

臺灣隔震技術之發展與應用

文・圖／張國鎮、游忠翰

臺灣地處地震頻繁區域，建築耐震設計至關重要。傳統的韌性設計雖然能確保建築在地震中不倒塌，但仍可能導致結構與內部設備損壞，進而影響建築物的正常功能，特別是對醫院、科技廠房等重要設施而言，損失更是巨大。相較之下，隔震技術透過在建築物基礎或樓層間設置隔震層，能有效阻隔地震能量傳遞，大幅降低上部結構所受的加速度，使建築物在強震下仍能保持彈性，不產生損傷，並確保內部設備與功能正常運作。2024年0403花蓮地震驗證了隔震建築的優異表現，所有採用隔震系統的建築物皆未發生結構損傷，重要設施也均維持正常運作。

傳統韌性設計的挑戰與隔震技術的優勢

我國《建築物耐震設計規範》的核心原則是「小震不壞、中震可修、大震不倒」。這表示建築在小地震時應保持彈性不損壞；中震時透過降伏行為吸收能量，即使有局部損傷也能修復；大震時則確保結構不倒塌，保障生命安全。韌性設計雖是重大進展，但也存在挑戰。首先，降伏行為會導致結構桿件損傷。其次，即使法規針對重要建築採用較高安全係數，以保護結構本體，卻無法保護建築物內的設備與功能。例如，四級震度就可能導致物品傾倒，這對博物館展品、科技廠房產線或醫療儀器等可能造成巨大經濟損失並癱瘓其功能。因此，現代耐震設計已轉向性能設計，強調建築物不僅要維持結構完整，更要保全其內部功能與設備。

相較之下，隔震設計能有效解決這些問題¹。其基本原理是在建築物與地基之間設置「隔震層」，由低水平勁度、高水平柔性的元件構成，能阻隔大部分地震能量傳遞至上部結構，使建築物彷彿「漂浮」於地面之上（圖1）。隔震系統除了抑制地震振動，也需具備一定剛性以防風載造成晃動。從力學角度看，隔震的關鍵在於延長結構週期，避開地震力集中的頻率帶，從而達到減震效果。由於能有效降低傳遞至上部結構的加速度，目前多數隔震建築即使在極限地震下仍能維持結構彈性，不產生損傷。

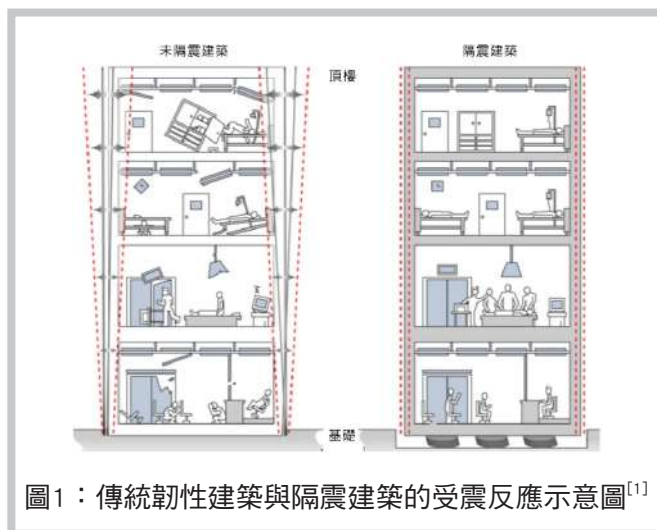


圖1：傳統韌性建築與隔震建築的受震反應示意圖^[1]

臺大百大貢獻事蹟專題～地震防災科技

2024年0403花蓮地震是繼921大地震後臺灣最顯著的地震，也是隔震建築的最大考驗。實地調查顯示²，所有採用隔震系統的建築皆未發生結構損傷，且醫院、災害應變中心等重要設施也維持正常運作，證明隔震設計對關鍵建築功能的保護能力。

臺灣隔震建築的發展趨勢與應用案例

臺灣隔震技術的應用始於1999年南二高的白河橋，建築物隔震技術則在921大地震後才開始應用。2002年，國內首次出版隔震建築設計規範³，並於2005年正式納入《建築物耐震設計規範及解說》⁴，奠定制度基礎。初期應用以醫院、災害應變中心等公共建築為主。2011年版《建築物耐震設計規範》實施後，隔震設計與試驗方法進一步修訂，技術發展更完善。如今，隔震技術已廣泛應用於住宅、商辦等私有建築。目前全臺隔震建築已超過200案。

國內有多座代表性的隔震建築（圖2）。新北市淡水區一棟地上38層、地下3層的住宅大樓（圖2a），是目前國內樓層最高的隔震建築，配置43顆鉛心橡膠隔震支承於一樓底部。台北表演藝術中心為上部結構不規則的基礎隔震建築（圖2b），樓高12層，地下1層，隔震層設置於地下1樓樓板下方，採用89組摩擦單擺支承。此外，信義區另一棟地上21層、地下4層的不規則高層建築（圖2c），將隔震系統設置於地下4層以下基底，透過48顆摩擦單擺支承，調整曲率半徑控制週期，達到有效的隔震效果。



(a)最高的隔震建築



(b)台北表演藝術中心



(c)台北市信義區隔震建築

圖2：臺灣隔震建築應用案例。



(a)花蓮慈濟醫學中心醫療建築群



(b)採用基礎隔震之合心樓

圖3：花蓮慈濟醫學中心（基礎隔震）。

花蓮慈濟醫學中心是臺灣東部最重要的醫療機構之一，其中急診與加護病房所在的合心樓為基礎隔震建築（圖3），自2005年落成以來，歷經多次地震均未損壞。2024年0403花蓮地震更是實際驗證其隔震功效；該次地震使合心樓產生最大達50公分的隔震位移，創下國內紀錄，且結構與建築功能均未受損；相較之下，鄰近未採隔震系統之建築則出現結構損傷，並伴隨非結構、水塔、儀器與資訊設備等破壞現象。

除了基礎隔震建築，近年來在低樓層但非基礎位置設置隔震系統的中間樓層隔震建築⁵也逐漸成為應用主流。以尹衍樑先生捐贈之臺灣大學土木研究大樓為例（圖4a），該建築為預鑄鋼筋混凝土構造，包含地下一層、地上9層與屋突二層，隔震層設於二樓樓板下。該案設有完整的結構健康監測系統（圖4b）。0403地震中，該區震度達五弱，監測紀錄顯示隔震系統發揮作用，傳遞至上部結構的加速度峰值減少21%至34%，頂樓甚至低於地表，顯著優於傳統結構常見的加速度放大現象，充分展現隔震技術的卓越表現。

設備隔震技術

當建築物遭受地震時，若櫃體或儀器設備未固定，可能傾倒損壞；若僅以螺栓鎖固，雖可避免傾倒傷人，但設備本體仍承受強烈加速度，損壞內部機構或精密元件。最有效的方式是在櫃體與樓板之間設置設備隔震系統，藉由隔離傳遞的地震能量，大幅降低設



(a)建築外觀

(b)樓層配置圖

圖4：臺灣大學土木研究大樓（中間樓層隔震）。

臺大百大貢獻事蹟專題～地震防災科技

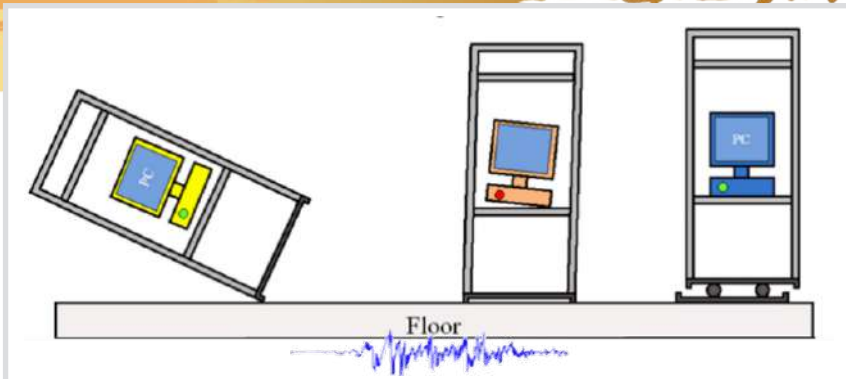
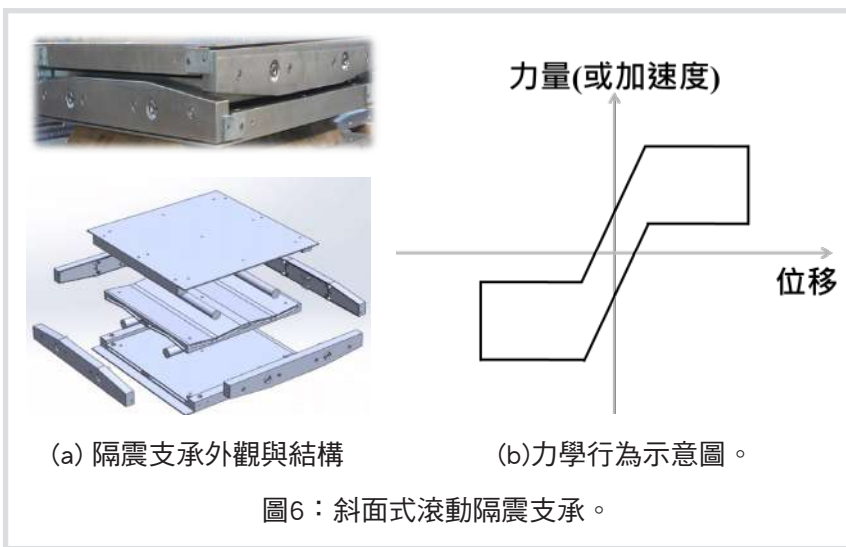


圖5：建築物中設備物耐震策略示意圖。左而右為：無任何措施、鎖固櫃體、隔震措施。

備所受加速度，既保護櫃體本身，也能完整維護其功能性與內容物（圖5）。

設備隔震與建築隔震的核心理念相似，皆藉由延長週期與消能機制來達成隔震效果。但由於設備重量輕、尺寸小、加速度容忍度低，設計上需更精細考量其動態特性及結構放大效應。針對此問題，國立臺灣大學與國家地震工程研究中心共同開發「斜面式滾動隔震技術」⁶，具備獨特的隔震控制特性（圖6）。與傳統曲面滾動支承或滑軌彈簧系統不同，此技術可有效控制傳遞加速度，無論輸入地震擾動大小，皆可維持固定的傳遞加



(a) 隔震支承外觀與結構

(b) 力學行為示意圖。

圖6：斜面式滾動隔震支承。

速度，尤其適用於特定設備或特定安裝位置。

斜面式滾動隔震技術已應用於國內外多個產業，主要在高科技廠房、博物館、緊急應變中心及通訊公司等。應用方式包含單組隔震支承針對獨立機櫃進行隔震（例如：中華電信資訊機櫃）；將數組機櫃與隔震支承並聯形成整體運動單元以提供更好的抗扭能力（例如：中央研究院歷史語言研究所典藏文物櫃）；或是將整個大範圍面積區域進行隔震，形成隔震高架地版，提供更穩定的空間規劃與隔震行為（例如：國家地震工程研究中心資訊機房）。斜面式滾動隔震技術在近年多起地震事件中皆經受考驗，確實發揮效能，成功保護設備功能不受影響，大幅降低產業營運中斷風險與財務損失，對高價值資產防震提供強力保障。

結論

隨著社會對地震風險意識的提高，隔震技術已成為當代抗震設計的重要策略。傳統韌性設計雖可保障結構不倒，但無法避免非結構損壞與建築功能中斷，特別對於高價值設備與關鍵設

施而言，風險仍然顯著。相較之下，隔震設計能有效減少地震力傳遞，確保建築物與設備在地震中持續運作，已逐步被廣泛應用於醫療、交通、科技與文化等重要場域。臺灣自921地震後積極推動隔震技術，制度上亦逐步建立規範體系，累積超過兩百件實際應用案例，並在2024年0403花蓮地震中展現極佳表現。另一方面，針對既有建築中重要設備之耐震保護，設備隔震提供更具有彈性與成本效益的方案。透過持續推廣與技術創新，包括中間樓層隔震與新型設備隔震技術，臺灣在地震防災領域已展現高技術成熟度與應用深度，未來應進一步整合政策、設計與施工層面，擴大隔震應用，打造更具韌性與安全的城市環境。（本專題策畫／工學院闕蓓德副院長）

參考文獻：

- [1] 蔡克銓（2009）。*安全耐震的家-認識地震工程*。財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心。<https://www.ncee.org/safehome/>
- [2] 游忠翰、汪向榮、彭聖凱、林旺春、楊卓諺、曾育凡、陳禧耘、柯宗騰、柯震洋、張國鎮（2024）。隔震建築於0403花蓮地震之性能表現。*中國土木水利工程學刊*，51，52-66。
- [3] 建築物隔震設計規範說（2002）。中華民國內政部國土管理署。
- [4] 建築物耐震設計規範及解說（2005，2011）。中華民國內政部國土管理署。
- [5] S. J. Wang, J. S. Hwang, K. C. Chang, M. H. Lin, B. H. Lee. (2013). Analytical and experimental studies on mid-story isolated buildings with modal coupling effect. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 42(2), 201-219.
- [6] S. J. Wang, J. S. Hwang, K. C. Chang, C. Y. Shiau, W. C. Lin, M. S. Tsai, J. X. Hong, Y. H. Yang. (2014). Sloped multi-roller isolation devices for seismic protection of equipment and facilities. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 43(10), 1443-1461.



張國鎮 小檔案

臺大土木系名譽教授。臺大土木系畢業，於紐約州立大學水牛城分校取得碩士及博士。指導 20 多位來自美國和臺灣的博士生和 120 多位碩士生。曾任臺大土木系主任及國家地震工程中心主任，在職期間完成臺大土木工程研究大樓與國震中心南部實驗室。張教授長期以來從事結構及地震工程之教學、研究及推廣應用，其研究內容聚焦於建築物和橋梁的地震工程及多重災害相關，特別是在隔減震結構、橋梁耐震設計、結構健康監測診斷系統的開發與應用等方面。此外，他亦參與了臺灣建築物及公路、鐵路橋樑耐震設計規範的制定。

游忠翰 小檔案

國家地震工程研究中心副研究員