



強化豪雨引致山崩之即時動態潛勢評估與警戒模式發展(4/4)

- 計畫(至 12 月)進度查核表

工 作 項 目	工作比重	預定進度	實際進度	落後原因及改善措施
前期作業	0.01	100%	100%	
基本資料蒐集	0.02	100%	100%	
地質分區劃設	0.02	100%	100%	
山崩目錄建置	0.08	100%	100%	
實際山崩時間點調查	0.10	100%	100%	
雨量資料蒐集與處理	0.10	100%	100%	
山崩潛勢模式精進	0.10	100%	100%	
山崩雨量門檻率定與防災應變規劃	0.10	100%	100%	
即時展示技術規劃	0.10	100%	100%	
山崩災害資料建置	0.10	100%	100%	
國際技術交流	0.03	100%	100%	
期中報告撰寫	0.04	100%	100%	
期末報告撰寫	0.05	100%	100%	
成果報告撰寫	0.05	100%	100%	
總報告撰寫	0.10	0%	0%	
查 核 點	查 核 項 目	完成與否		
103 年 12 月 16 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 基本資料蒐集：完成地質、數值高程、衛星影像等基本資料蒐集 ● 地質分區劃設：完成恆春半島及東部地區分區劃設，並適當整併 ● 山崩目錄建置：以購置之衛星影像完成各事件之山崩目錄建置 ● 實際山崩時間點調查：完成本年度研究區域內 126 處山崩時間點調查資料 ● 雨量資料蒐集與處理：購置調查點位周邊之雨量資料，並進行雨量資料分析 ● 山崩潛勢模式精進：以更新之資料建置各分區之山崩潛勢模式，並進行驗證 ● 山崩雨量門檻率定與防災應變規劃：率定各分區之山崩雨量門檻，並進行案例驗證 ● 即時展示技術規劃：完成展示技術建置，並於實際上線操作 ● 山崩災害資料建置：完成災害資料庫建置，並將調查資料全數建置完畢 ● 國際技術交流：完成交流規劃，並進行國際技術交流研討會與野外討論行程 ● 期末報告撰寫：完成期末報告初稿撰寫 ● 成果報告撰寫：完成成果報告撰寫 	完成		
預 算 執 行	已撥金額	執行金額	執行比率	
8,800,000	5,280,000	6,247,362	118.32%	

填表人：鄭錦桐 魏倫璋

承辦人：

摘要

本計畫旨在發展淺層岩屑崩滑型山崩之降雨警戒門檻，並建置山崩預警系統，以期達到邊坡土砂災害之防減災目的。計畫共計 4 年期程，自 100 年起至 103 年止分期分區進行研究，本(103)年度為計畫執行之第 4 年，主要針對臺灣東部及南部區域共計 48 幅 1/25,000 圖幅範圍進行調查與分析。為了防災實際操作之應用，本計畫已篩選出較易致災之約 18 萬個斜坡單元，並進一步挑選具有住戶之斜坡單元，以進行山崩潛勢模式之建置及山崩雨量門檻率定，作為災前整備參考資料。本計畫截至目前為止已透過野外調查蒐集超過 900 處山崩時間點資料，並針對各案例進行山崩時間點雨量分析工作，藉以獲知山崩與降雨量之關係，並利用相關案例建立山崩潛勢模式，提出山崩雨量門檻及防災應變之構想。最後，本計畫亦將野外調查成果進行「山崩災害歷史資料庫」建置，以利災害案例之蒐集與累積，並依據所發展之模式建構網頁式「降雨引發山崩預警資訊系統」，同時將相關防災資訊彙整於線上系統，提供公部門及行政機關參考使用，以強化國內廣域山崩預警防災應用模式。

關鍵字：山崩潛勢分析、山崩雨量門檻、降雨引發山崩預警資訊系統



ABSTRACT

This project proposes the rainfall threshold for slope units and establishes an early warning information system in regional scale for the purpose of preventing and reducing the losses caused by shallow landslides. The project is divided into 4 one-year segments from 2011 to 2014. In this year, the main study area consists of the area of southern and eastern Taiwan. For the purpose of practical application, the mountain area in Taiwan is separated into about 180,000 slope units and Logistic regression analysis is performed to evaluate the landslide susceptibility. The geological characteristics, mechanism and the occurrence time of landslides are well recorded for more than 900 cases through the field investigation and interview of residents, hence the relationship between landslides mechanism and rainfall factors are obtained to study their correlation and the rainfall threshold are also determined. Finally, both information systems including the “Landslide Cases Collecting System (LCCS)” and “Rainfall-induced Landslide Early Warning Information System (RiLEWIS)” have been built for the purpose of landslide early warning.

Keywords: landslide susceptibility analysis, rainfall threshold for landslides, rainfall-induced landslide early warning information system



目錄

摘要	ii
ABSTRACT	iii
目錄	iv
表目錄	viii
圖目錄	x
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫緣起與研究目的	1-1
1.2 計畫目標與工作範圍	1-2
1.3 本(103)年度工作項目與內容	1-5
1.4 工作架構與流程	1-8
1.5 工作期程與進度說明	1-11
1.6 國內外山崩潛勢分析方法文獻回顧	1-14
1.7 國內外山崩警戒雨量文獻回顧	1-21
1.8 計畫執行期間方法學精進歷程	1-40
1.9 計畫成果應用須知事項	1-43
第二章 資料蒐集與製作	2-1
2.1 基本資料蒐集與應用	2-1
2.2 地質分區劃設	2-4
2.3 颱風與豪雨事件	2-7
2.4 遙測影像資料	2-7
2.5 研究區介紹	2-9
2.5.1 地形	2-9
2.5.2 地質	2-11
2.5.3 環境地質災害	2-15



第三章 山崩目錄建置與查核	3-1
3.1 山崩目錄建置流程.....	3-1
3.2 山崩目錄野外查核.....	3-4
3.3 山崩目錄判釋成果.....	3-5
第四章 實際山崩時間點調查	4-1
4.1 實際山崩時間點調查規劃.....	4-1
4.2 實際山崩時間點品管流程.....	4-2
4.3 實際山崩時間點調查成果.....	4-5
4.4 近期新增山崩事件時間點調查.....	4-8
第五章 雨量資料分析	5-1
5.1 雨量資料蒐集.....	5-1
5.2 雨量資料檢核.....	5-3
5.3 雨量資料處理與分析.....	5-3
5.3.1 雨量空間內插.....	5-4
5.3.2 雨型分析.....	5-6
5.4 雨量資料分析成果.....	5-9
5.5 豪雨誘發山崩雨型特性探討.....	5-11
第六章 山崩潛勢模式精進	6-1
6.1 岩屑崩滑型山崩潛勢因子萃取及其物理意義.....	6-1
6.1.1 岩體強度分級.....	6-2
6.1.2 坡高與高程.....	6-3
6.1.3 坡度、坡度均勻度、邊坡陡坡比例.....	6-4
6.1.4 地形曲率.....	6-6
6.1.5 順向坡.....	6-7
6.1.6 斷層密度與褶皺密度.....	6-8



6.1.7 地形濕度指數	6-8
6.1.8 事件總累積雨量、連續最大 24 小時累積雨量、降雨強度、連續最大 3 小時平均雨量	6-8
6.2 山崩潛勢因子篩選	6-13
6.2.1 因子複選與決選流程	6-13
6.2.2 山崩潛勢分區	6-14
6.2.3 山崩潛勢因子篩選結果	6-15
6.3 山崩潛勢分析精進	6-18
6.3.1 山崩潛勢分析原則	6-19
6.3.2 潛勢分析方法與成果評估方法	6-20
6.3.3 山崩潛勢分析成果與驗證	6-22
第七章 山崩雨量門檻率定與防災應變規劃	7-1
7.1 山崩雨量門檻率定構想	7-1
7.2 山崩雨量門檻率定方法與流程	7-2
7.2.1 山崩雨量門檻降雨指標訂定	7-2
7.2.2 山崩災害規模分類	7-3
7.2.3 山崩災害發生機率	7-5
7.2.4 警戒燈號設定	7-6
7.3 山崩雨量門檻率定成果與驗證	7-7
7.4 防災應變構想	7-16
7.4.1 災前整備階段	7-17
7.4.2 災害預報階段	7-18
7.4.3 警戒與疏散避難	7-18
7.5 模式未來應用構想	7-19
7.5.1 土石流潛勢溪流集水區崩塌地	7-19



7.5.2 緊鄰山坡地之聚落	7-23
7.5.3 緊鄰山坡之道路	7-26
第八章 即時展示技術建置	8-1
8.1 系統平台發展環境設計	8-1
8.2 系統架構規劃	8-3
8.3 QPESUMS 介接作業及後續 QPF 介接規劃	8-14
8.4 系統品管計畫	8-20
第九章 山崩災害歷史資料建置規劃	9-1
9.1 系統開發環境	9-1
9.2 系統架構規劃	9-2
9.3 系統功能說明	9-4
9.4 資料庫設計與規劃	9-9
第十章 計畫成果推廣與國際技術交流	10-1
第十一章 結論與建議	11-1
11.1 總結	11-1
11.2 小結	11-1
11.3 建議	11-7
參考文獻	參-1
附錄一、一 委員審查意見與回覆	附錄 1.1-1
附錄一、二 委員審查意見與回覆(前期)	附錄 1.2-1(附於光碟)
附錄二 工作會議記錄	附錄 2-1(附於光碟)
附錄三 實際山崩時間點調查成果	附錄 3-1(附於光碟)
附錄四 各雨量站所需資料時間	附錄 4-1(附於光碟)
附錄五 岩屑崩滑山崩調查點雨量組體圖	附錄 5-1(附於光碟)



表目錄

表 1.2-1 工作範圍分區期程	1-3
表 1.4-1 本(103)年度工作項目與其細項.....	1-9
表 1.5-1 本(103)年度期末階段計畫工作時程與進度表.....	1-12
表 1.5-2 本(103)年度期末階段計畫工作成果彙整表.....	1-13
表 1.7-1 I-R 型臨界降雨系統.....	1-21
表 1.7-2 I-T 型臨界降雨系統.....	1-22
表 1.7-3 R-T 型臨界降雨系統.....	1-22
表 1.7-4 I-P 型臨界降雨系統.....	1-22
表 1.7-5 其他型臨界降雨系統.....	1-22
表 1.7-6 各種土石流發生警戒區域劃分研究方法之相關研究.....	1-24
表 1.7-7 日本空間域之土石流警戒區設置依據.....	1-26
表 1.7-8 各國災害應變機制之比較.....	1-27
表 1.7-9 臺灣山區道路坡地災害警戒方式.....	1-29
表 1.7-10 一級監控路段彙整表.....	1-31
表 1.7-11 日本臨界降雨量線參數組合.....	1-34
表 1.7-12 國外常用之山崩、土石流雨量門檻率定方式.....	1-37
表 1.8-1 計畫執行期間方法學精進歷程.....	1-41
表 2.2-1 地質分區劃設一覽表.....	2-5
表 2.3-1 歷史山崩發生時間點颱風資訊.....	2-7
表 2.5-1 研究區環境地質災害統計表.....	2-18
表 3.1-1 本(103)年度購置之衛星影像.....	3-2
表 4.3-1 100 年度至本(103)年度研究區域內山崩時間點調查數量統計.....	4-6
表 4.4-1 近期新增山崩事件一覽表.....	4-9
表 5.3-1 研究區域雨型統計表.....	5-7



表 5.5-1 梅姬、奈格、蘇拉、蘇力等颱風之區域性山崩災害雨量資料	5-14
表 5.5-2 實際山崩時間點雨型資料分析	5-15
表 5.5-3 實際山崩時間點各累積雨量參數變異係數分析	5-15
表 6.2-1 各區域之斜坡單元數量一覽表	6-17
表 6.2-2 各分區決選因子表	6-18
表 6.3-1 各分區因子係數表	6-25
表 6.3-2 分類誤差矩陣	6-25
表 6.3-3 各分區訓練結果之正確率與 AUC 值	6-26
表 6.3-4 各分區驗證結果之正確率與 AUC 值	6-26
表 7.2-1 臺灣中部地區山崩災害規模分類表	7-5
表 7.2-2 山崩雨量門檻警戒燈號表	7-7
表 7.3-1 北部區域山崩雨量門檻率定成果	7-11
表 7.3-2 中部區域山崩雨量門檻率定成果	7-11
表 7.3-3 南部區域山崩雨量門檻率定成果	7-11
表 7.3-4 東部區域山崩雨量門檻率定成果	7-11
表 7.3-5 全臺山崩雨量門檻率定成果	7-12
表 7.3-6 山崩雨量門檻驗證	7-14
表 8.1-1 平台支援瀏覽器列表	8-1
表 8.1-2 系統主機規格表	8-3
表 8.4-1 系統開發作業項目、方法與技術	8-20
表 9.1-1 平台支援瀏覽器列表	9-1
表 9.3-1 使用者角色及功能對照表	9-4

圖目錄

圖 1.2-1 100 至 103 年計畫工作期程圖	1-4
圖 1.4-1 計畫工作流程圖	1-10
圖 1.7-1 臺灣不同警戒區之劃設方式	1-23
圖 1.7-2 土石流警戒區發布模式	1-25
圖 1.7-3 各縣市累積降雨與坡地災害發生機率對照表	1-25
圖 1.7-4 土石流警戒區發布時機及警戒作為	1-26
圖 1.7-5 日本土石流及坡地災害之紅黃警戒區示意圖	1-26
圖 1.7-6 公路總局易致災路段分布圖	1-29
圖 1.7-7 交通部公路總局封路標準作業流程圖	1-30
圖 1.7-8 交通部公路總局封路標準作業流程圖	1-30
圖 1.7-9 日本政府臨界降雨量線示意圖	1-33
圖 1.7-10 日本各縣市臨界降雨量預警系統圖	1-34
圖 1.7-11 降雨逕流系統與水桶模式轉換概念圖	1-34
圖 1.7-12 傳統線性臨界降雨量線	1-35
圖 1.7-13 美國各州 I-D 型山崩警戒雨量線.....	1-38
圖 1.7-14 加拿大 I-D 型山崩警戒雨量線.....	1-38
圖 1.7-15 南歐地區 I-D 型山崩警戒雨量線.....	1-38
圖 1.7-16 義大利 I-D 型山崩警戒雨量線.....	1-38
圖 1.7-17 汶川地區 I-D 型山崩警戒雨量線.....	1-38
圖 1.7-18 義大利 E-D 型山崩警戒雨量線.....	1-38
圖 1.7-19 義大利 E-D 型山崩警戒雨量線.....	1-39
圖 1.7-20 法國南部 R-R 型山崩警戒雨量線.....	1-39
圖 1.7-21 日本 R-R 型山崩警戒雨量線.....	1-39
圖 1.7-22 浙江地區 R-R 型山崩警戒雨量線.....	1-39

圖 1.7-23 南韓地區 I-R 型山崩警戒雨量線.....	1-39
圖 2.2-1 地質分區空間分布圖	2-6
圖 2.5-1 研究區域之環境地質災害分布與空間之關係圖	2-19
圖 3.2-1 山崩現地查核操作流程圖	3-5
圖 3.3-1 敏督利颱風前(編號 1).....	3-6
圖 3.3-2 敏督利颱風後(編號 2).....	3-6
圖 3.3-3 海棠颱風後(編號 3).....	3-6
圖 3.3-4 六九豪雨後(編號 4).....	3-6
圖 3.3-5 聖帕颱風後(編號 5).....	3-7
圖 3.3-6 辛樂克颱風後(編號 6).....	3-7
圖 3.3-7 莫拉克颱風後(編號 7).....	3-7
圖 3.3-8 桃芝颱風前(編號 8).....	3-8
圖 3.3-9 桃芝颱風後(編號 9).....	3-8
圖 3.3-10 敏督利颱風前(編號 10).....	3-8
圖 3.3-11 敏督利颱風後(編號 11).....	3-8
圖 3.3-12 龍王颱風前(編號 12).....	3-9
圖 3.3-13 龍王颱風後(編號 13).....	3-9
圖 3.3-14 莫拉克颱風前(編號 14).....	3-9
圖 3.3-15 莫拉克颱風後(編號 15).....	3-9
圖 3.3-16 葛樂禮颱風前(編號 16).....	3-10
圖 3.3-17 葛樂禮颱風後(編號 17).....	3-10
圖 3.3-18 海棠颱風前(編號 18).....	3-11
圖 3.3-19 海棠颱風後(編號 19).....	3-11
圖 3.3-20 莫拉克颱風前(編號 20).....	3-12
圖 3.3-21 莫拉克颱風後(編號 21).....	3-12

圖 3.3-22 南瑪都颱風前(編號 22).....	3-13
圖 3.3-23 南瑪都颱風後(編號 23).....	3-13
圖 4.1-1 山崩時間點訪查流程	4-2
圖 4.2-1 實際山崩時間點品管操作流程圖	4-4
圖 4.2-2 實際山崩時間點現地調查表格範例	4-4
圖 4.2-3 比對土石流防災資訊網-重大土石災情報告之災害發生時間.....	4-4
圖 4.2-4 比對交通部公路防救災資訊系統之道路阻斷災害時間	4-5
圖 4.3-1 103 年度山崩時間點現地查核位置分布圖	4-7
圖 4.3-2 變質岩板岩區山崩現地查核案例照片	4-7
圖 4.3-3 西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區山崩現地查核案例照片	4-8
圖 5.1-1 計畫採用雨量站分布圖	5-2
圖 5.3-1 岩屑崩滑位置與鄰近雨量站	5-5
圖 5.3-2 C1V230 高中雨量站於莫拉克颱風期間之逐時雨量紀錄.....	5-5
圖 5.3-3 六種雨型分布	5-8
圖 5.3-4 無因次百分比雨型與六種設計雨型比較示意圖	5-8
圖 5.4-1 雨量組體圖(調查點 0005).....	5-10
圖 5.4-2 雨量組體圖(調查點 0045).....	5-10
圖 5.5-1 梅姬、奈格、蘇拉、蘇力等颱風之區域性山崩災害雨量組體圖	5-13
圖 5.5-2 各區域性降雨誘發山崩災害之降雨特性	5-16
圖 6.1-1 岩屑崩滑型山崩機制示意圖	6-10
圖 6.1-2 萃取斜坡單元內部網格示意圖	6-11
圖 6.1-3 坡高因子示意圖	6-11
圖 6.1-4 3 × 3 網格示意圖	6-12
圖 6.1-5 3 × 3 網格資料格式立體示意圖	6-12
圖 6.2-1 山崩潛勢因子篩選流程圖	6-16

圖 6.2-2 山崩鑑別能力優劣之因子示意圖	6-16
圖 6.2-3 山崩潛勢分區圖	6-17
圖 7.2-1 山崩雨量門檻降雨指標計算方法	7-3
圖 7.2-2 斜坡單元崩塌率與山崩潛勢值之關係	7-4
圖 7.2-3 山崩雨量門檻率定方法	7-6
圖 7.3-1 北部區域山崩雨量門檻率定成果	7-9
圖 7.3-2 中部區域山崩雨量門檻率定成果	7-10
圖 7.3-3 南部區域山崩雨量門檻率定成果	7-10
圖 7.3-4 東部區域山崩雨量門檻率定成果	7-10
圖 7.3-5 全臺山崩雨量門檻率定成果	7-10
圖 7.3-6 麥德姆颱風災情驗證成果	7-13
圖 7.3-7 山崩雨量門檻率定及警戒構想	7-16
圖 7.5-1 緊鄰土石流潛勢溪流保全住戶、道路與岩屑崩滑套疊圖	7-20
圖 7.5-2 土石流集水區崩塌地臨界降雨門檻評估流程	7-21
圖 7.5-3 土石流集水區崩塌地臨界降雨門檻評估試作	7-22
圖 7.5-4 緊鄰山坡保全住戶緩衝區、道路與岩屑崩滑套疊圖	7-24
圖 7.5-5 緊鄰山坡地之聚落山崩臨界降雨門檻評估流程	7-25
圖 7.5-6 緊鄰山坡地之聚落山崩臨界降雨門檻評估流程	7-26
圖 7.5-7 山區道路與斜坡單元套疊示意圖	7-28
圖 7.5-8 道路與斜坡單元套疊示意圖	7-28
圖 7.5-9 緊鄰山坡之道路臨界降雨門檻評估流程	7-29
圖 7.5-10 緊鄰山坡之道路臨界降雨門檻評估試作	7-29
圖 8.1-1 降雨引發山崩預警資訊系統軟、硬體架構配置	8-3
圖 8.2-1 系統架構圖	8-4
圖 8.2-2 即時展示技術專業應用版架構圖	8-4

圖 8.2-3 即時展示之入口首頁畫面	8-5
圖 8.2-4 警戒鄉鎮村里查詢成果畫面	8-6
圖 8.2-5 紅、黃警戒村里列表成果畫面	8-6
圖 8.2-6 農航所影像套疊畫面	8-7
圖 8.2-7 雨量組體圖開啟畫面	8-7
圖 8.2-8 I ₃ -R ₂₄ 圖顯示畫面	8-7
圖 8.2-9 公路里程查詢定位畫面	8-8
圖 8.2-10 行政區定位查詢定位畫面	8-8
圖 8.2-11 使用者管理畫面	8-8
圖 8.2-12 簡易版畫面	8-9
圖 8.2-13 簡易版行政區域查詢畫面	8-9
圖 8.2-14 簡易版土石流潛勢溪查詢畫面	8-9
圖 8.2-15 簡易版公路里程查詢畫面	8-10
圖 8.2-16 簡易版公路里程查詢畫面	8-10
圖 8.2-17 手機版查詢畫面	8-11
圖 8.2-18 手機版依行政區域查詢畫面	8-11
圖 8.2-19 手機版依土石流潛勢溪流查詢畫面	8-12
圖 8.2-20 手機版依公路里程查詢畫面	8-12
圖 8.2-21 手機版依坐標查詢畫面	8-13
圖 8.2-22 手機版依所在位置查詢畫面	8-13
圖 8.3-1 QPESUMS 安裝完成之平台介面	8-14
圖 8.3-2 QPESUMS 產品顯示	8-14
圖 8.3-3 FWTools 匯入參數提供參照	8-15
圖 8.3-4 資料庫建置成果	8-16
圖 8.3-5 動態雨量山崩潛勢圖資料介接整體流程	8-16

圖 8.3-6 QPESUMS 雨量資料轉換 ASCII 顯示	8-17
圖 8.3-7 QPESUMS 與空間相關之區域雨量分布資料.....	8-17
圖 8.3-8 QPESUMS 推送資料化算為雨量定位矩陣.....	8-17
圖 8.3-9 斜坡單元套疊分析演算邏輯	8-18
圖 8.3-10 以資料庫語法技術建立斜坡單元雨量動態資料主題圖	8-18
圖 8.3-11 本計畫中建立 OGC SLD 文件範例	8-19
圖 8.4-1 系統開發程序	8-21
圖 9.2-1 山崩災害歷史資料庫查詢系統整體架構示意圖	9-2
圖 9.2-2 山崩災害歷史資料庫功能架構圖	9-2
圖 9.2-3 資料查詢頁設計圖	9-3
圖 9.2-4 詳細資料頁設計圖	9-3
圖 9.3-1 山崩災害歷史資料之入口首頁畫面	9-5
圖 9.3-2 資料查詢頁畫面	9-5
圖 9.3-3 地圖瀏覽功能畫面	9-6
圖 9.3-4 詳細資料瀏覽畫面	9-7
圖 9.3-5 詳細資料編輯畫面	9-7
圖 9.3-6 詳細資料-地圖瀏覽畫面	9-7
圖 9.3-7 詳細資料-照片瀏覽、編輯畫面	9-8
圖 9.3-8 詳細資料-照片相簿模式瀏覽畫面	9-8
圖 9.3-9 詳細資料-文件匯出功能	9-9
圖 10-1 計畫團隊於 IAEG XII Congress 2014 研討會發表計畫研發成果	10-2
圖 10-2 2014 降雨引致山崩之觀測及警戒前瞻技術研討會現場實況	10-4
圖 10-3 南投廬山北坡現地勘查討論情形	10-6
圖 10-4 新北市烏來西羅岸現地勘查討論情形	10-6

第一章 緒論

1.1 計畫緣起與研究目的

經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)於91至95年完成為期5年之「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」,並於96至99年,延續完成為期4年之「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」與「高山聚落地區地質災害基本調查計畫」等計畫。其中「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」計畫,主要係針對都會區周緣坡地進行地質分區劃設、事件型山崩目錄建置與斜坡單元劃分等工作,並搭配各豪雨引致山崩事件之雨量資料,發展豪雨誘發山崩之潛勢評估模式,繪製都會區周緣坡地山崩潛勢圖,以加強落實災前整備之效能。而「高山聚落地區地質災害基本調查計畫」主要於高山聚落地區進行現場調查,結合地理資訊系統(GIS)與遙測影像進行環境地質災害判釋及敏感區劃設工作,並以野外調查與現地試驗檢核計畫成果,建置研究區範圍內「坡地環境地質基本圖」、「坡地環境地質災害敏感區分布圖」及「坡地岩體工程地質特性圖」等成果圖資。

本計畫以4年(100年至103年)為期,其主要為落實行政院災害防救委員會會議通過「第二期強化防災科技研發與落實運用方案-建構全國災害管理平台」及國科會「災害防救應用科技方案」,以提昇我國防災應用科技,應變體系作業之效能。而為能落實及延續前期成果之防災應用,本計畫將整合地調所前期執行「都會區周緣坡地山崩潛勢分析」及「高山聚落地區地質災害基本調查」等計畫之研發成果,持續精進臺灣山崩潛勢評估模式,並結合即時雨量資訊,研發動態雨量山崩潛勢即時展示資料庫與警戒模式,以達到實際落實應用之目標與加強落實防災預警之效能。由於岩體滑動較為複雜,落石則具有甚高之不確定性,故本計畫之對象係優先以岩屑崩滑為主。

1.2 計畫目標與工作範圍

本計畫自 100 年度起至 103 年底止總計 4 年度，以分年分區之方式完成山崩動態潛勢評估資料庫與警戒模式，103 年度預計完成目標說明如下：

- 一、基本資料蒐集。
- 二、地質分區劃設。
- 三、山崩目錄建置。
- 四、實際山崩時間點調查。
- 五、雨量資料蒐集與處理。
- 六、山崩潛勢模式精進。
- 七、山崩雨量門檻率定與防災應變規劃。
- 八、即時展示技術規劃。
- 九、山崩災害資料建置。
- 十、國際技術交流。

依據招標文件相關說明，本計畫預定執行時間為 4 年，自 100 年起至 103 年止(表 1.2-1、圖 1.2-1)。預定於 100 年至 103 年內，分期分區建立年度計畫範圍內之動態雨量山崩潛勢評估模式、動態雨量山崩潛勢即時展示資料庫，並研擬山崩雨量門檻率定方法與防災應變規劃。工作範圍分別為都會區周緣坡地 101 幅圖(100 年)、南部研究區 47 幅圖(101 年)、北部研究區 62 幅圖(102 年)、東南部研究區 48 幅圖(103 年)等區域範圍(1/25,000 比例尺)。本(103)年度計畫為第 4 年計畫，擬統合前三年相關成果，完成全臺地區之動態雨量山崩潛勢即時展示資料庫與山崩雨量門檻率定方法，執行期間為 103 年 2 月 5 日起算共計執行 11 個月至 103 年 12 月底止。

表 1.2-1 工作範圍分區期程

工作項目	年度	工作範圍	圖幅說明 (1/25000 經建版地形圖)
即時動態雨量山崩潛勢評估資料庫與降雨警戒模式	100	都會區周緣坡地(101 幅)	樹林、木柵、石碇、三重、臺北市、八堵、淡水、陽明山、基隆市、和平島、頭份、竹東、新竹市、新埔、溪頭、瑞竹、集集、竹山、埔里、中寮、南投、員林、大坪頂、國姓、霧峰、彰化、新社、臺中市、東勢、后里、斗六、屏東、里港、美濃、旗山、關廟、甲仙、北寮、新化、密枝、玉井、善化、大埔、白河、中埔、嘉義市、草嶺、竹崎、大林、南澳、蘇澳、三星、宜蘭、礁溪、外澳、大里、雙溪、澳底、大湖、苑裡、南庄、苗栗、白沙屯、竹南、龍潭、復興、桃園、南崁、岡山、知本、利嘉、臺東、瑞源、東河、關山、成功、富里、竹田、重安、玉里、長濱、三民、靜浦、鶴岡、光復、磯崎、豐山、水璉、銅門、花蓮、北埔、太魯閣、新城、田中、沙鹿、清水、羅東、三芝、富貴角、湖口、中壢
	101	南部研究區 (47 幅)	梨山、力行、霧社、蘆山、員林、南投市、中寮、埔里、萬大、田中、竹山、集集、日月潭、斗六、瑞竹、溪頭、巒安堂、大林、竹崎、草嶺、阿里山、同富、嘉義市、中埔、達邦、特富野、白河、大埔、新美、梅山、善化、玉井、密枝、民族、桃源、新化、北寮、甲仙、荖濃、關廟、旗山、美濃、六龜、岡山、里港、高雄市(南部)、屏東市
	102	北部研究區 (62 幅)	三芝、富貴角、淡水、陽明山、基隆市、和平島、南崁、三重市、臺北市、八堵、雙溪、澳底、湖口、中壢、桃園市、樹林、木柵、石碇、外澳、大里、新竹市、新埔、龍潭、復興、福山、烏來、宜蘭市、礁溪、竹南、頭份、竹東、內灣、三光、巴陵、天送埤、三星、羅東、白沙屯、苗栗市、南庄、清泉、新光、土場、樂水、古魯、蘇澳、苑裡、大湖、虎山、清水、后里、東勢、烏石坑、沙鹿、臺中市、新社、谷關、青山、彰化市、霧峰、國姓、大坪頂
	103	東南部研究區 (48 幅)	南澳、環山、大禹嶺、天祥、太魯閣、新城、北埔、銅門、花蓮、豐山、水璉、光復、磯崎、鶴岡、三民、靜浦、玉里、長濱、富里、竹田、重安、關山、成功、瑞源、東河、口社、利嘉、臺東、三地門、知本、潮州、來義、太麻里、林邊、南和、新生、大鳥、枋山、安朔、大武、楓港、牡丹、港仔、恒春、滿州、出風鼻、大光、墾丁

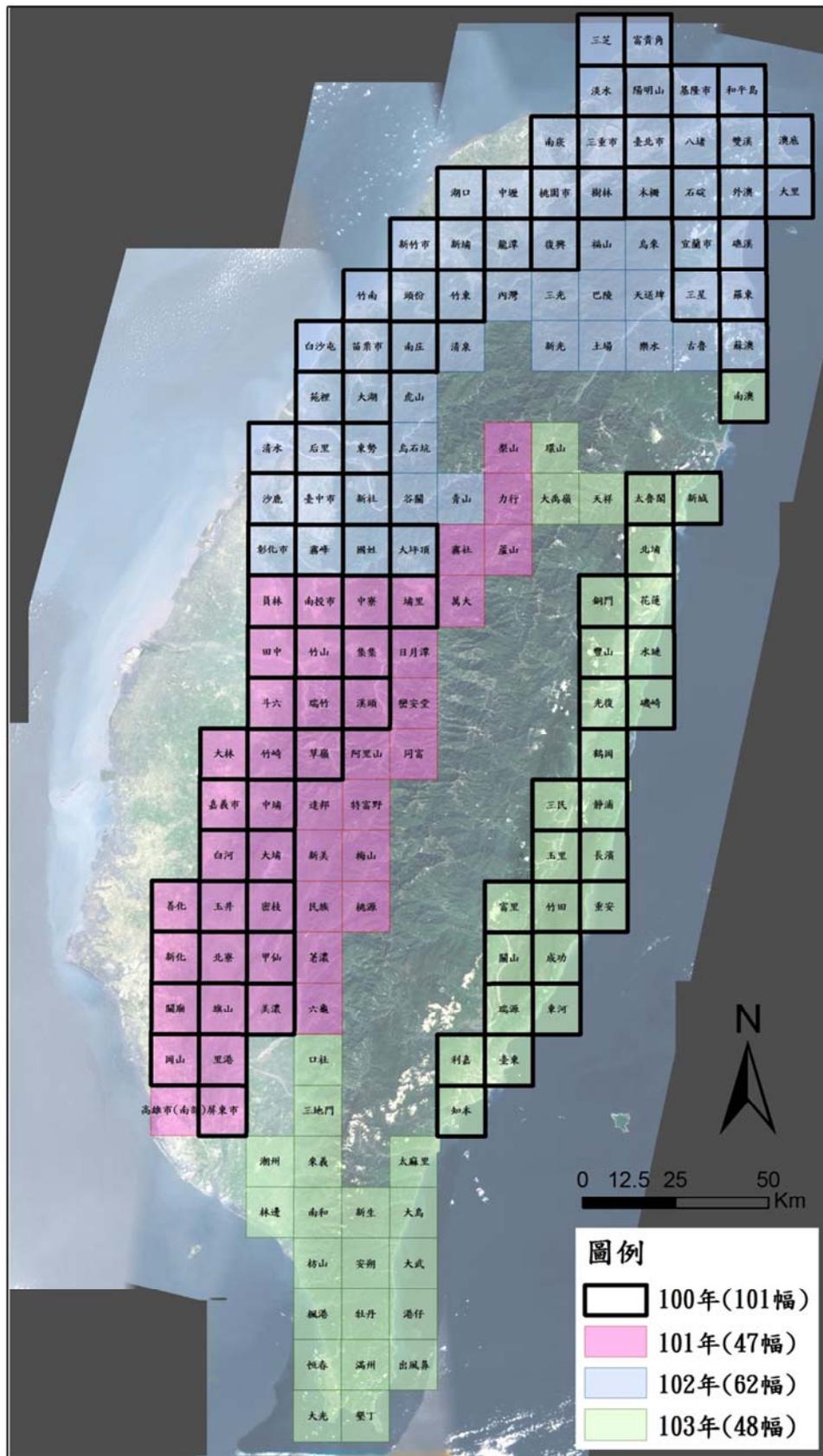


圖 1.2-1 100 至 103 年計畫工作期程圖

1.3 本(103)年度工作項目與內容

一、基本資料蒐集

1. 進行 GIS 圖層資料、山崩目錄資料、地質圖、環境地質圖、數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、前人文獻等基本資料之蒐集與整理。
2. 選購適切之豪雨事件遙測影像，以建立模式建置用之山崩目錄。

二、地質分區劃設

1. 依據「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」計畫提出之地質分區合併原則，進行全臺都會區與東南部高山區之地質分區劃設與合併，並以現地調查之岩屑崩滑型山崩資料，依其地質分區之地形、工程地質、各類型山崩分布等，說明各地質分區山崩發生條件物理特性。
2. 依據降雨型態分布、野外調查點分布之區位，於山崩潛勢模式精進時適當整合地質分區，以利模式準確性提升。

三、山崩目錄建置

1. 建置本(103)年度研究區域內之重大歷史颱風豪雨事件山崩目錄，用以精進與驗證山崩潛勢模式。
2. 針對前期計畫(96~99 年度)與本期計畫 100 年度已完成之歷史山崩目錄進行編修與調整，用以精進與驗證山崩潛勢模式。

四、實際山崩時間點調查

1. 針對計畫期程範圍內的山崩區位，進行 122 處歷史山崩時間點調查，並透過實地訪查蒐集實際山崩發生時間點資訊，藉此作為山崩潛勢模式精進之參考。

2. 針對本(103)年度發生較大規模或具有保全對象者之山崩災害，進行實際山崩時間點調查，除可得知更確切之時間點資訊外，亦可更加掌握山崩機制。
3. 於調查前，已制訂標準化之調查表格據以填寫，並預先規劃勘查路線，辦理現場調查作業前，亦先通知地調所視實際需要派員與勘。

五、雨量資料蒐集與處理

1. 彙整實際山崩時間點調查區位鄰近之中央氣象局雨量資料，並進行雨量空間分析工作，據以推估各調查點所在斜坡單元之累積雨量、降雨強度等資訊，並繪製雨量組體圖，作為後續山崩臨界雨量分析之參考依據。
2. 彙整全臺都會區周緣坡地之時雨量資料，補足全臺高山聚落地區缺漏之氣象局事件時雨量資料，建立全臺各事件之雨量空間分布，以利後續山崩潛勢分析。

六、山崩潛勢模式精進

此項工作主要針對高山區斜坡單元進行山崩潛勢因子製作，並針對研究區域內之地質分區進行山崩潛勢模式精進，工作項目及內容如下：

1. 山崩潛勢因子製作與篩選

- (1) 因子初選：將各因子歸納為地形、岩性、工程地質、水文及人為開發等五類。
- (2) 因子萃取：依照 99 年度「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」計畫因子萃取方法，進行潛勢因子處理與製作。

- (3) 因子複選：利用因子崩壞比曲線圖、因子成功率曲線圖、因子次數分布圖與 P-P plot 等圖形判釋方法判別因子對於山崩潛勢的貢獻度。
- (4) 因子決選：利用因子相關性分析，剔除獲選的複選因子中，彼此之間相關性較大的因子。

2. 山崩潛勢模式精進與驗證

- (1) 潛勢模式精進：將亂數選取與山崩資料筆數相同的非山崩資料與山崩資料進行分析後，採用統計分析方法，於不同分析區進行潛勢分析，推求各斜坡單元之潛勢值，並以分類誤差矩陣與成功率曲線檢驗模式準確率。
- (2) 潛勢模式驗證：以不同於訓練事件的事件山崩目錄及其雨量分布進行模式驗證，並視驗證結果回饋分析模式進行修訂與更新。

3. 動態雨量山崩潛勢模式精進與驗證

- (1) 利用山崩時間點調查結果所產製之雨量組體圖歸納其特性後，評估各山崩樣本臨界雨量，並搭配山崩潛勢值，進行各分區動態雨量山崩潛勢模式之精進。
- (2) 利用山崩目錄、雨量分布、現地查核之結果與模式分析結果進行比對，以驗證模式之準確性，若驗證成果不佳，則依模式建置流程重新檢視潛勢因子相關資料並進行修正；若驗證結果確認可行，則將模式建立於「即時展示技術」中，並進行資料測試。

七、山崩雨量門檻率定與防災應變規劃

103 年度持續山崩雨量門檻率定與防災應變規劃之應用發展，結合現有資料建立山崩警戒管理流程與模式、通報發布流程與標準作業程序等。並將其與 I-R 圖之預警方法進行整合，最後將其結合至動態雨量山崩潛勢即時展示資料技術。

八、即時展示技術規劃

本(103)年度開發即時展示技術之專業應用版與簡易查詢版兩種介面，專業應用版可提供內部計畫執行人員查詢山崩潛勢、衛星影像、山崩目錄等資訊；簡易查詢版則可提供縣市首長、外部人員村里長、道路管理單位、水土保持單位等取得管轄地區內之潛勢資訊。

九、山崩災害資料建置

本(103)年度已完成山崩災害資料建置，將本計畫所累積之野外調查成果系統性的彙整與保存，其資料包含案例發生之事件、時間、地點、照片及災情描述等，除有利於研究人員快速且便利之查詢外，亦為後續相關研究之重要參考案例，並可作為後續推廣使用。

十、國際技術交流

邀請國外相關專家學者來臺進行交流，協助地調所與國際相關單位建立國際技術交流合作管道。

1.4 工作架構與流程

本計畫主要工作項目包括：基本資料蒐集、地質分區劃設、山崩目錄建置、實際山崩時間點調查、雨量資料蒐集與處理、山崩潛勢模式精進、山崩雨量門檻率定與防災應變規劃、即時展示技術規劃、山崩災害資料建

置、國際技術交流、完成各階段報告等(表 1.4-1)，詳細計畫工作流程如圖 1.4-1 所示。

表 1.4-1 本(103)年度工作項目與其細項

項次	本(103)年度工作項目	工作項目之細項
一	基本資料蒐集	1.基本資料蒐集與整理 2.選購山崩潛勢模式精進用之遙測影像
二	地質分區劃設	1.都會區與高山區地質分區劃設與合併 2.適當整合地質分區，提升模式準確性
三	山崩目錄建置	1.遙測影像融合及色彩增揚 2.利用購置之遙測影像建置山崩目錄
四	實際山崩時間點調查	1.完成 126 處實際山崩時間點調查 2.本(103)年度期程內重大災害調查
五	雨量資料蒐集與處理	1.調查點鄰近雨量站資料購置 2.調查點雨量空間分析及雨量參數計算
六	山崩潛勢模式精進	1.山崩潛勢因子製作與篩選 2.彙整並精進山崩潛勢模式 3.推估各斜坡單元山崩累積雨量值 4.動態雨量山崩潛勢模式精進 5.模式驗證比對
七	山崩雨量門檻率定與防災應變規劃	1.山崩雨量門檻率定 2.防災應變初步規劃
八	即時展示技術規劃	1.專業應用版介面開發 2.簡易查詢版介面開發 3.技術測試與應用
九	山崩災害資料建置	1.整合既有山崩災害調查資料 2.山崩災害資料建置、測試及推廣
十	國際技術交流	1.邀請國外專家學者來臺進行技術交流，使計畫成果與國際進展接軌。
十一	完成各階段報告	1.每月完成月進度報告 2.完成期中報告、期末報告、成果報告及總報告

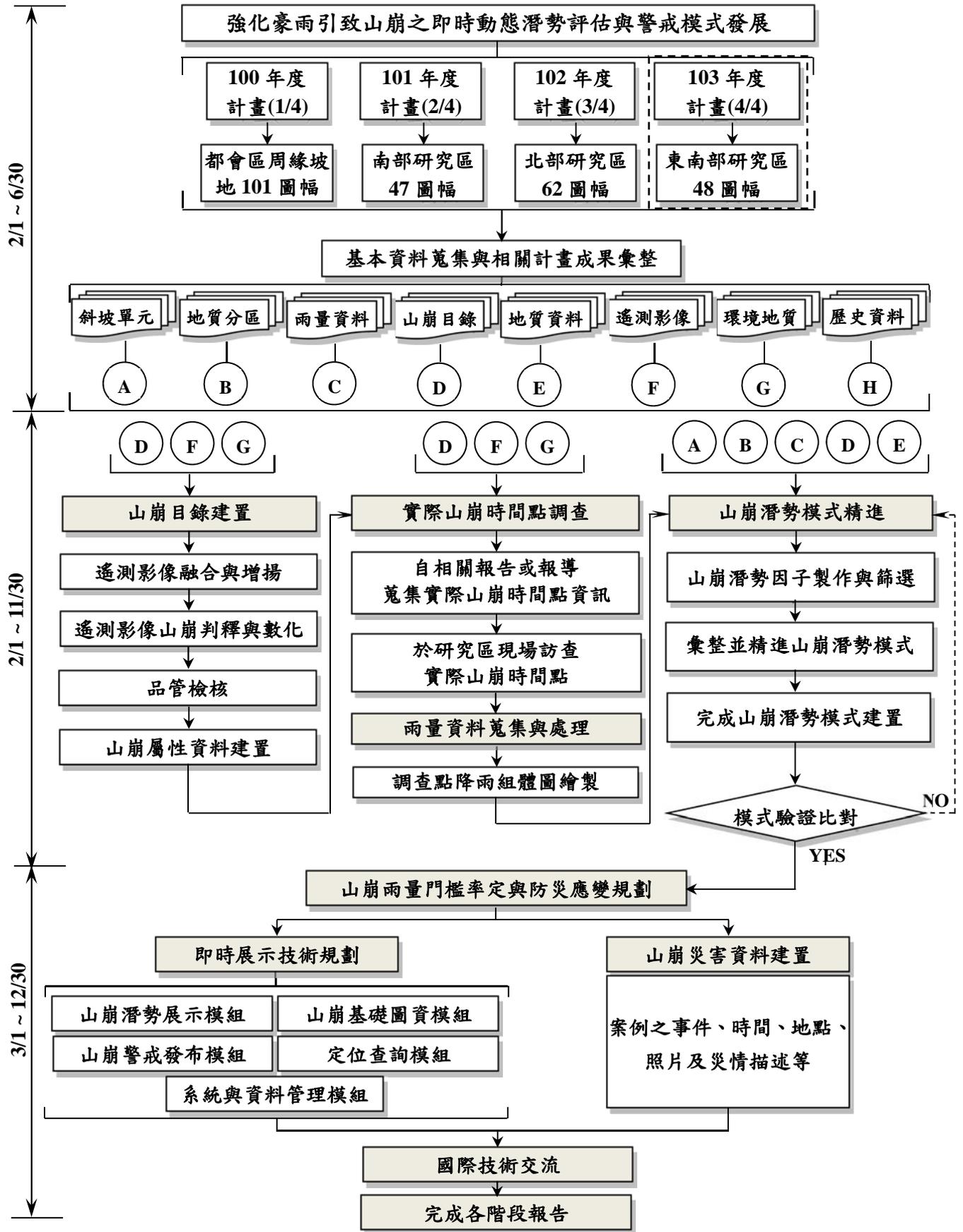


圖 1.4-1 計畫工作流程圖

1.5 工作期程與進度說明

本計畫工作進度控制共分 12 部分，分別為(1)前期作業；(2)基本資料蒐集；(3)地質分區劃設；(4)山崩目錄建置；(5)實際山崩時間點調查；(6)雨量資料蒐集與處理；(7)山崩潛勢模式精進；(8)山崩雨量門檻率定與防災應變規劃；(9)即時展示技術規劃；(10)山崩災害資料建置；(11)國際技術交流；(12)提送報告。工作項目與時程進度如表 1.5-1，期末階段完成之成果如表 1.5-2 所示。

本計畫不定期與地調所進行討論會議或工作會議，隨時針對工作成果進行討論與決議，截至期末階段共已舉行 8 次討論會議與 1 次工作會議，各會議紀錄詳附錄二。

表 1.5-1 本(103)年度期末階段計畫工作時程與進度表

工作項目			月次	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月		
			二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月			
1	前期作業	合約訂定期程														
		實際執行進度	■	■												
2	基本資料蒐集	合約訂定期程														
		實際執行進度	■	■												
3	地質分區劃設	合約訂定期程														
		實際執行進度	■	■												
4	山崩目錄建置	合約訂定期程														
		實際執行進度	■	■	■	■	■	■								
5	實際山崩時間點調查	合約訂定期程														
		實際執行進度	■	■	■											
6	雨量資料蒐集與處理	合約訂定期程														
		實際執行進度		■	■	■	■									
7	山崩潛勢模式精進	合約訂定期程														
		實際執行進度		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
8	山崩雨量門檻率定與 防災應變規劃	合約訂定期程														
		實際執行進度			■	■	■	■								
9	即時展示技術規劃	合約訂定期程														
		實際執行進度	■	■	■	■	■									
10	山崩災害資料建置	合約訂定期程														
		實際執行進度	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
11	國際技術交流	合約訂定期程											△			
		實際執行進度											▲			
12	提送 報告	月進度報告	合約訂定期程	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
			實際執行進度	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		期中報告撰寫	合約訂定期程													
			實際執行進度				■	■								
		期末報告撰寫	合約訂定期程													
			實際執行進度										■	■	■	■
		成果報告撰寫	合約訂定期程													
			實際執行進度												■	■
		總報告撰寫	合約訂定期程													
			實際執行進度													■
累積進度(累積百分比)			13	29	42	55	66	71	76	81	87	95	100			

表 1.5-2 本(103)年度期末階段計畫工作成果彙整表

項次	工作項目	進度說明
1	前期作業	已於二月底擬定工作計畫書，並完成計畫書審查與簽約相關事項。
2	基本資料蒐集	1. 已完成 GIS 圖層資料、山崩目錄資料、地質圖、環境地質圖、數值高程模型、前人文獻等基本資料之蒐集與整理。 2. 已完成模式建置及驗證用遙測影像(SPOT5)之購買。
3	地質分區劃設	1. 已完成本(103)年度研究區域內之地質分區劃設。 2. 已依據模式分析需求進行整併。
4	山崩目錄建置	1. 已完成各期山崩目錄之建置。 2. 已針對前期計畫(96~99 年度)與本期計畫已完成之歷史山崩目錄進行編修與調整。
5	實際山崩時間點調查	1. 已完成山崩時間點文獻資料蒐集與彙整。 2. 已完成 126 處岩屑崩滑案例之實際山崩時間點調查。
6	雨量資料蒐集與處理	1. 已完成 126 處調查點之雨量資料購買、檢核等工作。 2. 已完成 126 處調查點之空間內插、雨場分割與雨型分析，並計算各調查點之山崩雨量相關參數(累積雨量、降雨強度等)。
7	山崩潛勢模式精進	1. 已完成山崩潛勢因子製作與篩選。 2. 已完成山崩潛勢模式精進。 3. 已完成山崩潛勢模式驗證。
8	山崩雨量門檻率定與防災應變規劃	1. 已完成各分區之山崩雨量門檻率定。 2. 已提出山崩警戒管理流程與通報發布流程。
9	即時展示技術規劃	1. 已完成專業應用版之功能。 2. 已完成簡易查詢版(含手機查詢版頁面)之功能。
10	山崩災害資料建置	已完成山崩災害資料庫之建置。
11	提送報告	每月均提送月進度報告，並已完成期末報告初稿撰寫。

1.6 國內外山崩潛勢分析方法文獻回顧

山崩係綜合諸多因子(如地文、水文、人文等類型因子)之自然現象所反映而成。以廣域山崩潛勢分析方法(Landslide Susceptibility Analysis, LSA)大體上可區分為定性與半定量法、定量法兩大類。而定量法又包括了統計分析、人工智慧之運用及定率分析等三類。近十餘年來，由於 GIS 的普及加上數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)的精緻化，大幅增進地形因子之萃取效率，強化山崩潛勢模式之建置。茲將各種分析方法分別敘述如下：

一、定性與半定量分析法

定性與半定量分析分為地形判釋法及專家評分法兩種，說明如下：

地形判釋法：係由專家依照經驗直接進行地形判釋及劃設山崩潛勢區(Carrara and Merenda, 1974; Meneroud and Calvino, 1976; Kienholz, 1978; Kienholz et al., 1988; Ives and Messerli, 1981; Hansen, 1984; Varnes, 1984; Rupke et al., 1988)。地形判釋法之優勢在於潛勢圖與判釋成果，具備專家多年之判釋與調查經驗，可靠度較高；其缺點為主觀性太強，不同專家所產製之山崩潛勢區難以比較，且潛勢圖亦不容易更新。

專家評分法：係依照專家經驗，歸納歷史實際之山崩情形，給予各山崩潛勢因子相對之排序，及賦予各因子之權重值，最後將各因子疊合，計算最終之山崩潛勢值(Landslide Susceptibility Index, LSI) (Stevenson, 1977; Ives and Bovis, 1978; Sidle et al., 1985)。專家評分法之優點為程序簡便，具備專家多年之調查經驗與研究成果；然其缺點是人為給定之權重及因子評分不夠客觀，於不同地質、地形或促崩因子條件上，不一定適用專家評分規則。

國內相關山崩潛勢研究與應用領域上，張石角(1980)曾於都市坡地利用潛力調查與製圖計畫中，以工程地質因子及動態地形因子，並利用線性組合法繪製工程地質圖及工程風險率。王鑫(1981)以地景法研究阿里山公路沿線之地形、地質因子及繪製不穩定邊坡分布圖。陳振華及潘國樑(1985)於全臺都會區環境地質資料庫中，以岩性、坡度、災害為因子，利用因子組合法進行山崩潛勢分析及土地利用潛力評估，將山崩潛勢分為低、中低、中高與高潛勢等四級，並製成 1/5,000 比例尺之山崩潛勢圖(Landslide Susceptibility Map, LSM)圖集。陳凱榮(2000)採用岩石工程系統及落石危害度評分系統，針對中橫公路東勢到德基段進行山崩潛勢分區，亦為專家評分法之一種。

而中央地質調查所於 2002 至 2010 年建置之整合性環境地質資料庫圖集，則根據各種環境地質因子之套疊分析，評估坡地上具有自然發生，或容易因人為不當活動而產生地質災害之潛勢地區。評估地質災害潛勢區之環境地質因子包括基本圖中各種可能致災因子、岩性組合與岩體強度之工程地質參數、DTM 之 10m*10m 網格計算所產生的坡度條件等，依地形單元劃分概念，將上述設定的判斷條件置入，以專家評估法訂定高、中、低等潛勢劃設規則，劃設坡地地質災害潛勢區。

二、定量法-統計分析

統計分析法(statistic analysis)係分析某一地區山崩地點及非山崩地點之因子組合及其統計參數特性，再以適當之線性方程式計算全區各網格之山崩潛勢值，並用來預估目前尚未發生山崩但具有相似因子組合特性之山崩可能性，建立山崩潛勢模型(Brabb et al., 1972; Brabb, 1984; Yin and Yan, 1988; Kobashi and Suzuki, 1988; Chung and Fabbri, 1993 ;Chung and Fabbri, 1999; Lee et al., 2002; Duman et al., 2005; Chung, 2006; Lee and Huang , 2007; 鄭元

振，1992；林中興，1994；簡李濱，1992；蘇苗彬，1998；林書毅，1999；許煜煌，2002；林彥享，2003；黃春銘，2005)。運用於山崩潛勢分析的統計方法主要包括多變量分析(multivariate analysis)中的羅吉斯迴歸(logistic regression)、判別分析(discriminant analysis)及條件機率分析(conditional probability)等。各統計方法主要評估各因子間之權重值，再利用線性疊加法計算各網格之山崩潛勢值及完成山崩潛勢圖製作(Jones et al., 1961; Brabb et al., 1972; Neuland, 1976; Kobashi and Suzuki, 1988; Yin and Yan, 1988; Carrara, 1983, 1988; Carrara et al. 1991, 1999; Koukis, 1991; Hearn, 1995; Lee and Min, 2001)。

統計分析方法之計算模式較為複雜，資料的需求量較大，但較為客觀之模式建置與山崩潛勢評估為其優勢。其中，判別分析及羅吉斯迴歸分析可有效處理因子相依性之問題及獲得較為合理之因子權重值。於國內相關研究方面，鄭元振(1992)運用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)萃取最小邊坡單元，並以條件機率法將山崩潛勢因子之評分及權重定量後進行疊加。簡李濱(1992)則將研究區域劃分為格網，並以不安定指數法進行區域性山坡穩定評估。陳永寬、賴晃宇(1994)則以坡度梯度、剖面曲率、平面曲率、上坡流域面積及蝕溝指數等五種因子由三階 Lagrange 多項式推估地景形態參數，並用在山崩潛勢評估。林中興(1994)使用條件機率法，以水系的距離、坡度、坡型等因子針對梨山地區進行山崩潛勢分析。游中榮(1995)則利用卡方檢定值評估因子間的權重，並針對北橫公路復興至巴陵段進行山崩潛勢研究。黃士昌(1998)利用日本點數法、模糊集理論法及多變量分析法進行崩壞潛勢值分析。林書毅(1999)利用多變量分析法中的主成份分析法對各項因子進行轉換，嘗試解決因子間相依性的問題。林昆賢(2001)針對南橫公路埡口至海端段以多變量分析法求取其不安定指數後，判定沿線各崩塌處之危險程度。Lee et al(2004)運用判別分析方法在國姓地區進行

山崩潛勢分析，繪製集集地震、桃芝及賀伯颱風等促崩事件之山崩潛勢圖。另 Stark et al.(2009) 根據山崩目錄歸納出崩塌面積與體積，以指數律(power law)型式分析山崩面積機率分布關係。Ghosh et al.(2012) 則採用多期山崩目錄之數化資料，以 Inverse-Gamma 與 Double Pareto 擬合對喜馬拉雅山區的山崩事件研析後，產製相關事件型的山崩災害空間分布圖與危害度歸納。

而中央地質調查所於 2007 至 2010 年建置之都會區周緣坡地山崩潛勢圖，則依據不同地質分區篩選不同因子進行套疊分析，建置 15 個地質分區山崩潛勢模式，並依其山崩特性訂定高、中、低等潛勢基準，繪製 1/25,000 比例尺之山崩潛勢圖(中央地質調查所，2007、2008、2009、2010)。然而，採用統計方法建置之山崩潛勢模式之劣勢，包含訓練樣本數量與代表性不足等缺點，仍需經依賴完整且長時間的資料蒐集與整理，方可建置出可靠之統計模式。

三、定量法-人工智慧分析法

隨著近年來人工智慧分析技術的演進，已有一些學者開始將其方法應用在 LSA 之上。其中，最具代表性之方法為類神經網路(neural network)及模糊集(fuzzy set)之應用。許琦(1989)考慮地形、地質、環境、水文四大類共十七個因子，以模糊集進行山崩潛勢分析。吳少明(1993)引用邏輯關係組合法中的層級規則組合法，對高雄甲仙地區進行山崩潛勢及開發適宜性分析。謝獻仁(1998)利用類神經網路分析中橫谷關-德基水庫間落石坡危險度。楊智堯(1999)針對高雄縣岡山及楠梓地區，利用類神經網路求取各個山崩潛勢因子與破壞潛勢值之間的關係。王淑慧(2000)利用類神經網路預測道路邊坡落石坍方。周晏勤(2000)在南橫公路甲仙到埡口段，利用多變量分析方法與類神經網路法進行邊坡破壞因子之分析。謝豐隆(2000)則在中橫公路利用類神經網路方法建立落石危害度等級評估模式及降雨引致落石危險度之評

估模式。藍世欽(2000)針對南橫公路甲仙—梅山路段，以道路邊坡的工程地質因子，利用類神經網路及多變量分析法進行研究。Lee et al.(2001)針對韓國 Yongin 地區，建立地理人文及環境資料庫，以其中的坡度、坡向、曲率等七項因子與山崩潛勢值進行類神經網路學習，並回想得到區域內的山崩潛勢圖。王智仁(2001)利用類神經網路進行南橫公路邊坡穩定評估。林信亨與林美聆(2002)則利用 GIS 及類神經網路進行土石流危險溪流危險度判定。陳志豪(2002)針對南橫公路東段變質岩邊坡地區，以類神經網路進行道路邊坡破壞潛勢分析。吳振威(2003)利用多變量區別分析及類神經網路分析南部國道 3 號之公路邊坡，了解各因子對於公路邊坡淺層穩定之影響。林彥享(2003)則以類神經網路探討山崩發生與山崩潛勢因子間之關係，並首度引用模糊隸屬函數的觀念於山崩潛勢分析，建立一套人工智慧方法的山崩潛勢分析模式。

而人工智慧分析法所建置之山崩潛勢模型，優勢在於模式訓練具備適應性學習能力、預測準確度較高、能解決高度非線性之複雜問題等；其缺點包含模型建置與訓練較為費時、相當耗費電腦資源、模型權重與模式本身為隱性等，故其缺乏潛勢因子解釋能力，導致山崩潛勢評估結果不易解釋說明。

四、定量法-定率分析法

定率分析法(deterministic analysis)主要以山崩物理及力學機制為基礎，利用無限邊坡法(infinite slope stability model; Lambe, 1979)，找出促成山崩發生之臨界方程式。此法基本上是假定山坡不穩定可以簡化為獨立點之平面滑動模式，並以極限平衡法(Limit Equilibrium Method, LEM)計算該點之安全係數。定率法多用於特定豪雨誘發山崩或地震誘發山崩之研究(Sidle, 1985;游繁結, 1996;朱聖心, 2001;鄭傑銘, 2003; 陳憶璇, 2002;廖啟雯, 2004;

張芳銘，2005)，其缺點為全區邊坡材料強度資料、地下水文資料及滑動深度不易取得，而有賴分析前先進行強度參數之反算(back analysis)及水文參數與滑動深度之評估工作(李錫堤，2009)。

於地震誘發山崩方面，無限邊坡模式可提供仿靜態之邊坡穩定分析。但近年來國外對於地震誘發山崩分析已普遍採用所謂的 Newmark 位移法(Newmark, 1965; Jibson et al., 1998; Jibson et al., 2000; Keefer, 2000)。為了評估地震誘發山崩的機率，一般均以 Newmark 永久位移值對應實際測繪之地震誘發山崩崩壞比進行迴歸，找出其關係式。永久位移值與山崩崩壞比之關係建立後，即可用來進行區域性地震誘發山崩機率圖之繪製。在國內相關研究方面，朱聖心(2001)、陳憶璇(2002)、鄭傑銘(2003)、李馨慈(2004)等人均使用 Newmark 位移法進行地震誘發山崩之評估。Liao and Lee(2004)結合位移法地震誘發山崩分析及地震危害度分析，提出一套機率式地震誘發山崩危害度分析之評估方法及流程，並以集集地震實際誘發之山崩案例進行驗證。

於豪雨誘發山崩方面，水文參數方面主要考慮地下水位之變化。Luzi and Pergalani (2000)以無限邊坡法及一般切片法(ordinary slices method)，嘗試製作義大利 1/50,000 比例尺之安全係數分布圖。分析時地下水位分別考慮完全飽和及完全乾燥兩種情況，並假設邊坡土體凝聚力為零，故安全係數不受滑動深度之影響。朱聖心(2001)以無限邊坡安全係數之概念，分析天祥地區及中橫公路東段，評估 1995 年安珀颱風誘發山崩之潛勢分布。其模式中滑動深度取固定值 4 m，坡度則以農林航測所 40m*40m DTM 求得；其地下水位變化假設為累積雨量、入滲係數、土層厚度及孔隙率之函數。陳憶璇(2002)以 1996 年賀伯颱風及 2001 年桃芝颱風為災害研究事件，其滑動深度假設為坡度的函數而呈線性變化，以同樣之無限邊坡模式及地下水

變化方式進行分析。[Casadei et al.\(2003\)](#) 蒐集時雨量資料，結合無限邊坡理論與動力、空間分佈(spatially distributed)之地下水流動模式，用以預測崩塌之區位與時機。[Baum et al.\(2002\)](#) 以 Fortran 程式撰寫一套結合無限邊坡理論與降雨入滲造成孔隙水壓變化之模式，以計算邊坡安全係數之變化情形，此模式稱為 TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Model)。[Kelfoun et al. \(2005, 2008\)](#) 假設崩滑土體發生在許多薄層網格上，並以顆粒流(granular flow)運動之概念採用質量與動量守恆的深度平均公式(depth-average equation)來推估網格內的崩滑深度。此模式忽略孔隙水壓力，以主、被動土壓力係數與邊界摩擦條件求解摩擦域(friction dominant)下的崩滑運動。該模式目前已成功地應用於岩屑崩滑、土石流、火山碎屑流與崩塌誘發海嘯等地質災害。

以定率法評估斜坡單元山崩潛勢之相關研究甚少，[Xie et al.\(2004\)](#) 曾提出斜坡單元為基本單元，結合三維定率法模式，做為斜坡單元潛勢分析之基礎。[馮正一等人\(2006\)](#) 亦以斜坡單元為基本單元，將其斜坡單元分成土壤與岩石兩種材料。其中，岩坡部分利用 Generalized Hoek-Brown criterion ([Hoek et al., 2002](#)) 岩石破壞經驗準則，進行力學強度參數轉換；土壤部分主要根據 [Rodriguez et al.\(1986\)](#) 建立之土壤力學參數。並根據 [Hovland \(1977\)](#) 定率法模式，評估各斜坡單元之穩定性。

關於降雨入滲方面，已有相關研究探討不飽和土壤邊坡之入滲與破壞行為([Fredlund and Rahardjo, 1993](#); [Iverson, 2000](#); [Tarantino and Bosco, 2000](#); [JIA et al., 2009](#); [Tsai and Wang, 2011](#))。其中，[Tsai \(2011\)](#) 利用 [Iverson \(2000\)](#) 水文地質模式結合無限邊坡法，求取降雨入滲對於邊坡穩定之解析解。並降雨類型區分為均勻分佈(uniform)、前峰式(advanced)、中峰式(central)、後峰式(delayed)等四種雨型進行討論，其結果顯示均勻分佈雨型導致邊坡破壞

之門檻最低，而後峰式雨型為最高。然而，考量不飽和邊坡之穩定模式參數甚多，對於廣域山崩潛勢分析上較不適用。

1.7 國內外山崩警戒雨量文獻回顧

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 1.7-1 至表 1.7-5 所示。

表 1.7-1 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)	Ie(有效降雨強度)	Rte(總有效累積雨量)	Ie=a*Rte+c
	江興林(1991)	Ie(有效降雨強度)	Re(有效累積雨量)	Re=a+c*Ie
	范正成(1996-1998)	Ie(有效降雨強度)	Re(有效累積雨量)	Ie=a*Re+c
	詹錢登等(2004)	I(降雨強度)	Rte(總有效累積雨量)	RTI=I*Rte
國外	瀨尾克美與 船崎昌繼(1978)	Ie(有效降雨強度)	Re(有效累積雨量)	Re=a+c*Ie
	譚萬沛(1991)	I(降雨強度)或 I10(10分鐘降雨強度)	Rte(總有效累積雨量)	I10=a*Rte+c I=a*Rte+c

表 1.7-2 I-T 型臨界降雨系統 (整理自李明燾, 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)	$I^* = 14.82 \times T^{*-0.39}$
	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)	$(I^* - I_L) \times T^* = Q_c$

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 1.7-3 R-T 型臨界降雨系統 (整理自李明燾, 2006)

以累積雨量(R)與降雨延時(T)為臨界指標				
	作者	累積雨量(Re)	降雨延時(T)	臨界降雨關係式
國內	范正成等人(1999)	Re(有效累積雨量)	Te(有效降雨延時)	Re=238.7-16.15×Te
	范正成等人(2002)	Re(有效累積雨量)	Te(有效降雨延時)	Re=-0.487Te-0.05Z+234(地震前) Re=-0.487Te-0.05Z+234- a×e^(b×PGA)×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 1.7-4 I-P 型臨界降雨系統 (整理自李明燾, 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 分鐘激發雨量前至降雨開始的累積雨量)+ P_{20} (發生當日前 20 天之累積雨量)	$I_{10} = 5.5 - 0.091 \times (P_{10} + P_{20}) \geq 0.5$

表 1.7-5 其他型臨界降雨系統 (整理自李明燾, 2006)

以其他降雨參數為臨界指標				
	作者	土石流發生前之累積雨量	各地區之平均年降雨量	臨界降雨關係式
國外	瀨尾克美與船崎昌繼(1973)	R_a	MAP	$R_a = 0.35 \times (MAP) - 270$
	作者	土石流發生臨界日雨量	平均兩天降雨量	臨界降雨關係式
	Wilson(1997)	R_c	RDN	$R_c = N_c \times (RDN)$ $N_c =$ 臨界降雨參數 $RDN = MAP / \#RD_s$ $\#RD_s =$ 平均年降雨天數

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：

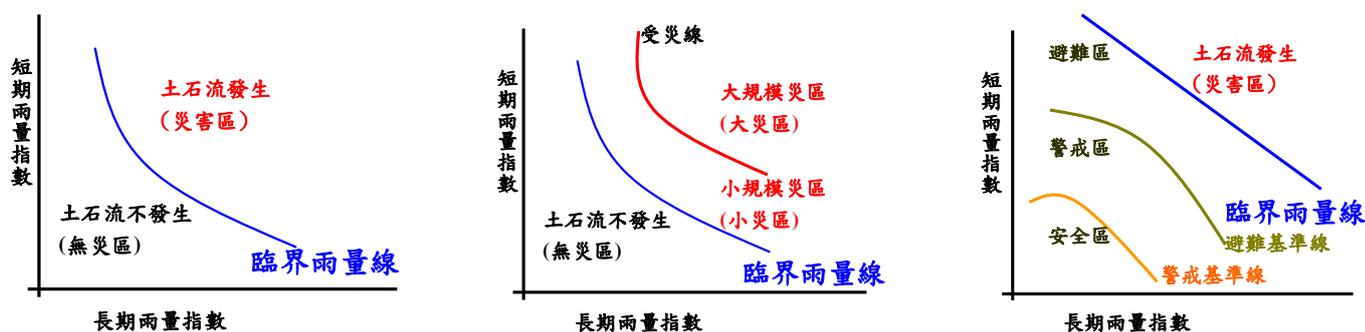
一、臨界降雨量前人研究

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。

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。

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。



(a) 警戒區單線法劃分原則

(b) 警戒區雙線法劃分原則

(c) 警戒區參線法劃分原則

圖 1.7-1 臺灣不同警戒區之劃設方式(詹錢登等，2003)

表 1.7-6 各種土石流發生警戒區域劃分研究方法之相關研究
(整理自 李明熹, 2006)

警戒線	警戒區域劃分	作者
單線法	土石流不發生區 (無災區) 土石流發生區 (災害區)	Caine (1980)、Cannon-Ellen (1985)、Kefer 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)
雙線法	土石流不發生區 (無災區) 土石流發生區 (大災區) (小災區)	網干壽夫 (1973) 吳積善 (1990)
三線法	土石流不發生區 (安全區) (警戒區) (避難區) 土石流發生區 (災害區)	瀨尾克美與橫部幸裕 (1978) 謝正倫(1993, 1995)

二、國內臨界降雨量警戒發布機制沿革

國內臨界降雨量系統，主要是針對土石流災害設定，其臨界降雨量警戒發布機制沿革，大致可分為三個不同尺度：

1. 以鄉鎮為警戒區發布範圍：

以有效累積雨量及降雨強度為指標，如圖 1.7-2 所示，以鄉鎮訂定不同警戒值，進行區域性土石流警戒之觀測。警戒操作上係以臨界雨量線之有效累積雨量及有效降雨強度之交點做為警戒基準值，警戒基準值累積雨量約在 150mm 至 455mm 之間，降雨強度界於 15mm/hr 至 40 mm/hr 之間。然而部分鄉鎮或村里內無任何雨量站可供分析，如欲要求以村里為警戒單元，需取得雨量資料進行評估分析。國家災害防救科技中心(以下簡稱

NCDR)亦以鄉鎮作為災害警戒發布單位，利用總累積降雨進行 Logistic 迴歸統計分析，得到每一縣市坡地災害超過 50%之發生機率作為警戒門檻值(圖 1.7-3)。同時視各鄉鎮過去發生災害潛勢高低(歷史災害發生次數)、位於山區聚落與否、對外通道條件(孤島效應)等因素，若存在以上因素則下修鄉鎮的坡地災害發生機率警戒值(30-50%，如那瑪夏區南沙魯、瑪雅以及達卡努瓦里等)。反之，北部地區因其防災設計標準較高，且山坡地復育較為良好，坡地災害發生機率警戒值可依情況上修 60%至 90%做為防災操作之門檻值(林聖琪，2009)。

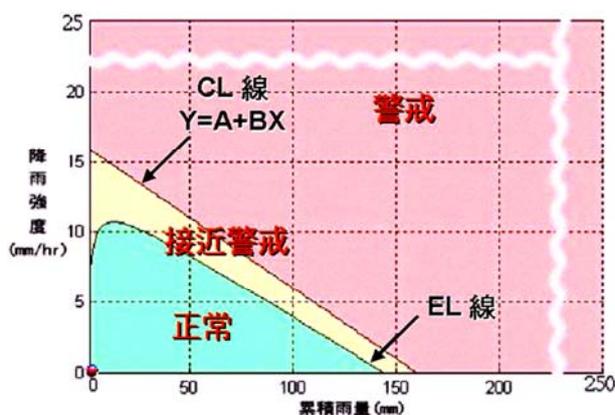


圖 1.7-2 土石流警戒區發布模式
(摘自水土保持局，2004)

縣市	警戒值	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
北北基	400	106	150	200	270	340	430	565
桃園縣	300	100	180	310	445	600	720	1040
新竹縣	300	120	210	290	370	460	565	730
苗栗縣	300	100	160	250	325	415	520	680
台中縣	300	100	135	180	225	275	335	425
彰化縣	300							
雲林縣	400							
嘉義縣	400	240	315	380	450	525	610	750
台南縣	250	205	270	330	385	450	525	640
高雄縣	300	225	290	350	405	470	545	660
屏東縣	350	255	295	330	370	410	460	530
宜蘭縣	400	100	195	300	385	505	640	840
花蓮縣	350	100	150	240	380	525	705	980
台東縣	400	110	175	230	290	255	430	550
南投縣	200	100	145	190	230	285	345	435

圖 1.7-3 各縣市累積降雨與坡地災害發生機率對照表(林聖琪，2009)

2. 以集水區為警戒區發布單元：

為解決前述雨量站分析問題，並配合行政院農業委員會 2004 年 12 月 23 日頒訂的「土石流防災疏散避難作業規定」，水土保持局自 2004 年 12 月南瑪督颱風開始，即改以集水區為土石流警戒區發布單元；同時將警戒值模式改為以有效累積雨量做為研判模式，並配合紅色警戒、黃色警戒之定義，將土石流警戒發布範圍縮小至以集水區為單元，如圖 1.7-4 所示。

事實上，目前我國土石流黃色及紅色警戒模式，是以「時間域」概念做為劃分，依降雨歷程變化，分階段發布紅黃色警戒。而日本 (Okubo, 2004) 及瑞士 (Petrascheck, 2003) 等國，亦有紅色、黃色警戒之概念與發布方式，

然其劃設方式則是採用「空間域」之觀點，以日本為例，土石流之土砂災害警戒區（黃色警戒區）和特別警戒區（紅色警戒區），係依災害預期境況模擬結果，將可能致災之空間範圍依其受災程度不同分為紅色、黃色警戒區，劃設示意如圖 1.7-5（長野縣建設部砂防課，2010），相關定義如表 1.7-7 所示。

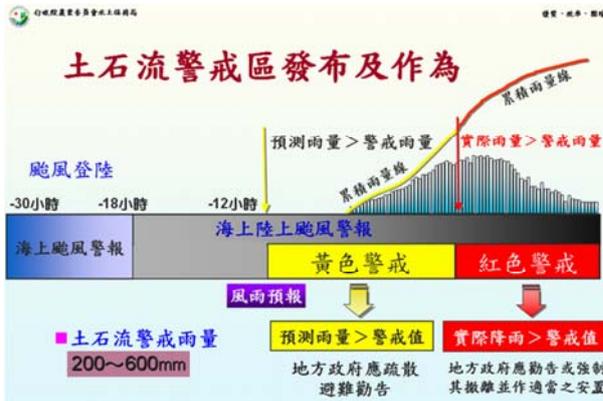


圖 1.7-4 土石流警戒區發布時機及警戒作為
（摘自水土保持局，2013）



圖 1.7-5 日本土石流及坡地災害之紅黃警戒區示意圖
（長野縣建設部砂防課，2010）

表 1.7-7 日本空間域之土石流警戒區設置依據

日本空間域之土石流警戒區設置依據	
名詞	定義
土砂災害警戒區	野溪上游集水區 500 公頃以上，由扇狀地頂點至下游堆積扇，坡度大於兩度之範圍
特別警戒區	土石流造成之衝擊力大於建築物所能承載區域

參考國外經驗，水保局於近期之土石流潛勢溪流中，依據「保全住戶」之概念，設置土石流影響範圍，並規劃疏散避難路線及避難處所，提供土石流警戒發布時之疏散人員參考。此外，美國、奧地利、日本及我國災害應變機制整理如表 1.7-8 所示，其中以日本和我國之情況較為類似，臺灣應可參考日本之土石流警戒區發布機制以為借鏡。

表 1.7-8 各國災害應變機制之比較

國別	災害應變機制	警戒發布、通報及疏散避難機制
臺灣	視災害類型由經濟部或內政部成立中央災害應變中心，負責指揮及協調災害防救工作。	
	農委會 水保局	各分局依指示實施災害應變措施。 警戒標的為土石流，由水保局依交通部中央氣象局提供之雨量預測及實測資料，綜合研判後發布土石流警戒。
	交通部 公路 總局	於區處內部成立應變中心，依指示進行道路封閉及搶通。 警戒標的為公路及橋梁，各養護工程處及轄管工務段依據「封橋封路標準作業程序(SOP)」相關規定發布封路資訊，並協助用路人前往安全停駐空間或緊急暫停空間進行避難。
	經濟部 水利署	針對水災災情開設經濟部內部之災害應變中心，並協調應變措施。 警戒標的為各行政區內之易淹水區域，中央災害應變中心依據中央氣象局發布之海上陸上颱風警報或豪雨特報大豪雨警戒區域評估撤離警報發布，並協助居民撤離。
奧地利	中央不主導災害救援工作，主要由地方政府，依地方特性而有各自地方災害的應變措施。	緊急通報機制是啟動警報系統，由地方通告中央，在利用無線通報系統通知民眾注意災情。
日本	防救災體系分為「中央」和「地方」分工，與我國較相近，於平時召開「防災會報」，災時成立「災害對策本部」。	主要以降雨資料為主，並參考各地區警戒、避難標準雨量，研判土砂災害發生可能性，再發布土砂災害警報，告知民眾前往避難處所。
美國	地方處理災害救援，州政府提供支援，地方和州無法處理時，聯邦政府會依「國家應變架構」組織災害應變中心，統一指揮。	根據美國海洋及大氣總署 (NOAA) 提供雨量資料，當雨量計達警戒值，發出訊號由中央警報指揮中心接收，再傳至地方緊急應變中心，利用預警系統文件將災害訊息告知大眾。

3. 以公路作為警戒區發布單元：

除了鄉鎮村里的防災操作外，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(圖 1.7-6)。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 1.7-9)。

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 1.7-7)，除訂定預警性封路流程外(圖 1.7-8)，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(表 1.7-10)。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)。



圖 1.7-6 公路總局易致災路段分布圖(陳韻如，2012)

表 1.7-9 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	參考圖資與資訊
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，右圖為颱風路徑三易致災道路潛勢路段分析。	
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。右圖為易致災的高潛勢路段影響的村里分佈圖。	
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。	

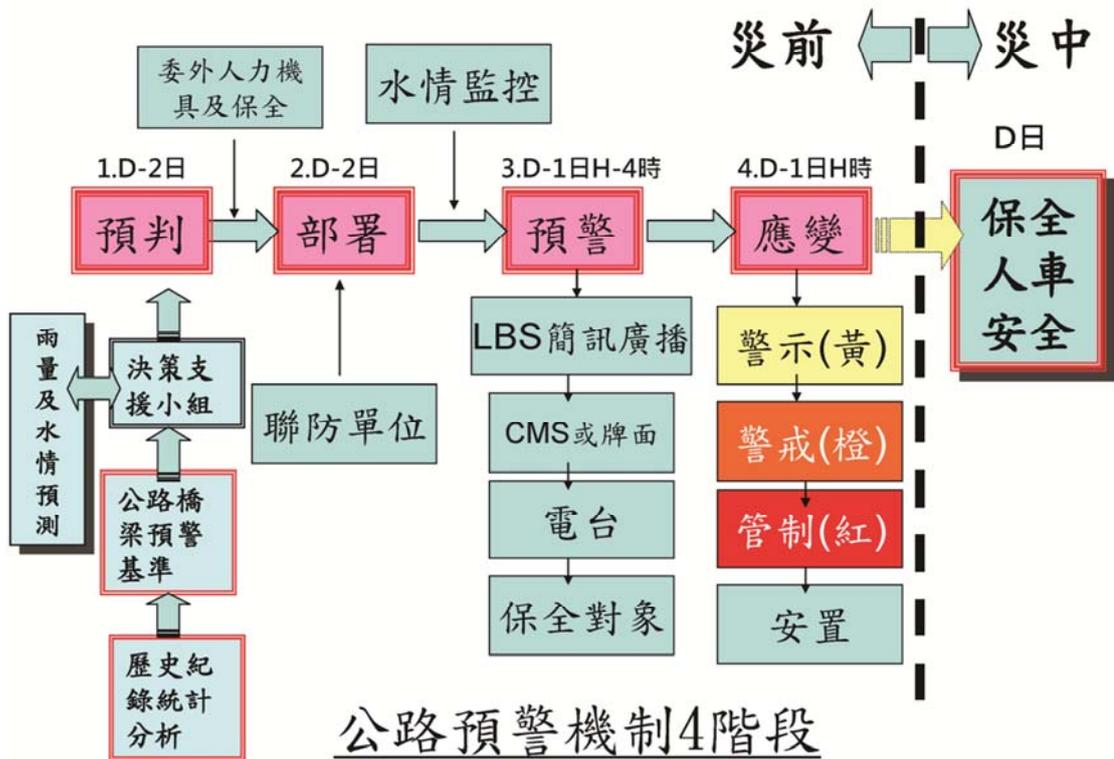


圖 1.7-7 交通部公路總局封路標準作業流程圖(陳進發，2011)

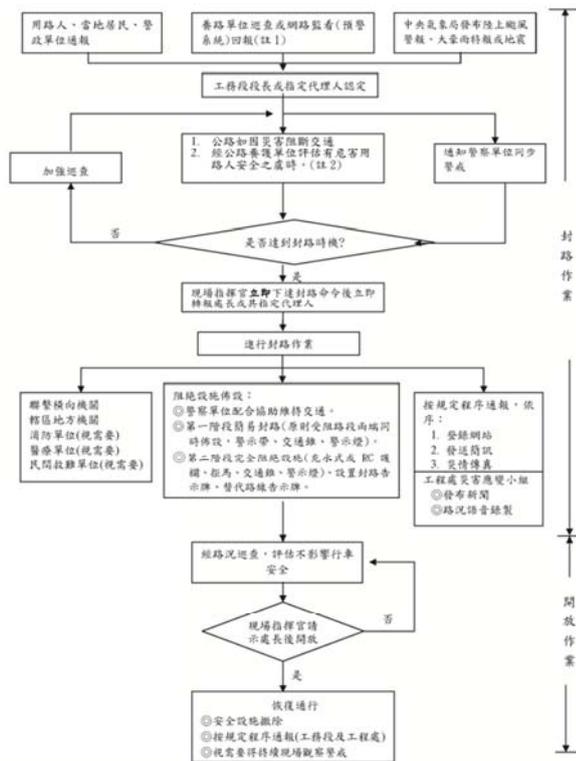


圖 1.7-8 交通部公路總局封路標準作業流程圖(交通部公路總局，2011)

表 1.7-10 一級監控路段彙整表
(節錄並修改自交通部公路總局防災特報，2013)

路段	預警值(mm)	警戒值(mm)	行動值(mm)
臺 2 線瑞濱~鼻頭 (75K~84k)	1 小時雨量>35 或 24 小時雨量>200	1 小時雨量>47 或 24 小時雨量>275	1 小時雨量>60 或 1 小時雨量>50 且 24 小時雨量>350 或 1 小時雨量>40 且 24 小時雨量>400
臺 7 甲線梨山 (69K+700)	10 分鐘雨量>10 或 1 小時雨量>30 或 24 小時雨量>200	1 小時雨量>35 或 24 小時雨量>250	1 小時雨量>40 或 24 小時雨量>300
臺 20 線向陽~利稻 (153K+000~174K+ 000)	1 小時雨量>30 或 24 小時雨量>160	1 小時雨量>45 或 24 小時雨量>250	1 小時雨量>50 或 24 小時雨量>300
臺 9 線蘇澳~東澳 (104K+600~120K)	10 分鐘雨量>10 或 1 小時雨量>34 或 24 小時雨量>111	1 小時雨量>43 或 24 小時雨量>170	1 小時雨量>43 且 24 小時雨量>272 或 1 小時雨量>51 且 24 小時雨量>247 或 1 小時雨量>68

日本臨界雨量研究方面，日本防砂部門主要負責土石流防災相關業務，防救災體系採「中央」和「地方」分工，與我國相近。但日本中央職掌主要制訂法規，如日本中央政府制訂日本砂防法（規定住宅範圍、補助等項），實際土砂災害防治由各縣市自行辦理，然而平時召開「防災會報」，災時成立「災害對策本部」，主要判斷資訊以降雨資料為主，並由各縣市參考各地區警戒、避難建議雨量，研判土砂災害發生可能性，伺機發布土砂災害警報，告知民眾前往避難處所避難，降低人命財物損失。

日本政府於雨量發布方面，採用自動氣象數據採集系統 (AMeDAS, Automated Meteorological Data Acquisition System)，此系統於 1974 年開始運作，系統包含約 1,300 台自動觀測設備，這些觀測站大都可自動化運作，測站平均間隔 17 公里，且遍佈日本各地，負責提供降雨量及其他氣象資料。

日本各縣市臨界降雨量預警系統採用原則，主要依循日本國土交通省河川局防砂部氣象廳 2005 年所公布的「土砂災害警戒避難臨界降雨量之設定

手法」，但實際建立土石流預警系統所採用之技術，則依各縣市而有不同，彙整如圖 1.7-9 所示。由圖 1.7-10 可知，日本決定臨界降雨量線時，不是直接採用雨量值做為參數(表 1.7-11)，主要以短期雨量指數做為 Y 軸，長期雨量指數做為 X 軸，採用兩軸建立土石流臨界降雨量線之觀念，與我國採用時雨量 (短期雨量指數)和累積雨量 (長期雨量指數)系統相似，惟採用之參數有所不同，可知目前日本部分縣市之臨界降雨量系統大致仍採用單線法，如兵庫縣及釜山市，其土石流臨界降雨量線以直線設立，依據日本經驗顯示其預警可信度較低。

自 2007 年開始，日本氣象廳開始利用水桶模式推估出之「土壤雨量指數」發布大雨警報。水桶模式及日本氣象廳公布之參數率定如圖 1.7-11 所示 (Ishihara,1979)，各縣市在接收到大雨警報後，依各縣市之土砂災害評估方法發布土石流警戒及撤離警報，其發布機制之判斷系統主要有兩大類，一類為具有半衰期之實效雨量 (即是 1.5hr、72hr)；另一類則為時雨量與土壤雨量指數系統。

然此兩系統於本質上相似，皆考慮土壤承受降雨後，經降雨浸透、貯留、逕流流出之變化過程，兩組預警系統的組合，除考慮到累積雨量，也一併考慮了降雨延時及前期降雨概念，藉由考慮降雨逕流概念，可將地文因子納入模式之中，並非僅考慮雨量因子而已。

近年來關於土石流之臨界降雨量線系統，亦開始導入各種理論，嘗試由直線型改良至曲線型，以求較佳預測成效，如日本山口縣，以徑向基底函數 (Radial Basis Function Network, RBFN)處理時雨量及土壤雨量指數，進而推估出曲線型臨界降雨量線，其減少人為修正臨界降雨量線之主觀因素，可提高土石流發布機制之準確性。

而日本在臨界降雨量前人研究方面，可大致歸納如下：

1. 日本土石流警戒區劃設

如表 1.7-7 說明。主要將土石流警戒區劃分為土砂災害警戒區與特別警戒區兩區。

2. 日本土石流警戒值之訂定方式

日本臨界降雨量預警系統，以日本國土交通省河川局防砂部氣象廳於 2005 年所公布的「土砂災害警戒避難基準雨量之設定手法」為依據。日本政府採用之臨界降雨量系統，縱軸為短期雨量指數（降雨強度），橫軸為土壤雨量指數，如圖 1.7-9 所示。

日本舊有臨界降雨量訂定方式，為利用短期雨量指數 (short term index) 做為 Y 軸，長期雨量指數 (long term index) 做為 X 軸，圖上一線性曲線做為臨界降雨量線。臨界降雨量線的右上方為災害發生區，左下方則為安全區，藉由每一場降雨各時段的時雨量和累積雨量視為輸入點位，並將前後點位以直線連接起來，形成一條蛇行曲線 (如圖 1.7-12)。當蛇行曲線和臨界曲線相交時，視為災害發生點 (如圖 1.7-12 上之紅點)。當降雨超過臨界降雨量線則視為災害即將發生而發布警告，然而可信度並不高，歸究其原因為採用線性系統，為了提高預測之準確率，應朝非線性臨界降雨量系統邁進。

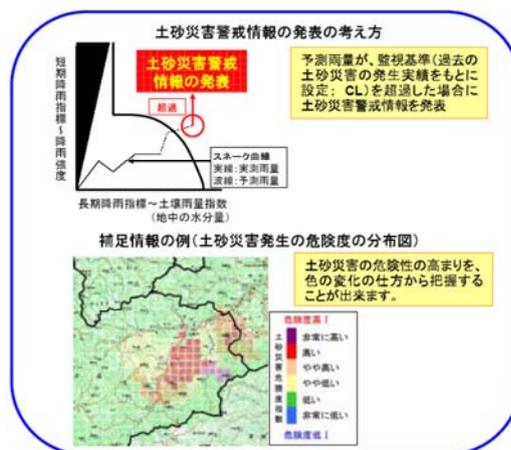


圖 1.7-9 日本政府臨界降雨量線示意圖
(摘自日本國土交通省河川局防砂部氣象廳，2005)

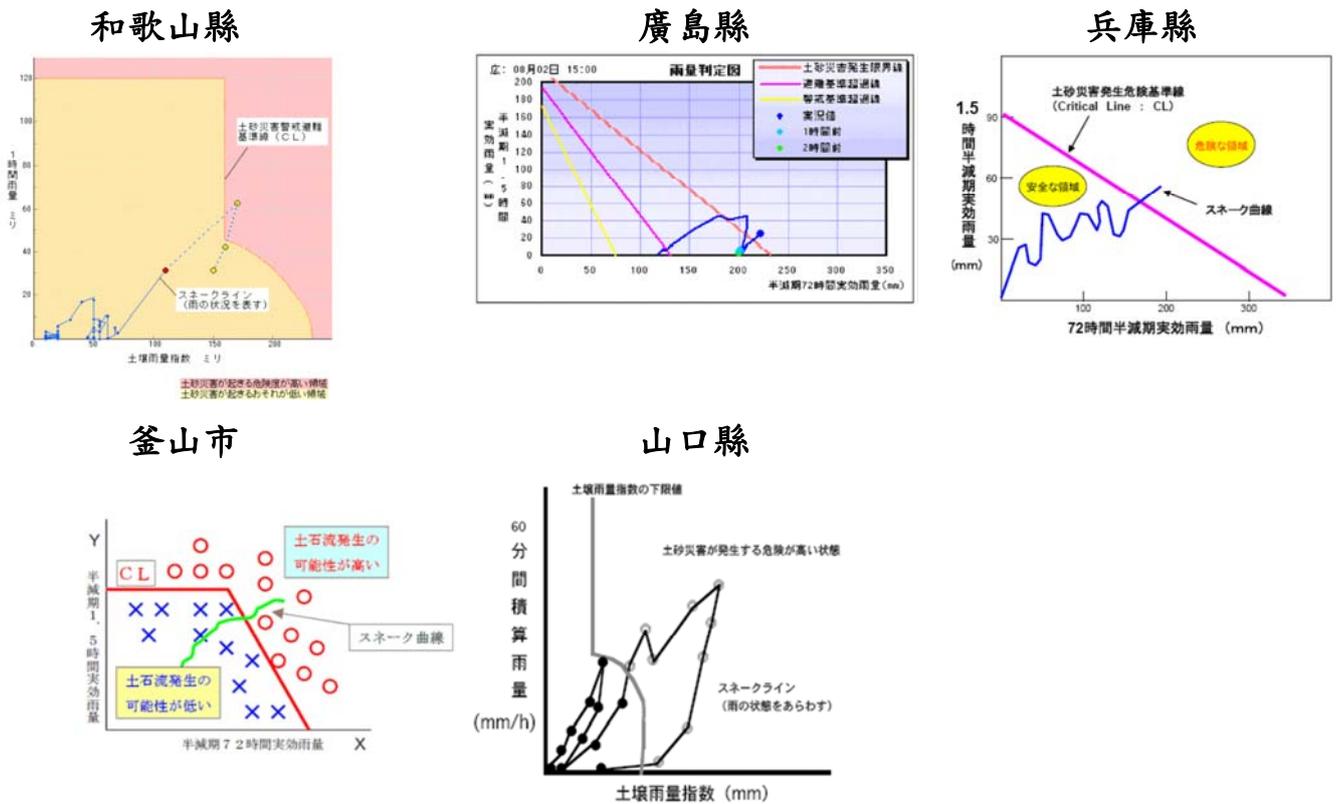


圖 1.7-10 日本各縣市臨界降雨量預警系統圖
(摘自日本國土交通省河川局防砂部氣象廳，2005)

表 1.7-11 日本臨界降雨量線參數組合

日本	短期雨量指數	長期雨量指數	使用縣市
參數組合 1	半衰期 1.5 小時 實效雨量	半衰期 72 小時 實效雨量	廣島縣 兵庫縣 釜山市
參數組合 2	時雨量	土壤雨量指數	和歌山縣 山口縣

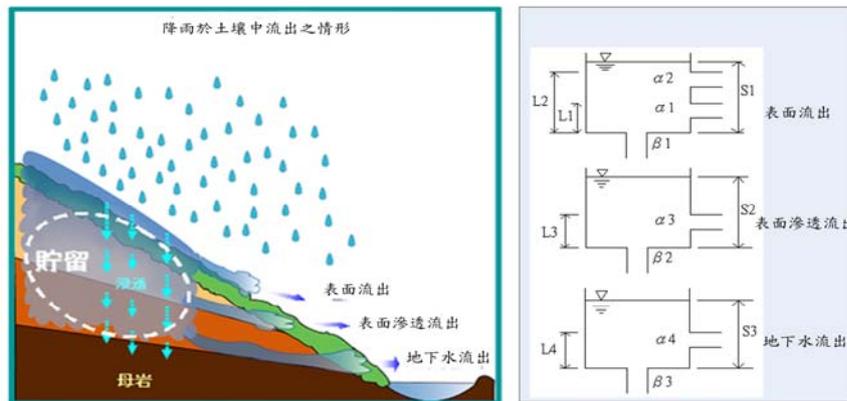


圖 1.7-11 降雨逕流系統與水桶模式轉換概念圖 (Ishihara,1979)

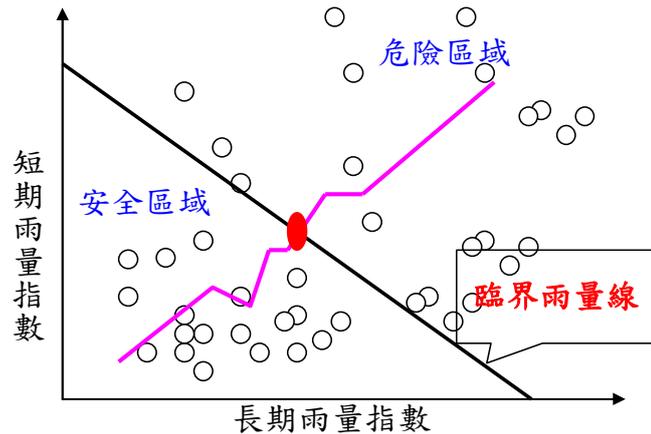


圖 1.7-12 傳統線性臨界降雨量線

本計畫亦回顧國外自 1975 年以來探討山崩雨量門檻率定方式之文獻，共彙整出 64 篇文獻及其門檻方程式，並將其分為四類(表 1.7-12)：

(i) 降雨強度-降雨延時型(I-D 型)：此類型為最廣泛使用之山崩雨量門檻率定方式，共計有 40 篇文獻，且自 1980 年起至近年皆持續有相關研究採用之，可提供山崩雨量門檻之基礎訂定參考(圖 1.7-13~1.7-17)。

(ii) 事件總累積雨量-降雨延時型(E-D 型)：採用此類型山崩雨量門檻率定方式共計有 11 篇文獻，大多用於淺層崩塌及土石流之雨量門檻之率定，然而由於山崩之發生往往在降雨事件過程之中，而非在整場降雨結束後才發生，因此若以事件總累積雨量估算山崩雨量門檻時，可能造成過度不保守之情況發生，惟義大利近年來多已由 I-D 型門檻轉為使用 E-D 型門檻。(圖 1.7-18~1.7-19)

(iii) 事件總累積雨量型(E 型)：採用此類型山崩雨量門檻率定方式共計有 7 篇文獻，數量較少，且自 2000 年後較少學者參考使用，且如(ii)中所述，以事件總累積雨量估算山崩雨量門檻時，可能造成過度不保守之情況發生。

(iv) 降雨強度-事件總累積雨量(I-E 型)或：採用此類型山崩雨量門檻率定方式共計有 3 篇文獻，數量較少，且亦可能有過度不保守之情況發生。

(v) 時段累積雨量-時段累積雨量(R-R 型)：採用此類型山崩雨量門檻率定方式共計有 4 篇文獻，數量雖不多，但近年似乎有持續增加之趨勢，概念上大多使用「短期降雨指標-長期降雨指標」搭配使用，惟其時段之選取(例如取用 3 小時、12 小時、日雨量、3 日雨量等等)仍取決於各研究區域之降雨特性，較無一定之標準。(圖 1.7-20~1.7-23)

表 1.7-12 國外常用之山崩、土石流雨量門檻率定方式

雨量門檻 率定方式	參考文獻
降雨強度-降雨延時型(I-D 型)	Caine(1980)、Moser and Hohensinn(1983)、Cancelli and Nova(1985)、Cannon and Ellen(1985)、Wieczorek(1987)、Jibson(1989)、Guadagno(1991)、Rodolfo and Arguden(1991)、Ceriani et al.(1992)、Larsen and Simon(1993)、Arboleda and Martinez(1996)、Clarizia et al.(1996)、Tuñgol and Regalado(1996)、Zimmermann et al.(1997)、Paronuzzi et al.(1998)、Bolley and Oliaro(1999)、Calcaterra et al.(2000)、Montgomery et al.(2000)、Wieczorek et al.(2000)、Crosta and Frattini(2001)、Marchi et al.(2002)、Jakob and Weatherly (2003)、Aleotti(2004)、Barbero et al.(2004)、Floris et al.(2004)、Baum et al.(2005)、Chen et al.(2005)、Corominas et al.(2005)、Hong Y et al.(2005)、Jan and Chen(2005)、Zezere et al.(2005)、Guzzetti et al.(2007)、Jemec et al.(2011)、Brunetti et al.(2010)、Baum et al.(2010)、Jakob et al.(2011)、Brunetti et al.(2013)、Bui et al.(2013)、Mathew et al.(2013)、Zhou et al.(2014)
事件總累積雨量-降雨延時型(E-D 型)	Caine(1980)、Innes(1983)、Wilson et al.(1992)、Corominas and Moya(1999)、Annunziati et al.(2000)、Zezere and Rodrigues (2002)、Kanji et al.(2003)、Li(2011)、Martelloni(2011)、Vennari et al.(2014)、Vessia et al.(2014)
事件總累積雨量型(E 型)	Nilsen and Turner(1975)、Oberste-lehn(1976)、Canuti et al.(1985)、Mark and Newman(1985)、Bhandari et al.(1991)、Corominas and Moya(1999)、Bell and Maud(2000)
降雨強度-事件總累積雨量 (I-E 型)	Tatizana et al.(1987)、Jibson(1989)、Hong et al.(2005)
時段累積雨量-時段累積雨量(R-R 型)	Kim et al.(1991)、Osanai et al.(2010)、Turkington et al.(2014)、Ma et al.(2014)

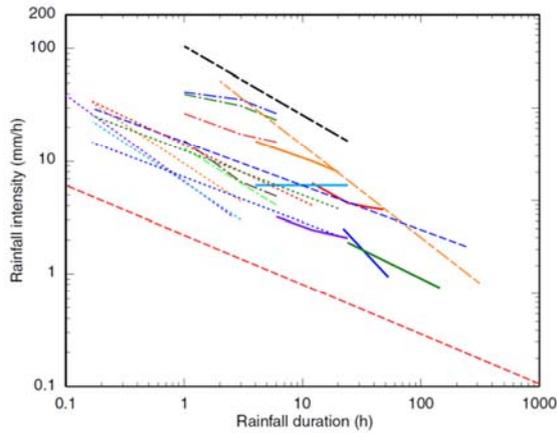


圖 1.7-13 美國各州 I-D 型山崩警戒雨量線 (Baum et al., 2010)

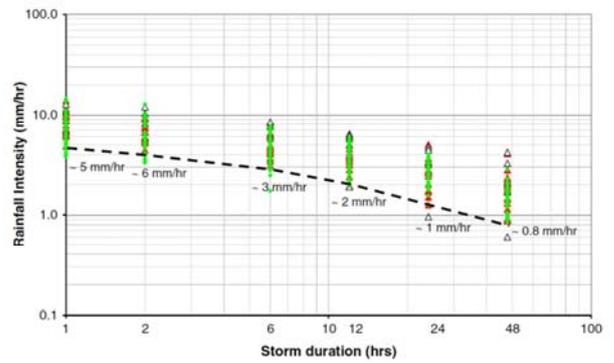


圖 1.7-14 加拿大 I-D 型山崩警戒雨量線 (Jakob et al., 2011)

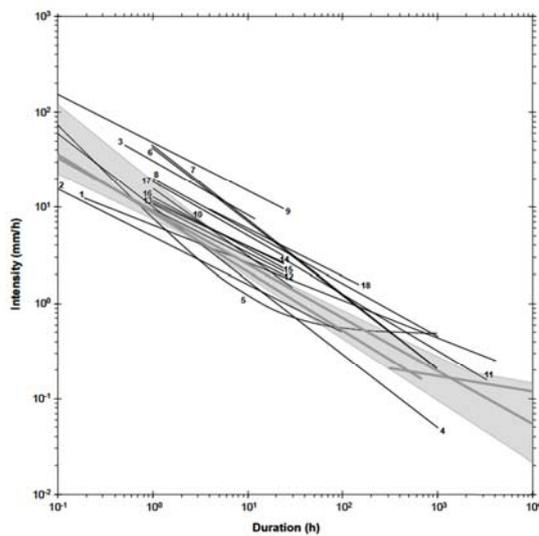


圖 1.7-15 南歐地區 I-D 型山崩警戒雨量線 (Guzzetti et al., 2007)

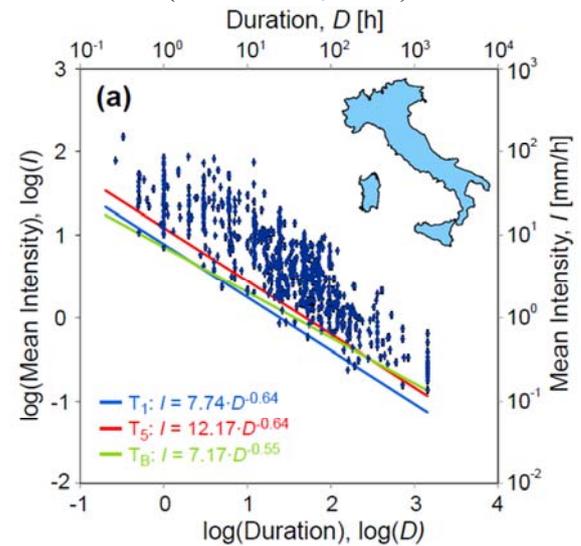


圖 1.7-16 義大利 I-D 型山崩警戒雨量線 (Brunetti et al., 2010)

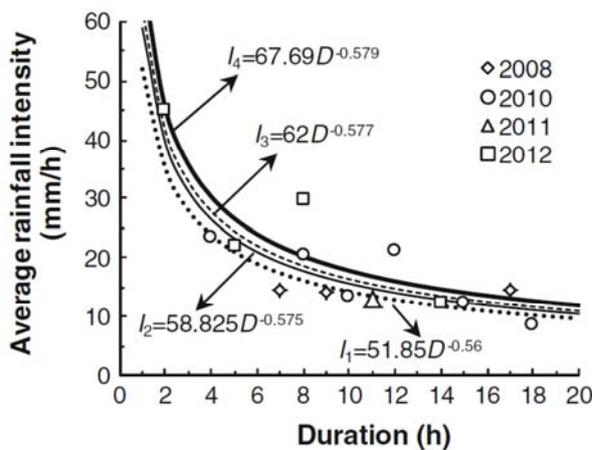


圖 1.7-17 汶川地區 I-D 型山崩警戒雨量線 (Zhou et al., 2014)

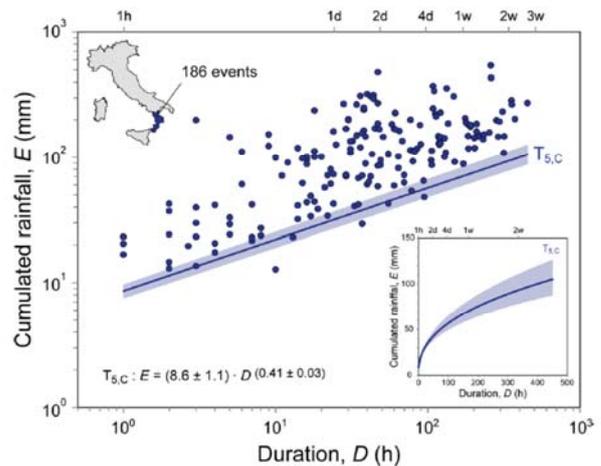


圖 1.7-18 義大利 E-D 型山崩警戒雨量線 (Vennari et al., 2014)

1.8 計畫執行期間方法學精進歷程

計畫執行四年(100-103)期間，因多次與地調所、國內外之專家學者討論，故於地質分區劃設、雨量資料分析、山崩潛勢模式建置及山崩雨量門檻率定等工作項目之方法學上亦有所探討及調整(表 1.8-1)，目標在於持續改善研究方法並且提升研究成果，使其更貼近實際應用層面。

就地質分區劃設方法而言，100 年度係將全臺依據地層之年代與岩性，劃設為 15 個地質分區，然而因考量地質分區為南北狹長縱貫臺灣，無法區分北部、中部、南部之降雨特性，經逐年修正後，目前係將地質分區整併為北部、中部、南部、恆春半島、東部等五個區域。

就雨量資料分析而言，100 年度係以「時雨量大於 4mm 為雨場開始，連續 6 小時小於 4mm 為雨場結束」，來計算山崩發生時之累積雨量作為降雨指標，然而此方法僅考慮累積雨量，對於近年強降雨致災之現象無法有效預警，經逐年修正後，目前係以過去 3 小時之平均降雨強度(I_3)及過去 24 小時累積雨量(R_{24})為降雨指標輔助山崩雨量門檻之率定。

就山崩潛勢模式建置而言，100 年度係考慮順向坡、向源侵蝕、河岸侵蝕、岩體強度、岩性、坡度、坡度均勻度、邊坡陡坡比例、坡高、坡型等地文因子進行模式建置，然而臺灣之山崩大多為降雨所誘發，若未考慮降雨因子，可能導致山崩潛勢評估出現不符物理現象之結果，經逐年修正後，目前將 3 小時之平均降雨強度(I_3)及 24 小時累積雨量(R_{24})納入分析因子中，以使分析結果更貼近真實現象。

最後，就山崩雨量門檻率定而言，100 年度係結合定率法與統計法進行山崩雨量門檻率定，利用定率法推估山崩臨界雨量後，再以 $P=P_0+WR$ 模式求得山崩雨量門檻，然而因定率法於廣域應用時仍有參數選擇上之疑慮，且 $P=P_0+WR$ 之模式仍有使用上之疑慮，而目前國際常用之方法亦尚未考慮不

同災害規模之雨量門檻，經逐年改進後，目前係以 3 小時之平均降雨強度(I_3)及 24 小時累積雨量(R_{24})為降雨指標，配合危險度矩陣之概念，分析北部、中部、南部、東部之不同山崩規模下的雨量門檻，並另建立全臺不分區之山崩雨量門檻，提供資料不足之區域(如恆春半島)參考應用。

表 1.8-1 計畫執行期間方法學精進歷程

工項及年度		方法學、修正原因
地質分區劃設	100 年度	依據地層之年代與岩性，將全臺劃設為 15 個地質分區。
	101 年度	同 100 年度。
	102 年度	將地質分區整併為北部地區、沉積岩區、變質岩區等區域。 修正原因：因地質分區為南北狹長縱貫臺灣，此分區方法無法區分北部、中部、南部之降雨特性，故進行適當整併。
	103 年度	進一步將地質分區整併為北部、中部、南部、恆春半島、東部等五個區域。 修正原因：為了使分析成果更符合區域降雨及地質特性，將臺灣分為五個區域，各自建立其模式。
雨量資料分析	100 年度	以時雨量大於 4mm 為雨場開始，連續 6 小時小於 4mm 為雨場結束，計算山崩發生時之累積雨量作為降雨指標。
	101 年度	同 100 年度。
	102 年度	嘗試以 3 小時之平均降雨強度(I_3)以及過去 24 小時累積雨量(R_{24})分析山崩致災雨量。 修正原因： 原方法僅考慮累積雨量，對於近年強降雨致災之現象無法有效預警，故嘗試同時考慮降雨強度及累積雨量參數。
	103 年度	計算過去 3 小時之平均降雨強度(I_3)以及過去 24 小時累積雨量(R_{24})作為降雨指標，並以山崩發生時間計算其致災雨量。 修正原因： 透過 941 筆案例資料得知， I_3 對於強降雨致災事件具有較佳之預警能力，而多數降雨致災案例之降雨延時係於 24 小時內，顯示 24 小時內之降雨對致災具有關鍵影響，故改以 I_3 及 R_{24} 進行分析。

表 1.8-1 計畫執行期間方法學精進歷程(續)

山崩潛勢模式建置	100 年度	考慮順向坡、向源侵蝕、河岸侵蝕、岩體強度、岩性、坡度、坡度均勻度、邊坡陡坡比例、坡高、坡型等地文因子。
	101 年度	沿用 100 年度之研究方法，納入高山區樣本後精進分析成果。
	102 年度	除地文因子外，亦將事件總累積雨量納入因子進行分析。 修正原因： 臺灣之山崩大多係降雨所誘發，若未考慮降雨因子，可能導致山崩潛勢評估出現不符物理現象之結果。
	103 年度	除保留既有之地文因子外，將事件總累積雨量改用 3 小時之平均降雨強度(I_3)以及過去 24 小時累積雨量(R_{24})作為降雨因子納入分析。 修正原因： 配合雨量資料分析結果，將 I_3 、 R_{24} 兩項重要的致災降雨因子納入分析。
山崩雨量門檻率定	100 年度	結合定率法與統計法，以現場調查資料率定或反算材料參數，藉由定率法判定山崩臨界雨量後，再以統計法計算動態山崩潛勢，以 $P=P_0+WR$ 之公式求得山崩雨量門檻，其中 P 為動態山崩潛勢、 P_0 為羅吉斯迴歸分析之靜態山崩潛勢、 W 為各地質分區之係數、 R 為累積雨量。此外，亦利用現場調查及反算資料建立 15 個地質分區之 I-D 雨量門檻線。
	101 年度	納入高山區樣本，精進 P_0 (羅吉斯迴歸分析之靜態山崩潛勢)後，以 $P=P_0+WR$ 之公式求取山崩雨量門檻。 修正原因： 因定率法於廣域應用時仍有參數選擇上之疑慮，故仍先以統計方法為發展主軸，並將高山區納入分析，以增加應用範圍。
	102 年度	嘗試除累積雨量外，以 3 小時平均降雨強度(I_3)以及 24 小時累積雨量(R_{24})作為降雨指標進行山崩雨量門檻率定。 修正原因： 由近年之災害案例分析得知，原 $P=P_0+WR$ 模式中僅考慮累積雨量之方式已無法滿足山崩預警需求，且 P_0 與 WR 之間是否能直接相加亦仍有使用上之疑慮，故改以 I_3 及 R_{24} 作為降雨指標進行山崩預警。
	103 年度	沿用 I_3 、 R_{24} 降雨指標進行山崩雨量門檻之率定，並考慮山崩災害發生之規模，結合危險度矩陣之概念建立北部、中部、南部、東部及全臺不分區之山崩雨量門檻。 修正原因：目前國際上常用之 I-D、或 I-R 之雨量門檻率定方法僅考慮災害發生之可能性，並無法同時考量不同山崩規模所導致之危險度，故本計畫將兩者同時考慮後，訂定不同危險度下之山崩雨量門檻。

1.9 計畫成果應用須知事項

本計畫之研究對象、適用範圍、使用限制及注意事項分述如下，在使用本計畫產製之成果時須特別注意相關內容，避免資料解讀誤解：

- 一. 本計畫係以岩屑崩滑型災害為研究對象，利用統計方法計算各斜坡單元之山崩潛勢值，並利用野外調查所得之山崩災害案例進行歸納分析，以 I_3-R_{24} (3 小時平均降雨強度-24 小時累積雨量) 為降雨誘發山崩之指標，於同時考量發生機率與其災害規模下，進行降雨引致山崩之預警。
- 二. 本計畫產出資料之比例尺為 1/25,000，係區域性、大範圍之廣域分析成果，使用時需注意不得套用於更大比例尺之圖資，於「基地開發」等應用時，仍請參照相關法令規範辦理調查或委託專業技師進行評估。
- 三. 本計畫成果係屬研究性質，山崩預警目前仍具有科學研究之不確定性，預警資料僅提供初步參考使用，且不具法律或其它證明之效力。
- 四. 本計畫成果目前僅提供公部門於防災應用上之參考，以瞭解降雨引致山崩之即時警戒資訊，使用時仍應知悉上述相關使用限制，避免誤用。

第二章 資料蒐集與製作

為研發動態山崩潛勢評估模式與建構即時展示技術模組，本計畫以前期「都會區周緣坡地山崩潛勢分析」計畫中之岩屑崩滑型山崩潛勢模式為基礎，彙整前期計畫之相關資料與模式建置成果，並蒐集計畫區域內之地文與水文基本資料及其 GIS 圖資，以建置動態雨量山崩潛勢評估模式。

本計畫延續前期「都會區周緣坡地山崩潛勢分析」計畫之地質分區及斜坡單元產製成果進行分析(詳見 2.2 節及 2.3 節說明)；山崩目錄更新與查核係以各豪雨事件之遙測影像為基礎，並參考像片基本圖、正射航照及數值地形，輔以現地查核建置各類型之山崩圖層(詳見第三章說明)；而後依據山崩目錄至現場訪查歷史山崩發生時間點，推估崩塌發生時之累積雨量資料(詳見第四章與第五章說明)；蒐集計畫區各豪雨事件之雨量資料，進行空間內插後，針對岩屑崩滑與降雨之關係進行探討(詳見第六章說明)，而後進一步精進山崩潛勢模式與警戒雨量評估(詳見第七章與第八章說明)。由於計畫所需之基本資料種類繁雜，以下針對主要蒐集之基本資料進行說明。

2.1 基本資料蒐集與應用

本計畫針對斜坡單元 GIS 圖層資料、全臺 15 個地質分區 GIS 圖層資料、雨量資料、歷史山崩目錄資料、地質圖、遙測影像、環境地質圖、5 公尺×5 公尺數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、路網圖等相關基本資料進行蒐集與彙整，各資料內容說明如下：

一、斜坡單元 GIS 圖層資料、全臺 15 個地質分區 GIS 圖層資料

斜坡單元 GIS 圖層資料已彙整前期「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」計畫中之資料與「高山聚落地區地質災害基本調查」之斜坡單元資料，以進行斜坡單元編修工作，其斜坡單元資料經靜態山崩潛勢模式分析後之靜態山崩

潛勢值將作為動態雨量山崩潛勢模式分析之初始值。本計畫亦完成全臺 15 個地質分區 GIS 圖層資料之蒐集與製作，其可提供各地質分區動態雨量山崩潛勢模式建置範圍之特性分析。

二、雨量資料

本計畫依據文獻蒐集或野外調查彙整之歷史山崩發生時間點資料，進行各調查點周邊 5 個雨量站於該時間點前後降雨資料之蒐集，以建立山崩發生與降雨量之關係。

三、遙測影像

遙測影像資料包含衛星影像資料與正射航照資料。衛星影像係為崩塌地判釋之底圖與山崩目錄建置之基礎(UPSAG, 2006; Saunders and Glassey, 2007; AGS, 2000)，而本(103)年度購買之衛星影像主要為歷史颱風事件補遺影像(中部高山研究區敏督利颱風前後、海棠颱風後、六九豪雨後、聖帕颱風後、辛樂克颱風後及莫拉克颱風後；東部高山研究區桃芝颱風前後、敏督利颱風前後、龍王颱風前後、莫拉克颱風前後；恆春半島高山研究區葛樂禮颱風前後、海棠颱風前後、莫拉克颱風前後、南瑪都颱風前後之 SPOT 衛星影像)，購置圖資詳 2.4 節。

四、歷史山崩目錄資料

彙整前期「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」四年計畫中各歷史山崩事件之山崩目錄，本(103)年度亦將購置葛樂禮前後、桃芝前後、敏督利前後、海棠前後、龍王前後、六九豪雨後、聖帕後、辛樂克後、莫拉克前後、南瑪都前後等共計 17 期衛星影像進行數化，並蒐集計畫期程內新增颱風事件之資料，以利模式之建置與驗證。

五、地質圖及坡地土壤圖

本計畫蒐集中央地質調查所調查測繪之 1/50,000 地質圖及水土保持局調查測繪之 1/25,000 坡地土壤圖，其內容提供研究區域內之地質構造、地層分布狀況及表土特徵資訊，以利崩塌地發生之崩塌機制瞭解。

六、環境地質圖

利用中央地質調查所提供之 1/25,000 環境地質基本圖以及 1/25,000 地質災害潛勢圖之 GIS 圖資(含圖層與屬性查核等資訊)，用以對比檢核動態雨量山崩潛勢模式成果。

七、數值高程模型

數值高程模型資料為動態山崩潛勢評估之重要基礎資料，本計畫使用中央地質調查所前期計畫「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」之數值高程模型成果以進行潛勢評估。其數值高程模型係由民國 90 至 93 年航空照片製作而成，解析度為 5 公尺× 5 公尺。為提昇動態雨量山崩潛勢評估系統之運算分析效率，本計畫將以 5 公尺× 5 公尺數值高程模型為基礎資料，產製 10 公尺× 10 公尺之解析度數值高程模型進行動態山崩潛勢評估運算。

八、路網圖

路網圖主要作為各類圖層套疊、山崩潛勢圖底圖及野外查核之用，其道路圖層為交通部運輸研究所 94 年 6 月所建置之路網數值圖 1.3 版。

2.2 地質分區劃設

地質分區係依據地質環境與力學性質特性之資訊，進行全臺都會區周緣坡地及高山區之地質分區劃設，期能區分各地質分區之崩塌潛勢及豪雨誘發崩塌之特性，進而獲得合理之山崩潛勢評估結果。本計畫主要依據「地質分區流程與作業手冊」(中央地質調查所，2010)之三大層次劃分與合併原則，辦理比例尺 1/25,000 之地質分區劃設作業，並經由特殊岩性、各地質分區地形與地質條件之山崩分布特性等合併原則整併後，將其研究區範圍內之地質區劃分為沉積岩礫石區、西部麓山帶沉積岩砂岩區、西部麓山帶沉積岩頁岩區、西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區、西部麓山帶沉積岩泥岩區、西部麓山帶沉積岩礫岩區、西部麓山帶火成岩區、西部麓山帶火成岩火山角礫岩區、變質岩板岩區、雪山山脈變質岩亞變質岩砂岩區、中央山脈東翼變質岩區、海岸山脈帶沉積岩礫岩區、海岸山脈帶沉積岩砂頁互層岩組區、海岸山脈帶沉積岩泥岩區及海岸山脈帶火成岩區等 15 區(表 2.2-1 與圖 2.2-1)。

然而，由於研究區域內之西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區與變質岩板岩區面積比例總和過半，多數災害調查點也落於此兩區域，因此本計畫為了避免其餘地質分區樣本數稀少不利分析之狀況，並更有效率定降雨與山崩之間的關係，於期末階段嘗試以斷層為界將地質分區切割及合併為兩區(沉積岩區與變質岩區)，未來將視情況再對分區進行調整，相關分區及模式建置方法詳見第七章。

表 2.2-1 地質分區劃設一覽表

1.	沉積岩礫石區
2.	西部麓山帶沉積岩砂岩區
3.	西部麓山帶沉積岩頁岩區
4.	西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區
5.	西部麓山帶沉積岩泥岩區
6.	西部麓山帶沉積岩礫岩區
7.	西部麓山帶火成岩區
8.	西部麓山帶火成岩火山角礫岩區
9.	變質岩板岩區
10.	雪山山脈變質岩亞變質岩砂岩區
11.	中央山脈東翼變質岩區
12.	海岸山脈帶沉積岩礫岩區
13.	海岸山脈帶沉積岩砂頁互層岩組區
14.	海岸山脈帶沉積岩泥岩區
15.	海岸山脈帶火成岩區

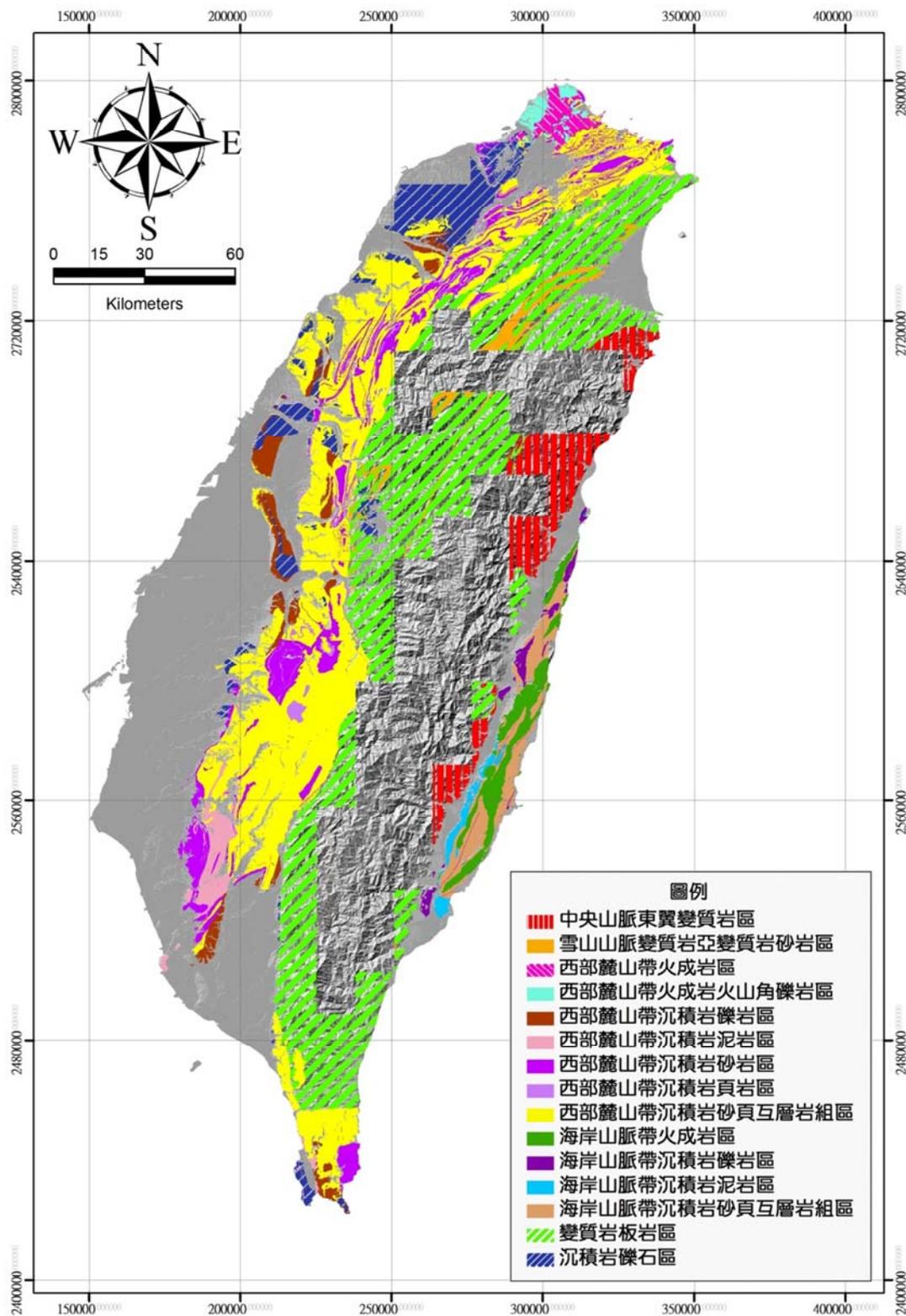


圖 2.2-1 地質分區空間分布圖

2.3 颱風與豪雨事件

本(103)年度計畫針對現場訪查歷史山崩時間點對應之颱風豪雨事件，蒐集各事件之時雨量，以利進行降雨強度空間分布分析，主要目的有二點：

- 一、探討不同颱風 (或豪雨) 事件雨量空間分布差異，另與崩塌地進行關聯性分析使用。
- 二、透過雨量強度與崩塌地關聯性歸納建立動態雨量山崩潛勢評估模式，以供災防單位災害應變參用。針對實際山崩時間調查點之颱風與豪雨事件，已蒐集 5 起事件之氣象資料，其資訊彙整如表 2.3-1，雨量站蒐集資料詳見附錄五說明。

表 2.3-1 歷史山崩發生時間點颱風資訊

年份	中文名稱	警報期間	接近臺灣時之強度	侵臺路徑分類	接近臺灣時中心最大風速(m/s)
2005	海棠	07/16~07/20	強烈	3	55
2009	莫拉克	08/05~08/10	中度	3	40
2010	凡那比	09/18~09/20	中度	4	45
2010	梅姬	10/21~10/23	中度	9	48
2011	南瑪都	08/27~08/31	強烈	4	53

2.4 遙測影像資料

遙測影像為本計畫建置山崩目錄之基本資訊，包含衛星影像資料與正射航照資料。遙測影像具有特定時間內之空間特性，其紀錄災害事件之時空分布，可用於辨認山崩範圍及其邊界等二維或三維型態特徵，及其周圍地表條件等。至於其他諸多屬性如山崩之地質材料、岩性組合、風化、侵蝕、交通條件等等屬性資料的研判，除由遙測影像判釋取得外，亦參考山崩地點之像片基本圖、數值地形模型、地質圖、前期遙測影像及判釋成果等，並因應山崩判釋圖比例尺配合相當數量之野外現地查核。

山崩目錄圖之使用者須了解地質作用是持續不斷地在進行，尤其臺灣地區之山崩變化甚為頻繁，故山崩目錄應以事件為核心，具有時間與空間之動態觀念。故引用資料時，應查明山崩目錄圖幅測繪所使用之衛星影像、正射航照以及野外調查建立之時間，尤其圖層適用之精度狀況必須了解。同時，於各期山崩目錄 GIS 圖資屬性資料之應用方面，由於多數圖資屬性係藉由其他輔助資料所產生，當援用時應瞭解其產生之背景，如此較能正確且客觀的引用山崩目錄，並進行後續山崩相關議題之研究。

本(103)年度計畫購買之影像包含葛樂禮前後、桃芝前後、敏督利前後、海棠前後、龍王前後、六九豪雨後、聖帕後、辛樂克後、莫拉克前後、南瑪都前後等共計 17 期之 SPOT5 衛星影像；象神颱風後與納莉颱風後等 17 期之 SPOT 衛星影像。影像選擇以愈接近事件時間，且雲量遮蔽最少之清晰影像為原則。

此外，由於正射航照影像之解析度優於衛星影像，故本計畫以彩色正射航照進行山崩初步複核，主要做為剔除人為建物或開墾地之參考，經確認是為人為建物或墾殖地等非崩塌地時，則予以剔除。

2.5 研究區介紹

本(103)年度研究區域為東南部區域共計 48 幅(比例尺 1/25,000)，本節將說明計畫研究區涵蓋範圍之地形及地質概況，作為後續研究基本背景資料。

2.5.1 地形

根據徐鐵良(1982)對於臺灣地形分類區域之描述，本計畫區地形可分為平原及山地等地形區。本(103)年度研究區內地形套疊本年度研究區域圖框後與研究區域及地質分區之相互關係敘述如下：

一、平原區：研究區內之平原主要為屏東沖積平原及臺東縱谷平原為主，於本研究區之沉積岩礫石區、西麓山帶沉積岩礫岩區及海岸山脈帶沉積岩礫岩區皆有分布，地理特性如下。

1. 屏東沖積平原：屏東沖積平原位於臺灣島西南濱海域，介於山麓丘陵區與中央山脈之間，外觀為南北狹長之沖積平原，主要由楠梓仙溪、東港溪、林邊溪和荖濃溪四條河流的沖積扇而形成，南面臺灣海峽，東鄰中央山脈，西面緊鄰高屏溪與鳳山丘陵，整個平原南北 60 公里，東西 20 公里。
2. 臺東縱谷平原：臺東縱谷平原位於中央山脈東側與海岸山脈之間，成北北東走向，縱長約 150 公里，寬約 5~7 公里。而縱谷平原區內沖積扇及河階地甚為發達，沖積扇皆出現於縱谷西側之中央山脈河流出口處，扇形向東展開，多數面積約 40~50 平方公里。河階地位於卑南溪內可分為 5 級，其鹿野附近之河階地高出河床約 200 公尺。秀姑巒溪沿岸之河階地分為 4 級，其瑞穗、舞鶴等河階地高出河床約 200 公尺，均覆以紅土礫石層。整體而言，南段縱谷平原受到回春作用影響，地盤隆起較北段為大，形成南北段之堆積與侵蝕程度差異甚大，亦影響縱谷內河流流路之變遷。

二、山地區：研究區內山地地形由西至東分屬西部覆瓦狀斷層山塊、中央山脈及海岸山脈，其地理性質分述如下：

1. 西部覆瓦狀斷層山塊：西部覆瓦狀斷層山塊海拔在兩千公尺以下，自臺灣北部鼻頭角呈東北-西南走向到苗栗附近轉向南北走向至高雄附近為止。長度約 330 公里，其地貌上屬壯年期，地勢東高西低。山塊東緣與板岩區為界，山塊西側則與丘陵地為鄰。西部覆瓦狀斷層山塊於本研究區之西部麓山帶沉積岩砂岩區、西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區、西部麓山帶沉積岩頁岩區及西部麓山帶沉積岩泥岩區為主要分布區。
2. 中央山脈：中央山脈於本地形區，可再細分為板岩山塊與東斜面片岩山塊，其目前較常引用之名稱，分別為脊樑山脈與中央山脈東翼；脊樑山脈部分為臺灣東西兩斜面之分水嶺，其東側河流具有河短、陡坡與谷深之地形特徵，西側則以平緩、源流較長等地形較為顯著，但二者向源侵蝕作用均十分劇烈。脊樑山脈之走向大致呈現東北-西南走向。中央山脈東翼部分北起蘇澳南至臺東縣太麻里，西鄰脊樑山脈，東面太平洋。本地形區整體而言，主要由變質岩所構築。中央山脈於本研究區之變質岩板岩區及中央山脈東翼變質岩區皆有分布。
3. 海岸山脈：本地形區位於花蓮及臺東間，長約 150 公里，寬約 10 公里，地形上南寬北狹，成約南北向之山脈。地勢上，以中間段最高，高程分別向南北漸次降低。海岸山脈之河流分為東麓與西麓兩個系統。西麓之河流系統屬臺東縱谷內諸河流之支流，均為流短量微之溪流。東麓之河流流域較大，其河谷內曲流與河階地均頗發達，加以向源侵蝕甚為劇烈，至使海岸山脈分水嶺有漸向西移之趨勢。海岸山脈於本研究區之海岸山脈帶沉積岩礫岩區、海岸山脈帶沉積岩泥岩區、海岸山脈帶沉積岩砂頁互層岩組區及海岸山脈帶火成岩區分布。

2.5.2 地質

本(103)年度研究區之地質概況，依前期「都會區周緣坡地山崩潛勢分析」計畫之地質分區成果，主要為以下 11 個地質分區為主，其各地質分區之地層特性分述如下：

一、沉積岩礫石區

分布於本區之地層以紅土台地堆積層及階地堆積層為主。二者岩性特徵相同，只是前者頂部有紅土覆蓋層，而後者沒有。大多數由未膠結的礫石及夾在其中平緩的砂質或粉砂質凸鏡體組成，一般層理和淘選度都很差。

二、西部麓山帶沉積岩砂岩區

分布於本區之地層主要為五指山層、木山層、大寮層、石底層、南港層、南莊層及桂竹林層等。五指山層之特性為含有多層礫質至粗粒厚層至塊狀之白砂岩，主要為中層狀之中至細粒砂岩、砂質頁岩與暗灰色泥岩及頁岩組成，後者往上部增厚。木山層之岩性由淡灰色至灰白色，細粒到中粒砂岩和深灰色頁岩之互層所構成。大寮層由單調的厚層塊狀砂岩和較薄的頁岩或粉砂岩、頁岩的互層所組成。臺灣北部石底層岩性多為砂岩、粉砂岩、頁岩與薄層煤層為主。南港層由厚層到薄層青灰色細粒砂岩和深灰色頁岩或粉砂岩所構成。臺灣北部南莊層以塊狀到厚層白色中粒砂岩為主，砂岩大部分屬石英砂岩，同時夾有深灰色頁岩、淡青色泥岩等；於中部地區主要為淡灰色到灰白色的細粒砂岩和深灰色頁岩，砂岩呈塊狀或厚層狀。桂竹林層以青灰色砂岩、暗灰色頁岩、及淺灰色至灰色砂岩、頁岩與砂質頁岩之互層為主。

三、西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區

分布於本區之地層主要為卓蘭層、頭嵙山層、桂竹林層、石底層、大寮層、木山層、南莊層及南港層等。主要由砂岩、粉砂岩、泥岩、和頁岩的互層所組成。

四、西部麓山帶沉積岩泥岩區

分布於本區之地層主要為古亭坑層、竹頭崎層、二重溪層、崁下寮層、六雙層及北寮頁岩等。古亭坑層由巨厚的塊狀泥岩所組成。竹頭崎層於本區主要為淡灰色至灰色細粒塊狀泥質砂岩，與泥質砂岩與暗灰色頁岩互層。二重溪層由厚層棕黃色砂岩與厚層藍灰色泥岩互層所組成。崁下寮層於本區主要由泥岩偶夾薄層細砂岩所組成。六雙層於本區主要由暗灰色至青灰色泥岩和夾有砂岩和粉砂岩互層的頁岩所組成。北寮頁岩整合於竹頭崎層的上部，由青灰色至灰黑色頁岩組成，部分呈泥岩狀，有時微呈帶狀結構，偶夾薄層或凸鏡狀的細砂岩和頁岩與細砂岩所成的薄互層。

五、西部麓山帶沉積岩礫岩區

分布於本區之地層主要為頭嵙山層、頭嵙山層火炎山段、嶺口礫岩及六龜層等。頭嵙山層主要由灰白色至黃灰色砂岩、灰色至暗灰色礫岩所組成，其岩性鬆散，膠結不良，淘選度差，堆積層愈上，礫石愈多，依岩性將其上段稱為火炎山礫岩段。嶺口礫岩由礫岩或礫石所組成，局部含有黃色砂層及土層。六龜層主要由厚層礫岩、粗粒砂岩、砂質頁岩及泥岩組成，膠結度較頭嵙山礫岩堅密得多。

六、變質岩板岩區

分布於本區之地層主要為西村層、佳陽層、四稜砂岩、白冷層、大桶山層、乾溝層、水長流層、十八重溪層、達見砂岩、畢祿山層及廬山層等。西村層由葉理發達的深灰色板岩與千枚岩所構成，夾有暗灰色、中粗粒堅硬的

石英砂岩互層，岩性由淡灰色至灰白色細粒到中粒砂岩和深灰色頁岩之互層所構成。佳陽層主要由厚層板岩組成，夾有少量細粒砂岩或粉砂岩。四稜砂岩於本區為暗灰色硬頁岩與板岩所組成。白冷層於本區主要為深灰色硬頁岩或板岩和灰色的緻密砂岩之互層。大桶山層由堅硬緻密的泥質粉砂岩所組成。乾溝層以硬頁岩和板岩為主，且硬頁岩與板岩十分堅硬緻密，常於野外形成陡壁之地貌特徵。水長流層以黑色硬頁岩和輕度變質的頁岩為主。十八重溪層主要由黑色至暗灰色板岩組成，其中夾有薄層變質砂岩以及板岩和變質砂岩所成黑白相間的薄葉互層，是為其主要岩性特徵。達見砂岩主要由白色或淺灰色中粒至粗粒石英岩狀砂岩組成，呈厚層或塊狀，夾有薄層至厚層板岩或變質頁岩互層。畢祿山層以板岩和千板岩為主要岩性，但是在變質的泥質岩層中夾有較厚的變質砂岩，有的為石灰質砂岩，有的為長石質砂岩。廬山層主要為黑色至深灰色的硬頁岩、板岩和深灰色的硬砂岩互層所組成。

七、中央山脈東翼變質岩區

分布於本區之地層為大南澳片岩之變質雜岩系，主要由黑色片岩、綠色片岩、矽質片岩、變質石灰岩、片麻岩、基性及超基性岩石所組成。黑色片岩同時被稱為泥質片岩，為中央山脈東翼地質區主要之片岩狀岩石，岩性上呈現深灰色至黑灰色，且具有發育良好之葉理面。綠色片岩主要呈現厚層或薄層凸鏡體，多與黑色片岩、矽質片岩、層狀燧石、變質石灰岩等變質岩形成互層。其多數由基性火山岩流及碎屑岩變質而成。矽質片岩主要係由各種砂岩與燧石層變質而成，岩性上呈現灰色，且具有發育良好之葉理面。於太魯閣帶中矽質片岩多與綠色片岩及黑色片岩共生，於大多數矽質片岩常與黑色片岩形成緊密之薄互層，亦常含有黑色片岩之夾層。變質石灰岩又稱大理岩，其呈塊狀或厚層狀，結構為細粒至粗粒，多呈灰色，少數呈黑色與白色。片麻岩主要分布於中央山脈東翼地質區之北部，散布於蘇澳至花蓮之間，且片麻岩岩體均在片岩與角閃岩之中間。片麻岩可分為富含石英長石類之副片

麻岩與花崗岩質之正片麻岩兩大類。副片麻岩之原岩可能為變質砂岩及石磨質變質頁岩，其岩理為粗粒片麻岩狀，具有殘留之碎屑狀岩理。花崗岩質之正片麻岩多呈淡灰色，具有殘留之花崗岩岩理，其變質後葉理面多與圍岩之片理面一致。基性及超基性岩石包含所有可能之海洋地殼與其變質產物之基性或超基性岩石。其多含有蛇紋石、藍玉、滑石及石棉等礦產資源，尤其於玉里以西沿著基盤雜岩與板岩帶之接界處，具有臺灣最大的基性岩塊。

八、海岸山脈帶沉積岩礫岩區

分布於本區之地層為卑南山礫岩及八里灣層。卑南山礫岩主要出露於臺東市西北方之卑南山，多數來自臺東縱谷西邊中央山脈變質岩區之礫石所組成，礫石為直徑 5~15 公分大小之各種變質岩類。八里灣層礫岩主要分布於海岸山脈北段，以厚層礫岩和砂岩為主。

九、海岸山脈帶沉積岩砂頁互層岩組區

分布於本區之地層主要為八里灣層及蕃薯寮層等。八里灣層由礫岩、砂岩和頁岩相互穿插所組成，有濁流沉積構造和深海相化石，岩相北粗南細，在海岸山脈北段，以礫岩和砂岩為主，在南段則以砂岩和砂頁岩為主。蕃薯寮層以細砂岩和頁岩的薄互層組成，並含有大量深海相化石。

十、海岸山脈帶沉積岩泥岩區

利吉層為出露於本區之地層，利吉層廣泛分布於海岸山脈南端，並沿著海岸山脈西緣向北延展約 70 公里，寬約 1~3 公里。其地層主要為巨厚之灰色泥岩，夾雜著種類繁多且大小不一之外來岩塊，屬於標準之混同層。而利吉層出露處常成惡地形，混雜泥岩內之堅硬外來岩塊則突立成獨立之小山丘，地形上甚為明顯。

十一、海岸山脈帶火成岩區

分布於本區之地層主要為奇美火成雜岩及都鑾山層。奇美火成雜岩主要出露於海岸山脈中段秀姑巒溪下游奇美村附近，面積約 22 平方公里。其多數由安山岩質之岩流與火山碎屑岩組成，亦包含玄武岩質安山岩、玄武岩、閃長岩、斑狀安山岩及多種岩脈。都鑾山層為覆蓋於奇美安山岩核心上之地層中的最下單位，為相當巨厚之火山岩層，直接覆蓋於火成岩體上與火成岩體共存。其大部分由火山集塊岩、凝灰岩或凝灰質沉積組成，亦含少量玄武岩及石英安山岩。都鑾山層於山脈中段分布最廣，再向南北延伸，層厚估計約 1000~1500 公尺，岩性變化甚大。

2.5.3 環境地質災害

根據中央地質調查所於 2005 年執行之都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫之坡地環境地質災害調查研究調查總報告，數量統計成果如表 2.5-1 所示，研究區內之環境地質災害空間分布如圖 2.5-1 所示，分區簡述如下：

一、北部區域

北部地區地質災害以風化土層、岩屑或破碎地層等材料發生崩落之岩屑崩滑為主，多發生於蝕溝、溪岸及坡趾道路開挖處，崩滑後坡面常呈細長條狀之裸露狀態，北部地區之坡地範圍內皆有分布。其次為落石，多發生於富含節理之堅硬岩層所形成之陡峭崖坡，於東北海岸濱海公路一帶有密集分布。北部地區曾發生不少落石災害，造成人員建物損傷，如觀音山凌雲禪寺落石災害、內雙溪聖人瀑布落石災害及基隆中山二路落石災害等。岩體滑動規模通常較大，影響範圍較廣，北部地區都會區周緣坡地過去亦曾發生數起著名之岩體滑動災害，如三峽白雞自然清境社區因地震所引發之岩體滑動，造成位於河谷上方之住宅地基滑動，使住

宅、道路毀壞。北部地區西部麓山帶中順向坡地形顯著，有發達的單面山地形，其發育之主要不連續面為層面，層面傾向以東至東南向較為普遍，另外，都會區周緣坡地上之順向坡常因道路開挖或社區建築開發挖除順向坡坡趾，而導致規模不一之災害，如 86 年林肯大郡社區即因順向坡上之岩體滑動而造成嚴重災情。此外，北部地區都會區周緣之土石流所造成災害時有所聞，如金山地區、北投地區、基隆地區、內湖地區等，於歷次颱風豪雨後，常有土石流發生，因下游多為人口較為密集聚落，常造成嚴重災害，如臺北市內湖路土石流災害及新店北宜路土石流災害。

二、中部區域

中部區域岩屑崩滑為山崩分類中最為普遍與廣泛分布的類型，多發生於蝕溝、溪岸及坡趾道路開挖處，順向坡地形、岩性、坡度等常為岩屑崩滑的影響因素。中部地區台地邊緣的陡坡及頭嵙山層組成的緩丘地區等膠結不良的礫石層分布區，岩屑崩滑特別密集。如國姓九九峰地區的頭嵙山層，曾於九二一大地震時造成大規模的岩屑崩滑，呈現一片光禿的景象，大量礫石崩落堆積於谷口，並於大雨時形成土石流災害。落石多發生在逆向坡或斜交坡面，大部分發生落石後形成崖坡面光凸或植被稀疏的陡峭山壁，崖下仍保有堆積地形的落石處顯示近期發生的機率很高。南投竹山鎮太極峽谷於民國 75 年曾發生落石災害，造成 28 人死亡 30 餘人輕重傷的慘劇。中部地區岩體滑動仍以順向坡的平面滑動為主要形式，主要發生於桂竹林層、卓蘭層、深坑砂岩及猴洞坑層等地層中。九份二山地區曾發生大規模之岩體滑動，面積約 104 公頃，為民國 88 年九二一大地震造成的順向坡平面型滑動，曾造成 20 餘戶及 20 餘人遭土石掩埋。其餘歷年來曾發生多起大規模岩體滑動，如民國 88 年紅菜坪地區、民國 86 年復興村雙坑地區，民國 95 年上新里食水坑地區等。順

向坡的發育常影響各類型山崩的分布，當坡趾受到河岸侵蝕或公路開挖遭移除時，順向坡容易產生岩體滑動，而坡面上的風化土石則經常發生岩屑崩滑，順向坡側壁或反向近垂直之坡面則易發生落石。

三、南部區域

南部區域岩屑崩滑為山崩分類中最为普遍與廣泛分布的類型，多發生於蝕溝、溪岸及坡趾道路開挖處，順向坡地形、岩性、坡度等常為岩屑崩滑的影響因素。草嶺山崩岩體滑落後於側邊形成之陡崖，落石區面積達 41 公頃。大崗山隆起珊瑚礁石灰岩出露地區落石數量很多，但規模較小。南部地區內岩體滑動，以草嶺大崩山為最大規模，曾多次造成嚴重災害。草嶺大崩山已有 4 次坍塌及形成堰塞湖的歷史紀錄，於民國 88 年的 921 大地震時發生，崩塌面積約 500 餘公頃，而形成的堰塞湖於民國 93 年七二水災（敏督利颱風）時潰堤。除草嶺地區外，臺南縣左鎮鄉與龍崎鄉曾於民國 88 年發生崩塌，兩處崩塌地均位於順向坡上，由於坡趾受到河流沖刷侵蝕或開墾影響，岩體失去支撐而崩塌，其中位於左鎮鄉的崩塌規模雖然不大，但因高壓電塔的倒塌而造成極大的經濟損失。南部地區順向坡分布於大崗山隆起珊瑚礁及泥岩出露以外的地區，順向坡坡向以東至東南向較為普遍。草嶺東北側桂竹林層大窩山砂岩段分布區域、匏仔寮溪上游竹頭崎層分布地區、草山溪上游長枝坑層分布地區及旗山溪糖恩山砂岩分布地帶等具有較大規模的順向坡地形特徵。南化水庫附近順向坡之單面山地形非常發達。廣泛的惡地分布是南部地區的一項地形特徵，以地層岩性區分，主要分布在古亭坑層泥岩出露地區。具有較大規模的惡地位於崁下寮層及竹頭崎層之泥岩出露地區。在坡面植生不佳的泥岩裸露地區，其侵蝕作用益加嚴重。

四、東部區域

東部研究區變質岩及火成岩所構成之地形地勢陡峻，落石災害煩多，尤以蘇花公路、中部橫貫公路及海岸山脈脊線兩側等地區最甚。岩屑崩滑為東部研究區最頻繁之環境地質災害，多數集中於海岸山脈沉積岩出露之地區。而岩體滑動亦多分布於海岸山脈沉積岩出露地區，其主要滑動型態為弧形滑動，如池上鄉山棕寮地區之岩體滑動。順向坡亦多分布於海岸山脈兩側之沉積岩出露區，其順向坡坡面上常見淺層風化表土之岩屑崩滑，僅少數順向坡與規模較大之岩體滑動災害有關。另東部研究區利吉混同層則常見泥岩受侵蝕風化而產生之惡地地形。

表 2.5-1 研究區環境地質災害統計表 (摘錄自中央地質調查所，2006)

災害種類		落石	岩屑崩滑	岩體滑動	順向坡	惡地	侵蝕
北部區域	數量 (處)	1,241	11,409	119	7,146	0	1,375
	面積 (公頃)	957.4	1,935.9	346.5	20,060.2	0.0	—
中部區域	數量 (處)	1,051	12,936	64	3,734	0	1,150
	面積 (公頃)	1,962.9	6,220.9	571.9	12,039.3	0.0	—
南部區域	數量 (處)	246	9,251	30	3,824	6,740	1,013
	面積 (公頃)	442.1	4,037.9	595.7	15,803.7	3,994.8	—
東部區域	數量 (處)	3,180	14,938	35	1,059	307	929
	面積 (公頃)	3,146.4	4,386.0	212.3	2,393.2	210.8	—

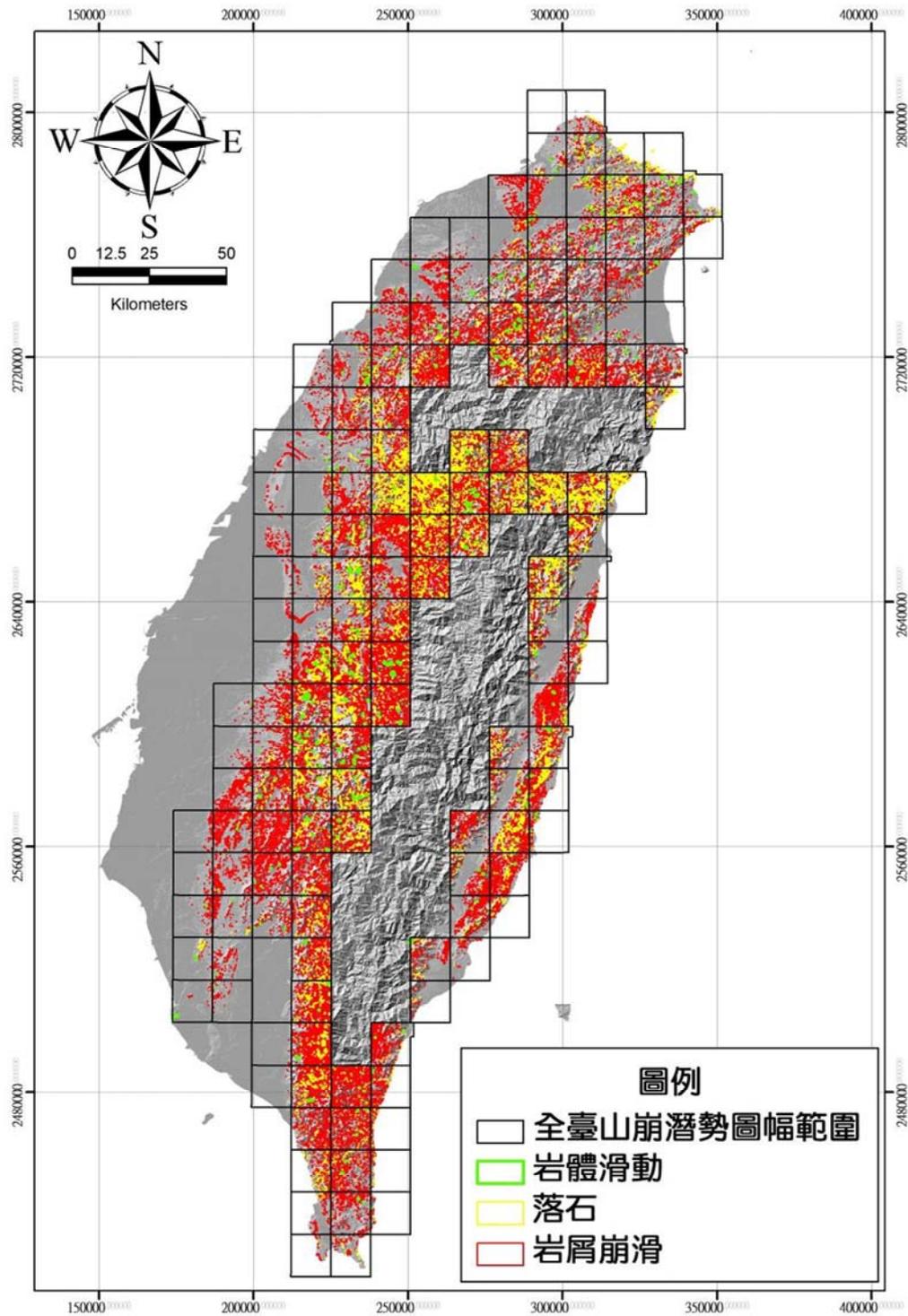


圖 2.5-1 研究區域之環境地質災害分布與空間之關係圖

(改繪自中央地質調查所，2006)

第三章 山崩目錄建置與查核

山崩的發生在臺灣地區是一種頻繁的自然現象，坡度陡峭、地質脆弱和水流湍急等不利於土(岩)體安定之特性，加上地震、暴雨集中等外在誘發因素，導致臺灣坡地災害頻繁。山崩多有其再發性，因此國內外常透過遙測影像、高程數值模型等地貌、地形資訊判釋崩塌地(劉進金，1987; Asselenand & Seijmonsbergen, 2006; 洪凱政，2009; Moine et al., 2009; Mondini et al., 2011; Stumpf & Kerle, 2011; Martha et al., 2012; Van et al., 2012; Razak et al., 2013)，以持續不斷更新山崩目錄，供後續坡地災害預測模式之建立，並做為山崩潛勢分析模式驗證之用，以達坡地防災之目的。山崩目錄建置是非常重要的工作項目，其正確性與完整性對於後續工作影響甚鉅，且動態山崩潛勢分析是以山崩目錄為基石，藉由累積多期豪雨誘發崩塌之山崩目錄，可增進動態山崩潛勢分析模式之可行性，並做為警戒條件率定的重要參考，此為建立山崩目錄之主要目的。

3.1 山崩目錄建置流程

本(103)年度規劃建置之山崩目錄主要為高山區歷史豪雨引致山崩災害事件之補遺，南部地區的高山區(口社與三地門，1/25,000 圖幅範圍)購買包含 2004 年敏督利颱風前後、2005 年海棠颱風後、2006 年六九豪雨後、2007 年聖帕颱風後、2008 年辛樂克颱風後及 2009 年莫拉克颱風後等 7 期豪雨事件災害衛星影像，東部地區的高山區(環山、大禹嶺與天祥，1/25,000 圖幅範圍)則購買包含 2001 年桃芝颱風前後、2004 年敏督利颱風前後、2005 年龍王颱風前後及 2009 年莫拉克颱風前後等 8 期豪雨事件災害衛星影像，扣除(102)年度地調所易淹水計畫已購買影像的地區，恆春半島(潮州、林邊、來義、南和、新生、太麻里與大鳥，1/25,000 圖幅範圍)僅購買包含 1996 年葛樂禮颱風前後、2005 年海棠颱風前後、2009 年莫拉克颱風前後及 2011

年南瑪都颱風前後等 8 期豪雨事件災害衛星影像。購買之影像資料詳如表 3.1-1。

表 3.1-1 本(103)年度購置之衛星影像

編號	影像拍攝時間	影像種類	範圍
1	敏督利颱風(2004-06-28)前	SPOT5	口社與三地門， 1/25,000 圖幅範圍
2	敏督利颱風(2004-07-03)後		
3	海棠颱風(2005-07-20)後		
4	六九豪雨(2006-06-09)後		
5	聖帕颱風(2007-08-19)後		
6	辛樂克颱風(2008-09-16)後		
7	莫拉克颱風(2009-08-10)後		
8	桃芝颱風(2001-07-28)前	SPOT4	環山、大禹嶺與天祥， 1/25,000 圖幅範圍
9	桃芝颱風(2001-07-31)後		
10	敏督利颱風(2004-06-28)前	SPOT5	
11	敏督利颱風(2004-07-03)後		
12	龍王颱風(2005-09-30)前		
13	龍王颱風(2005-10-03)後		
14	莫拉克颱風(2009-08-05)前		
15	莫拉克颱風(2009-08-10)後		
16	葛樂禮颱風(1996-07-24)前	SPOT4	潮州、林邊、來義、南 和、新生、太麻里與大 鳥，1/25,000 圖幅範圍
17	葛樂禮颱風(1996-07-27)後		
18	海棠颱風(2005-07-16)前	SPOT5	
19	海棠颱風(2005-07-20)後		
20	莫拉克颱風(2009-08-05)前		
21	莫拉克颱風(2009-08-10)後		
22	南瑪都颱風(2011-08-27)前		
23	南瑪都颱風(2011-08-31)後		

本計畫根據前四年期之計畫「地質敏感區災害潛勢評估與監測都會區周緣坡地山崩潛勢評估(3/4)」(經濟部中央地質調查所，2009)之「遙測影像判釋崩塌地及事件型山崩目錄建置作業手冊」依其山崩目錄建置 SOP 之四

大步驟，分別為基本資料蒐集、山崩目錄判釋、山崩目錄檢核與山崩目錄屬性資料建立，以下分述各工作項目之細節：

- 一、基本資料蒐集：主要為颱風、豪雨災害事件之衛星影像與正射航照。
- 二、山崩目錄判釋：對衛星影像進行崩塌地判釋，建立山崩目錄，其過程如下：

1. 衛星影像處理：向中央大學遙測中心申購 Level 3 之 SPOT 多光譜態 (MS) 與全色態 (PAN) 兩種影像，進行影像融合，取得高解析假色影像，並透過影像處理軟體進行色彩增揚，凸顯崩塌地特徵，以利崩塌地判釋。在衛星影像的選取上，以最接近事件發生時間點為原則，SPOT 衛星有時因天候狀況不佳，使得衛星影像上有雲霧遮蔽，不利崩塌判釋，因此選定衛星影像時主要還是以雲量低者為原則。另外，由於研究區的範圍廣闊，無法全區取得同一時間點的衛星影像，因此將採用兩至三個相近時間點的衛星影像進行合併判釋，以取得最好的判釋成果。
2. 山崩目錄判釋：以高解析假色影像為底圖，根據影像紋理、外形及區位等資訊數化山崩目錄。

三、山崩目錄檢核：對已建立之山崩目錄進行檢核，其過程如下：

1. 正射航照比對：利用中央地質調查所提供之正射航照檢核山崩數化成果，檢核重點在於確認是否屬於人為裸露地(如農地、開墾地等)或其他不屬於山崩之情形，經確認為非山崩，即由山崩目錄中予以刪除。
2. 野外現場查核：為了確認遙測判釋山崩之空間分布與崩塌機制等是否與現地狀況一致，須進行崩塌發生位置、材料分布狀況及崩塌量

體堆積形貌等之查核，並將現地查核後之訊息回饋至室內判釋作業，以累積山崩判釋經驗，提昇後續判釋之正確率。

四、山崩目錄屬性資料建立：對已數化完成之山崩目錄，進行山崩屬性資料建置，其處理過程如下：

1. 山崩分類與 GIS 建檔：建立山崩目錄基本屬性資料，包括數化產製資料與套疊圖層產製資料兩大項，數化產製資料欄位計有：(a)山崩編號、(b)山崩位置 X、Y 坐標(TWD 97 坐標系統)、(c)崩塌地面積(水平投影面積)、(d)遙測影像類型、(e)衛星影像拍攝時間、(f)舊有崩塌地、(g)新增崩塌地、(h)品管人員等。套疊圖層產製資料欄位為：(a)斜坡單元編號、(b)地質分區編號、(c)平均坡度、(d)坡向、(e)岩性、(f)岩體結構類型、(g)岩石單壓強度、(h)岩體強度分級等。
2. 山崩目錄應用：為使山崩圖層有效利用與管理，預計於山崩屬性資料欄位內建立斜坡單元與地質分區編號，連結斜坡單元與地質分區屬性。對有疑慮之山崩圖層可迅速瞭解其地形與地質等相關資訊。

3.2 山崩目錄野外查核

以遙測影像進行崩塌地判釋所建立之山崩目錄作業，若僅以室內檢核仍有所不足，必須挑選山崩目錄中判釋有疑義之崩塌地赴現地進行重點式查核，以確認山崩及崩塌類型判釋等內業工作之正確性。山崩現地查核之操作流程請參閱前期計畫完成之「山崩現地查核作業手冊」，本節主要說明依該操作手冊執行山崩現地查核之成果，執行流程如圖 3.2-1。

本計畫研究區域廣闊，以衛星影像為基礎所判釋數化之事件型山崩數目甚多，礙於計畫時程限制，無法對所有山崩目錄資料進行全面性之現地查核，因此必須先將山崩目錄分布地點予以篩選，挑選具代表性之山崩加

以現地查核。篩選條件除考慮交通可及性之外，亦須考量山崩之空間分布特性(如不同岩性、地質條件、崩塌類型等)。

本(103)年度山崩目錄野外查核點經篩選與檢核後，目前共計保留 126 處較佳之成果資料，亦已滿足合約至少達 100 處之要求。

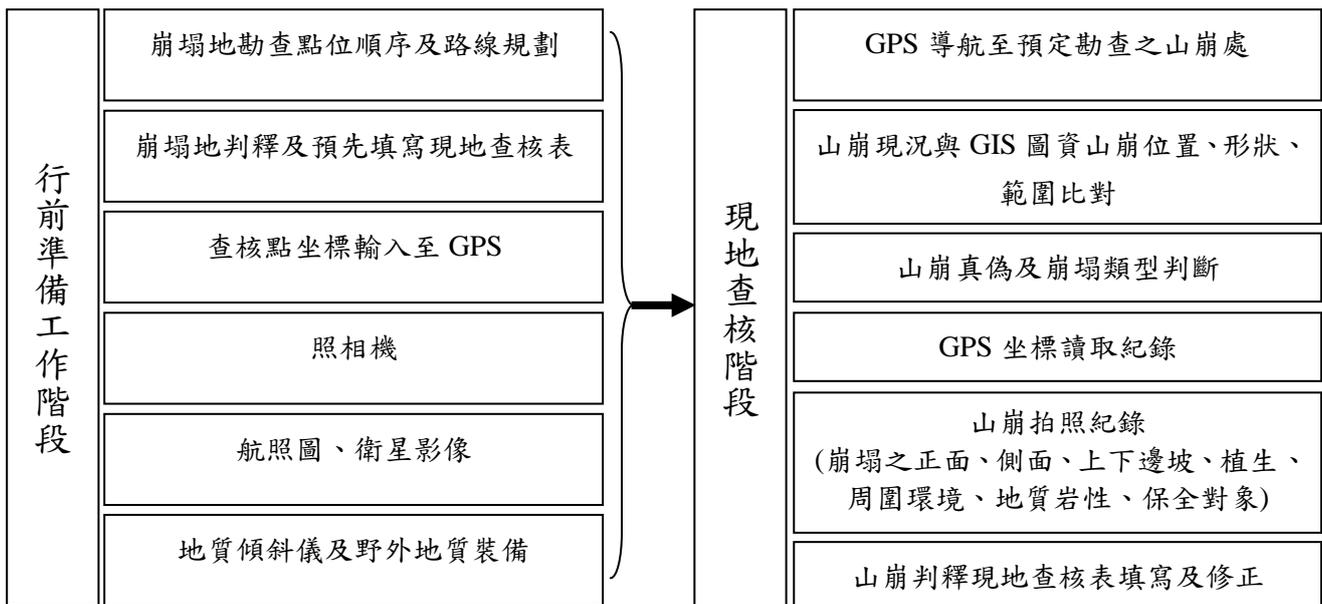


圖 3.2-1 山崩現地查核操作流程圖

3.3 山崩目錄判釋成果

前述各節已率定山崩判釋流程與品管步驟，本計畫依此方法對本(103)年度購置之颱風事件：葛樂禮颱風、桃芝颱風、敏督利颱風、海棠颱風、龍王颱風、六九豪雨、聖帕颱風、辛樂克颱風、莫拉克颱風及南瑪都颱風等 10 場事件 17 期影像現存之山崩進行山崩目錄建置。期末階段已數化完成之山崩目錄結果如圖 3.3-1~23 所示。

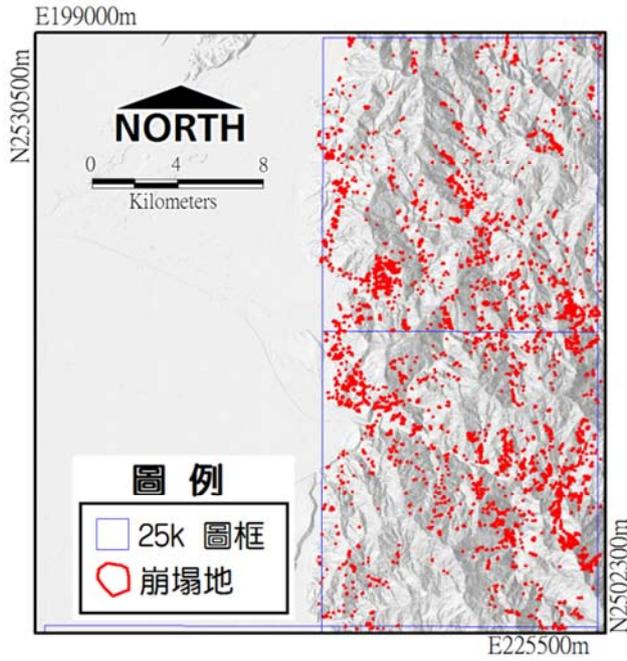


圖 3.3-1 敏督利颱風前(編號 1)

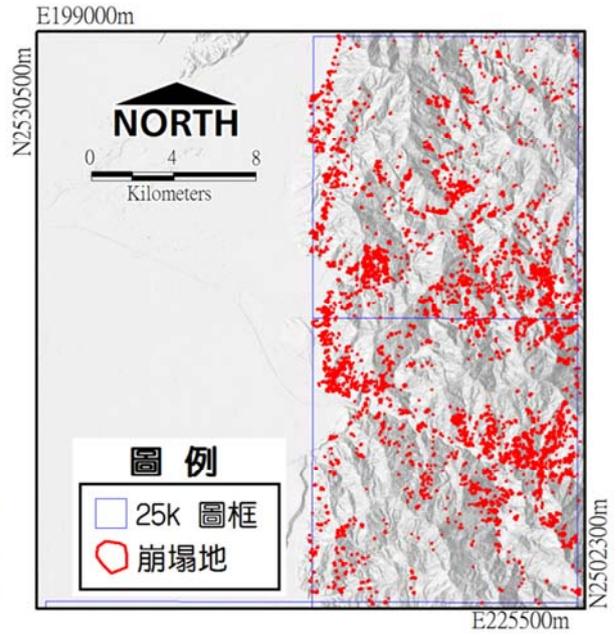


圖 3.3-2 敏督利颱風後(編號 2)

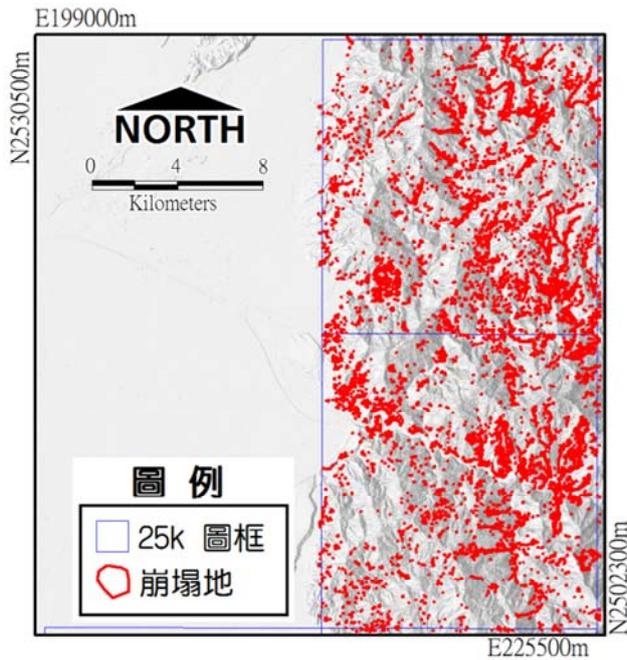


圖 3.3-3 海棠颱風後(編號 3)

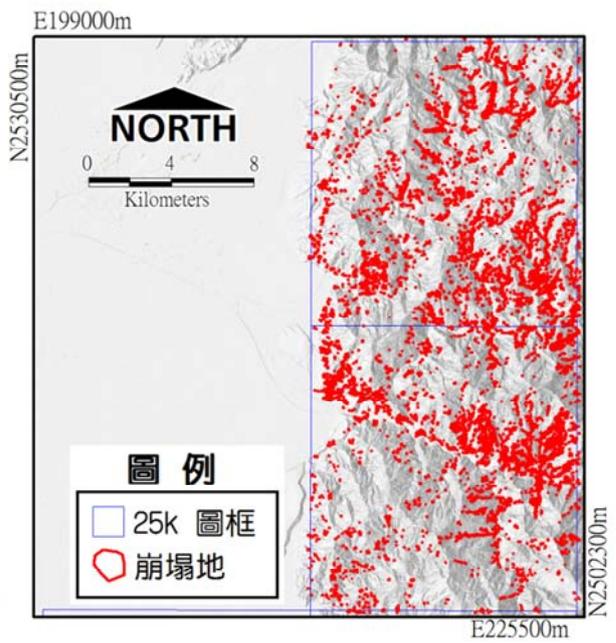


圖 3.3-4 六九豪雨後(編號 4)

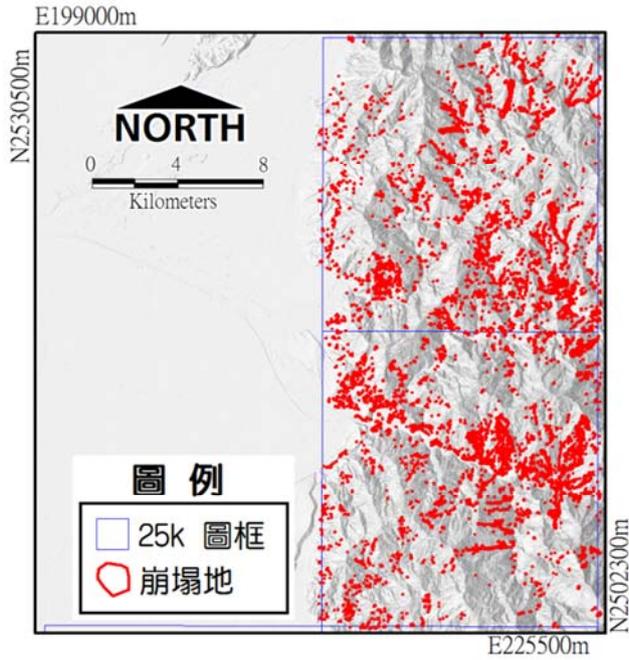


圖 3.3-5 聖帕颱風後(編號 5)

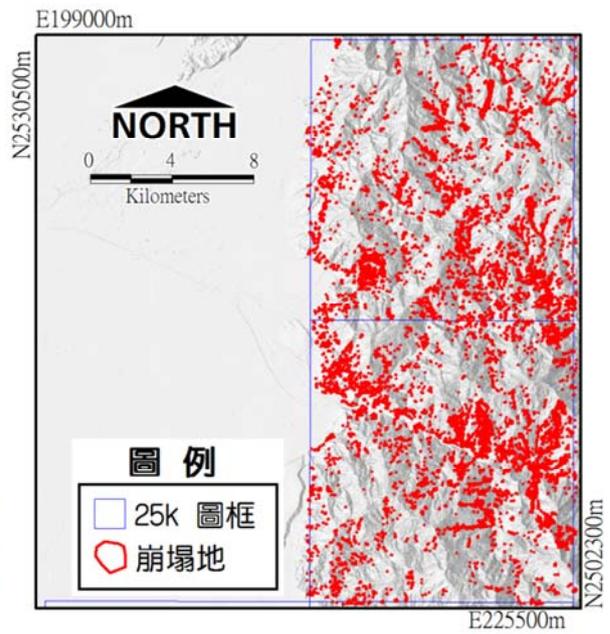


圖 3.3-6 辛樂克颱風後(編號 6)

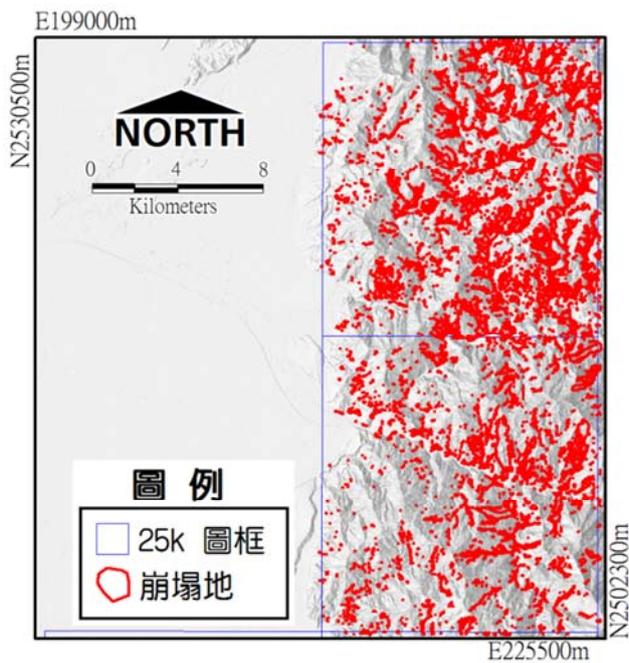


圖 3.3-7 莫拉克颱風後(編號 7)

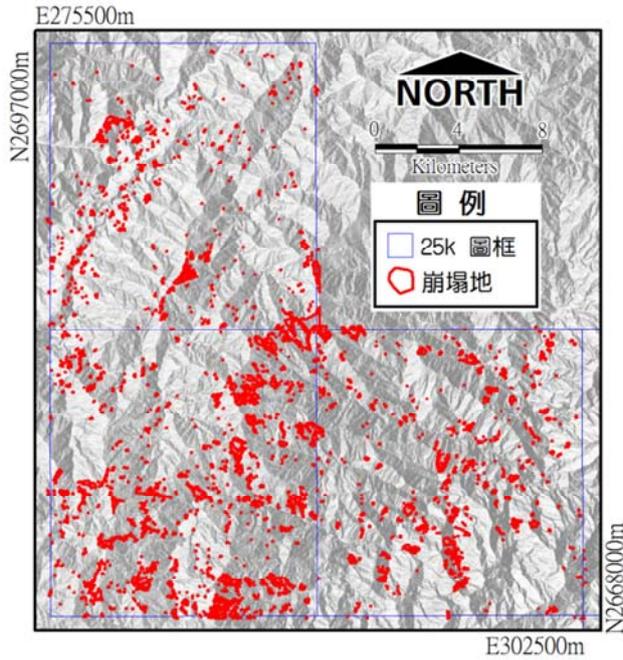


圖 3.3-8 桃芝颱風前(編號 8)

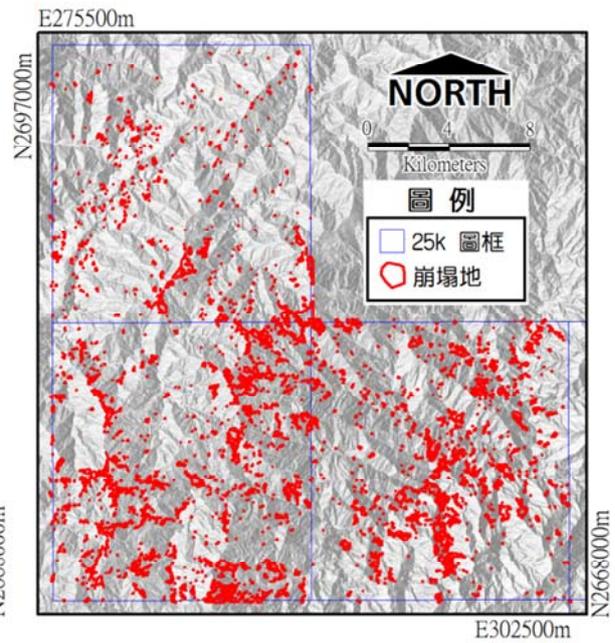


圖 3.3-9 桃芝颱風後(編號 9)

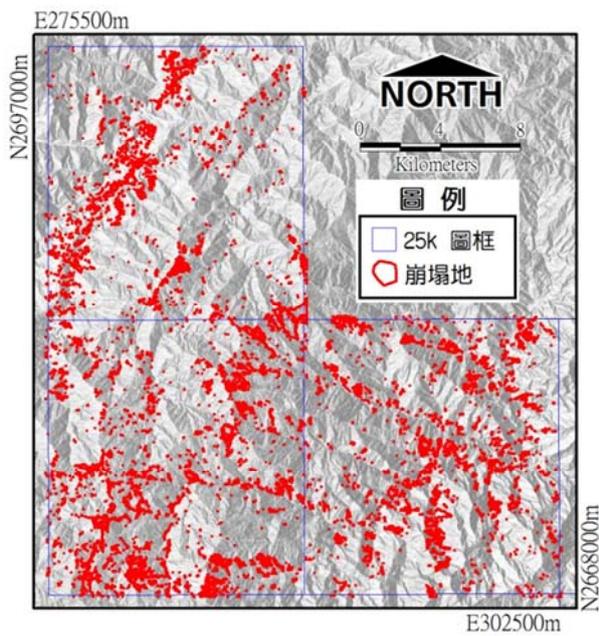


圖 3.3-10 敏督利颱風前(編號 10)

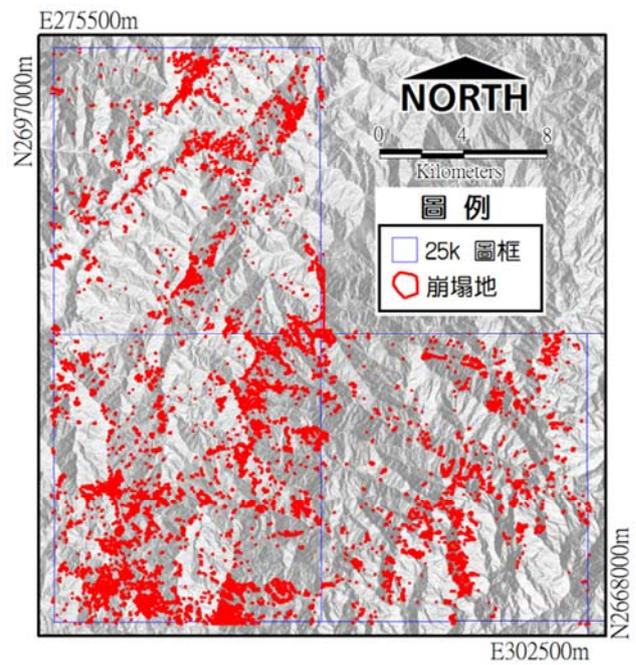


圖 3.3-11 敏督利颱風後(編號 11)

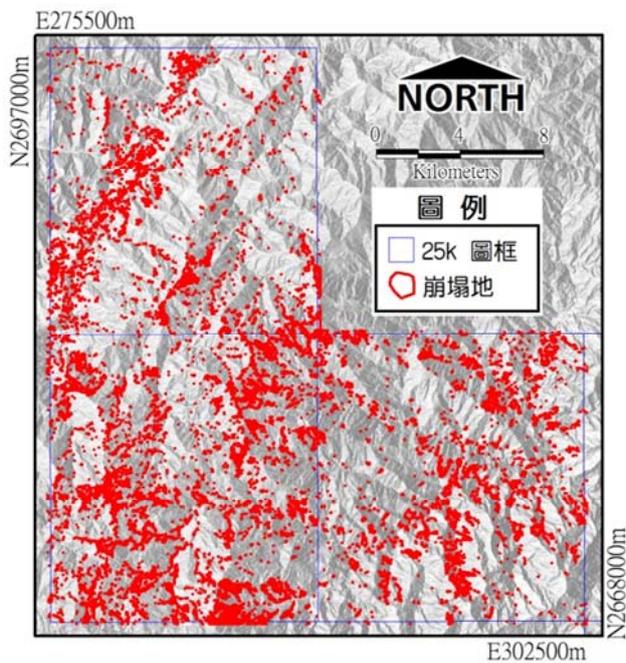


圖 3.3-12 龍王颱風前(編號 12)

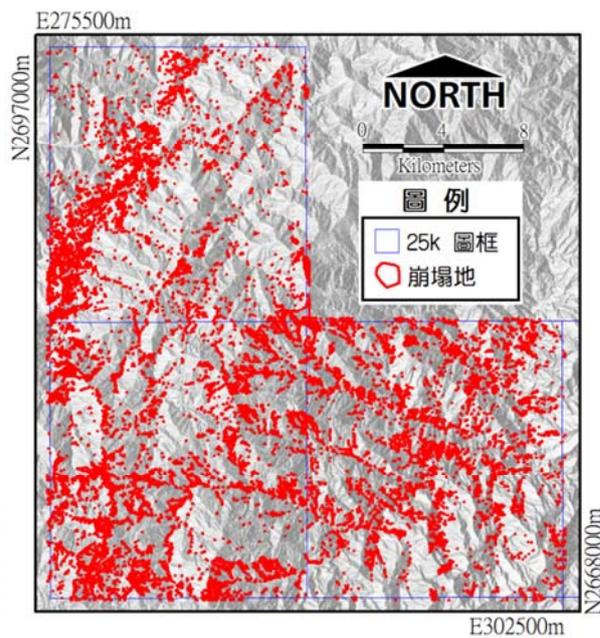


圖 3.3-13 龍王颱風後(編號 13)

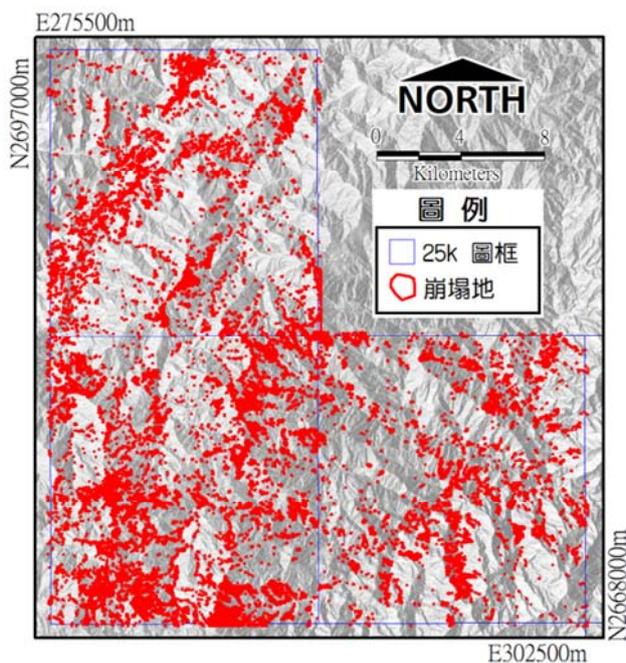


圖 3.3-14 莫拉克颱風前(編號 14)

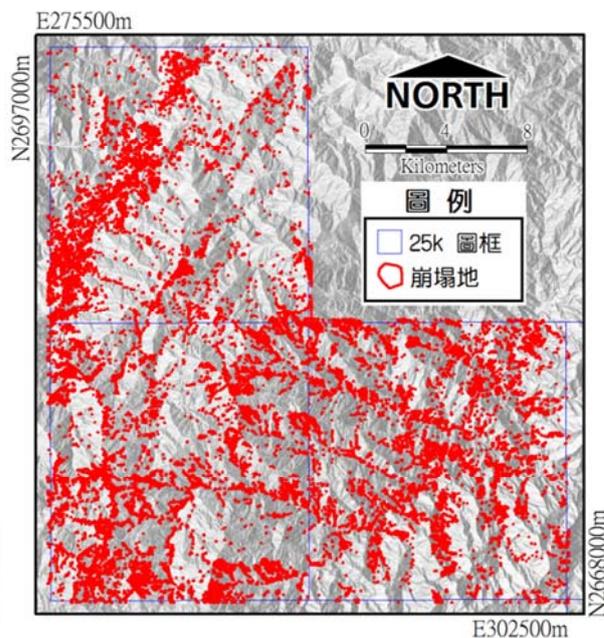


圖 3.3-15 莫拉克颱風後(編號 15)

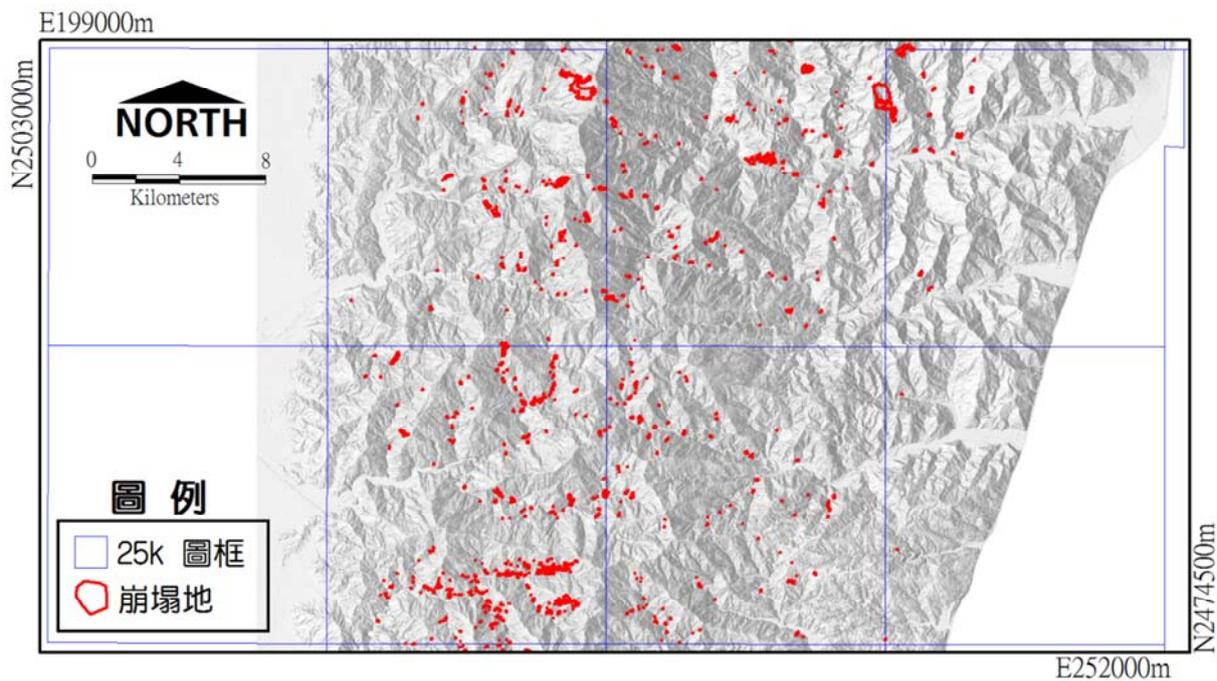


圖 3.3-16 葛樂禮颱風前(編號 16)

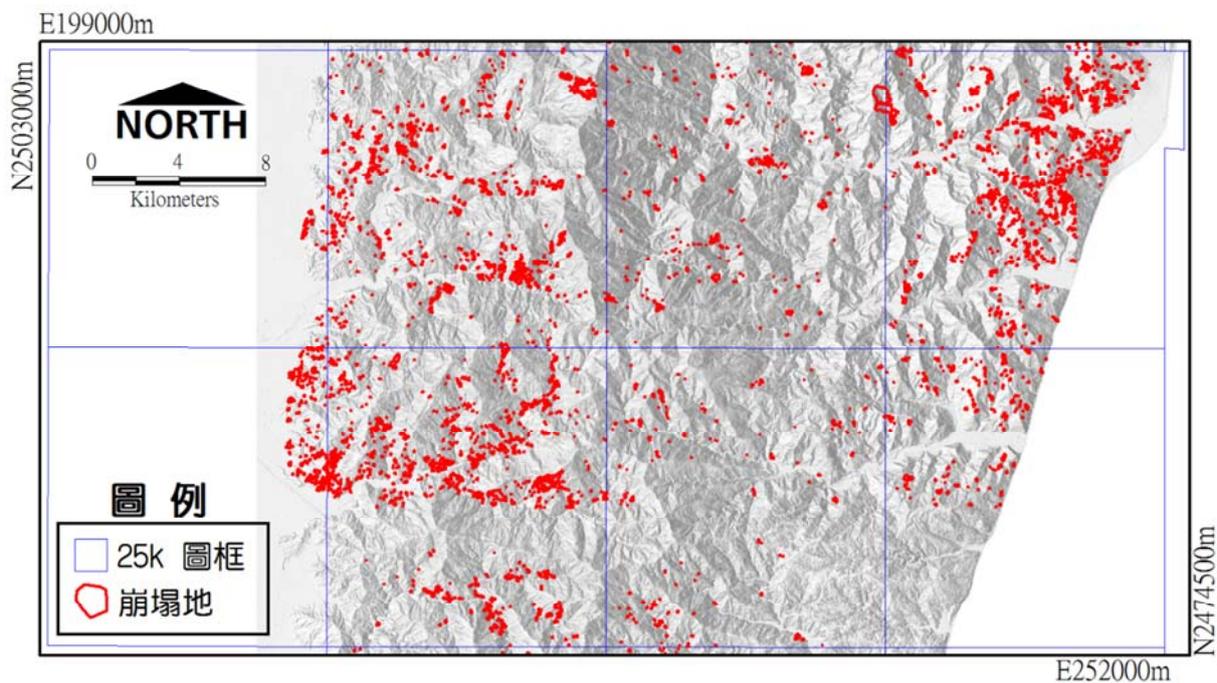


圖 3.3-17 葛樂禮颱風後(編號 17)

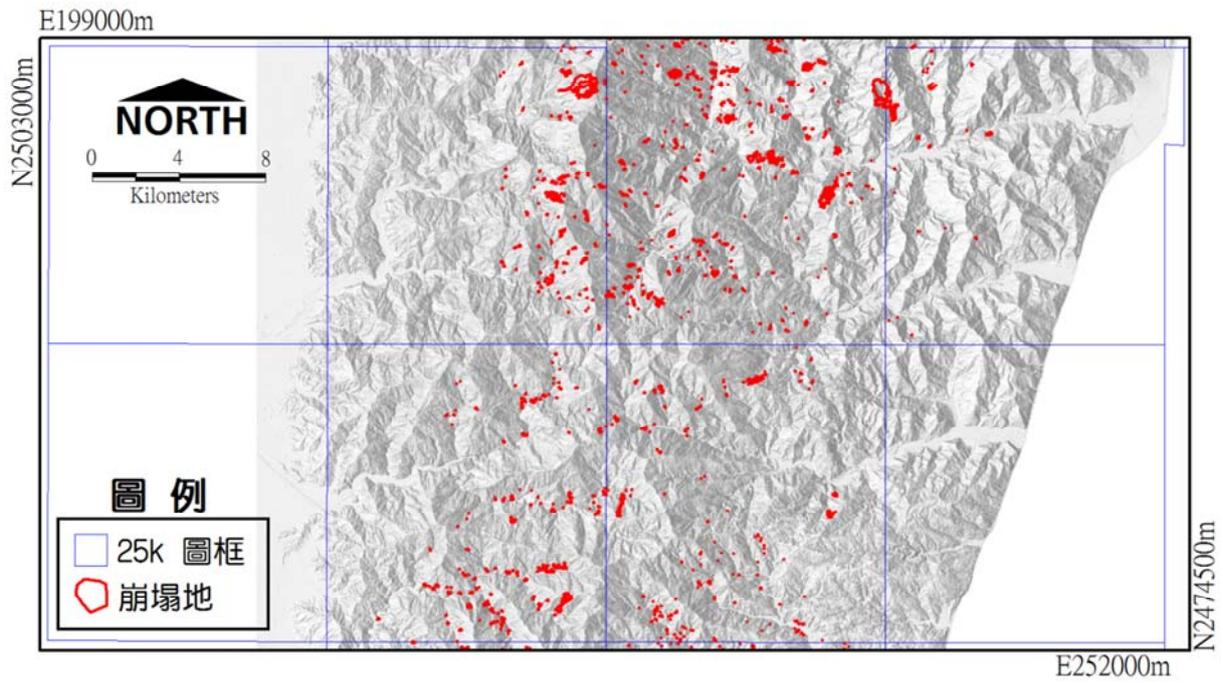


圖 3.3-18 海棠颱風前(編號 18)

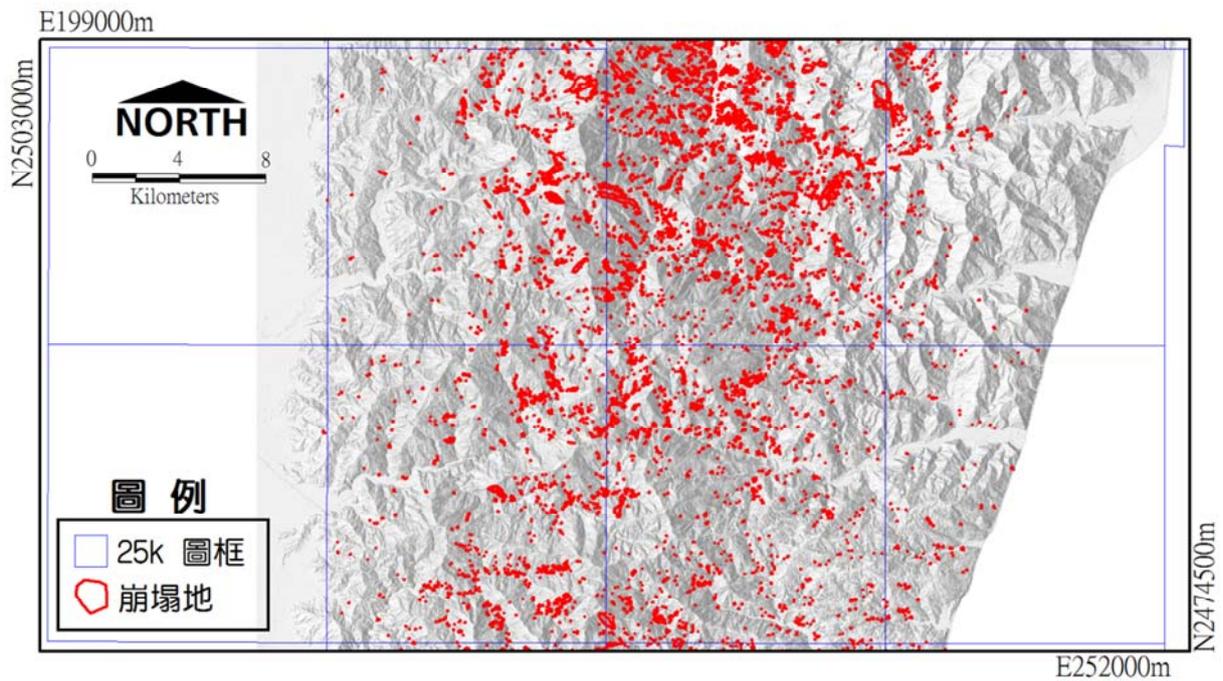


圖 3.3-19 海棠颱風後(編號 19)

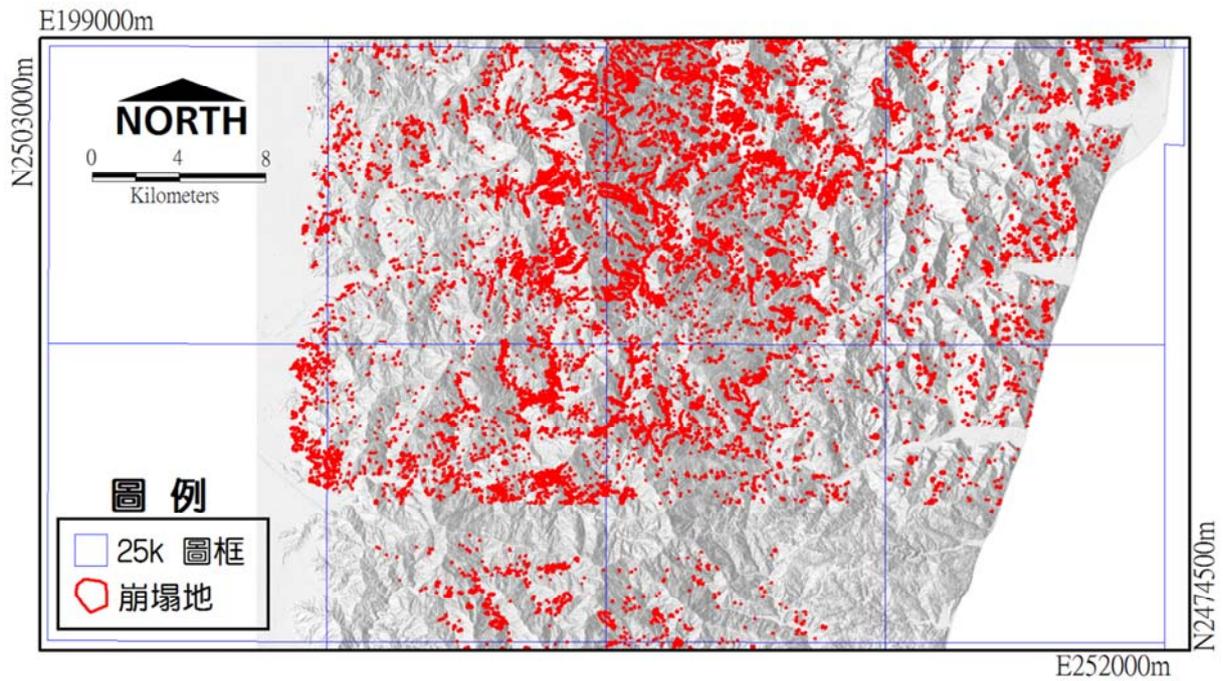


圖 3.3-20 莫拉克颱風前(編號 20)

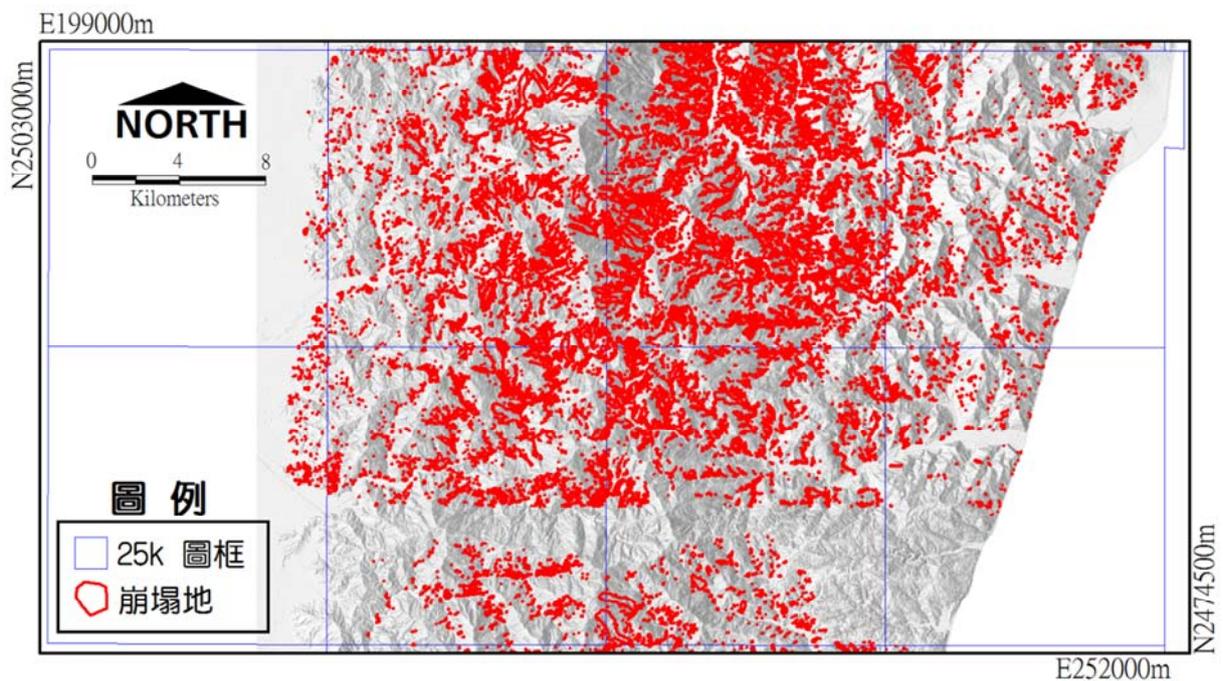


圖 3.3-21 莫拉克颱風後(編號 21)

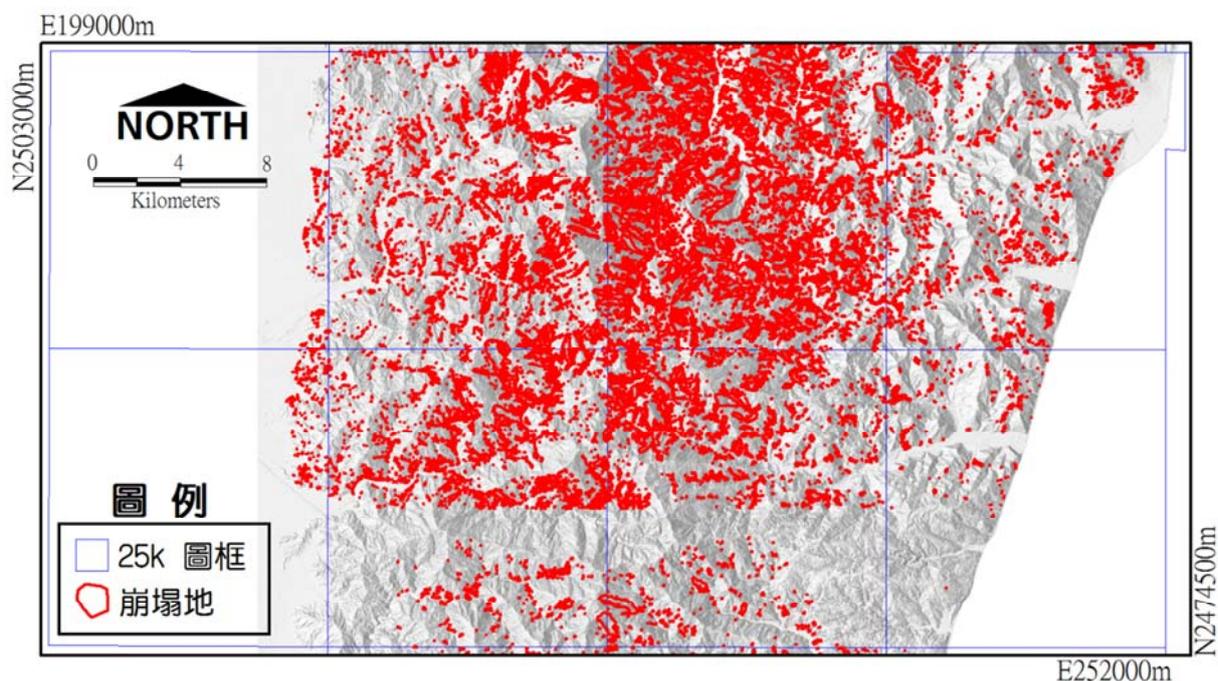


圖 3.3-22 南瑪都颱風前(編號 22)

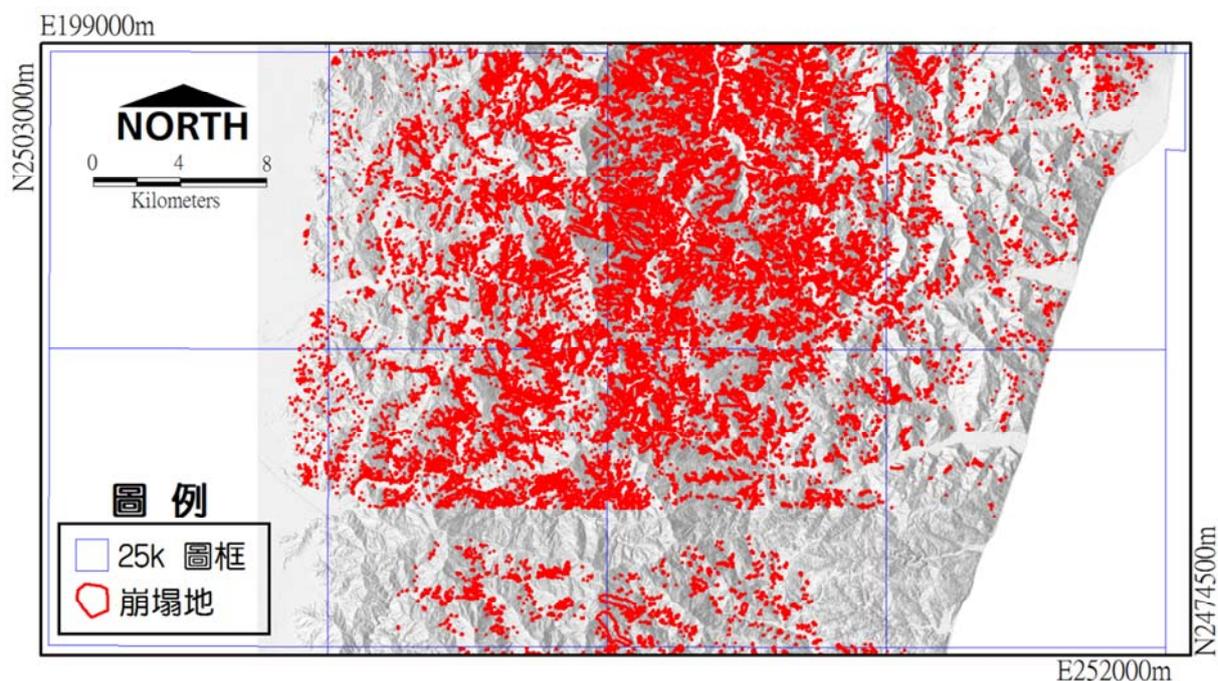


圖 3.3-23 南瑪都颱風後(編號 23)

第四章 實際山崩時間點調查

本計畫根據所建置之山崩目錄，針對歷史山崩災害進行時間點調查工作，調查作業包含實地訪查及報章雜誌與相關文獻之蒐集。本(103)年度於研究區域內共計完成 126 處調查，經品管後保留岩屑崩滑型之時間點調查資料共 122 處。實際山崩時間點調查成果將提供後續模式精進使用。利用時間點調查成果購置各災害點周邊雨量資料，即可進行該崩塌區位雨量分析，並計算得到山崩發生時之降雨強度、累積雨量等參數，做為動態雨量山崩潛勢模式建置之參考。

此外，若能強化近期新增山崩事件之調查，除可更加確定山崩機制外，亦能取得更確切之山崩發生時間；另本計畫亦蒐集本(103)年度至七月份之降雨誘發山崩事件共 38 筆，以助於後續模式修正及驗證工作之執行。其相關調查規劃、品管流程及調查成果詳述如後。

4.1 實際山崩時間點調查規劃

本(103)年度之歷史山崩時間點調查位置係根據所建置之山崩目錄進行規劃，選取原則如下(圖 4.1-1)：

- 一、各圖幅範圍內盡可能選取 4 個勘查點以上，以平均 103 年計畫各圖幅範圍之調查點。
- 二、各調查點以現場可到達為原則，並經由各村里長或當地居民陪同，進行現場訪查與地質調查。
- 三、各調查點以自然邊坡為主，且其規模應以投影面積達 100 平方公尺以上為原則，避免小規模之零星災害影響模式準確性。

由以上篩選原則，本計畫已於期末階段完成 126 個訪查點之歷史資料蒐集與現場訪查。此外，歷史山崩資料蒐集部分，係以行政院農業委員會水土保持局「重大土石災情報告」資料和「臺北市雨量監測資料及邊坡崩塌預警基準操作訂定」成果報告等為主。其中，含有日期與時間(以小時為單位)資料者，已蒐集有 122 筆，後續將持續蒐集相關資料。

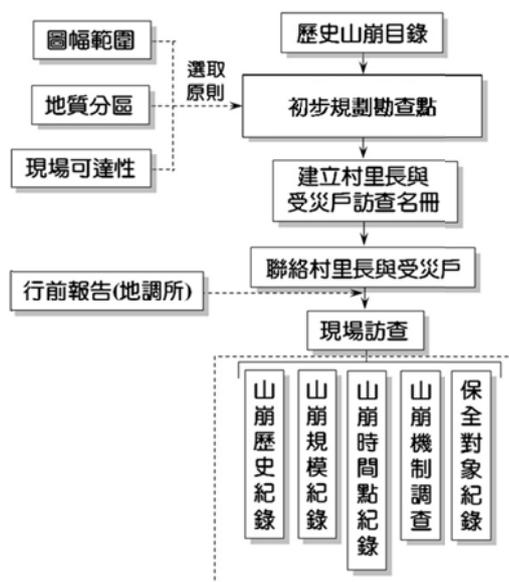


圖 4.1-1 山崩時間點訪查流程

4.2 實際山崩時間點品管流程

因實際山崩時間點距今已數年，若僅以村里長或受災戶訪談內容難以確認山崩實際發生時間之正確性，故本計畫進行現場調查及室內資料整合共二階段之品管程序，以剔除可靠度較差之訪查資料，品管流程詳如下述，執行流程如圖 4.2-1。

(一) 現地調查階段：

1. 整理前期計畫山崩目錄之崩塌地點位及引發崩塌之豪雨事件，據以規劃現地調查之訪查點位。
2. 依據規劃之訪查點資料預先填寫現地調查表，內容包含豪雨事件降雨時間、崩塌地坐標、地質分區、崩塌機制、保全對象等(圖 4.2-2)。

3. 會同村里長及受災戶，依 GPS 導航至規劃訪查點進行調查，比對訪談內容及預填資料之正確性，填寫及修正現地調查表。
4. 會同村里長及受災戶至規劃外之崩塌地進行調查時須進行標註，以比對水土保持局及公路總局等相關災情報告。

(二)資料整合階段：

1. 比對行政院農業委員會水土保持局「土石流防災資訊網-重大土石災情報告」(<http://246.swcb.gov.tw>)，實際山崩時間應與其相近(圖 4.2-3)。
2. 比對「交通部公路總局全球資訊網-公路防救災資訊系統災情查詢」，實際山崩時間需落於其災情通報時間之前(圖 4.2-4)。
3. 比對既有報章雜誌刊登資料。
4. 逐一檢核調查點是否受到河道侵蝕及人為開挖等外力因素擾動影響，保留最適合的案例點作為模式分析之用，目前計畫所採用之調查資料多以自然邊坡之山崩為主。
5. 山崩之現場調查可能隸屬新增或是舊有擴大之山崩情況，利用「太空遙測中心影像查詢系統」不同時域之高解析度衛星影像進一步分類與進行無法取得時間點之資料查詢。藉此可進一步確認山崩時間點的正確性以及確保案例點為新增山崩事件。
6. 綜整以上比對成果後，修正現地調查表。

本計畫依據上述方式進行實際山崩時間點品管，以本(103)年度成果而言，共計 126 處之野外調查資料經品管後僅保留 122 處提供模式使用。對於無法確知發生時間之調查點，為避免影響模式正確性，將僅作為山崩目錄數化成果驗證使用，不納入模式分析中。



圖 4.2-4 比對交通部公路防救災資訊系統之道路阻斷災害時間

4.3 實際山崩時間點調查成果

本計畫已於本(103)年度研究區域內完成岩屑崩滑型之實際山崩時間調查點共 122 處，各山崩時間點調查成果與數量彙整統計如附錄三，表 4.3-1 為本(103)年度研究區域內山崩時間調查點及驗證點統計表，圖 4.3-1 為研究區域內山崩時間點調查位置示意圖。此外，針對報章雜誌與相關文獻之蒐集成果共計有岩屑崩滑型 145 處、岩體滑動型 21 處，後續亦將彙整相關研究報告之內容以充實相關調查成果。

由於本(103)年度研究區域內最主要之地質分區為變質岩板岩區及西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區，且為主要調查之地質分區，茲針對其山崩現地調查結果說明如下，而降雨引致岩屑崩滑特性將於第六章加以說明：

- 一、變質岩區域：本(103)年度調查成果屬於變質岩板岩地質分區的山崩事件為數最多，共有 104 處調查點(表 4.3-1)，現場調查成果顯示(圖 4.3-2)，板岩區岩屑崩滑型山崩多發生在較碎裂結構之岩坡，板岩邊坡受板劈理、節理特性影響，加以風化及滲水弱化，導致坡面上殘留大量不穩定岩屑，並易因降雨事件崩滑。
- 二、西部麓山帶區域：本區之岩屑崩滑型共計 18 處，其中以沉積岩砂頁互層岩組區最多，共計有 15 處。現場調查成果顯示，砂頁互層岩組區岩

屑易滯留於高陡且坡面地形變化大之岩坡上(圖 4.3-3)，並於後續豪雨作用下，驅動坡面上滯留之岩屑，導致岩屑崩滑發生，且其弱層部分易受水流及風化作用而產生差異侵蝕現象或弱化岩體強度，常於坡面及坡趾累積大量岩屑，導致岩屑崩滑、落石、岩體滑動等山崩災害。

表 4.3-1 100 年度至本(103)年度研究區域內山崩時間點調查數量統計

編號	地質分區	岩屑崩滑					岩體滑動				落石		
		100 年	101 年	102 年	103 年	文獻	100 年	102 年	103 年	文獻	100 年	102 年	103 年
1.	沉積岩礫石區	6	2	7	-	21	-	-	-	1	-	-	-
2.	西部麓山帶沉積岩砂岩區	28	6	6	2	9	5	-	-	4	2	1	-
3.	西部麓山帶沉積岩頁岩區	15	-	9	-	1	1	-	-	2	-	-	-
4.	西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區	135	96	71	15	55	7	2	-	13	3	1	-
5.	西部麓山帶沉積岩泥岩區	15	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
6.	西部麓山帶沉積岩礫岩區	23	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-
7.	西部麓山帶火成岩區	8	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-
8.	西部麓山帶火成岩火山角礫岩區	5	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-
9.	變質岩板岩區	81	101	80	104	35	3	-	-	1	3	-	-
10.	雪山山脈變質岩亞變質岩砂岩區	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.	中央山脈東翼變質岩區	13	-	17	-	2	1	-	-	-	1	-	-
12.	海岸山脈帶沉積岩礫岩區	4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
13.	海岸山脈帶沉積岩砂頁互層岩組區	36	-	-	-	2	2	-	-	-	10	-	-
14.	海岸山脈帶沉積岩泥岩區	20	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
15.	海岸山脈帶火成岩區	19	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
小計		414	205	200	122	126	20	2	-	21	22	2	
總計		941(文獻 145 處)					22(文獻 21 處)				24		

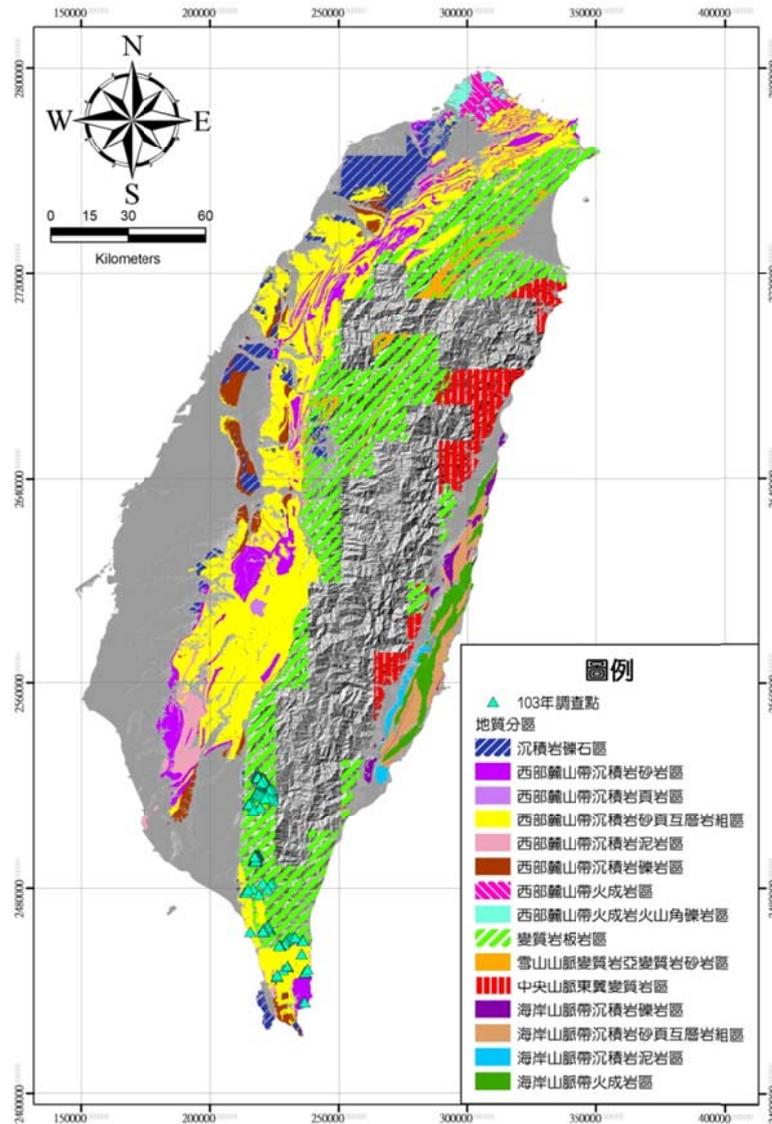


圖 4.3-1 103 年度山崩時間點現地查核位置分布圖

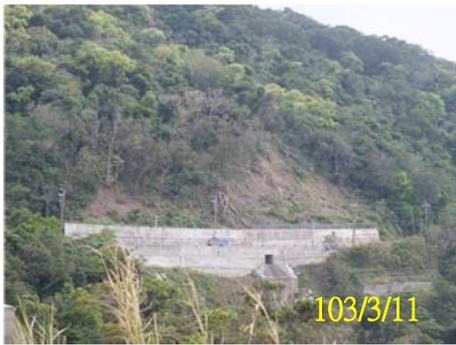


(a)岩屑崩滑型山崩_查核點 0045
(218528, 2523968)



(b)岩屑崩滑型山崩_查核點 0069
(220322, 2521249)

圖 4.3-2 變質岩板岩區山崩現地查核案例照片



(a)岩屑崩滑型山崩_查核點 0105
(230104, 2449250)



(b)岩屑崩滑型山崩_查核點 0091
(225829, 2445246)

圖 4.3-3 西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區山崩現地查核案例照片

4.4 近期新增山崩事件時間點調查

山崩時間點資料之蒐集為本計畫極重要之基礎資料，亦為動態雨量山崩潛勢模式建置之重要依據，然而欲以野外調查，並與村里長、居民訪談後，獲知大量歷史災害事件發生時間點著實具有相當高之難度，且經篩選後之可用樣本數量仍屬有限。是故，若能強化近期新增山崩事件之調查，除可更加確定各災害點之山崩機制外，亦能藉由訪談獲得更確切之山崩時間點，對於未來持續進行模式修正將有莫大助益。

本年度(103 年)之新增山崩事件整理如表 4.4-1；經進一步討論後瞭解：此 38 筆災害案例多為降雨事件誘發，土石流及岩體滑動之災害類型各 1 筆，落石災害類型共 11 筆居次，係以岩屑崩滑災害類型 25 筆最多。

表 4.4-1 近期新增山崩事件一覽表

災害地點	坐標(TWD97)		災害時間	災害事件	災害類型
	X	Y			
台 7 甲線 37K+000	286334	2700016	2014/01/01 下午	降雨	岩屑崩滑
台 21 線 116K+000	239483	2607770	2014/01/07 下午	降雨	岩屑崩滑
台 9 線 142K+000	329792	2699480	2014/02/08 晚間	降雨	岩屑崩滑
台 9 線 122K+500	334739	2711166	2014/02/08 晚間	降雨	岩屑崩滑
基隆市中山區協和街 151 號	-	-	2014/02/14 清晨	降雨	落石
台 8 線 158K+000	299061	2674411	2014/03/12 清晨	降雨	岩屑崩滑
台 18 線 77K+200	225269	2598774	2014/05/08 08:00	降雨	岩屑崩滑
基隆市湖海路 3K+200	-	-	2014/05/11 上午	降雨	落石
新北市五股區登林路	-	-	2014/05/15 04:40	降雨	岩屑崩滑
台 1 線 18K+700(東萬壽路)	287560	2766476	2014/05/16 清晨	降雨	岩屑崩滑
台 21 線 123K	240697	2603787	2014/05/20 晚間	降雨	岩屑崩滑
169 縣道 2K+000(太和村)	222046	2604502	2014/05/21 上午	降雨	岩屑崩滑
台 11 甲線 12K+000	300089	2614461	2014/05/21 上午	降雨	岩屑崩滑
新北市林口區寶林路近台 15 線西濱公路	-	-	2014/05/21 01:30	降雨	岩屑崩滑
桃園縣大溪鎮信義路 1275 號	283223	2753989	2014/05/21 10:30	降雨	岩屑崩滑
基隆市德安產業道路靠近大武崙砲台處	-	-	2014/05/24 上午	降雨	落石
台 2 線 81K+800	-	-	2014/05/27 09:00	降雨	落石
台 8 線 87K+500	275666	2681225	2014/05/27 下午	降雨	岩屑崩滑
苗栗市郊區的觀音道	229478	2715422	2014/05/28 凌晨	降雨	岩體滑動
新北市新烏路 9K+000	305434	2753953	2014/05/29 11:00	降雨	落石
台 7 線 72K+300	299646	2725089	2014/06/01 晚間	降雨	岩屑崩滑
台 9 線 17K+000	-	-	2014/06/01 晚間	降雨	落石
台 8 線 63K+500	267581	2683047	2014/06/05 下午	降雨	岩屑崩滑
南投縣水裡鄉郡坑村二廊地區	-	-	2014/06/07 晚間	降雨	土石流
新北市石碇區靜安路一段三界公廟前	-	-	2014/06/09 10:00	降雨	落石
臺北市世新大學周緣邊坡	-	-	2014/06/09 16:00	降雨	落石
台 8 線 63K+400	267534	2683029	2014/06/10 上午	降雨	岩屑崩滑
新店區新潭路 1 段往環湖路	-	-	2014/06/12 10:00	降雨	落石
縣 162 甲線 42K+000	-	-	2014/7/23 17:00	麥德姆颱風	岩屑崩滑
台 8 線 63K+400	-	-	2014/7/23 07:00	麥德姆颱風	岩屑崩滑
縣 159 甲線 33K+000	-	-	2014/7/23 15:40	麥德姆颱風	岩屑崩滑
縣 169 線 2K+500	-	-	2014/7/23 13:00	麥德姆颱風	岩屑崩滑
台 8 線 87K+400	-	-	2014/7/23 07:00	麥德姆颱風	岩屑崩滑
台 7 甲線 10K+385	-	-	2014/7/23 09:30	麥德姆颱風	岩屑崩滑
台 11 甲線 16K+200	-	-	2014/7/23 02:00	麥德姆颱風	岩屑崩滑
台 8 線 93K+300	-	-	2014/7/23 07:00	麥德姆颱風	岩屑崩滑
台 8 線 181K+200	-	-	2014/7/23 00:00	麥德姆颱風	岩屑崩滑
台 14 線 98K+600	-	-	2014/7/23 06:00	麥德姆颱風	岩屑崩滑

第五章 雨量資料分析

本計畫主要目的為探討豪雨事件雨量與崩塌發生之關係，於期末階段已針對本(103)年度研究區域進行 126 處現場調查，經篩選後保留 122 處歷史山崩時間點訪查資料，並已針對各訪查區位周邊中央氣象局雨量站之時雨量與累積雨量資料進行蒐集，建立不同降雨延時之雨量空間分布，以利動態雨量山崩潛勢之分析，相關資料蒐集與分析如後所述。

5.1 雨量資料蒐集

本(103)年度雨量資料蒐集範圍為全臺圖幅範圍，由於中央氣象局之雨量站資料較為精確，且目前政府相關部門之災害防救工作多以中央氣象局之資料為依據，故本計畫主要雨量分析乃以中央氣象局之雨量站資料為基礎。

本計畫之雨量資料購置，係根據蒐集到之歷史山崩發生區位，配合其山崩發生之時間資料彙整後，蒐集山崩位置周邊鄰近五站雨量站於山崩發生時間點前後之雨量資料，本(103)年度所購買之資料請參閱[附錄四](#)。

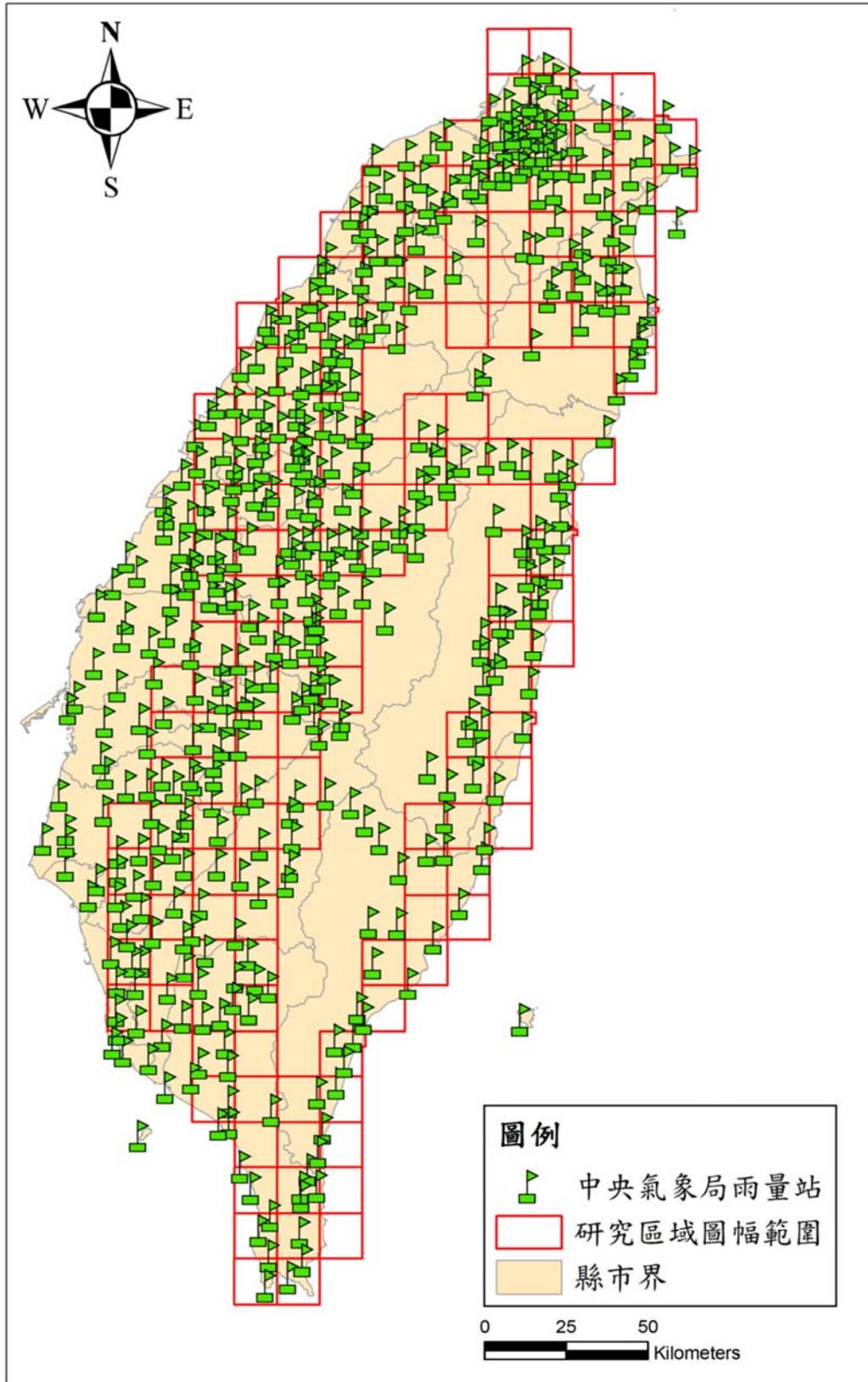


圖 5.1-1 計畫採用雨量站分布圖

5.2 雨量資料檢核

雨量站之雨量紀錄一般可分為自計式與非自計式兩種，自計式為儀器自動定時紀錄雨量資料，較為便利省事，但可能因為機件故障或通訊受阻而導致資料缺漏；而非自計式為人工進行紀錄，較為精準與確實，但可能因人為因素或受限於天候狀況致使資料缺失。因此，無論自計式或非自計式雨量站，皆有雨量資料遺失之問題，故雨量資料的檢核與缺失部分之補遺為雨量資料分析前的關鍵步驟。本計畫於執行期間，亦自行撰寫雨量分析程式，以整合購自氣象局之不同雨量資料格式。

在雨量資料檢核方面，最常使用之方法為採用柱狀圖來繪製單位時間內各雨量站降雨期間之雨量，即降雨組體圖(或稱降雨歷線)。利用降雨組體圖所呈現之型態，可進行雨量資料之檢核，檢查該測站之雨量紀錄是否有長時間無雨量資料情形或其他異常狀況(例如：-9991 表示雨量站儀器故障待修；-9997 表示雨量站因不明原因或故障而無資料；-9999 表示雨量站未進行觀測而無資料)。為避免錯誤資料造成分析結果失真，本計畫在進行雨量資料分析之前，針對各雨量站的降雨資料進行檢核，以確保雨量分析結果之可信度，若暴雨期間時雨量記錄有異常狀況(例如-9991、-9997、-9999 等)出現，則該站該時間之資料予以略過，以剩餘雨量站資料進行內插計算。

5.3 雨量資料處理與分析

本計畫依調查所得之時間點，共計採用 31 起颱風事件之雨量資料(詳 2.3 節)，相關雨量資料處理與分析過程包括雨量空間內插以及雨型分析，茲分述如下。

5.3.1 雨量空間內插

常用之雨量空間內插方法包含徐昇多邊形法(Thiessen polygons)、距離平方反比法(Inverse square distance weighting, IDW)、克利金法(Kriging)、線性回歸(Linear regression)等，而中央氣象局目前使用之雨量內插方法以距離平方反比法為主。由於本計畫為廣域之應用，經比較克利金法與距離平方反比法後，發現兩者分析結果差異不大。因此本計畫之災害調查案例雨量以距離平方反比法內插區域雨量空間分佈，以提供動態雨量山崩潛勢模式建置之用。

IDW 具一基本假設：估計值與周圍觀測值呈線性組合關係，其權重大小與估計點和觀測點間之距離呈距離平方反比關係。透過擷取崩塌區位之周圍雨量站之實測雨量值，以距崩塌區位之平面距離求取各雨量站所佔權重，求得山崩事件點之降雨歷程，公式如下：

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n w_i P_i, \quad w_i = \frac{h_i^{-2}}{\sum_{i=1}^n h_i^{-2}} \quad (\text{式 5.3-1})$$

其中， \bar{P} 為估計點之估計雨量值、 P_i 為觀測點之實際雨量值、 w_i 為各雨量站之權重、 h_i 為各雨量站距崩塌區位之平面距離。

本計畫以每個崩塌區位為中心，搜尋鄰近五個雨量站之雨量資料並剔除跨越山脊線者，於分割之雨場內，以每小時為單位進行雨量空間分布內插，由此即可知該崩塌區位周邊，於該場豪雨事件之時雨量變化情形。由於本(103)年度歷史災害調查包含都會區周緣與高山區，高山區雨量站設置密度較為稀疏，若進行剔除動作，可能會造成內插點數不足或雨量站距離崩塌區位過遠的情形。考量上述情況，高山區僅剔除跨越中央山脈脊線者。茲舉一位於高雄市甲仙區之岩屑崩滑為例，如圖 5.3-1 所示：中心點為崩塌區位(海拔高度 304 公尺)，經計算得知距該處最近之五個雨量站依序為 C0V250(水平距離差 2073 公尺、海拔高度 283 公尺)、C1V240(水平距離差 7950 公尺、海拔高度

485 公尺)、C10880(水平距離差 8514 公尺、海拔高度 266 公尺)與 C10830(水平距離差 10958 公尺、海拔高度 97 公尺)、C1V230(水平距離差 12725 公尺、海拔高度 703 公尺)。圖 5.3-2 為各雨量站之逐時紀錄與內插崩塌區位之降雨歷程組體圖；由內插結果可知岩屑崩滑位置之雨量分佈與 C0V250 紀錄結果較為相近，此為該雨量站距山崩位置最近、權重係數 w 最大之結果。



圖 5.3-1 岩屑崩滑位置與鄰近雨量站(擷取自 Google earth)

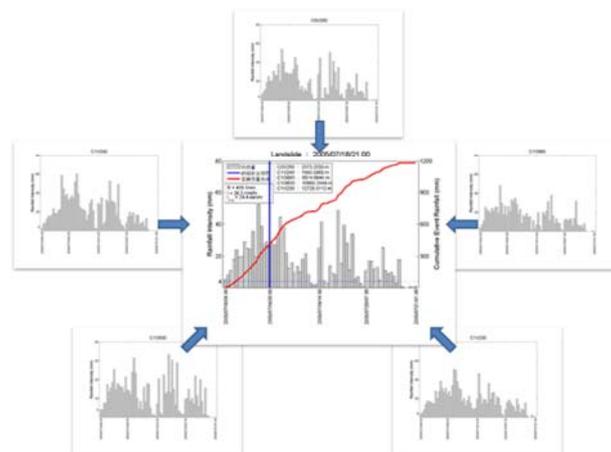


圖 5.3-2 C1V230 高中雨量站於莫拉克颱風期間之逐時雨量紀錄

5.3.2 雨型分析

由於雨型的不同將影響到邊坡的穩定狀態，故本計畫針對蒐集到之實際山崩時間點雨量資料進行雨型分析，以期瞭解雨型對研究區域內崩塌發生之影響。石棟鑫(2001)提出六種假想雨型分布(圖 5.3-3)，即降雨強度由大排到小的前峰式雨型(peak at the first section)、降雨強度最大值在 1/4 延時處的擬前峰雨型(peak at the first quarter section)、降雨強度最大值在 1/2 延時處的中央集中式雨型(peak at center)、降雨強度最大值在 3/4 延時處的擬後峰雨型(peak at the third section)、降雨強度由小排到大的後峰式雨型(peak at the last section)以及降雨強度最大值在 1/4 及 3/4 延時處的雙峰雨型(double peak)。但實際降雨情況多不具規則性，為能有效描述降雨過程，本計畫採用累積估計誤差平方最小值之雨型，視為該雨場之雨型(圖 5.3-4)：

$$E = \sum_{i=1}^D |I_{ai} - I_{di}| \quad (\text{式 5.3-2})$$

式中， E 為累積估計誤差、 D 為降雨延時、 I_{ai} 為實際雨型時雨量百分比、 I_{di} 為設計雨型時雨量百分比。

本計畫根據蒐集到之實際山崩時間點資料進行雨量分析後，共彙整出 6 種雨型分佈(表 5.3-1)，其中變質岩板岩區以中央集中式 77 處為最多，其次為後峰式 17 處、擬前峰式 5 處、雙峰式 3 處、擬後峰式 2 處與前峰式 1 處；西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區以擬後峰式 7 處為最多，其次為中央集中式 5 處、擬前峰式 1 處與後峰式 1 處；西部麓山帶沉積岩砂岩區為雙峰式 2 處；沉積岩礫石區為擬前峰 1 處。

表 5.3-1 研究區域雨型統計表

地質分區 \ 雨型	前峰式 雨型	擬前峰 雨型	中央 集中式 雨型	擬後峰 雨型	後峰式 雨型	雙峰 雨型
沉積岩礫石區	-	-	-	-	-	-
西部麓山帶 沉積岩砂岩區	-	-	-	-	-	2
西部麓山帶 沉積岩頁岩區	-	-	-	-	-	-
西部麓山帶 沉積岩 砂頁互層岩組區	-	1	5	7	1	-
西部麓山帶 沉積岩泥岩區	-	-	-	-	-	-
西部麓山帶 沉積岩礫岩區	-	1	-	-	-	-
西部麓山帶 火成岩區	-	-	-	-	-	-
西部麓山帶 火成岩 火山角礫岩區	-	-	-	-	-	-
變質岩板岩區	1	5	77	2	17	3
雪山山脈帶 變質岩 亞變質砂岩區	-	-	-	-	-	-
中央山脈東翼 變質岩區	-	-	-	-	-	-
海岸山脈 沉積岩礫岩區	-	-	-	-	-	-
海岸山脈沉積岩 砂頁互層岩組區	-	-	-	-	-	-
海岸山脈 沉積岩泥岩區	-	-	-	-	-	-
海岸山脈 火成岩區	-	-	-	-	-	-

註：表格內之數值為山崩地點訪查之數目

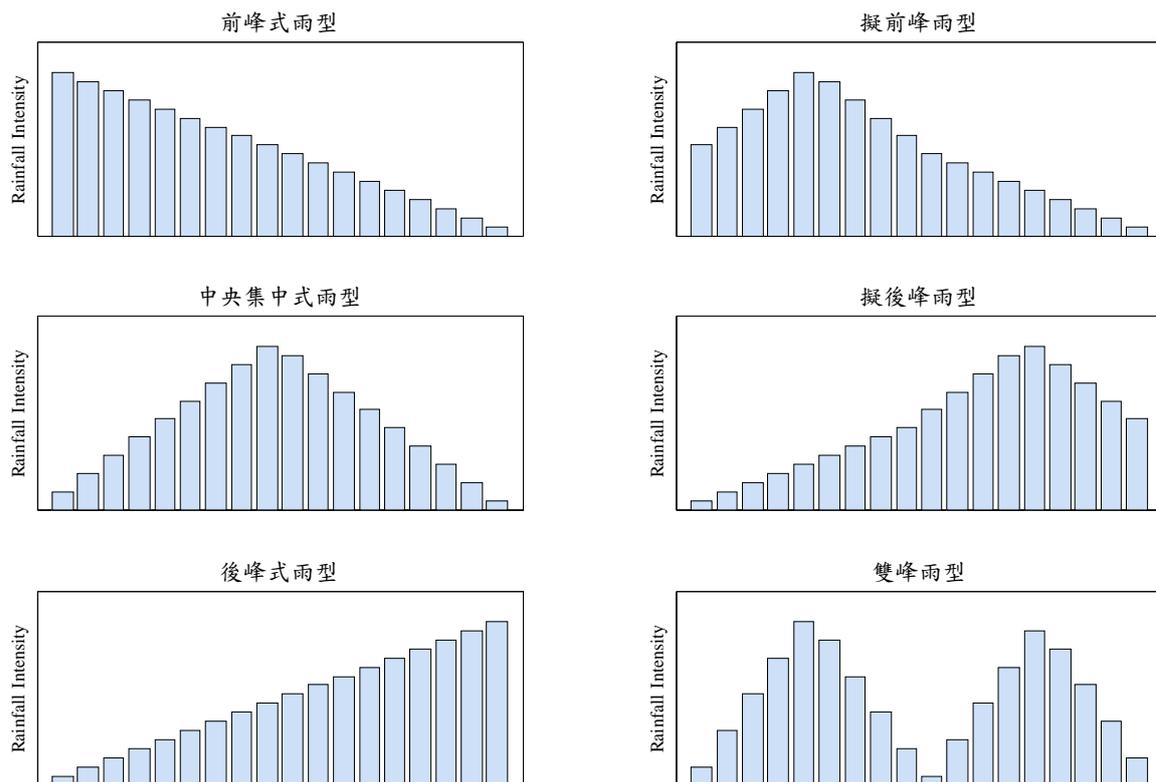


圖 5.3-3 六種雨型分布(石棟鑫，2001)

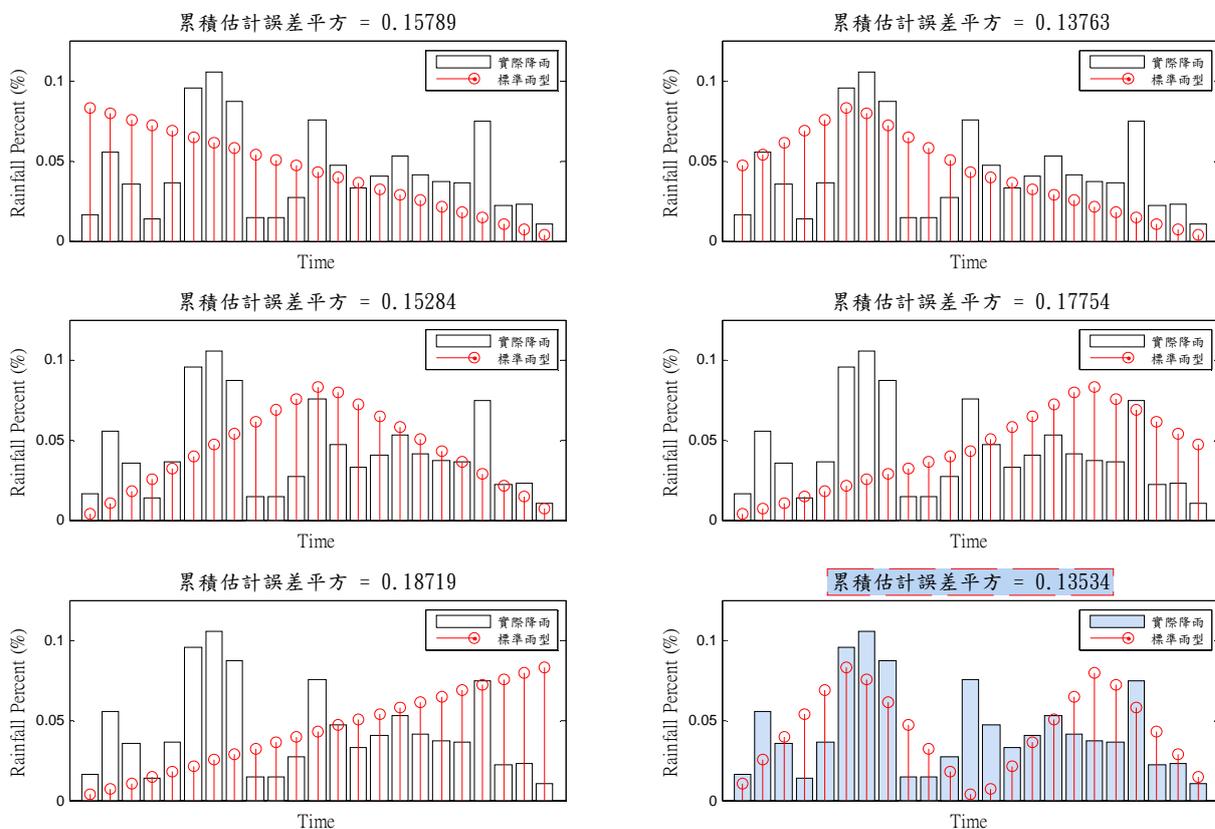


圖 5.3-4 無因次百分比雨型與六種設計雨型比較示意圖

5.4 雨量資料分析成果

本計畫期中階段經篩選共計為 122 處歷史山崩時間點訪查資料。根據歷史山崩時間點資料進行雨量分析後，可求得雨量組體圖，得知該崩塌點位的降雨特性，透過最大降雨強度、累積雨量與平均降雨強度等降雨性質，進一步探討崩塌與降雨之關係。

目前共新增中央集中式雨型 82 處、後峰式雨型 18 處、擬後峰雨型 9 處、擬前峰雨型 7 處、雙峰雨型 5 處、前鋒式雨型 1 處。新增之歷史山崩時間調查點位多為中央集中式雨型案例，故針對此類雨型之分析成果進行概敘（如圖 5.4-1 及圖 5.4-2 所示，各歷史災害調查點之雨量組體圖與來源雨量站組體圖列於附錄五）；

- (1) 中央集中式雨型:調查點編號 0005，崩塌時間:2005 年 7 月 19 日 14 時，整場雨累積雨量:507 mm，山崩時累積雨量(R):479.74 mm，整場雨最大降雨強度:63.61 mm，山崩時降雨強度(I):8.66 mm/hr，山崩前平均降雨強度(I_{avg})為 13.47 mm/hr，山崩時降雨延時(D)為 29 hr。
- (2) 前峰式雨型:調查點編號 0045，崩塌時間:2009 年 8 月 8 日 07 時，整場雨累積雨量為 1175.90 mm，山崩時累積雨量(R)為 425.51 mm，整場雨最大降雨強度為 72.21 mm，山崩時降雨強度(I)為 34.51mm/hr，山崩前平均降雨強度(I_{avg})為 32.10 mm/hr，山崩時降雨延時(D)為 33 hr。



調查點編號：5

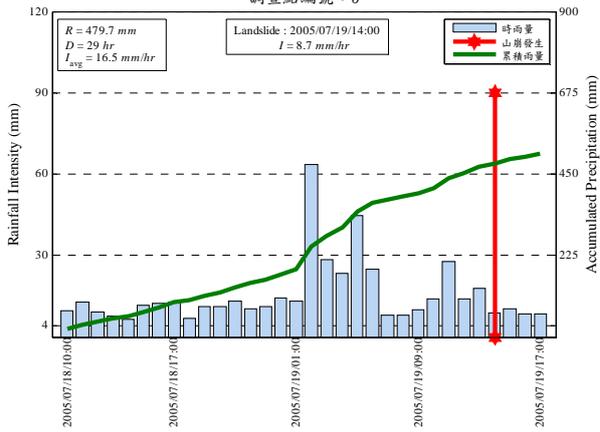


圖 5.4-1 雨量組體圖(調查點 0005)



調查點編號：45

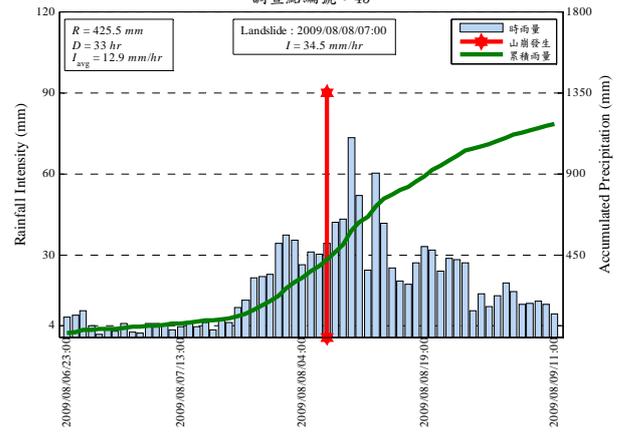


圖 5.4-2 雨量組體圖(調查點 0045)

5.5 豪雨誘發山崩兩型特性探討

山崩之發生，通常包含內部條件因子與外部誘發因子，其中外部誘發因子主要包含降雨及地震。本計畫著重於降雨誘發之山崩類型，而兩型的概念與分析已於第五章內概述，本節擬進一步彙整「水土保持局土石流防災資訊網-重大土石災情報告」及本計畫之實際山崩時間點調查成果所繪製之降雨組體圖(詳附錄五)，進行雨量及區域性山崩發生之關聯性探討。

初步彙整「水土保持局土石流防災資訊網-重大土石災情報告」2010年起之各年度重大災害案例後顯示(圖 5.5-1)，颱風豪雨期間之山崩災害發生具有一定程度之區域性。以 2010 年梅姬颱風為例(如圖 5.5-1(a)、(b)所示)，宜蘭地區之山崩災害於 2010/10/21 AM10:00 發生第一起事件後，隨即於後續 7 小時內陸續發生 22 起災害事件；其他如 2011 年奈格颱風、2012 年蘇拉颱風、2013 年蘇力颱風等皆有類似現象(如圖 5.5-1(c) ~ (h)所示)。進一步針對宜蘭地區目前所得之降雨資料進行統計後發現(表 5.5-1)，各災害發生時之瞬時降雨強度至少約在 37mm/hr 以上，此數據顯示高降雨強度於誘發岩屑崩滑型山崩具有重要影響。此外，各案例顯示誘發岩屑崩滑之累積雨量至少約在 220mm 以上，平均降雨強度則至少在 11.7mm/hr 以上，開始發生區域性災害前之 3、6、12、24、48、72 小時累積雨量亦各有其最小值，惟此部分仍待未來持續案例分析後方可歸納分析。

本計畫亦利用自 100 年迄今超過 941 處山崩時間點調查資料進行雨量分析(表 5.5-2)，結果顯示山崩發生於最大降雨強度起算 3 小時內、山崩發生於第二或第三大降雨強度起算 3 小時內之案例各佔約 23.2% 及 25.7%，亦即約有 48.9% 之案例為高降雨強度所誘發之災害，另外 51.1% 則主要因累積雨量達一定量值後誘發災害，由此可見降雨強度(時雨量)及累積雨量為山崩預警成效之關鍵。然而，累積雨量計算方式繁多，仍需進一步篩選適合作為山崩預警之雨量參數。本計畫初步以調查之案例資料，彙整計算其山崩發生前 3

小時累積雨量(R3)、山崩發生前 6 小時累積雨量(R6)、山崩發生前 12 小時累積雨量(R12)、山崩發生前 24 小時累積雨量(R24)、山崩發生前 48 小時累積雨量(R48)、山崩發生前 72 小時累積雨量(R72)等雨量參數資料，並計算各參數之變異係數進行比較(表 5.5-3)，由於變異係數可衡量資料的離散程度，因此若變異係數越小，則可顯示該資料愈趨集中，也較可能用來作為預警指標，其計算方式如下：

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu}$$

其中 σ 為標準差， μ 為平均值。分析結果顯示，山崩發生前 24 小時累積雨量(R24)之變異係數僅 0.38，為所有參數內變異最小之參數，顯示當 24 小時累積雨量達一定程度後，山崩便有可能發生。此外，透過 941 個案例資料分析中亦得知，超過半數以上的案例在降雨歷程 24 小時內即發生崩壞，顯示 24 小時累積雨量係相當重要之指標。圖 5.5-2(a) ~ (d)也呈現了 2001-2013 重要颱風事件誘發淺層岩屑崩滑之雨量特性，其 24 小時累積雨量約為 200-500 mm，3 小時平均降雨強度則介於 10-50 mm/hr，降雨延時約為 10-36 hr，事件累積雨量約為 120-580 mm，可供參考。

經由上述初步分析與文獻回顧後(Cheung et al., 2006; Liao et al., 2010)，本計畫擬以「3 小時平均降雨強度」及「24 小時累積雨量」做為淺層岩屑崩滑雨量預警參數，並利用山崩時間點調查資料嘗試進行雨量預警門檻之率定，提供後續防災應變規劃參考。

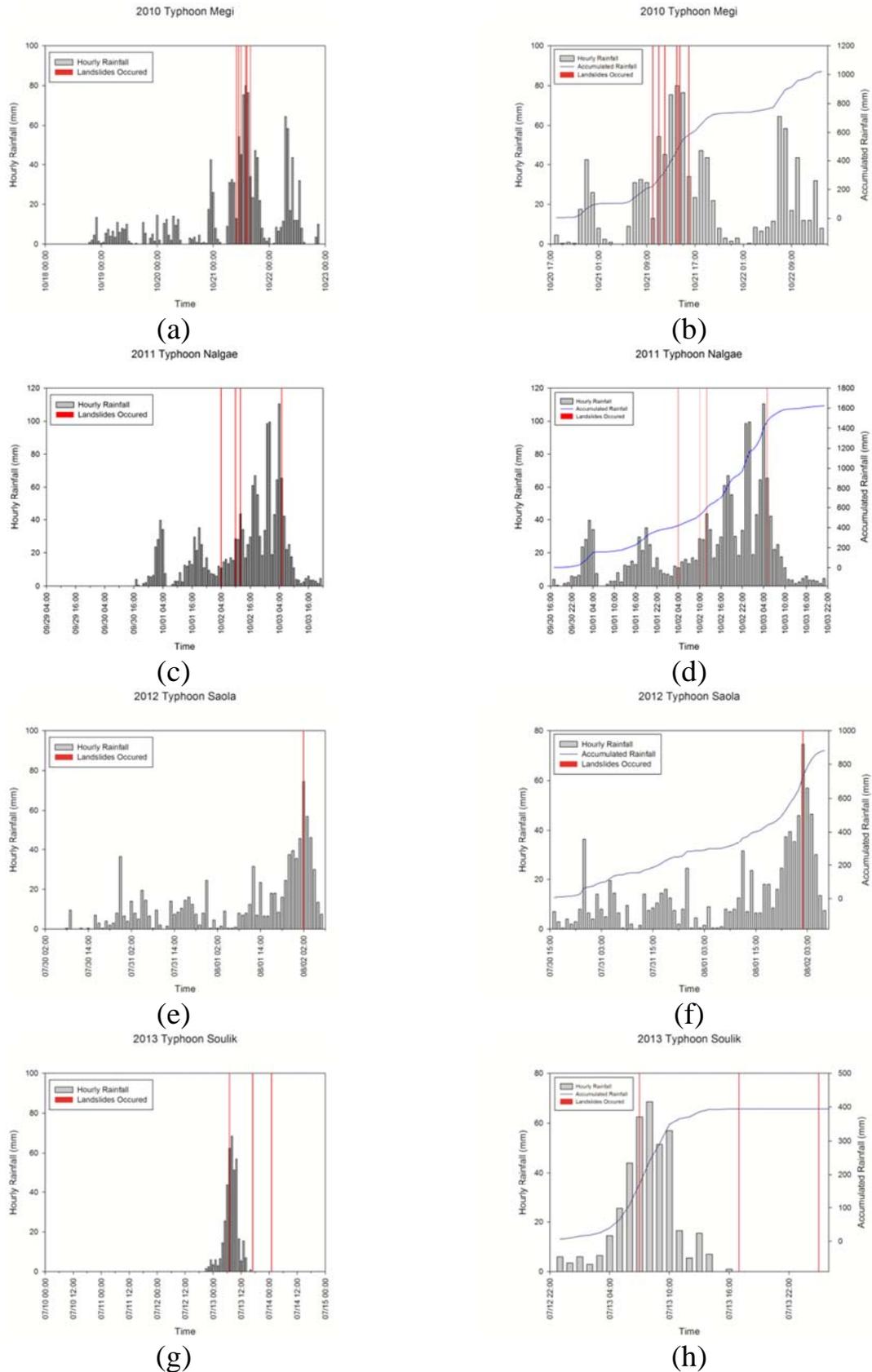


圖 5.5-1 梅姬、奈格、蘇拉、蘇力等颱風之區域性山崩災害雨量組體圖

表 5.5-1 梅姬、奈格、蘇拉、蘇力等颱風之區域性山崩災害雨量資料

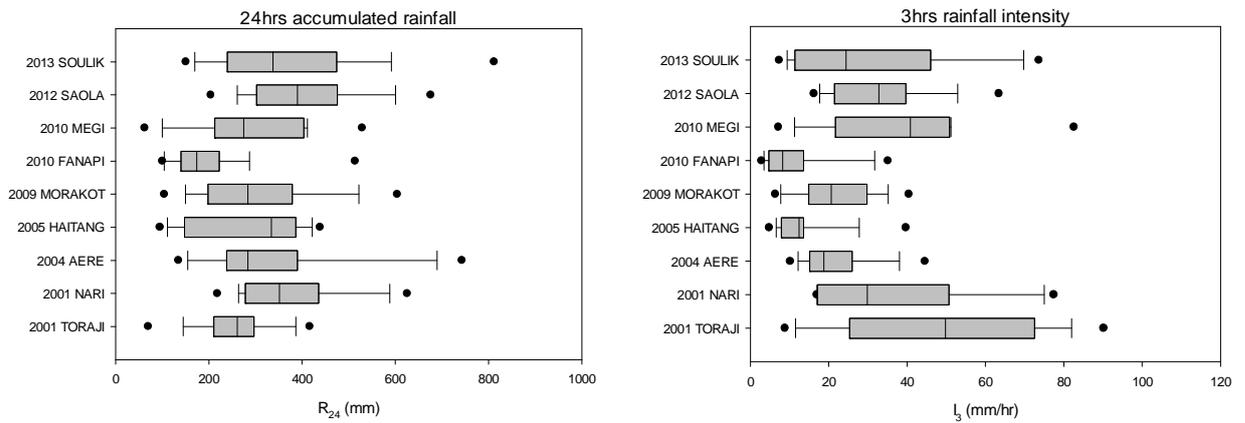
事件名稱	2010 年 梅姬颱風	2011 年 奈格颱風	2012 年 蘇拉颱風	2013 年 蘇力颱風
區域	宜蘭	宜蘭	宜蘭	苗、中、投、高
各災害發生瞬時降雨強度 之平均值(I)	45.4	37.1	74.5	20.8
區域性災害開始發生之 累積雨量(R)	220.5	420.5	727.5	171.5
區域性災害開始發生之 降雨延時(D)	17.0	36.0	59.0	9.0
區域性災害開始發生之 平均降雨強度(Iavg)	13.0	11.7	12.3	19.1
區域性災害開始發生 前 3 小時累積雨量(R3)	76.5	29.0	156.0	132.0
區域性災害開始發生 前 6 小時累積雨量(R6)	116.5	53.0	257.5	156.0
區域性災害開始發生 前 12 小時累積雨量(R12)	196.5	192.0	331.0	175.5
區域性災害開始發生 前 24 小時累積雨量(R24)	230.5	269.5	441.0	175.5
區域性災害開始發生 前 48 小時累積雨量(R48)	353.0	420.5	639.0	175.5
區域性災害開始發生 前 72 小時累積雨量(R72)	436.5	420.5	738.5	175.5

表 5.5-2 實際山崩時間點雨型資料分析

類型	示意圖	數量	百分比	百分比小計
山崩發生於最大降雨強度起算 3 小時內 (由降雨強度誘發山崩)		218	23.2%	48.9%
山崩發生於第二或第三大降雨強度起算 3 小時內 (由降雨強度誘發山崩)		242	25.7%	
山崩並非發生於峰值 (由累積雨量誘發山崩)		481	51.1%	51.1%
總計		941	100%	100%

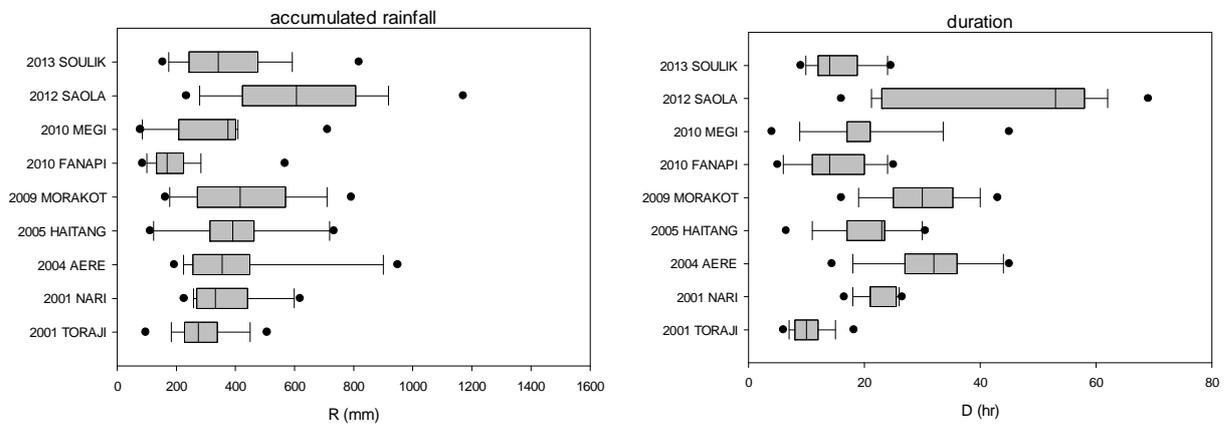
表 5.5-3 實際山崩時間點各累積雨量參數變異係數分析

累積雨量參數種類	變異係數
山崩發生時累積雨量(R)	0.42
山崩發生前 3 小時累積雨量(R3)	0.86
山崩發生前 6 小時累積雨量(R6)	0.68
山崩發生前 12 小時累積雨量(R12)	0.47
山崩發生前 24 小時累積雨量(R24)	0.38
山崩發生前 48 小時累積雨量(R48)	0.41
山崩發生前 72 小時累積雨量(R72)	0.45



(a) 山崩發生時 24 小時累積雨量

(b) 山崩發生時 3 小時平均降雨強度



(c) 山崩發生時累積雨量

(d) 山崩發生時降雨延時

圖 5.5-2 各區域性降雨誘發山崩災害之降雨特性

第六章 山崩潛勢模式精進

本(103)年度潛勢模式主要精進方向有二，首先為分析區調整，本(103)年度針對屬於零碎的丘陵、位於有保全對象的影響範圍及包含平緩的河階的斜坡單元，進行斜坡單元去除與邊界重新編修，其過程大幅減少了斜坡單元的數量，使得去(102)年度定義的分析區無法使用，考量分析樣本的減少及事件雨場分布，本計畫嘗試利用地形邊界，將全臺灣分為 5 大分析區(北部、中部、南部、東部、恆春半島)，希望能找出最適合的方式建立山崩潛勢模式。其次為雨量因子調整，本(103)年度採用連續最大 24 小時累積雨量及連續最大 3 小時平均雨量等雨量因子進行山崩潛勢分析，以利後續各區域之山崩雨量門檻率定使用。

本計畫已進行山崩目錄之建置工作(詳閱第三章)，並完成共 122 處之山崩時間點調查及品管工作(詳閱第四章)，依據調查結果進行雨量資料分析後(詳閱第五章)，於本章節內綜合上述最新產製之資料，進行山崩潛勢值更新，以下就模式建置方法、建置成果及驗證結果說明。

6.1 岩屑崩滑型山崩潛勢因子萃取及其物理意義

岩屑崩滑(圖 6.1.1)係由風化土層、岩屑、崩積層或鬆軟、破碎地層等材料之崩落或滑動現象。其移動物質多由岩屑(debris)及土壤(earth)所組成，其移動方式於緩坡為滑動，陡坡則為崩落。岩屑崩滑通常發生於坡度較陡之山坡，因豪雨或地震作用而誘發，崩滑後坡面常呈細長條狀之裸露狀態，其崩滑下來之土石易堆積於崩崖趾部或坡趾處。此類崩滑常因崩塌作用未完全停止或因崖面缺乏植生保護而易受沖蝕且持續發生擴大現象。由此顯見其山崩機制應與岩坡材料性質、岩坡幾何型態、地

質構造作用及地形侵蝕營力作用有關，加以豪雨及地震誘發，加速其岩屑崩滑之可能。

因此，本計畫使用之岩屑崩滑型山崩潛勢因子包含岩坡材料性質(岩體強度分級)、岩坡幾何型態(坡高、平均高程、平均坡度、坡度變化程度、邊坡陡坡比例、平均曲率、曲率變化程度、順向坡等)、地質構造作用(斷層密度與褶皺密度)、地形侵蝕營力作用(向源侵蝕與河岸侵蝕)等。其中，向源侵蝕與河岸侵蝕等屬於類別型因子，其餘為數值型因子。

本計畫使用研究區域 10 公尺×10 公尺高精度數值地形資料、1/25,000 坡地岩體工程特性圖、環境地質圖，運用 Erdas Imagine、ArcGIS 或 MapInfo 等地理資訊系統與自行開發之 Fortran 程式，萃取各斜坡單元因子值(圖 6.1-2)。其各因子定義、物理意義與計算概念說明於後。

6.1.1 岩體強度分級

由前人研究可知，岩性(岩層特性)對於邊坡穩定分析是一項重要的因子。岩層強度特性係依照研究尺度不同而有所差異，小尺度之單一邊坡通常以現地岩石種類或現地試驗(如史密特鎚)取得岩石強度；大尺度區域邊坡穩定分析則是根據地層特性經評估後取得岩石單壓強度(ISHRM,1981)。而岩體不連續面發育程度對於岩石強度亦有影響，當單位岩體內之不連續面密度越高，則岩石強度越低，但不連續面之發育程度目前尚無整體性量化評估方法，通常使用視覺化之岩體結構類型(Franklin,1975)來定量分類。

綜合上述，通常地層年代愈老，其膠結時間愈長，膠結程度也相對良好，岩石強度也較高，抗風化能力也較強。相反的，年代較年輕的地層(如全新世及更新世等地層)，膠結程度及岩石強度較低，抗風化能力也相對較差。

然於廣域之山崩潛勢研究而言，岩性、岩石單壓強度、岩體結構類型與岩體強度分級等資料，甚難取得。因此，本計畫為取得全面性之岩體強度分級資料，採用中央地質調查所 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」計畫成果之岩性與工程地質參數因子。由於岩性因子分為 99 類，不利於資料處理，其中部分類別多有重疊(如西部麓山帶的砂岩與海岸山脈帶的砂岩)，且岩性與工程地質參數呈現與山崩相關的意義相近，若以工程地質參數呈現更為直觀，因此本計畫將以岩體強度分級代表斜坡單元的岩性差異。工程地質參數中的岩體強度分級係以岩體結構類型與岩石單壓強度綜合分析而得，為了避免相關性過高，工程地質參數中僅採用岩體強度分級，該因子定義如下：

斜坡單元內之岩體強度分級，係參考中央地質調查所 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」計畫成果。計畫成果將岩體強度分級因子分為 7 級，每級代表一種岩體強度分級及該岩體強度分級面積佔斜坡單元總面積的比例。

6.1.2 坡高與高程

高程資料為最易取得之分析資料，不同的高程易構成雨量、氣壓、氣溫與溼度等之差異，可反應出不同降雨強度及風化速率。根據中央地質調查所 92 至 94 年度「山崩潛感分析之研究」計畫結果顯示，高程類因子於高山地區具相當顯著之影響效果，地勢較為低平之區域則不明顯。

本計畫利用 10 公尺×10 公尺數值地形，計算各斜坡單元之坡高，該因子之物理意義，茲列述如下：

一、坡高因子(Slope height)

1. 定義：為該斜坡單元內之最大高程(坡頂)與最小高程(坡趾)兩點之高程差(示意如圖 6.1-3)，亦稱為全坡高。
2. 因子物理意義：就物理意義而言，邊坡坡高愈高，迎風面效益越大，地表逕流量亦愈大，受到侵蝕與擾動機會增加，導致邊坡穩定性越低。

二、高程因子(Elevation)

1. 定義：為斜坡單元內高程之平均值。
2. 因子物理意義：同坡高。

6.1.3 坡度、坡度均勻度、邊坡陡坡比例

由國內外山崩潛勢分析之研究成果可得知，坡度為最常見且最重要之潛勢因子，本計畫以 ERDAS IMAGINE 軟體，利用 3×3 網格(如圖 6.1-4 至圖 6.1-5)計算網格中心坡度值，其中心點 Z_5 之坡度 θ 計算公式(Wilson & Gallant, 2000)如下：

$$\begin{cases} z_{x_1} = \frac{\partial z}{\partial x} \approx \frac{Z_3 - Z_1}{2h_1} \\ z_{x_2} = \frac{\partial z}{\partial x} \approx \frac{Z_6 - Z_4}{2h_1} \\ z_{x_3} = \frac{\partial z}{\partial x} \approx \frac{Z_9 - Z_7}{2h_1} \end{cases} \quad (\text{式 6.1-1})$$

$$\begin{cases} z_{y_1} = \frac{\partial z}{\partial y} \approx \frac{Z_1 - Z_7}{2h_2} \\ z_{y_2} = \frac{\partial z}{\partial y} \approx \frac{Z_2 - Z_8}{2h_2} \\ z_{y_3} = \frac{\partial z}{\partial y} \approx \frac{Z_3 - Z_9}{2h_2} \end{cases} \quad (\text{式 6.1-2})$$

$$\bar{x} = \frac{(z_{x_1} + z_{x_2} + z_{x_3})}{3} \quad (\text{式 6.1-3})$$

$$\bar{y} = \frac{(z_{y_1} + z_{y_2} + z_{y_3})}{3} \quad (\text{式 6.1-4})$$

其中， h_1 和 h_2 分別代表 x 軸和 y 軸網格點間距。

中心點 Z_5 之坡度 θ 為：

$$\theta = \tan^{-1} \sqrt{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \quad (\text{式 6.1-5})$$

而本計畫之坡度定義 θ_p 為：

$$\theta_p = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \times 100\% \quad (\text{式 6.1-6})$$

本計畫利用 10 公尺×10 公尺數值地形，以上述公式計算區域內各網格點坡度值，並針對各斜坡單元計算坡度相關潛勢因子，坡度類因子包含坡度、邊坡陡坡比例、坡度變化程度等，各因子之物理意義，茲列述如下：

一、坡度因子(Slope)

1. 定義：根據前期計畫結果，將斜坡單元內的網格以坡度值排序由大到小，取前 25% 的網格計算其平均值。
2. 因子物理意義：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。

二、坡度變化程度因子(Variance of slope)

1. 定義：為斜坡單元內坡度的標準差值。
2. 因子物理意義：一般而言，邊坡的坡度變化越大，邊坡越崎嶇，

越容易遭受侵蝕，亦越容易堆積岩屑或風化土壤，導致岩屑崩滑可能性越高。

三、邊坡陡坡比例因子(Ratio of steep slope)

1. 定義：根據前期計畫結果，為斜坡單元內坡度大於 30 度(坡度百分比約 58%)之面積佔該斜坡單元面積之比值，即為邊坡陡坡比例。
2. 因子物理意義：當邊坡陡坡比例增加時，其崩壞個數比具有隨其增加之特性，即邊坡陡坡比例愈大越易發生岩屑崩滑。

6.1.4 地形曲率

曲率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。本計畫所使用之曲率為總曲率(total curvature)，根據 Wilson & Gallant(2000)定義，以 3×3 格網(如圖 6.1-4 至圖 6.1-5)之相對關係運算，計算方式如下：

$$z_{xx} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \approx \frac{z_4 - 2z_5 + z_6}{h^2} \quad (\text{式 6.1-7})$$

$$z_{yy} = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \approx \frac{z_2 - 2z_5 + z_8}{h^2} \quad (\text{式 6.1-8})$$

$$z_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \approx \frac{-z_1 + z_3 + z_7 - z_9}{4h^2} \quad (\text{式 6.1-9})$$

$$K = z_{xx}^2 + z_{xy}^2 + z_{yy}^2 \quad (\text{式 6.1-10})$$

根據中央地質調查所 92 至 94 年度「山崩潛感分析之研究」計畫結果顯示，若將總曲率之計算結果以對數型態分布呈現，與山崩分布之關係效果更佳，因此本計畫將總曲率值曲對數進行分析。

計算曲率時，使用 3×3 半徑無法有效表現坡度或坡向的變化程度，僅能反應細微的地形起伏變化，然當去除地表高頻的起伏計算大範圍之趨勢變化時，則可反應出較易積水的凹坡面與土層較薄的凸坡面。由平

滑化後的地形所計算的曲率可得知，平滑化的半徑越大，山崩與非山崩兩組群組的差異則越明顯，但半徑過大則呈現飽和甚至下降的趨勢，其可能因為地形平滑過度，造成邊坡上的凹坡或是凸坡一併被平滑化。因此，本計畫參照中央地質調查所 92 至 94 年度「山崩潛感分析之研究」計畫結果，使用半徑 13×13 來平滑化地形。

本計畫利用 10 公尺×10 公尺數值地形，以上述公式計算區域內各網格點總曲率值並取對數，該因子之物理意義，茲列述如下：

一、坡型因子(Topographic curvature)

1. 定義：為斜坡單元內曲率的平均值。
2. 因子物理意義：當邊坡地形曲率增加時，其崩壞比具有隨其增加之特性，即邊坡愈趨向凹坡越易發生岩屑崩滑。

二、坡型均勻度因子(Variance of curvature)

1. 定義：為斜坡單元內曲率的標準差值。
2. 因子物理意義：一般而言，曲率的變化越大，邊坡越不平整，越容易遭受侵蝕，導致岩屑崩滑可能性越高。

6.1.5 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，該因子定義如下：

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，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。

6.1.6 斷層密度與褶皺密度

本計畫利用中央地質調查所 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」計畫產製之斷層與褶皺分布進行環域分析，斷層 buffer 100 公尺及褶皺 buffer 50 公尺，分別計算個斜坡單元中斷層與褶皺佔斜坡單元總面積的比例。

6.1.7 地形濕度指數

此指數表示地形對土壤濕度的控制。其概念為坡度陡則水迅速向下流動，因此入滲量會較低，土壤中的含水量亦可能較低；而於低平的地方，由於坡度平緩，水可較長時間留在地表而逐漸入滲，因此土壤中的含水量可能會較高，土壤中的含水多寡為控制崩塌發生的關鍵。

根據 [Wilson & Gallant\(2000\)](#) 定義，其地形濕度指數計算公式如下：

$$\omega = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \theta}\right) \quad (\text{式 6.1-11})$$

其中， A_s 為斜坡上任一點之上游集水區面積， θ 為坡度。

6.1.8 事件總累積雨量、連續最大 24 小時累積雨量、降雨強度、連續最大 3 小時平均雨量

降雨係誘發崩塌的主要促崩因子(或稱誘發因子)，隨著降雨量增加，邊坡雨水入滲也可能隨之增加，不但造成邊坡內的抗剪強度降低，亦造成邊坡土體(或岩體)自重增加，進而導致邊坡失去穩定性產生滑動。

本計畫以氣象局發布與解除海上颱風警報的時間前後各增加三天的時間(考慮前期降雨與西南氣流)為基準，定義雨場的時間區間，並據以蒐集雨量站資料，所蒐集之雨量資料進行檢核、補遺後，透過統計內插推估之空間雨量分布網格式資料(10m×10m)，再萃取各斜坡單元內之雨量平均值，雨量類因子包含事件總累積雨量、連續最大 24 小時累積雨量、連續最大 3 小時平均雨量、降雨強度等，各因子之定義，茲列述如下：

一、事件總累積雨量因子

1. 定義：累加雨場時間範圍內的降雨，其總數即為事件總累積雨量。
2. 因子物理意義：長時間的綿綿細雨讓雨水逐漸入滲使得地下水位升高，因而增加孔隙水壓，使得邊坡不穩定產生崩塌。

二、連續最大 24 小時累積雨量因子

1. 定義：以 24 小時為時間區塊，於雨場的時間範圍內移動此時間區塊，同時累加區間內的降雨量，所得之最大累積降雨量，即為連續最大 24 小時累積雨量。
2. 因子物理意義：長時間的雨水入滲使得孔隙水壓增加，讓邊坡處於不穩定的臨界狀態，然而超過臨界狀態後的降雨，只是持續讓邊坡處於不穩定，無法得知何時產生崩塌。基本上，因颱風事件造成的連續降雨，超過 24 小時已可讓多數邊坡處於不穩定狀態，因此本計畫採用連續最大 24 小時累積降雨作為促崩因子。

三、降雨強度因子

1. 定義：於雨場的時間範圍內移動，所得之最大降雨量，即為最大時雨量，又稱降雨強度。
2. 因子物理意義：岩屑崩滑型的山崩材料主要為風化層表土，短時間內遭遇大量降雨，邊坡排水速度跟不上雨水入滲速度，表層的風化土壤便容易滑落。

四、連續最大 3 小時平均雨量因子

1. 定義：以 3 小時為時間區塊，於雨場的時間範圍內移動此時間區塊，同時累加區間內的降雨量，將所得最大的累積降雨量取平均，即為連續最大 3 小時平均雨量。
2. 因子物理意義：連續累積 2~3 小時的大量降雨亦可讓雨水入滲速度超越邊坡排水速度，使得表層的風化土壤滑落。

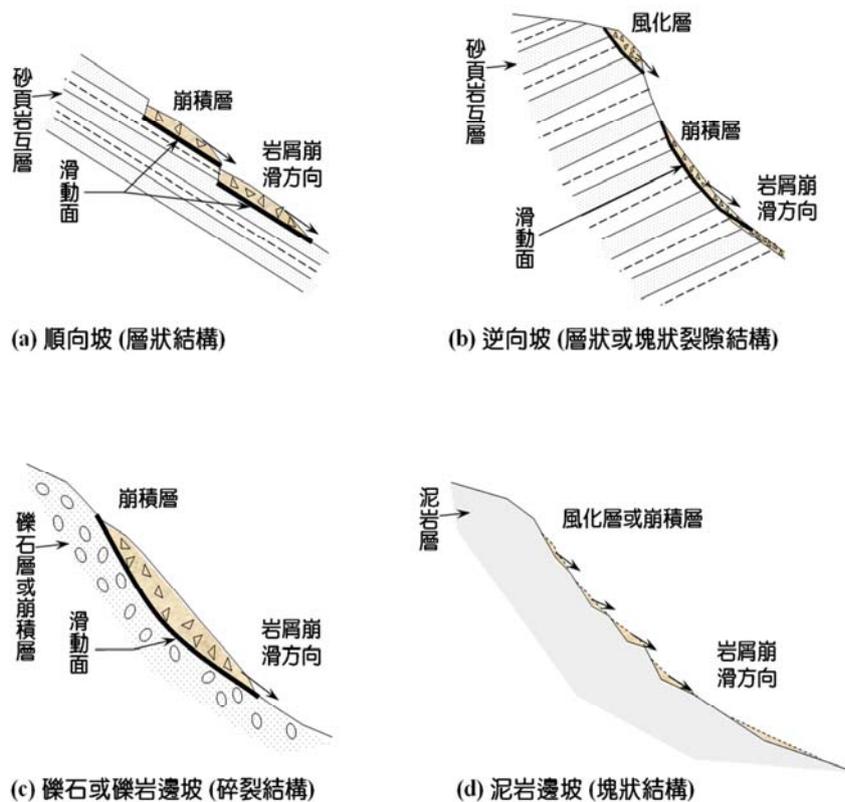


圖 6.1-1 岩屑崩滑型山崩機制示意圖

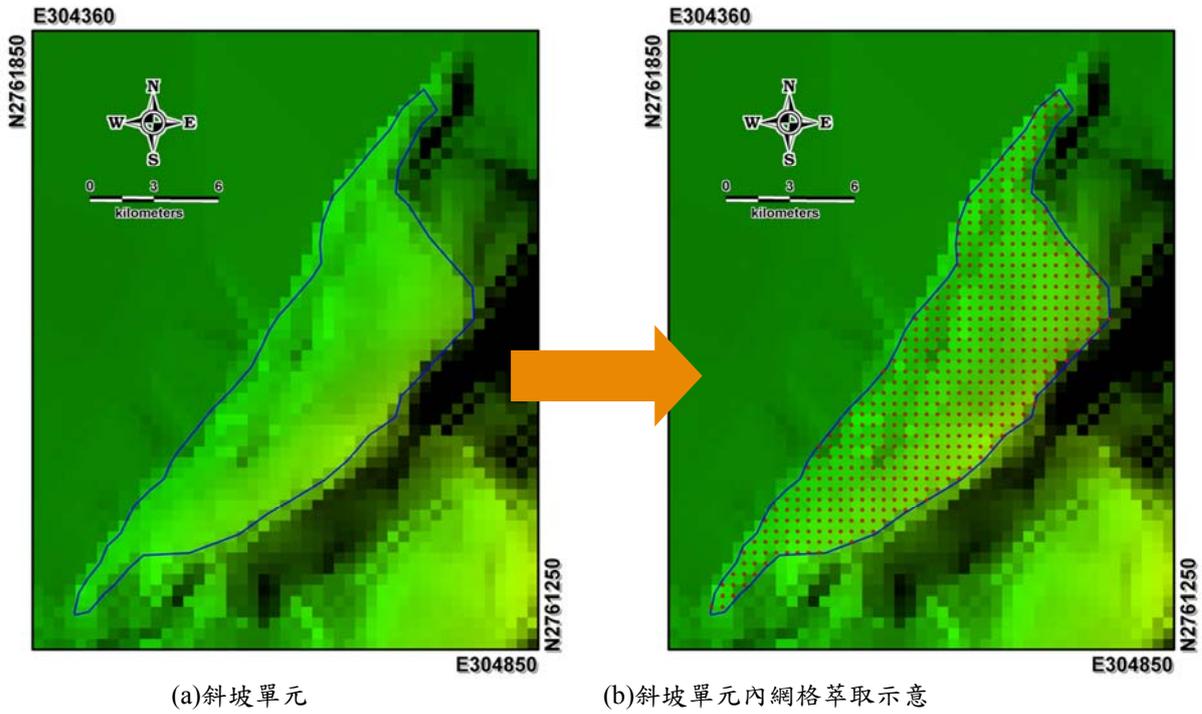


圖 6.1-2 萃取斜坡單元內部網格示意圖

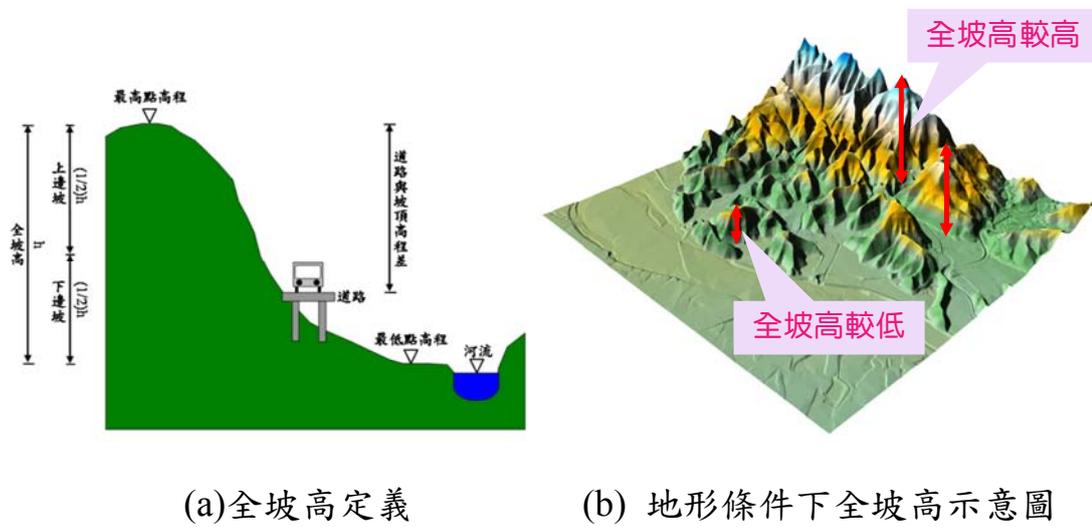


圖 6.1-3 坡高因子示意圖

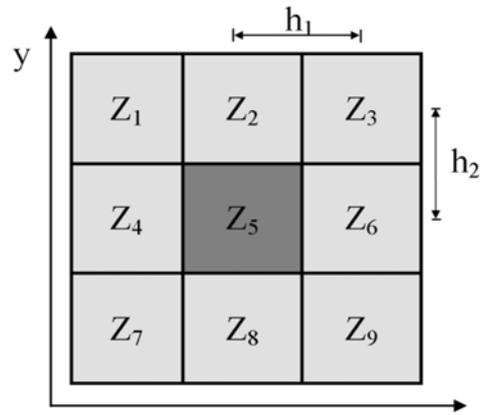


圖 6.1-4 3 × 3 網格式示意圖

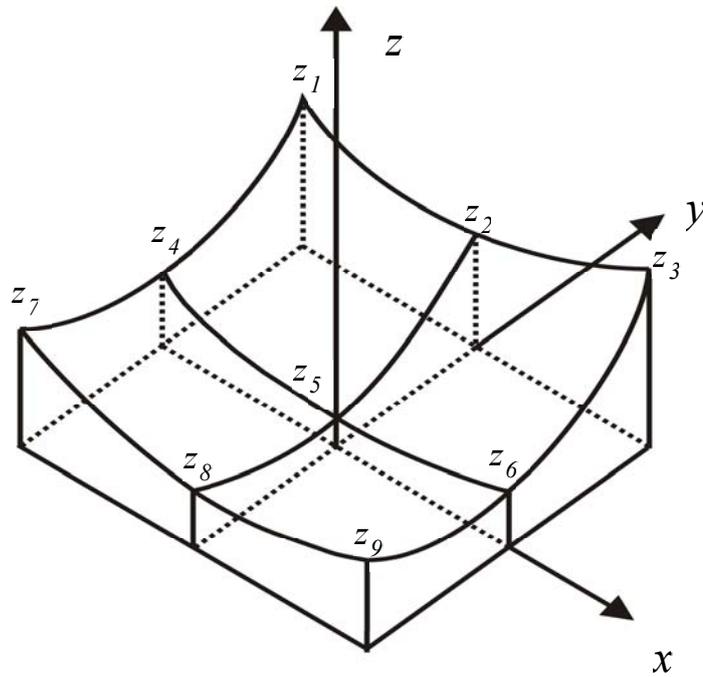


圖 6.1-5 3 × 3 網格式資料格式立體示意圖(林淑媛，2003)

6.2 山崩潛勢因子篩選

本計畫進行山崩潛勢分析時，岩體強度分級將直接納入分析，若分析結果與現實相左則直接剔除；其餘數值型資料，將需要進行因子篩選。

6.2.1 因子複選與決選流程

本計畫利用圖形判釋與相關性分析(圖 6.2-1)，對因子進行綜合性評估，圖形判釋中，成功率曲線 AUC 值與崩壞個數比曲線為「充分必要條件」，此兩條件滿足情況下，其他條件任一滿足即為候選潛勢因子，另將候選潛勢因子以相關性分析結果剔除兩兩因子間相依性較高者，其餘即為獲選之山崩潛勢因子，以此定量篩選流程建立各分區顯著山崩潛勢因子組合。茲將篩選相關原則簡述如下：

一、圖形判釋

1. 成功率曲線圖

主要使用 AUC 值大小判定因子鑑別山崩之能力，藉此選定高鑑別力之潛勢因子(圖 6.2-2)。本計畫定義 AUC 值 ≥ 0.6 為門檻值，AUC 值 ≥ 0.6 之因子，即為選定之因子，本項為必要條件。

2. 崩壞個數比圖

主要使用崩壞個數比曲線趨勢判定因子鑑別山崩之能力(圖 6.2-2)。若曲線趨勢，不符合自然界定律或力學機制(如坡度越大，崩壞個數比越低)，即剔除該項因子，本項亦為必要條件。

3. 次數百分比分布圖

主要由山崩與非山崩資料群組之差異性大小判定因子鑑別山崩之能力(圖 6.2-2)。本計畫根據判別子(山崩與非山崩群組差異)與山崩目錄比對結果，定義判別因子 $D \geq 0.5$ 為門檻值，若滿足門檻值者

即為獲選因子(表示該因子具有鑑別山崩與非山崩之能力)，本項為充分條件。

4. 羅吉斯分布

主要由因子資料分布是否符合羅吉斯分布判定因子是否適合使用羅吉斯迴歸(圖 6.2-2)。若因子資料分布不貼近對角線，即剔除該項因子，本項為充分條件。

二、相關性分析

由兩兩因子間的相關係數大小判定因子是否相關性過高，本計畫定義相關係數值 0.9 為門檻值。當係數值 ≥ 0.9 時，兩因子須擇一剔除，剔除原則端賴成功率曲線下面積(AUC 值)良窳決定之。

6.2.2 山崩潛勢分區

過往進行山崩潛勢分析時以地質分區作為資料分區，據此篩選因子並進行潛勢分析，然而多數斜坡單元集中於某些地質分區，若地質分區的斜坡單元數量過於稀少，其所建立的潛勢模式並不具代表性與泛用性。本(103)年度因針對屬於零碎的丘陵、位於有保全對象的影響範圍及包含平緩的河階的斜坡單元，進行斜坡單元去除與邊界重新編修，其過程大幅減少了斜坡單元的數量，使得去(102)年度定義的分析區無法使用，考量分析樣本的減少及區域雨場降雨特性，本計畫嘗試利用集水區地形邊界，將全臺灣分為 5 大分析區，分別為北部地區、中部地區、南部地區、東部地區及恆春半島。

由表 6.2-1 可知，斜坡單元主要集中於北部地區及中部地區，其他分區即便採用混合事件方式進行分析，其樣本數仍然略有不足，經過測試，花蓮地區、臺東地區及恆春半島的分析結果較不具代表性，分析結果無

法正確詮釋該分區的特性，因此本計畫嘗試合併分析區，以求合適的山崩潛勢模式，然而恆春半島的樣本數目少且與其他鄰近分析區的區域特性相差甚大，強行合併反而混淆鄰近分區的分析模式，最後僅將花蓮地區及臺東地區合併為東部地區，恆春半島則暫時使用全臺灣不分區的模式，待日後樣本數目充足時，再建立其所屬的山崩潛勢模式，各分析區分布如圖 6.2-3。

6.2.3 山崩潛勢因子篩選結果

山崩潛勢分析主要反應於降雨、地震等誘發因子影響下，邊坡自然發生崩塌之潛勢，本計畫進行潛勢因子複選時，因分析樣本數不足，因此將混用不同豪雨或颱風事件之山崩目錄進行統計分析，北部地區使用的颱風事件為納莉颱風、艾利颱風及泰利颱風，中部及南部地區使用聖帕颱風與辛樂克颱風，花東及恆春半島地區則為海棠颱風、聖帕颱風、莫拉克颱風及南瑪都颱風。

根據前述因子篩選過程，分別對不同潛勢分區進行因子篩選，彙整圖形判釋結果後，剔除彼此之間相關性較高的因子，即可得到各分區詮釋崩塌能力較高的因子，其結果如表 6.2-2。

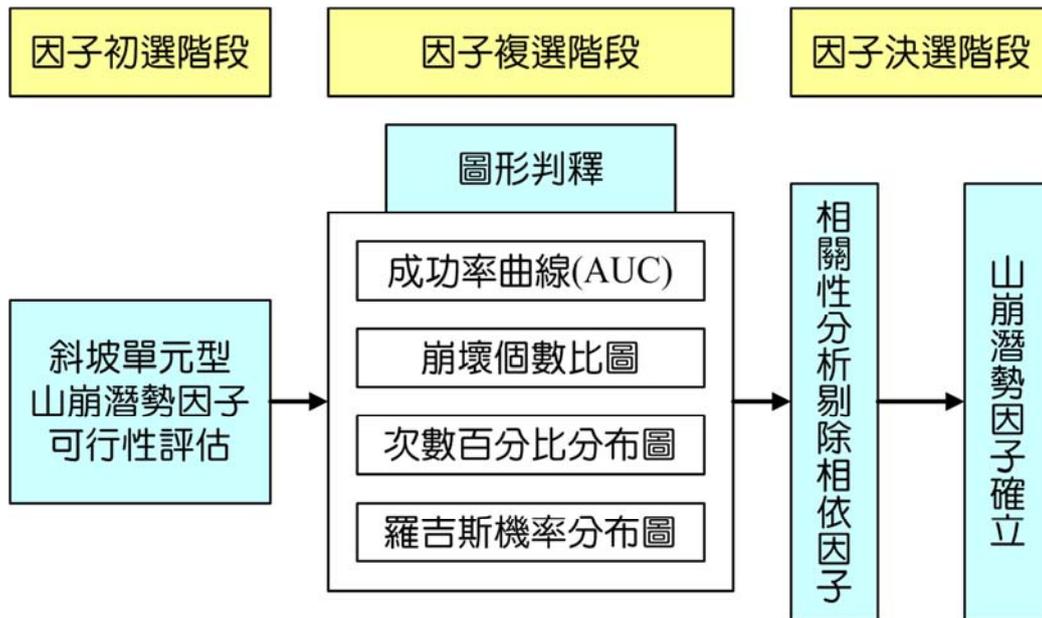
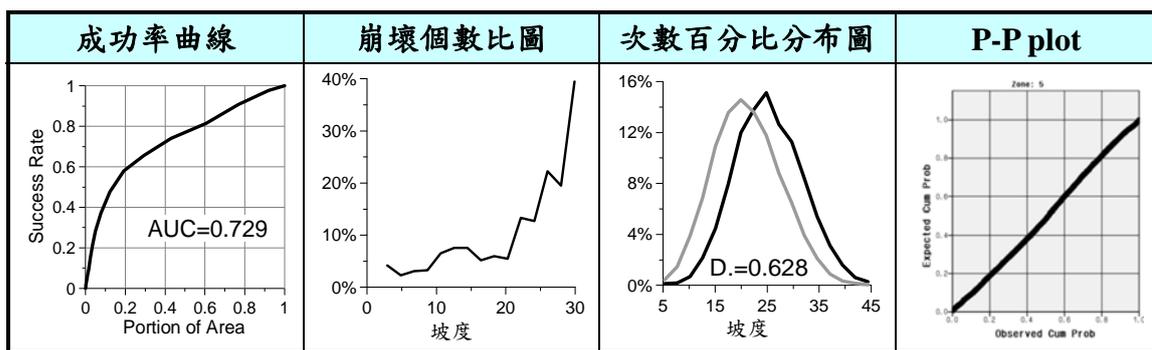
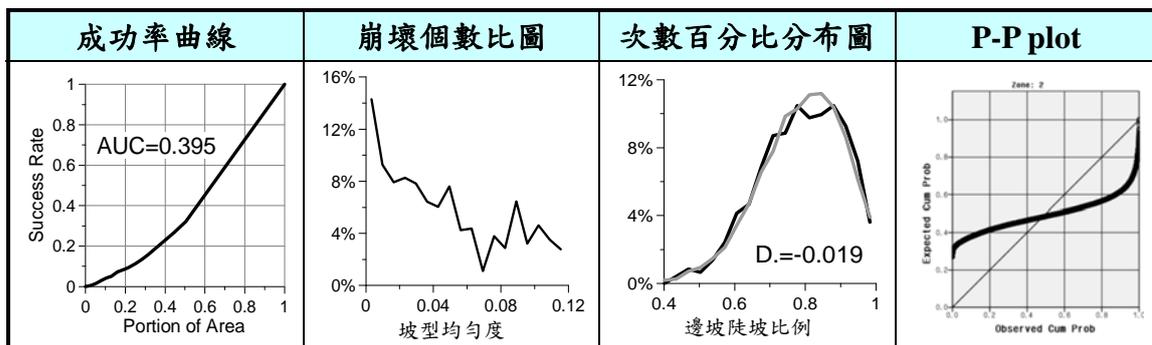


圖 6.2-1 山崩潛勢因子篩選流程圖



(a) 鑑別山崩能力較佳的因子表現



(b) 鑑別山崩能力較差的因子表現

圖 6.2-2 山崩鑑別能力優劣之因子示意圖

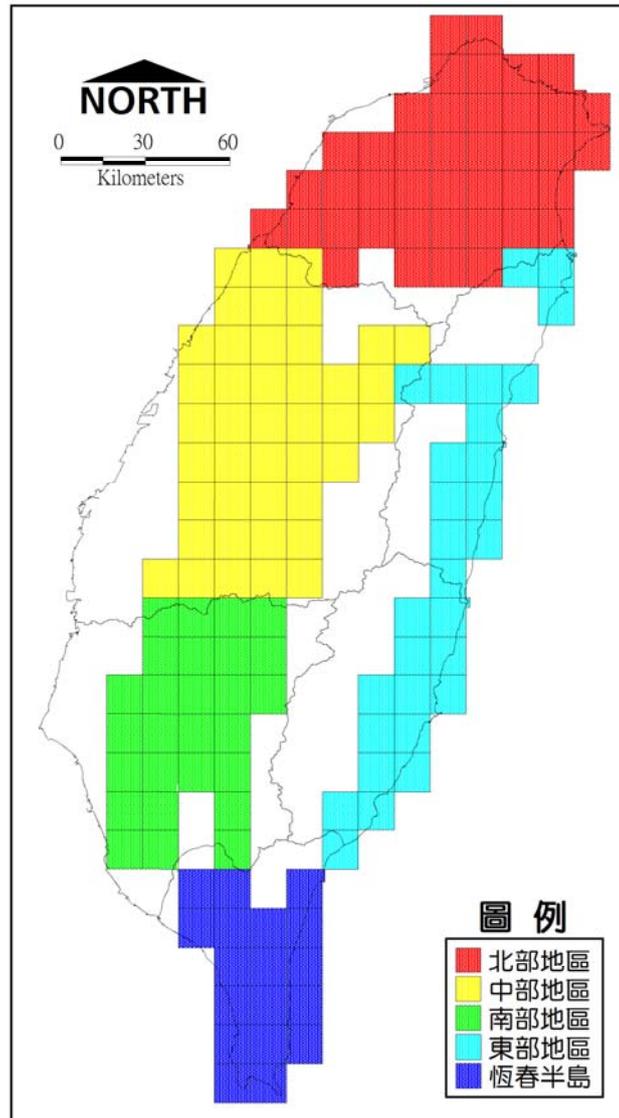


圖 6.2-3 山崩潛勢分區圖

表 6.2-1 各區域之斜坡單元數量一覽表

分區		斜坡單元數量
北部地區		55,008
中部地區		42,717
南部地區		29,416
東部地區	花蓮地區	20,527
	臺東地區	24,282
恆春半島		13,350

表 6.2-2 各分區決選因子表

因子	五區 相同	因子	北部 地區	中部 地區	南部 地區	東部 地區	全臺灣
岩體強度分級_1	●	順向坡	●	●	●	●	●
岩體強度分級_2	●	坡度	●	●	●	●	●
岩體強度分級_3	●	坡度均勻度	●	●	●	●	
岩體強度分級_4	●	邊坡陡坡比例	●		●	●	
岩體強度分級_5	●	坡高		●		●	●
岩體強度分級_6	●	高程	●				●
岩體強度分級_7	●	坡型		●	●	●	●
		坡型均勻度	●	●	●	●	●
		斷層密度	●	●		●	●
		褶皺密度	●	●	●	●	●
		濕度指數	●	●	●		
		連續最大 3 小時平均雨量	●	●	●	●	●
		連續最大 24 小時累積雨量	●	●	●	●	●

6.3 山崩潛勢分析精進

山崩潛勢分析係在評估研究區內每一個斜坡單元發生山崩之相對程度高低，為達此目的，本計畫採用斜坡單元建置山崩潛勢分析模式，為反映不同區域之山崩特性，故以不同分區分別建立山崩潛勢分析模式，將各分區具有代表性之山崩潛勢因子納入潛勢分析，經由模式準確率及模式統計檢定，可以瞭解各山崩潛勢因子於不同分區之影響性，進而瞭解各分區之崩塌特性。

前期計畫中之無外部因子山崩潛勢分析(即不含降雨促崩因子的靜態山崩潛勢模式)係以混合不同事件之山崩目錄與其他地形地質等因子進行分析，同時定義此結果為降雨事件發生前的崩塌潛勢。然而，若本計畫不使用促崩因子進行山崩潛感分析，但所採用的山崩目錄皆為颱風或豪雨事件所誘發之山崩，這種忽略雨量促崩因子的做法，會導致分析結果時常產

生異常，如坡度低的地方因高降雨量產生崩塌，坡度高的地方因無降雨而未崩塌，統計方法歸納的結果可能得到坡度越低越容易發生崩塌之不符合物理現象的結論，而為了讓分析結果符合物理現象，需將會產生誤差之山崩樣本去除，這些樣本很可能為純粹因降雨而發生的山崩，並於後續的動態雨量山崩潛勢分析中，將降低山崩與降雨之間的相關性。

為了解決前述問題，本(103)年度嘗試於靜態山崩潛勢模式恢復採用雨量因子，同時嘗試採用連續最大 24 小時累積雨量及連續最大 3 小時平均雨量等雨量因子進行山崩潛勢，凸顯降雨對於山崩的影響，前述分析結果不符合物理現象的情況也將去除。

另外，本計畫使用事件誘發山崩目錄和雨量因子進行潛勢分析，其結果僅適用於預測降雨誘發山崩，即颱風或降雨發生時的山崩潛勢，不適合用於評估平時無降雨時之山崩潛勢。

6.3.1 山崩潛勢分析原則

1. 本計畫定義斜坡單元內有 1% 的面積為崩塌地或其崩塌面積超過 400m^2 時，判定其為發生山崩之斜坡單元，反之則視為未發生山崩之斜坡單元。
2. 山崩潛勢分析模式係由多期山崩目錄中挑選合適之分析樣本進行模式的訓練，以求研究區發生山崩之潛勢高低，亦即是反映邊坡本質是否容易崩塌之特性。
3. 本計畫於各區數化多期山崩目錄，但非所有山崩目錄皆適用於山崩潛勢分析，各區山崩與降雨量分布相關性低的事件將不採用，被篩選的分析事件樣本將合併使用，同時以亂數方式將樣本資料分為兩部分，一為訓練資料，一為驗證資料。
4. 訓練資料中的山崩樣本將全數挑出，並透過亂數選取，挑選出與山崩樣本數量相同的非山崩樣本，最後據此建立山崩潛勢分析模式。

5. 若樣本資料中有異於群體資料(如崩塌發生於坡度很緩的區域)或與自然現象相異的樣本將被刪除。

6.3.2 潛勢分析方法與成果評估方法

一、潛勢分析方法

羅吉斯迴歸(logistic regression)為多變量統計方法中，最常被使用來進行山崩潛勢分析的方法，非線形及操作簡便為其受歡迎的主要原因，崩塌與否為應變數(二元變數資料)，而顯著(主控)之山崩潛勢因子則為自變數(類別型資料或數值型資料)，迴歸後呈現的計算式如下：

$$P = \frac{1}{1 + e^{-\lambda}} \quad (\text{式 6.3-1})$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n w_i \times x_i + c \quad (\text{式 6.3-2})$$

式中，P 為山崩潛勢值， w_i 為各潛勢因子迴歸係數， x_i 為各潛勢因子值，c 為常數項。潛勢值主要反應邊坡是否容易發生崩塌之相對指標，非該邊坡是否發生崩塌的絕對指標，因子係數則反應該分區各因子對於崩塌產生的貢獻，各分區各因子係數如表 6.3-1 所示。

二、成果評估方法

正確率、成功率曲線(SRC)與預測率曲線(PRC)及其曲線下面積(AUC)可用來鑑別模型的優劣，本計畫以潛勢值 0.5 劃分斜坡單元隸屬於山崩或非山崩，據此計算正確率；同時以所得之山崩潛勢值與山崩目錄繪製成功率曲線，以非訓練用的資料(即驗證資料)繪製預測率曲線，驗證模型對於未來事件的評估能力。

(1) 正確率

本計畫以分類誤差矩陣(如表 6.3-2) 來檢驗模型分類之正確性，其計算方式如下：

$$\text{山崩正確率} = N_1 / (N_1 + N_2) \quad (\text{式 6.3-3})$$

$$\text{非山崩組正確率} = N_4 / (N_3 + N_4) \quad (\text{式 6.3-4})$$

$$\text{總體正確率} = (N_1 + N_4) / (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \quad (\text{式 6.3-5})$$

其中， N_1 為實際山崩樣本之山崩組於潛勢分析後歸類為山崩組之總數； N_2 為實際山崩樣本之山崩組於潛勢分析後歸類為非山崩組之總數； N_3 為實際山崩樣本之非山崩組於潛勢分析後歸類為山崩組之總數； N_4 為實際山崩樣本之非山崩組於潛勢分析後歸類為非山崩組之總數。

而山崩組正確率主要說明模式預測為山崩者且實際發生山崩之正確率，而非山崩組正確率則相反，計算前述兩項預測正確的斜坡單元數與總斜坡單元數之比值即為總體正確率，本計畫未來應用防災應變上主要採山崩正確率驗證模式預測成效，總體正確率係考量模式誤判與漏判程度，即是山崩與非山崩預測成效綜合正確率。

(2) 成功率曲線與預測率曲線

成功率曲線(Success rate curve, SRC)與預測率曲線(Prediction rate curve, PRC)是用來判定模式對於訓練資料與驗證資料的解釋能力，可由曲線下面積(Area under curve, AUC)作為判定該模式良窳之依據(Chung and Fabbri, 1999)。AUC 值域介於 0~1 之間，當其值越接近 1 時，表示能以較小範圍的值域(由高潛勢往低潛勢計算)解釋山崩面積，即山崩大多發生在高潛勢區域，反之，當面積接近 0 時，表示需要越大的值

域解釋山崩面積，總體來說 AUC 值越大越佳，當面積越接近中間值 0.5，則表示該結果不會比隨機的結果好(Chung and Fabbri, 2003)，當 AUC 低於 0.5 時表示此結果不可採用。

其作法為由高值域往低值域累加計算，各區間面積佔總面積的比例(X軸)與各區間崩塌面積佔總崩塌面積的比例(Y軸)，據此繪製 SRC、PRC 與計算 AUC 值。

6.3.3 山崩潛勢分析成果與驗證

本計畫山崩潛勢分析係針對岩屑崩滑類型山崩進行潛勢分析，基於多期山崩目錄，搭配山崩潛勢因子建構潛勢模式，其分析結果賦予各斜坡單元於研究區內發生崩塌的相對危險程度，即山崩潛勢高低。本節主要說明各分區的山崩潛勢分析結果，並以驗證樣本之正確率與 AUC 值進行模式驗證，以下茲依據五個分區進行說明。

北部地區的分析模型以納莉颱風、艾利颱風及泰利颱風事件為樣本進行訓練，表 6.3-1 列出北部地區的係數，由係數可得知，北部地區的主控因子為坡度均勻度及高程，北部地區的地形可分為丘陵地區與高山區，兩因子正好反映兩種地形的崩塌地分布，本區訓練結果之山崩、非山崩與總體正確率均為 8 成，AUC 值為 0.862(如表 6.3-3)；驗證結果之山崩、非山崩與總體正確率接近 8 成，AUC 值為 0.854(如表 6.3-4)，訓練與驗證結果差異不大、成效良好，顯見分析模式相當穩定。

中部地區的分析模型以聖帕颱風與辛樂克颱風為樣本進行訓練，表 6.3-1 列出中部地區的係數，此結果反映了中部地區的崩塌地主要集中於高山地區，相較之下丘陵區的崩塌地特性較不明顯，本區訓練結果之山崩、非山崩與總體正確率皆超過 7 成(如表 6.3-3)，AUC 值為 0.777；驗

證結果之山崩、非山崩與總體正確率接近 6 成 5，AUC 值為 0.729 (如表 6.3-4)。

南部地區的分析模型以聖帕颱風與辛樂克颱風為樣本進行訓練，表 6.3-1 列出南部地區的係數，由係數可得知，南部地區的崩塌地特性較不突出，各係數之間的差異不大。本區訓練結果之山崩、非山崩與總體正確率皆為 7 成左右，AUC 值為 0.767(如表 6.3-3)；驗證結果之山崩、非山崩與總體正確率皆超過 6 成，AUC 值為 0.608 (如表 6.3-4)。上述結果顯示中部與南部兩分區的訓練模型對於未來山崩的預測能力尚可，分析模式仍有可進步空間，若能持續增加更多災害樣本，將能提升模式的穩定度。

東部地區的分析模型以海棠颱風、聖帕颱風、莫拉克颱風與南瑪都颱風為樣本進行訓練，表 6.3-1 列出東部地區的係數，此結果反映了東部地區的地形，大多數的崩塌地都位於高陡的斜坡，本區訓練結果之山崩、非山崩與總體正確率皆超過 7 成 5，AUC 值為 0.832(如表 6.3-3)；驗證結果之山崩、非山崩與總體正確率為 6 成 5 左右，AUC 值為 0.700 (如表 6.3-4)。本區的訓練與驗證結果尚稱良好，然而東部地區為南北狹長分布，若遇集中於局部災害的事件(例如僅於臺東造成災害)，模式的準確性將可能受到影響，建議使用時仍應考量可能之誤差。

恆春半島囿於樣本數不足，因此將使用全臺灣不分區的結果，分析模型以納莉颱風、艾利颱風、泰利颱風、聖帕颱風、辛樂克颱風、海棠颱風、聖帕颱風、莫拉克颱風及南瑪都颱風為樣本進行訓練，表 6.3-1 列出全臺灣不分區的係數，由於臺灣地區的崩塌地大多發生在高山地區，因此坡高成為主控崩塌發生的重要指標，本區訓練結果之山崩、非山崩與總體正確率為 7 成上下，AUC 值可達 0.755(如表 6.3-3)；驗證結

果之非山崩與總體正確率為 7 成 3 左右，山崩正確率近 6 成 5，AUC 值為 0.737 (如表 6.3-4)。本區的訓練與驗證結果堪稱良好，然而恆春半島樣本數量過少，僅得以先使用全臺灣不分區之模式，建議本分區未來樣本數更為充足時可再行獨立分析。

由前述各分區的岩體強度分級係數來看，因子係數多有負值，經資料確認，斜坡單元為岩體強度分級 1 和岩體強度分級 7 數量不多，且無崩塌發生，因此無係數，而斜坡單元中岩體強度分級 5 的占大多數，山崩的發生也多集中在岩體強度分級 5 之斜坡單元，因此其係數為正，其餘斜坡單元岩體強度分級為 2~4, 6 屬於山崩斜坡單元的比例較少，多以非山崩為主，因此岩體強度 2~4, 6 之係數為負值，若純粹僅以岩體強度分級來看，隱含著斜坡單元中有前述岩體強度分級較不易發生山崩，部分地區可能有例外，此為區域特性造成的差異。

為了增加模型的泛用性，本計畫以山崩樣本的空間均布程度及山崩樣本與雨量分布的相關性作為重要指標，使用混合事件建立分析模型，對於模式判斷崩塌與否的能力雖然有所提升，但卻也混亂樣本的純粹性，使得模式預測能力有其極限，常需多方測試以降低誤差。

總體來說，各區的潛勢模式結果尚稱良好，可用於一般非極端事件的風災或降雨預測，然而統計法的基礎為充足的樣本，由於颱風襲臺路徑的影響，雨量分布的差異將對崩塌預測結果產生影響，為了增加模式對於未來新事件的預測能力，增加不同形式的降雨分布引致的山崩樣本，才是提升預測能力的不二法門。

表 6.3-1 各分區因子係數表

因子名稱	因子變數代號	因子係數代號	北部地區	中部地區	南部地區	東部地區	全臺灣
岩體強度分級_1	x_3	w_3	-	-	-	-	-
岩體強度分級_2	x_4	w_4	-1.125	-0.271	-	-	-1.158
岩體強度分級_3	x_5	w_5	-0.486	-0.060	-0.874	-1.295	-0.511
岩體強度分級_4	x_6	w_6	-0.665	0.024	-0.099	-0.435	-0.050
岩體強度分級_5	x_7	w_7	0.798	0.311	0.314	0.233	0.448
岩體強度分級_6	x_8	w_8	-0.647	-0.113	-0.384	0.805	0.144
岩體強度分級_7	x_9	w_9	-	-	-	-	-
順向坡	x_{10}	w_{10}	0.121	0.124	0.207	0.155	0.214
坡度	x_{11}	w_{11}	0.268	0.326	0.265	0.370	0.157
坡度均勻度	x_{12}	w_{12}	0.439	0.290	0.098	0.093	-
邊坡陡坡比例	x_{13}	w_{13}	0.094	-	0.344	0.261	-
坡高	x_{14}	w_{14}	-	1.027	-	0.435	0.798
高程	x_{15}	w_{15}	0.582	-	-	-	0.033
坡型	x_{16}	w_{16}	-	0.157	0.016	0.282	0.153
坡型均勻度	x_{17}	w_{17}	0.289	0.190	0.161	0.141	0.100
斷層密度	x_{18}	w_{18}	0.056	0.057	-	0.033	0.030
褶皺密度	x_{19}	w_{19}	0.044	0.026	0.013	0.065	0.047
濕度指數	x_{20}	w_{20}	0.501	0.173	0.061	-	-
連續最大 3 小時平均雨量	x_{21}	w_{21}	-0.857	0.073	-0.817	0.164	-0.491
連續最大 24 小時累積雨量	x_{21}	w_{21}	1.036	0.104	0.665	0.196	0.813
係數		C	-0.542	-0.348	0.057	0.004	-0.292

表 6.3-2 分類誤差矩陣

		真實	
		山崩	非山崩
預測	山崩	N_1	N_3
	非山崩	N_2	N_4

表 6.3-3 各分區訓練結果之正確率與 AUC 值

分區名稱	山崩正確率	非山崩正確率	總體正確率	AUC 值
北部地區	80.81%	80.73%	80.73%	0.862
中部地區	75.57%	70.09%	71.31%	0.777
南部地區	73.24%	70.86%	70.98%	0.767
東部地區	78.56%	75.11%	75.16%	0.832
全臺灣	68.39%	72.79%	72.54%	0.755

表 6.3-4 各分區驗證結果之正確率與 AUC 值

分區名稱	山崩正確率	非山崩正確率	總體正確率	AUC 值
北部地區	82.18%	79.58%	79.73%	0.854
中部地區	63.67%	64.55%	63.76%	0.729
南部地區	68.08%	61.57%	61.47%	0.608
東部地區	64.37%	65.20%	65.19%	0.700
全臺灣	64.81%	73.96%	73.45%	0.737

第七章 山崩雨量門檻率定與防災應變規劃

本計畫已於第六章說明山崩潛勢模式之建置方法，為落實研究成果應用，並補足山崩潛勢模式可能不足之處，本計畫將進一步針對岩屑崩滑型之山崩雨量門檻進行訂定，並對防災應變之警戒雨量設定方式提出初步構想。

7.1 山崩雨量門檻率定構想

對於雨量誘發區域山崩臨界值與早期警戒門檻值之研定，國外已有豐碩成果可供參考，如義大利西阿爾卑斯山所採用的水文降雨山崩預測模式 (FLaIR)，其利用可變動之轉換函數摺積來評估坡地穩定性 (Capparelli and Tiranti, 2010; Capparelli and Versace, 2011)。義大利 Sicily 地區防災部門則同時考慮了土壤含水量 (antecedent precipitation index, API) 與降雨臨界值 (rainfall threshold)，來對境內土石流與山崩進行預測 (Brigandì *et al.*, 2012)。在結合水文模式方面，義大利學者 Greco 曾以序率水文學概念，發展一套坡面穩定模式 (FLaIR) 來對降雨誘發之山崩進行預測，並提出一簡化可行之經驗式預測模型 (Greco *et al.*, 2013)。此外，義大利也與美國 NASA 水文實驗室共同參與季風降雨量測任務計畫 (Rossi *et al.*, 2013)，以高密度的雨量站網 (>1950 個雨量站) 及衛星降雨估計值建構 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 細胞網，並以線性及非線性變數提出降雨尖峰超越臨界值 (peak-over-threshold, POT) 之預測模式，其結果顯示在 Umbria 地區可成功地預測可能潛在的山崩。美國地質調查所考慮 24-48 小時前期降雨作為誘發山崩的重要觀察因子，並制定各州的 I-D (intensity-duration) 臨界降雨線進行災害預警 (Baum and Godt, 2010)。印度國家遙測中心則整合了 I-D 圖與前期降雨建構崩塌警戒系統，對喜馬拉雅山區公路週邊進行滑坡預警 (Mathew *et al.*, 2013)。

藉由歷史山崩事件歸納中可發現，山崩災害常見於高降雨強度或高累積雨量兩種參數之組合下所誘發，顯示僅考量單一雨量累積值作為外部輸入因子，容易造成降雨量不高卻仍然發生山崩事件之疑慮。為了詳加考慮降雨強度(I)與累積雨量與山崩事件發生之關係(R)，本計畫嘗試將4年計畫執行期間所有現地山崩調查點之雨量進行綜合分析，結果顯示3小時平均降雨強度(I_3)與24小時累積雨量(R_{24})較易引致區域性之山崩災害發生(詳5.5節)，其代表之意義分別為短延時降雨及長延時降雨對山崩災害發生之影響，因此挑選此兩參數納入本章山崩雨量門檻值率定之試作應用。

目前國際上常用之山崩雨量門檻大多係將所有蒐集到的資料繪製於其所使用的I-D、E-D、I-R等圖中，然而不同災害規模其所對應的山崩雨量門檻亦應有其區別，故本計畫之山崩雨量門檻率定將結合前段所述之 I_3 、 R_{24} 雙指標來輔助山崩發生機率之判定，並考量山崩災害發生的規模進行分類，最後結合危險度矩陣的概念給定警戒燈號，以進行山崩雨量門檻的劃設，詳細方法與流程請見下節。

7.2 山崩雨量門檻率定方法與流程

如上節所述，本計畫之山崩雨量門檻以 I_3 、 R_{24} 為指標，考量山崩災害規模、山崩災害發生機率等進行劃設，並依據危險度矩陣之概念給定警戒燈號，以下將分項說明之。

7.2.1 山崩雨量門檻降雨指標訂定

本計畫所使用之山崩雨量門檻降雨指標包含短延時降雨指標及長延時降雨指標兩項，根據統計分析結果(詳5.5節)及相關文獻探討，本計畫選定3小時平均降雨強度(I_3)為短延時降雨指標，並選定24小時累積雨量(R_{24})為長

延時降雨指標(Liao et al., 2010; 陳盈靜, 2014), 其降雨指標計算方式係以目前時間往回推 3 小時、24 小時計算(圖 7.2-1)。

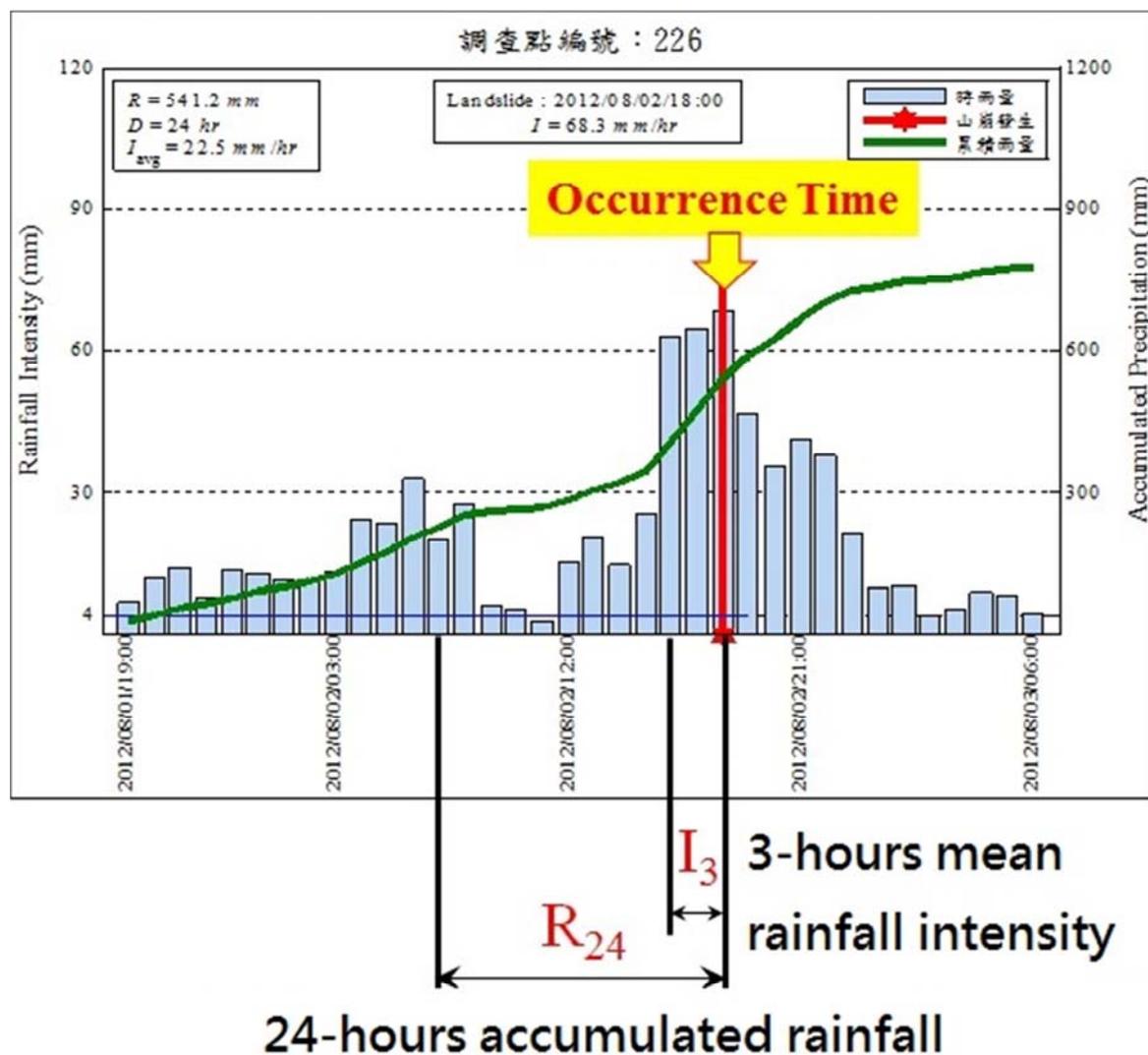


圖 7.2-1 山崩雨量門檻降雨指標計算方法

7.2.2 山崩災害規模分類

本計畫係以「斜坡單元崩塌率」進行山崩災害規模之分類，依據各區域山崩特性及其斜坡單元崩塌率分布概況，將災害規模分為「第一類-高崩塌率」、「第二類-中崩塌率」、「第三類-低崩塌率」。斜坡單元崩塌率之計算方式如下述公式：

斜坡單元內之崩塌面積

$$\text{斜坡單元崩塌率} = \frac{\text{斜坡單元內之崩塌面積}}{\text{斜坡單元總面積}} \times 100\% \quad \text{式 7.2-1}$$

利用上述公式可針對已發生過山崩之斜坡單元進行其分類評估，然而對於尚未發生災害之斜坡單元，因並無山崩目錄等相關資料，因此無法得知其可能之規模分類。為解決此問題，本計畫首先利用既有資料，嘗試建立斜坡單元崩塌率與其山崩潛勢之關係。以臺灣中部地區之資料為例，圖 7.2-2 中各資料點係以山崩潛勢值 0.05 為區間，計算各區間內前 2 個標準差樣本之斜坡單元崩塌率，其意義為該潛勢範圍內可能之最大崩塌率，係一較為保守之評估方法。利用此關係式，本計畫得以利用尚未發生崩塌之斜坡單元的山崩潛勢值，推測其災害發生的可能規模。以臺灣中部地區之分析結果為例(表 7.2-1)，臺灣中部地區的斜坡單元若山崩潛勢值在 0.8445 以上，其發生斜坡單元崩塌率 0.25 以上山崩災害之可能性較其他斜坡單元為高，因此將其劃分為「第一類-高崩塌率」；若山崩潛勢值在 0.5149 以下，其發生斜坡單元崩塌率 0.10 以下山崩災害之可能性較其他斜坡單元為高，因此將其劃分為「第三類-低崩塌率」；山崩潛勢值介於 0.5149 ~ 0.8445 之間的斜坡單元，則劃分為「第二類-中崩塌率」，後續亦將以此分類各自率定其山崩雨量門檻。

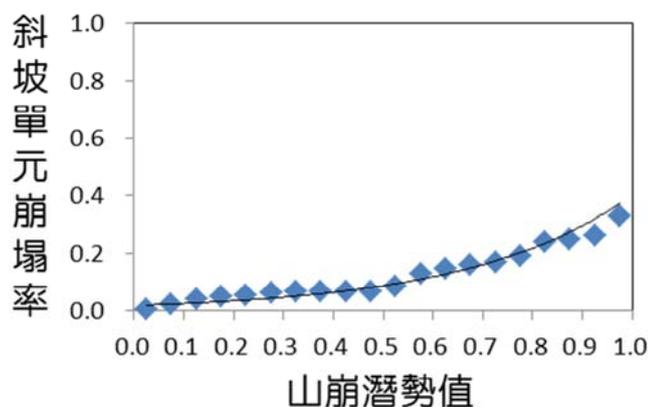


圖 7.2-2 斜坡單元崩塌率與山崩潛勢值之關係

表 7.2-1 臺灣中部地區山崩災害規模分類表

斜坡單元崩塌率	山崩潛勢值	山崩災害規模分類
0.30	0.9101	0.8445 ~ 1.0000 第一類-高崩塌率
0.25	0.8445	
0.20	0.7643	0.5149 ~ 0.8445 第二類-中崩塌率
0.15	0.6608	
0.10	0.5149	0.0000 ~ 0.5149 第三類-低崩塌率
0.05	0.2655	

7.2.3 山崩災害發生機率

本計畫係以 3 小時平均降雨強度(I_3)及 24 小時累積雨量(R_{24})為降雨指標進行災害發生機率之率定。如圖 7.2-3 所示，縱軸為 I_3 ，橫軸為 R_{24} ，將本計畫調查所得之災害案例資料繪入圖內後，先以最小平方法求得最佳回歸線，並以該回歸線之斜率作為橢圓形之 x 軸、y 軸的 a、b 參數，並利用橢圓大小對歷史災害的涵蓋百分比做為雨量門檻率定之界線。舉例而言，90% 山崩雨量門檻線代表在該降雨條件下，有 90% 之歷史災害案例發生崩壞，意即若降雨較此門檻更強時，極有可能造成該降雨區域發生山崩災害。本計畫亦設定 90%、60%、30% 等機率作為高發生率、中高發生率、中發生率、低發生率之門檻，藉此作為警戒發布之參考。

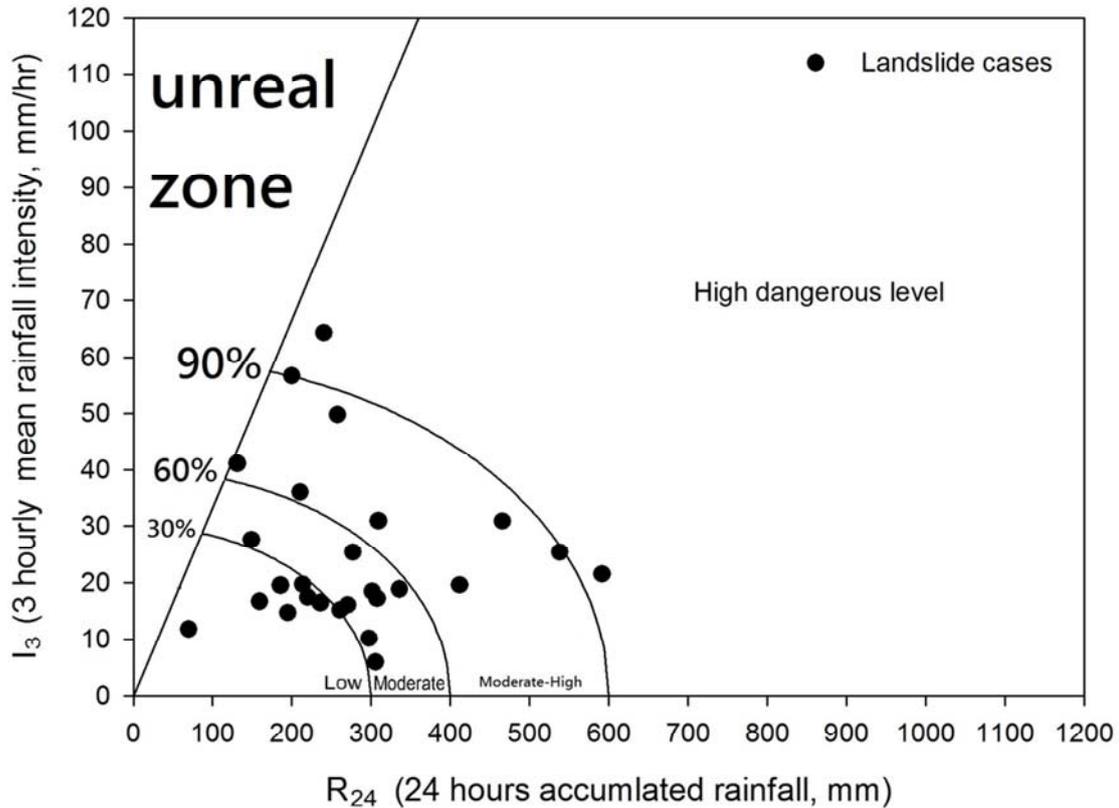


圖 7.2-3 山崩雨量門檻率定方法

7.2.4 警戒燈號設定

本計畫同時考慮災害發生之規模以及災害發生之機率，並結合危險度矩陣之概念給定警戒燈號。如表 7.2-2 所示，第一類山崩因其可能之崩塌率較高，災害之規模以及影響層面皆較大，因此當其發生機率大於 60% 時即顯示為紅色(高危險等級)，若災害發生機率介於 30% ~ 60% 時則顯示橙色(中高危險等級)，若災害發生機率低於 30% 時則顯示黃色(中危險等級)，更低時則以綠色顯示(低危險等級)。第二類山崩其可能之崩塌率次之，影響層面也次之，故設定當其發生機率大於 90% 時顯示為紅色，60% ~ 90% 時顯示為橙色，30% ~ 60% 時顯示為黃色，低於 30% 時顯示為綠色。第三類山崩其可能之崩塌率較低，影響層面最小，可能僅為公路邊坡之小型坍方或少量土砂流出，因此

當其發生機率大於 90% 時以橙色顯示，60% ~ 90% 時顯示為黃色，低於 60% 時以綠色顯示。

表 7.2-2 山崩雨量門檻警戒燈號表

	高發生率 (≥90%)	中高發生率 (≥60%)	中發生率 (≥30%)	低發生率 (<30%)
第一類-高崩塌率	高危險等級	高危險等級	中高危險等級	中危險等級
第二類-中崩塌率	高危險等級	中高危險等級	中危險等級	低危險等級
第三類-低崩塌率	中高危險等級	中危險等級	低危險等級	低危險等級

7.3 山崩雨量門檻率定成果與驗證

本計畫將臺灣分為北、中、南、東、恆春半島等五個區域(圖 6.2-3)，針對北、中、南、東等四區各自建立其山崩雨量門檻，然而目前恆春半島之資料較為不足，因此僅能先以全臺資料建立一組山崩雨量門檻，將其套用於恆春半島。此外，因考量各區域具有不同之地質、地形、降雨等特性，各區域之山崩災害規模分類亦具有不同的門檻。

以北部地區而言(圖 7.3-1)，其山崩規模大多較中、南部小，因此第一類斜坡單元係以斜坡單元崩塌率在 12% 以上為主，第二類則為斜坡單元崩塌率 9% ~ 12% 者，第三類為斜坡單元崩塌率小於 9% 者，其各門檻率定成果如表 7.3-1 所示，由表中可知，北部區域若 24 小時累積雨量大於 500 ~ 550 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 50 mm/hr，將顯示紅色燈號(高危險等級)，顯示其可能產生較為嚴重之災害；若 24 小時累積雨量大於 300 ~ 450 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 30 ~ 45 mm/hr，將顯示橙色燈號(中高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 200 ~ 300 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 20 ~ 30

mm/hr，將顯示黃色燈號(中危險等級)，更低之降雨狀況將以綠色顯示(低危險等級)。

以中部地區而言(圖 7.3-2)，第一類斜坡單元係以斜坡單元崩塌率在 25% 以上為主，第二類則為斜坡單元崩塌率 10% ~ 25% 者，第三類為斜坡單元崩塌率小於 10% 者，其各門檻率定成果如表 7.3-2 所示，由表中可知，中部區域若 24 小時累積雨量大於 500 ~ 600 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 45 ~ 60 mm/hr，將顯示紅色燈號(高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 350 ~ 450 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 30 ~ 45 mm/hr，將顯示橙色燈號(中高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 250 ~ 350 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 20 ~ 35 mm/hr，將顯示黃色燈號(中危險等級)，更低之降雨狀況將以綠色顯示(低危險等級)。

以南部地區而言(圖 7.3-3)，第一類斜坡單元係以斜坡單元崩塌率在 25% 以上為主，第二類則為斜坡單元崩塌率 15% ~ 25% 者，第三類為斜坡單元崩塌率小於 15% 者，其各門檻率定成果如表 7.3-3 所示，由表中可知，南部區域若 24 小時累積雨量大於 600 ~ 650 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 55 ~ 60 mm/hr，將顯示紅色燈號(高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 450 ~ 550 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 40 ~ 50 mm/hr，將顯示橙色燈號(中高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 300 ~ 450 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 30 ~ 40 mm/hr，將顯示黃色燈號(中危險等級)，更低之降雨狀況將以綠色顯示(低危險等級)。

以東部地區而言(圖 7.3-4)，第一類斜坡單元係以斜坡單元崩塌率在 15% 以上為主，第二類則為斜坡單元崩塌率 10% ~ 15% 者，第三類為斜坡單元崩塌率小於 10% 者，其各門檻率定成果如表 7.3-4 所示，由表中可知，東部區域若 24 小時累積雨量大於 500 ~ 600 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 45 ~ 50

mm/hr，將顯示紅色燈號(高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 350 ~ 450 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 30 ~ 40 mm/hr，將顯示橙色燈號(中高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 250 ~ 300 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 20 ~ 25 mm/hr，將顯示黃色燈號(中危險等級)，更低之降雨狀況將以綠色顯示(低危險等級)。

此外，本計畫亦以所有調查資料另建一套全臺之山崩雨量門檻(圖 7.3-5)，以應用到部分調查資料較為缺乏之區域(如恆春半島)。全臺資料率定之山崩雨量門檻如表 7.3-5 所示，由表中可知，若 24 小時累積雨量大於 500 ~ 700 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 50 ~ 70 mm/hr，將顯示紅色燈號(高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 400 ~ 450 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 40 ~ 45 mm/hr，將顯示橙色燈號(中高危險等級)；若 24 小時累積雨量大於 250 ~ 300 mm 或 3 小時平均降雨強度大於 25 ~ 30 mm/hr，將顯示黃色燈號(中危險等級)，更低之降雨狀況將以綠色顯示(低危險等級)。

各區域之山崩雨量門檻如上述圖、表所示，此為目前研究之成果，該結果雖已可作為初步判斷或警戒之參考，但仍須注意此結果尚需後續豪雨事件之長期驗證工作，並視其驗證結果適時檢討與調整各區域之山崩雨量門檻值。

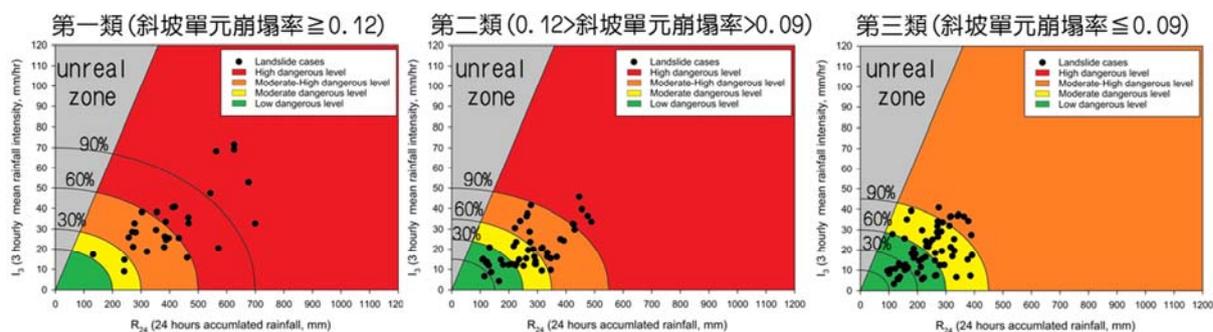


圖 7.3-1 北部區域山崩雨量門檻率定成果

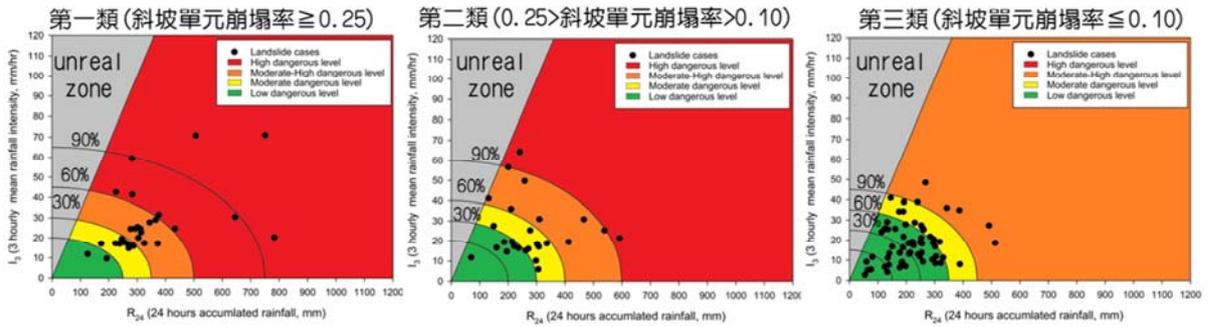


圖 7.3-2 中部區域山崩雨量門檻率定成果

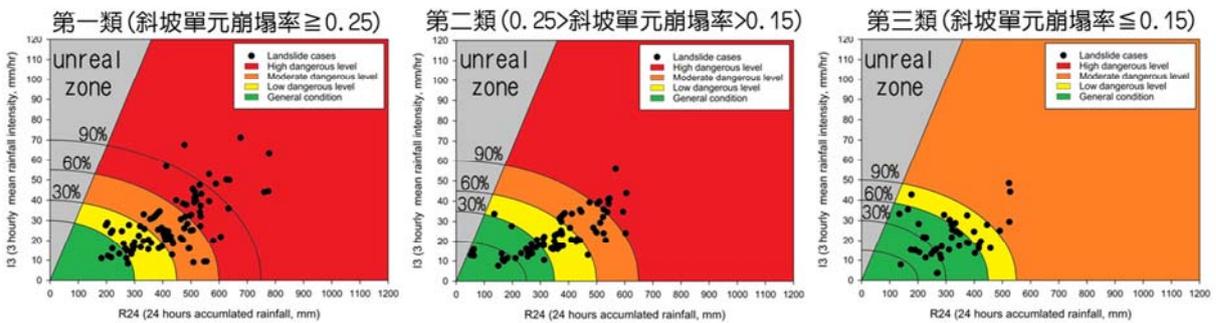


圖 7.3-3 南部區域山崩雨量門檻率定成果

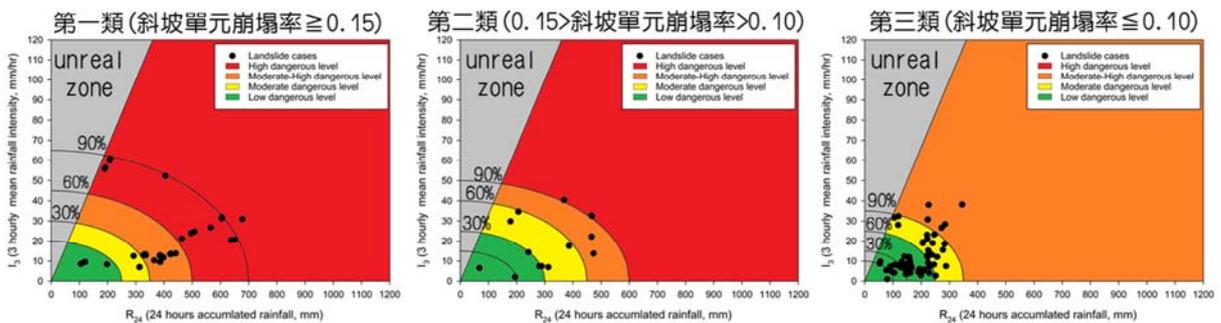


圖 7.3-4 東部區域山崩雨量門檻率定成果

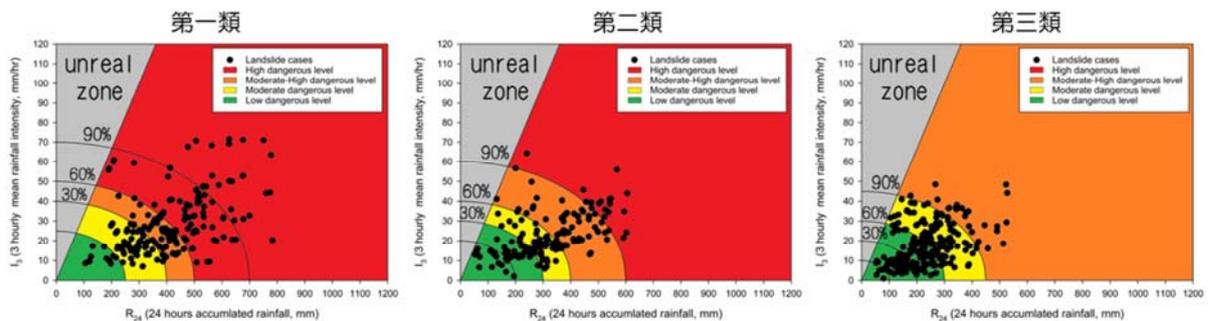


圖 7.3-5 全臺山崩雨量門檻率定成果

表 7.3-1 北部區域山崩雨量門檻率定成果

北部	高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類-高崩塌率	700	70	500	50	300	30	200	20
第二類-中崩塌率	550	50	350	35	250	25	150	15
第三類-低崩塌率	450	45	300	30	200	20	100	10

表 7.3-2 中部區域山崩雨量門檻率定成果

中部	高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類-高崩塌率	750	65	500	45	350	30	250	20
第二類-中崩塌率	600	60	400	40	300	30	200	20
第三類-低崩塌率	450	45	350	35	250	25	150	15

表 7.3-3 南部區域山崩雨量門檻率定成果

南部	高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類-高崩塌率	750	70	600	55	450	40	300	30
第二類-中崩塌率	650	60	500	45	350	35	250	20
第三類-低崩塌率	550	50	450	40	300	30	200	15

表 7.3-4 東部區域山崩雨量門檻率定成果

東部	高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類-高崩塌率	700	65	500	45	350	30	250	20
第二類-中崩塌率	600	50	450	40	300	25	200	15
第三類-低崩塌率	350	35	250	25	150	15	100	10

表 7.3-5 全臺山崩雨量門檻率定成果

東部	高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類-高崩塌率	700	70	500	50	400	40	250	25
第二類-中崩塌率	600	60	400	40	300	30	200	20
第三類-低崩塌率	450	45	300	30	200	20	100	10

本計畫亦嘗試以本(103)年度曾引發災害之麥德姆颱風進行山崩雨量門檻驗證工作(圖 7.3-6)，該颱風主要造成公路邊坡之災害，利用公路總局防救災系統中所記錄之災害位置、通報時間、現場照片、相關描述等，得以輔助本計畫驗證工作之進行。藉由該事件引發的 10 起事件進行驗證顯示(表 7.3-6)，若該災點過去並無歷史災情發生，其山崩將於橙色~紅色階段發生災害，但若該災點過去已有過歷史災情則可能於黃色或甚至於綠色階段即再次致災。此結果顯示本計畫對於新發生之災害應具有一定之預測能力，然而對於過去已有歷史災害紀錄者，可能因為其植生復育狀況、是否已有工程施作、坡面上殘留之岩屑材料多寡等複雜因素，較無法全數掌握，在此現象仍未有進一步處理方法前，建議在使用此模式時應將具有歷史災害點位之警戒燈號調降至黃色即須做準備，而過去未發生災害之點位則可設定橙色為疏散避難或相關防災作為之警示。惟麥德姆颱風並未造成較嚴重之區域性災害，故後續年度之長期驗證工作仍須持續進行，以確保訂定之門檻具有可行性。

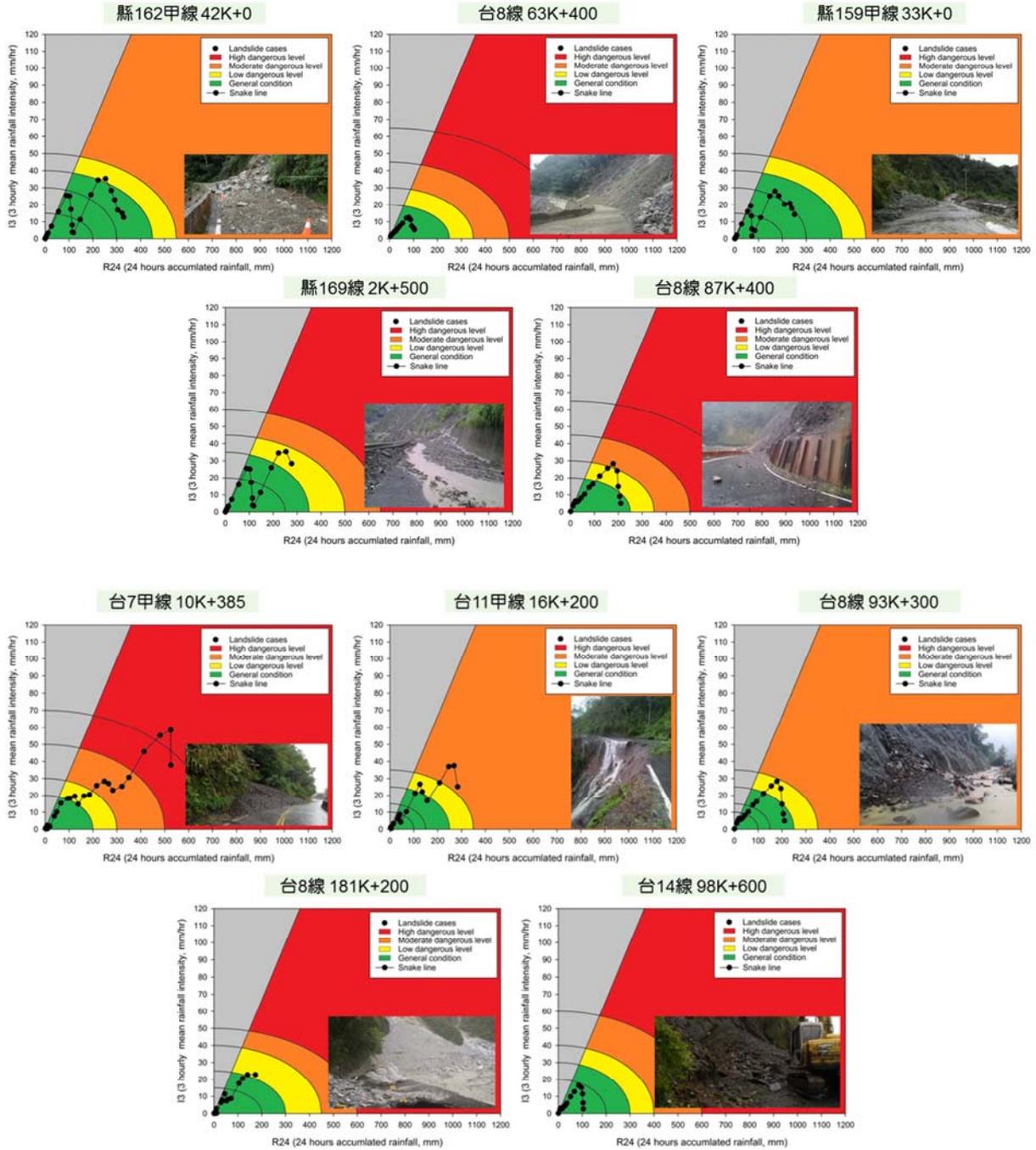


圖 7.3-6 麥德姆颱風災情驗證成果

表 7.3-6 山崩雨量門檻驗證

路線 樁號	縣市 鄉鎮	附近 地名	災害類別 及受損情形	阻斷時間	最近 雨量站	所屬區域 及類別	災害發 生前最 高燈號	歷史災情
縣 162 甲線 42K+000	嘉義縣 梅山鄉	太和村	道路，邊坡坍 方。道路坍方 1200m ³	2014/7/23 17:00	豐山	南部 第三類	黃色	有，98/8/10、98/8/12
台 8 線 63K+400	臺中市 和平區	德基	道路，邊坡坍 方。坍方長約 40 公尺、高約 12 公尺	2014/7/23 07:00	德基	中部 第一類	綠色	有，103/5/20、 103/6/6、103/6/9、 103/7/1
縣 159 甲線 33K+000	嘉義縣 竹崎鄉	光華村	道路，邊坡坍 方。道路坍方 500m ³	2014/7/23 15:40	大湖	南部 第三類	綠色	有，102/8/29
縣 169 線 2K+500	嘉義縣 梅山鄉	太和村	道路，邊坡坍 方。邊坡坍方 土石流交通阻 斷	2014/7/23 13:00	豐山	南部 第二類	黃色	有，98/8/10、 103/5/13、103/5/21、 103/5/29、103/6/7
台 8 線 87K+400	臺中市 和平區	梨山	道路，邊坡坍 方。台 8 線 87.4k 坍方阻 斷	2014/7/23 07:00	梨山	中部 第一類	橙色	無
台 7 甲線 10K+385	宜蘭縣 大同鄉	茂安	道路，土石流 阻斷。路面土 石持續漫流	2014/7/2 09:30	太平山	北部 第一類	紅色	無
台 11 甲線 16K+200	花蓮縣 光復鄉	豐濱	道路，路基流 失。下邊坡路 基流失 50M 寬 度 4M	2014/7/23 02:00	豐濱	東部 第三類	橙色	無
台 8 線 93K+300	臺中市 和平區	碧綠溪	道路，邊坡坍 方。(3) 台 8 線 93.3k 坍方 阻斷	2014/7/23 07:00	梨山	東部 第三類	黃色	有，102/5/17、 102/5/20、102/5/21、 102/5/22、102/6/2、 102/6/4、102/7/15、 102/7/18、102/8/7、 102/8/8、102/8/22、 102/8/30、102/9/21、 102/9/22、103/2/10、 103/5/1
台 8 線 181K+200	花蓮縣 秀林鄉	白沙橋	道路，土石流 阻斷。土石流 坍方長 140m* 寬 15m*平均 高 10m=21000m ³	2014/7/23 00:00	布洛灣	東部 第二類	黃色	有，102/9/22
台 14 線 98K+600	南投縣 仁愛鄉	屯原	道路，邊坡坍 方。道路上邊 坡坍方	2014/7/2 06:00	廬山	中部 第二類	綠色	有，103/5/19

目前本計畫之山崩雨量門檻率定及警戒之構想如圖 7.3-7 所示。本計畫採用四級警戒防災操作設定(綠-黃-橙-紅燈號)，首先將 QPESUMS 實測雨量代入斜坡單元分析模式中，計算其 I_3 值與 R_{24} 值隨時間之動態歷程線(snake line，以下簡稱 I-R 歷程線)，在其未超越 30% 山崩事件發生點臨界線時(critical line of 30% landslide occurrence, 簡稱 30% CL)，顯示為綠色燈號(條件①)，意指處於斜坡單元處於低危險之階段，此時僅持續觀測雨量監控 I-R 歷程線之變化。若輸入雨量資訊之 I-R 歷程線超越 30% CL 時，警戒燈號則輸出為黃色(條件②)，此一區間表示過去山崩事件點有 30% 的災害發生於此條件，顯示斜坡單元之崩壞潛勢已至中危險等級。在對應的防災操作上，應針對斜坡單元周遭可能受到影響之保全對象，進行預備疏散整備等相關事宜。在輸出計算值達到黃色警戒階段後，系統將陸續輸入氣象局發布實際雨量進行演算，同時估算是否滿足下一門檻值與否。若動態 I-R 歷程線超越 60% CL 時，表示該條件已大於 60% 歷史山崩點之災害發生條件(條件③)，則發布橙色燈號，預告該斜坡單元始進入中高危險等級。其應對該斜坡單元附近之保全對象採取疏散避難措施，同時嚴密監控後續可能發生之土砂災害。若 I-R 歷程線持續超越 90% CL 時，則發布紅色燈號，表示降雨條件已大於歷史 90% 山崩災害發生門檻值，已進入高危險等級，應特別嚴加注意山區地質脆弱區之山崩災害事件，並提供資訊予相關業管單位進行必要之處置，以確保居民之安全。

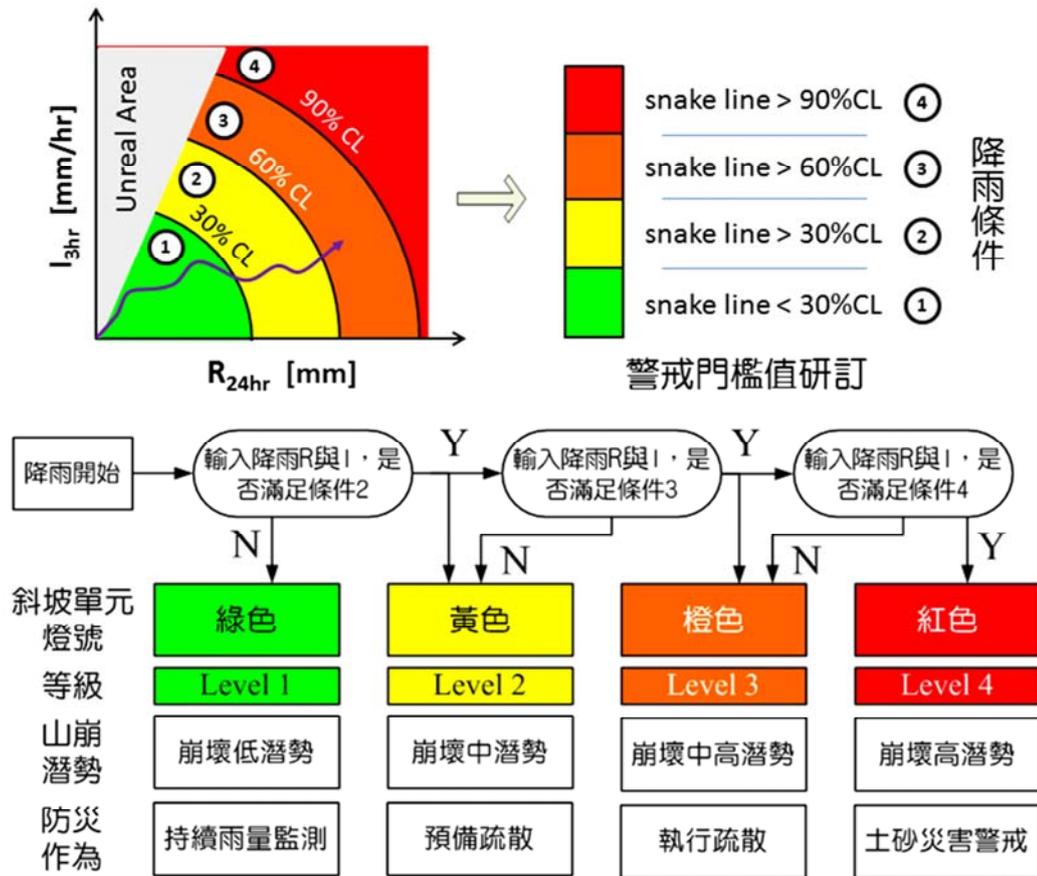


圖 7.3-7 山崩雨量門檻率定及警戒構想

7.4 防災應變構想

本計畫成果應用於鄉鎮市區之防災應變構想上，初步可分為「災前整備」、「災害預報」及「警戒與疏散避難」等三個階段。「災前整備」階段係指於災害發生前，擬定災害發生之標準以及災害發生時應有之避難作為相關規劃工作，為防患於未然之前置作業；「災害預報」階段係指當豪雨事件發生時，相關災害防救單位定時發布警戒區預報，使民眾瞭解當前豪雨事件可能造成災害之區域，並及早準備防災工作；「警戒與疏散避難」階段則是指當豪雨雨量已達可能致災之狀況時，相關災害防救單位針對有危險疑慮之鄉鎮市區發布警戒，並開始進行疏散避難之作業。

7.4.1 災前整備階段

災前整備階段又可細分為「發生條件訂定」、「潛勢資料彙整」、「警戒條件率定」、「避難路線與處所之評估、選定」、「物資需求規劃」等細項：

- (一) 發生條件訂定：此為防災應變之基礎，當發生條件決定後，才得進行防災應變規劃，而本計畫之發生條件係指降雨條件滿足本計畫所建立之「I-R 歷程線超越 30, 60, 90% CL」條件，以決定各斜坡單元上岩屑崩滑發生機率。
- (二) 潛勢資料彙整：將相關之山崩調查結果、各鄉鎮保全對象分布圖資等資料進行統整，以補足防災應變所需基礎資料，建立各鄉鎮市區岩屑崩滑災害警戒標準。
- (三) 警戒條件率定：確立當各鄉鎮市區累積雨量達臨界雨量時，相關防災單位須開始動員民眾進行疏散作業，以確保居民之生命財產安全。
- (四) 避難路線與處所之評估、選定：避難路線之選定至少須滿足三個原則。
 - (1) 安全原則：避免遴選避難路線經過危險區域，造成居民二次傷害；
 - (2) 就近原則：選取路線以便於民眾行動，且距離不宜過遠為主；
 - (3) 習慣原則：選取之路線應以居民較為熟悉者為主，避免疏散時無所適從。而避難處所之選定則以可快速到達(儘速完成避難)、無潛在致災危險(避免位於災害堆積區)、空間足夠(可收容所有保全對象)、且具備能與外界通聯(連外道路應確保暢通)等必要條件。
- (五) 物資需求規劃：相關物資需求與數量可參考土石流防災應變之「直轄市、縣(市)危險區域(村里、部落)因應天然災害緊急救濟物資儲存作業要點範例」，其應備之防災用品則包括防雨器具、乾糧、飲用水、印信、身份證明文件、保暖衣物、醫藥箱、手電筒、哨子、通訊設備等。

7.4.2 災害預報階段

災害預報階段係指當豪雨事件發生時，相關防災單位依據(1)中央氣象局發布之實測雨量站資料或(2)QPESUMS 雨量資料，透過系統即時運算並配合各鄉鎮市區之警戒雨量資料，定時發布警戒區預報資訊，並視需求決定預報發布之時間間隔，以提供各單位進行疏散決策之參考。

警戒雨量可依據各斜坡單元制定，遇颱風豪雨事件時，可經系統運算即時得知具有山崩潛勢的斜坡單元及其保全對象；特別注意各斜坡單元的保全對象若有道路或橋梁，若此路段為居民前進至避難所的必經路線，則規劃考慮其他替代之避難路線。預報之警戒發布區分為黃色、橙色與紅色警戒(低危險度、常態時為綠色)：當中央氣象局實際雨量值超過 30%CL 時，發布黃色警戒，此時各防災單位應開始針對各斜坡單元的保全對象，進行疏散避難之準備，部分較危險或疏散距離較遠者(步行至避難處所超過 30 分鐘)，可提前進行疏散作業；當實際雨量值超過 60%CL 時，各防災單位應開始強制疏散作業，並引導居民至預設之疏散避難處所進行適當之安置作業；若實際雨量超過 90%CL 時，則表示山崩災害發生的機會已相當高，應特別加強相關防救災人員、機具等之佈署，預先應變。

7.4.3 警戒與疏散避難

本計畫另建置展示資料庫(詳第八章)，其平常即與 QPESUMS 連線，隨時接收即時雨量資料，透過網格式的雨量資料可即時得知各斜坡單元的雨量，系統便可依此計算得知各斜坡單元的崩滑潛勢。於颱風豪雨期間時，除了 QPESUMS 即時雨量外，未來亦可嘗試介接雨量預測模式提供未來數小時之預測降雨，各行政區透過系統檢視可得知轄內所有斜坡單元的崩滑潛勢：綠色區域代表一般狀態或低危險度區域，較無山崩發生之疑慮；黃色區域代表

中危險度者，其邊坡穩定性已降低；橙色區域代表中高危險度者，其邊坡穩定性已在不穩定階段；紅色區域代表高危險度者，極可能發生災害。

當黃色警戒預報發布後，相關單位即可依據警報發布區域以及實際狀況劃定管制區域，嚴格限制並禁止居民進入。勸導疏散指示訊息之發布可透過電視、廣播、網路、手機簡訊等傳媒，或以村里廣播系統、警消人員至居民住所通知民眾，並協請地方政府、村里長、地方緊急聯絡人等協助居民之疏散。而當橙色警戒預報發布後，若遇有不願配合疏散作業之民眾，得視情況強制疏散，以保障民眾生命之安全。至於未來警戒發布之解除，由於目前採用動態降雨歷程線，當雨勢趨緩後，燈號也將逐漸回復到綠色，然而部分地區之災害特性可能有其延遲性，故建議初期仍以中央氣象局解除相關警報時，配合解除山崩災害警報。

7.5 模式未來應用構想

本章節將透過不同使用者之角度來說明模式未來之應用構想，以利系統使用者更加瞭解未來山崩雨量門檻於實際操作上可能之應用層面與流程。為了將本計畫進一步推廣至其他防災應用單位，以下茲將模式應用構想區分土石流潛勢溪流集水區崩塌地、緊鄰山坡地之聚落及緊鄰山坡之道路三類，以多變量分析之山崩潛勢模式(第六章)配合 I-R 雨量關係圖分述其應用構想與流程如後。

7.5.1 土石流潛勢溪流集水區崩塌地

山區上游的岩屑崩滑，除了於蝕溝或坡面造成崖錐堆積外，其崩落堆積的土石亦為集水區內土石流之重要土砂來源之一。若將地調所公布之淺層岩屑崩滑區域、農委會土石流潛勢溪流、下游保全住戶及本計畫所劃分之斜坡單元等圖層加以套疊(圖 7.5-1)，則可綜合評估各鄰近山坡地村里受土石流潛

勢溪流影響之可能範圍，並根據動態山崩潛勢評估模式推估區域內各斜坡單元之臨界降雨量，提供未來落實村里防災之初步應用。本計畫之斜坡單元可配合水土保持局採用保全危害度因子(如建物、交通設施、現地整治成效等)所遴選出之土石流高風險潛勢溪流下游堆積區進行災前警戒。另一方面，本計畫模式計算後斜坡單元所反映之警戒訊號，亦可提供土石流潛勢溪流內之土砂產出來源訊息(如崩塌規模(面積)、坡度、岩性等發生潛勢因子)，提供瞭解潛勢溪流於降雨條件超過警戒雨量時，預判下游可能之潛在運移土砂量多寡。而水土保持局歷年所更新之土石流潛勢溪流圖層，亦可回饋至本計畫進行上游區斜坡單元之邊界編修參考，以反映災害潛勢區真實邊坡地形現況。

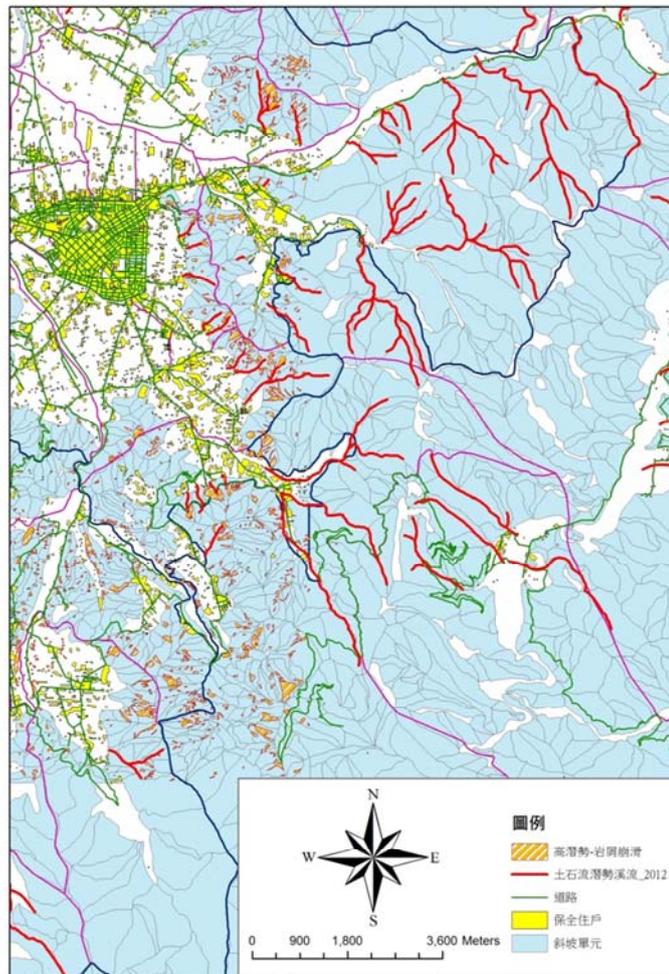


圖 7.5-1 緊鄰土石流潛勢溪流保全住戶、道路與岩屑崩滑套疊圖

根據前述概念，茲將實際應用評估流程繪製如圖 7.5-2 所示：

1. 套疊鄉鎮村里、農委會公開之土石流潛勢溪流、航照圖及子集水區圖層，初步圈繪出各村里內之土石流潛勢溪流所涵蓋之斜坡單元。
2. 針對溪流內所屬斜坡單元進行動態山崩潛勢分析，以研訂 I-R 歷程線之臨界條件(例如發生災害機率 60% CL)，推估 24 小時累積臨界雨量 R_{24} 。
3. 依據防災操作需求與土石流溪流潛勢等級，將集水區內各斜坡單元納入統計分析(如平均值、平均值- n *標準差等)，以求取集水區內之單一臨界雨量代表值。

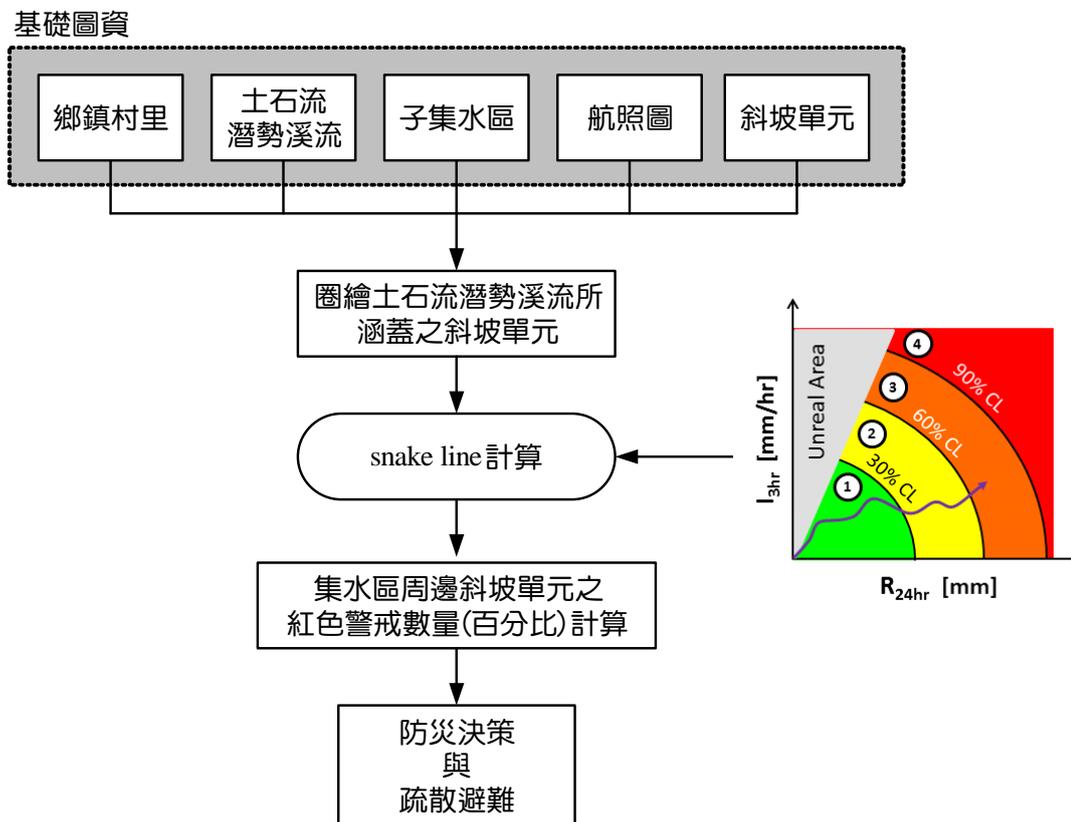


圖 7.5-2 土石流集水區崩塌地臨界降雨門檻評估流程

根據上述原則，如圖 7.5-3 所示，考量淺層崩塌與土石流潛勢溪流發生具相關性，且山區上游的岩屑崩滑，除了於蝕溝或坡面造成崖錐堆積外，其崩落堆積的土石亦為集水區內土石流之重要土砂來源之一。本小節挑選南投

縣埔里鎮 DF243 土石流潛勢溪流作為初步試作說明。經查水保局公開之土石流潛勢分級資料，該溪流為中發生潛勢，警戒雨量為 350 mm。本集水區之斜坡單元隸屬中部地區(共 70 個斜坡單元組成)，依其崩塌率值域可分為第一類(高崩塌率)47 個、第二類(中崩塌率)13 個及第三類(低崩塌率)10 個斜坡單元。由 I₃-R₂₄ 圖模式率定成果表(表 7.3-2)得知其所對應之黃、橙、紅燈號臨界值雨量，如圖 7.5-3，配合加權法可推估不同燈號下之代表警戒雨量值，計算後的黃、橙、紅警戒雨量值約為 500, 350, 250 mm(雨量以 25 mm 為級距)。其結果說明當累積雨量到達 250 mm 時，代表斜坡可能已達到崩壞中潛勢，對照圖 7.3-7，對應之防災作為為預備疏散。若雨量持續累積至 350 mm 時，則顯示斜坡單元已進入崩壞中高潛勢，應立即執行疏散避難，此一雨量亦與水保局公告之警戒雨量值相當(350 mm)。若雨量持續累積到達 500 mm 時，則表示斜坡單元具有 90%的崩壞潛勢，此時則應特別注意土砂災害之發生。

溪流編號	縣市	鄉鎮	村里	溪流名稱	地標	潛勢溪流位置圖	發生潛勢	保全住戶數	警戒值
投縣DF243	南投縣	埔里鎮	蜈蚣里	眉溪支流	錦吉生態活蝴蝶園	眉溪支流	中	1-4戶	350

(SWCB土石流防災資訊網)

土石流潛勢溪流 編號	第一類斜坡單元 數量			第二類斜坡單元 數量			第三類斜坡單元 數量			集水區內 山崩警戒建議值(原始值)	
	500	350	250	600	400	300	-	450	350	紅色警戒值	500(521)
投縣DF243	X=47			Y=13			Z=10			橙色警戒值	350(373)
										黃色警戒值	250(273)

$$\text{紅色警戒值} = \frac{(X \times 500) + (Y \times 600)}{(X + Y)}$$

$$\text{橙色警戒值} = \frac{(X \times 350) + (Y \times 400) + (Z \times 450)}{(X + Y + Z)}$$

$$\text{黃色警戒值} = \frac{(X \times 250) + (Y \times 300) + (Z \times 350)}{(X + Y + Z)}$$

圖 7.5-3 土石流集水區崩塌地臨界降雨門檻評估試作

7.5.2 緊鄰山坡地之聚落

臺灣由於人口稠密，部分高山聚落多沿於山坡地週緣聚集，下游堆積區的住戶除了受到土石流潛勢溪流影響外，另外常見的岩屑崩滑等淺層崩塌，也常於豪雨事件後對聚落造成衝擊。對於面積較大或戶數較多之山區聚落(如被業管單位評估為具有災害潛勢者)，在豪雨發生時，實有必要對其週邊山坡地進行崩塌預警，以確保其保全對象之生命財產安全。在山區保全戶之應用上，若將環境地質圖中不同潛勢之地質災害加以套疊(本計畫中暫以岩屑崩滑作為探討對象)，可初步了解斜坡單元內岩屑崩滑潛勢區與保全對象之空間分布關係。一般而言，人為活動區(包含人為活動區與潛在地質災害影響區)可假設一長度之外擴環域，如以保全對象取 500 m 作為生活範圍之緩衝區(圖 7.5-4)，便可獲知該保全對象可能受到週邊斜坡單元(如崩塌地)破壞後的潛在影響區域，進而於降雨持續發生且斜坡單元達到警戒時，即預先規劃避難路線(避免道路阻斷形成孤島效應)或預知保全住戶受坡面破壞影響之位置。其應用說明與流程如圖 7.5-5 所示：

1. 套疊鄉鎮村里、保全住戶(本例以航照圖自行圈繪數化)、子集水區、地調所中、高潛勢岩屑崩滑災害等圖層，並以保全對象位置外擴一可能之災害影響範圍(依業管單位防災需求研訂)。
2. 篩選外擴環域與斜坡單元圖層相交之特定斜坡單元，並套疊子集水區圖層將保全對象上邊坡跨越稜線，及影響程度較低之下邊坡之斜坡單元刪除，並參酌過去歷史致災紀錄與崩塌量體進行詳實評估。
3. 針對所遠定之斜坡單元進行動態山崩潛勢分析，以研訂 I-R 歷程線之臨界條件(例如發生災害機率 60% CL)，推估 24 小時累積臨界雨量 R_{24} 。
4. 依據防災操作需求與聚落受災危害度等級，將緩衝區內各斜坡單元納入統計分析(如平均值、平均值- n *標準差等)，以求取緩衝區內之單一臨界雨量

代表值。

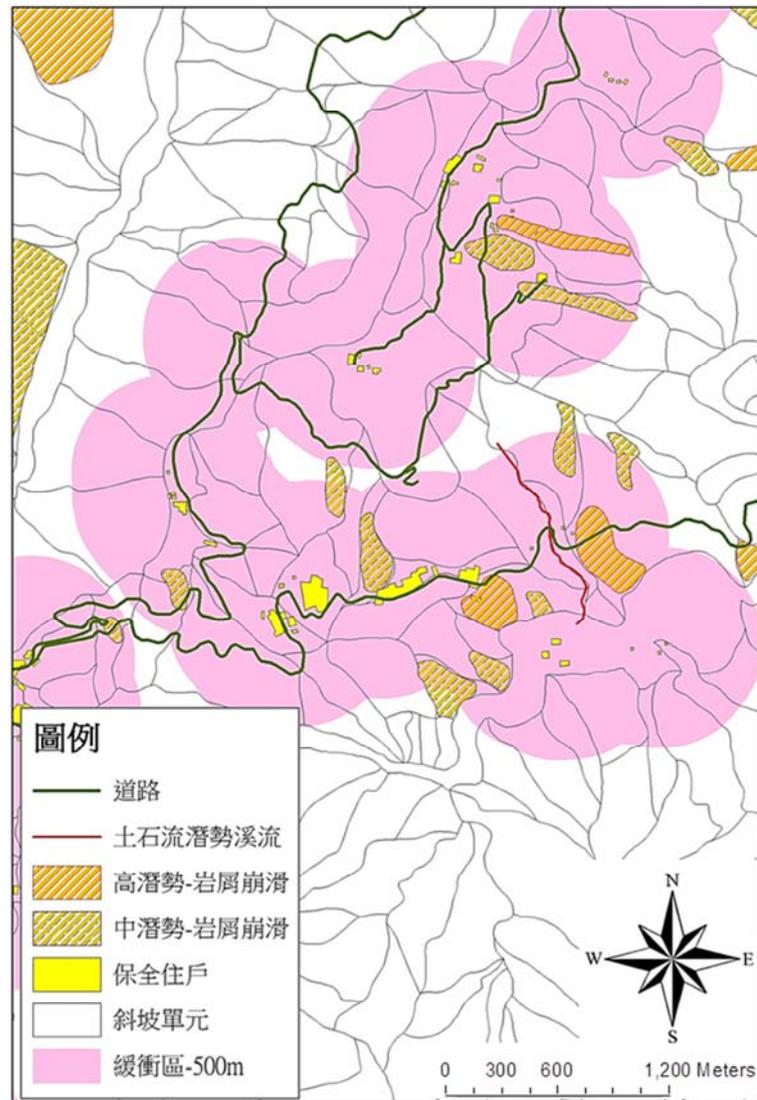


圖 7.5-4 緊鄰山坡保全住戶緩衝區、道路與岩屑崩滑套疊圖

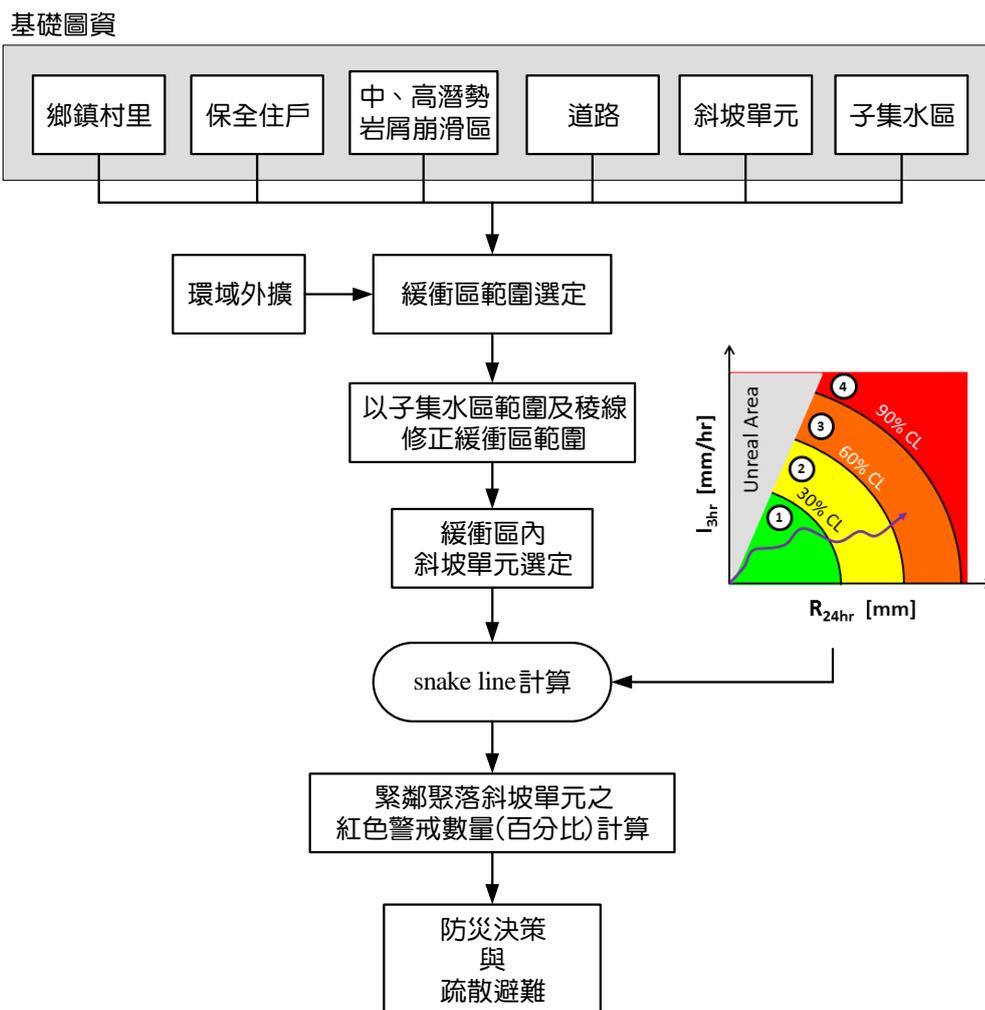


圖 7.5-5 緊鄰山坡地之聚落山崩臨界降雨門檻評估流程

以上述評估原則，如圖 7.5-6 所示，本節以南投縣埔里鎮蜈蚣里進行聚落臨界雨量之推估。由 NCDR 災害潛勢地圖網站所公開之坡地雨量警戒值，得知蜈蚣里之坡地災害臨界雨量為 230 mm，略低於土石流災害發生時之臨界雨量(300 mm)。本里之斜坡單元數共計 408 個斜坡單元，經環域分析後，包含聚落之斜坡單元為 20 個，故以此 20 個單元進行雨量與斜坡單元數加權運算(圖 7.5-6)。運算後所得之黃、橙、紅警戒雨量值約為 300, 400, 600 mm(雨量以 25 mm 為級距)，分別代表聚落鄰近所處邊坡於中、中高級高潛勢下所對應之臨界雨量值。其橙色警戒(疏散避難)雨量門檻值高於 NCDR 所公告之警戒雨量，未來應用上可視當地過去是否具有災害歷史，若有適當調降臨界

雨量級距，以提早因應防災操作程序。若無災害發生歷史，則可以加權法所推估之橙色警戒雨量值作為聚落防災避難參考值。

縣市	鄉鎮	村里	坡地災害	土石流災害
南投縣	埔里鎮	蜈蚣里	230	300

(NCDR災害潛勢地圖網站)

村里	第一類斜坡單元數量			第二類斜坡單元數量			第三類斜坡單元數量			村里山崩警戒建議值(原始值)	
	X=2		Y=7		Z=11		紅色警戒值	原始值			
南投縣 埔里鎮 蜈蚣里	500	350	250	600	400	300	450	350	紅色警戒值	(600)577	
									橙色警戒值	(400)422	
									黃色警戒值	(300)322	

註：蜈蚣里共有408個斜坡單元，其中20個有聚落分布其中

$$\text{紅色警戒值} = \frac{(X \times 500) + (Y \times 600)}{(X + Y)}$$

$$\text{橙色警戒值} = \frac{(X \times 350) + (Y \times 400) + (Z \times 450)}{(X + Y + Z)}$$

$$\text{黃色警戒值} = \frac{(X \times 250) + (Y \times 300) + (Z \times 350)}{(X + Y + Z)}$$

圖 7.5-6 緊鄰山坡地之聚落山崩臨界降雨門檻評估流程

7.5.3 緊鄰山坡之道路

臺灣山區約佔總面積三分之二，重要道路於山區之分布區域因而特別發達，如台 8 線中橫公路、台 9 線蘇花公路及台 21 線新中橫公路等。此類道路通常沿山區河岸或陡峭海岸線構築，於重大降雨事件發生後，其下邊坡常遭受湍急河水沖刷而導致路基流失，上邊坡則常因風化表層受雨水沖蝕而誘發落石、岩屑崩滑或土石流等地質災害。為了進一步推廣並落實本計畫之動態山崩警戒模式應用，本計畫將嘗試選定一省道進行試作。如圖 7.5-7 之台 8 線為例，考慮岩體、土體或岩石碎屑物質沿坡向重力移動之現象，首先將斜坡單元與道路圖層套疊，再利用斜坡單元對道路切割分段，依道路線形與斜坡單元區位關係，區分為：(1)直接影響 (2)間接影響(圖 7.5-8)，以斜坡單元邊界或邊界延伸線切割後之路段予以編號及記錄相關屬性，代表道路可能受到上、下邊坡斜坡單元崩壞影響的路段長度與範圍。由於各斜坡單元本身已

具備靜態潛勢值，於降雨發生時，可依據降雨歷線即時計算動態潛勢值，提供道路業管單位提早預判邊坡災害，並於高潛勢路段進行搶修機具預置與動員。本模式所建立之動態山崩潛勢值計算流程如圖 7.5-9 所示，山區邊坡發生岩屑崩滑之尺度可能涵蓋一至數個斜坡單元，輸入實際雨量後，便可由所建置之 GIS 動態山崩潛勢展示資訊系統直接鎖定特定里程樁號或歷史災害點，系統除提供斜坡單元降雨組體圖外，亦可呈現其即時之 I_3 - R_{24} 降雨歷程線。

若舉 2014/11/17 於台 9 線東澳嶺路 115.8K 段所發生岩屑崩滑事件為例(圖 7.5-10)，其所在位置隸屬東部地區第三類(低崩塌率)斜坡單元，過去亦無致災紀錄，該災害發生於 11/17 21:45(由公路總局道路即時影像及南澳工務段交叉確認)，致災時瞬時降雨強度 $I_{1hr}=22.5$ mm/hr (I_3 約為 27.7 mm/hr)， R_{24} 為 276 mm。上述兩值雖低於公路總局防災特報中所訂定之封路行動值($I_{1hr}=50$ mm/hr 及 $R_{24}=300$ mm)，惟災害仍然發生且造成雙向道路阻斷達 14 小時。就此案例而言，本模式所建構之預警方法顯示於 I_3 - R_{24} 降雨歷程線達到高發生率($\geq 90\%$)後 1-2 小時間，邊坡即發生破壞。本模式所評估之雨量門檻值雖略低於公路總局防災特報之行動值，但同時考慮降雨強度及總降雨量之關係式確可捕捉災害發生之動態，預先反應邊坡潛在破壞時機。另外本模式亦可反推道路沿線邊坡崩塌之臨界降雨量(如以發生災害機率 60% CL，推估 24 小時累積臨界雨量 R_{24})，以作為公路防災指揮中心道路封阻行動值之科學量化依據。

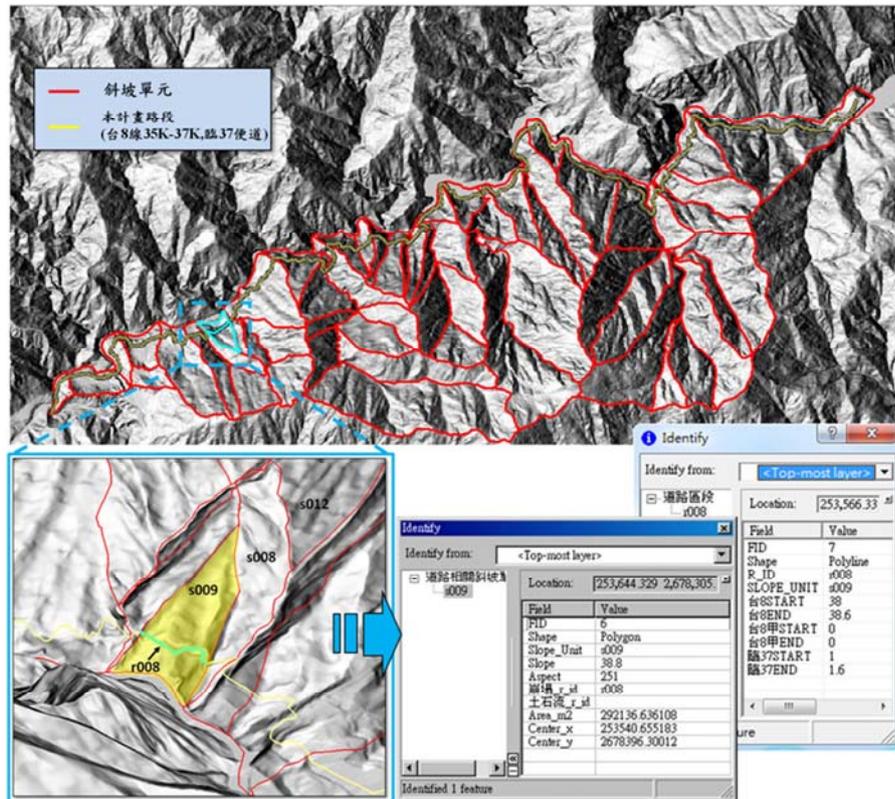


圖 7.5-7 山區道路與斜坡單元套疊示意圖

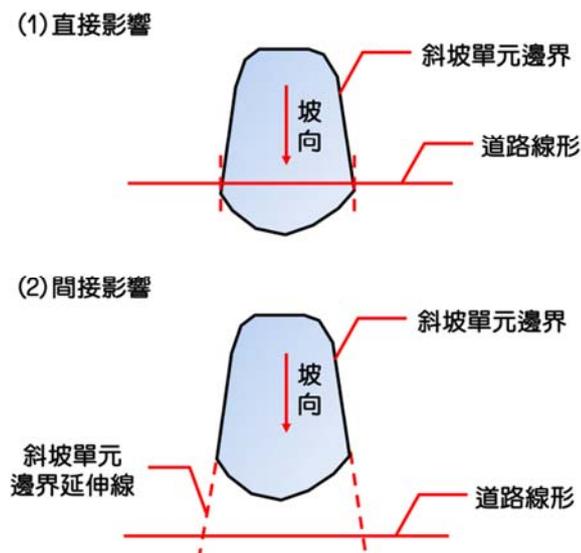


圖 7.5-8 道路與斜坡單元套疊示意圖

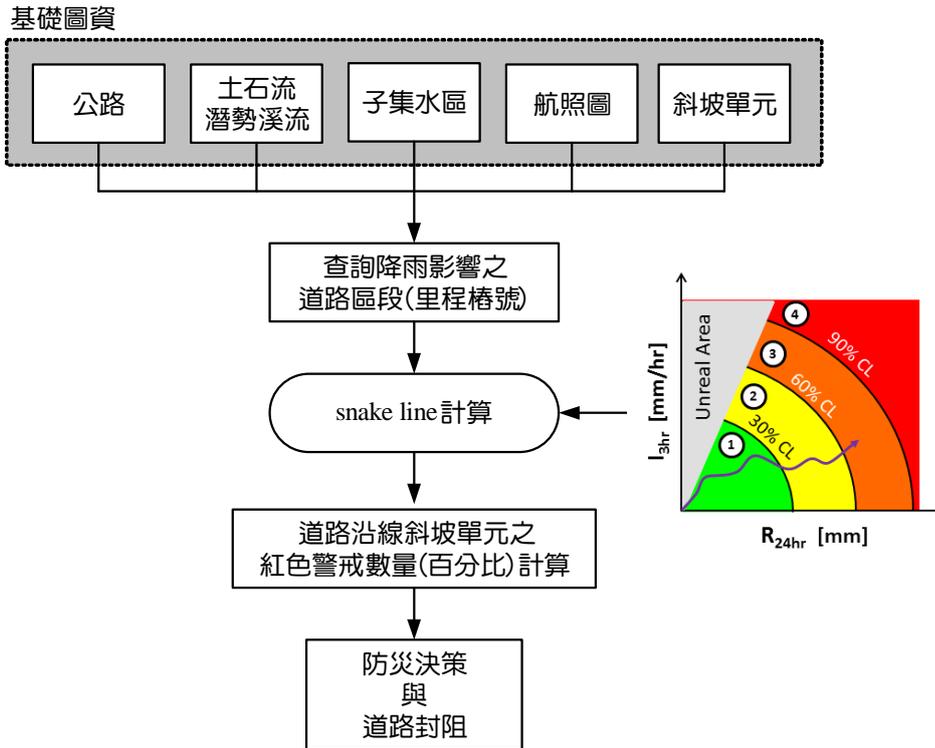


圖 7.5-9 緊鄰山坡之道路臨界降雨門檻評估流程

編號	工務段	一級監控路段	行政區	預警值	警戒值	行動值
401	南澳	蘇澳-東澳 104.6-120K	蘇澳鎮	$I=10\text{mm}/10\text{min}$ $R_{24\text{hr}}=160\text{ mm}$	$R_{1\text{hr}}=50\text{ mm}$ $R_{24\text{hr}}=200\text{ mm}$	$R_{1\text{hr}}=50\text{ mm}$ $R_{24\text{hr}}=300\text{ mm}$

台9線115.8K斜坡單元→東部地區-第三類(低崩塌率) (公路總局防災特報)

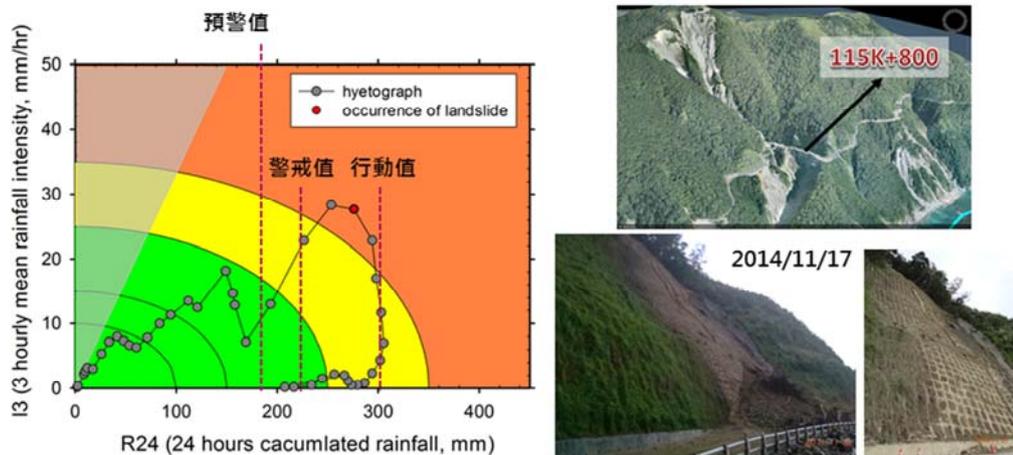


圖 7.5-10 緊鄰山坡之道路臨界降雨門檻評估試作

第八章 即時展示技術建置

8.1 系統平台發展環境設計

一、作業平台環境

坡地災害潛勢雨量展示系統發展環境及各項開發工具簡述如下：

1. 開發工具及發展平台
 - (i) 航遙測影像發布伺服器(OIMSTM Server ver. 10.1)
 - (ii) FWTools Lib. 2.4.6
 - (iii) Gdal and Open Graphic Lib. 1.1
 - (iv) Extent JS 3.3 套件
 - (v) 資料庫 PostgreSQL 8.4.1 外掛空間資料庫引擎 PostGIS 1.5
2. 技術程式語言與相關規範
 - (i) 網路程式語言採用 PHP
 - (ii) HTML 4.0
 - (iii) OGC WMS 1.3.0
 - (iv) OGC SLD 1.1
 - (v) JavaScripts 1.5 以上
 - (vi) jQuery
3. 使用者端適用環境
 - (i) 使用者端可跨作業系統平台，包括：Windows、Linux、Unix、MacOS 等。
 - (ii) 支援瀏覽器種類如表 8.1-1 所示。

表 8.1-1 平台支援瀏覽器列表

項次	Firefox	MS IE	Safari	Chrome
版次	30.x	8.0 9.0 10.0	7.x	30 以上

4. 系統平台資料環境

- (i) 雨量圖層
- (ii) 斜坡單元圖層(含都會區周緣、高山區、省道周邊、土石流集水區等範圍)
- (iii) 山崩目錄及衛星影像圖層
- (iv) 農航所影像圖層
- (v) 道路圖層
- (vi) 集水區圖層
- (vii) 臺灣本島縣市界圖

二、軟、硬體架構配置

軟、硬體配置規劃上採用虛擬化的技術，作業系統(Operation System, OS)建議採用 VMWare ESXi。VMWare ESXi 為市面上最簡單快捷實施虛擬化的方案，且可以免費使用。使用 VMWare ESXi，可以在一部電腦上運行多台虛擬主機，執行多個作業系統及應用程式。VMWare ESXi 的系統設計纖細，能獨立運作而不依賴其他作業系統。這個架構有助免除一般作業系統的保安加固、用戶權限、防毒等工序。

地理資訊資料(GIS 資料)的部分，基於(1)資料庫的管理維護方便性；(2)資料庫關聯及內存程序的便利性及(3)易於以直覺管理概念對空間資料的理解，本計畫拋棄空間資料檔案複雜的檔案關聯結構，平台設計採用 PostgreSQL 資料庫做為空間資料庫引擎。PostgreSQL 是目前相當普遍的資料庫系統工具，可以提供專用型別最簡單的表現，可根據該特定欄位來計算範圍等；同時可以資料庫方式進行索引查詢，亦滿足空間分析作業需求，本系統之設計架構如圖 8.1-1 所示，規格如表 8.1-2 所示。

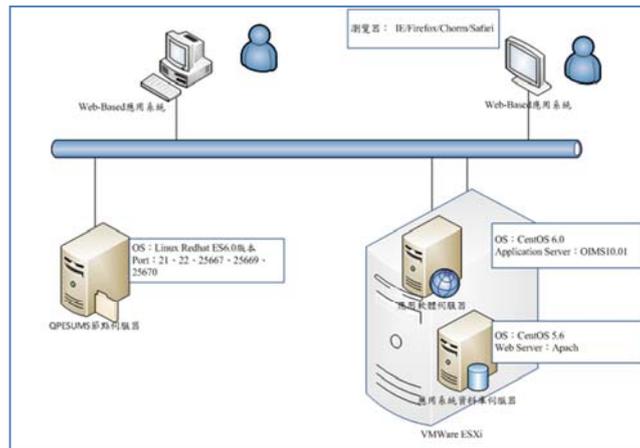


圖 8.1-1 降雨引發山崩預警資訊系統軟、硬體架構配置

表 8.1-2 系統主機規格表

主機	規格
Web Server	<ul style="list-style-type: none"> ● vCPU x 4 ● 2G Ram ● 100G HD ● IP : 140.110.27.192 ● 主要安裝軟體 <ul style="list-style-type: none"> ■ postgresSQL ■ PHP ■ Apache
OIMS Server	<ul style="list-style-type: none"> ● vCPU x 4 ● 4G Ram ● 600G HD ● IP : 140.110.27.194 ● 主要安裝軟體 <ul style="list-style-type: none"> ■ OIMS ■ 衛星影像與實體 GIS 檔案

8.2 系統架構規劃

一、整體系統架構圖

本系統依據前節所述之概念進行系統架構規劃，並依據架構中之各模組進行建置，如圖 8.2-1 所示。

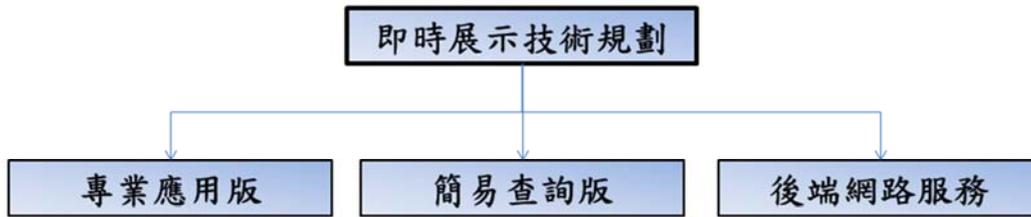


圖 8.2-1 系統架構圖

二、即時展示技術-專業應用版

專業應用版之架構圖如圖 8.2-2 所示，以下分項說明之。

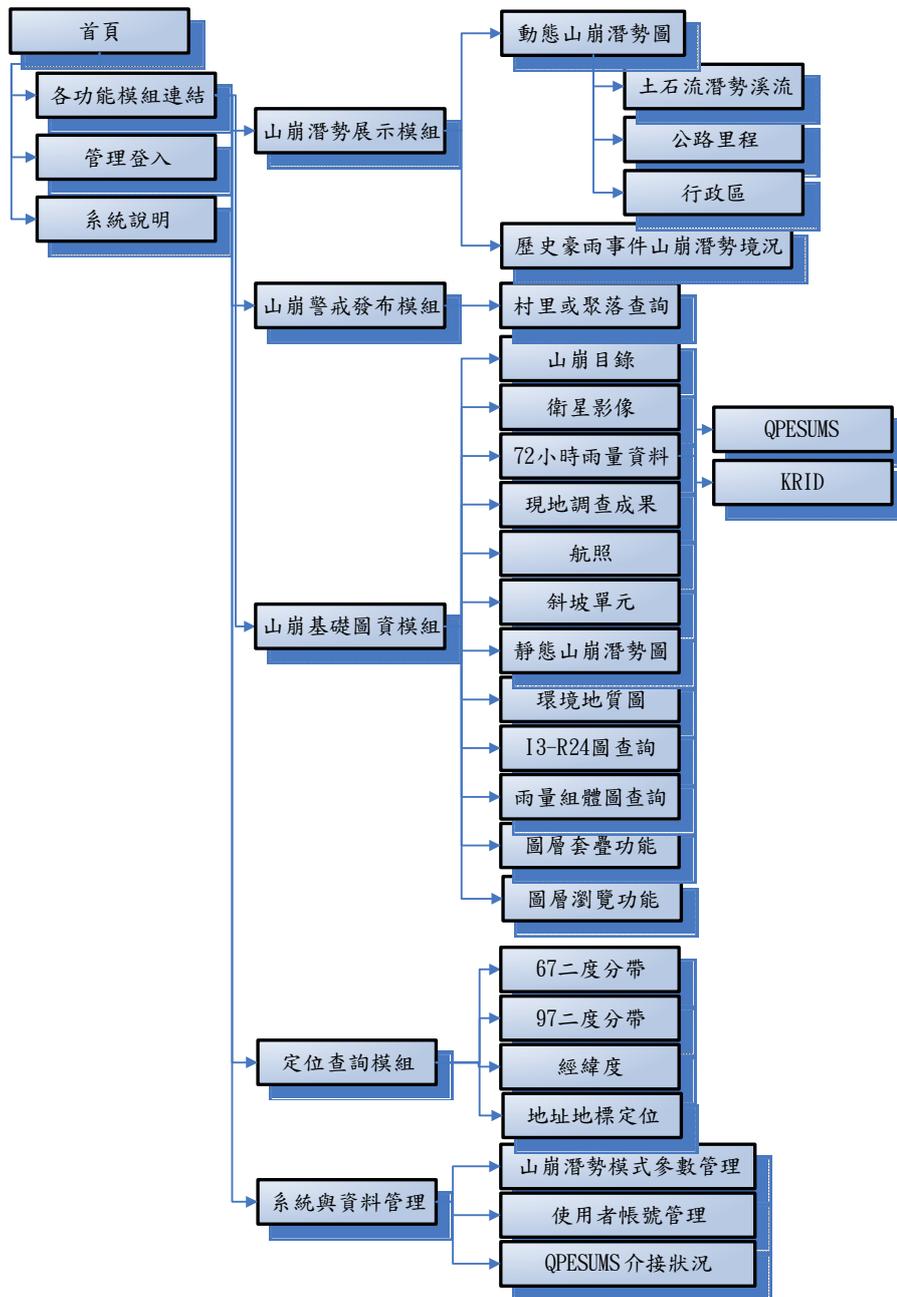


圖 8.2-2 即時展示技術專業應用版架構圖

1、入口首頁：

提供使用者帳號申請書下載功能。



圖 8.2-3 即時展示之入口首頁畫面

2、山崩潛勢展示模組部分：

維持動態山崩潛勢圖展示及歷史豪雨事件山崩潛勢查詢功能。

3、山崩警戒發布模組部分：

- (i) 警戒鄉鎮村里或聚落查詢：依修正之山崩潛勢模式所提供之警戒資訊，提供紅色與黃色警戒村里查詢功能，其可依縣市、鄉鎮、村里等定位(圖 8.2-4)。
- (ii) 警戒村里清單：提供紅色與黃色警戒村里列表功能，列表資料包含雨量、山崩潛勢值等資料(圖 8.2-5)。

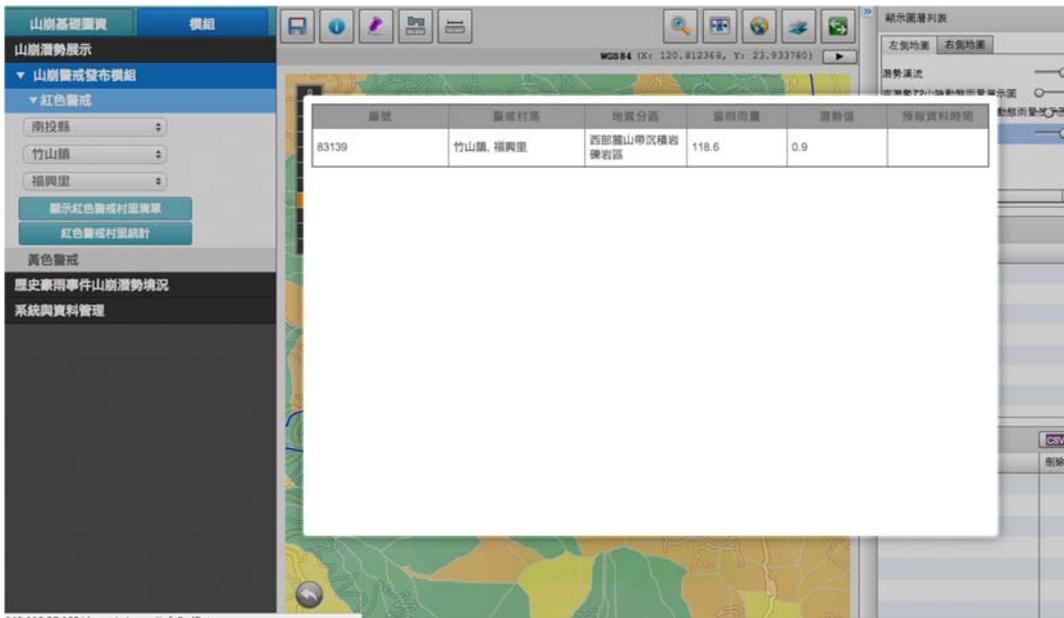


圖 8.2-4 警戒鄉鎮村里查詢成果畫面

編號	警戒村落	地質分區	當前雨量	潛勢值	預報資料時間
50675	燕巢鄉, 金山村	西部麓山帶沉積岩泥岩區	133.4	1.1	
132865	新埔鎮, 四座里	西部麓山帶沉積岩礫岩區	130.7	1.1	
83606	鹿谷鄉, 彭雅村	沉積岩礫石區	130.9	1.1	
117268	三灣鄉, 大河村	西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區	138.0	1.1	
64977	新化鎮, 羊林里	西部麓山帶沉積岩泥岩區	125.1	1.1	
111015	北屯區, [藪]子里	西部麓山帶沉積岩頁岩區	113.3	1.1	
115406	獅潭鄉, 和興村	西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區	135.6	1.1	
85351	阿里山鄉, 十字村	西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區	134.8	1.1	
152166	新店市, 員潭里	沉積岩礫石區	128.9	1.1	
128142	五峰鄉, 大隘村	西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區	132.3	1.1	

圖 8.2-5 紅、黃警戒村里列表成果畫面

4、山崩基礎圖資模組部分：

- (i) 維持各項圖資套疊功能，包含山崩目錄、衛星影像、72 小時雨量資料、現地調查成果、農航所航照、斜坡單元.....等。

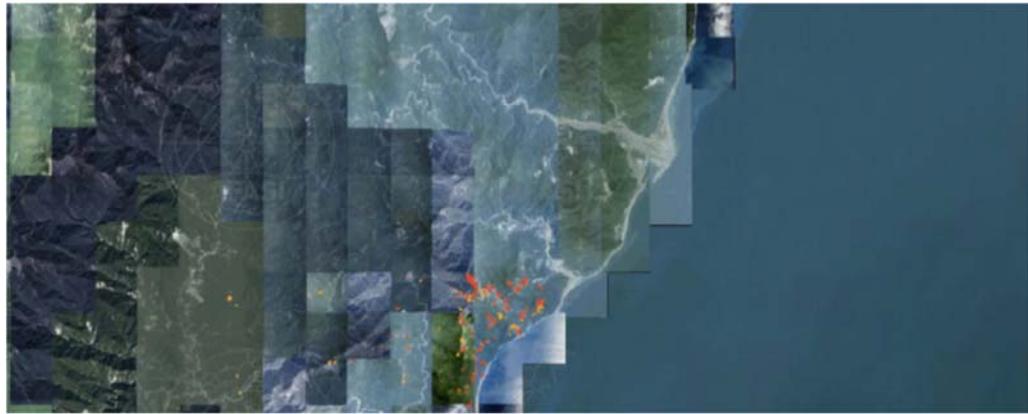


圖 8.2-6 農航所影像套疊畫面

- (ii) 點選地圖上之網格後，顯示該位置之降雨組體圖。使用者於地圖上按下滑鼠右鍵開啟清單後則可開啟雨量組體圖，用以觀察過去 72 小時之累積雨量。

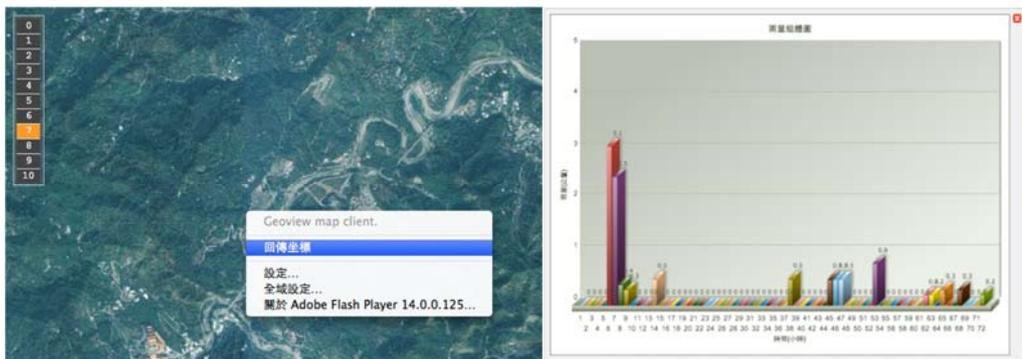


圖 8.2-7 雨量組體圖開啟畫面

- (iii) 點選地圖上點位，顯示該位置之 I_3 - R_{24} 圖(3 小時平均降雨強度-24 小時累積雨量之蛇線圖)。

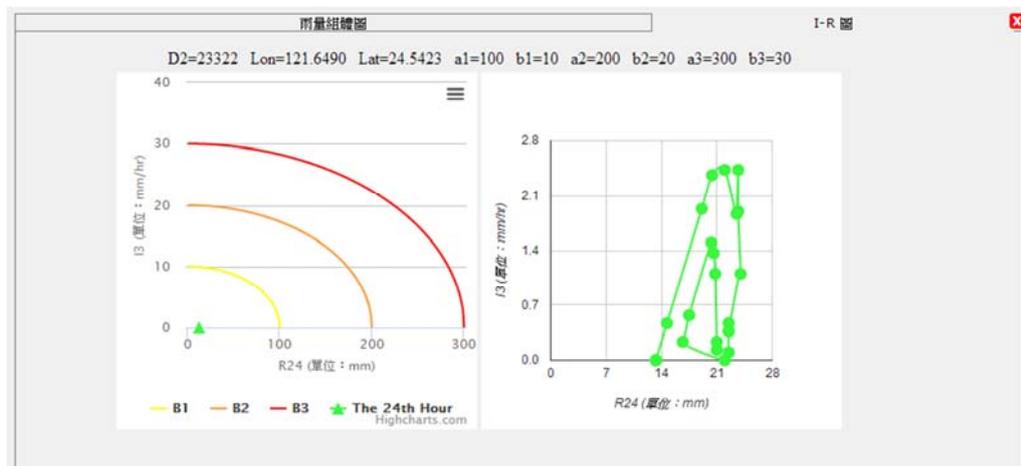


圖 8.2-8 I_3 - R_{24} 圖顯示畫面

5. 定位查詢模組部分：

維持各項定位功能(包括以土石流潛勢溪流定位、以省道公路里程定位、以行政區定位、以 WGS84 坐標定位、以 TWD67 坐標定位、以 TWD97 坐標定位、以經緯度(度分秒)定位、以 Google 搜尋結果定位等)之正常運作。



圖 8.2-9 公路里程查詢定位畫面



圖 8.2-10 行政區定位查詢定位畫面

6. 系統與資料管理部分：

提供使用者新增、修改、刪除之管理功能與登入記錄查詢。

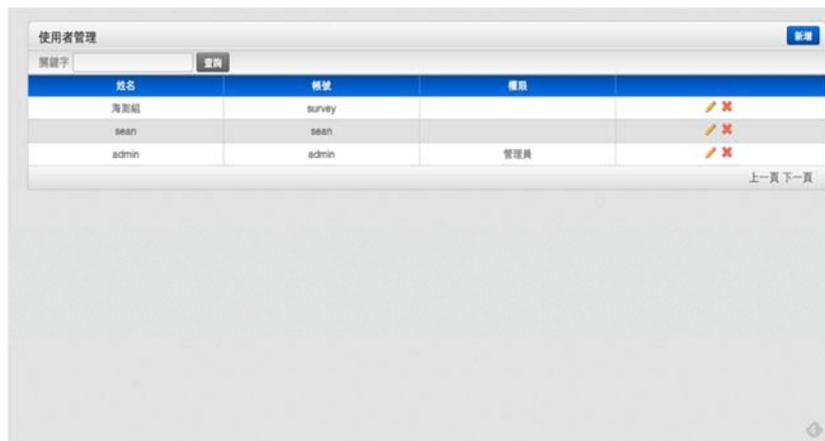


圖 8.2-11 使用者管理畫面

三、即時展示技術-簡易查詢版

簡易查詢版主要提供行政區、土石流潛勢溪流、公路里程及坐標系統四項查詢方式，取得各關注區域之斜坡單元警戒列表資訊，配合地圖顯示，並另提供資料列印之功能(圖 8.2-12、圖 8.2-13)。



圖 8.2-12 簡易版畫面



圖 8.2-13 簡易版行政區域查詢畫面



圖 8.2-14 簡易版土石流潛勢溪查詢畫面



圖 8.2-15 簡易版公路里程查詢畫面

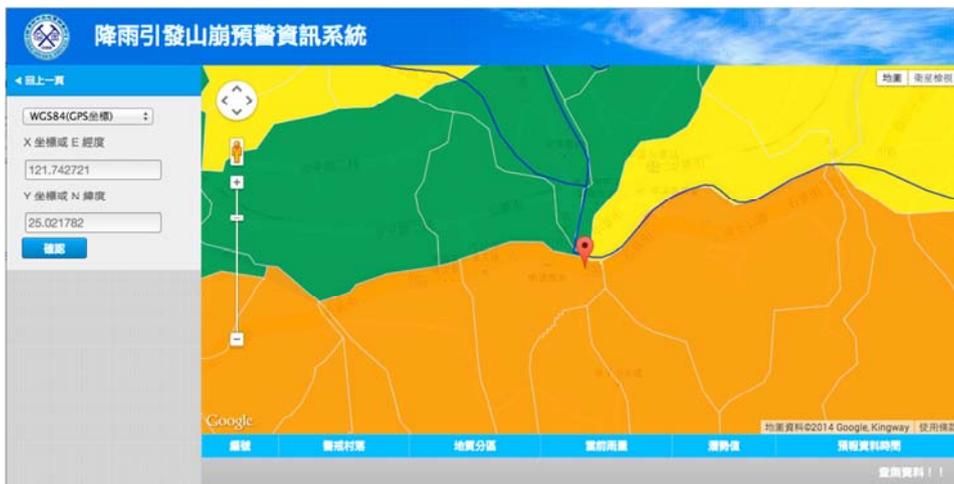


圖 8.2-16 簡易版公路里程查詢畫面

四、即時展示技術-手機版

手機版系統提供行政區、土石流潛勢溪流、公路里程、坐標系統及所在位置之五項查詢方式，取得各關注區域之斜坡單元警戒列表資訊，配合地圖顯示。



圖 8.2-17 手機版查詢畫面

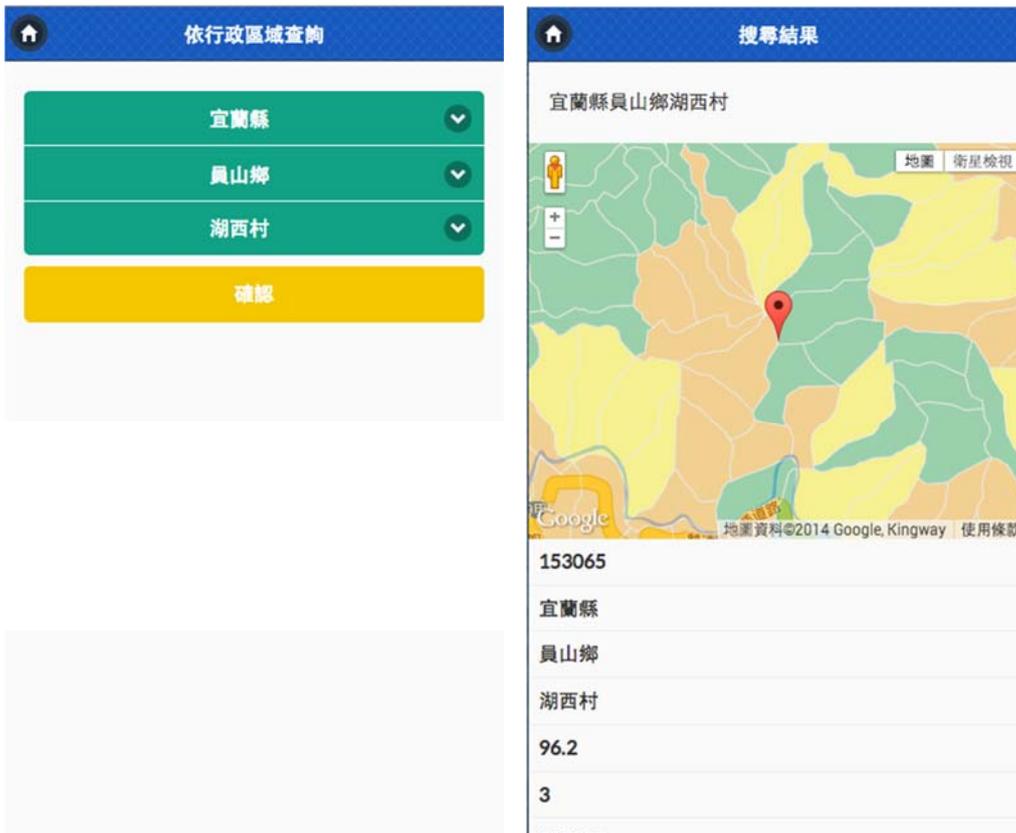


圖 8.2-18 手機版依行政區域查詢畫面



圖 8.2-19 手機版依土石流潛勢溪流查詢畫面

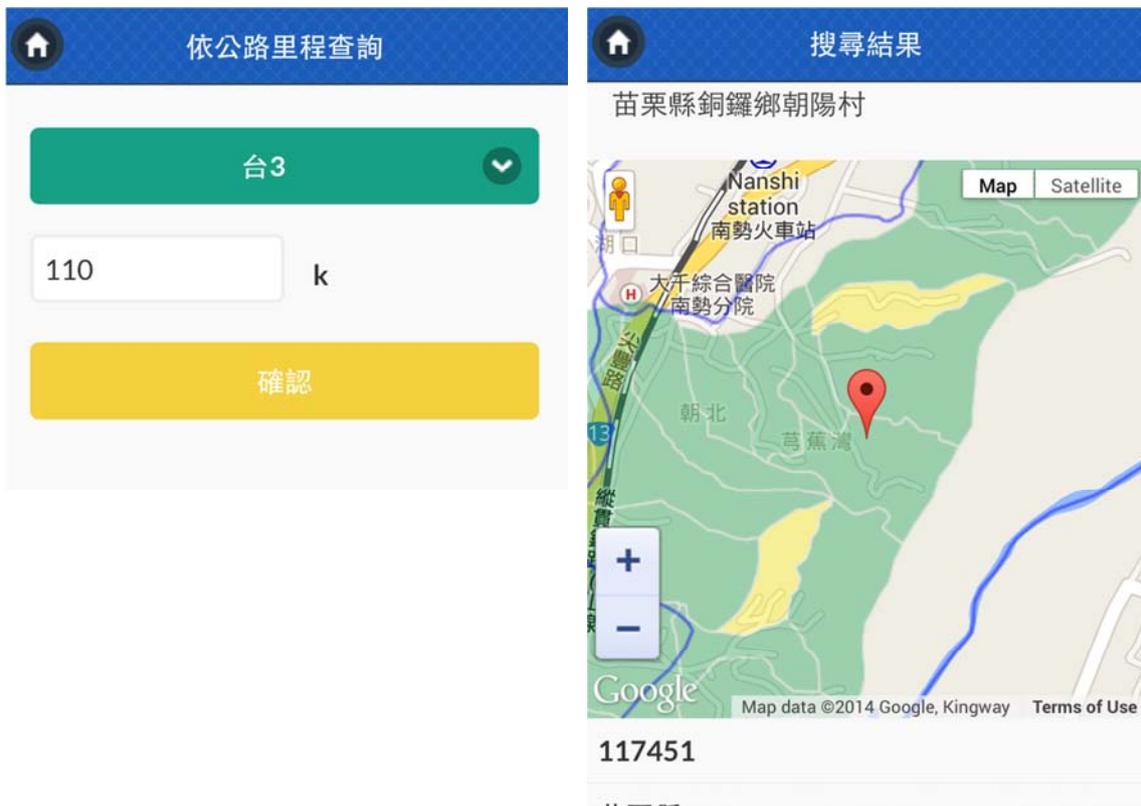


圖 8.2-20 手機版依公路里程查詢畫面

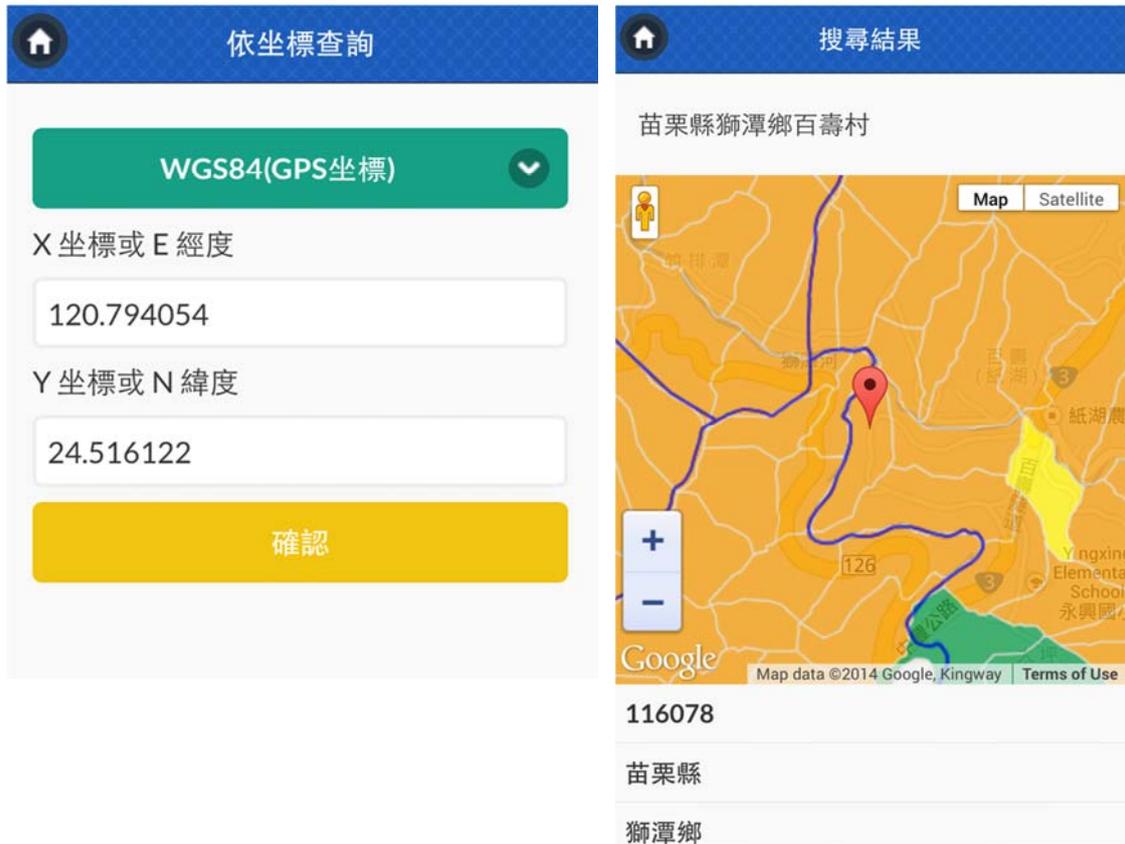


圖 8.2-21 手機版依坐標查詢畫面



圖 8.2-22 手機版依所在位置查詢畫面

8.3 QPESUMS 介接作業及後續 QPF 介接規劃

一、QPESUMS 與 QPF 節點環境

1. 系統安裝環境

本計畫之展示資訊系統已向氣象局申請 QPESUMS 雨量資料介接工作，以網格式雨量(1.3 km*1.3 km)進行雨量資料輸入，後續亦規劃介接國家災害防救科技中心之定量化降雨預測 QPF(Quantitative Precipitation Forecast)資料，為因應兩者資料彙整應用程式的執行環境，本計畫節點採用 RedHat Linux ES6.0 以上版本之作業系統，又因於資料必須保持可傳送與通訊埠通透狀態，安裝時需取消 SELINUX 及 FIREWALL 的防護，並確保 Linux 下磁碟分割的最低要求：

/var	30GB
/mnt2	150GB
/root	10GB
/home	30GB

除此之外，為顧及節點資料能夠正常供應，資安因應尚需開啟包括：2x、x2 及 2x667、2x669、2x670 等通訊埠。

2. 安裝作業成果

QPESUMS 節點平台安裝完成後，顯示之主頁面畫面如圖 8.3-1、

圖 8.3-2 所示。

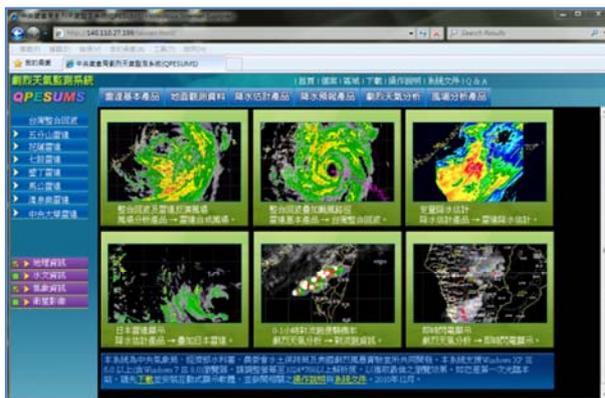


圖 8.3-1 QPESUMS 安裝完成之平台介面

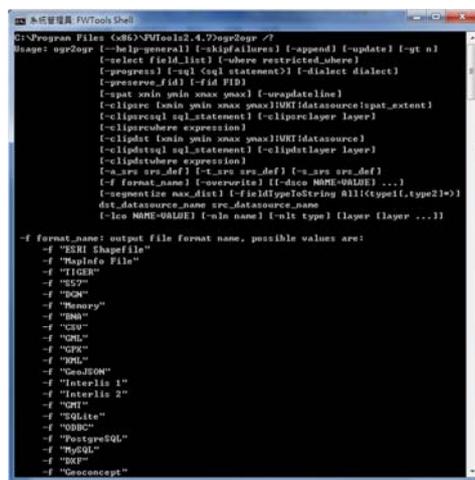


圖 8.3-2 QPESUMS 產品顯示

二、動態山崩潛勢資料庫作業流程

1. 斜坡單元及山崩目錄資料庫建置

本系統採用分散式系統架構，用戶端藉由網路瀏覽器進行資料查詢，透過 OGC 之 WMS 開放的資料存取規範取得開放之對外服務。除此之外，空間資料以 PostgreSQL 資料庫來建置，依據山崩目錄圖徵、山崩目錄附屬資料及斜坡單元基本屬性進行空間資料庫規劃，並以 Shapefile 成果地圖檔配合 FWTools ogr2ogr 之 API 匯入資料庫 (圖 8.3-3)。



```
C:\Program Files (x86)\FWTools2.4.7\ogr2ogr /?
Usage: ogr2ogr [-h|--help-general] [-skipfailures] [-append] [-update] [-gt n]
              [-select field_list] [-where restricted_where]
              [-progress] [-sql sql_statement] [-dialect dialect]
              [-preserve_fid] [-fid FID]
              [-pat xmin ymin xmax ymax] [-wrapdateline]
              [-clipare xmin ymin xmax ymax] [-data source] [-pat_extent]
              [-cliparecsql sql_statement] [-cliparec layer]
              [-cliparcubere expression]
              [-clipdat xmin ymin xmax ymax] [-data source]
              [-clipdstsql sql_statement] [-clipdst layer]
              [-clipdstwhere expression]
              [-s_srs src_srs] [-t_srs dst_srs] [-t_srs_def]
              [-f format_name] [-dsco NAME=VALUE] ...
              [-segmentize max_dist] [-fieldTypeString All|{type1|type2}]
              dst_data source_name src_data source_name
              [-lco NAME=VALUE] [-min name] [-min type] [layer [layer ...]]

-f format_name: output file format name, possible values are:
-f "ESRI Shapefile"
-f "MapInfo File"
-f "TIGER"
-f "CSV"
-f "SQL"
-f "Memory"
-f "MMB"
-f "CSV"
-f "XML"
-f "XML"
-f "ODG"
-f "XML"
-f "GeoJSON"
-f "Interlis 1"
-f "Interlis 2"
-f "XML"
-f "SQLite"
-f "ODBC"
-f "PostgreSQL"
-f "MySQL"
-f "DBF"
-f "Concept"
```

圖 8.3-3 FWTools 匯入參數提供參照

進一步 pgAdmin 資料庫管理軟體連上資料庫，可以檢視資料庫建置成果(圖 8.3-4)。

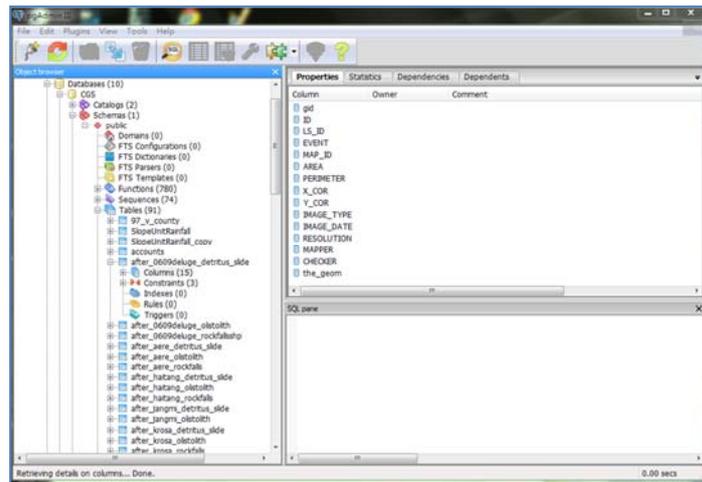


圖 8.3-4 資料庫建置成果

2. 動態雨量山崩潛勢圖

動態雨量山崩潛勢必需連結 QPESUMS 與 QPF 所發布之雨量資料。資料介接連結作業整體流程如圖 8.3-5 所示。

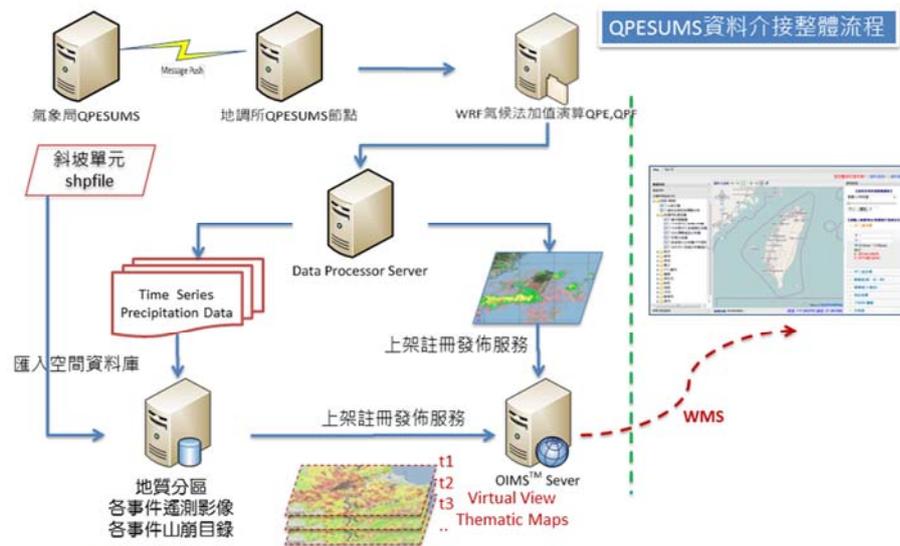


圖 8.3-5 動態雨量山崩潛勢圖資料介接整體流程

(i) 輸入資料

本計畫安裝之 QPESUMS 節點附有兩個功能：其一為接受氣象局 QPESUMS 所推送(Push)之「觀測雨量」資料(及未來取得國家災害防救科技中心之 QPF「雨量預測」資料)；其二為與空間相關之「區域雨量空間分佈」資料(圖 8.3-6、圖 8.3-7)。

換算為定位矩陣後，進一步開發套疊斜坡單元圖資之空間分析輔助模組，疊代計算以斜坡單元中心位置處於 QPESUMS 與 QPF 定位矩陣之 Pixel 值作為斜坡單元對應得到之雨量觀測或是預報值(圖 8.3-9)。

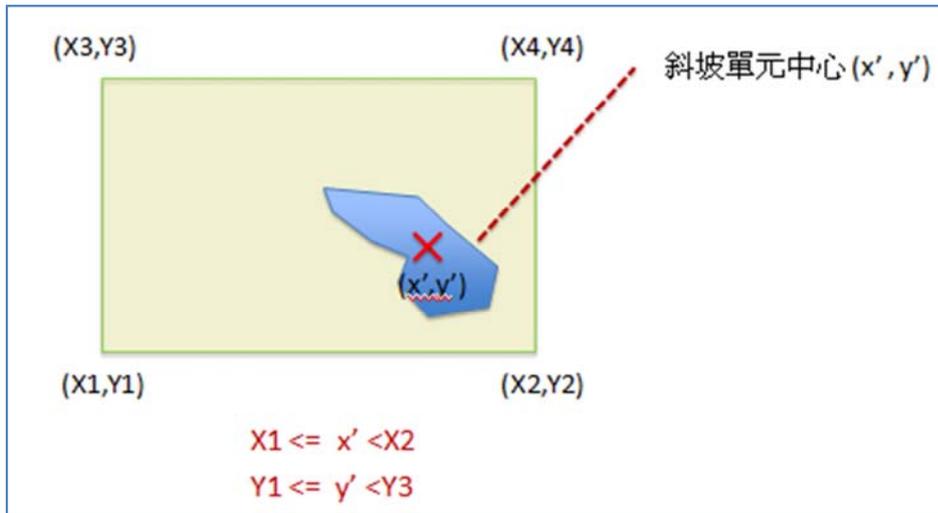


圖 8.3-9 斜坡單元套疊分析演算邏輯

3. 透過資料庫技術建立動態主題圖

因為斜坡單元資料已經匯入空間資料庫中，因此我們針對各斜坡單元建立一個「QPESUMS 與 QPF 化算套疊運算」表單，這一個表單將因為 QPESUMS 與 QPF 不斷的推送資料進來而不斷的變動。

透過資料庫 Virtual Table 的資料庫語法技術，我們將斜坡單元圖層表單與觀測/預報資料的成果進行 Link，建立一個斜坡單元雨量動態主題圖(Virtual View Thematic Map, 圖 8.3-10)。

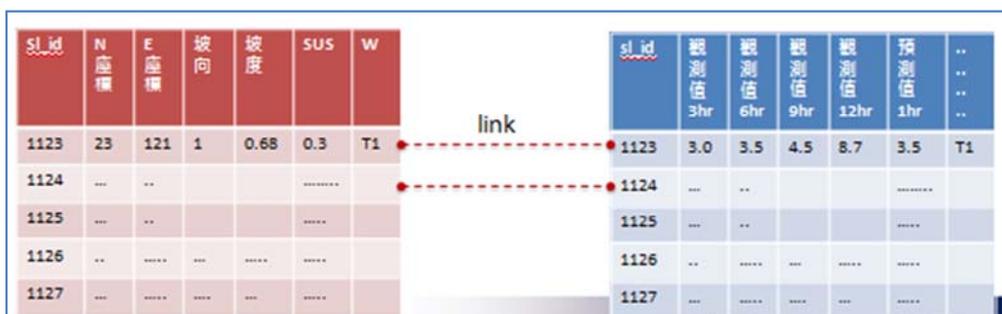


圖 8.3-10 以資料庫語法技術建立斜坡單元雨量動態資料主題圖

4. 潛勢模式圖例(Legend)與 OGC SLD

為使將來潛勢圖資發布服務具有一定的顯示標準，避免不同的檢視軟體上產生的繪圖誤解，本團隊以 OGC 開放標準的規格描述 SLD(Styled Layer Descriptor)，做為系統實施的唯一標準。SLD 是 OGC 制定的用於描述圖層符號化(Symbology)和渲染(Render)樣式的 XML 文件標準，其制訂的目的就是用以解決數值的地理資料顯示在使用者界面的圖例問題(圖 8.3-11)。

```
<slid:Name>CGS_view_test_ncse_slopeunit_FR_Polygon</slid:Name>
<slid:UserStyle>
  <slid:Name>CGS_view_test_ncse_slopeunit_FR_Polygon</slid:Name>
  <slid:Title>Default Polygon</slid:Title>
  <slid:Abstract>A sample style that draws a polygon</slid:Abstract>
  <slid:FeatureTypeStyle>
    <slid:Name>name</slid:Name>
    <slid:Rule>
      <slid:Name>rule1</slid:Name>
      <slid:Title>lowRule1</slid:Title>
      <slid:Abstract>A polygon with a gray fill and a 1 pixel black outline</slid:Abstract>
      <ogc:Filter>
        <ogc:And>
          <ogc:PropertyIsEqualTo>
            <ogc:PropertyName>zone</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>WF_sed_gra</ogc:Literal>
          </ogc:PropertyIsEqualTo>
          <ogc:PropertyIsLessThan>
            <ogc:PropertyName>pri1</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>0.3</ogc:Literal>
          </ogc:PropertyIsLessThan>
        </ogc:And>
      </ogc:Filter>
      <slid:MinScaleDenominator>1066.3653675708654</slid:MinScaleDenominator>
      <slid:MaxScaleDenominator>250000.0</slid:MaxScaleDenominator>
      <slid:PolygonSymbolizer>
        <slid:Fill>
          <slid:ColorParameter name="fill">#7EFC08</slid:ColorParameter>
        </slid:Fill>
      <slid:Stroke>
```

圖 8.3-11 本計畫中建立 OGC SLD 文件範例

依據本計畫演算之山崩潛勢模式，以 SLD 文件建立不同區域之山崩雨量門檻圖例庫，並以此作為前端展示介面引用之繪圖渲染技術規格。

5. 資料上架服務

本系統平台上遵循 OGC 標準的 WMS 技術規範進行發布服務(Register WMS Service)。一般的地圖引擎例如 ESRI ArcGIS 或 MapGuide 等常見平台，前端展示系統的開發大都提供與自己平台溝通的專用 API，無論其為什麼樣的形式，如 Javascripts 或者是 CGI 的型式，網路的資料供應顯示開發與地圖平台是彼此相依的，因而形成一種平台上的障礙，一方面系統移植性低；另一方面形成一種封閉的平台環境。而應用 OGC 的 WMS 規範，後端地圖平台資料的供應溝通依循著國際上的技術規範標準，任何一種顯圖資料存取介

面都得到普遍的支持。因此透過 WMS 發布的資料服務，除了本計畫開發的展圖平台外，亦可以輕鬆的嵌入防災應用的各類分析、管理的應用平台上。

8.4 系統品管計畫

一、系統開發方法

本案系統開發在各項作業之實施方法、技術及使用之工具如表

8.4-1 所示。

表 8.4-1 系統開發作業項目、方法與技術

作業項目	方法	技術
需求分析	需求分析方法	訪談溝通技術
系統分析	結構化分析方法	資料流程模型(DFD) 資料典(DD) 實體關係模式(ERD) 系統規格描述
系統設計	結構化分析方法	資料正規化 邏輯資料庫設計 使用者界面設計
系統開發	系統環境	發展環境
		網站基礎
		瀏覽器
		資料庫
		使用與操作介面
軟體測試	白箱測試 黑箱測試	路徑測試 條件測試 資料流程測試 迴圈測試 整合測試 壓力測試 使用者測試

二、系統發展生命週期法之開發程序

系統開發程序如圖 8.4-1 所示，說明如下：

1. 需求分析：獲得使用者之實際需求。

2. 初步設計：系統功能之初步規劃設計，透過初步訪談取得客戶之需求方向，在設計會議中達成初步設計架構。
3. 細部設計：完成軟體設計文件、程式規格書，並與使用者進一步訪談，確認設計無誤後，開始蒐集相關資料。
4. 程式撰寫：確認細部設計之後，著手系統開發之程式碼編譯。
5. 測試：由程式設計師自行測試，測試各單元之間功能、模組子系統整合與整體系統是否能符合軟體設計規格與程式設計標準。最終由使用者與設計者雙方共同進行測試，於「使用者接受度測試」階段著手進行，對系統整體功能進行接受度測試。

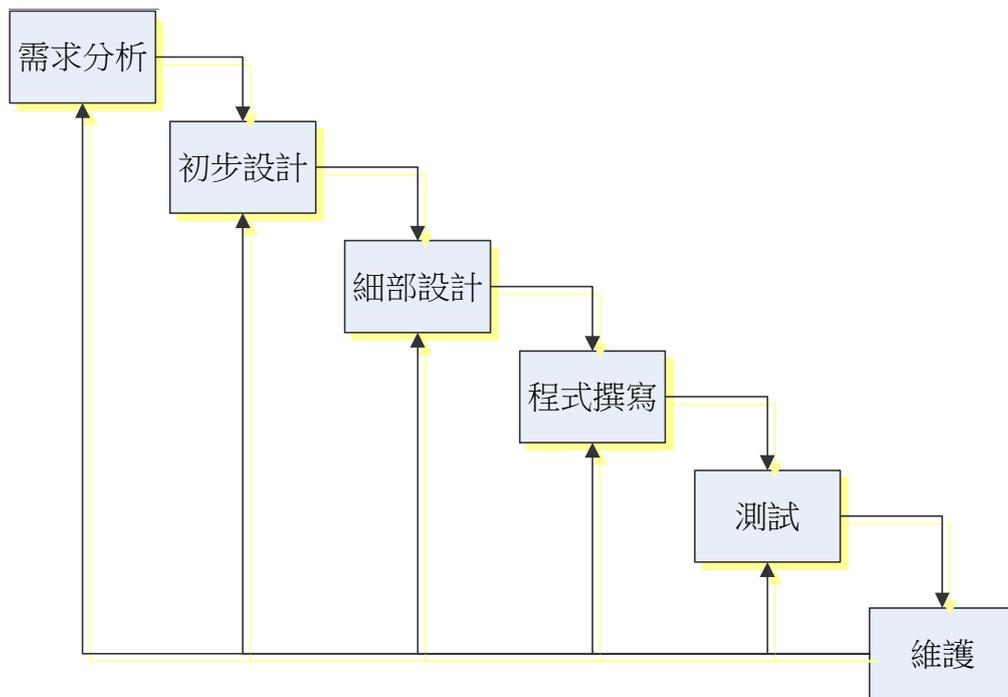


圖 8.4-1 系統開發程序

三、系統測試方法

系統測試的整體目標是期望能以最少的努力找到最多的錯誤，本計畫於測試開始時，將提出測試計畫，內容包含各階段之測試任務、測試環境、使用工具、工作項目、時程及須準備事項及資料，系統測試主要測試階段說明如下：

1. 單元測試

檢測模組結構之狀態，由程式撰寫人員檢查每一單元是否存在錯誤，以白箱測試為主，從輸出之成果可以檢驗測試是否成功。

2. 子系統整合測試

當單元模組被整合形成一個子系統(或子功能)時，需要測試各個模組組合後，是否達到預期的功能，測試時以黑箱測試為主、白箱測試為輔。

3. 驗收(驗證)測試

本測試目的在比較發展之系統與合約所記載之用戶需求是否符合，故需將軟體規格說明書中確定的軟體技術指標作為測試的確認準則；驗證焦點放在使用者可看到及了解的動作及輸出，及在實際工作之環境下與系統發展環境是否有差異。

4. 系統(整合)測試

針對軟體開發完成後建置於防災單位之系統進行綜合性檢驗，以驗證系統中每一個部分均已得到正確的整合。

5. 安全性測試

主要目的係驗證安裝在系統內的保護機制能夠正當執行，使其不受各種不正當的干擾、侵入。系統的安全性測試需要設置一些測試實例嘗試突破系統的安全保密措施等，以確定系統是否有安全保密的漏洞。

6. 強度測試

進行強度測試時，讓系統的執行處於資源的異常數量、異常頻率和異常批次量的條件下，紀錄系統執行情況，目的在檢驗系統的能力最高能達到什麼實際程度。

7. 壓力測試

- 壓力測試規劃

本項壓力(負荷)測試的第一個步驟是規劃測試之業務流程、執行方式與準則，以作為設計負荷測試場景(Scenario)之基礎。

- 建立測試腳本

依據規劃測試之業務流程，所用 Load Runner 產生壓力測試所需之測試腳本。

- 建立測試場景(Scenario)

依據壓力測試規劃之結果，設計負荷測試場景，場景之設計應涵蓋正常、尖峰及最壞的使用情形。

負荷測試場景的設計考量下列幾項因素：

- 使用系統人數的多寡。
- 使用者各別都在執行什麼功能。
- 使用者以何種頻率及分佈狀態在執行其所需要之功能。

- 執行壓力(負荷)測試場景

待所有測試的環境、工具、準則皆備妥後，即可開始執行測試。

- 測試結果分析

依據 Apache AB(Apache HTTP server benchmarking tool)所提供的壓力(負荷)測試報表，以判斷系統之瓶頸所在。

- 測試報告

彙整測試記錄(Test Log)，問題報告(Bug Report)，各項分析報告(Test Analysis Report)，產生測試報告(Test Report)，總結測試結果及建議。

第九章 山崩災害歷史資料建置

為了將本計畫累積之野外調查成果進行系統性的彙整與保存，今(103)年度除進行山崩災害資料之建置外，並建置「山崩災害歷史資料庫查詢系統」(以下稱本系統)，以提供研究及相關技術人員快速便利的查詢介面。本系統之開發、規劃及功能說明如下。

9.1 系統開發環境

本系統之系統開發環境、工具及適用環境簡述如下：

一、系統開發環境

1. Microsoft Windows Server 2008 R2
2. Microsoft SQL Server 2008 R2

二、系統開發程式語言及工具

1. ASP.NET 4.0 C#
2. XHTML 1.0
3. JavaScripts 1.3
4. jQuery 1.10.2
5. GoogleMap API v3

三、使用者端適用環境

1. 使用者端可跨作業系統平台，包括：Windows、Linux、MacOS 及 Mobile platform 等。
2. 支援瀏覽器種類如表 9.1-1 所示。

表 9.1-1 平台支援瀏覽器列表

項次	Firefox	MS IE	Safari	Chrome
版次	20.x 以上	9.0 以上	5.x 以上	25.x 以上

9.2 系統架構規劃

一、整體架構圖

本系統於設計上採用以瀏覽器為操作介面的跨平台 Web-Base 架構，使用者可藉由符合本系統設計之任一平台網頁瀏覽器進行瀏覽。本系統依功能介面可分為(1)資料輸入介面、(2)主系統、(3)資料查詢介面及(4)資料輸出功能等四個項目。另外，本系統於資料檢索部分，除了傳統分類檢索功能外，並增加地理空間檢索概念，提供使用者以空間區域進行快速檢索。本系統之系統架構規劃如圖 9.2-1 所示。



圖 9.2-1 山崩災害歷史資料庫查詢系統整體架構示意圖

二、系統功能規劃與設計

本系統初步架構，規劃區分為四個主題，包括了權限管理、資料查詢、地圖瀏覽、資料新增等項目，功能架構如圖 9.2-2 所示。

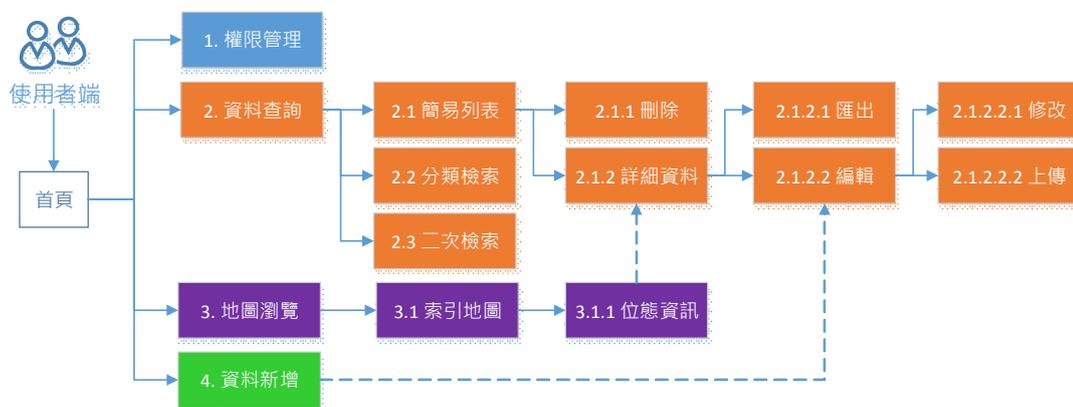


圖 9.2-2 山崩災害歷史資料庫功能架構圖

本系統之功能主要以資料查詢為目標，因而在使用者介面設計著重於簡捷、好操作並易於擴充之設計，於資料查詢頁區分為頁首(Header)、頁尾(Footer)及內容(Content)三部分，設計概念如圖 9.2-3 所示；詳細資訊頁區分為詳細資料、地圖、照片及附件等區塊，設計概念如圖 9.2-4 所示。



圖 9.2-3 資料查詢頁設計圖



圖 9.2-4 詳細資料頁設計圖

9.3 系統功能說明

一、入口首頁

本系統首頁以簡單、清晰之設計概念呈現，功能簡述如下(圖 9.3-1)：

1. 系統登入
2. 權限管理：依使用者登入權限提供不同操作功能，如表 9.3-1 所示。
3. 提供瀏覽器版本與解析度設定建議。
4. 系統說明：提供本系統相關資訊。

表 9.3-1 使用者角色及功能對照表

項目	功能清單	一般使用者	管理者
1	權限管理(登入/登出)	●	●
2	資料查詢	●	●
2.1	簡易列表	●	●
2.1.1	刪除		●
2.1.2	詳細資料	●	●
2.1.2.1	匯出	●	●
2.1.2.2	編輯		●
2.1.2.2.1	修改		●
2.1.2.2.2	上傳		●
2.2	分類檢索	●	●
2.3	二次檢索	●	●
3	地圖瀏覽	●	●
3.1	索引地圖	●	●
3.1.1	位態資訊	●	●
4	資料新增		●



圖 9.3-1 山崩災害歷史資料之入口首頁畫面

二、資料查詢

本系統資料查詢頁以簡捷、易操作之概念設計，功能簡述如下(圖 9.3-2)：



圖 9.3-2 資料查詢頁畫面

1. 頁首：左側為地質調查所所徽，右側則設計有(1)登入資訊、(2)新增資料按鈕及(3)地圖瀏覽按鈕，簡述如下：

- 登入資訊：使用者名稱及登出功能。

- 新增資料：開啟資料新增功能頁。
- 地圖瀏覽：此功能頁將歷史資料之坐標標註於地圖上，提供使用者以空間區域進行快速檢索，如圖 9.3-3。

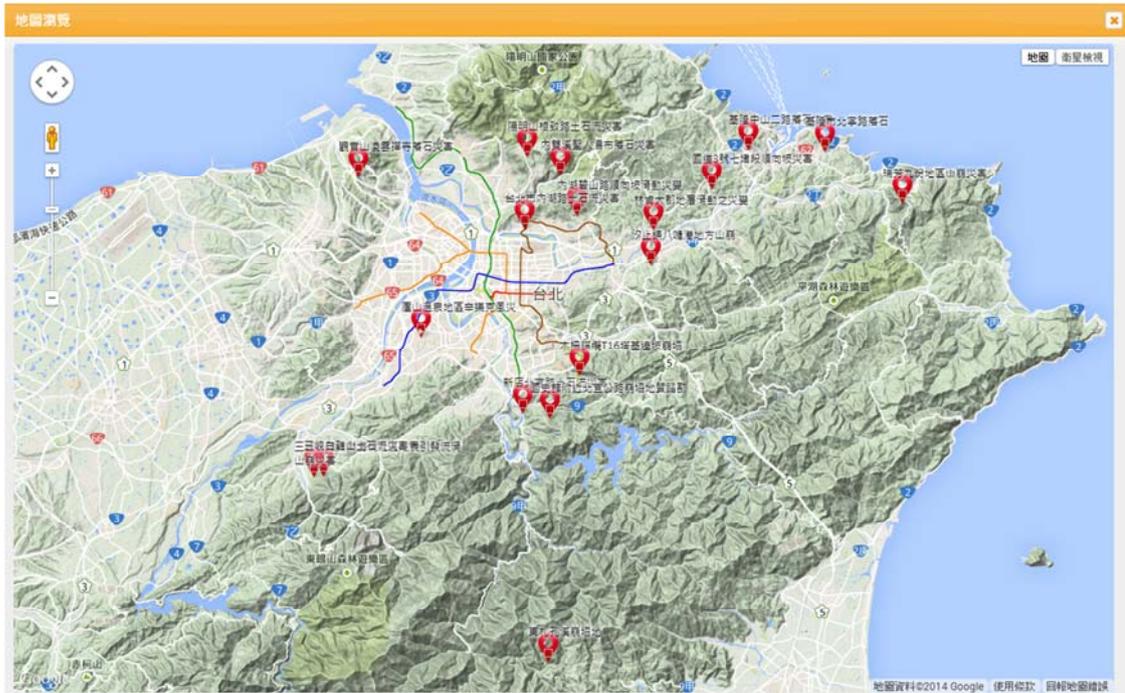


圖 9.3-3 地圖瀏覽功能畫面

2. 頁尾：版權聲明、瀏覽器、解析度建議、瀏覽人數及更新日期。
3. 內容：(1)資料列表、(2)分類檢索及(3)二次檢索功能等，簡述如下：
 - 資料列表：以歷史災害資料之簡要欄位及列表的方式呈現，使用者可經由滑鼠點選，引導至詳細資料頁瀏覽。
 - 分類檢索：此功能提供(a)縣市、鄉鎮、(b)事件、(c)災害類型及(d)災害發生日期等四項分類檢索功能。
 - 二次檢索：此功能可於使用者進行初次或二次資料檢索時，提供即時的資料篩選功能。

三、詳細資料

使用者於點選首頁簡要資料列表項目後，系統將導引至詳細資料頁面。詳細資料內容包括：(1)詳細資料、(2)地圖、(3)照片及(4)附件等四個區塊，

功能部分包括：編輯及(5)匯出，整體頁面設計以調查報表的形式呈現，個項目簡述如下：

1. 詳細資料：包括基本資料及其他相關資訊，如圖 9.3-4。而點選頁面上方之  圖示則可啟用編輯功能，如圖 9.3-5。



一、基本資料					
調查編號	調查案例名稱	縣市	鄉鎮	村里	鄰近道路名稱
103-0029	苗栗觀音道	苗栗縣	苗栗市	新英里	觀音道
附近地標	X坐標(TWD97)	Y坐標(TWD97)	災害發生日期	事件原因	
觀音寺	229435	2715345	20140529	梅雨	
二、其他資訊					
調查日期	調查人員	歷史災害	建檔日期	資料來源	補充說明
20140702	紀宗吉、林錫宏、魏倫理、黃章凱	102年康芮颱風造成山崩	20140703	勘災調查報告	趾部擠壓南龍坑溪河道

圖 9.3-4 詳細資料瀏覽畫面



一、基本資料					
調查編號	調查案例名稱	縣市	鄉鎮	村里	鄰近道路名稱
103-0029	苗栗觀音道	苗栗縣	苗栗市	新英里	觀音道
附近地標	X坐標(TWD97)	Y坐標(TWD97)	災害發生日期	事件原因	
觀音寺	229435	2715344	20140529	梅雨	
二、其他資訊					
調查日期	調查人員	歷史災害	建檔日期	資料來源	補充說明
20140702	紀宗吉、林錫宏、魏倫理	102年康芮颱風造成山崩	20140703	勘災調查報告	趾部擠壓南龍坑溪河道

圖 9.3-5 詳細資料編輯畫面

2. 地圖：本系統使用 GoogleMap 提供詳細資料之地圖畫面，並於地圖中標註其空間位置。啟用編輯狀態時，可藉由拖曳標註符號  或於基本資料之 X 坐標、Y 坐標欄位填入坐標資訊(TWD97)，與地圖進行互動，如圖 9.3-6 所示。

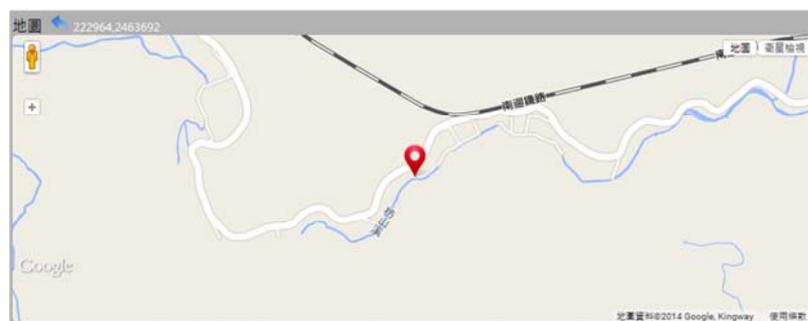


圖 9.3-6 詳細資料-地圖瀏覽畫面

3. 照片：本系統提供現地照片瀏覽、上傳功能。啟用編輯模式後可添加、刪除照片及編輯照片說明，如圖 9.3-7。使用者直接點選照片啟用相簿瀏覽模式或點選照片區上方之  圖示另開新視窗瀏覽，如圖 9.3-8。

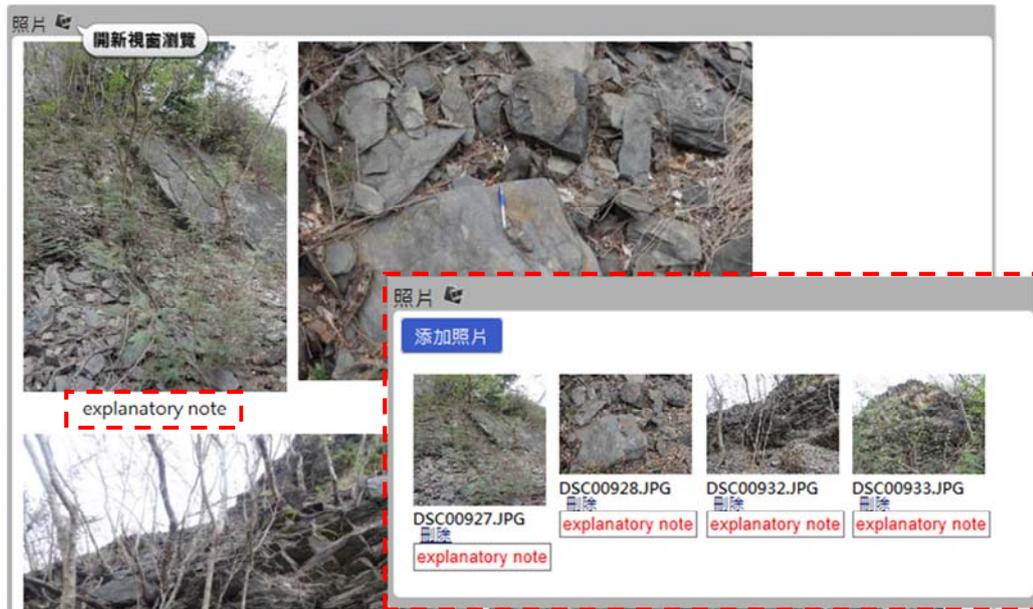


圖 9.3-7 詳細資料-照片瀏覽、編輯畫面

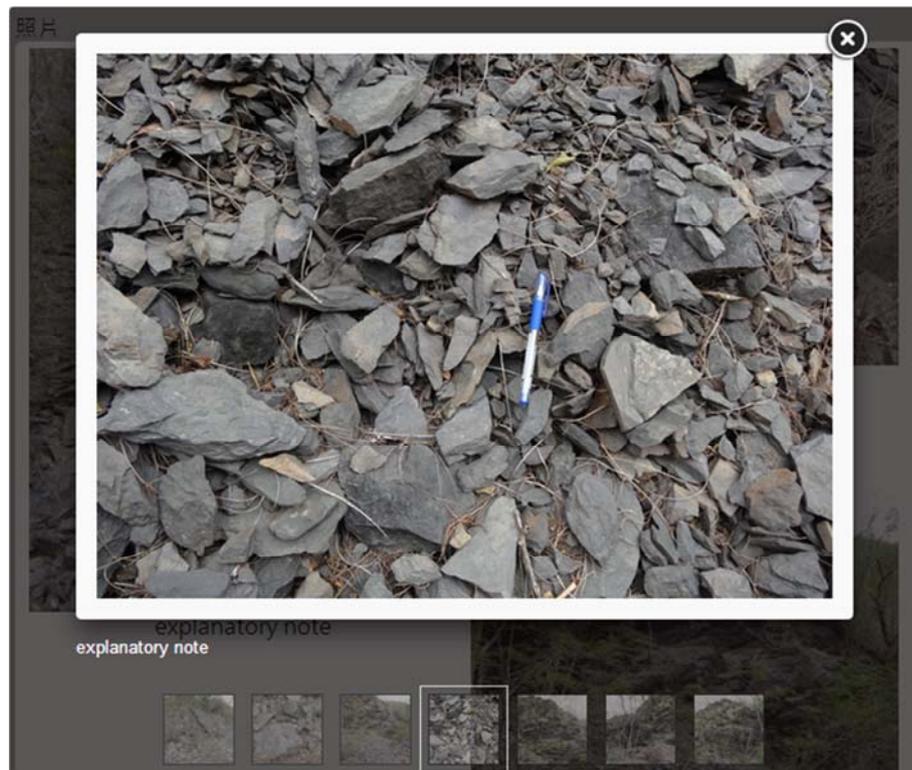


圖 9.3-8 詳細資料-照片相簿模式瀏覽畫面

4. 附件：本系統於詳細資料中提供附件功能，使用者藉由此功能上傳及瀏覽歷史災害資料相關附件，提供別於照片資料之處理方案。啟用編輯模式後可添加、刪除附件及編輯附件說明。
5. 匯出：本系統提供匯出詳細資料功能，使用者可於詳細資料瀏覽底端，點擊匯出按鈕進行 PDF 文件匯出，如圖 9.3-9 所示。

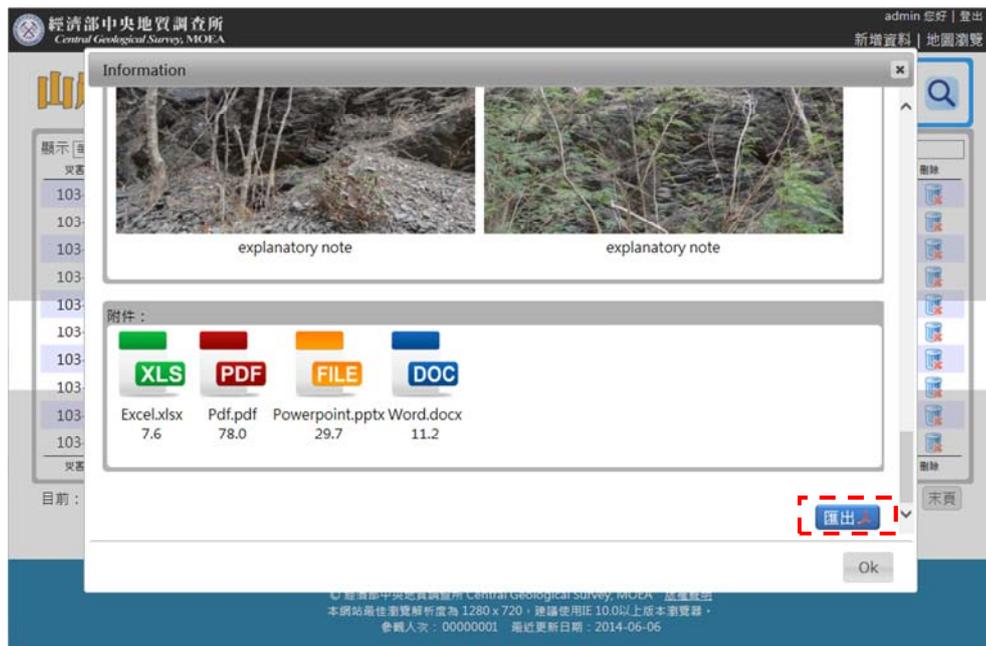


圖 9.3-9 詳細資料-文件匯出功能

9.4 資料庫設計與規劃

一、資料表清單與說明

編號	資料表名稱	資料表說明
1	ACCOUNT	使用者權限資料表
2	DISASTER	山崩歷史災害資料表
3	LOG	登錄資訊資料表

二、資料字典

檔 案 名 稱	ACCOUNT				
	資料表中文名稱：使用者權限資料表				
欄位編號	英文欄位名稱	中文欄位名稱	資料型態	欄位長度	備 註
1	id	編號	INT		P.K
2	uid	使用者帳號	NVARCHAR	255	
3	pwd	使用者密碼	NVARCHAR	255	
4	purv	使用者權限	INT		

檔 案 名 稱	DISASTER				
	資料表中文名稱：山崩歷史災害資料表				
欄位編號	英文欄位名稱	中文欄位名稱	資料型態	欄位長度	備 註
1	id	編號	INT		P.K
2	sn	災害編號	NVARCHAR	255	
3	abbreviation	災害案例名稱	NVARCHAR	255	
4	county	縣市	NVARCHAR	255	
5	town	鄉鎮	NVARCHAR	255	
6	village	村里	NVARCHAR	255	
7	road	道路名稱	NVARCHAR	255	
8	mileage	里程數	NVARCHAR	255	
9	landmark	附近地標	NVARCHAR	255	
10	X_TWD97	X 座標	REAL		
11	Y_TWD97	Y 座標	REAL		
12	map_num	1/25,000 圖號	NVARCHAR	255	
13	map_name	1/25,000 圖名	NVARCHAR	255	
14	disaster_date	災害日期	DATETIME		
15	disaster_time	災害/通報時間	NVARCHAR	50	
16	event	事件名稱	NVARCHAR	255	
17	protected_targets	保全對象	NVARCHAR	255	
18	area_m2	面積(m ²)	REAL		
19	depth_m	平均深度(m)	REAL		
20	aspect	坡向	REAL		
21	slope_deg	坡度(度)	REAL		
22	type	災害類型	NVARCHAR	255	
23	formation	所屬地層	NVARCHAR	255	
24	litho	岩性	NVARCHAR	255	

25	attitude	岩層位態	NVARCHAR	255	
26	J1	節理位態(1)	NVARCHAR	255	
27	J2	節理位態(2)	NVARCHAR	255	
28	J3	節理位態(3)	NVARCHAR	255	
29	structure_line	最近構造線	NVARCHAR	255	
30	acc_rainfall	雨場累積雨量 (mm)	NVARCHAR	255	
31	duration	降雨延時(hr)	NVARCHAR	255	
32	avg_intensity	平均降雨強度 (mm/hr)	NVARCHAR	255	
33	Inst_intensity	瞬時降雨強度 (mm/hr)	NVARCHAR	255	
34	investigate_date	調查日期	DATETIME		
35	investigator	調查人員	NVARCHAR	255	
36	historical_disaster	歷史災害	NVARCHAR	255	
37	remark	災情補充說明	NVARCHAR	255	
38	establish_date	資料建檔日期	DATETIME		
39	picture	照片	NVARCHAR	255	
40	source	資料來源	NVARCHAR	255	

檔案名稱	LOG				
欄位編號	英文欄位名稱	中文欄位名稱	資料型態	欄位長度	備註
資料表中文名稱：登錄資訊資料表					
1	id	編號	INT		P.K
2	ip	IP Address	NVARCHAR	50	
3	time	登錄時間	DATETIME		
4	note	備註	NVARCHAR	255	

第十章 計畫成果推廣與國際技術交流

本計畫除致力於降雨誘發山崩之預警技術研究外，亦積極參與各項研討發表會議及期刊投稿，希望藉由相關發表機會，推廣計畫研發成果，除加速國人防災觀念之建立外，亦希冀提升相關政府部門之災害防救能力。此外，本計畫亦積極與國際相關研究單位接觸，希望藉由國際技術交流之機會，提升本計畫研發能量，並增加本計畫於國際上之能見度。

本計畫於 103 年度共計參加國內、外研討會議各一場，發表國內、外期刊各一篇，並於國內與青山工程顧問公司協辦一場國際技術交流暨成果發表會。國內研討會包含 103 年 5 月 14 日參加位於國立東華大學之「中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 103 年年會暨學術研討會」、103 年 8 月 22 日參加位於義大利杜林(Torino)之「國際工程地質協會暨第 12 屆研討會(International Association of Engineering Geology, IAEG XII Congress)」；期刊發表方面則於工程環境會刊與 Engineering Geology 期刊各發表文章一篇。另於 103 年 11 月 24 日假國立臺灣大學霖澤館國際會議廳舉辦「2014 降雨引致山崩之觀測及警戒前瞻技術研討會」。

本計畫於「中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 103 年年會暨學術研討會」中以「I-R 降雨臨界指標應用於豪雨引致岩屑崩滑之研究」為題進行發表，說明本計畫成果之應用。發表中主要介紹計畫相關工作，包含至野外進行現地調查、彙整相關歷史災害文獻等，並以調查成果及文獻內之山崩發生時間進行雨量分析，結合多變量統計模式與降雨強度-累積雨量(I-R)降雨臨界指標，發展淺層岩屑崩滑型山崩之警戒門檻。未來相關成果擬提供相關防災部門使用，提升政府疏散避難決策之效率。

國際研討會參訪方面，本計畫至義大利杜林參加「國際工程地質協會暨第 12 屆研討會(International Association of Engineering Geology, IAEG XII Congress)」以「A preliminary study of the rainfall threshold and early warning system for landslide in Taiwan」於山崩議程子題「Prediction Methods for Rainfall Triggered Landslides」內進行發表(圖 10-1)。其發表目的除推廣本計畫之研究成果外(包含山崩潛勢評估、誘發山崩雨量門檻等項目)，亦與相關領域之專家學者進行意見交流，並蒐集與了解目前國際上針對誘發山崩雨量門檻、山崩災害風險評估、大規模崩塌災害、落石災害等最新之研究方法與趨勢，以利未來技術發展及與國際接軌。

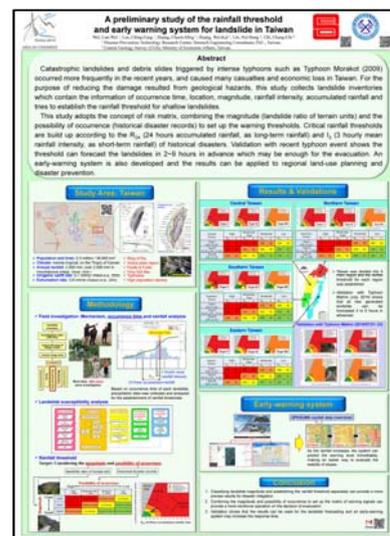
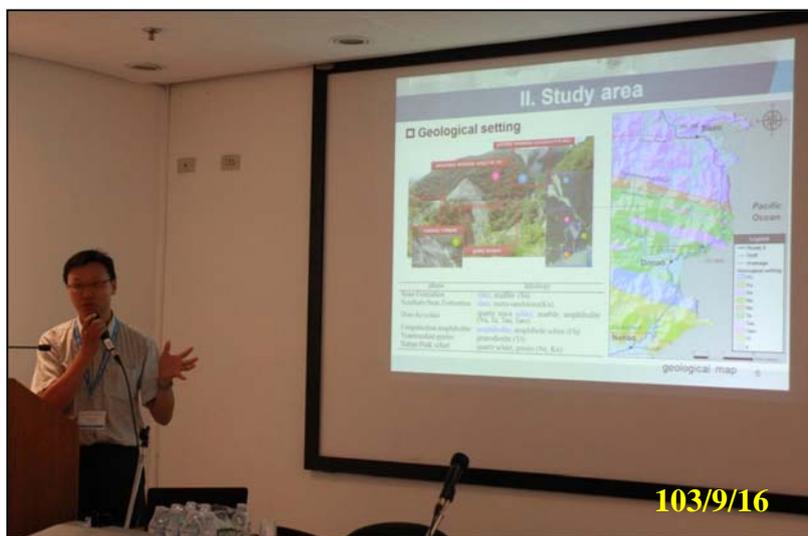


圖 10-1 計畫團隊於 IAEG XII Congress 2014 研討會發表計畫研發成果

本計畫另於工程環境會刊與 Engineering Geology 期刊以基隆市北寧路於 2013 年 8 月 31 日之高強度降雨事件後之落石災害為探討對象，各發表文章一篇文章，題名分別為「基隆市八斗子落石災害之機制探討」及「The mechanism of rockfall disaster: a case study from Badouzi, Keelung, in northern Taiwan」，投稿內容主要介紹野外調查之地質現象、遙測影像分析與力學數值模擬等，結合上述成果進行探討地質構造條件、落石運動情形與具落石危害區域之預測分析，欲推廣本計畫於現地地質災害調查之分析成果。

國內外專家學者進行國際技術交流之部分，本計畫於 103 年 11 月 24 日與青山工程顧問有限公司合辦「2014 降雨引致山崩之觀測及警戒前瞻技術研討會」，並於 11 月 25、26 日進行野外現勘及案例討論。國際研討會相關內容說明如下：

- 一、國內外研討會邀請之專家學者包含：降雨引致山崩臨界值分析專家-日本關東學院大學之齋藤仁教授、工程地質及現地監測專家-日本応用地質株式会社 エンジニアリング本部之上野将司技師長等 2 位；國內邀請專家學者則包含：國立中央大學應用地質學系李錫堤教授與董家鈞教授、農委會水土保持局防災中心陳振宇主任及國家災害防救科技中心張志新組長共 4 位。
- 二、本國際交流研討會議題包含「臺灣的潛在大規模山崩」、「降雨誘發之大規模山崩-從觀測、預測到預警」、「臺灣山崩災害之警示與應變作為」、「Predicting rainfall-induced shallow landslides in a basin with a Water Content Index」、「Landslide hazard assessment using Normalized Soil Water Index in Japan」、「Some interesting matters which landslide monitoring shows」等議題。此外，地調所紀宗吉簡任技正與林錫宏技士亦分別以「山崩警戒雨量之研究」、「順向坡的山崩觀測與地質模式探討」為題進行演講，並由青山工程顧問有限公司陳昭維副總經理以「大規模潛在山崩調查及活動性觀測案例探討」為題、財團法人中興工程顧問社鄭錦桐副主任以「廣域國土山崩警戒模式與展示平台之建立」為題發表計畫成果。

本次國際成果發表會收穫甚為豐碩，除積極推廣本計畫之潛勢評估、山崩雨量門檻率定技術與其應用外，亦藉由日本專家學者分享之研究成果，提昇本計畫相關技術，亦增加本計畫之國際能見度，成功建立我方與日本之國

際技術交流合作關係，促進後續研究技術發展並與國際趨勢接軌，對於計畫成果推廣助益甚大，現場狀況如圖 10-2 所示。



圖 10-2 2014 降雨引致山崩之觀測及警戒前瞻技術研討會現場實況

本計畫除邀請國外專家學者來臺參與成果發表會之外，亦安排至南投廬山北坡(圖 10-3)及新北市烏來西羅岸(圖 10-4)進行現地踏勘及監測資料判讀分析交流，由臺、日雙方親臨野外山崩案例進行現場勘查及案例討論，藉過程中瞭解國外學者對於其山崩致災成因、破壞歷程、地質構造條件及力學機制等不同看法，提升計畫團隊於計畫執行之研究思維。

綜歸此次與外國專家學者交流過程中，其給予本計畫之建議如下：

- (1) 本計畫使用 3 小時平均降雨強度(I_3)及 24 小時累積雨量(R_{24})作為降雨臨界指標，係以設立短延時降雨指標及長延時降雨指標為概念，符合目前國際趨勢潮流，未來仍值得持續發展探討。
- (2) 本計畫長期累積山崩研究之基礎資料，對於未來模式的應用及發展有重要的貢獻，建議能持續累積，並透過不斷的驗證來調整目前率定的山崩

雨量門檻，日本也是經過數十年的努力才逐漸有較為明確之山崩預警與量方法。

- (3) 目前日本最常使用之長延時降雨指標為土壤溼度指數(Soil Water Index, SWI)，其係以水桶模式之概念評估地下水飽和量，雖然目前全日本皆使用同一個參數，但由於此概念主要在於求取「相對危險度」，而非求取「土體絕對的含水量」，因此當應用於研究區域時，仍可找出相對危險的邊坡位置，值得臺灣嘗試。
- (4) 使用土壤溼度指數(Soil Water Index, SWI)時需先得知幾項滲流的參數，這些參數可透過集水區的降雨量資料及逕流量資料估算而得，臺灣有許多流域皆有雨量與流量的觀測資料，或許可利用資料建立本土化參數，並測試其在臺灣之適用性。
- (5) 本計畫目前涵蓋的範圍僅有岩屑崩滑，建議未來能再擴增涵蓋的層面，例如岩體滑動之災害，在無更詳細觀測資料下，或許可先透過航遙測圖資來進行廣域的判釋工作，並進一步評估其可能的潛勢等級。



圖 10-3 南投廬山北坡現地勘查討論情形



圖 10-4 新北市烏來西羅岸現地勘查討論情形

第十一章 結論與建議

11.1 總結

本(103)年度計畫模式經四年(100~103 年)之測試後，將臺灣依照颱風降雨影響範圍及集水區特性分為北、中、南、東及恆春半島等五區，對於山崩潛感模式分析結果尚稱良好，足以提供廣域山崩預警應用。

潛勢分析部分，利用四年(100~103 年)期間蒐集 941 筆實際山崩時間點資料進行模式建置後，另針對基礎分析單元進行篩選動作，將坡度過於低平、泥岩區等較不易發生山崩或其為沖蝕災害之樣本剔除。

模式外部雨量因子部分，本計畫遴選 3 小時平均降雨強度(I_3)與 24 小時累積雨量(R_{24})納入分析，進而於模式中同時考慮強降雨與長延時兩種不同降雨條件之邊坡潛勢。目前山崩潛勢分析結果顯示各區域之模式總體正確率約為七成以上，且動態降雨歷程線於本年度新增及擴大崩塌事件驗證中均能預先反應，可提供後續防災相關應用。

11.2 小結

本(103)年度計畫除完成東部地區 48 個圖幅(1/25,000 比例尺)的斜坡單元編修與整併、誘發山崩事件之雨量資料分析、山崩現地調查與歷史資料建立、山崩目錄建置之外，同時併合其他年度研究區域，重新檢討山崩潛勢因子篩選，並更新各區之山崩潛勢模式、率定山崩雨量門檻值，且提出豪雨誘發淺層岩屑崩滑型山崩之防災應變操作構想，以及即時展示資訊系統等項目，本節茲將計畫之重要結論與建議逐一說明如后。

一、斜坡單元編修與整併

本計畫目前已完成都會區周緣坡地與高山區共計 157 圖幅(1/25,000 比例

尺)之斜坡單元編修與整併，由於都會區周緣坡地大多屬於丘陵地，邊坡狹小零碎，且保全對象居住較為密集，故斜坡單元之劃設較為細緻，其面積平均約為 5 公頃；而高山區邊坡較為陡長，地形明顯與丘陵區不同，且保全對象居住較為稀疏，故斜坡單元的劃設面積也較大，平均約為 15 公頃。此外，為了瞭解斜坡單元內的均質程度，藉由地質材料力學之觀點，以各岩體強度分級於斜坡單元內所占面積比例，探討其均一性，由統計結果可知，目前劃設之斜坡單元約有 9 成(88.3%)地質特性一致，同時本研究也將岩體強度分級作為山崩潛勢因子之一，已反應於山崩潛勢模式之中。

二、誘發山崩事件之雨量資料分析

本計畫山崩潛勢分析與災害案例分析使用之雨量資料主要購自中央氣象局，並採距離平方反比法以鄰近五個雨量站進行空間內插分析。展示資訊系統則介接中央氣象局 QPESUMS 網格式雨量，作為全臺山崩警戒之即時雨量來源，並以各斜坡單元位置所隸屬之網格取得雨量值進行即時潛勢評估。

由 2001 至 2013 年重要颱風事件之雨量分析顯示可知，誘發淺層岩屑崩滑之 24 小時累積雨量約為 200-500 mm，3 小時平均降雨強度則介於 10-50 mm/hr，降雨延時約為 10-36 hr，事件累積雨量約為 120-580 mm。誘發淺層岩屑崩滑之累積雨量相較於大規模崩塌之累積雨量(累積雨量>800 mm)明顯較小。於淺層岩屑崩滑的雨型分布上，由計畫所蒐集之 900 餘個現地山崩調查案例發現，以中央集中式雨型及後峰式雨型所誘發的山崩事件最多。

三、山崩現地調查與歷史資料建立

本計畫執行山崩現地調查目的有三：(1)確認豪雨誘發山崩之時間點；(2)山崩機制現場調查；(3)山崩目錄抽樣查核與驗證等，透過上述三項調查可增加分析模式之可靠度。真實山崩時間大部分可藉由現地調查與村里訪談取得；

部分無法確認時間之山崩資料，則利用「中央大學太空遙測中心影像查詢系統」，以衛星影像查詢真實山崩日期，並假定該日降雨中最大降雨強度之時間點，為發生山崩之時間，進而推估相關雨量參數。

本(103)年度共計完成東部地區 126 處歷史災害調查，經品管篩選後保留 122 處具有實際山崩時間點之調查資料(全數皆屬於岩屑崩滑型山崩)，作為山崩雨量門檻率定之樣本。歷史山崩文獻資料蒐集部分(岩屑崩滑 145 處、岩體滑動 21 處，總計 166 處)以及 103 年蒐集之當年度山崩災害紀錄(38 處)，則將作為山崩雨量門檻之驗證樣本。綜整本計畫四年度(100 年至 103 年)之調查點空間分布可知，其主要分布於「西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區」及「變質岩板岩區」為主，分別約占調查數量之 33.7%與 38.9%。此兩地質分區除面積分布較廣外，板岩區因受板劈理、節理特性影響，岩屑崩滑型山崩好發於碎裂結構之岩坡；而砂頁互層岩組區，其頁岩夾層部分易受水流及風化作用而產生差異侵蝕、弱化岩體強度現象，砂岩則受層面、節理特性影響而風化破碎，於豪雨作用下，易驅動滯留於坡面之崩積層造成岩屑崩滑。

此外，本計畫今(103)年度建置完成之「山崩災害歷史資料庫」，目的在於累積本計畫野外調查成果進行系統性保存，以提供研究及相關技術人員快速便利的網頁查詢介面。其內容包含本計畫 100 年至 103 年累積之 941 處山崩調查案例詳細資料、所在位置圖、現場調查照片及相關報告附件等，俾便未來山崩潛勢模式更新與驗證使用。

四、山崩目錄建置

本計畫建置山崩目錄之目的有二：(1)山崩潛勢分析所需之事件型山崩目錄建置。(2)提供山崩災害歷史資料庫建置參考。本計畫山崩目錄係根據前期(96 年至 99 年)計畫「遙測影像判釋崩塌地及事件型山崩目錄建置作業手冊」之規範建置，本(103)年度已完成東部研究區域 48 圖幅(1/25,000 比例尺)之高

山區山崩目錄數化與屬性資料建置，各區建置的事件不同，共包含 10 場颱風災害事件，分別為 1996 年葛樂禮颱風前後、2001 年桃芝颱風前後、2004 年敏督利颱風前後、2005 年海棠颱風前後、2005 年龍王颱風前後、2006 年六九豪雨後、2007 年聖帕颱風後、2008 年辛樂克颱風後、2009 年莫拉克颱風前後、2011 年南瑪都颱風前後等。利用新增之山崩目錄資料可建立周緣坡地與高山區整體潛勢模式，並作為山崩潛勢模式驗證之用。

五、山崩潛勢因子篩選

本計畫之山崩潛勢因子篩選係先確認該山崩潛勢因子可廣泛取得(如坡度、坡向等可由 DEM 計算普遍取得)，並以圖形判釋方法(成功率曲線、崩壞個數比圖、次數百分比分布圖、P-P plot)選取詮釋山崩能力較高之因子，後以相關係數剔除彼此之間相依較高之因子，確保選用之因子具有代表性且彼此之間低相依，最後始進行山崩潛勢分析。其使用之地文因子包含岩體強度分級、順向坡、坡度、坡度均勻度、邊坡陡坡比例、坡高、高程、坡型、坡型均勻度、斷層密度、褶皺密度、濕度指數等。此外，在外部因子(雨量)之選擇上，係透過本研究蒐集之 941 個歷史山崩案例資料之雨量組體圖中發現，3 小時平均降雨強度與岩屑崩滑型山崩之發生關聯性較高，且多數山崩係於降雨歷程 24 小時內即發生崩壞，顯示 24 小時累積雨量具有重要意義，故本計畫之外部因子(雨量)取用 3 小時平均降雨強度與 24 小時累積雨量兩個因子同時納入分析。

六、山崩潛勢分析與雨量門檻值

本研究依據臺灣各區域之降雨、集水區特性，並考量其樣本數概況，進行山崩潛勢分析之分區。經嘗試許多不同分區方式後，發現將臺灣分為北、中、南、東、恆春半島等五區之結果最為優良且較穩定，然而目前恆春半島

之資料仍稍不足，建議可先以全臺不分區之結果進行應用。在山崩潛勢分析方法部分，本計畫參考國際重要研究成果，選定以羅吉斯迴歸進行潛勢分析，各區之分析資料將二分為訓練資料與驗證資料，於訓練資料中將亂數選取相同數量之山崩、非山崩樣本進行統計分析。其中，山崩樣本之定義為斜坡單元內有 1% 崩塌面積或總崩塌面積達 400 平方公尺以上者。目前的山崩潛勢分析結果顯示各區域之模式總體正確率約為七成以上，山崩潛勢模式已呈穩定，可提供後續防災相關應用。

此外，山崩潛勢模式較前期計畫精進部分包含：(1) 剔除坡度過於低平、泥岩區等較不易發生山崩或其為沖蝕形式之斜坡單元樣本；(2) 將潛勢分區從前期南北長條狀地質分區改以考慮區域降雨及集水區特性之北、中、南、東、恆春半島分區，使模式分析結果更符合現實狀況也較過去穩定；(3) 外部因子同時考慮強降雨(3 小時平均降雨強度)與長延時降雨(24 小時累積雨量)指標納入分析，以避免山崩潛勢模式因未考慮降雨特性而致使部分潛勢分析結果違背物理意義。

山崩雨量門檻方面，根據計畫分析成果顯示，淺層岩屑崩滑於北、中、南、東等區域，一旦累積雨量大於 750 mm(文獻回顧與本計畫分析得知岩屑崩滑多發生於累積雨量 <800 mm)，則所有斜坡單元皆進入紅色燈號(高發生率 $\geq 90\%$)，說明不穩定邊坡岩屑崩滑於此累積雨量條件下之發生率甚高。若雨量持續增加，降雨入滲與地下水上升之耦合作用，可能進而誘發大規模崩塌災害(累積雨量約為 800-1400 mm)，惟此類型之災害並不在本計畫研究範圍內。

七、防災應變操作

本研究今(103)年度首次嘗試結合山崩潛勢模式、山崩災害規模、山崩災害發生機率、危險度矩陣概念、3 小時平均降雨強度(I_3)、24 小時累積雨量(R_{24})

等分析成果，並配合各斜坡單元之潛勢值進行山崩雨量門檻之率定，惟實際操作面上之臨界雨量門檻選定，仍須視區域脆弱度與災害規模及頻率審慎研訂。警戒構想方面，本研究採用行政院頒佈之四級警戒防災操作設定(綠-黃-橙-紅燈號)，依據 QPESUMS 實測雨量代入斜坡單元分析模式中，計算其 I_3 值與 R_{24} 值隨時間之動態歷程線(snake line，本計畫簡稱 I-R 歷程線)，並根據其與 30%、60%、90 山崩事件發生臨界線(critical line of 30%, 60%, 90% landslide occurrence, 簡稱 CL 線)，決定其警示燈號。

本計畫亦列舉土石流潛勢溪流(集水區)、緊臨山坡地保全住戶(村里)及緊臨山坡之道路(坡面)等三種不同尺度之案例，以加權法說明本計畫斜坡單元山崩臨界雨量轉換為警戒雨量之構想方法，並將本計畫之成果應用概念擴及至土石流上游料源區、山區聚落與公路防災體系，然其設定之方法與條件仍應視後續防災應用需求進行必要之調整。

八、即時展示資訊系統

本(103)年度即時展示技術已完成「降雨引發山崩預警資訊系統」專業應用版、簡易查詢版、手機網頁版等版本之建置，其包含山崩潛勢展示、山崩警戒發布、山崩基礎圖資、定位查詢及系統與資料管理等五大模組，並將最新之山崩雨量門檻率定成果建置入內。本展示系統介接中央氣象局之 QPESUMS 雨量資料，將雨量輸入於山崩雨量門檻模式後，以距現今 3 小時之平均降雨強度(I_3)與距今 24 小時累積雨量資料(R_{24})，顯示出強降雨與長延時兩種不同降雨狀況下之邊坡潛勢狀態。而各斜坡單元之雨量資料，則以其所隸屬之 QPESUMS 雨量之網格式圖層進行套疊計算輸入雨量。

本計畫「山崩潛勢展示模組」包含動態山崩潛勢圖展示及歷史豪雨事件山崩潛勢境況展示功能，並提供雨量組體圖即時查詢。「山崩警戒發布模組」將依據本計畫率定之警戒發布條件，篩選出達到紅、橙、黃色警戒等級之聚

落，提供防災單位參考。另「山崩基礎圖資模組」則將計畫所購置、產製或介接之各項 GIS 資料彙整呈現，其中涵蓋衛星影像、雨量資料、山崩目錄、現地調查成果、斜坡單元、航照、環境地質圖等。而「定位查詢模組」則提供不同經緯度格式、地址地標定位等功能，後續山崩潛勢模式更新則可藉由「系統與資料管理模組」進行後端管理。

11.3 建議

本節主要說明未來執行相關計畫建議之方向，茲列述如下：

- (1) 本計畫利用四年期間蒐集超過 900 筆實際山崩時間點資料，但對於模式建置而言，仍需持續擴充樣本數量，建議未來仍須持續蒐集山崩災害時間相關資訊，並利用各年度汛期之山崩案例實際進行測試，以驗證山崩雨量門檻之準確性。若有新增之山崩事件則用以驗證山崩潛勢模式，採滾動式更新方式修正各區之山崩雨量臨界門檻值。
- (2) 為了進一步探討崩塌地分布與降雨分布的時空關係，建議未來應蒐集原始雨量站紀錄，建立各雨量站於重大山崩事件發生期間的降雨量時空變化，持續探討山崩與降雨量之關係。
- (3) 在「降雨引發山崩預警資訊系統」中雨量介接之資訊，除現行之 QPESUMS 網格式即時雨量外，亦可考慮其他可用之預估雨量，以利災中應變時預判未來可能之坡地災害情境。
- (4) 本計畫目前僅對淺層岩屑崩滑型山崩進行警戒雨量率定，並提出防災相關預警之規劃構想。建議未來應進一步研發岩體滑動型山崩之警戒雨量率定方法，並嘗試以地貌圖、山崩地形特徵測繪，參考現地監測資料等方式，判斷岩體滑動型山崩之潛勢，並進一步掌握大規模崩塌致災之可能性。

- (5) 建議未來可將其他山崩災害類型(如岩體滑動等)之評估成果與山崩監測資訊整合納入「降雨引發山崩預警資訊系統」中，使本計畫成果更具防災參考價值。
- (6) 針對山崩活動性較高，且具有保全對象之崩塌地，建議未來可採用數值模擬技術評估山崩之影響範圍，並提供疏散避難規劃參考。
- (7) 本計畫目前所使用之斜坡單元係考量岩屑崩滑型山崩於防災相關應用來劃設，未來若進行岩體滑動或落石類型之山崩潛勢分析及防災應用時，建議須再探討目前斜坡單元之適用性，以符合分析對象特性與需求。
- (8) 目前山崩潛勢分析及山崩雨量門檻率定成果中，恆春半島之樣本數較少，山崩潛勢分析成果不甚穩定，使其分析結果不若北、中、南、東區域優良，防災應用上建議可先參考全臺不分區之分析成果，以避免模式誤差造成防災使用上之誤判。
- (9) 國際技術交流建議可加強雙方互訪之機制，除廣邀專家學者來臺外，亦可適時安排至國外參訪，以加速研究成果之提升。

參考文獻

1. Agresti, A. (2002). *Categorical data analysis*, John Wiley. 710 pp.
2. Aleotti, P. (2004). A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology*, 73, 247-265.
3. Annunziati, A., Focardi, A., Focardi, P., Martello, S., & Razak nocci, P. (2000). Analysis of the rainfall thresholds that induced debris flows in the area of Apuan Alps. Tuscany.
4. Arboleda, R. A., & Martinez, M. L. (1996). 1992 lahars in the Pasig-Potrero River system. In: *Fire and mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo*. Quezon: Washington.
5. Asselenand, S. V. & Seijmonsbergen A. C. (2006). Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM. *Geomorphology*, 78, 3-4, 309-320.
6. Baeza, C., & Corominas, J. (2001). Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1251-1263.
7. Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1988). Self-organized criticality. *Phys. Rev. A*, 38, 364-374.
8. Barbero, S., Rabuffetti, D., & Zaccagnino, M. (2004). Una metodologia per la definizione delle soglie pluviometriche a supporto dell'emissione dell'allertamento. In S. Barbero (Chair), *Proceedings of 29th Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*. Trento.
9. Baum, R. L., Godt, J. W., Harp, E. L., & McKenna, J. P. (2005). Early warning of landslides for rail traffic between Seattle and Everett, In A.A. Balkema (Chair), *Proceedings of the 2005 International Conference on Landslide Risk Management*. Washington.
10. Baum, R. L., Savage, W. Z., & Godt, J. W. (2002). A FORTRAN program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis. *US Geological Survey(Open File Report Nat Hazards 123)*, 15 pp.
11. Baum, R. L., Godt, J.W. (2010). Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. *Landslides* (2010) 7:259-272.
12. Bell, F. G., & Maud, R. R. (2000). Landslides associated with the colluvial soils overlying the Natal Group in the greater Durban region of Natal, South Africa. *Environmental Geology*, 39(9), 1029-1038.
13. Bhandari, R. K., Senanayake, K. S., & Thayalan, N. (1991). Pitfalls in the prediction on landslide through rainfall data. *Landslides*, 2, 887-890.
14. Bolley, S., & Oliaro, P. (1999). Analisi dei debris flows in alcuni bacini campione dell'Alta Val Susa. *Geingegneria Ambientale e Mineraria*, 69-74.
15. Brabb, E. E., Pampeyan, E. H., and Bonilla, M. G. (1972) Landslide susceptibility in San Mateo County, California. *U.S. Geol. Surv., Misc. Field Studies Map*, MF-360.
16. Brigandì, G., Aronica G. T., Basile G., Pasotti L. and Panebianco M. (2012). An experimental operative system for shallow landslide and flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture modeling, *EGU 2012*, Vol. 14, 11730.
17. Brunetti, M. T., Luino F., Vennari C., Peruccacci S., Biddoccu M., Valigi D., Luciani S., Cirio C. G., Rossi M., Nigrelli G., Ardizzone F., Palma M. D. and Guzzetti E.(2013). *Rainfall Thresholds for Possible Occurrence of Shallow*

- Landslides and Debris Flows in Italy. Dating Torrential Processes on Fans and Cones, 327-339, Italy.
18. Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D., & Guzzetti, F. (2010). Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10(3), 447-458.
 19. Bui D. T., Pradhan B., Lofman O., Revhaug I. and Dick Ø. B. (2013). Regional prediction of landslide hazard using probability analysis of intense rainfall in the Hoa Binh province, Vietnam. *Natural Hazards* (66), 2, 707-730.
 20. Caine, N. (1980). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler Series A-Physical Geography*, 62, 23-27.
 21. Calcaterra, D., Parise, M., Palma, B., & Pelella, L. (2000). The influence of meteoric events in triggering shallow landslides in pyroclastic deposits of Campania, In A.A. Balkema (Chair), *Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides*. Italy.
 22. Cancelli, A., & Nova, R. (1985). Landslides in soil debris cover triggered by rainstorms in Valtellina (central Alps - Italy). *Proceedings of 4th International Conference and Field Workshop on Landslides*. Tokyo
 23. Cannon, S. H., & Ellen, S. D. (1985). Rainfall conditions for abundant debris avalanches. *Geology*, 38, 267-272.
 24. Cannon, S.H., Gartner, J.E. (2005) Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. *Debris flow hazards and related phenomena* (Jakob M, Hungr O, eds). Berlin Heidelberg: Springer.
 25. Canuti, P., Focardi, P., & Garzonio, C. A. (1985). Correlation between rainfall and landslides. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 32, 49-54.
 26. Capparelli G. and Tiranti D. (2010), Application of the MoniFLaIR early warning system for rainfall-induced landslides in Piedmont region (Italy), *Landslides*, 7:401-410.
 27. Capparelli G. and Versace P. (2011), FLAIR and SUSHI: two mathematical models for early warning of landslides induced by rainfall, *Landslides*, 8:67-79.
 28. Carrara, A., & Merenda, L. (1974). Metodologia per un censimento degli eventi franosi in Calabria. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 9, 237-255.
 29. Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., & Reichenbach, P. (1991). GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16(5), 427-445.
 30. Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 117-135.
 31. Casadei, M., Dietrich, W. E., & Miller, N. L. (2003). Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(9), 925-950.
 32. Ceriani, M., Lauzi, S., & Padovan, N. (1992). Rainfall and landslides in the Alpine area of Lombardia Region, central Alps. *Internationales Symposium*. Italy.
 33. Chen, C.Y. (2012). Landslide blockage length estimation along the Alishan expressway, Taiwan. *International journal of engineering and building materials*. 2(1), 18-27.
 34. Chen, C.Y., Chen, T.C., Yu, F.C., Yu, W.H., and Tseng, C.C. (2005). Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring. *Environmental Geology*, 47, 715-724.

35. Cho, S. E., Lee, S. R. (2001). Instability of Unsaturated Soil Slopes due to Infiltration. *Computers and Geotechnics*, 28, pp. 185-208.
36. Chow, V. T., Maidment, D., R. & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
37. Chung, C. F. (2006). Using likelihood ratio functions for modeling the conditional probability of occurrence of future landslides for risk assessment. *Computer & Geosciences*, 32, 1052-1068.
38. Chung, C. F., & Fabbri, A. G. (1993). The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources*, 2(3), 122-139.
39. Chung, C. F., & Fabbri, A. G. (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(12), 1389-1399.
40. Chung, C.F., Fabbri, A.G. (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards* 30, 451-472.
41. Chung, M. C., Tan, C. H., Chen, M. M. and Su, T. W. (2013). Deterministic Approach for Estimating Critical Rainfall Threshold of Rainfall-induced Landslide in Taiwan. EGU General Assembly 2013, EGU2013-6556, Vienna, Austria.
42. Clarizia, M., Gull, G., & Sorbino, G. (1996). Sui meccanismi di innesco dei soil slip. *International Conference Prevention of hydrogeological hazards*, 1, 585-597.
43. Corominas, J. (2000). Landslides and climate. 8th International Symposium on Landslides.
44. Corominas, J., & Moya, J. (1999). Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenes, Spain. *Geomorphology*, 30, 79-93.
45. Corominas, J., Ayala, F. J., Cendrero, A., Chacón, J., Terán, J. R. D. d., Gonzáles, A., et al. (2005). Impacts on natural hazard of climatic origin. ECCE Final Report: A Preliminary Assessment of the Impacts in Spain due to the Effects of Climate Change. Ministerio de Medio Ambiente.
46. Crosta, G. B. & Frattini, P. (2001) Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. *Proceedings of the 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms*. Italy.
47. Crosta, G. B. and Frattini, P. (2012) Approaches to rainfall-induced landslides forecasting. *Landslides and Engineered Slopes :Protecting Society through Improved Understanding- Eberhardt et al.(eds)*, 15-22.
48. Crosta, G.B. (1989) A study of slope movements caused by heavy rainfall in Valtellina (Italy – July 1987). *Proc. 6th Int. Conf. and Field Workshop on Landslides ALPS 90* (Cancelli A, ed), vol. 79b. Milano: Ricerca Scientifica ed Educazione Permanente, 247–258.
49. Crozier, M.J. (1999) Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model. *Earth Surf Proc Land*, 24, 825–833.
50. DARBY, E., S., THORNE, & R., C. (1996). Development and testing of riverbank-stability analysis. 122(8).
51. Deganutti A.M. & Marchi. L (2000), “Rainfall and debris-flow occurrence in the Moscardo basin (Italian Alps)”, *Debris-Flow Hazard Mitigation*, pp.67-72.
52. Dietrich, W. E., Reiss, R., Hsu, M. L., & Montgomery, D. R. (1995). A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. *Hydrological Processes*, 9, 383-400.
53. Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., & Nefeslioglu, H. A. (2005). Landslide

- susceptibility mapping of Cekmece area (Istanbul, Turkey) by conditional probability. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2, 155-208.
54. Dymond, J. R., Jessen, M. R., & Lovell, L. R. (1999). Computer simulation of shallow landsliding in New Zealand hill country. *JAG*, 1(2), 122-131.
 55. Edwin, F. G. A., Carlos, A. R. J., Manuel, A. B. B. (2011). Influence of rainfall intensity on infiltration and deformation of unsaturated soil slopes. *Dyna*, year 78, No. 170, pp. 116-124.
 56. Feinberg, S. (1985). *The analysis of cross-classified categorical data*. Cambridge, MA: MIT.
 57. Floris, M., Mari, M., Romeo, R. W., & Gori, U. (2004). Modelling of landslide-triggering factors - A case study in the Northern Apennines, In R. Hack, R. Azzam, R. Charlier (Eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences 104: Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe* (pp. 745-753). Italy: Verlag Berlin Heidelberg.
 58. Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). *Soil mechanics for unsaturated soils*. New York: Wiley.
 59. Ghosh S., van Weste C.J., Carranza E.J.M., Jetten V.G, Cardinali M., Rossi M., & Guzzetti F.(2012). Generating event-based landslide maps in a data-scarce Himalayan environment for estimating temporal and magnitude probabilities. *Engineering Geology*. 128, 49-62.
 60. Giannecchini, R. (2005). Rainfall triggering soil slips in the southern Apuane Alps. *Advances in Geosciences*, 2, 21-24.
 61. Giannecchini, R., Galanti, Y., and D'Amato Avanzi, G. (2012), Critical rainfall thresholds for triggering shallow landslides in the Serchio River Valley (Tuscany, Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 829-842.
 62. Greco, R., Giorgio, M., Capparelli, G., and Versace P. (2013), Early warning of rainfall-induced landslides based on empirical mobility function predictor. *Engineering Geology*, 153 (2013) 68-79.
 63. Green WH, Ampt G (1911) Studies of soil physics. Part I: The flow of air and water through soils. *J Agr Sci*, 4, 1-24.
 64. Guadagno, F. M. (1991). Debris flows in the Campanian volcanoclastic soil, Southern Italy. *Proceedings International Conference on slope stability*. Isle of Wight: Thomas Telford.
 65. Guan-Wei JIA, Tony L.T. ZHAN, Yun-Min CHEN, D. G. Fredlund (2009). Influence of rainfall pattern on the infiltration into landfill earthen final cover. *Proc. Of Int. Symp. On Geoenvironmental Eng.*
 66. Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98, 239-267.
 67. Hansen, A. (1984). The application of an evolutionary model of Hong Kong's terrain. *Engineering Geology*, 51, 39-50.
 68. Hearn, G. J. (1995). Landslide and erosion hazard mapping at Ok Tedi Cooper Mine. *The Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, 47-60.
 69. Hergarten, S., (2003). Landslides, sandpiles, and self-organized critically. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 505-514.
 70. Hoek, E., Torres, C. C., & Corkum, B. (2002). *Hoek-Brown failure criterion*. Rotterdam: Balkema.
 71. Hong, Y., Hiura, H., Shino, K., Sassa, K., Suemine, A., Fukuoka, H., et al. (2005).

- The influence of intense rainfall on the activity of large-scale crystalline schist landslides in Shikoku Island. *Landslides*, 2, 97-105.
72. Horton, R. E. (1940). An approach toward of a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil. Sci. Soc. Am.*, Vol.5.
 73. Hossian, M.K. (2010). Effect of Rainfall on Matric Suction and Stability of a Residual Granite Soil Slope. *Journal of Dhaka University of Engineering and Technology*, Vol. 1., Issue 1.
 74. Hovius, N., Stark, C. P., & Allen, P. A. (1997). Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping. *Geology*, 25, 231-234.
 75. Hovland, H. J. (1977). Three-Dimensional Slope Stability Analysis Method. *Geotechnical Engineering*, 103(9), 971-986.
 76. Huber, W. C., & Dickinson, R. E. (1992). Storm water management model. Athens: US Environmental Protection Agency.
 77. Innes, J. L. (1983). Debris flows. *Progress in Physical Geography*, 7, 469-501.
 78. Ishihara, T. (1979). A mapping of Riemannian manifolds which preserves harmonic functions. *J. Math. Kyoto Univ.*, 19, 215-229.
 79. Iverson, R. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resour*, 36(7), 1897-1910.
 80. Ives, J. D., & Bovis, M. J. (1978). Natural Hazards Maps for Land-Use Planning, San Juan Mountains, Colorado, U.S.A. *Arctic and Alpine Research*, 10(2), 185-212.
 81. Ives, J.D., Messerli, B. (1981). Mountain hazards mapping in Nepal: introduction to an applied mountain research project, *Mountain Research and Development*, 1(3-4), 223~230.
 82. Jakob, M., & Weatherly, H. (2003). A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver. *Geomorphology*, 54, 137-156.
 83. Jakob, M., Owen, T., & Simpson, T. (2012). A regional real-time debris-flow warning system for the District of North Vancouver, Canada. *Landslides*, 9(2), 165-178.
 84. Jan, C. D., & Chen, C. L. (2005). Debris flows caused by Typhoon Herb in Taiwan. In M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris flow Hazards and Related Phenomena* (pp. 363-385). Springer Berlin Heidelberg.
 85. Jemec, M., & Komac M. (2013). Rainfall patterns for shallow landsliding in perialpine Slovenia. *Nat Hazards*, 67(3), 1011-1023.
 86. Jeong, Sang-Seom, Kim, Jae-Hong, Park, Seong-Wan. (2004). Influence of Rainfall-induced Wetting on Unsaturated Weathered Slopes. *Jour. of the KGS*, Vol. 20, No. 7. September 2004, pp. 159-169.
 87. Jibson, R. W. (1989). Debris flow in southern Porto Rico. *Geological Society of America*, Special Paper, 236, 29-55.
 88. Jibson, R. W., Harp, E. L., & Michael, J. A. (1998). A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: an example from the Los Angeles. *USGS Open-File Rep*, 98-113.
 89. Jibson, R. W., Harp, E. L., & Michael, J. A. (2000). A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Engineering Geology*, 58, 271-289.
 90. Jones, F. O., Embody, D. R., & Peterson, W. C. (1961). Landslides along the Columbia River valley 1972. *Professional Paper*, 367, 98.
 91. Kanji, M. A., Massad, F., & Cruz, P. T. (2003). Debris flows in areas of residual

- soils: occurrence and characteristics. International Workshop on Occurrence and Mechanisms of Flows in Natural Slopes and Earthfills, Sorrento.
92. Karpuz, C. & Pasamehmetoglu, A. G. (1997) Field characterization of weathered Ankara andesites. *Engineering Geology*, 46, 1-17.
 93. Keefer, D. K. (2000). Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution - the 1989 Loma Prieta, California event. *Engineering Geology*, 58, 231-249.
 94. Keefer, D. K. et al. (1987), "Real-Time Landslides Warming During Heavy Rainfall", *Science*, Vol .238, pp.921-925.
 95. Kelfoun K., & Druitt, T. H. (2005), Numerical modeling of the emplacement of Socompa rock avalanche, Chile. *Journal of Geophysical Research*, 110, B12202.
 96. Kelfoun K., Druitt, T. H., Benjamin, van Wyk de Vries & Guilbaud, M. N. (2008). Topographic reflection of the Socompa debris avalanche, Chile. *Bull Volcanol*, 70, 1169-1187.
 97. Khan, Y. A., Lateh, H., Baten, M.A., Kamil, A.A. (2012), Critical antecedent rainfall conditions for shallow landslides in Chittagong City of Bangladesh, *Environ Earth Sci*, 67:91-106.
 98. Kienholz, H. (1978). Maps of geomorphology and natural hazards of Grindelwald. *Arctic and Alpine Research*, 10, 169-184.
 99. Kim, S. K., Hong, W. P., Kim, Y. M. (1991). Prediction of rainfall-triggered landslides in Korea. In: *Landslides* (Bell DH, ed). Rotterdam: A.A. Balkema, 2: 989-994.
 100. Kobashi, S., & Suzuki, M. (1988). Hazard index for the judgement of slope stability in the Rokko mountain region. *Interpraevent 1988*, 1, 223-233.
 101. Korup O., Görüm T., & Hayakawa Y.(2012). Without power? Landslide inventories in the face of climate change. *Earth Surf. Process. Landforms*. 37(1), 92-99.
 102. Koukis, G., & Ziourkas, C. (1991). Slope instability phenomena in Greece: a statistical analysis. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 47-60.
 103. Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1979). *Soil mechanics*. New York: Wiley.
 104. Larsen, M. C., & Simon, A. (1993). A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment. *Geografiska Annaler Series A-Physical Geography*, 75(1-2), 13-23.
 105. Lee, C. T., & Huang, C. M. (2007). Neuro-fuzzy-based landslide susceptibility analysis - an example from Central Western Taiwan. *Geophysical Research Abstracts*, 9, 06849.
 106. Lee, C. T., Huang, C.C., Lee, J.F., Pan, K.L., Lin, M.L., Dong, J.J. (2008) Statistical approach to storm event-induced landslides susceptibility, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 941-960.
 107. Lee, S., & Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40, 1095-1113.
 108. Lee, S., Choi, J., & Min, K. (2002). Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology*, 43, 120-131.
 109. Lee, S., Ryu, J. H., Won, J. S., & Park, H. J. (2004). Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*, 71, 289-302.
 110. Li AG, Yue ZQ, Tham LG, Lee CF, Law KT (2005). Field monitored variations of

- soil moisture and matric suction in sarolite slope. *Can. Geotech. J.* 42, 13-26.
111. Li, C.J., Ma, T.H., Zhu, X.S., & Li, W.(2011). The power-law relationship between landslide occurrence and rainfall level. *Geomorphology*. 130(3), 221-229.
 112. Liao, C. W., & Lee, C. T. (2004). Probabilistic hazard analysis of earthquake-induced landslides - an example from KouHsing, Taiwan. *International Symposium on Landslide and Debris Flow Hazard Assessment*, 7-1~7-9.
 113. Liao, Z., Hong, Y., Wang, J., Fukuoka, H., Sassa, K., Karnawati, D. and Fathani, F. (2010). Prototyping an experimental early warning system for rainfall-induced landslides in Indonesia using satellite remote sensing and geospatial datasets. *Landslides*, 7(3), 317-324.
 114. Lumb, P. (1975) Slope failure in Hong Kong. *Q J Eng Geol*, 8, 31–65.
 115. Ma, T., Li, C., Lu, Z., Wang, B. (2014). An effective antecedent precipitation model derived from the power-law relationship between landslide occurrence and rainfall level. *Geomorphology*, 216, 187-192.
 116. Mahmood, K., Kim, J.M. (2011). Reliability Study of Unsaturated Embankment Exposed to Short Duration Rainfall Pattern. *EJGE*, Vol.16, 629-641.
 117. Malamud B. & Turcotte D.L.(1999). Self-Organized Criticality Applied to Natural Hazards. *Natural Hazards*, 20, 93-116.
 118. Marchi, L., Arattano, M., & Deganutti, A. M. (2002). Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps). *Geomorphology*, 46, 1-17.
 119. Martelloni, G., Segoni, S., Fanti, R., Catani, F. (2011). Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale. *Landslides*, 9(4), 485-495.
 120. Martha, T. R., Kerle, N., van Westen, C. J., Jetten, V. and Vinod Kumar, K. (2012) Object-oriented analysis of multi-temporal panchromatic images for creation of historical landslide inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 105-119.
 121. Mathew J., Babu D. G., Kundu S., Kumar K. V. and Pant C. C. (2014). Integrating intensity–duration-based rainfall threshold and antecedent rainfall-based probability estimate towards generating early warning for rainfall-induced landslides in parts of the Garhwal Himalaya, India. *Landslides*, 11, 575-588.
 122. Mein, R. G. and Larson, C. L. (1976). Modeling Infiltration and Redistribution of Soil Water During Intermittent Application. *Trans. ASCE*, 19(3), 482-488.
 123. Meneroud, J. P., & Calvino, A. (1976). Carte ZERMOS Zones exposees a des Risques lies aux Mouvements du Sol et du Sous-Sol a 1:25,000. 11.
 124. Moine, M., Puissant, A., and Malet, J. P. (2009). Detection of landslides from aerial and satellite images with a semi semiautomatic method. Application to the Barcelonnette basin (Alpes-de-Haute-Provence, France), *Landslide Processes: from geomorphological mapping to dynamic modellin*, 63-68.
 125. Mondini, A. C., Chang, K. T. and Yin, H. Y. (2011). Combining multiple change detection indices for mapping landslides triggered by typhoons. *Geomorphology*, 134, 3–4, 440-451.
 126. Montgomery, D. R., & Dietrich, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding (Vol. 30). Washington, DC, ETATS-UNIS: American Geophysical Union.
 127. Montgomery, D. R., Schmidt, K. M., Greenberg, H. M., & Dietrich, W. E. (2000). Forest clearing and regional landsliding. *Geomorphology*, 28(4), 311-314.
 128. Montrasio, L., Valentino, R., & Losi, G. L. (2011). Towards a real-time susceptibility assessment of rainfall-incuced shallow landslides on a regional scale.

- Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 1927-1947.
129. Moser, M., & Hohensinn, F. (1983). Geotechnical aspects of soil slips in Alpine regions. *Engineering Geology*, 19, 185-211.
 130. Nadim, F., Cepeda, J., Sandersen, F., Jaedicke, C., & Heyerdahl, H. (2009). Prediction of Rainfall-Induced Landslides through Empirical and numerical models. *Italian Workshop on Landslides, 1. IWL 2009, Naples, Italy, Proceedings*, 206-215.
 131. Nafarzadegan, A. R., Talebi, Ali., Malekinezhad, H., and Emami, N. (2013). Antecedent Rainfall Thresholds for the Triggering of Deep-Seated Landslides (Case study: Chaharmahal & Bakhtiari Province, Iran). *ECOPERSIA*, Vol. 1(1), 23-29.
 132. Neuland, H. (1976). A prediction model of landslides. *Catena*, 3(2), 215-230.
 133. Newmark, N. M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique*, 15, 139-160.
 134. Ng, C.W.W., Wang, B., and Tung Y.K. (2001). Three-Dimensional Numerical Investigations of Groundwater Response in An Unsaturated Slope Subjected to Various Rainfall Patterns. *Can. Geotech. J.*, 38, 1049-1062.
 135. Nilsen, T. H., & Turner, B. L. (1975). Influence of rainfall and ancient landslide deposits on recent landslides (1950-1971) in urban areas of Contra Costa County (No. Bul 1388). *California: US Geological Survey*.
 136. Oberste-lehn, D. (1976). Slope stability of the Lomerias Muertas area . PhD, Stanford University, California.
 137. Okubo, T. & Hogan, B. L. (2004). Hyperactive Wnt signaling changes the developmental potential of embryonic lung endoderm. *J. Biol*, 3, 11pp.
 138. Onodera, T., Yoshinaka, R., Kazama, H. (1974) Slope failures caused by heavy rainfall in Japan. In: *Proc. 2nd Int. Congress of the Int Ass Eng Geol*, 11,. 1-10.
 139. Osanai, N., Shimizu, T., Kuramoto, K., Kojima, S., Noro, T. (2010). Japanese early-warning for debris flows and slope failures using rainfall indices with Radial Basis Function Network. *Landslides*, 7(3), 325-338.
 140. Paronuzzi, P., Coccolo, A., & Garlatti, G. (1998). Eventi meteorici critici e debris flows nei bacini montani del Friuli. *Italiana: Associazione Idrotecnica Italiana*. 39-50.
 141. Pedrozzi, G. (2004) Triggering of landslides in Canton Ticino (Switzerland) and prediction by the rainfall intensity and duration method. *Bull Eng Geol Environ*, 63(4), 281-291.
 142. Peruccacci, S., Brunetti, M.T., Luciani, S., Vennari, C., and Guzzetti, F. (2012) Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in central Italy. *Geomorphology*, Vol. 139-140, 79-90.
 143. Petrascheck, A. & Kienholz, H. (2003). Hazard assessment and mapping of mountain risks in Switzerland. In: *Rickenmann, D., Chen, C. (Eds.), 3rd Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation*. Millpress, Davos, 25-39.
 144. Philip, I. R. (1957). The theory of infiltration. *Soil Science of America.*, Vol. 84, 254-264.
 145. Philip, J.R. (1954) An infiltration equation with physical significance. *Soil Sci*, 77(1), 153-157.
 146. Rahardjo, H., Lee, T.T., Leong, E.C., and Rezaur R.B. (2005). Response of a residual soil slope to rainfall. *Can. Geotech. J.* 42:340-351.
 147. Rahimi, A., Rahardjo, H., and Leong, E. C. (2011). Effect of Antecedent Rainfall

- Patterns on Rainfall Induced Slope Failure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(5), 483-491.
148. Raia1 S., Alvioli1 M., Rossi M., Baum R. L., Godt J. W. and Guzzetti F.(2013). Improving predictive power of physically based rainfall-induced shallow landslide models: a probabilistic approach. *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 6, 1367–1426.
 149. Rawls, W. J., Brakensiek, D. L. and Saxton, K. E. (1983). Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE* 25(5), 1316-1320, 1328.
 150. Razak, K. A., Santangelo, M., Van Westen, C. J., Straatsma, M. W. and de Jong, S. M. (2013). Generating an optimal DTM from airborne laser scanning data for landslide mapping in a tropical forest environment. *Geomorphology*, 190, 112-125.
 151. Rodolfo, K. S., & Arguden, A. T. (1991). Rain-lahar generation and sediment-delivery systems at Mayon Volcano. *Philippines: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*. 45, pp. 71-88.
 152. Rodriguez Ortiz, J. M., Serra Gesta, J. and Oteo Mazo, C. (1986). *Curso Aplicado de Cimentaciones*, 3rd Ed. Madrid: Colegio Oficial de Madrid.
 153. Rossi M., Kirschbaum D., Luciani S., Mondini A., Guzzetti F. (2013). TRMM satellite rainfall estimates for landslide early warning in Italy: preliminary results. *Remote Sensing of the Atmosphere, Clouds, and Precipitation IV*, Vol. 8523 85230D-1.
 154. Rossi, M., Peruccacci S., Brunetti M.T., Marchesini I., Luciani S., Ardizzone F., Balducci V., Bianchi C., Cardinali M., Fiorucci F., Mondini A.C., Reichenbach P., Salvati P., Santangelo M., Bartolini D., Gariano S.L., Palladino M., Vessia G., Viero A., Antronico L., Borselli L., Deganutti A.M., Iovine G., Luino F., Parise M., Polemio M. and Guzzetti F. (2012) SANF: National warning system for rainfall-induced landslides in Italy. *Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding-* Eberhardt et al.(eds), 1895-1899.
 155. Rupke, J., Cammeraat, E., Seijmonsbergen, A. C., & Westen, C. J. V. (1988). Engineering geomorphology of the widentobel catchment, appenzell and sankt gallen, switzerland. A geomorphological inventory system applied to geotechnical appraisal of slope stability. *Engineering Geology*, 26(1), 33-68.
 156. Salciarini, D., Godt, J. W., Savage, W. Z., Conversini, P., Baum, R. L., & Michael, J. A. (2006). Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern Umbria Region of central Italy. *Landslides*, 3, 181-194.
 157. Salvucci, G.D., Entekabi, D. (1994) Explicit expressions for Green-Ampt (Delta function diffusivity) infiltration rate and cumulative storage. *Water Resour Res*, 30, 2661–2663.
 158. Sidle, R. C., Pearce, A. J., & O’Loughlin, C. L. (1985). Hillslope stability and land use. *Water Resources Monograph*, 11, 140 pp.
 159. Soeters, R., & Westen, C. J. V. (1996). Slope instability recognition, analysis, and zonation. Washington, D.C. National Research Council.
 160. Stark, C. P. & Guzzetti, F. (2009). Landslide rupture and the probability distribution of mobilized debris volumes. *Journal of Geophysical Research*, 114, F00A02.
 161. Stevenson, P. C. (1977). An empirical method for the evaluation of relative landslide risk. *Engineering Geology*, 16, 69-72.
 162. Stumpf & Kerle (2011) Object-oriented mapping of landslides using Random Forests. *Remote Sensing of Environment*, 115, 10, 2564-2577.
 163. Tao, W.-K., J. J. Shi, P.-L. Lin, J. Chen, S. Lang, M.-Y. Chang, M.-J. Yang, C.-C.

- Wu, C. Peters-Lidard, C.-H. Sui, and B. J.-D. Jou (2011), High Resolution Numerical Simulation of Typhoon Morakot. Part I: The Impact of Microphysics and PBL Parameterizations. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 22(6), 673-696.
164. Tarantino, A., Bosco, G., & Mongiovì, L. (2000). Response of the IC tensiometer with respect to cavitation. *Unsaturated soils for Asia*, 18-19.
 165. Tatizana, C., Ogura, M., Rocha, M., & Cerri, L. E. S. (1987). Analise de correlacao entre chuvas e escorregamentos. *Proceedings 5th Congress Brasiler. Portugal*.
 166. Tsai, T.L. (2008). The influence of rainstorm pattern on shallow landslide. *Environmental Geology*, 53(7), 1563-1569.
 167. Tsai, T.L. and Wang, J.K. (2010). Examination of influences of rainfall patterns on shallow landslides due to dissipation of matric suction. *Environ Earth Sci*, 63, 65-75.
 168. Tuñgol, N. M., & Regalado, M. T. M. (1996). Rainfall, acoustic flow monitor records, and observed lahars of the Sacobia River in 1992. *Fire and mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo*. In C.G. Newhall, R.S. Punongbayan (Eds.), Seattle: University of Washington Press, 1126 pp.
 169. Turkington, T., Ettema, J., van Westen, C. J., Breinl, K. (2014). Empirical atmospheric thresholds for debris flows and flash floods in the Southern French Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1517-1530.
 170. U.S. NAVY (1982). Foundations and earth structures. NAVFAC Design Manual 7.02 Naval Facilities Engineering Command, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C., 60.
 171. Van Den Eeckhaut M., Kerle N., Poesen J., Hervás J. (2012). Object-oriented identification of forested landslides with derivatives of single pulse LiDAR. *Geomorphology*, 173-174, 30-42.
 172. Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., Demoulin, A. (2007). Characteristics of the size distribution of recent and historical landslides in a populated hilly region. *Earth Planet Sci Lett*, 256:588-603.
 173. Varnes, D. J. (1984). Landslide hazard zonation – a review of principles and practice. AEG Commission on Landslides, 63 pp.
 174. Vennari, C., Gariano, S. L., Antronico, L., Brunetti, M. T., Iovine, G., Peruccacci, S., Terranova O., Guzzetti, F. (2014). Rainfall thresholds for shallow landslide occurrence in Calabria, southern Italy. *Natural Hazards and Earth System Science*, 14(2), 317-330.
 175. Vessia, G., Parise, M., Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Rossi, M., Vennari, C., Guzzetti, F. (2014). Automated reconstruction of rainfall events responsible for shallow landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 2399-2408.
 176. Westen, C. J. V. (1993). Training Package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation. ITC-Publication, 15, 245 pp.
 177. Wieczorek, G. F. (1987). Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains. *Debris flow/avalanches: process, recognition, and mitigation*. In J.E. Costa, G.F. Wieczorek (Eds.), *Reviews in Engineering Geology* (7, pp. 93-104). Geological Society of America.
 178. Wieczorek, G. F., & Glade, T. (2005). Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In Jakob M, Hungr O (Eds.), *Debris Flows Hazards and Related Phenomena* (pp. 325–362). Springer: Berlin;
 179. Wieczorek, G. F., Morgan, B. A., & Campbell, R. H. (2000). Debris flow hazards in the Blue Ridge of Central Virginia. *Environ Eng Geosci*, 6, 3-23.

180. Wilson R. C. (1989). Rainstorms, pore pressures, and debris flows: a theoretical framework. *Publications of the Inland Geological Society* (2), 101–117.
181. Wilson, R. C. (1997). “Normalizing rainfall/debris-flow thresholds along U. S. pacific coast for long-term variation in precipitation climate”, *Proceedings of the First International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation*, ed. Chen, C-L, Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers, August 7-9, 1997, San Francisco, pp.32-43.
182. Wilson R. C. (2000). Climatic variations in rainfall thresholds for debris-flows activity. In: *Proceedings 1st Plinius Conference on Mediterranean Storms* (Claps P, Siccardi F, eds). Maratea, 415–424.
183. Wilson, R. C., & Wiczorek, G. F. (1995). Rainfall thresholds for the initiation of debris flow at La Honda. *Environmental Engineering*, 1(1), 11–27.
184. Wilson, R. C., Torikai, J. D., & Ellen, S. D. (1992). Development of rainfall thresholds for debris flows in the Honolulu District (Open-File Rep. 92-521). Oahu: US Geological Survey, 45 pp.
185. Wu, W., & Sidle, R. C. (1995). A Distributed Slope Stability Model for Steep Forested Watersheds. *Water Resources Research*, 31(8), 2097-2110.
186. Xie, M., Esaki, T., & Zhou, G. (2004). GIS-based probabilistic mapping of landslide hazard using a three-dimensional deterministic model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 33, 265-282.
187. Xue, Jianfeng, Gavin, Kenneth. (2008). Effect of rainfall intensity on infiltration into partly saturated slopes. *Geotechnical and Geological Engineering*, 26(2), 199-209.
188. Yin, K. L., & Yan, T. Z. (1988). Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. *Proceedings of the International Symposium on Landslides*, 5, 1269-1272.
189. Zêzere, J. L., & Rodrigues, M. L. (2002). Rainfall thresholds for landsliding in Lisbon Area. *Landslides*, 333-338.
190. Zêzere, J. L., Trigo, R. M., & Trigo, I. F. (2005). Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic Oscillation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 331-344.
191. Zhou, W., Tang, C., Van Asch, T. W., Zhou, C. (2014). Rainfall-triggering response patterns of post-seismic debris flows in the Wenchuan earthquake area. *Natural Hazards*, 70(2), 1417-1435.
192. Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O., & G. Hunziker. (1997). *Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz*. (NFP 31. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH, pp. 161). Schlussbericht Nationalen Forschungs Programmes.
193. 內政部建築研究所 (2007)。綠建築解說與評估手冊 2007 年更新版。內政部。
194. 日本國土交通省河川局防砂部氣象廳 (2005)。日本政府與各縣市臨界降雨量線訂定講義。日本：國土交通省。
195. 王如意、李如晃 (1993)。颱風逐時區域平均雨量最佳估計之研究。農工學報，第39卷，第3期，第13-30頁。
196. 王淑慧 (2000)。類神經網路應用於道路邊坡落石坍方預測之可行性研究-以阿里山公路為例。國立臺北科技大學材料及資源工程研究所碩士論文，臺北市。
197. 王智仁(2001)。以現場調查方式分析影響公路岩石邊坡穩定性之工程地質因子

- 以南橫公路梅山至埡口段為例。國立成功大學資源工程研究所碩士論文，臺南市。
198. 王瀚衛 (2004)。降雨及入滲對邊坡穩定之效應。國立中興大學水土保持學系碩士論文，臺中市。
 199. 王鑫 (1981)。地景法邊坡穩定性的分析研究。工程環境會刊，第2期，第73-91頁。
 200. 王鑫，「地形學」，1998，聯經出版事業公司。
 201. 古月萍 (2000)。薄層砂岩與薄層泥岩互層中劈理形成機制與褶皺作用過程的關係：以雪山山脈十八重溪層中一個有劈理發育的中型褶皺為例。國立台灣大學地質學系研究所碩士論文，台北市。
 202. 田坤國 (2001)。由降雨資料預測阿里山公路邊坡破壞之研究。2001年公共工程學術研討會論文集，第13-20頁。
 203. 石棟鑫 (2011)。臺灣地區颱風雨降雨型態之分析研究，中央大學土木工程研究所碩士論文，桃園縣。
 204. 交通部公路總局 (2011)。交通部公路總局封橋封路標準作業程序〈SOP〉，交通部公路總局。
 205. 交通部公路總局 (2013)。交通部公路總局防災特報(網址：<http://www.thb.gov.tw/TF1/Def01.aspx>)，交通部公路總局。
 206. 朱聖心 (2001)。應用地理資訊系統製作地震及豪雨所引致之山崩危險圖。國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，臺北市。
 207. 江永哲、林啟源 (1991)。土石流之發生雨量特性分析。中華水土保持學報，第22卷，第2期，第21-37頁。
 208. 池谷浩 (1980)。土石流災害調查法，山海堂出版社。
 209. 行政院農業委員會水土保持局 (1995)。臺灣坡地土壤圖及調查報告，行政院農委會水土保持局。
 210. 行政院農業委員會水土保持局 (2013)。土石流防災資訊網，行政院農業委員會水土保持局。
 211. 何春蓀 (1975)。台灣地質概論-台灣地質圖說明書。經濟部中央地質調查所。
 212. 余子鳴 (2010)。不飽和崩積土壤之邊坡監測技術自動化與滲透係數量測之研究。國立台灣科技大學營建工程系，碩士論文。
 213. 吳少明 (1993)。環境地質調查與分析應用在都市坡地開發適宜性規劃-以甲仙地區為例。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，臺南市。
 214. 吳東嶽 (2005)。軟岩邊坡漸進式破壞之機制探討與數值模擬。國立交通大學土木工程學系碩士論文，新竹市。
 215. 吳俊鎰 (2004)。降雨引發邊坡崩塌潛勢評估模式之建構。國立中興大學水土保持學系博士論文，台中市。
 216. 吳家郡 (2006)。降雨誘發山崩之潛感分析初探。國立暨南國際大學土木工程學系，碩士論文。
 217. 吳振威 (2003)。公路邊坡保護工法之選擇模式研究—以南二高白河以南路段為例。國立成功大學資源工程研究所碩士論文，臺南市。
 218. 吳積善等人 (1990)，「雲南蔣家溝土石流之觀測研究」，中國大陸科學出版社。
 219. 李亦賢 (2010)。HYDRUS-1D模式應用於入滲試驗推估非飽和土壤特性參數。國立中央大學土木工程學系，碩士論文。

220. 李明熹 (2006)。土石流發生降雨警戒分析及其應用。國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文，臺南市。
221. 李欣輯 (2006)。土石流直接災損評估之研究。國立臺灣大學土木工程學系博士論文，臺北市。
222. 李德河、林宏明、楊沂恩、謝松林 (2003)。南部軟岩邊坡工程力學之探討。泥岩自然生態工法研討會，第127-146頁。
223. 李錫堤、董家鈞、林銘郎 (2009)。山崩及土石流災害分析的方法學回顧與展望。台灣公共工程學刊，第1卷，第1期，第1-29頁。
224. 李馨慈 (2004)。應用累積位移法於地震引起之山崩潛勢分析。國立成功大學資源工程學系，臺南市。
225. 周晏勤 (2000)。以遙感探測方法探討南橫公路邊坡破壞的重要因子。國立成功大學資源工程研究所，臺南市。
226. 周稟珊 (2006)。應用歷年航空照片判釋林口臺地的崩壞特性。國立臺灣師範大學地理學系碩士論文，台北市。
227. 孟河清 (1991)。「泥石流之發生和降雨」，第二屆全國泥石流學術會議論文集，第143-148頁。
228. 林中興 (1994)。山坡穩定性評估之因子分析及地理資訊系統之應用。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，桃園縣。
229. 林伯勳、許振崑、冀樹勇 (2011)。集水區土壤厚度經驗式應用分析。中興工程，第111期，第35-45頁。
230. 林育德 (2009)。規則節理面夾泥對剪力行為之影響。國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文，基隆市。
231. 林昆賢 (2001)。Gps/Gis應用於南橫公路邊坡地工環境災害調查分析與資料庫系統之建立研究。國立屏東科技大學土木工程研究所碩士論文，屏東縣。
232. 林俊全 (1994)。礫岩邊坡沖蝕觀測之研究以台灣中西部火炎山地區為例。國立台灣大學地理學系地理學報，第17期，第47-64頁。
233. 林俊全 (2009)。火炎山沖積扇的侵蝕與堆積變遷特性。臺灣林業期刊，98年4月號，第11-18頁。
234. 林俊全、鄭遠昌、任家弘 (2007)。苗栗三義火炎山地區的沖蝕特性之研究。中華水土保持學報，第38卷，第3期，第275-285頁。
235. 林俐玲、蔡義誌、王永琦 (2007)。室內模擬降雨觀測土壤初始含水量對入滲與逕流之影響。水土保持學報，39(4)：453-466。
236. 林信亨、林美聆 (2002)。地理資訊系統及類神經網路應用於土石流危險溪流危險度判定。地工技術，第90期，第73-84頁。
237. 林彥享 (2003)。以類神經網路進行地震誘發山崩之潛感分析。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，桃園縣。
238. 林炳森 (1986)。林口台地紅土礫石層之力學特性研究。行政院國家科學委員會防災科技研究報告75-60號。
239. 林書毅 (1999)。區域性山坡穩定評估方法探討—以林口臺地為例。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，桃園縣。
240. 林聖琪、柯明淳、陳韻如、陳聯光、周憲德 (2009)崩塌及土石流預警精進研究。國家災害防救科技中心編號 NCDR 97-T18 技術報告。
241. 邱南毅 (2004)。降雨條件影響地表入滲之研究。國立成功大學地球科學研究

- 所碩士論文，台南市。
242. 長野縣建設部砂防課 (2010)。長野縣の砂防，長野縣建設部砂防課。
 243. 青木佑久 (1980)。過去に土石流災害等の災害なまらした降雨特徴。土木技術資料，Vol.22，No.2，pp.71-76。
 244. 冒海軍、陽春和、劉江、王學潮 (2006)。板岩蠕變特性試驗研究與模擬分析。岩石力學與工程學報，第25卷，第6期。
 245. 姚善文 (2001)。「土石流發生之水文特性探討」，中央大學土木工程系碩士論文。
 246. 拱祥生 (1999)。降雨對不飽和土壤邊坡穩定性之影響研究。國立台灣科技大學營建工程系，碩士論文。
 247. 柯明淳、林聖琪 (2011)。由崩塌地文敏感分級探討山區道路災害警戒應用。台灣公路工程，第37卷，第9期，第20-38頁。
 248. 洪如江 (1978)。複合土工程性質之初步研究。台大工程學刊，第23期，第11-12頁。
 249. 洪凱政 (2009)。應用多光譜影像多種特徵偵測崩塌地之研究。國立成功大學測量及空間資訊學系，碩士論文。
 250. 范正成、吳明峰 (2001)。「一級溪流土石流危險因子及其與臨界降雨線之關係」，中華水土保持學報，第32卷，第3期，第227-234頁。
 251. 范正成、吳明峰、彭光宗 (1999)。豐丘土石流發生降雨臨界線之研究。土工技術，第74卷，第39-46頁。
 252. 范正成、姚正松 (1997)。「台灣東部地區土石流發生的水文及地文條件應用於土石流預警之初步研究」，中華民國第一屆土石流研討會，第125-139頁。
 253. 范正成、劉哲欣、吳明峰 (2002)。南投地區土石流發生臨界降雨線之設定及其於集集大地震後之修正。中華水土保持學報，第33卷，第1期，第31-38頁。
 254. 孫建平、劉青泉、李家春、安翼 (2008)。降雨入滲對深層滑坡穩定性影響研究。中國科學 G輯:物理學 力學 天文學，第945-954頁。
 255. 高士傑 (2001)。區域性設計雨型建立方法之研究。國立台灣大學土木工程學系，碩士論文。
 256. 張石角 (1980)。都市山坡地利用潛力調查與製圖—方法論與實例。中華水土保持學報，第11期，第13-24頁。
 257. 張伯宇 (2003)。頭嵙山礫岩侵蝕形貌之研究—以臺灣中部三處個案為例。國立臺灣大學地理環境資源學研究所博士論文，台北市。
 258. 張伯宇 (2006)。以集水面積與坡降關係初探清水溪岸礫岩蝕谷之發育作用。臺中教育大學學報：數理科技類，第20卷，第2期，第1-27頁。
 259. 張芳銘 (2005)。應用規則網格演算於土石遷移模擬之研究—以溪頭為例。國立臺灣大學土木工程學研究所，臺北市。
 260. 梁星、程方、張芬娟 (2010)。降雨入滲對岩質高邊坡穩定性的影響分析。露天採礦技術期刊，第4期，第37-39頁。
 261. 莊永忠，廖學誠，吳治達，詹進發，黃正良 (2010)。不同降雨入滲情境對蓮華池集水區水文模擬之影響。地理學報，第59期：39-66。
 262. 許琦 (1989)。模糊集理論在山崩潛感性分析之應用。國立成功大學土木工程研究所，臺南市。
 263. 許煜煌 (2002)。以不安定指數法進行地震引致坡地破壞模式分析。國立臺灣

- 大學土木工程學研究所碩士論文，臺北市。
264. 陳文山 (2002)。台灣的岩石。岩盤工程研討會論文集，第17-23頁。
 265. 陳永寬、賴晃宇 (1994)。數值地形模型應用於潛在崩塌地之預測。臺大實驗林研究報告，第8號，第47-64頁。
 266. 陳志豪 (2002)。變質岩公路邊坡之破壞潛勢分析-以南橫公路埡口至新武段為例。國立成功大學資源工程研究所碩士論文，臺南市。
 267. 陳志豪 (2009)。集集地震後荖濃河流域崩塌發生特性分析。國立成功大學地球科學研究所，碩士論文。
 268. 陳盈靜 (2014)。台灣山區降雨量與誘發山崩率之關係及集集大地震後山坡復育情形。國立中央大學應用地質研究所，碩士論文。
 269. 陳振華、潘國樑 (1985)。臺北市山坡地住宅區環境地質調查研究。工研院能源與礦業研究所報告，229號，第385頁。
 270. 陳晉琪 (2000)。土石流發生條件及發生機率之研究。國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文，臺南市。
 271. 陳凱榮 (2000)。中橫公路山崩潛感分級研究-以東勢一德基為例。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，桃園縣。
 272. 陳筑佑 (2005)。臺地邊坡復發式邊坡滑動之水文地質因素探討-以湖口臺地南緣地滑地為例。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，桃園縣。
 273. 陳進發 (2011)。防救災之節奏。臺灣公路工程，第37卷，第12期，第2-17頁。
 274. 陳榮河 (1999)。土石流之發生機制。土工技術，第74期，第21-28頁。
 275. 陳漢平 (2003)。降雨入滲引致邊坡破壞機制之探討-以土石流源頭為對象。國立台灣大學土木工程學系，碩士論文。
 276. 陳憶璇 (2002)。溪頭地區山崩潛感圖製作研究。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，臺北市。
 277. 陳樹群、吳俊鎰、王雁平 (2010)。地震或降雨誘發崩塌之崩塌特性探討。中華水土保持學報，第41卷，第2期，第147-158頁。
 278. 陳韻如、林聖琪、王俞婷、李宗融 (2012)。山區道路崩塌災害潛勢評估。臺灣公路工程，第37卷，第1期，第5-24頁。
 279. 陸源忠 (1995)。土石流發生臨界降雨線設定方法之研究。國立成功大學水利及海洋工程系碩士論文，臺南市。
 280. 游中榮 (1995)。應用地理資訊系統於北橫地區山崩潛感之研究。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，桃園縣。
 281. 游繁結、段錦浩、陳樹群、林昭遠、連惠邦、張曉康 (1996)。南投縣陳有蘭溪沿岸賀伯颱風災害初步調查報告。國立中興大學水土保持學系，臺中市。
 282. 馮正一、梁家齊、吳宗江 (2006)。邊坡變遷三維測量與穩定性分析。中華水土保持學報，第38卷(第2期)，第117-128頁。
 283. 黃士昌 (1998)。高雄旗山與楠梓地區公路邊坡之特性調查與崩滑破壞潛感分析。國立成功大學土木工程研究所碩士論文，臺南市。
 284. 黃春銘 (2005)。使用模糊類神經網路進行山崩潛感分析-以臺灣中部國姓地區為例。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，桃園縣。
 285. 黃海龍 (2006)。考慮降雨入滲條件下泥岩邊坡穩定性研究。廣西大學採礦工程學系碩士論文，中華人民共和國。
 286. 黃凱君 (2009)。集水區潛在崩塌區位劃定之研究。國立中興大學水土保持學

- 系，碩士論文。
287. 楊介碩 (1989)。高雄壽山地區岩石力學特性調查及坡面滑動觀測。國立成功大學土木工程研究所碩士論文，臺南市。
 288. 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，臺南市。
 289. 經濟部中央地質調查所 (1982)。臺灣地區陸上砂石資源調查與研究報告。台北市。
 290. 經濟部中央地質調查所 (2003)。山崩調查與危險度評估-山崩潛感分析之研究 (1/3)，經濟部中央地質調查所。
 291. 經濟部中央地質調查所 (2004)。山崩調查與危險度評估-山崩潛感分析之研究 (2/3)，經濟部中央地質調查所。
 292. 經濟部中央地質調查所 (2005)。山崩調查與危險度評估-山崩潛感分析之研究 (3/3)，經濟部中央地質調查所。
 293. 經濟部中央地質調查所 (2006)。都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫—坡地岩體工程特性調查研究，經濟部中央地質調查所。
 294. 經濟部中央地質調查所 (2007)。地質敏感區災害潛勢評估與監測—都會區周緣坡地山崩潛勢評估(1/4)，經濟部中央地質調查所。
 295. 經濟部中央地質調查所 (2008)。地質敏感區災害潛勢評估與監測—都會區周緣坡地山崩潛勢評估(2/4)，經濟部中央地質調查所。
 296. 經濟部中央地質調查所 (2008)。都會區及周緣坡地環境地質資料庫圖集說明書，經濟部中央地質調查所。
 297. 經濟部中央地質調查所 (2009)。地質敏感區災害潛勢評估與監測—都會區周緣坡地山崩潛勢評估(3/4)，經濟部中央地質調查所。
 298. 經濟部中央地質調查所 (2010)。山地聚落及周圍坡地地質環境調查與敏感區劃設(4/4)，經濟部中央地質調查所。
 299. 經濟部中央地質調查所 (2010)。地質敏感區災害潛勢評估與監測—都會區周緣坡地山崩潛勢評估(4/4)，經濟部中央地質調查所。
 300. 詹錢登、李明熹 (2004)。土石流發生降雨警戒模式。中華水土保持學報，第 35 卷，第 3 期，第 273-283 頁。
 301. 詹錢登、李明熹、黃婷卉 (2003)。土石流發生降雨警戒值模式之研究。九十一年度防救災專案計畫成果研討會，第 8-1~8-20 頁。
 302. 詹錢登、黃俊耀、李明熹 (2001)。土石流發生臨界降雨線之研究。第十二屆水利工程研討會論文集，第 J22-J29 頁。
 303. 廖正傑 (2004)。南部軟岩於環形剪力試驗及力學特性之研究。國立成功大學土木工程研究所碩士論文，台南市。
 304. 廖汶函 (2009)。降雨誘發山崩潛勢之分析研究。國立成功大學資源工程學研究所碩士論文，臺南市。
 305. 廖啟雯 (2004)。機率式地震誘發山崩危害度分析—以國姓地區為例。國立中央大學地球物理研究所，桃園縣。
 306. 網干壽夫 (1972)。集中豪雨とっサ土斜面の崩壊。施工技術，Vol.5，No.11，pp.45。
 307. 褚炳麟 (1989)。台地礫石堆積層與頭嵙山礫石層之現地直接剪力試驗研究。第三屆大地工程研討會，第 695-706 頁。

308. 劉承翰 (2009)。大甲溪流域上游集水區極端降雨事件之雨型分析與水文模擬。國立中央大學水文與海洋科學研究所，碩士論文。
309. 劉進金 (1987)。山崩之遙測影像自動分析。遙感探測，第八期，第60-90頁。
310. 劉進金、翁勳政、黃金鴻、楊明宗 (2001)。豪雨型崩塌地之遙測影像分析。二十一世紀土木工程技術與管理研討會論文集，第C23-C33 頁。
311. 潘安士、張光宗、林錫宏、錢滄海 (2011)。以有限元素法分析板岩邊坡潛移行為。水土保持學報，第43卷，第1期，第35-48頁。
312. 蔡和倫 (2011)。邊坡入滲與土體位移行為研究之大型試驗。國立屏東科技大學水土保持系，碩士論文。
313. 鄭元振 (1992)。地理資訊系統在區域邊坡穩定分析之應用—中橫公路天祥至太魯閣段。國立成功大學礦冶及材料科學研究所碩士論文，臺南。
314. 鄭傑銘 (2003)。應用GIS進行豪雨及地震引致山崩之潛感性分析。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，臺北市。
315. 謝平誠，王瀚衛 (2004)。降雨滲流對邊坡穩定的影響。水土保持學報 36(2)：135-142。
316. 謝正倫(1993)。土石流預警系統之研究(ii)。國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告第139 號。
317. 謝正倫、陸源忠、游保杉、陳禮仁 (1995)。土石流發生臨界降雨線設定方法之研究。中華水土保持學報，第26 卷，第3 期，第167-172 頁。
318. 謝玉興 (2003)。南部橫貫公路甲仙一天池公路邊坡崩壞與降雨量關係研究。國立成功大學土木工程研究所碩士論文，臺南市。
319. 謝豐隆 (2000)。落石邊坡危險度與危害度分級與預報。國立交通大學土木工程學系碩士論文，新竹市。
320. 謝獻仁 (1998)。類神經網路於落石坡危險度評估。國立交通大學土木工程研究所碩士論文，新竹市。
321. 鍾侑達、郭峻菖、陳昶憲 (2009)。台灣區域降雨趨勢分析。農業工程學報，第55 卷，第4 期，第1-18 頁。
322. 簡李濱 (1992)。應用地理資訊系統建立坡地安定評估之計量方法。國立中興大學土木工程研究所碩士論文，臺中市。
323. 藍世欽 (2000)。工程地質因子對道路邊坡穩定性之影響—以南橫公路甲仙至梅山段。國立成功大學資源工程研究所碩士論文，臺南市。
324. 瀨尾克美、橫部幸裕 (1978)。土砂害降雨量之研究。新砂防，第108 期，第14-18 頁。
325. 譚萬沛 (1991)。降雨泥石流的臨界雨量研究。第二屆全國泥石流學術會議論文集，第136-142 頁。
326. 蘇冠憲 (2007)。砂泥岩互層邊坡滑動機制及保護對策探討—以縣道174 線公路50k+650 為例。立德管理學院資源環境學系碩士論文，台南市。
327. 蘇苗彬 (1998)。集水區坡地安定評估之計量分析方法。中華水土保持學報，第29 卷，第2 期，第105-114 頁。