

# 敏感地區地質地形監測及管理 (觀霧地區)

受委託者：逢甲大學

研究主持人：雷祖強

研 究 員：林秉賢、王欣萍、黃建諭

## 雪霸國家公園管理處委託辦理報告

中華民國 109 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



## 中文摘要

由於全球氣候變遷與溫室效應的影響，導致極端降雨事件頻傳，民國 98 年莫拉克颱風即為強降雨事件的明顯案例，造成臺灣中南部山區遭受嚴重災情，此一事件亦突顯大規模崩塌所造成之災害，未來恐對臺灣山坡地聚落造成嚴重災害威脅。另一方面，經濟部中央地質調查所已針對莫拉克災區，劃設多處可能危及居民安全之潛在大規模崩塌地區。因此，為預防未來豪大雨或颱風來襲時可能造成之災害，即有必要針對坡地崩塌防災課題進行更深入的研析。尤其對於地小人稠的臺灣，受到氣候變遷之影響，坡地災害類型將轉變為多元，且災害規模將遠超過過去歷史事件。因此本研究針對觀霧地區範圍內各類環境敏感地之分布、潛勢評估釐清其破壞機制特性與發生崩壞前兆及災害模擬進行更深入的了解，期能透過評估結果，以供經營管理及自然保育實務參考。

本研究將發展以坡面單元為基礎之坡地災害潛勢評估模式，預期可建立颱風事件對於災前崩塌警戒之量化評估模型，其中利用歷史降雨資料(誘因)、相關山區災害之影響因子(潛因)及山區災害事件建立複合型坡地災害潛勢評估模型，以山區坡面單元為單位針對不同規模之誘因組成，動態評估各山區坡面單元之災害潛勢地圖，並可結合空間環境資訊之整合，如劃分山區道路易致災路段，並探究其致災因子、危害度與損失程度等，同時進行各易致災路段之災害風險分析，進而依據各種災害類型與風險等級，提出創新構思與監測管理措施，以提高山區災害潛勢安全使用之參考指標依據。

## Abstract

Due to the increasing impact of climate change and extreme weathers, the Typhoon Morakot in 2009 had serious hit in Taiwan, and caused severe landslide disasters in the middle area of Taiwan. This event implied the threats of landslide in Taiwan. Since then, the Central Geological Survey of MOEA had identified several high potential areas of large-scale landslide. To manage the threats of landslides due to the heavy rainfalls and typhoons, and to provide disaster response, the evaluation of landslide potential and the warning model for the landslide should be carried out immediately, with the support from the government. Therefore, in this study, the distribution and potential assessment of various environmentally sensitive areas in the Guanwu area have been clarified, and the characteristics of their damage mechanism, the precursors of collapse and disaster simulation have been further understood, so as to provide a reference for management and natural conservation practice through the assessment results.

The methods of artificial intelligent (AI) was used in the model to describe the influence of triggering factors of rainfall intensity and accumulation, as well as the environmental factors of geology, slope, aspect, distance to stream channel, vegetation, and historical landslides. This model can be used to dynamically evaluate the disaster potential map of each mountain slope unit, and integrate the spatial environment information, such as the division of mountain road prone to disasters, and to explore the disaster factors, hazards and loss degree, etc. at the same time, it can carry out the disaster risk analysis of each prone road section, and then put forward innovative ideas and monitoring management according to various disaster types and risk levels management measures are taken to improve the reference index basis for the safe use of disaster potential in mountainous areas.



## 目錄

第一章 前言 .....	1
第一節 計畫緣起與目的.....	1
第二節 工作項目與內容.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
第一節 坡地災害因子之探討.....	3
第二節 崩塌警戒雨量文獻回顧.....	5
第三節 坡地災害潛勢評估方法.....	9
第三章 崩塌事件資料庫建置.....	12
第一節 坡地災害環境潛勢因子空間資料庫建置.....	14
第二節 降雨誘發資料庫建置.....	21
第三節 崩塌資料萃取.....	32
第四節 坡面單元繪製與坡面分類定義.....	35
第四章 坡地崩塌風險評估模型建立.....	41
第一節 崩塌降雨危害評估模型建立.....	41
第二節 坡地崩塌潛勢評估模型建立.....	47
第五章 崩塌風險警戒機制模式設計.....	54
第一節 降雨危害最小致災警戒線訂定.....	55
第二節 崩塌風險警戒機制圖繪製.....	56
第三節 坡地災害風險警戒機制研析與應用.....	58
第四節 大鹿林道東線歷年重大降雨頻率統計分析.....	65
第五節 雪霸國家公園園區未來開放與管理機制建議.....	67
第六章 步道主體相關設施安全性現況調查.....	68
第一節 觀霧地區步道基本資料.....	68
第二節 步道主體相關設施安全性現況調查方法.....	70
第三節 步道主體相關設施安全性現況調查階段成果.....	75
第四節 現況調查危險路段與模擬危險路段套疊探討.....	126
第七章 地景保育研習營辦理.....	129
第八章 結論.....	131

參考文獻.....	132
附錄一 期初計畫審查委員意見與回復.....	135
附錄二 期中計畫審查委員意見與回復.....	139
附錄三 期末計畫審查委員意見與回復.....	144

## 圖目錄

圖 1	計畫工作項目與流程 .....	2
圖 2	1996 年~2005 年相關之文獻選取因子統計圖 .....	4
圖 3	臺灣不同警戒區之劃設方式(詹錢登等, 2003) .....	7
圖 4	交通部公路總局封路標準作業流程圖(陳進發, 2011).....	8
圖 5	交通部公路總局封橋標準作業流程圖(交通部公路總局, 2011).....	9
圖 6	計畫研究範圍圖 .....	12
圖 7	計畫研究範圍地質圖 .....	14
圖 8	計畫研究範圍數值高程模型圖 .....	15
圖 9	計畫研究範圍地形特徵分析結果圖 .....	18
圖 10	計畫研究範圍順向坡分布圖 .....	18
圖 11	計畫研究範圍水文分析結果圖 .....	19
圖 12	計畫研究範圍植生分析成果圖 .....	21
圖 13	計畫研究範圍分析雨量站分布圖 .....	22
圖 14	本計畫之雨場分割定義 .....	22
圖 15	93-94 年度全島崩塌地圖前後期颱風豪雨事件時序示意圖 .....	24
圖 16	艾利颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	24
圖 17	艾利颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	25
圖 18	0910 水災暨海馬颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	25
圖 19	0910 水災暨海馬颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	26
圖 20	南瑪都颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	26
圖 21	南瑪都颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	27
圖 22	海棠颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	27
圖 23	海棠颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	28
圖 24	94-95 年度全島崩塌地圖前後期颱風豪雨事件時序示意圖 .....	28
圖 25	馬莎颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	29
圖 26	馬莎颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	29
圖 27	泰利颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	29
圖 28	泰利颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	29
圖 29	0410 豪雨最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	29
圖 30	0410 豪雨有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	29
圖 31	0609 豪雨最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	30
圖 32	0609 豪雨有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	30
圖 33	95-96 年度全島崩塌地圖前後期颱風豪雨事件時序示意圖 .....	30
圖 34	珊珊颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	31
圖 35	珊珊颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果 .....	31
圖 36	0604 豪雨最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果 .....	31

圖 37	0604 豪雨有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果	31
圖 38	崩塌地分類示意圖	32
圖 39	93 年度至 94 年度間崩塌變異類型分布圖	33
圖 40	93 年度至 94 年度間新增崩塌地分布圖	33
圖 41	94 年度至 95 年度間崩塌變異類型分布圖	33
圖 42	94 年度至 95 年度間新增崩塌地分布圖	33
圖 43	95 年度至 96 年度間崩塌變異類型分布圖	34
圖 44	95 年度至 96 年度間新增崩塌地分布圖	34
圖 45	集水區重疊法繪製示意圖	36
圖 46	計畫研究範圍坡面單元分布圖	36
圖 47	崩塌地坡度與深度分佈	37
圖 48	崩塌塊體斜面與投影面關係示意圖	38
圖 49	93 年度至 94 年度新增崩塌坡面單元分布圖	39
圖 50	94 年度至 95 年度新增崩塌坡面單元分布圖	39
圖 51	95 年度至 96 年度新增崩塌坡面單元分布圖	40
圖 52	本計畫採用之雨場分割方法示意圖	42
圖 53	自然對數 $\ln(x)$ 的函數圖像	44
圖 54	雪霸雨量站歷史雨量( $I_{max} - R_{te}$ )等機率曲面	47
圖 55	本計畫訓練模型簡易架構圖	50
圖 56	警戒曲線訂定示意圖	55
圖 57	觀霧地區坡地災害風險警戒機制圖	57
圖 58	雪霸國家公園地文崩塌潛勢分布圖	58
圖 59	雪霸國家公園-大鹿林道東線崩塌潛勢分布圖	59
圖 60	大鹿林道東線崩塌潛勢分布歷年成果比對圖	59
圖 61	觀霧地區坡地災害風險警戒機制圖	60
圖 62	林道暨園區災害風險警戒、應變與解除管理機制流程設計	61
圖 63	艾利颱風歷時降雨時序圖-雪霸雨量站	62
圖 64	艾利颱風歷時降雨時序於坡地災害風險警戒機制圖	63
圖 65	艾利颱風( $I_i, R_i$ )=( 30, 105.3)之崩塌潛勢分布圖	63
圖 66	艾利颱風( $I_i, R_i$ )=( 34, 329)之崩塌潛勢分布圖	64
圖 67	艾利颱風( $I_i, R_i$ )=( 34, 503.8)之崩塌潛勢分布圖	64
圖 68	歷年降雨規模頻率與大鹿林道東線高風險影響坡面統計	66
圖 69	觀霧地區步道分布示意圖	69
圖 70	步道主體安全性調查準備用品	71
圖 71	觀霧地區步道主體現況調進度示意圖	75
圖 72	大鹿林道東線里程樁位點示意圖	76
圖 73	大霸線-大鹿林道東線至大霸尖山里程樁位點示意圖	95
圖 74	雲霧步道里程樁位點示意圖	99



圖 75	觀霧瀑布步道里程樁位點示意圖 .....	101
圖 76	蜜月小徑里程樁位點示意圖 .....	104
圖 77	檜山巨木群步道里程樁位點示意圖 .....	106
圖 78	樂山林道里程樁位點示意圖 .....	111
圖 79	賞鳥道里程樁位點示意圖 .....	115
圖 80	大鹿林道西線（至榛山步道口）里程樁位點示意圖 .....	118
圖 81	大鹿林道西線（至榛山步道口）里程樁位點示意圖 .....	122
圖 82	大鹿林道東線現況調查及模擬危險致災路段 .....	126
圖 83	大鹿林道東線現況調查及模擬危險致災路段 0K 至 7K .....	127
圖 84	大鹿林道東線現況調查及模擬危險致災路段 7K 至 13K .....	127
圖 85	大鹿林道東線現況調查及模擬危險致災路段 10K 至 19K .....	128
圖 86	12/4(五)地景保育研習訓練營活動合影 .....	130
圖 87	12/4(五)地景保育研習訓練營活動照片 .....	130
圖 88	12/4(五)地景保育研習訓練營活動照片 .....	130

## 表目錄

表 1	I-R 型臨界降雨系統 (整理自李明熹, 2006)	5
表 2	I-T 型臨界降雨系統 (整理自李明熹, 2006)	5
表 3	R-T 型臨界降雨系統 (整理自李明熹, 2006)	6
表 4	I-P 型臨界降雨系統 (整理自李明熹, 2006)	6
表 5	臺灣山區道路坡地災害警戒方式(陳韻如, 2012)	8
表 6	環境資料庫之類型和檔案格式	13
表 7	$I_{\max}-R_{te}$ 之降雨因子定義	23
表 8	93 年度至 94 年度間崩塌變異面積統計表	33
表 9	94 年度至 95 年度間崩塌變異面積統計表	34
表 10	94 年度至 95 年度間崩塌變異面積統計表	34
表 11	各年度新增崩塌坡面單元統計表	40
表 12	雪霸國家公園鄰近雨量站詳表	41
表 13	$I_1-R_{te}$ 之降雨因子定義	42
表 14	本計畫模型訓練資料集欄位說明	49
表 15	機率門檻於各模式驗證結果彙整表	52
表 16	簡化的風險矩陣	54
表 17	大鹿林道東線歷年降雨規模以及對應風險坡面單元統計分析	65
表 18	觀霧地區步道基本資料	69
表 19	步道主體設施安全性調查表	71
表 20	大鹿林道東線步道主體安全性現況調查表	77
表 21	大霸線主體安全性現況調查表	96
表 22	雲霧步道主體安全性現況調查表	100
表 23	觀霧瀑布步道主體安全性現況調查表	102
表 24	蜜月小徑主體安全性現況調查表	105
表 25	檜山巨木群步道主體安全性現況調查表	107
表 26	樂山林道主體安全性現況調查表	112
表 27	賞鳥步道主體安全性現況調查表	117
表 28	大鹿林道西線主體安全性現況調查表	120
表 29	榛山步道主體安全性現況調查表	123
表 30	12/4(五)地景保育研習訓練營活動議程	129

# 第一章 前言

## 第一節 計畫緣起與目的

921大地震後讓臺灣原已脆弱之地質更不穩定，加上全球氣候變遷，颱風豪雨之強度日益驚人，從桃芝、納莉、海棠、敏督利、辛樂克颱風，到重創大半個台灣的莫拉克颱風，暴雨導致之崩塌及土石流造成慘重之生命財產損失。加上近年來極端降雨事件發生頻繁，山坡地易因降雨引發不同規模崩塌，故對於山坡地的易崩特性、崩塌風險及警戒機制實有必要加以研究。

國內外學者對於崩塌機制及發生的原因，均指出其原因極為複雜，且很少由單一因子構成。導致崩塌發生的影響因子一般被分成潛在因子(簡稱潛因)與誘發因子(簡稱誘因)(李三畏, 1984, 1986; 張石角, 1987)。本研究認為潛因是指坡地本身具備的基本環境條件造成破壞之因素，包括地質、地形、岩石強度、節理方向、植生等。另一類係非自然因素，例如人為開墾、開闢道路、社區、開墾土石礦等活動，屬人為因素造成，一般可稱之為人工邊坡。誘因則指可直接誘發坡地崩壞之變動因素，如降雨、地震、河道沖刷、地下水等。

潛因與誘因造成坡地崩塌的力學機制，可從塊體受力之分析探討坡地是否穩定或可能發生滑動問題。目前國內外學者普遍認為影響塊體可能滑動之力有滑動力與抵抗力(吳俊鉉, 2005)，若兩力達到平衡時，則塊體穩定不動。以坡地而言，若有其他因素促使滑動面下滑力大於抗剪強度時，則塊體開始發生滑動或崩塌等現象。由上可知，對於影響邊坡穩定的因素，即是足以影響剪應力及抗剪強度之因素。Fookes *et al.*(1985)認為大地構造環境、地質、地形及氣候等因素足以影響坡地穩定。張石角(1987)則認為坡地崩塌的主要致災因子為雨水和地震，且涉及之相關因子可能有八項：坡度、岩質、高差、地質構造與坡向之關係、土壤、不連續面之傾角、動態地形作用及水。張石角(1988)也提出由於坡地的地質與地形條件組合有利於邊坡運動，才使得在降雨或地震事件發生時，常造成崩塌現象發生。Koukis & Ziourkas(1991)提出可能影響邊坡崩塌的因子有 64 個之多，包括動態的致災因子及潛在的環境因子。溫振宇(2005)整理 1996 年~2005 年 43 篇與崩塌製圖相關文獻，指出在前人研究中，崩塌因子選取次數的多寡依次為為坡度、岩性、坡向、高程、土地利用、與水系相關(包括距離、密度等)、植生相關(包括種類、密度、年齡等)、與地文相關(包括距離、種類、構造單元等)、土壤相關(包括種類、厚度、組織等)、坡形、曲率相關(包括水平、垂直等)、降雨相關(包括累積雨量、降雨強度等)。

本計畫中將利用歷史強降雨資料、坡地災害相關因子及坡地災害事件建立坡地災害潛勢評估模式，並應用於坡地災害風險評估及坡地災害警戒模式，並為後續管理應用之實用性，本計畫亦將採用以坡面單元為尺度進行分析，並蒐集相關坡地災害相關影像因子，利用多尺度空間資訊之套疊整合，建立坡面單元屬性特徵資料庫，以導出坡地災害潛勢評估分析，針對不同類型之坡面導出不同雨量觸發因子(最大小時降雨和總有效累積雨量)及崩塌地文因子(地質、坡度、坡向、河道遠近、植生、歷史崩塌以及歷史崩塌強降雨等資訊)之評估模型，並將分析結果整合

相關動態評估各山區坡面單元之災害潛勢地圖，並可結合空間環境資訊之整合，如劃分山區道路易致災路段，並探究其致災因子、危害度與損失程度等，同時進行各易致災路段之災害風險分析，進而依據各種災害類型與風險等級，提出創新構思與監測管理措施，以提高山區災害潛勢安全使用之參考指標依據。

## 第二節 工作項目與內容

本研究發展以坡面單元為基礎之坡地災害潛勢評估模式，預期可建立颱風事件對於災前坡地災害警戒之量化評估模型。本模型並可應用於發展坡地崩塌風險評估分析，進一步應用於建構坡地崩塌風險分析模型及提供未來減災應用之參考，提升國內坡地崩塌量化分析、警戒與風險評估之研究發展，以下為本年度計畫工作項目：

1. 透過大數據空間環境資訊、實證區現況調查以及多年度的崩塌降雨資訊建立崩塌關聯資料庫。
2. 針對實證地區範圍之坡面導出不同雨量觸發因子(最大小時降雨和總有效累積雨量)及地文潛勢因子(地質、坡度、坡向、河道遠近、植生、歷史崩塌)之坡地災害潛勢評估模型。
3. 根據多尺度空間災害潛勢分析結果，針對不同規模之降雨誘因組成，動態評估各山區坡面單元之災害潛勢地圖，進而依據各種災害類型與風險等級，提出創新構思與監測管理措施，以提高山區災害潛勢安全使用之參考指標依據。
4. 研析實際防災應變之操作，設計有效之坡地災害警戒發布管理流程，以供經營管理及自然保育實務參考。

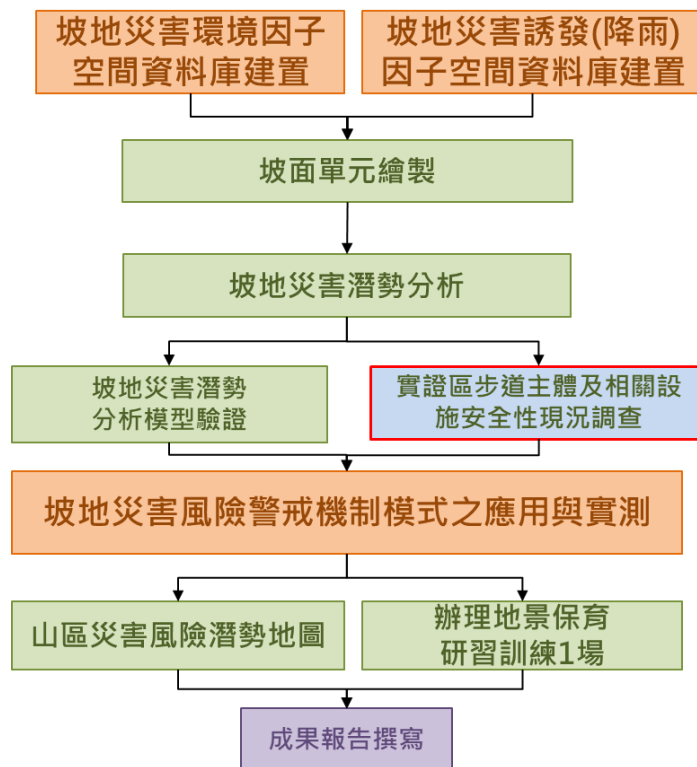


圖 1 計畫工作項目與流程

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 坡地災害因子之探討

回顧學者之研究，各學者對於崩塌之定義有著不同的解釋，Varnes (1958) 認為崩塌是指山坡上的物質，受到重力作用影響後，產生向外、向下的運動如表1；坡地中部分的坡面，因土塊受重力作用，向下或向側面移動之現象，皆以崩塌稱之；李三畏 (1986) 則表示崩塌是指山坡面上之土壤，受到外力影響的而失去平衡，所產生向外與向下的移動現象。由此可以發現，崩塌的發生是因受到外力之影響下，而導致坡地之組成結構性不穩不足以支撐本身之重量，而引致坡地上岩土層脫落本體之現象。

表 1 Varnes 斜坡運動分類表

物質運動之型態 Type of Movement		塊體移動物質種類 Type of Material		
		基岩 Bedrock	工程土壤 Engineering Soils	
			粗粒為主	細粒為主
墜落 Falls		岩石墜落 Rock Fall	岩屑墜落 Debris Fall	土墜落 Earth Fall
傾覆 Topples		岩石傾覆 Rock Tumble	岩屑傾覆 Debris Tumble	土墜落 Earth Fall
滑動 Slides	轉動 Rotational	岩石崩移 Rock Slump	岩屑崩移 Debris Slump	土崩移 Earth Slump
	移動 Translational	岩塊滑動 Rock Block slide(Glide) 岩石滑動 Rock Slide	岩屑塊滑動 Debris Block Slide 岩屑滑動 Debris Slide	土塊滑動 Earth Block Slide(Glide) 土滑動 Earth Slide
側落 Lateral Spreads		岩石側落 Rock Spread	岩屑側落 Debris Spread	土側落 Earth Spread
流動 Flows		岩石流動 Rock Flow(深層潛 移 Deep Creep)	岩屑流動 Debris Flow 土流動 Earth Flow 土壤潛移 Earth Creep	
複合運動 Complex		複合兩種或兩種以上之運動方式		

其他學者的研究也顯示出相似的觀點。藉由整理這些不同研究的論點，廣義之坡地崩塌泛指經過風化作用後地表上破碎支岩屑與土壤，受到重力作用的影響之下，順著坡面向下或向外側之運動的現象，在此尚不考慮風化物質受到風、流水以冰等介質之搬運作用。這些介質於下坡運動所產生的現象，只是降低風化物質內部之摩擦力，或是增加風化物質之重量，致使風化物質往下運動更加容易而已（陳信雄，1995）。蘇苗彬（2009）也描述崩塌為土石移動現象，包括崩（collapse）、坍（clump）、塌（slump）、滑（sliding）、陷（caving）、落（falling）等，常見分為山崩、沖蝕、潛移、地滑及土石流等類型。

雖我國與日、美等國對於崩塌之定義有些微差異，但同樣的是大規模崩塌破壞面深入岩盤、滑動速度快速、滑動面較為深層、地下水之影響大、崩塌量體大、易造成重大災損、影響之範



## 第二節 崩塌警戒雨量文獻回顧

由於山崩所包含的災害類型廣泛，如土石流、岩屑崩滑、落石、岩體滑動等，皆屬於不同型態之山崩類型，且各種山崩類型機制皆不相同，很難統一論述。多數研究常是針對單一山崩類型，擬定臨界降雨量模式，例如：土石流臨界降雨量及警戒降雨量模式。國內外現行臨界降雨量研究常使用的降雨參數有降雨強度 (I)、累積降雨量 (R)、降雨延時 (T) 及前期降雨 (P) 等四種。然誘發山坡地災害發生之颱風豪雨事件，其降雨延時大多會超過一天，故較為保守作法是以累積雨量做為降雨參數，若採用一場降雨之有效累積雨量來推估，所求得機率值會較大，但以一場完整降雨的分析方式較為嚴謹，且較為費時 (李欣輯，2006)。此種以累積降雨量推估模式的類型有 I-R 類型、I-T 類型、R-T 類型、I-P 類型及其他類型，其中又以 I-R 及 I-T 類型最為普遍。各類型研究方法如表 1 至表 4 所示。

表 1 I-R 型臨界降雨系統 (整理自李明熹，2006)

以降雨強度(I)與累積雨量(R)為臨界指標				
	作者	降雨強度(I)	累積雨量(R)	臨界降雨關係式
國內	謝正倫(1991-1996)	$I_e$ (有效降雨強度)	$R_{te}$ (總有效累積雨量)	$I_e = a * R_{te} + c$
	江與林(1991)	$I_e$ (有效降雨強度)	$R_e$ (有效累積雨量)	$R_e = a + c * I_e$
	范正成(1996-1998)	$I_e$ (有效降雨強度)	$R_e$ (有效累積雨量)	$I_e = a * R_e + c$
	詹錢登等(2004)	$I$ (降雨強度)	$R_{te}$ (總有效累積雨量)	$RTI = I * R_{te}$
國外	瀨尾克美與船崎昌繼(1978)	$I_e$ (有效降雨強度)	$R_e$ (有效累積雨量)	$R_e = a + c * I_e$
	譚萬沛(1991)	$I$ (降雨強度)或 $I_{10}$ (10分鐘降雨強度)	$R_{te}$ (總有效累積雨量)	$I_{10} = a * R_{te} + c$ $I = a * R_{te} + c$

表 2 I-T 型臨界降雨系統 (整理自李明熹，2006)

以降雨強度(I)與降雨延時(T)為臨界指標				
	作者	降雨強度(I)	降雨延時(T)	臨界降雨關係式
國內	陳晉琪(2000)	$I_e$ (有效降雨強度)	$T_e$ (有效降雨延時)	$I_e = Q_c / T_e + I_L$
	詹錢登等人(2001)	$I_e$ (有效降雨強度)	$T_e$ (有效降雨延時)	$(I_e - I_L) T_e = Q_c$
	廖偉民(2001)	$I_e$ (有效降雨強度)	$T_e$ (有效降雨延時)	$(I_e - I_L) T_e = Q_c$
國外	Caine(1980)	$I^*$ (平均降雨強度)	$T^*$ (一場降雨的降雨延時)	$I^* = 14.82 * T^{*-0.39}$
	Canon-Ellen(1985)	$I^*$ (平均降雨強度)	$T^*$ (一場降雨的降雨延時)	$T^* = a / I^* - b$
	Wieczorek(1987)	$I^*$ (平均降雨強度)	$T^*$ (一場降雨的降雨延時)	$T^* = 0.9 / I^* - 0.17$
	Keefe et al.(1987)	$I^*$ (平均降雨強度)	$T^*$ (一場降雨的降雨延時)	$(T^* - I_L) * T^* = Q_c$

註:  $I_L$ : 水量流失或流失強度  $Q_c$ : 土層內蓄積之臨界水量

表 3 R-T 型臨界降雨系統 (整理自李明熹, 2006)

以累積雨量(R)與降雨延時(T)為臨界指標				
	作者	降雨強度(I)	降雨延時(T)	臨界降雨關係式
國內	范正成等人(1999)	$R_e$ (有效累積雨量)	$T_e$ (有效降雨延時)	$R_e=238.7-16.15 \times T_e$
	范正成等人(2002)	$R_e$ (有效累積雨量)	$T_e$ (有效降雨延時)	$R_e = -0.487 T_e - 0.05Z + 234$ (地震前) $R_e = -0.487 T_e - 0.05Z + 234 - a x e^{(b \times PGA) x e^{(ct^*)}}$ (地震後)
註: Z:地文相關因子 PGA: 地表最大加速度(g) t*: 發生地震後至今之時間(年)				

表 4 I-P 型臨界降雨系統 (整理自李明熹, 2006)

以降雨強度(I)與前期降雨(P)為臨界指標				
	作者	降雨強度(I)	前期降雨(P)	臨界降雨關係式
國外	網千壽夫(1972)	$I_d$ (當日降雨強度)	$P_{14}$ (土石流發生當日前 14 天之累積雨量)	$P_{14} = a / (I_d + b)$
	吳積善(1990)	$I_{10}$ (10 分鐘降雨強度)	$P_{10}$ (發生當日 10 分中激發雨量潛致降雨開始的累積雨量)+ $P_{20}$ (發生當日前 20 天之累積雨量)	$I_{10} = 5.5 - 0.09 I_x$ $(P_{10} + P_{20}) \geq 0.5$

國內進行臨界雨量及警戒發布機制之研究，早期多以土石流災害案例為主，然而由於近年來重大災害頻傳，目前國內已逐漸發展山崩、公路防救災等領域之警戒應用，茲針對近年重要研究成果依據「臨界降雨量前人研究」及「國內臨界降雨量警戒發布機制沿革」簡要說明如下：

### 一、 臨界降雨量前人研究

根據土石流臨界降雨量前人研究，在臨界降雨線 (Critical Line, 以下簡稱 CL) 界定後，針對發生區和未發生區域的劃分方法，大致可分為三種類型，分別為單線型、雙線型及三線型，示意圖如圖 1.7-1 所示。分別將三種研究方法以土石流為例分類列於表 1.7-6，三種研究方法詳細定義如下：

1. 單線型：以兩個降雨參數為指標，建立一條臨界雨量線，將區域分為災害發生區及災害不發生區。(Caine (1980)、Cannon-Ellen (1985)、Keef er et al.(1987)、Wieczorek (1987)、Wilson (1997)、Deganutti et al. (2000)、瀨尾克美與船崎昌繼 (1973)、青木佑久 (1980)、譚萬沛 (1991)、孟河清(1991)、江永哲與林啟源(1991)、陸源忠 (1995)、范正成與姚正松(1997)、陳晉琪 (2000)、詹錢登等人 (2001)、姚善文 (2000)、范正成等人 (1999, 2001))
2. 雙線型：具備單線型分區方式，另建立一條受災線，將土石流發生區分為小規模發生區與極大規模發生區。(網千壽夫 (1973)、吳積善 (1990))



3. 三線型：具備單線型分區方式，另建立一條警戒基準線和一條避難基準線，將災害不發生區分為三區塊。(瀨尾克美與橫部幸裕 (1978)、謝正倫(1993, 1995))

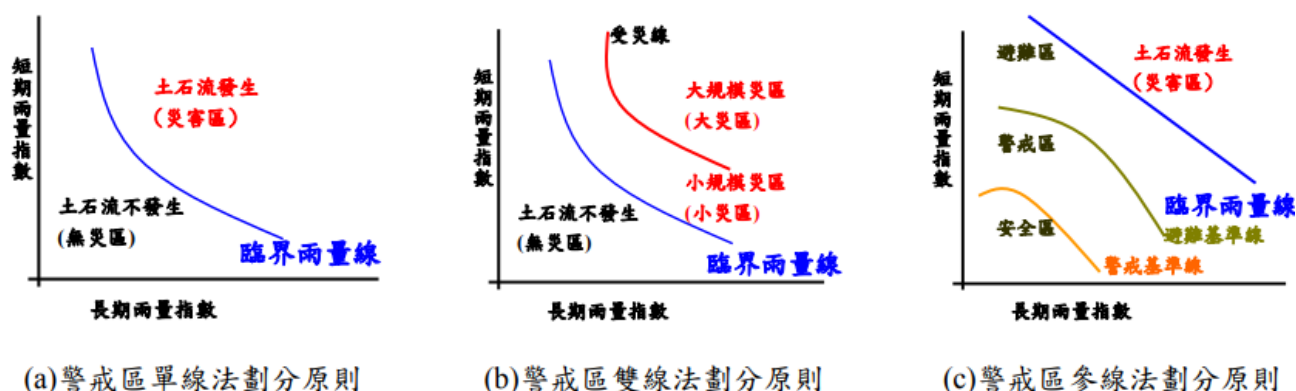


圖 3 臺灣不同警戒區之劃設方式(詹錢登等，2003)

## 二、 國內臨界降雨量警戒發布機制沿革

過去NCDR 亦對山區道路崩塌災害潛勢評估進行了一系列之研究，其內容包含：(一)國內易致災山區道路、(二)不同颱風路徑造成山區道路崩塌的風險評估、(三)建立山區道路崩塌潛勢分析評估模式與門檻值等。研究採行 Kendall 相關性統計分析方法，深入評估降雨因子造成道路邊坡崩塌致災關係，並以總雨量及最大時雨量兩個因子進行 Logistic 迴歸，據此建立山區道路崩塌潛勢機率模式。防災期間操作方式可分為三個階段：(1)颱風未登陸前：依據可能侵襲之不同颱風路徑，先行估算可能警戒道路之高中低潛勢值，提早預置防救災資源於高潛勢路段。(2)颱風登陸期間：針對已發布之高潛勢道路路段，提醒用路人行經之安全作為或替代道路之使用，同時密切注意易與外界中斷交通形成孤島之山區聚落，提早囤積所需物資。(3)已有風雨預報且降雨集中區域：將前述所採用之總雨量及最大時雨量輸入潛勢機率模式中，若雨量超過警戒值，則對用路人發布可能發生崩塌之訊息，並對此高潛勢道路需要進行封路措施或建議改行其他安全替代道路(表 5)。

此外，公路總局近年投入大量心力於公路預警機制之研擬(圖 4)，除訂定預警性封路流程外(圖 5)，亦擬定各一、二級監控路段之預警值、警戒值、行動值等封路標準。以一級監控路段為例，預警等級(黃色注意)為氣象局預測雨量達到預警值或實測雨量達預警值時發布，發布後交通維持通行，但須開始關注後續降雨狀況；警戒等級(橙色管制)為實測雨量達警戒值時發布，發布後交通維持通行，惟可能出現零星落石及小規模土石坍流，並採隨坍隨清，並於管制點勸導遊客避免進入該區域；行動等級(紅色封閉)為實測雨量達行動值時發布，發布後經研判後續仍有持續降雨趨勢時，路段將進行封閉，並請用路人前往安全停駐空間或緊急暫停空間或行走路況良好的替代道路(交通部公路總局防災特報，2013)。

表 5 臺灣山區道路坡地災害警戒方式(陳韻如，2012)

階段	山區省道道路警戒依據
颱風未登陸前	依據可能的不同颱風路徑，提供過去該颱風路徑下，山區省道各分段易致災的警戒道路潛勢，分析未來可能警戒道路之高中低潛勢，針對中高潛勢的路段，提早配置相關防救災措施。
颱風登陸期間	針對易致災省道區，可能影響高潛勢路段的村里道路，發佈警戒資訊，提醒該區域用路人避免使用該道路或行經該道路時應注意，並注意高潛勢路段的村里是否可能發生孤島的問題，應準備足夠的物資。
已風雨預報資訊與有明顯降雨集中地區	將降雨量與時雨量帶入建立的山區道路崩塌潛勢機率模式中，評估該雨量是否會超過警戒值，若超過該道路的警戒值，則依據該道路的高潛勢路段，提早提醒當地民眾與用路人可能發生道路崩塌，避免行走該路段或行走替代道路。

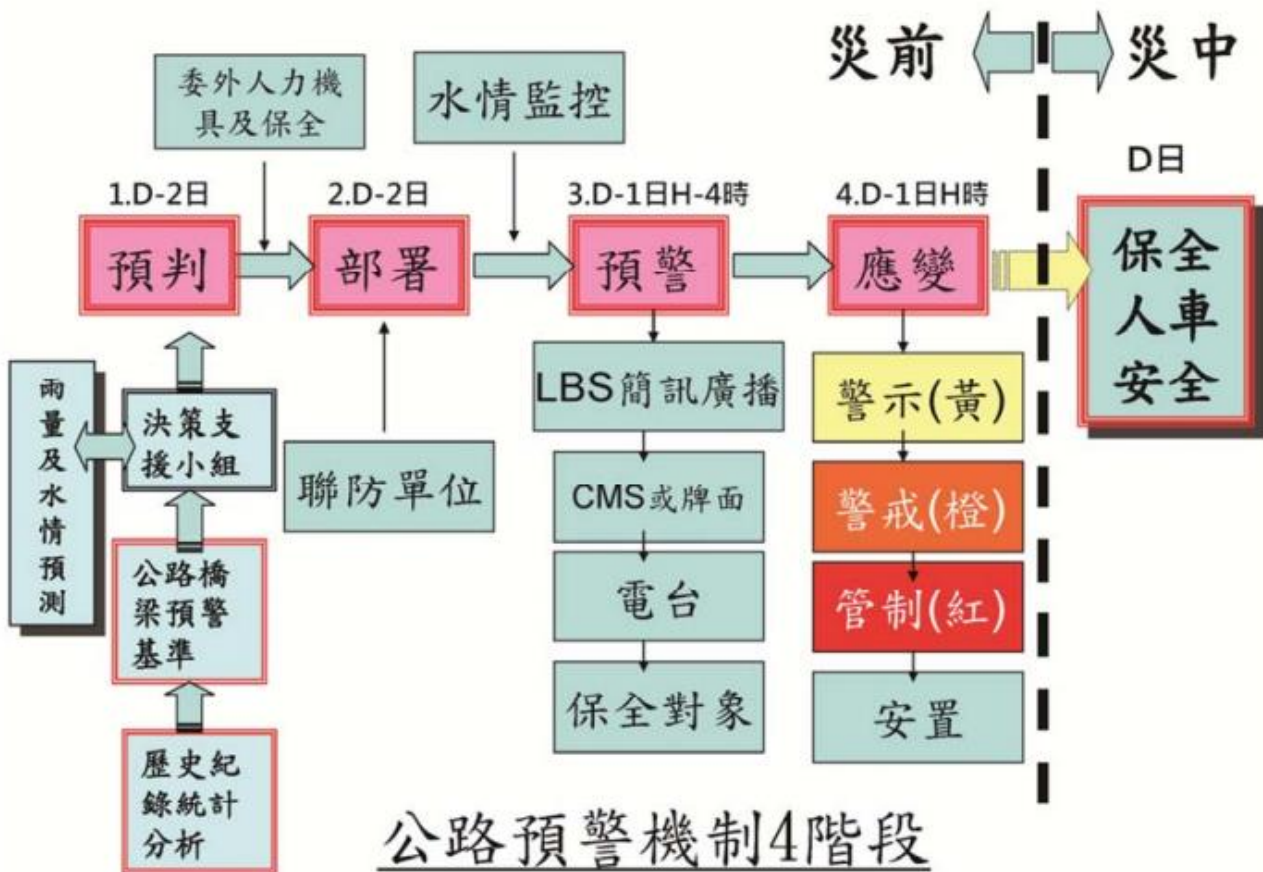


圖 4 交通部公路總局封路標準作業流程圖(陳進發，2011)

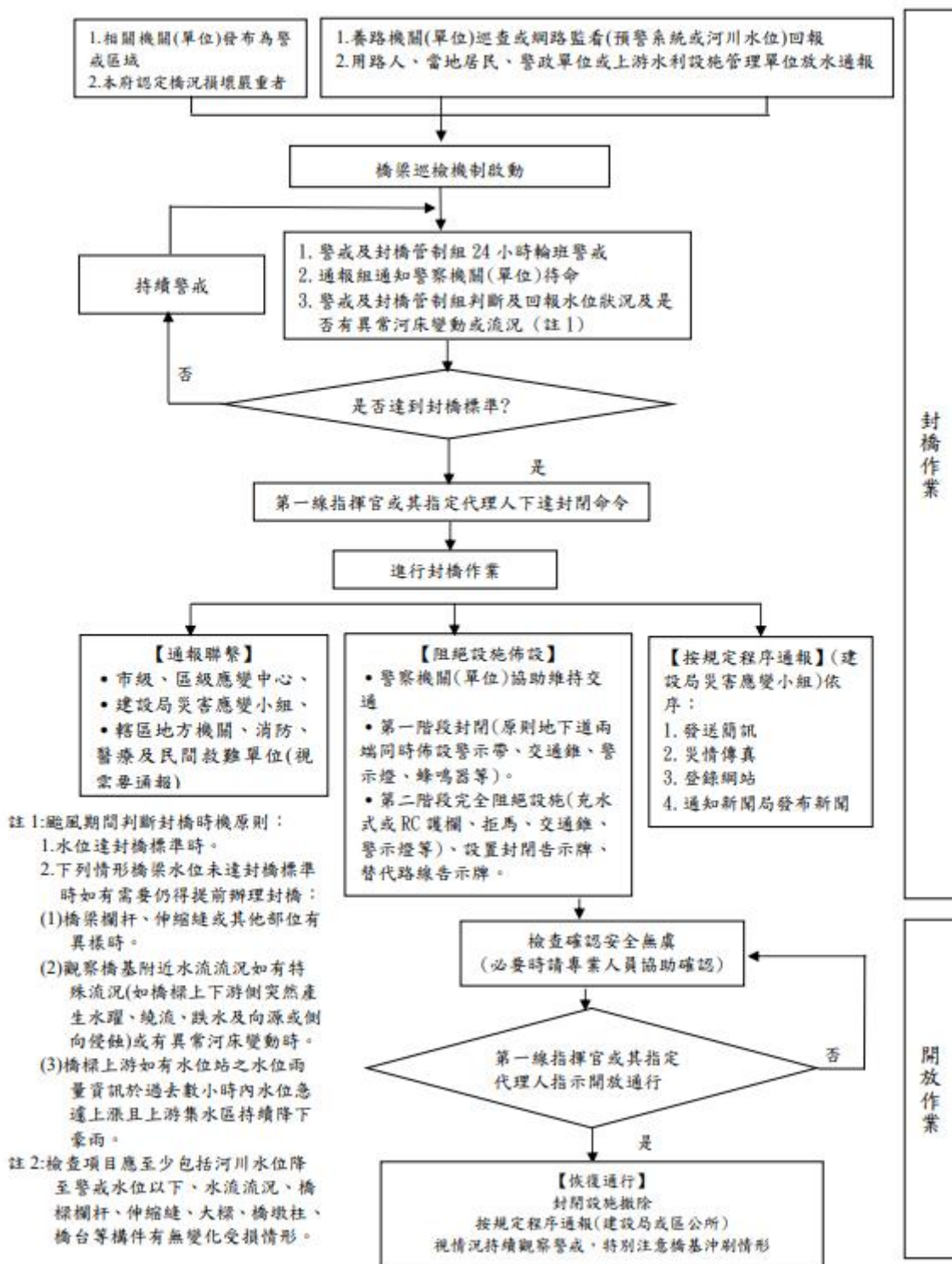


圖 5 交通部公路總局封橋標準作業流程圖(交通部公路總局, 2011)

### 第三節 坡地災害潛勢評估方法

目前山崩潛勢分析中最普遍被使用的測繪單元為網格單元及斜坡單元, 香港政府於1977年推行長遠的「防止山泥傾瀉計畫」( Landslides Preventative Measures, LPM), 使用「斜坡」為

單元管理香港境內大大小小的斜坡。目前香港已建立一套完整「斜坡安全系統」，大幅減低山崩的風險(楊樹榮等人，2011)。

義大利亦為使用斜坡單元進行山崩潛感分析的國家，Carrara(1983)將斜坡單元應用在山崩潛感分析上並使用於判別分析方法成功將山崩及非山崩區域劃分開來，Carrara et al.(1995,1999)同樣使用斜坡單元及判別分析法，並加入了地理資訊系統(GIS)的技術對義大利Umbria 地區進行山崩潛感分析以及山崩潛感圖繪製，得到含泥地層、植生覆蓋率、含水及不含水地層為當地最顯著之因子；Guzzetti(2005)在義大利的Staffora River basin，將275km<sup>2</sup> 的研究區劃分成2243個斜坡單元，並使用了多年期山崩目錄，計算了每個斜坡單元中不同重現期距的山崩超越機率及山崩潛感值。而以往利用斜坡單元當作基本測繪單元並使用統計方法進行山崩潛感分析時，是以每個斜坡單元中山崩面積所佔的比例，取一門檻值做為山崩組與非山崩組的分類，定義此斜坡單元的山崩與否，在做統計時，應變數為類別變數，也就是斜坡單元為山崩或是非山崩。

而在坡地災害潛勢評估模式中，過去學者通常透過聯合統計分析方法辨別崩塌之地形、地質及水文等因子，並透過資料挖掘建立一組能夠解釋崩塌資訊之因子組合，以及崩塌潛勢模型，李錫提(2009)提出，從歷史的觀點來看，山崩及土石流災害分析(Hazard Analysis)方法是分別由傳統的山崩潛感分析及運用於地震誘發山崩與豪雨誘發山崩研究的定值分析發展而來。山崩潛感分析大體上可分為定性法及定量法兩大類，定量法又包括了統計分析及人工智慧之運用等兩類。定值分析在發展上是走與山崩潛感分析完全不同的另一條路徑。陳振宇(2013)提出，一般對於土砂災害的預測及警戒模式，大致可分為統計模式(Statistical Model)法與物理模式(Physically-based Model)法二大類。其中統計模式法大多使用雨量等易於量測及取得的現地資料作為指標，經由歷史災例與雨量資料之統計，訂定崩塌或土石流發生之臨界雨量，例如Wieczorek and Glade(2005)曾蒐集世界各國以雨量為警戒指標的土石流警戒模式，以及日本與台灣現行的土砂災害警戒模式。統計模式法之優點為計算快速，可應用於降雨期間即時的廣域土砂災害警戒；但缺點為無法明確預測災害的類型、可能發生地點及規模。

相對而言，物理模式法，則可提供可能發生之地點及其規模的預測(Fujita and Tsutsumi, 2008)；但缺點則是分析計算費時，且現地地文因子參數蒐集困難等條件，一般只能使用於少數特定邊坡的警戒或災後分析，無法應用於流域尺度內的每一個坡面。(陳振宇，2013)。本研究主要探討透過雙降雨因子建立土石流預警臨界曲線，後續預警模式文獻回顧以統計模式法為主，李秉乾等人(2014)利用坡地易損性曲線表達坡地在某降雨條件下引致崩塌發生之機率(可能性)。利用網格集群最大概似法估計不同流域之坡地易損性參數，並將坡地易損性分析結果應用於坡地之崩塌警戒評估。所發展之坡地易損性曲線，考量坡度、植生、距河道遠近等不同因子組合下之坡地分類，建立不同雨量因子(小時降雨強度和前段降雨)下之崩塌發生機率關係。在崩塌警戒模式方面，斜坡單元發展聚落管理單元之劃定方法，並應用坡地易損性曲線建立聚落管理單元之崩塌警戒評估模式。研究結果顯示坡地易損性曲線能夠合理地描述集水區流

域之崩塌特性，並可有效地應用於坡地崩塌警戒評估。另一方面，現代類神經網絡是一種非線性統計性數據建模工具，常用來對輸入和輸出間複雜的關係進行建模，或用來探索數據的模式。亦有不少學者將其應用於土石流或崩塌預警領域。

Osanai et al. (2010) 日本從2005年開始於部份地區（例如鹿兒島縣等）以徑向基底函數網路（Radial Basis Function Network, RBFN）為架構，將雨量資料以類神經網路模式直接劃設出臨界線。2008年時並已建立日本全國之土砂災害發生臨界線及災害警戒系統，作為判定土砂災害應變階段之準則。該系統於颱風豪雨期間基於5km網格式雷達解析雨量資料，得到每一網格之土壤含水指數（每5km×5km的網格採用同一組水桶模式所用的參數），以及未來1至6小時的短期預報雨量資料，定時將實測雨量點繪於圖上形成一連續之蛇形線（Snake Line），如蛇形線已超過或即將超過土砂災害發生臨界線時，即發布土砂災害警戒。Nomura et al. (2014) 同樣基於目前日本採用之徑向基底函數網路（RBFN）非線性臨界線（CL）之方式，其主要基礎數據為未發生災害之雨場雨量數據。並研究考慮到邊坡受到地震擾動的影響，發生大地震後，臨界線應由20-50%按比例縮小。在這項研究中，通過分析在東日本大地震後的七個月發生災害的資料進行研究。其結果是使用因應地震調整的臨時臨界線提高了18.8%的災害捕捉率，顯示臨時性警戒線的調整是有效的。

### 第三章 崩塌事件資料庫建置

雪霸國家公園位於台灣本島中北部，於民國八十一年七月一日成立，為台灣第五座國家公園，總面積達76,850公頃，涵括新竹縣五峰鄉、尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉，屬於高山型國家公園。其境內高山林立，地形錯綜複雜，景色氣象萬千，高峰溪流景觀雄偉壯麗，同時蘊涵完整豐富的動植物及人文等生態資源，具有維生的、生態的、科學的、遊憩的、文化的、教育的、以及經濟等永續經營的價值，且為重要的生態教育典範區。

而本計畫主要研究分析之地區主要為觀霧遊憩區及周邊地區，其包含雲霧步道、大鹿林道東線及西線、巨木群步道、榛山步道、蜜月小徑、瀑布步道、賞鳥步道、大霸線等地區，其地理位置如下圖 6所示。

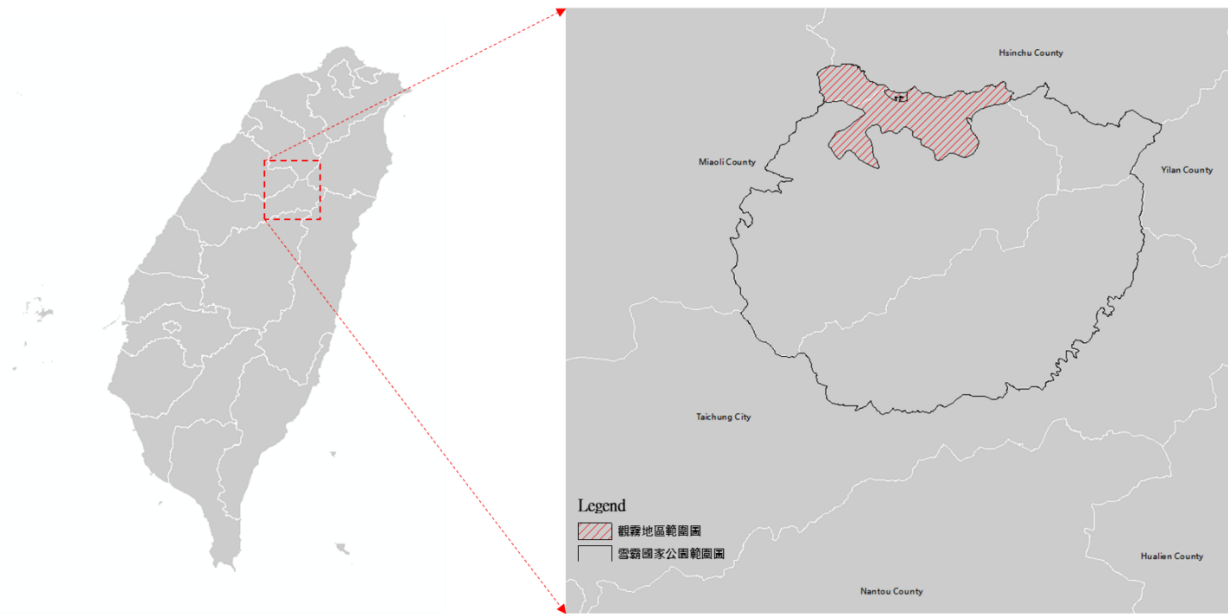


圖 6 計畫研究範圍圖

本研究認為潛因是坡地本身所具備之環境條件所構成之破壞因素，包含地質、地形、岩石特性、地表植生狀況、節理方向等。誘因為直接導致坡地崩塌發生之變動因素，如地震、地下水、降雨、河水滔蝕等，因此進行坡地災害潛勢分析前須建立研究範圍內各類環境因子資料，集水區資料蒐集自林務局農林航測所繪製之雪霸國家公園範圍內所涵蓋之大漢溪、上坪溪、大安溪以及大甲溪之相關地文、水文地理資訊圖資以及水土保持局全國集水區圖層，採用圖層範圍包括主、次、子集水區範圍圖、河系圖等地理資訊基本圖資。在集水區地文環境因子方面，本計畫藉由網格資料庫建置各類環境因子屬性、植生變異因子、驅動因子及崩塌事件等資訊。而本計畫將以環境資料庫以20m×20m之網格尺度使不同集水區範圍內所有屬性因子鏈結，環

境資料庫細分為四個部分：(1)環境潛勢因子；(2) 前期擾動誘發因子；(3) 降雨驅動因子 及(4) 崩塌資訊。資料庫基礎為調查蒐集之基本資料，例如集水區基本圖資(水土保持局提供)、歷年汛前衛星影像(購自中央大學太遙中心)、數值高程模型(水土保持局提供)、二十五萬分之一地質圖(水土保持局提供)、土地利用圖(內政部提供)等基本共通資料，並且須進一步處理各類資訊，例如坡度、坡向、距河道遠近、植生、高程、雨量因子、崩塌地資訊等，如表 6所示。

表 6 環境資料庫之類型和檔案格式

類型	資料名稱	檔案形式
環境潛勢因子	地質	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
	高程	影像檔案(Raster，解析度：5m)
	坡度	影像檔案(Raster，解析度：5m)
	坡向	影像檔案(Raster，解析度：5m)
	土壤	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
	距河道遠近	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
	差異化植生指標	影像檔案(Raster，解析度：20m)
前期擾動誘發因子	距斷層遠近	向量檔案(Shapfile，類型：Ployline)
	前期崩塌	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
	前期降雨強度	影像檔案(Raster，解析度：20m)
	前期總有效累積降雨	影像檔案(Raster，解析度：20m)
	前期降雨延時	資料庫檔案
降雨驅動因子	降雨強度 $I_{max}$	影像檔案(Raster，解析度：20m)
	總有效累積降雨 $R_{te}$	影像檔案(Raster，解析度：20m)
	前期降雨延時	資料庫檔案
崩塌資訊	各年度全島崩塌地判釋地圖	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)

## 第一節 坡地災害環境潛勢因子空間資料庫建置

### 一、地質資料

地質資料方面，本計畫採用中央地質調查所產製之二十五萬分之一地質圖，詳細繪出地質之年代、地層及岩性分類，實證範圍之地質分布如下圖 7 所示。而雪霸國家公園範圍中主要由漸新世以及更新世兩種年代組成，在岩性類別則分別由硬頁岩夾薄至厚層砂岩、厚層或塊狀白色中至極粗粒石英岩及硬頁岩、硬頁岩夾泥質砂岩、紅土、礫石、砂及粘土等組成，而地層類別則主要是由四稜砂岩、乾溝層、大桶山層以及紅土台地堆積等組成。

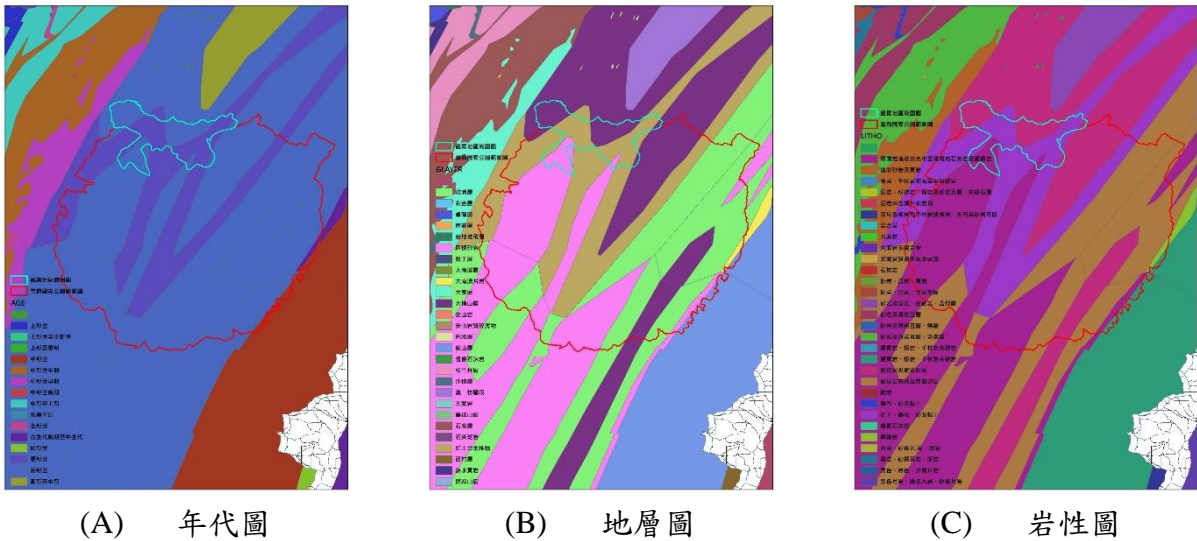


圖 7 計畫研究範圍地質圖

### 二、數值高程資料

數值高程模型(digital elevation model; DEM)是指所有關於地形表面的數值表現及描述(Carter, 1988 ; Miller and Leflamme, 1985)，可視為地表的替代模式。本研究蒐集內政部所製作，解析度為 5m × 5m 網格尺度之數值高程模型，如下圖 8 所示。

此資料提供計畫區域空間位置之高程資訊，並應用於計算相關地形參數，例如高程、坡度、坡向以及坡面單元劃定等基礎資料，以下為各地面因子之特徵萃取說明與結果。



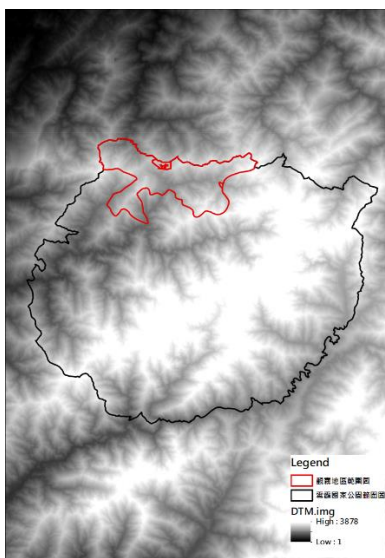


圖 8 計畫研究範圍數值高程模型圖

### 1. 坡度資料

水土保持技術規範(2012)第 23 條指出：「山坡地坡度係指一坵塊土地之平均傾斜比」。本計畫坡度亦以此定義，其計算方式係以 DEM 資料利用 ArcGIS 軟體輔助計算集水區 5m 網格之平均傾斜比。ArcGIS 預設坡度計算係採用「坵塊法」，為水土保持技術規範內二種容許方法之一(另一為等高線法)。如圖 9(1)所示，各集水區以水土保持技術規範之坡級為坡度值級距，所得數值為度數( $^{\circ}$ )，就物理意義而言，邊坡坡度愈大，岩屑越容易沿 岩土界面崩滑，導致邊坡穩定性越低。

### 2. 坡向資料

過去文獻顯示崩塌與坡向有關(Sidle, Percea and O'loughlin, 1985)，由於降雨的雨量多寡與該區域的氣流、地形、迎背風向相關，使得區域某一坡向常具有較易崩塌的潛勢。坡向是指坡面的朝向，它表示表面某處最陡的傾斜方向。在計算坡向的過程中，坡向以度為單位按逆時針方向從 0 度(正北方向)至 360 度來度量，可分為九方向。坡向圖中的每個網格單元的值表示此網格單元所在的坡面方向。水平的坡沒有面向，均被賦予-1 值。研究範圍之坡向如圖 9(2)所示。

### 3. 地面曲率因子

地面曲率是對地形表面點的扭曲變化程度的度量化度量因子，如圖 9(3)，其是一種對地形二次微分的概念，代表其坡度或坡向的相對變化程度，即邊坡的凹凸程度，因此又分為剖面曲率，即對地面坡度的沿最大坡降方向地面高程變化率的度量，如圖 9(4)，以及平面曲率，即過地形表面上某點得水平面沿水平方向切地形表面所得的曲線在該點的曲率值，即該點所在的地面等高線的彎曲程度，下圖 9(5)為研究實證範圍之

平面曲率圖。

4. 坡度變率 (Slope of Slope of DEM, SOS)

為斜坡單元內坡度的標準差值，即地面坡度的變化，反映地面有沒有一個陡坎，有變化的地方才出現大值，下圖 9(6)為研究實證範圍之坡度變率圖。

5. 坡向變率 (Slope of Aspect of DEM, SOA)

即地面坡向的坡度，可以很好地反映等高線的彎曲程度，下圖 9(7)為研究實證範圍之坡向變率圖。

6. 地形起伏度

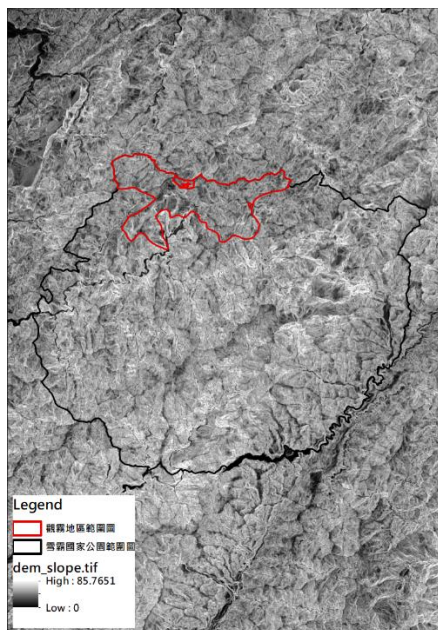
即在指定區域內，最高海拔點和最低海拔點的差值，下圖 9(8)為研究實證範圍之地形起伏度圖。

7. 地表切割深度

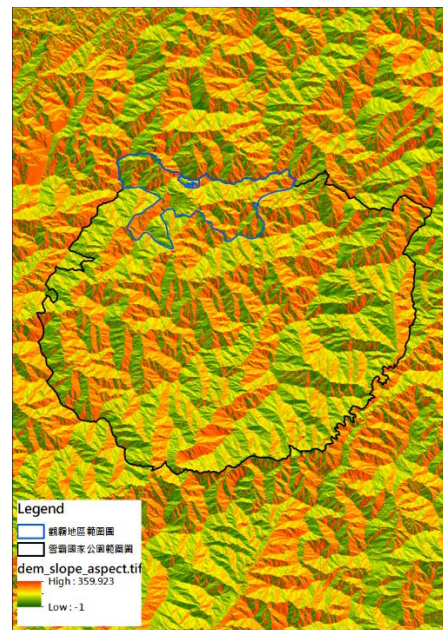
地面某點的鄰域範圍的平均高程與該鄰域範圍內的最小高程的差值,反映地表被侵蝕切割的情況，下圖 9(9)為研究實證範圍之地表切割深度圖。

8. 地表粗糙度

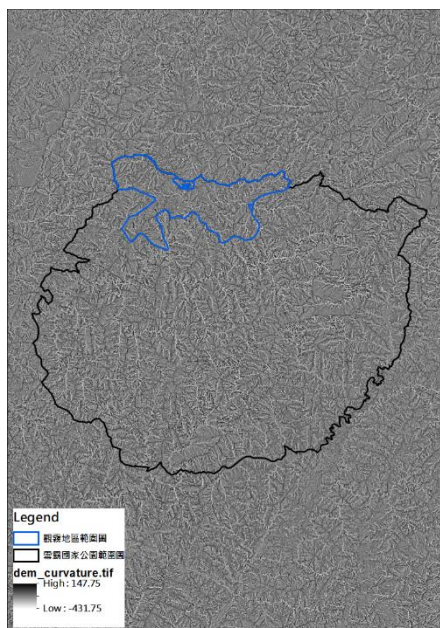
反映地表的起伏變化和侵蝕程度的指標，一般定義為地表單元的曲面面積與其在水平面上的投影面積之比，下圖 9(10)為研究實證範圍之地表粗糙度圖。



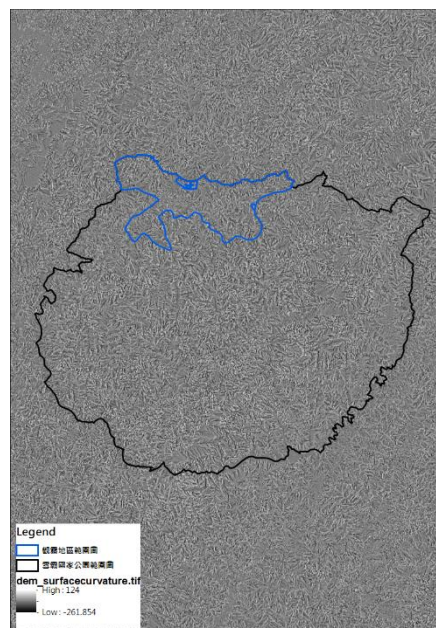
(1) 坡度



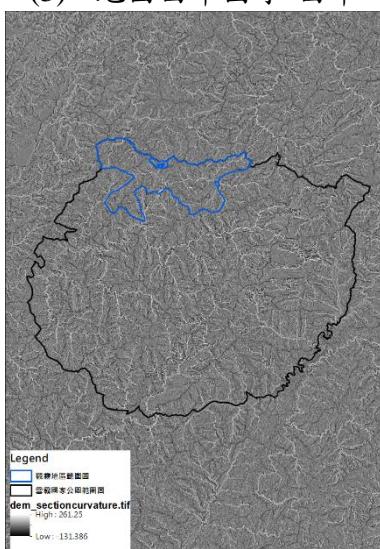
(2) 坡向



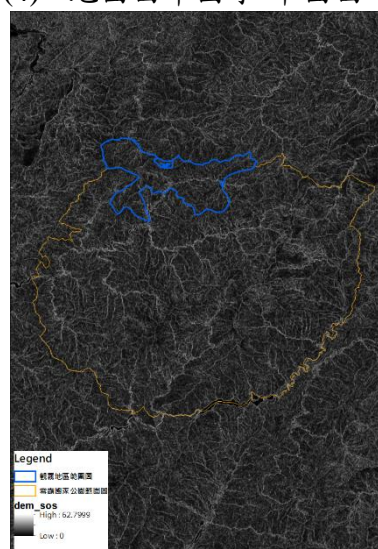
(3) 地面曲率因子-曲率



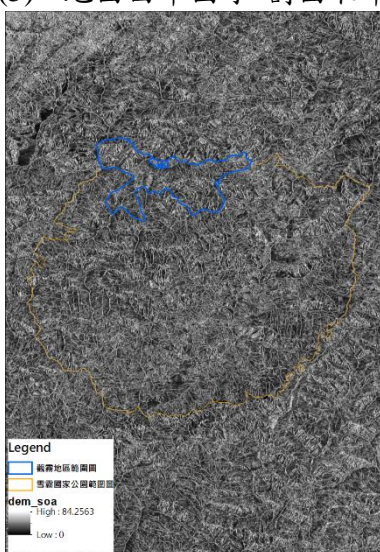
(4) 地面曲率因子-平面曲率



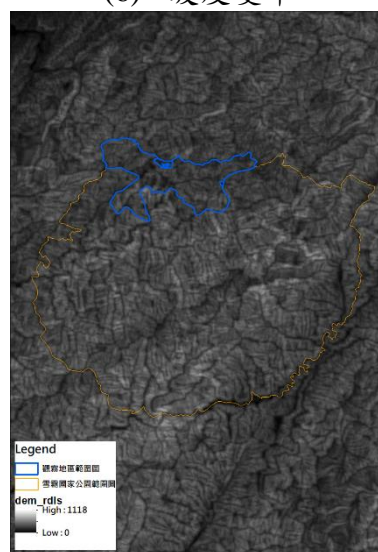
(5) 地面曲率因子-剖面取率



(6) 坡度變率



(7) 坡向變率



(8) 地形起伏度

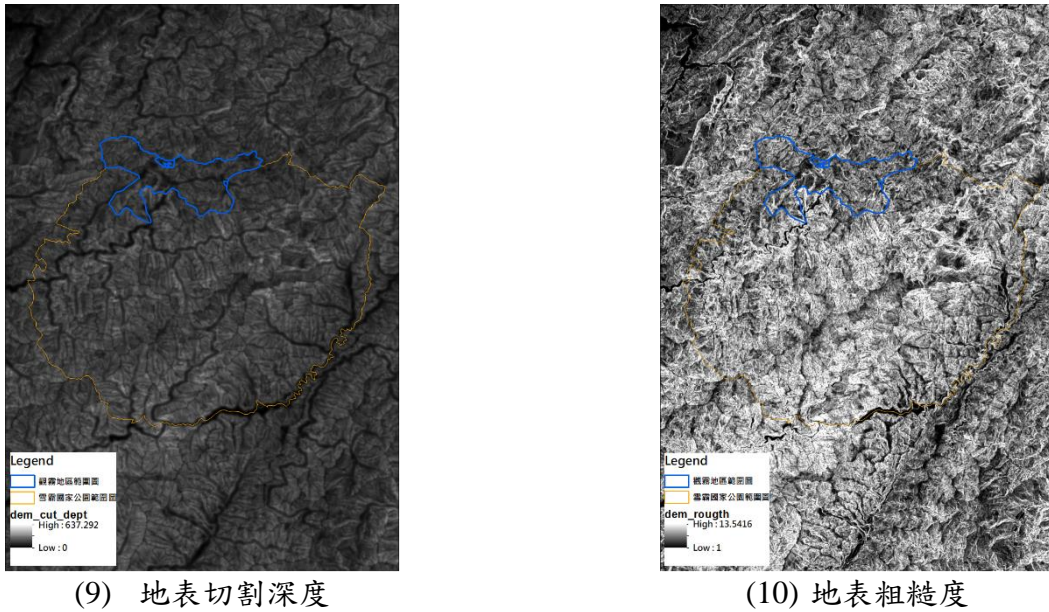


圖 9 計畫研究範圍地形特徵分析結果圖

### 三、 順向坡

順向坡係指坡面之走向、傾向與區域主要不連續面之位態一致。由地層所造成之順向坡為傾斜岩層地區常見之崩塌型態，順向坡本身並非災害類型，但順向坡岩土交界面上風化岩屑、土壤容易在豪雨時發生滑動，當其趾部受到開挖擾動或坡頂上大量增加荷重時，容易造成大規模滑動，本計畫使用中央地質調查所 91 至 95 年「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置」與 96 至 99 年「山地聚落及周圍坡地地質環境調查與敏感區劃設」計畫產製的順向坡敏感區圖層，如下圖 10 所示，本研究將計算每個斜坡單元中，順向坡面積佔斜坡單元總面積的比例。

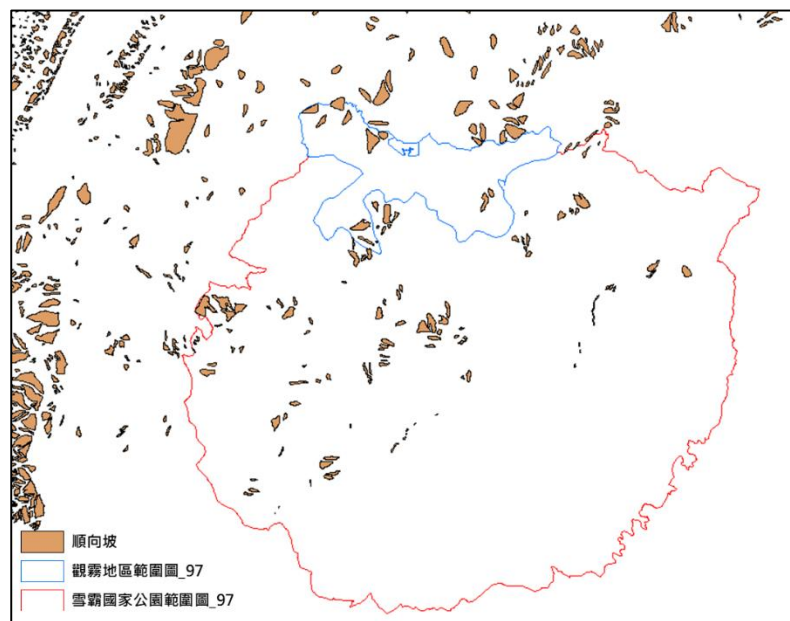


圖 10 計畫研究範圍順向坡分布圖

#### 四、 水文因子資料

由於降雨在坡面形成地表逕流，對地表產生侵蝕並形成河道。通常在坡面上，隨著流程的增加，地表逕流將逐漸累積。當流量增加到一定程度，在當地坡度及糙度的情況下，使得地表逕流的沖刷能力超過當地土壤或裸岩所能承受的抗沖蝕力時，則坡面便開始發生沖蝕；而為輔助建立地表逕流模型的地理處理分析工具，本團隊運用數值高程模型處理分析工具，運用數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM），即可分析獲取地表逕流模型之水流方向、匯流累積量、水流長度、河流網路、河網分級、流域及集水區分割等資訊，而其中水流方向、匯流累積量則是可作為流域集水區之特徵環境因子，各集水區之水文分析演算結果如下圖 11 所示。

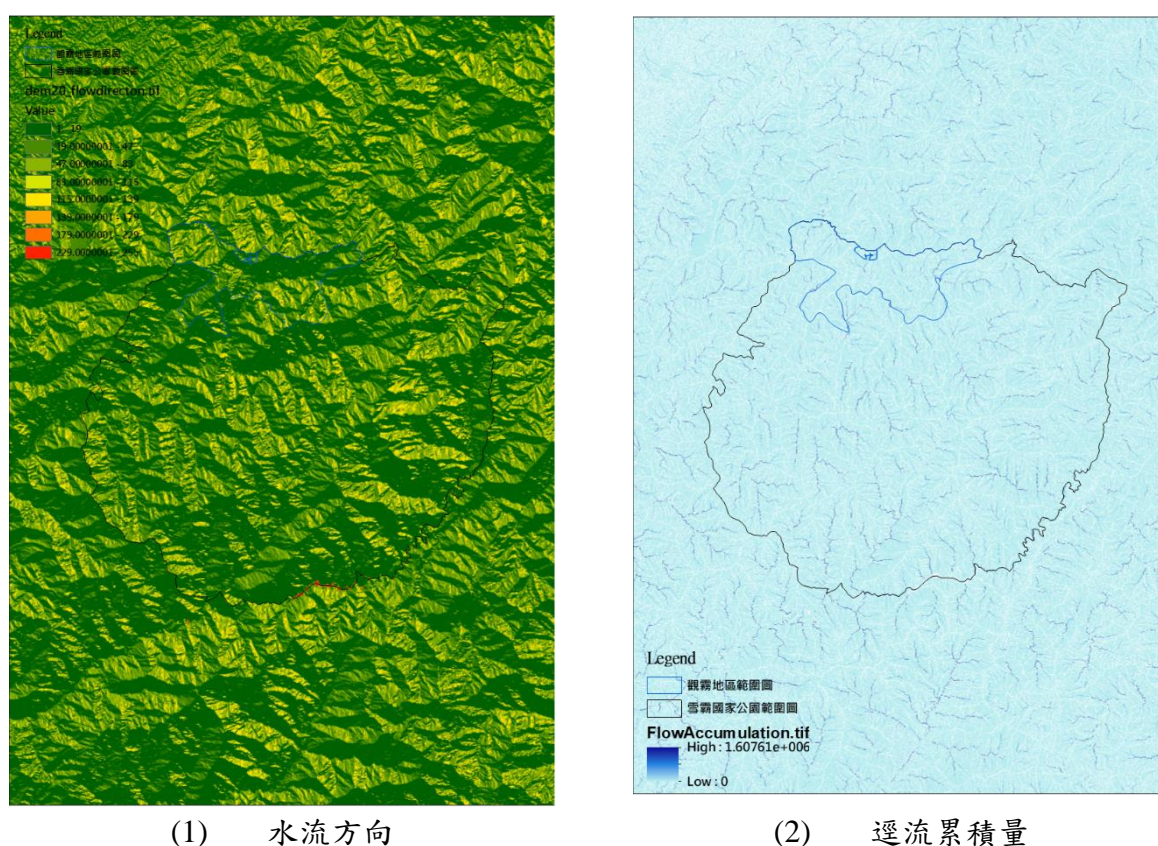


圖 11 計畫研究範圍水文分析結果圖

#### 五、 植生樣態資料

前述提及之各項因子資料，皆屬短期間不易變動、更新週期較長或者變動幅度不大者，因此可視其為不變之環境因子；另一類環境因子，則為具易變異之環境因子，在較短期間內必須考慮其變異特徵，因此應視其為變動之環境因子，例如坡地之植生、崩塌狀況等。這些因子可藉由定期拍攝之衛星遙測影像加以分析，進而瞭解環境變遷、變異，以及更新、

擴充崩塌資料庫。

在環境因子中，植生狀況變異可利用常態化差異植生指標(Normalised Difference Vegetation Index, NDVI)來解釋地表的植生狀況。NDVI 是數值指標，主要用於分析衛星所得訊息，利用衛星影像的近紅外光波段，評估目標地區綠色植被的生長狀況。計算方式是利用紅光與近紅外光的反射，顯示出植物生長、生態系的資訊，其值介於-1~1 之間，數值愈大表示綠色植物生長愈多，公式如下：

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2-1)$$

上式中，NIR 為近紅外光反射；RED 為紅光反射。當 RED=0 時，有最大值 1；反之，當 NIR=0 時，有最小值-1。由式(3-1)中，利用(NIR-RED)即能偵測植物生長量之特性，使其再除以(NIR+RED)之目的在於使其正規化，正規化的用途是防止除以零的數值誤差，並使比值能限於+1 與-1 之間以方便做比較。此外，小於零的 NDVI 值，通常屬於非植生之雲層、水域、道路和建物、裸露地等，故指數愈大時，代表綠色植物量之增加，NDVI 為綠色植物探勘最常用之指標，綠色植物生長愈旺盛，其吸收之紅光愈多，紅外光之反射愈強，故其間差異愈大之原理，以二者波段相差與和的比例而成。

崩塌資料庫中對於各事件之植生狀況，以事件前期之衛星影像資料利用 ERDAS Imagine 計算不同影像時期的 NDVI 值並使資料網格化。

而本計畫建立之崩塌事件資料庫及環境因子資料庫中，對於現地環境條件和植生現況等變動因子需定期予以更新至最新環境資料，因此，為掌握雪霸國家公園重大颱風豪雨事件與坡地災害之關聯性，將針對研究區域蒐集重大颱風豪雨事件前汛期前之衛星影像，本計畫將優先針對民國 93 年艾利颱風作為重點嚴重颱風豪雨事件，並蒐集該年度汛期前之衛星影像，本計畫所購買之法國 SPOT5 衛星影像拍攝於 2004 年 2 月 10 日之影像，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；以及 109 年度汛期前(2020 年 01 月 2 日)之 SPOT7 衛星影像，像元大小為 6 公尺\*6 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，並根據各時期之影像萃取坡地植生分析作為崩塌評估模式之修正參考，新的植生分析結果會使聚落坡面單元之崩塌植生因子產生變化，以利於模型訓練參數之更新，下圖 12 為實證範圍之 2004 年以及 2020 年度汛期前之衛星影像植生特徵分析圖。

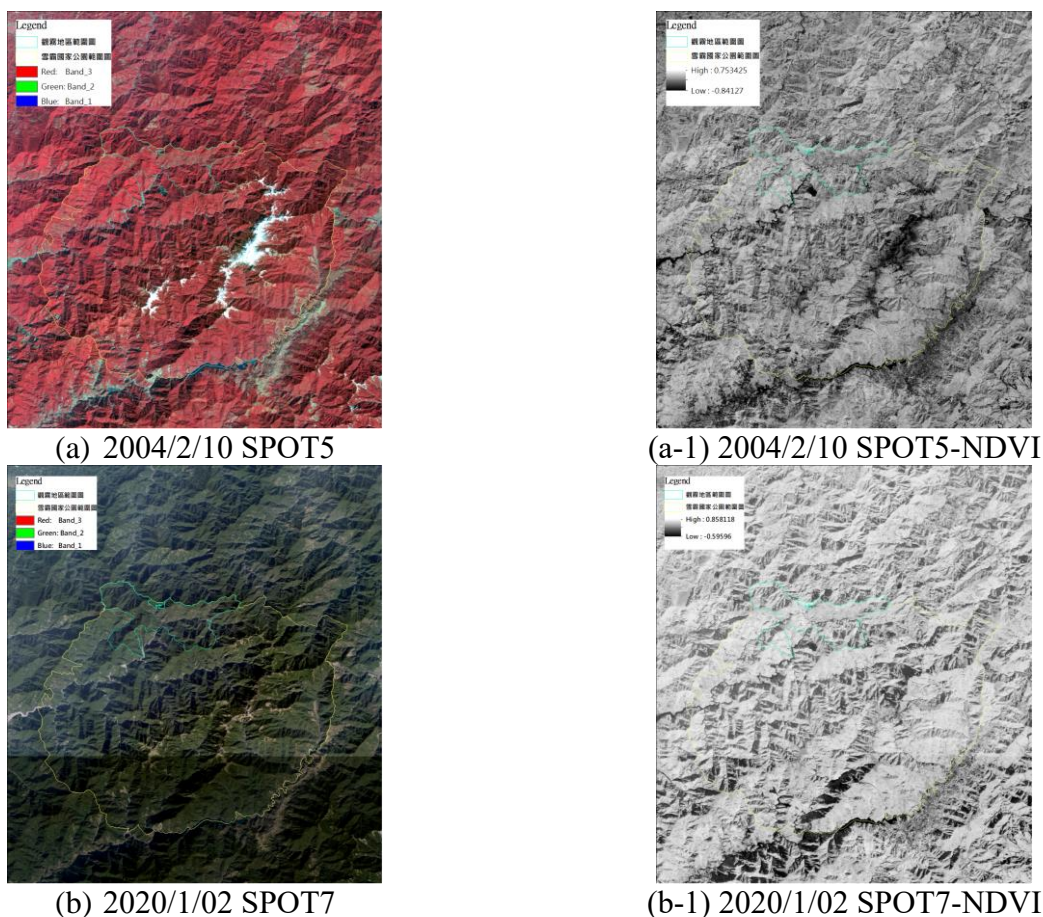


圖 12 計畫研究範圍植生分析成果圖

## 第二節 降雨誘發資料庫建置

崩塌資料庫中還包括事件之降雨誘發因子資料，颱風事件雨量資料來源主要為中央氣象局之全國各雨量測站資料。本計畫目前已蒐集 93 年度至 106 年度重大颱風事件中央氣象局之各雨量測站資料，依據中央氣象局公布的颱風侵台時間、經濟部水利署的颱風事件以及水保局土石流警戒發布時間為準。研究中集水區用以分析之雨量測站圖 13 所示，共 16 站。各雨量站蒐集之資料內容主要為小時降雨歷時紀錄，並利用小時降雨量資料計算事件之各降雨因子，作為後續空間雨量推估及分析之依據。

在相同的降雨時間序列中，各類雨場分割方法計算所得的降雨因子可能會有不同的結果。由於降雨引致崩塌發生之致災因素極為複雜，除量的多寡(雨下多大)還有時間的因素(雨下多久)，此即降雨型態的因素；因此單一觀察任何一種雨量因子對崩塌發生並不是非常的敏感，微小的差異並不會對崩塌是否發生造成極大的影響，這也是崩塌臨界降雨門檻值難以訂定的原因。因此，本計畫採用目前水土保持局針對土石流潛勢溪流警戒管理相同之定義，即：「一場連續降雨過程，以時雨量大於 4mm 處視為有效降雨時間之開始，以時雨量連續 6 小時總累積

雨量不超出 24mm，且其中任 1 小時之降雨量不超過 10mm 時視為降雨結束。」此有效降雨開始至降雨結束區間，即為一場有效連續降雨事件，如圖 14 所示。在後續警戒應變中亦採用相同事件定義。

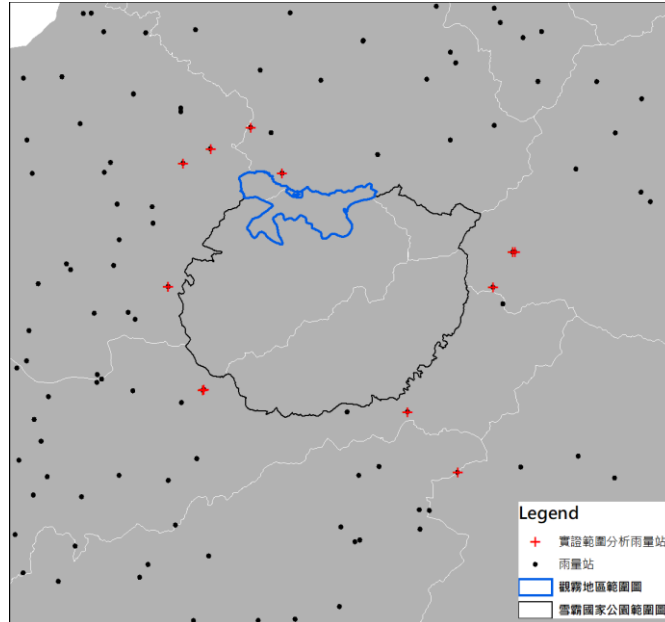


圖 13 計畫研究範圍分析雨量站分布圖

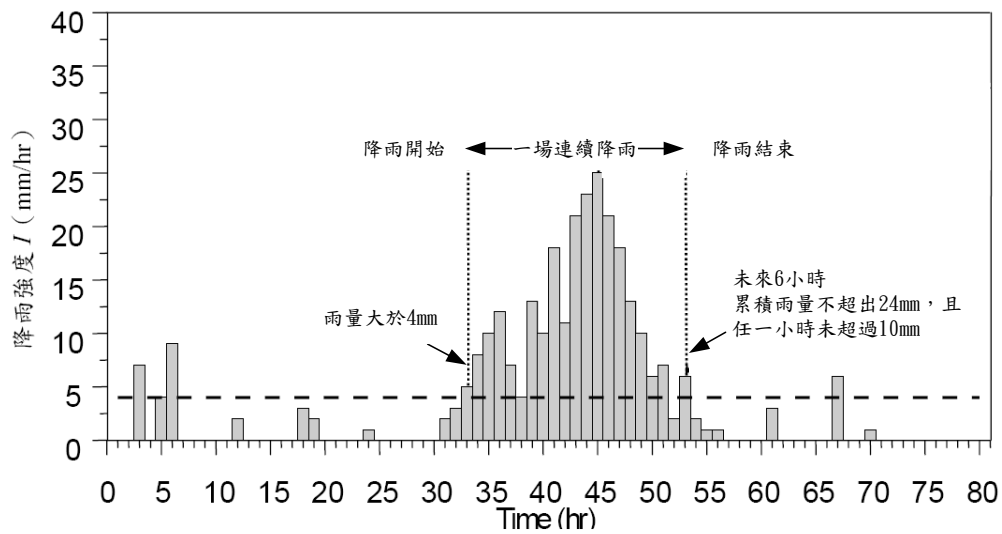


圖 14 本計畫之雨場分割定義

崩塌、土石流相關之降雨強度與有效累積雨量因子具有許多不同定義，不同的降雨因子定義在不同研究背景和應用層次有所不同，但並非其中某一種雨量因子即能概括崩塌、土石流，通常需要綜合多個因子共同考量。本研究探討之雙變量雨量因子，在團隊過去的研究已經建立 I1-Rte 模式，即採用 1 小時降雨強度定義為最大小時降雨強度(I1：mm)；而對應的累積雨量定義為總有效累積降雨(Rte：mm)，如表 7 所示。



表 7  $I_{max}-R_{te}$  之降雨因子定義

降雨因子名稱	代號	定義
最大小時降雨強度	$I_{max}$	本次降雨開始時刻後之最大小時降雨強度
對應 $I_1$ 之總有效累積降雨	$R_{te}$	本次降雨開始時刻前七天的加權降雨量(註 1)與開始時刻至最大小時降雨強度前一時刻之累積雨量之和

註 1：加權雨量係前七天降雨量每日折減 0.7，即每日(每 24 小時之總和)折減；例如前 3 日之降雨應折減權重為  $0.7^3$ ，前 2 日之降雨應折減權重為  $0.7^2$ 。

然本計畫在過去計畫執行過程發現在影像萃取崩塌判釋之過程，取得影像之時間較屬不穩定，且定義該颱風豪雨前以及該颱風豪雨後所取得影像之時，為配合影像能夠在判釋技術操作能夠進行前提下，所選取之影像拍攝時間上相距甚大，其前後期影像判釋之崩塌未必是由單一颱風豪雨事件所造成的，因此本計畫在進行崩塌事件資料庫擴增之時，採用新增年度崩塌資料庫為基準，並利用行政院農委會資料開放平台中由林務局委託成功大學以當年度 1~7 月全島鑲嵌福衛二號衛星影像，建立自動判釋崩塌地作業標準所判釋之崩塌地判釋結果進行崩塌資料庫擴增，同時針對當年度 7 月至隔年度 7 月間且對本團隊實證區之土石流警戒有達到紅色警戒之颱風豪雨事件進行雨量資料蒐集擴增，進而交叉比對，取得當年度 7 月至隔年度 7 月間之新增崩塌地以及對應於當年度 7 月至隔年度 7 月間最大時雨量之颱風豪雨事件，以進行崩塌雨量資料庫之擴增，並假設崩塌災事件的發生有次序性關係，也就是當降雨發生後，其規模由小到大，當降雨規模達到一定程度後(誘因條件滿足)，再加上不同集水區的環境條件的組合關係(潛因條件滿足)後，就會發生崩塌事件，因此對於各年度前後期間所萃取之新增崩塌假設歸於該年度間之重大颱風豪雨事件所導致的。

因此，本計畫依據中央氣象局公布的度颱風侵台時間、經濟部水利署的颱風事件以及農委會水土保持局過去於各颱風豪雨事件啟動應變小組之時間作為各事件影響目標集水區之時間，根據各年度新增崩塌地圖之時序範圍(93 年度 7 月至 94 年度 7 月間，94 年度 7 月至 95 年度 7 月間，以此類推)，針對研究中實證區周邊篩選資料有問題及無紀錄測站後，以 93 年度 7 月至 94 年度 7 月間為例，蒐集該時序範圍內颱風豪雨事件之小時降雨以及前期累積降雨之歷時紀錄，分別有艾利颱風、0910 水災暨海馬颱風、南瑪都颱風以及海棠颱風，如下圖 15，根據本計畫定義之雨場事件，並計算各颱風事件雨量站之降雨因子，包括  $I_{max}$  及  $R_{te}$ 。計算之結果利用地理資訊系統軟體內的空間分析工具，該工具之克利金空間內插模組來進行降雨空間分布推估。對於  $I_{max}-R_{te}$ ，實證範圍內 93 年度 7 月至 94 年度 7 月間各颱風豪雨事件之最大小時降

雨強度及總有效累積雨量之空間分布如圖 16 至圖 23。

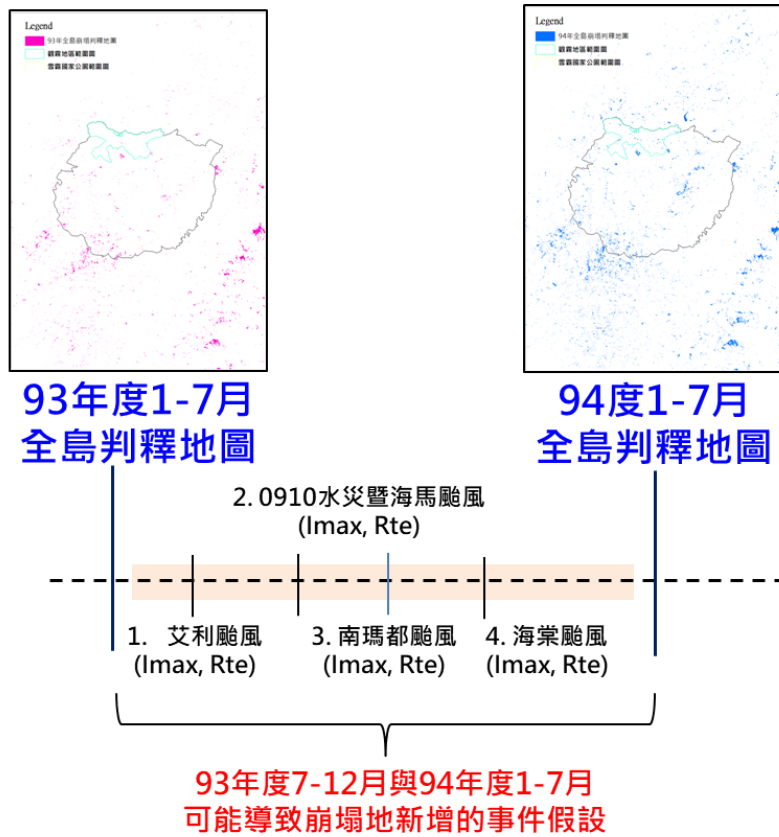


圖 15 93-94 年度全島崩塌地圖前後期颱風豪雨事件時序示意圖

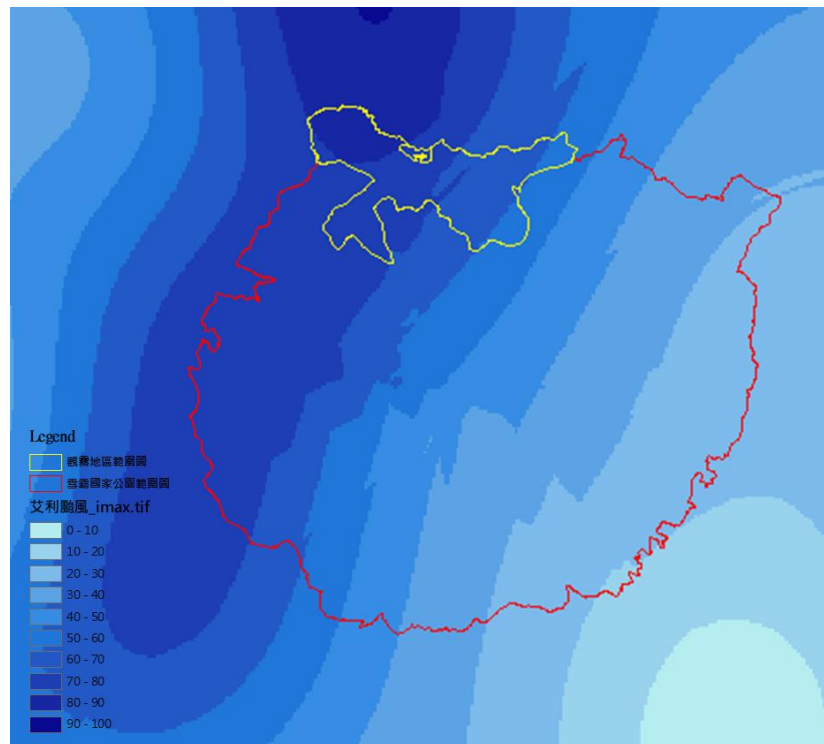


圖 16 艾利颱風最大小時降雨(I<sub>max</sub>)空間分布推估結果

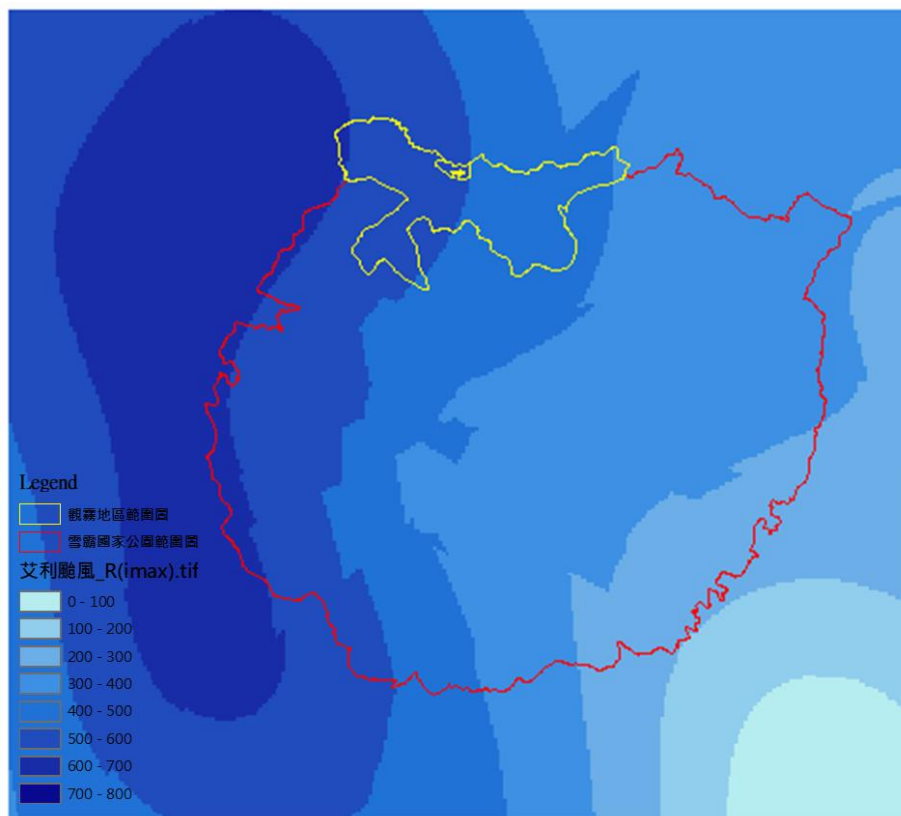


圖 17 艾利颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果

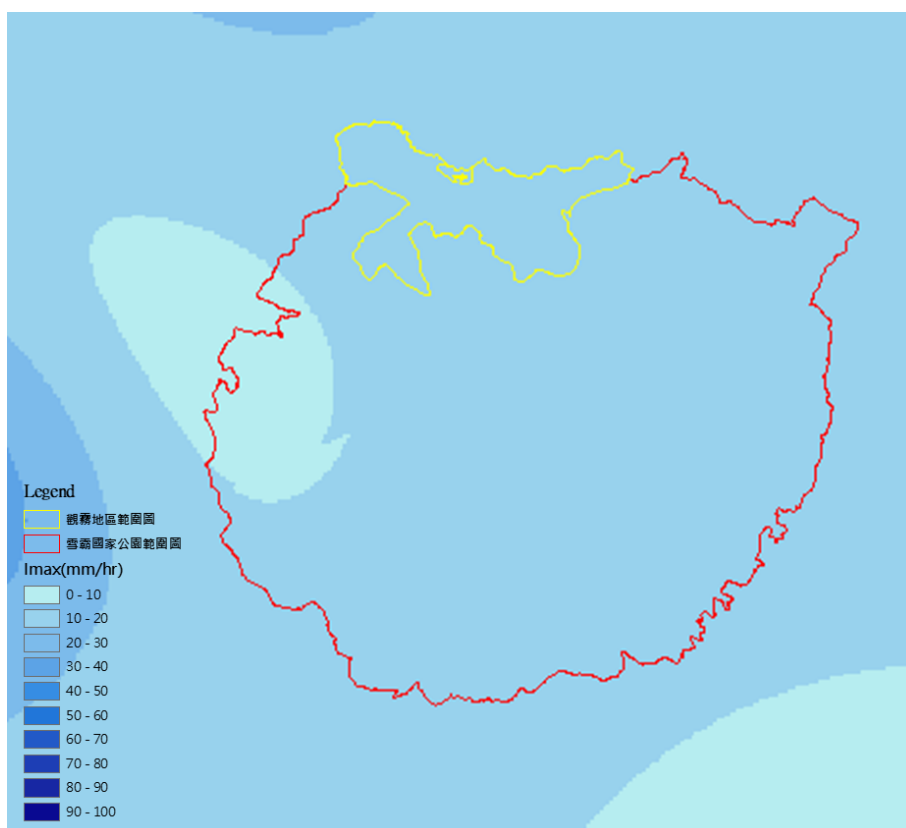


圖 18 0910 水災暨海馬颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果

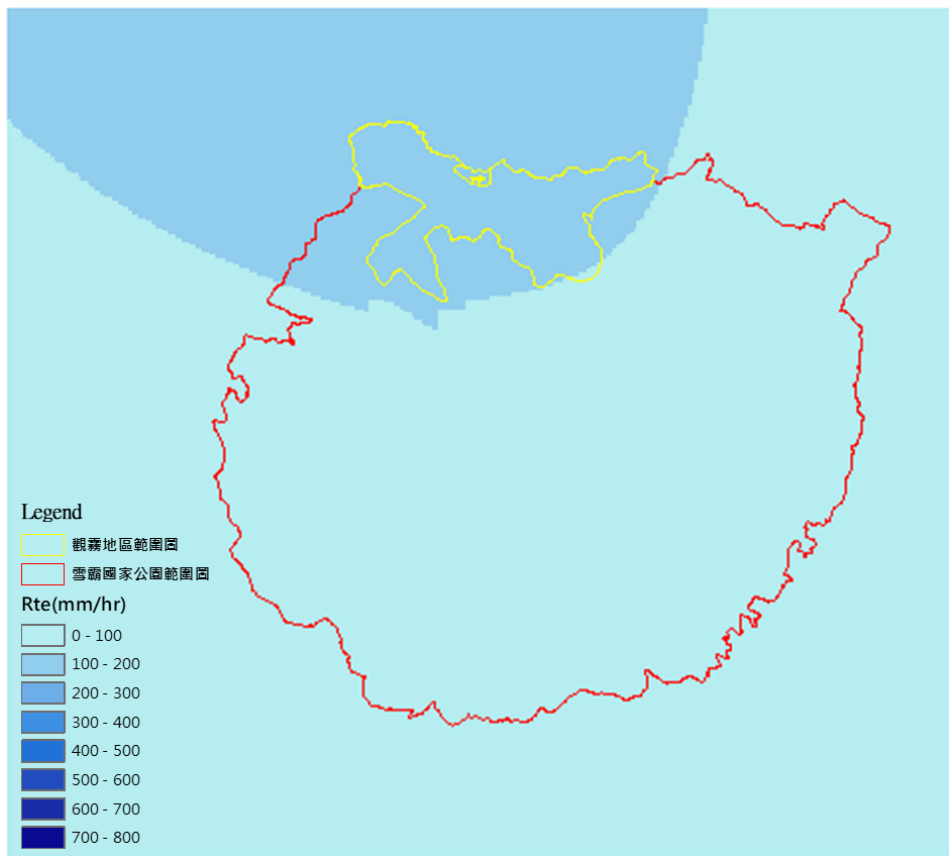


圖 19 0910 水災暨海馬颱風有效累積降雨(Rte)分布推估結果

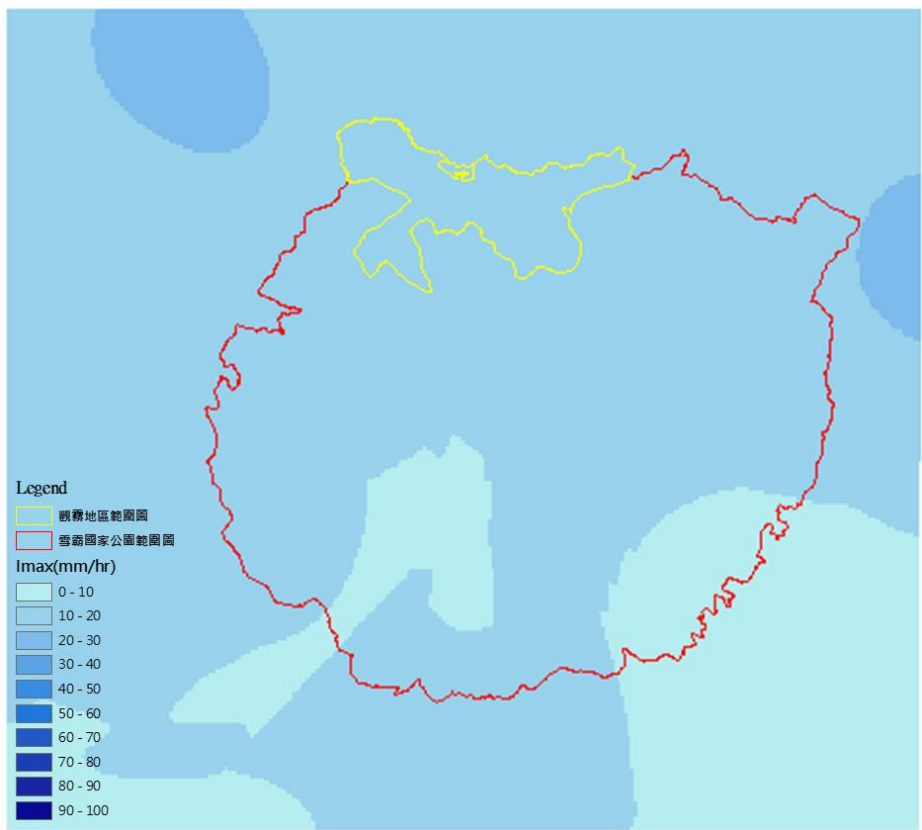


圖 20 南瑪都颱風最大小時降雨(Imax)空間分布推估結果

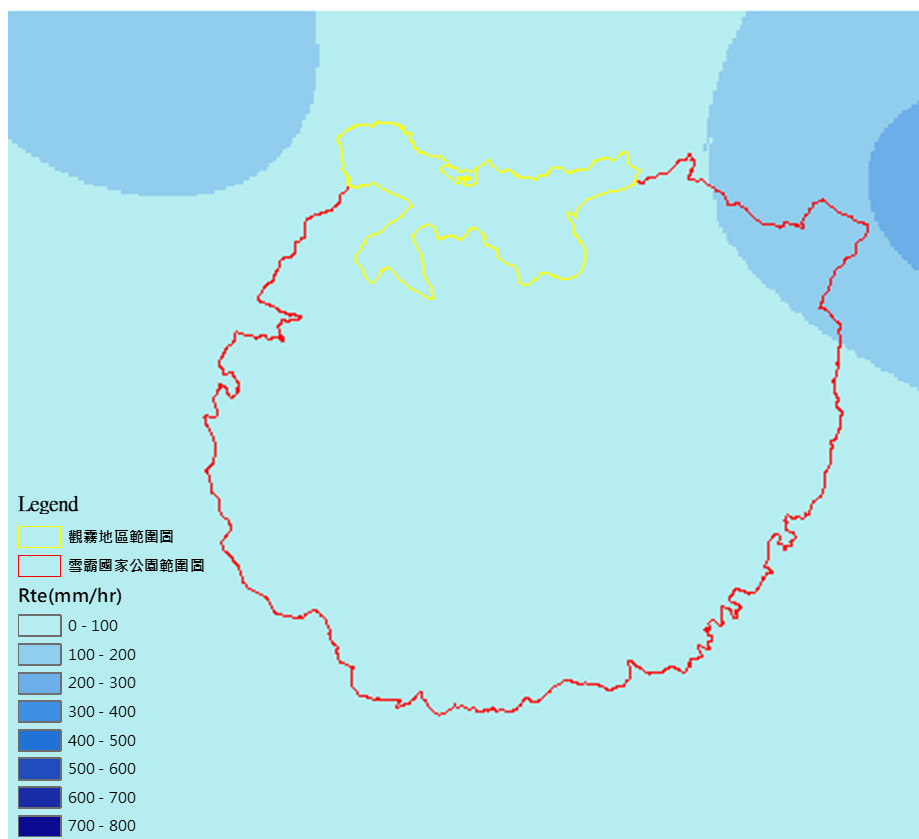


圖 21 南瑪都颱風有效累積降雨(*Rte*)分布推估結果

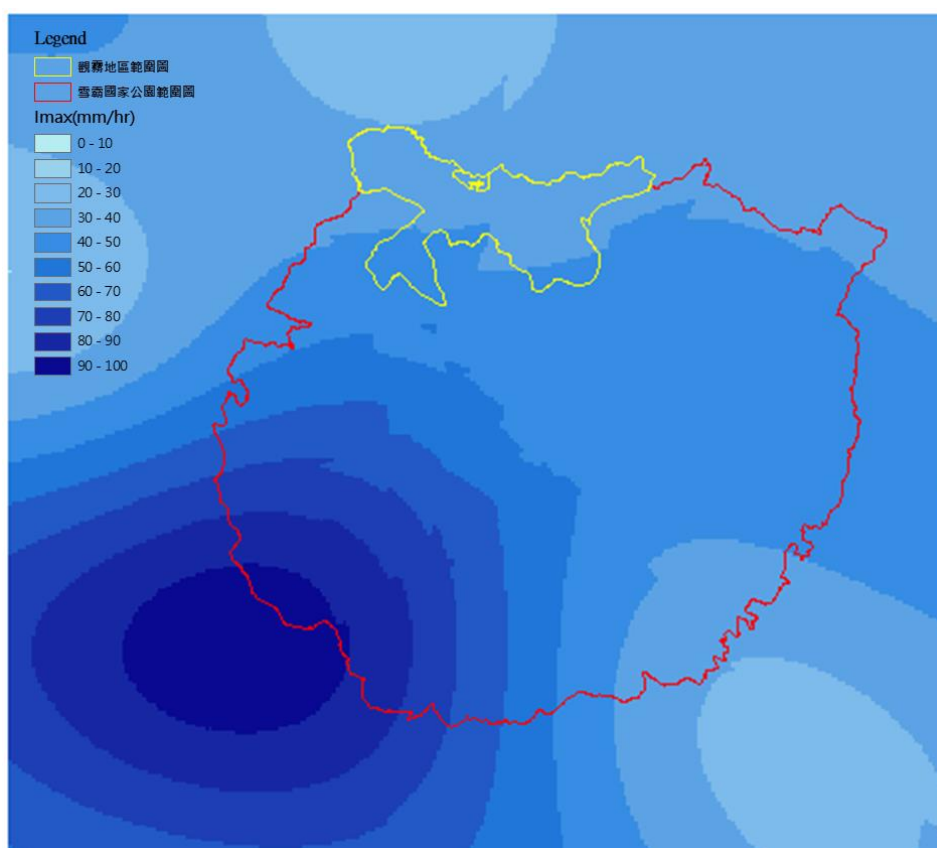


圖 22 海棠颱風最大小時降雨(*Imax*)空間分布推估結果

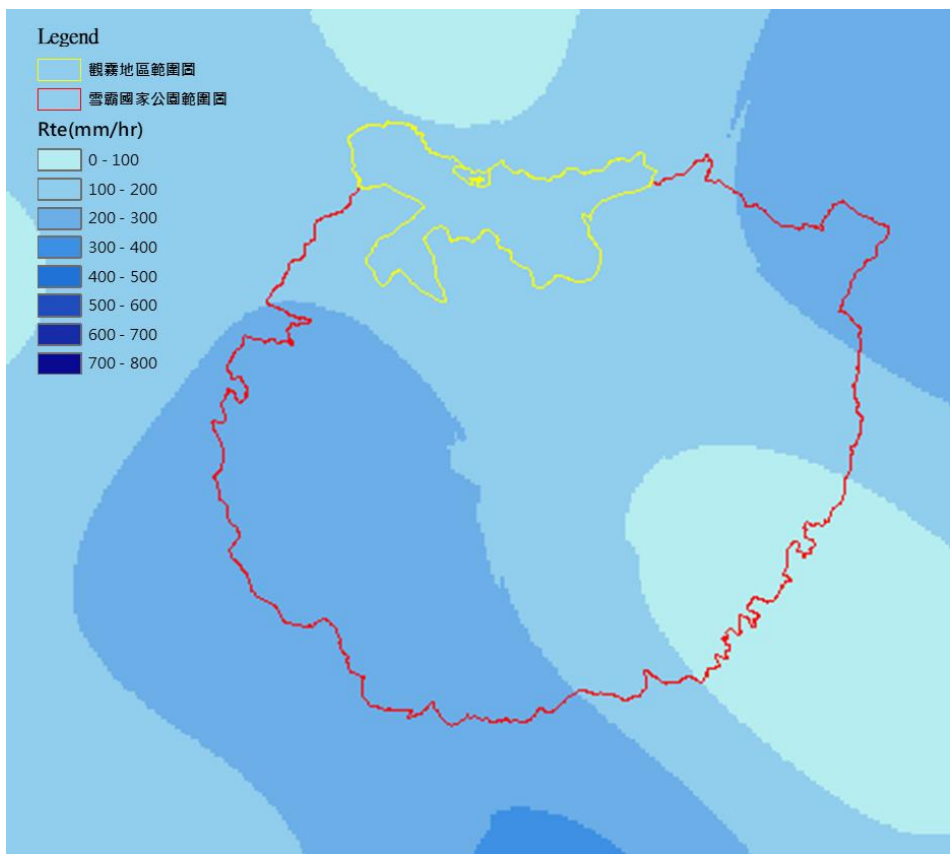


圖 23 海棠颱風有效累積降雨(Rte)分布推估結果

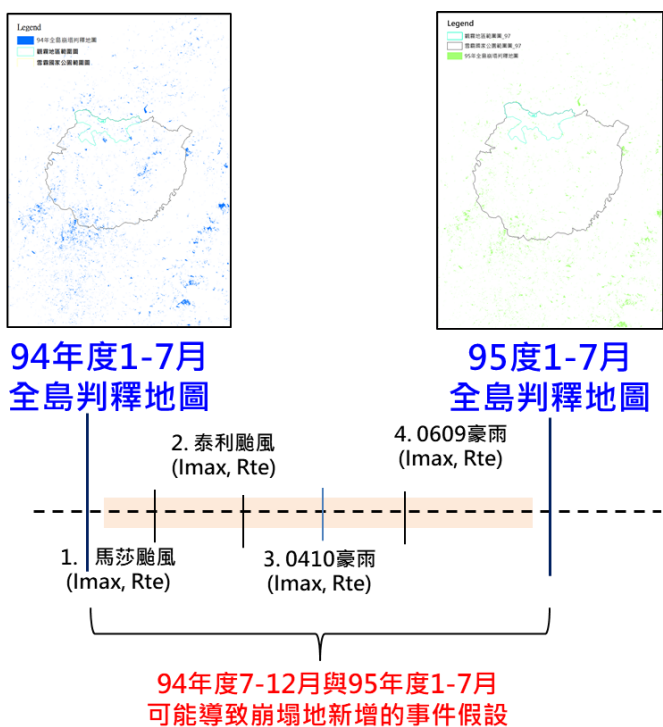


圖 24 94-95 年度全島崩塌地圖前後期颱風豪雨事件時序示意圖

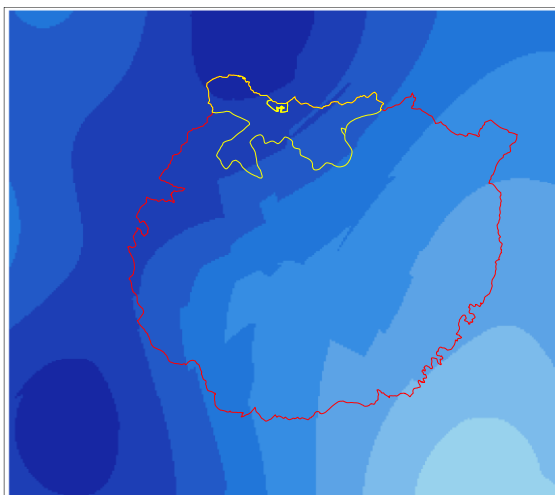


圖 25 馬莎颱風最大小時降雨(*Imax*)空間分布推估結果

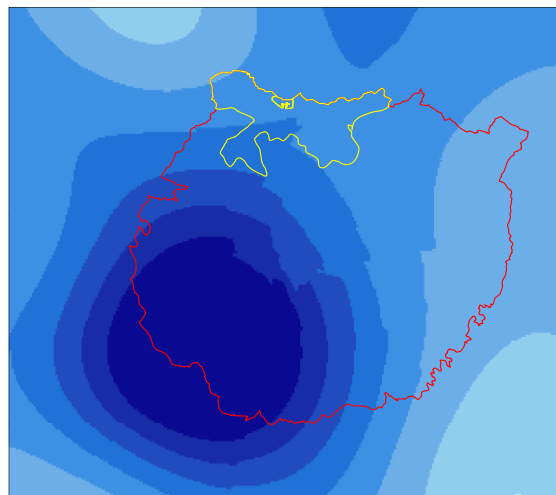


圖 26 馬莎颱風有效累積降雨(*Rte*)分布推估結果

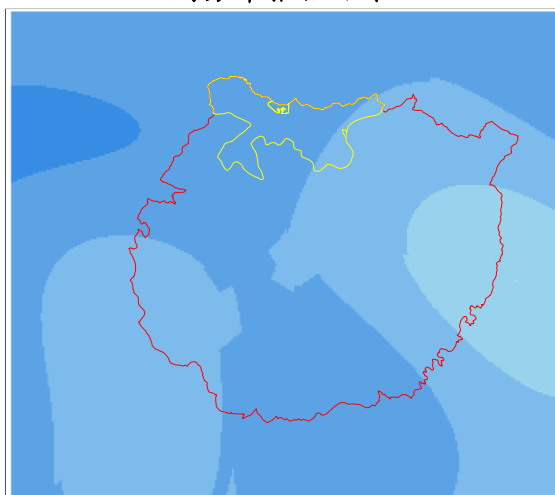


圖 27 泰利颱風最大小時降雨(*Imax*)空間分布推估結果

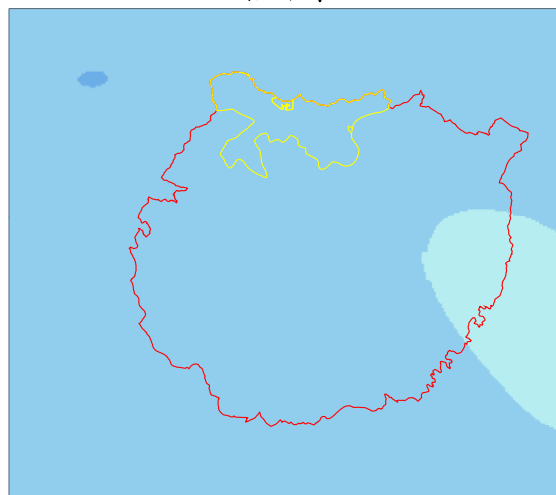


圖 28 泰利颱風有效累積降雨(*Rte*)分布推估結果

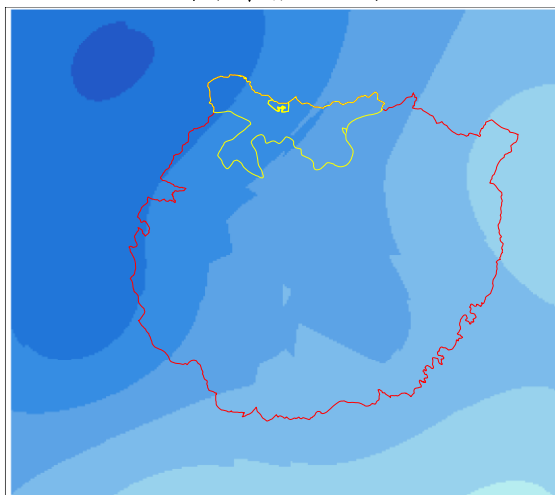


圖 29 0410 豪雨最大小時降雨(*Imax*)空間分布推估結果

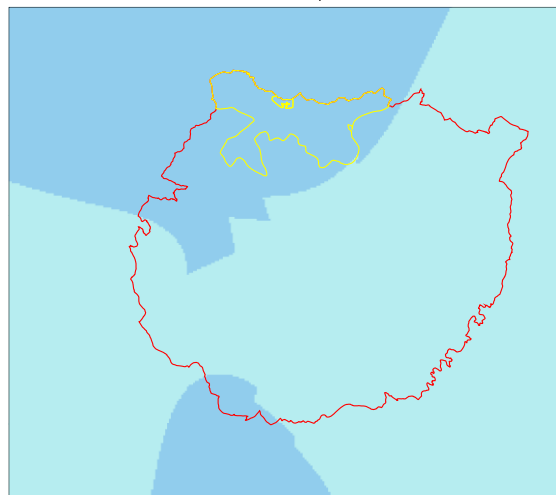


圖 30 0410 豪雨有效累積降雨(*Rte*)分布推估結果

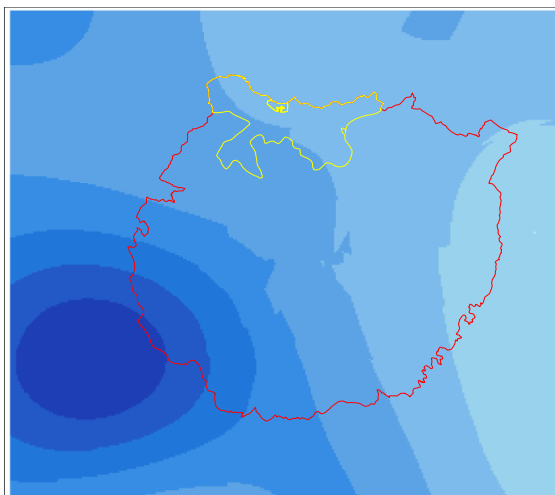


圖 31 0609 豪雨最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果

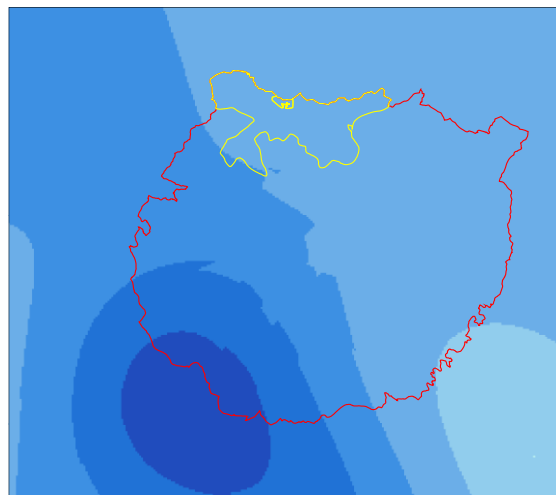
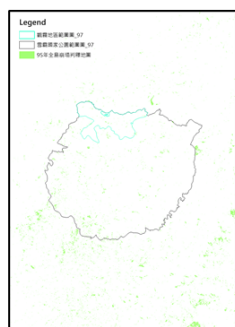
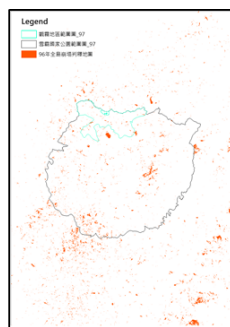


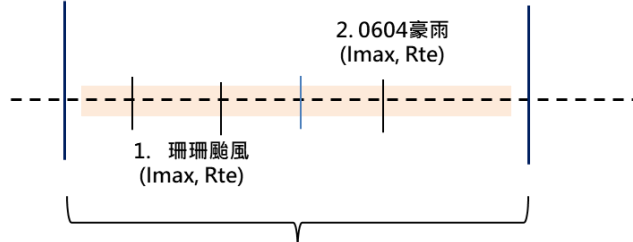
圖 32 0609 豪雨有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果



95年度1-7月  
全島判釋地圖



96度1-7月  
全島判釋地圖



94年度7-12月與95年度1-7月  
可能導致崩塌地新增的事件假設

圖 33 95-96 年度全島崩塌地圖前後期颱風豪雨事件時序示意圖



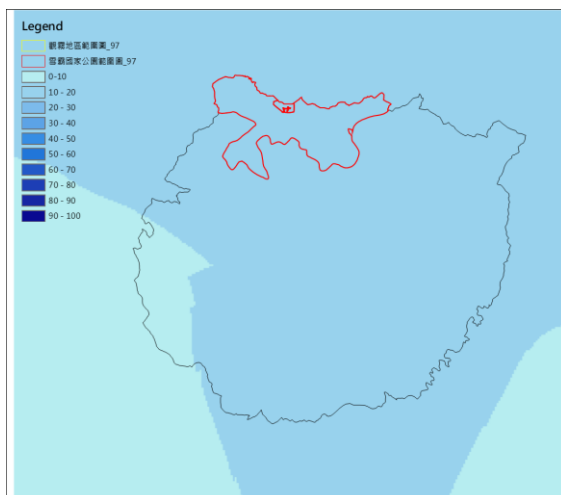


圖 34 珊珊颱風最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果

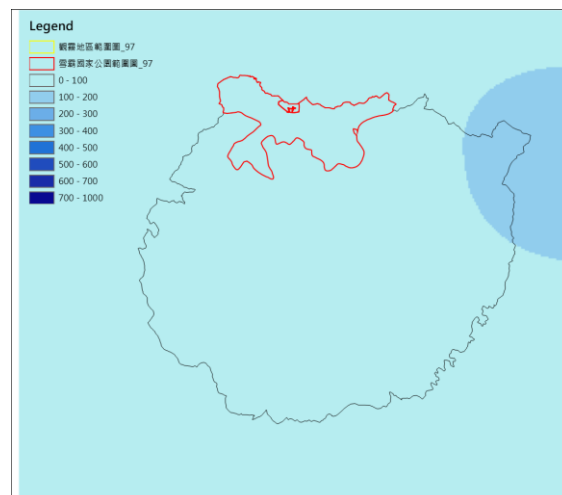


圖 35 珊珊颱風有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果

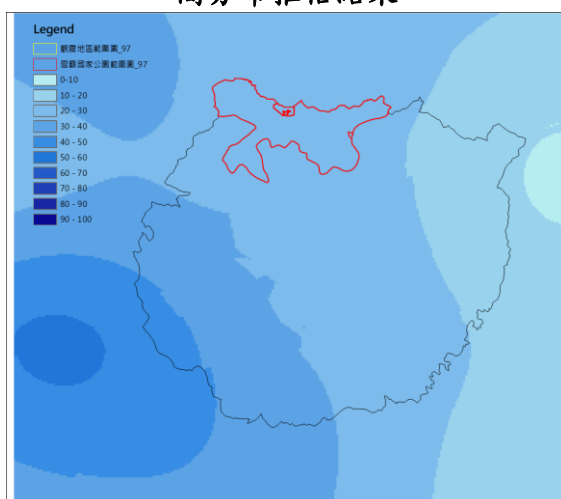


圖 36 0604 豪雨最大小時降雨( $I_{max}$ )空間分布推估結果

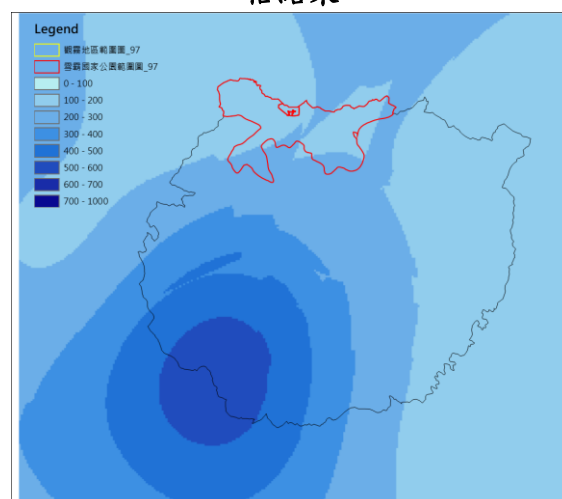


圖 37 0604 豪雨有效累積降雨( $R_{te}$ )分布推估結果

### 第三節 崩塌資料萃取

對於各年度事件之崩塌地可藉由前後時期之裸露地變異情形獲得。本計畫將崩塌地分類為四類。如圖 38 所示，包括：

- (一)崩塌復育：(1)與(5)
- (二)舊有崩塌地：(2)
- (三)舊有崩塌地擴大：(3)
- (四)新生崩塌地：(4)

而定義「新增崩塌地」則為「舊有崩塌地擴大」加上「新生崩塌地」的部分，即(3)與(4)。上述之分類方法，對於前後期崩塌地變遷情形具有清楚的定義，可由此判定某區塊是否確實發生崩塌。然而，雖然在大部份的情形下，舊有崩塌地的擴大確實與事件相關，但無法確切知道舊有崩塌地也在該次事件產生崩塌。尤其擴大有時並非只是往外擴增，

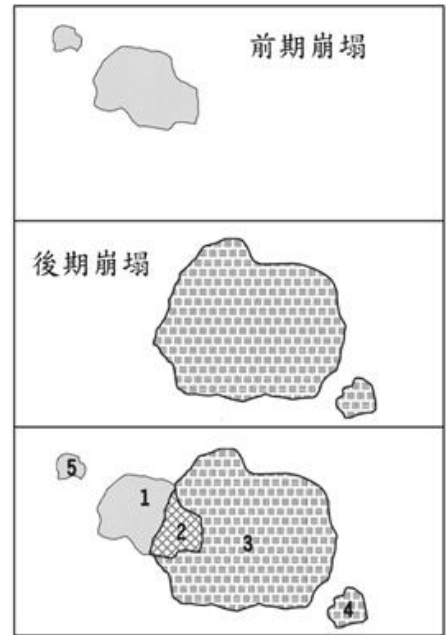


圖 38 崩塌地分類示意圖

也可能有內部加深之情形；然而此狀況並不能以平面空間區位判別而獲得，且其內部是否真的發生加深情形，須進行現地勘查才可能得知，因此根據上述崩塌變異分類資料萃取上，本計畫透過政府開放資料平台取得由林務局委託成功大學，其是以各年度 1~7 月全島鑲嵌福衛二號衛星影像建立自動判釋崩塌地作業標準，繪製全島崩塌地判釋成果，並取得 93 年度至 94 年度之衛星判釋全島崩塌地圖，對各年度颱風事件前後時期之崩塌地圖資進行套疊，將各崩塌地之變異類型特徵化，由此獲得各類變異崩塌地類型與坡面單元間之變遷資訊，以提高資料中崩塌地與坡面單元間之空間鏈結，而下**錯誤! 找不到參照來源。**為 93 年度至 94 年度間各前後期崩塌套疊結果。

而統計 93 年度至 94 年度間所新增的崩塌地分布(圖 46)，雪霸國家公園範圍 93 年度至 94 年度新增崩塌地共 2479.18 公頃，各類崩塌變異面積如下表 8 所示，本計畫在上述進行新增之颱風豪雨事件進行相關崩塌特徵資料庫之擴增後，後續可以擴增後之崩塌事件資料庫進行坡地崩塌風險評估模型之建立，以探索更全域之最佳解。

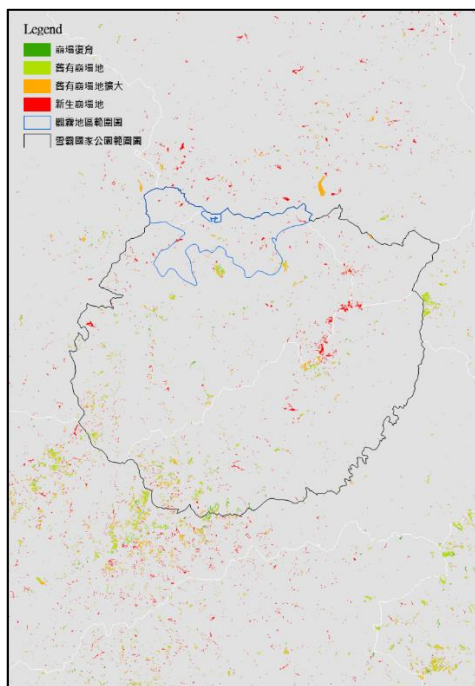


圖 39 93 年度至 94 年度間崩塌變異類型分布圖

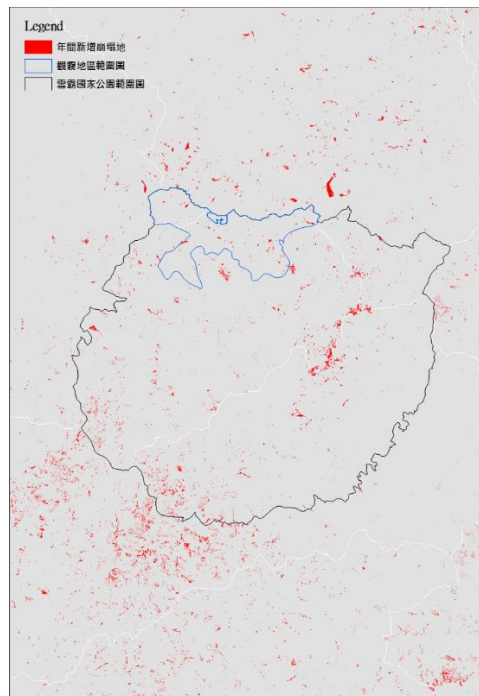


圖 40 93 年度至 94 年度間新增崩塌地分布圖

表 8 93 年度至 94 年度間崩塌變異面積統計表

崩塌變異類型	面積(ha)
崩塌復育	450.4
舊有崩塌地	1031.38
舊有崩塌地擴大	1093.4
新生崩塌地	1385.78

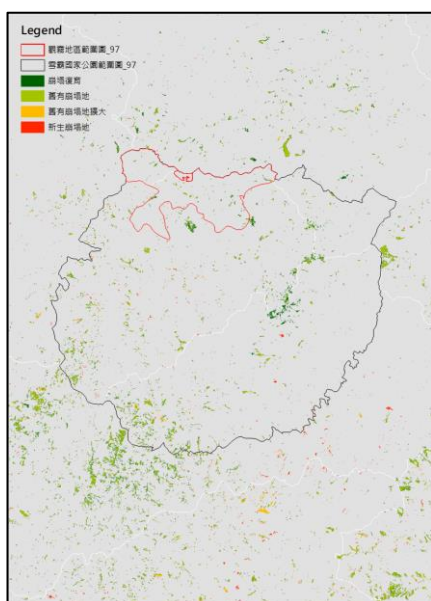


圖 41 94 年度至 95 年度間崩塌變異類型分布圖

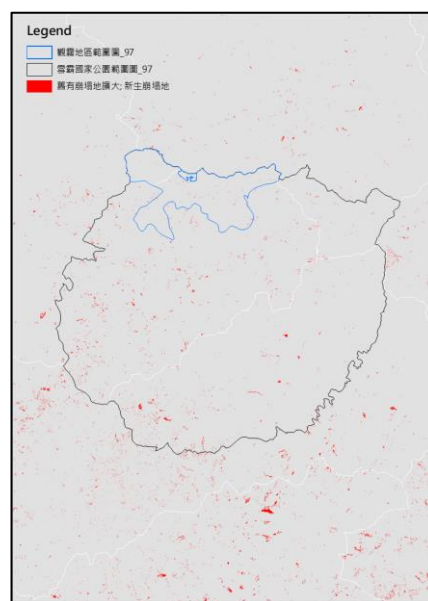


圖 42 94 年度至 95 年度間新增崩塌地分布圖

表 9 94 年度至 95 年度間崩塌變異面積統計表

崩塌變異類型	面積(ha)
崩塌復育	3,512.43
舊有崩塌地	1922.87
舊有崩塌地擴大	848.45
新生崩塌地	355.09

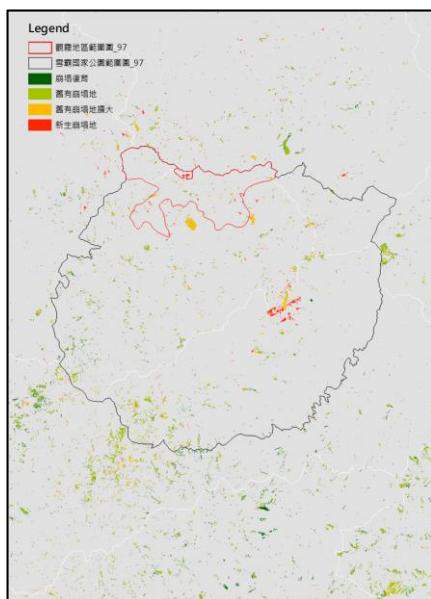


圖 43 95 年度至 96 年度間崩塌變異類型分布圖

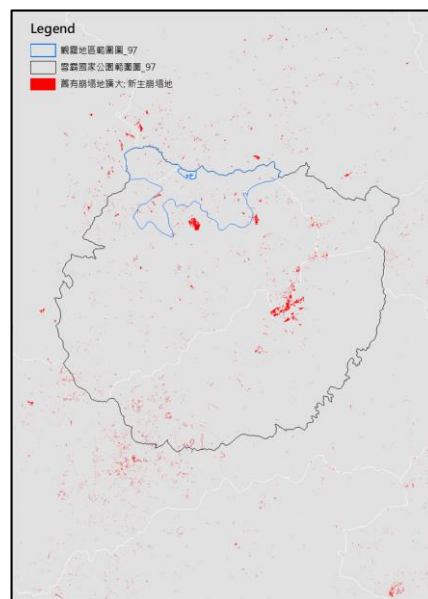


圖 44 95 年度至 96 年度間新增崩塌地分布圖

表 10 94 年度至 95 年度間崩塌變異面積統計表

崩塌變異類型	面積(ha)
崩塌復育	1193.42
舊有崩塌地	1935.68
舊有崩塌地擴大	823.95
新生崩塌地	439.30

#### 第四節 坡面單元繪製與坡面分類定義

本計畫採用集水區重疊法將坡面單元為斜坡的一部分或是集水區的左、右部分，被集水區中山脊線（分水嶺）和山谷線（溪流線）所劃分，如下圖 45 所示，並使用地理資訊系統軟體 ArcGIS 10.0 之水文及地形工具進行坡面單元分析。藉由 DEM 分析得到之集水區，多邊形的輪廓線就是山脊線；而山谷線則使用反轉之 DEM 資料，藉由 DEM 網格分析互換其高低值，原山谷線即能反轉為山脊線，同樣地亦可得到反轉之山谷線。繪製原則如下：

- 一、坡面單元須符合地形特徵，其邊界不可跨越地形邊界，例如稜線、河谷。
- 二、為避免聚落管理單元面積過小，坡面單元控制在約3至10公頃為原則。

為了使所建立之降雨引致崩塌之坡地易損性曲線更可靠，所繪製之坡面單元必須考量是否會崩塌的可能性及納入分析合理性。因此，除不考慮沖積層、平坦地以及平坡之區域外。亦不考慮(1)河道區域；(2)非自然邊坡；(3)低坡度之坡面單元。此步驟係使坡面單元匯入 Google Earth，把不納入考慮之研究因子進行切除，包括河系、河道、農業用地、水利用地、聚落、建物等。在實際繪製過程中，雖坡面單元希望控制在 10 公頃以內，但坡面單元分析時若有大於 10 公頃之坡面單元，則會獨立處理使之小於 10 公頃。此外，部分坡面單元若藉由坡向與山影圖檢視，並無明顯的地形起伏，則無須再編修，因此會有部分坡面單元大於 10 公頃。對於小於 3 公頃之坡面單元，編修時須再與 Google Earth 三維立體地圖比對，小於 3 公頃之坡面單元則與鄰近之坡面單元合併處理。

依據前述劃設及篩選程序，將雪霸國家公園下之集水區範圍進行坡面單元之繪製，分別為上坪溪、大漢溪、大安溪以及大甲溪，共計討論 28,363 筆坡面單元，如下圖 46 所示；完成坡面單元劃分後，即可瞭解整體集水區之坡面總數量以及納入監控管理之坡面數量，接下來即可藉由環境因子資料庫進行每個坡面之平均統計轉換，由於環境因子資料庫皆為 20m×20m 之網格尺度，必須轉化為坡面尺度之定義。

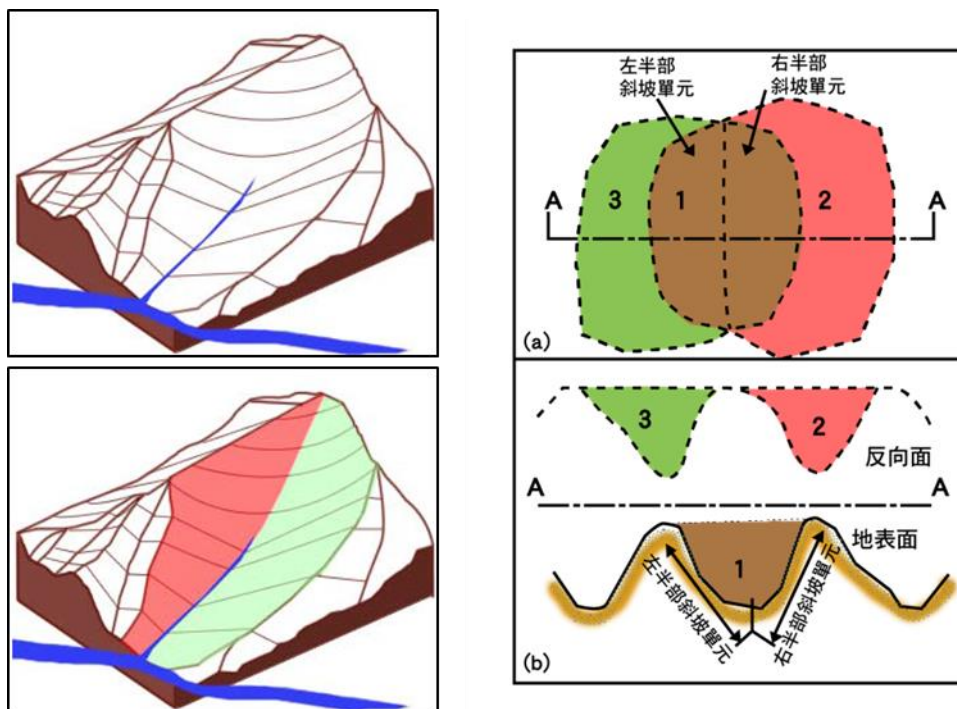


圖 45 集水區重疊法繪製示意圖

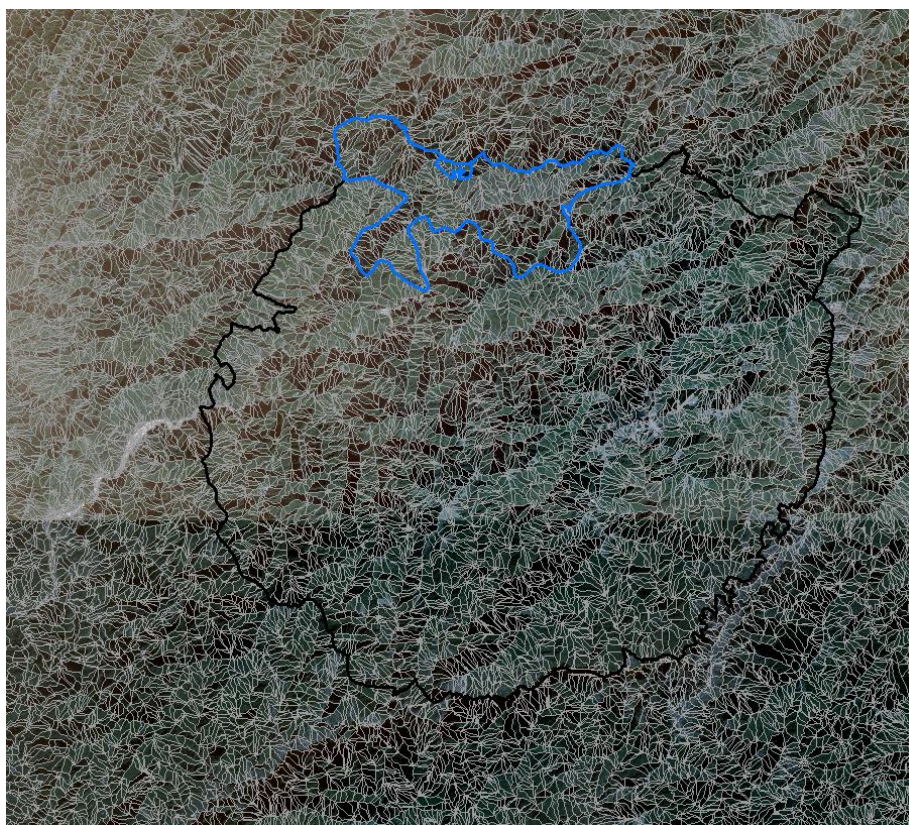


圖 46 計畫研究範圍坡面單元分布圖

## 一、 坡面之雨量定義

前述已說明雨量因子的推估，本研究對於坡面單元之雨量因子，採用坡面單元內之平均雨量。使用平均雨量是因為若採用坡面單元內最大雨量值，會放大坡面單元的雨量值，會有較多高降雨低崩塌之事件產生；若採用最小雨量值，則易產生低降雨高崩塌之事件。

## 二、 坡面單元崩塌定義

坡面單元必須針對坡面崩塌情形予以定義是否發生崩塌。由於崩塌是否發生必須以門檻值來決定，而門檻值又與崩塌體積和崩塌斜面積是相關的，因此必須將衛星影像判釋所得的平面投影崩塌面積與空間量體之崩塌體積的轉換關係予以考量。也就是說，衛星影像判釋並不能夠考慮地形地勢與崩塌深度(通常指最大深度的垂直距離)的影響，因此有必要予以修正。這個修正概念在過去已有許多研究者針對坡地崩塌斜面積、體積與深度的關係作過相關研究(例如 Evans and DeGraff, 2002; Imaizumi *et al.*, 2008; Guzzettiet *et al.*, 2009; 經濟部水利署, 2006, 2010, 2011)。以經濟部水利署(2006, 2010, 2011)針對石門水庫集水區與高屏溪集水區崩塌地深度與坡度相關研究為範例，藉由野外量測結果發現崩塌地深度與坡度呈現鐘型曲線，坡度在 30-40 度之間崩塌深度最大，且在相同的坡度間距內深度變異相當大，如圖 47 所示。

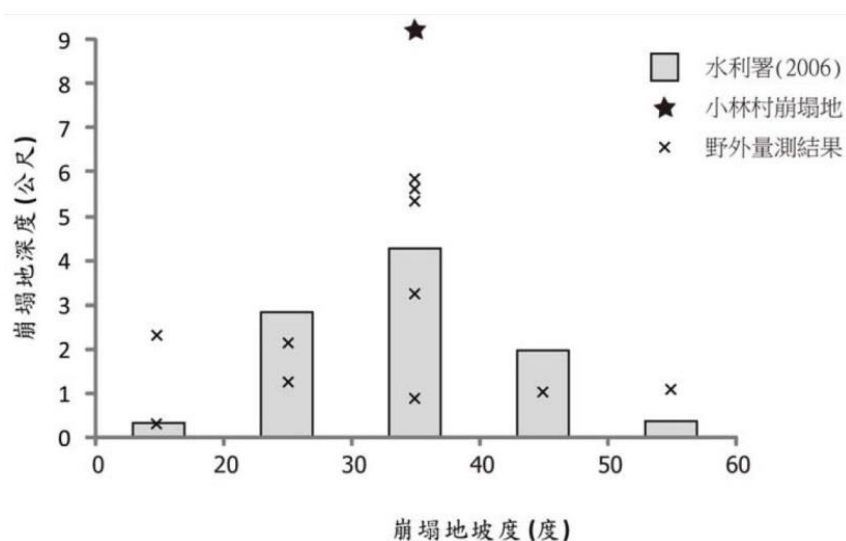


圖 47 崩塌地坡度與深度分佈

(資料來源：氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例，經濟部水利署，2010)

過去研究結果顯示崩塌地深度與坡度具有一定相關性，通常坡度越大崩塌深度有越大的趨勢、崩塌體積亦越大。因此崩塌體積、斜面積與崩塌深度是有一定關係的，如圖 48 所示，若可獲得崩塌體積與斜面積關係式，即可進一步以崩塌體積估算不同坡度下之崩塌斜

面積，進而估計出可能的崩塌面積(水平投影面積)，這個崩塌投影面積也就是影像判釋所得之崩塌面積。

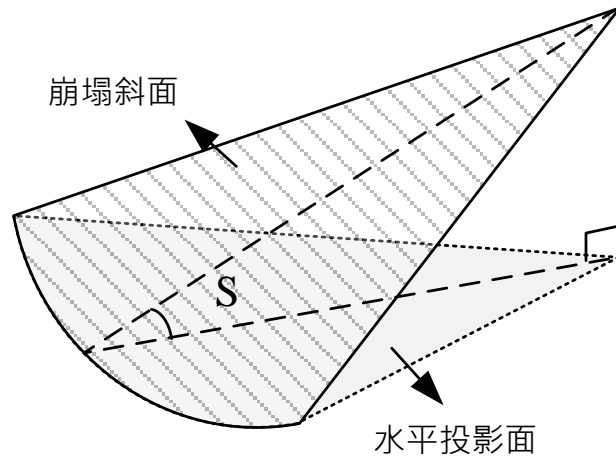


圖 48 崩塌塊體斜面與投影面關係示意圖

據此，本研究針對坡面單元之崩塌定義，參考水利署曾於 2010 至 2011 年間執行之「氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例」，該計畫針對高屏溪流域以野外量測之崩塌地斜面積與產砂量迴歸崩塌體積與崩塌斜面積關係式，由於是經驗公式，因此並未考慮深度因子：

$$V = 0.2 \times A^{1.3} \quad (1)$$

式中， $V$  為崩塌體積(立方公尺)； $A$  為崩塌斜面積(平方公尺)；相關係數為 0.84。此公式可藉由崩塌斜面積推估大約的崩塌體積，亦可藉由崩塌體積反算可能崩塌斜面積，再由已知的坡度估計崩塌面積。本年度計畫中對坡面單元是否崩塌之定義，參考該計畫所調查崩塌地中，屬中高程度崩塌的六處崩塌地之平均崩塌體積約  $V=5,692$  立方公尺估算(例如小林村崩塌深度有疑慮即剔除)，將崩塌體積期望值取整數定為  $V=6,000$  立方公尺，藉由式(1)計算得到崩塌斜面積並由坡度估計崩塌面積，結合崩塌率(崩塌面積/斜坡單元的水平投影面積)和判釋所得之崩塌面積以坡面單元崩塌率達 5%，或崩塌投影面積達 0.22 公頃者判定坡面單元為崩塌；其餘為未發生崩塌。

各年度間之坡面單元崩塌分布如下圖 49 至圖 51 所示，而下表 11 為例年度間崩塌坡面單元崩塌及未崩塌統計圖，以作為後續模式訓練驗證的目標變數。



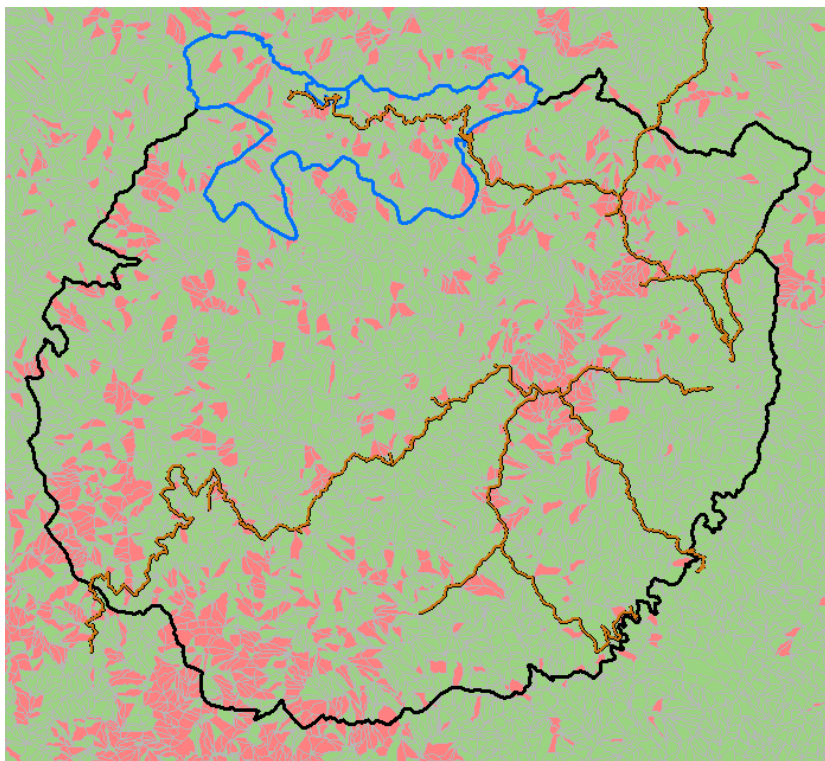


圖 49 93 年度至 94 年度新增崩塌坡面單元分布圖

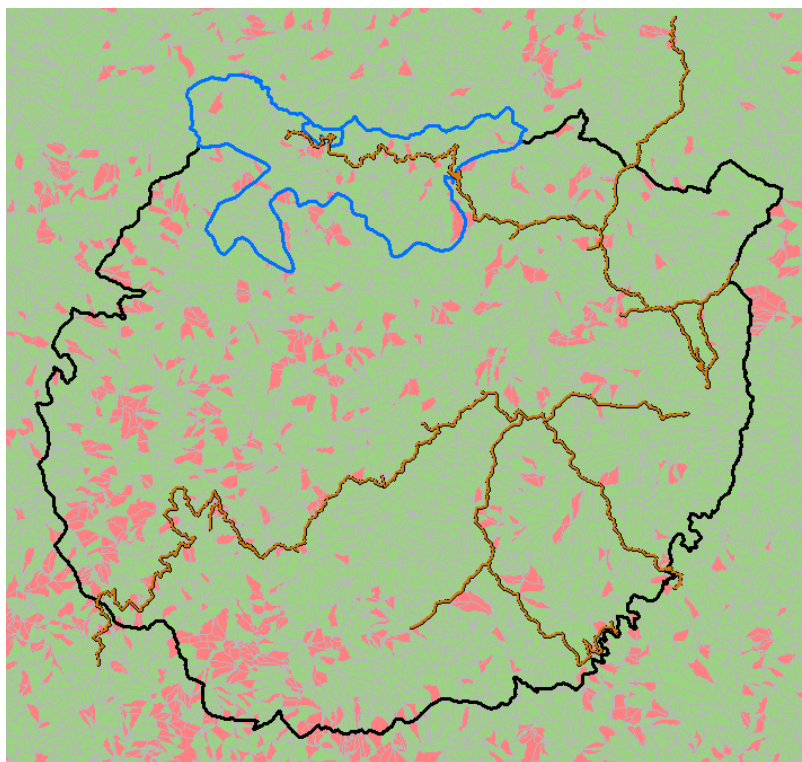


圖 50 94 年度至 95 年度新增崩塌坡面單元分布圖

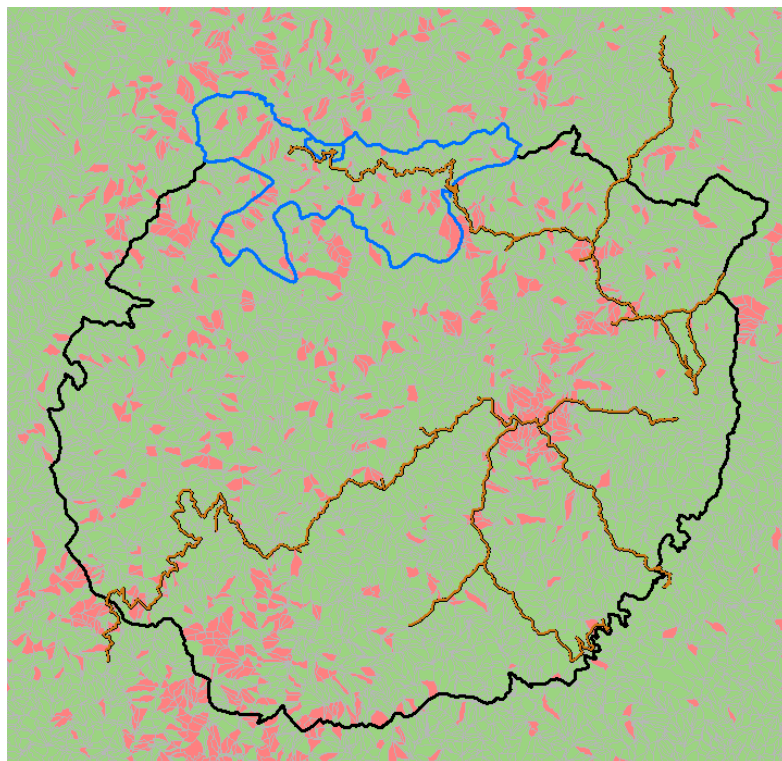


圖 51 95 年度至 96 年度新增崩塌坡面單元分布圖

表 11 各年度新增崩塌坡面單元統計表

年度間	9394	9495	9596	9697	9798	9899
有崩(1)	2770	1755	1525	2010	905	1500
未崩(0)	25593	26608	26838	26353	27458	26863
年度間	99100	100101	101102	102103	103104	104105
有崩(1)	2053	1386	962	1470	868	805
未崩(0)	26310	26977	27401	26893	27495	27558

## 第四章 坡地崩塌風險評估模型建立

### 第一節 崩塌降雨危害評估模型建立

由於土石流潛勢溪流都在山區，要實際量測土石流發生前溪流溝床內土體的孔隙水壓及地下伏流水狀況困難度很高，而降雨資料的取得又比孔隙水壓及地下伏流水資料來的容易。因此，在過去的研究中，大部份的研究人員都藉由土石流發生之前的降雨量（前期降雨）來間接說明土體的含水狀況（即孔隙水壓），直接探討降雨條件與土石流發生之關係，並利用降雨條件建立土石流發生降雨警戒關係式。因此本計畫團隊同理在分析崩塌災害發生降雨特性時，通常需考量崩塌發生當時的直接誘發雨量（包括降雨強度與當場累積雨量）及間接激發雨量（如前期降雨）。

而此章以降雨資料及統計方法，分析單一聚落發生崩塌可能性的臨界降雨基準值，其中以 10 年間降雨資料作為建立雨量等比率曲線模式之基礎，歷史雨量資料庫依新年度持續更新，以反映近年氣候變化。

本計畫團隊針對雪霸國家公園最鄰近之雨量站(如下表 12 所示)進行蒐集其民國 98 至民國 108 年間之時雨量及有效累積雨量資料，進行每小時降雨雨量處理，以及過去崩塌事件發生之時間資料作為本研究之基礎，雨量資料先進行雨場分割，建立各雨場之  $(lnR, lnI)$  雨型組數據，並建立各重點聚落中歷史雨場之時雨量及有效累積雨量之聯合機率質量函數，以下將先分述本計畫雨量資料處理方法：

表 12 雪霸國家公園鄰近雨量站詳表

縣市	鄉鎮市區	測站名稱	x	y
花蓮縣	秀林鄉	大禹嶺	281296.5	2675854
新竹縣	五峰鄉	白蘭	257267.4	2719386
苗栗縣	泰安鄉	松安	247746.1	2699262
宜蘭縣	大同鄉	南山	287853.7	2703712
苗栗縣	南庄鄉	南礦	249465.3	2714859
宜蘭縣	大同鄉	思源	285358.2	2699245
臺中市	和平區	梨山	274134.6	2682177
臺中市	和平區	雪嶺	251889.4	2686310
新竹縣	五峰鄉	雪霸	260934.3	2713584
苗栗縣	南庄鄉	鳳美	252645	2716675

### 一、 雨場分割方法

降雨事件是由大大小小不連續的時間序列所組成，在分析雨量資料之前，需先選定一種雨場分割方法作為一場連續降雨的定義，才能進一步計算影響土石流發生之各種降雨因子。而本研究將一降雨時間序列中以時雨量大於 4mm 為本次降雨開始時刻，再以時雨量連續六小時均小於 4mm 為該雨場結束時刻，降雨開始時刻至降雨結束時刻為本次之降雨延時，定義為一次雨場。此方式亦為目前水土保持局分割雨場之方法，如下圖 52 所示。

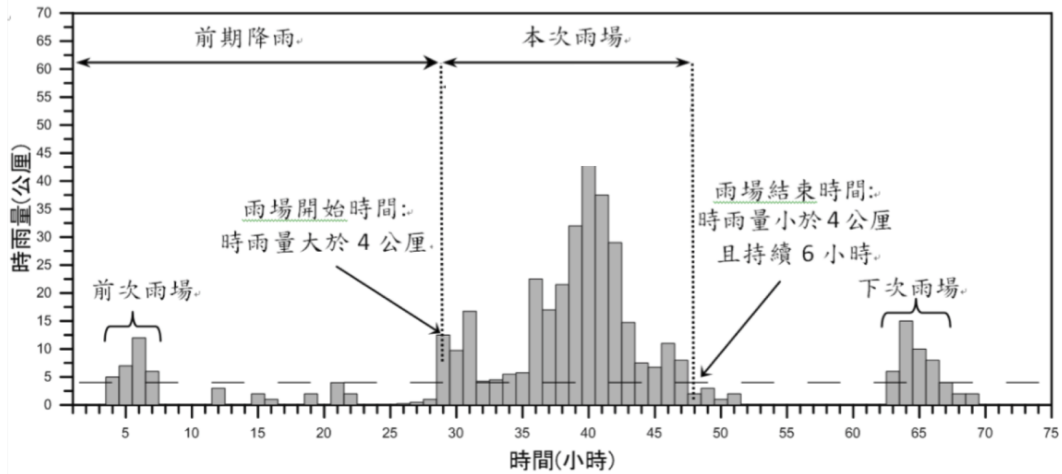


圖 52 本計畫採用之雨場分割方法示意圖

資料來源：李明熹 (2006)

### 二、 雨量資料處理方法

本計畫團隊所使用之降雨資料包含長期降雨指標(有效累積雨量)及短期降雨指標(時雨量, 降雨強度), 並透過雨場分割之方式, 求取各雨場之最大小時降雨強度與其對應總有效累積降雨( $I_1, R_{te}$ ), 定義如下表 13 所示, 其資料處理方法說明如下。

表 13  $I_1-R_{te}$ 之降雨因子定義

降雨因子名稱	代號	定義
最大小時降雨強度	$I_1$	本次降雨開始時刻後之最大小時降雨強度
對應 $I_{max}$ 之總有效累積降雨	$R_{te}$	本次降雨開始時刻前七天的加權降雨量(註 1)與開始時刻至最大小時降雨強度前一時刻之累積雨量之和

註 1：加權雨量係前七天降雨量每日折減 0.7，即每日(每 24 小時之總和)折減；例如前 3 日之降雨應折減權重為  $0.7^3$ ，前 2 日之降雨應折減權重為  $0.7^2$ 。

#### 1. 時雨量

本研究之降雨指標之一為降雨強度，一般而言均採用時雨量代表降雨強度，本研究將其定

義為 ( $I$ )，本研究之時雨量資料為向水土保持局申請，取自土石流防災應變系統介接中央氣象局之時雨量資料，其資料單位為公釐 (mm)。

## 2. 有效累積雨量

根據前人研究，除了崩塌發生時刻的短歷時直接激發雨量外，本次降雨開始時刻前七天的加權降雨量與開始時刻至最大小時降雨強度前一時刻之累積雨量之和，是本次降雨事件中對崩塌發生有直接貢獻之長期降雨指標，其降雨量稱為本次前段降雨累積雨量。本次降雨開始時刻之前的降雨（本次降雨的前期降雨），會影響土體的含水程度，而土壤中含水量的多寡有助於土體的滲透速率，產生較高的孔隙水壓，降低土體的抗剪強度。因此，如果沒有足夠的前期降雨量就不會發生崩塌。由此可知，前期降雨對崩塌的發生也有相當程度的影響，而且越接近本次降雨事件的前期降雨，對激發本次崩塌所需的降雨強度影響越大。反之，越遠離本次降雨事件的前期降雨對激發本次崩塌所需的降雨強度影響越小。而大多數的研究者會以一衰減係數  $\alpha$  乘上土石流發生時刻前 7 日至 20 日不等之日降雨量，累加後代表影響此場崩塌發生的前期降雨。

水土保持局以有效累積雨量作為發佈土石流警戒之依據，本研究亦以水土保持局之有效累積雨量計算方式進行計算，而非單一雨場之累積雨量，標註為 ( $R_t$ )，有效累積雨量其公式如下：

$$R_t = \sum_{i=0}^7 \alpha^i R_{t_i} \quad (2)$$

其中， $R_0$  為該時刻之前 0-24 小時之累積雨量， $R_1$  為該時刻之前 25-48 小時之累積雨量，其餘以此類推， $\alpha$  為加權係數  $\alpha=0.7$ ，本研究之有效累計雨量係根據前述取得之時雨量資料依據 (2) 式進行計算。

## 3. 降雨資料標準化

本研究將各雨場之降雨強度(最大小時降雨強度( $I_{max}$  : mm/hr)與有效累積降雨在一個二維坐標軸上展現，而由於時雨量與有效累積降雨之數值範圍差異頗大，時雨量資料範圍在 0mm 到 80mm 之間，有效累積降雨資料範圍在 0mm 到 2,200mm 之間，如直接使用資料進行分析會造成有效累積降雨之影響遠大於時雨量，失去雙因子分析之意義，為避免此狀況發生應進行資料標準化 (Normalization)。然而，一般的資料標準化需計算整個雨場之時雨量及有效累積降雨個別之平均數及標準差，亦即需雨場結束後才能進行分析，而本研究建立崩塌預警臨界線之意義在於能在應變期間雨場尚未結束前能作為預警之用。因此，一般的資料標準化不適用於本研究。本研究為解決此問題，將時雨量及有效累積降雨取自然對數後之數值作為降

兩指標。

常用對數（以 10 為底）主要是用於日常生活、工程、乘除、乘方和開方的計算，對數的好處是可以把數字縮小，也可以把比較複雜的乘法、除法變成比較簡單的加法、減法。自然對數（Natural Logarithm）主要是用於數學（例如微積分）、自然科學和生物學的計算。

自然對數是以 e 為底數（e 等於 2.71828...）的對數函數，自然對數的一般表示方法為  $\ln x$  或  $\log_e(x)$ ，其函數圖像如圖 53 (a)，其逆函數是指數函數  $e^x$ 。 $\ln(a)$  正式定義為積分（圖 53 (b)）。

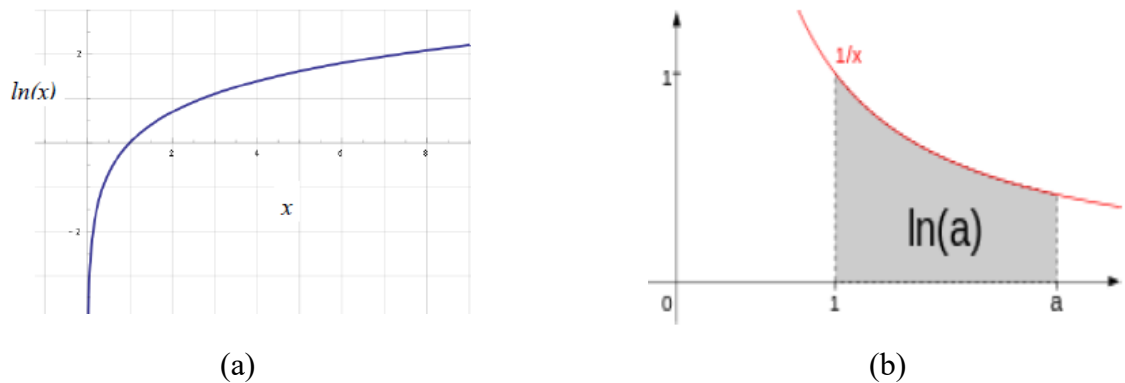


圖 53 自然對數  $\ln(x)$  的函數圖像

本研究將時雨量代入 (3) 式取自然對數後之原始數值定義為 ( $\ln I_0$ )，以及有效累積降雨取自然對數後之原始數值定義為 ( $\ln Rt_0$ )，可將雨量資料之定義域縮限於 0 到 10 之間。

$$\ln(a) = \int_1^a \frac{1}{x} dx \quad (3)$$

#### 4. 降雨資料分組方法

為簡化研究之複雜度，並利於後續建立聯合機率質量函數及聯合累積分布函數，本研究將前述產生之  $\ln Rt_0$  及  $\ln I_0$  原始數據進行分組，將資料的定義域設定為 0 至 10 之間，並以 0.1 為間距， $\ln R$  設為 X 軸， $\ln I$  設為 Y 軸，並將原始雨量資料中各組 ( $\ln Rt_0, \ln I_0$ ) 資料利用 (4) 式計算並對應到距離最短之分組點，並以該分組點之數值代替原有之  $\ln Rt_0, \ln I_0$ ，並稱將分組後之成對 ( $\ln Rt, \ln I$ ) 資料為「兩型組」。

$$dIRt_{ij} = \sqrt{(\ln Rt_0 - \ln Rt_i)^2 + (\ln I_0 - \ln I_j)^2} \quad i, j = 1 \text{ to } 2 \quad (4)$$

$$\text{MinIRt}_{ij} = \text{Min}\{dIRt_{ij}\}$$

當  $dRt$  最小時，將原數值更新為 ( $\ln Rt_i, \ln I_j$ ) 兩型組。為方便後續表述，本研究以大寫  $LR$ ， $LI$  代表對數化分組後有效累積及對數化分組後時雨量兩變數，以小寫 ( $\ln R, \ln I$ ) 代表數值。

### 三、 聯合機率質量函數及聯合累積分布函數

時雨量及有效累積雨量資料分別取對數並分組後即轉換為成對的離散隨機變數，本研究稱之為雨型組，本研究主要針對十年間雨場之雨型組進行分析，求得各降雨型態（雨型組）之分布機率，因此需計算雨型組之聯合機率質量函數及聯合累積分布函數。

聯合機率質量函數 (Joint Probability Mass Function, jpmf) 為能直接描述兩個或多個離散隨機變數之共同特性之函數。讓  $X$  與  $Y$  為二維離散隨機變數（在本研究即為  $LR$  與  $LI$  兩變數），並假設其數值  $(x_i, y_j)$  為可數無窮多個（在本研究即為  $(\ln R_{ti}, \ln I_j)$ ），即  $i, j=1, 2, \dots$ ，且所對應的機率均不為零。則對所有的  $i, j$  而言， $X$  與  $Y$  的聯合機率質量函數定義為：

$$p_{xy}(x, y) = p(X = x \cap Y = y) \quad (5)$$

(5)式只有在點  $(x_i, y_j), i, j=1, 2, \dots$  才有值，且等同於聯合機率  $P(X=x \cap Y=y)$ 。其他定義如下：

$$\begin{aligned} 0 < p_{XX}(x, y) &\leq 1 \\ \sum_i \sum_j p_{XY}(x_i, y_j) &= 1 \\ \sum_i p_{XY}(x_i, y) &= p_Y(y) \\ \sum_j p_{XY}(x, y_j) &= p_X(x) \end{aligned} \quad (6)$$

其中(6)式的最後兩個關係式，即  $p_Y(y)$  與  $p_X(x)$ ，又稱為邊界機率質量函數 (marginal probability mass function)。至此，可推得：

$$F_{XY}(x, y) = \sum_{i=1}^{i:x_i \leq x} \sum_{j=1}^{j:y_j \leq y} p_{XY}(x_i, y_j) \quad (7)$$

(7)式即為聯合累積分布函數 (Joint Cumulative Distribution Function, JCDF)，聯合累積分布函數性質：

1. 聯合累積分布函數皆為非負值

$$F_{XY}(x, y) \geq 0, \forall x \in R, y \in R$$

2. 聯合累積分布函數的上限為 1

$$F_{XY}(x, y) \leq 1, \forall x \in R, y \in R$$

3. 聯合累積分布函數為單調遞增函數

$$F_{XY}(x_1, y_1) \leq F_{XY}(x_2, y_2), \forall x_1 \leq x_2, y_1 \leq y_2$$

4. 聯合累積分布函數為右連續函數

$$\lim_{x \rightarrow a^+} F(x, y) = F(a, y)$$

$$\lim_{x \rightarrow b^+} F(x, y) = F(x, b)$$

5. 聯合累積分布函數的極限值為 1 或 0

$$\lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ y \rightarrow \infty}} F_{XY}(x, y) = F(\infty, \infty) = 1$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x, y) = F(-\infty, y) = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x, y) = F(x, -\infty) = 0$$

#### 四、聯合機率質量函數及聯合累積分布函數

前述雙因子可建立三維空間聯合累積分布曲面，其三維空間圖形為從座標原點像右上方逐漸凹陷之曲線，X 軸為  $\ln Rt$ ，Y 軸為  $\ln I$ ，Z 軸為機率值，而定義某一機率值，可在曲面上找出與該機率值相同之點，進而繪出等高線(等機率線)，其定義如下：

$$\{( \ln Rt, \ln I ) | S_{LR, LI}(\ln Rt, \ln I) = k \} \quad (8)$$

其中  $k$  為在  $S(\ln Rt, \ln I)$  值域中的數值。

從三維空間聯合累積分布曲面之等高線可映射到二維空間。每一條機率曲線本研究定義為此線上所對應之  $\ln I$  以及  $\ln Rt$  發生崩塌事件之機率。因此，映射到二維空間之機率曲線即可作為崩塌預警臨界曲線設定之基礎。

經上述建立雨量等機率曲線模式架構後，以下為各重點聚落之雨量等機率曲線建立成果。將雨量站民國 98 至民國 108 年間之資料進行標準化等處理後，並基於全部歷史雨場之雨型組  $(\ln Rt_i, \ln I_j)$  之聯合累積分布函數定義如下：

$$F_{\ln Rt, \ln I}(\ln Rt, \ln I) = \sum_{i=1}^{i: \ln Rt_i \leq \ln Rt} \sum_{j=1}^{j: \ln I_j \leq \ln I} p_{\ln Rt, \ln I}(\ln Rt_i, \ln I_j) \quad (9)$$

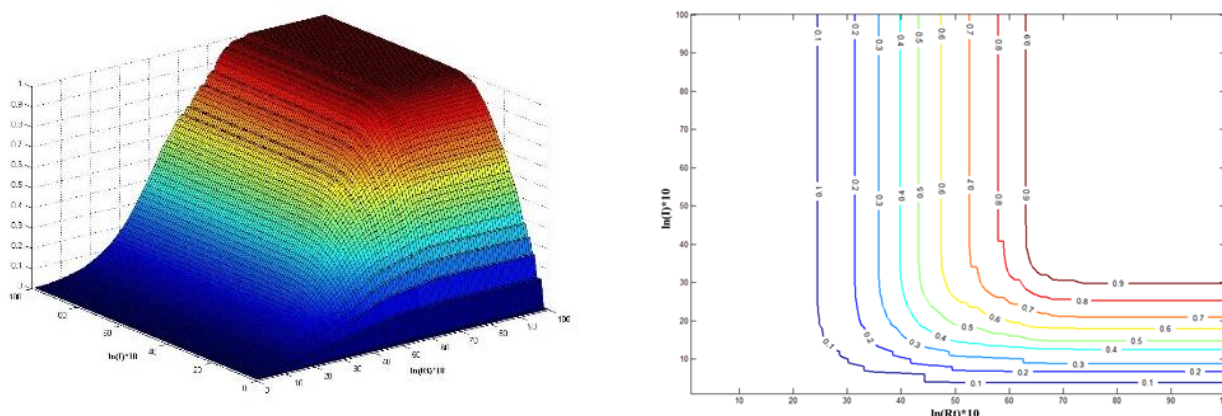
歷史雨場聯合累積分布函數分析成果實際上為 100\*100 大小的矩陣。為方便運用，任一雨型組  $(\ln Rt_i, \ln I_j)$  乘以 10 後對應到該矩陣之位置，即可求得對應的機率值，因此對於後續各雨量資料即可求得對應之雨量機率值。

(9)式即為歷史雨場之聯合累積分布函數，本研究針基於 10 年雨量資料雨場之雨型組  $\ln Rt$  與  $\ln I(\ln I_3)$  聯合機率質量函數計算成果代入(9)式進行計算，建立  $FLR, LI(\ln R, \ln I)$ ，透過各雨量站 10 年間雨量資料建立之三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖，並將其三維空間映射至二維空間，以建立雪霸雨量站之歷史雨場等機率曲線圖。



## 五、各雨量站 $I_1 - R_{te}$ 歷史雨量等比率曲線建立

本計劃針基於 10 年雨量資料雨場之雨型組  $\ln R_t$  與  $\ln I$  聯合機率質量函數計算成果代入(9)式進行計算，建立  $FLR, LI(\ln R, \ln I)$ ，透過各雨量站 10 年間雨量資料建立之三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖，並將其三維空間映射至二維空間，以建立各聚落鄰近雨量站之歷史雨場 ( $I_1 - R_{te}$ ) 等比率曲線圖，本計劃針對雪霸國家公園最鄰近之雨量站繪製各歷史雨場 ( $I_1 - R_{te}$ ) 等比率曲線圖如下所示：



(a) 三維空間歷史雨場聯合累積分布函數圖

(b) 雨量等機率線

圖 54 雪霸雨量站歷史雨量 ( $I_{max} - R_{te}$ ) 等機率曲面

## 第二節 坡地崩塌潛勢評估模型建立

在進行坡地易損性分析中，必須要考量的另一特性即是坡地崩塌的幾何特性。對於網格崩塌資訊，目前已可藉由高精度衛星影像判釋得到，但此資訊未必完全符合地形特性，同時具有一定的不確定性。因此，本研究考量地形特徵單元與未來評估合理性期望引入坡面單元 (slope unit) 分析，坡面單元因具有符合地形特徵之特點，此特點利於進一步之分析及坡面評估，相較網格單元更可靠及合理可行。然而，網格法具有相同之幾何條件，利於資料分析並可消除空間幾何權重之影響。因此，本研究直接以坡面單元作為分析評估單元，並以網格式分析來消除樣本差異的影響，將可更有助於坡地崩塌警戒管理分析之應用。

在過去的計畫中，本團隊透過歷史資料依據機率密度函數做為函數進行擬合，以此經驗法來得到一條可描述之坡地崩塌可能性曲線，而其假定崩塌發生之現象會符合對數常態分佈 (Lognormal Distribution) 之假說，透過最大似然性函數的計算 (危害事件機率的平均值與標準差兩個參數)，進而套配出所謂的崩塌易損性曲線 (Hsieh et al. 2013; Lei et al., 2014)，在歷史資料量不足或雨量資料涵蓋量不足的形況下，可能產生局部最佳解而非全域最佳解，另外一方面，

這樣模式的樣本採樣，又受限於事件規模的稀少性與昂貴性，導致無法針對研究區進行二十至三十年所有崩塌災害事件的事件目錄建置，這又會導致分析出來的模式有其局限性。

然而，類神經網路是近年來最受矚目的人工智慧模型之一，只要給予類神經網路系統輸入及輸出，他們即能調整自身的參數，模擬出該系統的狀況，並以最有效率的方式解決。這是因為類神經網路具有下述的優點：(1)使用者不需要對於系統有通盤的瞭解，僅需要將設定好的輸入及輸出交給目標的類神經網路，該網路就能夠成功的去模擬這個系統。(2)類神經網路本身所需的參數量非常少，這點相較於傳統使用迴歸分析或是數學分析所獲得的模擬模型而言是非常有利的，因為低參數量代表我們不用耗費太多的資源來儲存這些參數，而在進行模型建立時，其效能也較多參數量的方法高，這點對模擬龐大的環境來說特別有用，例如本計畫案所要模擬的山坡地崩塌情況。因此本計劃會使用類神經網路的相關概念來完成目標系統的建置，而模型框架設計中將包含一個基礎模型，以及用來微調基礎模型的多個外掛式參數，而每一種坡面單元都有一組類神經網路來進行模擬，其意涵則表示影響本次崩塌事件的因果關係，並可檢討地面環境對於降雨的承受能力(易損性)對於崩塌之敏感性，進而修正縮減模式所參考之因子屬性，此處我們稱這些類神經網路為基礎模型，並可用來模擬大範圍山坡地的基礎情況，進而以降雨對地面環境的影響性(危害度)之降雨因子，分別為最大小時降雨( $I_{max}$ )以及有效累積降雨( $R_{te}$ )做為模型輸入變數，將歷史雨量資料與判釋崩塌結果為目標，放入類神經網路進行訓練，並建立類神經網路坡地崩塌潛勢評估模型。

## 一、類神經網路模型基礎架構

神經網路即是仿造人腦或生物的思考系統，藉由神經元連結輸入資料與變數，再配合迭代運算與更新權重，取得輸出資訊。現今神經網路模式很多，葉怡成(2009)將其概分為監督式學習(supervised learning)、非監督式學習(unsupervised learning)、聯想式學習(associate learning)與最佳化應用(optimization application)等四種。監督式學習就是事先定義已知的樣本及類別，經由學習(或稱訓練)過程，將未知樣本歸置對應類別。非監督式學習則是根據資料的相近程度分群，但同群僅代表相似度高，並無實際意義，還需使用者給予明確定義。聯想式學習依賴歷史資料的學習記憶，推論資料不完整的新案例。最佳化應用是針對特定目標和限制，使解算成果達最佳狀態，如設計最短路徑或都市規劃等問題。由於本研究旨在運用空間資料與歷史崩塌範圍萃取坡地崩塌知識，因此採用監督式學習，並嘗試聯想式學習及最佳化應用降低不確定性影響，希冀建立較具代表性的預測模型。

而類神經是由多個人工神經元與其連結而成，並且可組成各種網路模式，神經網路中基本

單位為「神經元」，神經元組合而成「層」，層組合成「網路」，其中層的原件有輸入層、隱藏層、輸出層，輸入層接受輸入訊息，其處理單元依照問題而定，隱藏層在於輸入與輸出層間傳遞訊息，可以有一層或多層，隨著問題而有著不同的層數，其中隱藏層之節點數目不定，輸出層在神經元傳遞訊息、分析、權衡後，形成輸出結果，其最後輸出節點依問題決定。

在本次計畫中我們所使用的資料集欄位如下表 14 所示，其中可以看出，在本資料集中，我們可將分為因素分為兩大種類，分別為環境因子及事件因子，環境因子代表的是該坡面之環境相關因素，包含其地質分類、坡度、距離河道遠近及植生，但由表中我們可以看出，前 15 項皆為靜態環境因子，而植生則是動態環境因子，這是因為前 18 項因子數值較為固定，但植生本身會受到當年之氣候、環境等影響，而會有不同的數值，屬於變動性較大之時間序列資訊，因此他屬於動態環境因子。而降雨誘發因子，則是代表該欄位是由某事件之最大小時降雨以及有效累積降雨所造成之數值，如艾利颱風、0910 水災暨海馬颱風、南瑪都颱風以及海棠颱風等，其數值表示代表的是該事件於各年度中之最大時雨量及其對應之累積雨量。

表 14 本計畫模型訓練資料集欄位說明

編號	名稱	因素分類
G	地質	靜態環境因子
Soiltype	土壤類別	靜態環境因子
H	高程	靜態環境因子
Slope	坡度	靜態環境因子
Aspect	坡向	靜態環境因子
curvature	曲率	靜態環境因子
c_section	剖面曲率	靜態環境因子
c_surface	平面曲率	靜態環境因子
sos	坡向變率	靜態環境因子
soa	坡度變率	靜態環境因子
elev_var	地表起伏度	靜態環境因子
cut_depth	地表切割深度	靜態環境因子
rough	地表粗糙度	靜態環境因子
acc	匯流累積量	靜態環境因子
flowLength	水流長度	靜態環境因子
upstream_L	上坡長度	靜態環境因子
downstream_L	下坡長度	靜態環境因子
River_d	河道遠近	靜態環境因子
N	植生	動態環境因子

add3+4	當年度有崩(1)/未崩(0)	動態事件因子(Y6)
Imax	當年度事件最大時雨量	動態事件因子(Y6)
Rte	當年度事件最大時雨量對應累積雨量	動態事件因子(Y6)

鑒於本次研究計畫所使用之資料因素分類，在本次研究計畫中，我們針對此資料設計適應其之模型，其模型簡易結構圖如下圖 55，從圖中可以看出，本計畫將兩個模型進行串接，分別為環境分類器及預測崩塌模型，首先第一個模型，也就是環境分類器，我們的設計主要目的在於，想要針對靜態因子先進行一次簡易的分類，其最後一層輸出為 12 即為分類成為 12 群的意思。而第二個模型，則是再輔以動態因子，最終以其分類結果及動態因子進行崩塌預測模型的建置及訓練。

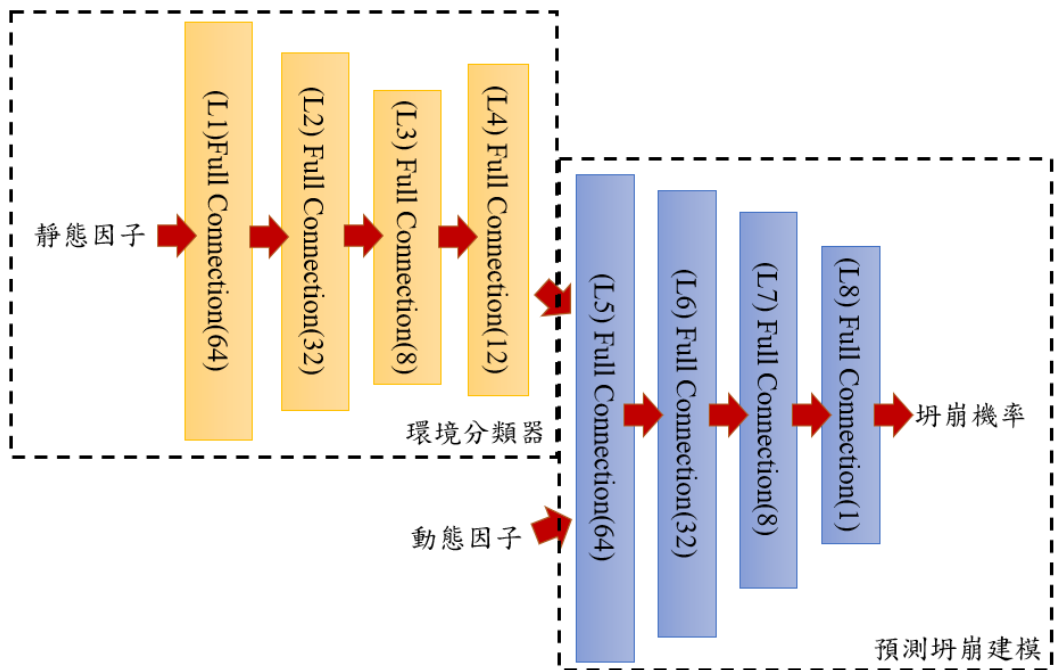


圖 55 本計畫訓練模型簡易架構圖

## 二、數據前處理

而在進行模型建立之前，為減少輸入特徵間之差異過大導致結果無法收斂，故須將輸入資料及目標值進行正規化(Data Normalization)處理，同時亦可加快模型之收斂，使輸入特徵皆於 0 至 1 之間，其正規化公式如下(10)所示：

$$Data = \frac{X - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \tag{10}$$

其中：Data：正規化後數據，X：原始數據樣本，Xmax：原始數據樣本中最大值，Xmin：

原始數據樣本中最小值。

### 三、 坡地崩塌潛勢評估模型建立

本次計畫所用的模型(如上圖 55)，雖有八層，但其實本質都是全連結層，但不同的在於激活函數的挑選，而在本模型中，其中較特別的分別是分類器及建模的輸出層(即 L4 及 L8)，其中對於各層中，第 i 個神經元對應其第 j 個輸入資料，該神經元輸出我們可以寫作：

$$o_i = act(w_{ij} \times input_j + b_i). \quad (11)$$

其中 input<sub>j</sub> 為神經元之輸入，o<sub>i</sub> 即為該神經神輸出，w<sub>ij</sub>、b<sub>j</sub> 則為其對應權重及神經元之偏移，而 act 則是激活函數。如同我們先前所述，在除了 L4 及 L8 之外，本計畫中所用之激活函數都為 relu 函數，即為  $f(x) = \max(0, x)$ 。而 L4，即為分類器輸出，因此這部份我們改用 softmax，L8 則是 sigmoid。

### 四、 坡地崩塌潛勢評估模型驗證

本研究為明確表明人工智慧類神經網路基礎模型於坡地崩塌風險評估之預測能力，於模式建立之過程中，為了使崩塌以及未崩塌之資訊在模式訓練上取得平衡，本計畫將 94 年度至 104 年度間未崩塌之樣本資訊進行倍數放大，並以抽樣 70% 做為訓練神經網路模型之數據，30% 做為測試訓練成果之數據，將前述之設定完成後，即開始進行訓練，總資料樣本數為 125,678 筆，訓練資料樣本數為 100,544 筆，測試資料樣本數為數 25,134 筆，並採 104 年度至 105 年度間做為模式之獨立驗證。

本計畫根據模型建立時隨機抽樣 70% 資料作為訓練樣本輸入並於達到完成網路的訓練後，以餘下的 30% 資料進行驗證，來評估網路學習成果的效能以及神經網路輸出之預測準確率，其為在驗證之前總是希望能控制所有會影響誤判的因素，但造成坡面崩塌的因素非常複雜，且崩塌災害是屬於隨機發生的事件。

事件崩塌地可分為崩塌與非崩塌地，藉由坡地災害潛勢分析亦可得到預測(評估)之崩塌與非崩塌地，而驗證可分為三種情形，包括正判、漏判、誤判，而準確率計算方式如下式：

$$A: \text{未發生準確率} = \frac{\text{正判(未崩)}}{\text{正判(未崩)} + \text{誤判}}$$

$$B: \text{誤判率} = \frac{\text{漏判}}{\text{正判(未崩)} + \text{誤判}}$$

$$C: \text{漏判率} = \frac{\text{誤判}}{\text{正判(已崩)} + \text{漏判}}$$

$$D: \text{已發生準確率} = \frac{\text{正判(已崩)}}{\text{正判(已崩)} + \text{漏判}}$$

$$E: \text{總體準確率} = \frac{\text{正判(未崩)} + \text{正判(已崩)}}{\text{正判(未崩)} + \text{誤判} + \text{正判(已崩)} + \text{漏判}}$$

本計畫根據驗證分析中，模式預設將機率大於 0.5 之坡面單元預測為崩塌，小於 0.5 之坡面單元預測為未崩塌，而此機率門檻之驗證結果中未發生準確率 98%、誤判率 2%、已發生準確率 90%、漏判率 10%、總體準確率 95.01%，在 104 年度至 105 年度之獨立年度於模式驗證中未發生準確率 96%、誤判率 4%、已發生準確率 67%、漏判率 33%、總體準確率 94.83%；在 93 年度至 94 年度之獨立年度於模式驗證中未發生準確率 98%、誤判率 2%、已發生準確率 53%、漏判率 47%、總體準確率 93.46%，而在獨立年度於模式驗證結果可以發現在門檻訂於 0.5 下，未發生準確率表現雖佳，但已發生準確率表現不佳，因此本研究嘗試將機率門檻下修訂於 0.4，而此機率門檻之驗證結果中未發生準確率 85%、誤判率 15%、已發生準確率 96%、漏判率 4%、總體準確率 88.90%，在 104 年度至 105 年度之獨立年度於模式驗證中未發生準確率 89%、誤判率 11%、已發生準確率 81%、漏判率 19%、總體準確率 88.75%；在 93 年度至 94 年度之獨立年度於模式驗證中未發生準確率 90%、誤判率 10%、已發生準確率 79%、漏判率 21%、總體準確率 89.23%，則其表現上則為發生準確率表現雖佳，但未發生準確率表現不佳，最終採用機率門檻為 0.45，而此機率門檻之驗證結果中未發生準確率 93%、誤判率 7%、已發生準確率 93%、漏判率 7%、總體準確率 93.35%，在 104 年度至 105 年度之獨立年度於模式驗證中未發生準確率 93%、誤判率 7%、已發生準確率 74%、漏判率 26%、總體準確率 92.86%；在 93 年度至 94 年度之獨立年度於模式驗證中未發生準確率 96%、誤判率 4%、已發生準確率 64%、漏判率 36%、總體準確率 92.81%，以取得未發生準確率以及已發生準確率表現上之平衡，因此本研究針對雪霸地區之崩塌潛勢評估之警戒門檻訂定為 0.45，以作為後續風險警戒應用之參考值，而各機率門檻於模式驗證結果彙整如下表 15 所示。

表 15 機率門檻於各模式驗證結果彙整表

崩塌機率門檻	>0.5	>0.4	>0.45
模型訓練驗證	95.01%	88.90%	93.35%
未發生準確率	0.98	0.85	0.93

誤判率	0.02	0.15	0.07
已發生準確率	0.90	0.96	0.93
漏判率	0.10	0.04	0.07
104105 驗證	94.83%	88.75%	92.86%
未發生準確率	0.96	0.89	0.93
誤判率	0.04	0.11	0.07
已發生準確率	0.67	0.81	0.74
漏判率	0.33	0.19	0.26
9394 年度驗證	93.46%	89.23%	92.81%
未發生準確率	0.98	0.90	0.96
誤判率	0.02	0.10	0.04
已發生準確率	0.53	0.79	0.64
漏判率	0.47	0.21	0.36

## 第五章 崩塌風險警戒機制模式設計

基本上坡地災害警戒範圍的訂定規劃內容不外乎掌握災害的時間範圍與空間範圍兩個方向，通常時間範圍的推求可說是警戒管理基準值訂定問題，也就是當降雨量在逐步增加到某種階段時，人們應當進行某種的處置作為；而空間範圍的推求就更為直接，也就是當雨量逐步增加到某一種階段時，何處是空間上的危險範圍，且在危險範圍內有多少人應當進行某些的處置作為，因此本節的核心目的則是如何建立重點聚落崩塌風險評估模式?而這個崩塌風險評估模式未來可供重點聚落警戒與預警之用。

所謂的災害風險就是指遭受損失的可能性，國內近年來亦嘗試把風險的概念導入災害或安全管理範疇中，林新皓(2006)以土石流潛勢溪流集水區中所產生之土砂量，計算土石流淹沒範圍，及土石流淹沒範圍內所造成的災害損失，進行風險值之評估，陳樹群、王价巨等(2006)提出以土石流危害度評估、易致災性分析及承受度評估等三部份作為土石流風險評估，以作為風險管理決策之參考。陳振宇(2007)亦提出風險管理於土石流減災工程效益評估之具體明確之作法，並提出於土石流疏散避難決策之應用。冀樹勇等(2008)亦將風險管理之理念導入天然災害之管理上，陳天健等(2009)亦嘗試將風險管理與風險分析之方法應用於坡地災害管理上。

過去的研究顯示藉由危害度分析結果與崩塌潛勢分析結果的結合，可決定出風險值的高低，而一個風險估算可以設計成矩陣表的形式(施鴻志，2002)(如表 16)之形式。陳亮全等(2003)依據不同之地震危險潛勢、災感度與風險分布，透過風險-效益分析的方式，估計不同土地使用方案轉變，以及潛藏效益變動之風險。周士雄(2004)以權重值調整實證地區之土壤液化災害發生機率，及暴露於此災害機率下的社經傷害程度大小，運用多準則分析(MCDA)方法利用排序、評點與加權的方法得到完整的風險分數，提出具有各風險效益優勢的土地使用組合方案，並評估以民眾所能接受之風險減緩措施後，決定不同之管理決策。

表 16 簡化的風險矩陣

易損性機率	危害程度		
	高	中	低
高	非常高風險	高風險	一般風險
中	高風險	一般風險	低風險
低	一般風險	低風險	非常低風險

資料來源:Brookes, A.,2001

因此本研究對於雪霸國家公園崩塌風險警戒機制模式設計上，同樣也是採取建立所謂的風



險矩陣的概念來建立崩塌風險評估模式，也就是所謂的崩塌風險管理圖(Landslide Risk Management Diagram, LRMD)的概念來建立崩塌警戒模式，經由前兩節所建立的雪霸雨量站之崩塌降雨危害評估模型以及坡地崩塌潛勢評估模型後，而本節主要在建立雪霸國家公園範圍之崩塌風險警戒機制評估指標上，並建立降雨危害評估以及坡地崩塌潛勢評估，並配合崩塌資料對應之致災降雨紀錄取得最小致災門檻臨界值，在此研究稱為降雨危害度最小致災門檻值(HC)以及坡地崩塌潛勢最小致災門檻值(FC)，就可繪製其一崩塌風險警戒機制圖，其中 X 軸所指的是降雨危害值(範圍從 0 到 1)，Y 軸所指的是坡地崩塌潛勢機率值(範圍從 0 到 1)，在這崩塌風險警戒機制圖中，透過降雨危害警戒曲線(HCL)及崩塌潛勢評估曲線(FCL)的劃定，其可分為安全、紅一警戒以及紅二警戒，關於警戒機制的發布流程與說明將於下一章節進行討論。’

### 第一節 降雨危害最小致災警戒線訂定

在界定雪霸國家公園之降雨危害度最小致災門檻值(HC)以及崩塌潛勢機率最小致災門檻值(FC)，則透過前述所建立之崩塌關聯資料庫中新增崩塌災害之時間點以及雨量資料，並利用其雨量資料繪製於歷史降雨比率曲線以及崩塌潛勢模型中，即可在圖面上點繪出最小致災門檻曲線，以訂定降雨危害警戒值(HC)及崩塌潛勢警戒值(FC)，以下圖 56 (a)降雨危害度評估等比率曲線示意圖為例，其中將雪霸國家公園內之崩塌對應降雨(圖中藍點)繪製上去，以最小致災雨量之比率作為警戒曲線，即為警戒值等於 0.29 之曲線，如下圖 69 (b)，而當某一時刻之雨量資料對應到等比率曲線中，若其對應之比率值大於本計畫團隊所訂定之警戒值，則可即代表該時段之時雨量及有效累積雨量達到警戒狀態，其具有客觀評估管理單元警戒曲線之差異，以及具一致性的範圍警戒值訂定的優點。

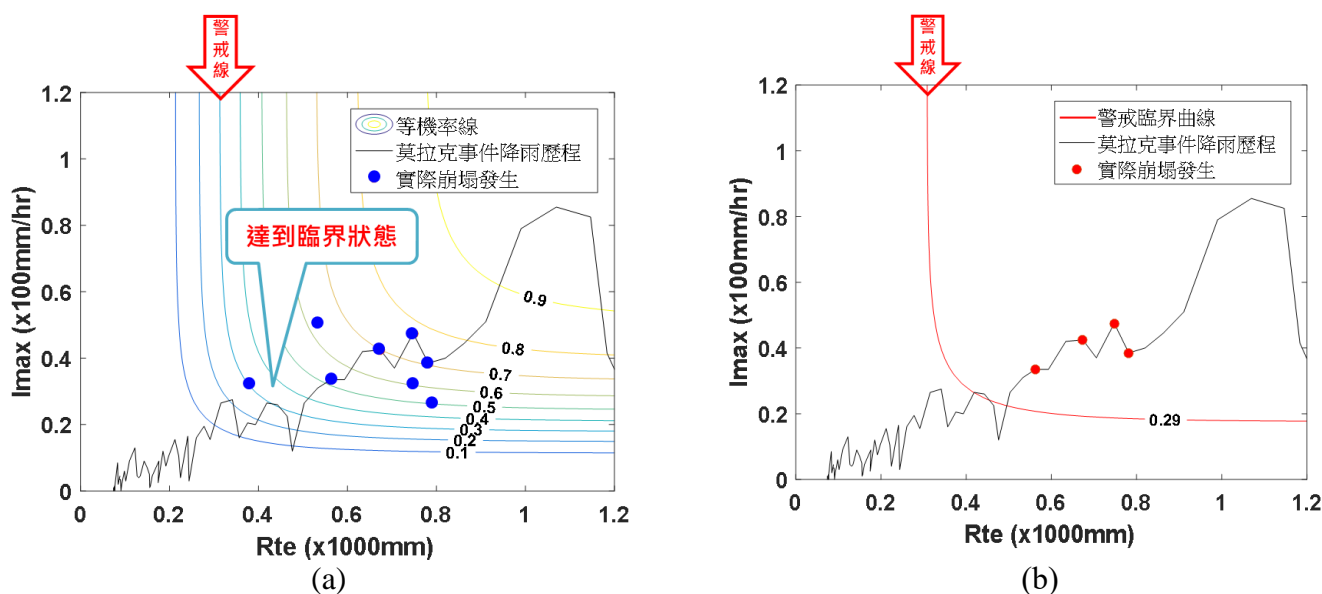


圖 56 警戒曲線訂定示意圖

根據上述對本團隊已訂定雪霸國家公園之降雨危害度最小致災警戒值( $H_c$ )為 0.79，而崩塌潛勢最小致災警戒值( $F_c$ )則已上章節模式驗證中崩塌準確率以及未崩塌準確率表現較為平衡之機率門檻做為警戒值，即  $F_c=0.45$ ，而其可持續於各年度透過雨量資料庫的擴增更新以及現況植生更新，進而更新降雨危害度最小致災警戒值( $H_c$ )以及崩塌潛勢機率最小致災警戒值( $F_c$ )，以後續應用於警戒發布管理機制研析。

## 第二節 崩塌風險警戒機制圖繪製

在前述訂定完雪霸國家公園的降雨危害度最小致災警戒值( $H_c$ )以及崩塌潛勢最小致災警戒值( $F_c$ )，即可對各雪霸國家公園繪製其崩塌風險警戒機制圖(如下圖 57)，透過歷史降雨最小致災警戒曲線(HCL)及崩塌潛勢評估最小致災警戒曲線(FCL)分別劃定該崩塌風險警戒機制圖之 X 軸以及 Y 軸，當中的 X 軸所指的是降雨危害值(範圍從 0 到 1)，Y 軸所指的是崩塌潛勢機率值(範圍從 0 到 1)，並其可分為成四個次空間，是 H 低-F 低的範圍，乃屬安全性高的空間；而是 H 低-F 高的範圍以及 H 高-F 低的範圍，乃屬中高風險的空間，已存在崩塌風險的不確定性區域；而是 H 高-F 高的範圍，則屬於高風險的空間，當雨量紀錄累積至此，管理對象則存在高度崩塌風險，應當要積極的進行預警或警戒作為。而當一降雨時段的雨量資訊(雨場開始至該時段間之最大降雨量以及有效累積雨量)分別於歷史降雨等比線曲線以及崩塌潛勢評估模型中之對應比率，並將其點( $H_i, F_i$ )繪製於崩塌風險警戒機制圖，當該點碰觸到歷史降雨最小致災警戒曲線(HCL)則代表已達到高崩塌的情況，若降雨歷時點在延伸碰觸到崩塌易損度最小致災警戒曲線(FCL)，則應當積極進行疏散的狀態，並可細緻化的對坡面單元進行崩塌潛勢評估，可明確呈現高風險之坡面單元的位置，掌握何處發生崩塌的潛勢以及可能性較高，以進行相對應之警戒模式，這個概念融合了保全對象的暴露度精神在其中，因此透過上述的本研究完整的建立起崩塌風險評估模式。

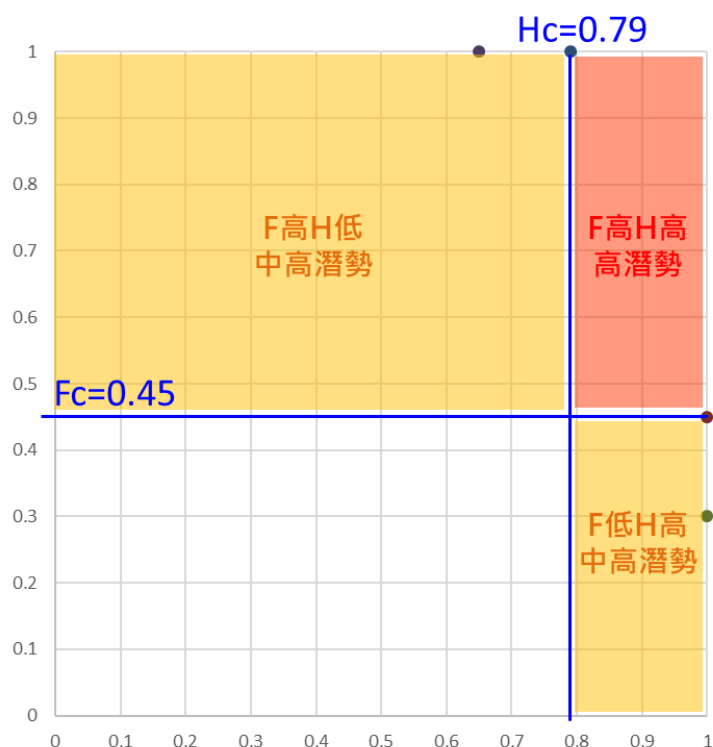


圖 57 觀霧地區坡地災害風險警戒機制圖

更進一步來說，本模式的優勢在於過去國內外相關的研究多著重在危害度預警模式的建立，然如前述所討論之崩塌風險概念之內容，若是缺乏了與崩塌潛勢機率值合併表述的機會，將會增加崩塌機制掌握的不確定性，也會不易改善崩塌預報高度不確定性這項課題。因此透過上述一系列程序的探討，本研究所發展出來之崩塌風險警戒機制模式可針對雪霸國家公園之各種時空與坡面環境不同等因素，建立起屬於各空間特性之崩塌風險管理圖以及崩塌風險警戒機制圖(Landslide Alert Map, LAM)，這項工作的建立將有助於細緻化我國崩塌防災工作的整備與預警能力，因為重點聚落將會存在不同的時空與環境特徵，而這種特徵的有效呈現是目前防災工作尚未達到的項目之一。

### 第三節 坡地災害風險警戒機制研析與應用

登山健行為雪霸國家公園遊憩模式之一，是一探險挑戰型的野外活動，從事前唯有做好萬全的經營管理，才能享受既安全又知性的國家公園登山健行之旅。本計畫透過上述大數據坡地災害潛勢分析進行空間警戒資訊之交叉比對，而在災前應變時，透過本研究所建立的坡地崩塌潛勢評估模型中，透過地文因子所建立的靜態災害潛勢評估結果，視覺化雪霸國家公園之坡地災害潛勢評估，如下圖 59 所示，根據該圖可針對重點林道進行高風險坡面單元之災前整備，而本研究根據下圖套疊重點大鹿林道東線進行比對分析，如下圖所示，歸納出重點高風險之路段(0.5k/1-1.5k/6.1-6.3k/7-7.2k/8.5-8.6k/11-11.2k/13.2-13.3k/16.7-16.9k)，建議須進行安全性整備以及重點性評估，後續亦可針對重點設施進行空間套疊，以達到災前之整備規劃。

而在不考慮降雨的加成影響下，和本團隊過去於 2007 年之研究進行比較，而比對後 2007 年的研究成果有部分高潛勢路段一致，而部分過去多判斷為高潛勢單元，且過去研究僅只考慮 2002 年至 2004 年之地文因子探索資料以及少量的崩塌樣本資料，因此模式所推算出來之災害潛勢尺度較為粗糙，且不具降雨時序特徵，因此僅能用於災前應變之整備參考，而本團隊於今年則考量了地文因子之多元時空特徵挖掘以及探索過去 2002 至 2016 年的崩塌以及降雨誘發之關聯資料，掌握較趨近於現況之崩塌致災資料庫，有效更新地文崩塌潛勢圖。

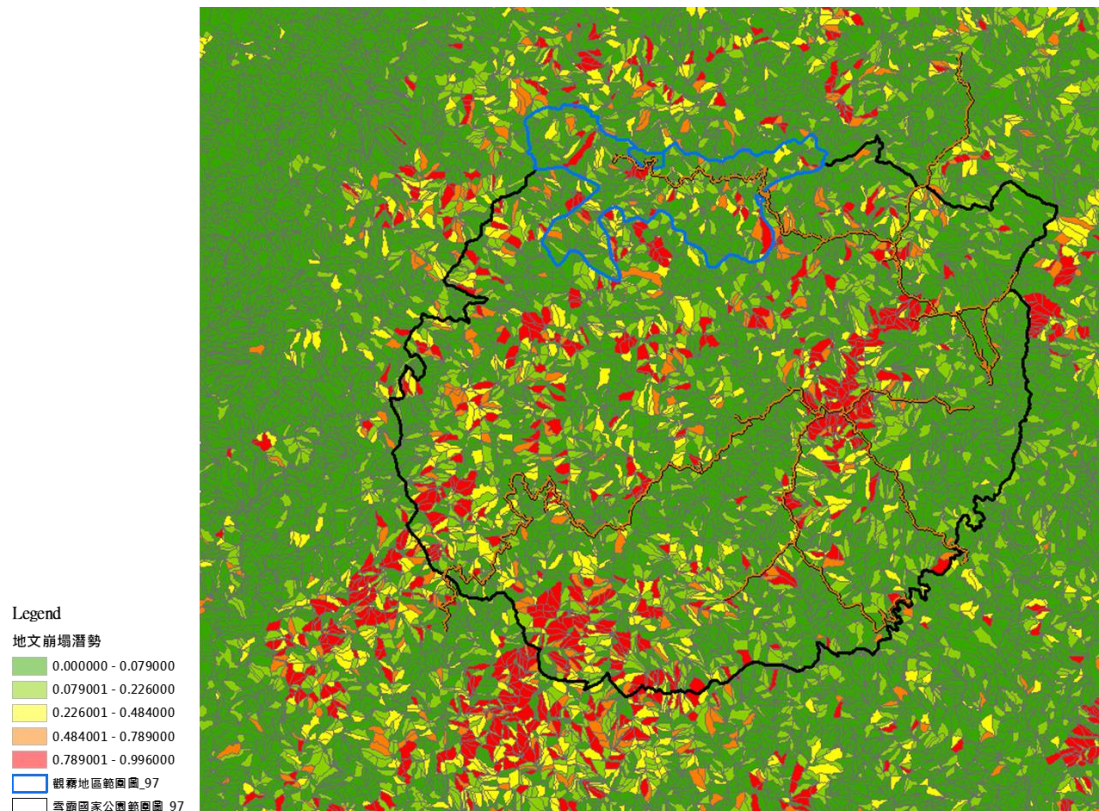


圖 58 雪霸國家公園地文崩塌潛勢分布圖

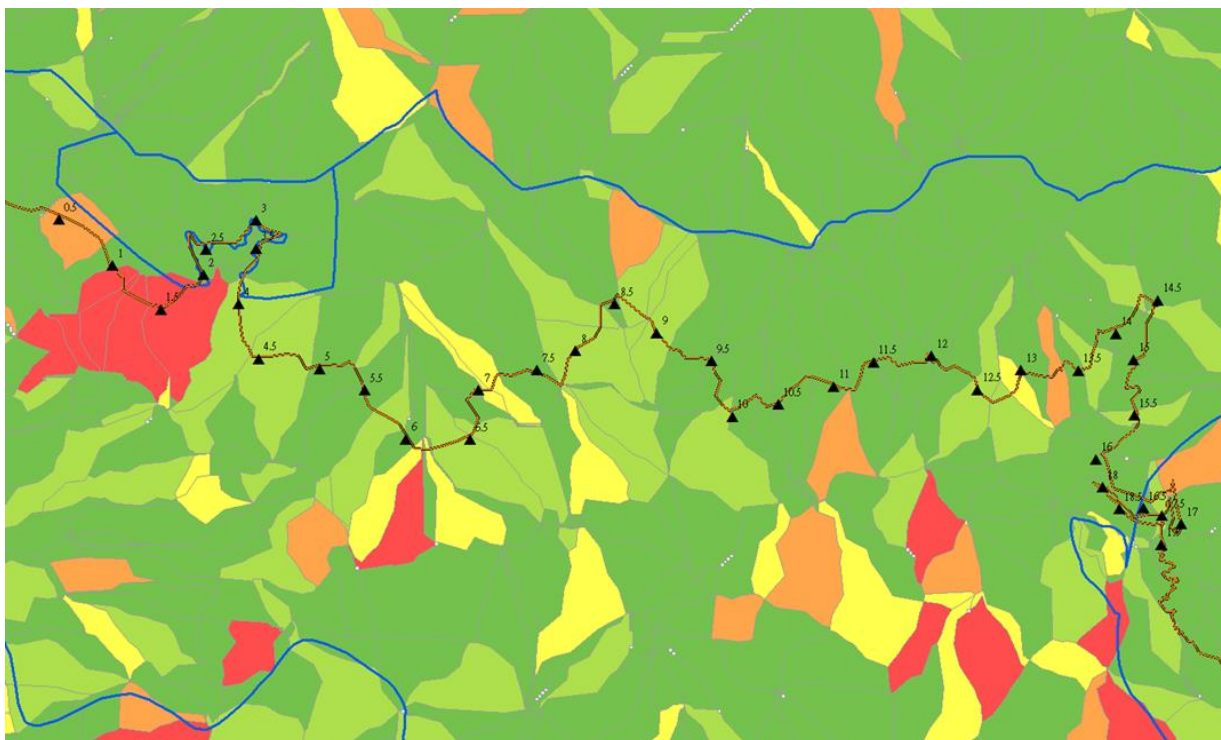


圖 59 雪霸國家公園-大鹿林道東線崩塌潛勢分布圖

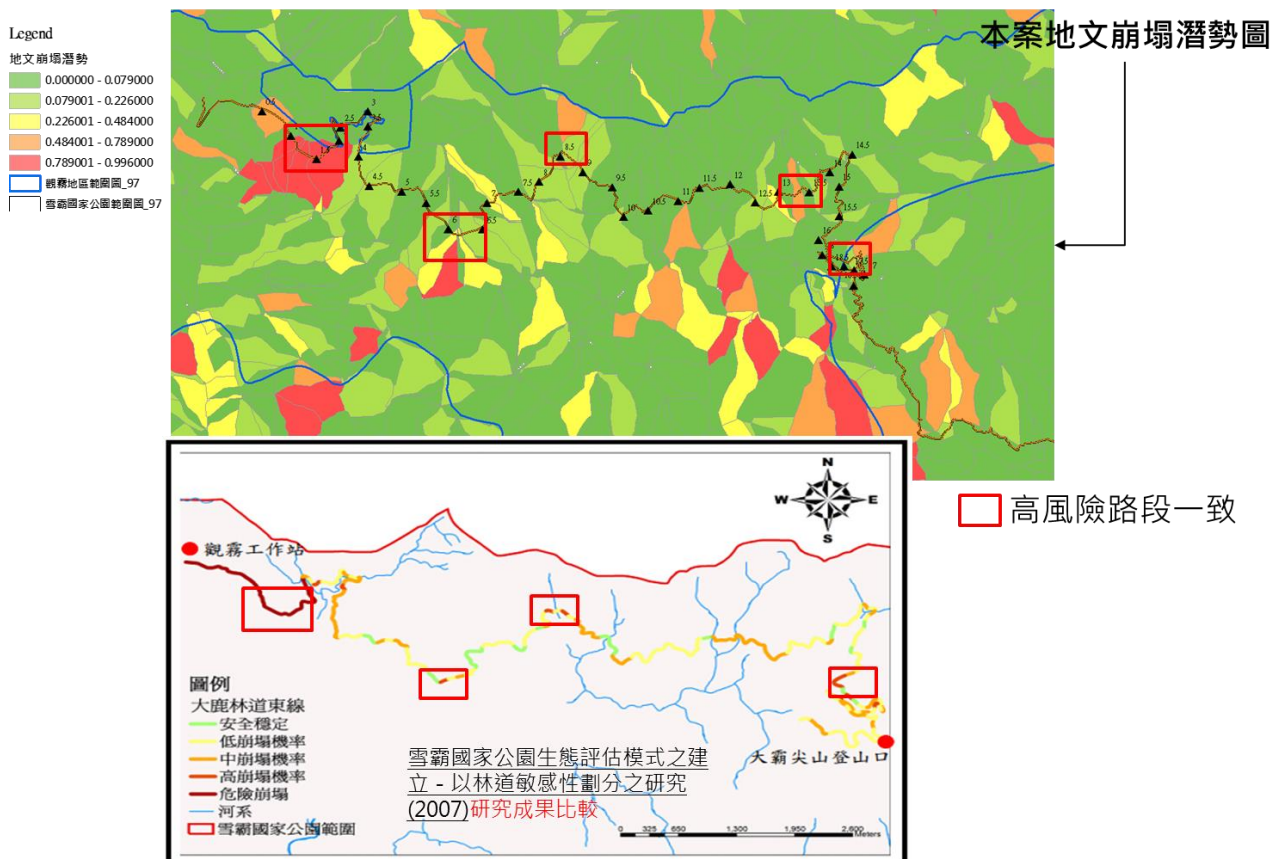


圖 60 大鹿林道東線崩塌潛勢分布歷年成果比對圖

而在災時之應用上，本研究搭配上節所繪製之觀霧地區坡地災害風險警戒機制圖，針對過去對雪霸國家公園造成嚴重之崩塌災害之艾利颱風事件進行風險警戒機制試作，然而本研究所訂定之  $F_c$  以及  $H_c$ ，為當一降雨時段的雨量資訊(雨場開始至該時段間之最大降雨量以及有效累積雨量)分別於歷史降雨等比線曲線以及崩塌潛勢評估模型中之對應比率，並將其點( $H_i, F_i$ )繪製於崩塌風險警戒機制圖，當該點碰觸到歷史降雨最小致災警戒曲線(HCL)則代表已達到高崩塌的情況，若降雨歷時點在延伸碰觸到崩塌易損度最小致災警戒曲線(FCL)，則處於高風險潛勢之狀態，而就國家公園經營管理層面上來看，當降雨規模點( $H_i, F_i$ )觸碰到  $F_c$  以及  $H_c$  再進行林道封園之處置，在時機上恐怕太晚，因此本研究建議將  $F_c$  以及  $H_c$  下修兩個標準差，作為封園之標準( $F_c', H_c'$ )，如下圖 61 所示，讓災害規模達一定標準觸碰到( $F_c', H_c'$ )則須進行預防性封園之處置，以防降雨規模持續擴大，而若降雨規模持續維持在風險警戒機制圖中之黃色範圍 12 個小時，則可解除封園處置，而以上所建議之封園之標準( $F_c', H_c'$ )以及解除封園之參考準則皆可透過歷史颱風豪雨事件試作以及管理單位之經驗去進行修正以及調正，以提高整體風險警戒機制達到合宜之應變處置參考性。

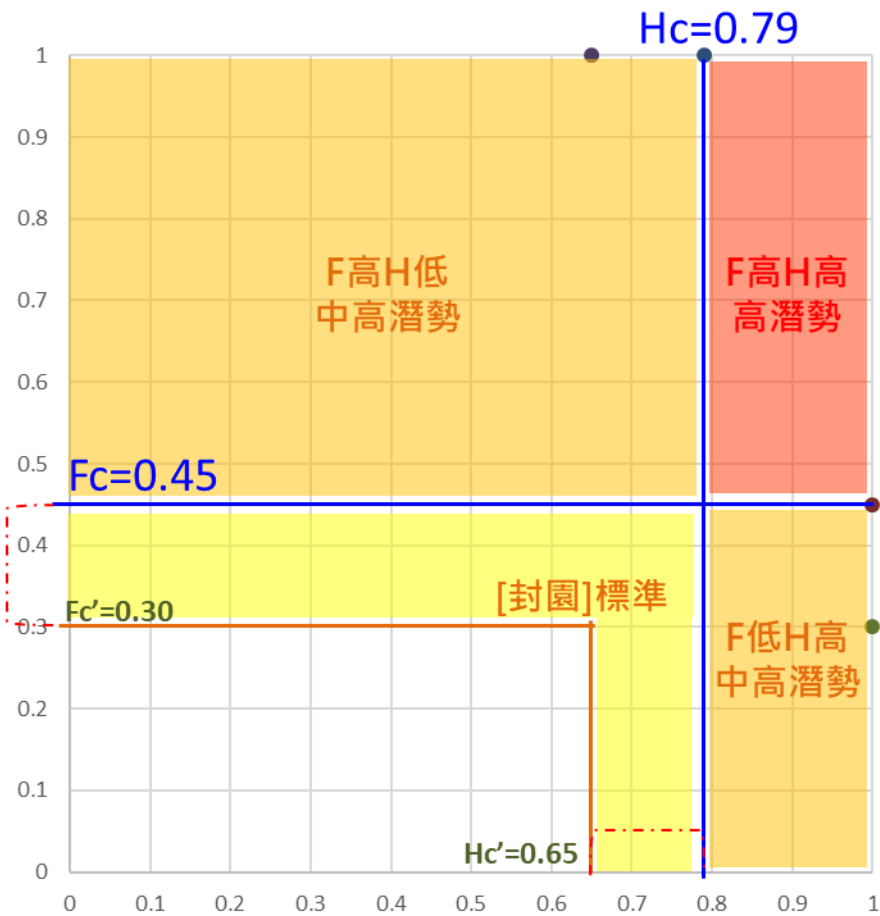


圖 61 觀霧地區坡地災害風險警戒機制圖

而根據上述所設計之警戒機制流程，本計畫初步對於警戒發布流程及機制設計如下：

1. 管理單位警戒：若 H 指標或 F 指標達到下圖 62 之坡地災害風險警戒模式中之黃色區塊，則代表提前警戒狀態，且須持續監測即時降雨的趨勢，以擬定封圍的決策評估。
2. 封圍/災後回報：若 H 指標或 F 指標其中一項達到警戒值，及代表降雨危害程度或崩塌潛勢程度以達一定之危險程度，則發佈橘色警戒，建議須進行全面性封圍狀態。
3. 封圍/重點邊坡監測/災後回報：若 H 指標或 F 指標皆達到降雨危害程度以及崩塌潛勢警戒值，則定義發佈紅色警戒，即邊坡狀態處於極度危險，須持續進行封圍，並建議針對重點邊坡進行即時監測以及接收災害回報。
4. 解除警戒建議：解除時機建議為雨場結束後，若警戒狀態持續在黃色區塊持續 6 小時並無進入橘色或紅色警戒則可解除警戒狀態；若警戒狀態在橘色區塊 6 小時內曲線無持續上升且 6 小時累積雨量小於 4mm，則可解除橘色警戒狀態；若警戒狀態在紅色警戒狀態，6 小時內若曲線如持續上升，但 6 小時累積雨量小於 4mm，則代表降雨以趨緩，且累積降雨緩慢增加所導致之曲線上升則可降低警戒，並可解除紅色警戒；而當連續 12 小時內，時雨量都小於 4 mm 或累積雨量小於 10 mm 時，解除坡地災害風險警戒。實際應用上會依應變中心解除時間來判斷，考量雨量對引發崩塌可能有時間延遲性，因此應變中心解除應變後，需要觀察一段時間(例如 12 小時)，再發佈解除崩塌警戒，本計畫內初步設定以 12 小時累積雨量小於 10 mm 為警戒解除依據，建議未來可以試行 24 小時或 48 小時的觀察期，用以評估坡地災害風險警戒解除條件。

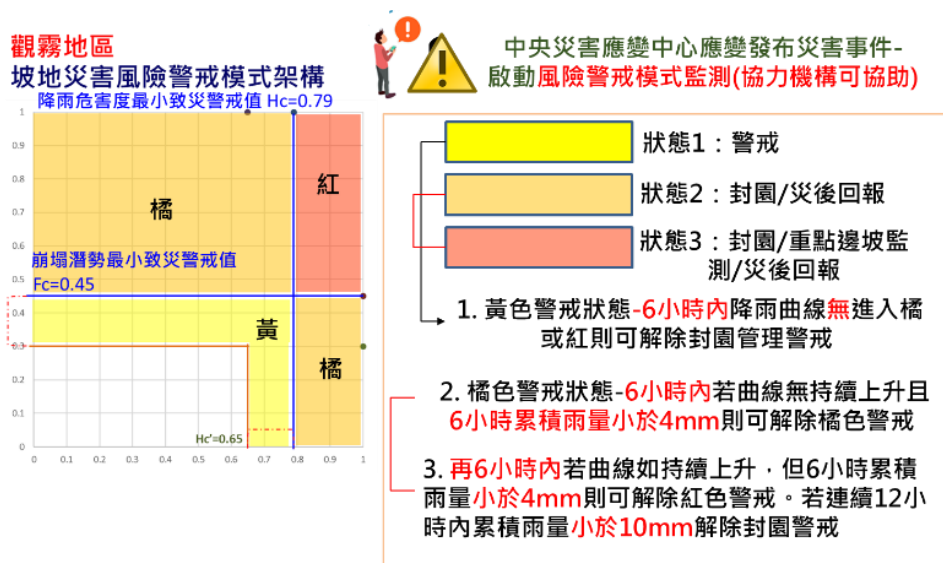


圖 62 林道暨園區災害風險警戒、應變與解除管理機制流程設計

而下圖 63 為艾利颱風之歷時降雨時序圖，而根據歷時的(Ii, Ri)同時帶入前面所建立之降雨危害度評估模型(H)以及崩塌潛勢評估模型(F)以取得各歷時降雨所對應之(Hi, Fi)，並取歷時最大之  $\max((Hi, Fi))$ 繪製於雪霸國家公園之坡地災害風險警戒機制圖，如下圖 64 所示，而當降雨規模來到小時降雨強度(Ii)為 30mm 而其對應之有效累積降雨(Ri)為 105.3mm，則對應之(Hi, Fi)則為(0.42, 0.30)，於坡地災害風險警戒機制圖之封園標準，因此建議該時段進行預防性之封園處置，並可針對該降雨繪製該階段之崩塌潛勢分布圖，如下圖 65 所示，而降雨持續歷時更新，當降雨規模來到小時降雨強度(Ii)為 34mm 而其對應之有效累積降雨(Ri)為 329mm，則對應之(Hi, Fi)則為(0.76, 0.46)，於突破坡地災害風險警戒機制圖之崩塌潛勢評估最小致災警戒值(Fc)，而當下之崩塌潛勢分布圖如下圖 66 所示，當降雨規模來到小時降雨強度(Ii)為 34mm 而其對應之有效累積降雨(Ri)為 503.8mm，則對應之(Hi, Fi)則為(0.83, 0.54)，於突破坡地災害風險警戒機制圖之降雨危害度之最小致災警戒值(Hc)，而當下之崩塌潛勢分布圖如下圖 67 所示，而說明當降雨規模突破降雨危害度之最小致災警戒值(Hc)以及崩塌潛勢評估最小致災警戒值(Fc)，則代表坡面單元之災害潛勢非常高，且具高風險，應嚴格管理封園之狀態，並於後續針對高風險之坡面單元進行加強修復以及維護。

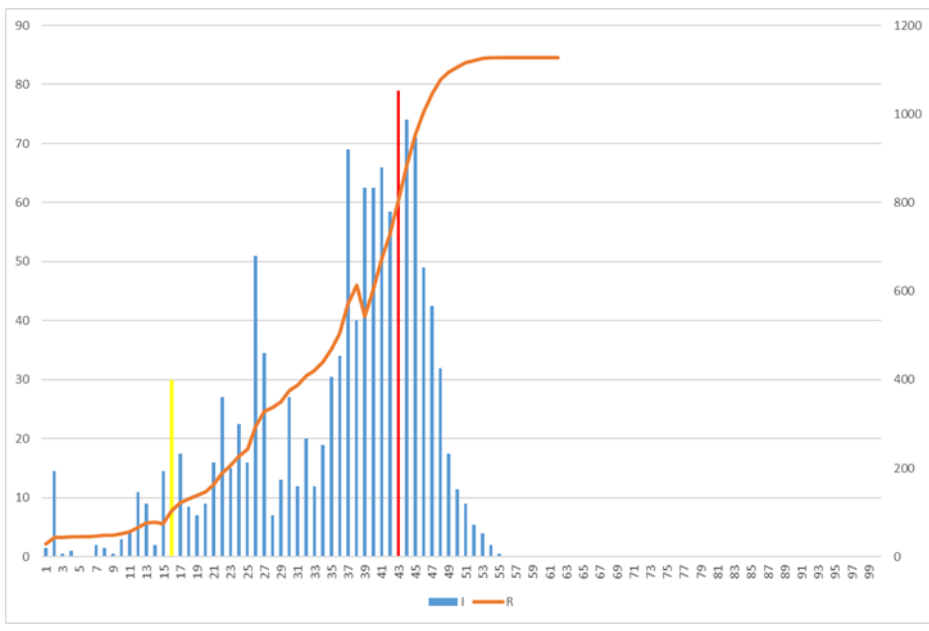


圖 63 艾利颱風歷時降雨時序圖-雪霸雨量站



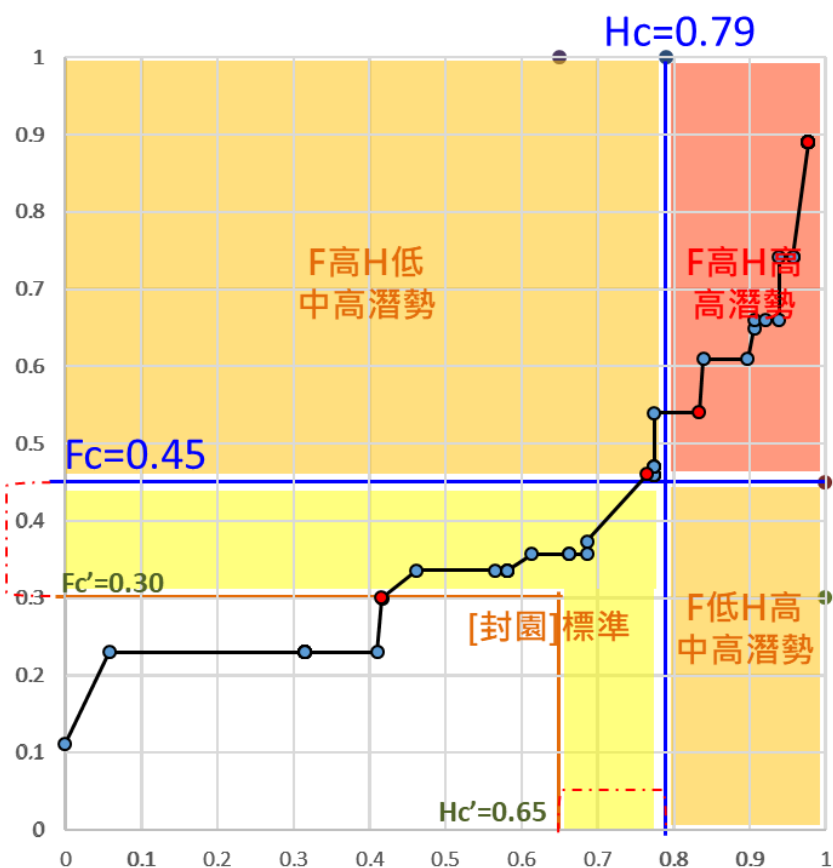


圖 64 艾利颱風歷時降雨時序於坡地災害風險警戒機制圖

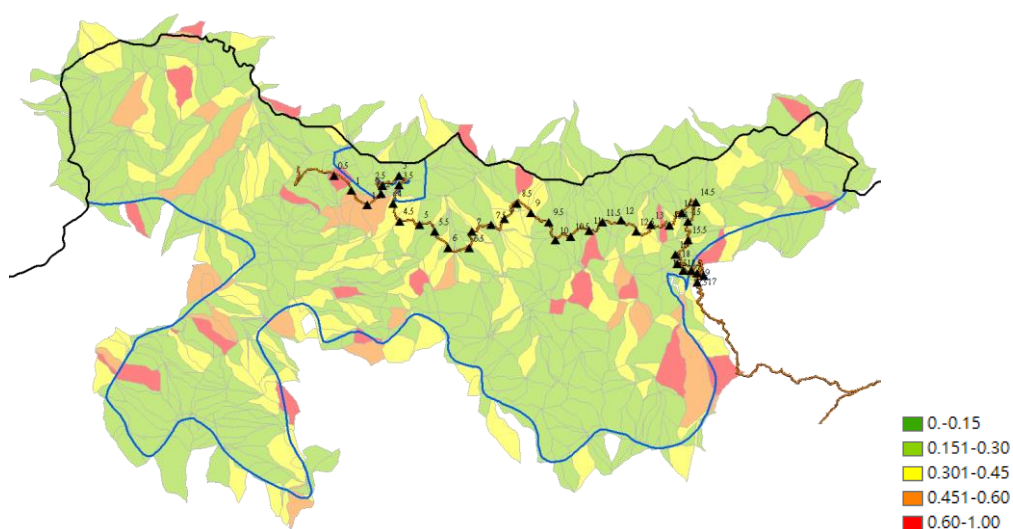


圖 65 艾利颱風(Ii, Ri)=( 30, 105.3)之崩塌潛勢分布圖

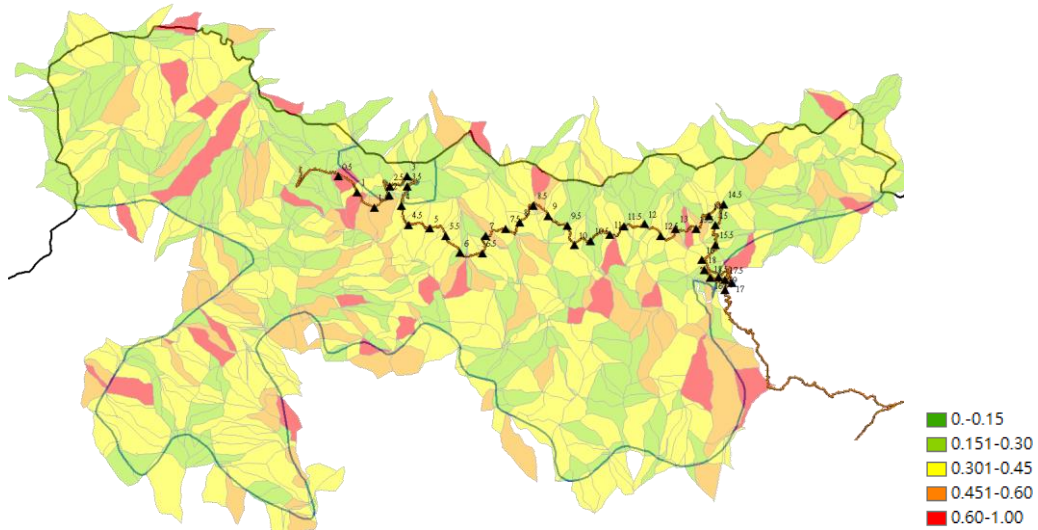


圖 66 艾利颱風(Ii, Ri)=( 34, 329)之崩塌潛勢分布圖

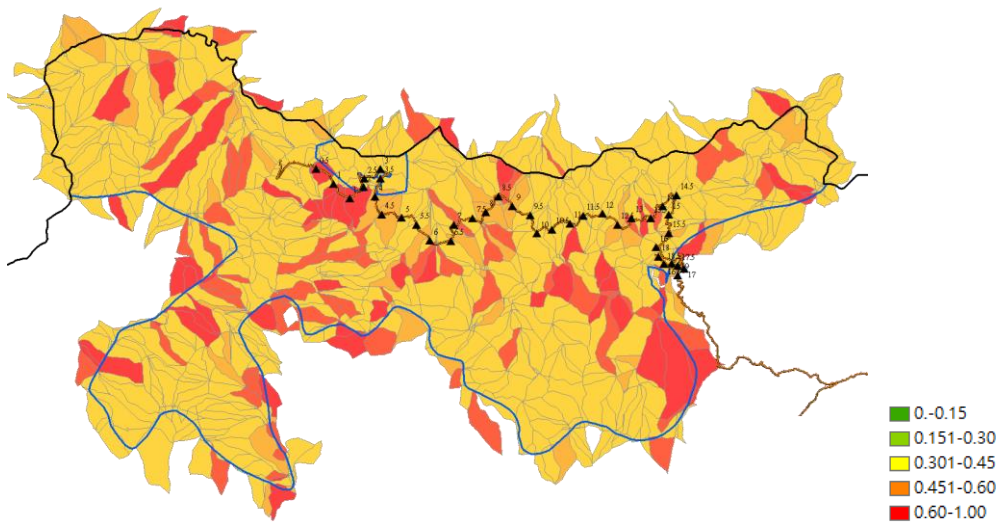


圖 67 艾利颱風(Ii, Ri)=( 34, 503.8)之崩塌潛勢分布圖

本研究初規劃之坡地災害警戒應變發佈流程試做驗證發佈機制是可行的，本計畫所訂定崩塌雨量警戒值在實際應變操作上，皆可供做崩塌警戒判斷，其主要採用雙參數來考量崩塌雨量警戒值，即同時考量 H 指標及 F 指標；後續建議持續協助管理處於應變期間提供崩塌警戒資料，並檢討崩塌警戒發佈管理值。

## 第四節 大鹿林道東線歷年重大降雨頻率統計分析

由於歷年災害事件統計值可以同步呈現大鹿林道東線整個路段時空特徵，因此本研究結合「坡地災害風險警戒機制」與「歷年雨量災害事件(2007-2013)」的雨量特徵因子後，就可以檢視大鹿林道東線災在歷史紀錄上可能發生的災害次數以及所面臨的脆弱程度(表 1)。表 1 中統計分析的度向分成兩個面向，首先是「 $i>4\text{mm}$  小時數」以及「雨場數」，前者代表降雨的能量規模，基本上時雨量大於  $4\text{mm}$  小時數以上，在大鹿林道東線就有可能產生落石災害，而後者則是代表這樣強度的降雨規模，在整個年度降雨事件當中有幾場；而人工降雨的情境模擬又分成兩個度向，首先是降雨強度不變  $10\text{mm}$ ，而累積雨量改變這個度向從  $100\text{mm}$ 、 $300\text{mm}$  到  $500\text{mm}$  等，表示在表 1 中藍線的左側位置。而另一個度向則是降雨強度與累積雨量均改變，降雨強度從  $10\text{mm}$  改變成  $30\text{mm}$ ，而累積雨量從  $100\text{mm}$ 、 $300\text{mm}$  到  $500\text{mm}$  等，表示在表中藍線的右側位置。而這張表的解讀又分成上下半部，上半部是各年度中各降雨規模之「 $i>4\text{mm}$  小時數占百分比」與「雨場數所佔百分比」，簡單來來說，當中數字越大，表示大鹿林道東線所面臨的災害風險就越高(上半部紫色方框)，在這紫色方框中，2009 年的( $i=10\text{mm}$ ,  $Rte=500\text{mm}$ )的占比最大，而這種雨場的災害規模也很大，高達  $500\text{mm}$  是屬於颱風或豪大雨事件特徵。仔細檢視表中，我們從真實資料與模擬分析的情境中發現這 72 種災害規模的組合關係當中，在這個區域不發生災害的情境只有 9 場，「發生災害」與「不發生災害」的情境比率是(0.875,0.125)，這樣的數據顯示該區域災害發生的機會不可不為不高。至於表中下方的數據則呈現大鹿林道東線「各路段」在上述的情境下，各種潛勢的發生分布值，就算是最安全的情境下( $i=10\text{mm}$ ,  $Rte=100\text{mm}$ )，也有高達 0.28% 的路段是有風險的，其他的路段就存在一個更高風險的情境結果。

表 17 大鹿林道東線歷年降雨規模以及對應風險坡面單元統計分析

降雨規模		i=10, rte=100	i=10, rte=300	i=10, rte=500	i=30, rte=100	i=30, rte=300	i=30, rte=500
年分	(i>4mm小時數, 雨場數)	(i>4mm小時數占百分比/ 雨場數占百分比)	(i>4mm小時數占百分比/ 雨場數占百分比)	(i>4mm小時數占百分比/ 雨場數占百分比)	(i>4mm小時數占百分比/ 雨場數占百分比)	(i>4mm小時數占百分比/ 雨場數占百分比)	(i>4mm小時數占百分比/ 雨場數占百分比)
		Hi=0.47	Hi=0.59	Hi=0.71	Hi=0.51	Hi=0.73	Hi=0.80
2007	(114, 21)	(15%, 5%)	(3%, 5%)	(15%, 10%)	(4%, 5%)	(6%, 5%)	(2%, 10%)
2008	(209, 47)	(12%, 4%)	(3%, 2%)	(7%, 4%)	(27%, 2%)	(4%, 2%)	(15%, 2%)
2009	(173, 35)	(9%, 6%)	(5%, 6%)	(14%, 11%)	(2%, 3%)	(1%, 3%)	(1%, 3%)
2010	(165, 47)	(4%, 4%)	(0%, 0%)	(0%, 0%)	(0%, 0%)	(0%, 0%)	(0%, 0%)
2011	(148, 38)	(8%, 3%)	(0%, 0%)	(0%, 0%)	(1%, 3%)	(0%, 0%)	(0%, 0%)
2012	(237, 49)	(8%, 2%)	(2%, 2%)	(4%, 2%)	(1%, 4%)	(2%, 2%)	(2%, 2%)
2013	(145, 39)	(3%, 5%)	(1%, 3%)	(3%, 3%)	(2%, 3%)	(3%, 3%)	(4%, 3%)
安全(1)	Fi=( $<0.15$ )	72%	63%				
低潛勢(2)	Fi=( $0.15-0.3$ )	16%	22%		73%		
中潛勢(3)	Fi=( $0.3-0.45$ )	5%	8%	77%	18%	86%	
中高潛勢(4)	Fi=( $0.45-0.6$ )	4%	4%	17%	5%	9%	85%
高潛勢(5)	Fi=( $>0.60$ )	3%	3%	6%	4%	5%	15%

而上述統計了不同降雨規模下之  $H_i$  以及  $F_i$  值作為坡地災害風險警戒之參考，而下圖 68 本計畫亦將不同降雨規模輸入至坡地崩塌潛勢評估模型，以評估大鹿林道東線之崩塌潛勢分布情形以作為後續災前及災時預警之參考。

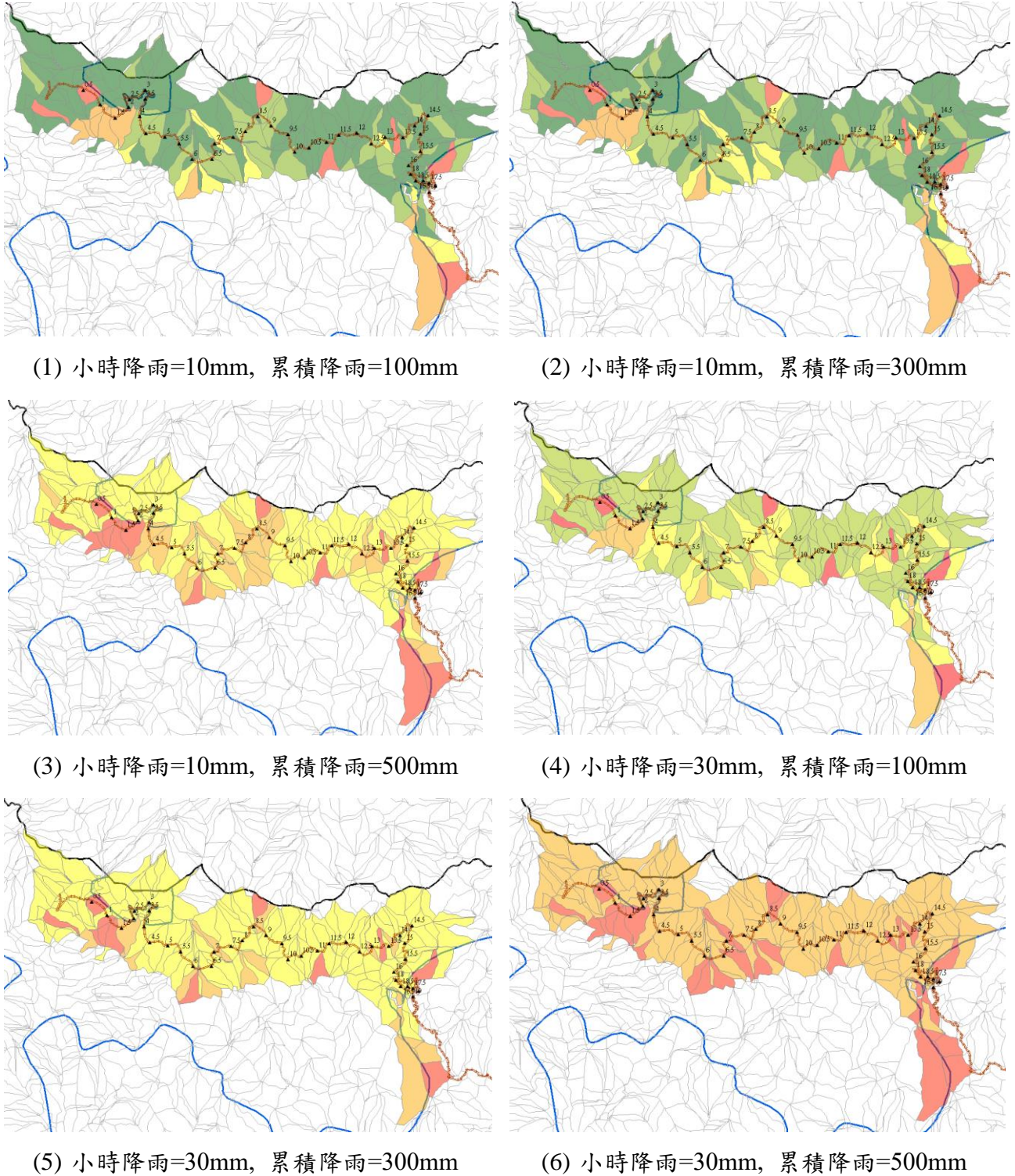


圖 68 歷年降雨規模頻率與大鹿林道東線高風險影響坡面統計

## 第五節 雪霸國家公園園區未來開放與管理機制建議

目前園區內造成林道高風險的誘因有「降雨引致」、「河流沖擊」、「地震引致」、「風蝕」、「人為開發」與「其他」等，但園區環境保護的很好，不存在大規模人為開發因素，因此園區主要災害來源是「氣候因素」與「地震因素」等自然災害所造成的現象。由於上述的自然災害因素能夠觀測與度量(隸屬中央氣象局相關業務)，所以讓我們有機會對於未來園區管理上提出策略、作法與 SOP 模式。另一方面，108 年 10 月 21 日行政院蘇貞昌院長在「向山致敬」記者會上宣示山林開放政策，以開放、透明、服務、教育與責任等五大主軸內容，來進行制度上的改革，這五大主軸的精神為 1. 開放山林，簡化管理；2. 資訊透明，簡化申請；3. 設施服務，便民取向；4. 登山教育，落實普及；5. 責任承擔，觀念傳播等。因此本計畫基於上述理念配合研究團隊整體研究成果，規劃下面「雪霸國家公園園區未來開放與管理機制」模式(如圖 7)。基本上園區的狀態分成「災時」與「平時」，這兩種狀態分述如下：

### 1. 災時：

災時園區最後的處置結果可分成「開放」與「關閉」兩種結果，而其判斷決策則是來自於災害因素的監測，更進一步來說，由於災時的狀態來源有「降雨」、「水蝕」、「地震」與「風蝕」等，本研究團隊已於 109 年度針對「降雨成因」，完成「坡地災害警戒模式」與「警戒門檻值」等兩項結果，其中門檻值訂定完成後，就可針對中央象局所提供的資料並針對上述門檻值判斷園區是否「開放」還是「關閉」的狀態(門檻應用請見第二節)，若是狀態變成「開放」，就需進入監測狀態，因為災害剛過，影響尚未確定。若是「關閉」的狀態就需”疏散已入山山友、暫停一切活動，管制過後啟動步道安全檢測與根據災害規模與相關處置事件經驗來制定短、中、長期封園時間”。而未執行之災害成因，儘速完成相關評估模式與警戒門檻值訂定之工作。

### 2. 平時：

平時園區的狀態也是分成「開放」與「關閉」兩種結果，這是因為前述災時的四大因子，還是有可能以「間接因素」影響平時，例如降雨後雖然道路附近沒有崩塌，但是可能崩塌發生在三天後，因此這部分園區雖然是開放狀態，仍然存在風險問題，此時判斷災情問題與否，以現階段園區設備來說，還是只能依賴巡山人員及山友回報狀況，進而透過回報情資進行“啟動步道安全檢測與根據災害規模與相關處置事件經驗來制定短、中、長期封園時間”

而未執行之災害成因，應儘速完成相關評估模式與警戒門檻值訂定之工作，以利完整建立雪霸國家公園園區開放與管理機制之 SOP。

## 第六章 步道主體相關設施安全性現況調查

國家公園擔任國家之自然保育、教育及遊憩之重責大任，其敏感區的現況調查及研究成果可為國家公園管理單位作為園區內經營管理方針擬定的重要參考資料，並從維護公共安全的觀點而言，可進一步規範遊客及登山者可活動地區或是進行封閉，使活動者及決策者都能以調查及分析結果來採取必要之管理及防範措施，以達到國家公園活動安全之目的。

而在敏感區風險評估實務上，常被用來作為評估環境安全性的監測技術可概略的區分為三種類型，包括步道分段小樣本的重複測(replicable measurements)、大尺度取樣的快速調查(rapid survey samples)，以及完整的審視步道狀況之普查技術(census techniques)等(Hammitt & Cole 1998)等，調查監測方法各有其優缺點，經營者可視其經營目標、精密度的需求、人力與經費上之考量等不同，選擇適用之方法施行之(劉儒淵，1995)。

### 第一節 觀霧地區步道基本資料

觀霧遊憩區位於新竹縣五峰鄉與苗栗縣泰安鄉交界，海拔 2000-2500 公尺，是攀登世紀奇峰大霸尖山之入口。區內有豐富的森林資源，境內經常瀰漫雲海、霧氣，故有「雲的故鄉」之稱，海拔 1800-2200 公尺的園區建有多條步道，可觀賞樹齡 2000 年的巨木，也可觀賞瀑布及聖稜線景觀。

距離竹東 2 小時的觀霧，泰雅族語是「茂義利」，意思是「更高的山嶺」。在日據末期，約 1940 年，日本政府開始大規模採伐此區珍貴之木材以提供戰事所需成，1980 年光復後才結束營業，留下了滿山整齊的人造林，並且於民國 81 年雪霸國家公園成立，旋即執行區內有關資源保育及遊憩經營等管理計畫。

遊憩區內，紅檜巨木、瀑布、雲海、日出、夕照、雲霧及聖稜線等構築出觀霧的景觀特色；植物又以台灣檫樹、棣慕華鳳仙花最為特別。另外於本區發現的新種且瀕危的觀霧山椒魚，國家公園已積極進行保育及棲地復育之工作，並設置觀霧山椒魚生態中心，為到訪的遊客提供優質的解說服務，是適合進行健行遊憩、親子學習、環境教育的最佳場所；並且園區聯外道路大鹿林道在此分叉，東線是往大霸尖山的路，而西線則可通往園區最高的榛山，帶領人們享受雪山山脈聖稜線所勾勒出的動人景緻。

由於觀霧為國家森林遊樂園區，園區步道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，本計畫預計將實證範圍內共 8 條主要步道進行一次完整的現況調查，分別為大鹿林道東線、雲霧步道、觀霧瀑布步道、蜜月小徑、檜山巨木群步道、榛山步道及大鹿林道西線，步道列表及分布如圖 69、表 18 所示。本計畫目的為盤以完整的審視步道狀況之普查技術進行步道設施安全性現況調查，並以大鹿林道東線為重點核心，訂定「步道主體設施安全性調查表」，以

衛星定位系統 (GPS) 相互搭配步道樁位的里程數進行全面地道路巡查，逐點編號並拍照紀錄現況。

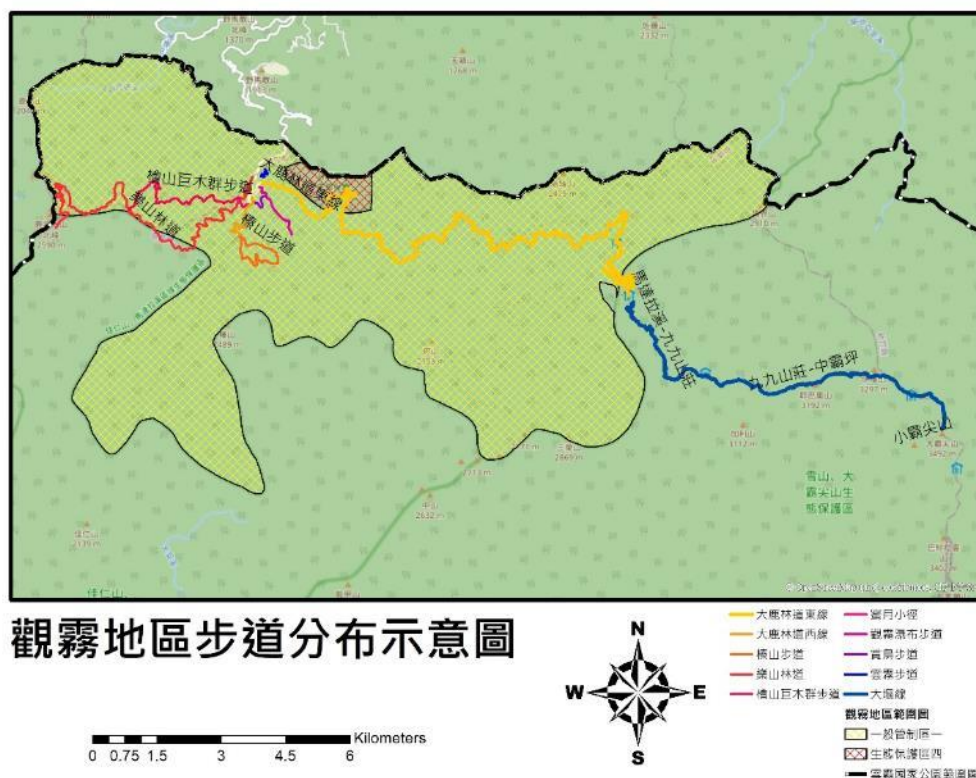


圖 69 觀霧地區步道分布示意圖

表 18 觀霧地區步道基本資料

名稱	所在縣市	步道類型	海拔高度	路面	難易度	公里數	高度落差
大鹿林道東線	新竹縣尖石鄉, 苗栗縣泰安鄉	高山步道	2050~3492公尺	土路面、山徑	高山步道	19KM	440公尺
雲霧步道	苗栗縣泰安鄉, 新竹縣五峰鄉	初級山步道	2114~2175公尺	木棧道	低	0.8KM	61公尺
觀霧瀑布步道	新竹縣五峰鄉	中級山步道	1750~2050公尺	山徑	低-中	1.5KM	300公尺
蜜月小徑	新竹縣五峰鄉	初級山步道	2000~2060公尺	原始路徑、木棧道	低-中	0.6KM	60公尺
檜山巨木	新竹縣五	中級山步	2060~236	原始路	低-中	4KM	300公尺

群步道	峰鄉	道	0公尺	徑、木棧道			
賞鳥步道	苗栗縣泰安鄉	初級	1964~2017公尺	山徑	低	0.65KM	53公尺
榛山步道	新竹縣五峰鄉,苗栗縣泰安鄉	中級山步道	2037~2315公尺	山徑、石階	低-中	4KM	278公尺
大鹿林道西線	新竹縣五峰鄉,苗栗縣泰安鄉	初級山步道	2040~2086公尺	山徑	低-中	2KM	46公尺
大霸線	新竹縣尖石鄉,苗栗縣泰安鄉	高山步道	2050~3492公尺	山徑、砌石階梯	高	12.6KM	1442公尺

## 第二節 步道主體相關設施安全性現況調查方法

本計畫為瞭解觀霧地區步道主體相關設施安全性現況，規劃採用普查技術來進行觀霧地區步道之現況調查，由於山區氣候較平地要顯得極端的不穩定，溫度變化及多雲霧等變化急劇，因此本計畫團隊在進行步道主體相關設施安全性調查前會事先完成入山調查準備；在調查過程中，以衛星定位系統（GPS）相互搭配紀錄調查地點之座標，並以一般相機、360 環景相機快速進行拍攝照片及文字記錄步道現況，步道現況調查準備事項及物品如下圖 70 所示。

本計畫採用普查技術來進行觀霧地區步道之現況調查，為配合建置步道主體相關設施安全性資料庫所需，本研究參考台灣公路工程之邊坡危害度評估因子評分表，並參考相關文獻以及張石角教授於民國 94 年規劃之「雪霸國家公園大鹿林道東線(觀霧至大霸登山口) 受災路線修建之調查規劃」中的路基與崩塌邊坡地質分類（張石角，2005），研擬一份「步道主體設施安全性調查表」清單，列出觀霧地區既有步道安全性之調查項目，大項目構面有「路面現況構面」、「路面工程構面」、「邊坡現況構面」、「邊坡穩定工程構面」、「附屬設施構面」等等，各項並分別訂有不同程度之分級，並拍照進行編號，彙整於資料庫中，詳細初擬表單資料如表 19 所示。將步道中可能產生崩塌災害的點位進行表格記錄、照片及加值 360 度環景照片記錄，並設計實地調查表單，進而描述單元內各項步道情況之數目與等級，進而建置觀霧地區道主體相關設施安全性現況調查主題圖。





台灣大地羅盤GPS

360環景相機

圖 70 步道主體安全性調查準備用品

表 19 步道主體設施安全性調查表

步道主體設施安全性調查表				
調查人員：_____		天氣：_____		
<b>基本資料</b>				
調查點編號：_____		林道里程：_____K+_____~_____K+_____		
調查時間：_____		GPS 座標：TWD97(X,Y)：_____		
<b>一、 路面現況構面</b>				
1. 路面材質	<input type="checkbox"/> 棧道	<input type="checkbox"/> 瀝青、混凝土	<input type="checkbox"/> 土路面	<input type="checkbox"/> 碎石路面、砌石階梯
2. 路面狀況	<input type="checkbox"/> 良好	<input type="checkbox"/> 輕微損壞	<input type="checkbox"/> 普通損壞	<input type="checkbox"/> 嚴重損壞
3. 損壞型態	<input type="checkbox"/> 龜裂	<input type="checkbox"/> 隆起	<input type="checkbox"/> 坑洞、沉陷	<input type="checkbox"/> 路基流失
<b>二、 路面工程構面</b>				
1. 護欄工程現況	<input type="checkbox"/> 無護欄工程	<input type="checkbox"/> 有護欄工程，功能完整	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善 30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70% <input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能
2. 護欄情況	<input type="checkbox"/> 良好	<input type="checkbox"/> 輕微破損	<input type="checkbox"/> 普通破損	<input type="checkbox"/> 嚴重破損

3. 排水工程現況	<input type="checkbox"/> 無排水工程 (名暗渠、排水孔、集水井/排水廊道)	<input type="checkbox"/> 有排水工程，功能完整 (名暗渠、排水孔、集水井/排水廊道)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善 30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能
<b>三、 邊坡現況構面</b>					
1. 岩性類別	<input type="checkbox"/> 新鮮基岩 (1 幼年期)	<input type="checkbox"/> 鬆動折曲板岩層 (2 青年期)	<input type="checkbox"/> 板岩片崖錐 (3 壯年期)	<input type="checkbox"/> 折曲破碎板岩屑 (4 壯年期)	<input type="checkbox"/> 風化土石 (5 老年期)
2. 不連續面	<input type="checkbox"/> 塊狀	<input type="checkbox"/> 節理發達	<input type="checkbox"/> 破碎、變形	<input type="checkbox"/> 崩積(落石堆)，開裂	
3. 有無順向坡	<input type="checkbox"/> 有			<input type="checkbox"/> 無	
4. 上邊坡植被分布(面積百分比)	<input type="checkbox"/> 70%以上	<input type="checkbox"/> 69%~40%	<input type="checkbox"/> 39%~10%	<input type="checkbox"/> 10%以下	
5. 下邊坡植被分布(面積百分比)	<input type="checkbox"/> 70%以上	<input type="checkbox"/> 69%~40%	<input type="checkbox"/> 39%~10%	<input type="checkbox"/> 10%以下	
6. 溪流狀況與影響程度	<input type="checkbox"/> 無蝕溝溪流		<input type="checkbox"/> 有蝕溝溪流		
	<input type="checkbox"/> 有溪床侵蝕下切	<input type="checkbox"/> 影響輕微	<input type="checkbox"/> 影響普通	<input type="checkbox"/> 影響嚴重	
	<input type="checkbox"/> 有溪床淤積抬升	<input type="checkbox"/> 影響輕微	<input type="checkbox"/> 影響普通	<input type="checkbox"/> 影響嚴重	
	<input type="checkbox"/> 有溪流斷面束縮	<input type="checkbox"/> 影響輕微	<input type="checkbox"/> 影響普通	<input type="checkbox"/> 影響嚴重	
	<input type="checkbox"/> 有溪流土砂影響道路	<input type="checkbox"/> 影響輕微	<input type="checkbox"/> 影響普通	<input type="checkbox"/> 影響嚴重	
<b>四、 邊坡穩定工程構面</b>					
<b>1. 上邊坡</b>					
上邊坡有無整治工法	<input type="checkbox"/> 皆無整治工法			<input type="checkbox"/> 有整治工法	
上邊坡整治工法類型與現況	<input type="checkbox"/> 無坡面保護工法(格梁/格框、噴凝土/噴漿護坡)	<input type="checkbox"/> 有坡面保護工法，功能完整(格梁/格框、噴凝土/噴漿護坡)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善 30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能

	<input type="checkbox"/> 無構造物擋土工法(剛性、柔性)	<input type="checkbox"/> 有構造物擋土工法，功能完整(剛性、柔性)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能
	<input type="checkbox"/> 無穩定輔助工法(地錨、岩栓、土釘、止滑樁)	<input type="checkbox"/> 有穩定輔助工法，功能完整(地錨、岩栓、土釘、止滑樁)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能
	<input type="checkbox"/> 無排水工法(名暗渠、排水孔、集水井/排水廊道)	<input type="checkbox"/> 有排水工法，功能完整(名暗渠、排水孔、集水井/排水廊道)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能
	<input type="checkbox"/> 無落石防護工法(防護柵、攔石網、防落石棚)	<input type="checkbox"/> 有落石防護工法，功能完整(防護柵、攔石網、防落石棚)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能

2. 下邊坡

下邊坡有無整治工法	<input type="checkbox"/> 皆無整治工法		<input type="checkbox"/> 有整治工法		
下邊坡整治工法類型與現況	<input type="checkbox"/> 無坡面保護工法(格梁/格框、噴凝土/噴漿護坡)	<input type="checkbox"/> 有坡面保護工法，功能完整(格梁/格框、噴凝土/噴漿護坡)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能
	<input type="checkbox"/> 無構造物擋土工法(剛性、柔性)	<input type="checkbox"/> 有構造物擋土工法，功能完整(剛性、柔性)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能
	<input type="checkbox"/> 無穩定輔助工法(地錨、岩栓、土釘、止滑樁)	<input type="checkbox"/> 有穩定輔助工法，功能完整(地錨、岩栓、土釘、止滑樁)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能

<input type="checkbox"/> 無排水工法(名暗渠、排水孔、集水井/排水廊道)	<input type="checkbox"/> 有排水工法，功能完整(名暗渠、排水孔、集水井/排水廊道)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能
<input type="checkbox"/> 無落石防護工法(防護柵、攔石網、防落石棚)	<input type="checkbox"/> 有落石防護工法，功能完整(防護柵、攔石網、防落石棚)	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能完善30%	<input type="checkbox"/> 部分缺損，功能區檢討 70%	<input type="checkbox"/> 設施毀損，失去功能

**五、 附屬設施構面**

1. 建築物	<input type="checkbox"/> 正常或無設置	<input type="checkbox"/> 輕微龜裂	<input type="checkbox"/> 結構變形	<input type="checkbox"/> 下陷、傾斜、基礎外露
2. 指標設施	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> 輕微龜裂	<input type="checkbox"/> 結構變形	<input type="checkbox"/> 毀損或無設置
3. 有無通訊訊號	<input type="checkbox"/> 訊號高	<input type="checkbox"/> 訊號中	<input type="checkbox"/> 訊號低	<input type="checkbox"/> 訊號無

**六、 照片記錄**

--	--

### 第三節 步道主體相關設施安全性現況調查階段成果

本計畫現況調查工作項目為觀霧地區範圍內步道調查，總目標為四次現況調查，步道現況調查完成進度排程如下圖 71 所示，期初 2 月中進行一次大鹿林道東線之初勘調查，並快速記錄里程樁位點及步道安全性重點調查位置；在 4 月 28 日、4 月 29 日 4 則進行第二次現況調查，目標為觀霧地區周邊步道的現況紀錄，調查步道路線分別為雲霧步道、觀霧瀑布步道、檜山巨木群步道及蜜月小徑，以普查技術紀錄里程樁位點及步道安全性重點調查位置，並且輔以影像及 360 度環景拍攝進行紀錄；後續在 10 月 13 及 10 月 14 日進行第三次步道現況調查，將觀霧地區周邊步道完整現況紀錄，調查步道路線分別為樂山林道、榛山步道、大鹿林道西線及賞鳥步道，以普查技術紀錄里程樁位點及步道安全性重點調查位置，並且輔以影像及 360 度環景拍攝進行紀錄；最後本計畫也在 11 月 3 號至 11 月 5 號前往大鹿林道東線，再進行一次大鹿林道東線步道主體安全性的細部普查，以及新增調查路段大霸線，大鹿林道東線 19K 處至大霸尖山，以利後續分析及加值服務。



圖 71 觀霧地區步道主體現況調查進度示意圖

## 一、 觀霧地區重點步道現況調查

### 1. 大鹿林道東線

鹿林道東線 (East Branch of Dalu Forest Road)，全部里程至馬達拉溪登山口為 19 公里，該路段是通往大霸尖山登山步道與寬尾鳳蝶野生動物重要棲息環境的重要路線，有豐富的動植物生態，如台灣檫樹、高山杜鵑、山羌、台灣獼猴以及觀霧山椒魚等，也有；在路口不遠處（步行約四百公尺）有大霸尖山登山服務站，由雪霸國家公園所設置，另在 9.8 公里處有東支線路口，但現今東支線已廢棄。

過去一般民眾若欲步行進入大鹿林道東線，須在入山前於主線 1 公里處清泉檢查所辦妥大鹿林道東線入山證（甲種入山證），始可進入，進入時間限於每日 5 時至 11 時且須當日來回；如今大鹿林道東線進入不須辦理入山證，但若是進入馬達拉溪登山口攀登大霸尖山等活動，須至雪霸國家公園管理處線上申請入園，並於入園 5 日之前至二個月內每日 07:00-23:00 提出申請。



圖 72 大鹿林道東線里程樁位點示意圖

鹿林道東線主體為本計畫重要現況調查目標及分析之核心，本計畫已於 2020 年 02 月 11 日對大鹿林道東線進行初步的勘查，並且在 11 月 3 號再進行大鹿林道東線細部勘查，對大鹿林道東線步道主體安全性的細部做更細部的紀錄，普查路線地圖如圖 72，除了記錄每 500 公尺里程樁位點的現況外，針對有安全疑慮及相關工程設施的位置逕行細部的現況蒐集，蒐集的

步道主體安全性重要點位由 2 月初勘的 12 處擴增到 27 處，詳細現況調查內容如下表 20：

表 20 大鹿林道東線步道主體安全性現況調查表

0K~2K 路段	
	
編號 1	
位置	0.1K~0.2K
路面狀況	無護欄，落石崩積，影響程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為風化土石
邊坡危害	崩塌，落石，危害程度高
整治工法	上下邊坡皆無整治工法
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號中
照片	
	
編號 2	
位置	0.6K~0.8K
路面狀況	無護欄，落石崩積，路面危險程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為風化土石
邊坡危害	崩塌，落石，邊坡危險程度高
整治工法	上下邊坡皆無整治工法
附屬設施	無附屬設施、無建物，有警示牌，通訊訊號中
照片	



編號 3

位置	1.3K~1.4K
路面狀況	路基流失，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	下邊坡侵蝕，危害程度高
整治工法	下邊坡排樁工法，良好
附屬設施	無警示牌，通訊訊號中
照片	





2K~3K 路段



編號 4

位置	2K~2.1K
路面狀況	無護欄，落石，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	上邊坡落石，危害程度中
整治工法	無整治工法
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號中

照片



編號 5

位置	2.2K~2.3K
路面狀況	有護欄，過水路面，影響程度低

地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	溪床侵蝕下切，危害程度低
整治工法	上下邊坡有集水井，下邊坡排樁工法，良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號低

照片



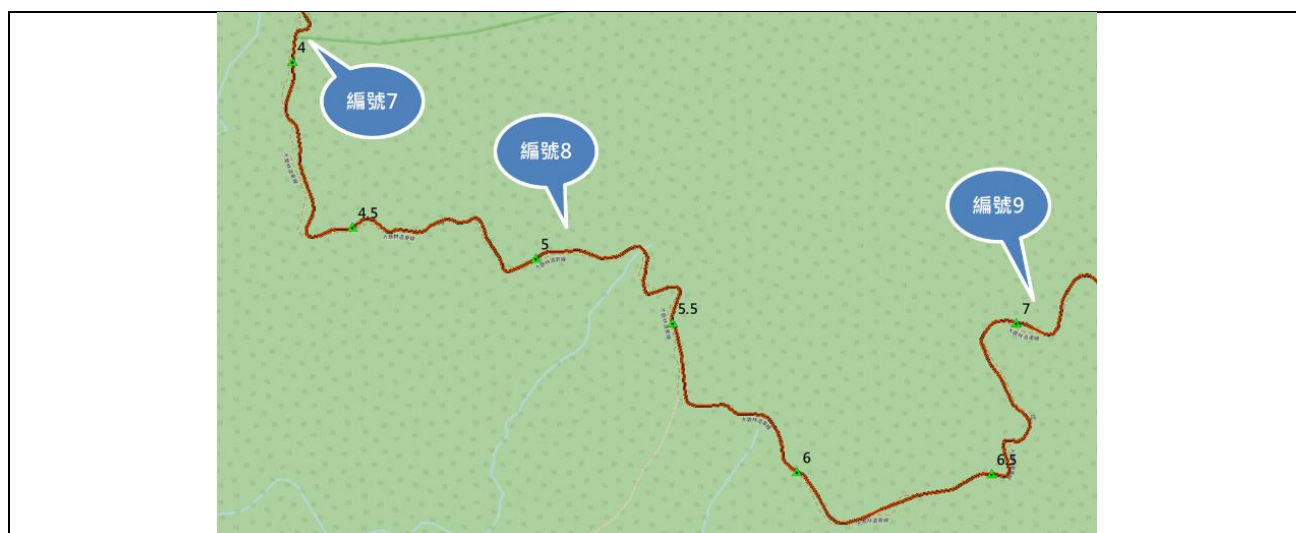
編號 6

位置	2.5K~2.6K
路面狀況	有護欄，路面落石崩積，影響程度低
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為板岩屑
邊坡危害	落石，危害程度中
整治工法	無整治工法
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號中

照片



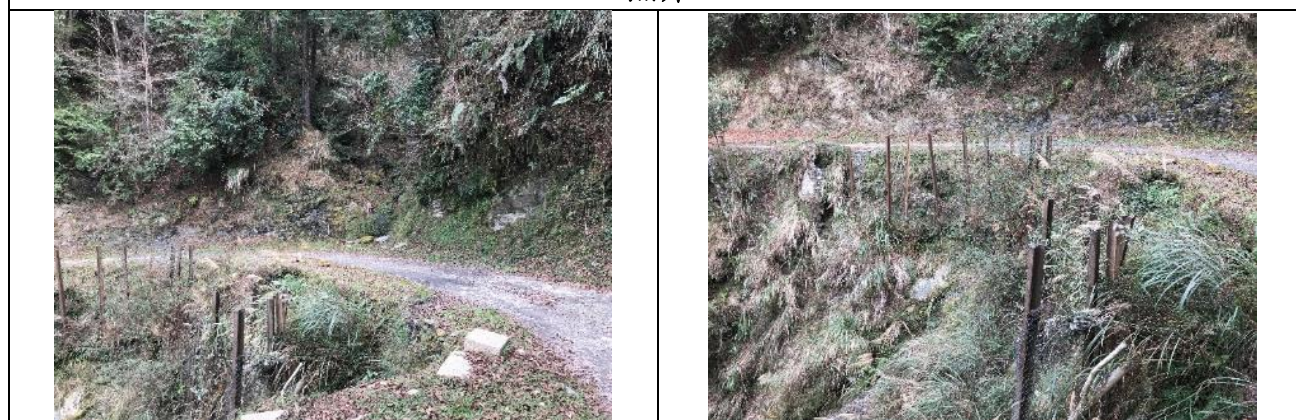
3K~7K 路段



**編號 7**

位置	3.8K~3.9K
路面狀況	無護欄，有排樁，路面良好
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為板岩屑
邊坡危害	溪床侵蝕下切，危害程度低
整治工法	下邊坡有排樁工法，良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號低

**照片**



**編號 8**

位置	5.2K~5.3K
路面狀況	無護欄，有排樁，路面沉陷，落石崩積，影響程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	崩塌，落石，危害程度中
整治工法	下邊坡有排樁工法，良好
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號無

**照片**



編號 9

位置	7.1K~7.2K
路面狀況	無欄杆，落石，積水，影響程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為鬆動折曲岩板層
邊坡危害	崩塌，落石，危害度高
整治工法	上下邊坡皆有擋土牆，已破損
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號低

照片





7K~9K 路段



編號 10

位置	7.7K~7.8K
路面狀況	有護欄，落石崩積，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	崩塌，落石，危害度高
整治工法	上下邊坡皆有擋土牆，已破損
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號無
照片	

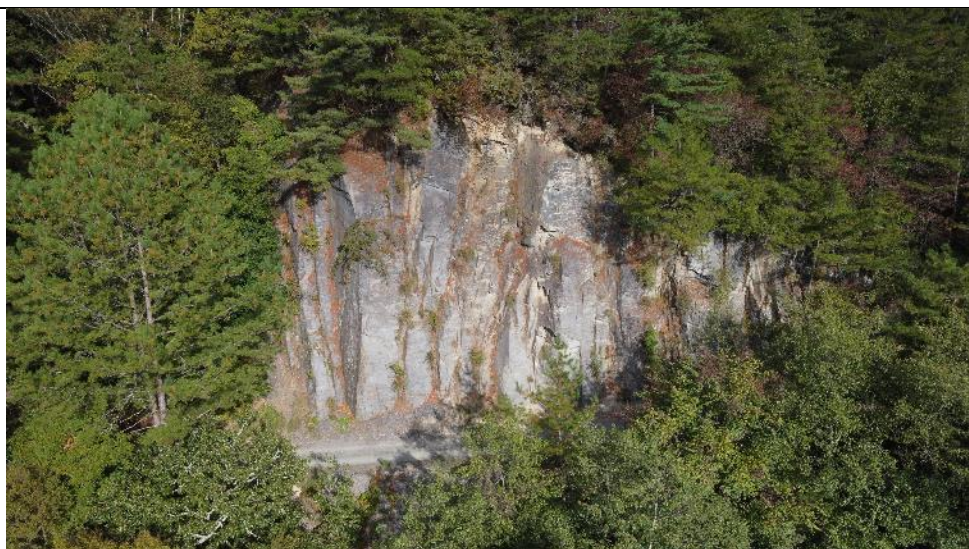


編號 11

位置	8.1K~8.2K
路面狀況	無護欄，落石崩積，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	崩塌，落石，危害度高
整治工法	路面有護欄，良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號無

照片





**編號 12**

位置	8.6K~8.7K
路面狀況	無護欄，落石，積水，影響程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	坑溝沖蝕，落石，危害度高
整治工法	下邊坡皆有排樁，已破損
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號低

**照片**



**9K~12K 路段**



**編號 13**

位置	9.4K~9.5K
路面狀況	無護欄，有排樁，路面沉陷，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	坑溝侵蝕下切，危害程度中
整治工法	下邊坡有排樁工法，良好
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號低

**照片**



**編號 14**

位置	10.1K~10.2K
路面狀況	無護欄，積水，路基流失，影響程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	下邊坡路基流失，危害度高
整治工法	拉封鎖線，需整治
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號無

**照片**





編號 15

位置	11.5K~11.6K
路面狀況	落石，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	落石，危害度中
整治工法	無整治工法
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號低

照片



11K~14K 路段

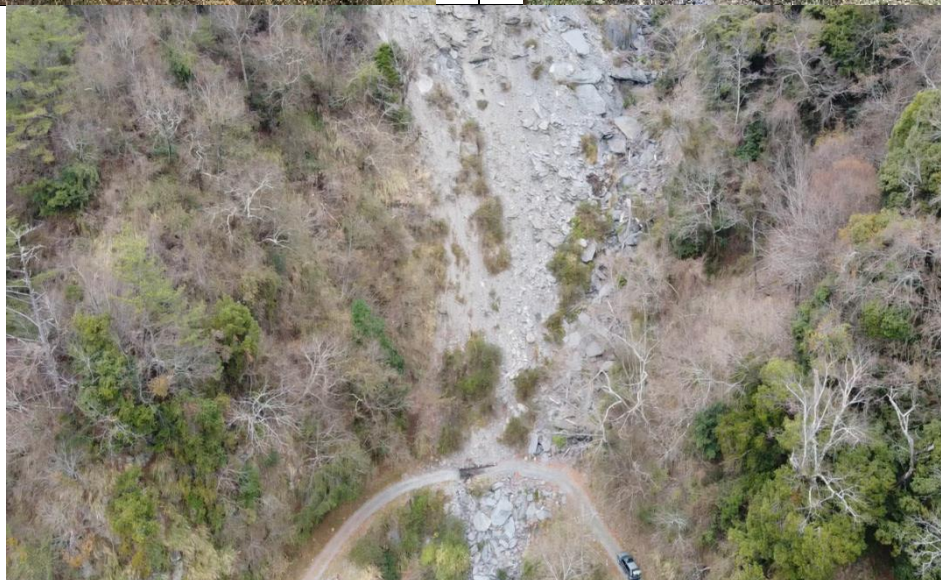


編號 16

位置	11.9K~12K
----	-----------

路面狀況	無護欄，落石崩積，沉陷，影響程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為風化土石
邊坡危害	落石，坑溝侵蝕下切，危害度高
整治工法	下邊坡有排樁、石籠，良好
附屬設施	無建物，有警示牌，通訊訊號無

照片



編號 17

位置	13.3K~13.4K
路面狀況	無護欄，有落石崩積，沉陷，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為鬆動折曲岩板層
邊坡危害	下邊坡侵蝕流失，危害度高
整治工法	下邊坡石籠工法，排樁，良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號無

照片



編號 18

位置	13.7K~13.8K
路面狀況	有護欄，毀損，無護欄，為過水路面，有落石崩積，積水，影響程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為鬆動折曲岩板層
邊坡危害	坑溝侵蝕下切，危害度高
整治工法	路面有護欄，已損壞 下邊坡有擋土工法、排水工法，良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號無

照片



14K~17K 路段



<b>編號 19</b>	
位置	14.5K~14.6K
路面狀況	有護欄，為過水路面，橋墩
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	侵蝕下切，危害度低
整治工法	橋梁、排水工法，橋梁部分損壞
附屬設施	橋梁，無警示牌，通訊訊號無

**照片**



<b>編號 20</b>	
位置	15.5K~15.6K
路面狀況	無護欄，為過水路面，有落石崩積，積水，影響程度高
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為鬆動折曲岩板層
邊坡危害	坑溝侵蝕下切，路基掏空，危害度高
整治工法	下邊坡有擋土工法、排水工法，已損壞
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號無

**照片**



<b>編號 21</b>	
位置	16.2K~16.5K
路面狀況	有護欄，危木，落石，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	上邊坡落石、危木、下邊坡侵蝕，危害度低
整治工法	下邊坡有擋土工法、良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號無

照片



16K~18K 路段



編號 22

位置	16.7K~16.9K
路面狀況	無護欄，危木，影響程度高
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為基岩
邊坡危害	地滑，危木，危害度高
整治工法	下邊坡有擋土牆，良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號中

照片



編號 23

位置	18.2K~18.3K
路面狀況	無護欄，路基侵蝕，影響程度中
地質類別	硬頁岩與板岩，現況為基岩
邊坡危害	坑溝侵蝕下切，危害度低
整治工法	下邊坡有排樁，良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號低

照片



編號 24

位置	18.7K~18.8K
路面狀況	無護欄，水泥混凝土，過水路面，積水，影響程度中
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為基岩
邊坡危害	坑溝侵蝕下切，橫向排水，危害度低
整治工法	上邊坡有防砂壩、上下邊坡皆有排水工法，路面有排水，良好
附屬設施	無建物，無警示牌，通訊訊號低

照片



18K~19K 路段



編號 25

位置	18.9K
路面狀況	無護欄，良好
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為基岩
邊坡危害	下邊坡侵蝕，危害度低
整治工法	下邊坡有擋土工法、排樁、石籠，良好
附屬設施	有建物，狀況良好，無警示牌，通訊訊號低

照片



編號 26

位置	19K
路面狀況	無護欄，建物路基侵蝕掏空，影響程度高
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為基岩
邊坡危害	下邊坡侵蝕，危害度高
整治工法	下邊坡有擋土工法、排樁，部分破損
附屬設施	有建物，危險建物，有警示禁止，通訊訊號中

照片





## 二、 觀霧地區周邊步道現況調查

### 1. 大霸線-大鹿林道東線 19K 至大霸尖山

大霸尖山位於雪山山脈的大霸尖山海拔 3492 公尺，山勢磅礴壯麗，有「世紀奇峰」之美譽，自古是泰雅、賽夏兩原住民族的聖山；山形突出四面懸壁寸草不生，外貌有如大酒桶，又稱「熬酒桶山」或「酒桶山」，與中央尖山、達芬尖山，合稱為「台灣三尖」。

大霸尖山步道為聖稜線端點之一，可登加利山、伊澤山、大霸尖山、小霸尖山共四座百岳，且九九山莊可容納 250-300 人，雖然因為 20 公里的大鹿林道東線僅開放步行，增加負重裝的登山難度與天數，仍為受歡迎的路線。春天在 3050 高地到中霸坪一帶可欣賞玉山杜鵑，深秋則可見火紅的台灣馬醉木，四季展現迷人的風情。

一般民眾若欲步行進入馬達拉溪登山口攀登大霸尖山等活動，須至雪霸國家公園管理處線上申請入園，並於入園 5 日之前至二個月內每日 07:00-23:00 提出申請。




圖 73 大霸線-大鹿林道東線至大霸尖山里程樁位點示意圖

位於大鹿林道東線 19K 之後陡上，途中停靠九九山莊，而後往大霸尖山前進，本計畫已於 2020 年 11 月 14 日以及 2020 年 11 月 15 日進行現勘調查，路線地圖如圖 73，記錄每 500 公尺一里程樁位點，此林道全程包含原始山徑、砌石路面等等，林道內有上邊坡與下邊坡、少數的整治工程，步道整體路段安全性中等，本計畫將盤點數處須注意安全路段現況調查，內容如下表 21：

表 21 大霸線主體安全性現況調查表





0K~5K 路段	
<b>編號 1</b>	
位置	1.3K~1.4K
路面狀況	原始步道，坑溝沖蝕，土石崩落，步道安全性低
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為基岩
整治工法	無整治工法
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低
<b>照片</b>	
<b>編號 2</b>	
位置	1.9K~2.1K
路面狀況	原始步道、砌石步道，有落石、石堆，步道安全性低
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為板岩片崖錐
整治工法	無整治工法
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低
<b>照片</b>	
<b>編號 3</b>	
位置	2.7K~3.1K
路面狀況	原始步道、砌石步道，有落石、石堆，步道安全性低
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為板岩片崖錐
整治工法	無整治工法
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低
<b>照片</b>	
<b>編號 4</b>	
位置	4K
<b>照片</b>	



路面狀況	原始步道，步道安全性高	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為基岩	
整治工法	九九山莊	
附屬設施	九九山莊，通訊訊號高	

5K~8K 路段



編號 5		照片
位置	6.7K~6.8K	
路面狀況	原始步道，裸露岩層，步道安全性中	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為鬆動折曲板岩層	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	
編號 6		照片
位置	7K~7.3K	
路面狀況	原始步道，裸露岩層，步道安全性中	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為鬆動折曲板岩層	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	
編號 7		照片
位置	7.7K~7.8K	
路面狀況	原始步道，裸露岩層，岩屑崩積，步道安全性低	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為鬆動折曲板岩層	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	

編號 8		照片
位置	8.3K~8.4K	
路面狀況	原始步道，裸露岩層，小崩塌面，步道安全性低	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為鬆動折曲板岩層	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	
<b>8K~12K 路段</b>		
		
編號 9		照片
位置	9.1K~9.3K	
路面狀況	原始步道，裸露岩層，小山崩，步道安全性低	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為鬆動折曲板岩層	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	
編號 10		照片
位置	9.9K~10K	
路面狀況	原始步道，裸露岩層，有岩屑、坑溝沖蝕，步道安全性中	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為基岩	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	
編號 11		照片
位置	10.5K~10.6K	
路面狀況	原始步道，裸露岩層，有崩塌、落	

	石，步道安全性低	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為鬆動折曲板岩層	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	
<b>編號 12</b>		<b>照片</b>
位置	10.9K~11K	
路面狀況	原始步道，裸露岩層，大崩塌面，步道安全性低	
地質類別	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，現況為鬆動折曲板岩層	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	護欄，通訊訊號無	

## 2. 雲霧步道

以泰雅族語取名為 Yulun 步道(Yulun 泰雅語為雲霧之義)，步道以觀霧遊客中心戶外觀景台為起點，全長約 848 公尺，步行來回約需 40 分鐘。步道以木棧方式構築，為難度簡易的休閒步道。沿途有三處賞景平台，是認識雪山到大霸尖山聖稜線群峰與雪山西稜線到大雪山峻嶺的好地方，也是近看觀霧、榛山、鹿場大山山景，感受雲霧輕嵐的最佳景點。




圖 74 雲霧步道里程樁位點示意圖

雲霧步道為觀霧地區內的遊憩步道，本計畫已於 2020 年 04 月 28 日進行現勘調查，路線地圖如圖 74，記錄每 100 公尺里程樁位點現況，由於此步道整體皆為木棧道，其中有三處眺望平台設施，整體設施安全性都很高，詳細現況調查內容如下表 22：

表 22 雲霧步道主體安全性現況調查表

編號 1		照片
位置	0.1K	
路面狀況	木棧道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，無整治工法	
附屬設施	有觀景台、解說牌，通訊訊號高	
編號 2		照片
位置	0.33K	
路面狀況	木棧道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，無整治工法	
附屬設施	有觀景台、解說牌，通訊訊號高	
編號 3		照片
位置	0.4K	
路面狀況	木棧道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，無整治工法	

<p>附屬設施</p>	<p>有觀景台、解說牌，通訊訊號高</p>	
-------------	-----------------------	--

### 3. 觀霧瀑布步道

觀霧瀑布步道位於大鹿林道西線旁，全長約 1.5 公里(單程)，去程為下坡，步行約 30 分鐘便可到達觀霧瀑布，回程則為上坡，步行約需 50 分鐘。步道沿途可觀賞高海拔的柳杉、台灣杉的人造林及天然闊葉林，森林茂密、林相優美，多為高大挺拔的人工杉林與天然的闊葉林，也孕育了相當豐富的鳥類資源，終點便可見到高約 30 餘公尺的觀霧瀑布，瀑布位於觀景亭平臺前方谷間山壁上，與周邊樹海相映成趣，彷彿一道白鍊般垂洩至山谷間的觀霧瀑布，型態秀麗。



圖 75 觀霧瀑布步道里程樁位點示意圖

觀霧瀑布步道為實證區內觀霧地區之遊憩步道，本計畫已於 2020 年 04 月 28 日進行現勘

調查，路線地圖如圖 75，記錄每 100 公尺里程樁位點現況，此步道為原始林步道，步道內極少有人工設施及整治工程，其中有數處排水設施，以及最後的瀑布涼亭設施，詳細現況調查內容如下表 23：

表 23 觀霧瀑布步道主體安全性現況調查表

0K~0.7K 路段			
<b>編號 1</b>		<b>照片</b>	
位置	0.28K		
路面狀況	原始步道，步道安全性良好		
整治工法	無上下邊坡，無整治工法		
附屬設施	有叉路告示牌、地圖解說牌，通訊訊號高		
<b>編號 2</b>		<b>照片</b>	
位置	0.33K		
路面狀況	原始步道，步道安全性良好		
整治工法	無上下邊坡，有橫向排水工法，現況良好		
附屬設施	有蓄水池，已荒廢，通訊訊號高		
<b>編號 3</b>		<b>照片</b>	
位置	0.4K		
路面狀況	原始步道，步道安全性良好		
整治工法	無上下邊坡，有橫向排水工法，現況以堵塞		
附屬設施	無其他附屬設施，通訊訊號高		



0.7K~1.5K 路段		
		
<b>編號 4</b>		<b>照片</b>
位置	0.8K	
路面狀況	木棧道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，無整治工法	
附屬設施	有叉路告示牌、地圖解說牌、香杉巨木圍欄，通訊訊號高	
<b>編號 5</b>		<b>照片</b>
位置	0.9K	
路面狀況	原始步道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，有橫向排水工法，以堵塞	
附屬設施	無其他附屬設施，通訊訊號高	
<b>編號 6</b>		<b>照片</b>
位置	1.1K	
路面狀況	原始步道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，有橫向排水工法，以堵塞	
附屬設施	無其他附屬設施，通訊訊號高	
<b>編號 7</b>		<b>照片</b>
位置	1.5K	
路面狀況	木棧道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，無整治工法	

<p>附屬設施</p>	<p>有涼亭，結構良好，通訊訊號高</p>	
-------------	-----------------------	--

#### 4. 蜜月小徑

雲霧步道為觀霧地區內健行步道，全長 0.45 公里，步行來回約 30 分鐘，步道內有很多巨型的檜木，連接著檜山巨木群步道與觀霧山莊，原始的路徑蜿蜒在茂密的樹林中，瀰漫著清新的芬多精與活氣，步道長度較短，若不想太花費體力，適合年長者及小朋友，是舒適的健行步道。




圖 76 蜜月小徑里程樁位點示意圖

蜜月小徑為實證區內觀霧地區之遊憩步道，本計畫已於 2020 年 04 月 29 日進行現勘調查，路線地圖如圖 76，記錄每 100 公尺里程樁位點現況，此步道為原始林步道，步道內極少有人工設施及整治工程，其中有一處蝕溝，以及護欄設施，詳細現況調查內容如下表 24：

表 24 蜜月小徑主體安全性現況調查表

編號 1		照片
位置	0K	
路面狀況	原始步道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，無整治工法	
附屬設施	有叉路告示牌、地圖解說牌，通訊訊號高	
編號 2		照片
位置	0.35K	
路面狀況	原始步道，有蝕溝，步道安全性良好	
整治工法	有護欄，現況良好	
附屬設施	有警示牌，通訊訊號高	
編號 3		照片
位置	0.45K	
路面狀況	石階步道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，無整治工法	

<p>附屬設施</p>	<p>有叉路告示牌、地圖解說牌，通訊訊號高</p>	
-------------	---------------------------	--

### 5. 檜山巨木群步道

檜山巨木群步道是觀霧國家森林遊樂區的熱門路線，全線沐浴在高大的樹林之下，在清翠鳥鳴相伴下格外蒼鬱靜謐，無論是天陰的迷霧森林，還是晴朗陽光灑落森林樹梢間，都讓人流連。

從樂山林道 1.2K 出發，先走過伐木時期的運材台車道整建而成的平坦步道；到了 2.8K 後則為巨木群，五棵千年紅檜巨木聳直立入雲，令人領悟人之渺小與生命的奇妙。步道生態豐富，讓遊客可以悠遊於森林，欣賞千年檜木古樹之外，也有稀有花朵、有各種鳥類、有玉山箭筴、有蕨類等，並有不少解說牌介紹步道中的生態，有些地方可以看到鵝公髻山、五指山以及山背後的北埔、竹東等地的景觀。

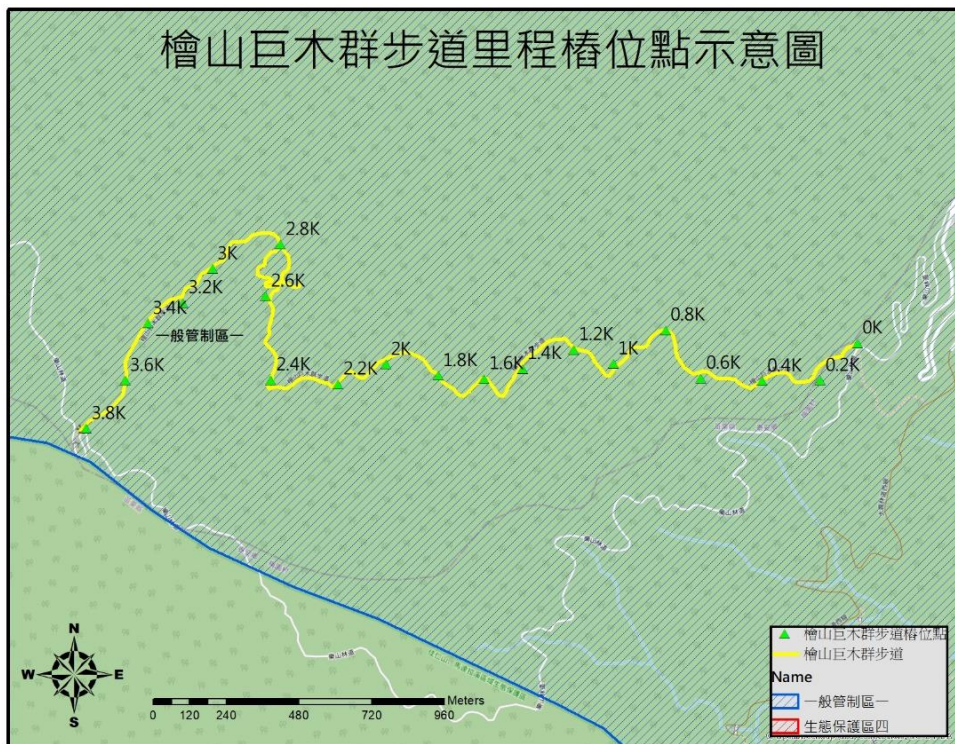






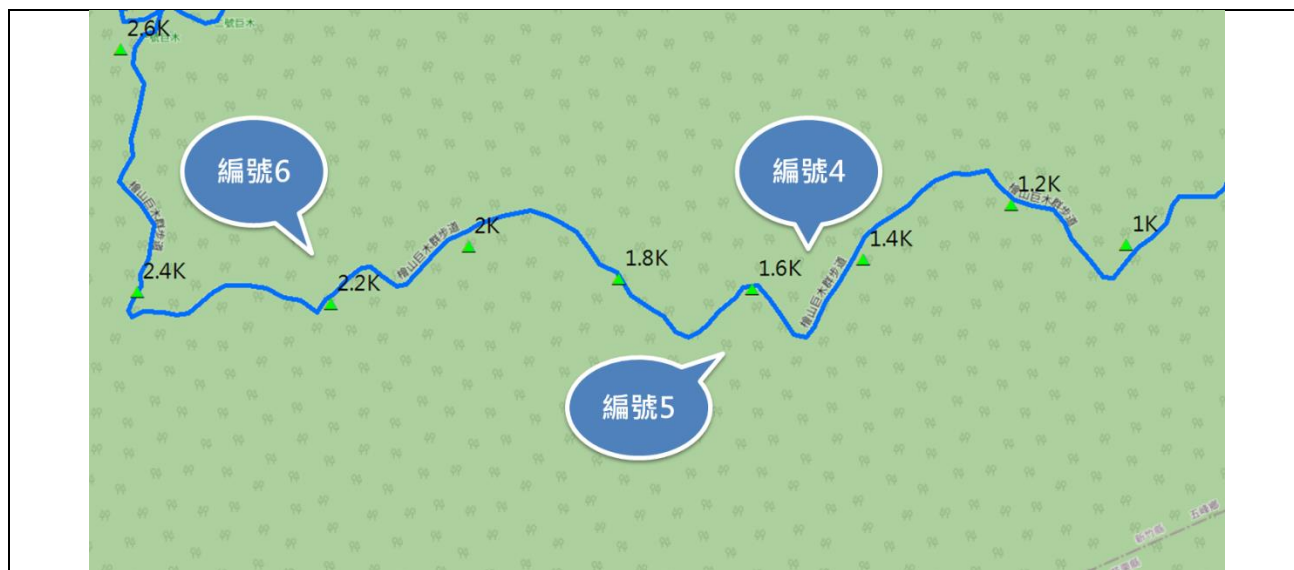
圖 77 檜山巨木群步道里程樁位點示意圖

檜山巨木群步道為觀霧地區內的遊憩兼健行步道，本計畫已於 2020 年 04 月 29 日進行現

勘調查，路線地圖如圖 77，記錄每 200 公尺里程樁位點現況，此步道前 2.8 公里為森林原始步道，後半 1.2 公里為木棧道，步道為森林內步道，步道內有上邊坡與下邊坡、數處整治工程，整體設施安全性較高，詳細現況調查內容如下表 25：


表 25 檜山巨木群步道主體安全性現況調查表

0K~1K 路段		
		
<b>編號 1</b>		<b>照片</b>
位置	0.4K	
路面狀況	板橋木棧道，有落石，步道安全性尚可	
整治工法	有護欄，現況良好	
附屬設施	有警告標示，通訊訊號中	
<b>編號 2</b>		<b>照片</b>
位置	0.5K~0.6K	
路面狀況	原始步道及木棧道，步道安全性尚可	
整治工法	有護欄、吊橋，現況良好 有防石落網、下邊坡石籠，現況良好	
附屬設施	有警告標示，通訊訊號中	
<b>編號 3</b>		<b>照片</b>
位置	0.8K~0.9K	
路面狀況	原始步道及木棧道，路面落石，步道安全性尚可	
整治工法	有護欄，有板橋，木板較為脆弱，現況需加強	
附屬設施	板橋設施需加強結構，有警告標示，通訊訊號中	
<b>1K~2.2K 路段</b>		




編號 4		照片
位置	1.4K~1.5K	
路面狀況	原始步道及木棧道，路面落石、危木，步道安全性尚可	
整治工法	有護欄，有板橋，板橋下方有石籠穩定，現況尚可	
附屬設施	板橋設施需加強結構，有警告標示，通訊訊號中	
編號 5		照片
位置	1.6K~1.7K	
路面狀況	原始步道及木棧道，路面落石，坑溝，步道安全性尚可	
整治工法	有護欄，有板橋，木板完整，現況尚可	
附屬設施	板橋設施結構完整，無警告標示，通訊訊號中	
編號 6		照片
位置	2.2K~2.3K	
路面狀況	原始步道及木棧道，路面落石，步道安全性尚可	
整治工法	有蝕溝，有護欄，有排水設施，有板橋，現況尚可	
附屬設施	有警告標示、叉路告示牌、地圖解說牌，通通訊號低	
<b>2.3K~3K 路段</b>		



編號 7		照片
位置	2.4K~2.5K	
路面狀況	原始步道，路面落石、崩積，步道安全性較差	
整治工法	步道崩塌裸露、有蝕溝，上下邊坡有鋼軌樁、土包袋等整治工程，有護欄，現況需加強	
附屬設施	有警告標示，通訊訊號低	
編號 8		照片
位置	2.6K~2.7K	
路面狀況	原始步道及木棧道，步道安全性良好	
整治工法	有蝕溝，有護欄，有排水設施，有沙包擋土設施，現況良好	
附屬設施	有警告標示、叉路告示牌、地圖解說牌，神木景觀，通訊訊號中	
編號 9		照片
位置	2.8K~2.9K	
路面狀況	原始步道及木棧道，步道安全性良好	
整治工法	有蝕溝，有護欄，有排水設施，有沙包擋土設施，現況良好	
附屬設施	有警告標示、叉路告示牌、地圖解說牌、神木景觀，通訊訊號中	
編號 10		照片
位置	3.4~3.5K	
路面狀況	原始步道，步道安全性良好	

敏感地區地質地形監測及管理(觀霧地區)

整治工法	無上下邊坡，有恆巷排水工法，現況良好	
附屬設施	有木桌、平台，狀況良好，通訊訊號高	
<b>編號 11</b>		<b>照片</b>
位置	4K	
路面狀況	木棧道，步道安全性良好	
整治工法	無上下邊坡，木棧道有護欄，現況良好	
附屬設施	有叉路告示牌，地圖解說牌，通訊訊號高	



## 6. 樂山林道

樂山林道，位於台灣苗栗縣泰安鄉與新竹縣五峰鄉交界，是國防部樂山空軍基地至泰安鄉觀霧地區唯一的聯外道路，全程 13 公里，起點位於觀霧派出所前，終點為樂山。

由於終點處樂山與週邊區域為樂山空軍基地的軍事管制區，目前樂山林道全線只開放至里程標 6 公里處。

樂山林道沿途林相以台灣赤楊、台灣鐵杉、台灣二葉松為主，秋冬時在一片綠色山頭中偶可見鮮紅的台灣紅榨槭，路旁常見的草本植物則以台灣澤蘭、油菊、五節芒、玉山假沙梨較具代表性。林道沿途有數個視野遼闊的景觀點，在里程標 6 公里處設有觀景平台、觀景涼亭、步道等遊憩設施，景觀平台視野良好，由此可遠望大、小霸尖山及聖稜線群峰、雲海等景致，另外此處步道設施為觀霧國家森林遊樂區區內檜山巨木步道出口。



圖 78 樂山林道里程樁位點示意圖

樂山林道為觀霧地區內可車輛通行之林道，本計畫已於 2020 年 10 月 14 日進行現勘調查，路線地圖如圖 78，記錄每 200 公尺一里程樁位點，此林道全程為瀝青混凝土，林道內有上邊坡與下邊坡、數處整治工程，整體設施安全性高，因此本計畫將盤點數處須注意安全路段現況調查，內容如下表 26：

表 26 樂山林道主體安全性現況調查表

0K~2K 路段		
<b>編號 1</b>		<b>照片</b>
位置	1K~1.1K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，林道安全性高	
整治工法	無護欄，上邊坡有擋土牆，現況良好	
附屬設施	有凸透鏡，通訊訊號中	
<b>編號 2</b>		<b>照片</b>
位置	1.2K~1.3K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，林道安全性高	
整治工法	無護欄，檜山巨木步道入口，現況良好	
附屬設施	有停車空間，銜接檜山巨木入口棧道，通訊訊號中	
<b>編號 3</b>		<b>照片</b>
位置	2K~2.1K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，上邊坡節理發達，林道安全性高	
整治工法	上邊坡擋土牆，現況良好	
附屬設施	有凸透鏡、導引牌，通訊訊號中	
2K~4K 路段		
<b>編號 4</b>		<b>照片</b>
位置	2.9K~3K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，上邊坡崩塌面，過	

	水路面，林道安全性中	
整治工法	上邊坡擋土牆，路面排水設施，現況良好	
附屬設施	有紐澤西護欄，通訊訊號中	
<b>編號 5</b>		<b>照片</b>
位置	3.2K~3.3K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，上邊坡崩塌面，過水路面，輕微落石，林道安全性中	
整治工法	上邊坡擋土牆，路面排水設施，現況良好	
附屬設施	有紐澤西護欄，通訊訊號中	
<b>編號 6</b>		<b>照片</b>
位置	3.9K~4.1K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，上邊坡蝕溝，過水路面，林道安全性高	
整治工法	有護欄，有擋土柵欄、石籠、排水設施工法，現況良好	
附屬設施	有凸透鏡，通訊訊號中	
<b>4K~6K 路段</b>		
		
<b>編號 7</b>		<b>照片</b>
位置	4.4K~4.5K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，上邊坡蝕溝，過水路面，林道安全性高	
整治工法	有護欄，上邊坡擋土牆，有擋土柵	

	欄、石籠、排水設施工法，現況良好	
附屬設施	有凸透鏡，通訊訊號中	
<b>編號 8</b>		<b>照片</b>
位置	5.4K~5.5K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，下邊坡崩落侵蝕，林道安全性高	
整治工法	有護欄，下邊坡擋土牆，現況中等	
附屬設施	有紐澤西護欄，通訊訊號中	
<b>編號 9</b>		<b>照片</b>
位置	5.7K~5.9K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，林道安全性高	
整治工法	無上下邊坡，木棧道有護欄，現況良好	
附屬設施	有凸透鏡、叉路告示牌、地圖解說牌、停車空間，銜接檜山巨木出口棧道，有樂山林道觀景台，通訊訊號高	

## 7. 賞鳥步道

賞鳥步道所在位置銜接了觀霧瀑布步道與大鹿林道西線，綿延在針闊葉混合林中，豐富的花草樹木及多層次的森林結構為鳥兒營造出絕佳的棲息環境，步道內極少有人工設施及整治工程，全程約 650 公尺，單程約 30 分鐘，距離觀霧山莊步行約 15 分鐘，為放鬆休閒之步道。

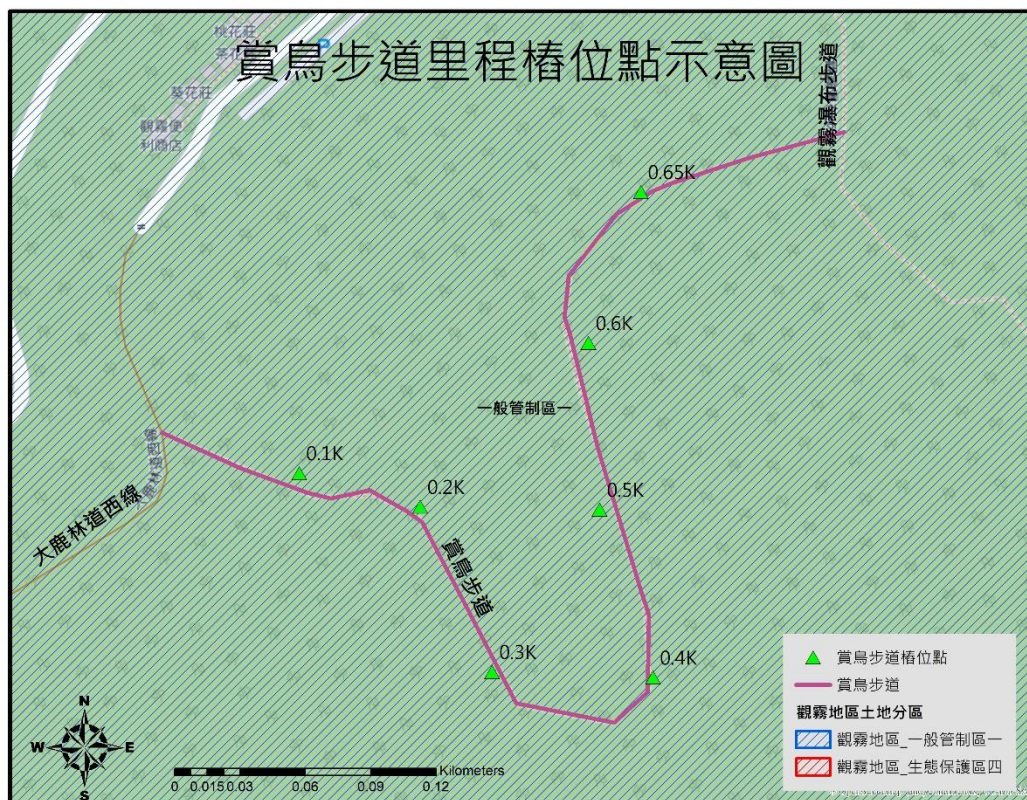


圖 79 賞鳥道里程樁位點示意圖

賞鳥林道為觀霧地區內原始休閒林道，本計畫已於 2020 年 10 月 14 日進行現勘調查，路線地圖如圖 79，記錄每 100 公尺一里程樁位點，此林道全程為原始山徑極木階，林道內無上邊坡與下邊坡、2 處整治工程，步道安全性高，因此本計畫將盤點數處須注意安全路段現況調查，內容如下

表 27：

表 27 賞鳥步道主體安全性現況調查表

0K~6.5K 路段		
		
<b>編號 1</b>		<b>照片</b>
位置	0.1K~0.15K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，林道安全性高	
整治工法	無護欄，上邊坡有擋土牆，現況良好	
附屬設施	有凸透鏡，通訊訊號中	
<b>編號 2</b>		<b>照片</b>
位置	0.35K~0.4K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，林道安全性高	
整治工法	無護欄，檜山巨木步道入口，現況良好	
附屬設施	有停車空間，銜接檜山巨木入口棧道，通訊訊號中	
<b>編號 3</b>		<b>照片</b>
位置	0.6K~0.65K	
路面狀況	瀝青混凝土車道，上邊坡節理發達，林道安全性高	
整治工法	上邊坡擋土牆，現況良好	
附屬設施	有凸透鏡、導引牌，通訊訊號中	

### 8. 大鹿林道西線(至榛山步道口)

大鹿林道西線 (West Branch of Dalu Forest Road)，西線全長 6.8 公里，沿途可通往賞鳥步道入口 (里程標 0.65K)、榛山步道登山口 (里程標 2.0K) 及北坑溪古道登山口 (里程標 3.1K) 等園內景點，在路旁還可見早期林業使用的集材機具，但目前大鹿林道西線 2 公里處至 6.8 公里處路段由於路段安全性不佳因此封閉無法進入。

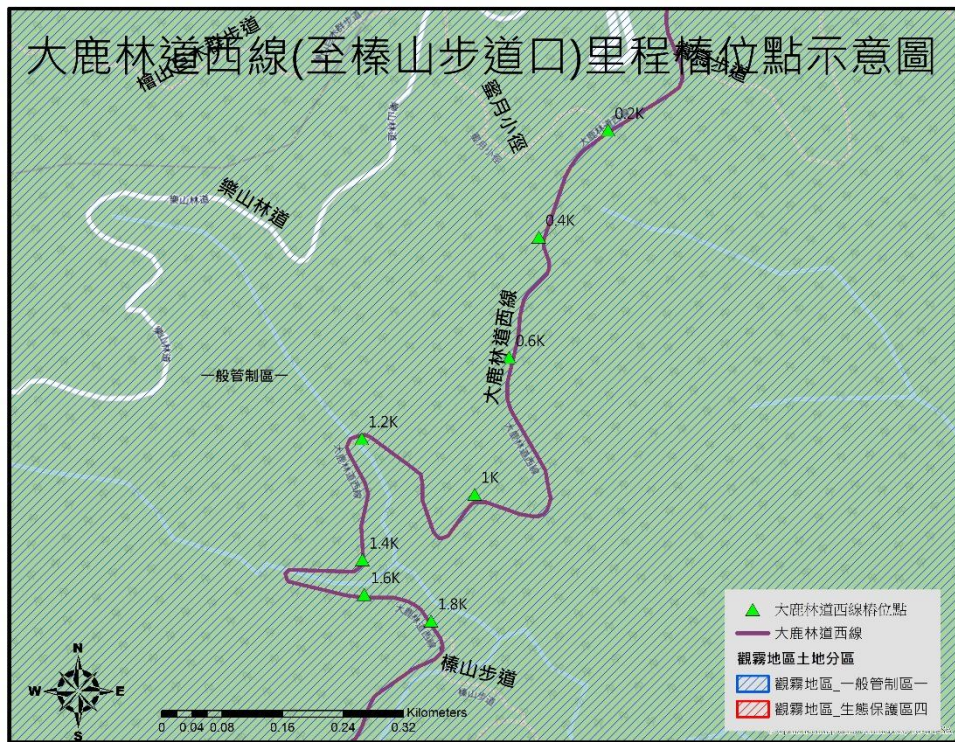


圖 80 大鹿林道西線 (至榛山步道口) 里程樁位點示意圖




大鹿林道西線為觀霧地區通往榛山步道之路段，本計畫已於 2020 年 10 月 13 日進行現勘調查，路線地圖如圖 80，記錄每 200 公尺一里程樁位點，此林道全程為原始山徑，林道內有上邊坡與下邊坡、少數整治工程，至 2 公里處榛山步道口整體路段安全性高，兩公里後封閉，本計畫將盤點數處須注意安全路段現況調查，內容如下



表 28 :

表 28 大鹿林道西線主體安全性現況調查表

0K~1K 路段			
<b>編號 1</b>		<b>照片</b>	
位置	0.25K~0.3K		
路面狀況	原始步道，上邊坡崩塌，步道安全性中		
整治工法	無整治工法		
附屬設施	有電線桿，通訊訊號高		
<b>編號 2</b>		<b>照片</b>	
位置	0.4K~0.45K		
路面狀況	原始步道，上邊坡崩塌，步道安全性中		
整治工法	上邊擋土牆，現況尚可		
附屬設施	有護欄，通訊訊號中		
<b>編號 3</b>		<b>照片</b>	
位置	0.5K~0.55K		
路面狀況	原始步道，坑溝沖蝕，步道安全性中		
整治工法	上邊擋土牆，現況尚可		
附屬設施	有護欄，有運木集材器設備，通訊訊號中		
1K~2K 路段			
<b>編號 4</b>		<b>照片</b>	

位置	1.2K~1.3K	
路面狀況	原始步道，危木，步道安全性中	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	有電線桿，通訊訊號低	
<b>編號 5</b>		<b>照片</b>
位置	3.2K~3.3K	
路面狀況	原始步道，坑溝沖蝕，步道安全性高	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	通訊訊號低	
<b>編號 6</b>		<b>照片</b>
位置	1.95K~2K	
路面狀況	原始步道，步道安全性高	
整治工法	有排水工法，現況良好	
附屬設施	有告示牌，休憩椅子，2K 之後禁行格擋，通訊訊號中	

### 9. 榛山步道

榛山步道，從觀霧山莊旁、循著大鹿林道西線來到觀霧園區內四通八達的步道之一，為〇行步道，一圈4公里，再加上林道來回約7公里，步行約2小時，落差300公尺，難度中上；動植物生態豐富景緻優美。靠近稜線處生長著各式杜鵑如西施花、臺灣杜鵑以及玉山杜鵑，4、5月一片花團錦簇。此外也是賞鳥的好去處。

環狀步道中點設有觀景台360度視野極佳，晴朗時可清楚看見聖稜線自雪山、北稜角延續品田山一直綿延到小霸尖山、大霸尖山等名山百岳的壯麗山勢橫跨天際。

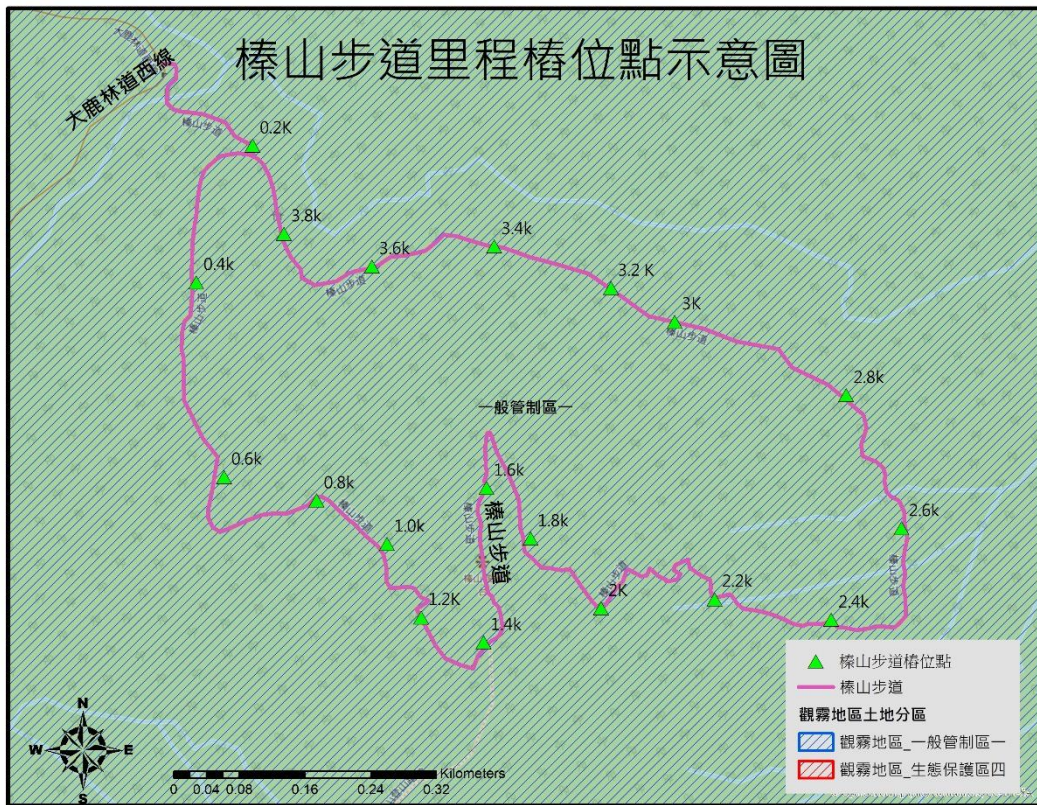



圖 81 大鹿林道西線（至榛山步道口）里程樁位點示意圖

位於大鹿林道西線的中途，自觀霧山莊旁進入，為一〇型步道一圈4公里，本計畫已於2020年10月13日進行現勘調查，路線地圖如圖81，記錄每200公尺一里程樁位點，此林道全程包含原始山徑、木棧道、砌石路面等等，林道內有上邊坡與下邊坡、數處整治工程，步道整體路段安全性中等，本計畫將盤點數處須注意安全路段現況調查，內容如下表29：




表 29 榛山步道主體安全性現況調查表



0K~2K 路段			
<b>編號 1</b>		<b>照片</b>	
位置	1.1K~1.2K		
路面狀況	原始步道，坑溝沖蝕，步道安全性中		
整治工法	無整治工法		
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低		
<b>編號 2</b>		<b>照片</b>	
位置	1.5K~1.6K		
路面狀況	木棧道、砌石路面，步道安全性高		
整治工法	觀景台設施，現況良好		
附屬設施	有護欄、觀景台設施，通訊訊號中		
<b>編號 3</b>		<b>照片</b>	
位置	1.9K~2K		
路面狀況	原始步道，枕木階梯，坑溝沖蝕，步道安全性中		
整治工法	無整治工法		
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低		
<b>編號 4</b>		<b>照片</b>	
位置	2.2K~2.25K		
路面狀況	原始步道，木橋，坑溝沖蝕，步道安		

	全性中	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	

2K~4K 路段



<b>編號 5</b>		<b>照片</b>
位置	2.55K~2.6K	
路面狀況	原始步道，坑溝沖蝕，步道安全性中	
整治工法	有排水工法，部分損毀	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	
<b>編號 6</b>		<b>照片</b>
位置	2.7K~2.75K	
路面狀況	原始步道，上邊坡崩塌，步道安全性低，危險	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	
<b>編號 7</b>		<b>照片</b>
位置	3.05K~3.1K	
路面狀況	原始步道，上邊坡落石，步道安全性中	
整治工法	無整治工法	

附屬設施	有落石警示牌，通訊訊號低	
<b>編號 8</b>		<b>照片</b>
位置	3.35K~3.45K	
路面狀況	原始步道，危險石壁，步道安全性中	
整治工法	無整治工法	
附屬設施	無附屬設施，通訊訊號低	

### 第四節 現況調查危險路段與模擬危險路段套疊探討

研究將發展以坡面單元為基礎之坡地災害潛勢評估模式，預期可建立颱風事件對於災前崩塌警戒之量化評估模型，其中利用歷史降雨資料(誘因)、相關山區災害之影響因子(潛因)及山區災害事件建立複合型坡地災害潛勢評估模型，以山區坡面單元為單位針對不同規模之誘因組成，動態評估各山區坡面單元之災害潛勢地圖，並可結合空間環境資訊之整合，並且將風險分為5個等級，其中由高風險路段至低風險路段排序評估，如下圖 82。

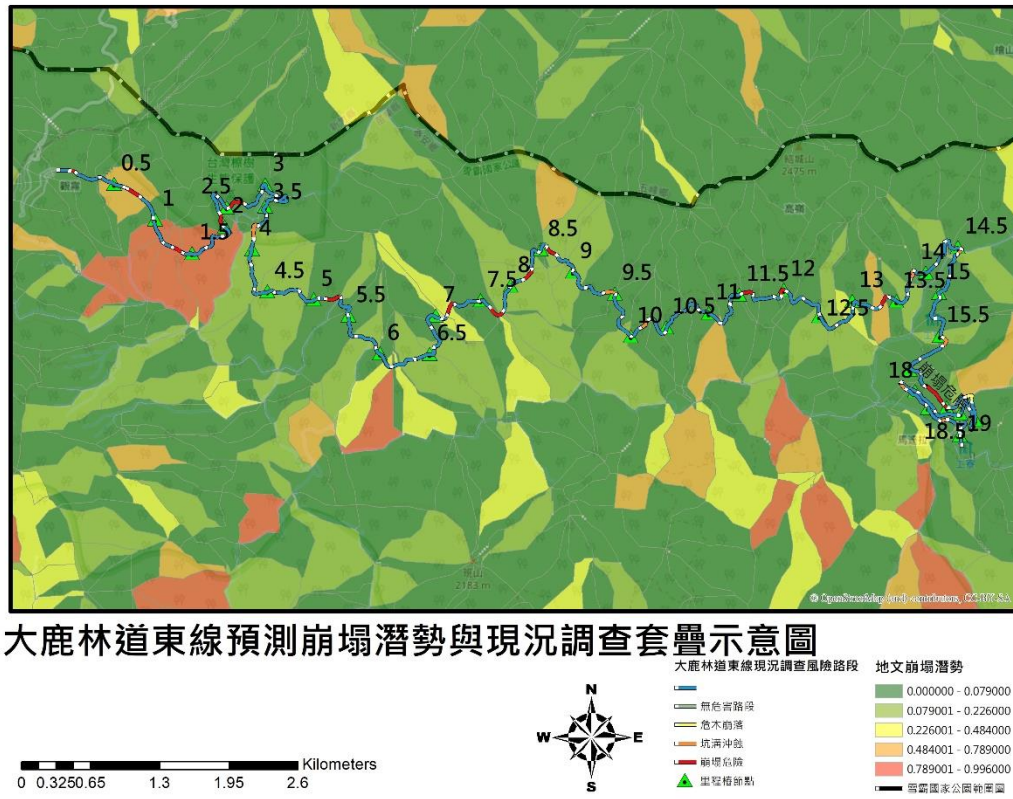
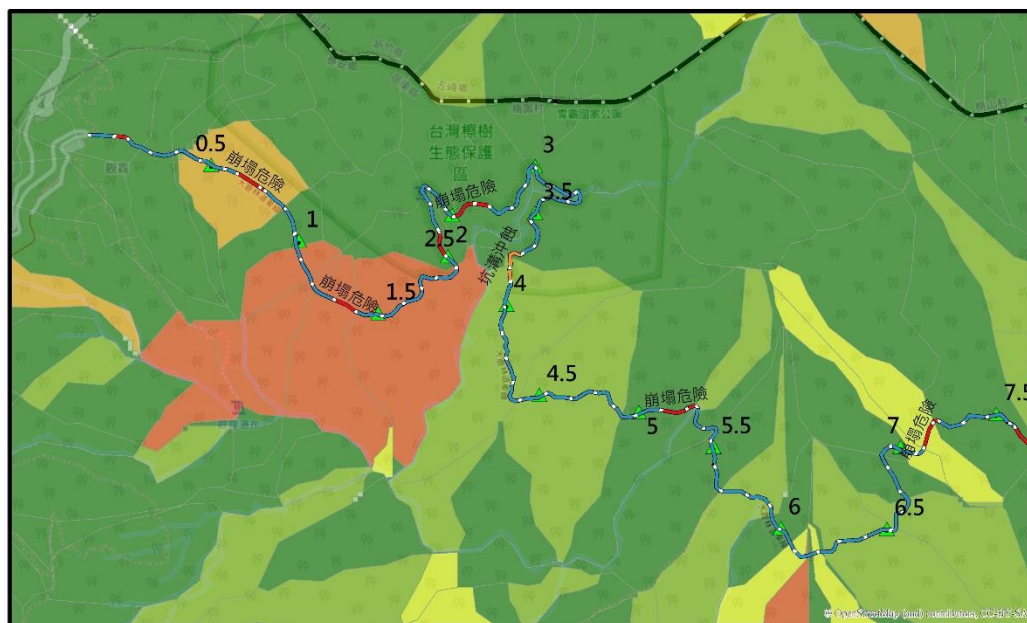


圖 82 大鹿林道東線現況調查及模擬危險致災路段

而根據大鹿林道東線路段的崩塌風險潛勢評估以及與外調分析之綜合評估，下圖 83 至圖 85 為大鹿林道東線路段經由風險推估後得出的易致災範圍及路段，面資料標示上風險較高的坡面單元對應的路段為 **0.4K~0.6K、1.1k~2K、6.1k~6.2K、7.1k~7.3K、11.1K~11.2K、12.8K~13K、13.3K~13.4K**，屬於中高風險路段，另外外業調查成效分析，將現況明顯有危害致災路段標示出來，並做細部紀錄，細部危害路段及詳細資料請參考第三節道主體相關設施安全性現況調查階段成果，危害路段分為崩塌危險路段、坑溝沖蝕危險路段以及危木崩落路段，並統計目前現況調查結果之危險路段與預測危險潛勢坡面圖進行套疊比對，有將近 6 成的預測危險的坡面單元與現況調查危險路段相互輝映，得出此預測潛勢之績效。





大鹿林道東線預測崩塌潛勢與現況調查套疊示意圖(0~7K)

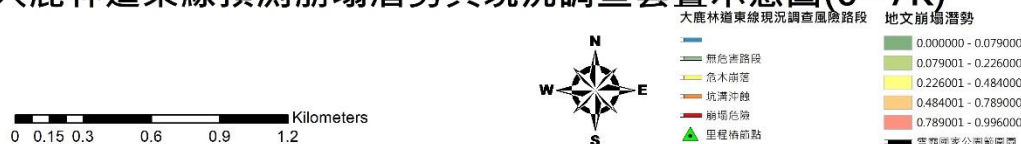
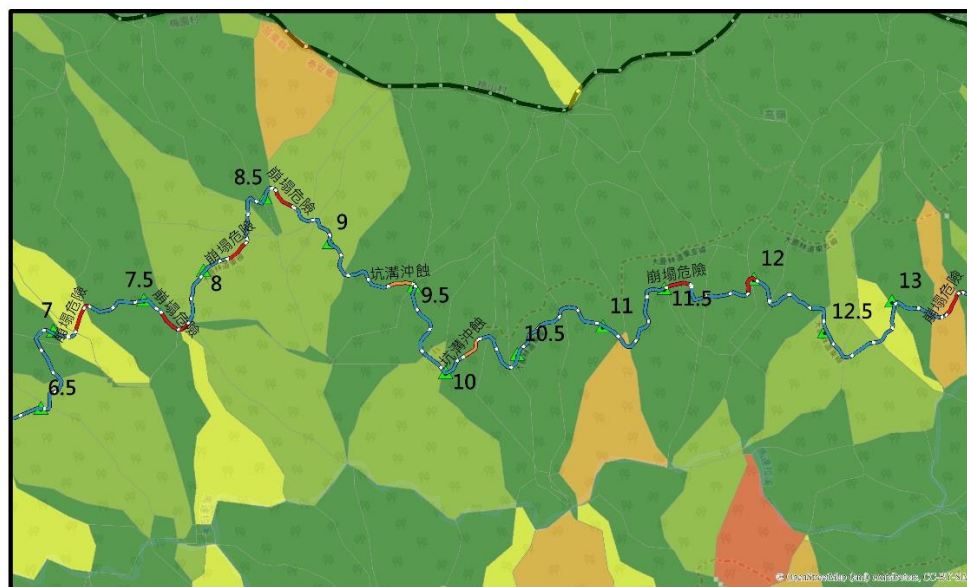


圖 83 大鹿林道東線現況調查及模擬危險致災路段 0K 至 7K



大鹿林道東線預測崩塌潛勢與現況調查套疊示意圖(7~13K)

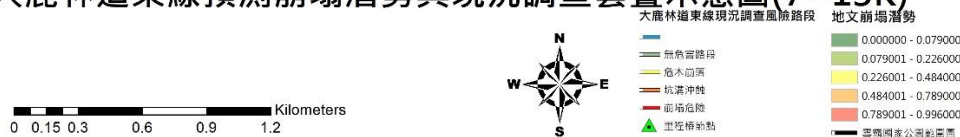
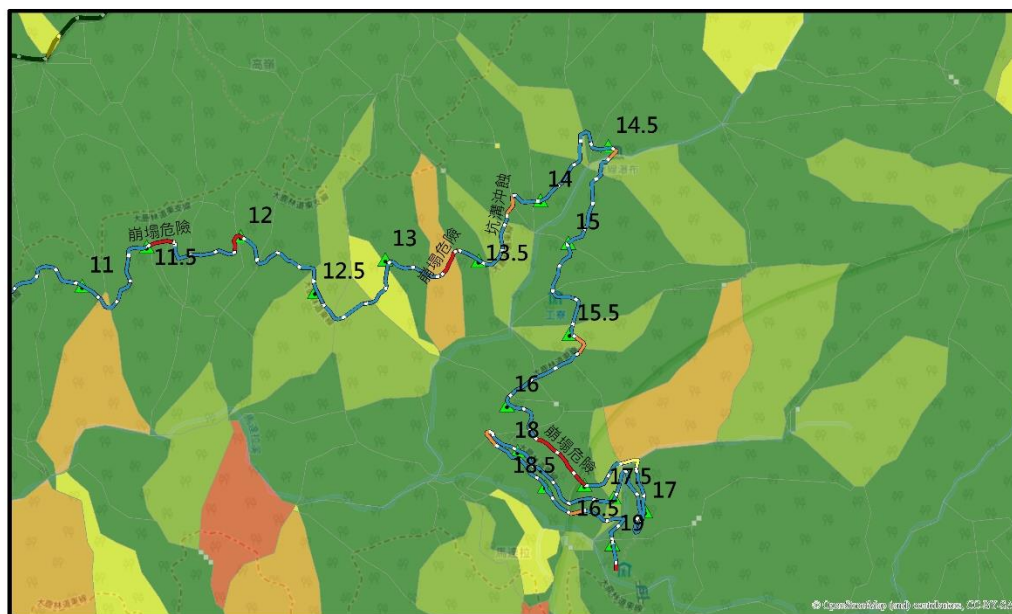


圖 84 大鹿林道東線現況調查及模擬危險致災路段 7K 至 13K



大鹿林道東線預測崩塌潛勢與現況調查套疊示意圖(13~19K)



圖 85 大鹿林道東線現況調查及模擬危險致災路段 10K 至 19K

## 第七章 地景保育研習營辦理

由於全球氣候變遷與溫室效應的影響，導致極端降雨事件頻傳，民國 98 年莫拉克颱風即為強降雨事件的明顯案例，造成臺灣中南部山區遭受嚴重災情，此一事件亦突顯大規模崩塌所造成之災害，未來恐對臺灣山坡地聚落造成嚴重災害威脅。另一方面，經濟部中央地質調查所已針對莫拉克災區，劃設多處可能危及居民安全之潛在大規模崩塌地區。因此，為預防未來豪大雨或颱風來襲時可能造成之災害，即有必要針對坡地崩塌防災課題進行更深入的研析。尤其對於地小人稠的臺灣，受到氣候變遷之影響，坡地災害類型將轉變為多元，且災害規模將遠超過過去歷史事件。復以面對即將來臨的政府組織改造，本計畫冀望以災害管理的觀點，以坡地災害潛勢與風險為基礎，進而建構坡地災害風險警戒模式與管理的策略。

本團隊已針對雪霸國家公園觀霧地區發展以坡面單元為基礎之坡地災害潛勢評估模式，並透過建立颱風事件對於災前坡地災害警戒之量化評估模型，進一步應用雪霸國家公園建構坡地崩塌風險分析模型及提供未來減災應用以及管理之參考，提升國內坡地崩塌量化分析、警戒與風險評估之研究發展。

為此，本團隊已於 12/4(五)上午辦理地景保育研習訓練，將研究結果呈現，讓相關專業領域以及民眾瞭解敏感地質地景資源變遷之基礎和研擬敏感地質保育及經營管理計劃之參考，活動議程如下表 30 所示。

表 30 12/4(五)地景保育研習訓練營活動議程

時間	活動	演講者
9:00~9:30	報到	
9:30~9:45	主持人引言	雷祖強
9:50~10:50	演講主題「登山步道邊坡安全評估與創新技術檢視輔助與未來觀光發展管理建議」	林秉賢
10:50~11:00	休息時間與交流	
11:00~12:00	演講主題「利用廣域崩塌發生可能性之探索研究應用於崩塌風險警戒機制研析-以雪霸國家公園觀霧地區為例」	雷祖強
12:00~12:30	綜合座談	(用餐)
活動結束		

而活動共邀請約 30 位左右之相關領域之對象以及民眾共襄盛舉，並於研習營過程中透過座談之交流達到民眾對於地景保育之相關議題有一定之認知，活動照片如下圖 86 至圖 88 所示。



圖 86 12/4(五)地景保育研習訓練營活動合影



圖 87 12/4(五)地景保育研習訓練營活動照片



圖 88 12/4(五)地景保育研習訓練營活動照片

## 第八章 結論

1. 本計畫已完成藉由大數據及現地調查之空間資料，完成觀霧地區地質敏感區、分析地質構造等之特徵，建立防災減災與基礎地質的空間資料庫，以及觀霧地區坡面單元之災害潛勢因子及誘發因子資料庫。
2. 本計畫透過 GIS 系統及遙測資料等圖資，進行多時期觀霧地區地形改變之判釋、比對及監測，並分析園區內崩塌發生區域多集中之區域針對極端雨量對坡地災害潛勢之探討，透過人工智慧演算法建立觀霧地區坡地災害潛勢評估模型，進而探索全域變動因子(雨量驅動因子:  $(I_{max}, R_{te})$ )對於坡地崩塌災害的影響性。
3. 本計畫旨在藉由空間資料搭配序列颱風挾帶豪雨導致的已知崩塌事件和範圍，以不確定型和優化型的空間資料探勘技術萃取崩塌潛勢條件，並進行風險預警應變之應用，其中雨量因子對於崩塌的影響在模型上顯著程度須在透過更細緻之資料探索，如:探討時序性之連續降雨輸入是否與崩塌地發生具有關聯性，並透過構建更複雜的深度網絡，在能夠在獲取到新的資料後再次調整自身參數，以保持良好的推估模式及精準度。
4. 已完成「**雪霸國家公園崩塌風險評估模型**」，這個最新模式可以建立雪霸地區的因降雨所引致崩塌災害的警戒管理值( $H_c$  以及  $F_c$ )，並提供颱風豪雨事件之歷時警戒資訊，以作為**封園決策機制**之參考。
5. 已完成**山區災害風險潛勢地圖**結果，規劃危險崩塌及具高危險之路段，研究成果可作為雪霸處規劃崩塌潛勢的重要參考依據。
6. 已完成對「**遊客與登山客進行預警機制之探討**」、「**高風險區位警示牌設立規劃**」以及「**災害發生前/後，封園決策機制**」等議題進行預警機制之設計以及研析，以提供園區在進行實務操作時之封園參考依據。
7. 本計畫已完成辦理進行四次觀霧地區之步道安全現況調查，其中包含 2 月初初勘大鹿林道東線；4 月 28 日、4 月 29 日則進行第二次現況調查，調查步道路線分別為雲霧步道、觀霧瀑布步道、檜山巨木群步道及蜜月小徑；在 10 月 13 日、10 月 29 日則進行第三次現況調查，調查步道路線分別為賞鳥步道、樂山林道、大鹿林道西線及榛山步道；最後是 11 月 3 日至 11 月 15 日進行大鹿林道東線的二次勘查以及大霸線的現勘調查，以普查技術紀錄里程樁位點及步道安全性重點調查位置，並且輔以影像及 360 度環景拍攝進行紀錄。

## 參考文獻

1. 行政院農業委員會(2012)。水土保持技術規範。農水保字第 1011862646 號公告修正。何春蓀(1999)。普通地質學。國立編譯館(修訂第三版)。
2. 王維毓(2016)。以坡地易損性曲面建立崩塌警戒機率值之研究，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
3. 李三畏(1984)。台灣崩塌地問題探討。地工技術 7：43-49。
4. 李三畏(1986)。台灣的崩塌地。水土保持文獻專輯。
5. 李秉乾、周天穎、雷祖強、林哲彥、黃碧慧、吳政庭(2005)。利用集集大地震資料建立建築震害危險度評估模式 I-地震建築損害資料庫建立。中國土木水利工程學刊。17(1)：121-131。
6. 李秉乾、劉純之、雷祖強、謝孟勳、黃亦敏、方耀民、周天穎、連惠邦(2014)。易損性曲線於坡地崩塌警戒模式應用與坡地巨災保險研析。行政院農業委員會水土保持局，委託計畫成果報告。
7. 李秉乾、雷祖強、謝孟勳、黃亦敏、方耀民、周天穎、連惠邦(2015)。104 年應用坡地易損性模式於崩塌風險評估與警戒模式研析。行政院農業委員會水土保持局，委託計畫成果報告。
8. 李明熹(2006)。土石流發生降雨警戒分析及應用。國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
9. 余濬、洪志豪(2010)。降雨量重現期推估之探討—以莫拉克颱風甲仙雨量站為例。水利會訊，13：34-43。
10. 京華工程顧問股份有限公司(2010)。氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究—以高屏溪為例(1/2)。經濟部水利署水利規劃試驗所，委辦計畫成果報告。
11. 京華工程顧問股份有限公司(2011)。氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究—以高屏溪為例(2/2)。經濟部水利署水利規劃試驗所，委辦計畫成果報告。
12. 徐裕博(2016)。建立降雨引致崩塌之坡地易損性曲面及其驗證，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
13. 許瓊文(2008)。應用類神經網路模擬高雄都會區臭氧濃度趨勢變化之研究，國立中山大學環境工程學系碩士論文。
14. 國立中興大學(2006)。水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究。經濟部水利署。
15. 陳信雄(1995)。崩塌地調查與分析。渤海堂出版社，臺北。
16. 陳俞旭(2008)。地震對崩塌與土石流發生影響之研究。成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，臺南。
17. 陳樹群、吳俊毅、黃柏聰(2007)。松鶴地區土石流災害之風險評估。中華水土保持學報，38(3)：287-298。

18. 張石角(1987)。山坡地潛在危險之預測及其在環境影響評估之應用。中華水土保持學報，18(2)：41-48。
19. 張石角(1998)。雪霸國家公園地質災害敏感地區之調查與防範研究(大雪山地區)。國家公園學報，8(2)，100-121。
20. 彭育隆(2002)。利用貝氏理論修正橋梁易損性曲線，國立中央大學土木工程學系碩士論文。
21. 溫振宇(2005)。結合地震與颱風因子之山崩模式分析。國立成功大學地球科學系博士論文。
22. 葉怡成(2003)。類神經網路應用與實作第八版。
23. 費立沅(2009)。臺灣坡地災害與地質敏感區的關係。地質，28(1)：16-22。
24. 董鴻誼(2017)。應用坡地崩塌易損性曲面於山區道路預警，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
25. 楊智堯(1999)。類神經網路於邊坡破壞潛能分析之應用研究。國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
26. 潘國樑(2007)。山坡地的地質分析與有效防災。科技圖書股份有限公司。
27. 蔡光榮、陳昆廷、王宣惠、林欽川(2008)。類神經網路分析法應用於台灣南投坡地社區環境潛勢災害風險評估模式之建置。鑛冶工程，52(43),55-74。
28. 賴志強(2007)。台灣地區降雨及地震誘發崩塌之特性研究。國立成功大學水及海洋工程學系碩士論文。
29. 謝孟勳(2013)。以網格集群最大概似法建立建築物易損性曲線及其用於震災緊急運送路徑之選擇。逢甲大學土木及水利工程博士學位學程博士論文。
30. 蘇苗彬(2009)。坡地防災預警技術(二)—坡地災害的分類。水保技術，2(4)：144-150。
31. Bonham-Carter, G. F. (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS, Pergamon, Ottawa, 398 p. :305.
32. Burnett, A.D., Brand, E.W., Styles, K.A. (1985). Terrain classification mapping for a landslide inventory in Hong Kong, 4th International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo, 63-68.
33. Carter, J.R. (1988). Digital Representations of Topographic Surfaces. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 1577-1580.
34. Crichton, D. (1999). The Risk Triangle. In Journal Ingleton, ed., Natural Disaster.
35. Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation.
36. Carrara, A. (1988). Drainage and divide networks derived from high-fidelity digital terrain models. NATO ASI series. Series C, Mathematical and Physical Sciences, 223: 581-597.
37. Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995). GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 135-176.
38. Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999). Use of GIS Technology in The Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. Natural Hazards, 20: 117-135.

39. Fookes, P.G., Sweeney, M., Manby, C.N.D., Martin, R.P. (1985). Geological and Geotechnical Engineering Aspects of Low-cost Roads in Mountainous Terrain. *Engineering Geology*, 21: 1–152.
40. Giles, P.T., Franklin, S.E. (1998). An Automated Approach to the Classification of the Slope Units Using Digital Data. *Geomorphology*, 21(3-4), 251–264.
41. Hansen, A., Franks, C.A.M., Kirk, P.A., Brimicombe, A.J., Tung, F. (1995) .Application of GIS to hazard assessment, with particular reference to landslides in Hong Kong, *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135-175.
42. Koukis, G., Ziourkas, C. (1991). Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 47-60.
43. Lump, P. (1975). Slope failures in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 8: 31–65.
44. Lewis , E. B., (1982). Control of body segment differentiation in *Drosophila* by the bithorax gene complex, *Embryonic Development, Part A:Genetics Aspects*, Edited by Burger, M. M. and R. Weber. Alan R. Liss, New York, 269-288.
45. Miller, C.L., Laflamme, R.A. (1985). The Digital Terrain Model-theory and Application. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 24(3): 433–443.
46. Rota, M., Penna, A., Strobbia, C.L. (2008). Processing Italian Damage Data to Derive Typological Fragility Curves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 933–947.
47. Makridakis, S., (1993). Accuracy measures: Theoretical and practical concerns. *Int. J. Forecast.*, 9, 527-529.
48. Rossetto, T. & Elnashai A. (2003). Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data. *Engineering Structures*, 25(10), 1241–1263.
49. Sidle, R.C., Perceca, A.J., O’loughlin, C.L. (1985). *Hillslope Stability and Land Use*. American Geophysical Union, Washington, D.C: 19–20.
50. Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J. Naganuma, T. (2000). Statistical Analysis of Fragility Curves. *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 126(7): 769–777.
51. Varnes, D.J.(1958). Landslide Types and Process. in E.B. Eckel (ed.). *Special Report 29: Landslides and Engineering Practice* (Washington, DC: HRB, National Research Council), 20–47.
52. Van Westen, C.J., van Asch, T.W.J., Soeters, R. (2006). Landslide Hazard and Risk Zonation : Why Is It Still So Difficult? *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 65: 167–184.
53. Xie, M., Esaki, T., Zhou, G. (2004). GIS-Based Probabilistic Mapping of Landslide Hazard Using a Three-dimensional Deterministic Model. *Natural Hazards*, 33: 265–282.
54. 齋藤迪孝(1980)。斜面崩壞予測。土と基礎，29(5)，72–8



## 附錄一 期初計畫審查委員意見與回復

### 委員意見：

#### (一) 陳委員振達：

1. 觀霧地區在 2004 年艾利颱風受創最為嚴重，此次事件為重要影響值，主要想瞭解大鹿林道東線滑動面在那個部分、滑動面積有多大，是否會造成目前林務局遊客中心整個結構體是有開裂的狀況。此滑動面是否在下次災害或巨大的雨量狀況下有擴大之現象。
2. 報告中 I 值和 R 值都是實測值，若在未下雨的狀況下，無法預估實雨量，氣象局宣佈之總累積雨量，若將大數據套用在觀霧局部地區分析結果是否會有問題。
3. 模式建立中，報告主要以莫拉克颱風為因素，分析結果會與本研究調查地點現地狀況有落差，只有一個災害事件進行判例，資料是否會有誤差，建議針對觀霧地區增加特殊災害因子進行分析。

#### (二) 于委員淑芬：

1. 材料方法內建議可加入地政司空載光達較精細之資料(若有需求，可由機關發函取得)。
2. 雨量資料僅蒐集近 10 年，似乎無法函蓋 2004 年艾利颱風對觀霧地區重創之特殊狀況，建議依本區雨量特性蒐集比較符合實際狀況。
3. 預警系統可再精細評估預測，供行政單位可以最簡單之操作方式，以便於未來經營管理之需。

#### (三) 楊委員國華：

1. 本案分析確認地質敏感區之成果可做為園區土地規劃利用，故成果建議套疊地籍資料，以確認分析位置及權屬。
2. 地質敏感區現行中央地調所依地質法有公告，後續研究成果建議作為比對，另分析方法與地質法公告之地質敏感區判定方法差異性為何，建請補充說明。
3. 企劃報告書第 22 頁預算編列之其他經費「7、多尺度空拍影像及後續處理費」是否為現有可取得圖資或需另外進行空拍收集，若需要另行空拍的部分，請注意民航法

(軍方樂山陣地)限航區及人、機操作證及登記證等相關規定。

(四) 陳委員俊山：

1. 逢甲大學所提計畫書與本處上網邀標書之工作項目及目標不完全相符，請確認是否願意依邀標書內容執行。
2. 本案的研究對象是以步道為主，是線性的，謂聚焦在步道的上下邊坡分析災害時機與規模及管理作為。
3. 研究範圍中之大鹿林道東線是本案研究重點區域，且有開放程度之決策急迫性，應先以此步道為對象，分析其不同等級外營力造成的災害規模，並給予本處維修投入與否的建議。

(五) 鄭委員瑞昌：

1. 請問廠商是否有到觀霧現地進行勘查，調查地點需經過竹東、五峰、清泉接大鹿林道尚有 26 公里才能抵達觀霧管理處，本研究案主要為實用性質，希望能提供本處未來經營管理參考之用，請補充說明有關現地保全對象(人、建築物)之資料。
2. 請廠商進步確認邀標書之工作項目與未來團隊執行研究調查項目是否吻合？
3. 本研究案除了針對步道進行地質相關資料之調查與分析，另請分別針對遊客與登山客進行預警機制之探討，主要以雨量進行推估，在評估天然災害(梅雨、豪大雨或颱風等)對本研究調查區域之影響，請提供活動者與管理者採取必要之防範措施，達到提生活動安全之目的，另請評估災害發生前/後，管理單位是否有需要進行封園，請針對調查現狀或分析結果研擬並提供觀霧地區封園之基本準則)。

**意見回復(請逐條回覆)：**

1. 感謝委員意見，本計畫將會針對大鹿林道東線位置進行坡地單元之安全性評估，透過衛星影像以了解目前該區是否有新增崩塌地問題，若有新增崩塌地，也會評估新增崩塌地對遊客中心地危害度。此外本團隊也會透過現地調查來掌握目前遊客中心附近是否有地滑之徵兆，例如張力裂縫、坡趾隆起、擋土牆或構造物是否有所損害等徵兆來進一步判斷問題。最後關於遊客中心之安危，我們也會透過現地建物案安全性簡易評估來了解問題。
2. 感謝委員意見，本案在災前的評估操作上建議於計劃期間試做多種規模以及路徑種類之颱

風豪雨事件之警戒機制流程，並將過去經驗氣象局宣佈之總累積雨量進行潛勢前期推估，訂定總累積降雨之警戒值，以加入整體之警戒機制流程供後續新事件之分析警戒參考。

3. 感謝委員意見，本案再採用災害事件進行潛勢評估模式的訓練驗證將採用歷年影響實證區之重大颱風豪雨事件進行坡地災害之雨量與崩塌之關聯性訓練，因此在關鍵颱風豪雨事件將非只採一個災害是近進行判例。
4. 感謝委員意見，本案將會進行颱風豪雨事件與空載光達影像資訊進行時序上的相關評估，以加入計畫之特徵分析之用。
5. 感謝委員意見，本案在計畫執行將會產出兩個層面之相關指標，第一為降雨危害程度，第二坡地災害潛勢評估，其中在降雨危害程度採用 10 年，主要目的是能夠對鄰近的雨量站之近年降雨的趨勢分析以及規模性之排序，因此歷史雨量資料庫依新年度持續更新，以反映近年氣候變化；而在坡地災害潛勢評估將會將歷年之重大颱風豪雨事件進行雨量以及崩塌地之關聯性訓練，在事件之採用上較偏屬於特殊狀況。
6. 感謝委員意見，本計劃亦將於文獻探索上納入多管理單位之預警警戒模式以及相關警戒值作為參考，以調整本案欲發展之風險警戒機制之操作。
7. 感謝委員意見，後續計畫將遵照委員意見，在取得初步的風險潛勢分析成果後進行地質與地籍空間資料之套疊，以園區規劃使用之參考。
8. 感謝委員意見，本案將於計劃進行地質法公告之地質敏感區判定方法之研析，並與計劃階段風險潛勢風險圖進行空間上之比對。
9. 感謝委員意見，經本計畫了解觀霧地區之樂山基地其方圓 5 公里範圍內為限航區(觀霧山椒魚生態中心及大鹿林道東線入口處等皆位於此限航區範圍內)，依民用航空法及相關法令之規定，不得進行空拍活動，因此本案將於後續調整計畫預算之編列並嘗試取得其他多元之影像資料進行相關特徵之萃取以利後續分析。
10. 感謝委員意見，本案將在與邀標書之工作項目進行交互檢討，並明確條列符合邀標書內容之評核標準。
11. 感謝委員意見，本案在研究資料上的尺度上屬於大面積之大數據空間資訊，原因是大量之資料上對於評估模型訓練上樣本較多亦較多元，模型適用性較為穩定，而在應用分析上則

可針對不同對象進行不同尺度之縮放，並可針對本案之重點研究對象進行分析災害時機與規模及管理作為。

12. 感謝委員意見，本案將取得坡地災害評估模型後將優先針對步道進行更精細的分析以及風險評估建議。
13. 感謝委員意見，本案後續將持續與園區進行相關工作會議，以釐清本案欲重點分析之保全對象，並取得相關資料以進行分析。
14. 感謝委員意見，本案將在與邀標書之工作項目進行交互檢討，並明確條列符合邀標書內容之評核標準。
15. 感謝委員意見，本計畫將遵照委員意見對於「對遊客與登山客進行預警機制之探討」以及「災害發生前/後，封園決策機制」等議題進行強化研析，以提供園區進行相關決策之參考依據。

## 附錄二 期中計畫審查委員意見與回復

審查意見	辦理情形
<p><b>(一) 陳文山委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議表 8 步道主體設施安全調查表中一、地形與地質構面表格之內容可以參考中央地質調查所的格式調整內容(山崩地滑調查)。</li> <li>2. 坡地災害環境潛勢因子之空間資料庫建置，在環境影響因子中，應該分級(如第一級、第二級)，從山崩、地滑、土石流與落石等地質災害的第一級影響因子有地質與降雨量?地質因子主要有岩層傾角與傾向、岩性、坡度，降雨量有時降雨量與有效累積降雨量。所以地質環境因子的基本資料建議可以利用中央地質調查所的 1/50,000 地質圖(電子檔圖資)。</li> <li>3. 建議數值地形圖(DTM)資料可向內政部申請光達(LiDAR)數值地形。</li> <li>4. 建議管理處可增設雨量站，做為日後應用紀錄以及遊憩行為人員管制之依據。</li> <li>5. 目前收集的坡地崩塌等資料，屬於較大面積的崩塌，但是小規模(面積)的崩塌或落石也會造成災害，所以在步道調查時，應該將可能發生地質災害區域納入。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本計畫後續將修正步道主體及設施安全調查表，並參考中央地質調查所之山崩地滑災害現況調查格式來做修正。</li> <li>2. 感謝委員意見，關於本案在因子的處理分級上，本團隊將參考相關文獻，依據性之將相關因子進行離散化，進而評估模型之優化程度，另外關於相關基本資料之圖資，本案亦將與局處協調取得，使本案使用之各空間因子精緻度提高，以利模式於更細之單元尺度具有代表性。</li> <li>3. 感謝委員意見，本案將與局處溝通以協調取得光達(LiDAR)數值地形。</li> <li>4. 感謝委員意見，本案將模式以及實務操作設計流程完成後，將與局處評估增設雨量站之需求以及必要性，以利於管理處能夠有效之取得精準與精確之雨量資訊，並與本模式應用操作，能夠即時之對遊憩行為進行決策管制。</li> <li>5. 感謝委員意見，本計畫後續會將現況調查記錄隻小規模(面積)之崩塌、蝕溝及落石災害加入模型訓練，補足尺度較小之災害事件變數，讓預警模型訓練樣本更完善。</li> </ol>
<p><b>(二) 羅偉委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計劃缺乏對歷史災害之回顧(尤其是影響大鹿林道之 2004 年艾利颱風、2008 年辛樂克颱風及 2013 年蘇力颱風)，請補充。</li> <li>2. 本計畫既然以「地質地形」為主要討論之課題，但報告書內容對地質地形僅有粗淺的描述，尤其是本地區出露的地質狀況付諸闕如，建議應加強。</li> <li>3. 野外調查部分應補充地質資料、災害狀況等。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，遵照辦理，本案將於期末報告時詳細補充。</li> <li>2. 感謝委員意見，遵照辦理，本案後續在有機會取得更細緻的地質地形圖後，將補充描述。</li> <li>3. 感謝委員意見，本計畫後續將修正現況調查之項目，未來會參考中央地質調查所之山崩地滑災害現況調查格式來做修正，並針對大鹿林道東線進行更細部的現況調查。</li> <li>4. 感謝委員意見，遵照辦理，本案將於期末報告時詳細補充。</li> <li>5. 感謝委員意見，遵照辦理，本案將於期末報告時詳細補充。</li> </ol>

<ol style="list-style-type: none"> <li>4. 水文資料應有歷史雨量紀錄，請補充。</li> <li>5. 土壤資料應包括岩屑層等沖積物之資料。</li> <li>6. 建議期末成果資料應有敏感地區或災害地區之分布活分級圖示呈現。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. 感謝委員意見，遵照辦理，本計畫在完成坡地前適災害評估模型後，透過坡面單元尺度下投入一定規模之降雨，則可產出崩塌風險潛勢地圖，並可針對敏感地區以及相關保全對象地區進行災害潛勢分級等多元尺度之分級呈現。</li> </ol>
<p><b>(三) 謝佳慶技士</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案計畫有對觀霧地區步道做設施安全性現況調查，所列 8 條主要步道外，區內尚有賞鳥步道未列入調查，建議增列。</li> <li>2. 報告書第 40 頁表 7 觀霧地區步道基本資料表中蜜月小徑在路面項目有原始路徑、木棧道，惟該步道應無木棧道設施；另同表中大鹿林道西線長 8 公里，是否惟本次調查長度？請釐清。</li> <li>3. 建議可將坡地災害環境潛勢因子空間資料庫圖資套繪於觀霧步道路線圖，藉以了解步道分布在何種狀態，是否有潛在安全之危險。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，遵照辦理，本計畫後續會將賞鳥步道納入現況調查步道項目中。</li> <li>2. 感謝委員意見，已將報告書內第 40 頁表 7 觀霧地區步道基本資料表中蜜月小徑在路面項目更新修正，並且也將大鹿林道溪線總長度改為 6.8 公里，為西線主線包含西支線的總長度，後續進行大鹿林道西線現況調查時會精準紀錄里程及樁位。</li> <li>3. 感謝委員意見，本計畫在完成坡地前適災害評估模型後，透過坡面單元尺度下投入一定規模之降雨，則可產出崩塌風險潛勢地圖，即可與現有的道路路線圖資進行空間套疊比較並分析那些區域或路段有潛在風險。</li> </ol>
<p><b>(四) 李佩如技士</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請將期中審查報告書改為本處固定撰寫之格式，建議應以方法論方式進行(研究緣起與背景、前人研究、工作項目、材料與方法、結果與討論、結論與建議)。</li> <li>2. 步道主體相關設施安全性現況調查中，大鹿林道東線主體為本計畫重要現況調查目標及核心分析重點區域，編號 8(13.7K~13.8K)、10(16.9K~17K) 路面狀況及邊坡危害路面危險程度高，但附屬設施未設立警示牌示，請受託單位評估此二個位置是否需要增設安全警告牌示。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本計畫後續期末報告將詳細補充。</li> <li>2. 感謝委員意見，經由本次進行初步現況調查先行紀錄大鹿林道東線之重點區域及設施，後續會將參考中央地質調查所之山崩地滑災害現況調查格式來修正步道主體及設施安全調查表，並且在後續訂定評分標準是否必要設置警示牌。</li> </ol>
<p><b>(五) 于淑芬課長</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前有完成大鹿林道東線現況調查，每 100 公尺調查路面狀況、邊坡危害、整治工法等，在園區東線及其</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，目前針對大鹿林道東線及觀霧地區步道現況調查目的為建立步道安全現況，後續會將參考中央地質調查所之山崩地滑災害</li> </ol>

<p>他步道調查能否將路面狀況、邊坡危害程度在進步細分(目前只有高、中、低),建議期末研究團隊能增加現地有無需要進行整治及處理項目,供本處經營管理參考。</p> <p>2. 針對大鹿林道東線未來可能會進行不同遊憩行為(野跑、騎越野車等),有關此部分請受託單位(野跑、騎越野車等)提供相關數據或資料供管理處做為參考之依據。</p>	<p>現況調查格式來修正步道主體及設施安全調查表,並且在後續訂定評分標準,針對大鹿林道東線做更細部的調查,並在期末新增現地有無需要進行整治及處理項目,供管理處經營管理參考。</p> <p>2. 感謝委員意見,本案將於後續分析模式中,詳加探討不同遊憩行為與本案相關災害潛勢風險之對照關係,並加以評估並提供相關數據供管理處做為參考依據。</p>
<p><b>(六) 楊國華課長</b></p> <p>1. 報告書第 46 頁大鹿林道東線入園申請之規定與本處現行規定不符,請修正。</p> <p>2. 大鹿林道東線野外調查資料僅調查 12 處,建議參考 2015 年張石角教授研究調查之報告,另請分析歷經 10 多年是否有變化及差異。</p>	<p>1. 感謝委員意見,針對報告書第 46 頁大鹿林道東線入園申請之規定與本處現行規定將會依現況規範進行更新並修正。</p> <p>2. 感謝委員意見,本計畫後續將修正步道主體及設施安全調查表,並參考中央地質調查所之山崩地滑災害現況調查格式,以及 2005 年張石角教授研究調查之報告,並且分析歷經 10 多年之變化及差異。</p>
<p><b>(七) 謝銘銓技正</b></p> <p>1. 報告書內崩塌事件資料庫之附圖不易判讀,建請放大並套疊各步道區位。</p> <p>2. 附錄一是否為本案期初計畫審查委員意見?請再確認。</p> <p>3. p.7 台中縣和平鄉,請修正為臺中市和平區。</p> <p>4. p.15 所載衛星影像植生特徵分析圖,未見於報告書內。</p> <p>5. p.40 表 7 觀霧地區步道基本資料之所在縣市內容有誤,請依縣市行政區域圖修正。</p> <p>6. 泰安鄉山地管制區業於 109.2.21 公告解除,p.46 所載大鹿林道東線入山證部分,請修正。</p> <p>7. p.59 蜜月小徑現況調查內文誤載雲霧步道部分,請修正。</p> <p>8. 目前研究團隊建立之「坡地崩塌評估模型」,於實務操作時,是否僅需輸入時雨量及累積雨量的數值,即可掌握現地崩塌機率?又前述二項</p>	<p>1. 感謝委員意見,本計畫後續期末報告將詳細補充。</p> <p>2. 感謝委員意見,經確認,附錄一為本案期初審查委員意見。</p> <p>3. 感謝委員意見,遵照辦理,本計畫後續期末報告將詳細補充。</p> <p>4. 感謝委員意見,遵照辦理,本計畫後續期末報告將詳細補充。</p> <p>5. 感謝委員意見,針對報告書第 40 頁表 7 觀霧地區步道基本資料之所在縣市資料將會依縣市行政區域圖修正。</p> <p>6. 感謝委員意見,由於泰安鄉山地管制區業於 109.2.21 公告解除,針對報告書第 46 頁大鹿林道東線入園申請之規定與本處現行規定將會依現況規範進行更新並修正。</p> <p>7. 感謝委員意見,遵照辦理,本計畫後續期末報告將修正誤植部分。</p> <p>8. 感謝委員意見,本模型在實務操作僅需投入時雨量及累積雨量的數值,即可掌握坡地災害潛勢之機率,而其兩數值定義與目前水保局以及</p>

<p>數值定義是否與氣象局公告相同。</p> <p>9. 坡地崩塌評估模型目前之準確率為70%，其採用之年度誘因(降雨誘發事件)，後續在增加近年風雨災害事件後，該模型有無調整因應機制，如何保持甚至超越目前的準確率？</p>	<p>氣象局採用之參考值相同。</p> <p>9. 感謝委員意見，本計畫將在期中後持續增加重大的致災風雨災害事件，並使模型重新訓練，讓模型在具有一定之準確率評估效果下，使坡地災害潛勢評估模型對於多種規模以及型態之降雨具有適配性。</p>
<p><b>(八) 潘振彰技正</b></p> <p>1. 近年來觀霧管理站都有通報雨後有落石或道路坍塌的狀況，相關資料本處有長期累積資料可以提供受託單位對照現有的地質狀況進行比較並分析那些區域或路段有潛在風險。</p> <p>2. 大鹿林道東線15公里處林務局有一處工寮，有關此避難設施，在颱風或豪雨發生時，民眾可能在此停留或站住休息，請評估在工寮其在災損時是否有存在風險。</p> <p>3. 大鹿林道東線19公里有管理處過去設置的管制站，報告書僅有廁所照片，是否有進行調查，相關資料請一併提供。</p>	<p>1. 感謝委員意見，本計畫在完成坡地前適災害評估模型後，透過坡面單元尺度下投入一定規模之降雨，則可產出崩塌風險潛勢地圖，即可與現有的地質狀況進行空間套疊比較並分析那些區域或路段有潛在風險。</p> <p>2. 感謝委員意見，大鹿林道東線15公里處林務局工寮本次初勘時有紀錄並拍照建檔，未來會針對此處工寮之相關避難設施進行更細部的勘查。</p> <p>3. 感謝委員意見，大鹿林道東線19公里處，管理處過去設置的管制站本次初勘時有紀錄並拍照建檔，未來會針對此處管制站現況之相關避難設施進行更細部的勘查。</p>
<p><b>(九) 林文和副處長</b></p> <p>1. 本案期中審查預定完成工作事項第一點為國內外相關文獻蒐集，報告書中國外文獻蒐集及統整資料較不足，建議期末報告中補充並多增加國外案例資料。</p> <p>2. 雨量分析為本研究重要之因子，研究調查資料使用2003年雨量資料，建議修正為近年的雨量資料並可參考鄰近地區雨量站資料進行分析。</p> <p>3. 有關契約書規範工作事項後續將辦理地景保育研習訓練1場，將研究以科普方式呈現結果，請受託單位規劃內容需與本處經營管理做連結，讓民眾瞭解敏感地質地景資源變遷之基礎。</p> <p>4. 本研究案設定模式建立，建議針對模式內容及因子新增本處員工訓</p>	<p>1. 感謝委員意見，遵照辦理，本計畫後續期末報告將詳細補充。</p> <p>2. 感謝委員意見，基本上本計畫之模式上分為降雨危害度以及坡地易損性，其中降雨危害度主要是參考鄰近地區雨量站(即雪霸雨量站)中近10年得雨量資料進行蒐集以及累積分布分析，而坡地易損性則是針對重大致災風雨事件進行多處雨量站並進行空間化之內差，以進行廣域性之空間範圍評估。</p> <p>3. 感謝委員意見，本團隊將於模式於應用操作設計完成後，將於辦理地景保育研習訓練前與受託單位開一場工作會議，確認實務操作以及經營管理之設計順暢以及合理，再執行辦理地景保育研習訓練，讓民眾瞭解敏感地質地景資源變遷之基礎。</p>



<p>練，如何取得參數並進步分析。</p>	<p>4. 感謝委員意見，本團隊在完成模式建立後，將提供完整之實務操作 SOP 供局處參考以及應用。</p>
<p>(十) 楊模麟處長</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請保育課會後與收托單位討論並評估觀霧管理站是否有需要增設雨量站。</li> <li>2. 請本處觀霧站提供受託單位近幾年在現地區域發生落石的相關資料。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝處長的回饋及協助。</li> <li>2. 感謝處長的回饋及協助。</li> </ol>

### 附錄三 期末計畫審查委員意見與回復

審查意見	意見回覆
<p><b>(一)陳文山委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表 6 環境資料庫之類型中環境潛勢因子的地質因子沒有明確資料，如坡向與岩層的層面走向有極密切的關係。因此地質條件沒有考慮時，所分析的 Fc 值(崩塌潛勢機率)就不精確。另前期擾動誘發因子中的「距離斷層遠近」應該不屬於前期擾動誘發因子，而是前期地震在園區的震度，才是前期擾動因子。</li> <li>2. 高風險路段經過現地勘查，在報告中沒有明確說明高風險路段的災害類型。</li> <li>3. 建議現地勘查(觀霧地區步道)加入地質現況資料，嘗試依照 Fc 之標準來制定崩塌潛勢機率的資料。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本案將針對現調之環境照片嘗試補充相關地質描述，以及參考民國 94 年張石角教授雪霸國家公園大鹿林道東線(觀霧至大霸登山口)受災路線修建之調查規劃歸納之 5 項路基與崩塌邊坡地質類別來補充此區域地質相關資料，以補足高風險之坡面單元之地質條件上之說明。</li> <li>2. 感謝委員意見，對於坡面邊坡危害度之高中低標準，本案依造最低危害標準之機率常態分布進行自然斷點法(Natural Breaks)以確立分級方式和組距；另外現況調查的步道之安全性評估以及邊坡危害度評估之標準為報告書表 18 之步道主體設施安全性調查表中的路面現況構面、路面工程構面、邊坡現況構面以及邊坡穩定工程構面等綜合分數，並也依據自然斷點法(Natural Breaks)來確定分組級距。</li> <li>3. 感謝委員意見，本計畫以環境資料庫以 20m×20m 之網格尺度使不同集水區範圍內所有屬性因子鏈結，環境資料庫細分為四個部分：(1)環境潛勢因子；(2)前期擾動誘發因子；(3)降雨驅動因子及(4)崩塌資訊。資料庫基礎為調查蒐集之基本資料，例如集水區基本圖資(水土保持局提供)、歷年汛前衛星影像(購自中央大學太遙中心)、數值高程模型(水土保持局提供)、二十五萬分之一地質圖(水土保持局提供)、土地利用圖(內政部提供)等基本共通資料，並且須進一步處理各類資訊，例如坡度、坡向、距河道遠近、植生、高程、雨量因子、崩塌地資訊等，並透過坡面單元尺度進行資料標準化之程序，以完成潛勢因子空間資料庫之建置，詳建報告書第 12-13 頁。</li> <li>4. 感謝委員意見，本案針對期中審查之意見回復多採後續執行需求以及成本評估進行修正，部分內容的優化意見，本案</li> </ol>

	<p>將會採酌參之角度作為後續有機會持續於本案進行更具體之執行方向。</p>
<p><b>(二)羅偉委員</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫名為「敏感地區地質地形監測及管理-觀霧地區」但報中未見與地質相關之調查，如崩塌地之層面或葉理面之位態與坡面之關係等資料，亦缺乏有關監測之行為，請補充說明。</li> <li>2. 計畫中對各步道之安全性調查中有將各步道之安全性分為尚可、良好、安全性差，安全性之評估標準為何？另亦有對邊坡危害度分高、中、低亦無客觀之標準，請補充說明。</li> <li>3. 報告書 P14 地質資料只有一段五行簡短描述，如何說明潛勢因子空間資料庫之建置？</li> <li>4. 期中審查時執行團隊回覆意見，會做修正，但綜觀全篇報告，卻未見有所修正。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本案將針對現調之環境照片嘗試補充相關地質描述，以及參考民國 94 年張石角教授雪霸國家公園大鹿林道東線(觀霧至大霸登山口)受災路線修建之調查規劃歸納之 5 項路基與崩塌邊坡地質類別來補充此區域地質相關資料，以補足高風險之坡面單元之地質條件上之說明。</li> <li>2. 感謝委員意見，對於坡面邊坡危害度之高中低標準，本案依造最低危害標準之機率常態分布進行自然斷點法(Natural Breaks) 以確立分級方式和組距；另外現況調查的步道之安全性評估以及邊坡危害度評估之標準為報告書表 18 之步道主體設施安全性調查表中的路面現況構面、路面工程構面、邊坡現況構面以及邊坡穩定工程構面等綜合分數，並也依據自然斷點法(Natural Breaks)來確定分組級距。</li> <li>3. 感謝委員意見，本計畫以環境資料庫以 20m×20m 之網格尺度使不同集水區範圍內所有屬性因子鏈結，環境資料庫細分為四個部分：(1)環境潛勢因子；(2) 前期擾動誘發因子；(3) 降雨驅動因子 及(4) 崩塌資訊。資料庫基礎為調查蒐集之基本資料，例如集水區基本圖資(水土保持局提供)、歷年汛前衛星影像(購自中央大學太遙中心)、數值高程模型(水土保持局提供)、二十五萬分之一地質圖(水土保持局提供)、土地利用圖(內政部提供)等基本共通資料，並且須進一步處理各類資訊，例如坡度、坡向、距河道遠近、植生、高程、雨量因子、崩塌地資訊等，並透過坡面單元尺度進行資料標準化之程序，以完成潛勢因子空間資料庫之建置，詳建報告書第 12-13 頁。</li> <li>4. 感謝委員意見，本案針對期中審查之意見回復多採後續執行需求以及成本評估進行修正，部分內容的優化意見，本案將會採酌參之角度作為後續有機會持續於本案進行更具體之執行方向。</li> </ol>

<p><b>(三)新竹林區管理處</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新竹處已於 108 年度完成樂山林道全線樂面改善，且邊坡較脆弱區域已加強植生覆蓋並施作擋土牆，易發生落石路段(3.2K 至 3.3K 處)，已設置防落石柵。</li> <li>2. 坡地災害風災警戒模式是否適用整個觀霧地區?建議提供相關作業 SOP 流程，供做為經營管理及評估休園之使用。</li> <li>3. 報告書 P67 榛山步道公里數有誤植，請修正為約 4 公里。</li> <li>4. 報告書 P114 大鹿林道西線編號 5 資料及照片有誤，請修正。</li> <li>5. 報告書 P67 大鹿林道西線之步道類型、高度落差等資料有誤，建請釐清相關資料。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見及說明。</li> <li>2. 感謝委員意見，本案目前透過多元之軟體應用執行坡地災害風險警戒模式，而以廣域之角度進行該模型之建置，就是希望以能夠使模型適用於整個觀霧地區之使用，而相關作業之 sop 流程本案建議由本案這邊進行不同災害規模之崩塌潛勢分布供做經營管理以及評估休園之參考應用，而實際模式之操作，建議後續有機會將本案之所建立之模型進行不同系統之整合，以供局處於災害應變時進行相關人員之教育訓練以及實測應用。</li> <li>3. 感謝委員意見，將修正誤植之公里數。</li> <li>4. 感謝委員意見，將修正誤植之大鹿林道西線編號 5 資料及照片。</li> <li>5. 感謝委員意見，遵照辦理修正大鹿林道西線現況調查之誤植資料。</li> </ol>
<p><b>(四)本處同仁李佩如技士</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書 P9 圖五圖片內容文字不清楚，請研究團隊於成果報告書抽換解析度較高的圖片檔。</li> <li>2. 報告書 P71 步道主體相關設施安全性現況調查階段成果中，新增調查路線大霸線，大鹿林道東線 19K 至大霸尖山，19K 至大霸尖山調查數據及資料未呈現，請補充說明。</li> <li>3. 步道主體相關設施安全性現況調查中，P104 檜山巨木步道編號 7(2.4K-2.5K)路面狀況步道安全性較差，於整治工法中評估現況需加強，請受託單位提供建議後續辦理事項，以為經營管理參考。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，遵照辦理。</li> <li>2. 感謝委員意見，大鹿林道東線 19K 至大霸尖山資料於報告書 P118 頁至 P123 頁，請委員參酌。</li> <li>3. 感謝委員意見，由於現況調查 2.4K-2.5K 之崩塌裸露地除了邊坡工程之鋼軌樁及土包袋，有設置簡易護欄，護欄為運用鋼軌樁進行拉繩索設計，建議搭建硬體之護欄以提高安全性。</li> </ol>
<p><b>(五)本處同仁于淑芬課長</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 步道主題設施安全性調查表是一般工程中常見需填寫的標準表或是研究團隊針對本研究調查區域設計。另調查樣區有大霸線和大鹿林道東線兩者是不同的，透過步道主題設施安全性調查表分析結果顯示大霸線每一個路段都顯示危險，因大霸線是登山步道，使用步道主題設施安全性調查表是否適用，請補充說明。</li> <li>2. 在步道安全性評估結果中，邊坡危害分低、中、高，危害程度如何定義，請補充</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，步道主題設施安全性調查表為研究團隊針對本研究調查區域設計，設計方面參考台灣公路工程之邊坡危害度評估因子評分表，並參考文獻探討對於林道調查之詮釋標準做修正，目前觀霧地區現況調查之評估標準為與本研究團隊建置之風險評估模型成果套疊討論因此設計為統一標準，建議後續針對道路不同種類類別設計評估準則及討論。</li> </ol>

<p>說明。</p>	<p>2. 感謝委員意見，現況調查的步道之安全性評估以及邊坡危害度評估之標準為報告書表 18 之步道主體設施安全性調查表中的路面現況構面、路面工程構面、邊坡現況構面以及邊坡穩定工程構面等綜合分數，並也依據自然斷點法(Natural Breaks)來確定分組級距，並給予評價之定義。</p>
<p><b>(六)本處同仁胡景程技士</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大霸尖山的地質組成是否為變質砂岩或石英砂岩地質?其結構是屬堅固性質?</li> <li>2. 建議研究團隊利用 Hc、Fc 風險警戒機制圖，預先輸入不同的雨量值(10、30、50、100mm 等)，模擬評估大鹿林道東線有那些路段會產生風險(風險包含落實、崩塌等等)。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，大霸尖山之地質為厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，夾薄互層，部份砂岩為粗粒至小礫，頂部夾薄煤層，具有堅硬的物質特徵。</li> <li>2. 感謝委員意見，遵照辦理。</li> </ol>
<p><b>(七)本處同仁謝銓技正</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 委託單位名稱，請修正為雪霸國家公園管理處。</li> <li>2. 第五章名稱目前為雪霸國家公園崩塌風險警戒機制模式設計，若模式設計無法於雪霸園區一體適用，建議修正調整章名。</li> <li>3. P.66-67 表 17 觀霧地區步道基本資料，大鹿林道東線、西線及大霸線起迄點海拔高度計算之高度落差有誤，例如西線 2080-2030 公尺，高度落差不應為所載之 250 公尺，請釐正海拔高度或高度落差。</li> <li>4. 表 19 大鹿林道東線步道主體安全性現況調查表，編號 19 所載位置應修正為 14.5K-14.6K；除編號 25(位置 18.9K)外，其餘編號均有載明邊坡危害類型，將其同列於表內之考量為何？調查表部分位置與簡報內容不一，如調查表載 7.2K-7.3K；簡報載 7.1K-7.2K，建請釐正。</li> <li>5. 本案觀霧地區坡地災害風險警戒機制圖，以降雨危害警戒值 <math>F_c=0.30</math> 及崩塌潛勢機率值 <math>H_c=0.65</math>，作為預防性封園之建議標準，依前述所載數值換算雨量，是否當降雨強度達 30mm/hr 及累積降雨達 105.3mm 時，則需進行預防性封園？其次，達該等雨量進行之封園時機，較現行「觀霧地區機關聯合防災應變作業計</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，遵照辦理。</li> <li>2. 感謝委員意見，遵照辦理，本計畫將修正調整該章名為[崩塌風險警戒機制模式設計。</li> <li>3. 感謝委員意見，遵照辦理修正高度落差資料。</li> <li>4. 感謝委員意見，遵照辦理修正現況地查資料誤植及補充。</li> <li>5. 感謝委員意見，本案建議透過不同規模之降雨強度進行預防性封園之建議標準調整，持續針對過去林道之使用頻率等搭配降雨規模影響範圍持續觀測及討論，並配合比較現行「觀霧地區機關聯合防災應變作業計畫」進行調整，以提供不同情境下合理之警戒機制供園區決策之參考。</li> </ol>

<p>畫」啟動休園程序提前(降雨強度 50mm/hr 或累積降雨 325mm)，從防災角度，請問前述警戒機制與作業計畫間，有無建議較妥適之調整或配套措施？又日前臺鐵局新聞稿指出其對重點監控路段，係以預警值、警戒值、行動值進行雨量監控，提供參考。</p>	
<p><b>(八)本處同仁邱滄明課長</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案計畫目標應不包含工程面之意見。</li> <li>2. 地質條件是影響災害主要因子，亦是工程手段是否介入重要參考因素，請教研究團隊應用模式如已納入從艾利颱風至 105 年間之較大災害，是否可說是已將部份地質因子納入評估?(即 93 至 105 年間實際發生之災害，係所有因子之綜合結果)。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，遵照辦理修正計畫目標。</li> <li>2. 感謝委員意見，地質因子的取得以及廣域之細部監測上較不易且成本較高，在不同年度上之地質因子納入亦有尺度不同以及變動性不大之問題，因此本計畫在初步建置廣域崩塌潛勢評估模型，以取得目前最接近本年度之地質資料進行評估。</li> </ol>
<p><b>(九)本處同仁陳俊山秘書</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案已建立風險預測模式及建議封園啟動條件。惟因以 IR 兩因子變數建構較為複雜，且降雨初期應以降雨強度較為重要，是否可先固定一個變因來簡化啟動封園時機。</li> <li>2. 從大鹿林道東線崩塌潛勢及災害現況好像有些點不完全一致，例如 18K 有一段標示紅色等級的崩塌路況但其邊坡卻是綠色等級，其原因為何？</li> <li>3. 從圖來估算，林道崩塌點至少有 18 個路段，其崩塌易損性應不同，此模式除封園外亦應可建立不同 IR 下 18 點可能發生災害的比率，以利告知遊客林道風險。</li> <li>4. 如能選擇以乾溼代表年的日雨量而分析此林道的妥善率，則可供開放車輛進入與否的決策參考。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本案考量近年降雨型態多變，可能為極端降雨(短延時強降雨)亦可能為長延時強降雨，因此本案之潛勢評估模型考量多種之降雨分布下進行討論，因此以兩個 ir 因子進行模式之輸入，而若需固定一個變因來簡化封園之參考標準，建議參考多種規模下所造成之災害規模程度，以及過去園區之封園標準進行交叉比對以及調整，作為模型之變數輸入調正。</li> <li>2. 感謝委員意見，本案在崩塌潛勢之分布主要是透過開放資料中變動較少之空間資訊以及動態之降雨驅動進行模式上之建立動態之潛勢評估，而在本案在大鹿林道東線崩塌潛勢為降雨前之崩塌潛勢評估，而在現況調查之狀況則導致該點位屬於高風險之可能性則可能雨蝕、風蝕等影響，這些可能是導致評估不一致的原因，而當降雨發生時，各崩塌潛勢則會動態進行變動，則不同規模之崩塌潛勢分布則會與現況調查之高風險路段逐漸一致，主要是本模式主要是評估不同環境因子條件下之坡面單元對於不同降雨強度下之易損程度。</li> <li>3. 感謝委員意見本案將補充不同 ir 情境下之林道崩塌潛勢分布比率，以供參考。</li> <li>4. 感謝委員意見，本計畫模擬分析了 72 場災害規模的組合關係，在這個區域不發生災害的情境只有 9 場，「發生災害」與「不</li> </ol>

	<p>發生災害」的情境比率是(0.875,0.125)，這樣的數據顯示該區域災害發生的機會不可不謂不高。至於表中下方的數據則呈現大鹿林道東線「各路段」在上述的情境下，各種潛勢的發生分布值，就算是最安全的情境下(i=10mm, Rte=100mm)，也有高達0.28%的路段是有風險的，其他的路段就存在一個更高風險的情境結果，因此林道依據乾濕及日語量來分析整體妥善率並不高，建議後續持續針對過去林道之使用頻率等搭配降雨規模影響範圍持續觀測及討論。</p>
<p><b>(十)本處同仁林文和副處長</b></p> <p>1. 研究團隊提繳之新聞稿文字敘述較學術，建議修改、簡化，以潛顯易懂的文字敘述撰寫或增加調查林道危險相關數據呈現，以利大眾閱讀。</p>	<p>1. 感謝委員意見，遵照辦理。</p>
<p><b>(十一) 本處同仁楊模麟處長</b></p> <p>1. 坡地災害風災警戒模式請提供相關作業 SOP 流程，供現場第一線業管人員操作使用，以落實災害前之預警機制之建立。</p> <p>2. 請研究團隊於本案成果報告補充此區域地質相關資料。</p> <p>3. 有關於大鹿林道東線入口處後續本處將增設災害風險告示牌，請研究團隊提供設計稿，請保育課彙整並確認告示牌內容，並由觀霧管理站負責製作。</p> <p>4. 研究團隊請提供大鹿林道東線沿路有那些路段需增設警示牌之確切位置，以利管理處後續施作工程使用。</p> <p>5. 請評估車輛是否能在大鹿林道東線通行接駁。</p>	<p>1. 感謝委員意見，本案目前透過多元之軟體應用執行坡地災害風險警戒模式，而以廣域之角度進行該模型之建置，就是希望以能夠使模型適用於整個觀霧地區之使用，而相關作業之 sop 流程本案建議由本案這邊進行不同災害規模之崩塌潛勢分布供做經營管理以及評估休園之參考應用，而實際模式之操作，建議後續有機會將本案之所建立之模型進行不同系統之整合，以供局處於災害應變時進行相關人員之教育訓練以及實測應用。</p> <p>2. 感謝委員意見，本案將套疊將嘗試針對外調地區之現況調查照片，補充高風險坡面單元之地質條件說明，首先加入 1/2500 細部之地質圖，進行 GIS 套疊來補充觀霧地區之地質狀況，並參考民國 94 年張石角教授雪霸國家公園大鹿林道東線(觀霧至大霸登山口)受災路線修建之調查規劃歸納之 5 項路基與崩塌邊坡地質類別來補充此區域地質相關資料於本案成果報告書。</p> <p>3. 感謝委員意見，本計畫將與局處進行初稿之設計稿以進行內容加值。</p> <p>4. 感謝委員意見，本案將與局處進行資料上之交換以及需求討論，以供以利管理處後續施作工程使用參考。</p>

	<p>5. 感謝委員意見，本計畫透過多元之軟體應用執行坡地災害風險警戒模式，而以廣域之角度進行該模型之建置，以及針對大鹿林道東線之現況調查成果，並依管理處提供之大鹿林道東線經營模式評估內大鹿林道東線經營模式評估表內容，說明大鹿林道東線目前林道狀況、工程技術、施工規模、搶修工期.....等等多種因子在短期內皆不適用於車輛運輸及不足以支應車道設計標準。</p>
--	---