



本計畫執行機關識別碼：070304S100

行政院農業委員會水土保持局補助研究期末暨成果 效益報告

計畫主管機關 行政院農業委員會水土保持局

計畫執行機關 國立成功大學

計畫名稱 嘉義、台南山區大規模崩塌之地動訊號監測
網建置研究 (第1年/全程1年)

審議編號 1102101011705-070304S1

農委會
計畫編號

110農科-7.3.4-保-S1



110年度行政院農業委員會水土保持局科技計畫期末暨成果 效益報告

嘉義、台南山區大規模崩塌之地動訊號監測網建置研究

一、基本資訊

計畫名稱：嘉義、台南山區大規模崩塌之地動訊號監測網建置研究	
計畫編號：110農科-7.3.4-保-S1	
主管機關：行政院農業委員會水土保持局	執行機關：國立成功大學
計畫主持人：林冠璋	電話：06-2757575#65424
期程： 全 程：自 110年1月1日 至 110年12月31日 本年度：自 110年1月1日 至 110年12月31日	
經費：全程：1,550 仟元；本年度：1,550 仟元	
報告頁數：139；使用語言：中文 全文處理方式：可立即對外提供參考	

二、執行成果中文摘要

破碎的地質條件與豐沛的降雨量導致坡地崩塌作用成為台灣山區常見的地質災害，其中大規模崩塌不僅會劇烈地改變地形，還可能對民眾的生命財產造成傷害。有鑑於此，瞭解豪雨促發之崩塌的發生條件是建立災害預警系統的基礎工作。為了探討促崩降雨條件，分析崩塌過程產生的地表振動便有機會獲取以往難以得到的崩塌發生確切時間資訊。

本計畫彙整雲林、嘉義、台南地區現存的27處地震站，並針對區域內5處高潛勢大規模崩塌優先辦理區，規劃區域尺度崩塌地動訊號觀測網絡。先從歷史地動紀錄中辨識出99筆具有崩塌特徵之地動訊號，以隨機森林演算法建立地動訊號分類器，其準確度達到85%以上。將地動訊號分類器運用於2012年至2016年的颱風、豪雨事件期間地動紀錄，並透過振動源定位，獲得位於雲嘉南山區內之崩塌事件有16處，後續運用於促崩降雨條件分析。崩塌發生之降雨條件的統計結果顯示，研究區內大規模崩塌多數發生於累積降雨量大於500 mm、降雨延時60小時以上的降雨條件之下，綜合各項降雨基準可做為制定大規模崩塌的警戒標準之基礎。同時，本計畫已建置一崩塌訊號自動辨識測試系統，於偵測到崩塌訊號後產出事件時間、位置、振動規模等資訊，並且寄發通知報告，經由研究人員判讀後再發佈於展示網頁。

三、執行成果英文摘要

The combination of fragmented geological settings and abundant precipitation causes that landslide become a common geohazard in the mountainous areas of Taiwan. Large-scale landslides may result into the most serious impact because they not only drastically change the terrain,





but also cause damage to the lives and properties of the people. Therefore, understanding the occurrence conditions for landslides caused by heavy rain is the basic work of establishing a disaster early warning system. To explore the rainfall conditions for triggering landslides, analyzing the ground motions generated during landsliding process will have the opportunity to obtain the exact time information of the landslides. In the project, a regional-scale ground motion observation network for landslides has been planned by using the 27 existing seismic stations in the region of Yunlin, Chiayi, and Tainan. Besides, the monitoring network containing three surrounding seismic stations for each high-potential large-scale landslide area have been organized. Totally 99 landslide-induced ground motion signals were identified from the historical ground motion records, and the same number of earthquake and noise signals were used as the training samples to create six automatic classifiers for ground motions. Through validation by testing samples, the accuracy of the classifiers is over 85%. These automatic classifiers have been applied to identify the landslide-induced ground motions from the continuous seismic records during the typhoon and heavy rain events from 2012 to 2016. Finally, the temporal and spatial information of 16 landslide events in the mountainous region of Yunlin, Chiayi, and Tainan, can be used to the analysis of the rainfall conditions for triggering landslides. The rainfall information about the large-scale landslides located in the study area reveals the critical rainfall for triggering large scale landslide which includes >500 mm of accumulative rainfall and >60 hours of rainfall duration. These basic information about critical rainfall for large scale landslide will be useful for preparing the operation of disaster prevention. The project has built a test system to provide the information of event time, location, and vibration scale after detecting the landslide signal, and automatically send a brief report, which will be read by the researcher before being released on the webpage.

四、中英文關鍵詞

崩塌地動訊號； landslide quake； 機器學習； machine learning； 大規模崩塌
； large-scale landslide； 臨界降雨； critical rainfall

五、計畫目標





- (一) 綜整嘉義、台南一帶及週邊地區現有地表振動觀測站，歸納出區域尺度之地震觀測網。
- (二) 建置區域尺度崩塌地動訊號自動分類器，並進行自動分類器驗證。
 1. 收集各尺度地表振動觀測網紀錄，進行崩塌地動訊號專家訓練，建立自動辨識演算模型。
 2. 驗證機器學習分類器之可靠度。
- (三) 利用現有雨量及地表流量觀測記錄，搭配崩塌發生時間，建立集水區尺度促崩雨量門檻。
- (四) 利用現有計畫成果建置崩塌地動訊號近即時辨識測試平台。

六、主要內容

(一) 重要工作項目

1. 綜整嘉義、台南一帶及週邊地區現有地表振動觀測站(含寬頻地震站與24位元短週期地震站)，在考量測站密度與包覆程度下，規劃集水區尺度土砂運動地表振動訊號觀測網。
2. 收集與觀測豪雨期間，觀測集水區內地表振動訊號，辨識大規模崩塌之地表振動訊號，並計算自動辨識指標。
3. 建立觀測區域內大規模崩塌之地動訊號分類器(機器學習技術)。
4. 分析嘉義台南山區大規模崩塌之水文警戒門檻。
5. 根據計畫成果，建置崩塌地動訊號近即時辨識測試平台(網頁建置)。

(二) 實施方法

1. 地震站篩選與地動訊號偵測

本計畫將使用的地表振動訊號來自中央研究院及中央氣象局共同設立之臺灣寬頻地震網(Broadband Array in Taiwan for Seismology, BATS)，以及中央氣象局設置之自由場強震站。本計畫著重於大規模崩塌事件，因此並非每個測站都適合用於崩塌訊號的分析，故將利用人工辨識方式逐一檢視鄰近嘉義及台南一帶的現有地震站是否記錄下崩塌之地表振動。

本計畫將同時採用時間域及頻率域之短窗格/長窗格移動平均比值法(STA/LTA)，先偵測突發之地動訊號。將利用2009年小林崩塌事件為標準，率定STA/LTA的偵測門檻。

2. 建立訊號分類器及分類結果驗證

為了進行監督式機器學習分類法，本計畫將進行訓練樣本的人工判釋，該階段需仰賴深厚的地動訊號辨識經驗。每筆訓練樣本均依事件發生時間切出完整包含事件的5分鐘長度訊號段，計算時間域及頻率域的特徵值。由前期計畫的經驗發現，時間域特徵值對於環境噪訊有較高的分辨率，因此本計畫將採用二階段分類。第一階段分類僅使用時間域特徵值搭配隨機森林演算法製作時間域分類器，第二階段加入頻率域特徵值，製作混合分類模型。以STA/LTA偵測發現地動事件後，計算偵測窗格內之特徵值並輸入分類器內，快速得到各測站紀錄內疑似崩塌事件地動訊號的發生時間。自動分類結果採用混淆矩陣法評估正確度、敏感度，以及準確度，並將採用非訓練用的振動訊號進行驗證。

3. 訊號分類結果應用於崩塌振動源定位

計畫中將採用之崩塌地動定位方法是由藉由對所有地震站對的理論與觀測到





時差之差值($\Delta T_{i,j}$)的最小均方根(rms)進行網格搜索，來獲得動振源位置(Peng and Chao, 2008; Peng et al., 2009; Chao and Yu, 2018)。如果使用N個地震站紀錄來定位崩塌地動，則站對的總數為 $n = N(N-1)/2$ 。崩塌地動訊號的最佳振動源位置(x, y, z)會對應於具有最小均方根的網格，由於崩塌地動訊號理論上來自淺層地震源深度，因此在本計畫中僅在 0.01° 的水平網格空間中進行最小均方根的搜索。在本計畫中採用Chao and Yu (2018)撰寫於matlab程式語言中的開源程式CrazyTremor，進行上述之崩塌地動定位。

4. 大規模崩塌促崩降雨門檻修正

由於山崩產生的地動訊號完整了記錄大規模崩塌的發生時間，藉由成功的判釋與配對，可以運用所得到的時間記錄準確計算出山崩發生時的雨量條件。本計畫採用之雨場切割方法，修改為以日當作切割單位，當小時降雨量超過4 mm，即視為雨場開始時間；單日降雨量低於4 mm時，當日24時作為雨場結束時間。採用修改後的雨場切割標準將使得完整降雨事件不易被雨勢趨緩或是降雨短暫中止而切斷，而崩塌事件發生時的降雨延時則是統計至崩塌發生的時刻，並不會有高估雨場的狀況存在。運用此方法為基準，統計引發各崩塌的降雨強度、累積雨量、降雨延時等參數，做為降雨門檻值分析之因子。其中，降雨延時(D)，單位為小時；累積雨量(Rc)，單位為mm；降雨強度(I)，單位為mm/h。除了上述的三個因子之外，本計畫根據前期經驗，同時將前期的降雨量Ra納入考量。

相關降雨門檻分析方法將包括：

- 以降雨強度I及降雨延時D為警戒指標(5%之曲線做為門檻曲線)
- 以降雨強度I及有效累積雨量Re為警戒指標(5%之曲線做為門檻曲線)
- 以有效累積雨量Re及降雨延時D為警戒指標(5%之曲線做為門檻曲線)
- 以平均降雨強度Ia及降雨延時D與臨界水量Qc為警戒模式

七、計畫執行情形

(一) 進度比較

	預定進度%	實際進度%	比較%
--	-------	-------	-----





當年	100.00	100.00	0.00
全程	100.00	100.00	0.00

(二) 資源使用情形

1. 經費支用

	預定經費(仟元)	實際經費(仟元)	支用率%
當年	1,550	1,460.7	94.24
全程	1,550	1,460.7	94.24

2. 經費明細

單位：千元

	110年度				執行率(%) (d/a)	111年度 預算數	112年度 申請數	備註
	預算數 (a)	初編決算數						
		實支數 (b)	保留數 (c)	合計 (d=b+c)				
總計	1,550.00	1,200.38	0.00	1,200.38	77.44			
一、經常門小計	1,550.00	1,200.38	0.00	1,200.38	77.44			
(1)人事費	613.04	512.00	0.00	512.00	83.52			
(2)材料費	88.34	140.93	0.00	140.93	159.53			
(3)其他經常支出	848.63	547.46	0.00	547.46	64.51			
二、資本門小計	0.00	0.00	0.00	0.00	0			
(1)土地建築	0.00	0.00	0.00	0.00	0			
(2)儀器設備	0.00	0.00	0.00	0.00	0			
(3)其他資本支出	0.00	0.00	0.00	0.00	0			

與原計畫規劃差異說明：

3. 人力

姓名	計畫職級	投入人月數及 工作重點	學、經歷及專長	
			學歷	專長
林冠璋	副研究員級	(4.0) 指導統籌計畫所有 事務	學歷	博士
			經歷	國立成功大學地球科學系副教授
			專長	地球科學類
張珈銘	研究助理級	(4.0) 執行地動訊號的半 自動判釋程式	學歷	碩士
			經歷	國立成功大學專任助理
			專長	地球科學類





林琬婷	研究助理級	(12.0) 行政相關事務	學歷	學士
			經歷	國立成功大學專任助理
			專長	社會-其他
顏心儀	助理研究員級	(4.0) 報告書彙整	學歷	碩士
			經歷	國立成功大學專任助理
			專長	地球科學類
謝政麟	研究助理級	(4.0) 崩塌訊號的特徵值 計算	學歷	碩士班研究生
			經歷	兼任助理
			專長	地球科學類
王識維	研究助理級	(4.0) 崩塌訊號的特徵值 計算	學歷	碩士班研究生
			經歷	兼任助理
			專長	地球科學類
鄭德尉	研究助理級	(4.0) 崩塌訊號的特徵值 計算	學歷	碩士班研究生
			經歷	兼任助理
			專長	地球科學類
林亭好	研究助理級	(4.0) 偵測訊號的定位與 崩塌配對	學歷	碩士班研究生
			經歷	兼任助理
			專長	地球科學類
區雪儀	研究助理級	(4.0) 偵測訊號的定位與 崩塌配對	學歷	碩士班研究生
			經歷	兼任助理
			專長	地球科學類

與原計畫規劃差異說明：
無差異

(三) 期末評核標準達成情形：

序號	期末評核標準	是否已達成	辦理情形
1	利用現有雨量及地表流量觀測記錄，搭配崩塌發生時間，建立區域尺度促崩雨量及水文門檻。	是	利用位於雲嘉南地區內之崩塌事件發生時間及地點資訊，分析促崩雨量條件。綜合比較前期計畫所得之各種門檻值，結果顯示針對雲嘉南地區所得之各類促崩降雨門檻如下： (1) Ia-D降雨門檻： $Ia=21.97D^{(-0.43)}$ ；(2) Re-D降雨門檻： $Re \times D=3780\text{mm} \times h$ ；(3) Ia-Re降雨門檻： $Ia \times Re=856\text{mm}^2/h$ ；(4) Ia-D-Qc降雨門檻： $(Ia - 1.0)D=192\text{mm}$
2	建置崩塌地動訊號近即時辨識測試平台。	是	整合本計畫及前期計畫所建立之崩塌地動訊號自動分類器，再透過自動辨識及自動定位排程的設計，建立一套崩塌振動自動判釋及定位系統。將自動判釋及定位系統加上自動寄發報告通知功能，以及經人工檢視報告後進行結果展示功能，製作成崩塌振動自動判釋測試網頁。目前崩塌振動自動判釋及展示網頁仍以歷史地動紀錄進行功能測試。未來將把2004年至2020年間所有測試崩塌訊號均呈現於展示網頁中，將有助於後續運用崩塌發生時間及地點，進行各類型崩塌警戒模式或系統開發應用。





八、計畫已獲得之主要成就與量化成果(output)

【表一】初級產出、效益及重大突破

績效指標構面：試驗研究產出構面

共通性指標項目	細項指標	預估量化值	實際量化值	效益說明	重大突破
學術著作發表	國內期刊論文	1篇	0篇	撰寫中，期待研究成果獲得國內期刊的肯定	
	國外期刊論文	1篇	0篇	撰寫中，期待研究成果獲得國外期刊的肯定	
	國內研討會論文	1篇	2篇	積極參與國內研討會發表論文	
	研究報告	1本	1本	順利如期完成研究計畫	
國內外合作研發與人才培育	研發人才培育數(碩士)	1人	3人	積極培育研發人才，壯大研發能量	

研討會論文(國內、外)				
國內/國外	文章名稱	研討會名稱	研討會年月	報告方式
國內	運用高精度空載光達地形探討 2016 年紅葉崩塌後續地形演育	中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 110 年年會暨學術研討會	110年11月	書面張貼
國內	以尤拉拉格朗日耦合分析崩塌過程：以四川新磨崩塌為例	中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 110 年年會暨學術研討會	110年11月	書面張貼

學位(碩士/博士)	姓名	專長	學校系所
碩士	王識維		
碩士	鄭德尉		
碩士	謝政麟		

研究報告					
國內/國外	專著/書籍名稱	出版機關名稱	出版年月	作者	授權金(千元)
國內	水土保持局科技補助計畫/嘉義、台南山區大規模崩塌之地動訊號監測網建置研究				

九、主要成果之價值與貢獻度

(一)、學術成就(科技基礎研究)

1. 以區域型地震網絡建立雲嘉南地區的地動訊號自動分類器，結果顯示區域型地震站有助於發現規模較小的崩塌，且能獲得較多可靠的振動源定位結果。
2. 提供土砂災害發生時間及地點資訊，作為後續促崩水文條件分析應用。
3. 崩塌發生之降雨條件的統計結果顯示，研究區內大規模崩塌多數發生於累積降雨量大於500mm、降雨延時60小時以上的降雨條件之下，綜合各項降雨基準可做為制定大規模崩塌的警戒標準之基礎。
4. 崩塌地動訊號偵測結果的呈現與資訊傳遞也是本年度計畫的工作重點之一，建置地動訊號近即時辨識測試平台，可作為未來實現近即時偵測系統之基礎。





(二)、技術創新(科技技術創新)

本團隊針對崩塌引致地表振動的研究，自一開始的人工判釋崩塌地動訊號，需要大量的人力與時間，進而運用 A I 人工智慧的機器演算法，發展出地動訊號的自動分類器。

然而因應台灣各集水區內地質、水文特性的不同，鄰近地震站的分佈與設站條件也不同，需針對各集水區開發不同的崩塌地動訊號自動辨識方法。

崩塌引致地表振動的快速辨識技術的開發，有助於未來加速土砂災害訊息的獲得及應變效率。

(三)、經濟效益(經濟產業促進)

地震觀測網測站原先並非針對大型坡地土砂災害防治所設置，因此設站位置大多不在潛在滑動邊坡周圍。但要針對大規模崩塌做更詳細研究，購買地震儀器與設站及維護等都需要大量成本。然而本計畫採用現有之地震觀測網測站，減少新設測站成本，以遠距方式辨識大規模崩塌，也可避免觀測站因災害發生時被破壞所蒙受的經濟損失。未來若可進一步提供坡地土砂事件即時警報，還可避免災害造成的社會經濟損失。

(四)、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)

本計畫已建置一崩塌訊號自動辨識測試系統，於偵測到崩塌訊號後產出事件時間、位置、振動規模等資訊，並且寄發通知報告，經由研究人員判讀後再發佈於展示網頁。雖然目前本計畫尚無直接介接地震站連續紀錄，因此崩塌振動自動判釋及展示網頁仍以歷史地動紀錄進行功能測試。未來將把2004年至2020年間所有測試崩塌訊號均呈現於展示網頁中，將有助於後續運用崩塌發生時間及地點，進行各類型崩塌警戒模式或系統開發應用。發佈更多元且快速之災害資訊，亦有助於降低災害不確定性對社會民心之影響。

(五)、其它效益(科技政策管理及其他)

本年度建置的崩塌訊號自動辨識測試系統，目前只能呈現歷史地動紀錄，但未來跨部會合作或相關計畫的配合，能直接介接地震站連續紀錄，有更多專業人員合作，將此崩塌訊號自動辨識系統逐步發展成坡地土砂事件即時警報系統，提供相關單位應變所需。

十、檢討與展望

本年度計畫及前期計畫均仰賴大量人員進行歷史地震站紀錄的人工辨識，以獲得建立機器學習自動分類器之訓練樣本。該方式雖有助於研究人員持續觀察各類型地動訊號特徵，也利於相關人員的訓練，但其缺點便是缺乏效率，且可能受到辨識人員的專業能力及主觀判斷影響。

本計畫過去均至少以兩人以上進行歷史地震站紀錄的辨識，以減少辨識人員主觀判斷產生的問題。若期望能減少人員判斷的主觀性及時效性的影響，未來建議能開始採用深度學習技術，進行地動訊號的自動分群，再以分群結果分辨地動訊號種類，便能大幅減少人工辨識的需求。





十一、後續工作構想之重點

- (一) 本年度計畫針對嘉義台南山區大規模崩塌之地動訊號建置監測網，未來將持續針對各不同集水區進行該區大規模崩塌地動訊號監測網之建置、地動訊號自動分類器之建立，以及促崩雨量門檻值研究。
- (二) 目前本年度計畫所建置之偵測系統與展示網頁仍著重於建立訊號偵測及定位執行流程與基本結果的展示，並以歷史地動紀錄進行測試。未來應可持續進行偵測系統與展示網頁的升級，並且與水土保持局運作中之各類網站進行跨平台整合。

十二、其他補充資料

(一)、跨部會協調或與相關計畫之配合

本計畫研究資料包含地震紀錄及雨量資料。

1. 地震紀錄來源為中央研究院BATS網站，及中央氣象局地球物理資料管理系統。
2. 雨量資料來源為中央氣象局觀測資料查詢系統。

(二)、其他補充說明

十三、附表

(一) 資訊(軟體)產出明細表：

軟體類別	軟體名稱(含廠牌)	單價/月租金	數量/月
	電腦及資訊設備維護(未添購設備)	10,000	1
系統軟體	資料庫建置(未添購設備)	6,000	12
系統軟體	資料處理費(未添購設備)	10,000	1

以下欄位請於期末評核(審查)後，由主辦專家至系統考評作業填寫列印，並請單位主管簽章。

主辦專家簽章

單位主管簽章





-附錄-

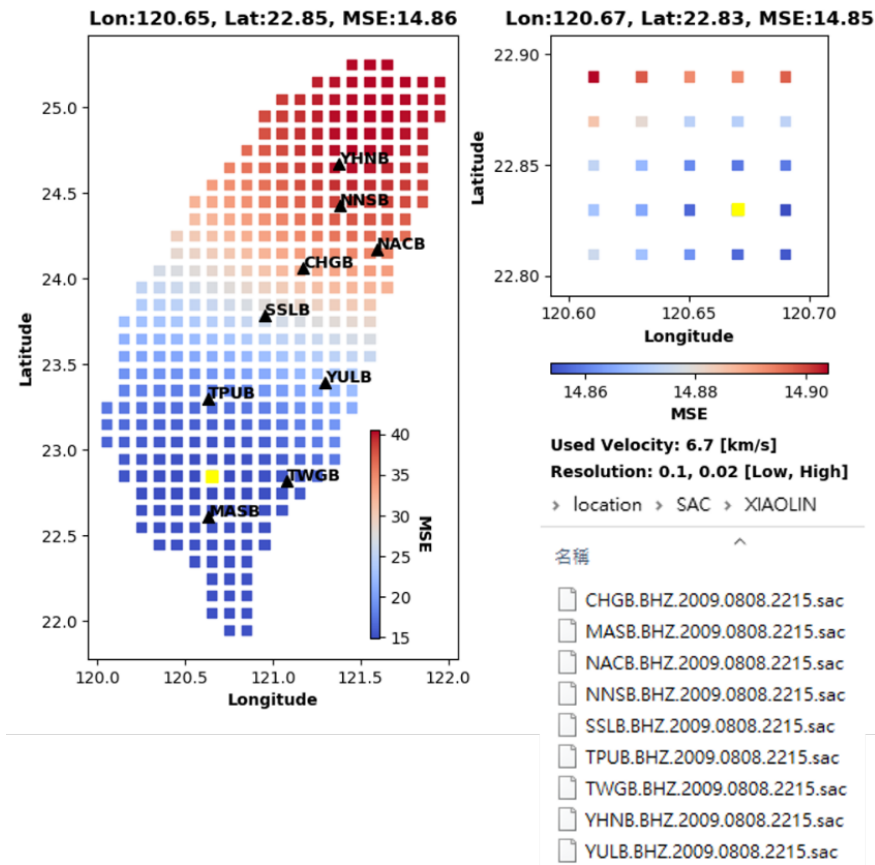


圖 1 以明確已知崩塌地點之地動訊號進行振動源定位測試結果

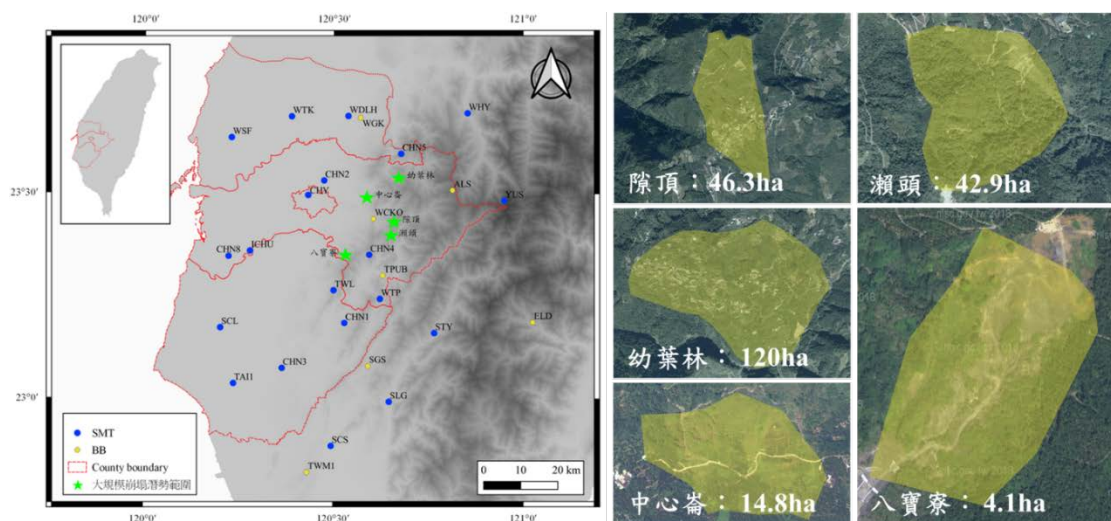


圖 2 雲嘉南地區高潛勢大規模崩塌優先辦理分布



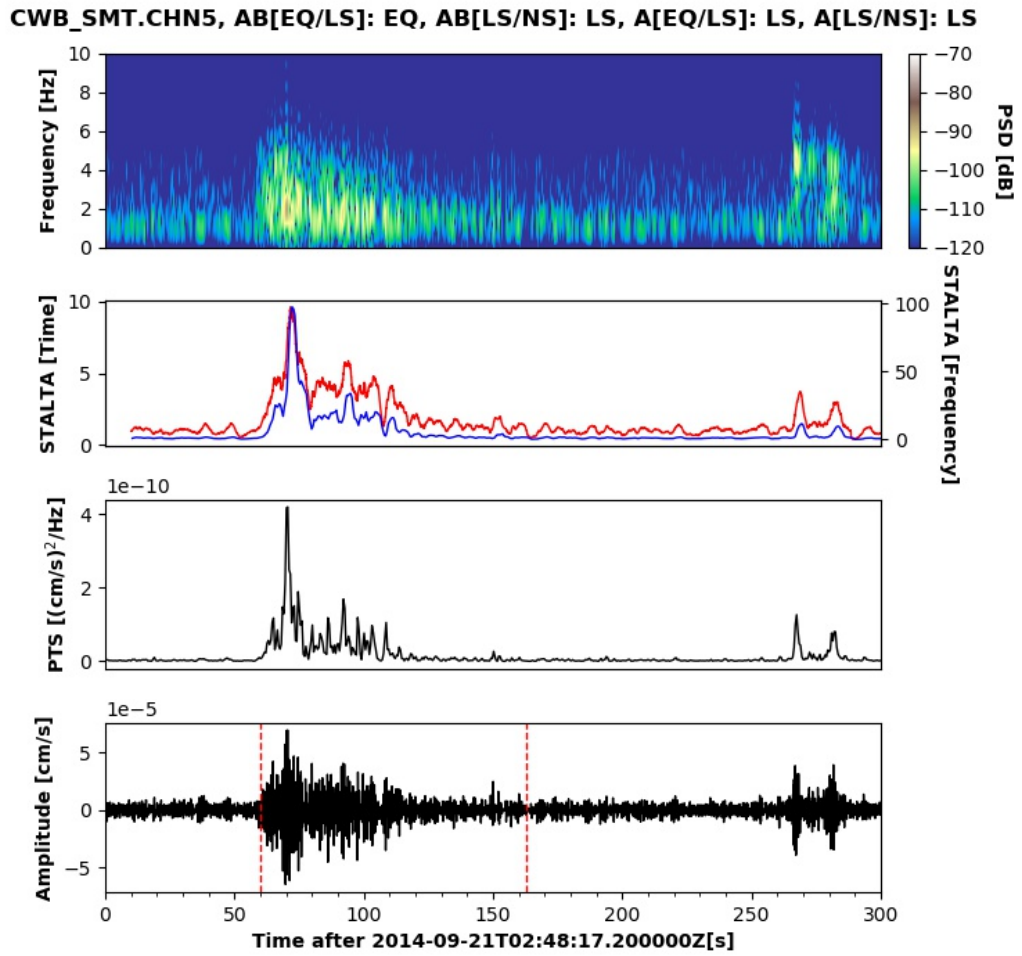


圖 3 從 CNH5 地震站紀錄中成功分類之 2014 年崩塌訊號



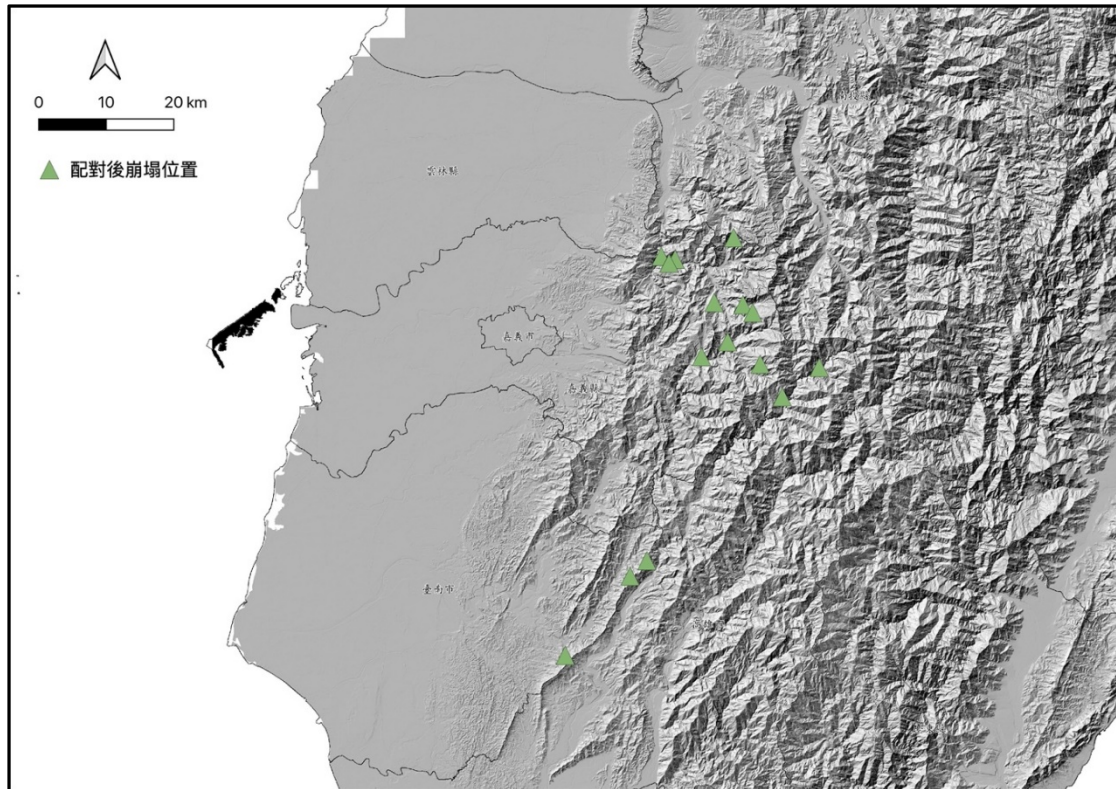


圖 4 經定位及配對後，位於雲嘉南山區的 16 處崩塌分布圖

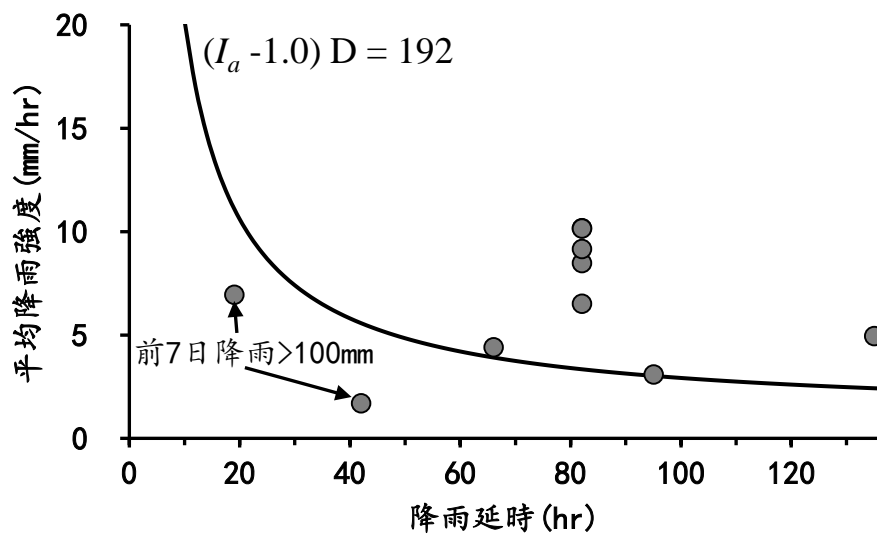


圖 5 平均降雨強度及降雨延時與臨界水量關係圖



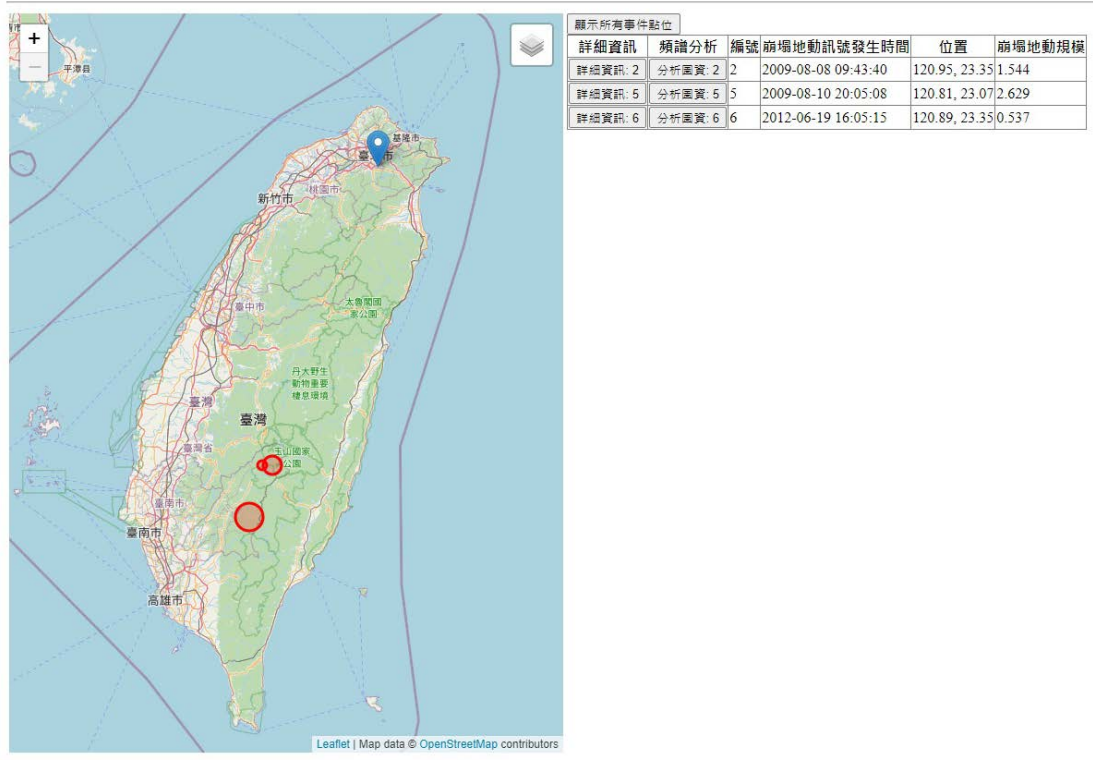


圖 6 崩塌振動自動判釋測試網頁

