

以花蓮地震動資料探討現行耐震設計規範中地震力折減係數之適用性

Evaluation of Strength Reduction Factor in Seismic Design Code Using Ground Motion of Hualien Earthquake

趙書賢¹ 劉勛仁² 許喬筑³ 郭俊翔⁴

¹ 國家地震工程研究中心 副研究員 E-mail: shchao@ncree.narl.org.tw

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 專案佐理研究員

⁴ 國家地震工程研究中心 研究員

摘要

氣象局所部設的強震站在花蓮地震中所量測到的地震動歷時，部分週期的水平向加速度反應譜高於現行耐震設計規範所訂定的設計地震反應譜，代表具該基本振動週期的結構物在受到該地震動侵襲的時候會進入材料與結構非線性，導致結構物進入韌性而損壞並可能造成結構的倒塌。而耐震設計規範中亦提供了地震力折減係數，其為結構物基本振動週期與結構物韌性需求的函數，可用來評估當地震動反應譜高於設計地震反應譜時，不同基本振動週期的結構物其韌性需求。過去有許多研究提出具近斷層效應的地震動，也就是具有脈衝的地震動速度歷時，在相同的地震力折減係數下，很可能會導致結構物韌性需求的增加，然而目前耐震設計規範中的地震力折減係數，並未針對具近斷層效應的地震動做特殊的規範。有鑑於此，本研究以花蓮地震為例，分析花蓮地震動其地震力折減係數與韌性需求之間的關係，以探討具近斷層效應的地震歷時對韌性需求的影響，以及評估現行耐震設計規範中地震力折減係數的適用性，相關的研究成果可供未來耐震設計規範的修訂做為參考。

關鍵字：地震力折減係數、結構物韌性需求、近斷層效應、花蓮地震

一、前言

氣象局所部設的強震站在花蓮地震中所量測到的地震動歷時，部分週期的水平向加速度反應譜高於現行耐震設計規範所訂定的設計地震反應譜，代表具該基本振動週期的結構物在受到該地震動侵襲的時候會進入材料與結構非線性，導致結構物進入韌性而損壞並可能造成結構的倒塌。而耐震設計規範中亦提供了地震力折減係數，其為結構物基本振動週期與結構物韌性需求的函數，可用來評估當地震動反應譜高於設計地震反應譜時，不同基本振動週期的結構物其韌性需求。過去有許多研究提出具近斷層效應的地震動，也就是具有脈衝的地震動速度歷時，在相同的地震力折減係數下，很可能會導致結構物韌性需求的增加，然而目前耐震設計規範中的地震力折減係數，並未針對具近斷層效應的地震動做特殊的規範。有鑑於此，本研究以花蓮地震為例，分析花蓮地震動其地震力折減係數與韌性需求之間的關係，以探討具近斷層效應的地震歷時對韌性需求的影響，以及評估現行耐震設計規範中地震力折減係數的適用性，相關的研究成果可供未來耐震設計規範的修訂做為參考。

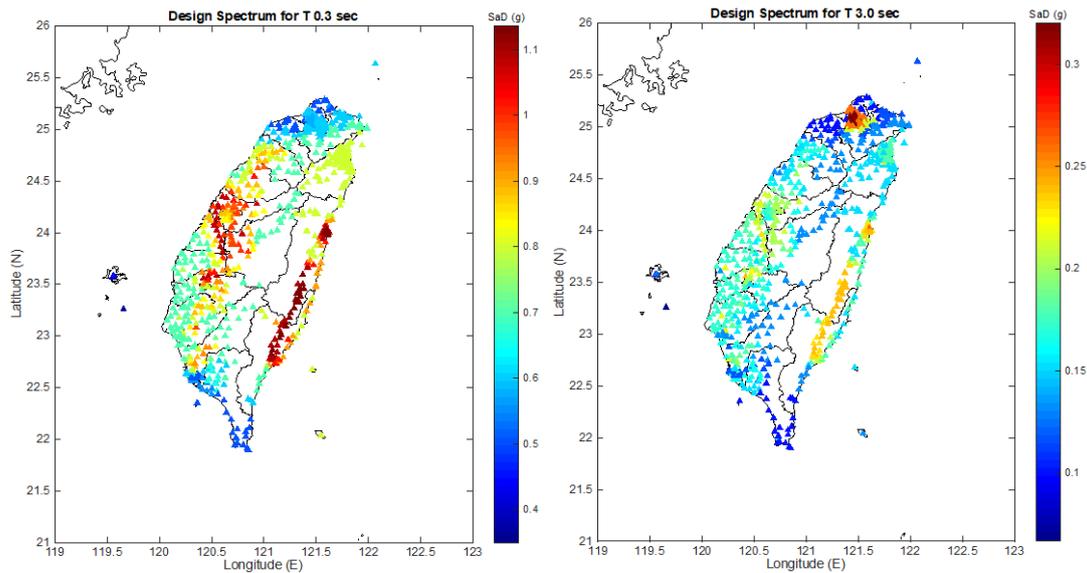


圖 1 氣象局 TSMIP 強震觀測網所在位置週期 0.3 秒與 3 秒之 475 年耐震設計反應譜值

二、分析方法

本研究選用花蓮地震中氣象局的強震站蒐集所得的地震紀錄進行分析，為了得到各強震站的設計反應譜並與花蓮地震中該站量測所得的反應譜進行比較，因此本研究僅選擇具有 Vs_{30} 資訊(Kuo et al., 2017)的強震站，共計有 458 個站。為了維持各強震站觀測紀錄的真實性，本研究並未針對其進行比例調整，而是依據其兩個水平方向計算所得的最大反應譜(RotD100)來計算觀測所得的地震動反應譜與設計反應譜的比值 R 值， R 值如果大於 1 即代表觀測紀錄的反應譜大於設計反應譜，並以遲滯模型計算各紀錄在該 R 值之下的韌形需求。本研究的設計反應譜採

用的是 475 年回歸期的反應譜值，各強震站位置的設計反應譜值可參考圖 1。此外為了識別各地震歷時是否含有速度脈衝，本研究採用 Shahi 與 Baker 於 2014 年所提出的速度脈衝指標 (Pulse Indicator, PI) 分析方法 (Baker 2007, Shahi and Baker 2014)，計算各測站水平方向的速度脈衝指標，以判定其是否含有速度脈衝，以及速度脈衝的主要週期 T_p (Pulse Period)，以評估近斷層效應對結構韌性需求的影響。

本研究所選用之花蓮地震中觀測所得各記錄計算所得之各週期的 R 值可參考圖 2，其中所有紀錄的計算結果標示為藍點，而紅色圈圈則是另外標示具有速度脈衝的紀錄。由分析結果可以發現花蓮地震中各測站觀測所得的短周期反應譜(週期小於 1 秒)幾乎都小於設計反應譜，然而大約有 2-10 筆觀測紀錄所得的長周期反應譜(週期大於 1 秒)大於設計反應譜，且其皆具有速度脈衝。圖 3 為地震動反應譜與設計反應譜的比值 R 超過 1 的測站之空間分佈圖，由圖 3 可以發現周期三秒之 R 值超過 1 的測站幾乎都位於臨近斷層的區域，由此可知近斷層效應對長周期結構耐震需求的影響甚鉅。

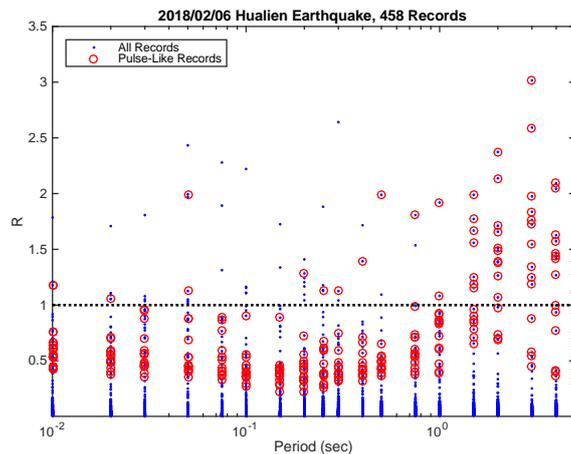


圖 2 花蓮地震中氣象局 TSMIP 強震觀測網觀測所得的地震動反應譜與設計反應譜的比值 R

接著本研究採用可考慮雙軸遲滯行為互制的非線性單自由度系統(Chao et al., 2009)來計算各地震紀錄再給定的 R 值之下，可能引致的結構韌性需求，並與規範所訂定之 $R-\mu$ 曲線進行比較。該分析方法可以將兩個水平方向的地震紀錄同時輸入，可考慮地震紀錄可能造成結構再反應譜最大值的方向造成降伏與在平面上發展塑性的行為，此外為了得到較為保守的分析結果(趙書賢等，2009)，本研究假設結構的非線性行為為完全彈塑性，不考慮鋼筋混凝土可能導致的擠壓型遲滯迴圈以及結構勁度與強度的衰減。

三、結果與討論

圖 4 為花蓮地震中各地震紀錄在不同周期的 R 值之下可能引致的韌性需求，如藍色標示所示，其中具速度脈衝的地震紀錄則另外以紅色標示，以及耐震設計規範建議的折減係數，如黑色虛線所示。以圖 4 的分析結果來看，雖然具近斷層效應的地震紀錄確實可能引致較高的韌性

需求(如週期 0.2 秒與週期 0.25 秒的分析結果所示)，不過大部分的紀錄所引致的韌性需求都比耐震設計規範所訂定的建議值來的低，僅有週期 2 秒時有部分記錄所引致的韌性需求會稍微高於規範的建議值，該現象可能與大部分的紀錄脈衝周期都大約為 2 秒左右有關，由此可知耐震設計規範所建議的韌性需求仍具一定程度的保守度，因此仍可適用於具近斷層效應的地震紀錄。

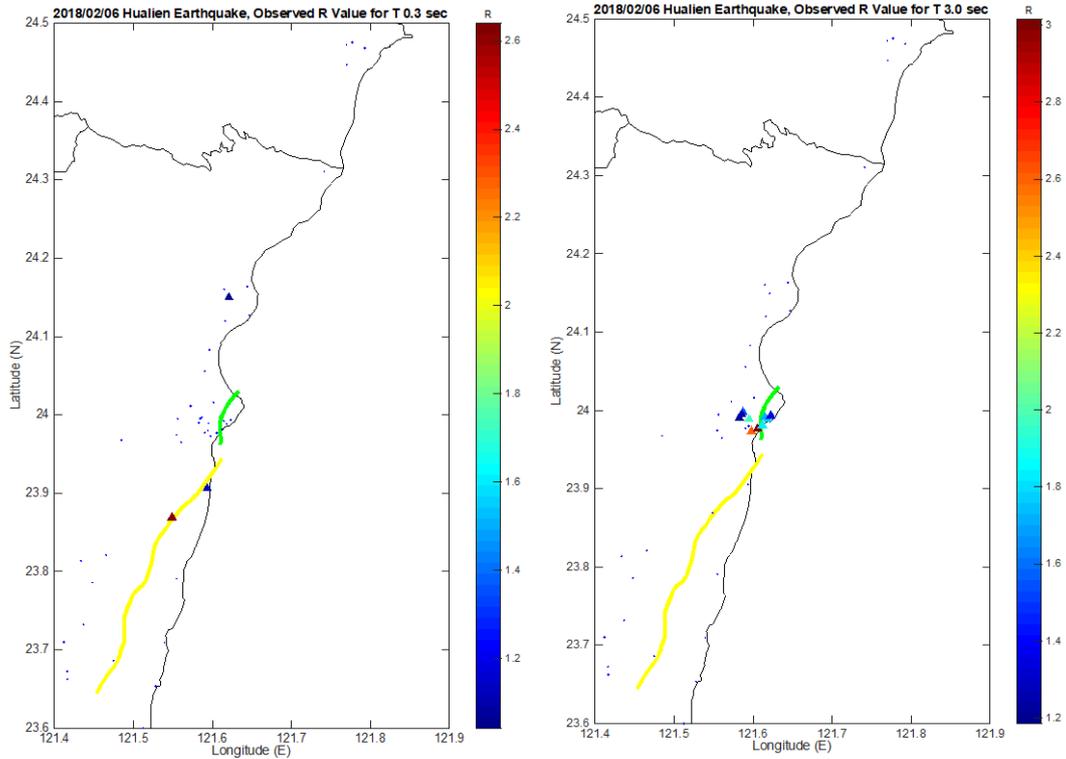


圖 3 地震動反應譜與設計反應譜的比值 R 之空間分佈圖

四、結論

本研究以花蓮地震為例，分析花蓮地震動其地震力折減係數與韌性需求之間的關係，以探討具近斷層效應的地震歷時對韌性需求的影響，以及評估現行耐震設計規範中地震力折減係數的適用性。以花蓮地震中各地震紀錄的分析結果來看，雖然具近斷層效應的地震紀錄確實可能引致較高的韌性需求，不過大部分的紀錄所引致的韌性需求都比耐震設計規範所訂定的值來的低，由此可知耐震設計規範所建議的韌性需求仍具一定程度的保守度，因此仍可適用於具近斷層效應的地震紀錄。未來本研究將針對台灣過去顯著的地震事件，挑選合適的地震紀錄並以相同的方式進行分析，以更進一步確認具近斷層性的地震紀錄其可能引致的韌性需求與現行耐震設計規範中地震力折減係數的適用性。

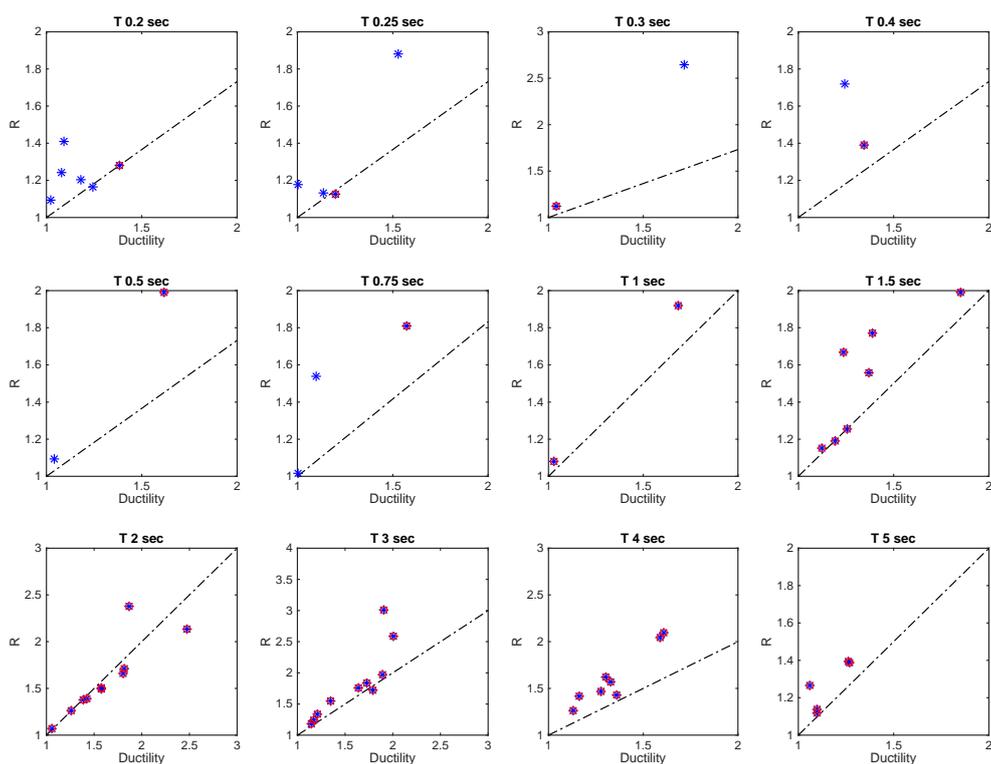


圖 4 地震動反應譜與設計反應譜的比值 R 與韌性需求的關係圖(黑色虛線為耐震設計規範所訂定的 R - μ 關係曲線，紅色標示代表該紀錄具速度脈衝)

參考文獻

1. Baker J.W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. Bulletin of the Seismological Society of America. 97 (5), 1486-1501.
2. Chao, S.H., Loh, C.H. (2009), "Develop Biaxial Hysteretic Model for Reinforced Concrete Structure", International Journal of Non-Linear Mechanics 2009, Volume 44, Issue 7, 745-756. (SCI & EI)Huang, Y.H., "Pavement Analysis and Design", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey (2004).
3. Kuo, C.H., C.M. Lin, S.C. Chang, K.L. Wen, and H.H. Hsieh (2017). Site Database for Taiwan Strong Motion Stations, NCREE Report, No. NCREE-17-004, National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.
4. Shahi, S.K. and Baker, J.W. (2014). "An efficient algorithm to identify strong velocity pulses in multi-component ground motions." Bulletin of the Seismological Society of America, 104(5), 2456-2466.
5. 趙書賢，羅俊雄；"從能量及耐震設計理念檢討結構耐震性能設計法"；國立台灣大學，土木工程學系暨研究所，結構工程組，碩士論文，民國 92 年(2003)。