

NCDR 103-T28

103 年大規模崩塌災害防治技術與 防災地圖建置



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 104 年 04 月

103 年大規模崩塌災害防治技術與 防災地圖建置

張志新、劉哲欣、林聖琪、吳亭燁、林忠義、劉嘉騏、鳳雷
蕭玲鳳、廖泰杉、陳銘福、賴君怡、陳佑杰、黃泰綸、陳怡如



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

中文摘要

本整合計畫共分為三個部分，分別為儀器科技研究中心之「崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展」、台灣颱風洪水研究中心之「山區定量降雨短時預報技術與預報系統」、以及國家災害防救科技中心之「大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬」的研究課題。

本年度的技術研發主要包括三個部分，監測、降雨預測、以及風險地圖的產製等。首先，監測技術的研發在於提升資料傳輸、資料分析與取得等，成果包括坡地多點感測器模組與通信架構系統可行性技術發展、坡地崩塌區域之快速取像評估系統開發、以及坡地崩塌近景觀測系統之演算法分析與整合等。降雨預測則是提供更高精度及更短預測區間之降雨資料，成果包括雷達資料同化研究成果與改進，以及極短時定量降雨預報作業化版本等。最後，防災地圖的產製，綜合災害歷史紀錄蒐整與分析，並以示範區域進行大規模崩塌潛勢區防災地圖製作，和災害防治推動策略研擬等。

關鍵詞：儀器、近景、雷達資料同化、定量降雨預報、大規模崩塌、
防災地圖。

ABSTRACT

This research includes three parts, which are 1) Development of Assessment Instrument and Early Warning System of Collapse Disaster prevention, by Instrument Technology Research Center, ITRC, 2) very short range quantitative precipitation forecast technique and forecast system for the mountain area by Taiwan Typhoon and Flood Research Institute, TTFRI, 3) Promotion on landslide disaster prevention and risk map technology, by National Science and Technology Center for Disaster Reduction, NCDR.

The important achievements in this year are key references for large-scale landslide disaster prevention work, including technology of monitoring, rainfall forecasting, and risk map production. First, the monitoring technology provides improvements on data communication and image acquirement and analysis, such as evaluation of slope multi-sensor modules and communication system, fast imager identification system in slope collapse area, and real-time close-range image monitor for potential slope collapse region. The rainfall forecasting technology mainly increases resolution and period of forecasting, including radar data assimilation operational version, and short-term quantitative precipitation forecast. Finally, the risk map production technology includes database for large-scale landslide disasters, methodology for landslide disaster affective area estimation, and the operation framework of large-scale landslide disaster prevention.

Keywords : instrument, close-range image, radar data assimilation,

quantitative precipitation forecast, large-scale landslide, risk map

目錄

第一章 前言.....	1
第二章 崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展.....	3
2.1 坡地多點感測器模組與通信架構系統可行性技術發展.....	3
2.1.1 節點系統架構.....	6
2.1.2 實作與結論.....	12
2.2 坡地崩塌區域之快速取像評估系統開發.....	16
2.3 坡地崩塌近景觀測系統之演算法分析與整合.....	24
2.3.1 表面模型重建流程與方法.....	26
2.3.2 地形變遷分析結果.....	33
2.3.3 近景觀測系統故障後更新維修與整合.....	35
第三章 山區定量降雨短時預報技術與系統.....	39
3.1 雷達資料同化研究成果與改進.....	39
3.1.1 系集實驗成果比較.....	39
3.1.2 雷達資料同化技術與策略的改進.....	39
3.2 極短時定量降雨預報作業化版本.....	44
3.2.1 修正雷達資料同化策略.....	44
第四章 大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬.....	48
4.1 災害歷史紀錄蒐整與分析.....	49

4.1.1	建立歷史重大崩塌災害蒐整機制	49
4.1.2	大規模崩塌基本資料蒐集	53
4.2	大規模崩塌潛勢區防災地圖製作之示範	56
4.2.1	災害防救相關地圖種類	56
4.2.2	防災地圖圖元種類	60
4.2.3	地圖使用者	61
4.2.4	資料來源與展示比例尺	62
4.2.5	防災地圖製作流程	65
4.2.6	案例示範區操作	70
4.2.7	結論	89
4.3	大規模崩塌災害防治推動策略研擬	90
4.3.1	大規模崩塌災害論壇暨研發成果研討會	95
4.3.2	大規模崩塌災害防治行動綱領	98
4.3.3	103 年莫拉克重建區潛在大規模崩塌地區訪視	101
第五章 結論與建議		110
5.1	崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展	110
5.2	山區定量降雨短時預報技術與系統	110
5.3	大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬	111

圖目錄

圖 1.1 應科方案「大規模崩塌災害防治」研發技術里程碑圖	2
圖 2.1 節點系統架構圖	5
圖 2.2 節點系統架構圖	7
圖 2.3 使用者介面	11
圖 2.4 實驗實體	13
圖 2.5 實驗一的實驗環境示意圖	13
圖 2.6 資料接收站接收的封包成功率與總接收筆數分析圖	14
圖 2.7 各節點網路連結更換次數與傳輸成功率	15
圖 2.8 溫度與濕度變化資料	16
圖 2.9 第一代快速取像系統	17
圖 2.10 第一代快速取像系統重落地損毀	18
圖 2.11 第一代與第二代取像系統大小比較	19
圖 2.12 近紅外改裝	21
圖 2.13 光譜圖.....	22
圖 2.14 自穩式兩軸穩定雲台	23
圖 2.15 第二代 4 波段快速取像系統_任務執行與拍攝成果	23
圖 2.16 小林國小對岸之大範圍崩塌	26
圖 2.17 表面模型重建流程圖	27

圖 2.18 相機率定獲取多交會幾何影像示意圖	28
圖 2.19 原始影像與雲霧去除影像之對照	29
圖 2.20 以 SURF 法進行立體對影像特徵匹配之成果	29
圖 2.21 核影像轉換示意圖	31
圖 2.22 原始與核影像立體對	31
圖 2.23 原始視差與空間內差後之視差影像	32
圖 2.24 三維視圖之深度影像	33
圖 2.25 上視圖	33
圖 2.26 前後兩期之核影像立體對	34
圖 2.27 前後兩期之視差圖	34
圖 2.28 崩塌地區地形變化	35
圖 2.29 新視角立體像對	36
圖 2.30 大範圍崩塌之三維模型	37
圖 2.31 三維模型上視圖	37
圖 2.32 近景觀測系統與嵌入式系統整合	38
圖 3.1 TAPEX 實驗平台 2013 年有無雷達資料同化結果之比較	39
圖 3.2 模式解析度前後比較示意圖	40
圖 3.3 凡那比颱風個案，在不同模式解析度下同化雷達回波後之分析 場回波圖及預報回波圖	41

圖 3.4 凡那比颱風個案，在不同模式解析度下降雨預報結果	41
圖 3.5 使用不同背景場誤差變異矩陣之同化分析增量比較圖	42
圖 3.6 不同快速循環同化策略測試方案示意圖	43
圖 3.7 不同快速循環同化策略同化雷達資料後之時雨量預報圖	44
圖 3.8 修正之雷達資料同化策略方案設計示意圖	45
圖 3.9 小林村區域與模式網格相關位置示意圖	45
圖 3.10 蘇花公路流域集水區與模式校驗區域示意圖	46
圖 3.11 所有個案有無雷達資料同化之降雨預報，平均模式預報得分 比較圖.....	47
圖 4.1 各中心整合與分工架構	49
圖 4.2 NCDR 坡地災害資料災點位置	50
圖 4.3 國科會整理臺灣早期(1967~1992) 251 處重大崩塌點位	50
圖 4.4 水保局重大土石災情彙整格式	52
圖 4.5 地調所山崩災害歷史資料庫	53
圖 4.6 地調所非莫拉克受災地區潛在大規模崩塌地區圖資	54
圖 4.7 示範區位置圖	56
圖 4.8 崩塌災害風險地圖圖元種類	61
圖 4.9 水道背斜軸於不同資料來源之位置圖	64
圖 4.10 大規模崩塌災害潛勢區之防災地圖製作流程圖	67

圖 4.11 大武地區大規模滑動塊體範圍（緊鄰聚落上方之黑色線範圍內）	69
圖 4.12 邊坡穩定分析結果與警戒區劃設結果	72
圖 4.13 現地調查與徵兆位置圖	74
圖 4.14 地表徵兆與 NGRB 影像比較圖	75
圖 4.15 文峰聚落現勘調查後地形地貌圖劃設結果	76
圖 4.16 文峰聚落防災地圖	78
圖 4.18 現地調查與徵兆位置圖	81
圖 4.19 大武聚落現勘調查後地形地貌圖劃設結果	82
圖 4.20 大武聚落防災地圖	84
圖 4.21 警戒區劃設結果	85
圖 4.22 現地調查與徵兆位置圖	86
圖 4.23 小林二村聚落現勘調查後地形地貌圖劃設結果	87
圖 4.24 小林聚落防災地圖	88
圖 4.25 大規模崩塌災害防治分析尺度(國家災害防救科技中心,2012)	90
圖 4.26 大規模崩塌災害防治分析尺度示意圖	91
照 4.1 大規模崩塌災害論壇會場	97
照 4.2 各單位研發成果海報展示	97
照 4.3 上、下午場次的主持人與論述者	97

照 4.4 會中來賓發言提問	97
圖 4.27 行動綱領三大面向及九大策略示意圖	98
圖 4.28 現階段與下階段（中、長期）重點工作流程	100

表目錄

表 2.1 實驗平台軟硬體對照表	13
表 2.2 鏡頭規格比較表	20
表 2.3 紅外線濾鏡規格表	22
表 2.4 四波段快速取像系統比較表	24
表 2.5 更新後之相機內方位參數	36
表 4.1 臺灣早期 251 處重大崩塌災害統計	51
表 4.2 年度各部會在大規模崩塌領域具體成果產出（災防科技中心彙整）	55
表 4.3 災害潛勢資料彙整表	65
表 4.4 崩塌影響（警戒）區域經驗法則畫設比較表	68
表 4.5 經驗法則警戒區範圍彙整表	72
表 4.6 大武聚落警戒區畫設參數彙整表	79
表 4.7 小林二村聚落警戒區畫設參數彙整表	85
表 4.8 大規模崩塌災害防治工作推動歷程重要紀實	91
表 4.9 歷次專家座談會重要結論	93
表 4.10 大規模崩塌災害論壇暨研發成果研討會議程	96
表 4.11 大規模崩塌災害防治行動綱領架構表	99
表 4.12 訪視梯次時間及地點	102

表 4.13 臺東縣大武鄉大鳥村「大鳥聚落」現地訪視說明表	103
表 4.14 臺東縣卑南鄉東興村「東園三街住戶」現地訪視說明表 ..	104
表 4.15 臺東縣鹿野鄉「瑞豐村住戶」現地訪視說明表	105
表 4.16 南投縣仁愛鄉大同村「定遠新村聚落」現地訪視說明表 ..	106
表 4.17 南投縣仁愛鄉大同村「忠孝新村聚落」現地訪視說明表 ..	107
表 4.18 南投縣仁愛鄉大同村「忠孝新村聚落」現地訪視說明表 ..	108
表 4.19 南投縣廬山溫泉北坡監測系統現地訪視說明表	109

第一章 前言

本期（100 至 103 年）行政院災害防救應用科技方案（以下簡稱應科方案）所擬定之「大規模崩塌災害防治科技」研發技術里程，涵蓋了發展技術、推動時程，以及工作目標等三大部分（如圖 1.1）。在發展技術內容的第一階段，是以基礎資料調查為主，工作內容包含了，（1）歷史災害、潛勢區與保全對象等基礎資料調查，以及（2）建置潛勢資料等兩個項目。工作目標則以公開災害潛勢，避免災害重複發生，或不當之土地利用為主。第二階段為警戒模式開發，工作內容包含了，（1）潛勢評估技術，與（2）降雨引致崩塌預警技術等兩個項目。工作目標為建立崩塌潛勢評估與警戒技術，以及提昇災害防治效能。第三階段為災害管理操作，工作內容包含了，（1）建立大規模崩塌管理作業機制，（2）潛勢區域監測技術研發，以及（3）防災地圖製作技術與推廣等三個項目。工作目標為建立防災地圖，以及推動社區自主防災。透過三個階段整合之技術研發成果，期望能提供未來國內面對大規模崩塌災害防減災之工作參考。

本計畫遵循著應科方案「目標與整體架構」之規劃內容，將三個研究中心之研究課題予以整合，進行技術之研發。共包含了，（1）國家實驗研究院儀器科技研究中心之「崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展」研究課題，（2）國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心之「山區定量降雨短時預報技術與預報系統」研究課題，以及（3）行政法人國家災害防救科技中心之「大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬」研究課題。

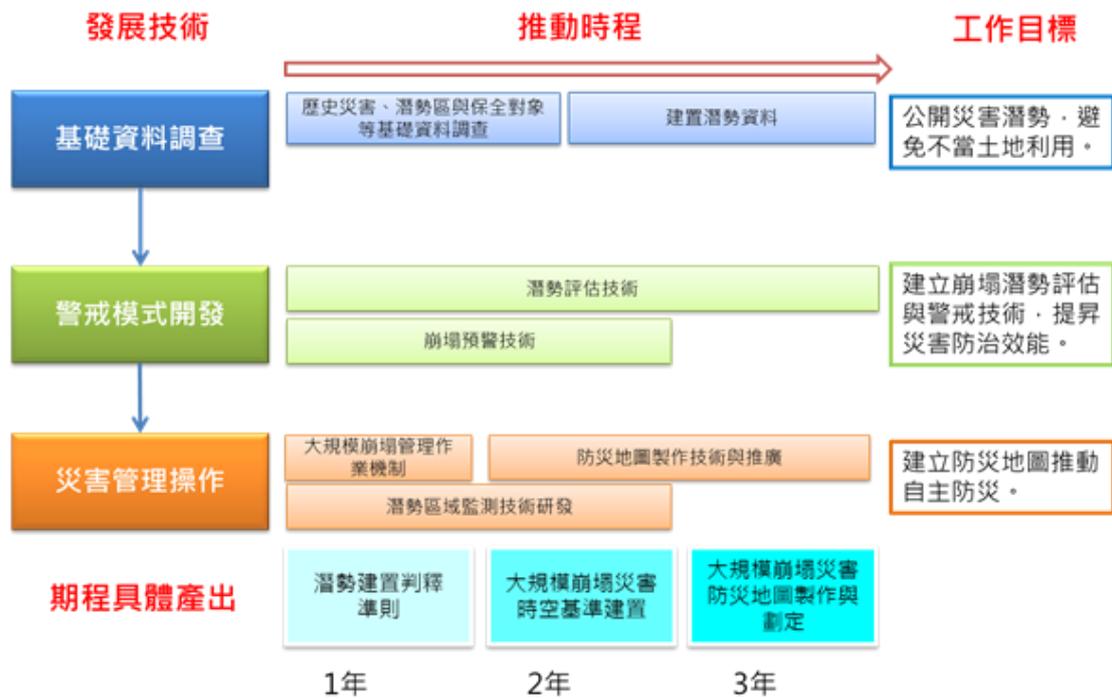


圖 1.1 應科方案「大規模崩塌災害防治」研發技術里程碑圖

本年度計畫主要是以崩塌災害目錄，建置大規模崩塌的資料庫，以及快速取向判釋系統，獲取即時資料等初步工作，來建置各項基礎資料。另一方面，將即時預報技術和預報系統的山區降雨資料、整合之監測技術、境況模擬，以及災因選擇等各項技術之研發成果彙整後，希望可以提供作為未來發展大規模崩塌災害預警，以及防災地圖繪製時的重要參考。本報告之第二章至四章，分別為儀科中心、颱洪中心、以及災防中心之年度成果彙整，第五章則為三個研究課題之結論與建議，最後則為相關參考文獻。

第二章 崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展

由於科技日新月異，人類的生活品質逐漸提高，對於天然災害防治的觀念日益加深，雖然部分天然災害的發生及結束時間可以由氣象報告來預估，但其損害程度常常是無法掌握的，如風災、水災，土石流，其影響範圍通常廣泛，災況變動速率大，災害對環境及人民生命財產的影響量很難及時獲得。此計畫目的，儀科中心整合國內相關技術與資源，針對特用型之災害預警儀器監測系統趨勢，研發坡地潛勢崩塌災害評估儀器與坡地崩塌即時監測影像觀測技術，降低坡地防災之成本及提高其時效性。

2.1 坡地多點感測器模組與通信架構系統可行性技術發展

台灣地處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊交界處地震頻繁發生，且夏季有西南季風、冬天有東北季風、春末至秋初更有梅雨颱風肆虐，這一切使得台灣的土質更為的鬆軟不穩定，在與湍急的河流交互作用下土石流、山崩等崩塌災害不斷的發生奪去眾多的生命，無奈災害的發生的源頭往往是地處偏遠且公路、電力、水力、通訊等基礎建設難以到達的地點，造成災難預警系統設置受限無法即時監測災難源頭，除此之外目前災難預警系統還面臨的幾個重大的問題：維護成本高昂、佈建系統困難、監測設備昂貴無法做大範圍監測，為此我們提出以無線感測網路為核心的災難預警系統來解決傳統災難系統所無法解決的問題。

為了清楚的描述此技術網路節點設計，將節點軟硬體系統架構整理如圖 2.1 所述。在圖 2.1 中媒體存取控制層(MAC Layer)至網路層(Network Layer)，主要控制如何將資料發送到無線射頻(RF)以及資料

如何從路由到目標節點或基站。現今有提出很多 MAC (Ye et al., 2002, Dam and Langendoen, 2003, Buettner et al., 2006, Liu et al., 2007, Rhee et al., 2008) 和路由 (Al-Karaki and Kamal, 2004) 的設計，在文獻中許多方面表現優異，但其設計仍尚缺乏實際和長期的測試，以確保在實際環境中的可靠性。此外媒體存取控制層至網路層的效能容易受到底層硬體特性的影響。因此，此技術發展選擇另行設計一種軟體，直接整合媒體存取控制層至應用層 (Application Layer)，此種設計可免除四層中四種設計上下相容上的疑慮並使得設計更為一致，易於找出各種軟體造成的問題。

而在泛用室外環境監測的無線感測網路平台設計中，泛用設計需具有低硬體成本、低耗能與高度目的設計自由，鑑於以上要點採用挪威 Nordic 半導體公司推出的 2.4GHz 無線射頻收發芯片與美國 ATMEL 半導體公司生產搭載 ATMEGA328 微處理器的 Arduino Uno 開發板來做為泛用硬體平台。選用兩者結合而成具有多跳網路的節點成本僅不到 30 美元，相較於主流的無線感測網路裝置 Mote 價格更是擁有 72% 的優勢，泛用平台成功的推動將降低技術與時間成本，並加速領域知識普及與降低跨領域門檻。

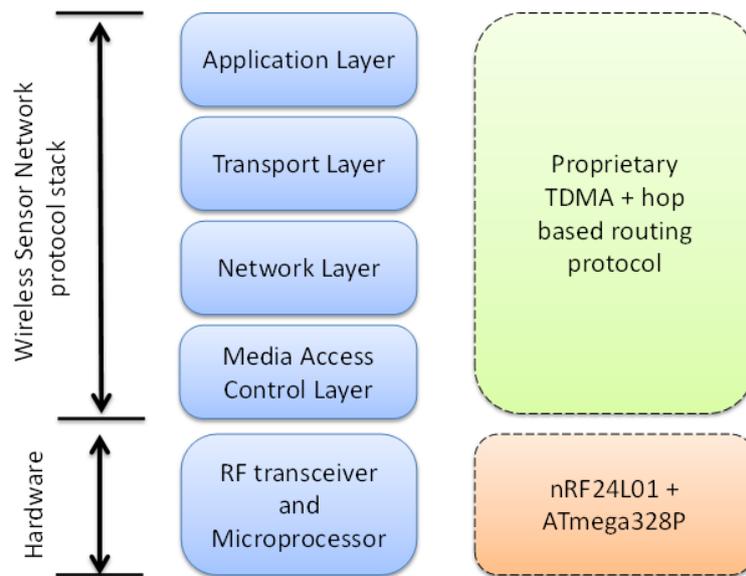


圖 2.1 節點系統架構圖

戶外無線感測網路環境總是多變且難以預測，感測器網路可能隨著放置地點、間隔距離、時間、溫度、濕度、季節氣候變化，甚至動物與人類的活動皆會對網路拓撲產生不可預期影響，因此網路需具備有能高度適應環境變化的拓撲。再者戶外無線感測網路的建置通常有長時間且不易配線等特性，通訊協定必須是依靠獨立電源能長時間穩定運作。最後作為低成本的嵌入式系統限制，微處理器有限的處理能力無法負荷龐大的網路拓撲，所以應採用輕量級的傳輸協議。

ZigBee (ZigBee Alliance., 2008) 作為至今成熟的無線個人區域網路(Low-Rate Wireless Personal Area Network)的代表協定，其具備了低耗電、低成本、支援大量網路節點、支援多種網路拓撲並且可靠。但作為戶外無線感測網路的通訊協定其拓撲與提供的功能存在著一定程度的不足，ZigBee 網路拓撲中節點有三種狀態：Coordinator, Router, End Device，其中除了作為網路核心的 Coordinator 不能執行低功耗操作外，由於 Router 也負責協調網路節點加入、路由更新與轉傳封包等等運作，在 ZigBee 規範中並沒有辦法執行低功耗操作，

唯一能執行低功耗操作的只有 End Device。有鑒於此在 Router 無法執行低功耗操作的 ZigBee 無線感測網路架構下，系統的運作時間將因作為 Router 節點的無線射頻模組無法關閉而大大下跌。這也促使我們必須實現一個能適應戶外無線感測網路環境的通訊協定。

根據 Huang-Chen Lee 教授提出針對通用室外環境監測無線傳感器網路平台 (Lee., 2012) 的概念一文中，從多種感測網路的通訊機制所整理出的結論：在多數節點和基站(Sink)做時間同步的應用中，節點皆需要取得準確的時間戳記(time stamped)，基站才能識別該資料串流。由此同步彼此時間時使用時分多址(TDMA)通信協議會是較好的選擇。

在建立網路中各節點的關係中我們參考了 D.S.J. De Couto (Couto et al., 2002, 2003), K.-W. Chin (Chin et al., 2002) 等人的研究成果，研究成果表明：一個純粹基於跳數來選擇傳輸路徑，常常導致所選的並不是最好的路由路徑。基於此原因我們選擇統計接收到最多 Beacon 封包的節點來做為我們的路徑節點，以確保由一跳到下一跳的通訊品質。

2.1.1 節點系統架構

下圖 2.2 表示節點系統架構，其中分為五大單元：負責接收發送的無線射頻模組(RF modulator)、緩存資料用的快閃記憶體(RAM)、處理網路封包與偵測資料的中央處理單元(Process Unit)、偵測資料與判斷節點狀態的輸出輸入單元(I/O Unit)、儲存感測資料與系統參數的記憶單元(Memory Unit)。

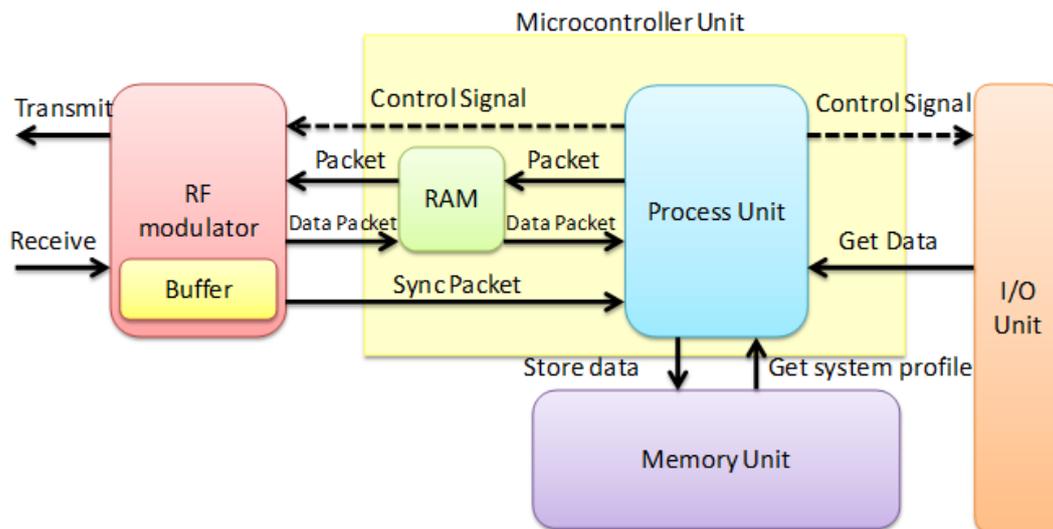


圖 2.2 節點系統架構圖

(1)無線射頻模組(RF modulator)

無線射頻模組由中央處理單元輸送控制訊號(Control Signal)來驅動，中央處理單元在正確的時間點喚醒無線射頻模組，無線射頻模組在依據控制訊號決定目前該執行的動作，控制訊號有四：睡眠訊號、喚醒訊號、傳送訊號、接收訊號。

睡眠訊號與喚醒訊號負責控制無線射頻模組電源狀態，從接收睡眠訊號起無線射頻模組將進入省電模式(Power down)，進入省電模式時無線射頻模組將使用最低限度的電流維持運作(近似於 900 nA) [4]，待喚醒訊號到達後進入待機模式(Standby Mode)等待任務。

傳送訊號與接收訊號負責控制無線射頻模組工作狀態，在取得傳送訊號後，無線射頻模組會從快閃記憶體中取出待傳送的資訊，將資訊結合自身節點參數後組合為封包傳送至目標處；在取得接收訊號時，無線射頻模組切換至接收模式接收此時段的所有封包並且判斷封包目標，封包目標非自身時丟棄，為自身時將封包留下做判斷，判斷標準為確認封包類型，當封包類型屬於時間重點型的封包，如同步時

間的封包等，將會由中央處理單元直接做處理；而封包類型屬於非時間重點型封包，如資料封包等，則會先存入快閃記憶體中，待節點切換至處理模式再做資料處理。

無線射頻模組於接收封包時，對封包做迅速分類的原因源自於在嵌入式系統裡中央處理單元的時脈並非如個人電腦般的高，本文的系統如果採用接收即處理的方式，在中央處理單元處理封包時，將造成新的網路封包持續堆積於無線射頻模組的資料緩衝記憶體，直至無線射頻模組的緩衝記憶體無法容納導致封包丟失，而我們知道重新取得資料是十分高昂的成本，所以為了避免這個問題我們採用封包分類的方式。時間重點型的封包由於喪失時間特性會導致封包失去意義必須第一時間處理；非時間重點型的封包則否，處理時只需把無線射頻模組裡的資料取出放入節點的快閃記憶體，省去的封包處理時間將使中央處理單元能快速的處理更多的封包，避免無線射頻模組的封包丟失問題。

(2)中央處理單元(Process Unit)

中央處理單元為整個節點的核心，負責統合無線射頻模組、快閃記憶體、輸出輸入單元與記憶單元此四大單元，使其在正確的時間點運作即是中央處理單元的工作。

在初始化模式時，中央處理單元從記憶單元中取出系統參數，系統參數包含節點身份編號、最大節點總數、最大子節點數、時隙(Time slot)的長度、工作周期(Duty cycle)、感測器類型、感測頻率與儲存方式，藉由取得以上資料建構成基本的節點，並開始監聽信標(Beacon)封包訊息選擇自己的父節點，待選擇後則進入空閒模式。

進入空閒模式時中央處理單元將會依照節點身份編號、時隙長度、工作周期與感測頻率四樣做傳送模式、接收模式、處理模式與感測模式四者間的切換。

(3)記憶單元(Memory Unit)

記憶單元主要工作有兩項：感測資料的保存與節點參數的讀取。感測資料的保存能有效避免節點在長時間無法順利將資料傳送回父節點時，造成的快閃記憶體容量不夠資訊遺失問題。節點參數由使用者藉由使用者介面寫入 micro SD 卡，節點再從 micro SD 卡讀取近節點中，節點將會獲取本次感測目的中的所有參數後再行運作。

(4)輸入輸出單元(I/O Unit)

輸入輸出單元主要的元件有感測器與按鈕，按鈕的部分我們設有安裝資訊按鈕、記憶體單元開關與初始化模式重啟按鈕，這些按鈕將方便我們在環境現場安裝我們的節點。節點有感測器有三軸加速度計、溫濕度感測器、土壤濕度計與雨量計四種，此四種感測器是我們整理眾多的無線感測網路應用後決定使用(詳情請參閱第三節)，在節點中會包含這些感測元件的各種設定資料，使用者只需在使用者介面輸入相關的偵測頻率與資料傳送條件即可使資料順利傳回。

(5)使用者介面

首先從使用者介面與節點的溝通，我們採用串列埠(Serial port)作為連結方式，使用者僅需開啟執行檔(.exe)後選好串列埠即可開始接收資料如圖 2.3(a)，以此跳過繁複的程式安裝。而正確連接後接收的資料會顯示於圖 2.3(b)紅框中，使用者介面會把接收到的資料轉換

成有效的資訊顯示在訊息列表中，應用專家能輕易解讀節點傳回來的溫度、濕度、三軸加速度等等感測元件的感測值，且程式將記錄最後一筆訊息接收的時間與至今的傳輸成功率，應用專家亦能迅速且輕易的觀察到部署的節點是否正常運作。此舉將以往只有節點看得懂的封包內容和只有無線感測網路系統專家才看得懂的訊息記錄檔(Log)化為即時的資訊供應用專家使用。

接著在資料儲存的方面如圖 2.3(c)，我們提供直接在使用者電腦上儲存的功能，應用專家能依據使用習慣儲存在不同的空間並且輕易的做資料搬移與分析，而不用關閉運作中的網路，除此之外儲存的資料會記錄資料收到的時間並且依天數、節點做分類，能使資料做有效率的使用。

節點安裝的地點是否合適，除了可以從圖 2.3(b)紅框中的傳輸成功率做判斷之外，我們也提供如圖 2.3(d)紅框中的方式。框中我們採用樹狀列表的方式完整還原我們的樹狀網路拓樸，應用專家能一目了然的看出系統中的節點目前的父節點與子節點，從而判斷目前各節點負載是否過大，亦或是當一部分節點失去聯繫時，判斷是否為單一節點故障導致沒有任何路徑可以選擇的節點無法傳送資料等等情況。

最後應用專家可以從圖 2.3(e)設定一個無線感測網路系統的參數，可以設定的參數從節點數、資料回傳周期、SD 卡記錄功能、LCD 顯示器開啟到節點低功耗的設定接可以做更改，這跳過了以往要安裝與學習 IDE 的使用等等漫長的時間，應用專家只要把產生的設定檔放入 SD 卡中就能快速的設定節點，使節點符合自己的應用需求。

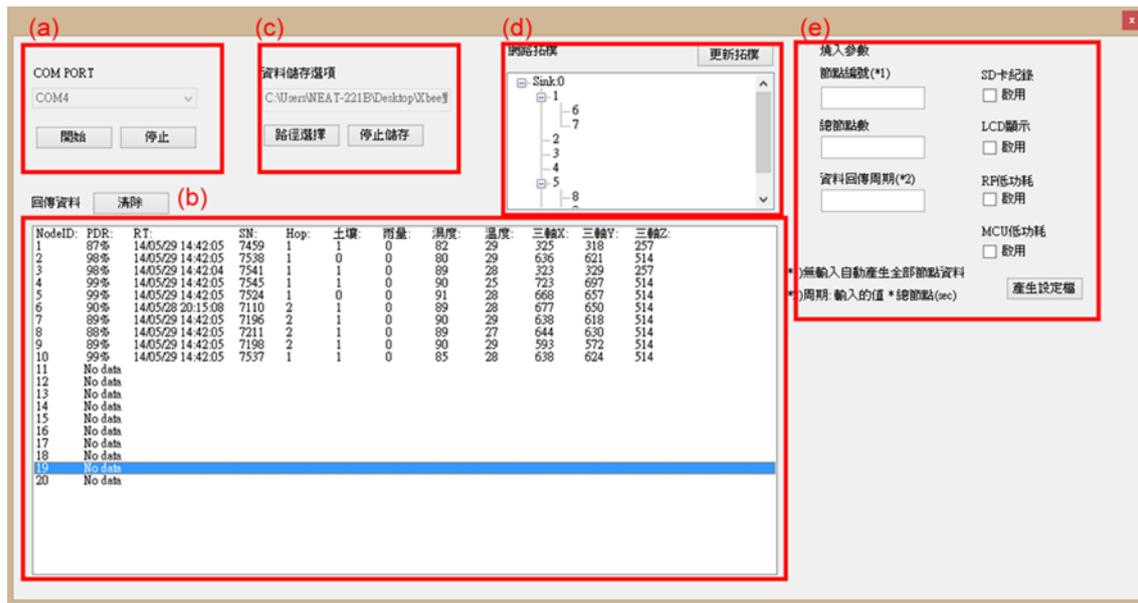


圖 2.3 使用者介面

2.1.2 實作與結論

系統評價方式必須公平且有公信力，為此選用 Digi International 所出產的 XBee 做為我們比較的對象。XBee 是一種在 2.4GHz 頻段上工作的 IEEE802.15.4 產品，其作為商業化的無線射頻模組有一定程度上的穩定與使用率。XBee 擁有眾多不同的通訊協定版本，其中包含基礎的 IEEE802.15.4 版本、在其基礎之上的 Zigbee 版本與 DigiMesh 2.4 版本，在做為一個好的對照組的抉擇中我們認為 DigiMesh 2.4 擁有幾個重要的特性是跟我們研究相似的：(1)DigiMesh 只有一種節點狀態，相較於 Zigbee 網絡設置更簡單、(2)DigiMesh 不論任何的節點皆有擴展網路的功能而 Zigbee 中只有 Coordinator 與 Router 擁有擴展網路的能力、(3) DigiMesh 並不依靠單一的 Coordinator 或 Gateway 來同步，透過提名與投票的機制來決定時間由誰同步，進一步使得網路能有較高的抗干擾與損壞能力。(4) DigiMesh 裡允許任何的節點進行睡眠而非像 Zigbee 只能允許 End Device 進行睡眠。而以上提及的特點做為戶外無線感測網路平台的對照組是非常重要的，因此我們採用 XBee DigiMesh 為實驗對照組。

在硬體架構上我們為了追求公平，XBee 所搭配的微處理器與本研究同樣使用 ATmega328P，如此可以免除微處理器的處理效率差異導致的封包遺失的問題，在輸出功率上面 XBee 與 nRF24101 同樣為 1mW 輸出功率的版本，天線方面採用同強度的天線，以讓整體硬體差異最小化，詳細實驗硬體規格比較如表 2.1，實驗實體如圖 2.4。

表 2.1 實驗平台軟硬體對照表

	本研究	對照組
通訊協定	自行研發之感測網路協定	IEEE802.15.4, DigiMesh
微處理器	ATmega328P	ATmega328P
無線射頻模組	nRF24l01	Xbee DigiMesh 2.4
工作頻段	2.4GHz	2.4GHz
RF功率	1mW	1mW
天線	SMA	RP-SMA
省電模式	全節點皆可	只有End Device可執行



圖 2.4 實驗實體

實驗將系統與對照組放置於中正大學電通館二樓，並設置十一個節點於二樓走廊。兩邊的實驗系統配置皆為每分鐘傳一筆感測資料；每二十秒發送一次特殊封包，接收到的節點會重置看門狗 (Watchdog)；每一百秒沒收到特殊封包看門狗會讓節點重開機。實驗運行共五天，各節點的擺放位置如圖 2.5 所示。



圖 2.5 實驗一的實驗環境示意圖

實驗數據的分析上，我們主要分析資料收集站(圖 2.5 中的綠色節點)所接收的封包訊息並將資訊統整於圖 2.6。圖 2.6 中我們將節點的資料順利到達資料收集站做為一次成功的傳輸，反之沒收到資料當作失敗，並在封包中夾帶封包編號以利我們統計節點總共傳輸的封包數。圖 2.6 中我們也加入各個節點總共傳輸次數的直條圖，以便觀察各節點是否正常運作，從圖 2.6 中可以看出 XBee 的六號節點並沒有成功的運行至最後一天，其設置的地點電源疑似遭人為撞擊導致無法正常供電，所以在實驗探討的部分六號節點將不做討論。

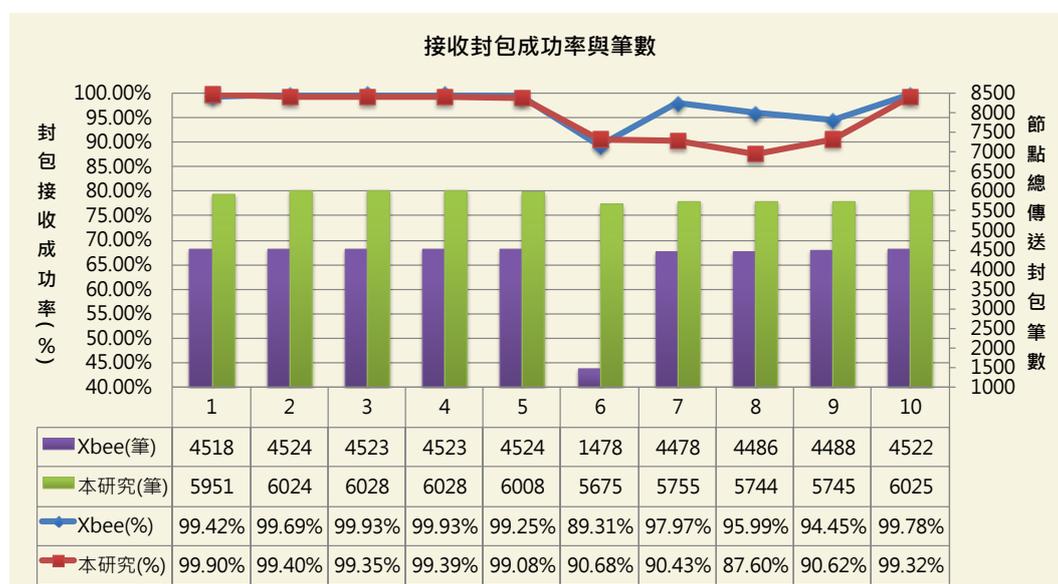


圖 2.6 資料接收站接收的封包成功率與總接收筆數分析圖

從資料接收站接收到封包的成功率來看，我們可以看出在大部分的節點中，我們節點的傳輸成功率互有高低且差異不到 1%，這顯然是很好的現象，因為 XBee DigiMesh 模組雖然任意節點皆可以進行低功耗操作，但網路中每隔一段距離後，仍然需要一個節點主動持續監聽網路中是否有新節點要加入，否則網路無法進行擴展；而我們的網路採用新節點被動監聽網路封包的方式來加入網路，這也使得我們能全部的節點進行低功耗，而非 XBee DigiMesh 的大部分節點進行低功耗。

耗。我們認為兼具全節點低功耗功能的我們佔有優勢。

而在節點資料差異較大的七、八、九號節點我們嘗試分析原因並找出一些特異點，發現位於七號、八號與九號位置的節點連線的環境十分不穩定，我們將不穩定的證據實際資料繪製成圖 2.7。圖 2.7 中我們將各節點更換父節點的次數做統計並與傳輸成功率做比較，發覺此三顆節點的更換次數遠高於其他節點。在圖 2.7 中有趣的一點是一號節點同樣有相似的問題，但其傳輸成功率卻維持著 99.90%的高水準表現，這讓我們做出以下推測：更換次數過高的七、八、九節點，距離間隔較其他節點長兩至三公尺，這使得通訊距離接近臨界值，導致必須時常更換網路連結，而在此條件下仍維持近 90%的傳輸水準我們認為是可以接受的。

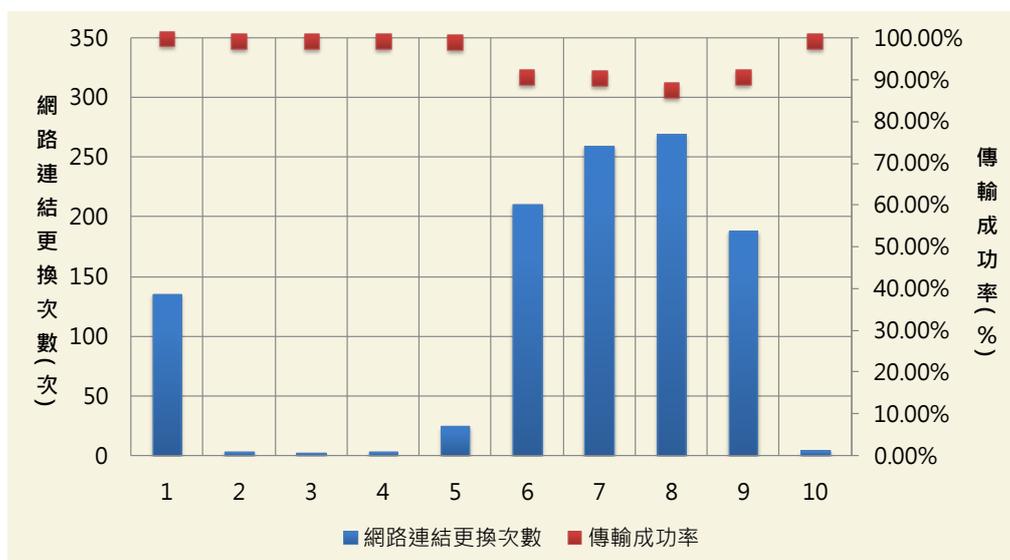


圖 2.7 各節點網路連結更換次數與傳輸成功率

但對於同樣環境下 XBee DigiMesh 沒有這個問題，我們推測是天線造成的差異，雖然兩者皆採用同樣強度的天線，但由於接頭介面的不同，所以天線無法共用。而不同製程的天線分別有不同的場型與品質，在距離接近臨界值的傳送，天線的品質是會影響傳輸成功率的。

利用此次實驗的結果我們將在未來把網路連結的更換次數放入使用者介面，並且告知可能需要新增節點的地方以利提升傳輸成功率。

103 年 11 月底時將多物理量測型態感測器之置於中正大學之戶外測試，此期間南部天氣晴朗，無下雨，也無地震，因此多物理量測型態感測器只有溫濕度有較明顯之變化，如下圖 2.8 所示。

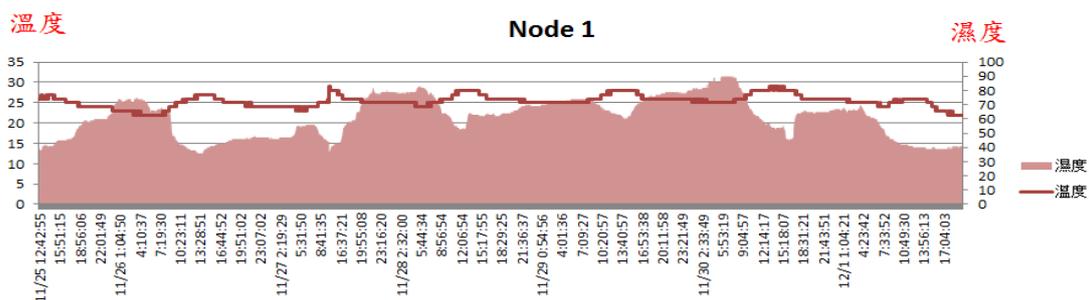


圖 2.8 溫度與濕度變化資料

溫度於攝氏 20 度到 30 度之間變化，戶外濕度 40% 至 90% 之間變化，此驗證多物理量測型態感測器與硬體網路架構是可行的方式。

2.2 坡地崩塌區域之快速取像評估系統開發

災區大多屬於局部性或區域性之小面積測區，以專業設備進行災況資訊獲取則成本過高，並且災況資訊極具時效性，必須考量設備的即時性及機動性，傳統設備(衛星影像、航空影像)因受其公轉週期及雲層遮蔽等因素限制，及時性與機動性不足，拍照後需做幾何精度修正與正射化等影像處理，時間費時不利防災救災單位迅速作出正確決策。因此，如何在最緊急關鍵時刻，快速蒐集災況的原始面貌，是我們計畫的目標。

計畫於 102 年開發出第一代的快速取像評估系統，其系統搭載了

2 台各 1210 萬有效畫素的全片幅 CMOS 感測器，具有高感光度、高動態範圍、低雜訊等優點，並包含 R、G、B 和 NIR(Near Infrared)共四種波段，系統機構以碳纖維及鋁管材設計製作而成，保有剛性和承載性，又能大幅減輕重量，此系統含 4 波段相機模組僅重 4.6KG，符合旋翼 UAV 載重限制 5KG 以下之規範，系統如下圖 2.9 所示。



圖 2.9 第一代快速取像系統

在 102 年 9 月一次雲林坪頂地區航拍任務時，為閃避山區道路上的電線，下降重落地，起落架應聲從中折斷，系統鏡頭直接撞擊地面，造成了鏡頭損毀，如下圖 2.10 所示：



圖 2.10 第一代快速取像系統重落地損毀

事後我們檢討，除了操作環境複雜，造成這次的事故，在系統設計上，是否能再強固性一點，尤其是載台的設計部分。故 103 年在第二代系統開發上，進一步針對載台強固性、重量及系統性能上，改進與優化；首先是感測器本體選擇部分，由於科技的進步，新型態的全片幅感測器，已經可以捨棄五稜鏡，讓影像直接投射在 CMOS 上，直接由 LCD 取景，也就是全片幅式的微單眼相機，不僅把體積縮到極為輕巧，更完整保留了全片幅 DSLR 的專業特性及高 ISO 畫質表現，跟第一代系統相比，感測器本體重量一口氣從 995 公克減到 416 公克，變成一半不到的重量，如下圖 2.11 所示：



圖 2.11 第一代與第二代取像系統大小比較

在鏡頭選擇上，由於全片幅微單眼相機為新產品，其可搭配的 FE-Mount 鏡頭中，定焦鏡目前只有兩款，分別是 Carl Zeiss Sonnar T* FE 35mm F2.8 ZA 和 Carl Zeiss Sonnar T* FE 55mm F1.8 ZA，其規格表如下表 2.2 所示，以旋翼 UAV 航高約 600 公尺以下，在考量覆蓋率及地面解析度後，我們選定 Carl Zeiss Sonnar T* FE 35mm F2.8 ZA 為第二代取像系統的鏡頭，如未來採用定翼 UAV，則可選用長焦段定焦鏡，提升地面解析度至公分等級。

表 2.2 鏡頭規格比較表

		
	Carl Zeiss Sonnar T* FE 35mm F2.8 ZA	Carl Zeiss Sonnar T* FE 55mm F1.8 ZA
濾鏡口徑	49 mm	55mm
光圈	f/2.8	f/1.8
視角	63° (對角)	43° (對角)
光圈葉片數	7	9
直徑 x 鏡長	61.5 x 36.5 mm	64.4 x 70.5 mm
重量	120 g	281g

接著進行近紅線改裝，新的感測器模組像素高達 2400 萬畫素，尺寸為全片幅大小，為能塞進這狹小的機身，電路板層層堆疊，以軟排線互相連結，光是機構拆解就費了好大一番功夫，一不小心可能會傷到電路板，拆下後的這片 Exmor CMOS 如下圖 2.12 所示：

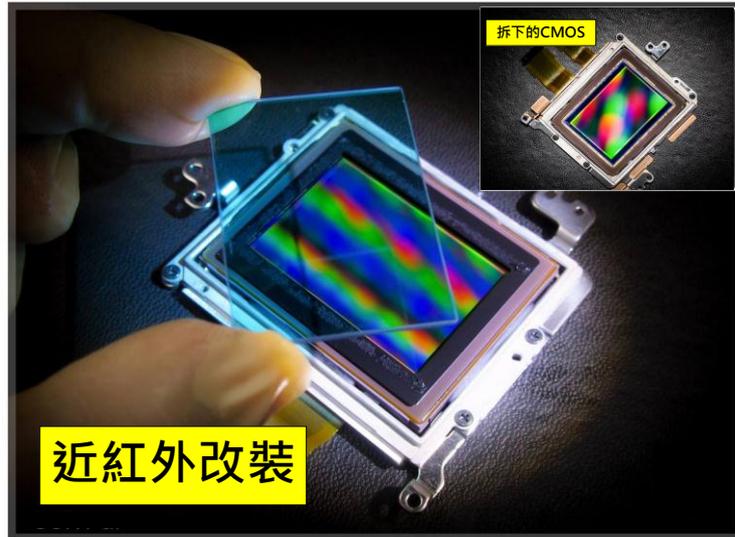


圖 2.12 近紅外改裝

典型的 CCD 感測器或 CMOS 感測器，光譜響應曲線約 380nm 至 1200nm，可見光波長在 380nm~780nm 之間，光譜響應曲線大於 780nm 低於 1200nm 是 CCD 或 CMOS 感測器可應用的近紅外光範圍，如下圖 2.13 所示，但是多數的數位相機在出廠時，為了增加色彩的鮮豔度以及降低雜訊，都會在 CCD 感測器或 CMOS 感測器前加裝紅外去除濾波器(IR-Cut Filter)，因此只要透過置換 IR-Cut Filter，加上光路折射率的修正，即可讓數位相機變成近紅外相機，關於選擇何種規格紅外光學濾波器就跟觀測何種物體，水，植物或礦物等特徵波長有關，表 2.3 為 SCHOTT 紅外光學濾波器光學性質規格，RG 型號表示可使紅外光線透過之紅色和黑色玻璃，RG 後面之數字表示以下範圍之可見光被濾除，如 RG_800 為 800nm 以下可見光範圍被濾除，只通過 800nm 以上之紅外光。

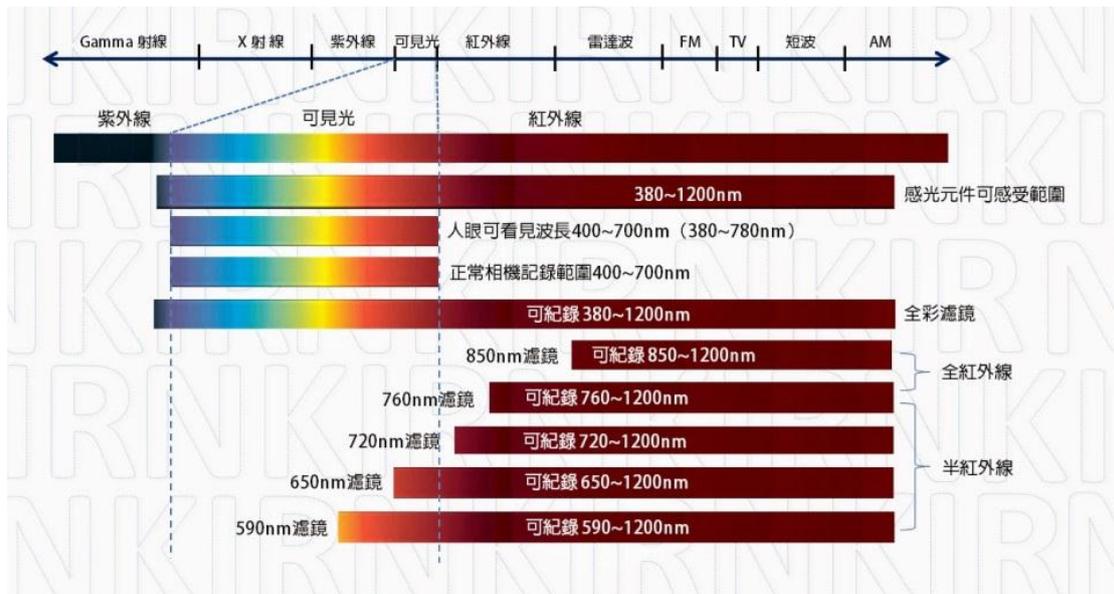


圖 2.13 光譜圖

表 2.3 紅外線濾鏡規格表

SCHOTT 型號	以上紅外波長通過
RG_695	695nm
RG_710	710nm
RG_780	780nm
RG_800	800nm
RG_830	830nm
RG_850	850nm
RG_1000	1000nm

最後是機構部分，由於第一代系統四波段感測器部分占了快 4 公斤的重量，為了減輕系統重量，載台採用鋁管材設計製作，的確是達到了 5 公斤內的目標，之後經多次的任務執行，在一次的重落地後折損，造成系統損毀，於是在 103 年的計畫，我們在載台部分採全碳纖維製作，強化剛性，並加上自穩式兩軸穩定雲台，及抗震阻尼，來增進穩定度，如下圖 2.14 所示：



圖 2.14 自穩式兩軸穩定雲台

其系統總重量壓低至 2.2 公斤，與第一代系統相比減輕了 52% 的重量，未來在載具的選擇上可以更多元，例如搭載於多旋翼機上使用；以四旋翼為例，在四旋翼機的外尺寸與傳統直升機主旋翼直徑相等的原則下，四旋翼機之載重能力只有傳統單旋翼直升機的一半，但在操控上以四旋翼機較為簡易，在設計及應用上也較有彈性，也是未來應用的主流。因此，減輕一半重量的第二代系統快速取像評估系統，更適合搭載於多旋翼機上使用，下表 2.4 為第一代與第二代的系統比較表。



圖 2.15 第二代 4 波段快速取像系統_任務執行與拍攝成果

表 2.4 四波段快速取像系統比較表



項目	第一代 4 波段快速取像系統(102 年開發)	第二代 4 波段快速取像系統(103 年開發)
光學波段	R、G、B 及 NIR	R、G、B 及 NIR
感測元件數	1200 萬畫素	2400 萬畫素
重量	4.6 公斤	2.2 公斤
地面解析度(35mm 鏡頭航高 600 公尺)	優於 12 公分	優於 10 公分
穩定裝置	單軸自穩式	雙軸自穩式
記憶裝置	可擴充 64GB	可擴充 256GB
RGB 及 NIR 波段影像拍攝時間同步誤差	< 1/100 sec	< 1/100 sec
單次飛行拍攝張數	900 張/次	340 張/次
性價比	中	高

2.3 坡地崩塌近景觀測系統之演算法分析與整合

坡地崩塌區之定點近景即時觀測系統之研發，102 年雖然完成崩塌監測系統之實驗雛型建置，包括實驗地點選定、相機率定程序、相機架設安裝與調校、核影像糾正程序、密集匹配方法等工作，已經可以網際網路由遠端即時監控與取像，然後在 PC 上以監測軟體進行坡地崩塌的即時解算與監測，103 年繼續將近景即時監測系統之演算法進行修正與小林國小對岸崩塌地偵測及土方量計算，並與嵌入式系統進行整合，以達到低消耗功率系統功能之特色。

台灣地區常因風災或震災等因素，造成山區土石鬆動、崩塌或

土石流的發生。且受到近幾年極端氣候的影響，強降雨模式將增加崩塌發生的機率，對於山區有人居住的村落將造成強烈威脅。103 年計畫中，則利用兩台能即時回傳影像的 IP Camera 組成立體像對，針對山區部落裸露之崩塌地區進行監測，並透過近景攝影測量技術，藉由影像拍攝求解影像方位並重建物體的三維表面模型(Digital Surface Model, DSM)，同時透過多時序表面模型的差異分析，並能評估是否有崩塌現象與土方量的即時計算。考慮供電，交通，幾何等因素，IP Camera 的選址原則與建置有以下幾點考量：

- (1) 無線射頻模組(RF modulator)目標點與相機之距離在 500 公尺~1000 公尺間；
- (2) 監測地點已有明顯崩塌跡象或在可預期的未來仍有機率發生崩塌；
- (3) 監測點需與村落鄰近，並能提供電力與網路設備以進行即時資料傳輸；
- (4) 兩台相機的架設須有 50~100 公尺長的基線距離。

於是根據上列條件，IP Camera 選擇小林國小對岸的大範圍崩塌作為監測目標，並架設在小林國小頂樓兩側約 50 公尺的基線進行長期監測，其位於新建小林村的對岸，如下圖 2.16(a)所示即為本研究中監測的大範圍崩塌地。(b)為監測目標與獻度山崩塌之相對位置，其中紅框即為監測目標，綠框為獻度山崩塌。



(a)小林村對岸大範圍崩塌影像



(b)小林村對岸大範圍崩塌與獻度山崩塌相對位置

圖 2.16 小林國小對岸之大範圍崩塌

IP Camera 已於 2013 年底完成架設並正常運作，至 2014 年 12 月間，約有一年的完整時間，其中台灣分別受到麥德姆颱風(7/21-7/23)與鳳凰颱風(9/19 與 9/22)的兩次侵襲，本文即針對麥德姆颱風後的地形變遷進行分析，而鳳凰颱風後亦進行地形分析，卻發生相機故障問題，因而緊急帶回修理，且亦針對目標物的拍攝角度有所調整。因此本報告則針對兩點進行說明，第一為麥德姆颱風後的地形變遷，第二為目前新調整的變遷與說明。

2.3.1 表面模型重建流程與方法

應用即時立體對影像求解數值表面模型的流程圖如圖 2.17 所示，其主要包含像機率定、方位解算、影像雲霧去除、核影像糾正、影像密匹配等步驟以產製數值表面模型，各步驟內容則介紹如下。

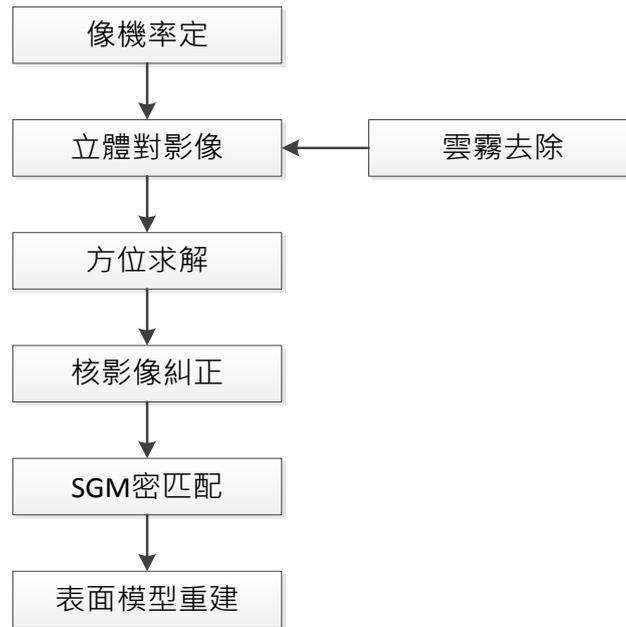


圖 2.17 表面模型重建流程圖

(1) 透鏡畸變修正

由於相機無法避免因鏡頭所產生的畸變現象，因而需針對各相機進行像機率定，以求取包含相機焦距(f)，像主點(x_0, y_0)，輻射畸變參數(K_1, K_2, K_3)及偏心輻射參數(P_1, P_2)之內方位參數。率定時，本研究藉由拍攝一佈滿人造標之旋轉圓盤(Rau and Yeh, 2012)，以 30-45 度的傾斜角進行拍照，透過旋轉圓盤即可得到 60-90 度的相片交會幾何，經附加參數光束法平差模式以計算相機幾何畸變參數，示意圖如圖 2.18 所示。在式(1)中，其表示附加參數光束法平差的數學模型，其中(x, y)為影像之量測座標，(x_0, y_0)為像主點座標， $r_{11} \sim r_{33}$ 為相片之旋轉矩陣，(X, Y, Z)為像點的物空間座標，(X_o, Y_o, Z_o)為相片的投影中心，而($\Delta x, \Delta y$)則為附加參數之改正量，其表示如式(2)。

$$x - x_0 + \Delta x = -f \frac{(X - X_o)r_{11} + (Y - Y_o)r_{12} + (Z - Z_o)r_{13}}{(X - X_o)r_{31} + (Y - Y_o)r_{32} + (Z - Z_o)r_{33}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
y - y_0 + \Delta y &= -f \frac{(X - X_0)r_{21} + (Y - Y_0)r_{22} + (Z - Z_0)r_{23}}{(X - X_0)r_{31} + (Y - Y_0)r_{32} + (Z - Z_0)r_{33}} \\
\Delta x &= (K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6)(x - x_0) + P_1(2(x - x_0)^2 + r^2) \\
&\quad + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \\
\Delta y &= (K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6)(y - y_0) + P_2(2(y - y_0)^2 + r^2) \\
&\quad + 2P_1(x - x_0)(y - y_0)
\end{aligned} \tag{2}$$

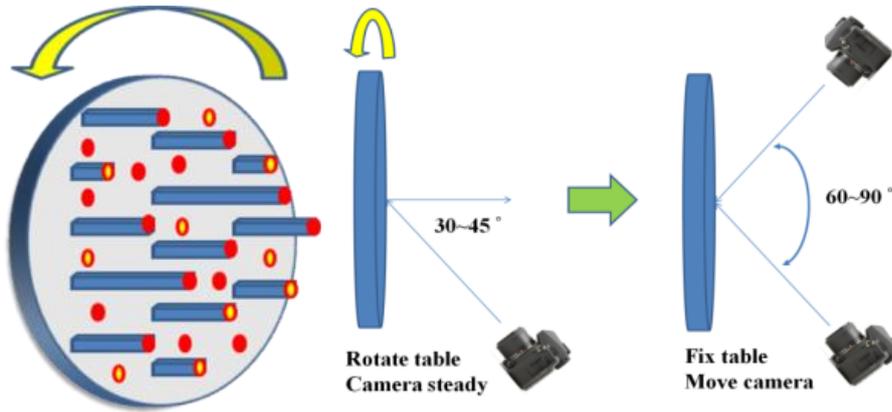


圖 2.18 相機率定獲取多交會幾何影像示意圖

(2) 雲霧去除

山區時常有陰影、雲霧、霾氣等因水氣或灰塵而造成影像失真的現象，因此有必要針對原始影像進行雲霧之去除，不僅恢復色彩也增加對比度，進而提升影像匹配之可靠度。在本研究中採用暗通道雲霧去除法，將原始影像上的霾氣現象去除，而一組原始影像與雲霧去除後之影像展示於圖 2.19，可很明顯發現山區色彩飽和度與對比度皆有所提升。



(a)原始影像

(b)雲霧去除後之影像

圖 2.19 原始影像與雲霧去除影像之對照

(3) 方位解算

由於相機架設地點位於山區，且因岩層裸露，植披覆蓋等問題，難以利用人工方式進行共軛點的量測以解算相機方位。同時考慮匹配方法應具備高效率，抗雜訊等條件，本研究選用 Speed-Up Robust Feature (SURF) (Bay et al., 2008)法進行立體對影像之特徵匹配，透過光束法平差計算兩相機之相對方位。圖 2.20 即為應用 SURF 匹配法所萃取的影像特徵。

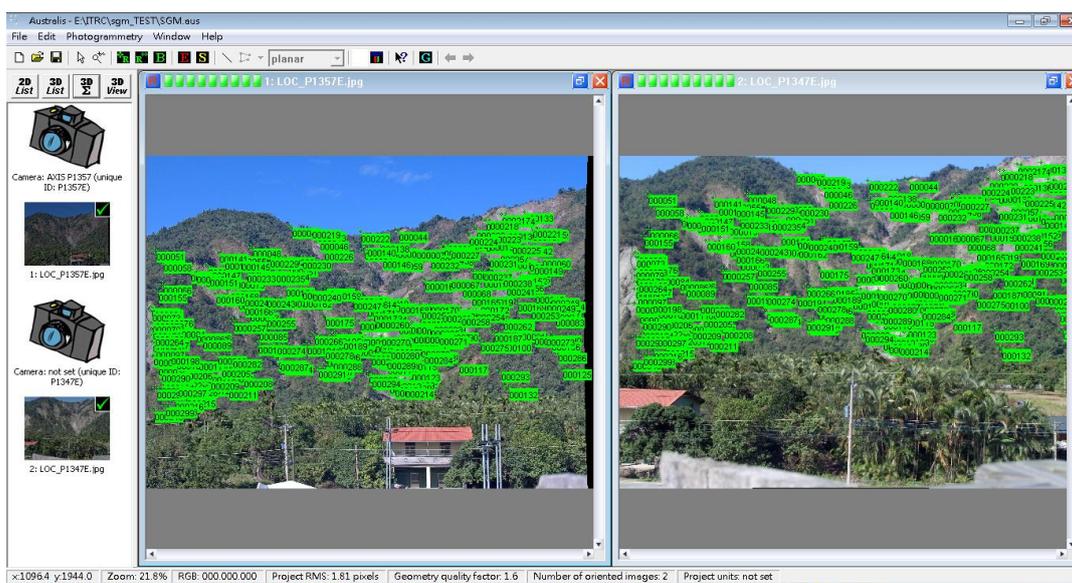


圖 2.20 以 SURF 法進行立體對影像特徵匹配之成果

(4) 核影像糾正

在影像內外方位皆已求解之後，便能將原始影像轉換至核影像空間，以減少匹配的搜尋空間並增加後續影像密匹配的效率。核影像具備以下的幾點特性：

- 像平面與相機基線平行；
- 核線彼此平行，且影像每一列即為一條核線；
- 影像不具 y 視差，僅保有 x 視差，故能重建立體視覺；
- 能協助影像匹配及搜尋，由二維空間降至一維。

圖 2.21 為核影像轉換之示意圖(Cho and Schenk, 1992)。首先由原始影像的旋轉角 $R(\omega, \phi, \kappa)$ 轉換為垂直影像，再透過基線之偏移量(BX, BY, BZ)計算核影像旋轉矩陣 $R_N(\omega_N, \phi_N, \kappa_N)$ 。最後透過透視投影轉換，便能將原始影像轉換至核影像空間，式(4)即為轉換公式其中 (x_n, y_n) 為核影像座標， (x, y) 為原始影像座標。在圖 2.22 中則呈現一組原始影像與核影像之示意圖，可明顯發現原本具有 y 視差的共軛點，在經轉換後已不具 y 視差，如此進行密匹配時能增加執行效率與可靠度。

$$\kappa_N = \tan^{-1} \frac{BY}{BX} \quad \phi_N = \tan^{-1} \frac{BZ}{\sqrt{BX^2 + BY^2}} \quad \omega_N = (\omega' + \omega'')/2 \quad (3)$$

$$m_{3 \times 3} = R_N R^T$$

$$x_n = -f \frac{m_{11}x + m_{12}y - m_{13}f}{m_{31}x + m_{32}y - m_{33}f} \quad (4)$$

$$y_n = -f \frac{m_{21}x + m_{22}y - m_{23}f}{m_{31}x + m_{32}y - m_{33}f}$$

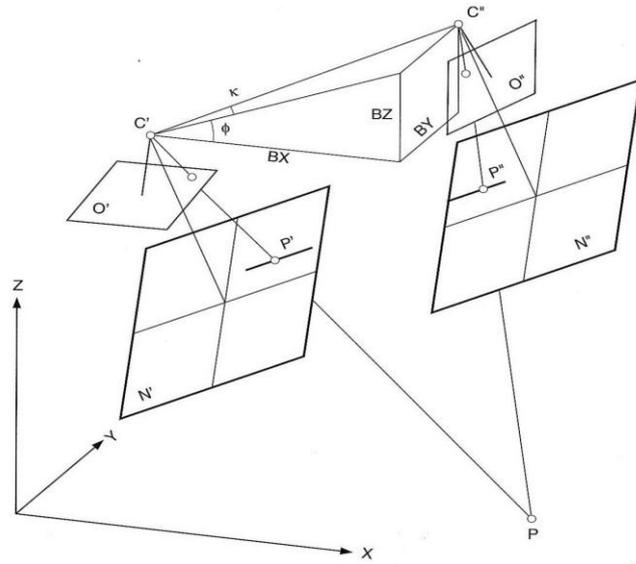


圖 2.21 核影像轉換示意圖



(a) 左像原始影像

(b) 右像原始影像

(c) 左像之核影像

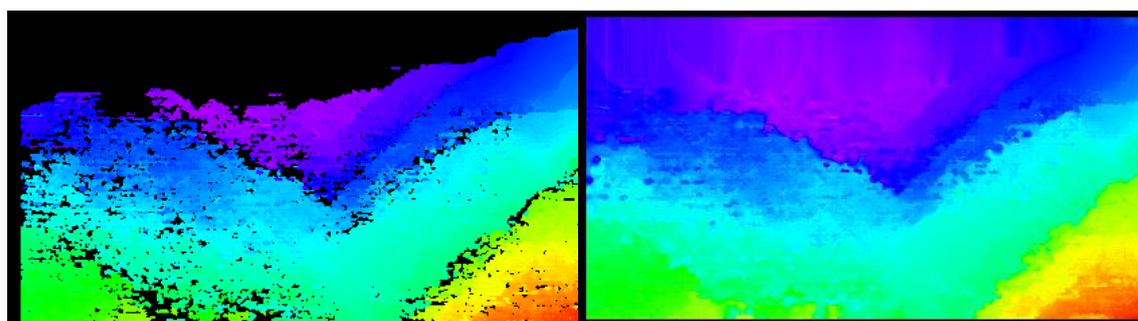
(d) 右像之核影像

圖 2.22 原始與核影像立體對

(5) 影像密匹配與數值表面模型重建

影像密匹配於核影像空間進行，因核影像有助於二維搜尋降低至

一維搜尋以提升效率。在所選用的密匹配法，本研究採用 Semi-Global Matching (SGM)(Hirschmuller, 2008)法，其能快速可靠的獲得核影像的視差值。然而匹配得到的視差值仍然具有漏洞，如圖 2.23(a)，因此則另外使用克利金內插法以獲得整幅的視差影像如圖 2.23(b)。



(a)原始視差影像

(b)空間內差後之視差影像

圖 2.23 原始視差與空間內差後之視差影像

由密匹配求得的視差圖，便能依式(5)在核影像空間重建三維視圖的深度影像(如圖 2.24)及上視圖(圖 2.25)，其中 B 為兩台相機之基線長， f 為核影像之焦距，Disparity 則為匹配求得的視差。而不同時期的深度影像透過差異分析，便能了解是否有地形上的變化。

$$Z = \frac{B \times f}{\text{Disparity}}, \quad X = Z \times \frac{x_R}{f}, \quad Y = Z \times \frac{y_R}{f} \quad (5)$$

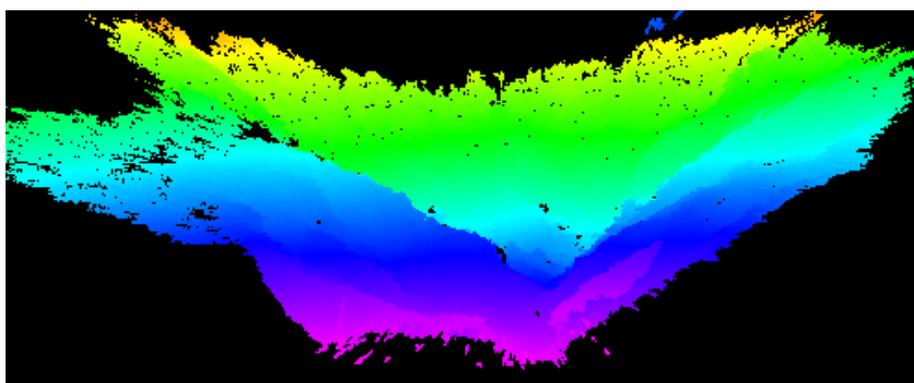


圖 2.24 三維視圖之深度影像

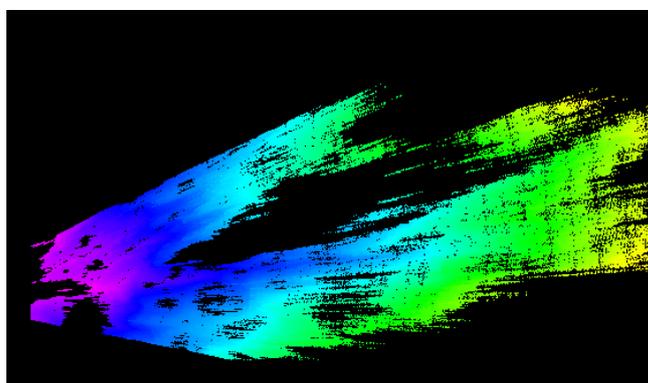


圖 2.25 上視圖

2.3.2 地形變遷分析結果

在監測小林國小對岸崩塌地之地形變化及有無崩塌現象中，本研究以 20131220(冬)與 20140625 (夏)時隔半年的立體像對，利用本研究提及的方法重建兩時期的數值表面模型，並以差異分析比較是否有崩塌現象發生。圖 2.26 中展示兩時期的影像立體對，由影像的變化來看，可發現隔了半年植被生長更為茂密，而這也反映了台灣植物在季節上的變化。另一方面，單純就影像上來看該區域似乎無明顯崩塌現象，因而需透過重建數值表面模型進行差異分析。



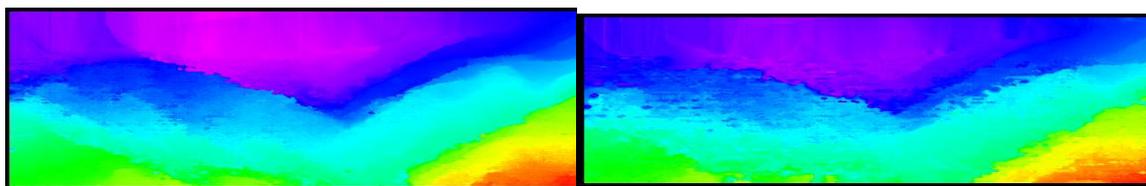
(a)20131220 核影像立體對



(b)20140625 核影像立體對

圖 2.26 前後兩期之核影像立體對

透過密匹配得到兩期的視差圖如圖 2.27，兩者可說是無明顯變化，但在 20140625 的視差圖相對粗糙，由其差異亦反應出植被的生長變化。而由表面模型重建及進行差異分析後呈現於圖 2.28，在黑色邊界線之上部呈現許多雜亂現象，這主要是因該地區為天空，其視差值是透過內差得到，因此相當不可靠。而下半部則為主要目標物，可以看到地形上的變化主要是呈現正值，主要也是植被生長造成(紅色區塊)，而在幾個舊有崩塌區(紅圈內，與 2.26(a)紅圈對應)，其地形變化約為零，可說是無崩塌現象之發生。



20131220 視差圖

20140625 視差圖

圖 2.27 前後兩期之視差圖

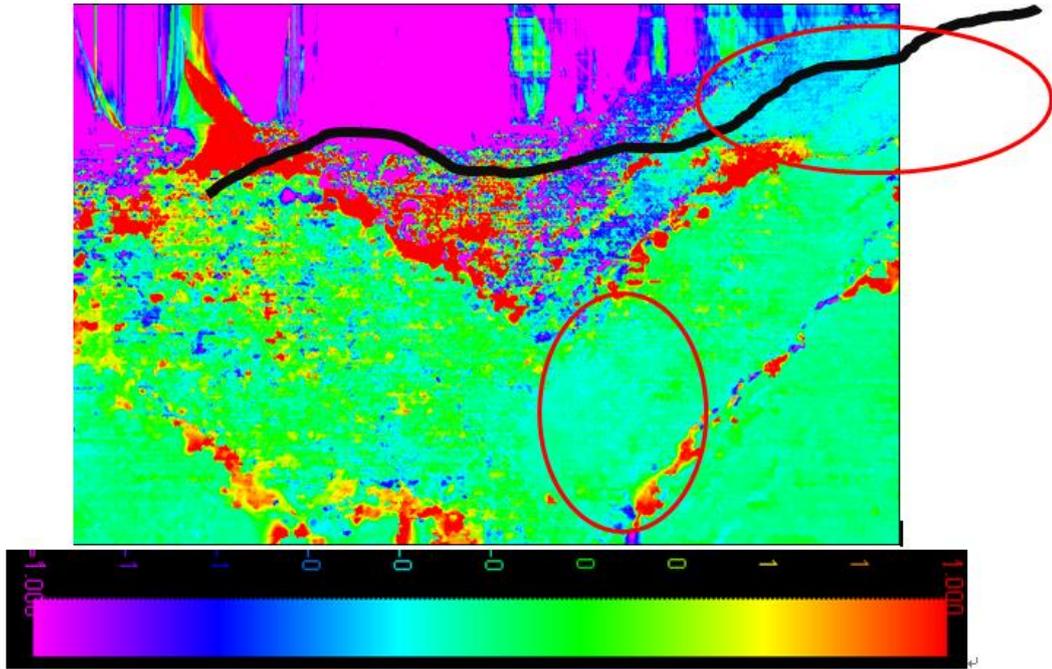


圖 2.28 崩塌地區地形變化

2.3.3 近景觀測系統故障後更新維修與整合

(1) 相機保養與維護

由於鳳凰颱風後 IP Camera 發生無法連線之情況，現場查看後推測是當機問題，又因為久未維護，則帶回來重新進行相機率定與簡易清潔。在本次的清潔中發現外置保護鏡頭之壓克力片有磨損，同時內部的鏡頭對焦環亦有鬆動現象，上述現象都將造成影像模糊，且對焦失真，將無法應用率定之內方位參數進行求解。因此在處理上，則將前置的壓克力板更換成玻璃片，鏡頭部分則重新對焦並以防水膠固定，並更新其內方位參數。如 2.5 所示即為更新後的相機內方位參數，由 σ_0 來看，其精確度亦能在 0.25 像元以內，說明像機率定成果相當可靠。

表 2.5 更新後之相機內方位參數

	P1357E	P1347E
f (mm)	9.2561	9.7546
x _p (mm)	0.1861	-0.1727
y _p (mm)	-0.0486	0.0072
K1	4.2770e-003	3.7426e-003
K2	3.5299e-005	8.0765e-006
K3	-6.6288e-007	6.0788e-007
P1	9.2678e-005	1.8882e-004
P2	2.0905e-006	1.7112e-006
Sigma0 (Pixels)	0.19	0.24

(2) 相機安裝與視角變更

透過本次維修，亦與現場小林國小老師做簡單訪談，其生活經驗告知這兩次颱風侵襲不像往年有造成重大災害且地形上無明顯變化。因此本次重新安裝時，更改相機視角將本來監測的大規模崩塌向右移動，以監測如圖 2.29 新立體像對中紅框處的裸露區，且亦能涵蓋舊有大範圍崩塌之範圍。



圖 2.29 新視角立體像對

(3) 建置高解析之地形地真資料

為了提供完善地形資料以建置地形地真，可以考量利用地面光達掃描、航空照片建置，或地面高解析度影像的拍攝來建置地形真值以進行成果精確度的分析。然而地面光達不僅設備昂貴，且距離、點雲密度無法符合該區域的大範圍掃描故不考慮，航空照片則因視角差異將使成果有不一致之問題。因此本研究則以手持式高解析度之單眼相機，透過多視角與多基線的拍攝，利用 Agisoft 軟體重建該地區的三維模型。如圖 2.30 為利用高解析度單眼相機重建之三維模型。圖 2.31 為三維模型之上視圖，因遮蔽關係造成之破洞亦與 2.25 相仿。

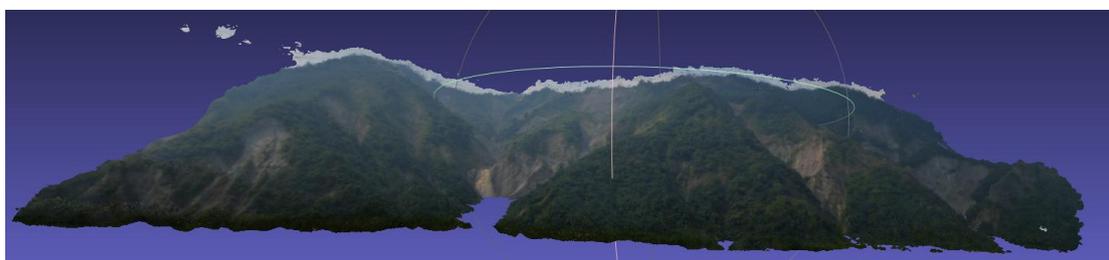


圖 2.30 大範圍崩塌之三維模型



圖 2.31 三維模型上視圖

(4) 嵌入式系統整合

近景觀測系統觀測演算分析與嵌入式系統整合中，嵌入式系統採用 ARK-1120L 工業電腦模組，本工業電腦模組為國內研華電腦公司所開發，嵌入式系統採用 ARK-1120L 工業電腦模組為消耗功率低於

15 瓦，內建英特爾(N455_1.666GHz)中央處理器，具有 2 組 RS232 與 4 組 USB 端口，DDR3 記憶體 2GB，並有 2.5 英吋之 STAA 硬碟，或固態硬碟皆可，採用 Linux 系統軟體，穩定性高，重量低於 1 公斤，用於戶外須加裝防熱裝置，以免造成記憶體失效；嵌入式系統採整組系統與兩部攝影機可以連結，完成耗電量低於 50 瓦之演算分析與嵌入式系統整合，近景觀測系統觀測演算分析與嵌入式系統整合如下圖 2.32 所示。



圖 2.32 近景觀測系統與嵌入式系統整合

第三章 山區定量降雨短時預報技術與系統

3.1 雷達資料同化研究成果與改進

3.1.1 系集實驗成果比較

本計畫在 2013 年建置了一套雷達資料同化系統，並透過本中心執行的 TAPEX 系集實驗平台實際模擬了一整年，並選擇一實驗成員為其對照組，其結果如圖 3.1 所示，顯示 0-6 小時之雨量預報，有雷達資料同化的實驗明顯優於無雷達資料同化的實驗，證明雷達資料同化可改進極短期定量降雨預報，但隨著預報時間增加，其優勢逐漸減少。

雖然雷達資料同化在 0-6 小時有其優勢，但在目前 TAPEX 實驗設計的架構下，前六小時的預報結果無法及時提供給後續應用端做使用，因此在極短時定量降雨預報的需求之下，勢必對對流尺度資料同化策略以及預報的時間做更有效的規劃，本計畫在今年度進行了三項主要的研究成果的改進，以期能達到極短期定量降雨預報的目的。

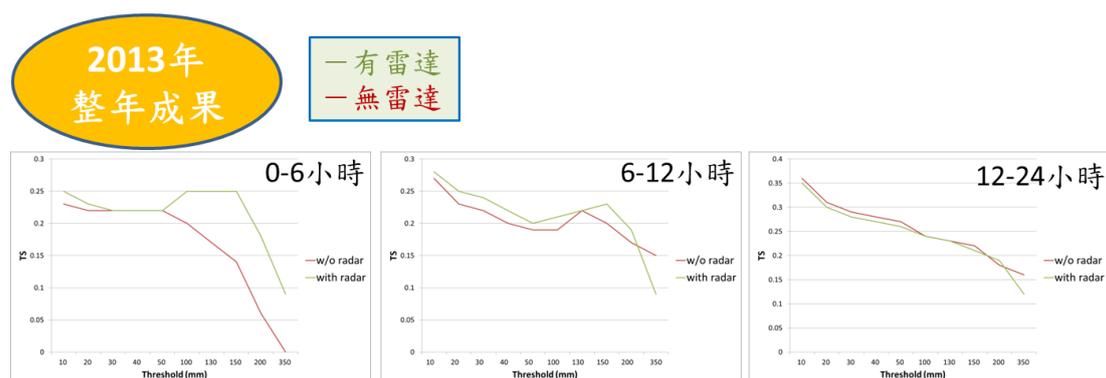


圖 3.1 TAPEX 實驗平台 2013 年有無雷達資料同化結果之比較

3.1.2 雷達資料同化技術與策略的改進

本計畫今年度對雷達資料同化方法進行三個主要的修正，分別為：(1) 提高模式解析度至 3 公里；(2) 使用新的背景場誤差協方差

矩陣；(3) 修改同化策略進行快速循環測試。以下將分別說明此三種改進的影響。

首先是提高模式解析度的影響，為符合水文、防災使用端的需求，同時考慮雷達可提供高解析度觀測資料，將模式解析度由三層分別為 45/15/5(公里)，提高為二層 15/3(公里)，如圖 3.2 所示。

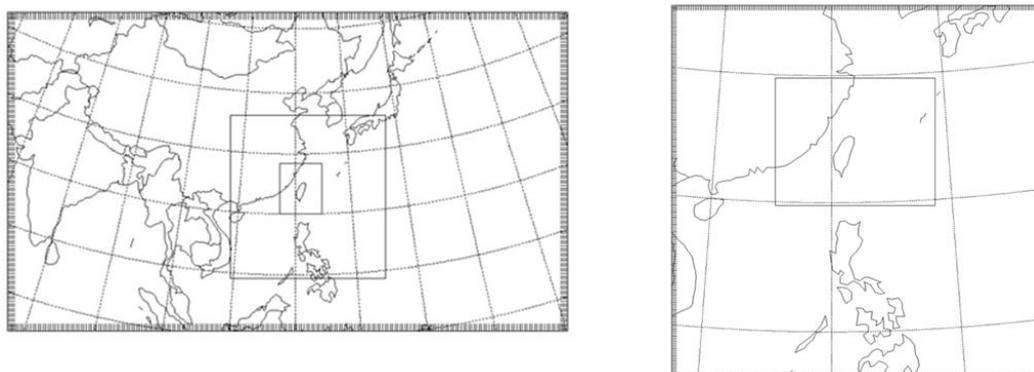
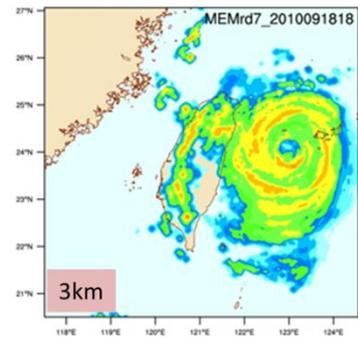
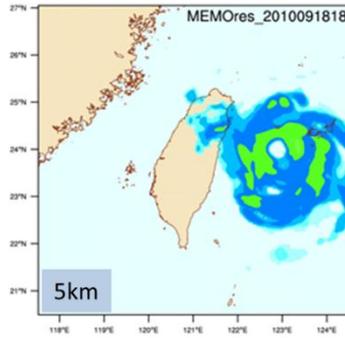
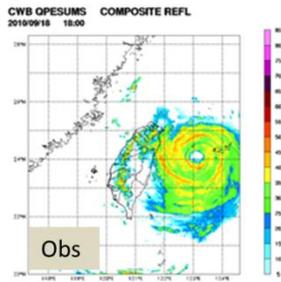


圖 3.2 模式解析度前後比較示意圖

以 2010 年凡那比颱風為例，如圖 3.3 所示，在同化雷達回波後，5 公里解析度的模式範圍無法立即反映出回波的特徵，而在 3 公里解析度的模式範圍設定下，可以較快顯示出回波的分佈；5 公里模式解析度則要在預報三小時後才會明顯出現回波的特徵。而後進行預報如圖 3.4 所示，也可以看出預報累積六小時雨量不論是在強降雨的位置或是極值，使用較高模式解析度的雨量預報結果會明顯優於使用較低模式解析度的結果。

最大合成回波 2010 凡那比颱風

2010091818 (fsct 0 hr)



2010091821 (fsct 3 hr)

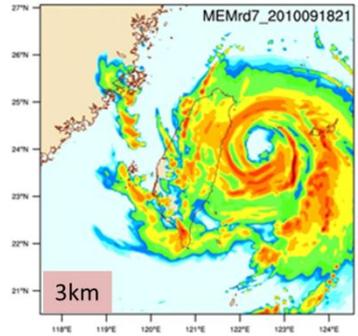
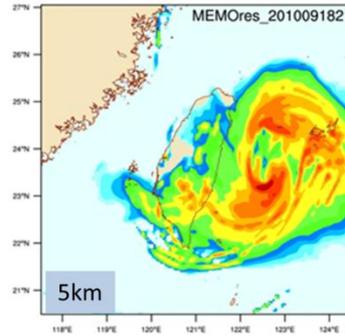
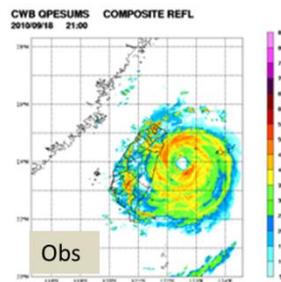


圖 3.3 凡那比颱風個案，在不同模式解析度下同化雷達回波後之分析場回波圖及預報回波圖

0-6 ACC. RAINFALL 2010 凡那比颱風

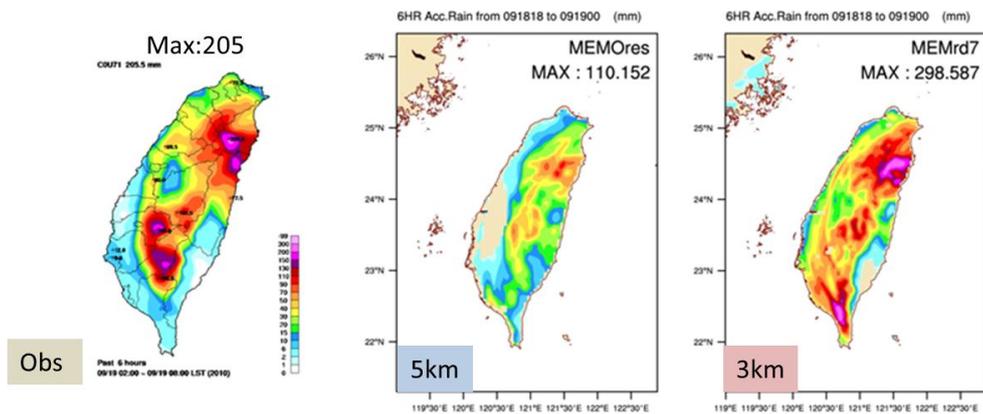


圖 3.4 凡那比颱風個案，在不同模式解析度下降雨預報結果

本計畫第二項主要的研究內容為，使用新背景場誤差協方差矩陣，原始 WRFDA 所使用之控制變數為 ψ 、 χ_u 、 Ps_u 、 T_u 、 RH_s ，其優

點為能透過熱力風關係來建立變數間的相關性，然而在對流尺度下沒有熱力風關係，而其缺點為在求解 ψ 、 χ_u 的過程會有邊界條件和平滑的問題。因此本研究使用新的控制變數 u 、 v 、 Ps 、 T 、 RH_s ，其優點為沒有變數轉換的問題，可以透過快速同化循環(rapid update cycle)，使模式在不斷同化觀測資料中達到平衡，而且直接使用 u 、 v 作為背景場誤差協方差之控制變數於對流尺度下，可以解析較小尺的觀測擾動，也可避免使用 ψ 、 χ_u 時，因為放大長波效應，使得同化雷達資料後，在遠處產生反相位的分析增量，如圖 3.5 所示。

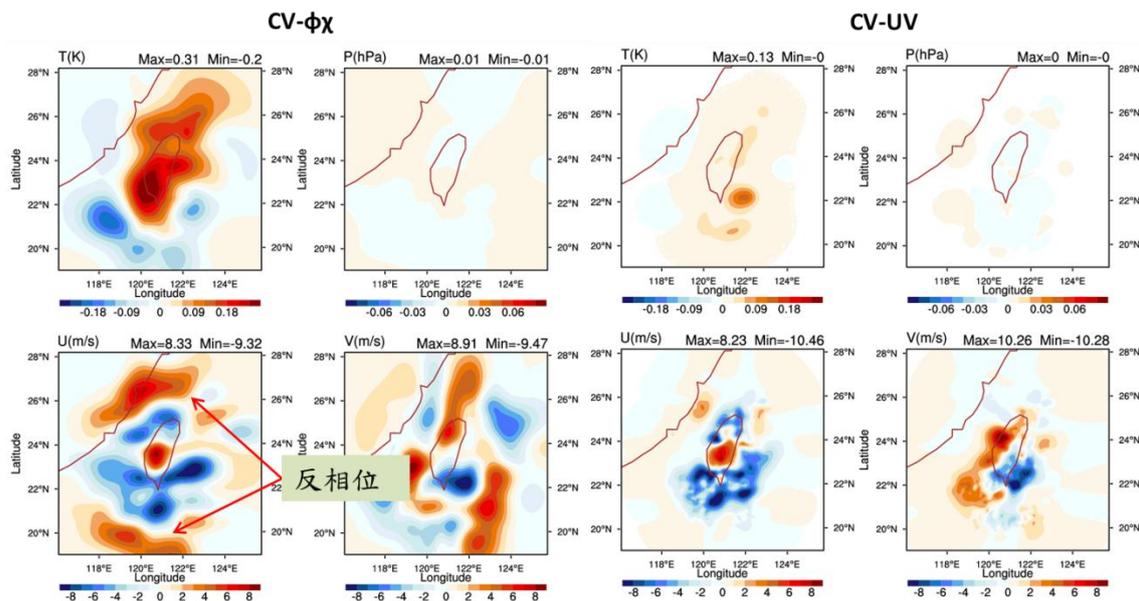


圖 3.5 使用不同背景場誤差變異矩陣之同化分析增量比較圖

本計畫第三項研究工作為進行快速循環(rapid update cycle)同化實驗，由於雷達資料可快速進行更新，而且通常對流系統發展相當迅速，因此若可利用多筆雷達資料快速同化進模式中，將有助於分析場的風場和水汽場的調整，本研究分別利用 cold start、3 小時以及 1 小時同化策略進行雷達資料同化實驗，其同化策略示意圖如圖 3.6 所示。利用不同的同化循環策略後的分析場，進行模式的預報，以 2012

年6月的梅雨個案為例，其預報每小時雨量累積結果如圖 3.7 所示，從圖中可看出，若能進行快速循環同化，可修正北部的延遲降雨，且對南部降雨預報結果也較佳。

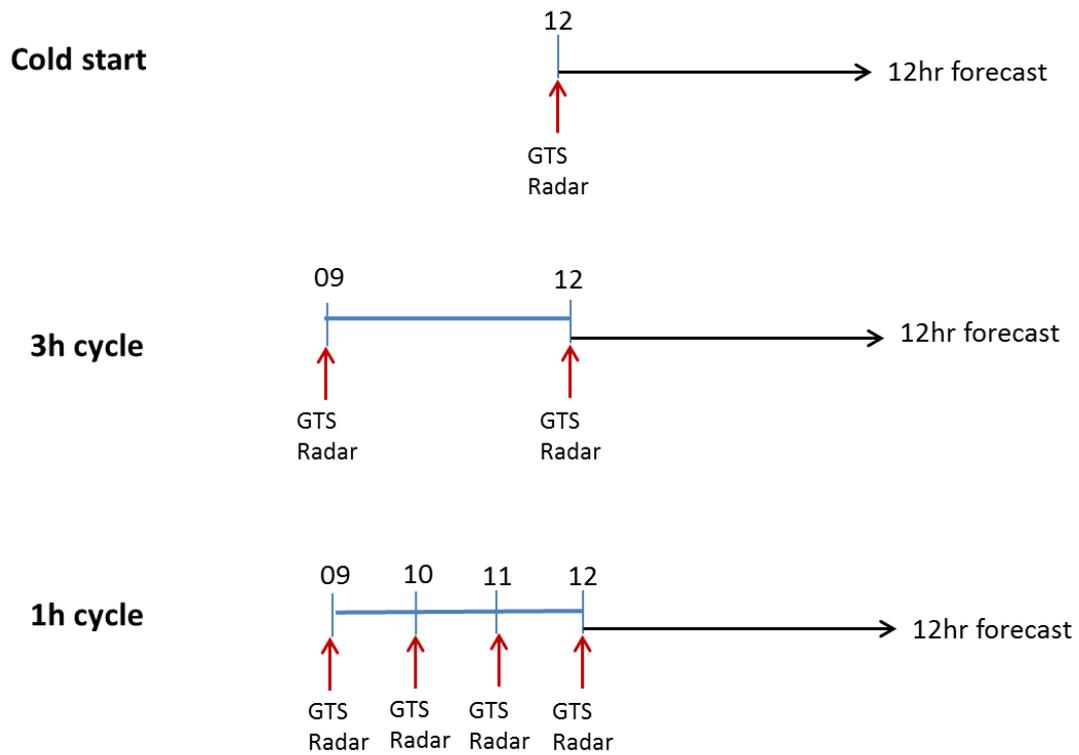


圖 3.6 不同快速循環同化策略測試方案示意圖

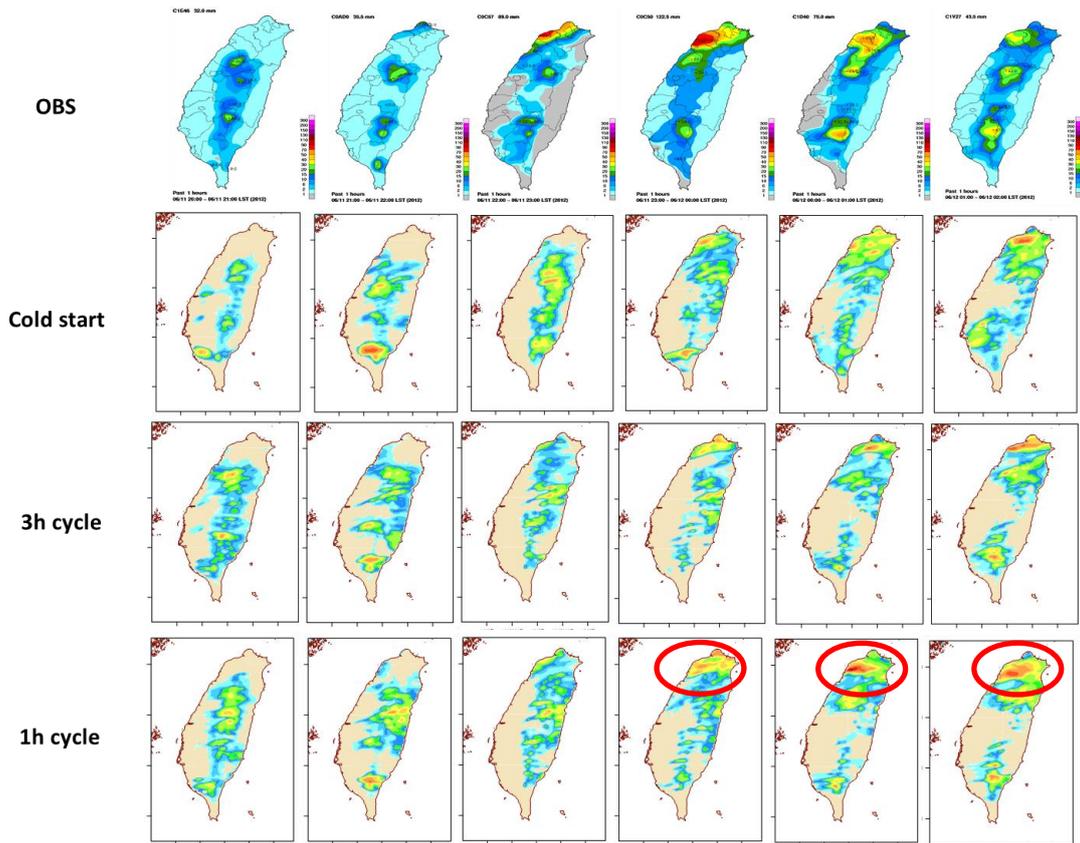


圖 3.7 不同快速循環同化策略同化雷達資料後之時雨量預報圖

3.2 極短時定量降雨預報作業化版本

3.2.1 修正雷達資料同化策略

本計畫考量雷達資料可快速提供最新的掃描結果，有鑑於上一節的研究成果顯示快速循環同化有助於將雷達資料更新進模式中，同時，為提供極短時定量降雨資訊給水文端應用，以及配合「作業化」計算時程，在有限計算資源之下，本計畫提出修正之雷達資料同化策略，包含改變同化方式由 cold start 變成 30 分鐘快速循環同化，以及逐時進行雷達資料同化，並提供未來 1-7 小時的定量降雨預報結果，其同化策略示意圖如圖 3.8 所示。

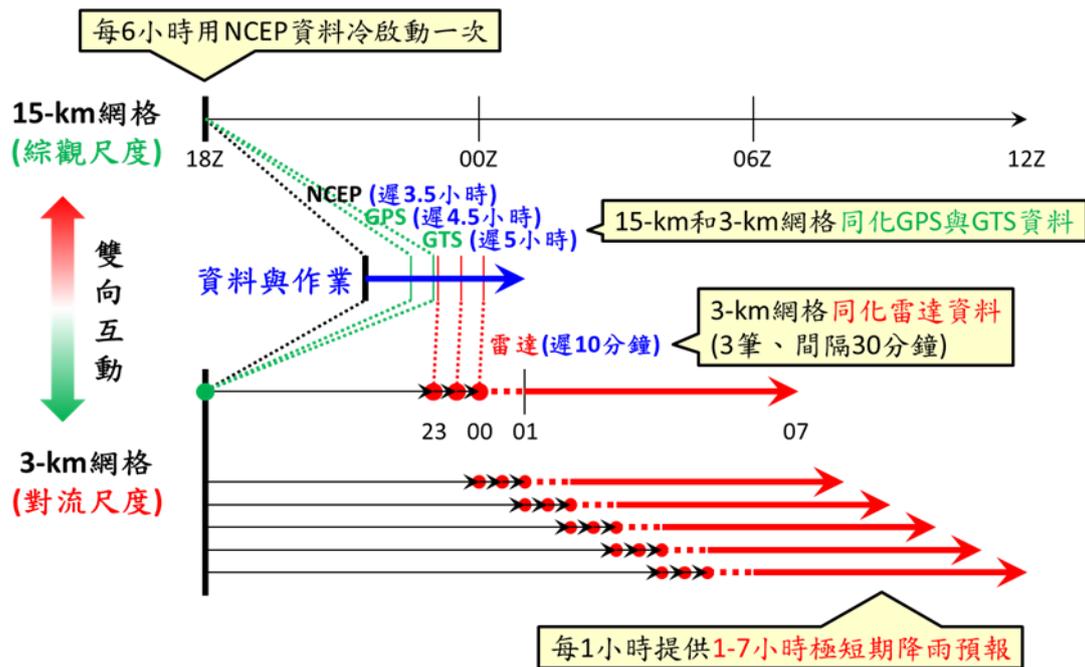


圖 3.8 修正之雷達資料同化策略方案設計示意圖

為配合本總計畫大規模崩塌災害防治技術與風險地圖建置的目的，將研究分析區域選定為小林村區域，然而因為小林村範圍太小，因此本研究選定其附近 16 個模式網格點，來進行雨量校驗的工作，其分析範圍如圖 3.9 所示。另外，本計畫為提供下游應用端有關土石流預警及道路安全性評估等研究，也選定了近年來易致災的蘇花公路段，進行模式的預報和校驗，蘇花公路上游集水區和模式分析範圍如圖 3.10 所示。

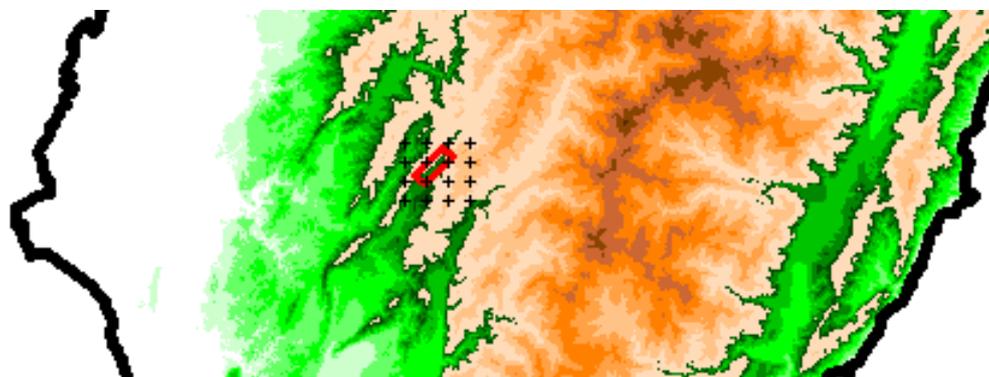


圖 3.9 小林村區域與模式網格相關位置示意圖

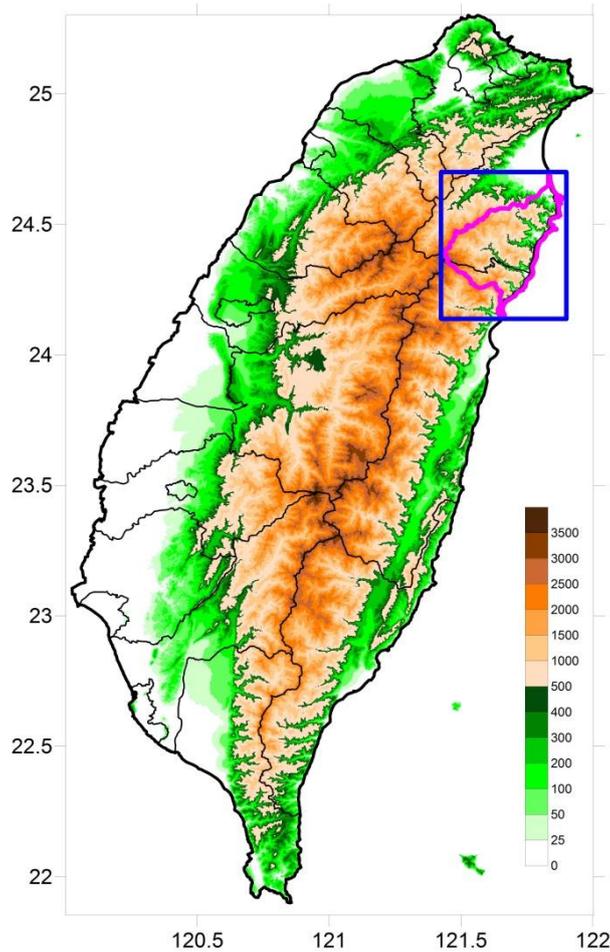


圖 3.10 蘇花公路段流域集水區與模式校驗區域示意圖

在分析個案的挑選方面，本研究共選定了梅姬、奈格、蘇拉、桑達、南瑪都、蘇力、康芮颱風，以及 2012 年 5 月份的梅雨個案，總共預報時間為 220 個預報時段，進行系統性的評估有無雷達資料同化，對於降雨預報的影響。將每個預報時間之 1-7 小時累積降雨，與 QPESUMS 觀測降雨做比較，結果顯示有經過雷達資料同化的降雨預報皆優於無雷達資料同化的結果，尤其在大雨的時候更為明顯，如圖 3.11 所示。

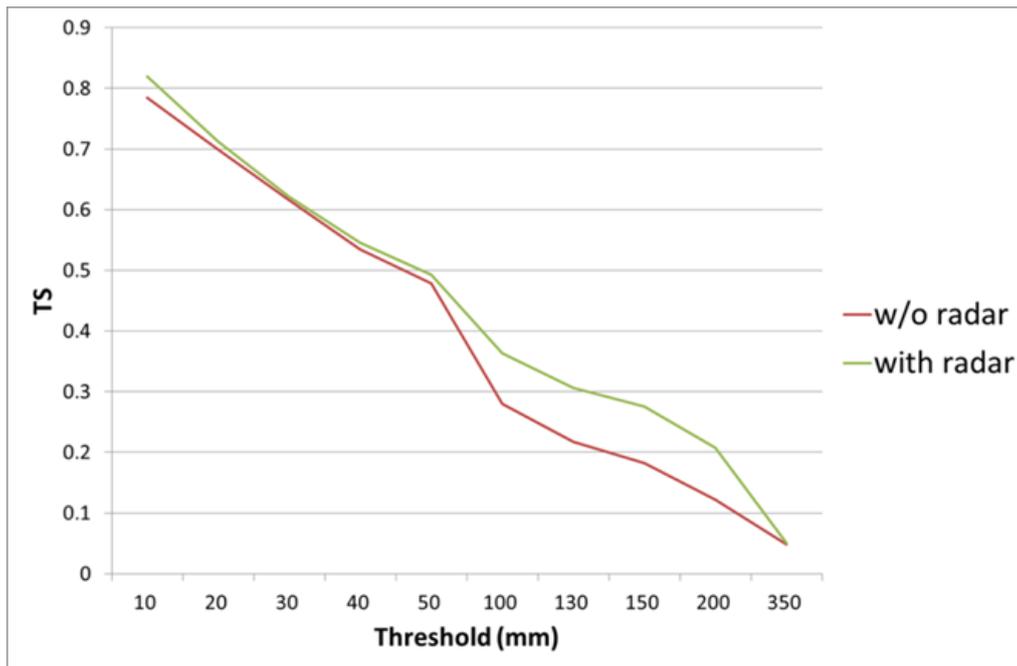


圖 3.11 所有個案有無雷達資料同化之降雨預報，平均模式預報得分比較圖

本計畫已完成新版模式範圍設定，以及同化策略設計，同時也在本中心的計算設備上建置完成如圖 3.8 所示的準作業化系統，逐時提供未來 1-7 小時的降雨預報資訊。研究成果顯示雷達資料同化的確具有改進極短期定量降雨預報的能力，未來本中心也會持續改進同化技術，並評估使用不同同化方法，例如：系集卡曼濾波、四維變分資料同化等方法，進行系統性的評估和測試，期望能進一步得到更好的定量降雨預報資訊。而本計畫也會將此研究成果，提供給水文端的使用者，做為河道演算、逕流模擬、邊坡穩定分析、都市淹水模擬等等相關的研究工作所需之雨量資訊。

第四章 大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬

本年度災防科技中心所負責之「大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬」部分，共分為 3 個子項計畫來執行，主要任務是為推動崩塌災害的防治工作、蒐整階段性成果與後續推動策略研擬。

這個計畫除了延續災防科技中心 100 年度所執行之大規模崩塌災害防治推動策略的成果外，並依據 100 年 08 月 17 日第 19 次行政院災害防救會報中之建議，大規模崩塌災害防治調查工作需要參考日本、義大利與香港等方法技術，並以保全對象為優先，從全國流域尺度、集水區尺度，以及山坡地尺度等三個不同之規模，分別進行調查工作，以篩檢出坡地崩塌災害之高潛勢區域。另外配合儀科中心發展坡地崩塌災害之監測技術，以及颱洪中心發展定量降雨短時預報技術等兩個中心之研發成果，應用於集水區或山坡地尺度之崩塌監測及預警工作中。各中心之整合與分工如圖 4.1 所示。

103 年度之「大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬」子項計畫下，有 3 項主要的工作，包括：(1)災害歷史紀錄蒐整與分析；(2)大規模崩塌潛勢區防災地圖制作之示範；(3)大規模崩塌災害防治推動策略研擬等，各項主要的工作說明如後。

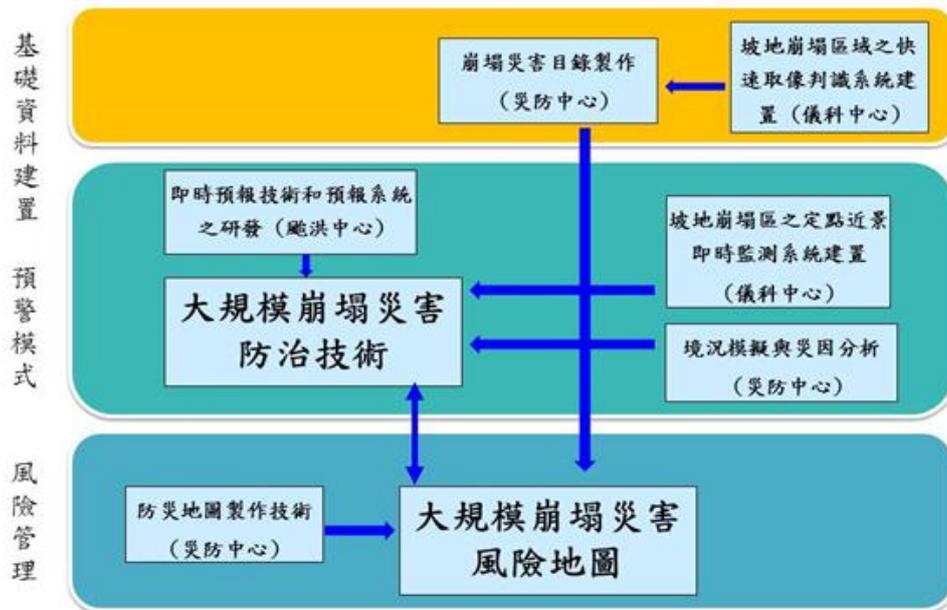


圖 4.1 各中心整合與分工架構

4.1 災害歷史紀錄蒐整與分析

此部分工作最主要的目的有兩項，其一是建立歷史重大崩塌災害蒐整機制，另外則是有關大規模崩塌基本資料的蒐集與分析。

4.1.1 建立歷史重大崩塌災害蒐整機制

災防科技中心目前對於坡地災害的歷史資料蒐整主要的來源有幾個部分，除了災防科技中心建置的坡地災害資料庫及水保局的重大土石災情報告之外，本年度新增介接地調所的山崩災害歷史資料庫，各部分的資料相關說明則詳述如後。

災防科技中心的坡地災害資料庫，最主要是彙整 1990-2014 年約 10,000 筆全臺坡地災害紀錄（圖 4.2）。資料來源包括地質調查報告書、水保局土砂災害記錄、鐵路局與公路局山區交通道路通阻及搶修記錄、消防單位報案記錄、各災害事件專案報告書、以及各報章雜誌記載等資料。其中坡地災害類型分成土石流災害、邊坡崩塌、落石、路基崩塌、橋梁受損及其他等共計六類。除了近期約 24 年的歷史資

料外，去年度（102 年）也完成彙整及數化國科會早期（民國 56 年至 81 年期間），全台 251 處重大山崩災害事件之詳細資料，如災害發生的時間、地點、居住型態、自然環境（地形、岩層、邊坡類型）、土地利用類型、崩塌種類、崩塌地相對於災區位置、災害誘因、傷亡（傷、亡）、損傷（全毀、半毀、其他）、工程地質參數、潛在地質災害，以及災後土地使用狀況等。此處所稱之「重大崩山災害」係指因崩塌而有人員傷亡、房屋或其他構造物損毀之災害而言，詳細資料整理如圖 4.3 及表 4.1。

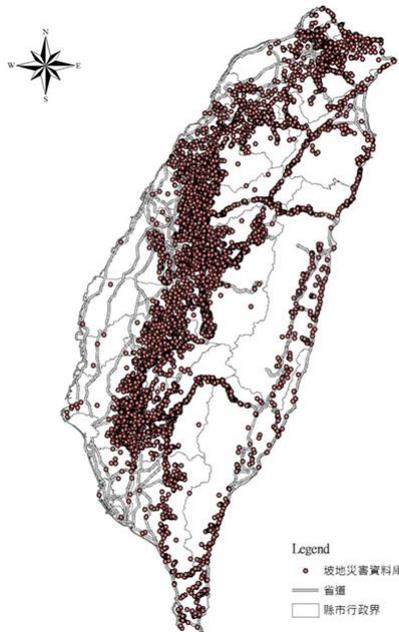


圖 4.2 NCDR 坡地災害資料災點位置

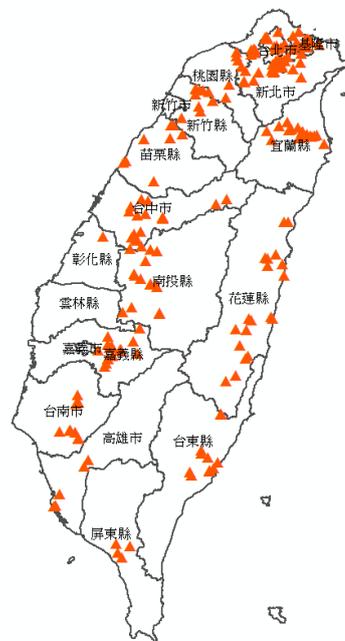


圖 4.3 國科會整理臺灣早期 (1967~1992) 251 處重大崩塌點位

表 4.1 臺灣早期 251 處重大崩塌災害統計

地區	統計期間	案例數	損失	資料來源
北北基	民國 57~75 年	87	死亡：130 人 受傷：20 人 屋損：195 間	張石角 (1988)
桃園、新竹、 苗栗、台中	民國 58~78 年	48	死亡：45 人 受傷：14 人 屋損：256 間	張石角 (1991)
彰化至高雄七 縣市	民國 58~79 年	59	死亡：46 人 受傷：33 人 屋損：179 間	張石角 (1991)
屏東及台東	民國 59~79 年	18	死亡：23 人 屋損：342 間	張石角 (1991)
花蓮及宜蘭	民國 56~81 年	39	死亡：69 人 受傷：33 人 屋損：475 間	張石角 (1993)
合計：			死亡：313 人 受傷：100 人 屋損：1447 間	

水保局的重大土石災情報告，為近期（民國 95 年起）重要的坡地土砂災害參考資料，彙整災害的類型包括崩塌、土石流及洪水災害等類型，彙整的內容除了災害發生地點、時間、類型外，另外整理了鄰近參考雨量站的資訊、災損描述及統計、相關現地調查的照片等(如圖 4.4)，相關資訊建置於水保局土石流防災資訊網，提供了詳細的參考資料供各界查詢及應用。

102年蘇力颱風重大土石災例最速報

102年蘇力颱風 台中市—和平區天輪里

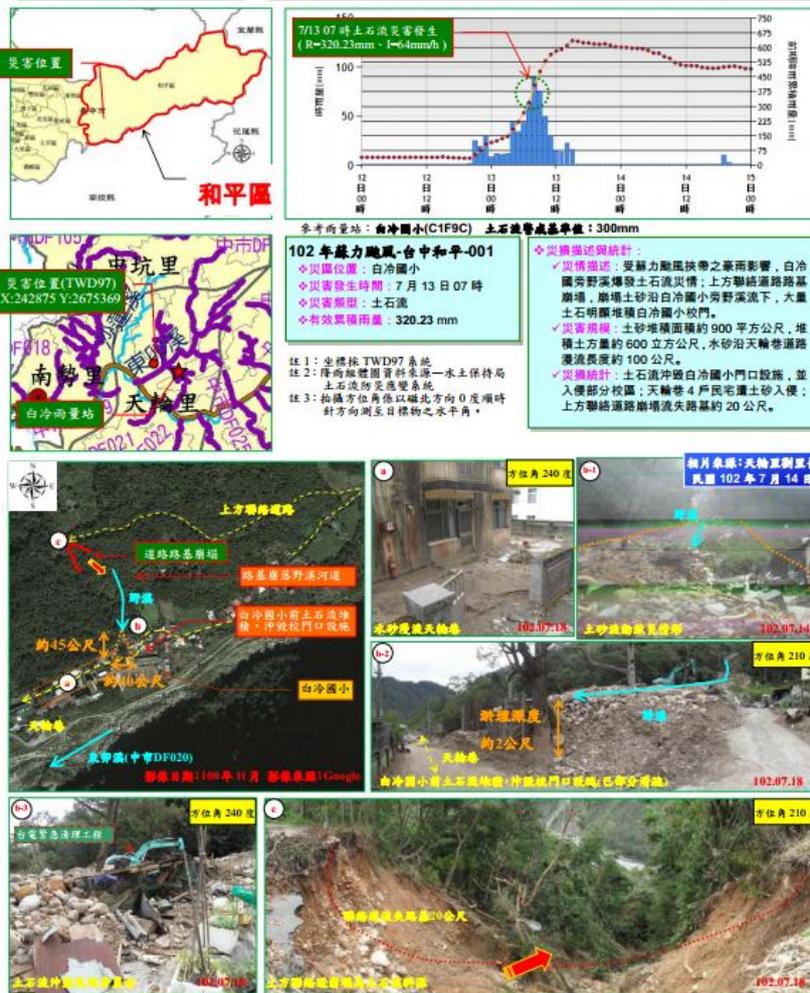
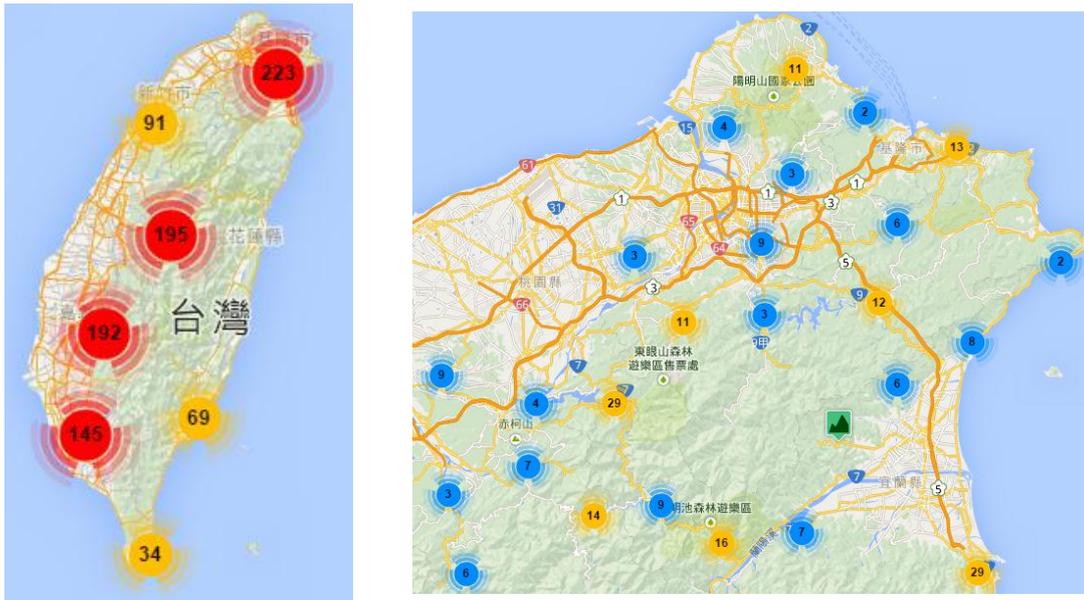


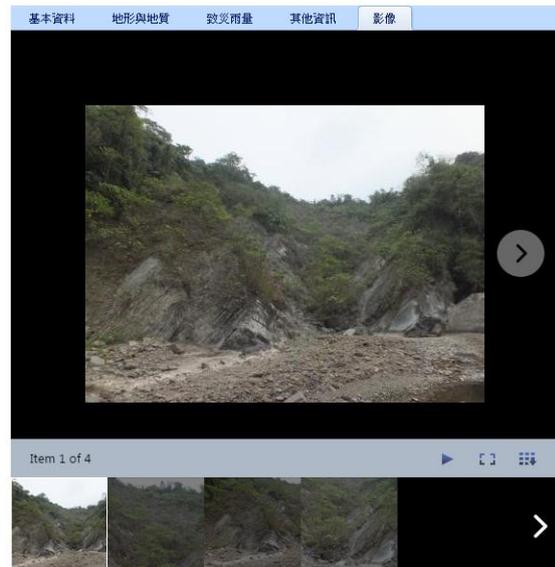
圖 4.4 水保局重大土石災情彙整格式

地調所新建置的山崩災害歷史資料庫，最主要是彙整 1987-2013 年約 950 筆經現地調查完成的全臺坡地歷史災害紀錄（圖 4.5）。彙整的內容包含基本資料、地形與地質、致災雨量、其他資訊及影像等類別，目前相關資料已介接至災防科技中心及應科方案平台中展示。



(a) 查詢介面

基本資料	地形與地質	致災雨量	其他資訊	影像
災害編號	101-0195			
災害名稱				
縣市				
鄉鎮				
村里				
道路名稱				
里程數				
附近地標	美濃黃蝶谷			
X座標(TWD97)	209905			
Y座標(TWD97)	2539540			
1/25,000圖號	95184NW			
1/25,000圖名	美濃			
災害日期	2009/8/8 上午 12:00:00			
災害 通報時間	02:00:00			
事件名稱	莫拉克颱風			
受災對象				
面積(平方公尺)	4104			
平均深度(公尺)	0.7			

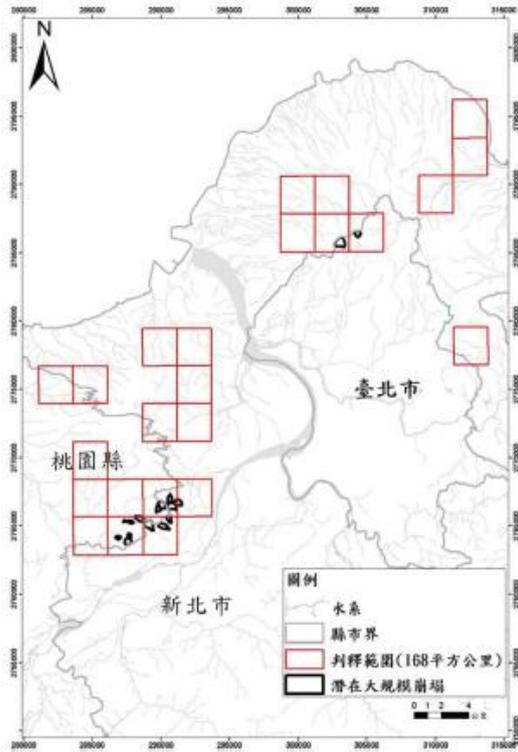


(b) 資料展示格式

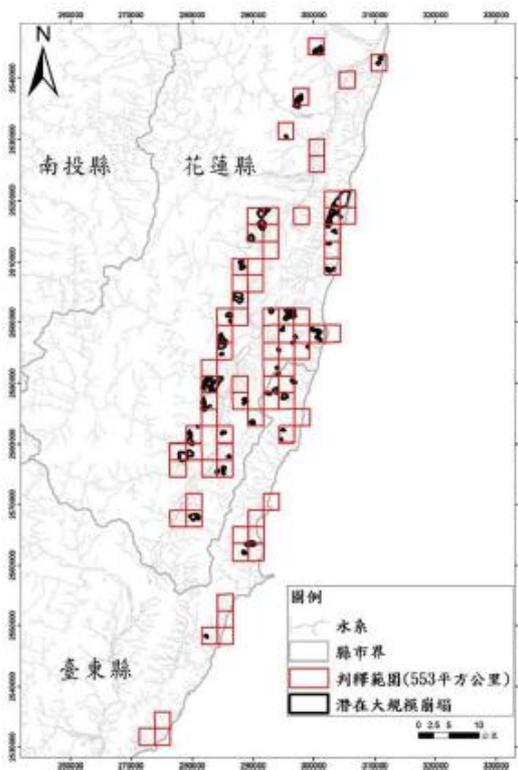
圖 4.5 地調所山崩災害歷史資料庫

4.1.2 大規模崩塌基本資料蒐集

大規模崩塌基本資料蒐集方面，本年度除地調所提供非莫拉克受災地區潛在大規模崩塌地區圖資外（圖 4.6），也彙整年度各單位相關成果，將其年度具體成果分成潛勢評估技術、預警評估技術、即時監



(a) 新北市、桃園縣潛在大規模崩塌影響之聚落分布圖



(b) 花蓮縣潛在大規模崩塌影響之聚落分布圖

圖 4.6 地調所非莫拉克受災地區潛在大規模崩塌地區圖資

測技術、減災管理操作、重點區域評估技術、部會坡地災害管理系統、基礎調查資料、平台建置等 8 大項技術，共 20 個細項技術如表 4.2 所示。

表 4.2 年度各部會在大規模崩塌領域具體成果產出（災防科技中心彙整）

技術類別	有具體成果細項技術名稱	執行單位
1.潛勢評估技術	(1)動態雨量山崩潛勢分析模式及山崩潛勢圖	經濟部中央地質調查所
	(2)山區道路易致災路段劃分	交通部運輸研究所港研中心
	(3)整合崩塌-土石流災害潛勢評估模式開發	內政部建研所
	(4)深層崩塌潛勢區位判釋、現地調查與分析	農委會林務局
2.預警評估技術	(1)重點監控路段降雨指標與門檻值	交通部公路總局
	(2)防災氣象資訊分析研判	農委會水土保持局
3.即時監測技術	(1)大規模潛在山崩機制調查與活動性觀測系統	經濟部中央地質調查所
4.減災管理操作	(1)山區道路邊坡破壞風險分析模式	交通部運輸研究所港研中心
	(2)社區優先防治敏感區風險分級圖	內政部建研所
	(3)重點監控路段降雨歷線與致災風險關係曲線分析	交通部公路總局
5.重點區域及影響評估技術	(1)崩塌災害影響範圍推估方法	國家災害防救科技中心
	(2)不同尺度崩塌調查與判釋	農委會水土保持局
	(3)深層崩塌潛勢區危險等級評估	農委會林務局
6.部會坡地災害管理系統	(1)降雨引發山崩預警資訊系統	經濟部中央地質調查所
7.基礎調查資料	(1)斜坡單元及山崩目錄建置	經濟部中央地質調查所
	(2)大規模潛在山崩地區地質調查及山崩機制分析	經濟部中央地質調查所
	(3)發展高解析度雷達資料同化系統	台灣颱風洪水研究中心
	(4)坡地崩塌區之定點即時監測實驗雛型系統	儀器科技研究中心
	(5)建立歷史重大崩塌災害蒐整機制	國家災害防救科技中心
8.平台建置	(1)課題一平台應變及減災服務規劃與建置	國家災害防救科技中心、國家高速網路中心

4.2 大規模崩塌潛勢區防災地圖製作之示範

本節將延續前期劃設大規模崩塌潛勢示範區之影響範圍，進一步探討與建立大規模崩塌潛勢區之聚落防災地圖流程，利用防災地圖詮釋資料，考量使用者之目的，決定地圖之基本圖元種類。同時，配合政府公開災害潛勢資料之製作比例尺，建議適當之展示地圖比例尺，完成大規模崩塌災害潛勢區之防災地圖。今年選定嘉義縣竹崎鄉文峰聚落、高雄市甲仙區小林二村聚落、以及屏東縣霧臺鄉大武部落具有大規模崩塌潛勢之聚落案例，示範防災地圖製作，示範區地理位置如圖 4.7 所示。



圖 4.7 示範區位置圖

4.2.1 災害防救相關地圖種類

災害管理過程當中，為協助管理者於災害風險各階段之需求，產出不同與災害相關之地圖，臺灣目前常見名詞包括危害圖 (hazard map)、風險圖 (risk map)、潛感圖 (susceptibility map)、災害目錄圖 (inventory map)、避難疏散圖 (evacuation map)、以及防災地圖

(disaster prevention map)。其中防災地圖為日本與臺灣較為常用之名詞，屬於綜合性資訊之地圖，可結合害危害圖、災害潛感圖、避難疏散圖、以及防救災資源配置圖，為災害防救與應變使用。而歐美地區一般仍以危害地圖 (hazard map) 與風險圖 (risk map) 最為常見，進一步應用則加值建物、土地利用等資訊，符合災害預防與風險管理之需求。雖然地圖名詞使用上並無硬性規定，但對於使用者面對各種圖輯時，卻往往混淆而不易使用的困擾。

單信瑜等 (2011) 指出防災地圖是將災害防救資訊以點、線、面的方式繪製成地圖，但因政府公佈許多防災地圖資訊，造成各種地圖不易閱讀致使使用者容易混淆。因此，歸納目前政府出版地圖，依照單位出版目的與內容歸納，配合國內外常用之崩塌災害地圖使用習慣，整理如下。

1. 災害目錄圖 (inventory map)：標明歷年災害事件發生的位置、時間、或影響範圍。崩塌災害目錄圖為各種崩塌研究之基礎，尤其以 Charles Lyell 地質學著名的均變論 (uniformitarianism)，提出地質時間的概念，現在為通往過去的一把鑰匙。後來許多崩塌災害研究者更進一步認為，現在與過去為通往未來的一把鑰匙 (Varnes et al., 1984; Carrara et al., 1991; Guzzetti et al., 1999)。目前水保局土石流潛勢溪流、地調所山崩目錄圖、國家災害防救科技中心 (以下簡稱災防科技中心) 的坡地災害資料，屬性資料欄內載明空間地點與災害發生時間，皆屬於此類地圖。

2. 潛感圖 (susceptibility map)：也稱為潛勢圖。標明災害可能發生的地區、或可能影響範圍。Glade and Crozier(2006)認為以影響崩

塌發生之因子，例如坡度、坡向、地質因素等，藉由各種分析方法，以各影響因子權重而得到崩塌的發生可能性，皆屬於潛感圖（或潛勢圖）。目前水保局之土石流災害潛勢圖、地調所之環境基本圖與地質災害潛勢等，應屬於潛感圖。另外，災防科技中心彙整政府出版之各種災害類型潛勢圖輯，亦屬於此類型之地圖。

3. 危害圖 (hazard map)：標明災害在特定災害規模發生頻率之下，災害可能發生的地區、或可能影響範圍。潛感圖與危害圖最大差別在於是否有考量時間因子 (Glade and Crozier, 2006)。因此，以淹水災害潛勢圖與地質災害潛勢圖為例，兩者雖然名稱皆稱為潛勢圖，但淹水災害潛勢圖，為特定累積降雨下淹水深度與範圍，較為符合危害圖使用。

4. 風險圖 (risk map)：標明特定災害規模下發生後所造成的後果，除了危害圖之外，考慮災害發生後的後果。目前針對不同災害之風險地圖製作較多著墨者，是以氣候變遷影響下各種災害之風險地圖 (行政院國家科學委員會，2011)，以鄉鎮為尺度作為災害、自然條件以及社會經濟脆弱度之分級所製作之風險地圖。

5. 避難疏散圖 (evacuation map)：是標明災害潛勢區域及其周遭人員遇到災害發生或警示時的疏散方向，或是避難路線及避難收容場所位置。使用目的是協助應變管理者或者社區在進行疏散避難可參考之安全路線與可能收容避難場所。目前各地區皆有避難收容所圖之立牌、水保局土石流疏散避難圖，皆屬於該類型之地圖。

6. 防災地圖 (disaster prevention map)：災害防救基本計畫(2013)第十二編指出，防災地圖為明確標示災害危險處所、避難場所、避難

路線、防災機關、人口動態（作息時間與年齡分佈）等資料。因此，防災地圖為整合上述潛感圖與疏散避難圖，並加入防災機關與人口分布資訊。

政府公開災害潛勢或防災圖資，包括危害圖（hazard map）、風險圖（risk map）、潛感圖（susceptibility map）、災害目錄圖（inventory map）、避難疏散圖（evacuation map）、防災地圖（disaster prevention map）等，其中『防災地圖』一詞常見於日本與臺灣防救災使用，地圖詮釋資訊包括災害危害圖、避難疏散圖、以及防救災資源配置圖，是以災害防救與預防使用目的。然而，歐美地區常見危害地圖與風險地圖，配合建物、公共設施、或道路等相關社會經濟活動圖資，作為災害管理設計使用，雖然與防災地圖詮釋內容相似，但較少以『防災地圖』做為使用名詞。雖然如此，為避免後續使用上的困擾，以下針對各種地圖加以定義，並對應目前政府所公布各種災害潛勢圖資。

- (1) 危害圖（hazard map）：標明災害在特定災害頻率之下，災害發生可能地區與其可能的影響範圍，例如水利署之淹水災害潛勢圖
- (2) 潛感圖（susceptibility map）：標明考慮影響因子之下的災害可能發生程度。當危害地圖未考慮時間因素（災害發生頻率），則與潛感圖相同。目前水保局之土石流災害潛勢圖、地調所之環境基本圖與地質災害潛勢圖等，應屬於潛感圖。水利署之淹水潛勢圖則因考慮設計重現期與累積雨量之下淹水高度，亦有考慮到時間因素，較符合危害圖之定義。
- (3) 風險圖（risk map）：標明特定災害頻率、特定災害規模之下所造成的後果。因此除了危害圖之外，尚須包括災害發生後的影響後

果。目前政府公開災害風險圖，多以社會經濟圖與危害圖的套疊，並未對社會經濟之脆弱度加以分級。目前以氣候變遷影響下各種災害之風險地圖，以鄉鎮為尺度作為災害、自然條件以及社會經濟脆弱度之分級所製作基期、世紀末與近未來之風險地圖（行政院國家科學委員會，2011）。

4.2.2 防災地圖圖元種類

臺灣目前以「災害防救基本計畫」與「防災地圖製作作業手冊」明確建議防災地圖內須詮釋內容。災害防救基本計畫（2013）第十二編災害防救業務計畫及地區災害防救計畫之重點項目中，指出防災地圖需明確標示災害危險處所、避難場所、避難路線、防災機關、人口動態（作息時間與年齡分佈）等資料；中央災害防救委員會於 2009 年訂定『防災地圖製作作業手冊規定』，2013 年與 2014 年內政部依據操作狀況予以修訂，且落實於『災害防救深耕計畫』，作業手冊指出防災地圖主要為顯示鄉（鎮、市、區）與村（里，含部落）之現有防救災相關資源、可能致災地區及避難收容處所，災時供指揮官調度運用。從上述臺灣災害防救最高指導原則認為，災害潛勢圖與疏散避難圖為最基本之圖元資料。

因此，對於潛在大規模崩塌之防災地圖之圖元種類，如圖 4.8 所示，彙整林聖琪等（2014）建議崩塌風險地圖圖元種類，配合災害防救基本計畫之精神，災害潛勢圖是以地形地貌圖詮釋災害發生來源、崩塌滑動路徑與堆積影響範圍；影響範圍內之建築物、公共設施、醫療處所、以及路網，為風險圖中暴露量。潛勢圖與暴露量圖完成基本潛在大規模崩塌之風險圖後，再彙整鄰域避難處所與前往之主要道

路、防災資通訊聯絡等相關資料，則符合災害防救基本計畫中防災地圖內容需求。

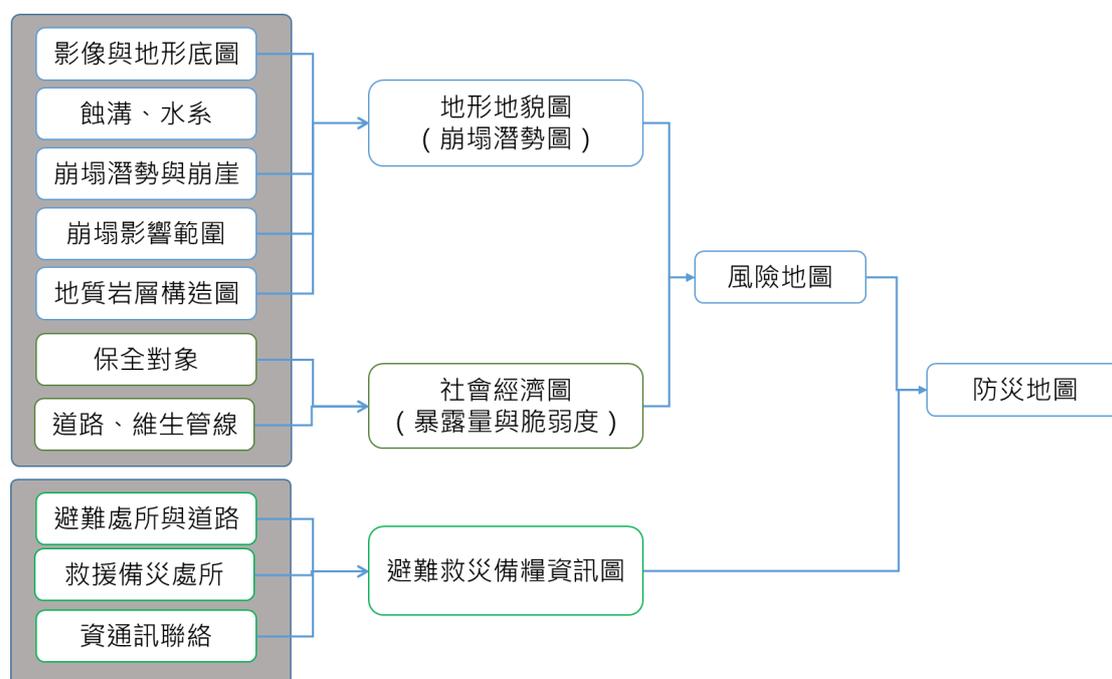


圖 4.8 崩塌災害風險地圖圖元種類

4.2.3 地圖使用者

近年來，雖然推行落實防災地圖製作，但仍有許多問題存在，製圖者希望同一張地圖可以詮釋所有的資訊，造成圖面資訊複雜、圖例繁多不易直覺反應、圖資精度不足等問題，使用者閱讀地圖時，因資訊過多而無法直覺判斷，造成無資訊的困擾。單信瑜等（2011）、陳振宇（2013）、與林聖琪等（2014）皆認為，防災地圖圖元種類考量，首重於使用者對象與目的，再決定地圖需涵蓋之圖元種類（林聖琪等，2014）。雖然防災地圖明確指出需要包含災害潛勢圖、疏散避難圖、以及防災資訊，但以居民與行政管理角度所需內容絕對不相同。以潛在大規模崩塌災害為例，因災害影響涵蓋範圍甚大，同樣為

避難處所則不會設置於聚落內。以下就居民與行政管理者對象，進一步說明潛在大規模崩塌之防災地圖目的。

1. 從居民的角度

防災地圖目的，為使居民瞭解項目包括：(A) 能清楚辨識居住環境潛在危險來源、(B) 災害發生前徵兆可能出現位置、(C) 災害影響影響範圍、(D) 居住處所是否位於高衝擊處、(E) 安全避難收容處所與前往之安全路線、(F) 應變救災資源配置與供應位置。然而，大規模崩塌災害影響範圍幾乎整個聚落內皆受到衝擊，(E) 與 (F) 的設置基本無法設置在聚落內，需考慮隔壁村或鄉鎮。因此，對應提遭疏散避難對策，(B) 災害發生前之徵兆（例如地表裂縫等）、徵兆的是否持續發展情形、避難疏散的時機規劃，對於居民而言較為重要。

2. 從行政管理者角度

防災地圖對行政管理者，除了居民瞭解項目與工程防護減災規劃之外，另外可使管理者瞭解項目包括：(A) 災害發生後影響範圍內之住戶清冊、(B) 替代道路、(C) 鄰近聚落物資調度配置圖、(D) 前進指揮所設置點、(E) 鄰近收容所位置、(F) 鄰近資源或備源調度等，其中，鄰域可調度資源資訊項目，為潛在大規模崩塌之防災地圖與一般防災地圖不同處。

4.2.4 資料來源與展示比例尺

一般地圖製作與出圖，需考量圖資來源、製作時間、以及出圖展示比例尺。隨著地理資訊系統軟體使用普及，製圖者往往忽略圖資來

源與展示比例尺限制 (Glade and Crozier, 2006)。目前國內以內政部 (2013)『防災地圖作業手冊』有做相關規定：實地踏勘需取得相片基本圖 (1:5000 或 1:10000) 或足夠代表地區現況之適合比例地圖；製作之防災地圖中，鄉(鎮、市、區)比例尺為 1:1200~1:2400，村(里，含部落)比例尺為 1:600~1:1200。上述內政部規定製作出防災地圖，對於地圖解析度上要求甚高，然而製圖者若未經現地查證、資料增補以及編修，直接套疊政府公告災害潛勢圖資，雖然 GIS 軟體可依放大展示比例尺，但資料解析度卻無法符合要求。例如文峰示範區中水道背斜軸線位置，在朴子溪 1:150,000 流域地質圖面與嘉義縣竹崎鄉樣子寮區域地質圖明顯不同，如圖 4.9 所示。

崩塌災害相關地圖以小比例尺 ($\leq 1:100,000$) 詮釋縣市崩塌風險等級辨別為主，中比例尺 (1:100,000~25,000) 辨識崩塌風險衝擊，大比例尺 ($\geq 1:25,000$) 則以城市、鄉鎮、或地區為主之風險辨識，甚者，可製作 $\geq 1:5,000$ 更精細之風險地圖 (Fell et al., 2008; Corominas and Mavrouli, 2010; Safeland, 2011)。防災地圖當中災害潛勢圖資來源，一般以政府公開資料為主。檢視政府公開災害潛勢圖、地形資料、以及社會經濟資料，如表 4.3 所示，環境地質調查 (例如岩層與地質構造等) 與災害目錄與調查多屬中比例尺圖資 (1:50,000~1:25,000)、相片基本圖或航空照片屬於中至大比例尺 (1:5,000~1:10,000)。土石流潛勢溪流是以 1:5,000 航空照片為底圖劃設溪流、影響範圍以及涵蓋保全對象。淹水潛勢地圖與土石流潛勢溪流規定相似，以 1:5000 彩色相片基本圖為底圖，展示比例尺依據縣市或流域大小不同，設定為 1:150,000~1:25,000 之間，以能展現計畫區域全貌及清楚表現各項淹水潛勢資訊為原則。

有鑑於此，適當潛在大規模崩塌災害之防災地圖展示比例尺，因災害發生特性與災後影響產狀，建議涵蓋聚落與影響聚落安全環境之範圍，考量取得資料與展示範圍，建議展示比例尺至少1:5,000~1:10,000之間。

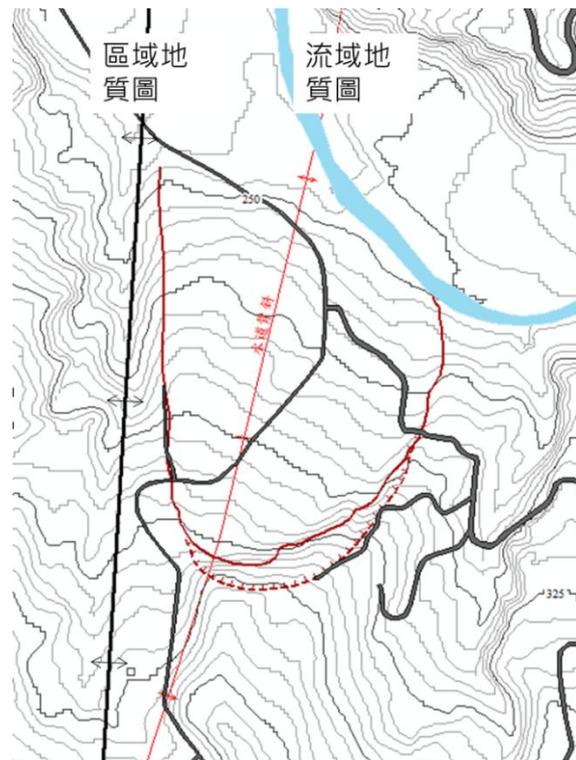


圖 4.9 水道背斜軸於不同資料來源之位置圖

表 4.3 災害潛勢資料彙整表

資料種類	資料來源	比例尺
土石流潛勢溪流	水保局	1:5,000
土石流潛勢溪流影響範圍	水保局	1:5,000
環境地質敏感圖	地調所	1:25,000
地質圖	地調所	1:50,000~1:25,000
道路	交通部	1:5,000
建築物	航空照片繪	1:5,000
航空照片	農林航測所	1:5000~1:10000
河川	水利署	1:5,000
避難處所/收容所	衛福部/縣市政府	1:5,000

4.2.5 防災地圖製作流程

根據內政部（2014）規定防災地圖製作繪製程序如下：

- (1) 災害歷史調查：以災害事件為主的紀錄內容，包括災害類型、發生時間、發生地點、規模與災情等資料，並依據災害狀況、受損情形、災害範圍等，明列詳細之歷史災害資料，以備查用。此外亦可將個人災害經驗併入討論與調查，以加強未來災害防救之實務經驗。
- (2) 災害潛勢分析：針對轄內災例及潛災地區進行災害類別之調查分析，並針對發生時間、發生地點災害情形、災害原因等進行相關研析，對應及修改防災圖資。
- (3) 基本特性調查：包括自然環境調查與社會環境調查。
- (4) 實地踏勘：確認實地環境中危險與安全區域，及相關災害防救問題等初步擬定防災地圖後，與當地村(里)長、村(里)幹事、民眾共同進行現地勘驗。

- (5) 檢視疏散避難計畫：參考踏勘警戒區、避難收容處所及初繪疏散避難方向等，據以訂(修)定疏散避難計畫。
- (6) 防救災有關情資：包括防救災專業人士(如警消醫療單位、村(里)人事資料、災害通報單位等。亦可調查並加註地區於災時可提供協助之相關專業人員)、防救災情資分布資訊(各類防救災機具及物資儲備地點、物資存放位置、取水點等)、緊急應變資源(除了一般公共之物資儲存設施外，亦可調查鄰近之大型購物商場、診所、西藥房、五金行、雜貨店等相關可發揮自救或協助救災功能之資源處所)。
- (7) 救災單位與通訊資料更新確認
- (8) 防災地圖完成製作，與本地圖相關之計畫，應於每年防汛期前檢核校正。

參考上述內政部(2014)防災地圖繪製流程，對於潛在大規模崩塌災害之防災地圖製作，在使用者、地圖圖元種類、以及適當比例尺決定後，仍需要現地查證，並將目前之地形地貌。2009年莫拉克颱風後，環境變化極大，除河道變寬、河心改變、河道邊坡沖蝕、邊坡上土方運移等各種現象，基本地形資料與災害潛勢圖資產製年份前後，會與現況有所不同。因此，製作潛在大規模崩塌災害之防災地圖流程如圖4.10所示。

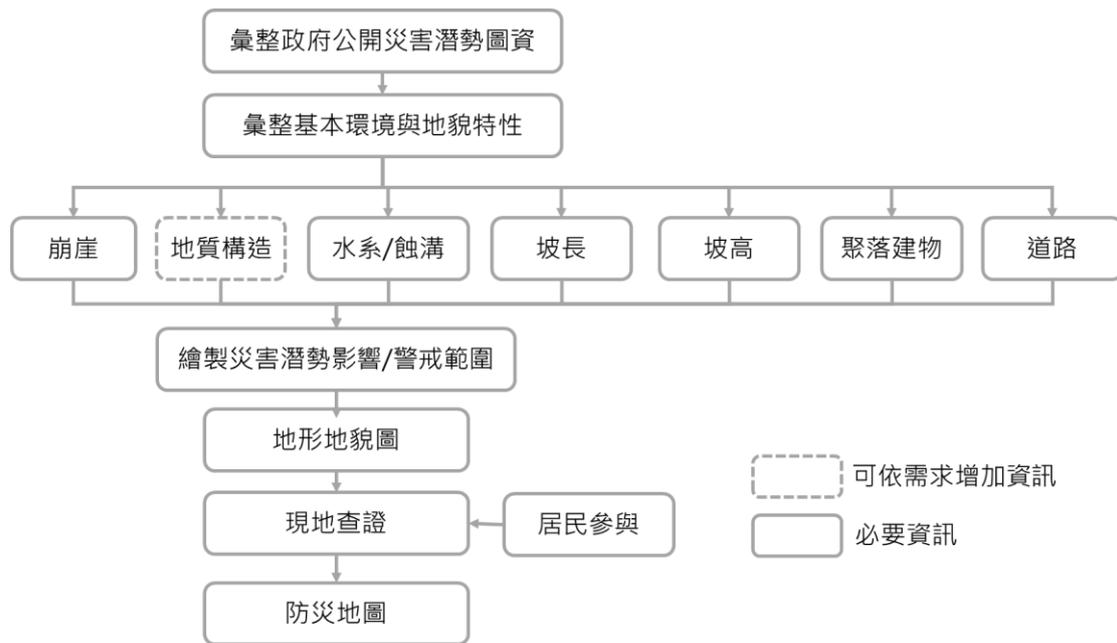


圖 4.10 大規模崩塌災害潛勢區之防災地圖製作流程圖

(1) 彙整政府公開災害潛勢圖資訊

彙整聚落鄰近歷史災害資料、各種災害類別潛勢分析(包括地震、土石流、水災、坡地災害等)、災害影響範圍等資料。

(2) 彙整基本環境與地貌特性

利用航空照片繪製地形與地貌其他資訊，河川、溪流、排水溝渠、蝕溝、裸露地、崩塌地、道路、橋樑、建築物等。

(3) 繪製災害潛勢影響範圍與警戒範圍

大規模崩塌災害影響範圍劃定流程除了可自行進行數值模擬之外，亦可參考災防科技中心(2014)，使用經驗法則劃定影響範圍。彙整日本、香港、以及臺灣劃設崩塌影響範圍或警戒範圍之原則發現，各經驗法則皆著重於坡趾外延之堆積區，日本對於地滑邊坡區塊設定，黃色警戒區為上方崩崖起始點至坡趾處，紅色警戒則為坡趾堆積區，如 4.4 所示。各經驗法則畫設範圍大致相同，以臺灣『崩

塌地危險度分級準則』較為保守，日本、香港以及臺灣『地質敏感區域畫定法』範圍（危險區、敏感區以及特別警戒區）畫設約有±10m 差異；另外，大規模崩塌發生初始速度緩慢，一旦轉為快速移動時，邊坡滑動塊體上方之建築物應屬高危險區域，然而日本將地滑塊體視為黃色警戒區，似乎警戒等級不足。綜合各經驗法則，建議可將警戒區域分為以下兩部分：

A.邊坡滑動塊體範圍：參考地調所大規模崩塌（岩體滑動與順向坡）潛勢範圍，或者具有大規模滑動之崩崖地形徵兆（地調所經由LiDAR 劃設崩崖）、邊坡兩側水系（蝕溝）、以及稜線包含之坡面範圍。如圖 4.11 所示，為大武部落邊坡滑動體確認。邊坡滑動塊體範圍內，設定警戒等級為高警戒區或可為紅色警戒區。

B.坡趾外延堆積範圍：參考『地質敏感區域畫定法』及日本地滑警戒區設定方法，設定高警戒區（或紅色警戒區）以坡趾外延 $1/2 H$ （坡高）範圍，坡趾外延 $2H$ 不超過 250m 為警戒區（或黃色警戒區）。

表 4.4 崩塌影響（警戒）區域經驗法則畫設比較表

影響範圍	上邊坡	坡趾
日本	崩崖	60m~滑動體水平距離(不超過250m)
香港	設施上方 100m內	40m~40%滑坡軌跡
崩塌地危險度分級準則	H~3H	2H~5H
地質敏感區劃定變更及廢止辦法	潛勢範圍區	1/2H
		$L\cos\theta$ （順向坡，邊坡坡頂至至坡趾的水平距離

備註：H 代表坡高，為鄰近邊坡坡頂至坡趾邊緣線之高度差； $L\cos\theta$ 代表邊坡水平距離，L 為邊坡坡頂至坡趾距離， θ 為坡角。

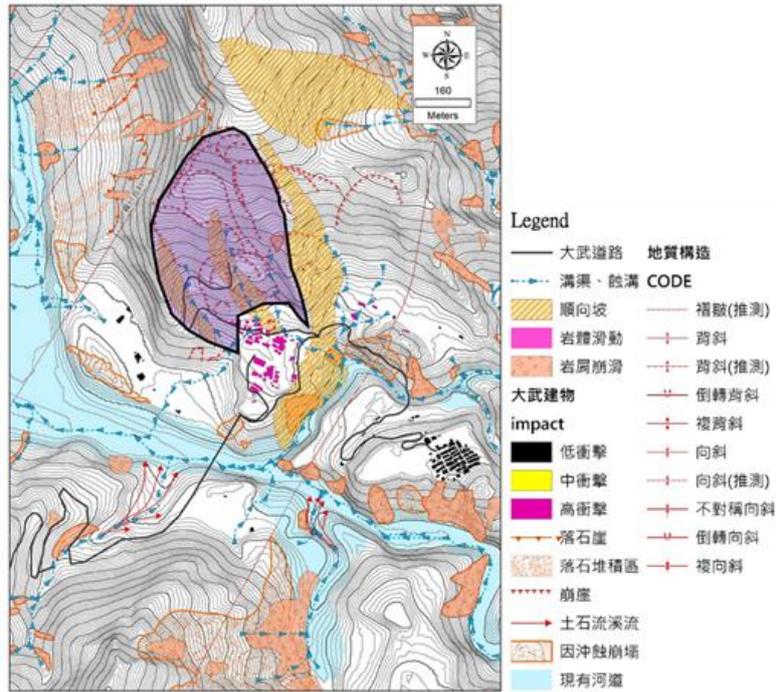


圖 4.11 大武地區大規模滑動塊體範圍（緊鄰聚落上方之黑色線範圍內）

(4) 完成地形地貌圖

將上述彙整崩塌潛勢、地形、地貌、警戒範圍區域套疊後，以航空照片為底圖，完成現地調查之地形地貌圖，以利後續與居民現地查證之參考。

(5) 居民參與現地查證

現地調查目的在查證災害來源、影響範圍、以及航空照片繪製基本環境與地貌之資料，藉由現地調查將現地調查圖逐一查證，尤其在警戒範圍內之地表特徵、建築物、道路等，並註記所有破壞徵兆，例如：道路陷落、房屋裂縫、擋土牆傾斜破裂等。此步驟需要現地居民參與，瞭解平時環境與降雨時期之環境特徵，大規模崩塌發生地表徵兆發生位置與時間，例如建物裂縫、水路消失、地表陷落等等，確認潛在大規模崩塌發生涵蓋範圍，進一步可驗證警戒區劃設是否合適，

並利用地表徵兆紀錄，定期追蹤崩塌滑動發展。另外，藉由與居民討論，瞭解住戶人口分布與進出動態狀況，與鄰近村落橫向聯繫狀況，做為後續防災對策擬定參考。

(6) 完成地形地貌圖

大規模崩塌災害發生時，考量影響範圍內之社會經界活動一般全部損毀，因此，防災地圖上聚落內之避難處所、避難道路、資源配置等資訊，並不建議設置在聚落範圍內。有鑑於此，大規模崩塌災害之一次性的災害損毀，聚落內之緊急應變資源、防救災資源分布、避難道路等資訊建議需設置於鄰近聚落，其應變計畫應以提早整備與疏散較為適合。因此，本研究認為針對聚落內之大規模崩塌災害之防災地圖版型，為符合災害防救基本計畫（2013）精神要求，地圖包括災害潛勢圖為主題圖（包括潛在大規模崩塌區、地表徵兆紀錄、影響警戒區建物、道路、指北針、以及比例尺），其他圖例、鄰近村落避難處所、防災資通訊聯絡網、製圖者與製圖時間。

4.2.6 案例示範區操作

本年度（2014）以、屏東縣霧臺鄉大武聚落、以及高雄市甲仙區小林二村，為進行繪製大規模崩塌災害潛勢區之防災地圖為之示範案例，其中，文峰聚落與大武聚落社區分別位於邊坡坡面與坡趾處，小林二村則大規模崩塌地點為旗山溪對岸之邊坡上，緊鄰邊坡並無發生徵兆，也未被判釋具有大規模崩塌災害潛勢。

(1) 文峰案例

文峰聚落位於嘉義縣竹崎鄉，聚落內之聯外道路嘉 119-1 縣道，因 2013 年潭美颱風單日累積雨量達 300mm 以上之雨量，發生嚴重道路將近有 1m 隆起。同時，雖然道路與建築物已修復，但道路仍有陷落、民宅門窗開裂、以及排水設施破裂損毀與錯移現象。

(a) 文峰聚落警戒圖

文峰聚落座落於邊坡滑動體上，各項徵兆明顯有坡體有滑動跡象，以經驗法則畫設警戒範圍，聚落滑動邊坡坡高 (H) 100m，邊坡水平距離 ($L\cos\theta$) 為 520m，各方法畫設範圍如表 4.5 所示，紅色警戒區為滑動體 (崩崖至坡趾) 到坡趾外延 50m 範圍；黃色警戒區域為坡趾外延 250m 範圍，結果如圖 4.12 所示。

同時，利用邊坡穩定分析進行邊坡滑動面推估，同時配合鑽孔資料 (地調所，2014) 發現文峰聚落所處邊坡坐落在崩積層上方，且表層 5m~10m 內明顯有繡染現象，代表降雨可入滲至土層內，且或土層內有水流現象。因此，邊坡穩定分析時，設定地表水在深處時，安全係數 (FS) 大於 2.0 以上；但若地下水在地面時，其安全係數立刻下降至 0.5，滑動面自坡頂崩崖延伸至坡趾道路出露，與現地調查出現徵兆出現位置符合。因此，文峰聚落的滑動體滑動主要影響與本研究建議經驗畫設範圍紅色警戒區範圍，以及黃色警戒區則延伸到牛稠溪對岸較低之河積地範圍皆能符合。

表 4.5 經驗法則警戒區範圍彙整表

影響範圍	上邊坡	坡趾	文峰聚落
日本	崩崖	60m~250m 滑動體水平距離	60m~250m
香港	設施上方 100m 內	40m~40% 滑坡軌跡	208m
崩塌地危險度 分級準則	H~3H	2H~5H	200m~1000m
地質敏感區劃 定變更及廢止 辦法	潛勢範圍區	1/2H	50m
		$L\cos\theta$ (順向坡, 其實 是邊坡坡頂至至坡趾的 水平距離)	520m

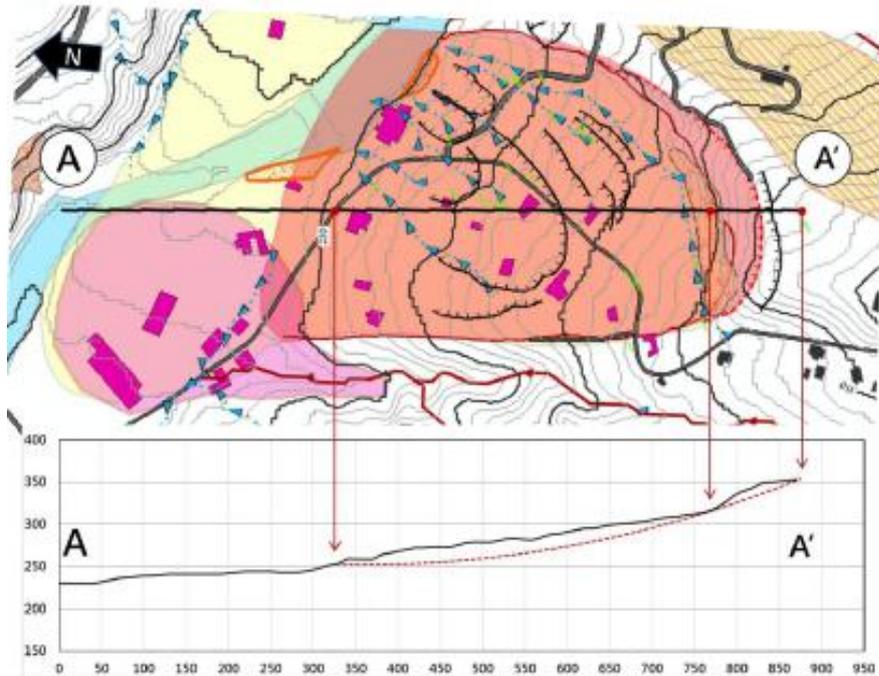


圖 4.12 邊坡穩定分析結果與警戒區劃設結果

(b) 地形地貌圖

文峰聚落環境具有土石流災害、順向坡、岩屑崩塌、沖蝕等災害潛勢，但經由套疊時發現，土石流溪流與其影響範圍需編修範圍。崩崖下方具有岩屑崩滑潛勢，但整體滑動體並未畫設在岩體滑動之潛

勢。利用 5m 數值地形模型製作等高線、災害潛勢、警戒區域、水系、以及參考地調所畫設文峰聚落之崩塌徵兆，製作地形地貌圖。

(C) 現地查證

配合現地查證發現，文峰聚落地表出現多處裂縫，雖然潭美颱風後已有整治，新鋪設路面與擋土設施仍持續出現裂縫與結構物位移現象，如圖 4.13 所示；另外，現地果園裡出現不少沖蝕溝、鄰近牛稠溪，河岸邊坡亦有沖蝕溝，與儀科中心 2013 年提供拍攝 NGRB 影像所進行判釋結果相同，如圖 4.14 所示。因此配合地形圖、災害潛勢圖資、以及地表特徵，經前述現地調查圖進行編修，結果如圖 4.15 所示。

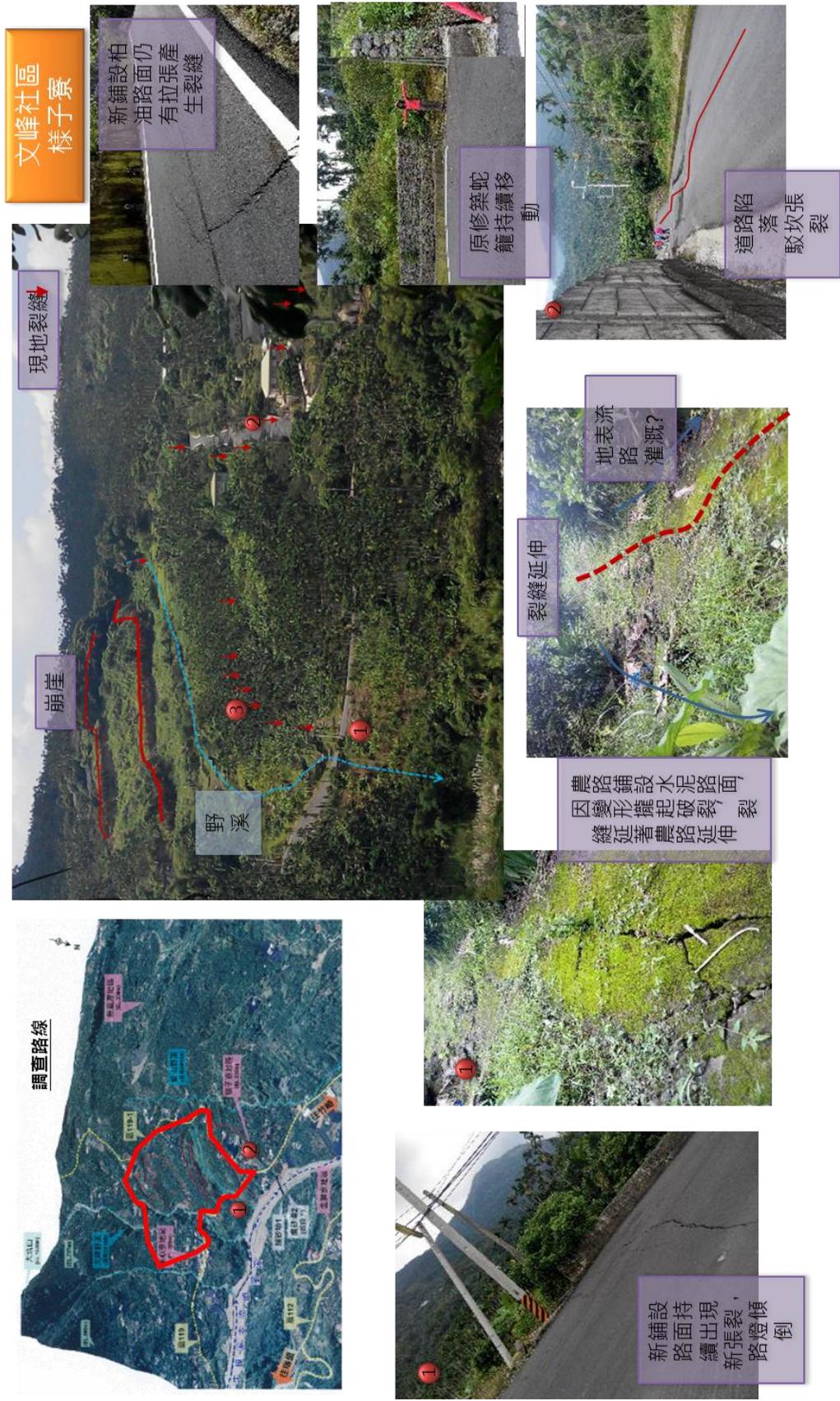


圖 4.13 現地調查與徵兆位置圖

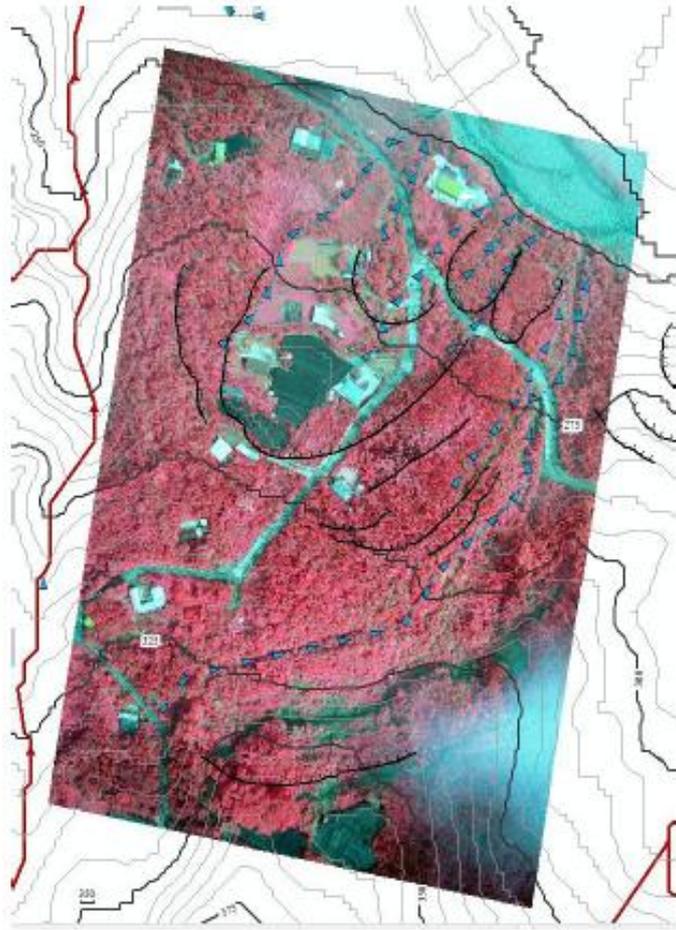


圖 4.14 地表徵兆與 NGRB 影像比較圖

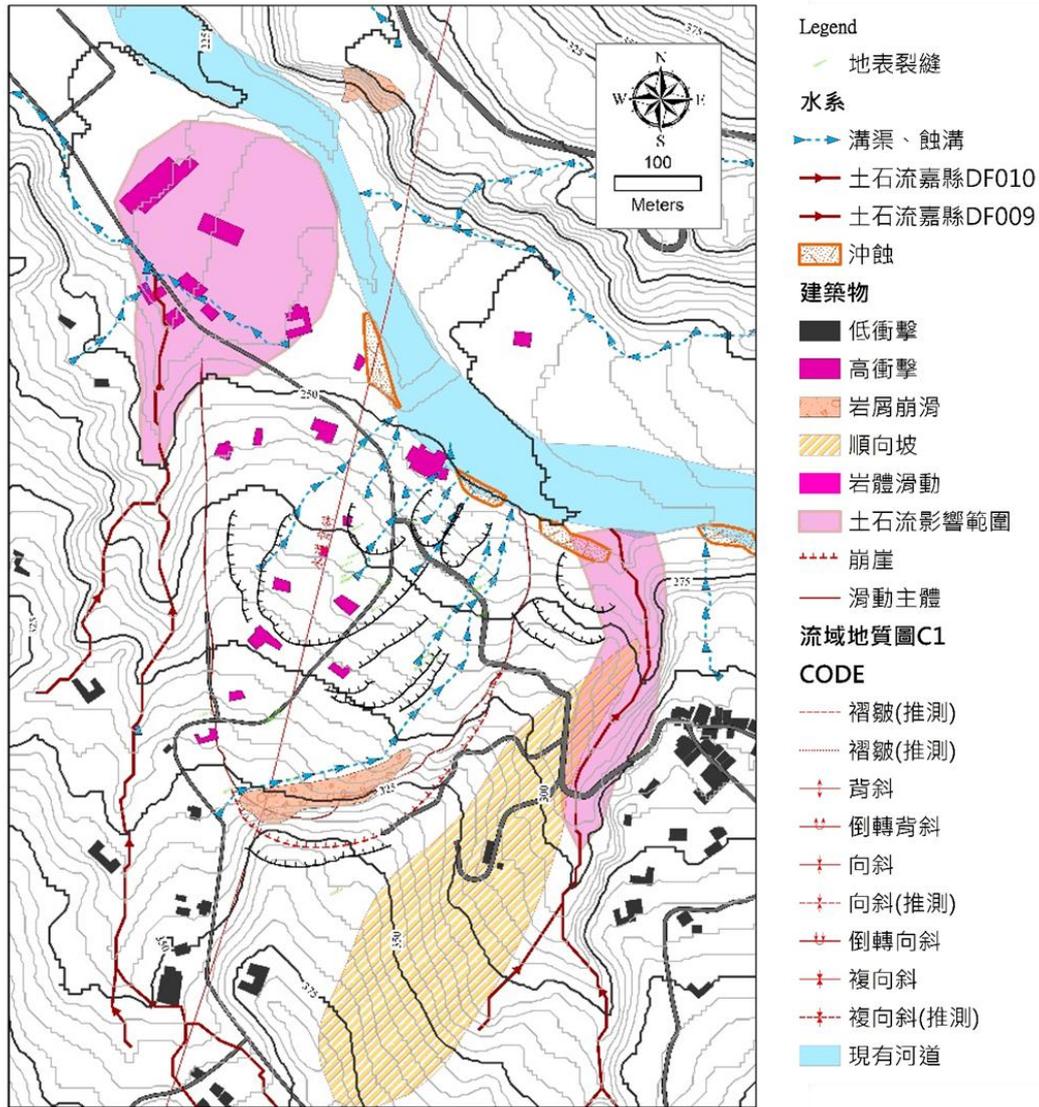
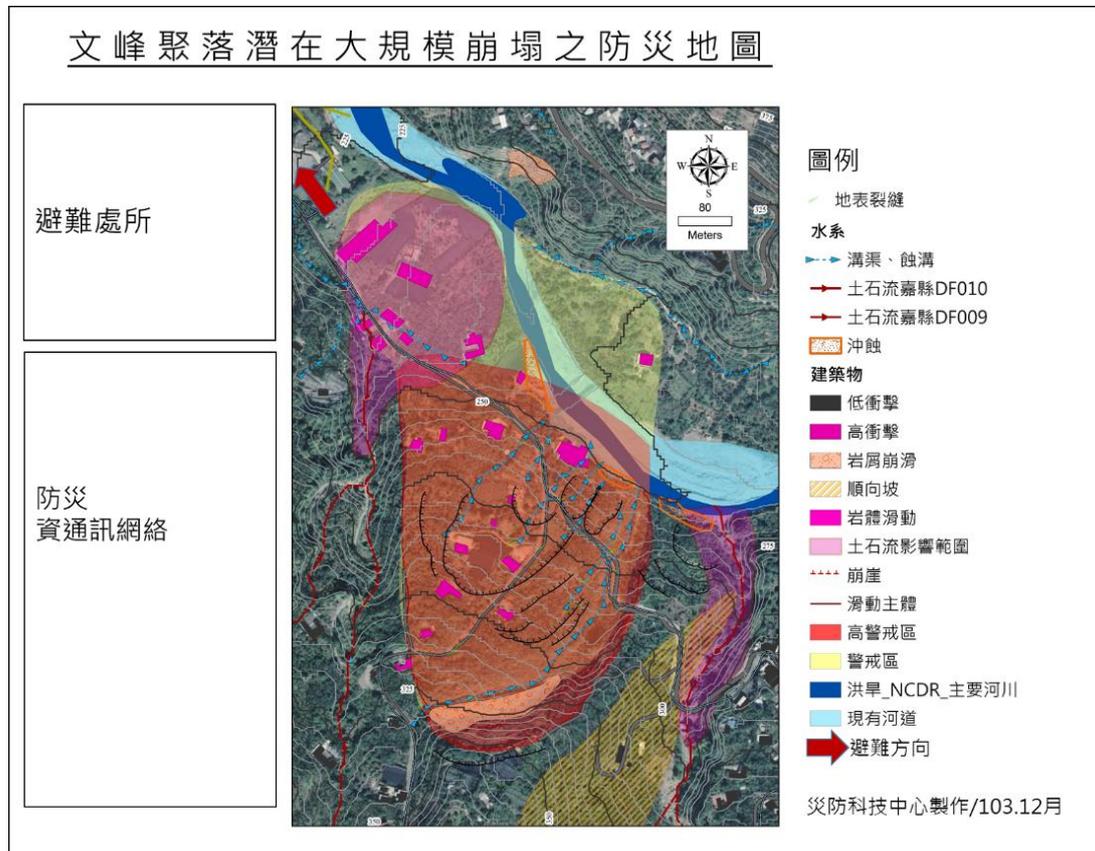


圖 4.15 文峰聚落現勘調查後地形地貌圖劃設結果

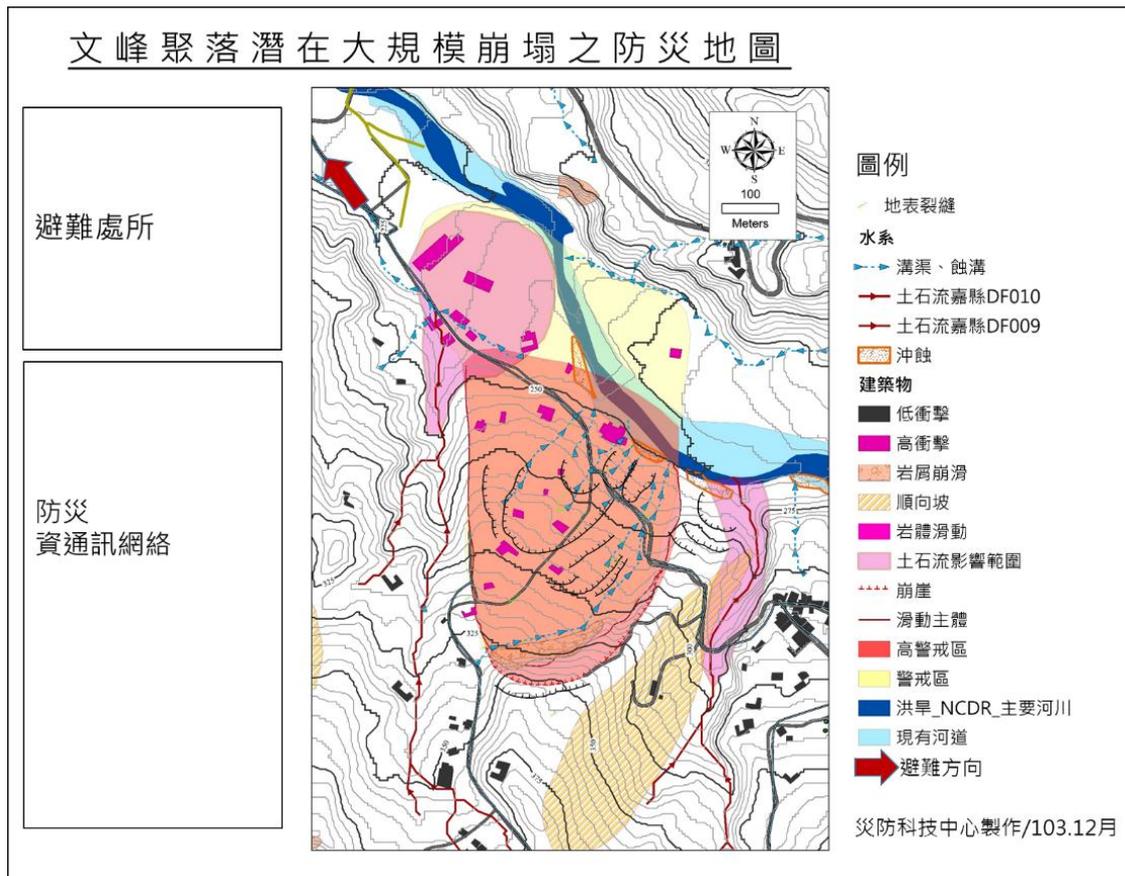
(c)文峰聚落防災地圖

經由現地查證後所編修之現地調查圖，套疊社會經濟圖資，例如建築物、供水系統、避難收容所、道路等資料後，完成文峰聚落防災地圖，如圖 4.16 所示。防災地圖保留地貌資訊，但不將地質構造與地層資料納入防災地圖內。另外，文峰聚落經由嘉義縣 119-1 道即可前往竹崎鄉市區，遠離警戒區域則災害潛勢威脅低，若硬性選擇聚落最近之避難收容所（對岸之金獅社區活動中心），反而所面對環境災

害潛勢衝擊較大，未來可進一步可與當地居民針對聚落災害防救災整備計畫，針對避難路線、避難處所與防救災資通訊網路進行確認，已成為真正且適合居民之防災地圖。



(a) 航空照片為底圖



(b) 地形地貌為底圖

圖 4.16 文峰聚落防災地圖

(2) 大武案例

大武聚落位於屏東縣霧臺鄉，2009 年莫拉克颱風造成下大武聚落後方出現小規模崩塌滑動。經由現地調查與地調所 Lidar 微地形判釋結果，坡頂已出現多重山脊現象等徵兆，認為下大武緊鄰之邊坡具有大規模崩塌災害潛勢。根據地調所 (2014) 針對下大武聚落監測資料顯示，分別在道路與坡趾之深度 78m 與 80m 有產生滑動 16mm 與 10mm 現象，確實該滑動體有滑動之徵兆。

(a) 大武聚落警戒圖

大武聚落坐落於邊坡滑動體下方，聚落滑動邊坡坡高(H)150m，

邊坡水平距離 ($L\cos\theta$) 為 425m，各方法畫設範圍如表 4.6 所示，紅色警戒區為滑動體（崩崖至坡趾）到坡趾外延 75m 範圍；黃色警戒區域為坡趾外延 250m 範圍，結果如圖 4.17 所示。

表 4.6 大武聚落警戒區畫設參數彙整表

影響範圍	上邊坡	坡趾	大武聚落
日本	崩崖	60m~250m 滑動體水平距離	60m~250m
香港	設施上方 100m 內	40m~40% 滑坡軌跡	40m~170m
崩塌地危險度 分級準則	H~3H	2H~5H	300m~750m
地質敏感區劃 定變更及廢止 辦法	潛勢範圍區	1/2H	75m
		$L\cos\theta$ （順向坡，其實 是邊坡坡頂至至坡趾的 水平距離	425m

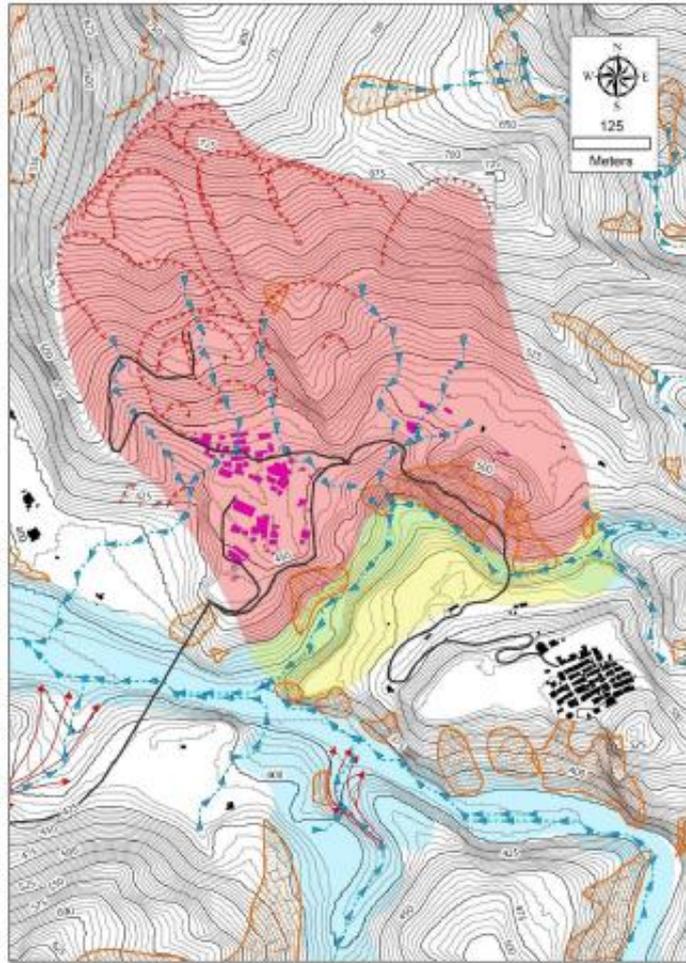


圖 4.17 大武聚落警戒區劃設結果

(b)地形地貌圖

大武聚落環境具有順向坡、落石、岩屑崩塌、岩體滑動、沖蝕等災害潛勢。然而，由於莫拉克颱風後，大武聚落環境變化極大，除了原隘寮溪河道拓寬、河岸邊坡沖蝕嚴重、大武聚落後方邊坡有明顯崩崖出現。前期研究已初步完成現地調查圖，且已編修崩崖、蝕溝、水系等，並完成初步地地貌圖。

(c) 現地調查

配合現地查證發現，如圖 4.18 所示，大武聚落（下大武）大部分住戶已配合搬遷，現地調查時並無人出現。上大武聚落雖然未受到大規模崩塌滑動體影響，但部落對外聯絡道路必須經過下大武，因此間接到影響；此外，上聚落聚落鄰近隘寮溪邊坡受河流沖刷嚴重，且聚落對面有溪流有明顯多次發生土石流，土石堆積影響隘寮溪河心偏移，加劇上大武聚落邊坡沖刷，上方瞭望台涼亭已出現地基消失。

因此，配合前期成果與現地查證結果，配合地形圖、災害潛勢圖資、以及地表特徵，經前述現地調查圖進行編修，結果如圖 4.19 所示。



圖 4.18 現地調查與徵兆位置圖

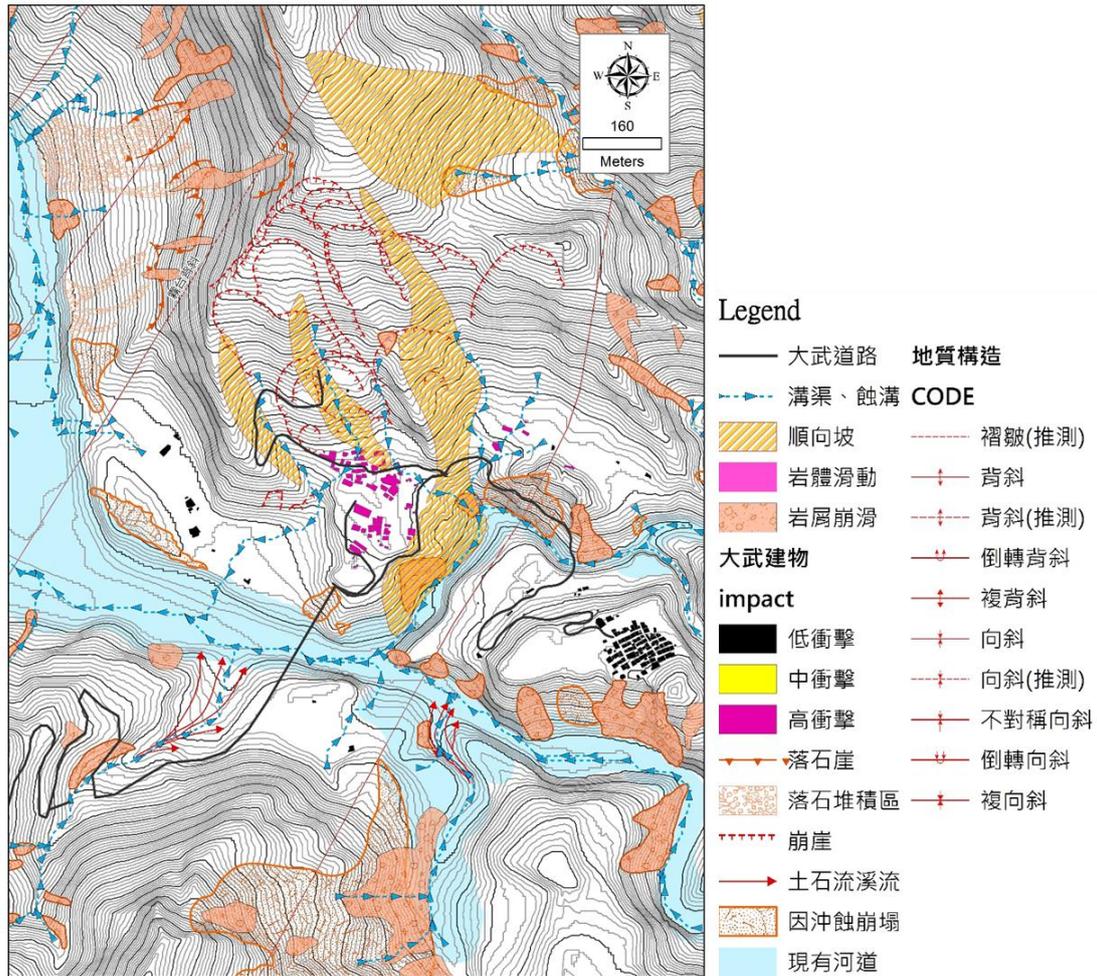
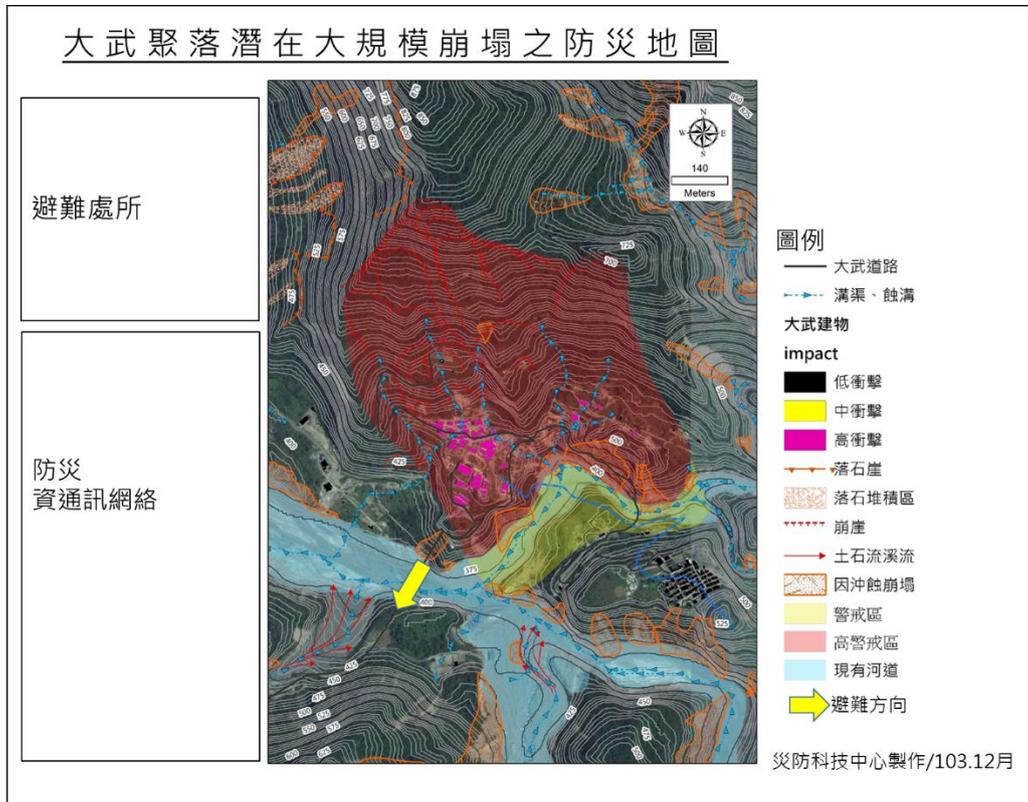


圖 4.19 大武聚落現勘調查後地形地貌圖劃設結果

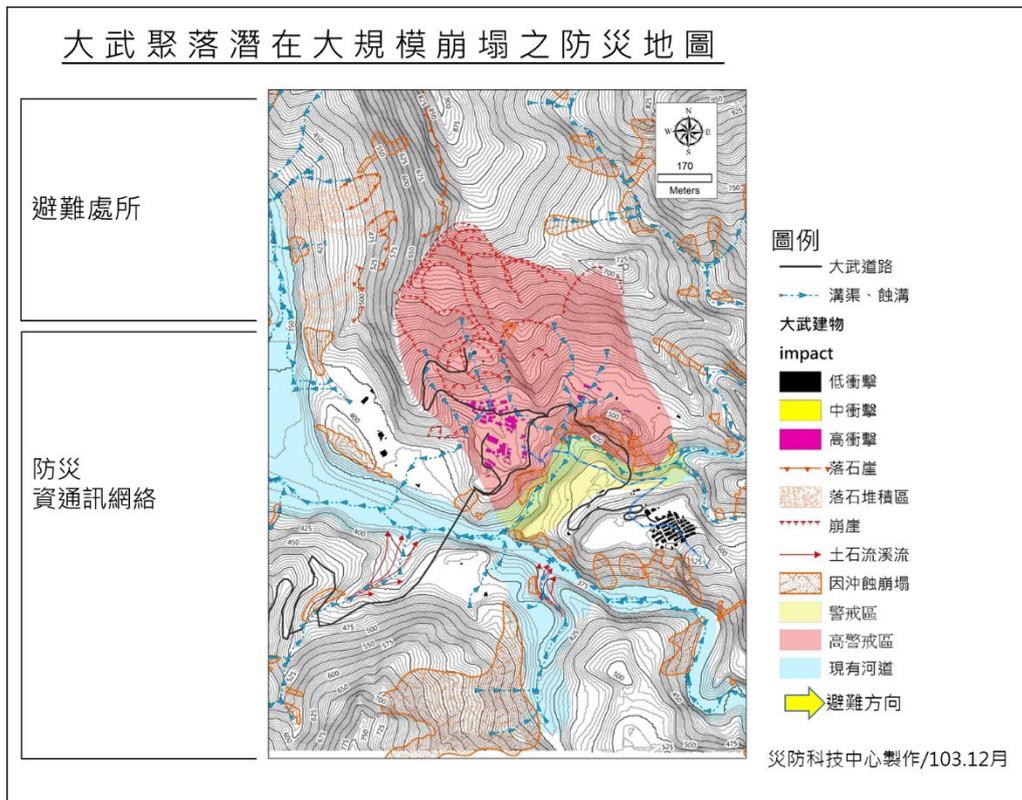
(c)大武聚落防災地圖

經由現地查證後所編修之現地調查圖，套疊社會經濟圖資，例如建築物、供水系統、避難收容所、道路等資料後，完成大武聚落防災地圖，如圖 4.20 所示。同時，上大武部落雖然為聚落中受環境衝擊較小且相對安全，但因聯外道路經過多處有邊坡再滑動疑慮路段，道路中斷機率極高，因此疏散避難計畫建議以提早疏散收容為主，原地避難與收容並不適合，未來可進一步可與當地居民針對聚落災害防救災整備計畫，針對避難路線、避難處所與防救災資訊網路進行確

認，已成為真正且適合居民之防災地圖。



(a) 航空照片為底圖



(b) 地形地貌為底圖

圖 4.20 大武聚落防災地圖

(3) 小林二村案例

小林二村為原小林村遷村於五里埔之永久居住處所，2009 年莫拉克颱風災害發生並未造成五里埔有重大災害發生，整體環境也屬安全，經由莫拉克重建委員會評估結果，屬於安全可遷村之地點。

(a) 小林二村警戒圖

小林二村聚落坐落於邊坡滑動體下方，聚落滑動邊坡坡高 (H) 150m，邊坡水平距離 ($L\cos\theta$) 為 285m，各方法畫設範圍如表 4.7 所示，紅色警戒區為滑動體 (崩崖至坡趾) 到坡趾外延 75m 範圍；黃色警戒區域為坡趾外延 250m 範圍，結果如圖 4.21 所示。

表 4.7 小林二村聚落警戒區畫設參數彙整表

影響範圍	上邊坡	坡趾	小林聚落
日本	崩崖	60m~250m 滑動體水平距離	60m~285m
香港	設施上方 100m 內	40m~40% 滑坡軌跡	40m~114m
崩塌地危險度 分級準則	H~3H	2H~5H	300m~750m
地質敏感區劃 定變更及廢止 辦法	潛勢範圍區	1/2H	75m
		$L\cos\theta$ (順向坡, 其實是邊坡坡頂至至坡趾的水平距離)	285m

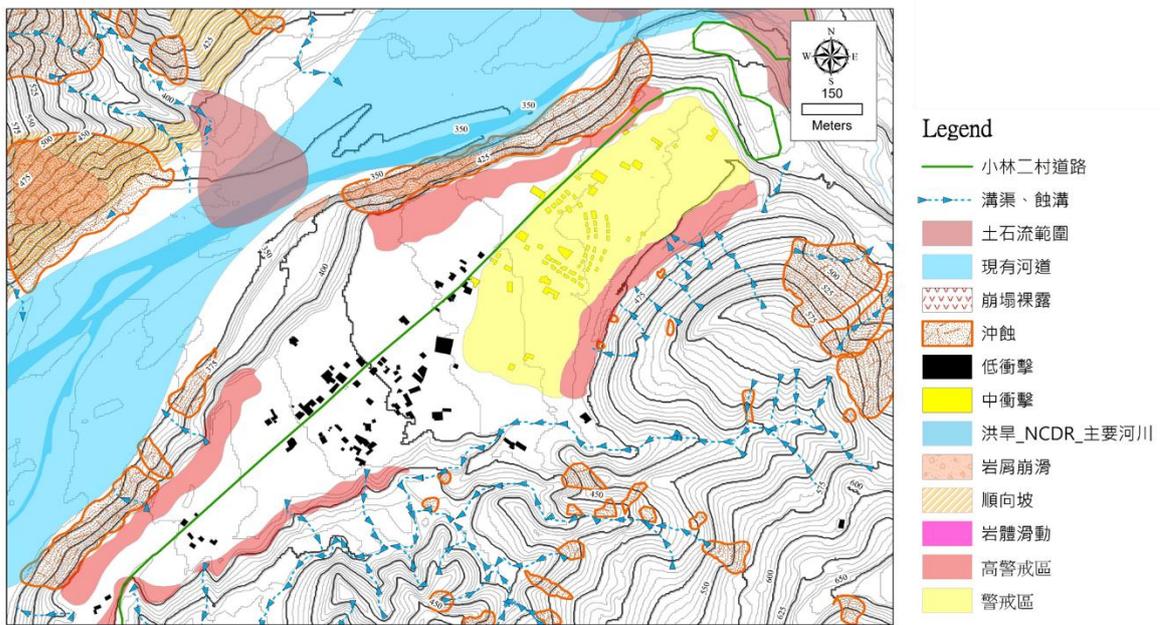


圖 4.21 警戒區劃設結果

(b)地形地貌圖

小林二村聚落環境具有順向坡、岩屑崩塌、岩體滑動、沖蝕等災害潛勢，但災害潛勢發生位置與小林二村相隔旗山溪，倘若災害潛勢區發生災害後對聚落直接衝擊並不大，但若土石崩入旗山溪可能造成流心改變，沖蝕河岸邊坡，影響五里埔緊鄰旗山溪地基。整合套疊航

空照片、5m 數值地形模型製作等高線、災害潛勢、水系等製作地形地貌圖，做為後續現地查證之用。

(c) 現地查證

配合現地查證發現，小林二村聚落後方邊坡林相完整，延著邊坡道路管概水渠，邊坡上有多道蝕溝，如圖 4.22 所示。因此配合地形圖、災害潛勢圖資、以及地表特徵，經前述現地調查圖進行編修，結果如圖 4.23 所示。

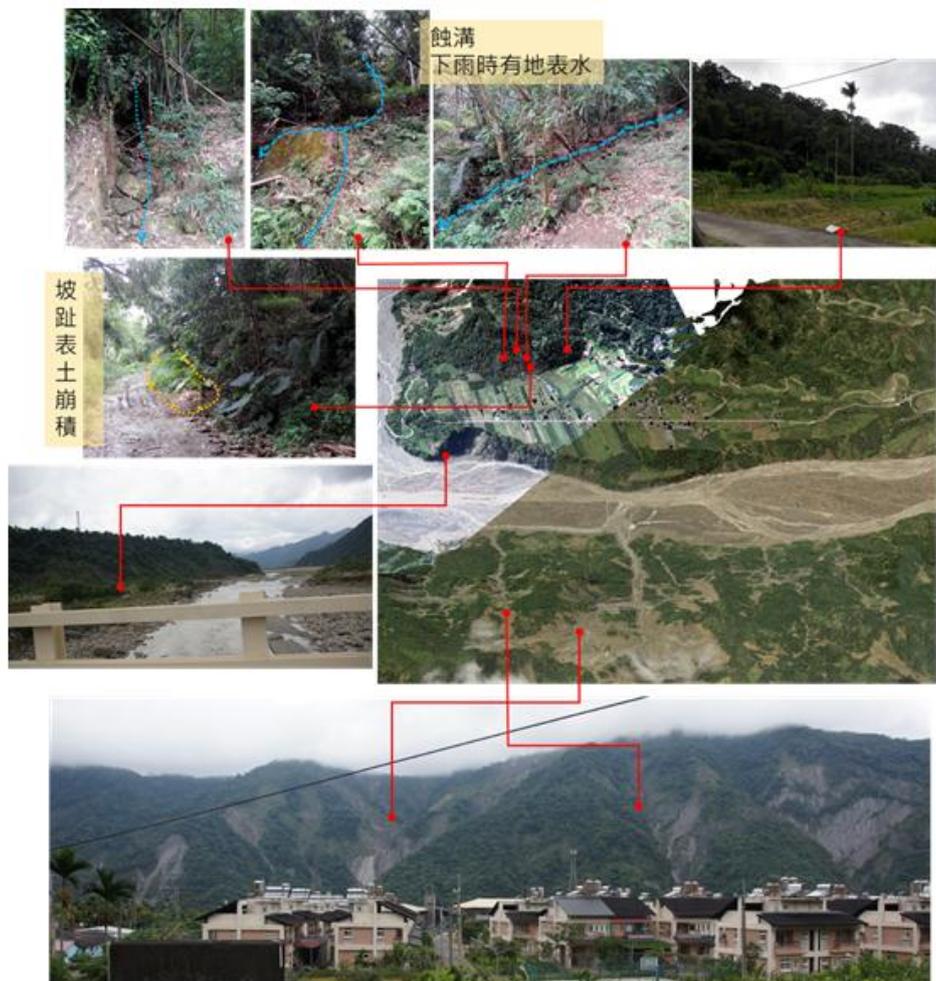


圖 4.22 現地調查與徵兆位置圖

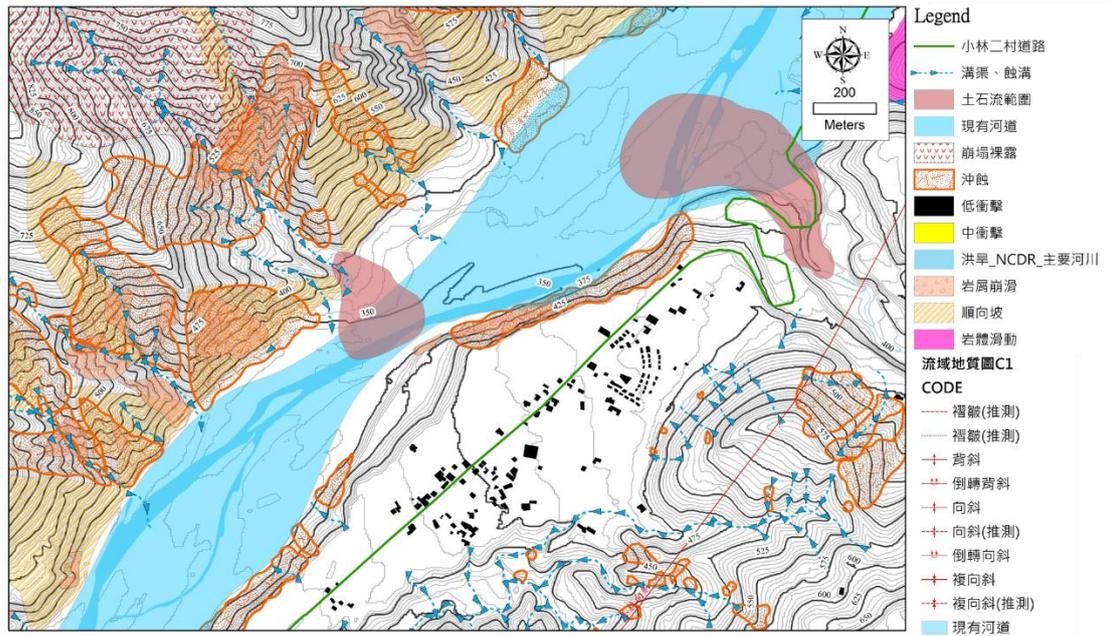
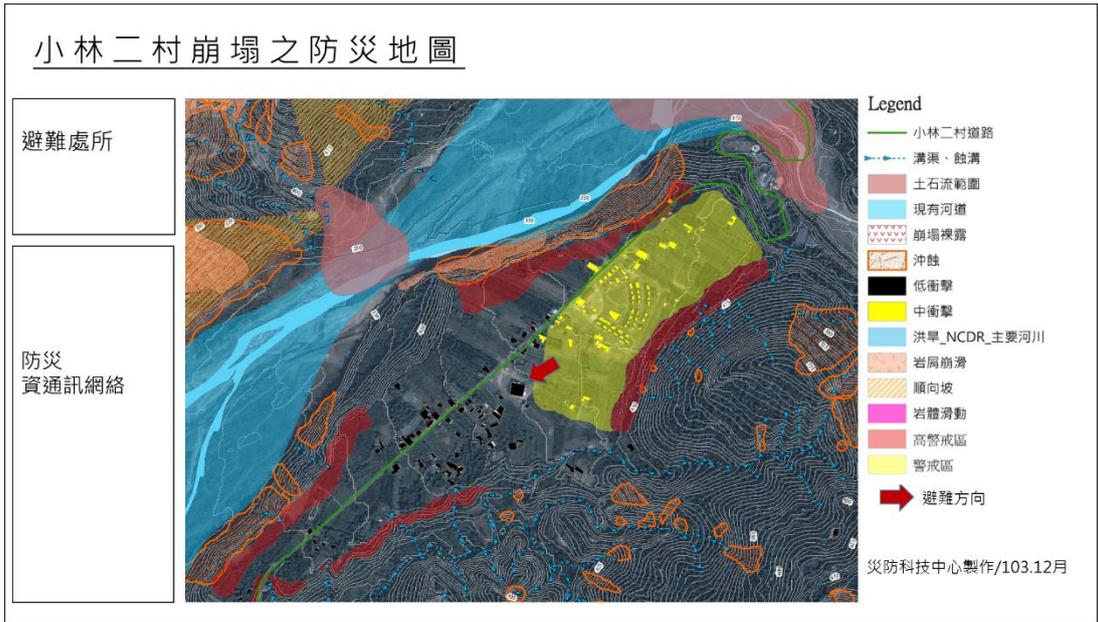


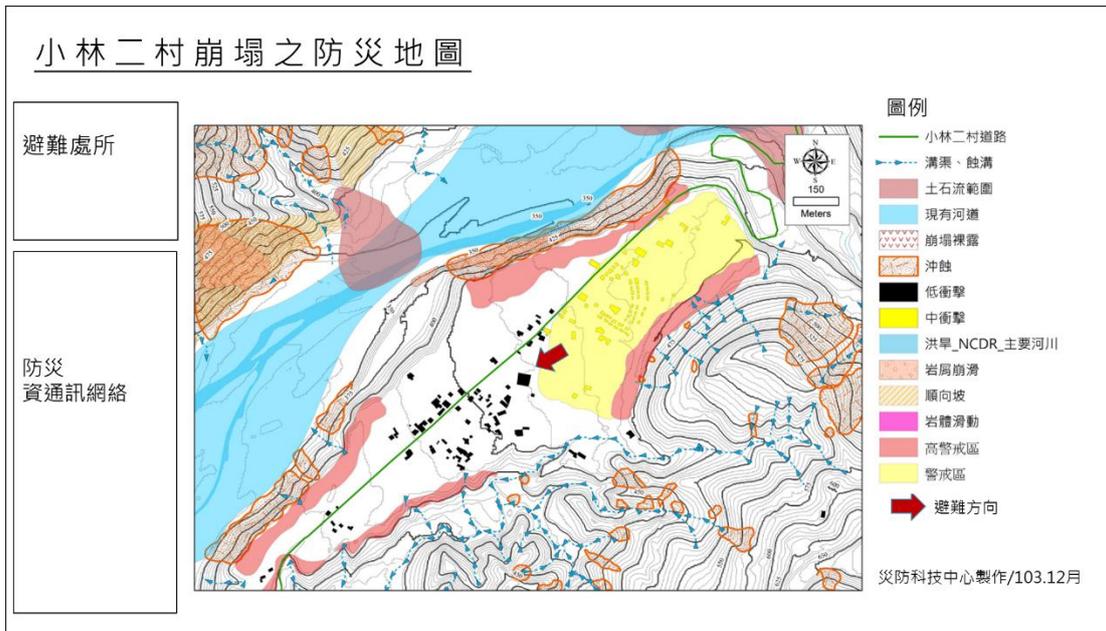
圖 4.23 小林二村聚落現勘調查後地形地貌圖劃設結果

(d)小林二村聚落防災地圖

經由現地查證後所編修之現地調查圖，套疊社會經濟圖資，例如建築物、供水系統、避難收容所、道路等資料後，完成小林二村聚落防災地圖，如圖 4.24 所示。防災地圖保留地貌資訊，但將地質構造與地層資料並不納入防災地圖內。另外，由於緊鄰小林二村邊坡目前無大規模崩塌發生徵兆；小林二村對岸雖然多處大範圍順向坡滑動、岩體滑動、以及土石流災害，但對聚落無直接影響。因此，小林二村防災地圖可以就村落內找尋安全處所做為避難處所，以小林國小最為適合，未來可進一步可與當地居民針對聚落災害防救災整備計畫，針對避難路線、避難處所與防救災資通訊網路進行確認，已成為真正且適合居民之防災地圖。



(a) 航空照片為底圖



(b) 地形地貌為底圖

圖 4.24 小林聚落防災地圖

4.2.7 結論

本節利用文峰聚落、大武聚落以及小林二村聚落進行大規模崩塌防災地圖示範劃設，其中，文峰聚落因 2013 年潭美颱風發生邊坡滑動徵兆，但尚未發生全面性滑動；下大武聚落邊坡坡頂已出現多重山脊，也明確判定具有大規模崩塌潛勢；小林二村相較文峰與大武部落位處安全高位河階地，後方邊坡緩和土坡，坡面上有沖蝕溝形成，但形成大規模崩塌機率較低。由於三處示範區特性雖然不同，但防災地圖製作流程與彙整資料來源皆相同，需仰賴現地查證，將現地徵兆進行現地調查圖之修改，完成地形地貌底圖，再以地形地貌圖，或輔以航空照片為底圖套疊各項建物、道路、警戒區作為基本之防災地圖。

由於防災地圖所使用之政府開放資料，來源以兩萬五千分之一至五千分之一比例尺居多，因此，防災地圖建議最大展示比例尺不應超過資料來源之比例尺。同時，藉由現地查驗與地表特徵之紀錄，進行地形與地貌編修，並可將提高展示比例尺，得到合理之防災地圖。

另外，大規模崩塌發生後，影響範圍內之社會經濟活動全部損毀，收容所或避難所設置應於聚落範圍外較為適當，此與一般防災地圖之規定有所不同。另外，由於一般大規模崩塌滑動體在快速滑動前，先有緩慢移動，因而地表或建築結構物會出現裂縫或其他等特徵。因此，可藉由常時與汛期觀察聚落周圍環境等特徵，尤其紅色警戒區範圍內徵兆更為明顯。

綜合上述理由，建議聚落坡面尺度之大規模崩塌災害潛勢區之防災地圖，以地形地貌圖為底圖，標示紅色（高）警戒區與黃色警戒區範圍，並將在警戒區內與外分別標示建築物高、中、以及低衝擊，並

套疊聯外道路、輸水管道等其他社會經濟與救援應變圖資，即可完成基本大規模崩塌之防災地圖。

4.3 大規模崩塌災害防治推動策略研擬

國家災害防救科技中心於大規模崩塌災害防治議題所負責的相關工作，主要是依據99年10月20日第15次中央災害防救會報決議，「在大規模崩塌災害潛勢調查分析與未來應規劃推動之重點工作項目，請國科會（現為科技部）及國家災害防救科技中心邀集相關單位研商後，提出規劃推動方式。未來政府組織再造後，交由環境資源部辦理。」。因此在環資部成立之前，災防科技中心主要依據第19次中央災害防救會報通過之「大規模崩塌災害防治推動策略規劃」規劃報告（國家災害防救科技中心，2012）中，提出的短、中、長期的重點工作項目，並將推動流程分成全國流域尺度、集水區尺度及山坡地坡面尺度等三個層級來進行，如圖4.25及4.26。



圖 4.25 大規模崩塌災害防治分析尺度（國家災害防救科技中心，2012）

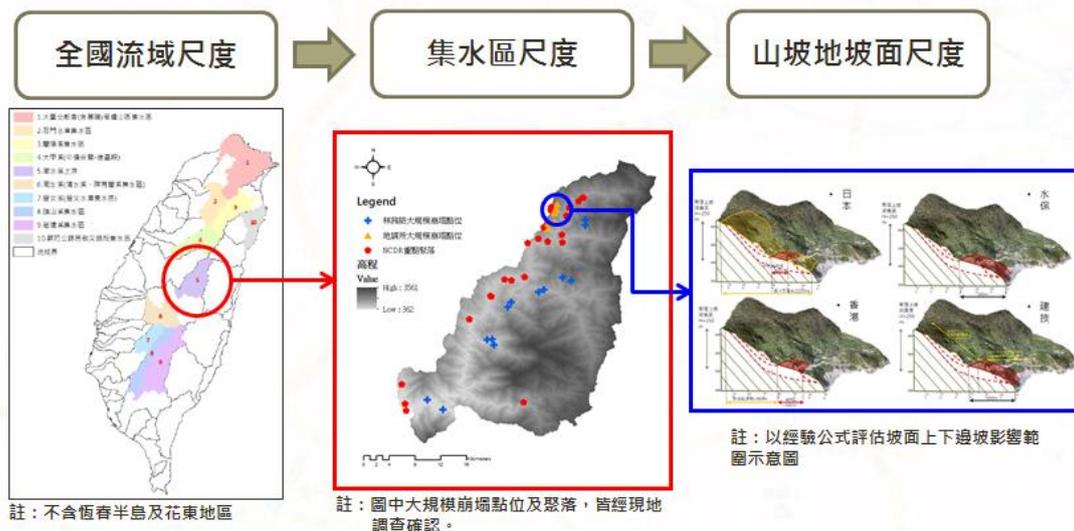


圖 4.26 大規模崩塌災害防治分析尺度示意圖

防災科技中心除了積極建立與各相關部會（內政部：建築研究所、營建署；交通部：公路總局、高速公路局、運輸研究所；經濟部中央地質調查所；農業委員會：林務局、水保局；原住民委員會）的聯繫，且召開多次專家學者會議與部會協商會議，以確保相關工作之推動，表 4.8 整理出相關單位推動大規模崩塌災害防治工作之重要紀實，表 4.9 則為歷次專家學者會議與部會協商會議的重要結論。

表 4.8 大規模崩塌災害防治工作推動歷程重要紀實

日期	說明
98 年 8 月 9 日	高雄縣小林村於莫拉克颱風發生大規模崩塌災害事件。
98 年 12 月 4 日 及 98 年 12 月 8 日	由行政院農業委員會邀集專家學者及相關單位召開「坡地崩塌防災權責分工」研商會議，並於 98 年 12 月 16 日將會議決議函送行政院災害防救委員會。
99 年 2 月 2 日	由工程會、國科會及國家災害防救科技中心，委託中國土木水利工程學會，完成辦理高雄縣甲仙鄉、那瑪夏鄉及桃源鄉災害之致災原因調查。
99 年 2 月 5 日	由行政院范政務委員良銹主持，召開跨部會「坡地崩塌防災權責分工」研商會議。
99 年 4 月 20 日	第 13 次中央災害防救會報，准予備查「坡地崩塌防災權責分工表」。

99年10月20日	第15次中央災害防救會報決議：「在大規模崩塌災害潛勢調查分析與未來應規劃推動之重點工作項目，請國科會及國家災害防救科技中心邀集相關單位研商後，提出規劃推動方式。未來政府組織再造後，交由環境資源部辦理。」
100年1月10日	國家災害防救科技中心召開專家學者會議進行討論推動方向，參考國外經驗以全國-集水區-坡面尺度等三階段進行。
100年2月24日	國家災害防救科技中心召開「推動策略工作進度部會協商與專家座談會議」。
100年6月2日	國家災害防救科技中心召開「推動策略工作進度部會協商與專家座談會議」。
100年12月15日	行政院農業委員會林務局，完成「國有林地深層崩塌及堰塞湖形成潛勢與影響範圍調查評估—濁水溪上游集水區」成果報告。
101年8月3日	中央地質調查所舉辦「極端氣候的挑戰—大規模山崩防災研討會」。
101年8月8日	行政院災害防救辦公室舉辦「莫拉克災區潛在大規模崩塌影響之聚落防災管理對策」研商會議。
101年9月19日	第23次中央災害防救會報，中央地質調查所提報莫拉克災區南部的調查成果。
101年12月5日~14日	行政院災害防救辦公室舉辦「101年度莫拉克重建區潛在大規模崩塌地區訪視計畫」，共分為三梯次訪視屏東、嘉義及高雄縣市等地區聚落。
102年1月18日	國家災害防救科技中心舉辦專家學者會議，協商推動策略與瞭解部會推動情形。
102年12月10日	行政院農業委員會水土保持局，完成「102年高屏溪山坡地大規模崩塌致災潛勢調查評估」成果報告。
102年12月18日	第28次中央災害防救會報，中央地質調查所提報莫拉克災區中部、東部的調查成果。
102年12月31日	行政院農業委員會林務局，完成「國有林深層崩塌致災潛勢調查評估—南部重點流域」成果報告。
103年4月	行政院農業委員會水土保持局進行「坡地崩塌防減災策略先期研析計畫」，並成立專家諮詢委員會推動相關事宜。
103年6月10日	國家災害防救科技中心於高雄市舉辦「大規模崩塌災害論壇暨研發成果研討會」。
103年8月29日	國家災害防救科技中心完成「大規模崩塌災害防治行動綱領」，召開部會及專家學者座談會，會後並將相關修正成果

	提送行政院災害防救辦公室等單位。
103 年 11 月 3 日 ~11 日	行政院災害防救辦公室舉辦「103 年度莫拉克重建區潛在在大規模崩塌地區訪視計畫」，共分為二梯次訪視南投及台東縣市等地區聚落。

表 4.9 歷次專家座談會重要結論

日期	重要結論
100 年 1 月 10 日 專家座談會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定義災害影響對象及由歷史重大災害歸納全台危險區位置。 2. 建議由其他國家經驗歸納可能的研究方法，如日本、香港等方法。 3. 建議由災防科技中心建立方法論及配套措施，並提供相關部會執行。
100 年 2 月 24 日 專家座談會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大規模崩塌災害防治的推動管理權責機關，依 99 年 10 月 20 日第 15 次行政院災害防救會報決議：有關坡地崩塌之處理現階段除仍依「坡地崩塌防災權責分工表」由各主管部會依權責持續推動外。未來政府組織再造後，交由環境資源部辦理。 2. 建議以受崩塌影響可能引致保全對象(如聚落、重要設施等)大規模受災之衝擊為災害防治策略推動規劃重點。 3. 行政院應用科技方案目前已規劃已納入大規模崩塌災害防治科技研發議題，建議科技中心彙集提出後續研發課題，提供相關參與單位提列 101 年細部研發課題規劃參考。
100 年 6 月 2 日 專家座談會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 「大規模崩塌災害防治」探討以保全對象為優先處理區位，建議採「重大崩塌災害防治」一詞更能具體呈現未來工作重點。 2. 大規模崩塌災害防治推動方法由全國尺度-集水區尺度-坡面尺度方式進行，以涵蓋各權責機關所要保全避免引致重大崩塌災害之區域為首要調查區位。 3. 推動策略除了規劃報告中的優先重點工作建議如下： <ul style="list-style-type: none"> ● 啟動大規模崩塌災害調查建立基礎資料 ● 根據調查結果指定重點區域 ● 訂定崩塌災害影響範圍劃定原則與適時公開潛勢區 ● 針對易致災區優先進行監測與防減災措施 ● 建立邊坡資訊管理機制

	<ul style="list-style-type: none"> ● 強化大規模崩塌災害防治業務能量與專業人材培育
<p>102年1月18日 專家座談會</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 地調所目前所完成之 LiDAR 調查資料分析，精確度高，可以提供坡地崩塌判釋之參考。 2. 在大規模崩塌災害之調查工作上，可以善加利用航空照片、遙測衛星影像、側視雷達、LiDAR 等各項工具來進行。 3. 請地調所在各項崩塌災害之相關名詞與定義之使用上，應與國際接軌，宜參照學者、專家們之意見進行整合與修正。 4. 大規模崩塌災害工作的推動，在環境資源部成立之前，仍由國家災害防救科技中心定期整合各部會署之研發成果，並提報至行政院災害防救辦公室。 5. 在大規模崩塌災害之議題上，各部會應該依照 101 年 9 月 19 日中央災害防救會報第 23 次會議紀錄來進行。 6. 建議由國家災害防救科技中心向各部會收集大規模崩塌災害歷史紀錄，作為建立歷史資料庫與後續研究參考。 7. 請各單位參考學者、專家之意見及建議，酌予修正在崩塌災害之推動工作。
<p>103年8月29日 行動綱領專家座談會</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 行動綱領中所規劃的各項工作，需納入短、中、長期的時程規劃，擬定先後次序。 2. 該類別的災害有其獨特性，是否跟一般的崩塌災害合併考量，宜考慮及定義清楚。 3. 相關工作眾多，需要預算與人力支持，建議能妥適考量經費與人力的問題。 4. 目前為起步階段，多項重點工作已有初步成果，宜持續積極推動各項工作。 5. 各行動方案建議依基礎先行計畫加以規劃於科技部，其落實應用分別規劃於各部會業務單位分別執行，較能加以落實。 6. 目前大規模崩塌有關防災方面之做法，需要在短期間內有一初步之原則，未來有更多的經驗及研究後再精進。

除前述整理的相關工作說明外，本年度（103年）的工作重點主要有3項，分別是6月舉辦「大規模崩塌災害論壇暨研發成果研討會」、8月完成「大規模崩塌災害防治行動綱領」初稿、11月與行政

院災害防救辦公室共同主辦「103 年莫拉克重建區潛在大規模崩塌地區訪視」等相關工作，以下即分別說明各項年度重點工作。

4.3.1 大規模崩塌災害論壇暨研發成果研討會

災防科技中心每年皆會彙整各單位於此議題的研發成果，本年度適逢莫拉克風災五週年，因此規劃於 6 月 10 日假高雄市中鋼總部大樓國際會議廳舉辦「大規模崩塌災害論壇暨研發成果研討會」（議程如表 4.10），透過該論壇檢視各項階段性成果，瞭解下階段工作重點、防減災應用與討論未來新思維。讓各參與部會及專家學者能藉此了解目前成果，調整未來工作重點及方向。

會議中針對整體推動歷程、主要參與部會（水保局、林務局、地調所及災防科技中心）的研發成果進行說明，主要分成潛勢調查、觀測與監測管理、航遙空間資訊、聚落環境指標、風險地圖建置、儀器及模組開發等六大類。共有 4 單位 7 項重點成果報告，以及約 180 人與會。並邀集 12 位學者、部會代表以及地方政府代表，進行相關議題的論壇，活動成功。會後並將活動當日簡報、報告錄影，放上中心網站與 YouTube 供瀏覽。

表 4.10 大規模崩塌災害論壇暨研發成果研討會議程

時間	場次	主講單位
09:30~10:00	報 到	
10:00~10:15	開幕與貴賓致詞	主持人： 災防科技中心 陳宏宇 主任 致詞單位： 行政院南部服務中心 行政院災害防救辦公室 高雄市政府消防局
10:15~11:30	成果一 1.大規模崩塌災害防治推動歷程 2.LiDAR 影像於大規模崩塌潛勢判釋 成果應用 3.梨山監測成果與警戒值設定探討 4.國有林班地大規模崩塌潛勢調查及 堰塞湖應變	報告單位： 1.災防科技中心 2.地調所 3.水保局 4.林務局
11:30~12:30	論壇主題 1：調查、監測成果與下階段工作重點 主持人：陳宏宇 主任 論述者：林美聆教授、董家鈞教授、蘇苗彬教授、劉正千教授、林慶偉教授	
12:30~13:40	午 餐	
13:40~14:40	成果二 1.坡地崩塌防減災策略研析 2.廬山地滑監測與警戒預警 3.坡地聚落災害評估調查成果與應用	報告單位： 1.水保局 2.地調所 3.災防科技中心
14:40~15:40	論壇主題 2：防減災應用與新思維 主持人：陳亮全 教授 論述者：災防辦王怡文參議、水保局李鎮洋副局長、地調所費立沅組長 地方政府代表：高雄市六龜區宋貴龍區長、屏東縣政府謝勝信處長	



照 4.1 大規模崩塌災害論壇會場



照 4.2 各單位研發成果海報展示



照 4.3 上、下午場次的主持人與論述者



照 4.4 會中來賓發言提問

4.3.2 大規模崩塌災害防治行動綱領

災防科技中心蒐整完成各單位階段性研發成果後。研擬「大規模崩塌災害防治行動綱領」，期達成平時預防、災時應變、落實管理之推動目標，並提出三大面向、九大策略及三十項行動方案，作為大規模崩塌災害防治工作推動之指導。如圖 4.27 所示，並將行動方案整理如表 4.11。



圖 4.27 行動綱領三大面向及九大策略示意圖

表 4.11 大規模崩塌災害防治行動綱領架構表

三大面向	九大策略	三十項行動方案	全國流域尺度	集水區尺度	坡面尺度	
一、提升災害預防能量	1.強化潛勢分析技術與資料庫建置	1.1 強化崩塌潛勢調查與評估技術*	●			
		1.2 複合型災害潛勢區位評估技術*		●		
		1.3 崩塌災害資料庫建置與更新*			●	
	2.建立崩塌機制與影響評估方式	2.1 崩塌機制調查與分析*			●	
		2.2 崩塌危害性與活動性評估*				●
		2.3 複合型災害危害性評估**			●	
		2.4 崩塌影響範圍評估*				●
	3.建立多尺度觀(監)測資訊整合方法與應用	3.1 崩塌觀(監)測與預警模式最佳化評估*				●
		3.2 預警系統開發與建置**				●
	二、建立災害應變措施	4.建立應變機制	4.1 崩塌預警警戒值設定**		●	
4.2 保全對象調查與評估**				●		
4.3 疏散避難規劃與演練*				●		
4.4 建置防災地圖**				●		
5.建構資訊傳遞模式		5.1 即時監測資訊傳遞**			●	
		5.2 災情與通報系統建置**	●			
6.搶救災能量規劃與分析		6.1 搶救災技術分析**				●
		6.2 救災人員及機具調查與配置**			●	
		6.3 觀光人潮緊急安置規劃**			●	
三、整合災害管理效能		7.擬定政策管理依據	7.1 落實土地保育與管理**	●		
	7.2 法規競合分析**		●			
	7.3 資料公開辦法*		●			
	7.4 遷村與文化保存規劃**		●			
	8.建立聚落安全分級管理	8.1 聚落安全調查與分析*			●	
		8.2 聚落自主及定期檢查*				●
		8.3 加強風險溝通與強化教育訓練*			●	
	9.落實防減災管理成效	9.1 建成環境調適與規劃**			●	
		9.2 疏散避難成效評估**			●	
		9.3 減災策略及效益評估**			●	
		9.4 災後復原重建**			●	
		9.5 經費與人力的妥適規劃*	●			

*：現階段重點工作項目； **：中長期重點工作項目。

前述擬定的三大面向、九大策略及三十項行動方案中，各項工作有其先後執行的時序關係。例如需先評估出大規模崩塌災害的影響範圍後，才能對於後續的保全對象數量調查、疏散避難路線的規劃，做較精細的分析與評估，甚至於觀監測儀器的配置，也需仰賴完整的影響範圍評估，才能達到預期的觀測成果。

因此在三大面向中，初期可先進行的部分為面向一、「提升災害預防能量」及面向三、「整合災害管理效能」中的部分工作，接著才進入到面向二、「建立災害應變措施」，及面向三中的部分工作。據此在三十項行動方案中，近期可先進行的工作及中長期工作項目，分別如表 4.11 中的註記所示。而圖 4.28 則為現階段與下階段重點工作流程。

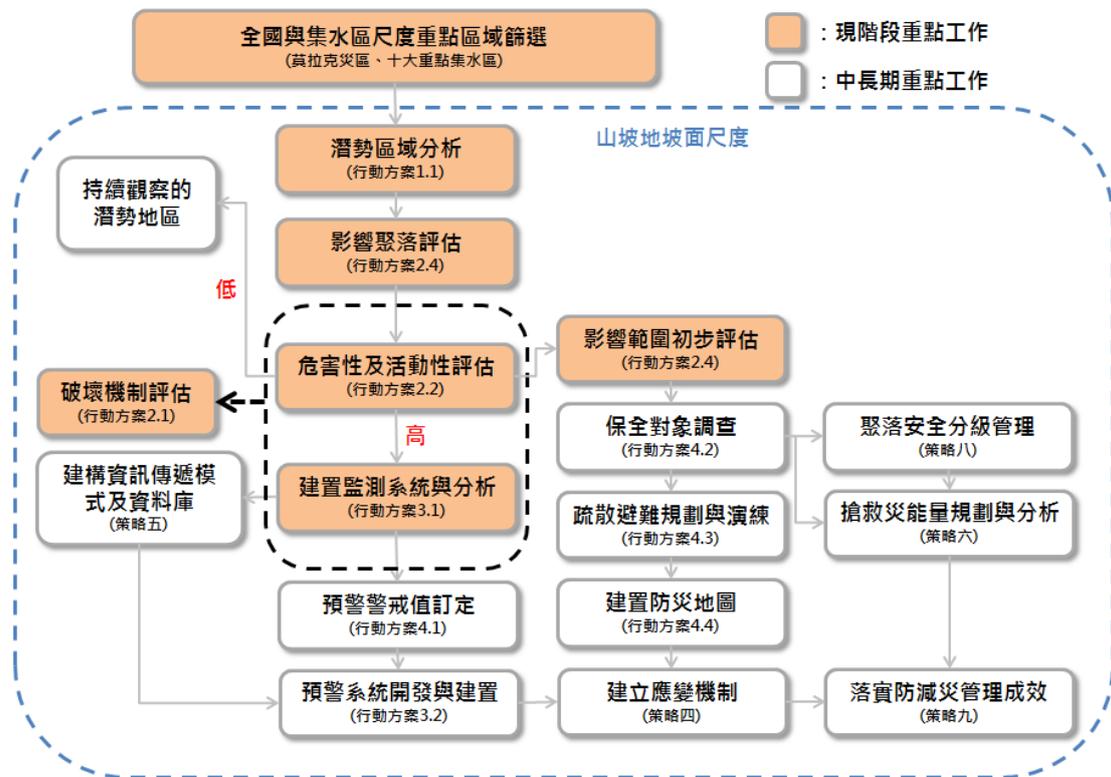


圖 4.28 現階段與下階段（中、長期）重點工作流程

4.3.3 103 年莫拉克重建區潛在大規模崩塌地區訪視

此訪視計畫為行政院災害防救辦公室與國家災害防救科技中心共同主辦，緣起為經濟部中央地質調查所執行莫拉克特別預算「國土保育之地質敏感區調查分析計畫」第二年度（100 年度中部地區）及第三年度（101 年度東部地區）執行成果顯示，臺灣中部的臺中市、南投縣及嘉義縣，以及臺灣東部的臺東縣等地區，存有潛在大規模崩塌區位，其中滑動潛勢影響聚落者，兩地區合計有 31 個聚落。因此擬具「103 年莫拉克重建區潛在大規模崩塌地區(中部及東部)訪視計畫」。

而計畫之目的係為瞭解臺灣中部及東部大規模崩塌潛勢地區相關調查、研究分析資料之現階段成果，以及地方單位需求，協調需跨單位協助的工作，會同中央及地方災害防救相關人員前往滑動潛勢影響較高地區進行檢視，以強化潛在大規模崩塌地區防救災業務效能。故針對前述 31 處大規模崩塌潛勢聚落，擇取其中 7 處高潛勢聚落，規劃兩梯次進行訪視，邀集轄管之直轄市、縣（市）政府、鄉（區）長、村（里）長災防業務相關人員及當地協力機構學者，輔導推動防災因應作為、經驗交流及雙向溝通。相關訪視梯次時間及地點如表 4.12，各聚落現地訪視說明如表 4.13~4.19 所示。

表 4.12 訪視梯次時間及地點

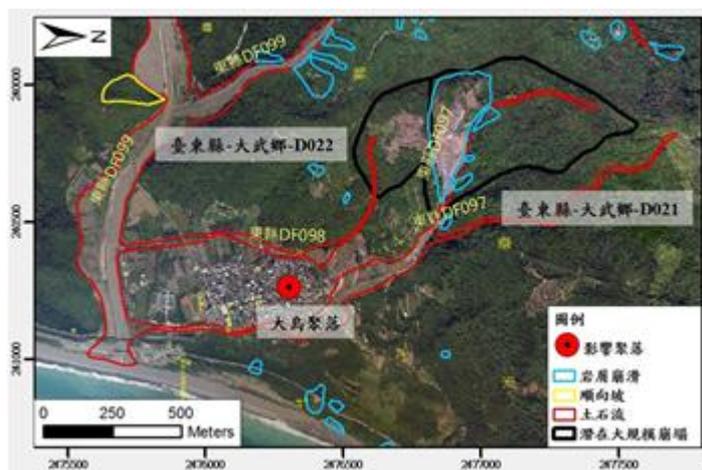
訪視梯次	訪視聚落位置圖
<p>1. 臺東縣梯次： (11月3日至4日)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 大武鄉大鳥村大鳥聚落 ● 鹿野鄉瑞豐村住戶 ● 卑南鄉東興村東園三街住戶 	
<p>2. 南投縣梯次： (11月10日至11日)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 仁愛鄉大同村博望新村 ● 仁愛鄉大同村定遠新村 ● 仁愛鄉大同村忠孝新村 ● 廬山溫泉北坡監測系統 	

註：紅色區域為地調所判釋潛在大规模崩塌地區

表 4.13 臺東縣大武鄉大鳥村「大鳥聚落」現地訪視說明表

編號	D021、022	聚落名稱	大武鄉大鳥村大鳥聚落
現況說明	影響大鳥聚落的潛在大規模崩塌為編號 D021 及 D022，位於編號東縣 DF097 及 DF098 號土石流潛勢溪流的上游坡地。此區冠部有 1 米寬的張力裂縫，鄰近未滑落區則發育現生崩崖，顯示該崩塌地有持續擴大的可能。		
對聚落影響初步研判	下游水保局攔砂設施容量為 32 萬方，經估算並無法容納上游潛在崩塌的量體。且大規模崩塌亦難以用工程的硬體設施來做防範，目前建議暫時以水保局訂定之土石流潛勢溪流的警戒值，做為執行疏散避難的參考。且下游聚落同時受到大規模崩塌及土石流等兩種類型災害的影響，建議持續對現地進行監測。		

現況說明圖及照片



聚落鄰近地區災害及順向坡判釋分布圖
(中央地質調查所)



聚落 DF097 土石流潛勢溪流疏散避難告示牌



地調所現地解說



下游保全聚落現況



水保局整治設施現況

表 4.14 臺東縣卑南鄉東興村「東園三街住戶」現地訪視說明表

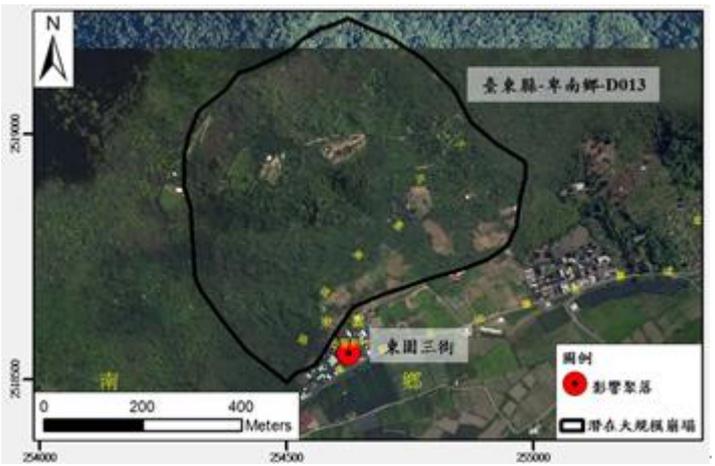
編號	D013	聚落名稱	卑南鄉東興村東園三街住戶
現況說明	<p>此區冠部崩崖內有許多小崩崖，道路也呈現階梯狀的多期滑動現象，顯示坡面具有高度活動性，因此，除颱風豪雨可能造成大規模崩塌，台東地區近年來常發生規模 5 以上之地震，亦有可能是造成崩塌的因素之一，民眾需隨時提高警覺。大規模崩塌若以工程的手段防治效果不大，因為此類型的崩塌土方量太大，基本上擋土牆功能是有限的。因此，建議當地仍以疏散避難為優先考量，由於此處並無土石流潛勢溪流，故暫以附近之土石流潛勢溪流之警戒值做為參考依據進行疏散。並請相關單位評估規劃在此區域進行裂縫回填工程，防止雨水沿著裂縫入滲，盡量降低發生崩塌的可能性。</p>		
對聚落影響初步研判	<p>目前此區的土石流安全避難處所及聚落，均位於此潛在大規模崩塌的影響範圍內，因此，建議相關單位盡快進行評估，包含調查保全對象、重新選擇避難處所的位置，與設置相關監測儀器。</p>		
現況說明圖及照片			
 <p data-bbox="256 1491 892 1532">聚落鄰近地區災害分布圖（中央地質調查所）</p>		 <p data-bbox="968 1469 1362 1505">坡腹產生地表裂隙尚未處理</p>	
 <p data-bbox="225 1877 587 1912">地調所於坡頂處進行解說</p>	 <p data-bbox="617 1850 975 1935">後方土石流避難處所緊鄰大規模崩塌坡趾處</p>	 <p data-bbox="1007 1850 1367 1935">當地居民與水保局討論山坡地現況</p>	

表 4.15 臺東縣鹿野鄉「瑞豐村住戶」現地訪視說明表

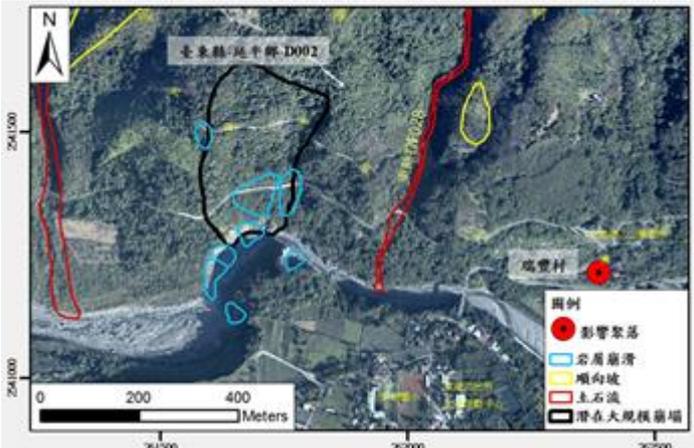
編號	D002	聚落名稱	鹿野鄉瑞豐村住戶
現況說明	<p>2013 年天兔颱風時，此坡面已有崩塌產生。並觀察到鹿寮溪河岸兩側有細砂平整沉積的現象，由於靜水才可能產生細砂沉積成層，推論該處為舊崩塌地並曾產生堰塞湖。整個邊坡上都可以發現人工建物的損壞，顯示此坡體活動性高，除了颱風豪雨外，亦須注意地震引致的山崩，是否產生堰塞湖對下游造成威脅。</p>		
對聚落影響初步研判	<p>潛在大規模崩塌範圍位於延平鄉，並無直接影響聚落，但由於此崩塌地坡址位處鹿寮溪攻擊岸，下邊坡已出現多處岩屑崩滑，且崩塌地下方為河流之隘口，河道狹窄，若發生大規模崩塌，極有可能形成堰塞湖，堰塞湖潰壩後的大量水流便會直接沖往下游之鹿野鄉，造成災害。</p>		
現況說明圖及照片			
			
<p>聚落鄰近地區災害及順向坡判釋分布圖 (中央地質調查所)</p>		<p>崩塌範圍全景</p>	
			
<p>側邊擋土牆多處裂隙</p>	<p>保全道路現況</p>	<p>坡面土砂殘存現況</p>	

表 4.16 南投縣仁愛鄉大同村「定遠新村聚落」現地訪視說明表

編號	D048	聚落名稱	仁愛鄉大同村定遠新村聚落
現況說明	現場看到明顯的多重山脊地形，LiDAR 地形圖顯示坡體下半部較深陰影處，可能為舊崩塌堆積物所在，現場也有看到下邊坡有明顯舊崩崖與滑移的跡象，民宅與擋土牆亦有受潛移影響所造成的裂縫。		
對聚落影響初步研判	聚落位於台 14 甲線旁，現地雖然可看出明顯的多重山脊與一些舊崩崖地形，且道路與民宅旁均有裂隙產生，顯示活動性較活躍，但經研判目前都是屬於小規模的岩屑崩滑為主。		
現況說明圖及照片			
 <p data-bbox="320 1395 801 1480" style="text-align: center;">定遠新村聚落鄰近地區災害分布圖 (中央地質調查所)</p>		 <p data-bbox="1018 1395 1278 1429" style="text-align: center;">民宅旁的地表裂隙</p>	
 <p data-bbox="228 1827 612 1910" style="text-align: center;">多重山脊與崩崖等地表特徵 明顯</p>	 <p data-bbox="691 1877 890 1910" style="text-align: center;">地表張力裂縫</p>	 <p data-bbox="1098 1877 1233 1910" style="text-align: center;">現地解說</p>	

表 4.17 南投縣仁愛鄉大同村「忠孝新村聚落」現地訪視說明表

編號	D049	聚落名稱	仁愛鄉大同村忠孝新村
現況說明	從 LiDAR 地形陰影圖中可以看到此區地形呈現波浪狀，可與現場的多重山脊地形、小崩崖、陷溝位置相對應，多處有發現張力裂縫，或是坡體表面上凹凸不平的現象，皆是潛在大規模崩塌的徵兆。		
對聚落影響初步研判	聚落位於台 14 甲線旁，本區坡頂西半部為清境農場青青草原區，平日遊客眾多，區內雖有大規模崩塌之地表特徵，但相對穩定，坡頂東半部的道路則受到張力裂縫的影響，多次產生破壞，則會影響道路上方住戶。		
現況說明圖及照片			
 <p style="text-align: center;">忠孝新村聚落鄰近地區災害分布圖 (中央地質調查所)</p>		 <p style="text-align: center;">多重山脊與陷溝位置</p>	
 <p style="text-align: center;">坡面多處張力裂縫特徵</p>	 <p style="text-align: center;">坡體表面上凹凸不平現象</p>	 <p style="text-align: center;">地調所現地解說</p>	

表 4.18 南投縣仁愛鄉大同村「忠孝新村聚落」現地訪視說明表

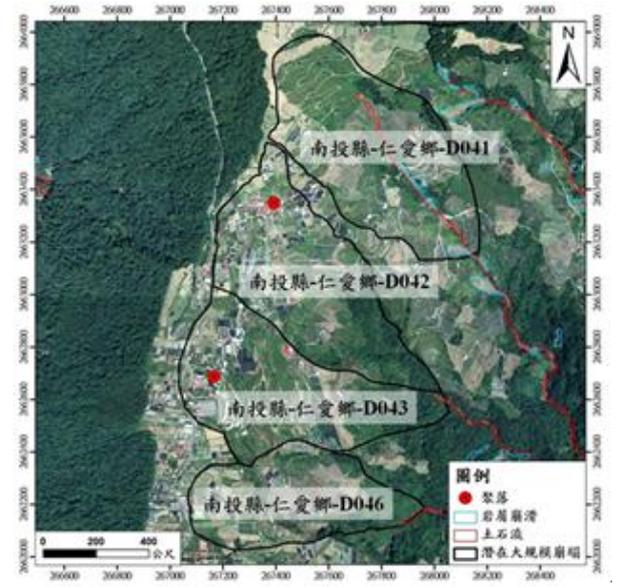
編號	D046	聚落名稱	仁愛鄉大同村忠孝新村聚落
現況說明	<p>現地有明顯的崩崖存在，黃棕色土壤處代表著新鮮的崩崖面，坡面上堆積了大量的崩積材料，照片中道路與白色房子下方為一塊尚未完全滑落的不穩定塊體，現場也可以看到樹木有傾斜的現象，顯示坡體的潛移行為。</p>		
對聚落影響初步研判	<p>此區的開發多在陵線位置，兩側皆為潛在大規模崩塌地區，目前都有緩慢滑移或淺層崩塌的現象，當下方發生崩滑，將使上方塊體失去支撐易發生滑動，如此一來，崩塌的前緣將會往陵線位置發展，進而影響到目前的道路及房舍等保全對象。雖然目前都是屬於較淺層的崩塌，但由於觀光產業的發展，居民、民宿、遊客的集中，對於防救災的規劃，都需要納入考量，審慎處理。</p>		
現況說明圖及照片			
 <p>博望、仁愛與忠孝新村聚落鄰近地區災害分布 (中央地質調查所)</p>		 <p>不穩定塊體位置</p>	
 <p>現地解說</p>	 <p>現地崩崖明顯</p>	 <p>坡面現況</p>	

表 4.19 南投縣廬山溫泉北坡監測系統現地訪視說明表

編號		名稱	地調所廬山溫泉北坡監測系統																																																																																															
現況說明			<p>在 1994 年道格颱風於此區造成災害後，隔年水保局與地調所便開始對廬山溫泉北坡進行研究與監測。由資料推測，整個潛在滑動範圍約 32 公頃，目前滑動面最深可達 110 公尺。2006 年 69 豪雨與 2008 年辛樂克颱風影響最為嚴重，地表有測量到 50 公分與 35 公分的位移量。</p> <p>於廬山溫泉北坡的停車場可以看到明顯的裂縫與錯移，道路與房子也多見塌陷與破壞，都是坡體滑動的徵兆。地調所為了針對此區域進行了解與預警，建立了廬山北坡各項自動化監測與觀測的系統，能提供即時監測資料，以有效掌握崩塌前兆，進行預防性疏散撤離。</p>																																																																																															
現況說明圖及照片																																																																																																		
 <p>現有觀測儀器設置位置圖（中央地質調查所）</p> <table border="1" data-bbox="667 1019 925 1429"> <thead> <tr> <th>儀器</th> <th>編號</th> <th>深度(m)</th> <th>安裝用途</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A-15-1</td><td>120</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A-15-2</td><td>70</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A-20</td><td>120</td><td></td><td>深層量測水位觀測井</td></tr> <tr><td>A-21</td><td>120</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A-24-1</td><td>80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A-26</td><td>80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A-27</td><td>90</td><td></td><td>水位觀測井</td></tr> <tr><td>E-2</td><td>-</td><td>-</td><td>觀測計</td></tr> <tr><td>A-18</td><td>70</td><td></td><td>安置型傾斜儀測站(傾角)</td></tr> <tr><td>A-22</td><td>70</td><td></td><td>安置型傾斜儀測站</td></tr> <tr><td>A-25</td><td>70</td><td></td><td>安置型傾斜儀測站(4.5m水壓計)</td></tr> <tr><td>A-28-1</td><td>20</td><td></td><td>安置型傾斜儀測站(AA)</td></tr> <tr><td>E-2</td><td>70</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>E-3</td><td>70</td><td></td><td>孔內伸縮計(傾角)</td></tr> <tr><td>E-4</td><td>80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>E-5</td><td>100</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>E-6</td><td>80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>E-7</td><td>70</td><td></td><td>孔內伸縮計(傾角)</td></tr> <tr><td>E-8</td><td>120</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>E-9</td><td>90</td><td></td><td>多段式孔內伸縮計(傾角)</td></tr> <tr><td>E-3</td><td>-</td><td>-</td><td>地殼伸縮計</td></tr> <tr><td>HA-5</td><td>-</td><td>-</td><td>雨量計</td></tr> <tr><td>IS-1</td><td>-</td><td>-</td><td>地震地殼伸縮計</td></tr> </tbody> </table>		儀器	編號	深度(m)	安裝用途	A-15-1	120			A-15-2	70			A-20	120		深層量測水位觀測井	A-21	120			A-24-1	80			A-26	80			A-27	90		水位觀測井	E-2	-	-	觀測計	A-18	70		安置型傾斜儀測站(傾角)	A-22	70		安置型傾斜儀測站	A-25	70		安置型傾斜儀測站(4.5m水壓計)	A-28-1	20		安置型傾斜儀測站(AA)	E-2	70			E-3	70		孔內伸縮計(傾角)	E-4	80			E-5	100			E-6	80			E-7	70		孔內伸縮計(傾角)	E-8	120			E-9	90		多段式孔內伸縮計(傾角)	E-3	-	-	地殼伸縮計	HA-5	-	-	雨量計	IS-1	-	-	地震地殼伸縮計	 <p>多段式孔內伸縮計</p>
儀器	編號	深度(m)	安裝用途																																																																																															
A-15-1	120																																																																																																	
A-15-2	70																																																																																																	
A-20	120		深層量測水位觀測井																																																																																															
A-21	120																																																																																																	
A-24-1	80																																																																																																	
A-26	80																																																																																																	
A-27	90		水位觀測井																																																																																															
E-2	-	-	觀測計																																																																																															
A-18	70		安置型傾斜儀測站(傾角)																																																																																															
A-22	70		安置型傾斜儀測站																																																																																															
A-25	70		安置型傾斜儀測站(4.5m水壓計)																																																																																															
A-28-1	20		安置型傾斜儀測站(AA)																																																																																															
E-2	70																																																																																																	
E-3	70		孔內伸縮計(傾角)																																																																																															
E-4	80																																																																																																	
E-5	100																																																																																																	
E-6	80																																																																																																	
E-7	70		孔內伸縮計(傾角)																																																																																															
E-8	120																																																																																																	
E-9	90		多段式孔內伸縮計(傾角)																																																																																															
E-3	-	-	地殼伸縮計																																																																																															
HA-5	-	-	雨量計																																																																																															
IS-1	-	-	地震地殼伸縮計																																																																																															
 <p>綺麗飯店舊址現況</p>	 <p>坡趾保全對象現況</p>	 <p>地調所現地解說</p>																																																																																																

第五章 結論與建議

5.1 崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展

1.多物理量測型態感測器與感測器網路實驗室與戶外驗證可行,但是長期野外測試多物理量測型態感測器與感測器網路還是需要繼續進行,以累積可靠度與經驗修正。

2.多物理量測型態感測器與感測器網路整合成功,實現一套省電型無線多物理量測型態感測器感測網路系統,其效能與商業化的IEEE 802.15.4 模組做比較有較高之穩定、便宜、低工耗與容易使用。

3.希望藉由多物理量測型態感測器與感測器網路整合,激盪出山裏社區型崩塌災害評估儀器與預警系統技術之防災新策略。

藉由 103 年儀科中心三項主要成果,希望未來能夠再透過相關計畫持續成果精進與改良,發展更完善之本土化防災儀器與相關實際應用產品,以提昇台灣在防災與儀器產業之優勢。

5.2 山區定量降雨短時預報技術與系統

本計畫在 TAPEX 系集實驗平台的架構下,執行雷達資料同化一整年的時間,結果顯示有經過雷達資料同化的結果,對於模式預報 0-6 小時的雨量預報結果,比沒有經過雷達資料同化的結果有改進,然而隨著預報時間的拉長,雷達資料同化優勢漸減。然而在 TAPEX 的實驗下,模式預報前六小時雨量不足以提供即時預報所需,因此本研究為了改進且提供極短時定量降雨預報的結果,進行了三項主要模式發展的工作。分別為:提高模式解析度至 3 公里、使用新的背景場誤差協方差矩陣,以及修改同化策略進行快速循環測試。

研究結果顯示此三種更新方法皆能得到極短期定量降雨預報結果的改進，因此本研究利用上述方法，配合有效的計算資源，研擬了一套新的同化策略，目的為逐時提供未來 1-7 小時之降雨預報結果，同時也考慮了高模式解析度以及快速同化循環的優勢，並選定 7 個颱風及一場梅雨個案進行大量的評估及測試，在總共 220 個預報時間的結果之中，有經過雷達資料同化的定量降雨預報明顯比沒有經過雷達資料同化的降雨為佳，尤其在大雨的部份優勢更為明顯。

未來本中心也會持續改進同化技術，並評估使用不同同化方法，例如：系集卡曼濾波、四維變分資料同化等方法，進行系統性的評估和測試，期望能進一步得到更好的極短期定量降雨預報資訊。而本計畫也會將此研究成果，提供給水文端的使用者，做為河道演算、逕流模擬、邊坡穩定分析、都市淹水模擬等等相關的研究工作所需之雨量觀測資訊。

5.3 大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬

本年度大規模崩塌災害防治技術與推動策略研擬之工作項目有災害歷史紀錄蒐整與分析、大規模崩塌潛勢區防災地圖製作之示範及大規模崩塌災害防治推動策略研擬等 3 項。

在災害歷史紀錄蒐整與分析部分，主要彙整災防科技中心建置的坡地災害資料庫、水保局的重大土石災情報告及地調所的山崩災害歷史資料庫等，建立歷史重大崩塌災害蒐整機制。另外則是蒐集地調所、水保局等單位所產置之大規模崩塌圖層資料，並將其年度具體成果分成潛勢評估技術、預警評估技術、即時監測技術、減災管理操作、重點區域評估技術、部會坡地災害管理系統、基礎調查資料、平台建

置等 8 大項技術，共 20 個細項技術。

大規模崩塌潛勢區防災地圖制作之示範方面，選定嘉義縣竹崎鄉文峰聚落、高雄市甲仙區小林二村聚落、以及屏東縣霧臺鄉大武部落等，具有大規模崩塌潛勢之聚落為範例，建立大規模崩塌潛勢區之聚落防災地圖流程，利用防災地圖詮釋資料，考量使用者之目的，決定地圖之基本圖元種類。同時，配合政府公開災害潛勢資料之製作比例尺，建議適當之展示地圖比例尺，完成大規模崩塌災害潛勢區之防災地圖。

最後於大規模崩塌災害防治推動策略研擬部分，目前的運作機制主要依據第 15 次中央災害防救會報決議，於環境資源部成立前，由國科會（現為科技部）及國家災害防救科技中心邀集相關單位研商後，提出規劃推動方式。而災防科技中心的操作方式主要以第 19 次中央災害防救會報通過之「大規模崩塌災害防治推動策略規劃」規劃報告中，提出的短、中、長期的重點工作項目，定期舉辦專家學者暨部會署的研商會議，藉此蒐整各單位成果及建議各單位的工作項目，進行滾動式的修正，達到各項工作整合的目的。本年度最主要完成舉辦大規模崩塌災害論壇暨研發成果研討會、研擬大規模崩塌災害防治行動綱領、以及舉辦 103 年莫拉克重建區潛在大規模崩塌地區訪視等工作。而相關工作於短時間內經過各部會署及許多專家學者的努力，部分重點工作及目標已逐漸達成共識，並開始有初步的成果產出。然而有許多工作推動仍處於起步階段，許多短、中、長期的工作或階段性的任務尚待完成，希望藉由各界的共同努力，能將大規模崩塌災害防治工作順利的持續推動，將相關坡地災害對於生命財產的衝擊降

至最低。

參考文獻

- Wei Ye; Heidemann, J.; Estrin, D., An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks, INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE , vol.3, no., pp. 1567- 1576 vol.3, 2002.
- Tijs van Dam and Koen Langendoen. 2003. An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems (SenSys '03). ACM, New York, NY, USA, 171-180, 2003.
- Michael Buettner, Gary V. Yee, Eric Anderson, and Richard Han. 2006. X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems (SenSys '06). ACM, New York, NY, USA, 307-320, 2006.
- Sha Liu; Kai-Wei Fan; Sinha, P.; , CMAC: An Energy Efficient MAC Layer Protocol Using Convergent Packet Forwarding for Wireless Sensor Networks, Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2007. SECON '07. 4th Annual IEEE Communications Society Conference on , vol., no., pp.11-20, 18-21 June 2007.
- Injong Rhee; Warriar, A.; Aia, M.; Jeongki Min; Sichitiu, M.L.; , Z-MAC: A Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks, Networking, IEEE/ACM Transactions on , vol.16, no.3, pp.511-524, June 2008
- Al-Karaki, J.N.; Kamal, A.E.; , Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey, Wireless Communications, IEEE , vol.11, no.6, pp. 6- 28, Dec. 2004.

ZigBee Document 053474r17, ZigBee Pro, ZigBee Specification. ZigBee Alliance.
2008.

Huang-Chen Lee, Towards a general wireless sensor network platform for outdoor environment monitoring. *Sensors*, 2012 IEEE , vol., no., pp.1,5, 28-31 Oct. 2012

D.S.J. De Couto, D. Aguayo, B.A. Chambers, R. Morris, Performance of multihop wireless networks: Shortest path is not enough, in: Proc. of the First Workshop on Hot Topics in Networks (HotNets-I), October 2002.

D.S.J. DeCouto, D. Aguayo, J. Bicket, R. Morris, A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing, in: Proc. of the Ninth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), September 2003, pp. 134–146.

K.-W. Chin, J. Judge, A. Williams, R. Kermode, Implementation experience with MANET routing protocols, *SIG-COMM Comput. Commun. Rev. (CCR)* 32 (5) (2002) 49–59.

水土保持局 (2008)。97 年全台重大土石災情總報告。

尹立中、簡連貴、劉哲欣 (2014)。應用定率法推估降雨引致淺層崩塌警戒值之研究-以高屏溪流域為例。103 年度農業工程研討會，高雄市。

尹立中、劉哲欣、吳亭燁 (2013)。降雨引致淺層崩塌物理模式分析尺度探討-以高屏溪美輪山子集水區為例。102 年水土保持學術研討會，台中市。

張志新、劉哲欣、吳亭燁、施虹如、尹立中、李欣芳 (2014)。102 年集水區上游坡地模式分析、資料串接與境況模擬。國家災害防救科技中心技術報告。(NCDR102-T07)。

劉哲欣、吳亭燁、林欣弘、李宗融、尹立中 (2014)。颱風期間坡地崩塌警戒值之推估-以高雄市六龜區為例。水利署與 NCDR 防減災與氣候變遷合作協議成果發表會，臺北市。

書名：103 年大規模崩塌災害防治技術與防災地圖建置

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

出版年月：中華民國 104 年 4 月

版 次：第一版

非賣品

地址：23143新北市新店區北新路三段 200號9樓

電話： ++886-2-8195-8600

傳真： ++886-2-8912-7766

網址： <http://www.ncdr.nat.gov.tw>