中華民國第 14 屆結構工程及第 4 屆地震工程研討會 The Fourteenth National Conference on Structural Engineering/ The Fourth National Conference on Earthquake Engineering Taichung, Taiwan, 6-8 November, 2018 Paper No. 24015

花蓮地震近場強地動特性

Characteristics of the Near-field Strong Motions During the Hualien Earthquake

郭俊翔¹ 黃雋彥² 林哲民³ 趙書賢³ 溫國樑⁴

¹國家地震工程研究中心研究員 E-mail: chkuo@ncree.narl.org.tw, 02-66300984
²國家地震工程研究中心 助理研究員
³國家地震工程研究中心 副研究員
⁴國立中央大學地球科學系 教授
科技部計畫編號: MOST-106-2116-M-492-002

摘要

2018年2月6日臨晨發生震矩規模 6.2 (芮式規模 6.3)的花蓮強震,在花蓮市區造成嚴重 災害,強震資料顯示 PGA 震度 7 級 (>400 gal)的測站分布範圍大,但較為零散,而觀測到 PGV 震度 7 級 (>75 cm/s)測站則集中在米崙斷層中段至南段區域 (即花蓮市區一帶),為強烈的速 度脈衝所導致;微地動量測的分析結果顯示本次地震 PGV 震度 7 級區域的地盤自然頻率約在 0.8 Hz 至 1.2 Hz 之間,而水平向加速度反應譜顯示米崙斷層兩側測站的譜加速度分別在 1 秒和 2 秒附近有顯著放大。本研究認為 1 秒譜加速度的放大和微地動單站頻譜比的結果一致,應該 是由當地場址放大效應所造成;而 2 秒譜加速度的放大皆出現在東西向,為垂直米崙斷層走向 之方向,故推測是由斷層破裂效應而導致的典型垂直斷層走向之速度脈衝。近斷層測站垂直向 PGA 接近或高於水平向 PGA,則可能是土壤非線性效應導致的高頻震波折減。

關鍵字:強地動、速度脈衝、微地動、土壤非線性

Abstract

The devastating Hualien Earthquake occurred on Feb. 2 2018 with a moment magnitude (Mw) of 6.2 (ML6.3) has caused severe damages in downtown Hualien City. Strong motion records showed that an intensity of VII in PGA (> 400 gal) scattered over a wide range, while an intensity of VII in PGV (> 75 cm/s), due to velocity pulses, were observed around the central and southern portions of Milun Fault where is the downtown Huelien City. Results of microtremor measurements indicated that the region, suffered from the intensity VII of PGV, showed a natural frequency of 0.8 to 1.2 Hz. The strong motion records near the Milun Fault presented two significant peaks at periods of 1 and 2 sec of the horizontal acceleration spectra. The results of this study summarized that the peak at around 1 sec coincides with the natural frequency indicated by microtremor and thus should be due to local site effects. The peak at around 2 sec observed in the fault-normal E-W components was attributed to the forward rupture directivity effect of the Milun Fault. Moreover, the strong soil nonlinearity in this area may be the cause of the greater vertical PGA as compared to the horizontal PGA at several near-fault stations.

Keywords: Strong ground motions, Velocity pulse, Microtremor, Soil nonlinearity

一、前言

震矩規模(Mw)6.4 的強震在2018年2月6日將近午夜時發生在花蓮市北偏東近海,在花 蓮市區造成了17人死亡、285人受傷及數棟中高樓層建物倒塌及橋梁受損的災情。穿過花蓮市 區的第一類活動斷層—米崙斷層和其南邊的嶺頂斷層在本次地震中有顯著的錯動(中央地質調 查所,2018),因此在斷層附近的強震站觀測到相當特殊的強震波形。根據中央氣象局地震測報 中心的地震報告,此花蓮強震的震央座標為東經121.7297度、北緯24.1007度,震源深度為6.31 公里,芮式規模(ML)和震矩規模皆為6.2,而其震源機制的兩組破裂面分別為216°/56°/26°和 111°/69°/144°,此斷層面解和國內外其他單位(中央研究院AutoBATS和RMT解、美國地質調 查所WPhase、全球震矩張量計畫的GCMT解)的解算結果相當接近(圖1),由於米崙斷層的 走向為北偏東至南偏西,顯示本次地震應為左移的平移斷層機制(216°/56°/26°)。

米崙斷層沿線兩側的強震測站都觀測到相當特殊的強地動波形,其頻率內含包括了相當顯 著的長週期訊號,極有可能與斷層沿線的中高樓層建物破壞有關。本次花蓮地震中有四棟建物 遭受嚴重破壞,它們的建造年代約在1970年至1990年之間,樓高為7至12樓,並且都位於米 崙斷層沿線1公里的範圍內。

花蓮市區的微地動量測與單站頻譜比(HVSR)分析結果顯示,此地區的地盤自然頻率約在 0.8 Hz 至 1.5 Hz 之間,(約為週期 0.67 秒至 1.25 秒);而根據強震測站場址資料庫的資料(郭俊 翔等人,2017),顯示花蓮市區的地盤種類根據 NEHRP 的分類標準為 C 類(Vs30 介於 360 m/s 至 760 m/s)或 D 類(Vs30 介於 180 m/s 至 360 m/s),淺部地層主要為砂層及卵礫石層。

本研究綜合兩篇相關論文成果(郭俊翔等人,2018; Kuo et al. 2018),將其重要成果呈現給 大家參考。

二、近場強地動觀測與特性

2.1 各種震度分布

本研究使用氣象局自由場強震站(Liu et al., 1999)以及國震中心的全台地震網(SANTA) 的強震資料繪製最大加速度(PGA)、最大速度(PGV)、0.3 秒和 1.0 秒譜加速度(Sa0.3 和 Sa1.0) 的分布圖(圖2),由 PGA 的分布圖可看到,觀測到 7 級震度(PGA > 400 gal)的測站分布相當 零散,從北至南分別為 ILA050 南澳站、HWA057 太魯閣站、HWA028 嘉里國小站、HWA019 花蓮站、HWA060 鹽寮站;但若以 PGV 分布來看,觀測到 7 級震度(PGV > 75 cm/s, Wu et al. 2003) 的測站集中分布於米崙斷層中段至南段,正好通過花蓮市區一帶。0.3 秒的譜加速度分布特性和 PGA 較為相近,而 1 秒譜加速度分布和 PGV 較為相近,此結果顯示觀測到較強短週期地震波 (PGA 和 Sa0.3)的測站分布較廣,但觀測到較強的長週期地震波(PGV 和 Sa1.0)的測站則較 集中。

2.2 波形與頻譜特徵

以 HWA014 信義國小和 HWA019 花蓮氣象站的加速度記錄為例,經過適當的基線修正後, 可經由積分得到速度及位移波形,其三種歷時資料如圖 3 所示,這兩個測站具有約 400 gal 的 PGA、約140 cm/s 的 PGV 和超過40 公分的地表同震位移,且其速度波形明顯具有速度脈衝, 經過分析,靠近斷層兩側共有17 個測站觀測到具有速度脈衝特性的波形(Kuo et al. 2018), HWA019 測站具有典型的平移斷層速度脈衝,東西向為破裂方向性所引起的速度脈衝波形(來 回震盪全波形),而南北向為永久位移所引致的速度脈衝波形(單向三角波)。

這些具有近斷層速度脈衝的記錄,其頻譜特性相當特殊,許多測站的東西向都在週期2秒 左右有一峰值放大,而南北向在週期1秒附近也常見另一波峰放大。這些測站加速度反應譜曲 線疊加後如圖4所示。為測試國內耐震設計規範之設計值(營建署,2011)在花蓮地震的近斷 層地動下的表現,我們將實測譜加速度和規範建議值重疊比較,而規範建議值採保守計算,分 別使用花蓮縣475年和2500年回歸期的設計值,並考量距離花東斷層2公里內的最大近斷層放 大因子(Na、Nv),同時假定地盤為第三類,以考量最大的場址放大因子(Fa、Fv),此保守計 算結果分別為黑色與紅色線段。由比較圖中可看出,由於長週期震波的影響,週期2秒以上的 實測加速度反應譜比保守估計的規範值還要高,幸而此地區20層左右或以上的大樓(共振週期 2秒)相當少,但也造成4棟10樓左右的大樓傾倒。

三、場址效應

3.1 Vs30 分布

國震中心於 2012 年發表第一版本的台灣自由場強震站場址分類成果(Kuo et al. 2012)後, 幫助國內相關研究了解到近地表剪力波速在各地區的不同,也準確地量化全台近地表波速的數 值。由於國內重要設施地震危害度評估的需求,郭俊翔等人(2017)收集更多地質鑽探與波速 井測資料,並使用各種不同的地球物理方法和代理參數(Proxy)推估法以補足沒有鑽探資料的 測站波速值,而發布了更完整的全台自由場強震站的場址資料庫。

花蓮地區的 Vs30 分布如圖 5 所示,可看到花蓮市區的地盤主要屬於 NEHRP 標準的 C 類和 D 類,而 D 類測站主要分布在米崙斷層以西,因斷層以東為地質年代較老的米崙台地。



圖 1 國內外各單位所發布的花蓮地震震源機制解(引用自郭俊翔等人(2018)之圖1)





圖 2 花蓮地區的各種震度及測站分布 (引用自 Kuo et al. (2018)之圖 2)

圖 3 HWA014 信義國小(左)和 HWA019 花蓮氣象站(右)的地震波形(引用自 Kuo et al. (2018) 之圖 7)



圖 4 具有速度脈衝測站的加速度反應譜與設計反應譜(引用自郭俊翔等人(2018)之圖 10)

3.2 地盤自然頻率

根據微地動量測的單站頻譜比分析,可得知地盤的共振頻率,花蓮地區的地盤自然頻率與 重要災損點附近的 HVSR 如圖 6 所示。微地動 HVSR 所得的共振主頻為地層波速與厚度的綜合 效應(Kuo et al. 2015),由圖中可見其主頻分布在花蓮市區東側較低,向西逐漸增加,米崙以西 的台地由於測量點數較少,僅有一小部份呈現稍高的共振頻率。而三處主要災損點附近的 HVSR 彼此間頗為相似,皆於 1 至 2 Hz 間有兩個主要峰值存在,而在 0.3 Hz 處隱約有另一峰值,若其 為真,可能反應更深處的速度界面。



圖 5 花蓮地區的 Vs30 分布 (引用自 Kuo et al. (2018)之圖 4)



圖 6 花蓮地區微地動主頻分布與 HVSR (引用自郭俊翔等人(2018)之圖 5)

3.3 非線性效應

本次花蓮地震中,在花蓮市有10個測站所觀測到的垂直向PGA 比水平向PGA 要大,若將 所有測站的PGA 的垂直與水平向比值(V/H)分布畫出,則如圖7所示。在斷層附近甚至比值 會高於1.8 以上。因為在強烈震動時,水平向高頻震波常會因為土壤非線性效應而折減,為土 壤非線性效應,但垂直向震波的非線性效應則相當不明顯,因此近斷層的測站觀測到V/H 特別 大的情況一般相信會是由非線性效應所造成。



圖 7 垂直與水平向 PGA 的比值分布曲線 (引用自 Kuo et al. (2018)之圖 10)

四、結論

2018年的花蓮地震有許多測站觀測到近斷層的特殊波相,這些特殊的記錄還需要特多詳細的分析,可幫助我們更了解台灣當地的地動特性。

参考文獻

- 1. 內政部營建署,「建築物耐震設計規範及解說」(2011)。
- 郭俊翔、林哲民、章順強、溫國樑、謝宏灝,「臺灣強震測站場址資料庫」,國家地震工程研究中心,臺灣(2017)。
- 郭俊翔、溫國樑、黃雋彥、林哲民、趙書賢、林沛暘、蕭乃祺、林金泉,「0206 花蓮地震強 地動記錄與近斷層波形特徵」,地工技術,156 卷,25-34 頁(2018)。
- 4. 經濟部中央地質調查所,「107年0206花蓮地震地質調查初步結果」(2018)。
- Kuo, C. H., Wen, K. L., Lin, C. M., Wen, S., and Huang, J. Y. (2015). "Investigating Near Surface S-wave Velocity Properties Using Ambient Noise in Southwestern Taiwan", Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, Vol. 26, No. 2, pp.205-211 (2015).
- Kuo, C. H., Huang, J. Y., Lin, C. M., Hsu, T.Y., Chao, S. H., and Wen, K. L. (2018). "Strong Ground Motion and Pulse-Like Velocity Observations in the Near-Fault Region of the 2018 Mw 6.4 Hualien, Taiwan, Earthquake", Seismological Research Letters (In Press).
- Wu, Y. M., Teng, T. L., Shin, T. C., and Hsiao, N. C., "Relationship between peak ground acceleration, Peak ground velocity, and intensity in Taiwan", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 91, No. 5, pp. 1218-1228 (2003).