

誰說房屋非得緊抓地面？—淺談建築基礎隔震

文·圖—王哲夫

前言

兒子正在讀幼兒園大班，某晚我如常準備看他的聯絡簿，發現書包裡多了一本建築相關的繪本，內心頓時冒出：「哦？我倒想看看幼兒園怎麼教建築？」的念頭。繪本在我手中攤開，裡頭如預期般介紹了許多世界著名地標，放進了三隻小豬的故事。繪本作者很有企圖心，從臺灣常見的鋼筋水泥建築如何從打地基、架模板、綁鋼筋、梁柱灌漿，乃至砌磚牆等等一一介紹，也用了一幅幅的圖畫交代了經過。最令我印象深刻的是，繪本用「樹根」，來比喻房屋的「基礎」，強調「基礎必須像樹根一樣緊抓地面，才不會在颱風和地震中倒塌」，一時之間我眉頭一皺，「愛找碴」的職業病又再度犯了起來。

初聞「隔震」

事實上，直到我大學就讀土木系，「房屋基礎與地面牢牢固定在一起」的概念都還根深蒂固，課堂上的教學也很典型：房屋受力愈大，就想辦法讓房屋強壯一點；基礎不穩，就打深一點，以剛克剛。直到大四那一年，系上專題演講請到「臺灣工業技術研究院」（今臺灣科技大學）蔡相全教授談「建築基礎隔震」，我才知道原來對付地震也可以「以柔克剛」。進入研究所後，因為對地震的好奇而開始了房屋減震的研究，在一次研討會中又看見臺大土木系林聰悟教授談「讓房屋在滾筒上滾動」的隔震概念。從此心中對這個或許是人類歷史中最早實現的「非典型」建築抗震法有了更清楚的輪廓。

什麼是「隔震」？

「隔震」，字面上看起來就是「把建築與地面之間隔離」的概念，用意是把震動來源阻絕於建築之外。

什麼樣的方法可以阻絕地震？一種方式是在房屋底部製造滑動或滾動面；另一種方式，是在房屋底部與地面間用柔軟又吸能的材料連接，兩種方式都可以減少房屋與地面之間的連動，由隔震層的運動變形消耗掉大半能量來減少建築本身的受力，達到隔震的效果。（圖1）

地表最古老的「隔震」建築

很難想像看似新概念的「隔震」，實際上至少在2500年前就已實現，出現地點正是位於中亞強震帶的伊朗。那約莫是公元前550年，當時的古波斯帝國為開國國王居魯士大帝所建造的墓室（Tomb of Cyrus The Great）（圖2）。建築師先在地面以石灰岩砌出一個大廣場，再把表面磨平使之光滑，而墓室建築就直接安放在平滑的廣場上，並未像一般建築牢牢固定於地面。可以想像，當地震來襲，廣場隨大地水平來回移動時，墓室底部因為滑動，結構體本身就不會隨地震的節奏起舞。如今躺在墓室裡的居魯士大帝遺體早已不復存在，但墓室建築歷經多次大地震至今仍然屹立不倒，地表現存最古老的隔震建築，非它莫屬。

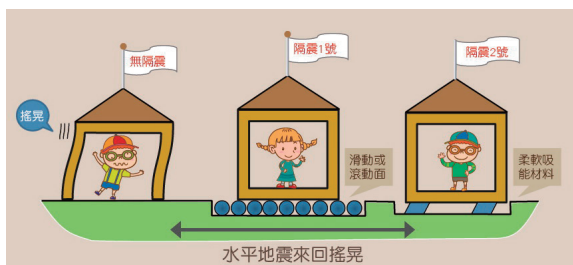


圖1 建築隔震方法和效果略圖



圖2 古波斯國王居魯士大帝的墓室—現存最古老的隔震建築（照片來源：維基共享資源 Truth Seeker 的作品）

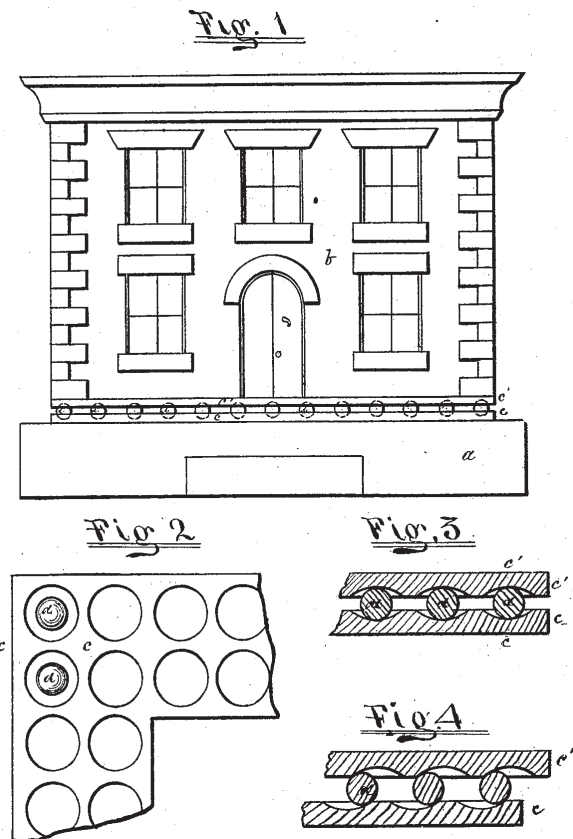


圖3 建築「曲面滑動」隔震概念。Fig.2為隔震層橫面，Fig.3和Fig.4為隔震層立剖面。摘自美國專利US99973A，發明人：Jules Touaillon，日期：1870年2月15日。

隔震最擔心的事

我拿著一塊大墊板，在上面放了一個用樂高積木拼起來的房子模型，當場把墊板左右晃動了起來，然後告訴兒子：「你看！這樣房子也不會倒！」原本等著他抱以「哇！好厲害」的眼神來回應，沒想到，他卻淡定地指著房子回答我：「可是，房子都會亂亂跑耶！」。

沒錯，隔震的基本問題連小孩都看得出來，正因基礎沒有抓住地面，像居魯士大帝墓室這樣的「平面滑動」隔震，一旦起了作用，地震結束後，墓室勢必也會跟著「搬家」。這樣的結果對於有很大廣場的居魯士墓室來說自然不成問題，試想在人口密集的都市裡，如果左鄰右舍的房子都像積木一樣平放在地面，地震一來，縱使隔震救了房屋，但房子「打滑、甩尾」，難保不會和鄰屋撞來撞去，地震後，馬路可能被房屋塞爆，交通大打結，不知要花多少功夫才能把房屋一個個拖回原地。

從上述的場景裡，我們大概可以理出一些端倪：也就是要在現代都市裡實現「隔震」，除了發揮隔震功能，起碼要能在地震後將房屋帶回原地，否則「相愛容易相處難」，誰敢用隔震？

現代隔震器的問世

除了居魯士大帝的墓室之外，古建築的隔震運用在全球各地是一片空白，這和「平面滑動」的本質問題是否有關已不可考，但直到19世紀終於有人提出「曲面滑動」的隔震概念來解決。圖3是一項1870年的發明，以多組上下兩個碗形曲面之間夾一顆圓球作為隔震層，如此設計不但可在水平四面八方隔震，同時曲面也可導引房屋最終回到原處。目前有一大類的隔震器便是採用此種概念，只是中央圓球用摩擦材料取代，以加速地震能量的消耗，學術上常稱為「摩擦單擺支承」。

另一種受到青睞的隔震層設計是利用「橡膠」材料，這種材料的高伸展性和回復的彈性從橡皮筋就看得出來。目前廣泛用於建築的隔震器稱為「積層鉛心橡膠支承」，英文簡稱LRB，圖4是它的內部構造略圖，這是由紐西蘭科學家威廉羅賓森（William Robinson）於1974年所發明。早期也曾用純橡膠來隔震，但橡膠受壓容易膨脹，且吸能力小，而LRB解決了這些技術問題。

全球各地已有許多隔震建築案例，日本就有約四、五千件，可說是技術最純熟、應用最為廣泛的「非典型」抗震工法之一。臺灣的隔震研究已有好幾十年，921地震之後才開始有實際應用，例如慈濟在花蓮、臺北與臺中的三所醫療大樓就是臺灣醫療隔震建築之先例，此外，臺北市災害應變中心、臺灣大學土木系研究大樓均為隔震公共建築，目前臺灣已累積四、五十件案例，有為數不少的集合住宅近幾年開始採用隔震工法。

事實上，目前的隔震器都還無法做到「完全隔震」，不過科技與時俱進、創意源源不絕，我們期待有一天會出現「終極隔震」—漂浮的房屋，解決所有地震問題。

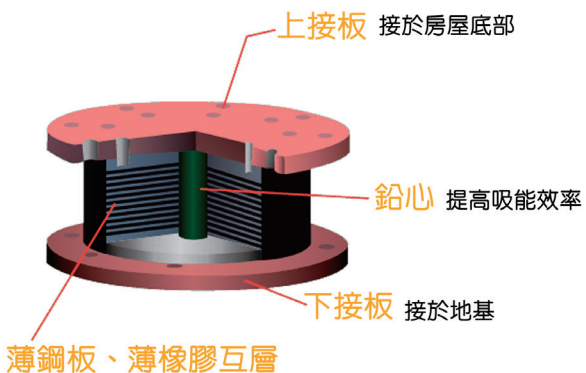


圖4 積層鉛心橡膠支承(LRB)隔震器內部構造略圖與功能說明



圖5 國內自製「積層鉛心橡膠支承(LRB)」隔震器實品（照片下方黑色部分：展示於921地震教育園區）