

# 潛在大規模崩塌地表變形與數值地形計量分析

## 一、計畫摘要

莫拉克風災造成臺灣多處大規模崩塌事件，經濟部中央地質調查所運用空載光達數值地形資料，進行潛在大規模崩塌判釋，針對可能發生區位已精確找出多處因重力邊坡變形影響之重要地形特徵區域，惟具有地形特徵之潛在大規模崩塌，是否有機會在未來轉換成快速運動之災害性崩塌？目前仍尚待研究。為有效篩選潛在大規模崩塌地區，具有較高活動性或發生潛勢者，以做為未來土地管理、防災熱點之參考，因此執行本計畫。

本計畫整合目前新進之觀測技術，以建立大規模崩塌活動性的進階觀測技術，包括：(1)利用多年期日本ALOS、ALOS-2衛星影像，以TCP-InSAR解算技術，進行重點邊坡地表變形解算，完整建置具有時間序列之地表變形量、精度評估與檢核；(2)利用無人機遙測技術，包含無人機載光達與無人機影像空拍，來獲取指定區域之高解析度數值地形及影像資料；(3)搭配中央地質調查所於99~104年度以空載光達技術測製完成之全臺1公尺解析度數值高程模型(DEM)及數值地表模型(DSM)成果，將光達地形資料進行資料合併加值及視覺化之處理；(4)針對中央地質調查所既有之5處潛在大規模崩塌地區地表位觀測工作，包含：竹林、達來、茶山、車心崙以及梵梵等區域，以單頻GNSS觀測數據分析坡面之地表位移量。透過前述各項工作所蒐集之訊息，嘗試整合分析潛在大規模崩塌地區之發生度與活動性，應可建構出更合理的潛在大規模崩塌地區活動特性大數據，也可做為山崩與地滑地質敏感區更新之參考。

本計畫為了得到潛在大規模崩塌地區詳細地表變形資訊，利用2007-2011年間ALOS/PALSAR衛星雷達影像及2014~2018年間ALOS-2衛星雷達影像，針對2處潛在大規模崩塌區，進行長期地表平均變形速率解算，並取得時間與空間基線篩選結果，建構不同影像對進行相解算。

無人機光達系統已完整整合，本年度完成高雄竹林地區之無人機光達掃瞄工作，掃瞄之總面積約57公頃，並完成微地形之構造地形分析。光達資料可判釋之山崩構造線崖位置，尤其於山崩區冠部附近細微之構造線型，以及因山崩區坡地變形引致之波浪狀微地形，可清楚呈現。運用質點影像測速法(Particle Image Velocimetry, PIV)於竹林地區之地形變異分析，結果指示自2010以來，本區之地表水平及垂直變異量均指示本區仍持續運動中。竹林地區之無人機光達掃瞄區，計畫內亦以定翼型無人飛行載具來進行區內無人機影像拍攝及建模。竹林地區至今年六月為止，各於2018年7月、12月及2019年6月，一共進行了三次拍攝，其中12月及6月之單一次拍攝面積均大於30平方公里。本年度之無人機影像拍攝及資料處理，其中草嶺地區於2018年9月及2019年10月兩期汛期後之影像地形資訊收集完成，單期之總面積均大於20平方公里。透過草嶺地區無人機影像航拍及地形建模數年度的成果，其資料顯示本區一直仍持續活動，應宜持續監測。

地調所既有光達數值地形資料合併及視覺化之處理部分，共完成897幅五十分之一圖幅範圍。內容包括水域資料相位處理、DEM/DSM多方向陰影圖及陰影鑲嵌、光達成果品質分析圖、數值地形坡度圖、DEM/DSM降階後全臺數值地形成果，無人機光達與空載光達比較成果及作業規範及程序(草案)。

中央地質調查所既有之5處潛在大規模崩塌地區，地表以單頻GNSS技術觀測來分析坡面之地表位移量。目前持續穩定進行現場環境維護整理及現地蒐集資料，並對於監測坡面增加單頻接收儀之布設，加密監測的數量，逐月統計及記錄各監測站位移量及降雨量。觀測紀錄持續提供坡面位移與降雨量關係的釐清。

## 二、工作項目及內容

本計畫執行之工作項目包含(如圖1)：

- 利用衛星雷達影像分析2處潛在大規模崩塌地區之時序地表變形
- 無人機影像空拍及建模資料擷取
- 地調所既有光達數值地形資料合併加值及視覺化處理
- 地調所5處崩塌研究場址，一共52站單頻GNSS地表位觀測點，進行資料蒐集與分析

897幅光達數值地形資料視覺化加值成果



圖1.108年度各工作項目作業範圍圖

## 五、地調所既有光達數值地形資料合併及視覺化之處理

1. 水域資料相位處理
2. 多方向陰影圖(圖8)
3. 數值地形坡度圖
4. 空載光達成果品質分析圖(圖9 & 10)
5. 降階後全臺數值地形成果
6. 無人機光達與空載光達掃瞄成果分析比較

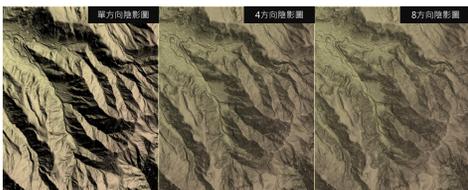


圖8.多方向陰影成效差異比較

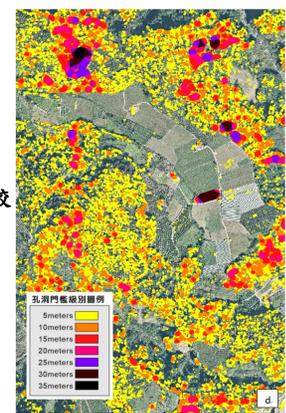


圖9.地面點孔洞分級分析圖

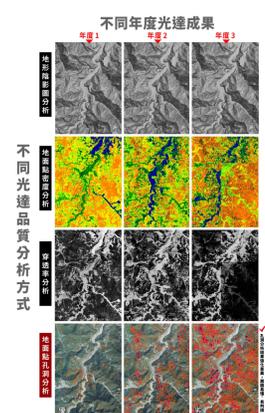


圖10.各種光達成果品質分析比較—地面點孔洞分析

## 六、單頻GNSS地表位觀測資料蒐集與分析

1. 2019年完成硬體整合及軟體自動化標準作業流程(圖11)

- ◆ 以竹林D009為範例，觀測時間2014/07/01~2019/10/31，其中部分點位明顯受到累積降雨而產生明顯位移，尤其在降雨後高程顯著的變化，如圖12所示。
- ◆ 資料顯示 如圖12在每一年的雨季後整體有明顯抬升，到該年底到達波峰，雨季結束後，再逐漸下降，到次年雨季前到達波谷，此一現象以每年為一週期重複發生。

年份	GNSS																			
2012	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2013	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2014	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2015	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2016	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2017	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2018	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2019	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

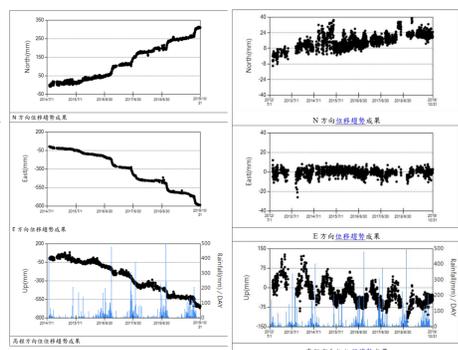


圖12.降雨量變化

圖11. GNSS觀測系統發展歷程

## 三、衛星雷達影像分析潛在大規模崩塌之時序地表變形

重點邊坡-南投縣-仁愛鄉-D036為例



圖2.崩塌地形資訊分布圖(a)地理位置圖;(b)地質圖;(c)地表高程圖;(d)航照影像圖;(e)坡向圖;(f)坡度圖

ALOS(2007-2011年)升軌

長期平均變形速率為-40.3±8.9 mm/yr。自2007-2011年雷達影像期程，冠部地區地表累積速率已達-120mm/yr，而坡面趾部地區地表累積速率亦有達-80mm/yr。

ALOS2(2014-2018年)升軌

長期平均變形速率為-20.5±1.6 mm/yr。自2014-2018年雷達影像期程坡面地表累積速率亦有達-8.4mm/yr。

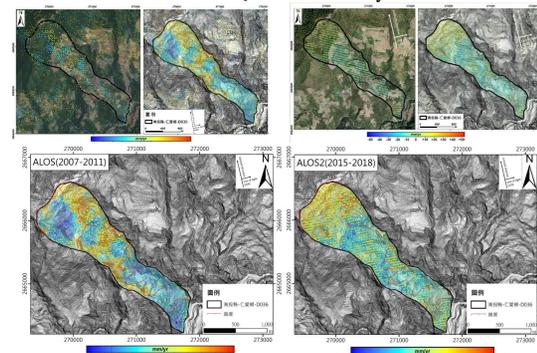


圖3.地表長期平均變形速率

## 四、無人機光達掃瞄、影像空拍及效益評估

1. 無人機光達掃瞄及資料處理(圖4 & 5)
2. 無人機影像空拍及建模資料擷取(圖6 & 7)
3. 地面控制點及檢核點布設及量測

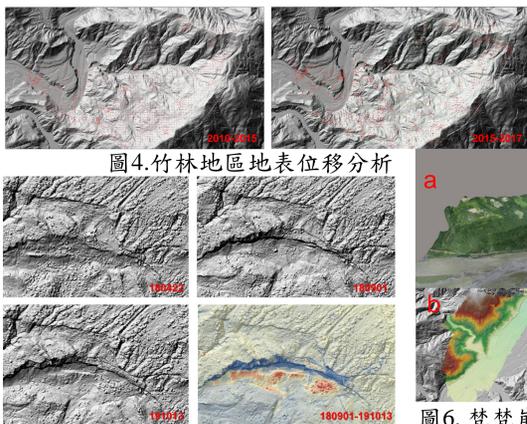


圖4.竹林地區地表位移分析

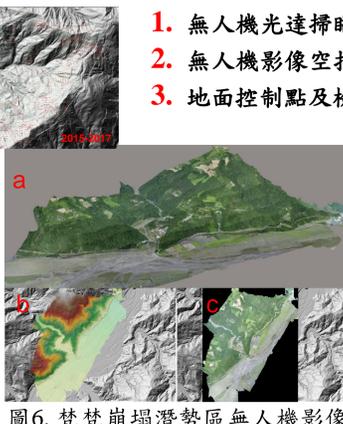


圖6.梵梵崩塌潛勢區無人機影像資料庫建置成果。(a)地形三維模型;(b)數值表面模型;(c)正射影像

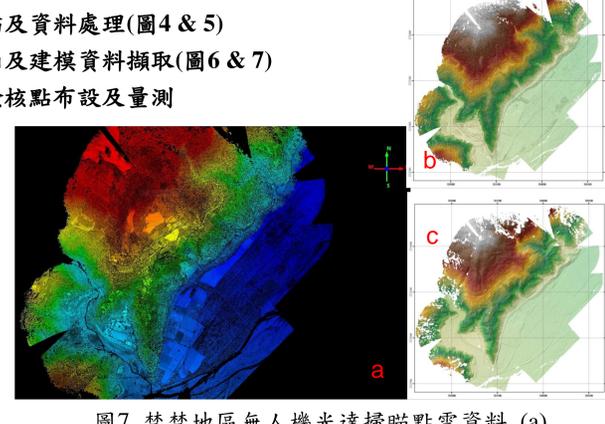


圖7.梵梵地區無人機光達掃瞄點雲資料。(a)點雲;(b)數值表面模型;(c)正射影像

## 七、計畫成果

1. 蒐集 2007~2011 年 ALOS 以及 2014~2018 年 ALOS-2 衛星雷達影像，完成衛星影像時間基線資料處理及衛星雷達影像干涉圖。配合TCPInSAR之地表變形解算技術，進行2 處坡面之長期地表平均變形速率及時間序列地表變形量解算，每幅衛星影像之解算成果點密度平均達200點/平方公里。
2. 完成評估 坡面之時空地表變形特徵及其活動性：南投縣-仁愛鄉-D036之時空地表變形特徵及其活動性，由ALOS影像顯示2007~2011年間，透過崩塌區域內不同的活動速率分為三塊滑動區塊，為平面型之運動型式。2007-2011年ALOS地表變形速率為-40.3±8.9 mm/yr，2014-2018年ALOS2地表變形速率為-20.5±1.6 mm/yr。
3. 本年度汛期後草嶺地區無人機影像航拍及地形建模成果中，數年度以來資料均顯示本區一直仍持續活動，應宜持續監測。
4. 竹林地區及梵梵地區完成無人機光達掃瞄工作，執行掃瞄面積總面積大於200公頃。基於無人機影像，本區域一共完成三個不同時期及不同大小之影像航拍及地形建模，全部無人機航拍之區域總面積大於4,000公頃。
5. 結合地形高程差異及運用質點影像測速法(Particle Image Velocimetry, PIV)於竹林地區之地形變異分析，結果指示自2010以來，本區之地表水平及垂直變異量均指示本區仍持續運動中
6. 完成897幅五十分之一範圍之既有光達數值地形資料合併及視覺化處理，包含多方向陰影圖、水域資料圖、地面點孔洞圖，以及資料解析度降階。
7. 無人機光達與空載光達掃瞄成果分析比較，並擬訂無人機光達測繪作業規範草案。
8. 於108年8月9日進行大規模崩塌相關計畫成果發表會，與會人數超過200人，會議圓滿成功。
9. GNSS自1月至12月底為止，坡面儀器監測成果：  
宜蘭縣-大同鄉-D007總位移為31 mm/yr；雲林縣-古坑鄉-D008總位移為201 mm/yr  
高雄市-六龜區-D009總位移為123 mm/yr；嘉義縣-阿里山鄉-D016總位移為27 mm/yr  
屏東縣-山地門鄉-D089總位移為35 mm/yr。

