5.14 高雄、台南、嘉義新增因子 W 之費雪區別函數分布圖

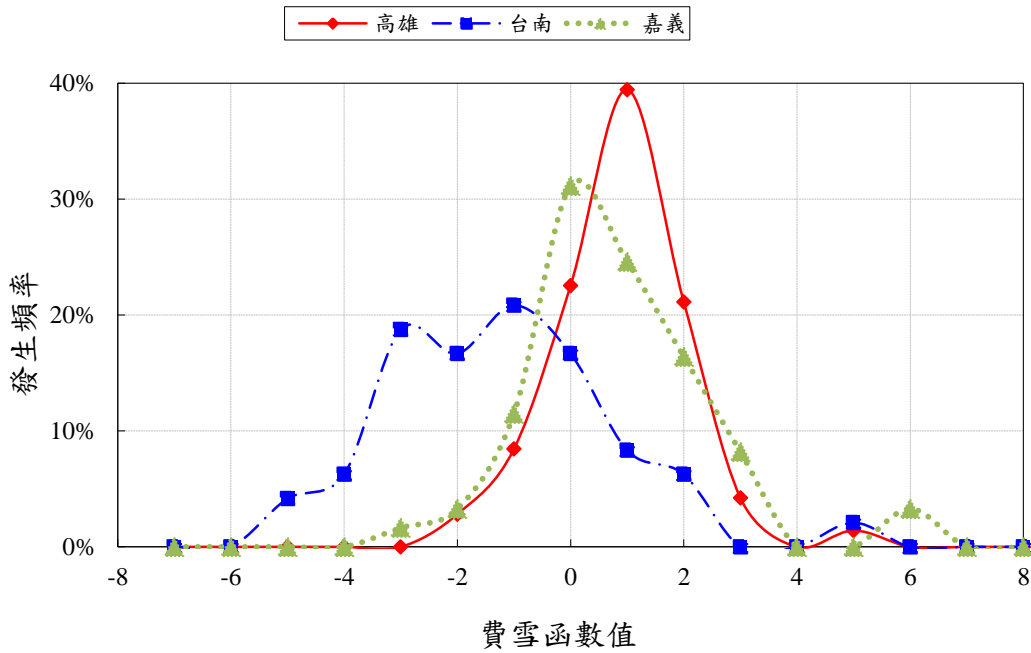


圖 5.15 高雄、台南、嘉義新增因子 SD40 之費雪區別函數分布圖

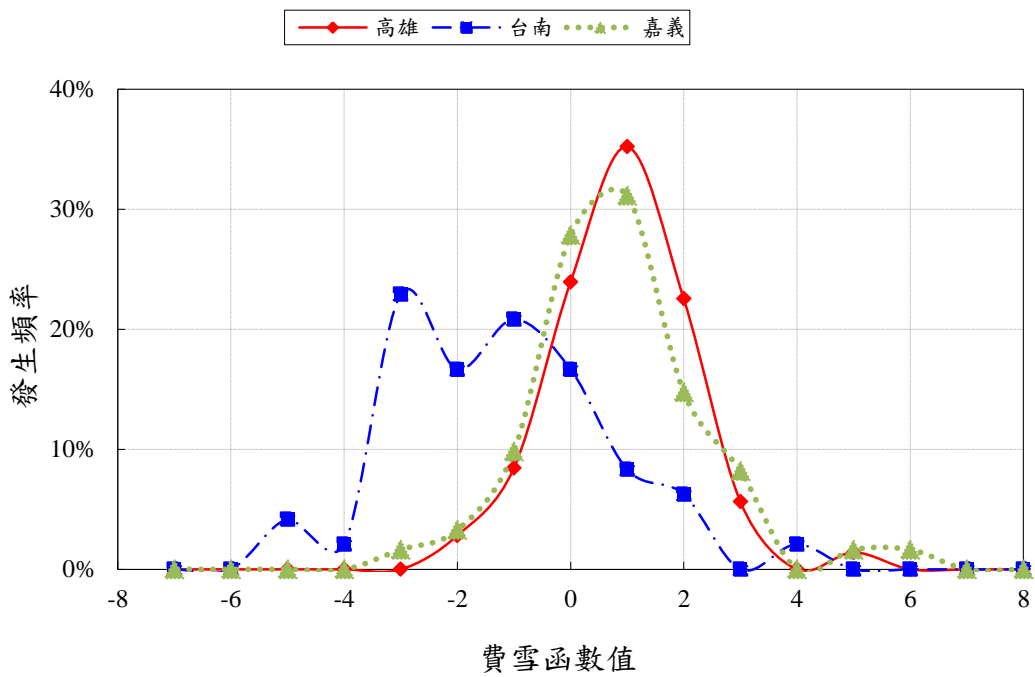


圖 5.16 高雄、台南、嘉義新增因子 SD90 之費雪區別函數分布圖

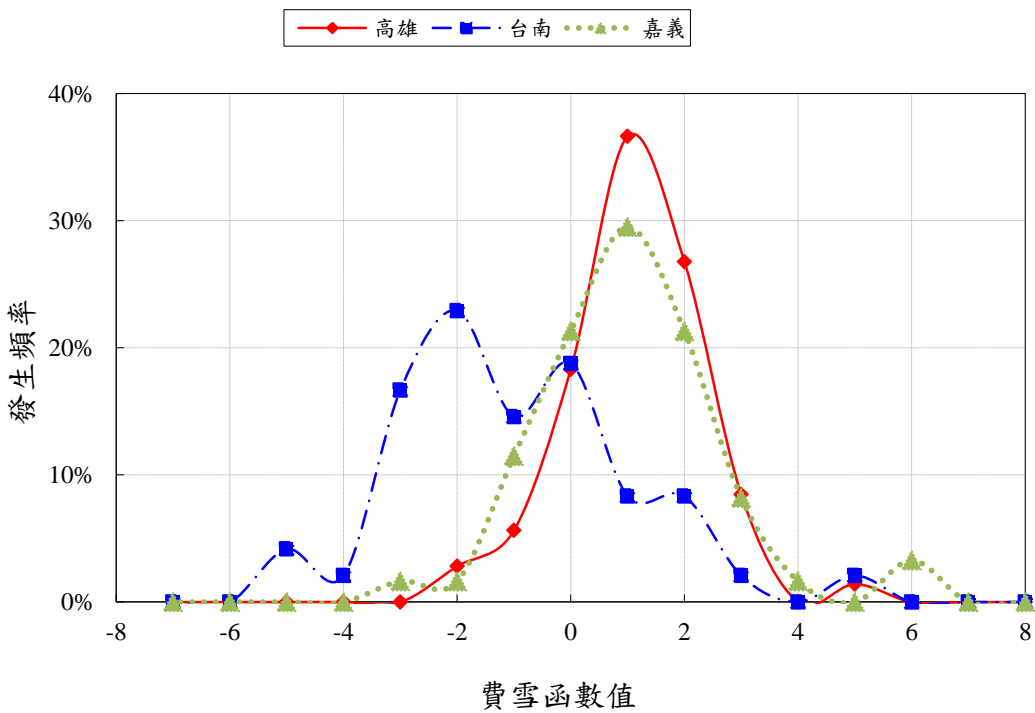


圖 5.17 高雄、台南、嘉義新增因子 Ms 之費雪區別函數分布圖

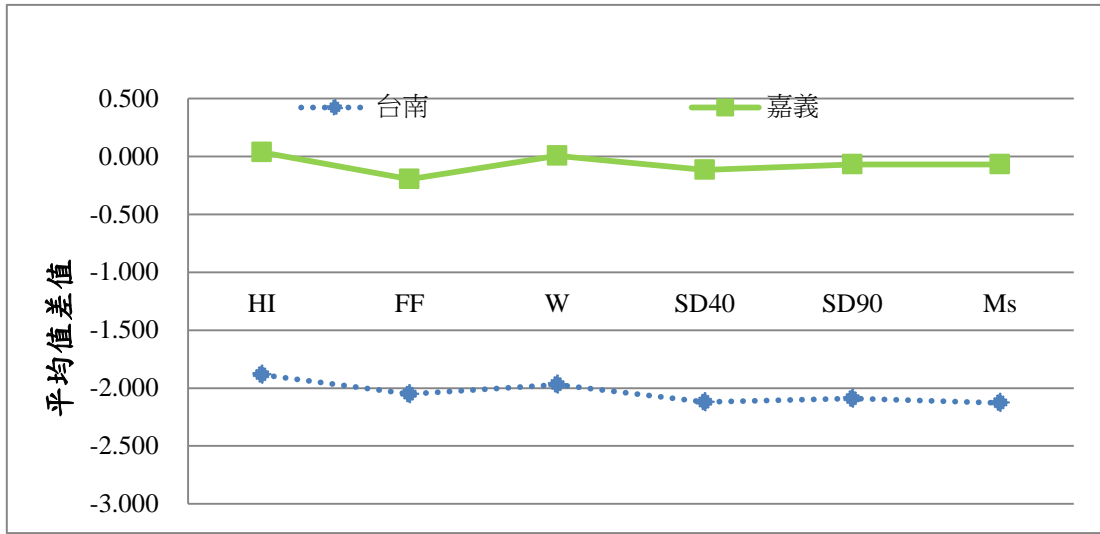


圖 5.18 台南、嘉義對高雄費雪函數平均值差值圖

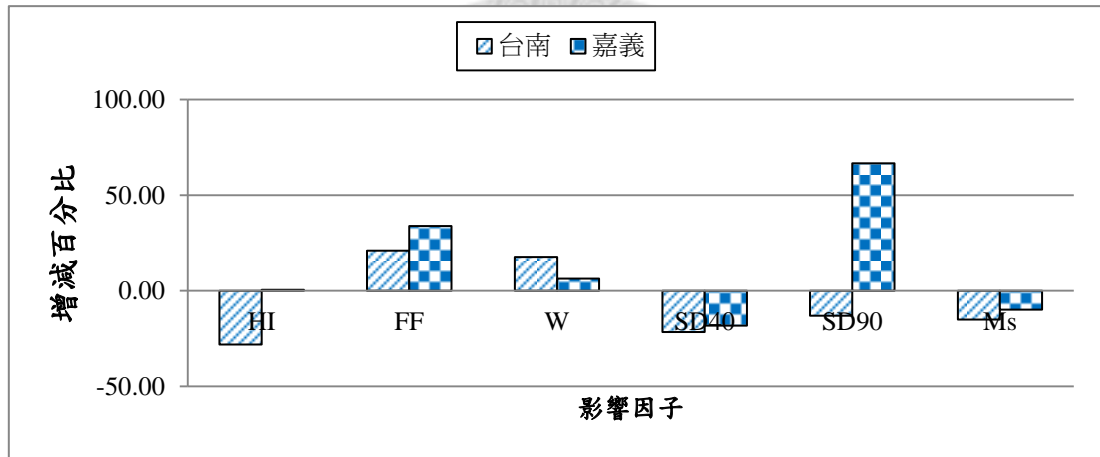


圖 5.19 台南、嘉義對高雄影響因子增減百分比圖

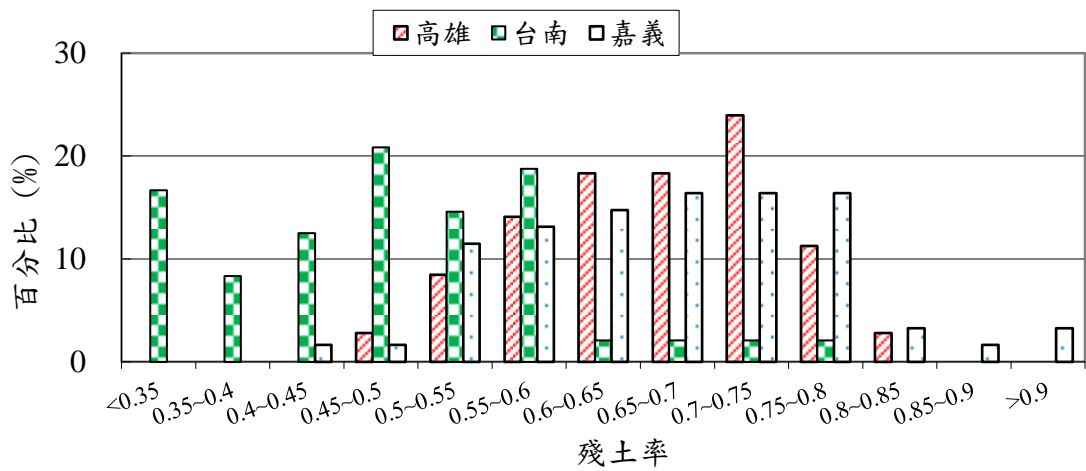


圖 5.20 高雄、台南與嘉義土石流殘土率分佈圖

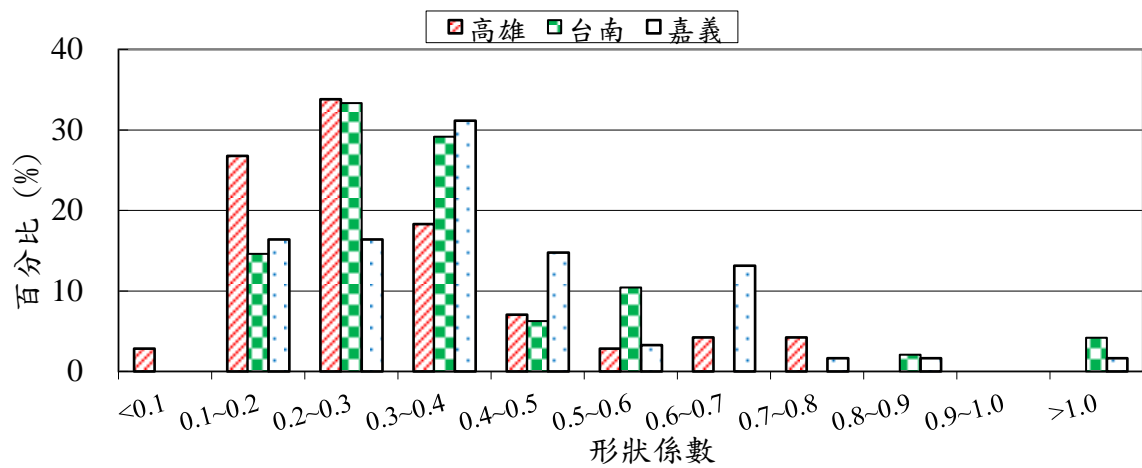


圖 5.21 高雄、台南與嘉義土石流形狀係數分佈圖

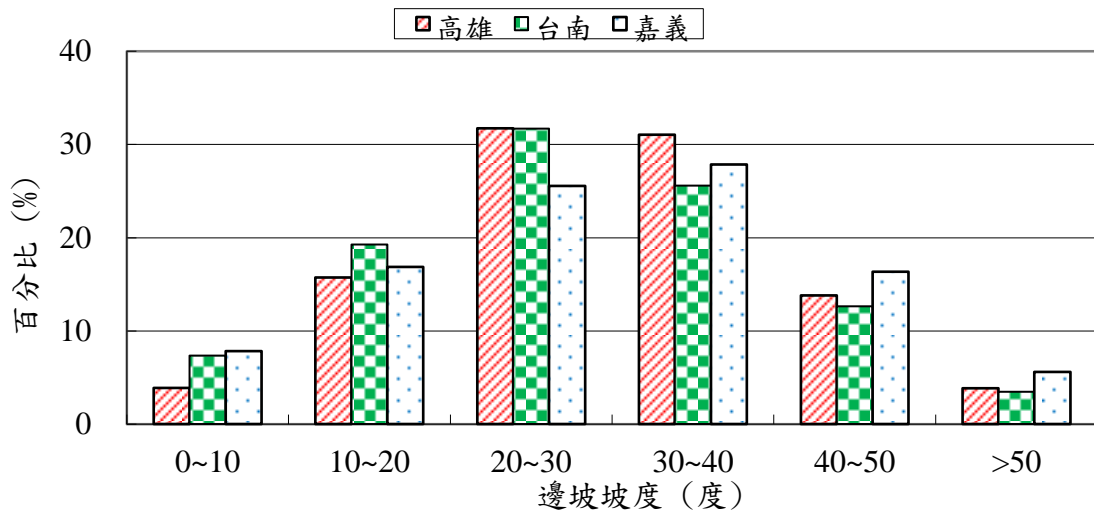


圖 5.22 高雄、台南與嘉義土石流邊坡坡度分佈圖

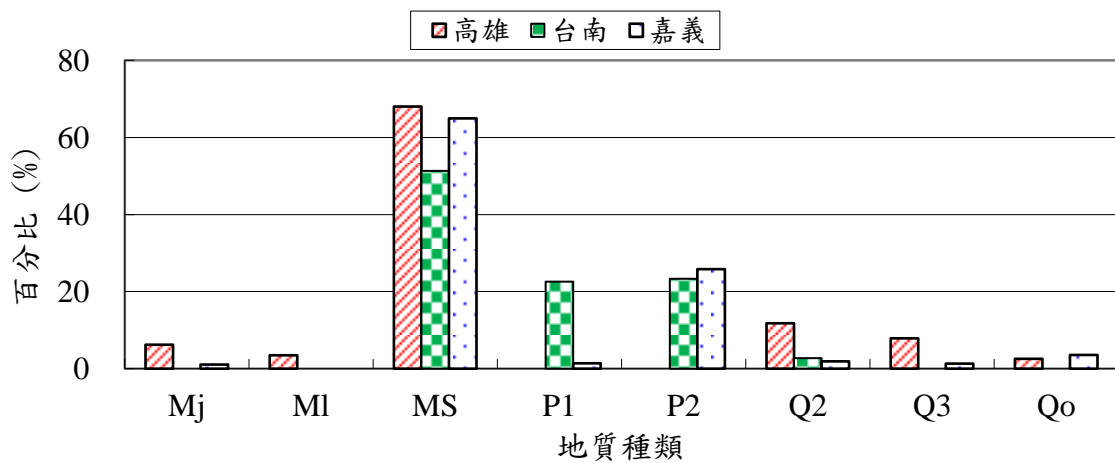


圖 5.23 高雄、台南與嘉義土石流地質種類分佈圖



第六章 誘發因子之土石流潛勢分析

本章以高雄地區為主要研究範圍，首先介紹導致高雄發生重大土石流災害之颱風事件，整理颱風導致土石流發生的分布情形與雨量資訊，然後採用熱點分析了解雨量資料發生頻率及強度關係，以熱點分析結果決定使用之雨量參數，將熱點分析 Z 值與第五章經由費雪區別分析所得之土石流潛勢等級做疊加，並和整理的各颱風導致土石流事件位置做比對，以探討天然因子與誘發因子對於土石流發生之關聯。

6.1 誘發因子資料庫

本節介紹研究所選之導致重大土石流災害的颱風事件，並描述研究收集之分析資料分布特性與來源。

6.1.1 歷年颱風事件

高雄重大土石流災害近幾年來逐漸變多，從 2005 年海棠颱風、2006 年聖帕颱風、2008 年卡玫基颱風、2008 年辛樂克颱風一直到 2009 年莫拉克颱風，逐年土石流災害明顯增加。土石流事件主要集中在荖濃溪流域和旗山溪流域，尤其在甲仙與納瑪夏區造成嚴重的土石流事件，其中 2008 年卡玫基與 2009 年莫拉克颱風導致土石流災害較為嚴重，且土石流資訊也較完整，故研究以卡玫基與莫拉克颱風為研究對象。

1. 2008 年卡玫基颱風：卡玫基颱風於 97 年 7 月 16-18 日侵襲台灣，其颱風路徑為第二類型(颱風種類如圖 3.6)行徑路線如圖 6.1，颱風的西南側環流導致中部以南市區多處積水，包括台中市區、台中縣、雲林縣、嘉義縣、台南縣、高雄縣及屏東縣多處淹水，此次降雨累積之最大降雨出現在台南縣南化鄉之北寮站，總累積雨量達 981mm，其餘如嘉義縣之竹崎鄉及大埔鄉、台南縣之楠西鄉及東山鄉、高雄縣六龜鄉、甲仙鄉及桃源鄉，累積雨量皆超過 800mm，

其累積雨量如圖 6.2。

2. 2009 年莫拉克：莫拉克颱風於 2009 年 8 月 5-10 日侵襲台灣，其屬於第三類颱風其行徑路線如圖 6.3，莫拉克颱風挾帶大量降雨，使土壤含水無法適度宣泄，導致土石鬆軟、邊坡滑動及土石流等。颱風期間的全台累積降雨量極為驚人如圖 6.4，改寫先前的雨量歷史紀錄，莫拉克颱風之大量降雨雖紓解中南部瀕臨缺水的困境，但劇烈降雨也使得山區交通中斷、土石崩落等災情發生，也因連續驟雨使得淹水災情頻傳；主要淹水區域集中於高雄市、台南市、嘉義縣市、屏東縣等區域。

蒐集整理水土保持局土石流防災資訊網土石流報告與水土保持局土石流現勘報告書對於 1578 條土石流潛勢溪流描述，高雄 92 條土石流潛勢溪流可從報告得知各颱風發生土石流位置與時間，為方便比較使用改採土石流集水區形心位置，而卡玫基與莫拉克發生土石流點位如圖 6.5，高雄 92 條潛勢溪流其中 20 條於卡玫基發生土石流、43 條於莫拉克發生土石流。

6.1.2 雨量站分布及雨量資料統計

對於卡玫基與莫拉克颱風雨量資料，蒐集整理高雄地區中央氣象局和水利署雨量站資料，一般對於雨量分析多採用警戒雨量站，其考量降雨驅動指標與地文綜合指標，但本研究僅針對整個高雄地區做雨量探討，且為了進行雨量數據內差與熱點分析，故選定能含括整個高雄地區分布且距離不會太遠的雨量站，以提高分析時的準確性。

由於雨量站紀錄有時候發生錯誤，故剔除資料錯誤雨量站資料，最後研究選定之雨量站共有 48 站，其中中央氣象局 45 站，水利署雨量站 3 站，其分布圖如圖 6.6 所示。

關於雨量分析常用之基本統計數據有降雨延時、最大降雨強度、累積雨量，而其降雨分布需先劃分雨場來決定是否屬於颱風帶來之連續降雨，雨場劃分方式於第三章所述，採用降雨超過 4mm 為降雨開始、連續三小時低於 4mm 為結束，

然後將卡玫基與莫拉克颱風雨量資料做基本統計如表 6.1，由表可知卡玫基颱風降雨延時分布在 23~33 小時，最大降雨強度 176mm/hr；莫拉克降雨延時分布較廣介於 52~112 小時，最大降雨強度 121mm/hr，從降雨延時與降雨強度、累積雨量可以發現，卡玫基降雨方式較為集中，而莫拉克降雨則較為分散，雨量特徵不同。土石流發生時機依照水保局土石流防災資訊網之土石流災情報告來做決定，可從報告中發現卡玫基颱風發生土石流主要集中於降雨開始後 12 小時左右，而莫拉克颱風土石流發生時間於開始降雨一天至兩天左右。為探討不同颱風降雨對於土石流發生的影響，所以選擇的降雨參數有最大降雨強度、各時間段累積雨量、總累積雨量，12 小時累積雨量用於卡玫基颱風，而莫拉克以多時間點累積雨量探討，主要因不同颱風降雨分布情形不同，而發生土石流災害時間點不同，故採用的降雨參數也有所變化。

6.2 誘發因子分析

由於降雨資料不可能每一個地方就有設立紀錄站來紀錄，故必須使用現有雨量站資訊來內插出其他地點的雨量數據，內插出全高雄地區雨量分布情形，將不同颱風不同考慮因素之雨量分布全部整理出來，再使用熱點分析分析降雨於不同地點之頻率與強度，然後再與蒐集之颱風導致土石流發生的位置做比對，確認不同情形下，降雨聚落分布與土石流發生之關係。

6.2.1 雨量內插

土石流發生除天然影響因子外尚需要外在誘發因子，但土石流發生位置降雨資料不易取得，現有方法是以各種內插方式，由周邊既有雨量測站推估現地降雨，因此內插方法的精度極為重要。現有的雨量內插方法常用的有距離反比法、距離平方反比法、克利金法，以距離反比法及距離平方反比法較常被人使用，且在台北市產業開發局(2005)中有利用距離反比法、距離平方反比法、克利金法內插計算雨量預估值與量測值誤差，距離反比法、距離平方反比法誤差較小，且考慮台北

市雨量站較密集，而高雄雨量站較為鬆散，故研究選用距離平方反比法進行雨量內插，其公式原理如下：

$$X_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{ij}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_{ij}^2}} \quad (6-1)$$

X_j ：推算點的雨量

X_i ：雨量站的實際雨量

D_{ij} ：推算點與雨量站之間距離

距離平方反比法(Inverse distance square method)所得數據會隨各雨量站距離增加而影響減弱，距離愈近雨量站影響較大，反之亦然，但由於其屬移動平均法，所得推估插值不會超過原始數據；將卡孜基與莫拉克整理出雨量站數據，使用 Arc GIS 中擴充模組空間分析中的插值功能(Spatial Analyst/Interpolation)，可運算出高雄地區整體降雨分布情形，再將其以降雨等高線模式展現如圖 6.7，為卡孜基與莫拉克之高雄地區總累積雨量分布情形。

6.2.2 熱點分析

熱點分析目的主要在於找尋具有高密度的地區，參考柯明淳(2010)、溫在弘(2010)、Jackson(2010)知熱點分析一般常用於分析社會經濟，觀察某些地區於部分因子之集中性，例如人口分布、犯罪比例、疫情分布等等；目前於地質研究上面，也常使用熱點分析針對邊坡崩塌等，尋求災害易發生區藉此建立災害敏感圖，以便探討環境因子之影響。

研究參考熱點分析具有找尋發生事件之密度與強度觀念，將卡孜基與莫拉克颱風所選定之降雨參數分別利用 Arc GIS 擴充模組空間統計中的聚類分布功能(Spatial Statistics/Mapping Clusters)，進行空間熱點分析(Getis-Ord G_i^*)，原理公式如下：

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n \omega_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (6-2)$$

其中 x_j 為要素 j 的觀測值， ω_{ij} 為要素 ij 之間的空間權重， n 為要素總數，並且：

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (6-3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (6-4)$$

將由熱點分析可得 G_i^* 之 P 值與 Z Score 其含義如圖 6.8，當 P 值大與 0.1 為顯著，因此可由 Z 值看出顯著水準，而颱風事件整體降雨分布經由熱點分析計算後，可在 Arc GIS 將計算後結果以顏色漸層方式顯示，其中當 Z 值較高呈現紅色代表降雨分布較密集處為熱點，而 Z 值較低呈現藍色屬降雨強度較低處為冷點，並與各颱風導致土石流發生之災害點位做比較，是否土石流發生情形與不同降雨參數的強度有關，且所得 Z 值可以將不同颱風降雨轉成同維度做比較，一般 Z 值所使用分界點為 1.65 與 -1.65 劃分冷熱交界點，其 Z 值所對應之原始數據整理如表 6.2。

1. 最大降雨強度：卡玫基與莫拉克颱風之降雨強度熱點分析如圖 6.9，可以看出卡玫基颱風最大降雨強度主要集中於甲仙與杉林區，莫拉克最大降雨集中於那瑪夏與桃源區，各颱風災害點位可以與降雨密集度做比較，從圖發現不論卡玫基與莫拉克颱風災害點位基本上都與熱點吻合，而卡玫基熱點分布較莫拉克分布為窄，可能與颱風性質有關，不同颱風路徑所帶外圍環流影響不同。
2. 不同時間點累積雨量：卡玫基不同時間累積雨量熱點分析如圖 6.10，卡玫基颱風由於降雨延時較短，只取連續 12 小時累積雨量做熱點分析，其分布情形與最大降雨強度雷同，但熱點分布範圍從甲仙向外擴展，全部災害點位都未

落於藍色的冷點區域；而莫拉克颱風降雨延時較長，使得各地區主要降雨時間點不同，故莫拉克以連續 12 小時~48 小時累積雨量做討論，其熱點分析所得降雨特性分布如圖 6.11~圖 6.12，12 小時可以看出熱點局部分布在平地與茂林地區，24 小時平地降雨熱點擴散開、那瑪夏、六龜累積降雨仍然較少，36 小時可以看出在 24~36 小時山區降雨多於平地使得熱點從山區擴散、平地則轉為冷點，48 小時發現熱點幾乎集中於山區，代表 48 小時累積雨量山區遠多於平地地區，而從土石流災害點位來看，12~36 小時災害點位大多位於中間色與冷點，直到 48 小時才較吻合於熱點分布情形，由此可見，土石流可能發生於 36~48 小時之間，約在 8/8 下午到 8/9 中午之間與土石流報告相近。

3. 總累積雨量：卡孜基與莫拉克颱風之總累積雨量熱點分析所得分布如圖 6.13，卡孜基颱風熱點從甲仙逐漸向茂林區擴展，災害點位分布與熱點更吻合，從中間顏色逐漸轉向紅色熱點區塊；莫拉克颱風總累積雨量熱點分布主要集中於山區，平地幾乎都屬藍色冷點分布，相較取 24 小時累積雨量分布情形為好，但那瑪夏區的災害分布只屬於中間色，不如 48 小時累積雨量分布情形。

從不同降雨參數熱點分布情形，可以發現最大降雨強度熱點分析與災害點位較為符合，不同時間點累積雨量受到降雨時間點變化影響，不同時間點累積雨量多寡與土石流發生是有關的，從上述不同時間點累積災害熱點分析中，可以看出 48 小時較符合災點分布，而總累積雨量則會受到降雨延時影響，卡孜基延時分布在 19~33 小時，莫拉克延時分布於 37~115 小時，使得莫拉克部分地區累積時間相差太多，導致部分趨向冷點分布，由 48 小時與總累積雨量於平地可看出，總累積雨量平地地區幾乎成深藍色冷點分布，災害發生累積雨量所得結果較總累積雨量佳，故後面探討取災害時累積雨量為分析項目；從熱點分布看來，最大降雨強度多集中於山區，但颱風導致降雨也有距離限制，從卡孜基不同降雨參數熱點分布情形可看出桃源區屬冷點，而莫拉克桃源區只有一小部分屬冷點，由此可見，不同颱風降雨強度與影響範圍會隨颱風特性而有所變化。

6.3 土石流發生之降雨型態分析

土石流受到降雨特性不同，其發生土石流條件也不同，池谷浩(1973)將不同降雨情形導致土石流發生歸納為以下三種型態：

1. 第一類降雨型態：發生大強度降雨，導致土石流發生。
2. 第三類降雨型態：連續多時小強度降雨，緊接著發生大強度降雨。
3. 第二類降雨型態：降雨情形介於上述兩者之間。

由選定雨量站數據藉由雨量內插獲得高雄地區降雨分布情形，以 1578 條土石流潛勢溪流集水區形心位置的降雨值代表其集水區整體降雨，雨量參數以最大降雨強度與災害發生累積雨量為分析參數，災害發生時間卡孜基取 12 小時、莫拉克取 48 小時，將卡孜基與莫拉克於高雄發生土石流之降雨繪製降雨強度-有效累積雨量圖(I-R 圖)，如圖 6.14。從圖可發現，卡孜基與莫拉克分別集中於不同區域，卡孜基發生土石流降雨情形集中於圖的左上角，降雨特性屬於高降雨強度、低累積雨量，莫拉克發生土石流降雨情形主要集中於右下角，降雨特性為高累積雨量、中等降雨強度，並根據雨量基本統計表表 6.1，兩起颱風事件之降雨延時有極大差異，卡孜基平均降雨延時 29 小時，莫拉克平均降雨延時 70 小時，可知卡孜基屬第一類降雨、莫拉克介於二、三類降雨。

為確認各颱風實際土石流發生與何種降雨參數有關，故將各颱風未發生土石流之潛勢溪流其雨量數據一起繪製 I-R 圖，並繪製颱風發生土石流之趨勢線以觀察發生土石流的雨量趨勢，其降雨情形與趨勢如圖 6.15。觀察卡孜基潛勢溪流雨量分布情形，可發現累積雨量多分布於同一區段，而最大降雨強度變化很大，當降雨強度小於 100mm/hr 幾乎沒土石流發生，卡孜基颱風更明確屬於第一類降雨型態，其土石流發生之控制因素為降雨強度；莫拉克潛勢溪流雨量分布較分散，不論降雨強度與累積雨量其分布範圍都很廣，但土石流發生有降雨強度越小其累積雨量越大之趨勢，但在累積雨量小於 1000mm 則沒土石流發生，其屬於第三類降雨型態，控制因素為累積雨量；卡孜基與莫拉克發生土石流之雨量趨勢線能有效分別

土石流發生與否，將雨量趨勢線向下平移，可得趨勢線以下不會發生土石流，其最後趨勢線即可當作土石流降雨警戒線。

最後以卡玫基與莫拉克颱風雨量站雨型圖作探討，由於兩颱風於六龜雨量站附近皆屬熱點，顧取六龜雨量站當作說明，其雨型如圖 6.16。由圖可知，莫拉克降雨延時較卡玫基長，但莫拉克降雨強度低於卡玫基，由此可見，莫拉克與卡玫基分屬不同型態降雨，與降雨型態分析相同，且判別不同颱風適用降雨參數也不同；莫拉克降雨分布較為平均，主要降雨集中於 8 月 8 號 16 時，而卡玫基降雨屬於集中降雨，主要降雨集中於 7 月 17 號 24 時，與熱點分析探討災害發生時間接近，故可確定熱點分析之效果。

6.4 綜合影響因子之土石流潛勢分析

本節會先將卡玫基與莫拉克颱風災點與雨量作探討，觀察卡玫基與莫拉克造成土石流災害之因素，將不同雨量參數經熱點分析所得之 Z 值與第五章由費雪區別分析所得自然環境潛勢值進行分析，以其分布狀態探討外在誘發因子與自然環境因子對土石流發生之影響。

6.4.1 單一誘發因子與環境因子潛勢分析

土石流發生除有自然環境因子(地質、地形條件等)影響，外在誘發因子也會對土石流發生有所影響存在。一般來說，土石流發生所需的降雨雨量取決於地層鬆散與地形起伏，若自然環境因子具有較高土石流發生之潛勢因素，則所需降雨較少即能發生土石流，反之，則需更多外在降雨條件才可引起土石流。第五章經費雪區別函數所得自然環境發生土石流之潛勢值，與 6.2.2 節熱點分析之各別颱風降雨因素的標準化 Z 值疊合來討論外在誘發因子與自然環境因子對土石流發生之影響關係。

1. 最大降雨強度：將潛勢溪流於不同颱風事件最大降雨強度 Z 值與自然環境潛勢值繪製分布圖如圖 6.17 所示，其橫軸為費雪區別分析所得之自然環境發生

土石流之潛勢值，縱軸為熱點分析所得 Z 值，以原點 0 為分界點，值往正數方向移動其發生土石流比例越大，反之亦然，故圖右上角第一象限為最可能發生土石流區、右下角第三象限為最不會發生土石流區，其實心點為發生土石流，空心點為未發生土石流。

- a. 卡孜基颱風：由卡孜基颱風潛勢值分布圖來看，其主要土石流發生集中於第一象限與第二象限，從降雨強度 Z 值可發現，Z 值聚集於 2~6，不管自然環境潛勢值分布從 -1~4 之間，只是降雨強度達顯著影響時就會發生土石流，而觀察自然環境潛勢值發現，潛勢值主要集中於 -1~4 之間，對第四象限有一發生土石流災點討論，雖然降雨強度 Z 值偏小，但其環境潛勢值約為 1 以上在第五章潛勢等級分類屬高潛勢，故從第二象限與第四象限災點證實當環境潛勢值達一定程度，所需降雨條件就會降低，反之亦然；潛勢溪流於卡孜基未發生土石流主要集中於第三、四象限，降雨強度 Z 值明顯較低，從第二、四象限可知，不論其降雨條件或環境潛勢值其中一項趨向負值，發生土石流比例明顯降低，土石流發生從降雨強度已可明顯區分出來。

進一步使用第五章環境潛勢劃分等級與誘發潛勢分級，將整體劃分為九宮格分布，環境潛勢分級按照第五章劃分方式，誘發潛勢取 1.65 與 -1.65 為分界可區分出冷熱點的分界線；九宮格每格發生土石流數量整理如表 6.3，九宮格一般右上角三格為高潛勢、左下角三格為低潛勢、中間斜的三格為中潛勢，可看到在高潛勢部分有 15 條占發生土石流(75%)，中潛勢部分有 5 條(25%)，低潛勢部分沒有發生土石流，可看出發生土石流主要位於環境或誘發因子為中高潛勢，當其中一者為低潛勢時其發生土石流比例明顯降低，故環境具潛勢為必要條件，當受足夠誘發條件才會發生土石流。

- b. 莫拉克颱風：由莫拉克颱風潛勢值分布圖來看，發生土石流多集中於第一象限，而未發生土石流多集中於第三、四象限，但在偏向第三象限地方仍有土石流發生，其可能原因為環境潛勢值估計誤差或受到其他降雨因素影響，由上小節降雨型態分析可知莫拉克降雨屬於第二、三類型態，降雨強度與累積雨量皆會對土石流發生有所影響。

利用九宮格劃分土石流發生潛勢，將九宮格每格發生土石流數量整理如表 6.4，於高潛勢部分有 32 條(74.4%)，中潛勢部分有 7 條(16.3%)，低潛勢有 4 條(9.3%)，主要土石流發生於中高潛勢部分，可以看到在環境與誘發皆為高潛勢，其發生土石流比例最高，當環境與誘發潛勢逐漸降低其發生比例也降低，但於低潛勢部分仍有 4 條土石流發生，可能由於莫拉克累積雨量較大，而兩條土石流是受到累積雨量影響。

- c. 綜合兩颱風事件：將兩起颱風降雨 Z 值與潛勢值彙整成圖 6.18，可從圖上實心點分布得知，兩起颱風導致土石流發生其潛勢值主要集中於第一象限，大約降雨強度 Z 值 0.5 以下土石流發生數量銳減，可將其所對應之原始雨量數據回歸出降雨警戒線使用；未發生土石流從圖上空心點可知，主要由於降雨強度 Z 值較低，未達到觸發土石流發生之雨量條件，整體而言，降雨強度較適用於低延時、高強度之降雨型態，從卡孜基與莫拉克可明顯看出降雨型態不同，其 Z 值與潛勢值判斷結果優劣不同，後面會針對兩起颱風於土石流發生與未發生之判斷錯誤點加以討論。

綜合兩起颱風土石流災害之九宮格潛勢劃分關係如表 6.5，於高潛勢有 47 條(74.6%)，中潛勢有 12 條(19%)，低潛勢有 4 條(6.4%)，綜合兩起颱風可看出判定為高潛勢其發生土石流比例較高，潛勢降低則發生比例逐漸減少；環境與誘發皆為高潛勢其比例最高，當其中一者潛勢降低其發生比例則會減少，觀察中高潛勢部分，可看到當誘發潛勢為高、環境潛勢為中其發生比例高於誘發潛勢為中、環境潛勢為高，由此推測降雨

強度受到環境潛勢影響較小，當降雨強度達到一定程度而環境潛勢為中低，其土石流仍有一定發生機會。

2. 災害發生時累積雨量：將不同颱風事件災害發生時累積雨量 Z 值與自然環境潛勢值繪製分布圖如圖 6.19 所示。

a. 卡玫基颱風：由卡玫基颱風潛勢值分布圖來看，發生土石流主要集中於第一象限，未發生土石流主要聚集於第三、四象限，由 Z 值分布範圍可見，卡玫基累積雨量 Z 值分布於-1~5 之間較降雨強度 Z 值分布於-4~6 之間明顯縮小，並從非土石流 Z 值明顯有向上提升趨勢，發生與未發生土石流界線較模糊。

進一步利用九宮格潛勢劃分來觀察綜合環境與誘發潛勢與土石流發生之關係，將九宮格每格發生土石流數量整理如表 6.6，於高潛勢有 16 條(80%)，中潛勢有 4 條(20%)，低潛勢有 0 條(0%)，可看到土石流主要發生於中高潛勢，而低潛勢沒有土石流發生，但在非土石流部分累積雨量 Z 值皆大於-1.65，於潛勢劃分上沒有低潛勢存在，可能由於卡玫基累積雨量差異不大，主要差異在於降雨強度，使得發生土石流與未發生土石流累積雨量 Z 值差異性小，較不能有效區分土石流發生分界線。

b. 莫拉克颱風：由莫拉克颱風潛勢值分布圖來看，發生土石流主要集中於第一象限，未發生土石流主要聚集於第三、四象限，從累積雨量 Z 值可發現，發生土石流累積雨量 Z 值分布在-1~4 之間，而未發生土石流分布於-3~2 之間，整體而言，對莫拉克判別土石流發生情形累積雨量 Z 值較降雨強度 Z 值來得好。

利用九宮格劃分土石流發生潛勢，將九宮格每格發生土石流數量整理如表 6.7，於高潛勢部分有 32 條(74.5%)，中潛勢部分有 9 條(20.9%)，低潛勢有 2 條(4.6%)，主要土石流發生於中高潛勢部分，於高潛勢發生土石流比例最高，當環境與誘發潛勢逐漸降低其發生比例也降低，當累積

雨量於低潛勢時沒發生土石流，並與表 6.4 比對可發現莫拉克於降雨強度高潛勢土石流發生比例較高，而於累積雨量時，環境高潛勢土石流發生比例較高，推測累積雨量與環境潛勢間影響較密切，但整體而言環境與誘發因子有加成關係存在，當兩者皆為高潛勢其發生比例較高。

- c. 綜合兩颱風事件：將各颱風降雨 Z 值與潛勢值彙整成圖 6.20，可從圖上實心點分布得知，兩起颱風導致土石流發生其潛勢值主要集中於第一象限，而於第四象限(低累積雨量 Z 值、高潛勢值)情形下，莫拉克發生土石流較卡玫基為多，其原因在於原始數據莫拉克累積雨量較卡玫基高，經由標準化後使原始數據無法明確顯示，但仍可由發生土石流數量說明其原因；當累積雨量 Z 值約-1 以下幾乎未發生土石流，但 Z 值-1 以下卡玫基幾乎沒有數據，由此推論累積雨量 Z 值較不適用於低延時、累積雨量較相近之降雨型態，但仍可從各起颱風事件其各別 Z 值劃分土石流發生雨量 Z 值線，將其 Z 值對應之原始降雨值回歸土石流降雨警戒線。從空心點位於第一象限可知判別會有誤差發生，後面會針對兩起颱風於土石流發生與未發生之判別誤差點加以討論。

綜合兩起颱風土石流災害之九宮格潛勢劃分關係如表 6.8，於高潛勢有 48 條(76.2%)，中潛勢有 13 條(20.6%)，低潛勢有 2 條(3.2%)，綜合兩起颱風可看出判定為高潛勢其發生土石流比例較高，潛勢降低則發生比例逐漸減少；環境與誘發皆為高潛勢其比例最高，當其中一者潛勢降低其發生比例則會減少，綜合觀察表 6.5 中高潛勢部分，可看到累積雨量中潛勢，其土石流發生比例高於降雨強度中潛勢，而累積雨量發生土石流主要集中於環境高潛勢部分，由此推測累積雨量與環境間關係較為密切，當環境具有發生潛勢時，其有足夠降雨誘發條件就會引致土石流發生。

3. 綜合分析：將潛勢溪流發生土石流與未發生土石流整理其對應數據如表 6.3 所示，將其以各颱風事件是否發生分別討論。

- a. 僅卡孜基發生土石流:以潛勢溪流高縣 DF015、高縣 DF018、高縣 DF042、高縣 DF044 為例，首先從卡孜基降雨強度來看四條溪流 Z 值均大於 3 其所對應之原始雨量值約有 120mm/hr，累積雨量方面 Z 值也屬卡孜基高強度，故四條溪流於卡孜基必然發生土石流；在莫拉克颱風期間雖然其累積雨量已超過卡孜基累積雨量，但其降雨強度最高只達 98mm/hr 遠小於 120mm/hr，可能降雨強度所需門檻要達 100mm/hr 以上，且從 DF018 與 DF044 環境潛勢值大小可發現，卡孜基災害發生累積雨量相近，但其降雨強度差異 10mm/h，其所降雨差異與環境潛勢值大小趨勢相符，當環境潛勢值大時降雨條件較小，並由卡孜基與莫拉克降雨強度與累積雨量關係推論這四條潛勢溪流主要由降雨強度控制土石流發生，或者可能由於土石流所需土砂材料在卡孜基颱風已經沖刷流失。
- b. 僅莫拉克發生土石流:以潛勢溪流高縣 DF016、高縣 DF020、高縣 DF046、高縣 DF053 四條溪流為例，首先從莫拉克降雨因素來看，可發現其中 DF016、DF020 降雨強度與累積雨量皆屬高 Z 值，而 DF046 其潛勢值與降雨強度 Z 值為負值，且累積雨量 Z 值為 0.1，其累積雨量 Z 值對應原始累積雨量值為 1166mm，可能由於累積雨量已達發生土石流門檻，DF053 其累積雨量遠大於 DF046 故亦發生土石流；觀察卡孜基降雨情形作為討論，可見到 DF016 與 DF020 降雨強度與累積雨量皆屬高強度，但於卡孜基沒發生土石流，推測其可能有發生邊坡崩塌、滑動，而在莫拉克累積雨量達一定程度將其崩塌量體帶出形成土石流。
- c. 自然環境因子潛勢:以潛勢溪流高縣 DF057、高縣 DF072 為例，高縣 DF057 於卡孜基和莫拉克皆未發生土石流，而高縣 DF072 於兩起颱風事件皆發生土石流，由表可看出高縣 DF057 於兩颱風事件降雨強度與累積雨量均大於高縣 DF072，但高縣 DF057 反而未發生土石流，由環境潛勢值大小來看，高縣 DF057 因其環境潛勢值為-2.055 屬於低潛勢溪流，而高縣

DF072 環境潛勢值為 1.109 屬高潛勢溪流，故可推論當環境潛勢值較小時，發生土石流所需降雨條件會提高，而當環境潛勢值大時，所需降雨條件則降低。

- d. 綜合潛勢討論：由高縣 DF057 來看，當環境潛勢值屬於低潛勢時，其所需降雨條件會調高，而觀察高縣 DF016、高縣 DF072，發現當環境潛勢值較大時，僅要較小降雨條件即引發土石流，並從其他潛勢溪流可得知，當環境潛勢值大於或小於一定程度時，主要是由環境因子影響其發生可能性，反之，當環境潛勢值介於-1~1 之間，其主要受到誘發因子控制土石流發生，故環境與誘發因子具交互作用關係。

單一降雨因素熱點分析與環境潛勢值對於土石流發生與否關係探討如下：

1. 熱點分析可明顯得知各別降雨因素下土石流發生分界點，且能夠將不同颱風事件轉換至同一維度做比較，但其無法直接得知實際降雨數據，故在判別土石流發生仍需要以原始數據加以討論，以確定實際兩起颱風降雨之間關係。
2. 除環境因子影響之外，降雨誘發因子對土石流發生也有顯著影響，當環境潛勢值介於中潛勢或高潛勢，只要降雨達一定門檻就會形成土石流，而當環境潛勢值較低時，其土石流發生所需降雨條件提高，或是較不易發生土石流。
3. 當降雨強度與累積雨量都大於一定程度時不一定會發生土石流，其可能僅造成邊坡滑動、崩塌等，而在下次降雨期間受到較低降雨條件即會帶動崩塌量體形成土石流。

6.4.2 整體影響因子潛勢分析

前一小節針對單一誘發因子與環境因子間做潛勢分析，於部分潛勢溪流發生土石流無法單純以其中一項誘發因子解釋，故為能更有效說明誘發因子與環境因子對於土石流發生之關係，將降雨強度、累積雨量和環境潛勢值做結合，觀察土石流分布特性。

可由上小節看出卡孜基與莫拉克之降雨強度偏向低潛勢部分仍有土石流發生，故首先以卡孜基與莫拉克颱風 I-R Z 值分布圖作探討，其分布如圖 6.21，可以看到發生土石流主要集中於降雨強度與累積雨量高潛勢部分，而當潛勢降低其發生土石流比例也隨之下降，而在低潛勢分界線下方發生土石流有 2 條，觀察原始座標數值，可發現 2 點位於降雨強度低潛勢，但是其累積雨量 Z 值為 0 已經屬於累積雨量中潛勢部分，故雖然其降雨強度不足以發生土石流，但與累積雨量也有加成作用，進而發生土石流，與降雨型態第二、三類相似。

由上述討論利用 I-R Z 值圖較能夠解釋發生土石流的偏離案例，但環境潛勢值仍未加入討論，故以 I-R Z 值圖為底，將發生土石流與未發生土石流其潛勢溪流的环境潛勢值按不同顏色標示，依兩颱風事件分別做說明。

1. 卡孜基颱風：綜合影響因子分布圖如圖 6.22，其中方形填滿點為發生土石流、三角形空心點為未發生土石流，並依照紅、綠、藍分別代表環境高、中、低潛勢，可以看到發生土石流不論環境潛勢值高低，主要都集中於高降雨強度、高累積雨量的地方；未發生土石流在誘發因子皆為高潛勢時，其環境潛勢大多為中低環境潛勢，而高環境潛勢則多介於中誘發潛勢以下，由綜合三種潛勢可更為明顯看出，誘發因子與環境因子對於土石流發生與否的影響。
2. 莫拉克颱風：綜合影響因子分布圖如圖 6.23，其中圓形填滿點為發生土石流、三角形空心點為未發生土石流，並依照紅、綠、藍分別代表環境高、中、低

潛勢，發生土石流主要集中於誘發高潛勢的部分，當降雨強度與累積雨量潛勢變小時，其最低下限發生土石流為環境高潛勢的潛勢溪流，而低環境潛勢發生土石流則多集中於誘發因子多屬較高潛勢，而於誘發低潛勢的偏離案例可看出，雖然誘發潛勢不高但環境潛勢屬高潛勢，故雖為偏離值但加入環境潛勢後仍屬可接受的判定結果；未發生土石流案例與卡孜基颱風類似，誘發因子為高潛勢部分其環境潛勢值多為中或低，而誘發因子逐漸降低其環境潛勢值高逐漸增加，可看出誘發與環境因子對土石流之影響。

由上面對於綜合誘發因子與環境因子討論，可以更明顯看出誘發與環境潛勢對於土石流發生之影響，當環境潛勢為高時，其降雨誘發條件所需相對會降低，而當環境潛勢為中低，其降雨誘發條件相對需求會較高，環境與誘發因子間有明顯的交互作用；由於高環境潛勢之潛勢溪流其發生所需的誘發潛勢相對較低，可當作發生土石流的最低誘發要求條件，故以卡孜基與莫拉克颱風繪高環境潛勢之下界線，當作高環境潛勢所需的誘發條件最低下限，其中扣除卡孜基與莫拉克颱風之偏離值，兩起颱風發生土石流的下限分布如圖 6.24，可看到取環境高潛勢的下限值為發生土石流之下界，除了偏離值不在下限之上，其餘都滿足其誘發潛勢的最低要求條件；因無法直接由熱點分析所得 Z 值觀察出原始所需的降雨值，故針對原始降雨數據再繪一次下界線，其下界線分布如圖 6.25，可看到發生土石流幾乎都位於下界線之上，非土石流則多分布於下界線之下，而下界線所代表之高環境潛勢所需的最低誘發條件，如可加入更多事件數據，其所得的下限標準可當作判斷土石流發生的誘發降雨條件，而能對於預警土石流發生有進一步的使用性。

6.5 小結

從以上降雨熱點分析與土石流潛勢分析過程中，可歸納以下幾點結論：

1. 由於高雄地區雨量站較不密集，所以在採用雨量站內插雨量時會選用其他縣市雨量站數據，而不同縣市之間會受到地形改變而有所影響，必須考量到颱風降雨會受到地形走向而有變化，故可採用不同流域先做降雨內插，以減少地形影響因素。
2. 使用熱點分析必須考慮空間距離權重影響，當取決距離不同其熱點分布也會不同，當含括分析點數較少時熱點分布會較少幾乎只有中間色存在，而含括分析點數越多則幾乎會呈現紅色熱點分布，故其中取決分析距離可以額外作為討論對象。
3. 不同降雨參數所分析出來的熱點分布會有不同，卡玫基颱風所選取的最大降雨、12 小時累積雨量與總累積雨量熱點分布情形較為接近，可能由於卡玫基颱風影響期間較短，使得所選取降雨參數對於每個雨量站間影響較為相近；莫拉克颱風之不同時間點累積雨量熱點分析結果較不佳，可能是由於颱風對每個雨量站間影響不同，會隨時間逐漸改變，導致取 12 小時~36 小時會有部分雨量站尚未受到颱風降雨之明顯影響，而總累積降雨量則會受到降雨延時長短不一影響，當區域延時差異過大會明顯忽略延時較低地區重要性，所以目前看來取最大降雨強度與災害發生時累積雨量較容易符合土石流災害發生的位置。
4. 熱點分析所得 Z 值雖可明顯區分土石流發生與否，但由於其為標準化數值無法直接得知不同降雨事件關聯性，故所得結果仍需與原始降雨值做比對，以得更準確降雨與土石流發生之關係。

5. 發生土石流之不同降雨型態，所需選用判別土石流之降雨要素也不同，降雨強度與累積雨量分別適合於不同降雨型態。
6. 部分土石流可能由於前期降雨事件造成邊坡滑動、崩塌，使得後續降雨事件所需降雨條件較小情形下，就會帶動崩塌材料形成土石流，或是前期降雨事件過大導致土砂材料被大量帶出，使後續土石流形成之降雨要求提升，但土石流基本上仍然會有其所需達之降雨門檻值。
7. 綜合誘發因子與環境因子對於土石流發生與否可看出有更為顯著之關係，當高環境潛勢其降雨誘發條件要求降低，反之環境潛勢降低其降雨誘發條件相對提高；而可以將高環境潛勢所需降雨條件當作發生土石流最低誘發限制，而其高環境潛勢所得降雨條件下限，可用來當作發生土石流的最低門檻。



表 6.1 雨量資料基本統計表

		最大值	最小值	平均值	標準差
卡 玫 基 颱 風	降雨延時(hr)	33	19	29	3.17
	最大降雨強度 (mm/hr)	176	27	80	35.09
	12 小時累積雨 量(mm)	817	162	401	167.51
	總累積雨量 (mm)	1036	176.5	558.39	189.25
莫 拉 克 颱 風	降雨延時(hr)	115	37	69.58	19.92
	最大降雨強度 (mm/hr)	121	39	77.93	22.50
	12 小時累積雨 量(mm)	273	60.5	133.41	43.20
	24 小時累積雨 量(mm)	780	174	370.44	107.67
	36 小時累積雨 量(mm)	1435	383	698.59	202.03
	48 小時累積雨 量(mm)	2051	540	1080.39	348.13
	總累積雨量 (mm)	2905	540	1438.89	695.85

表 6.2 降雨熱點分析分界 Z 值對應原始降雨數據表

熱點分析 Z 值	Z=-1.65	Z=1.65
卡玫基最大降雨強度(mm/hr)	58	100
卡玫基累積雨量(mm)	350	546
莫拉克最大降雨強度(mm/hr)	65	90
莫拉克累積雨量(mm)	1111	1416

表 6.3 卡孜基降雨強度土石流發生比例九宮格表

環境 誘發	低	中	高
高	3 (15%)	8 (40%)	6 (30%)
中	0 (0%)	2 (10%)	1 (5%)
低	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

表 6.4 莫拉克降雨強度土石流發生比例九宮格表

環境 誘發	低	中	高
高	7 (16.3%)	10 (23.3%)	17 (39.5%)
中	0 (0%)	4 (9.3%)	3 (7.0%)
低	1 (2.3%)	1 (2.3%)	0 (0%)

表 6.5 綜合降雨強度土石流發生比例九宮格表

環境 誘發	低	中	高
高	10 (15.9%)	18 (28.6%)	23 (36.5%)
中	0 (0%)	6 (9.5%)	4 (6.3%)
低	1 (1.6%)	1 (1.6%)	0 (0%)

表 6.6 卡孜基累積雨量土石流發生比例九宮格表

環境 誘發	低	中	高
高	3 (15%)	9 (45%)	7 (35%)
中	0 (0%)	1 (5%)	0 (0%)
低	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

表 6.7 莫拉克累積雨量土石流發生比例九宮格表

環境 誘發	低	中	高
高	7 (16.3%)	8 (18.6%)	10 (23.3%)
中	2 (4.6%)	5 (11.6%)	11 (25.6%)
低	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

表 6.8 綜合累積雨量土石流發生比例九宮格表

環境 誘發	低	中	高
高	10 (15.9%)	17 (27.0%)	17 (27.0%)
中	2 (3.2%)	6 (9.5%)	11 (17.5%)
低	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

表 6.9 溪流環境潛勢值與雨量 Z 值數據表

溪流 編號	卡孜基 發生	莫拉克 發生	環境 潛勢值	潛勢 分級	卡孜基 降雨強度 (mm/hr)	卡孜基災害 累積雨量 (mm)	莫拉克 降雨強度 (mm/hr)	莫拉克災害 累積雨量 (mm)
高縣 DF015	1		0.632	中(D)	147.40 (5.61)	704.09 (4.69)	98.50 (2.45)	1459.47 (1.93)
高縣 DF018	1		-0.442	低(D)	131.22 (4.17)	662.48 (3.95)	92.75 (1.70)	1203.27 (0.29)
高縣 DF042	1		1.993	高(D)	125.24 (3.87)	659.02 (4.03)	85.78 (1.18)	1351.12 (1.46)
高縣 DF044	1		0.440	中(D)	118.41 (3.03)	646.58 (3.70)	85.89 (0.80)	1348.32 (1.23)
高縣 DF016		1	2.798	高(D)	148.80 (5.69)	704.63 (4.71)	96.45 (2.19)	1439.39 (1.83)
高縣 DF020		1	-0.142	低(D)	138.69 (4.88)	652.43 (3.86)	98.22 (2.42)	1446.96 (1.81)
高縣 DF046		1	-0.576	低(C)	64.06 (-1.35)	393.11 (-0.31)	61.50 (-2.12)	1166.61 (0.10)
高縣 DF053		1	-1.012	低(C)	89.58 (0.65)	493.68 (1.2)	72.55 (-0.74)	1679.35 (3.35)
高縣 DF057			-2.055	低(C)	73.31 (-0.52)	434.43 (-0.12)	110.35 (3.89)	1509.99 (2.21)
高縣 DF072	1	1	1.109	高(C)	64.05 (-1.37)	393.11 (0.44)	61.50 (-2.14)	1166.61 (0.74)

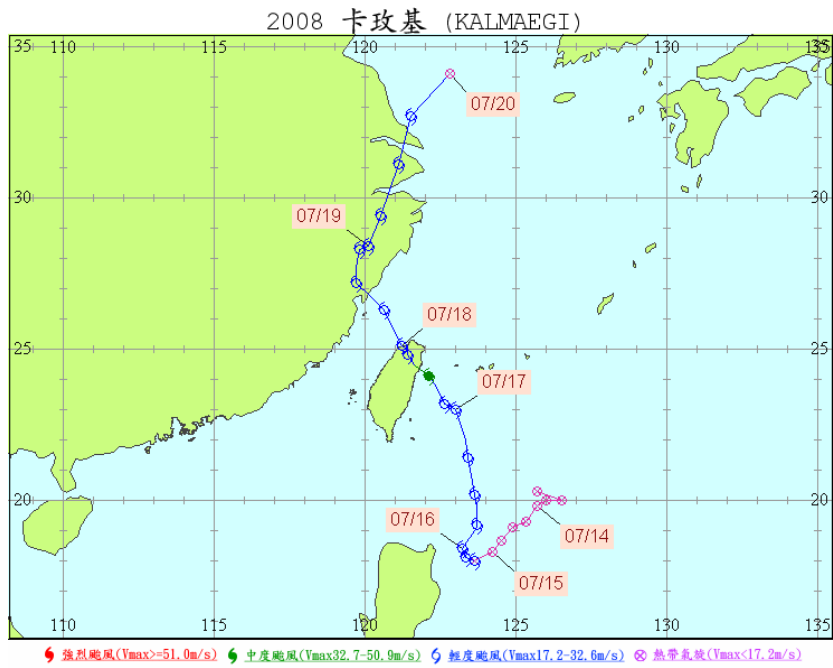


圖 6.1 2008 年卡玫基颱風行徑路線圖(中央氣象局，2008)

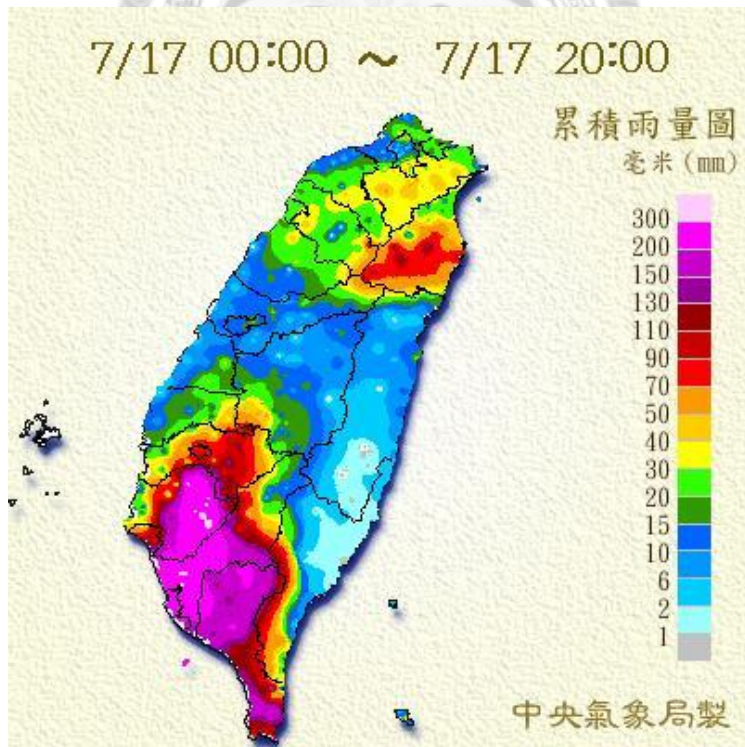


圖 6.2 2008 年卡玫基颱風累積雨量圖(中央氣象局，2008)

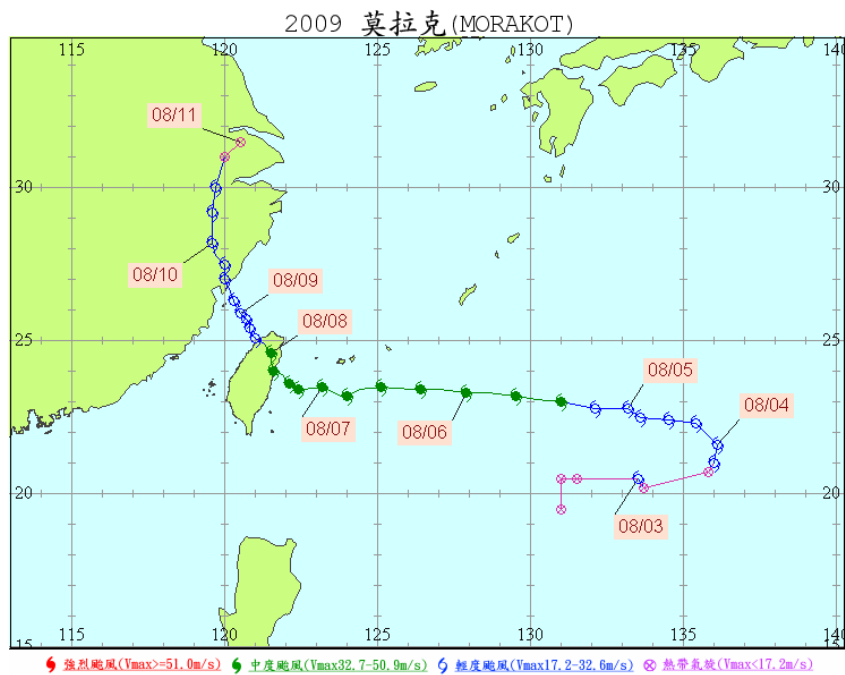


圖 6.3 2009 年莫拉克颱風行徑路線圖(中央氣象局, 2009)

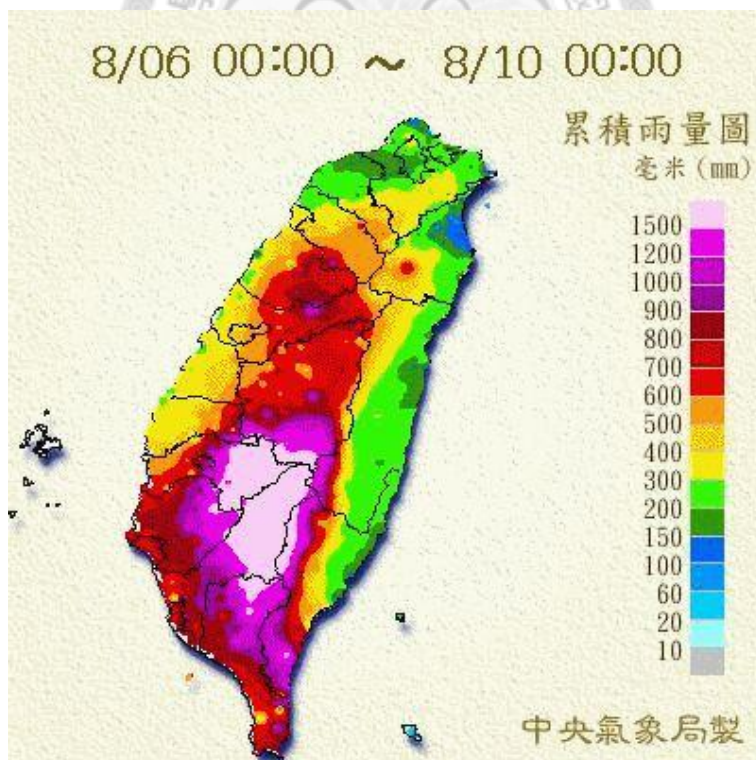
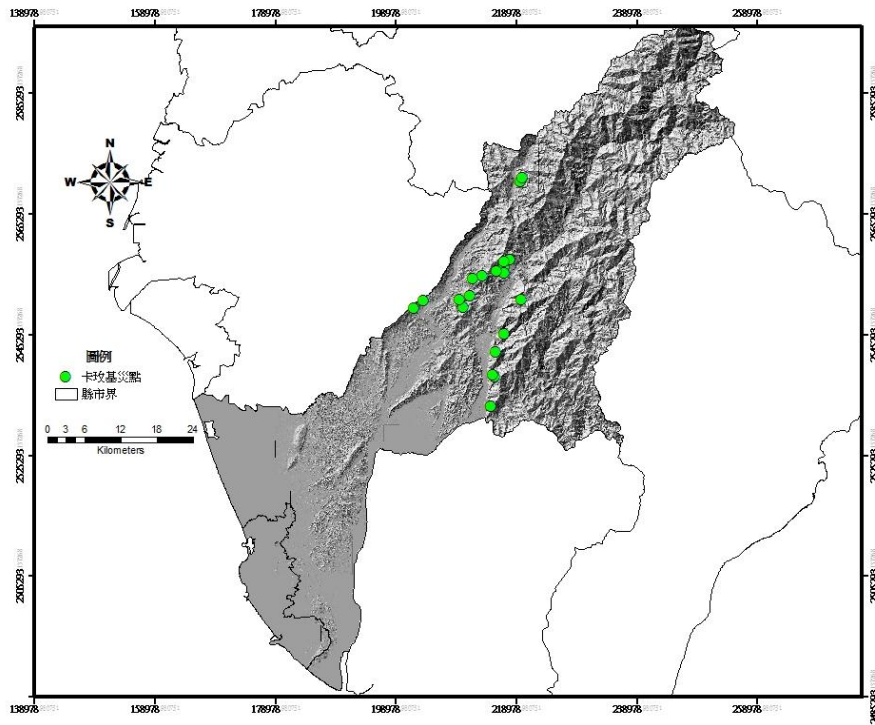


圖 6.4 2009 年莫拉克颱風累積雨量圖(中央氣象局, 2009)

(a)



(b)

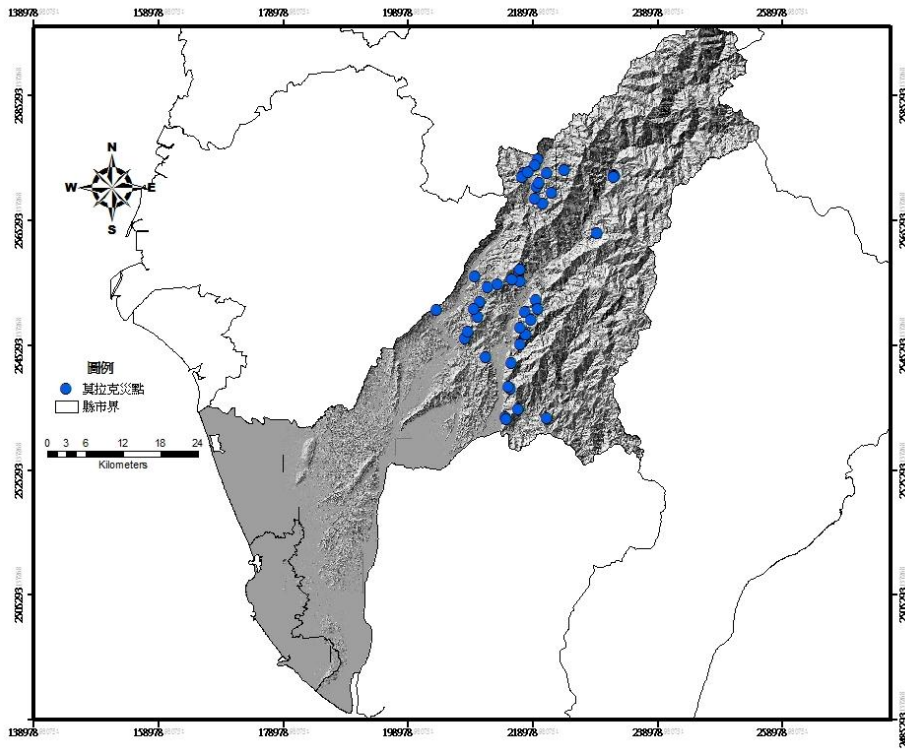


圖 6.5 土石流災害點位分布圖

(a)：卡致基颱風

(b)：莫拉克颱風

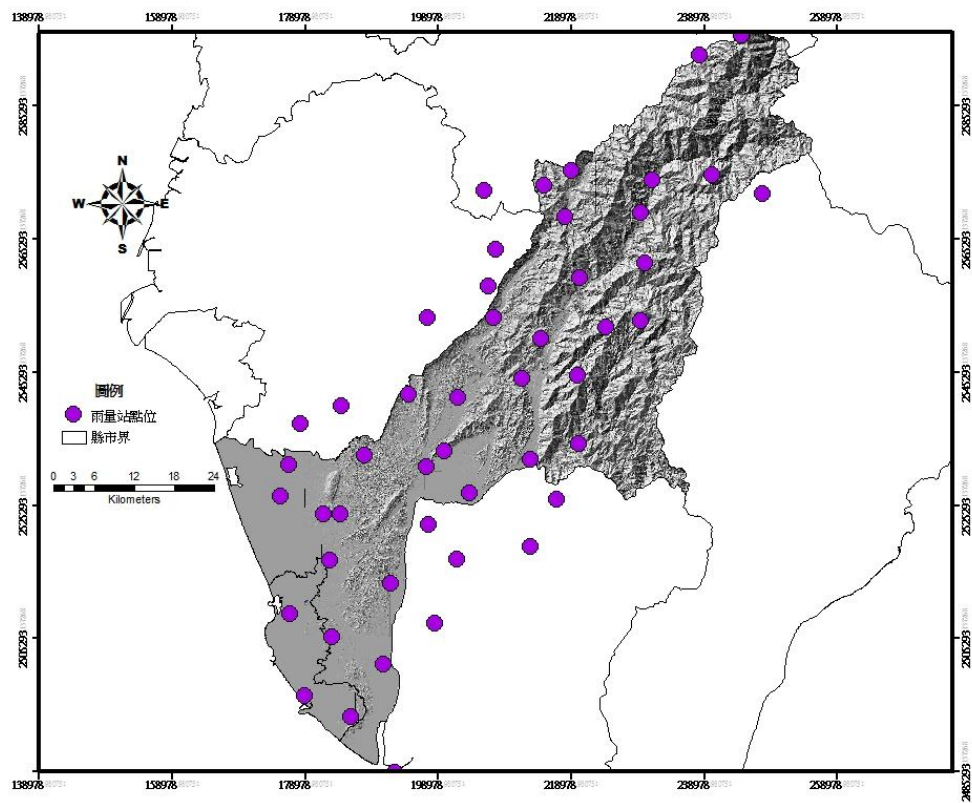


圖 6.6 選用雨量站分布圖



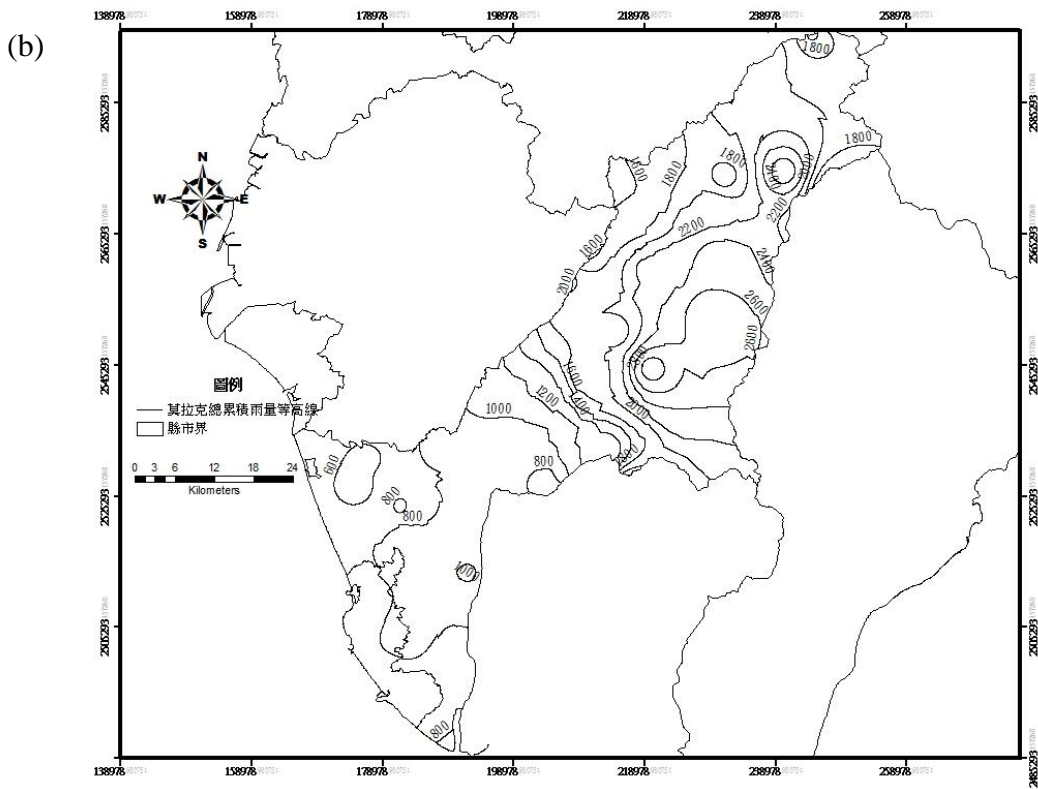
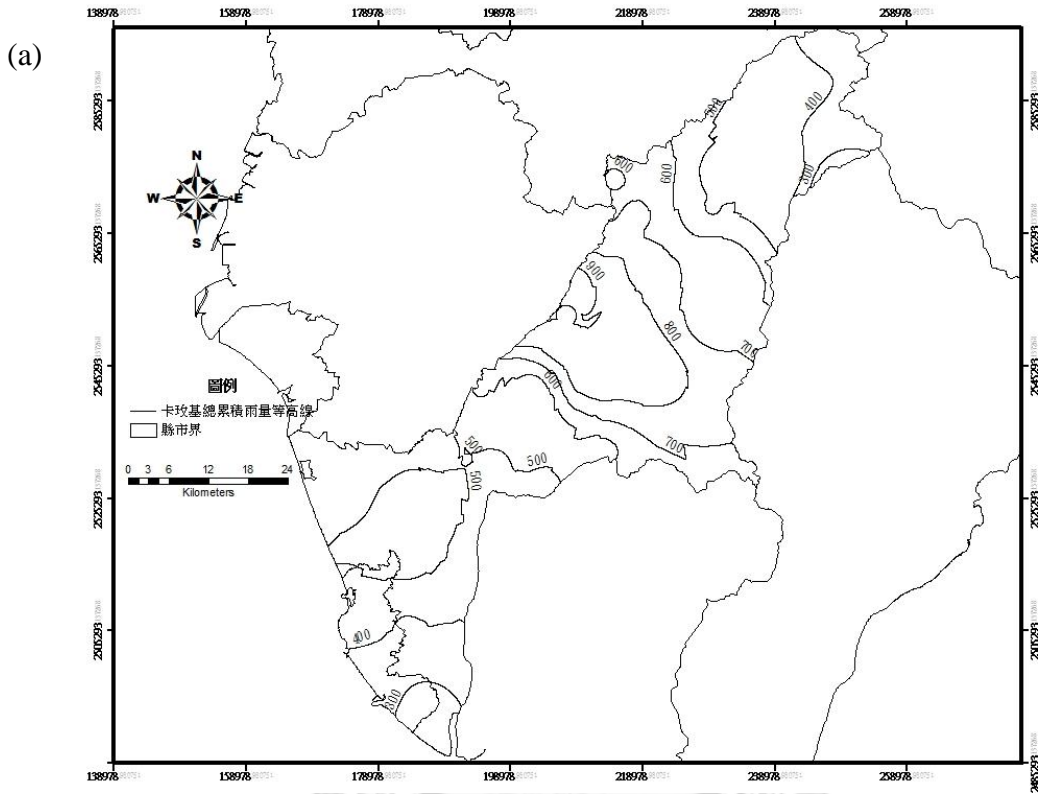


圖 6.7 總累積雨量等雨量線圖
 (a)：卡玫基颱風 (b)：莫拉克颱風

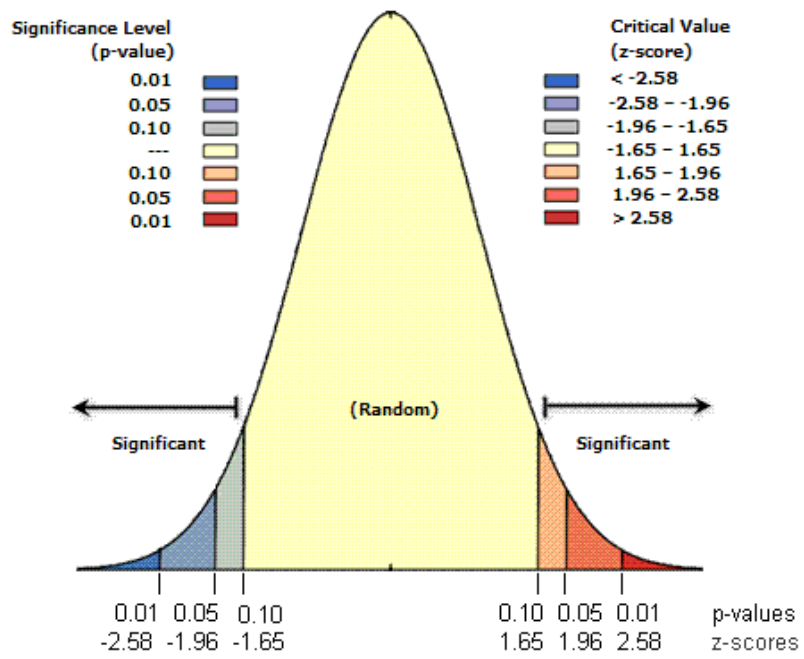
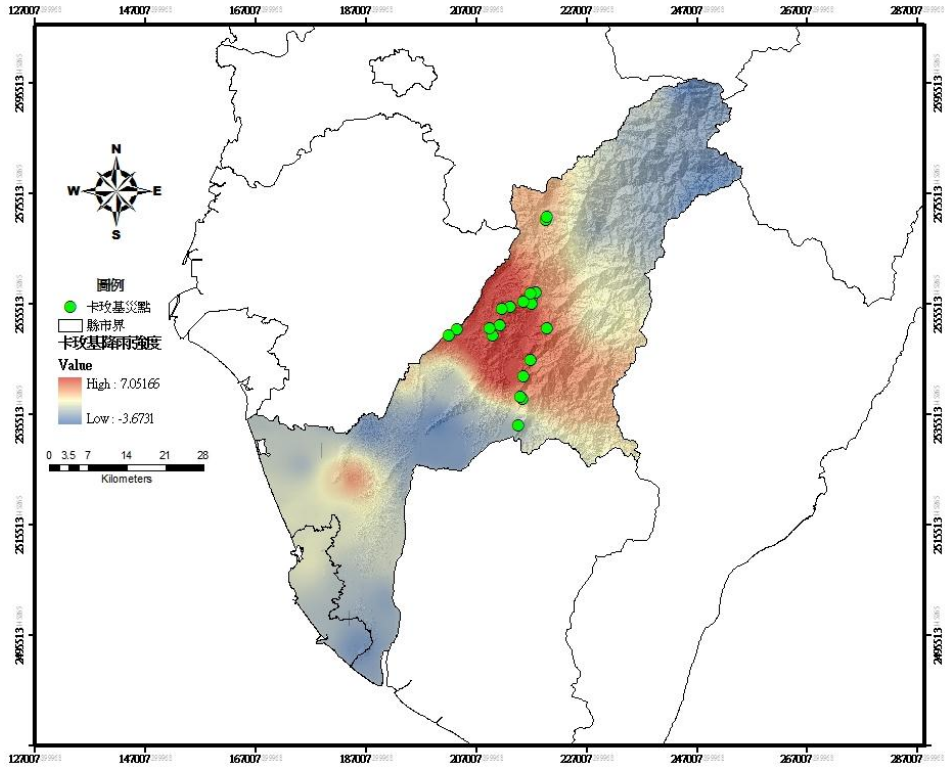


圖 6.8 P 值與 Z 得分涵義圖 (ArcGIS 10 線上說明, 2012)



(a)



(b)

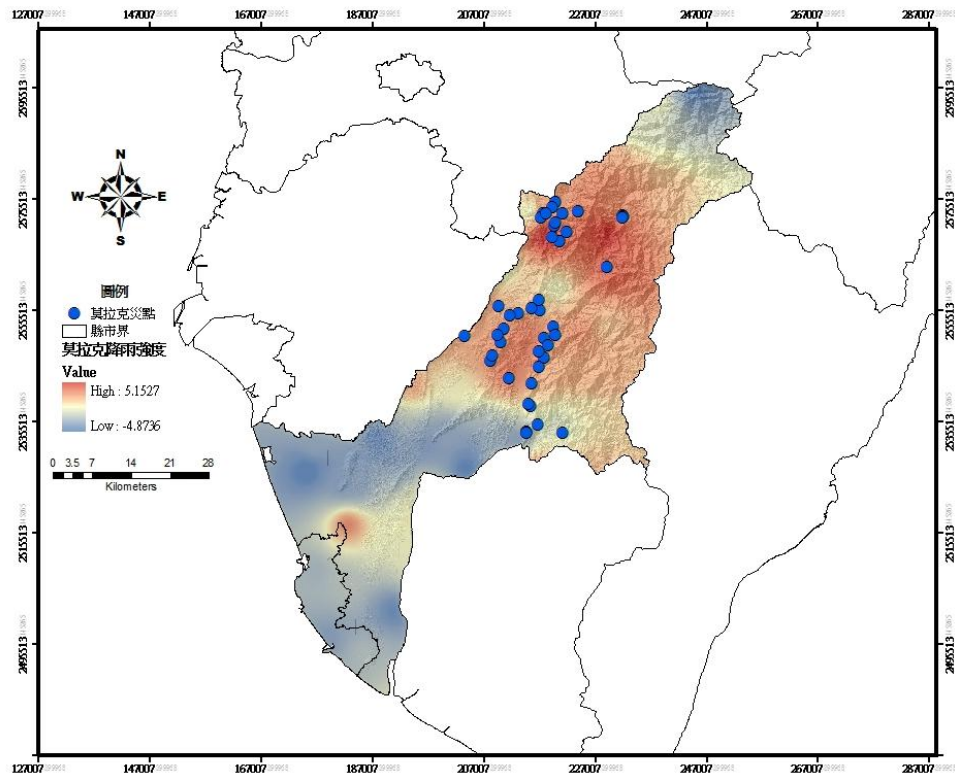


圖 6.9 最大降雨強度熱點分布圖

(a)：卡玫基颱風

(b)：莫拉克颱風

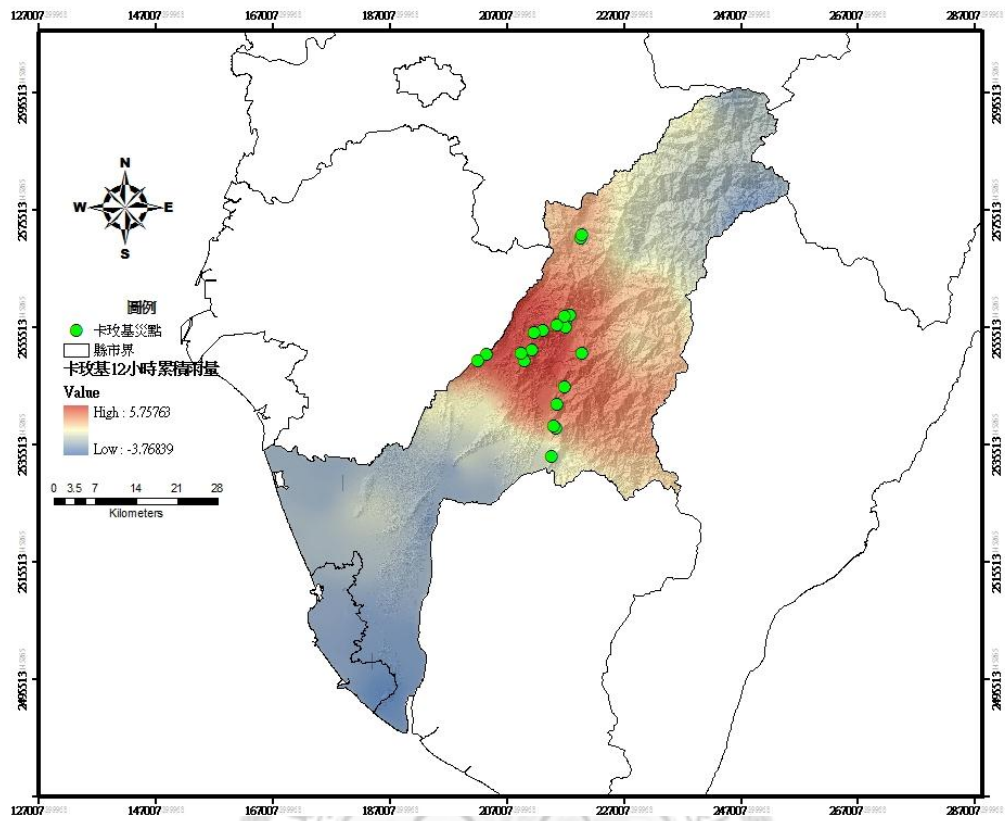
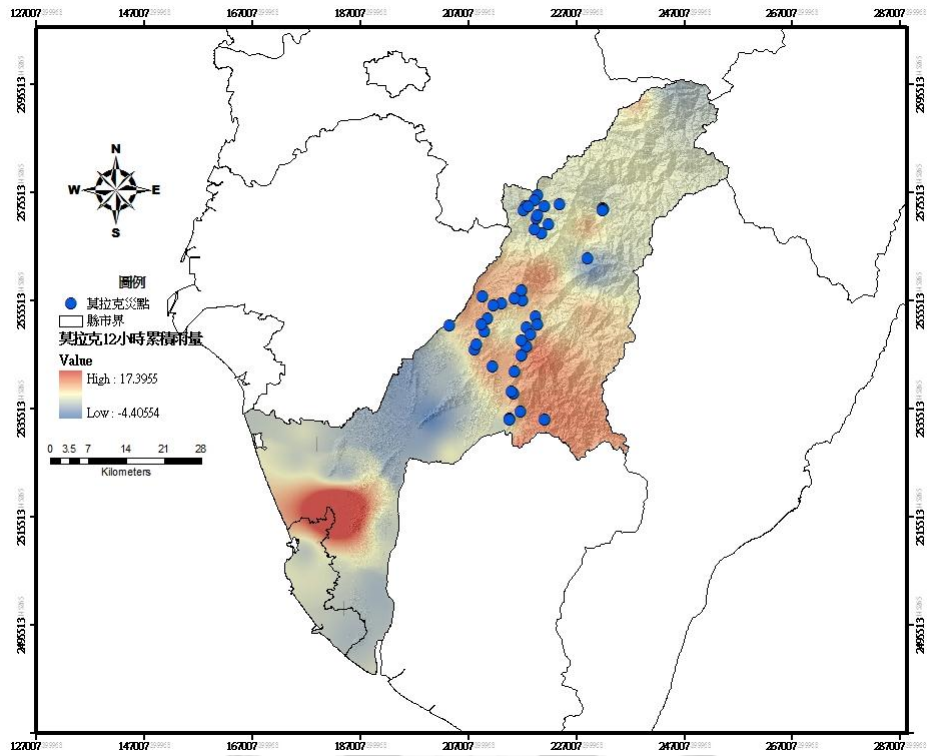


圖 6.10 卡玫基颱風 12 小時累積雨量熱點分布圖



(a)



(b)

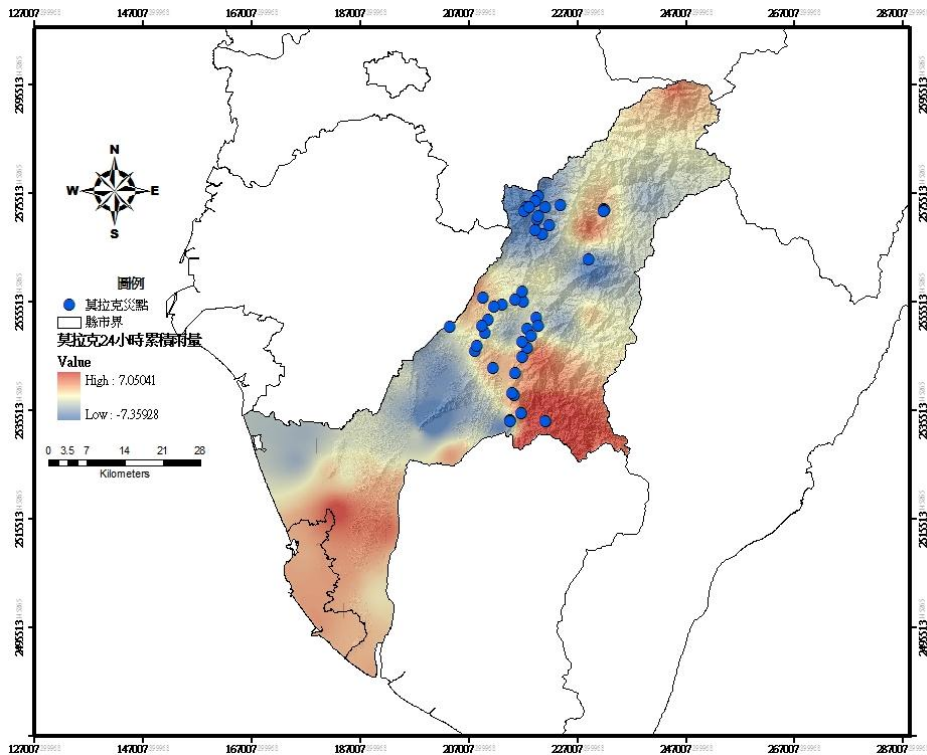
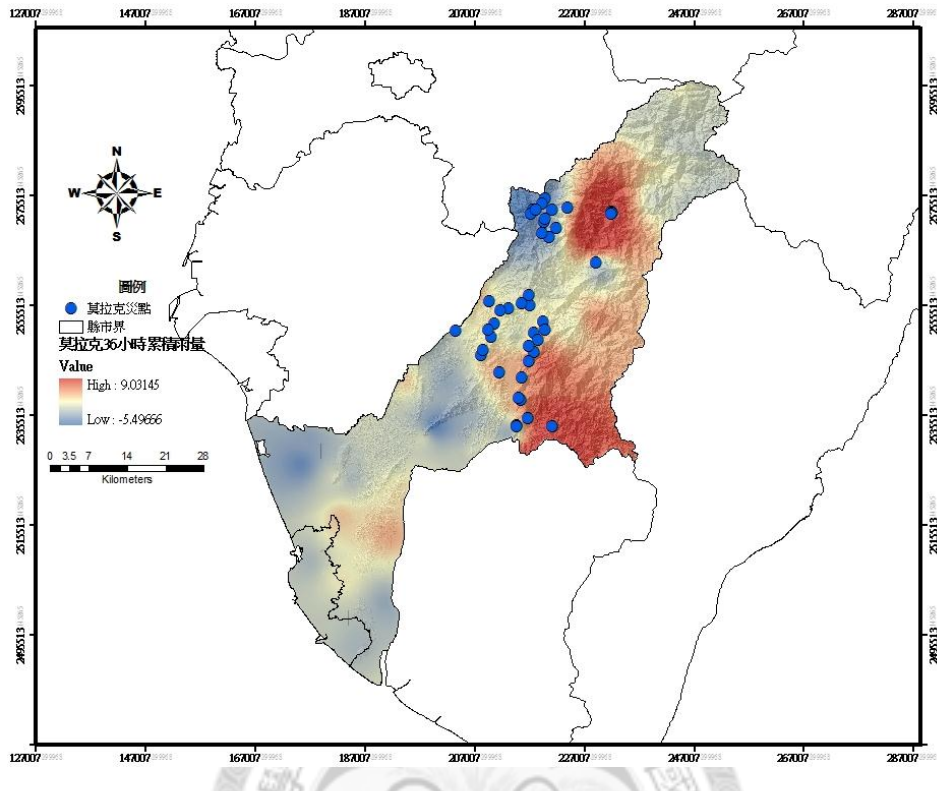


圖 6.11 莫拉克各時點累積雨量熱點分布圖

(a) : 12 小時

(b) : 24 小時

(a)



(b)

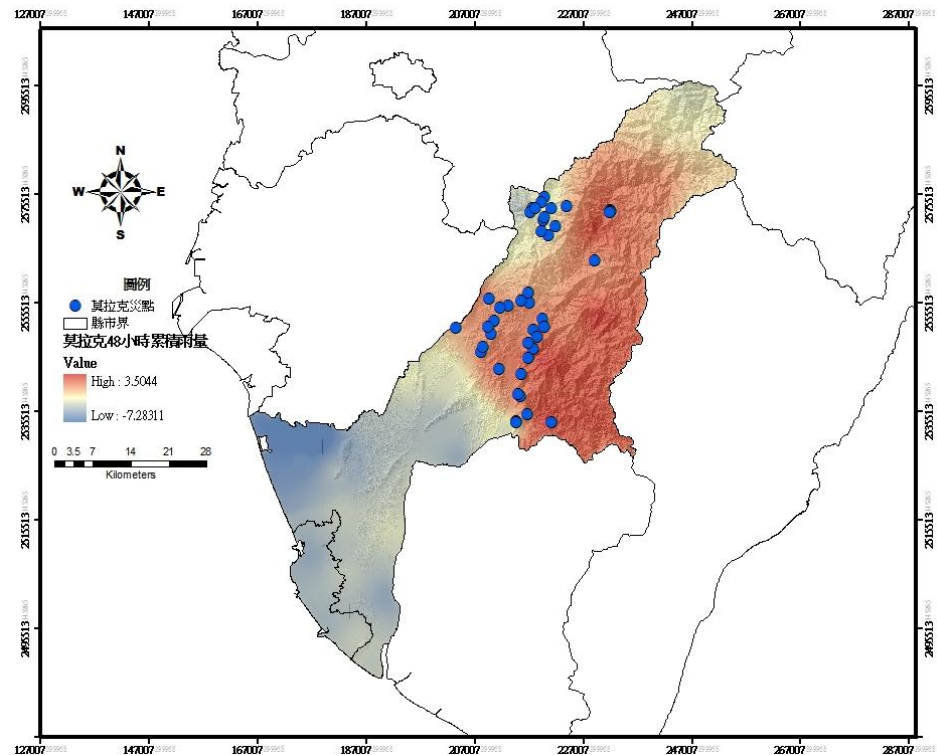


圖 6.12 莫拉克各時點累積雨量熱點分布圖

(a) : 36 小時

(b) : 48 小時

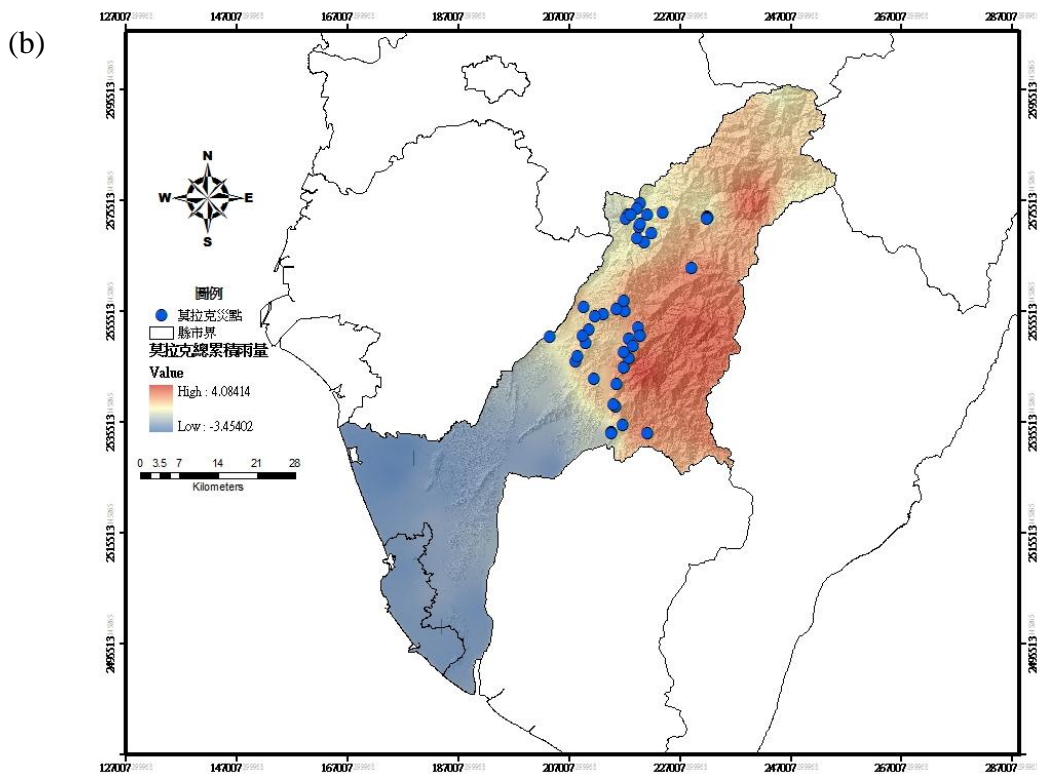
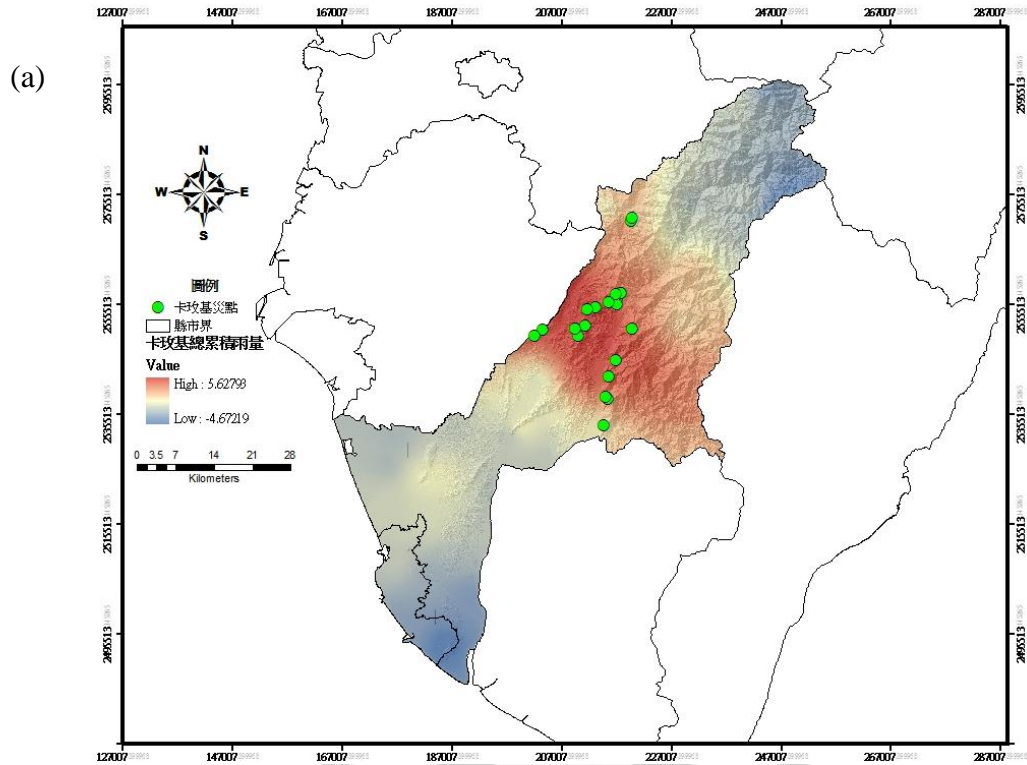


圖 6.13 總累積雨量熱點分布圖

(a): 卡孜基颱風

(b): 莫拉克颱風

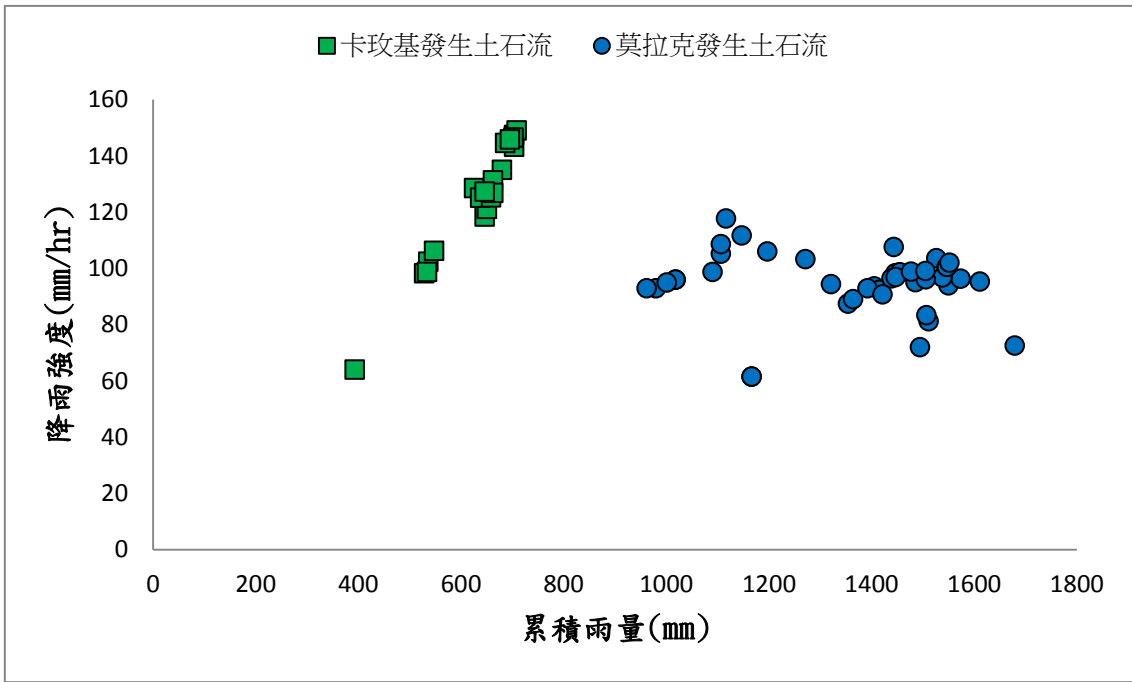


圖 6.14 卡孜基與莫拉克發生土石流潛勢溪流 I-R 圖

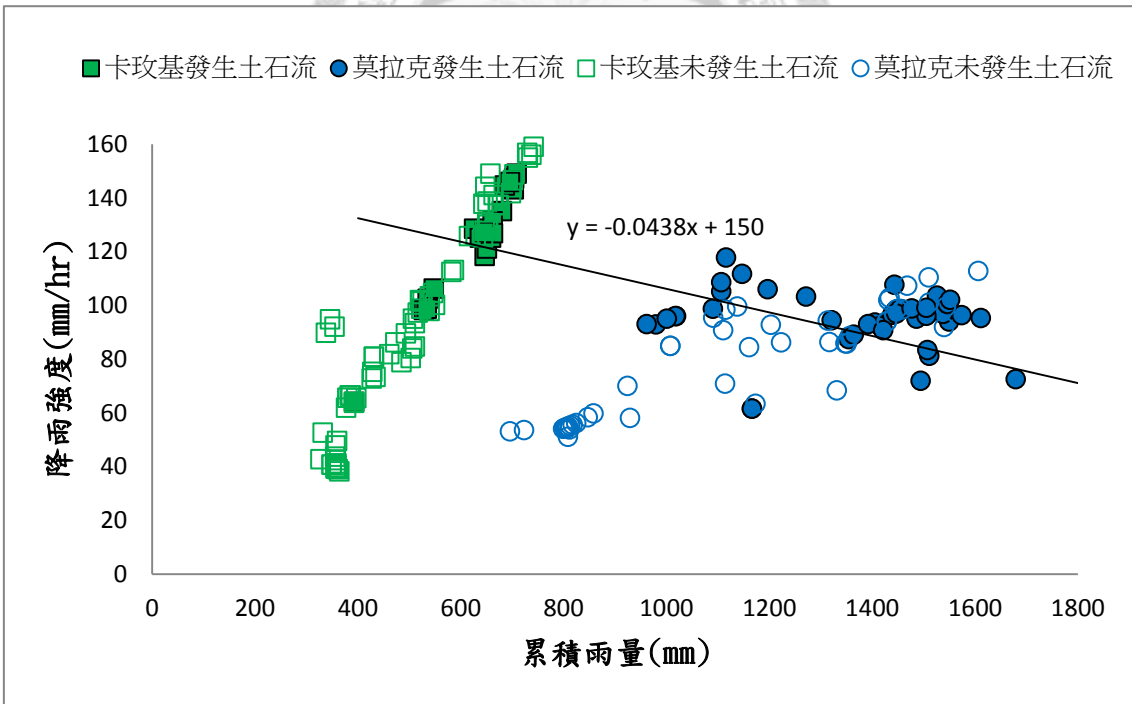


圖 6.15 卡孜基與莫拉克發生與未發生土石流潛勢溪流 I-R 圖

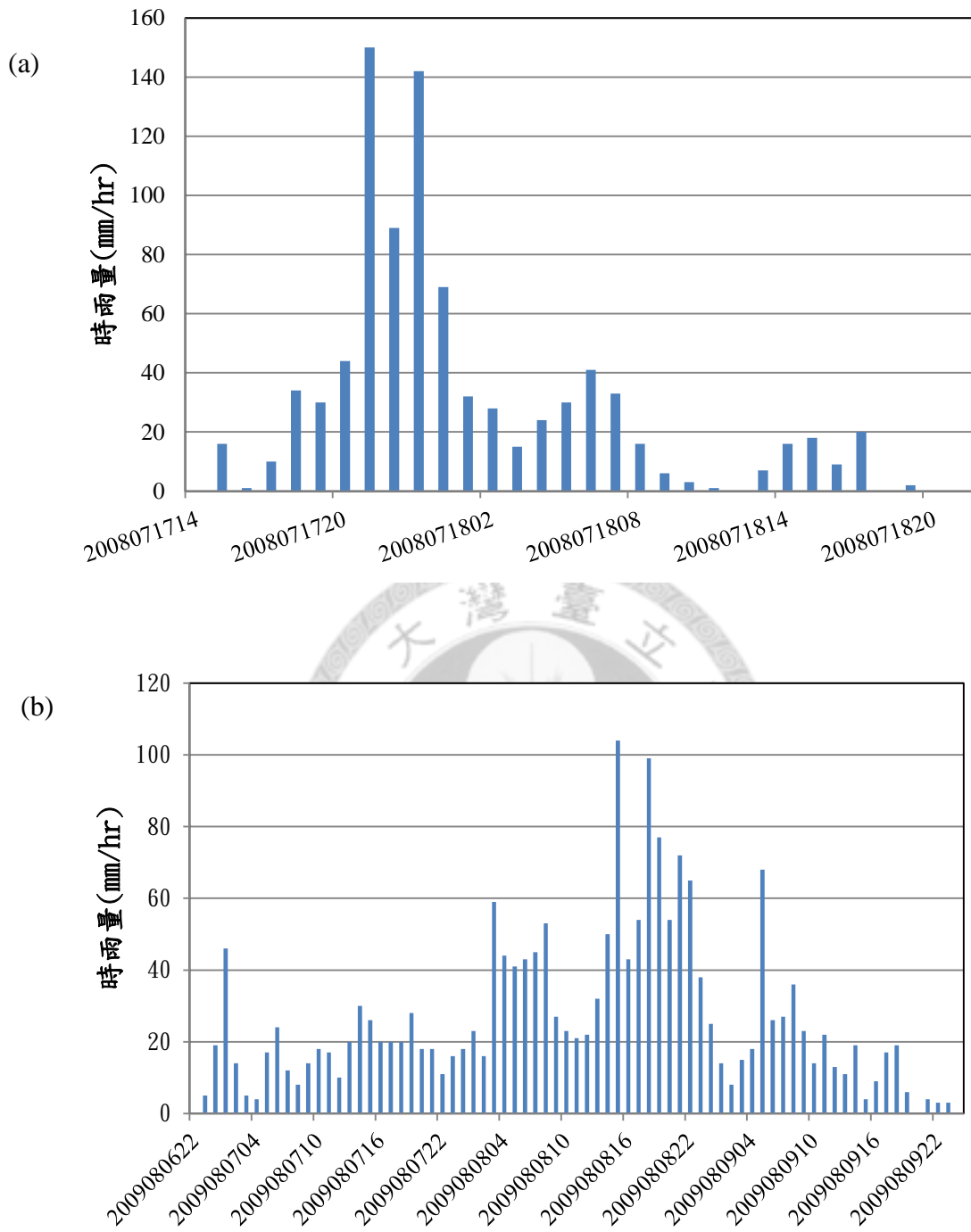


圖 6.16 卡孜基與莫拉克雨型圖(六龜雨量站)

(a)卡孜基 (b)莫拉克

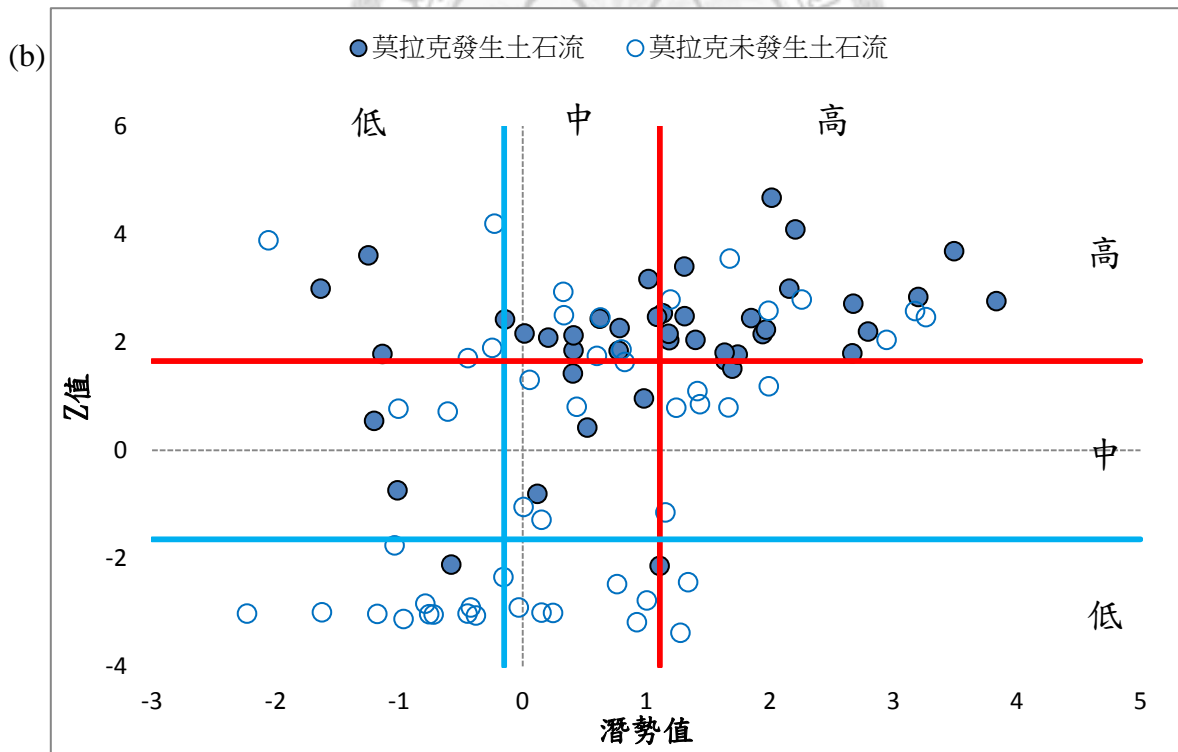
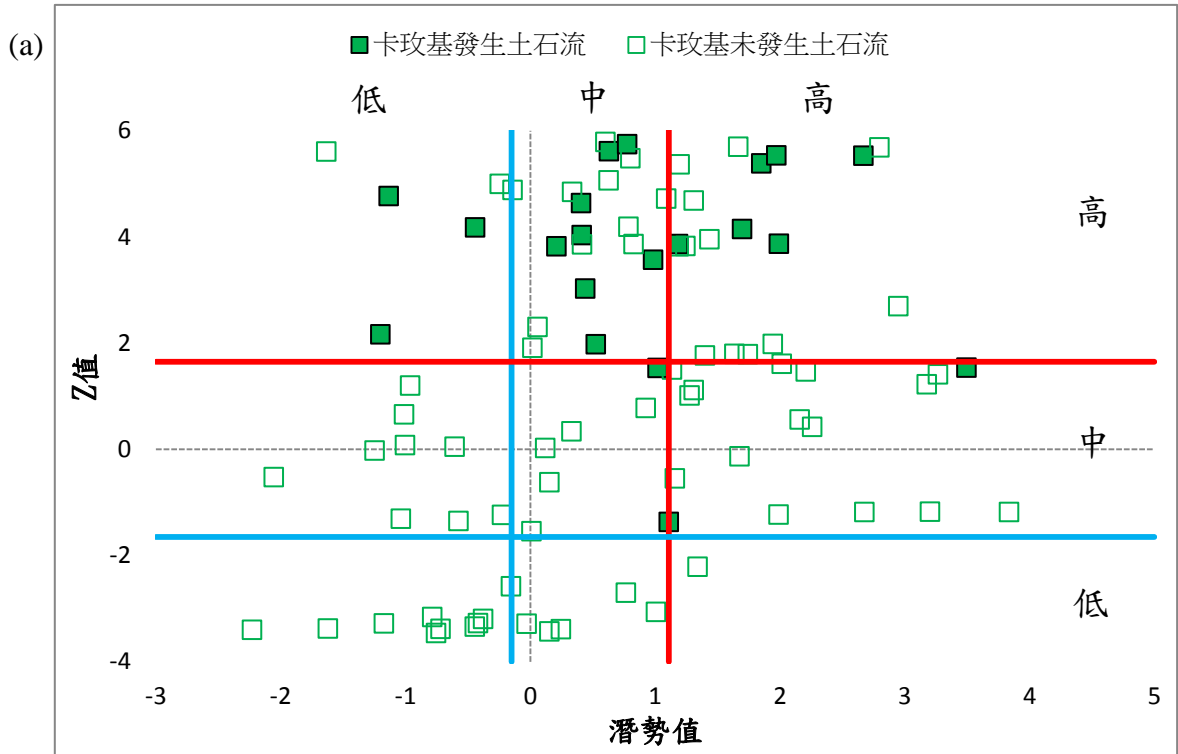


圖 6.17 最大降雨強度 Z 值與環境潛勢值分布圖

(a)：卡玫基颱風

(b)：莫拉克颱風

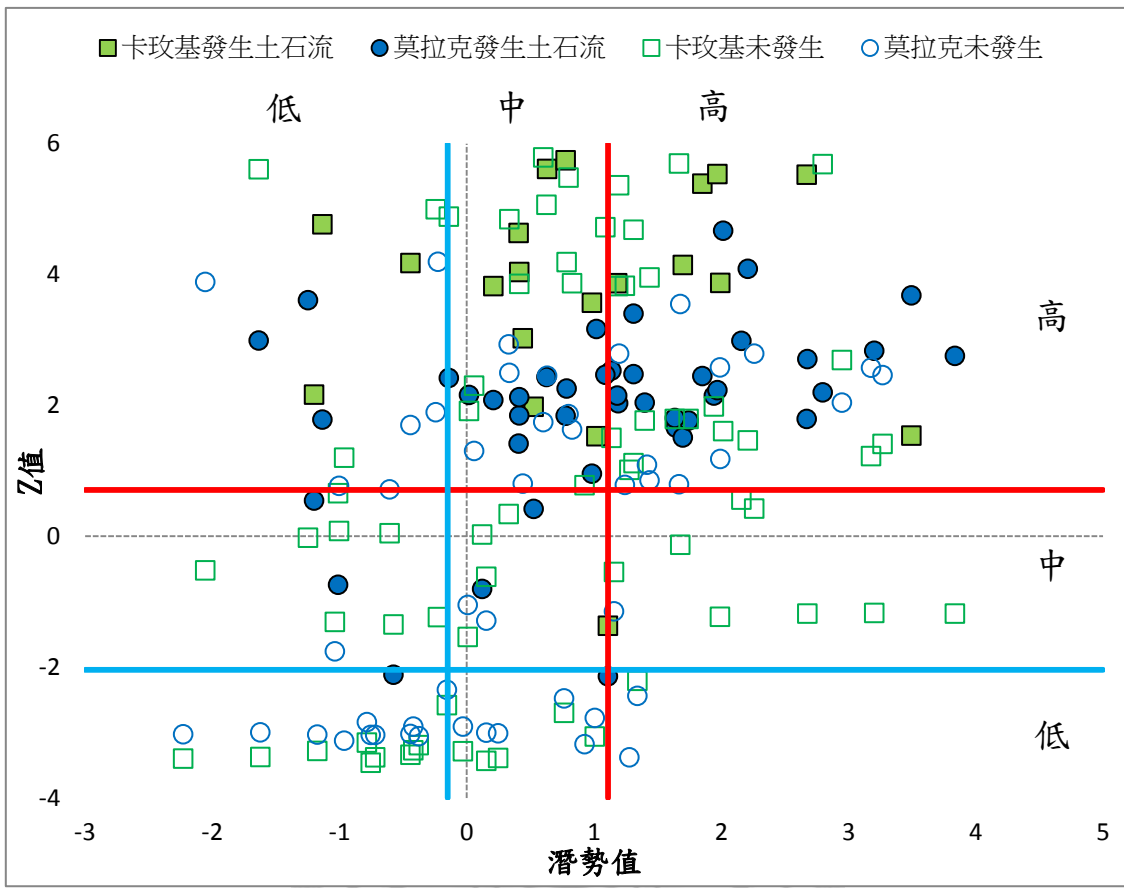


圖 6.18 最大降雨強度 Z 值與環境潛勢值綜合比較分布圖

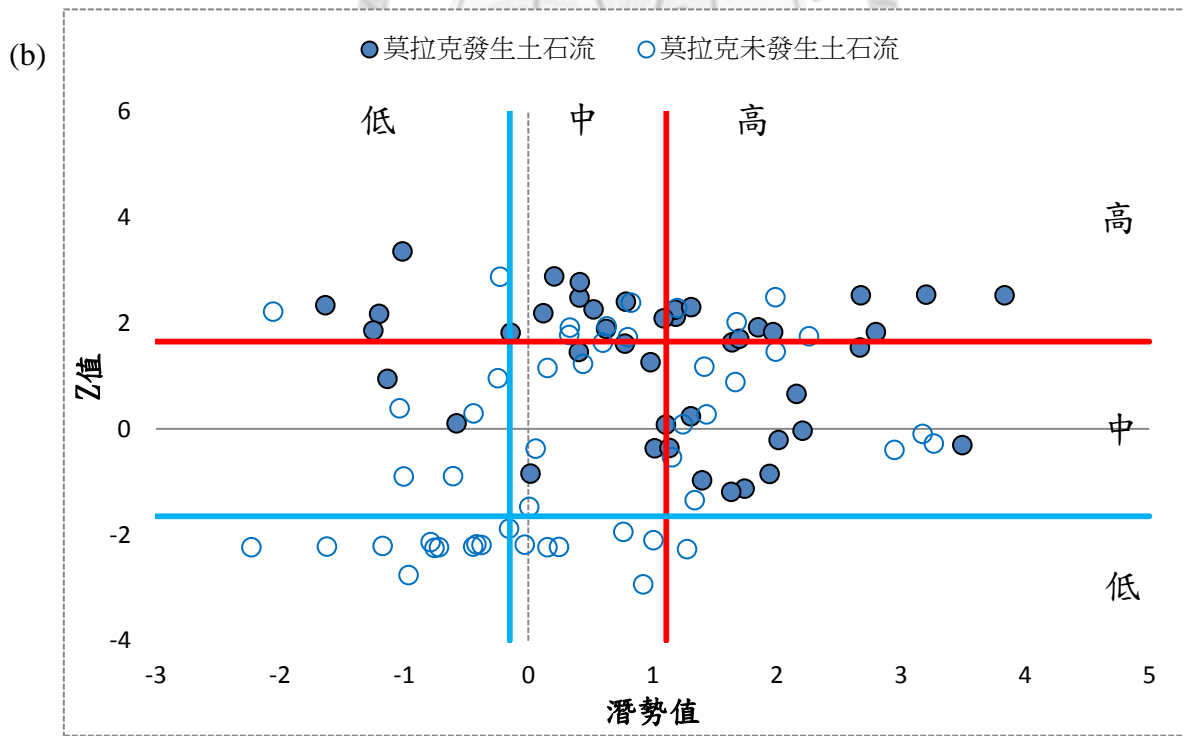
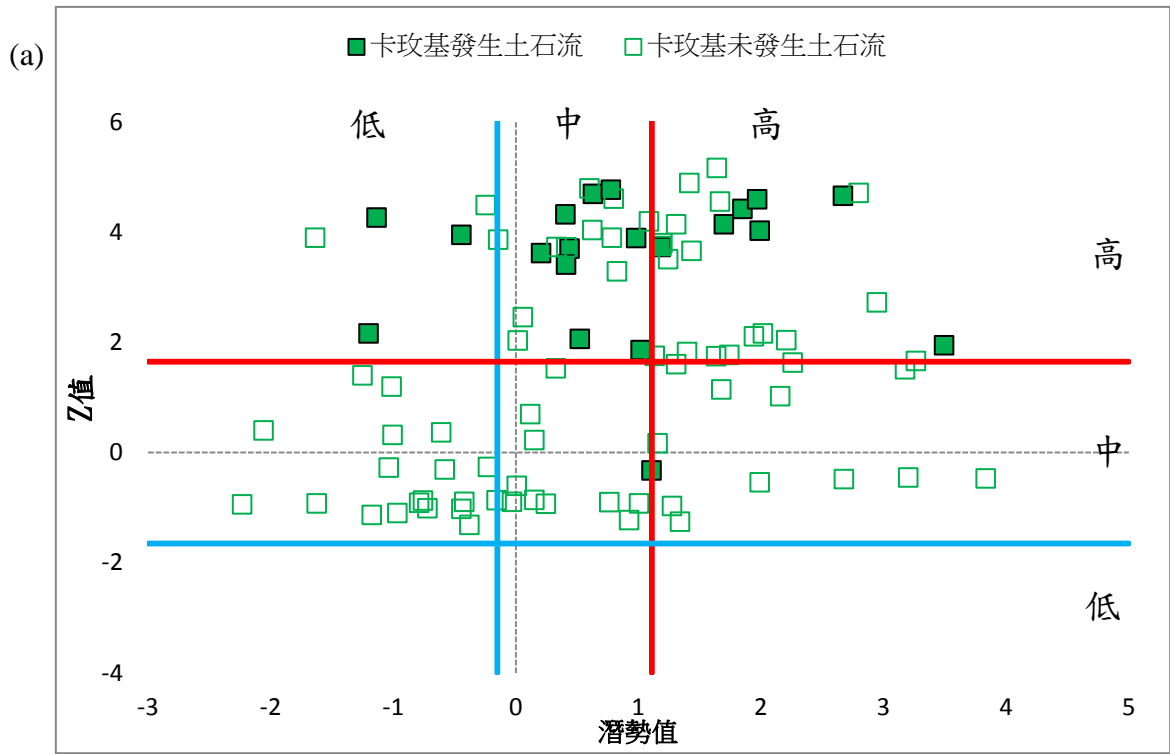


圖 6.19 災害發生累積雨量 Z 值與環境潛勢值分布圖

(a)：卡玫基颱風

(b)：莫拉克颱風

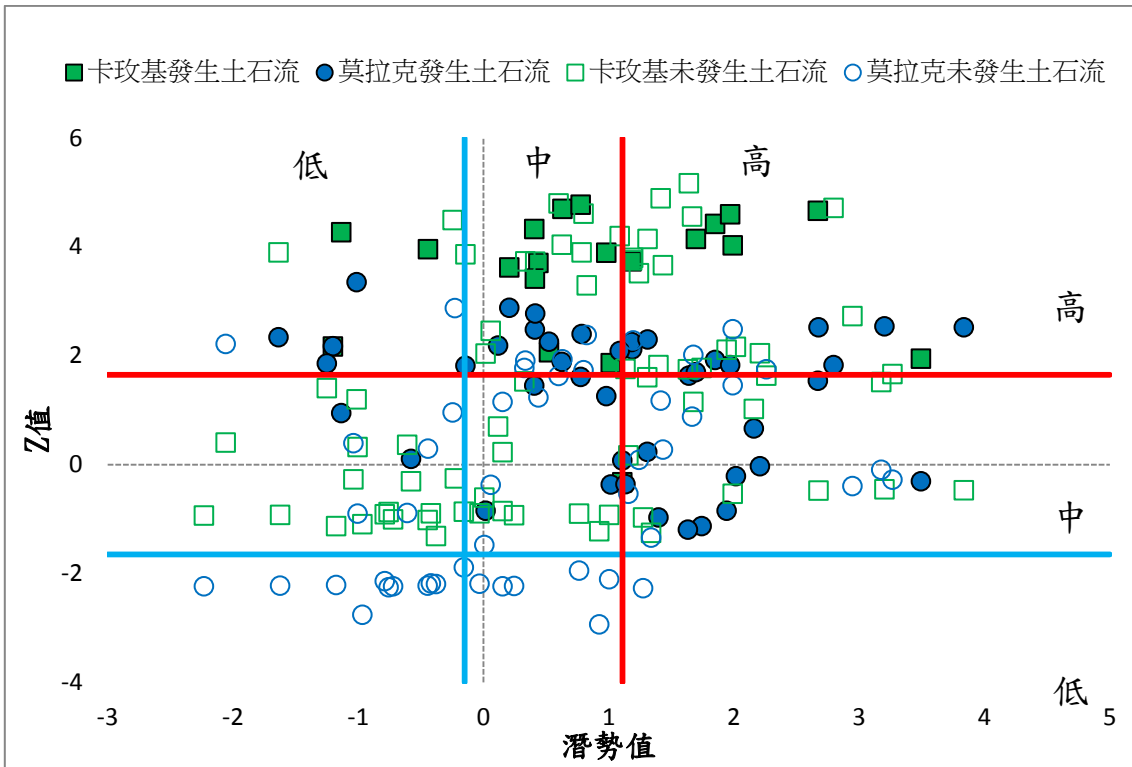


圖 6.20 災害發生累積雨量 Z 值與環境潛勢值綜合比較分布圖

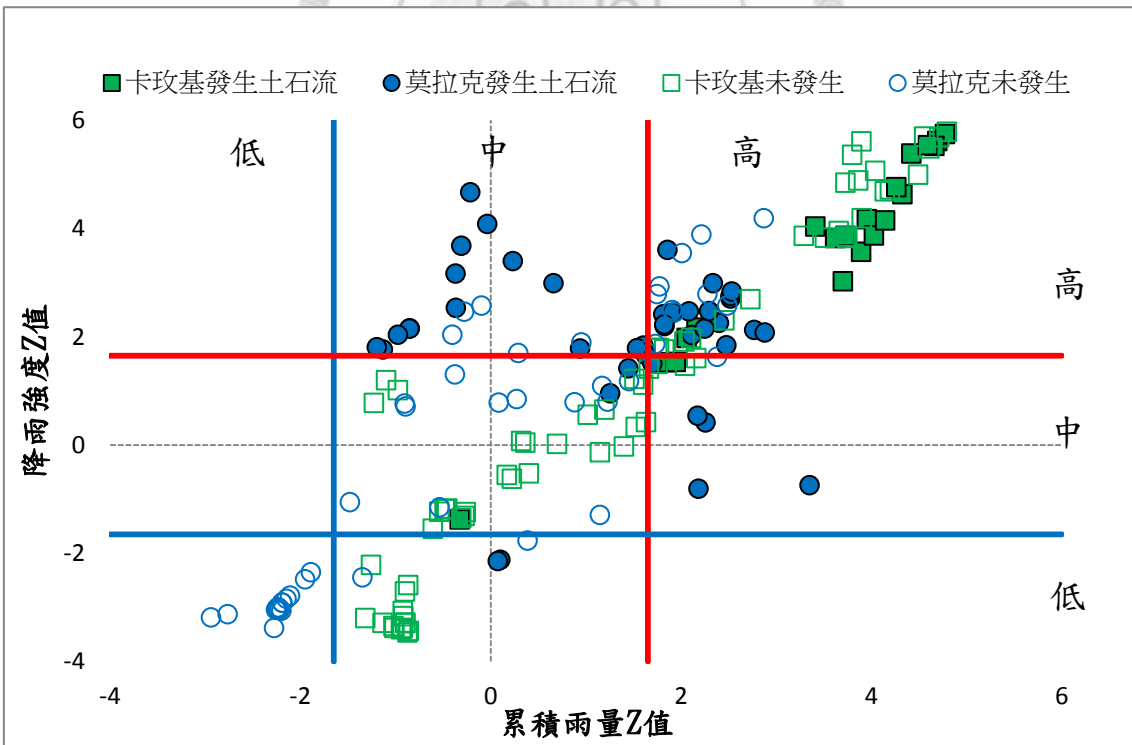


圖 6.21 降雨強度與累積雨量 Z 值分布圖

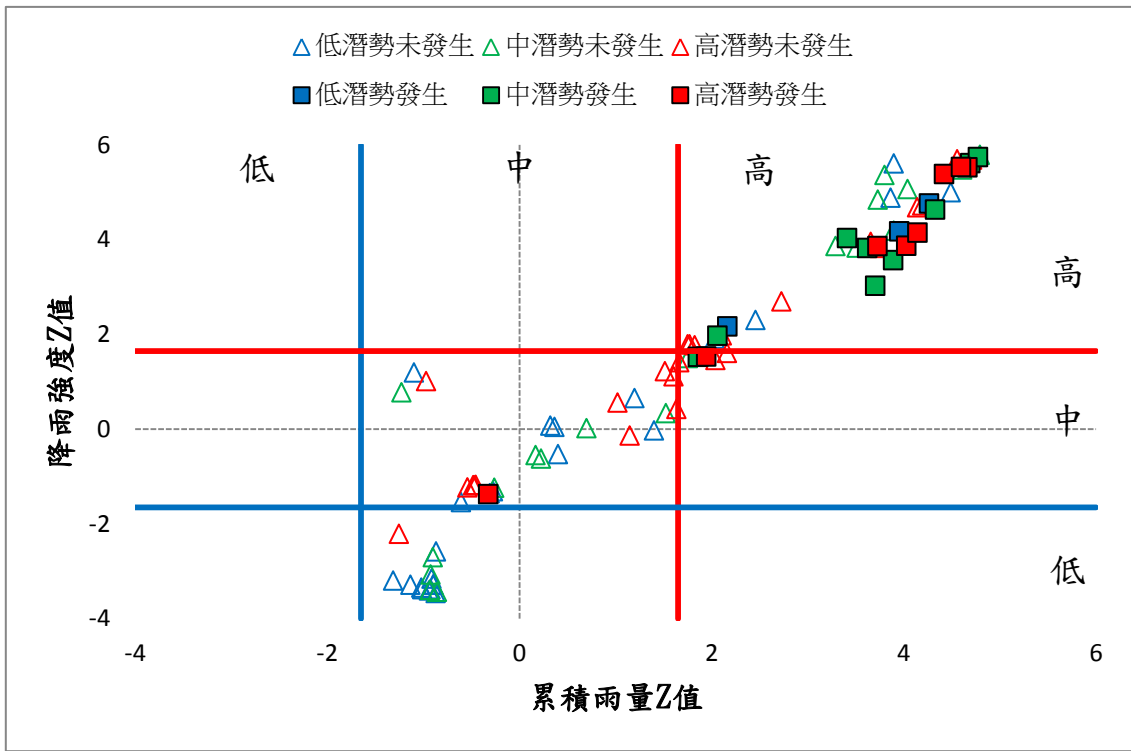


圖 6.22 卡孜基綜合影響因子分布圖

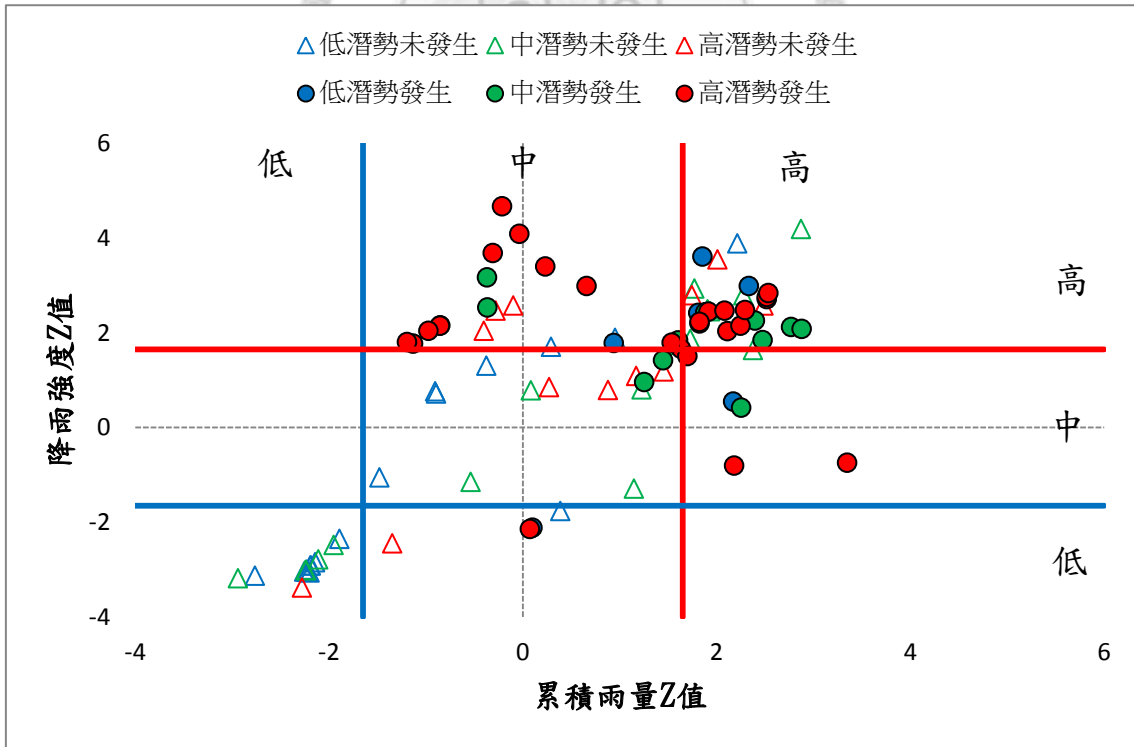


圖 6.23 莫拉克綜合影響因子分布圖

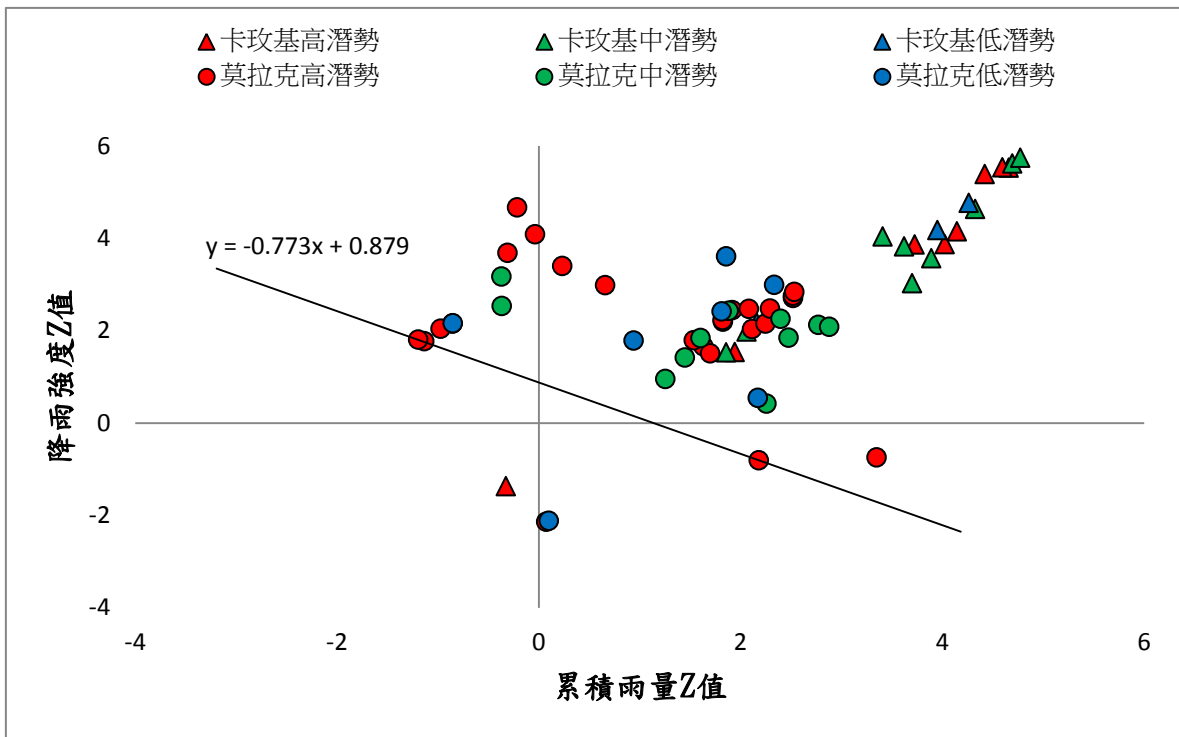


圖 6.24 卡玫基與莫拉克綜合影響因子分布圖

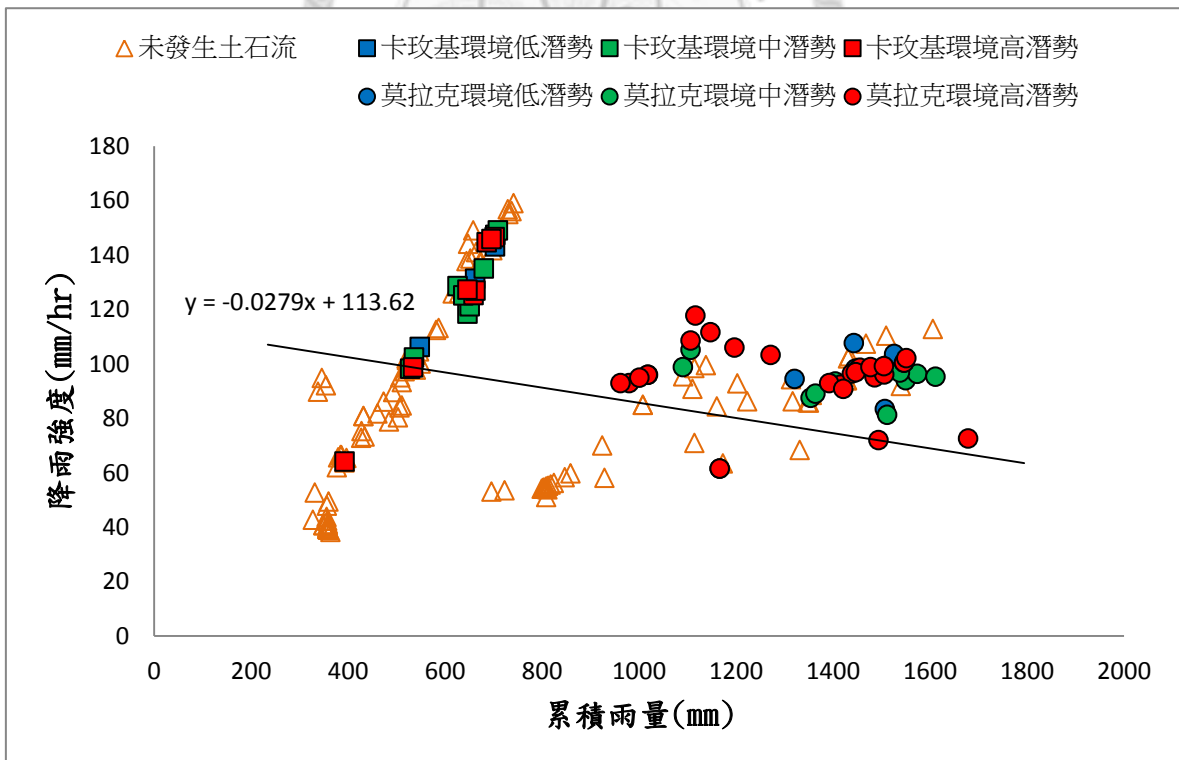


圖 6.25 卡玫基與莫拉克綜合影響因子原始數據分布圖



第七章 結論與建議

研究使用水保局公開 1578 條土石流潛勢溪流之高雄地區 92 潛勢溪流及依航照圖另行圈繪，以 104 條土石流與 90 條非土石流分析做潛勢分析，探討數據標準化的效益，進而以高雄 D 地質區之費雪區別函數預測台南、嘉義，探討不同地區相同地質區情形下，預測成果受地區特性相似性之影響；選用造成重大土石流災害之颱風事件，以分析降雨對於土石流發生潛勢之影響，並利用熱點分析建立降雨對於土石流之潛勢等級，最後疊合環境因子與誘發因子潛勢等級，以比較兩者對於土石流發生關聯。希望本研究之結論與建議能給予探討天然與誘發影響因子對於土石流發生之關聯參考。

7.1 結論

1. 從基本數據分布可知高雄地區土石流溪流流域形狀係數遠低於非土石流，多集中在 0.3 以下，邊坡坡向方面土石流與非土石流偏向西所占百分比皆高，殘土率則非土石流部分相對低於土石流，而地質種類差異性只有再經地質分區後才比較明顯；高雄、台南與嘉義相同地質條件下也有所差異，主要在台南殘土率明顯低落，溪流長度嘉義平均較長，邊坡坡向方面則高雄與兩地差異較大，地質種類雖然位於同地質區，但其分布之地質細項類別不太一致。
2. 由假設檢定所得影響因子可知，不分地質區與 D 地質區影響因子相較於 C 地質區為多，而 D 地質區土石流條數明顯多於 C 地質區，可推論影響因子差異顯著性與溪流數量有關，溪流數量多則土石流與非土石流較能顯現差異性；殘土率對於判別土石流與非土石流溪流之分佈情況奇佳，不論不分地質區與 C、D 地質區甚至嘉義地區，加入殘土率時正判率達 60% 以上，但為求區別函數穩定仍需加入其他影響因子。

3. 高雄地區費雪區別分析，其分類土石流與非土石流之擬合與驗證正判率可用於決定區別函數模式，原始數據不分區 72.4%與 74.7%，C 地質區 78.1%與 76.6%，D 地質區 76.0%與 71.4%，不分地質區與分地質區比較其正判率可發現不分地質區明顯較不準確，觀察分地質區的土石流數量與各地質區面積比，發現 C 地質區面積大但土石流少，而不分地質區混合 C 地質區較不易發生土石流之基本數據，使不分地質區正判率下降。
4. 高雄經由費雪區別分析後建立潛勢等級分類，不分地質區分界標準為-0.162 與 1.025 劃分為高、中、低；C 地質分界標準為-0.4 與 0.982 劃分為高、中、低；D 地質區分界標準為 0.088 與 1.247 劃分為高、中、低。
5. 由區別分析應用於不同地區準確性結果可知，台南與嘉義會隨加入不同影響因子使預測準確性有所變動，可由影響因子相似性得知，當相似性越大其預測準確性越高，而整體相似性則可評估最後預測結果，嘉義預測準確性可達 72.1%，台南預測準確性只到 31.3%，雖然在整體相似性指標嘉義為 0.894 與台南 0.849 相差不大，但其預測效果不同，可能由於在做整體相似性時加入不同影響因子，使不同影響因子相似性指標受到影響因子增加而相似性指標產生變動，故個別影響因子做相似項檢定成果較好，且相似性結果仍需與數據分布特性做比對。
6. 誘發降雨因子對於土石流發生之影響，必須考量到不同雨量站分布位置與高度，由於颱風導致降雨會受到地形起伏與地形走向影響，使得每個雨量站記錄到的降雨會有時間上差異，所以在做降雨潛勢分析必須先處理降雨之時間變異情形，熱點分析所得結果最大降雨強度較不會受到時間變化影響，而總累積雨量會受到降雨延時差異過大影響，故準確性以最大降雨強度與土石流災害發生時累積雨量為佳。

7. 使用熱點分析必須考慮空間距離權重影響，當取決距離不同其熱點分布也會不同，雖然其可將不同颱風轉換成同維度做比較，但不同颱風與不同降雨參數所得熱點分析之 Z 值也會有不同，故仍必須去探討原始降雨數值，以便更加明白降雨對於土石流發生的影響。
8. 從發生土石流之降雨型態分析，可以得知卡玫基與莫拉克分屬不同降雨型態，而其降雨型態會影響採用何種降雨要素判別土石流，像卡玫基短延時、高降雨強度主要受到降雨強度影響，而莫拉克長延時、高累積雨量則會受到累積雨量與降雨強度影響。
9. 綜合環境因子與誘發因子潛勢分析，並與各颱風之土石流災害位置做比較，進而可以看出環境因子與誘發因子對於土石流發生之影響，土石流發生主要受到環境因子影響，當降雨誘發條件達到一定程度則誘發土石流，越高環境潛勢值所需降雨越低。
10. 綜合誘發因子與環境因子可看出土石流發生與影響因子間關係，當高環境潛勢其誘發條件要求降低，反之亦然；將高環境潛勢所需降雨條件當作發生土石流最低誘發限制，而其高環境潛勢所得下限，可用來當作發生土石流的最低要求。

7.2 建議

1. 由高雄地區土石流潛勢分析可知，不分地質區與 C、D 地質區經由假設檢定，所選定之影響因子中地質因子所占比例不少，從中可知地質因子對於費雪區別分析之穩定性有所貢獻，特別是分 C、D 地質區情形，但地質因子目前採用精度比較低，故建議之後可使用更為詳細之地質資料。
2. 經由費雪區別分析中之顯著性假設可知各影響因子顯著性，從中發現坡度各

類別都屬較為顯著的因子，但為使各因子之間為獨立的，所以進行獨立性檢定，結果坡度各類別之間有明顯相關性存在，因子篩選後部分顯著坡度因子被捨棄，可能與原始目的不相符合，建議可尋求整合坡度方面處理方式以提升費雪區別分析之適用性。

3. 費雪區別分析應用於其他地區之適用性，目前使用 Bray-Curtis 相似性指標來評估各因子間相似性與預測準確性關係，但由於沒有考量到因子整體分布特性，使得相似性指標只能初步評斷兩地區間相似程度，尚無法比較整體分布特性，所以建議找尋可評估整體分布特性之相似性評估方式，以有利於評斷不同地區分布特性的相似程度。
4. 使用雨量數據時，因選用雨量站數量分布較為不均，使得在高雄那瑪夏、桃源區等較為山區地點，雨量內插結果會較為不準確，如有辦法取得更為詳細雨量站數據，土石流發生與誘發降雨因子間關係能更為明顯。
5. 熱點分析必須決定距離影響，不同距離對於熱點分布會有不同結果，而最適合分析距離，如果找出雨量與空間距離間變化關係，對於分析土石流潛勢可有更準確之結果。
6. 由比較不同降雨事件發生土石流情形可知，前期降雨使邊坡滑動、崩塌，而後續降雨導致土石流發生所需雨量會降低，建議土石流潛勢分析可加入崩塌數據作探討，討論土砂材料多寡對於土石流發生所需降雨條件之影響。
7. 綜合影響因子潛勢分析，可依照環境潛勢高低去繪出不同潛勢所需的誘發降雨條件，研究只針對卡孜基與莫拉克颱風作探討，所得結果有部分偏離值存在，故建議能以更多降雨事件探討，獲得土石流發生所需的誘發降雨條件，以不同環境潛勢的降雨條件作為判別土石流發生的降雨標準。

參考文獻

- [1]Johnson A.M., and Rodine J.R. (1984), Debris flow. In: Brunsdon D, Prior D.B., editors. Slope Instability. Chichester, UK: Wiley, pp 257–361.
- [2]Jacqueline Jackson(2010), The use of Getis and Ord cluster analysis for analyzing rainfall data in relation to Rift Valley fever outbreaks, Old Dominion University, Norfolk ◦
- [3]Matthias Jakob(2003), A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, *Geomorphology* , 54 , p.137 – 156 ◦
- [4]Nakagawa, H. and Takahashi T(1997), Estimation of a Debris Flow Hydrograph and Hazard Area, Proceedings of the First International Conference on Debris Flow Hazards Mitigation, California, USA, pp.64-73.
- [5]Robert,L.S., and Raymond, J.K. (1978), Landslide Analysis and Control, Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp.17-27.
- [6]Strahler, A. N. (1952), Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Geological Society of America Bulletin*, 63:1117-1142.
- [7]Sitar , N. , Anderson , K.A. (1992), Conditions for initiation of rainfall-induced debris, Stability and performance of slopes and embankments: proceedings of a special conference at U.C. Berkeley, ASCE ◦
- [8]Takahashi , T. (1991), Debris flow , A.A. Balkema Publishers, IAHR ◦
- [9]Takahashi, T. (1978), Mechanical Characteristics of Debris Flow. *Journal of the Hydraulics Division*, 104(HY8): 1153-1169
- [10]Takahashi, T. (1981), Debris flow. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 13: 57-77.

- [11]Varnes, D.J. (1958), Landslide types and processes, Landslides and Engineering Practice, National Research Council, Highway Research Board Special Report 29, p. 20-47.
- [12]池谷浩(1973),「土砂流出の実態と砂防ダムの効果」,新砂防,26,P.28~33。
- [13]瀨尾克美、船崎昌繼(1973),『土砂害(主に土石流的被害)と降雨量について』,新砂防,Vol.89,pp.22-28。
- [14]中筋章人、足立勝治、中山政一、清野雅雄、二宮男、大木俊治(1977),「昭和50年仁淀川流域土砂災害と流態の特性」,昭和52年度砂防研究概要集,第56-570頁。
- [15]武居有恆(1980),“地表崩壊.土石予測之対策”,鹿島出版社,第37-181頁。
- [16]張石角(1983),「臺灣之土石流災害」,洪水與泥沙災害研討會,中華水土保持學會。
- [17]高橋保、水山高久(1984),「土砂災害の予知と対策」,土と基礎,32-3:59-66。
- [18]周必凡、李基德、羅德富、呂儒仁、楊慶溪(1991),「泥石流防災指南」,科學出版社,北京。
- [19]江永哲與林啟源(1991),「土石流之發生雨量特性分析」,中華水土保持學報,第22卷,第2期,第21-37頁。
- [20]王一琮(1992),「應用地理資訊系統探討土石流與地形特性之相關性」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [21]王如意、易任(1992),「應用水文學」,茂昌圖書公司。
- [22]謝正倫、江志浩、陳禮仁(1992),「花東兩縣土石流現場調查與分析」,中華水土保持學報,第23卷,第2期,第109-122頁。
- [23]謝正倫(1993),「土石流預警系統之研究(II)」,國立成功大學台南水工試驗所研究試驗報告第139號。

- [24]王幼行(1994),「土石流發生機制之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [25]詹士勝(1994),「土石流危險溪流之危險度判定模式之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [26]蘇育瑞(1995),「地理資訊系統應用於花蓮地區土石流危險溪流判定之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [27]張石角(1995),「臺灣東部之環境地質分區與崩塌類型」,農委會林業特刊,第五十號,第 472 頁。
- [28]陸源忠(1995),「土石流發生臨界降雨線設定方法之研究」,成功大學水利及海洋工程系碩士論文。
- [29]謝正倫、陸源忠、游保杉、陳禮仁(1995),「土石流發生臨界降雨線設定方法之研究」,中華水土保持學報,第 26 卷,第三期,第 167-172 頁。
- [30]張成璞(1995),「地理資訊系統應用於土石流潛在溪流之危險度判定」,國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- [31]李心平(1995),「智慧型控制理論應用於土石流預警系統之研究」,國立台灣大學農業工程研究所碩士論文。
- [32]范正成、林森榮(1996),「土石流防災與監測之研究-雨量分析、降雨預報應用於土石流預警系統(一)」,國科會計劃成果報告,NSC85-2621-P-002-052。
- [33]段錦浩、游繁結等人(1997),「陳有蘭溪治山防災整體治理規劃報告」,行政院農業委員會台灣省水土保持局。
- [34]吳素慧(1997)南投縣信義鄉神木村出水溪土石流流動現象之探討,國立台灣大學地理學研究所碩士論文。
- [35]劉格非(1997),「土石流發生之原因及破壞機制(上)」,土石流及其防治研討會,現代營建,第 208 期。

- [36]洪如江(1997),「台灣地區工程地質分區分佈圖」。
- [37]詹錢登(1998),「土石流的發生與運動」,土木技術,第一卷,第1期,P.132~144。
- [38]江英政(1998),「土石流危險溪流判定之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [39]黃俊英(1998),「多變量分析」,華泰文化。
- [40]陳榮河(1999),「土石流之發生機制」,地工技術第74期,第21-28頁。
- [41]范正成、吳明峰、彭光宗(1999),「豐丘土石流發生臨界降雨線之研究」,地工技術第74期,p39-46。
- [42]譚萬沛(1999),「降雨泥石流的臨界雨量研究」,第二屆全國泥石流學術會議論文集,第136-142頁。
- [43]劉哲欣(2000),「土石流潛在勢能及預警之研究」,國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- [44]陳晉琪(2000),「土石流發生條件及發生機率之研究」,國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
- [45]詹錢登(2000),「土石流概論」,科技圖書股份有限公司出版。
- [46]林信亨(2000),「地理資訊系統應用於土石流危險溪流危險度判定之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [47]田坤國(2001),「由降雨資料預測阿里山公路邊坡破壞之研究」,台灣公共工程學會九十年度年會暨學術研討會論文集,第13-20頁。
- [48]范正成、劉哲欣、吳明峰(2002),「南投地區土石流發生臨界降雨線之設定及其於集集大地震後之修正」,中華水土保持學報,第33卷,第1期,第31-38頁。
- [49]蔡易達(2002),「南投地區一級溪流土石流發生機率即時評估及驗證」,國立台灣大學生物環境系統工程學系暨研究所碩士論文。

- [50]歐泰林(2003),「台灣東北中區土石流特性之分析」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [51]何明憲(2003),「台灣中部災區坡地型土石流發生特性之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [52]詹錢登(2003),「土石流降雨警戒模式及警戒基準值之改善研究」,水土保持科技與研發展望研討會,第四-1-四-15頁。
- [53]詹錢登(2004),「豪雨造成的土石流」,科學發展月刊,第374期,第14-23頁。
- [54]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,第35卷,第3期,第273-283頁。
- [55]李光敦(2005),「水文學」,國立台灣海洋大學河海工程學系。
- [56]邱振崑(2005),「SPSS 統計教學實例應用」,松岡書局。
- [57]水土保持局(2005),「水土保持技術規範」,行政院農業委員會水土保持局。
- [58]吳雯惠(2005),「土石流發生潛勢與流出土方量推估之研究」,朝陽科技大學營建工程系碩士論文。
- [59]台北市政府產業開發局(2005),「台北市雨量監測資料及邊坡崩塌預警基準操作訂定(第一期)」,執行單位:中華民國大地工程學會。
- [60]台北市政府產業開發局(2006),「台北市雨量監測資料及邊坡崩塌預警基準操作訂定(第二期)」,執行單位:中華民國大地工程學會。
- [61]中央地質調查所,「土石流發生度潛勢評估因子分析」,經濟部中央地質調查所95年度研究發展專題,(2006)。
- [62]中央研究院計算機中心,「資料品質規範及品質檢核機制」,中央研究院近代中國歷史地圖與遙測影像資訊典藏計畫,(2006)。
- [63]李明熹(2006),「土石流發生降雨警戒分析及其應用」,國立成功大學水利及海洋工程學系博士論文。

- [64]陳正昌、程炳林、陳新豐、劉子鍵(2007)，「多變量分析方法-統計軟體應用」，五南文化。
- [65]謝育樺(2007)，「南投地區土石流發生潛勢分析」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [66]林裕翔(2008)，「土石流發生潛勢-區別分析的擬合與預測」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [67]行政院農業委員會水土保持局(2008)，「97年土石流潛勢溪流資料更新與潛勢分析」，執行單位：國立台灣大學，台北。
- [68]行政院農業委員會水土保持局(2009)，「98年土石流潛勢溪流資料更新與潛勢分析」，執行單位：國立台灣大學，台北。
- [69]高子璿(2009)，「土石流災害風險管理之探討-以台北縣三峽鎮為例」，國立台北教育大學社會科教育學系碩士論文。
- [70]行政院農業委員會水土保持局(2010)，「98年莫拉克颱風後土石流潛勢溪流更新及複勘」，執行單位：國立台灣大學，台北。
- [71]柯明淳、林聖琪、陳韻如(2010)，「崩塌與土石流預警技術之精進-地文災害敏感與坡地災害熱點之分析與應用」，國家災害防救科技研究中心。
- [72]溫在弘、劉擇昌、林民浩(2010)，「犯罪地圖繪製與熱區分析方法及其應用：以1998-2007年台北市住宅竊盜犯罪為例」，地理研究，第52期。
- [73]簡佐伊(2011)，「應用降雨地文綜合指標評估土石流發生可能性之研究—以高屏溪流域為例」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
- [74]張綸織(2011)，「利用羅吉斯迴歸法分析崩塌對土石流降雨警戒基準值之影響—以南投神木村為例」，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- [75]中央氣象局(2012)，「百年侵台颱風路徑圖集」，中央氣象局颱風資料庫。

附錄 A

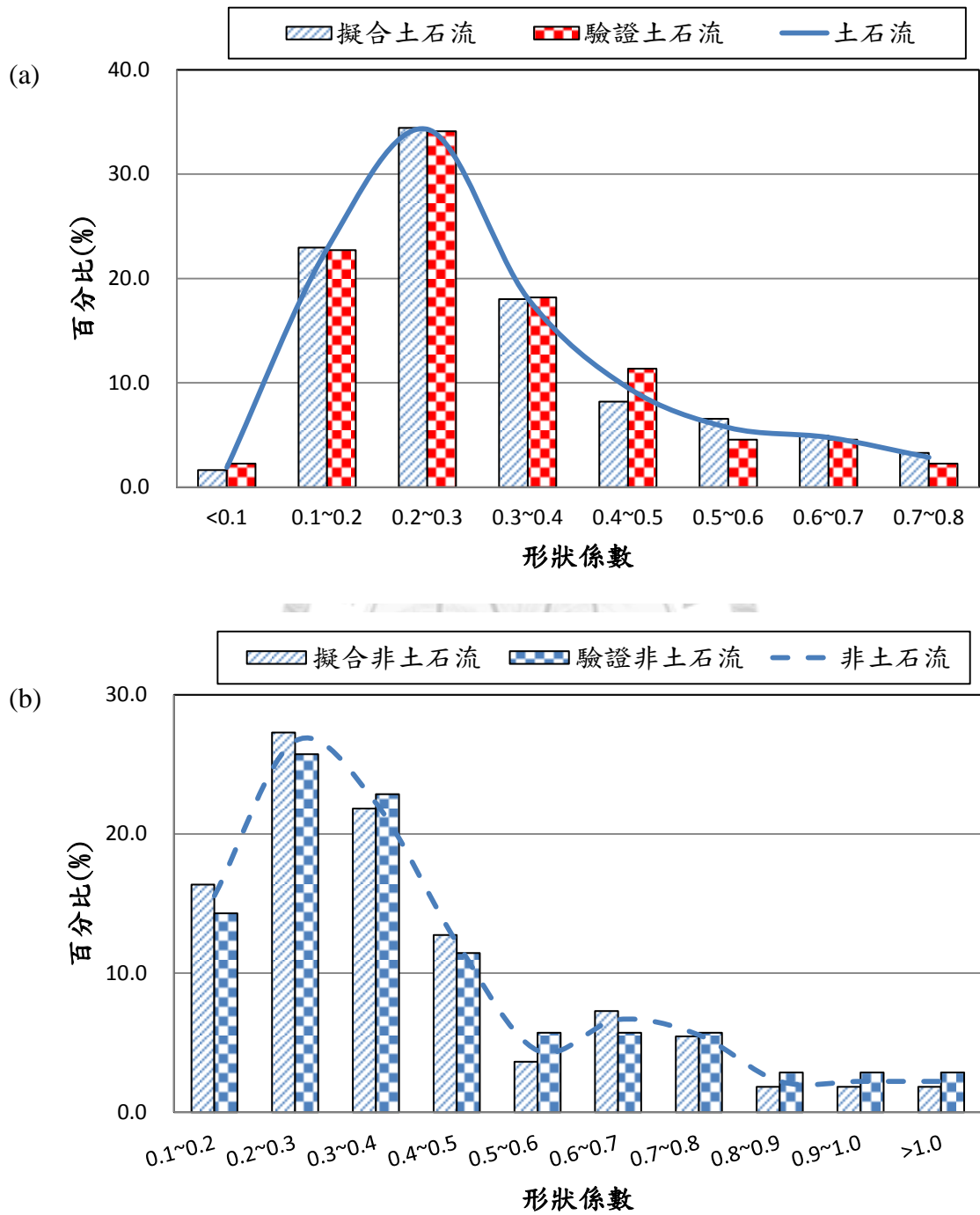


圖 A.1 高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本形狀係數分佈圖

(a)：土石流 (b)：非土石流

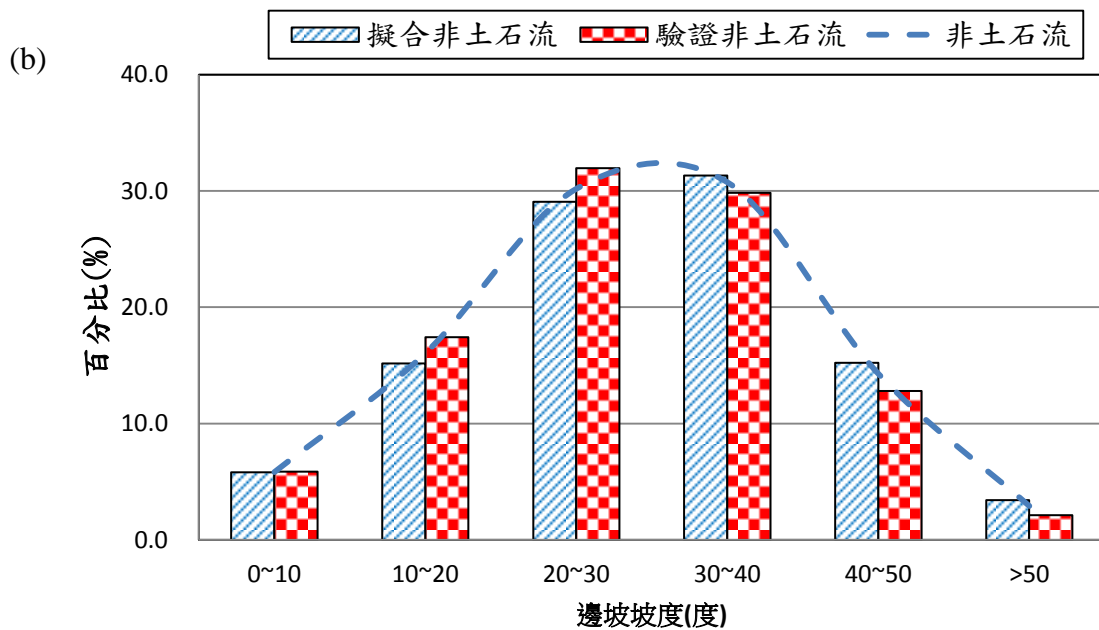
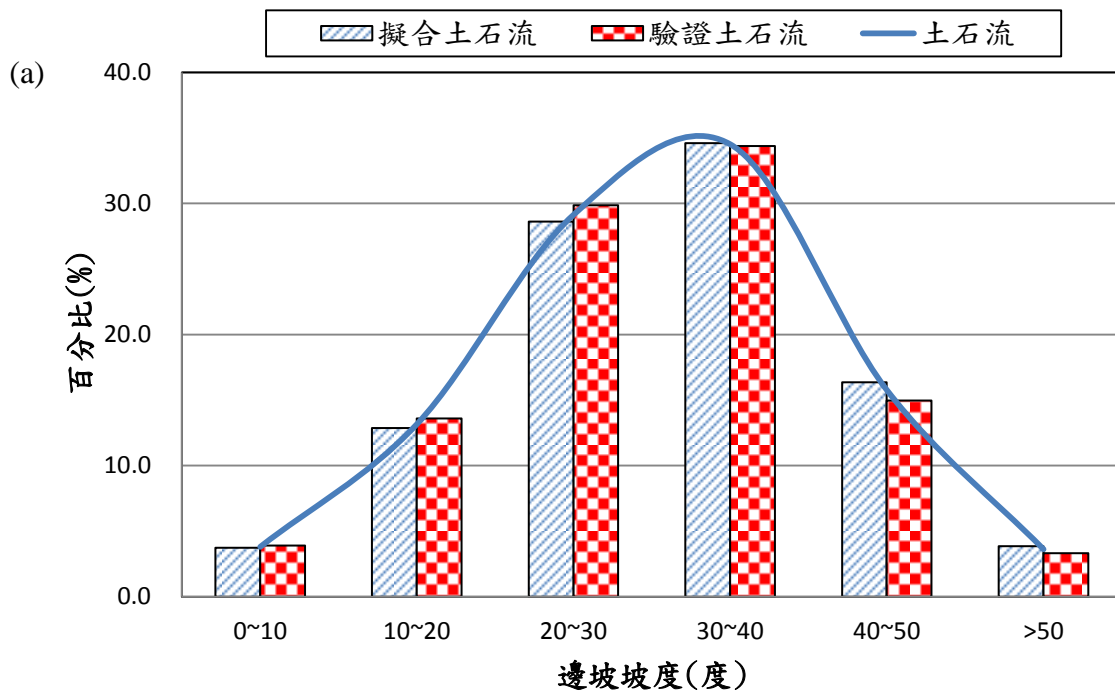


圖 A.2 高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本邊坡坡度分佈圖

(a)：土石流 (b)：非土石流

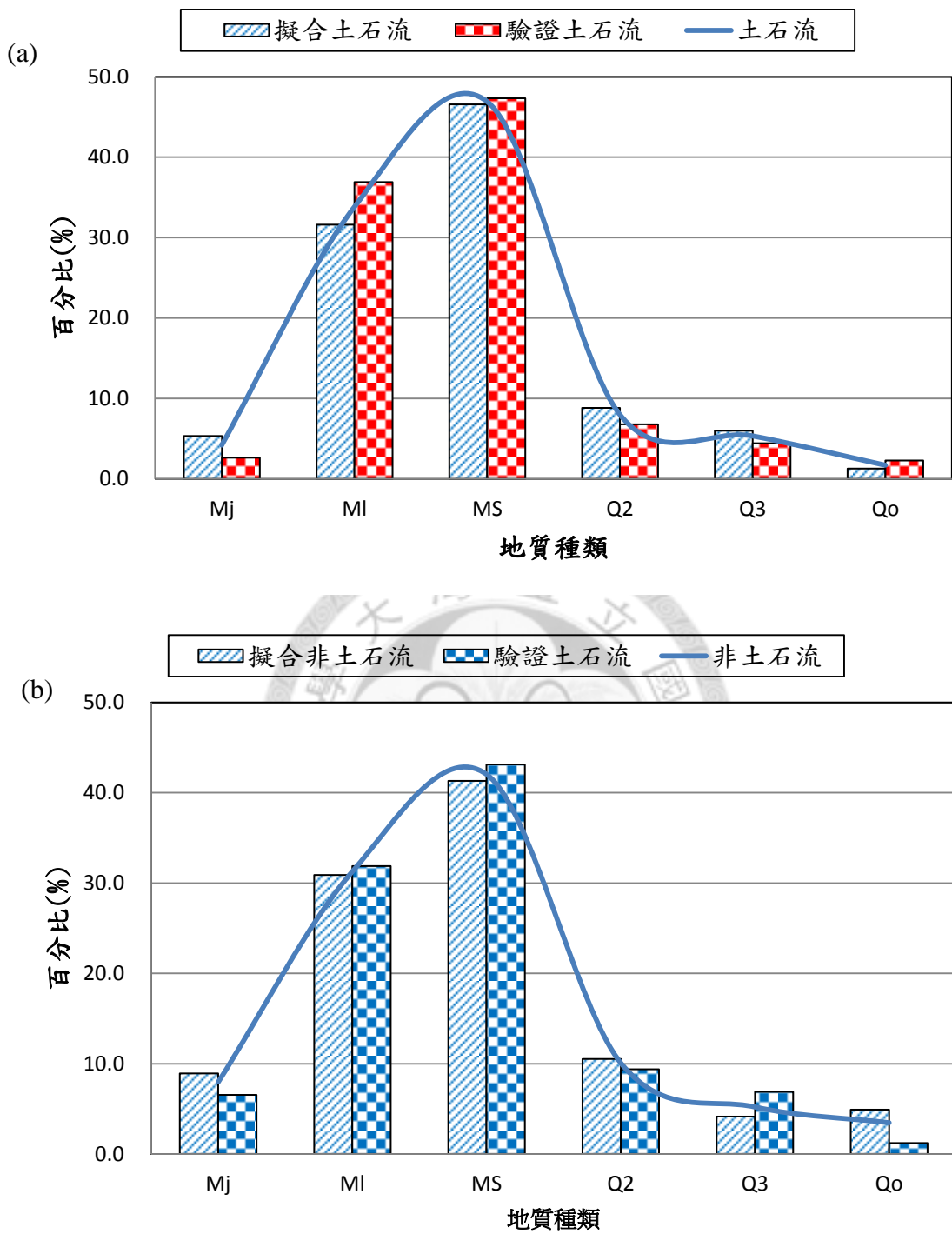


圖 A.3 高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本地質種類分佈圖

(a)：土石流 (b)：非土石流

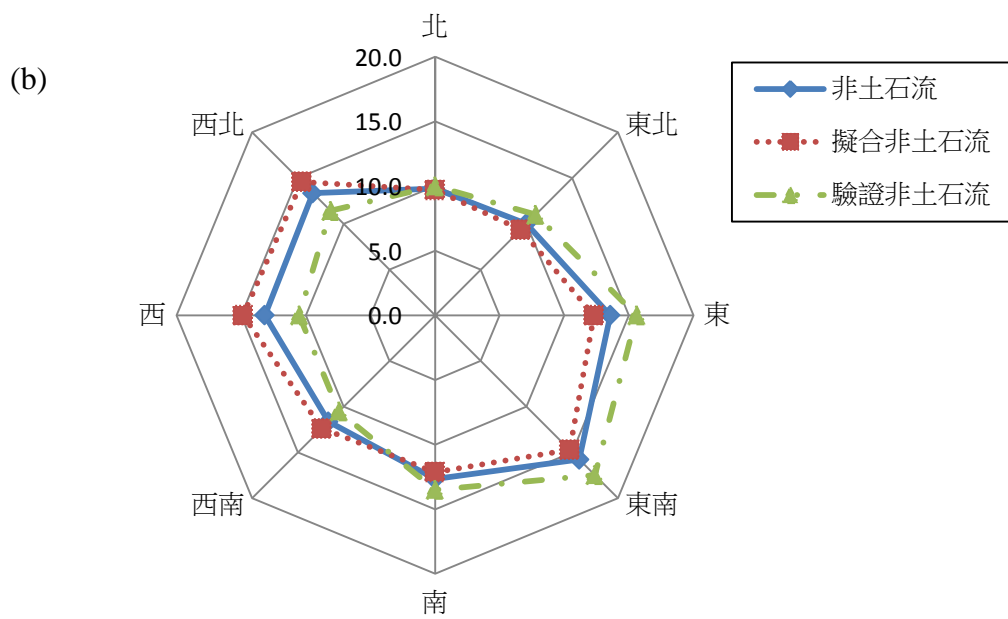
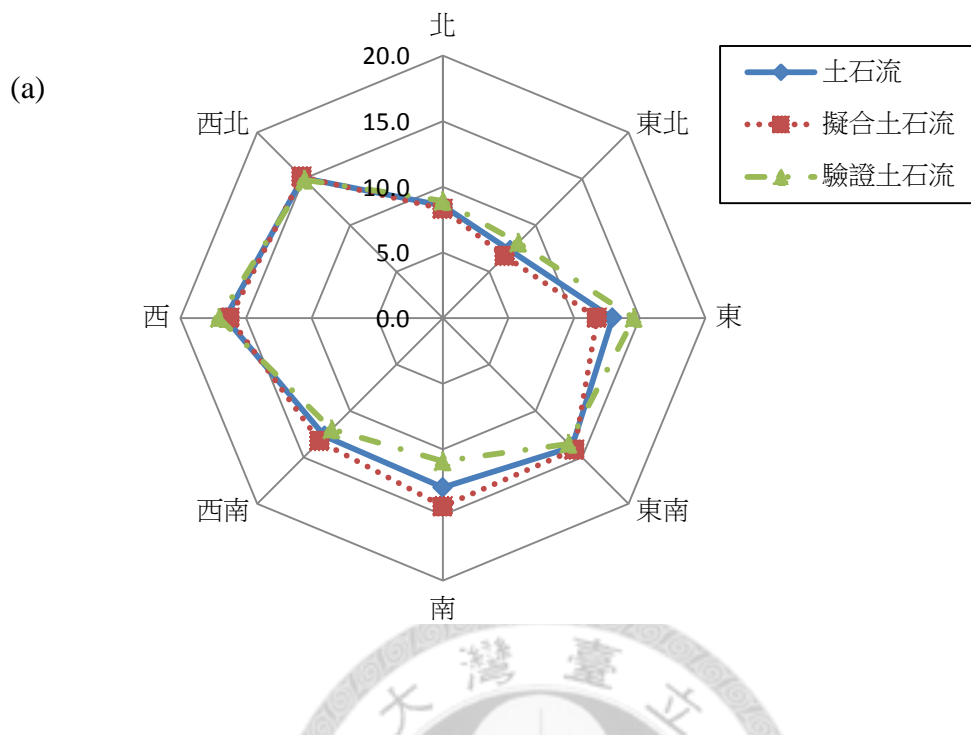


圖 A.4 高雄不分地質區溪流母體與抽樣、驗證樣本邊坡坡向分佈圖

(a)：土石流 (b)：非土石流