

---

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行  
崩塌地長時距監測

**Integrating multi-temporal SAR  
imagery and texture information for long-  
term landslide monitoring**

---

執行 單位：國立中央大學

執行 期間：109 年 02 月 06 日至 109 年 12 月 31 日

計畫主持人：姜壽浩 中央大學太空及遙測研究中心副教授

研究 人員：姚柏成

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 109 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)



## 摘要

在崩塌災害的防治工作上，使用遙測資料，如衛星影像、航空照片等，對於快速擷取災害情資有極大的助益。且不同於光學影像，雷達影像可適用在多雲霧的氣候條件下，更突顯了雷達遙測資料的應用價值。本研究之主要目的為提出一以雷達影像為基礎之崩塌判釋方法，藉由整合雷達訊號的時序特徵以及空間特徵，以應用於長時距的崩塌監測。為了精進雷達影像為基礎的崩塌判釋技術，本研究將會針對山區地形陰影區校正、時序資料的標準化兩項問題，提出解決方案。首先，針對影像中山區地形陰影區的問題，本研究將設計一個多角度觀測雷達融合演算法，利用融合多角度觀測的雷達影像來減低山區陰影的影響；其次，本研究使用標準化交互相關指標來進行多時序資料的標準化。研究成果顯示，(1)本研究透過分析地形坡向、坡度以及衛星姿態等參數來融合升軌及降軌的影像可以有效減低地形效應造成的陰影，配合時序標準化資料可有助於山區崩塌之判釋工作，但對於面積為 0.1 公頃以下之崩塌地無法有效區判出其回波強度的變化。(2)本研究整合多時序影像以及紋理影像進行 SVM 監督式分類，在兩個研究區的試驗發現，對於面積大於 0.5 公頃之崩塌地有相當不錯的判釋正確性(大於 75%)。(3)透過長時距監測試驗，相信本研究所提出之以多時序雷達資料為基礎之崩塌地判釋方法，在影像資料可取得之情

形下，能有效地進行崩塌地即時監測，有利於災害事件的後續反應作為。

本研究認為應用雷達影像進行崩塌地偵測有其價值及必要，特別在颱風事件及過後期間，在雲霧覆蓋使得可見光影像無法運用在災害監測的狀況。本計畫期望研究成果能有助於精進現有之山區崩塌災害監測方法，對我國崩塌災害管理與減災措施能有具體貢獻。

**關鍵詞：**崩塌災害、合成孔徑雷達、多角度觀測雷達融合演算法、標準化交互相關指標、災害監測

# **Intergrating multi-temporal SAR imagery and texture information for long-term landslide monitoring**

## **ABSTRACT**

To detect landslide hazards for a wide region, remotely sensed data has been applied due to its efficiency and low cost. However, the cloudy condition during a typhoon may limit the application of optical data. For an emergent monitoring task, Synthetic Aperture Radar (SAR) is, therefore, a suitable tool for detecting landslides in cloudy and rainy weather. This study aims to develop an effective landslide detection method, by integrating multi-temporal signature and image texture characteristics of SAR imagery, for a long-term, continuous hillslope monitoring task. To achieve better image analysis of different mode data, an algorithm, multi-observing image fusion method, was developed to minimize the topographic effects (shadow, layover, and overshooting) by combining different sensing mode data. Also, the Normalized cross-correlation (NCC) method was further applied to standardize the image backscattering temporally. The results show that (1) the fused image can be used to distinguish the backscattering change over landslide surface (landslide size  $> 0.1$  ha); (2) the proposed multi-temporal SAR-based landslide detection method can be successfully applied to landslide detection; (3) The proposed landslide detection method was successfully examined for a long-term landslide monitoring practice in an independent study case.

Overall, the effective and useful landslide detection method proposed in this study is expected to serve as a part of a rapid response system of hazard monitoring when optical data is not available.

**Keywords:** Landslide hazard, Synthetic Aperture Radar, multi-observing image fusion method, Normalized cross-correlation, Hazard monitoring

# 目次

摘要.....	I
ABSTRACT.....	III
目次.....	V
表次.....	VII
圖次.....	VIII
第一章 緒論 .....	1-1
第一節 研究背景與目的 .....	1-1
第二章 工作執行方法與步驟 .....	2-1
第一節 資料與研究方法 .....	2-1
第二節 雷達影像分析 .....	2-8
第三節 整合型崩塌地判釋方法 .....	2-15
第四節 整合型雷達崩塌判釋方法與長時距監測方案 .....	2-19
第三章 研究成果 .....	3-1
第一節 衛星影像與崩塌資料收集 .....	3-1
第二節 多時序影像融合試驗與成效評估 .....	3-4
第三節 多時序影像標準化試驗 .....	3-7
第四節 整合型多時序雷達影像崩塌地判釋試驗 .....	3-12
第五節 長時距崩塌地監測試驗 .....	3-16
第四章 研究問題與討論 .....	4-1
第五章 結論與建議 .....	5-1
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附-1
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 .....	附-1
附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形 .....	附-4

附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形 ..... 附-8

附錄四、SPOT6-7 光學衛星及 Sentinel-1 雷達衛星影像資料表附-10



## 表次

表 2-1 影像紋理說明.....	2-16
表 2-2 誤差矩陣.....	2-17
表 2-3 精確度評估說明 .....	2-18
表 3-1 蘇迪勒颱風事件之崩塌地面積與數量統計 .....	3-2
表 3-2 611 豪雨事件之崩塌地面積與數量統計 .....	3-2
表 3-3 蘇迪勒事件 SENTINEL-1 雷達影像收集列表 .....	3-3
表 3-4 611 豪雨事件 SENTINEL-1 雷達影像收集列表 .....	3-3
表 3-5 蘇迪勒事件 VH 崩塌地回波強度變化 T-TEST 統計表 .....	3-6
表 3-6 蘇迪勒事件 VV 崩塌地回波強度變化 T-TEST 統計表 .....	3-7
表 3-7 蘇迪勒事件多時序分析影像時間表 .....	3-7
表 3-8 各類地物在雷達及 SPOT 之影像參考 .....	3-9
表 3-9 蘇迪勒事件之紋理影像 .....	3-13
表 3-10 蘇迪勒颱風事件各項試驗崩塌判釋之成果 .....	3-15
表 3-11 蘇迪勒颱風事件各崩塌面積之分類生產者精度 .....	3-16
表 3-12 611 豪雨事件多時序分析影像時間表 .....	3-17
表 3-13 611 豪雨事件之紋理影像 .....	3-19
表 3-14 611 豪雨事件各崩塌面積之分類生產者精度 .....	3-22
表 4-1 多時序影像標準化試驗崩塌判釋比較成果 .....	4-1

## 圖次

圖 2-1 SENTINEL-1 成像系統.....	2-2
圖 2-2 EAS OPEN HUB 影像下載頁面 .....	2-3
圖 2-3 蘇迪勒颱風路徑圖 .....	2-4
圖 2-4 蘇迪勒颱風事件研究區 .....	2-6
圖 2-5 611 事件研究區.....	2-8
圖 2-6 崩塌判釋流程圖 .....	2-9
圖 2-7 衛星觀測姿態與坡向 .....	2-14
圖 3-1 SPOT 影像判釋 2015 年蘇迪勒颱風新生崩塌地 .....	3-1
圖 3-2 SPOT 影像判釋 2016 年 611 豪雨新生崩塌地.....	3-2
圖 3-3 雷達影像亮面側與暗面側示意圖.....	3-4
圖 3-4 升軌模式與降軌模式融合影像示意圖.....	3-5
圖 3-5 升軌模式(AS)、降軌模式(DE)與融合影像(ASDE)之雷達回波強度之分布比較 .....	3-5
圖 3-7 蘇迪勒事件原始影像之各地物多時序雷達強度變化 .....	3-11
圖 3-8 蘇迪勒事件標準化影像之各地物多時序雷達強度變化 .....	3-11
圖 3-9 蘇迪勒颱風事件 NDSI 影像.....	3-12
圖 3-10 蘇迪勒颱風事件影像分類成果(試驗三) .....	3-15
圖 3-11 611 豪雨事件 NDSI 影像 .....	3-18
圖 3-12 表湖站 2016 年間 2 月至 9 月之日雨量紀錄。 .....	3-20
圖 3-13 611 豪雨事件無新增崩塌事件之判釋成果 .....	3-21
圖 3-14 611 豪雨事件新增崩塌判釋成果 .....	3-21
圖 4-1 蘇迪勒颱風事件崩塌偵測時間評估 .....	4-2
圖 4-2 611 豪雨事件崩塌偵測時間評估 .....	4-3

## 第一章 緒論

### 第一節 研究背景與目的

在崩塌災害的防治工作上，使用遙測資料，如衛星影像、航空照片等，對於快速擷取災害情資有極大的助益(Guzzetti et al.,2012)。為快速取得大範圍的崩塌資訊，利用高解析度遙測影像進行崩塌地判釋為現行主流的方法(Mondini et al.,2017)，且自動化以及半自動化的快速判釋技術相當有助於進行緊急性的崩塌災情分析。在遙測影像的應用上，光學影像(optical imagery)為較普遍應用之影像資料。就臺灣地區而言，SPOT以及福衛二號影像為過去最常使用之光學衛星影像資源。光學影像之優點為具有多光譜資訊可供區判不同的地物特徵，且能清楚界定出崩塌的輪廓，但缺點為受天候雲霧影響，有雲霧遮蔽時無法清楚觀測地表，此問題對於強降雨誘發之崩塌(如颱風有雲系覆蓋狀況)的即時判釋工作上有極大的限制。

近年來合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar, SAR)影像(後簡稱雷達影像)已經開始應用於山區崩塌之監測與預判工作，如DInSAR(合成孔徑雷達差分干涉，Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar)技術可用以界定具有明顯地表變形的區域，或是進行變形量的估計，PS-InSAR(永久散射體差分干涉技術，Persistent Scatterers InSAR)可針對永久散射體，計算對衛星軌道方向之相對位移速率(Hopper et al., 2004)。由於合成孔徑雷達感測器屬於主動式微波感測器，相較於光學感測器，其波長較長可以穿透雲層，觀測較不受天候影響(Raspini et al., 2014)，然而其缺點為雷達訊號之資訊處理、校正、判讀不易，一般僅能掌握訊號變異的大致範圍。

歐洲太空總署已分別於2014年四月發射Sentinel-1A已及2016年4月發射Sentinel-1B。目前Sentinel-1之雷達觀測產品包含兩個觀測衛星，兩者以同一軌道差180度運行，並且均已開始執行拍攝任務，歐洲太空總署也已提供全球免費的Sentinel-1合成孔徑雷達影像。Sentinel-1A影像的空間解析度於臺灣地區約為10公尺，時間解析度為12天，已有研究說明此C-band雷達影像適合於山區林地之間進行崩塌偵測(Mondini, 2017; Correa-Muñozl and Murillo-Feo, 2018)，且由於此為免費資料，因此對於本研究進行雷達影像訊號分析以及進行崩塌偵測，在成本上將有相當的助益。

本研究團隊執行108年創新研究計畫的成果已說明Sentinel-1 C-band雷達資料在崩塌判釋有極高的適用性，且不同於光學影像，雷達影像可適用在多雲霧的氣候條件下，可突顯了雷達遙測資料的應用價值。基於過去本研究團隊提出之兩類型的崩塌判釋方法：根據雷達訊號的時序特徵以及空間特徵，利用多時序影像以及紋理影像來分別進行崩塌判釋，此兩類方法均有不錯的成果(0.5公頃以上的崩塌的判釋率可達75%以上)。本研究認為可以藉由整合此兩類雷達資訊，發展一整合型的崩塌判釋方法。為了精進雷達影像為基礎的崩塌判釋技術，本研究將會針對影像中山區地形陰影區域的校正、時序資料的標準化兩項問題，提出解決方案，並期望本研究所提出之整合型崩塌判釋方法能有助於持續性的崩塌監測工作。

## 第二章 工作執行方法與步驟

本研究應用 Sentinel-1 C-band 合成孔徑雷達影像，嘗試使用此免費影像資源，並收集 2015 年以後之災害事件之光學、雷達影像及崩塌圖資，嘗試整合多時序的雷達紋理影像，並期望能據此建立一以雷達資料為基礎的崩塌地長時距之持續監測方法。此計畫之執行步驟為：

- (1) 首先進行崩塌判釋方法試驗，試驗區為 2015 年蘇迪勒颱風於北部山區新店溪水系上游的桶後溪上游誘發之崩塌事件，方法為收集研究崩塌事件之多時序雷達影像，並收集各事件前、後期的光學影像(SPOT5 或 SPOT6-7)影像，進行崩塌地人工判釋，作為後續驗證崩塌判釋成果，正確率計算之用。
- (2) 利用試驗區之多時期雷達影像，進行影像標準化、山區由地形造成之陰影區進行修正，並檢視其成效。另為，也將試驗不同時距的多時序影像搭配，以建構有效的長時距監測方案。
- (3) 最後選取一獨立研究區進行整合型雷達崩塌判釋方法與持續性崩塌監測之試驗，本研究將針對 2016 年 6 月 11 日之豪雨於台灣南部山區高屏溪流域上游及曾文溪流域上游山區所誘發之崩塌事件來驗證。

### 第一節 資料與研究方法

#### 一、雷達影像資料 Sentinel-1

Sentinel-1 是歐洲太空總署 (European Space Agency, ESA) 哥白尼計畫 (GMES) 中的地球觀測衛星。此計畫由兩顆衛星組成(1A 及

1B)，主要目的是用於土地與海洋的監測，Sentinel-1 的目標是為了在 ERS-2 及 ENVISAT 退役後，持續提供 C-band 合成孔徑雷達資料。台灣地區可取得之資料為 Sentinel-1A。此雷達資料搭載四個不同的感測器，分別為 Stripmap Mode, Interferometric Wide Swath Mode, Extra Wide Swath Mode, Wave Mode (圖 2-1)說明如下(姜壽浩，2017)：

- (1) Stripmap Mode：延續 ERS 及 ENVISAT 提供的成像模式，其提供高空間解析度的影像，空間解析度為 5 公尺。
- (2) Interferometric Wide (IW) Swath Mode：Sentinel-1 預設陸地的影像皆為 IW mode，其解析度從 5 公尺至 20 公尺。
- (3) Extra Wide (EW) Swath Mode：EW mode 提供寬幅及再返週期高的影像，此模式通常提供海洋及兩極地區的影像。
- (4) Wave Mode：此模式的影像結合全球海浪模式，可以協助了解開放海域波浪的方向，波長及波浪高度。

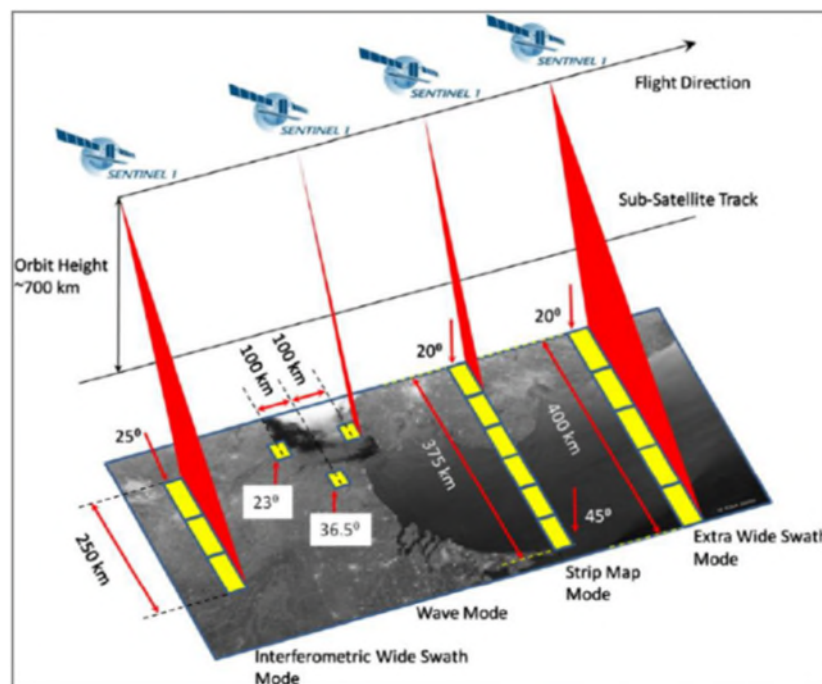


圖 2-1 Sentinel-1 成像系統 (資料來源：<https://sentinel.esa.int/>)

臺灣地區的 Sentinel-1A 影像空間解析度約為 10 公尺，再返週期為 12 天。Sentinel-1 影像並不是每一個地區皆提供全極化的資料，台灣地區可取得資料為 Sentinel-1A 的 IW Model，包含 VV 和 VH 兩種極化的影像資料，包含升軌模式(ascending)以及降軌模式(descending)兩種拍攝模式。Sentinel-1 於 2014 年升空後，便開始對地球陸地及海洋進行監測，並釋放資料供使用者下載(Open Hu <https://scihub.copernicus.eu/dhus>)。

就臺灣地區涵蓋範圍來說，Sentinel-1A 的升軌模式需三幅影像，降軌模式則需二幅影像來涵蓋台灣全島範圍(圖 2-2)。國立中央大學太空及遙測研究中心(後簡稱本中心)已完成影像成像、校正以及鑲嵌作業建置，可以快速取得全台全幅之雷達衛星影像。

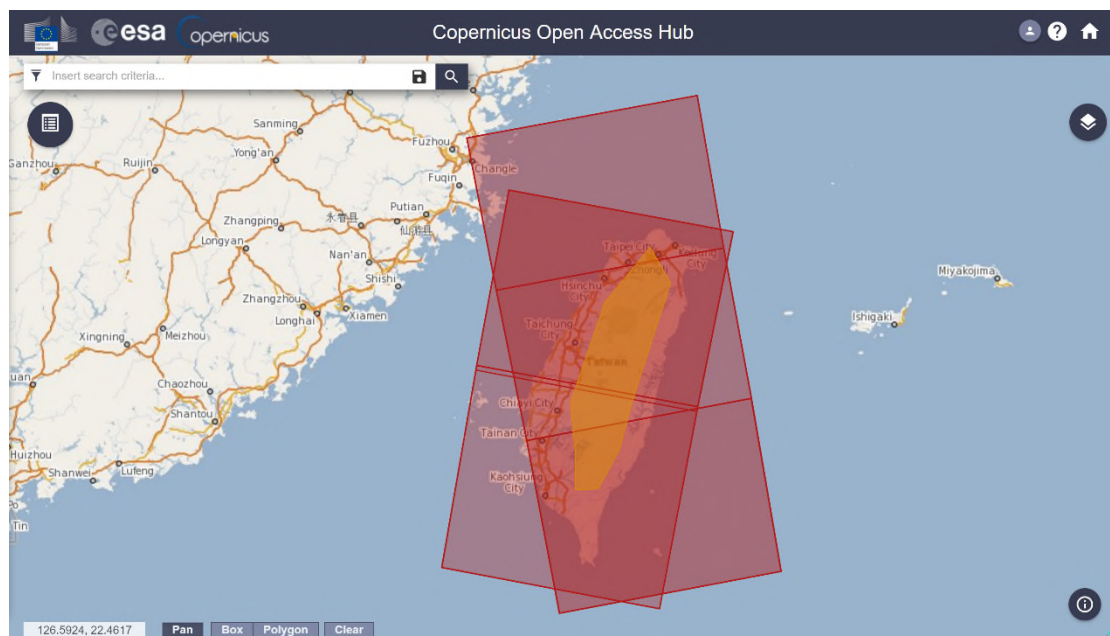


圖 2-2 EAS Open Hub 影像下載頁面：<https://scihub.copernicus.eu/dhus>

## 二、崩塌災例資料收集

本研究針對 2015 年蘇迪勒颱風及 2016 年之 611 豪雨事件進行



資料收集與影像分析，主要收集的資料為主要崩塌災害區域事件前後的光學影像(SPOT-6/7)以及 Sentinel-1A 影像，並利用光學影像與雷達影像進行比對，界定崩塌地的在雷達影像中的位置及範圍。

### 三、研究試驗事件－蘇迪勒颱風

根據中央氣象局資料，蘇迪勒颱風(Soudelor)於 2015 年 7 月 30 日生成於關島東方海面，於 2015 年 8 月 8 日侵台，近中心之最大風速達 48.0m/s。3 日一度升為強烈颱風，4 日午後雖有減弱，但仍以中度颱風上限逼近台灣，8 日 4 時 40 分左右於花蓮縣秀林鄉登陸，11 時在雲林縣台西鄉出海，同日 22 時左右進入福建。其生命週期內兩度發生雙重眼壁，對近年西北太平洋的熱帶氣旋而言甚為罕見。颱風路徑圖如圖 1-3

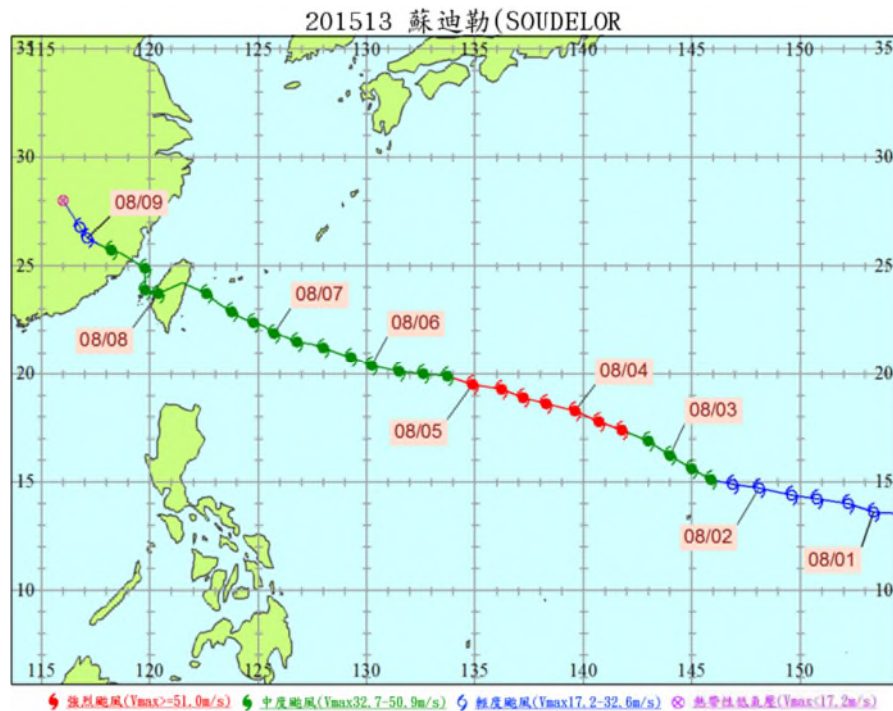


圖 2-3 蘇迪勒颱風路徑圖(資料來源：中央氣象局)

災情部分，根據全國災害事件簿資料顯示，主要降雨集中在台灣北部地區，強降雨造成大台北地區多條河川河水暴漲造成多處淹水，



宜蘭縣太平山雨量站累積雨量達 900 毫米，新北市福山雨量站累積超過 680 毫米，隨著颱風出海後，西南部山區出現降雨，有部分淹水的情形。根據中央災害應變中心統計，全台逾 450 萬戶停電，為近年停電戶數最多之記錄。計有 8 人死亡、4 人失蹤、437 人受傷、道路中斷 47 處、水利設施受損 17 處及農業損失逾 23 億元。

本計畫選定台灣北部山區新店溪水系上游的桶後溪做為研究區(圖 2-4)，桶後溪源頭為烘爐地山，研究區內地形高度落差大，河道蜿蜒，大致由東流向西。研究區面積大約為 5,050 公頃，處於中、低海拔，高程分布於 160~1,244 公尺，平均高度為 700 公尺，約有 77% 之面積位於 1,000 公尺以下。坡度分布於 0~63.7 度，平均坡度 31.5 度，地勢相當陡峭。研究區屬熱帶季風氣候，一月均溫約 13°C，七月均溫約 28°C。年雨量大約在 3,000 至 4,000 公厘之間，全年有雨，但 6-10 月雨量較多。

透過地質調查研究所的地質圖層顯示，研究區內岩層主要為漸新紀至中新紀之砂岩與頁岩，上游主要為大桶山層與木山層，下游主要為粗窟層與乾溝層。研究區內為林地及河道，本研究區內於 2015 年蘇迪勒颱風事件前並無崩塌，風災期間產生大量新生崩塌。

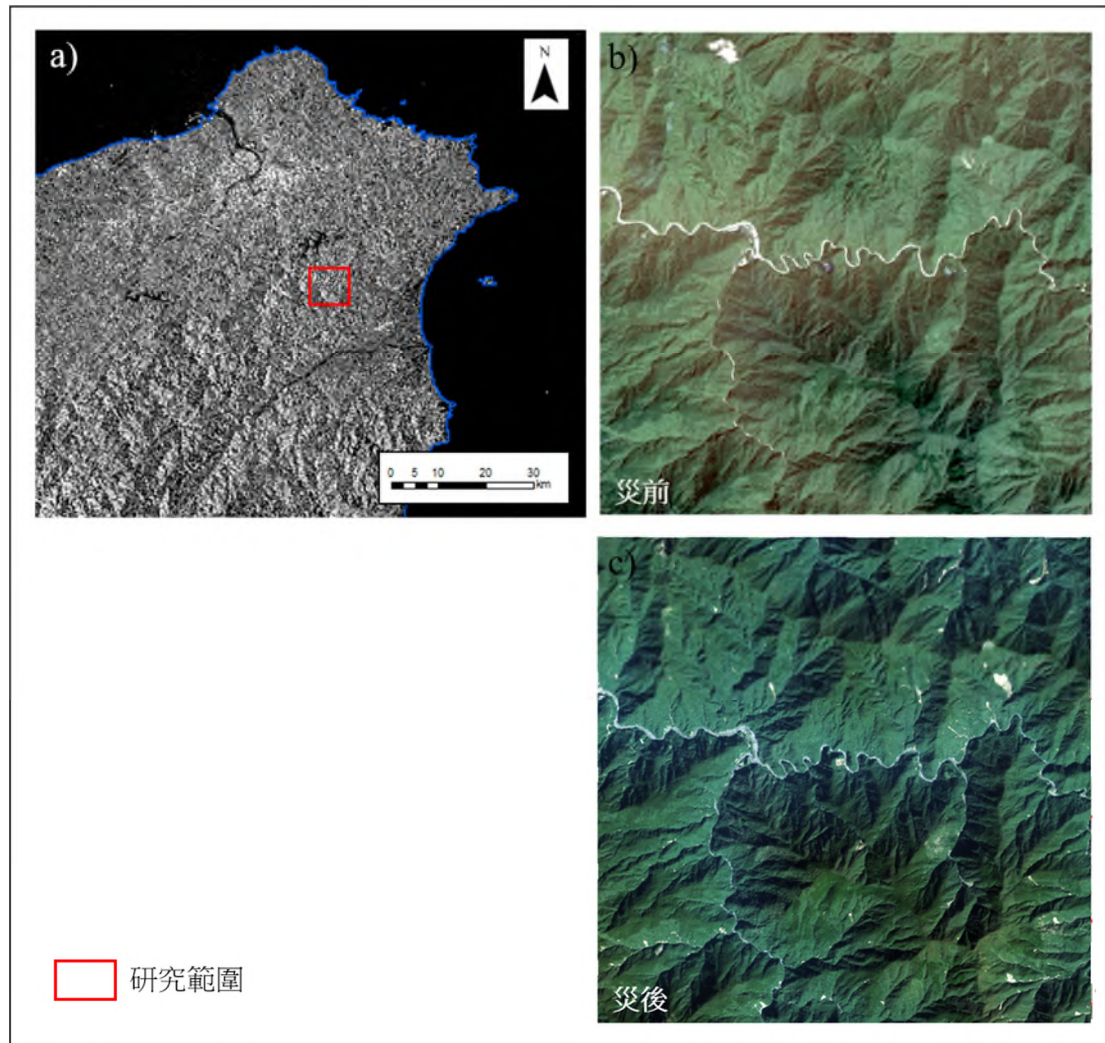


圖 2-4 蘇迪勒颱風事件研究區，(a)為研究區在 Sentinel-1 影像 (b) 為災前 SPOT 影像，拍攝時間為 2014 年 9 月 30 日 (c) 為災後 SPOT 影像，拍攝時間為 2016 年 2 月 8 日

#### 四、研究驗證事件—2016 年 611 豪雨事件

根據中央氣象局指出，因受旺盛西南氣流所帶來的豪雨影響，此波梅雨鋒面水氣非常旺盛，短時強降雨的機會也增多。611 豪雨於 2016 年 6 月 11 日上午 10 時在台灣南部帶來大量降雨，其中最大雨量 10 分鐘可達到 23 毫米，12 小時累積雨量達 200-250mm，已接近大豪雨（350mm/24hr）等級。台南市政府於 6 月 11 日上午 11 時成立緊急災害應變中心，而這場降雨持續至 13 號。

災情部分，根據土石流防災資訊網與 611 豪雨應變中心資料顯示，主要降雨集中在台灣南部地區，強降雨造成台南、高雄與屏東地區多條河川河水暴漲造成台南市南化區 11 條土石流潛勢溪流為黃色警戒。本次豪雨造成大武野溪於上午 7 時爆發土石流，沖毀霧大二橋並造成大武村聯外道路中斷，道路毀損部分合計約 40 公尺。

本計畫選定台灣南部山區高屏溪流域上游及曾文溪流域上游山區做為研究區(圖 2-6)，高屏溪發源於中央山脈西南麓，曾文溪則發源於阿里山，集水區內高山聳立、河道蜿蜒，地形高度落差大，大致由東北向西南遞減。研究區面積約為 6,700 公頃，處於中、低海拔，高程分布於 223~1,185 公尺，平均高度為 702 公尺，約有 81%之面積位於 1,000 公尺以下。坡度分布於 0~67.9 度，平均坡度為 26.5 度，地勢相當陡峭。研究區地屬熱帶海洋季風氣候，氣溫約在 19°C~21°C 間，以一月最低，七月最高。年降雨量約為 3,400 公厘，雨量集中於五到十月間，佔全年 90%，季節豐枯明顯。

透過地質調查研究所的地質圖層顯示，研究區內岩層分布主要為中新紀至上新紀之砂岩與頁岩，高屏溪流域主要為長枝坑層，曾文溪流域主要為北寮頁岩。河流兩岸可見台地分布，主要為更新世之古河流沖積層，屬第四紀之階地堆積。研究區內除部分河階台地有聚落建

地外，其餘多為林地，佔研究區超過 85%。本研究區曾於 2009 年莫拉克颱風期間發生多處崩塌，傳出許多嚴重災情，在 611 豪雨事件中，除了新生崩塌之外，也有舊有崩塌擴大的情形。

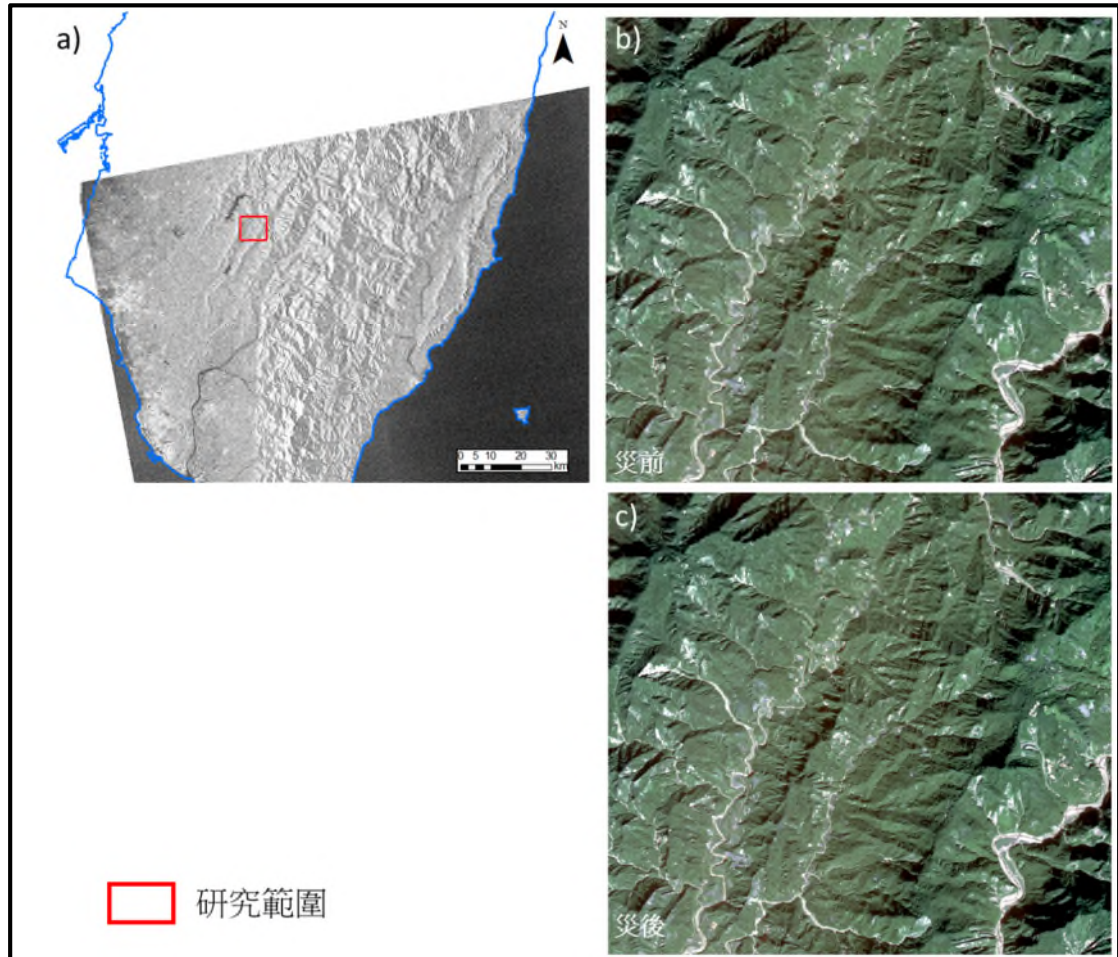


圖 2-5 611 事件研究區，(a)為研究區在 Sentinel-1 影像 (b)為災前 SPOT 影像，拍攝時間為 2015 年 11 月 28 日 (c) 為災後 SPOT 影像，拍攝時間為 2016 年 11 月 19 日

## 第二節 雷達影像分析

本研究流程圖請參考圖 2-6，在影像分析方面，主要可分為影像多時序變遷分析以及影像紋理分析兩方面，並以支持向量機進行影像分類，後續將就各項研究步驟進行詳細說明。

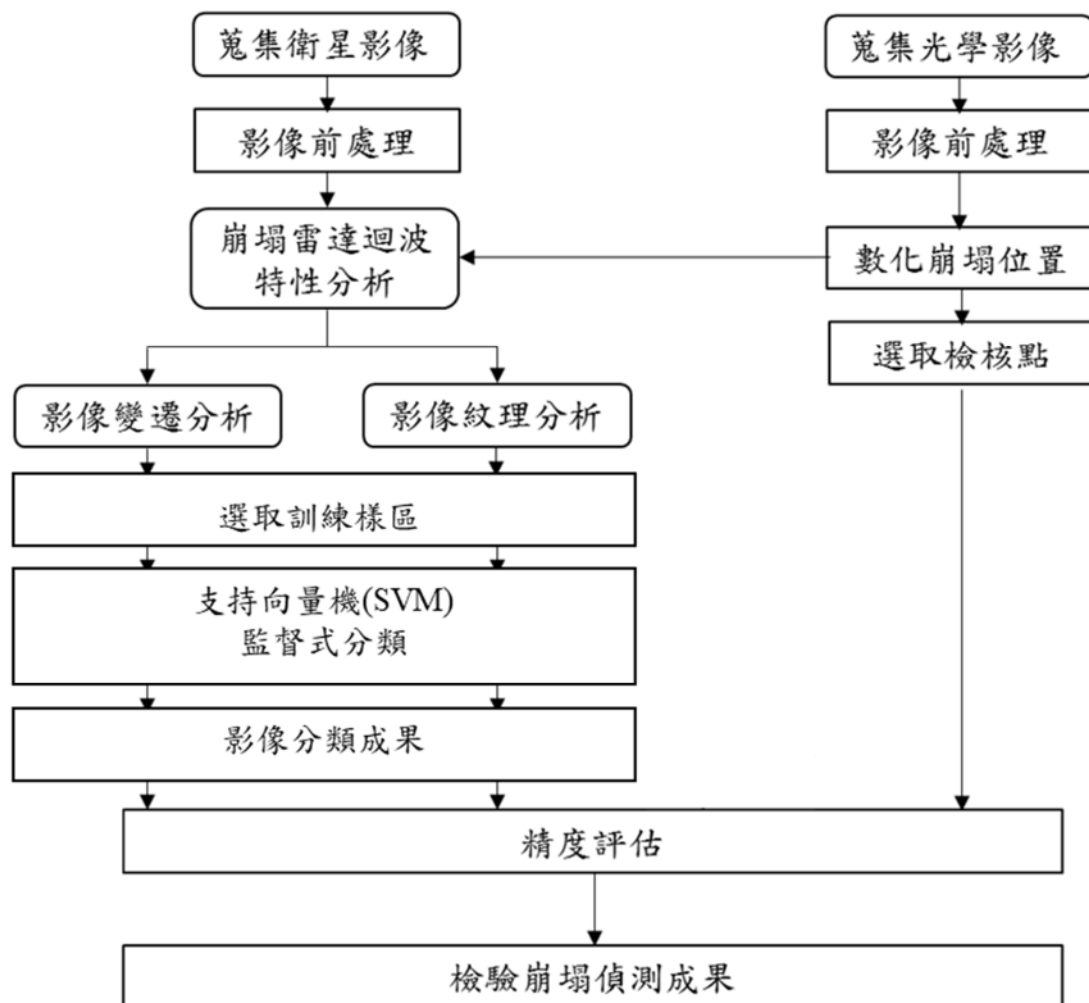


圖 2-6 崩塌判釋流程圖

### 一、雷達影像前處理

合成孔徑雷達影像前處理包含三個部分(姜壽浩，2017)，包括輻射校正 (Radiometric correction)、幾何校正 (Geometric correction) 及影像斑駁雜訊濾除 (Speckle noise removal)等工作。針對 Sentinel-1 影像，利用歐洲太空總署所開發之 SNAP 軟體進行處理，其方法分述如下。第一個部分為輻射校正 (Radiometric correction)，雷達影像訊號強度改變的原因有雷達波波長、入射角度、地表坡度、地表粗糙度、

極化現象 (Polarization) 及地物的複介電常數等的影響。而輻射校正正是將影像中訊號強度去除攝像系統上斜距展度效應、天線圖形效應以及入射角效應，使得輻射校正過的影像，在訊號強度上較能真實反應出地表的反射特性，此外，也將原始影像的 Digital Number (DN)值轉換為後向散射係數 (Backscattering coefficient,  $\sigma$ )，轉換公式如下：

$$\sigma_j = \beta_j + 10 \times \log(\sin I_j) \quad (1)$$

式(1)中的 $\sigma_j$ 表示 $j$ 像元 (Pixel)的後向散射係數， $\beta_j$ 表示 $j$ 像元的亮度 (brightness)，計算公式如 (2)式：

$$\beta_j = 10 \times \log[(DN_j^2 + A3)/A2_j] \quad (2)$$

式(2)中 $DN_j^2$ 為 $j$ 像元的灰度值(gray value)平方， $A3$ 表示偏移量(offset)， $A2_j$ 表示 $j$ 像元的增益值(gain value)。而式(1)中的 $I_j$ 表示 $j$ 像元的入射角(Incidence angle)，計算公式如下(3)式，

$$I_j = \arcsin[(R_t + H)\sin(\Phi_j)/R_j] \quad (3)$$

式(3)中 $R_t$ 表示地球半徑， $H$ 表示軌道高度(Track height)， $\Phi_j$ 表示 $j$ 像元的球面角(spherical angle)， $R_j$ 則為 $j$ 像元的斜距。

第二個部分為幾何校正(geometric correction)。由於合成孔徑雷達是以側視(side looking)的方式觀測目標物，成像原理為距離投影，其發出的脈衝以距離感測器漸行漸遠的方式和地面目標物產生交互作用，因為地形的影響，影像會有明顯的變形，所以必須糾正幾何變形，需要將影像從斜距(雷達到地面目標物的距離)轉換為地距(地面上的實際距離)。接續，則為利用數值高程模型進行校正，並將影像轉換坐標至 TWD97 以利後續進行分析，此地形校正則利用 SNAP 軟體進行處理，而地形資料則使用 2016 年內政部產製之 20 公尺全台數值高程



模型(Digital Elevation Model, DEM)於地形校正。

第三個部分為斑駁雜訊濾除 (speckle noise removal)，在合成孔徑雷達影像中，當波長與地表粗糙度相近時，易造成干涉現象而產生斑駁雜訊，也就是回波相位在一個波長內的延遲，造成同一解析像元內很多物體回波的干涉現象。雷達回波訊號可能因為同相位(in-phase)加強像元的回波強度 (constructive interference)，形成明亮的像元；反之，可能因為反相位(out-of-phase)造成回波強度相互抵消而減弱 (Destructive Interference)，形成暗色的像元。所以雷達影像因為斑駁雜訊的緣故，使得影像會充滿許多顆粒 (granule)，難以分辨地物的特徵。本研究為了進行較精確的地物判釋，每一張影像皆進行斑駁雜訊的濾除。

本研究使用李氏濾波器(Lee filter)進行斑駁雜訊的濾除，李氏濾波器是常見的雷達雜訊濾波器，其特點在於利用八個方向的移動視窗 (moving window) 進行雜訊濾除以保持邊界的銳利度。李氏濾波器可以使影像更為平滑且保有影像邊緣的特徵(Lee, 1981)。雷達的斑駁雜訊是一種散射的現象，所以在影像處理的觀點上視為相乘性的斑駁雜訊。李氏濾波器假設相乘性誤差近似線性，並以最小平方誤差應用於線性模型，計算公式如下：

$$R = I_c \times W + I_m \times (1 - W) \quad (4)$$

式(4)中的 $I_c$ 為移動視窗的中心像元； $W$ 為權重係數，計算如(5)式。 $I_m$ 為移動視窗內的平均值。

$$W = 1 - \frac{C_u^2}{C_i^2} \quad (5)$$

式(5)中的 $C_u$ 為估計雜訊的變異係數； $C_i$ 為影像的變異係數。 $C_u$ 與 $C_i$ 可由(6)式與(7)式表示：

$$C_u = \sqrt{\frac{1}{NLook}} \quad (6)$$

式(6)中的 $NLook$ 為合成孔徑雷達影像對同一個點位的觀測數。

$$C_i = \frac{S}{I_m} \quad (7)$$

式(7)中的 $S$ 為移動視窗中的標準差。

## 二、多角度觀測雷達融合演算法

由於衛星影像成像時，因拍攝軌道角度不同、地表起伏或衛星姿態參數等等影響，會導致雷達影像成像時產生幾何偏差。又因Sentinel-1 雷達影像具有升軌和降軌兩種模式，因此本研究將升軌模式與降軌模式之影像做結合，挑選日期相近之升軌與降軌影像進行整合，並設計一套算法，對雷達影像進行幾何校正，通過考慮衛星到地表之方位角、最近入射角與最遠入射角等因素，調整高差位移、傾斜位移等地形起伏偏移，以消除因衛星軌道參數造成衛星成像時影像回波強度不均產生的影響。

本研究提出方法為，假設影像中的陰影分布為由衛星的軌道參數與地形決定，因此可由數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)去模擬衛星在軌道上往地表照射之情形。若能模擬衛星在天頂角方向進行觀察之情形，則可以消除因山區地形而造成背向衛星之坡面的回波訊號不均問題。上述之計算過程如下；首先，取得原始的雷達影像之後向散射係數 $\sigma$ ，與衛星軌道參數(包含方位角及入射角)，在假設雷達於天頂觀測之後向散射係數與實際觀測之後向散射係數具有比例關係的情況下，則雷達於天頂觀測之後向散射係數可表示如下：

$$\sigma(\phi_s, \theta_{\perp}) = \Omega \times \sigma(\phi_s, \theta_s) \quad (8)$$

式(8)中的 $\phi_s$ 表示衛星軌道方位角， $\theta_{\perp}$ 表示天頂角， $\theta_s$ 表示衛星軌道的



最遠入射角與最近入射角的平均，式(8)中 $\Omega$ 為兩者之比例關係，此數值本研究以模擬光源在衛星實際觀測位置與位於天頂角位置時投射到地表之曝光度(illumination, I)進行計算：

$$\Omega = \frac{I_{(\phi_s, \theta_{\perp})}}{I_{(\phi_s, \theta_s)}} \quad (9)$$

上式中 $I_{(\phi_s, \theta_{\perp})}$ 為模擬地表光源在天頂往地表照射之曝光度， $I_{(\phi_s, \theta_s)}$ 表示為衛星實際觀測位置之地表曝光度。地表之曝光度除了與光源位置外(包含方位角 $\phi$ 與入射角 $\theta$ )，也與地形之坡度與坡向有關(如圖 2-7)，而光源在不同位置之曝光度 I 可由下式計算：

$$I = k \cdot \{\cos(\theta) \cdot \cos(\phi) + \sin(\theta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\theta - \omega)\} \quad (10)$$

上式 k 為一值域調整係數，本研究使用 255 使其值域落在 0 到 255 之間，式中 $\phi$ 表示坡度， $\omega$ 表示坡向。由於本研究使用之 Sentinel-1 影像之升軌與降軌觀察角度大致互補(相差約 155 度)，因此本研究將校正後之升軌與降軌資料取日期相近之兩張影像進行融合，方式為取面像坡向與衛星觀測方向夾角最小之觀測值：

$$\sigma_{ij}^{fusion} = \min_{\omega} \{\sigma_{ij}^{as}(\phi_s, \theta_{\perp}), \sigma_{ij}^{ds}(\phi_s, \theta_{\perp})\} \quad (11)$$

式(11)中， $\sigma_{ij}^{fusion}$ 表示網格位置 i,j 融合之後向散射係數， $\sigma_{ij}^{as}$ 表示校正後之升軌後向散射係數， $\sigma_{ij}^{ds}$ 表示校正後之降軌後向散射係數。

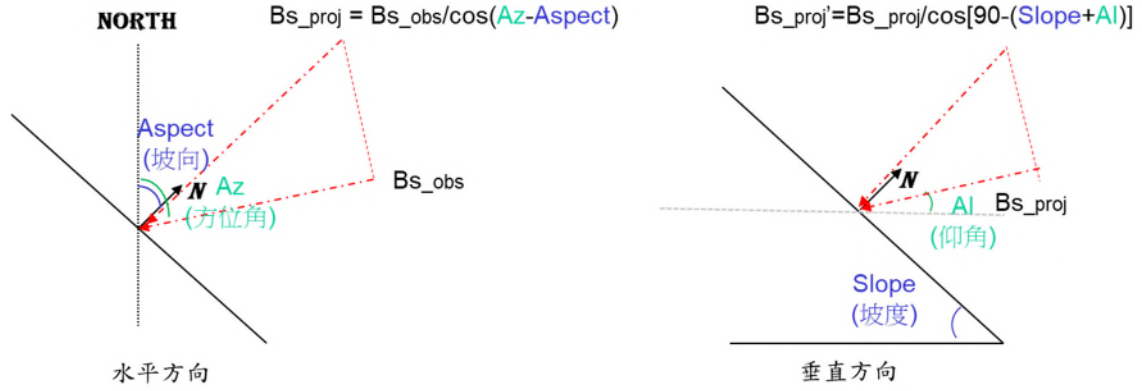


圖 2-7 衛星觀測姿態與坡向(水平方向，右圖)與坡度(垂直方向，右圖)之關係示意圖。

### 三、多時序影像標準化

為了精進雷達影像為基礎的崩塌判釋技術，本研究提出利用標準化交互相關指標(Normalized cross-correlation, NCC)之方法進行資料時序資料的標準化。首先為使用影像匹配技術找尋多時期影像之匹配點，方法為先使用正規化相關演算法 NCC。用此方法會使匹配點落在差異值最小而相關性最高的地方，其匹配相關性 Correl 可表示如下：

$$\text{Correl}(u, v) = \frac{\sum_{x,y} [\sigma(x,y) - \bar{\sigma}_{u,v}] [\mu(x-u, v-v) - \bar{\mu}]}{\sqrt{\sum_{x,y} [\sigma(x,y) - \bar{\sigma}_{u,v}]^2 \sum_{x,y} [\mu(x-u, v-v) - \bar{\mu}]^2}} \quad (12)$$

其中 $\mu$ 為影像強度之平均值， $(x,y)$ 為移動視窗中心像元之座標， $(u,v)$ 為移動視窗內水平及垂直方向的距離差值(以網格為單位)， $\bar{\sigma}_{u,v}$ 為移動視窗內的平均值。本研究藉由此方法找尋多時期的影像匹配點後，可使用迴歸分析建立各影像與一選取之主影像之雷達回波關係式，並用此關係式將各雷達回波影像校正至主影像雷達回波分布，達到標準化的效果。

### 第三節 整合型崩塌地判釋方法

#### 一、影像紋理分析指標

本研究首先針對崩塌事件前後之雷達影像計算一標準化的差異指標—Normalized Difference Sigma-naught Index (NDSI)，其原理是利用兩時期的後向散射係數影像進行計算，其值介於-1~+1，若 NDSI 的值趨近於 0 表示地表在兩時期的變化小，反之，若 NDSI 的值趨近於-1 或+1 時，表示兩時期的地表變化大(Furuta and Tomiyama, 2011)，固可藉此指標來偵測崩塌，指標計算公式如(13)式：

$$NDSI = \frac{\sigma_{master} - \sigma_{slave}}{\sigma_{master} + \sigma_{slave}} \quad (13)$$

式(13)中的 $\sigma_{master}$ 表示崩塌事件後期影像的後向散射係數， $\sigma_{slave}$ 表示崩塌事件前期影像的後向散射係數。在崩塌偵測的應用上，由於崩塌多具有幾何結構，與周圍植生地有明顯的不連續情形，因此 NDSI 理論上將產生的較高或較低的極端值，與衛星觀測方向有關，相較於林地或草地等粗糙度較高的表面，崩塌表面其結構易產生極強或極弱的反射訊號。

本研究根據 NDSI 影像進行影像紋理特徵萃取，並分別針對不同極化模式(VV、VH)影像，配合多個影像紋理指標(texture)來分析影像的紋理特徵，包含 Contrast、Homogeneity、Entropy 以及 Energy 等指標，相關說明及計算公式請見表 2-1。

表 2-1 影像紋理說明

影像紋理	說明	計算公式
Contrast	量化單元內訊號對比程度	$\sum_i \sum_j (i - j)^2 P[i, j]$
Homogeneity	量化單元內訊號的均質程度	$\sum_i \sum_j \frac{P[i, j]}{1 +  i - j }$
Entropy	量化單元內訊號的隨機程度	$-\sum_i \sum_j P[i, j] \log P[i, j].$
Energy	量化單元內訊號能量變化強度	$\sum_i \sum_j P^2[i, j]$

\* $P[i, j]$ 由灰度共生矩陣(gray-level co-occurrence matrices, glcm)決定

## 二、影像分類器與精度評估

不同地物類別間所產生之反射訊號區間應為不同，本研究嘗試以雷達影像選用監督式分類方法進行土地分類以界定不同地物於雷達反射訊號之區間。監督式分類法是運用已知的地表覆蓋類型，使用其影像之特性，對於未知土地覆蓋類型，進行每一類特徵之評估。

本研究使用的監督式分類方法是支持向量機(Support Vector Machine, SVM)，其分類方式透過選取訓練樣區，找出不同類別特性的最佳超平面(optimal hyperplane)，進而區分不同種類的地物，以得到地物分類結果。影像完成分類後，使用地真資料去評估土地分類結果的準確性，由地真資料中選取檢核點，檢核分類結果的好壞，以確認土地分類的品質。評估方式為逐一比較檢核點與分類圖，統計為誤差矩陣(confusion matrix)，如表 2-2，由此表中能計算整體精度、生產

者精度、使用者精度和 Kappa 係數做為影像分類的精準度評估，各項評估說明於表 2-3。

表 2-2 誤差矩陣

類別		地真資料			
		類別 1	類別 2	類別 3	列總計
分類 結果	類別 1	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$\sum_{j=1}^n X_{1j}$
	類別 2	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$\sum_{j=1}^n X_{2j}$
	類別 3	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$\sum_{j=1}^n X_{3j}$
	行總計	$\sum_{i=1}^n X_{i1}$	$\sum_{i=1}^n X_{i2}$	$\sum_{i=1}^n X_{i3}$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}$

$n$ :表示類別數

$X_{ij}$ :表示在誤差矩陣中第  $i$  列第  $j$  行的檢核點數目

$X_{ij}$ :表示在誤差矩陣中之對角線檢核點數目

表 2-3 精確度評估說明

名稱	公式	意義
整體精度 (Overall Accuracy)	$\frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}} \times 100\%$	為檢核點中被正確分類的檢核點數百分比，亦即誤差矩陣中的對角線總和除以檢核點總數，所產生的百分比。
生產者精度 (Producer's Accuracy)	$\frac{X_{ii}}{\sum_{i=1}^n X_{in}} \times 100\%$	表示該類別的地真資料被正確分類的百分比。
漏授誤差 (Omission Error)	$1 - \left( \frac{X_{ii}}{\sum_{i=1}^n X_{in}} \times 100\% \right)$	表示該類別的地真資料被錯誤分類的百分比
使用者精度 (User's Accuracy)	$\frac{X_{ii}}{\sum_{j=1}^n X_{nj}} \times 100\%$	表式落在該分類成果的檢核點被正確分類的百分比。
誤授誤差 (Commission Error)	$1 - \left( \frac{X_{ii}}{\sum_{j=1}^n X_{nj}} \times 100\% \right)$	表式落在該分類成果的檢核點被錯誤分類的百分比。
Kappa 係數	$\text{Kappa} = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$ $= \frac{N \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (X_{i+} \times X_{+i})}$ <p> <math>P_0</math>: 觀測一致性  <math>P_c</math>: 期望一致性  <math>N</math>: 檢核點總數 </p>	能表現整體影像分類的誤差性，可藉由考慮誤差矩陣中的漏授與誤授誤差，經過統計而得 Kappa 統計量。

#### 第四節 整合型雷達崩塌判釋方法與長時距監測方案

本研究提出之整合型雷達崩塌判釋方法乃是結合多時序雷達影像以及影像紋理資訊。首先，針對多時序雷達影像的試驗，本研究設計方案為：使用多期的事件前影像，搭配一幅事件後最近期之影像資料，其目的為試驗在災後一旦影像可取得的情形下，來執行崩塌地的判釋。而事件前期影像則考慮試驗使用(1)事件前一幅、(2)事件前二幅以及(3)事件前三幅影像資料分別嘗試並進行比較，以得到較佳的多時序影像組合方案。其次為利用災害事件前後計算所得之 NDSI 影像來萃取紋理影像，並結合前述之多時期影像試驗、配合 SVM 監督式分類器進行影像的地物分類，進行崩塌判釋。

上述之整合型雷達崩塌判釋方法乃是以 2015 年蘇迪勒颱風於北部山區新店溪水系上游的桶後溪上游誘發之崩塌事件進行試驗，後續本研究將針對 2016 年 6 月 11 日之豪雨於台灣南部山區高屏溪流域上游及曾文溪流域上游山區所誘發之崩塌事件來驗證本研究提出之崩塌監測方案。驗證方法乃是模擬長時距之持續監測，透過持續收集多時序雷達資料並進行崩塌判釋，直到災害發生，並藉由這樣的試驗過程，來進一步評估本研究提出之長時距監測方案之整體成效。





## 第三章 研究成果

### 第一節 衛星影像與崩塌資料收集

本研究分析使用影像包含 SPOT-6/7 光學影像及 Sentinel-1 雷達影像。SPOT-6/7 影像之使用目的為針對蘇迪勒颱風事件(2015 年 8 月 8 日)與 611 豪雨事件(2016 年 6 月 11 日)所產生的崩塌地進行監測，故本研究收集兩場事件前期與後期之 SPOT-6/7 無雲影像(圖 2-4)，以人工判釋之方法將本研究區之新增崩塌進行判釋。蘇迪勒颱風事件與 611 豪雨事件判釋崩塌地所使用之前後期影像及崩塌地判釋成果分別可見圖 3-1 及圖 3-2。表 3-1 及表 3-2 分別為統計蘇迪勒颱風事件與 611 豪雨事件之崩塌地大小及數量成果。

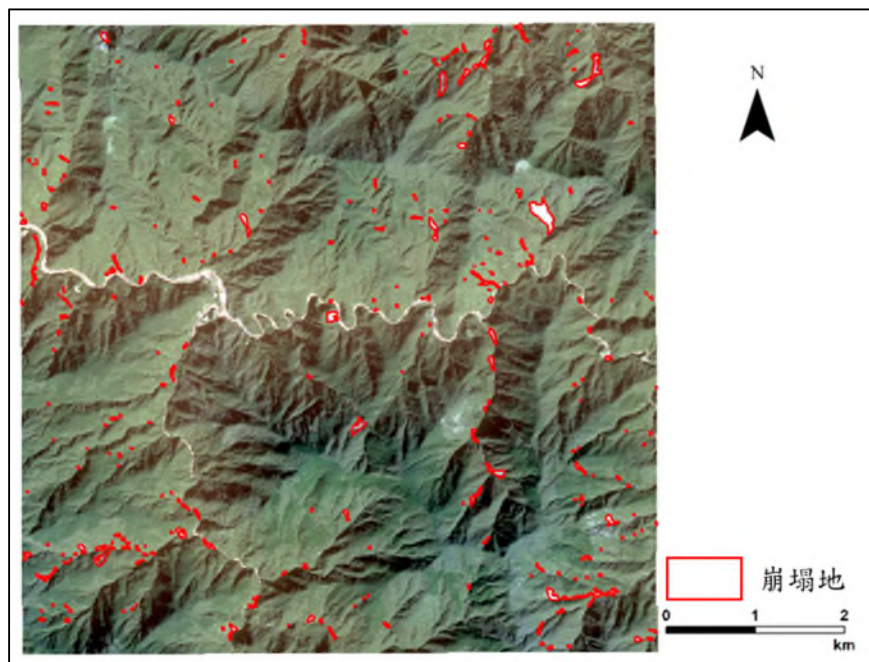


圖 3-1 SPOT 影像判釋 2015 年蘇迪勒颱風新生崩塌地

表 3-1 蘇迪勒颱風事件之崩塌地面積與數量統計

崩塌面積	崩塌數量
大於 1 公頃	8
0.5-1 公頃	16
0.1-0.5 公頃	66
小於 0.1 公頃	184
總計	274

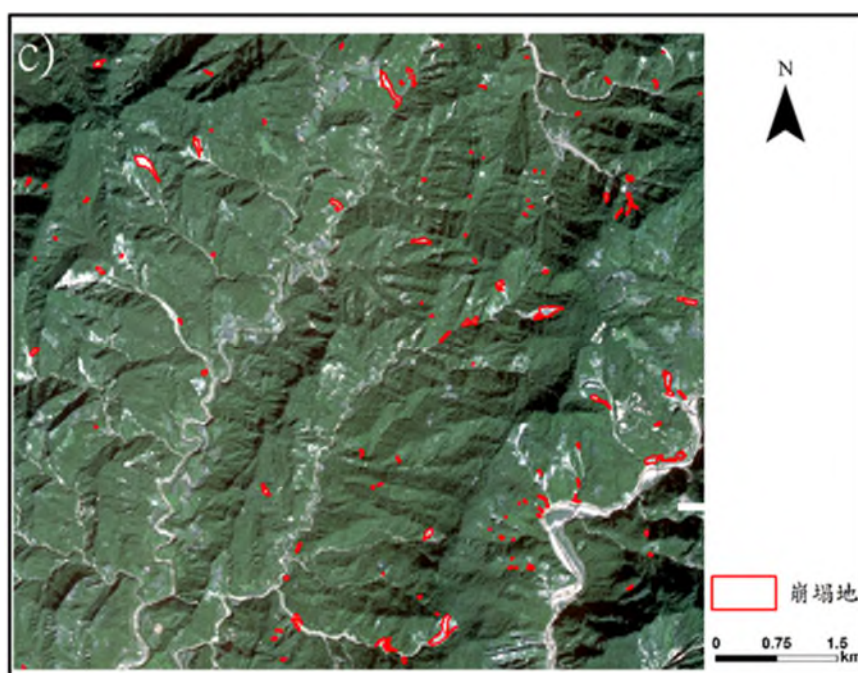


圖 3-2 SPOT 影像判釋 2016 年 611 豪雨新生崩塌地

表 3-2 611 豪雨事件之崩塌地面積與數量統計

崩塌面積	崩塌數量
大於 1 公頃	6
0.5-1 公頃	13
0.1-0.5 公頃	49
小於 0.1 公頃	41
總計	107

本研究使用之雷達影像為 Sentinel-1 衛星資料，包含兩種觀測模式：升軌模式(Ascending)及降軌模式(Descending)，期程為 2015 年至今(2020 年 3 月)。影像進行前處理後可得地面解析度為 10 公尺的影像資料，影像包含升軌模式及降軌模式資料(參考附錄三)，各事件收集影像整理於下表 3-3 與表 3-4。

**表 3-3 蘇迪勒事件 Sentinel-1 雷達影像收集列表**

Sentinel-1 影像數目		
年份	Ascending	Descending
2015	14	11
2016	21	16
2017	30	26
2018	30	29
2019	30	29
2020	7	6
合計	132	117

**表 3-4 611 豪雨事件 Sentinel-1 雷達影像收集列表**

Sentinel-1 影像數目		
年份	Ascending	Descending
2015	44	28
2016	54	32
合計	98	60

## 第二節 多時序影像融合試驗與成效評估

Sentinel-1 影像有升軌和降軌兩種模式，每種模式又各別有 VH、VV 兩種極化資料。由於不同模式的拍攝角度不同，影像中會出現由地形造成之亮面與暗面側(示意如圖 3-3)。為降低因山區地形以及衛星拍攝角度不同而造成的陰影區域，本研究提出多角度觀測雷達融合演算法(公式 8-公式 11)，將 Sentinel-1 衛星升軌及降軌模式影像進行融合以減低影像中之地形陰影區域，以利整體研究區之分析。

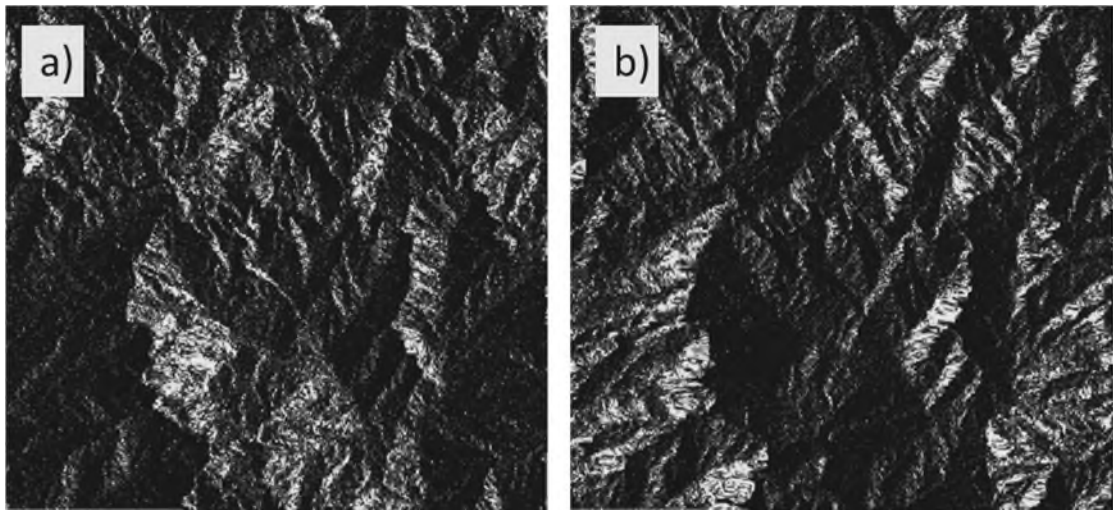


圖 3-3 雷達影像亮面側與暗面側示意圖。圖為蘇迪勒颱風(侵台時間 2015 年 8 月 8 日)後的 Sentinel-1A C-band 位於翡翠水庫上游山區的雷達影像，其中(a)為 2015 年 9 月 22 日 Sentinel-1A VH 極化升軌(ascending model)影像，(b)為 2015 年 8 月 21 日 Sentinel-1A VH 極化降軌(descending mode)影像。

本研究將日期相近之不同模式(升軌及降軌模式)的回波強度進行整合，消除亮面側及暗面側的問題。方法為將影像像元取升軌及降軌模式的回波強度平均值，成果如圖 3-4，明顯消除了山區地形造成的回波訊號不均的問題。分析影像校正前後之回波強度分布情形(圖 3-

5)可以發現，不論是升軌(As)或降軌(De)資料，在影像校正前有較多的高值(影像中的亮區)及低值(影像中的暗區)，分布情形平緩，而在影像校正融合後(AsDe)則分布集中，成常態分布。不論是 VV 極化模式或 VH 極化模式皆為如此，而 VV 極化模式的影像回波強度又比 VH 強。本研究認為此校正影像除了排除地形造成的陰影(shadow)問題，同時也有助於偵測出影像由崩塌地造成的變異。

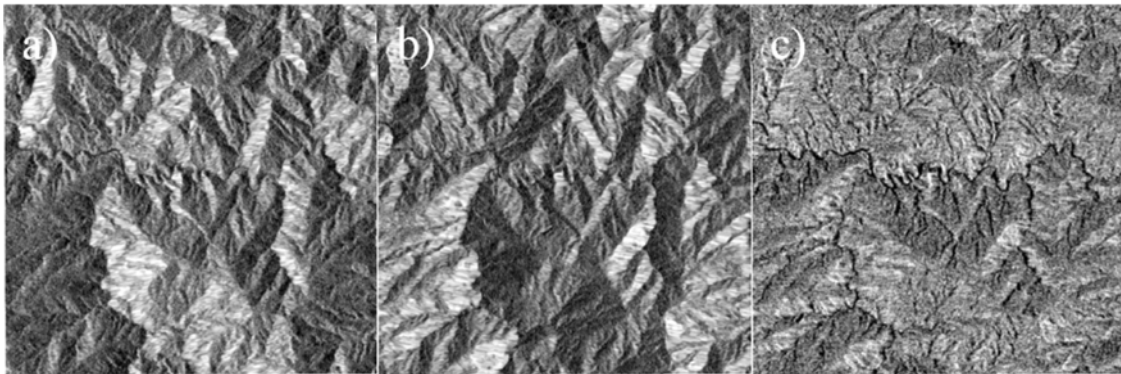


圖 3-4 升軌模式與降軌模式融合影像示意圖。蘇迪勒颱風(侵台時間 2015 年 8 月 8 日)之 Sentinel-1A C-band 位於翡翠水庫上游山區雷達影像，(a)為 2015 年 8 月 18 日 Sentinel-1A VH 極化升軌(ascending mode)影像，(b)2015 年 8 月 21 日 Sentinel-1A VH 極化降軌(descending mode)影像，(c)則為升軌及降軌之融合影像。

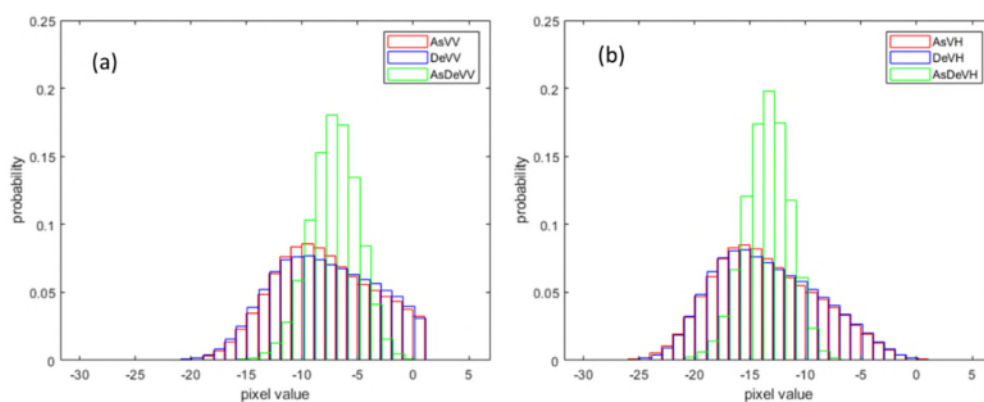


圖 3-5 升軌模式(As)、降軌模式(De)與融合影像(AsDe)之雷達回波強度之分布比較。(a)為 VV 極化影像(b)為為 VH 極化影像。



另外，為評估融合影像資料於偵測崩塌地的優勢，本研究使用災前及災後兩組之崩塌地回波強度數據進行比較，採用成對 T 檢定(T-test)以驗證崩塌之回波強度是否於事件後有顯著變化(以 p-value 進行判定)，並將崩塌地分成不同面積以及位置處於山區的陰影區(暗面側)以及非陰影區(亮面側)，檢定結果之 p-value 數據整理於表 3-5(VH 極化資料)及表 3-6(VV 極化資料)。

結果顯示，對崩塌位置在事件前後的回波強度變化上，VV 極化資料較 VH 資料明顯；而所有資料中，對於 0.1 公頃以下之崩塌地的區判效果均不佳。另外，融合影像較非融合影像(不分側)顯示出了較為顯著的回波強度變化，也說明了融合影像在應用上可不受限於影像中由地形造成的陰影區問題，有利於後續的影像分析與崩塌判釋應用。

表 3-5 蘇迪勒事件 VH 崩塌地回波強度變化 T-test 統計表

類型 崩塌面積	p-value						
	升軌模式(Ascending)			降軌模式(Descending)			融合 影像
	不分側	亮面側	暗面側	不分側	亮面側	暗面側	
全部	0.079	0.187	0.118	0.091	0.067	0.152	<0.05
1 公頃以上	<0.05	-	<0.05	<0.05	<0.01	-	<0.01
0.5-1 公頃	0.159	-	0.159	<0.01	<0.01	-	<0.01
0.1-0.5 公頃	0.147	0.267	0.15	0.123	<0.352	0.263	<0.01
0.1 公頃以下	0.187	0.267	0.406	0.271	0.448	0.056	0.07

註：“-”值為無資料

表 3-6 蘇迪勒事件 VV 崩塌地回波強度變化 T-test 統計表

崩塌面積 \ 類型	p-value						
	升軌模式(Ascending)			降軌模式(Descending)			融合影像
	不分側	亮面側	暗面側	不分側	亮面側	暗面側	
全部	<0.01	0.126	<0.01	<0.01	<0.01	0.298	<0.01
1 公頃以上	<0.05	-	<0.05	<0.01	<0.01	-	<0.01
0.5-1 公頃	0.061	-	0.112	<0.05	<0.05	-	<0.01
0.1-0.5 公頃	0.082	0.379	0.313	0.093	<0.05	0.051	<0.01
0.1 公頃以下	0.102	0.139	0.491	0.071	0.082	0.429	0.102

註：”-“值為無資料

### 第三節 多時序影像標準化試驗

多時序影像融合與標準化之試驗為選取蘇迪勒颱風災害時間(2015 年 8 月 8 日)前三期以及後三期(稱 T1 至 T6)之升軌及降軌兩種衛星觀測模式資料進行影像融合後，利用本研究提出之多時序影像標準化(公式 12)，以 T1 影像為標準，進行標準化。影像取像日期可見表 3-7。表中可見，除第一期(T1)升軌與降軌模式之影像觀測時間差距為 9 日(無較近期影像資料)，其餘均為 3 日，因此假設兩觀測模式取像時地物變異不大。

表 3-7 蘇迪勒事件多時序分析影像時間表

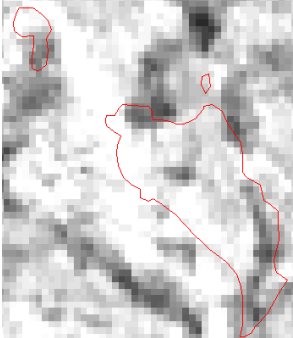
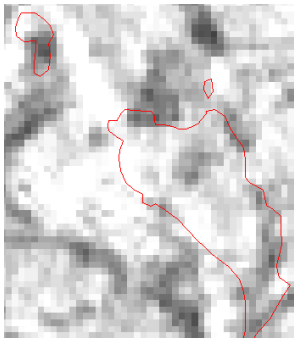

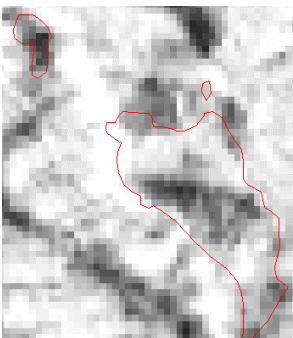
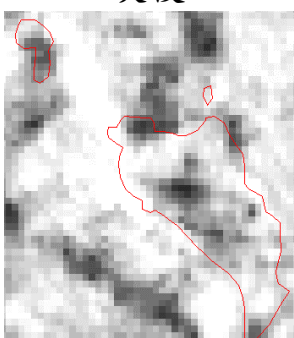







衛星觀測模式			最近入射角(度)	最遠入射角(度)	衛星行進方位角(度)
期別	日期				
T1	升軌模式	2015-06-19	30.779	45.973	-12.390
	降軌模式	2015-06-10	31.011	46.133	-167.616
T2	升軌模式	2015-07-01	30.779	46.201	-12.390

	降軌模式	2015-07-04	31.015	46.135	-167.617
T3	升軌模式	2015-07-25	30.783	46.204	-12.391
	降軌模式	2015-07-28	31.012	46.133	-167.616
T4	升軌模式	2015-08-18	30.777	46.199	-12.391
	降軌模式	2015-08-21	31.013	46.134	-167.617
T5	升軌模式	2015-09-11	30.779	46.201	-12.390
	降軌模式	2015-09-14	31.016	46.136	-167.617
T6	升軌模式	2015-10-05	30.781	46.048	-12.392
	降軌模式	2015-10-08	31.013	46.134	-167.616

本研究首先參照 SPOT 光學影像進行人工地物判釋，本研究區之地物主要為可區別出新生崩塌、植被(林地)、水體共三種不同地物類別，下表 3-8 可見各類地物在 VH 極化、VV 極化以及 SPOT 光學影像(真實色)的影像特徵。本研究後續針對各類地物分別選取 50 點來比較不同地物、標準化前後之回波強度之時序變化。



表 3-8 各類地物在雷達及 SPOT 之影像參考

特徵 類別  土地 類別	影像特徵		
	VH 極化 (融合影像)	VV 極化 (融合影像)	光學影像
新崩塌	災前 	災前 	災前 
	災後 	災後 	災後 
植被 (林地)			
水體			

各地物之雷達回波強度之多時序標準化成果如圖 3-6 及圖 3-7 所示。圖 3-6 為未進行影像標準化之各地物回波強度變化，圖中可見 T2 中 VH 極化影像中植生(vegetation)以及水體(waterbody)有不尋常之回

波強度降低，而 T3 之崩塌地位置有不尋常之回波強度之增強。

比較標準化後之成果(圖 3-7)，結果可以看出在崩塌事件前後的時間區間，所有地物的回波強度相對於崩塌地變化較穩定，主要之變化為蘇迪勒颱風後崩塌位置上有明顯的回波強度減低的情形。蘇迪勒事件中崩塌發生於 T3 與 T4 之間，圖 3-7 中顯示不論何種極化模式下，植被的回波強度較高，水體的回波強度較小，而崩塌的回波強度介於兩者之間。植被與水體的回波強度雖有波動，但整體起伏變化相對較小，崩塌位置在 T3 與 T4 之間的回波強度有明顯的下降。由於崩塌發生之前之地物樣貌大多為植被，可以看到植被與崩塌在 T1 與 T3 之間回波強度較為相近。

理論上，在地物沒有顯著變化、改變的情況下，其回波強度在時序資料上之強度變異、差異應該不大，但實際上，回波訊號可能受到氣溫、濕度、衛星觀測狀態、地物狀態(如植生季節性的變化)等條件影響。本研究利用多時序標準化方法，可一定程度上排除部分系統性的變異，較利於區判出崩塌地前後之多時序影像變化。

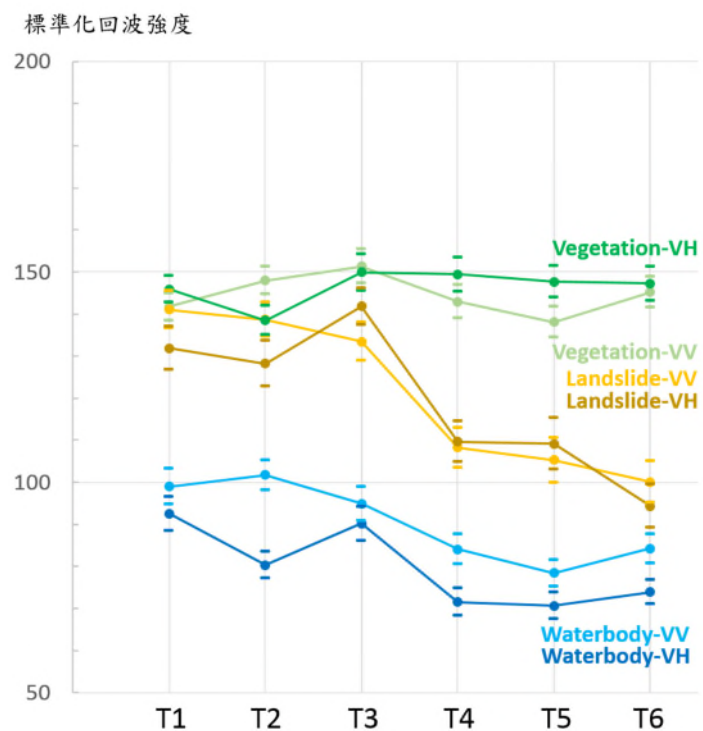


圖 3-7 蘇迪勒事件原始影像之各地物多時序雷達強度變化

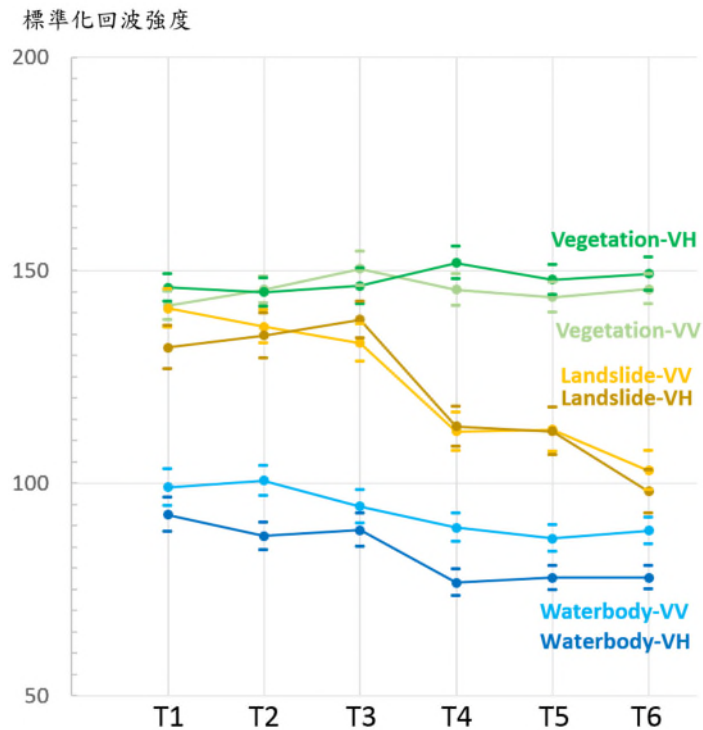


圖 3-8 蘇迪勒事件標準化影像之各地物多時序雷達強度變化

## 第四節 整合型多時序雷達影像崩塌地判釋試驗

### 一、試驗影像資料

本研究提出之整合性多時序雷達影像崩塌地判釋方法為結合多時序雷達影像以及紋理資訊，以 SVM 機器學習方法為分類器進行崩塌判釋。其中多時序雷達資料為利用蘇迪勒颱風災害時間(2015 年 8 月 8 日)前三期以及後一期(稱 T1 至 T4)之升軌及降軌影像融合資料，並進行多時序影像標準化。紋理資訊的部分為使用事件前(T3)與事件後(T4)的影像計算 NDSI 影像(圖 3-9)後，萃取影像中的光譜紋理特徵，包含 Contrast、Energy、Entropy、Homogeneity 及影像灰階標準差(STD)等。紋理的計算是基於 7x7 移動視窗之灰度共生矩陣(glcmm)進行計算，並將影像之紋理值進行標準化。VH 及 VV 二組極化影像搭配五種紋理值可以得到 10 個紋理影像(表 3-9)。

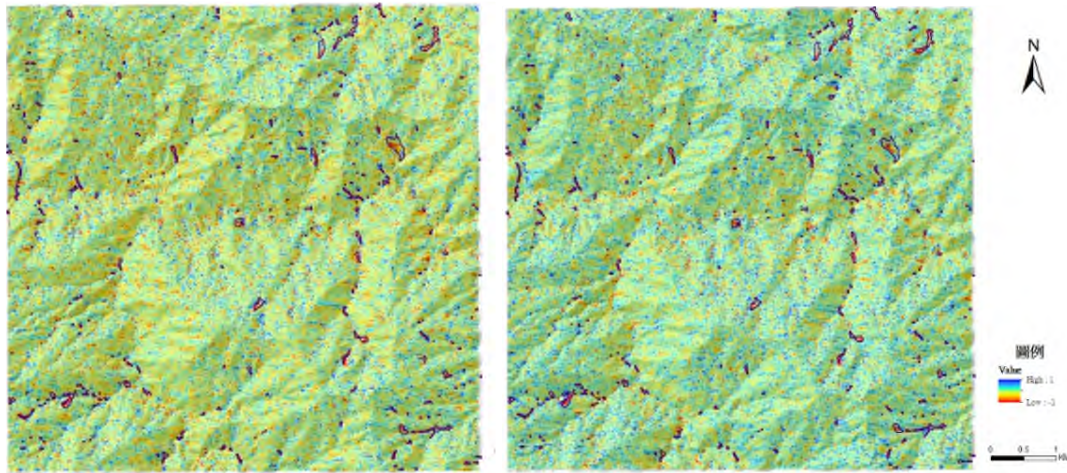
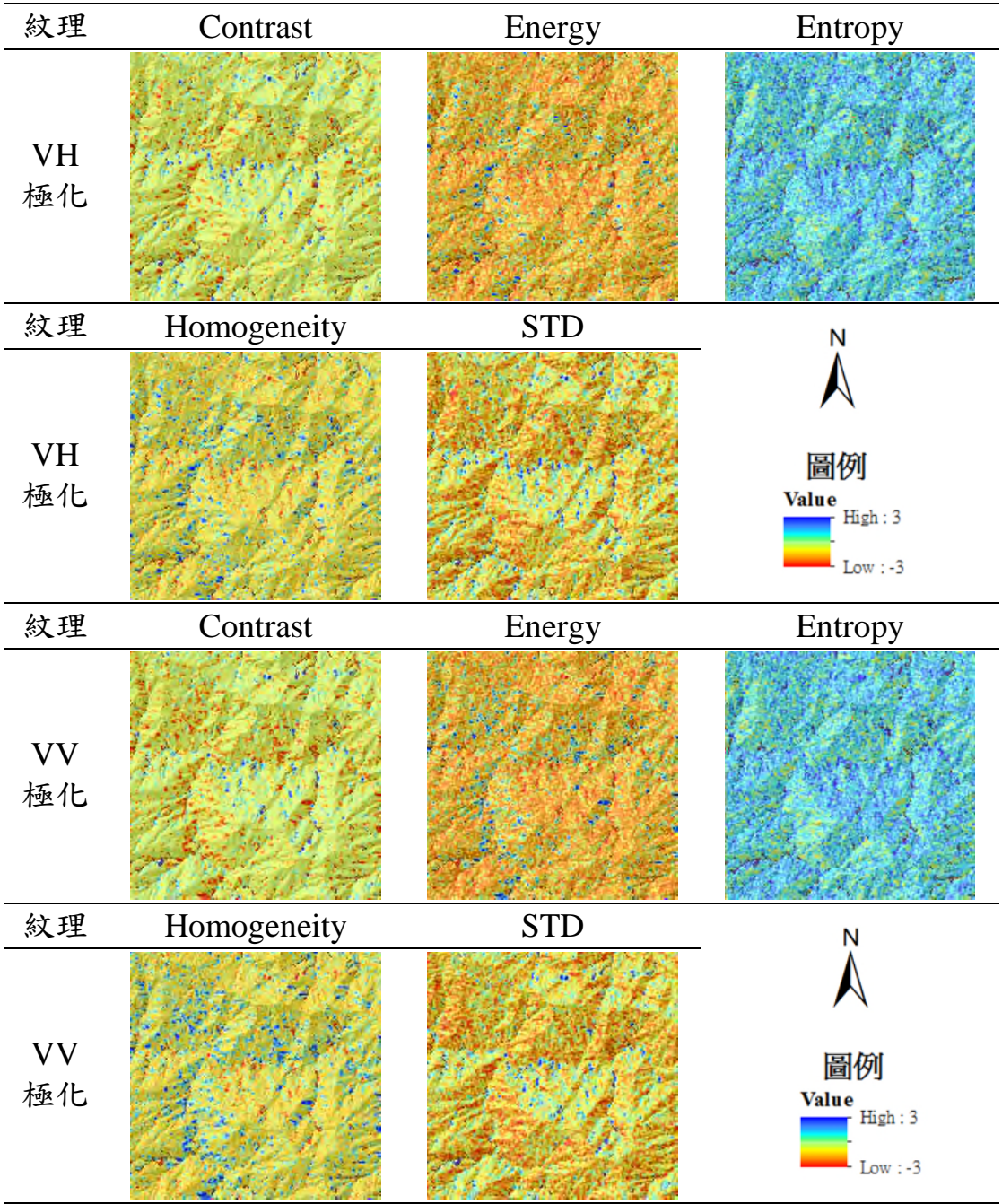


圖 3-9 蘇迪勒颱風事件 NDSI 影像。左圖為 VH 極化資料 NDSI 影像，右圖為 VV 極化資料 NDSI 影像



表 3-9 蘇迪勒事件之紋理影像



## 二、崩塌地判釋試驗

在崩塌地判釋上，本研究應用 SVM 監督式分類器進行。在分類器的訓練上，分別利用前述之標準化之多時序融合雷達影像，並同時整合 NDSI 影像以及 5 類紋理影像(VH 極化與 VV 極化共 12 幅影像)使用 SVM 監督式影像分類，進行崩塌地判釋。由於雷達回波資料在 0.1 公頃以下之崩塌地並無顯著的區別，因此本研究之主要判釋對象為面積在 0.1 公頃以上之崩塌地。本研究設計了三種試驗並加以比較以確立適合長時距監測的間隔時長。

- (1) 試驗一：事件前一幅加事件後一幅（即表 3-7 中 T3 至 T4）
- (2) 試驗二：事件前二幅加事件後一幅（即表 3-7 中 T2 至 T4）
- (3) 試驗三：事件前三幅加事件後一幅（即表 3-7 中 T1 至 T4）

針對蘇迪勒颱風事件的分析案例，研究區的地物類別則分成崩塌、植生及水體共三類，分別建立選取訓練樣區 30 點，所有分類結果之總體精度、崩塌地分類使用者精度、生產者精度則列於表 3-10，而各項試驗也比較了多時序資料有無合併紋理影像的分類情形。

各項分類成果中，以試驗三(T1-T4，合併紋理影像)之分類成果最佳，其總體精度為 80.1%，Kappa 為 0.63，顯示整體分類成果良好。檢視崩塌地部分，使用者精度為 84.3%，生產者精度僅 47.8%，顯示無過度判釋情形，但有明顯的漏判情形，錯誤主要來自將崩塌誤分為植生。分類成果如圖 3-10。

表 3-10 蘇迪勒颱風事件各項試驗崩塌判釋之成果

分類試驗		總體精度(%) (Kappa)	崩塌地分類 使用者精度	崩塌地分類 生產者精度
試驗一 (T3 至 T4)	未加入紋理	61.4 (0.38)	89.3%	32.5%
	加入紋理	63.5 (0.39)	88.7%	34.3%
試驗二 (T2 至 T4)	未加入紋理	77.2 (0.56)	86.5%	35.6%
	加入紋理	79.4 (0.62)	84%	46.7%
試驗三 (T1 至 T4)	未加入紋理	79.5 (0.62)	83.7%	47.8%
	加入紋理	80.1 (0.63)	84.3%	47.8%

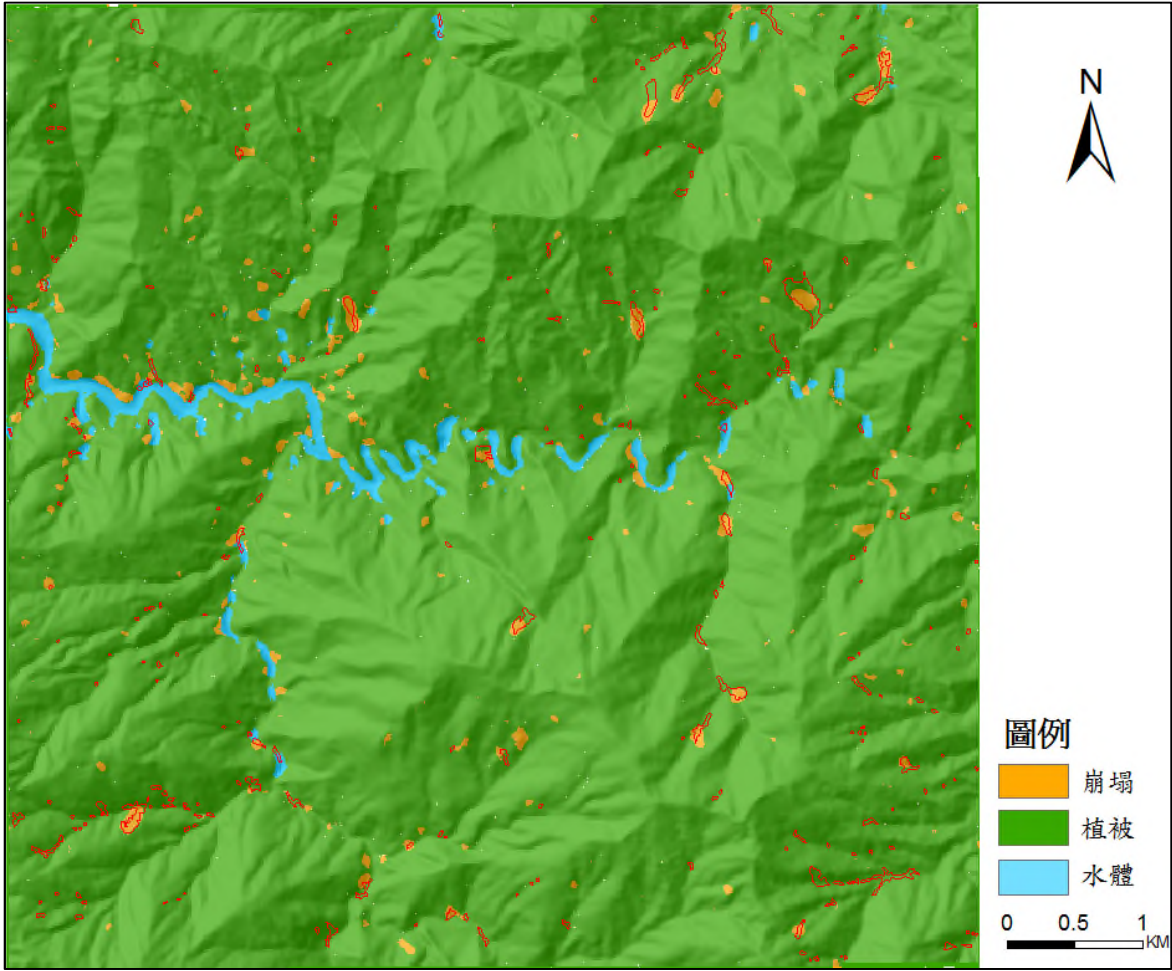


圖 3-10 蘇迪勒颱風事件影像分類成果(試驗三)

本研究進一步檢視不同崩塌面積的判釋生產者精度，從表 3-11 可以發現，崩塌面積大於 0.5 公頃時有相當不錯的分類精度(1 公頃以上為 87.5%，0.5-1 公頃為 75%)，漏判情形主要發生在 0.1-0.5 公頃之崩塌地，僅 36.3% 為成功判釋，顯示本研究提出之崩塌判釋方法針對 0.5 公頃以下之小面積崩塌地有應用上之限制。

**表 3-11 蘇迪勒颱風事件各崩塌面積之分類生產者精度**

崩塌面積	總數	正確判釋數目	生產者精度
1 公頃以上	8	7	87.5%
0.5-1 公頃	16	12	75%
0.1-0.5 公頃	66	24	36.3%
總數	90	43	47.8%

## 第五節 長時距崩塌地監測試驗

### 一、611 豪雨事件影像資料

為驗證本研究提出之崩塌判釋方法，並應用於長時距監測作業，本研究針對驗證區收集 2016 年 1 月至 2016 年 9 月共 10 期雷達影像(表 3-12)，利用上節所述之試驗三方法(使用連續四幅雷達影像資料)，進行 Sentinel-1 升軌及降軌資料之影像融合以及多時序影像標準化後，以遞進方式持續進行崩塌地偵測。

紋理資訊的部分為使用連續四幅之倒數第二幅以及最後一幅影像。計算 NDSI 影像(圖 3-11，以事件發生前後 T7-T8 為範例)後，萃取 Contrast、Energy、Entropy、Homogeneity 及影像灰階標準差(STD)等紋理影像。與前蘇迪勒事件之試驗相同，紋理的計算是基於 7x7 移動視窗之灰度共生矩陣(glcm)進行計算，並將影像之紋理值進行標準



化。VH 及 VV 二組極化影像搭配五種紋理值可以得到 10 個紋理影像(表 3-13)

表 3-12 611 豪雨事件多時序分析影像時間表

衛星觀測模式 期別 日期			最近入射角(度)	最遠入射角(度)	衛星行進方位角(度)
T1	升軌模式	2016-01-09	30.88	46.274	-12.318
	降軌模式	2016-01-12	31.908	46.05	-167.670
T2	升軌模式	2016-02-02	30.882	46.126	-12.319
	降軌模式	2016-02-05	30.908	46.05	-167.670
T3	升軌模式	2016-02-14	30.882	46.033	-12.320
	降軌模式	2016-02-17	30.942	46.078	-167.649
T4	升軌模式	2016-02-26	30.882	46.275	-12.319
	降軌模式	2016-02-29	30.91	46.051	-167.668
T5	升軌模式	2016-03-21	30.883	46.141	-12.318
	降軌模式	2016-03-24	30.914	46.053	-167.670
T6	升軌模式	2016-05-08	30.887	46.277	-12.318
	降軌模式	2016-05-11	30.889	46.034	-167.675
T7	升軌模式	2016-06-01	30.885	46.276	-12.318
	降軌模式	2016-06-04	30.889	46.033	-167.676
T8	升軌模式	2016-07-19	30.888	46.278	-12.318
	降軌模式	2016-07-22	30.888	46.032	-167.676
T9	升軌模式	2016-08-12	30.888	46.13	-12.319
	降軌模式	2016-08-15	30.888	46.032	-167.675

T10	升軌模式	2016-09-05	30.887	46.056	-12.319
	降軌模式	2016-09-08	30.887	46.032	-167.675

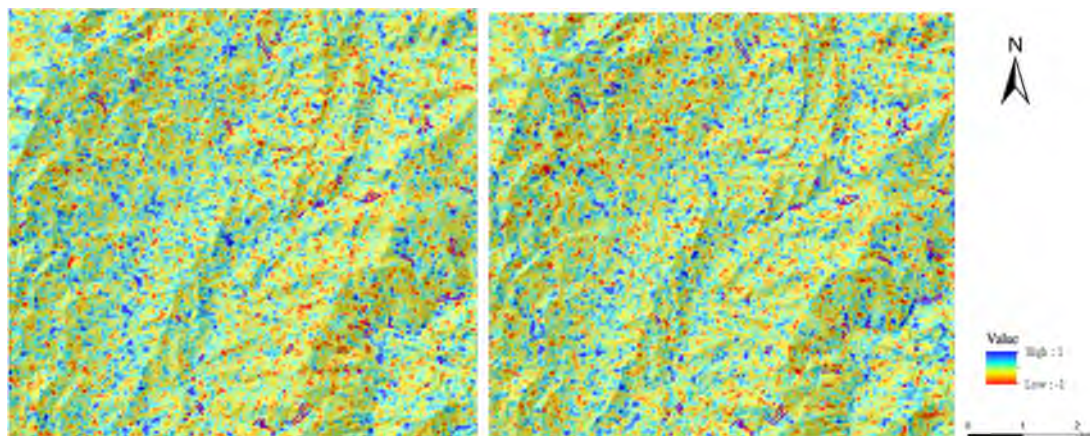
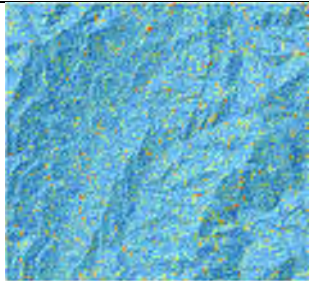
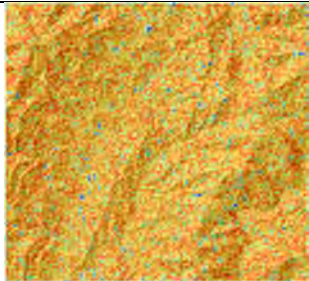
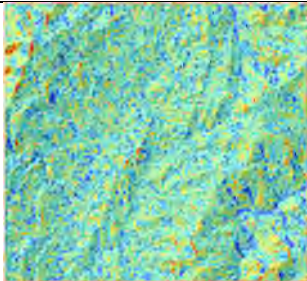



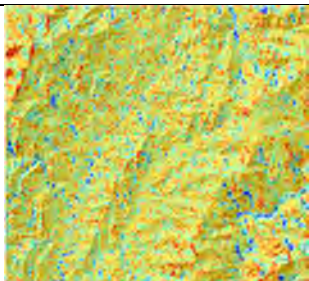
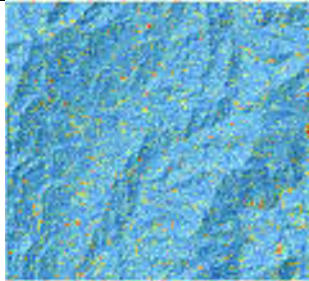
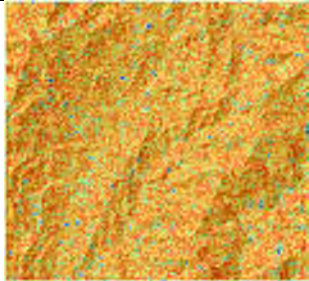
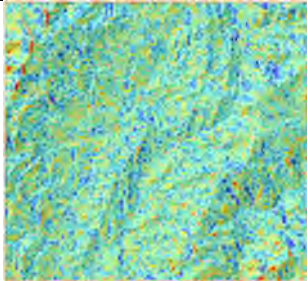



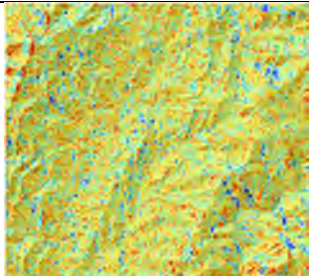


圖 3-11 611 豪雨事件 NDSI 影像。左圖為 VH 極化資料 NDSI 影像，右圖為 VV 極化資料 NDSI 影像

表 3-13 611 豪雨事件之紋理影像

紋理	Contrast	Energy	Entropy
VH 極化			
紋理	Homogeneity	STD	 圖例 Value  High : 10 Low : -10
VH 極化			
紋理	Contrast	Energy	Entropy
VV 極化			
紋理	Homogeneity	STD	 圖例 Value  High : 10 Low : -10
VV 極化			

## 二、611 豪雨事件長時距監測試驗

長時距監測作業試驗期程為 2016 年 1 月至 2019 年 9 月(共 10 期雷達影像，表 3-12)，方法為持續使用連續四幅雷達影像資料，以遞進方式持續進行崩塌地偵測。在 611 豪雨事件中，研究區的地物類別分別為崩塌、植生、水體、舊有崩塌與農地共五類，分別選取訓練樣

區 30 點。

在此試驗中，持續監測至 T5-T8（2016 年 3 月至 2016 年 7 月）則有新增崩塌被偵測，顯然為由 6 月 11 日之豪雨事件造成。圖 3-12 為研究區內 2016 年間 2 月至 9 月之日雨量紀錄(表湖站)。圖 3-13 為一無新增崩塌之偵測範例(T2-T5)，主要偵測為舊有崩塌。圖 3-14 為有新增崩塌之偵測成果(T5-T8)，此成果以新增崩塌與非崩塌分類計算之總體精度為 86.6%，Kappa 為 0.49，使用者精度為 76.9%、生產者精度為 44.1%。

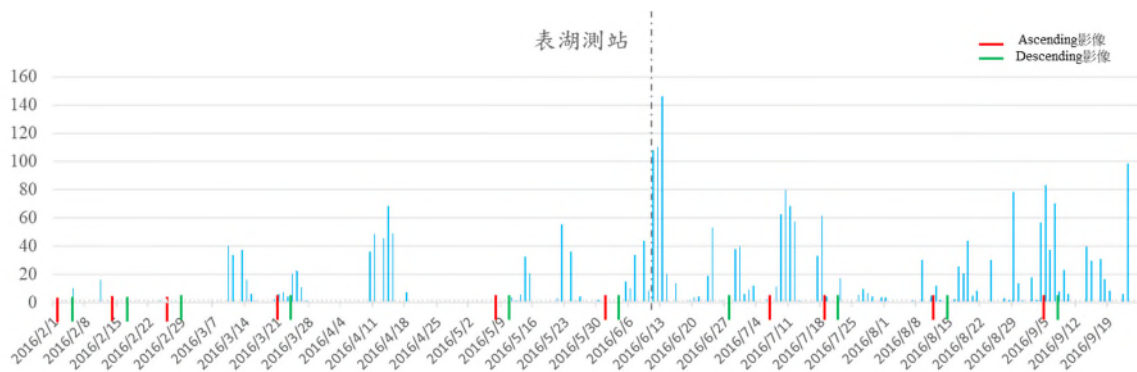


圖 3-12 表湖站 2016 年間 2 月至 9 月之日雨量紀錄。黑色虛線為 611 豪雨事件，紅色及綠色線段為 Sentinel-1 衛星升軌及降軌影像之取像日期。



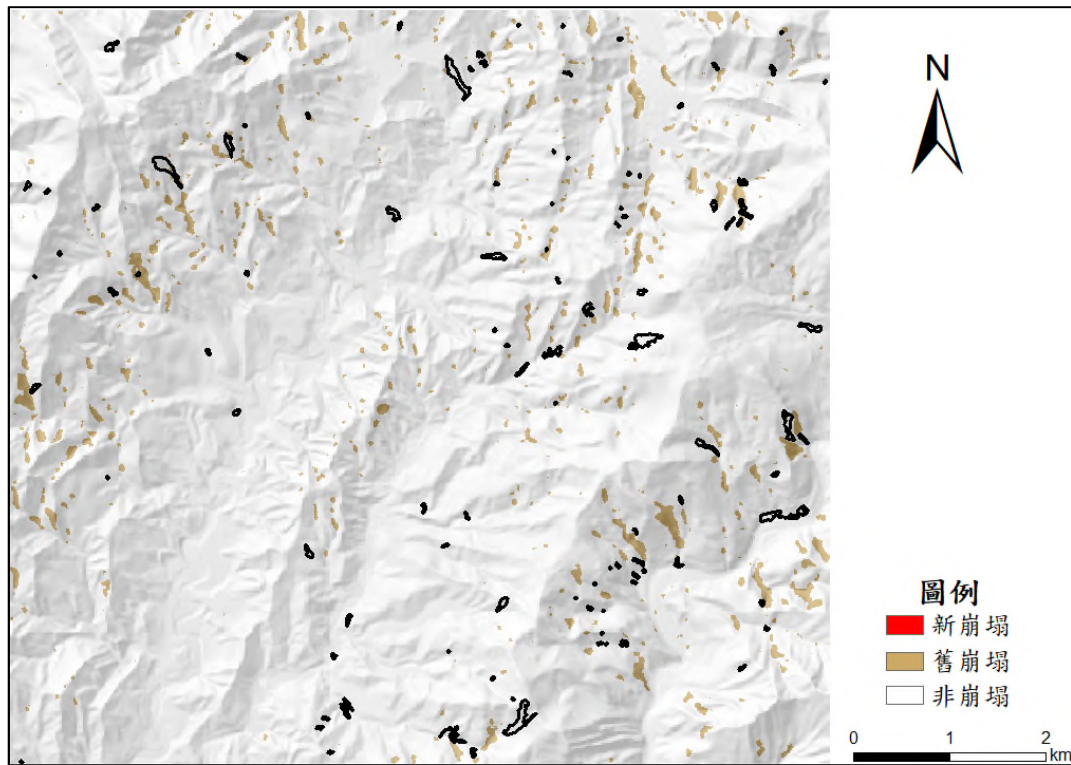


圖 3-13 611 豪雨事件無新增崩塌事件之判釋成果

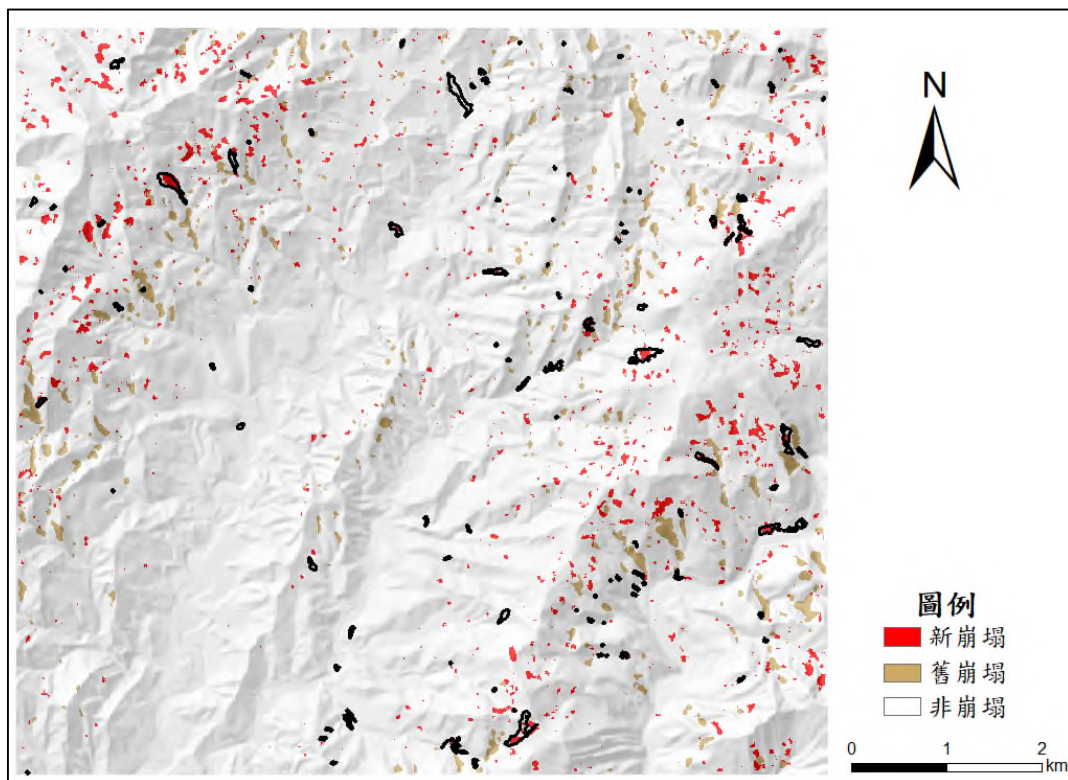


圖 3-14 611 豪雨事件新增崩塌判釋成果

針對新增崩塌的判釋結果，使用者精度為 76.9%，而生產者精度僅 44.1%，判釋錯誤主要來自將崩塌與舊崩塌之混淆。本研究進一步檢視試驗三中不同崩塌面積的判釋生產者精度，從表 3-14 可以發現，崩塌面積大於 0.5 公頃時有相當不錯的分類精度(1 公頃以上為 100%，0.5-1 公頃為 76.9%)，漏判情形主要發生在 0.1-0.5 公頃之崩塌地，僅 28.6%為成功判釋，顯示本研究提出之崩塌判釋方法與前節蘇迪勒颱風的實驗結果相同，針對面積為 0.5 公頃以上崩塌地有較佳的判釋成功率。

**表 3-14 611 豪雨事件各崩塌面積之分類生產者精度**

崩塌面積	總數	正確判釋數目	生產者精度
1 公頃以上	6	6	100.0%
0.5-1 公頃	13	10	76.9%
0.1-0.5 公頃	49	14	28.6%
總數	68	30	44.1%

## 第四章 研究問題與討論

### 一、融合雷達影像與多時序標準化雷達資料的應用

由於不同的觀測模式、崩塌地坡面與衛星觀測的相對幾何位置均會影響崩塌地回波的強度，特別在山區由於地形起伏造成的陰影區影響了影像的應用，本研究透過考量地形坡向、坡度以及衛星姿態等參數建構之融合升軌及降軌的影像方法可有效減低地形效應的影響，相當助於山區雷達訊號的校正與後續分析應用。就本研究的試驗案例，結果發現崩塌地面積小於 0.1 公頃時，崩塌地上之雷達回波的變化則難以偵測出來，凸顯出使用 Sentinel-1 C-band 雷達資料在崩塌地偵測上的限制性。

在多時期影像分析時，觀測資料有可能存在系統性的偏差，針對此問題，本研究基於雷達資料時序影像匹配技術加以解決。其成效可比較本團隊 108 年度新創計畫之試驗成果(多時序資料未經過標準化)，其崩塌地判釋成果發現有明顯的提升(表 4-1)，總體精度由 65.6% 提升至 79.5%，儘管表 4-1 中未進行多時序標準化部分顯示之崩塌地分類使用者精度高達 90%，但原因乃是其成果有較嚴重之過度判釋情形，整體來說，使用多時序標準化資料來進行判釋有較佳較合理的成果。

表 4-1 多時序影像標準化試驗崩塌判釋比較成果

分類試驗		總體精度(%) (Kappa)	崩塌地分類 使用者精度	崩塌地分類 生產者精度
蘇迪勒颱風 事件 (T1 至 T4)	未進行多時 序標準化	65.6 (0.46)	90.0%	42.7%
	多時序標準 化資料	79.5 (0.62)	83.7%	47.8%

## 二、紋理影像整合之效益

本研究提出之整合多時序資料與影像紋理之判釋方法在兩場事件的試驗中發現，使用連續四幅影像(事件前三幅、事件後一幅)可得到較好的判釋正確率，尤其是針對面積在 0.5 公頃以上之崩塌地，有超過 75% 的正確率(使用者精度)。然而，比較有無加入紋理資訊的試驗中發現(表 3-10)，加入紋理資訊對正確率的提升在 SVM 的分類成果中並不顯著(僅約 1%)，因此本研究認為在紋理資訊的整合方式或許可以有其他改進的方法，例如同樣考慮紋理的多時序資料，或是使用其他對多維度資料有較佳優勢的分類器，如隨機森林等(random forest)。

## 三、雷達影像持續性崩塌地監測作業

考量本研究提出之持續性監測方法之實際應用，其流程包含災害發生之覺察(可以降雨量做為參考依據)、影像下載、影像前處理、影像標準化及紋理指標計算，SVM 分類及崩塌地偵測、評估偵測成果以及災害分布出圖等步驟，本研究分別評估兩個試驗區的整體作業時間(計算硬體規格 Intel Core i7 處理器 CPU 2.20GHz、記憶體 RAM16.0G)，北部試驗區大致為 3 小時 58 分(研究區面積約為 5,050 公頃)，南部試驗區大致為 4 小時 15 分(研究區面積約為 6,700 公頃)，如下圖 4-1 及圖 4-2 所示。

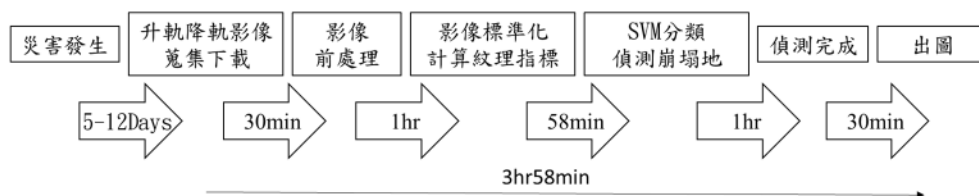


圖 4-1 蘇迪勒颱風事件崩塌偵測時間評估



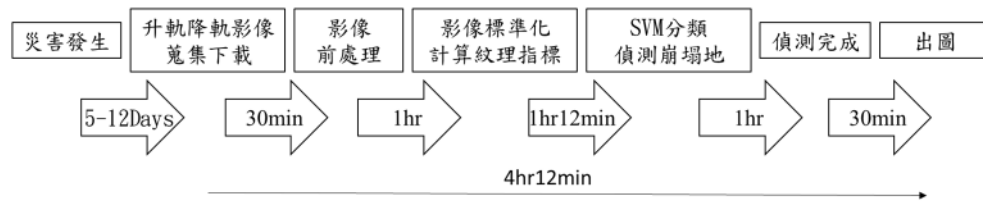


圖 4-2 611 豪雨事件崩塌偵測時間評估

由上述兩個試驗區估計，則可知 6,000 公頃範圍或一 60 平方公里範圍之區域之單機處理時程約需 4 小時。而未來可透過建立自動化流程、應用較高計算效能之硬體以及多機處理的方式來縮短整體作業時間，以因應崩塌災害即時監測、反應作業的需求。



## 第五章 結論與建議

本研究應用 Sentinel-1 C-band 多時序合成孔徑雷達影像，結合影像紋理資訊進行新型崩塌判釋方法之建立，並嘗試應用於持續性的崩塌地監測試驗。首先，在雷達影像的應用上，由於受地形效應影響，不同的觀測模式、崩塌地坡面與衛星觀測的相對幾何位置均會影響崩塌地回波的強度，並在影像中造成陰影區，不利於影像分類工作，因此本研究提出一多角度觀測雷達融合演算法解決此問題；另外，在使用多時序資料時，本研究同時進行影像標準化作業，避免造成崩塌地在判釋上的偏誤。本研究之主要研究成果如下：

- (1) 本研究透過分析地形坡向、坡度以及衛星姿態等參數來融合升軌及降軌的影像可以有效減低地形效應造成的陰影，配合時序標準化資料可有助於山區崩塌之判釋工作，但對於面積為 0.1 公頃以下之崩塌地無法有效區判出其回波強度的變化。
- (2) 本研究整合多時序影像以及紋理影像進行 SVM 監督式分類，在兩個研究區的試驗發現，對於面積大於 0.5 公頃之崩塌地有相當不錯的判釋正確性(大於 75%)。
- (3) 透過長時距監測試驗，相信本研究所提出之以多時序雷達資料為基礎之崩塌地判釋方法，在影像資料可取得之情形下，能有效地進行崩塌地即時監測，有利於災害事件的後續反應作為。

透過此研究，本研究團隊期望能發展出對台灣山區崩塌地有效、合宜的崩塌地長時距監測方法，以利有關單位進行有效之國土保育以及災害防治工作。



## 參考文獻

1. 王國隆、林俊廷 (2014) 運用 ALOS PALSAR 雷達影像之差分干涉成果於潛在崩塌地調查—以眉溪流域為例，航測及遙測學刊，19(3)：253-265。
2. 陳柔妃等 (2015) 運用雷達影像進行莫拉克颱風災區大規模潛勢區位之可行性評估，經濟部農委會水土保持局，計畫編號：SWCB-104-069。
3. Bovenga, F.; Wasowski, J.; Nitti, D.O.; Nutricato, R.; Chiaradia, M.T. Using COSMO/SkyMed X-band and ENVISAT C-band SAR interferometry for landslides analysis. *Remote Sens. Environ.* 2012, 119, 272–285.
4. Casagli, N., Cigna, F., Bianchini, S., Hölbling, D., Füreder, P., Righini, G., Del Conte, S., Friedl, B., Schneiderbauer, S., Iasio, C., Vlcko, J., Greif, V., Proske, H., Granica, K., Falco, S., Lozzi, S., Morak, O., Arnaud, A., Novali, F., Bianchi, M., 2016. Landslide mapping and monitoring by using radar and optical remote sensing: Examples from the EC-FP7 project SAFER, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4: 92-108.
5. Chiang SH., and Chang KT, 2011. The Potential Impact of Climate Change on Typhoon-Triggered Landslides in Taiwan, 2010-2099. *Geomorphology*, 133: 143-151.
6. Colesanti, C., Wasowski, J. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Eng. Geol.* 2006, 88, 173–199.
7. Correa-Muñozl, N. A., Murillo-Feo, C. A., 2018. Detection of

- Landslides with SAR Polarmetry: Case Study of South-eastern Colombia. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-3/W4, GeoInformation for Disaster Management. Istanbul, Turkey.
8. EAS Sentinel 1 web: <https://sentinel.esa.int/>
  9. Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K. T., 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem, *Earth-Science Reviews*, 112: 42-66
  10. Hopper, A., Zebker, H. A., Segall, P., Kampes, B., 2004, A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L23611.
  11. Konishi, T., Suga, Y., 2018. Landslide detection using COSMOSkyMed images: a case study of a landslide event on Kii Peninsula, Japan, *European Journal of Remote Sensing*, 51:1, 205-221, DOI: 10.1080/22797254.2017.1418185
  12. Lee, J.S., 1981. Speckle Analysis and Smoothing of Synthetic Aperture Radar Images. *Computer Graphics and Image Processing*, Vol.17:24-32.
  13. Mondini, A. C., 2017. Measures of Spatial Autocorrelation Changes in Multitemporal SAR Images for Event Landslides Detection, *Remote Sensing*, 9(6), 554; doi:10.3390/rs9060554.
  14. Mondini, A. C., Chang, K. T., Chiang, S. H., Schlögel, R., Notarnicola, C., Saito, H., 2017. Automatic mapping of event landslides at basin scale in Taiwan using a Montecarlo approach and synthetic land cover fingerprints. *International Journal of Applied*

- Earth Observation and Geoinformation*, 63: 112-121.
15. Raspini, F.; Moretti, S.; Fumagalli, A.; Rucci, A.; Novali, F.; Ferretti, A.; Prati, C.; Casagli, N. The COSMO-SkyMed constellation monitors the Costa Concordia wreck. *Remote Sens.* 2014, 6, 3988–4002.
  16. Shibayama, T., Yamaguchi, Y., Yamada, H., 2015. Polarimetric Scattering Properties of Landslides in Forested Areas and the Dependence on the Local Incidence Angle. *Remote Sens.* 7, 15424-15442; doi:10.3390/rs71115424.
  17. Shimada, M., Watanabe, M., Kawano, N., Ohki, M., Motooaka, T., 2014. Detecting Mountainous Landslides by SAR Polarimetry: A Comparative Study Using Pi-SAR-L2 and X-band SARs. *Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan* Vol. 12, No. ists29, pp. 9-15.
  18. Yamaguchi, Y., Moriyama, T., Ishido, M., Yamada, H. 2005. Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 43, 1699–1706.





## 附錄

### 附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	有關整合以時序回波特性和紋理指標來判定崩塌之方法，其試驗說明與研究流程皆無詳述整合之方式，建議補充。	謝謝委員建議，已於報告書第三章第五節加強說明。
二	圖3-4雖可看出崩塌位置回波強度有明顯降低，但同一組影像的其他位置，也有、甚至有更強的回波強度降低現象，如何區分哪些是崩塌訊號？哪些不是？	本研究目前是以光學影像進行輔助，區分回波強度的崩塌訊號，已於報告書第三章第二節加強說明。
三	所謂「升降軌影像融合」，只是兩者取平均，將其中一種取像軌道的陰影區資訊，用另一種取像軌道的亮區資訊來填補，並非消除陰影還原原始資訊，必須詳細說明，以免誤導使用者。另外時間資訊也因未取平均而喪失。建議就升軌和降軌的影像亮區來比對，時間	本研究提出之影像融合方法為透過曝光模式進行回波值的模擬，進而校正原始影像之回波值，並考量使用不同的觀測資料進行回波值補償，此方法已於報告書第二章第二節中「多角度觀測雷達融合演算法」加強說明。

項次	審查意見	回覆辦理情形
	資訊才會保留。	
四	文中僅使用蘇迪勒事件的 SPOT-6/7 影像並自行判釋崩塌，代表性有限。建議使用現有政府開放資料平台上，林務局所提供的多年期全台崩塌目錄，用更多資料來比對，比較有代表性。	謝謝委員建議，本研究除參考 SPOT-6/7 影像，亦同時參考水保局 BigGIS 平台資訊進行比對。
五	模式建立完成後，建議以其他區域之影像進行模式驗證，評估模式之通用性。	謝謝委員建議，後續將嘗試納入不同研究區以及災害事件進行模式驗證。
六	建議選取一樣區，評估自取得影像到判試成果出爐，約莫需多少處理時間。	感謝委員建議，本研究後續將嘗試針對模式自取得資料至判釋完成進行執行時間評估。
七	建議比對使用 IPM 與 CNN 處理前後之判釋成果準確度差異。	謝謝委員建議，此分析已在第三章第三節進行分析並加強說明。
八	最後成果呈現時，建議使用表 2-3 所列的各種分類精度，除討論崩塌地是否正確判釋出來，也要討論多少被誤判，才有代表性。	謝謝委員建議，目前分析成果說明與精度報告與相關討論分析已補充說明於第三章第五節。

項次	審查意見	回覆辦理情形
九	計畫採用 Sentinel-1 C band 合成孔徑雷達影像，建立校正影像及多時序紋理影像，對山區崩塌地持續監測有其重要性。建議可再諮詢崩塌地監測相關領域專家共同探討，對本計畫研究將會獲得更多助益。	謝謝委員意見，本研究後續將主動透過訪問、研討會等形式諮詢與相關專家與水保局同仁，以獲得更多資訊與經驗來精進本研究之執行。

## 附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	P1-2 第一段和 P1-1 最後一段完全重複。	謝謝委員提醒，報告書已刪除重複的段落。
二	本研究關鍵之一是由 DEM 模擬衛星在軌道上往地表照射之情形，消除因山區地形而造成背向衛星之坡面的回波訊號不均問題，也就是 EQ(8)-(11)。請加上幾個圖來說明幾何關係，並詳細的推導各個式子，最重要的是使用前必須驗證這些式子的正確性。尤其是 EQ(10) 使用了一個值域調整參數 K，調整什麼？怎麼調整？為何調整？	計劃書針對山區地形陰影消除之相關公式加入示意圖來進行說明，而 K 值之調整為將 EQ(10) 計算所得之曝光值域從 0-1 調整至 0-255，其原因為此值域可直接應用於 8-bit 之灰階(gray scale)圖資分析。
三	本研究關鍵之二是「多時序標準化」，P2-12 只有一段文字和一條 NCC 的式子，這是在空間中尋找匹配點的作法，如何運用到時間序列中？後面再也沒用到這個式子？	謝謝委員意見，此方法之應用已於第三章第三節「長時距崩塌地監測試驗」中加強補充說明。

項次	審查意見	回覆辦理情形
四	P2-13~P2-16都是去年計畫的內容，今年要做的只有P2-17出現7行，好像還沒寫完，也不清楚到底「整合型」判釋和「持續性」試驗是如何進行？	謝謝委員意見，此方法之應用已於第三章第四節「整合型多時序雷達影像崩塌地判釋試驗」以及第五節「長時距崩塌地監測試驗」中加強補充說明。
五	本期報告最主要成果是圖3-5，呈現了校正影像中崩塌地回波強度的改變，雖然紅色多邊形的崩塌地回波強度有降低，但左下一塊和上面一塊非崩塌地的範圍，回波強度也都降低了，這對判釋精度真的有提升嗎？需要提供更完整的比較和討論。	謝謝委員意見，本計劃在報告書中新增了第三章第二節「多時序影像融合試驗與成效評估」來討論融合影像的成效，主要是以t檢定來比較整體崩塌面上未校正影像在崩塌前後是否呈顯較顯著的雷達回波強度的變化，而部分影像中有局部地區出現迴波強度變化，的確會造成模式的誤判，因此本研究在第三章中第四節中討論了錯誤判釋的問題。
六	P2-5有關蘇迪勒颱風災情或研究區基本資料，若非本計畫研究所得，請補充資料來源。	謝謝委員，已補充資料來源。
七	可考量以現有崩塌目錄、衛星影像驗證本計畫之成果。	謝謝委員建議，考量試驗區的影像以及現有崩塌目錄的適用性，本研究乃以人工判釋建

項次	審查意見	回覆辦理情形
		立崩塌目錄以驗證試驗成果。
八	請補充無使用T4T5資料進行SVM分析之緣由。	本計畫進行SVM分析的所有試驗已補充說明於第三章第四節，其中以T1-T4之分類結果精度較佳。
九	請補充監督式分類之訓練樣區與驗證樣區之數量。	謝謝委員意見，相關訓練樣區以及驗證樣本數量說明已於第三章第四節以及第五節加以補充。
十	建議評估緊急應變時，自取得影像到判釋成果出爐，約莫須多少處理時間。	感謝委員建議，已補充於第四章第三節中「雷達影像持續性崩塌地監測作業」。
十一	建議比對IPM與CNN前後之判釋成果準確度差異。	謝謝委員建議，本計劃在報告書中新增了第三章第二節「多時序影像融合試驗與成效評估」來討論融合影像的成效，在第四章中「多時序影像標準化試驗崩塌判釋比較成果」一節中比較了多時序表準化前後的判釋精度，上述分析都顯示了影像融合以及多時序標

項次	審查意見	回覆辦理情形
		準化對判釋正確性的提升與幫助。

### 附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	可向內政部地政司申請解析度更高的數值高程模型。	感謝委員建議。
二	建議附註本計畫使用20米高程資料之產製年份，若使用相近年份之雷達影像律定相關參數，是否能讓校正結果更精確。	本計畫使用之數值地形資料為內政部 2016 年產製之全臺灣 20 公尺網格 DTM 資料，其年份與本研究分析案例時期相近。
三	本計畫第三章提及使用光學衛星影像作為崩塌地判釋之驗證，建議可採用政府開放資料平台上林務局所提供的多年期全台崩塌目錄，進行數據的雙重驗證。	感謝委員建議，唯林務局之資料平台未有 107 年之崩塌目錄。
四	試驗過程是否有誤判為崩塌的可能？	本研究檢討試驗過程的確可能會因為局部的陰影、雜訊而導致誤判成小型崩塌，進而造成崩塌過判的情形。
五	小面積崩塌可能為發展成大型崩塌，也應對小面積崩塌加以關注。	感謝委員建議，針對小面積崩塌如何提升判釋精度，是未來可以嘗試的方向。



項次	審查意見	回覆辦理情形
六	請教研究中，提到多張衛星影像與姿態可以幫助解算，是否未來有可能應用不同衛星資料(結合雷達孔徑與光學)進一步提高前後期解算率？	感謝委員建議，本研究建議使用多幅影像之目的為整合不同觀測角度之雷達影像來減少由地形造成之陰影區域，而結合雷達與光學資料的影像融合方法亦為具有高度可行的方法來提高判釋精度。

## 附錄四、SPOT6-7 光學衛星及 Sentinel-1 雷達衛星影像資料表

### 一、SPOT6-7

編號	拍攝日期	影像編號	影像類別	事件
1	2014/09/30	CSR_P0018108_SP6H1M_20140930	SPOT6	蘇迪勒颱風
2	2015/1128	CSR_P0021594_SP7H1M_20151128	SPOT7	20160611 豪雨
3	2016/02/08	CSR_P0021847_SP6H1M_20160208	SPOT6	蘇迪勒颱風
4	2016/11/19	CSR_A0000424_SP7H1M_20161119	SPOT7	20160611 豪雨

### 二、Sentinel-1

#### (一)蘇迪勒颱風

編號	拍攝日期	影像編號	模式	極化	最近入射角(度)	最遠入射角(度)	方位角	Slant(公尺)
1	2015/04/23	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150422T215147_20150422T215216_005602_0072C2_163A	De	VH/VV	31.009	46.131	-167.616	799338.145
2	2015/05/02	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150502T100050_20150502T100118_005741_0075EF_3565	As	VV	30.773	45.952	-12.390	799254.28
3	2015/05/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150516T215149_20150516T215217_005952_007AB4_EBA0	De	VH/VV	31.006	46.13	-167.616	799339.378
4	2015/05/26	S1A_IW_GRDH_1SSV_20150526T100051_20150526T100119_006091_007E46_8D2D	As	VV	30.773	45.953	-12.391	799255.513
5	2015/06/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150609T215150_20150609T215219_006302_008459_1191	De	VH/VV	31.011	46.133	-167.616	799339.378
6	2015/06/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150619T100052_20150619T100117_006441_008853_7605	As	VH/VV	30.779	45.973	-12.390	799257.688

7	2015/07/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150701T100052_20150701T100117_006616_008D2B_0017	As	VH/VV	30.779	46.201	-12.390	799257.688
8	2015/07/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150703T215151_20150703T215220_006652_008E1A_877A	De	VH/VV	31.015	46.135	-167.617	799339.378
9	2015/07/13	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150713T100053_20150713T100118_006791_009211_023A	As	VH/VV	30.777	45.972	-12.390	799257.688
10	2015/07/25	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150725T100054_20150725T100119_006966_009711_8A5B	As	VH/VV	30.783	46.204	-12.391	799257.688
11	2015/07/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150727T215152_20150727T215221_007002_009815_5987	De	VH/VV	31.012	46.133	-167.616	799339.378
12	2015/08/06	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150725T100054_20150725T100119_006966_009711_8A5B	As	VH/VV	30.785	45.977	-12.391	799257.688
13	2015/08/18	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150818T100055_20150818T100120_007316_00A0AB_68F0	As	VH/VV	30.777	46.199	-12.391	799257.688
14	2015/08/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150820T215153_20150820T215222_007352_00A198_7C61	De	VH/VV	31.013	46.134	-167.617	799339.378
15	2015/08/30	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150830T100055_20150830T100120_007491_00A56E_96E0	As	VH/VV	30.78	45.974	-12.390	799257.688
16	2015/09/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150911T100056_20150911T100121_007666_00AA37_3F36	As	VH/VV	30.779	46.201	-12.390	799257.688
17	2015/09/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150913T215154_20150913T215223_007702_00AB1B_FDFF	De	VH/VV	31.016	46.136	-167.617	799339.378
18	2015/10/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151005T100056_20151005T100121_008016_00B389_D355	As	VH/VV	30.781	46.048	-12.392	799257.688

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

19	2015/10/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151007T215155_20151007T215224_008052_00B472_88DE	De	VH/VV	31.013	46.134	-167.616	799339.378
20	2015/10/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151017T100056_20151017T100121_008191_00B83F_A723	As	VH/VV	30.782	45.975	-12.391	799257.688
21	2015/11/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151031T215155_20151031T215224_008402_00BDE5_BE10	De	VH/VV	31.009	46.132	-167.617	799339.378
22	2015/11/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151110T100056_20151110T100113_008541_00C18F_6C32	As	VH/VV	30.801	45.972	-12.376	799255.513
23	2015/11/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151122T100050_20151122T100115_008716_00C689_C2EC	As	VH/VV	30.811	46.07	-12.377	799257.688
24	2015/11/25	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151124T215149_20151124T215218_008752_00C779_6109	De	VH/VV	30.875	46.027	-167.604	799339.378
25	2015/12/16	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151216T100050_20151216T100115_009066_00D048_9F63	As	VH/VV	30.794	46.057	-12.377	799257.688
26	2015/12/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151218T215148_20151218T215217_009102_00D142_DC9F	De	VH/VV	30.874	46.026	-167.602	799339.378
27	2016/01/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160109T100049_20160109T100114_009416_00DA43_56EA	As	VH/VV	30.797	46.203	-12.376	799257.688
28	2016/01/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160111T215147_20160111T215216_009452_00DB40_6412	De	VH/VV	30.877	46.028	-167.603	799339.378
29	2016/02/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160202T100048_20160202T100113_009766_00E469_1242	As	VH/VV	30.791	46.055	-12.377	799257.688
30	2016/02/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160204T215147_20160204T215216_009802_00E56F_3C0C	De	VH/VV	30.876	46.027	-167.603	799339.378

31	2016/02/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160216T215141_20160216T215210_009977_00EA91_C0D1	De	VH/VV	30.83	45.99	-167.588	799339.378
32	2016/02/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160226T100048_20160226T100113_010116_00EE9E_A271	As	VH/VV	30.792	46.204	-12.377	799257.688
33	2016/02/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160228T215146_20160228T215215_010152_00EF92_0CC9	De	VH/VV	30.879	46.029	-167.602	799339.378
34	2016/03/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160309T100048_20160309T100116_010291_00F392_7811	As	VH/VV	30.786	45.962	-12.376	799255.513
35	2016/03/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160321T100048_20160321T100113_010466_00F887_6A72	As	VH/VV	30.793	46.07	-12.376	799257.688
36	2016/03/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160323T215147_20160323T215216_010502_00F983_A4AC	De	VH/VV	30.882	46.03	-167.603	799339.378
37	2016/04/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160414T100049_20160414T100114_010816_0102D1_8295	As	VH/VV	30.797	46.058	-12.378	799257.688
38	2016/05/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160508T100050_20160508T100115_011166_010DB9_DB8E	As	VH/VV	30.797	46.207	-12.377	799257.688
39	2016/05/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160510T215152_20160510T215221_011202_010ED4_EAA0	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.609	799339.378
40	2016/06/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160601T100052_20160601T100117_011516_011918_CD48	As	VH/VV	30.794	46.205	-12.376	799257.688
41	2016/06/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160603T215153_20160603T215222_011552_011A36_260C	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378
42	2016/06/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160627T215154_20160627T215223_011902_012539_5574	De	VH/VV	30.939	40.078	-167.609	799339.378

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

43	2016/07/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160719T100054_20160719T100119_012216_012F6C_3736	As	VH/VV	30.798	46.207	-12.376	799257.688
44	2016/07/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160721T215156_20160721T215225_012252_013091_33D4	De	VH/VV	30.938	46.078	-167.611	799339.378
45	2016/08/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160812T100056_20160812T100121_012566_013AFC_051E	As	VH/VV	30.798	46.059	-12.377	799257.688
46	2016/08/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160814T215157_20160814T215226_012602_013C26_DD94	De	VH/VV	30.937	46.077	-167.61	799339.378
47	2016/09/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160905T100057_20160905T100122_012916_0146AF_AA31	As	VH/VV	30.796	46.986	-12.377	799257.688
48	2016/09/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160907T215158_20160907T215227_012952_0147CA_A5E9	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378
49	2016/09/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160917T100109_20160917T100134_013091_014C55_44F8	As	VH/VV	30.742	46.026	-12.408	799042.037
50	2016/09/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160929T100058_20160929T100123_013266_01520A_82A1	As	VH/VV	30.796	46.206	-12.376	799257.688
51	2016/10/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161001T215159_20161001T215228_013302_01532D_3B53	De	VH/VV	30.937	46.077	-167.611	799339.378
52	2016/10/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161011T100058_20161011T100123_013441_01578F_62AC	As	VH/VV	30.794	46.205	-12.377	799257.688
53	2016/10/23	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161023T100058_20161023T100123_013616_015D0E_908F	As	VH/VV	30.792	46.205	-12.378	799257.688
54	2016/10/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161025T215159_20161025T215228_013652_015E26_06CC	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.609	799339.378

55	2016/11/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161104T100057_20161104T100122_013791_016281_1A22	As	VH/VV	30.791	46.204	-12.377	799257.688
56	2016/11/16	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161116T100057_20161116T100122_013966_0167F6_5262	As	VH/VV	30.791	46.204	-12.377	799257.688
57	2016/11/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161118T215158_20161118T215227_014002_016909_E789	De	VH/VV	30.936	46.076	-167.609	799339.378
58	2016/11/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161128T100057_20161128T100122_014141_016D4F_589C	As	VH/VV	30.79	46.204	-12.376	799257.688
59	2016/12/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161210T100057_20161210T100122_014316_0172E2_671B	As	VH/VV	30.79	46.204	-12.377	799257.688
60	2016/12/13	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161212T215158_20161212T215227_014352_017406_620E	De	VH/VV	30.937	46.077	-167.611	799339.378
61	2016/12/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20161222T100056_20161222T100121_014491_017854_140F	As	VH/VV	30.789	46.203	-12.378	799257.688
62	2017/01/03	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170103T100055_20170103T100120_014666_017DB4_7174	As	VH/VV	30.791	46.204	-12.377	799257.688
63	2017/01/06	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170105T215156_20170105T215225_014702_017EC6_E5C9	De	VH/VV	30.936	46.076	-167.609	799339.378
64	2017/01/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170115T100054_20170115T100119_014841_01830F_542E	As	VH/VV	30.79	46.204	-12.377	799257.688
65	2017/01/27	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170127T100054_20170127T100119_015016_018875_56AA	As	VH/VV	30.79	46.203	-12.376	799257.688
66	2017/01/30	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170129T215155_20170129T215224_015052_01898B_E124	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

67	2017/02/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170208T100054_20170208T100119_015191_018DE3_E17A	As	VH/VV	30.791	46.204	-12.376	799257.688
68	2017/02/20	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170220T100054_20170220T100119_015366_019355_66CF	As	VH/VV	30.79	46.203	-12.378	799257.688
69	2017/02/23	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170222T15155_20170222T15224_015402_01946C_1B50	De	VH/VV	30.941	46.079	-167.61	799339.378
70	2017/03/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170304T100053_20170304T100118_015541_01989F_6413	As	VH/VV	30.79	46.203	-12.378	799257.688
71	2017/03/16	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170316T100051_20170316T100116_015716_019DDC_A70B	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.37	799257.688
72	2017/03/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170318T15155_20170318T15214_015752_019EEC_CF25	De	VH/VV	30.869	46.007	-167.591	799431.229
73	2017/03/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170328T100051_20170328T100116_015891_01A318_40D0	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.369	799257.688
74	2017/04/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170409T100052_20170409T100117_016066_01A858_256A	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.37	799257.688
75	2017/04/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170411T15156_20170411T15225_016102_01A96F_50DD	De	VH/VV	30.941	46.08	-167.61	799339.378
76	2017/04/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170421T100052_20170421T100117_016241_01ADB3_447A	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.371	799257.688
77	2017/04/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170423T15156_20170423T15225_016277_01AECA_CFA9	De	VH/VV	30.94	46.078	-167.61	799339.378
78	2017/05/03	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170503T100053_20170503T100118_016416_01B302_1E68	As	VH/VV	30.812	46.213	-12.37	799257.688



79	2017/05/06	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170505T215157_20170505T215226_016452_01B40F_3AD3	De	VH/VV	30.938	46.078	-167.61	799339.378
80	2017/05/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170505T215157_20170505T215226_016452_01B40F_3AD3	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.37	799257.688
81	2017/05/18	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170517T215158_20170517T215227_016627_01B967_D1E6	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.609	799339.378
82	2017/05/27	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170527T100054_20170527T100119_016766_01BDB5_80E4	As	VH/VV	30.816	46.215	-12.37	799257.688
83	2017/05/30	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170529T215158_20170529T215227_016802_01BECA_A67C	De	VH/VV	30.937	46.077	-167.609	799339.378
84	2017/06/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170608T100055_20170608T100120_016941_01C325_05C8	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.369	799257.688
85	2017/06/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170610T215159_20170610T215228_016977_01C438_AE46	De	VH/VV	30.93	46.078	-167.61	799339.378
86	2017/06/23	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170622T215200_20170622T215229_017152_01C993_8B57	De	VH/VV	30.938	46.077	-167.611	799339.378
87	2017/07/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170702T100056_20170702T100121_017291_01CDD0_11F8	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.37	799257.688
88	2017/07/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170704T215200_20170704T215229_017327_01CEE3_95BE	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.61	799339.378
89	2017/07/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170714T100057_20170714T100122_017466_01D31A_A225	As	VH/VV	30.812	46.213	-12.37	799257.688
90	2017/07/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170716T215201_20170716T215230_017502_01D42B_9147	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.609	799339.378

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

91	2017/07/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170726T100058_20170726T100123_017641_01D877_D9CA	As	VH/VV	30.813	46.213	-12.37	799257.688
92	2017/07/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170728T215202_20170728T215231_017677_01D988_D147	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378
93	2017/08/07	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170807T100058_20170807T100123_017816_01DDCB_208A	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.369	799257.688
94	2017/08/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170809T215202_20170809T215231_017852_01DEE1_5B9E	De	VH/VV	30.94	46.079	-167.61	799339.378
95	2017/08/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170819T100059_20170819T100124_017991_01E319_4E48	As	VH/VV	30.812	46.213	-12.37	799257.688
96	2017/08/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170821T215203_20170821T215232_018027_01E42F_1825	De	VH/VV	30.937	46.077	-167.61	799339.378
97	2017/08/31	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170831T100059_20170831T100124_018166_01E85C_BD0A	As	VH/VV	30.815	46.215	-12.371	799257.688
98	2017/09/03	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170902T215203_20170902T215232_018202_01E971_612E	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378
99	2017/09/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170912T100100_20170912T100125_018341_01EDD7_0F82	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.371	799257.688
100	2017/09/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170914T215204_20170914T215233_018377_01EEE7_A532	De	VH/VV	30.938	46.078	-167.61	799339.378
101	2017/09/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170924T100100_20170924T100125_018516_01F333_5D18	As	VH/VV	30.812	46.213	-12.37	799257.688
102	2017/09/27	S1A_IW_GRDH_1SDV_20170926T215204_20170926T215233_018552_01F449_2D59	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.609	799339.378

103	2017/10/06	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171006T100101_20171006T100126_018691_01F888_E5FF	As	VH/VV	30.812	46.213	-12.37	799257.688
104	2017/10/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171008T215204_20171008T215233_018727_01F992_5FFC	De	VH/VV	30.938	46.077	-167.61	799339.378
105	2017/10/18	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171018T100101_20171018T100126_018866_01FDE4_925C	As	VH/VV	30.811	46.213	-12.37	799257.688
106	2017/10/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171020T215205_20171020T215234_018902_01FEF8_B862	De	VH/VV	30.938	46.078	-167.61	799339.378
107	2017/10/30	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171030T100101_20171030T100126_019041_020336_1EA8	As	VH/VV	30.809	46.212	-12.371	799257.688
108	2017/11/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171101T215205_20171101T215234_019077_02044B_2824	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.61	799339.378
109	2017/11/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171111T100100_20171111T100125_019216_020899_615F	As	VH/VV	30.808	46.212	-12.371	799257.688
110	2017/11/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171113T215204_20171113T215233_019252_0209B9_CA6C	De	VH/VV	30.936	46.077	-167.61	799339.378
111	2017/11/23	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171123T100100_20171123T100125_019391_020E20_FEAA	As	VH/VV	30.808	46.212	-12.371	799257.688
112	2017/11/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171125T215204_20171125T215234_019427_020F40_0A04	De	VH/VV	30.956	46.079	-167.61	799431.229
113	2017/12/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171205T100100_20171205T100125_019566_02139E_6591	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.369	799257.688
114	2017/12/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171207T215203_20171207T215232_019602_0214B6_903C	De	VH/VV	30.932	46.073	-167.609	799339.378

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

115	2017/12/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171217T100059_20171217T100124_019741_02190D_B145	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.369	799257.688
116	2017/12/20	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171219T215203_20171219T215232_019777_021A2B_E872	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.61	799339.378
117	2017/12/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171229T100059_20171229T100124_019916_021E78_8514	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.37	799257.688
118	2018/01/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20171231T215203_20171231T215232_019952_021F99_D895	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.611	799339.378
119	2018/01/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180110T100058_20180110T100123_020091_022400_56B1	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.371	799257.688
120	2018/01/13	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180112T215202_20180112T215231_020127_022520_B468	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.61	799339.378
121	2018/01/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180122T100058_20180122T100123_020266_02298F_5516	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.371	799257.688
122	2018/02/03	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180203T100058_20180203T100123_020441_022F24_F2D4	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.37	799257.688
123	2018/02/06	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180205T215202_20180205T215231_020477_023046_AC54	De	VH/VV	30.936	46.076	-167.61	799339.378
124	2018/02/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180215T100057_20180215T100122_020616_0234B9_35C4	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.369	799257.688
125	2018/02/18	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180217T215201_20180217T215230_020652_0235DE_74BF	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378
126	2018/02/27	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180227T100057_20180227T100122_020791_023A53_745E	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.37	799257.688

127	2018/03/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180301T215201_20180301T215230_020827_023B6A_FF37	De	VH/VV	30.941	46.079	-167.61	799339.378
128	2018/03/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180311T100057_20180311T100122_020966_023FD1_9718	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.371	799257.688
129	2018/03/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180313T215201_20180313T215230_021002_0240F4_9B86	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.61	799339.378
130	2018/03/23	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180323T100058_20180323T100123_021141_024560_73C3	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.371	799257.688
131	2018/03/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180325T215202_20180325T215231_021177_024683_5685	De	VH/VV	30.943	46.081	-167.609	799339.378
132	2018/04/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180404T100058_20180404T100123_021316_024AE6_2664	As	VH/VV	30.809	46.211	-12.37	799257.688
133	2018/04/07	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180406T215202_20180406T215231_021352_024BFE_F6C0	De	VH/VV	30.944	46.082	-167.609	799339.378
134	2018/04/16	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180416T100058_20180416T100123_021491_02505C_2F1B	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.37	799257.688
135	2018/04/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180418T215202_20180418T215231_021527_02517E_6F98	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.61	799339.378
136	2018/04/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180428T100059_20180428T100124_021666_0255D5_A4B2	As	VH/VV	30.813	46.213	-12.369	799257.688
137	2018/05/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180430T215203_20180430T215232_021702_0256F6_C5FC	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.611	799339.378
138	2018/05/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180510T100100_20180510T100125_021841_025B63_9BFE	As	VH/VV	30.815	46.215	-12.371	799257.688

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

139	2018/05/13	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180512T215204_20180512T215233_021877_025C8D_AEBC	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378
140	2018/05/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180522T100100_20180522T100125_022016_0260F8_DB7A	As	VH/VV	30.812	46.213	-12.371	799257.688
141	2018/05/25	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180524T215204_20180524T215233_022052_02621A_C91E	De	VH/VV	30.94	46.078	-167.609	799339.378
142	2018/06/03	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180603T100101_20180603T100126_022191_02667F_834F	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.371	799257.688
143	201/06/06	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180605T215205_20180605T215234_022227_0267A3_A306	De	VH/VV	30.94	46.079	-167.609	799339.378
144	2018/06/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180615T100102_20180615T100127_022366_026BEF_F140	As	VH/VV	30.811	46.212	-12.369	799257.688
145	2018/06/18	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180617T215206_20180617T215235_022402_026D04_606D	De	VH/VV	30.944	46.081	-167.61	799339.378
146	2018/06/27	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180627T100102_20180627T100127_022541_027111_52D6	As	VH/VV	30.815	46.214	-12.369	799257.688
147	2018/06/30	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180629T215206_20180629T215235_022577_027220_0C08	De	VH/VV	30.941	46.079	-167.611	799339.378
148	2018/07/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180709T100103_20180709T100128_022716_02762B_B5A2	As	VH/VV	30.813	46.214	-12.37	799257.688
149	2018/07/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180711T215207_20180711T215236_022752_02774F_1EFA	De	VH/VV	30.941	46.079	-167.611	799339.378
150	2018/07/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180721T100104_20180721T100129_022891_027B8F_2595	As	VH/VV	30.813	46.214	-12.371	799257.688

151	2018/07/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180723T215208_20180723T215237_022927_027CCD_F8F1	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.61	799339.378
152	2018/08/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180802T100104_20180802T100129_023066_028115_C667	As	VH/VV	30.816	46.215	-12.37	799257.688
153	2018/08/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180804T215208_20180804T215237_023102_028242_A2D7	De	VH/VV	30.94	46.079	-167.609	799339.378
154	2018/08/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180814T100105_20180814T100130_023241_0286B5_ED27	As	VH/VV	30.813	46.213	-12.37	799257.688
155	2018/08/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180816T215209_20180816T215238_023277_0287EB_20A7	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.609	799339.378
156	2018/08/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180826T100106_20180826T100131_023416_028C52_BAEE	As	VH/VV	30.813	46.214	-12.37	799257.688
157	2018/09/07	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180907T100107_20180907T100132_023591_0291E9_821F	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.37	799257.688
158	2018/09/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180909T215210_20180909T215229_023627_029322_06AB	De	VH/VV	30.868	46.007	-167.592	799431.229
159	2018/09/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180919T100107_20180919T100132_023766_02978B_C7BE	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.371	799257.688
160	2018/09/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20180921T215211_20180921T215240_023802_0298C7_35BA	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378
161	2018/10/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181001T100107_20181001T100132_023941_029D3D_734B	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.371	799257.688
162	2018/10/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181003T215211_20181003T215240_023977_029E7B_C81F	De	VH/VV	30.934	46.074	-167.609	799339.378

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

163	2018/10/13	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181013T100107_20181013T100132_024116_02A2F7_8AAF	As	VH/VV	30.812	46.214	-12.37	799257.688
164	2018/10/16	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181015T215211_20181015T215240_024152_02A434_5C91	De	VH/VV	30.936	46.077	-167.609	799339.378
165	2018/10/25	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181025T100107_20181025T100132_024291_02A89F_4A9B	As	VH/VV	30.81	46.213	-12.369	799257.688
166	2018/10/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181027T215211_20181027T215240_024327_02A9D5_C8FE	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.61	799339.378
167	2018/11/06	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181106T100107_20181106T100132_024466_02AEA5_7446	As	VH/VV	30.809	46.212	-12.369	799257.688
168	2018/11/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181108T215211_20181108T215240_024502_02AFF5_17DD	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.611	799339.378
169	2018/11/18	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181118T100107_20181118T100132_024641_02B513_7012	As	VH/VV	30.808	46.212	-12.371	799257.688
170	2018/11/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181120T215211_20181120T215240_024677_02B66A_8DF2	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.61	799339.378
171	2018/11/30	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181130T100106_20181130T100131_024816_02BB5A_D08E	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.371	799257.688
172	2018/12/03	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181202T215210_20181202T215239_024852_02BC8F_F441	De	VH/VV	30.936	46.076	-167.61	799339.378
173	2018/12/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181212T100106_20181212T100131_024991_02C160_F995	As	VH/VV	30.809	46.213	-12.371	799257.688
174	2018/12/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181214T215210_20181214T215239_025027_02C2AF_7330	De	VH/VV	30.93	46.072	-167.609	799339.378



175	2018/12/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181224T100106_20181224T100131_025166_02C7B3_B35A	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.369	799257.688
176	2018/12/27	S1A_IW_GRDH_1SDV_20181226T215210_20181226T215239_025202_02C902_4C80	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.609	799339.378
177	2019/01/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190105T100105_20190105T100130_025341_02CE02_EE81	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.369	799257.688
178	2019/01/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190107T215209_20190107T215238_025377_02CF51_67F0	De	VH/VV	30.936	46.076	-167.61	799339.378
179	2019/01/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190117T100105_20190117T100130_025516_02D452_4588	As	VH/VV	30.808	46.212	-12.37	799257.688
180	2019/01/20	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190119T215209_20190119T215238_025552_02D5A7_797D	De	VH/VV	30.936	46.077	-167.61	799399.378
181	2019/01/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190129T100105_20190129T100130_025691_02DABB_4464	As	VH/VV	30.803	46.013	-12.37	799257.688
182	2019/02/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190131T215208_20190131T215237_025727_02DC0C_69FD	De	VH/VV	30.936	46.076	-167.61	79339.378
183	2019/02/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190210T100104_20190210T100129_025866_02E108_F7F8	As	VH/VV	30.808	46.212	-12.37	799257.688
184	2019/02/13	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190212T215208_20190212T215237_025902_02E248_BED0	De	VH/VV	30.938	46.078	-167.609	799339.378
185	2019/02/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190222T100104_20190222T100129_026041_02E73A_550D	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.37	799257.688
186	2019/02/25	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190224T215208_20190224T215237_026077_02E882_9B4F	De	VH/VV	30.938	46.078	-167.609	799339.378

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

187	2019/03/06	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190306T100104_20190306T100129_026216_02ED7C_F24F	As	VH/VV	31.807	46.211	-12.37	799257.688
188	2019/03/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190308T215208_20190308T215237_026252_02EECF_81EA	De	VH/VV	30.941	46.08	-167.61	799339.378
189	2019/03/18	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190318T100104_20190318T100129_026391_02F3F3_1C09	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.37	799257.688
190	2019/03/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190320T215208_20190320T215237_026427_02F542_B4B6	De	VH/VV	30.943	46.08	-167.61	799339.378
191	2019/03/30	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190330T100104_20190330T100129_026566_02FA62_4288	As	VH/VV	30.808	46.211	-12.371	799257.688
192	2019/04/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190401T215208_20190401T215237_026602_02FBB8_189C	De	VH/VV	30.944	46.081	-167.61	799339.378
193	2019/04/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190411T100104_20190411T100129_026741_0300CB_97A2	As	VH/VV	30.815	46.215	-12.371	799257.688
194	2019/04/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190413T215208_20190413T215237_026777_03021D_37F2	De	VH/VV	30.94	46.079	-167.609	799339.378
195	2019/04/23	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190423T100105_20190423T100130_026916_030722_44A8	As	VH/VV	30.815	46.215	-12.371	799257.688
196	2019/04/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190425T215209_20190425T215238_026952_030870_DC7D	De	VH/VV	30.938	46.077	-167.609	799339.378
197	2019/05/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190505T100105_20190505T100130_027091_030D82_F971	As	VH/VV	30.812	46.213	-12.369	799257.688
198	2019/05/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190507T215209_20190507T215238_027127_030EC4_94D1	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.61	799339.378

199	2019/05/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190517T100106_20190517T100131_027266_03130D_B807	As	VH/VV	30.811	46.212	-12.369	799257.688
200	2019/05/20	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190519T215210_20190519T215239_027302_03143B_58EE	De	VH/VV	30.94	46.079	-167.611	799339.378
201	2019/05/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190529T100107_20190529T100132_027441_031883_0931	As	VH/VV	30.809	46.211	-12.37	799257.688
202	2019/06/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190531T215211_20190531T215240_027477_0319AF_76E8	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378
203	2019/06/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190610T100107_20190610T100132_027616_031DE1_08DF	As	VH/VV	30.811	46.212	-12.371	799257.688
204	2019/06/13	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190612T215211_20190612T215240_027652_031F02_BFCD	De	VH/VV	30.944	46.081	-167.61	799339.378
205	2019/06/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190622T100108_20190622T100133_027791_03231E_E348	As	VH/VV	30.815	46.215	-12.37	799257.688
206	2019/06/25	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190624T215212_20190624T215241_027827_032435_AA21	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.609	799339.378
207	2019/07/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190704T100109_20190704T100134_027966_032865_3F92	As	VH/VV	30.812	46.213	-12.369	799257.688
208	2019/07/07	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190706T215213_20190706T215242_028002_032986_C074	De	VH/VV	30.942	46.08	-167.61	799339.378
209	2019/07/16	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190716T100110_20190716T100135_028141_032DB3_DB2D	As	VH/VV	30.815	46.214	-12.369	799257.688
210	2019/07/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190718T215214_20190718T215243_028177_032ECC_8ADF	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.61	799339.378

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

211	2019/07/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190728T100110_20190728T100135_028316_03330A_389B	As	VH/VV	30.813	46.213	-12.371	799257.688
212	2019/07/31	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190730T215214_20190730T215243_028352_03342C_64F5	De	VH/VV	30.94	46.079	-167.61	799339.378
213	2019/08/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190809T100111_20190809T100136_028491_033873_C14E	As	VH/VV	30.815	46.215	-12.371	799257.688
214	2019/08/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190811T215215_20190811T215244_028527_0339B8_1D92	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.609	799339.378
215	2019/08/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190821T100112_20190821T100137_028666_033E8C_9EEC	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.371	799257.688
216	2019/08/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190823T215216_20190823T215245_028702_033FC0_8B4D	De	VH/VV	30.939	46.078	-167.609	799339.378
217	2019/09/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190902T100112_20190902T100137_028841_0344A4_ED14	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.37	799257.688
218	2019/09/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190904T215216_20190904T215245_028877_0345E2_B973	De	VH/VV	30.941	46.079	-167.609	799339.378
219	2019/09/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190926T100113_20190926T100138_029191_0350A9_1388	As	VH/VV	30.814	46.214	-12.37	799257.688
220	2019/09/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20190928T215217_20190928T215246_029227_0351F0_AF81	De	VH/VV	30.936	46.077	-167.61	799339.378
221	2019/10/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191008T100114_20191008T100139_029366_0356B3_3BEB	As	VH/VV	30.813	46.214	-12.371	799257.688
222	2019/10/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191010T215217_20191010T215246_029402_0357F1_27DF	De	VH/VV	30.937	46.077	-167.61	799339.378

223	2019/10/20	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191020T100113_20191020T100138_029541_035CC1_5E1E	As	VH/VV	30.811	46.213	-12.371	799257.688
224	2019/10/23	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191022T215217_20191022T215246_029577_035DFB_C91F	De	VH/VV	30.932	46.073	-167.609	799339.378
225	2019/11/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191101T100114_20191101T100139_029716_0362D7_70EC	As	VH/VV	30.809	46.212	-12.37	799257.688
226	2019/11/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191103T215218_20191103T215247_029752_036418_463E	De	VH/VV	30.936	46.077	-167.609	799339.378
227	2019/11/13	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191113T100114_20191113T100139_029891_0368FB_6AB6	As	VH/VV	30.81	46.212	-12.37	799257.688
228	2019/11/16	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191115T215217_20191115T215246_029927_036A3A_CDE7	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.61	799339.378
229	2019/11/25	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191125T100113_20191125T100138_030066_036F0C_2CB4	As	VH/VV	30.809	46.212	-12.369	799257.688
230	2019/11/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191127T215217_20191127T215246_030102_03704E_D2D6	De	VH/VV	30.934	46.075	-167.611	799339.378
231	2019/12/07	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191207T100113_20191207T100138_030241_03750F_1334	As	VH/VV	30.808	46.212	-12.371	799257.688
232	2019/12/10	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191209T215217_20191209T215246_030277_03764E_8003	De	VH/VV	30.933	46.075	-167.61	799339.378
233	2019/12/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191219T100112_20191219T100137_030416_037B1B_199A	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.371	799257.688
234	2019/12/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191221T215216_20191221T215245_030452_037C5C_A1C0	De	VH/VV	30.935	46.076	-167.609	799339.378

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

235	2019/12/31	S1A_IW_GRDH_1SDV_20191231T100112_20191231T100137_030591_038128_8148	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.37	799257.688
236	2020/01/03	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200102T215216_20200102T215245_030627_038261_7768	De	VH/VV	30.935	46.075	-167.609	799339.378
237	2020/01/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200112T100111_20200112T100136_030766_038739_ED89	As	VH/VV	30.806	46.21	-12.37	799257.688
238	2020/01/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200114T215215_20200114T215244_030802_038881_5AAA	De	VH/VV	30.936	46.077	-167.609	799339.378
239	2020/01/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200124T100111_20200124T100136_030941_038D5D_3F9B	As	VH/VV	30.807	46.211	-12.37	799257.688
240	2020/02/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200205T100111_20200205T100136_031116_03937D_7A3E	As	VH/VV	30.78	46.195	-12.37	799257.688
241	2020/02/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200207T215214_20200207T215243_031152_0394C6_725C	De	VH/VV	30.813	46.003	-167.611	799339.378
242	2020/02/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200217T100110_20200217T100135_031291_03998B_54FC	As	VH/VV	30.78	46.194	-12.371	799257.688
243	2020/02/20	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200219T215214_20200219T215243_031327_039AD3_5407	De	VH/VV	30.815	46.005	-167.61	799339.378
244	2020/02/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200229T100110_20200229T100135_031466_039F8B_3BB5	As	VH/VV	30.78	46.195	-12.371	799257.688
245	2020/03/03	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200302T215214_20200302T215243_031502_03A0D6_C84A	De	VH/VV	30.815	46.005	-167.609	799339.378
246	2020/03/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200312T100110_20200312T100135_031641_03A5A2_D841	As	VH/VV	30.78	46.195	-12.37	799257.688

247	2020/03/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200314T215214_20200314T215243_031677_03A6E9_9F6C	De	VH/VV	30.817	46.006	-167.609	799339.378
248	2020/03/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20200324T100135_031816_03ABD2_5634	As	VH/VV	30.78	46.194	-12.369	799257.688

## (二)611 豪雨

編號	拍攝日期	影像編號	模式	極化	最近入射角(度)	最遠入射角(度)	方位角	Slant(公尺)
1	2015/0911	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150911T100027_20150911T100056_007666_00AA37_8C0F	As	VH/VV	30.921	46.313	-12.331	799257.688
2	2015/09/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20150913T215257_007702_00AB1B_A55A	De	VH/VV	30.895	46.034	-167.682	799339.378
3	2015/10/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151005T100027_20151005T100056_008016_00B389_B81A	As	VH/VV	30.923	46.16	-12.332	799257.688
4	2015/10/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151007T215224_20151007T215258_008052_00B472_29B2	De	VH/VV	30.891	46.036	-167.681	799339.378
5	2015/10/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151029T100027_20151029T100056_008366_00BCF8_C5EC	As	VH/VV	30.923	46.16	-12.33	799257.688
6	2015/11/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151031T215224_20151031T215258_008402_00BDE5_D2C5	De	VH/VV	30.888	46.03	-167.681	799339.378
7	2015/11/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151122T100022_20151122T100050_008716_00C689_9D6B	As	VH/VV	30.862	46.11	-12.319	799257.688
8	2015/11/25	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151124T215218_20151124T215252_008752_00C779_ADCD	De	VH/VV	30.907	46.049	-167.67	799339.378
9	2015/12/16	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151216T100021_20151216T100050_009066_00D048_A2D0	As	VH/VV	30.884	46.128	-12.319	799257.688

整合多時序雷達影像與紋理資訊進行崩塌地長時距監測

10	2015/12/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20151218T215217_20151218T215251_009102_00D142_7CF4	De	VH/VV	30.905	46.048	-167.668	799339.378
11	2016/01/09	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160109T100020_20160109T100049_009416_00DA43_D87B	As	VH/VV	30.88	46.274	-12.318	799257.688
12	2016/01/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160111T215216_20160111T215250_009452_00DB40_F8D9	De	VH/VV	30.908	46.05	-167.67	799339.378
13	2016/02/02	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160202T100019_20160202T100048_009766_00E469_A0B6	As	VH/VV	30.882	46.126	-12.319	799257.688
14	2016/02/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160204T215216_20160204T215249_009802_00E56F_62CC	De	VH/VV	30.908	46.05	-167.67	799339.378
15	2016/02/14	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160214T100019_20160214T100048_009941_00E981_FF7C	As	VH/VV	30.882	46.033	-12.32	799255.513
16	2016/02/17	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160216T215210_20160216T215235_009977_00EA91_5DC8	De	VH/VV	30.942	46.078	-167.649	799339.378
17	2016/02/26	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160226T100019_20160226T100048_010116_00EE9E_E4E2	As	VH/VV	30.882	46.275	-12.319	799257.688
18	2016/02/29	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160228T215215_20160228T215249_010152_00EF92_5E06	De	VH/VV	30.91	46.051	-167.668	799339.378
19	2016/03/21	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160321T100019_20160321T100048_010466_00F887_731A	As	VH/VV	30.883	46.141	-12.318	799257.688
20	2016/03/24	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160323T215216_20160323T215250_010502_00F983_40E4	De	VH/VV	30.914	46.053	-167.670	799339.378
21	2016/05/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160508T100021_20160508T100050_011166_010DB9_ADC5	As	VH/VV	30.887	46.277	-12.318	799257.688



22	2015/05/11	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160510T215221_20160510T215255_011202_010ED4_13B1	De	VH/VV	30.889	46.034	-167.675	799339.378
23	2016/06/01	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160601T100023_20160601T100052_011516_011918_D832	As	VH/VV	30.885	46.276	-12.318	799257.688
24	2016/06/04	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160510T215221_20160510T215255_011202_010ED4_13B1	De	VH/VV	30.889	46.033	-167.676	799339.378
25	2016/06/28	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160627T215223_20160627T215257_011902_012539_52B0	De	VH/VV	30.888	46.032	-167.675	799339.378
26	2016/07/07	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160707T100025_20160707T100054_012041_0129BA_2114	As	VH/VV	30.886	46.035	-12.318	799255.513
27	2016/07/19	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160719T100025_20160719T100054_012216_012F6C_251F	As	VH/VV	30.888	46.278	-12.318	799257.688
28	2016/07/22	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160721T215225_20160721T215259_012252_013091_CE30	De	VH/VV	30.888	46.032	-167.676	799339.378
29	2016/08/12	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160812T100027_20160812T100056_012566_013AFC_EB5B	As	VH/VV	30.888	46.13	-12.319	799257.688
30	2016/08/15	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160814T215226_20160814T215300_012602_013C26_CB7C	De	VH/VV	30.888	46.032	-167.675	799339.378
31	2016/09/05	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160905T100028_20160905T100057_012916_0146AF_0B2E	As	VH/VV	30.887	46.056	-12.319	799257.688
32	2016/09/08	S1A_IW_GRDH_1SDV_20160907T215227_20160907T215301_012952_0147CA_1EF3	De	VH/VV	30.887	46.032	-167.675	799339.378

### 三、Sentinel-1 影像統計

#### (一)蘇迪勒颱風

年份 \ 影像	Ascending		Descending		小計
	VH	VV	VH	VV	
<b>2015</b>	13	15	11	11	50
<b>2016</b>	20	20	15	15	70
<b>2017</b>	30	30	26	26	112
<b>2018</b>	30	30	29	29	118
<b>2019</b>	30	30	29	29	118
<b>2020</b>	7	7	6	6	26
<b>小計</b>	130	132	116	116	<b>494</b>

#### (二)611 豪雨

年份 \ 影像	Ascending		Descending		小計
	VH	VV	VH	VV	
<b>2015</b>	5	5	5	5	20
<b>2016</b>	11	11	11	11	44
<b>小計</b>	16	16	16	16	<b>64</b>