

減震與隔震技術—— 建築的盔甲與防護罩

汪向榮、游忠翰、林旺春

減震與隔震技術使小地震發生時我們能處之泰然，
而大地震來臨時我們不再畏懼！

房屋也有脈搏

每個人或多或少都有把脈的經驗，中醫師藉由探測脈搏了解我們的身體狀況。脈搏是每個人的身體特徵，同樣地，房屋也有脈搏，稱為房屋的自然振動周期，簡稱周期。在物理上，可用單擺來回運動一次所需要的時間來解釋周期。以老爺鐘為例，當鐘擺由最左側擺動到最右側時，秒針會跳動一秒，接著再由最右側擺盪回最左側時，秒針又會跳動一秒，因此可以說老爺鐘的周期是兩秒。

在擺錘重量不變的單擺運動中，單擺的擺長越長，擺錘來回一個循環所需要的時間就越久，代表單擺的周期越大；反之，單擺的周期就越小。房屋的周期也有同樣的特性，越寬矮的房屋周期越小，越高瘦的房屋周期越大。周期是房屋的重要特徵，不同的房屋有不同的周期，工程師可以從房屋周期的大小推算出當地震來臨時，房屋受到的衝擊力有多大。



當地震來臨時，兩棟不同樓層的房屋會有不同的搖晃程度。(圖片來源：種子發)

想知道自家房屋周期的大小嗎？其實只要算算房屋總共有多少樓層，就可以知道自家房屋的周期了。規則型的公寓或大樓，周期大概是樓層數乘上 0.1 秒。例如，一棟 15 層大樓的周期大約就是 1.5 秒。

若建築物在設計與施工時都遵守規範的要求，就可以發揮良好的降伏行為，在較大地震時，透過降伏作用消散地震能量。

搖晃程度

假設現在有兩棟相鄰的房屋，一棟樓高 10 層，另一棟樓高 30 層，當地震來臨時，這兩棟房屋的搖晃程度會相同嗎？

回答這個問題前，讓我們先觀察一個物理現象。以剛剛的單擺為例，現在有一個堅硬的平台，下方連接著 3 個相同重量的單擺，左邊單擺沒有擺繩，直接把擺錘固定在平台下；中間的單擺擺繩長度適中；右邊的單擺擺繩非常長。依理，重量一樣的單擺，周期會隨著擺長而增加，因此可以假設左邊的單擺周期是零，中間的是 1 秒，而右邊的是 10 秒。

當平台以一個來回 1 秒鐘的周期左右振動時，擺錘會發生什麼情形呢？左邊的單擺因為直接固定在平台下，擺錘會隨著平台一起振動，平台的振幅多大，擺錘的振幅就有多大。右邊的單擺因為本身周期較振動周期大很多，當平台向右運動到達振幅時，振動尚未傳遞至擺錘，平台便已經向左回頭運動了，因此擺錘幾乎不會產生振動反應。而中間的擺錘因為周期與振動周期相同，就如同盪鞦韆一樣，當擺錘向右運動到最高點時，馬上被施加反向的力量。如此周而復始，擺錘的振動反應會越晃越大，這就是所謂的共振現象。

當然，地震並不會只以單一的周期發生，但會有所謂的主要振動周期。若是地震的主要振動周期接近 1 秒，則 10 層樓高的房屋可能會有較大程度的搖晃，而另一棟 30 層樓高的大樓，搖晃程度可能會小許多。

設計反應譜

由於每個地震的特性不盡相同，專家學者利用統計方式，以每個地區曾經發生過的地震為樣本，歸納出擁有不同周期特性的房屋在這個地區地震下的反應，也就是設計反應譜。

設計反應譜可以分為設計加速度反應譜與位移反應譜。通常周期越大、樓高越高的房屋，加速度反應越小，但屋頂相對於地表的位移反應會越大。另根據牛頓第二運動定律，力量等於加速度乘上物體質量。也就是說，房屋的加速度反應與質量越大，房屋所承受的地震力就越大。

關於全台灣各地區的設計反應譜，可以參考營建署公告的《建築物耐震設計規範及解說》第二章。

因此，透過房屋周期經驗公式，可以計算出自家房屋的周期，再對照房屋所在地區的設計反應譜，便可以初步了解自家房屋在設計時所考量的地震影響程度。

地震能量與房屋損害

試想像當用手抓住一根筆直金屬湯匙的兩端時，若只輕輕地施力彎折，湯匙會微微彎曲成一個弧度，放鬆後會回復成原先筆直的形狀。若用力彎折至超過某種限度後，湯匙會變得更彎曲，但放鬆後卻無法回復成原先的筆直形狀，而會呈現彎曲的狀態，這種現象稱為「降伏」。在湯匙降伏前，稱為彈性階段。

若把對金屬湯匙所施加的力量視為能量輸入，少量的能量輸入可以使湯匙保持

在彈性階段，然而較多的能量輸入會造成湯匙的降伏。雖然降伏的現象會使湯匙無法恢復原狀，卻能夠消散輸入的能量，即使變形卻不易折斷。

房屋就好比金屬湯匙一般，若設計與施工都遵守規範的要求，就可以發揮良好的降伏行為，在較大地震時，透過降伏作用消散地震能量。

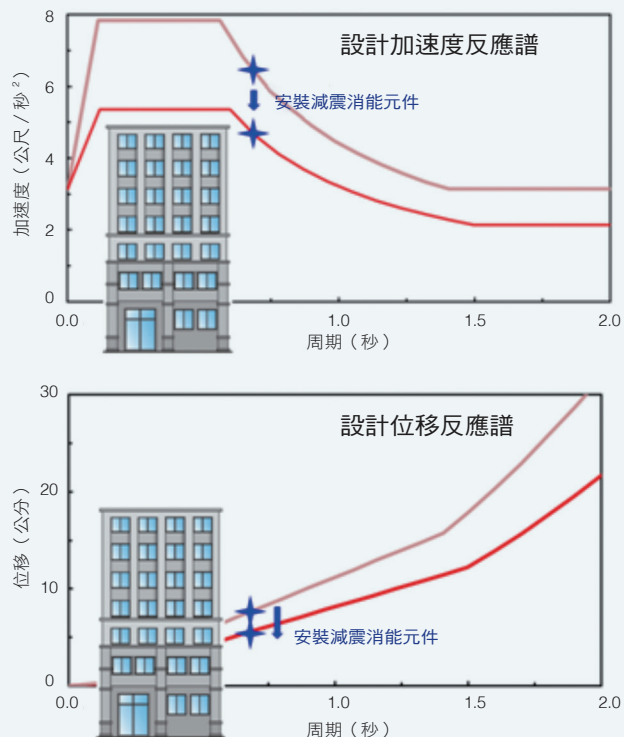
由於房屋在地震作用下，本身的梁、柱、牆、樓板以及非結構元件間會因彼此輕微撞擊或摩擦而消散小部分的地震能量，再加上材料本身反覆的彈性變形，也可以消散一小部分的地震能量，這種房屋本身的基本消能機制稱為結構物的固有阻尼。

房屋透過降伏作用可以大量消散地震能量，卻會造成結構的永久變形，通常以結構牆、梁柱開裂的形式顯現，稱為房屋的損害。一旦地震能量輸入超過降伏所能夠消散的限度時，房屋便會嚴重破壞。

建築物的減震技術

建築物減震便是利用安裝在房屋結構上的減震消能元件（或稱阻尼器），在地震過程中產生額外的消能作用，以降低房屋結構所承受的地震能量。加裝了阻尼器的房屋，當地震能量輸入時，可以與房屋結構的固有阻尼共同消散地震能量，不但減低了搖晃程度，更不容易使房屋結構降伏而造成損害。若從設計反應譜來看，裝設減震消能元件的房屋確實可以降低不少加速度及位移反應。

減震消能元件可區分為速度型與遲滯型。速度型消能元件的出力會隨著速度增加而提升，速度越快能夠消散的能量就越多。最典型的就黏滯型阻尼器，除了有絕佳的消能能力外，由於黏滯型

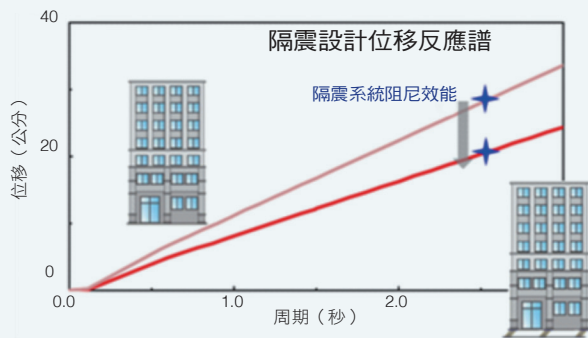


一棟位於嘉義市東區 7 層樓的房屋，安裝減震消能元件後，預期的減震效果。

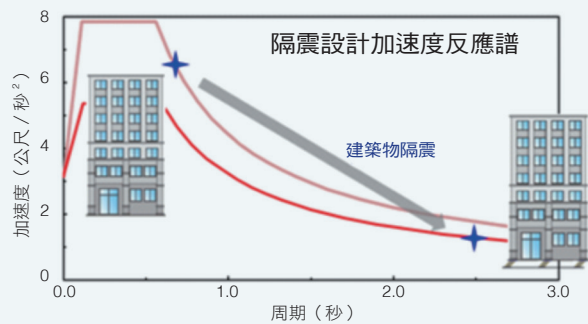


安裝在房屋結構上的黏滯型阻尼器

阻尼器的出力只與速度有關，結構物在地震過程中，阻尼器發生最大出力的時間與結構物梁柱受力最大的時間不同，因此在阻尼器運動過程中，不會帶給結構物額外的負擔。



一棟位於嘉義市東區 7 層樓的房屋，進行隔震後的效果。



另一種典型的速率型消能元件是黏彈性制震壁，通常以類似於牆壁的形式安裝在屋內，好處是不會占用額外的空間，且易於透過室內裝修隱藏。與黏滯型阻尼器不同的地方，在於它不只與速度相關，也與位移有關，位移越大，制震壁的出力就越大。因此，近年來常應用於高樓中，同時消散地震能量與抵抗風力。

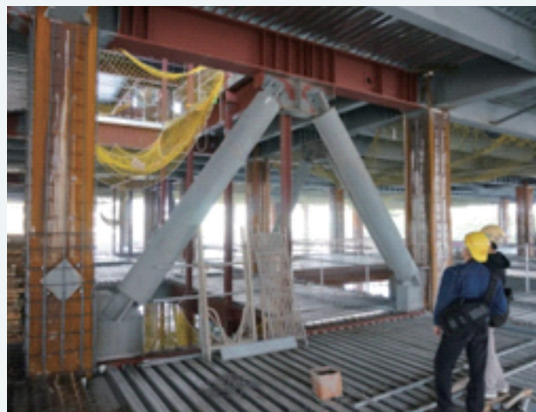
遲滯型元件的消能機制多以金屬材料的降伏行為消散地震能量，也可以做為房屋的主要結構系統。最典型的便是挫屈束制斜撐，在地震作用下，透過拉、壓的反覆降伏消散大量的地震能量。

建築物的隔震技術

相較於減震技術，隔震技術的特色是在地震能量輸入至上部主體結構前，便透過隔震系統隔離了大部分的地震能量。隔震系統是指安裝在上部結構物的下方，由隔震支承墊以及消能機制共同組成的地震能量隔離系統。隔震系統就好比是一個較一般結構柔軟的樓層，在地震時變形並且吸收絕大部分的輸入能量，因此通常把隔震系統所在的位置稱為隔震層。隔震系統可以



安裝在房屋結構上的黏彈性制震壁



安裝在房屋結構上的挫屈束制斜撐

設計於建築物的底部，稱為基礎隔震建築，也可以設計在低樓層位置，例如 1 樓樓頂，稱為中間樓層隔震建築，都可有效保護上方的建築物。

隔震系統的原理可以透過一個極端的例子來解釋。滑板是一種很常見的運動或娛樂器材，想像一下，當地震來臨時，你剛好站在滑板上，地表的震動會使滑板輪子與地表產生相對的滾動，而站在滑板上平衡感很好的你，便不會感受到任何震動。隔震建築物也是如此，隔震層上方的結構物就好比是站在超大型滑板上，而隔震系統便是滑板的輪子，在地震能量輸入至建築物前，便已經由輪子把地震能量隔離了。

若從設計反應譜來看，安裝隔震系統的房屋會大幅增加，因此在加速度反應譜上可以看到加速度明顯降低。另一方面，由於房屋的周期大幅增加，隔震系統的變位也會隨之增加，這時就要透過隔震系統中隔震支承墊本身的消能能力或配合其他消能元件，以增加阻尼的方式降低隔震系統的變位反應。

隔震支承墊可分為橡膠類、滑動類、滾動類。橡膠類隔震支承內部如同蛋糕一般，以一層橡膠一層鋼板堆疊而成，因此又稱為積層橡膠支承。天然橡膠支承可以透過額外的加工賦予較高的消能特性，例如在橡膠支承中央擠入鉛製圓柱，使支承在變形的同時也可以透過金屬的降伏行為增加消能能力，稱為鉛心橡膠支承。另外，透過對橡膠材料的改良，可以增加橡膠本身的消能能力，稱為高阻尼橡膠支承。台



正在進行試驗中的橡膠類隔震支承



摩擦單擺支承

灣現有的隔震建築中，以採用橡膠類隔震支承的居多。

滑動類與滾動類隔震支承，顧名思義就是透過滑動或滾動的方式達到隔震的目的。就滑動類隔震支承而言，最常見的便是摩擦單擺支承。透過下支承版的金屬曲面，承接上方金屬球面，同時負荷上部結構物的重量，使整體隔震結構類似於單擺。滑動類隔

減震或隔震技術沒有孰優孰劣的分別，在良好的設計與施工下，都可有效提升房屋的耐震性能，讓我們不用懼怕地震。

震支承需要特別注意的地方是上下版接觸的滑動面，接觸面必須具有較低、穩定的摩擦係數，且必須具備抗刮、耐久的特性，這是隔震成敗與否的重要關鍵。

滾動類隔震支承的運作原理，是以滾軸或滾珠取代滑動類隔震支承的金屬接觸面。優點是滾動的運動方式僅會產生微小摩擦力，缺點是滾軸或滾珠的承壓面積較小，無法承載過大的重量。目前，在台灣隔震建築的應用案例較少，但已廣泛應用於重要設備的隔震。

俗話說：「水能載舟，亦能覆舟。」減震或隔震技術沒有孰優孰劣的分別，在良好的設計與施工下，都能有效提升房屋

的耐震性能，讓我們可以安心居住與工作，不用懼怕地震。但若設計不當、施工不慎，或採用品質不良的隔減震元件，就可能成為房屋在地震中的弱點。

汪向榮、游忠翰、林旺春
國家實驗研究院國家地震工程研究中心

