

9608

雪霸國家公園生態評估模式之建立—林道敏感性劃分之研究  
研究主持人：雷祖強

雪霸國家公園管理處

雪霸國家公園生態評估模式之建立  
—林道敏感性劃分之研究

內政部營建署雪霸國家公園管理處

# 雪霸國家公園生態評估模式之建立 —林道敏感性劃分之研究

受委託者：逢甲大學

研究主持人：雷祖強

研究人員：楊玫萍

內政部營建署雪霸國家公園管理處

中華民國九十六年十二月

## 目次

表次 .....	III
圖次 .....	III
摘要 .....	V
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究緣起與背景 .....	1
第二節 計畫目標 .....	2
第二章 文獻回顧 .....	3
第一節 林道災害之特性與敏感性 .....	3
第二節 空間資訊系統於林道災害之判釋與應用 .....	7
第三節 林道災害因子整理與分析 .....	9
第四節 空間統計概述 .....	12
第五節 多變量統計分析 .....	14
第六節 林道維護修繕工法 .....	16
第三章 研究地區與資料概述 .....	25
第一節 研究區介紹 .....	25
第二節 研究資料 .....	26
第三節 研究流程 .....	29
第四章 研究方法 .....	30
第一節 區域化變數理論 .....	30
第二節 多變量統計分析 .....	42
第三節 最大概似法 .....	45

第四節 指標克利金分類方法 .....	46
第五章 成果與討論 .....	48
第一節 崩塌分析成果 .....	48
第二節 雨量因子分析成果 .....	50
第三節 林道敏感性分級成果 .....	62
第六章 結論與建議 .....	79
第一節 結論 .....	79
第二節 建議 .....	80
參考文獻 .....	82

## 表次

表 2-1 環境敏感區類別	3
表 2-2 林道災害原因	6
表 2-3 坡面保護工法之種類及適用性(廖瑞堂 2001)	17
表 2-4 擋土護坡工之種類及適用性	20
表 2-5 安全監測等級區分表	22
表 3-1 研究材料來源	26
表 3-2 衛星影像基本資料	27
表 5-1 各時期崩塌地面積比較表(單位：公頃)	49
表 5-2 雪霸國家公園附近雨量站位置分布(中央氣象局點位)	50
表 5-3 實證區雨量站經由門檻條件所萃取之結果(單位：mm)	52
表 5-4 理論半變異元與試驗半變異元套配係數值	53
表 5-5 坡度分級表	63
表 5-6 大鹿林道東線主成分分析因子負荷量表	65
表 5-7 司馬限林道主成分分析因子負荷量表	71
表 5-8 建議坡面保護工法之種類	75
表 5-9 建議擋土護坡工之種類	75
表 5-10 林道危險路段適用工法綜理表	75

## 圖次

圖 2-1 砌石擋土牆	17
圖 2-2 無筋混凝土擋土牆	17
圖 2-3 格床式擋土牆	18
圖 2-4 蛇籠式擋土牆	18
圖 2-5 RC 懸臂式擋土牆	18
圖 2-6 RC 扶臂式擋土牆	18
圖 2-7 加勁式擋土牆	19
圖 2-8 錨拉式擋土牆	19
圖 2-9 抗滑樁	19
圖 2-11 土釘工法	19
圖 2-11 輕質回填土工法	19
圖 3-1 研究地區地理位置圖	25
圖 3-2 各時期之 SPOT 衛星影像	27
圖 3-3 研究地區山崩潛勢分析基本圖層	28
圖 3-4 研究流程圖	29
圖 4-1 半變異元示意圖	32
圖 4-2 半變異元函數 $\gamma(h)$ 與共變異函數 $C(h)$ 之關係圖	32
圖 4-3 試驗半變異元函數示意圖	36
圖 4-4 常用理論半變異元套配模式	36
圖 4-5 交叉驗證法流程示意圖	41
圖 4-6 最大概似法判別說明圖	45
圖 4-7 特徵空間二元化	47

圖 5-1 各時期之崩塌地成果圖 .....	48
圖 5-2 雪霸國家公園山崩潛勢圖 .....	49
圖 5-3 雪霸國家公園範圍及其現有雨量站分布圖 .....	51
圖 5-4 半變異元圖 (一月) .....	53
圖 5-5 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (一月：單位：mm) .....	55
圖 5-6 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (二月：單位：mm) .....	55
圖 5-7 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (三月：單位：mm) .....	56
圖 5-8 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (四月：單位：mm) .....	56
圖 5-9 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (五月：單位：mm) .....	57
圖 5-10 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (六月：單位：mm) .....	57
圖 5-11 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (七月：單位：mm) .....	58
圖 5-12 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (八月：單位：mm) .....	58
圖 5-13 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (九月：單位：mm) .....	59
圖 5-14 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (十月：單位：mm) .....	59
圖 5-15 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (十一月：單位：mm) .....	60
圖 5-16 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (十二月：單位：mm) .....	60
圖 5-17 雪霸國家公園乾季平均降雨量等值圖 (單位：mm) .....	61
圖 5-18 雪霸國家公園濕季平均降雨量等值圖 (單位：mm) .....	61
圖 5-19 大鹿林道東線崩塌機率分布圖 .....	66
圖 5-20 坡度與大鹿林道東線崩塌潛勢疊圖 .....	67
圖 5-21 大鹿林道東線崩塌潛勢及崩塌情形示意圖 .....	69
圖 5-22 司馬限林道崩塌潛勢及崩塌情形示意圖 .....	73
圖 5-22 雪霸國家公園林道 3D 圖示 .....	77
圖 5-23 林道 3D 圖示(未套疊崩塌地) .....	78
圖 5-24 林道 3D 圖示(套疊崩塌地) .....	78

## 摘要

關鍵字：雪霸國家公園、雨量空間變異分析、主成分分析、最大概似分類法，指標克利金法。

### 一、研究緣起

雪霸國家公園位於台灣本島中北部，屬高山型國家公園，園區內地形錯綜複雜，景色變化萬千，高峰溪流景觀壯麗，提供多元化的服務，具有維生、生態、科學、遊憩、文化、教育以及經濟等永續經營的價值，其蘊涵非常豐富的生態資源，實為台灣境內極為重要的生態教育典範區。根據歷年來雪霸國家研究計畫顯示，歷經921地震以及艾莉颱風等災害侵襲之後，地震、颱風與暴雨對地表或土地所造成之擾動，對園區產生相當嚴重的災害，其中包含崩塌發生、多處道路坍方、水土流失、國土地表改變、林相和物種變遷等破壞，不但造成自然生態破壞，危害到各保護區內物種生存環境，更直接與間接衝擊國家公園內自然景觀與生物資源。此外，災害對環境的衝擊不僅造成地景破碎化、嵌塊體增加等，對生態系亦造成強烈干擾效應。而林道是受災害的影響及衝擊的設施之一，且園區林道又為林業經營動脈，除為林業經營管理保林、育林所需外，亦提供園區內遊憩旅遊之主要交通，因此對於森林生態系管理者而言，如何維持林道之生態系平衡、防範災害侵襲、降低災害所造成的損失等，目前最重要的課題為發展一套符合林道敏感性劃分之評估模式，使園區林道之生態維護與遊憩發展有其發展之永續性。

### 二、研究方法及過程

本研究主要目的為發展雪霸國家公園林道敏感性劃分之模式，由於在生態環境管理中，又以崩塌問題對於園區生態管理影響最大，而在95年度已對園區進行崩塌潛勢分析，因林道最直接受崩塌地之影響與衝擊，且林道之維護及管理也是園區所關注的課題之一，因此對林道做敏感性之劃分將有助於園區在往後之管理維護上有依循規範之處，並可使林道中生態與遊憩間更客觀之評估，因此在此思維之下，研究中將建立：1.評估林道敏感因子對園區道路與環境之影響程度及之間相關性分析；2.進而利用主成分分析、最大概似分類法及指標克利金發探討其主要崩塌好發地之特性、潛在因子、誘發因子來繪製林道敏感分級分析圖；3.最後將分級成果以3D視覺化飛行模擬及Google earth作成果展示。

研究方法共分為三大部分：先針對地區環境因子做雨量空間變異分析，及林道路段利用林道環境敏感因子做等級評估，並加入現有林道崩塌路段進行探討，



再將等級評估及現有崩塌所得知識進行因子相關性之多變量統計分析，萃取林道崩塌的空間資訊進行林道敏感分析，得出林道環境因子敏感圖。其研究流程圖如圖 3-4 所示：

#### (一) 雨量空間變異分析

雪霸國家公園內的地形變化豐富，本研究僅針對降雨事件其空間變異特性，故只考慮降雨強度及地域之影響效應，因此採用克利金法 (Kriging) 來推估降雨量，並將篩選後計算出來測站之年平均降雨量，計算出十二個月份以及乾季與濕季的降雨趨勢。此部分本計畫分成二大部分來進行，可分為：降雨事件的選擇、半變異元的繪製。

#### (二) 多變量統計分析

將大鹿林道東線及司馬限林道以 100 公尺為單位劃分路段，針對各個路段進行因子等級評估分析，並加入大鹿林道東線及司馬限林道現有崩塌之特性，進行因子相關性主成分分析萃取影響崩塌的主要成分，再利用最大概似法將主成分分析結果分類為崩塌及不易崩塌兩種群集，最後將主成分分析及最大概似法得到的崩塌分類知識，對大鹿林道東線及司馬縣林道各個路段分類，得出各路段之崩塌機率。

#### (三) 林道敏感區位分析

利用多變量統計分析之各路段之崩塌機率，得出大鹿林道東線及司馬限林道危險崩塌及高崩塌機率的路段，將易發生崩塌路段提出在設施規劃與維護管理上的考量因素，並建議在危險路段應如何改善或防範。

### 三、重要發現

1. 根據長時間的雨量資料分析結果後得知，雪霸國家公園地區的雨量在乾季與濕季兩個不同時期的變化差異性極大。首先在乾季時，地區降雨性質穩定，空間降雨變異情況變化不大，但是一旦本地區進入濕季，因為地形效應等因素，颱風事件與地區的豪大雨，就會容易在此地區造成嚴重的災害事件（例如林道設施的毀損），因此環境設施的維護與地區人員的管制與管理，就會是下一個重要的討論課題。
2. 由雨量圖中得知，雪霸國家公園內最高降雨量皆出現在八月的馬達拉站，平均月雨量為 545.4mm，而園區內最低雨量的地區在 11 月的合流山站，平均月雨量僅為 17.6mm，地形效益將會是影響降雨的一個非常重要的因素。另一方

面，園區內西北方與東北方之地區，在進入 6、7 與 8 月的時候，該地區的雨量時空變化極大，地區降月平均降雨量都有超過 350mm 左右，如此劇量的降雨將會容易造成園區內，特別是林道設施的損壞，因此在設施規劃上與林道管理上應考量降雨因子的變異性，而且馬達拉溪的地區，是目前園區內降雨累積量與降雨強度的集中地區，因此該地區之水工設計與水工設施，應將考慮上述問題並反應在規劃設計當中。

3. 在乾季/濕季的雨量問題表達方面，在乾季時園區內的最低的地區是合流山，總累積平均降雨量為 520.4mm，而最高地區則是觀霧，其總累積平均降雨量為 1200.0mm。而在濕季時園區內的最低的地區也是合流山，總累積平均降雨量為 1094.4mm，而最高地區也是觀霧，其總累積平均降雨量為 2036.2mm，可見在濕季時地區降雨模式並無改變，也是呈現北高南低的現象，降雨多集中在北部地區，相信對於生態模式與植生分佈都會有一定程度的影響。
4. 研究的成果顯示，本地區在進入濕季時，空間降雨的變異情形很大，進而容易造成環境設施的損害，但是本地區對於降雨因子的監測資料有明顯不足之處，因此建議未來能適當的增設環境氣候因子的地面監測站網，以強化地面資料的監測能力，進而有效的反應出環境因子的敏感性。
5. 由大鹿林道東線主成分分析可知，在 Y1 成分中地質與降雨為高度相關的因子，且在降雨空間分佈分析中，本地區在進入濕季時，空間降雨的變異情形很大，勢必誘發地質因子而產生崩塌，造成地區敏感性提高，因此建議除增加降雨資料的收集監測能力，在對地質容易誘發崩塌的區位，能夠在林道的規劃設計及維護管理上考量降雨因子的變異性及易受降雨影響的地質型態。
6. 由司馬限林道主成分分析可知，在 Y1 成分中，崩塌地距離及崩塌地面積為高度正相關，為崩塌的正因子，且在 Y3 成分中崩塌地距離因子為正相關，可解釋為離崩塌地越近之路段其穩定性也相對較低，易引發崩塌，因此在林道周圍之崩塌地，應增加其監控及掌握其崩塌之潛勢，未來除利用本研究分析出之林道高、危險路段之資訊，亦可加上 95 年研究計畫之崩塌潛勢預測，來掌握崩塌地對林道之影響及衝擊。
7. 對大鹿林道東線及司馬限林道經路段等級的評估及林道敏感因子之多變量分析結果，繪出其崩塌潛勢圖，其中大鹿林道東線之危險崩塌區有 24 個路段，高崩塌機率區有 10 個路段，中崩塌機率區有 56 個路段，低崩塌機率區有 87 個路段，安全穩定區有 23 個路段，而高、危險路段共有 34 個路段；司馬限

林道之危險崩塌區有 9 個路段，高崩塌機率區有 13 個路段，中崩塌機率區有 63 個路段，低崩塌機率區有 2 個路段，安全穩定區有 13 個路段，而高、危險路段共有 21 個路段，建議能夠在劃設高、危險路段設置監護機制，並對這些路段進行原本林道設施及設計上之評估，將其不良或不適設計之林道設施加以改善。

8. 林道維護修繕工法上之建議為在危險路段使用工法以草皮鋪植法、打樁編柵法、固定框法、扶臂式 RC 擋土牆、錨拉式擋土牆及抗滑樁為主，高崩塌機率路段以植生帶法、固定框法、格床式擋土牆、加勁式擋土牆及抗滑樁為主；在山坡地及邊坡監測系統上，因林道須長期監測且安全需求較高，因此建議所採用之監測方法以自動化監測系統為主，建議之監測儀器以地滑計、裂縫計、沉陷點及流量計為主。

#### 四、主要建議事項

1. 由於本研究為林道敏感性之劃分，在林道劃分為高、危險路段，在成果與討論中引用國內、外對林道的維護管理及防範上的設計案例，提出在不同地區環境下，在易崩塌路段之設施規劃與管理上考慮其敏感性，來發展不同的維護策略及施工工法，本研究建議之工法於成果與討論之林道維護修繕工法中，希望克服環境敏感因子，使林道設施脆弱度降低。
2. 本研究主要操作之林道主要為大鹿林道東線及司馬限林道，而此二林道也為觀霧遊憩區內通往大霸尖山登山口之主要道路，以及前往雪見遊憩區之道路，經歷歷年風災，林道亦受風災之害，尤以大鹿林道東線為甚，現為封園之狀態；在經過本研究團隊前往司馬限林道現場勘查過後，與建議雪霸國家公園，國家公園之功能是在提供遊憩並對環境敏感地區進行保護及保育，由現今大鹿林道東線受損情形及本研究分析之結果，大鹿林道東線為極敏感之林道，在此建議園區在遊憩及生態保育之間作衡量，另闢或另尋可到達大霸尖山登山口之林道或者是將大鹿林道東線永久封閉；而司馬限林道雖不及大鹿林道東線敏感，但經由實際現場勘查後，與建議園區如後續欲開放雪見遊憩區，是否採取半開放方式(開放至雪見管理處)，雪見管理處後之司法限林道建議是以徒步的方式進入，一方面徒步對林道及環境上的破壞遠比汽車來的小，且雪見管理處後之司馬限林道其景觀更是比前段的景觀來的壯觀(可遠眺園區內山陵)，一來不僅可減少對林道之負荷，二來對遊客能夠更深入地欣

賞雪霸國家公園內景觀特色。

3. 本研究之林道分級成果將以 google earth 作為成果展示方式之一，未來如將更多資訊，如全區之植群分布、地質型態、林道及登山步道分布等等，將園區內資源及生態環境數值化，進而製作綠色生態地圖，不僅可提供園區管理上之便利，在遊憩上可提供登山客之用。

## **ABSTRACT**

The main purpose of this research is to develop the model of compartmentalized the forest road susceptible of Shei-Pa National Park, it can be beneficial to manage and maintain. In this study, we will use SPOT image and vector data, etc. to find out the forest road susceptible factors by image identifying and overlap. Besides, according to the quantity way of Dtotal Value to draw the forest road susceptible susceptibility analysis maps to analyze the characteristic of the forest road susceptible. Additionally, we will analyze what's the conjunction of the forest road susceptible factors.

In the point of view, This research is going to: 1. appraise the factor influence of the forest road; 2. use the PCA and MLC and IK to discuss the characteristic, the latent factor, induce the factor of the avalanche place, and draw the forest road classification chart; 3. Finally, we will set up a forest road susceptible compartmentalized model to offer a policymaker decision basis in medium and long term of Shei-Ba National Park. We also use the 3D aviation approximation and Google earth to show the product of the research.

Keywords: Shei-Ba National Park, Rain regionalized Variable、Principal Component Analysis (PCA), Maximum Likelihood Classifier (MLC), Kriging。

## 第一章、前言

### 第一節 研究緣起與背景

台灣位於亞熱帶季風氣候區及環太平洋地震帶上，由於地理位置特殊，天然災害發生頻繁。再加上地質複雜脆弱且岩層膠結不良，地形崎嶇坡度陡峭，極易發生地滑、山崩、土石流等災害危及人民生命財產安全。另一方面林道多位於地形高陡的山地或水流湍急的溪谷旁，經常發生坍方、落石、土石流、路基流失及橋面沖毀等災害，導致山區對外聯絡交通經常中斷。因此如何達到災害的防範及降低災害影響程度，乃是本計畫執行之初始動機。

雪霸國家公園位於台灣本島中北部，屬高山型國家公園，園區內地形錯綜複雜，景色變化萬千，高峰溪流景觀壯麗，可提供多元化的服務，其具有維生、生態、科學、遊憩、文化、教育以及經濟等永續經營的價值，其蘊涵非常豐富的生態資源，實為台灣境內極為重要的生態教育典範區。根據歷年來雪霸國家研究計畫顯示，歷經 921 地震以及艾莉颱風等災害侵襲之後，地震、颱風與暴雨對地表或土地所造成之擾動，對園區產生相當嚴重的災害，其中包含崩塌發生、多處道路坍方、水土流失、國土地表改變、林相和物種變遷等破壞，不但造成自然生態破壞，危害到各保護區內物種生存環境，更直接與間接衝擊到國家公園內自然景觀與生物資源。此外，災害對環境的衝擊不僅造成地景破碎化、嵌塊體增加等，對生態系亦造成強烈干擾效應。而林道是受災害的影響及衝擊的設施之一，且園區林道又為林業經營動脈，除為林業經營管理保林、育林所需外，亦提供園區內遊憩旅遊之主要交通，因此對於森林生態系管理者而言，如何維持林道之生態系平衡、防範災害侵襲、降低災害所造成的損失等。因此目前最重要的課題為發展一套符合林道敏感性劃分之評估模式，使園區林道之生態維護與遊憩發展有其發展之永續性。

在 95 年度之研究計畫中，已有對園區之崩塌地做潛勢分析之研究，而本研究欲利用崩塌地潛勢分析之成果，再加入其他誘發因子（如雨量），以及對雪霸國家公園林道之災害、生態及地景等環境敏感因子，並利用多變量分析統計方法來探討因子間之相關性，發展一套多面向之林道敏感性評估劃分模式，以對大鹿林道、司馬限林道進行不同環境敏感性之劃分，進而幫助未來雪霸國家公園對林道生態

價值及遊憩價值間權衡決策之參考依據。

## 第二節計畫目標

逢甲大學空間資訊技術研究室之工作團隊，在前三年專案研究計畫已針對雪霸國家公園內地景生態與植群分布進行探討與分析：1. 運用景觀生態分析技術探討園區內地景結構變遷以及探求植群分佈資料與環境因子間之關聯性；2. 建立園區內之植群圖以掌握植群生態，並利用 3D VR GIS 的技術，以動畫模擬的方式來模擬出當地地區之現況；3. 透過園區內崩塌潛勢圖與地景干擾潛勢圖的建立，對於園區內崩塌危險度與地景干擾的等級劃分，透過多元化生態系決策支援系統整合分析，整合分析哪些為環境敏感性較高之地區，可立即提供與管理者、遊客不同層面上的參考資訊，以上其目的都是為了掌握雪霸國家公園內地貌景觀之變遷趨勢等資訊，以提供給經營者多方面的管理應用。

今年本研究主要目的為發展雪霸國家公園林道敏感性劃分之模式，由於在生態環境管理中，又以崩塌問題對於園區生態管理影響最大，而在 95 年度已對園區進行崩塌潛勢分析，因林道最直接受崩塌地之影響與衝擊，且林道之維護及管理也是園區所關注的課題之一，因此對林道做敏感性之劃分將有助於園區在往後之管理維護上有依循規範之處，並可使林道中生態與遊憩間能更客觀之評估，因此在此思維之下，研究中將建立：1. 評估林道敏感因子對園區道路與環境之影響程度及之間相關性分析；2. 進而利用主成分分析、最大概似分類法及指標克利金發探討其主要崩塌好發地之特性、潛在因子、誘發因子來繪製林道敏感分級分析圖；3. 最後將分級成果以 3D 視覺化飛行模擬及 Google earth 作成果展示。

## 第二章、文獻回顧

本研究針對以下幾個主題進行相關之文獻回顧：(一)林道災害之特性與敏感性、(二)空間資訊系統於林道災害之判釋與應用、(三)林道災害因子整理與分析、(四)空間統計學、(五)多變量統計分析以及(六)林道維護修繕工法。

### 第一節 林道災害之特性與敏感性

林道災害主要發生在山坡地敏感地區，且雪霸國家公園之地形以山坡地為主，因此以下先對坡地敏感區做說明，再提出林道災害之特性與敏感性。

#### 一、坡地敏感區

##### (一) 敏感區的定義

在傳統的土地使用管制下，許多具特殊生態價值之地區被分割得支離破碎，其原因為人類在較脆弱之地區進行不當之土地利用所導致。為因應經濟開發所造成的環境破壞，環境敏感區規劃的理念隨之而起。首先提出「環境敏感區」一詞的是在加拿大安大略省環境報告書當中 (Eagles, 1981)，其意指因人為因素而導致環境負效果之地區。民國 74 年，國內行政院經濟建設委員會於「環境敏感地區土地規劃與管理之研究」報告中，將「環境敏感地」定義為：「凡具有特殊價值或潛在災害之地區，極易因不當之人為活動而導致環境負效果之地區」。

Thurow 與 Toner and Erley (1975) 提出以績效管制 (performance control) 之技術減少人為因素對環境敏感區的負效果，因此環境敏感區僅限於自然環境方面，共分成下列四類：

表2-1 環境敏感區類別

類別	項目
生態環境敏感區 (Ecological Critical Areas)	野生動物棲息地/自然生態地區/科學研究地區
文化景觀敏感區 (Perceptual and Cultural Critical Areas)	自然遊憩地區/特殊景觀地區/歷史考古及文化地區
資源生產敏感區 (Resource Production Critical Areas)	優良農地/水源、水質保護區/礦產區
天然災害敏感地區 (Natural Harzard Critical Areas)	洪患地區/火災地區/地質災害地區/空氣污染地區

註：1. New Jersey Pinelands Commission 之分類

2. Center for Natural Area of Smithsonian Institute 之分類

坡地敏感區(slope sensitive area)屬上述天然災害敏感區的一部分，因為山坡地常見的災害，通常與它的地質環境及土地利用狀況有密切的關係。不同的區域，由於地質環境的不同，產生不同類型的地質災害，其潛在發生的危險度也不同。當某一地區因其地質特性及地面利用現況有發生某種地質災害的可能性，我們就可認定該區域對此種地質災害有較高的敏感性。

張石角（1995）對環境敏感中的地質災害敏感區定義是：『地質災害乃是指影響人類生存環境的安全與衛生而受地質因素所控制的災害，其種類包括活動斷層、山崩、地盤下陷、基礎沈陷、侵蝕和沈積等。當某一地因其地質特性及地面利用現況有發生某種地質災害的可能性，我們就可認定該區域對此種地質災害有較高的敏感性。』坡地敏感區此時已包含在環境敏感區的概念下逐漸發展出來，尤以地質災害敏感區的調查及劃分中最为顯著。

## （二）坡地敏感地的類別與特性

1. 坡地敏感區的類別：坡地敏感區包括山崩（落石、岩石滑移、岩屑滑落、岩屑滑崩）、地滑（平面型、弧形、楔形、翻轉）、潛移、土石流與沖蝕。在已開發的山坡地常見的地質災害除了山崩、地層滑動、沖蝕外，還有斷層、不均勻沈陷、地盤下陷、土壤膨脹等（潘國樑，2002）。而造成這些地質災害的環境因素，張石角（1995）認為包含自然因素與人為因素兩種，自然因素又可分成內外兩部分來看，內在因素指礦物組成的性質、地質構造、地下水、地形、植生；外在因素則是岩層風化、孔隙水壓增加、加重負載、地震、河岸侵蝕。人為因素則包括各種土木工程與廢棄土堆。

2. 坡地敏感區的特性：（1）褶皺多：褶皺常成不對稱形狀，造成褶皺兩翼地層傾角不同，因坡向與地層傾角的相對關係，就有順向坡與逆向坡。逆向坡坡頂風化堆積物向下崩落囤積在坡面上，崩積土一旦飽含水分就容易崩落。順向坡若坡角因人為開挖不慎，則易引起滑動。（2）斷層多：斷層伴隨著破裂帶，岩性極為脆弱，常是滑動面。（3）節理發達：常伴隨褶皺與斷層而生，均是受應力而產生的破裂面，不僅加速岩石風化，降低岩體強度，形成一種滑動面。（4）地盤上升：容易誘發山崩或地層滑動、加速侵蝕速度並產生張力裂隙，引發斷層作用。



## 二、林道災害之特性與敏感性

林道多位於地形高陡的山地或水流湍急的溪谷旁，林道建設所處的地文與水文均不佳，近年來山區林道災害頻傳，經常發生坍方落石、土石流、路基流失等災害，導致山區對外交通中斷，災情重大，民眾生命財產遭受損失。依據災害類型統計結果顯示，台灣山區林道災害屬邊坡災害者佔全部災害案例之 85% 左右，而屬路面設施毀損則佔 10% 左右，屬橋樑災害者僅佔 3%，而屬其它災害者則只佔了 2%。因此可發現林道災害(邊坡災害、路面設施毀損)主要皆肇因於林道邊坡之災害。林道災害發生因地形區域之不同，其災害亦明顯之差異，其路段位於陡坡之坡面者，多有崩塌發生，而位於常流水區者；除有崩塌落石外，常有土石流及逕流集中所引起之路基流失和路面損壞。

林道災害發生主要在於邊坡坍方、落石、土石流、路基滑動、雨水集中冲刷路基及路面等災害。而造成災害之主要原因為颱風、豪雨、地震等自然力及人為不當開挖破壞所致。台灣地處亞熱帶與熱帶，位於大陸與海洋的交界。在氣候上屬於亞熱帶與熱帶季風氣候。由於台灣為一個地質年代較為年輕的海島，高聳的中央山脈，使山脈兩側的氣候顯著不同。山脈東北方地區，冬季主要由東北季風帶來雨水；夏季雨水主要來自颱風，所以全年降雨豐沛。由於台灣中央山脈高聳，全島左右寬度相對很窄，因此溪流上游坡度很大，再加上雨勢集中，雨量分佈極為不均，因此流量豐枯差異很大。暴雨時，水位急速上升，尖峰期過後，水位陡降，流況嚴酷。台灣河川水位的水位隨著降雨的不均，通常在幾日之內就有極劇烈的變動，且一年可有好多個非固定週期的波動。然而不管在乾、濕季顯著的溫帶或乾燥氣候區，或者是全年均有顯著降雨的亞熱帶與熱帶季風區，洪氾與乾旱均為河川最主要的非生物干擾因子(Lake, 2000)。研究發現降雨量與災害原因有密切關聯，不同降雨量會有不同災害之發生(林慶信, 2005)。

表2-2 林道災害原因及因應對策表

災害類型	災害發生主要原因	因應對策	維護方式
坍方、 落石	豪雨，土壤含水飽和邊坡不穩定，導致崩塌。	1.坡面植生。 2.邊坡設截水溝。	落石、坍方清除。
土石流	颱風豪雨挾帶鬆動土石方及雜物下移至路面。	1.上邊坡避免不當開挖。 2.植生、疏散排水。	分散排水。 多作截水溝。
擋土牆護坡 損壞	地震擾動，豪雨沖刷基礎淘空，造成倒牆。	1.加大集水井排水口。 2.增設箱涵。	集水井積土及雜隨時清除。
路基崩塌	豪雨大量地面水沖垮牆基造成牆倒塌。	1.路基加強設計安全。 2.分散排水，避免水害。	調查事因，掏空隨時維修。
路面龜裂 下陷	路基（路床、基層、底層）壓實度不足，基礎鬆軟，重車碾壓。	1.降低地下水位。 2.挖除鬆土，回填夯實復建。	鋪面改善維修，路基加強穩定。
橫向排水溝 損壞	豪雨地面逕流集中，排水口太小未能完全排水。	1.增加橫向排水。 2.復建工程加設伸縮縫。	牆基礎維修加強保護。
洩水溝跌水 損壞	洩水溝出口未施作跌水工，流水未導引至安全地點排放。	1.增設洩水跌水措施。 2.加大排水斷面，如箱涵。	平時多調查，作補救措施。
標誌損壞	1.年久油漆脫落、老舊。 2.車輛及人為破壞。	更新或補修。	調查紀錄，隨時改善補全。

資料來源：林慶信，2005，林道改善與維護管理對策之研究—以藤枝林道為例

## 第二節 空間資訊系統於林道災害之判釋與應用

林道災害的主要發生原因為林道所經地區發生崩塌，而遙測技術可對林道地區做崩塌地及植生反應之判釋，另外在既有的 GIS 圖檔，例如 DEM、道路圖、土壤圖、地質圖及水系等 GIS 圖檔，可與遙測判釋之結果來做分析，透過空間進而得出林道敏感性區位。

### 一、遙測於崩塌地之判釋應用

以衛星影像進行崩塌區位判釋，可節省大區域傳統調查上所需之人力、時間及經費。在崩塌地衛星影像判釋之相關研究甚多，遙測相關技術為一經濟且有效率的崩塌地判釋調查方法：劉進金（1987）提出在光譜回應圖譜上，可見光的部分，裸土比植生的反射率更高，但是近紅外光部分，植生的反射率高於裸土；李森吉（1992）以 SPOT 衛星影像研究中橫公路附近崩塌地判釋方法發現：

1. 非監督式分類法可以很容易區分出：（1）崩塌地以及與其影像上相近之非崩塌區。（2）其他大區域非崩塌區。
2. 利用高通濾波模式加強處理，即可凸顯岩屑流與土石流等沖蝕溝位置。
3. 大型塊體運動與地表剝落現象，可用直方圖的均一化拉伸，並配合輔助資料利用人工工作判斷是比較快速和直接的模式；鄭嘉盈（1999）使用兩張不同時期的 SPOT 衛星影像，經由常態化差異植生指數（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）的計算配合影像相減法（Image Difference Method），求取植生指數變化大於某特定值的區域，將之判定為崩塌地；廖軒吾（2000）採用分類後比較的模式，將地震前衛星影像判釋沒有山崩，而在地震後之衛星影像中判釋出山崩位置以及震後崩塌地判釋結果範圍大於地震前崩塌地範圍之位置，劃定為因地震誘發之山崩，藉以避免將人為建築物及開墾地誤判為崩塌地；劉守恆（2002）利用坡度因子的概念，加入坡度資料後的 SPOT 衛星影像判釋結果較未使用前有顯著改善效果，表示坡度資料對於崩塌地的判釋工作而言是一項重要的輔助因子；陳駿賢（2003）以陳有蘭溪流域為研究範圍，利用多時段 SPOT 衛星影像進行分類，藉由數值地表模型探討坡度與面積的變化，最後選取坡度因子 21 度，作為區隔崩塌地與河谷/裸露地之門檻值，達有效分離結果；蕭國鑫等人（2003）利用 SPOT 資料，結合影像自動分類、綠度（Greenness）與亮度（Brightness）指數，初步研判台灣中、北部的崩塌地區分佈，其結果對於較大型崩塌或需要快速得知災後崩塌資訊者，可提供最迅速的崩塌資料。衛星影像及遙測技術除了可判釋崩塌地外，同時可

獲得即時地表災害資訊；黃凱易(2003)利用 921 地震前、後及桃芝颱風過境後的多時期 SPOT 衛星影像，結合 DTM 及 GIS 資料，偵測信義鄉潭南與地利兩村、雲林古坑華山地區及台中縣烏石坑地區的崩塌與土石流分佈，並評估崩塌地自然植生狀態，以作為農政單位對坡地超限利用管理及崩塌地實施植生復育之基準；李易儒(2005)以河道平均坡度 23 度為門檻值，將分類後影像河道及崩塌地與坡度門檻值進行套疊分析，亦有效分離兩者。由以上論述證實加入適合的輔助資訊的確能夠提升判釋成果之精準度。

## 二、地理資訊系統於林道災害的應用

目前國內應用 GIS 於坡地敏感區的劃設已相當普遍，如應用因數組合的方法，可整合各種自然環境資料，並依不同山崩的性質作分類，分析它的空間分佈關係，得到潛在山崩敏感區的等級，以達到減災的效果。茲列舉敘述如下：1. 張俊民(1994)以區域的衛星影像判釋遙測技術偵測不同時段的土地利用變遷與崩塌地分布狀況以了解土地利用變遷與崩塌地關係。2. 王玲津(1995)以遙測技術取得土地覆蓋狀況並建立區域環境資料庫並進行地質災害之潛在敏感度分析。3. 李麗玲(1995)曾用 ARC/INFO 地形分析的功能，自動化劃出坡度與坡向均質的土地單元，應用張石角簡確評估法做出枋腳溪流域的岩石滑移、岩屑滑落、翻轉型地滑、岩石潛移與沖蝕等潛在災害分佈圖。4. 陳朝圳(1996)以 DTM 進行瑪家水庫集水區之生態土地分類，以 ARC/INFO 的 GIS 系統為工具，利用 ERDAS 影像處理進行生態土地分類，對其水庫開發與生態環境影響做有力證據。5. 蘇明道等(1999)應用 GIS 與 DTM 分析推求河川分布特性並判定溪流發生土石流之危險程度，以陳有蘭溪為對象求其集水面積河川長度、河川坡度，判斷土石流危險溪流，並由空間分析劃出土石流潛勢分布圖。6. 許秋玲(2002)以變異元分析求得碎形參數以確定地形起伏度，並偵測出蝕溝侵蝕方向，進而比較地形侵蝕度高低，應用在自動產生坡單元的研究。7. 陳意璇(2002)利用 GIS 結合力學及無限邊坡理論作各因子間權重相互影響之關係式，以建立區內促崩因子引致山崩的破壞模式。

由於規則網格劃出的坡向、坡度土地單元，轉成向量式圖徵，若用抽樣精度較高的 DTM，轉繪出來的均質單元過於破碎、細小，難以成為研究流域的坡度單元，因此劃分土地單元部分，李麗玲最後採用 40m×40m 的 DTM，以減少資料量

的負擔，避免細碎單元的出現。DTM 資料精度隨研究區域範圍的不同，會有不同的需求，應用 40m×40m DTM 在本研究區作土地單元的劃分，在某些因子的對比中略嫌粗糙，本研究以 5m×5m 的 DTM 提高區域研究資料的精確度，並依資料量及因子分析繁雜度，彈性調整資料精確度。

### 第三節 林道災害因子整理與分析

#### 一、因子選取

林道災害最主要是由崩塌造成，影響崩塌的因子很多，其潛在因子可歸納為地質和地形兩類，而其誘發因子可歸納為地震和氣候兩類。李三畏（1984）指出崩塌潛勢因子大致可分為誘因及潛因，誘因是指直接引發山崩的環境因子，如降雨、地震等，潛因則是指坡地本身具有潛在造成山崩的因子，如岩性、褶皺；鄭元振（1992）利用裸露地、侵蝕溝影響區、岩性、坡度等四因子，根據坡度、坡向所套疊得之最小邊坡單元為單位，求得各因子間對山崩潛勢的影響程度繪製山崩潛勢圖，認為坡度為崩塌主要控制因素；張石角（1994）指出坡度、地表作用、岩質、坡面地質構造與土壤濃度等五因子為潛在敏感區主要潛在因子；蘇苗彬（1998）以地形、地質、區位因子為坡地安定評估因子；楊佳勛（2001）將地質構造、岩性、坡度、坡向、坡高、降雨、地下水、河岸或海岸侵蝕、地震、坡趾或坡面開挖、上方加重、水庫蓄水列為影響因子；羅佳明（2002）採用了地形、地質、植被情形、土壤、氣候、土地利用；盧育聘（2003）則挑選了植被情形、材料強度、坡度、坡向、坡高、降雨，來做為影響破壞的因子；曾志豪（2004）則是將地層種類、岩性、坡度、坡向、坡高、坡型、風化土層視作因子；黃崇賢（2004）用坡度、降雨、距河川距離、距道路距離，做為因子；施政璋（2005）則是選了地層種類、岩性、植被情形、坡度、坡向、坡高、降雨、氣溫、風速、風向、溼度、風化土層厚度，來做為影響邊坡破壞的因子；溫振宇（2005）選擇（1）地質—岩性、與構造距離（2）地形—坡度、坡向、高程（3）環境—PGA、累積雨量、與溪溝距離、土壤種類、土地利用共十項因子以航照產製之 5m×5m DTM 和不安定指數法加以評估並建立模式。

在許多相關的崩塌地判釋研究中可以看到坡地穩定因子常被用來做崩塌地判釋的直接或間接輔助資料（楊智堯，1998；周晏勤，1999；鄭嘉盈，1999；蘇容瑩，2000；鄭貴卿，2001），這些用來分析坡地穩定度的因子不僅是分析崩塌潛勢重要元素，亦是判釋崩塌地的重要資料來源。然而，這些因子有許多是

無法量化的，且要以大量的因子作分析研究是相當困難的，所以如何將具代表性的因子定量化，以類比複雜的崩塌機製為此類分析的重點。

綜合上述文獻山崩潛勢因子選取結果顯示，造成山崩發生之影響因子很多，故本研究在潛感因子之選擇上採用蘇苗彬（1998）分類模式分為潛因與誘因兩大類，以其提出三大因子作為潛感因子，由於林道災害發生的地區主要是於鄰近林道之區位，而許多因子為大尺度資料，而林道需要之因子資料為小尺度為主，故有些因子例如土地利用、土壤厚度等因子，對本研究中林道敏感性之區分較無明顯的影響，因此本研究歸納整理分為地形因子（坡度、高程）、地質因子、區位因子（植生、距河系距離）以及環境因子（雨量因子）進行因子主成分分析，再依照分析結果之因子相關性質來進行林道敏感性之劃分條件。

### （一）地形因子

#### a. 坡度

坡度為最直接影響邊坡力學穩定性的地形條件，坡度越陡，越容易發生崩塌，亦為前人研究中必然納入的研究因子，本研究將坡度納為考量發生山崩的因子之一，游中榮（1996）於北橫地區進行山崩潛勢研究成果顯示，坡度與山崩發生成高度的相關性。

#### b. 高程

在不同的海拔高度除了可以觀察到不同的林相之外，亦可發現因為氣溫的變化造成對岩性及土壤的內部應力發生變化，由此變化進而推測、預估其影響邊坡破壞的程度。

### （二）地質因子

#### a. 地質

地質為影響邊坡崩塌的重要因子之一，其岩性會影響岩層或土壤硬度、強度與抗風化能力。岩性不同，不但直接影響邊坡崩塌，也間接控制崩塌形式。若為膠結良好及抗風化侵蝕能力好的岩石材料所構成的斜坡其穩定性較好，該邊坡較不易發生破壞，反之，則發生破壞的機率將大為增加（胡麟吉，1987）；廖軒吾（2000）統計，於九二一集集地震後，台灣地區在不同岩層中，崩壞程度差異大。

### (三) 區位因子

#### a. 植生

利用衛星影像之 NDVI 值測出林道周圍之植生情況，當地的植生型態可以間接反映出土地覆蓋、植被覆蓋以及人為開發的情形，不同植生高低亦會影響邊坡之穩定性。

#### b. 距河系距離

由於河流會對地表進行切割，特別是在台灣山地坡陡流急，河流的下切作用將愈加最顯，且河流在轉向處，面對水流的坡面亦會因水流方向快速改變而受到沖蝕，對邊坡的穩定性造成不良的影響。

### (四) 環境因子

#### a. 雨量因子

降雨量不但會造成地區生態物種有極為巨大的影響性，對於環境設施也會造成極為嚴重的衝擊性，由於降雨量是本區最為重要的干擾因子，因此有必要針對降雨因子的時空分佈影響性，更進一步深入的討論與研究。

## 二、林道敏感性分析方法

然而林道敏感性最主要還是來自崩塌，而相關研究之分析方法，以因子型態可分為定性、定量分析法。定性方法係由專家學者，針對實際情形進行評定，再予以給分，此法雖與現地調查之結果相符合，但是缺乏一套非主觀的評定策略；而定量方法則是利用統計分析模式進行分析，計算因子的評分與權重，此法較為客觀而可行。

在國內外皆有多位學者採用定量統計方法分析區域山坡地穩定分析，結果相當豐碩，如下所述：簡李濱(1992)將研究區域劃分為網格，並以不安定指數法進行區域性山坡穩定評估；蘇苗彬等人(1998)所提出之不安定指數法可由快速的由網格中表達出坡地的安定性；林書毅(1999)以網格化的模式將坡度、坡向、岩性、地表覆蓋、距侵蝕溝距離、距道路距離及距斷層距離等因子以不安定指數法及主成份分析法加以檢核；陳凱榮(2000)利用不安定指數法分析山崩潛感地區預測崩塌地，其準確率良好；高嘉隆(2003)利用利用 GIS 空間分析功能，求出崩塌潛勢之影響因子，並以崩壞百分比的離散情形計算各因子的權重值，將公路沿線的山崩潛感程度，分為六級潛感，其研究結果發現，坡度與高程兩因子對本研究區域邊坡穩定影響最大。檢核結果顯示：不安定指數

法預測崩塌地準確率良好；簡世宏（2004）以 SPOT 衛星遙測影像結合 DEM 分析技術並運用 Mashimo 模式理念劃定崩塌潛勢區位，支援崩塌地處理之空間決策分析以減少災害之產生；陳紫娥（2004）指出不安定指數法之因子分級，可視各因子資料分佈情形做調整，且分級因子給分的模式是依據崩塌趨勢值運算後所獲得之不安定指數值，並無須主觀判定；陳蕙華（2005）亦使用不安定指數法之計量模式，計算各因子等級之不安定指數，由因子等級之災害發生密度百分率離散情形，訂定各因子權重值，最後依照崩塌敏感程度繪製公路沿線之山崩潛感圖，以提供日後道路周邊開發危險性以及工法選擇上的參考依據。

#### 第四節 空間統計概述

空間統計學 (Spatial Statistic or Geostatistics) 是一種用來分析空間結構的科學方法，最早是由南非礦冶工程師 Krige 在 1951 年為探勘礦脈分布而發展，1963 年法國數學及地質學家 Matheron 研究 Krige 等人多年來對南非礦脈的採礦資料及分析結果，以空間統計方法來估計南非礦區之黃金礦脈，並於 1971 年提出了區域化變數理論，為紀念 Krige 在礦業上的貢獻，特稱此方法為克利金 (Kriging) 估計法。其理論基礎是用來描述代表自然現象的參數存在於空間分布之結構特性，並建立區域化變數於不同位置間的變異函數以作為推估之依據。

區域化變數理論近年來已被廣泛的應用於氣象、土壤物理、地下水、礦冶、環境監測及水文等研究領域。如 Journel 與 Huijbregts (1978) 將克利金估計法應用於南非的採礦工程上，藉以瞭解礦脈的空間分布。Delhomme (1979) 運用克利金估計法於未設站河川流量之評估，將各測站之最大流量視為區域化變數，求得其試驗與理論半變異元並評估在未設站區域內之最大流量分布情形。Chua 與 Bras (1982) 採用克利金估計法，以兩種不同的雨量空間平均值變化統計模式來處理山區降雨量之推估，並針對雨量變異元在不同地形與高度下所產生之變化情形加以探討。Bastin et al. (1984) 則指出雨量變異元在不同季節與降雨條件下有不同的性質，故在進行克利金估計法推估雨量時，對於變異元模式之選擇應同時考慮此兩項重要影響因子。Warrick et al. (1986) 利用空間統計方法來探討土壤物理性質在空間分布之變異研究。Rouhani 與 Cargile (1989) 利用通用克利金法研究河川流量，並依此結構來預測河川流量之季節性變動，最後配合水庫操作模式以預測下次乾旱發生的時間。Chang (1991) 視降水量為區域化變數，利用



克利金估計法分析河川流量特性，並提出條件乾旱機率以研究乾旱發生地點之區域分布。Cheng et al. (1998) 用指標克利金法來進行水庫水質之評估。Cheng et al. (1999) 將一般克利金法應用於衛星影像的幾何校正，並與傳統的幾何校正方式比較。Cheng et al. (1999) 將克利金估計法應用於不同重現期距與降雨延時的設計暴雨量之推估。Cheng et al. (2000) 探討克利金估計法與時間序列分析等模式應用於乾旱發生之預測，比較兩種不同模式後發現克利金估計法有較佳之結果。

國內對克利金估計法之研究，大部份是應用於資料之空間變異分析，以地下水、水文及土壤污染等領域居多。張良正 (1992) 以彰化及雲林地區之地下水觀測井網為對象，將克利金法應用於地下水觀測井網之分析與規劃，其結果顯示此兩地區之舊有井網為不均勻分布，因此若能依規劃將其調整為均勻井網，則不需加入太多的觀測井便能顯著降低推估誤差。陳世楷 (1993) 利用一般克利金法探討流通係數之空間變異特性，結果發現研究區域內之流通係數具有明顯的幾何非等向性。許敏楓 (1993) 主要是研究台灣北部地區之淡水河流域，利用時雨量資料來分析其空間變異結構並進行雨量推估，最後以克利金變異數作為雨量站網設計之依據。王如意與李如晃 (1993) 利用區塊克利金估計法來研究曾文溪流域之歷年颱風逐時雨量資料，評估並比較其推估之區域平均雨量，結果顯示區塊克利金法比傳統方法所求得之區域平均雨量更具有代表性。鄭士仁 (1993) 探討如何精確推估流域內任一點之降雨深度並建立一套合理之雨量站網規劃模式。易任、鄭克聲 (1994) 將區域化變數理論應用於時間資料，研究石門水庫旬入流量之變異特性，並配合水庫操作模擬以推測乾旱臨前時距。鄭森源、萬鑫森 (1994) 針對桃園縣蘆竹鄉土壤進行重金屬污染調查，並以區塊克利金方法推估其空間分布。莊凱偉等 (1996) 針對土壤重金屬污染的結構特徵，探討其極端值之特性並評估採樣位置分布的優劣。張尊國等 (1996) 利用空間統計方法來鑑識全省土壤重金屬污染之空間分布情形。鄭克聲等 (1997) 針對台灣北部地區將克利金估計法應用於設計暴雨量之推估，並將其結果繪製成圖以利後續研究者查詢及應用。張南昌 (1998) 利用空間統計模式與地理資訊系統來分析台灣地區土壤重金屬之污染分布。蔡昌玕 (1999) 將克利金估計法應用於衛星影像的幾何校正，並與傳統方法如多項式模式及 MIF 模式作比較，結果顯示克利金空間推估模式具有較小

的推估誤差變異數。葉惠中與鄭克聲（1999）評估簡單克利金、一般克利金及複線性迴歸等不同的線性推估模式之理論異同與其關係，並探討半變異元函數的特性及其代表意義。

### 一、指標克利金分類理論

克利金法在空間統計領域中發展已久，且被各界廣為應用，其中指標克利金在傳統應用上，例如在土壤污染之應用等，大多以指標函數將所有已知點轉換成 0 與 1 的二元值，再以一般克利金或簡單克利金法推求各分級發生之條件機率。而指標克利金法因為具有分佈自由(Distribution free)之特性，並且可以容許資料上的偏歪，因此以往多被應用於土壤污染方面之研究。而 Bierkens and Burrough(1993)，將指標與二元化之概念應用在地下水位分級的問題中，此外 Meer (1996)曾提出應用指標克利金法進行方解石(calcite)跟白雲石(dolomite)兩種礦物的分類。而本研究在應用指標克利金法之原理與特點如下：在選用的  $n$  個特徵所構成的特徵空間中推求出各類別在特徵空間中不同位置之發生機率，進而求得各類別在  $n$  維特徵空間中之空間分佈，期望能藉此原理增加分類之精度。

## 第五節 多變量統計分析

### 一、主成分分析

多變量統計分析在近年來隨著電腦軟硬體之快速發展而被廣泛的應用於各個領域，該方法乃是由兩種或兩種以上之變量資料，利用多元空間之統計與線性代數等方法，將複雜問題或現象做合理而有系統的整理、分類判斷及特性說明。葉(1991)以平均降雨量為變量，利用主成份、群集及判別分析法探討台灣中部地區年平均降雨量之空間分佈特性。楊(1994)選取九個百分比延時流量值，利用主成分分析及群集分析劃分流量延時曲線均一區。游等(1996)利用各測站之降雨延時曲線、年平均降雨量、變異係數與測站位置等變量，以主成份分析及模糊群集分析理論來探討降雨—延時曲線之群集特性，並劃分出空間屬性之均一區。左(1997)在研究區域洪水頻率分析中，亦導入群集分析的方法，有助於精確地推估在特定重現期距下之洪水。

在多變量統計分析中，主成分分析式最常被用於減少維度的方法，同時也常使用於分析界定組成因子的研究中；黃建源（2000）以多變量統計法分析民國 82 至 87 年日月潭水庫水質監測資料，分析日月潭水庫水質變異之主成份

因子與研判污染源，主成分分析結果顯示日月潭水庫水質變異之主成份因子，分別是總磷、總氮與硝酸鹽氮組成的「營養鹽供給因子」；透明度與濁度組成的「混濁因子」及葉綠素與化學需氧量組成的「有機物供給因子」；王俊凱（2000）研究探討高雄、台北都會區氣膠特性與污染來源，以主成分分析推估結果顯示台北地區以二次光化反應污染、農廢燃燒為主要的污染來源。蔡明昊（2002）研究探討德基水庫不同位址底泥、土壤與水質之關係，以水質資料作主成分分析，以分析各項影響水質因子的權重。主成分分析結果則顯示，影響水質重要因子為總固體、懸浮固體與總磷，並且判斷出污染較嚴重的是梨山排水溝與水庫源頭，結果與底泥分析結果所判斷受到人為污染的結果相同。鄭百乘（2003）研究界定焚化廠與周界空氣、土壤、植物中戴奧辛含量的關係，使用主成分分析、階層群集分析與 ISCST3 大氣擴散模式結果顯示，焚化廠並非當地戴奧辛主要排放源，人類活動的綜合影響應為此區域戴奧辛之主要來源。林碧霜（2003）研究探討人文經濟活動對漁港水質環境的影響程度，最後從主成分分析中發現家庭人口等所產生的廢水量是影響港區  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量的最大因素。

## 第六節 林道維護修繕工法

本研究為雪霸國家公園評估林道之敏感性，而現況中林道中也有已崩塌的路段，而本研究也將提出於林道容易崩塌處可適用的工法，亦介紹山坡地安全之監測儀器或機制，提供雪霸國家公園內林道之維護、修繕之參考。

### 一、邊坡保護工法簡介

由於影響邊坡穩定性之因素繁多且複雜，因此邊坡可能發生之行為，較難掌握。並由於多數的影響因子會隨時間而改變，因此選擇適當的邊坡穩定工法需符合現場條件考量，如安全性、施工性、耐久性、維護性、經濟性及景觀性等等。

一般就功能而言，廣義的山坡地護坡工程依據整治目的及穩定功能之不同，可概分為三類：(1)坡面保護工法(2)擋土護坡工法。第一類是以抗風化、抗沖蝕及表層崩落處理為主要目的，而該護坡本身並不承受側向土壓力或僅能承受少許之側向土壓力，常見的坡面保護工如自由格樑護坡、植生帶植生護坡、噴漿護坡等。第二類是為可提供抗滑穩定及克服地形高差，其主要目的係提供抗滑及穩定功能，常見的擋土護坡有砌石擋土牆、重力式擋土牆、錨拉式擋土牆、抗滑樁等等。以下說明及圖例摘自廖瑞堂(2001)及郭瑞柏(2001)。

#### (一)坡面保護工之種類與適用性

選擇此類護坡主要考慮的要點，乃是何種植生或坡面保護工，能有效覆蓋裸露之坡面，以減少雨水或逕流造成坡面之沖蝕及風化，避免沖蝕擴大誘發淺層之崩塌。由於該類護坡較不能承受側向土壓力，故僅適用於較平緩且穩定之土坡或無滑動之慮的岩坡上，常見的坡面保護工之種類及適用範圍，如表 2-3 所示。

表 2-3 坡面保護工法之種類及適用性(廖瑞堂 2001)

工程種類	分類	適用範圍	
植生法	噴植法	1. 淺層噴植法	適用土質坡面
		2. 中層噴植法	適用軟岩坡面
		3. 後層噴植法	適用硬岩坡面
	植生帶法	1. 稻草植生帶法	坡度小於 45 度之土質邊坡
		2. 纖維植生帶法	
	草苗植生法	1. 等高線植草苗法	坡度小於 35 度之土質邊坡
2. 育苗袋育苗穴植法			
草皮鋪植法		坡度小於 45 度之挖方邊坡 需快速覆蓋之填方邊坡	
工程方法	打樁編柵法	1. 萌芽樁法	坡度小於 45 度之邊坡
		2. 不萌芽樁法	崩積土或淺層崩塌坡面
	固定框法	1. 預鑄式水泥法	坡度小於 45~60 度之邊坡 表層呈風化或崩落之邊坡
		2. 鐵製框法	
		3. 自由格樑法	
	噴漿護坡		坡度無限制 不適合地下水豐富之土坡 適合岩石坡面
景觀式擋土牆		適用於穩定之挖方邊坡	

## (二) 擋土護坡工之種類與適用性

選擇此類護坡的主要目的，係提供邊坡抗滑及穩定功能，常見的擋土護坡有重力式擋土護坡、半重力式擋土護坡、加勁式擋土護坡及錨拉式護坡等多種類型。以下例舉常見的數種擋土護坡工作說明。

### 1. 重力式擋土牆

此類擋土護工均以其重力提供抗滑動及抗傾倒之功能。例如砌石擋土牆、無筋混凝土擋土牆、格床式擋土牆及蛇籠式擋土牆等均為此重力式擋土牆之一種。如圖 2-1、圖 2-2、圖 2-3、圖 2-4 所示。

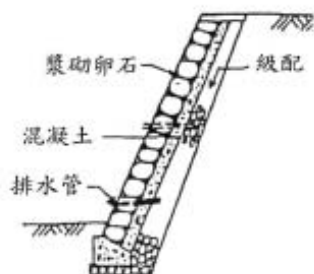


圖2-1 砌石擋土牆

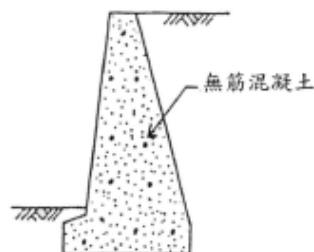


圖2-2 無筋混凝土擋土牆

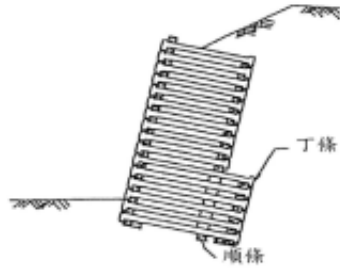


圖2-3 格床式擋土牆

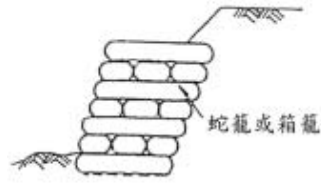


圖2-4 蛇籠式擋土牆

## 2. 半重力式擋土牆

此類擋土護工係以本身結構之重量及擋土牆底板上方之土體重，結合鋼筋混凝土強度，提供邊坡之抗剪及抗滑動之功能。常見的有 RC 懸臂式擋土牆及 RC 扶臂式擋土牆等等。如圖 2-5、圖 2-6 所示。

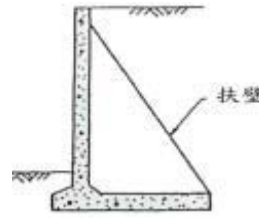


圖2-5 RC 懸臂式擋土牆 圖2-6 RC 扶臂式擋土牆

## 3. 加勁式擋土牆

此類擋土牆通常係以預鑄牆面版、橫向加勁材及回填土石料所構成。一般依加勁材所使用的類型可分為硬式及軟式加勁擋土牆。此類型擋土牆係藉助於加勁材料，將牆面版與回填土結合為一體，以其重量發揮擋土功能。適用於高填土區使用，可有效縮小土方範圍增加使用空間，較為經濟。如圖 2-7 所示。

## 4. 錨拉式擋土牆

地(岩)錨工法使用在邊坡穩定上，是以高張力鋼材穿過可能滑動之土體或岩體，將其錨錠於穩定之地盤內，並對鋼材施加預力，使其能牢繫可能滑動之土體或岩體。地錨之錨頭端一般配合面版承載於坡面並分散其荷載，或配合格樑系統加以承載使荷載能均勻分佈於坡面。如圖 2-8 所示。

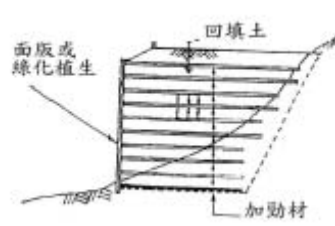


圖2-7 加勁式擋土牆

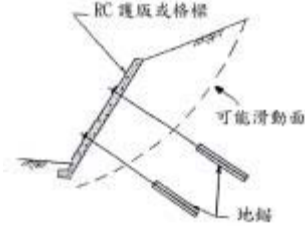


圖2-8 錨拉式擋土牆

## 5. 其他

其他擋土工法類型如有抗滑樁、土釘工法及輕質回填土工法等，示意圖如圖 2-9、圖 2-10、圖 2-11 所示。

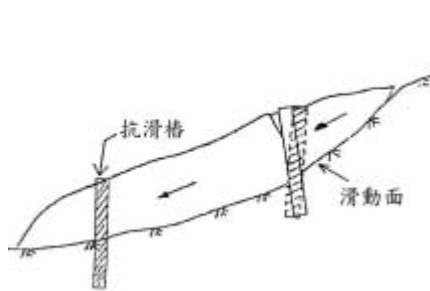


圖2-9 抗滑樁

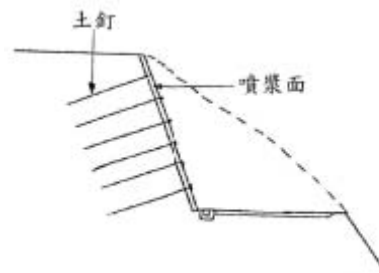


圖2-10 土釘工法



圖2-11 輕質回填土工法

各種工法均有高度之限制或特別適用之範圍，如表 2-4 所示。由表中可知有些擋土護坡方法較適合挖方邊坡，如錨拉式擋土牆、土釘工法、抗滑樁等，此類擋土牆施工時對於邊坡開挖的暴露面較小，較不易造成施工災害，故施工時較為安全；至於適用於填方邊坡之擋土牆的擋土護坡方法如蛇籠、格床式擋土牆及加勁擋土牆等較柔性之擋土牆結構，由於這類擋土牆能承受較大之不均勻沉陷，故較適用於填方邊坡。

## 二、護坡工程之種類及優缺點之探討

就功能而言，廣義的山坡地護坡工程可概分成兩類，第一類係純為了抗風及沖蝕之坡面保護工，國內常用坡面保護工如自由格樑邊坡、萌芽樁、植生護坡、植生帶護坡、景觀式擋土護坡及噴漿護坡等詳見表 2-3 所示。第二類為可提共抗滑穩定及克服地形高差之擋土護坡工如砌石擋土牆、重力式擋土牆、RC

擋土牆、蛇籠擋土牆、格床式擋土牆、加勁擋土牆、錨拉式擋土牆、抗滑樁、土釘工法及輕量回填工法等詳見表 2-4 所示。由表中可看出各種護坡工程之適用性與坡高、可能滑動深度及地層條件等有密切關係。

表 2-4 擋土護坡工之種類及適用性

邊坡種類	較佳使用坡高(m)	依剛性分類	優點	缺點	建議使用時機
砌石式或重力式擋土牆	5m 以下	剛性	◎施工方便簡單	◎體積龐大需較多材料 ◎耐震能力較差	◎適合較低矮類型邊坡 ◎缺乏技術工時
懸臂式RC擋土牆	3~8m	剛性	◎施工簡單，不需太多砂石及配料	◎易受不均勻沉陷影響	◎適用一般邊坡
扶臂式RC擋土牆	5~15m	剛性	◎在坡度較高處，可有效減少擋土牆之斷裂	◎施工略為複雜 ◎施工時臨時開挖面較大	◎適用於較高之邊坡超過10m 時較懸臂式經濟
蛇籠	2~8m	柔性	◎受基礎不均勻沉陷較少 ◎透水性佳	◎耐久性略差 ◎適合運用較軟之基礎	◎適合挖方或填方邊坡
格床式擋土牆	2~12m	半剛性	◎能忍受基礎不均勻沉陷較剛性結構大 ◎透水性佳	◎施工複雜 ◎施工成本偏高 ◎需較具規則邊坡使用	◎適合挖方或填方邊坡
加勁式擋土牆	3~20m	柔性	◎施工快速 ◎忍受較大的不均勻沉陷	◎變形量偏大 ◎需注意坡面牆版受損	◎邊坡可植生綠化 ◎適合於填方邊坡
錨拉式擋土牆	不受限制	半剛性	◎能提供較大的下滑抵抗力	◎成本較高 ◎施工品質不易控制	◎已發生災害之邊坡 ◎高挖方邊坡
抗滑樁	10m 以上	剛性	◎可對深層的滑動面提供抵抗力	◎陡坡不易施工 ◎成本偏高	◎有深層滑動疑慮時需採用大口徑之抗滑樁或配合岩錨工法
土釘工法	3~12m	半剛性	◎由上而下施工，安全性較高	◎當邊坡規模較大時，其造價偏高	◎適用於挖方邊坡
輕量回填土工法	不受限制	半剛性	◎回填土單位重較輕，土壓力亦較為降低	◎重量太輕時，需考慮上浮破壞	◎用於軟弱地盤或極傾斜之填方邊坡

資料來源：吳振威，2003，公路邊坡保護工法之選擇模式研究-以南二高白河以南路段為例。



### 三、山坡地及邊坡監測系統

山坡地安全監測主要目的在於針對可能發生之災害，及早發現其危險徵兆，並採用已備用好之因應措施來防範，雖然坡地社區、學校災害多發生於一瞬間，但事前多半有徵兆及警訊已提供防範自救之契機，而種種危險徵兆除了可以目視發現外，透過安全監測儀器進行監測，訂定出安全管理警戒值，可在安全有疑慮時及時發出警訊，以達防範未然之功效。

安全監測儀器種類繁多且所需經費都不小，為使有限資源做最合理之配置，安全監測之等級應根據風險度評估結果而定，監測結果由經分析研判後，登錄於資訊系統中，如發現有超出管理標準之異常現象時，即透過警報系統採取緊急應變措施。

#### (一)安全監測等級

安全監測系統的建立雖然能夠在災害來臨前，得到警訊並可以預先防範災害，但其主要的問題在於初期的投資頗大，所應建立之監測點之密度、範圍、種類均需考量諸多因素，其採用安全監測之等級，則需在兼顧成本與安全考量下審慎評估。

而在安全考量方面，山坡地經敏感度評估後，應依分析結果，對於各評估項目之危險徵兆等級，分別進行監測等級之確認。則其安全監測等級之區分分別為：

1. 基礎穩定方面，應採行之安全監測等級為「第三級」。
2. 邊坡穩定方面，應採行之安全監測等級為「第一級」。
3. 擋土設施穩定方面，應採行之安全監測等級為「第一級」。
4. 排水設施穩定方面，應採行之安全監測等級為「第二級」。

應用以下安全監測等級區分表，針對研究區域，選定適用之監測儀器設備：

表 2-5 安全監測等級區分表

監測系統分級	必要之監測儀器	考慮之監測儀器	建議採用時機
第一級	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 傾斜觀測管</li> <li>• 結構物傾度盤</li> <li>• 水壓計</li> <li>• 水位觀測井</li> <li>• 鋼筋計</li> <li>• 地錨荷重計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地滑計</li> <li>• 裂縫計</li> <li>• 雨量計</li> <li>• 沉陷點</li> <li>• 流量計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 敏感度評估分級為1~5 級或評估項目評估結果為5</li> <li>• 坡度甚陡 (<math>S \geq 30\%</math>)</li> <li>• 擋土牆高度甚高 (<math>H \geq 15</math> 公尺)</li> </ul>
第二級	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 傾斜觀測管</li> <li>• 結構物傾度盤</li> <li>• 水壓計</li> <li>• 水位觀測井</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 沉陷點</li> <li>• 裂縫計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 坡度略陡 (<math>10\% \leq S \leq 30\%</math>)</li> <li>• 擋土牆高度略高 (<math>6 \text{ 公尺} \leq H &lt; 15 \text{ 公尺}</math>)</li> </ul>
第三級	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 結構物傾度盤</li> <li>• 傾斜觀測管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 裂縫計</li> <li>• 傾斜觀測管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 坡度平緩 (<math>S &lt; 10\%</math>)</li> <li>• 擋土牆高度不高 (<math>H &lt; 6</math> 公尺)</li> </ul>
自動化級	將上述儀器自動化、並可發佈必要之警報系統		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 需長期監測</li> <li>• 危害度大或安全需求較高</li> <li>• 人力量測困難</li> </ul>

資料來源：李昊哲，2005，簡易坡地自主安全管理系統建立之研究

## (二)安全監測方法

監測系統設置之主要目的是為監測『可能發生坡地災害之變因』得以及早避免災害並予以因應。對於監測的內容而言可涵蓋簡易監測及數據監測。若監測設備設置得宜，將有助於災害之避免。反之，監測儀器如穩定性欠佳，除增加管理單位資料處理及養護作業之負擔，更有錯誤警訊發佈甚或延遲預警之潛在危險。

邊坡破壞的類型種類非常多，但要及早預知其破壞只有仰賴監測儀器的設置才可能辦到。而目前在邊坡監測方面，有幾項大地工程參數需由監測得知，包括水壓力參數、坡址橫向水平位移及地層錯動面的位置等，了解這些參數有助於診斷邊坡破壞的臨界狀態。以下是將邊坡監測儀器，依不同的監測功能及目的，做整體的分類簡介(葉致翔)。

### 1. 地下水壓監測

目前常用的水壓感測器主要有開口式、氣壓式及電子式的水壓計，依據不同需求而設置不同的水壓力感測器，分述如下：

(1)開口式水壓計(Open Standpipe Piezometers)：此種方式是配合蜂鳴器

等裝置，直接量測水位觀測井的水位面，若孔內有局部封層，則稱為 Casagrande 開口式水壓計，可由觀測井的水位面直接量測封層內土體的孔隙水壓力。

(2)氣壓式水壓計(Pneumatic Piezometers)：其氣壓閥門的開或關藉由兩根軟管加壓或洩壓控制，外加的氣壓由入氣管進入，而多餘的氣體由出氣管排出，當水壓計內部壓力與孔隙水壓力相同時，則土體的水壓力即可測得。

(3)電子式水壓計(Electrical Piezometer)：電子式水壓計原理是利用孔隙水壓力作用於水壓計內的隔膜上，而隔膜反應水壓的情況為比例關係，藉此來感測周圍的水壓力，再利用各式電子轉換器來量測水壓力。一般最常見的轉換器為線圈、應變計、或振旋式，這些裝置通常需要的反應時間極短，並且有很高的靈敏度。

## 2. 地表位移監測

以邊坡監測來說，地表伸縮儀是用來量測邊坡地表的水平位移，而其原理乃利用所附錨錠鈹之水平管伸縮來量測邊坡因滑動或其他因素所造成之水平變化量。其內部的感測器常用的型式是 Potentiometer，其構造原理為線性滑動電阻，當變位量產生的同時，滑動電阻上的電功輸出亦隨之改變，進而計算出變位計之變化量，伸縮儀傳感器內部之變位感測器亦可使用 LVDT (Linear Variable Differential Transformer)。

## 3. 地層錯動監測

地層錯動的監測通常是使用傾斜觀測管或是孔內傾斜儀，而這兩種儀器裝置皆可量測邊坡水平的變位值，進而推估潛在滑動面的位置。其原理及細項說明如下所述：

(1)傾斜觀測管：其基本構造一般可分為二部分，第一部分是具有四個溝槽之觀測管，大都為 ABS 材質，外徑約 2.75 in，第二部分為傾斜探測器及記錄器。量測過程是將具有四個滑輪的探測器沿著裝設在鑽孔內之傾斜觀測管放至量測位置，並由探管測得其與垂直方向的夾角。若地層產生位移，探管可測得不同深度的傾角變化，再將之累加，可求得不同深度傾斜管之位移量，但必須手動量測。

- (2)孔內傾斜儀：孔內傾斜儀的感測器通常為伺服加速度計或電解式感測器，可量測一維或二維之位移量，兩個孔內傾斜儀之間由一根金屬桿連接起來，將所有孔內傾斜儀連接後，在孔頂將孔內傾斜儀固定住，然後各別記錄數值，可自動化是其特色之一，但價格較昂貴。使用孔內傾斜儀時，必需同時得知角度的變化量及各傾斜儀的間距，以求出每一段間距的相對位移，最後累加可得已滑動邊坡的總位移量。

#### 4. 現有自動化監測系統

大地工程的監測隨著電子感測器的發展，多半已具備自動化的功能，配合多工多頻道的資料擷取器，可讓數個不同的監測感測器同時運作，另外有一部分的資料擷取系統也具有無線傳輸的功能。目前就現行的自動化資料擷取過程分為硬體及軟體兩大部分來討論，說明如下：

- (1)硬體部分：包含電源供應設備、監測感測器、及資料擷取器等，而監測感測器可分為主動式及被動式兩種。主動式的監測感測器所擷取的監測值其物理量通常為類比訊號(Analog)，經過感測器內部的電能轉換器(Transducer)轉換成數位電子訊號(Digital)，最後再由資料儲存器儲存或傳送至遠端監測站。目前可支援自動化監測的電子感測器即為主動式感測器，而此自動化資料擷取系統稱為 ADAS(Automatic Data Acquisition System)。被動式的監測感測器其本身為一機械裝置，通常由外部的電子裝置產生物理能量波(電磁波、光波等)導入感測器內，再擷取其數位反射訊號分析之；而此類型的感測器本身亦為傳遞能量波的元件，故又稱為『被動式傳感器』，如 TDR 感測器即是。
- (2)軟體部分：市面上或學術界目前已發展出部分專門使用於大地工程監測的軟體程式，而 DPAS (Data Processing & Analysis System)即是一套專門處理各種有關大地工程監測問題的軟體。其支援多種傳統監測儀器的資料分析，包括孔內傾斜儀、地表伸張儀、電子式水壓計等各種感測器，亦可同時與資料擷取器(Data logger)搭配使用。而 DPAS 有高度親和力的使用介面，安裝於 Windows 的電腦伺服器中，可將監測資料處理後以 Excel 圖表列印監測結果。

### 第三章、研究地區與資料概述

#### 第一節 研究區介紹

本研究針對之區域，主要位於雪霸國家公園中觀霧遊憩區區之大鹿林道及雪見遊憩區之司馬限林道，研究地區之地理位置圖如圖 3-1。

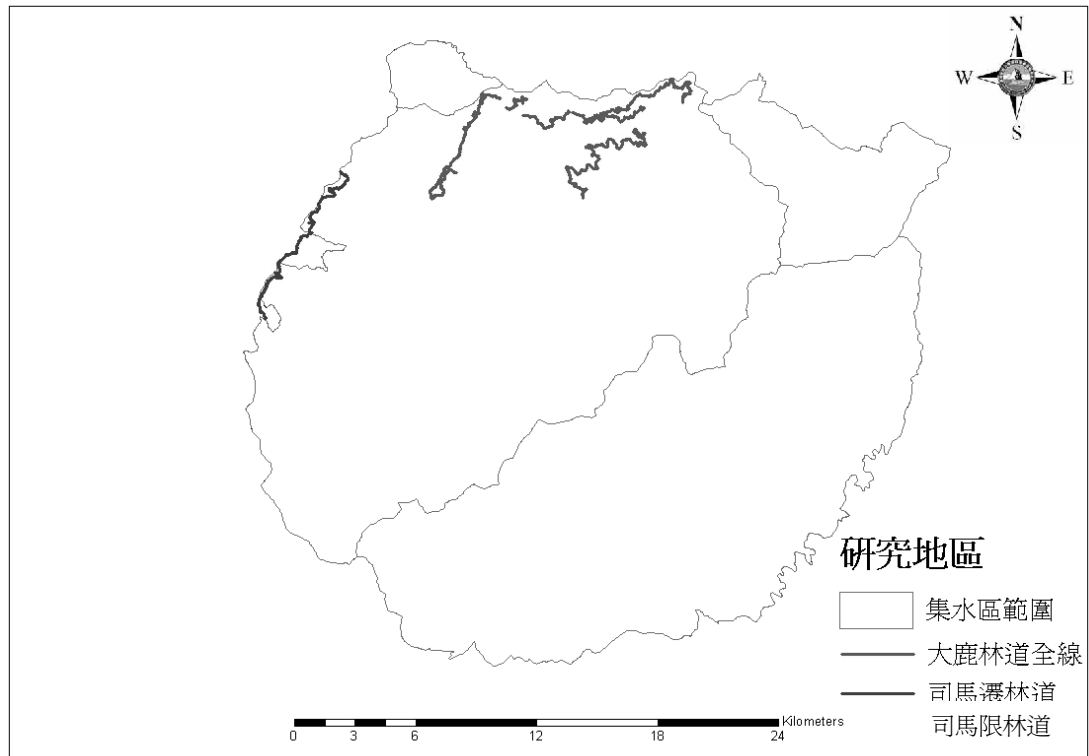


圖3-1研究地區地理位置圖

大鹿林道：大鹿林道寬 3 至 4 公尺，主要為通往觀霧遊憩區的交通要道，包含大鹿林道東線及大鹿林道西線，以清泉為起點，在觀霧分出東線與西線，東線主要為進入台灣檫樹保護區及大霸尖山馬達拉溪登山口之道路，西線則是進入觀霧瀑布及榛山之道路；目前觀霧遊憩區之聯外道路及園區內設施，因艾莉、馬莎等多次風災、豪大雨受損嚴重，大鹿林道主線雖已暫時搶通便道，唯仍不定時有崩塌問題發生，甚具潛在危險性；為安全考量，雪霸國家公園管理處與林務局新竹林管處已公告休園，禁止遊客進入（大鹿林道 25 公里處界址碑以內）。

司馬限林道：含司馬限林道之上線與下線，以大湖為起點的司馬限林道，在「二本松」日警駐在所附近的鞍部，分出上線與下線，上線林道沿盡尾山北稜而開，沿著東流水杉、東洗水山、北坑山稜線東側達曙光鞍部，沿途坡度較緩之地，多已造林，僅雪見遊憩區附近尚存有較大面積之原始天然林，而北坑日警駐在所

上方至曙光鞍部則以栽植紅檜，目前林道尚在利用，然因地形陡峭，沿途有多處易坍方之地。

## 第二節 研究資料

遙測技術之發展，提供具空間、時間、光譜特性之資料，適於大範圍面積的監測，而本研究所使用之研究材料項目，分述如表 3-1：

表3-1 研究材料來源

資料項目	資料來源	比例尺	資料型態
SPOT 5衛星影像	中央大學太空及遙測研究中心	解析力 10m×10m	網格式
地質圖	雪霸國家公園管理處	1/10,000	向量式
河系圖	雪霸國家公園管理處	1/10,000	向量式
道路圖	雪霸國家公園管理處	1/10,000	向量式

### 一、衛星影像資料

本研究所採用之影像：1. 逢甲大學 93 年度研究計畫所購買之之法國 SPOT 衛星影像，為兩個不同時期之 SPOT 多波段(XS)衛星影像資料。2. 本年度計畫所購買之法國 SPOT 5 衛星多光譜影像，影像時期為 2006 年兩個不同時期之影像，SPOT 5 影像有最佳之相對精度，對於全國性之土地利用監測、災害調查、環境監測、森林覆蓋、生態保育、水資源管理等應用，且以 SPOT 5 空間解像力最高，經融合後可達 2.5m；而 SPOT 5 衛星除了過去 SPOT 1~ SPOT 4 衛星所提供之綠光段、紅光段與紅外光段之資料外，最大的特點在於新增的短波(SWIR)。新的 SWIR 波段有助於對地物景觀進行較以往更深入的分析判讀，SWIR 波段比原有 SPOT 衛星的波段，具備更強的大氣穿透能力，因此可使得衛星影像上的地物地貌更加清晰。影像像元大小為 10 公尺\*10 公尺，且經過完整輻射校正及幾何校正處理程序之等級三(level 10)影像。實證區原始影像大小為 2680\*3040 Pixels，其各時期影像基本資料如表 3-1、圖 3-2 所示，選用三個時期所包含之雪霸國家公園範圍，經過影像切割後所採用之影像大小為 2391\*2694 Pixels。

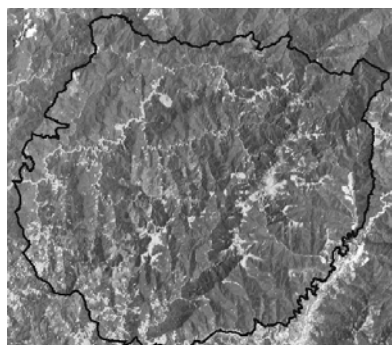
研究中所蒐集之多時段影像分別有所代表之意義，此四張影像分別為地震、颱風災害前後之四個重要時期：2002 年 7 月之影像則是歷經重大災害後，自然環境恢復之時期，也就是環境恢復力之結果；2004 年 12 月之影像，作為評估歷經敏督利及艾莉風災後之情形；2006 年 7 月 29 日及 10 月 20 日，選擇這兩時期之原因為在兩時期中，歷經了桑美、寶發及珊珊颱風，因本次研究案所評

估之林道敏感因子中，對雨量因子會有較深之探討，而在 2006 年颱風中以珊珊颱風對雪霸國家公園園區之累積降雨量為最多，因此以珊珊颱風為影像時期之界線，前後選取兩張影像來做分析及比較。

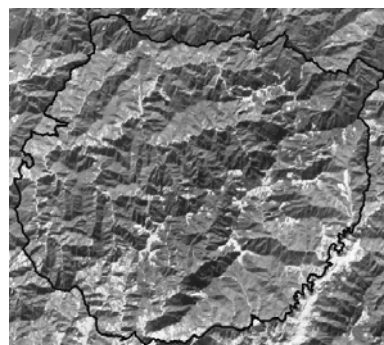
本研究藉由蒐集四個分別代表不同意涵之影像，進行林道敏感性分析，藉由林道災害因子分析之整合評估，期望能探討出崩塌影響因子與雪霸國家公園境內地景之關聯性，其成果將可作為決策者在管理規劃時的重要參考依據。

表3-2 衛星影像基本資料

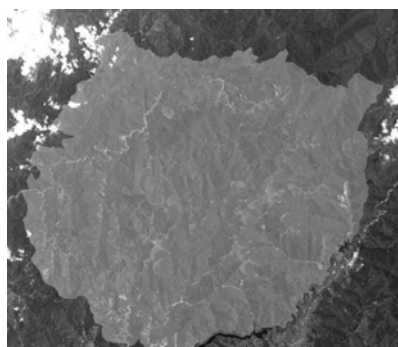
拍攝日期	衛星名稱	太陽高度角 (Elevation)	方位角 (Azimuth)
2002 年 7 月 26 日	SPOT 2	70.7	103.1
2004 年 12 月 26 日	SPOT 2	38.5	155.4
2006 年 7 月 29 日	SPOT 5	68.1	99.6
2006 年 10 月 20 日	SPOT 5	52.2	152.8



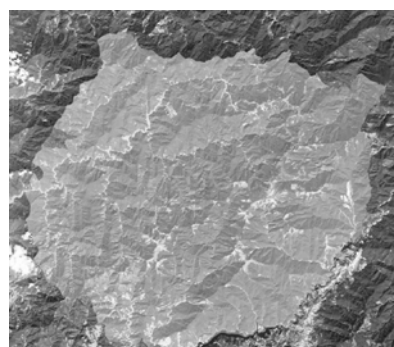
(a) 2002/7/26



(b) 2004/12/26



(c) 2006/07/29



(d) 2006/10/20

圖 3-2 各時期之 SPOT 衛星影像

## 二、GIS 圖檔

本研究擬以現有林道為單位，蒐集雪霸國家公園現有之地理資料，包括 DEM、地質圖、河系圖、道路圖等 GIS 基本圖層進行林道敏感性劃分分析（如圖 3-3 所示）。

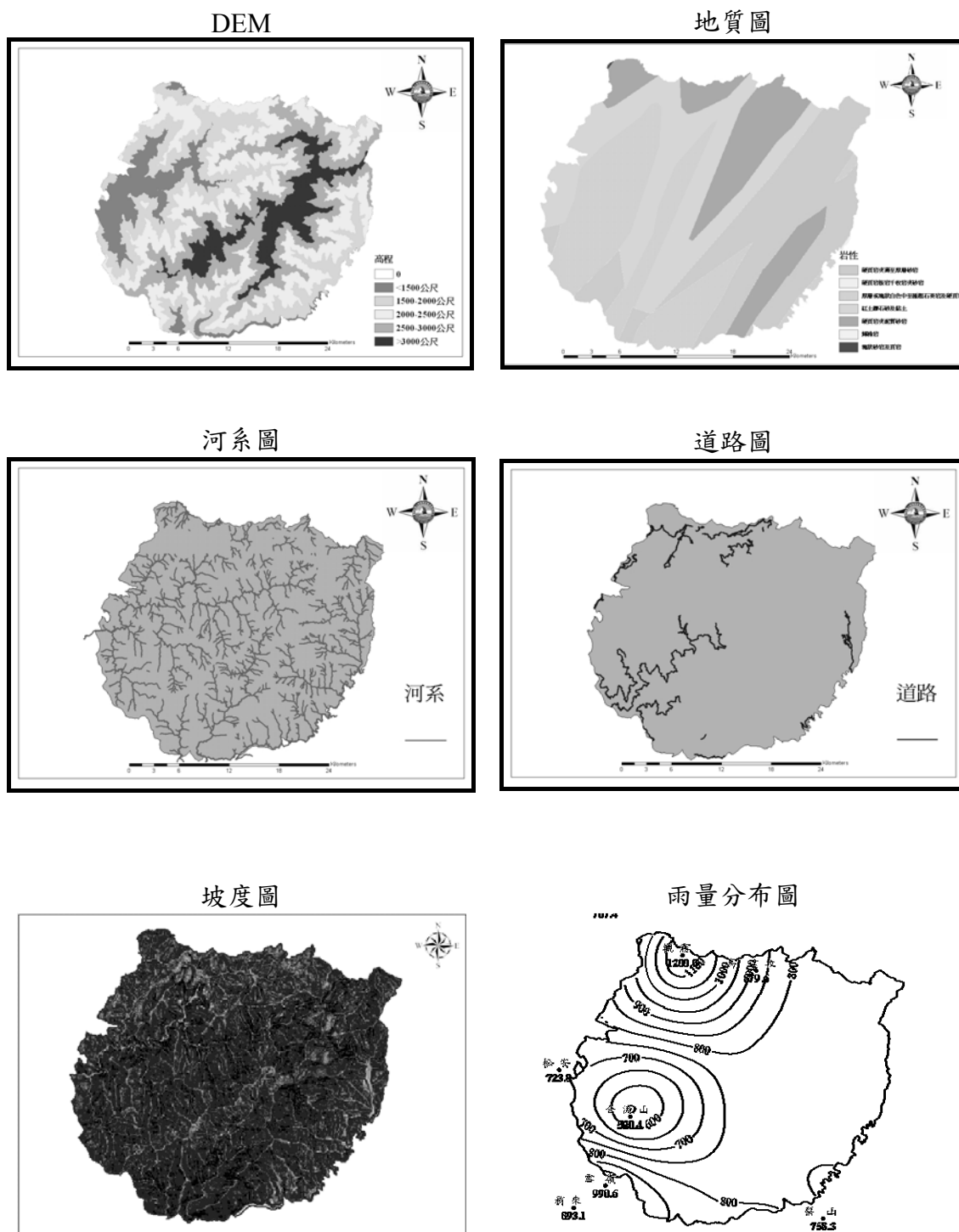


圖 3-3 研究地區山崩潛勢分析基本圖層



### 第三節 研究流程

研究方法共分為三大部分：先針對地區環境因子做雨量空間變異分析林道路段利用林道環境敏感因子做等級評估，並加入現有林道崩塌路段進行探討，再將等級評估及現有崩塌所得知之事進行因子相關性之多變量統計分析，萃取林道崩塌的空間資訊進行林道敏感分析，得出林道環境因子敏感圖，進行林道敏感區位之劃分。

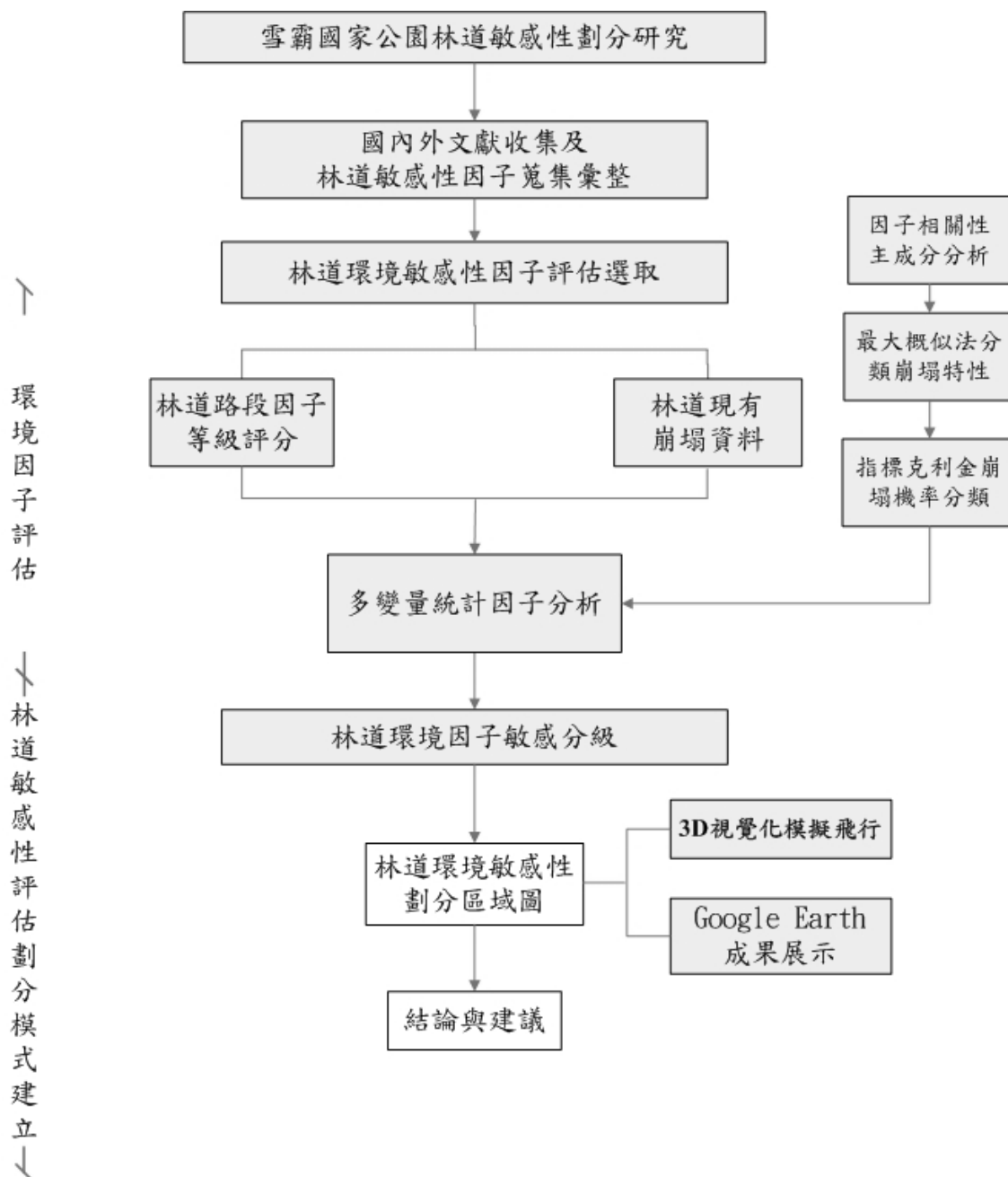


圖 3-4 研究流程圖

## 第四章、研究方法

### 第一節 區域化變數理論

區域化是一種散佈在空間中之現象 (Phenomenon)，並且存在著明確的空間結構 (Spatial Structure)。假設在位置  $x$  的觀測值為一隨機變數 (Random Variable) 且定義為  $f(x)$ ，則稱變數  $f(x)$  為一區域化變數，其位置  $x$  可定義為一個點、一面積或為一體積，稱之為基元 (Support)，基元的大小、形狀及方向等特性可能不同，但應適當地描述該區域化變數 (Regionalized Variable)。

自然界的諸多現象，例如降雨、氣溫及河川流量等多具有時間或空間上的變異，研究這些現象時若只針對時間或空間上的一個點為之，則這些物理量之變異常被以隨機變數來描述，而不同時間或空間點上之隨機變數未必相同，並且空間上各隨機變數即形成一隨機變域 (Random Field)。在大自然中有許多現象均可被視為隨機變域，如降雨量或溫度等物理量，其中空間上不同位置之各隨機變數間並非完全獨立，而可能具有不同程度的相關性，則該等隨機變數所代表之物理量即為區域化變數。換言之，一具有特殊空間變異結構之性質即為區域化變數，若以  $Z(x)$  代表一區域化變數， $x$  為空間中之位置向量，其空間分布應滿足下列兩個特性，第一：在局部地區呈現隨機性，即  $Z(x)$  為隨機、不規則之隨機變數；第二：就整體而言呈現結構性，空間中任意兩個點間距離與其隨機變數差之間具有某種程度的相關性，即  $Z(x)$  具有結構化之空間變異。

#### 一、基本假設

##### 1. 二階定常性假設 (Second-Order Stationary Hypothesis)

二階定常性又稱為廣義定常性 (Wide-Sense Stationarity) 或稱弱定常性 (Weak Stationarity)，符合二階定常性之隨機變數應具有下列三個特性。

(1) 在不同位置之隨機變數的期望值 (Expected Value) 為一定值，即

$$E[Z(x)] = \mu = \text{const.} \quad , \quad \text{for all } x \quad (4-1)$$

其中  $E$  表期望值， $\mu$  表平均值， $Z(x)$  表任一位置  $x$  之隨機變數。

(2) 在不同位置的隨機變數之變異數 (Variance) 為一定值，即

$$\text{Var}[Z(x)] = \sigma^2 = \text{const.} \quad , \quad \text{for all } x \quad (4-2)$$

其中  $\text{Var}$  表變異函數。

(3) 空間中任意兩個位置之隨機變數  $Z(x)$  與  $Z(x+h)$  之共變異函數 (Covariance) 只與其兩點間之相對距離有關，而與其個別所在位置無關，即

$$\text{Cov}[Z(x), Z(x+h)] = E\{[Z(x) - \mu][Z(x+h) - \mu]\} = \text{Cov}(h) \quad , \quad \text{for all } x \quad (4-3)$$

其中  $\text{Cov}$  表共變異函數，相對距離  $h = |x_i - x_j|$ 。

## 2. 內在假設 (Intrinsic Hypothesis)

二階定常性假設變異函數必需存在，並且其變異數應為有限值，但在實際應用時有許多物理現象常常無法滿足二階定常性假設，故區域化變數理論提出了內在假設，內在假設是一種較弱的假設，即不同位置的隨機變數之差仍為一隨機變數，並且其期望值與變異函數只與隨機變數間之距離有關，而與其所在之位置無關。當一隨機變數符合下列兩個條件時，即滿足內在假設：

(1) 空間中任意兩個位置之隨機變數  $Z(x)$  與  $Z(x+h)$ ，其差的值期望值為兩點間距離之函數，即

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = m(h) \quad , \quad \text{for all } x \quad (4-4)$$

(2) 空間中任意兩個位置之隨機變數  $Z(x)$  與  $Z(x+h)$  的變異函數，與其所在之位置無關，等於兩倍的半變異元函數，即

$$\text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h) \quad , \quad \text{for all } x \quad (4-5)$$

其中  $\gamma(h)$  稱為半變異元函數 (Semi-Variogram) 或簡稱變異元 (Variogram)，僅為距離  $h$  之函數。

## 3. 準定常性假設 (Quasi-Stationary Hypothesis)

假設  $Z(x)$  為一非定常性之隨機變數，倘若  $Z(x)$  在一定距離內可視為滿足定常性的性質，即在有限範圍內該區域符合均一性，但超出此範圍後，隨機變數便不再具有均一性。符合上述假設現象，即隨機變數在有限範圍內

滿足定常性的假設便稱為準定常性假設。因此在實際應用上，變異函數或變異元等結構函數只能適用於一定距離之範圍內，即 ( $h \leq A$ )，其中距離  $A$  表示可以用來推估變異情況的最大有效鄰近範圍，當超過此範圍後，即 ( $h > A$ )，則隨機變數  $Z(x)$  與  $Z(x+h)$  便不再具有空間相依性。

## 二、半變異元分析

### 1. 半變異元特性

#### (1) 臨界變異值 (Sill)

半變異元之典型曲線如圖 4-1 所示，理論上若觀測點間相距愈遠，則其變量間之相互影響效應愈小且變異元值應愈大。由圖 4-1 中可見當兩個隨機變數之相對距離  $h$  越遠時，則其半變異元  $\gamma(h)$  之值也越大。一般而言，當距離  $h$  達到某一特定值後， $\gamma(h)$  便呈現緩慢增加或趨近於一定值，此一定值便稱為臨界變異值。

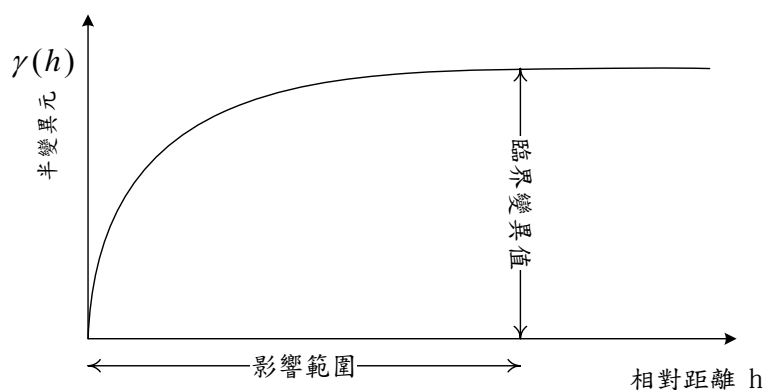


圖 4-1 半變異元示意圖

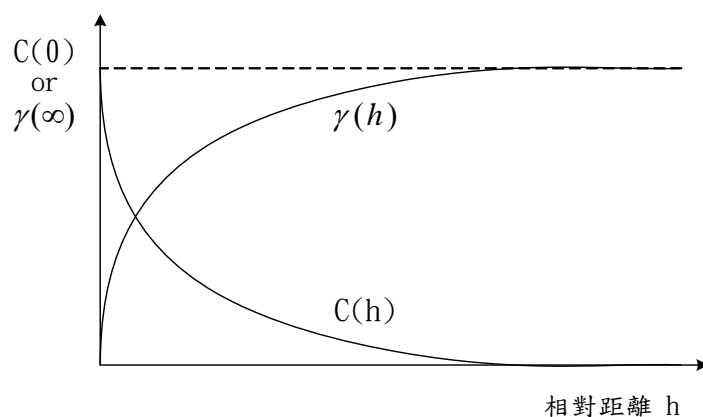


圖 4-2 半變異元函數  $\gamma(h)$  與共變異函數  $C(h)$  之關係圖

## (2) 影響範圍 (Influence Range)

在半變異元圖中，變異元值  $\gamma(h)$  隨著空間距離  $h$  增加而增大，最後會趨近於臨界變異值，當  $\gamma(h)$  達到臨界變異值時之最小距離便稱為影響範圍。影響範圍是指變量間相互影響的最大距離，超過此距離後，觀測點間便不再具有空間相依性，即各觀測點為統計獨立。位於影響範圍外的資料互相獨立，但在影響範圍內的資料則具有空間相依性，依距離及模式的不同而有不同程度的權重大小。

## (3) 碎塊效應 (Nugget Effect)

半變異元函數具有連續的性質，即在理論上變異元值與其空間距離之關係為：當距離  $h$  為零時其變異元值  $\gamma(h)$  亦為零。換言之，變異元曲線應可延伸至座標軸的原點，但在實際作業時，當距離  $h$  趨近於零時，有時  $\gamma(0)$  並不一定會等於零，而是為一定值，這種在微小距離內有極大變異之現象稱為碎塊效應。即

$$\lim_{h \rightarrow 0} \gamma(h) = C_0 = \text{const.} \quad (4-6)$$

發生碎塊效應的原因可能是  $Z(x)$  之量測誤差或是  $Z(x)$  在非常小的距離內即有相當大的變異，而各觀測點所在位置間之距離比較大，故無法由試驗變異元來表現出極小範圍內  $Z(x)$  之變化情形。

## (4) 條件半正定 (Conditional Semi-Positive Definite)

半變異元函數  $\gamma(h)$  必須滿足條件半正定的特性，換言之對任意係數  $\lambda_i \in R$ ，在  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0$  之條件下滿足下式（證明請參閱附錄），即

$$-\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \geq 0 \quad (4-7)$$

## (5) 無限特性 (Behavior of Infinity)

因為半變異元函數滿足條件半正定的特性，故當空間距離  $h$  趨近於無窮遠時，半變異元函數  $\gamma(h)$  之增量應遠小於其相對距離平方之增量，即

$$\lim_{|h| \rightarrow \infty} \frac{\gamma(h)}{|h|^2} = 0 \quad (4-8)$$

換句話說，當試驗半變異元之增量沒有遠小於相對距離的平方時，便無法滿足內在假設。通常這種情形發生時，即表示該隨機變域為非定常性隨機變域，其變異結構存在著某種空間趨勢。

### (6) 變異元與共變異函數之對應關係

若隨機變域  $Z(x)$  具二階定常性，且其共變異函數以  $C(h)$  表示，即

$$C(h) = E\{[Z(x) - \mu_z][Z(x+h) - \mu_z]\} \quad (4-9)$$

其中  $\mu_z$  為  $Z(x)$  之期望值，則  $\gamma(h)$  與  $C(h)$  有如下之關係：

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) = \sigma_z^2 - C(h) \quad (4-10)$$

$$\gamma(\infty) = C(0) = \sigma_z^2 \quad (4-11)$$

其中  $\sigma_z^2$  為  $Z(x)$  之變異數。圖 2-2 表示半變異元函數  $\gamma(h)$  與共變異函數  $C(h)$  之間的相互關係。

## 2. 試驗半變異元 (Experimental Semi-Variogram)

半變異元函數代表觀測資料之空間變異情形，故其為克利金推估法之重要核心。由  $Z(x)$  的觀測值所計算求得之半變異元稱為試驗半變異元，試驗半變異元通常為類似圖 2-3 所示之折線，在應用時必須套配成理論半變異元。

假設在樣本空間中，已知觀測點空間位置  $x_1, x_2, \dots, x_n$  之觀測值分別為  $z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_n)$ ，且  $Z(x)$  為定常性隨機變域，則  $E[Z(x_i)] = E[Z(x_j)]$ ，故試驗半變異元可由 (4-12) 式求得，即

$$\gamma(|x_i - x_j|) = \frac{1}{n} \sum_1^n \left\{ \frac{1}{2} [z(x_i) - z(x_j)]^2 \right\} \quad (4-12)$$

其中  $n$  為  $x_i$  與  $x_j$  之配對個數， $h = |x_i - x_j|$  為空間向量位置  $x_i$  與  $x_j$  之相對距離。

若  $Z(x)$  為非定常性隨機變域，則其試驗半變異元可由下式求得，即

$$\gamma(|x_i - x_j|) = \frac{1}{n} \sum_1^n \left\{ \frac{1}{2} [Y(x_i) - Y(x_j)]^2 \right\} \quad (4-13)$$

其中  $Y(x) = Z(x) - M(x)$ ，為空間中不規則之變動值 (Erratic Fluctuations)，其期望值為零，而  $M(x)$  為一緩慢變化之定率函數 (Deterministic Function)，稱為區域平均值 (Drift)，其值為隨機變域在該處之期望值，即  $M(x) = E[Z(x)]$ 。

利用上述計算公式，並依據以下所述之 4 個步驟，則可計算求得試驗半變異元模式。

- (1) 計算所有觀測點配對之配對距離，並區分為等距離的若干區間。
- (2) 計算每一區間內觀測點之配對個數。
- (3) 計算每個區間內所有配對個數之距離與變異元的平均值，並視為該區間之代表距離與變異元值。其中平均距離與平均變異元值的計算公式分別為 (4-14) 及 (4-15) 兩式。

$$\bar{d}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} d_{ij} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4-14)$$

$$\bar{\gamma}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \left[ \frac{1}{2} (Z_1 - Z_2)_{ij}^2 \right] \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4-15)$$

其中  $d_{ij}$  表示為第  $i$  個區間內第  $j$  組配對數之距離，而  $(Z_1 - Z_2)_{ij}$  表第  $i$  個區間內第  $j$  組配對數之觀測值差， $n_i$  為第  $i$  個區間內之配對個數。

- (4) 連接所有區間之代表變異元值，即可求得試驗半變異元。

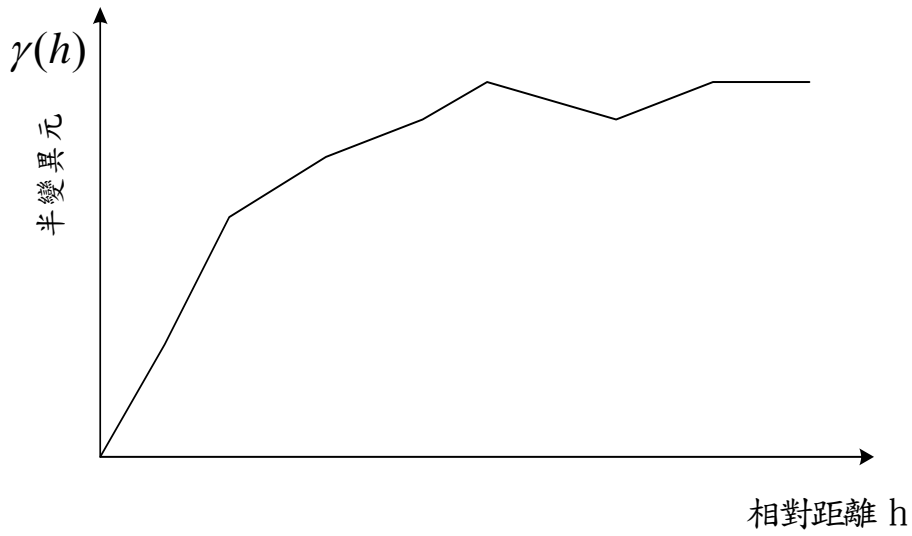


圖 4-3 試驗半變異元函數示意圖

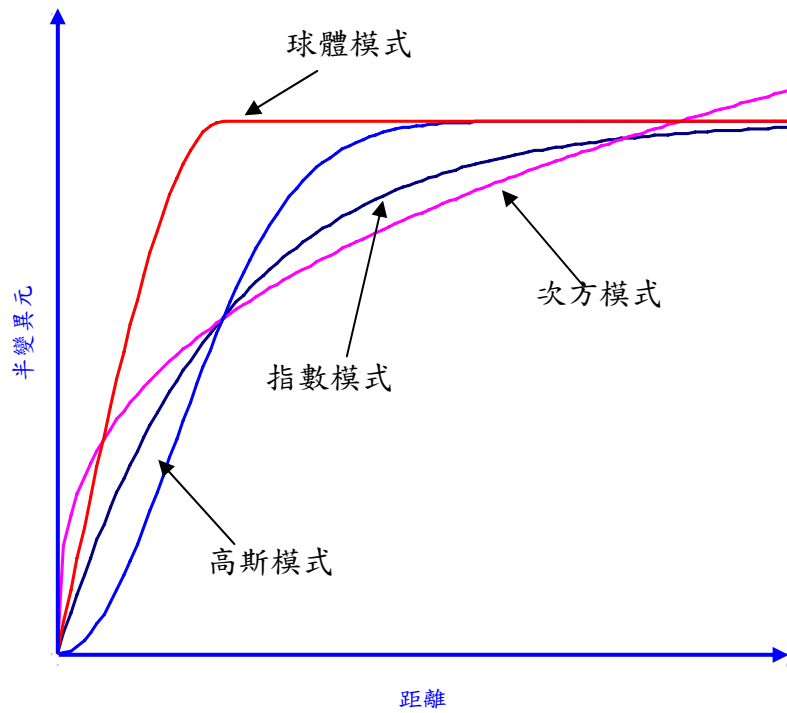


圖 4-4 常用理論半變異元套配模式



### 3. 理論半變異元 (Theoretical Semi-Variogram)

試驗半變異元是由數個不連續點所構成的圖形，在實際應用時仍需以連續性的模式套配後方能應用於克利金估計法，此連續性模式便稱為理論半變異元。理論半變異元模式必需滿足條件半正定之特性，才能有效且完整地表現出空間變異結構關係，常用之理論半變異元模式有下列四種。

#### (1) 次方模式 (Power Model)

$$\gamma(h) = \omega h^\lambda \quad (\lambda < 2) \quad (4-16)$$

#### (2) 球體模式 (Spherical Model)

$$\begin{cases} \gamma(h) = \omega \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & (h \leq a) \\ \gamma(h) = \omega & (h > a) \end{cases} \quad (4-17)$$

#### (3) 指數模式 (Exponential Model)

$$\gamma(h) = \omega \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right], \quad \text{影響範圍} = 3a \quad (4-18)$$

#### (4) 高斯模式 (Gaussian Model)

$$\gamma(h) = \omega \left[ 1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right], \quad \text{影響範圍} = \sqrt{3}a \quad (4-19)$$

除了上述四種基本模式外，在實際應用時亦可將其組合成混合模式 (Nested Structure) 使用，以配合真實的空間變異結構。當半變異元模式  $\gamma(h)$  套配完成後，便可以描述該隨機變域之空間結構特性，並提供克利金估計法來進行未知點之最佳推估。常用的理論變異元套配模式如圖 4-4 所示。

## 三、克利金估計法

### 1. 特性

克利金估計法乃是針對區域化變數所具有之特性，如定常性或非定常性等假設及單一或多個變數等性質，分別發展出不同的點 (Point) 或區塊 (Block) 等推估系統方程式。從統計觀點而言，一般克利金推估法具最佳線性不偏推估 (Best Linear Unbiased Estimator, 簡稱 BLUE) 之特性，茲說明如下：

(1)線性 (Linear)：估計值為觀測值之線性組合，即

$$z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} z_i, \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (4-20)$$

其中  $z_i$  為隨機變數  $Z(x)$  在  $x_i$  點上之觀測值，即  $z(x_i)$ ，而  $z_0^*$  為  $z(x_0)$  之推估值，即  $z^*(x_0)$ ，且  $\lambda_{0i}$  為對應於  $z_i$  之權重。

(2)不偏估 (Unbiased)：估計值之期望值等於隨機變數之期望值，即

$$E[Z_0^*] = E[Z_0] \quad \text{or} \quad E[Z_0^* - Z_0] = 0 \quad (4-21)$$

(3)最佳化(Optimal)：估計值與觀測值差之變異數為最小，即

$$\min\{Var[Z_0^* - Z_0] = E[(Z_0^* - Z_0)^2]\} \quad (4-22)$$

## 2. 一般克利金法 (Ordinary Kriging)

一般克利金法為應用於二階定常性假設之區域化變數，故  $Z(x)$  之期望值為一定值，即  $E[Z(x)] = E[Z(x+h)] = const.$ ，且估計值  $z_0^*$  為觀測值  $z_i$ ， $(i=1,2,\dots,n)$  的線性組合，為求得最佳且唯一之估計權重  $\lambda_{0i}$ ，首先需配合不偏估性質將 (4-20) 式代入 (4-21) 式中可求得下式，即

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} = 1 \quad (4-23)$$

其次，為求得最佳化之推估結果，故將 (4-23) 式代入 (4-24) 式，並且為了同時滿足最佳化與不偏推估等兩個特性，可利用標準拉格蘭茲法 (Standard Lagrangian Technique) 引入拉格蘭茲參數 (Lagrange Multiplier)  $\mu$ ，使得

$$\begin{aligned} L &= Var[Z^*(x_0) - Z(x_0)] - 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} - 1) \\ &= E[Z^*(x_0) - Z(x_0)]^2 - 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} - 1) \\ &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{0i} \lambda_{0j} \gamma(x_i - x_j) + 2\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} \gamma(x_i - x_0) - 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} - 1) \end{aligned} \quad (4-24)$$

將上式分別對  $\lambda_{0i}$  及  $\mu$  取偏微分，並令其微分式為 0，則可得克利金系統方程式及克利金變異數。

(1) 克利金系統方程式 (Kriging System Equation)

令  $\frac{\partial L}{\partial \lambda_{0i}} = 0$ , ( $i=1,2,\dots,n$ ), 且  $\frac{\partial L}{\partial \mu} = 0$  則可得如下之克利金系統方程式:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_{0j} \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_0 - x_i) & (i=1,2,\dots,n) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} = 1.0 \end{cases} \quad (4-25)$$

若以矩陣形式表之, 則克利金系統方程式為

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma_{2n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \cdot & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \gamma_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4-26)$$

其中  $\gamma_{ij} = \gamma(|x_i - x_j|) = \frac{1}{2} E\{[Z(x_i) - Z(x_j)]^2\}$ , ( $i, j=1,2,\dots,n$ ), 在克利

金系統方程式中之矩陣  $[\gamma_{ij}]$  代表觀測資料彼此之間的相關特性, 而  $[\gamma_{i0}]$  表示觀測點和推估點間的相關特性。在半變異元函數為已知的情形下, 權重係數  $[\lambda_i]$  可直接由相對距離所控制的克利金系統方程式來決定, 而不需要觀測點之觀測資料。

(2) 克利金變異數 (Kriging Variance)  $\sigma_k^2$

利用克利金系統方程式可求得最佳估計權重  $\lambda_{0i}$ , ( $i=1,2,\dots,n$ ), 將最佳估計權重  $\lambda_{0i}$  代回 (4-20) 式及 (4-27) 式即可分別求得最佳不偏推估值及其對應的克利金變異數。

$$\sigma_k^2 = Var[Z_0^* - Z_0] = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} \gamma(x_i - x_0) \quad (4-27)$$

3. 區塊克利金法 (Block Kriging)

區塊克利金估計法是一般克利金估計法的衍生方法, 一般而言, 以克

利金估計法來作推估時，被推估的對象大多是以點型態居多，但推估整個區域之平均時，則可以採用區塊克利金法來計算研究區域之整體平均值。區塊克利金估計法介紹如下：

(1) 區塊推估 (Block Estimate)

區塊克利金估計法是一種推估整個區域之平均值的方法，其推估值為：

$$z_v^* = \frac{1}{V} \int_V Z(x) dx \quad (4-28)$$

其中  $z_v^*$  為區域的平均值， $V$  表推估區域。

#### 四、變異元模式驗證

由於試驗變異元並不是連續的圖形，且無法滿足條件半正定的性質，因此在實際應用時必需套配成連續性的理論變異元模式後方可應用。理論變異元模式之套配即是利用數值方法來選取固定模式下的最佳參數，因此為了驗證所選取的變異元模式之優劣及利用克利金估計法推估時所作之假設是否合理，可以利用交叉驗證法來進行檢定。

##### 1. 交叉驗證法 (Cross Validation)

半變異元模式之驗證往往礙於觀測資料的數量太少，故常常採用交叉驗證法來進行檢定，其步驟敘述如下：

- (1) 利用所有的  $n$  個觀測資料可求得一代表性之半變異元模式。
- (2) 自觀測資料點中任意取出一觀測點記為  $Z_a$ ，以其餘  $n-1$  個觀測資料來進行克利金推估，則可求得該觀測點  $Z_a$  之推估值。
- (3) 計算該觀測點之推估誤差及克利金變異數。
- (4) 將該點  $Z_a$  置回，並取出另一觀測點記為  $Z_b$ 。重覆上述步驟，直到所有觀測點均完成克利金推估及其推估誤差與克利金變異數。

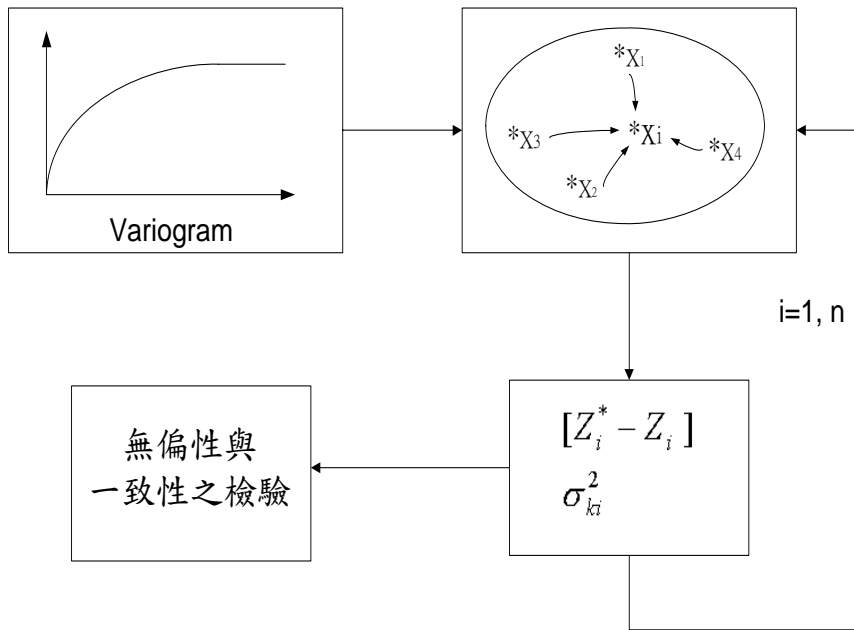


圖 4-5 交叉驗證法流程示意圖

(5)利用上述計算結果分別檢定其不偏性與一致性。上述流程示意如圖 4-5 所示。

## 2. 檢定準則

檢定研究中所套配的理论半變異元模式之優劣及利用克利金估計法推估時所作之假設是否合理，可利用推估結果之無偏性及一致性來檢定。

### (1) 無偏性 (Unbiasness)

當克利金平均誤差，即推估值與觀測值差之期望值，愈接近 0 時表示其不偏估的效果愈佳。其無偏性以 KAE 表示之：

$$KAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^* - Z_i) \cong 0 \quad (4-29)$$

### (2) 一致性 (Coherence)

若克利金推估誤差的平方與克利金變異數的比值之期望值愈趨近於 1 時，則表示模式愈佳。其一致性以 KRMSE 表示之：

$$KRMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(Z_i^* - Z_i)^2}{\sigma_k^2} \right] \cong 1 \quad (4-30)$$

## 第二節 多變量統計分析

### 一、主成份分析方法

Pearson 於 1901 年提出主成份分析 (Principal Component Analysis, PCA) 原理，並由 Hotelling (1933) 加以發展的統計分析方法；其主要目的將許多變數 (variable) 予以削減，並使其改變為少數幾個獨立的線性組合 (linear combination) 變數，經由線性組合後，所得的成份變異數 (variance) 會變為最大，使其顯示出最大的個別差異。簡言之，主成份分析是將多個變數指標，變成少數幾個綜合指標的一種統計方法 (陳，2004)。

在多變量分析的研究上，往往因變量個數太多，而且彼此間存在一定的相關性，使得所量測的數據在一定的程度上反應的訊息有所重複；此外，當變量較多時，在研究樣本的分佈規律比較錯綜複雜。而主成份分析方法就是將這種情形加以簡化，找出幾個綜合因子來代表原來眾多的變量；使得這些主成份因子儘可能地反應原來的變量，並且使得彼此之間互不相關。主成份分析除了概述變數間的關係之外，亦可用來削減迴歸分析 (analysis of regression) 或群集分析 (cluster analysis) 中變數的數目。此外，為了達成最大變異的目的，常以主成份分析將原來的變數轉變為主成份 (Principal Component)，篩選出主成份後，再將各變數的原始資料轉換為主成份得點，以供進一步的統計分析。

主成份分析主要就是要達成三個重要目標；

1. 代表性，在尋求變數的線性組合要能保有原來變數的資訊即所代表意義。
2. 獨立性，指主成份間不能重疊。
3. 精簡性，能以少數幾個主成份代替原來多個變數。

### 二、理論分析

#### (一) 理論分析 (Johnson、Wichern, 1982)

主成份分析係由 Karl Pearson 所提出的一種多變量統計分析方法，其重要概念為縮減一群具有內在相關的多變量資料，使其儘可能解釋原始資料之變方。經由線性轉換所求得新變量之間彼此無關，稱為主成份，將其特徵值排序使最前面少數幾個成份保留最多原始資料之總變方，而這少數幾個主成份亦可用來解釋及說明原始資料的綜合特性。

### 1. 原理分析

假設隨機向量  $X = [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_p]^T$  之共變異矩陣(或相關係數矩陣)為  $\Sigma$  , 其特徵值為  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  , 而特徵向量為  $E = [l_1 \ l_2 \ \dots \ l_p]^T$  。考慮下列 p 個線性組合 ,

$$\begin{aligned} Y_1 &= l_1' X = l_{11} X_1 + l_{21} X_2 + \dots + l_{p1} X_p \\ Y_2 &= l_2' X = l_{12} X_1 + l_{22} X_2 + \dots + l_{p2} X_p \\ &\vdots \\ Y_p &= l_p' X = l_{1p} X_1 + l_{2p} X_2 + \dots + l_{pp} X_p \end{aligned} \quad (4-31)$$

這些線性組合  $Y_i$  之變異數與共變異數分別為

$$Var(Y_i) = l_i' \Sigma l_i = \lambda_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (4-32)$$

$$Cov(Y_i, Y_k) = l_i' \Sigma l_k \quad i, k = 1, 2, \dots, p \quad (4-33)$$

若使這些線性組合(4-31)彼此無關且其變異數(4-32)儘可能地大, 則稱  $Y_i$  為第 i 個主成份。故第一個主成份有最大變異數之線性組合  $Y_1 = l_1' X$  , 其變異數  $Var(Y_1) = l_1' \Sigma l_1$  最大且滿足  $l_1' l_1 = 1$  , 而第二主成份為  $Y_2 = l_2' X$  , 但必須滿足  $l_2' l_2 = 1$  及  $l_2' \Sigma l_1 = 0$  , 其餘各主成份依此類推。主成份 Y 之共變異數矩陣為, 如下所示,

$$\Lambda = \begin{bmatrix} Var(Y_1) & Cov(Y_1, Y_2) & \dots & Cov(Y_1, Y_p) \\ Cov(Y_2, Y_1) & Var(Y_2) & \dots & Cov(Y_2, Y_p) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Cov(Y_p, Y_1) & Cov(Y_p, Y_2) & \dots & Var(Y_p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_p \end{bmatrix} \quad (4-$$

34)

由上式可知, 第 i 個主成份之變異數等於隨機向量 X 共變異數矩陣  $\Sigma$  的第 i 個特徵值, 並且各主成份彼此間之共變異數為 0。所有主成份之變異數總合等於共變異數矩陣  $\Sigma$  全部特徵值的總合。即

$$\sum_{i=1}^p Var(Y_i) = \sum_{i=1}^p \lambda_i = tr(\Lambda) = tr(\Sigma) = \sum_{i=1}^p Var(X_i) = \sum_{i=1}^p \sigma_i^2 \quad (4-35)$$

換言之, 前 k 項最大主成份所解釋原總變異數之百分比為,

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \quad k \leq p \quad (4-36)$$

若重要主成份佔總變方百分比愈高，則表示該主成份愈重要，對於不重要之成份，則可以予以捨棄。主成份  $Y_k$  與隨機變量  $X_i$  之相關係數又稱因子負荷量(factor loading)，可由下式所示。

$$\rho(Y_i, X_k) = \frac{Cov(Y_i, X_k)}{\sqrt{Var(Y_i)Var(X_k)}} = \frac{l_{ki} \sqrt{\lambda_i}}{\sqrt{\sigma_k^2}} \quad (4-37)$$

## 2. 成份選取

為降低原始變量維度以精簡資料和降低訊息之重複估計，可選用具代表性之主成份替代原始大量的變量訊息。對於主成份個數之決定，一般並無特定的準則來決定。若前  $k$  個最大特徵值之主成份累積變異數達到全部主成份變異數總和之 80%(或 90%)以上，則選取  $k$  個主成份來代替原有之  $p$  個變量。此外，依據經驗法則(rule of thumb)，以標準化後之資料矩陣進行分析時，可只保留特徵值大於 1.0 以上之主成份，小於 1.0 以下者予以刪除。

## 3. 成份解釋

主成份分析之主要目的，為將較多之變量資料加以研究整理成為較少數之主成份，除了可以有效地降低資料維度，粹取重要資訊外，亦可以消除各變量間之共線性關係，避免研究造成誤差。其次，具代表性之主成份可解釋原始變量絕大部份的資訊，故應用各主成份之因子負荷量，可了解各主成份與原始變量間之相關趨勢，將有助於解釋該地區之成份特性。由於因子負荷矩陣之結果，往往不容易加以解釋，故為了方便成份解釋，可藉由旋轉主成份軸，使各個主成份的意義變得比較清晰明確且亦於解釋及說明。



### 第三節 最大概似分類法(Maximum Likelihood Classifier, MLC)

最大概似法 (Maximum Likelihood Classifier): 是先從已知各類別之資料中建立起屬於各類別的高斯分佈模型, 再將未知的資料套入各類別的模型中, 選出在各類別的模型裡算出的事後機率為最大者, 就是該未知資料的類別。以高斯機率分佈建立出來的模型中, 主要的參數是平均值跟變異數, 也就是說, 這種方法的好處在於, 不需儲存太多已知類別的資料, 就能保留類別的分佈特性, 但如果資料與高斯分佈相差太多, 或是類別間重疊性太高, 這樣可能就無法適用, 必須先經過處理資料或是修正演算法則。其方法精度高且最為被普遍應用, 但缺點是計算量大。

先就資料中之各種組類, 選擇部分像元為樣本, 用以訓練特徵參數, 均值向量為  $\mu_j$  及共變異矩陣  $\Sigma_j$ , 再依據資料中待分類之值, 計算其隸屬某一組類之概似值(likelihood), 再將其分類為具最大概似值之組類。設  $\{\omega_j\}_{c_j=1}$  為  $C$  種土地利用型之集合, 又設對某一土地利用型  $\omega_j$ , 其具有一已知的條件機率密度函數  $p(x | \omega_j)$ , 可以表示樣本  $x$  屬於  $\omega_j$  之概似值, 如果樣本  $x$  滿足(4-38)式條件時, 則最大概似法將該樣本  $x$  分類為  $\omega^*(x)$  組類。

$$\omega^*(x) = \arg \left[ \max_{1 \leq j \leq c} p(x | \omega_j) \right], \text{ ie., } p(x | \omega^*(x)) = \max_{1 \leq j \leq c} p(x | \omega_j) \quad (4-38)$$

當  $p(x | \omega_j)$  具有高斯分佈特性時, 其均值向量為  $\mu_j$ , 共變異矩陣為  $C_j$ , 則最大概似法則(4-38)即可改寫成高斯最大概似法分類法則(Gaussian ML classifier) (4-39)。

$$\omega^*(x) = \arg \left\{ \min_{1 \leq j \leq c} \left[ (x - \mu_j)^T C_j^{-1} (x - \mu_j) \right] \right\} \quad (4-39)$$

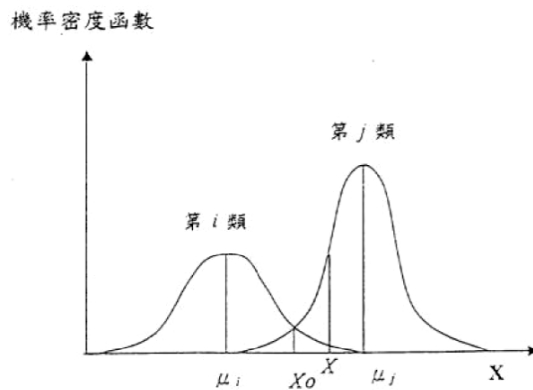


圖4-6 最大概似法判別說明圖(魏曉萍, 2003)

## 第四節 指標克利金分類法

### 一、指標克利金基本理論

指標克利金為非線性地理統計的方法，或可稱為無參數地理統計(Nonparametric Geostatistics)。Journel(1983)提出使用指標函數將資料轉換成二元分佈之型式，例如將小於某各分界值(cutoff value)的數值轉換成 1 其他則為 0，如式(4-40)；因此資料經轉換後具有分佈自由(Distribution free)之特性，並且可以容許資料上的偏歪，以解決自然現象中資料常存在之極端值問題，經簡單克利金法可估計各分級發生之條件機率，以中位數、最大可能機率與期望值的型態來表示隨機變數的估計值(Biekens and Burough, 1993)。

$$I(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z(x) \leq v_c \\ 0 & \text{if } Z(x) > v_c \end{cases} \quad (4-40)$$

其中  $V_c$  是一個分界值。

### 二、指標克利金如何用於分類

前述為指標克利金法之基本概念，要將之應用於分類必須將轉換函數式(4-40)稍做修改如下式(4-41)，若欲分類之類別為  $C_1 \sim C_n$  等  $n$  類，當某點屬於  $C_k$  類時， $I$  才為 1 否則為 0。而對於各類別各建構一個二元的特徵空間(共  $n$  個特徵空間)，再利用克利金法針對各類計算未知點可能為各類的機率後，如式(4-42)比較它可能發生各類的機率，並把它指定為發生機率最高的類別，如發生  $C_i$  類之機率大於發生其他各類之機率，則將他指定為  $C_i$  類。

$$\begin{aligned} I_j(x) &= 0, & \text{if } x \notin C_k \\ I_j(x) &= 1, & \text{if } x \in C_k \end{aligned} \quad (4-41)$$

$$\begin{aligned} x_o &\in C_i, \\ \text{if } P[N(x_o) \in C_i] &= \max\{P[N(x_o) \in C_1], \dots, P[N(x_o) \in C_n]\} \end{aligned} \quad (4-42)$$

故依此概念我們可以知道要應用指標克利金法進行分類有如下之步驟：

1. 選取  $n$  項特徵。
2. 選取訓練樣區。
3. 將訓練樣區之像元轉換到  $n$  維特徵空間上相對應的位置。
4. 分別針對所要分析之各類別逐一將特徵空間上已知點位轉換成二元值，若分為  $K$  類則可得到  $K$  個  $n$  維特徵空間之二元分佈圖。

5. 分別針對各類之特徵空間二元分佈圖，分析其半變異圖(考慮非等向性：可分為 0o、45o、90o、135o 四個方向考慮)，並套配出它適合的模式。
6. 分別推估 K 個 n 維特徵空間中未知點位發生某類之機率。
7. 整合 K 個特徵空間同一點位發生各類之機率，將此點位之類別指定到發生機率最高之類別。
8. 得到特徵空間中各點位之類別後，將地面欲推測點之各特徵對應到特徵空間上之位置，即可得到具此特徵之點位所應指定的類別。

其中二元化之詳細過程如示意圖(圖 4-7)，如果有 4 種類別發生，故針對每類二元化，即可得到 4 個不同類別之二維特徵空間二元圖，而在特徵空間二元化時，若某點為 1 類，則它發生 1 類之機率為 1，發生其他類別的機率則為 0，如圖 4-7 (a)~(d)分別為第一類到第四類其特徵空間經過二元化轉換之結果，但在兩類以上特徵空間交界邊緣區，可能會發生幾個不同類別之訓練樣本均對應到特徵空間中同一個點位的情況，即特徵空間中某一點位可能會發生不同類別，例如圖 4-7 (e)在訓練樣本中星號該點總共出現了 15 次，亦即有 15 個像元對應到特徵空間中此點，而 1、2、3、4 類分別發生了 6、3、4、2 次，所以轉換時，令此位置發生第 1 類之機率為 6/15，發生其他各類的機率同理可推得，第二類為 3/15、第三類為 4/15，而在此點位發生第四類的機率則是 2/15。故應該注意的是特徵空間二元化的過程在較複雜的區域可能並非為單純的 0 或 1 的二元值，而是代表該類發生機率之介於 0 與 1 之間的小數。

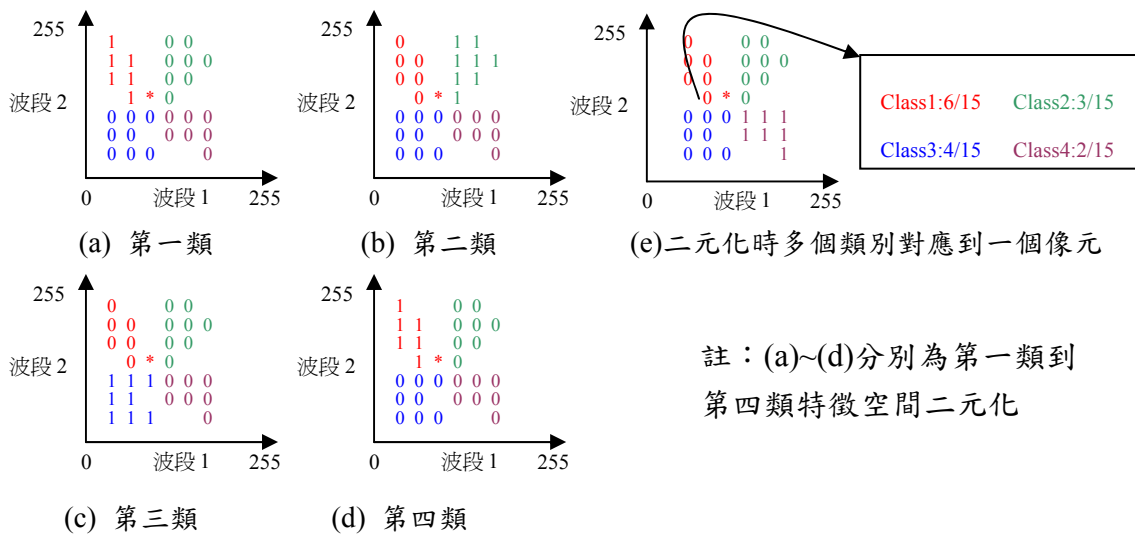


圖 4-7 特徵空間二元化

## 第五章、成果與討論

### 第一節 崩塌地分析成果

研究中所使用之影像分別為地震、颱風災害前後之四個重要時期：2002 年 7 月之影像則是歷經重大災害後，自然環境恢復之時期，也就是環境恢復力之結果；2004 年 12 月之影像，為歷經敏督利及艾莉風災後之情形；2006 年 7 月 29 日及 10 月 20 日，選擇這兩時期之原因為，在兩時期中歷經了桑美、寶發及珊珊颱風，而在 2006 年颱風中以珊珊颱風對雪霸國家公園園區之累積降雨量為最多，因此以珊珊颱風為影像時期之界線，前後選取兩張影像來做分析及比較。

本研究利用衛星影像上不同波段的反應值，將雪霸國家公園範圍內之有發生崩塌的地區分類出來，圖 5-1 為各時期之崩塌地成果圖。

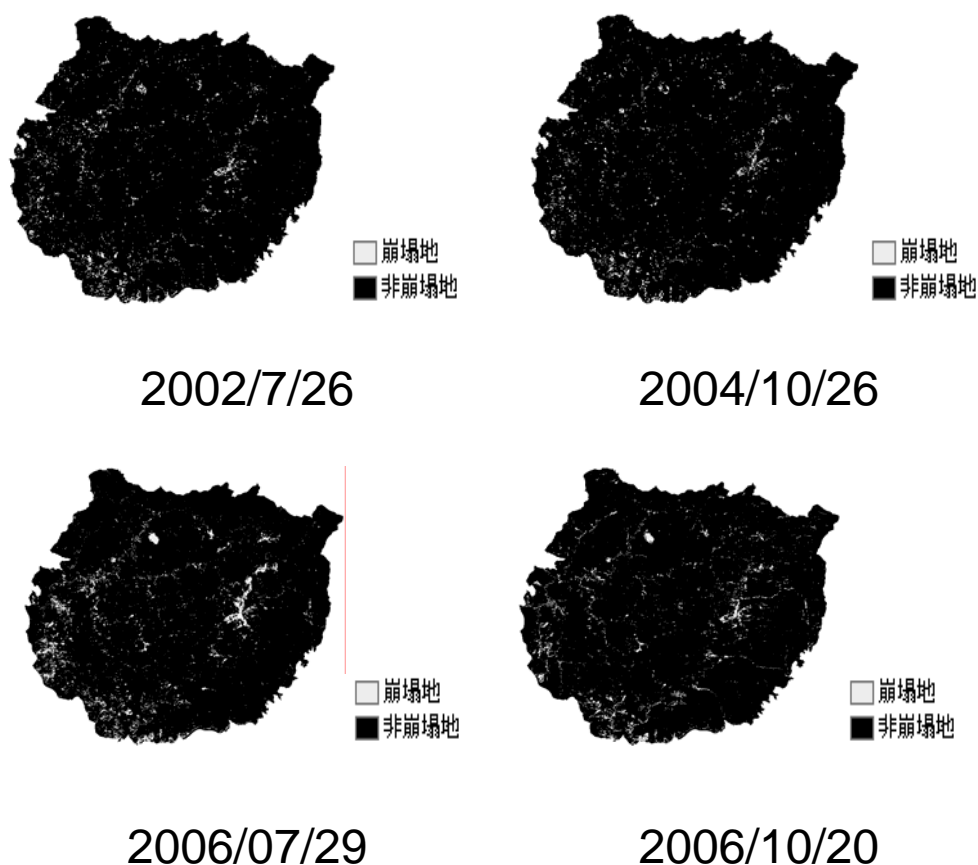


圖 5-1 各時期之崩塌地成果圖

表 5-1 各時期崩塌地面積比較表(單位：公頃)

集水區	2002/7/26	2004/10/26	2006/07/29	2006/10/20
大安溪	2099.78	1497.16	1142.47	1270.95
德基水庫	679.61	631.80	366.29	466.59
頭前溪	9.05	18.83	23.51	11.97
石門水庫	84.125	109.97	58.42	51.05
谷關調整池	708.97	643.125	515.64	588.69
大鹿林道東線子集水區	108.83	114.84	105.53	97.36
全區	3581.53	2900.875	2128.94	2417

在 2006 年 7 月月到 2006 年 10 月兩時期中，歷經了桑美、寶發及珊珊颱風，全區之崩塌面積相對也增加，尤其以大安溪集水區及德基水庫集水區為增加較多之區域，雖然在 2004 年 10 月到 2006 年 7 月之間崩塌面積有減少的情形，但由去年的山崩潛勢分析成果中提到，大安溪集水區及谷關集水區為山崩高潛感分佈較多的地區，相對的由於珊珊颱風對雪霸國家公園降雨量的影響，而誘發山崩高潛感地區的崩塌，使崩塌面積增加。

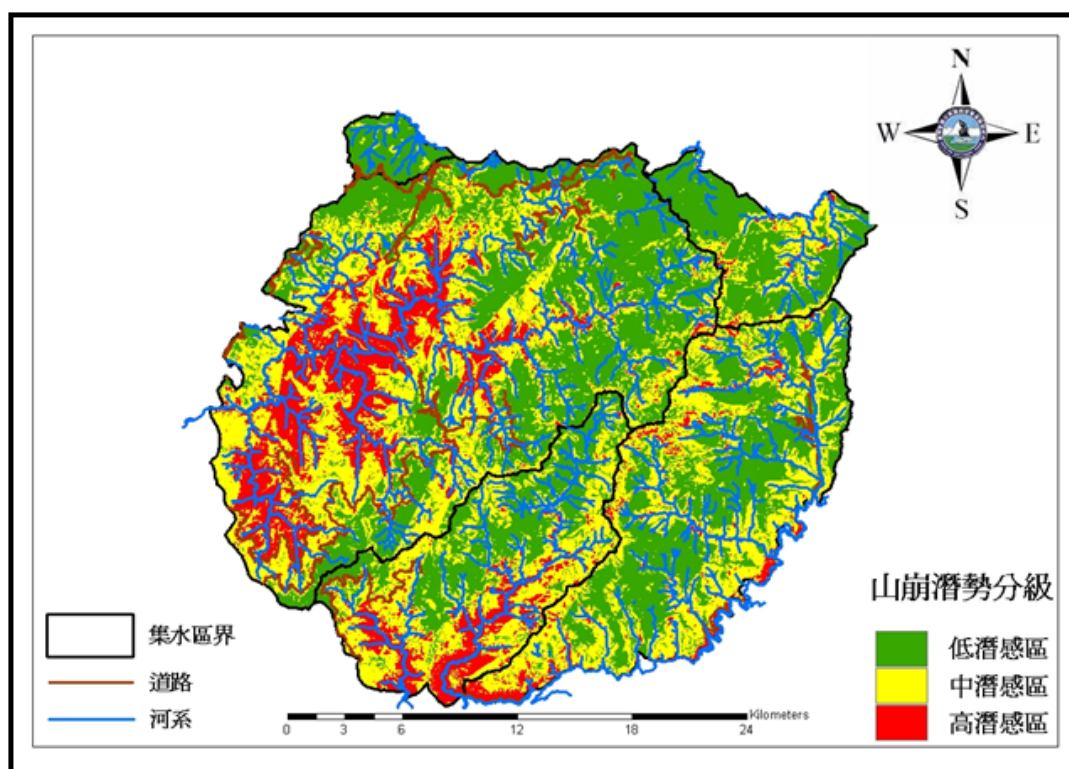


圖5-2 雪霸國家公園山崩潛勢圖

## 第二節 雨量因子分析成果

對於環境因子敏感性分析而言，降雨量不但會造成地區生態物種有極為巨大的影響性，對於環境設施也會造成極為嚴重的衝擊性，因此有必要針對降雨因子的時空分佈影響性，更進一步深入的討論與研究。

### 一、雨量站所屬流域概況

雪霸國家公園涵蓋的範圍甚廣，其所在位置大致分佈在新竹縣五峰鄉、尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉，現有中央氣象局點位共計 14 站雨量站的分布如圖 5-3 表 5-2 所示，本雨量站為自記式雨量站，此性質符合防災規劃與預警之用，因此本計畫首先評估中央氣象局點位雨量站之雨量空間變異特性。

表 5-2 雪霸國家公園附近雨量站位置分布（中央氣象局點位）

站名	X	Y	縣市	鄉鎮
觀霧	260753	2711397	苗栗縣	泰安鄉
馬都安	242931	2705026	苗栗縣	泰安鄉
梨山	275498	2683512	台中縣	和平鄉
白蘭	257258	2719363	新竹縣	五峰鄉
象鼻	243124	2696042	苗栗縣	泰安鄉
松安	247746	2699271	苗栗縣	泰安鄉
馬達拉	268468	2709774	苗栗縣	泰安鄉
鳳美	252645	2716684	苗栗縣	南庄鄉
合流山	255214	2694288	苗栗縣	泰安鄉
上谷關	251100	2677736	台中縣	和平鄉
稍來	249295	2684658	台中縣	和平鄉
雪嶺	252651	2687027	台中縣	和平鄉
翠巒	272208	2676584	南投縣	仁愛鄉
南山	288418	2703292	宜蘭縣	大同鄉

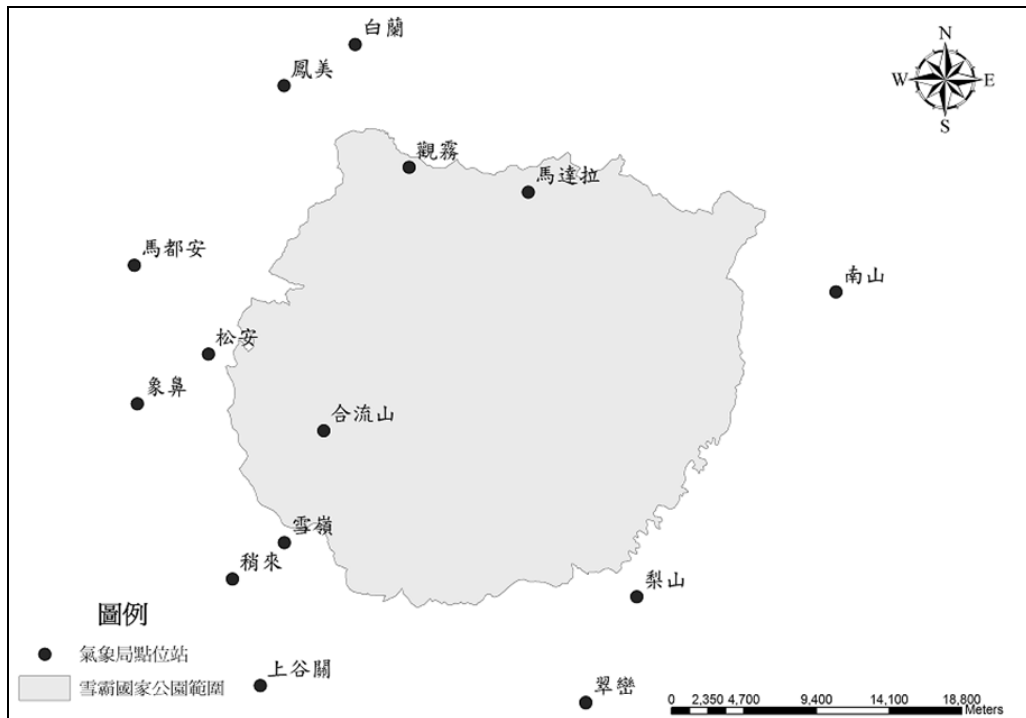


圖 5-3 雪霸國家公園範圍及其現有雨量站分布圖

## 二、雨量空間變異分析

由於降雨量之空間變異特性受到降雨型態、降雨強度及空間位置（地域）之影響。而目前區域降雨量之推估，常被使用的方法有算數平均法 (Arithmetical averaging method)、徐昇式多邊形法 (Thiessen polygons method)、等雨量線法 (Isohyetal method)、距離反比權重法 (Reciprocal-distance-weighting method)、反平方距離權重法 (Reciprocal square distance interpolation) 和克利金法 (Kriging method) 等空間統計方法；比較上述幾種方法，估計石門水庫於納莉颱風期間之降雨總量，發現各種空間統計方法所得到的結果相差無幾 (吳瑞賢等，2003)。Goovaerts (2000) 以線性迴歸的方法 (徐昇式多邊形法和反平方距離權重法) 與三種克利金法進行雨量推估，並比較各種方法間的差異性，發現克利金法得到較佳的結果。克利金法是由區域化變數理論發展而成，將雨量視為空間的變數，具有最佳線性無偏推估之特性 (Best Linear Unbiased Estimator, BLUE)；降雨在空間上具有不連續性的特性，而克利金的基本假設就是變數為任一位置之隨機變數 (許敏楓，1993)。雪霸國家公園內的地形變化豐富，要找影響臺灣降雨量的因子，並非一件容易的工作，而克利金法在雨量問題推估上有其良好之適應性，由於本文僅針對降雨事件其空間變異特性，故只考慮降雨強度及地域之影響效應，因此採用克利金法 (Kriging) 來推估降雨量，並將篩選後計算出來測站之年平均降雨量，計算出十二個月份以及乾季與濕季的降雨趨勢，在此乾季與濕季的定義如下：台灣的豐水期通常出現在每年五月到十月，也就是「濕季」，而枯水

期則在十一月開始到隔年的四月，稱作「乾季」。此部分本計畫分成二大部分來進行，可分為：降雨事件的選擇、半變異元的繪製。

**a. 降雨事件的選擇：**

本計畫首先收集中央氣象局點位雨量站之記錄值，時間為 1987 年到 2006 年共計 20 年之資料。由於本研究目的為分析雪霸國家公園內每月的降雨事件對於環境與生態的影響性（其中也包含林道設施的影響），因此本計畫事件資料的選擇是考慮以下二大條件部分成立後就選取資料，其成果如表 5-3 中所示，這二大條件如下：1. 各測站資料當中不得為 0mm，這種情況大部分是記錄錯誤，而不是當地無任何的降雨事件；2. 為表達月雨量的變異特性，本計畫是取該測站 20 年間整體平均值，進行空間雨量的推估。經整理後相信本研究所萃取之資料目前足以代表本地區空間雨量之特性，因此進行半變異元的繪製，經過資料整理之後如表 5-3 中所示，表 5-3 為實證區雨量站之記錄值之結果。

表 5-3 實證區雨量站經由門檻條件所萃取之結果（單位：mm）

站名	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	DRY	WET
觀霧	154.6	274.8	313.2	368.4	411.1	425.8	325.0	496.0	293.0	105.9	50.6	93.9	1200.0	2036.2
馬都安	58.0	134.7	154.9	211.8	233.6	369.3	313.3	484.7	126.7	48.9	23.4	43.4	593.3	1522.6
梨山	93.8	190.6	191.2	202.7	303.6	336.2	302.0	297.3	161.1	106.6	48.2	71.8	758.3	1451.5
白蘭	101.7	192.0	191.3	274.9	268.4	305.6	330.9	500.7	268.4	114.2	47.9	68.2	838.0	1774.7
象鼻	57.2	163.5	162.2	201.4	309.6	452.0	386.4	545.8	157.6	72.2	20.0	43.3	613.2	1856.1
松安	72.4	199.0	192.9	217.1	327.9	443.1	363.0	444.1	129.2	72.9	29.6	53.0	723.8	1713.5
馬達拉	101.9	229.7	244.8	243.4	295.9	274.8	314.4	545.4	264.9	126.5	41.9	66.2	879.6	1769.9
鳳美	83.9	160.6	184.5	225.9	293.5	339.3	348.2	579.6	230.9	111.7	32.4	58.4	707.4	1845.0
合流山	64.3	123.8	129.7	166.4	232.4	229.8	213.7	283.4	112.0	62.6	17.6	47.2	520.4	1094
上谷關	73.3	185.8	207.1	249.0	400.4	522.7	419.6	464.1	138.4	58.1	32.3	56.4	761.8	1924.3
稍來	89.3	223.5	219.0	300.4	490.1	665.1	502.6	579.3	202.1	85.4	39.5	70.3	893.1	2427.1
雪嶺	108.3	233.1	250.0	314.8	556.3	710.9	575.2	612.5	226.3	95.1	53.1	84.7	990.6	2668.0
翠巒	113.6	271.5	278.0	311.8	461.5	510.4	461.2	368.3	208.5	123.1	55.2	80.0	1045.1	2102.3
南山	94.1	159.3	124.1	122.0	173.7	173.1	287.2	327.4	308.5	266.0	121.4	142.0	721.2	1535.9



其選站曲線如圖 5-4 所示，而套配結果如表 5-4 所示，而最終成果如下式公式所示：

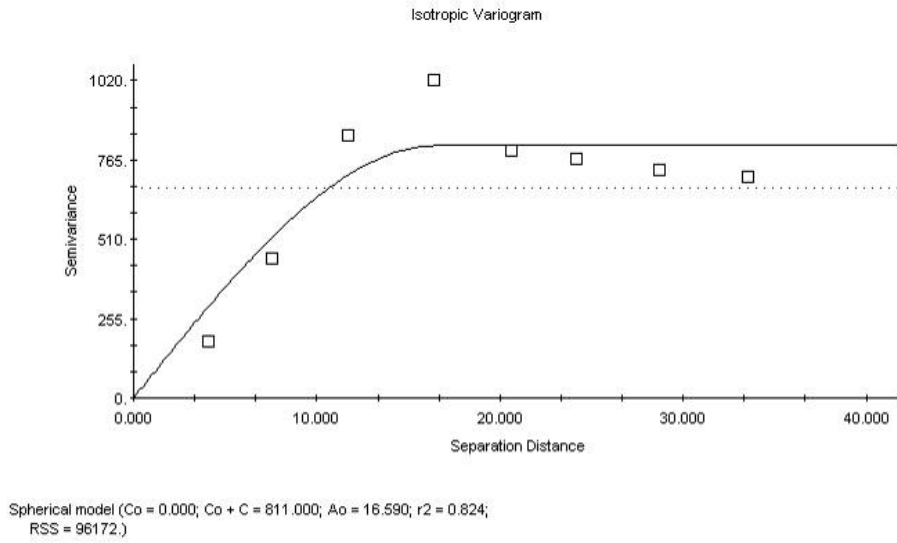


圖 5-4 半變異元圖（一月）

表 5-4 理論半變異元與試驗半變異元套配係數值

月份	套配模式	判定係數 $r^2$	誤差平方 RSS
一月	$\gamma(h) = 811 \times [1.5 \times (h/16.59) - 0.5 \times (h/16.59)^3]$	0.824	9.617E4
二月	$\gamma(h) = 2369 \times [1.5 \times (h/14.42) - 0.5 \times (h/14.42)^3]$	0.736	1.881E6
三月	$\gamma(h) = 3412 \times [1.5 \times (h/17.20) - 0.5 \times (h/17.20)^3]$	0.634	4.281E6
四月	$\gamma(h) = 4674 \times [1.5 \times (h/15.45) - 0.5 \times (h/15.45)^3]$	0.603	1.299E7
五月	$\gamma(h) = 5200 + 18360 \times [1.5 \times (h/81) - 0.5 \times (h/81)^3]$	0.415	1.054E8
六月	$\gamma(h) = 6600 + 45460 \times [1.5 \times (h/81) - 0.5 \times (h/81)^3]$	0.466	5.440E8
七月	$\gamma(h) = 9620 \times [1 - \exp(-h/3.63)]$	0.325	4.401E7
八月	$\gamma(h) = 12650 \times [1 - \exp(-h/6.92)]$	0.436	8.460E7
九月	$\gamma(h) = 4380 \times [1.5 \times (h/23.24) - 0.5 \times (h/23.24)^3]$	0.634	5.802E6
十月	$\gamma(h) = 3112 \times [1.5 \times (h/54.79) - 0.5 \times (h/54.79)^3]$	0.902	2.400E6
十一月	$\gamma(h) = 812.9 \times [1.5 \times (h/58.20) - 0.5 \times (h/58.20)^3]$	0.861	7.883E4
十二月	$\gamma(h) = 920.9 \times [1.5 \times (h/65.51) - 0.5 \times (h/65.51)^3]$	0.783	7.904E4
乾季	$\gamma(h) = 41430 \times [1.5 \times (h/13.82) - 0.5 \times (h/13.82)^3]$	0.729	5.410E8
濕季	$\gamma(h) = 183100 \times [1.5 \times (h/11.83) - 0.5 \times (h/11.83)^3]$	0.317	4.061E10

由表 5-4 中可以觀察得知，明顯的來說乾季當中雨量的變異程度較小，因此透過空間統計的方式，就能容易的掌握空間雨量的變異情形，整體套配的結果也相當的良好。另一方面，在本地區濕季時的雨量變化就非常的劇烈，在小的空間尺度當中就有極微巨大的變異情形，這種情況將會容易造成地區災害發生，或者是環境設施維護不易之困擾。而在雨量空間變異圖層方面，本計畫使用以 14 個雨量站，利用克利金法推估雨量，可得到十二個月份之月平均降雨量與乾季/ 濕季的空間圖層，如圖 5-5 (月平均降雨量) 至圖 5-18 (乾季/ 濕季) 所示。由於克利金法為空間推估方法，故測站的分布位置會影響降雨量的推估結果，故在選擇雨量測站時，雨量資料的篩選顯得格外重要。在推得的雨量圖中，雪霸國家公園內最高降雨量皆出現在八月的馬達拉站，平均月雨量為 545.4mm，而園區內最低雨量的地區在 11 月的合流山站，平均月雨量僅為 17.6mm。由於影響臺灣降雨最大的因素應為東北季風與西南氣流，然而在這麼近的距離內有如此巨大的變異，可見地形效益將會是影響降雨的一個非常重要的因素。另一方面，園區內西北方與東北方之地區，在進入 6、7 與 8 月的時候，該地區的雨量的時空變化極大，地區降月平均降雨量都有超過 350mm 左右，如此劇量的降雨將會容易造成園區內，特別是林道設施的損壞，因此在設施規劃上與林道管理上應考量降雨因子的變異性，而且根據資料分析顯示，馬達拉溪的地區，是目前園區內降雨累積量與降雨強度的集中地區，因此該地區之水工設計與水工設施，應將考慮上述問題並反應在規劃設計當中。最後在乾季/濕季的問題表達方面，由於乾季/濕季的分野，代表環境干擾分析問題的呈現，而在乾季時園區內的最低的地區是合流山，總累積平均降雨量為 520.4mm，而最高地區則是觀霧，其總累積平均降雨量為 1200.0mm，可見在乾季時兩個地區的降雨倍數竟相差兩倍之多，相信對於生態模式與植生分佈都會有一定程度的影響。而在濕季時園區內的最低的地區也是合流山，總累積平均降雨量為 1094.4mm，而最高地區也是觀霧，其總累積平均降雨量為 2036.2mm，可見在濕季時地區降雨模式並無改變，也是呈現北高南低的現象，降雨多集中在北部地區。

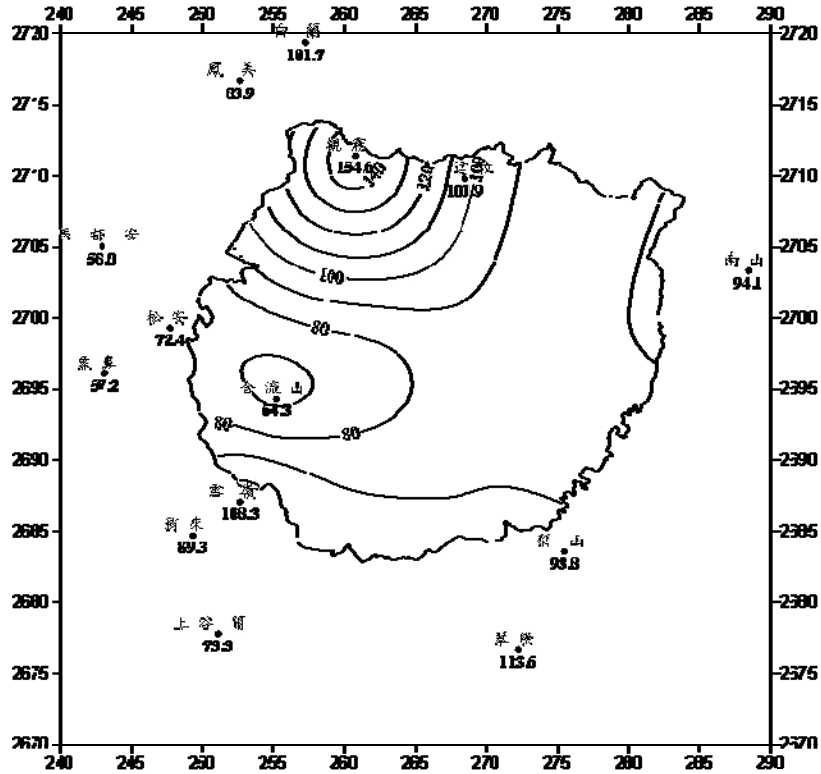


圖 5-5 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (一月：單位：mm)

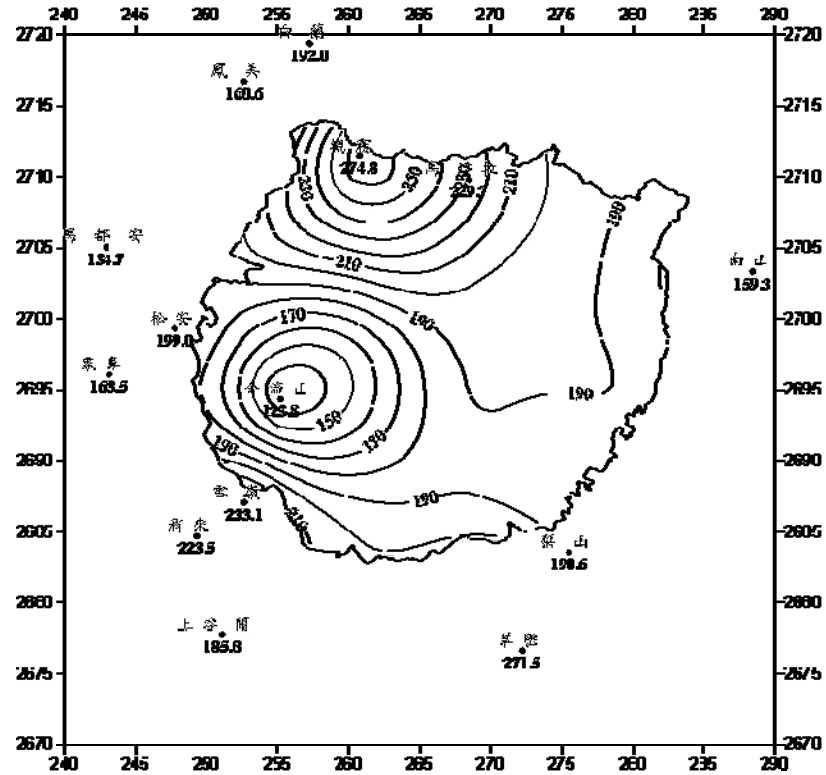


圖 5-6 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (二月：單位：mm)

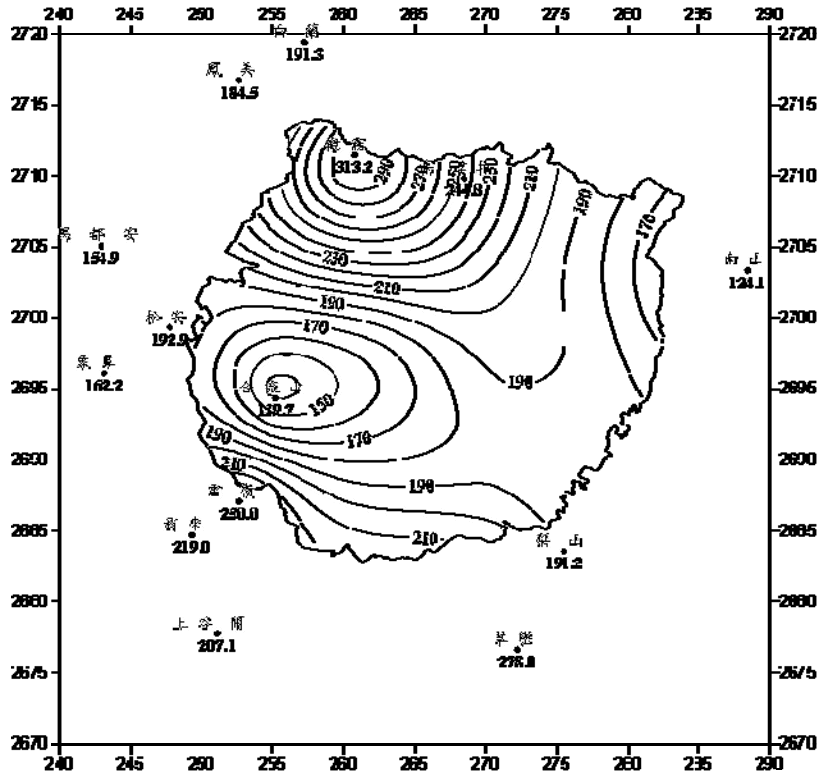


圖 5-7 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (三月：單位：mm)

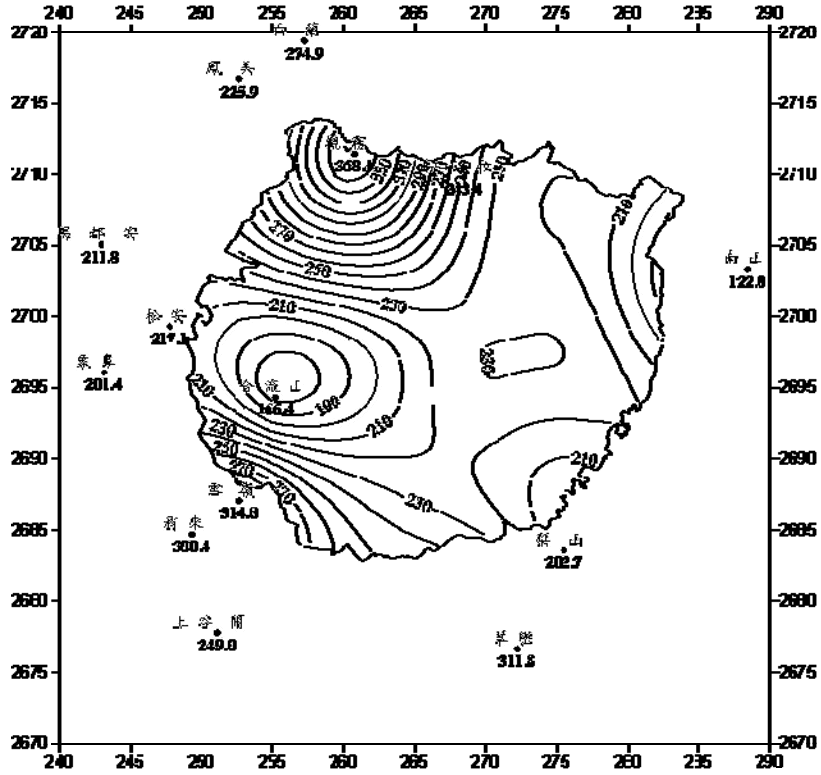


圖 5-8 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (四月：單位：mm)

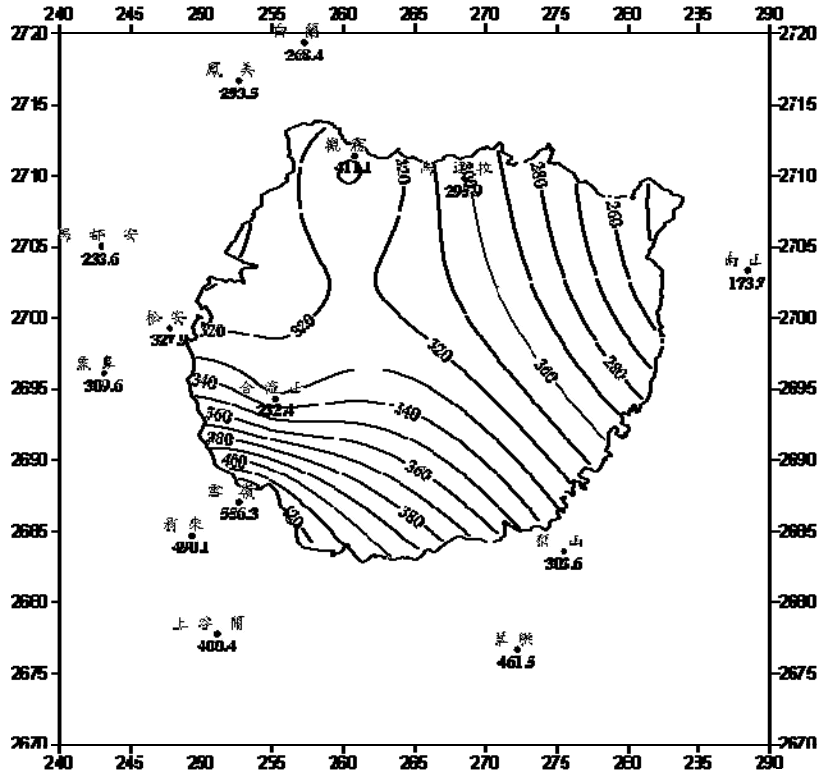


圖 5-9 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (五月：單位：mm)

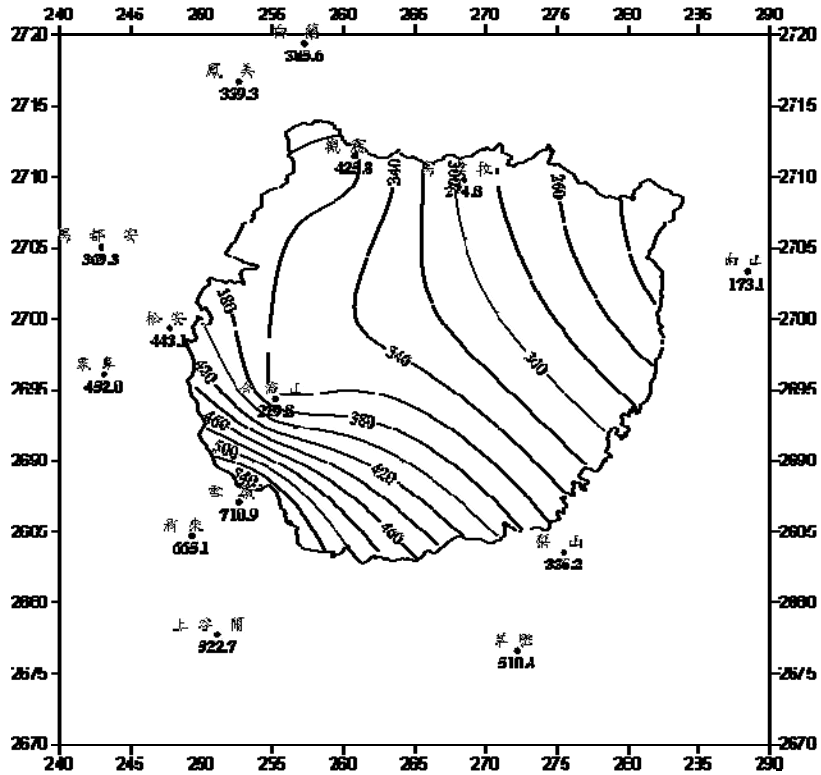


圖 5-10 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (六月：單位：mm)

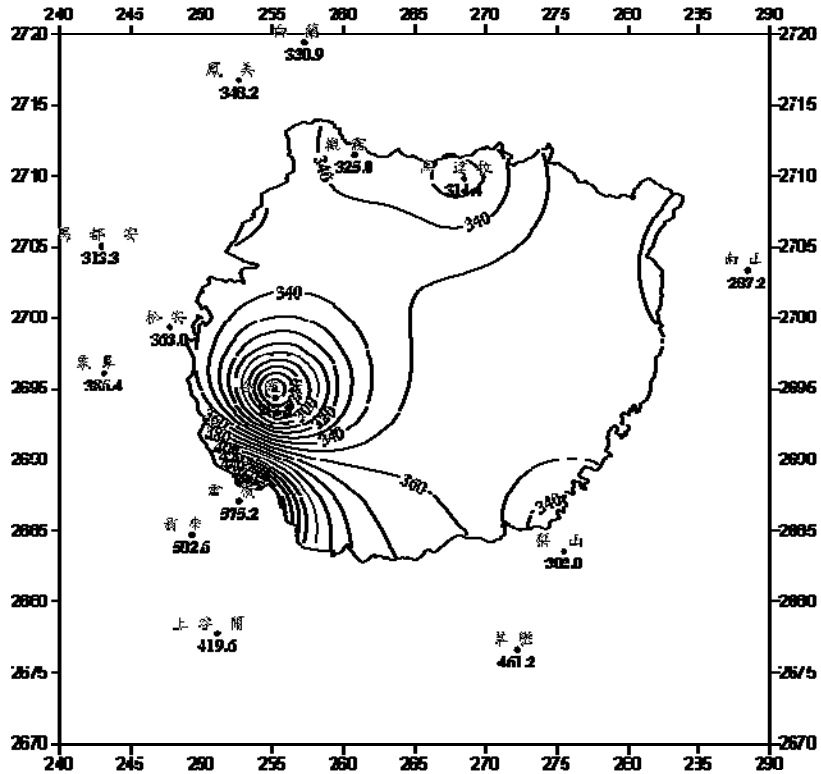


圖 5-11 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (七月：單位：mm)

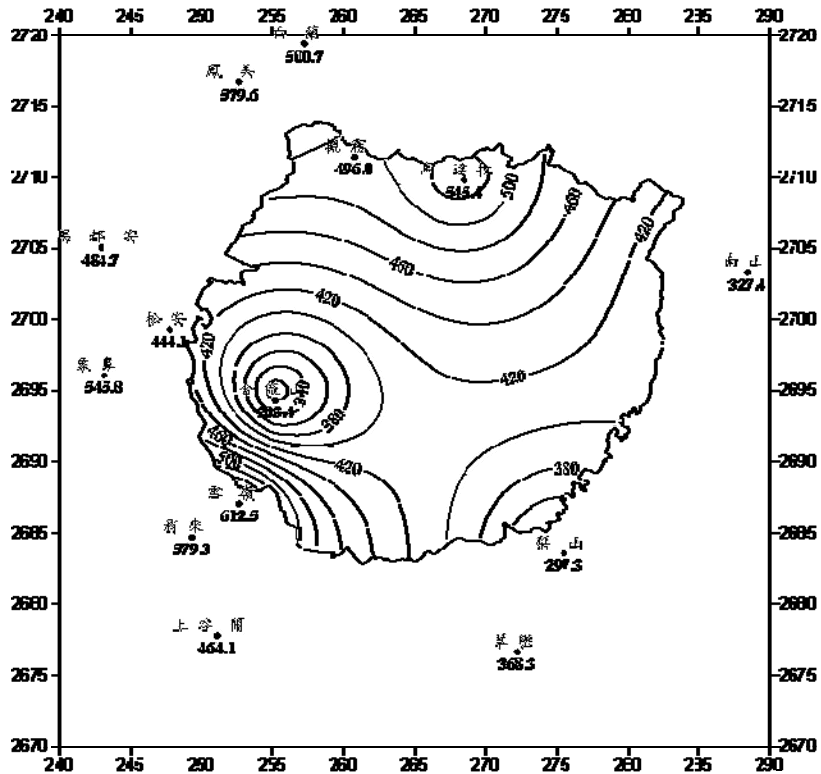


圖 5-12 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖 (八月：單位：mm)

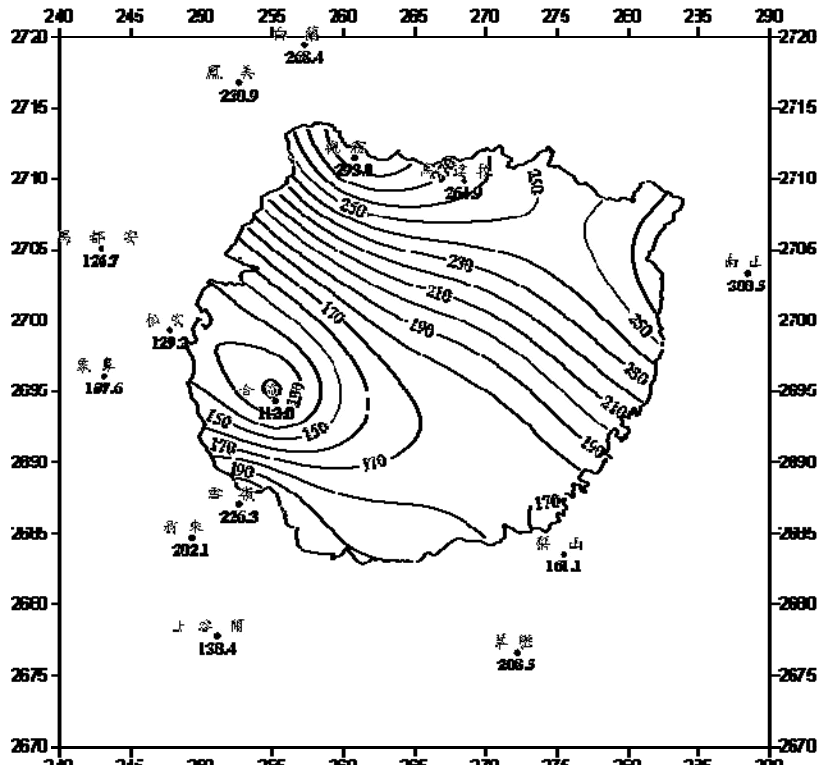


圖 5-13 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖（九月：單位：mm）

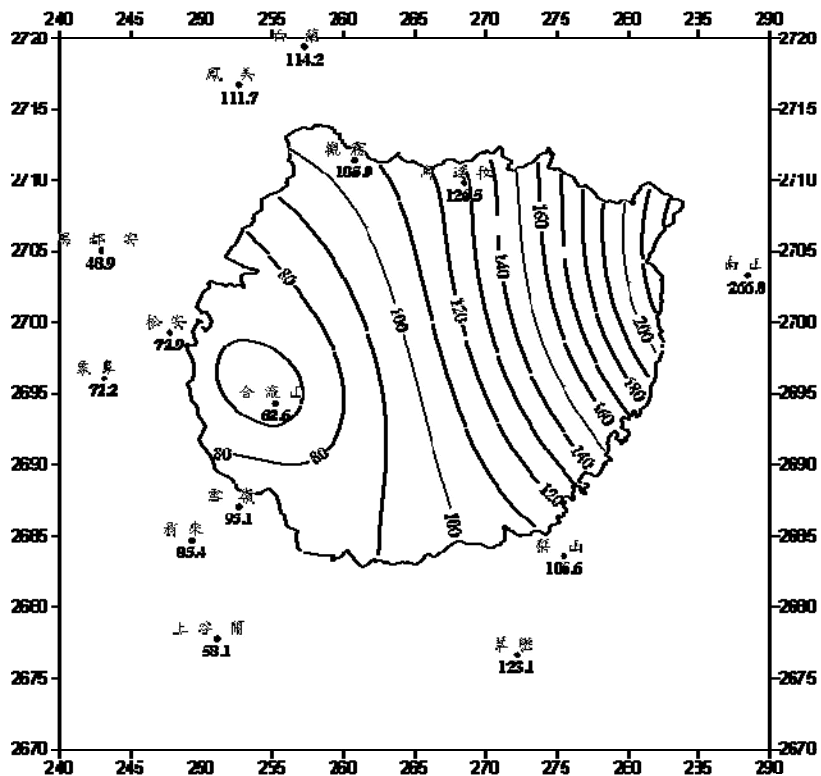


圖 5-14 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖（十月：單位：mm）

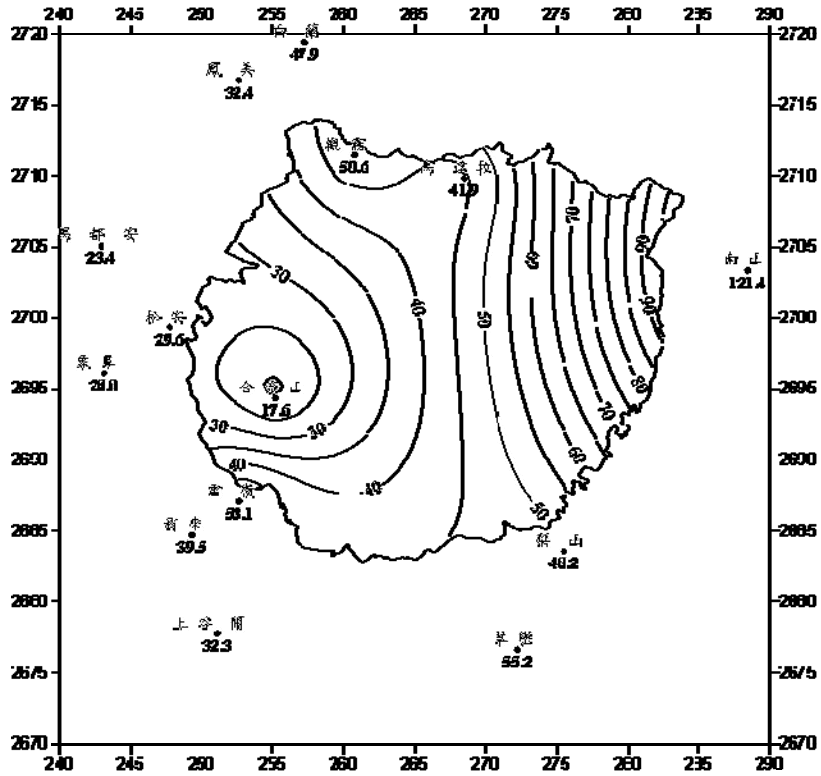


圖 5-15 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖（十一月：單位：mm）

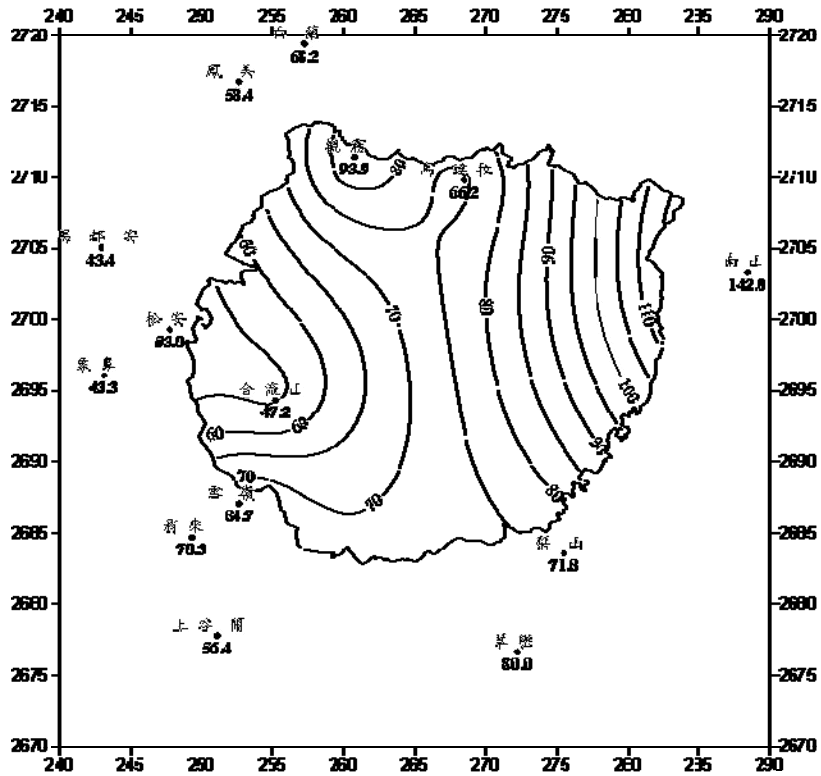


圖 5-16 雪霸國家公園月平均降雨量等值圖（十二月：單位：mm）



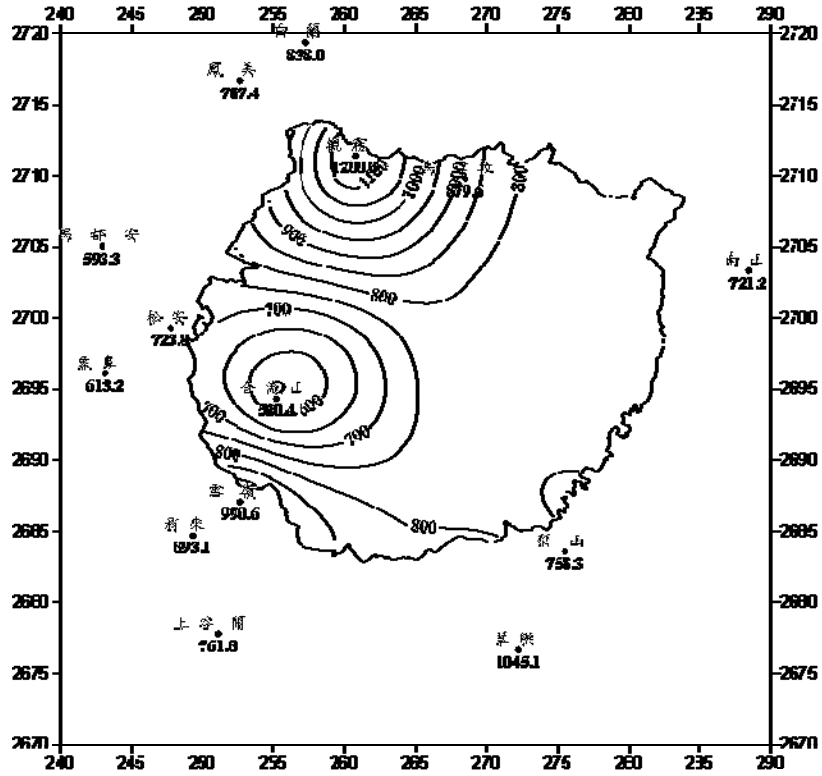


圖 5-17 雪霸國家公園乾季平均降雨量等值圖 (單位: mm)

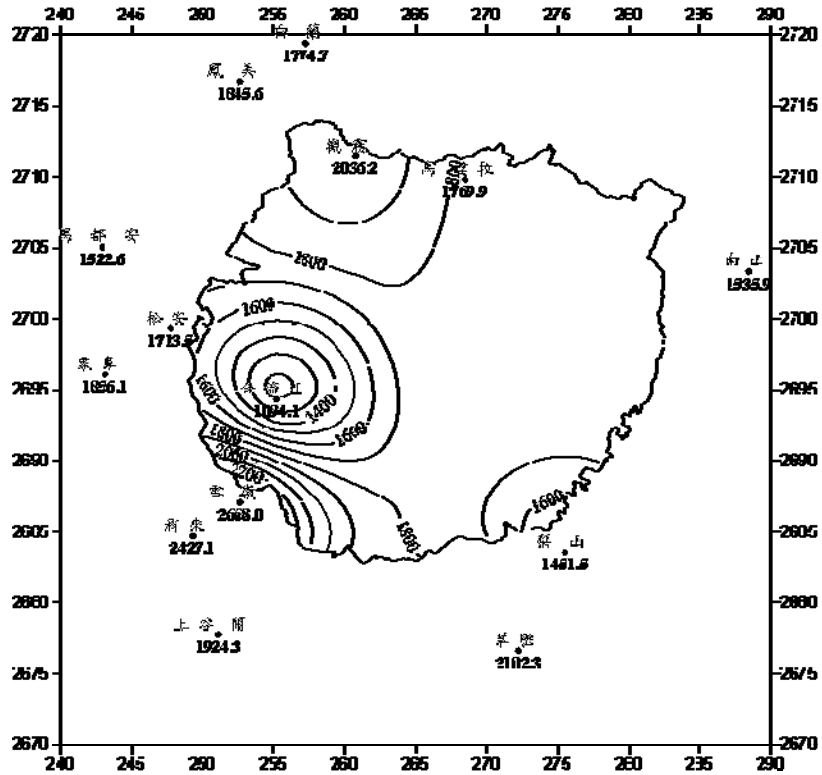


圖 5-18 雪霸國家公園濕季平均降雨量等值圖 (單位: mm)

### 第三節 林道敏感性分級成果

#### 一、林道路段等級評估分析

利用基本 GIS 圖層之道路圖，將林道以 100 公尺為一個單位，利用各因子之 GIS 圖層，進行各因子的等級評估，將各路段之各因子等級評估，利用主成分分析、最大概似法及指標克利金法得出各路段之崩塌機率，進而得出林道敏感性程度。

#### (一) 路段劃分

##### 1. 大鹿林道東線

主要劃分範圍以大鹿林道東線之觀霧工作站為起點，大壩尖山登山口後一公里處為終點，路線距離長度為 20 公里，劃分路段為 200 個單位。

##### 2. 司馬限林道

主要劃分範圍以雪霸國家公園界內之司馬限林道為主，以進入雪霸國家公園界內之路段，而東流水山至東洗水山一段長約 2.8 公里為原住民保留地內(國家公園區外)，在本區內之實際長度約 10 公里，經雪見管理處，至北科山為終點，劃分路段為 100 個單位。

#### (二) 因子選取

在文獻中可知，造成山崩發生之影響因子很多，由於林道災害發生的地區主要是於鄰近林道之區位，而許多因子為大尺度資料，而林道需要之因子資料為小尺度為主，故有些因子例如土地利用、土壤厚度等因子，對本研究中林道敏感性之區分較無明顯的影響，因此本研究歸納整理分為地形因子：林道之上坡度及下坡度、地質因子、區位因子：2006/07/29、2006/10/20 兩時期之植生反應、距河系距離，環境因子：乾季平均降雨量分佈、崩塌地距離及面積等九個因子進行因子主成分分析。

#### (三) 等級評估定義

1. 上坡度、下坡度：以一張用以坡度作出的分級圖，主要是第一級評估為 1，第二級為 2，第三級為 3，第四級為 4，第五級為 5，第六級為 6，第七級為 7，然後依照分出來的網格各級中的面積比例去做計算來得出各路段的分級。

表5-5 坡度分級表

分級	坡度
一	<5% (<2.86°)
二	5%~<15% (2.86°~8.53°)
三	15%~<30% (8.53°~16.70°)
四	30%~<40% (16.70°~21.80°)
五	40%~<55% (21.80°~28.81°)
六	55%~<100% (28.81°~45°)
七	>100% (>45°)

2. 地質：是以雪霸國家公園道路沿線工程地質及地形景觀調查中的大鹿林道東線的地質調查，其中最主要的是第一項為硬頁岩或板岩，第二項為崩積層，第三項為植被、無露頭，並將現況大鹿林道東線中崩塌地的地質，其中崩塌地最多的地質是崩積層，次多是硬頁岩或板岩，再來是植被、無露頭，因此將崩積層之等級定為 7，硬頁岩或板岩之等級定為 4，植被、無露頭之等級定為 1，再依各線段中所佔之比例去計算等級。
3. 距河系距離：則以距離遠近及有無經過道路來做分級，以林道左右各 300 公尺的寬度作評估範圍，因此超過三百公尺之等級定為 1，距離到 300 到 240 公尺之等級定為 2，距離 240 到 180 公尺之等級定為 3，距離 180 到 120 公尺之等級定為 4，距離 120 到 60 公尺之等級定為 5，距離 60 公尺以內之等級定為 6，直接穿越道路之等級定為 7。
4. 植生反應：利用衛星影像之 NDVI 值，以林道左右各 100 公尺的寬度作評估範圍，將 2006 年 7 月 29 日及 2006 年 10 月 20 日兩時期之影像分析出之 NDVI 值，各分為七個等級，來評估林到周圍之植生情況。
5. 崩塌地距離：不考慮崩塌地之大小，只要是崩塌地就列入評估，因此超過三百公尺之等級定為 1，距離到 300 到 240 公尺之等級定為 2，距離 240 到 180 公尺之等級定為 3，距離 180 到 120 公尺之等級定為 4，距離 120 到 60 公尺之等級定為 5，距離 60 公尺以內之等級定為 6，在道路上及在道路邊上之等級定為 7。
6. 崩塌地面積：不考慮崩塌地之距離，在道路周圍六百公尺內，1000 平方公尺以下之崩塌地等級定為 1，1900 平方公尺以下之崩塌地等級定為 2，2800 平方公尺以下之崩塌地等級定為 3，3700 平方公尺以下之崩塌地等級定為 4，4600 平方公尺以下之崩塌地等級定為 5，5500 平方公尺

以下之崩塌地等級定為 6，5500 平方公尺以上之崩塌地等級定為 7。

7. 平均降雨量：由雨量線分布之情況來做等級評估，由林道所經範圍之雨量分布情形，在最高降雨量及最低降雨量間分成七個等級，評估林道之平均降雨量程度。

#### (四) 分析方法及程序

分析方法為主成分分析、最大概似法及指標克利金法，操作步驟如下：

##### 1. 主成分分析

本研究將林道進行因子等級評估分析後，並加入林道現有崩塌之特性，利用主成份分析縮減為一群具有內在相關的多變量資料，並萃取影響崩塌的主要成分，將其特徵值排序，使最前面少數幾個成份保留最多原始資料之總變方，而這少數幾個主成份亦可用來解釋及說明原始資料的綜合特性。

##### 2. 最大概似法

將主成分分析之結果、已知崩塌處為樣本，用以訓練特徵參數，將主成分分析結果分類為崩塌及不易崩塌兩種群集。

##### 3. 指標克利金法

在最大概似法分類出研究中所需的崩塌及非崩塌的特性，但因最大概似法所得到為非真正的分類機率，且容易有誤判的情形發生，而指標克利金分類法利用最大概似分類出群集之特性，將崩塌及非崩塌之機率使其絕對正確，並加強群集之特性，因此本研究利用指標克利金分類法將最大概似分類之結果加以修正，並得出最終之崩塌機率。

## 二、大鹿林道東線分級成果

### (一)主成分分析結果

將大鹿林道東線各路段等級評估後，利用主成分分析得出下列結果，並由下表可知 Y1 到 Y4 成分佔有比例較高，因此將針對 Y1 到 Y4 討論分析，在 Y1 成分中，地質因子跟降雨量呈現高度相關，可解釋為當地降雨可能誘發地質產生崩塌，但如果將兩個因子分開來看對崩塌並無直接的關連性；在 Y2 成分中，表現相關性較高的因子為距河系距離及與崩塌地的距離，但河系距離是以距離越近是越容易受到河系沖蝕影響，而從表中的係數來看為正相關，與事實不符，而崩塌地距離因子為負相關，但並不代表現有崩塌地距離林道很遠的地方，林道將不發生崩塌，故 Y2 成分將不列入之後的分析中；在 Y3 成分中，上下坡度的係數值皆高出其他正因子許多，因此可說是坡度越高，越容易發生崩塌之特性，而植生指標中，也可分析出植生指標越高，越不容易發生崩塌，因此 Y3 成分中因子可視為崩塌的正因子，因此將此成分列入之後的分析材料；在 Y4 成分中，可看出地質因子為正相關，河系距離、崩塌地距離及面積為負相關，為崩塌的反因子，因此也將此成分列入之後的分析材料。經上述討論與分析後，本研究將以 Y3 及 Y4 成分為最大概似法用以分類崩塌路段之依據。

表 5-6 大鹿林道東線主成分分析因子負荷量表

因子	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
累積機率	26.2%	47.5%	62.4%	76%	86.7%	93.2%	97.4%	99.6%	100%
上坡度	-0.1425	-0.1072	0.7229	-0.1159	0.2561	0.5203	-0.303	-0.063	0.0033
下坡度	0.2287	-0.5246	0.6125	0.0902	-0.1701	0.0953	0.496	-0.072	-0.0042
地質	0.7488	-0.0061	-0.0087	0.5303	0.387	0.0206	-0.009	0.0877	-0.0052
河系距離	0.2354	0.7672	0.1817	-0.4275	0.3348	-0.071	0.148	-0.033	0.0043
07/29 植生	-0.2331	-0.1381	-0.7184	0.0918	0.3489	0.3947	0.1911	-0.202	0.2178
10/20 植生	-0.2969	0.0606	-0.7104	0.0792	0.2785	0.4489	0.1835	-0.207	-0.204
崩塌地距離	0.1974	-0.756	-0.074	-0.4232	0.3786	-0.23	-0.063	-0.067	-0.0118
崩塌地面積	0.4517	-0.2196	-0.313	-0.5914	-0.1426	0.3956	0.0909	0.3391	0.0004
降雨量	0.8829	0.0825	-0.1045	-0.1252	-0.3732	0.06	-0.113	-0.177	0.0024

### (二)最大概似法分類結果

大鹿林道東線中，本研究已知 23 處有崩塌路段之特性，因此將所有路段分為已知崩塌及待判定兩個分群，並利用主成分分析結果中之 Y 成份得點(附錄二)，將 23 處崩塌處做為訓練樣本，利用最大概似法在待判定的 177 個路段中，分類出與 23 處崩塌相對的可能不崩塌的路段，利用已知 23 處崩塌的知識，對待判定的路段計算出崩塌機率 PA 及非崩塌機率 PB，I 為 PB-PA，如  $I > 0$ ，則該路段可能不崩塌，因此將各路段之機率差由大到小排序，選出前 23 個路段為不崩塌之路段，因而得出崩塌路段及不崩塌的路段皆為 23 個相對應的指標知識，進而將分類出來之特定，利用指標克利金分類法得出大鹿林道東線 200 個路段的崩塌機率。

### (三)指標克利金分類

在主成分分析中已知可利用 Y3 及 Y4 之分析結果及最大概似法之分類結果來進行指標克利金分類，且因為利用指標克利金分類可無誤判以及可以得到真正的機率，將最大概似法分類出的 23 處崩塌地訓練樣區及 23 處不崩塌的訓練樣區，做為知識庫，對大鹿林道東線 154 個路段作分類，其分類之結果是將 200 個路段計算出分類到會崩塌的機率 P1 及不會崩塌的機率 P2，L 為 P1 與 P2 之機率差，即  $L = P1 - P2$ ，而 L 的值界於 -1 至 1 之間，-1 為可能較穩定的路段，1 為高崩塌發生路段，最後將指標克利金分類出各路段的機率差進行分級動作，在機率差中之數值除 1 及 -1 為訓練樣區之路段及現有崩塌路段之機率差，其他路段之機率差主要分布在 -0.338 至 0.68 之間，因分析結果為路段崩塌發生機率，機率差為 1 及 -1 之路段因為訓練樣區，在崩塌發生的情形上只有是與不是，因此將 -0.338 至 0.68 之間分為三個等級，主要是 -0.338 至 0.001 之間為低崩塌機率，0.001 至 0.34 之間為中崩塌機率，0.34 至 0.68 之間為高崩塌機率。

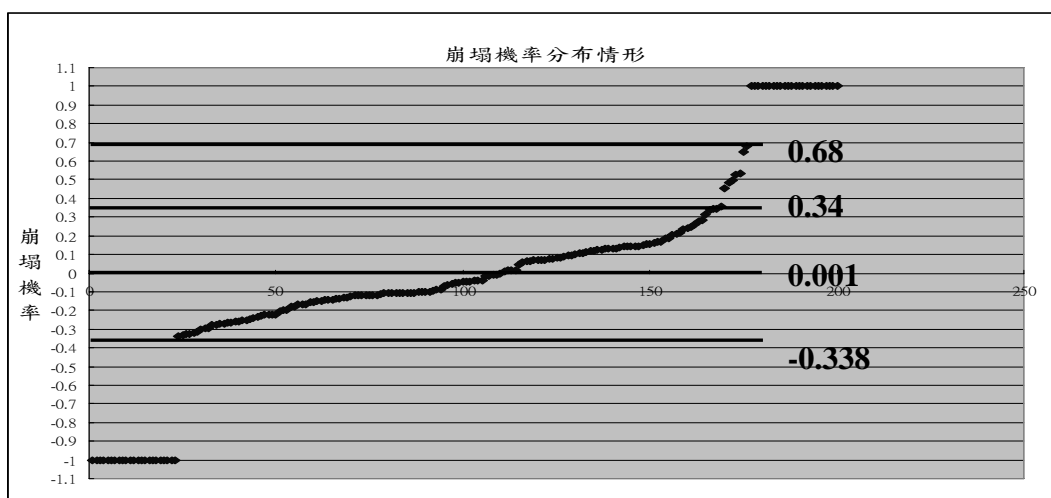


圖 5-19 大鹿林道東線崩塌機率分布圖

#### (四)大鹿林道東線敏感區位與因子之相互關係

在主成分分析結果中，對崩塌相關度較高的因子有上坡度、下坡度、地質因子、降雨量，以下針對各因子與大鹿林道東線敏感區位分析之間的相互關係。

##### 1. 上、下坡度

圖 5-19 中顏色較淡之地區為坡度較高的地區，在圖中可看出崩塌機率較高的路段，其坡度相對也較高，幾乎為四級坡以上，而在坡度分級中的可建設設施的規定中，四級坡以上已不適合做任何土地利用及使用，相對的坡度越高對林道敏感性也就越高，但大鹿林道東線為進入大霸尖山登山口主要道路，建議能夠加強對林道上、下坡度較高的路段對邊坡及路基的維護，使林道設施在坡度較高的地區降低其敏感性。

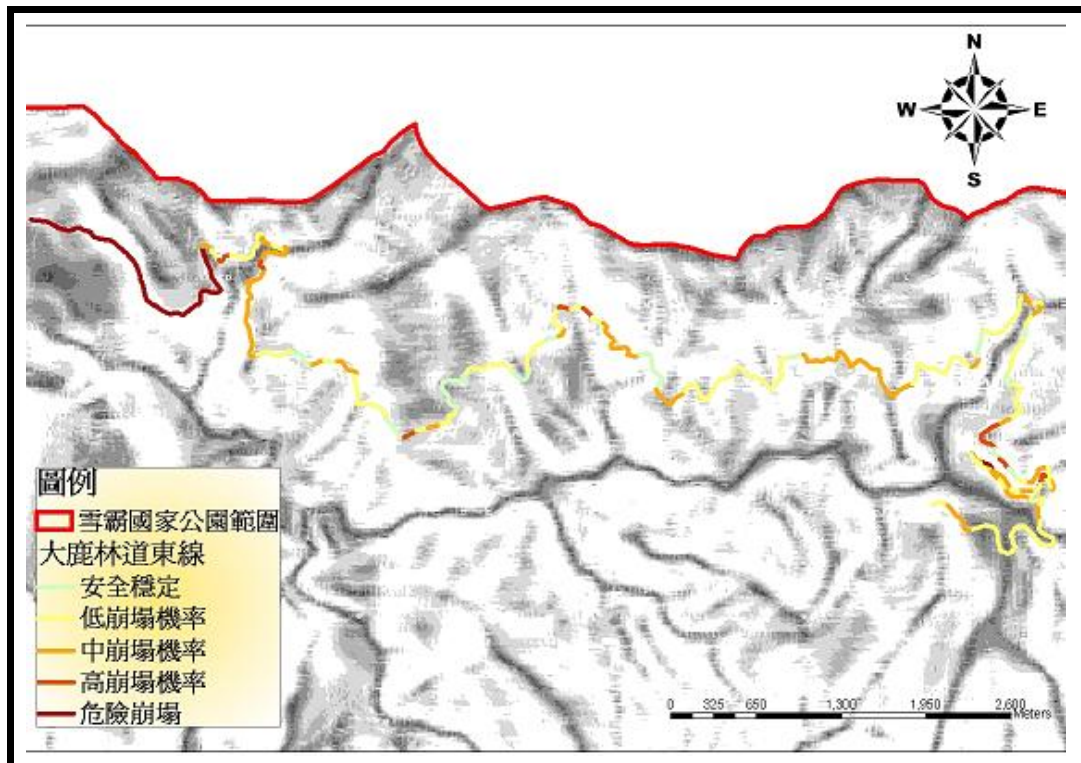


圖 5-20 坡度與大鹿林道東線崩塌潛勢疊圖

##### 2. 地質因子與降雨量

由主成分分析可知，在 Y1 成分中地質與降雨為高度相關的因子，且在降雨空間分佈分析中，本地區在進入濕季時，空間降雨的變異情形很大，勢必誘發地質因子而產生崩塌，造成地區敏感性提高，而地質因子中的地質屬性分別有植被及無露頭、硬頁岩及板岩與崩積層，而其中屬崩積層為最不穩定的地質型態，表 5-9 中大鹿林道東線現有的崩塌處的地質也以崩積層為多，且降雨量對崩積層更是加速崩塌的原因之一，加上濕季時降雨的變異情形很大，在對地質容易誘發崩塌的區位，勢必增加其敏感性，因

此在林道的規劃設計及維護管理上需考量降雨因子的變異性及易受降雨影響的地質型態。

### (五)大鹿林道東線敏感區位

由大鹿林道東線路段中林道敏感因子之多變量分析結果，將各個路段之崩塌機率匯入大鹿林道東線中，得到大鹿林道東線之崩塌潛勢圖(圖 5-22)，圖中危險崩塌區有 24 個路段，高崩塌機率區有 10 個路段，中崩塌機率區有 56 個路段，低崩塌機率區有 87 個路段，安全穩定區有 23 個路段，而高、危險路段共有 34 個路段，因此在易崩塌路段之設施規劃與維護管理上需考慮其敏感性，並在劃設高、危險路段設置監護機制，並對這些路段進行原本林道設施及設計上之評估，將其不良或不適設計之林道設施加以改善。

#### 高崩塌機率及危險路段說明

危險路段地點： 0K+000~2K+300、17K+300~17K+400

高崩塌機率地點：2K+400~2K+500、3K+400~3K+500、5K+900~6K+000、  
8K+200~8K+300、8K+400~8K+500、15K+300~15K+600  
15K+700~15K+800、 16K+500~16K+600

危險路段性質：由各路段等級評估資料來看，危險崩塌路段所在位置之坡度相對其他地區較高，在地質方面也以崩積層為多，且路段周圍之崩塌地面積及距離，相對其他路段其面積較大、距離較近，再加上此危險路段大多靠近觀霧地區，在降雨空間分析中提到，不論在乾、濕季，降雨量最高的地區皆為觀霧，鉅量的降雨將會容易造成園區內，特別是林道設施的損害，且大鹿林道路段於馬達拉溪流域內，有許多路段接近河系甚至有河流經過，因此可能會造成這些路段會有陡坡、邊坡不穩定、土石鬆動、坡面裸露、沖蝕溝、路基鬆軟等災害發生。

防範對策：平時做好維護穩定邊坡植生，護坡控制坡面，設截水溝排水邊溝及橫向排水溝堵塞物清除等避免雨水溢流而沖刷路基造成坍方破壞，並加強改善路基的穩定及維修保護。而大鹿林道東線為前往大壩尖山登山口的主要通行道路，因為現今因道路坍方過多以致無法通行，未來如道路修繕完畢可對外開放，建議在高崩塌機率及危險的路段，能夠設置警告標示以及坡地滑動之監測儀器，來提醒遊客及園區人員，能盡快通過危險的路段。



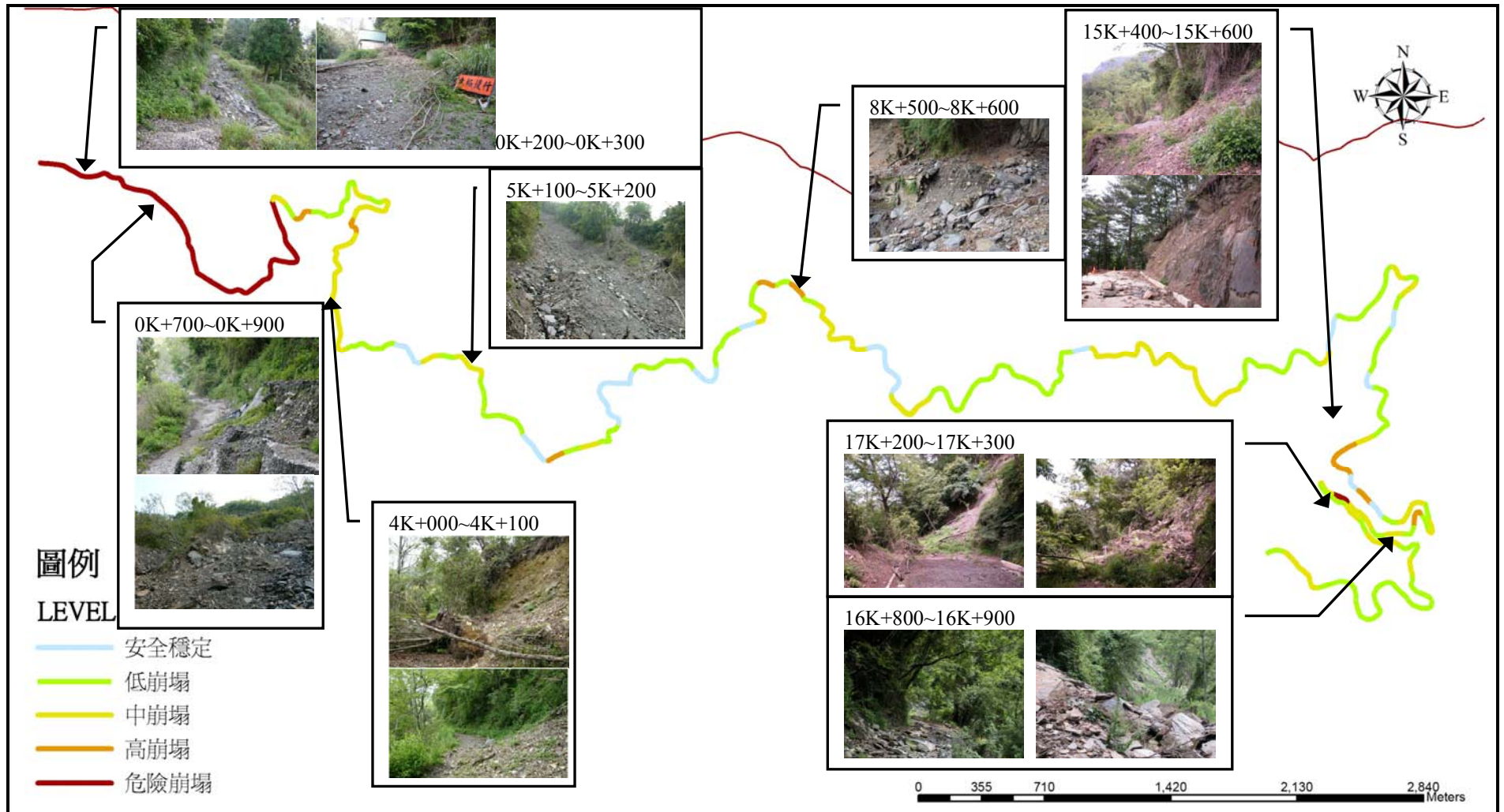


圖 5-21 大鹿林道東線崩塌潛勢及崩塌情形示意圖

### 三、司馬限林道分級成果

#### (一)主成分分析結果

將司馬限林道路段等級評估表之內容，利用主成分分析得出下列結果，並由下表可知 Y1 到 Y3 成分佔有比例較高，因此將針對 Y1 到 Y3 討論分析。

在 Y1 成分中，較高相關的因子有地質、崩塌地距離、面積及降雨量，而地質為負相關，崩塌地距離、面積及降雨量為正相關，而地質與降雨量之間相互關係應為當地降雨可能誘發地質產生崩塌，但在 Y1 成分中，地質為負相關與事實不符，因此不列入往後之分析，而崩塌地距離及崩塌地面積為高度正相關，由此可知為崩塌的正因子，將此成分列入之後的分析材料。

在 Y2 成分中，只有地質因子呈現較高之相關性，可解釋為因林道路段地質不同，不同的地質其崩塌可能性也相對不同，可解釋為地質不穩定的路段易誘發崩塌，因此可將此成分列入之後的分析材料。

在 Y3 成分中，呈現高度相關的因子有兩時期的植生反應及崩塌地距離，而在 Y3 成分的植生因子為負相關，但植生反應值越高應越不容易崩塌，與事實不符，因此不列入往後之分析；在 Y3 中崩塌地距離因子為正相關，可解釋為離崩塌地越近之路段其穩定性也相對較低，易引發崩塌，故將此因子納入之後的分析材料。經上述討論與分析後，本研究將以 Y1 及 Y3 成分為最大概似法用以分類崩塌路段之依據。

表 5-7 司馬限林道主成分分析因子負荷量表

因子	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
累積機率	36.6%	58.5%	71.5%	79.8%	87.5%	93.1%	96.9%	98.9%	100%
上坡度	0.3089	0.2583	0.0987	-0.3362	0.2950	0.4238	0.5497	-0.3606	-0.1279
下坡度	0.0035	0.1600	0.1182	0.3826	-0.0603	0.5959	0.3303	0.5861	0.0515
地質	-0.4449	0.8840	0.0448	-0.1137	-0.0589	-0.0414	0.0223	0.0012	0.0008
河系距離	-0.1878	0.1369	-0.2505	0.2613	0.8130	-0.3684	0.0206	0.1230	-0.0522
07/29 植生	-0.1852	0.1421	-0.5656	-0.2132	0.3662	0.5732	-0.3355	-0.056	0.0408
10/20 植生	-0.1969	0.1749	-0.5567	0.6980	-0.3339	-0.0462	-0.1315	-0.0485	-0.0192
崩塌地距離	0.7076	0.3102	0.5314	0.2373	0.0921	0.0568	-0.2293	-0.0106	-0.0048
崩塌地面積	0.9063	0.2277	-0.3163	-0.1314	-0.0527	-0.0550	0.0467	0.0333	-0.0212
降雨量	0.5096	0.2177	-0.1004	0.2588	0.2220	-0.1509	0.2503	-0.1742	0.6715

## (二)最大概似法分類結果

司馬限林道東線中，本研究已知 6 處有崩塌路段之特性，因此將所有路段分為已知崩塌及待判定兩個分群，並利用主成分分析結果中之 Y 成份得點，將 6 處崩塌處做為訓練樣本，利用最大概似法在待判定的 94 個路段中，分類出與 6 處崩塌相對的可能不崩塌的路段，利用已知 6 處崩塌的知識，對待判定的路段計算出崩塌機率 PA 及非崩塌機率 PB，I 為 PB-PA，如  $I > 0$ ，則該路段可能不崩塌，因此將各路段之機率差由大到小排序，選出前 6 個路段為不崩塌之路段，因而得出崩塌路段及不崩塌的路段皆為 6 個相對應的指標知識，進而將分類出來之特定，利用指標克利金分類法得出司馬限林道 100 個路段的崩塌機率。

## (三)指標克利金分類

在主成分分析中已知可利用 Y1、Y3 及 Y4 之分析結果及最大概似法之分類結果來進行指標克利金分類，且因為利用指標克利金分類可無誤判以及可以得到真正的機率，將最大概似法分類出的 6 處崩塌地訓練樣區及 6 處不崩塌的訓練樣區，做為知識庫，對大鹿林道東線 88 個路段作分類，其分類之結果是將 100 個路段計算出分類到會崩塌的機率 P1 及不會崩塌的機率 P2，L 為 P1 與 P2 之機率差，即  $L = P1 - P2$ ，而 L 的值界於 -0.75 至 0.75 之間，0.75 為可能較穩定的路段，-0.75 為高崩塌發生路段，最後將指標克利金分類出各路段的機率差進行分級動作，在機率差中之數值除 -0.75 及 0.75 為訓練樣區之路段及現有崩塌路段之機率差，其他路段之機率差主要分布在 -0.75 至 0.75 之間，因分析結果為路段崩塌發生機率，機率差為 -0.75 及 0.75 之路段因為訓練樣區，在崩塌發生的情形上只有是與不是，因此將 -0.75 至 0.75 之間分為三個等級，主要是 0.25 至 0.75 之間為低崩塌機率，-0.25 至 0.25 之間為中崩塌機率，-0.75 至 -0.25 之間為高崩塌機率。

## (四)司馬限林道敏感區位

對司馬限林道路段中林道敏感因子之多變量分析結果，將各個路段之崩塌機率匯入司馬限林道中，得到司馬限林道之崩塌潛勢圖，圖中危險崩塌區有 9 個路段，高崩塌機率區有 13 個路段，中崩塌機率區有 63 個路段，低崩塌機率區有 2 個路段，安全穩定區有 13 個路段，而高、危險路段共有 21 個路段，因此在易崩塌路段之設施規劃與維護管理上需考慮其敏感性，並在劃

設高、危險路段設置監護機制，並對這些路段進行原本林道設施及設計上之評估，將其不良或不適設計之林道設施加以改善。

#### 高崩塌機率及危險路段說明

危險路段地點： 21K+500~21K+600、27K+300~27K+400、27K+700~27K+800、  
29K+000~29K+300、32K+200~32K+300、  
33K+900~34K+200。

高崩塌機率地點：21K+600~21K+800、22K+000~22K+200、29K+300~29K+400、  
30K+400~30K+600、31K+300~31K+400、  
31K+500~31K+600、32K+100~32K+200、  
32K+300~32K+400、32K+600~32K+700、  
33K+800~33K+900。

危險路段性質：由各路段等級評估資料來看，危險崩塌路段所在位置之坡度相對其他地區較高，在地質方面也以崩積層為多，且路段周圍之崩塌地面積及距離，相對其他路段其面積較大、距離較近，且在雨量方面危險路段及高崩塌路段之降雨量也比其他路段高，而鉅量的降雨將會容易造成園區內，特別是林道設施的損害，因此可能會造成這些路段會有陡坡、邊坡不穩定、土石鬆動、坡面裸露、沖蝕溝、路基鬆軟等災害發生。

防範對策：平時做好維護穩定邊坡植生，護坡控制坡面，設截水溝排水邊溝及橫向排水溝堵塞物清除等避免雨水溢流而沖刷路基造成坍方破壞，並加強改善路基的穩定及維修保護。而司馬限林道為前往雪見遊憩區的主要通行道路，因為現今因道路坍方以致無法通行，未來如道路修繕完畢可對外開放，建議在高崩塌機率及危險的路段，能夠設置警告標示以及坡地滑動之監測儀器，來提醒遊客及園區人員，能盡快通過危險的路段。

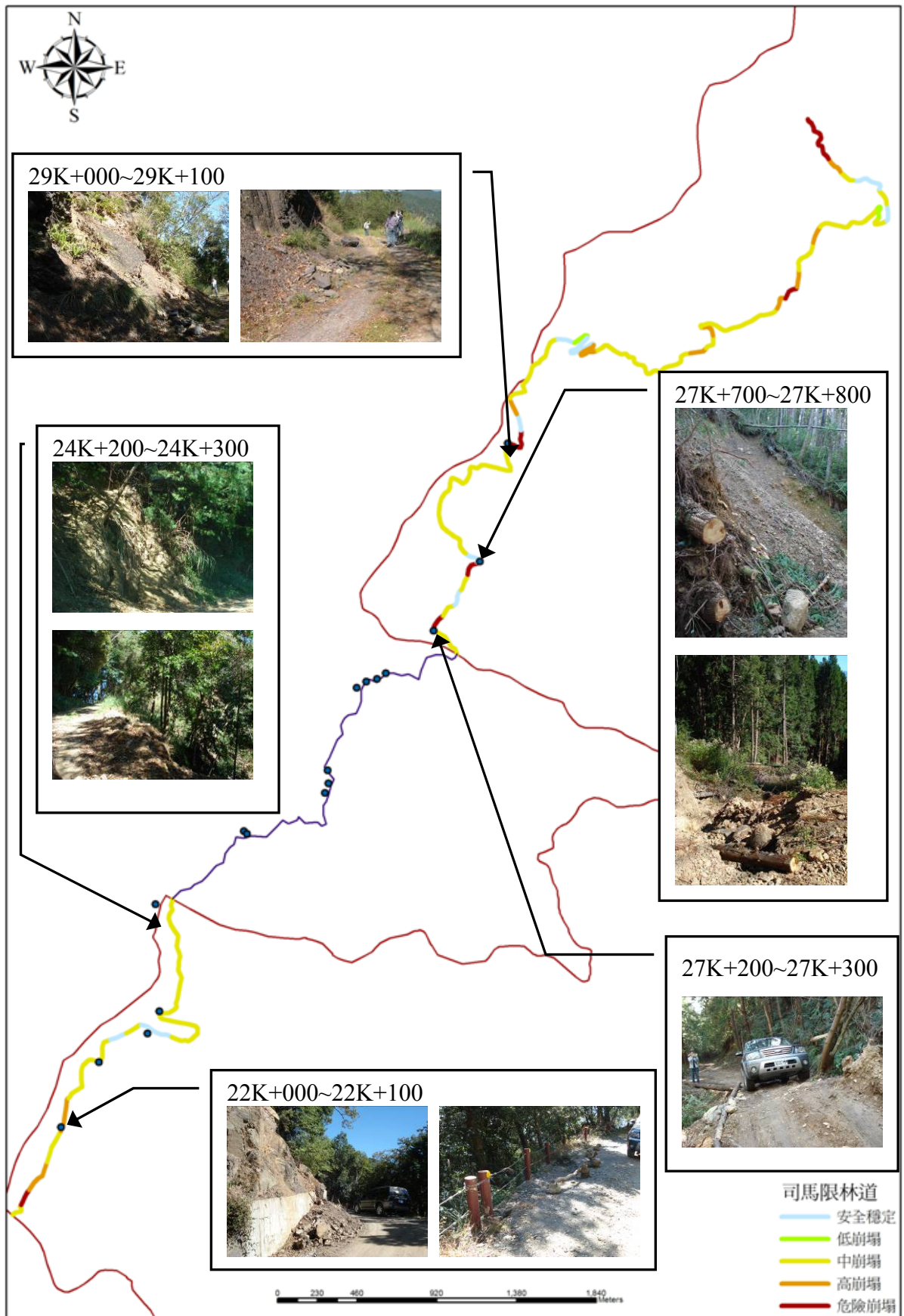


圖 5-22 司馬限林道崩塌潛勢及崩塌情形示意圖



#### 四、林道維護修繕工法之建議

##### (一)邊坡保護工法建議

由林道敏感性劃分成果及由各路段等級評估資料可知，大鹿林道東線及司馬限林道之崩塌路段性質，大鹿林道東線及司馬限林道之危險路段顯現出坡度較高，地質也以較脆弱之崩積層為主，崩塌地面積及距離較其他路段大及接近，且降雨量也較高，因此本研究引用國內對林道的維護管理及防範上的設計案例，提出在不同地區環境下，在易崩塌路段之設施規劃與管理上提供維護工法上的建議。以下為本研究參考兩林道之性質所建議之工法。

表 5-8 建議坡面保護工法之種類

	工程種類	分類	適用範圍
植 生 法	①噴植法	1. 淺層噴植法	適用土質坡面
		2. 中層噴植法	適用軟岩坡面
	②植生帶法	1. 稻草植生帶法	坡度小於 45 度之土質邊坡
2. 纖維植生帶法			
③草皮鋪植法		坡度小於 45 度之挖方邊坡 需快速覆蓋之填方邊坡	
工 程 方 法	④打樁編柵法	1. 萌芽樁法	坡度小於 45 度之邊坡
		2. 不萌芽樁法	崩積土或淺層崩塌坡面
	⑤固定框法	1. 預鑄式水泥法	坡度小於 45-60 度之邊坡 表層呈風化或崩落之邊坡
		2. 鐵製框法	
3. 自由格柵法			
⑥噴漿護坡		坡度無限制，不適合地下水豐富之土坡，適合岩石坡面	

表 5-9 建議擋土護坡工之種類

邊坡種類	較佳使用坡高(m)	依剛性分類	優點	缺點	建議使用時機
⑦扶臂式RC擋土牆	5~15m	剛性	◎在坡度較高處，可有效減少擋土牆之斷裂	◎施工略為複雜 ◎施工時臨時開挖面較大	◎適用於較高之邊坡超過10m 時較懸臂式經濟
⑧格床式擋土牆	2~12m	半剛性	◎能忍受基礎不均勻沉陷較剛性結構大 ◎透水性佳	◎施工複雜 ◎施工成本偏高 ◎需較具規則邊坡使用	◎適合挖方或填方邊坡
⑨加勁式擋土牆	3~20m	柔性	◎施工快速 ◎忍受較大的不均勻沉陷	◎變形量偏大 ◎需注意坡面牆版受損	◎邊坡可植生綠化 ◎適合於填方邊坡
⑩錨拉式擋土牆	不受限制	半剛性	◎能提供較大的下滑抵抗力	◎成本較高 ◎施工品質不易控制	◎已發生災害之邊坡 ◎高挖方邊坡
⑪抗滑樁	10m 以上	剛性	◎可對深層的滑動面提供抵抗力	◎陡坡不易施工 ◎成本偏高	◎有深層滑動疑慮時需採用大口徑之抗滑樁或配合岩錨工法
⑫輕量回填土工法	不受限制	半剛性	◎回填土單位重較輕，土壓力亦較為降低	◎重量太輕時，需考慮上浮破壞	◎用於軟弱地盤或極傾斜之填方邊坡

表 5-10 林道危險路段適用工法綜理表

路段分級	林道	路段位置	建議工法
危險路段	大鹿林道東線	0K+000~2K+300、17K+300~17K+400	③、④-2、
	司馬限林道	21K+500~21K+600、27K+300~27K+400、 27K+700~27K+800、29K+000~29K+300、 32K+200~32K+300、33K+900~34K+200	⑤、⑦、⑩、 ⑪
高崩塌機率路段	大鹿林道東線	2K+400~2K+500、3K+400~3K+500、 5K+900~6K+000、8K+200~8K+300、 8K+400~8K+500、15K+300~15K+600 15K+700~15K+800、16K+500~16K+600	②、⑤、⑧、 ⑨、⑪
	司馬限林道	21K+600~21K+800、22K+000~22K+200、 29K+300~29K+400、30K+400~30K+600、 31K+300~31K+400、31K+500~31K+600、 32K+100~32K+200、32K+300~32K+400、 32K+600~32K+700、33K+800~33K+900	

## (二) 山坡地及邊坡監測系統

本研究已對林道上進行敏感度之分級，分級成果如圖 5-20 及圖 5-21，並對林道維護修繕工法加以建議，也提出在林道危險路段應設置警告標示，因此本研究除了建議以上事項之外，須於危險路段及高崩塌機率路段處應設置坡地滑動之監測儀器，隨時隨地能夠掌握林道之安全性。以下為依照第二章文獻中山坡地及邊坡監測系統內容及林道分級成果所建議之監測儀器或系統。

1. 在安全監測等級方面，依林道周圍環境性質劃分，本研究應用表 2-5 安全監測等級區分表，針對研究區域，選定適用之監測儀器設備：

表 5-11 雪霸園區林道建議之建設系統分級

監測系統分級	必要之監測儀器	考慮之監測儀器	建議採用時機
第一級	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 傾斜觀測管</li> <li>• 水壓計</li> <li>• 水位觀測井</li> <li>• 鋼筋計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地滑計</li> <li>• 裂縫計</li> <li>• 沉陷點</li> <li>• 流量計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 敏感度評估分級為1~5 級或評估項目評估結果為5</li> <li>• 坡度甚陡 (<math>S \geq 30\%</math>)</li> <li>• 擋土牆高度甚高 (<math>H \geq 15</math> 公尺)</li> </ul>
自動化級	將上述儀器自動化、並可發佈必要之警報系統		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 需長期監測</li> <li>• 危害度大或安全需求較高</li> <li>• 人力量測困難</li> </ul>

2. 於安全監測方法上，因林道須長期監測且安全需求較高，因此所採用之監測方法以自動化監測系統為主，其方法如下。

(1) 硬體部分：包含電源供應設備、監測感測器、及資料擷取器等，而監測感測器可分為主動式及被動式兩種。主動式的監測感測器所擷取的監測值其物理量通常為類比訊號(Analog)，經過感測器內部的電能轉換器(Transducer)轉換成數位電子訊號(Digital)，最後再由資料儲存器儲存或傳送至遠端監測站。目前可支援自動化監測的電子感測器即為主動式感測器，而此自動化資料擷取系統稱為 ADAS(Automatic Data Acquisition System)。被動式的監測感測器其本身為一機械裝置，通常由外部的電子裝置產生物理能量波(電磁波、光波等)導入感測器內，再擷取其數位反射訊號分析之；而此類型的感測器本身亦為傳遞能量波的元件，故又稱為『被動式傳感器』，如 TDR 感測器即是。

(2) 軟體部分：市面上或學術界目前已發展出部分專門使用於大地工程監測的軟體程式，而 DPAS (Data Processing & Analysis System)即是一套專門處理各種有關大地工程監測問題的軟體。其支援多種傳統監測儀器的資料分析，包括孔內傾斜儀、地表伸張儀、電子式水壓計等各種感測器，亦可同時與資料擷取器(Data logger)搭配使用。而 DPAS 有高度親和力的使用介面，安裝於 Windows 的電腦伺服器中，可將監測資料處理後以 Excel 圖表列印監測結果。



## 五、google earth 林道分級成果展示

以中央研究院開發之坐標系統轉換程式，先將本計畫產製之 TWD67 坐標系統 shp 檔轉為經緯度，再經中研院之程式轉換為 Google-Earth 之 kml 檔，並加以標註，主要放置之圖層為雪霸國家公園邊界範圍檔、林道檔案及崩塌地檔案，透過 Google-Earth 進行成果展示，亦作為對於園區內之林道生態環境保育作業之導覽介紹，並可作為教學示範教材，使本研究之價值不僅在於環境保護上，在學術也有其貢獻之處。；決策單位及圖資需求者只需於本機安裝 Google-Earth 之軟體即可觀看。開發提供以下功能的介面：

- 點資料標註（如地標、景點）
- 線資料標註（如路線）
- 屬性記錄（如分級、分類）輸入
- GPS 記錄整合
- 照片整合
- 互動討論

而為了便於 GE 視覺化展示，本計畫也將成果以 GE 為平台進行三維方式展現，以利相關人士可在 3D 的環境下瀏覽、觀看雪霸國家公園之情形。

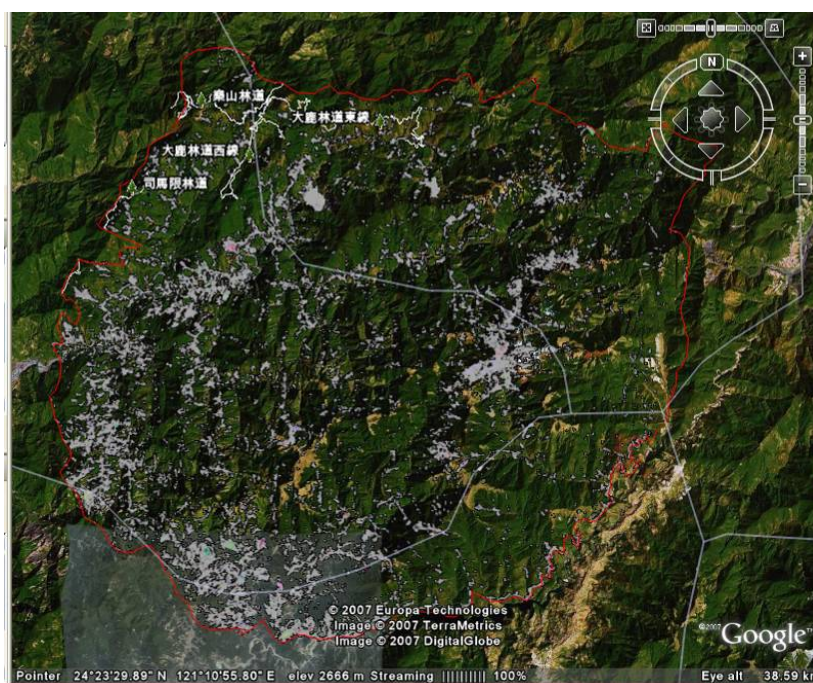


圖 5-22 雪霸國家公園林道 3D 圖示





圖 5-23 林道 3D 圖示(未套疊崩塌地)

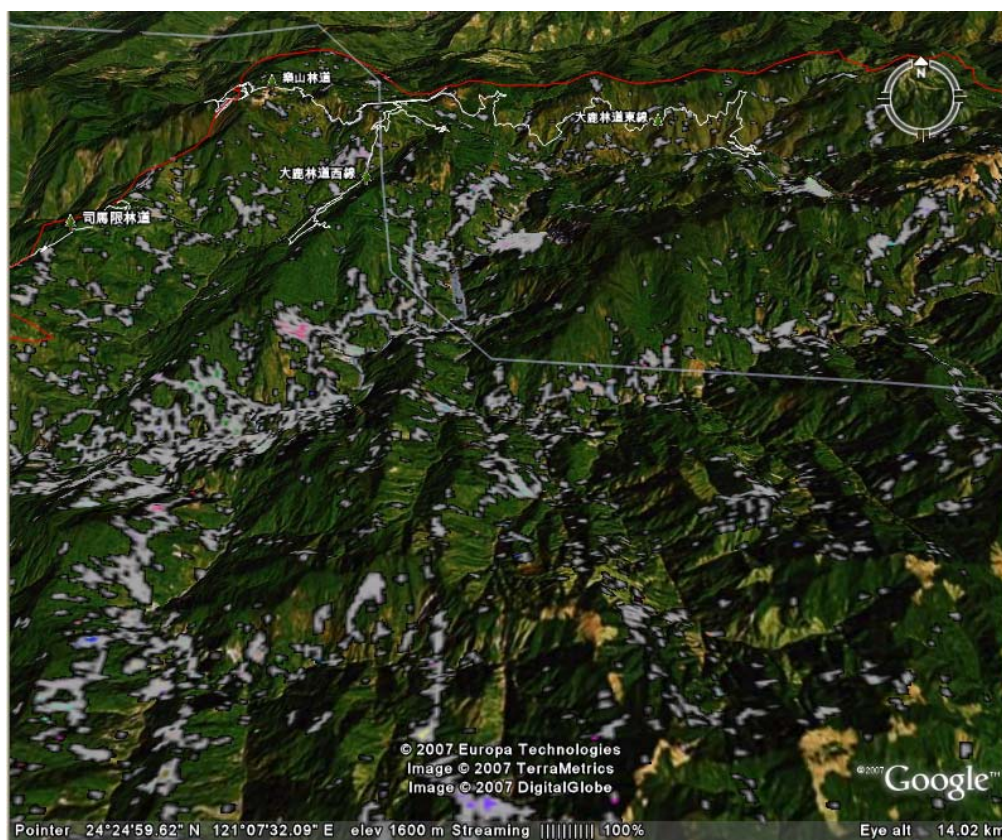


圖 5-24 林道 3D 圖示(套疊崩塌地)

## 第六章、結論與建議

### 第一節 結論

1. 根據長時間的雨量資料分析結果後得知，雪霸國家公園地區的雨量在乾季與濕季兩個不同時期的變化差異性極大。首先在乾季時，地區降雨性質穩定，空間降雨變異情況變化不大，但是一旦本地區進入濕季，因為地形效應等因素，颱風事件與地區的豪大雨，就會容易在此地區造成嚴重的災害事件（例如林道設施的毀損），因此環境設施的維護與地區人員的管制與管理，就會是下一個重要的討論課題。
2. 由雨量圖中得知，雪霸國家公園內最高降雨量皆出現在八月的馬達拉站，平均月雨量為 545.4mm，而園區內最低雨量的地區在 11 月的合流山站，平均月雨量僅為 17.6mm，地形效益將會是影響降雨的一個非常重要的因素。另一方面，園區內西北方與東北方之地區，在進入 6、7 與 8 月的時候，該地區的雨量時空變化極大，地區降月平均降雨量都有超過 350mm 左右，如此劇量的降雨將會容易造成園區內，特別是林道設施的損壞，因此在設施規劃上與林道管理上應考量降雨因子的變異性，而且馬達拉溪的地區，是目前園區內降雨累積量與降雨強度的集中地區，因此該地區之水工設計與水工設施，應將考慮上述問題並反應在規劃設計當中。
3. 在乾季/濕季的雨量問題表達方面，在乾季時園區內的最低的地區是合流山，總累積平均降雨量為 520.4mm，而最高地區則是觀霧，其總累積平均降雨量為 1200.0mm。而在濕季時園區內的最低的地區也是合流山，總累積平均降雨量為 1094.4mm，而最高地區也是觀霧，其總累積平均降雨量為 2036.2mm，可見在濕季時地區降雨模式並無改變，也是呈現北高南低的現象，降雨多集中在北部地區，相信對於生態模式與植生分佈都會有一定程度的影響。
4. 研究的成果顯示，本地區在進入濕季時，空間降雨的變異情形很大，進而容易造成環境設施的損害，但是本地區對於降雨因子的監測資料有明顯不足之處，因此建議未來能適當的增設環境氣候因子的地面監測站網，以強化地面資料的監測能力，進而有效的反應出環境因子的敏感性。
5. 由大鹿林道東線主成分分析可知，在 Y1 成分中地質與降雨為高度相關的因子，且在降雨空間分佈分析中，本地區在進入濕季時，空間降雨的變異情形很大，勢必誘發地質因子而產生崩塌，造成地區敏感性提高，因此建議除增加降雨資

料的收集監測能力，在對地質容易誘發崩塌的區位，能夠在林道的規劃設計及維護管理上考量降雨因子的變異性及易受降雨影響的地質型態。

6. 由司馬限林道主成分分析可知，在 Y1 成分中，崩塌地距離及崩塌地面積為高度正相關，為崩塌的正因子，且在 Y3 成分中崩塌地距離因子為正相關，可解釋為離崩塌地越近之路段其穩定性也相對較低，易引發崩塌，因此在林道周圍之崩塌地，應增加其監控及掌握其崩塌之潛勢，未來除利用本研究分析出之林道高、危險路段之資訊，亦可加上 95 年研究計畫之崩塌潛勢預測，來掌握崩塌地對林道之影響及衝擊。
7. 對大鹿林道東線及司馬限林道經路段等級的評估及林道敏感因子之多變量分析結果，繪出其崩塌潛勢圖，其中大鹿林道東線之危險崩塌區有 24 個路段，高崩塌機率區有 10 個路段，中崩塌機率區有 56 個路段，低崩塌機率區有 87 個路段，安全穩定區有 23 個路段，而高、危險路段共有 34 個路段；司馬限林道之危險崩塌區有 9 個路段，高崩塌機率區有 13 個路段，中崩塌機率區有 63 個路段，低崩塌機率區有 2 個路段，安全穩定區有 13 個路段，而高、危險路段共有 21 個路段，建議能夠在劃設高、危險路段設置監護機制，並對這些路段進行原本林道設施及設計上之評估，將其不良或不適設計之林道設施加以改善。
8. 林道維護修繕工法上之建議為在危險路段使用工法以草皮鋪植法、打樁編柵法、固定框法、扶臂式 RC 擋土牆、錨拉式擋土牆及抗滑樁為主，高崩塌機率路段以植生帶法、固定框法、格床式擋土牆、加勁式擋土牆及抗滑樁為主；在山坡地及邊坡監測系統上，因林道須長期監測且安全需求較高，因此建議所採用之監測方法以自動化監測系統為主，建議之監測儀器以地滑計、裂縫計、沉陷點及流量計為主。

## 第二節 建議

1. 由於本研究為林道敏感性之劃分，在林道劃分為高、危險路段，在成果與討論中引用國內、外對林道的維護管理及防範上的設計案例，提出在不同地區環境下，在易崩塌路段之設施規劃與管理上考慮其敏感性，來發展不同的維護策略及施工工法，本研究建議之工法於成果與討論之林道維護修繕工法中，希望克服環境敏感因子，使林道設施脆弱度降低。
2. 本研究主要操作之林道主要為大鹿林道東線及司馬限林道，而此二林道也為觀

霧遊憩區內通往大霸尖山登山口之主要道路，以及前往雪見遊憩區之道路，經歷歷年風災，林道亦受風災之害，尤以大鹿林道東線為甚，現為封園之狀態；在經過本研究團隊前往司馬限林道現場勘查過後，欲建議雪霸國家公園，國家公園之功能是在提供遊憩並對環境敏感地區進行保護及保育，由現今大鹿林道東線受損情形及本研究分析之結果，大鹿林道東線為極敏感之林道，且降雨量對林道崩塌的影響相當大，因此建議園區兩種對林道之防範對策，一為軟式結構的修繕，即為在崩塌處修建簡易便道、棧道，並在遊客入園時告知其危險崩塌處及簡易便道之危險性，軟式結構的施工方式雖容易在雨季受損，但其工程代價較小及生態維護上有較少的破壞，第二種防範對策為屬鋼性結構，由本研究成果了解，大鹿林道東線其降雨變易量大，因此本研究建議，可對林道易受降雨影響之路段，設置水工結構物以提高排水能力，或以人工擋土牆及其他鋼性或結構性強的工程設施來維護林道敏感路段，但其缺點為工程代價大，且容易破壞生態，與國家公園保育之宗旨違背，因此建議以軟式結構之簡易便道為優；另一建議為在大鹿林道東線無法開放的時期，對危險路段作長時間之監測，對敏感地區做詳細之林道損壞及災害原因紀錄，對未來大鹿林道東線的施工及維護設施能夠對林道之穩定性提高。

3. 而司馬限林道雖不及大鹿林道東線敏感，但經由實際現場勘查後，與建議園區如後續欲開放雪見遊憩區，是否採取半開放方式(開放至雪見管理處)，雪見管理處後之司馬限林道建議是以徒步的方式進入，一方面徒步對林道及環境上的破壞遠比汽車來的小，且雪見管理處後之司馬限林道其景觀更是比前段的景觀來的壯觀(可遠眺園區內山陵)，一來不僅可減少對林道之負荷，二來對遊客能夠更深入地欣賞雪霸國家公園內景觀特色。
4. 本研究之林道分級成果將以 google earth 作為成果展示方式之一，未來如將更多資訊，如全區之植群分布、地質型態、林道及登山步道分布等等，將園區內資源及生態環境數值化，進而製作綠色生態地圖，不僅可提供園區管理上之便利，在遊憩上可提供登山客之用。



## 參考文獻

1. 王如意、李如晃，1993，颱風逐時區域平均雨量最佳化估計之研究，農工學報，第39卷，第3期，13-30頁。
2. 王玲津，1995，玉山國家公園潛在地質災害敏感區劃設之研究，逢甲大學土地管理研究所碩士論文，1-72頁。
3. 吳振威，2003，公路邊坡保護工法之選擇模式研究-以南二高白河以南路段為例，國立成功大學資源工程系碩士論文。
4. 吳瑞賢、石棟鑫、楊正潭，2003，結合雷達與雨量站進行區域降水量估算，天氣分析與預報研討會論文彙編，147-152頁。
5. 李森吉，1992，使用衛星影像作山區中大規模崩塌地之辨識，國立成功大學資源工程系碩士論文。
6. 李昊哲，2005，簡易坡地自主安全管理系統建立之研究，中原大學土木工程學系碩士論文。
7. 李易儒，2005，運用空間資訊技術建立崩塌地發生機率模式之研究—以雪霸國家公園為例。
8. 李三畏，1984，台灣崩塌問題探討，地工技術，第7期，43-49頁。
9. 李麗玲，1995，土地資源資料庫之建立與應用—以評估山坡地潛在災害為例，台灣大學地理研究所碩士論文，1-102頁。
10. 周晏勤，1999，以遙感探測方法探討南橫公路邊坡破壞的重要因子，國立成功大學資源工程系碩士論文。
11. 林書毅，1999，區域性山坡穩定評估方法探討-以林口台地為例，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
12. 易任、鄭克聲，1994，區域化變數理論於乾旱臨前時距預測之應用，國科會專題研究報告。
13. 張石角，1995，台灣東部之環境地質分區與崩塌類型,國科會專題研究計畫。
14. 張俊民，1994，運用地理資訊系統與遙感探測於玉山國家公園環境監控之研究，逢甲大學土地管理研究所碩士論文，1-73頁。

15. 張良正、蘇惠珍，1992，通用克利金法於地下水觀測網規劃之應用，地下水調查分析與保育管理論文集，191-205 頁。
16. 張尊國、王允義、林裕彬，1966，利用地理統計方法鑑識土壤重金屬污染之空間分佈，第九屆環境規劃與管理研討會，388-395 頁。
17. 張南昌，1998，以地理統計及地理資訊系統分析台灣地區土壤重金屬污染分布，國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文。
18. 許敏楓，1993，雨量空間變異及站網設計之研究，國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文。
19. 許秋玲，2002，數值高度模型之地形複雜度量度指標研究，台灣大學地理研究所碩士論文，110 頁。
20. 高嘉隆，2003，台十四省道 31~75K 沿線邊坡山崩潛感分析，朝陽科技大學，營建工程系碩士論文。
21. 陳朝圳，1996，以數值地形模型進行瑪家水庫集水區之生態土地分類，屏東技術學院學報，5(2)，17-23 頁。
22. 陳凱榮，2000，中橫公路山崩潛感分級之研究-以東勢-德基為例，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
23. 陳蕙華，2005，遙測衛星影像於崩塌地潛感分析之應用—以竹東至松本段為例，2005 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。
24. 陳世楷，1993，區域化變數理論應用於斗六地區含水層流通係數變異性之研究，國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文。
25. 黃堂展，2006，山區道路設計運用生態工法與傳統工法比較之研究，逢甲大學交通工程與管理學系碩士班碩士論文。
26. 莊凱偉、李達源、陳尊賢，1996，地理統計預測污染土壤中重金屬的空間分布 II.採樣方式之探討，中國農業化學會誌，第 34 卷，第 6 期，683-694 頁。
27. 葉惠中、鄭克聲，1999，克利金空間推估與複迴歸之關係及半變異元函數特性之探討，臺灣水利，第 47 卷，第 1 期，75-80 頁。
28. 葉致翔，2003，TDR 邊坡資訊自動化監測系統，國立交通大學土木工程學系碩士班碩士論文。

29. 鄭元振，1992，地理資訊系統在區域邊坡穩定分析之應用-中橫公路天祥至太魯閣段，國立成功大學礦冶及材料科學研究所碩士論文。
30. 鄭士仁，1993，降雨深度最佳估計方法及其應用於區域雨量站網之規劃設計，國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文。
31. 鄭克聲、葉惠中、鄭彥斌，1997，台灣北部地區設計暴雨深度等值線之建立，臺灣水利，第 45 卷，第 3 期，42-54 頁。
32. 鄭嘉盈，1999，遙測在坡地災害評估之應用研究，國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
33. 鄭森源、萬鑫森，1994，地理統計學在土壤污染方面之應用，中國農業化學會誌，第 33 卷，第 4 期，406-429 頁。
34. 蔡昌玗，1999，克利金空間推估應用於衛星影像校正之研究，國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文。
35. 潘國樑等，2002 環境地質敏感度分析自動化系統開發,土工技術，90，55-62 頁。
36. 蘇明道，1999，空間分析在土石流發生潛勢研討之應用-以陳有蘭溪為例，農業工程學報，45(2)，52-62 頁。
37. 蘇苗彬、蔡顯修、簡李濱，1998，集水區坡地安定評估之計量分析方法，水土保持學報 第二十九卷 第二期 105-114 頁。
38. 蘇容瑩，2000，利用 SPOT 衛星影像及數值地形模型做地層分類—以旗山地區為例，國立成功大學資源工程學系碩士論文。
39. Bastin, G., B. Lorent, C. Duque and M. Gevers, (1984), "Optimal Estimation of the Average Areal Rainfall and Optimal Selection of Rain Gauge Locations", Water Resources Research, Vol.20, No.4, pp.463-470.
40. Bierkens, M. F. and P. A. Burrough, 1993. "The indicator approach to categorical soil data I Theory" .J. of Soil Science, 44, pp. 361-368.
41. Bierkens, M. F. and P.A. Burrough, 1993. "The indicator approach to categorical soil data II Application to mapping and land use suitability analysis" J. of Soil Science, 44, pp. 369-381.
42. Center for Natural Area, Smithsonian Institute(1974):Planning Consideration for



Statewide Inventories of Critical Environmental Area:A Reference Guide (Report Three). Washington,D.C.:Smithsonian Institue.

43. Chua, S. H. and R. L. Bras, (1982), "Optimal Estimation of Mean Areal Precipitation in Regions of Orographic Influence", *Journal of Hydrology*, Vol.57, pp.713-728.
44. Chang, T. J., (1991), "Investigation of Precipitation Droughts by Use of Kriging Method", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol.117, No.6, pp.935-943.
45. Cheng, K. S., T. C. Lei and H. C. Yeh., (1998), "Reservoir Water Quality Monitoring Using Landsat TM Images and Indicator Kriging", In: *Proceedings of the 19th Asian Conference on Remote Sensing*, Manila, Philippine.
46. Cheng, K. S., C. H. Tsai, H. C. Yeh and I. Hueter, (1999), "A New Approach of Image Rectification by Kriging", *Annual Conference, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Portland, Oregon.
47. Cheng, K. S., H. C. Yeh and Y. B. Cheng, (1999), "Effect of Spatial Variation on Design Storm Contours", In : *Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Quality '99*, Editors : Shi, W., Goodchild, M. F. and Fisher, P. F.
48. Cheng, K. S., H. C. Yeh and C. Y. Liou, (2000), "A Comparative Study of Drought Forecasting by Kriging and Time Series Analysis", *Journal of American Water Resources Association*, in press.
49. Delhomme, J. P., (1979), "Kriging in The Design of Streamflow Sampling Networks", *Water Resources*.
50. Eagles,P.F.J.(1981):Environmentally sensitive area planning in Ontario,Canada.*Journal of the American Planning Association*,47(3),313-323.
51. Goovaerts, P. (2000) Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, *Journal of Hydrology*, 228:113-129.
52. Isaaks, E. H. and R. M. Srivastava, (1989), "Applied Geostatistics", Oxford University Press, New York.
53. Journel, A. G. and C. J. Huijbregts, (1978), "Mining Geostatistics", Academic Press, New York.

54. Journel, A. G., 1983. “non-parametric estimation of spatial distributions ” math. Geol. 15, pp.445-468.
55. Lake, P. S., 2000, Disturbance, patchiness, and diversity in streams. Journal of the North American Benthological Society, 19: 573-592.
56. Matheron, G., (1963), “Principles of Geostatistics”, Economic Geology, Vol.58, pp.1246-1266.
57. Matheron, G., (1971), “Theory of Regionalized Variables and Its Applications”, Ecole National Supérieure des Mines, Paris.
58. Meer, F. V. D., 1996. “Classification of remotely-sensed imagery using an indicator kriging approach: application to the problem of calcite dolomite mineral ,” Int. J. of remote sensing. Vol. 17, no. 6, pp. 1233-1249.
59. New Jersey Pinelands commission(1980):Critical Areas study for the Pinelands, Philadelphia,PA:Golden and Halpern.
60. Rouhani, S. and K. A. Cargile, (1989), “A Geostatistical Tool for Drought Management”, Journal of Hydrology, Vol.108, pp.257-266.
61. Thurow,C.,Toner,W.& Erley,D.(1975):Performance Controls for Sensitive Lands:A Practical Guide for Local Administrators.EPA#600/5-75-005.Washington,D.C .:Office of Research and Development,U.S.Environmental Protection Agency.
62. Warrick, A. W., D. E. Myers and D. R. Nielsen, (1986), “Geostatistical Methods Applied to Soil Science”, in : A.Klute(ed.) Methods of Soil Analysis, Part 1, pp.53-80.