

# 台北 101 振動模態十年長期變化：觀測特徵化與物理機制釐清

## Decadal Evolution of Vibrational Modes in Taipei 101: Observational Characterization and Mechanism-Constrained Modeling

指導老師：師大地科 陳卉瑄 | 台大土木 柯俊宇 | 中研院地球所 林欽仁

---

隨著全球人口密度在大都會的集中趨勢持續上升，超高層建築(high-rise building)已成為現代城市的核心基礎設施。然而，相較於極端事件下結構物的瞬間反應，建築物在長期尺度下所經歷的環境調制與動態演化，仍缺乏系統性的理解。氣候條件如溫度變化、季風循環與極端風速，不僅持續作用於結構體，也可能透過材料性質改變、接頭鬆弛或阻尼機制調整，逐步影響其動力特性。區分這些「可逆的環境調制」與「不可逆的結構退化」，是長期結構健康監測（SHM）的重點挑戰。

台北 101 大樓作為 508 公尺超高層建築，提供了一個罕見且完整的長期監測案例。自 2010 年起，中研院地球所團隊架設的 building array，在該建築內三個樓層配備三分量加速度計、旋轉地震儀與阻尼球監測系統，形成少見的 6C 動態量測資料庫。近期資料指出，旋轉地震儀能提供結構物剪力與彎曲模態比例、和扭轉行為的獨特資訊，利用台北 101 大樓內的旋轉(rotational seismometer)與傳統地震儀(translational seismometer)的長期資料，Chen et al.(2023)發現平移與旋轉模態對環境參數（溫度、氣壓、風速、濕度）的敏感度並不一致，暗示結構-阻尼球耦合及質量分布對動態行為具有重要影響。在氣候變遷加劇與極端天氣頻率增加的背景下，理解「氣候如何調制建築動態」不僅具有工程意義，也關乎城市韌性與永續設計。

然而，全世界既有的相關研究多集中於特定事件或短期觀測，對於超高層建築在十年尺度上的模態頻率、阻尼與振幅演化，仍缺乏整體性分析。長期資料顯示，台北 101 的基礎模態頻率在 2014 - 2017 年間出現系統性下降，其後趨於穩定，並伴隨明顯季節性變化。這些現象到底反映了材料剛性改變、微裂縫累積、風阻尼球調諧狀態改變？抑或是氣候調制機制的疊加效應？為了釐清這些問題，針對台北 101 大樓寶貴資料，我們希望能系統性的分析不同振動模態的時變特徵，以和環境監測資料進行比對，釐清哪些特徵，能讓我們區分「環境調制」與「結構退化」。

值得注意的是，上述研究方向存在一個具有延伸潛力的反向視角。當台北 101 的結構動力特性在十年尺度上獲得系統性表徵後，大樓在地震作用下的結構響應，本質上即是已知結構系統對未知輸入的摺積輸出。換言之，若能精確掌握「結構如何回應」，便可嘗試從觀測到的振動紀錄反推「輸入端的地震訊號」究竟長什麼樣子，進而求取震源物理量，包括地震矩、震源時間函數的特徵尺度，以及高頻能量的衰減行為。這不僅賦予台北 101 長期資料庫額外的地震學詮釋空間，也帶出了一個值得探索的問題：城市中的超高層建築，是否能成為都市環境下非傳統的地震觀測媒介？