112 年度地震資料之分析應用

子計畫一

臺灣自由場連續觀測強震站與寬頻地震站效能對比分 析研究

黄柏壽 古進上 楊麗珍 劉奎志

中華民國地球物理學會

摘要

本計畫年度工作項目為協助中央氣象署地震測報中心進行臺灣山區之強震觀 測站之地震資料收集及儀器檢測,並確保儀器正常運轉並將所收集資料納入為 TSMIP 地震網測資料庫。本計畫持續分析山區地震觀測網已收集資料,探討發生 於中央山脈地區的地震源特性、地震成因及地震震波行經中央山脈地區之特殊傳 遞演化過程。2018 年起源於 TSMIP 地震網測站密度高於其他地震網及其連續紀錄 特性易於聯合現有短週期及寬頻地震站資料組成高密度網,對於了解區域地質精 細構造及地震源具有重要功能。顯著規模的區域地震及遠震屬弱震歸類,TSMIP 強 震儀的感震器對於這些弱震仍有相當好的解析能力可供利用。強震儀資料仍有別 於傳統寬頻地震資料,合宜應用仍有待開發新分析方法。本計畫另項工作重點為開 發新方法分析 TSMIP 連續收錄資料以優化地震網效能並提升連續地震資料之附加 價值。

關鍵詞:TSMIP、強震觀測站、加速度紀錄、連續紀錄

Abstract

The annual project tasks include assisting the Central Weather Administration Seismological Center in collecting earthquake data and conducting instrument testing for strong-motion observation stations in Taiwan's mountainous areas. It aims to ensure the proper operation of instruments and incorporate the collected data into the TSMIP seismic network database. The project continuously analyzes data collected from mountainous seismic observation networks, investigating the seismic source characteristics, earthquake mechanisms, and the special transmission and evolution processes of seismic waves through the Central Mountain Range. Since 2018, originating from the TSMIP seismic network, which has a higher station density than other seismic networks and features continuous recording, a high-density network has been formed. This network, with its ability to integrate existing short-period and broadband seismic station data, plays a crucial role in understanding the detailed geological structure and seismic sources in the region. The TSMIP strong-motion seismometers exhibit good resolution for weak earthquakes, despite their significant scale. While regional and distant earthquakes are classified as weak earthquakes, the TSMIP strong-motion instruments still offer considerable resolution for these events. Strong-motion instrument data differ from traditional broadband seismic data, and appropriate applications await the development of new analytical methods. Another focal point of this project is the development of new methods to analyze continuous recording data from TSMIP to optimize the seismic network's performance and enhance the added value of continuous earthquake data.

Key words: TSMIP, Strong Motion Network, Accelerograms, Continuous Recording

壹、前言

臺灣位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的擠壓帶上,因此地殼活動頻繁,地 震活動相當頻繁(鄧屬予, 2016)。隨著經濟的發展和人口的增長,臺灣進行了許多 大型的公共工程,例如橋樑、水壩和電廠,民間商業建築也急速增加,使得地震災 害的潛在危險性更加嚴重。為了因應這種情況,臺灣的交通部中央氣象署自民國七 十九年起積極推動臺灣地區的強地動觀測計畫,並在臺灣各都會區設立強地動觀 測站。這個計畫的目標是建立一個高密度的強地動觀測網,收集各種地震相關的資 料,不僅為國家建設提供依據,也為全球的強震研究建立一個完整的資料庫。從 2006 年開始,中央氣象署地震測報中心與中央研究院地球科學研究所合作執行了 "臺灣山區自由場強震網建置、資料收集與分析"計畫。該計畫的目的是在臺灣山區 廣泛進行場址勘察和設置自由場強震站,以作為分析山區強地動特性的基礎。到目 前為止,已在臺灣山區設立了 80 個自由場強震站(黃柏壽 et al., 2013),主要分佈 在大臺北、新竹、宜蘭、花蓮、臺中、南投和南部山區,以彌補山區地震觀測資料 的不足。隨著強震觀測站的建設工作完成,本計畫的野外工作重點逐漸轉向協助中 央氣象署地震測報中心進行臺灣山區強震觀測站的地震資料收集和儀器檢測,以 確保儀器的正常運作。此外,計畫的室內研究重點之一是利用山區地震觀測網已收 集資料,進行分析並探討發生於中央山脈地區的地震源特性、地震成因以及地震震 波在中央山脈地區的傳遞和演化過程。這些研究成果將有助於提高對臺灣地區地 震活動的認識,並為地震災害防治、建築設計和相關領域的防災措施提供科學依據 和建議。同時,這些研究成果也可以貢獻於全球強震研究,進一步提升地震科學的 發展水平。

自2018年度初起,中央氣象署開始TSMIP連續收錄資料。利用現有網路將 TSMIP強震儀選取一鄉一地震站的概念,應用於提供全省均勻分佈之即時地震震 度測報。當這些連續收錄功能完備後TSMIP即時收錄資料另提供紀錄區域地震及 遠震之高密度地震資料。因為顯著規模的區域地震及遠震屬弱震歸類,通常地動 量較小通常無法為強震儀所觸發,因此傳統TSMIP資料庫不具備這類地震資料。 但是TSMIP強震儀的感震器對於這些弱震仍有相當好的解析能力可供利用。顯著 區域地震及遠域大地震通常具有長週期地震信號高於地表高頻躁訊,因此看似吵 雜的地震紀錄經過適當慮波後可以明顯的表現低頻地震訊號,記載重要的地震波 訊息。對於震央距較遠的淺震或深震,傳統的TSMIP資料庫雖有紀錄對但這類地 震紀錄並不完整,原因之一為其初達波常因未達觸發要求,因此地震波初達資訊 被截切,更容易發生在仍有地震訊號時地震紀錄被中斷。TSMIP即時收錄系統提 供了比先前更完整的地震紀錄方式,將地震訊號連續完整紀錄,再由其它資訊進 行地震截切,因此不會漏失任何可用資料。最新更新的強震儀不但具高分辨率可 用以高精度之大小地震波形,更由於配備有GPS用以接收絕對時間資訊,這些新 強震儀提供的資料將可用於山區地震進行重新定位並用以分析地震波傳特性。

由於TSMIP地震網測站密度高於其他地震網,更因其連續紀錄特性易於聯合 現有短週期及寬頻地震站資料組成高密度網,對於了解區域地質精細構造及地震 源具有重要功能。本計畫年度工作重點將加重分析TSMIP連續收錄資料以協助及 建議優化TSMIP地震網效能並提升連續地震資料之附加價值。

本計畫前期目標已分析TSMIP即時收錄資料並與P-ALERT觀測網資料進行 效能分析並對TSMIP即時收錄系統提供建議以提升其於地震學研究之功能。另嘗 試經由結合中央氣象署地震網資料、TSMIP及山區地震網資料組成高密度強震儀 陣列,針對特殊地震進行重定位、震源過程及地殼精細構造之分析。未來將依據 中央氣象署地震網資料、TSMIP、臨時地震網及臺灣寬頻地震網組成之高密度陣 列資料殊性,開發新陣列分析方法以分析臺灣區域地殼精細構造,應力分佈及地 震震波行經過程之特殊傳遞現象。

貳、研究目標

強震儀所記錄資料通常用於了解近地表之波傳特性及地表強振動,以防災應 用為主。早期的應用主要為地表強地動評估,因此對於絕對時間的紀錄不太要求, 各強震站的時間系統並不完全一致,因此雖然強震儀可以記錄清楚的地震波形,其 走時紀錄不可靠,無法用於走時分析及推求地下構造。近期強震儀具有 GPS 授時, 但是因為記錄器動態範圍有限,對於低震動之區域地震及遠距地震不敏感,通常皆 不會觸發,因此難得有強震儀資料提供如短週期地震儀或寬頻地震儀應用於地殼 構造及地震定位的研究。傳統地震定位方法通常需要摘讀地震傳播至各地震測站 之震波到時,透過計算走時與觀測之差異推求震央位置。人工摘讀地震波到時將造 成地震定位無法即時化,目前雖有自動摘讀方法,受限於計算機判別的準則設定尚 無法完全取代精確地震定位。有鑒於現代地震網記載地震波形的精度增高,地震波 形訊息可以直接用於地震定位而不需經由摘讀地震波到時再進行地震定位,本研 究將開發直接應用地震波能量疊加方式進行地震定位的計算方法並探討其地震學 之新應用。

參、新分析方法開發

本計畫依據中央氣象署地震網資料、TSMIP 即時收錄資料及臺灣寬頻地震網 組成之高密度地動陣列資料,透過運用波形疊加原理,聚焦震波能量以重建地震波 之入射方位及其傳播視速度,已開啟新陣列分析方法臺灣地區 Pn 波速度構造及其 側向分佈研究。本計劃規劃開發新方法分析自由場近震高密度紀錄之重定位,延續 前期分析 Pn 波速度構造之波形疊加方法(beamforming method),修改用於利用地震 波形能量疊加進行地震定位,本方法不需先行摘讀個地震站到時(arrival time),透 過格點搜尋的步驟,找出震央最佳位置。此方法除了不需去摘讀震波到時外,對於 短時間發生的多個相近地震的震央亦可有效分辨出,將來對於高密度地震網具有 潛在應用價值。本方法將持續優化改進並提出其地震學應用。

地球物理探勘方法中用於震波成像的逆時移棲法 (Revised-Time Migration)乃 運用記錄於地震資料的震波能量,將觀測紀錄經由時間與空間維度回推至震源成 像點(McMechan 1982)。本研究先前已提出地震儀陣列分析法,運用波形疊加原理, 聚焦震波能量以重建地震波之入射方位及其傳播視速度(Rost and Thomas, 2002)。 相同的波形疊加原理,亦可用以聚焦地震能量進行地震源定位。延續前期分析 Pn 波速度構造之波束成形法(beamforming method),如圖一(a)。本計劃將規劃新方法 分析高密度地震網紀錄進行地震定位。概念為利用進行反向投射地震波能量至震 源位置、經由評估疊加地震波能量峰值定位地震源並稱之為反向投射定位法(backprojection method),如圖一(b)所示。本方法可視為逆時移棲法的簡化版,只需將震 波振幅依波傳路徑回推至震源而不需考量傳播過程中的能量轉換變化。反向投射 定位法通常考慮兩個處理步驟,時間遷移與能量疊加。此方法的有效性取決於地震 資料的可靠性與速度模型的精確性。特點為本方法不需先行摘讀地震波到時,只需 透過格點搜尋的步驟,重複地震波能量疊加動作,找出震央最佳位置。此方法對於 短時間發生的多個相近地震的震央亦可以有效分辨出來,將來對於地震網速報具 有潛在應用價值。

反向投射定位法同樣使用格點搜尋的方法,將所有模型內之格點視為可能的 震源位置,利用適當的速度模型計算各格點至所有測站的地震波走時差 (Ishii et al. 2005)。模型所有格點經由適當移動各地震紀錄之震波走時,連線地震波能量,經 過疊加過程以獲得對應峰值。透過評估獲得最大峰值的格點將可視為震源(對應於 震波走時差之格點搜尋法,評估震源為找尋最小走時誤差之節點)。其計算步驟可 以下列的公式表示:

$$Stack_i(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} S_k(t - t_{ik})$$
 (2)

其中 Stack_i(t)為地震波形疊加能量總和後的時間序列, N 為測站之個數, k 為測站 之編號, S_k(t)為第 k 測站之地震波振幅時間序列, t_{ik} 為模型格點 i 至第 k 測站計算 之理論走時 (Ishii et al. 2007)。疊加採用之理論走時可以為 P 波或是 S 波之走時。

肆、結果與討論

一、開發以地震波能量疊加方式進行地震定位的新陣列分析方法並依 據臺灣地震網即時收錄資料特性進行方法開發優化並討論其應行性 臺灣地區自由場地震站之密度高,通常可以記錄高解析率近震地震波形。中央 氣象署TSMIP連續收錄資料對於地震網內之地震,其所記錄地震之震央距離幾乎 由震央位置開始,地震站密集的向各方向展開。整理本地震所記錄資料並依據中央 氣象署發佈之震央位置整理之地震網紀錄波形。本計劃上年度計畫已完成以高密 度強震網地震為例,說明以波形疊加方法進行近震源之地震定位的結果並證明其 可性(圖二)。本研究提出的方法可以應用現有之高密度陣列之近震源資料,有效 的進行地震定位。不需判讀地震到時,利用格點化之模型、對所有預選位置進行全 波形的振幅疊加,有效獲得正確震源位置(圖三),比較兩者差異,本研究於圖中 以紅線連結之。本方法可以針對P波及S波的速度模型進行分別疊加再整合評估聯 合定位的結果增加準確性。為了適應定位的即時性,因應不同的情況須有相對應的 方法進行定位優化,本計劃本年度及針對優化的目標持續進行分析,期待本計畫的 研究成果可以為地震即時定位做出具體貢獻。

二、針對 TSMIP 檢測之小型區域地震的波形資料進行量測分析,以其 特有地震網特性,提出新的地震定位及震源機制求解方法並討論其地 震學應用

現今地震學研究震源機制的方法主要以反演長週地震波形推求地震距為主, 地震距反演法可以運用少量的地震站資料即可獲得穩定的震源機制解。唯此類型 方法適合運用於求解規模較大之地震,規模較小或近震源地震站的地震資料在求 解震源機制遇限制。本研究收集中央氣象署TSMIP連續收錄資料發現對於位於地 震網內之地震,其所記錄地震之震央距離幾乎由震央位置開始,地震站密集的向各 方向展開。在近震源附近地震站所記錄地震波的初達波振向清楚可分辨,以臺北地 區地震為例可判讀的振向分佈於震源周邊具明顯不同的振向,雖其分佈不代表震 源直接錯動方向,這些振向透過地區震波速度模型可以轉換成震源出射角並用初 違波振向逆推其震源機制解(圖四)。唯考量臺灣地震網的高地震站密度,所摘讀振 向,如圖四(b)所示(圖中藍色符號表示上動,紫色符號表示下動),對於求解區域 內較小規模地震應有更佳的方法,本研究除了對於發生於少震地區的小地震,持續 進行如圖四方法的震源機制解推算,擬考量以近震源記錄地震波振向資訊進行波 形疊加已推求斷層解,如考慮的方法可行,未來推求震源機制解將不再需要摘讀初 違波振向,可以如推求地震源位置的反向投影法的做推求法斷層解。本計畫改進項 目仍在嘗試進行中,初步成果可有效以TSMIP資料推求小地震之震源解。

三、應用開發方法分析 2022 年 9 月 17 日關山地震後三十分鐘內之餘 震分佈

臺灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的碰撞邊界。菲律賓海板塊相對於歐亞板 塊向西北方向移動。臺灣東部的斷層系統受到兩個區塊之間的斜向碰撞和強烈匯 聚的影響。這一區域的主要斷層被稱為縱谷斷層,它連接琉球海溝和馬尼拉海溝的 兩個弧-溝系統。臺灣東部被視為高地震風險區,歷史上曾經發生過多次災難性地 震(Shyu 等人,2007; Lee 等人,2008; Huang等人,2009; Mozziconacci,2013a; Wen等人,2019)。花蓮-臺東谷在1951年曾經遭受過幾次強烈地震,其中最大的兩次地震達到了里氏7.3級。1951年的地震系列在震源區域造成了嚴重的破壞。在過去的70年裡,這個地區發生過幾次地震序列,並有具體災損報導。

2022年9月,在臺灣東部地區發生了一系列地震(圖五)。這次地震序列的震源區位於花蓮-臺東谷縫合帶西側的活動隱伏斷層帶,靠近中央山脈。這個斷層系統毗鄰沿海山脈的縱谷斷層,兩個斷層系統之間的地震活動通常相互聯繫(Shyu等人,2006;Mozziconacci,2013b;Lee等人,2023)。根據臺灣長期地震活動的分布,這次地震序列發生在一個相對低地震活動的區域。在2022年9月這一系列地震中,有四次地震的規模超過6級。其中,關山地震是這一系列的第一規模超過6的地震,於2022年9月17日發生,規模為ML 6.4。隨後在2022年9月18日發生的池上地震是規模最大的主震,達到ML 6.8。這兩次地震都帶來了劇烈的震動,造成地表破裂和多次災害。儘管臺灣東部地區容易發生地震,但這一地震序列發生的地點位於一個相對低地震活動的區域(Lee 等人,2023)。根據初步的調查報告,這一地震序列的地震過程和震源破裂行為是獨特的。通常,在一次大地震之後,短時間內在震央區域內總會引發大量餘震。接續大震後(例如在前30分鐘內)並且位於或靠近地震破裂區域的小地震,可以提供重要信息來探索地震源物理和破裂特性。

在臺灣,早期警報強震網和區域地震網通常用於檢測餘震和監測地震序列。 早期警報強震網總是在第一時間報告顯著地震。然而,被主震尾波掩蓋的餘震或者 規模非常小的餘震,通常難以被地震網檢測到。在本報告中,未能報告的事件被稱 為"隱藏事件",與Kiser and Ishii (2013) 定義相同。為了檢測這些隱藏的餘震,我 們期望部署一個高密度的臨時地震網,使用高靈敏度的地震儀並完整覆蓋地震源 區域。然而,在關山地震發生的那一刻,臺灣東部地區並未設置額外的臨時地震站, 可以預期較小的餘震將無法有效檢測和報告。在本報告中,我們的目標是調查關山 地震的餘震分佈。我們希望定位前30分鐘的所有餘震,並檢索未包含在CWB快報 目錄中的小事件(https://scweb.cwa.gov.tw/zhtw/earthquake/data/)。中央氣象署 (CWA)發布的地震快報目錄主要依賴早期警報強震網進行定位 (https://www.cwa.gov.tw/V8/C/E/index.html)。其後將加入中央氣象署地震測網 (CWASN)的數據更新並完備出版完整的事件目錄, CWASN是一個高感度區域 地震網,可添加地震快報網未定位小事件。CWASN的最終事件目錄需通過詳細檢 查,通常會延遲幾個月。由於這地震序列的第一個明顯地震,餘震的識別尚未受到 其他大地震的影響,這大大降低了餘震研究的不確定性。在本次研究報告中,我們 將選取臺灣強震儀器網絡(TSMIP)的連續記錄,以提取餘震分析的地震數據。通 過使用新開發的方法分析高空間密度地震數據,以分析位於或接近震源區域的地 震,我們能夠定位CWB快報目錄遺漏的隱藏的餘震。這些小地震的新信息使我們 能夠探討關山地震的震源過程,並探索發生在臺灣東部弱震區的地震特性。

四、地震觀測與數據收集

2022年9月17日發生的地震,震央靠近臺東的關山,位於北緯23.08度和東經 121.16度。在臺灣,有感地震的報告和大地震的警報是由中央氣象署的早期警報強 震網執行的(https://www.cwa.gov.tw/V8/E/E/index.html),這個地震監測網在監測 2022年東臺灣地震序列期間,截至九月底,總共檢測到207次有感地震。地震的時 間分佈以關山地震(前震)和池上地震(主震)為主,每次地震均顯示明顯的主震-餘震關係(Lee et al., 2023)。在池上地震之後,餘震繼續向北發生,最終擴展到花蓮瑞穗附近(圖五)。根據報告的矩張量解,兩次地震的源機制相似。可能的斷層面方向為北東至南西,呈高角度和向西傾斜,主要是左向橫滑。這兩次地震在臺灣各地的最大地震強度均達到了6級,地震深度僅約7公里,被認為是極為淺層的。

在2022年東臺灣地震序列期間,TSMIP站持續記錄了這些事件,網絡運作良好。圖六顯示了關山地震震央周圍的地震站和震中距100公里範圍內地震站的垂直分量地震圖。源區域附近站點的高空間密度以及由此產生的高分辨率地震圖使得對關山地震及其餘震進行詳細檢驗成為可能。本研究著重於使用陣列疊加方法並 增強餘震信號,重新定位事件,該方法省略了對小地震初達波相的相位拾取的需求。

五、自動增益控制法 (AGC)

自動增益控制(Automatic Gain Control:AGC)是地震信號處理中最常見的 增益恢復方法之一。在這項研究中,AGC的概念將應用於處理地震多事件地震圖, 增加餘震信號的強度以識別餘震的時序並進行定位估計。AGC是一種有限輸出的 類型,它使用線性放大和壓縮放大的組合來調整原始信號的輸出。當輸入一個微弱 的信號時,地震信號會被線性放大以確保輸出信號強度。當輸入信號達到一定強度 時,地震信號將受壓縮,導致輸出幅度降低。

在本報告中,我們提出了均方根振幅值自動增益控制(也稱為rms振幅值AGC) 來增強信號。這種方法是增益控制的一種最常見類型之一(Gadallah and Fisher, 2005;Gadallah and Fisher, 2009)。

為了展示我們的處理方法的有效性,本研究以關山地震及其餘震數據為例, 選取震後300秒的資料,如圖六所示。來自近源站的地震記錄未顯示任何明確的餘 震信號,且中央氣象署的地震目錄在這300秒的時間窗口內也未列出任何定位的餘 震。然而,在應用了本研究提出的自動增益控制(AGC)方法來增強餘震信號之後, 獲得的結果如圖七所示。比較兩個圖,顯然在主震之後的這300秒內,關山地震源 附近發生了多次餘震,而在沒有AGC處理的地震記錄中是看不到的。這個例子突 顯了AGC方法在檢測主震後短時間內的隱藏餘震中的潛在應用。

六、分析與結果

為了有效定位地震,我們從關山地震震央附近的站點選擇了信噪比較高的數 據進行分析。在本研究中,我們選擇了關山地震震央距離60公里內的TSMIP地震站 的數據。總共,我們選擇了87個垂直分量地震圖在本研究中使用。對於每個站點, 我們提取了包括關山地震在內30分鐘的地震紀錄,並根據關山地震的震央距離繪 製在圖中,如圖八a所示。雖然在選定的站點中顯示了一些低振幅的餘震信號,然 而,CWA的快報目錄在這段時間內只識別和標記了五個餘震。

在本研究中,AGC用於數據處理,以提高由於衰減或球形散射導致的振幅衰減引起的餘震的可見性。rms AGC用於幅度均化。它給出了時間窗中整體絕對振幅

的測量。我們選擇了10秒作為分析時間窗長度。與圖八a相對應,加工後的AGC地 震圖如圖八b所示。它顯示每個跟踪都具有類似的時間遷移,表明這些事件更靠近 關山地震的震央。總共,在這個圖中已經識別了80個事件作為靠近ML 6.4 關山事件 的事件。以時間為基礎的計數事件數(N-T圖)已總結如圖九所示。

在本報告中,定位ML 6.4關山地震的餘震的方法將採用本研究提出的BP方法。 它將通過對地震記錄進行能量疊加,而無需個別挑選地震波的到達時間來實施。總 的來說,餘震的位置過程將基於30分鐘的地震數據,並經過AGC處理以增強弱信 號(圖八b)。我們提取了包含餘震信號的地震記錄共同時間窗口,以進一步進行 地震定位。應用於此30分鐘內所有可區分的餘震時間窗。然而,大多數餘震的時間 窗太短,無法完成穩定的圖像疊加。最終,共定位了29個餘震,並全部繪製在圖十 中。結果顯示,主要的餘震分布在震央的北部和南部,其中一小部分分布在東部。

七、討論與結論

如圖十所示,本研究確定的餘震(29個事件)在相同的時間段內超過了CWB (5個事件)確定的事件。這表明ML 6.4的關山地震在震源區觸發了一系列的餘震。 CWA的地震定位過程主要涉及提取地震波的到達時間以簡化地震數據。然後,它 通過廣泛使用的計算機定位程序(如HYPO71(Lee和Lahr,1975;Lee等,2003), HYPOINVERSE(Klein,1978;1985,2002,2003),HYPOELLIPSE(Lahr,1982; 2003)等)進行數據反演並確認震央位置。儘管該定位系統通過適度修改現有的計 算機定位程序來適應區域變化並優化快速報告操作,但其基本方法仍圍繞讀取地 震波的到達時間然後定位地震。以上依賴首次到達時間挑選的地震定位方法對於 信噪比較低或在短時間內發生多次事件的小事件具有挑戰性。

為了解決這個問題,我們使用了一種替代程序來進行探索,它基於將地震的 能量沿著理論走時曲線疊加到其震源位置的想法。我們還選擇了TSMIP數據,這是 一個為地震危害評估目的而設計的密集地震陣列,不用於地震定位。在本項研究中, 我們使用了BP方法,這是一種常用於成像地震源的技術(Ishii等,2005; Meng等, 2011; Beskardes等,2018)。此方法利用了來自多個測站所記錄的地震波形,並計 算了每個站點和潛在震源位置之間的相關性。通過掃描整個研究區域,該方法能夠 識別常規方法可能錯過的隱藏餘震。在這項研究中,我們通過AGC對其進行了修 正,增強埋藏信號並用以檢索2022年9月17日臺灣關山地震的早期餘震。該研究的 結果表明,BP方法成功地檢測和定位了先前未被識別的大量隱藏餘震。所確定的 餘震為了解主震後的斷層幾何和區域內的地震活動提供了有價值的見解。它提供 了查看該地震序列演變的機會。

重疊於圖十下方的是通過Lee等人(2023)多種地球物理數據聯合反演推斷的 關山地震的震源滑移分佈。本研究定位的隱藏地震分布與關山地震的主滑移分佈 一致。根據Lee等人(2023)的研究,此地震序列的主要斷層破裂發生在一個向西 傾的斷層上,其滑移起源於震央並向北傳播。關山地震被認為是地震序列的前震, 瞭解其詳細的餘震活動可能提供了深入洞察未來地震發展的機會。通過檢查這些 餘震的空間和時間分佈,可用於統計識別及預測地震的發生以及大餘震的大小分 佈(Zhang等,2022)。這對於評估地震危害(Gulia等,2018)具有重要意義。然 而,這超出了本研究的初始研究範圍。總體而言,本研究的結果顯示了利用BP方 法等先進成像技術的重要性,以增進對餘震序列的理解並改進地震危害評估。該結 果有助於了解地震後的過程,並有助於規劃完善未來大地震的監測策略。針對外海 地震,因測站分佈不均與速度結構顯著變化造成近海地震定位不良,未來擬引進三 維速度模型以改進。

伍、誌謝

本研究計畫承中央氣象署贊助(計劃編號:MOTC-CWB-112-E-02),特此致謝。 行政院農業委員會林務局的花蓮、羅東、新竹、阿里山林區管理處、林業試驗所福 山研究中心、行政院國軍退除役官兵輔導委員會、臺灣大學生物資源暨農學院實驗 林管理處、花蓮縣警察局、花蓮縣警察局新城分局、臺東縣警察局關山分局、苗栗 縣的汶水、景山、大南、象鼻和梅園國小、高雄縣的六龜、荖濃與樟山國小、臺中 市的和平、平等與谷關國小、新竹縣的桃山、花園、新光與玉峰國小、南投縣的南 豐、力行、發祥、仁愛國小、南投市私立光明仁愛之家等單位在地震站場址會勘與 建站上鼎力相助,在此一併致謝,同時也感謝中央研究院地球科學研究所研究助理 紀宗志、葉仁傑與楊哲倫先生在測站勘查、建站、資料收集與處理上的協助。

參考文獻

鄧屬予 (2016). 臺北盆地之地質研究。西太平洋地質科學, 第6卷, 第1-28頁。

- 黃柏壽、黃文紀、葉仁傑、史閔弘、郭鎧紋、陳國昌、卓彥宇、王亞男 (2013). 臺 灣地區102 年度自由場強震網資料收集及分析-臺灣山區自由場強震網儀器安 裝及資料收集分析。中央氣象局地震技術報告彙編, MOTC-CWB-102-E-01, 63,97-119。
- Beskardes, G. D.; Hole, J.A.; Wang, K.; Michaelides, M.; Wu, Q.; Chapman, M.C.; Davenport, K.K.; Brown, L.D.; Quiros, D.A., 2018, A comparison of earthquake backprojection imaging methods for dense local arrays. *Geophysical Journal International*, 212(3), 1986–2002, DOI:10.1093/gji/ggx520
- Gadallah, M and R. Fisher, 2005, Applied Seismology: A Comprehensive Guide to Seismic Theory and Application, PennWell, ISBN: 1593700229 / 9781593700225, 600 pages.
- Gadallah, M and R. Fisher, 2009, Exploration Geophysics, Springer, ISBN: 3540851593 Pages: 274.
- Gulia, L., Rinaldi, A. P., Tormann, T., Vannucci, G., Enescu, B., & Wiemer, S. (2018). The effect of a mainshock on the size distribution of the aftershocks. Geophysical Research Letters, 45, 13,277–13,287. https://doi.org/10.1029/ 2018GL080619
- Huang, B. S., W. G. Huang, Y. L. Huang, L. C. Kuo, K. C. Chen and J. Angelier, 2009, Complex fault rupture during the 2003 Chengkung, Taiwan earthquake sequence

from dense seismic array and GPS observations, Tectonophysics, 466, 184-204, doi: 10.1016/j.tecto.2007.11.025.

- Ishii, M., P. M. Shearer, H. Houston, and J. E. Vidale (2005), Extent, duration and speed of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake imaged by the Hi-Net array, Nature, 435, 933–936.
- Ishii, M., P. M. Shearer, H. Houston, and J. E. Vidale (2007), Teleseismic P wave imaging of the 26 December 2004 Sumatra-Andaman and 28 March 2005 Sumatra earthquake ruptures using the Hi-net array, J. Geophys. Res., 122, B11307, doi:10.1029/2006JB004700.
- Kiser, E., and M. Ishii (2013), Hidden aftershocks of the 2011 M_W 9.0 Tohoku, Japan earthquake imaged with the backprojection method, J. Geophys. Res. Solid Earth, 118, 5564–5576, doi:10.1002/2013JB010158.
- Klein, F. W. (1978). Hypocenter location program HYPOINVERSE. U.S. Geol. Surv. Open- File Report. 78-694.
- Klein, F. W. (1985). HYPOINVERSE, a program for VAX and professional 350 computers to solve the earthquake locations. U.S. Geological Survey Open-File Report 85-515, 53 pp.
- Klein, F. W. (2002). User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes, *USGS, Open File Report* 02-171,123pp.
- Klein, F. W. (2003). The HYPOINVERSE2000 earthquake location program. In: Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., and Kisslinger, C. (Eds.) (2003), 1619-1620.
- Lahr, J. C. (1989). HYPOELLIPSE/Version 2.0: A computer program for determining local earthquakes hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern. U.S. Geological Survey Open-File Report 89-116, 92 pp.
- Lahr, J. C. (2003). The HYPOELLIPSE earthquake location program. In: Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., and Kisslinger, C. (Eds.) (2003), 1617-1618.
- Lee, W. H. K., and Lahr, J. C. (1975). HYPO71 (revised): A computer program for determin- ing hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. U.S. Geological Survey Open-File Report 75-311, 116 pp.
- Lee, W. H. K., Lahr, J. C., and Valdes, C. M. (2003). The HYPO71 earthquake location program. In: Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., and Kisslinger, C. (Eds.) (2003), 1641-1642.
- Lee, Y.-H., G.-T. Chen, R.-J. Rau, and K.-E. Ching (2008), Coseismic displacement and tectonic implication of 1951 Longitudinal Valley earthquake sequence, eastern Taiwan, J. Geophys. Res., 113, B04305, doi:10.1029/2007JB005180.
- Lee, S. J., Liu, T. Y. & Lin, T. C. (2023), The role of the west-dipping collision boundary fault in the Taiwan 2022 Chihshang earthquake sequence. *Sci Rep* **13**, 3552. https://doi.org/10.1038/s41598-023-30361-0
- McMechan, G.A., 1982. Determination of source parameters by wavefield extrapolation, *Geophys. J. Int.*, **71**(3), 613–628.

- Meng, L., A. Inbal, and J.-P. Ampuero (2011), A window into the complexity of the dynamic rupture of the 2011 Mw 9 Tohoku-Oki earthquake, Geophys. Res. Lett., 38, L00G07, doi:10.1029/2011GL048118.
- Mozziconacci, L., B. Delouis, <u>B. S. Huang</u>, J. C. Lee and N. Béthoux, 2013a, Determining Fault Geometry from the Distribution of Coseismic Fault Slip Related to the 2006 Taitung Earthquake, Eastern Taiwan, Bull. Seisl. Soc. Am., 103, 394–411, doi: 10.1785/0120110232.
- Mozziconacci, L., <u>B. S. Huang</u>, B. Delouis, J. C. Lee and S. J. Lee, 2013b, Rupture behavior of a Moderate earthquake (MW 5.9, April 2006) and its close relation with the 2003 Chengkung earthquake (Mw 6.8) at the Southern Termination of the plate boundary, Southeast Taiwan, *J. Asian Earth Sci.*, 75, 213-225, http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.07.025.
- Roecker, S. W., Y. H. Yeh, and Y. B. Tsai (1987), Three-dimensional P and S wave velocity structures beneath Taiwan–deep structure beneath an arc-continent collision, J. Geophys. Res., 92, 10,547–10,570
- Rost, S., and Thomas, C. (2002). Array Seismology: Methods and applications. *Rev. Geophys.*, **40**, (3), 1008, doi: 10.1029/2000RG000100.
- Shyu, J. B. H., L. H. Chung, Y. G. Chen, J. C. Lee, and K. Sieh, 2007: Re-evaluation of the surface ruptures of the November 1951 earthquake series in eastern Tai- wan, and its neotectonic implications. J. Asian Earth Sci., 31, 317-331, doi: 10.1016/j.jseaes.2006.07.018.
- Shyu, J. B. H., Sieh, K., Chen, Y. G., Chung, L. H. Geomorphic analysis of the central range fault, the second major active structure of the Longitudinal Valley suture, eastern Taiwan. *Geol. Soc. Am. Bull.* 2006; **118**:1447–1462. doi: 10.1130/B25905.1.
- Wen, S., Y.-Y. Wen, K.-E. Ching, Y.-L. Yeh, and Y.-H. Lee, 2019: Tectonic implications on the 2018 Hualien Earthquake. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 30, 389-398, doi: 10.3319/TAO.2019.01.28.01
- Zhang, Y., Y. An, F. Long, G. Zhu, M. Qin, Y. Zhong, Q. Xu, and H. Yang (2021). Short-Term Foreshock and Aftershock Patterns of the 2021 M₈ 6.4 Yangbi Earthquake Sequence, Seismol. Res. Lett. 93, 21–32, doi: 10.1785/0220210154.



圖一、延時疊加法用於聚焦地震波能量的示意圖。(a). Beam-forming 方法用於疊加 地震儀陣列能量以確認震波入射方向與震波通過陣列視速度的方法。(b). Back-projection 法用於疊加地震站能量聚焦震源位置的方法。



Selected Seismic waveforms





圖二、(a). 本研究上年度研究報告選取之地震案例(紅色圓形符號)與進行分析之 地震測站(黑色三角形符號)位置圖。(b). 選用地震站之實測地震波形紀錄。 (c). 本研究以格點搜尋法求得之地震震央位置(紅色十字符號)。 圖中黃色圓 點為氣象署速報網定位之結果。圖中色階為格點搜尋法計算之誤差殘值分 佈。(d). 本研究以震波能量聚焦方法求得之震央位置(紫色圓點),紅色圓點 符號為本研究格點搜尋法定位之結果。圖中色階為陣列波形疊加後之能量峰 值分佈。



圖三、本研究以反向投影法疊加地震站能量聚焦震源位置的地震定位案例(藍色圓 形符號)與氣象署速報網定位結果比較 (紅色圓形符號),同一地震事件經由 紅線連結以顯兩種方法定位之差異。



(a)



(b)

(c)

圖四、(a). 本研究收集 TSMIP 地震網地震資料以反向投影法定位大屯山地區地震 的震源位置。(b). 選用 TSMIP 地震站並加入 FORMASA 地震網之實測地震 波形振向紀錄。藍色符號表示上動,紫色符號表示下動。(c). 本研究以振向 格點搜尋法求得之地震解。圓形符號表示上動,三角形符號表示下動。



圖五、2022年九月東部地震序列中,主餘震震央分佈圖(依據中央氣象署速報網 目錄),其中以2022-09-17 ML 6.6 關山地震與2022-09-18 ML 6.8 池上地震, 兩次地震的震動強烈、顯現地表破裂並造成多處災情。



圖六:(a) TSMIP 選擇的記錄主震的站點, 震央距離小於 100 公里, (b) 根據震央距離繪製的地震波形。



圖七:與圖六(b)相同的地震波形,經過AGC 算法處理以增強餘震。



圖八、(a). 本研究收集 2022-09-17 M_L 6.6 關山地震後 30 分鐘、TSMIP 地震網近 震央附近地震站紀錄資料,圖中紅線標示中央氣象署速報網目錄定位主震 及五餘震發生時間。(b).為同圖(a)資料經過 AGC 處理後的地震波形紀錄, 顯示更多隱伏餘震被識別。



圖九: 2022 年 9 月 17 日, ML 6.4 的關山地震的首個 30 分鐘餘震的計數時間圖



(N-T 圖) 。

圖十:本研究所定位的地震事件(彩色符號),氣象署報告的地震事件(灰色圓圈符號)以及 Lee 等人(2023 年)報告的關山地震的斷層滑移分佈(彩色等高線) 顯示在圖下層中。

112 年度地震資料之分析應用

子計畫二

探討影響臺灣東部地震活動度變化的機制

許雅儒

中華民國地球物理學會

摘要

本研究根據 1994-2021 過去近 30 年的地震目錄,了解地震活動度在乾濕季的 變化以及在 2020-2021 乾旱期間的特性。臺灣西部乾季(11 月到隔年 4 月)平均每年 規模 2.5 以上的背景地震比平均值多 7%,臺灣東部乾季的背景地震則比平均值多 8%,若考慮規模5以上的地震,西部於2002到2021年乾季的地震次數為24,而 濕季為 11 次; 東部在 1994-2021 期間乾季的地震次數為 23, 而濕季則為 20 次, 統計數字顯示臺灣西部在乾季時地震發生機率較高。此外 2020-2021 的乾旱為自 1947 年以來臺灣最嚴重的乾旱事件,此期間臺灣西部規模 2.5 以上的背景地震發 生的年次數增加一半左右,東部只有15%的些微增加。研究中發現2006-2021每年 乾季及 2020-2021 乾旱期間水文荷重的減少和地震活動度增加的時間延遲很小,顯 示陸地儲水量荷重變化的確是驅動地震活動度變化的主因。此外,季節水文荷重變 化在垂直向造成的應力比水平向大。由於背景應力場是控制引發震斷層位態的基 本要素,為了進一步確認地震活動度與陸地水文循環的關聯,我們將季節性水文應 力變化投影到背景主應力軸方向,並使用過剩地震活動事件的百分比來評估地震 發生的時間和季節水文荷重引起的應力變化。臺灣東部淺層地震發生機率在 Δσ1、 $\Delta \sigma_3 \cdot \Delta \sigma_d \cdot \Delta \sigma_m$ 為正值的時候較高,可對應到夏季。深層地震的活動度和季節水文 循環引起的應力大小並沒有明顯關聯。東部淺層地震活動度和應力的振幅大小呈 正相關,和應力變化量沒有顯著關係,這表示在臺灣東部地震孕震周期和水文循環 周期相當。

關鍵字:地震活動度、水文負載、全球導航衛星系統

Abstract

Eastern Taiwan is characterized by frequent damaging earthquakes and a high strain rate of more than 1 µstrain per year. Taking advantage of the dense seismic and GNSS networks as well as abundant data collected from the rain gauges, and groundwater level wells across eastern Taiwan, this project aims to disentangle the complex relationship between the background seismic activity, and hydrological loading cycle over multiple spatiotemporal scales. We analyze background seismicity with $M_L \ge 2.5$ from 1994 to 2021 and find more frequent events in dry seasons. The western (WTW) and eastern (ETW) Taiwan have about 7~8% more events in dry months than wet months. For $M_L \ge$ 5 events, 24 and 11 events occurred in dry and wet seasons, respectively, in WTW and 23 and 20 events occurred in dry and wet months, respectively, in ETW. During the 2020-2021 drought, an 50% increase of seismic activity is found in WTW, in contrast to only about 15% increase of seismicity in ETW. We find a negligible time lag between the peak water loading changes and seismicity rate, suggesting a direct influence of elastic hydrological loading cycle on seismicity. Moreover, the seasonal water cycle induces a larger stress change in the vertical direction compared to that in the horizontal direction. The background stress field is a fundamental control on the preferred orientation of faulting due to tectonic stress. The seasonal hydrological stress changes are projected into the orientation of background principal stress axes to evaluate its influence on earthquake activity. We evaluate the timing of earthquakes and hydrologically induced stress changes using the percentage of excess seismicity. In ETW, we find a positive correlation between the seismic rate at shallow depths and $\Delta \sigma_1$, $\Delta \sigma_3$, $\Delta \sigma_d$ (differential stress) and $\Delta \sigma_m$ (the mean normal stress), in contrast to a week correlation between deep earthquakes and other stress components. Laboratory experiments simulating periodic loading conditions suggest that seismic rate should more strongly correlate with the stress amplitude if the stressing period is in a similar range of the earthquake nucleation time, which is the case for shallow earthquakes in ETW.

Keywords : Seismic activity > water storage > GNSS

壹、 研究目的

臺灣位於菲律賓海板塊和歐亞板塊邊界,板塊聚合速度約為 85-90 mm/yr (Hsu et al., 2016; Yu et al., 1997),快速的地殼運動造成頻繁的地震活動,每年約有 1-2 次 6 級以上的地震 (Shin et al., 2013)。此外,臺灣位於亞熱帶,平均每年乾濕季 雨量變化超過 2000 mm (Hsu et al., 2020)。最大年降雨量接近4000 mm,降雨量在 時空分佈也極不均匀(圖一)。每年約 70% 的降水發生在 5 月至 9 月,主要來自 季風和颱風。季節性儲水量變化導致地下水位每年的波動可達 5-15 m,全球導航 衛星系統 (GNSS) 垂直位移時間序列每年季節性的振盪變化可達 5-20 mm,反映 了地殼對季節性水負荷的彈性響應 (Hsu et al., 2020)。季節變化的原因多半是由於 水文加載(Heki, 2001, Bettinelli et al., 2008, Fu and Freymueller, 2012)、或由地下水位 變化所引發之壓實及孔隙彈性效應造成的變形(Amos et al., 2014)、或為熱彈性效應 (Prawirodirdjo et al., 2006)及其他表面負載造成之變形(Blewitt and Clarke, 2003, Heki, 2003)。前人許多研究中發現乾溼季轉變造成地表荷重變化會改變斷層周圍的應力 分布,進而影響地震活動度(Heki, 2003; Bettinelli et al., 2008; Ide and Tanaka, 2014; Johnson et al., 2017)。根據 Steer et al (2014)的研究, 荷重造成的應力變化隨著距 離的增加快速衰減,藉由密集的 GNSS 站,可計算近地表荷重改變對地震活動度 的影響。臺灣東部地區由於地殼應變率大且地震活動頻繁,再加上有密集的地震觀 測網、井下應變儀、地下水位和 GNSS 測站(圖一),先前研究已顯示季節水文荷重 的變化是驅動臺灣東部深層地震活動度季節變化的主要機制 (Hsu et al., 2021),

然而臺灣東部淺層地震的活動特性似乎還受其他因素影響力。由於2020年年中臺 灣因梅雨、颱風減少,造成下半年水情嚴峻,旱象持續影響至 2021 年,釀成臺灣 近五十年來最嚴重的乾旱事件之一,此事件提供一個機會了解除了季節變化之外 更長周期的陸地儲水量變化對地震活動度的影響,藉由分析不同地球物理觀測的 長期資料,可對地震觸發的過程有更深入之認識。



圖一、 臺灣在 2005 至 2016 年間的乾濕季平均雨量變化及(a)雨量站(b)GNSS(圓點)及水利署水位站(三角形)位置圖 (摘自圖一 Hsu et al., (2020))。

貳、 研究資料及方法

(一) 地震資料

本研究探討可能影響地震活動度變化的機制,考量集集地震過後產生大量的 餘震,再加上 GNSS 資料在 2006 年之後比較完整,所以主要選擇 2006-2022 期間 發生在臺灣規模大於 2.5 的地震及 95%地震分佈的深度範圍來做分析,為了萃取背 景地震(圖二),本研究使用最近鄰居去叢集方法(Nearest Neighbor Approach, NNA) (Zaliapin et al., 2016; Zaliapin et al., 2013),最近鄰居去叢集方法保留較多地震事件 以符合時間分佈的隨機性,是較適用於臺灣地區的去叢集方法 (許毓芳,2020)。



圖二、臺灣地區 2002 年到 2021 年底規模 2.5 以上的背景地震活動度,星號為規模 6 以上的地震。

(二)GNSS 資料

本研究使用由麻省理工學院與聖地牙哥加州大學海洋研究所開發的 GAMIT 10.71/GLOBK 5.34 軟體(Herring et al., 2002)來解算全臺的 GNSS 資料。其定位方法是基於雙差分載波相位觀測求解,並藉由 L1 及 L2 載波的線性組合來消除電離層效應,定位精度可達 2 mm。GAMIT 軟體在資料處理流程之中,首先透過自動偵錯及清除程式,去除原始資料中的一些離群點、週波脫落及標誌。清除後的觀

測資料再與精密軌道合併處理,進而得到較精密的軌道及時間修正參數。經過修正 的資料再進一步做二次差分處理,利用加權最小二乘法求解座標及週波未定值,得 到各觀測時段的協變方矩陣。將各觀測時段的協變方矩陣,輸入至 GLOBK 或其他 類似的處理軟體(e.g., QOCA、FONDA)中處理,來合併資料並計算座標和速度 場。為了得到更精確的時間序列,我們同時加入 114 個由國際全球導航衛星系統服 務(International Global Navigation Satellite Systems Service, IGS)所提供的測站, 其中包含 13 個亞太地區測站,來控制臺灣的地表變形行為。最後,將定位結果解 算在 IGS08 參考框架下(*Rebischung et al.*, 2012),以利進行後續的分析研究。

若 GNSS 垂直分量的季節變化達到峰值的時間在 2-4 月之間,代表該測站受 季節儲水量荷重改變影響 (反之則有可能受孔隙彈性效應影響),研究中選取這些 測站並移除 GNSS 水平分量長期線性速度、地震與更換天線造成的位移、震後位 移以及超過一年週期以上的波動。為減少高頻振盪,計算 GNSS 東西及南北水平 位移分量每一個月的移動平均值。

(三)氣象署兩量及經濟部水利署地下水位資料

本研究使用經濟部水利署的地下水位資料 (圖一)。地下水主要含水層分為四層,第一層多半為非受壓含水層,第二至四層則屬於受壓含水層,因第一層資料較為完整,將用其進行分析研究。地下水位站為每小時一筆的資料,藉由和鄰近測站資料比對,初步去除有問題的測站及原始資料中的離群點,再進行後續分析。

(四) GLDAS 與 LSDM 水文資料

由於地下水位容易受到人為活動影響,本研究另外考慮了其他水文資料。全球 水文模型(GLDAS,Global Land Data Assimilation System)是NASA以衛星記錄 全球地表氣象數據及地表含水模型來估計蓄水量變化(Rodell et al., 2004),資料可 至NASA 的GES DISC(Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) 官網免費下載取得。此研究使用的資料為GLDAS-Noah 2.0 結合從 2000 年至今的 模型和觀測數據,從地表到 2 公尺深的土壤含水量和雪水及樹冠層含水量,網格 間距為 0.25 度,時間取樣率為 1 個月一筆,將這些資料數據組合為GLDAS 水位 變化量來進行分析。在臺灣的雪水及樹冠層含水量對GLDAS 的貢獻度較小,所以 約99%的水變化都來自於土壤含水量。GLDAS 水文模型主要考慮淺層土壤含水量, 因此其估計之陸地季節儲水量變化僅為利用GNSS季節垂直位移逆推得到的季節 等效水高變化的17%(Hsu et al., 2021),雖然振幅低估了實際變化,但相對變化之 趨勢仍有參考價值。

另一個水文模型為陸地地表排放模型 (LSDM, Land Surface Discharge Model) (Dill, 2008; Dill and Dobslaw, 2013),它基於水文排放模型 (HDM) 和簡化地表模型 (SLS) 的組合模擬陸地的全球蓄水量 (Hagemann and Dümenil, 1997; Hagemann and Gates, 2003)。 資料可至德國開放的 FTP 網址下載 (ftp://ftp.gfzpotsdam.de/pub/home/ig/dill/LSDM/),陸地含水層包括河流、湖泊和水庫中的地表含 水、地下水、土壤含水層、冰雪以及生物圈中的水分,其估計之陸地季節儲水量變 化約為利用 GNSS 季節等效水高的 34% (Hsu et al., 2020)。由於目前可用的資料數 據沒有很好的分辨率來解決臺灣蓄水的空間變化,因此使用全臺灣的平均結果做 分析。



圖三、面膨漲量(紅藍色階,分別代表壓縮及伸張)之季節變化。左圖及右圖分別由 冬天水位最低時到夏天水位最高時及夏天到隔年冬天之季節面膨脹量變化,最大 最小主應變率軸分別以玫瑰紅(壓縮)及藍色(伸張)直線表示。

參、 研究方法

(一) 由 GNSS 水平及垂直位移計算地殼應力場季節變化

季節性水文變化主要與 GNSS 水平時間序列的長波特徵相關,我們採用了 10 天的採樣率來估算 4 個月內的水平位移,前人研究顯示採用此移動平均窗口可以 得到最佳的季節水平位移 (Kraner et al. 2018)。每個站點的水平位移量可內插到一 個 0.1°×0.1°的矩形網格上,同時考慮觀測點和每個網格節點之間的距離以及站點 分佈 (Hsu et al., 2009)。為了在空間中獲得平滑變化的水平位移場,我們在反演 中使用了離散的拉普拉斯矩陣並考慮了兩種權重,包括觀測的不確定性和 GNSS 的 測站密度,這二個權重在反演中有等同貢獻。在獲得每個網格節點的水平位移後, 透過對模型位移進行空間導數,可計算每個節點的應變 (Hsu et al. 2009)。我們將 正值視為伸張,負直視為壓縮,從水文模型 (LSDM)中獲得的陸地儲水量的年度 最大值和最小值的時間,然後估算季節性地表膨脹的振幅,其中包含從冬季最低水 儲量到夏季最高水儲量以及從夏季到下一個冬季的多年平均值(2006-2021)。圖三 為 2006-2022 年期間由乾季到濕季的應變場,地殼會朝向儲水量最大之區域移動, 造成壓縮;由濕季到乾季則會遠離該區,造成伸張,圖三顯示臺灣西南部是季節儲 水量變化最大的地方。另外,為了將應變與應力相關聯,我們使用虎克定律和三個 材料特性,包括視摩擦係數(0.4),剛度(30 GPa)和泊松比(0.25)。

(二) 地震震源機制和背景應力場

背景應力場是控制構造應力引發斷層走向的基本要素。為了估算背景應力場, 我們使用了地震震源機制的震矩張量(Auto-BATS-MTs, Jian et al., 2018)。在2002 年至2021年期間,我們選擇了 $M_w \ge 4$ 、資料品質良好(波形誤差分類為A和B) 以及非雙偶分量<30%的事件(詳見Jian et al., 2018)。然後使用 Michael(1984, 1987) 的演算法進行應力張量反演,以找到斷層面上的剪應力和斷層滑動方向最小值所 對應的應力張量。季節性水文應力變化再投影到背景主應力軸 $\sigma_1 \mathcal{Q} \sigma_3$ 的方向,並 計算在 $\sigma_1 \mathcal{Q} \sigma_3$ 方向的應力改變、差應力($\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$)及平均應力($\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_3)/3$) 不同的改變量對地震活動度的影響。

(三) 季節水文變化與地震活動的相關性

為了評估地震活動與其他因素之間的統計相關性,我們使用過剩地震活動百分比來評估地震發生的時間和其他參數的關聯,定義為 Nex=100*(Nacr-Nexp)/Nexp (Johnson et al., 2017, Johnson et al., 2020)。 其中, Nex 是事件的百分比超額數量, Nexp 是假設在時間上均勻隨機分佈的事件的預期數量, Nact 是在一定應力變化範圍內發生的觀測事件數量。我們首先分別刪除不同參數中最低 1%和最高 1%的值。在給定的應力間隔內,實際地震事件和預期地震事件的分佈是透過將其餘 98%的事件分成五個具有相同應力間隔的區間內。最小和最大 1%的應力變化被考慮為極端情況。我們透過在時間上隨機分佈實際地震事件的方式來計算預期地震事件的分佈。採用拔靴法 (bootstrap method) 對預期地震事件分佈重新取樣 1000 次,以評估每個應力間隔相應的誤差,這種方法表示了在給定時間和地點觀察到的實際地震活動如何偏離隨機分佈。

肆、研究成果

(一) 地震活動度和乾濕季及 2020-2021 乾旱之間的關係

臺灣西部(WTW,圖四)規模六以上的地震多半發生在2、3月,處於季節水位 較低的乾季,而臺灣東部地震(ETW,圖四)活動此特徵較不顯著,有可能和斷層帶 的滑移特性、破碎程度或摩擦性質相關。統計氣象署2002到2021年的地震目錄,臺 灣西部乾季(11月到隔年4月)平均每年大約有200次規模2.5以上的地震,溼季(5月到 10月)只有174次。臺灣東部乾季平均每年有154次規模2.5以上的地震,溼季只有131 次。若考慮規模5以上的地震,西部於2002到2021年乾季的地震次數為24,而濕季 為11次(圖四);東部於1994-2021期間乾季的地震次數為23,而濕季則為20次(圖四), 較大地震在乾季的發生機率也較高,尤以臺灣西部最為明顯。2020年臺灣因梅雨、 颱風減少(圖五),造成下半年水情嚴峻,旱象持續影響至 2021 年,釀成臺灣近五 十年來最嚴重的乾旱事件之一,此事件提供一個機會了解陸地儲水量變化對地震 活動度的影響。



圖四、臺灣西部(WTW) 2002-2021 及臺灣東部(ETW) 1994-2021 期間規模 5 以及 6 以上地震發生的月份。

分析氣象署2002-2021期間全臺雨量站的平均降雨量,可發現在2002年至2004 年期間連續三年降雨偏少(圖五、圖六),水利署在這段期間也發佈二次旱災事件 (https://llc.wcdr.ntu.edu.tw/category/drought-event/)。另一個降雨較少的時段則是 2017-2021,最終於2021年造成自1947年以來最嚴重的乾旱。另對比地下水位資料 可察覺臺灣東部地下水位站較能反應實際的降雨量或儲水量變化(圖六),反觀西部 的地下水受人為使用及農業耕作影響,地下水位和降雨量變化的關聯較不明顯。造 成此差異有可能是因為選取雨量測站和計算地震數目的區域一致,但西部陸地儲 水量的多寡可能取決於山區的降雨量,當直接比較研究區域的雨量和地震活動度 可能不夠客觀,因為臺灣地形陡峭、降雨季節集中,大部份降雨可能由地表徑流流 失,入滲量可能只有降雨的1/3 (Hsu et al., 2020)。圖六顯示臺灣西部的背景地震活 動度(規模2.5以上)受到集集地震的影響持續到2005年,雖然2002-2004這段時間可 能因為陸地儲水量減少致使地震增加,但二者的作用不易釐清,不過2021的乾旱事 件明顯造成地震活動度上升。東部地震活動度和2002-2004乾旱事件的關係較不顯 著(圖六),2021乾旱期間地震數目有增加,此外2012-2014及2016-2018東部降雨較 多的時期似乎地震活動度減少。研究中也發現乾季期間水文荷重的減少和地震活 動度增加的時間延遲很小,這表示若持續一年的乾旱對地震活動度的影響為亦近

即時,水文荷重改變造成的應力確實對地震活震度有立即的影響,而不是因為地表水入滲到斷層帶所需時間和季節變化的時間尺度相近所造成,這也間接說明先前研究發現水文荷重的季節變化的確是驅動地震活動度季節變化的主因(Hsu et al., 2021)。





圖五、 2002-2021 期間由氣象署雨量站統計之全臺平均年降雨量。



圖六、(a)臺灣東西部降雨量、地下水位及全球水文模型 GLDAS 和 LSDM 的陸地 蓄水量每月之變化,臺灣西部(b)及臺灣東部(c) 背景地震活動數目隨時間之變化, 紅色直線代表該區規模 6 以上的地震,紅色長條標示水利署發佈乾旱的時段。

(二) 地震活動度與 GNSS 水平及垂直應變的關聯

本研究採用 10 天的取樣率並利用 4 個月的資料計算 GNSS 水平應變場 Exx、 Exy、Eyy,其中地表面膨脹量為 Exx 和 Eyy 加總的結果,圖三顯示臺灣西南部在濕季 時面膨量大致呈現壓縮,西北-東南向的壓縮量增加最顯著;反觀東部面膨量則是 伸張,以近東西向的伸張為主,南北向及西北-東南向則有些許壓縮變形。圖七顯 示東部地震活動度和LSDM 變化大致呈現負相關。臺灣東部水文荷重在雨季增加, 造成垂直向產生壓縮,不過長波長的水平應變呈現伸張(圖七),主因為西南部的季 節儲水量變化比東部更大,地表位移會朝向儲水量最大之區域移動,造成東部在濕 季時水平變形為伸張。由於雨季的水文荷重在臺灣東部造成水平向伸張和垂直向 壓縮,水平和垂直應力在深度的消長決定了地震活動度的增減,也許這個現象可以 部份解釋臺灣東部淺層地震活動度(深度<18.5 km,此深度之擇定為將地震數目等 分為二,小於及大於此深度的地震定義為淺層及深層地震)的峰值在夏季,而深層 地震較活躍的時期為乾季。由於季節水文循環在臺灣東部造成的水平和垂直應變 剛好相反,若要深入探討季節應力和地震活動度的關係,可能需考慮地殼三維空間 的應力變化,然而受到平原區 GNSS 站受到黏土吸水膨脹效應主導,可以用來計 算季節儲水量變化的 GNSS 測站多半位於丘陵或山區,無法很精確的決定季節儲 水量變動的區域。



圖七、臺灣東部陸地水文因子及相關物理量皆採用 10 天取樣率,並利用 4 個月的 資料或移動平均值進行計算。綠色、黑色及藍色曲線分別為 GNSS 垂直分量、地震 每月數目及 LSDM 儲水量,粉紅色及淺藍色曲線為面膨脹量及降雨量。

(三) 定量評估季節儲水量變化對地震活動度的影響

為了進一步確認地震活動與水循環之間的關聯,我們使用過剩地震活動事件 的百分比 Nex (第三節)來評估地震發生的時間和季節水文荷重循環引起的應力變化 包含 Δσ1、Δσ3、Δσd、Δσm的相關性。利用東部震源機制解可以反算臺灣東部淺層 及深層地殼內的應力場(圖八),並計算季節水文荷重在背景主應力方向上造成的變 化,比對預期地震發生時所在的應力變化區間和實際地震發生時Δσ₁、Δσ₃、Δσ_d、 Δσm 的區間。圖九、十為臺灣東部淺層及深層地震的統計成果,大致而言淺層地震 (深度小於 18.5 公里)發生機率在Δσ₁、Δσ₃、Δσ_d、Δσm 為正值的時候較高,可對應 到夏季時在臺灣東部產生的伸張應變(圖三),乾濕季的儲水量變化在最大主應力方 向(σ₁)造成的改變最大。不過使用過剩地震活動事件研究深層地震(18.5-44 km) 的 活動度和季節水文循環引起的應力變化並沒有明顯關係,可能是因為東部有較頻 繁的地震發生,干擾季節水文變化對地震活動的影響,或者在 18.5-44 公里這區段 背景應力有較明顯的改變。大致而言,東部淺層地震活動度和應力的振幅大小呈正 相關,和應力變化量沒有顯著關係,這表示地震孕震周期長度和水文循環周期相當 (Beeler, 2003)。



圖八 臺灣地區不同震源機制分佈位置(綠色-走滑型態地震; 紅色-逆斷層型態地震; 藍色:正斷層型態地震; 黑色: 其它型態地震)以及東部淺層及深層地震應力張量逆 推成果。



圖九、臺灣東部淺層地震(深度≦18.5 km)過剩事件的百分比與 $\Delta \sigma_1 \cdot \Delta \sigma_3 \cdot \Delta \sigma_d \cdot \Delta \sigma_m$ 的相關性的。橫跨圓點的橫線代表所在區間的應力範圍,垂直線代表過剩地 震事件百分比的二倍標準偏差,紅線為線性回歸的結果,斜率的值及誤差值列於 圖的最上方,卡方值 (χ^2)代表觀測值和預測值的差異量,值小較佳。





圖十、臺灣東部深層地震(深度>18.5 km) 過剩事件的百分比與 Δσ₁、Δσ₃、Δσ_d、 Δσ_m的相關性的。橫跨圓點的橫線代表所在區間的應力範圍,垂直線代表過剩地 震事件百分比的二倍標準偏差,紅線為線性回歸的結果,斜率的值及誤差值列於 圖的最上方,卡方值 (χ^2)代表觀測值和預測值的差異量,值小較佳。

參考文獻

- Amos, C. B., Audet, P., Hammond, W. C., Bürgmann, R., Johanson, I. A., & Blewitt, G. (2014). Uplift and seismicity driven by groundwater depletion in central California. *Nature*, 509, 483-486, doi: 10.1038/nature13275.
- Beeler, N. M., & Lockner, D. A. (2003). Why earthquakes correlate weakly with the solid Earth tides: Effects of periodic stress on the rate and probability of earthquake occurrence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B8). https://doi.org/10.1029/2001JB001518
- Bettinelli, P., Avouac, J. P., Flouzat, M., Bollinger, L., Ramillien, G., Rajaure, S., & Sapkota, S. (2008). Seasonal variations of seismicity and geodetic strain in the Himalaya induced by surface hydrology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 266, 332-344, doi:10.1016/j.epsl.2007.11.021.
- Blewitt, G., & Clarke, P. (2003). Inversion of Earth's changing shape to weigh sea level in static equilibrium with surface mass redistribution. J. Geophys. Res., 10, doi:10.1029/2002JB002290.
- Dill, R. (2008), *Hydrological model LSDM for operational Earth rotation and gravity field variations*, GFZ.
- Dill, R., and H. Dobslaw (2013), Numerical simulations of global-scale high-resolution hydrological crustal deformations, J. Geophys. Res. Solid Earth, 118, 5008-5017, doi:10.1002/jgrb.50353.
- Fu, Y., & Freymueller, J. T. (2012). Seasonal and long-term vertical deformation in the Nepal Himalaya constrained by GPS and GRACE measurements. J. Geophys. Res., 117, doi:10.1029/2011JB008925.
- Hagemann, S., and L. Dümenil (1997), A parametrization of the lateral waterflow for the global scale, *Clim. Dyn.*, *14*, 17-31, doi:10.1007/s003820050205.

- Hagemann, S., and L. D. Gates (2003), Improving a subgrid runoff parameterization scheme for climate models by the use of high resolution data derived from satellite observations, *Clim. Dyn.*, *21*, 349-359, doi:10.1007/s00382-003-0349-x.
- Heki, K. (2001). Seasonal modulation of interseismic strain buildup in northeastern Japan driven by snow loads. *Science*, 293(5527), 89-92, doi: 10.1126/science.1061056.
- Heki, K. (2003). Snow load and seasonal variation of earthquake occurrence in Japan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 207, 159-164, doi:10.1016/S0012-821X(02)01148-2.
- Herring, T. A., R. W. King, and S. C. McClusky (2002), Documentation for the GAMIT Analysis Software, release 10.0 ed., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Hsu, Y. J., S. B. Yu, M. Simons, L. C. Kuo, and H. Y. Chen (2009) Interseismic crustal deformation in the Taiwan plate boundary zone revealed by GPS observations, seismicity, and earthquake focal mechanisms, *Tectonophysics*, 479, 4-18
- Hsu, Y.-J., S.-B. Yu, J. Loveless, T. Bacolcol, R. Solidum, A. L. Jr, A. Pelicano, and J. 429
 Woessner (2016), Interseismic deformation and moment deficit along the Manila
 430 subduction zone and the Philippine fault system, *J. Geophys. Res.*, 7636-7935,
 431, doi:7610.1002/2016JB013082.
- Hsu, Y. J., Y. Fu, R. Bürgmann, S. Y. Hsu, C. C. Lin, C. H. Tang, and Y. M. Wu (2020), Assessing seasonal and interannual water storage variations in Taiwan using geodetic and hydrological data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 550, doi: 10.1016/j.epsl.2020.116532
- Hsu, Y. J., H. Kao, R. Bürgmann, Y. T. Lee, H. H. Huang, Y. F. Hsu, Y. M. Wu, and J. Zhuang (2021), Synchronized and asynchronous modulation of seismicity by hydrological loading: A case study in Taiwan, *Sci. Adv., 16*, eabf7282, doi:10.1126/sciadv.abf7282
- Kraner, M. L., W. E. Holt and A, A, Borsa (2018), Seasonal nontectonic loading inferred from cGPS as a potential trigger for the M6. 0 South Napa earthquake." *J. Geophys. Res.*, https://doi.org/10.1029/2017JB015420.
- Ide, S., & Tanaka, Y. (2014). Controls on plate motion by oscillating tidal stress: Evidence from deep tremors in western Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 3842-3850, doi: 10.1002/2014gl060035.
- J Jian, P. R., T. L. Tseng, W. T. Liang, and P. H. Huang (2018), A new automatic fullwaveform regional moment tensor inversion algorithm and its applications in the Taiwan area, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, *108*, 573-587, doi:510.1785/0120170231.
- Johnson, C. W., Fu, Y., & Bürgmann, R. (2017). Seasonal water storage, stress modulation, and California seismicity. *Science*, 356, 1161-1164, doi:10.1126/science.aak9547.
- Johnson, C. W., Y. Fu, and R. Bürgmann. (2020). Hydrospheric modulation of stress and seismicity on shallow faults in southern Alaska. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 530, doi: 10.1016/j.epsl.2019.115904
- Michael, A. J. (1984). Determination of stress from slip data: faults and folds. J. Geophys. Res., 89(B13), 11517-11526.

- Michael, A. J. (1987). Use of focal mechanisms to determine stress: a control study. J. *Geophys. Res.*, 92(B1), 357-368.
- Prawirodirdjo, L., Ben-Zion, Y., & Bock, Y. (2006). Observation and modeling of thermoelastic strain in Southern California Integrated GPS Network daily position time series. J. Geophys. Res., 111, doi:10.1029/2005JB003716.
- Rebischung, P., J. Griffiths, J. Ray, R. Schmid, X. Collilieux, and B. Garayt (2012), IGS08: the IGS realization of ITRF2008, *GPS Solut.*, *16*, 483–494, doi:10.1007/s10291-011-0248-2.
- Rodell, M., P. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C.-J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, and M. Bosilovich (2004), The global land data assimilation system, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85, 381-394, doi:10.1175/BAMS-85-3-381.
- Shin, T. C., Chang, C. H., Pu, H. C., Hsiao-Wei, L., & Leu, P. L. (2013). The geophysical database management system in Taiwan. *TAO: Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 24, doi:10.3319/TAO.2012.3309.3320.3301(T).
- Steer, P., Simoes, M., Cattin, R., & Shyu, J. B. H. (2014). Erosion influences the seismicity of active thrust faults. *Nat. Commun*, 5, 1-7, doi: 10.1038/ncomms6564
- Yu, S.B., Chen, H.Y., Kuo, L.C. (1997), Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41-59, doi:10.1016/S0040-1951(1096)00297-00291.
- Zaliapin, I., & Ben-Zion, Y. (2013). Earthquake clusters in southern California I: Identification and stability. J. Geophys. Res., 118, 2847-2864, doi:2810.1002/jgrb.50179.
- Zaliapin, I., & Ben-Zion, Y. (2016). A global classification and characterization of earthquake clusters. *Geophys. J. Int.*, 207, 608-634, doi:610.1093/gji/ggw1300.
- 許毓芳 (2020),利用最近鄰居去叢集方法探索臺灣地區地震序列特性,國立臺灣 大學地理環境資源學研究所碩士班論文。
112 年度地震資料之分析應用

子計畫三

中央氣象局歷史地震相關資料彙整與研究

鄭世楠 王子賓 張毓軒

中華民國地球科學學會

摘要

本年度整理臺東氣象站收錄的微縮影片歷史地震波形紀錄,編號039-066-1 共29卷微縮影片。其中夾雜著蘭嶼氣象站2卷中央氣象台簡單地震儀收錄的1,202 張波形紀錄。臺東氣象站微縮影片共27卷23,255張波形紀錄,包括59型(VI)短週期 電磁式地震儀13卷7,996張波形紀錄、RV320型地震儀1卷497張波形紀錄、威赫式 地震儀12卷14,665張波形紀錄、大森式二倍強震儀(1955/09更換為樋口式一倍強震 儀)1卷97張波形紀錄。同時建立臺東氣象站威赫式地震儀14,665張波形紀錄、大森 式二倍強震儀(1955/09更換為樋口式一倍強震儀)97張波形紀錄、蘭嶼氣象站1,202 張波形紀錄的微縮影片目錄。建立的資料包括微縮片編號、紀錄起始結束時間, 地震儀器種類、以及原始掃描檔的名稱與存放位置。重新整理收錄得46筆地震伴 隨發生479處土壤液化現象,其中1900年以前有10筆地震20處土壤液化,1900年以 後有36筆地震459處土壤液化,結果建置成土壤液化資料庫,提供建置土壤液化網 頁基本資料。

關鍵詞:地震波形記錄、地震儀、歷史地震

Abstract

This project compiles the microfilms of historical earthquake seismogram recorded at the Taitung Station, No. 039-066-1, a total of 29 volumes of microfilms. Among them are 1,202 seismograms recorded by two volumes of CMO Portable seismograph at Lanyu Station. The Taitung Station microfilm has a total of 27 volumes with 23,255 seismograms, including 13 volumes of Electromagnetic seismograph 59 type with 7,996 seismograms, 1 volume of RV-320 seismograph with 497 seismograms, and 12 volumes of Wiechert seismograph with 14,665 seismograms, 1 volume of Strong motion seismograph with 97 seismograms.

At the same time, the catalog of historical seismogram microfilm, 14,665 seismograms of the Wiechert seismograph, 97 seismograms of the Strong motion

seismograph at the Taitung station, and 1,202 seismograms at the Lanyu station were established. The data created includes the microfilm encoding, recording start and end time, seismograph type, and the name and storage location of the original microfilm.

Reorganizing and collecting 46 earthquakes with 479 soil liquefaction phenomena, including 10 earthquakes with 20 soil liquefaction events before 1900, and 36 earthquakes with 459 soil liquefaction events after 1900. The results were built into a soil liquefaction database, which provides Establish basic information on soil liquefaction web page.

Keyword: seismogram, seismograph, historical earthquake

壹、前言

在地震觀測上,地震構造會重複發生大規模災害地震,因此研究古地震或是 歷史地震,都是為探討構造地震之重現週期,並進一步瞭解該構造引發的強烈地 震動特性,以作為防救災因應的參考。對於過去地震史料的蒐集與研究,已成為 必要課題。臺灣位於環太平洋地震帶上,在歐亞大陸與菲律賓海板塊的碰撞與擠 壓作用下,自有文獻記載以來,已發生多次破壞性地震(徐明同,1983;Tsai,1985; 鄭世楠和葉永田,1989;鄭世楠等,1999;鄭世楠,2014;鄭世楠和張建興,2014; 鄭世楠等,2017,2018,2019)。而人類使用地震儀器進行觀測的歷史相當短,有地震 波形紀錄的地震僅一百多年,限制了地震學的研究,更顯得歷史地震波形與紀錄 的重要性(Kanamori et al.,2010)。

臺灣地區自1897年12月在臺北測候所裝設格雷-米爾恩(Gray-Milne)型地震儀 以後,開啟了儀器觀測地震地時代,1928年開始陸續增設威赫式地震儀(Wiechert seismograph),大為提升地震偵測能力。至1983年機械式地震儀陸續退役,此段時 期記錄了相當大量的地震波形紀錄,不僅是臺灣地區發生的地震,同時也記錄到 世界上其他區域發生的大規模地震傳播至臺灣之震波。2011年2月25日於中央大 學舉行 Taiwan Historical Earthquake Workshop的會議中,與會學者均認為臺灣有豐 富且重要的歷史地震波形與紀錄,宜進行有系統的整理,以做為臺灣及國際地震 學研究擴增素材。鄭世楠等(2013, 2014)共整理1900-1972年歷史地震波形共1,565 張。鄭世楠和呂佩玲(2017)整理臺北站、新竹站、宜蘭站共33,678 張地震波形供指 影片,同時建立地震波形目錄文字檔;鄭世楠和呂佩玲(2018)整理臺中站、臺南站、 高雄站、恆春站等 87,476 張地震波形紀錄微縮影片,同時建立地震波形目錄文字 檔。110年度計畫整理花蓮站共31,973 張地震波形紀錄,同時建立威赫式地震儀 與樋口式一倍強震儀波形目錄。111年度計畫整理成功站共20,137張地震波形紀 錄,同時建立威赫式地震儀與中央氣象台式簡單地震儀波形目錄。目前尚有臺東 站、大武站共約27,712張地震波形紀錄微縮影片尚未進一步整理(表1)。

由於歷史地震波形微縮影片製作至今已超過35年,經過多次搬遷,且欠缺專 屬的儲存空間,造成微縮影片已呈現酸化情形,甚至部分底片已模糊不清無法進 一步判讀,急需進一步處理。有鑑於此,本計畫擬以四年時間重新整理臺灣地區 歷史地震波形紀錄相關資料,所得結果將以網頁方式呈現。本年計畫將以整理臺 東站收錄的11,159張微縮影片波形紀錄為主,更新「歷史地震波形資料庫」網頁, 增加歷史地震波形目錄選項,以臺南站、高雄站與臺東站的資料為主。同時整理 歷史地震土壤液化網頁資料,包括地震參數、土壤液化地點、土壤液化狀況描述、 土壤液化分布圖等,以提供未來建置歷史地震土壤液化網頁使用。

測站	地震儀種類	波形紀錄	微缩片狀態	起訖時間
臺北站	威赫式地震儀	8,679	平片	1958/07/13-1970/06/30
16,180	石本式加速度地震儀	168	平片	1954/08/19-1981/03/02
	59 型短週期電磁式地震儀	7,333	平片	1970/04/23-1980/12/31
新竹站	中央氣象台式簡單地震儀	11,230	022-038,	1952/02/13-1983/06/30
11,230			155-156	
宜蘭站	威赫式地震儀	5,996	202-207	1947/07/09-1983/10/01
6,268	中央氣象台式簡單地震儀	228	208	1936/08/22-1983/09/26
	大森式二倍強震儀	44	209	1936/08/22-1982/06/25
臺中站	威赫式地震儀	23,875	067-085	1954/01/07-1983/12/31
24,013	樋口式一倍強震儀	56	086	1954/09/17-1983/06/24
	中央氣象台式簡單地震儀	82	086-1	1954/09/17-1978/12/24
臺南站	威赫式地震儀	23,404	001-020	1954/01/11-1983/07/01
23,572	大森式二倍強震儀	168	021-1	1954/04/06-1983/06/25
高雄站	大森式二倍強震儀	137	157	1977/07/21-1984/12/29
2,618	荻原式簡單地震儀	2,481	158,160-163	1977/07/01-1983/12/31
恆春站	威赫式地震儀	37,159	123-153	1935/01/30-1983/12/31
37,273	強震儀	114	154	1935/07/16-1981/03/03
花蓮站	威赫式地震儀	21,480	164-182	1957/01/02-1983/07/01
31,973	59 型電磁式地震儀	9,052	183-197	1970/06/16-1983/07/01
	RV320 型地震儀	780	198-199	1981/06/05-1983/07/01
	中央氣象台式簡單地震儀	445	200	1957/01/08-1969/09/06
	樋口式一倍強震儀	216	201	1957/02/07-1983/06/24

表1、中央氣象署地震波形紀錄微縮影片統計表

成功站	威赫式地震儀	18,927	105-120	1941/12/14-1983/07/01
	中央氣象台式簡單地震儀	468	121	1954/08/03-1982/06/20
	RV320 型地震儀	742	122	1981/05/23-1983/07/01
尚未整理	里(約 27,712 張)			
臺東站	地震儀	17,149		1940-1984
大武站	地震儀	10,563		1954-1983

貳、研究方法及進行步驟

自 1897 年 12 月 19 日設置地震儀後,收錄的波形紀錄統稱為歷史地震波形, 目前已整理與尚未整理的歷史地震波形記錄與相關資料包括以下四部分(鄭世楠 等, 2013, 2014),分述如下:

 原始波形歷時紀錄:地震儀所收錄之歷史地震波形歷時資料直接記錄在滾筒之 煙燻紀錄紙上,為類比式的記錄。這時期的地震儀包括格雷-米爾恩型地震 儀、大森式水平地震儀、強震儀、簡單型地震儀與威赫式地震儀等。目前已整 理的原始波形共 889 張,其中 679 張為臺南測候所收錄,210 張為宜蘭測候所 收錄。最早可追溯至 1902 年 3 月 1 日臺南測候所大森式水平地震儀收錄的記 錄。圖 1 顯示臺南測候所大森式水平地震儀(東西向)收錄 1902/11/21 地震 (M_L=6.7, M_S=6.8)波形。這 889 張煙燻記錄紙波形完成平整、補強、編號後,掃 描為數位影像檔,原始煙燻記錄紙大部分存放在建南辦公室,少部分存放於地 下室 B302。但仍有大量的煙燻記錄紙尚未整理,以及大量受損尚未修復的歷 史地震波形紀錄紙,目前存放於 B302 室(圖 2)。



圖 1、臺南測候所大森式水平地震儀收錄 1902/11/21 地震(M_L=6.7, M_S=6.8)煙燻紀 錄波形。



(a)

(b)

- 圖 2、尚未整理的歷史地震波形紀錄:(a).尚未攤平的歷史地震波形紀錄紙;(b). 受損的歷史地震波形紀錄紙。
- 複製地震紀錄:包括各類報告附錄波形紀錄相片與手描繪波形紀錄等,如圖3 顯示「臺灣地震調查一班」(大森房吉,1906)報告中附錄之臺南測候所格雷 -米爾恩型地震儀收錄 1904 年 11 月 6 日斗六地震波形紀錄。此類型紀錄大 部分皆是較大災害地震,例如 1904 年斗六地震、1935 年新竹臺中地震、 1941 年中埔地震、1964 年白河地震、1959 年恆春地震、1964 年白河地震、 1972 年瑞穗地震等,都是在當時出版的災害地震報告中,只有少部分是手 繪波形紀錄夾雜在散落的書寫資料中。目前整理的複製地震紀錄共 132 張,經編號後,儲存為數位影像檔。



圖 3、臺南測候所格雷-米爾恩(Gray-Milne)型地震儀收錄 1904 年 11 月 6 日斗六地 震三分量波形紀錄(根據大森房吉, 1906)。 3. 微縮影片地震紀錄:早期儲存歷史地震波形紀錄大都採用微縮影片方式,如2012 年中央大學研究團隊從日本東京大學帶回 1906-1908 年格雷-米爾恩型地震儀 與大森式水平地震儀微縮影片 36 張,以及中央氣象署自 1985 年開始有系統的 拍攝臺北測候所收錄的歷史地震波形紀錄,製作成平片微縮影片方式儲存(圖 4)。其後陸續將其他測候所收錄的地震波形紀錄製作成卷狀微縮影片,共 212 卷,目前儲存於地下室 B302,目前整理的微縮影片地震紀錄共 491 張,經編號 後,掃描為數位影像檔。鄭世楠和呂佩玲(2017,2018)整理臺北站、新竹站、宜 蘭站、臺中站、臺南站、高雄站、恆春站等7站的微縮影片,建立目錄(表2、 3)並掃描較大地震的波形紀錄(圖 6)。110 年度計畫整理花蓮氣象站 21,236 片微 縮片 31,973 張波形紀錄,建立威赫式地震儀、中央氣象台式簡單地震儀、樋口 式一倍強震儀微縮片波形目錄。111 年度計畫整理成功氣象站 10.678 片 20.137 張微縮影片波形紀錄,建立威赫式地震儀、中央氣象台式簡單地震儀微縮片波 形目錄。但臺東站、大武站等2站之微縮影片尚未進一步整理,粗步統計共有 181,435 張歷史地震波形紀錄(表 3)。由於由於歷史地震波形微縮影片製作至今 已超過35年,經過多次搬遷,且欠缺專屬的儲存空間,造成微縮影片已呈現酸 化情形,甚至部分底片已模糊不清無法進一步判讀,尤其是臺北站之平片式微 縮影片(圖 5),急需進一步處理。



(a)



(b)

圖 4、歷史地震波形紀錄微縮影片:(a).平片式微縮影片;(b).卷狀式微所影片。



(b)

232



(a)

圖 5、臺北站歷史地震波形平片式微縮影片呈現酸化情形:(a).酸化造成底片模 糊、扭曲變形情形;(b).19601008_TAP_WH_1 微縮片,左半部因酸化而無 法判讀。

表2、平片式微縮影片目錄範例:臺北站威赫式地震1958年微縮影片波形紀錄

波形編碼	紀錄起始與結束時間	波形編碼	紀錄起始與結束時間
1958/07_070		19580801_TAP_WH_1	07:56-1958/08/01 15:10
19580713_TAP_WH_1	07:54-1958/07/13 19:56	1958/08_077	
19580713_TAP_WH_2	19:59-1958/07/14 08:17	19580801_TAP_WH_2	15:31-1958/08/02 8:00
19580714_TAP_WH_1	08:19-1958/07/14 16:37	19580802_TAP_WH_1	08:02-1958/08/02 14:57
19580714_TAP_WH_2	16:39-1958/07/15 07:35	19580802_TAP_WH_2	14:59-1958/08/03 06:39
19580715_TAP_WH_1	07:37-1958/07/15 16:15	19580803_TAP_WH_1	06:41-1958/08/03 15:32
19580715_TAP_WH_2	16:17-1958/07/16 08:00	19580803_TAP_WH_2	15:34-1958/08/04 08:09
1958/07_071		19580804_TAP_WH_1	08:11-1958/08/04 15:52
19580716_TAP_WH_1	08:02-1958/07/16 16:25	1958/08_078	
19580716_TAP_WH_2	16:26-1958/07/17 07:37	19580804_TAP_WH_2	15:54-1958/08/05 07:34
19580717_TAP_WH_1	07:39-1958/07/17 14:37	19580805_TAP_WH_1	07:36-1958/08/05 15:41
19580717_TAP_WV_1	07:40-1958/07/17 14:37	19580805_TAP_WH_2	15:43-1958/08/06 07:43
19580717_TAP_WH_2	14:39	19580806_TAP_WH_1	07:45-1958/08/06 15:12
19580718_TAP_WH_1	07:43	19580806_TAP_WH_2	15:17-1958/08/07 07:43
1958/07_072		19580807_TAP_WH_1	07:45-1958/08/07 16:45
19580718_TAP_WH_2	16:03-1958/07/19 07:53	1958/08_079	
19580718_TAP_WH_2	16:04	19580807_TAP_WV_2	16:47-1958/08/08 07:59
19580719_TAP_WH_1	07:55-1958/07/19 16:09	19580808_TAP_WH_1	08:01-1958/08/08 15:17
19580719_TAP_WH_2	16:18-1958/07/20 07:26	19580808_TAP_WH_2	15:21-1958/08/09 07:51
19580720_TAP_WH_1	07:31-1958/07/20 15:40	19580809_TAP_WH_1	07:53-1958/08/09 15:32
19580720_TAP_WH_2	15:43-1958/07/21 08:27	19580809_TAP_WH_2	15:34-1958/08/10 06:40
1958/07_073		19580810_TAP_WH_1	06:42-1958/08/10 17:07
19580721_TAP_WH_1	08:29-1958/07/21 16:20	1958/08_080	
19580721_TAP_WH_2	16:22-1958/07/22 07:49	19580810_TAP_WH_2	17:10-1958/08/11 08:07
19580722_TAP_WH_1	07:50-1958/07/22 16:22	19580811_TAP_WH_1	08:15-1958/08/11 15:48
19580722_TAP_WH_2	16:27-1958/07/23 08:09	19580811_TAP_WH_2	15:51-1958/08/12 08:15
19580723_TAP_WH_1	08:12-1958/07/23 15:46	19580812_TAP_WH_1	08:17-1958/08/12 15:52
19580723_TAP_WH_2	15:48-1958/07/24 07:42	19580812_TAP_WH_2	15:54-1958/08/13 07:51
1958/07_074		19580813_TAP_WH_1	07:54-1958/08/13 15:36
19580724_TAP_WH_1	07:45-1958/07/24 15:50	1958/08_081	
19580724_TAP_WH_2	15:55-1958/07/25 07:40	19580813_TAP_WH_2	15:40-1958/08/14 07:43

19580725_TAP_WH_1	07:42-1958/07/25 16:20	19580814_TAP_WH_2	16:53-1958/08/15 07:48
19580725_TAP_WH_2	16:22	19580815_TAP_WH_1	07:51-1958/08/15 16:14
19580726_TAP_WH_1	08:23-1958/07/26 15:48	19580815_TAP_WH_2	16:15-1958/08/16 08:14
19580726_TAP_WH_2	15:50-1958/07/27 08:54	19580815_TAP_WV_2	16:16
1959/07_075 (酸化嚴重))	19580816_TAP_WH_1	08:17-1958/08/16 15:39
19580727_TAP_WH_1	08:57-1958/07/27 15:58	1958/08_082	
19580727_TAP_WH_2	16:02-1958/07/28 07:39	19580816_TAP_WH_2	15:43-1958/08/17 07:43
19580728_TAP_WH_1	07:43-1958/07/28 16:37	19580817_TAP_WH_1	07:45-1958/08/17 19:30
19580728_TAP_WH_2	16:39-1958/07/29 07:41	19580817_TAP_WH_2	19:33-1958/08/18 07:51
19580729_TAP_WH_1	07:43-1958/07/29 16:00	19580818_TAP_WH_1	07:35-1958/08/18 15:20
19580729_TAP_WH_2	16:03-1958/07/30 07:35	19580818_TAP_WH_2	15:23-1958/08/19 07:27
1958/07/08_076 (只有 5	張)	19580819_TAP_WH_1	07:39-1958/08/19 16:00
19580730_TAP_WH_1	07:37-1958/07/30 15:20	1958/08_083	
19580730_TAP_WH_2	15:23-1958/07/31 08:20	19580819_TAP_WH_2	16:02-1958/08/20 07:46
19580731_TAP_WH_1	08:22-1958/07/31 15:51	19580820_TAP_WH_1	07:48-1958/08/20 15:55
19580731_TAP_WH_2	15:53-1958/08/01 07:54		

表 3、卷狀式微縮影片目錄範例:編號 No.209 宜蘭站大森式二倍強震儀波形紀錄

编號	波形代碼	起始時間	結束時間	備註
001 19	9360822_ILA_S2_1	1936/08/22 08	1936/08/22 15	恆春東方地震 M7.0
002 19	9360822_ILA_S2_2	1936/08/22 15	1936/08/23	恆春東方地震 M6.0
003 19	9360912_ILA_S2_2	1936/09/12	1936/09/13	關刀山地震 M5.7
004 19	9770715_ILA_S2_1	1977/07/15	1977/07/15	花蓮東方地震 M5.4
005 19	9771225_ILA_S2_2	1977/12/25	1977/12/26	花蓮東北地震 M5.3
006 19	9780207_ILA_S2_2	1978/02/07	1978/02/08	花蓮東方地震 M6.0
007 19	9780314_ILA_S2_2	1978/03/14	1978/03/15	花蓮東方地震 M5.7
008 19	9780408_ILA_S2_1	1978/04/08	1978/04/08	臺東南方地震 M5.8
009 19	9780411_ILA_S2_2	1978/04/11	1978/04/12	龜山島深震 92km,M4.9
010 19	9780429_ILA_S2_2	1978/04/29	1978/04/30	宜蘭東方地震 M5.9
011 19	9780530_ILA_S2_2	1978/05/30	1978/05/30	基隆北方地震 M5.4
012 19	9780601_ILA_S2_2	1978/06/01	1978/06/02	南澳地震 M4.9
013 19	9780723_ILA_S2_2	1978/07/23	1978/07/23	蘭嶼地震 M7.1
014 19	9780730_ILA_S2_2	1978/07/30	1978/07/31	南澳地震 M5.3
015 19	9780809_ILA_S2_2	1978/08/09	1978/08/10	豐濱南方地震 M5.3
016 19	9780814_ILA_S2_2	1978/08/14	1978/08/15	南澳地震 M5.2
017 19	9780902_ILA_S2_1	1978/09/02	1978/09/02	龜山島深震 87km,M5.8
018 19	9780905_ILA_S2_1	1978/09/05	1978/09/05	花蓮東方地震 M4.5
019 19	9780908_ILA_S2_1	1978/09/08	1978/09/08	花蓮東北地震 M5.0
020 19	9780910_ILA_S2_2	1978/09/10 20	1978/09/11 00	花蓮東北地震 M5.3
021 19	9780911_ILA_S2_2	1978/09/11	1978/09/12	花蓮東北地震 M5.4
022 19	9781223_ILA_S2_1	1978/12/23	1978/12/23	長濱東方地震 M6.9(D)
023 19	9791203_ILA_S2_1	1979/12/03 08	1979/12/03 20	新港東方地震 M5.2
024 19	9800229_ILA_S2_1	1980/02/29 08	1980/02/29 20	
025 19	9800529_ILA_S2_1	1980/05/29 08	1980/05/29 20	蘇澳東方地震 M5.1
026 19	9801017_ILA_S2_2	1980/10/17 20	1980/10/18 08	花蓮東北地震 M5.6
027 19	9801107_ILA_S2_2	1980/11/07 20	1980/11/08 08	花蓮東方地震 M5.5

028 19801114_ILA_S2_2	1980/11/14 20	1980/11/15	蘇澳地震 M5.5
029 19810302_ILA_S2_2	1981/03/02 20	1981/03/03 08	成功地震 M5.8
030 19810820_ILA_S2_2	1981/08/20 20	1981/08/21 08	宜蘭地震 M4.2
031 19810830_ILA_S2_2	1981/08/30 20	1981/08/31 08	蘇澳南方地震 M4.3
032 19820123_ILA_S2_2	1982/01/23 22	1982/01/23 07	花蓮地震 M5.8
033 19820227_ILA_S2_2	1982/02/27 20	1982/02/28	
034 19820914_ILA_S2_2	1982/09/14 20	1982/09/15 08	宜蘭太平地震 M4.5
035 19821020_ILA_S2_2	1982/10/20 20	1982/10/21 08	花蓮東南地震 M6.0
036 19821207_ILA_S2_1	1982/12/07 08	1982/12/07 11	宜蘭地震 M4.0
037 19830426_ILA_S2_2	1983/04/26 20	1983/04/27 08	宜蘭東方深震 97km,M6.2



圖 6、卷狀式微縮影片地震波形範例:恆春站今村式二倍強震儀收錄 1935 年 9 月

4 日綠島地震(22.50°N,121.55°E,震源深度 20 km, ML7.0, MW7.3, MH7.2) 波形紀錄之微縮影片,地震波形編碼為 19350904_HEN_S1_1

4. 歷史地震相關文字記錄:自臺北測候所設立後累積相當多的文字敘述的地震觀測記錄,包括各測候所地震報告、地震年報月報等。這類資料雖欠缺地動歷時波形紀錄,但仍為珍貴的資料。目前在「歷史地震波形資料庫」網頁中整理臺北測候所對於53 筆世界各地大地震的文字觀測記錄,如圖7顯示臺北測候所對於1906 年美國舊金山大地震之文字敘述觀測記錄。鄭世楠等(1997)整理日據時期有關地震的報告與文件387 分1,312 頁,目前存放於地下室 B302,如圖8顯示1909 年臺北地震相關報告與文件。此外,地下室 B205 存放相當大量相關地震的文件尚未進行處理。

シュンは、海山市地球表面上大的之下同丁距離の有い	原八臺北,距小約九千山百許(約三千晋里) 如多書地一原八臺北,距小曲人約二度三元,幅为以了夏西、振南上記,結果、成小、臺北地方地戲,最大張動小平拓於那故動推讀時間一時三十分一秒,	主要動雄績時間 六分四十八秒 報助過期 きっと 意 時 四月六日午後九時年四分十五秒 殿、三八左、震動了親 例七り 一致意意了爽(サリシモ富所招付,大森式地動計、依り間餘、三八左、震動了親例七り 酸 意一次在,震動了親例七り 人体造 普通地震計 時 四月六日本後九時年四分十五秒 前期散動雄績時間 二十二分二十三秒 現太子四分十五秒 明治年九年四月六日遠距離地震親例
「 食原時二	北か三天街	いた りーラ 人気 ひろう 一時三分

圖 7、臺北測候所對於 1906 年美國舊金山大地震的文字敘述觀測記錄(收錄於鄭 世楠等, 1997)。



圖 8、1909 年 4 月 15 日臺北地震相關報告與資料(收錄於鄭世楠等, 1997)

2021年12月已將卷片式微縮影片波形紀錄掃描為數位影像檔,包括新竹、宜 蘭、臺中、臺南、高雄、恆春、花蓮、成功、臺東、大武、蘭嶼等氣象站,210卷 約12萬張微縮片的歷史地震波形,但對於酸化嚴重的臺北站平片式微縮影片尚未 進一步處理。本年度計畫擬整理臺東站所收錄的微縮影片波形紀錄為主,建立臺 東站歷史地震波形目錄。參考鄭世楠等(2013,2014)處理歷史地震波形煙燻紀錄紙 流程如圖9所示,原始地震紀錄波形紀錄因年代久遠,加上許多波形紀錄並沒有適 當的儲存,造成許多資料變形、硬化、潮濕、發霉、蛙蟲、破損等,首先將原始 紀錄進行除濕、平整與編號,其次進行去霉、除虫、修補等工作,修補完成的紀 錄以高解析度掃描儀進行數化處理,以300 dpi解析度儲存為TIFF與JPG格式,再進 行日期確認、儀器辦別與方向辨識後重新編號,整理好的原始波形紀錄與數化波 形資料建置於資料庫中。將傳統以類比式的微縮影片儲存歷史地震資料的方式, 改以高解析度掃描儀數化後的數化式檔案儲存。微縮影片歷史地震波形紀錄先還 原成原尺寸,以高解析度掃描儀進行數位化處理,採用300 dpi解析度灰階的方式 儲存為TIFF 與JPG 格式。數化後的影像檔再透過螢幕顯示進行日期確認、儀器辦 別與方向辨識後重新編號,整理好的數化波形資料建置於資料庫中。



圖 9、歷史地震波形紀錄處理程序(鄭世楠等, 2014)。

數化後的影像檔再透過螢幕顯示進行日期確認、儀器辦別與方向辨識後重新 編號,整理好的數化波形資料建置於資料庫中。為利於後續使用將蒐集整理的波 形紀錄進行分類與編號。波形編碼參考鄭世楠等(2013, 2014)的方法,採用「年月 日_測站_儀器」作為編號依據,其中年、月、日為地震波形紀錄的日期,測站為 收錄之觀測站名稱(如表4所示),包括臺北、臺南、澎湖、臺中、臺東、恆春、花 蓮、高雄、阿里山、宜蘭、新竹、彭佳嶼、新港、大武、玉山、嘉義、蘭嶼等測 震站。地震儀器包括格雷-米爾恩型地震儀、大森式水平向地震儀(東西向)、大森 式水平向地震儀(南北向)、大森式微動儀、大森式強震儀、今村式二倍強震儀、大 森式二倍強震儀、樋口式一倍強震儀、中央氣象台式一倍強震儀、中央氣象台式 二倍強震儀、大森式簡單地震儀、簡單型地震儀、中央氣象台式簡單地震儀、三 分量簡單型地震儀、樋口式簡單型地震儀、荻原式簡單型地震儀、衛赫式地震儀(垂 直向)、衛赫式地震儀(水平向)、石本式加速度地震儀、樋口式加速度地震儀、59 型(VI)短週期電磁式地震儀、61型(VD)長週期電磁式地震儀、文件檔(欠缺地震波 形紀錄)等。

測站	1945 年	1946 年後	中文	緯度	經度	高度	地震儀
代碼	英文名稱	英文名稱	名稱	(N)	(E)	(m)	時間
TAP	Taihoku	TAIPEI	臺北	25.04	121.52	5.5	1897/12
TAI	Tainan	TAINAN	臺南	23.00	120.20	13.8	1900/01
PNG	Hoko	PENGHU	澎湖	23.567	119.555	10.7	1900/02
TCU	Taityu	TAICHUNG	臺中	24.148	120.676	84.0	1902/01
TTN	Taito	TAITUNG	臺東	22.754	121.147	8.9	1903/12
HEN	Kosyun	HENGCHUN	恆春	22.006	120.738	22.1	1907/10
HWA	Karenko	HWALIEN	花蓮	23.977	121.605	16.1	1914/01
KAU	Takao	KAOHSIUNG	高雄	22.567	120.308	2.3	1931/06
ALS	Arisan	ALISHAN	阿里山	23.510	120.805	2413.4	1933/07
ILA	Giran	ILAN	宜蘭	24.766	121.748	7.2	1936/06
HSN	Sintiku	HSINCHU	新竹	24.802	120.970	34.0	1938/08
PCY	Hokasyo	PENGJIA	彭佳嶼	25.633	122.067	99.0	1937/01
HSI	Sinko	HSINKONG	新港	23.099	121.365	33.5	1941/02
TAW	Daibu	TAWU	大武	22.358	120.895	8.1	1942/11
YUS	新高山	YUSSHAN	玉山	23.483	120.950	3844.8	1944/01
ANP		ANPU	鞍部	25.187	121.520	825.7	1963/03
CHY		CHIAYI	嘉義	23.498	120.475	26.9	1968/09
LAN	Kotosyo	LANYU	蘭嶼	22.0333	121.5500	21.5	1961/05

表 4、歷史地震波形紀錄測站代碼一覽表

叁、結果與討論

本年度計畫著重於整理臺東氣象站收錄的微縮影片波形紀錄,編號039-066-1 共 29 卷。整理過程中發現夾雜著蘭嶼站中央氣象台簡單地震儀 2 卷(卷號 053 與 054),1980-1984年1,202 張波形紀錄。臺東站微縮影片包括 59 型(VI)短週期電磁 式地震儀 13 卷(卷號 039-051) 1972-1983年7,996 張波形紀錄、RV320 型地震儀 1 卷(卷號 052)1982-1983年497張波形紀錄、威赫式地震儀 12 卷(卷號 055-066) 1940-1983年收錄的 14,665張波形紀錄、大森式二倍強震儀(1955/09更換為樋口式 一倍強震儀)1卷(卷號 066-1) 1937-1983年97張波形紀錄(表 5)。

編號	紀錄時間	微縮片編號	備註			
臺東站	臺東站 59 型(VI)短週期電磁式地震儀 13 卷 7,996 張波形紀錄					
039	1972/12/10-1973/10/20	001-642	642 張波形紀錄			
040	1973/10/20-1974/09/01	001-649	649 張波形紀錄			
041	1974/09/01-1975/07/01	001-633	633 張波形紀錄			
042	1975/07/01-1976/05/01	001-630	630 張波形紀錄			
043	1976/05/01-1977/03/01	001-624	624 張波形紀錄			
044	1977/03/01-1978/01/01	001-626	626 張波形紀錄			
045	1978/01/01-1978/11/01	001-641	641 張波形紀錄			
046	1978/11/01-1979/09/01	001-646	646 張波形紀錄			
047	1979/09/01-1980/07/01	001-630	630 張波形紀錄			
048	1980/07/01-1981/05/01	001-630	630 張波形紀錄			
049	1981/05/01-1982/03/01	001-631	631 張波形紀錄			
050	1982/03/01-1983/01/01	001-631	631 張波形紀錄			
051	1983/01/01-1983/07/01	001-383	383 張波形紀錄			
臺東站 RV320 型地震儀(L4C 感震器)1 卷 497 張波形紀錄						
052	1982/03/10-1983/07/01	001-497	497 張波形紀錄			
蘭嶼站中央氣象台式簡單地震儀2卷1,202張波形紀錄						
053	1980/07/31-1982/05/31	001-619	619 張波形紀錄			

表 5、臺東站與蘭嶼站地震波形微縮影片統計表

054	1982/06/01-1984/01/01	001-583	583 張波形紀錄			
臺東站	臺東站威赫式地震儀共 12 卷 7,346 片 14,665 張波形紀錄					
055	1940/07/04-1943/11/30	001-656	656 片 1,308 張波形紀錄			
056	1954/05/01-1962/12/29	001-582	582 片 1,164 張波形紀錄			
057	1962/12/31-1967/01/01	001-634	634 片 1,266 張波形紀錄			
058	1967/01/02-1970/03/01	001-621	621 片 1,238 張波形紀錄			
059	1970/03/01-1972/11/01	001-629	629 片 1,250 張波形紀錄			
060	1972/11/01-1974/07/10	001-658	658 片 1,316 張波形紀錄			
061	1974/07/10-1976/02/01	001-590	590 片 1,178 張波形紀錄			
062	1976/02/01-1977/10/01	001-658	658 片 1,314 張波形紀錄			
063	1977/10/01-1979/04/01	001-636	636 片 1,272 張波形紀錄			
064	1979/04/01-1980/11/01	001-629	629 片 1,254 張波形紀錄			
065	1980/11/01-1982/06/01	001-633	633 片 1,265 張波形紀錄			
066	1982/06/01-1983/07/01	001-420	420 片 840 張波形紀錄			
臺東站大森式二倍強震儀(1955/09 樋口式一倍強震儀)1卷97張波形紀錄						
066-1	1937/05/08-1983/06/22	001-097	97 張波形紀錄			

3.1 臺東站威赫式地震儀收錄之微縮影片波形紀錄

臺東測候所(臺東氣象站的前身)自 1903 年 12 月裝設大森式水平地震儀,1909 年1月設置格雷-米爾恩型地震儀,加入臺灣地震觀測的行列。1935 年 1 月 1 日設 置威赫式地震儀、停止大森式水平地震觀測。可惜的是二戰期間損毀嚴重,自 1945 年 3 月暫停地震觀測,直至 1946 年 1 月恢復地震觀測。臺東氣象站威赫式地震儀 退役後,目前存臺東氣象站(圖 10)。

目前已建立臺東站威赫式地震儀波形微縮影片編號 055-066 的地震波形目錄,時間範圍自 1940/07/04 至 1983/07/01,計 12 卷 7,346 片微縮片 14,665 張波形紀錄。表 6 為臺東站威赫式地震儀編號 No. 055 微縮影片波形目錄的範例,紀錄時間自 1940 年 7 月 4 日至 1943 年 11 月 30 日。波形目錄建置的資料包括編號、波形編號、紀錄起始與結束時間等,由於威赫式地震儀波形紙長度較長,寬度較窄,故一片微縮影片包含二張波形紀錄紙。

圖 11 為臺東站水平向威赫式地震儀收錄 1941 年 12 月 26 日 14:48(GMT)雲南 瀾滄東南地震(21.08°N, 99.14°E,震源深度 25 公里,地震規模 Ms=7.0, mb=7.0) 波形紀錄之微縮影片,由波形記錄圖摘讀 P 波到時為 12/26 23:52,因當時臺灣地區採用日本時間,故與 GMT 差了9小時,地震波形編碼為 19411226_TTN_WH_2。

圖 12 為臺東站水平向威赫式地震儀收錄 1942 年4 月 8 日菲律賓地震(12.85°N, 120.55°E, 震源深度 41 公里, 地震規模 Mw=7.3)波形紀錄之微縮影片,由波形記錄圖摘讀 P 波到時為 04/09 00:42 47.3 秒, S-P 時間為: 1m 49.8s, 因當時臺灣地區 採用日本時間, 故與 GMT 差了 9 小時, 地震波形編碼為 19420408_TTN_WH_2。



(a)

(b)

圖 10、臺東站威赫式地震儀現存放於臺東氣象站;(a). 威赫式水平向地震儀;(b). 威赫式垂直向地震儀。

波形編碼	紀錄起始與結束時間	波形編碼	紀錄起始與結束時間
001 19400704_TT	N_WV_1 06 1940/07/04 19	026 19400819_TTN	N_WH_2 18 1940/08/20 06
001 19400704_TT	N_WH_1 06 1940/07/04 19	026 19400820_TTM	N_WH_2 18 1940/08/21 06
002 19400705_TT	N_WV_1 06 1940/07/05 18	027 19400822_TTM	N_WH_1 06 1940/08/22 18
002 19400705_TT	N_WH_1 06 1940/07/05 18	027 19400823_TTN	N_WV_2 18 1940/08/24 06
003 19400709_TT	N_WV_2 18 1940/07/10 06	028 19400823_TTN	N_WH_2 18 1940/08/24 06
003 19400709_TT	N_WH_2 18 1940/07/10 06	028 19400824_TTN	N_WV_2 18 1940/08/25 06
004 19400712_TT	N_WV_1 06 1940/07/12 18	029 19400824_TTN	N_WH_2 18 1940/08/25 06
004 19400712_TT	N_WH_1 06 1940/07/12 18	029 19400825_TTN	N_WH_1 06 1940/08/25 18
005 19400714_TT	N_WV_1 06 1940/07/14 18	030 19400824_TTN	N_WH_2 18 1940/08/25 06
005 19400714_TT	N_WH_1 06 1940/07/14 18	030 19400825_TTN	N_WH_1 06 1940/08/25 18
006 19400716_TT	N_WH_1 06 1940/07/16 18	031 19400827_TTM	N_WH_2 18 1940/08/28 06
006 19400719_TT	N_WV_1 06 1940/07/19 18	031 19400827_TT	N_WV_2 18 1940/08/28 06
007 19400716_TT	N_WH_1 06 1940/07/16 18	032 19400828_TTM	N_WH_1 06 1940/08/28 18
007 19400719_TT	N_WV_1 06 1940/07/19 18	032 19400828_TTM	N_WV_1 06 1940/08/28 18
008 19400719_TT	N_WH_1 06 1940/07/19 18	033 19400828_TTM	N_WH_2 18 1940/08/29 06
008 (空白)		033 19400828_TTN	N_WV_2 18 1940/08/29 06
009 19400719_TT	N_WH_2 18 1940/07/20 06	034 19400829_TTN	N_WH_1 06 1940/08/29 18
009 19400719_TT	N_WV_2 18 1940/07/20 06	034 19400829_TTM	N_WV_1 06 1940/08/29 18
010 19400721_TT	N_WH_2 18 1940/07/22 06	035 19400829_TTN	N_WH_2 18 1940/08/30 06
010 19400722_TT	N_WV_1 06 1940/07/22 18	035 19400829_TTN	N_WV_2 18 1940/08/30 06
011 19400722_TT	N_WH_1 06 1940/07/22 18	036 19400830_TTN	N_WH_1 06 1940/08/30 18
011 19400725_TT	N_WH_1 06 1940/07/25 18	036 19400830_TTM	N_WH_2 18 1940/08/31 06
012 19400728_TT	N_WH_1 06 1940/07/28 18	037 19400830_TTN	N_WV_2 18 1940/08/31 06
012 19400728_TT	N_WV_1 06 1940/07/28 18	037 19400831_TTN	N_WH_1 06 1940/08/31 18
013 19400728_TT	N_WV_2 18 1940/07/29 06	038 19400831_TTM	N_WV_1 06 1940/08/31 18
013 19400728_TT	N_WH_2 18 1940/07/29 06	038 19400831_TTM	N_WH_2 18 1940/09/01 06
014 19400729_TT	N_WH_2 18 1940/07/30 06	039 19400902_TTN	N_WH_1 06 1940/09/02 18
014 19400729_TT	N_WV_2 18 1940/07/30 06	039 19400903_TTN	N_WH_1 06 1940/09/03 18
015 19400801_TT	N_WV_2 18 1940/08/02 06	040 19400903_TTN	N_WH_2 18 1940/09/04 06
015 19400802_TT	N_WH_1 06 1940/08/02 18	040 19400904_TTN	N_WH_1 06 1940/09/04 18
016 19400805_TT	N_WH_1 06 1940/08/05 18	041 19400904_TTM	N_WH_2 18 1940/09/05 06

表 6、臺東站威赫式地震儀編號 No.055 微縮影片波形紀錄目錄

016 19400805_TTN_WH_2 18 1940/08/06 06	041 19400905_TTN_WH_1 06 1940/09/05 18
017 19400806_TTN_WV_1 06 1940/08/06 07	042 19400905_TTN_WH_2 18 1940/09/06 06
017 19400806_TTN_WH_1 06 1940/08/06 18	042 19400906_TTN_WH_1 06 1940/09/06 18
018 19400807_TTN_WV_2 18 1940/08/08 06	043 19400906_TTN_WH_2 18 1940/09/07 06
018 19400807_TTN_WH_2 18 1940/08/08 06	043 19400907_TTN_WH_2 18 1940/09/08 18
019 19400808_TTN_WH_1 06 1940/08/08 18	044 19400908_TTN_WH_1 06 1940/09/08 18
019 19400809_TTN_WH_2 18 1940/08/10 06	044 19400909_TTN_WH_2 18 1940/09/10 06
020 19400810_TTN_WV_1 06 1940/08/10 18	045 19400911_TTN_WH_2 18 1940/09/12 06
020 19400810_TTN_WH_1 06 1940/08/10 18	045 19400912_TTN_WV_1 06 1940/09/12 17
021 19400810_TTN_WH_2 18 1940/08/11 06	046 19400912_TTN_WH_1 06 1940/09/12 18
021 19400811_TTN_WV_1 06 1940/08/11 18	046 19400912_TTN_WH_2 18 1940/09/13 06
022 19400811_TTN_WH_1 06 1940/08/11 18	047 19400917_TTN_WV_1 06 1940/09/17 18
022 19400812_TTN_WH_1 06 1940/08/12 18	047 19400917_TTN_WH_1 06 1940/09/17 18
023 19400813_TTN_WH_1 06 1940/08/13 18	048 19400917_TTN_WV_1 06 1940/09/17 17
023 19400813_TTN_WH_1 06 1940/08/13 18	048 19400917_TTN_WH_1 06 1940/09/17 18
024 19400813_TTN_WH_1 06 1940/08/13 18	049 19400918_TTN_WH_2 17 1940/09/19 06
024 19400813_TTN_WH_2 18 1940/08/14 06	049 19400919_TTN_WH_1 06 1940/09/19 17
025 19400813_TTN_WV_1 06 1940/08/13 18	050 19400919_TTN_WH_2 18 1940/09/20 06
025 19400813_TTN_WV_2 18 1940/08/14 06	050 19400920_TTN_WH_1 06 1940/09/20 18

波形編碼 紀錄起始與結束時間	波形编碼 紀錄起始與結束時間
051 19400921_TTN_WH_2 18 1940/09/22 06	076 19401028_TTN_WH_1 06 1940/10/28 17
051 19400922_TTN_WV_2 18 1940/09/23 06	076 19401028_TTN_WV_1 06 1940/10/28 17
052 19400922_TTN_WH_2 18 1940/09/23 06	077 19401029_TTN_WV_1 06 1940/10/29 18
052 19400923_TTN_WH_1 06 1940/09/23 18	077 19401029_TTN_WH_1 06 1940/10/29 18
053 19400924_TTN_WH_2 18 1940/09/25 06	078 19401029_TTN_WH_2 18 1940/10/30 06
053 19400926_TTN_WH_1 06 1940/09/26 17	078 19401029_TTN_WV_2 18 1940/10/30 06
054 19400927_TTN_WH_1 06 1940/09/27 18	079 19401030_TTN_WH_2 17 1940/10/31 06
054 19400929_TTN_WV_1 06 1940/09/29 18	079 19401030_TTN_WV_2 17 1940/10/31 06
055 19400929_TTN_WH_1 06 1940/09/29 18	080 19401031_TTN_WV_2 18 1940/11/01 06
055 19400929_TTN_WH_2 18 1940/09/30 06	080 19401031_TTN_WH_2 18 1940/11/01 06
056 19400929_TTN_WH_1 06 1940/09/29 18	081 19401102_TTN_WH_1 06 1940/11/02 17
056 19400929_TTN_WH_2 18 1940/09/30 07	081 19401102_TTN_WV_1 06 1940/11/02 17
057 19400929_TTN_WV_2 18 1940/09/30 06	082 19401105_TTN_WH_2 17 1940/11/06 06
057 19400930_TTN_WH_1 07 1940/09/30 18	082 19401105_TTN_WV_2 17 1940/11/06 06
058 19400930_TTN_WV_1 06 1940/09/30 18	083 19401106_TTN_WH_2 17 1940/11/07 06
058 19401003_TTN_WV_1 06 1940/10/03 17	083 19401106_TTN_WV_2 17 1940/11/07 06
059 19401003_TTN_WH_1 06 1940/10/03 17	084 19401106_TTN_WH_2 18 1940/11/07 06
059 19401004_TTN_WH_1 06 1940/10/04 18	084 19401106_TTN_WV_2 18 1940/11/07 06
060 19401004_TTN_WV_1 06 1940/10/04 17	085 19401107_TTN_WH_2 18 1940/11/08 06
060 19401006_TTN_WV_1 06 1940/10/06 18	085 19401107_TTN_WV_2 18 1940/11/08 06
061 19401006_TTN_WH_1 06 1940/10/06 18	086 19401109_TTN_WV_2 17 1940/11/10 06
061 19401007_TTN_WH_1 06 1940/10/07 18	086 19401109_TTN_WH_2 17 1940/11/10 06
062 19401008_TTN_WV_1 06 1940/10/08 18	087 19401110_TTN_WH_1 06 1940/11/10 17
062 19401008_TTN_WH_1 06 1940/10/08 18	087 19401110_TTN_WV_1 06 1940/11/10 17
063 19401009_TTN_WH_2 17 1940/10/10 06	088 19401113_TTN_WH_1 06 1940/11/13 17
063 19401009_TTN_WV_2 17 1940/10/10 06	088 19401113_TTN_WV_1 06 1940/11/13 17
064 19401010_TTN_WV_2 18 1940/10/11 06	089 19401113_TTN_WV_2 17 1940/11/14 06
064 19401010_TTN_WH_2 18 1940/10/11 06	089 19401113_TTN_WH_2 17 1940/11/14 06
065 19401012_TTN_WH_1 07 1940/10/12 17	090 19401115_TTN_WH_2 18 1940/11/16 06
065 19401012_TTN_WV_1 07 1940/10/12 17	090 19401115_TTN_WV_2 18 1940/11/16 06
066 19401012_TTN_WV_2 17 1940/10/13 06	091 19401116_TTN_WH_1 06 1940/11/16 18

表 6、臺東站威赫式地震儀編號 No.055 微縮影片波形紀錄目錄(續 1)

066 19401012_TTN_WH_2 17 1940/10/13 06	091 19401116_TTN_WV_1 06 1940/11/16 18
067 19401013_TTN_WH_1 06 1940/10/13 13	092 19401117_TTN_WV_1 06 1940/11/17 17
067 19401013_TTN_WV_1 06 1940/10/13 13	092 19401117_TTN_WH_1 06 1940/11/17 17
068 19401013_TTN_WH_2 13 1940/10/13 18	093 19401117_TTN_WV_2 17 1940/11/18 06
068 19401015_TTN_WH_1 06 1940/10/15 18	093 19401117_TTN_WH_2 17 1940/11/18 06
069 19401015_TTN_WV_1 06 1940/10/15 18	094 19401118_TTN_WH_2 17 1940/11/19 06
069 19401016_TTN_WH_2 18 1940/10/17 06	094 19401118_TTN_WV_2 17 1940/11/19 06
070 19401015_TTN_WV_1 06 1940/10/15 18	095 19401119_TTN_WH_2 17 1940/11/20 06
070 19401016_TTN_WH_2 17 1940/10/17 06	095 19401119_TTN_WV_2 17 1940/11/20 06
071 19401016_TTN_WH_1 06 1940/10/16 17	096 19401122_TTN_WH_1 06 1940/11/22 17
071 19401016_TTN_WV_2 17 1940/10/17 06	096 19401122_TTN_WV_1 06 1940/11/22 17
072 19401018_TTN_WH_2 17 1940/10/19 06	097 19401123_TTN_WH_1 06 1940/11/23 17
072 19401018_TTN_WV_2 17 1940/10/19 06	097 19401123_TTN_WV_1 06 1940/11/23 17
073 19401022_TTN_WH_1 06 1940/10/22 17	098 19401123_TTN_WH_2 17 1940/11/24 06
073 19401023_TTN_WH_1 06 1940/10/23 18	098 19401123_TTN_WV_2 17 1940/11/24 06
074 19401023_TTN_WV_1 06 1940/10/23 18	099 19401125_TTN_WH_1 06 1940/11/25 17
074 19401024_TTN_WV_2 17 1940/10/25 06	099 19401125_TTN_WV_1 06 1940/11/25 17
075 19401024_TTN_WH_2 17 1940/10/25 06	100 19401126_TTN_WH_2 18 1940/11/27 06
075 19401025_TTN_WH_1 06 1940/10/25 17	100 19401126_TTN_WV_2 17 1940/11/27 06

波形編碼	紀錄起始與結束時間	波形編碼	紀錄起始與結束時間
101 19401127_TT	FN_WH_2 18 1940/11/28 06	126 19410115_TTN	N_WH_1 06 1941/01/15 18
101 19401127_TT	FN_WV_2 18 1940/11/28 06	126 19410115_TTN	N_WV_2 18 1941/01/16 06
102 19401202_TT	FN_WH_1 06 1940/12/02 18	127 19410115_TTN	N_WH_2 18 1941/01/16 06
102 19401202_TT	TN_WV_1 06 1940/12/02 18	127 19410118_TTN	N_WH_2 18 1941/01/19 06
103 19401204_T	TN_WH_2 17 1940/12/05 06	128 19410118_TTN	N_WV_2 18 1941/01/19 06
103 19401204_T	TN_WV_2 17 1940/12/05 06	128 19410119_TTN	N_WV_2 18 1941/01/20 06
104 19401205_TT	FN_WH_2 18 1940/12/06 06	129 19410119_TTN	N_WH_2 18 1941/01/20 06
104 19401205_T	TN_WV_2 18 1940/12/06 06	129 19410119_TTN	N_WH_1 06 1941/01/19 18
105 19401207_T	ΓN_WH_1 06 1940/12/07 17	130 19410119_TTN	N_WV_1 06 1941/01/19 18
105 19401207_T	TN_WV_1 06 1940/12/07 17	130 19410120_TTN	N_WH_1 06 1941/01/20 18
106 19401210_T	TN_WH_2 17 1940/12/11 06	131 19410120_TTN	N_WV_1 06 1941/01/20 18
106 19401210_T	TN_WV_2 17 1940/12/11 06	131 19410121_TTN	N_WH_2 18 1941/01/22 06
107 19401212_T	TN_WV_2 17 1940/12/13 06	132 19410122_TTN	N_WV_1 06 1941/01/22 18
107 19401212_T	TN_WH_2 17 1940/12/13 06	132 19410122_TTN	N_WH_1 06 1941/01/22 18
108 19401213_T	TN_WV_2 17 1940/12/14 06	133 19410124_TTN	N_WV_2 18 1941/01/25 06
108 19401213_T	TN_WH_2 17 1940/12/14 06	133 19410124_TTN	N_WH_2 18 1941/01/25 06
109 19401214_T	TN_WV_2 17 1940/12/15 06	134 19410126_TTN	N_WV_1 06 1941/01/26 18
109 19401214_T	TN_WH_2 17 1940/12/15 06	134 19410126_TTN	N_WH_1 06 1941/01/26 18
110 19401216_TT	FN_WH_2 17 1940/12/17 06	135 19410126_TTN	N_WV_2 18 1941/01/27 06
110 19401216_TT	FN_WV_2 17 1940/12/17 06	135 19410126_TTN	N_WH_2 18 1941/01/27 06
111 19401217_TT	FN_WH_2 18 1940/12/18 06	136 19410127_TTN	N_WV_1 06 1941/01/27 18
111 19401217_TT	FN_WV_2 18 1940/12/18 06	136 19410127_TTN	N_WH_1 06 1941/01/27 18
112 19401221_TT	FN_WH_2 18 1940/12/22 06	137 19410130_TTN	N_WV_1 06 1941/01/30 18
112 19410102_TT	FN_WV_2 18 1941/01/03 06	137 19410130_TTN	N_WH_1 06 1941/01/30 18
113 19410102_TT	FN_WH_2 18 1941/01/03 06	138 19410131_TTN	N_WH_1 06 1941/01/31 18
113 19410103_TT	ΓN_WV_2 18 1941/01/04 06	138 19410201_TTN	N_WV_2 18 1941/02/02 06
114 19410103_TT	ΓN_WH_2 18 1941/01/04 06	139 19410201_TTN	N_WH_2 18 1941/02/02 06
114 19410104_TT	ΓN_WH_1 06 1941/01/05 17	139 19410202_TTN	N_WH_2 18 1941/02/03 06
115 19410104_TT	ΓN_WV_1 06 1941/01/04 18	140 19410202_TTN	N_WV_2 18 1941/02/03 06
115 19410105_TT	ΓN_WV_1 06 1941/01/05 18	140 19410203_TTN	N_WV_1 06 1941/02/03 18
116 19410105_TT	ГN_WH_1 06 1941/01/05 18	141 19410203_TTN	N_WH_2 18 1941/02/04 06

表 6、臺東站威赫式地震儀編號 No.055 微縮影片波形紀錄目錄(續 2)

116 19410105_TTN_WV_2 18 1941/01/06 06	141 19410203_TTN_WV_2 18 1941/02/04 06
117 19410105_TTN_WH_2 18 1941/01/06 06	142 19410204_TTN_WV_1 06 1941/02/04 18
117 19410106_TTN_WH_1 06 1941/01/06 18	142 19410204_TTN_WH_1 06 1941/02/04 18
118 19410106_TTN_WV_2 18 1941/01/07 06	143 19410206_TTN_WH_2 18 1941/02/07 06
118 19410106_TTN_WH_2 18 1941/01/07 06	143 19410206_TTN_WV_2 18 1941/02/07 06
119 19410106_TTN_WV_1 06 1941/01/06 18	144 19410207_TTN_WH_1 07 1941/02/07 18
119 19410107_TTN_WV_2 18 1941/01/08 06	144 19410207_TTN_WV_1 07 1941/02/07 18
120 19410107_TTN_WH_2 18 1941/01/08 06	145 19410207_TTN_WH_2 18 1941/02/08 06
120 19410108_TTN_WV_2 18 1941/01/09 06	145 19410207_TTN_WV_2 18 1941/02/08 06
121 19410108_TTN_WH_2 18 1941/01/09 06	146 19410208_TTN_WV_2 18 1941/02/09 06
121 19410110_TTN_WH_2 18 1941/01/11 06	146 19410208_TTN_WH_2 18 1941/02/09 06
122 19410110_TTN_WV_2 18 1941/01/11 06	147 19410209_TTN_WH_2 18 1941/02/10 06
122 19410111_TTN_WV_2 18 1941/01/12 06	147 19410209_TTN_WV_2 18 1941/02/10 06
123 19410111_TTN_WH_2 18 1941/01/12 06	148 19410210_TTN_WV_1 06 1941/02/10 18
123 19410112_TTN_WV_1 06 1941/01/12 18	148 19410210_TTN_WH_1 06 1941/02/10 18
124 19410112_TTN_WH_1 06 1941/01/12 18	149 19410211_TTN_WV_2 18 1941/02/12 06
124 19410113_TTN_WH_2 18 1941/01/14 06	149 19410211_TTN_WH_2 18 1941/02/12 06
125 19410115_TTN_WV_1 06 1941/01/15 18	150 19410212_TTN_WV_1 06 1941/02/12 18
125 19410113_TTN_WV_2 18 1941/01/14 06	150 19410212_TTN_WH_1 06 1941/02/12 18



圖 11、臺東站水平向威赫式地震儀收錄 1941 年 12 月 26 日 14:48 中國雲南瀾滄 地震 (21.08°N, 99.14°E,震源深度 25 公里,地震規模 M_S=7.0, m_B=7.0) 波形紀錄之微縮影片,地震波形編碼為 19411226_TTN_WH_2。



圖 12、臺東站水平向威赫式地震儀收錄 1942 年 4 月 8 日菲律賓地震(12.85°N, 120.55°E, 震源深度 41 公里, 地震規模 Mw=7.3)波形紀錄之微縮影片, 地震波形編碼為 19420408_TTN_WH_2。

3.2 臺東站強震儀收錄之微縮影片波形紀錄

臺東測候所(臺東氣象站的前身)自 1938 年7月1日裝設大森式二倍強震儀,, 加入臺灣地震觀測的行列。1955 年9月設置樋口式一倍強震儀取代大森式二倍強 震儀,1983 年退役後,目前存臺東氣象站(圖 13)。

目前已建立臺東站強震儀波型微縮影片編號 066-1 的地震波形目錄,時間範 圍自 1937/05/08 至 1983/06/22,計1卷 197 張波形紀錄。表7為臺東站強震儀編號 No. 066-1 微縮影片波形目錄。波形目錄建置的資料包括編號、波形編號、紀錄起 始與結束時間等,其中S2 為大森式二倍強震儀,S3 為樋口式一倍強震儀。

圖 11 為臺東站大森式二倍強震儀收錄 1937 年 12 月 8 日成功地震(23.000°N, 121.375°E,震源深度 5 公里,地震規模 M_L=6.9, M_W=7.1)波形紀錄之微縮影片, 地震波形編碼為 19371208_TTN_S2。



圖 13、臺東站樋口式一倍強震儀外觀圖,現存放於臺東氣象站。

编號	波形代碼	起始時間	結束時間	備註
001 1	9370508_TTN_S2	19370508	1937/05/09	(不清楚)
002 1	9370702_TTN_S2	19370702	1937/07/03	(不清楚)
003 1	9370625_TTN_S2	19370625	1937/06/26	(不清楚)
004 1	9370508_TTN_S2	19370508	1937/05/09	ML=4.8 臺東北方地震
005 1	9370625_TTN_S2	19370625	1937/06/26	ML=4.2 臺東北方地震
006 1	9370702_TTN_S2	19370702	1937/07/03	ML=4.2 臺東東南方地震
007 1	9371125_TTN_S2	19371125	1937/11/26	ML=5.5 花蓮西南方地震
008 1	9371126_TTN_S2	19371126 08	1937/11/27	ML=5.8 花蓮東方地震
009 1	9371128_TTN_S2	19371128 08	1937/11/29	ML=4.5 臺東東北方地震
010 1	9371200_TTN_S2	19371200	1937/12/00	(儀器檢測)
011 19	9371208_TTN_S2	19371208 08	1937/12/08	ML=6.9 成功地震
012 1	9371208_TTN_S2_1	19371208 17	1937/12/09	ML=5.6 成功地震餘震
013 1	9371209_TTN_S2	19371209 07	1937/12/10	ML=5.0 成功地震餘震
014 1	9371210_TTN_S2	19371210 07	1937/12/11	
015 1	9371210_TTN_S2	19371210	1937/12/11	
016 1	9371213_TTN_S2	19371213	1937/12/15	ML=6.2 花蓮縣萬榮鄉地震
017 1	9371215_TTN_S2	19371215	1937/12/16	ML=4.7 成功東方地震
018 1	9371217_TTN_S2	19371217	1937/12/18	ML=6.3 綠島北方地震
019 1	9371217_TTN_S2_1	19371217 18	1937/12/18	ML=4.1 臺東地震
020 1	9371217_TTN_S2_1	19371217 18	1937/12/18	(重複)
021 1	9371229_TTN_S2	19371229 08	1937/12/19 20	ML=4.7 臺東地震
022 1	9371231_TTN_S2	19371231	1937/12/31	ML=4.9 臺東東方地震
023 1	9400805_TTN_S2	19400805 18	1940/08/06	ML=5.9 蘇澳東南方地震
024 1	9410108_TTN_S2	19410108 18	1941/01/09	ML=4.8 玉山南方地震
025 1	9410202_TTN_S2	19410202 18	1941/02/03	ML=5.1 高雄桃源區地震
026 1	9410204_TTN_S2	19410204 18	1941/02/05	ML=5.5 花蓮東南南方地震
027 1	9410212_TTN_S2	19410212 18	1941/02/13 18	ML=4.5 臺東地震

表7、臺東站強震儀編號 No.066-1 微縮影片波形紀錄目錄

028 19580315_TTN_S3	19580315 06	1958/03/15	ML=5.6 綠島東方地震
029 19630213_TTN_S3	19630213 07	1963/02/13	ML=7.1 蘇澳地震
030 19620522_TTN_S3	19620522 07	1962/05/22 14	(不清楚)
031 19620811_TTN_S3	19620811 07	1962/08/11 16	MU=6.6 石垣島北方沖
032 19620811_TTN_S3	19620811 07	1962/08/11 16	(重複)
033 19640311_TTN_S3	19640311 14	1964/03/12	
034 19640328_TTN_S3	19640328 06	1964/03/28 14	MW=9.2 阿拉斯加地震
035 19640515_TTN_S3	19640515 07	1964/05/16	
036 19640803_TTN_S3	19640803	1964/08/04	ML=5.5 大武地震
037 19641126_TTN_S3	19641126 18	1964/11/26	ML=5.8 三貂角地震
038 19650315_TTN_S3	19650315 06	1965/03/15 10	ML=5.3 臺東南方
039 19650517_TTN_S3	19650517 18	1965/05/18	ML=6.1 臺東南方
040 19650606_TTN_S3	19650606 18	1965/06/07 05	ML=5.3 綠島地震
041 19650914_TTN_S3	19650914 19	1965/09/15	ML=4.8 高雄東北
042 19660107_TTN_S3	19660107 06	1966/01/07 18	
043 19660307_TTN_S3	19660307 19	1966/03/08 06	MS=7.0 河北隆堯東
044 19660312_TTN_S3	19660312 07	1966/03/13 01	ML=7.3 花蓮外海地震
045 19660313_TTN_S3	19660313 01	1966/03/13 07	(後半段波形)
046 19660322_TTN_S3	19660322 19	1966/03/23	MS=7.1 河北晉東旺
047 19660323_TTN_S3	19660323 07	1966/03/24 07	ML=6.1 花蓮東南方
048 19660505_TTN_S3	19660505 06	1966/05/05 22	ML=6.1 花蓮東方
049 19660916_TTN_S3	19660916 01	1966/09/17	ML=5.0 臺東北方
050 19660915_TTN_S3	19660915	1966/09/16	ML=5.6 臺東東北方

註:S2為大森式二倍強震儀,S3為樋口式一倍強震儀

表 7、臺東站強震儀編號 No.066-1 微縮影片波形紀錄目錄(續 1)

编號	波形代碼	起始時間	結束時間	備註	
051 19	9660916_TTN_S3_1	19660916	1966/09/17	ML=5.2 臺東東北	

052 19660918_TTN_S3	1966091818	1966/09/19	ML=5.1 臺東東北
053 19670105_TTN_S3	19670105 18	1967/01/06 07	MW=7.0 蒙古地震
054 19680127_TTN_S3	19680127	1968/01/28	ML=5.7 成功地震
055 19680129_TTN_S3	19680129	1968/01/30	
056 19680223_TTN_S3	19680223	1968/02/24	
057 19680304_TTN_S3	19680304	1968/03/05	
058 19680226_TTN_S3	19680226 19	1968/02/27	MW=7.2 臺東東北方
059 19680403_TTN_S3	19680403 08	1968/04/03 18	ML=4.9 臺東地震
060 19680905_TTN_S3	19680905	1968/09/06	ML=5.1 綠島北方
061 19681030_TTN_S3	19681030	1968/10/31	ML=5.1 綠島南方
062 19701114_TTN_S3	19701114	1970/11/15	ML=6.2 成功東南方
063 19710000_TTN_S3	19710000	1971/00/00	
064 19720417_TTN_S3	19720417 08	1972/04/18 08	ML=5.7 花蓮東南方
065 19720000_TTN_S3	19720000	1972/00/00	
066 19730214_TTN_S3	19730214	1973/02/14	ML=6.0 臺東西南方
067 19730608_TTN_S3	19730608	1973/06/09	ML=4.8 臺東南方
068 19730728_TTN_S3	19730728	1973/07/29	ML=5.7 蘭嶼西北方
069 19750323_TTN_S3	19750323 15	1975/03/24	ML=5.9 臺東東方
070 19751031_TTN_\$3	19751031	1975/10/31	MW=7.5 菲律賓地震
071 19760223_TTN_\$3	19760223	1976/02/24	ML=5.7 成功東南
072 19760609_TTN_S3	19760609 06	1976/06/10	ML=5.1 臺東西方
073 19761017_TTN_\$3	19761017 06	1976/10/18	
074 19761017_TTN_S3	19761017 06	1976/10/18(重初	复)
075 19771206_TTN_83	19771206	1977/12/07	
076 19771212_TTN_S3	19771212	1977/12/12	ML=5.4 臺東東北方
077 19780324_TTN_S3	19780324 23	1978/03/25	
078 19780408_TTN_S3	19780408 18	1978/04/09	ML=5.8 太麻里地震
079 19780724_TTN_S3	19780724 18	1978/07/25	ML=5.5 臺東南方
080 19780000_TTN_S3	19780000	1978/00/00	
081 19780000_TTN_S3	19780000	1978/00/00	
082 19790217_TTN_S3	19790217	1979/02/18	
083 19790826_TTN_S3	19790826	1979/08/27 06	MS=7.1 菲律賓地震

084 19790826_TTN_S3	19790826	1979/08/27 06(重複)
085 19791202_TTN_S3	19791202	1979/12/02 13	ML=5.4 臺東東北方
086 19791202_TTN_S3_1	19791202 14	1979/12/03 07	ML=5.2 臺東東北方
087 19791223_TTN_S3	19791223	1979/12/23 18	ML=5.1 臺東東北方
088 19800321_TTN_S3	19800321	1980/03/21 17	ML=5.5 成功地震
089 19810129_TTN_S3	19810129	1981/01/30	ML=5.9 蘇澳東南方
090 19810221_TTN_S3	19810221	1981/02/21	ML=4.7 臺東東北方
091 19810221_TTN_S3	19810221	1981/02/22	
092 19810302_TTN_S3	19810302	1981/03/02	ML=5.8 臺東東北方地震
093 19810327_TTN_S3	19810327	1981/03/28	ML=5.3 花蓮南方
094 19811212_TTN_S3	19811212	1981/12/13	MS=6.3 宫古島東南方
095 19820123_TTN_S3	19820123	1982/01/23 22	ML=5.8 花蓮南方地震
096 19820000_TTN_S3	19820000	1982/00/00	
097 19830621_TTN_S3	19830621	1983/06/22	ML=5.9 花蓮東方地震

註:S2為大森式二倍強震儀,S3為樋口式一倍強震儀

258





圖 14、臺東站大森式二倍強震儀收錄 1937 年 12 月 8 日成功地震(23.000°N, 121.375°E,震源深度5公里,地震規模 M_L=6.9,M_W=7.1)波形紀錄之微 縮影片,地震波形編碼為 19371208_TTN_S2。

3.3 蘭嶼站中央氣象台式簡單地震儀收錄之微縮影片波形紀錄

蘭嶼測候所(蘭嶼氣象站的前身)自 1961 年 5 月 15 日裝設三分量簡單型地震儀(Three components portable seismograph),開始加入臺灣地震觀測的行列。1980 年 7 月設置中央氣象台式簡單地震儀取代三分量簡單地震儀觀測。蘭嶼氣象站中央氣象台式簡單地震儀退役後,目前閒置於蘭嶼氣象站的庫房中(圖 15)。

由於蘭嶼氣象站地震波形微縮片夾雜在臺東氣象站中,故一直誤以為是臺東 氣象站的波形紀錄。目前已建立蘭嶼站中央氣象台式簡單地震儀波形微縮影片, 編號 053-054 的地震波形目錄,時間範圍自 1980/07/31 至 1984/01/01,計 2 卷 1,202 張波形紀錄。表 8 為蘭嶼站中央氣象台式簡單地震儀編號 No. 053 微縮影片波形目 錄的範例。波形目錄建置的資料包括編號、波形編號、紀錄起始與結束時間等。

圖 16 為蘭嶼中央氣象台式簡單地震儀收錄 1983 年 6 月 24 日花蓮東方地震 (23.982°N, 122.613°E, 震源深度 25 公里, 地震規模 M_L=6.6, M_W=6.6)波形紀錄之 微縮影片, 地震波形編碼為 19830624_LAN_P1。



圖 15、蘭嶼氣象站中央氣象台式簡單地震儀外觀圖,現存放於蘭嶼氣象站庫房。

表	8、	蘭嶼站中	- 央氣	象台式	簡單地	1.震儀編號	No.053	微縮影片	波形紀錄目錄
---	----	------	------	-----	-----	--------	--------	------	--------

波形編碼 紀錄起始與結束時間	波形編碼 紀錄起始與結束時間
001 19800731_LAN_P1 08 1980/08/01 08	051 19801112_LAN_P1 08 1980/11/13 08
002 19800804_LAN_P1 08 1980/08/05 08(時間有	052 19801113_LAN_P1 09 1980/11/14 08
問題)	053 19801114_LAN_P1 08 1980/11/15 08
003 19800804_LAN_P1 08 1980/08/05 08	054 19801115_LAN_P1 08 1980/11/16 08
004 19800805_LAN_P1 08 1980/08/06 06	055 19801116_LAN_P1 08 1980/11/17 08
005 19800809_LAN_P1 09 1980/08/10 10	056 19801117_LAN_P1 09 1980/11/18 08
006 19800810_LAN_P1 09 1980/08/11 08	057 19801118_LAN_P1 08 1980/11/19 08
007 19800811_LAN_P1 08 1980/08/12 08	058 19801119_LAN_P1 08 1980/11/20 08
008 19800821_LAN_P1 08 1980/08/22 08	059 19801120_LAN_P1 08 1980/11/21 08
009 19800822_LAN_P1 08 1980/08/23 08	060 19801121_LAN_P1 08 1980/11/22 08
010 19800823_LAN_P1 08 1980/08/24 08	061 19801122_LAN_P1 08 1980/11/23 08
011 19800824_LAN_P1 08 1980/08/25 08	062 19801123_LAN_P1 08 1980/11/24 08
012 19800825_LAN_P1 08 1980/08/26 08	063 19801125_LAN_P1 08 1980/11/26 08
013 19800826_LAN_P1 08 1980/08/27 08	064 19801124_LAN_P1 08 1980/11/25 08
014 19800828_LAN_P1 08 1980/08/29 08	065 19801126_LAN_P1 08 1980/11/27 08
015 19800827_LAN_P1 08 1980/08/28 08	066 19801127_LAN_P1 08 1980/11/28 08
016 19800829_LAN_P1 08 1980/08/30 08	067 19801128_LAN_P1 08 1980/11/29 08
017 19800901_LAN_P1 08 1980/09/02 08	068 19801129_LAN_P1 09 1980/11/30 08
018 19800902_LAN_P1 08 1980/09/03 08	069 19801201_LAN_P1 08 1980/12/02 08
019 19800903_LAN_P1 08 1980/09/04 08	070 19801202_LAN_P1 08 1980/12/03 08
020 19800905_LAN_P1 08 1980/09/06 08	071 19801203_LAN_P1 08 1980/12/04 08
021 19800905_LAN_P1 08 1980/09/06 08(重複)	072 19801204_LAN_P1 08 1980/12/05 08
022 19800908_LAN_P1 08 1980/09/09 08	073 19801205_LAN_P1 08 1980/12/06 08
023 19800910_LAN_P1 08 1980/09/11 08	074 19801206_LAN_P1 09 1980/12/07 08
024 19800911_LAN_P1 08 1980/09/12 08	075 19801206_LAN_P1 09 1980/12/07 08(重複)
025 19800912_LAN_P1 08 1980/09/13 08	076 19801207_LAN_P1 08 1980/12/08 08
026 19800913_LAN_P1 08 1980/09/14 08	077 19801208_LAN_P1 08 1980/12/09 08
027 19800915_LAN_P1 08 1980/09/16 08	078 19801209_LAN_P1 08 1980/12/10 08
028 19800916_LAN_P1 08 1980/09/17 08	079 19801210_LAN_P1 08 1980/12/11 08
029 19800917_LAN_P1 08 1980/09/18 08	080 19801211_LAN_P1 08 1980/12/12 08
030 19800917_LAN_P1 09 1980/09/18 08(重複)	081 19801211_LAN_P1 08 1980/12/12 08
031 19800924_LAN_P1 09 1980/09/25 08	082 19801212_LAN_P1 08 1980/12/13 08
--	--------------------------------------
032 19800924_LAN_P1 09 1980/09/25 08(重複)	083 19801213_LAN_P1 08 1980/12/14 08
033 19800925_LAN_P1 08 1980/09/26 08	084 19801216_LAN_P1 08 1980/12/17 08
034 19800926_LAN_P1 08 1980/09/27 08	085 19801217_LAN_P1 08 1980/12/18 08
035 19800927_LAN_P1 09 1980/09/28 08	086 19801214_LAN_P1 08 1980/12/15 08
036 19800928_LAN_P1 08 1980/09/29 08	087 19801215_LAN_P1 08 1980/12/16 08
037 19800929_LAN_P1 08 1980/09/30 08	088 19801218_LAN_P1 08 1980/12/19 08
038 19800930_LAN_P1 08 1980/10/01 08	089 19801219_LAN_P1 08 1980/12/20 08
039 19801031_LAN_P1 08 1980/11/01 08(重複)	090 19801220_LAN_P1 08 1980/12/21 08
040 19801101_LAN_P1 08 1980/11/02 08	091 19801221_LAN_P1 08 1980/12/22 08
041 19801102_LAN_P1 09 1980/11/03 08	092 19801222_LAN_P1 08 1980/12/23 08
042 19801103_LAN_P1 08 1980/11/04 08	093 19801223_LAN_P1 08 1980/12/24 08
043 19801104_LAN_P1 08 1980/11/05 08	094 19801224_LAN_P1 08 1980/12/25 08
044 19801105_LAN_P1 08 1980/11/06 08	095 19801225_LAN_P1 08 1980/12/26 08
045 19801106_LAN_P1 08 1980/11/07 08	096 19801226_LAN_P1 09 1980/12/27 08
046 19801107_LAN_P1 08 1980/11/08 08	097 19801227_LAN_P1 08 1980/12/28 08
047 19801108_LAN_P1 09 1980/11/09 08	098 19801228_LAN_P1 08 1980/12/29 08
048 19801109_LAN_P1 08 1980/11/10 08	099 19801229_LAN_P1 08 1980/12/30 08
049 19801110_LAN_P1 08 1980/11/11 08	100 19801230_LAN_P1 08 1980/12/31 08
050 19801111_LAN_P1 09 1980/11/12 08	



圖 16、蘭嶼站中央氣象台式簡單地震儀收錄 1983 年 6 月 24 日花蓮東方地震 (23.982°N, 122.613°E, 震源深度 25 公里, 地震規模 ML=6.6, Mw=6.6)波 形紀錄之微縮影片, 地震波形編碼為 19830624_LAN_P1。

3.4 歷史地震土壤液化資料建置

在強烈地震力作用下,地面振動和土層破壞是造成建築物損害的重要因素, 其中土壤液化是導致土層破壞的主要原因之一。2016年4月13日「災害防救法」 第2條公布修正,將土壤液化納入天然災害範圍。2017年1月24日修正公布,新 增土壤液化潛勢分布圖為震災潛勢之公開項目。經濟部中央地質調查所於2016年 分次公開臺灣地區土壤液化初級潛勢圖(圖 1,1/25,000)。土壤液化潛勢圖是根據 探井資料與長期地下水位平均值,利用經驗公式與統計的方式,評估土壤液化可 能發生的機率,並未納入實際地震造成的土壤液化分佈。有鑑於此,本計畫以109 年度計畫結果,加入近年發生土壤液化的地震整理成臺灣地區由歷史地震造成的 土壤液化,整理的資料包括震源參數、土壤液化地點、現象、震度、相關圖片與 相片等,應用地理資訊系統建置資料庫並進行統計分析,以探討土壤液化的分布 與特性。所得結果除了提供相關地震防救災使用外,並增加中央氣象署地震災害 資料庫的資料。

目前收錄得 46 筆地震伴隨發生 479 處土壤液化現象,其中 1900 年以前有 10 筆地震 20 處土壤液化:分別為 1655 年 1 月 21 日臺南地震 1 處土壤液化、1705 年 夏天臺南地震 1 處土壤液化、1720 年 10 月 31 日嘉義地震 1 處土壤液化、1792 年 8 月 9 日嘉義地震 2 處土壤液化、1815 年 7 月 11 日宜蘭地震 1 處土壤液化、1816 年 9 月 21 日宜蘭地震 1 處土壤液化、1839 年 6 月 27 日嘉義地震 1 處土壤液化、 1848 年 2 月 12 日彰化地震 1 處土壤液化、1862 年 6 月 7 日臺南地震 4 處土壤液 化、1867 年 12 月 18 日基隆地震 7 處土壤液化(表 9)。

1900 年以後有 36 筆地震 459 處土壤液化:分別為 1904 年 11 月 6 日斗六地 震7處土壤液化、1906年3月17日梅山地震35處土壤液化、1906年4月14日 鹽水港地震 12處土壤液化、1908年1月11日璞石閣地震 3處土壤液化、1909年 4月15日臺北地震3處土壤液化、1916年8月28日南投地震8處土壤液化、1916 年11月15日臺中南投地震1處土壤液化、1923年5月4日烏山頭地震1處土壤 液化、1927 年 8 月 25 日新營地震 11 處土壤液化、1930 年 12 月 8 日前大埔地震 11 處土壤液化、1930 年 12 月 22 日六重溪地震 3 處土壤液化、1935 年 4 月 21 日 新竹臺中地震 55 處土壤液化、1935 年7月 17 日後龍溪口地震 8 處土壤液化、1937 年 12 月 8 日成功地震 3 處土壤液化、1941 年 12 月 17 日中埔地震 41 處土壤液化、 1946年12月5日新化地震30處土壤液化、1951年10月22日花蓮地震10處土 壤液化、1951年11月25日玉里地震10處土壤液化、1959年8月15日恆春地震 7 處土壤液化、1964 年 1 月 18 日白河地震 16 處土壤液化、1972 年 4 月 24 日瑞穂 地震 6 處土壤液化、1986 年 11 月 15 日花蓮地震 4 處土壤液化、1991 年 3 月 12 日佳里地震4處土壤液化、1994年6月5日南澳地震5處土壤液化、1999年9月 21 日集集地震 66 處土壤液化、1999 年 10 月 22 日嘉義地震 6 處土壤液化、2002 年3月31日南澳地震3處土壤液化、2002年5月15日蘇澳地震1處土壤液化、 2003年12月10日成功地震3處土壤液化、2006年12月26日恆春地震2處土壤 液化、2010 年 3 月 4 日甲仙地震 7 處土壤液化、2016 年 2 月 6 日美濃地震 29 處 土壤液化、2018年2月6日花蓮地震33處土壤液化、2021年4月18日壽豐地震 6處土壤液化、2022年3月23日長濱地震4處土壤液化、2022年9月18日池上 地震 5 處土壤液化等(表 9)。圖 17 為 46 筆地震 479 處土壤液化分布圖 ,圖 17(a) 為 1900 年以前 10 筆地震 20 處土壤液化分布,圖 17(b)顯示 1900-2022 年 36 筆地

震 459 處土壤液化分布,圖中紫色、紅色、藍色三角形符號分別為震度 VI 以上、 V 與 IV 級。結果建置成土壤液化資料庫。



圖 17、臺灣地區伴隨歷史地震發生土壤液化的分布圖:(a). 1900 年以前 20 處土 壤液化分布;(b). 1900 年以後 459 處土壤液化的分布。

編	旅雪口期	山雪夕孫	震央	位置	震源	規	模	供社
號	放展口机	地辰石柄	緯度	經度	深度	M _L	M_{W}	7月 2上
01	1655/01/21	臺南地震	22.90	120.30	5	5.8	5.7	土壤液化1處
02	1705/(夏)	臺南地震	23.25	120.08	12	5.7	5.6	土壤液化1處
03	1720/10/31	嘉義地震	22.92	120.54	15	6.6	6.5	土壤液化1處
04	1792/08/09	嘉義地震	23.55	120.43	6	6.7	6.9	土壤液化2處
05	1815/07/11	宜蘭地震	24.76	121.96	10	6.1	6.0	土壤液化1處
06	1816/09/21	宜蘭地震	24.65	121.87	9	6.2	6.1	土壤液化1處
07	1839/06/27	嘉義地震	23.52	120.42	17	6.6	6.7	土壤液化1處
08	1848/02/12	彰化地震	24.08	120.66	13	7.0	7.2	土壤液化1處
09	1862/06/07	臺南地震	23.18	120.41	7	6.7	6.8	土壤液化4處
10	1867/12/18	基隆地震	25.34	121.91	10	6.8	7.0	土壤液化7處
01	1904/11/06	斗六地震	23.500	120.275	5	6.1	6.1	土壤液化7處(2張圖)
02	1906/03/17	梅山地震	23.550	120.425	13	6.7	6.9	梅山斷層錯動,4條噴砂線、1條地裂線 與30處土壤液化(8張圖)
02	1906/04/14	酶水洪山雪	23.480	120.460	10	6.4	6.4	+ 壤液化 12 處
05	1700/04/14	血水池心水	23.425	120.425	10	5.6	5.5	
04	1908/01/11	璞石閣地震	23.650	121.475	4	6.7	6.9	土壤液化3處
05	1909/04/15	臺北地震	25.175	121.475	70	7.0	7.4	土壤液化3處
06	1916/08/28	南投地震	24.000	120.950	39	6.8	7.0	土壤液化 8 處
07	1916/11/15	臺中南投地 震	24.050	120.725	2	6.2	6.2	土壤液化1處
08	1923/05/04	烏山頭地震	23.100	120.525	8	5.5	5.4	土壤液化1處
09	1927/08/25	新營地震	23.275	120.325	10	6.2	6.2	土壤液化 11 處
10	1930/12/08	前大埔地震	23.275	120.425	9	6.0	6.0	土壤液化 11 處(4 張圖)
11	1930/12/22	六重溪地震	23.300	120.450	5	6.2	6.2	土壤液化3處
12	1935/04/21	新竹臺中地 震	24.350	120.817	5	6.9	7.2	獅潭、屯子腳斷層,土壤液化 55 處(20 張圖)
13	1935/07/17	後龍溪口地 震	24.600	120.700	30	6.0	6.0	土壤液化 8 處(4 張圖)
14	1937/12/08	成功地震	23.000	121.375	5	6.9	7.1	土壤液化3處

表9、造成臺灣地區土壤液化地震一覽表

15	1941/12/17	中埔地震	23.375	120.475	9	7.0	7.3	土壤液化 41 處(12 張圖)
16	1946/12/05	新化地震	23.050	120.325	4	6.2	6.2	新化斷層,土壤液化30處(10張圖)
			23.875	121.700	13	7.1	7.5	
17	1951/10/22	花蓮地震	24.125	121.700	11	7.0	7.1	米崙斷層,土壤液化10處(2張圖)
			23.800	122.075	43	6.9	7.1	
18	1951/11/25	玉里地震	23.275	121.375	35	7.0	7.4	瑞穂、玉里、池上斷層,土壤液化 10 處 (5 張圖)
19	1959/08/15	恆春地震	21.700	121.075	10	6.9	7.2	土壤液化7處(6張圖)
20	1964/01/18	白河地震	23.075	120.600	16	6.3	6.3	土壤液化 16 處(6 張圖)
21	1972/04/24	瑞穗地震	23.500	120.425	4	6.7	6.8	土壤液化6處(5張圖)
22	1986/11/15	花蓮地震	23.975	121.833	15	6.8	7.3	土壤液化4處(2張圖)
23	1991/03/12	佳里地震	23.246	120.075	12	5.7	5.4	土壤液化4處(4張圖)
24	1994/06/05	南澳地震	24.462	121.838	5	6.5	6.3	土壤液化5處
25	1999/09/21	集集地震	23.853	120.816	8	7.3	7.6	車籠埔斷層錯動,土壤液化 66 處(10 張 圖)
26	1999/10/22	嘉義地震	23.519	120.423	17	6.4	5.8	土壤液化6處(1張圖)
27	2002/03/31	南澳地震	24.140	122.192	14	6.8	7.1	土壤液化3處
28	2002/05/15	蘇澳地震	24.651	121.872	9	6.2	6.1	土壤液化1處
29	2003/12/10	成功地震	23.067	121.398	18	6.4	6.8	土壤液化3處(2張圖)
30	2006/12/26	恆春地震	21.687	120.555	44	7.0	7.0	土壤液化2處(1張圖)
			21.970	120.420	50	7.0	6.9	
31	2010/03/04	甲仙地震	22.969	120.707	23	6.4	6.1	土壤液化7處(4張圖)
32	2016/02/06	美濃地震	22.92	120.54	15	6.6	6.5	土壤液化 29 處(9 張圖)
33	2018/02/06	花蓮地震	24.10	121.73	6	6.2	6.2	土壤液化 33 處(13 張圖)
34	20210418	壽豐地震	23.86	121.48	14	6.2	5.8	土賞液化6處(6張圖)
35	20220323	長濱地震	23.40	121.61	26	6.7	6.4	土壤液化4處(3張圖)
36	20220918	池上地震	23.14	121.20	8	6.8	6.7	土壤液化5處(3張圖)

肆、結論

- 本年度整理臺東氣象站收錄的微縮影片歷史地震波形紀錄,編號039-066-1共29 卷。其中夾雜著蘭嶼氣象站2卷中央氣象台簡單地震儀收錄的1,202張波形紀錄。 臺東氣象站微縮影片共27卷23,255張波形紀錄,包括59型(VI)短週期電磁式地震 儀13卷7,996張波形紀錄、RV320型地震儀1卷497張波形紀錄、威赫式地震儀12 卷14,665張波形紀錄、大森式二倍強震儀(1955/09更換為樋口式一倍強震儀)1卷 97張波形紀錄。
- 建立臺東氣象站威赫式地震儀14,665張波形紀錄、大森式二倍強震儀(1955/09更 換為樋口式一倍強震儀)97張波形紀錄、蘭嶼氣象站1,202張波形紀錄的微縮影片 目錄。建立的資料包括微縮片編號、紀錄起始結束時間,地震儀器種類、以及 原始掃描檔的名稱與存放位置。
- 收錄整理得46筆地震伴隨發生479處土壤液化現象,其中1900年以前有10筆地震
 20處土壤液化,1900年以後有36筆地震459處土壤液化,結果建置成土壤液化資料庫,提供建置土壤液化網頁基本資料。

参考文獻

中央氣象局,1988:臺灣地震紀錄目錄表,第一冊,357頁。

- 李白華,1985:臺北地震紀錄微縮影,行政院國家科學委員會防災科技研究報告 73-54,NSC 74-0414- P052-05,54頁。
- 鄭世楠、王子賓、江嘉豪、蔡宜宏、潘昌志,2013:臺灣地區歷史地震波形與紀錄之整理,中央氣象局地震技術報報彙編,第62卷,369-384。
- 鄭世楠、王子賓、許麗雯、林子翔,2014:臺灣地區歷史地震波形與紀錄之整理(Ⅱ), 中央氣象局地震技術報報彙編,第63卷,553-565。
- 鄭世楠,2014:台灣歷史地震資料庫的建置與境況重建,自然科學簡訊,第26卷, 第2期,50-54。
- 鄭世楠和呂佩玲,2017:臺灣歷史震波紀錄數化分析與研究,科技部補助專題研究計畫成果報告,MOST 105-2116-M-231-002,332頁。
- 鄭世楠和呂佩玲,2018:臺灣歷史震波紀錄數化分析與研究(2/3),科技部補助專 題研究計畫成果報告,MOST 106-2116-M-231-002,62頁。
- Kanamori, H., L. Rivera, and W. H. K. Lee, 2010: Historical seismograms for unravelling a mysterious earthquake: The 1907 Sumatra Earthquake. Geophys. J. Int., 183, 358-374.
- Lee, P. H, 1987: Historical seismograms and earthquakes of the world/ edited byW.H. Lee, H. Meyers, K. Shimazaki, 241-252.