

方向性分析窗口應用於地形計測之研究
**The Application of Directional Analysis
Window on Geomorphometry**

執行單位：國立中興大學

執行期間：109 年 02 月 06 日至 109 年 12 月 31 日

計畫主持人：吳俊毅 助理教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 109 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

方向性分析窗口應用於地形計測之研究

摘要

近年來可視化分析被廣泛應用於判釋大規模崩塌潛勢區的地形特徵，而大多數地形因子以多方向性分析窗口計算所有方位的平均地形變化，然而在分析過程中容易因為分析窗口涵蓋方向過多，造成地形特徵受到均化影響而被忽略，因此，本研究利用單方向性分析窗口計算地形因子，並與多方向性窗口的結果做比較。

本次試驗材料包含虛擬高程模型及中心崙高程網格資料，探討高程、地形粗糙度、坡度、坡度粗糙度、地形開闊度、天空開闊度等 6 種地形因子，從各個地形因子之結果中可以發現單方向性分析窗口對於垂直方向關係之微地形特徵皆有較佳的顯示效果。

為了提取研究區的崩崖區位，本研究設定 6 組坡度與地形開闊度因子的門檻值，並且用交集或聯集的方法，得到最終提取結果，最後，利用混淆矩陣分析結果的優劣性。在六種不同的門檻值結果中，可以發現當門檻值越大時，FPR 值會降低，表示雜訊出現的頻率會減少，但 TPR 值降低且特徵線段也較不連續。整體而言，可以發現單方向性的分析結果之 TPR 值皆大於多方向性的結果，但同時 FPR 值也會增加，推測原因在於本次劃設的目標微地形特徵範圍亦會影響到混淆矩陣的計算。

關鍵字：地形特徵、地形計測、分析窗口

The Application of Directional Analysis Window on Geomorphometry

Abstract

In recent years, visualization analysis has been widely used to interpret the topographic characteristic of large-scale landslide potential areas, and most topographic factors use multi-directional window analysis to calculate the average terrain change in all directions. In the analysis process, it is easy to ignore the topographic characteristic existing in one single direction due to multi-directional analysis window. Therefore, this study calculated the topographic factors by the unidirectional analysis window and compared with the multi-directional window analysis results.

This study used virtual elevation model and Zhongxinlun elevation grid data to calculate six topographic factors such as elevation, surface roughness, slope, slope roughness, surface openness, and sky view factor. From the results of various topographic factors, it can be found that the unidirectional analysis window has a better display effect on the topographic characteristics of the vertical relationship.

In order to extract the locations of the scarps in the study area, this study set 6 groups of slope and openness factors with different thresholds, and used intersection or union to obtain the final extraction results. Finally, this study used the confusion matrix to judge which result is superior. In the results of six different threshold groups, it can be found that when the threshold value increases, the FPR value will decrease, which means that the frequency of noise will decrease, but the TPR value will decrease simultaneously and the topographic characteristic line will be discontinuous. On the whole, it can be found that the TPR values of the unidirectional analysis results are greater than

the multidirectional results, but the FPR values will increase at the same time. The reason is that the delineation range of target topographic characteristics also affected the confusion matrix results.

Keywords: topographic characteristics, Geomorphometry, analysis window

目錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第一章 前言	1-1
第一節 計畫緣起與目的	1-1
第二節 工作項目及內容	1-2
第三節 工作項目進度表	1-3
第二章 文獻收集	2-1
第一節 崩塌地地形特徵	2-1
第二節 人工判釋地形特徵	2-3
第三節 多方向窗口分析	2-5
第四節 單向窗口分析	2-10
第五節 分析單元	2-13
第三章 研究方法	3-1
第一節 研究流程	3-1
第二節 微地形特徵之特性	3-3
第三節 地形因子分析	3-4
第四節 方向性窗口分析	3-7

第五節 邊坡單元分析	3-14
第六節 自動化判釋	3-15
第四章 虛擬地形分析結果	4-1
第一節 虛擬地形之張力裂隙特徵分析	4-1
第二節 虛擬地形之蝕溝特徵分析	4-26
第五章 實際地形分析結果	5-1
第一節 中心崙基本資料	5-1
第二節 邊坡單元	5-3
第三節 地形因子分析結果	5-5
第四節 研究區之微地形特徵	5-24
第五節 利用門檻值提取微地形特徵	5-25
第六章 結論與建議	6-1
參考文獻	參-1
附錄一 核定本審查意見及辦理情形	附-1
附錄二 期初審查意見及辦理情形	附-3
附錄三 期中審查意見及辦理情形	附-6
附錄四 期末審查意見及辦理情形	附-9
附錄五 現地調查照片	附-11

表目錄

表 1-1 計畫預定執行進度表	1-3
表 3-1 單方向與多方向之坡度計算方式.....	3-11

圖目錄

圖 2-1 利用微地形要素進行潛在大規模崩塌區範圍之劃設(水土保持局，2015).....	2-1
圖 2-2 大規模崩塌發育過程中的地形特徵(鈴木隆介，2000).....	2-2
圖 2-3 利用陰影圖判釋線形構造.....	2-3
圖 2-4 10M 解析度的紅色地圖(CHIBA ET AL., 2008).....	2-4
圖 2-5 坡度疊合坡向之渲染圖(王意華和曾義星，2017).....	2-4
圖 2-6 透過曲率、坡度、高程配合不同顏色透明度疊套 CS 立體圖(戶堅一郎，2012).....	2-5
圖 2-7 利用坡向變化率及鄰域平均分析提取山脊線(湯國安和楊晰，2006).....	2-6
圖 2-8 比較六種計算地表起伏程度的地形計測方法(GROHMANN ET AL, 2011).....	2-6
圖 2-9 起伏度值/滑坡個數之統計曲線(郭芳芳等，2008).....	2-7
圖 2-10 正負開闊度示意圖(蕭宇伸和郭耀駿，2017).....	2-8
圖 2-11 地形開闊度計算單窗半徑示意圖(蕭宇伸和郭耀駿，2017).....	2-8
圖 2-12 (A)正負開闊度差值 10° 為門檻值提取溝沿線(B)與其它二法做比較(王軻等，2015).....	2-9
圖 2-13 特徵線的四種基本走向及分析窗口(周毅等，2007).....	2-10
圖 2-14 韭園溝樣區山脊線(左)、山谷線(右)(周毅等，2007).....	2-10
圖 2-15 特徵延伸示意圖(鄒昆等，2018).....	2-11
圖 2-16 (A)全局斷面掃描(B)特徵線進行延伸後(鄒昆等，2018).....	2-11
圖 2-17 提取月球隕石坑特徵線(涂杰等，2018).....	2-12

圖 2-18 月陸樣區以 1×9、9×1 線狀窗口提取最佳結果(涂杰等，2018)...	2-12
圖 3-1 虛擬張力裂隙之數值高程模型.....	3-1
圖 3-2 本研究流程圖	3-2
圖 3-3 張力裂隙、反向坡、蝕溝的微地形特徵.....	3-3
圖 3-4 研究區域 1M 數值地形模型(示意圖)	3-4
圖 3-5 ARCGIS SLOPE 分析	3-5
圖 3-6 圓形窗口包含網格示意圖	3-5
圖 3-7 搜索方位示意圖(修改自 YOKOYAMA ET AL., 2002).....	3-6
圖 3-8 天頂角、天底角示意圖(修改自 YOKOYAMA ET AL., 2002).....	3-7
圖 3-9 常見的幾種分析窗口形狀.....	3-7
圖 3-10 依照不同坡向設置不同方向性窗口	3-8
圖 3-11 張力裂隙在縱向剖面有明顯的高程變化.....	3-8
圖 3-12 利用虛擬網格高程資料提取地形特徵點之方法	3-9
圖 3-13 ARCGIS 焦點分析工具.....	3-10
圖 3-14 邊坡單元之劃分原理：(A)小集水區及左右兩側邊坡單元，(B)原坡面 與地形反轉坡面(圖修改自 XIE ET AL., 2004)	3-14
圖 3-15 輸入地形因子計算所需的參數值.....	3-15
圖 3-16 輸入邊坡單元之坡向	3-15
圖 4-1 高程因子正方形、南-北向分析窗口之結果	4-3
圖 4-2 高程因子東-西向、西北-東南向分析窗口之分析結果.....	4-4
圖 4-3 高程因子東北-西南向分析窗口之分析結果	4-5

圖 4-4 地形粗糙度正方形、-北向分析窗口之分析結果	4-8
圖 4-5 地形粗糙度東-西向、西北-東南向分析窗口之結果	4-9
圖 4-6 地形粗糙度東北-西南向分析窗口之結果	4-10
圖 4-7 五種坡度分析之結果	4-12
圖 4-8 坡度粗糙度正方形、南-北向分析窗口之篩選結果	4-15
圖 4-9 坡度粗糙度東-西向、西北-東南向分析窗口之結果	4-16
圖 4-10 坡度粗糙度東北-西南向分析窗口之結果	4-17
圖 4-11 坡度粗糙度正方形、南-北向分析窗口之篩選結果	4-18
圖 4-12 坡度粗糙度東-西向、西北-東南向分析窗口之結果	4-19
圖 4-13 地形開闊度八方位分析窗口、南-北向分析窗口之分析結果	4-21
圖 4-14 地形開闊度東-西向、西北-東南向分析窗口之結果	4-22
圖 4-15 地形開闊度東北-西南向分析窗口之結果	4-23
圖 4-16 利用地形開闊度與坡度門檻值篩選虛擬張力裂隙地形之結果	4-25
圖 4-17 虛擬蝕溝地形之高程(M)	4-26
圖 4-18 高程因子之蝕溝虛擬地形分析	4-28
圖 4-19 地形粗糙度之蝕溝虛擬地形分析	4-29
圖 4-20 坡度因子之蝕溝虛擬地形分析	4-30
圖 4-21 坡度粗糙度之蝕溝虛擬地形分析	4-31
圖 4-22 地形開闊度之蝕溝虛擬地形分析	4-32
圖 4-23 利用地形開闊度與坡度門檻值篩選虛擬蝕溝地形之結果	4-33
圖 4-24 最佳提取地形特徵之窗口方向與特徵方向垂直	4-34

圖 5-1 研究區域衛星影像圖	5-1
圖 5-2 研究區域高程圖(M)	5-2
圖 5-3 研究區域坡向圖	5-2
圖 5-4 研究區域坡度圖	5-3
圖 5-5 研究區域之邊坡單元劃設.....	5-4
圖 5-6 邊坡單元出現頻率最高之坡向做為代表坡向.....	5-4
圖 5-8 地形粗糙度八方位分析窗口之分析結果.....	5-6
圖 5-9 地形粗糙度南-北向、東-西向分析窗口之分析結果.....	5-7
圖 5-10 地形粗糙度東北-西南向、西北-東南向分析窗口之分析結果.....	5-8
圖 5-11 坡度分析窗口之分析結果	5-10
圖 5-12 坡度粗糙度八方位分析窗口之分析結果.....	5-12
圖 5-13 坡度粗糙度南-北向、東-西向分析窗口之分析結果.....	5-13
圖 5-14 坡度粗糙度東北-西南向、西北-東南向分析窗口之分析結果.....	5-14
圖 5-15 地形開闊度八方位分析窗口之分析結果.....	5-16
圖 5-16 地形開闊度南-北向、東-西向分析窗口之分析結果.....	5-17
圖 5-17 地形開闊度東北-西南向、西北-東南向分析窗口之分析結果.....	5-18
圖 5-18 天空開闊度八方位分析窗口之分析結果.....	5-20
圖 5-19 天空開闊度南-北向、東-西向分析窗口之分析結果.....	5-21
圖 5-20 天空開闊度東北-西南向、西北-東南向分析窗口之分析結果.....	5-22
圖 5-7 目標微地形特徵之判釋結果	5-24
圖 5-21 研究區域面積	5-25

圖 5-22 網格外擴示意圖.....	5-26
圖 5-23 第一組門檻值試驗組_全單方向	5-29
圖 5-24 第一組門檻值試驗組_多方向	5-29
圖 5-25 第二組門檻值試驗組_全單方向	5-30
圖 5-26 第二組門檻值試驗組_多方向	5-30
圖 5-27 第三組門檻值試驗組_全單方向	5-31
圖 5-28 第三組門檻值試驗組_多方向	5-31
圖 5-29 第四組門檻值試驗組_全單方向	5-32
圖 5-30 第四組門檻值試驗組_多方向	5-32
圖 5-31 第五組門檻值試驗組_全單方向	5-33
圖 5-32 第五組門檻值試驗組_多方向	5-33
圖 5-33 第六組門檻值試驗組_全單方向	5-34
圖 5-34 第六組門檻值試驗組_多方向	5-34
圖 5-35 第二組門檻值之南北向分析結果	5-36
圖 5-36 第二組門檻值之東西向分析結果	5-36
圖 5-37 第二組門檻值之東北西南向分析結果	5-37
圖 5-38 第二組門檻值之西北東南向分析結果	5-37
圖 5-39 第四組門檻值之南北向分析結果	5-38
圖 5-40 第四組門檻值之東西向分析結果	5-38
圖 5-41 第四組門檻值之東北西南向分析結果	5-39
圖 5-42 第四組門檻值之西北東南向分析結果	5-39

第一章 前言

第一節 計畫緣起與目的

在大規模崩塌的發育過程中，常伴隨著地形的變化，而微地形特徵等地貌資訊可反應崩塌地的發育情形，因此崩塌地地形地貌判釋對於崩塌地的治理工作及防災規劃相當重要。地形計測(Geomorphometry)是將地形資訊量化的分析方法，而近年來空載光達(LiDAR)技術已趨近於成熟，數值地形模型精度的提升，對於微地形的分析方式及判釋方法，提供了更多發展性。目前地形地貌判釋常以人工的方式進行，許多研究利用地形因子組合出不同的可視化方法來讓人工判釋更加快速、精準，但其過程依然耗時，有時也會出現不準確的問題。甚至有部分的地形特徵無法利用可視化方法進行人工判釋，其原因可能是大部分可視化分析方法，都以鄰域分析提取中心網格周遭的地形資訊，將所有方向進行平均計算，分析過程中這些地形特徵，容易因為太多搜索方向造成均化而被忽略。從崩塌地的調查分析與研究成果中，可以看出張力裂縫等地形特徵與崩塌地坡向有一定的方向關係。因此本研究納入地形因子的方向性考量，進一步探討具方向性之地形計測分析是否能突顯地形的細部變化，提升地形地貌判釋的準確度，減少人為之誤判，並提供決策單位有效的運用及參考。

第二節 工作項目及內容

一、相關資料蒐集

- (一) 蒐集地形特徵判釋的相關文獻
- (二) 蒐集崩塌地地形地貌判釋之地形因子、可視化分析方法等文獻
- (三) 蒐集集水區基本資料

二、方向性分析窗口形狀、大小及地形因子之選擇評估

- (一) 利用建立之虛擬數值高程模型，設定不同多方向窗口形狀、大小及地形因子進行分析，以判釋地形特徵。
- (二) 設定不同單一方向窗口形狀、大小及地形因子進行分析，以判釋地形特徵。
- (三) 比較多方向窗口、單一方向窗口地形特徵判釋成果，評估適合之窗口方向性、形狀、大小及地形因子。

三、自動化判釋集水區可能崩塌區位以及驗證

- (一) 利用集水區之數值地形模型及反轉後數值地形模型，進行集水區邊坡單元之劃分，並決定邊坡單元之坡向。
- (二) 配合邊坡單元之坡向，根據窗口方向性、形狀、大小及地形因子之選擇建議，分析集水區坡面之地形特徵，自動化判釋集水區可能崩塌區位。
- (三) 選擇集水區可能崩塌坡面，委託專業人員進行地質地形特徵判釋，驗證自動化判釋成果。

第三節工作項目進度表

本研究自決標日起至民國一百零九年十二月三十一日完成，預定進度表如表 1-1 所示。

表 1-1 計畫預定執行進度表

工作項目	內容	109年									
		3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
相關資料蒐集	文獻蒐集	■	■	■							
	集水區資料蒐集			■	■						
方向性窗口與地形因子之選擇評估	建立虛擬數值地形模型	■									
	以多方向窗口進行地形特徵判釋		■	■	■	■					
	以單一方向窗口進行地形特徵判釋		■	■	■	■					
	評估單一方向與多方向窗口之地形判釋結果				■	■	■	■			
自動化判釋集水區可能區位及驗證	劃分集水區之邊坡單元					■	■				
	利用邊坡單元之坡向分析集水區坡面的地形特徵					■	■	■	■		
	現地調查驗證判釋結果							■	■	■	
查核點	工作執行計畫書		■								
	期中報告					■					
	期末報告									■	
	成果報告										■
進度累計百分比		10	20	30	45	60	70	80	85	95	100

第二章 文獻收集

第一節 崩塌地地形特徵

千木良雅弘（2006）提到深層崩塌的規模定義為崩塌土方量達 10 萬立方米，崩塌區域尺寸為，長、寬、深分別為 $100\text{m} \times 100\text{m} \times 10\text{m}$ 。陳聯光等(2012)彙整國際間對深層崩塌的定義如下，當崩塌面積超過 10 公頃、土方量達 10 萬立方公尺或崩塌深度在 10 公尺以上之山坡滑動，稱為大規模崩塌。

大規模崩塌地可能存有坡頂緩斜面、崩崖、反斜崖、裂縫、蝕溝、線狀凹地與坡趾隆起等地形特徵(如圖 2-1)。水土保持局(2015)透過大規模崩塌影響範圍案例資料庫建置及劃設方法蒐集，訂定具體可推動的大規模崩塌影響範圍劃設方法，再透過高精度地形資料上的崩塌地形、地質及構造特徵來判斷其發生區範圍。

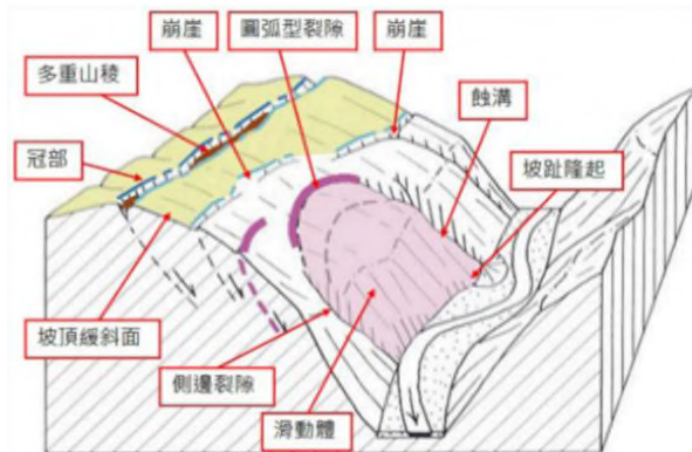


圖 2-1 利用微地形要素進行潛在大規模崩塌區範圍之劃設(水土保持局，2015)

由於 LiDAR 光達技術漸趨成熟，加上能將植被去除的特性，因此更有機會觀察出潛在大規模崩塌的細部地形特徵(Chigira et al.,2004; 劉治中等，2010)，且在一定規模的重力變形現象下，是有可能從地形特徵判釋出大規

模崩塌的可能位置及跡象(如圖 2-2)，其中大規模崩塌的地形特徵包括主崩崖、次崩崖、冠部崩崖、反向坡、張力裂隙、陷溝等線形特徵(Varnes, 1978; 鈴木隆介, 2000; Agliardi et al., 2001; 日本土木研究所, 2008)，其特徵說明如下：

冠部為大規模崩塌的起始位置，也是崩塌滑動體與邊坡分離之處，當滑動體受重力作用時，會因為坡面拉張製造出與崩塌方向垂直的裂縫，當裂縫持續擴大使表土滑動就形成崩崖。陷落區是大規模崩塌材料的主要來源，地形呈現凹槽狀，其特徵包含主崩崖、次崩崖、反向坡。主崩崖為主要的滑動面，是大規模崩塌的重點判釋特徵；次崩崖為滑動體內部較早期的崩崖，若次崩崖使坡面形成階梯狀，則反映出內部存在許多舊崩塌。當滑動體呈現圓弧滑動時，可能會使坡面反轉朝向冠部形成凹谷，朝向冠部之坡面為反向坡，凹谷則為陷溝。隆起區為大規模崩塌的趾部變形帶及崩崖堆積區，主要受到壓應力影響而呈現隆起狀，可在該區看見破碎或變形之岩盤及侵蝕溝。

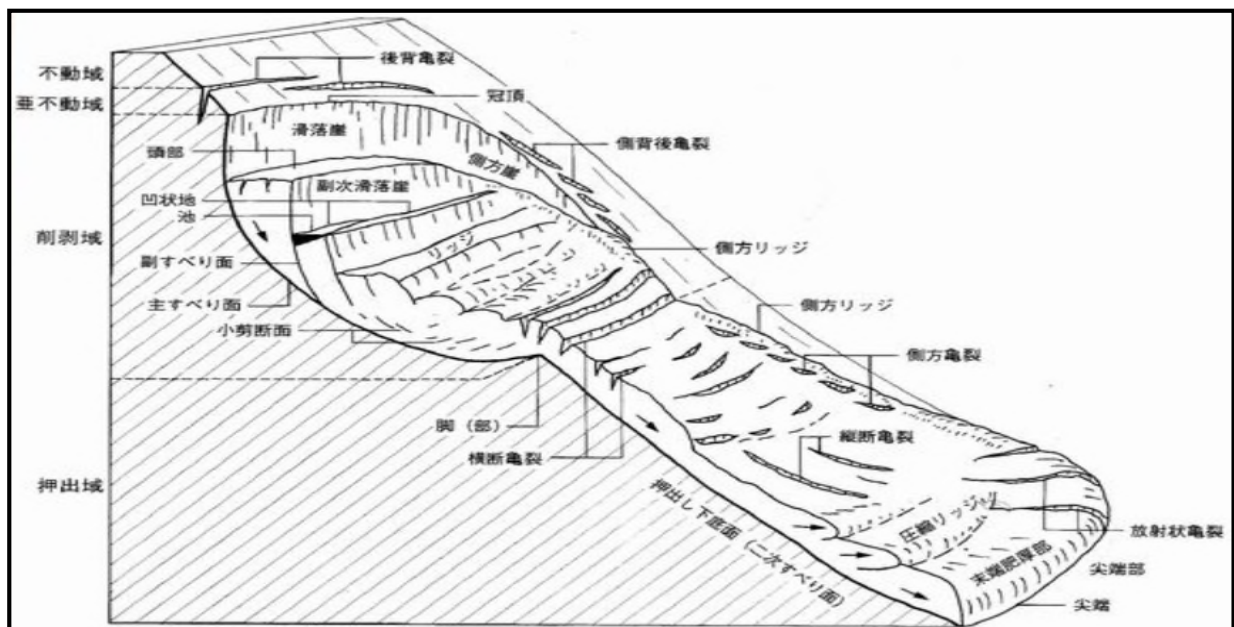
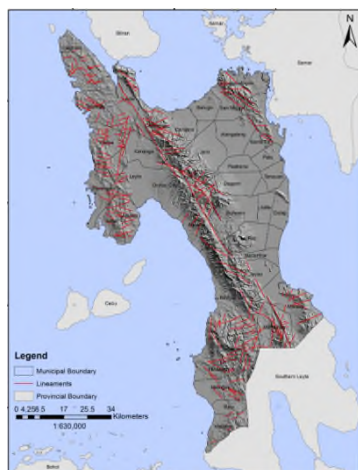


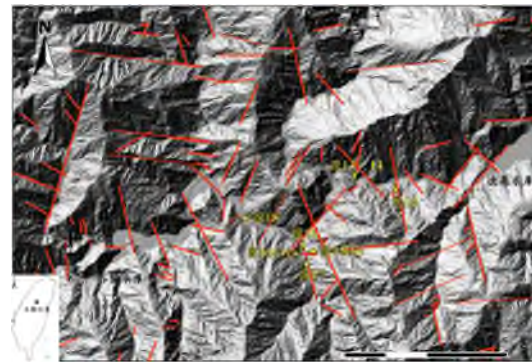
圖 2-2 大規模崩塌發育過程中的地形特徵(鈴木隆介，2000)

第二節 人工判釋地形特徵

O'Leary et al.(1976)提出線形構造(lineament)的定義，泛指在航空照片及衛星影像上顯示出來的線狀地形特徵，呈直線或略呈曲線狀，可能為地表高程的變化或走向的改變，可反應地底的岩層構造。許多研究將高程資料利用 3D 陰影圖繪製山脊、河谷、山坡地等線形構造(Begg and Mouslopoulou, 2010; Grebby et al., 2012; Eco et al., 2015; 徐乙君和張中白，2016)，雖然能快速且大規模繪製構造的分布，但還是無法了解構造的種類及細部特徵，仍需要進行野外調查才能得知確切資訊，如圖 2-3。



(Eco et al., 2015)



(徐乙君和張中白，2016)

圖 2-3 利用陰影圖判釋線形構造

大自然的地形複雜且沒有規律，因此較常用人工方式進行地形判釋，為了提高判釋的速度及準確度，Chiba et al.(2008)結合地形開闊度與地形坡度並以紅黑色階繪製出紅色立體地圖，因視覺上對地形進行判釋而有顯著效果，如圖 2-4。後續也有研究嘗試將坡度、坡向、地形粗糙度、開闊度等地形參數進行組合，並搭配不同的顏色渲染方法，嘗試找出突顯地形特徵的最佳組合，如王意華和曾義星(2017)嘗試嘗試不同地形參數(坡度、坡向、開闊度等)搭配不同色彩渲染方法(HSV、HSI、RGB)，找出能突顯地形特徵

的組合，如圖 2-5 所示，而戶堅一郎(2012)利用三種地形因子(高程、曲率、坡度)，以不同顏色渲染及不同透明度進行圖層疊套，製作出 CS 立體圖 (Curvature and Slope topographical map)，如圖 2-6。

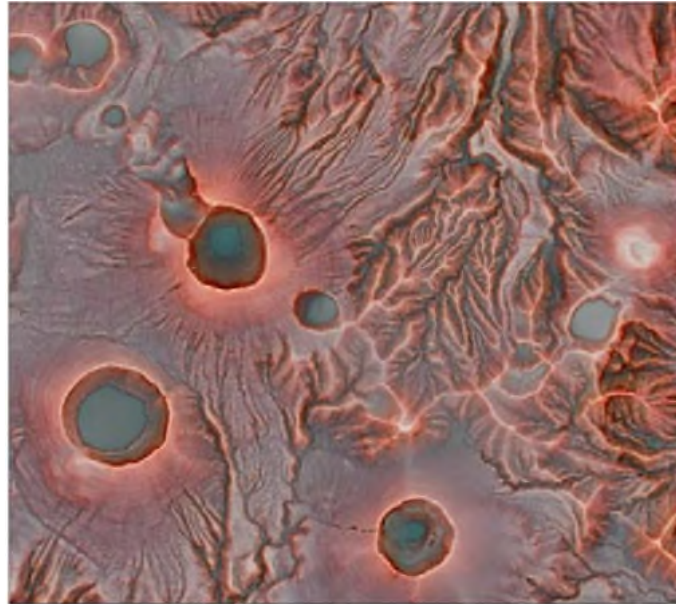


圖 2-4 10m 解析度的紅色地圖(Chiba et al., 2008)

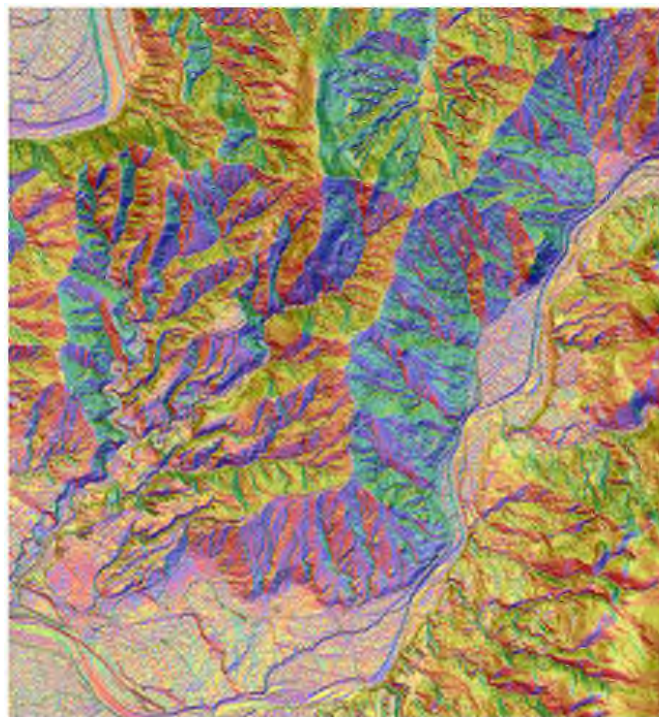


圖 2-5 坡度疊合坡向之渲染圖(王意華和曾義星，2017)

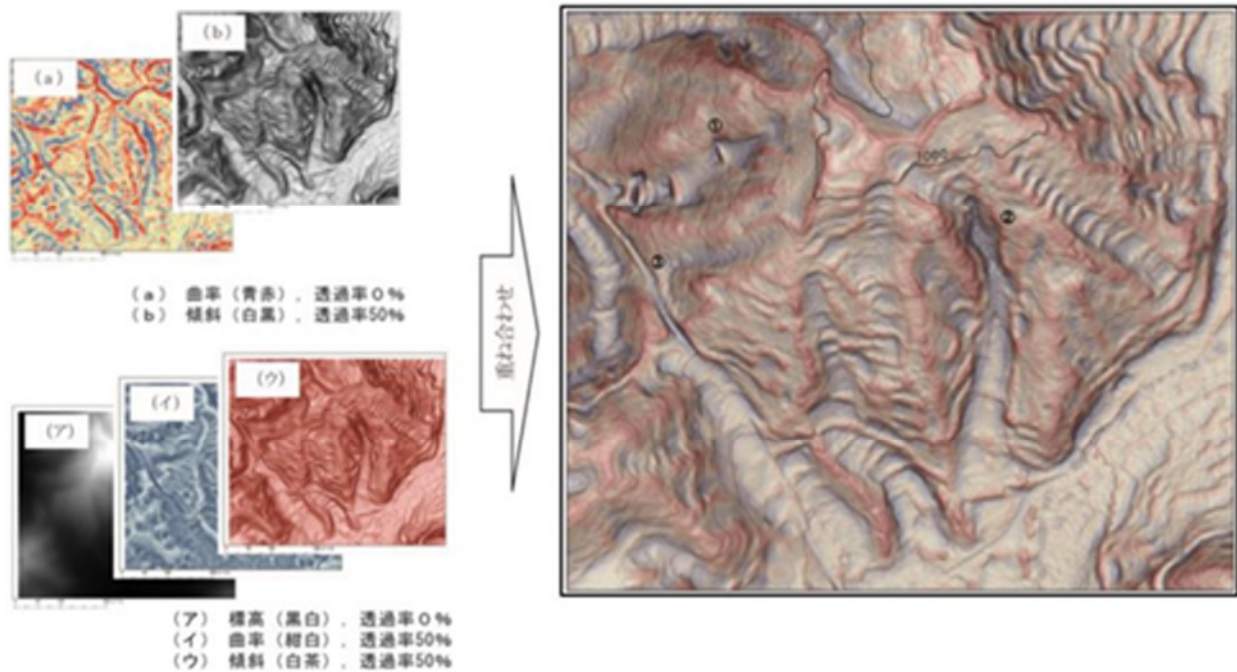


圖 2-6 透過曲率、坡度、高程配合不同顏色透明度疊套 CS 立體圖(戶堅一郎，2012)

第三節 多方向窗口分析

現有的可視化分析方法並非能將所有地形特徵分辨出來，相關文獻中，常用於可視化方法的地形參數有坡度、開闊度、粗糙度，這些地形參數皆是提取中心網格周遭所有方向的數值進行平均。

湯國安和楊晰(2006)分別利用 ArcGIS 中的水文模組、地形表面模組分析後得到匯流量及坡向變化率，再配合多方向的鄰域平均分析，以正、負地形及門檻值，將結果求交集獲得山谷、山脊的地形特徵線(如圖 2-7 所示)。

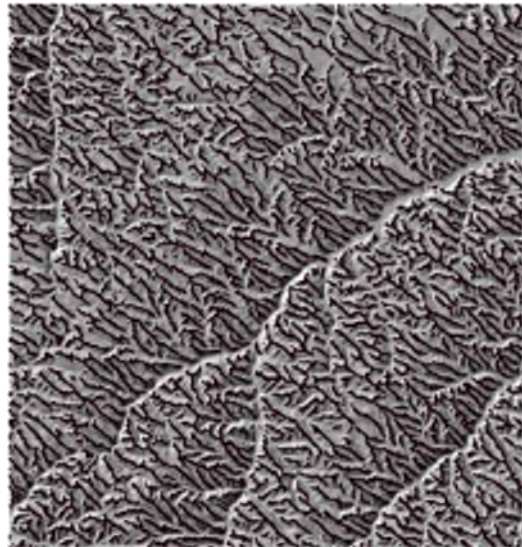


圖 2-7 利用坡向變化率及鄰域平均分析提取山脊線(湯國安和楊晰，2006)

而 Grohmann et al.(2011)使用六種不同地形計測方法(面積比、光譜向量標準差、曲率標準差、高程標準差、坡度標準差、殘差地形標準差)計算地表粗糙的程度(如圖 2-8)，嘗試以 $3\times 3, 5\times 5, 7\times 7, 9\times 9, \dots, 51\times 51$ 正方形分析窗口進行分析，其中坡度標準差在破碎地形及平緩的坡面都有不錯的分析結果，加上運算簡易快速，因此適合做為計算地表粗糙程度的指標。

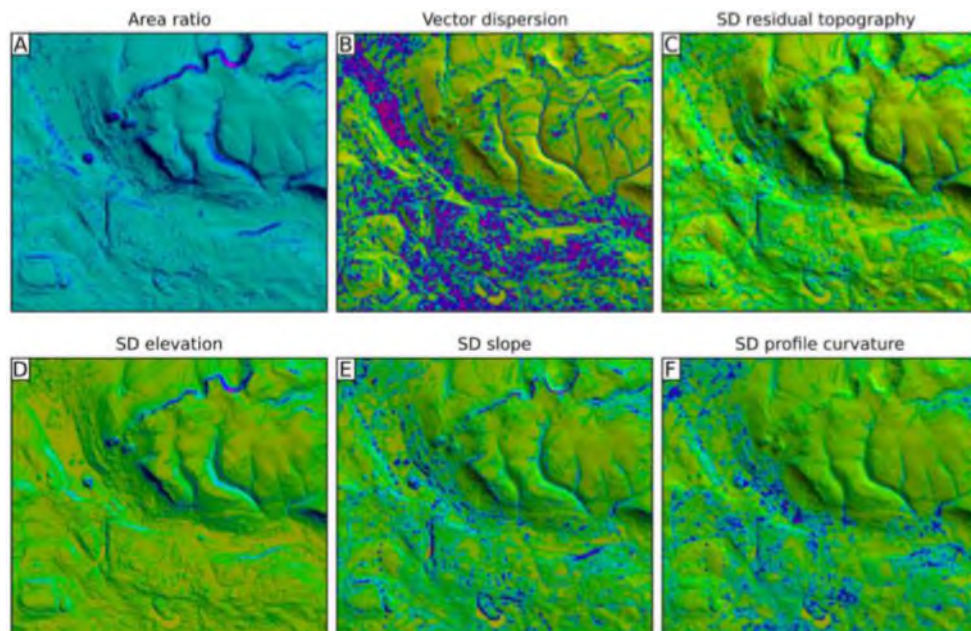


圖 2-8 比較六種計算地表起伏程度的地形計測方法(Grohmann et al, 2011)

另外，有許多學者探討分析窗口的大小對於地形測計影響，如郭芳芳等(2008)利用正方形分析窗口，提取最大高程值及最小高程值之差值代表該區域的地形起伏度，依照不同的邊長大小進行統計分析，在統計曲線的斜率趨於平穩時，可以得知最佳分析窗口為正方形 $2\text{km} \times 2\text{km}$ (如圖 2-9)，說明研究區域在該邊長的分析窗口下地形起伏反映越佳，因此可以得到最能反映真實地形起伏的分析窗口。

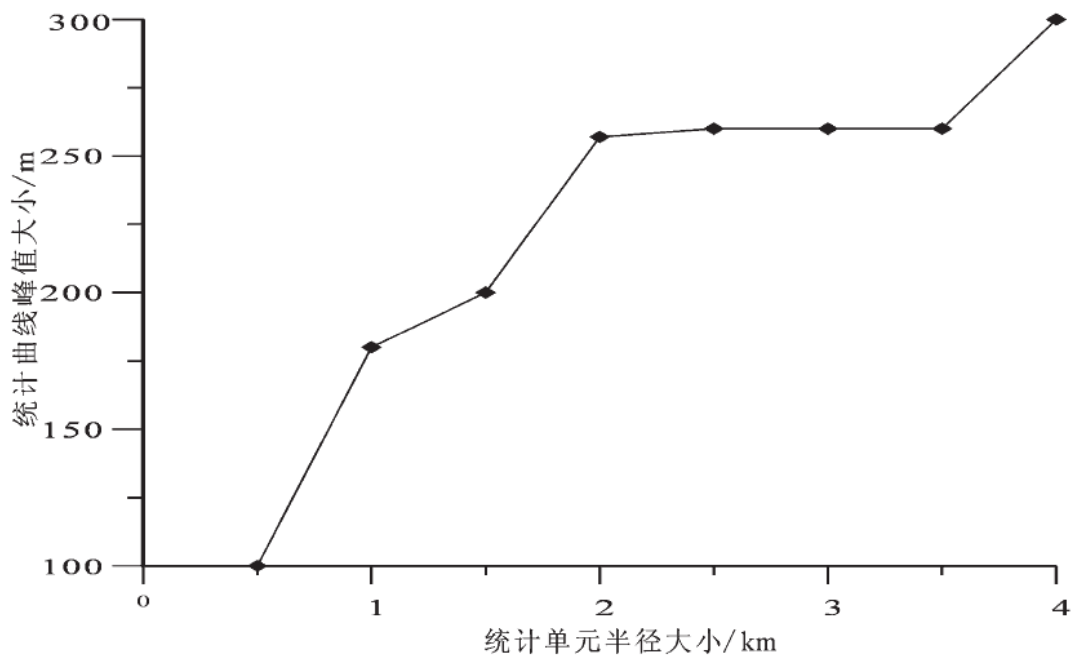


圖 2-9 起伏度值/滑坡個數之統計曲線(郭芳芳等，2008)

蕭宇伸和郭耀駿(2017)也提出不同的地形開闊度分析方法，有別於一般地形開闊度計算最大天頂角、最小天底角，其地形開闊度為計算目標網格點與周邊網格點之水平距離與高程差所形成的縱角平均值，如圖 2-10 所示。以 A 點為中心點，計算單窗半徑 r 之範圍內(如圖 2-11)所有網格點與 A 點所構成的縱角值 ϕ 之總和，再取其平均值做為地形開闊度值，並且測試不同的地形開闊度搜尋單窗半徑，結果顯示最佳單窗半徑為 1km 與 1.2km。

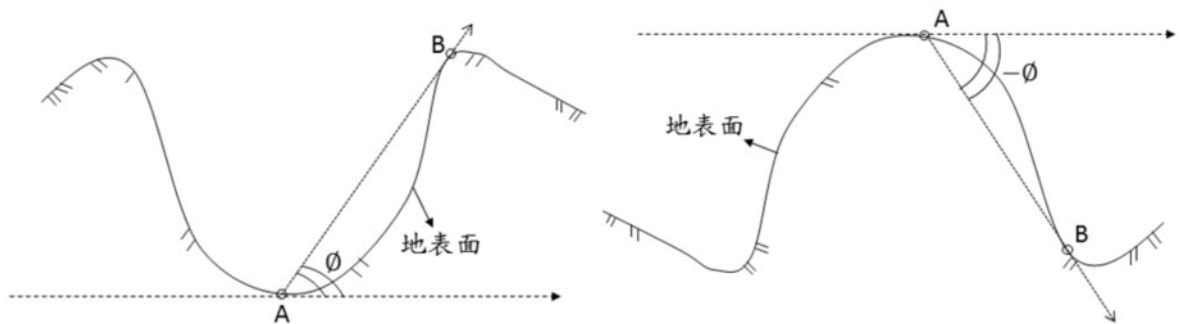


圖 2-10 正負開闊度示意圖(蕭宇伸和郭耀駿，2017)

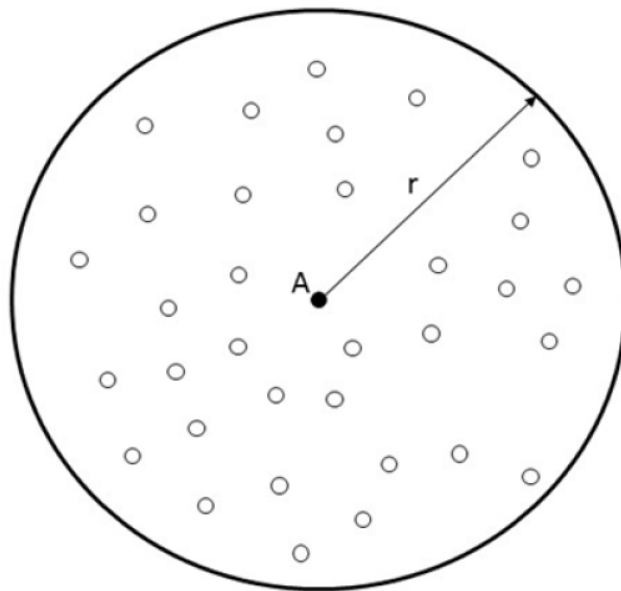


圖 2-11 地形開闊度計算單窗半徑示意圖(蕭宇伸和郭耀駿，2017)

王軻等(2015)利用正負開闊度之差值設置門檻值的方法，並討論以不同長度的搜索半徑提取黃土塬區溝沿線之成效，結果顯示在綜合層面上，此方法根據不同地域特性調整搜索半徑後能保存更完整、更具連續性的溝沿線特徵，如圖 2-12。

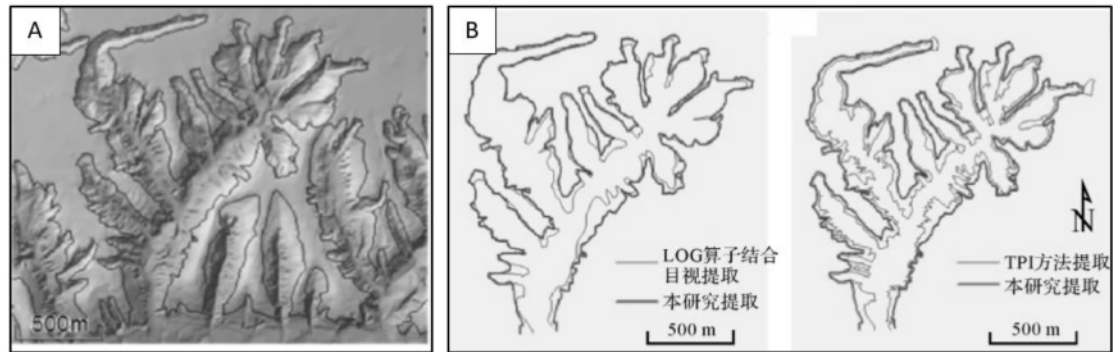


圖 2-12 (A)正負開闊度差值 10° 為門檻值提取溝沿線(B)與其它二法做比較
(王軻等，2015)

第四節 單向窗口分析

周毅等(2007)提出了具有方向特性的線狀窗口分析方法，有別於傳統的多方向鄰域分析，以 $R \times 1 \times 1 \times R$ 的分析窗口(如圖 2-13)求得窗口內的最大值、最小值，再將結果與原來的 DEM 相減，若該網格是地形特徵點，則值為 0，最後南北向、東西向的地形特徵點聯集後，可以得到山谷線、山脊線(如圖 2-14)，改善了以多方向鄰域分析方法所得特徵點無法連成線的問題，能凸顯地形在特定方向的變化。

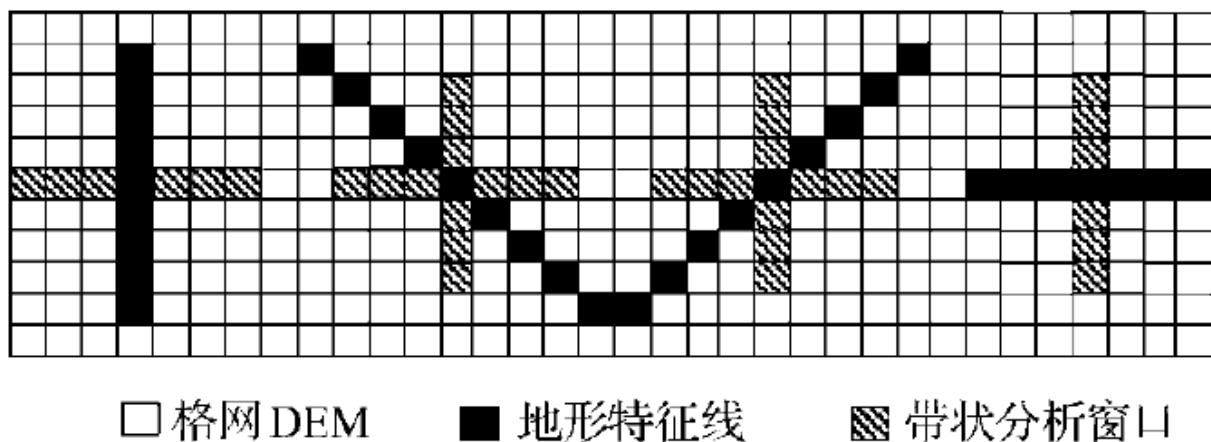


圖 2-13 特徵線的四種基本走向及分析窗口(周毅等，2007)

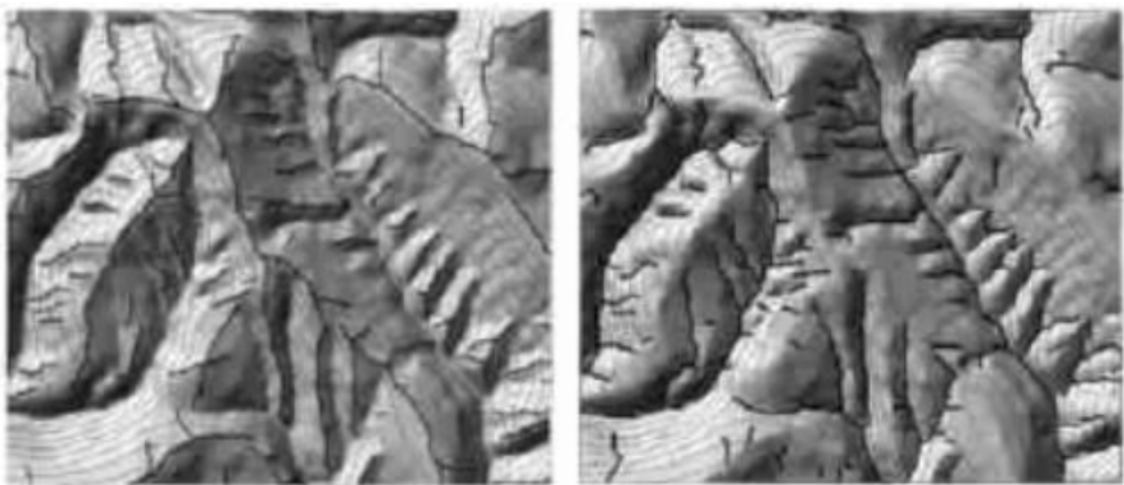


圖 2-14 韭園溝樣區山脊線(左)、山谷線(右)(周毅等，2007)

鄒昆等(2018)分別沿水平、垂直及兩個斜 45° 方向對數值高程模型進行單方向性分析窗口的全局斷面掃描(如圖 2-15),再利用條件式將特徵線做延伸,使特徵線更加完整、連續,其中在延伸的步驟考慮了特徵方向與掃描斷面相互垂直可以得到顯著的延伸效果,如圖 2-16。

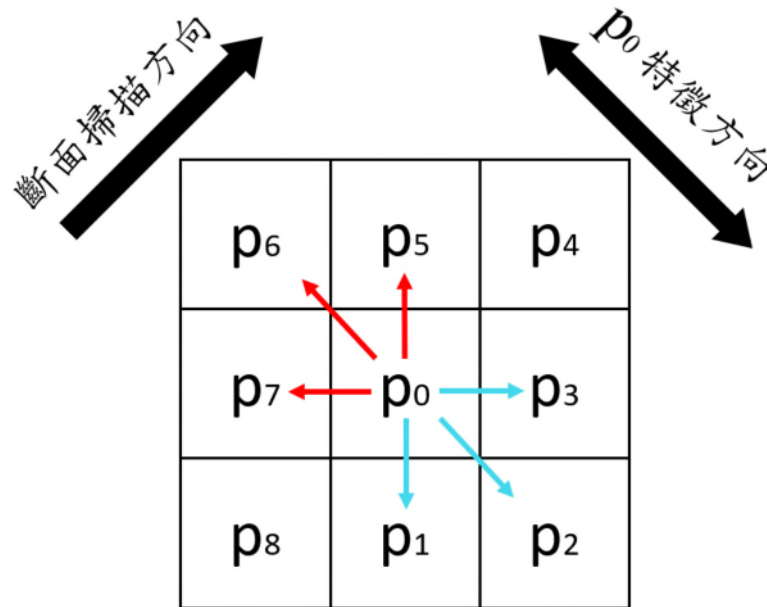


圖 2-15 特徵延伸示意圖(鄒昆等，2018)

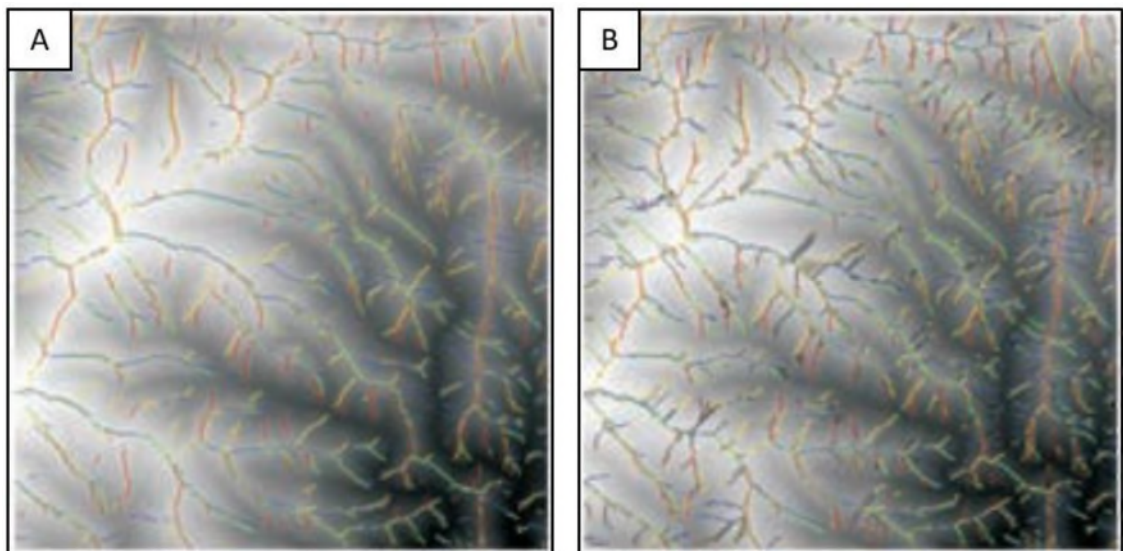


圖 2-16 (A)全局斷面掃描(B)特徵線進行延伸後(鄒昆等，2018)

涂杰等(2018)將線狀窗口分析，應用於月球表面的隕石坑的輪廓線分析，以 $R \times 1$ 、 $1 \times R$ 的分析窗口求得窗口內的平均值，設定門檻值後將特徵點聯集，得到完整的隕石坑輪廓線，如圖 2-17，並嘗試設定不同門檻值直到輪廓線完整清晰，再進行聯集得到完整的隕石坑輪廓線，如圖 2-18。

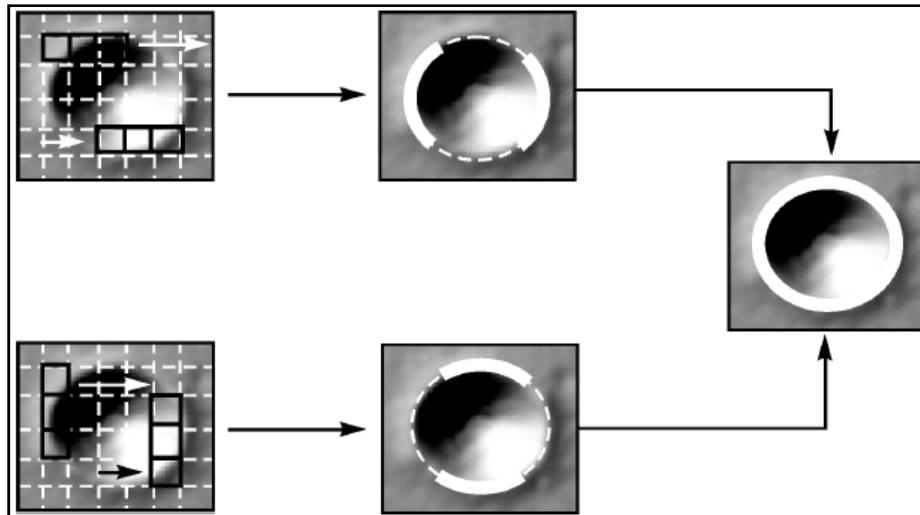


圖 2-17 提取月球隕石坑特徵線(涂杰等，2018)

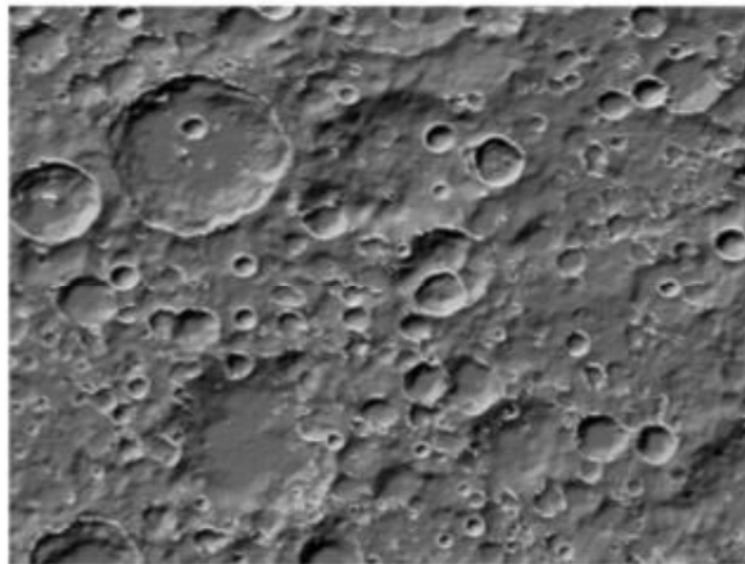


圖 2-18 月陸樣區以 1×9 、 9×1 線狀窗口提取最佳結果(涂杰等，2018)

第五節 分析單元

本研究在決定分析窗口之方向時，需考慮與微地形特徵方向是否垂直來得到最佳提取效果，其中大規模崩塌的微地形特徵方向與坡向有很大的相關性，因此需要將集水區進行劃分，統計出現頻率最高的坡向做為代表該分析單元之坡向。一般常用於集水區之劃分方法可分為6種，分別是網格、地域單元、均一條件單元、地形單元、行政區單元、邊坡單元(Van Den Eeckhaut et al., 2009；林俐玲等，2011)。

網格單元(Grid cell)是將地表劃分為大小相同的基本單元，並視為均值區紀錄其屬性，由於適應性良好且容易理解，因此被廣泛應用統計分析、地形計測方法、影像分析。地域單元(Terrain units)常應用於有關地形、地質之研究，主要根據自然環境提供的地理資訊進行劃分。均一條件單元(Unique condition units)原先應用於礦物上的分類，但對於地理統計分析而言，種類過多會造成分析結果不夠明確，而缺乏區域的代表性。行政單元(Administrative units)適用於大區域進行整合的統計分析單元，常依據國家、行政區域、人口、宗教等人文因子進行劃分。地形單元(Topographic units)是將集水區或坡面劃分為不同大小、不規則形狀的流道元素(stream tube element)的分析單元，其上邊界及下邊界由周遭的等高線來制定，側向邊界則是由等高線及水流渠道的正交線來繪製。

邊坡單元(Slope unit)是利用數值高程模型及反轉之數值高程模型進行水文分析，在各別提取集水區範圍後進行劃分獲得之單元，其具有區分地形、坡面的特性，因此特別適合做為滑坡之崩塌潛勢的相關分析。(Xie et al., 2004；陳振宇和藤田正志，2015；吳俊毅和葉彥駒，2017；Ba et al., 2018；黃韋凱，2019)。

在本節回顧中，邊坡單元的劃分方法同時具備地形特徵也與坡面及坡向有很大的相關性，因此本研究在進行坡向的統計分析時使用邊坡單元為劃分依據。

第三章 研究方法

第一節 研究流程

根據地形特徵的特性，經由模擬不同坡向之地形判釋結果，選擇判釋效果較佳之分析窗口形狀、地形因子，再由精度至少為 1 米之集水區原始 DEM 資料，依照模擬結果設定方向性窗口形狀；

為了能夠快速得知不同的方向性分析窗口對地形特徵的判釋成效，本研究分別建置張力裂隙與蝕溝之虛擬 DEM (示意圖如圖 3-1)，模擬及比較多方向與單方向的判釋結果，且探討不同的窗口半徑對於判釋結果的影響，該結果能做為集水區坡面選擇分析窗口形狀以判釋地形特徵的基礎。

另一方面，將 DEM 資料及反向 DEM 資料進行水文分析得到邊坡單元，再經由統計分析得到該坡向出現頻率最高之坡向，做為該單元之代表坡向，配合模擬結果較佳之窗口形狀，進行各地形因子分析，最後選出篩選結果較佳的地形因子進行地形特徵判釋，並驗證判釋成果，流程如圖 3-2 所示。

287.0	286.7	286.5	286.6	286.2	285.9	286.0	286.4	286.2
286.1	285.9	285.8	285.6	285.5	285.6	285.5	285.6	285.3
285.5	285.2	285.0	284.9	284.7	284.6	284.4	284.3	284.5
284.6	284.3	284.3	284.0	283.8	283.5	283.5	283.8	283.6
283.9	283.5	283.4	275.3	274.9	275.0	282.8	283.1	283.0
283.6	282.9	275.1	282.4	282.2	281.8	275.4	281.6	282.3
282.2	274.7	281.8	281.5	281.4	281.0	281.1	275.1	281.0
281.5	281.8	280.9	280.8	280.4	280.1	280.3	280.6	280.5
280.7	280.4	280.3	279.9	279.8	279.4	280.0	279.7	279.7

圖 3-1 虛擬張力裂隙之數值高程模型

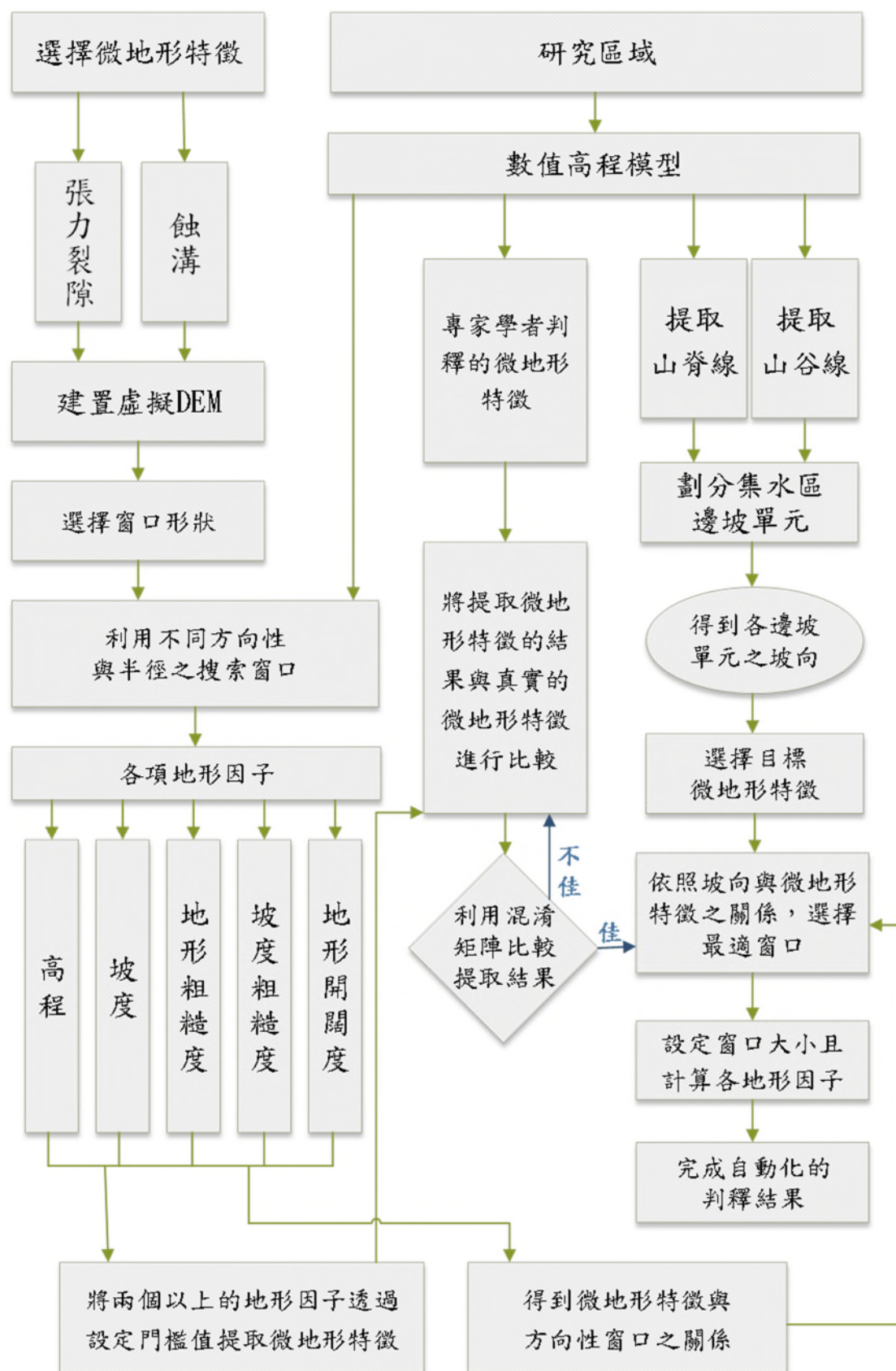


圖 3-2 本研究流程圖

第二節 微地形特徵之特性

透過崩塌地地形特徵能夠判釋出大規模崩塌潛勢區位，因此崩塌發育的起始位置之判釋顯得相當重要。在滑動體與邊坡分離初期發育成為崩崖前，會產生凹陷之裂隙。倘若已進入發育中期，則滑動體有可能因圓弧滑動使坡面反轉形成凹谷，也同時產生反向坡，然而大雨造成坡面劇烈沖蝕產生的蝕溝，也是使坡面不穩定的原因之一。張力裂隙、反向坡、蝕溝皆為凹陷地形，且與坡面之坡向有一定的相關性(如圖 3-3)，因此本研究嘗試在不同之地形計測方法中納入方向性的考量後，以進行後續分析。

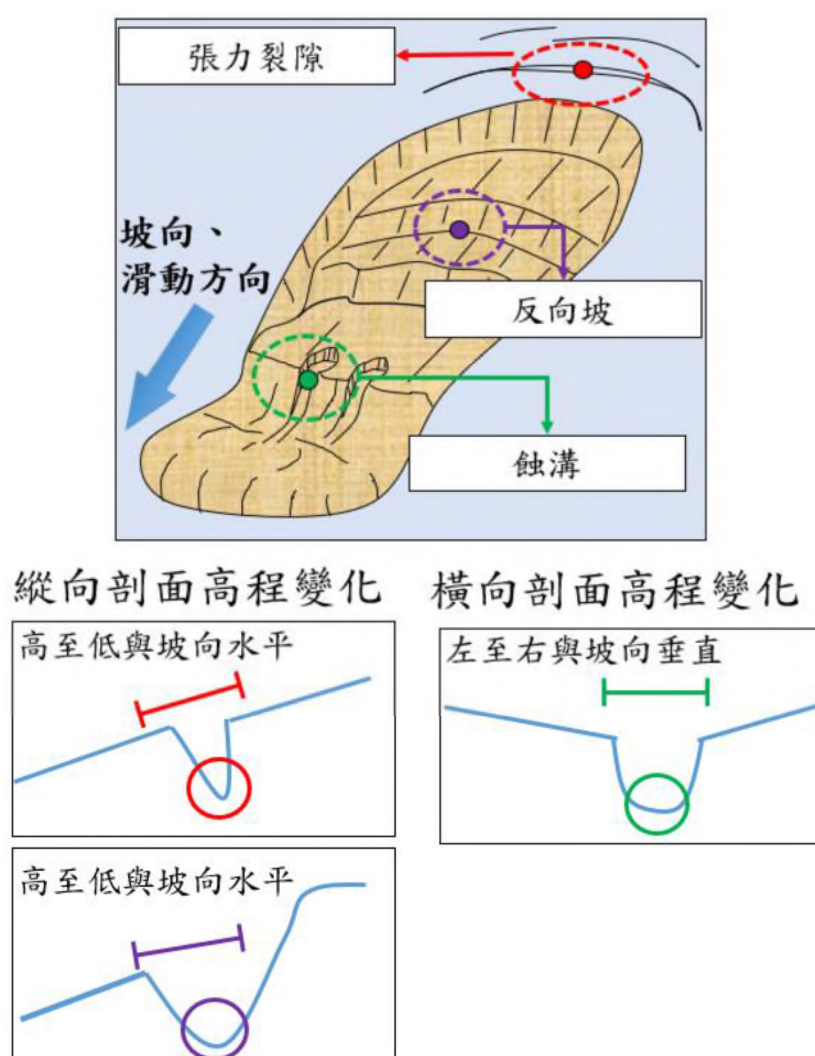


圖 3-3 張力裂隙、反向坡、蝕溝的微地形特徵

第三節 地形因子分析

一、高程資料

由於 2009 年莫拉克颱風造成台灣嚴重的地質災害，經濟部中央地質調查所於 2013 年，以空載光達(LiDAR)完成大範圍的地形掃描，濾除植被的特性，有助於判釋地形特徵。本研究擬使用空載光達產製解析度為 1 米之數值地形模型進行後續分析，如圖 3-4。

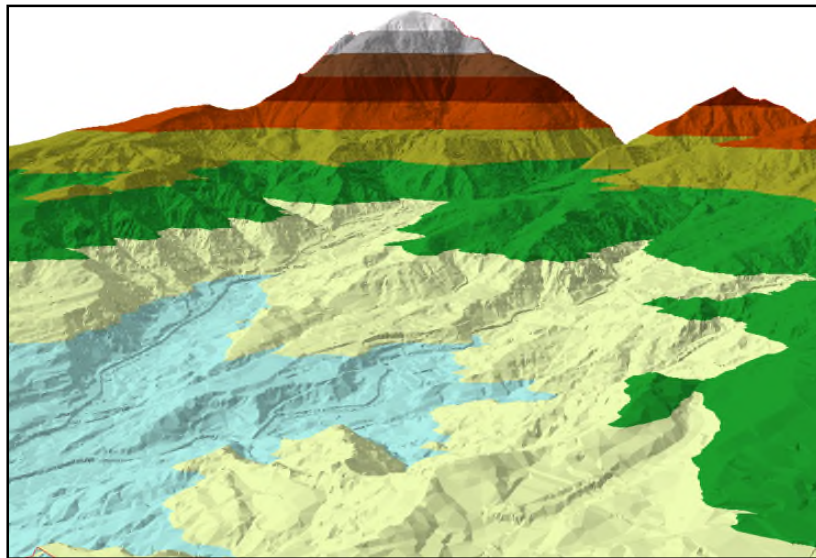


圖 3-4 研究區域 1m 數值地形模型(示意圖)

二、坡度

在 ArcGIS 軟體中，坡度以網格 e 為中心(如圖 3-5)，利用周遭 8 個高程網格之 X、Y 方向的變化率，最後取反正切函數，得到中心網格的坡度值。

$$X \text{ 方向變化率: } [dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g))/8 * \text{cell size}$$

$$Y \text{ 方向變化率: } [dz/dy] = ((i + 2h + g) - (c + 2b + a))/8 * \text{cell size}$$

$$\text{Slope} = \text{Atan} \sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2} * 180/\pi$$

a	b	c
d	e	f
g	h	i

圖 3-5 ArcGIS Slope 分析

三、地形粗糙度

Wilson and Gallant(2000)設定圓形搜索窗口(如圖 3-6)，將視窗內的地形起伏進行量化，求得圓內所有網格之高程標準差(S)，即為視窗中心點之地形粗糙度值，公式如下：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i (z_i - \bar{z})^2}{n_c - 1}}$$

其中， n_c 為視窗範圍內之點數； z_i 為各點之高度值； $\bar{z}$ 為視窗範圍內各點高度之平均值。

Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14
Z15	Z16	Z17	Z18	Z19	Z20	Z21
Z22	Z23	Z24	Z25	Z26	Z27	Z28
Z29	Z30	Z31	Z32	Z33	Z34	Z35
Z36	Z37	Z38	Z39	Z40	Z41	Z42
Z43	Z44	Z45	Z46	Z47	Z48	Z49

圖 3-6 圓形窗口包含網格示意圖

四、坡度粗糙度

計算方法與地形粗糙度類似，唯一不同處為地形粗糙度使用的是高程資料，而坡度粗糙度為坡度資料，能反應出視窗內坡度數值的起伏程度。

五、地形開闊度

Yokoyama et al.(2002)提出地形開闊度的概念，能反應出該分析窗口內地形凹與凸的程度，其主要分析方法是設紅點(A)為圓心，以等距離(L)將八個方位所有的天頂角($\varnothing_{LD}$)、天底角(Ψ_{LD})進行平均(如圖 3-7、圖 3-8)，最後相減後再次平均得到地形開闊度(I)，公式如下：

$$\varnothing_{LD} = 90 - \beta_{LD}$$

$$\Psi_{LD} = 90 - \delta_{LD}$$

$$\varnothing_L = (\varnothing_{L0} + \varnothing_{L45} + \cdots + \varnothing_{L315})/8$$

$$\Psi_L = (\Psi_{L0} + \Psi_{L45} + \cdots + \Psi_{L315})/8$$

$$I = (\varnothing_L - \Psi_L)/2$$

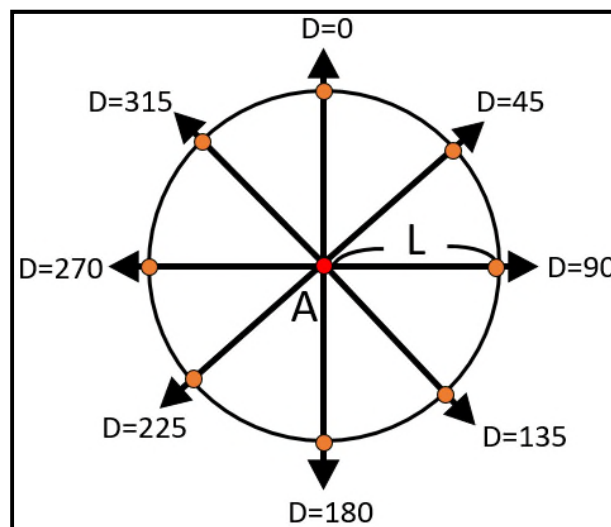


圖 3-7 搜索方位示意圖(修改自 Yokoyama et al., 2002)

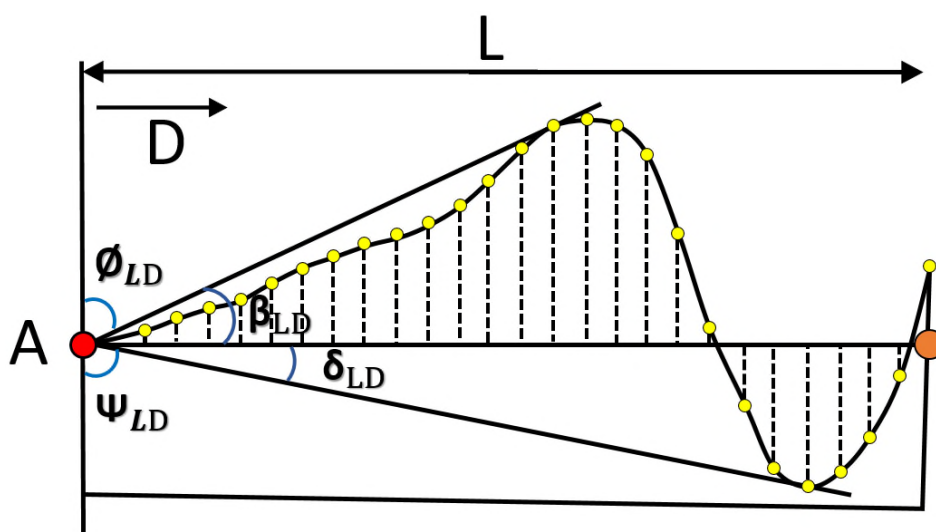


圖 3-8 天頂角、天底角示意圖(修改自 Yokoyama et al., 2002)

第四節 方向性窗口分析

在 ArcGIS 軟體中，可以將鄰域分析窗口設定為任意大小的矩形、任意半徑的圓、任意半徑的圓環、任意方向的扇形，也可以自訂不規則的分析窗口，並且對窗口內的網格進行運算，如圖 3-9。而多方向性窗口都具有資料均化的現象，因此本研究之多方向分析窗口以正方形做為代表，與 $R \times 1$ 、 $1 \times R$ 之單一方向窗口分析(周毅等，2007; 涂杰等，2018)一同進行討論，如圖 3-10。

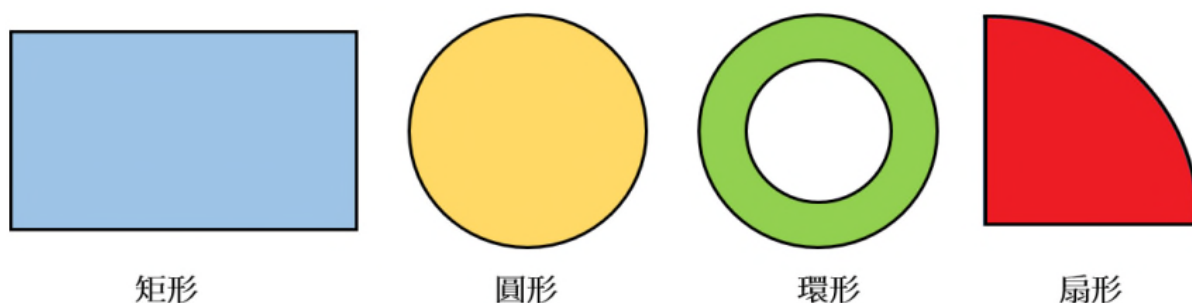


圖 3-9 常見的幾種分析窗口形狀

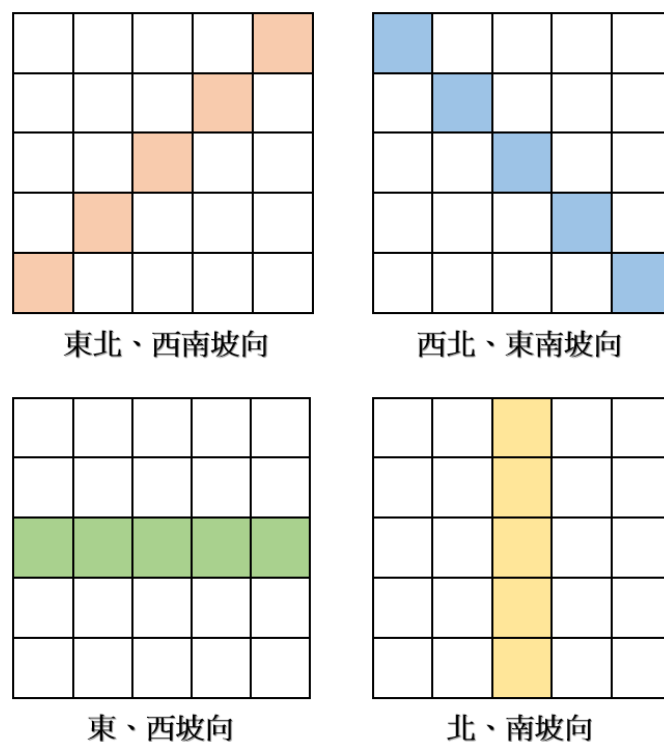


圖 3-10 依照不同坡向設置不同方向性窗口

本研究以虛擬數值地形模型(圖 3-1)針對張力裂隙的微地形特徵(圖 3-11)來進行地形因子分析方式之說明。

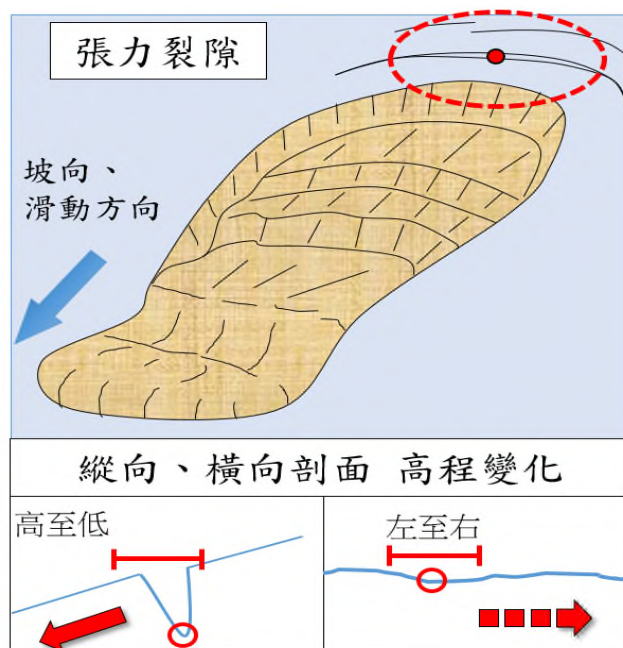


圖 3-11 張力裂隙在縱向剖面有明顯的高程變化

一、高程因子分析

為找出方向性分析窗口中的相對低點，參考周毅等(2007)提取山谷線的概念，將窗口內最小高程值取代中心網格的高程值，再將取代結果與原始虛擬網格高程資料相減，若該網格為0即可萃取出微地形特徵點(如圖 3-12)，而分析窗口則選擇方形多方向性窗口及南-北向、東-西向、東南-西北向、西北-東南向單方向性窗口，分別以 3m、5m、7m 不同直徑進行鄰域分析，共 15 種組合。

在得到虛擬網格高程資料的分析結果後，利用 ArcGIS 軟體的焦點分析工具(Focal Statistics)，將真實網格高程資料每一格逐一進行相同的鄰域分析(如圖 3-13)，並對多方向性窗口分析、單方向性窗口分析結果進行討論。

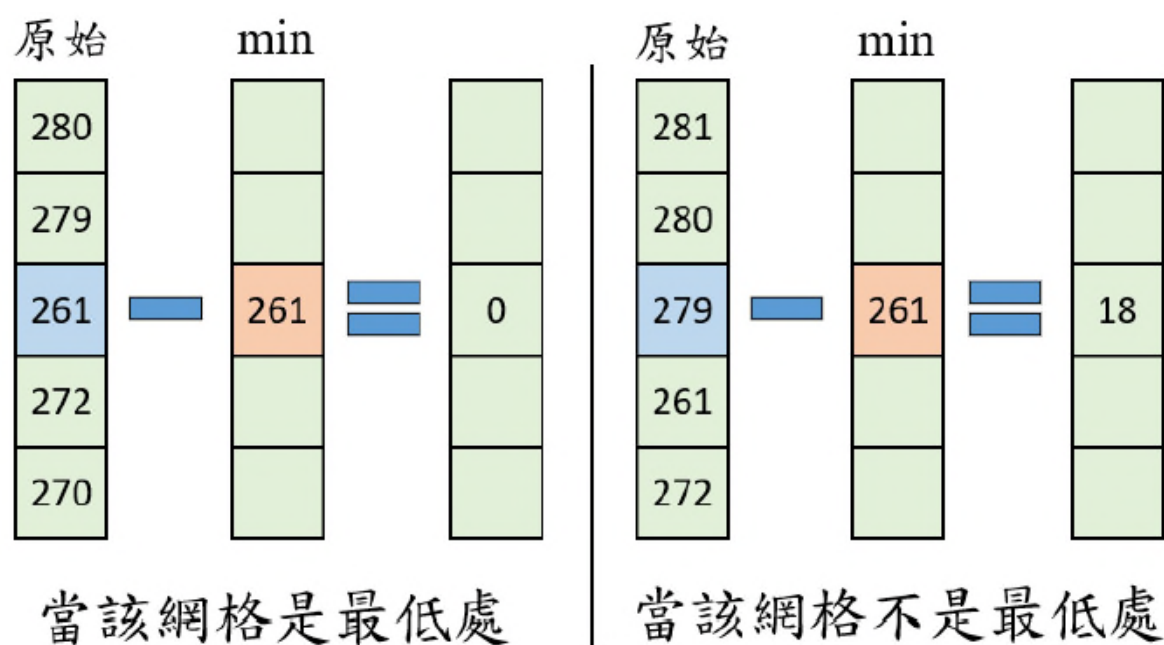


圖 3-12 利用虛擬網格高程資料提取地形特徵點之方法

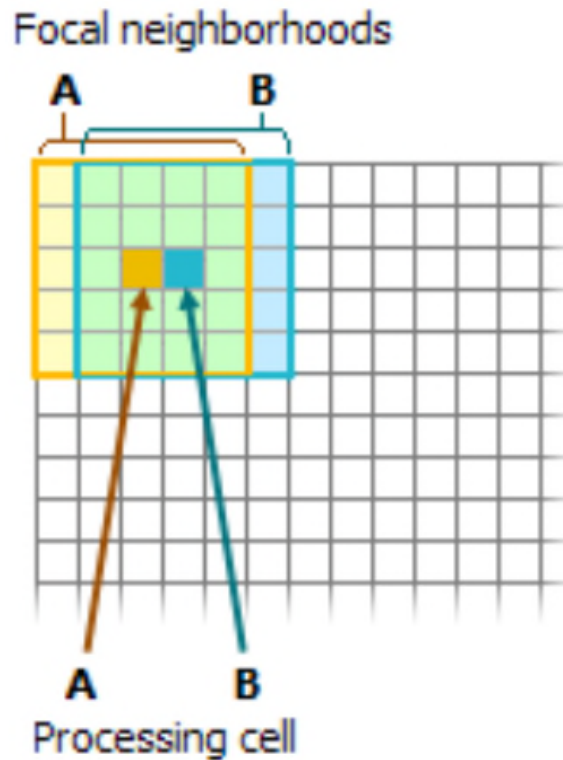


圖 3-13 ArcGIS 焦點分析工具

二、地形粗糙度分析

地形粗糙度分析方式為計算正方形窗口中的高程標準差。本研究嘗試分析以南-北向、東-西方向、東南-西北向、西北-東南向的單方向高程標準差，分別以 3×1 、 5×1 、 7×1 單方向性分析窗口 3×3 、 5×5 、 7×7 多方向性分析窗口進行分析，共 15 種組合。

在得到虛擬網格高程資料的地形粗糙度分析結果後，利用 Matlab 程式將研究區域的實際網格資料匯入，再依據地形粗糙度計算公式設定不同大小分析窗口進行高程標準差分析，並對多方向窗口分析、單方向性窗口分析結果進行討論。

三、坡度因子分析

常見的加權八鄰域坡度分析方式為計算多方向性分析窗口中的 X、Y 方向平均弧度相加獲得坡度變化率。為了降低均化帶來的影響，本研究嘗試分析以南-北向、東-西方向、東南-西北向、西北-東南向的單方向坡度變化率(如表 3-1)，最後比較多方向性分析窗口、單方向性分析窗口的坡度計算方法。

在得到虛擬網格高程資料的坡度分析結果後，利用 ArcGIS 坡度分析工具，對真實網格高程資料進行加權八鄰域坡度的坡度分析。另外，使用 Matlab 撰寫四種單方向性窗口的坡度分析，如同焦點分析工具(Focal Statistics)的計算方式，將真實網格高程資料每一格逐一進行分析，並對多方向性窗口分析、單方向性窗口分析結果進行討論。

表 3-1 單方向與多方向之坡度計算方式

分析窗口類型	坡度變化率	弧度計算方法
多方向性分析窗口	Slope 加權八鄰域	$\left[\left(\frac{(a + 2b + c) - (g + 2h + i)}{8 * \text{cell size}} \right)^2 + \left(\frac{(c + 2f + i) - (a + 2d + g)}{8 * \text{cell size}} \right)^2 \right]^{0.5}$
單方向性分析窗口	Slope 南-北	$((b - h)/2 * \text{cell size})^2)^{0.5}$
	Slope 東-西	$((f - d)/2 * \text{cell size})^2)^{0.5}$
	Slope 西北-東南	$((a - i)/2 * \text{cell size})^2)^{0.5}$
	Slope 東北-西南	$((c - g)/2 * \text{cell size})^2)^{0.5}$

四、坡度粗糙度分析

利用虛擬網格之坡度結果進行坡度粗糙度分析，一般坡度粗糙度為計算正方形多方向性分析窗口中的坡度標準差。本研究將五種不同坡度計算方法，再各別進行與該分析方向水平之單方向性窗口分析及多方向性窗口分析，分別以 3×1 、 5×1 、 7×1 單方向性分析窗口、 3×3 、 5×5 、 7×7 多方向性分析窗口進行分析，共 21 種組合。

在得到虛擬網格資料的坡度粗糙度分析結果後，利用 Matlab 程式將研究區域的實際網格資料匯入，且依據坡度粗糙度計算公式設定不同大小分析窗口進行坡度標準差分析，並對多方向窗口分析、單方向性窗口分析結果進行討論。

五、地形開闊度分析

地形開闊度分析為利用虛擬網格高程資料計算八個方位的最小天頂角及最小天底角再進行兩次平均。本研究嘗試 4 種單方向性窗口分析各別計算南-北向、東-西向、東南-西北向、西北-東南向的地形開闊度，分別以 3×1 、 5×1 、 7×1 單方向性分析窗口及 3×3 、 5×5 、 7×7 之八方位分析窗口進行分析，共 15 種組合。

在得到虛擬網格高程資料的地形開闊度分析結果後，利用 Matlab 程式將研究區域的實際網格資料匯入，再依照地形開闊度計算公式設定分析窗口進行多方向及單方向分析窗口進行地形開闊度分析，並對其結果進行討論和討論。

六、結合不同地形因子之分析

本研究在進行各地形計測方法中加入了方向性的考量，目的為凸顯微地形的地貌，將結合高程、坡度、地形開闊度等多種地形因子，進行多方向性及單方向性窗口之比較分析，再透過門檻值設定來提取蝕溝線等微地形特徵，並且比較單方向性分析窗口、多方向性分析窗口的提取效果。

除了結合各項地形因子增加微地形特徵判釋的準確性外，也可以利用影像處理原理，如邊緣萃取技術(Sobel、Prewitt、Laplacian 等)將影像去做邊緣偵測處理，以及雜點的去除(morphology)等方式，希望能夠更精確的篩選出微地形特徵。

第五節 邊坡單元分析

邊坡單元(slope unit)因其有較完整之地形分區邊界，較網格式單元具地形、地質上之意義。因此，本研究將集水區劃分成不同邊坡單元，參考 Xie et al.(2004)之劃分方式，以 GIS 之 Hydrology 模組來劃分邊坡單元，其劃分原理係利用水系分析結果，找出面積適合之小集水區，再以主河道將小集水區分割為兩個邊坡單元，如圖 3-14 所示。劃分步驟首先係針對原始地形劃分小集水區，次將原始地形反轉(如圖 3-14(b))，再同樣針對反轉地形劃分小集水區，最後將反轉前後之小集水區疊合，即可得到左右兩側邊坡單元。

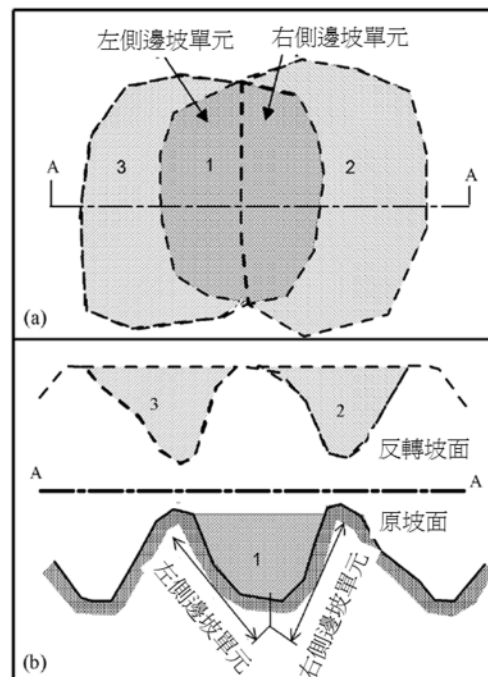


圖 3-14 邊坡單元之劃分原理：(a)小集水區及左右兩側邊坡單元，(b)原坡面與地形反轉坡面(圖修改自 Xie et al., 2004)

劃分邊坡單元後，再進行分類統計，提取出每個邊坡單元內出現頻率最高的坡向，代表該邊坡單元之坡向，後續做為方向性窗口選擇的依據。

第六節 自動化判釋

本研究利用 Matlab 來計算坡度、高程、地形開闊度及地形粗糙度等各項地形因子，所需輸入資料為網格檔之數值高程模型、解析度、窗口半徑(如圖 3-15)，利用 Matlab 計算網格的相關地形因子數值，分別進行多方向和單方向窗口之判釋。

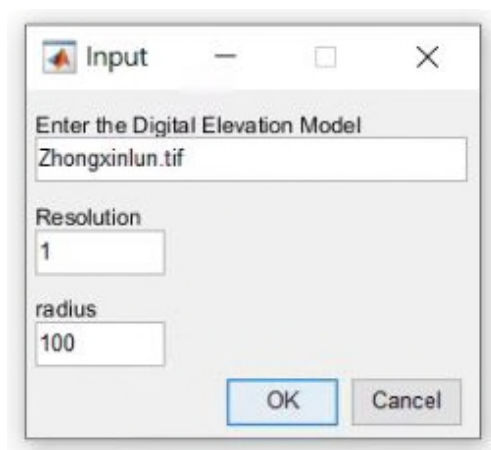


圖 3-15 輸入地形因子計算所需的參數值

多方向窗口判釋之程式碼內容，需輸入窗口的大小(3×3 、 5×5 、 7×7 等)及設定地形因子的門檻值，以分析集水區坡面之微地形特徵，自動化判釋集水區可能崩塌區位。而單方向窗口判釋之程式碼內容，需要根據邊坡單元之坡向(如圖 3-16)，自動選擇東西向、南北向等不同方向之窗口，再輸入窗口的大小(3×1 、 5×1 、 7×1 等)及設定地形因子的門檻值，以分析集水區坡面之微地形特徵，自動化判釋集水區可能崩塌區位。

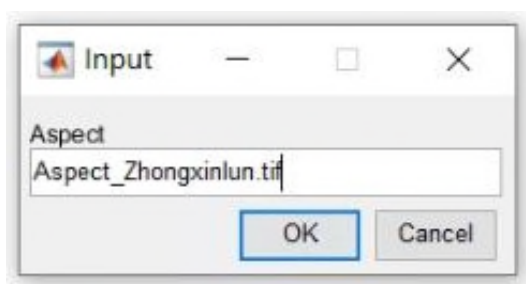


圖 3-16 輸入邊坡單元之坡向

第四章 虛擬地形分析結果

第一節 虛擬地形之張力裂隙特徵分析

本研究首先利用一坡向為南向之虛擬地形，再利用高程因子、地形粗糙度、坡度因子、坡度粗糙度、地形開闊度、天空開闊度等地形因子提取坡面的裂縫凹處，並以紅色框標示以利對照，成果說明如下。

一、高程因子分析結果

在虛擬網格中，其網格之高程值為原始高程減去分析窗口中最小高程，若該網格差值為 0 則視為分析窗口中的相對最低點。

從圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3 結果中，可以看出南-北向分析窗口能凸顯南-北向地形起伏，然而微地形特徵在南-北向的地形剖面下起伏最為明顯，因此可以得知若單方向性分析窗口與地形特徵有垂直的方向關係時，提取微地形特徵的效果最好。東-西向、西北-東南向、東北-西南向分析窗口，因為部分的分析窗口與微地形特徵呈水平的方向關係，導致在進行單方向性窗口分析時，涵蓋較多微地形特徵，而無法凸顯分析窗口中的最低點。

其中，提取效果較差的為東-西向分析窗口及正方形分析窗口，其中東-西向分析窗口在分析窗口較小時，只要些微的起伏就會造成提取結果有過多的雜訊，但隨著分析窗口越大雜訊會越少，因此可以得知若單方向性分析窗口與微地形特徵有水平的方向關係時，提取微地形特徵的效果在單方向性分析窗口中最差。

而多方向性窗口由於分析窗口涵蓋方向最多，導致分析窗口中涵蓋微地形特徵的情形比單方向性窗口更多，因此提取微地形特徵的效果比單方向性分析窗口差，使其更難反映地形起伏的情形，且會隨著分析窗口越大則影響更大。

綜合上述結果可以得知，對於使用高程因子找出分析窗口中相對低點的地形計測方法，單方向性分析窗口在提取相對最低點時，由於方向單一不受其它方向影響，因此提取效果優於多方向性分析窗口，其中單方向性分析窗口出現雜訊的問題，或許可以透過與其它不同地形因子或其它方向的高程因子進行交集將其剔除。

1.6	1.3	1.1	1.1	0.7	0.4	0.5	1.1	0.9
0.9	0.4	0.9	0.9	0.9	1.2	1.2	1.3	1.0
1.2	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1	0.9	0.9	1.1
1.1	0.9	9.0	9.1	9.1	8.8	8.8	1.0	0.4
1.0	8.9	8.8	0.7	0.2	0	8.1	8.2	1.4
8.9	8.3	0	7.8	7.5	7.1	0.2	6.8	7.5
7.5	0.1	7.2	6.9	1.0	6.1	6.3	0	6.2
6.8	7.1	6.2	1.0	0.8	0.9	5.5	5.8	5.4
0.9	0.9	1.1	0.9	1.2	1.0	1.4	0.8	1.0

3×3 正方形分析窗口

2.0	1.8	1.8	2.0	1.8	1.6	1.7	2.1	1.9
1.8	1.4	2.0	2.1	2.0	2.1	2.1	2.2	1.9
2.1	9.9	10.1	10.2	10.0	9.9	9.7	9.6	1.7
10.0	9.7	9.7	9.4	9.2	8.8	8.8	9.1	8.5
9.3	8.9	8.8	0.7	0.3	0	8.1	8.4	8.2
9.0	8.3	0	7.8	7.6	7.1	0.2	6.9	7.5
7.6	0.1	7.2	6.9	6.8	6.3	6.4	0.1	6.2
6.9	7.2	6.3	6.2	5.8	5.7	5.5	5.8	5.4
6.0	5.7	5.6	5.2	2.1	4.8	5.2	4.7	4.9

5×5 正方形分析窗口

3.0	2.9	3.0	3.1	2.7	2.5	2.6	3.0	2.8
10.8	10.5	11.1	10.9	10.8	10.9	10.8	10.9	10.6
10.9	10.6	10.4	10.3	10.1	10.0	9.7	9.6	9.8
10.0	9.7	9.7	9.4	9.2	8.9	8.8	9.1	8.7
9.3	8.9	8.8	0.7	0.3	0.1	8.1	8.4	8.3
9.0	8.3	0	7.8	7.6	7.2	0.2	6.9	7.6
7.6	0.1	7.2	6.9	6.8	6.4	6.4	0.1	6.3
6.9	7.2	6.3	6.2	5.8	5.9	5.6	5.9	5.5
6.1	5.8	5.7	5.3	5.2	5.0	5.2	4.7	4.9

7×7 正方形分析窗口

0.9	1.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.5	0.8	0.9
0.6	0.2	0.8	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	0.8
0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	1.1	0.9	0.5	1.1
0.7	0.8	0.9	8.7	8.9	8.8	0.7	0.7	0.4
0.3	0.6	8.8	0	0	0	7.9	1.5	0.7
1.4	8.2	0	7.1	7.3	7.1	0	6.8	1.3
0.7	0	7.2	0.7	1.0	0.5	6.2	0	0.8
0.8	7.1	0.6	0.9	0.6	0.9	0.3	5.8	0.5
0.9	0.6	0.8	0.7	0.8	1.0	1.3	0.7	1.0

3×1 南-北向分析窗口

1.5	1.5	1.5	1.7	1.5	1.3	1.6	2.1	1.7
1.5	1.1	1.5	1.6	1.7	2.1	2.0	1.8	1.9
1.6	1.7	1.6	9.6	9.8	9.9	1.6	1.2	1.5
1.0	1.4	9.7	8.7	8.9	8.8	8.6	2.2	1.1
1.7	8.8	8.8	0	0	0	7.9	8.3	2.0
2.1	8.2	0	7.1	7.3	7.1	0	6.8	2.1
1.5	0	7.2	6.2	6.5	6.3	6.2	0	1.3
1.7	7.1	6.3	1.6	1.4	1.9	5.4	5.8	1.5
1.7	5.7	1.7	1.5	1.6	1.9	2.2	4.7	1.2

5×1 南-北向分析窗口

2.4	2.4	2.2	2.6	2.4	2.5	2.5	2.6	2.8
2.2	1.9	2.4	10.3	10.6	10.9	2.7	2.5	2.3
1.9	2.3	10.4	9.6	9.8	9.9	9.5	2.7	2.2
2.4	9.6	9.7	8.7	8.9	8.8	8.6	9.0	2.4
2.4	8.8	8.8	0	0	0	7.9	8.3	2.8
2.9	8.2	0	7.1	7.3	7.1	0	6.8	2.6
2.4	0	7.2	6.2	6.5	6.3	6.2	0	2.3
2.5	7.1	6.3	5.5	5.5	5.8	5.4	5.8	1.7
2.5	5.7	5.7	2.3	2.4	2.7	5.1	4.7	2.4

7×1 南-北向分析窗口

圖 4-1 高程因子正方形、南-北向分析窗口之結果

0.3	0.2	0	0.4	0.3	0	0.1	0.4	0
0.7	0	0.4	0.1	0	0.1	0	0.3	0
0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0	0.2
0.3	0	0.3	0.2	0.3	0	0.0	0.4	0
0.4	0.1	8.1	0.4	0.2	0	8.1	0.3	0
0.7	8.3	0	7.8	0.4	6.9	0	6.7	0.7
7.5	0	7.1	0.1	0.4	0	6.3	0	6.2
0	0.9	0.1	0.4	0	0.2	0	0.4	0
0.3	0.1	0.4	0.1	0.2	0	0.5	0	0.2

3×1 東-西向分析窗口

1.6	0.9	0.9	1.1	0.6	0.4	0.4	1.1	0.7
0.9	0.4	0.9	0.9	0.9	1.2	1.2	1.1	0.4
1.2	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1	0.6	0.9	0.6
1.1	0.9	9.0	9.1	9.1	0.7	0.4	0.8	0
1.0	8.9	1.0	0	0	0	1.2	0.8	0.7
8.9	1.1	0	1.0	6.9	6.9	0.2	0.6	0.9
0.4	0	1.0	6.9	0.9	0.7	0.5	0	0.3
1.1	1.5	6.2	1.0	0.8	0.5	0.8	0.9	5.4
0.9	0.9	1.1	0.9	1.2	0.9	1.2	0.8	0.8

3×1 西北-東南向分析窗口

0.5	0.2	0.3	0.7	0.3	0	0.1	0.5	0.2
0.7	0	0.4	0.2	0	0.1	0.2	0.3	0
0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0	0.2
0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0	0.1	0.4	0
0.5	8.2	8.5	0.6	0.2	0	8.1	8.4	0.2
9.0	8.3	0	7.8	7.6	6.9	0	6.7	7.4
7.5	0	7.1	6.8	0.4	6.2	6.3	0	6.2
0.6	1.0	0.5	0.4	0.1	0.2	0.1	0.4	0
0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.5	0	0.3

5×1 東-西向分析窗口

2.0	1.8	1.8	2.0	1.8	1.6	1.5	1.5	1.4
1.8	1.4	2.0	2.1	2.0	1.8	2.1	1.7	1.3
2.1	9.9	10.1	10.2	1.9	1.5	1.4	0.9	1.3
10.0	1.9	9.0	9.1	9.1	1.9	1.2	1.6	1.1
2.1	8.9	2.0	0	0	0	1.8	1.7	1.4
8.9	2.1	0	1.9	6.9	6.9	0.2	0.9	1.6
1.9	0	2.0	6.9	1.4	5.7	6.2	0.1	1.6
2.0	2.6	6.2	2.2	5.8	1.7	1.6	1.7	5.4
2.1	2.0	2.1	5.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3

5×1 西北-東南向分析窗口

0.5	0.5	0.6	0.7	0.3	0	0.1	0.5	0.3
0.7	0	0.4	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0
0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.1	0	0.2
0.6	0.5	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	0.4	0
8.6	8.6	8.7	0.6	0.2	0	8.1	8.4	8.3
9.0	8.3	0	7.8	7.6	7.2	0	6.7	7.4
7.5	0	7.1	6.8	6.7	6.2	6.3	0	6.2
0.7	1.4	0.5	0.5	0.1	0.3	0.1	0.4	0
0.8	0.6	0.7	0.3	0.3	0.1	0.5	0.1	0.3

7×1 東-西向分析窗口

3.0	2.9	3.0	3.1	2.4	2.5	2.2	2.4	2.2
10.8	10.5	11.1	2.8	2.4	2.6	2.1	2.4	2.0
3.1	9.9	10.1	10.2	3.1	2.3	2.2	2.0	2.1
10.0	2.9	9.0	9.1	9.1	2.5	2.1	2.3	1.8
3.1	8.9	2.9	0	0	0	2.1	2.4	2.2
8.9	3.1	0	2.4	6.9	6.9	0.2	2.2	2.3
3.0	0	3.2	6.9	2.6	5.7	6.2	0.1	1.8
3.1	3.6	6.2	3.0	5.8	2.0	5.0	5.7	5.5
3.1	3.0	3.4	5.2	2.7	5.0	2.7	2.1	2.2

7×1 西北-東南向分析窗口

圖 4-2 高程因子東-西向、西北-東南向分析窗口之分析結果

0.6	0.6	1.1	0.8	0.6	0.4	0.4	0.9	0.6
0.5	0	0.6	0.6	0.6	0.9	0.9	1.2	1.0
0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7
0.6	0.4	0.8	0.6	8.5	8.6	8.8	1.0	0.3
0.7	0	0.5	0.7	0	0	0.9	8.2	1.4
1.2	0.7	0	7.5	7.5	0.4	0	0.5	7.5
0.6	0.1	0	0.6	0.6	6.1	0.6	0	0.4
6.8	1.1	0.5	0.5	0.5	0.7	5.5	0.6	0.7
0.7	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	1.4	0.8	0.9

3 × 1 東北-西南向分析窗口

1.2	1.1	1.1	1.4	1.2	1.0	1.3	1.8	1.8
1.1	0.6	1.2	1.3	1.2	1.6	1.7	2.1	1.8
1.3	1.2	1.1	1.4	1.3	9.3	9.5	9.6	1.7
1.2	1.1	0.8	1.1	9.2	8.6	8.8	2.0	8.5
1.3	1.1	1.2	0.7	0	0	1.4	8.2	1.8
1.8	1.3	0	7.5	7.5	1.0	0	1.1	7.5
1.2	0.1	6.9	6.8	1.1	6.1	1.3	0	1.0
6.9	1.8	1.1	1.0	5.5	1.3	5.5	2.0	1.5
1.3	1.2	1.3	0.8	1.2	4.8	1.8	1.8	1.8

5 × 1 東北-西南向分析窗口

1.8	1.7	1.7	2.0	1.9	1.6	2.0	2.6	2.8
1.7	1.2	1.8	1.7	2.0	2.2	10.2	10.7	10.6
1.9	1.8	1.8	1.4	1.8	10.0	9.5	9.6	2.7
1.8	1.7	1.9	1.8	9.2	8.6	8.8	2.4	8.5
1.9	1.7	1.8	0.7	0	0	2.0	8.2	2.5
2.4	1.9	0	7.5	7.5	1.5	0	1.8	7.5
1.8	0.1	6.9	6.8	1.6	6.1	1.9	0	2.4
6.9	6.9	6.2	1.8	5.5	1.9	5.5	2.4	2.5
1.9	1.8	1.9	5.0	1.8	4.8	2.4	2.1	2.8

7 × 1 東北-西南向分析窗口

圖 4-3 高程因子東北-西南向分析窗口之分析結果

二、地形粗糙度分析結果

將虛擬網格已知凹處之地形粗糙度值以藍色框圈選出來，地形粗糙度越高越趨近紅色表示地形越粗糙；地形粗糙度越低則趨近綠色表示地形越平緩，利於後續分析時對照。

從圖 4-4、圖 4-5、圖 4-6 中，可以看出在分析窗口較小的南-北向分析窗口中，微地形特徵被地形粗糙度值高的網格前後包圍且數值分佈集中，雖然正方形分析窗口及其餘三種單方向性分析窗口也有被地形粗糙度值高的網格包圍的情形，但其分佈沒有南-北向來的集中且透露出微地形特徵的可能輪廓。其中東-西向、西北-東南向、東北-西南向分析窗口，因為部分網格的分析窗口與微地形特徵呈水平的方向關係，導致部分網格在進行單方向性窗口分析時，涵蓋較多的微地形特徵且無法凸顯地形起伏的情形，但隨著分析窗口越大，水平方向關係帶來的影響會越小。而東-西向分析窗口不論分析窗口小或大，其數值分佈仍然保持集中。

隨著分析窗口越大，不論是正方形分析窗口或是單方向性分析窗口都會出現地形粗糙度數值均化的現象及數值分佈的中心漸漸遠離微地形特徵的情形。其中正方形分析窗受到的影響最嚴重，由於分析窗口涵蓋過多方向，造成分析窗口越大時，微地形特徵周遭的地形粗糙度數值落差越小，使其無法凸顯微地形特徵的可能位置。其餘四種單方向性分析窗口雖然也出現均化、數值分佈遠離微地形特徵的情形，但微地形特徵的地形粗糙度數值仍與周遭的地形粗糙度數值有明顯落差，而西北-東南向、東北-西南向分析窗口的數值分佈雖然零散、不連續，但仍能反映大部分微地形特徵產生的地形變化。

綜合上述結果可以得知，地形粗糙度在多方向性窗口分析在窗口較小時，其分析效果不如單方向性分析窗口，而各個單方向性分析窗口由於方向單一不受其它方向影響，因此均化帶來的影響並沒有多方向性分析窗口

來的多。而在窗口越大時不論是單方向性分析窗口或是多方向性分析窗口都有數值分佈離微地形特徵越遠的情形，但單方向性分析窗之數值分佈仍能與微地形特徵有一定的關聯性。

0.85	0.83	0.80	0.70	0.65	0.59	0.58	0.66	0.70
0.74	0.70	0.70	0.69	0.68	0.66	0.76	0.80	0.78
0.68	0.64	0.63	0.71	0.80	0.85	0.87	0.84	0.80
0.74	0.74	3.07	4.09	4.66	4.06	3.08	0.65	0.64
0.63	3.12	3.84	4.27	4.06	4.10	3.63	2.76	0.80
2.91	3.76	3.92	3.64	3.41	3.49	3.62	3.29	2.64
2.67	3.38	3.19	2.37	0.72	2.16	2.76	2.80	2.27
2.34	2.27	2.18	0.71	0.69	0.62	1.93	1.91	1.96
0.78	0.78	0.80	0.67	0.74	0.75	0.80	0.74	0.76

3×3 正方形分析窗口

0.85	1.11	0.80	0.81	0.75	0.60	0.68	0.68	0.88
0.75	0.81	0.75	0.85	0.75	0.70	0.84	1.06	0.87
0.75	0.59	0.75	0.80	0.85	1.06	1.00	0.93	0.95
0.80	0.85	0.80	5.30	5.42	5.42	0.82	0.60	0.79
0.51	0.70	5.36	4.63	4.74	4.67	4.77	1.12	0.55
0.91	4.92	4.69	3.87	4.00	3.91	4.15	4.42	1.00
1.07	4.45	3.92	0.80	0.90	0.68	3.38	3.67	1.06
0.75	3.76	0.75	0.80	0.81	0.72	0.58	3.08	0.66
0.85	1.03	0.70	0.80	0.70	0.97	0.87	0.93	0.76

3×1 南-北向分析窗口

1.22	1.20	1.19	1.16	1.13	1.14	1.15	1.16	1.19
1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.19	1.21	1.22	1.23
1.17	2.28	2.97	3.48	3.46	3.44	2.96	2.30	1.19
2.27	2.85	3.30	3.66	3.94	3.57	3.21	2.77	2.14
2.80	3.16	3.45	3.66	3.57	3.50	3.25	2.96	2.55
2.61	2.90	3.14	3.27	3.16	3.11	2.91	2.69	2.37
2.42	2.64	2.80	2.84	2.71	2.67	2.55	2.41	2.18
2.21	2.16	2.11	2.01	1.90	1.88	1.86	1.87	1.91
1.65	1.61	1.58	1.55	1.20	1.50	1.46	1.47	1.47

5×5 正方形分析窗口

1.25	1.38	1.27	1.24	1.22	1.13	1.26	1.33	1.35
1.25	1.30	1.22	1.28	1.25	1.27	1.33	1.35	1.43
1.22	1.21	1.22	4.56	4.63	4.66	1.36	1.34	1.35
1.05	1.07	4.57	4.17	4.27	4.34	4.21	1.48	1.20
1.23	4.24	4.21	3.77	3.86	3.85	3.79	3.89	1.30
1.27	3.88	3.82	3.30	3.39	3.33	3.39	3.57	1.34
1.36	3.53	3.34	2.77	2.86	2.82	2.95	3.15	1.38
1.45	3.16	2.82	1.27	1.27	1.27	2.46	2.61	1.36
1.28	2.68	1.24	1.23	1.24	1.35	1.32	2.20	1.04

5×1 南-北向分析窗口

1.67	1.67	1.66	1.65	1.64	1.64	1.64	1.65	1.66
2.24	2.69	3.06	3.03	3.01	2.99	2.98	2.65	2.23
2.62	2.95	3.24	3.45	3.43	3.42	3.14	2.87	2.56
2.86	3.10	3.32	3.49	3.64	3.43	3.20	2.99	2.75
2.71	2.93	3.12	3.26	3.38	3.19	2.99	2.82	2.61
2.58	2.76	2.91	3.01	3.09	2.91	2.74	2.61	2.44
2.43	2.57	2.67	2.74	2.79	2.63	2.50	2.41	2.29
2.27	2.36	2.42	2.45	2.46	2.32	2.24	2.19	2.13
2.03	2.00	1.98	2.05	2.06	1.93	1.85	1.85	1.86

7×7 正方形分析窗口

1.72	1.81	1.71	1.71	1.71	1.70	1.77	1.72	1.89
1.70	1.77	1.71	4.29	4.35	4.36	1.79	1.74	1.84
1.57	1.68	4.30	4.04	4.10	4.12	4.02	1.90	1.76
1.63	3.97	4.04	3.79	3.83	3.88	3.78	3.86	1.80
1.66	3.68	3.79	3.47	3.56	3.60	3.53	3.57	1.82
1.73	3.52	3.49	3.15	3.22	3.20	3.15	3.27	1.77
1.78	3.24	3.17	2.77	2.83	2.80	2.85	3.03	1.77
1.85	2.95	2.80	2.35	2.41	2.41	2.54	2.70	1.71
1.88	2.68	2.39	1.71	1.71	1.80	2.16	2.27	1.68

7×1 南-北向分析窗口

圖 4-4 地形粗糙度正方形、-北向分析窗口之分析結果

0.25	0.25	0.10	0.21	0.33	0.13	0.24	0.18	0.08
0.51	0.35	0.20	0.15	0.06	0.06	0.06	0.15	0.16
0.21	0.25	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.10	0.31
0.25	0.17	0.17	0.25	0.26	0.18	0.21	0.21	0.26
0.26	0.26	4.71	4.80	0.31	4.60	4.75	0.17	0.39
0.35	5.01	4.65	4.45	0.28	4.11	3.94	4.09	0.39
4.39	4.22	4.02	0.21	0.25	0.20	3.62	3.61	3.71
0.15	0.46	0.55	0.26	0.21	0.10	0.15	0.21	0.26
0.21	0.21	0.26	0.26	0.15	0.20	0.26	0.25	0.14

3×1 東-西向分析窗口

1.31	1.00	1.00	0.95	0.81	0.77	0.59	0.80	0.72
1.00	1.06	0.90	0.90	1.00	0.92	0.85	0.79	0.78
1.05	0.90	0.72	1.00	1.06	1.00	0.92	1.05	0.87
1.05	1.05	5.47	5.57	5.60	0.98	0.78	0.72	0.46
0.95	5.48	0.95	4.71	4.75	5.20	0.95	0.61	0.78
5.26	1.05	4.67	1.00	3.69	3.82	0.10	0.89	0.84
0.72	4.56	1.05	3.71	0.95	0.96	0.62	3.09	0.46
1.00	1.00	3.33	1.00	0.95	0.71	0.76	0.73	3.00
0.90	1.00	1.31	0.95	1.12	0.87	0.90	0.80	0.85

3×1 西北-東南向分析窗口

0.36	0.29	0.29	0.31	0.29	0.27	0.18	0.20	0.16
0.48	0.40	0.28	0.15	0.12	0.05	0.12	0.12	0.13
0.32	0.30	0.30	0.24	0.24	0.24	0.16	0.23	0.26
0.31	0.31	0.31	0.35	0.35	0.22	0.19	0.21	0.25
0.34	3.77	4.66	4.65	4.45	4.37	4.46	3.79	0.35
3.89	3.79	3.70	3.48	4.06	3.19	3.18	3.19	3.24
3.39	3.27	3.16	3.02	0.31	2.90	2.84	2.84	2.90
0.37	0.44	0.56	0.55	0.26	0.19	0.16	0.21	0.23
0.29	0.36	0.37	0.34	0.26	0.21	0.19	0.19	0.24

5×1 東-西向分析窗口

1.69	1.55	1.55	1.50	1.46	1.42	1.24	1.10	1.14
1.55	1.60	1.55	1.59	1.55	1.37	1.41	1.16	1.16
1.60	4.77	4.80	4.86	1.52	1.44	1.32	1.11	1.19
4.82	1.60	4.34	4.32	5.54	1.58	1.26	1.30	1.17
1.57	4.39	1.60	3.89	3.94	5.25	1.48	1.20	1.16
4.17	1.60	3.90	1.52	3.34	3.38	4.14	1.18	1.16
1.47	3.74	1.63	3.31	1.38	2.63	2.76	2.85	1.23
1.55	1.59	3.25	1.69	2.65	1.38	1.35	1.16	2.68
1.55	1.58	1.69	2.40	1.61	1.40	1.21	1.17	1.13

5×1 西北-東南向分析窗口

0.42	0.42	0.43	0.38	0.29	0.24	0.22	0.19	0.22
0.53	0.46	0.36	0.24	0.13	0.15	0.11	0.11	0.13
0.41	0.40	0.38	0.37	0.33	0.26	0.23	0.22	0.24
0.43	0.43	0.46	0.43	0.34	0.32	0.23	0.23	0.27
3.27	4.26	4.68	4.52	4.41	4.33	4.38	4.08	3.21
3.27	3.20	3.12	3.87	3.65	3.58	2.73	2.73	2.75
2.88	2.79	2.70	2.60	3.24	2.48	2.44	2.45	2.46
0.46	0.55	0.56	0.57	0.51	0.26	0.22	0.20	0.22
0.45	0.45	0.46	0.38	0.34	0.27	0.17	0.20	0.23

7×1 東-西向分析窗口

2.22	2.15	2.17	2.10	1.96	1.99	1.75	1.61	1.56
4.63	4.69	4.70	2.13	1.99	1.88	1.72	1.64	1.57
2.17	4.33	4.38	5.52	2.13	1.88	1.79	1.62	1.58
4.38	2.17	4.03	4.02	5.68	2.04	1.82	1.72	1.57
2.15	4.07	2.15	3.68	3.60	5.05	1.87	1.70	1.68
3.88	2.17	3.71	2.02	3.29	3.29	4.34	1.81	1.64
2.11	3.57	2.24	3.31	1.96	2.84	2.83	3.50	1.61
2.15	2.16	3.27	2.23	2.83	1.82	2.24	2.31	2.50
2.15	2.16	2.28	2.87	2.13	2.26	1.77	1.68	1.55

7×1 西北-東南向分析窗口

圖 4-5 地形粗糙度東-西向、西北-東南向分析窗口之結果

0.60	0.65	0.91	0.61	0.58	0.69	0.69	0.78	0.78
0.55	0.61	0.70	0.60	0.52	0.68	0.90	0.93	1.02
0.38	0.60	0.65	0.60	0.80	0.85	1.06	0.90	0.86
0.60	0.56	0.70	0.65	5.15	5.24	5.33	0.88	0.96
0.56	0.44	0.55	5.12	4.67	4.75	0.98	4.82	1.15
0.67	0.60	0.38	4.17	4.14	0.69	4.26	0.95	4.79
0.65	3.96	0.35	0.65	0.52	3.37	0.55	3.88	0.86
3.74	0.64	0.55	0.55	0.56	0.66	2.99	0.50	0.97
0.91	0.55	0.50	0.45	0.65	0.65	1.05	0.77	0.97

3 × 1 東北-西南向分析窗口

0.95	0.97	1.05	0.95	1.04	1.14	1.23	1.32	1.42
0.93	0.96	0.98	0.97	0.98	1.15	1.32	1.46	1.51
0.86	1.01	0.94	0.97	1.09	4.48	4.61	4.67	1.44
0.95	0.94	0.85	1.07	5.34	4.22	4.24	1.44	4.31
0.94	0.94	0.97	5.13	3.77	3.82	1.30	3.92	1.54
1.00	0.95	4.35	3.41	3.42	1.18	3.42	1.38	3.77
0.97	3.46	3.09	3.01	0.95	3.03	1.20	3.40	1.28
3.42	0.97	0.93	0.82	2.44	0.97	2.76	1.35	1.47
1.07	0.90	0.92	0.75	1.00	2.14	1.24	1.41	1.47

5 × 1 東北-西南向分析窗口

1.30	1.30	1.35	1.37	1.46	1.58	1.71	1.82	1.97
1.29	1.30	1.31	1.35	1.47	1.60	4.25	4.42	4.50
1.25	1.33	1.28	1.24	1.48	5.25	4.11	4.19	1.98
1.34	1.29	1.24	1.41	5.52	3.79	3.85	1.87	3.92
1.29	1.32	1.40	4.96	3.45	3.48	1.73	3.62	1.96
1.35	1.32	4.37	3.09	3.13	1.55	3.27	1.84	3.49
1.30	3.76	2.80	2.80	1.40	2.83	1.68	3.19	1.91
3.09	2.55	2.47	1.28	2.49	1.50	2.87	1.81	2.00
1.36	1.27	1.25	2.02	1.32	2.32	1.68	1.84	2.00

7 × 1 東北-西南向分析窗口

圖 4-6 地形粗糙度東北-西南向分析窗口之結果

三、坡度因子分析結果

將虛擬網格已知凹處之坡度值以藍色框圈選出來，坡度值越高越趨近紅色表示地形越陡峭，坡度值越低則趨近綠色表示地形越平緩，利於後續分析時對照。

從圖 4-7 中，可以看出南-北向分析窗口中，微地形特徵的坡度值一致偏低，且被坡度值高的網格前後包圍，進而透露出微地形特徵的可能輪廓。雖然正方形分析窗口也有被地形粗糙度值高的網格包圍之情形，但正方形分析窗口在微地形特徵的數值起伏較大，且兩端點包圍的情形並沒有南-北向分析窗口來的好。而東-西向、西北-東南向、東北-西南向分析窗口，因為部分網格的分析窗口與微地形特徵呈水平的方向關係，導致部分網格在進行單方向性窗口分析時，涵蓋較多微地形特徵，而無法利用較高坡度值包圍的現象凸顯出地形起伏的情形。

綜合上述結果可以得知，多方向性分析窗口由於涵蓋的方向較多，導致微地形特徵的坡度數值起伏較大，且被高坡度值包圍的情形在兩端點並不明顯，而各個單方向性分析窗口由於方向單一不受其它方向影響，因此數值分佈的較為一致，但會因為分析窗口與微地形特徵呈水平方向，使無法凸顯較高坡度值包圍的效果，因此與微地形特徵垂直的單方向性分析窗口，其凸顯微地形特徵的效果比多方向性分析窗口好。

24	26	21	18	16	12	13	15	18
20	17	17	18	16	15	19	24	21
16	13	14	19	22	27	26	24	23
20	20	66	83	85	83	66	14	14
12	66	81	67	20	63	80	64	17
64	81	17	69	79	70	13	79	66
66	41	62	18	20	27	61	22	62
25	30	9	19	18	14	17	21	22
21	23	20	17	18	21	21	20	19

加權八鄰域分析窗口

40	48	39	39	37	30	34	34	41
37	37	37	40	37	34	39	46	41
37	29	37	39	40	47	45	42	44
39	40	39	78	78	79	39	31	38
27	35	78	39	39	39	77	48	29
40	77	39	72	73	72	39	76	44
46	29	72	39	42	34	70	27	46
37	71	37	39	39	35	29	67	33
40	45	35	39	35	44	39	43	37

3 × 1 南-北向分析窗口

14	14	3	9	18	5	13	6	2
27	9	6	9	0	0	0	6	2
11	14	9	9	9	9	9	3	17
14	9	9	14	15	9	9	3	2
14	14	76	77	17	76	77	6	17
9	77	14	75	16	75	7	75	18
75	11	74	11	13	8	72	3	73
6	17	27	14	9	3	3	3	3
11	11	14	14	9	6	3	9	8

3 × 1 東-西向分析窗口

52	45	45	44	39	37	30	38	36
45	45	42	42	45	42	39	38	37
46	42	35	45	47	45	42	46	41
46	46	79	79	79	44	37	36	17
44	79	44	46	47	77	43	31	38
78	46	45	45	71	72	3	41	40
35	53	46	71	44	44	32	69	24
45	44	69	45	44	35	37	36	68
42	45	52	44	48	41	41	39	40

3 × 1 西北-東南向分析窗口

31	33	42	31	30	34	34	38	38
29	27	35	31	27	34	42	43	46
17	31	33	31	39	40	47	42	41
31	29	35	33	78	78	78	41	42
29	19	29	78	28	33	44	77	49
29	31	17	74	74	34	46	43	77
33	74	17	33	27	70	29	45	39
72	29	29	29	29	33	67	27	44
42	29	27	24	33	33	46	38	44

3 × 1 東北-西南向分析窗口

圖 4-7 五種坡度分析之結果

四、坡度粗糙度分析結果

將虛擬網格高程資料的已知凹處之地形粗糙度值以藍色框圈選出來，而坡度粗糙度代表坡度起伏的程度，坡度粗糙度值越大，則坡度起伏越大而趨近紅色，坡度粗糙度值越小，則坡度起伏越小而趨近綠色，利於後續分析時對照。

從圖 4-8、圖 4-9、圖 4-10 為加權八鄰域坡度分析結果進行不同方向之標準差分析窗口的坡度粗糙度分析結果，可以看正方形分析窗口的數值分佈較廣且均勻，但與周遭區域的數值落差並不大，而單方向性分析窗口反而會凸顯加權八鄰域之坡度因為多方向分析窗口帶來的均化影響，其中東-西向分析窗口的坡度粗糙度數值最為集中且與周遭數值有較大的落差，且受到的均化影響較小。隨著半徑越大正方形分析窗口之坡度粗糙度值分佈受到涵蓋較多方向的影響，導致有明顯向外擴張的趨勢，而各單方向分析窗口方向單一而受到的影響較小，其中西北-東南向、東北-西南向因為加權八鄰域坡度分析結果較零散，使其在坡度粗糙度分析時的結果也會有相同情形。

從圖 4-11、圖 4-12 則為單方向性分析窗口之坡度分析結果進行相同方向之標準差分析窗口的坡度粗糙度分析結果，與加權八鄰域坡度之坡度粗糙度結果相比，其單方向之坡度粗糙度數值更為集中，且隨著半徑越大仍能與周遭數值有一定的落差，進一步凸顯地形起伏的情形，其中西北-東南向、東北-西南向分析窗口因為單方向坡度分析結果較集中，使其在坡度粗糙度分析時的結果比加權八鄰域之坡度分析的西北-東南向、東北-西南向的分析效果更好，使微地形特徵之坡度粗糙度值與周遭網格數值有明顯的落差。

綜合上述結果可以得知，若使用加權八鄰域之坡度進行多方向性的坡度粗糙度分析時，由於受到兩次多方向性窗口帶來的均化影響較大，若使

用加權八鄰域之坡度進行單方向性的坡度粗糙度分析時，反而會凸顯加權八鄰域之坡度因為多方向分析窗口帶來的均化影響。因此使用單方向之坡度進行單方向性的坡度粗糙度分析，能使微地形特徵之坡度粗糙度值與周遭網格數值有明顯的落差，且改善均化帶來的影響，進一步得到更好的區分效果。

2.9	3.1	2.9	1.6	2.2	2.6	3.8	3.4	2.7
3.9	4.4	3.8	2.5	4.2	5.5	5.9	4.5	3.0
2.2	16.6	25.9	30.7	32.3	29.3	24.2	15.6	4.2
16.7	28.0	30.3	31.2	29.7	28.2	26.7	25.8	15.7
27.1	29.4	25.1	26.2	20.0	26.9	26.8	30.1	26.6
26.9	25.4	24.7	28.5	26.1	27.6	25.4	26.4	25.2
23.9	25.3	26.3	27.3	27.2	26.7	26.2	25.8	23.8
15.5	19.6	16.2	15.4	3.5	14.3	14.0	18.2	13.9
4.4	6.0	5.6	3.5	2.8	3.6	3.5	3.2	3.0

3 × 3 加權八鄰域分析窗口

2.7	4.6	2.1	0.6	1.4	3.3	3.5	5.0	1.9
3.9	6.6	3.3	0.3	3.5	7.7	6.7	5.2	2.2
1.9	3.4	29.4	37.2	38.2	36.4	25.0	5.9	4.7
3.6	28.9	34.9	33.6	37.1	28.6	27.9	26.4	4.5
28.2	31.8	33.4	8.5	36.0	10.2	35.0	34.0	28.9
30.5	20.0	32.8	29.2	34.1	23.3	34.3	29.3	26.8
23.1	26.6	28.8	29.5	34.8	29.6	26.5	33.0	24.5
24.8	9.4	28.2	0.7	1.1	6.5	24.3	0.9	24.0
3.9	6.9	6.4	0.8	1.5	5.2	4.2	1.4	4.0

3 × 1 南-北向分析窗口

2.6	2.6	2.8	3.3	3.3	3.7	3.8	3.7	2.9
9.8	15.9	20.1	23.3	24.4	23.3	20.4	16.1	10.0
17.9	22.7	25.1	27.4	28.4	27.0	24.6	22.1	17.5
22.5	26.7	28.9	29.4	29.0	28.4	27.5	25.2	21.5
24.1	26.9	28.1	27.7	27.5	27.4	26.8	25.2	23.0
23.8	26.4	27.7	28.1	28.9	28.6	27.9	26.0	23.1
22.9	24.6	25.6	25.7	26.2	25.5	25.0	23.4	21.6
19.1	20.7	22.7	22.2	20.8	21.7	22.2	20.0	18.3
13.3	13.3	13.3	10.2	12.2	8.7	11.9	12.1	12.1

5 × 5 加權八鄰域分析窗口

2.8	4.8	2.5	0.6	2.5	5.5	4.9	4.4	2.3
2.8	4.8	21.9	29.1	30.1	29.5	21.4	5.0	3.4
4.4	21.6	31.3	31.7	29.9	31.4	30.1	20.5	3.4
21.4	31.7	32.0	30.6	34.4	29.2	29.9	28.5	21.2
27.0	29.1	30.4	30.7	33.7	25.9	28.2	28.8	25.3
25.7	25.3	32.1	30.7	34.6	29.6	30.3	29.3	25.5
25.4	24.6	31.8	27.6	26.9	25.8	30.1	27.9	24.4
24.2	25.5	21.1	22.9	26.8	22.5	19.2	26.1	25.2
20.4	9.7	20.7	0.8	1.4	4.9	18.3	1.6	20.1

5 × 1 南-北向分析窗口

13.3	15.8	18.4	19.5	19.6	19.6	18.5	16.0	13.6
18.1	19.0	21.4	23.1	23.6	23.1	21.3	18.8	17.8
21.8	23.1	25.2	26.3	26.9	26.2	25.0	22.9	21.5
22.9	23.9	25.6	26.5	26.7	26.4	25.2	23.4	22.3
23.1	24.1	25.7	26.5	26.7	26.3	24.9	23.1	22.0
23.0	23.9	25.4	26.2	26.4	26.2	24.9	23.0	21.9
22.8	23.8	25.3	26.1	26.4	26.4	25.2	23.4	22.3
20.6	20.7	21.8	23.0	23.4	23.0	21.4	20.0	19.9
17.9	18.6	19.6	20.2	20.2	20.1	19.3	18.2	17.4

7 × 7 加權八鄰域分析窗口

2.5	4.3	19.9	26.5	27.4	26.9	19.7	4.5	3.1
3.6	18.2	27.6	28.2	25.3	27.7	27.0	17.6	2.8
17.7	27.1	27.7	29.9	31.1	29.8	27.5	26.3	18.0
23.1	26.4	28.7	29.8	31.0	28.9	28.2	25.8	22.2
23.0	26.1	30.4	29.7	30.8	28.6	27.6	25.1	21.9
22.9	25.4	30.0	29.9	30.6	27.8	27.3	25.4	22.1
22.8	24.8	29.4	29.8	30.7	28.0	27.4	25.9	22.9
22.8	24.7	27.3	24.4	22.5	22.7	25.9	25.4	22.7
23.1	23.9	18.9	20.8	24.3	20.7	17.5	24.0	24.0

7 × 1 南-北向分析窗口

圖 4-8 坡度粗糙度正方形、南-北向分析窗口之篩選結果

3.4	2.5	4.0	2.6	3.0	2.1	1.6	2.9	2.4
1.4	1.7	0.9	1.1	1.7	2.3	4.6	2.4	3.3
2.6	1.7	2.9	3.8	4.0	2.5	1.5	1.7	1.5
0.7	26.9	32.7	10.3	1.3	10.7	36.0	29.9	0.6
30.2	36.0	8.2	32.0	26.1	30.9	9.8	32.5	27.0
32.4	33.1	34.0	33.3	5.3	35.6	35.4	34.5	26.4
22.7	13.4	22.2	25.1	4.6	22.0	21.3	22.8	23.4
6.2	11.2	10.7	5.5	2.7	2.1	3.7	2.6	0.8
1.8	1.1	2.6	1.6	1.6	1.5	0.6	1.0	0.5

3 × 1 東-西向分析窗口

3.9	4.7	1.4	1.3	1.1	4.1	5.8	3.1	1.1
3.8	5.1	4.9	1.9	5.5	6.2	6.0	6.3	3.5
1.7	29.1	38.9	39.0	36.2	26.1	6.9	4.9	5.1
27.2	36.3	31.1	38.0	33.9	34.3	22.0	6.4	5.1
37.9	27.5	32.4	7.0	33.3	36.7	2.2	1.2	7.3
24.7	35.4	28.0	32.4	27.5	26.7	26.3	10.0	25.2
24.8	28.0	31.9	0.4	30.5	33.4	26.2	4.8	30.1
2.3	24.0	16.8	25.3	1.6	4.1	5.0	23.6	1.3
2.4	3.1	6.2	6.1	3.1	3.8	3.9	3.2	4.1

3 × 1 西北-東南向分析窗口

3.1	3.3	4.2	5.3	3.8	2.4	2.6	3.4	2.9
1.3	1.2	1.4	1.2	1.8	3.6	3.7	3.5	2.8
2.4	2.4	3.6	5.5	5.1	3.3	2.0	2.4	2.8
21.1	30.9	32.8	27.7	9.7	30.3	35.9	33.5	22.8
32.3	32.2	30.9	23.1	24.9	22.7	28.3	29.3	30.4
30.5	30.1	26.1	26.3	31.8	27.6	27.4	28.7	28.8
22.3	22.5	22.7	18.5	22.2	17.9	21.3	21.1	22.5
8.1	8.1	8.2	8.0	4.0	2.7	3.2	3.3	2.6
1.6	2.0	2.1	2.0	1.6	1.6	1.1	0.8	0.8

5 × 1 東-西向分析窗口

3.6	3.5	1.6	4.0	4.5	4.2	4.5	2.5	1.0
21.9	29.0	29.3	27.9	20.8	5.0	4.7	5.0	2.7
28.0	27.3	28.9	30.6	33.4	24.6	5.0	4.7	5.0
21.3	31.4	30.4	33.0	32.7	33.1	24.2	6.5	4.0
30.9	21.4	31.2	28.8	30.7	31.8	25.4	22.7	6.0
23.0	31.0	21.5	31.8	27.6	28.9	31.3	26.3	23.3
20.3	23.2	31.0	21.4	31.5	29.0	25.1	19.8	30.2
2.7	20.3	22.4	28.9	3.4	23.0	27.1	26.5	4.5
2.3	2.6	20.0	12.0	19.1	3.1	3.0	4.9	19.4

5 × 1 西北-東南向分析窗口

3.2	3.6	4.8	5.5	4.9	3.2	2.9	3.0	3.3
1.1	1.3	1.6	1.7	3.1	3.2	3.1	3.1	3.2
2.4	3.0	4.6	5.4	5.4	4.3	2.8	2.8	3.0
29.1	32.1	32.7	28.9	30.3	31.6	35.3	34.4	31.3
31.2	29.8	29.2	27.9	20.4	26.5	27.6	27.7	28.8
29.8	30.1	27.4	28.6	29.8	28.4	26.1	28.6	28.3
22.2	21.4	20.5	21.0	19.2	21.6	19.7	19.7	20.6
7.3	6.7	7.1	7.1	6.6	4.4	2.7	3.5	3.7
1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.4	1.3	0.9	0.7

7 × 1 東-西向分析窗口

26.5	26.9	25.7	19.1	4.5	4.2	4.4	2.4	1.0
25.5	24.4	27.3	30.0	22.2	4.1	3.9	4.1	2.4
29.5	28.8	28.6	27.9	32.1	24.3	5.6	4.2	4.4
19.5	27.8	28.0	28.9	27.7	30.4	24.0	5.6	4.6
28.8	18.1	28.3	28.3	29.3	28.0	30.5	23.2	5.9
21.2	27.1	18.0	28.1	28.3	28.9	27.7	30.3	22.6
18.8	19.5	26.7	17.7	27.9	28.1	29.1	28.4	29.8
2.5	17.4	19.5	26.7	17.8	28.3	27.0	23.3	18.7
2.3	2.5	18.6	20.6	27.4	3.0	21.2	24.9	24.9

7 × 1 西北-東南向分析窗口

圖 4-9 坡度粗糙度東-西向、西北-東南向分析窗口之結果

3.0	3.8	2.4	0.9	1.5	3.0	1.8	2.2	3.2
4.1	2.5	2.6	2.0	3.4	4.9	5.8	4.0	2.1
1.1	3.4	2.8	28.3	37.4	36.1	33.3	25.0	4.6
3.4	3.8	27.5	34.6	30.1	34.7	23.4	36.0	26.9
3.9	1.0	1.2	35.3	33.1	8.7	35.8	28.8	36.0
25.7	8.6	25.2	26.7	31.6	32.3	26.0	31.4	27.0
32.9	12.3	20.9	38.2	29.4	6.8	33.6	26.8	22.0
11.5	21.6	7.0	0.9	5.3	26.0	2.7	23.6	0.7
5.9	7.0	2.0	0.9	2.9	2.2	1.6	2.6	1.0

3 × 1 東北-西南向分析窗口

2.4	3.2	1.9	2.3	1.8	2.6	3.6	4.3	3.6
3.2	1.9	2.6	2.2	22.6	29.9	29.7	27.5	20.2
1.8	2.6	3.0	27.8	36.0	31.6	27.3	23.5	27.8
2.7	3.1	26.4	34.6	31.1	29.3	26.3	31.6	21.3
3.2	25.2	25.8	28.4	27.6	27.2	31.2	20.8	29.6
25.2	27.6	28.6	26.7	31.3	31.9	21.1	30.5	21.5
32.1	21.0	23.5	30.7	30.6	20.6	29.9	21.1	18.1
10.0	23.7	28.3	23.0	4.8	29.7	20.5	17.5	1.9
18.5	5.1	1.5	3.8	19.3	1.9	18.1	2.3	0.8

5 × 1 東北-西南向分析窗口

2.4	2.9	1.7	2.3	2.0	20.6	27.2	27.1	25.4
2.9	1.6	2.3	2.6	24.5	31.9	28.5	23.6	22.5
1.7	2.4	2.6	26.6	34.9	28.6	27.1	26.3	29.7
2.5	2.7	26.2	33.3	27.5	27.2	26.5	27.9	19.0
2.9	25.2	32.3	26.3	25.7	28.2	27.9	17.7	28.3
25.4	31.6	26.3	26.1	28.1	27.6	17.7	26.5	19.4
31.2	27.2	27.0	28.7	28.2	17.8	26.5	17.9	16.4
19.8	21.9	26.9	27.6	17.3	25.8	17.7	15.3	2.1
22.9	25.7	21.0	4.4	27.3	18.8	16.2	2.1	0.8

7 × 1 東北-西南向分析窗口

圖 4-10 坡度粗糙度東北-西南向分析窗口之結果

1.7	5.5	1.7	2.7	1.0	4.6	3.0	6.9	1.1
2.0	9.5	1.0	1.0	2.0	8.7	5.4	6.2	1.4
1.0	5.9	1.0	22.4	23.1	23.0	3.3	7.9	3.0
6.5	5.8	23.4	22.8	22.5	20.9	20.3	8.5	7.4
7.5	23.0	22.9	21.3	21.6	21.1	21.7	23.0	7.8
10.2	26.3	21.4	19.3	18.9	20.9	19.9	25.0	9.6
4.8	26.3	20.0	19.3	18.9	21.9	21.0	26.5	7.0
4.8	21.1	21.1	0.0	3.5	5.6	21.0	20.3	6.7
2.0	19.2	2.7	1.0	2.1	4.7	9.0	15.6	3.2

3 × 1 南-北向分析窗口

1.6	6.5	5.6	7.8	7.0	6.9	4.5	5.7	2.3
9.2	11.3	1.6	4.3	4.9	0.0	3.3	2.9	3.4
2.8	2.8	3.2	0.0	0.0	0.0	3.3	7.0	7.0
2.8	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.8	7.9
3.2	35.9	36.1	34.5	34.4	34.3	40.7	38.2	6.3
40.6	38.3	36.0	34.9	34.3	36.9	39.2	36.5	38.7
37.0	36.5	36.0	35.4	2.8	35.6	38.4	40.0	37.5
5.7	10.4	6.6	9.2	5.6	3.3	0.0	0.0	6.5
1.6	1.6	1.6	3.2	4.2	2.8	3.1	3.3	0.6

3 × 1 東-西向分析窗口

1.5	6.8	1.5	2.0	1.5	6.3	3.8	5.4	1.7
1.5	6.9	1.5	18.0	18.1	19.4	3.8	6.3	2.2
5.4	7.0	18.2	17.5	18.1	19.4	17.2	7.4	5.8
5.4	19.2	18.2	19.8	20.4	20.1	16.3	16.9	6.3
7.2	20.2	20.6	20.1	19.5	20.1	17.9	19.6	7.1
7.2	22.0	20.6	20.1	19.8	21.7	21.0	21.8	7.4
7.3	21.5	21.2	15.0	15.5	15.8	21.0	19.8	7.4
3.4	21.9	15.6	15.2	15.5	15.6	15.2	20.8	6.9
3.6	16.3	15.5	0.8	2.5	4.5	15.2	14.8	6.0

5 × 1 南-北向分析窗口

4.6	4.7	6.0	6.5	6.3	5.6	6.8	4.1	4.1
8.1	8.3	10.0	4.3	4.0	4.0	2.5	3.9	3.5
2.3	2.5	2.5	2.5	0.0	2.5	4.9	4.9	6.4
2.3	2.8	3.1	3.2	3.1	4.8	5.1	5.6	5.7
28.9	35.3	33.8	33.4	26.7	35.9	34.9	36.9	30.1
30.4	36.8	35.0	33.4	34.6	35.0	33.9	36.7	30.6
34.6	34.6	34.2	28.1	34.0	28.5	35.4	35.3	35.7
8.2	8.1	8.1	8.9	9.9	5.0	2.5	5.0	5.0
1.9	2.3	2.3	3.6	5.0	4.2	2.6	2.5	2.5

5 × 1 東-西向分析窗口

1.3	6.1	1.3	16.4	16.5	17.5	3.4	5.7	2.1
4.6	5.8	15.2	15.2	15.2	16.1	14.5	6.5	4.8
4.8	15.8	15.2	18.2	18.4	19.2	14.5	15.4	5.2
6.0	16.8	18.4	17.8	18.1	19.7	16.9	16.6	5.9
5.9	20.0	18.5	17.8	17.9	19.0	17.7	18.1	6.4
6.0	19.7	18.7	17.9	18.1	18.1	17.7	18.2	6.4
6.0	19.1	18.4	18.1	18.3	18.2	17.7	18.4	6.6
6.0	19.0	18.3	12.8	13.1	13.1	17.7	17.5	6.7
3.2	20.0	14.1	13.8	14.2	14.2	13.8	19.1	6.3

7 × 1 南-北向分析窗口

4.2	4.9	5.5	5.6	5.7	6.0	5.6	5.7	3.7
7.5	8.3	9.2	9.5	4.0	3.5	4.1	3.6	3.6
2.3	2.2	2.2	2.2	3.2	4.0	4.0	5.3	5.8
2.5	2.6	2.8	3.0	3.9	4.8	5.6	5.4	5.1
33.4	31.1	33.7	32.8	34.5	34.0	35.1	31.9	34.4
34.4	32.0	34.8	34.6	34.0	33.0	35.0	32.4	35.0
32.6	30.6	31.0	33.6	31.1	34.3	30.7	31.3	33.7
7.4	7.0	8.0	8.7	9.0	9.0	5.3	4.4	4.6
2.1	2.2	3.1	4.2	4.2	4.1	3.4	2.2	2.3

7 × 1 東-西向分析窗口

圖 4-11 坡度粗糙度正方形、南-北向分析窗口之篩選結果

4.3	2.3	2.3	1.5	3.2	4.6	5.7	4.0	0.0
2.3	8.8	1.7	2.4	0.8	1.9	4.9	5.4	2.4
1.7	20.3	23.0	20.5	2.3	4.7	3.6	15.5	3.4
19.1	1.7	20.0	22.6	19.1	1.8	7.0	3.2	15.0
1.7	19.1	1.4	16.8	16.7	43.5	1.4	4.6	1.3
21.5	1.7	17.7	0.8	14.9	20.4	40.9	10.5	4.9
5.4	12.3	0.8	15.4	5.4	17.8	22.3	38.0	9.2
0.8	8.7	12.8	1.6	16.6	4.4	3.3	4.3	22.5
2.2	0.0	4.5	13.7	2.1	1.9	3.1	2.3	3.9

3×1 西北-東南向分析窗口

0.0	2.4	7.7	4.5	3.5	7.6	5.0	2.2	2.7
2.4	12.7	2.3	1.5	3.4	2.7	2.0	4.4	1.8
8.2	2.3	2.1	3.8	3.0	21.2	19.4	20.0	1.9
0.0	2.4	8.2	4.9	21.6	25.2	23.9	2.1	18.6
2.4	7.9	2.1	35.3	27.6	24.9	5.2	19.0	3.5
11.4	2.1	34.2	30.2	23.4	8.5	16.1	10.2	20.3
1.2	32.4	30.1	24.7	3.6	20.5	7.0	16.6	10.4
23.0	12.6	2.4	1.1	25.1	2.6	17.4	9.7	4.8
6.7	1.2	3.3	3.8	1.3	20.5	10.1	3.1	0.9

3×1 東北-西南向分析窗口

6.2	1.6	1.9	1.3	2.6	4.3	5.8	4.1	0.0
15.3	16.6	15.4	1.9	3.4	3.6	12.1	4.7	3.6
1.4	15.1	16.4	18.7	1.8	6.2	2.7	11.5	4.0
14.9	1.4	16.8	18.8	31.2	2.1	5.9	3.1	12.8
1.4	16.3	1.4	17.1	21.5	32.0	9.0	5.1	2.7
17.4	1.4	16.6	4.5	18.2	21.3	31.9	8.2	3.5
6.2	17.7	1.8	17.6	4.0	13.6	16.0	31.9	7.5
0.7	6.3	14.7	1.5	13.0	4.3	14.8	16.9	28.1
2.3	1.0	6.6	10.5	4.8	14.4	3.7	4.2	3.4

5×1 西北-東南向分析窗口

0.0	2.1	9.3	4.2	3.9	6.9	4.3	2.1	3.1
2.1	9.4	3.2	3.0	5.6	4.1	17.2	16.2	15.5
9.3	1.8	1.8	6.4	3.5	20.7	18.8	17.3	1.7
1.8	2.1	5.8	3.7	26.5	21.3	20.2	4.1	15.1
2.1	8.3	3.7	27.6	27.1	22.2	6.7	15.7	7.4
8.3	1.8	26.3	28.6	24.4	7.4	19.9	8.0	19.4
1.5	27.9	22.0	19.2	7.4	23.6	8.1	18.9	8.2
25.9	21.6	19.4	3.4	20.1	5.3	20.7	8.2	3.4
9.1	1.8	3.7	19.7	1.9	15.6	9.1	5.7	1.1

5×1 東北-西南向分析窗口

15.1	14.0	1.7	3.2	3.6	11.3	5.6	3.9	0.0
13.8	13.8	16.4	1.7	5.4	3.6	11.0	5.2	3.9
1.3	14.7	15.9	25.5	2.1	5.1	3.5	11.2	4.3
15.4	1.3	14.9	17.8	26.7	7.6	5.1	2.8	11.5
1.3	14.8	3.9	16.0	18.8	27.2	7.4	5.0	3.1
16.4	1.7	15.2	4.0	16.6	19.0	28.5	7.4	4.7
5.6	15.2	1.7	15.8	4.3	17.5	19.3	29.2	7.3
0.9	5.4	15.2	4.1	17.1	4.2	13.0	14.3	29.1
2.3	0.9	5.9	14.2	4.4	12.9	4.2	14.2	15.5

7×1 西北-東南向分析窗口

0.0	1.9	8.4	3.8	4.1	6.1	4.4	15.5	14.8
1.9	7.6	3.4	4.1	8.3	5.2	18.4	15.5	15.6
8.4	2.6	2.8	7.2	4.7	22.5	18.7	17.3	3.7
1.6	1.7	7.1	3.0	24.1	22.6	18.5	6.2	15.7
1.9	7.0	3.1	24.1	23.4	20.1	7.1	17.0	7.3
7.5	3.1	25.3	23.4	21.4	7.3	19.4	7.1	19.1
1.6	26.5	23.8	22.1	6.9	21.8	7.4	18.7	7.4
26.7	18.2	16.2	6.1	22.2	7.3	18.7	8.8	5.2
19.6	17.7	3.7	18.1	4.9	20.2	9.4	5.2	1.1

7×1 東北-西南向分析窗口

圖 4-12 坡度粗糙度東-西向、西北-東南向分析窗口之結果

五、地形開闊度分析結果

圖 4-13、圖 4-14、圖 4-15 為地形開闊度之結果，地形開闊度分析中網格值越高，則趨於白色表示地形越開闊；地形開闊度分析中網格值越低，趨於黑色表示地形越狹窄。其中南-北向分析窗口中微地形與周遭的落差比八方位分析窗口對比更強烈，且可以看出有被較高的地形開闊度值包圍的特徵，由於南-北向受到均化之影響更小，因此微地形特徵與周遭的地形開闊度值落差更大，更能反映出微地形特徵。東-西向、西北-東南向、東北-西南向分析窗口，因為部分網格的分析窗口與微地形特徵呈水平的方向關係，導致部分網格在進行單方向性窗口分析時，涵蓋較多微地形特徵，而無法凸顯地形起伏的程度。隨著半徑越大而圍繞於微地形特徵的正開闊度數值受到分析窗口水平的方向關係的影響得到改善，使東-西向、西北-東南向、東北-西南向分析窗口在較分析窗口時分析結果如同南-北向一樣顯著，也因此使八方位分析窗口在分析窗口較大時分析結果僅略輸於南-北向分析窗口。

綜合上述結果可以得知，地形開闊度在多方向性分析窗口在分析窗口較小時，其因為均化的影響，凸顯微地形特徵的效果略輸於單方向性分析窗口，但隨窗口越大反而受到均化影響越小。因此可以得知在較為簡單的微地形下，單方向性分析窗口及多方向性分析窗口的顯示結果並沒有相差很多。但不論是負開闊度、正開闊度、地形開闊度，在單方向性分析窗口中的微地形特徵之數值，都會與周遭有更大的落差，能凸顯出微地形特徵的位置。

1.4	-2.3	-4.2	8.4	-0.5	-7.3	-4.2	8.7	-2.6
-3.3	-3	0.2	-2	4.3	-14	9.4	9.7	-7.6
5.4	0.2	-0.3	2.3	5.1	-7.3	-0.2	-8.1	-4.2
0.1	-5.2	9.1	8.8	17	6.3	0.8	7.1	-13
1.8	-4.1	15	-60	-65	-59	15	15	-4.6
27	14	-60	41	47	35	-59	3.1	11
3	-75	24	13	4.5	9.3	27	-72	-1.5
13	35	9.3	2.3	-3.3	-14	11	21	14
0.2	-4.5	1.9	-3.9	5.6	-10	20	-1	-0.8

3×3 八方位分析窗口

1.7	-1.7	-3.5	7	-1.8	1.9	-5.5	4.7	1.9
-5.5	-1.8	1.8	-5	1.8	-4.1	9.7	6.9	-2.3
5.5	3.5	-1.8	3.5	1.7	2.2	-2.9	-13	1.7
-3.5	-1.7	3.5	21	21	22	-2.7	4.2	-4.7
-9.1	-3.8	21	-83	-83	-82	23	11	0.4
19	26	-82	62	60	60	-81	12	9.5
-9.7	-83	62	-3.5	3.2	1.6	60	-80	-13
1.8	68	-5.5	3.5	-7	-3.4	-11	62	6.4
1.7	-12	3.8	-3.5	3.8	1.8	18	-0.9	2.5

3×1 南-北向分析窗口

0.8	-2.6	-3.4	6.5	-1.1	-6.9	-3.5	6.9	-1.2
-2.8	-2.4	-0	-0.2	1.7	-11	6.3	7.7	-5.2
3.8	2	1.6	6.7	5.2	-1.5	1	-5.5	-3.1
1.3	-3.6	7	5.2	13	0.4	0.2	5	-6.2
1.8	3.7	11	-58	-70	-56	11	15	-1.9
22	7.3	-68	20	33	15	-66	-3.3	11
1.2	-71	18	25	8	21	19	-68	-4.6
13	23	10	0.8	9.9	-11	11	13	13
0.9	4.5	1.8	4.8	1.4	-1.5	13	6.7	-1.7

5×5 八方位分析窗口

0.4	-1.7	-2.6	4.9	-1.4	1	-2.7	5.3	1.4
-3.6	-1.3	0.5	-2.5	1.8	-3.1	7.5	5.4	-1.4
3.2	2.6	-0.5	11	11	11	-1.4	-10	-0
-4.3	-1.7	12	10	9.9	11	6.4	3.5	-4.2
-4.1	7.3	10	-79	-79	-78	11	17	1.9
14	11	-78	31	31	31	-77	0.9	7
-5.7	-78	30	26	29	28	27	-76	-9.2
-0.6	38	24	1.7	-5.3	-2.6	21	35	3.2
1.7	20	2.8	-2.2	1.9	0.9	14	26	0.5

5×1 南-北向分析窗口

0.5	-1	-1.5	4.6	-2.1	-6.5	-4.4	4.2	-1.2
0.4	0.5	3.8	1	2.6	-8.3	5.4	6.9	-1.9
2.9	2.3	4.8	4.5	1.3	-2.5	2.1	-2.6	-2.1
2.5	0.4	5.5	5.6	12	0.6	-1.1	5.5	-5.6
5.3	2.1	11	-58	-61	-58	10	8.7	1.1
16	6.7	-63	16	16	11	-63	-0.5	8.9
2.5	-69	13	5.6	9.9	1.3	10	-65	-2.8
8.7	24	5.5	14	17	3.6	3.9	14	4.4
2.4	4.2	15	11	0.7	6.3	21	4.6	-1

7×7 八方位分析窗口

0.8	-1.1	-2.6	4.7	-0.9	1	-2.5	3.9	1.5
-3.6	-1.3	0.9	6.3	10	5.9	6.4	4.8	-1.8
1.5	1.5	8.2	1.6	1.6	1.1	6.6	-6.4	-0.4
-1.3	7.7	2.5	11	10	11	-2.6	9.4	-2.2
-4.6	-4.6	11	-75	-75	-73	11	6.3	0.6
12	14	-74	31	30	30	-73	4	6.1
-4.9	-74	30	26	29	28	30	-71	-7.3
-0.7	37	24	26	21	22	21	31	1.1
0.2	21	25	-2	1.9	0.9	31	26	2.1

7×1 南-北向分析窗口

圖 4-13 地形開闊度八方位分析窗口、南-北向分析窗口之分析結果

2.7	-2.7	-8.5	14	-3.6	-10	-7	14	-7.4
-2.7	-2.8	2.8	-2.8	10	-27	10	11	-15
5.5	-2.7	-2.8	2.8	5.2	-14	5.7	-8.5	-5.2
2.7	-8.3	8.3	-2.7	3.2	-9.4	-7.8	14	-13
8	-8	39	-39	-11	-33	32	13	-22
28	24	-82	47	4.2	31	-81	23	19
36	-82	49	-5.5	7.5	-13	43	-80	29
-11	29	-18	8	-2.6	-14	-2.7	11	-8.5
5.5	-5.5	8	-8	8.5	-27	26	-11	-2

3 × 1 東-西向分析窗口

1.4	-2.9	-2.9	4.5	2.6	-11	-6	12	0
-2.9	-2.9	0	0	1.2	-9.6	13	12	-13
4.1	-0	1.5	2.9	4.3	-5.8	-0	-7.6	-8
1.4	-4.1	21	19	18	-7.5	-8.4	4.5	-20
1.5	18	1.5	-83	-82	-39	6.7	8.4	-2.1
31	1.4	-82	0	66	59	5.5	-9.1	1.3
-12	-82	-1.4	64	3.7	-7	-4.1	-48	-7.1
2.9	17	63	0	-1.1	-23	-1.4	7.6	58
0	-2.9	-4.3	-1.5	3.1	-4.9	23	5.3	-2.3

3 × 1 西北-東南向分析窗口

2	-4.1	-5.6	11	-2.8	-13	-6.1	11	-3.7
-2.7	-2.8	1.4	0.6	3.1	-22	6.6	10	-11
4.1	-2	-2.8	3.4	2.6	-11	0	-8.4	-4
0.7	-5.6	5.6	0.2	0.2	-11	-6.7	8.7	-8.7
5.4	12	35	-40	-43	-34	33	21	-11
35	13	-79	24	39	13	-77	5.3	28
18	-78	25	19	2.9	7.8	20	-76	9.9
-3.6	23	-9.7	2.2	-4.1	-15	-3.5	8.4	-4.3
3.4	-2.1	4.7	-3.9	-0.7	-19	16	-4.3	-4.7

5 × 1 東-西向分析窗口

0.7	-2.5	-2.5	4	0.5	-7.4	-3.9	7.3	0
-2.5	-2.2	0	0.4	1	-9	8.3	8.6	-7.6
2.8	8.4	9.1	10	2.7	-7.4	-1.6	-9.5	-4.9
9	-2.8	12	11	17	-4.6	-7.7	4	-13
1.5	8.5	0.4	-79	-79	-36	2.7	6.5	-1.1
20	1.4	-78	1.4	32	25	-34	-9.3	2.6
-6.2	-78	-1	33	-0.6	23	25	-44	-6.6
1.8	13	29	0.5	27	-15	-1.9	5.9	55
0.7	-1.4	-1.4	28	1.4	-5.2	12	3.3	-1.9

5 × 1 西北-東南向分析窗口

0.4	-0.1	-0.5	9.5	-4.9	-12	-7.6	8	-3.7
1.3	0.5	7.5	-0.3	2.6	-21	6.2	8.7	-8.1
6.8	1.8	3.8	4.8	2.4	-10	-1.9	-8.9	-4
4.2	-0.8	11	2.7	-1.4	-11	-7	6.1	-8.7
21	13	33	-54	-43	-52	31	21	4.5
30	13	-77	38	37	30	-76	4.2	21
18	-77	30	21	36	7.8	18	-74	9.9
0.8	24	-2.7	0.9	-6.5	-15	-5.1	5.8	-3.8
8.7	2.2	9.9	-5.8	-0.7	-19	14	-4.4	-3.7

7 × 1 東-西向分析窗口

0.7	-1.5	-1.2	2.2	-0.3	-7	-6	3	0
6.1	6.1	6.4	-0.3	0.2	-7.1	0.4	3.6	-4.6
1.8	7	7.7	11	1.4	-5.7	-3	-3.7	-1.6
7.8	-1.9	11	10	16	-4.1	-3.3	3.7	-14
1.3	10	1.4	-64	-65	-43	2.3	-2.5	-2.6
13	-0.1	-63	-0.5	-0.7	-7.4	-41	-5.4	0.5
-5	-64	1	-9.6	-10	-15	-4	-56	-6.9
6.7	5.7	-9.8	0.8	30	18	14	23	23
-0.2	-10	0.8	30	0.5	23	30	7.1	-0.4

7 × 1 西北-東南向分析窗口

圖 4-14 地形開闊度東-西向、西北-東南向分析窗口之結果

0	-2	-2	8.4	0.9	-9.4	1.8	4.3	-5
-2.2	-4.6	-3.8	0	3.6	-15	4.1	8.8	-0.6
6.6	0	2	-0	9.1	-12	-3.8	-3.2	-5.3
0	-6.6	3.8	-2	28	20	22	5.6	-13
6.6	-22	-2.2	-36	-83	-82	-1.8	28	5.5
28	4.2	5.2	57	58	-9.4	-81	-14	14
-2	-52	-15	-2	3.6	56	10	-81	-15
58	24	-2.2	-2.2	-2.6	-14	61	4.6	-1.1
-6.4	2.2	0	-2.4	7.1	-11	12	2.2	-1.5

3 × 1 東北-西南向分析窗口

0	-2.1	-2.6	6.4	-1	-8.5	-1.3	4.2	-2.5
-2.2	-3.3	-1.9	0.7	1	-12	2.7	6.6	-0.9
4.9	-1	0.5	1.9	4.4	1.9	6.9	6.3	-3.4
0	-4.4	-1	-0.4	23	5.6	8.8	3.7	1.3
4.4	-13	-1.6	-33	-79	-78	-2.6	15	2.8
20	3.2	-35	25	29	-9	-77	-10	8.2
-1	-48	18	24	0.5	24	2.7	-76	-12
56	18	-2.2	-1.3	22	-10	27	3.8	-0.6
-2.1	1.6	1.1	-3.1	3	17	9.9	1.6	-0.7

5 × 1 東北-西南向分析窗口

0	-1.2	-1.8	1.9	-2.3	-8.2	-1.3	1.9	-2.5
-2.1	-3.3	0.1	-1.7	-2.5	-11	8.7	10	6.8
1.7	-1	-0.4	0.9	-0.1	4.7	6.5	8.5	-2.4
-0.7	-3.2	-2.3	-1.1	23	5.7	8.6	2.7	3.1
4	-11	-0.4	-37	-60	-65	-4.3	9.7	2
8.6	0.3	-38	-3.5	-0.2	-9.3	-62	-4.8	8.2
2.3	-62	-7.8	-14	-16	-16	-2.2	-57	-6.9
28	31	10	27	22	-11	-14	-4.4	-2.9
0.7	3.6	25	22	1	21	6.4	-11	-2.1

7 × 1 東北-西南向分析窗口

圖 4-15 地形開闊度東北-西南向分析窗口之結果

六、不同地形因子結合之分析結果

不同的地形因子結合在可視化分析上已有廣泛的應用，透過不同地形因子能將部分地形特徵凸顯出來，然而可視化分析若疊合太多地形因子之圖層可能會造成微地形特徵無法識別的情形。若利用設定門檻值的方法能將多種地形因子進行結合，在較為複雜的地形中提取出微地形特徵，因此本研究嘗試使用紅色地圖之地形因子，利用試誤法建立坡度、地形開闊度的門檻值，並且比較單方向性因子與多方向性因子設定門檻值篩選效果。

圖 4-16 上方組合為南-北向坡度門檻值設為小於 40° 、 3×1 南-北向分析窗口之地形開闊度門檻值設為小於 -60° ，對微地形特徵進行篩選，若滿足兩個條件則賦值為 1。下方組合則為加權八鄰域坡度門檻值小於 40° 及 3×1 八方位分析窗口之地形開闊度開闊度門檻值數小於 -60° ，對微地形特徵進行篩選，若滿足兩個條件則賦值為 1。

由圖 4-16 的結果可以看出南-北向坡度在進行門檻值剔除的過程中有顯著的篩選效果，而加權八鄰域坡度則因為均化影響，導致無法從坡度值區分微地形特徵與周遭的差異，得到較差的篩選效果，而由於虛擬地形較為簡單，因此地形開闊度及天空開闊度篩選效果並沒有坡度來的顯著，後續本研究將嘗試應用於較複雜的真實地形進行相同組合的地形因子並討論其結果。

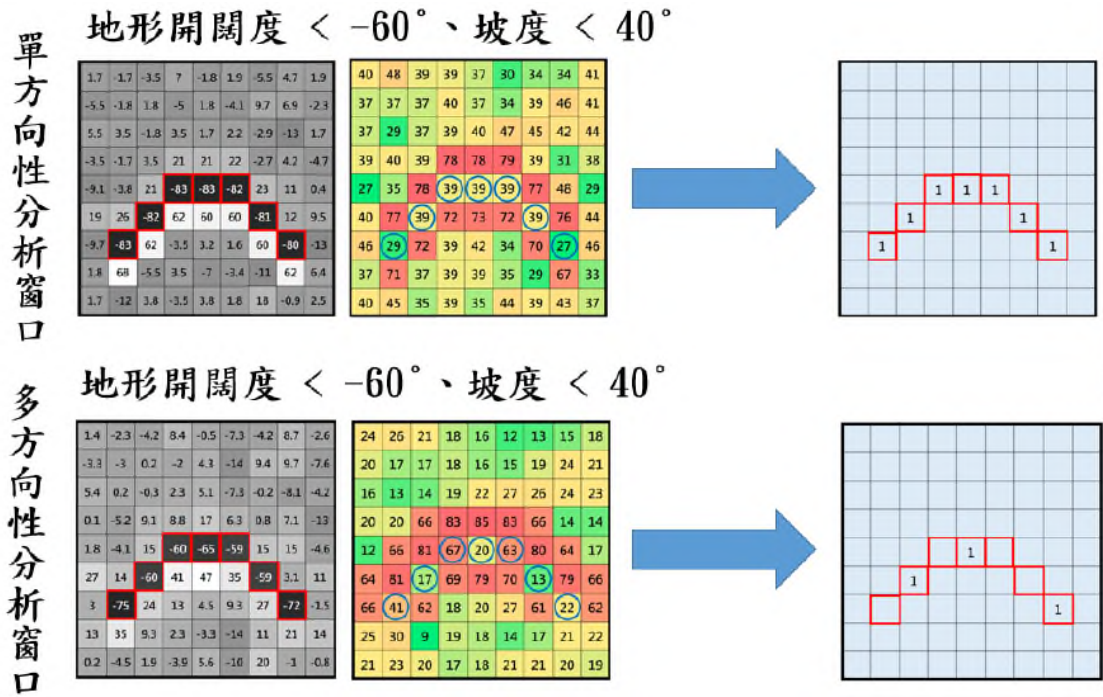


圖 4-16 利用地形開闊度與坡度門檻值篩選虛擬張力裂隙地形之結果

七、小結

本章節利用南向坡之坡面，進行東-西向張力裂隙的地形因子分析，根據其結果顯示，統整出以下重點：

- (一)單方向窗口的提取裂隙的效果較多方向窗口佳
- (二)窗口的半徑越大，反而更均化、模糊裂隙特徵
- (三)窗口方向以南北向窗口提取效果最佳，而東西向窗口提取效果最差

為進一步推論出，窗口與坡面走向垂直時，提取效果最佳；亦或是窗口與特徵方向垂直時，提取效果最佳。因此，第二節將會利用同樣為南向坡之坡面，來模擬蝕溝地形，希望可以透過此結果推論出窗口方向、坡面走向與特徵方向三者之間的關係。

第二節 虛擬地形之蝕溝特徵分析

第二節利用與第一節相同之南向坡面，但提取的特徵為蝕溝，且以窗口半徑為 3 公尺的單方向、多方向分析窗口進行地形因子的探討。

此蝕溝虛擬地形將分為兩部分，第一部分為西北-東南向蝕溝，接著接續第二部分的南-北向蝕溝，網格解析度為 1 公尺，其地形高程值如圖 4-17 所示，圖中框選出蝕溝位置，以利各地形因子在提取特徵時做對照。

184.8	184.3	184.5	184.5	185.1	185.6	184.8	185.0	185.0
184.3	184.4	178.6	184.0	184.6	185.1	184.1	184.4	184.5
183.3	183.2	177.8	177.2	183.6	184.1	182.9	183.2	183.6
183.0	183.2	182.5	176.7	177.5	183.8	182.7	182.7	183.3
182.3	181.9	181.7	181.1	176.9	176.2	180.3	181.8	182.3
181.4	181.3	180.9	180.4	180.3	175.7	172.5	181.4	181.6
180.7	180.6	180.1	179.8	179.5	179.1	171.9	180.7	180.9
180.0	180.0	179.5	179.3	178.9	178.5	171.1	180.4	180.3
179.3	179.4	178.8	178.7	178.2	177.9	170.2	179.9	179.6

圖 4-17 虛擬蝕溝地形之高程(m)

一、各地形因子分析結果

首先，將虛擬地形中的蝕溝位置以粗框圈選出來，由圖 4-18~圖 4-22 中可看出，高程、地形粗糙度、坡度、坡度粗糙度與地形開闊度等因子在東西向的窗口中，對南北向的蝕溝的提取結果最佳，但對於西北-東南向的蝕溝提取效果不佳；而東北-西南向的窗口中，提取南-北向的效果普通，但提取西北-東南向的蝕溝效果最佳；其餘方向性窗口提取效果最差。

二、不同地形因子結合之分析結果

得到各地形因子的結果後，利用兩個地形因子做門檻值的設定與交集分析，由於本研究提取的微地形特徵為蝕溝，因此，本研究分別設定地形開闊度小於-50 且坡度小於 60 度之門檻值，比較東北-西南向窗口與多方向窗口對於地形開闊度與坡度之地形特徵差異，結果如圖 4-23 所示，分析結果顯示出單方向較多方向更能夠準確且連續的提取微地形特徵。

方向性分析窗口應用於地形計測之研究

0.47	5.73	5.92	5.97	1.00	1.48	0.67	0.92	0.65
1.10	6.60	1.35	6.83	7.36	2.16	1.15	1.42	1.32
0.33	5.35	1.17	0.55	6.93	6.59	0.24	0.53	0.86
1.10	5.38	5.80	0.00	1.35	7.65	6.54	2.41	1.46
0.99	1.03	5.08	4.42	1.27	3.63	7.77	9.28	0.93
0.79	1.17	1.11	3.43	4.63	3.71	0.58	9.41	0.94
0.71	1.06	0.83	0.85	3.87	8.07	0.89	9.63	0.58
0.71	1.23	0.80	1.10	0.98	8.35	0.89	10.20	0.71
0.73	1.30	0.72	1.25	0.86	8.64	0.89	10.65	0.71

3×3 八方位分析窗口

0.33	5.73	0.43	0.00	0.00	1.48	0.40	0.46	0.10
1.10	6.60	1.35	0.45	0.47	2.16	0.86	0.78	0.61
0.11	0.71	1.17	0.00	0.00	1.41	0.23	0.00	0.23
1.10	1.47	1.38	0.00	1.35	3.51	0.89	0.42	0.35
0.99	1.03	1.38	0.80	1.27	3.63	0.00	0.17	0.30
0.79	1.17	1.11	0.83	1.16	3.71	0.00	1.06	0.41
0.69	1.06	0.83	0.85	1.01	8.07	0.00	8.16	0.21
0.64	1.23	0.80	1.10	0.98	8.35	0.00	8.43	0.34
0.60	1.30	0.67	1.25	0.86	8.64	0.00	8.88	0.34

3×1 東南-西北向分析窗口

0.47	0.00	5.92	0.49	0.47	0.46	0.67	0.64	0.46
0.96	1.25	0.73	6.83	0.98	1.00	1.15	1.13	0.97
0.33	0.00	0.00	0.55	6.09	0.29	0.24	0.51	0.31
0.73	1.32	4.64	0.00	0.58	7.65	2.40	0.91	0.98
0.90	0.61	0.88	4.42	0.00	0.50	7.77	0.45	0.66
0.64	0.71	0.75	0.61	3.36	0.00	0.58	0.67	0.76
0.71	0.54	0.60	0.47	0.63	3.47	0.89	0.31	0.58
0.71	0.66	0.71	0.57	0.72	0.60	0.89	0.44	0.71
0.73	0.68	0.72	0.58	0.72	0.60	0.89	0.44	0.71

3×1 南-北向分析窗口

0.00	0.01	0.05	5.97	1.00	0.99	0.00	0.92	0.65
0.40	1.11	0.00	6.22	7.36	1.51	0.00	1.42	1.32
0.00	4.62	0.00	0.00	6.93	6.59	0.00	0.53	0.86
0.18	5.38	5.25	0.00	0.00	6.88	6.54	2.41	1.46
0.39	0.53	5.08	3.58	0.00	0.00	4.64	9.28	0.93
0.14	0.56	0.29	3.43	4.13	0.00	0.00	9.41	0.94
0.23	0.56	0.07	0.24	3.87	6.60	0.00	9.63	0.49
0.25	0.73	0.13	0.48	0.19	6.58	0.00	10.20	0.35
0.26	0.80	0.10	0.63	0.05	6.86	0.00	10.65	0.08

3×1 東北-西南向分析窗口

0.47	0.00	0.19	0.06	0.51	0.81	0.00	0.25	0.00
0.00	5.87	0.00	5.48	0.53	1.02	0.00	0.27	0.18
0.14	5.35	0.61	0.00	6.38	1.17	0.00	0.28	0.35
0.00	0.75	5.80	0.00	0.84	6.30	0.00	0.02	0.55
0.38	0.15	0.66	4.16	0.77	0.00	4.14	1.51	0.49
0.08	0.42	0.50	0.08	4.63	3.13	0.00	8.83	0.28
0.15	0.46	0.36	0.22	0.40	7.18	0.00	8.74	0.18
0.00	0.53	0.23	0.38	0.38	7.47	0.00	9.32	0.00
0.00	0.58	0.09	0.53	0.26	7.75	0.00	9.77	0.00

3×1 東-西向分析窗口

圖 4-18 高程因子之蝕溝虛擬地形分析

0.7	2.2	2.1	2.2	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
0.7	2.7	3.2	3.3	2.5	0.8	0.9	0.8	0.7
0.7	2.4	3.2	3.3	3.6	2.2	0.8	0.7	0.7
0.6	1.7	2.6	2.7	3.4	3.2	2.5	1.0	0.7
0.8	0.8	1.9	2.2	2.8	3.6	3.9	3.3	0.7
0.7	0.7	0.7	1.4	2.0	3.2	3.8	4.0	0.7
0.6	0.6	0.6	0.6	1.4	3.7	4.1	4.5	0.6
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	3.9	4.3	4.7	0.5
0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	4.0	4.5	4.8	0.6

3×3 八方位分析窗口

0.9	3.7	0.9	0.4	0.1	0.9	1.0	0.6	0.6
1.1	3.9	3.8	0.4	0.3	1.2	1.2	0.6	0.5
0.9	0.9	4.2	0.7	0.2	1.0	1.3	0.5	0.5
1.0	0.9	1.1	0.6	0.7	2.0	1.2	0.3	0.2
1.1	1.1	1.4	1.1	0.7	2.6	1.8	0.6	0.4
1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	2.6	4.1	0.5	0.3
0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	5.0	4.2	4.6	0.4
0.9	1.0	0.9	1.0	0.9	5.1	4.9	4.7	0.4
0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	5.3	5.1	4.8	0.6

3×1 東南-西北向分析窗口

0.6	0.8	3.7	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.6
0.7	0.7	3.6	4.1	0.7	0.7	0.9	0.9	0.7
0.7	0.7	2.5	4.1	3.8	0.7	0.7	0.8	0.7
0.5	0.8	2.5	2.4	3.7	4.5	1.5	0.7	0.7
0.8	1.0	0.8	2.4	1.8	4.6	5.3	0.7	0.8
0.8	0.7	0.8	0.7	1.8	1.9	4.7	0.6	0.7
0.7	0.6	0.7	0.5	0.7	1.9	0.7	0.5	0.7
0.7	0.6	0.7	0.5	0.7	0.6	0.9	0.4	0.6
0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.9	0.4	0.7

3×1 南-北向分析窗口

0.5	0.6	0.5	3.9	1.1	0.6	0.6	0.8	0.9
0.2	0.7	3.1	3.9	4.6	0.8	0.5	1.1	1.1
0.6	2.6	3.4	3.8	4.5	3.8	0.7	1.0	1.1
0.2	2.9	2.9	3.6	3.3	3.7	3.9	1.7	1.1
0.7	0.6	2.8	2.0	3.4	3.3	3.6	5.8	1.0
0.4	0.5	0.3	1.9	2.2	2.5	4.8	5.7	1.1
0.4	0.4	0.2	0.4	2.2	3.7	4.8	5.9	0.8
0.4	0.4	0.2	0.4	0.2	3.7	5.0	6.0	0.7
0.5	0.5	0.3	0.4	0.2	3.8	5.2	6.3	0.6

3×1 東北-西南向分析窗口

0.5	0.2	0.1	0.3	0.5	0.4	0.4	0.1	0.2
0.3	3.3	3.3	3.3	0.5	0.5	0.5	0.2	0.3
0.4	3.1	3.3	3.5	3.8	0.6	0.6	0.3	0.4
0.3	0.4	3.6	3.1	3.9	3.4	0.6	0.3	0.3
0.5	0.3	0.4	2.6	2.7	2.2	2.9	1.0	0.6
0.3	0.3	0.5	0.3	2.7	3.9	4.5	5.2	0.3
0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	4.3	4.7	5.1	0.3
0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	4.4	4.9	5.4	0.2
0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	4.6	5.2	5.5	0.2

3×1 東-西向分析窗口

圖 4-19 地形粗糙度之蝕溝虛擬地形分析

方向性分析窗口應用於地形計測之研究

36.1	57.2	63.5	58.4	39.0	34.3	39.0	37.2	34.1
37.18	68.3	70.6	74.7	62.5	39.0	43.0	41.3	38.8
34.8	65.10	67.0	69.9	75.8	55.3	40.2	38.6	38.29
32.1	41.5	70.37	52.1	71.4	74.3	61.7	44.07	36.3
42.9	42.8	49.0	65.33	43.2	71.6	76.69	68.1	40.8
39.6	37.8	40.6	40.2	64.08	67.94	71.4	75.8	38.5
36.1	35.3	37.0	34.2	40.32	75.5	53.3	77.6	33.9
36.1	34.7	35.4	33.6	35.65	75.9	48.8	77.8	30.6
36.3	36.3	36.7	35.6	37.36	76.2	50.9	78.1	32.7

3×3 八方位分析窗口

31.6	33.0	73.5	32.0	31.8	31.7	39.1	38.2	31.4
35.66	29.1	73.3	74.7	36.0	36.1	42.3	41.6	35.6
32.8	31.26	62.9	74.8	74.2	32.8	34.8	39.5	32.55
27.8	32.8	62.93	62.7	73.3	75.9	52.9	35.36	32.7
39.2	44.0	38.8	61.58	54.2	76.2	78.87	34.1	39.2
37.7	33.4	39.3	33.7	52.45	56.03	76.5	29.1	35.4
34.1	31.9	34.1	28.4	34.68	55.1	36.2	26.1	33.9
35.4	30.8	33.2	27.4	33.95	31.0	41.6	20.6	32.7
35.7	33.7	35.6	29.9	35.76	31.0	41.6	23.7	35.3

3×1 南-北向分析窗口

28.0	8.0	6.9	15.9	27.2	8.4	15.7	7.1	10.1
12.61	70.7	10.9	71.6	27.8	13.8	20.4	12.9	15.3
19.3	69.99	71.5	70.9	73.8	18.2	23.8	17.6	19.36
9.9	14.8	73.02	68.0	74.4	68.9	28.8	15.90	17.5
24.9	14.7	21.9	67.45	67.9	59.3	70.50	44.9	29.0
16.6	14.1	24.7	16.1	66.98	75.55	70.7	77.6	17.6
18.2	17.1	22.3	16.2	17.38	75.2	38.0	77.4	14.9
13.0	14.1	20.7	16.9	20.76	75.7	42.8	77.8	7.9
11.0	14.1	18.4	17.2	21.56	76.0	45.2	78.0	0.2

3×1 東-西向分析窗口

40.4	73.9	40.1	20.0	5.6	40.9	44.7	30.2	27.2
47.38	73.9	74.2	23.8	12.2	46.5	49.5	30.6	28.3
39.7	42.23	75.6	27.8	6.7	43.2	50.1	22.3	26.97
44.8	38.3	46.31	24.3	27.9	58.8	49.0	18.00	8.8
48.8	46.8	55.0	47.48	26.8	68.1	50.83	28.0	19.8
48.3	47.2	46.9	47.9	44.45	68.12	66.2	15.9	16.2
42.7	42.9	45.0	44.4	42.59	77.8	67.0	75.6	19.4
42.8	43.9	42.9	43.9	42.43	77.9	22.1	75.3	20.4
41.9	44.0	43.6	45.7	44.43	78.3	26.0	75.6	29.7

3×1 東南-西北向分析窗口

23.1	27.0	23.4	74.6	48.8	29.5	22.6	40.0	41.3
11.65	30.0	34.1	74.5	76.5	30.1	24.2	45.9	46.9
23.4	65.72	22.6	46.5	76.7	73.1	15.3	42.7	47.65
10.2	65.7	66.84	42.8	56.5	71.6	74.2	58.61	46.7
33.7	28.9	66.6	59.18	59.9	50.3	74.17	79.5	44.8
18.3	27.0	14.5	57.8	60.91	20.96	53.2	79.1	48.0
21.4	23.0	9.3	21.2	61.13	72.6	54.8	79.3	38.9
21.9	21.9	10.5	20.0	11.65	72.2	54.1	79.4	32.7
26.5	25.1	16.1	22.3	11.14	72.7	56.8	79.7	30.0

3×1 東北-西南向分析窗口

圖 4-20 坡度因子之蝕溝虛擬地形分析

11.2	13.1	12.0	13.3	13.5	8.0	3.5	3.5	4.0
14.1	15.1	5.7	11.2	15.9	13.9	5.9	2.5	2.9
14.0	17.1	10.7	7.2	12.7	14.6	12.5	7.6	4.2
10.2	14.4	11.7	11.6	11.4	14.1	15.0	15.2	11.0
4.4	10.8	11.7	12.8	12.8	10.1	10.1	16.9	15.7
2.9	4.3	9.7	11.4	16.0	13.8	7.5	18.0	18.6
1.9	2.0	2.6	9.4	18.4	15.2	10.9	19.6	21.3
1.0	0.7	1.2	2.0	20.0	16.8	13.0	19.8	22.3
1.2	0.6	0.9	1.2	20.2	17.3	13.3	19.9	22.2

3×3 八方位分析窗口

17.5	11.5	10.8	19.1	20.7	16.4	8.2	11.2	7.6
3.0	19.8	26.7	16.7	16.2	24.7	13.9	9.4	4.0
3.7	2.7	29.1	26.8	26.5	19.8	17.6	20.7	2.3
1.8	9.3	2.8	28.9	23.3	28.0	10.9	18.0	16.7
5.1	1.2	8.4	1.5	24.6	22.7	22.8	16.6	11.3
3.2	1.9	1.4	6.2	18.4	23.5	4.9	19.2	10.5
2.4	3.2	1.7	2.3	19.1	28.0	4.5	29.5	10.8
0.8	0.6	1.6	0.5	20.1	26.5	31.5	24.3	28.1
1.0	1.0	1.2	1.4	19.8	25.2	29.4	27.7	24.0

3×1 東南-西北向分析窗口

4.0	11.9	18.2	22.7	4.1	4.4	3.4	3.5	4.2
2.1	2.0	6.1	24.7	23.3	2.3	3.7	1.7	2.2
4.0	1.9	6.0	7.0	21.8	24.0	9.1	3.2	1.7
5.7	7.0	13.9	7.4	11.3	24.9	22.2	2.8	3.8
6.2	6.3	13.8	16.4	11.6	11.6	14.4	3.3	3.3
2.6	6.6	2.9	17.8	10.8	11.9	24.0	4.0	2.8
1.8	1.3	3.3	3.4	10.5	14.2	21.9	4.3	1.3
0.9	1.4	1.2	1.3	0.9	13.9	3.1	2.8	1.3
0.2	1.6	1.3	1.4	1.0	0.0	0.0	1.8	1.9

3×1 南-北向分析窗口

8.1	16.0	13.0	20.2	17.4	25.5	10.7	11.0	4.6
7.7	3.8	21.3	26.0	23.8	29.3	25.0	16.5	10.1
9.0	27.8	27.8	15.3	24.1	24.9	28.2	17.1	13.2
28.4	22.4	19.0	17.4	8.9	29.7	16.4	13.3	25.6
20.3	25.5	19.9	25.1	7.4	12.0	27.4	17.3	25.0
5.6	24.6	23.7	28.7	20.5	27.7	13.6	17.6	22.3
3.1	4.6	25.2	26.5	23.5	31.1	12.5	16.6	24.0
0.6	8.9	7.5	24.9	32.5	31.5	13.0	20.3	27.8
2.3	9.4	4.3	5.4	32.6	32.3	11.7	23.5	29.0

3×1 東北-西南向分析窗口

10.1	11.9	4.9	10.2	9.5	9.5	4.6	4.4	2.7
32.5	34.1	34.8	31.3	30.2	7.0	4.1	3.9	5.4
30.2	29.7	0.7	1.6	31.3	30.6	3.4	3.2	8.8
3.7	35.1	32.3	3.3	3.4	24.9	27.6	7.1	6.8
5.3	5.3	28.6	26.4	4.9	5.9	12.8	20.9	21.6
1.5	5.5	5.6	27.3	32.2	4.3	3.6	32.8	38.8
2.6	2.7	3.3	3.3	33.8	29.3	22.1	31.6	39.3
2.1	4.1	3.3	2.2	32.9	27.6	19.6	34.9	41.2
3.1	3.7	2.3	2.2	32.8	27.3	18.4	39.1	43.6

3×1 東-西向分析窗口

圖 4-21 坡度粗糙度之蝕溝虛擬地形分析

-13	-14	-2	-6	-5	16	-21	-0	-10
0.2	32	-49	18	10	30	-13	7.4	3.7
-20	12	-44	-50	9.9	20	-31	-12	-8
-2	35	36	-56	-22	51	5.6	2.9	12
-4	-5	17	28	-29	-38	-9	1.1	-3
-9	3.9	0.6	5.9	37	-30	-66	24	0.5
-6	3.8	-4	-4	12	37	-60	25	-7
-8	10	-3	4	0.8	25	-62	34	-6
-9	11	-8	7.2	-5	27	-63	37	-13

3×3 八方位分析窗口

-18	15	-14	-20	-8	21	-18	-5	-19
0.4	32	-13	0.5	14	34	-8	8.2	3.4
-26	-6	-16	-35	-18	15	-26	-22	-12
3.2	25	9.3	-32	35	43	-6	5	11
-4	-1	-1	-8	33	11	-60	-16	-3
-9	2.5	1.1	-7	5.3	12	-79	36	6.3
-7	4.1	-5	-4	2.7	17	-79	52	-7
-9	8.2	-4	4.1	2.1	19	-83	61	-1
-10	10	-9	6.4	-3	19	-84	65	-10

3×1 東南-西北向分析窗口

-17	-28	3.8	-10	-9	-3	-18	-8	-13
-0	20	-36	19	6.1	11	-7	2.7	2.3
-23	-18	-58	-39	10	-6	-29	-16	-15
-2	23	36	-58	-24	33	11	1.4	7.4
-7	-14	2	32	-48	-34	-3	-8	-8
-13	-4	-8	-4	36	-50	-47	9.7	-3
-8	-7	-10	-10	-2	34	-27	3.6	-10
-9	-1	-7	-4	-6	1.7	-32	13	-6
-10	-2	-10	-4	-9	2.6	-32	12	-11

3×1 南-北向分析窗口

-26	-22	-18	14	-4	18	-34	2.7	-8
11	23	-79	18	19	38	-22	11	6.8
-31	44	-80	-81	13	41	-48	-12	-6
-0	61	55	-80	-78	61	27	13	11
-11	-1	52	44	-78	-79	5.2	14	-2
-10	2.1	1.8	44	52	-77	-83	20	-4
-8	6.5	-5	-7	45	47	-83	20	-11
-8	16	-3	5.9	-1	50	-83	29	-12
-11	16	-10	11	-8	53	-83	33	-21

3×1 東北-西南向分析窗口

-3	-18	3.6	-12	-0	33	-26	6.8	-10
-20	44	-80	26	0	37	-30	2.4	-5
-11	36	-24	-56	27	38	-33	-2	0
-21	25	22	-60	-20	65	-25	-14	12
-4	-6	13	22	-19	-57	10	15	-3
-11	9	1.9	-11	37	-3	-78	34	-2
-9	8	-3	-4	4.7	30	-83	37	-5
-14	15	-7	3.9	-0	31	-83	44	-12
-15	17	-12	11	-7	34	-83	52	-20

3×1 東-西向分析窗口

圖 4-22 地形開闊度之蝕溝虛擬地形分析

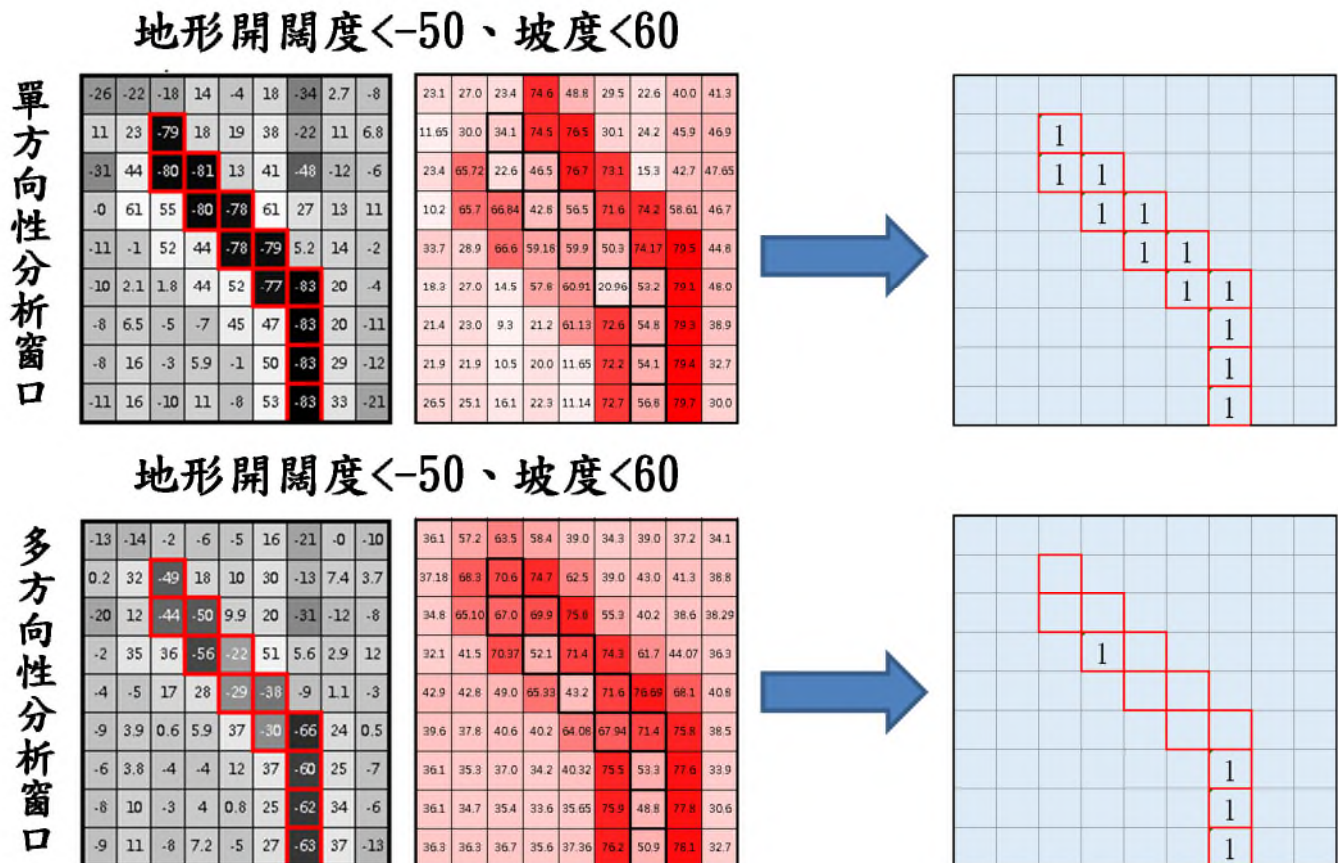


圖 4-23 利用地形開闊度與坡度門檻值篩選虛擬蝕溝地形之結果

三、小結

綜合以上結果，我們可以得出單方向窗口較多方向窗口有最佳的提取結果，且我們發現在南向坡坡面的蝕溝地形中，南-北向蝕溝的最佳提取窗口為東-西向，而西北-東南向蝕溝最佳的提取窗口為東北-西南向；再結合第一節張力裂隙的最佳方向窗口結果，我們可以結論出，當分析窗口與微地形特徵垂直時，有最佳的特徵提取效果(圖 4-24)，而並非是依照坡面的方向去決定最佳窗口的方向。

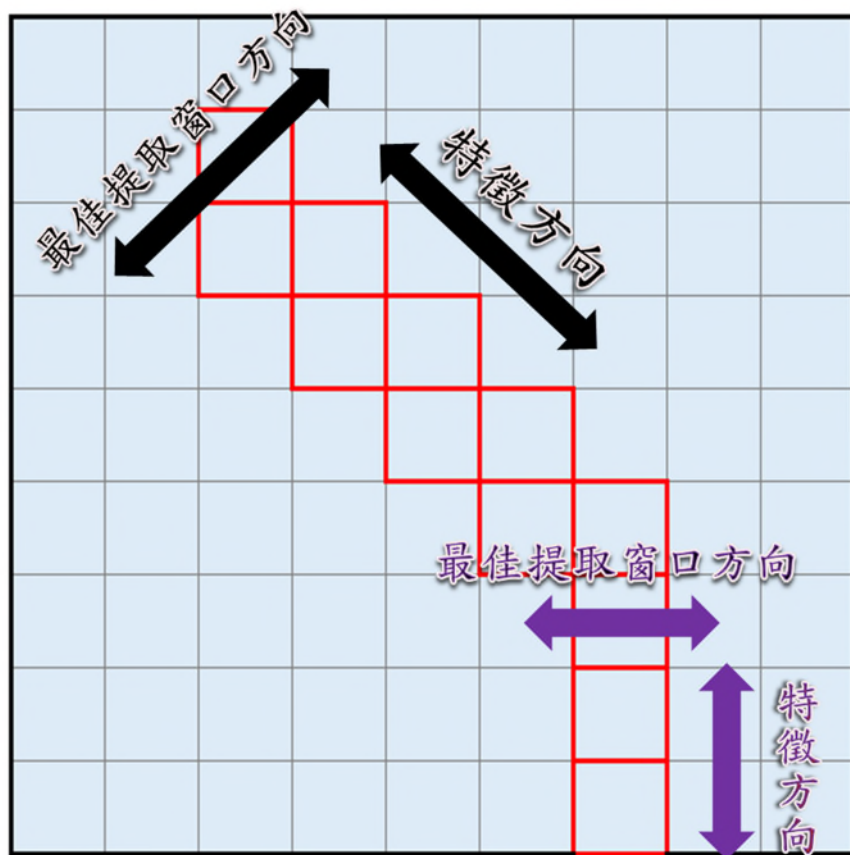


圖 4-24 最佳提取地形特徵之窗口方向與特徵方向垂直

第五章 實際地形分析結果

第一節 中心崙基本資料

本研究區域位於嘉義縣竹崎鄉內，為一舊崩塌地，崩塌區域內有嘉128-1鄉道，且坡趾處有嘉縣DF015土石流潛勢溪流通過，如圖5-1所示。；研究區域高程約在260m到441m(圖5-2)、坡向主要為北向與西北向(圖5-3)；坡度主要為一級坡與二級坡，但在坡頂與坡趾處有小範圍之六級坡(圖5-4)。

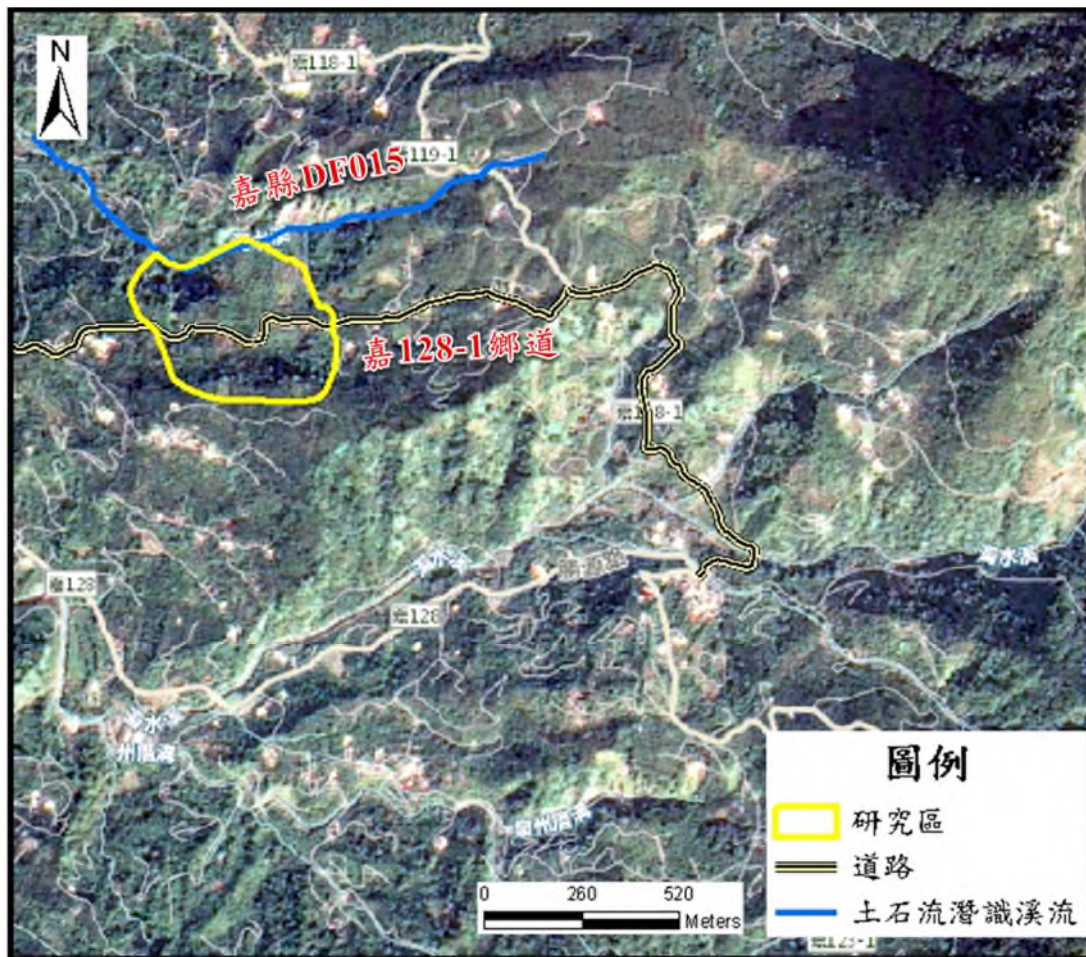


圖 5-1 研究區域衛星影像圖

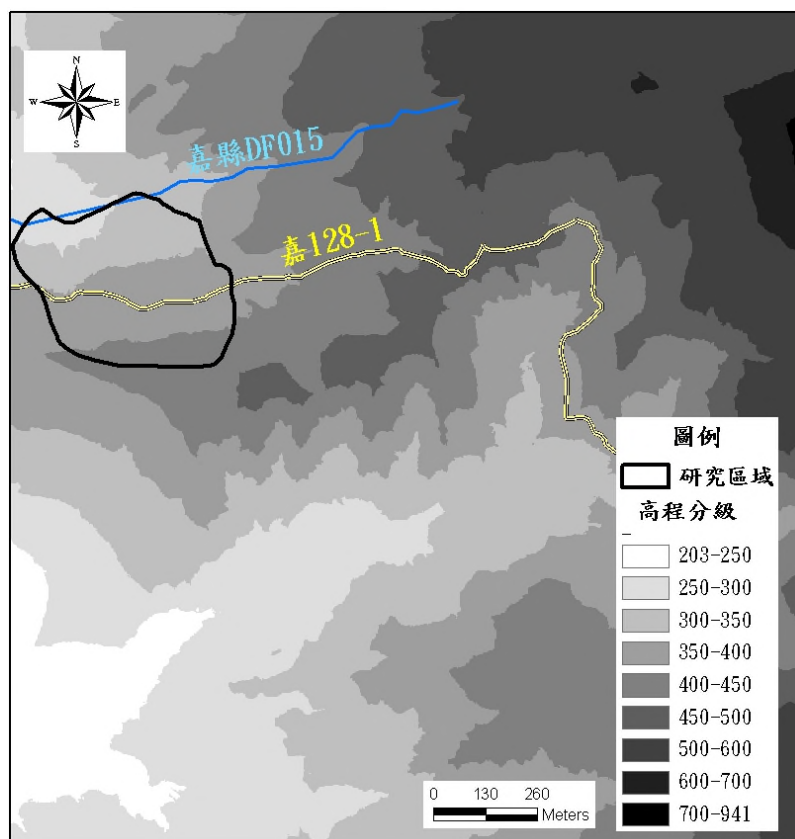


圖 5-2 研究區域高程圖(m)

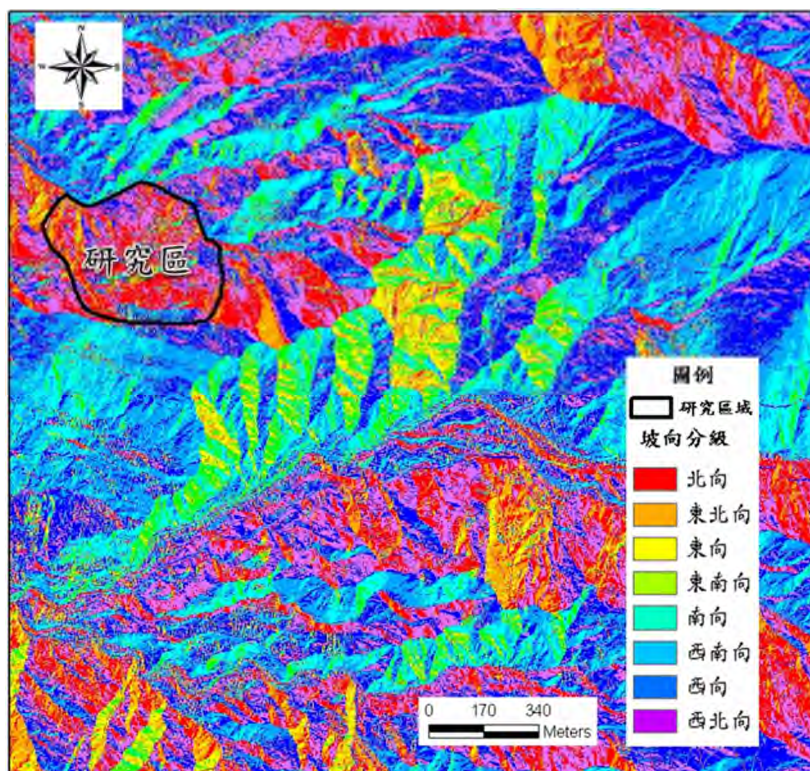


圖 5-3 研究區域坡向圖

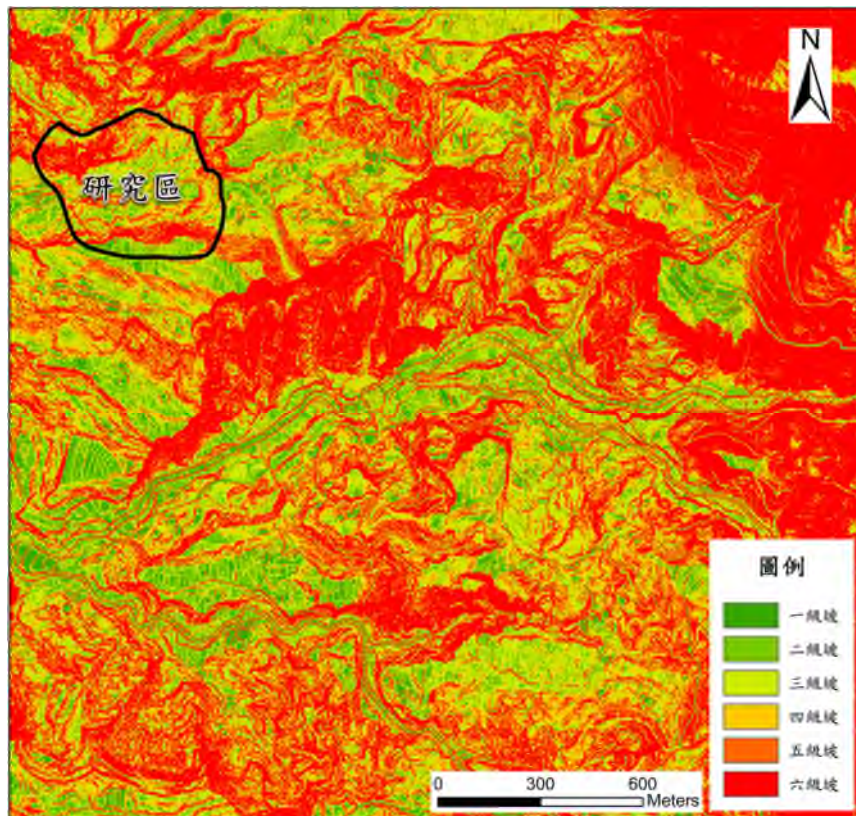


圖 5-4 研究區域坡度圖

第二節 邊坡單元

本研究根據中央地質調查所繪製之邊坡單元，再配合實際地形進行修正，成果如圖 5-5 所示，可以看出邊坡單元將區域劃分為若干塊，且區域內涵蓋兩塊邊坡單元，接著再將坡向進行分類統計，提取出每個邊坡單元內出現頻率最高的坡向，結果如圖 5-6 所示，由圖中可以看出本研究區域之主要坡向為北向。

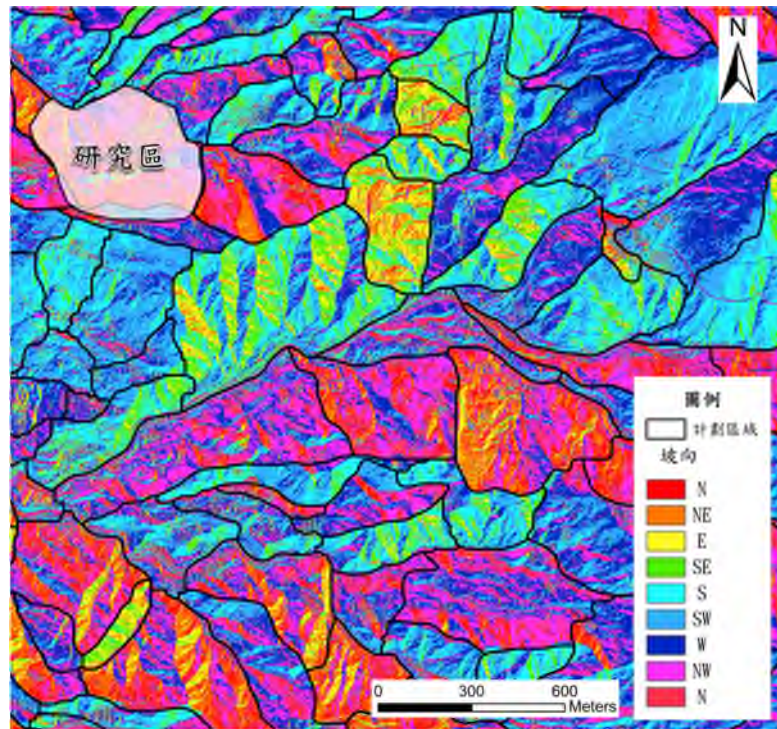


圖 5-5 研究區域之邊坡單元劃設

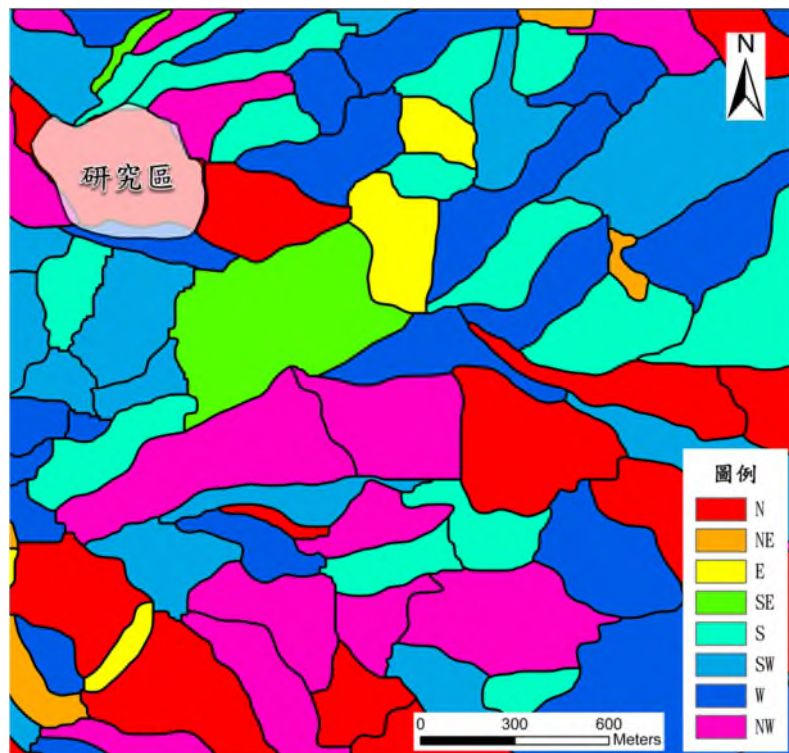


圖 5-6 邊坡單元出現頻率最高之坡向做為代表坡向

第三節地形因子分析結果

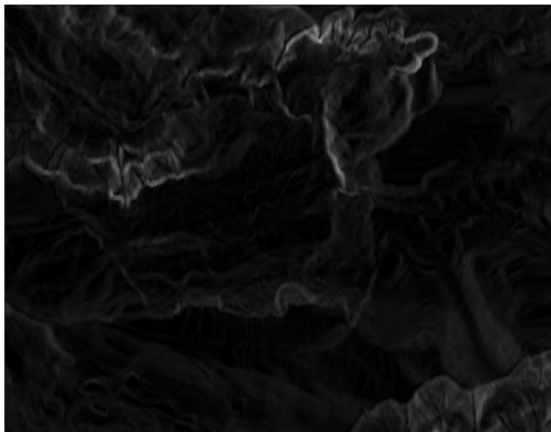
得到研究區域之主要坡向後，本研究利用一個多方向性與四個單方向性窗口計算地形粗糙度、坡度、坡度粗糙度、地形開闊度與天空開闊度等地形因子，每個因子再利用 3 種不同的半徑計算，結果可以比較不同半徑下提取結果的差異性，以及各方向性窗口對於因子的提取效果。

一、地形粗糙度分析結果

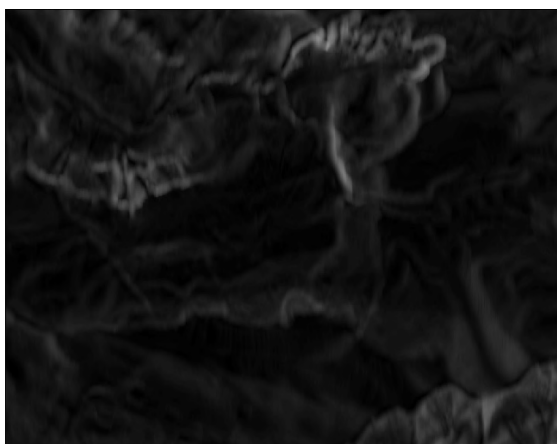
本研究分別利用 5m、10m、15m 的窗口半徑計算地形粗糙度且加入單方向與多方向性分析窗口，如圖 5-7、圖 5-8 與圖 5-9 所示。為了能夠客觀比較多方向性與單方向性分析窗口的判釋結果，將同一個半徑的結果用同樣的影像值範圍呈現。

圖中若地形起伏越大則趨近於白色，地形越平緩則趨近於黑色。由圖 5-7、圖 5-8 與圖 5-9 可以發現，多方向性窗口的判釋結果較單方向性的結果提取的結果稀疏，但仍然可以提取較大區塊的崩崖，而單方向分析結果可以明顯看出，當窗口方向與特徵的方向垂直時有最佳的提取線條，如南-北向分析窗口能顯示較細微的東-西向之崩崖輪廓，東北-西南向分析窗口能顯示西北-東南向之崩崖。雖然單方向分析窗口有較好的判釋能力，但仍需依照需求建立門檻值，並配合其他不同地形因子進行篩選。

與虛擬地形的結果比較，可以發現兩者的共通點，就是隨著分析窗口越大，窗口的涵蓋範圍越多時，不論是正方形分析窗口或是單方向性分析窗口都會出現地形粗糙度數值均化的現象，以及數值分佈的中心漸漸遠離微地形特徵的情形，而這樣的結果可能會模糊目標微地形特徵，無法凸顯微地形特徵的可能位置。



11 × 11 八方位分析窗口

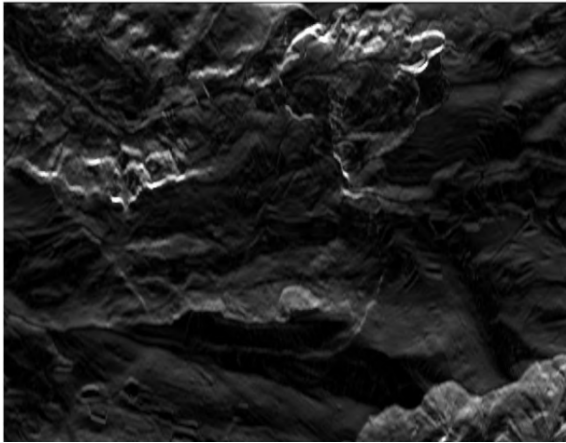


21 × 21 八方位分析窗口

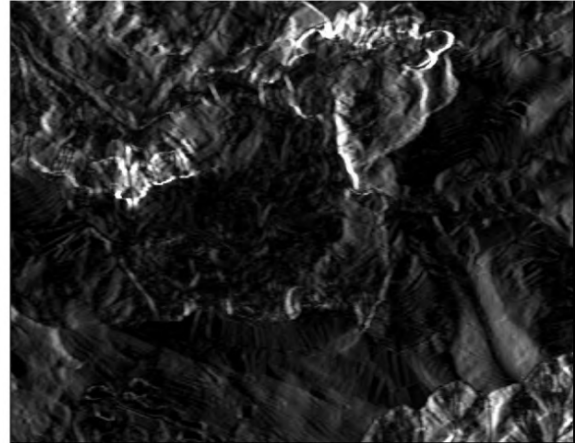


31 × 31 八方位分析窗口

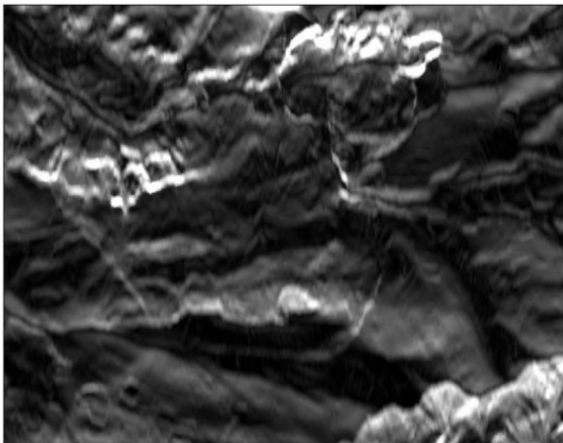
圖 5-7 地形粗糙度八方位分析窗口之分析結果



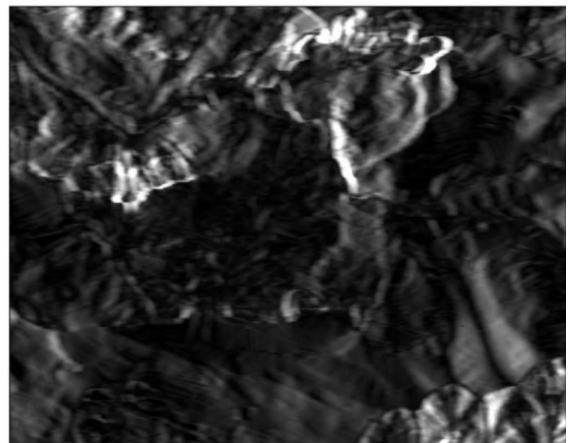
11×1 南-北向分析窗口



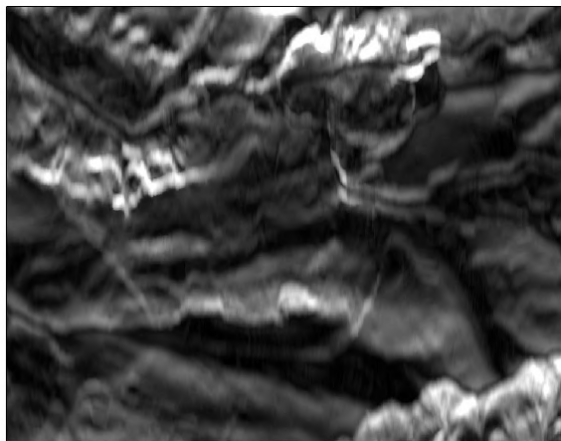
11×1 東-西向分析窗口



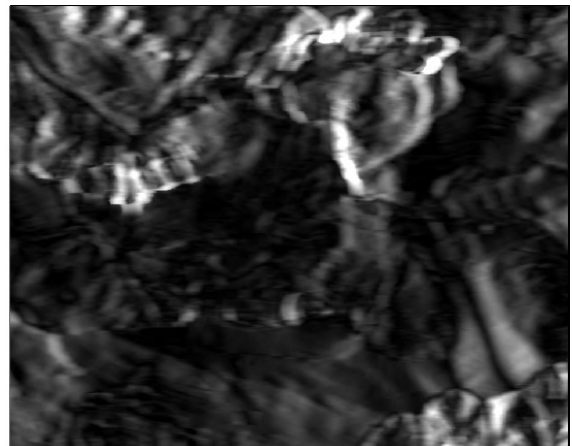
21×1 南-北向分析窗口



21×1 東-西向分析窗口

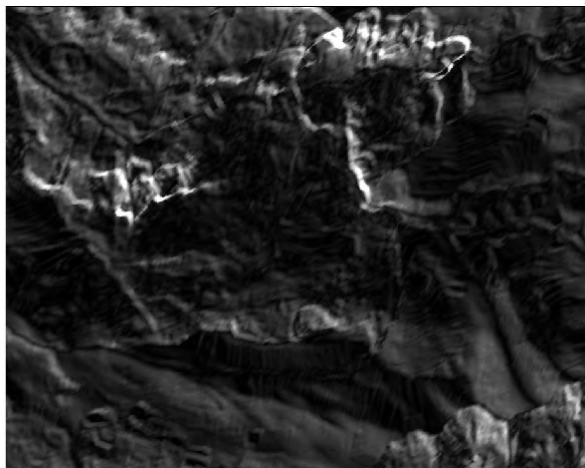


31×1 南-北向分析窗口

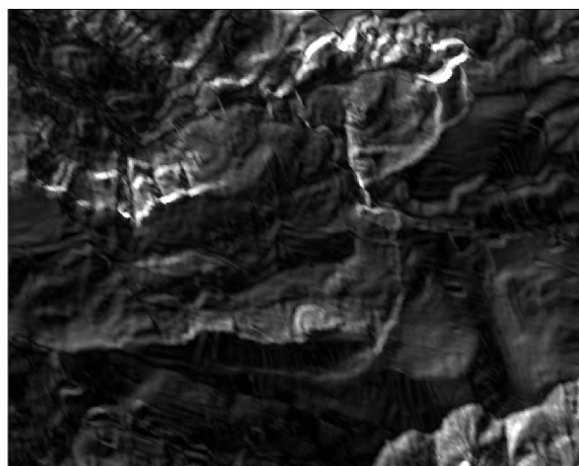


31×1 東-西向分析窗口

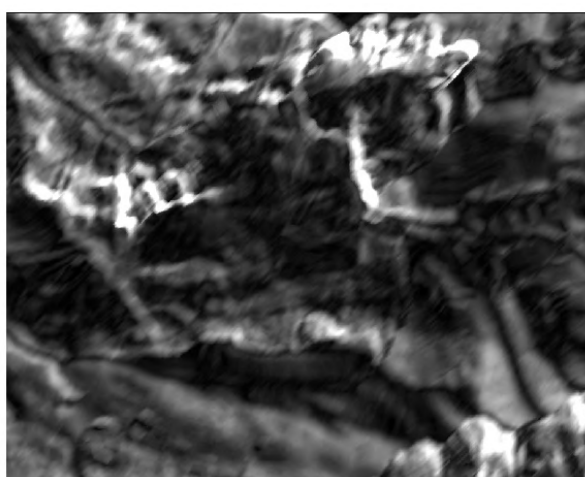
圖 5-8 地形粗糙度南-北向、東-西向分析窗口之分析結果



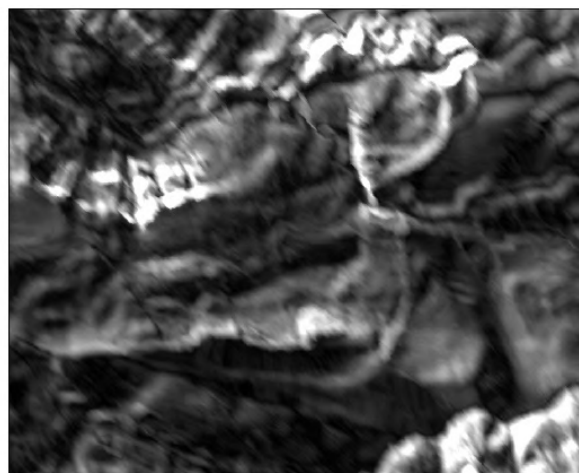
11 × 1 東北-西南向分析窗口



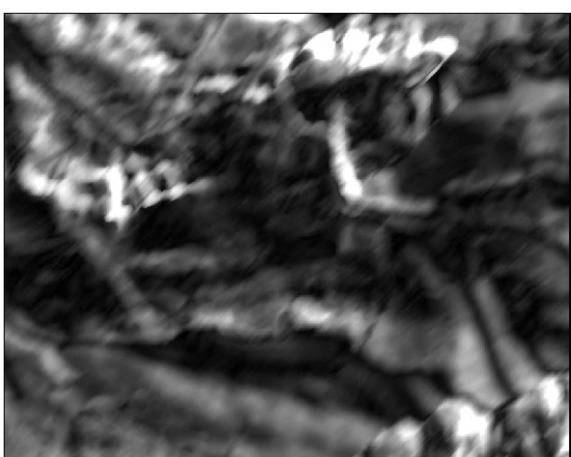
11 × 1 西北-東南向分析窗口



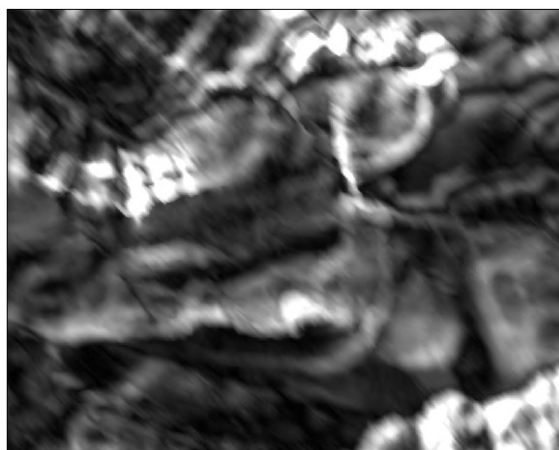
21 × 1 東北-西南向分析窗口



21 × 1 西北-東南向分析窗口



31 × 1 東北-西南向分析窗口

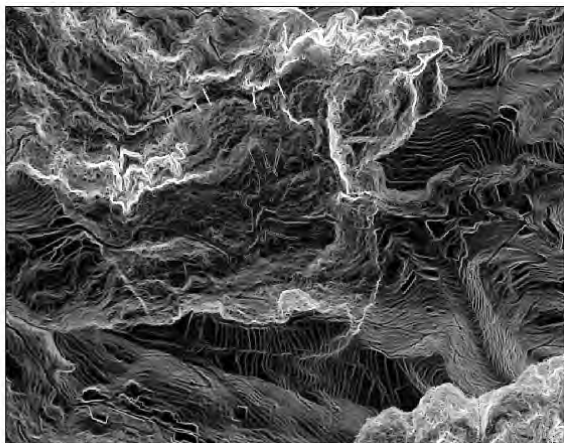


31 × 1 西北-東南向分析窗口

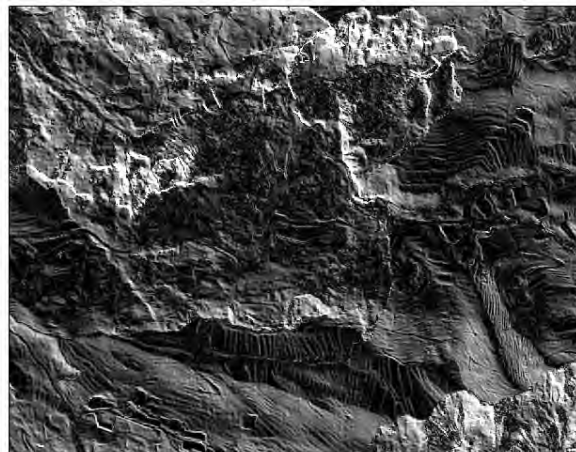
圖 5-9 地形粗糙度東北-西南向、西北-東南向分析窗口之分析結果

二、坡度分析結果

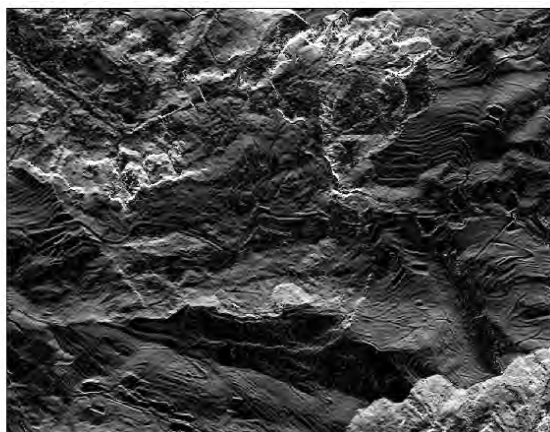
圖 5-10 為坡度分析之結果，當坡度值越大，區域顏色越白色，而坡度值越小則越趨近黑色，其中可以看出加權八鄰域之坡度可以綜觀的描繪微地形特徵且較有連續性，而單方向性之坡度則是會剔除與分析窗口平行之微地形特徵、突顯與分析窗口垂直之微地形特徵，如南-北向坡度結果能顯示較細微的東-西向之崩崖輪廓；東北-西南向坡度能顯示西北-東南向之崩崖特徵。不同方向之坡度分析進一步顯現出與坡度分析窗口垂直之微地形特徵，仍需依照需求建立門檻值，並配合其他不同地形因子進行篩選。



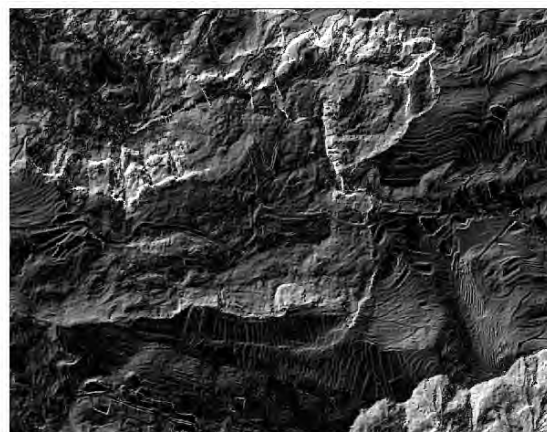
八方位分析窗口



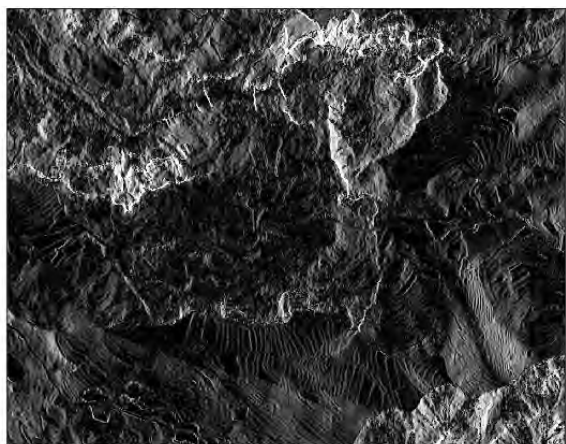
東北-西南向分析窗口



南-北向分析窗口



西北-東南向分析窗口



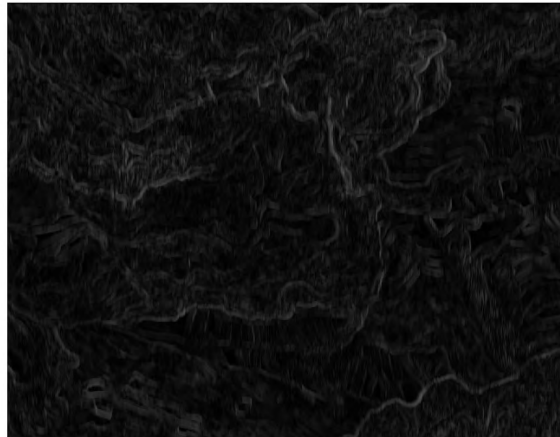
東-西向分析窗口

圖 5-10 坡度分析窗口之分析結果

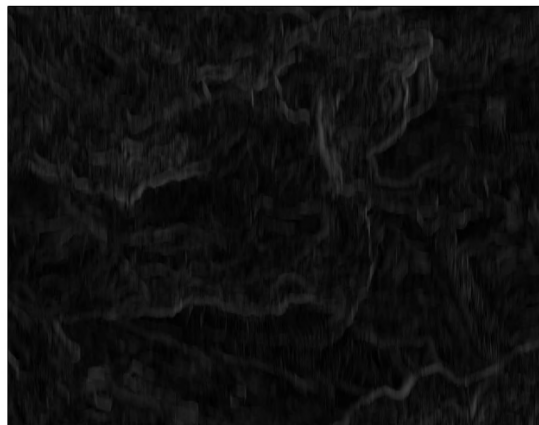
三、坡度粗糙度分析結果

本研究分別利用 5m、10m、15m 的窗口半徑且加上單方向性與多方向性分析窗口計算坡度粗糙度，結果如圖 5-11、圖 5-12 與圖 5-13 所示。如同地形粗糙度的結果，為了能夠客觀比較多方向性與單方向性分析窗口的判釋結果，將同一個半徑的結果用同樣的影像值範圍呈現。坡度粗糙度越大，代表地形起伏大，顏色越趨近於白色；坡度粗糙度越小，代表地形較平緩，顏色越趨近於黑色。

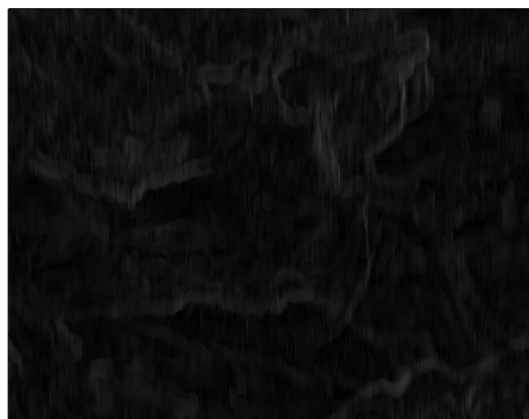
多方向的坡度粗糙度結果較地形粗糙度佳，能較清楚地看出地形的輪廓，但與單方向的坡度粗糙度相比，多方向的結果因為均化的影響導致無法凸顯出較明顯的微地形特徵。而單方向與多方向的共同結果，當半徑越大時，提取的特徵線會越模糊。



11 × 11 八方位分析窗口

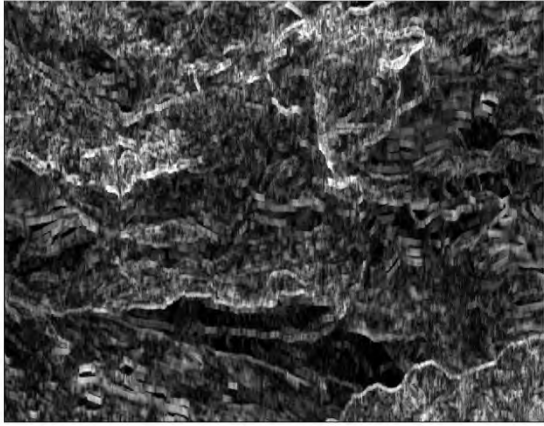


21 × 21 八方位分析窗口

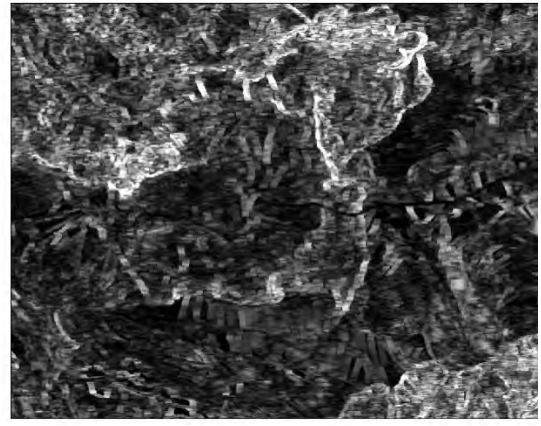


31 × 31 八方位分析窗口

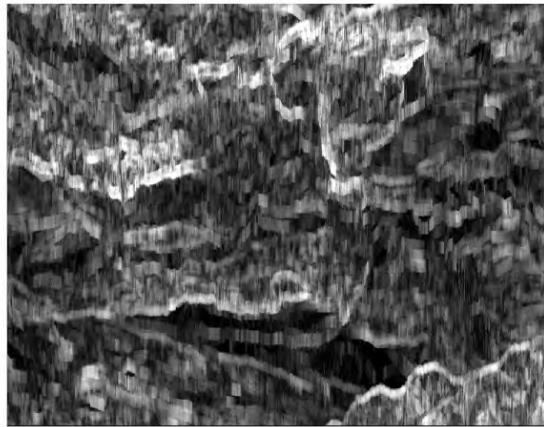
圖 5-11 坡度粗糙度八方位分析窗口之分析結果



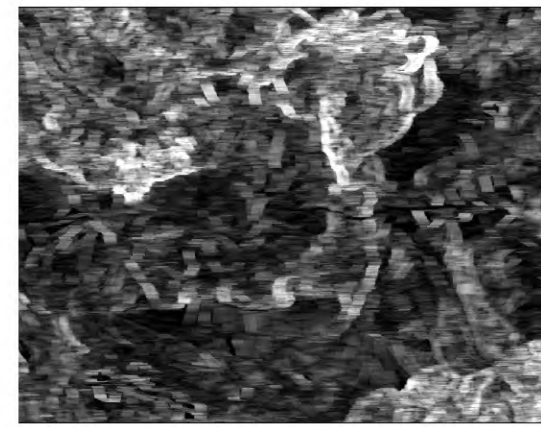
11 × 1 南-北向分析窗口



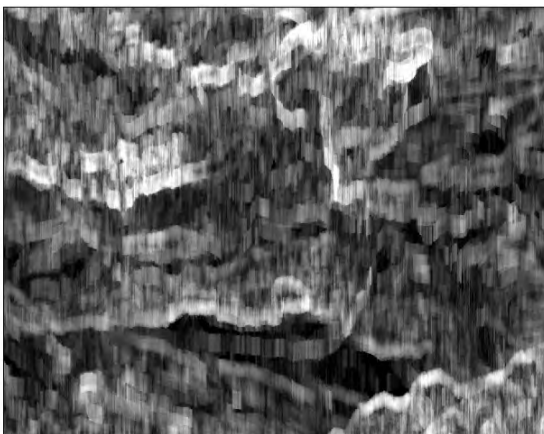
11 × 1 東-西向分析窗口



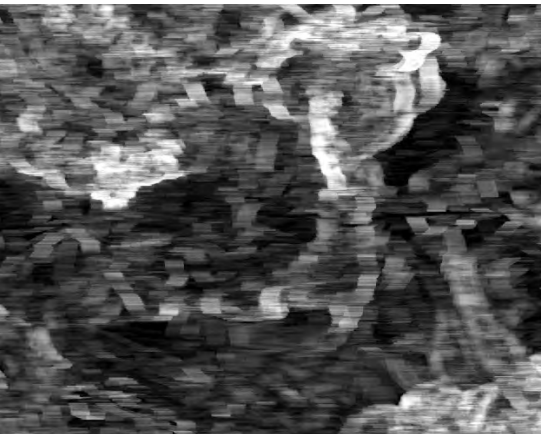
21 × 1 南-北向分析窗口



21 × 1 東-西向分析窗口

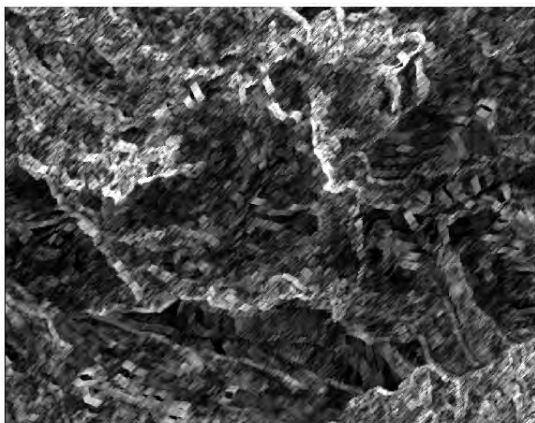


31 × 1 南-北向分析窗口

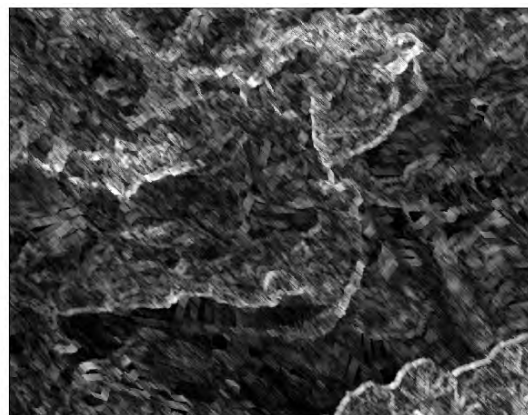


31 × 1 東-西向分析窗口

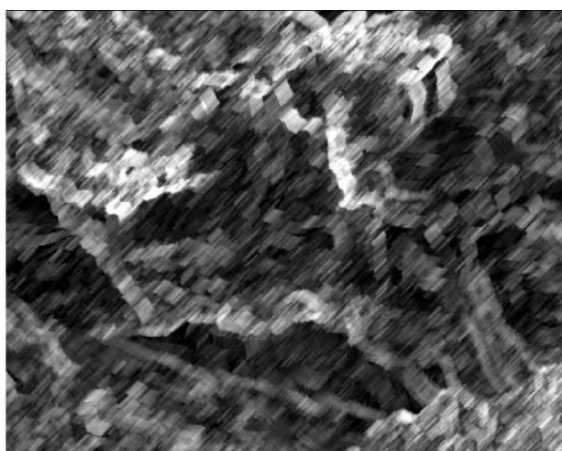
圖 5-12 坡度粗糙度南-北向、東-西向分析窗口之分析結果



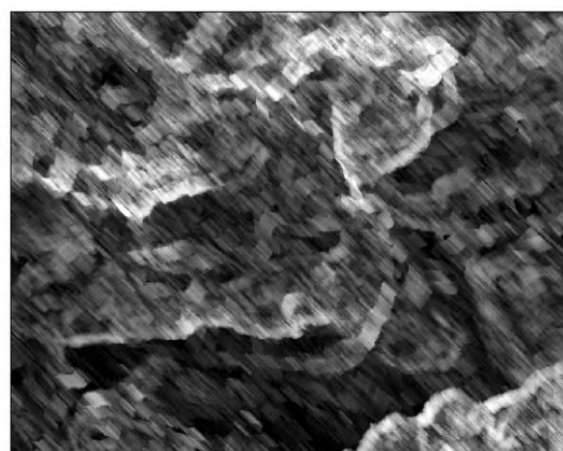
11 × 1 東北-西南向分析窗口



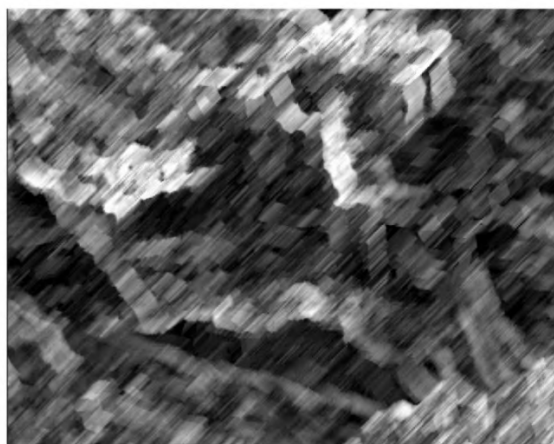
11 × 1 西北-東南向分析窗口



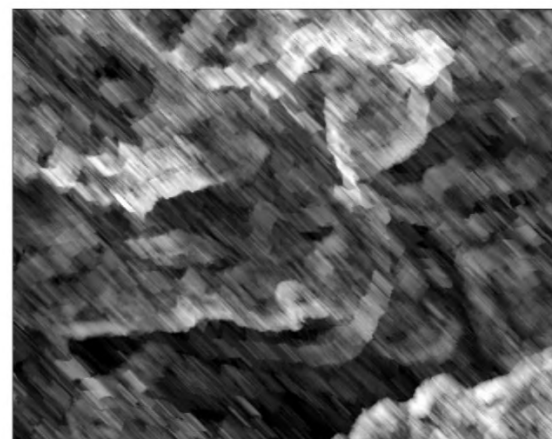
21 × 1 東北-西南向分析窗口



21 × 1 西北-東南向分析窗口



31 × 1 東北-西南向分析窗口



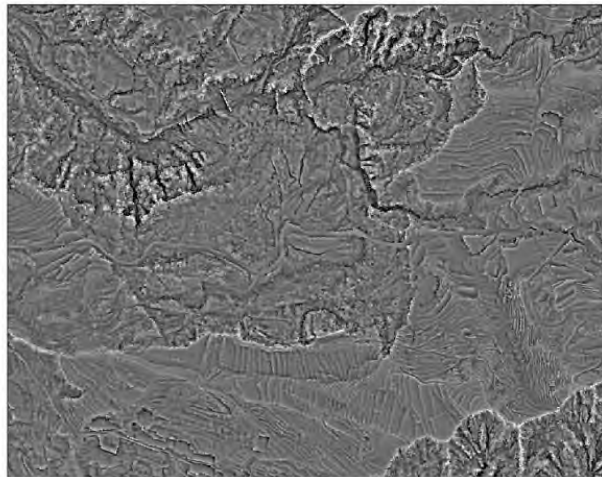
31 × 1 西北-東南向分析窗口

圖 5-13 坡度粗糙度東北-西南向、西北-東南向分析窗口之分析結果

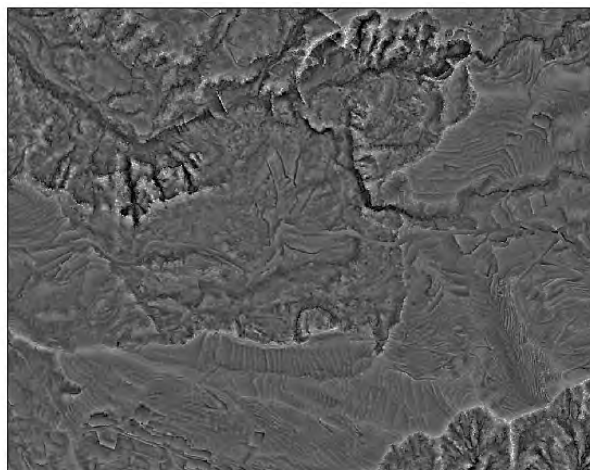
四、地形開闊度分析結果

本研究分別利用 5m、10m、50m 的窗口半徑且加上單方向性與多方向性分析窗口計算地形開闊度，如圖 5-14、圖 5-15 與圖 5-16 所示。當地形開闊度值越大，代表地形越開闊則趨近於白色；地形開闊度值越小，代表地形越狹窄則趨近於黑色。

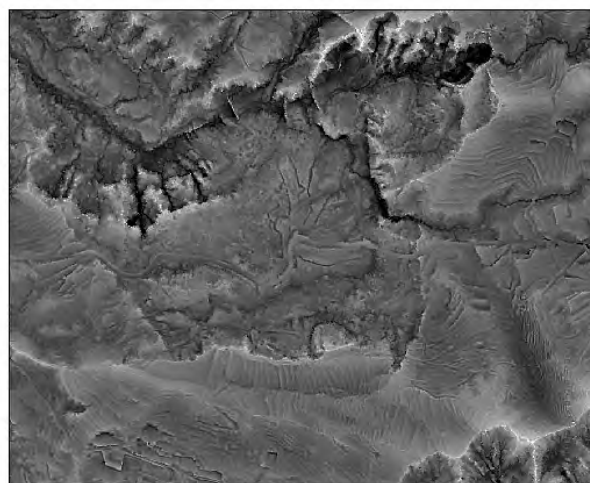
當窗口的半徑太小時，無法明顯且連續的提取微地形特徵，且在視覺上較無判釋效果，隨分析窗口半徑越大，多方向性與單方向性分析都有更大的正負開闊度差值，在視覺上亦有更明顯的地形變化，但在特徵線段的提取上，垂直方向的單方向性窗口仍較多方向的窗口有明顯的結果。



11 × 11 八方位分析窗口

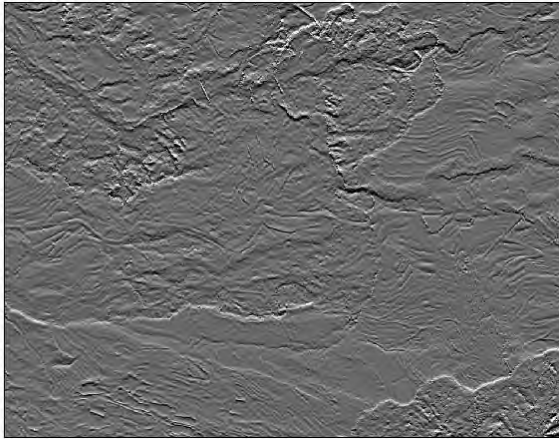


21 × 21 八方位分析窗口

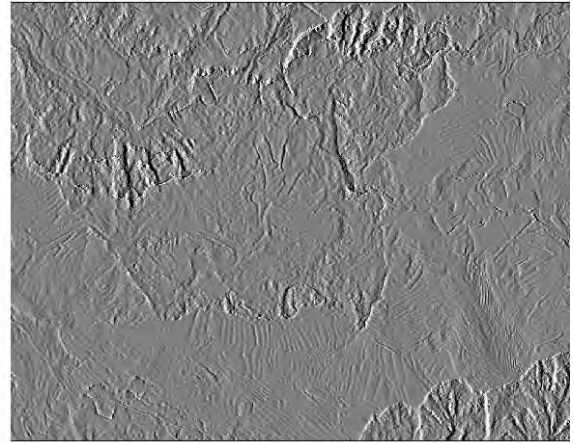


101 × 101 八方位分析窗口

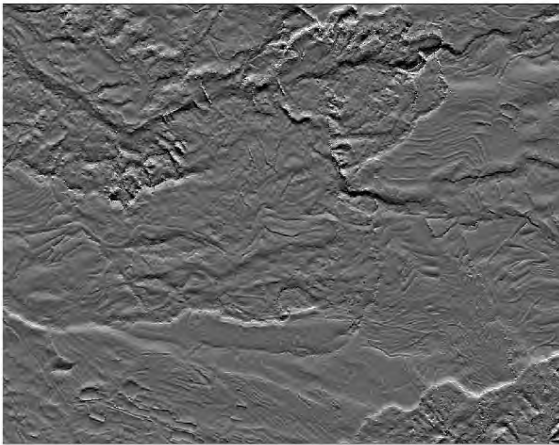
圖 5-14 地形開闢度八方位分析窗口之分析結果



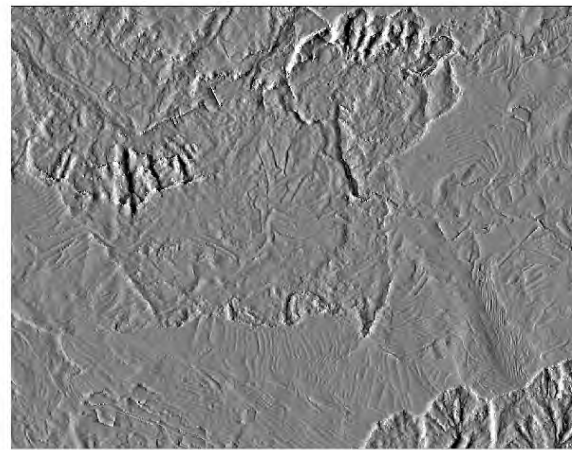
11 × 1 南-北向分析窗口



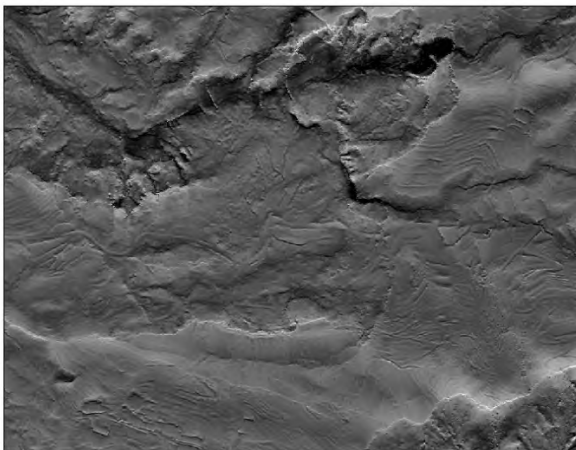
11 × 1 東-西向分析窗口



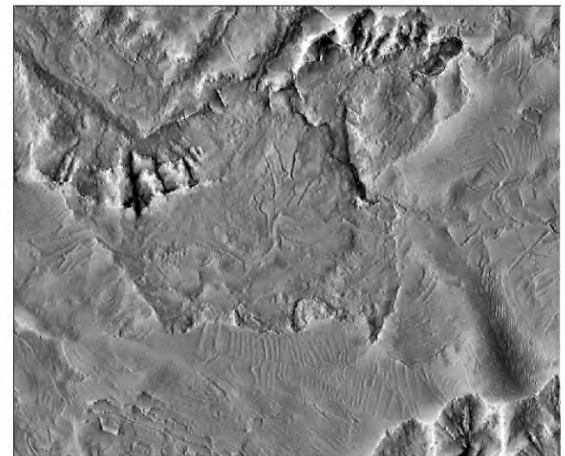
21 × 1 南-北向分析窗口



21 × 1 東-西向分析窗口

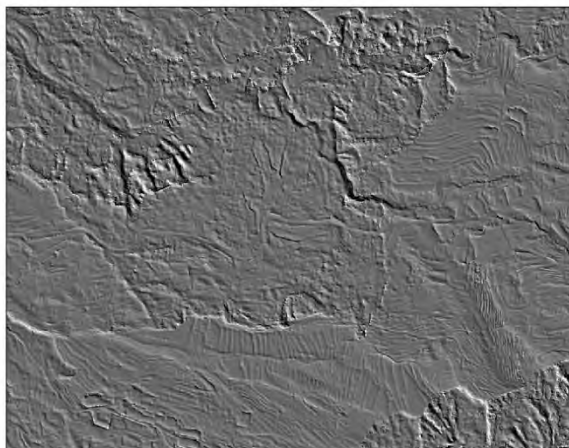


101 × 101 南-北向分析窗口

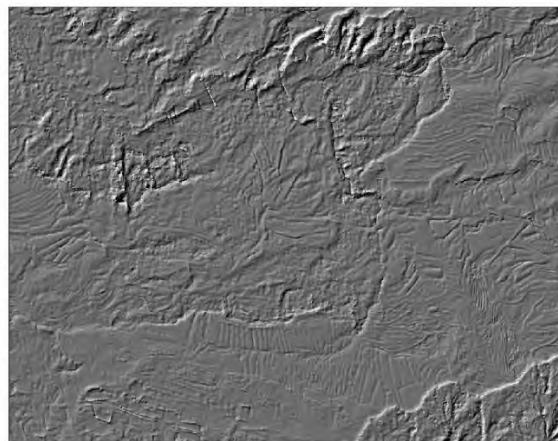


101 × 101 東-西向分析窗口

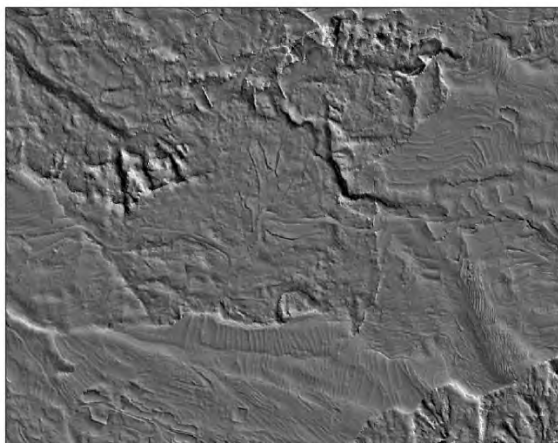
圖 5-15 地形開闢度南-北向、東-西向分析窗口之分析結果



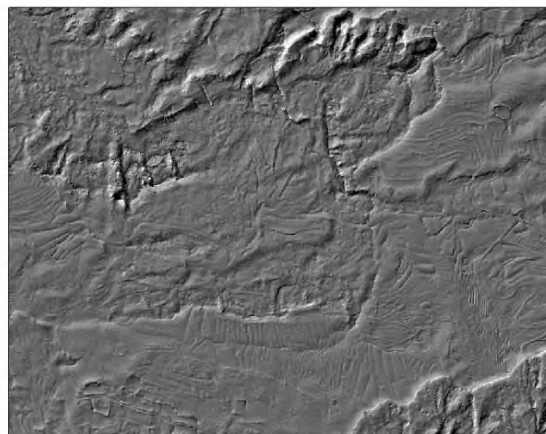
11 × 1 東北-西南向分析窗口



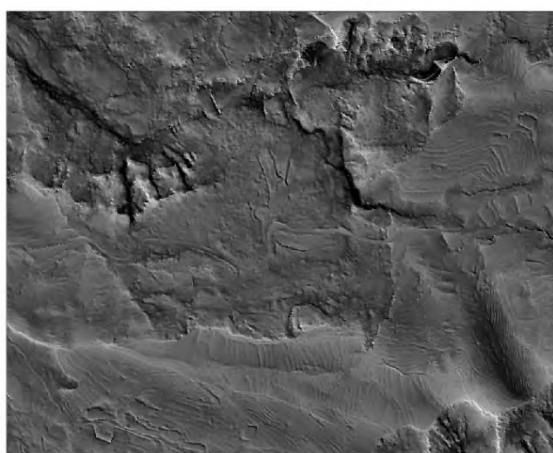
11 × 1 西北-東南向分析窗口



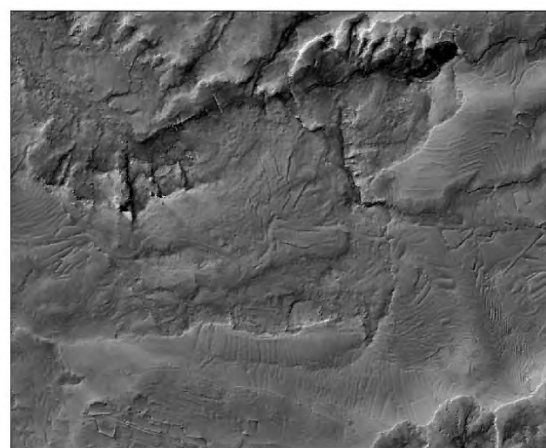
21 × 1 東北-西南向分析窗口



21 × 1 西北-東南向分析窗口



101 × 1 東北-西南向分析窗口

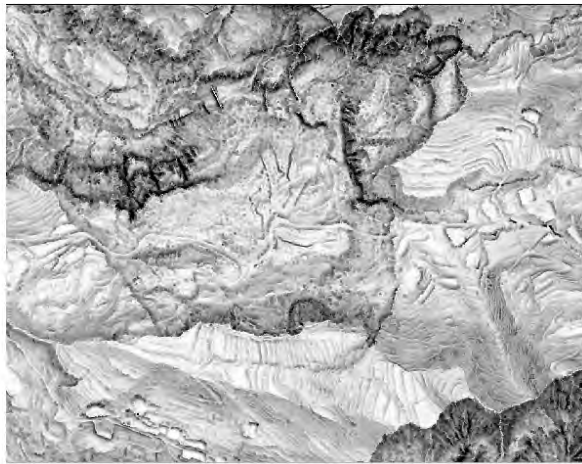


101 × 1 西北-東南向分析窗口

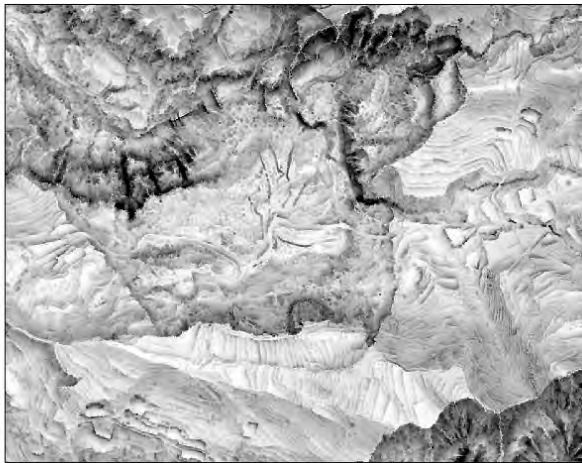
圖 5-16 地形開闊度東北-西南向、西北-東南向分析窗口之分析結果

本研究分別利用 5m、10m、50m 的窗口半徑且加上單方向性與多方向性分析窗口計算天空開闊度，如圖 5-17、圖 5-18 與圖 5-19 所示。當天空開闊度值越大，代表地形越開闊則趨近於白色；天空開闊度值越小，代表地形越狹窄則趨近於黑色。

當天空開闊度的半徑較小時，其提取特徵線段的效果較地形開闊度佳，不論是多方向或是單方向，都有可視覺判釋的特徵線段；隨分析窗口半徑越大，多方向性與單方向性分析結果更顯平滑，視覺上有更明顯的地形變化，但在特徵線段的提取上，垂直方向的單方向性窗口仍較多方向的窗口有明顯且連續的結果，後續仍需依照需求建立門檻值，並配合其他不同地形因子，篩選出更佳的地形線段。



11 × 11 八方位分析窗口



21 × 21 八方位分析窗口



101 × 101 八方位分析窗口

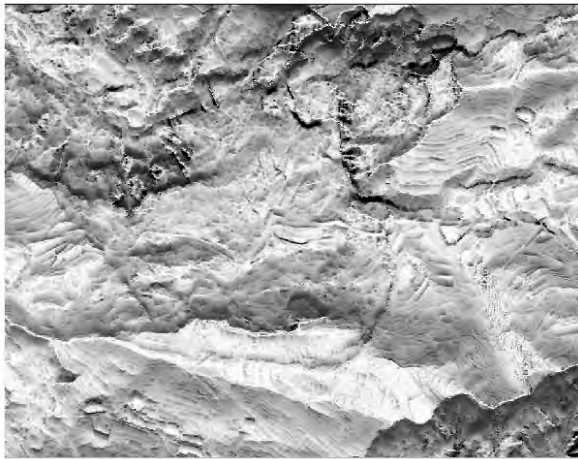
圖 5-17 天空開闊度八方位分析窗口之分析結果



11 × 1 南-北向分析窗口



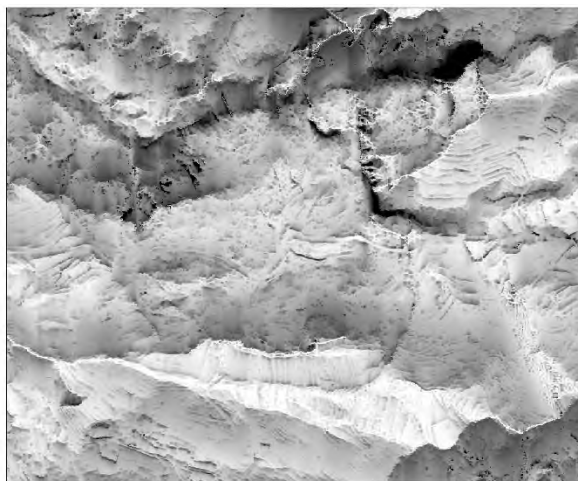
11 × 1 東-西向分析窗口



21 × 1 南-北向分析窗口



21 × 1 東-西向分析窗口



101 × 1 南-北向分析窗口

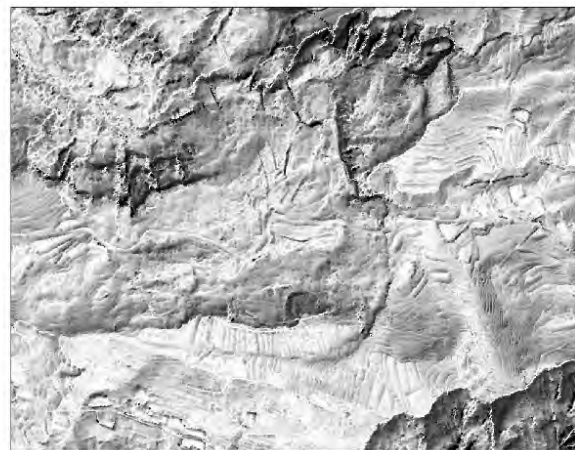


101 × 1 東-西向分析窗口

圖 5-18 天空開闢度南-北向、東-西向分析窗口之分析結果



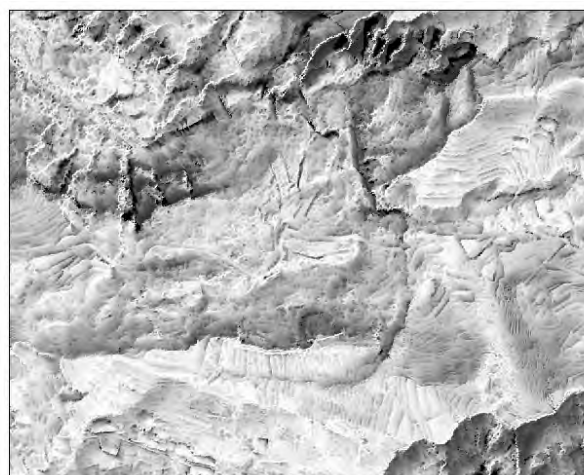
11 × 1 東北-西南向分析窗口



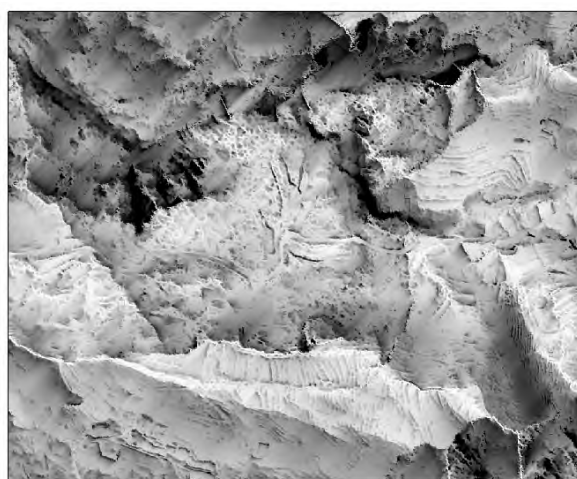
11 × 1 西北-東南向分析窗口



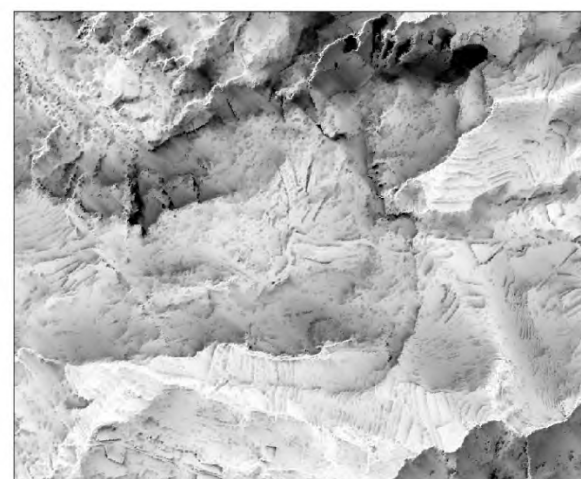
21 × 1 東北-西南向分析窗口



21 × 1 西北-東南向分析窗口



101 × 1 東北-西南向分析窗口



101 × 1 西北-東南向分析窗口

圖 5-19 天空開闊度東北-西南向、西北-東南向分析窗口之分析結果

六、小結

統整以上的結論，本研究列出在地形因子計算上的建議，包涵窗口大小與窗口方向，如表 5-1~表 5-3 所示。

表 5-1 提取張力裂隙或崩崖特徵時建議之窗口方向

張力裂隙或崩崖之方向	東西向	南北向	西北-東南向	東北-西南向
可能坡向	南北向	東西向	東北-西南向	西北-東南向
建議窗口方向	南北向	東西向	東北-西南向	西北-東南向

表 5-2 提取蝕溝特徵時建議之窗口方向

蝕溝之方向	南北向	東西向	東北-西南向	西北-東南向
可能坡向	南北向	東西向	東北-西南向	西北-東南向
建議窗口方向	東西向	南北向	西北-東南向	東北-西南向

表 5-3 地形因子建議的窗口大小

地形因子	建議窗口大小
坡度	增加坡度計算的半徑會均化地形起伏的程度，因此固定利用網格周圍一個網格做計算。
地形粗糙度與坡度粗糙度	當窗口半徑大於 5 時，特徵會模糊且偏離，因此建議窗口半徑小於 5 為佳。
地形開闊度與天空開闊度	當窗口的半徑太小時，其結果只能顯示相對區域的開闊度值，而當半徑大於某一值時，其開闊度值會固定，此時即可綜觀的顯示全區域的開闊度值。

第四節 研究區之微地形特徵

在了解不同窗口的提取結果後，下一步為設立因子的門檻值，期望能夠透過門檻值找到本研究區域的目標微地形特徵，而為了量化本次的研究成果，我們利用混淆矩陣(confusion matrix)計算不同方法的 TPR 值以及 TNR 值。

所需正確的目標微地形特徵為經由專家學者判釋的崩崖，並經由現場調查確認其正確性，所得判釋結果如圖 5-20 所示，現地調查照片如附錄四所示。

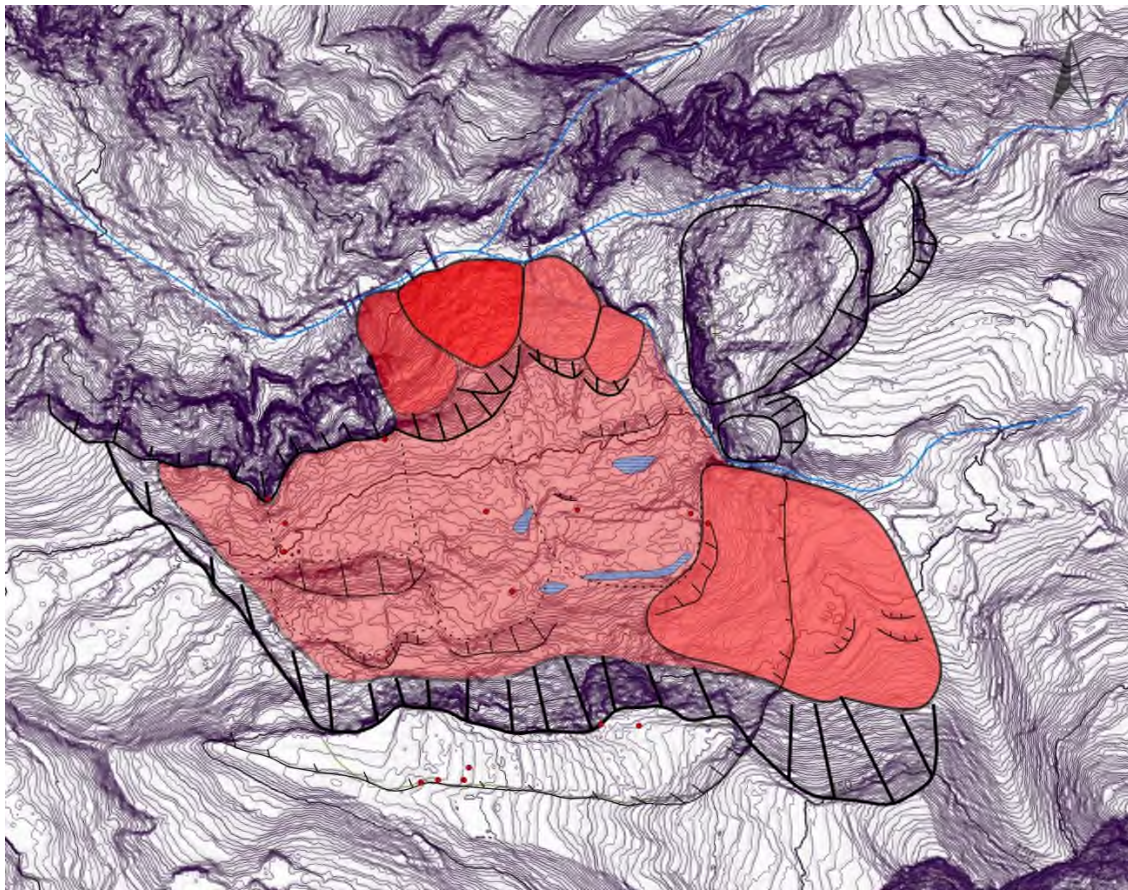


圖 5-20 目標微地形特徵之判釋結果

第五節 利用門檻值提取微地形特徵

一、試驗區劃分

此研究區域的主要崩崖範圍如圖 5-21 所示，依照邊坡單元的劃分，主要將崩崖分為三大區域，1 號區域為本次的試驗範圍，而 2 號與 3 號區域為鄰近 1 號區域且經過判釋後含有崩塌之邊坡單元，本研究將分別計算三塊區域範圍內的正確率。

圖 5-21 中藍色範圍為本次的提取目標，綠色則為非目標區。1 號區域之目標範圍內的面積為 45,778 平方公尺、目標範圍外的面積為 172,286 平方公尺；2 號區域之目標範圍內的面積為 7,031 平方公尺、目標範圍外的面積為 49,207 平方公尺；3 號區域之目標範圍內的面積為 11,720 平方公尺、目標範圍外的面積為 83,545 平方公尺。

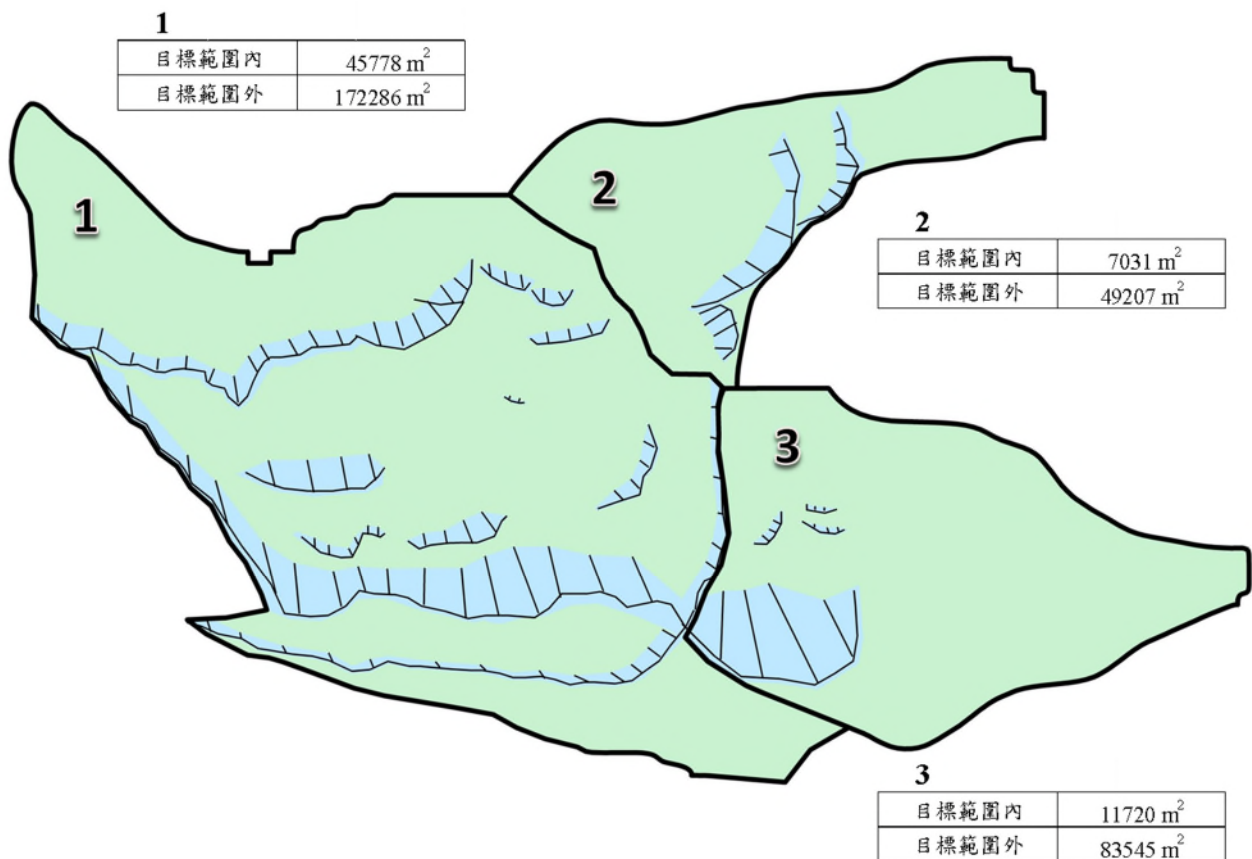


圖 5-21 研究區域面積

二、地形因子及門檻值設定

為了提取研究區的目標微地形特徵，本研究設定坡度與地形開闊度因子的門檻值，並且用交集或聯集的方法，得到最終提取結果，再利用混淆矩陣分析提取結果的優劣性。本次門檻值試驗的方法考慮到微地形特徵的特性，總共將組數分為六組。為了比較多方向與單方向的结果並且考慮到研究區的微地形特徵並非全都同一方向，本研究利用四個單方向窗口分別算出的結果，再聯集變成全單方向的结果，最後才與多方向的结果做比較。

第一組門檻值試驗組將提取坡度值大於 30 度的網格且將提取的網格再向周圍外擴兩個網格，也就是讓每一個網格變成 5×5 的結果(如圖 5-22 橘色網格)，再利用相同的方法外擴地形開闊度值大於 5 度的網格，最後再將兩個因子外擴後的結果做交集分析，得到的交集結果將會是崩崖上方的線段特徵；第二組門檻值試驗組的做法如同第一組試驗組，但坡度門檻值改為大於 40 度與開闊度門檻值大於 10 度。

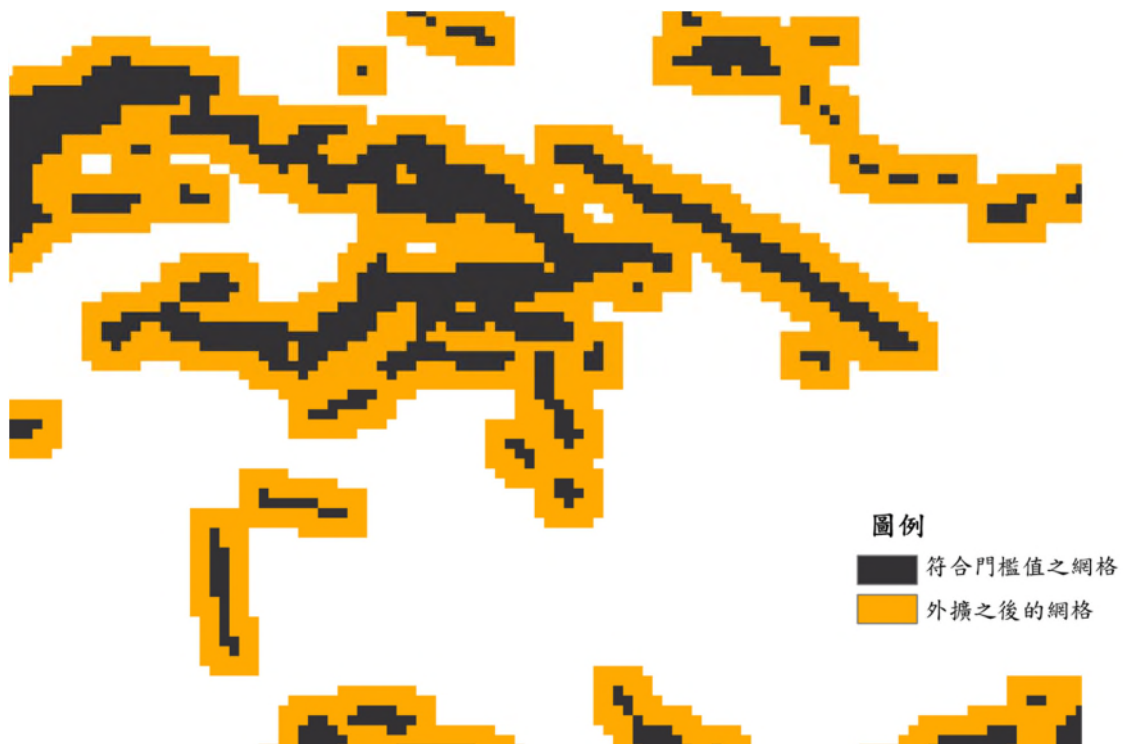


圖 5-22 網格外擴示意圖

第三~六組門檻值試驗組，是將符合坡度與地形開闊度門檻值的網格直接做聯集，會得到片狀的崩崖特徵，第三組門檻值試驗組為大於坡度 30 度或地形開闊度大於 5 度的網格；第四組門檻值試驗組為大於坡度 30 度或地形開闊度大於 10 度的網格；第五組門檻值試驗組為大於坡度 40 度或地形開闊度大於 5 度的網格；第六組門檻值試驗組為大於坡度 40 度或地形開闊度大於 10 度的網格。

將上述六組門檻值提取結果各別計算混淆矩陣之 TPR、TNR、FPR 與 FNR 值，再進行比較。

三、各門檻值結果

圖 5-23~圖 5-34 為門檻值試驗組的結果，比較第一組與第二組外擴的結果，我們可以發現當門檻值越大時，FPR 值會降低，表示雜訊(非目標區)出現的頻率會減少，但 TPR 值降低且特徵線段也較不連續。

比較第三組~第六組結果，可以發現在同樣的坡度門檻值下，當地形開闊度門檻值越高時，雖然 TPR 會稍許降低，但能夠大幅度的降低 FPR 值，也就是雜點出現的頻率減少許多；而在相同的地形開闊度門檻值下，當坡度門檻值越高時，雖然 FPR 值會稍許降低，但同時 TPR 亦會大幅度減少，也就是目標範圍內的預測值會減少許多。

若比較第一、二組與第三~六組的結果，分別是外擴交集的方式與直接聯集因子結果的方法，可以發現當一個網格同時考慮兩個因子時，能夠大幅的降低雜點的頻率，外擴的方式也能夠讓線段更連續，但同時亦會讓雜點擴大範圍。

綜觀以上結果，也可以發現單方向性的分析結果之 TPR 值皆大於多方向性的結果，但同時 FPR 值也會增加，推測原因在於本次劃設的目標微地形特徵範圍(藍色範圍)大小會影響到混淆矩陣的計算。

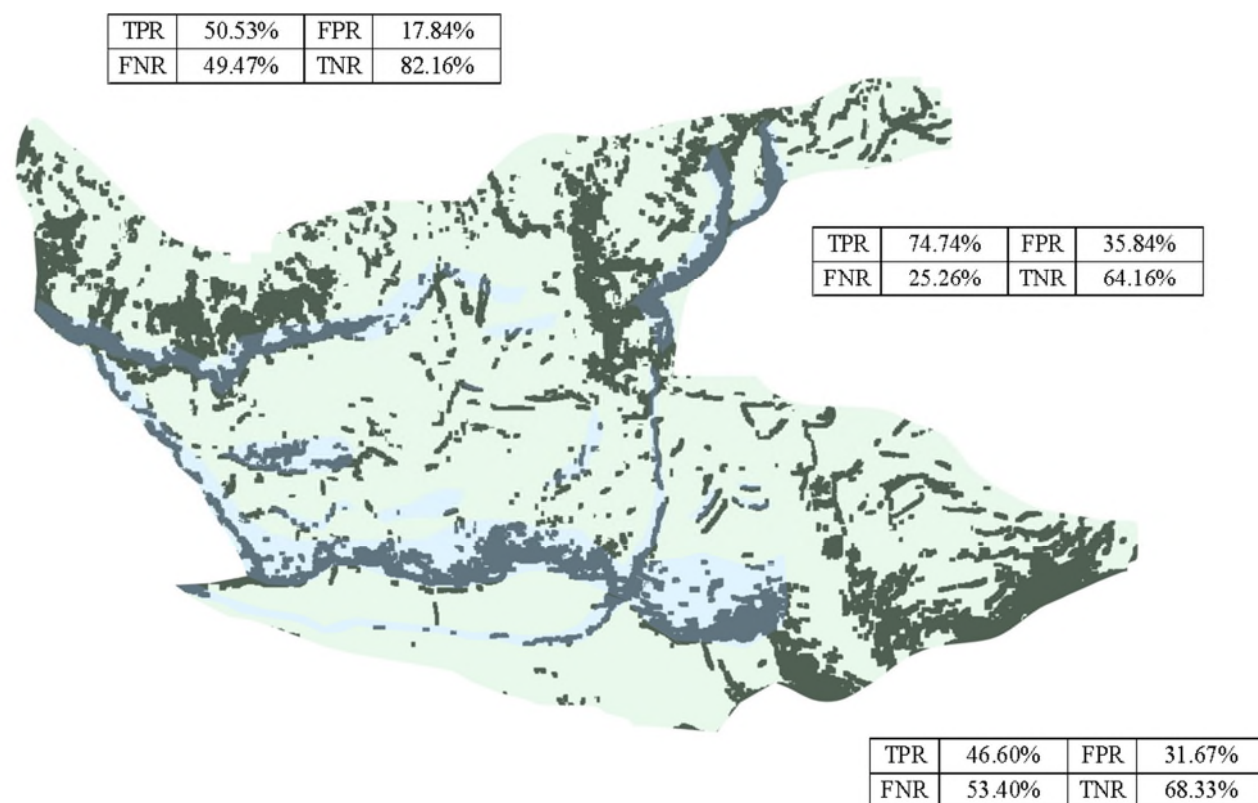


圖 5-23 第一組門檻值試驗組_全單方向

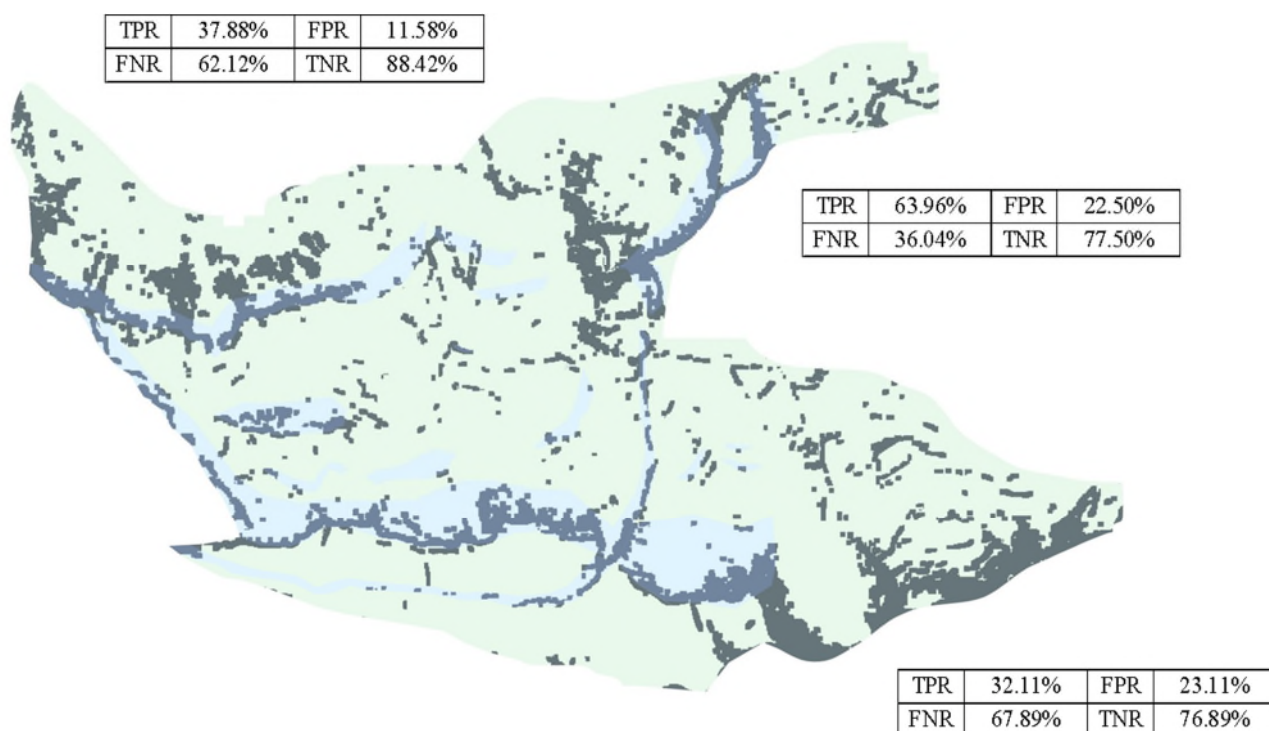


圖 5-24 第一組門檻值試驗組_多方向

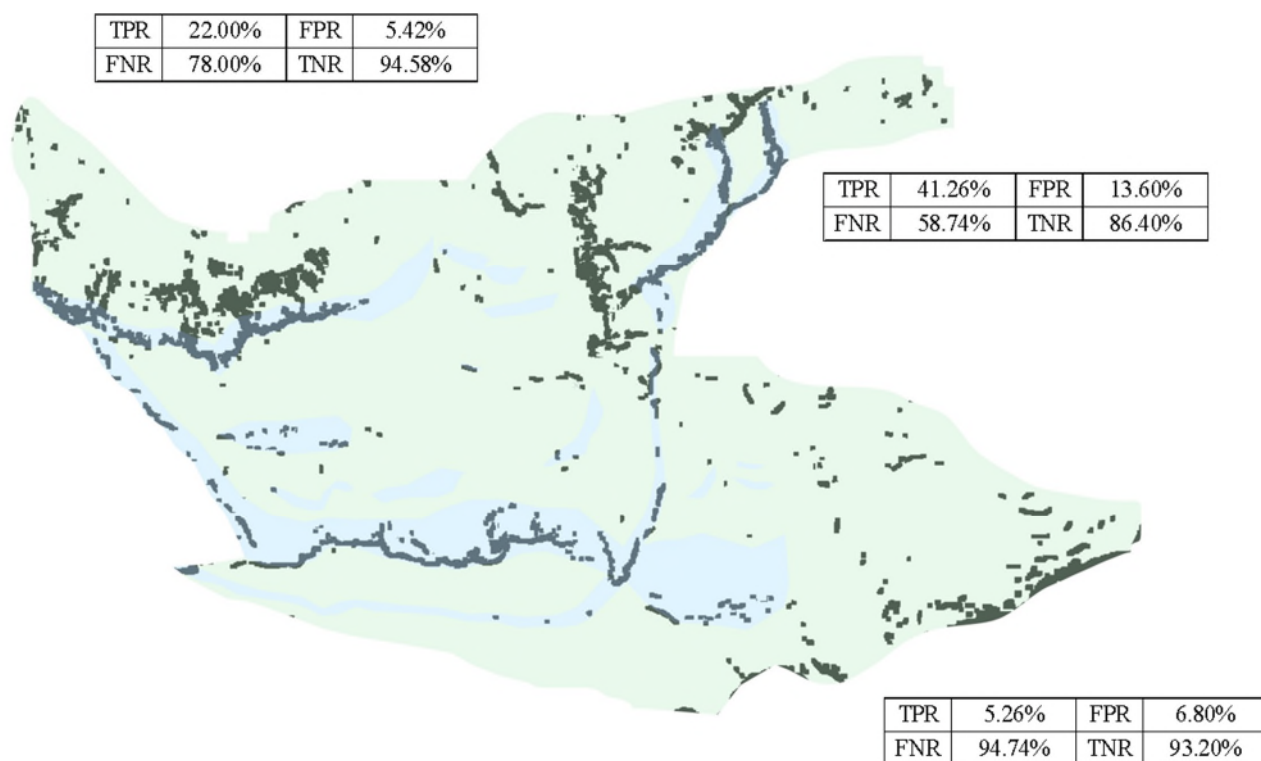


圖 5-25 第二組門檻值試驗組_全單方向

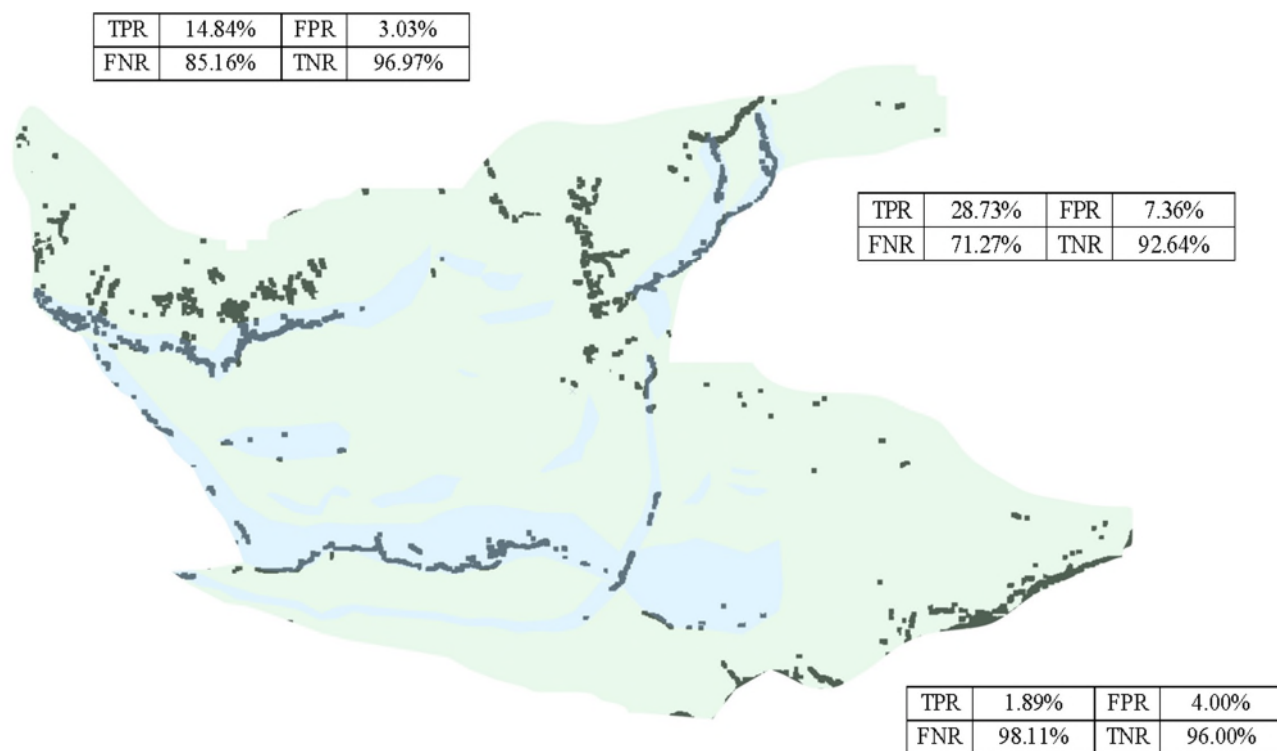


圖 5-26 第二組門檻值試驗組_多方向

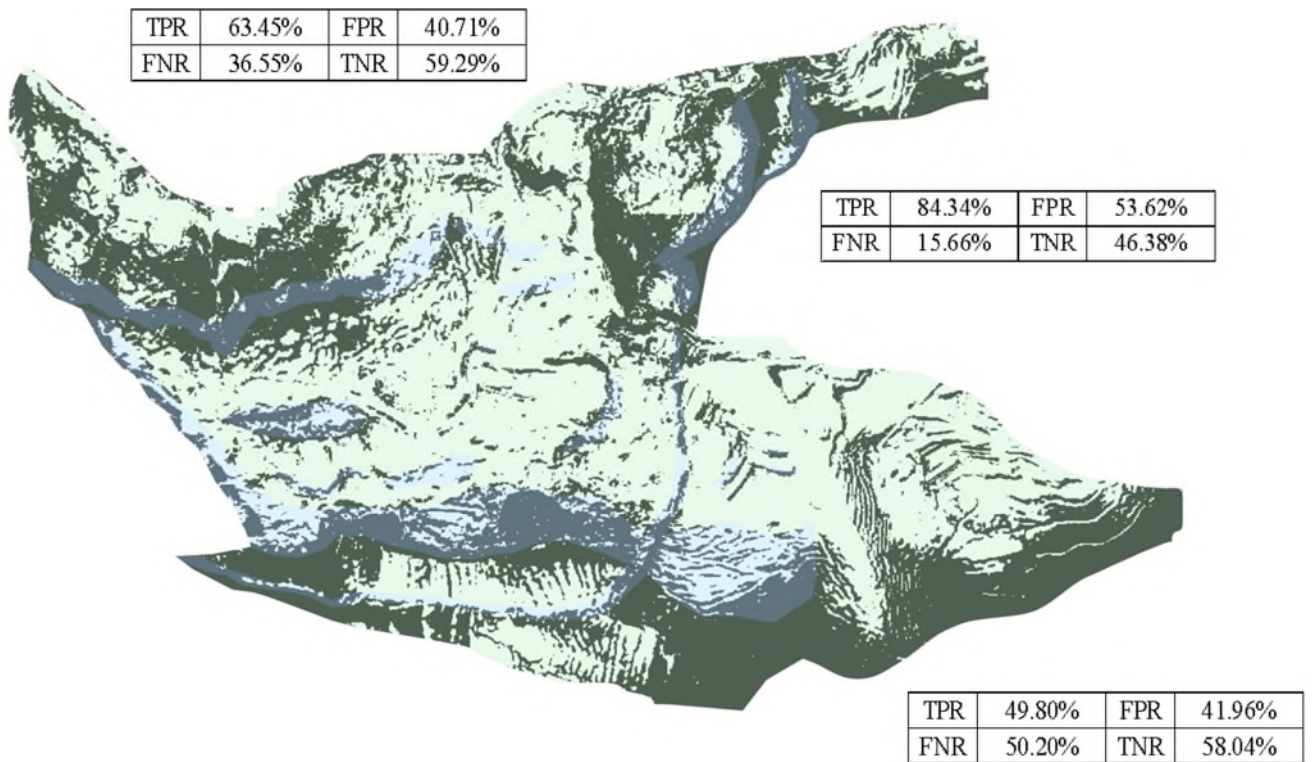


圖 5-27 第三組門檻值試驗組_全單方向

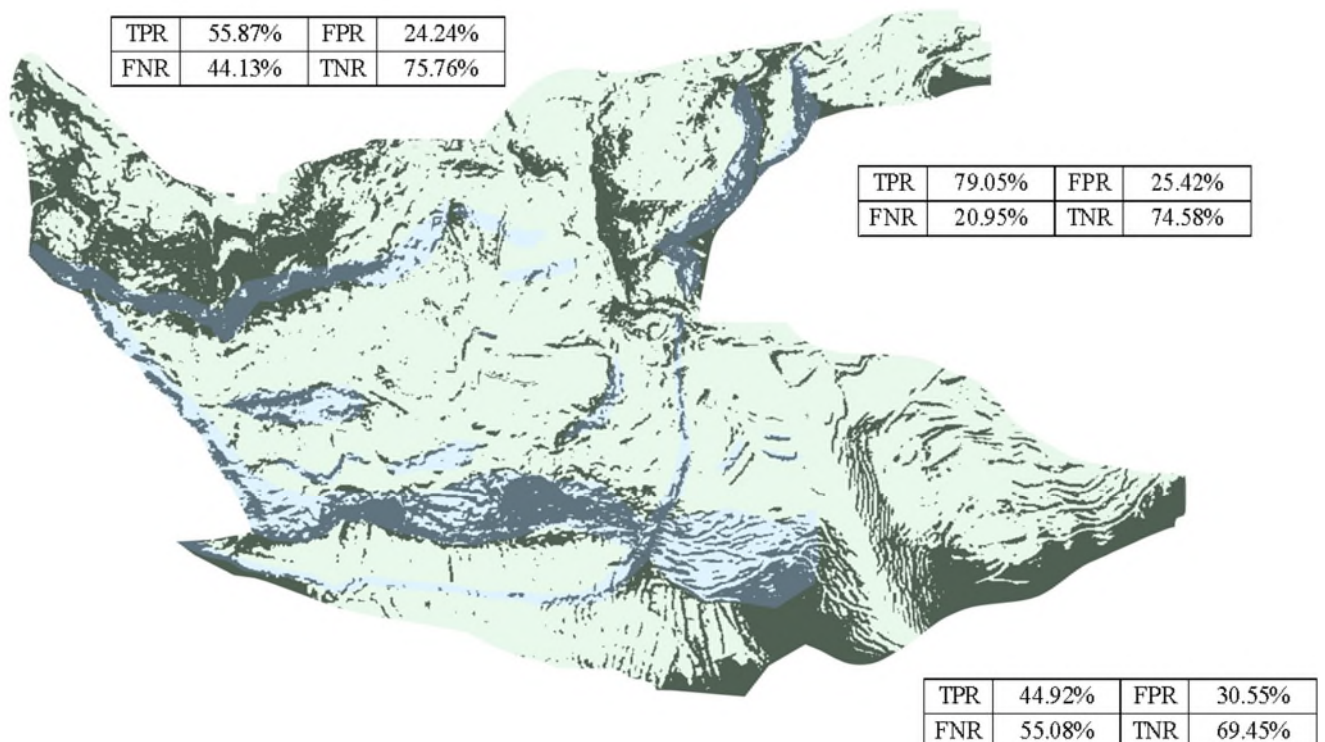


圖 5-28 第三組門檻值試驗組_多方向

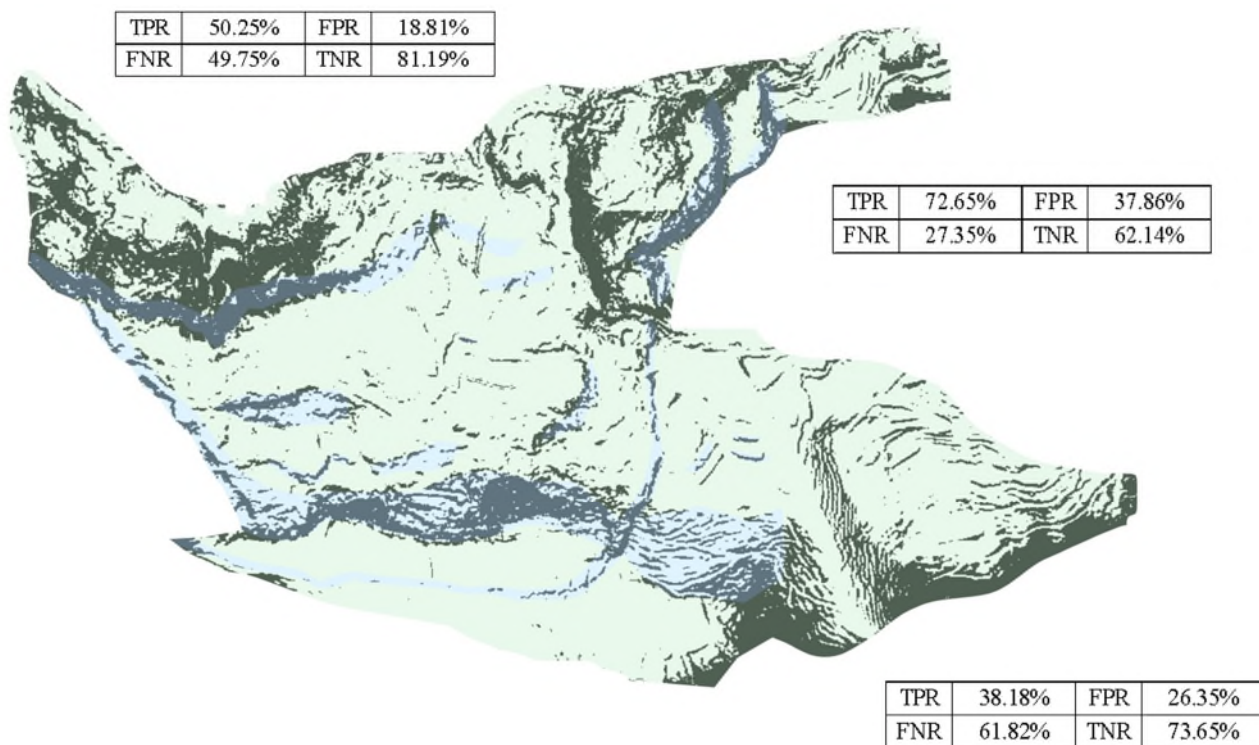


圖 5-29 第四組門檻值試驗組_全單方向

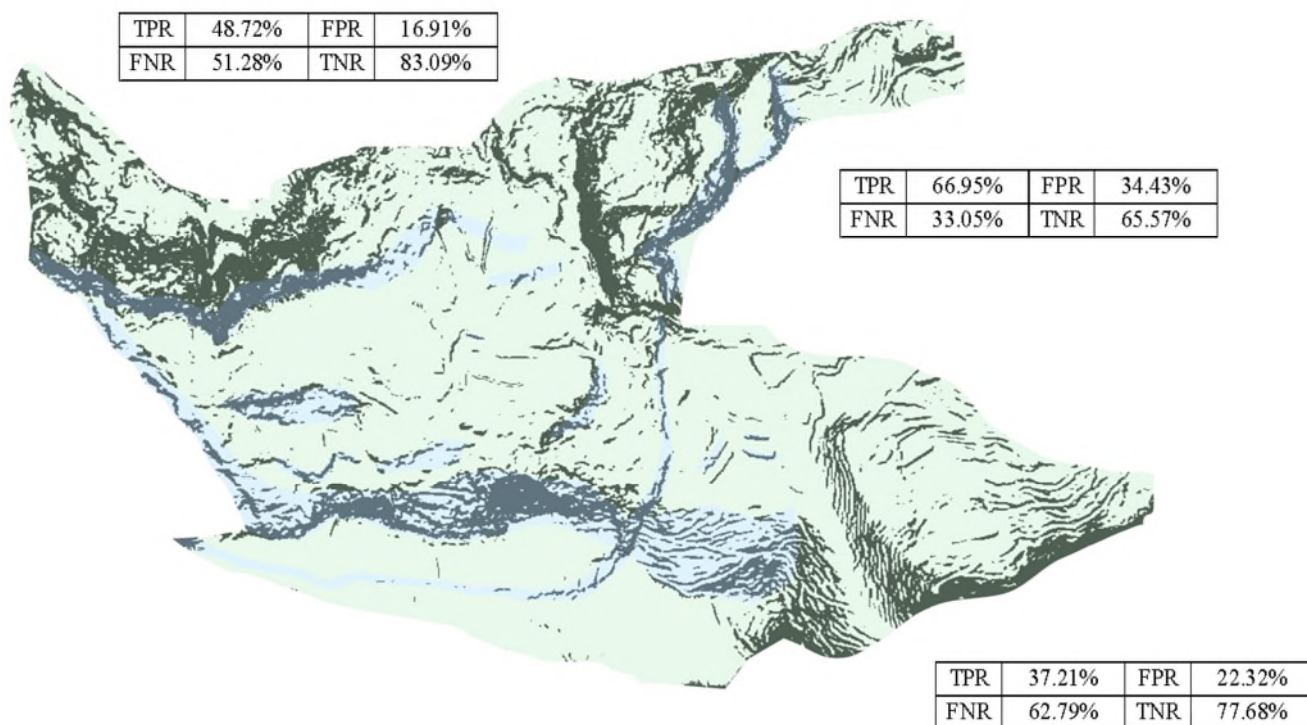


圖 5-30 第四組門檻值試驗組_多方向

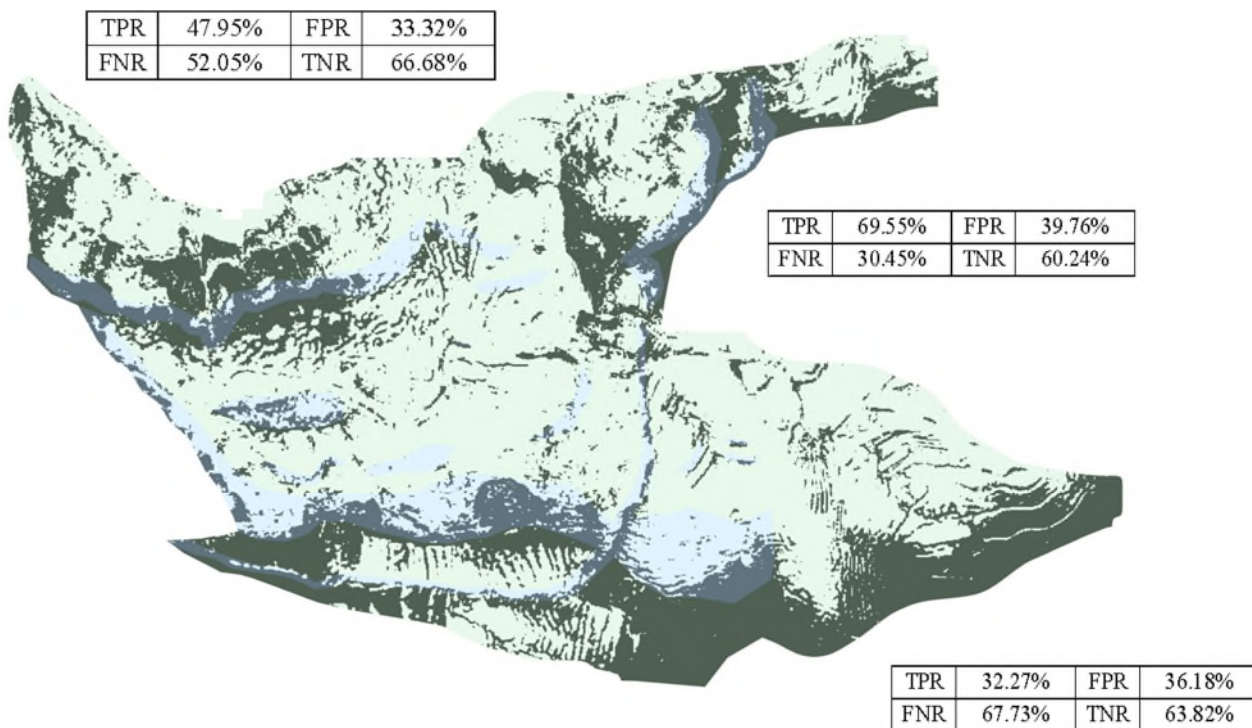


圖 5-31 第五組門檻值試驗組_全單方向

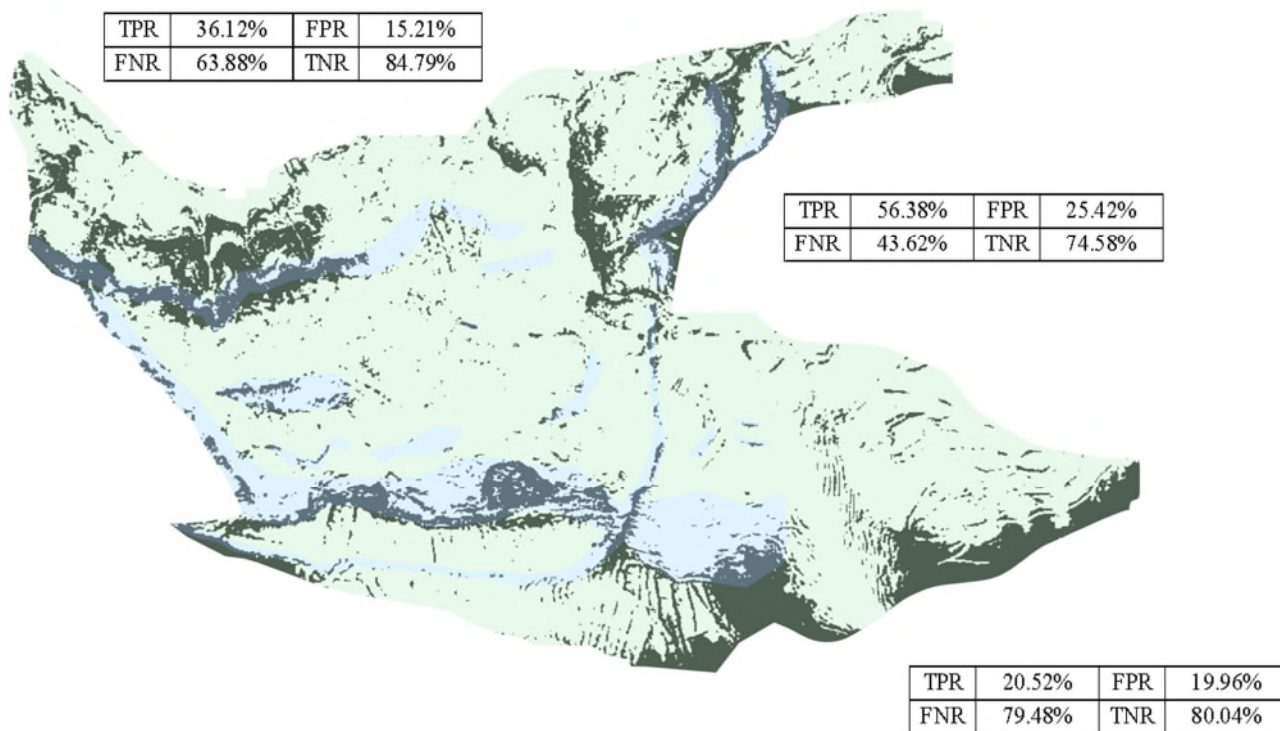


圖 5-32 第五組門檻值試驗組_多方向

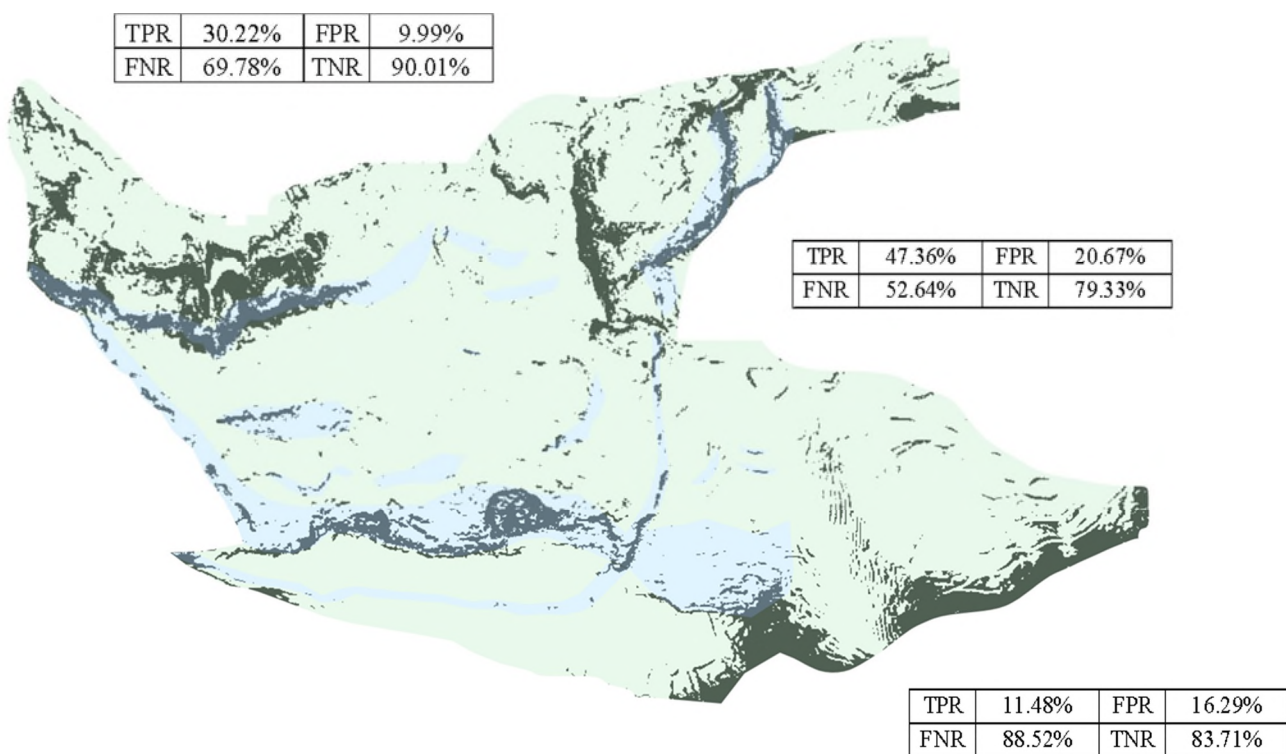


圖 5-33 第六組門檻值試驗組_全單方向

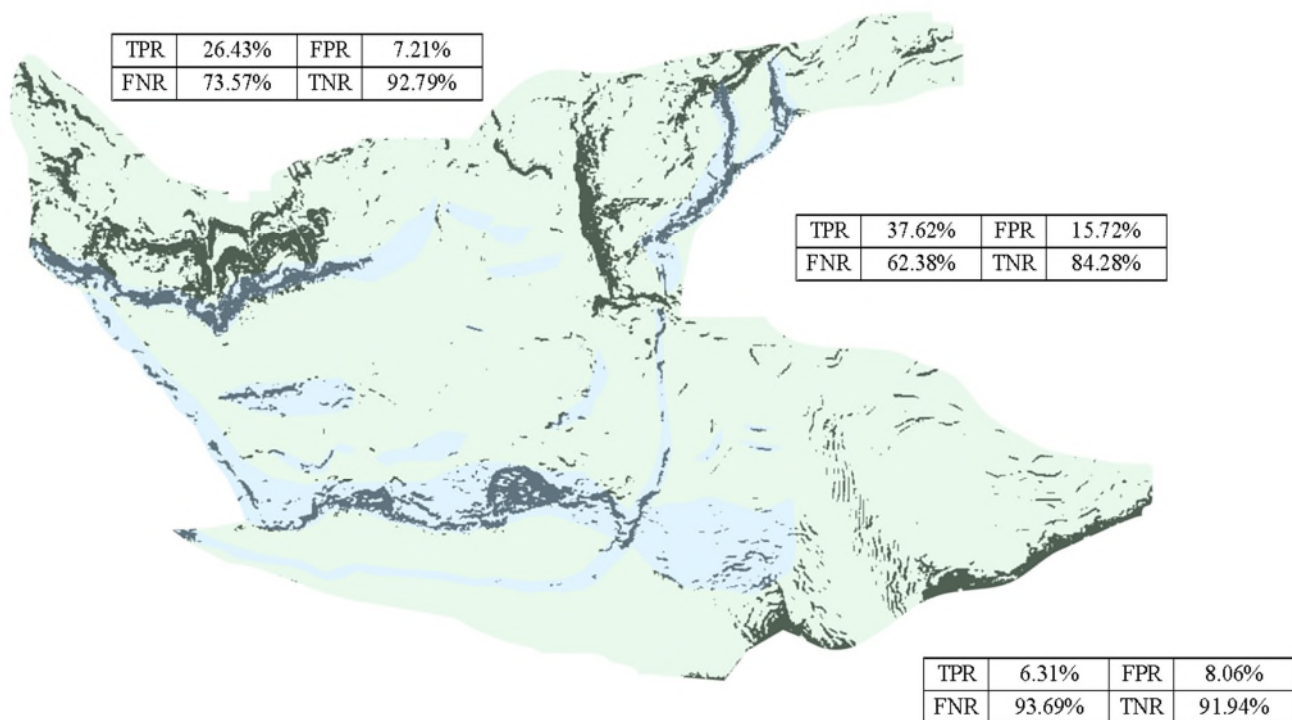


圖 5-34 第六組門檻值試驗組_多方向

四、各方向窗口提取結果

根據前幾節的結論，垂直特徵的方向性窗口有最佳的提取結果，因此，本研究將這六組門檻值的結果挑選其中兩組的門檻值，並且進一步探討不同方向的窗口對於提取地形特徵的結果，挑選組別分別是第二組與第四組。

圖 5-35~圖 5-38 為第二組門檻值各方向的結果，也就是坡度大於 40 度、地形開闊度大於 10 度且外擴交集的結果，由圖中可以明顯的發現，南北向的分析窗口有最高的 TPR 值，且對於東西向的特徵線段有最連續且密集的提取結果。此外，每一個方向的分析結果，其 TPR 都較全單方向低，但每一組都有極高 TNR 值。以此顯示，四個單方向分析結果在聯集後，雖然在目標範圍內的網格數會增加，且特徵線段會更加的連續，但同時各方向的雜點亦會疊加導至錯誤率上升。

另外圖 5-39~圖 5-42 為第四組門檻值各方向的結果，也就是坡度大於 30 度、地形開闊度大於 10 度且聯集的範圍，第四組結果與第二組有相似的趨勢，最大的差別在於南北向分析窗口的 TPR 值遠高於其他三個方向性窗口，符合本研究的結論，垂直特徵的單方向性窗口有最佳提取效果。

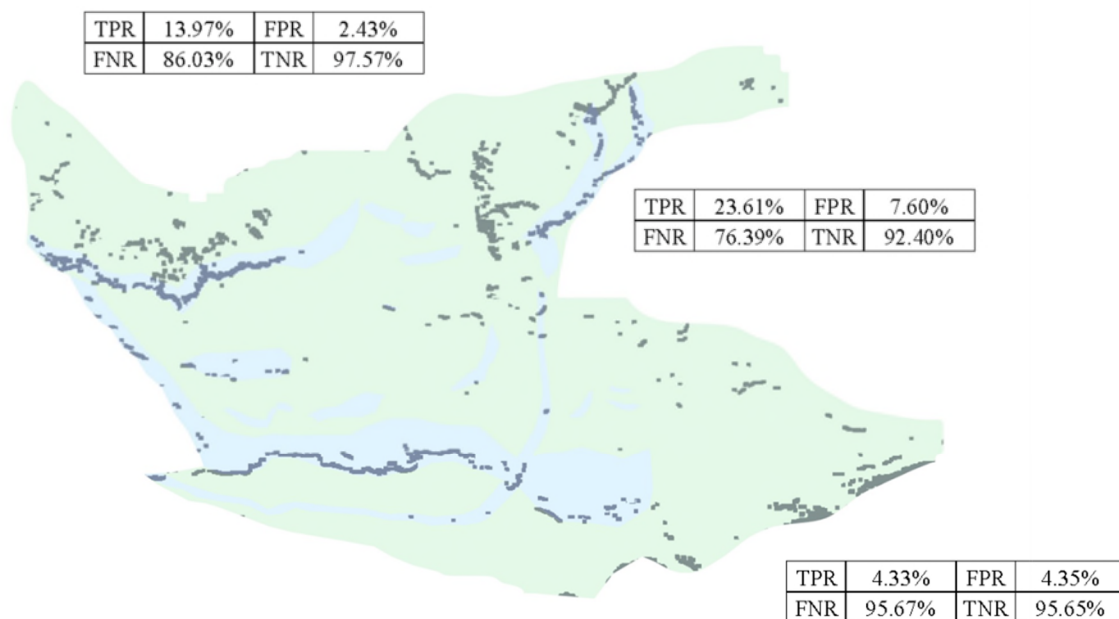


圖 5-35 第二組門檻值之南北向分析結果

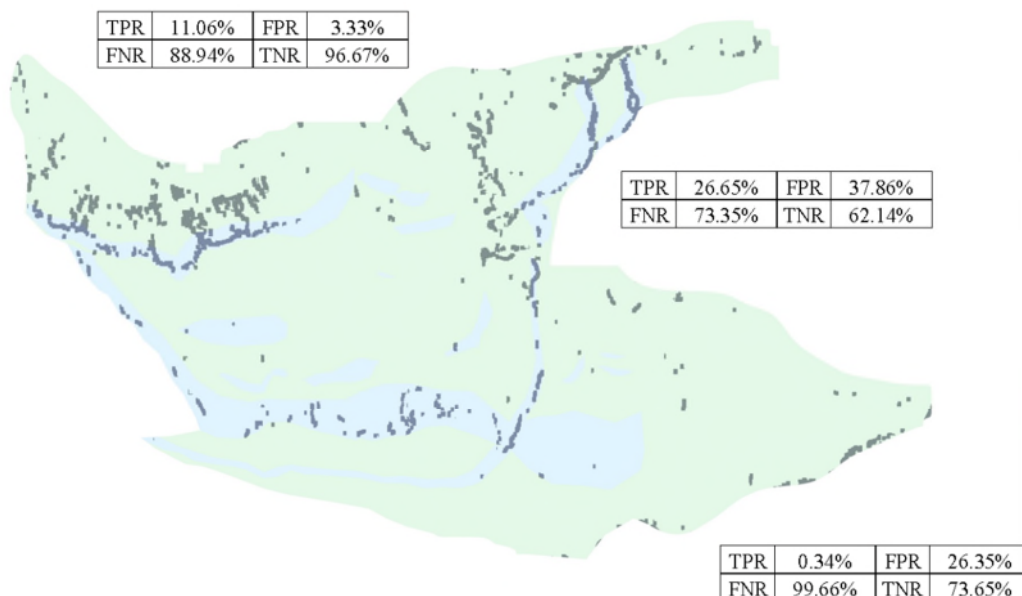


圖 5-36 第二組門檻值之東西向分析結果

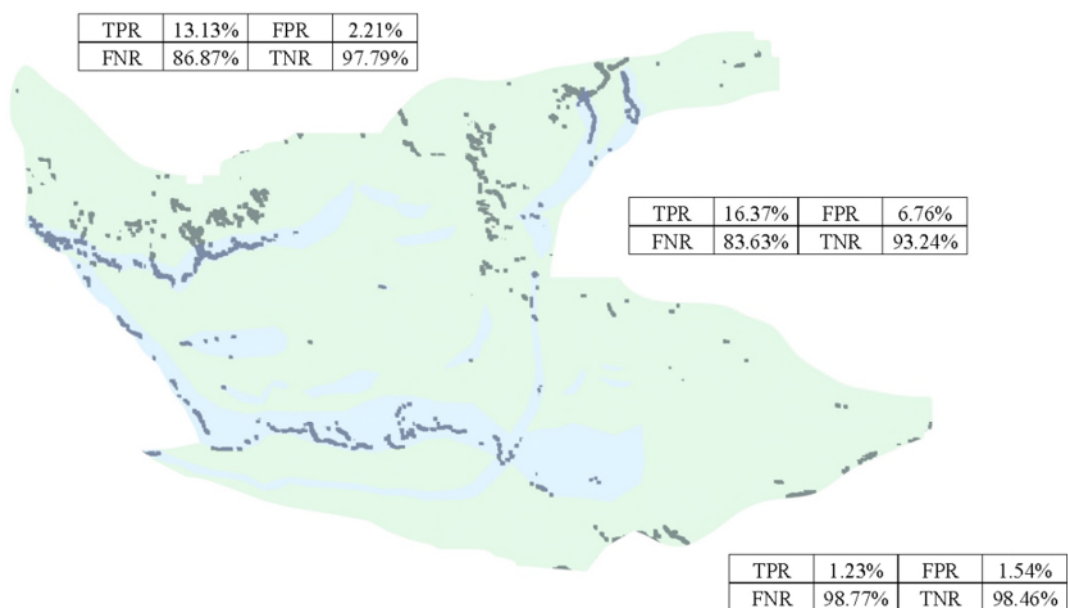


圖 5-37 第二組門檻值之東北西南向分析結果

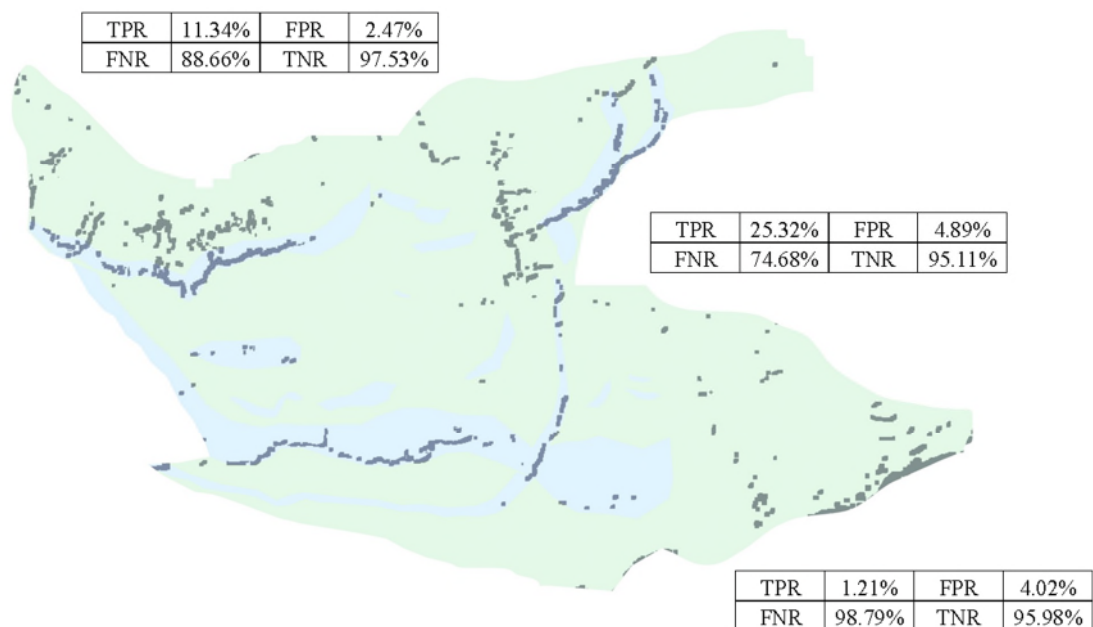


圖 5-38 第二組門檻值之西北東南向分析結果

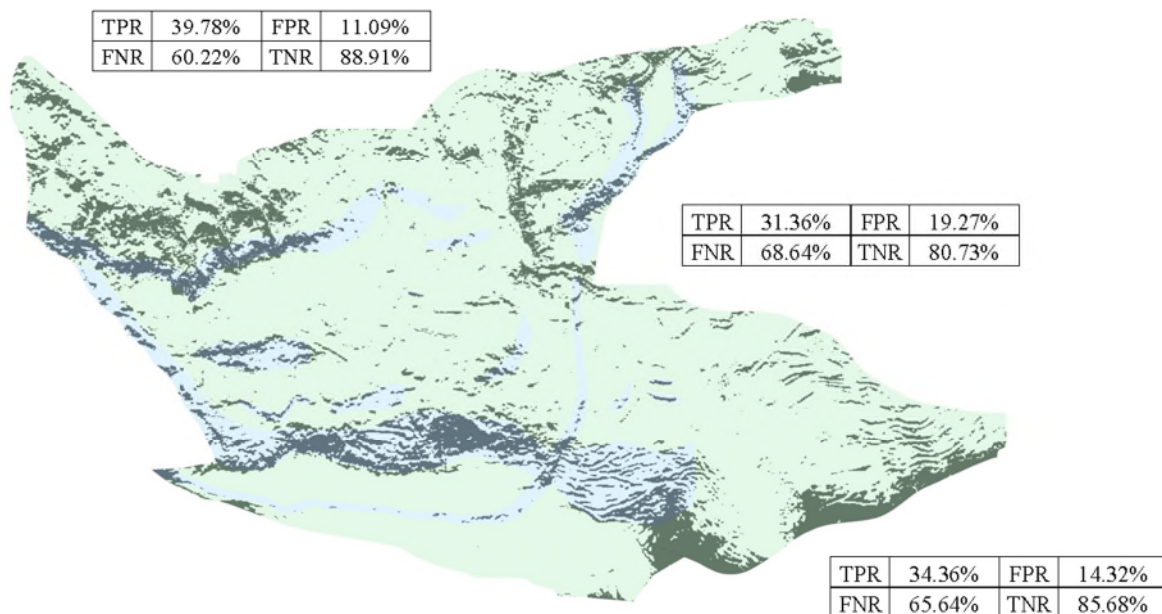


圖 5-39 第四組門檻值之南北向分析結果

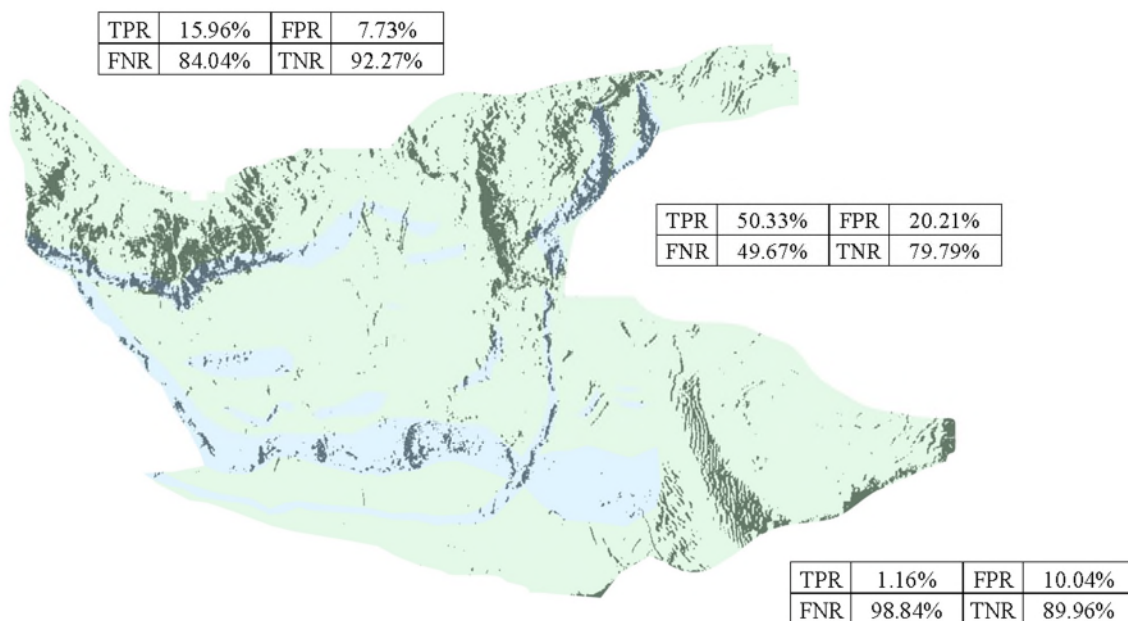


圖 5-40 第四組門檻值之東西向分析結果

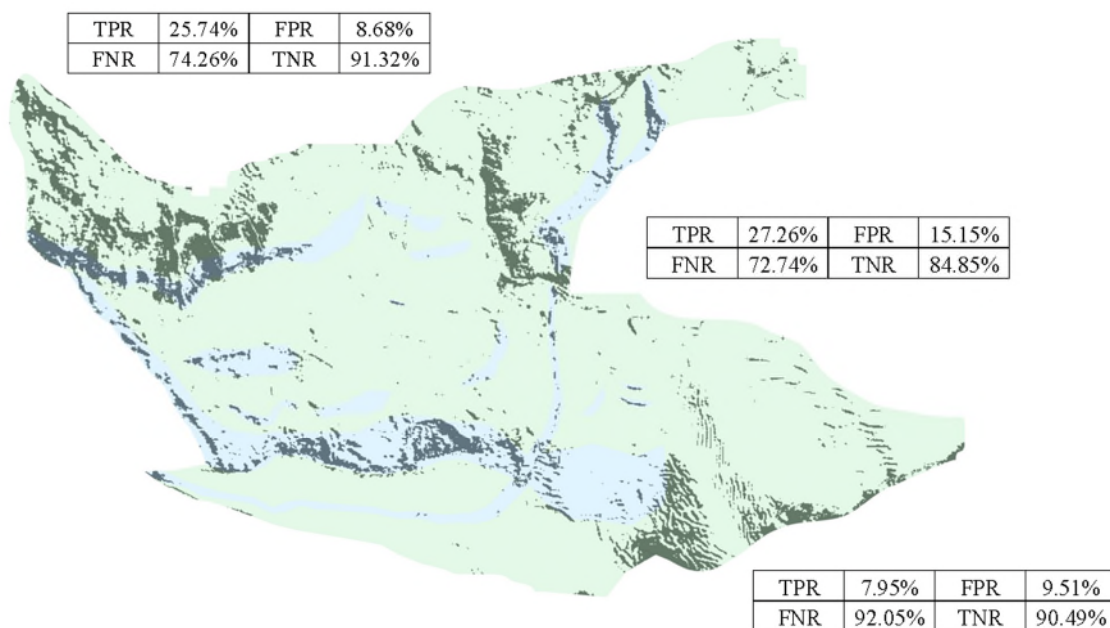


圖 5-41 第四組門檻值之東北西南向分析結果

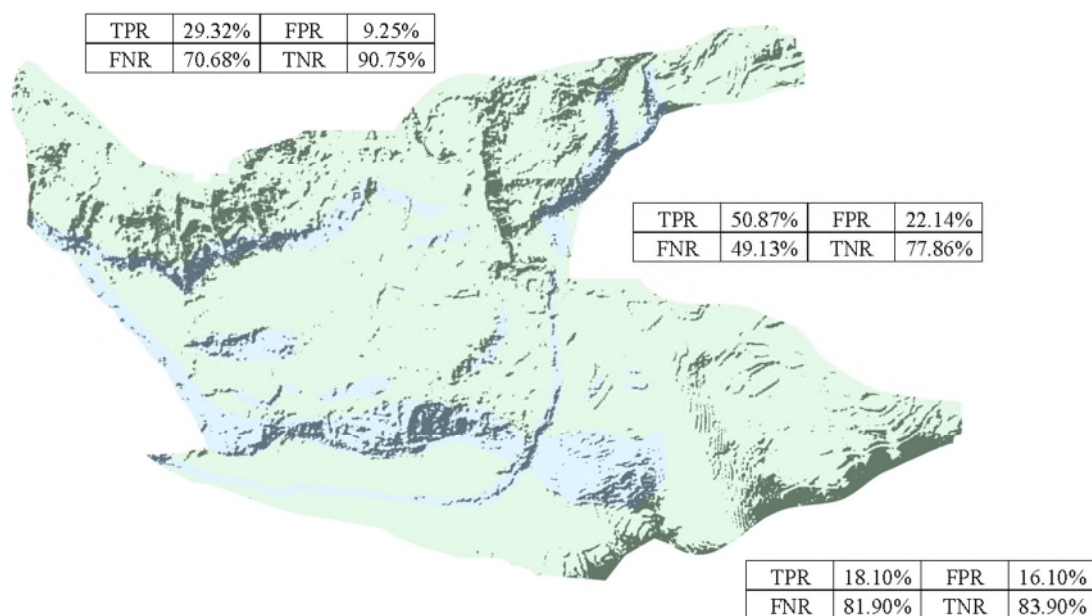


圖 5-42 第四組門檻值之西北東南向分析結果

第六章 結論與建議

本研究利用蝕溝與張力裂隙之虛擬地形，比較多方向與單方向分析窗口在不同方向性與半徑窗口下與微地形特徵之關係，我們發現在東西向的張力裂隙中，南北向的分析窗口有最佳的提取結果，而南北向蝕溝的最佳提取窗口為東西向，因此我們推論出，當分析窗口與微地形特徵垂直時，有最佳的特徵提取效果，此外，單方向性分析窗口也較多方向性分析窗口有更佳的提取效果。

此外，為了瞭解應用至實際地形之判釋狀況，我們將單方向與多方向性窗口套用在嘉義縣竹崎鄉的中心崙地區，並且計算以及探討各地形因子的分析結果。我們可以發現，單方向且垂直特徵方向的窗口較多方向分析窗口有更明顯的微地形特徵，而各地形因子的建議窗口大小中，地形粗糙度與坡度粗糙度之建議窗口大小為小於 5 個網格，因為半徑過大會模糊微地形特徵；地形開闊度與天空開闊度的半徑則是越大越能夠綜觀的顯示全區域的開闊度值。

本研究並利用坡度與地形開闊度，設立 6 組不同的門檻值以及不同的交集聯集方式提取目標地形特徵，計算各門檻值對應的 TPR 值與 FPR 值。結果顯示，當地形開闊度與坡度門檻值越大時，FPR 值會降低，但 TPR 值亦會降低且特徵線段較不連續。進一步的比較坡度與開闊度因子個別對於提取結果的影響，發現在同樣的坡度門檻值下，當地形開闊度門檻值越高時，雖然 TPR 值會稍許降低，但能夠大幅度的降低 FPR 值；而在相同的地形開闊度門檻值下，當坡度門檻值越高時，雖然 FPR 值會稍許降低，但同時 TPR 值亦會大幅度減少。最後，為了在比較同一門檻值中，各單方向性窗口對於提取結果的差異，本研究選取第二組與第四組的門檻值，再分別計算各方向的 TPR 值與 FPR 值。結果與虛擬地形相同，即為當分析窗口與微地形特徵垂直時，有最佳的特徵提取效果。

單方向性分析窗口改善了多方向性分析窗口因周圍網格影響而均化地形特徵的問題，大幅提升不同地形特徵的判釋精度，能夠應用在大規模潛勢崩塌區域上，更精準且快速的判釋潛在崩塌地特徵。而目前本研究完成初步研究成果，後續可望嘗試更多的門檻值、更多的地形因子或者更多的集水區，以驗證本研究的方法。另外，如同審查意見之建議，希望可以將研究成果進一步應用在邊坡穩定性之評估，如選取某一集水區，利用門檻值的方法以及各地形因子的結合找出集水區遷急點的區位。另一方面，亦可分析不同邊坡單元內微地形特徵密度與崩塌之關聯性，進一步運用在判釋集水區崩塌危害以及崩塌潛勢。

參考文獻

- 1.千木良雅弘(2006)，「地すべり・崩壊の発生場所予測-地質と地形からみた技術の現状と今後の展開」，土木學會論文集 C，第六十五卷，第 4 期，第 722-735 頁。
- 2.戸堅一郎(2012)，「航空レーザ測量データを用いた微地形図の作成」，砂防学会誌，第六十五卷，第 2 期，第 51-55 頁。
- 3.日本土木研究所(2008)，深層崩塌潛勢溪流檢出方法說明書。
- 4.王軻、王瑋、張青峰、丁凱隆(2015)，「地形開度和差值圖像閾值分割原理相結合的黃土高原溝沿線提取法」，測繪學報，第四十四卷，第 1 期，第 67-75 頁。
- 5.王意華、曾義星(2017)「高解析度數值高程模型地形參數之網格式製圖分析」，航測及遙測學刊，第二十卷，第 263-277 頁。
- 6.行政院農業委員會水土保持局(2015)，大規模崩塌防減災技術發展及應用。
- 7.吳俊毅、葉彥駒(2017)，「崩塌機率分析單元及機率模型之比較」，中華水土保持學報，第四十九卷，第 4 期，第 2249-2266 頁。
- 8.周毅、湯國安、張婷、王春(2007)，「基於網格 DEM 線狀分析窗口的地形特徵快速提取方法」，測繪通報 2007 年，第 10 期，第 67-69 頁。
- 9.林俐玲、林可薇、陳品岡、沈哲緯(2011)，「斜坡單元進行山坡地土壤流失量之推估」，中華水土保持學報，第四十三卷，第 4 期，第 395-410 頁。
- 10.徐乙君、張中白(2016)，「光達數值地形於野外地質調查之應用以獻肚山崩塌區及谷關德基區域為例」，航測及遙測學刊，第二十卷，第 183-199 頁。

- 11.涂杰、周毅、趙昊、燕龍、武金勇(2018)，「DEM 線狀窗口鄰域分析的月表撞擊坑自動提取」，測繪通報 2018 年，第 6 期，第 27-33 頁。
- 12.郭芳芳、楊農、孟暉、張岳橋、葉寶瑩(2008)，「地形起伏度和坡度 分析在區域滑坡災害評價中的應用」，中國地質，第三十五卷，第 1 期，第 131-143 頁。
- 13.陳振宇、藤田正治(2015)，「以水含量指標預測集水區內降雨誘發的淺層崩塌」，中華水土保持學報，第四十六卷，第 1 期，第 7-18 頁。
- 14.陳聯光、陳樹群、周憲德、陳亮全、劉哲欣、吳亭燁、林聖琪(2012)，「大規模崩塌災害防治推動策略規劃」，國家災害防救科技中心技 術報告。
- 15.湯國安、楊昕(2006)，ArcGIS 地裡訊息系統空間分析實驗教程。
- 16.鈴木隆介(2000)，建設技術者のための地形図読図入門第 3 卷段丘・丘陵・山地，古今書院，東京。
- 17.鄒昆、沃焱、徐翔(2018)，「利用特征显著度提取地形特征线的方法」，武漢大學學報，第四十三卷，第 3 期，第 342-348 頁。
- 18.劉治中、蕭國鑫、饒見有、劉進金、吳哲榮、黃群修(2010)「結合空載 LiDAR 與彩色航照應用於崩塌地研判」，航測及遙測學刊，第十五卷，第 111-122 頁。
- 19.蕭宇伸、郭耀駿(2017)，「利用自製紅色地圖輔助地形判釋：以太魯閣地區為例」， 國土測繪與空間資訊，第五卷，第 1 期，第 29-42 頁。
- 20.謝有忠、侯進雄、胡植慶、費立沅、陳宏仁、邱禎龍、詹瑜璋(2016)「地形計測方法應用於潛在大規模崩塌之判釋」，航測及遙測學刊，第二十卷，第 263-277 頁。

21. Agliardi, F., Crosta, G., and Zanchi, A. (2001). "Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics," *Engineering Geology*, 59, 83-102.
22. Ba, Q., Chen, Y., Deng, S., Yang, J., Li, H. (2018). "A comparison of slope units and grid cells as mapping units for landslide susceptibility assessment," *Earth Science Information*, 1-16.
23. Begg, J. G., and Mouslopoulou, V. (2010). "Analysis of late Holocene faulting within an active rift using lidar, Taupo Rift, New Zealand," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 190(1), 152-167.
24. Chiba, T., Kaneta, I and Suzuki. (2008). "RedRelief Image Map: New Visualization Method for Three Dimensional Data," *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37 Part B2., 1071-1076.
25. Chigira, M., Duan, F., Yagi, H., and Furuya, T. (2004). "Using an airborne laser scanner for the identification of shallow landslides and susceptibility assessment in an area of ignimbrite overlain by permeable pyroclastics," *Landslides*, 1, 203-209.
26. Grebby, S., Cunningham, D., Naden, J., and Tansey, K. (2012). "Application of airborne LiDAR data and airborne multispectral imagery to structural mapping of the upper section of the Troodos ophiolite, Cyprus," *International Journal of Earth Sciences*, 101(6), 1645-1660.
27. Grohmann, C.H., Smith, M.J., Riccomini, C. (2011). "Multiscale analysis of topographic surface roughness in the midland valley, Scotland," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49, 1200-1213.
28. O'leary, D., Friedman, J., and Pohn, H. (1976). "Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms," *Geological Society of America Bulletin*, 87(10), 1463-1469.
29. Eco, R.N., et.al. (2015). "Landslide and debris flow susceptibility mapping of Leyte Province, Philippines using remote sensing, numerical modelling, and

GIS,” Journal of the Philippine Geoscience and Remote Sensing Society, 1(1), 53-71.

30. Van Den Eeckhaut, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Rossi, M., Poesen, J. (2009). “Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium,” Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 507-521.

31. Varnes, D.J. (1978). SLOPE MOVEMENT TYPES AND PROCESSES: Washington, Transportation Research Board.

32. Wilson, J.P. and Gallant, J.C. (2000). Terrain analysis, John Wiley and Sons, Inc., 479.

33. Xie, M., Esaki, T., and Zhou, G. (2004). “GIS-Based Probabilistic Mapping of Landslide Hazard Using a Three-Dimensional Deterministic Model.” Natural Hazards, 33, 265-282.

34. Yokoyama, R., Shirasawa, M. and Pike, R.J. (2002). “Visualizing topography by Openness: A new application of image processing to digital elevation models,” Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68, 257-265

附錄一 核定本審查意見及辦理情形

項次	審查意見	辦理情形
1	建議測試八方向坡向、不同坡度所適用之方向性窗口參數設定。	謝謝委員意見，本計畫中將測試不同地形因子適用之方向性窗口之方向、大小等參數設定。
2	建議加入 sobel 或 canny 等方法(再加以方向性權重)進行特徵線段萃取之比較。	謝謝委員意見，sobel 運算元與本研究的多方向坡度計算方式相同，不同的地方是，sobel 運算元主要運用在影像分析上，但本研究是利用數值高程模型計算地形因子，而本研究亦加入方向性的權重計算坡度，提取微地形特徵；而 canny 運算元，我們會嘗試依照其運算方式，加入方向性權重，且應用在微地形特徵的判釋。
3	有關雜點之去除，建議可參考 morphology 之概念。	謝謝委員意見，本計畫將嘗試利用不同方法來去除有關雜點，如設立門檻值或是利用空間連續性的方式去除雜點，而形態學的方法在本研究中也會嘗試。
4	建議以防災中心 UAV 光達之 10CM DEM 成果來測試。	謝謝委員意見，本計畫所建立的分析流程及方法，可再利用 UAV 光達之 10CM DEM 成果進行測試。

方向性分析窗口應用於地形計測之研究

項次	審查意見	辦理情形
5	未來成果，可評估於 BigGIS 建立線上運算機制，即時呈現成果。	謝謝委員意見，本計畫目前仍以探討具方向性之地形計測分析是否能突顯地形的細部變化為目標，未來再評估於 BigGIS 建立線上運算機制之可行性。

附錄二 期初審查意見及辦理情形

項次	審查意見	辦理情形
1	本計畫擬利用方向性窗口的分析方法，來改善過去採用各方向平均計算方法所帶來不準確的問題，特別是微地形的判識，未來成果具實用性，值得肯定。	感謝委員的肯定。
2	建議能加強說明本計畫欲優化的內容，如何與前人研究區隔，俾使本計畫之學術創新和實務應用之貢獻更加明確。	謝謝委員意見，前人研究主要利用多方向窗口提取地形特徵，但容易因為特徵的環境因子而影響提取效果，因此本研究主要藉由單方向的分析窗口，希望能夠更準確的提取地形特徵，且未來能夠應用在偵測崩塌地之微地形特徵。
3	本計畫在執行時，所得到的結果，建議與過去之若干個方法所得的結果作比較。惟不同的地形類型，宜有一致的指標(Index)來量化其優劣。	謝謝委員意見，本研究目前將針對潛在發生的崩塌區域，進行地形特徵的提取，接著與崩塌地實際的型特徵進行比較，並且以誤差矩陣的方式呈現提取結果的優劣。

項次	審查意見	辦理情形
4	本計畫擬以方向性窗口探討崩塌張力裂縫地形特徵，因崩塌地形特徵具多樣性，常與崩塌區位及型態有關，請納入考量。	謝謝委員意見，由於本計畫為初步研究，目前結果只探討如何利用單方向窗口提取最顯著的地形特徵，而不同的崩塌區位及崩塌型態的地形特徵，可以待特徵提取技術成熟時，加入多個不同型態之崩塌類型一同討論。
5	本計畫主要針對張力裂隙、反向坡、蝕溝這三種為地形進行判釋，其判釋結果是否能自動區別出三者之差異？	謝謝委員意見，張力裂隙大多與坡面垂直，而蝕溝大多與坡面平行。
6	此研究方法對 lineation 有一定之解釋效力，建議納入判釋項目。	謝謝委員意見，本計畫初步主要針對崩塌地微地形特徵的提取，未來可加入線狀地形特徵做為判釋的考量，如山脊、河谷與遷急點等。
7	文中針對測試樣區之數量、範圍大小以及準確度評估等方法描述較少，建議補充相關說明。	謝謝委員意見，本研究將測試的區域為嘉義縣竹崎鄉的中心崙地區，且現地的詳細說明新增在期中報告書第四章內。而準確度評估的方式主要是利用誤差矩陣計算實際微地形特徵與本研究提取的結果。

項次	審查意見	辦理情形
8	期望本計畫成果未來能進一步運用於判識邊坡危害(Hazards)的類別及潛勢。	謝謝委員意見，本研究主要目的為提取崩塌地的特徵，待提取技術成熟，可嘗試運用於判識邊坡危害的類別及潛勢。
9	本計畫擬將集水區劃分成不同之邊坡單元(Slope Unit)進行分析，惟如何決定邊坡單元之合適面積，請補充說明。	謝謝委員意見，本研究的集水區約為面積 20 公頃，由該面積劃設邊坡單元，主要以一個崩塌地不橫跨兩個邊坡單元為劃設的原則。
10	建議除以虛擬數值地形模型進行測試外，宜以已判釋為大規模崩塌地區或真實地形 DEM 資料進行判釋，並與紅色地圖及 CS 地圖等判釋或地形呈現結果進行比較，以區別優缺點或特色。	謝謝委員意見，我們選定嘉義縣竹崎鄉中心崙地區作為本研究地點，再透過方向性窗口提取地形特徵後，與崩塌地實際微地形特徵進行比較。 本研究已將紅色地圖(開闊度圖與坡度圖)的多方向與單方向窗口納入比較，而後續可嘗試將 CS 地圖也納入結果，比較其優劣性。
11	歷次計畫(含核定本)審查意見及回覆情況，請列於報告書之附錄。	謝謝委員意見，已將委員的意見及回覆情況增列在附錄。

附錄三 期中審查意見及辦理情形

項次	審查意見	辦理情形
1	本期中報告書已針對方向性分析窗口應用於地形計測的計畫緣起與目的、工作項目及內容、前人研究和研究方法，乃至虛擬地形分析之結果加以說明，並且也得到若干成果，這些都值得肯定。	感謝委員的肯定。
2	本計畫以嘉義縣竹崎鄉的境內(中心崙)為其研究區域，有別於虛擬之地形，建議研究團隊針對實際地形與虛擬地形之研究成果差異，加以探討。	感謝委員的意見，本研究在中心崙的地形分析結果中，會加以探討現地與虛擬地形之判釋結果差異。
3	台灣之面積雖小，但地形差異大，但其形成也相當複雜，恐非中心崙一個地區就能得到台灣全域性及說服性的成果，建議研究團隊，多做一些區域，才有更大的說服力。	感謝委員意見，本研究目前先以中心崙地區作為初步研究成果，後續如有延伸計畫，可加入更多不同區域的現地資料，並加以合併探討。

項次	審查意見	辦理情形
4	邊坡單元面積可以大可以小，建議研究團隊針對邊坡單元大小對研究成果的影響也加以探討。	感謝委員意見，本研究利用誤差矩陣判斷研究成果的優劣性，因此，邊坡單元的大小確實會影響結果，但目前研究的主要目的是比較不同的門檻值對於提取結果的差異性，因此，邊坡單元的影響可暫時忽略。
5	邊坡單元建議直接使用地調所之成果(可向本局申請)，方便日後成果整合。	感謝委員意見，本研究之邊坡單元已向水保局提出申請，並且根據實際地形做些許的修改。
6	依第四章結論，當分析窗口與微地形特徵垂直時，特徵有最佳的提取效果；然而實務上，我們期待係由地形測計方法來找出未知的裂縫等，在特徵方向未知時，如何決定最佳窗口方向？	感謝委員意見，本研究考慮到特徵方向未知的情形，因此我們利用門檻值的方法，聯集四個單方向窗口的提取結果。
7	目前期中進度僅完成虛擬坡面之測試，期待期末時看到真實坡面之成果，並與現行之HOST 地圖及 CS 地圖等成果進行比較，並建議至現場進行特徵點之驗證。	感謝委員意見，本研究將此方法套用在中心崙地區，並至現場進行特徵點驗證。

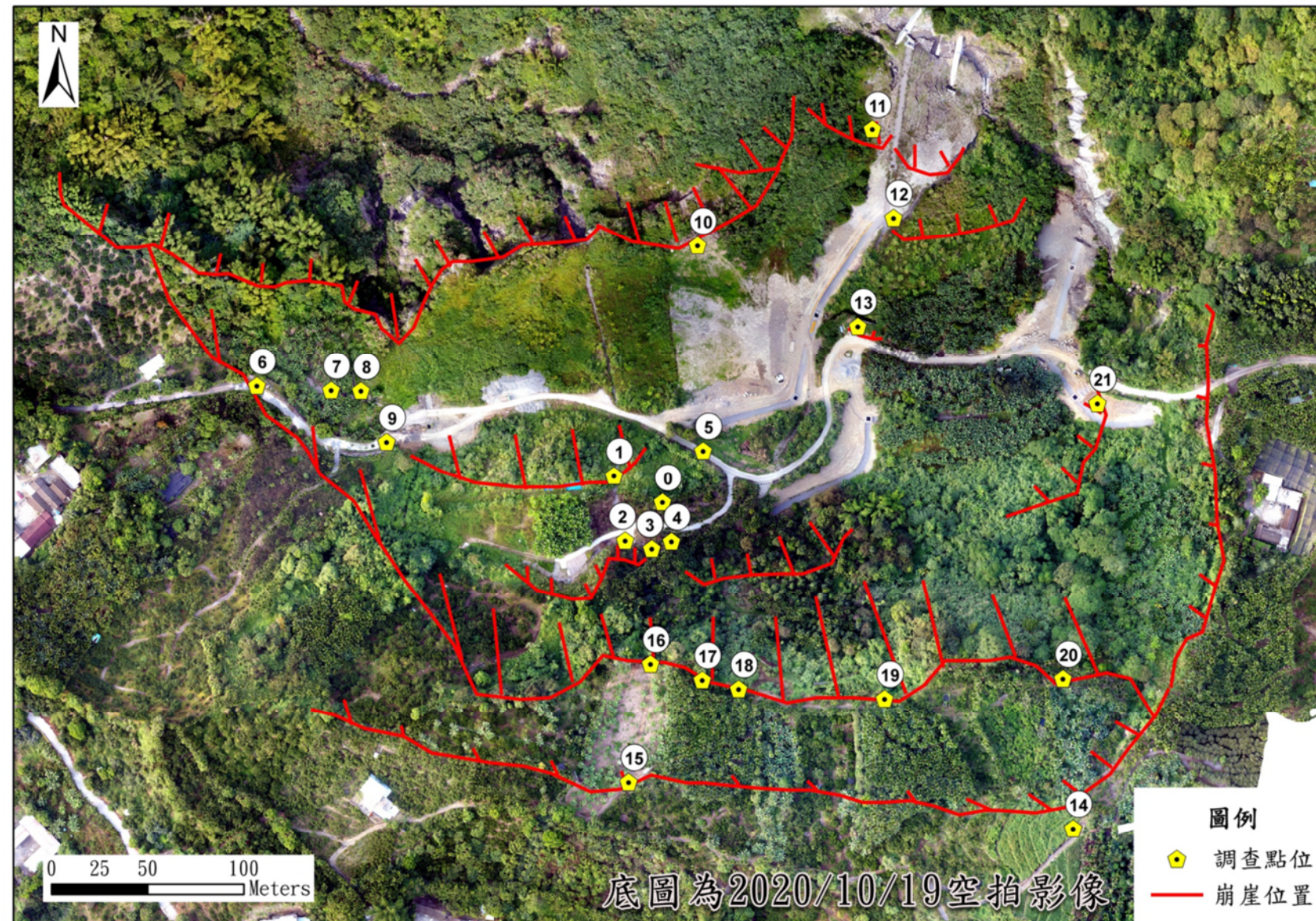
項次	審查意見	辦理情形
8	P3-1 圖 3-2 參照來源錯誤。	感謝委員的糾正，已做修改。
9	評估偵測出地形特徵後，將其成果應用於量化邊坡穩定指標之可行性。	感謝委員意見，本研究目前仍在嘗試各地形因子的門檻值，後續研究可能加入其他不同的區域測試，增加該方法的穩定性後，進一步探討將結果作為量化邊坡穩定指標之可能性。
10	判釋之集水區邊坡單元範圍，建議與水保局 BIGGIS 之現有圖層進行比較。	感謝委員意見，本研究之邊坡單元已向水保局提出申請，並且根據實際地形做些許的修改。
11	將現階段之成果應用於實際坡面後，建議列出表格比對不同坡向、目標物下，所需調整窗口方向、形狀、大小...等，供後續相關人員查詢使用。	感謝委員意見，本研究之建議窗口大小與方向等，已彙整在第五章第三節。

附錄四 期末審查意見及辦理情形

項次	審查意見	辦理情形
1	對於一個不熟悉的地區，如何決定使用那個方向分析窗口？或是各方向都作完後，再作組合，如是，其組合方式及原則為何？	感謝委員意見，首先選定目標地形特徵，再依照該特徵與坡面坡向之關係，選擇最佳方向性分析窗口。文中 5-23 頁已統整不同坡向、特徵方向與最佳分析窗口三者的關係，供後續研究參考。
2	中心崙的案例，如用多方向性的紅色地圖，其判識結果與單方向窗口之差異性如何？	感謝委員意見，若以紅色地圖進行可視化判釋，無法量化其中之差異，因此本研究利用紅色地圖所使用的坡度及地形開闊度因子，以設定門檻值，並且用誤差矩陣比較其優劣性，詳如第五章第五節。
3	成果良好，判釋精度可進一步說明	感謝委員意見，地形因子的判釋精度與 DEM 相同，目前採用精度為一公尺。
4	計畫成果提升過去地形準確度不佳的問題，但對於實際應用貢獻之說明稍弱，建議強化	感謝委員意見，已強化說明研究成果對於坡地防災之貢獻與應用性，詳如 6-2 頁。

項次	審查意見	辦理情形
	計畫成果對於坡地防災的貢獻與應用性。	
5	P3-4 中 X 與 Y 方向變化率公式相同，請再確認是否有誤。	感謝委員意見，已修正。
6	請說明本計畫判定地形特徵適用於多少尺度的範圍，以及自動化判釋需要花費的時間。	感謝委員意見，本研究實際地形分析採用大小約 720 公頃之數值高程模型，計算五個地形因子與設定門檻值耗時約 6-7 小時。

附錄五 現地調查照片



0.道路上方邊坡
(E=207783.86, N=2598737.25)



1.崩崖冠部
(E=207758.62, N=2598750.97)



2.集水井
(E=207764.45, N=2598717.27)



3.崩崖冠部植生狀況良好
(E=207778.31, N=2598713.05)



4.道路上方邊坡
(E=207788.55, N=2598716.84)



5.道路與排水間的縫隙
(E=207804.97, N=2598763.97)



6.道路與護坡工程之間隙
(E=207572.92, N=2598797.72)



7.植生傾斜
(E=207611.58, N=2598795.44)



8.窪地
(E=207627.09, N=2598795.08)



9.道路損壞情形
(E=207640.39, N=2598768.55)



10.崩崖裂隙
(E=207802.13, N=2598870.74)



11.滑動面植生傾斜情形
(E=207893.00, N=2598931.15)



12.發現水流情形
(E=207904.01, N=2598885.18)



13.滑動面植生傾斜情形
(E=207885.48, N=2598828.70)



14.上方崩崖情況
(E=207997.41, N=2598567.46)



15.上方崩崖情況
(E=207766.25, N=2598591.62)



16.崩崖頂部現況
(E=207777.66, N=2598653.06)



17.崩崖頂部現況
(E=207804.54, N=2598644.76)



18.崩崖頂部現況
(E=207823.44, N=2598640.08)



19.崩崖頂部現況
(E=207899.37, N=2598635.00)



20.崩崖頂部現況
(E=207992.10, N=2598645.47)



21.崩崖頂部現況
(E=208010.00, N=2598788.57)