

第三章 地震與樓房振動

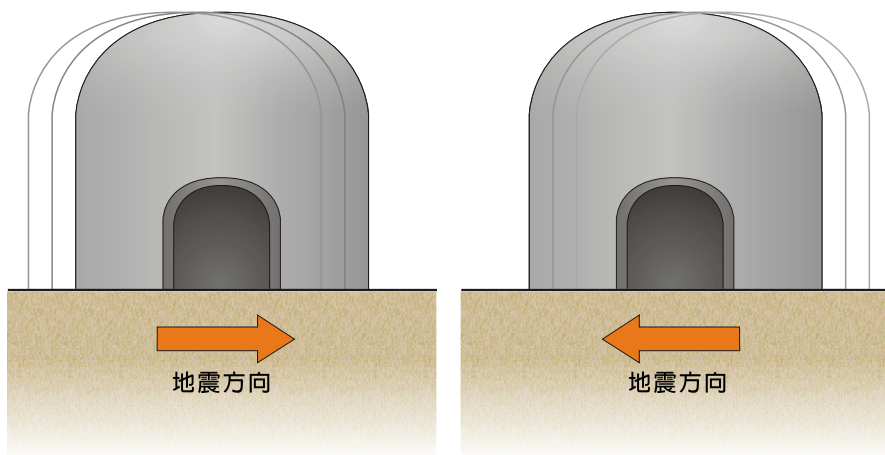
- (一) 地震如何使房屋振動和變形
- (二) 樓房的自然振動週期
- (三) 樓房與地震波的共振現象
- (四) 建築物與近斷層效應
- (五) 建築物的外觀形狀與耐震性

(一) 地震如何使房屋振動和變形

■ 耐震安全與經濟考量

探討建築的耐震能力時，也要同時考量它的建造費用。如果將房屋蓋得如同碉堡一般堅實，地震時，整座碉堡會隨著地表位移，結構體不會有很大的變形，坍塌的可能性很低。但是建築物如果蓋成這種形式，建造成本非常高，通常只有核能發電廠等安全需求極高的建築，才會將結構設計成碉堡般堅固。

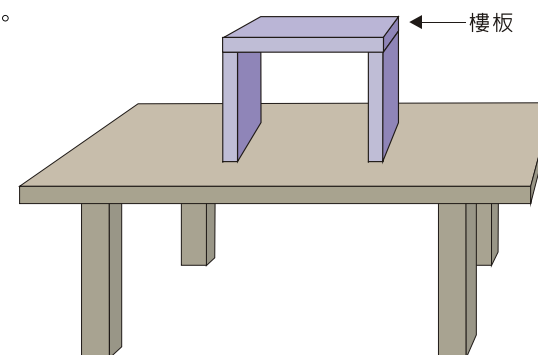
一般住宅的設計原則，在建築成本上須儘可能節省，在使用空間上則要儘量擴大，且希望達到「小震不壞、中震可修、大震不倒」的要求，因此才發展出「建築物耐震設計」的技術。



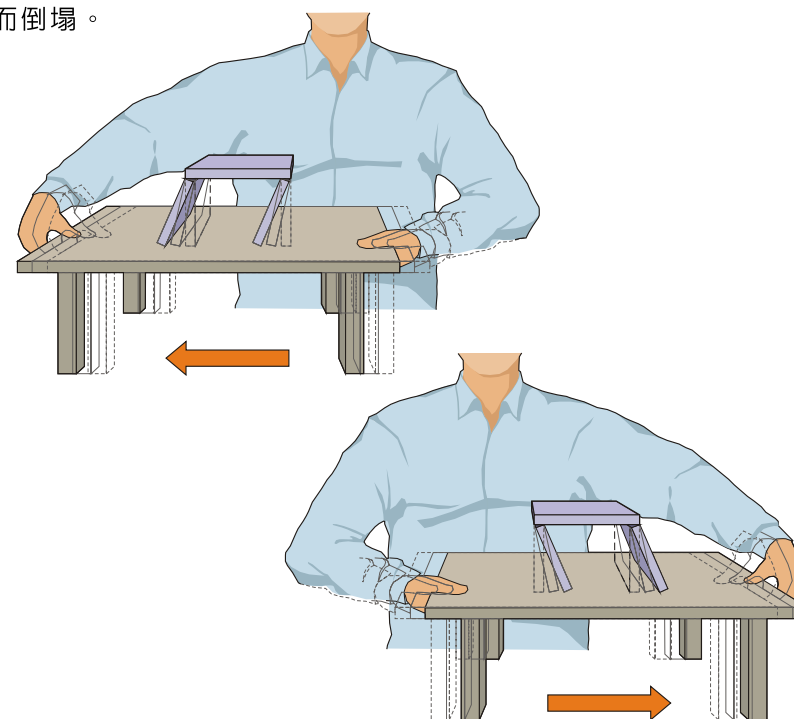
■ 房屋因為質量慣性作用而變形

發生強烈地震時，人們不只可以感受到建築物搖晃振動，有時甚至也能察覺建築物的變形。地震為什麼會使建築物振動和變形呢？我們利用下面這個實驗來說明：

在桌面上將積木疊成房屋的形狀，手持桌邊左右搖晃，模擬地震發生的情形。

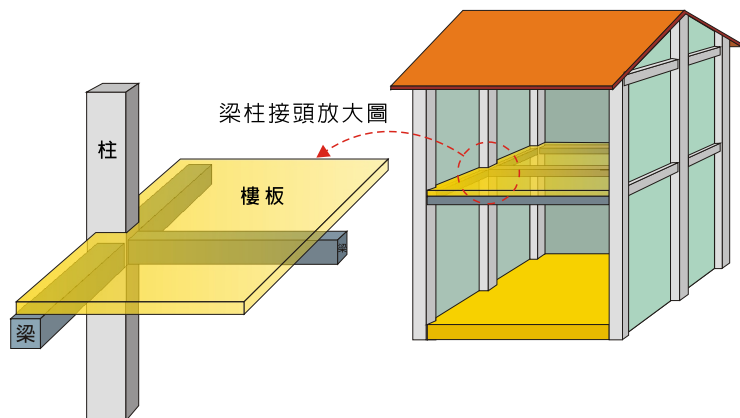


搖晃桌子時，房屋的底部被桌子帶動，但是上方的樓板則因為「質量慣性作用」，而傾向停留在原處，因此造成整體結構的變形。一旦搖晃的力道過大，房屋結構便可能因過度變形，無法承載樓板重量而倒塌。

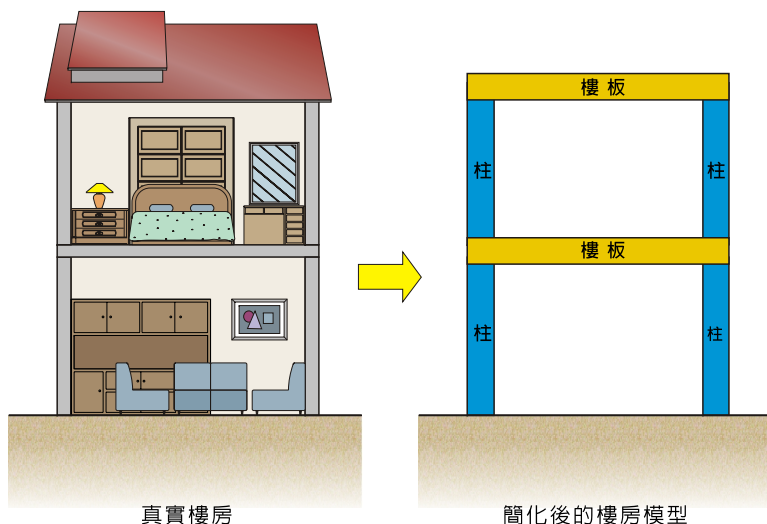


■ 真實房屋的變形行為

房屋的主要結構，通常是由柱、梁和樓板所構成，和積木不同之處，在於真實房屋的梁、柱和樓板並非獨立分離，而是緊密連貫接合的。因此，真實房屋在地震時的變形行為，與上述的積木實驗有所不同。

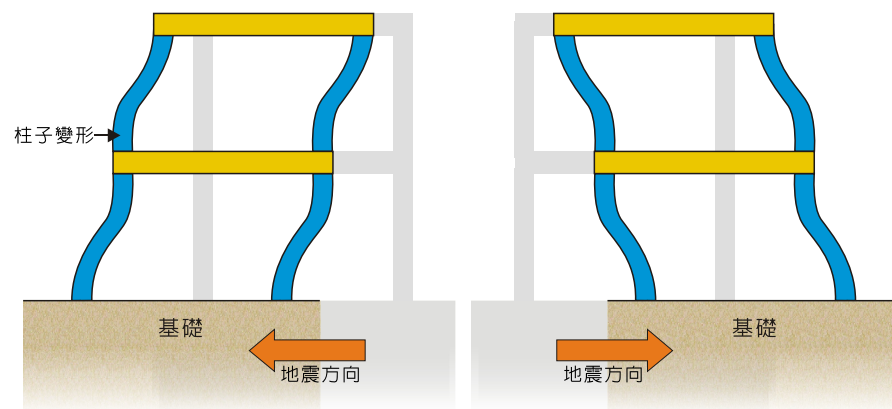


一棟建築物的主結構中，樓板和梁的重量佔建築物總重量相當高的比例，而數量有限的柱子不僅須支撐樓板和梁的重量，同時還須抵抗地震力。為了方便模擬，我們可以將真實的樓房簡化成僅有梁、柱、樓板的模型。



發生地震時，這一棟兩層樓的房屋會如何振動變形呢？

當地表左右搖晃時，基礎帶動柱子底部跟著位移，但樓地板因質量慣性作用，傾向停留原處，因此造成柱子的變形。如果地震搖晃過大，柱子的變形量超過所能負荷的範圍，於是柱體破壞。破壞的柱子無法繼續承載樓板重量，房屋便跟著倒塌。

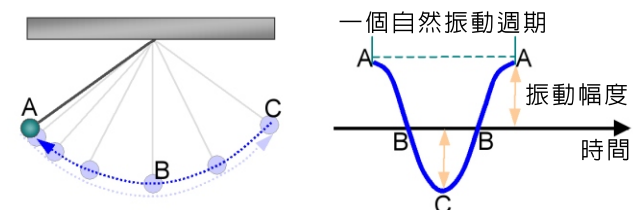
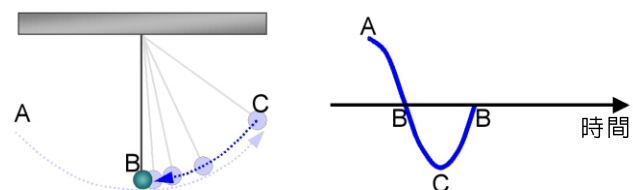
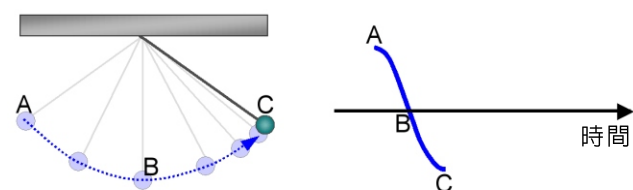
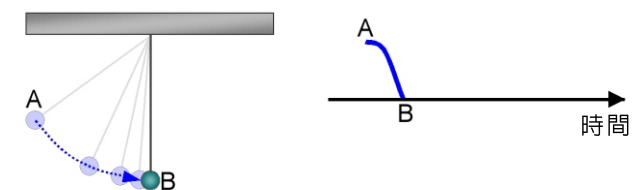


柱子變形過大而破壞，房子跟著倒塌

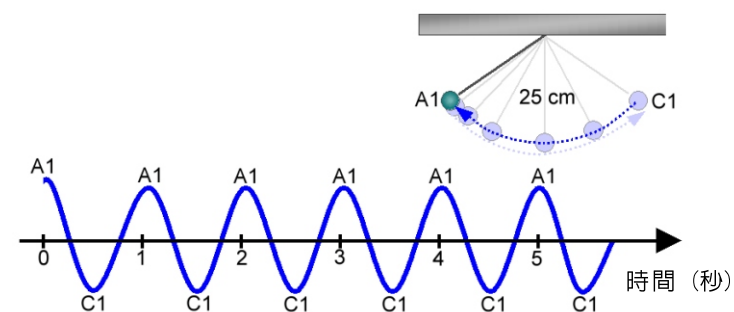
(二) 樓房的自然振動週期

■ 什麼是自然振動週期？

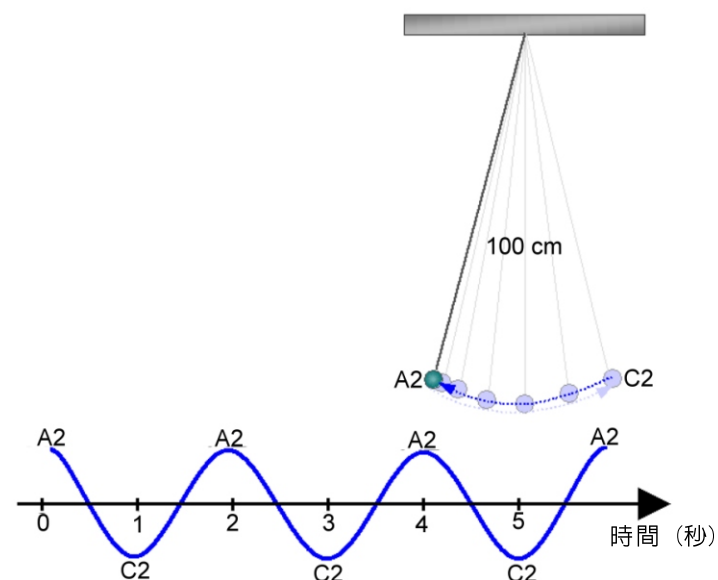
物體受到外力短暫擾動之後，產生規律的反覆運動，稱為**自然振動**，振動過程中往返一次所需的時間，稱為**自然振動週期**。以單擺為例，將單擺舉高後釋放，單擺從A點經過B點擺動到C點，之後再經由B點擺回至A點，整個過程所經歷的時間，就是這個單擺的自然振動週期。



擺長越長的單擺，往返一次所需的時間越長，亦即自然振動週期越長。擺長25公分的單擺，自然振動週期約1秒。

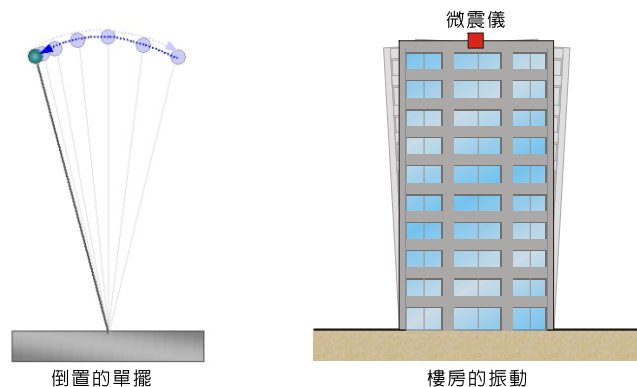


擺長100公分的單擺，自然振動週期約2秒。



■ 樓房的微小振動

樓房和單擺一樣也有自然振動週期。樓房的振動就如同倒置的單擺擺動，樓房越高，其自然振動週期越長。



許多人以為樓房平時是靜止的，只有地震時才會搖晃振動。事實並非如此，樓房會因風吹、車輛經過、人員走動等環境因素而不斷地振動，只不過振動量微小，人們不易察覺。為了研究樓房的「自然振動週期」，工程師須借助「微震儀」偵測樓房的振動行為。

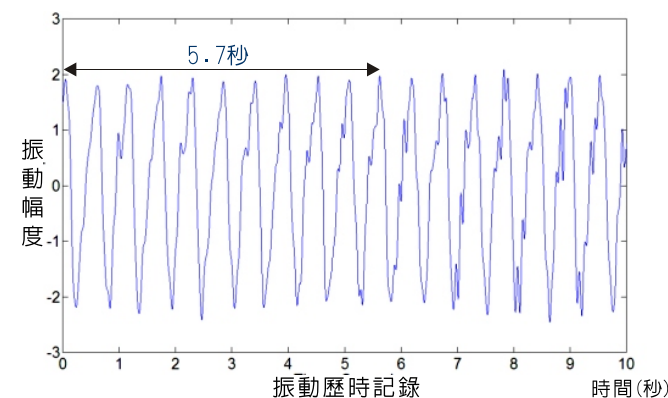
「微震儀」包含微震感應器及電腦記錄器。工程師通常將三個微震感應器裝設在樓房的頂樓，量測建築物東西向、南北向與垂直向三個方向的振動，經數分鐘的量測後，電腦記錄器再輸出樓房的振動歷時記錄和自然振動週期等資訊。



裝設在頂樓的微震感應器

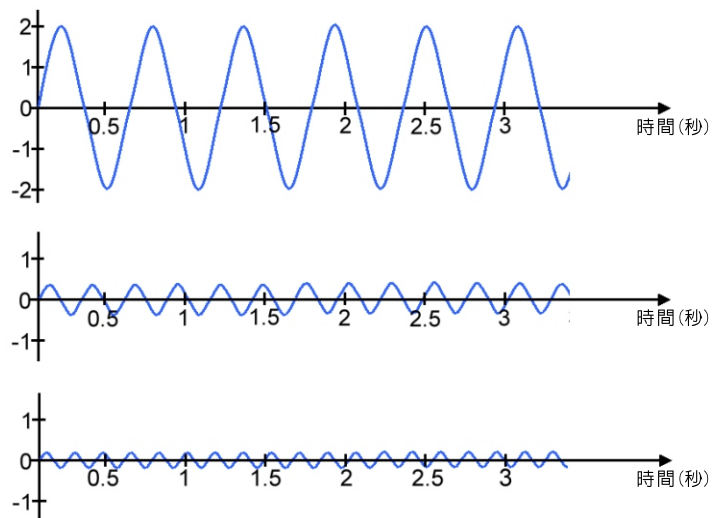


電腦記錄器

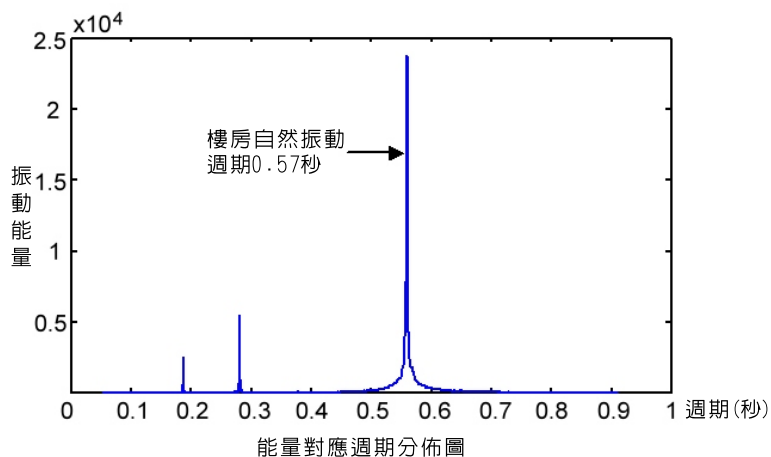


從電腦記錄器輸出的振動歷時記錄，工程師能判斷該樓房的振動週期。以上圖為例，樓房振動10次約歷時5.7秒，所以此建物自然振動週期約是0.57秒。

細看上頁的振動歷時記錄，可發現樓房的振動行為並不像單擺的單純，振動過程包含了好幾個不同的振動週期。利用數學運算可將振動歷時記錄，大致分解成三個振動週期的波形：

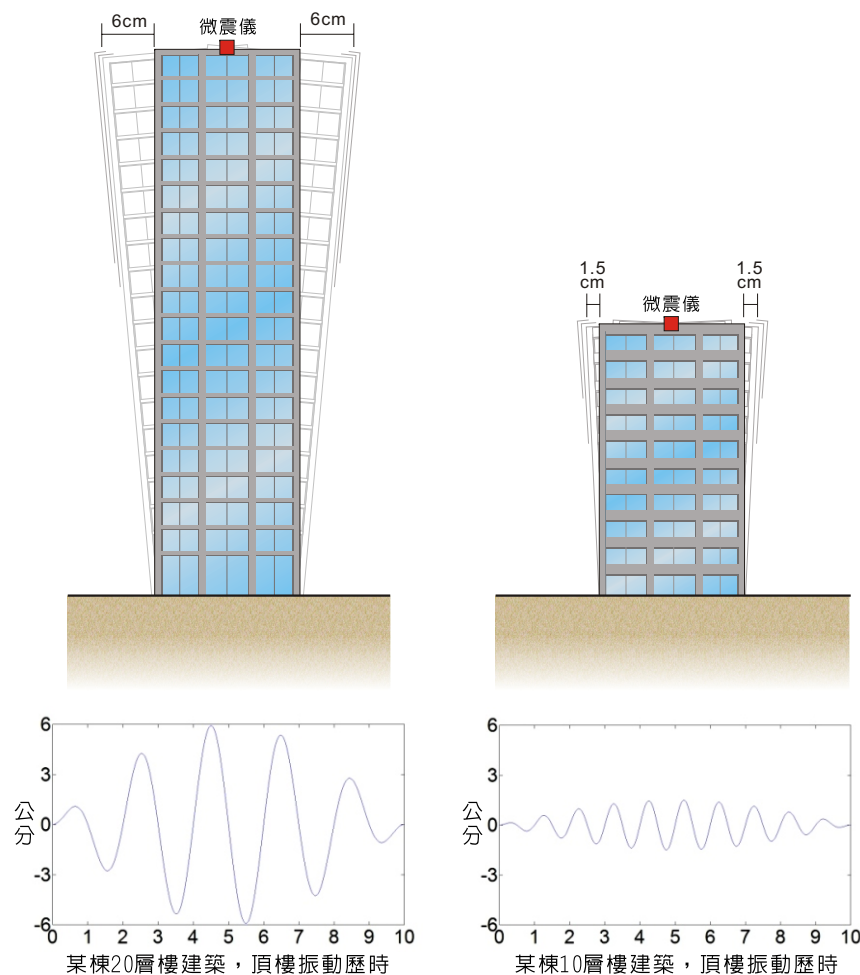


不同振動週期的波形，各有不同的振動能量，以上三個振動週期的波形，如果以「能量對應週期分佈」來表示，就會形成下圖，其中秒數最長的週期，能量通常也最大，這個週期就是樓房的自然振動週期。



■ 樓房自然振動週期經驗公式

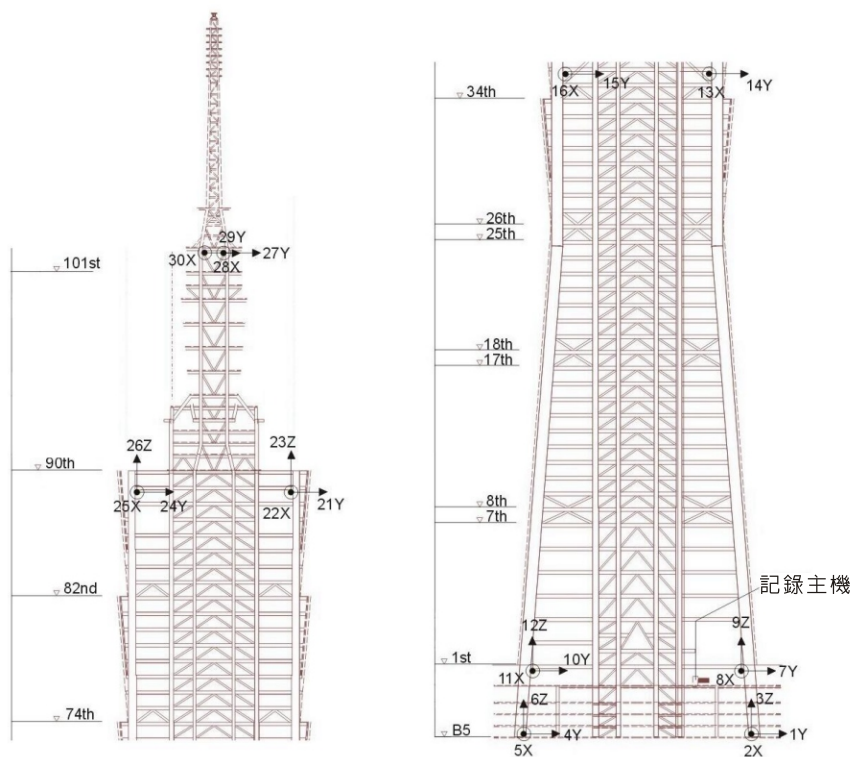
工程師針對多棟40樓層以下的建築進行量測，歸納出大樓自然振動週期計算的經驗公式：樓房建築的自然振動週期，約為樓層數除以10，亦即5層樓高的建築，自然振動週期約為0.5秒；10層樓高的建築，自然振動週期約為1秒；20層樓高的建築，自然振動週期約為2秒。依此類推。



■ 結構物地震監測系統

地震時，樓房的振動幅度較大，量測微小振動的「微震儀」，不適合監測樓房對地震的反應。因此，負責監測地震的中央氣象局，採用「強震儀」監測建築物在地震時的振動行為。這些裝設「強震儀」的建築物，有的是超高大樓，有的是醫院建築，也有的是學校建築。當地震發生，地震監測系統受觸發起動，收錄建築物振動反應。收錄資料可作為建築耐震研究使用。

下圖是臺北101大樓的地震監測系統，圖中的圓點代表強震儀裝設位置，當大樓受到地震或颱風擾動時，監測系統會自動啟動，記錄大樓的振動歷程。根據強震記錄的觀測，101大樓的自然振動週期約為6.8秒。



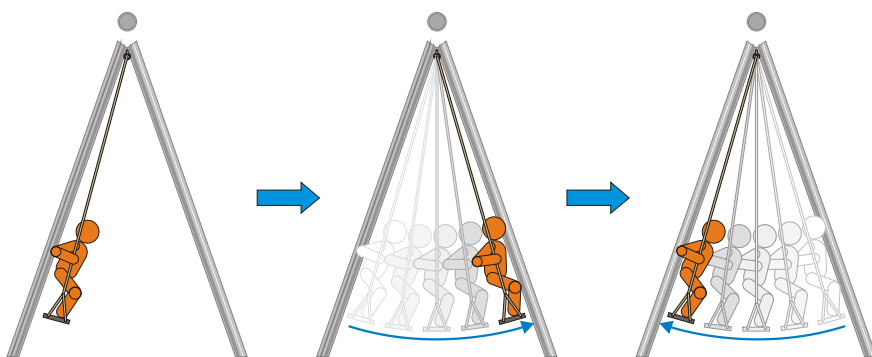
臺北101大樓的強震儀分佈／圖片來源：中央氣象局

(三) 樓房與地震波的共振現象

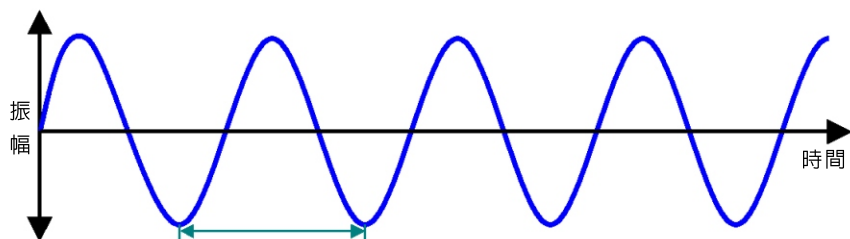
■ 什麼是共振現象？

一個外力作用在某個物體上時，如果外力的週期與物體本身的自然振動週期相同，將會使物體的振動量越來越大，這個現象稱為共振。

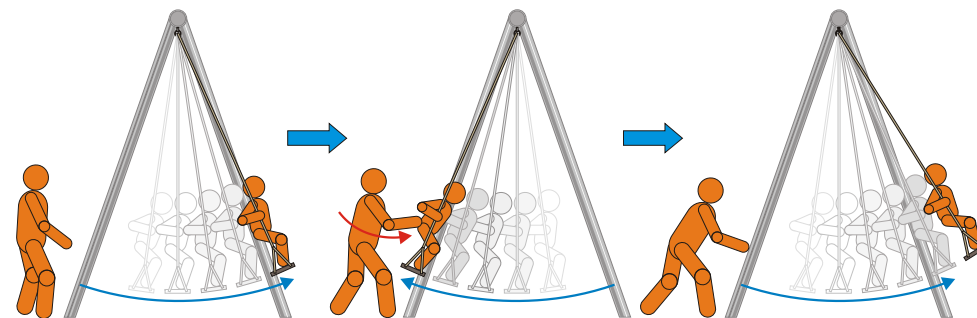
以盪鞦韆為例，假設鞦韆的自然振動週期為3秒鐘，旁人配合鞦韆的擺動節奏，每隔3秒推一下鞦韆，亦即外力的施力週期同樣為3秒，那麼外力與鞦韆就會形成共振，讓鞦韆越盪越高。



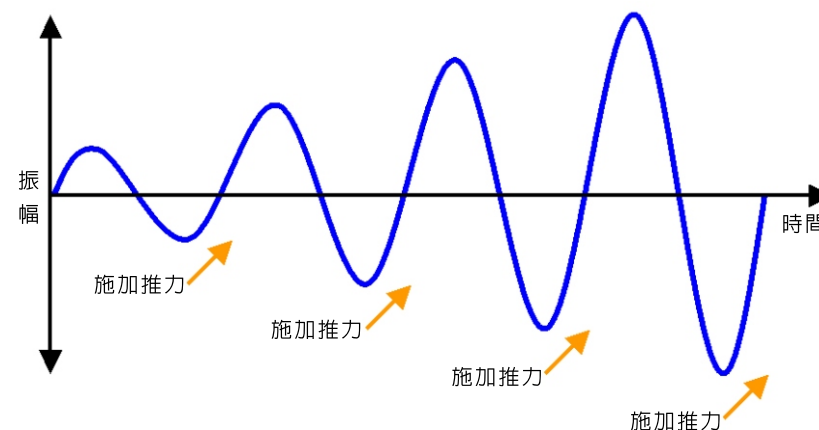
鞦韆來回一次的自然振動週期 (3秒)



鞦韆來回一次的自然振動週期 (3秒)



每隔3秒施加一次推力，推力與鞦韆會形成共振

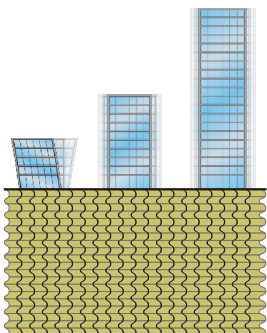


推力與鞦韆形成共振，鞦韆的振幅越來越大

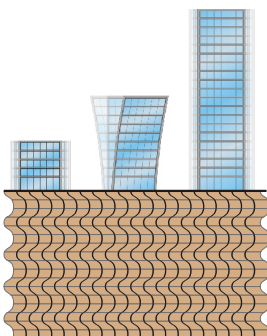
除了盪鞦韆，共振現象的應用在日常生活相當普遍，例如：想吃樹上的水果，可以搖晃果樹，當搖晃的施力週期與果樹的自然振動週期吻合時，果樹就會越搖越劇烈，而使水果掉下來；軍隊在吊橋上行走時，如果步伐節奏統一並且與吊橋的自然振動週期相同，吊橋會越晃越大，甚至發生斷橋危險。要避免軍隊步伐與吊橋產生共振，行軍至吊橋橋頭處時，了解「共振現象」的指揮官會下令士兵隨意漫步過橋。

■ 樓房與地震波的共振現象

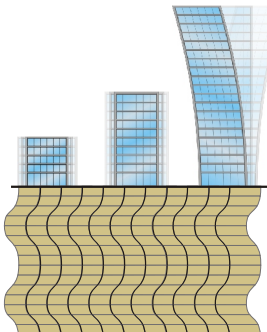
與鞦韆同週期的推力，使鞦韆越盪越高。同樣地，地震力也可能與樓房形成共振，使樓房擺動越來越激烈。樓房的自然振動週期，與樓層數相關；地震波的震動週期，與土層的深度或軟硬度相關。如果兩者週期一致，形成「共振現象」，樓房將激烈振動。



堅硬的地盤上，震波週期較短，與低矮樓房的週期相近。低矮樓房的變形程度相對較大。



普通的地盤上，震波週期稍長，與中等高度樓房的週期相近。中等高度樓房的變形程度相對較大。

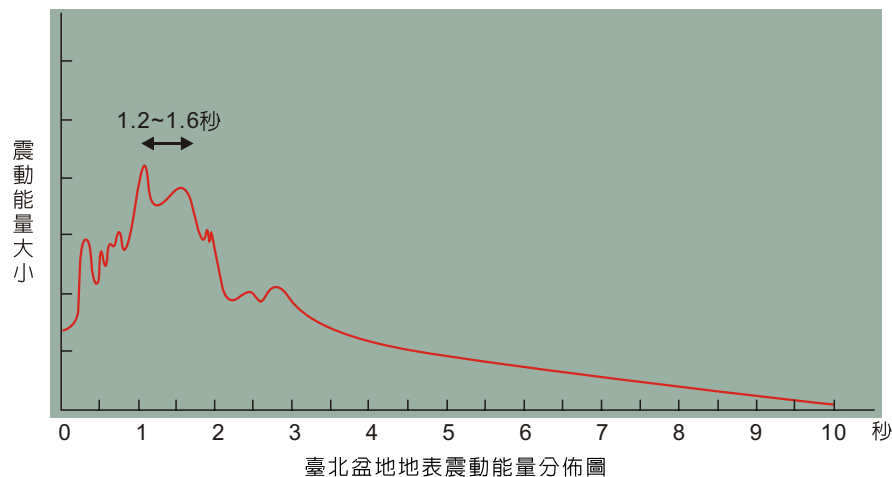


鬆軟的地盤上，震波週期較長，與高樓的週期相近。高樓的變形程度相對較大。

■ 臺北盆地效應對建築的影響

根據地震觀測站的資料分析，臺北盆地外緣的陽明山、新店等山區，地表震動週期為0.3秒~0.5秒，盆地內的地表震動週期為1.2秒~1.6秒。造成週期差異的原因，在於盆地內鬆軟深厚的沉積層，使長週期的震波顯著放大，形成盆地效應。

臺北盆地內，樓高12層~16層的建築，自然振動週期正好介於1.2秒~1.6秒之範圍，容易與盆地效應形成共振。所以國內的建築法規，針對臺北盆地，特別提升十多層樓建築物的耐震設計標準。至於顯著的地標臺北101大樓，大樓基樁貫穿沉積層至堅硬的地盤上，而且大樓的自然振動週期約為6.8秒，所以不會與盆地效應形成共振。



(四) 建築物與近斷層效應

■ 斷層切穿所造成的破壞

內陸地震發生時，如果斷層地表的破裂路徑，正好穿切建築物，無論建築物是房屋、橋梁或是堅固的水壩，都無法承受地表錯動的拉扯而遭受破壞。下圖為921集集地震時，車籠埔斷層於臺中縣豐原市與石岡鄉附近，地表破裂路徑圖，斷層穿切過使得埤豐橋坍塌，石岡壩破裂。



石岡壩在興建前曾執行地質探勘，當時專家認為古車籠埔斷層線離壩址有數公里之遙，不致對壩體造成威脅。不料集集地震中，車籠埔斷層穿切北端壩體，壩體破裂洩洪，南北兩端高差9公尺。壩體破壞處原貌保存為「國家震災景觀紀念地」。



車籠埔斷層穿切石岡水壩

距離石岡壩不遠的埤豐橋，車籠埔斷層穿切橋下大甲溪河床，使河床形成約7公尺的落差，橋梁因而坍塌。



倒塌的埤豐橋及斷層錯動形成的小瀑布

集集地震中，因車籠埔斷層穿切而震毀的房屋建築相當多，臺中縣霧峰鄉光復國中的校舍為其中之一，倒塌的校舍已保存為「921地震教育園區」。

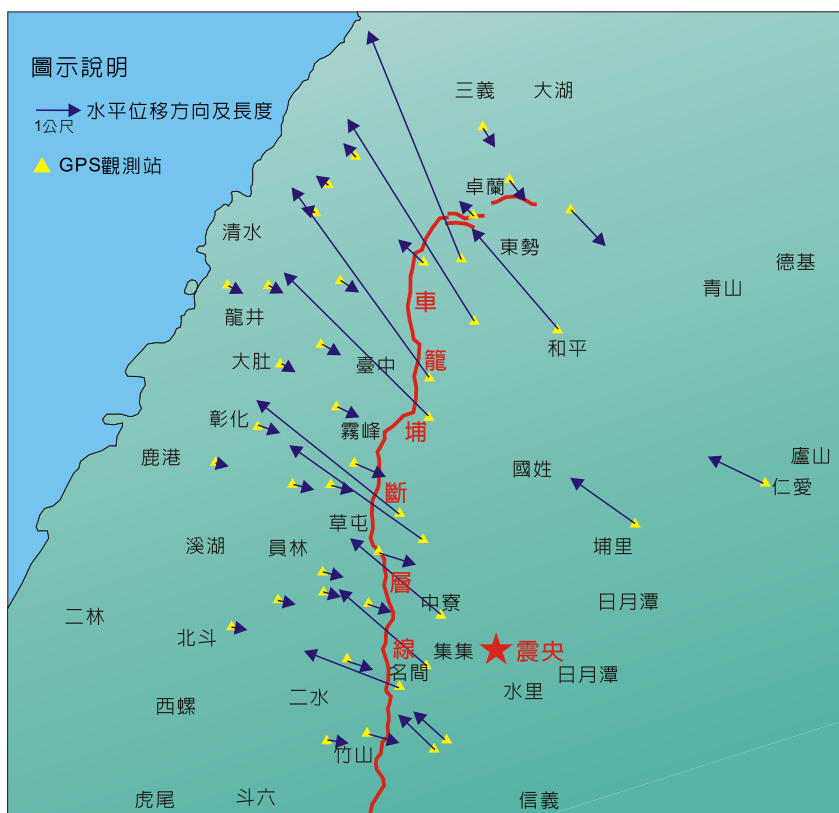


斷層切穿過霧峰光復國中校門口，川堂及花臺地表隆起，川堂兩側的校舍坍塌。

■ 地表的永久位移

斷層錯動通常伴隨著地表永久位移。以車籠埔斷層為例，斷層從苗栗卓蘭延伸至南投竹山，形成長達105公里的地表破裂線。斷層上盤的水平位移量達1.1公尺~9.1公尺。

下圖是「經濟部中央地質調查所」與「中央研究院地球科學研究所」利用GPS衛星定位系統，觀測921集集地震發生前後，地表永久位移的大小與分佈圖。從圖中可歸納：斷層上盤的永久位移量比斷層下盤大；上盤鄰近斷層的永久位移量，比上盤遠離斷層處大。



921集集地震地表永久位移情形
參考資料來源：中央地質調查所、中研院地球科學研究所

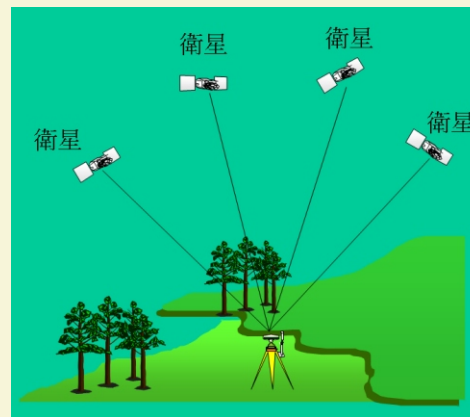
🔍 GPS可以測量永久位移

GPS是Global Position System全球定位系統的縮寫，其功能包括精確定時、導航、定位、工程測量、探勘測繪等。

美國軍方GPS系統包含24顆圍繞地球的衛星。使用者的接收器，至少須同時接收3顆以上的衛星訊號，才能進行定位。可以接收訊號衛星數量越多，定位的結果越精準。比較地震發生前後GPS觀測站位置的差異，便可計算觀測站所在地的地表永久位移，包括大小與方向。



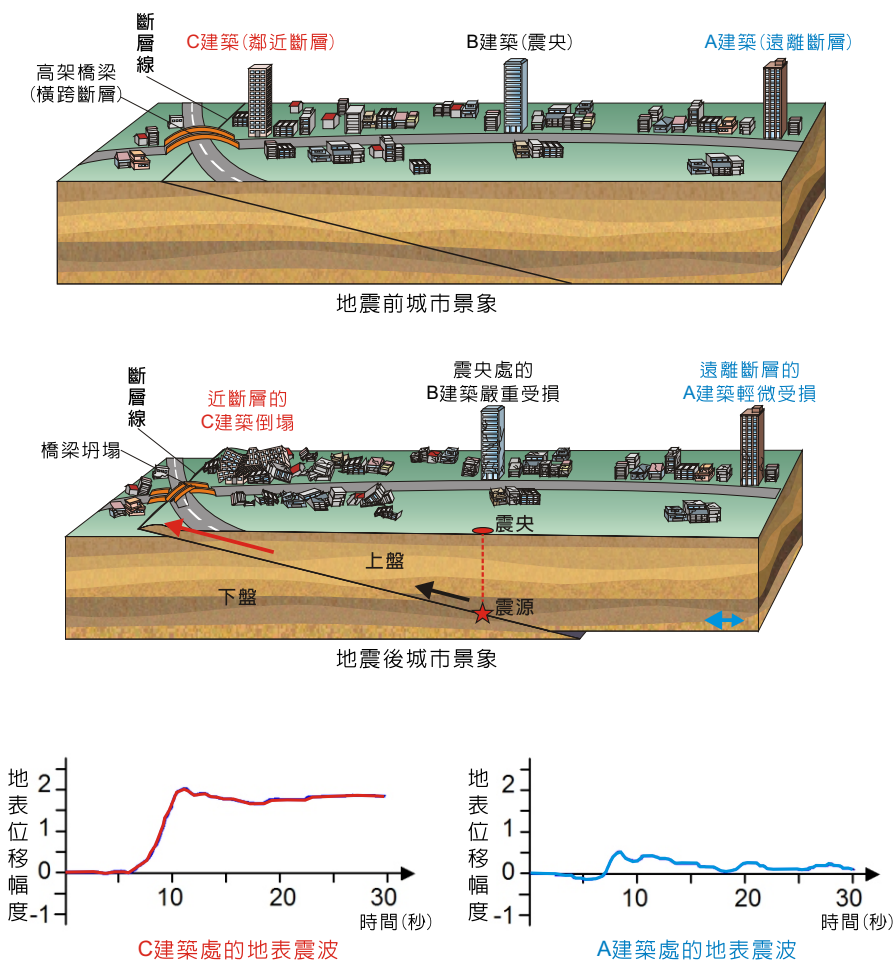
位於軌道中的GPS衛星／
圖片來源：美國太空總署NASA



地面的接收器正在接收衛星訊號

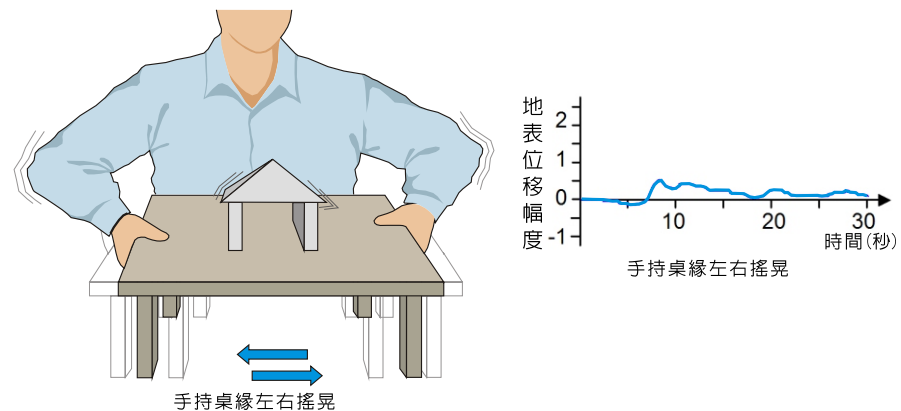
■ 鄰近斷層對建築物的影響

逆斷層錯動時，上盤遠離斷層處的地表，和上盤鄰近斷層處的地表，兩地區的地震波明顯不同。前者的地震波振幅小，地表震動呈現「往反運動」，永久位移小；後者的地震波振幅大，「往反運動」的行為不明顯，永久位移大。

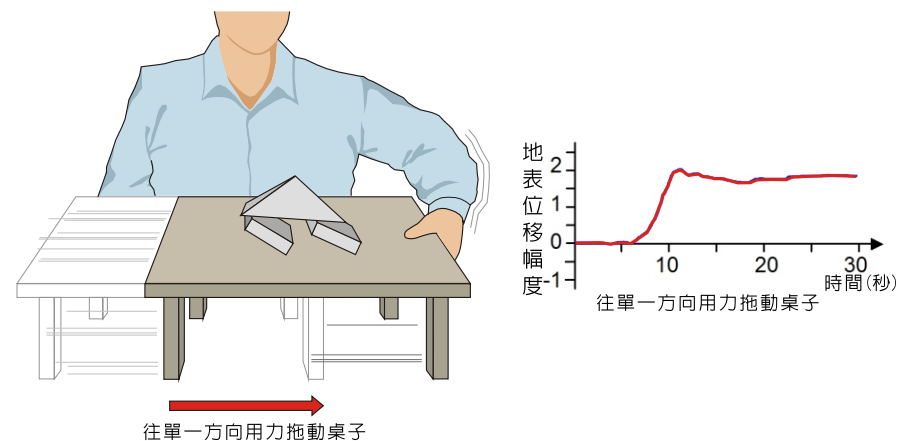


鄰近斷層處和遠離斷層處，不同的地表震動波形，對樓房的影響有何差別呢？我們可利用以下的積木實驗來觀察。

利用積木於桌面上疊成房屋的形狀後，手持桌緣小幅地左右搖晃，這時房屋會跟著桌子左右搖動，但不會瞬間倒塌。

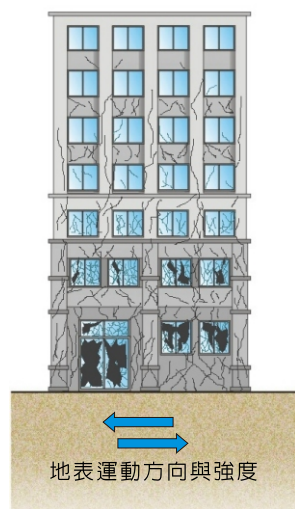


若是手持桌緣突然地往單一方用力地拖動桌子，房屋很容易瞬間倒塌。這種情形與上盤鄰近斷層處的地表運動相似。



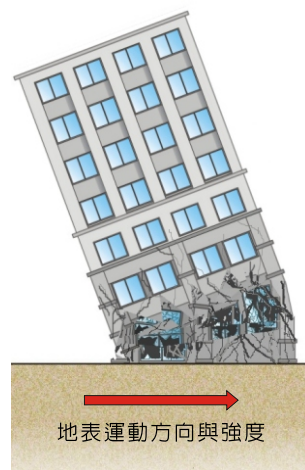
地震時，兩幢分別位於遠離斷層處和鄰近斷層處的相同樓房，受損情形有和差異呢？

遠離斷層處，地表震動幅度較小且呈往反運動，建築物藉著左右擺動，可有效地消散地震能量，使結構受損均勻，人員損傷程度相對較低。



建築物震損均勻但不倒塌

上盤鄰近斷層處，在極短時間內，地表朝單一方向大幅移動，建築物無法藉著左右擺動過程來消散地震能量，建築物受損程度相對較高，人員傷亡程度相對嚴重。

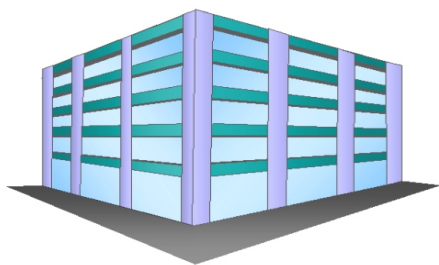


建築物集中破壞而倒塌

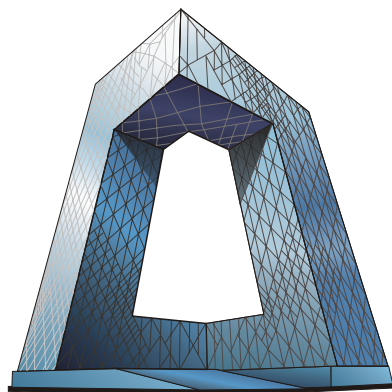
基於鄰近斷層地表的特殊運動行為，921集集地震後，國內的建築法規規定，鄰近斷層的建築物，設計時必須考慮「近斷層效應」。

(五) 建築物的外觀形狀與耐震性

建築物的造形與耐震能力關係密切。一般而言，造形簡單規則的建築設計，能以較低的建材成本，興建耐震性較佳的建築物；外形花俏多變的建築設計，需要較高的建材成本，以彌補外形上不耐震的缺陷。擁有外形獨特多變的建築固然賞心悅目，但若是購買或建造樓房作為居住使用時，應審慎考量耐震安全、經濟性與建築造形三者之間的平衡。



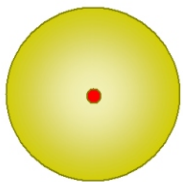
造形簡單規則的建築設計



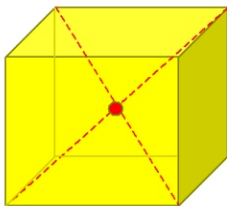
外形花俏多變的建築設計

■ 重心愈高，穩定性愈差

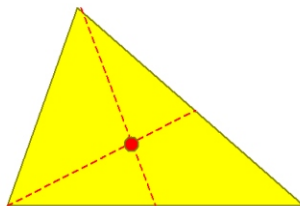
「重心」是指物體的質量分佈中心，例如：圓球的重心位於球心，正方體的重心位於兩個斜對角的交叉點，而三角形的重心則是位於兩條「中線」的交會點上。



圓球的重心

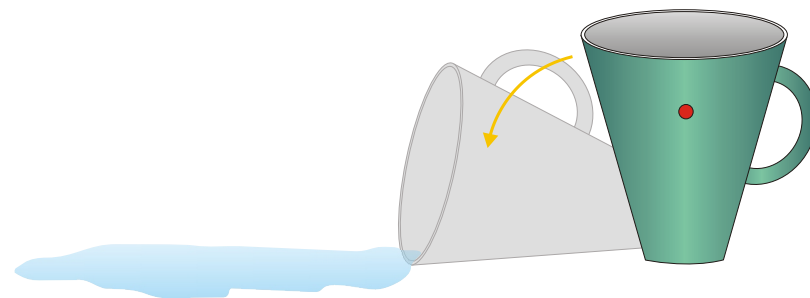


正方體的重心

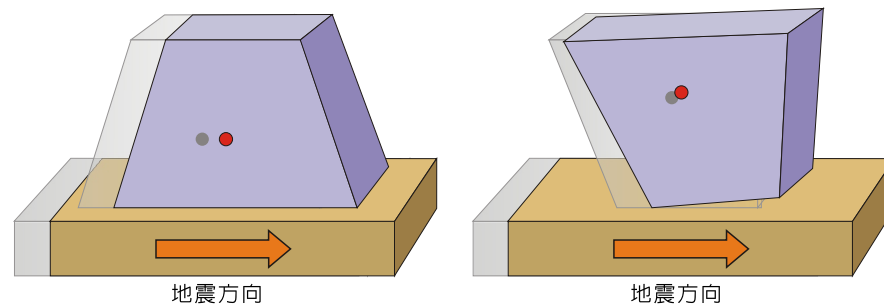


三角形的重心

物體的重心如果偏高，輕輕一推便容易倒下。



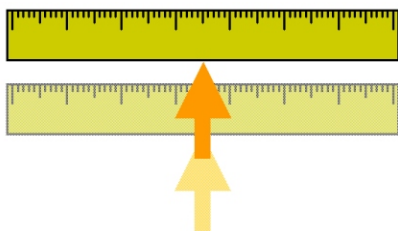
外形上寬下窄的物體，重心位置高，地震時，容易翻覆。所以，重心低的建築物相對上較為穩固。



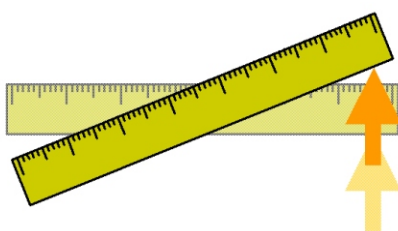
■ 扭轉現象－建築物的勁心與重心

● 什麼是「勁心」？

用手指輕推放在桌上的直尺，如果推動的點位於直尺中點，直尺會「移動」，但如果施力的位置不在直尺的中點，直尺會「轉動」兼「移動」。

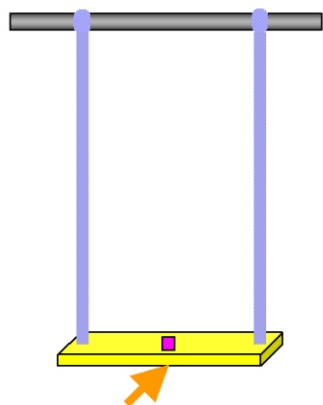


從中點推動直尺，直尺移動

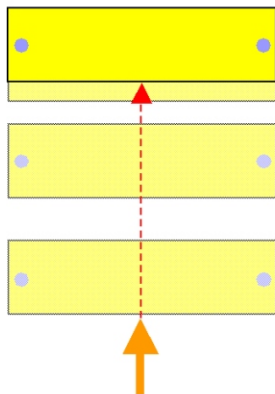


從側邊推動直尺，直尺移動與轉動

以下利用鞦韆說明什麼是「勁心」。正常鞦韆的兩條繩索粗細相同，手指輕輕碰觸木板的中點，鞦韆筆直移動。這個鞦韆結構，木板的中點就是鞦韆的勁心。

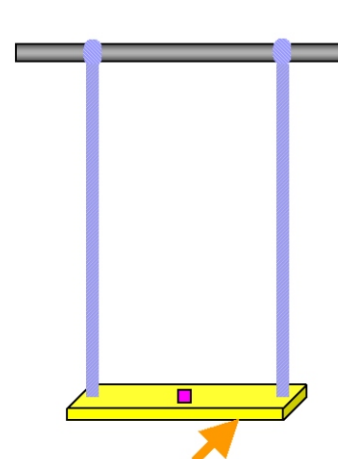


手指輕輕碰觸木板的中點

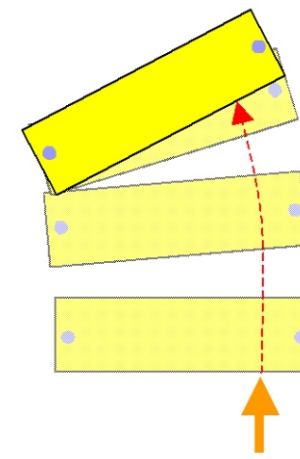


從鞦韆上方觀看，木板筆直移動

手指輕輕碰觸木板側邊，木板發生移動與轉動，所以這個碰觸點不是鞦韆的勁心。

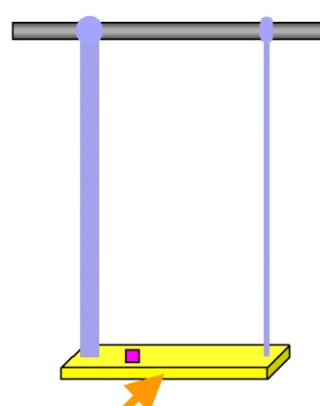


手指輕輕碰觸木板側邊點位

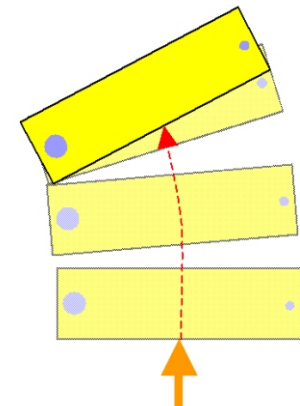


從鞦韆上方觀看，木板移動與轉動

如果繩索粗細不一，勁心的位置會偏移。手指輕輕碰觸木板的中點，木板發生移動與轉動，因為勁心已不在木板中點。

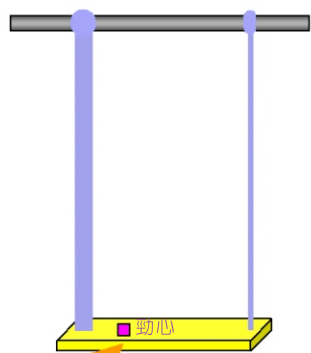


繩索粗細不同，手指輕輕碰觸木板中點

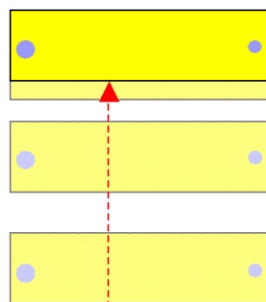


從鞦韆上方觀看，木板移動並轉動

手指試著輕輕碰觸木板上其他位置，直到找出使木板筆直移動的點，那一點即是勁心。所以，勁心的位置是由兩條相對粗細的繩索決定的，而且是位於靠近粗繩索的那一側。



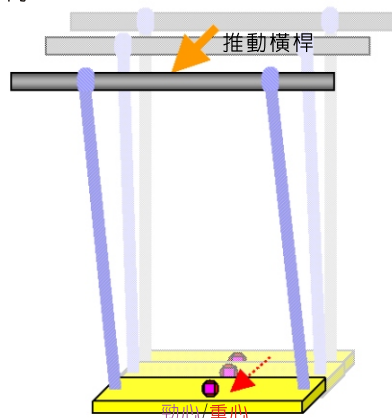
繩子粗細不同，
試著找到勁心的位置



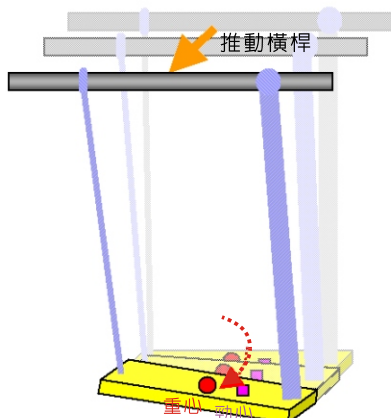
從鞦韆上方觀看，木板筆直移動

● 勁心和重心位置不同，造成扭轉

推動鞦韆橫桿，使鞦韆運動。如果繩索的粗細一樣，勁心與木板的重心位於同一點，木板以筆直的路徑移動；如果繩索粗細不一，勁心往較粗的一方偏移，此時勁心和重心不在同一點，木板會移動並扭轉。

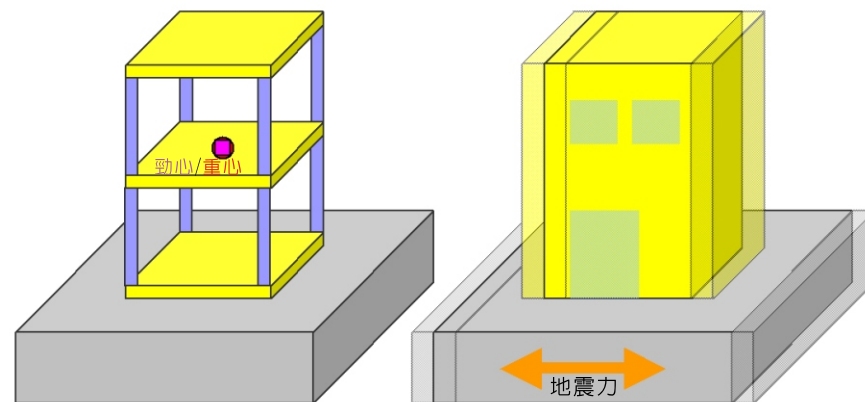


勁心和重心相同，木板筆直移動



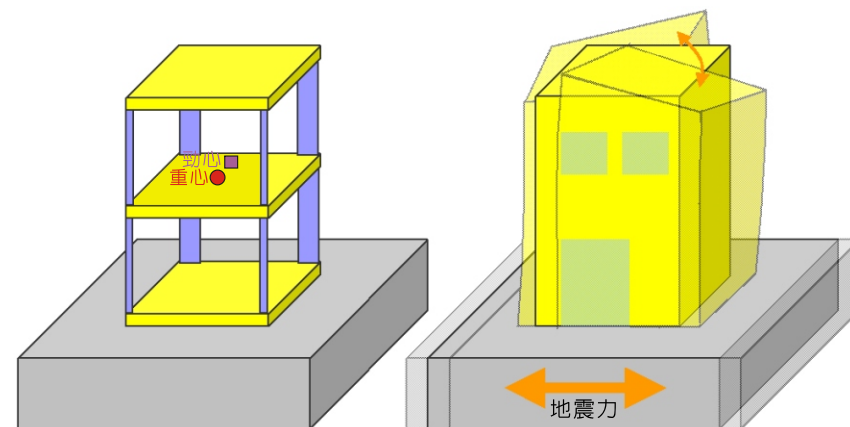
勁心和重心不同，木板移動並扭轉

建築物在地震時的受力情形，就如同推動橫桿讓鞦韆擺動一樣。造型簡單對稱的建築物，勁心和樓板重心同樣位於中心點，地震時建築物單純地左右搖晃，並不會發生扭轉。



造型簡單對稱的建築物，勁心和重心在同一點，地震時，建築物單純地左右搖晃

如果建築的樓板形狀對稱，但柱子粗細不同，勁心與重心不在同一位置上，地震時建築物除了左右搖晃外，還容易發生扭轉。



勁心和重心不在同一點，地震時，除了左右搖晃外，建築物還會發生扭轉行為

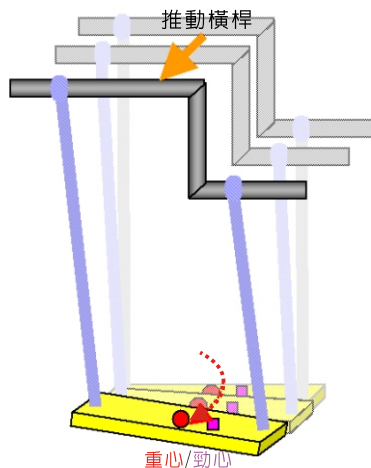
地震時建築物如果發生扭轉行為，柱子同時承受水平力量與扭轉力量，加重柱子的負擔。扭轉力量宛如扭毛巾，使柱子受損更嚴重。



2000年331地震中，臺北縣土城市一棟樓房，柱子呈現扭轉破壞

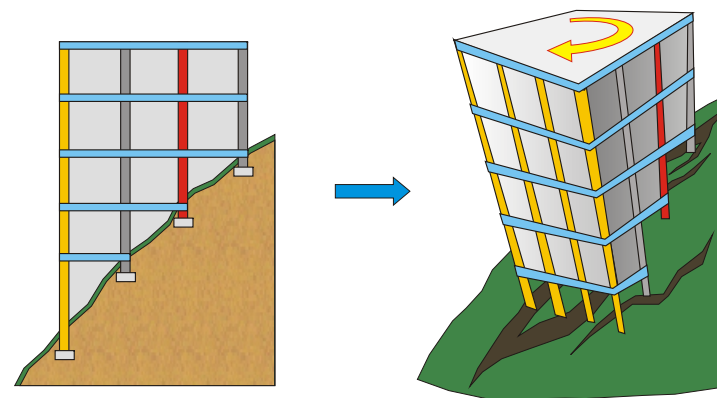
還有哪些因素會造成勁心與重心不在同一處，使建築物在地震時扭轉呢？我們繼續以鞦韆為例說明。

如果木板為長方形，繩索粗細相同，但長度不同，這時鞦韆的勁心偏移，使得勁心與重心的位置不同。推動橫桿時，木板移動並扭轉。



繩索長度不同，木板移動並扭轉

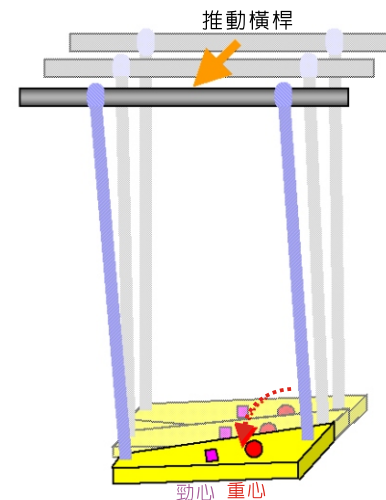
同樣的原理，斜坡上的建築物如果一側為長柱，一側為短柱，地震時，建築物同時發生移動與扭轉。



建在斜坡的建築物側面

地震時，柱子長度不同的建築物會產生扭轉

鞦韆繩索粗細相同，長度也一致，勁心仍維持在木板的中點，但如果木板左右不對稱，會使重心偏移，勁心與重心的位置不同。推動橫桿時，木板移動並扭轉。

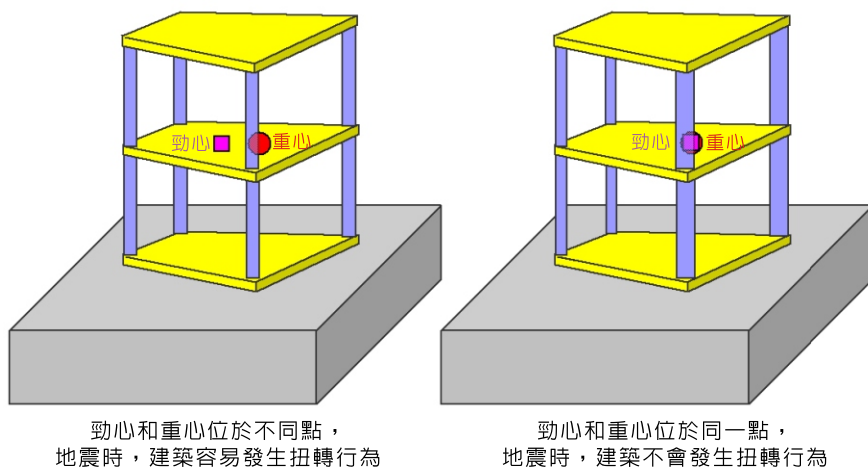


木板左右不對稱，運動時造成移動並扭轉

● 勁心和重心位置相同，可以避免扭轉

外型不對稱的建築物，地震時一定會發生扭轉行為嗎？事實未必如此！只要讓勁心和重心的位置一致，就能避免扭轉行為發生。以平面形狀為等腰梯形的建築為例，因樓地板不對稱而造成重心偏移。若加粗部份柱子，調整勁心位置，使勁心和重心一致，即可避免建築在地震時發生扭轉。

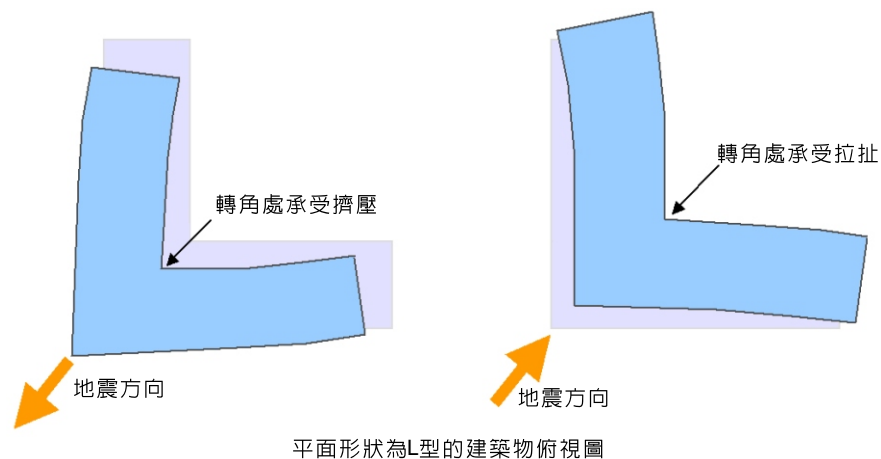
然而建築物的形狀越複雜，欲使勁心和重心一致的工程計算與工程實務難度越高，容易因少許誤差造成意外的扭轉，而不利於建築的耐震性。因此工程師建議購屋時，最好是選擇外型簡單對稱的建築物。



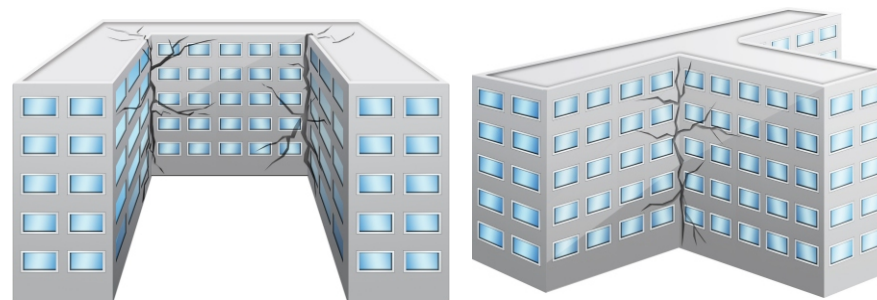
■ 外形不規則容易局部受損

● 平面L形的建築物，轉角處易破壞

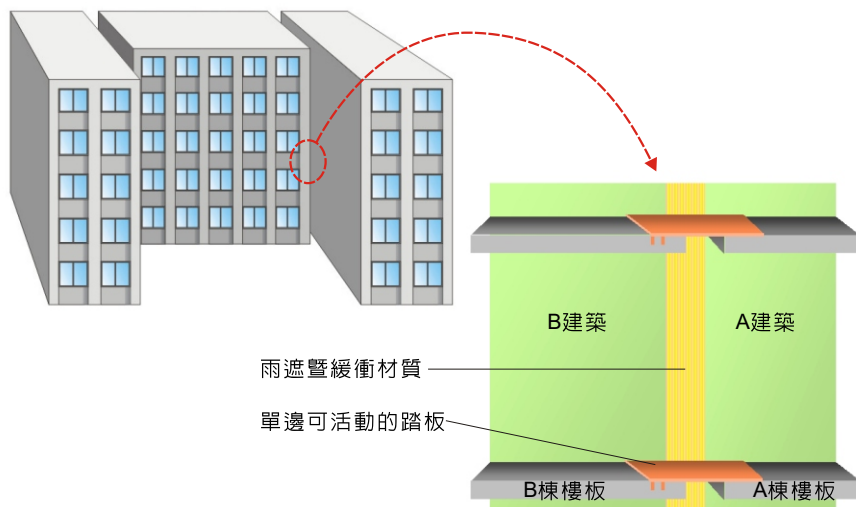
平面形狀為L形的建築物，地震時，轉角處承受較多的擠壓力量或拉扯力量，所以轉角處容易破壞。



除了L形外，凹字型、T字型等平面形狀不對稱的建築，轉角處情況相似，也都容易於地震時發生破壞。



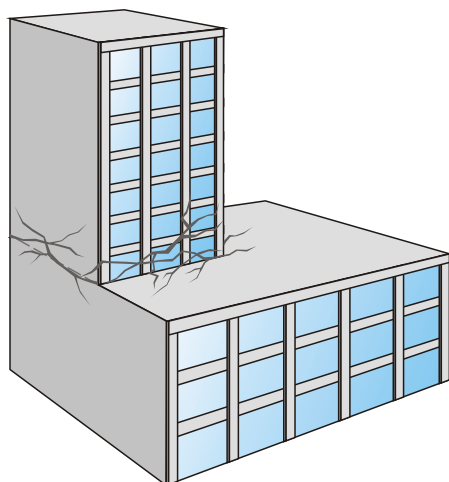
類似上述的建築設計，工程師通常建議採獨棟建造，以及保留適當的鄰棟間距，防範地震時發生碰撞。如果有功能上的需求，必須讓人們可以在各棟間往來行走，可將鄰棟空間走道，設計成類似捷運的車廂連結走道，通道間以緩衝材作為外牆，並以單邊可活動的踏板連接樓地板。



U形建築採獨棟設計，鄰棟間以通道相連

● 退縮建築容易局部受損

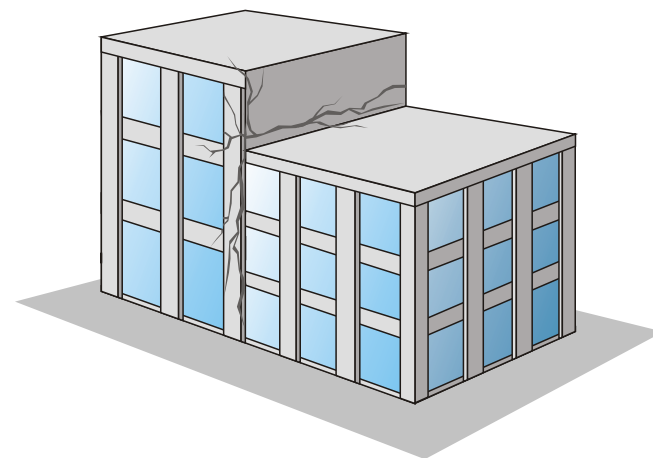
「退縮建築」是指建築的某個或某些樓層，樓地板面積突兀地大改變，建築物的立面形狀突然退縮。地震時，樓層退縮處受力行為較為複雜，容易破壞。



退縮建築的樓層退縮處容易破壞

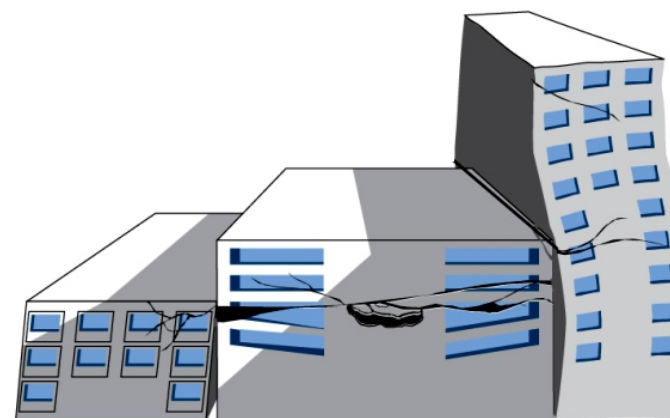
■ 梁線不連貫造成耐震力不佳

一棟建築，樓地板高程不一致，梁線不連貫，當地震發生時，承受左右兩側橫梁與樓板夾擊的柱子，容易破壞。



■ 鄰棟間距不足

建築物彼此間隔距離不足，地震時可能相互碰撞而震損。尤其，高度不同的建築，有不同的自然振動週期，更應預留足夠的變形空間，防止地震過程彼此發生碰撞。



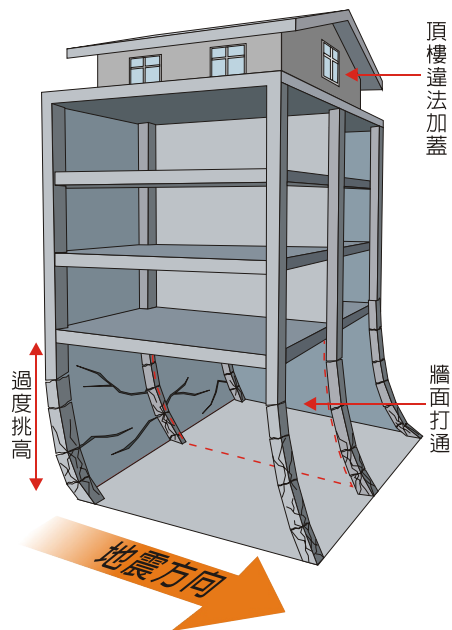
鄰棟間距不足，建築物相互碰撞而震損

■ 軟弱層建築的耐震力不佳

● 什麼是軟弱層？

結構上，如果某一樓層比其他樓層明顯軟弱，地震摧毀的能量會集中在這一層樓，造成該樓層先坍塌，而其它樓層跟著倒塌，這種建築物就稱為軟弱層建築，而先被震垮的樓層則稱為軟弱層。造成軟弱層的因素可能是牆量不足、樓層過度挑高、頂樓違建等因素。

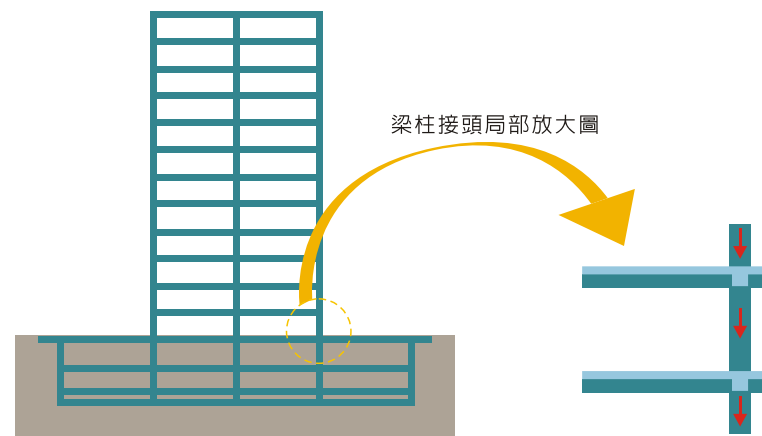
房屋設計時，若為了門面美觀氣派而將一樓過度挑高，卻沒有加粗柱子或增設牆壁量，一樓大廳可能會成為軟弱底層；倘若住戶再自行違法頂樓加蓋，加重底層結構的負荷，對於底層的耐震力更是雪上加霜。



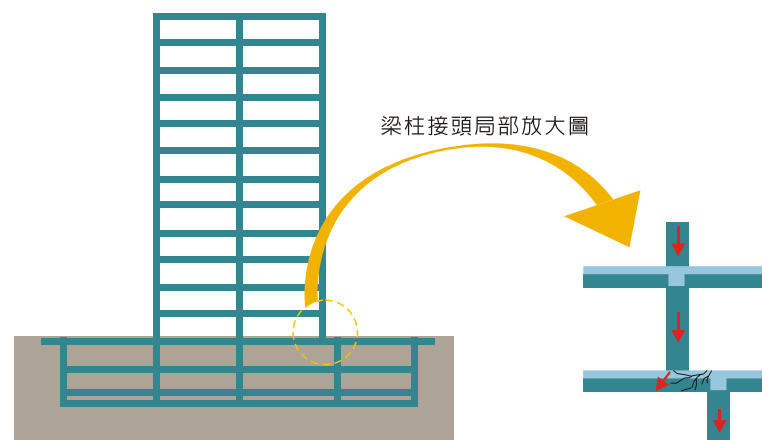
許多建築頂樓加蓋、一樓壁量不足，形成軟弱底層，以致921集集地震時，一樓完全崩塌而無存活空間／照片來源：內政部營建署雪霸國家公園管理處 俞錚峰 攝

● 柱線不連貫

柱子從基礎到頂樓直線連貫，建築物的重量才能有效傳遞至基礎，使整個結構系統受力均勻而穩固。

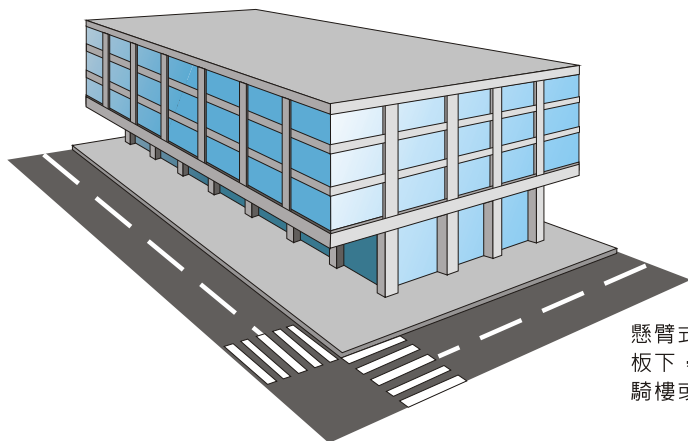


如果柱線不連貫，建築物重量的傳遞路徑複雜，容易在不連貫處發生破壞，而形成軟弱層，增加地震震損倒塌的風險。



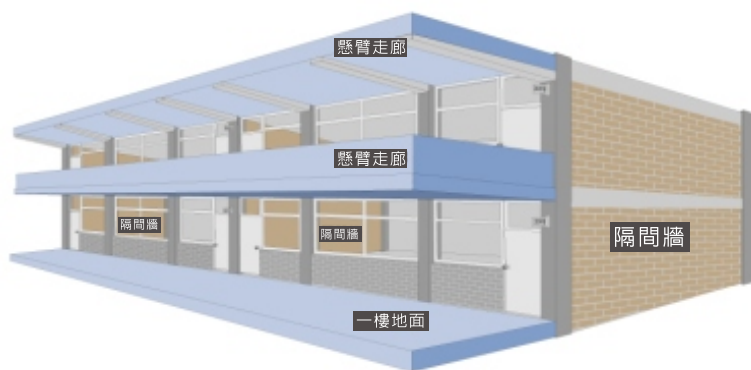
● 懸臂式建築

建築物一樓鄰馬路邊的樓板懸空，這種建築稱為懸臂式建築。懸空處沒有柱子分擔樓板重量與地震力，所以底層的耐震性通常不佳。現今仍可看到部分的舊式建築，是屬於懸臂式建築。



懸臂式建築懸空的樓板下，通常作為遮雨騎樓或商家營業使用

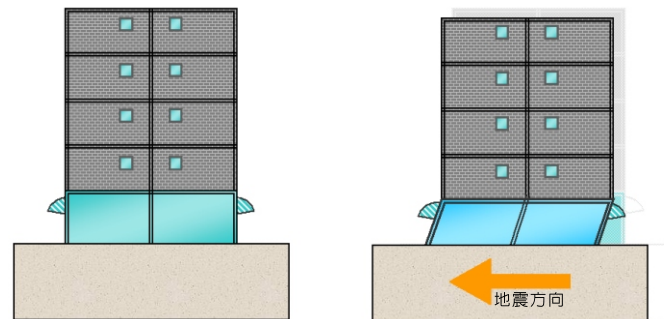
臺灣1970年代以前興建的校舍，設計上著重採光、通風、師生活動空間，因此多設計為「廊外無柱」的懸臂式建築，耐震力普遍不足。921集集地震時，中部地區這類型老舊校舍，多嚴重震損或倒塌。



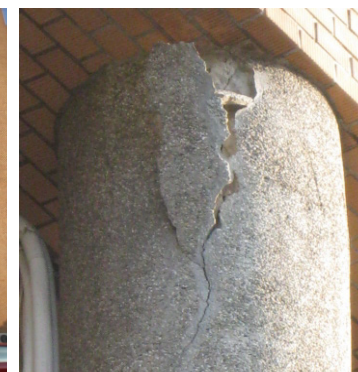
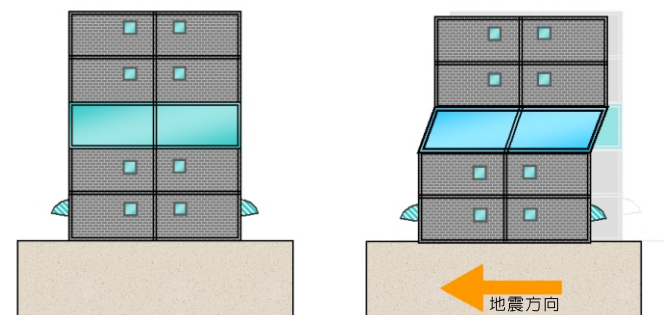
臺灣早期許多校舍多屬於懸臂式建築

● 壁量不足

為了方便陳列商品、打造開闊的賣場空間，緊鄰街道的一樓商家常將牆壁打除，而以大片的透光玻璃替代以吸引客群，使得一樓的耐震力變差，形成軟弱底層建築。



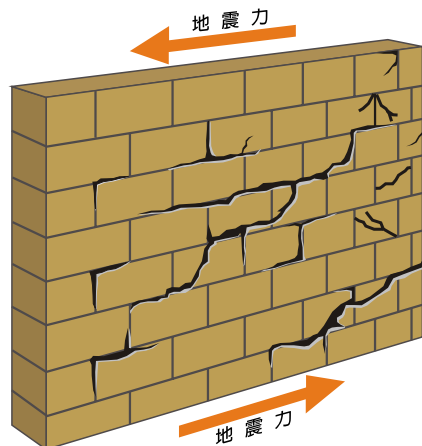
除了一樓之外，建築物其他樓層也可能為了作為開放性營業空間而打除牆壁，以致於該樓層成為軟弱層。



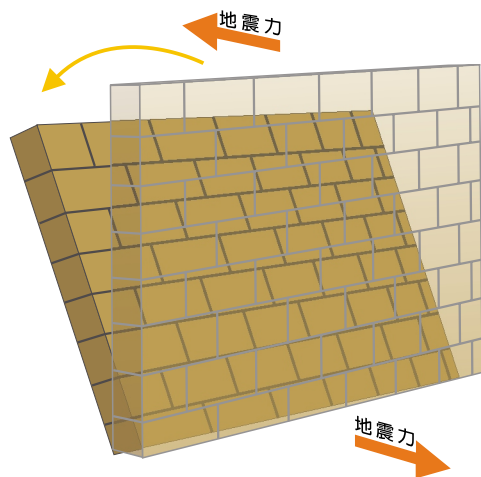
臺北市大安區一棟公共建築，二樓壁量少且柱子細長，形成軟弱層現象，柱子多震損

■ 牆壁可提升建築物的耐震力

當地震力與牆壁平行時，牆壁就如同一根粗壯的柱子，可以協同柱子共同抵擋地震力。地震過後，即使牆壁出現裂痕，只須適時修補，仍可在下次地震時，繼續發揮抵抗地震的能力。

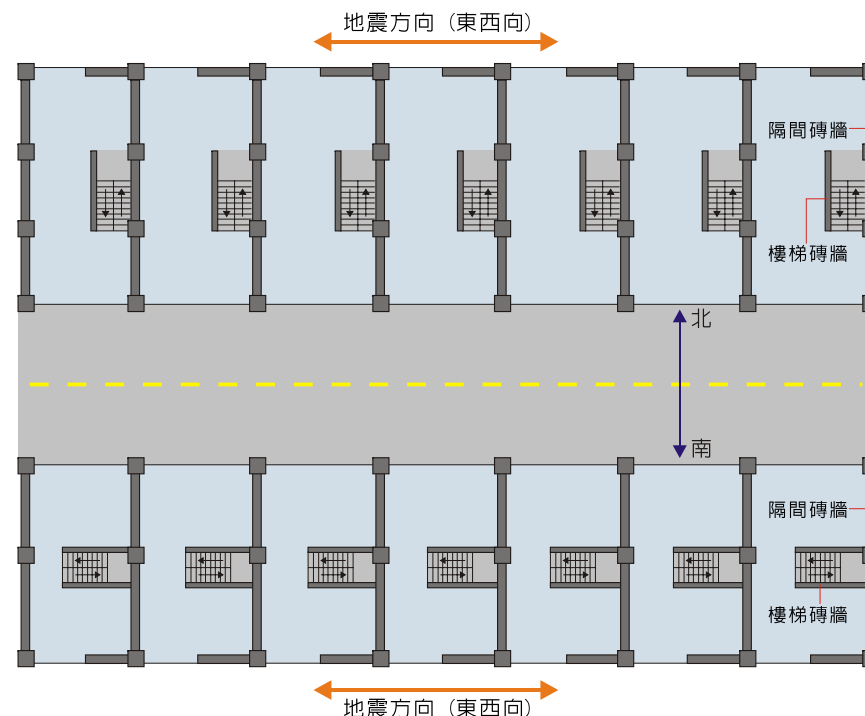


當地震力與牆壁垂直時，牆壁顯得柔弱，無法協助柱子抵抗地震地震力量。



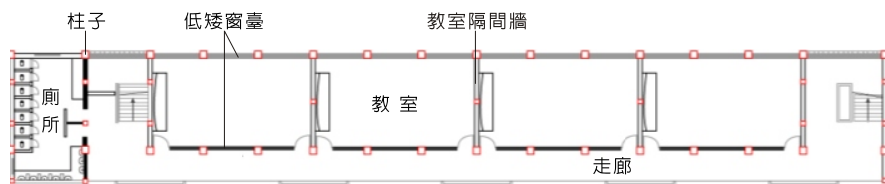
因此，要提升建築物的耐震力，壁量與配置方向應適當得宜。

921集集地震的災害調查發現，一條街道的南北兩側建了外觀雷同的平房建築，地震過後，北側的樓房沿著街道方向倒塌了，南側樓房卻沒有倒塌。這是為什麼呢？



結構專家分析認為，南側樓房的樓梯牆壁與隔間牆垂直，為東西向，因此可以抵抗東西向地震力；相較之下，北側樓房的樓梯牆壁與隔間牆平行，雖然可以抵抗南北向的地震力，但是無法協助建物抵禦東西向地震。所以，僅僅因為牆壁方向上的差別，北側樓房沿著馬路方向倒塌，南側樓房卻沒有倒塌。

早期興建的校舍情形相似，教室之間有完整的隔間牆，與隔間牆垂直、走廊平行的兩側，則只有低矮的窗臺。因此921集集地震時，眾多校舍震倒的形態相當類似，多沿著走廊的方向倒塌。



典型老舊校舍的平面圖



集集地震，校舍震倒的形態普遍沿著走廊方向倒塌

集集地震發生前，極少數的校舍在一樓柱子兩側加建窄牆，大幅提升底層的耐震力，因此倖存而免於崩塌。



臺中縣大里市塗城國小在集集地震的震損情形。照片中，一樓柱子兩側有窄牆，一樓結構仍然完整；但柱旁沒有窄牆的二樓則震損。

■ 耐震建築物的樣式

前文的介紹，說明了建築的外形樣式與建築的耐震能力關係密切。因此買屋或造屋，最好選擇外觀簡單、對稱的建築形式，例如：正方形、長方形、正梯形、圓柱形等；內部結構方面，宜採柱線與梁線連貫、上下樓層牆壁連貫且方向上配置平均。這類建築在地震時的振動行為比較單純，沒有特殊弱點。

