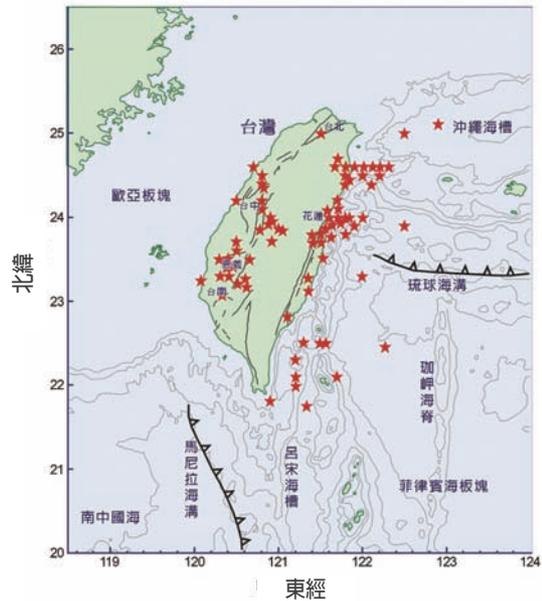


安全耐震的家



台灣地區近百年來災害性地震震央的分布

■ 李政寬 邱世彬 張惠玲

台灣位於地質構造複雜

且地震活動頻繁的板塊交界處，

平均每天有 3.2 次的有感地震，

過去100年間更發生過10次以上的災害性地震。

如何避免生命財產在災害性地震中受損，

關鍵就在於「如何打造安全耐震的家」！



鋼筋續接器樣品

哪一種建築構造才耐震

台灣現代的建築構造，主要分為鋼筋混凝土結構（RC）、鋼結構（SC）與鋼骨鋼筋混凝土結構（SRC）3種，購屋時要選擇哪一種構造才真正耐震呢？

雖然許多鋼筋混凝土建築在 921 大地震時倒塌，但並不代表這種建築不耐震。根據災後調查發現，幾乎所有倒塌的鋼筋混凝土建築，都是因為施工不良或設計不當所致。事實上，不論是何種構造，只要依據「建築物耐震設計規範」來設計，並且確實做好施工過程的每一個環節，就可以抵擋絕大多數的地震，使得房屋達到「小震不壞、中震可修，大震不倒」的耐震要求。

不同建材與構造的建築物，施工的方法和步驟也有差異，以下針對不同建築結構的特性與應該注意的施工重點分別說明。

鋼筋混凝土結構

鋼筋混凝土是台灣最常見的建築材料，有造價低、防火性高、隔音效果佳、耐久等優點。建造時先組立梁柱的鋼筋，接著在鋼筋的外圍



正在進行鋼筋混凝土結構的鋼筋組立工程

台灣近百年來 10 大災害性地震

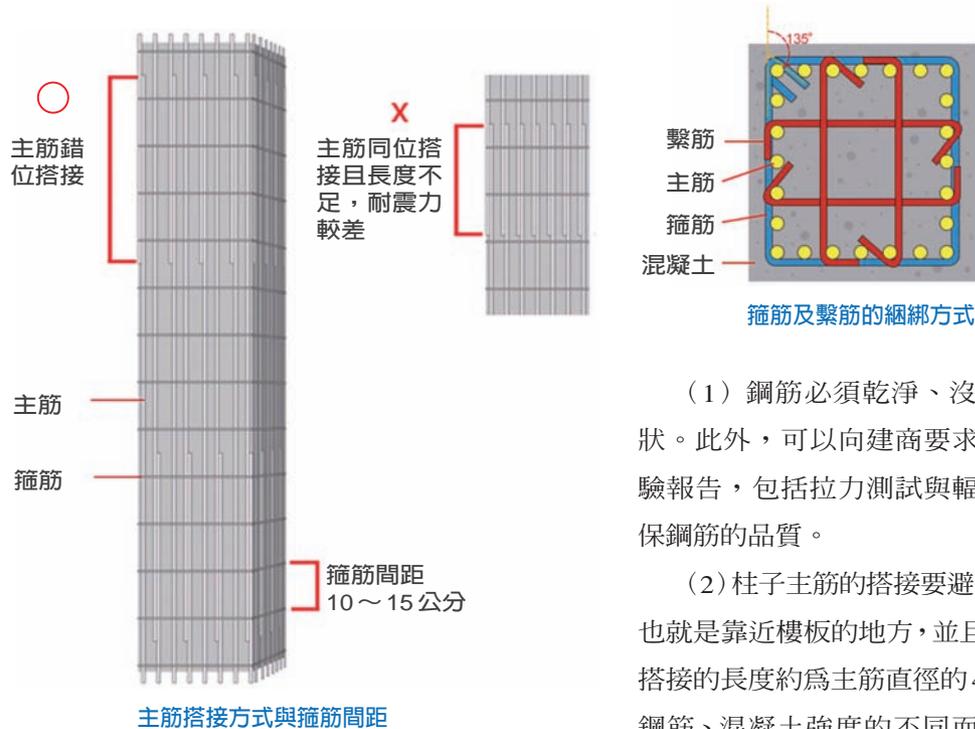
日期	地震名稱	地震規模 (ML)	死亡人數	房屋全毀數
1917 / 01 / 05	南投地震	6.2	54	130
1935 / 04 / 21	新竹-台中烈震	7.1	3,276	17,907
1935 / 07 / 17	新竹-台中烈震餘震	6.2	44	1,734
1941 / 12 / 17	中埔地震	7.1	358	4,520
1946 / 12 / 05	新化地震	6.1	74	1,954
1951 / 10 / 22	花東縱谷地震	7.3	68	-
1951 / 11 / 25	花東縱谷地震	7.3	17	1,016
1959 / 08 / 15	恆春地震	7.1	16	1,214
1964 / 01 / 18	白河地震	6.3	106	10,924
1999 / 09 / 21	集集地震	7.3	2,413	48,610

常見的建築結構比較

	RC 鋼筋混凝土結構	SC 鋼結構	SRC 鋼骨鋼筋混凝土結構
材料	鋼筋、混凝土	鋼材	鋼材、鋼筋、混凝土
造價	較低	高	高
優點	防火性高，耐久性高， 隔音效果佳	耐震性高，韌性大， 材料較輕，鋼材品質易控制	韌性大，耐震性高，防火性高
缺點	材料較重，韌性較差， 品質控管難度高	不耐高熱，隔音效果差	施工較複雜

雖然許多鋼筋混凝土建築在 921 大地震時倒塌，但並不代表這種建築不耐震。根據災後調查發現，幾乎所有鋼筋混凝土建築的倒塌，都是因為施工不良或設計不當所致。

建造鋼筋混凝土樓房所需的技術性相對較低，但是施工程序複雜，品質控管的難度也高，因此施工細節就成為建築結構是否耐震的重要關鍵。



架設模板，再灌注混凝土完成建築物的構架。由於鋼筋混凝土結構材料較重、韌性不佳，樓房蓋得越高，承擔的自身重量也愈重，因此底層的柱子必須更粗壯，才能抵抗地震力。在建築成本與使用空間的考量下，鋼筋混凝土建築的高度通常不會超過20層樓，在台灣最多也只建到30層樓高。

雖然建造鋼筋混凝土樓房所需的技術性較低，但是施工程序複雜，品質控管的難度也高，因此施工細節就成為建築結構是否耐震的重要關鍵。想了解建商的施工品質是否值得信賴，預售屋的購買者可以親自前往施工現場，查看建商有沒有依照工程規範確實施工。新成屋的購買者可以向建商要求查看施工照片及相關檢測數據，觀察的重點有以下6項。



正在進行抗壓強度測試的混凝土樣品

(1) 鋼筋必須乾淨、沒有生鏽或其他異狀。此外，可以向建商要求檢查鋼筋出廠檢驗報告，包括拉力測試與輻射檢測等，以確保鋼筋的品質。

(2) 柱子主筋的搭接要避開柱頭、柱尾處，也就是靠近樓板的地方，並且採用錯位搭接。搭接的長度約為主筋直徑的40~70倍，並且依鋼筋、混凝土強度的不同而有差異。除此之外，也可以使用鋼筋續接器來續接。

(3) 在靠近樓板的柱頭、柱尾附近，箍筋間距應小於10公分，相當於一個拳頭寬度。樓層中間遠離柱頭、柱尾處，箍筋間距可以較大，但最多不得超過15公分。

(4) 柱子的箍筋兩端必須折曲成135度固定，稱為耐震彎鉤。為了提高柱子的耐震能力，柱子中央必須再以繫筋綁紮，繫筋的一端是耐震彎鉤，另一端折成90度角即可。

(5) 為了避免房屋日後出現海砂屋現象，混凝土在澆注前應先進行氯離子檢測，依規定每立方公尺的氯離子含量不得超過0.3公斤。如果使用的是海砂，預先做好洗砂處理，可避免高濃度的氯離子腐蝕鋼筋，影響建築結構的安全性。

(6) 混凝土還必須通過抗壓強度測試，方式是已固化的圓柱型混凝土樣本，

鋼材有良好的延展性，使得鋼結構建築相當耐震，不過如果使用品質不佳的鋼材或施工不良，仍然有很大的風險。

放在機台上逐漸增加壓力，直到樣本破裂，以測試抗壓強度是否達到設計要求。

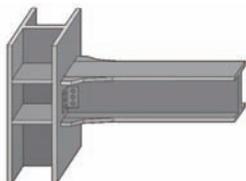
鋼結構

鋼結構的建造方式是以螺絲、卯釘、焊接等方式接合鋼材，組成鋼骨構架，再進行樓板及牆面工程。因為鋼結構的材質輕、韌性大、工期短、施工品質穩定，適合用來建造高樓，目前世界上主要的超高大樓多以此為主。然而，相較於鋼筋混凝土結構，鋼結構建築的隔間材質給人不夠厚實的感覺，而且隔音效果較差、造價高，一般較少用來當住宅，大多做為營業處所或商務辦公大樓使用。

鋼材有良好的延展性，使得鋼結構建築相當耐震，不過如果使用品質不佳的鋼材或施工不良，仍然有很大的風險。焊接技術是決定鋼結構建築會不會在地震時倒塌的重要因素，應聘請有證照的焊工，依照嚴謹的規範作業，並於焊接完成後通過「焊道非破壞檢測」。此外，鋼材不耐銹蝕及高熱，必須以噴漆、鍍鋅等方式加以保護，並且在鋼材外被覆防火材料，做好防火隔熱措施。除了上述的施工細節外，購買鋼結構建築時，也可以請建商提供鋼材出廠的檢驗證明。

鋼骨鋼筋混凝土結構

鋼骨鋼筋混凝土結構簡稱為SRC，這是結合鋼筋混凝土結構與鋼結構兩種建材與工法的建築。建造方式是先利用鋼材做好構架，並且在鋼骨外加設主筋及箍筋，之後組



鋼結構的梁柱接頭

立模板並灌入混凝土，把鋼骨及鋼筋包覆起來，後續的施工步驟大致與鋼筋混凝土相同。

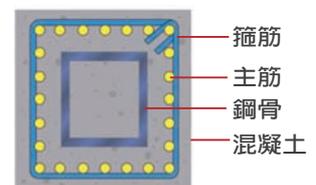


施工中的鋼結構建築，白色部分是防火被覆工程。



鋼骨外圍網綁鋼筋的SRC結構

SRC綜合了鋼結構與鋼筋混凝土結構的特點，韌性比鋼筋混凝土結構高，材質比較輕，防火效果則比鋼結構好，適合用以建築中高樓層的大樓。不過SRC不僅造價高，施工也非常繁複，除了需要與鋼結構相同嚴謹的鋼骨焊



SRC 柱子斷面圖



擴柱補強：
增加鋼筋並把柱子加粗。



翼牆補強：
在柱子側面增建翼牆。



碳纖維補強：
以碳纖維布包覆柱子。



鋼板補強：
以鋼板包覆柱子。

接與檢驗過程之外，也要注意鋼筋綁紮與混凝土品質等問題。

老舊建築的補強

由於新技術、新工法與時俱進，加上建築規範日趨嚴謹，近年來新的建築物耐震能力通常比 20、30 年前蓋的房子好。如果居住的樓房是屬於耐震能力較差的老舊建築，該怎麼處理呢？

事實上，現今的建築補強技術已經十分成熟，老舊建築不一定要拆除重建才安全。可以委託專門技師或顧問公司，評估房屋的耐震能力與使用情況，再利用擴柱、增加翼牆、碳纖維包覆、鋼板包覆等工法加以補強，便可接近新建築同等級的耐震水準。

921 大地震過後，許多早期興建的學校校舍，因未能達到現今的耐震要求，而由教育部國教司逐年編列經費，進行抗震能力的補強工程，以避免類似 921 大地震、四川大地震等校舍嚴重倒塌的情況再次發生。

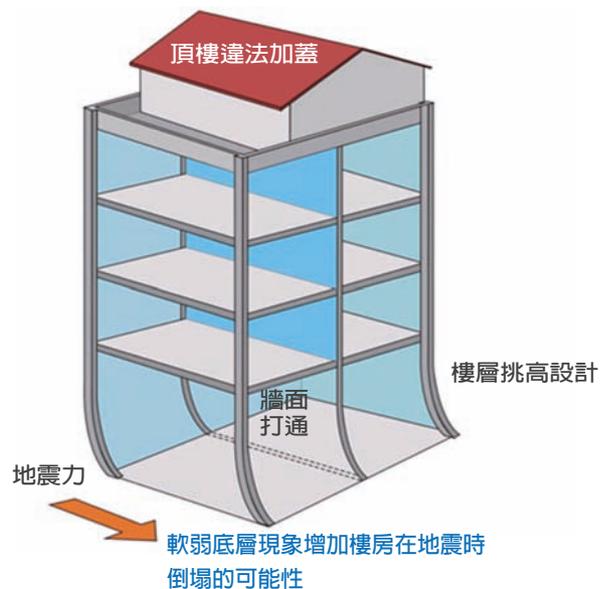
不當的建築設計與使用情況

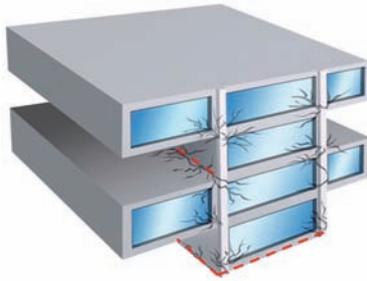
除了施工不良的因素外，根據 921 大地震災後調查發現，不當的建築設計與人為使用，例如軟弱底層現象、夾層屋的設計、建築物外形不佳、不當開發山坡地、未進行土壤液化防治等，

也是造成建築物，尤其是鋼筋混凝土結構倒塌的主要原因。

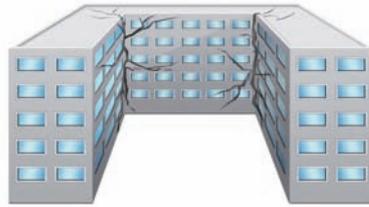
軟弱底層現象 有些屋主或建商為了營業或裝潢的需求，會把一樓的隔間牆打通或把柱子打掉；或為了讓大樓看起來氣派體面，而使一樓過度挑高；或要增加居住空間，而在建築物的頂樓違法加蓋。像這樣樓房的結構設計不當或經過非法改變，造成頂樓過重、底層支撐力不足的情形，通稱為「軟弱底層」現象，這種建築物特別容易在地震時崩塌。

以常見的鋼筋混凝土建築來說，梁和柱以及具結構功能的「剪力牆」，牆的內部有鋼

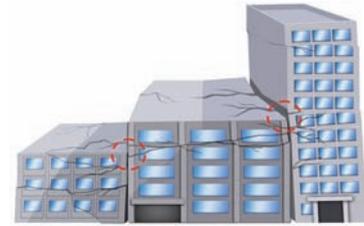




重心過高，地震時搖晃較劇烈，底層容易受損倒塌；立面造形不規則，樓層退縮或凸出處在地震時容易受到拉扯而毀損。



平面形狀多變且四邊不對稱，地震時，各分棟建築的振動行為不同，接合處容易遭到破壞。



兩棟相鄰的建築物距離過近，高度又不同，地震時各自擺動的周期不一致，很可能相互碰撞而毀損。

筋，是抵抗地震力的主要結構，絕不可以拿掉。事實上，即使只是一般的磚造隔間牆，也能在地震時成為抗震的第2道防線，因此拿掉任何牆壁前，最好先請技師檢查確認。

夾層屋與樓中樓的差別 都市中的住宅大樓受到容積率限制，不能隨意增加樓層數，因此有些建商刻意把樓層挑高，讓住戶自行「二次施工」增建夾層，藉以提高單坪售價，這種房子稱為夾層屋，屬於室內違建。夾層屋在設計圖送審時，並未包含夾層設計，一旦被檢舉，可能面臨拆除的命運。而且樓層挑高及夾層樓板增加的重量，可能導致建築物的耐震力降低，如果建築在地震中毀損，責任歸屬較難釐清。

樓中樓的樣式與夾層屋近似，不過在建築設計圖送審時，已經包含樓中樓的地板面積與結構設計，屋主擁有合法的權狀。如果建築在地震中毀損或倒塌，只要沒有其他不當使用的情形，責任通常歸屬於建商。因此，除非能夠確定建商在進行主結構設計時，已經把夾層屋的影響因素考慮進去，而且確實掌握夾層的施工品質，否則購買夾層屋還是得三思。

建築物的外形設計 耐震的建築物外形通常重心低、線條簡單、基地方正且四邊對稱，反之可能會有耐震能力不佳的疑慮，購屋時最好能避免選購下列外形的建築物：

重心過高，地震時搖晃較劇烈，底層容易

受損倒塌；立面造形不規則，樓層退縮或凸出處在地震時容易受到拉扯而毀損。

平面形狀多變且四邊不對稱，地震時，各分棟建築的振動行為不同，接合處容易遭到破壞。此外，兩棟相鄰的建築物距離過近，高度又不同，地震時各自擺動的周期不一致，很可能相互碰撞而毀損。

山坡地房子的問題 山坡地指的是海拔超過100公尺，或雖然低於100公尺但坡度達5%以上的地方。台灣地狹人稠，為了尋求更低價的土地或更好的景觀，許多私人住宅或大型建案紛紛往山坡地發展。然而山坡地的地質通常比較複雜，常有地震山崩、土石流、邊坡破壞等地質災害發生，如果沒有預先做好勘查與防治的工程，地震或豪雨時可能會釀成重大災難。

靠近陡坡的房屋必須興建擋土牆，以避免陡坡的土石崩落或發生土石流危及建築物。不過如果陡坡屬於順向坡，或擋土牆施工不良、排水功能不佳，擋土牆很容易因為土壓或水壓過大而崩毀。發生於民國86年的汐止林肯大郡事故，就是擋土牆在風雨中崩坍，造成28人遭到活埋的慘重案例。因此，選購位於山坡地的房子，要特別留意地質結構、擋土牆的施工與排水功能。

住在山坡地的居民，最好能經常留意地層是否因為不穩固而滑移，這種邊坡破壞的情形通常需要長時間的醞釀。雖然一開始只是慢慢使道路、房屋、水溝、擋土牆、地層等產生龜裂，一



挖除順向坡的坡腳興建擋土牆，容易在地震及豪雨發生時崩塌危及建築物。

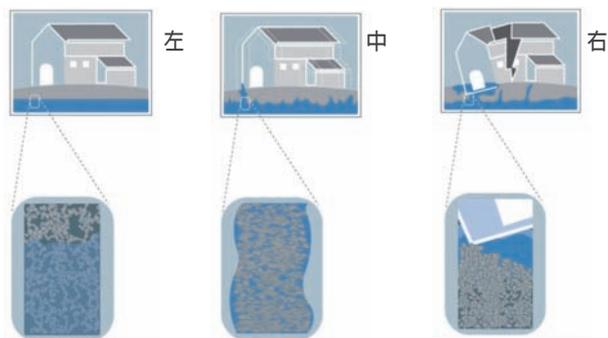
且滑移的能量累積到一定程度，地層可能會瞬間崩落，損毀地表的建築物。因此如果發現上述的異常龜裂現象，最好請大地工程技師前來確認。

土壤液化的防治 在地下水位高且土質是鬆軟細砂的地區，例如舊河道、三角洲、沙灘地等，如果發生大地震，地底的砂和水會因為充分搖晃，瞬間形成類似液化的狀態。地震後水與砂受到擠壓噴發出地表，造成房屋下陷、傾斜等災情，稱為土壤液化。921大地震時，中部許多縣市就曾發生土壤液化的災情。

蓋房子前，必須委託專業技師進行地質鑽探，以了解地基是否穩定。如果房屋預定地位在可能發生土壤液化的潛勢區，可以把混凝土灌入地底以改良地質，或者把房屋的基樁打入液化區下方的穩固地盤，以避免房屋因為土壤液化而受損。

制震建築與隔震建築

如果建築工程的預算高，而且對於耐震的需

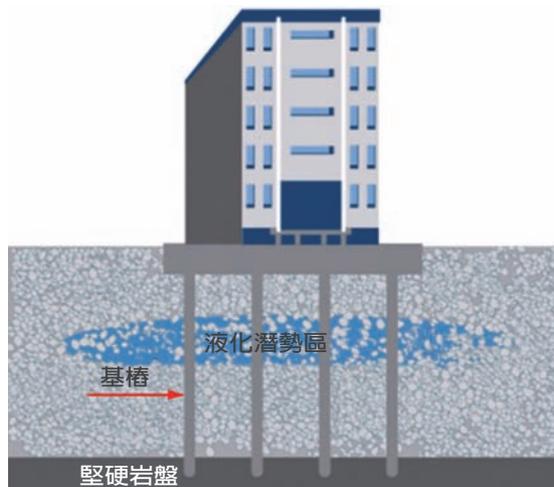


(左) 高地下水位與飽和鬆砂。(中) 地震時，砂與水充分搖晃，瞬間液化。(右) 地震後，砂重新排列成緊密狀態，水被排出地面，造成房屋下陷。

求度也高，例如公共建築、醫院、高科技廠房等，可以採用隔震或制震系統，以降低地震對於建築物裡的人和設備的影響，同時減少建築物受損的可能性。

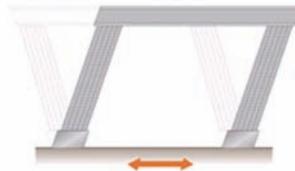
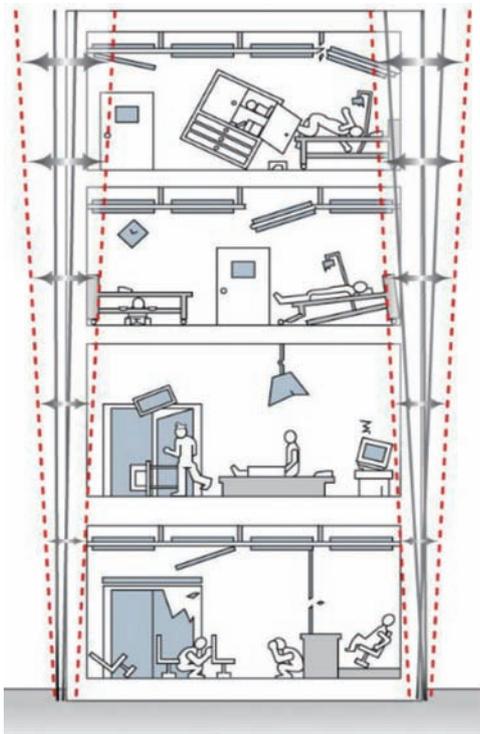
制震建築大多採用斜撐制震器，裝設在由梁和柱構成的框架中。當地震發生時，制震器可以吸收部分地震能量，減少房屋變形的程度。制震建築在地震時的舒適度雖然比不上隔震建築，但建築成本略低，而且安全性高於一般建築，因此近年來許多高價位的住宅大樓紛紛採用。

隔震建築是在建築物底部安裝許多座大型的隔震器，使建築物與地表隔開，地震時大約可以消滅80%的地震力。不過由於隔震建築的營建成本較高，台灣目前只有新店慈濟醫院、台北市防災應變中心等數十棟建築採用，運用在住宅的案例比較少。

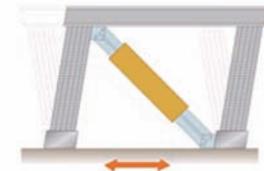


把房屋的基樁打入液化區下方的堅硬岩盤

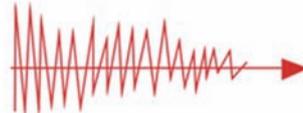
從過去幾次大地震的受災經驗中，可發現造成嚴重傷亡的並不是地震本身，
而是建築結構無法抵抗地震搖晃而倒塌所致。



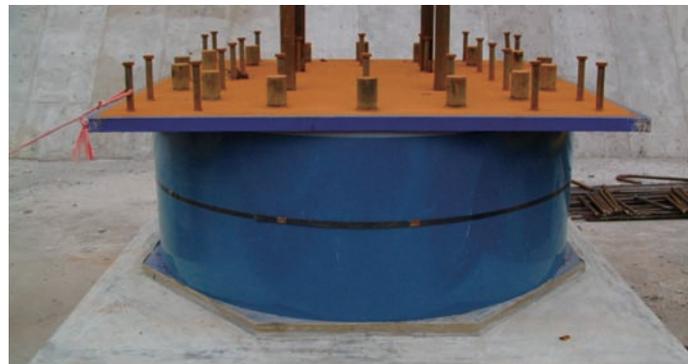
一般建築物在地震時震動的情形



制震建築物在地震時震動的情形



地震時，未裝設斜撐制震器的建築，變形的程度較大，搖晃的時間較長；裝設斜撐制震器的建築，變形的程度較小，搖晃的程度很快就衰減。



隔震器

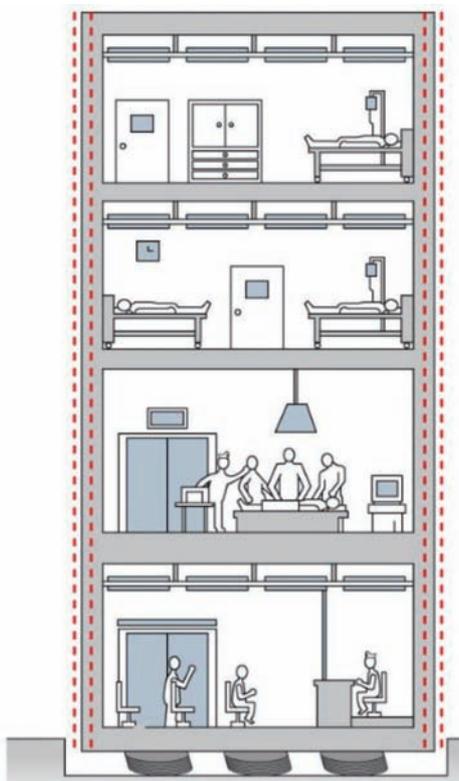
面對地震 可以做什麼

從過去幾次大地震的受災經驗中，可發現造成嚴重傷亡的並不是地震本身，而是建築結構無法抵抗地震搖晃而倒塌所致。對於位在地震帶的台灣來說，適當的建築物耐震設計與完善的施工，更是抗震減災的第1道防線。除此之外，停止非法改建房屋，不要過度追求建築造形，選擇適當的地點蓋房子，根據環境因素調整設計與施工內容等，都是打造一個安全耐震的家的基本要素。

大地震一定會在某處再發生，如果能事先提升建築物的耐震能力，避免房屋倒塌造成人命傷亡，花費的成本將遠比事後救災與重建低廉。更何況生命無價，失去之後再也無法復得！ □

李政寬 邱世彬 張惠玲

國家地震工程研究中心



一般建築與隔震建築在地震時的震動情形比較