

第五章 地震工程科技

- (一) 地震工程科技簡介
- (二) 減震技術
- (三) 隔震技術
- (四) 電腦在地震工程上的應用
- (五) 建築物耐震設計規範
- (六) 建築結構的耐震補強

(一) 地震工程科技簡介

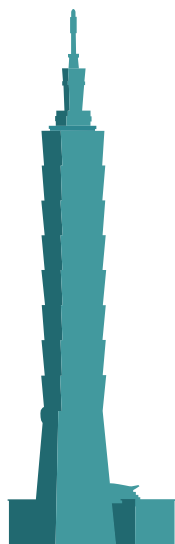
板塊運動使全世界許多國家與地區，同樣面對地震隨時來襲的威脅，各國政府莫不謹慎因應，擬定相關防震救災計劃。另一方面，都市發展下，越來越多人口集中於都市，促使建築物越蓋越高、交通道路日易繁忙、橋梁與管線日易複雜。因此，地震工程科技必須不斷地提升，以因應更多樣、更有效的地震安全需求。



臺北新光大樓
高244.2公尺
1993年完工



高雄85大樓
高347.5公尺
1997年完工

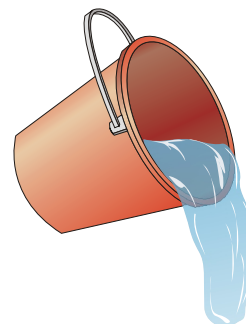


臺北101大樓
高508公尺
2004年完工

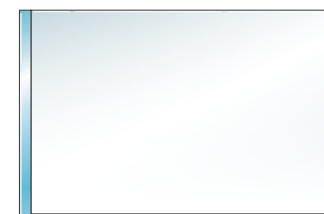
地震工程科技涵蓋的層面很廣，除了建築物的耐震科技之外，還包括橋梁、電廠、鐵路、醫院、自來水、瓦斯管線等耐震技術，以及利用電腦運算技術快速評估地震災情，以便在最短的時間內提供救災資訊等。大體而言，凡能減輕震災程度，迅速恢復社會機能的工程技術和資訊傳播，都屬於地震工程科技的範疇。本手冊僅偏重新興的建築技術介紹。

■ 樓房建築耐震原理

地震震度與建築耐震能力，可用水桶和水族箱來類比：水桶中的水如同地表震動能量，水越多，震動能量越大；水族箱的容量如同建築的耐震能力，容量越大，耐震能力越大。下文藉水桶與水族箱的關係來說明耐震建築、不耐震建築、減震建築、隔震建築、補強建築等原理。



水桶裡的水代表地震的能量

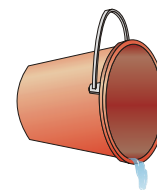


水族箱的容量代表建築的耐震能力

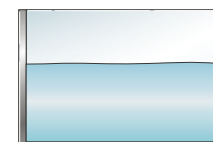
● 耐震建築

如同水族箱容量夠大，即使水桶中的水倒盡，水也不會溢出水族箱。耐震建築是依據新版規範興建的，建築具高標準的耐震能力，大地震發生時，建築不會輕易倒塌。

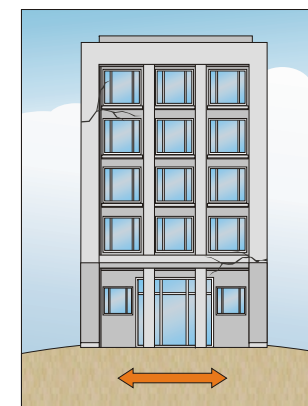
地震能量



建築物耐震力



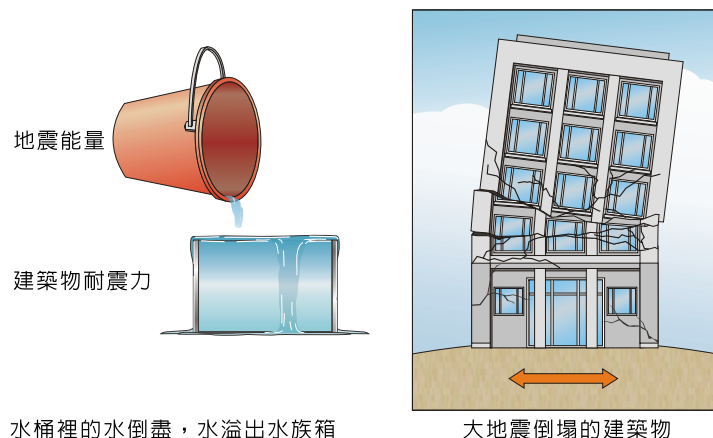
水桶裡的水倒盡，水不會溢出水族箱



大震不倒的建築物

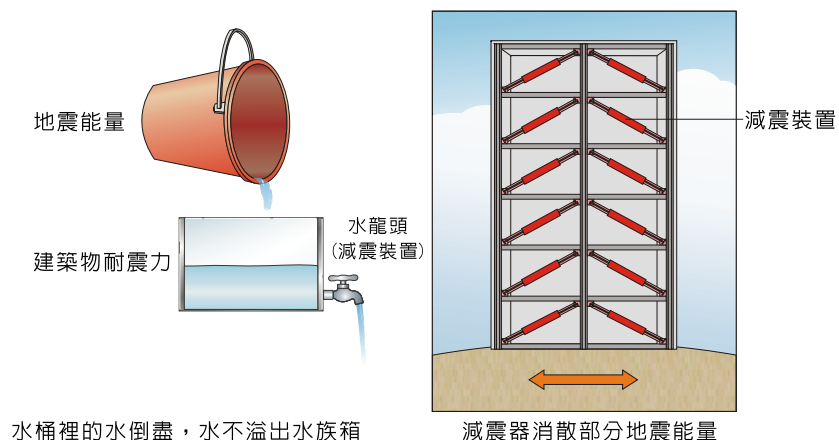
● 不耐震建築

如同水族箱的容量過小，水桶中的水倒盡時，水會溢出水族箱。不耐震建築會在大地震時倒塌，不耐震的原因可能是施工不良，或者是興建當時的規範標準較低。



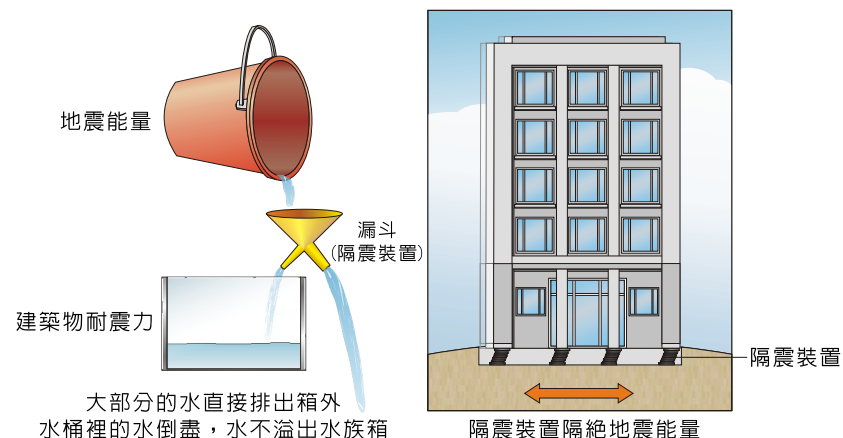
● 減震建築

在水族箱底部裝設一個水龍頭，桶中的水倒入時，同時將水龍頭打開，水龍頭的排水功能減緩水位上升速度，水溢出箱外的機率極低。加裝減震裝置的建築，如同水族箱加裝水龍頭一樣，發生大地震時，減震裝置可以消散部分的地震能量，減小建築的振動。



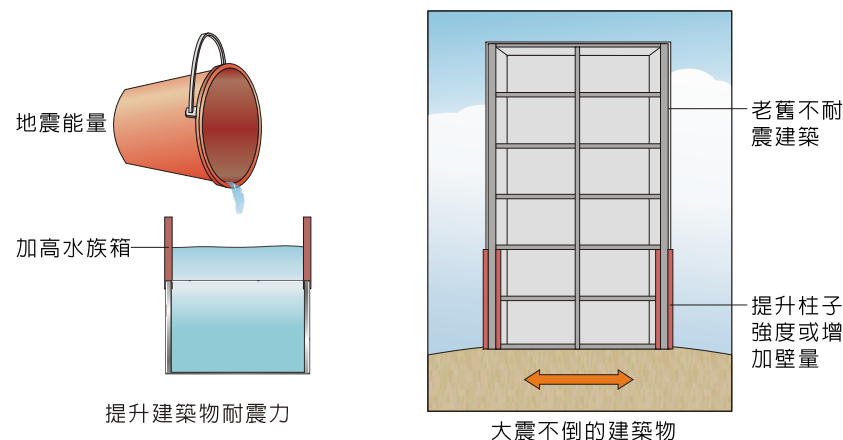
● 隔震建築

水族箱上方加裝雙導管漏斗，水桶裡的水倒入水族箱時，大部分的水從粗導管直接排掉，僅有少部分經由細導管進入水族箱，因而水溢出箱外的機率極低。隔震裝置對建築的功用，如同雙導管漏斗，能過濾掉大部分的地震能量，大幅減輕地震對建築物的衝擊。



● 補強建築

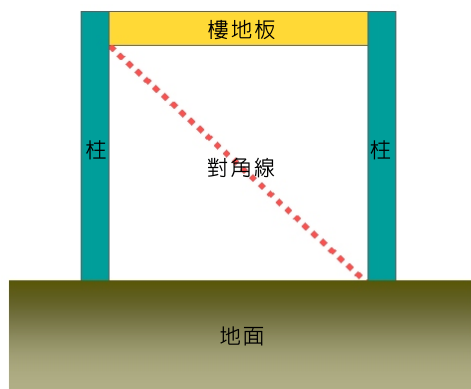
如果現有的水族箱容量過小，但卻不想丟棄時，可以加深水族箱的深度，以增加蓄水量。舊建築也一樣，如果不合於現在的耐震標準，可在專業技師檢查評估後，選擇合適的補強方法，提高舊建築的耐震能力。



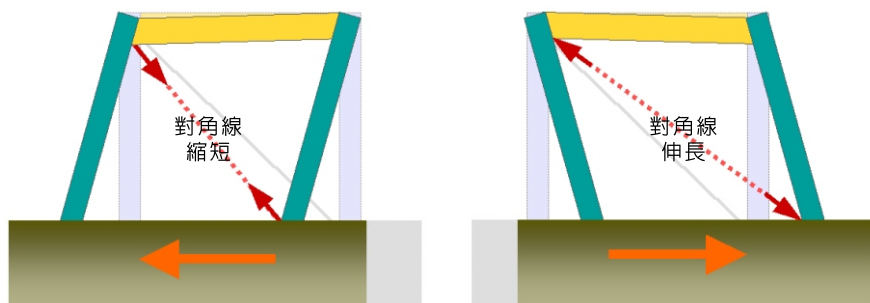
(二) 減震技術

■ 減震器的功用

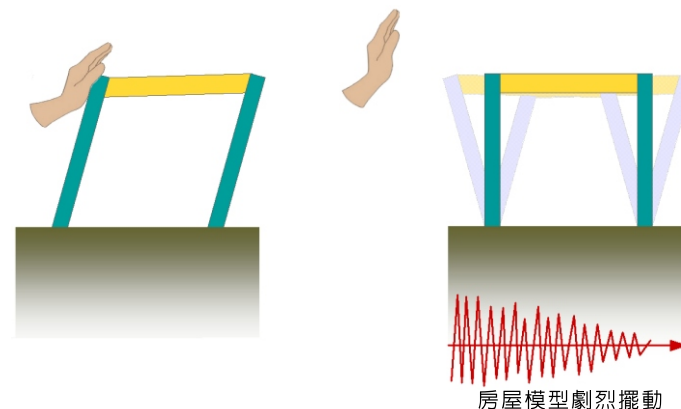
樓房建築的樓地板和柱，構成如圖的方形空間。當樓房靜止時，對角線長度保持不變。



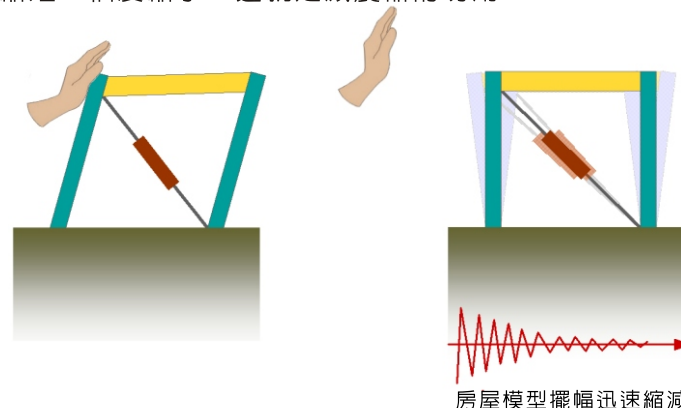
地震時建築擺動，原本的方形空間變成菱形，對角線的長度因而縮短或伸長。



以手側推房屋模型，然後迅速釋放，模型將左右擺動，對角線的長度隨著擺動而縮短或伸長。



在模型的對角線上裝上一根斜撐，斜撐上有一個可以吸收振動能量的「減震器」，相同側推之後迅速釋放，模型仍會晃動，但是晃動的時間縮短、幅度縮小，這就是減震器的功用。

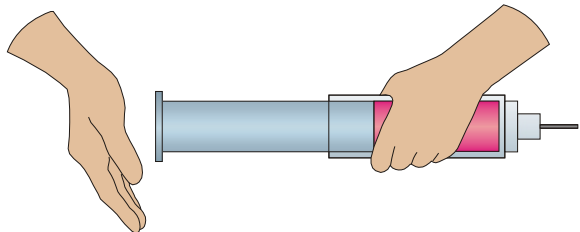


地震時，建築物可藉由減震器的運動，吸收部份的結構振動能量，達到減震效果。減震器依材料狀態，大致分為油壓減震器與鋼板減震器兩種，一般而言，油壓減震器的減震消能與材料的流動速度有關，鋼板減震器的減震消能與材料的變形大小有關。

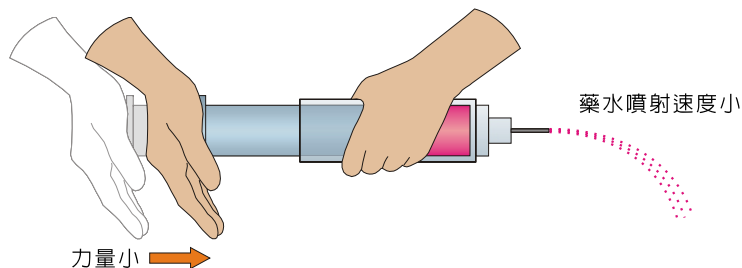
■ 油壓減震器

油壓減震器又稱為「油壓阻尼器」，這種減震器內部填充黏稠的液狀材料，運動方式與針筒類似。

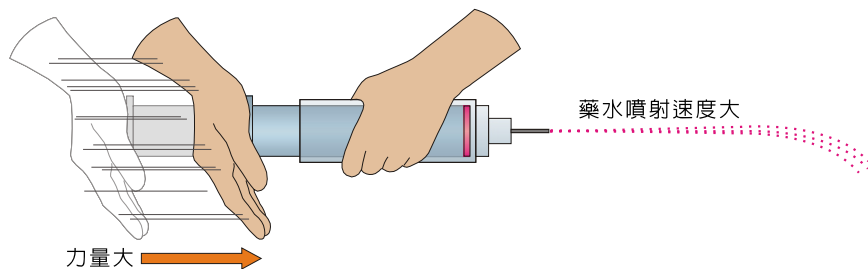
不推擠針筒的活塞時，針筒內的藥水不會流動。



如果輕輕推擠針筒活塞，活塞以緩慢的速度前進，藥水以較低的速度從針孔噴出。



如果用力推擠針筒活塞，活塞會以較快的速度前進，藥水噴出的速度大。推動活塞時，針筒因應這個推力產生反作用力，以減緩外力對針筒的衝擊，這股反作用力稱為「**阻尼力**」。想要讓活塞移動得愈快，所需的推力愈大，相對應的阻尼力也愈大。

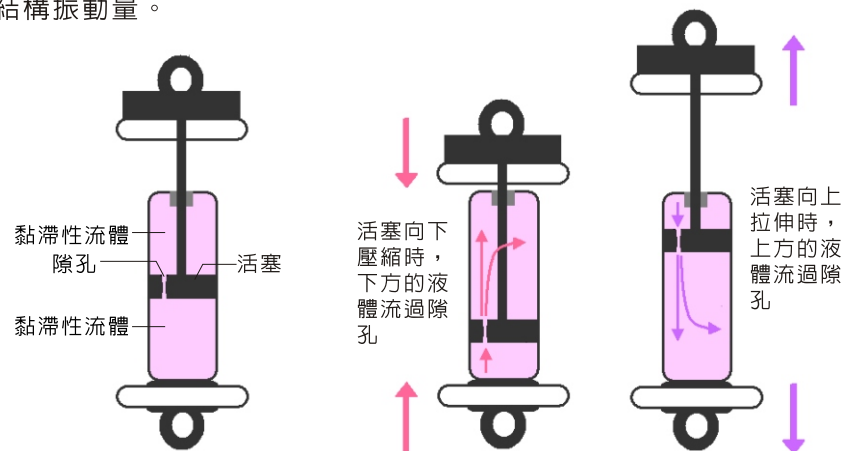


將原理類似針筒的油壓阻尼器，裝置在建築物的斜撐上，地震導致建築變形時，斜撐會拉壓阻尼器，使阻尼器產生阻尼力，阻擋結構變形，並吸收結構振動能量。



裝置在大樓裡的油壓
阻尼器

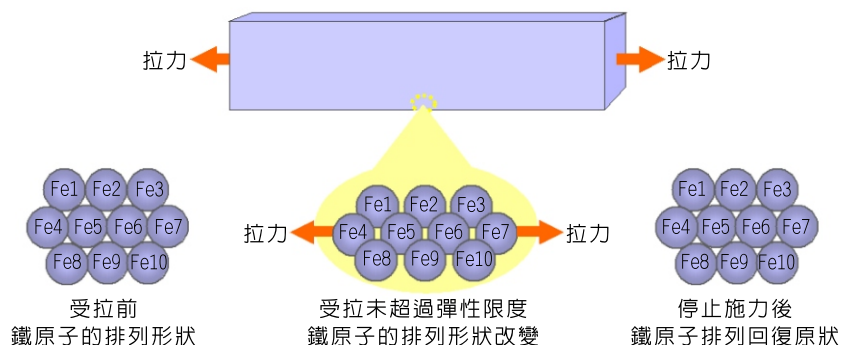
油壓阻尼器的正式學名為「流體黏滯阻尼器 Fluid Viscous Damper」，其構造是在一個附有活塞的圓筒中，填入黏滯性的流體。當活塞前後運動時，黏滯性流體會快速通過活塞的隙孔，流體因摩擦而增溫。在活塞前後運動的過程中，結構的動能會轉換成流體的熱能，因而減少結構振動量。



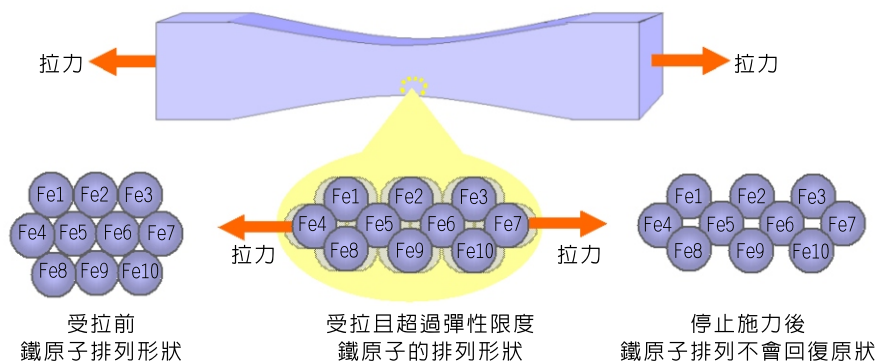
流體黏滯阻尼器的構造與運動

■ 鋼板減震器

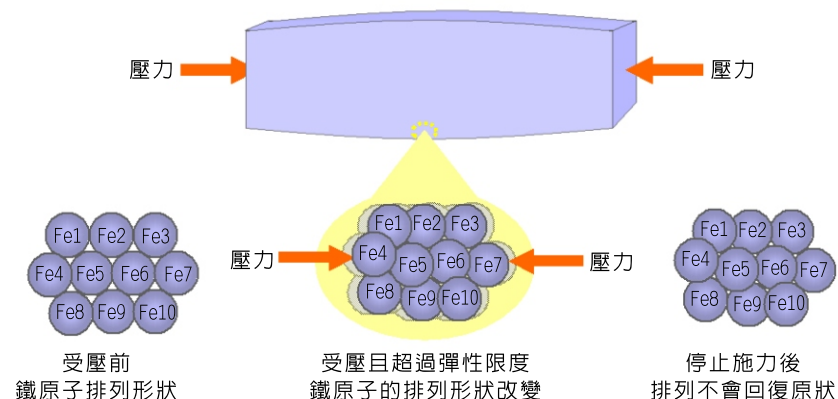
長條形鋼材承受拉力而伸長變形時，如果「變形程度」沒有超過材料的「彈性限度」，當停止施力後，鋼材會回復成原來的長度，鐵原子回復成原本的排列形狀。



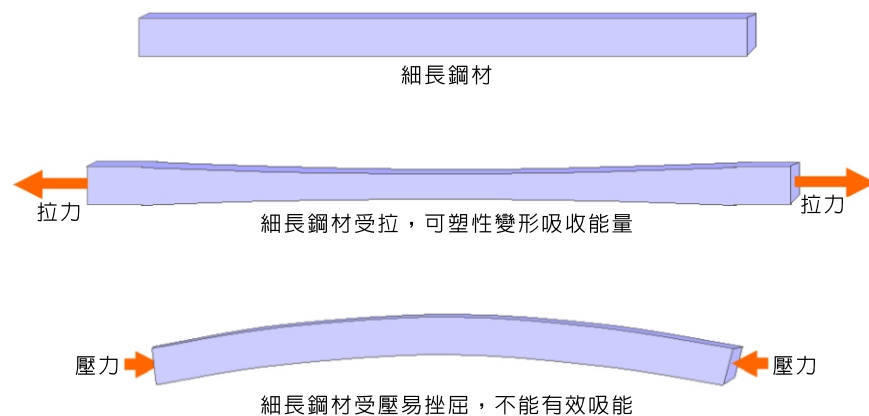
如果鋼材承受更大的拉力，以致超過材料的彈性限度，拉力所作的功，會轉換成永久改變鐵原子排列形狀所需的能量。之後即使停止施力，鋼材也不會回復成原本的模樣，而永久變形，這種現象就稱為**塑性變形**。鋼材的塑性變形，能發揮吸能減震的功用。



鋼材受壓超過彈性限度時，也會發生塑性變形，之後即使停止施力，亦無法回復到原本的長度。受壓鋼材的塑性變形，同樣具有消耗外部能量，吸能減震的功能。



如果換成細長的鋼材作實驗，受拉超過彈性限度時，細長鋼材會發生塑性變形而吸能，但受壓時卻容易挫屈，不能有效吸能。

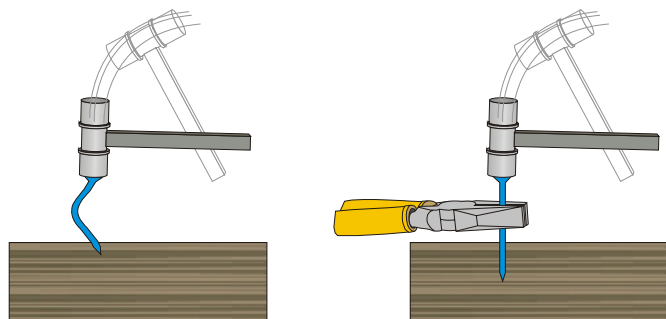


為避免細長鋼材過早挫屈，可外加「束制」固定，束制的範圍越大，細長鋼材越不容易挫屈。鋼材承受壓力時，能塑性變形吸能減震。



受到束制的細長鋼材，回復塑性變形能力，可發揮吸能減震的效果

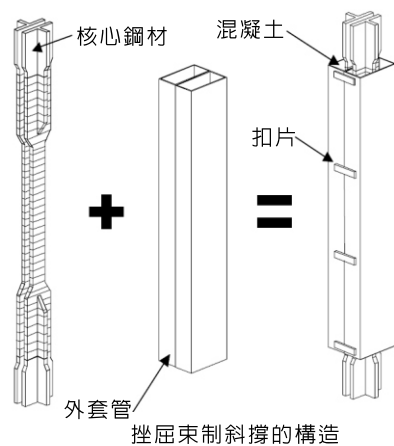
挫屈與束制的關係，也可從鎚打釘子的生活經驗觀察得到：



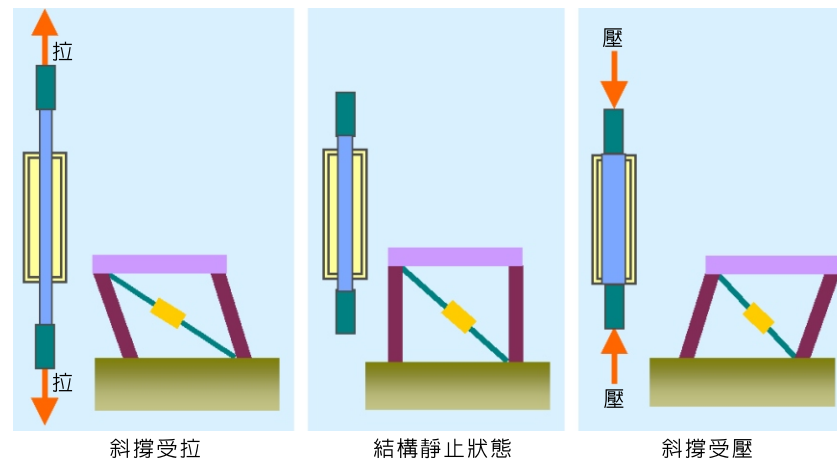
細長的鐵釘，
鎚擊易挫屈

老虎鉗夾固後再鎚擊，
鐵釘不挫屈

挫屈束制斜撐 (BRB, Buckling Restrained Bracing) 是鋼板減震器的典型代表，其構造是在核心鋼材的外圍加裝外套管，並填入混凝土，防止核心鋼材受壓而挫屈。



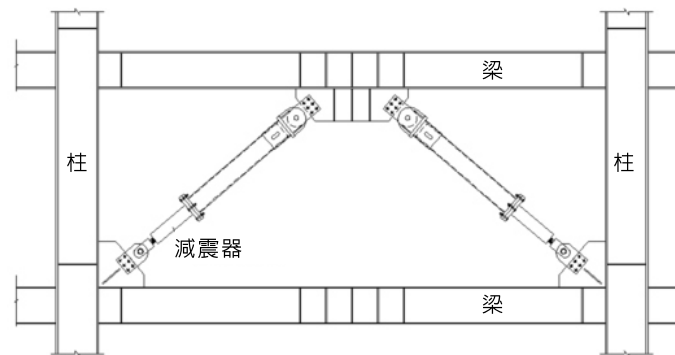
挫屈束制斜撐的核心鋼材受拉力或受壓力，經由伸長或縮短的塑性變形過程，吸收結構振動能量，發揮減震的功能。



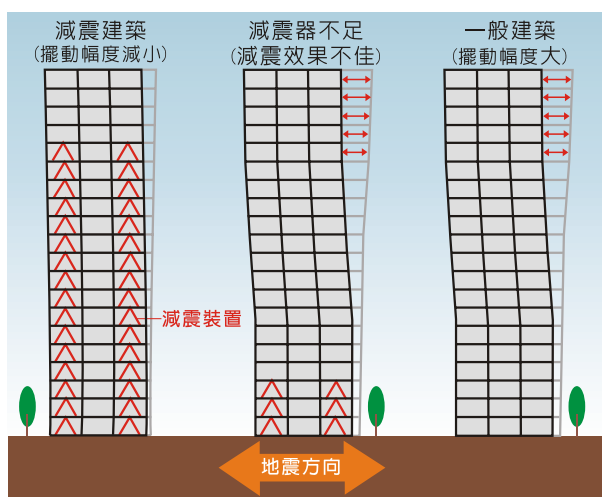
■ 減震器的應用與限制

藉由建築構架的變形過程，減震器吸收建築物的振動能量，達到結構減震的效果。如果建築構架過於剛硬，地震時構架變形微小，減震器也就無法發揮效用，而淪為裝飾品。因此，減震器在應用上，高樓建築比低矮樓建築常見，鋼骨建築比鋼筋混凝土建築合適。

減震器裝設在梁柱構架中，其裝設方式不僅限於單一斜撐，也可採用V型或倒V型的配置，至於採用哪種方式較恰當，則與建築空間的動線和門戶的安排有關。



建築結構的減震效果，與減震器安裝的數量和位置有關。如果僅在一兩個樓層裝設，減震效果微小。一般來說，一棟建築至少要有二分之一以上的樓層安裝減震器，才能達到減震效果。

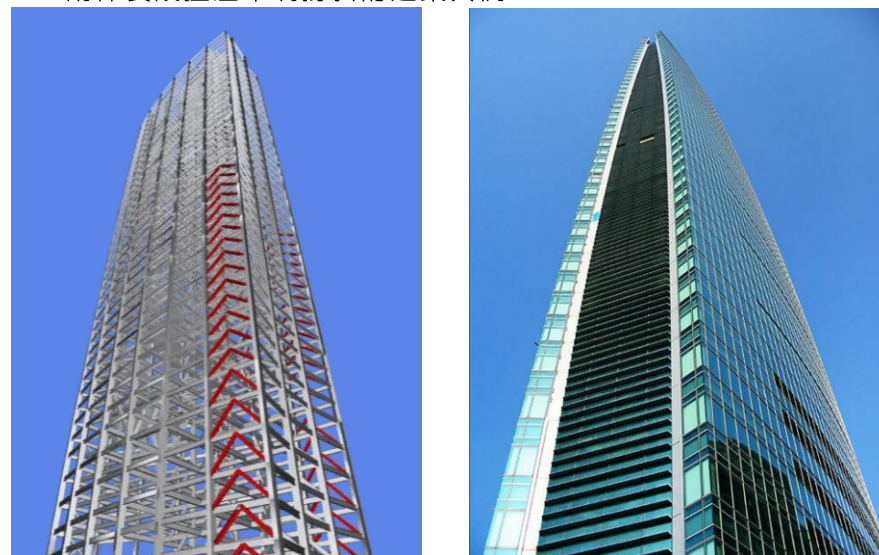


減震器通常不是建商自行製造，而是像鋼筋、水泥一樣，由建商向供應商採購，建商應驗證供應商所售的減震器確實符合設計需求，方式是抽取減震器樣本，委託大型實驗室進行測試。

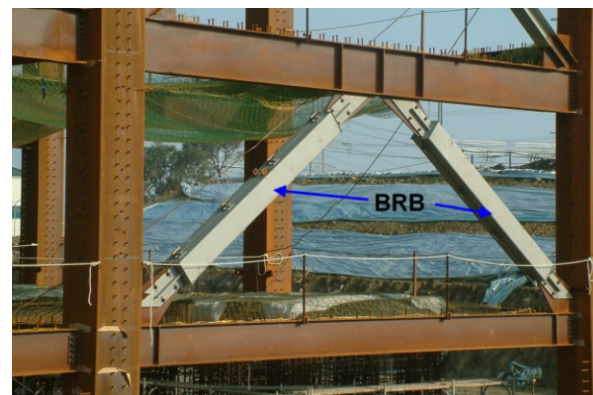


國家地震工程研究中心實驗場，正進行的斜撐減震器試驗

兩棟裝設挫屈束制撐斜的建築實例：



臺中市一棟金融大樓的減震器分佈與建築外觀



臺電高港超高壓變電所，裝置「挫屈束制斜撐」減震器

■ 油壓阻尼器在超高大樓的抗風減振應用

地震具有瞬間破壞超高大樓的力量，而風勢則能使超高大樓不停擺動，讓大樓裡的人產生暈眩、噁心等不舒服的感覺。多地震、多颱風的臺灣，設計超高大樓時，必須同時考慮這兩項自然環境因素。

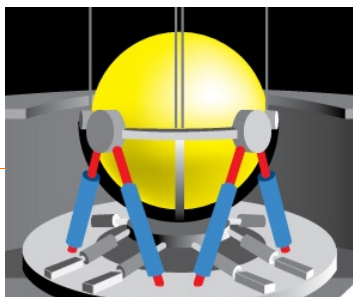
颱風來襲時，超高大樓承受劇烈變動的風壓，而產生強烈晃動。根據工程計算，三、四十層樓以上的大樓在設計時，風力所造成的舒適度考量，已經超越地震力的考量。

欲提升大樓在強風吹襲中的舒適度，固然可加粗柱子的尺寸，提升超高大樓的剛硬度以減輕大樓的晃動，但如此一來，使用空間上頗不經濟。那麼臺北101大樓是如何抗風減振呢？

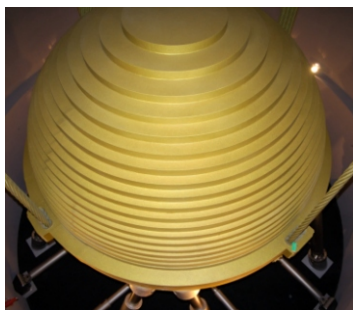
101大樓92樓到87樓之間，以12公尺長的纜索，懸掛了一顆重達660噸的質量塊。纜索的上方固定在92樓，下方的質量塊則垂掛在87樓處，並且以8支阻尼器與樓板連接，組成單擺式的「調諧質量塊阻尼器減振系統，（Tune Mass Damper）」。



臺北101大樓

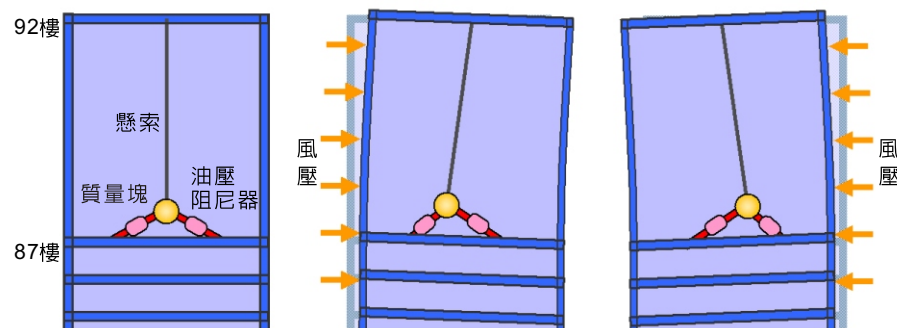


頂端垂掛於92樓的質量塊，以8根油壓阻尼器與87樓的地板相連



101大樓的質量塊，外型如同一顆金色的大球

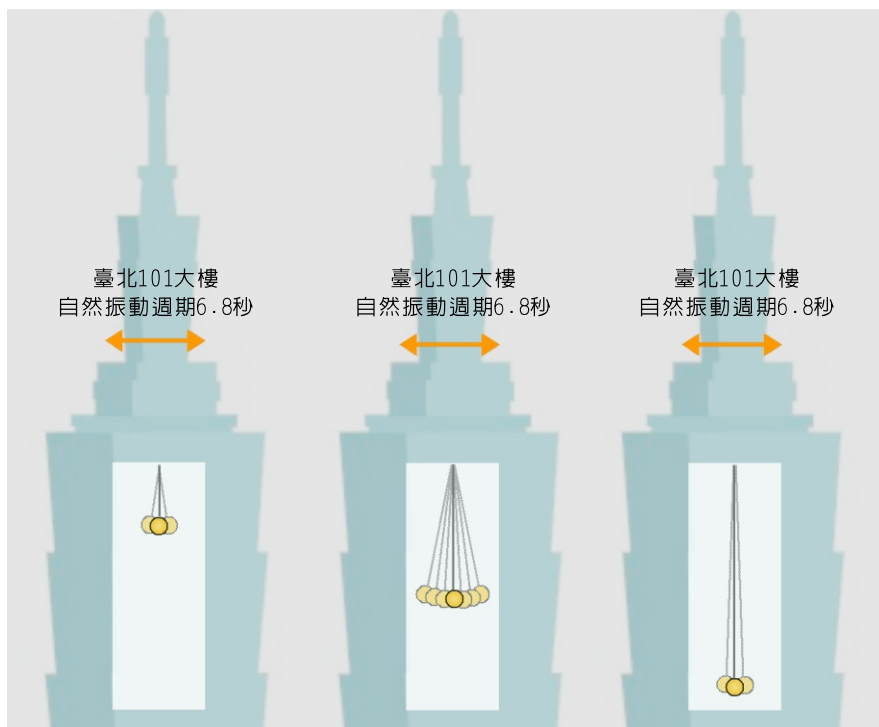
當101大樓承受風壓而擺動時，懸掛的質量塊因為「質量慣性作用」，與大樓有了相對運動，使阻尼器拉伸或壓縮。阻尼器拉伸或壓縮過程中，吸收了大樓的振動能量，減輕大樓晃動的程度。



101大樓的抗風減振系統，裝置空間多達6個樓層，許多參觀民眾都曾有相同的疑惑：為什麼質量塊的纜索不短一些，好騰出更多的營業空間呢？

事實上，101大樓的抗風減振系統，是「共振現象」的應用案例。擺長12公尺的擺錘，其自然振動週期為6.9秒，與101大樓的自然振動週期6.8秒相當接近，可形成共振。如果擺長過長或過短，則兩者頻率差異過大，將無法形成共振。

大樓與擺錘形成共振時，會產生強烈的相對運動，阻尼器因而能大幅拉伸與壓縮，為大樓吸收大量的振動能量，減輕大樓晃動的程度。如果擺長過短或過長，「共振現象」不存在，阻尼器無法大幅拉伸與壓縮，便不能為大樓晃動吸收大量的振動能量。



擺長5公尺
單擺振動週期4.5秒

擺長12公尺
單擺振動週期6.9秒

擺長20公尺
單擺振動週期9.0秒

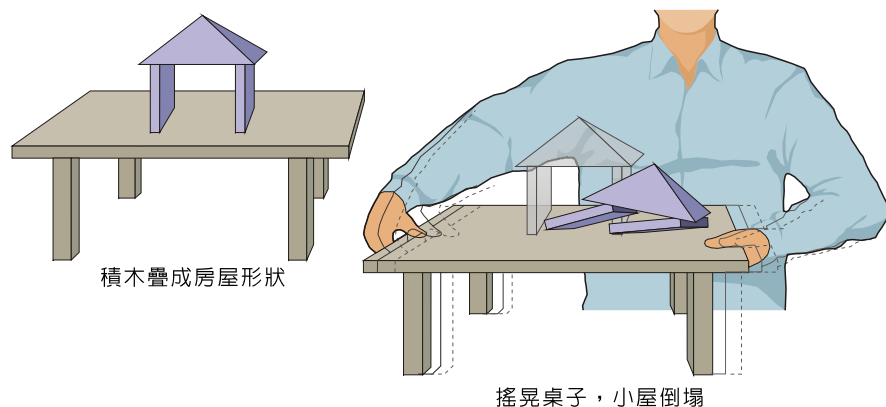
註：根據高中物理，單擺振動週期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

L 為長度(單位：m)， g 為重力加速度 9.8 m/sec^2

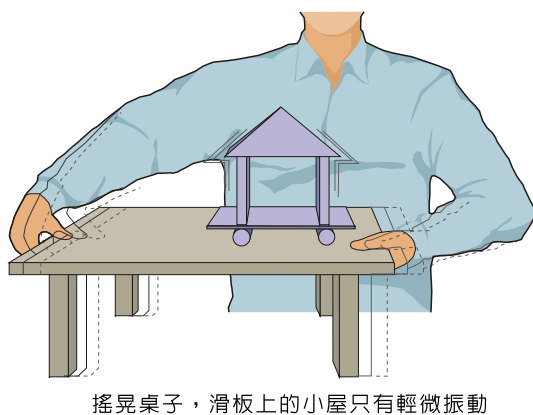
(三) 隔震技術

■ 隔震原理

將積木於桌面上疊成房屋形狀，手持桌緣左右搖晃模擬地震，小小屋因過度變形而倒塌。

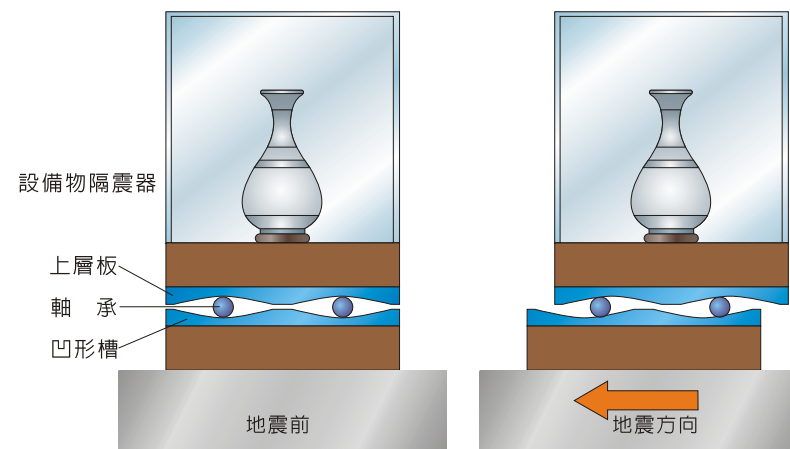


如果將小屋蓋在滑板上，手持桌緣左右搖晃，滑板在桌上滑移，小屋輕微振動而不倒塌。

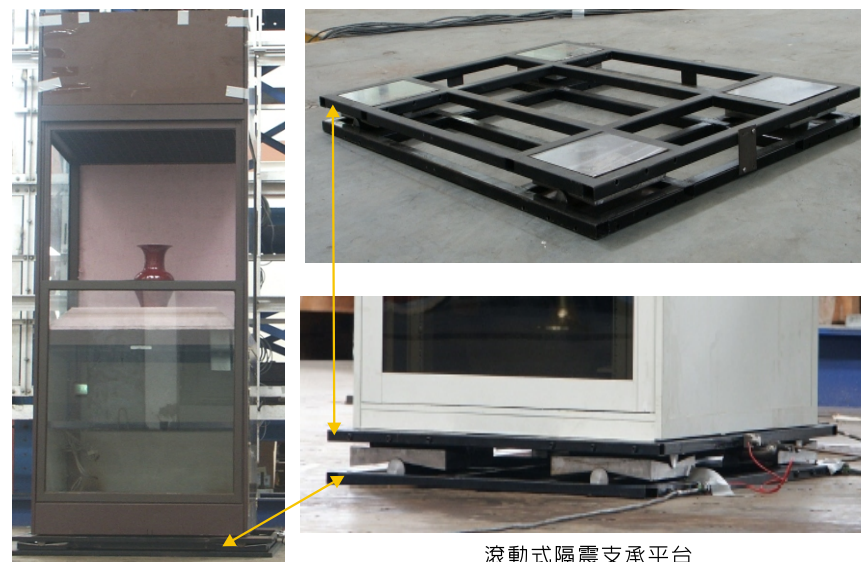


■ 設備物隔震器

工程師應用和滑板相同的隔震原理，發明「滾動式隔震支承平台」，安裝於樓地板與櫥櫃之間，以隔離樓地板的水平振動，減輕櫥櫃裡的藝術品或精密儀器設備所承受的地震擾動。

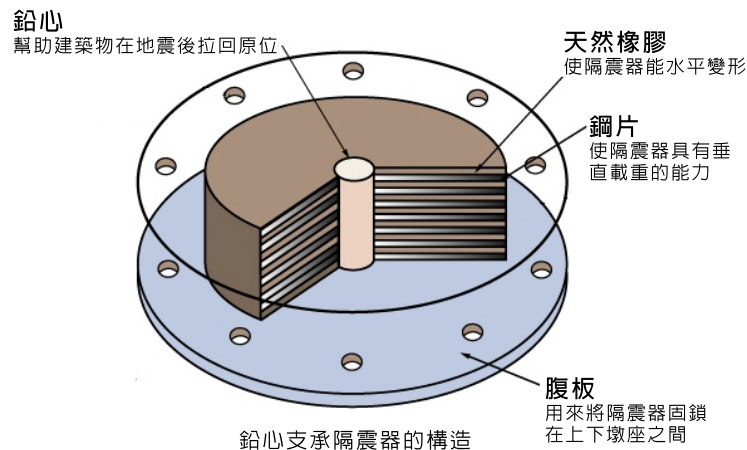


設備物隔震器能隔離大部分的地震擾動，保護櫥櫃中的珍貴物品或設備

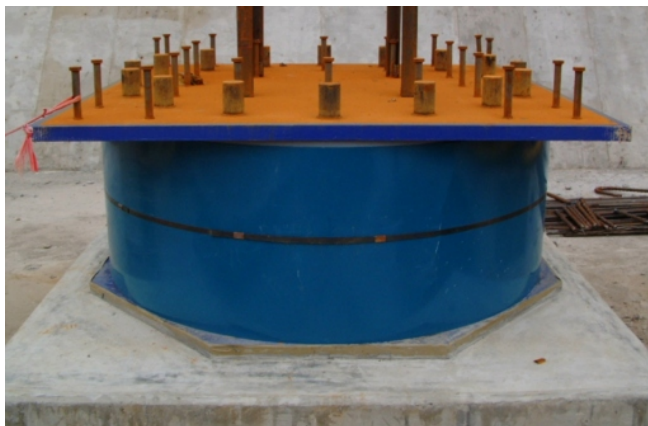


■ 建築物隔震器

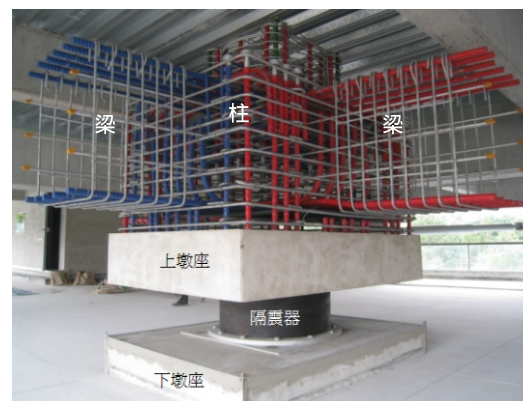
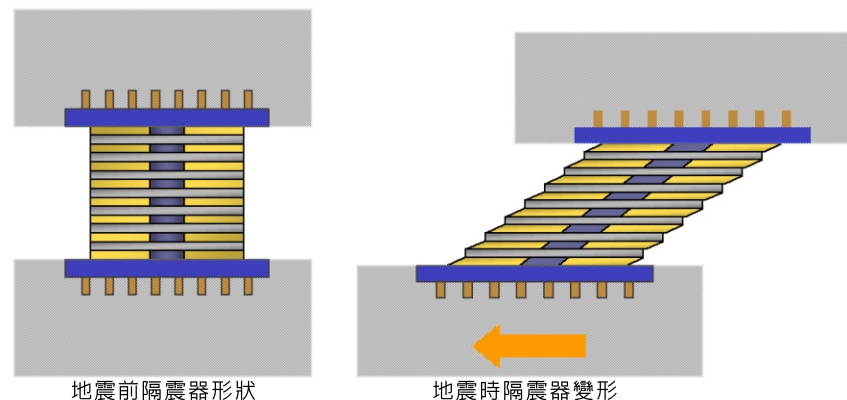
建築物隔震器通常裝置在建築物的基礎或低樓層處，隔離地表水平震動，減輕地震對建築物的擾動。「鉛心橡膠支承墊（Lead Rubber Bearing）」是最為典型的一種。



建築物隔震器裡一層鋼片一層橡膠的構造，使隔震器具備承載建築物重量的能力；橡膠容易變形的特性，則使整個隔震器產生和滑板類似的效果，因而減低地震對樓房的擾動。隔震器不僅降低地震對建築物的衝擊，同時也保護建築內的貴重物品。



鉛心支承隔震器外觀



施工中的隔震建築

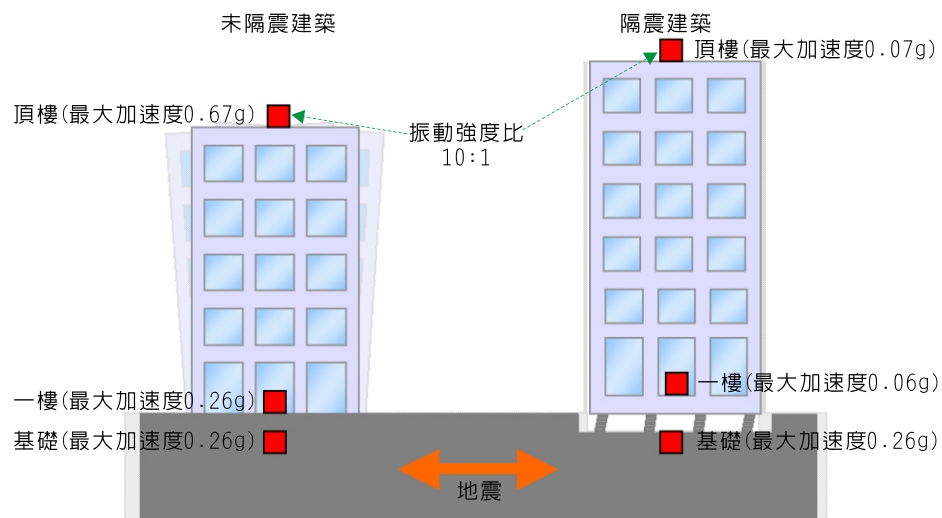


隔震器四周加裝隔板以防火害，並阻絕陽光中的紫外線，避免橡膠過早老化

建築物加裝隔震器後，實際效用如何呢？日本已有實測案例，可供參考。1995年阪神地震時，有兩幢鄰近而且結構和外形相似的建築物，其中一棟是基礎隔震的六層樓建築，另一棟是基礎固定的五層樓建築。工程師在地震過程中，以「強震儀」記錄了兩棟建築的運動行為。實測結果顯示：頂樓的最大加速度比較，未隔震是隔震的10倍（0.67：0.07）；頂樓對基礎的振動放大比率，未隔震建築是2.58倍（0.67：0.26），隔震建築是0.27倍（0.07：0.26）。

地震儀	未隔震建築 (5層樓高) 最大加速度	隔震建築 (6層樓高) 最大加速度	建築物振動量比 未隔震：隔震
頂樓	0.67 g	0.07 g	10：1
一樓	0.26 g	0.06 g	4：1
基礎	0.26 g	0.26g	1：1
振動放大率 (頂樓÷基礎)	2.58	0.27	

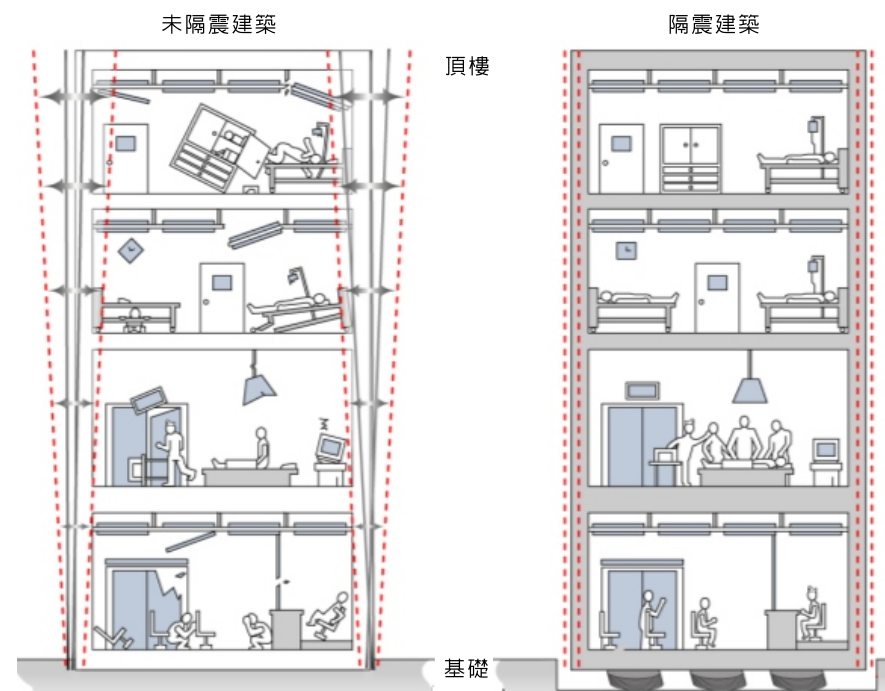
1995年日本阪神地震，建築物振動量比較



■ 隔震建築實例

醫院是隔震建築最典型的代表，原因在於災難性地震發生後，往往有許多傷患亟須送往醫院救治，這時候如果醫院也倒塌、震損或醫療設備毀壞，將延誤救治工作，間接造成更慘重的傷亡。因此，地震頻繁的美國、日本與臺灣，許多新建的醫療大樓，紛紛採用隔震建築的型式，來保護醫院。

臺灣至2009年為止，已有超過40棟隔震建築，多數用途為醫院，以及與救災和公共安全相關的政府行政大樓。此外，私人住宅、高科技廠房等建築，採用隔震建築的案例也有增加的趨勢。



隔震醫院與未隔震醫院，在大地震時可能發生的狀況



921集集地震，南投縣竹山鎮秀傳醫院內，震損一隅

國內三棟隔震建築實例：



臺北縣新店市慈濟醫院
(基礎隔震)



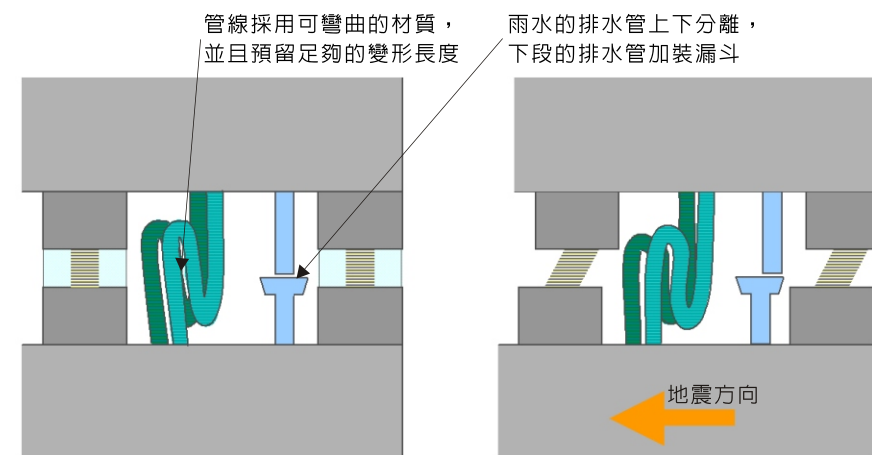
臺北市災害應變中心
(基礎隔震)



臺大土木系研究大樓
(二樓隔震)

■ 隔震建築的管線設計

大地震時，隔震層的上下樓層間會發生相對運動，因此自來水、污水、電力、通訊、瓦斯管線等，皆須經過設計，預留足夠的變形空間，才能避免地震將管線扯斷，造成危險或不便。



隔震層的管線設計，以免地震時受損

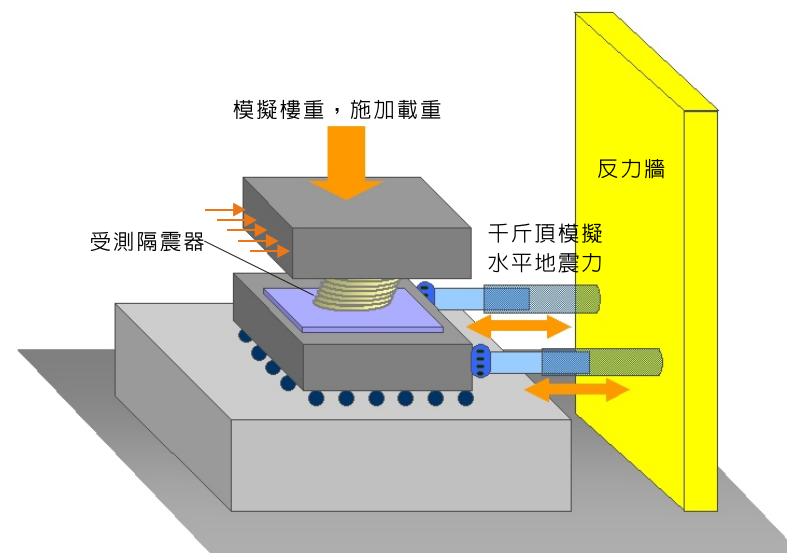


隔震層管線配置外觀

■ 建築物隔震器的測試

建築物隔震器通常不是建商自行製造，而是像鋼筋、水泥一樣，由建商向供應商採購。為了檢驗隔震器是否符合建案需求，建商可從整批購入的隔震器中，隨機抽取少數樣本委託實驗室測試，測試內容包括反覆水平變位、垂直載重的穩定度等。

國家地震工程研究中心用於實驗及檢測隔震器的「多軸向試驗系統（Multiple Axial Testing System）」，不僅能對隔震器施予水平方向的力量，同時可模擬樓房重量施加载重，提升測試的有效性。



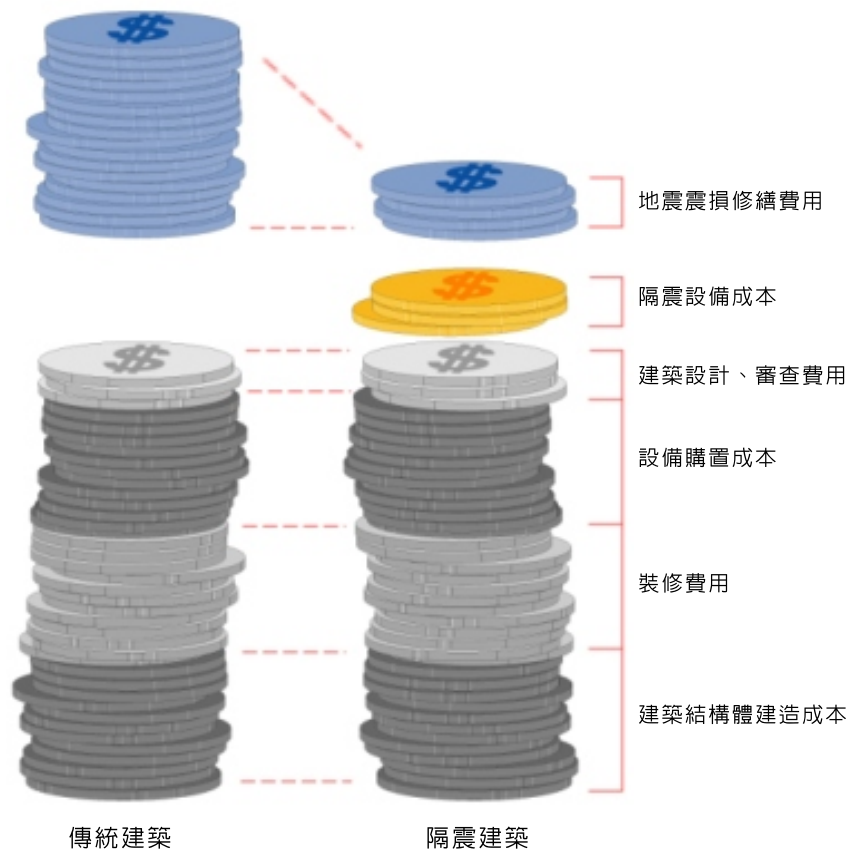
國家地震工程研究中心MATS試驗系統示意



國家地震工程研究中心MATS試驗系統及測試中的隔震器

■ 隔震建築的經濟效益

隔震建築的營建成本比起傳統建築高，不過一旦發生大地震，傳統建築的受損狀況會比隔震建築來得嚴重，所需的修繕費相對較高。一棟建築物的使用年限假定為五十年，使用期間有可能遭遇中、大地震，若加入修繕費用的考量，隔震建築的經濟效益隨即浮現。



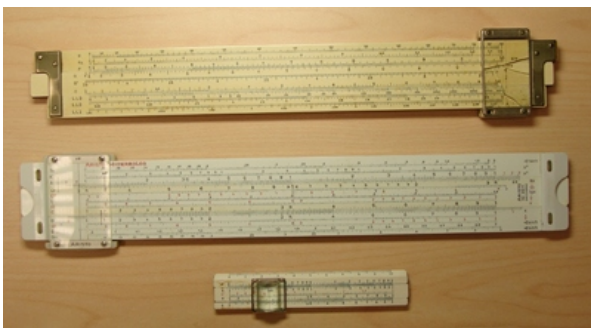
(四) 電腦在地震工程上的應用

■ 電腦在樓房興建過程上的應用

電腦原名「電子計算器（Computer）」，是運算數字的工具。在電腦尚未普及前，工程師設計一棟建築物，須在製圖桌上一筆一畫地繪製，雙手滑動「計算尺」執行數字運算。一旦工程計劃改變，即便只是小小的差異，相關的繪圖與計算工作都得重頭來過。



製圖中的工程師／照片來源：行政院勞委會



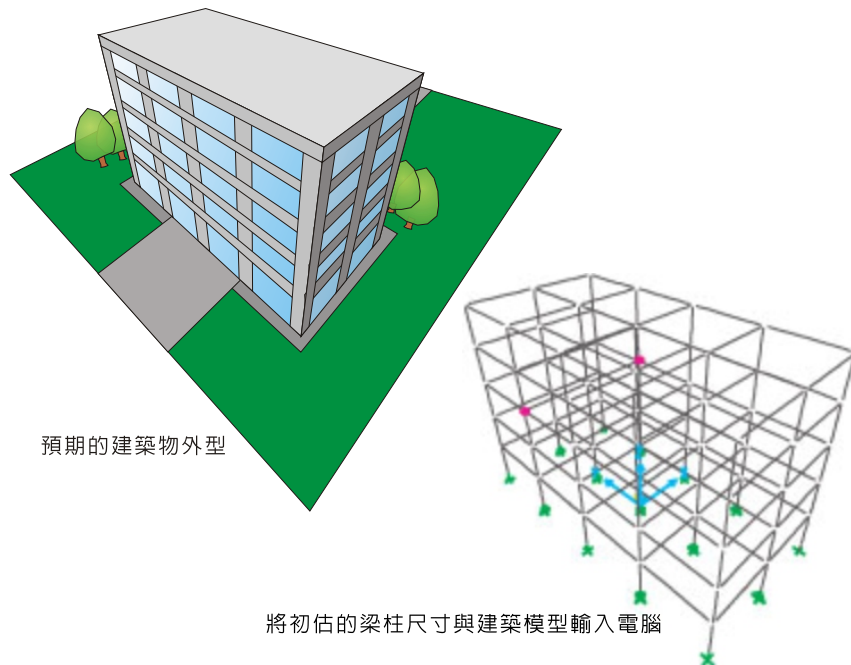
臺大校史館館藏的「工程計算尺」／照片來源：國立臺灣大學校史館

隨著電腦的普及與軟硬體의 進步，1980年代開始，繪圖過程與費時的計算工作，漸由電腦取代。不過，電腦再快的運算功能，終究只是運算工具，工程師對電腦計算數據「是否合理可行」的經驗判斷，才是關鍵。

■ 電腦在耐震設計上的應用

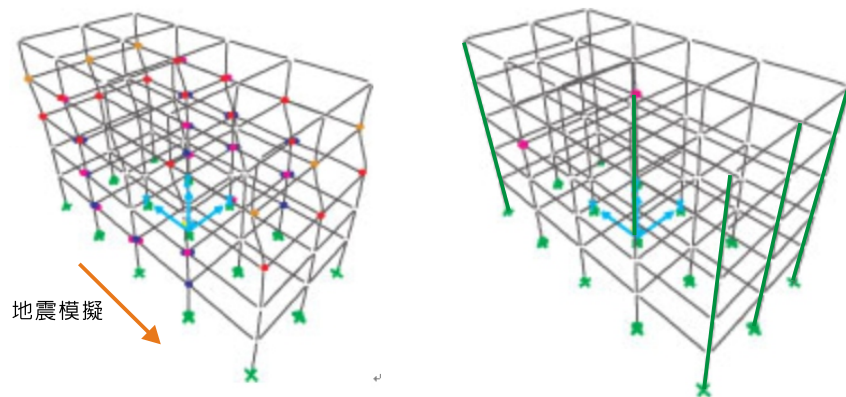
一棟大樓的興建，需要多種專業合力才能完成，例如：負責空間規劃與建築造型的建築師、負責水電設備的機電工程師、負責工程設計的土木工程師以及負責施工業務的工地主任。其中，與建築物耐震設計關係最密切的，就屬土木工程師。

土木工程師取得建築空間規劃圖後，會先將建築造型合理地簡化，例如去除玻璃帷幕牆、陽台、招牌等非結構體，而僅保留它們的重量；接著，初步估計建築物所需的梁柱尺寸，然後將簡化後的建築模型輸入電腦，計算建築模型是否符合相關規範。若合於規範，則可嘗試縮小梁柱尺寸，以減少建材花費；若不合於規範，則增大梁柱尺寸或變更設計，直至建築模型合於規範為止。



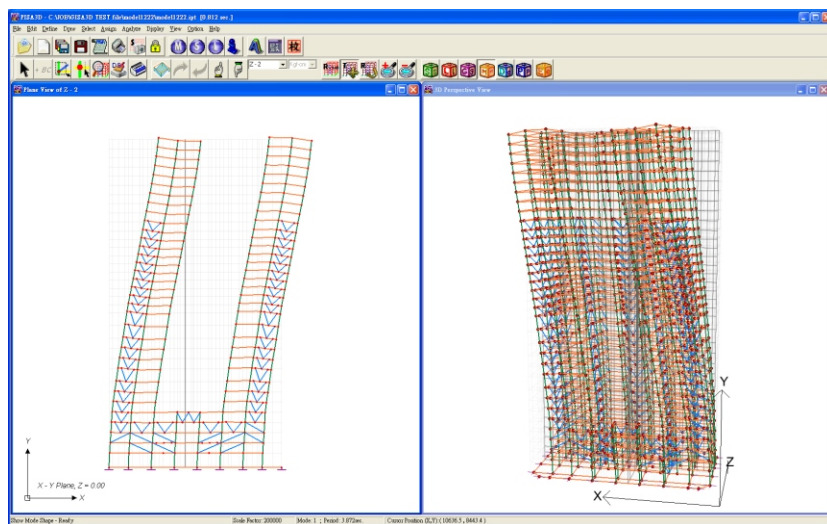
預期的建築物外型

將初估的梁柱尺寸與建築模型輸入電腦



在電腦中模擬地震，並檢查結構耐震能力是否符合相關規範

檢查過程如發現結構耐震能力不足，可對脆弱的部分加以改進，之後繼續模擬地震，持續檢查與修正模型，直到整體結構符合相關規範為止



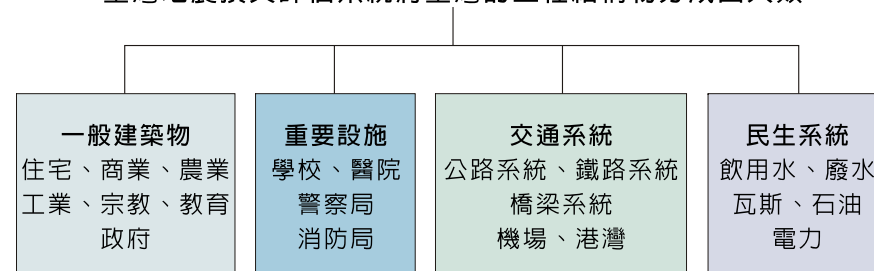
工程師利用結構分析軟體，在電腦上模擬建築結構在地震中搖晃的情形，以找出設計的缺陷並加以改良

■ 電腦與通訊科技在地震災損評估上的應用

強烈地震可頃刻間造成嚴重災情，但地震過後，災區範圍與災情程度通常混沌不明，災區民衆有的倉皇逃生，有的受困於倒塌的建築內，有的則受傷嚴重亟須送醫救治。此時救災單位若能迅速掌握災區的位置、災情程度、傷亡人數、救災物資需求等，就可把握黃金救災時間，迅速展開救援工作，減輕人命傷亡和經濟損失。

為了提升地震災害防治的應變效率，美國、日本、臺灣先後發展了地震損失評估系統，以協助政府進行防救災規劃和民間企業擬訂風險管理策略等。「臺灣地震損失評估系統(Taiwan Earthquake Loss Estimation System, 簡稱TELES)」由國家地震工程研究中心研究開發，結合了地球物理、土木工程、社會經濟和資訊科技等專業知識，收集、建置並校正震損評估所需相關資料庫。一方面將全臺灣的工程結構物、土層特性、人口分佈、歷史地震目錄等分類建檔，另一方面建置評估模式，分析各類工程結構物在模擬地震作用下的損害程度和可能引致的人命傷亡與經濟損失。

臺灣地震損失評估系統將臺灣的工程結構物分成四大類



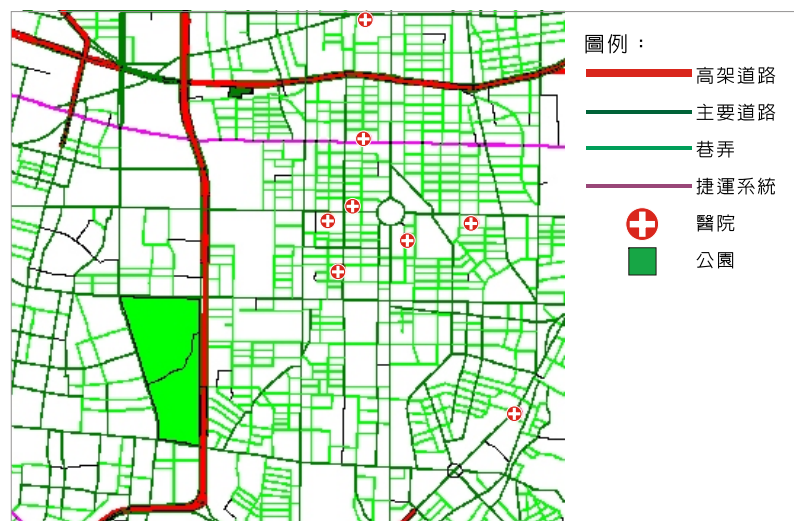
「臺灣地震損失評估系統」是依據臺灣地區之活斷層調查和地震活動特性，分析各地區發生地震的可能性和地震規模，進而比較各地區承受地震的風險，計算地震引致的年平均損失或單一地震可能引致的最大損失。在發生強震前，根據不同模擬地震的假設，進行一系列的震災境況模擬，並將評估結果建置成資料庫。

「臺灣地震損失評估系統」於地震發生前，可提供縣市政府擬定減災對策的參考；於強烈地震發生時，可在極短時間內提供災情評估結果，以提升救災效率；此外，亦可協助政府擬訂公有建築之耐震補強策略，提供企業擬訂風險控管、分散與移轉策略，以及保險業者擬訂合理保險費率。

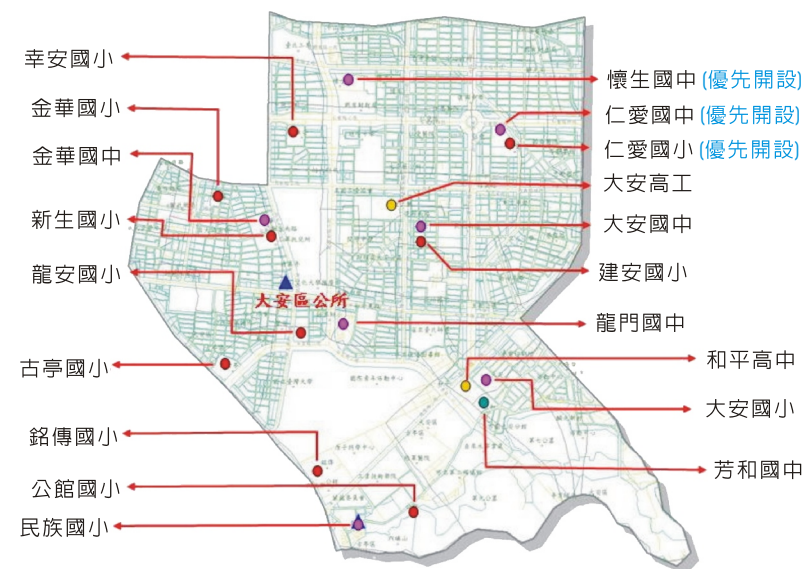
● 擬定減災對策

「臺灣地震損失評估系統」平時可用於地震災情模擬，推估傷亡人數、救援需求、避難和民生物資需求、地震引致火災的件數和嚴重程度，以及建築物、橋梁、地下管線等的損害狀況等。縣市政府可根據推估的結果擬訂減災對策，進行救援避難道路、緊急安置所、消防人力與機具設備需求、醫療人力與設施、民生必需品庫存量和調度機制、水電瓦斯系統緊急搶修等防救災空間規劃，以及實施防災演練。

地震損失評估系統結合了地理資訊系統，可供使用者快速查詢各類工程結構物或其它資料的空間分佈，並以不同主題形式輸出圖檔，例如救援道路規劃、緊急安置所分佈。



臺北市大安區的交通系統和醫院、公園等分佈

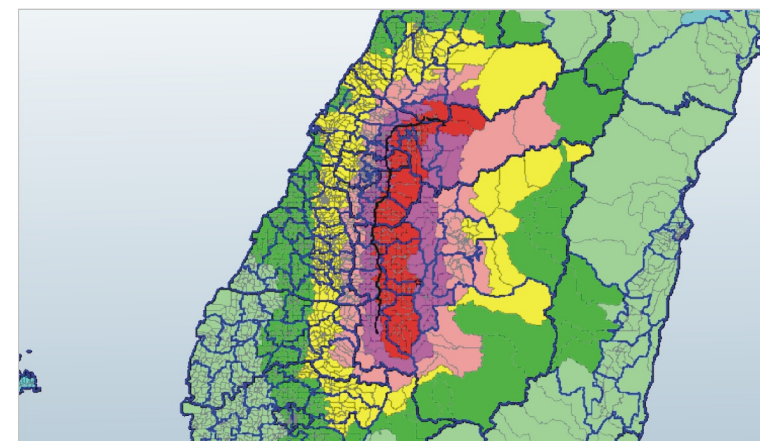
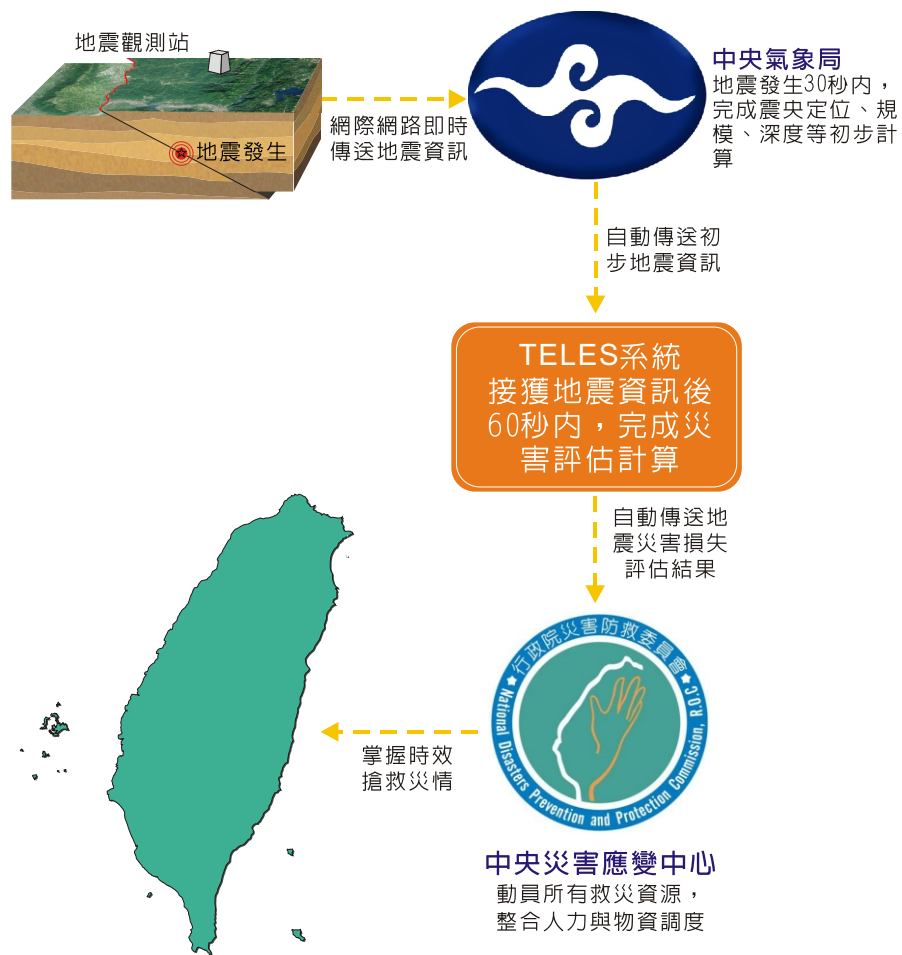


臺北市大安區緊急安置所分佈

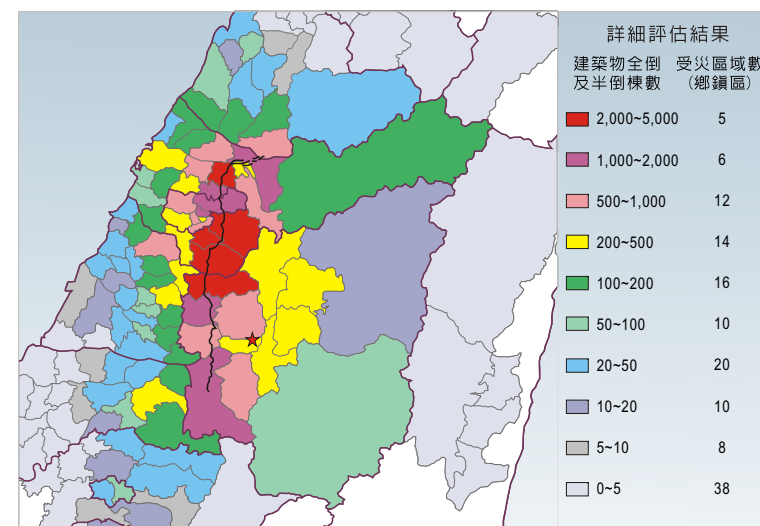
● 提升救災效率

「臺灣地震損失評估系統」結合了中央氣象局的地震速報系統，一旦發生強烈地震，即可在短時間內推估地震可能引致的災情，協助政府及民間企業啟動應變機制，並作為各項資源調度的決策參考。以現有技術而言，中央氣象局可在30秒內取得地震規模、震源深度、震央位置等初步地震資訊，並通知相關單位。收到中央氣象局的地震報告電子郵件後，「臺灣地震損失評估系統」可於60秒內完成地震災害的損失評估，並將可能的災情以簡訊或電子郵件通知相關單位，作為救災決策的重要依據。

地震早期損失評估模組的運作流程：



以車籠埔斷層錯動為例，「臺灣地震損失評估系統」所推估之地表震動強度



以車籠埔斷層錯動為例，「臺灣地震損失評估系統」所推估之建築物的全半倒棟數

(五) 建築物耐震設計規範

■ 耐震設計的基本原則

關於建築物耐震能力規定，負責建築物管理的最高行政單位內政部營建署制定了《建築物耐震設計規範》，作為全國建築物耐震設計與興建的準則。現今的規範明定新建的建築物，至少要能達到「小震不壞、中震可修、大震不倒」的耐震標準，具體說明如下：

小震不壞



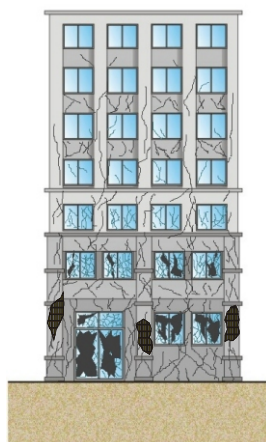
根據歷史地震統計，當地平均每30年就會發生一次的最大地震，其強度不會使建築物受損，在地震過後能夠維持其正常機能。

中震可修



根據歷史地震統計，當地平均每475年就會發生一次的最大地震，其強度只會使建築物局部受損，但經過修繕後仍然可以居住。

大震不倒



根據歷史地震統計，當地平均每2500年就會發生一次的最大地震，其強度可能使建築物全面受損，但不會倒塌，大樓裡的人仍可逃離大樓。

假設一棟建築物的使用年限為50年，那麼它遭遇平均每30年才發生一次的最大地震，機率約有1~2次；遭遇平均每475年才會發生一次的最大地震，機率約為10%；遭遇平均每2500年才會發生一次的最大地震，機率約2%。

■ 《建築物耐震設計規範》簡介

《建築物耐震設計規範》是由營建署召集國內地震工程專家，進行研究、討論與修訂，經立法院通過後施行，具有法律效力。規範內容大致分為：震區與地震力劃分、結構物承受地震力之分析、耐震工程品管、既有建築物之耐震能力評估與耐震補強、隔震建築物設計、減震建築物設計、土層軟弱之判定、砂土層之液化潛能判定等章節。

《建築物耐震設計規範》以條列的方式，提供量化與公式計算的依循標準，工程師所設計與建造的建築，必須合乎規範內容。當然，在經費寬裕或建築物特別重要的考量下，可以設計得比規範更為嚴格。

完整的《建築物耐震設計規範》可於「內政部營建署」網站，檢索「建築物耐震設計規範」，取得詳細資料。

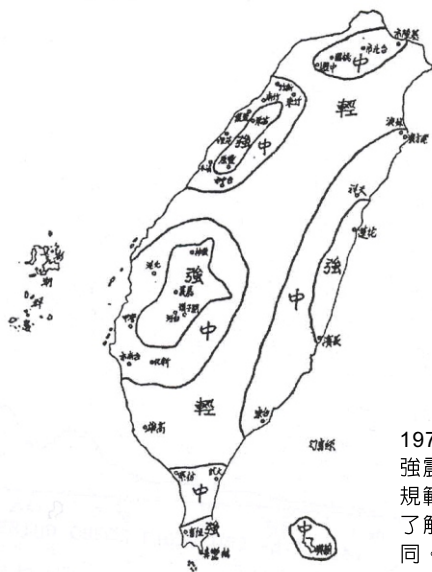
■ 《建築物耐震設計規範》的重要沿革

一般的建築物，體積都相當龐大，所以鮮少有大型實驗室能利用真實樓房從事耐震技術研究，以改進規範內容。因此，規範的沿革改變，除了小部分源自理論研究與實驗室實驗的發現之外，大部分是來自地震災害經驗的新發現。所以每當國內外發生災害性地震後，地震學家與工程師即迅速投入震災調查，目的就是找出新的事證與論點，以修訂《建築物耐震設計規範》，期能使既有的與未來興建的建築更為耐震。所以可說規範是經驗與智慧的結晶。

從規範的沿革改變可觀察地震工程研究的發展軌跡：

● 1974年

臺灣開始有耐震設計的相關規定，依據地震發生的機率、規模與震度，將臺灣各地劃分成不同的震區，並依此規定各區建築的設計地震力係數。



1974年版臺灣地區震區劃分，將震區劃分為強震區、中震區、輕震區，開啓國內的耐震規範時代。隨著地震事件的累積與對斷層的了解，現今震區劃分已和1974的版本明顯不同。

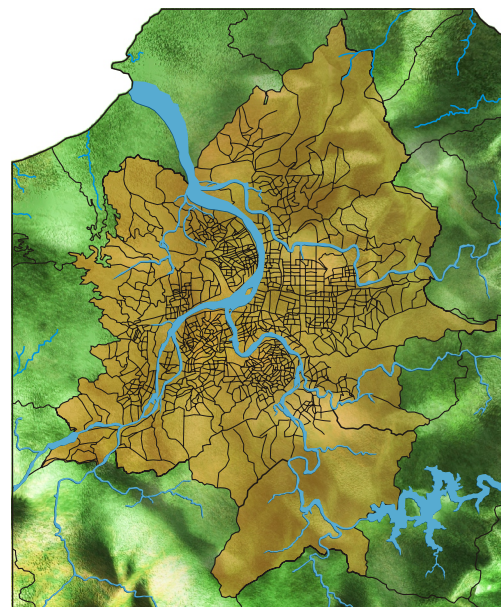
● 1982年

《建築物耐震設計規範》針對不同用途的建築物，制定不同的重要性等級與「用途係數」。設計建築物時，必須以用途係數來加權放大設計地震力係數，使不同重要性的建築物，即使位於相同震區，耐震力也會有所不同，越重要的建築物將具備越高的耐震力。

重要性等級	建築物用途	建物舉例	用途係數
—	災害地震後，必須維持機能以救濟大眾之重要建築物	中央及縣市政府辦公室、消防警政單位、學校、醫院、電廠、自來水廠等	1.5
— —	儲存多量具有毒性、爆炸性等危險物品之危險性建築物	油槽、加油站、化學廠房	1.5
三	公共建築	活動中心、博物館、百貨公司、大賣場、電影院、車站等	1.25
四	其他一般建築物	住宅	1

● 1989年

鑒於1985年墨西哥大地震的盆地效應，以及1986年花蓮外海地震造成臺北縣市嚴重災情的盆地效應，於1989年修訂《建築物耐震設計規範》時，增訂盆地效應的考量，將臺北盆地另外劃分為特別震區。



1989年版臺北盆地特別震區的劃分

● 1997年

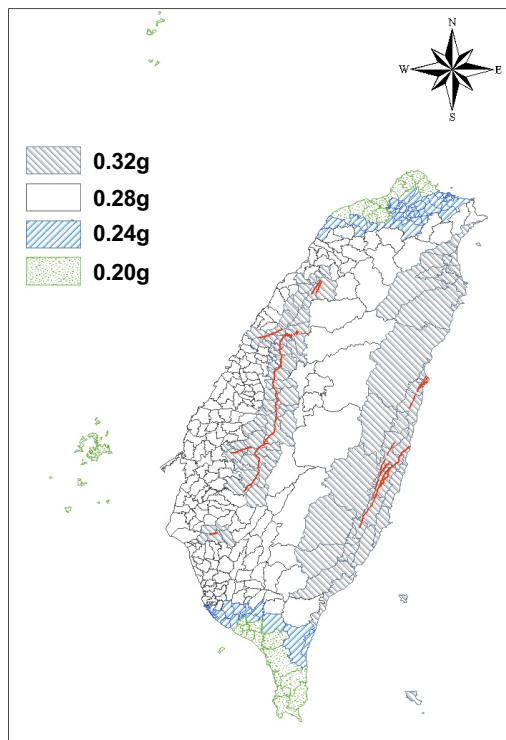
鑒於1995年日本阪神大地震的嚴重土壤液化災情，《建築物耐震設計規範》增訂了土壤液化評估方法，並且嚴格規定鋼筋混凝土的施工細節。

● 1999年

921集集地震之前，車籠埔斷層被歸類為第二類活斷層，屬較不活躍斷層，所以鄰近斷層的區域，未劃定為強震區，建築物的設計地震力要求較低。921集集地震發生後，經濟部中央地質調查所將車籠埔斷層修訂為第一類活斷層，《建築物耐震設計規範》據以提升相關震區的設計地震力。

● 2005年

新版本再次調整震區劃分，使之合理化，並根據921集集地震中發現的近斷層效應，增訂鄰近斷層建築物的設計地震力。



2005年版臺灣地區震區劃分

圖例中的數字代表各地區的震區係數，以重力加速度 g 為單位，數值由規範計算所得，反映了在475年內，可能發生的最大地表加速度值

(六) 建築結構的耐震補強

既有建築耐震力不足的原因，可能是材料老化、耐震規範的標準提升或地震震損等因素。在安全性的考量下，須提升建築的耐震能力，對耐震力不足的建築物進行結構補強。

● 材料老化

建築物承受風吹、日曬、雨淋，使建築材料隨著時間逐漸劣化，結構耐震能力也跟著降低。一般建築的使用年限約為50年左右，如果想延長老舊建築的使用壽命，住戶可考慮對結構進行補強。

● 耐震標準的提升

臺灣從事地震科學觀測約始於百年前，隨著地震事件的增加，地震規模、震央、場址效應等地震特性，現今才較為人所了解。因此，早期制定的耐震規範如果以現今的觀點檢視，標準大多偏低。一棟老舊建築在興建時符合當時的耐震規範，但可能已不符合現行的耐震規範（原因可能是震區地震力提升、施工細節標準改變）。類似這樣的建築案例，住戶可考慮對結構進行補強。

● 地震震損的建築

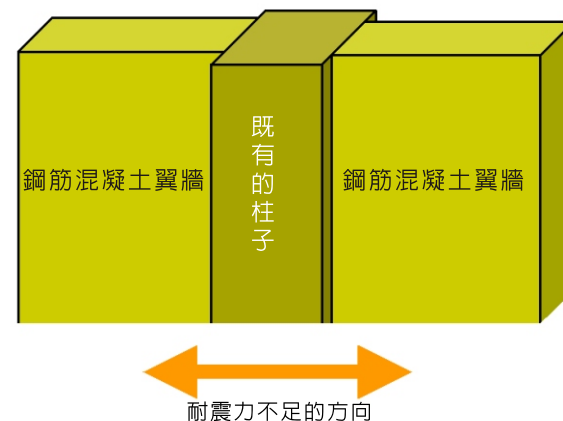
建築物歷經一場地震後，可能有結構受損的情形，住戶可以委託專業技師勘驗，再予以適當補強，並不必定得拆除重建。



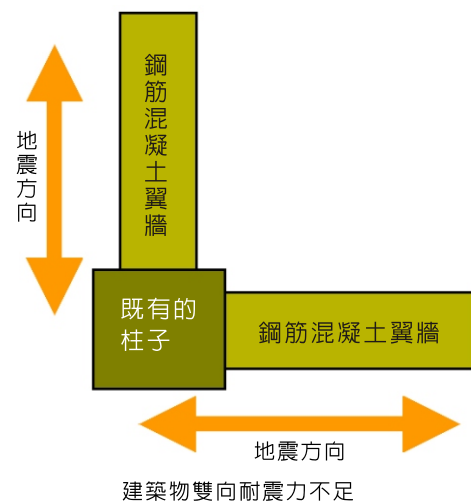
地震震損教室，須進行修復補強工程

■ 翼牆補強工法

翼牆補強工法是在柱子旁增建鋼筋混凝土牆（稱為翼牆），以提升建築的耐震力。如果建築物只有單一方向的耐震力不足，翼牆建造的方向應與耐震力不足的方向平行。



如果建築物在兩個方向上的耐震能力都不足，可以將翼牆建成L形。



翼牆補強工法的施工過程如下：



1. 挖開柱旁的地基，在地梁中植入鋼筋後，灌漿回填



2. 打除混凝土碎塊及粉刷層，去除鋼筋裸露處的鐵銹



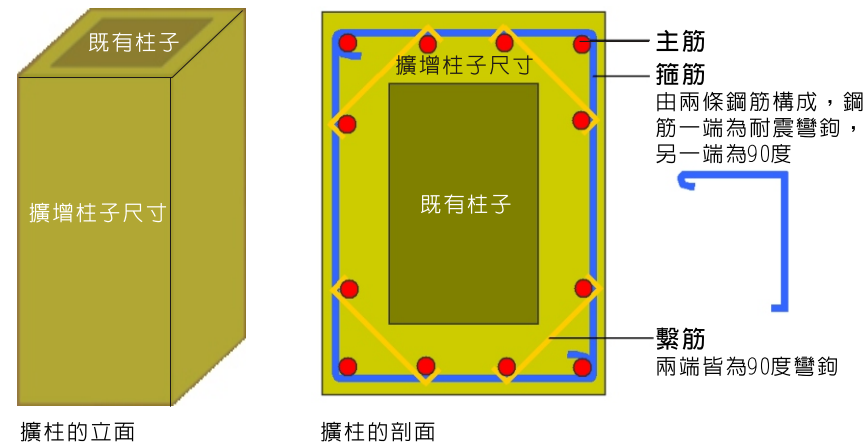
3. 補強柱體裂縫後，鑽孔植入鋼筋並綁紮成牆的形狀



4. 組立模板並以混凝土灌漿。混凝土凝固後，取下模板完成施工

■ 擴柱補強工法

擴柱補強工法是在柱子外圍，綁紮主筋與箍筋，再組立模板並澆注混凝土，擴大柱子尺寸，以增加柱體的強度及韌性，提升建築物兩個方向的耐震能力。



擴柱補強工法的施工過程如下：



1. 挖開柱旁的地基，在地梁中植入鋼筋和主筋後，灌漿回填



2. 打除混凝土碎塊及粉刷層，在柱體的裂縫注入膠結劑填滿



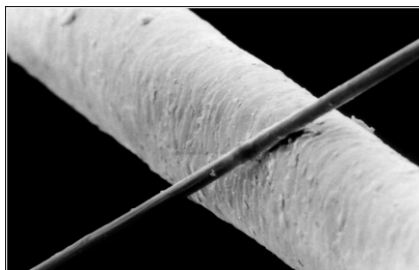
3. 去除裸露鋼筋的鐵銹後，綁紮箍筋和繫筋



4. 組立模板並以混凝土灌漿。混凝土凝固後，取下模板完成施工

■ 碳纖維包覆補強工法

碳纖維是指以碳原子所構成的髮絲狀材料，碳纖維的直徑約只有0.005~0.01公釐，質輕堅硬，比重約為鐵的四分之一，抗拉強度是同面積鋼材的7~10倍。碳纖維材料最早出現於1958年，1960年代開始，科學家陸續發現碳纖維的特性，而廣泛應用於飛機零件、體育用品、建築物等各種用途上。



碳纖維與頭髮的對比（深灰色為碳纖維，淺灰色為頭髮）



碳纖維所編織的布匹組織

碳纖維包覆補強工法是將柔軟的碳纖維布，以黏著劑緊緊包覆在鋼筋混凝土的柱體外。地震時，即使柱體的混凝土塊開裂，開裂的混凝土也不會輕易自柱體脫落，因而提升柱子的耐震能力。碳纖維布具有柔軟度，施工時較不受空間限制，適合應用於狹窄空間的補強作業。



補強工程用的碳纖維布

碳纖維包覆補強工法的施工過程如下：



1. 打除混凝土碎塊及粉刷層後，柱體裂縫注入膠結劑填滿



2. 將柱體裸露的鋼筋除鏽後，柱體外組立模板並以混凝土灌漿



3.取下模板後，在柱體塗上底漆打底，並進行表面批平



4.柱體表面黏貼纏繞碳纖維布，最後灑上硅砂以提升耐磨度



1.打除混凝土碎塊及粉刷層後，在柱體裂縫注入膠結劑填滿



2.去除裸露鋼筋的鐵鏽後，以兩片L形鋼板包覆柱體



3.將兩片鋼板焊接封口後，於柱頭處灌注混凝土



4.表面灑上硅砂粉飾

■ 鋼板包覆補強工法

鋼板包覆補強工法是將鋼板緊緊包覆在柱體外圍。地震時，即使柱體的混凝土塊開裂，開裂的混凝土也不會輕易自柱體脫落，因而提升整體柱子的耐震能力。鋼板包覆補強工法需要焊接，所以不適用於嚴禁用火的場所。不過，鋼板補強工法施工快速、補強效果佳，工法廣受工程界的喜好，大量應用於橋柱的補強工程。

鋼板包覆工法的施工過程如下：