

經費來源：☐ 01 當年度公務預算 ☒ 02 委託補助計畫

機密(E)：☐ 是 ☒ 否

出國類別：☐ A 考察/訪問 ☒ B 學術會議/研討會
☐ C 進修/研究 ☐ D 工作會議

第 3 屆歐洲數位未來地震工程暨災害管理學術研討會

出國報告書

單位名稱：國家災害防救科技中心 地震與人為組

出國人姓名職稱：柯孝勳 研究員兼組長

出國地點：荷蘭馬斯垂克

出國日期：民國 115 年 4 月 19 日至 115 年 4 月 24 日

報告日期：民國 115 年 5 月 20 日

摘 要

「第三屆歐洲數位未來地震工程暨災害管理學術研討會」為近年，聚焦於數位轉型在地震工程與地震防災管理領域應用研究之新創國際研討會(每2年舉辦一次)，本屆為第3屆，將於115年4月19日至24日於荷蘭馬斯垂克舉辦(前2屆分別於2024年義大利那不勒斯與2022年德國慕尼黑)。本研討會議題主要針對以結構分析與耐震設計為核心的工程方法，結合工程模型與數位工具的整合應用，涵蓋人工智慧與機器學習、即時感測與地震資料同化、三維地震模擬、震後快速損害評估，以及跨域資料整合與決策支援平台等關鍵技術等。

職本次投稿之論文"AI-Based Seismic Impact Visualization Platform for Building-Level Risk Assessment"已獲主辦單位接受並安排進行口頭發表，內容主要以執行國科會計畫，整合三維建物模型與耐震屬性資料，發展AI輔助之耐震能力與易損性分析方法，並建立建物尺度地震衝擊視覺化評估平台之研究成果進行發表。本次出國經費由國科會計畫「大規模地震情境模擬及災損推估(3/4)」補助，本出國報告亦依規定提送國科會。

目 次

1. 目的.....	4
2. 研討會紀要	4
3. 觀摩其他學者技術之心得重點說明.....	8
4. 出國效益.....	12

1.目的

職本次投稿之論文"AI-Based Seismic Impact Visualization Platform for Building-Level Risk Assessment "已獲主辦單位接受並安排進行口頭發表，內容主要以執行國科會計畫，整合三維建物模型與耐震屬性資料，發展 AI 輔助之耐震能力與易損性分析方法，並建立建物尺度地震衝擊視覺化評估平台之研究成果進行發表。

此外，藉由本次研討會，預計將本計畫開發技術落實於支援國家防災日大型地震演習情境設定之具體應用成果，與相關國際學者專家就地震防災應用層面進行經驗交流，同時了解國際上目前針對地震防災或應變需求所新發展的地震衝擊與災損模擬相關技術，將有助於本計畫開發成果更具防災應用之實用性。

2.研討會紀要

2.1 論文發表重點

本次研討會於 115 年 4 月 19 日至 26 日假馬斯垂克文化會議中心（Maastricht TEGELMAGAZYNEN）舉行，由地人組柯孝勳博士與會（如圖 1），並發表論文" AI-Based Seismic Impact Visualization Platform for Building-Level Risk Assessment "。



圖 1：地人組柯孝勳博士出席本次研討會(資料來源:攝於研討會場)

本次論文發表重點主要有：

- (1) **整合 GIS、建物屬性與三維模型資料庫:**本研究圖台的基礎在於建立可支援地震衝擊分析的三維都市建物資料庫。其作法是整合開放街圖、航空影像、地形圖、建物輪廓、縣市邊界、稅籍資料與建物屬性資料，並將建物位置、樓層數、用途、構造類型、建造年代、總樓地板面積與耐震能力等資訊連結至三維建物模型。透過 LOD 不同層級的建模方式，圖台不僅能呈現建物外觀與空間分布，也能將耐震能力與都市空間資訊結合，作為後續動態分析與主題圖展示的共同資料核心(如圖 2)。
- (2) **結合動力分析模型與高效能運算進行建物反應模擬:**圖台技術的核心並非單純展示建物，而是將地震動輸入、建物耐震資料與多自由度剪力屋架模型結合，進行建物非線性動力歷時分析。研究中利用建物高度、樓地板面積、構造型式等參數建立簡化動力模型，並分析各樓層位移、層間變位角與潛在

損傷程度。由於都市尺度建物數量龐大，平台進一步採用高效能 CPU/GPU 運算與分區處理方式，加速大量建物之震動反應計算，使圖台能呈現地震歷時過程中的動態變形與風險分布（如圖 3）。

- (3) 以多維視覺化與主題圖支援災害情境研判:本圖台將動力分析結果轉換為可視化資訊，透過建物顏色、外牆紋理、透明度、樓層變形與位移放大等方式，呈現地震作用下都市建物群的受震反應。平台可產製不同主題圖，包括建物構造類型、使用類別、建造年代、耐震能力與潛在損傷風險等，協助使用者快速辨識高風險區位。此技術特別適合應用於長週期地震對高樓群之影響分析，並可作為都市防災規劃、災害情境模擬、救災路徑研判與震後風險評估的決策輔助工具。（如圖 4）。

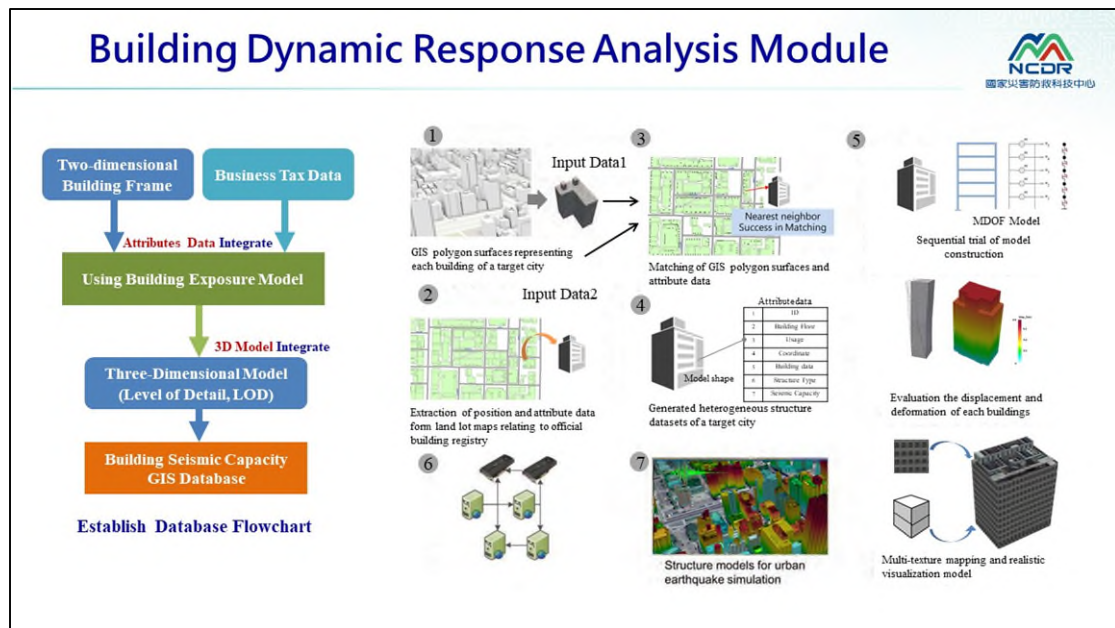


圖 2：建物屬性與三維模型資料庫建構

（資料來源：出席研討會之發表簡報）

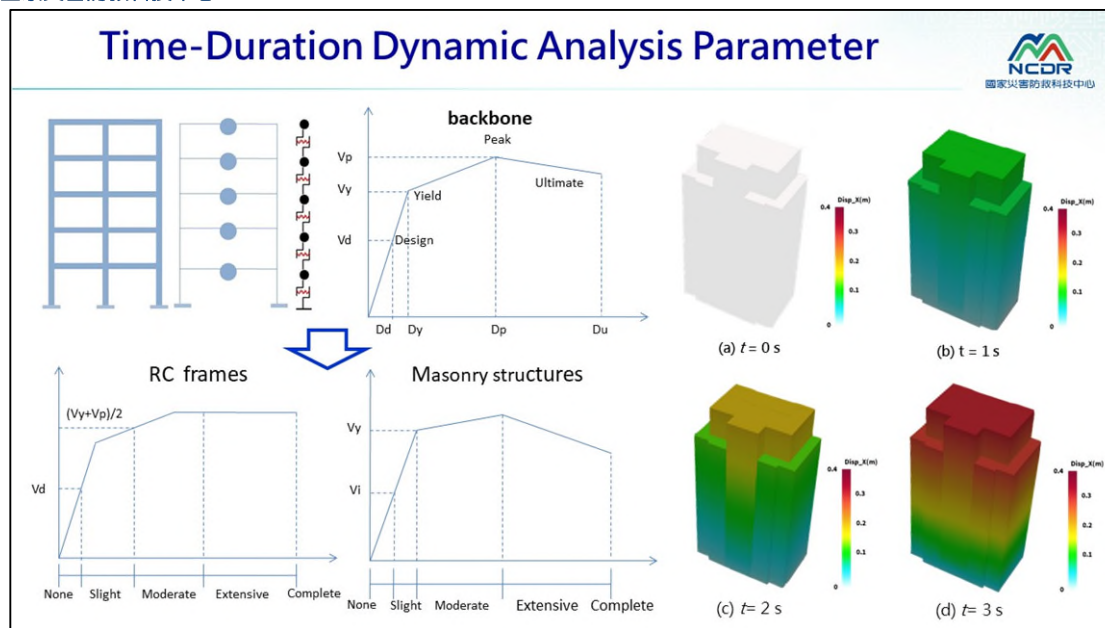


圖 3：結合動力分析模型與高效能運算進行建物反應模擬深度學習演算模型開發（資料來源：出席研討會之發表簡報）

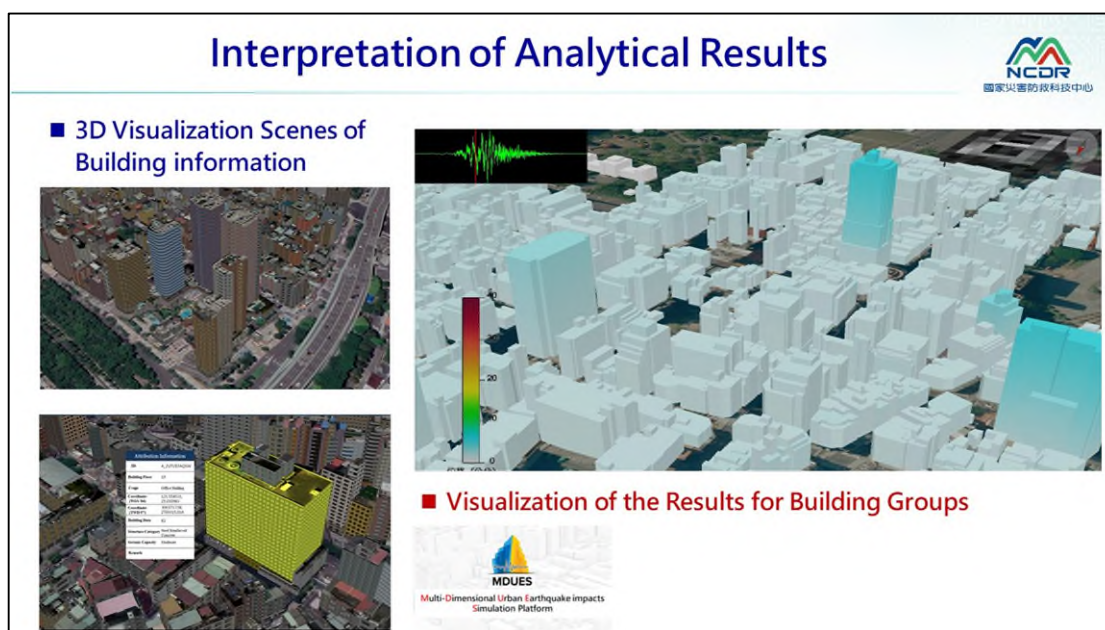


圖 4：以多維視覺化與主題圖支援災害情境研判

（資料來源：出席研討會之發表簡報）

2.2 與會者回饋意見重點摘錄

與會者對於本計畫所開發之圖台應用技術均表示肯定此發展方向之意，並針對後續技術面與應用面進行提問或提供回饋意見，重

點彙整摘錄如下：

- (1) 這個圖台與一般 3D GIS 或災害潛勢展示平台最大的差異是什麼？現場初步回應說明本計畫的重點不只是將建物以三維方式呈現，而是進一步把建物屬性、耐震能力資料與地震動情境結合，透過動力歷時分析模擬建物在地震過程中的反應。因此，平台呈現的不是靜態的風險分類，而是可反映地震作用下建物樓層位移、變形與潛在損傷的動態結果。
- (2) 平台如何處理大量建物的計算效率問題？現場初步回應說明本計畫面對的是都市尺度建物群分析，因此圖台的作法不是對每棟建物建立過度複雜的精細有限元素模型，而是以簡化多自由度剪力屋架模型進行動力歷時分析，並結合高效能 CPU/GPU 運算處理大量建物的位移與變形反應，並將三維場景切分為 256x256 的區塊節點，以利建物資料分區載入與渲染，並透過 GPU 快速改變建物頂點位置，呈現動態分析結果。
- (3) 圖台建物三維模型與屬性資料如何正確對應？現場初步回應說明研究流程是先取得建物二維輪廓與三維多邊形模型，再從官方圖資或稅籍資料中萃取建物位置、樓層數、用途、構造型式、建造年代等屬性，並透過 GIS 多邊形匹配與鄰近搜尋方式，將屬性資料掛接到對應的三維建物模型。完成後，每棟建物不只是視覺上的 3D 物件，而是具有可分析的耐震屬性與空間屬性，這個步驟對後續動力分析、主題圖製作與損傷風險分類都非常關鍵。。

3. 觀摩其他學者技術之心得重點說明

本次研討會涵蓋數位工具的整合應用、人工智慧與機器學習、震後快速損害評估，以及決策支援平台等諸多技術領域，本報告將重點說明與本計畫相關研究課題之觀摩與交流心得。

3.1 3D 城市模型、建物脆弱度、震損情境視覺化：

葡萄牙里斯本理工學院研究團隊以里斯本住宅建物為主體，將原本在 2D GIS 中進行的地震脆弱度分析延伸到第三維度。研究流程包括蒐集建築物輪廓、屬性資料、樓高、坡度、土壤條件、建築年代與結構特徵，進一步計算脆弱度指標與不同地震情境下的損害程度。其結果可透過不同色階直接附著於 3D 建物物件上，呈現某一情境下不同區域的相對損害分布，例如顯示近源與遠源地震、不同地震強度對里斯本建物損害空間分布的影響(如圖 5 所示)，使使用者能快速掌握高風險聚集區。這種以視覺化方式表達建物損害程度的作法，與本研究在震災衝擊評估後輸出風險圖層、建物損害分布與決策支援資訊的構想相當相近。

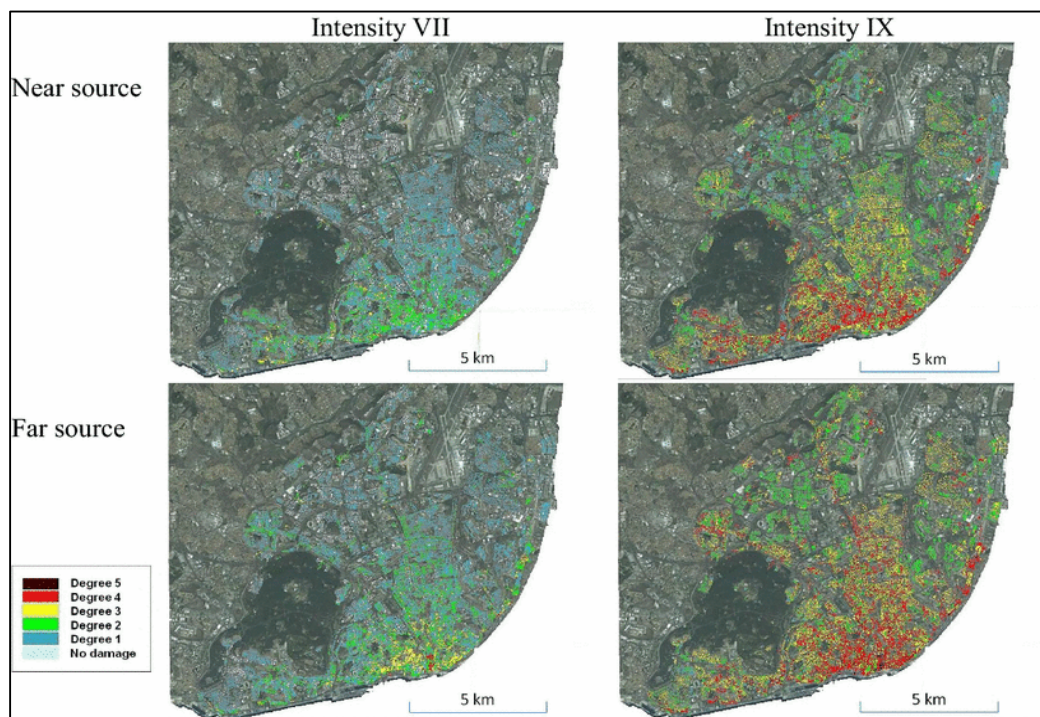


圖 5：里斯本不同地震來源與強度下之建物損害空間分布

(資料來源：里斯本理工學院研究團隊學者於研討會發表之簡報)

3.2 互動式都市地震風險評估網頁平台開發與應用：

加拿大麥吉爾大學研究團隊與加拿大自然资源部合作，建置一

套以都市尺度地震風險評估為核心的互動式網頁應用程式 ER2-Earthquake，將複雜流程包裝為使用者導向的網頁應用程式(如圖 6 所示)，使非專業使用者也能以步驟式介面設定地震情境、執行分析並讀取結果。方法上，ER2 將地震危害、建物與人口暴露資料、脆弱度函數及結果輸出整合於同一平台。其地震危害部分可依震源位置、規模、深度與距離估算各 census tract 的強度量，並納入場址效應；暴露資料則採用 Hazus Canada 或相關資料庫，整理建物結構、年代、樓地板面積、樓層數、設計規範與用途類別；脆弱度分析則以 hazard-compatible vulnerability functions 將地震動強度轉換為不同損害狀態、經濟損失與社會損失。此研究成果與本計畫設定支援災前情境演練、都市防災規劃、緊急應變資源預置與風險溝通等目標相似，可作為「公共安全導向的互動式地震風險平台」國際對照案例。

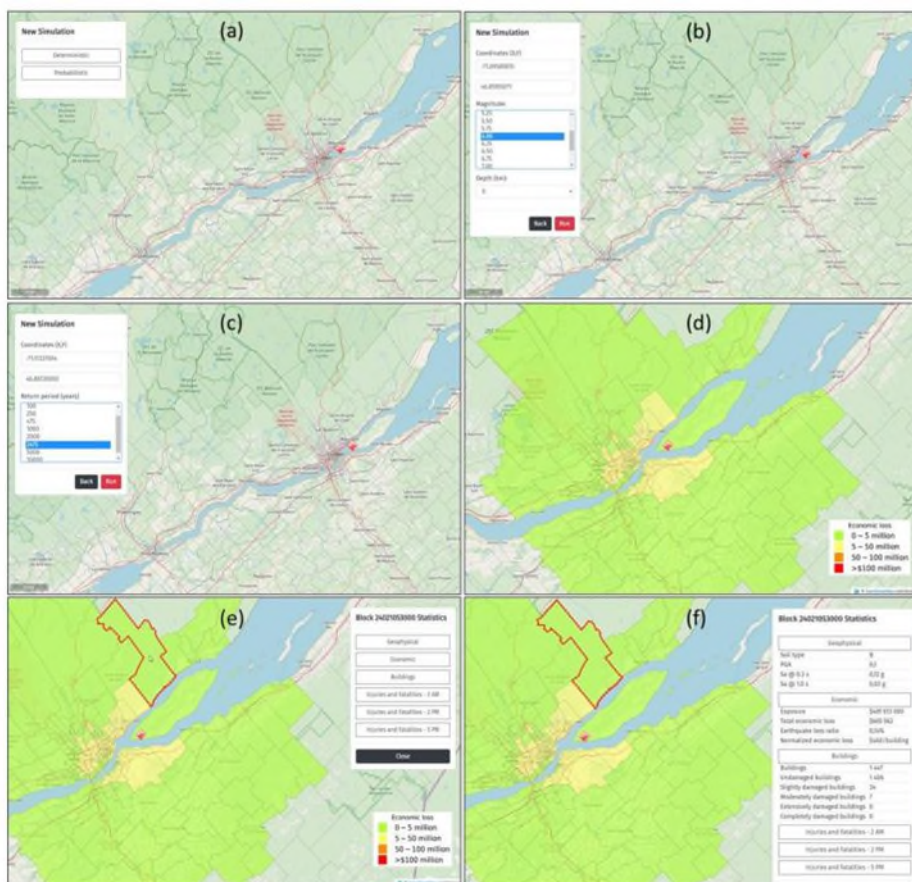


圖 6：ER2-Earthquake 網頁操作與地震情境結果圖層示例

(資料來源：加拿大麥吉爾大學研究團隊的學者於研討會發表之簡報)

3.3 應用數位製圖與韌性指標作為地震韌性策略的依據研究：

羅馬尼亞布加勒斯特大學研究團隊提出一套以數位地圖與地震韌性指標為核心的防災管理策略。該研究的目標，是將地震微分區、人口密度、醫療設施、教育設施與可作為臨時安置或醫療帳篷使用的開放空間整合到數位地圖中，作為布加勒斯特地震韌性策略的操作型工具。研究提出七個步驟：辨識地震韌性指標、蒐集地方資料、辦理專家工作坊、繪製脆弱區域、指定緊急開放空間、納入可作為避難或治療場所的教育機構，以及以 SWOT 分析檢討整體策略(如圖 7 所示)。此方法的特點在於，並非只停留在工程模型，而是把工程危害資訊、城市設施分布、人口需求與災害管理流程串接起來。

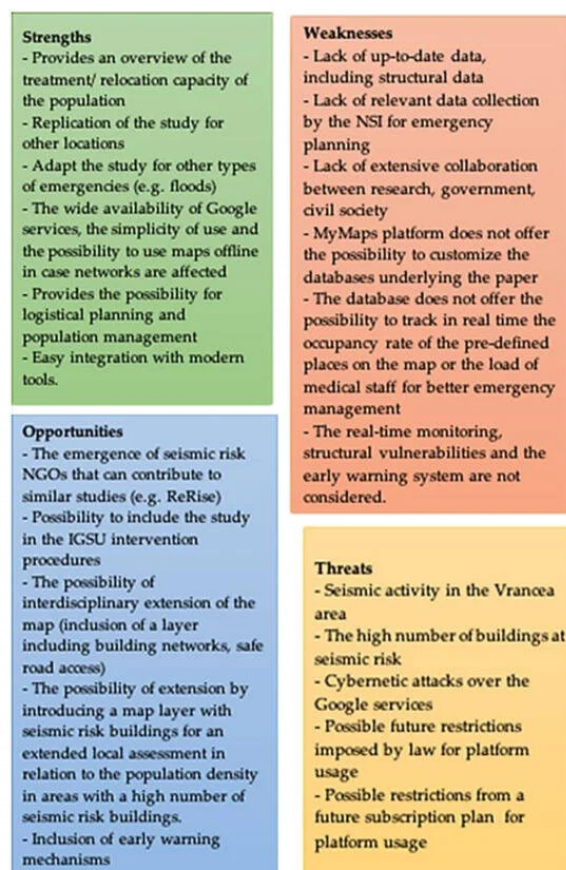


圖 7：數位製圖工具之 SWOT 分析

(資料來源：羅馬尼亞布加勒斯特大學研究團隊的學者於研討會發表之簡報)

4. 出國效益

本研討會主要針對以結構分析與耐震設計為核心的工程方法，結合工程模型與數位工具的整合應用，涵蓋人工智慧與機器學習、即時感測與地震資料同化、三維地震模擬、震後快速損害評估，以及跨域資料整合與決策支援平台等關鍵技術等，此次參與研討會對本計畫研究發展有以下效益：

- (1) 強化建物屬性資料與三維空間資料的串接技術：地震風險評估的技術瓶頸常不在演算法本身，而在建物資料整合。建物輪廓、樓層數、用途、構造型式、建築年代、樓地板面積與位置資訊，必須能被轉換成風險模型可讀取的暴露量資料庫，後續可強化資料清理、空間匹配、屬性補值、建物分類規則與不確定性標記。對本計畫正在進行之三維地震模擬與建物動態分析模型開發提供參考依據。
- (2) 重視建物資料整合與空間解析度提升：地震風險評估的精度很大程度取決於暴露量模型的品質。國際研究逐漸從區域型建物分類，走向更細緻的建物參數與空間位置整合，此趨勢與本計畫中整合三維建物模型、房屋屬性資料與 AI 耐震能力推估非常接近。
- (3) 將風險視覺化連結至防災治理與應變資源配置：觀摩多國相關研究的共同技術特色，是將風險分析結果轉化為可操作的互動介面。技術上，平台不宜只提供靜態風險圖，而應支援不同圖層切換、地震情境比較、行政區彙整、單棟建物查詢、損害等級分類、優先檢查清單輸出，以及結果來源追溯。與本計畫後續朝使平台更符合防災管理與工程決策需求的目標相符。