

計畫編號：109 保發-11.1-保-01-06-001(21)

近即時震波式同震山崩潛感圖
Near real-time seismological susceptibility
map of coseismic landslide
(期末報告)

執 行 單 位：國立交通大學

執 行 期 間：109 年 02 月 06 日至 109 年 12 月 31 日

計畫主持人：趙韋安 助理教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 109 年 11 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)

近即時震波式同震山崩潛感圖

摘要

臺灣島位於地質構造活躍區，不乏地震災害紀錄，島內山地面積占有三分之二，大規模地震誘發山崩常形成天然壩，造成高風險、高衝擊之二次災害，且災害影響範圍甚大。臺灣地質分區之西部麓山帶包含砂岩與砂頁互層為主之順向坡，屬於有利於發生同震誘發平面型破壞之區域，故地震誘發之平面型破壞實為臺灣防災領域重要課題。本計畫建置潛在平面型破壞之山崩目錄與 Newmark 輸入參數檔，利用速度位移相依摩擦律之 Newmark 位移分析與氣象局即時地動加速度站，計算潛在平面型破壞之位移；並以集集地震誘發之草嶺與九份二山案例測試，並歸納測試結果設定 PGA 門檻、測站距山崩之距離與特定滑移量作為自動化程序執行的重要判斷準則之依據。此外，再以 2013 年兩起南投地震之同震山崩案例測試，探討分析程序之結果。當前述階段分析結果符合依據判斷可能發生同震平面型破壞後，進入地動訊號分析階段，首先藉由震源輻射能量(R^{SV})定性斷層錯動對於該測站影響程度大小，再者考慮地動訊號分析評估出山崩地動訊號之時間窗口，並透過窗口內的山崩地動訊號進行震波追跡法(amplitude tracking method, ATM)決定山崩運動方向，篩選出高潛勢同震平面型破壞。綜合上述成果，成功開發近即時 Newmark-ICOL 自動化分析程

序，規劃近即時同震山崩潛感圖資訊展示網頁平台 CSS-Web，且預計明年度取得氣象局即時強震站之連續資料。未來預計蒐集同震山崩之案例進行離線測試，以提升系統運作之可行性並提供更加可信的資料分析成果；另針對一高潛勢與高活動性之瑞穗鄉舞鶴崩塌地，於場址現場裝設地動加速度計，收集滑動體邊坡之加速度數據與其他地表、地中監測數據進行比較分析與深入探討。

關鍵詞：同震平面型破壞、速度位移相依摩擦律之 Newmark 位移法、震波追跡法(amplitude tracking method, ATM)、近即時 Newmark-ICOL 自動化分析程序

Near real-time seismological susceptibility map of coseismic landslide

Abstract

Taiwan located at active tectonic area resulting with high seismicity and earthquake-related disasters. Moreover, high relief mountainous area blanket two-thirds of Taiwan island. Large-scale coseismic landslides usually induced natural dam which could induce secondary disaster. The resident, village, road, and important artificial structures are threatened by aforementioned geological hazards, causing high social impact due to their wide affected region, especially in the western Taiwan. The western Foothills in Taiwan consists of dip slope landform by sedimentary rocks with bedding planes, which is apt to occur coseismic planar failures. This project adopts LiDAR (Light Detection And Ranging) DEM (Digital Elevation Model) of Taiwan and literature review to establish the landslide inventory of potential large-scale planar failure and input parameters for the Newmark displacement analysis incorporating the velocity-displacement dependent friction law. The historical coseismic (large-scale) planar failures are used to exam the feasibility of Newmark analysis and the results were summarised. The specific thresholds of peak ground acceleration (PGA), the distance between the seismic station and coseismic landslide (Δ), and the specific permanent displacements are applied to test the best criteria, for a purpose of developing the fully automatic procedure. Besides, the coseismic failures of the 2013 Nantou earthquake are further used to verify our proposed thresholds. If the results of the Newmark analysis satisfied the judgement criteria of coseismic planar failure, the

identification of coseismic landslide seismic signal (ICOL) analysis would be triggered. Firstly, a threshold of the absolute seismic radiation energy (R^{SV}) of 0.15 is used to select the seismic station with the relatively low influence of earthquake faulting. Based on the theoretical travel-time table of seismic wave, the time window of landslide-induced seismic signal could be determined. We further compute the seismic amplitude ratio within the specific time window, which is to be an input data for the amplitude tracking method (ATM). Finally, the location of coseismic landslide can be mapped by minimising the difference between ATM-inferred sliding direction and aspect of target slope. Since the near-real-time Newmark-ICOL automatic procedure is tested successfully and the plan of near-real-time CoSeismic Susceptibility map - Webpage display system (CSS-Web) is planned. In the next year, a real-time datasever of strong motion records, maintained by the Central Weather Bureau would be established for conducting the Newmark-ICOL scheme. In addition, the offline testing will be conducted by the collected coseismic landslides to better understanding the feasibility of system operation and then provide more credible information. To advance in understanding the seismic response on slope, a large-scale landslide site at Wuhe, Ruisui with high potential and activity is selected. We installed the strong-motion stations, which are co-located with borehole instruments (such as underground water level) and GPS stations. Wuhe landslide site not only provide valuable observations but also can be possible case of coseismic landslide to verify our Newmark-ICOL analysis.

Keywords: Coseismic planar failure, Newmark displacement analysis

with velocity-displacement dependent friction law, amplitude tracking method, near-real-time Newmark-ICOL automating procedure.

目次

摘要.....	I
Abstract.....	III
目次.....	VI
表次.....	VII
圖次.....	VIII
第一章 緒論	1-1
第一節 計畫目標	1-3
第二節 方法介紹	1-4
第二章 期末成果	2-1
第一節 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄	2-1
第二節 速度位移相依摩擦律參數資料彙整	2-7
第三節 近即時 Newmark 分析方法建立與測試	2-10
第四節 同震山崩地動訊號分析方法(ICOL)測試	2-22
第五節 近即時 Newmark-ICOL 分析程序建置	2-26
第六節 近即時 Newmark-ICOL 程序離線測試	2-29
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 計畫甘特圖	3-1
第二節 計畫交付項目	3-2
第四章 結論及建議	4-1
第一節 結論	4-1

第二節 建議	4-3
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附-1
附錄一、計畫書審查意見暨回覆辦理情形	
附錄二、期初審查意見暨回覆辦理情形	
附錄三、期中審查意見暨回覆辦理情形	
附錄四、邊坡岩性、地形與重要力學參數	

表次

表 2-1 九份二山案例之 NEWMARK 分析結果.....	2-19
表 3-1 計畫重要檢核點管制表	3-3
表 4-1 舞鶴崩塌地之地動加速度計位置說明表	4-6
表附 3-1 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(砂岩與砂頁互層)附	3-1
表附 3-2 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(頁岩與硬頁岩)...	附 3-7
表附 3-3 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(板岩).....	附 3-10
表附 3-4 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(變質砂岩、片岩)附	3-19
表附 3-5 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(礫岩、大理岩). 附	3-20
表附 3-6 速度位移相依摩擦律參數資料	附 3-21

圖次

圖 1-1	NEWMARK-ICOL 分析流程圖	1-5
圖 1-2	ICOL 分析流程圖	1-7
圖 1-3	TSMIP 及 PALERT 測站分布圖	1-9
圖 2-1	潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(所有岩性).....	2-3
圖 2-2	潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(砂岩與砂頁互層為主)	2-4
圖 2-3	潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(頁岩與硬頁岩為主)....	2-5
圖 2-4	潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(板岩為主).....	2-6
圖 2-5	穩態摩擦係數與滑移速度之試驗數據與回歸曲線.....	2-8
圖 2-6	(A)尖峰摩擦係數與(B)滑移弱化距離與正向應力之關係	2-8
圖 2-7	草嶺山崩滑動帶所建立之摩擦律與試驗數據.....	2-9
圖 2-8	1999 年集集地震山崩目錄.....	2-13
圖 2-9	1999 年集集地震山崩目錄(崩塌面積大於 10 公頃).....	2-14
圖 2-10	臺灣中部地區山崩目錄與地震測站分布(大規模平面型破壞 案例：草嶺、九份二山).....	2-15
圖 2-11	草嶺案例與鄰近地震站(強地動站：CHY028、CHY080、 CHY074).....	2-16
圖 2-12	九份二山案例與鄰近地震站(強地動站：TCU071、TCU072、 TCU074、TCU078、TCU079、TCU084、TCU089).....	2-17
圖 2-13	草嶺案例之 NEWMARK 分析結果.....	2-18
圖 2-14	九份二山案例崩塌後地形之 NEWMARK 分析結果.....	2-19
圖 2-15	03 月 27 日南投地震之 PGA 分布圖	2-20
圖 2-16	06 月 02 日南投地震之 PGA 分布圖與 NEWMARK 分析結果	2-21
圖 2-17	草嶺案例之 ICOL 分析成果	2-24

圖 2-18	測站 CHY080 時頻圖與草嶺事件對應之地動訊號窗口 ..	2-25
圖 2-19	滑移角度網格搜尋成果	2-25
圖 2-20	測站震源輻射能量分布情形	2-26
圖 2-21	即時強震站與目標邊坡分布圖	2-28
圖 2-22	近即時 NEWMARK-ICOL 分析程序	2-28
圖 2-23	離線測試之測站與目標邊坡分布圖	2-30
圖 2-24	不同坡角對應之 D10 與 NEWMARK 分析成果案例	2-31
圖 3-1	計畫甘特圖	3-1
圖 4-1	歷史中大規模地震之分布情形	4-5
圖 4-2	舞鶴崩塌地之地動加速度計佈置圖	4-6

第一章 緒論

地震誘發大規模崩塌具有大量體與快速位移之特性，並於山區發生時由於堆積體積巨大且容易形成天然壩，對於山區居民生命財產安全具有嚴重威脅。臺灣在地體構造上處於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊之聚合隱沒帶，有相當高的地殼抬升速度及地震活動，根據 2012 年版活動斷層分布圖中島內包括地表斷層長度超過 5 公里的斷層共 33 條。深部的板塊運動與淺部的斷層錯動所產生之地表地動加速度，皆對於山坡地穩定為一重大威脅。臺灣亦因位處於西太平洋中低緯度之地理位置，氣候條件為高年平均降雨量與頻繁的颱風侵襲，使得地形侵蝕旺盛而有高陡坡與蝕溝遍布的現象。如此極端的氣候環境，將以持續性和突發性的作用造成臺灣的山崩災害，其中順向坡與高陡坡等皆為潛在崩塌區域，其影響範圍可能包含山坡地開發、居住、道路與重要設施的保全對象。

臺灣的地震誘發山崩歷史災害，最為有名的為 1999 年集集大地震所誘發的草嶺山崩與九份二山山崩，兩案例皆為順向坡地形的平面型破壞，崩積量體分別高達 125 Mm^3 和 36 Mm^3 ($1\text{M}=10^6$)，不僅有大量土砂運移，並且皆形成堰塞湖威脅上下游區民之生命財產安全 (Hung, 2000; Shou and Wang, 2003)。由文獻所述，草嶺崩塌地共有三次地震和兩次降雨觸發之平面型破壞，其中地震誘發事件皆有較大的滑動量體運移(李錫堤，2011)。除了草嶺與九份二山之外，集集地震誘發了 9272 個山崩，其中九九峰與中橫谷關至德基段發生密集的崩塌事件，可見地震所誘發的山崩為臺灣山崩災害不可忽視的課題。Yang et al. (2014) 研究集集地震誘發草嶺山崩之運動分析，藉由剪動

帶材料的旋剪實驗建立速度-位移摩擦律，並結合 Newmark 位移法重現草嶺平面型破壞受地震力啟動、加速、滑移、撞擊河谷的過程，說明透過地震站所蒐集的地動加速度配合掌握剪動材料之摩擦行為，能夠作為評估大規模平面型破壞啟動和運移分析的方法。

過去文獻研究成果顯示山崩事件發生時產生之地表震動訊號將有幫助於了解其滑動機制與特性(Brodsky et al., 2003; Chao et al., 2016; Yamada et al., 2013)。Lin et al. (2010)為首次利用臺灣寬頻地震網(Broadband Array in Taiwan for Seismology, BATS)研究小林村山崩事件之長週期(10-120 秒)地動訊號，探討山崩事件之動態滑移過程。Chen et al. (2013)則持續利用 BATS 網紀錄自動辨識 12 起大規模崩塌事件，並建立震波參數與崩塌事件大小之關係式。自 2015 年，臺灣即時山崩監測系統(real-time landslide monitoring system, RLMS)已正式運作，該系統透過自動化程序約於事件發生後 7 分鐘，決定事件發生位置、大小及判斷是否形成堰塞湖。詳見系統作業之即時網頁平台展示(C o L L a b ;<http://collab.cv.nctu.edu.tw/main.html>)。然而，上述震波式監測技術將不適用於同震山崩。以小林村事件為例，Chao et al. (2017)研究指出，小林村事件對應之地震規模為 3.4。一般具有同震山崩災害的地震事件規模如集集地震為 $M_L=7.3$ ，地震事件產生的地動訊號能量將會覆蓋掉同震山崩造成的震動訊號。因此，如何有效的辨識同震山崩之地動訊號將是利用震波式技術研究同震山崩的重要課題。

以地質條件與地震分布，具有原生弱面-層面之西部麓山帶沉積岩地區與褶皺逆衝帶地體構造的逆斷層活動影響範圍，為受到地震誘發平面型破壞威脅的區域。而臺灣目前已有全島光達數值高程模型以

及密集的即時地震觀測網，倘若能在地震發生後快速評估潛在大規模平面型破壞發生的可能性，便可近即時發布同震山崩潛感圖。此外，地震發生同時由地動訊號自動分析系統進行判釋並提供地震誘發山崩資訊，用以提供災害位置、量體與堰塞湖形成與否之評估，將可以有效降低災害風險與生命財產損失。本計畫預計利用臺灣強地動觀測網(Taiwan Strong-Motion Instrument Program, TSMIP)取得地動加速度、以光達產製數位高程模型獲得地形資訊與透過文獻蒐集剪動材料強度。以特定歷史大地震為例，針對潛在大規模崩塌區之 TSMIP 地動加速度紀錄模擬近即時同震山崩位移，透過特定門檻值辨識鄰近 TSMIP 測站是否具有同震山崩事件；進一步，透過本計畫開發的震波式同震山崩分析地動訊號方法，判斷潛在大規模崩塌可能發生位置與其相關資訊，彙整並提供同震山崩潛感圖。最終，建置近即時同震山崩資訊平台，並將每次事件匯入歷史紀錄，長期記錄潛在大規模崩塌潛勢區累積位移，提供防減災策略作為參考。

第一節 計畫目標

本計畫主要配合 109 年度水土保持局創新研究計畫要求之「軟體防災對策」領域，期能以臺灣研究區域為案例，預計於中大規模(芮氏規模大於 6.0)之島內地震發生後數分鐘，蒐集 TSMIP 地動加速度紀錄(目前其中有 109 站為即時測站)，藉由速度-位移摩擦律結合 Newmark 分析，提供可能發生同震山崩的潛勢區域；並透過震波式同震山崩訊號分析方法自動取得山崩事件發生之位置及滑動方向。最終，繪製同震山崩潛感圖並綜合研判以利於後續相關災害之防減災等應變工作進行。進而作為國內相關單位災前防患整備、災中預警應變、

災後機制調查之參考準則。本創新研究計畫預期達成之總體目標如下：

- 一、製作具平面型破壞之潛在大規模山崩目錄，建立同震位移分析所需參數資料庫，包含地形因子與地質材料摩擦特性，並繪製沿可能滑動方向之地形剖面；
- 二、建立近即時Newmark位移分析方法，並利用歷史事件之分析結果作為方法檢驗，探討山區即時地震站監測具平面型破壞之潛在大規模山崩之合適程度；
- 三、開發震波式同震山崩之分析方法流程與案例分析，獲得同震山崩位置及移動方向等相關資訊；
- 四、整合近即時Newmark位移分析方法與震波式同震山崩監測系統，建置近即時(同震山崩資訊)震波資料平台，快速發布分析資訊，加速未來因應相關災害之減災與應變作業。

第二節 方法介紹

一、地震誘發平面型破壞之運動分析 (Newmark Analysis)

計畫預計蒐集已公開之歷史山崩目錄、順向坡目錄、山崩與地滑地質敏感區、地層位態、地質構造與地質圖等圖層，初步篩選具有潛在平面型破壞條件的山坡地，藉由光達數值高程地形取得地形因子與判釋地形特徵，決定進行計算同震位移之平面型破壞之大規模山崩目錄。建置平面型破壞之大規模山崩目錄後，分析其可能滑動面之傾向、傾角與摩擦特性，當地震發生時TSMIP 地震站記錄之地動加速度輸入考慮速度-位移相依摩擦律之 Newmark 位移分析，獲得可能滑動塊體隨地震歷時之加速度、

速度、位移。透過數值高程模型所得之地形剖面，可用於簡易評估平面型破壞發生長距快速滑動後可能的運動過程，程序流程圖彙整如圖 1-1。

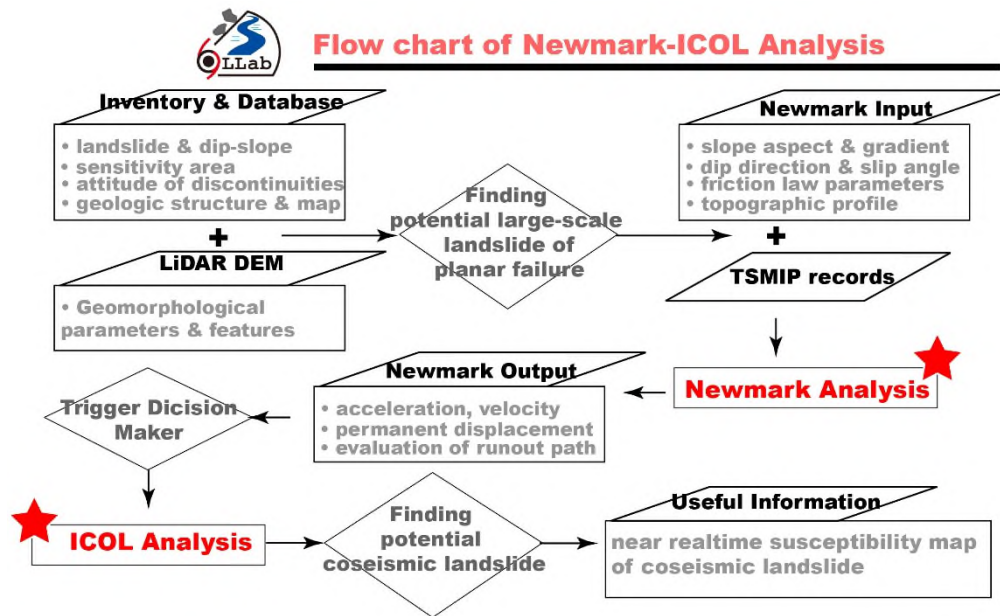


圖 1-1 Newmark-ICOL 分析流程圖

二、同震山崩地動訊號分析方法 (ICOL)

本計畫申請人過去開發廣泛震源反演程序(General Source Inversion, GSI; Brown et al., 2015; Chao et al., 2011; Chao et al., 2016)將全地震矩張量(full moment tensor)分解為五個基礎斷層面解、爆炸源及三分量(東西、南北、垂直)的單點作用力源。因此，GSI 程序將可以有效模擬斷層錯動(地震)與崩塌滑動(單點作用力)的合成理論震波訊號。對於判斷地動訊號的震源類型是相當重要的分析工具。本計畫將同震山崩地動訊號分析方法分成主要三大步驟：(a) 當地震發生後數分鐘，中研院地球所 RMT 系統 (<http://rmt.earth.sinica.edu.tw/>) 與臺灣地震中心 TEC 系統

(<http://tecdc.earth.sinica.edu.tw/FM/>)可提供相關地震參數，例如地震位置、規模大小、斷層面解(走向、傾角、滑移角)。透過上述地震參數可以快速計算各 TSMIP 測站對於體波之震源輻射能量大小(seismic radiation pattern, R)，本計畫將利用剪力波的震源輻射能量(R^{SV})定性斷層錯動對於該測站影響程度大小、(b) 上述程序可提供受地震力影響相對小的測站，並透過 Newmark 分析法篩選高潛勢的山崩位置，進行地震及山崩合成理論震波模擬。模擬震波訊號可以提供理論 P 波及 S 波到達各測站走時時間、理論地震地動訊號的最大訊號值與 P 波之時間差(ΔT_E)、理論山崩地動訊號的最大值與 P 波之時間差(ΔT_L)。實際地震發生時，在各測站觀測地動訊號中應可清楚判斷 P 波初達位置，並且透過假設地震造成的最大地動振幅值之時間點為觸發山崩時間(T_{L0} ；注意此時間點可以依經驗進行動態調整)，根據 T_{L0} ；時間加上 ΔT_L 即為理論山崩訊號最大值出現的時間位置。透過該程序配合訊號時頻分析成果，可以評估各測站可能的山崩地動訊號之時間窗口範圍、(c) 透過窗口內的山崩訊號進行震波追跡法(amplitude tracking method, ATM; 吳奕翰, 2019)分析。ATM 分析法主要透過移動式時間窗口之水平向最大振幅比(radial-to-transverse ratio, RTR)，透過測站-事件位置方位角與 RTR 的比值分佈特性，決定崩塌事件滑動方向。若此滑動方向與高潛勢山崩事件位置的判釋之滑動方向呈現一致時，則判斷該山崩為同震觸發事件。詳細步驟彙整於圖 1-2。

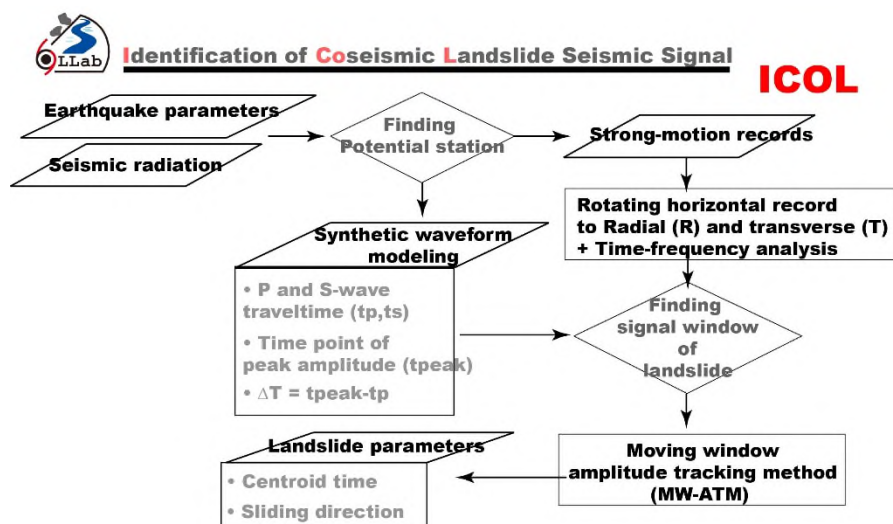


圖 1-2 ICOL 分析流程圖

三、近即時同震山崩潛感圖資訊展示網頁平台 (CSS-Web)

本計畫預計透過先進技術整合分析法 Newmark-ICOL，目標於中大規模($M_L > 6.0$)地震發生後數分鐘提供近即時同震山崩潛感圖，成果導向以網頁平台界面進行資訊揭露，本計畫稱該系統平台為 (CoSeismic Susceptibility map-Webpage display system; CSS-Web)。由於本計畫目的為進行近即時的提供同震山崩事件點位，因此，本計畫的關鍵輸入資料之一為即時地表地動加速度資料。依中央氣象局 TSMIP 觀測網雖分佈範圍廣泛，但是，目前只有約 100 部測站具有即時資料傳輸功能。近年來，臺灣大學吳逸民教授研究團隊已於臺灣地區架設 700 多部微機電地動感震器，該系統稱為 Palert，具有資料即時傳輸功能。計畫申請人趙韋安教授團隊由於開發全臺即時崩塌監測系統計畫，目前已將 Palert 觀測網的資料即時備份於交通大學土木系地表地動

侵蝕研究室(CoLLab,<http://collab.cv.nctu.edu.tw:main.html>)，詳細測站分佈如圖 1-3。計畫研究內容中的歷史地震事件將使用 TSMIP 資料進行測試及修正 Newmark-ICOL 方法；2012 年後的地震事件，將可以透過 TSMIP 及 Palert 系統提供的震波資料，進行系統性交叉檢驗。計畫研究範圍將應用於全臺特定山區，區域應為潛在平面型破壞區域及順向坡(沈積岩之層理、板岩之劈理或平整且延續性極佳之不連續面)並具有見光(daylight)之可能。以集集地震同震山崩目錄為例，數目多、分布廣。然而，現有地質圖中並非所有同震山崩鄰近區域皆有位態記錄，且並非所有山區皆有含位態紀錄及可參考地質圖。因此，計畫執行中分析此類之歷史山崩目錄時，若同時有保全對象或其他值得探討之原因(例如可辨識之破壞特徵)，則列為特定崩塌區，在經費預算允許的範圍內，進一步於計畫執行期間進行補充地質調查工作。若透過地質、地形特徵判釋特定高潛勢崩塌區，且屬易受到地震活動度影響坡地穩定性，本計畫預計更進一步在經費允許的範圍下，將進行場址現地調查，其中調查工作項目將包含微地動訊號分析、Campaign GPS 測量、空拍機擷取空間資訊等。

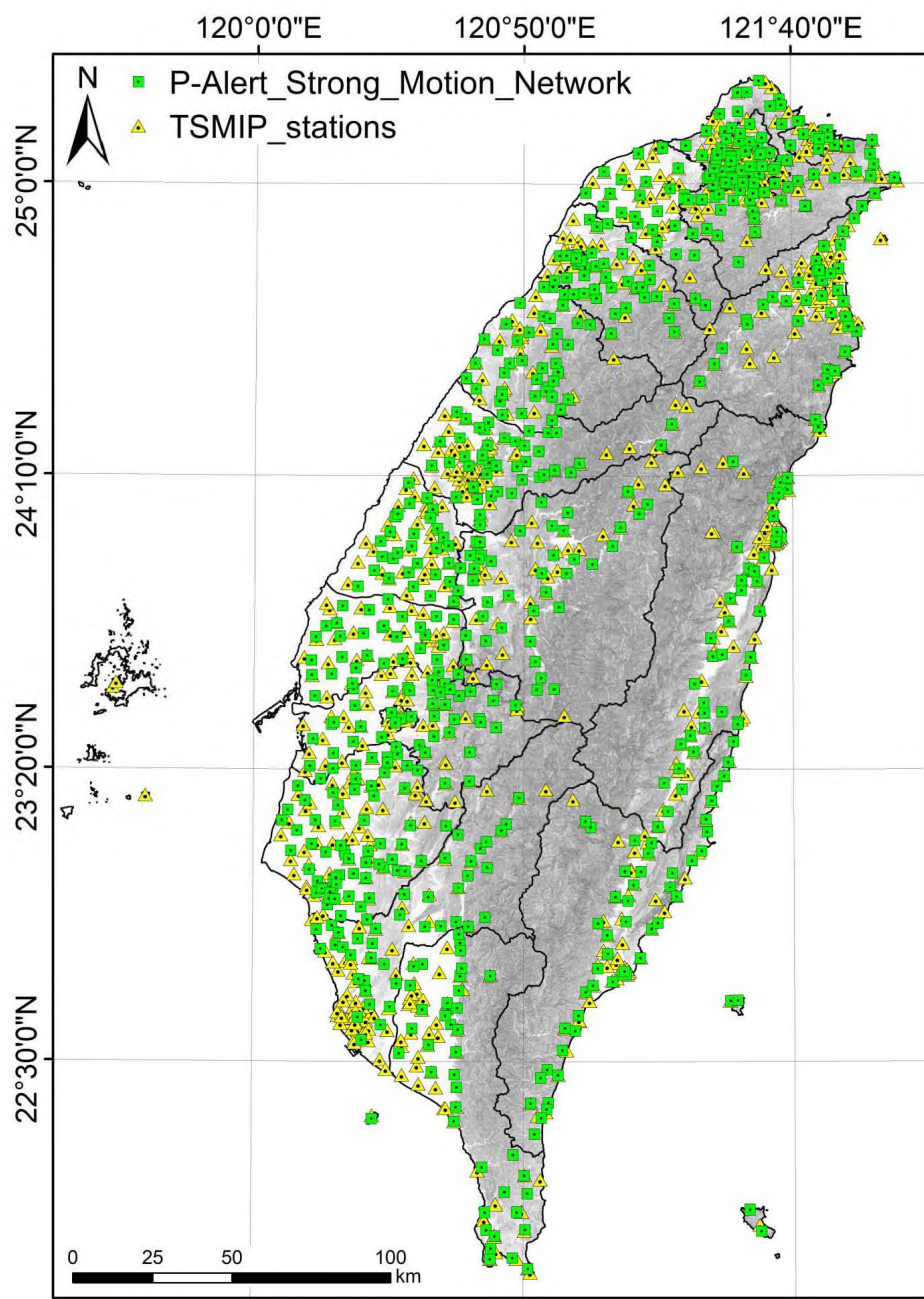


圖 1-3 TSMIP 及 Palert 測站分布圖

第二章 期末成果

第一節 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄

一、範圍、坡度、坡向、岩性與不連續面位態

本計畫蒐集已公開之歷史山崩目錄、順向坡目錄、山崩與地滑地質敏感區、地層位態、地質構造與地質圖等圖層，初步篩選具有潛在平面型破壞條件的山坡地，藉由光達數值高程地形取得地形因子與判釋地形特徵，決定進行計算同震位移之平面型破壞之大規模山崩目錄。以下利用潛在大規模崩塌(Potential Large-Scale Landslide Area, PLSLA)目錄(林務局，2018)與順向坡目錄交集，再篩選面積超過 10 公頃之目錄，獲得初步潛在大規模平面型破壞之山崩目錄共有 539 個(圖 2-1)，藉由潛在大規模崩塌目錄中岩性欄位進行分類，分別為(1)砂岩與砂頁互層共 175 個(圖 2-2)、(2)頁岩與硬頁岩共 68 個(圖 2-3)、(3)板岩共 264 個(圖 2-4)、(4)變質砂岩與片岩共 28 個、以及(5)礫岩、大理岩共 4 個。此外，亦提供平均坡度、平均坡向(八等分法)、不連續面之傾向與傾角、面積、以及所屬大規模崩塌編號，詳細目錄資訊見附錄三。

由歷史崩塌與大規模平面破壞案例紀錄得知沉積岩地區較易發生平面型破壞，其中又以存在厚層砂岩與砂頁互層為主的順向坡，為多數歷史災害案例的主要岩性，故後續分析時應以砂岩與砂頁互層目錄為主。

砂岩與砂頁互層分類中坡面平均坡度為 17 度至 43 度，主要分布於嘉義縣、臺中市、高雄市以及南投縣。其中又以嘉義縣-阿

里山鄉-D187 與其鄰近順向坡，以及高雄市-甲仙區-D047 和鄰近區域之旗山溪右岸順向坡，因有較明顯深層破壞地形特徵且有重要保全對象而值得關注。

頁岩與硬頁岩分類中坡面平均坡度為 21 度至 42 度，主要分布於屏東縣、高雄市、桃園市以及新竹縣。其中又以高雄市-甲仙區-D044 和鄰近區域之旗山溪右岸順向坡，因有較明顯深層破壞地形特徵且有重要保全對象而值得關注。

板岩分類中坡面平均坡度為 22 度至 42 度，主要分布於南投縣、臺中市、花蓮縣以及高雄市。由於板岩地區發生大規模平面型破壞的案例幾乎沒有，故將持續蒐集相關案例進行評估。變質砂岩、片岩、礫岩、大理岩中坡面平均坡度為 22 度至 42 度，主要分布於南投縣、宜蘭縣、花蓮縣以及高雄市。此四種岩性為主也未有發生大規模平面型破壞的案例，故將持續蒐集相關案例進行評估。

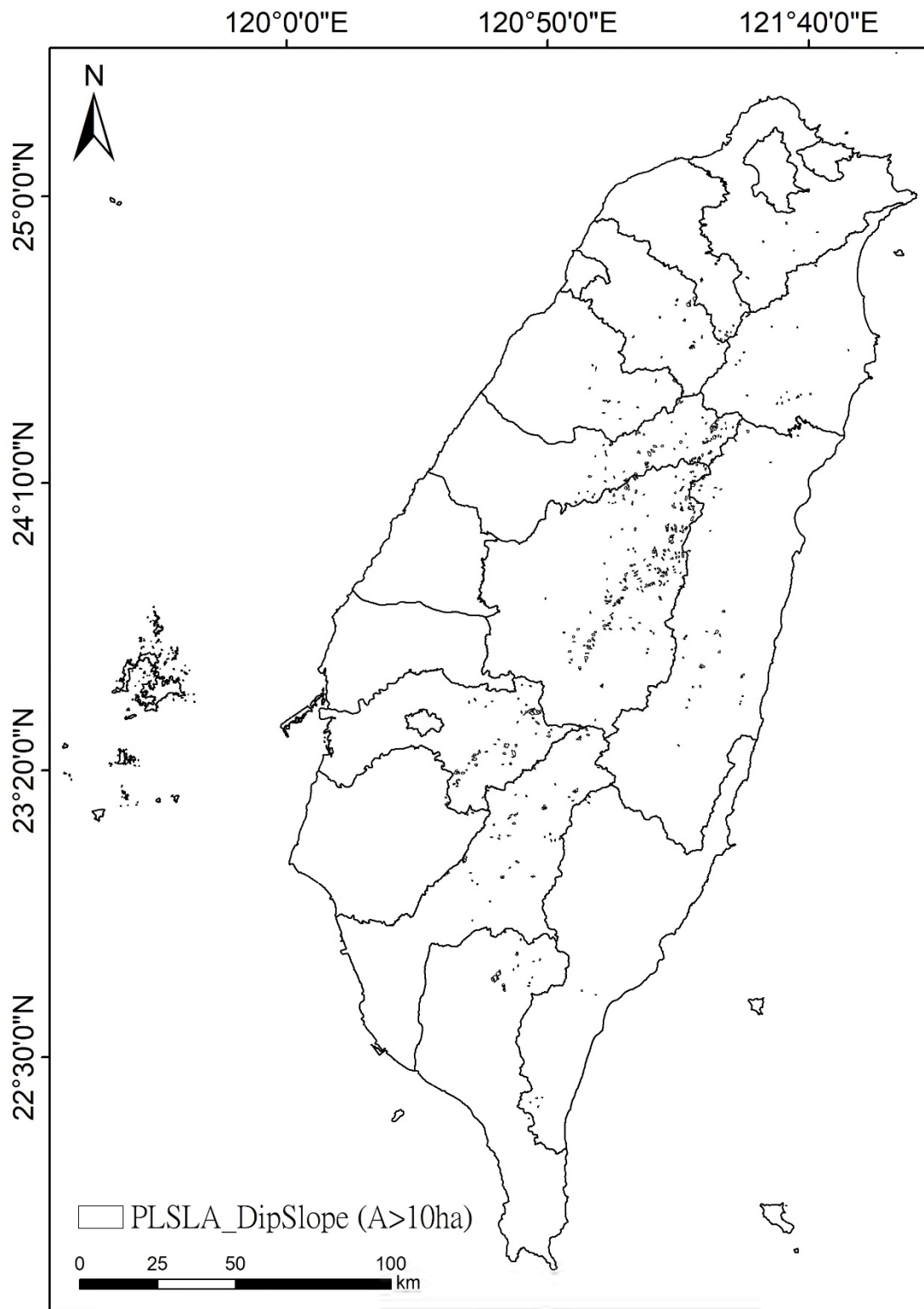


圖 2-1 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(所有岩性)

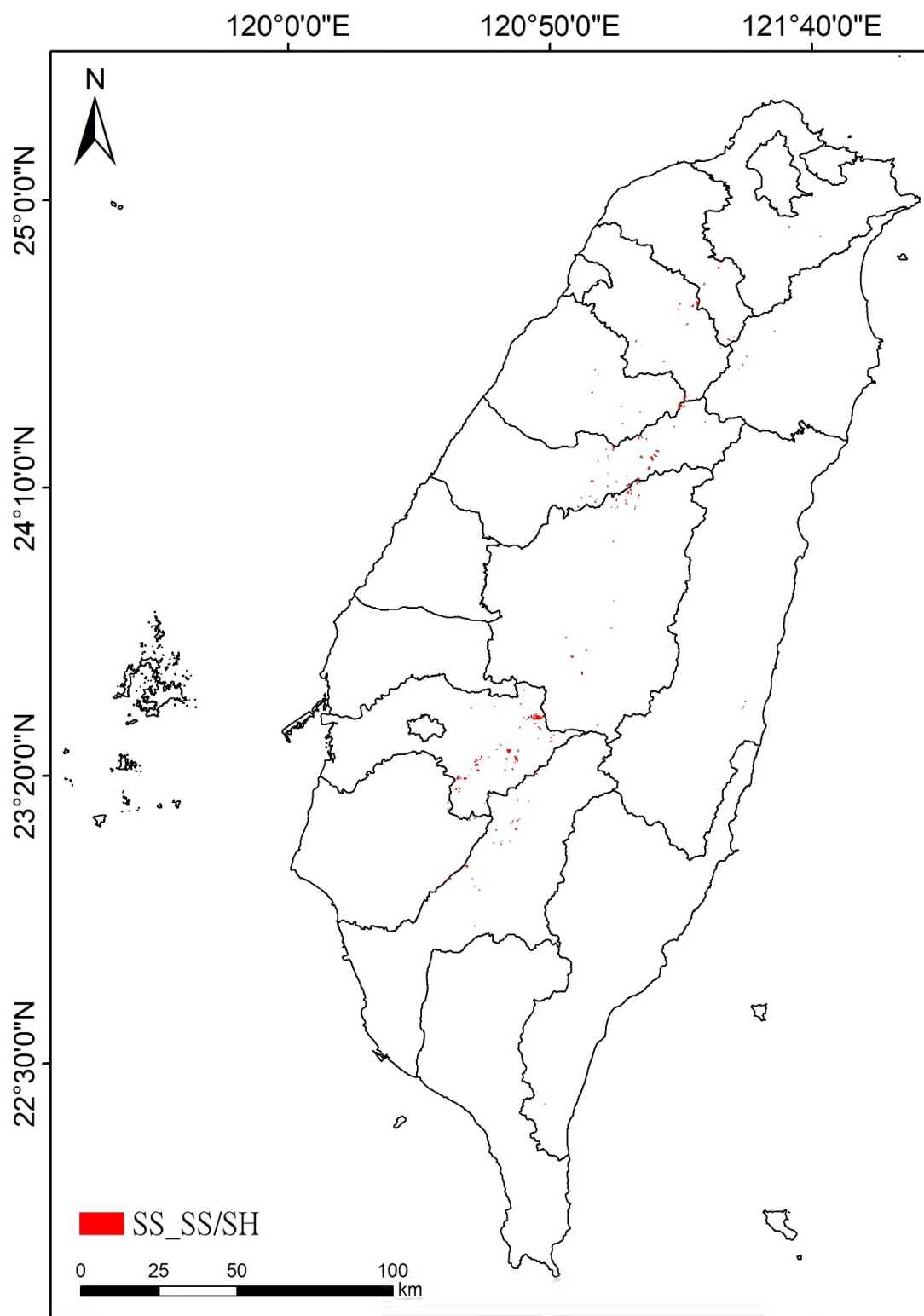


圖 2-2 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(砂岩與砂頁互層為主)

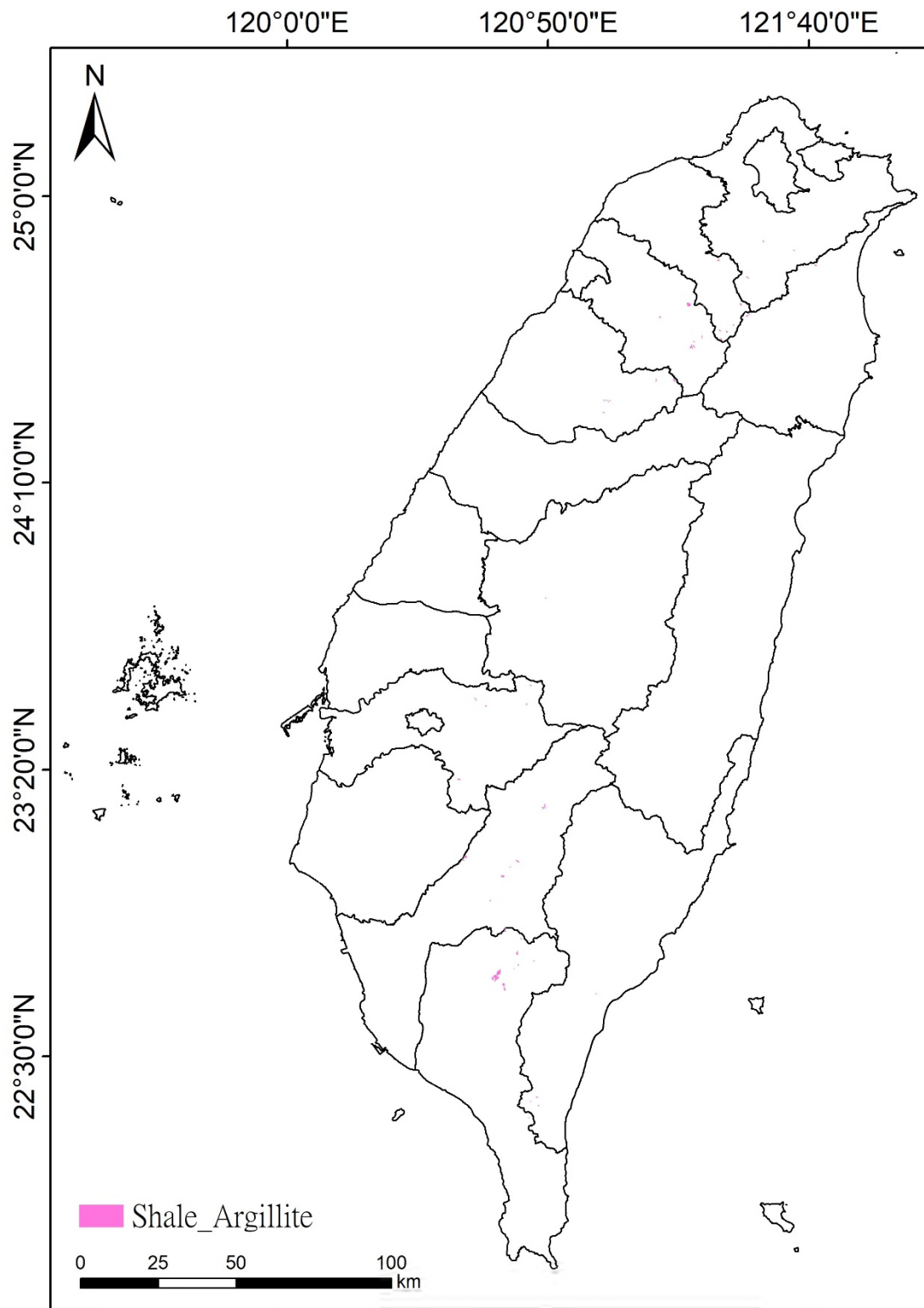


圖 2-3 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(頁岩與硬頁岩為主)

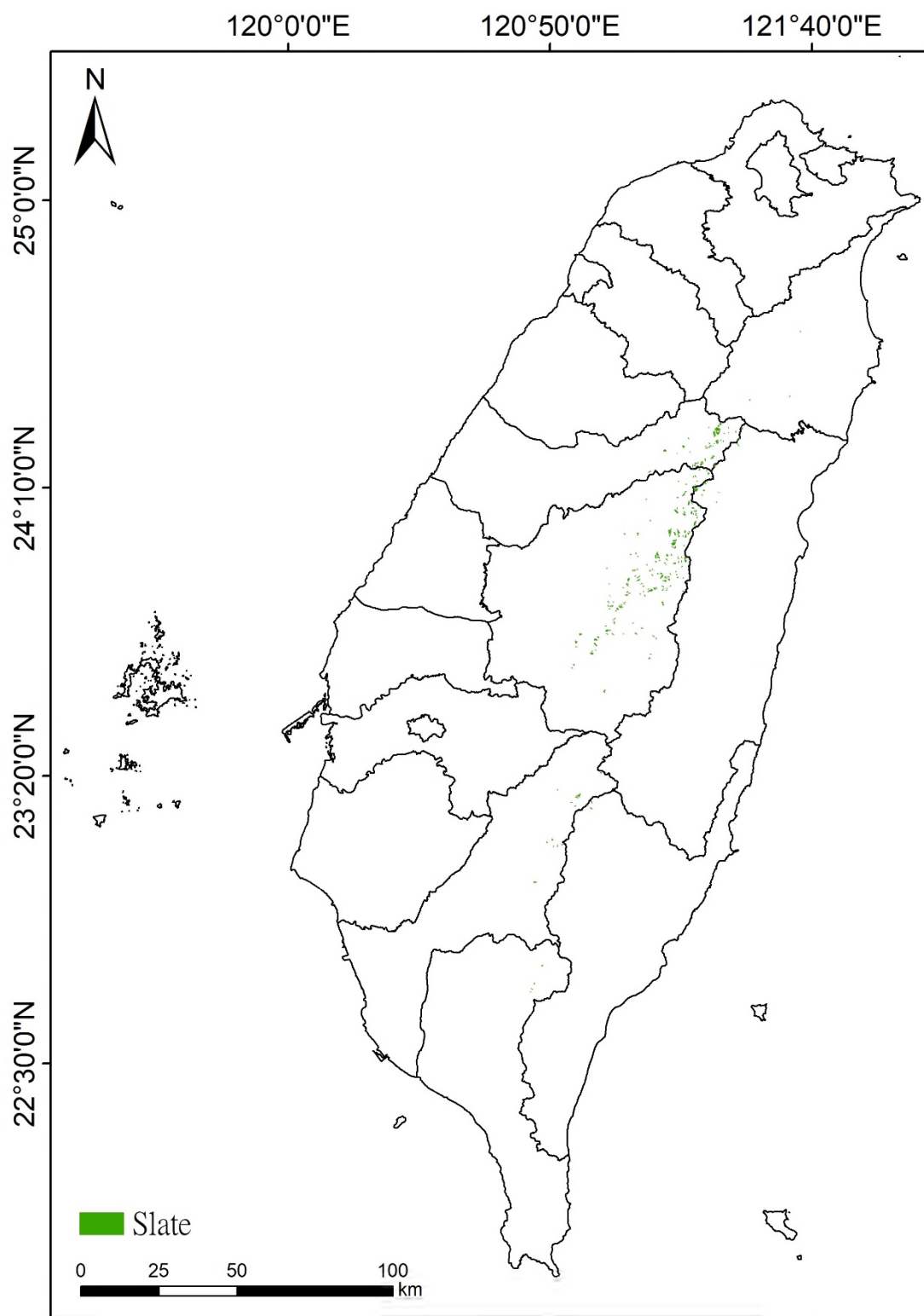


圖 2-4 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(板岩為主)

第二節 速度位移相依摩擦律參數資料彙整

蒐集並整理低至高速長位移之剪動試驗數據，共有 42 種不同岩石與泥層之旋剪、環剪與直剪試驗數據共有 871 筆，詳細數據列表於附錄 3 附表 3-6。圖 2-5 顯示不同岩石與泥層種類的穩態摩擦係數結果，以及穩態摩擦係數與滑移速度之回歸曲線，其中方形為不同岩石對磨試驗結果，圓形與三角形為不同種類泥層的夾泥試驗結果。

整體而言，穩態摩擦係數隨速度增加而降低，從所有的數據可以觀察到岩石對磨試驗的穩態摩擦係數，尤其是當速度大於 0.1m/s，隨速度降低的差異更明顯，而岩石對磨試驗的穩態摩擦係數整體趨勢較高於夾泥試驗的結果，此外，室濕(乾燥)試驗泥層之強度通常也高於含水泥層之強度。尖峰摩擦係數與滑移弱化距離與正向應力之關係圖如圖 2-6，星型圖案為岩石對磨試驗結果，其餘圖形皆為夾泥試驗結果，岩石試驗一般可施加較大的正向應力進行。尖峰摩擦係數大多落於 0.3 至 0.95 之間，但於低正向應力時有較大的差異；滑移弱化距離隨正向應力增加而降低，夾泥試驗結果之趨勢較岩石對磨試驗顯著，表示較低的正向應力變化對泥層之滑移弱化距離有明顯的影響。上述三個重要參數對於大規模平面型破壞滑移計算之影響如下所述，尖峰摩擦係數為啟動塊體滑移時的門檻，當滑移開始後速度與位移增加，滑移弱化距離越小代表越快達到穩態摩擦係數，故此三個參數值越低越容易發生快速長位移之運動行為。

由於期中測試方法所使用案例為集集地震所誘發之草嶺與九份二山之大規模平面型坡壞，兩者皆為沉積岩地區以砂頁互層為主的地層，故以 Yang et al. (2014)所提出之摩擦律為輸入值作為測試時使用(圖 2-7)。

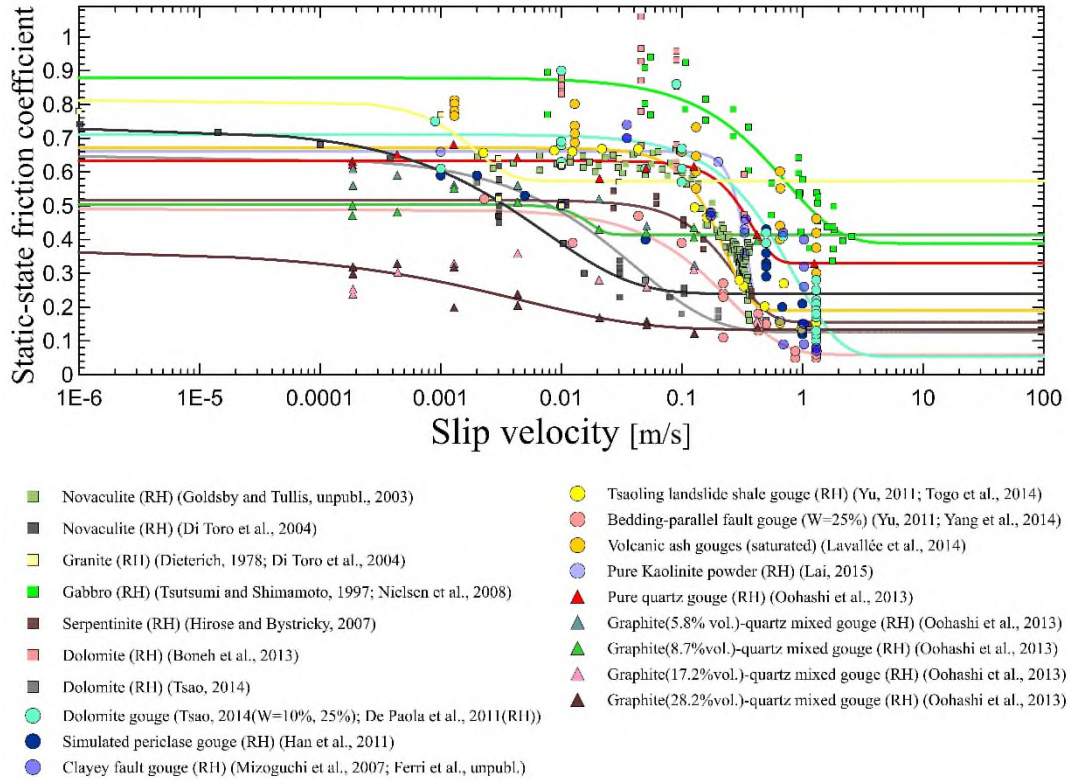


圖 2-5 穩態摩擦係數與滑移速度之試驗數據與回歸曲線
(Yang et al., 2017) (RH: Room humidity; W: water content)

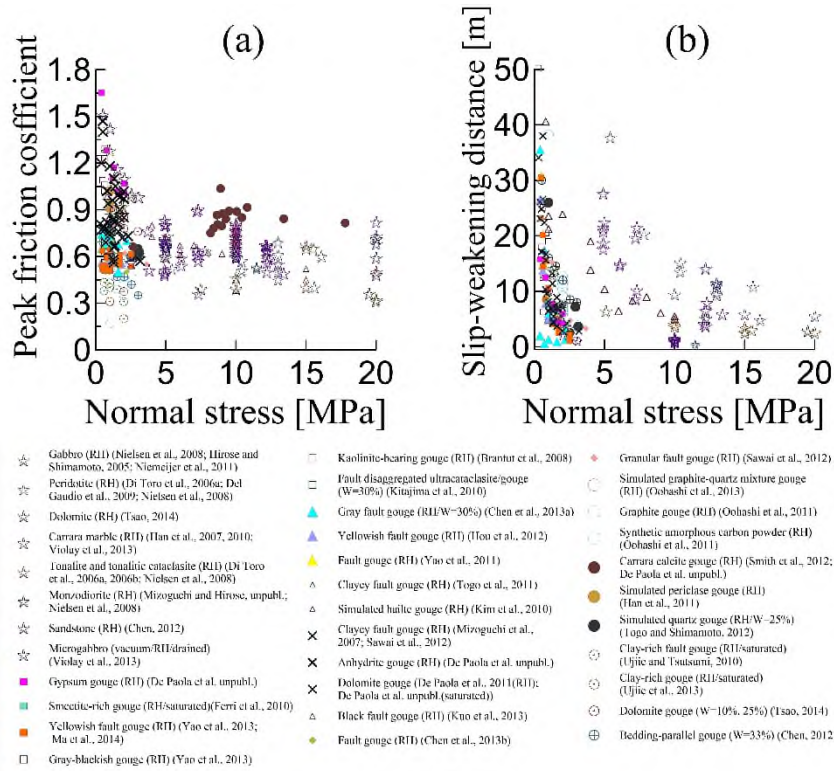


圖 2-6 (a)尖峰摩擦係數與(b)滑移弱化距離與正向應力之關係
(Yang et al., 2017) (RH: Room humidity; W: water content)

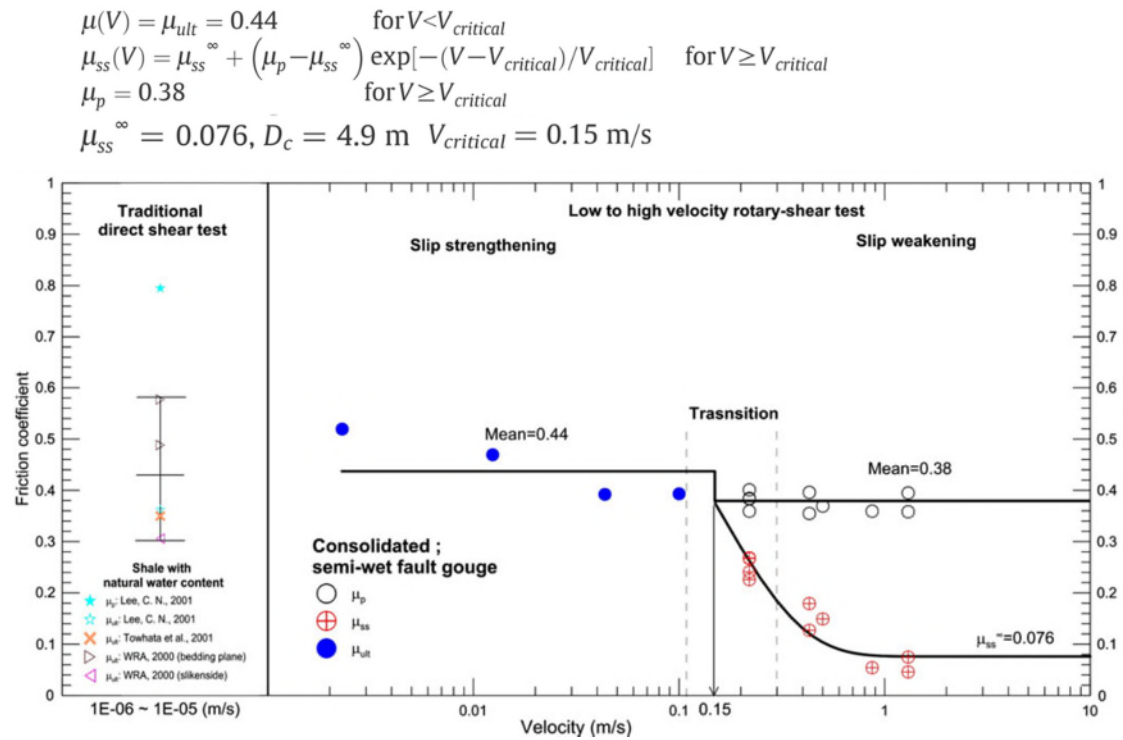


圖 2-7 草嶺山崩滑動帶所建立之摩擦律與試驗數據

(修改自 Yang et al., 2014)

第三節 近即時 Newmark 分析方法建立與測試

本計畫報告首先以集集地震為例，呈現近即時 Newmark 分析方法建立與測試結果，圖 2-8 為集集地震誘發之山崩目錄與地震站位置分布，圖 2-9 則是篩選出山崩面積大於 10 公頃之山崩目錄，根據第一章第二小節方法介紹，蒐集集集地震前地形資料與地震後地形分別獲得平均坡向與坡度(圖 2-10)，再以草嶺案例(圖 2-11)與九份二山案例(圖 2-12)為例，分別輸入鄰近區域之地震測站所紀錄之地動加速度，並以 Yang et al. (2014)提出草嶺山崩滑動帶之摩擦律(圖 2-7)，控制滑動面摩擦係數隨速度與位移之變化，即可求得該潛在大規模平面型破壞之運動特性，包含塊體加速度、速度、位移與摩擦係數隨地震歷時之變化。

草嶺案例之測試結果如圖 2-13 所示，(a)與(b)分別為輸入災前與災後地形之平均坡度與坡向，以及 CHY080 測站之地動加速度所得之塊體加速度、速度、位移，(c)與(d)為分別輸入 CHY028 與 CHY074 測站之地動加速度，以及災前地形之平均坡度與坡向所得之塊體加速度、速度、位移。由結果可見，若以 CHY080 測站之地動加速度輸入，不論是災前地形或災後出露滑動面之地形參數皆會得到快速長位移之運動結果，且災前坡度大於災後滑動面傾角，因此滑移啟動的較早。然而，若以 CHY028 與 CHY074 測站之地動加速度以及災前地形輸入，都呈現小位移後停止的結果。表示以此方法進行同震平面型破壞之運動分析時，所選用之測站距離山崩多遠、測站所在之高程、坡度、坡向、測站地下地質情形皆影響其所記錄之地動加速度特性(如：波形、震幅、頻率、方向性)，亦影響輸入後所得之運動分析結果。

九份二山案例之測試結果介紹如下，此案例之災前與災後之平均

坡度與坡向分別為 $(23.7^\circ, 120.6^\circ)$ 與 $(18.0^\circ, 120.2^\circ)$ ，以災前地形參數計算之各測站結果皆呈現快速長位移之運動結果，表 2-1 為各測站與九份二山的距離、與震央的距離、所在高程、累積位移、尖峰地動加速度、尖峰地動速度，根據表格資訊，最靠近震央的 TCU078 與 TCU089 測站記錄有較低的尖峰地動加速度和尖峰地動速度，而沒有啟動快速長位移平面型坡壞，其他測站之地動加速度皆得到快速長位移的運動結果。以災後地形重新計算各測站分析成果，只有測站與九份二山事件距離小於 12 km 的測站 TCU084、TCU071、TCU072 有啟動快速長位移之運動結果，其中測站 TCU089 雖距離九份二山事件 6.4 km，但其尖峰地動加速度值相對於其他測站較小，並未觀察到快速長位移的運動結果(圖 2-14)。綜合整理草嶺及九份二山案例的 Newmark 分析成果，本計畫已可以初步歸納以下兩點重要成果：

1. 草嶺事件與九份二山崩塌前平均坡度(θ)與崩塌後平均坡度(ϕ)分別介於 8° 與 5.7° 。
2. 當崩塌事件與測站距離(Δ)小於 15 km 且測站尖峰地動加速度值(PGA)大於 350 gal，則在崩滑體加速度峰值(S_{peak})後 10 秒的位移量(d10)可以介於 10 cm ~ 201 m。

由上述兩點重要成果本計畫認為距離(Δ)、尖峰加速度(PGA)及 d10 位移量將會是近即時 Newmark 分析法自動化程序執行的重要判斷準則之依據。因此，本計畫更進一步透過 2013 年 03 月 27 日與同年 06 月 02 日兩起南投地震事件進行 Newmark 分析法測試，事件芮氏規模分別為 6.2 與 6.5 屬於中等規模地震。本計畫首先參考國家科技災害防救中心(NCDR)同震山崩資料庫，資料中顯示於 03 月 27 日

地震時有一起落石事件發生並不屬於本計畫研究之對象(平面型滑動破壞)，且該落石發生位置之鄰近測站 TCU078 記錄之尖峰加速度值(PGA)為 103 gal 小於前人研究提出之崩塌觸發 PGA 門檻值 196 gal (Huang et al., 2012)亦遠小於本計畫集集地震案例觀察到快速長位移之測站 PGA 門檻值 350 gal (圖 2-15)。然而，目錄資料中記錄鳳凰村順向坡案例實屬 06 月 02 日地震誘發之崩塌事件，本計畫針對該崩塌事件亦進行 Newmark 分析，並參考集集地震案例測試成果優先選取 Δ 小於 15 km 的測站地動加速度資料進行分析。測試測站 TCU077、TCU126、TCU167 及 MTN170 之尖峰地動加速度值介於 312 ~ 742 gal，考慮崩塌後地形坡度(ϕ)23.7°(崩塌前平均坡度 θ 為 34°)進行 Newmark 分析各站成果皆顯示有快速長位移之運動現象，其滑動塊體之尖峰加速度值後 10 秒(d10)位移量介於 177~254 m(圖 2-16)。透過集集地震與南投地震案例分析成果，本計畫歸納在近即時分析程序上測站資料的選取須同時滿足兩個準則：(1)崩塌事件與測站距離(Δ)須小於 15 km、(2)尖峰地動加速度值(PGA)須大於 196 gal (在此採用前人研究成果，然而本計畫測試案例中，能夠觀察到快速長位移的測站之 PGA 皆大於 300 gal)。滿足上述準則之測站資料，進行 Newmark 分析之 d10 位移量將介於 10 cm~254 m，因此本計畫認為若測站 d10 介於上述範圍內，則代表測站鄰近可能有崩塌事件發生。

實際上滿足 Newmark 分析成果 d10 介於 10 cm ~ 254 m 之測站臨近位置可能包含多個崩塌事件，因此必須透過其他分析技術來判識該測站代表的崩塌事件。本計畫在此採用「同震山崩地動訊號分析方法 (ICOL)」進行判識，ICOL 分析方法測試成果將詳述如第四節。

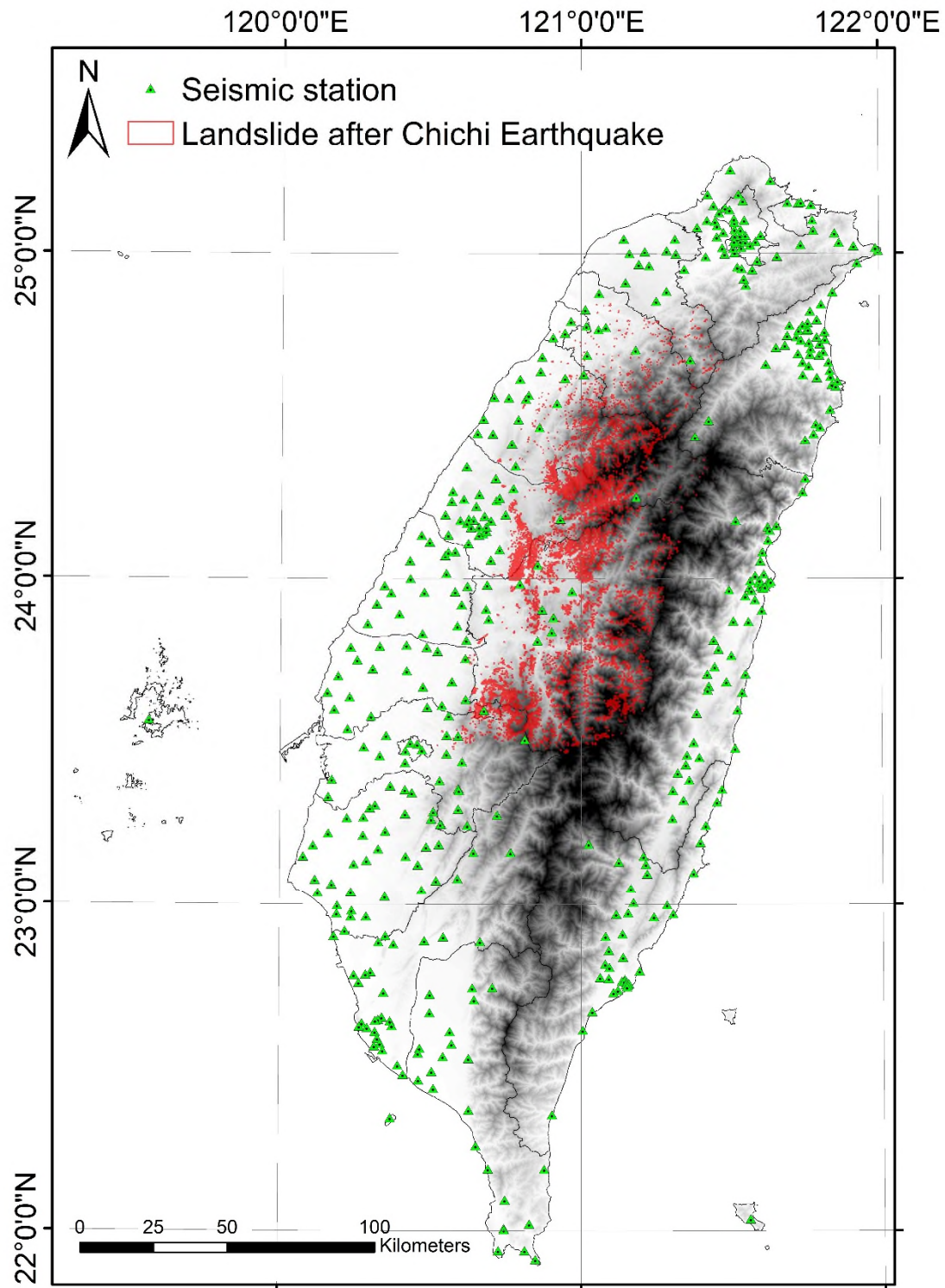


圖 2-8 1999 年集集地震山崩目錄

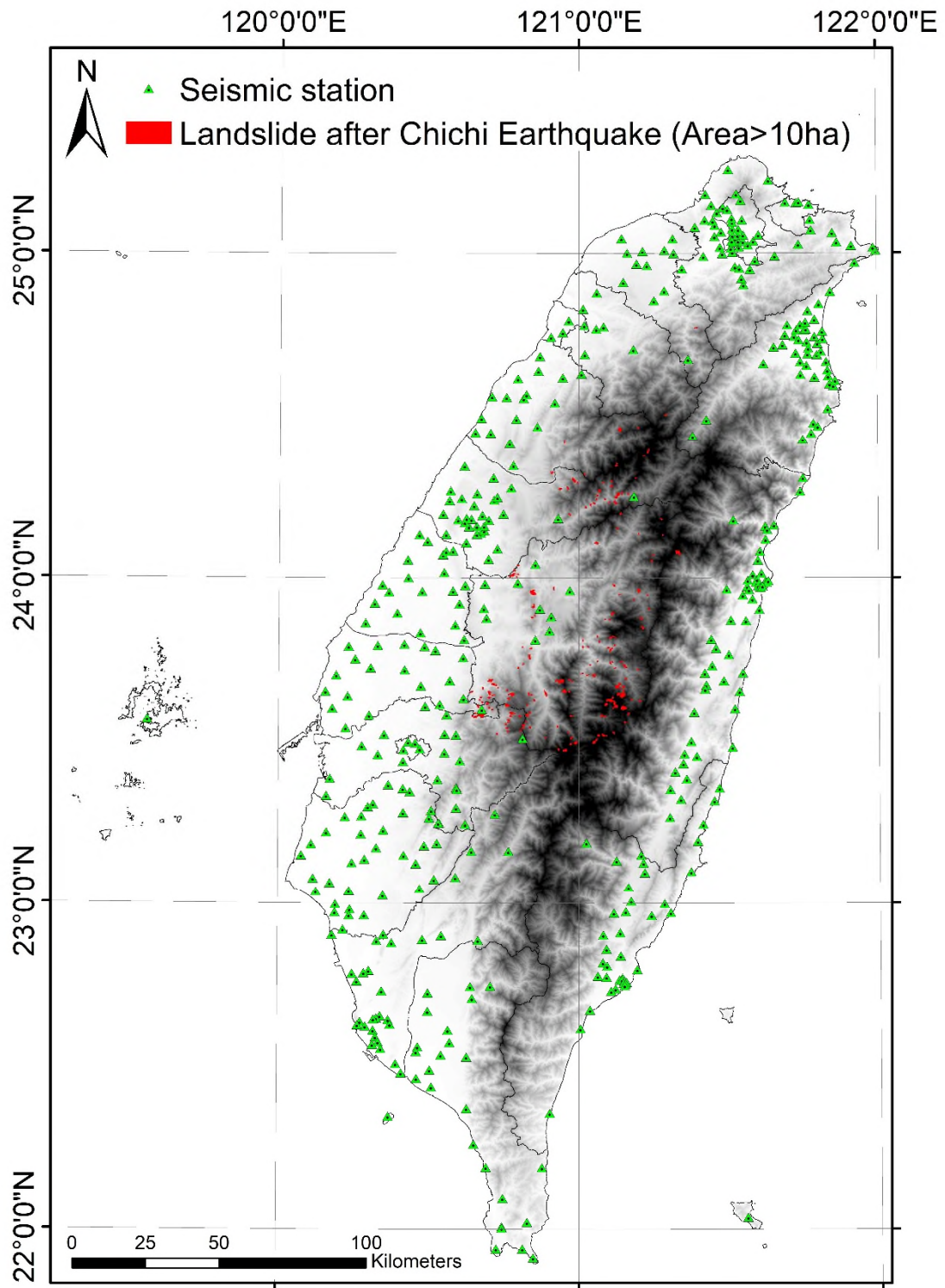


圖 2-9 1999 年集集地震山崩目錄(崩塌面積大於 10 公頃)

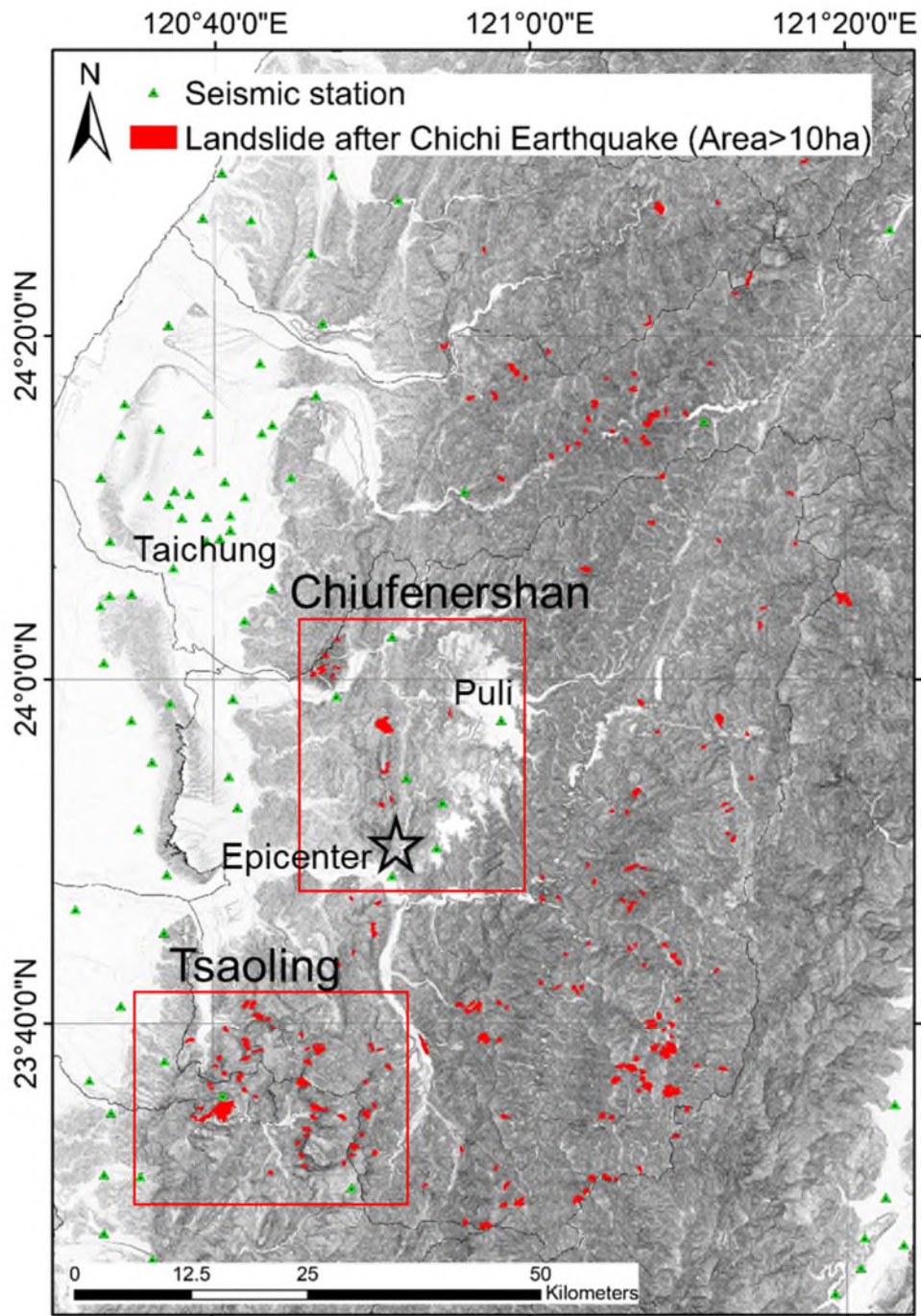


圖 2-10 臺灣中部地區山崩目錄與地震測站分布(大規模平面型破壞
案例：草嶺、九份二山)

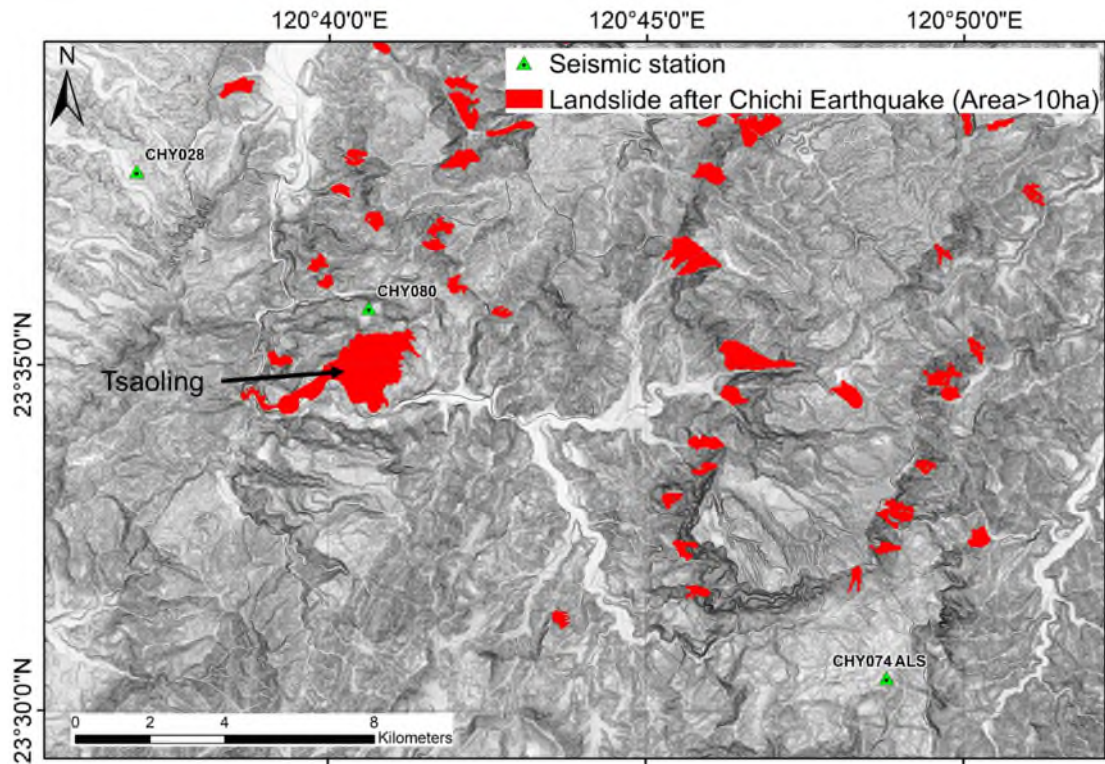


圖 2-11 草嶺案例與鄰近地震站(強地動站：CHY028、CHY080、CHY074)

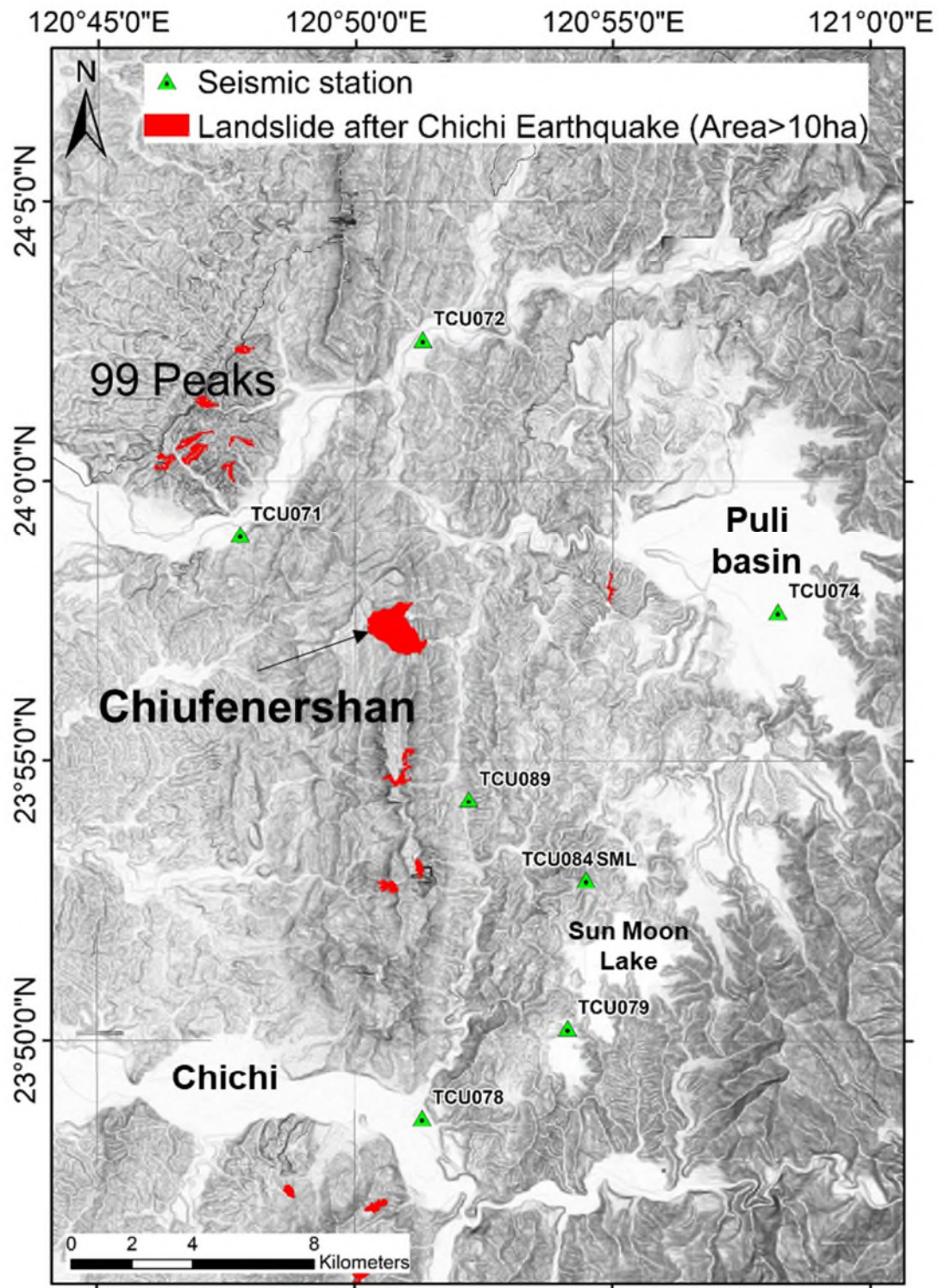
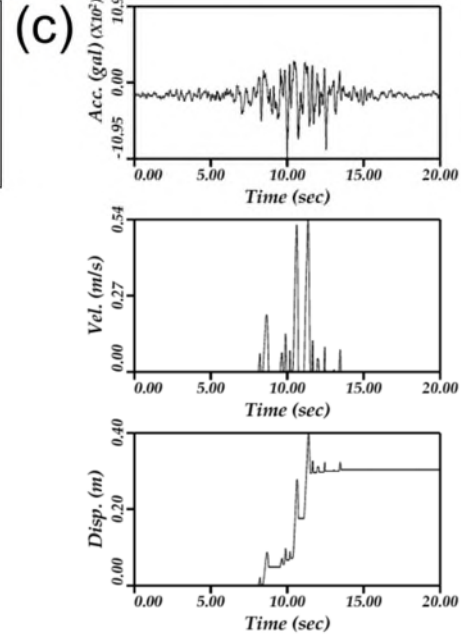
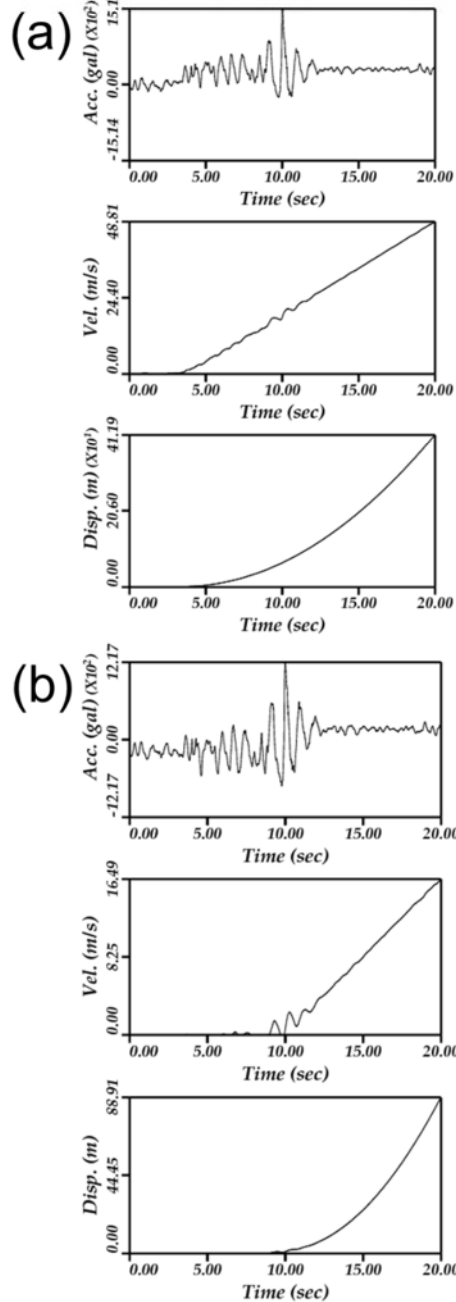


圖 2-12 九份二山案例與鄰近地震站(強地動站：TCU071、TCU072、TCU074、TCU078、TCU079、TCU084、TCU089)

	Tsaoling	
DTM	Before EQ	After EQ
Mean slope or Dip angle	22°	14°
Mean aspect or Dip direc.	216°	226°

CHY028
Distance to Tsaoling: 7.9km
Epi: 32.3km Elevation: 295m
PGA: 749.89 gal
PGV: 73.79 cm/s

CHY080
Distance to Tsaoling: 1.2km
Epi: 31.8km Elevation: 840m
PGA: 851.54 gal
PGV: 107.8 cm/s



CHY074
Distance to Tsaoling: 16.3km
Epi: 38km Elevation: 2413.4m
PGA: 229.17 gal
PGV: 34.2 cm/s

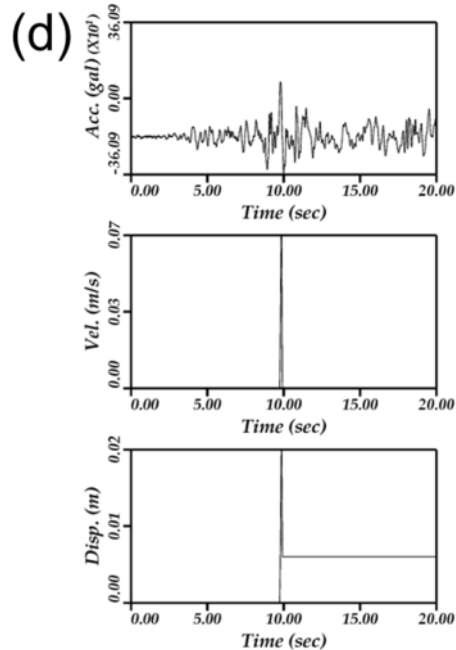


圖 2-13 草嶺案例之 Newmark 分析結果

表 2-1 九份二山案例崩塌前地形之 Newmark 分析結果

Station	Distance to		Elevation (m)	Final displacement (m)	PGA (gal)	PGV (cm/s)
	Chiufenershan (km)	Epicenter (km)				
TCU084	10.7	9.3	1015	>1000m	989.18	119.78
TCU071	5.7	15.1	187	>1000m	639.02	69.66
TCU074	12.8	19.3	450	>1000m	585.94	68.22
TCU079	14.8	8.1	681	>1000m	579.8	70.89
TCU072	9.4	21.5	363	>1000m	465.26	72.85
TCU078	16.4	5.5	272	0.236m	439.66	36.73
TCU089	6.4	7.6	660	0.064m	347.82	32.84

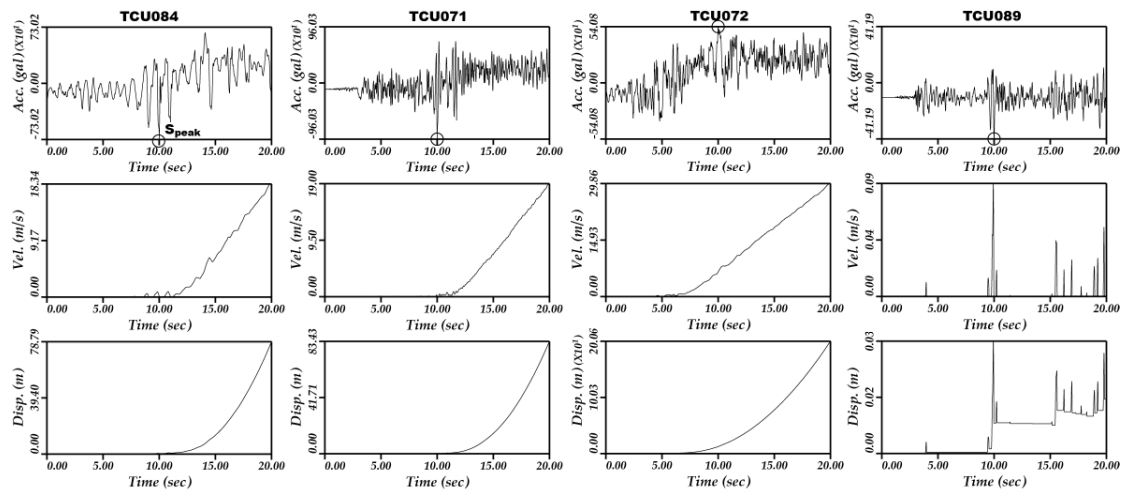


圖 2-14 九份二山案例崩塌後地形之 Newmark 分析結果

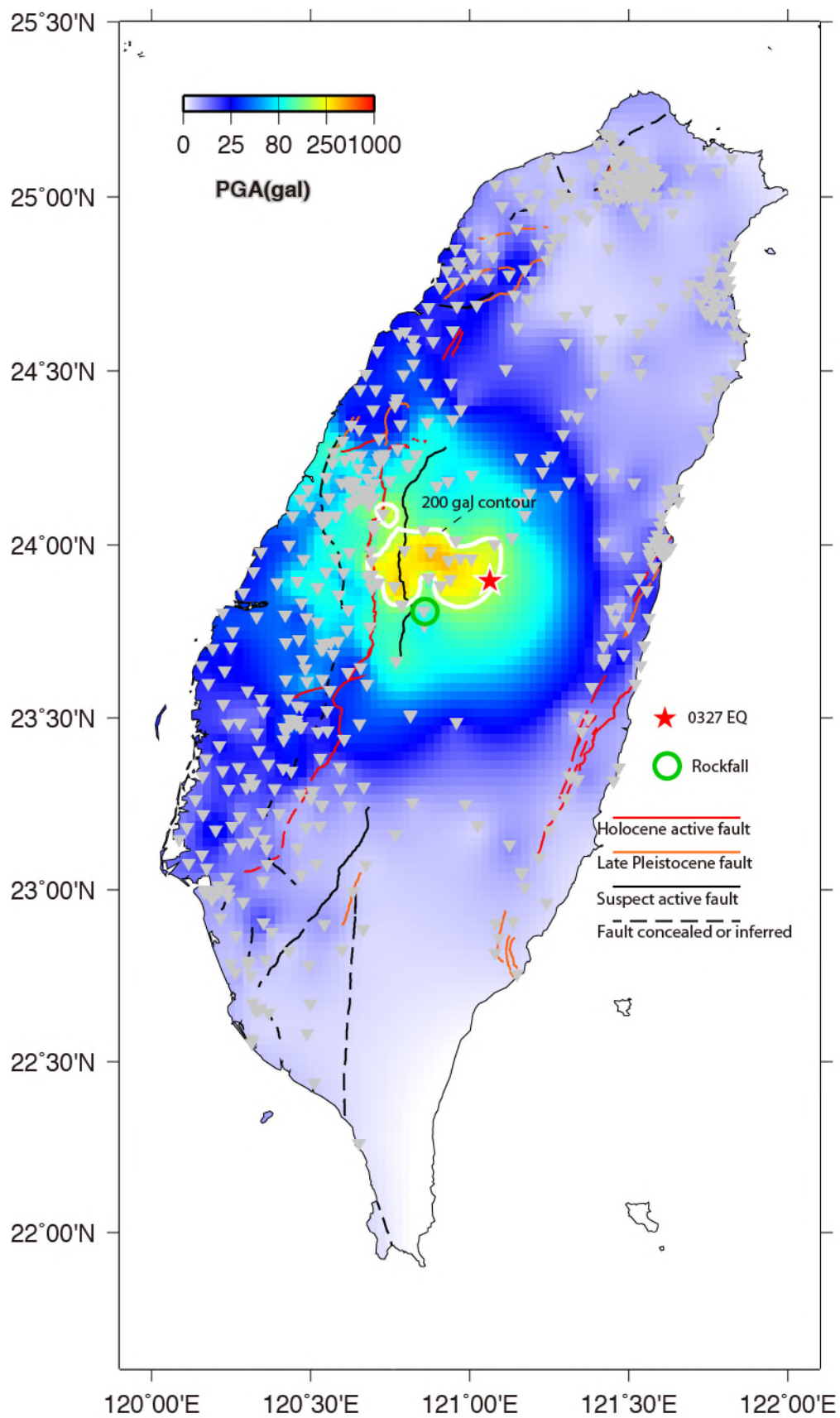


圖 2-15 03 月 27 日南投地震之 PGA 分布圖

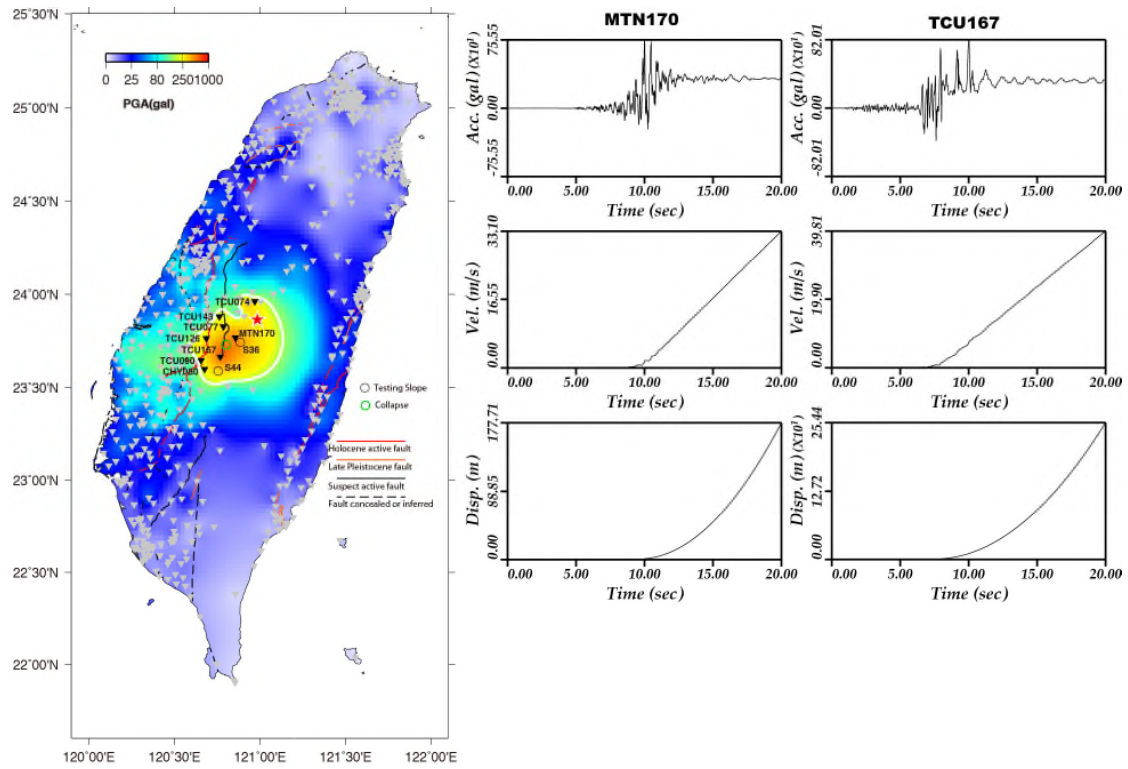


圖 2-16 06 月 02 日南投地震之 PGA 分布圖與 Newmark 分析結果

第四節 同震山崩地動訊號分析方法(ICOL)測試

透過第三節的 Newmark 分析測試成果，本研究於草嶺同震山崩、九份二山同震山崩、鳳凰村順向坡同震崩塌案例中已可明確觀察到數個測站具有明顯的快速長位移運動過程。本節將以草嶺同震山崩為 ICOL 分析方法的測試案例，持續透過測站 CHY080、CHY028 (已滿足 Newmark 分析準則)來測試 ICOL 程序是否可以成功辨識山崩造成的地動訊號及獲取可能的山崩參數。

根據 ICOL 的分析流程(圖 1-2)，本研究利用中央氣象局發佈的集集地震斷層震源機制解：走向 221° 、傾角 82° 、滑動角 118° 及地震矩規模 $M_w 7.6$ 計算其垂直向剪力波(Shear wave, SV)的震源輻射能量(R^{SV})，本計畫定義 $R^{SV} < 0.15$ 代表相對受到地震影響較少(圖 2-17b)，測站 CHY080 與 CHY028 R^{SV} 之絕對值分別為 0.011 及 0.110，由於 CHY028 之 Newmark 分析 d10 位移量僅有 40 cm 且其 R^{SV} 大於 CHY080，在此 ICOL 測試將聚焦於測站 CHY080。確認 CHY080 為分析測站後，再進一步計算集集地震及草嶺山崩之合成理論震波模擬，提供理論 P 波(t_p)與最大地動訊號出現的時間點(t_{peak})(圖 2-17c)。本研究假設集集地震出現最大地動訊號的時間點為草嶺山崩發生之時間點(T_{L0})，根據 T_{L0} 加上山崩理論震波的 t_p 與 t_{peak} 的時間差(ΔT_L)即為山崩可能的主要地動訊號出現時間窗口位置(圖 2-18 灰色垂直線)。透過上述分析成果，本文可以歸納草嶺山崩主要的地動訊號之時間窗口範圍，如圖 2-18 紅色虛線範圍。

本節將利用山崩事件造成之最大地動訊號時間位置(圖 2-18 灰色垂直線)前後 2 秒區間內的地動訊號進行震波追跡法(amplitude

tracking method, ATM; 吳奕翰, 2019)分析。首先計算該時間窗口之觀測水平向最大振幅比(RTR)為 0.96；再者，模擬滑動角度(θ_s)範圍為 $185^\circ \sim 255^\circ$ 之合成理論山崩震波訊號，滑動角度間距為 1° ，並計算每個滑移角(θ_s)其理論波形之 RTR 值，透過網格搜尋法(grid-search scheme)決定山崩之滑移方向，此滑移方向需滿足理論 RTR 與觀測 RTR 數值擁有最小殘差值(misfit value)。圖 2-19 顯示網格搜尋至最佳滑移角為 210° ，該結果與草嶺山崩發生前後之坡向角度 216° 及 226° 相近；因此，ICOL 分析技術可以成功判識測站 CHY080 記錄之地動訊號窗口為草嶺山崩事件所產生，並可決定山崩發生於臺灣時間午夜 1 點 47 分 34 秒左右(圖 2-18 時間點 T_{L0})。

若以九份二山同震山崩為例，第三節 Newmark 分析法測試成果指出測站 TCU084、TCU071、TCU072 滿足同震山崩判識準則($\Delta < 15$ km、 $PAG > 196$ gal、 $10 \text{ cm} \leq d_{10} \leq 254 \text{ m}$)，透過震源輻射能量(R^{SV})計算，只有測站 TCU071 及 TCU072 可通過 R^{SV} 門檻值，其中測站 TCU072 R^{SV} 值較小，代表相對於 TCU071 受到地震影響較小。後續可以針對 TCU072 測站資料完成 ICOL 分析，判斷網格搜尋最佳滑移角(θ_s)是否接近九份二山崩塌前後的坡向角度(前: 120.6° ；後: 120.2°)。

鳳凰村順向坡崩塌案例之中，測站 TCU077、TCU126、TCU167、MTN170 皆滿足 Newmark 同震山崩判識準則，但是，上述 4 個測站皆無法通過 R^{SV} 門檻值(圖 2-20)。因此，鳳凰村在本計畫中的測試結果中只能陳述鄰近測站 TCU077、TCU126、TCU167、MTN170 有崩塌事件發生，並無法透過 ICOL 分析程序進行確認事件位置。

近即時震波式同震山崩潛感圖

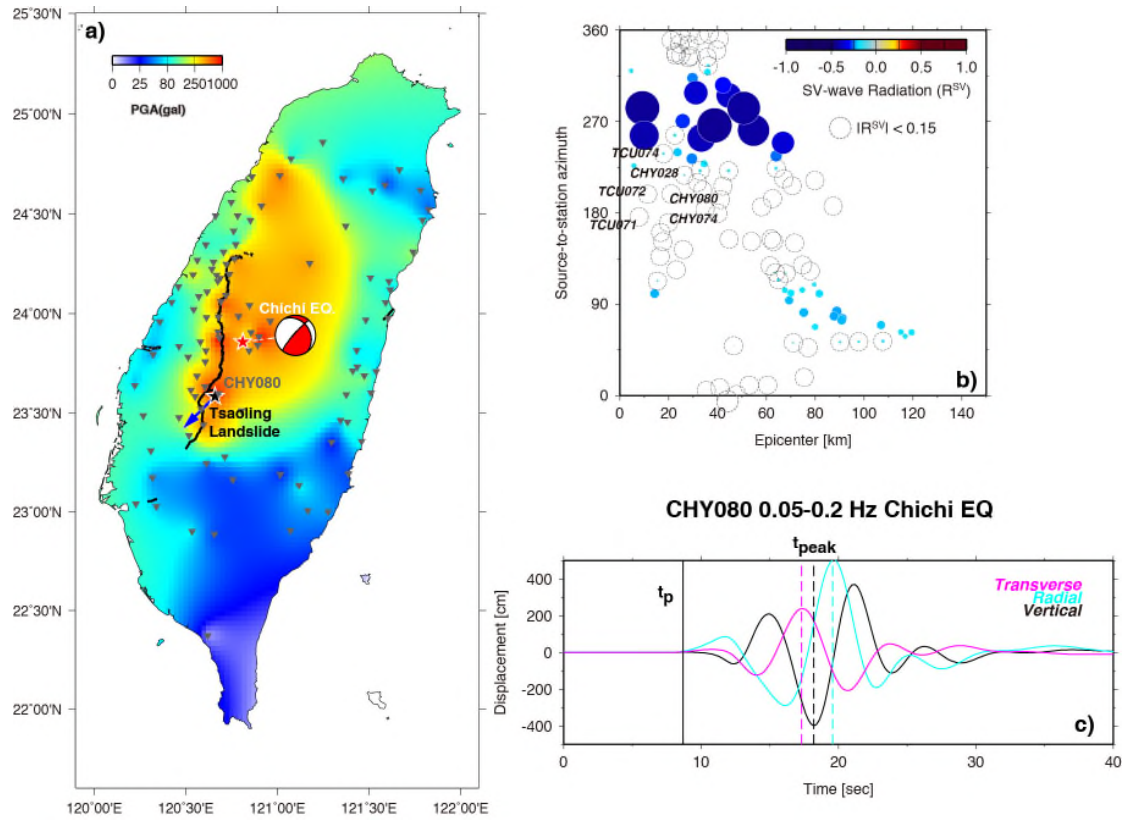


圖 2-17 草嶺案例之 ICOL 分析成果

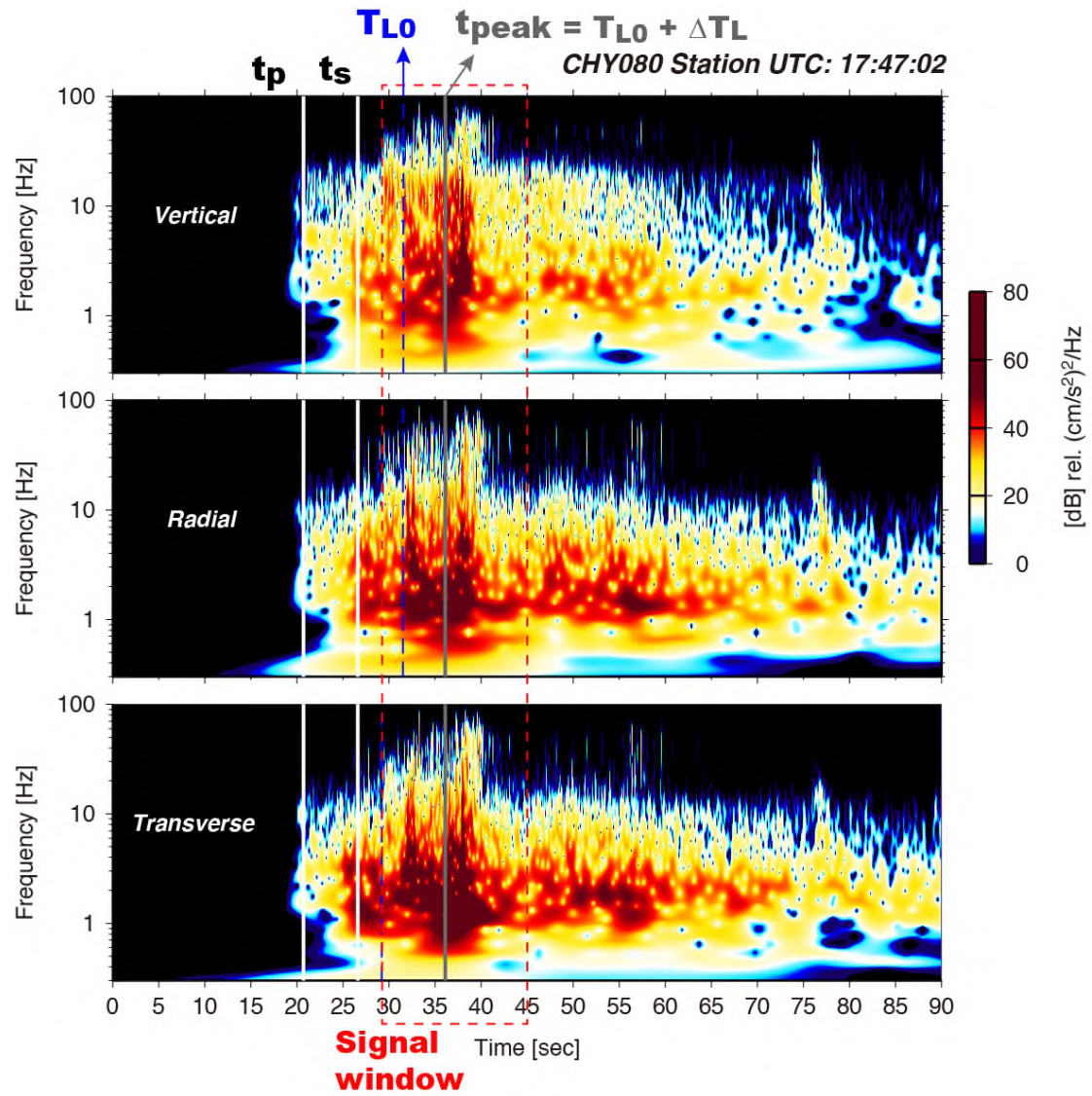


圖 2-18 測站 CHY080 時頻圖與草嶺事件對應之地動訊號窗口

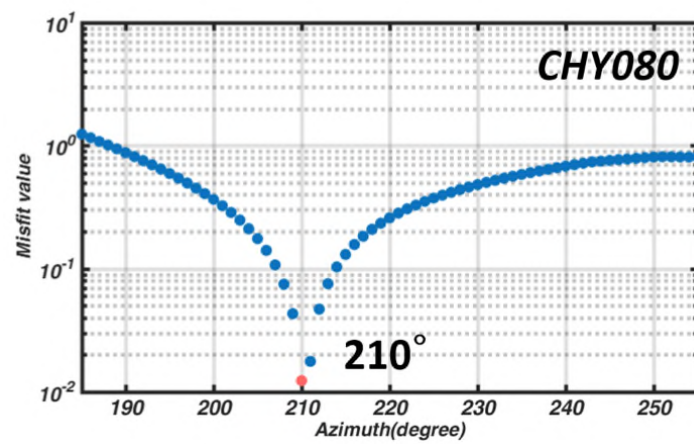


圖 2-19 滑移角度網格搜尋成果

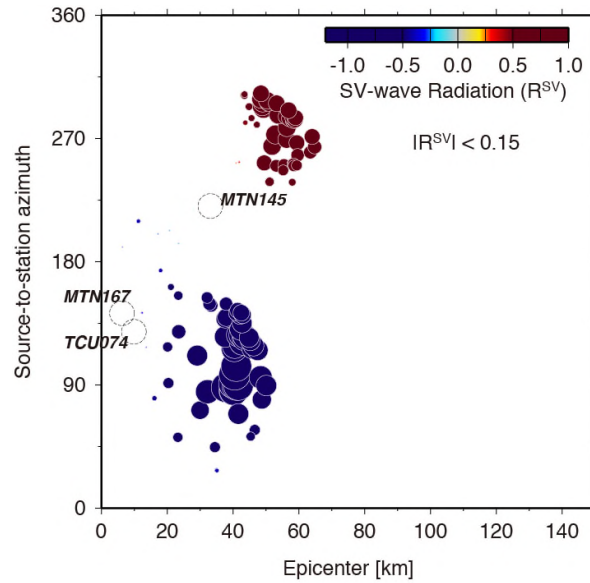


圖 2-20 測站震源輻射能量分布情形

第五節 近即時 Newmark-ICOL 分析程序建置

本計畫第三節至第四節內容已完成歸納 Newmark 分析程序之同震山崩判識準則及成功測試 ICOL 同震山崩分析法進一步確認山崩位置與發生時間。但上述 Newmark 與 ICOL 分析法在測試階段並未同步考量程序自動化執行的問題，為達到本計畫核心目標「近即時震波式同震山崩潛感圖」，自動化本研究使用之分析程序將是完成計畫的關鍵要素。在此，本計畫以大規模崩塌目錄中以岩性屬砂岩與砂頁互層之 175 處邊坡位置為主，以崩塌事件至測站距離(Δ)小於 15 km 為搜尋條件，建立現階段中央氣象局即時強地動站(共計 461 個測站，截止至 2020 年 6 月)之目標邊坡(Target Slope)，目標邊坡編號為 S1-S175，175 處目標邊坡皆至少有 1 個即時強震站為代表測站，最終 461 個測站只有 116 個即時強震站作為本計畫即時分析使用(圖 2-21)，其中擁有目標邊坡數量大於 30 處的測站有 CHY011、CHY045、CHY086、

CHY102、TCU088。由於 175 處的岩性皆為砂岩與砂頁岩為主，關於 Newmark 塊體平面滑動的力學參數皆可相同： $\mu_{ult}=0.44$ 、 $\mu_p=0.38$ 、 $\mu_{ss}=0.076$ 、 $D_c=4.9\text{ m}$ 、 $V_{critical}=0.15\text{ m/s}$ ，崩塌事件發生前地形的平均坡向與坡度(θ)可以事先運算，本計畫已完成建立上述力學參數與邊坡幾何之資料庫(sta_accnet.txt)。實際上，崩塌未發生前並無法事先得知崩滑的坡向與坡度，透過本計畫測試的同震山崩事件，崩塌前後的地形坡向變化不大，但是崩塌前的坡度(θ)與崩塌後的坡度(ϕ)變化皆小於 11° 。因此，本計畫假設崩塌前的地形平均坡向與崩塌後相同，並考慮崩塌後的坡度介於 $\theta-8^\circ \sim \theta$ 計算其崩塌事件之理論合成地震波(崩塌後坡度參考集集同震山崩案例經驗)，進行 0.05-0.2 Hz 帶通濾波後量測初達波時間 t_p 與最大振幅值出現的時間 t_{peak} 之時間差(ΔT_L)，本計畫亦事先將各測站對應之目標邊坡之 12 個假設坡度所量測的時間差(ΔT_L)儲存為時間資料表(Time_Table.txt)。關於地震未發生前並無法事先得知地震相關參數，本計畫規劃介接中研院地球所 RMT 系統(<http://rmt.earth.sinica.edu.tw/>)或臺灣地震中心 TEC 系統(<http://tecdc.earth.sinica.edu.tw/FM/>)，於地震發生後數分鐘可提供相關地震參數，例如地震位置、規模大小、斷層面解(走向、傾角、滑移角)。

根據本計畫歸納之同震山崩辨識準則、Newmark 分析參數資料庫(sta_accnet.txt)、時間資料表(Time_Table.txt)配合地震速報系統資料介接，重新規劃 Newmark-ICOL 系統分析流程如圖 2-22。

近即時震波式同震山崩潛感圖

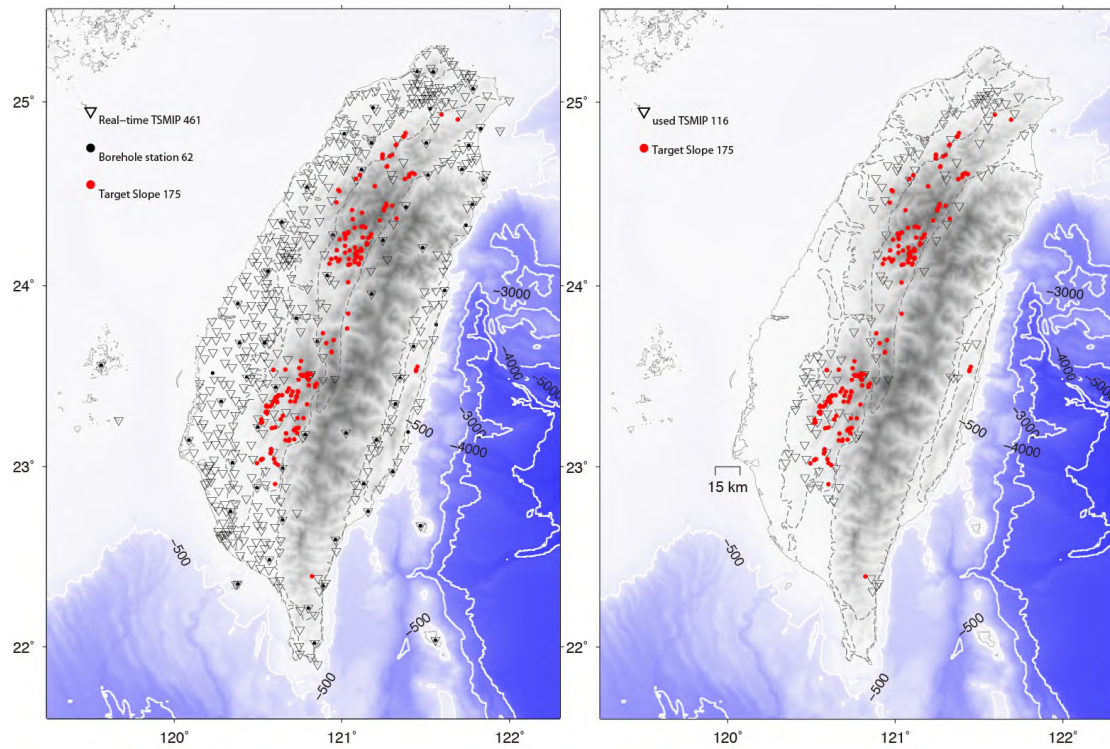


圖 2-21 即時強震站與目標邊坡分布圖

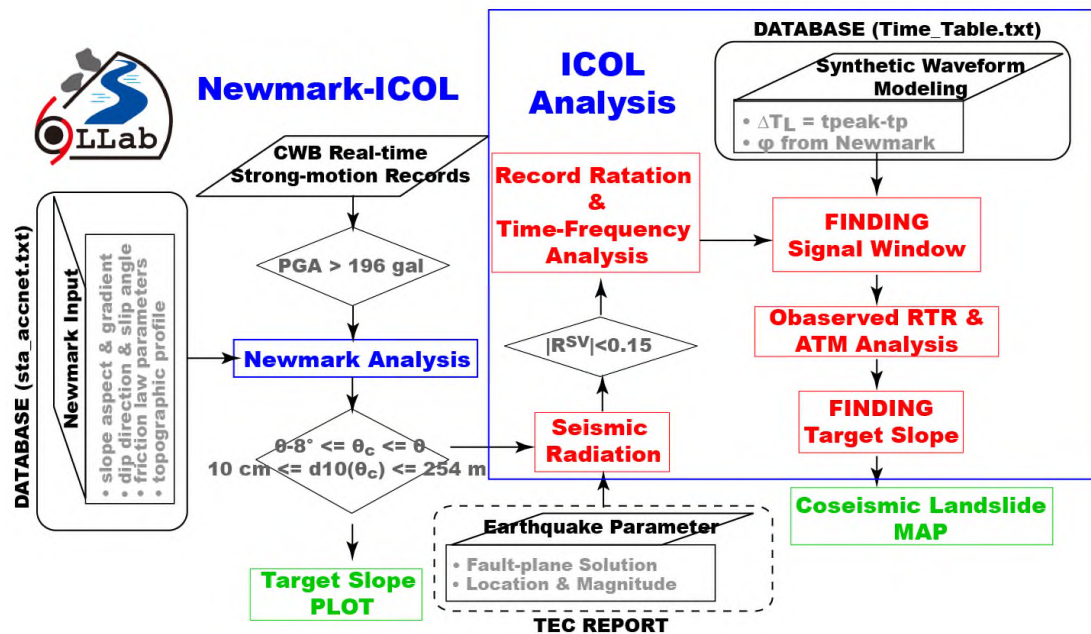


圖 2-22 近即時 Newmark-ICOL 分析程序

第六節 近即時 Newmark-ICOL 程序離線測試

本計畫透過目標邊坡 S36 進行近即時 Newmark-ICOL 程序離線測試，邊坡 S36 位置落在 2013 年 06 月 02 日南投地震造成的尖峰加速度值大於 196 gal 處，且該邊坡的代表測站共 5 站，分別為 TCU077、TCU078、TCU184、TCU196、TCU204，其中於 2013 年運作測站僅有 TCU077(圖 2-23)。由於目標邊坡 S36 並非為同震誘發之崩塌事件，因此無法得知崩塌後的坡角(ϕ)，已知崩塌前地形平均坡角為 31.7° ，則合理的 ϕ 介於 $23.7^\circ \sim 31.7^\circ$ 。本計畫亦定義可滿足快速長位移運動狀態下的最小坡角為 θ_c (或稱快速長位移之臨界坡角)，當 θ_c 介於 $23.7^\circ \sim 31.7^\circ$ (坡度間距為 1°) 且對應之 d10 位移量介於 10 cm ~ 254 m，則代表測站對應之目標邊坡可能是同震崩塌事件之位置。TCU077 測站分析成果顯示 θ_c 為 20.7° ，無法滿足 Newmark 分析法之同震山崩判識準則，代表此目標邊坡並未發生同震山崩抑或事件有發生但其運動形態並非以平面型快速滑動為主。圖 2-24 顯示崩塌後的坡角(ϕ)介於 24.7° 至 31.7° 對應之 d10 位移量皆大於 12 km，違反真實物理現象；直到坡角(ϕ)等於 23.7° ，結果呈現快速長位移之運動狀態，d10 等於 217 m (圖 2-24)；當坡角(ϕ)等於 19.7° 時，d10 等於 30 cm，代表 θ_c 為 20.7° 。

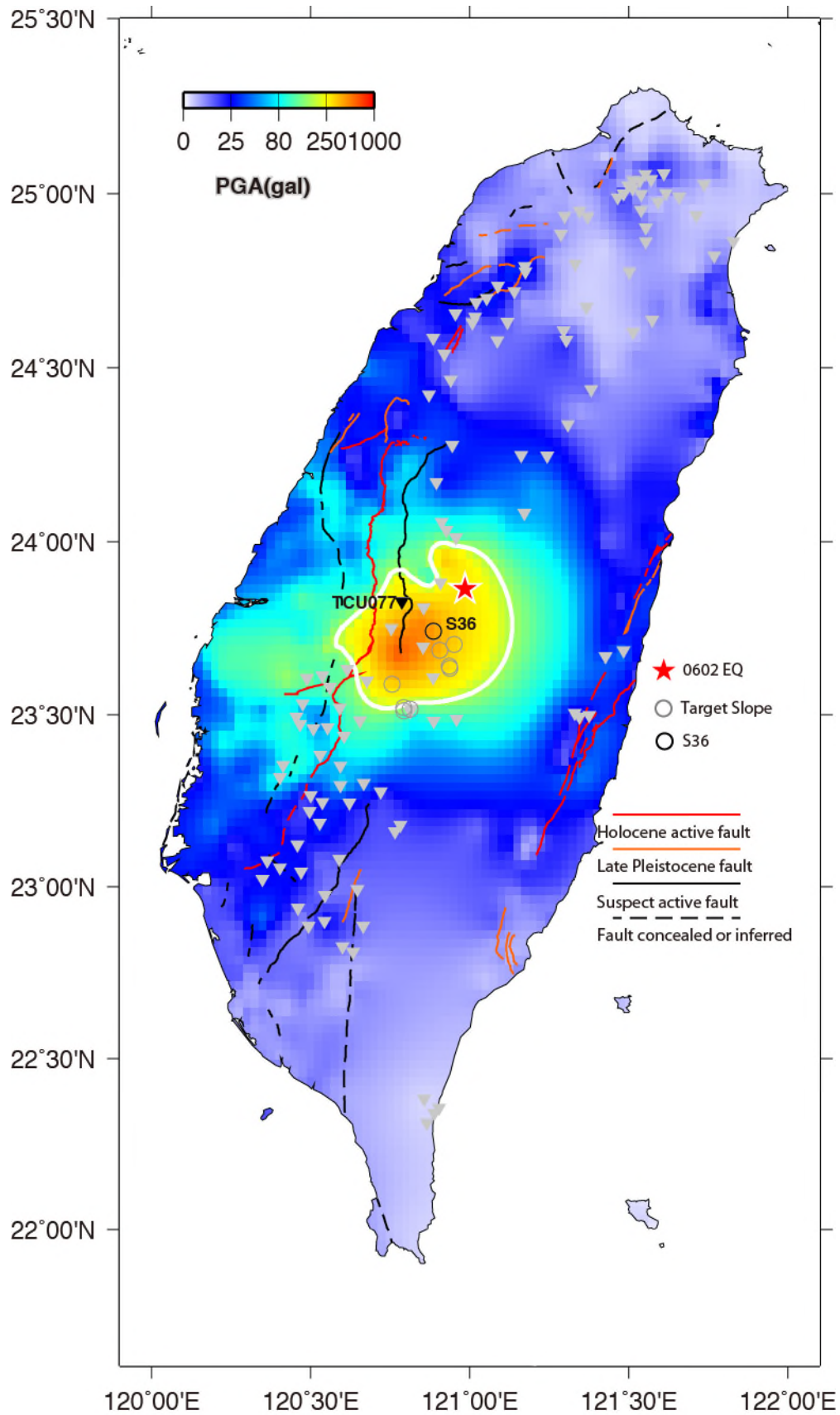


圖 2-23 離線測試之測站與目標邊坡分布圖

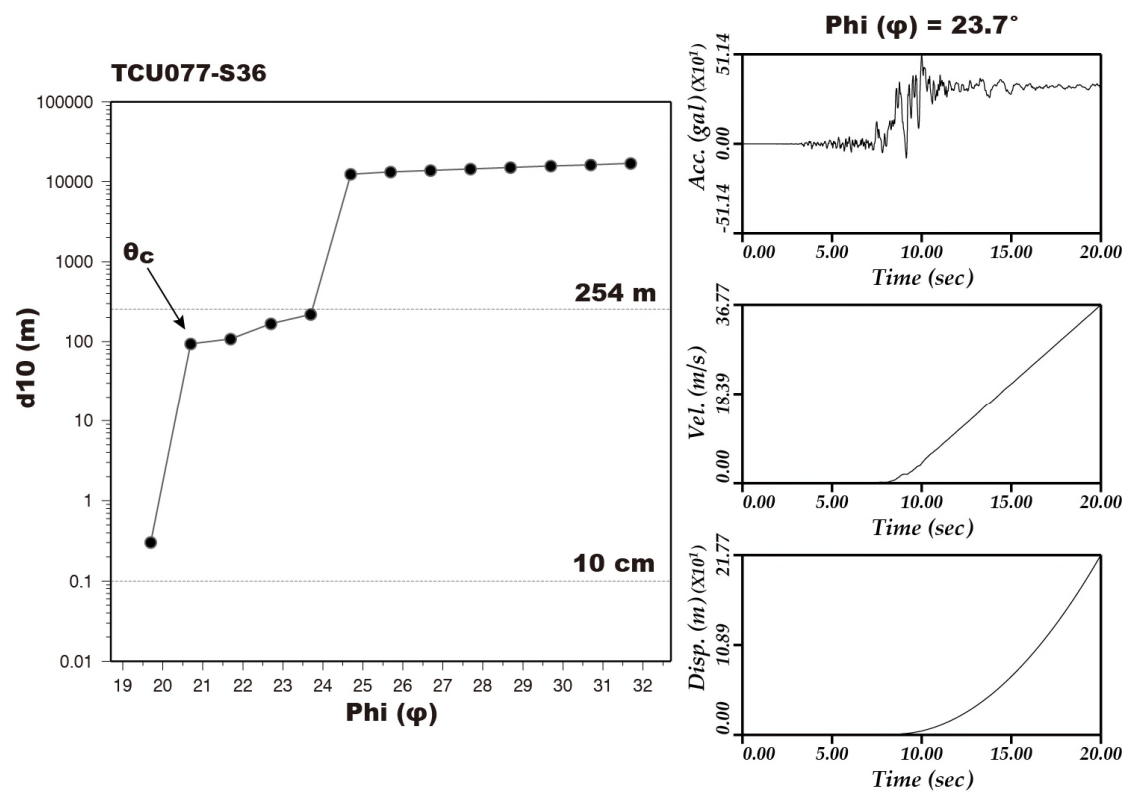


圖 2-24 不同坡角對應之 d10 與 Newmark 分析成果案例

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

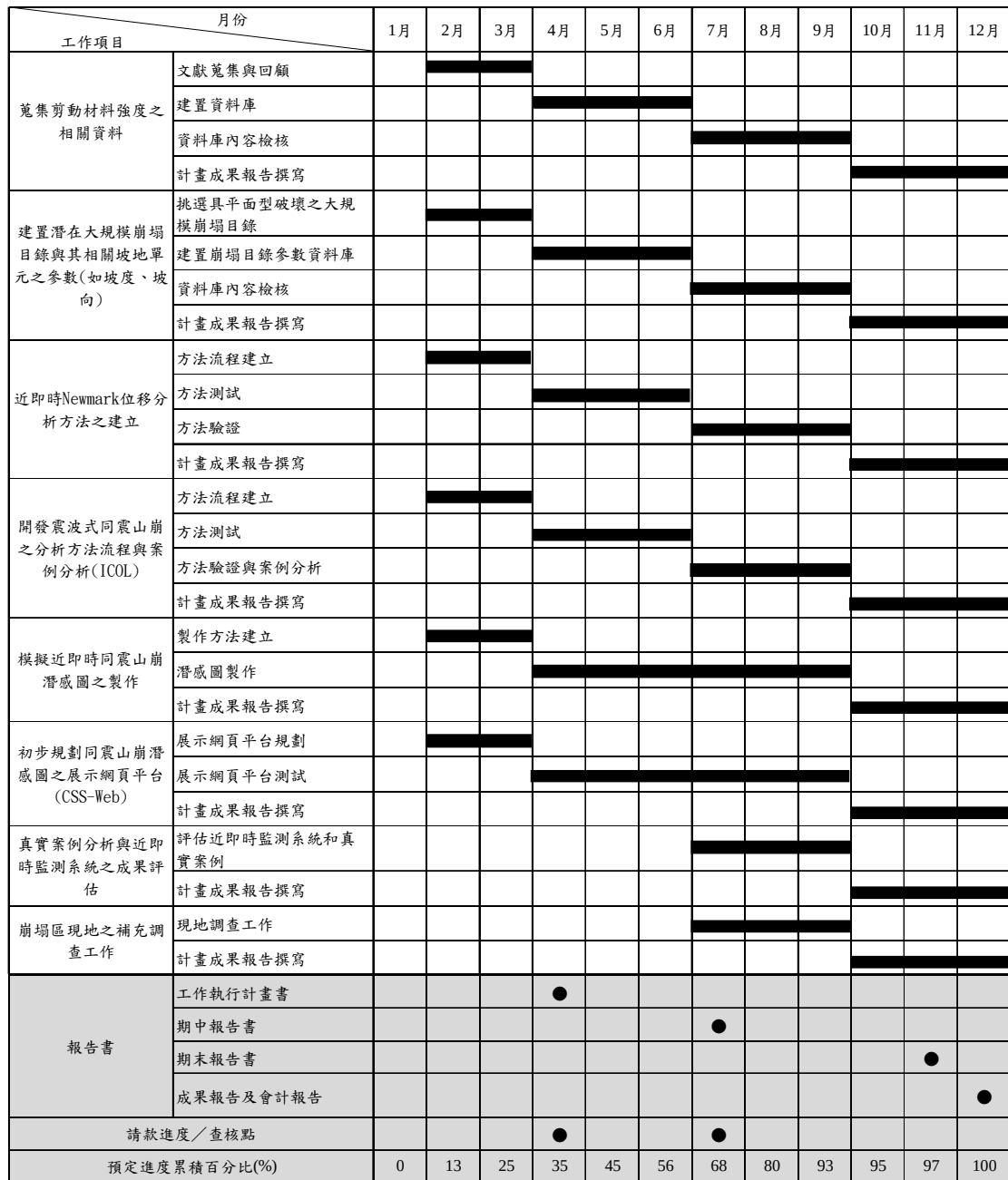


圖 3-1 計畫甘特圖

第二節 計畫交付項目

本計畫透過各項地質地地形分析、塊體位移運動分析、地動訊號處理、分析與模擬之研究發展，將可針對潛在大規模平面型破壞山崩目錄為對象提供同震山崩潛感圖，由歷史地震事件驗證方法，依據臺灣強地動地震網即時地動數據進行即時解算，透過網頁平台界面發布近即時分析成果。本計畫具體產出及交付成果條列如下：

一、期中階段

- 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(範圍、坡度、坡向、不連續面位態)
- 邊坡單元之速度位移摩擦律參數資料彙整
- 建立近即時 Newmark 分析方法並測試其適用性
- 同震山崩地動訊號分析方法(ICOL)測試

二、期末階段

- 建立同震山崩地動訊號分析方法之資料庫(ICOL-database)
- 整合 ICOL 及 Newmark 分析法(Newmark-ICOL)並完成系統離線測試
- 初步建置近即時同震山崩潛感圖資訊展示網頁平台(CSS-Web)與規劃其執行構想

表 3-1 計畫重要檢核點管制表

檢核點	預計日期	交付項目	數量
1	4 月 13 日(一)	工作執行計畫書	6 份
2	7 月 31 日(五)	期中報告書	5 份
3	11 月 13 日(五)	期末報告書	5 份
4	12 月 25 日(五)	成果報告	6 份

資料來源：本計畫

第四章 結論及建議

第一節 結論

在本研究案中的核心係為開發與規劃近即時同震山崩潛感圖資訊展示網頁平台 CSS-Web。然而，一個友善及有效的災防系統開發過程中需構思以下問題：

- 如何偵測同震崩塌事件？
- 如何決定同震崩塌點位？
- 需要多少時間完成上述作業？
- 其正確率為何？
- 誰應該要收到速報資訊？
- 速報資訊如何傳遞給不同層級的使用者？
- 誤報與漏報的容忍度為何？
- 誰該對速報資訊的成敗負責？

本計畫成功開發近即時 Newmark-ICOL 自動化程序並完成測試，已可達成上述問題 1、2 項目：偵測同震崩塌與決定其位置。然而，受限於(1)本計畫並未直接獲取中央氣象局 116 個即時強震站的連續資料、(2)計畫執行年度並未發生島內中大規模地震事件，無法確實提供上述問題 3~7 的項目。針對即時強震資料的使用權問題，目前已經與中央氣象局地震中心進行協議及釐清資料使用相關目的，預計明年

度將可以順利取得即時測站資料的使用權。

建置近即時自動化分析程序有以下幾項重要關鍵，必要的同震山崩判識準則有：(1) 測站 $PGA > 196 \text{ gal}$ 、(2) 臨界坡角 θ_c 對應之 d_{10} 位移量須介於 $10 \text{ cm} \sim 254 \text{ m}$ ，且 θ_c 須介於崩塌前地形平均坡角 θ 減 8° 至 θ 、(3) 剪力波震源輻射能量值 R^{SV} 絕對值須小於 0.15 ；事前需準備的資料庫有(1) Newmark 輸入參數檔(sta_accnet.txt)及(2) 理論時間差之資料表(Time_Table.txt)；即時運作系統時關於地震參數的介接(圖 2-22)。

目前 175 處目標邊坡皆至少有一個代表即時測站進行監測管理。然而，測站地動加速度紀錄可能會受到地形幾何效應、場址效應、震源特性等因素而導致加速度紀錄會有所差異，進而影響 Newmark-ICOL 分析程序的可信度。針對上述結論及研究測試成果，本計畫亦提出幾項重要的建議，期許在未來的延續性多年期計畫或相關的延續工作能夠陸續完成，並優化系統運作能力。

第二節 建議

本研究計畫主要有兩項建議：

1. 臺灣過去有數起中大規模的地震事件(圖 4-1)，若可以配合各個歷史事件對應之同震山崩目錄與強地動紀錄，再進一步對 Newmark-ICOL 近即時自動化分析程序進行離線測試，以提升系統運作之可行性並提供更加可信的資料分析成果。
2. 對於地形幾何效應將如何影響強震站加速度紀錄等定性分析成果，建議應選定一個具有高潛勢崩塌區域且地表位移活動性顯著的場址，進行小區域強地動測站安裝，將可以系統性的比較各測站地動記錄受到測站地形起伏變化的影響。本計畫執行年度已針對花蓮縣-瑞穗鄉-D024 內崩塌(舞鶴崩塌地)進行地動加速度計安裝(圖 4-2)，目前僅裝設五處(表 4-1)，依據現地監測與遙測分析之活動證據佈設加速度計，並與其他地表和地下監測設備共站蒐集活動數據。舞鶴崩塌地位於舞鶴台地西側山坡，為秀姑巒溪左岸坡地且鄰近舞鶴山，坡向大略朝東南，坡面平均坡度約 27 度，岩盤地層屬於玉里層之紅葉片岩，岩盤露頭以砂質片岩與泥質片岩為主。由地表地質調查、鑽探岩心、邊坡監測、遙測判釋皆顯示此崩塌地為高潛勢且活動性高之坡體，自 2017 年 1011 豪雨事件發生大幅度變位後，至現今仍約有平均每日 5mm 至 15mm 之

地表位移；此外，本崩塌地由無人機空拍產製正射影像與數值地表模型，顯示滑動體面積約 10.5 公頃，且有整體以相近方向與位移量之下滑趨勢，再由鑽探岩心與地表地質調查等資料綜合推估此滑動體之滑動面深度約為 35m，且含有一層剪裂泥弱帶介於滑動體與基盤之間。因此，舞鶴崩塌地場址包含高活動性、存在滑動面、位於東部地震帶等有利於進行研究之特性。

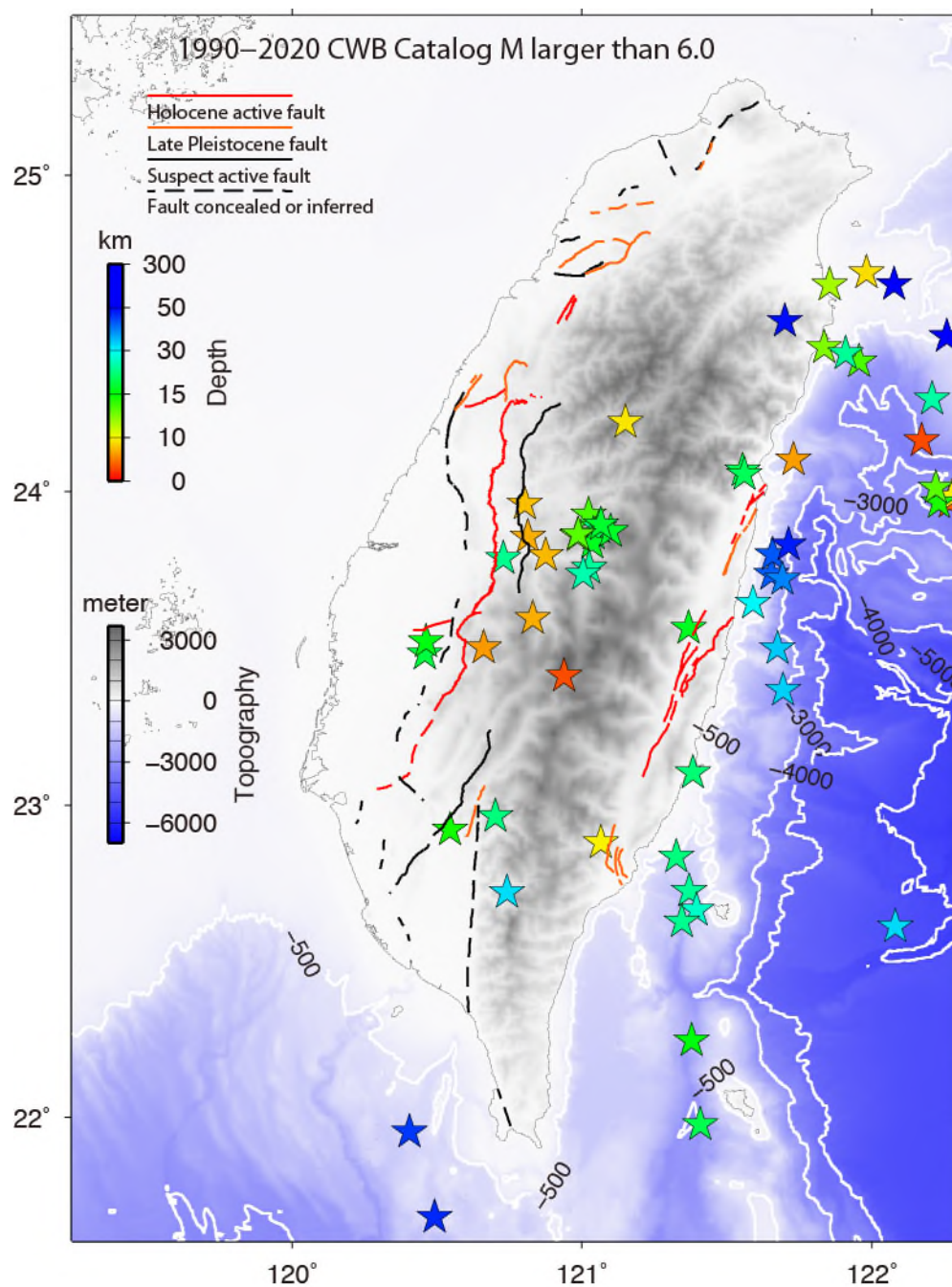


圖 4-1 歷史中大規模地震之分布情形

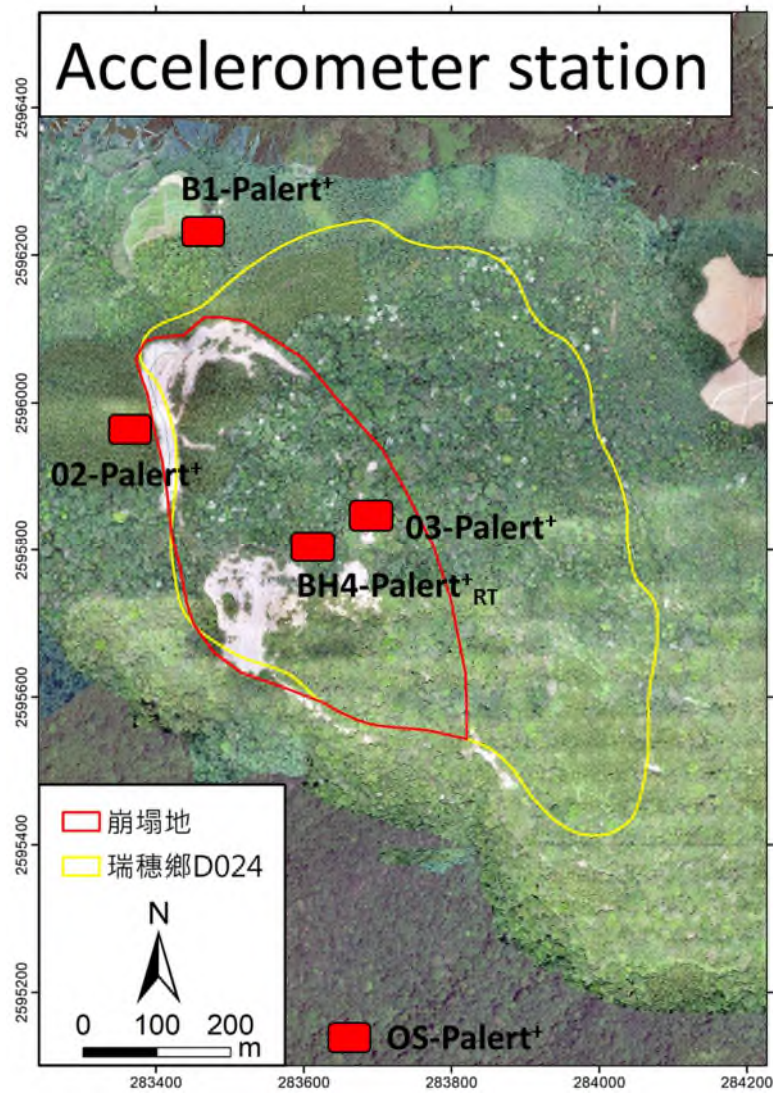


圖 4-2 舞鶴崩塌地之地動加速度計佈置圖

表 4-1 舞鶴崩塌地之地動加速度計位置說明表

編號	安裝位置說明
B1	設於崩塌地外之北坡坡頂，與 GNSS 站共站
02	設於崩崖右翼之崩塌地外側，與 Geophone 共站
03	設於坡腹平台
BH4	設於鑽探孔號 BH4，與 GNSS 站、測傾管、時域反射儀(TDR)共站
OS	設於崩塌地外之對岸坡面林道旁

參考文獻

1. 李錫堤，草嶺大崩山之地質與地形演變，中華水土保持學報，42(4): 325-335，2011。
2. 吳奕翰，利用地動訊號研究同震山崩，碩士論文，國立中興大學水土保持系，2019。
3. 林務局，國有林大規模崩塌潛勢區判釋及危險度評估，2018。
4. Boneh, Y., A. Sagy, and Z. Reches (2013) Frictional strength and wear-rate of carbonate faults during high-velocity, steady-state sliding. *Earth and Planetary Science Letters*. 381: 127-137.
5. Brantut, N., A. Schubnel, J. N. Rouzaud, F. Brunet and T. Shimamoto (2008) High-velocity frictional properties of a clay-bearing fault gouge and implications for earthquake mechanics. *Journal of Geophysical Research*. 113(B10): B10401.
6. Brodsky, E. E., Gordeev, E. and Kanamori, H. (2003) Landslide basal friction as measured by seismic waves, *Geophys. Res. Lett.* 30(24).
7. Brown, D, Y. M. Wu, K. F. Feng, W. A. Chao and H. H. Huang (2015) Imaging high-pressure rock exhumation. *Geology*, 43(7), 651-654.
8. Chao, W. A., L. Zhao and Y. M. Wu. (2011) Centroid fault-plane inversion in three-dimensional velocity structure using strong-motion records. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 101, 1330-1340.
9. Chao, W. A., Y. M. Wu, L. Zhao, V. C. Tsai and C. H. Chen (2015) Seismologically determined bedload flux during the typhoon season, *Sci. Rep.* 5:8261, doi: 10.1038/srep08261.

10. Chao, W. A., L. Zhao, S. C. Chen, Y. M. Wu, C. H. Chen and H. H. Huang (2016) Seismology-based early identification of dam-formation landquake events, Sci. Rep. 5, 19259; doi: 10.1038/srep19259.
11. Chao, W. A., Y. M. Wu, L. Zhao, H. Chen, Y. G. Chen, J. M. Chang and C. M. Lin (2017) A first online real-time seismology-based landquake monitoring system, Sci. Rep. 7:43510; doi: 10.1038/srep43510.
12. Chen, C. H., W. A. Chao, Y. M. Wu, Li Zhao, Y. G. Chen, W. Y. Ho, T. L. Lin, K. H. Kuo and R. M. Zhang (2013) A seismological study of landquakes using a real-time broadband seismic network, Geophys. J. Int. 194, 885-898, doi: 10.1785/0120100245.
13. Chen, Y. R. (2012) Relation between the normal stress on slip plane of a rapidly sliding mass and the excessive travel distance. MS thesis, National Central Univ., Taoyuan, Taiwan.
14. Chen J, Yang X, Duan Q, Shimamoto T, Spiers C J (2013a) Importance of thermochemical pressurization in the dynamic weakening of the Longmenshan fault during the 2008 Wenchuan earthquake: Inferences from experiments and modeling. Journal of Geophysical Research. 118(8): 4145-4169.
15. Chen J., X. Yang, L. Yao, S. Ma, and T. Shimamoto (2013b) Frictional and transport properties of the 2008 Wenchuan earthquake fault zone: Implications for coseismic slip-weakening mechanisms. Tectonophysics. 603: 237-256.
16. Cundall, P. A., and Strack, O. D. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. Geotechnique, 29(1), 47-65.

17. Del Gaudio, P., G. Di Toro, R. Han, T. Hirose, S. Nielsen, T. Shimamoto, and A. Cavallo (2009) Frictional melting of peridotite and seismic slip. *Journal of Geophysical Research*. 114: B06306.
18. De Paola, N., T. Hirose, T. Mitchell, G. Di Toro, T. Togo, and T. Shimamoto (2011) Fault lubrication and earthquake propagation in thermally unstable rocks. *Geology*. 39(1): 35-38.
19. Deparis, J., D. Jongmans, F. Cotton, L. Baillet, F. Thouvenot and D. Hantz (2008) Analysis of rock-fall and rock-fall avalanche seismograms in the French Alps, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 98, 1781-1796.
20. Di Toro, G., D. L. Goldsby, and T. E. Tullis (2004) Friction falls towards zero in quartz rock as slip velocity approaches seismic slip rates. *Nature*. 427(6973): 436-439.
21. Di Toro, G., R. Han, T. Hirose, N. De Paola, S. Nielsen, K. Mizoguchi, F. Ferri, M. Cocco, and T. Shimamoto (2011) Fault lubrication during earthquakes, *Nature* 471, 494-498.
22. Dieterich, J. H. (1978) Time-dependent friction and the mechanics of stick slip. *Pure and Applied Geophysics*. 116: 790-806.
23. Ekström, G. and C. P. Stark (2013) Simple scaling of catastrophic landslide dynamics, *Science*, 339, 1416-1419.
24. Ermini, L., and N. Casagli (2003) Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(1), 31-47.
25. Ferri, F., G. Di Toro, T. Hirose, and T. Shimamoto (2010) Evidences of thermal pressurization in high velocity friction experiments on

- smectite-rich gouges. *Terra Nova*. 22(5): 347-353.
26. Han, R., T. Shimamoto, T. Hirose, J. H. Ree, and J. Ando (2007) Ultralow friction of carbonate faults caused by thermal decomposition. *Science*. 316(5826): 878-881.
 27. Han, R., T. Hirose, and T. Shimamoto (2010) Strong velocity-weakening, powder lubrication of simulated carbonate faults at seismic slip-rates. *Journal of Geophysical Research*. 115: B03412.
 28. Han, R., T. Hirose, T. Shimamoto, Y. Lee, and J. Ando (2011) Granular nanoparticles lubricate faults during seismic slip. *Geology*. 39(6): 599-602.
 29. Hermanns, R. L., Folguera, A., Gonz  les Diaz, F. E., and Fauque, L. (2006) Landslide dams in the Central Andes of Argentina – showing the need of revising the established landslide dam classification. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 55-60.
 30. Hirose, T., and T. Shimamoto (2005) Growth of molten zone as a mechanism of slip weakening of simulated faults in gabbro during frictional melting. *Journal of Geophysical Research*. 110(B5): B05202.
 31. Hirose, T. and M. Bystricky (2007) Extreme dynamic weakening of faults during dehydration by coseismic shear heating. *Geophysical Research Letters*. 34(14): L14311.
 32. Hou, L., S. Ma, T. Shimamoto, J. Chen, L. Yao, X. Yang, and Y. Okimura (2012) Internal structures and high-velocity frictional properties of a bedding-parallel carbonate fault at Xiaojiaqiao outcrop activated by the 2008 Wenchuan earthquake. *Earth Science*. 25: 197-

- 217.
33. Hsu, L., N. J., Finnegan and E. E. Brodsky (2011) A seismic signature of river bedload transport during storm events, *Geophys. Res. Lett.* 38, L13407.
 34. Huang, M. W., Chen, C. Y. Wu, T. H. Chang, C. L. Liu, S. Y., and Kao, C. Y. (2012). GIS-based evaluation on the fault motion-induced coseismic landslides. *Journal of Mountain Science*, 9, 601-612.
 35. Hung, J. J. (2000) Chi-Chi Earthquake Induced Landslides in Taiwan. *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 2(2), 25-33.
 36. Kikuchi, M and H. Kanamori (1991) Inversion of complex body waves-III, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 81, 2335-2350.
 37. Kim, J. W., J. H. Ree, R. Han, and T. Shimamoto (2010) Experimental evidence for the simultaneous formation of pseudotachylite and mylonite in the brittle regime. *Geology*. 38(12): 1143-1146.
 38. Kitajima, H., J. S. Chester, F. M. Chester, and T. Shimamoto (2010) High-speed friction of disaggregated ultracataclasite in rotary shear: Characterization of frictional heating, mechanical behavior, and microstructure evolution. *Journal of Geophysical Research*. 115: B08408.
 39. Kuo, L. W., H. Li, S. A. F. Smith, G. Di Toro, J. Suppe, S. R. Song, S. Nielsen, H. S. Sheu, and J. Si (2013) Gouge graphitization and dynamic fault weakening during the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake. *Geology*. 42(1): 47-50.
 40. Lai, C. Z. (2015) Velocity-displacement dependent friction law of

pure kaolinite based on constant and oscillatory rotary shear tests. MS thesis, National Central Univ., Taoyuan, Taiwan.

41. Lavallée, Y., T. Hirose, J. E. Kendrick, S. De Angelis, L. Petrakova, A. J. Hornby, and D. B. Dingwell (2014) A frictional law for volcanic ash gouge. *Earth and Planetary Science Letters*. 400: 177-183.
42. Lee, S. J., W. T. Liang, H. W. Cheng, F. S. Tu, K. F. Ma, H. Tsuruoka, H. Kawakatsu, B. S. Huang and C. C. Liu (2013) Towards real-time regional earthquake simulation I: real-time moment tensor monitoring (RMT) for regional events in Taiwan, *Geophys. J. Int.* doi: 10.1093/gji/ggt371.
43. Lin, C. H., H. Kumagai, M. Ando, and T. C. Shin (2010) Detection of land- slides and submarine slumps using broadband seismic networks, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L22309, doi:10.1029/2010GL044685.
44. Ma, S., T. Shimamoto, L. Yao, T. Togo, and H. Kitajima (2014) A rotary-shear low to high-velocity friction apparatus in Beijing to study rock friction at plate to seismic slip rates. *Earth Science*. 27: 469-497.
45. Mizoguchi, K., T. Hirose, T. Shimamoto, and E. Fukuyama (2007) Reconstruction of seismic faulting by high-velocity friction experiments: An example of the 1995 Kobe earthquake. *Geophysical Research Letters*. 34(1): L01308.
46. Mizoguchi, K., T. Hirose, T. Shimamoto, and E. Fukuyama (2009) High-velocity frictional behavior and microstructure evolution of fault gouge obtained from Nojima fault, southwest Japan. *Tectonophysics*. 471(3): 285-296.
47. Nielsen, S., G. Di Toro, T. Hirose, and T. Shimamoto (2008)

- Frictional melt and seismic slip. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 113(B1): B01308.
48. Niemeijer, A., G. Di Toro, S. Nielsen, and F. Di Felice (2011) Frictional melting of gabbro under extreme experimental conditions of normal stress, acceleration, and sliding velocity. *Journal of Geophysical Research*. 116: B07404.
 49. Oohashi, K., T. Hirose, and T. Shimamoto (2011) Shear-induced graphitization of carbonaceous materials during seismic fault motion: Experiments, possible implications for fault mechanics. *Journal of Structural Geology*. 33(6): 1122-1134.
 50. Oohashi, K., T. Hirose, and T. Shimamoto (2013) Graphite as a lubricating agent in fault zones: An insight from low- to high-velocity friction experiments on a mixed graphite-quartz gouge. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 118(5): 2067-2084.
 51. Sawai, M., T. Shimamoto, and T. Togo (2012) Reduction in BET surface area of Nojima fault gouge with seismic slip and its implication for the fracture energy of earthquakes. *Journal of Structural Geology*. 38: 117-138.
 52. Smith, S. A. F., G. Di Toro, S. Kim, J. H. Ree, S. Nielsen, A. Billi, and R. Spiess (2012) Coseismic recrystallization during shallow earthquake slip. *Geology*. 41(1): 63-66.
 53. Shou, K. J. and C. F. Wang (2003) Analysis of the Chiufengershan landslide triggered by the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan. *Engineering Geology* 68, 237-250.
 54. Suriñach, E., I. Vilajosana, G. Khazaradze, B. Biescas, G. Furdada

- and J. M. Vilaplana (2005) Seismic detection and characterization of landslides and other mass movements, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, 791-789.
55. Togo, T., T. Shimamoto, S. Ma, and Hirose, T. (2011) High-velocity frictional behavior of Longmenshan fault gouge from Hongkou outcrop and its implications for dynamic weakening of fault during the 2008 Wenchuan earthquake. *Earth Science*. 24: 267-281.
56. Togo, T. and T. Shimamoto (2012) Energy partition for grain crushing in quartz gouge during subseismic to seismic fault motion: An experimental study. *Journal of Structural Geology*. 38: 139-155.
57. Togo, T., T. Shimamoto, J. J. Dong, C. T. Lee, and C. M. (2014) Triggering and runaway processes of catastrophic Tsaoling landslide induced by the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake, as revealed by high-velocity friction experiments. *Geophysical Research Letters*. 41(6): 1907-1915.
58. Tsao, C. C., (2014) The geometric characteristics and initiation mechanisms of the earthquake-triggered Daguangbao landslide. MS thesis, National Central Univ., Taoyuan, Taiwan.
59. Tsutsumi, A. and T. Shimamoto (1997) High-velocity frictional properties of gabbro. *Geophysical Research Letters*. 24(6): 699-702.
60. Ujiie, K. and A. Tsutsumi (2010) High-velocity frictional properties of clay-rich fault gouge in a megasplay fault zone, Nankai subduction zone. *Geophysical Research Letters*. 37: L24310.
61. Ujiie, K., H. Tanaka, T. Saito, A. Tsutsumi, J. Mori, J. Kameda, E. E. Brodsky, F. M. Chester, N. Eguchi, and S. Toczko (2013) Low coseismic shear stress on the Tohoku-Oki megathrust determined

- from laboratory experiments. *Science*. 342(6163): 1211-1214.
62. Violay, M., S. Nielsen, E. Spagnuolo, D. Cinti, G. Di Toro, and G. Di Stefano (2013) Pore fluid in experimental calcite-bearing faults: Abrupt weakening and geochemical signature of co-seismic processes. *Earth Planetary Science Letters*. 361: 74-84.
 63. Wu, Y. M., J. B. H. Shyu, C. H. Chang, L. Zhao, M. Nakamura and S. K. Hsu (2009) Improved seismic tomography offshore northeastern Taiwan: implication for subduction and collision processes between Taiwan and the southernmost Ryukyu, *Geophys. J. Int.* 178, 1042-1054.
 64. Yamada, M., H. Kumagai, Y. Matsushi and T. Matsuzawa (2013) Dynamic landslide processes revealed by broadband seismic records, *Geophys. Res. Lett.*, 40(12), 2998 – 3002.
 65. Yang, C. M., W. L. Yu, J. J. Dong, C. Y. Kuo, T. Shimamoto, Lee, C. T., T. Togo, and Y. Miyamoto (2014) Initiation, movement, and run-out of the giant Tsaoling landslide—What can we learn from a simple rigid block model and a velocity – displacement dependent friction law? *Engineering geology* 182, 158-181.
 66. Yang, C. M., C. H. Hsu, and J. J. Dong (2017) Critical displacement of earthquake-triggered catastrophic landslides. 4th World Landslide Forum, Ljubljana, Slovenia.
 67. Yao, L., T. Shimamoto, S. Ma, J. Chen, and T. Togo (2011) Internal structures, high-velocity frictional properties of Longmenshan fault zone at Pingxi outcrop, Sichuan, China. AOGS 8th Annual General Meeting, 2011.

68. Yao, L., T., S. Shimamoto, R. Ma, K. Han, and K. Mizoguchi (2013) Rapid postseismic strength recovery of Pingxi fault gouge from the Longmenshan fault system: Experiments, implications for the mechanisms of high-velocity weakening of faults. *Journal of Geophysical Research*. 118(8): 4547-4563.
69. Yu, W. L., (2011) Velocity-displacement dependent friction coefficient and the kinematics of giant landslide. MS thesis, National Central Univ., Taoyuan, Taiwan.
70. Zhu, L. and L. A. Rivera (2002) A note on the dynamic and static displacements from a point source in multilayered media, *Geophys. J. Int.* 148, 619-627.

附錄

附錄一、計畫書審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	近即時同震山崩潛感圖資訊展示平台值得持續充實內容及與水保局發展後續的應用。	感謝委員肯定，本計畫目標即為透過研究成果提供防減災工作之參考資訊。
二	方法論應屬可行，只是如何用事件學習方式，以達到調校所建立系統模式，使之更具應用性，將是本研究的一大挑戰。	同意委員陳述之意見。本計畫前期工作項目，主要為系統性盤點 Newmark 分析所需要的地形參數與材料剪動參數，然透過 1999 年集集地震事件驗證模型參數之適用性，並建立標準化分析程序。中後階段，透過近期 2012 年後規模大於 6 的地震事件進行再次檢驗系統程序，並針對系統缺失進行滾動修正。選擇 2012 年後事件原因為即時強震網 Palert 建置較為完整。礙於計畫執行時程有限，若後續有延續型的多年期計畫，將可以更有

項次	審查意見	回覆辦理情形
		效率的測試系統，以達實務應用端之需求。
三	計畫內容所提出之示意圖閱讀不易，建議緊接內容段落之後。	受限於系統設定，故圖示無法緊接內文。
四	實施方法與步驟2，第一段內容重覆放置2次，請刪除。	遵照辦理。
五	目前求得同震山崩之困難處為何？有無其限制？適用之崩塌類型或地形？	困難處：(1)預估潛在滑動面之位態(傾向與傾角)與強度參數(摩擦係數與摩擦律)；(2)地震記錄是否適合用於輸入特定潛在滑動體，因為地震站記錄之地動加速度輸入於潛在滑動體時，潛在滑動體與鄰近地震站之間存在高程、坡向、坡度、地盤材料特性等因子不同。(3) ICOL山崩地動訊號辨識成效須仰賴地震震源機制、地震與山崩事件及事件與測站之相對位置分佈等特性。 限制與適用：一般來說，當

項次	審查意見	回覆辦理情形
		地震發生時可被觀察之同震山崩通常為快速長位移之平面式滑動，此外，亦有同震誘發落石、傾覆、淺層破壞或弧形滑動等類型，本計畫將針對潛在大規模平面型破壞進行分析探討。當同震位移量小於可觀察之尺度則為限制而無法驗證，故適用之崩塌類型應為受到不連續面控制之坡體，如平面型破壞、順向坡地形之潛在滑動面傾角小於邊坡坡度，此現象稱為見光(daylight)。
六	請補充說明進行位移分析方及其成果應用。	本計畫採用 Newmark 位移法並結合速度-位移相依摩擦律進行位移分析，以集集地震誘發之草嶺崩塌案例，由地震站之地動加速度歷時記錄、滑動面傾向與傾角、滑動帶材料之速度-位移相依摩擦律輸入分析計算，獲得每個歷時記錄的滑動體下滑加

項次	審查意見	回覆辦理情形
		速度、速度、位移和摩擦係數，計算結果配合地形分析可重建集集地震誘發之草嶺崩塌案例運動過程。 分析結果可用於掌握同震山崩誘發時間、運移時程、速度與能量隨時間的變化，提供上述資訊用以評估可能影響的範圍、衝擊的能量、災害的規模。
七	本計畫研究範圍為全台？或由歷史山崩目錄再篩選研究範圍？實施地點說明特定山區為何？請說明。	研究範圍應用於全台特定山區，其中特定區如同前述之潛在平面型破壞之區域、順向坡(沉積岩之層理、板岩之劈理或平整且延續性極佳之不連續面)並具有見光之可能，歷史山崩目錄總數眾多則可由上述條件篩選出適合之場址，建置為平面型破壞之大規模山崩目錄。以集集地震同震山崩目錄為例，數目多、分布廣，然而現有地質圖中並非所有同震山崩鄰

項次	審查意見	回覆辦理情形
		近區域皆有位態記錄，且並非所有山區皆有含位態記錄與可參考地質圖，故計畫執行中分析此類之歷史山崩目錄時，若同時有保全對象和值得探討之原因(例如可判釋之破壞特徵)，則列為特定崩塌區，將採取補充調查工作。已於計畫書修訂版透過文字內容進行補充說明。
八	建議加入現地調查驗證之工作。	謝謝委員建議，如前述特定崩塌區，符合條件並於妥善規畫後進行現地調查蒐集資料，於掌握明確與有效資訊後，進行位移分析後對該案例進行驗證。

附錄二、期初審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	P2-8，文中有亂碼，應修正。	遵照辦理。
二	地震規模大於山崩之震動規模時，能否分離出山崩的震動訊號？	於第三章第四節完成測試同震山崩地動訊號分析方法(ICOL)，可以成功釐清草嶺山崩造成的地動訊耗時間窗口，同時亦可透過震波訊號判斷事件的滑移角度及發生的時間，後續將測試其餘已知的同震山崩事件。本研究於第一章已說明地震規模基本上皆大於山崩的地震規模。
三	921地震時有多少同震山崩，是否可篩選出，並予以驗證？	於第二章第三節介紹，以草嶺和九份二山案例進行驗證，已有初步成果與討論。由於地形參數(平均坡度與坡向)對於計算結果有明顯影響，且坡度通常大於滑動面傾角，因此以地形坡度輸入將會有高估位移的結果。

項次	審查意見	回覆辦理情形
四	本研究方法与步骤明确可行，值得嘗試。	感謝給予肯定的審查意見。
五	建議計畫主持人若欲發布近即時同震山崩潛感圖時，除了透過全島即時地震站獲得即時資料與完成上述工作外，並需以程式快速進行運算以及圖表繪製同時發布，並需有專業程式撰寫之能力與網頁平台展示之技術。	感謝委員的建議。本計畫主持人過去曾經執行震波式大規模崩塌監測系統之開發與應用等相關工作，具備一定程度的程式及網頁語言能力。因此在本計畫的系統規劃及開發階段，應具有一定的執行能力。然而，在未來實際應用本案開發之系統，將建議應與專業網頁及軟體開發公司共同合作，提升系統之可靠度與專業性。
六	本計畫能快速找出因地震引致之山崩區位，規模有助於災後之緊急處理，二次災害之預防，值得肯定，又同震山崩之定義建議敘明。	同震山崩為地震產生強烈地表震動造成之各種邊坡破壞，本計畫之評估之同震山崩對象為大規模平面型破壞，於第二章第一節建立目錄。
七	本計畫所欲建立之潛在大規	參考建議，於第二章第一節說

項次	審查意見	回覆辦理情形
	模平面破壞之山崩目錄，除參考山崩與順向坡外，建議可參考地調所所圈繪之潛在大規模崩塌區，以完整建立山崩目錄。	明。
八	報告書錯字、誤植處較多，請檢視修正。	遵照辦理。
九	報告書第2-1頁，倒數第1行，「實」際運作上，缺字。	遵照辦理。
十	報告書第2-6頁，倒數第6行，「具」有即時資料，錯字。	遵照辦理。
十一	報告書第2-9頁，倒數第3行 RTR為何？請說明。	以山崩事件為中心之正北方之方位角(θ)為0度且順時鐘方向為正，定義事件與各測站的方位角。接著將測站水平向(東西向、南北向)地動訊號紀錄，旋轉為以山崩為中心的徑向方向(R: radial)與切向方向(T: transverse)，RTR 為 RT ratio。當山崩滑動方向方位角與測站的徑向方向接近時，該測站 R 方向的地動訊號振幅值會變大，反之 T 方向振幅值

項次	審查意見	回覆辦理情形
		變小。
十二	報告書第3-1頁，甘特圖第1個工作項目中，蒐集「剪」動材料強度之相關資料，係剪或地動，請確認。	該處為剪動材料，亦即第二章第二節所描述之材料。
十三	有關報告書第4-1頁，臚列防災系統開發須構思之問題，值得鼓勵。就本局業務立場而言，提出以下幾點供系統開發參考： (1) 地震發生後多久時間段落內發生的山崩，會被歸類為同震山崩？ (2) 平台系統是否可以圖台式顯示山崩發生之區位、範圍與量體等資訊。 (3) 平台系統是否參考中央氣象局地震訊息，分成簡要之速報訊息，以及後續較詳盡之報告在平台系統上呈現。 (4) 速報訊息規劃用甚麼方式發送？若是手機簡訊，假設水保局就在地震震度5級範圍	感謝委員提供的建議。本案將於期末階段納入參考，並針對委員提供四點項目進行討論。

項次	審查意見	回覆辦理情形
	內，電信基地台很可能忙線或倒塌的情形下，該如何傳送訊息？另如果頻繁發送，手機簡訊之費用如何負擔？	
十四	建議報告書封面加上案名；報告書封底，http請加s。	遵照辦理。

附錄三、期中審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	Newmark 分析之測試似有許多不確定性未能釐清，如何改進之？	藉由案例測試、山崩目錄建置與地震資料分析後，決定輸入值之範圍，如滑動面之傾向、傾角、PGA 門檻值等參數。
二	P2-8，文中之最佳滑移角為216°，但圖2-16示出為210°，不一致？	謝謝委員，已修正。
三	工作項目第五項，第六項均有列工作內容，並有工作進度，惟報告內容未見說明。	相關成果已於期末報告說明與展示(第二章第五節與第六節)。
四	P2-1：報告所引潛在大規模崩塌目錄之資料來源為何？請補充	資料來源為林務局，107 年，國有林大規模崩塌潛勢區判釋及危險度評估。已補充說明，謝謝委員。
五	附錄3所列之邊坡岩性、地形與重要力學參數中，平均坡度、坡向之定義建議補充。另多數邊坡之傾向、傾角無資料，後續分析如何處理？	岩性、平均坡度、坡向採用潛在大規模崩塌目錄內所建置資料(林務局，2018)。 目前以砂岩與砂頁互層分區為主要分析目標，缺少傾向、傾角之問題，除了山崩目錄內

項次	審查意見	回覆辦理情形
		已有資料外，將藉由資料蒐集(如區域地質圖或相關報告之地質調查成果，以及中央地質調查所之地質雲加值應用平台等線上資源)獲取鄰近區域之地層傾向與傾角；次之，以地形分析(如順向坡地層走向反映於邊坡之平行等高線)獲取可能之傾向與傾角範圍。

附錄四、邊坡岩性、地形與重要力學參數

表附 3-1 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(砂岩與砂頁互層)

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SS001	37	4	砂岩、砂頁互層			509516	臺中市-和平區-D066
SS002	38	8	砂岩、砂頁互層			112515	臺中市-和平區-D075
SS003	38	3	砂岩、砂頁互層			363805	臺中市-和平區-D389
SS004	38	3	砂岩、砂頁互層			194237	臺中市-和平區-D389
SS005	32	5	砂岩、砂頁互層			104689	臺中市-和平區-D445
SS006	28	5	砂岩、砂頁互層			226167	臺中市-和平區-D448
SS007	31	3	砂岩、砂頁互層			1063143	臺中市-和平區-D082
SS008	31	3	砂岩、砂頁互層			260342	臺中市-和平區-D082
SS009	29	3	砂岩、砂頁互層			104103	臺中市-和平區-D079
SS010	25	4	砂岩、砂頁互層			143686	臺中市-和平區-D110
SS011	38	3	砂岩、砂頁互層			133391	臺中市-和平區-D126
SS012	35	4	砂岩、砂頁互層			118932	臺中市-和平區-D215
SS013	32	4	砂岩、砂頁互層			346068	臺中市-和平區-D201
SS014	39	4	砂岩、砂頁互層			185982	臺中市-和平區-D207
SS015	25	3	砂岩、砂頁互層			192669	臺中市-和平區-D269
SS016	29	5	砂岩、砂頁互層			367831	臺中市-和平區-D258
SS017	34	5	砂岩、砂頁互層			248358	臺中市-和平區-D257
SS018	37	3	砂岩、砂頁互層			527007	臺中市-和平區-D276
SS019	35	8	砂岩、砂頁互層			492423	臺中市-和平區-D309
SS020	36	3	砂岩、砂頁互層			572456	臺中市-和平區-D299
SS021	37	3	砂岩、砂頁互層			260505	臺中市-和平區-D400
SS022	29	4	砂岩、砂頁互層			444943	臺中市-和平區-D426
SS023	37	3	砂岩、砂頁互層			107726	臺中市-和平區-D419
SS024	39	4	砂岩、砂頁互層			152597	臺中市-和平區-D410
SS025	36	8	砂岩、砂頁互層			224550	臺中市-和平區-D433
SS026	40	6	砂岩、砂頁互層			431537	臺中市-和平區-D431
SS027	36	8	砂岩、砂頁互層			230558	臺中市-和平區-D432
SS028	38	4	砂岩、砂頁互層			102363	臺中市-和平區-D427

近即時震波式同震山崩潛感圖

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SS029	38	4	砂岩、砂頁互層			123114	臺中市-和平區-D337
SS030	38	4	砂岩、砂頁互層			164850	臺中市-和平區-D305
SS031	34	4	砂岩、砂頁互層			130998	臺中市-和平區-D326
SS032	29	4	砂岩、砂頁互層			237547	臺中市-和平區-D198
SS033	41	4	砂岩、砂頁互層			961853	臺中市-和平區-D321
SS034	38	2	砂岩、砂頁互層			426472	南投縣-信義鄉-D387
SS035	40	3	砂岩、砂頁互層			151018	南投縣-信義鄉-D538
SS036	32	3	砂岩、砂頁互層			221028	南投縣-信義鄉-D226
SS037	22	8	砂岩、砂頁互層	342	22	503161	嘉義縣-阿里山鄉-D187
SS038	22	8	砂岩、砂頁互層	342	22	1619925	嘉義縣-阿里山鄉-D187
SS039	22	8	砂岩、砂頁互層	342	22	753752	嘉義縣-阿里山鄉-D187
SS040	22	8	砂岩、砂頁互層	342	22	288725	嘉義縣-阿里山鄉-D187
SS041	22	8	砂岩、砂頁互層	342	22	787340	嘉義縣-阿里山鄉-D187
SS042	17	8	砂岩、砂頁互層			486295	嘉義縣-阿里山鄉-D184
SS043	28	1	砂岩、砂頁互層			133566	嘉義縣-阿里山鄉-D189
SS044	29	3	砂岩、砂頁互層			141796	嘉義縣-阿里山鄉-D169
SS045	29	4	砂岩、砂頁互層			147915	嘉義縣-阿里山鄉-D171
SS046	43	2	砂岩、砂頁互層			388131	南投縣-信義鄉-D521
SS047	26	8	砂岩、砂頁互層			293321	嘉義縣-阿里山鄉-D185
SS048	30	7	砂岩、砂頁互層			102450	嘉義縣-梅山鄉-D013
SS049	27	1	砂岩、砂頁互層			154346	嘉義縣-阿里山鄉-D186
SS050	34	3	砂岩、砂頁互層			217498	南投縣-信義鄉-D147
SS051	28	8	砂岩、砂頁互層			108950	嘉義縣-阿里山鄉-D181
SS052	36	2	砂岩、砂頁互層			140018	南投縣-信義鄉-D328
SS053	39	3	砂岩、砂頁互層			109163	南投縣-仁愛鄉-D530
SS054	28	7	砂岩、砂頁互層			119973	高雄市-甲仙區-D014
SS055	34	7	砂岩、砂頁互層			110249	高雄市-那瑪夏區-D108
SS056	34	6	砂岩、砂頁互層			206048	高雄市-甲仙區-D005
SS057	34	5	砂岩、砂頁互層	140	20	108766	高雄市-那瑪夏區-D064
SS058	32	3	砂岩、砂頁互層	104	42	420783	嘉義縣-阿里山鄉-D053
SS059	32	3	砂岩、砂頁互層	104	42	187779	嘉義縣-阿里山鄉-D043
SS060	35	4	砂岩、砂頁互層	104	42	126137	嘉義縣-阿里山鄉-D034
SS061	37	8	砂岩、砂頁互層			376673	高雄市-那瑪夏區-D005

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SS062	25	4	砂岩、砂頁互層			118999	高雄市-杉林區-D006
SS063	21	4	砂岩、砂頁互層			254483	高雄市-杉林區-D005
SS064	27	4	砂岩、砂頁互層			259235	高雄市-杉林區-D003
SS065	23	4	砂岩、砂頁互層	124	38	638229	高雄市-甲仙區-D047
SS066	32	7	砂岩、砂頁互層			140477	高雄市-那瑪夏區-D102
SS067	21	4	砂岩、砂頁互層	160	48	169414	高雄市-杉林區-D016
SS068	24	4	砂岩、砂頁互層			117569	高雄市-甲仙區-D040
SS069	30	4	砂岩、砂頁互層			299117	高雄市-那瑪夏區-D103
SS070	30	7	砂岩、砂頁互層			113816	高雄市-那瑪夏區-D111
SS071	24	4	砂岩、砂頁互層	120	30	619778	嘉義縣-大埔鄉-D012
SS072	26	4	砂岩、砂頁互層	142	32	419148	嘉義縣-大埔鄉-D008
SS073	25	4	砂岩、砂頁互層	120	20	163444	嘉義縣-大埔鄉-D013
SS074	26	3	砂岩、砂頁互層	120	40	614073	嘉義縣-大埔鄉-D011
SS075	25	4	砂岩、砂頁互層	125	30	100751	嘉義縣-大埔鄉-D007
SS076	23	3	砂岩、砂頁互層	120	34	484612	嘉義縣-番路鄉-D024
SS077	30	6	砂岩、砂頁互層	301	20	174847	嘉義縣-阿里山鄉-D127
SS078	24	3	砂岩、砂頁互層	100	50	144373	嘉義縣-番路鄉-D023
SS079	29	4	砂岩、砂頁互層	115	23	235163	嘉義縣-大埔鄉-D023
SS080	30	7	砂岩、砂頁互層	284	62	189619	高雄市-那瑪夏區-D049
SS081	29	3	砂岩、砂頁互層	115	23	221913	嘉義縣-大埔鄉-D026
SS082	25	4	砂岩、砂頁互層	120	38	172002	臺南市-東山區-D001
SS083	29	3	砂岩、砂頁互層	120	32	170151	嘉義縣-大埔鄉-D032
SS084	24	3	砂岩、砂頁互層	131	42	166722	臺南市-南化區-D003
SS085	28	6	砂岩、砂頁互層	260	30	166802	嘉義縣-阿里山鄉-D010
SS086	31	7	砂岩、砂頁互層	281	25	189094	嘉義縣-阿里山鄉-D085
SS087	24	8	砂岩、砂頁互層	306	40	1390534	嘉義縣-阿里山鄉-D104
SS088	28	7	砂岩、砂頁互層	302	15	128270	嘉義縣-阿里山鄉-D113
SS089	28	6	砂岩、砂頁互層	125	45	115639	嘉義縣-阿里山鄉-D044
SS090	28	4	砂岩、砂頁互層	130	50	301085	嘉義縣-番路鄉-D016
SS091	28	4	砂岩、砂頁互層	130	50	352916	嘉義縣-番路鄉-D014
SS092	24	3	砂岩、砂頁互層	140	48	364326	臺南市-南化區-D004
SS093	30	4	砂岩、砂頁互層	160	32	118889	臺南市-東山區-D003
SS094	30	4	砂岩、砂頁互層	115	15	201687	臺南市-東山區-D002

近即時震波式同震山崩潛感圖

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SS095	29	3	砂岩、砂頁互層	94	16	236153	嘉義縣-大埔鄉-D025
SS096	30	8	砂岩、砂頁互層	291	80	255580	嘉義縣-阿里山鄉-D126
SS097	29	4	砂岩、砂頁互層	114	22	657795	嘉義縣-番路鄉-D017
SS098	32	4	砂岩、砂頁互層	104	44	120178	嘉義縣-番路鄉-D018
SS099	28	4	砂岩、砂頁互層	116	28	411471	嘉義縣-番路鄉-D010
SS100	28	4	砂岩、砂頁互層	108	21	204851	嘉義縣-番路鄉-D013
SS101	28	7	砂岩、砂頁互層	256	22	154570	嘉義縣-番路鄉-D012
SS102	26	7	砂岩、砂頁互層	273	23	364576	嘉義縣-阿里山鄉-D102
SS103	29	7	砂岩、砂頁互層	101	25	116810	嘉義縣-阿里山鄉-D081
SS104	24	7	砂岩、砂頁互層	270	42	1388483	嘉義縣-阿里山鄉-D084
SS105	39	4	砂岩、砂頁互層	131	35	113655	嘉義縣-阿里山鄉-D083
SS106	35	4	砂岩、砂頁互層	130	44	171523	嘉義縣-阿里山鄉-D068
SS107	25	8	砂岩、砂頁互層	308	12	206476	嘉義縣-阿里山鄉-D005
SS108	26	1	砂岩、砂頁互層	274	20	441652	嘉義縣-阿里山鄉-D011
SS109	33	5	砂岩、砂頁互層			134154	高雄市-那瑪夏區-D097
SS110	19	4	砂岩、砂頁互層			106215	高雄市-甲仙區-D050
SS111	23	7	砂岩、砂頁互層			131186	高雄市-杉林區-D004
SS112	26	4	砂岩、砂頁互層	160	48	108736	高雄市-杉林區-D011
SS113	30	4	砂岩、砂頁互層			106763	高雄市-內門區-D002
SS114	32	4	砂岩、砂頁互層			455254	高雄市-桃源區-D267
SS115	26	3	砂岩、砂頁互層	144	44	168442	高雄市-桃源區-D299
SS116	29	3	砂岩、砂頁互層	144	44	107021	高雄市-桃源區-D298
SS117	32	4	砂岩、砂頁互層			162136	高雄市-桃源區-D195
SS118	25	4	砂岩、砂頁互層			100158	高雄市-六龜區-D069
SS119	32	4	砂岩、砂頁互層			218981	高雄市-桃源區-D308
SS120	25	4	砂岩、砂頁互層			218644	嘉義縣-竹崎鄉-D007
SS121	35	3	砂岩、砂頁互層			351110	南投縣-仁愛鄉-D633
SS122	39	3	砂岩、砂頁互層			557190	南投縣-仁愛鄉-D609
SS123	36	4	砂岩、砂頁互層			111372	南投縣-仁愛鄉-D629
SS124	41	3	砂岩、砂頁互層			294232	南投縣-仁愛鄉-D620
SS125	36	4	砂岩、砂頁互層			353341	南投縣-仁愛鄉-D610
SS126	39	4	砂岩、砂頁互層			301642	南投縣-仁愛鄉-D606
SS127	38	3	砂岩、砂頁互層			318218	南投縣-仁愛鄉-D654

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SS128	41	4	砂岩、砂頁互層			197770	南投縣-仁愛鄉-D641
SS129	35	3	砂岩、砂頁互層			100935	南投縣-仁愛鄉-D673
SS130	35	3	砂岩、砂頁互層			123318	南投縣-仁愛鄉-D673
SS131	38	4	砂岩、砂頁互層			106452	南投縣-仁愛鄉-D664
SS132	31	4	砂岩、砂頁互層			168579	南投縣-仁愛鄉-D672
SS133	35	4	砂岩、砂頁互層			101767	南投縣-仁愛鄉-D661
SS134	33	4	砂岩、砂頁互層			396177	南投縣-仁愛鄉-D598
SS135	38	4	砂岩、砂頁互層			195092	南投縣-仁愛鄉-D595
SS136	34	5	砂岩、砂頁互層			100954	臺中市-和平區-D484
SS137	27	4	砂岩、砂頁互層	101	47	232656	臺中市-和平區-D491
SS138	40	4	砂岩、砂頁互層			126705	南投縣-仁愛鄉-D713
SS139	34	6	砂岩、砂頁互層	218	38	123724	臺中市-和平區-D470
SS140	29	3	砂岩、砂頁互層	116	54	100261	苗栗縣-泰安鄉-D212
SS141	32	3	砂岩、砂頁互層	132	36	164787	苗栗縣-泰安鄉-D171
SS142	36	3	砂岩、砂頁互層	110	42	164118	苗栗縣-泰安鄉-D142
SS143	22	1	砂岩、砂頁互層	316	28	141195	苗栗縣-南庄鄉-D023
SS144	19	8	砂岩、砂頁互層	316	28	140658	苗栗縣-南庄鄉-D022
SS145	34	3	砂岩、砂頁互層	105	75	203317	苗栗縣-泰安鄉-D007
SS146	27	2	砂岩、砂頁互層			491638	新竹縣-尖石鄉-D227
SS147	37	8	砂岩、砂頁互層			235475	新竹縣-尖石鄉-D226
SS148	33	3	砂岩、砂頁互層			147166	新竹縣-尖石鄉-D223
SS149	24	4	砂岩、砂頁互層			102191	桃園市-復興區-D010
SS150	20	5	砂岩、砂頁互層			116465	桃園市-復興區-D067
SS151	21	8	砂岩、砂頁互層			135774	新北市-坪林區-D006
SS152	21	8	砂岩、砂頁互層	308	45	251641	新北市-新店區-D005
SS153	34	2	砂岩、砂頁互層	38	36	217460	新竹縣-五峰鄉-D033
SS154	25	3	砂岩、砂頁互層			171184	新竹縣-五峰鄉-D041
SS155	23	8	砂岩、砂頁互層	310	44	135834	新竹縣-尖石鄉-D019
SS156	26	8	砂岩、砂頁互層	310	44	187020	新竹縣-尖石鄉-D016
SS157	37	8	砂岩、砂頁互層	310	44	108657	新竹縣-尖石鄉-D032
SS158	25	8	砂岩、砂頁互層	320	70	419303	新竹縣-尖石鄉-D021
SS159	25	8	砂岩、砂頁互層	320	70	1161205	新竹縣-尖石鄉-D110
SS160	30	2	砂岩、砂頁互層			125037	臺東縣-達仁鄉-D088

近即時震波式同震山崩潛感圖

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SS161	25	4	砂岩、砂頁互層			152140	花蓮縣-豐濱鄉-D020
SS162	28	4	砂岩、砂頁互層			115391	花蓮縣-瑞穗鄉-D120
SS163	26	4	砂岩、砂頁互層			124277	花蓮縣-瑞穗鄉-D018
SS164	32	8	砂岩、砂頁互層			158064	新竹縣-五峰鄉-D068
SS165	31	8	砂岩、砂頁互層			118468	新竹縣-尖石鄉-D136
SS166	34	8	砂岩、砂頁互層			113514	桃園市-復興區-D141
SS167	25	4	砂岩、砂頁互層			171971	宜蘭縣-大同鄉-D087
SS168	38	8	砂岩、砂頁互層			101401	桃園市-復興區-D135
SS169	32	8	砂岩、砂頁互層			349239	桃園市-復興區-D137
SS170	28	4	砂岩、砂頁互層			127262	新竹縣-尖石鄉-D073
SS171	31	4	砂岩、砂頁互層			176645	新竹縣-尖石鄉-D071
SS172	24	8	砂岩、砂頁互層			197120	桃園市-復興區-D083
SS173	24	4	砂岩、砂頁互層			145209	桃園市-復興區-D010
SS174	23	5	砂岩、砂頁互層			121647	桃園市-復興區-D012
SS175	25	8	砂岩、砂頁互層			170347	桃園市-復興區-D024

表附 3-2 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(頁岩與硬頁岩)

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積(公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SH001	21	4	頁岩			137378	南投縣-集集鎮-D008
SH002	32	2	頁岩			159696	嘉義縣-竹崎鄉-D004
SH003	33	3	頁岩			129945	嘉義縣-阿里山鄉-D170
SH004	25	8	頁岩			103859	嘉義縣-阿里山鄉-D166
SH005	42	8	頁岩			183901	嘉義縣-阿里山鄉-D175
SH006	27	4	頁岩	132	38	597571	高雄市-甲仙區-D044
SH007	22	4	頁岩			264388	高雄市-甲仙區-D048
SH008	24	3	頁岩	95	37	337102	嘉義縣-大埔鄉-D020
SH009	30	5	硬頁岩	248	32	294055	高雄市-六龜區-D037
SH010	28	6	硬頁岩	248	32	275883	高雄市-六龜區-D041
SH011	26	4	硬頁岩	116	30	322199	高雄市-桃源區-D228
SH012	26	4	硬頁岩	116	30	113426	高雄市-桃源區-D228
SH013	29	5	硬頁岩	116	30	110608	高雄市-桃源區-D225
SH014	31	6	硬頁岩	204	32	179064	高雄市-六龜區-D060
SH015	30	7	硬頁岩			125799	高雄市-六龜區-D022
SH016	28	4	硬頁岩	116	30	270133	高雄市-桃源區-D224
SH017	26	5	硬頁岩	136	48	308280	屏東縣-三地門鄉-D005
SH018	30	3	硬頁岩	136	48	163937	屏東縣-三地門鄉-D010
SH019	28	4	硬頁岩	136	48	163143	屏東縣-三地門鄉-D030
SH020	25	4	硬頁岩	148	40	616929	屏東縣-三地門鄉-D094
SH021	26	4	硬頁岩	148	40	269416	屏東縣-三地門鄉-D097
SH022	27	4	硬頁岩			189868	屏東縣-三地門鄉-D089
SH023	27	4	硬頁岩			516926	屏東縣-三地門鄉-D089
SH024	27	4	硬頁岩			1719501	屏東縣-三地門鄉-D089
SH025	30	4	硬頁岩	148	40	169855	屏東縣-三地門鄉-D095
SH026	30	4	硬頁岩	138	38	296590	屏東縣-三地門鄉-D086
SH027	30	4	硬頁岩			1298449	屏東縣-三地門鄉-D086
SH028	31	4	硬頁岩			537589	屏東縣-霧臺鄉-D010
SH029	32	4	硬頁岩	166	32	164821	屏東縣-霧臺鄉-D034
SH030	33	4	硬頁岩	142	30	104557	屏東縣-霧臺鄉-D040
SH031	31	4	硬頁岩	130	48	109259	屏東縣-霧臺鄉-D025
SH032	35	6	硬頁岩	240	48	388225	高雄市-桃源區-D360

近即時震波式同震山崩潛感圖

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積(公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SH033	28	4	頁岩			276982	嘉義縣-竹崎鄉-D005
SH034	29	4	頁岩	105	34	158332	苗栗縣-泰安鄉-D198
SH035	34	3	頁岩			106939	屏東縣-獅子鄉-D027
SH036	38	4	頁岩			199915	桃園市-復興區-D133
SH037	35	4	頁岩			129301	新竹縣-尖石鄉-D090
SH038	24	5	頁岩			191892	桃園市-復興區-D006
SH039	27	4	頁岩	142	46	111250	宜蘭縣-礁溪鄉-D027
SH040	28	4	頁岩	142	46	103792	宜蘭縣-礁溪鄉-D026
SH041	28	4	頁岩	134	34	287806	新北市-烏來區-D049
SH042	34	4	頁岩	125	14	213140	新北市-烏來區-D004
SH043	35	4	頁岩	136	35	106416	新北市-烏來區-D027
SH044	28	8	頁岩	320	30	217609	新竹縣-尖石鄉-D066
SH045	27	1	頁岩	346	64	925105	新竹縣-尖石鄉-D030
SH046	34	2	頁岩			157855	臺東縣-達仁鄉-D111
SH047	30	3	頁岩			115634	臺東縣-達仁鄉-D102
SH048	35	3	頁岩			216911	臺東縣-達仁鄉-D090
SH049	31	8	頁岩	310	51	454376	苗栗縣-泰安鄉-D054
SH050	31	1	頁岩	331	32	249204	苗栗縣-泰安鄉-D055
SH051	36	4	頁岩	125	77	159427	苗栗縣-泰安鄉-D135
SH052	36	4	頁岩	122	22	104161	苗栗縣-泰安鄉-D140
SH053	35	4	頁岩	125	77	110396	苗栗縣-泰安鄉-D133
SH054	35	4	頁岩	122	22	144941	苗栗縣-泰安鄉-D136
SH055	29	1	頁岩	346	64	217966	新竹縣-尖石鄉-D033
SH056	26	3	硬頁岩	124	8	120677	臺東縣-卑南鄉-D221
SH057	31	8	頁岩			289914	桃園市-復興區-D139
SH058	29	8	頁岩			227646	桃園市-復興區-D134
SH059	36	8	頁岩			163151	桃園市-復興區-D130
SH060	35	4	頁岩			232617	新竹縣-尖石鄉-D126
SH061	36	8	頁岩			347117	宜蘭縣-大同鄉-D050
SH062	36	8	頁岩			139984	宜蘭縣-大同鄉-D050
SH063	24	4	頁岩			270868	新竹縣-尖石鄉-D098
SH064	24	4	頁岩			307074	新竹縣-尖石鄉-D098
SH065	26	4	頁岩			299750	新竹縣-尖石鄉-D097

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積(公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SH066	28	4	頁岩			174145	桃園市-復興區-D117
SH067	35	4	頁岩			307279	桃園市-復興區-D114
SH068	24	4	頁岩			130122	桃園市-復興區-D004

表附 3-3 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(板岩)

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL001	33	8	板岩			104634	臺中市-和平區-D039
SL002	31	5	板岩			145449	臺中市-和平區-D140
SL003	32	4	板岩			462638	臺中市-和平區-D120
SL004	31	4	板岩			196070	臺中市-和平區-D149
SL005	31	4	板岩			1267735	臺中市-和平區-D149
SL006	29	4	板岩			154797	臺中市-和平區-D163
SL007	30	5	板岩			117794	臺中市-和平區-D170
SL008	32	4	板岩			103492	臺中市-和平區-D177
SL009	31	4	板岩			688473	臺中市-和平區-D172
SL010	32	4	板岩			876220	臺中市-和平區-D179
SL011	37	4	板岩			132522	臺中市-和平區-D194
SL012	30	5	板岩			123674	臺中市-和平區-D138
SL013	32	4	板岩			254703	臺中市-和平區-D133
SL014	32	4	板岩			223365	臺中市-和平區-D133
SL015	32	6	板岩			152066	臺中市-和平區-D211
SL016	33	5	板岩			112740	臺中市-和平區-D220
SL017	31	4	板岩			794412	臺中市-和平區-D225
SL018	31	4	板岩			107249	臺中市-和平區-D225
SL019	30	5	板岩			152725	臺中市-和平區-D233
SL020	34	8	板岩			103192	臺中市-和平區-D203
SL021	31	3	板岩			204503	臺中市-和平區-D234
SL022	34	4	板岩			102753	臺中市-和平區-D245
SL023	34	3	板岩			116475	臺中市-和平區-D248
SL024	34	4	板岩			182047	臺中市-和平區-D252
SL025	26	3	板岩			106162	臺中市-和平區-D251
SL026	26	3	板岩			104737	臺中市-和平區-D251
SL027	25	3	板岩			137801	臺中市-和平區-D261
SL028	35	2	板岩			122528	臺中市-和平區-D322
SL029	31	3	板岩			201138	臺中市-和平區-D306
SL030	29	4	板岩			289988	臺中市-和平區-D313
SL031	32	4	板岩			286142	臺中市-和平區-D329
SL032	33	4	板岩			123945	臺中市-和平區-D347

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL033	32	5	板岩			128518	臺中市-和平區-D352
SL034	34	4	板岩			293543	臺中市-和平區-D351
SL035	35	4	板岩			431796	臺中市-和平區-D370
SL036	36	3	板岩			228045	南投縣-仁愛鄉-D085
SL037	36	4	板岩			223795	臺中市-和平區-D383
SL038	34	4	板岩			134680	臺中市-和平區-D375
SL039	30	4	板岩			129972	臺中市-和平區-D381
SL040	34	5	板岩			104622	南投縣-仁愛鄉-D087
SL041	27	4	板岩			161187	南投縣-仁愛鄉-D098
SL042	32	5	板岩			117817	南投縣-仁愛鄉-D096
SL043	22	3	板岩			115761	南投縣-仁愛鄉-D106
SL044	29	4	板岩			219327	南投縣-仁愛鄉-D105
SL045	28	3	板岩			118172	南投縣-仁愛鄉-D116
SL046	27	3	板岩			200203	南投縣-仁愛鄉-D120
SL047	28	3	板岩			117164	南投縣-仁愛鄉-D126
SL048	27	4	板岩			156558	南投縣-仁愛鄉-D125
SL049	36	3	板岩			437776	臺中市-和平區-D272
SL050	38	4	板岩			443392	臺中市-和平區-D250
SL051	26	3	板岩			105277	南投縣-仁愛鄉-D121
SL052	37	3	板岩			237859	臺中市-和平區-D407
SL053	31	4	板岩			164365	南投縣-仁愛鄉-D115
SL054	30	3	板岩			350506	南投縣-仁愛鄉-D129
SL055	40	3	板岩			104869	臺中市-和平區-D291
SL056	33	3	板岩			146919	南投縣-信義鄉-D092
SL057	35	4	板岩			105573	南投縣-信義鄉-D184
SL058	34	4	板岩			202654	南投縣-信義鄉-D137
SL059	30	7	板岩			212116	南投縣-信義鄉-D404
SL060	33	2	板岩			433031	南投縣-信義鄉-D188
SL061	33	4	板岩			151485	南投縣-仁愛鄉-D260
SL062	33	4	板岩			102226	南投縣-仁愛鄉-D276
SL063	26	4	板岩			465197	南投縣-仁愛鄉-D277
SL064	29	3	板岩			315555	南投縣-仁愛鄉-D281
SL065	29	4	板岩			156236	南投縣-仁愛鄉-D295

近即時震波式同震山崩潛感圖

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL066	27	3	板岩			609950	南投縣-仁愛鄉-D264
SL067	28	3	板岩			159192	南投縣-仁愛鄉-D278
SL068	31	4	板岩			363231	南投縣-仁愛鄉-D310
SL069	30	4	板岩			162274	南投縣-仁愛鄉-D337
SL070	30	4	板岩			195243	南投縣-仁愛鄉-D337
SL071	31	3	板岩			154385	南投縣-仁愛鄉-D372
SL072	28	3	板岩			574520	南投縣-仁愛鄉-D393
SL073	26	2	板岩			370232	南投縣-仁愛鄉-D404
SL074	32	4	板岩			175506	南投縣-仁愛鄉-D366
SL075	30	4	板岩			132098	南投縣-仁愛鄉-D358
SL076	34	4	板岩			328448	南投縣-仁愛鄉-D356
SL077	33	3	板岩			591182	南投縣-仁愛鄉-D378
SL078	30	4	板岩			446071	南投縣-仁愛鄉-D405
SL079	31	2	板岩			202221	南投縣-仁愛鄉-D380
SL080	27	4	板岩			173999	南投縣-仁愛鄉-D359
SL081	28	3	板岩			194742	南投縣-仁愛鄉-D381
SL082	30	3	板岩			148311	南投縣-仁愛鄉-D364
SL083	31	4	板岩			145907	南投縣-仁愛鄉-D424
SL084	31	4	板岩			275805	南投縣-仁愛鄉-D424
SL085	33	4	板岩			124708	南投縣-仁愛鄉-D440
SL086	31	2	板岩			180323	南投縣-仁愛鄉-D480
SL087	33	2	板岩			159871	南投縣-仁愛鄉-D418
SL088	33	2	板岩			115811	南投縣-仁愛鄉-D433
SL089	27	3	板岩			130084	南投縣-信義鄉-D300
SL090	36	3	板岩			497007	南投縣-信義鄉-D357
SL091	31	3	板岩			149603	南投縣-信義鄉-D485
SL092	34	5	板岩			207593	南投縣-信義鄉-D460
SL093	36	3	板岩			253594	南投縣-信義鄉-D620
SL094	36	3	板岩			242356	南投縣-信義鄉-D620
SL095	30	4	板岩			136048	南投縣-仁愛鄉-D150
SL096	33	3	板岩			175300	南投縣-仁愛鄉-D147
SL097	30	3	板岩			279399	南投縣-仁愛鄉-D142
SL098	30	3	板岩			813021	南投縣-仁愛鄉-D176

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL099	39	4	板岩			378970	南投縣-仁愛鄉-D302
SL100	33	3	板岩			168844	南投縣-仁愛鄉-D489
SL101	32	3	板岩			354474	南投縣-仁愛鄉-D504
SL102	30	3	板岩			181966	南投縣-仁愛鄉-D561
SL103	30	3	板岩			278705	南投縣-仁愛鄉-D561
SL104	30	3	板岩			194708	南投縣-仁愛鄉-D561
SL105	34	3	板岩			328529	南投縣-信義鄉-D012
SL106	29	3	板岩			220343	南投縣-信義鄉-D015
SL107	31	8	板岩			109379	南投縣-仁愛鄉-D521
SL108	41	4	板岩			260402	南投縣-信義鄉-D219
SL109	40	5	板岩			466245	南投縣-信義鄉-D281
SL110	31	7	板岩			153163	南投縣-信義鄉-D364
SL111	42	4	板岩			176836	南投縣-信義鄉-D191
SL112	37	4	板岩			170189	南投縣-信義鄉-D186
SL113	39	3	板岩			111237	南投縣-信義鄉-D337
SL114	36	4	板岩			138495	南投縣-信義鄉-D325
SL115	39	3	板岩			569038	南投縣-信義鄉-D244
SL116	30	3	板岩			157616	南投縣-信義鄉-D209
SL117	34	4	板岩			151405	南投縣-信義鄉-D233
SL118	35	4	板岩			284076	南投縣-信義鄉-D185
SL119	35	4	板岩			129102	南投縣-信義鄉-D158
SL120	35	4	板岩			546347	南投縣-信義鄉-D158
SL121	29	4	板岩			299299	南投縣-信義鄉-D107
SL122	34	2	板岩			424414	南投縣-信義鄉-D260
SL123	41	3	板岩			105459	南投縣-信義鄉-D122
SL124	35	3	板岩			149178	南投縣-仁愛鄉-D569
SL125	35	4	板岩			406743	南投縣-仁愛鄉-D557
SL126	34	4	板岩			252864	南投縣-仁愛鄉-D556
SL127	39	4	板岩			198038	南投縣-仁愛鄉-D536
SL128	32	4	板岩			168724	南投縣-仁愛鄉-D573
SL129	36	4	板岩			304399	南投縣-仁愛鄉-D570
SL130	33	4	板岩			106616	南投縣-仁愛鄉-D553
SL131	34	5	板岩			116170	南投縣-仁愛鄉-D547

近即時震波式同震山崩潛感圖

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL132	34	4	板岩			103626	南投縣-仁愛鄉-D543
SL133	27	3	板岩			107320	南投縣-信義鄉-D083
SL134	38	2	板岩			110683	南投縣-信義鄉-D120
SL135	34	4	板岩			178864	南投縣-仁愛鄉-D502
SL136	35	3	板岩			393362	南投縣-仁愛鄉-D286
SL137	35	7	板岩			226971	南投縣-仁愛鄉-D472
SL138	38	4	板岩			119798	南投縣-仁愛鄉-D510
SL139	41	4	板岩			110466	南投縣-仁愛鄉-D535
SL140	31	3	板岩			170515	南投縣-仁愛鄉-D432
SL141	38	5	板岩			112833	南投縣-仁愛鄉-D486
SL142	35	5	板岩			104194	南投縣-仁愛鄉-D474
SL143	33	3	板岩			101199	南投縣-仁愛鄉-D458
SL144	36	4	板岩			358426	南投縣-仁愛鄉-D454
SL145	36	4	板岩			379436	南投縣-仁愛鄉-D454
SL146	36	4	板岩			482351	南投縣-仁愛鄉-D470
SL147	38	5	板岩			174977	南投縣-仁愛鄉-D446
SL148	37	4	板岩			226440	南投縣-仁愛鄉-D435
SL149	37	2	板岩			135462	南投縣-仁愛鄉-D452
SL150	29	2	板岩			100958	南投縣-仁愛鄉-D451
SL151	36	7	板岩			134845	南投縣-仁愛鄉-D500
SL152	31	4	板岩			106806	南投縣-仁愛鄉-D463
SL153	33	4	板岩			109583	南投縣-仁愛鄉-D417
SL154	32	2	板岩			344881	南投縣-仁愛鄉-D385
SL155	32	3	板岩			330604	南投縣-仁愛鄉-D395
SL156	33	3	板岩			124247	南投縣-仁愛鄉-D388
SL157	29	2	板岩			164723	南投縣-仁愛鄉-D391
SL158	34	3	板岩			112674	南投縣-仁愛鄉-D386
SL159	35	4	板岩			128332	南投縣-仁愛鄉-D335
SL160	27	3	板岩			188802	南投縣-仁愛鄉-D340
SL161	31	4	板岩			119305	南投縣-仁愛鄉-D333
SL162	30	3	板岩			106090	南投縣-仁愛鄉-D348
SL163	26	2	板岩			117831	南投縣-仁愛鄉-D319
SL164	29	4	板岩			206659	南投縣-仁愛鄉-D316

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL165	34	4	板岩			216119	南投縣-仁愛鄉-D291
SL166	34	4	板岩			153031	南投縣-仁愛鄉-D307
SL167	34	4	板岩			178629	南投縣-仁愛鄉-D304
SL168	36	4	板岩			145112	南投縣-仁愛鄉-D322
SL169	41	4	板岩			124149	南投縣-仁愛鄉-D267
SL170	29	4	板岩			187831	南投縣-仁愛鄉-D283
SL171	33	4	板岩			134376	南投縣-仁愛鄉-D282
SL172	28	4	板岩			270789	南投縣-仁愛鄉-D270
SL173	25	3	板岩			999827	南投縣-仁愛鄉-D225
SL174	29	3	板岩			132314	南投縣-仁愛鄉-D239
SL175	31	3	板岩			407904	南投縣-仁愛鄉-D215
SL176	29	4	板岩			132680	南投縣-仁愛鄉-D204
SL177	26	3	板岩			269214	南投縣-仁愛鄉-D192
SL178	24	4	板岩			589840	南投縣-仁愛鄉-D185
SL179	28	3	板岩			227065	南投縣-仁愛鄉-D198
SL180	31	4	板岩			627857	南投縣-仁愛鄉-D188
SL181	34	4	板岩			113943	南投縣-仁愛鄉-D202
SL182	34	4	板岩			230219	南投縣-仁愛鄉-D202
SL183	29	3	板岩			212234	南投縣-仁愛鄉-D190
SL184	31	4	板岩			127384	南投縣-仁愛鄉-D205
SL185	33	4	板岩			674589	南投縣-仁愛鄉-D149
SL186	29	4	板岩			143295	南投縣-仁愛鄉-D141
SL187	35	4	板岩			190741	南投縣-仁愛鄉-D160
SL188	35	4	板岩			120345	南投縣-仁愛鄉-D160
SL189	35	4	板岩			120625	南投縣-仁愛鄉-D160
SL190	29	2	板岩			304140	南投縣-仁愛鄉-D243
SL191	33	3	板岩			106344	南投縣-仁愛鄉-D233
SL192	39	4	板岩			348183	南投縣-仁愛鄉-D207
SL193	38	4	板岩			183895	南投縣-仁愛鄉-D195
SL194	36	4	板岩			138313	南投縣-仁愛鄉-D194
SL195	39	4	板岩			303362	南投縣-仁愛鄉-D187
SL196	38	4	板岩			124314	南投縣-仁愛鄉-D189
SL197	36	3	板岩			219865	南投縣-仁愛鄉-D164

近即時震波式同震山崩潛感圖

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL198	29	4	板岩			199761	南投縣-仁愛鄉-D138
SL199	37	3	板岩			229749	南投縣-仁愛鄉-D161
SL200	37	5	板岩			101145	南投縣-仁愛鄉-D158
SL201	34	4	板岩			152307	南投縣-仁愛鄉-D133
SL202	29	3	板岩			621720	南投縣-仁愛鄉-D132
SL203	34	4	板岩			182135	南投縣-仁愛鄉-D152
SL204	38	5	板岩			205382	南投縣-仁愛鄉-D157
SL205	34	3	板岩			179569	南投縣-仁愛鄉-D214
SL206	37	5	板岩			157318	南投縣-仁愛鄉-D181
SL207	30	3	板岩			129030	南投縣-仁愛鄉-D151
SL208	42	5	板岩			107512	南投縣-仁愛鄉-D143
SL209	38	7	板岩			106976	高雄市-那瑪夏區-D001
SL210	31	5	板岩	138	62	176831	高雄市-桃源區-D312
SL211	38	4	板岩	120	42	132291	高雄市-桃源區-D165
SL212	31	3	板岩	106	60	156518	高雄市-桃源區-D105
SL213	27	6	板岩	222	32	366195	高雄市-桃源區-D387
SL214	34	3	板岩	98	58	695385	高雄市-桃源區-D183
SL215	33	3	板岩	98	58	332263	高雄市-桃源區-D187
SL216	36	4	板岩	142	58	124218	高雄市-桃源區-D201
SL217	33	3	板岩	118	46	159326	高雄市-桃源區-D215
SL218	41	4	板岩	138	62	128261	高雄市-桃源區-D301
SL219	32	5	板岩	138	62	165519	高雄市-桃源區-D317
SL220	36	5	板岩	138	62	139300	高雄市-桃源區-D316
SL221	33	5	板岩	138	62	192499	高雄市-桃源區-D294
SL222	33	4	板岩	104	61		屏東縣-霧臺鄉-D062
SL223	30	4	板岩	104	61	118445	屏東縣-霧臺鄉-D068
SL224	33	4	板岩	122	50	235278	屏東縣-霧臺鄉-D023
SL225	37	6	板岩			121176	南投縣-仁愛鄉-D640
SL226	36	4	板岩			119174	南投縣-仁愛鄉-D722
SL227	31	4	板岩			131254	南投縣-仁愛鄉-D729
SL228	38	4	板岩			358582	南投縣-仁愛鄉-D704
SL229	35	4	板岩			143846	南投縣-仁愛鄉-D695
SL230	36	4	板岩			152854	南投縣-仁愛鄉-D627

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL231	29	3	板岩	136	46	146183	宜蘭縣-南澳鄉-D202
SL232	35	4	板岩	130	42	121169	宜蘭縣-南澳鄉-D176
SL233	28	4	板岩	163	30	127176	宜蘭縣-大同鄉-D068
SL234	32	4	板岩			249011	臺東縣-海端鄉-D017
SL235	40	4	板岩			121190	臺東縣-海端鄉-D022
SL236	32	4	板岩			208717	臺東縣-海端鄉-D029
SL237	31	4	板岩	144	26	392785	花蓮縣-秀林鄉-D034
SL238	32	3	板岩			105335	花蓮縣-秀林鄉-D160
SL239	30	3	板岩	132	63	289538	花蓮縣-秀林鄉-D197
SL240	25	4	板岩	130	40	991861	花蓮縣-秀林鄉-D341
SL241	28	4	板岩	134	10	173294	花蓮縣-秀林鄉-D301
SL242	33	4	板岩	119	35	183963	花蓮縣-秀林鄉-D379
SL243	37	4	板岩	134	40	179338	花蓮縣-秀林鄉-D068
SL244	31	4	板岩	140	42	178150	花蓮縣-秀林鄉-D290
SL245	34	4	板岩	129	30	226384	花蓮縣-秀林鄉-D345
SL246	41	4	板岩	108	48	276478	花蓮縣-秀林鄉-D098
SL247	37	3	板岩			149038	花蓮縣-卓溪鄉-D338
SL248	37	4	板岩	134	40	159718	花蓮縣-秀林鄉-D080
SL249	25	3	板岩	132	63	115897	花蓮縣-秀林鄉-D210
SL250	30	5	板岩	134	10	117811	花蓮縣-秀林鄉-D291
SL251	24	4	板岩	115	43	164499	花蓮縣-秀林鄉-D323
SL252	36	4	板岩	130	40	107071	花蓮縣-秀林鄉-D338
SL253	39	3	板岩	128	42	118801	花蓮縣-秀林鄉-D364
SL254	36	4	板岩	123	55	123208	花蓮縣-秀林鄉-D416
SL255	30	4	板岩			290089	臺中市-和平區-D361
SL256	31	3	板岩			141759	南投縣-仁愛鄉-D296
SL257	30	4	板岩			192935	南投縣-仁愛鄉-D269
SL258	28	4	板岩			190207	南投縣-仁愛鄉-D197
SL259	38	4	板岩	150	68	121974	屏東縣-霧臺鄉-D052
SL260	36	4	板岩	114	54	200094	南投縣-信義鄉-D001
SL261	33	3	板岩	142	34	175786	宜蘭縣-大同鄉-D018
SL262	37	4	板岩	142	34	155876	宜蘭縣-大同鄉-D175
SL263	36	4	板岩	137	80	107367	宜蘭縣-大同鄉-D232

近即時震波式同震山崩潛感圖

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積 (公頃)	所屬大規模 崩塌編號
SL264	33	4	板岩	132	22	127046	宜蘭縣-大同鄉-D066

表附 3-4 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(變質砂岩、片岩)

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積(公頃)	所屬大規模 崩塌編號
MS01	37	3	變質砂岩、片岩			520581	南投縣-信義鄉-D295
MS02	33	3	變質砂岩、片岩			205488	南投縣-信義鄉-D334
MS03	35	4	變質砂岩、片岩			967202	南投縣-信義鄉-D462
MS04	39	3	變質砂岩、片岩			101790	南投縣-信義鄉-D405
MS05	33	8	變質砂岩、片岩			105187	南投縣-信義鄉-D352
MS06	40	4	變質砂岩、片岩			107116	南投縣-信義鄉-D409
MS07	38	8	變質砂岩、片岩			140088	南投縣-信義鄉-D368
MS08	31	7	變質砂岩、片岩			129821	南投縣-信義鄉-D256
MS09	36	4	變質砂岩、片岩			140660	南投縣-信義鄉-D080
MS10	38	4	變質砂岩、片岩			205585	嘉義縣-阿里山鄉-D020
MS11	37	4	變質砂岩、片岩	116	48	134813	嘉義縣-阿里山鄉-D032
MS12	27	4	變質砂岩、片岩	106	46	181563	高雄市-桃源區-D021
MS13	26	4	變質砂岩、片岩	106	46	326491	高雄市-桃源區-D022
MS14	31	4	變質砂岩、片岩	106	46	183854	高雄市-桃源區-D016
MS15	32	4	變質砂岩、片岩	106	46	357951	高雄市-桃源區-D011
MS16	34	3	變質砂岩、片岩	106	46	362133	高雄市-桃源區-D003
MS17	28	4	變質砂岩、片岩	166	58	280514	宜蘭縣-南澳鄉-D186
MS18	30	5	變質砂岩、片岩	146	46	235889	宜蘭縣-南澳鄉-D209
MS19	29	4	變質砂岩、片岩	146	46	166329	宜蘭縣-南澳鄉-D197
MS20	32	5	變質砂岩、片岩	160	54	193748	宜蘭縣-南澳鄉-D244
MS21	29	5	變質砂岩、片岩	164	44	147119	宜蘭縣-南澳鄉-D240
MS22	29	4	變質砂岩、片岩	160	56	120140	宜蘭縣-南澳鄉-D224
MS23	31	5	變質砂岩、片岩	176	44	111334	宜蘭縣-南澳鄉-D210
MS24	32	8	變質砂岩、片岩	332	46	167070	花蓮縣-秀林鄉-D077
MS25	29	5	變質砂岩、片岩	189	59	123637	宜蘭縣-南澳鄉-D015
MS26	31	7	變質砂岩、片岩			238468	臺東縣-卑南鄉-D186
MS27	35	4	變質砂岩、片岩	140	70	449336	花蓮縣-秀林鄉-D056
MS28	33	4	變質砂岩、片岩	115	60	172983	花蓮縣-秀林鄉-D371

表附 3-5 潛在大規模平面型破壞之山崩目錄(礫岩、大理岩)

編號	平均坡度	平均坡向	代表岩性	傾向	傾角	面積(公頃)	所屬大規模 崩塌編號
CO01	27	4	礫岩			169476	花蓮縣-光復鄉-D027
CO02	31	4	礫岩			147701	花蓮縣-光復鄉-D029
CO03	25	4	礫岩			162607	花蓮縣-光復鄉-D025
MB01	30	8	大理岩			137006	南投縣-信義鄉-D469

表附 3-6 速度位移相依摩擦律參數資料

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
Tsaoling landslide shale gouge	3	2.27E-03	0.66			Togo et al., 2014
	3	8.76E-03	0.66			
	3	1.24E-02	0.66			
	3	2.17E-02	0.67			
	3	4.36E-02	0.67			
	3	1.28E-01	0.49			
	3	1.61E-01	0.46			
	3	3.25E-01	0.26			
	3	4.88E-01	0.2			
	3	6.52E-01	0.15			
	3	9.77E-01	0.14			
	3	1.30E+0 0	0.15			
	3	1.00E-01	0.66			余威論，2011
	3	3.00E-01	0.28			
	3	7.00E-01	0.27			
	3	1.30E+0 0	0.22			
Tsaoling landslide bedding-parallel fault gouge	3	2.30E-03	0.52			Yang et al., 2014
	3	4.36E-02	0.47			
	3	1.24E-02	0.39			
	3	1.00E-01	0.39			
	3	2.20E-01	0.27			
	3	2.20E-01	0.24			
	3	2.20E-01	0.23			
	3	2.20E-01	0.27			
	3	4.30E-01	0.18			
	3	4.30E-01	0.13			
	3	5.00E-01	0.15			
	3	8.70E-01	0.05			
	3	1.30E+0	0.05			

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	3	1.30E+0 0	0.08			
	3	2.20E-01	0.11			余威論，2011
	3	4.30E-01	0.15			
	3	8.70E-01	0.07			
	3	1.30E+0 0	0.06			
Tsaoling landslide gouge	0.5	1.30E+0 0	0.69	0.26	30	陳宥任，2012
	1	1.30E+0 0	0.61	0.12	16	
	1.5	1.30E+0 0	0.47	0.07	14.5	
	2	1.30E+0 0	0.47	0.1	12	
	2.6	1.30E+0 0	0.42	0.08	8.5	
	3	1.30E+0 0	0.35	0.04	8	
Kaolinite powder	3	1.00E-03	0.66			賴俊融，2015
	3	1.00E-01	0.66			
	3	2.00E-01	0.63			
	3	3.30E-01	0.42			
	3	3.30E-01	0.43			
	3	3.30E-01	0.36			
	3	6.50E-01	0.16			
	3	1.00E+0 0	0.13			
	3	1.30E+0 0	0.11			
Dolomite from	11.5	2.00E-03	0.57			曹家哲，2014

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
Daguangbao landslide (Room humidity, rock test)	11.5	1.00E-02	0.51			
	11.5	5.00E-02	0.28			
	11.5	1.00E-01	0.18			
	11.5	2.00E-01	0.19			
	11.5	2.00E-01	0.17			
	11.5	5.00E-01	0.16			
	11.5	1.30E+0 0	0.1			
	11.5	1.30E+0 0	0.1			
Tsaoling landslide sandstone (Room humidity, rock test)	0.5	1.30E+0 0	1.51	1.12	-	陳宥任，2012
	1	1.30E+0 0	1.42	0.9	10	
	1.6	1.30E+0 0	1.16	0.6	4.5	
	2	1.30E+0 0	1.1	0.5	2	
	2.5	1.30E+0 0	1	0.48	3.5	
	3.1	1.30E+0 0	0.98	0.42	1	
Nojima clayey fault gouge	0.7	1.03E+0 0	0.09			Mizoguchi et al., 2007 (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	0.4	1.03E+0 0	0.15			
	0.4	1.03E+0 0	0.26			
	0.6	1.03E+0 0	0.32			
	0.6	1.03E+0 0	0.4			
	0.7	6.90E-01	0.42			Mizoguchi et al., 2009

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	0.6	3.40E-01	0.46			(Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	1	1.31E+00	0.08			Ferri et al., 2010 (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	1	1.31E+00	0.07			
	1	6.96E-01	0.09			Ferri et al., unpubl. (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	1	1.74E-01	0.48			
	1	1.74E-01	0.47			
	1	3.50E-02	0.74			
	1	3.50E-02	0.7			
	1	3.50E-02	0.7			
Nojima clayey fault gouge	0.7	1.03E+00	0.69	0.09	22.4	Mizoguchi et al., 2007 (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	0.4	1.03E+00	0.77	0.15	23.1	
	0.3	1.03E+00	0.81	0.26	34.1	
	0.6	1.03E+00	0.77	0.32	38	
	0.6	1.03E+00	0.79	0.4	26.6	
	1.3	1.03E+00	0.85	0.29	4.2	
	1.3	1.03E+00	0.66	0.18	6.6	
	1.9	1.03E+00	0.72	0.22	7.4	
	1.9	1.03E+00	0.72	0.22	5.5	
	1	1.31E+00	0.74	0.08	7.5	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1	1.31E+0 0	0.76	0.07	8.1	Sawai et al., 2012
	1.3	1.31E+0 0	0.58	0.14	13.2	
	1.3	1.31E+0 0	0.56	0.16	11.4	
	1.4	1.31E+0 0	0.67	0.17	4.7	
	1.3	1.31E+0 0	0.82	0.16	6.4	
	2.3	1.31E+0 0	0.73	0.17	4.2	
	1.6	1.31E+0 0	0.76	0.19	3.7	
	0.9	1.31E+0 0	0.94	0.22	9.6	
	3.2	1.31E+0 0	0.57	0.09	2.8	
	1.3	1.31E+0 0	0.84	0.25	4.5	
Nojima granular fault gouge	1.3	1.31E+0 0	0.8	0.2	7.1	Sawai et al., 2012
	1.3	1.00E+0 0	0.81	0.21	7.4	
	2.1	1.31E+0 0	0.62	0.13	5.9	
	2.5	1.31E+0 0	0.6	0.13	4.7	
	3.6	1.31E+0 0	0.55	0.09	3.3	
	1.3	1.31E+0 0	0.91	0.22	7.3	
	1.2	1.31E+0	0.79	0.23	15.2	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
Kuangpingzi outcrop yellowish gouge	0.5	1.40E+0 0	0.52	0.12	30.5	Yao et al., 2013
	0.6	1.40E+0 0	0.54	0.13	20.1	
	0.8	1.40E+0 0	0.53	0.19	15.5	
	1	1.40E+0 0	0.52	0.18	10.4	
	1.3	1.40E+0 0	0.58	0.16	4.1	
	1.7	1.40E+0 0	0.58	0.15	4	
	2.5	1.40E+0 0	0.54	0.14	2.1	
	2.5	1.40E+0 0	0.61	0.2	1.1	
	0.5	1.40E+0 0	0.54	-	-	Ma et al., 2014
	0.5	1.40E+0 0	0.64	0.13	23.1	
	0.6	1.40E+0 0	0.51	0.11	14.4	
	0.8	1.40E+0 0	0.59	0.19	8.6	
	1	1.40E+0 0	0.51	0.16	10.6	
	1	1.40E+0 0	0.64	0.18	7.9	
	1.3	1.40E+0 0	0.55	0.13	4	
	1.3	1.40E+0 0	0.56	0.14	4	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1.7	1.40E+0 0	0.57	0.16	3.2	
	1.7	1.40E+0 0	0.55	0.16	2.5	
	1.7	1.40E+0 0	0.61	0.17	5.1	
Kuangpingzi gray- blackish gouge	0.6	1.40E+0 0	0.56	0.16	25.1	Yao et al., 2013
	0.8	1.40E+0 0	0.6	0.18	14.6	
	1	1.40E+0 0	0.6	0.19	7.7	
	1.3	1.40E+0 0	0.58	0.15	5.2	
	1.7	1.40E+0 0	0.57	0.18	4	
	2.5	1.40E+0 0	0.59	0.17	2.3	
Natural kaolinite- bearing gouge	0.3	1.04E+0 0	1.23	0.5	50.2	Brantut et al., 2008
	0.5	1.04E+0 0	1.09	0.4	18	
	0.6	1.04E+0 0	1.02	0.28	16.6	
	0.8	1.04E+0 0	0.89	0.23	20.5	
	1	1.04E+0 0	0.77	0.24	19	
	1.2	1.04E+0 0	0.82	0.21	13.1	
	1.3	1.04E+0 0	0.85	0.26	4.1	
	0.6	1.04E+0	1.29	0.34	12.5	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	0.6	1.04E+0 0	1.06	-	-	
	0.6	1.04E+0 0	1.23	-	-	
	0.6	1.04E+0 0	1.3	-	-	
	0.6	1.04E+0 0	1.02	-	-	
	0.6	1.04E+0 0	1.3	0.27	6.3	
Punchbowl fault disaggregated ultracataclasite (gouge)	0.2	1.30E+0 0	0.71	-	-	Kitajima et al., 2010
	0.6	1.30E+0 0	0.63	-	-	
	0.6	1.30E+0 0	0.67	-	-	
	1.3	1.30E+0 0	0.6	-	-	
Zhaojiagou exposure gray gouge	0.4	1.30E+0 0	0.74	0.32	35.5	Chen et al., 2013b
	0.7	1.30E+0 0	0.68	0.28	17.4	
	1	1.30E+0 0	0.68	0.25	6.1	
	1.6	1.30E+0 0	0.68	0.28	6.8	
	2.2	1.30E+0 0	0.7	0.29	3.1	
	0.4	1.30E+0 0	0.65	0.17	2	
	0.7	1.30E+0 0	0.73	0.08	0.6	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1	1.30E+0 0	0.73	0.09	1.3	
	1.6	1.30E+0 0	0.5	0.13	0.9	
	2.2	1.30E+0 0		0.08	1.3	
Xiaojiaqiao outcrop yellowish gouge	1	1.30E+0 0	0.58	0.17	4.9	Hou et al., 2012
	0.6	1.30E+0 0	0.54	0.11	13.7	
	0.4	1.30E+0 0	0.56	0.13	26.5	
	1.8	1.30E+0 0	0.55	0.11	4.5	
	1.4	1.30E+0 0	0.56	0.12	4.8	
	1	1.08E+0 0	0.63	0.13	5.5	
	1	1.35E+0 0	0.59	0.12	5	
	0.8	1.30E+0 0	0.53	0.1	7.8	
	1	1.30E+0 0	0.69	0.16	5.1	
	1	1.30E+0 0	0.53	0.14	5	
	1.8	1.30E+0 0	0.56	0.11	4.2	
Kuangpingzi outcrop gouge	0.5	1.30E+0 0	-	-	30.8	Yao et al., 2011 (Data from Hou et al., 2012)
	0.6	1.30E+0 0	-	-	14.8	
	0.8	1.30E+0	-	-	9	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	1	1.30E+0 0	-	-	5.7	
	1.3	1.30E+0 0	-	-	4.5	
	1.7	1.30E+0 0	-	-	3.8	
	2.5	1.30E+0 0	-	-	2.7	
Hongkou outcrop gouge	0.6	1.30E+0 0	-	-	12.8	Togo et al., 2011
	0.8	1.30E+0 0	-	-	10.1	
	1	1.30E+0 0	-	-	6.9	
	1.2	1.30E+0 0	-	-	5	
	1.6	1.30E+0 0	-	-	4.9	
	2	1.30E+0 0	-	-	3.8	
WFSD-1 borehole cores black gouge	5	3.00E+0 0	0.58	0.37	-	Kuo et al., 2013
	5	3.00E+0 0	0.49	0.37	-	
	10	3.00E+0 0	0.45	0.26	-	
	10	3.00E+0 0	0.38	0.23	-	
	15	3.00E+0 0	0.52	0.24	-	
	15	3.00E+0 0	0.45	0.22	-	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
Simulated gouge (Pingxi exposure fault rock)	0.7	1.30E+0 0	0.5	0.08	14.6	Chen et al., 2013a
	1	1.30E+0 0	0.5	0.09	9.3	
	1.6	1.30E+0 0	0.56	0.12	6.3	
	2.2	1.30E+0 0	0.5	0.09	3.8	
Simulated pericalse gouge	1	1.30E+0 0	0.19			Han et al., 2011 (Data from GSA DATA REPOSITORY 2011187)
	1	6.80E-01	0.2			
	1	5.00E-01	0.33			
	1	1.00E-01	0.39			
	1	1.00E+0 0	0.15			
	1	1.00E+0 0	0.12			
	1	1.00E+0 0	0.12			
	1	5.00E-01	0.43			
	1	5.00E-01	0.32			
	1	5.00E-01	0.36			
	1	5.00E-01	0.29			
	1	1.00E+0 0	0.21			
	1	1.00E+0 0	0.12			
	1	1.00E-03	0.59			
	1	5.00E-03	0.53			
	1	5.00E-02	0.4			
	1	2.00E-03	0.59			
	1	1.00E-02	0.62			

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1	1.00E-02	0.5			
Simulated periclas gouge	1	1.30E+0 0	0.91	0.19	-	Han et al., 2011 (Data from GSA DATA REPOSITORY 2011187)
	1	1.00E+0 0	0.94	-	-	
	1	1.00E+0 0	0.67	0.15	-	
	1	1.00E+0 0	0.74	0.12	-	
	1	1.00E+0 0	0.57	0.12	-	
	1	1.00E+0 0	1.02	0.21	-	
	1	1.00E+0 0	0.7	0.12	-	
	10	1.30E+0 0	0.75	0.12	-	
	10	1.17E+0 0	0.69	0.01	-	
Simulated quartz gouge	2.5	1.30E+0 0	0.6	0.07	2.5	Togo and Shimamoto, 2012
	3.1	1.28E+0 0	0.62	0.13	3.6	
	2.9	1.27E+0 0	0.65	0.17	7.2	
	3	1.25E+0 0	0.6	-	-	
	3.1	1.23E+0 0	0.63	-	-	
	3	1.27E+0 0	0.65	-	-	
	1.1	9.90E-01	0.77	-	-	
	1.1	9.90E-01	0.78	-	-	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1.1	9.90E-01	0.77	-	-	
	1.1	9.80E-01	0.69	-	-	
	1	9.90E-01	0.59	0.06	26	
	1.1	9.70E-01	0.61	-	-	
Clay-rich fault gouge from megaplay fault zone, Nankai subduction zone	0.6	1.27E+0 0	0.8	0.3	-	Ujiie and Tsutsumi, 2010
	1	1.27E+0 0	0.62	0.25	-	
	1.5	1.27E+0 0	0.57	0.23	-	
	2	1.27E+0 0	0.58	0.2	-	
	0.6	1.27E+0 0	0.38	0.2	-	
	1	1.27E+0 0	0.43	0.17	-	
	1.5	1.27E+0 0	0.39	0.14	-	
	2	1.27E+0 0	0.31	0.1	-	
Clay-rich gouge from decollement material	0.6	1.30E+0 0	0.63	0.38	-	Ujiie et al., 2013
	1	1.30E+0 0	0.4	0.3	-	
	2	1.30E+0 0	0.38	0.23	-	
	0.6	1.30E+0 0	0.43	0.37	-	
	1	1.30E+0 0	0.31	0.21	-	
	2	1.30E+0 0	0.2	0.11	-	
Dolomite gouge	1	9.00E-04	0.75			曹家哲，2014

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
from Daguobao landslide	2	1.00E-03	0.61			
	1	1.00E-02	0.63			
	2	1.00E-02	0.68			
	3	1.00E-02	0.69			
	1	5.00E-02	0.61			
	1	1.00E-01	0.57			
	2	1.00E-01	0.61			
	3	1.00E-01	0.67			
	1	5.00E-01	0.39			
	1	5.00E-01	0.42			
	1	1.30E+0 0	0.22			
	2	1.30E+0 0	0.19			
	3	1.30E+0 0	0.18			
	0.4	1.30E+0 0	0.28			De Paola et al., 2011 (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	0.8	1.30E+0 0	0.25			
	1.2	1.30E+0 0	0.21			
	1.7	1.30E+0 0	0.19			
	2	1.30E+0 0	0.1			
	2	1.30E+0 0	0.12			
	1.6	1.30E+0 0	0.13			
	1.6	1.30E+0 0	0.17			
	1.2	1.30E+0	0.17			

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	0.8	1.30E+0 0	0.18			
	1.3	1.00E-02	0.9			
	1.2	6.90E-01	0.41			
	1.2	9.00E-02	0.86			
Dolomite from Daguanbao landslide	11.5	1.30E+0 0	0.53	0.1	0.2	曹家哲，2014
	11.5	1.30E+0 0	0.52	0.1	0.4	
Dolomite gouge from Daguanbao landslide	1	1.30E+0 0	0.83	0.22	10	曹家哲，2014
	2	1.30E+0 0	0.78	0.19	3.6	
	2	1.30E+0 0	0.85	0.13	3	
	3	1.30E+0 0	0.76	0.18	1.1	
Dolomite gouge	0.4	1.30E+0 0	1.2	0.28	26.1	De Paola et al., 2011
	0.8	1.30E+0 0	1.02	0.25	10.3	
	1.2	1.30E+0 0	0.83	0.21	7.1	
	1.7	1.30E+0 0	0.85	0.19	7.1	
	2	1.30E+0 0	0.85	0.1	7.6	
	2	1.30E+0 0	1.02	0.12	7	
	1.6	1.30E+0 0	0.81	0.13	7.7	
	1.6	1.30E+0	1	0.17	8.9	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	1.2	1.30E+0 0	0.96	0.17	6.9	
	0.8	1.30E+0 0	0.82	0.18	16.7	
	1.2	1.30E+0 0	-	0.21	-	De Paola et al. unpubl. (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	1.7	1.30E+0 0	-	0.17	-	
	0.4	1.30E+0 0	-	0.31	-	
	0.8	1.30E+0 0	-	0.26	-	
Gypsum gouge	0.8	1.30E+0 0	1.28	0.18	12.5	De Paola et al. unpubl. (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	0.4	1.30E+0 0	1.65	0.29	15.8	
	1.3	1.30E+0 0	1.17	0.17	6.7	
	1.6	1.30E+0 0	1.01	0.11	4.6	
	2	1.30E+0 0	1.01	0.14	4.3	
	1.2	1.30E+0 0	1.1	0.11	7.7	
	1.6	1.30E+0 0	1.02	0.13	6.8	
	2	1.30E+0 0	1.07	0.14	5.9	
Anhydrite gouge	0.8	1.30E+0 0	1.02	0.26	15.6	De Paola et al. unpubl. (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	0.5	1.30E+0 0	1.47	0.35	17.1	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1.3	1.30E+0 0	1.1	0.25	6.4	
	1.7	1.30E+0 0	0.98	0.2	6.7	
	1	1.30E+0 0	1.18	0.28	6.4	
	0.5	1.30E+0 0	1.4	0.33	24.8	
	1.7	1.30E+0 0	0.9	0.2	7.1	
	1.4	1.30E+0 0	1.05	0.19	5.5	
	2	1.30E+0 0	0.97	0.31	2.9	
Kasota dolomite from Minnesota	0.5	3.30E-01	0.59			Boneh et al., 2013
	1.4	3.30E-01	0.47			
	0.5	9.00E-02	0.93			
	0.6	9.00E-02	0.96			
	1.1	9.00E-02	0.85			
	1.4	9.00E-02	0.68			
	1.6	9.00E-02	0.63			
	1.6	9.00E-02	0.6			
	1.8	9.00E-02	0.62			
	2.1	9.00E-02	0.6			
	0.5	4.60E-02	0.96			
	0.6	4.60E-02	1.06			
	1.1	4.60E-02	0.93			
	1.4	4.60E-02	0.78			
	1.4	4.60E-02	0.87			
	2.4	4.60E-02	0.68			
	1.6	1.00E-02	0.89			
	1.6	1.00E-02	0.88			

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1.9	1.00E-02	0.83			
	1.9	1.00E-02	0.85			
	2	1.00E-02	0.85			
	2.2	1.00E-02	0.86			
Vaiont landslide gouge	1	1.31E+0 0	0.74	0.08	7.5	Ferri et al., 2010
	1	1.31E+0 0	0.76	0.07	8.1	
Simulated hailte gouge	6	1.30E+0 0	0.64	0.04	6.5	Kim et al., 2010 (Data from GSA DATA REPOSITORY 2010308)
	2	1.30E+0 0	0.9	0.09	23.9	
	0.8	1.30E+0 0	0.99	0.1	40.6	
	4	1.30E+0 0	0.8	0.03	13.9	
	4	1.30E+0 0	0.73	0.08	19	
	10	1.30E+0 0	0.58	0.06	5	
	8	1.30E+0 0	0.63	0.05	9	
	7	1.30E+0 0	0.67	0.04	8.3	
	9	1.30E+0 0	0.62	0.06	6.1	
	6	1.30E+0 0	0.67	-	-	
	5	1.30E+0 0	0.73	0.08	10.4	
	1	1.30E+0 0	0.85	0.18	23.6	
	6	1.30E+0	0.61	-	-	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	1	1.30E+0 0	0.83	0.17	21.2	
	10	1.30E+0 0	0.74	0.07	5.5	
	5	1.30E+0 0	0.8	-	-	
	10	1.30E+0 0	0.74	-	-	
	12	1.30E+0 0	0.66	-	-	
Carrara marble (Room humidity, rock test)	6.1	1.17E+0 0	0.59	0.08	14.6	Han et al., 2007, 2010
	7.3	1.17E+0 0	0.57	0.05	21.5	
	3.7	1.18E+0 0	0.76	-	-	
	4.9	1.18E+0 0	0.7	0.12	27.6	
	7.3	1.18E+0 0	0.36	0.05	-	
	7.3	1.18E+0 0	0.6	0.11	10.2	
	7.3	1.18E+0 0	0.62	-	-	
	7.3	9.00E-02	0.9	0.59	-	
	4.9	1.17E+0 0	0.48	0.07	21.4	
	6.1	1.18E+0 0	0.54	0.08	14.9	
	2.5	1.17E+0 0	0.56	0.11	-	
	12.2	1.18E+0	0.67	0.08	6.5	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	13.4	1.18E+0 0	0.49	0.03	5.8	
	12.2	1.18E+0 0	0.66	-	-	
	12.2	1.18E+0 0	0.56	-	-	
	12.2	1.18E+0 0	0.64	-	-	
	12.1	1.18E+0 0	0.67	0.05	4.1	
	12.2	1.18E+0 0	0.67	0.08	3.7	
	12.2	1.18E+0 0	0.67	-	-	
	4.9	1.18E+0 0	0.71	0.09	17.6	
	4.9	1.18E+0 0	0.49	0.15	-	
	4.9	1.18E+0 0	0.67	0.11	20.8	
	4.9	1.18E+0 0	0.83	0.12	18.7	
	12.2	1.18E+0 0	0.5	0.04	-	
	4.9	1.18E+0 0	0.51	0.06	-	
	12.3	1.17E+0 0	0.58	0.05	7.9	
	12.2	1.17E+0 0	0.6	0.04	14.1	
	13	1.14E+0 0	0.55	-	-	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	7.2	1.13E+0 0	0.89	0.08	8.6	
	7.2	1.13E+0 0	0.64	0.06	19.6	
	4.9	1.18E+0 0	0.8	0.11	-	
	5	1.16E+0 0	0.67	-	-	
	5	1.16E+0 0	0.8	-	-	
	4.9	1.17E+0 0	0.6	0.1	-	
	3.8	1.28E+0 0	0.51	-	-	
	10	2.00E+0 0	0.6	0.06	-	Violay et al., 2013
	10	1.00E+0 0	0.62	0.08	0.8	
	10	1.00E+0 0	0.77	0.1	1.5	
	10	1.00E+0 0	0.76	0.11	1.3	
	10	1.00E+0 0	0.73	0.09	-	
	10	1.00E+0 0	0.7	0.16	1.5	
	10	1.00E+0 0	0.81	0.16	0.9	
	10	1.00E+0 0	0.68	0.13	-	
	20	1.00E+0 0	0.82	0.14	-	
	20	1.00E+0	0.48	0.2	-	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	10	1.00E+0 0	0.65	0.1	-	
	10	3.00E+0 0	0.72	0.06	1.3	
	10	1.00E+0 0	0.72	0.06	0.9	
Peridotite (Room humidity, rock test)	15	1.14E+0 0	0.67	0.17	5.8	Di Toro et al., 2006a (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	20	1.14E+0 0	0.73	0.18	5.5	
	10	1.14E+0 0	0.62	0.22	9.4	
	5	1.14E+0 0	0.8	0.23	22.4	
	13	1.14E+0 0	0.5	0.13	11.5	Del Gaudio et al., 2009 (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	15.6	1.14E+0 0	0.4	0.15	10.8	
	16.1	1.14E+0 0	0.6	0.16	4.8	
	7.8	1.14E+0 0	0.63	0.17	20.3	
	5.4	1.14E+0 0	0.52	0.19	37.7	
	10.4	1.14E+0 0	0.57	0.14	13.5	
	13	1.14E+0 0	0.45	0.14	10.9	
	10.4	1.14E+0 0	0.51	0.17	15.1	
	13	1.14E+0 0	0.69	0.15	9.3	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	13	9.20E-01	0.69	0.14	11.3	
	13	1.14E+0 0	0.69	0.15	9.7	
	13	1.14E+0 0	0.61	0.13	11.4	
	5.2	1.14E+0 0	-	0.15	-	Nielsen et al., 2008 (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	7.8	1.14E+0 0	-	0.14	-	
	10.4	1.14E+0 0	-	0.13	-	
	13	1.14E+0 0	-	0.11	-	
Gabbro (Room humidity, rock test)	15.5	1.14E+0 0	0.65	0.17	3	Nielsen et al., 2008
	5.1	1.14E+0 0	0.73	0.26	6.4	
	1.2	1.14E+0 0	-	0.37	-	
	2.5	1.14E+0 0	-	0.39	-	
	1	1.81E+0 0	-	0.37	-	
	1	1.36E+0 0	-	0.6	-	
	2	1.36E+0 0	-	0.46	-	
	1.5	1.82E+0 0	-	0.5	-	
	0.8	1.82E+0 0	-	0.53	-	
	2	1.81E+0 0	-	0.39	-	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1.5	2.17E+0 0	-	0.4	-	
	1	1.83E+0 0	-	0.43	-	
	1	1.60E+0 0	-	0.44	-	
	1.5	1.34E+0 0	-	0.46	-	
	1.5	1.77E+0 0	-	0.34	-	
	1	1.79E+0 0	-	0.44	-	
	1	9.60E-01	-	0.54	-	
	1	1.79E+0 0	-	0.57	-	
	2	1.79E+0 0	-	0.47	-	
	1.5	1.01E+0 0	-	0.58	-	
	0.8	1.02E+0 0	-	0.69	-	
	2	1.00E+0 0	-	0.51	-	
	1.5	2.57E+0 0	-	0.41	-	
	0.8	2.58E+0 0	-	0.51	-	
	1	9.40E-01	-	0.54	-	
	1	9.30E-01	-	0.64	-	
	0.8	9.20E-01	-	0.83	-	
	1.5	9.68E-01	-	0.42	-	
	1	9.30E-01	-	0.6	-	
	1	1.35E+0	-	0.53	-	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	1	1.01E+0 0	-	0.67	-	
	1.5	1.31E+0 0	-	0.54	-	
	0.8	1.33E+0 0	-	0.56	-	
	0.8	2.19E+0 0	-	0.55	-	
	1	1.33E+0 0	-	0.51	-	
	1	1.35E+0 0	-	0.53	-	
	1.5	9.40E-01	-	0.53	-	
	0.8	1.33E+0 0	-	0.64	-	
	1.5	1.34E+0 0	-	0.42	-	
	1	1.34E+0 0	-	0.51	-	
	1	1.37E+0 0	-	0.61	-	
	0.8	1.81E+0 0	-	0.53	-	
	0.8	1.59E+0 0	-	0.56	-	
	1.3	1.23E+0 0	1.09	0.57	12.8	Hirose and Shimamoto, 2005
	1.8	1.23E+0 0	0.83	0.43	-	
	1.4	1.07E+0 0	0.88	0.54	14.1	
	1.9	1.49E+0	0.92	0.41	7.6	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				Niemeijer et al., 2011
	20	3.00E+0 0	0.31	0.11	-	
	20	3.00E+0 0	0.32	0.11	-	
	20	3.00E+0 0	-	0.11	-	
	20	3.00E+0 0	-	0.12	-	
	20	3.00E+0 0	-	0.11	-	
	20	3.00E+0 0	-	0.11	-	
	20	3.00E+0 0	-	0.11	-	
	20	3.00E+0 0	-	0.1	-	
	20	3.00E+0 0	-	0.1	-	
	10	3.00E+0 0	-	0.15	-	
	10	3.00E+0 0	-	0.18	-	
	20	1.00E+0 0	-	0.11	-	
	15.5	1.14E+0 0	-	0.15	-	
	10	3.00E+0 0	0.46	0.15	-	
	15	3.00E+0 0	-	0.13	-	
	20	3.00E+0 0	-	0.11	-	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	20	3.00E+0 0	-	0.11	-	
	5	3.00E+0 0	0.59	0.27	-	
	2.5	3.00E+0 0	0.98	0.36	-	
	7.5	3.00E+0 0	0.39	0.2	-	
	1	3.00E+0 0	1.28	0.56	-	
	10	1.30E+0 0	0.39	0.1		
Pure quartz powder	2	1.86E-04	0.63			Oohashi et al., 2013
	2	1.86E-04	0.62			
	2	4.37E-04	0.65			
	2	1.28E-03	0.68			
	2	4.31E-03	0.64			
	2	2.08E-02	0.58			
	2	5.06E-02	0.61			
	2	1.26E-01	0.62			
	2	4.20E-01	0.42			
	1	1.26E+0 0	0.33			
Graphite-Quartz 5.8%vol	2	1.88E-04	0.56			Oohashi et al., 2013
	2	1.88E-04	0.61			
	2	4.37E-04	0.59			
	2	1.29E-03	0.56			
	2	4.36E-03	0.56			
	2	2.06E-02	0.52			
	2	5.12E-02	0.44			
	2	1.27E-01	0.32			
Graphite-Quartz	2	1.86E-04	0.47			Oohashi et al., 2013

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
8.7%vol	2	1.86E-04	0.5			
	2	4.37E-04	0.48			
	2	1.29E-03	0.55			
	2	4.36E-03	0.51			
	2	2.06E-02	0.43			
	2	5.06E-02	0.42			
	2	1.26E-01	0.44			
	2	1.26E-01	0.41			
	2	4.20E-01	0.4			
Graphite-Quartz 17.2%vol	2	1.88E-04	0.24			Oohashi et al., 2013
	2	1.88E-04	0.25			
	2	4.42E-04	0.3			
	2	1.29E-03	0.33			
	2	4.36E-03	0.36			
	2	2.06E-02	0.28			
	2	5.12E-02	0.26			
	2	1.26E-01	0.31			
	2	4.20E-01	0.16			
Graphite-Quartz 28.2%vol	2	1.88E-04	0.32			Oohashi et al., 2013
	2	1.88E-04	0.3			
	2	4.37E-04	0.33			
	2	1.29E-03	0.32			
	2	1.29E-03	0.2			
	2	4.36E-03	0.21			
	2	4.36E-03	0.24			
	2	2.08E-02	0.17			
	2	5.12E-02	0.16			
	2	5.12E-02	0.15			
	2	1.27E-01	0.12			
	2	4.24E-01	0.14			
Simulated graphite-quartz	1	1.30E+0 0	0.82	0.33	-	Oohashi et al., 2013

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
mixture gouge	2	1.30E+0 0	0.74	0.3	-	
	1	1.30E+0 0	0.76	0.2	-	
	2	1.30E+0 0	0.35	0.12	-	
	1	1.30E+0 0	0.31	0.11	-	
Natural graphite gouge	1	1.30E+0 0	0.17	-	-	Oohashi et al., 2011
	1	1.30E+0 0	-	0.09	-	
	1	1.30E+0 0	-	0.12	-	
	0.5	1.30E+0 0	-	0.09	-	
	0.5	1.30E+0 0	-	0.08	-	
	0.7	1.30E+0 0	-	0.09	-	
	0.9	1.30E+0 0	-	0.1	-	
	1	1.30E+0 0	-	0.11	-	
	1.3	1.30E+0 0	-	0.1	-	
	1.3	1.30E+0 0	-	0.1	-	
	1.6	1.30E+0 0	-	0.1	-	
	1.6	1.30E+0 0	-	0.11	-	
	2.1	1.30E+0	-	0.12	-	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	2	1.30E+0 0	-	0.1	-	
	2.4	1.30E+0 0	-	0.1	-	
	2.5	1.30E+0 0	-	0.1	-	
Synthetic amorphous carbon powder	1	1.30E+0 0	0.7	0.19	14.7	Oohashi et al., 2011
	1	1.30E+0 0	0.62	0.13	38.2	
	1	1.30E+0 0	0.59	0.12	13.7	
	1	1.30E+0 0	0.52	0.11	11	
	2	1.30E+0 0	0.42	0.54	12	
	2	1.30E+0 0	0.6	0.12	2.5	
	1.4	1.30E+0 0	0.56	0.21	12.9	
	1.4	1.30E+0 0	0.53	0.13	7.3	
	2	1.30E+0 0	0.59	0.15	9.1	
	2	1.30E+0 0	0.58	0.12	6.4	
	2	1.30E+0 0	0.58	0.12	11.4	
	2	1.30E+0 0	0.55	0.18	5.8	
	2	1.30E+0 0	0.62	0.16	6.7	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	2.8	1.30E+0 0	0.51	0.12	4.2	
	2	1.30E+0 0	0.57	0.15	12.7	
	2	1.30E+0 0	0.59	0.13	-	
	2	1.30E+0 0	0.46	0.15	7.3	
	2	1.30E+0 0	0.51	0.11	9.2	
	2	1.30E+0 0	0.47	0.09	7.7	
	2	1.30E+0 0	0.51	0.53	10.5	
Carrara calcite gouge	2.65	1.00E+0 0	0.66	-	-	Smith et al., 2012
	8.19	1.00E+0 0	0.75	-	-	
	8.4	1.00E+0 0	0.78	-	-	
	8.69	1.00E+0 0	0.81	-	-	
	8.98	1.00E+0 0	0.8	-	-	
	8.65	1.00E+0 0	0.87	-	-	
	9.06	1.00E+0 0	0.88	-	-	
	9.27	1.00E+0 0	0.84	-	-	
	8.9	1.00E+0 0	1.04	-	-	
	9.52	1.00E+0	0.89	-	-	

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
		0				
	10.06	1.00E+0 0	0.89	-	-	
	10.43	1.00E+0 0	0.85	-	-	
	10.8	1.00E+0 0	0.91	-	-	
	13.41	1.00E+0 0	0.84	-	-	
	17.79	1.00E+0 0	0.82	-	-	
	2.32	1.00E+0 0	-	0.49	-	
	8.4	1.00E+0 0	-	0.41	-	
	8.65	1.00E+0 0	-	0.35	-	
	8.57	1.00E+0 0	-	0.31	-	
	10.06	1.00E+0 0	-	0.39	-	
	13	1.00E+0 0	-	0.29	-	
	17.34	1.00E+0 0	-	0.26	-	
	0.8	1.30E+0 0	-	0.18	-	De Paola et al. unpubl. (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	0.45	1.30E+0 0	-	0.29	-	
	1.27	1.30E+0 0	-	0.17	-	
	1.62	1.30E+0 0	-	0.11	-	

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	2.03	1.30E+0 0	-	0.14	-	
	1.21	1.30E+0 0	-	0.11	-	
	1.64	1.30E+0 0	-	0.13	-	
	2.03	1.30E+0 0	-	0.14	-	
Tonalite and Tonalitic Cataclasite (Room humidity, rock test)	15	1.20E+0 0	0.4	0.24	3.4	Di Toro et al., 2006a (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	10	1.19E+0 0	0.67	0.42	3.6	Di Toro et al., 2006b (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	15	1.14E+0 0	0.65	0.27	2.5	
	10	1.14E+0 0	0.8	0.39	4	
	20	1.14E+0 0	0.5	0.22	2.5	
	5	1.20E+0 0	-	0.53	-	Nielsen et al., 2008
	10	1.20E+0 0	-	0.4	-	
	15	1.16E+0 0	-	0.3	-	
	20	1.17E+0 0	-	0.21	-	
Monzodiorite (Room humidity, rock test)	12.2	9.42E-01	0.63	0.26	5.1	Mizoguchi & Hirose, unpubl. (Data from Di Toro et al., 2011 supplementary information)
	19.5	9.42E-01	0.36	0.18	2.8	
	1.5	9.40E-01	-	0.51	-	Mizoguchi et al., unpubl. (Data from Di

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
						Toro et al., 2011 supplementary information)
	0.9	1.14E+0 0	-	0.45	-	Nielsen et al., 2008
	1.1	1.14E+0 0	-	0.53	-	
	1.5	1.14E+0 0	-	0.53	-	
	2	1.14E+0 0	-	0.46	-	
	10.2	1.14E+0 0	-	0.22	-	
	16.5	1.14E+0 0	-	0.15	-	
Microgabbro (Vacuum/Room humidity/Drainage, rock test)	10	3.00E+0 0	0.7	0.15	-	Violay et al., 2013
	20	3.00E+0 0	0.68	0.09	-	
	5	3.00E+0 0	0.69	0.25	-	
	20	1.00E+0 0	0.59	0.1	-	
	10	1.00E+0 0	0.64	0.16	-	
	5	1.00E+0 0	0.66	0.31	-	
	10	2.00E+0 0	0.7	0.15	-	
Arkansas Novaculite (Room humidity, rock test)	5	3.09E-11	0.77			Di Toro et al., 2004
	5	3.03E-10	0.75			
	5	3.04E-09	0.74			
	5	3.05E-08	0.73			

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	5	3.06E-07	0.7			
	5	1.02E-06	0.74			
	5	1.42E-05	0.72			
	5	1.00E-04	0.68			
	5	3.79E-04	0.64			
	5	3.04E-03	0.62			
	5	3.04E-03	0.58			
	5	3.04E-03	0.53			
	5	3.04E-03	0.5			
	5	3.04E-03	0.48			
	5	3.04E-03	0.47			
	5	3.04E-03	0.45			
	5	1.04E-02	0.39			
	5	1.55E-02	0.3			
	5	3.05E-02	0.34			
	5	3.05E-02	0.32			
	5	3.05E-02	0.3			
	5	3.05E-02	0.23			
	5	7.91E-02	0.23			
	5	1.04E-01	0.24			
	5	1.04E-01	0.26			
Granite (Room humidity, rock test)	2	1.62E-04	0.71			Dieterich, 1978
	2	1.36E-04	0.71			
	2	6.50E-06	0.71			
	2	3.00E-06	0.72			
	2	1.58E-06	0.72			
	2	1.30E-06	0.72			
	2	3.30E-07	0.73			
	2	1.45E-07	0.74			
	5	1.00E-06	0.78			Di Toro et al., 2004
	5	3.00E-03	0.64			
	5	1.00E-02	0.62			

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	5	3.00E-02	0.64			Di Toro et al., unpubl. (Data from Di Toro et al., 2011)
	5	1.00E-03	0.77			
	5	1.00E-03	0.77			
	5	3.00E-03	0.52			
	5	1.00E-02	0.5			
	5	3.00E-02	0.57			
Gabbro (Room humidity, rock test)	1.5	7.69E-03	0.77			Tsutsumi and Shimamoto, 1997
	1.5	7.69E-03	0.9			
	1.5	4.95E-02	0.91			
	1.5	4.95E-02	0.8			
	1.5	5.49E-02	0.94			
	1.5	5.49E-02	0.77			
	1.5	1.08E-01	0.92			
	1.5	1.07E-01	0.79			
	1.5	1.57E-01	0.75			
	1.5	1.57E-01	0.82			
	1.5	2.67E-01	0.7			
	1.5	2.67E-01	0.79			
	1.5	3.56E-01	0.6			
	1.5	3.57E-01	0.73			
	1.5	5.54E-01	0.47			
	1.5	5.55E-01	0.57			
	1.2	1.14E+0 0	0.37			Nielsen et al., 2008
	1	1.81E+0 0	0.37			
	1.5	1.82E+0 0	0.5			
	1.5	2.17E+0 0	0.4			
	1	1.83E+0 0	0.43			

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	1	1.60E+0 0	0.44			
	1.5	1.34E+0 0	0.46			
	1.5	1.77E+0 0	0.34			
	1	1.79E+0 0	0.44			
	1	9.60E-01	0.54			
	1.5	1.01E+0 0	0.58			
	1.5	2.57E+0 0	0.41			
	1	9.40E-01	0.54			
	1	9.30E-01	0.64			
	1.5	9.68E-01	0.42			
	1	9.30E-01	0.6			
	1	1.35E+0 0	0.53			
	1.5	1.31E+0 0	0.54			
	1	1.33E+0 0	0.51			
	1	1.35E+0 0	0.53			
	1.5	9.40E-01	0.53			
	1.5	1.34E+0 0	0.42			
	1	1.34E+0 0	0.51			
Novaculite (Room humidity, rock test)	5	2.03E-03	0.65			Goldsby & Tullis, unpubl. (Data from Beeler et al., 2008)
	5	4.01E-03	0.63			
	5	9.26E-03	0.62			

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	5	2.72E-03	0.61			
	5	6.66E-03	0.61			
	5	6.61E-03	0.65			
	5	1.19E-02	0.64			
	5	1.51E-02	0.65			
	5	1.19E-02	0.63			
	5	2.04E-02	0.62			
	5	1.52E-02	0.61			
	5	1.71E-02	0.63			
	5	1.91E-02	0.6			
	5	2.30E-02	0.64			
	5	2.69E-02	0.65			
	5	2.96E-02	0.61			
	5	3.22E-02	0.6			
	5	3.42E-02	0.62			
	5	3.94E-02	0.65			
	5	4.27E-02	0.66			
	5	4.47E-02	0.61			
	5	4.99E-02	0.59			
	5	5.58E-02	0.62			
	5	5.77E-02	0.66			
	5	6.36E-02	0.66			
	5	6.89E-02	0.61			
	5	7.62E-02	0.59			
	5	8.07E-02	0.63			
	5	8.92E-02	0.67			
	5	9.51E-02	0.66			
	5	1.02E-01	0.6			
	5	1.09E-01	0.56			
	5	1.19E-01	0.58			
	5	1.25E-01	0.59			
	5	1.36E-01	0.56			

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	5	1.44E-01	0.49			
	5	1.56E-01	0.44			
	5	1.63E-01	0.44			
	5	1.71E-01	0.48			
	5	1.79E-01	0.51			
	5	1.88E-01	0.47			
	5	1.96E-01	0.43			
	5	2.02E-01	0.41			
	5	2.09E-01	0.42			
	5	2.15E-01	0.44			
	5	2.21E-01	0.43			
	5	2.26E-01	0.41			
	5	2.33E-01	0.38			
	5	2.43E-01	0.41			
	5	2.46E-01	0.42			
	5	2.49E-01	0.41			
	5	2.52E-01	0.38			
	5	2.57E-01	0.36			
	5	2.59E-01	0.37			
	5	2.63E-01	0.39			
	5	2.68E-01	0.39			
	5	2.68E-01	0.38			
	5	2.72E-01	0.37			
	5	2.76E-01	0.38			
	5	2.80E-01	0.39			
	5	2.85E-01	0.38			
	5	2.87E-01	0.37			
	5	2.84E-01	0.36			
	5	2.84E-01	0.35			
	5	2.90E-01	0.36			
	5	2.89E-01	0.35			
	5	2.95E-01	0.36			

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	5	2.89E-01	0.34			
	5	2.97E-01	0.35			
	5	2.99E-01	0.37			
	5	3.02E-01	0.37			
	5	2.97E-01	0.33			
	5	3.01E-01	0.33			
	5	3.05E-01	0.34			
	5	3.07E-01	0.35			
	5	3.14E-01	0.34			
	5	3.10E-01	0.33			
	5	3.05E-01	0.32			
	5	2.99E-01	0.32			
	5	3.03E-01	0.3			
	5	3.10E-01	0.31			
	5	3.14E-01	0.32			
	5	3.18E-01	0.33			
	5	3.22E-01	0.32			
	5	3.18E-01	0.31			
	5	3.20E-01	0.3			
	5	3.22E-01	0.3			
	5	3.27E-01	0.3			
	5	3.30E-01	0.31			
	5	3.26E-01	0.34			
	5	3.24E-01	0.35			
	5	3.32E-01	0.35			
	5	3.35E-01	0.34			
	5	3.37E-01	0.34			
	5	3.41E-01	0.34			
	5	3.41E-01	0.35			
	5	3.39E-01	0.36			
	5	3.45E-01	0.36			
	5	3.50E-01	0.39			

材料	正向應力 [MPa]	剪切速 率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	5	3.54E-01	0.38			
	5	3.65E-01	0.38			
	5	3.65E-01	0.38			
	5	3.59E-01	0.37			
	5	3.62E-01	0.36			
	5	3.29E-01	0.28			
	5	3.35E-01	0.29			
	5	3.37E-01	0.28			
	5	3.39E-01	0.29			
	5	3.41E-01	0.29			
	5	3.43E-01	0.29			
	5	3.50E-01	0.29			
	5	3.47E-01	0.28			
	5	3.37E-01	0.25			
	5	3.42E-01	0.25			
	5	3.50E-01	0.22			
	5	3.56E-01	0.25			
	5	3.58E-01	0.26			
	5	3.64E-01	0.25			
	5	3.61E-01	0.24			
	5	3.56E-01	0.18			
	5	3.64E-01	0.16			
Serpentinite (Room humidity, rock test)	1.5	3.00E-03	0.53			Hirose and Bystricky, 2007
	1.5	1.10E-02	0.5			
	1.5	2.70E-02	0.49			
	1.5	6.10E-02	0.53			
	1.5	1.03E-01	0.46			
	1.5	1.52E-01	0.37			
	1.5	3.80E-01	0.25			
	2.5	3.00E-03	0.47			
	2.5	1.10E-02	0.51			
	2.5	2.70E-02	0.54			

近即時震波式同震山崩潛感圖

材料	正向應力 [MPa]	剪切速率 (m/s)	尖峰摩擦 係數	穩態摩擦 係數	弱化距離 (m)	參考文獻
	2.5	6.10E-02	0.51			
	2.5	1.03E-01	0.44			
	2.5	1.52E-01	0.4			
	2.5	3.80E-01	0.23			
	2.6	1.14E+0 0	0.15			
Volcanic ash gouges from 4 volcanoes: Lipari, Soufriere, Unzen, Mt. St-Helens)	1	1.30E-03	0.81			Lavallée et al., 2014
	1	1.30E-03	0.8			
	1	1.30E-03	0.78			
	1	1.30E-03	0.77			
	1	1.29E-02	0.8			
	1	1.29E-02	0.74			
	1	1.29E-02	0.71			
	1	1.29E-02	0.69			
	1	1.31E-01	0.73			
	1	1.31E-01	0.65			
	1	1.31E-01	0.6			
	1	1.31E-01	0.55			
	1	6.52E-01	0.6			
	1	6.59E-01	0.55			
	1	6.52E-01	0.44			
	1	6.52E-01	0.4			
	1	1.30E+0 0	0.46			
	1	1.30E+0 0	0.42			
	1	1.30E+0 0	0.38			
	1	1.30E+0 0	0.3			