

應用人工智慧輔助多維度城市地震衝擊分析模型應用

許智豪¹、宋裕祺²、陳致源²、柯孝勳¹

劉淑燕¹、吳子修¹、吳秉儒¹

¹國家災害防救科技中心 地震與人為災害組

²國立臺北科技大學 土木工程系

摘要

地震是一種具有突發性、高度不確定性和即時破壞性的自然災害，相較於其他災害，其威脅性更加嚴重。特別是當大量建築物和關鍵基礎設施受到損壞時，可能引發連鎖效應，進一步擴大地震的災害規模。近年來，政府積極推動危老建築物的補強和改建，並建立了建築物評估和現場調查的數據庫。本研究旨在開發以人工智慧技術來輔助城市地震衝擊評估，經由與台北科技大學宋裕祺教授研究團隊合作，本研究利用危老建物耐震評估大數據，作為深度學習的訓練資料，藉以瞭解建物受災原因和風險分析的重要特徵。研究中發展人工智慧深度學習算法，可快速推估出建物耐震能力，結合多維度地震衝擊動力分析模型，根據實際地震特性，快速評估都市區域中建物震損高風險區域。研究成果能提供防災與救災單位作為提升地震應變輔助決策之參考。

一、簡介

近年政府積極推動危老建物補強與改建，並已建立建物耐震評估與現勘資料，本研究目的為發展人工智慧技術輔助地震衝擊評估，係採用危老建物耐震評估大數據資料(PSERCB 資料庫)(宋裕祺等人，2017)，利用人工智慧大數據深度學習，可瞭解建物致災原因與風險分析之重要特徵因子，然後推估單棟建物的耐震能力，震後可依據實際地動特性資料進行建物震損衝擊，並結合國家災害防救科技中心(以下簡稱為災防科技中心)發展之多維度地震衝擊動力分析展試圖台，可快速展示出都會區的高風險熱區，相關成果可提供防災與救災單位作為提升地震應變輔助決策之參考。

人工智慧應用於土木防災工程面向多元，其中包含建物的健康監測、安全度評估、預測災害等議題，研究內容主要為提高建物安全性與預防災害之危害為宗旨，以利預防災害發生加速政府做出正確決策。過去研究中 Harirchian et al. (2021)、Souza et al. (2021) 利用人工智慧中的 Artificial Neural Network (ANN) 為機器學習模型，運算出既有建築物之危險分級，最終經由重複訓練模型提高訓練模型的精度，並將最終系統建置於手機應用程式上，達到有效迅速評估建物安全性。

Wu et al. (2019)、Yang et al. (2020) 則是以人工智慧之影像處理技術應用於監測照片上，探討結構物裂縫及腐蝕之健康監測和診斷研究，研究中採用 Deep Convolution Neural Network (DCNN) 為人工智慧模型，模型特色在於其應用到捲積運算，數學運算模式可以有效萃取相片的特徵，並以捲積後的資料進行訓練以辨別監測圖像是否具有裂痕。

二、研究流程

本研究以地震情境模擬為基礎，其研究流程為(1)整合三維建物模型、(2)建物耐震資訊、(3)人工智慧分析技術，與(4)可視化圖台展示，主要的研究方法流程詳如圖 1。地震情境下之案件分析時，資料庫與模型整合流程分析架構如詳圖 2。

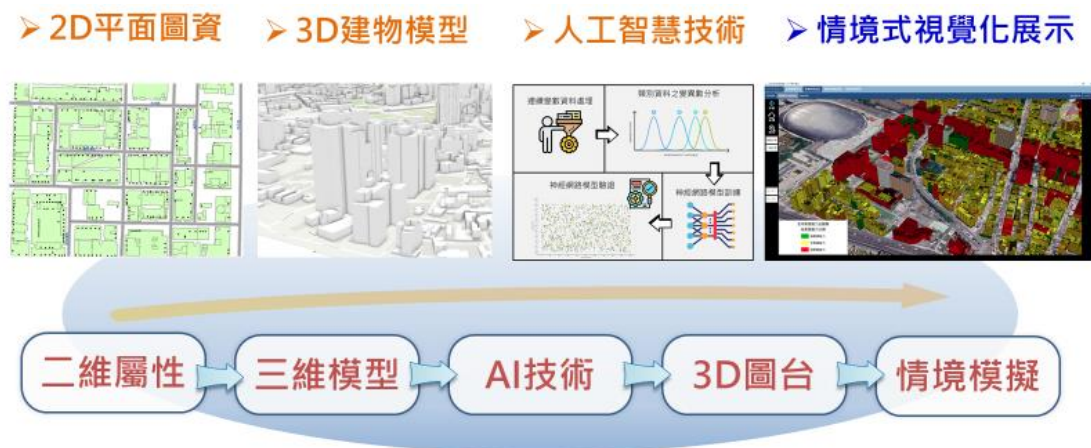


圖 1、研究方法流程

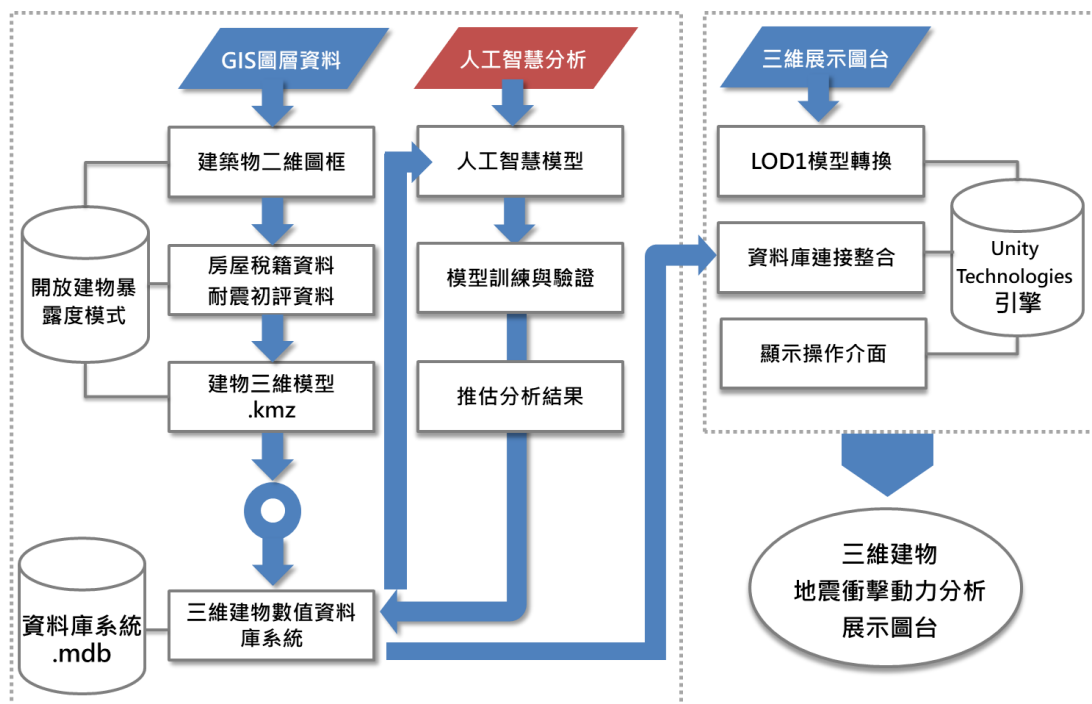


圖 2、模型分析架構

(一) 三維建物模型

建置建物模型資料庫時，首要步驟為確認建物多邊形的輪廓，本研究由內政部國土測繪中心取得三維建物模型，然後結合財政部財政資訊中心的房屋稅籍資料，與中央大學合作利用建築物暴露度模型進行數據整合，採直接交集與設定不同緩衝距離方式，將模型與稅籍資料初步結合，建置成為建物基礎資料，相關資訊包含建物編號、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。

三維城市模型建立則是以現有的地理資訊、地形圖、建物模型、

衛星影像等數據來源，通過將這些數據進行整合和結合，並以建物模型渲染技術，將城市模型能夠呈現一個更加真實且完整的場景(圖3)，並提供了進行衝擊分析、風險評估、及災害模擬等工作。三維城市模型建構：以縣市行政區為例，對該區域在研究和定義中需要考慮的風險元素和定界元素有：(a) 地面；(b) 建物；與 (c) 街道。



圖 3、建物模型渲染技術

(二) 耐震屬性資料庫

大數據分析及人工智慧演算法主要目的，即為迅速推估出尚未進行評估之建物耐震能力。本研究由 PSERCB 資料庫取得建築物耐震能力初步評估結果，主要以一樓牆與柱為分析對象，計算各構材的極限強度與韌性，爾後再考量各構材在地震作用下承擔水平力的先後順

序，及各構材之間力與韌性之分配與貢獻。本研究採用稅籍資料與建築物耐震初評資料庫內的相關資料作為推估使用之輸入參數（圖 4），綜整計算整體結構物之降伏地表加速度與 475 年、2500 年回歸期地震之結構系統地震力折減係數，並依據耐震設計規範，估算該建築物對應 475 年回歸期地震（韌性達容許韌性容量）之地表加速度 Ac_1 ，與對應 2500 年回歸期地震（韌性達韌性容量，但不崩塌）之幾近崩塌地表加速度 Ac_2 數值。在評估建物耐震能力時需輸入參數如下：

- 建築型式：鋼筋混凝土造、加強磚造、鋼構造、磚構造、木構造之建築型式。
- 使用類別：公寓、集合住宅、住商混合、辦公室、其他類別之建築使用類別。
- 近斷層，地盤特性：各地區域於規範中所規定之設計地表加速度不同，其耐震能力之標準也會依地而異，且需考慮地盤種類與距斷層之距離。
- 設計年代：不同年代所使用之建築物設計規範也有不同之規定，如箍筋間距之限制不同，將導致結構構件之韌性也不一致。



圖 4、稅籍資料及建物初評資料庫整合

(三) 人工智慧技術輔助推估建物耐震能力技術

為有效提升建築物耐震能力評估效率，本研究利用人工智慧技術輔助推估建物耐震能力技術，即透過現有之建築物初評資料，快速推估出尚未進行評估之建物之耐震能力，此推估方式為「建築物耐震能力快速推估(Quick Seismic Estimation of the Building Structures (簡稱 QSEBS)」，主要利用建築使用執照上與初評案件交集之有限資料，包含：建築物樓層數、建築物樓地板面積、建築物使用分類、工址地盤種類、建築物建造年代等，先利用類神經網路推估求得建物一樓柱總面積以及一樓柱斷面積，再遵循耐震能力評估系統計算方式計算剪力，以求得建築物對應 475 年回歸期地震之地表加速度 A_{c1} ，與建築物對應 2500 年回歸期地震之地表加速度 A_{c2} 。圖 5 為本研究發展之人工智慧耐震能力推估流程圖，各階段流程說明如下：

(1) 耐震能力初步評估資料進行篩選。

- (2) 進行變異數分析，觀察各評估項目對於目標數據之影響力，並剔除不具影響力之參數。
- (3) 程式編譯，讀取各項資料，分別有數值數據及類別數據，最終將所有數據數值化，完成資料處理之前置作業（圖 6）。
- (4) 進行類神經網絡程式編譯，採用多隱藏層之類神經網絡模型，採稅籍資料之有限資料作為輸入值，並進行模型訓練。
- (5) 利用類神經網絡模型預測值與實際數值進行比對，並繪製分析之擬合曲線驗證類神經網路之擬合情形。
- (6) 確認類神經網絡模型預測數值，依照奈震能力評估系統計算模式計算剪力，間接求得 A_{c1} 、 A_{c2} 目標數值。



圖 5、本研究發展之人工智慧之耐震能力推估法流程圖

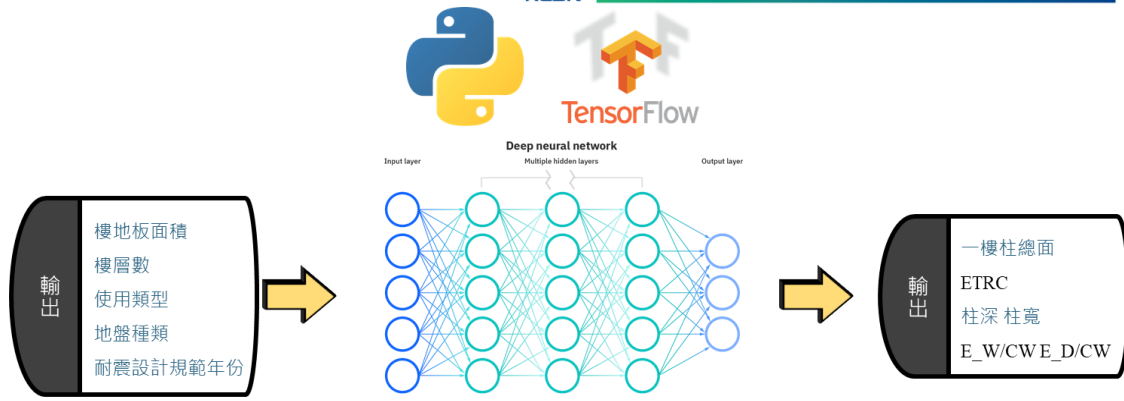
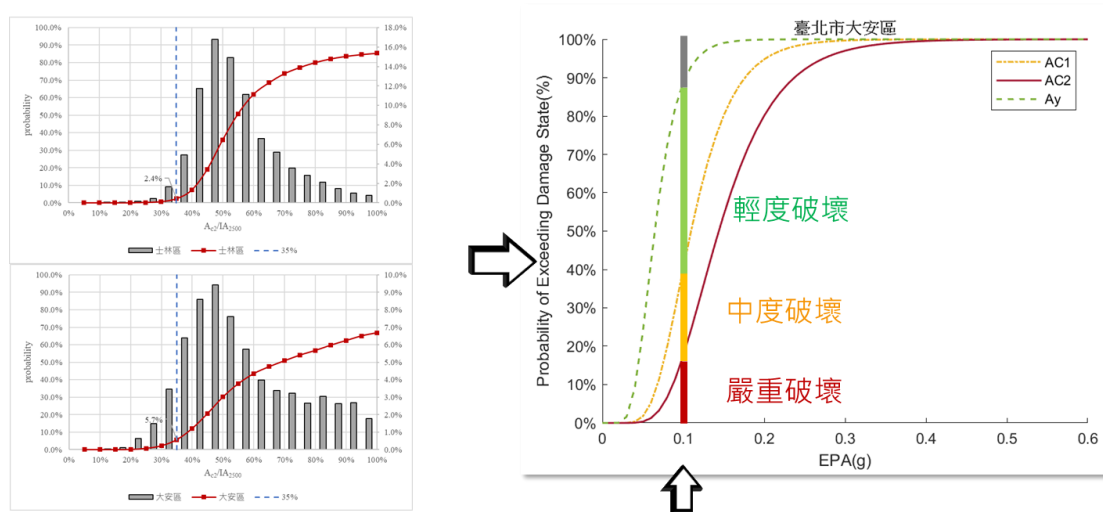


圖 6、類神經網路模型架構示意圖

(四) 推估結果與驗證

當推估完建築物之耐震能力後，可藉此推估結果建立建築物易損性曲線，建築物易損性曲線係指在不同的強地表因子下，工程構造物處於或超越某種損壞狀態的機率，即損壞機率密度函數之累積分佈曲線，(圖 7) 為依推估結果建立區域易損性曲線示意圖。



地震來臨之對應地表加速度

圖 7、依推估結果建立區域易損性曲線示意圖

推估結果驗證可透過統計分析，圖 8 顯示出 PSERCB 和 QSEBS 獲得之 A_{c2}/IA_{2500} 機率累積分布。從圖中可看出兩者累積概率分佈的高度一致性，耐震能力較差的建築（即 $A_{c2}/IA_{2500} < 0.35$ ）在 PSERCB 中佔總樣本的 25.9%，而透過 QSEBS 進行評估則佔 24.3%。針對推估模式以不同分類方式對應 PSERCB 實際值之比較，推估模式與實際趨勢相近，推估模式具有一定參考價值。

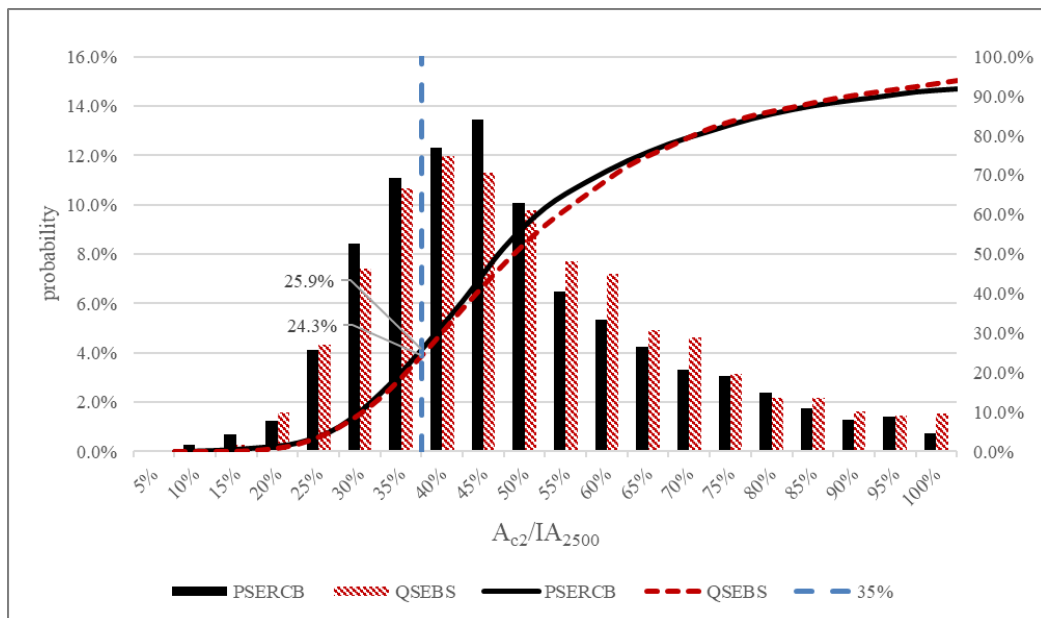


圖 8、PSERCB 與 QSEBS 整體機率分佈

三、地震衝擊分析技術應用

本研究發展 AI 人工智慧輔助地震衝擊評估技術，可快速推估出建築物耐震能力，在可視化成果展上，進一步結合災防科技中心開發之多維度地震衝擊動力分析展試圖台（Multi-Dimensional Urban

Earthquake impact Simulation Platform, MDUES) (許智豪等人, 2022), 可呈現三維城市模型視覺化場景, 圖 9 為應用人工智慧技術輔助地震衝擊風險分析流程, 震後可依據實際地動特性資料進行人工智慧建物震損衝擊評估, 並以城市模型快速展示城市高風險熱區, 本研究以台北市為示範區, 考慮特定地震情境下, 單棟建物的地震衝擊損壞風險, 地震模擬結果視覺化分析則是由建物幾何簡化圖形與顏色表示出損壞的程度, 讓建物更多識別可視化, 更利於決策分析, 圖 10 展示考慮地震情境情況下的建物損害空間分佈, 從情境中可以獲得預計受影響最大的區域分布。

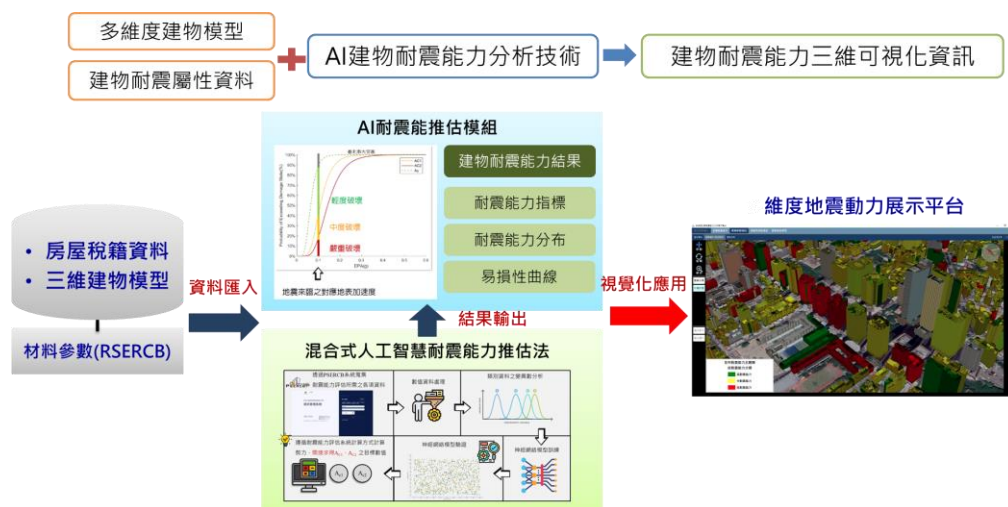


圖 9、應用 AI 人工智慧技術輔助地震衝擊風險分析流程



圖 10、地震情境下應用 AI 技術評估建物損壞風險成果展示

四、結論

本研究開發人工智慧輔助的地震影響評估技術，經由與台北科技大學宋裕祺教授研究團隊合作，利用危老建築物的耐震評估大數據作為深度學習的訓練資料，可迅速求得分析結果。研究中建置 AI 人工智慧技術建物地震衝擊模組，能夠快速估算建築物的耐震能力，並結合最新的多維度地震衝擊動力分析模型。震後依據實際地震資料進行建物衝擊，評估建物震損衝擊高風險熱區，推估結果將以三維視覺化技術進行展示。這些研究成果可以為防災和救災機構提供有價值的參考，以協助提高地震應變的決策能力。

參考文獻

1. 宋裕祺、蔡益超、陳建忠、賴明俊、邱毅宗、陳俊榕、林宏軒、陳長佑、顏志良 (2017)。鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估系統 PSERCB 之建置與應用。結構工程，32(4)，60-87。
2. 許智豪、柯孝勳、塗冠婷、吳子修、林佳瑩、鄧敏政、劉淑燕 (2022)。建物地震衝擊視覺化模擬展示技術開發。災害防救電子報。第 198 期。
3. Ehsan Harirchian, Kirti Jadhav, Vandana Kumari., and Tom Lahmer., 2021. ML-EHSAPP: A Prototype for Machine Learning Based Earthquake Hazard Safety Assessment of Structures by Using a Smartphone App. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 26 (11), 5279-5299.
4. Calebe Paiva Gomes de Souza, Paulo Roberto Gardel Kurka, Romulo Goncalves Lins, Jose Medeiros de Araujo Junior., 2021. Performance Comparison of Non-adaptive and Adaptive Optimization Algorithms for Artificial Neural Network Training Applied to Damage Diagnosis in Civil Structures, Applied Soft Computing Journal, 104.

5. Rih Teng Wu, Ankush Singla, Mohammad R. Jahanshahi, Elisa Bertino, Bong Jun Ko, Dinesh Verma., 2019. Pruning Deep Convolutional Neural Networks for Efficient Edge Computing in Condition Assessment of Infrastructures, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 34(1).
6. Qiaoning Yang, Weimin Shi, Juan Chen, Weiguo Lin., 2020. Deep convolution neural network-based transfer learning method for civil infrastructure crack detection, *Automation in Construction*, 116.