

長週期特徵地震衝擊評估與防災應用模式研究

Research on impact assessment and prevention for long-period earthquake

主管單位：國家災害防救科技中心

柯孝勳¹
Ke, Siao-Syun¹

吳子修¹
Wu, Tzu-hsiu¹

許智豪¹
Hsu, Chih-Hao¹

¹ 國家災害防救科技中心

摘要

現行建物的地震衝擊分析主要以結構易損性分析方法為主，但在日本 311 大地震後，許多研究已發現到高樓建築、隔震建築或建築內部功能性設施受到長周期地震動的影響相對明顯，而此種效應就目前普遍使用之結構易損性曲線與相關參數上，尚少有考量。本計畫擬透過簡化建物三維動力分析模型，並藉由結合本中心建立之建物耐震屬性三維化資料庫，開發動態分析防災應用模式，並以一示範都會區建立遠域長周期地震衝擊評估方法，據以掌握長周期地震之威脅。

此外，本計畫並擬透過與相關研究單位合作，以協定相同地動模擬資料格式方式，考量地震防災評估需求精度，針對三維地震波模擬技術進行整合應用，並擇定一都會區為示範研究區域，評估合理之都會區可能長周期地動風險來源與建立數值模擬結果，並開發地震衝擊三維化展示圖台，作為相關評估結果視覺化展示工具。

關鍵詞：地震衝擊、長週期特徵地震、動力分析

Abstract

In urban areas, simulation of structural dynamic responses under earthquake is crucial in emergency response planning. Multidimensional visualization of earthquakes is a current trend in simulation. In this study, a dynamic, multidimensional simulation method for analyzing impacts on to buildings was developed. The method employs three-dimensional dynamic analysis and data from a seismic capacity database. High-performance computing is applied to a polygonal model, seismic capacity data are analyzed, and the seismic response of each building in an urban environment is calculated.

Thus, in this study, the multidimensional urban earthquake impact simulation (MDUES) platform was established. The MDUES enables long-period earthquake impact analysis, simulation of the seismic responses of buildings in three dimensions, and visualization of the disaster risks and impact on a specified area. In summary, simulating structural seismic responses in urban settings necessitates careful examination of the characteristics of ground and building motion, and the outcomes of such analysis can provide a crucial reference for

city planning, post-earthquake rescue operations, and seismic damage assessment.

Keywords : earthquake impact, long-period earthquakes, dynamic analysis

一、前言

目前建物震損模擬遍採用易損性分析方法，主要根據地震損害經驗數據資料進行統計與分析，其缺點為對資料數據缺乏的區域較難有效與合理之應用。在日本 311 東日本大地震後，諸多研究顯示，長周期地震動對高樓建物與內部設施影響相對明顯，然而，對於該現象與效應，在結構易損分析參數上則較少考量。

近年國際間許多國家都在積極開發先進的模擬技術來評估地震衝擊可能帶來的人員傷亡和經濟損失，其中尤其重視都會區建物地震衝擊風險評估技術，如 Paula Redweik et al. 2017; Muneo Hori et al. 2018; Zhai et al. 2019; Zhai and Chen 2020; Lu and Guan 2021，均針對城市地震災害風險、災害動態預測與風險評估相關技術，或整合多項科學發展成果與技術、建立多目標地震災害風險評估系統等，進行相關研究。

由相關文獻得知，多維度視覺化展示已成為當今趨勢，不僅可提升視覺化查詢、展示應用外，亦可提供專業的空間資訊分析。基於三維模型可完整記錄地物本身屬性資料與位相關係，利於使用者在不同應用層面時，結合數值化運算模式，達到資料分析的目的；在地震衝擊評估部分，可有效整合災害衝擊風險與資源，包含建物損壞風險、避難收容所、避難路徑規劃等。由地震情境模擬推演與災害救援與人員疏散情境，相關成果可作為主管機關防救災設施設置的參考，此外應用三維擬真場景，具有實際立面的幾何模型建物，及地震模擬結果，更可容易發布資訊。

二、研究方法

2.1 三軸地震波歷時模擬模式整合應用

使用譜元素法開發應用模式，可在複雜的地表地形和在 2D 或 3D 的介質分布和幾何介面建立網格模型，利用高精準性的方法模擬邊界條件、具非齊次性質的不規則介面和強烈速度不均勻性，顯現真實的地質結構中產生的複雜波相。由技術的導入結合本中心設置的硬體環境，後續可應用於大規模地震衝擊評估模型強化應用面建構。

2.2 建物動態分析防災應用模型建立

2.2.1 建立建物三維模型的耐震屬性資料

本研究應用國土測繪中心的房屋二維圖框，配合財政部財政資訊中心的房屋稅籍資料，與中央大學團隊合作，利用開放式建物暴露度模型進行數據整合，主要為處理多邊形圖框中資料交集獲取建物屬性資料，並進行資料細緻化作業(圖 1)，然後整合至三維建物模型資料庫，將作為後續計算建物動力分析模式之數據資料，圖 2 為三維建物耐震資料模型之作業程序。建物模型耐震資料庫欄位資訊包含建物編號、樓層數、房屋用途、座標位置、建照年代、構造形式、耐震設計等級等資訊，可作建物結構動力分析模型之參數(如質量、阻尼、勁度矩陣等)分析使用。

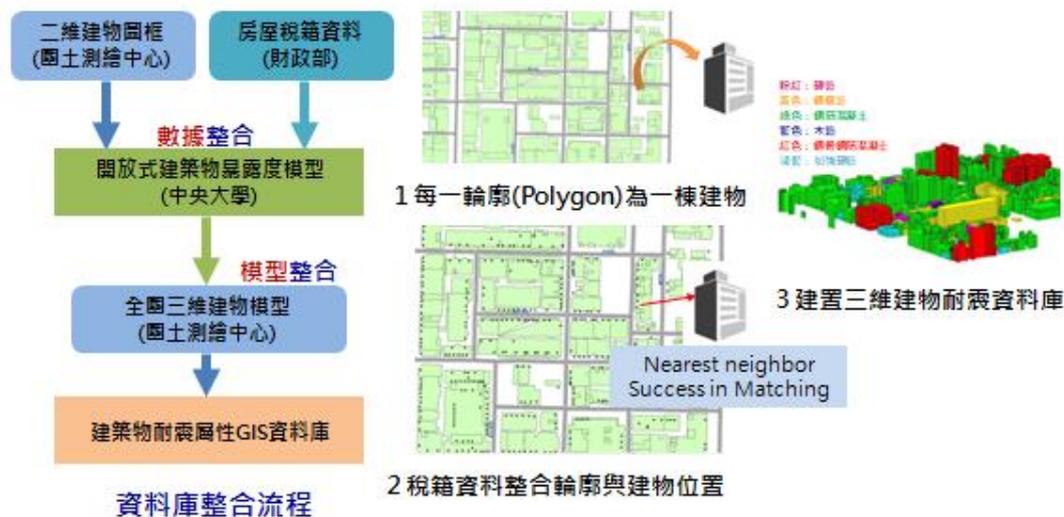


圖 1、建物三維模型耐震屬性建立流程

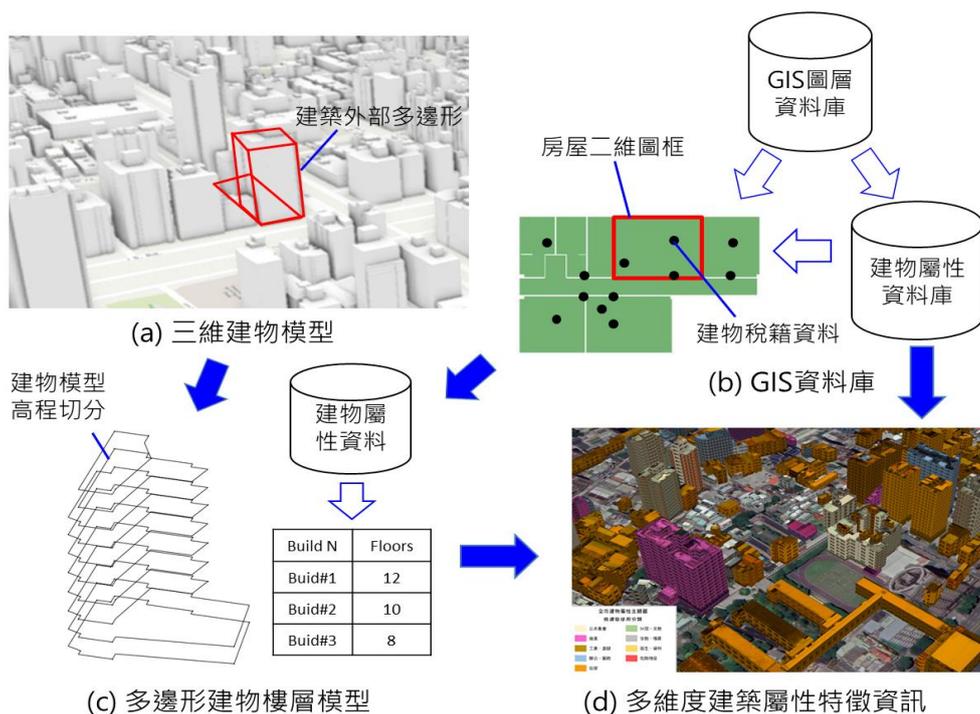


圖 2、三維建物耐震資料模型應用之作業程序

2.2.2 動態分析防災應用模型建立

為評估都會區地震衝擊風險來源，與建立數值模擬結果真實可視化，本研究以地震情境模擬為基礎，整合地動模擬反應、建物動力分析模式與高效能動態歷時分析技術，建置建物動態分析防災應用模型，主要組成的架構為(1)模型資料分析、(2)模式分析方

法、(3)動態可視化展示技術，相關工作重點如下，評估流程詳如圖 3 所示：

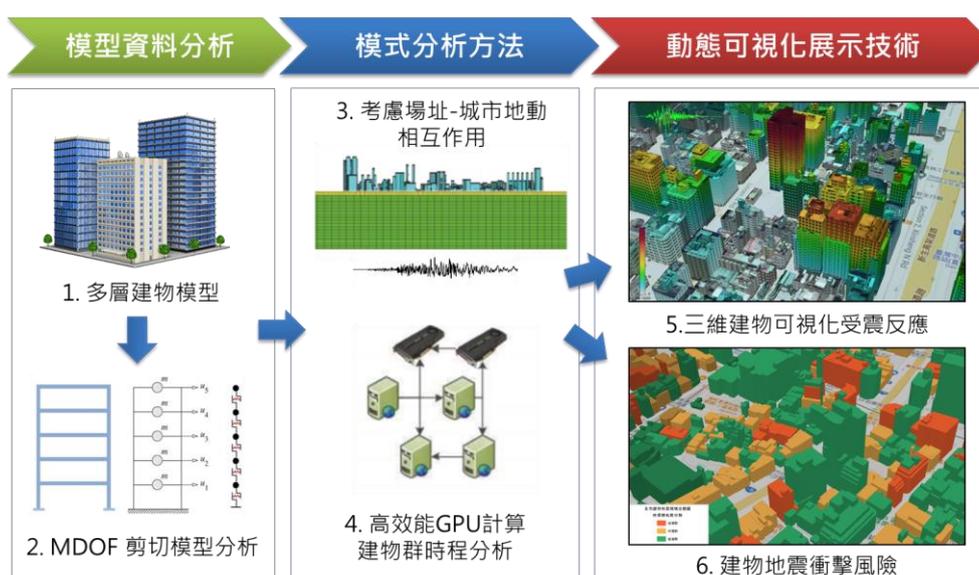


圖 3、建物動態分析防災應用模型評估流程

(1) 模型資料分析：

本研究收集三維建物近似模型資料，透過簡化建物動力分析模型，結合耐震三維資料庫，建置城市建物動力基礎模型。根據台灣地震模型團隊地動模擬成果，考慮場址相互影響之大尺度地震波速度構造與數值地形模型之地動模擬，演算工程基盤地動反應，然後對於大量建物進行地震動力歷時分析。

(2) 模式分析方法：

本研究採用高效能 CPU/GPU 對大量建物樓層進行渲染，係依據建物動力分析模型動態歷時結果，計算多維度建物模型樓層受震位移變形反應，配合運用 RGB 色錶與建物外牆紋理材質敷貼，得到建物群地震衝擊受震反應。

(3) 動態可視化展示技術：

為展示建物地震衝擊高真實感模擬成果，本研究開發多維度城市地震衝擊動力展示圖台(Multi-Dimensional Urban Earthquake impact Simulation Platform, MDUES)，有效整合三維建物模型、建物耐震數據庫與建物地震動反應數據，可模擬城市建物群地震衝擊真實可視化，利於進行建物動態分析之防災應用。

2.3 遠域長周期地震衝擊評估方法開發

採用三維地動模擬結果或實際量測地震紀錄為輸入振動，代入本研究所建立之三維建物模型進行動態模擬，然後探討長週期地震對於建物、人員及設備可能造成之衝擊，分析流程如圖 4。

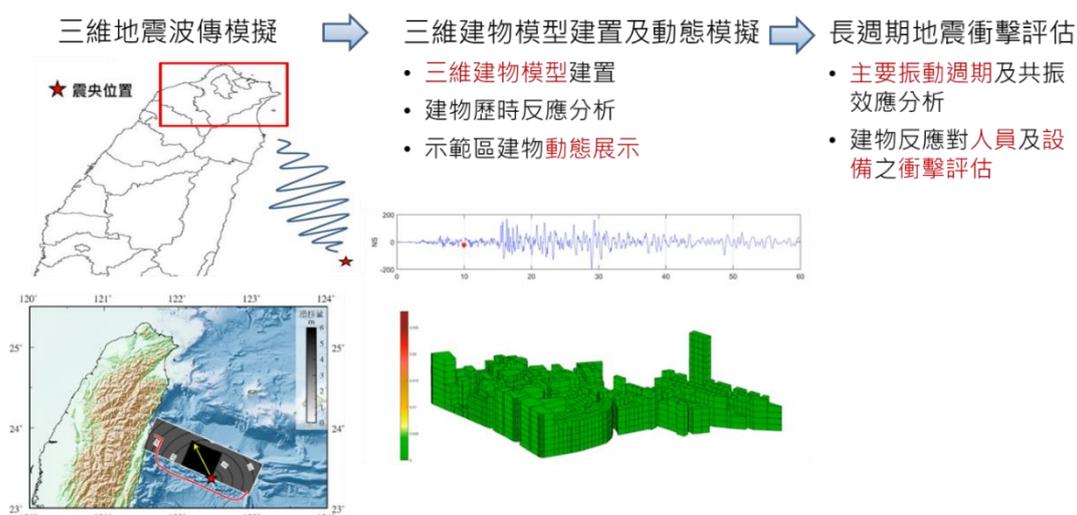


圖 4、長週期地震衝擊評估應用流程

三、研究成果

3.1 計算模型建立

本研究透過簡化建物三維動力分析模型，結合建物耐震屬性資料庫，建立建物結構動力分析技術方法，模式係採用 Xiong 等人(2017)建議的非線性、多自由度的剪力屋模型，建立代表性建物動力分析防災應用模型，本年度已完成台北市示範區建物動力分析範例。本研究採用 Xiong 等人(2017)提出的都會區建物時間歷時動力分析模式，根據收集建物基礎資料(如建造年代、建物構造類別、樓層高度、建物面積)決定分析模式參數，推估結構物最大層間位移，爾後藉調查建物非線性行為，可篩選建物災害潛勢風險，可分為損壞災害低潛勢、災害中潛勢、災害高潛勢，圖 5 為示範區建物三維模型的地震衝擊風險分析。

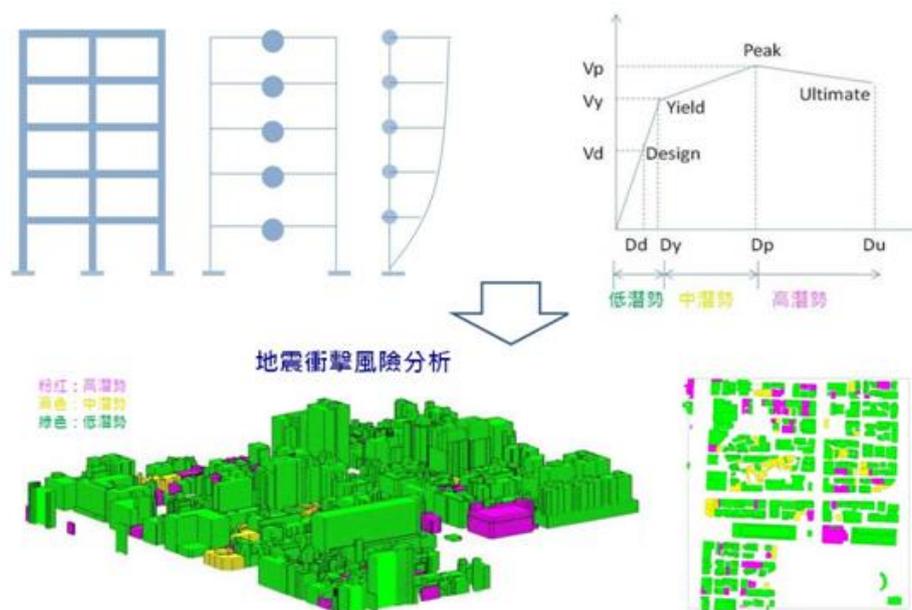


圖 5、建物三維模型的地震災害衝擊風險分析

3.2 展示介面建置

為真實展示城市地震衝擊可視化的成果與應用，本研究本年度開發多維度城市地震衝擊動力展示圖台(Multi-Dimensional Urban Earthquake impact Simulation Platform, MDUES)。有鑑於都會區有大量建築物，進行城市尺度建物群非線性動力時程分析時(Time History Analysis)，對於大量的數據處理為重要關鍵，展示圖台採用高效能 CPU/GPU 對大量化的建物樓層數據進行計算，使用 Lizard 引擎渲染 3D 場景，分析城市建築物各樓層受震位移變形之反應，圖台開發採用 C#.NET Form 為主體，將 3D 繪圖引擎渲染的結果繪製於使用者介面元件上，使用者操作介面與展示如圖 6 所示。

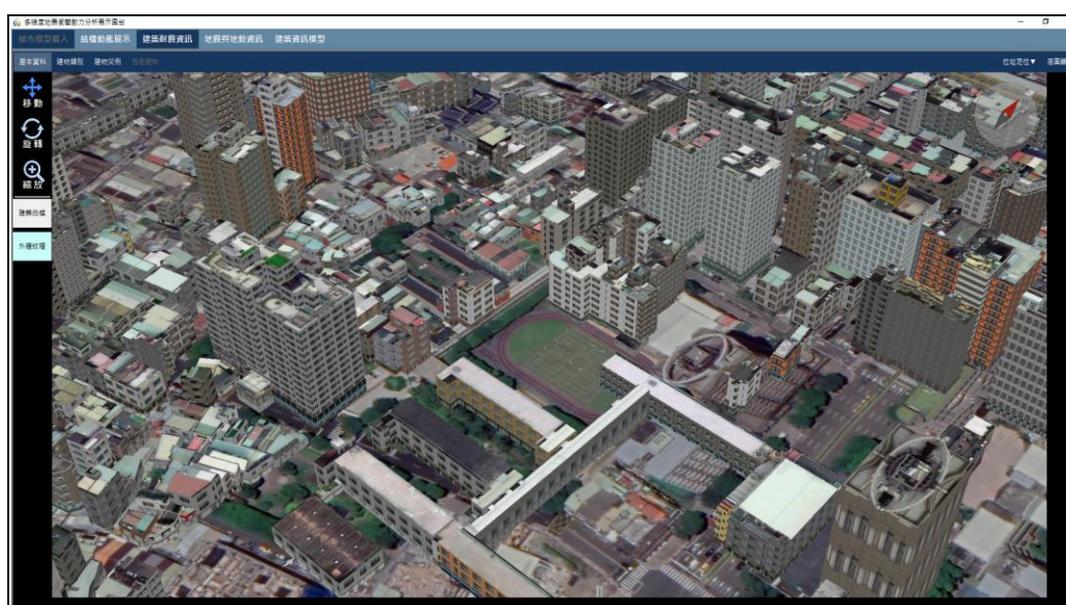


圖 6、建物三維分析使用者操作與展示介面

3.3 地震案例分析

選取台北市一個示範區，分別以 1999 年 9 月 21 日集集地震(遠域、陸域地震)與 2002 年 3 月 31 日宜蘭外海地震(遠域、海域地震)歷時紀錄做為輸入，進行建物三維模型的時間歷時動力分析，分析遠域長週期地震對高樓層建物的地震的衝擊。圖 7(a)為集集地震事件的動力分析結果，發現遠域長週期地震對示範區高樓層建物的地震反應會有明顯的影響。圖 7(b)為 20020331 地震事件的動力分析結果，觀察到遠域長週期地震對示範區十幾層建物會有明顯的影響(輸入地震的主頻小於 1Hz)。

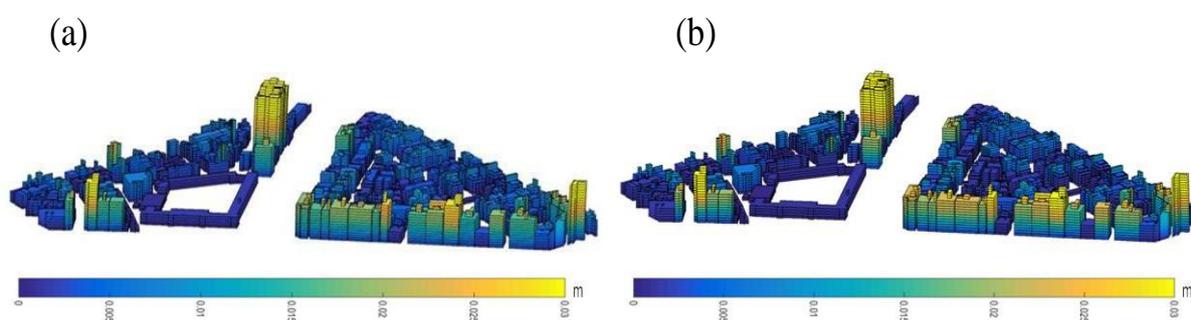


圖 7、示範區建物三維模型動力分析(a)集集地震(b)宜蘭外海地震

四、結論

本研究發展多維度建物地震衝擊動力分析技術，採用地震情境模擬與多維度空間展示技術相互結合，由傳統的二維主題圖，進階到三維動態視覺化分析與應用，不僅提升地震災害模擬結果的細緻度外，也可提高決策效率與準確度。本研究為進行多維度視覺化展示，開發多維度地震衝擊動力分析展示平台 MDUES，真實呈現城市建築群地震動態反應和損壞分析結果，本技術已實際應用於地震情境衝擊分析，模擬建物動態受震反應與損壞分析，配合耐震三維資料分析，可對建物致災空間風險及不同場域之衝擊議題評估，提供防災規劃與救援工作的重要參考。本研究歸納出結論重點如下。

- (1) 本研究發展建物地震衝擊動力分析技術，有效整合地動模擬成果、建物多邊形動力反應、與建物耐震數據，應用高性能動態模擬技術，對城市三維建物地震衝擊反應進行分析與展示。
- (2) 基於都會區有大量建物，本研究發展地震三維建物多邊形動力模型，利於藉地震情境模擬設定，完整的地震動歷時記錄輸入，對於城市中每棟建物進行地震動力歷時分析，呈現受震反應時域和頻率域特徵特性。
- (3) 為進行多維度視覺化模擬展示，本研究開發多維度地震衝擊動力分析展示平台 MDUES，模擬三維地震衝擊場景，相較傳統二維展示方法更具優勢。
- (4) 本研究方法實際應用於長周期地震衝擊分析，運用三維建物模型進行動態模擬，本

研究以台北市示範區為例，設定地震情境為花蓮外海地震 M8.0，模擬城市建築受震動態模擬歷程，與計算建物損壞狀態分布。並於展示平台呈現建物動態受震反應。

參考文獻

1. Paula Redwelk., Paula Teves-Costa., Inês Vilas-Boas., and Teresa Santos (2017) “3D City Models as a Visual Support Tool for the Analysis of Buildings Seismic Vulnerability: The Case of Lisbon,” *International Journal of Disaster Risk Science*, Vol. 8, pp. 308-325.
2. Muneo Hori., Tsuyoshi Ichimura., Lalith Wijerathne., Hideyuki Ohtani., Jiang Chen., Kohei Fujita and Hiroyuki Motoyama (2018) “Application of High Performance Computing to Earthquake Hazard and Disaster Estimation in Urban Area,” *Frontiers in Built Environment*, Vol. 4, pp. 1-13.
3. Yongmei Zhai., Shenglong Chen., and Qianwen Ouyang (2019) “GIS-Based Seismic Hazard Prediction System for Urban Earthquake Disaster Prevention Planning,” *Sustainability*, Vol. 11, No. 9, 2620.
4. Yongmel Zhal and Shenglong Chen (2020) “A Seismic Hazard Prediction System for Urban Buildings Based on Time-History Analysis,” *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2020, pp. 1-18.
5. Xinzheng Lu and Hong Guan (2021) “Visualization and High-Performance Computing for City-Scale Nonlinear Time-History Analyses,” *Earthquake Disaster Simulation of Civil Infrastructures*, pp.641-711.
6. Xiong Chen, Xinzheng Hu, Xuchuan Lin, Zhen Xu, and Liping Ye (2017), “Parameter Determination and Damage Assessment for THA-Based Regional Seismic Damage Prediction of Multi-Story Buildings,” *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 21, No.3, pp. 461-485.
7. Muneo Hori and Tsuyoshi Ichimura (2008), “Current State of Integrated Earthquake Simulation for Earthquake Hazard and Disaster,” *Journal of Seismology*, Vol. 12, No. 2, pp. 307-321.
8. Hossein Tahghighi (2012), “Damaging Long-Period Ground Motions from the Mw 9.0, 2011 Tohoku, Japan Earthquake,” the 9th International Congress on Civil Engineering, May 8-10, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.