

序

豐富的地質活動與天候變化，形塑了「婆娑之洋、美麗之島」的臺灣。多地震、多颱風的自然環境，是生活在這片土地上的每個人，都得學習面對與適應的共同課題。由於科技進步的緣故，如今颱風預報已能示警大眾作好防颱工作；但對於地震，科學家目前仍無法準確預測可能發生的時間、地點與規模。地震常令人感到威脅，難以防範。

地震是大地的震動，震央在空曠區域的強烈地震，並不致引起嚴重傷亡。強烈地震震央若鄰近都市城鎮人口集中區域，造成嚴重死傷的原因多來自倒塌的建物。一場侵襲都市城鎮的大地震，將考驗著每一座建物，耐震性能優者存留，不耐震者嚴重損壞或倒塌。生活在地震帶上，建物是否耐震，經得起地震的強烈搖晃，確實是攸關生死的議題。

近二、三十年來，臺灣地區地震災害頻繁，民衆越來越關心住家樓房的耐震性。為了向大眾介紹「工程師觀點」的耐震建築，同時也為吸引更多年輕學子從事地震工程研究或實務，國家地震工程研究中心著手編輯本手冊，希望能以顯淺的文字敘述、圖例與模型實驗、地震災害案例解說、和選購屋舍注意事項，來介紹地震與建築。

今年適逢921集集地震第十週年，當年在國小就學的學童，如今已成年就讀高中或大學院校了，不知他們對這場地震是否仍有深刻印象。印象與記憶或許會隨時間流逝而模糊和淡忘，但經驗與教訓則應繼續留傳。期讓當年教訓能用於災害防治，這樣才能使十年前受難者的損失有所意義。希望本手冊能扮演一些經驗與教訓傳承的角色。

國家地震工程研究中心主任



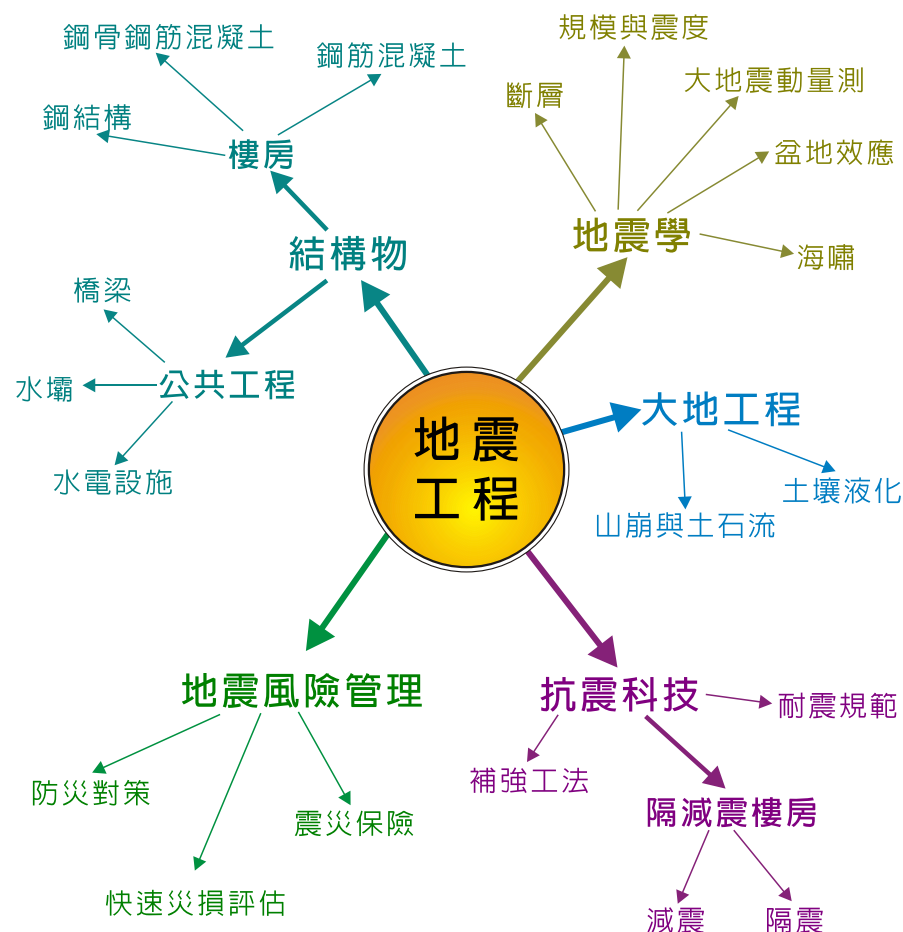
地震工程科技涵蓋的層面廣泛，凡是能減輕震災程度、迅速恢復社會機能的科技，都屬相關範疇。如果以上、中、下游的觀點區分，地震工程科技的上游是地震學、中游是工程技術、下游是災害風險管理，每個領域皆相當專業而繁浩。

普遍而言，大眾對於「地震工程」感到陌生，但對「住的安全」相當關心，所以本手冊定位為科普教材，以「耐震安全的家－認識地震工程」為主題，目的在喚起大眾防震減災意識，引導大眾對地震工程的好奇和學習。手冊避免使用數學公式，代之以照片、圖片與顯淺的文字，解說工程原理，希望藉由近似漫畫的表現方式，能讓閱聽大眾從手冊中了解地震活動、地震災害、耐震建築原理、如何選購耐震好宅、居家安全注意事項、震後屋舍檢查要點；也希望能讓高中在學學生對土木工程、環境工程、新興耐震技術等學門感到興趣。

手冊的素材，部分來自公家單位以及學校老師，感謝他們惠允使用；部分為國震中心同仁所提供；還有部分為編輯小組平時接待國震中心訪客，事先整理繪製的內容。編輯小組見識有限，內容或有疏誤，盼各方先進指正，督促手冊編修。

編輯小組 李政寬 張惠玲 邱世彬

地震工程的架構：



目 錄

頁次

第一章 地震概說

(一) 為什麼會發生地震	2
(二) 臺灣歷史上的地震	12
(三) 震央、深度、規模與震度	20
(四) 地震波的傳遞	30
(五) 中央氣象局地震觀測網	36

第二章 地震災害與大地環境

(一) 邊坡的穩定性	42
(二) 哪些地方不適合蓋房子	50
(三) 土壤液化現象與防治	52
(四) 盆地效應	64

第三章 地震與樓房振動

(一) 地震如何使房屋振動與變形	74
(二) 樓房的自然振動週期	78
(三) 樓房與地震波的共振現象	86
(四) 建築物與近斷層效應	90
(五) 建築物的外觀形狀與耐震性	98

頁次

第四章 房屋結構的介紹

(一) 臺灣常見的建築構造	120
(二) 鋼筋混凝土構造的原理	130
(三) 鋼筋混凝土構造的施工細節	140

第五章 地震工程科技

(一) 地震工程科技簡介	154
(二) 減震技術	158
(三) 隔震技術	172
(四) 電腦在地震工程上的應用	184
(五) 建築物耐震設計規範	192
(六) 建築結構的耐震補強	198

第六章 居家抗震

(一) 921地震，一位受災者的現身說法	208
(二) 傢俱、家電與易碎物件的牢固	210
(三) 地震避難須知	218
(四) 地震保險	226

附錄一、屋舍震後檢查

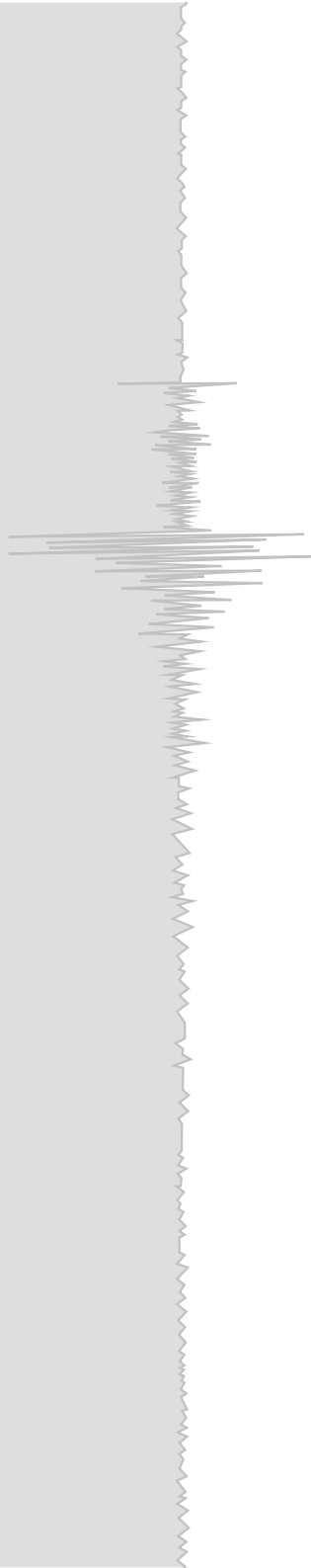
230

附錄二、選購屋舍停看聽

240

附錄三、地震工程相關網路資源

244



第一章 地震概說

- (一) 為什麼會發生地震
- (二) 臺灣歷史上的地震
- (三) 震央、深度、規模與震度
- (四) 地震波的傳遞
- (五) 中央氣象局地震觀測網

(一)為什麼會發生地震

■ 地震傳說

猶如在深遠幽暗的隧道中尋找出口的亮光，人類歷經漫長的思考和探索後，終於在二十世紀初逐漸明瞭地球的構造以及板塊運動與地震之間的關聯。這一連串的發展之前，生活在地震帶上的人們即使飽受地震的威脅，卻從不明白地震發生的原因，只能以穿鑿附會的方式各自揣測，因而發展出許多地震傳說。

中國古老的傳說中，地震是一種稱為鯢魚的動物所引起的；日本的神話裡，地震是鯰魚在興風作浪；希臘有海神波賽頓引發地震的神話故事；北美有些原住民部落相信大地是由幾隻烏龜駝著的，每當烏龜彼此爭吵，大地就會顫動；過去中美洲的住民則以為抬著大地的神會偶爾將大地抖一抖。

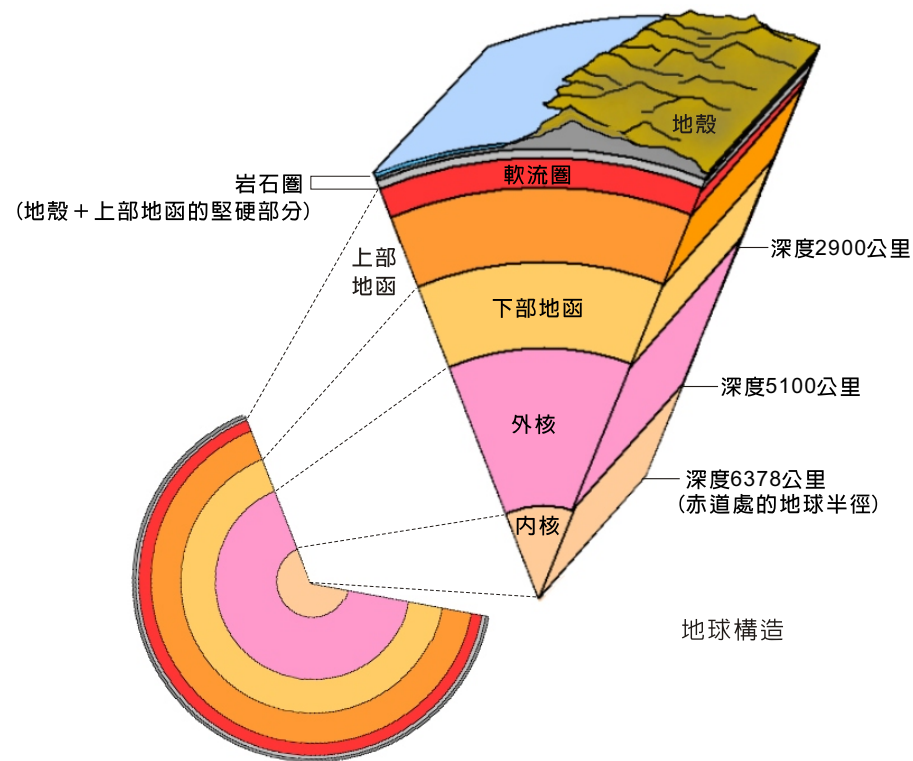
在臺灣，早期的住民認為地底有一頭大地牛在睡覺，每當牠睡醒翻身，就會牽動大地，引發地震，因此發生地震時，人們就說：「地牛翻身了！」



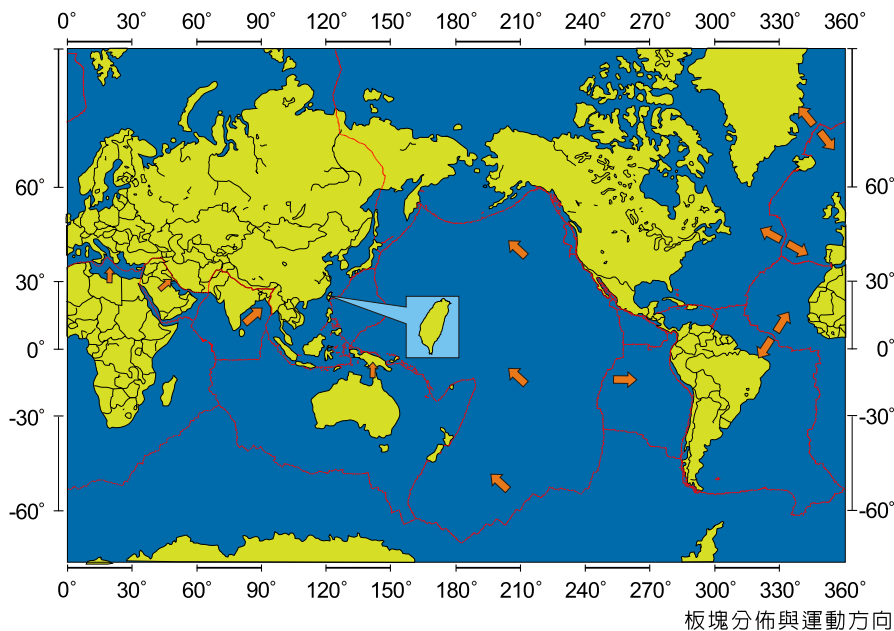
■ 板塊運動

地球的構造由內而外可大致分為：地核、地函、地殼三個部分。地核位於地球深度2,900公里以下至地心處，又分為內核和外核。

地函是由固態岩石及部分融熔的岩漿所構成。上部地函的堅硬部分與地殼合稱岩石圈，厚度約100公里；岩石圈下方有一層部分融熔的岩漿稱為軟流圈。

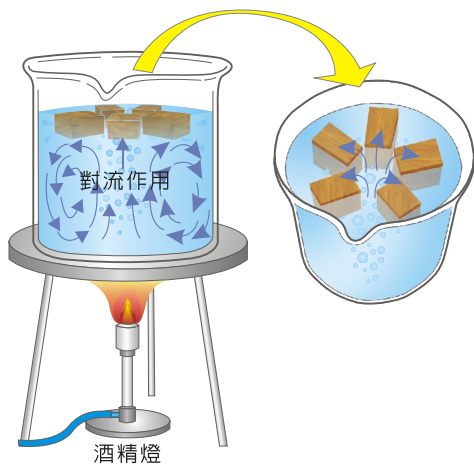


地殼就是我們所站著的土地，平均厚度只有35公里。如果把地球以蘋果來比喻，地殼的厚度相當於蘋果皮，不過這個「蘋果皮」並非完整連續，而是像拼圖一樣，由一塊一塊的板塊拼湊而成的。



地殼板塊可分為非洲、美洲、歐亞、印度洋、太平洋、南極等六大板塊及其他小板塊，這些板塊會因為地函的熱對流作用，而導致板塊運動。

地函的熱對流作用為什麼會讓板塊移動呢？我們可以利用這個實驗來觀察：

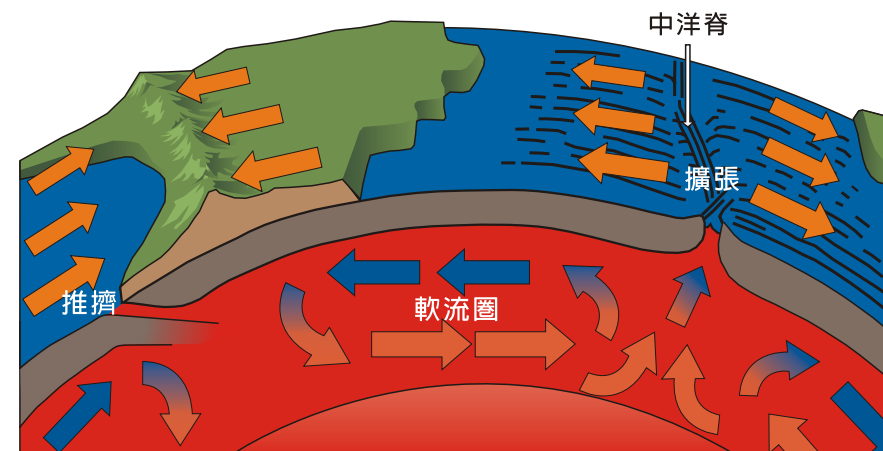


將裝有水及小木片的水杯加熱，水的對流作用會使木片往遠離熱源的方向移動。

對流作用越強時，木片移動越明顯，移動的過程中木片可能彼此碰撞。

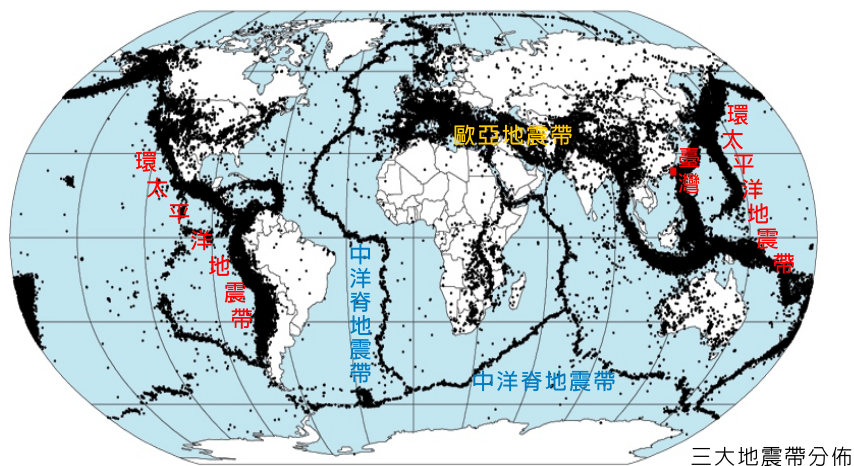
地殼下方的軟流圈，因為地球內部的高溫產生旺盛的對流作用，經常有熔岩自中洋脊湧出。冷卻後的熔岩形成新的岩塊，使中洋脊兩側的板塊不斷往外擴張，因而對相鄰的板塊造成推擠。

板塊運動的速度緩慢而難以察覺，但隨著板塊的推擠，持續累積的能量可能在瞬間爆發，使板塊之間相互錯動而引發地震，因此板塊交界處的地震發生頻率高。



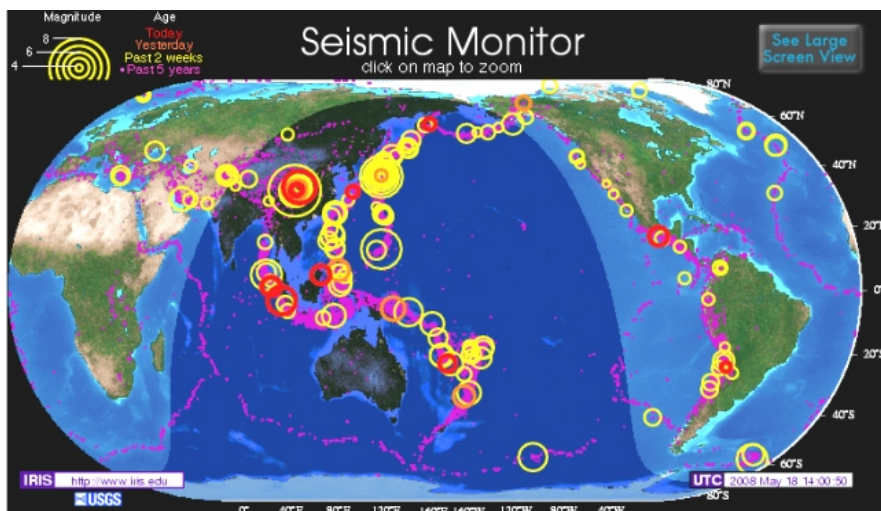
地震帶

世界上最常發生地震的地區，大致與板塊的接合線相符，這些地區被歸納為三大地震帶：環太平洋地震帶、歐亞地震帶、中洋脊地震帶。根據統計，全世界超過80%的地震發生在環太平洋地震帶，10%~15%發生在歐亞地震帶，中洋脊地震帶只有大約5%。



三大地震帶分佈

下圖為2008年5月18日擷取自美國IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology, 地震學研究機構聯合會) 地震觀測網的網頁畫面，可以進一步驗證地震發生的區域與頻率。

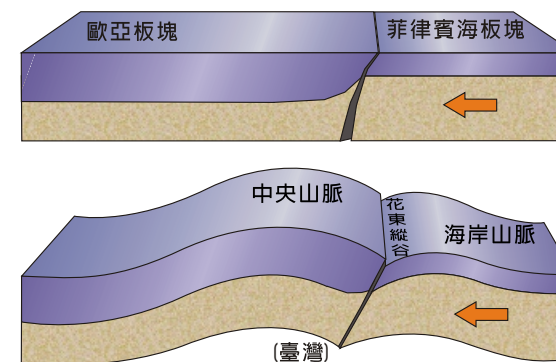


圖中粉紅點代表擷取日期前2週至5年間規模4以上地震的震央位置；紅色、橘色、黃色的圓圈分別代表擷取日當天、前一天和過去二週內，規模4以上地震的震央與規模，圓圈越大代表規模越大。

IRIS地震觀測網網址<http://www.iris.edu/seismon/>

■ 臺灣的板塊構造與造山運動

臺灣島的形成，是由於菲律賓海板塊與歐亞板塊互相推擠，使海底的沉積岩隆起而露出海面。這種因為板塊推擠使岩層產生隆起、褶皺和斷層的現象，稱為造山運動。

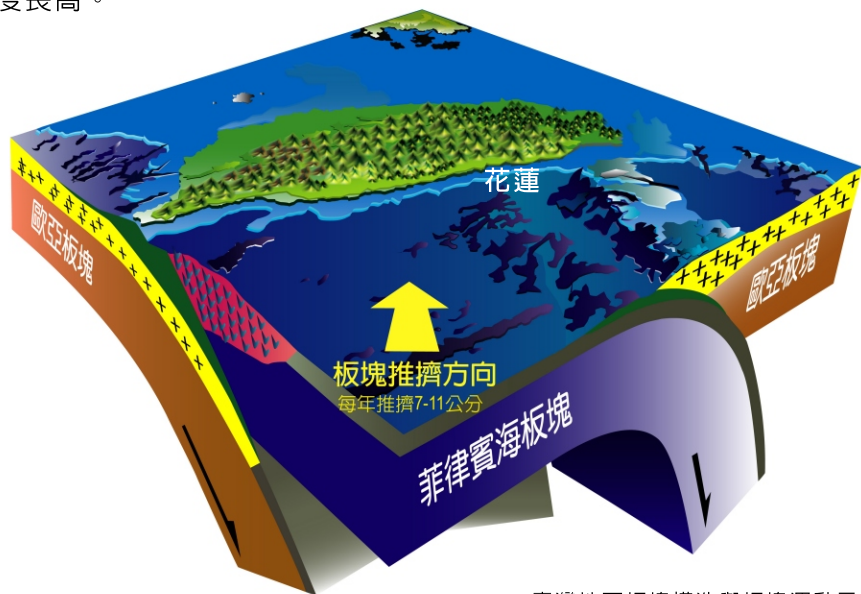


臺灣在地形上以花東縱谷為界，左右分屬不同的板塊，縱谷以東的海岸山脈屬於菲律賓海板塊，以西的中央山脈及西部山麓平原屬於歐亞板塊。



Google Earth立體影像，中央低陷處為花東縱谷，左側為中央山脈，右側為海岸山脈。

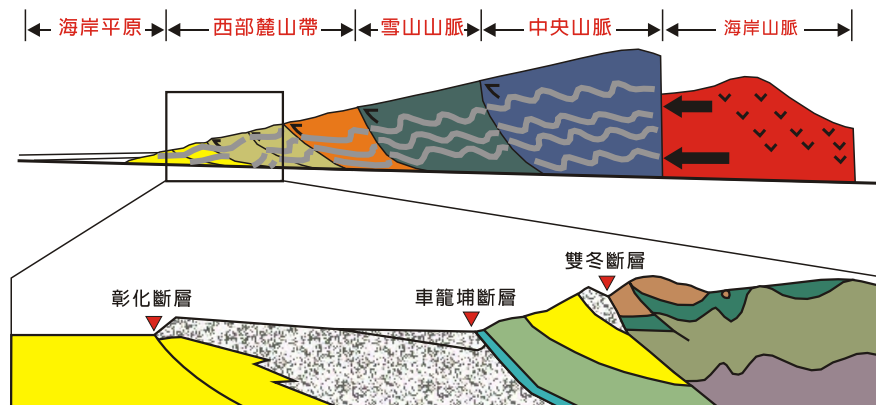
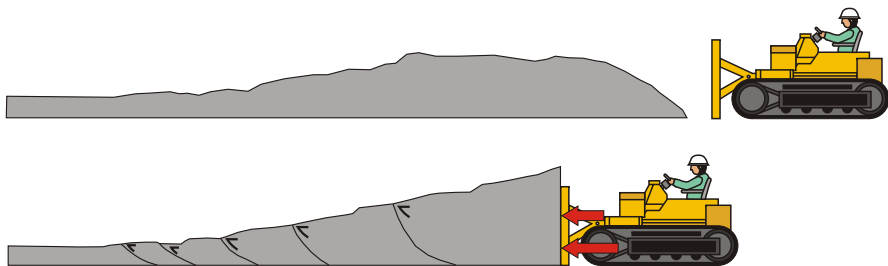
臺灣的造山運動造成複雜的褶皺地形和斷層，直到今天，菲律賓海板塊仍然以平均每年7~11公分的速度向歐亞板塊推擠，使中央山脈海拔高度持續上升，碰撞前緣的海岸山脈，每年以大約2~3公分的速度長高。



臺灣地區板塊構造與板塊運動示意

■ 內陸斷層形成的原因

板塊的推擠效應就如同推土機一樣，使原本連續的內陸地層發生斷裂，引發內陸地震。



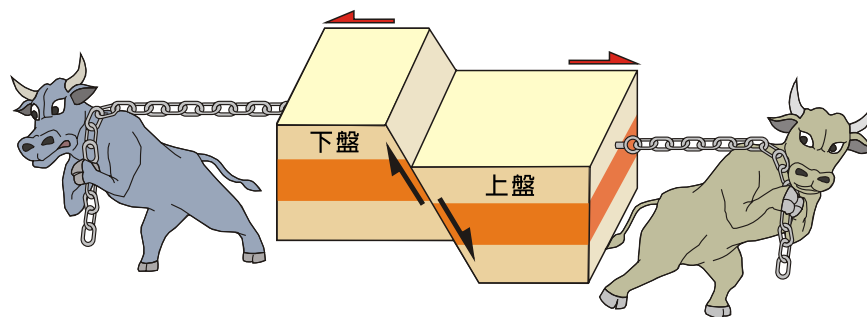
以上「推土機模型」示意圖參考自美國構造地質學者John Suppe的「薄皮構造理論」

■ 斷層的分類

岩層因為板塊運動形成的斷裂面稱為斷層，斷層兩側的岩體在斷層錯動的過程中會有相對運動。斷層依據兩側岩體相對位移的關係，分為正斷層、逆斷層與平移斷層三種，示意如下：

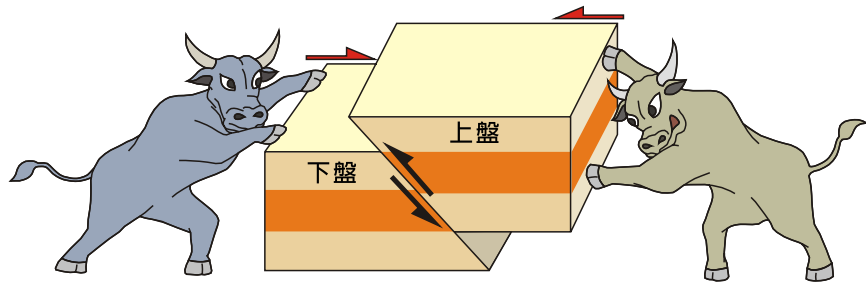
●● 正斷層

上盤的岩體相對於下盤，向下移動的斷層。



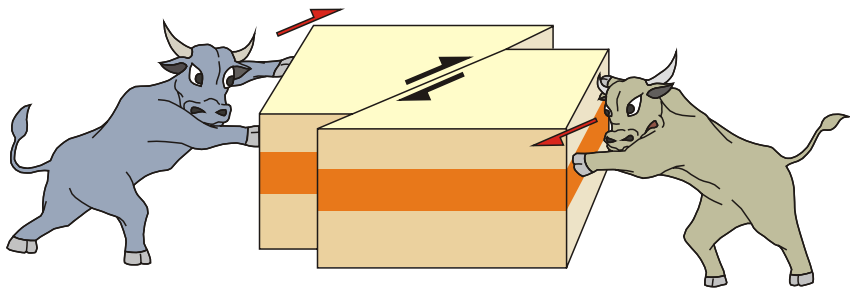
●●逆斷層

上盤的岩體相對於下盤，向上移動的斷層。逆斷層是世界上最常見的斷層形式。



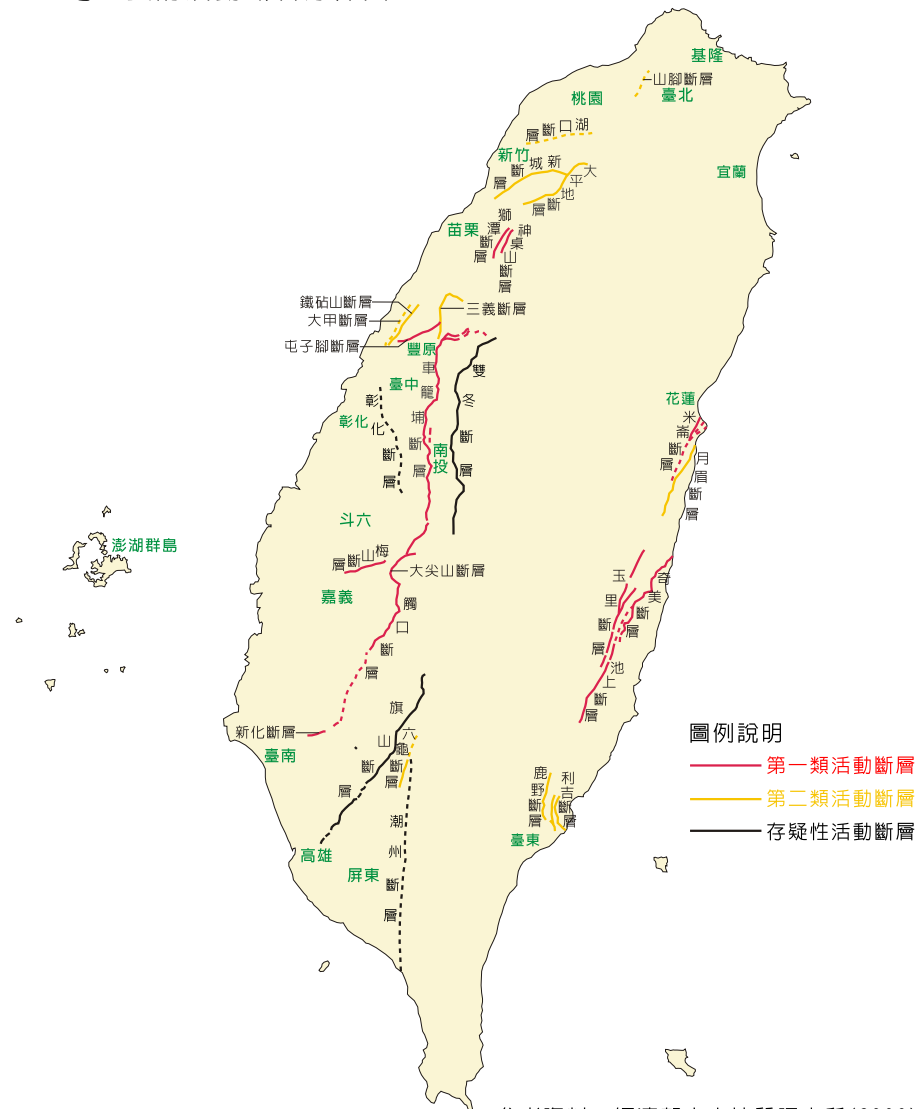
●●平移斷層

斷層一側的岩體相對於另一側，往左或往右水平移動的斷層。



斷層在地表破裂處所形成的軌跡，稱為斷層線。根據中央地質調查所的研究，臺灣共有42條活動斷層，其中的12條斷層在過去一萬年之內曾經發生錯動，歸納為第一類活動斷層；11條斷層在過去十萬年內曾經發生錯動，歸納為第二類活動斷層；其餘19條斷層的活動性尚待詳加調查，因此列為存疑性活動斷層。

臺灣重要的活動斷層分佈圖：



參考資料：經濟部中央地質調查所(2000)

(二)臺灣歷史上的地震

■ 古地震研究

為了研究車籠埔斷層的古地震發生週期和斷層錯動情形，地質學者在南投縣竹山鎮對車籠埔斷層進行槽溝開挖，發現了車籠埔斷層自70萬年前形成以來，已經垂直抬升約5,000公尺，而且在過去一千年間，大約每隔300年就有一次斷層活動，顯示斷層活動由來已久。



臺灣自十七世紀初開始以文字記載歷史後，曾發生過多次重大地震，例如：1694年的一場地震使臺北盆地下陷，形成「康熙臺北湖」；1792年發生於嘉義縣的梅山地震，造成600多人死亡，2萬多棟房屋倒塌；1848年發生於彰化一帶的地震，造成上千人死亡，超過1萬棟房屋倒塌。

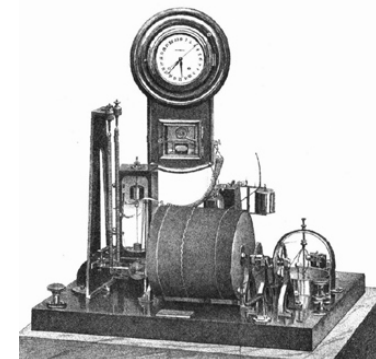


車籠埔斷層槽溝開挖，可以看出斷層活動的痕跡／
照片來源：臺大地質系陳文山教授

以上這些古地震震災資訊都是靠當時人們觀察並以文字記載下來的，對於震央與規模的判定，難免主觀而不精確。關於古地震發生的地點與規模，必須靠現今的地質學者經由史籍資料及斷層槽溝挖掘研究，才能歸納出較確切的結論。

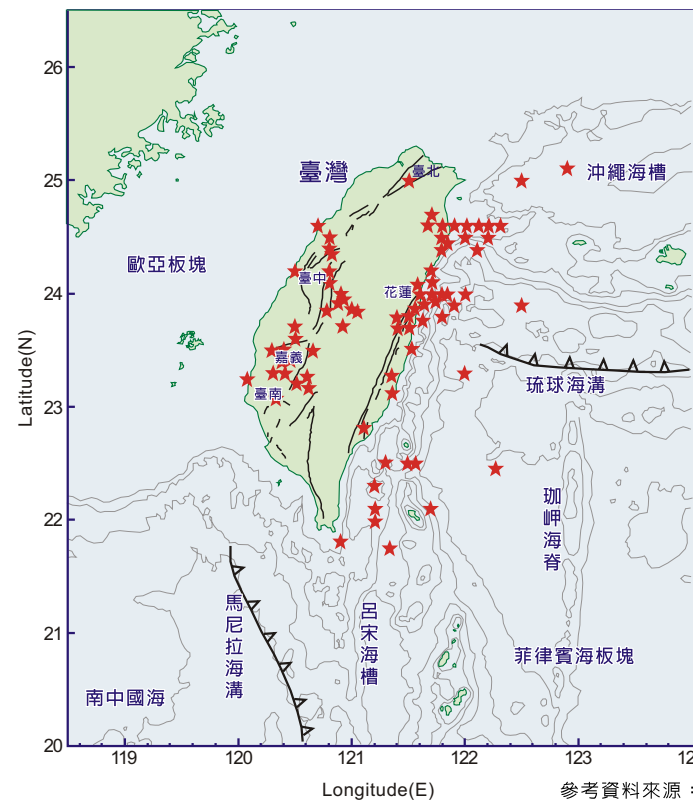
■ 近代重大災害地震

臺灣在1897年引進第一部地震觀測儀－格雷·米爾恩地震儀(Gray-Milne)，臺灣從此進入地震科學觀測時代。一百多年來，隨著地震觀測儀的功能提升、地震觀測網的架設以及近年來電腦與資訊系統的應用，臺灣地震觀測的即時性與精確度有了長足的進步。



格雷·米爾恩地震儀／照片來源：中央氣象局

1897年後臺灣重大災害地震震央分布：



參考資料來源：中央氣象局

1897年以後，臺灣地區十大地震災害：

發生時間	地震名稱	震 央	深度 (公里)	規模	地震災情
1904/11/6	斗六地震	嘉義附近	7	6.1	145人死亡，661棟房屋全毀，新港附近發生地裂及噴砂
1906/3/17	梅山地震	嘉義縣民雄	6	7.1	1,258人死亡，6,769棟房屋全毀
1917/1/5	南投地震	埔里附近	淺	6.2	54人死亡，130棟房屋全毀
1935/4/21	新竹-臺中 烈震	新竹縣關 刀山附近	5	7.1	獅潭、屯子腳斷層錯動，3,276人死亡，17,907棟房屋全毀
1935/7/17	新竹-臺中 烈震餘震	後龍溪河口	30	6.2	44人死亡，1,734棟房屋全毀
1941/12/17	中埔地震	嘉義市東南 方10公里， 中埔附近	12	7.1	358人死亡，4,520棟房屋全毀，草嶺山崩
1946/12/5	新化地震	臺南新化 附近	5	6.1	74人死亡，1,954棟房屋全毀地裂，電桿鐵路歪斜
1951/10/22	花東縱谷 地震	花蓮東南東 方15公里	4	7.3	68人死亡，山崩地裂，鐵路彎曲下沉
1964/1/18	白河地震	臺南東北東 方43公里	18	6.3	106人死亡，10,924棟房屋全毀，地裂，噴砂
1999/9/21	集集地震	日月潭西方 9公里	8	7.3	車籠埔斷層錯動80公里，造成2,413人死亡，11,305人受傷，48,610棟房屋全毀

資料來源：中央氣象局網站

■ 見證歷史地震

臺灣地區地震頻繁，地震經常改變自然環境，並對建築結構造成破壞，目前仍有許多地震災害的遺跡留存下來，成為地質與工程教育的活教材，例如：苗栗縣的龍騰斷橋、臺中縣921地震教育園區及石岡壩、臺中縣豐原市中正公園、南投縣的九份二山與集集鎮武昌宮等。

● 龍騰斷橋

龍騰斷橋位於苗栗縣三義鄉，橋身包括磚拱及桁架兩部分，其中磚拱是利用糯米砌磚建造，於1905年日據時期完工。磚砌的橋面在1935年的新竹-臺中地震中損毀，當時的震央關刀山距離此處只有5公里左右；1999年集集地震時，斷橋遺跡再度受創，一支橋柱因而倒塌。龍騰斷橋見證了臺灣百年來兩次大地震。



龍騰斷橋，拍攝於1935年關刀山地震後，連結桁架的磚拱已經塌落／拍攝者不詳



龍騰斷橋，拍攝於1999年集集地震後。橋梁結構的優雅造型，加上地震遺跡保存良好，斷橋成為人潮熱絡的觀光景點

●●921地震教育園區

1999年9月21日集集地震，車籠埔斷層錯動，地表斷層線穿過臺中縣霧峰鄉的光復國中校園，使校舍嚴重破壞。因校舍難以恢復舊觀，教育部將校園改建為「921地震教育園區」，保存破壞遺跡，見證集集地震及展示地震相關的知識與文物。



車籠埔斷層錯動，光復國中操場
垂直抬升2.4公尺，水平錯動3.4
公尺



光復國中倒塌的北棟教室，現以
鋼構薄膜棚架遮蓋保存

●●九份二山

南投縣國姓鄉九份二山因為921集集地震受到重創，造成約3,500萬立方公尺的土石崩塌與地表隆起，坍塌面積達195公頃，形成二處堰塞湖以及落差將近400公尺的裸露山壁。山頂處目前已經規劃為九份二山震災紀念公園。



受地表滑動影響傾斜的民宅



921集集地震十年後，本區仍然
維持震災舊觀

●● 豐原市中正公園

臺中縣豐原市的中正公園，車籠埔斷層所造成的地表隆起，目前仍清晰可見，因地震而傾斜的路燈，還保留使用中。



豐原市中正公園，因斷層而隆起的地面與傾斜的路燈

●● 南投縣集集鎮武昌宮

南投縣集集鎮武昌宮，剛落成即遭逢921集集地震，宮廟結構不敵震央處的地震威力，一樓整個坍塌。地震後，在地方政府與居民的共識下，保留此遺跡以茲紀念。



集集鎮武昌宮遺跡

●● 南投縣名間鄉傾斜的電塔

車籠埔斷層穿切過台三線旁的電塔，造成電塔傾斜、電纜線斷裂。傾斜的電塔已保存為921地震震災紀念塔。



傾斜的電塔與角度計

●● 南投縣名間鄉彎曲的鐵軌

車籠埔斷層穿切過台三線旁的集集支線鐵道，造成鐵軌彎曲。

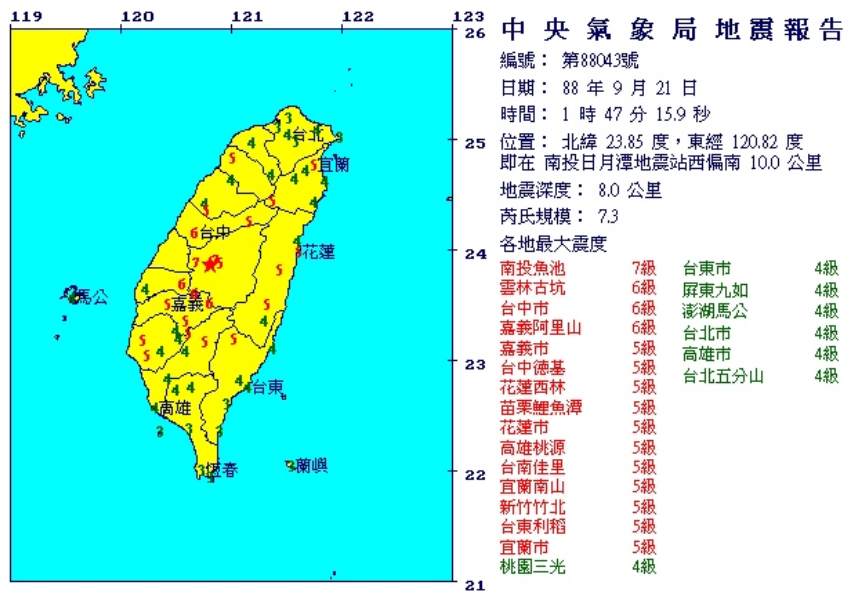


彎曲的舊鐵軌與一旁新建的鐵道

(三) 震央、深度、規模與震度

■ 解讀地震報告

每當臺灣發生有感地震，中央氣象局會在地震發生3分鐘內，於官方網站上發布如同以下畫面的地震報告。下面這張圖是發生於1999年9月21日的集集地震報告，你可以正確解讀報告中的各項資訊嗎？



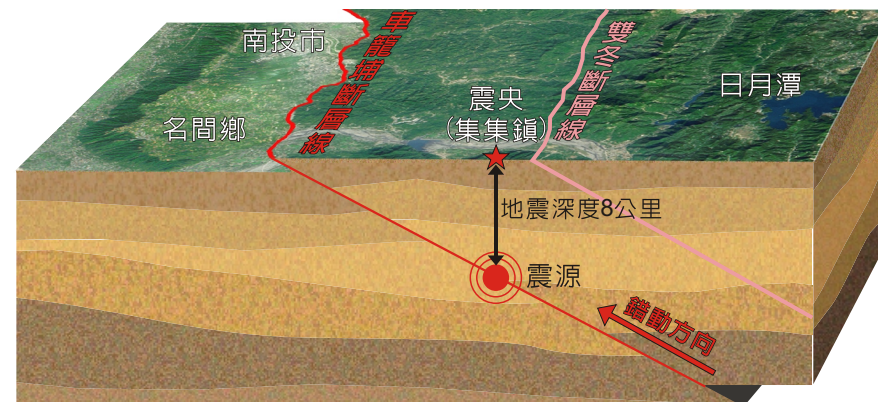
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

圖片來源：中央氣象局

■ 震央位置與地震深度

當斷層錯動引發地震，最早發生錯動的點稱為震源，震源正上方的地表位置稱為震央。

在中央氣象局的地震報告中，「位置」指的就是震央，同時以經緯度以及一般使用的地理位置描述，並在地圖中以紅色的星號表示；「地震深度」指的是震央與震源之間的距離，通常以公里為單位。



集集地震為車籠埔逆斷層錯動所致，震央集集鎮鄰近雙冬斷層線，以致常有人誤以為集集地震是雙冬斷層錯動所引起的。事實上，斷層線指的是斷層在地表破裂處所形成的軌跡，除了平移斷層外，其他類型的斷層錯動時，震央通常不在斷層線上。

■ 地震規模與震度

地震規模是指地震所釋放的能量，臺灣所採用的計算方式為芮氏規模，在敘述時以「規模5.0」、「規模7.3」的方式來表示，數字的後面不加「級」字。人類歷史上曾發生規模最大的地震，根據美國地質調查所觀測的記錄，發生於1960年5月22日南美洲的智利，規模9.5。

地震規模每增加「1」，所釋放的能量約為前一個等級的31~32倍。為了解釋地震規模與能量大小的關係，下頁表格利用黃色炸藥爆炸威力及地震威力或地震實例來作說明。

芮氏規模	相當黃色炸藥(TNT)的用量	相近能量的地震威力或地震實例
5.0	477噸	震央在臺灣島內，規模5以上的淺層地震即可能釀災
6.0	15,080噸	規模6.2相當於1顆原子彈爆炸的威力 震央在臺灣附近海域的地震，規模6以上即可能釀災
7.0	476,879噸	1999年9月21日921集集地震（芮氏規模7.3），造成2,413人死亡（註1）
8.0	15,080,242噸	2008年5月12日中國汶川大地震（規模7.9），造成至少69,185人死亡，374,171人受傷，18,467人失蹤（註2）
9.0	476,879,138噸	2004年12月26日印度洋大地震（規模9.1），引發南亞海嘯，共造成超過227,898人死亡及失蹤（註2）

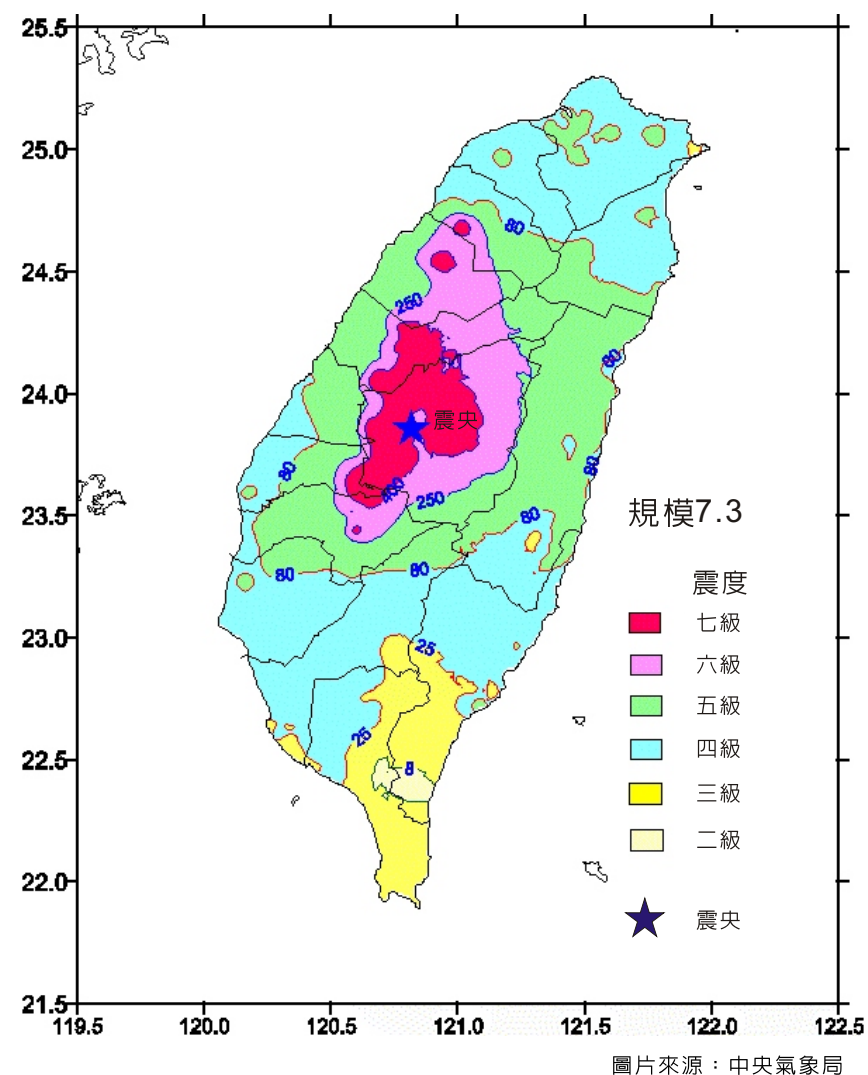
震度是指地震時人們對於地面震動的感受程度，或物品因震動遭受破壞的程度。中央氣象局利用地震觀測站所記錄的最大加速度，計算出各地區的最大震度，表達方式為數字後加「級」，如：「臺中市6級」、「臺北市4級」。

在一場地震當中，設在不同地區的地震觀測站所記錄到的最大震度不盡相同，如果將震度相同的區域彼此連結，可以繪製成右頁的等震度圖，圖中的震度約略以震央為中心，向外遞減，顯示地震能量擴散的情形。

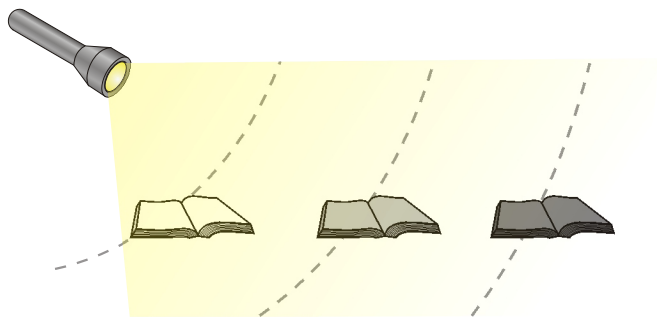
註1 資料來源：中央氣象局

註2 資料來源：美國地質調查局 (USGS)

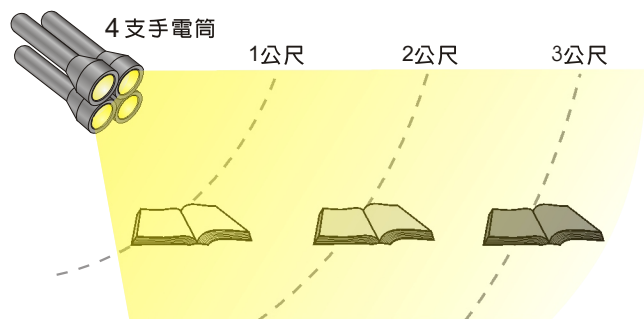
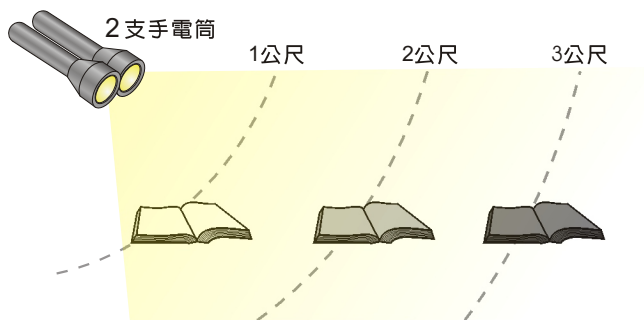
● 921集集地震等震度圖



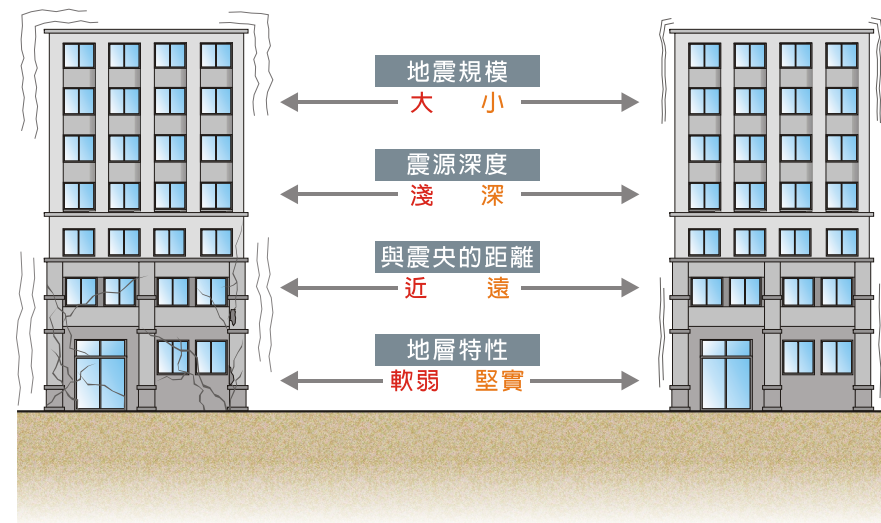
通常距離震央越近，震度越大；距離震央越遠，震度越小。這個原理就如同以手電筒照射物品，距離光源越近的物品看起來越亮，距離光源越遠的物品看起來越暗。



同樣以手電筒為例，當照射的距離相同時，使用的手電筒數量愈多，被照射的物品看起來愈亮。地震規模就如同手電筒的數量，規模愈大，震動的能量就愈大，在相同的距離下，人們感受到的震度也愈大。

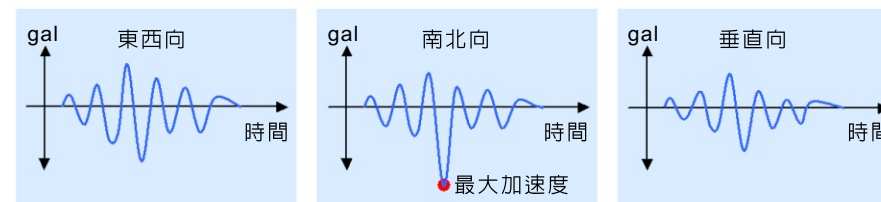


影響某個地點震度大小的因素包括：地震規模、震源深度、與震央的距離、該地的地層特性等。一般來說，地震規模越大、震源越淺、離震央越近、地層越軟弱，感受的震度越大，對建築物的傷害也越大。



■ 地震的震度如何分級？

地震時，地表的震動方向有東西向、南北向、垂直向三個方向，因此地震儀必須同時記錄這三個方向的地表震動過程。地震震度的大小，即是依據地震儀從這三個方向所測得的加速度中，依最大加速度 (gal) 劃分的，最大加速度的數值越高，代表地震的震度越大。



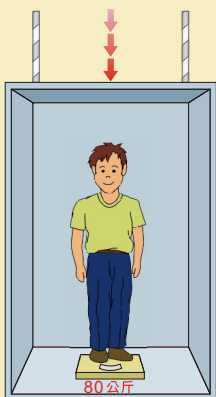
地震時，地震儀分別記錄三個方向的地表加速度，地震震度即是依據最大加速度劃分

前頁圖中，「gal」是加速度的單位， $1\text{ gal} = 1\text{ cm/sec}^2$ 。980 gal大約等於一個重力加速度（1g），也就是物體從天空中落下，掉落速度加快的程度。以生活經驗來說，就像走路時不小心腳底踩空墜落，搭電梯時不幸遇上纜索斷裂電梯墜落的感覺。

當所站立的地面，向下運動的加速度接近一個重力加速度(980 gal)，會使地面與物體出現「騰空分離」現象。這個現象可用電梯例子來解釋：

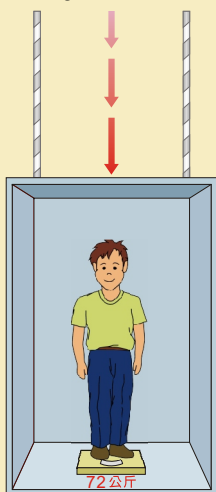
80公斤重的乘客搭乘電梯時，在腳下放一個磅秤。當電梯靜止或等速度運動，磅秤顯示體重80公斤重。

(等速度下降)



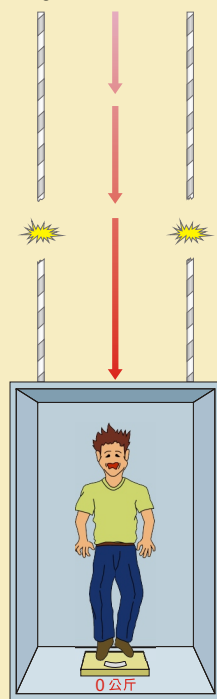
電梯以98 gal的加速度開始往下運動，電梯的加速度只有重力加速度的十分之一，磅秤顯示體重只剩72公斤重。

(98 gal加速度下降)

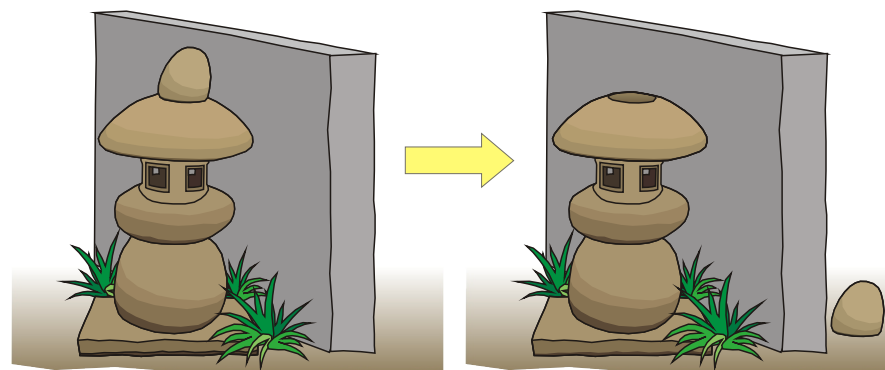


如果電梯的纜索突然斷掉，這時候電梯和人全部成為自由落體，加速度都是980gal，磅秤顯示體重0公斤重。

(980gal重力加速度掉落)



日本一座寺廟的庭院邊，圍牆旁有一座石燈，石燈上方擺放著一顆石球，一場大地震後，石球居然越過比石燈還高的圍牆，掉在另一邊的草地上，這個過程是怎麼一回事呢？



地震前，在圍牆旁邊的石燈與石球

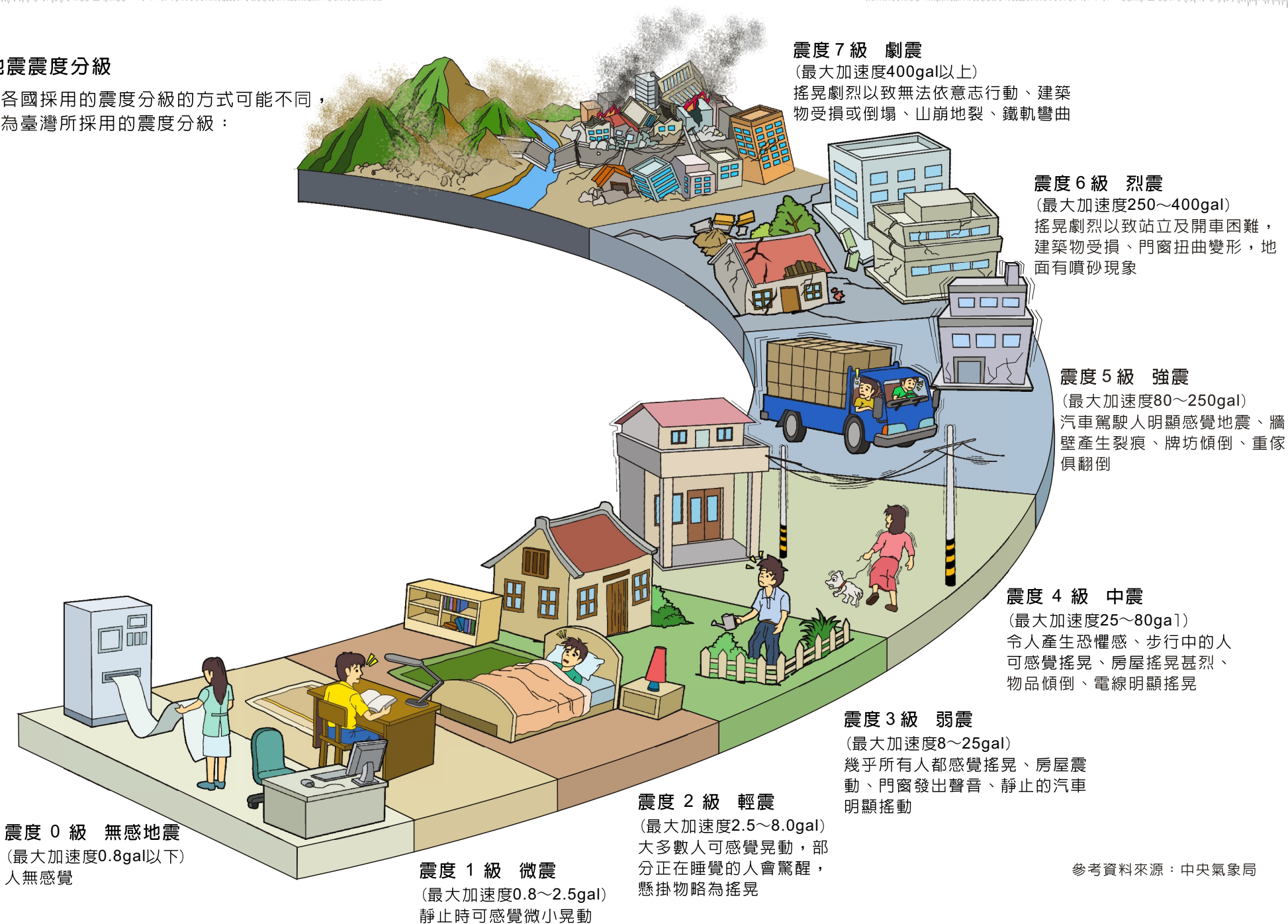
地震後，石燈上的石球掉落在圍牆的另一邊

推測地震時可能的情形如下：

強烈地震造成地面以「超過」980gal向下的加速度，石燈和圍牆隨著地面加速下墜。原本擺放在石燈上的石球，因重力加速度「只有」980gal，而與石燈「騰空分離」。緊接著，石燈與圍牆隨著地面震動迅速往左移動，使得石球越過圍牆。於是地震過後，雖然石燈和圍牆都沒有受到破壞，但是石球卻落在圍牆的另一側。

■ 地震震度分級

各國採用的震度分級的方式可能不同，
本頁為臺灣所採用的震度分級：

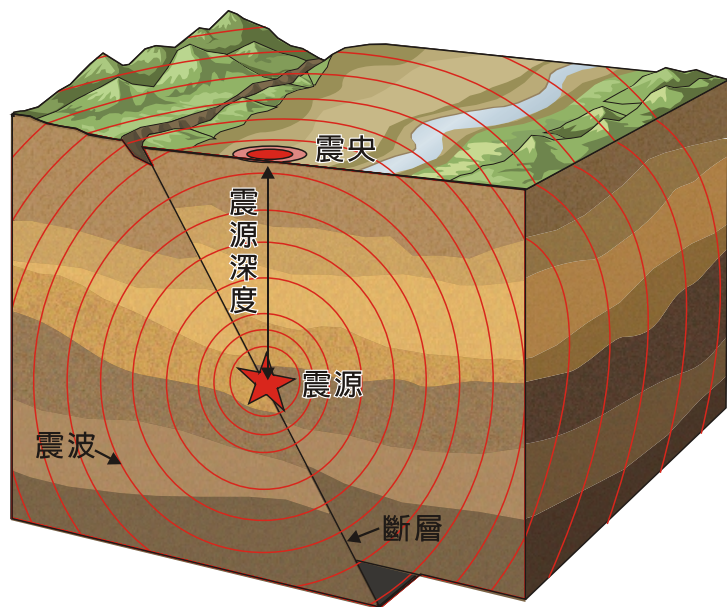


參考資料來源：中央氣象局

(四) 地震波的傳遞

斷層錯動引發大地震動，從震源開始以波的形式向四面八方傳遞，稱為地震波。地震波主要分為兩種：只能在地表傳遞的波稱為表面波，能在地球內部傳遞的波稱為體波。

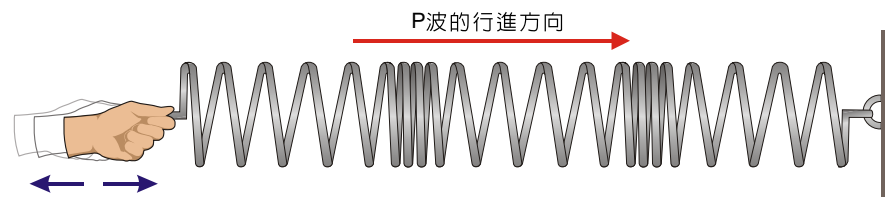
體波因為傳遞速度的差異，又分為P波和S波，地震觀測人員可以根據不同地震觀測站所偵測的P波和S波抵達時間差及震動幅度，計算出震央位置、地震規模與最大震度。



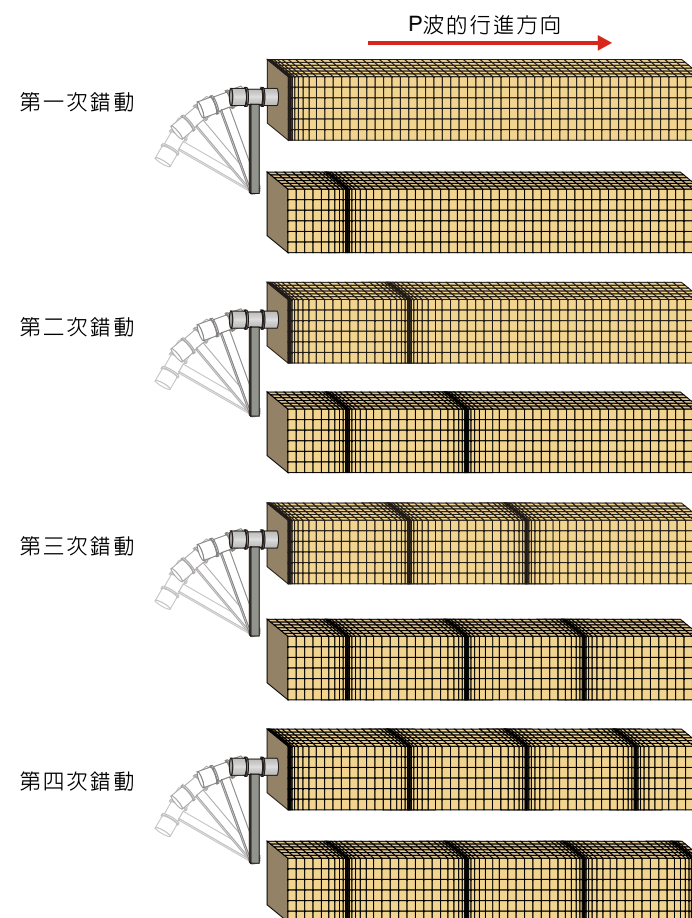
■ P波

P波又稱為「初達」波，這是因為它的傳遞速度快，平均每秒約可行進5~7公里，所以通常是地震發生後，最早被地震儀偵測到的地震波。

P波也可以稱為「壓力」波，因為波的行進方式，就像抓住彈簧的一端前後推拉，產生波動一樣，波的行進方向與介質運動的方向平行，藉由介質的壓縮和伸張，能量向外傳遞。



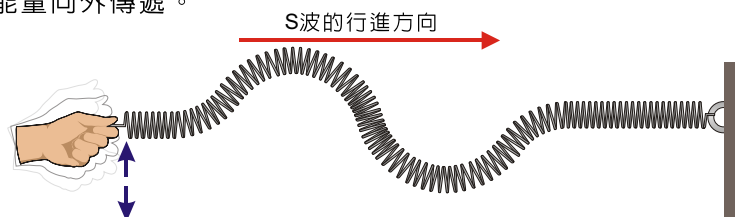
斷層開裂過程會不斷地製造出一波波的P波。



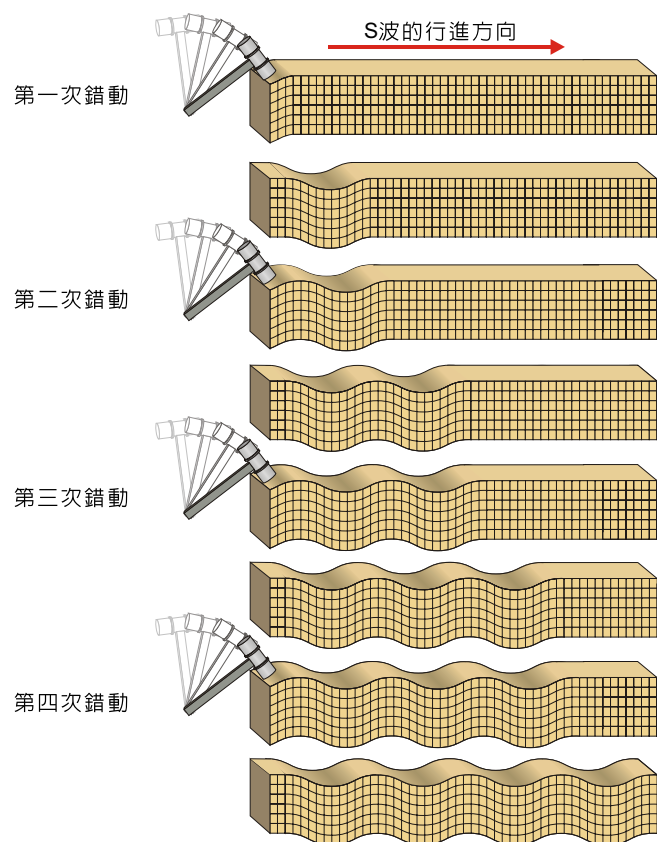
■ S波

S波又稱為「次達」波，它的傳遞速度較慢，平均每秒行進3~5公里，因此地震儀通常會先偵測到P波，之後才會偵測到S波。

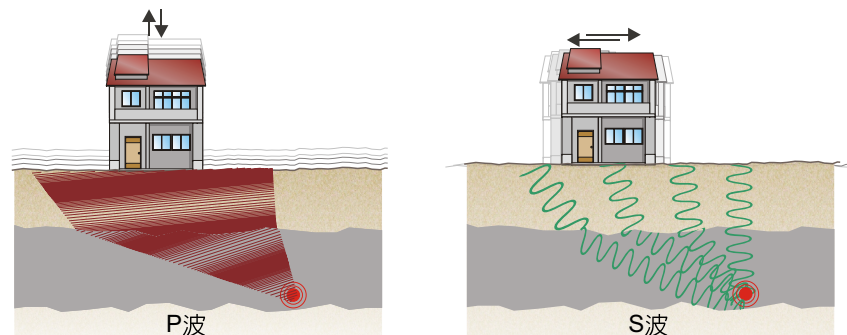
S波的行進就像將彈簧的一端固定在牆上，另一端用手抓住上下甩動一樣，波的行進方向與介質的振動方向是垂直的，藉由介質的變形，能量向外傳遞。



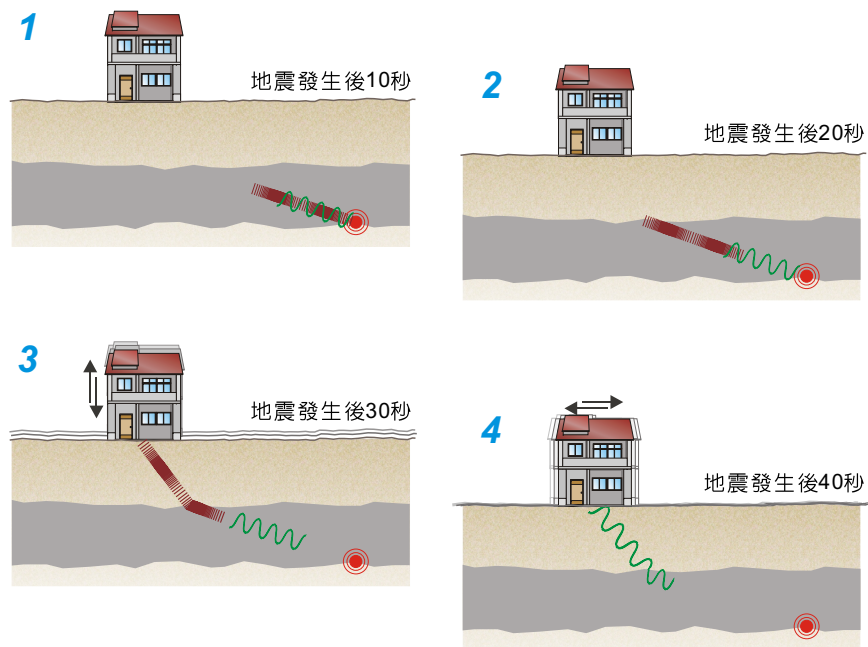
斷層開裂過程會不斷地製造出一波波的S波。



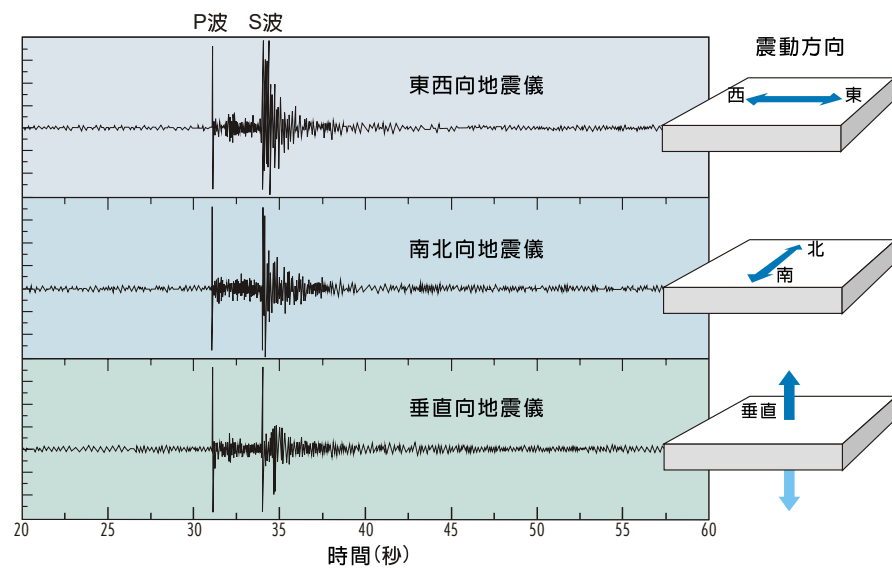
P波帶給人的感受是地表、房屋等上下震動，不過震動量通常較小；而S波帶給人的感受，則是歷時較長而且強烈的水平搖晃，所帶來的破壞性通常也較高。



斷層錯動所造成的震動，會同時引發P波與S波向外傳遞，但是P波的行進速度比S波快，因此地震儀上的記錄常可以看出P波與S波抵達的時間差。

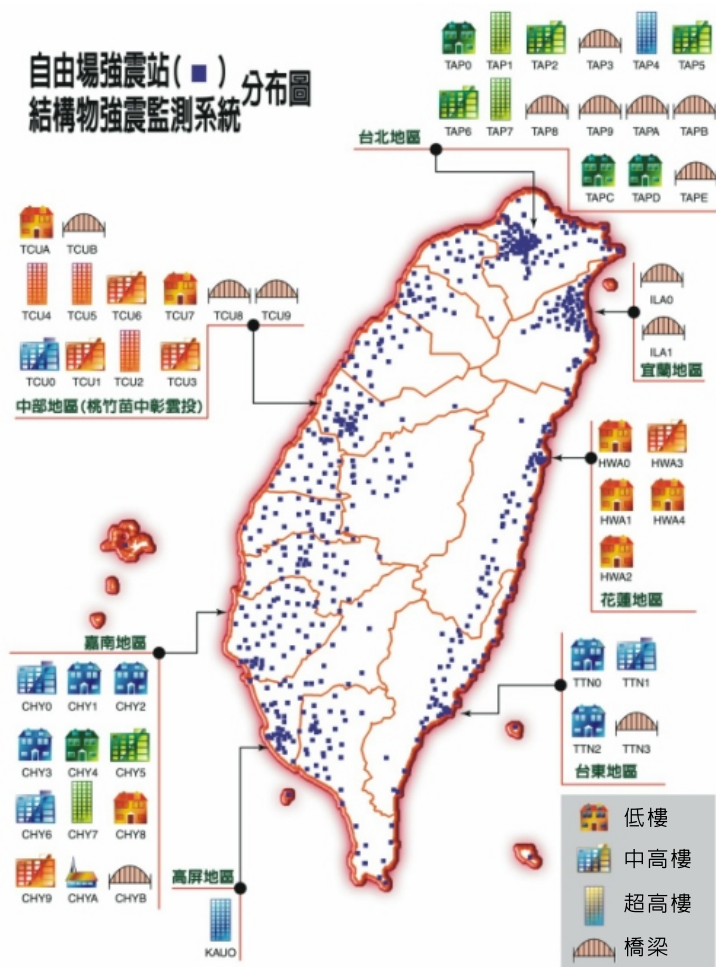


下圖為某次地震時，某地震觀測站的地震記錄。該地震觀測站共有東西向、南北向、垂直向三部地震儀，記錄不同震動方向的地震加速度，從圖中可以明顯看出P波和S波抵達的時間，大約相差3秒。



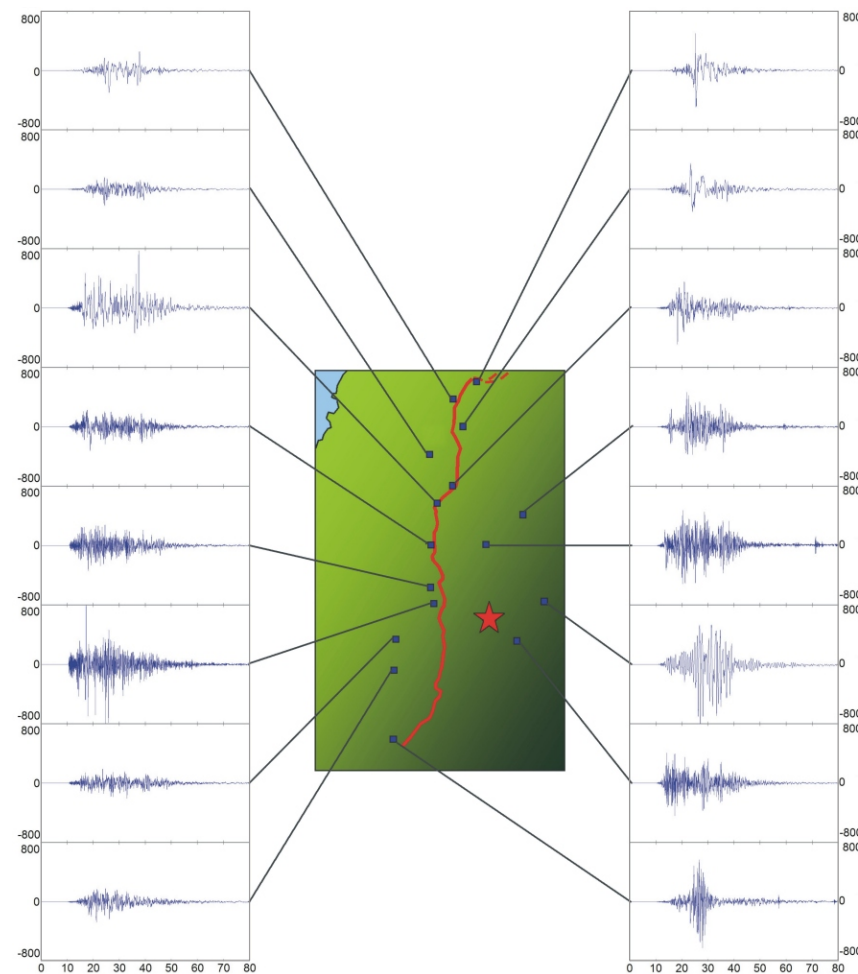
(五) 中央氣象局地震觀測網

臺灣地區地震頻繁，平均每天發生2~3次有感地震，而且每隔數年就會發生一場災害性地震，為了掌握準確、即時而且完整的地震資訊，負責地震監測與訊息發布的中央氣象局，在全臺設置了700多個自由場強震站，觀測站的密度與地震資訊的發佈報速度堪稱世界第一。



圖片來源：中央氣象局

因為地震觀測站的密度高，中央氣象局得以在1999年集集地震時，記錄車籠埔斷層沿線的震動情形，進而推估斷層的破裂行為以及斷層對於建築物造成的危害效應。由於其他國家很少在斷層附近設置密集的地震監測站，因此這份完整的斷層錯動記錄，也就成為各國地震工程學家進行研究時的珍貴資料。



1999年集集地震時，中央氣象局在車籠埔斷層沿線記錄的地震歷時。
縱座標單位為重力加速度（單位：gal），橫座標為時間（單位：秒）

在面積不算大的臺灣，為什麼需要設置這麼多地震觀測站呢？

這是因為臺灣各地的地質環境差異很大，而地震波在不同的地質環境中傳遞，又會引發不同的地表震動效應，因此氣象局在斷層帶附近、盆地內、堅硬地盤、鬆軟地盤等不同類型地盤的空曠地面上，設置強地動觀測站，以比較地層效應。此外，較多的地震觀測站，有助於準確定位地震震央、震源與規模，於災後救援時，能快速評估災區範圍與受災程度。



設置於臺灣大學的強地動觀測站

中央氣象局七百多座地震觀測站，依資料取得之即時性分為兩類：

● 即時地震監測暨強震速報觀測網

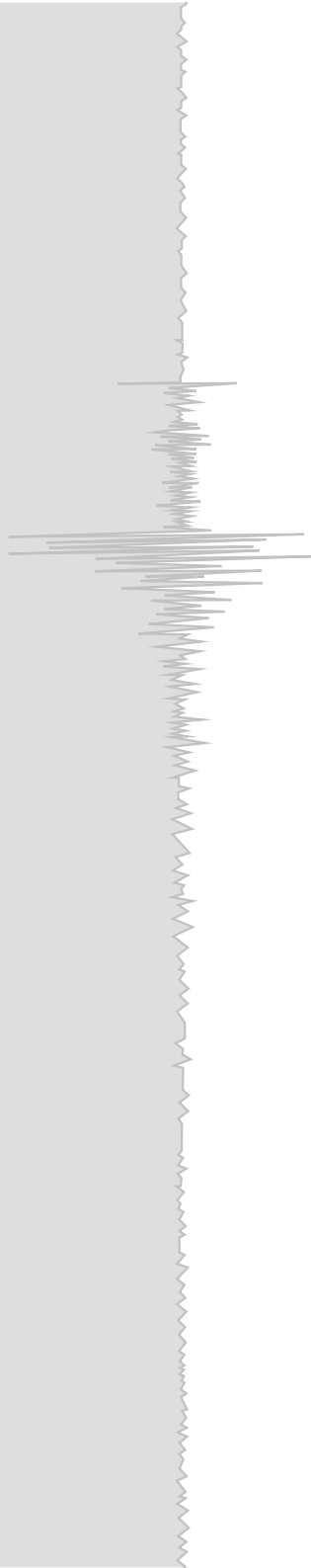
由100多個地震觀測站組成，觀測站內部設有強震儀、弱震儀和數據機，地震時可以即時將地震資料透過網路線，傳輸到中央氣象局的資料處理中心，迅速計算出地震規模、震央、各地震度等資訊，以發布地震速報並作為強震時的救災決策參考。



● 強震觀測網

其他600多個自由場強震站，由專人定期前往蒐集地震記錄，整合成為強震資料庫，提供學術界、工程界等研究之用，作為「建築物耐震設計規範」制定的依據。

此外，中央氣象局也在臺灣多處重要建築、橋梁設置監測站，組成「結構物地震監測系統」，將結構物對於地震的振動反應提供給研究人員，據以研究提升建築耐震技術。



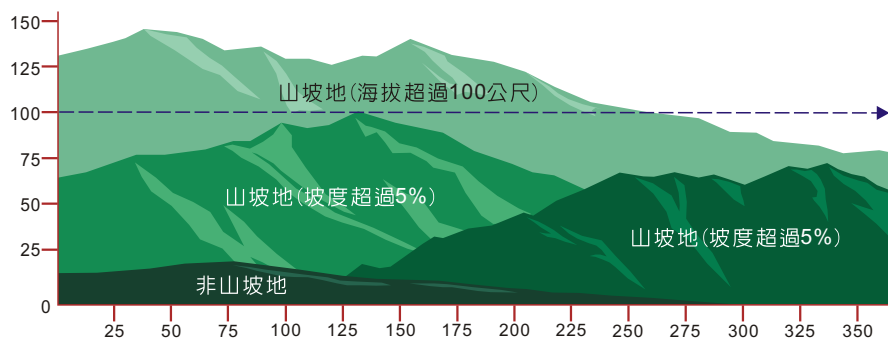
第二章 地震災害與大地環境

- (一) 邊坡的穩定性
- (二) 哪些地方不適合蓋房子
- (三) 土壤液化現象與防治
- (四) 盆地效應

(一) 邊坡的穩定性

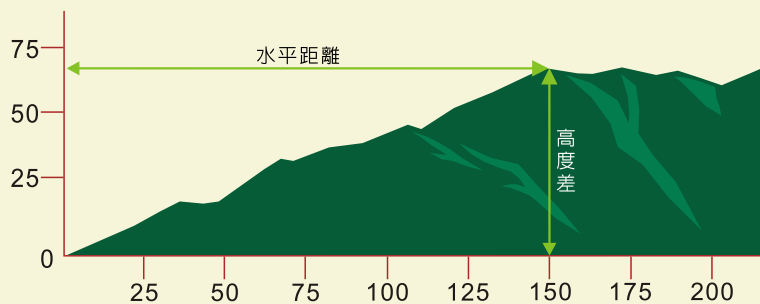
肇因於造山運動，臺灣地區地質結構複雜多變，地勢高聳崎嶇，有超過百分之七十三的地表面積的屬於**山坡地**（海拔高度超過100公尺，或未超過100公尺但坡度達5%以上的區域）。山坡地如果位處地層結構破碎帶，逢豪雨或地震，地理環境容易發生大變遷，天然災害發生在山坡地的機率遠比平地為大。

除了自然因素外，山坡地地層的穩定狀態，也受到人為的濫墾、濫建等因素影響，而造成邊坡破壞、土石流等常見的山坡地地質災害。



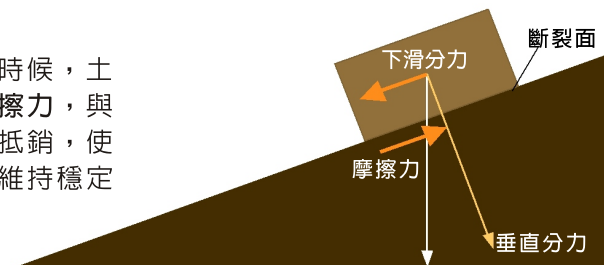
坡度的計算方式為：高度差 ÷ 水平距離

以下圖為例，從水平距離0公尺至150公尺處的坡度為
 $70 \div 150 = 46.7\%$



■ 山崩

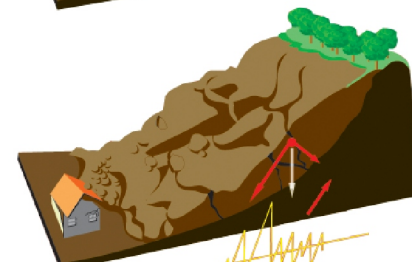
山坡地在平常的時候，土塊和斷裂面之間的摩擦力，與土塊的下滑分力互相抵銷，使地層不會滑動，坡面維持穩定平衡的狀態。



地震發生時，如果地震的擾動導致下滑分力大於摩擦阻力，將引發土石崩塌，使崩塌處或其下方的建築物遭到掩埋，因此房屋不要建在地質結構不穩定的山坡上或陡坡旁。



平時處於穩定狀態的山坡地



地震時土石開始滑移



地震後崩塌的土石壓毀山坡下的房屋



921集集地震造成了超過25,000個崩塌地，南投縣九九峰原本翠綠的山頭崩落，地震威力令人震懾

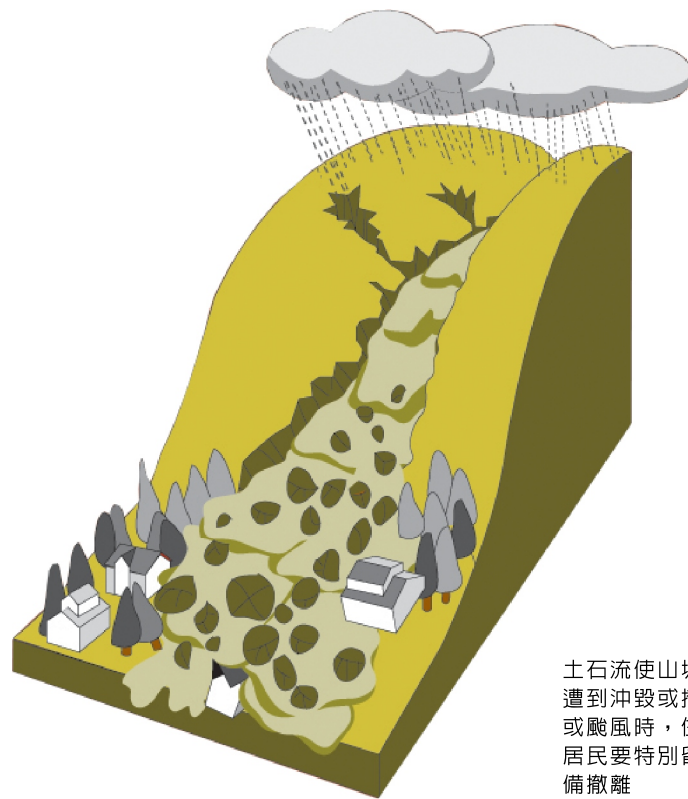


921集集地震造成南投九份二山崩，十餘戶人家在睡夢中遭到活埋

■ 土石流

地震山崩發生後，崩塌處裸露而缺乏植被覆蓋的地表，每逢颱風、豪大雨，豐沛的水量很容易夾雜大量的礫石、泥沙，順著陡坡而下，形成土石流。許多921集集地震造成的崩塌地，在2001年納莉颱風、2004年敏督利颱風以及2008年辛樂克颱風侵襲下，引發嚴重的土石流災害。

除了地震造成土石鬆動因素外，人為因素如：改變林相種植經濟作物；工程廢土不當棄置；建築物與河爭地，限縮河道，加速水流速度等，都是誘發山坡地土石流災害的原因。



土石流使山坡上及坡腳下的房屋遭到沖毀或掩埋。當豪大雨發生或颱風時，住在土石流潛勢區的居民要特別留意，因應雨勢，準備撤離

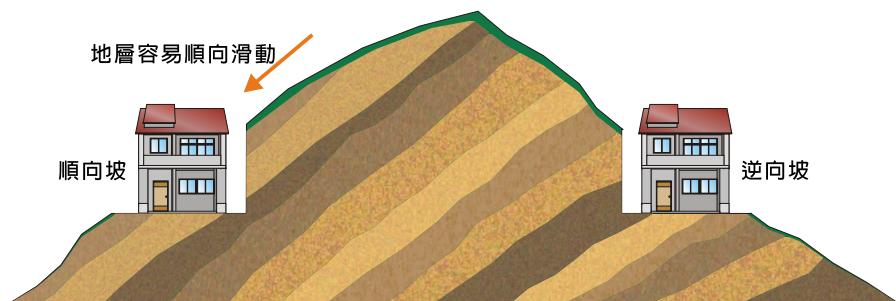


2008年辛樂克颱風夾帶的豪雨，在南投縣廬山溫泉風景區引發嚴重的土石流災情，造成二棟飯店倒塌、多家飯店地基海空／楊士德攝

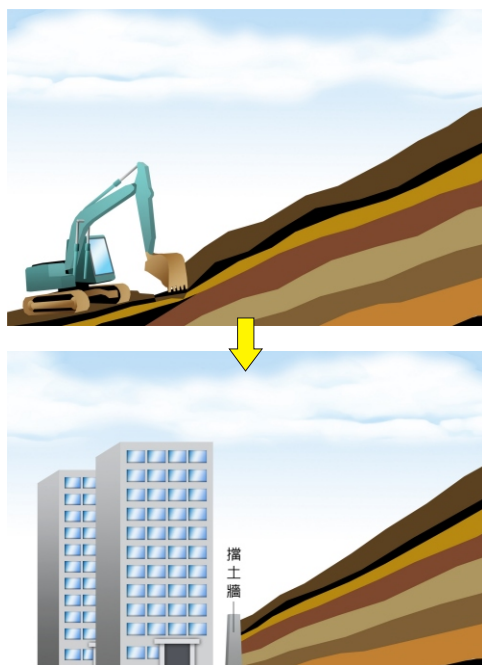
■ 順向坡破壞

順向坡指的是地層傾斜方向與坡面傾斜方向，方向上接近或一致的山坡地，這種地形的地層較容易發生順向坡滑動。

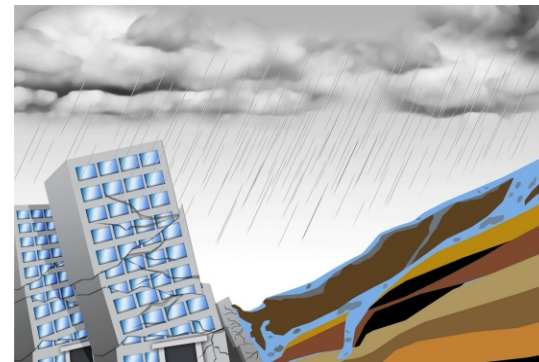
工程師不建議在陡峭的山坡地上興建房子，但如果非得要在這樣的山坡地上蓋房子，下圖中你會選擇蓋在哪一側呢？



位於山坡地附近的建案，建商可能會挖除坡腳、建造擋土牆，以爭取更大的建地空間。



然而如果建築物鄰近的陡坡為順向坡，挖除坡腳興建擋土牆後，一旦發生地震或豪雨，很可能會造成整片坡地滑移，巨大的岩體、土石會向下滑動，推垮擋土牆，甚至會衝毀離擋土牆過近的建築。因此，買屋前應了解基地及其周邊之地質環境。



1997年發生於臺北縣汐止市的林肯大郡災變，肇因於挖除順向坡坡腳興建大樓，加上擋土牆施工不良，以致於溫妮颱風來襲時，夾帶的大雨造成地層滑移，土石衝毀大樓，釀成28人不幸死亡的事故／照片來源：財團法人地工技術研究發展基金會

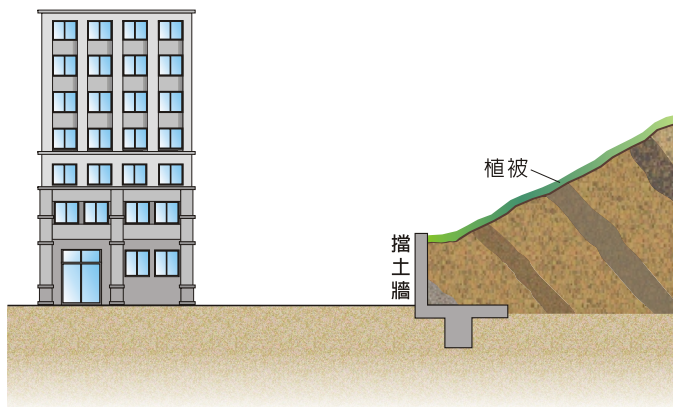


林肯大郡社區附近可以看到明顯的順向坡地層結構

■ 邊坡穩定工程

雖然山坡地的天災較多，但並非所有山坡地皆不容許開發，開發前應委託專業技師探勘，確認地質結構是否合適，再依據山坡地坡度、地層屬性，決定適當的邊坡穩定工法。

興建擋土牆是穩定邊坡常見的工法，施工時必須注意排水工程及邊坡坡面的植被保護是否完善，即使在地質條件容許開發的地方，建築物與擋土牆仍必須保持適當距離，購屋時應秉持「近山不靠山」的原則。



即使房屋附近的邊坡為逆向坡，也應與之保持適當距離，並確認擋土牆具備良好的排水功能



擋土牆上要有排水孔與排水設施

■ 邊坡破壞的徵兆

對於已經住在山坡地的人來說，該如何防範邊坡破壞帶來的危險呢？山坡地的地層滑移通常是經年累月、慢慢地醞釀發展，然後才在某一瞬間發生大規模破壞。大規模邊坡破壞之前通常伴隨有地層龜裂、道路龜裂、水溝龜裂、擋土牆龜裂及房屋龜裂等徵兆，山坡地上的住戶平時宜多加觀察留意周圍環境的變化。如果發現這些徵兆，宜儘快通知大地工程技師前來勘查。



房屋地基龜裂



道路龜裂（道路右側為山谷）



擋土牆龜裂

(二) 哪些地方不適合蓋房子

雖然工程技術日益進步，但技術有其極限，無法長久抗禦自然環境的變遷，因此，無論蓋房子或買屋置產，選擇安全的地點是第一要務。勉強在極端惡劣的自然環境中興建屋舍，即使耗費再多的營建成本，也建造不出安全的住家。

哪些地方是屬於惡劣的自然環境，不適合在那裡蓋房子呢？

● 有活動斷層的山坡地



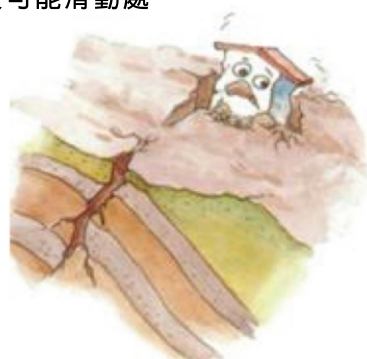
● 坡度陡峭的山坡地



● 有危害安全的礦場或坑道



● 地質結構不良、地質破碎、順向坡可能滑動處



● 河岸、向源侵蝕的地方



● 廢土堆上



你也可以自行觀察住家週遭的環境，看看是否屬於惡劣的地質環境：



地層風化嚴重，可能代表當地的地質結構不佳

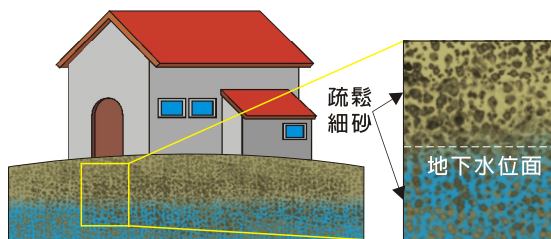


危險的河岸崖邊。崖邊在921集集地震中崩塌，使得上方的房子岌岌可危／照片來源：飛虎空中攝影

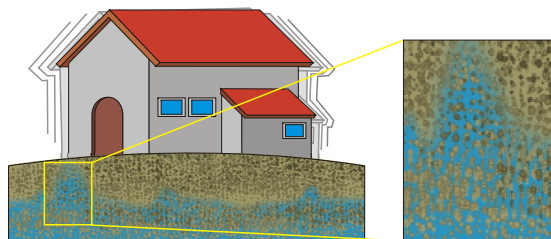
(三) 土壤液化現象與防治

■ 什麼是土壤液化？

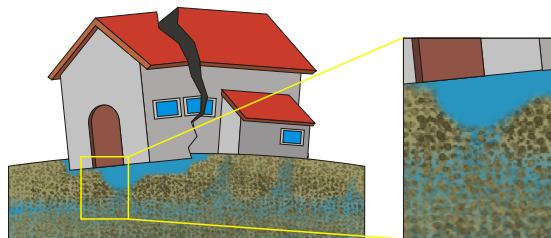
在地下水位高、土層為疏鬆細砂，地下水位以下的土壤顆粒間充滿水分，顆粒暫時維持穩定的狀態。



發生震度大、持續時間長的地震，激烈的搖動使得土壤顆粒間的水壓增高，土壤顆粒彼此間的接觸力霎時消失，土壤顆粒懸浮在水中，而失去承載能力，稱為土壤液化。當孔隙水壓過高時，水與部分砂土會經由地層中的裂隙，往上衝出地面，造成噴砂現象。



土壤液化發生時，地表的建築結構因為土壤失去承載能力，致使房屋下陷、龜裂，及電線竿傾斜等災情。強烈震動過後，因震動增高的水壓逐漸消散，土壤顆粒逐漸沉降，造成進一步的地表沈陷。



大多數人不曾見過土壤液化災情與發生過程，有學者設計了一套實驗，模擬土壤液化現象，實驗過程如下：

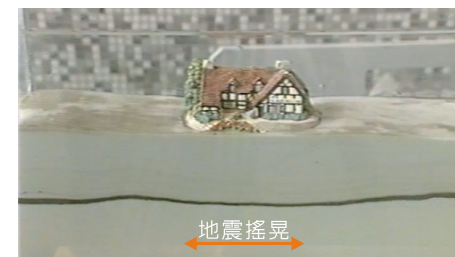
在裝有水的透明壓克力箱中，均勻地灑入細砂，以模擬河川下游流速平緩地帶的沉積細砂。



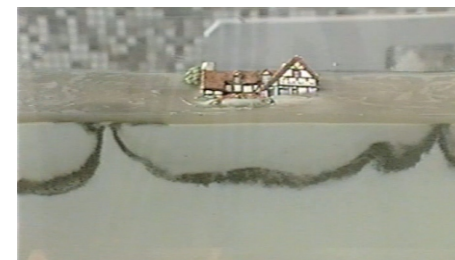
為方便實驗觀察，將部份灑入的細砂先行染黑，並且在地表面放置一個建築物模型。此時地表是乾砂，地下水位在地表下數公分處。



將壓克力箱固定在一个振動平臺上，平臺左右強烈搖晃，模擬地震情形。



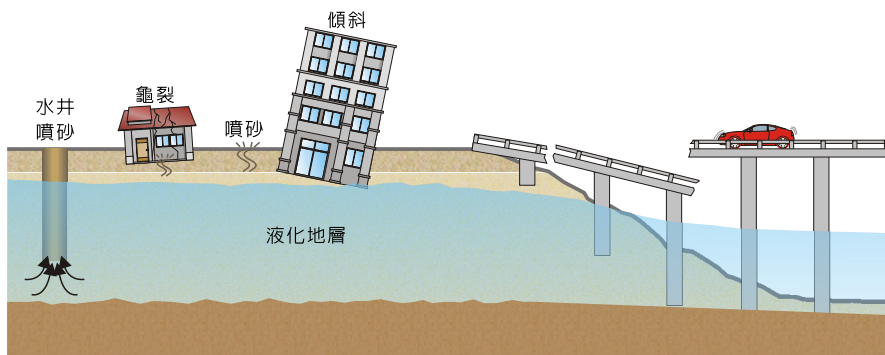
砂與水充分混合，形成宛如液體的狀態，使房屋模型因為土層缺乏足夠的支撐力而沉陷；細砂顆粒間的水壓過高時，地下水會往地表面層噴出。



實驗設計者：臺大土木系翁作新教授。在921地震教育園區和國家地震工程研究中心可參訪觀察本實驗。

■ 土壤液化的災害

土壤液化所造成的災害，不常造成人命傷亡，但是會大範圍地破壞一整區的建築結構物，造成財物損失並重創當地的經濟活動。921集集地震時，臺中、南投、彰化、雲林等縣出現多處土壤液化災情，破壞模式大部分為房屋下陷與傾斜，完全倒塌的案例較少。其他土壤液化可能造成的災害包括：橋墩傾斜下陷；擋土牆、堤防及河岸邊結構物崩塌傾覆；道路與農田開裂或塌陷；地下管線被抬出地面並斷裂等。



● 國外的土壤液化災害案例



1964年日本新潟地震，土壤液化造成整排樓房傾斜或倒塌。
圖照片來源：USGS

● 國內921集集地震，臺灣中部土壤液化災情。



臺中縣霧峰鄉民宅傾斜



民宅龜裂



臺中港碼頭護岸地盤沉陷，原本水平的碼頭出現高低落差



圓錐狀的噴砂孔

■ 哪些地方容易發生土壤液化？

河川的沖積作用，會將較重、顆粒較大的礫石搬運至中上游的緩坡，而將顆粒較小的砂土搬運到下游流速平緩的地帶，堆積在河床、海床、河岸及海岸，並形成沖積平原。河川的一生可能經過數次改道，人們聚居在地勢平坦地帶，卻未必了解地層特性，以及河川的遷移歷史。

專家學者研究921集集地震土壤液化災區的地層，發現災區地層中的土層，多含有顆粒直徑為0.01公分左右的細砂，及高地下水位特性。由此可推測土壤液化容易發生的區域包括：河岸、海岸、舊河道等的砂質地帶，以及海埔新生地、溼地、扇形地、堤防、砂丘、洪積平原、濱海地區等。

要避免建築物受土壤液化的威脅，在工程興建前，應委託專業技師進行地質鑽探，以了解地層特性，確認建地是否位於土壤液化潛勢區，並考慮相關的防治對策。



河川沖積作用／參考來源：王執明等

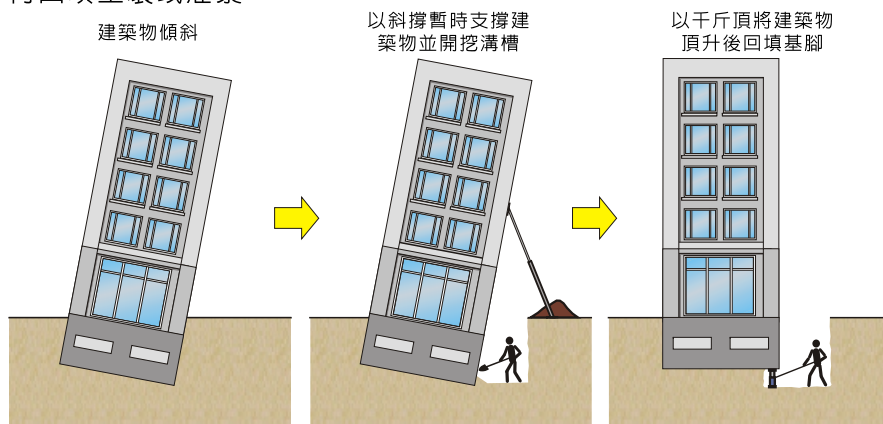
■ 房屋因土壤液化下沉或傾斜時該怎麼辦？

發生土壤液化災害時，如果房屋下沉或傾斜，但結構體受損並不嚴重，房屋是否一定得拆除重建呢？

受災戶可以委託專業技師評估建築物的結構受損情形與修復費用，再決定是否需要拆除重建。一般來說，修復費用包括「房屋扶正」、「地基改良」二部分，常見的修復工法則有頂升工法、灌漿工法等。

● 頂升工法

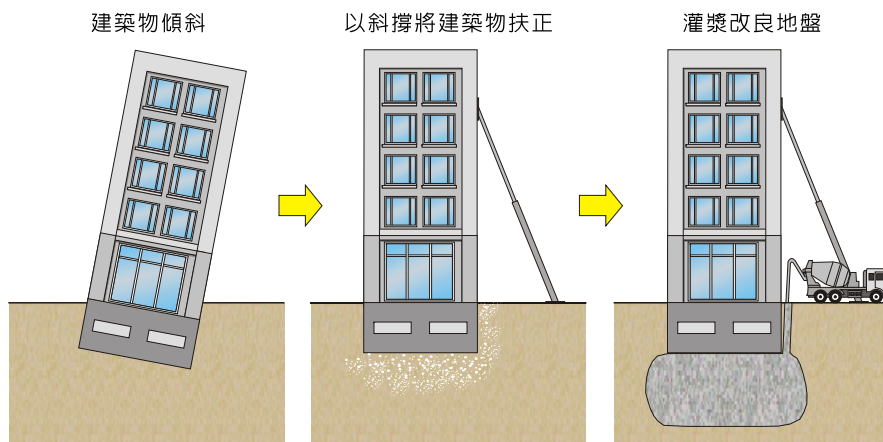
頂升工法是921集集地震後，土壤液化受災民衆廣為採用的工法，施工時先沿著建築物開挖一條溝槽，將千斤頂及木塊置於建築物基礎下方，以千斤頂將建築物頂升至水平後，重新建造基腳，基腳完成後再回填土壤或灌漿。



頂升工法示意圖

● 灌漿工法

灌漿工法施工，是先以型鋼斜撐將建築物扶正，之後再利用低壓灌漿，將混凝土灌入基礎下方，以改良地盤。



灌漿工法示意圖

■ 土壤液化災害的防治

根據災害研究，高液化潛勢區通常位於地表下方20公尺以內的範圍，為了預防土壤液化災情發生，在興建工程前，應委託專業技師進行地質鑽探調查，以了解建地的土壤組成與地下水位，經評估後如有土壤液化防治需求，可以藉由打設基樁、開挖地基置換土壤、灌漿、擠壓砂樁、動力夯實等工法來預防災害。

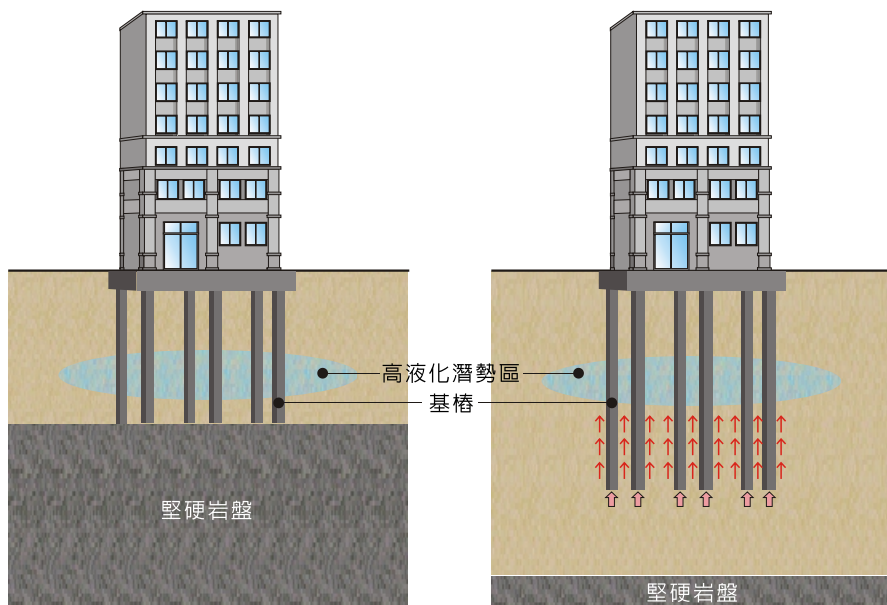


地質鑽探調查是利用機具將套管鑽入地底，以取得岩石或土壤樣本，送至實驗室分析其地質結構、組成、土壤含水量、土壤孔隙比率等／照片來源：國家型數位典藏計畫

● 採用樁基礎

如果高液化潛勢區下方有堅硬岩盤，而且深度不深，可將基樁打入岩盤；但如果岩盤的位置過深，工程費用過大時該怎麼辦？

事實上，基樁與土壤間具有摩擦力，樁頭也有承载力，只要基樁數量、尺寸與長度足夠，就可以承擔房屋重量。一旦地震發生土壤液化現象，房屋有基樁承載，不致下陷或傾斜。

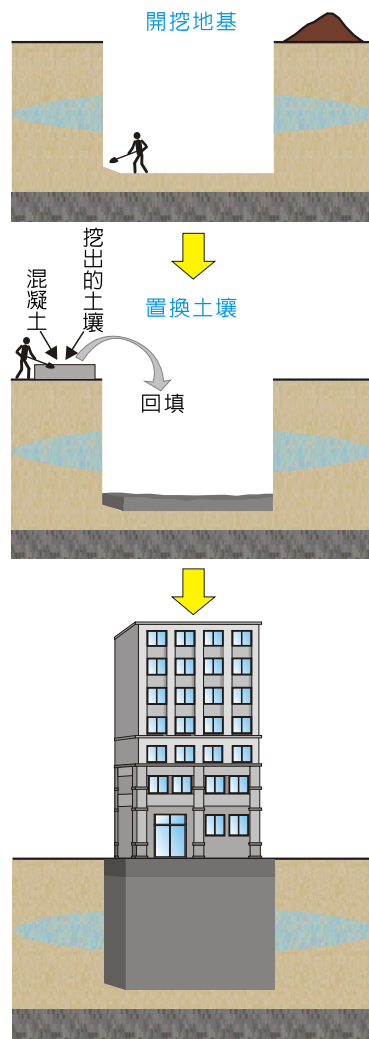


將基樁貫入堅硬岩盤

基樁雖然未貫入堅硬岩盤，基樁數量、尺寸與長度足夠，就能承載建築物重量

● 開挖置換土壤

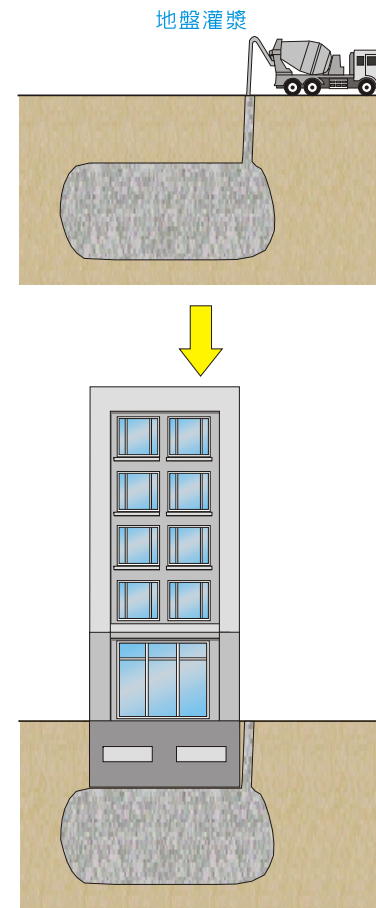
針對深度較淺、範圍較小的高液化潛勢區，可以直接挖掘地基的土層，再將開挖得來的土壤與混凝土拌合後回填。



開挖置換土壤示意

● 灌漿地盤改良

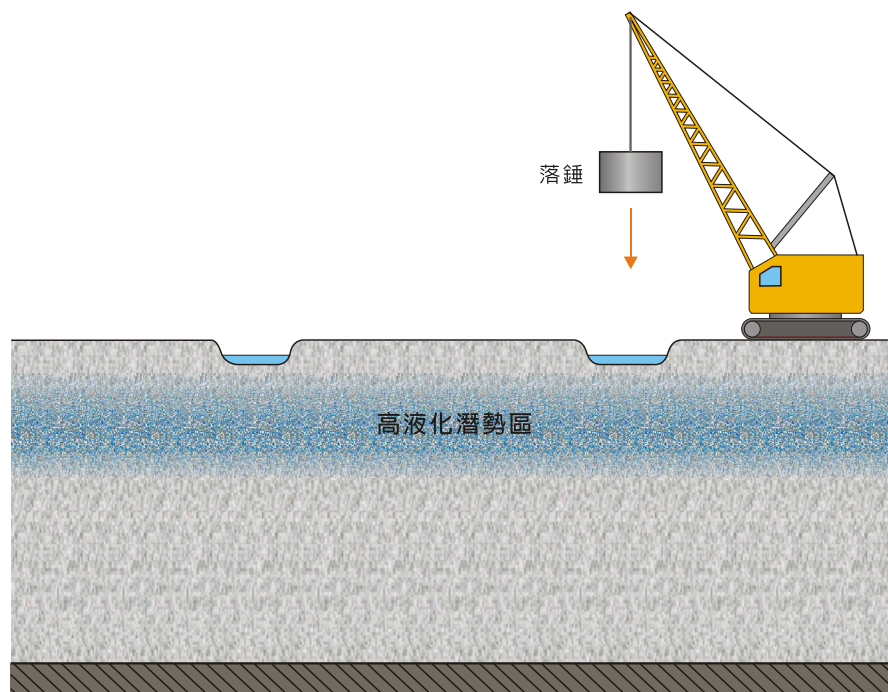
針對深度較淺、範圍較小的高液化潛勢區，在興建房屋前，灌漿改良地盤。



地盤改良示意

● 動力夯實法

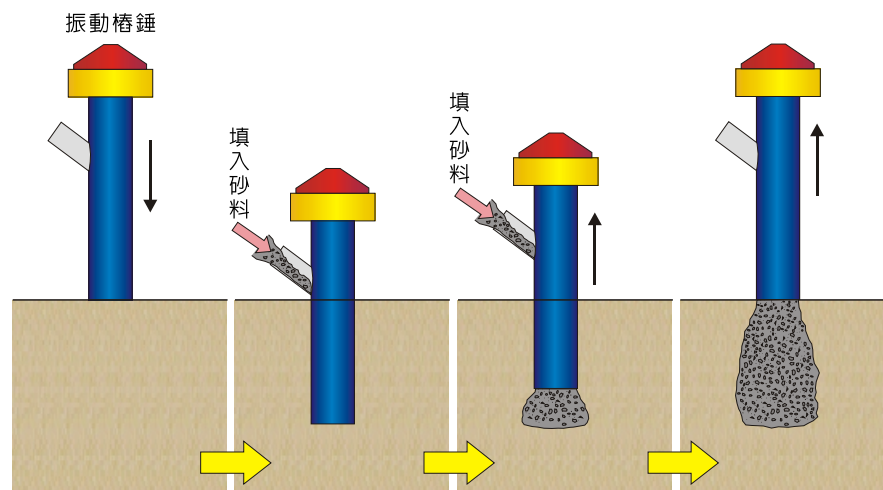
大面積的工程於興建前，利用吊車將鐵塊重物吊至高處後釋放，使其自由落體墜下，錘擊欲改良的地面，壓縮土壤的孔隙，減小日後發生液化的可能性或災害程度，此工法適合深度10公尺以內的土壤改良。雲林麥寮臺塑六輕園區，建廠前即採用此工法改良地盤。



動力夯實法示意圖

● 擠壓砂樁工法

將砂料置入套管以衝擊或振動的方式打入疏鬆砂土層，形成緊實之砂樁，並擠壓砂樁周圍土壤，減小土壤的孔隙，降低土壤液化發生的可能性。工法案例包括：高雄興達火力發電廠、中國鋼鐵公司等。



擠壓砂樁工法示意圖

(四) 盆地效應

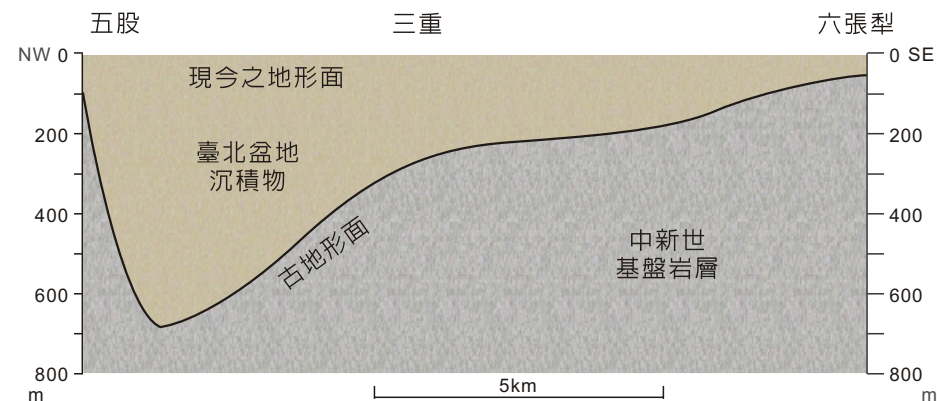
■ 臺北盆地是怎麼形成的？

盆地指的是四週為山地或高原所環繞，中央是低陷的丘陵或平原的地形構造。臺北盆地原本是丘陵地形，大約40萬年前，臺北與林口間的斷層陷落而形成盆地地形；20萬年前，大屯火山區大規模噴發，熔岩阻斷了淡水河的出海口，使得臺北盆地堰塞形成古臺北湖，河川上游挾帶至盆地的汙泥，不斷沈降在岩層基盤上；3萬年前，淡水河切穿熔岩的阻擋，再度注入海洋，古臺北湖的湖水逐漸褪去。

經過將近20萬年的汙泥沉澱，臺北盆地演變成現今周圍山區地盤堅硬、盆地中央為鬆軟黏土層的地質結構，黏土層最深處達700公尺。



圖片來源：Google Earth



臺北盆地側剖面圖／資料來源：中央大學 王乾盈教授

■ 什麼是「盆地效應」？

一般而言，地震震度以近似同心圓的形式向外遞減，越靠近震央的地方震度越大，距離震央越遠的地方震度越小。然而當地震波傳到盆地時，盆地邊緣為堅硬的地盤，盆地內的土層卻是鬆軟的沉積層，因此會造成盆地內地表震動時間拉長、震動強度放大、長週期的地震波波形明顯等現象，稱為「盆地效應」。

西元1985年9月19日，墨西哥太平洋外海發生規模7.8的地震，依震度隨距離衰減的經驗公式，距離震央400公里遠的墨西哥市理應不會遭受威脅。然而墨西哥市，正位於深厚鬆軟的盆地上，因「盆地效應」，市中心35%的建築物在這次地震中受損，許多房屋倒塌。此地震災害事件成為「盆地效應」最典型的案例。

類似的情形也曾在臺灣發生，1986年11月15日，花蓮外海發生芮氏規模6.8的地震，臨近震央的花蓮並沒有太大的災情，但距離震央100多公里的臺北地區，卻發生大樓倒塌的嚴重災情，原因也是「盆地效應」。



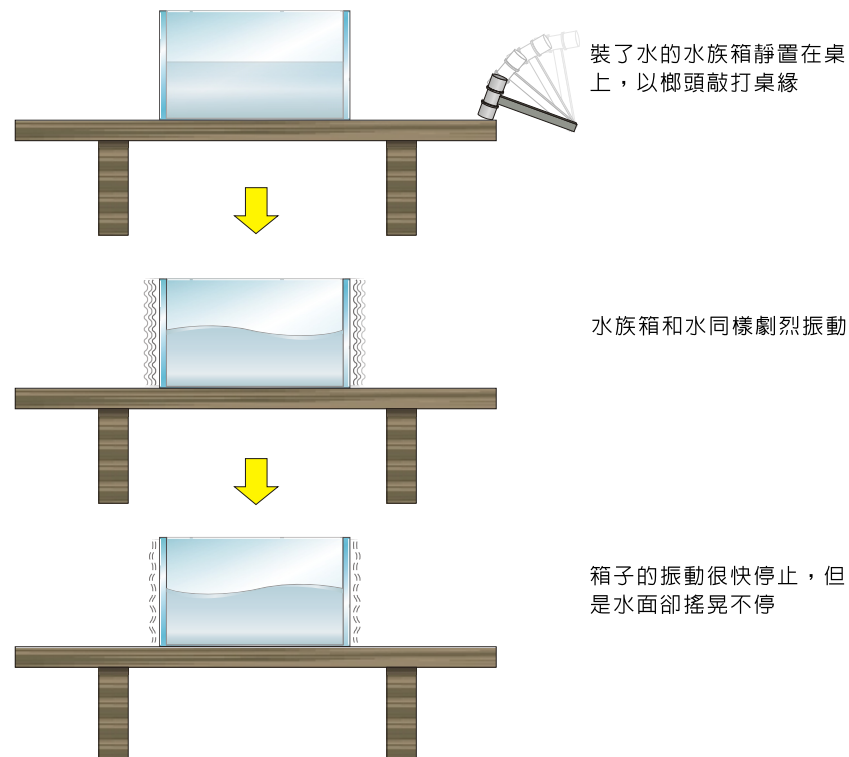
時代雜誌封面刊登1985年墨西哥地震，「盆地效應」使首都墨西哥市災情慘重／照片來源：時代雜誌



1986年花蓮外海地震，造成臺北縣中和市華陽市場倒塌／照片來源：溫國樑教授、陳國誠博士

■ 盆地效應的成因

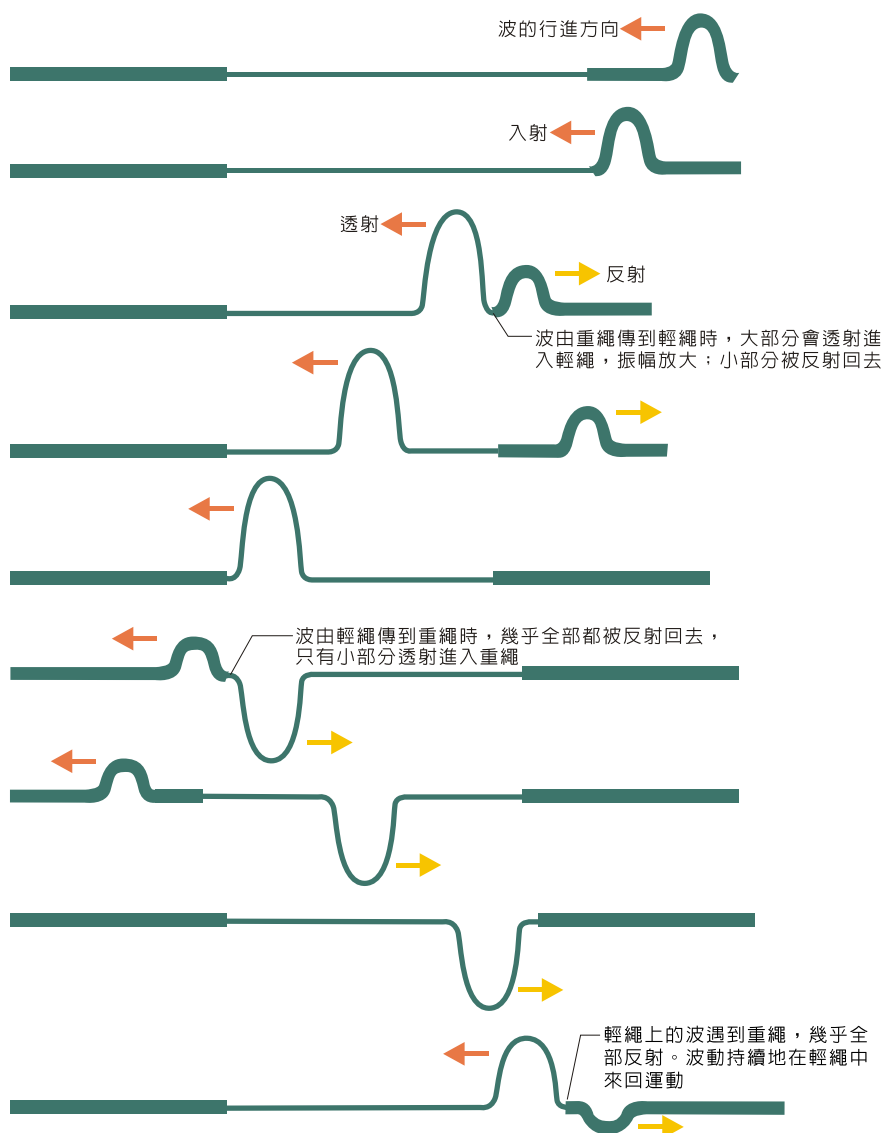
盆地效應的發生，是因為盆地內鬆軟地層的震波，傳遞至周圍堅硬地層時受到阻擋，而在盆地內來回反射，這個情形就像敲打一個裝水的水族箱，敲打停止後，水波仍會持續盪漾一段時間。



「盆地效應」地震波的傳遞情形，可由另一個實驗來觀察其原理：

準備兩條重硬的繩子與一條輕軟的繩子，依下面的圖示排列連結，之後將繩子一端固定在牆面，手持另一端用力上下甩動，觀察繩子的波動行為。

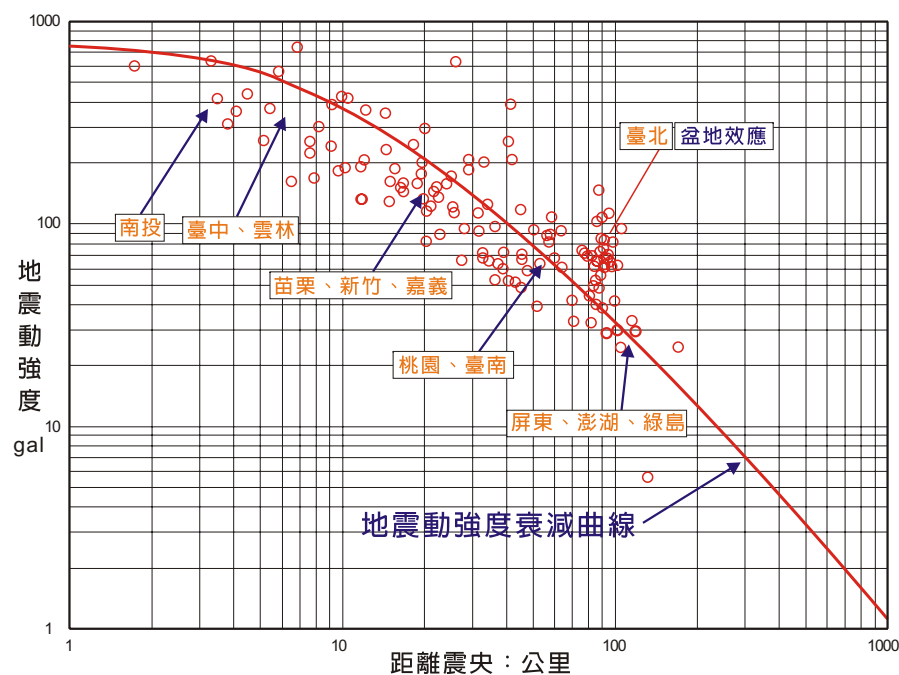




從這個實驗中，可以看到輕軟繩子上的波動，在二端重硬的繩索之間來回反彈，不易消散。這也就是為什麼地震時，盆地內部感受到地面搖晃的時間長，且震動劇烈的緣故

■ 臺北的盆地效應

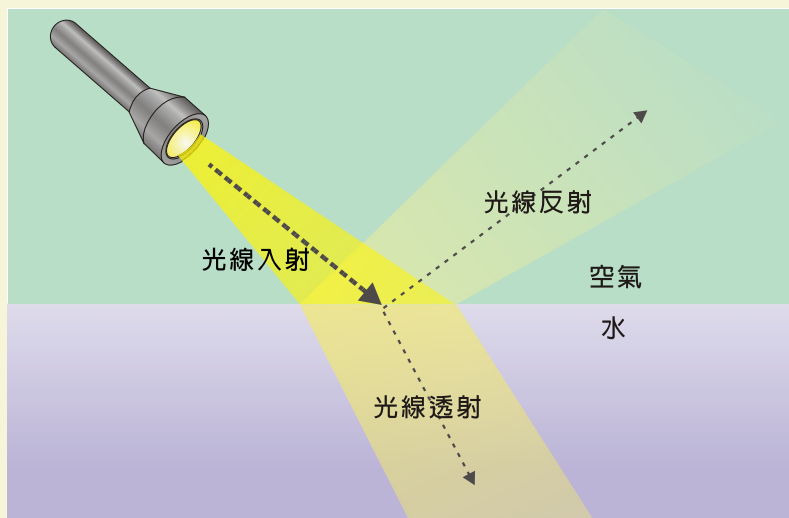
下圖是921集集地震時，臺灣各個地震觀測站所蒐集的最大地表加速度記錄，從圖中可以發現，同樣距離震央約100公里遠的測站，臺北盆地所測得的最大震度高於統計回歸曲線。

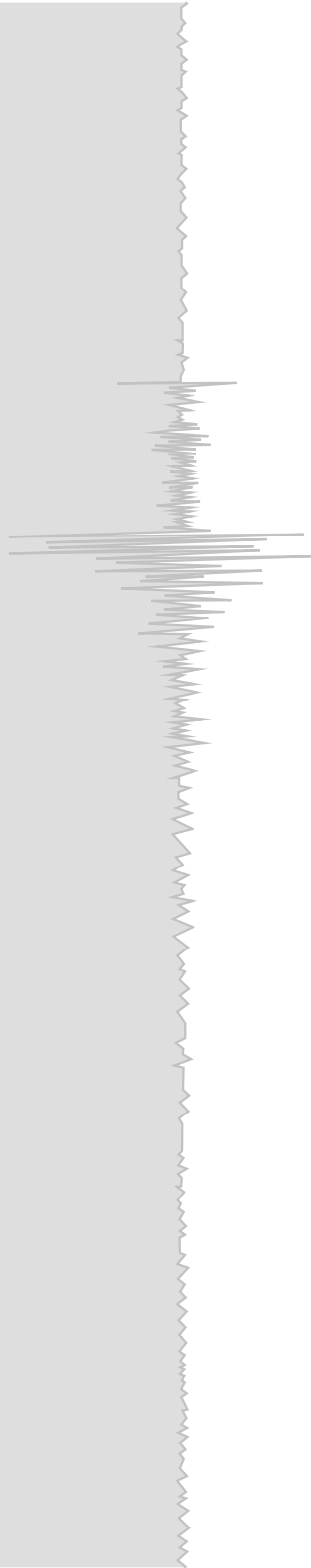


「盆地效應」使得每當臺灣地區發生地震，臺北便容易受災，除了1986年發生在花蓮外海地震，1999年921集集地震、2002年宜蘭外海的331地震等，震害記錄，亦佐証「盆地效應」的重大影響。

關於波的傳遞

震波、水波和光，都是以「波」的形態傳遞。波在介質中行進，遇上介質改變處，部分的波透射，部分的波反射。以光線為例，手持手電筒照射水面，部分的光線透射入水裡，部分則反射回空氣中。





第三章 地震與樓房振動

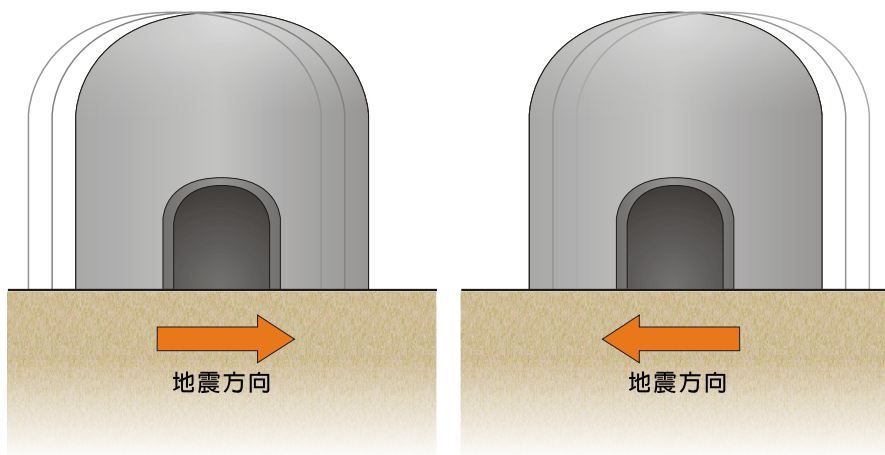
- (一) 地震如何使房屋振動和變形
- (二) 樓房的自然振動週期
- (三) 樓房與地震波的共振現象
- (四) 建築物與近斷層效應
- (五) 建築物的外觀形狀與耐震性

(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。

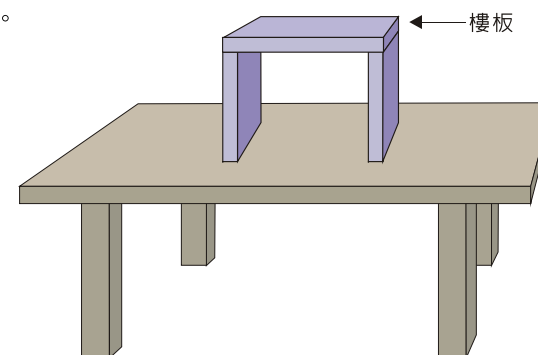
一般住宅的設計原則，在建築成本上須儘可能節省，在使用空間上則要儘量擴大，且希望達到「小震不壞、中震可修、大震不倒」的要求，因此才發展出「建築物耐震設計」的技術。



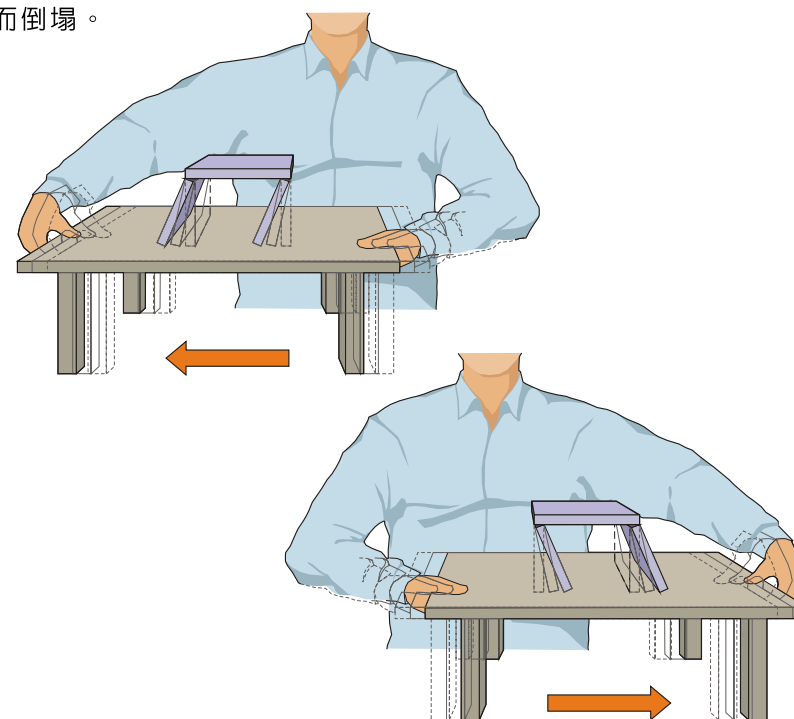
■ 房屋因為質量慣性作用而變形

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。

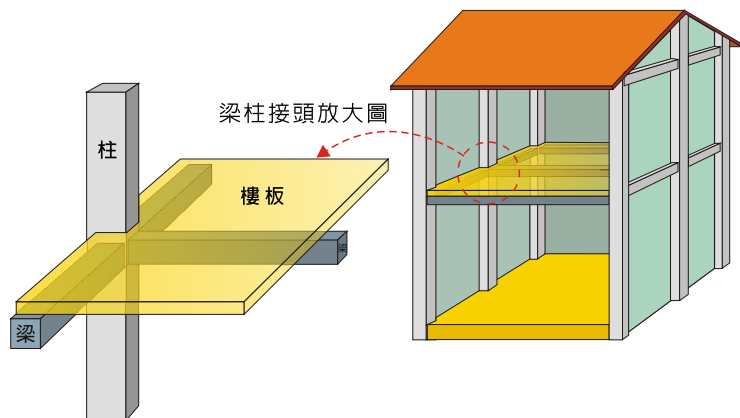


搖晃桌子時，房屋的底部被桌子帶動，但是上方的樓板則因為「質量慣性作用」，而傾向停留在原處，因此造成整體結構的變形。一旦搖晃的力道過大，房屋結構便可能因過度變形，無法承載樓板重量而倒塌。

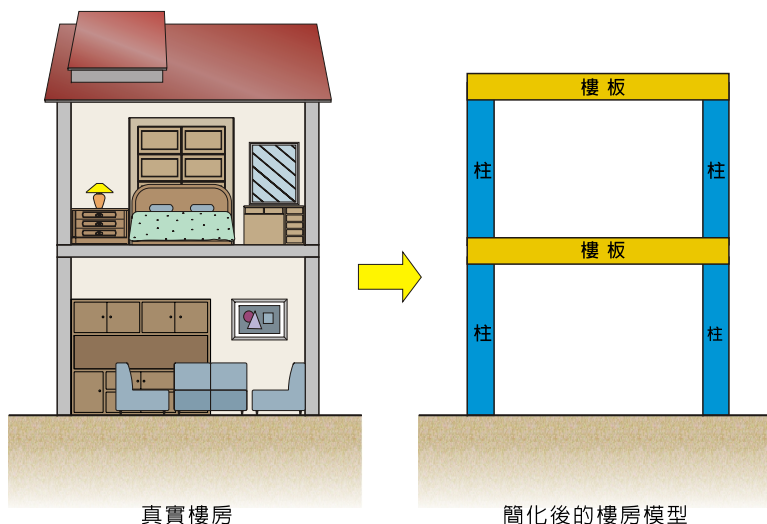


■ 真實房屋的變形行為

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。

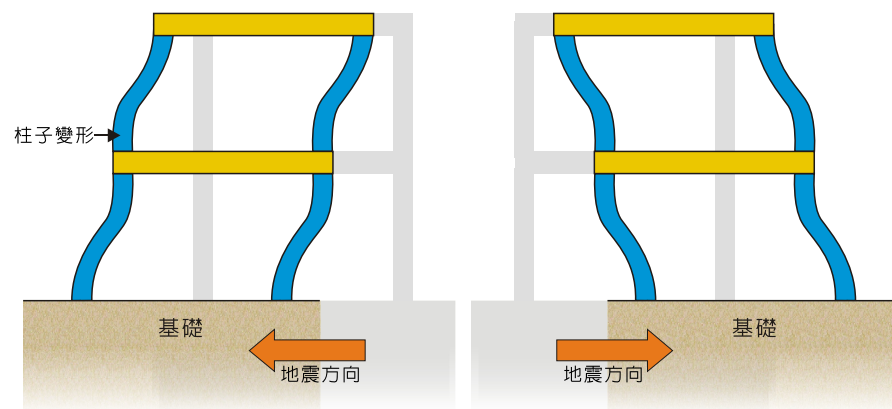


一棟建築物的主結構中，樓板和梁的重量佔建築物總重量相當高的比例，而數量有限的柱子不僅須支撐樓板和梁的重量，同時還須抵抗地震力。為了方便模擬，我們可以將真實的樓房簡化成僅有梁、柱、樓板的模型。



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。

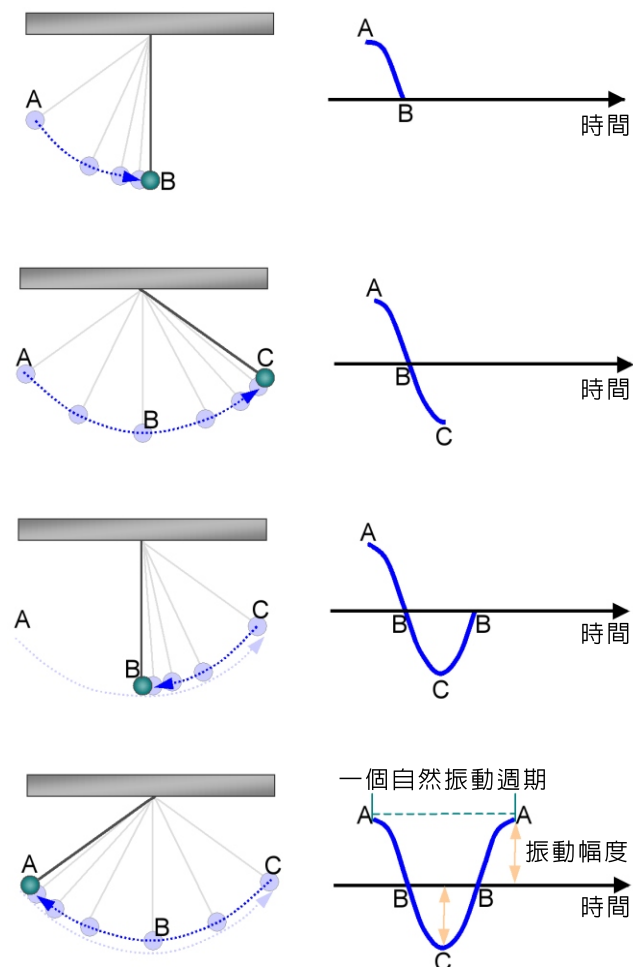


柱子變形過大而破壞，房子跟著倒塌

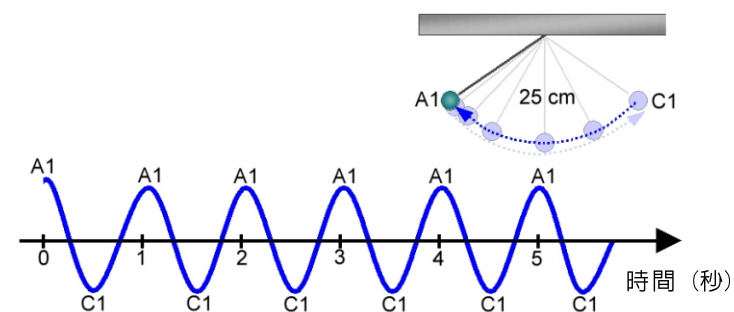
(二) 樓房的自然振動週期

■ 什麼是自然振動週期？

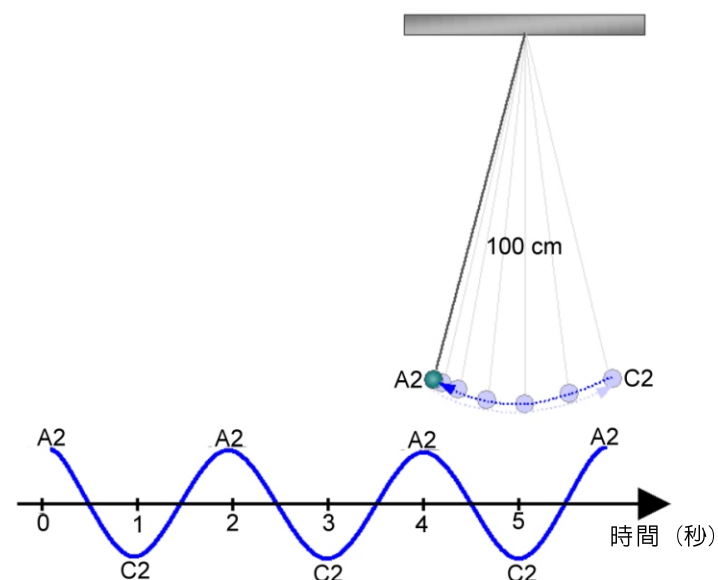
物體受到外力短暫擾動之後，產生規律的反覆運動，稱為**自然振動**，振動過程中往返一次所需的時間，稱為**自然振動週期**。以單擺為例，將單擺舉高後釋放，單擺從A點經過B點擺動到C點，之後再經由B點擺回至A點，整個過程所經歷的時間，就是這個單擺的自然振動週期。



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。

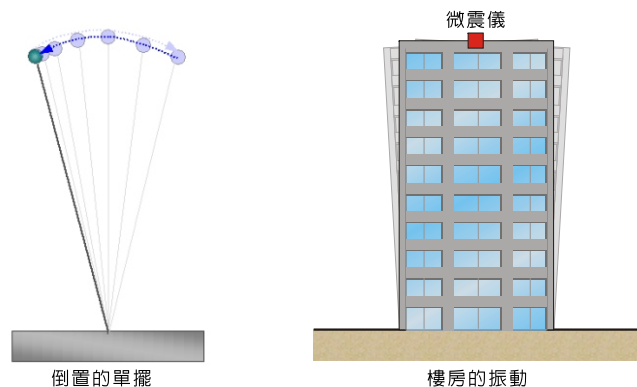


擺長100公分的單擺，自然振動週期約2秒。



■ 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。

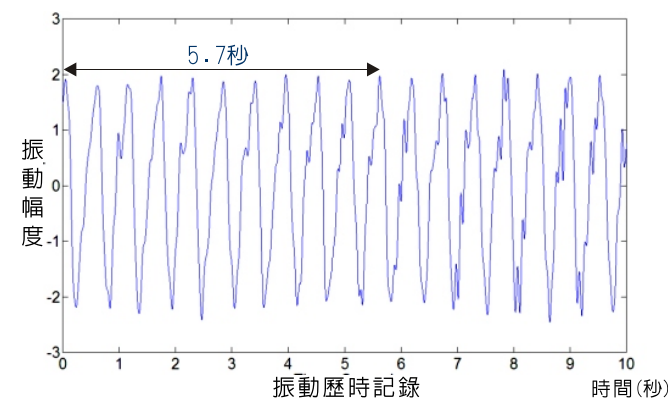
「微震儀」包含微震感應器及電腦記錄器。工程師通常將三個微震感應器裝設在樓房的頂樓，量測建築物東西向、南北向與垂直向三個方向的振動，經數分鐘的量測後，電腦記錄器再輸出樓房的振動歷時記錄和自然振動週期等資訊。



裝設在頂樓的微震感應器

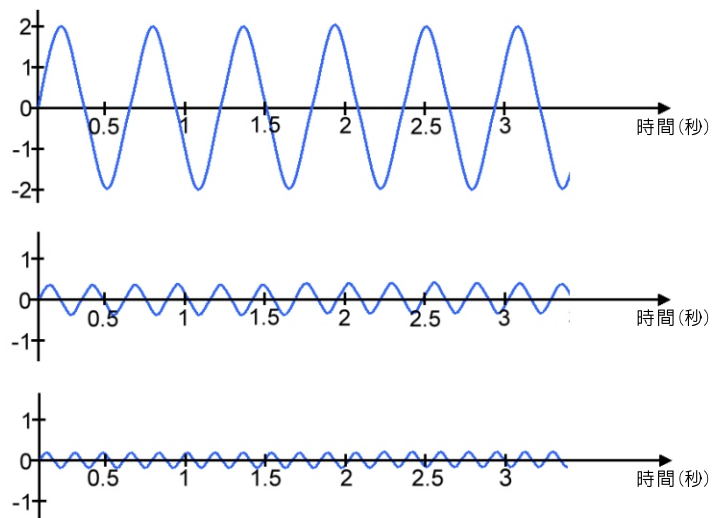


電腦記錄器

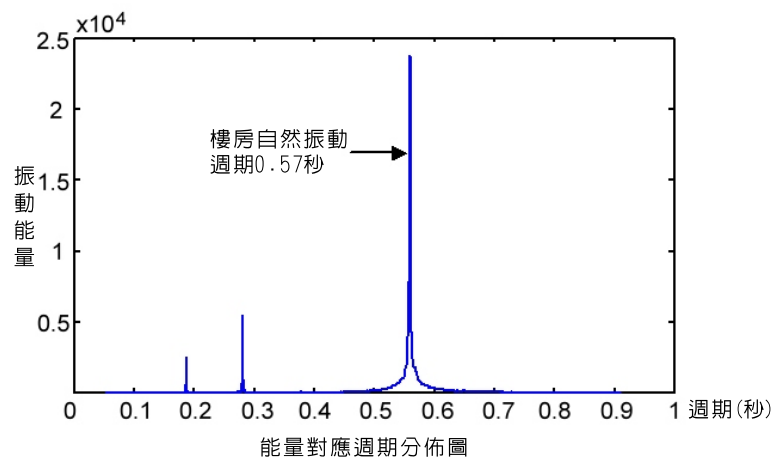


從電腦記錄器輸出的振動歷時記錄，工程師能判斷該樓房的振動週期。以上圖為例，樓房振動10次約歷時5.7秒，所以此建物自然振動週期約是0.57秒。

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：

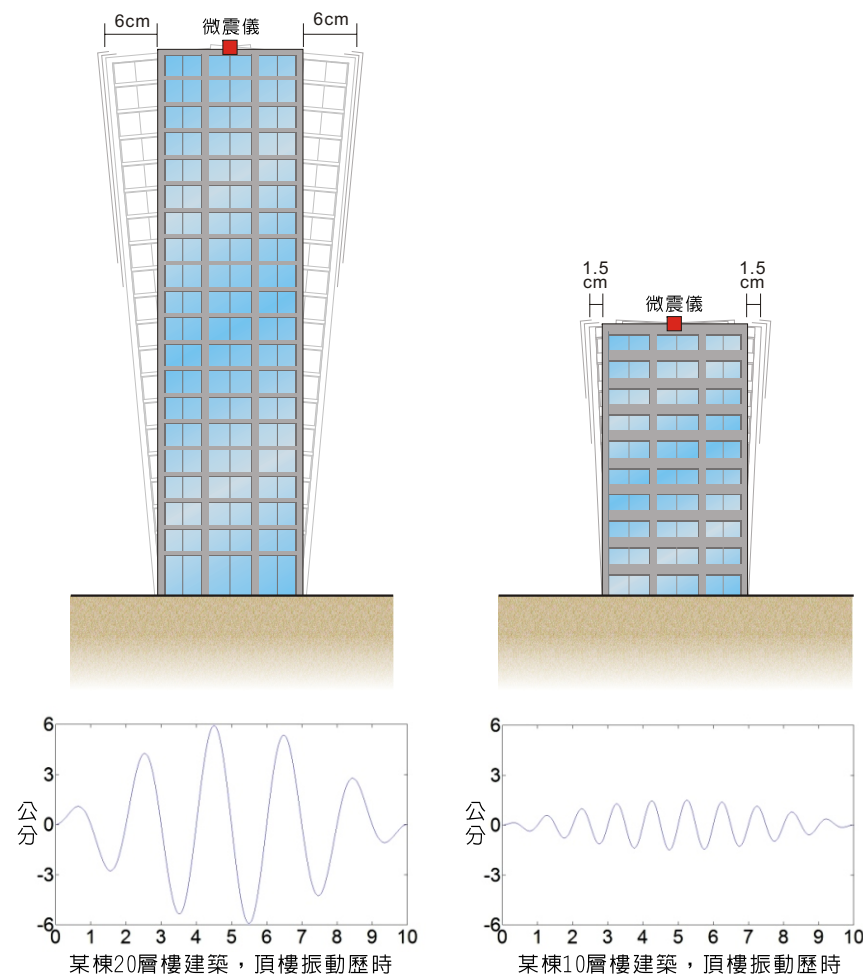


不同振動週期的波形，各有不同的振動能量，以上三個振動週期的波形，如果以「能量對應週期分佈」來表示，就會形成下圖，其中秒數最長的週期，能量通常也最大，這個週期就是樓房的自然振動週期。



■ 樓房自然振動週期經驗公式

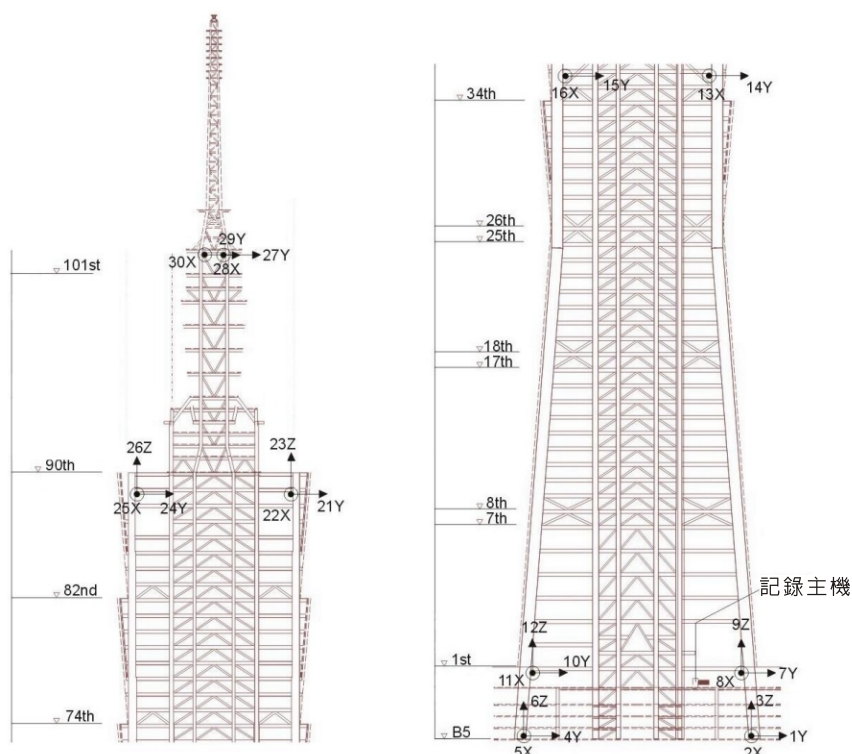
工程師針對多棟40樓層以下的建築進行量測，歸納出大樓自然振動週期計算的經驗公式：樓房建築的自然振動週期，約為樓層數除以10，亦即5層樓高的建築，自然振動週期約為0.5秒；10層樓高的建築，自然振動週期約為1秒；20層樓高的建築，自然振動週期約為2秒。依此類推。



■ 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。



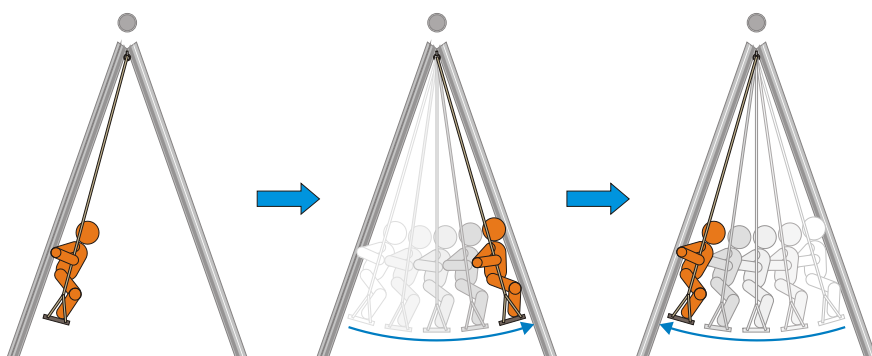
臺北101大樓的強震儀分佈／圖片來源：中央氣象局

(三) 樓房與地震波的共振現象

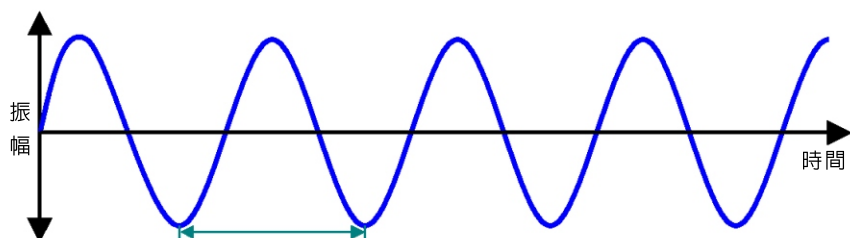
■ 什麼是共振現象？

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。

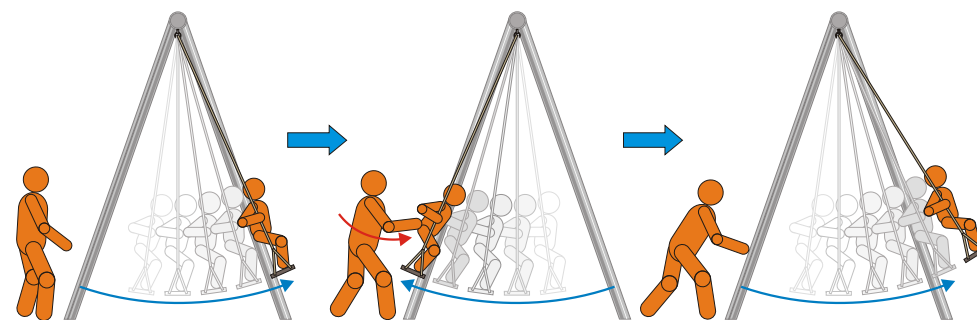
以盪鞦韆為例，假設鞦韆的自然振動週期為3秒鐘，旁人配合鞦韆的擺動節奏，每隔3秒推一下鞦韆，亦即外力的施力週期同樣為3秒，那麼外力與鞦韆就會形成共振，讓鞦韆越盪越高。



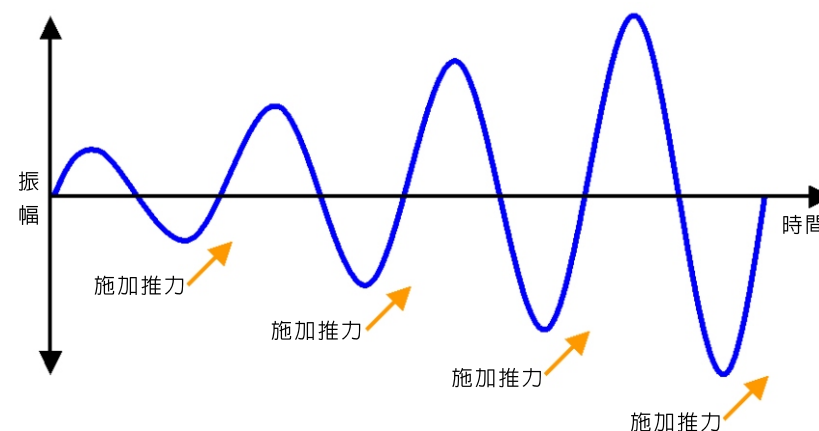
鞦韆來回一次的自然振動週期 (3秒)



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

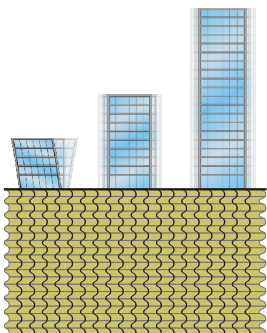


推力與鞦韆形成共振，鞦韆的振幅越來越大

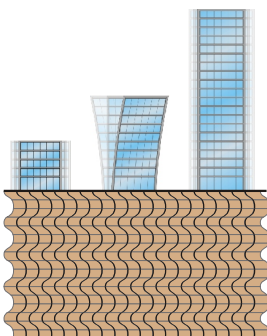
除了盪鞦韆，共振現象的應用在日常生活相當普遍，例如：想吃樹上的水果，可以搖晃果樹，當搖晃的施力週期與果樹的自然振動週期吻合時，果樹就會越搖越劇烈，而使水果掉下來；軍隊在吊橋上行走時，如果步伐節奏統一並且與吊橋的自然振動週期相同，吊橋會越晃越大，甚至發生斷橋危險。要避免軍隊步伐與吊橋產生共振，行軍至吊橋橋頭處時，了解「共振現象」的指揮官會下令士兵隨意漫步過橋。

■ 樓房與地震波的共振現象

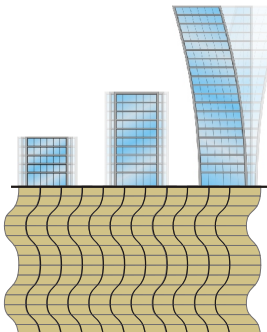
與鞦韆同週期的推力，使鞦韆越盪越高。同樣地，地震力也可能與樓房形成共振，使樓房擺動越來越激烈。樓房的自然振動週期，與樓層數相關；地震波的震動週期，與土層的深度或軟硬度相關。如果兩者週期一致，形成「共振現象」，樓房將激烈振動。



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。

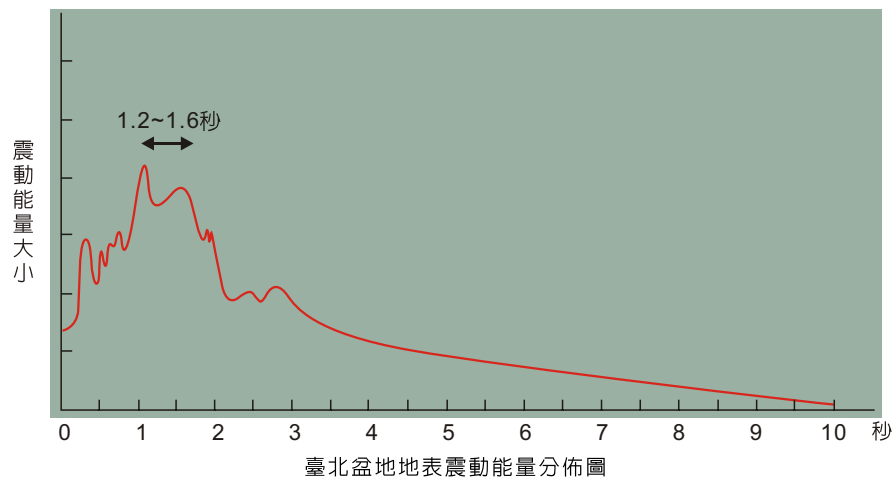


鬆軟的地盤上，震波週期較長，與高樓的週期相近。高樓的變形程度相對較大。

■ 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」。

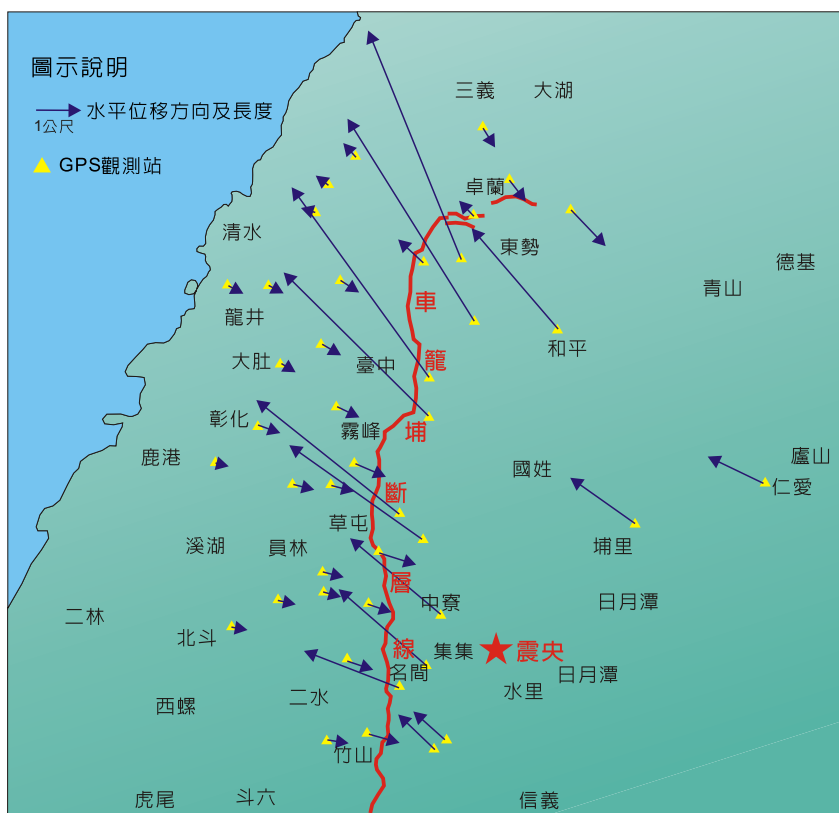


斷層切穿過霧峰光復國中校門口，川堂及花臺地表隆起，川堂兩側的校舍坍塌。

■ 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

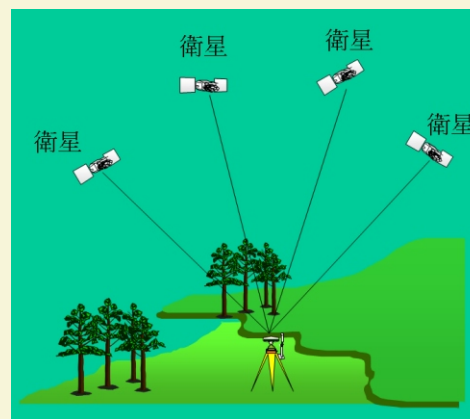
🔍 GPS可以測量永久位移

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。



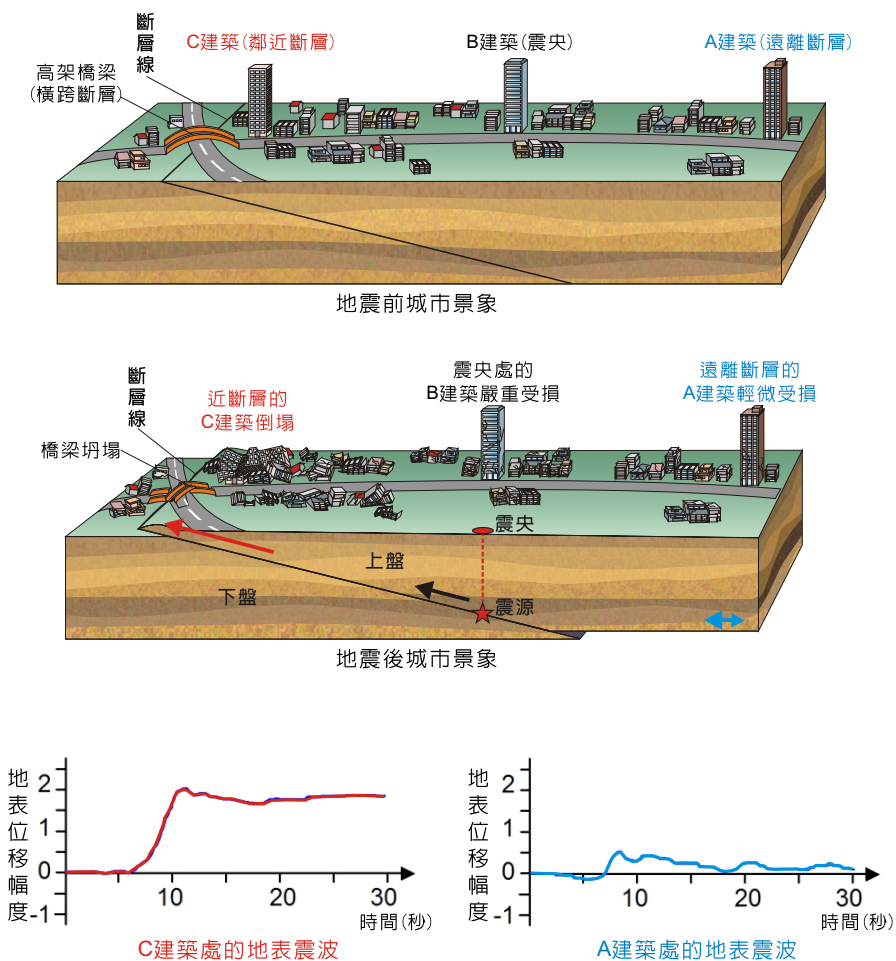
位於軌道中的GPS衛星／
圖片來源：美國太空總署NASA



地面的接收器正在接收衛星訊號

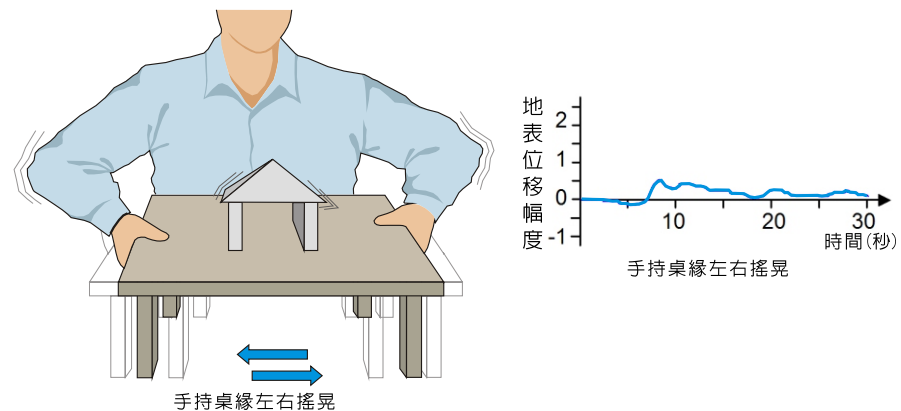
■ 鄰近斷層對建築物的影響

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。

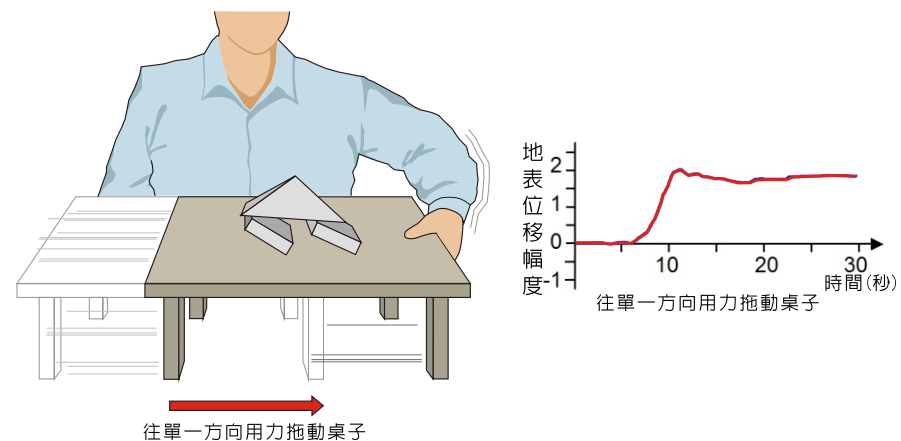


鄰近斷層處和遠離斷層處，不同的地表震動波形，對樓房的影響有何差別呢？我們可利用以下的積木實驗來觀察。

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。

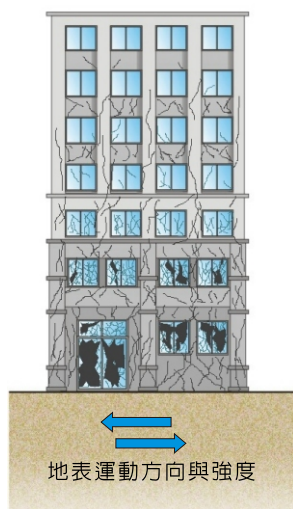


若是手持桌緣突然地往單一方用力地拖動桌子，房屋很容易瞬間倒塌。這種情形與上盤鄰近斷層處的地表運動相似。



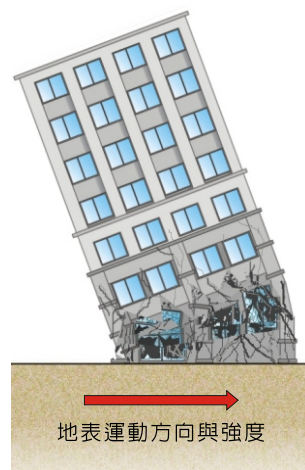
地震時，兩幢分別位於遠離斷層處和鄰近斷層處的相同樓房，受損情形有和差異呢？

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。

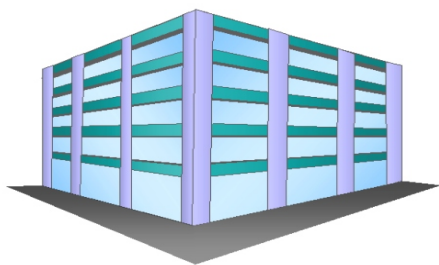


建築物集中破壞而倒塌

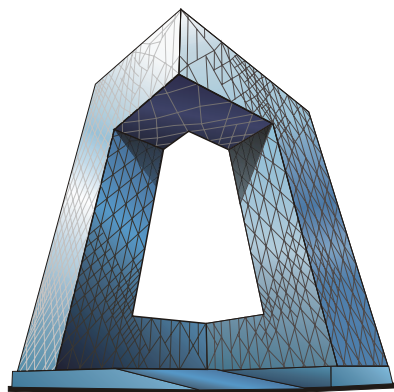
基於鄰近斷層地表的特殊運動行為，921集集地震後，國內的建築法規規定，鄰近斷層的建築物，設計時必須考慮「近斷層效應」。

(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。



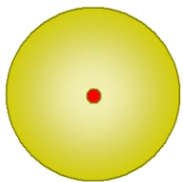
造形簡單規則的建築設計



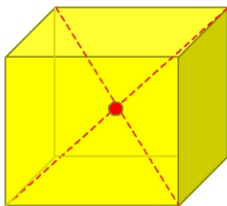
外形花俏多變的建築設計

■ 重心愈高，穩定性愈差

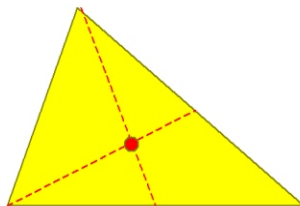
「重心」是指物體的質量分佈中心，例如：圓球的重心位於球心，正方體的重心位於兩個斜對角的交叉點，而三角形的重心則是位於兩條「中線」的交會點上。



圓球的重心

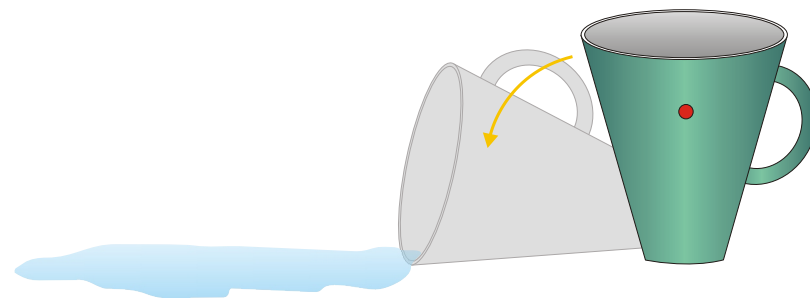


正方體的重心

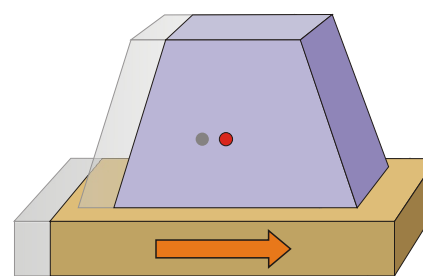


三角形的重心

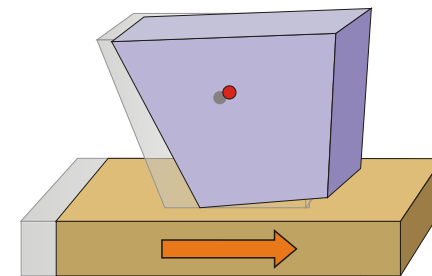
物體的重心如果偏高，輕輕一推便容易倒下。



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。



地震方向

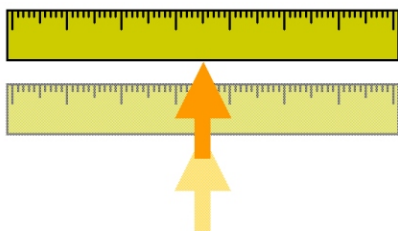


地震方向

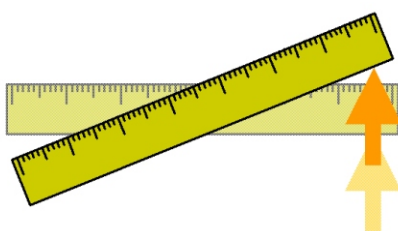
■ 扭轉現象－建築物的勁心與重心

● 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」。

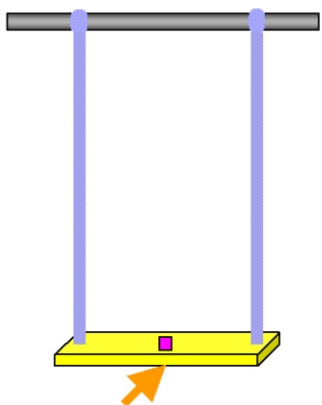


從中點推動直尺，直尺移動

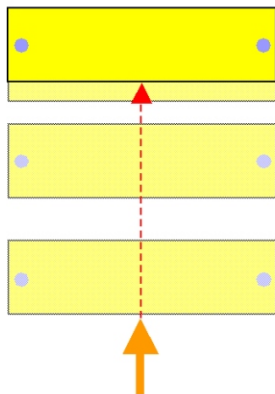


從側邊推動直尺，直尺移動與轉動

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。

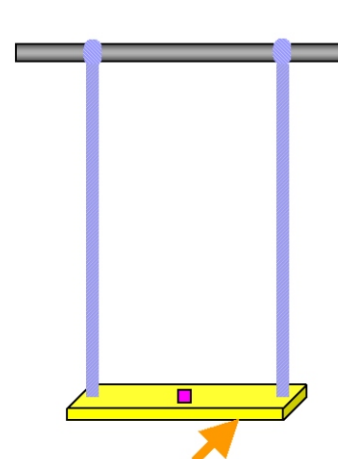


手指輕輕碰觸木板的中點

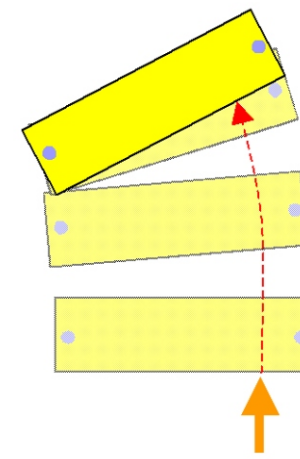


從鞦韆上方觀看，木板筆直移動

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。

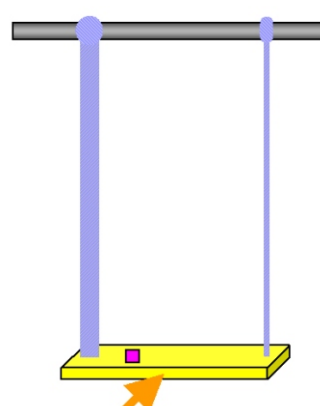


手指輕輕碰觸木板側邊點位

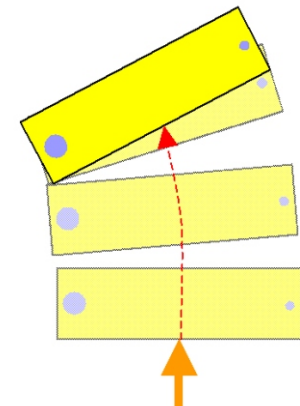


從鞦韆上方觀看，木板移動與轉動

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。

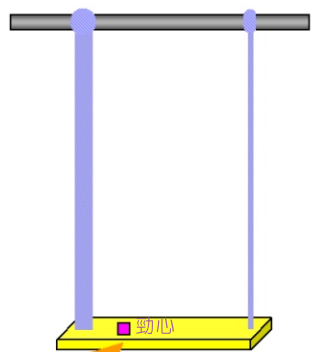


繩索粗細不同，手指輕輕碰觸木板中點

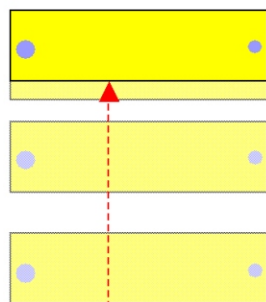


從鞦韆上方觀看，木板移動並轉動

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。



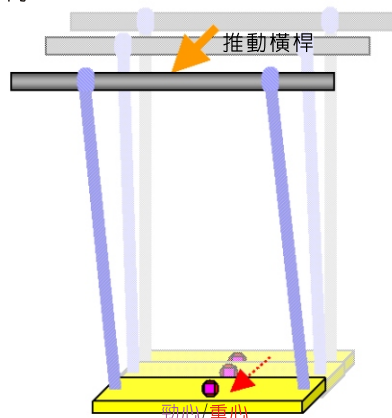
繩子粗細不同，
試著找到勁心的位置



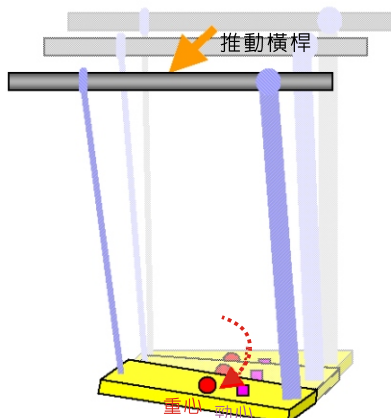
從鞦韆上方觀看，木板筆直移動

● 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。

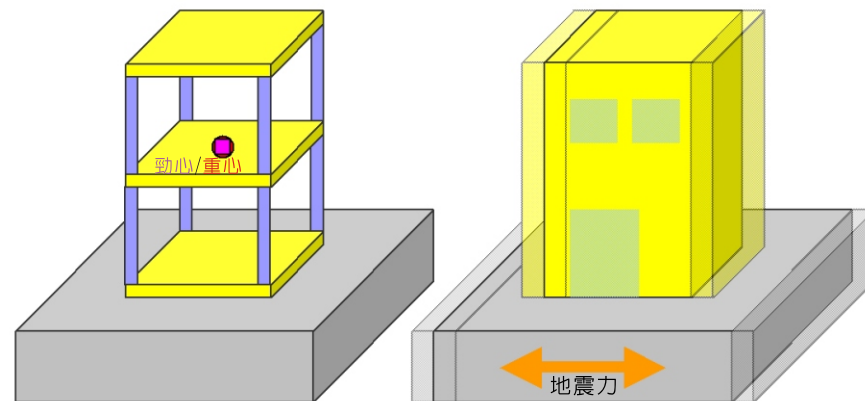


勁心和重心相同，木板筆直移動



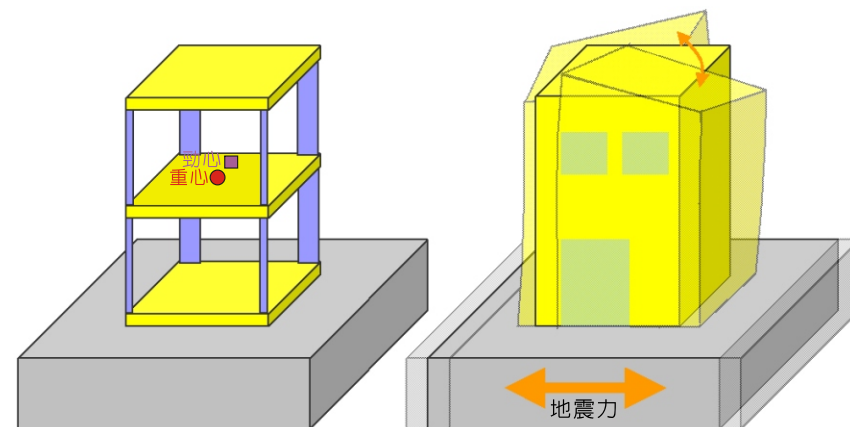
勁心和重心不同，木板移動並扭轉

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

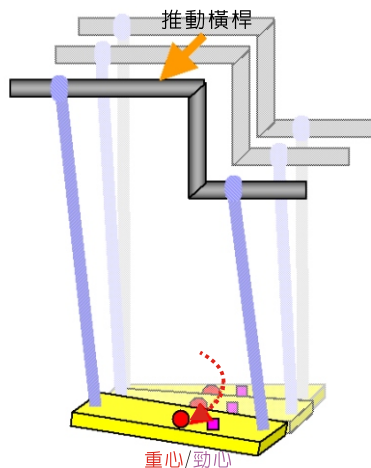
地震時建築物如果發生扭轉行為，柱子同時承受水平力量與扭轉力量，加重柱子的負擔。扭轉力量宛如扭毛巾，使柱子受損更嚴重。



2000年331地震中，臺北縣土城市一棟樓房，柱子呈現扭轉破壞

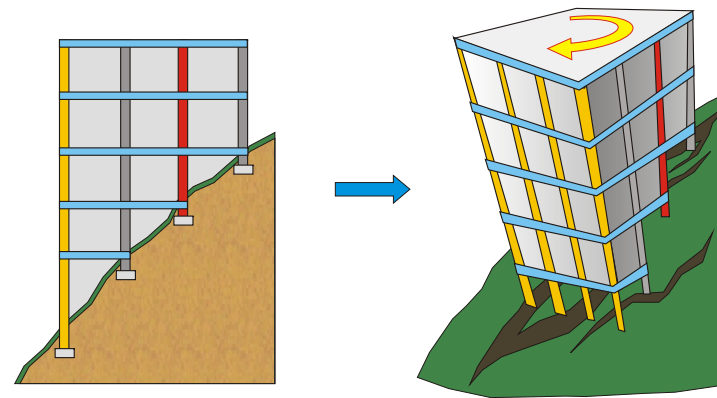
還有哪些因素會造成勁心與重心不在同一處，使建築物在地震時扭轉呢？我們繼續以鞦韆為例說明。

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

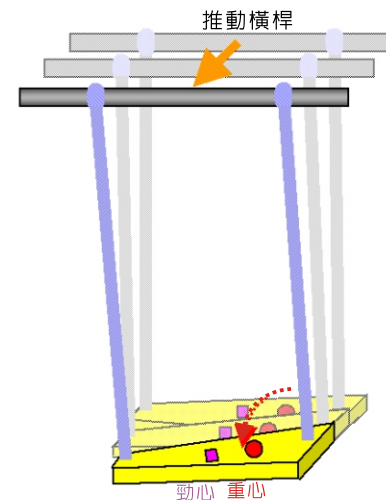
同樣的原理，斜坡上的建築物如果一側為長柱，一側為短柱，地震時，建築物同時發生移動與扭轉。



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。

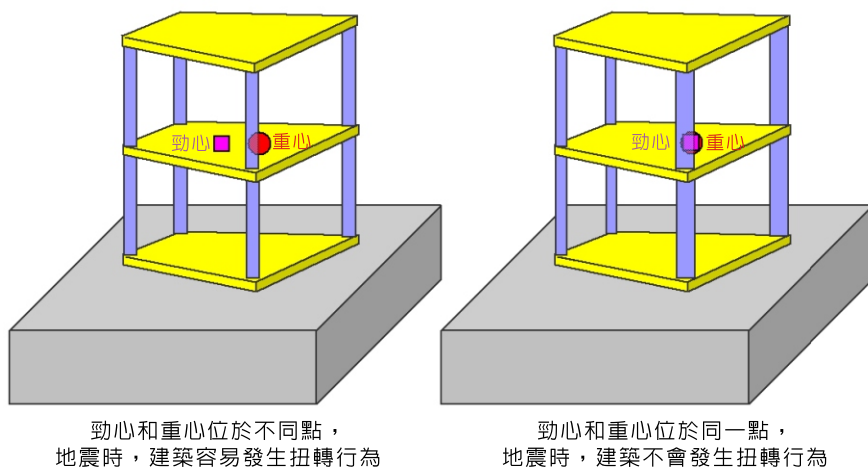


木板左右不對稱，運動時造成移動並扭轉

● 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。

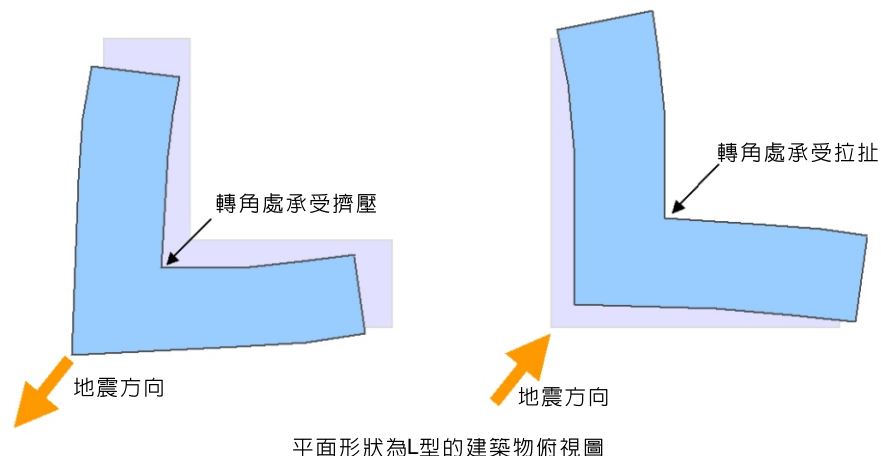
然而建築物的形狀越複雜，欲使勁心和重心一致的工程計算與工程實務難度越高，容易因少許誤差造成意外的扭轉，而不利於建築的耐震性。因此工程師建議購屋時，最好是選擇外型簡單對稱的建築物。



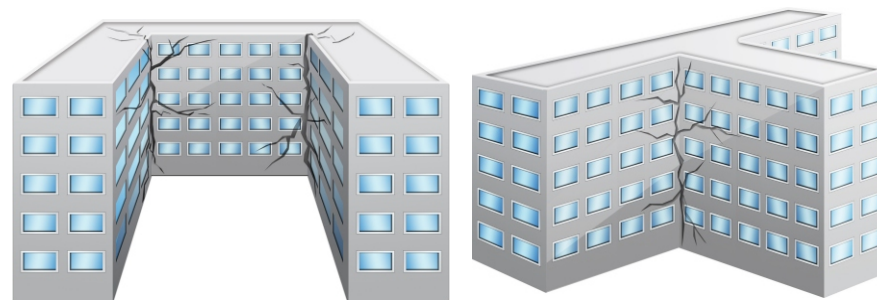
■ 外形不規則容易局部受損

● 平面L形的建築物，轉角處易破壞

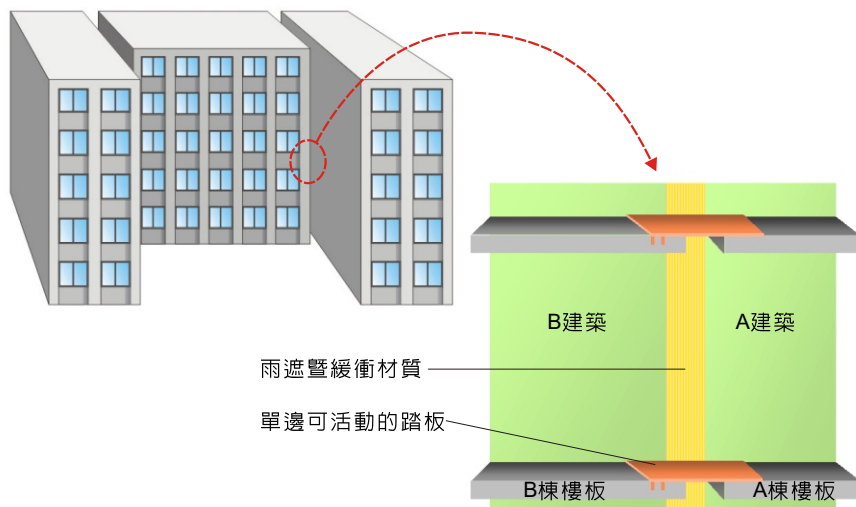
平面形狀為L形的建築物，地震時，轉角處承受較多的擠壓力量或拉扯力量，所以轉角處容易破壞。



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。



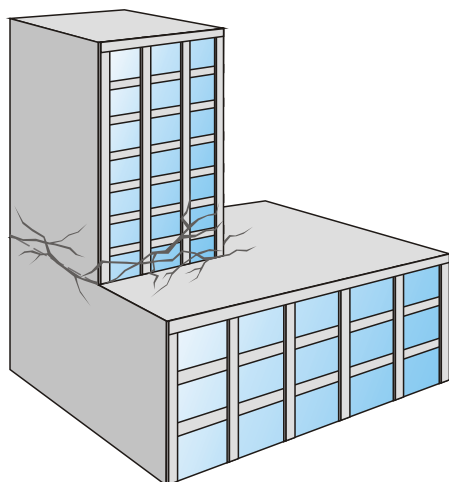
類似上述的建築設計，工程師通常建議採獨棟建造，以及保留適當的鄰棟間距，防範地震時發生碰撞。如果有功能上的需求，必須讓人們可以在各棟間往來行走，可將鄰棟空間走道，設計成類似捷運的車廂連結走道，通道間以緩衝材作為外牆，並以單邊可活動的踏板連接樓地板。



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

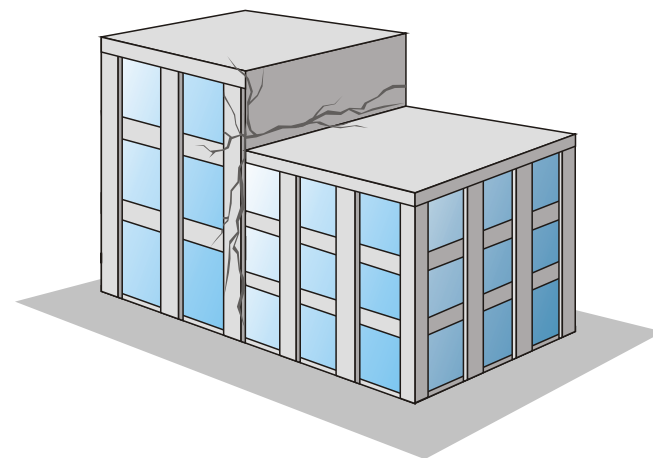
「退縮建築」是指建築的某個或某些樓層，樓地板面積突兀地大改變，建築物的立面形狀突然退縮。地震時，樓層退縮處受力行為較為複雜，容易破壞。



退縮建築的樓層退縮處容易破壞

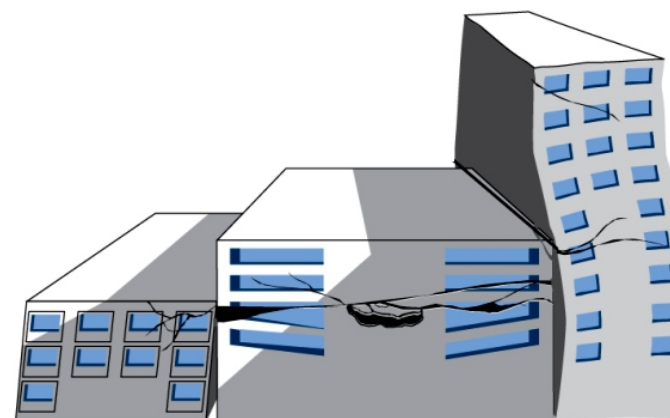
■ 梁線不連貫造成耐震力不佳

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。



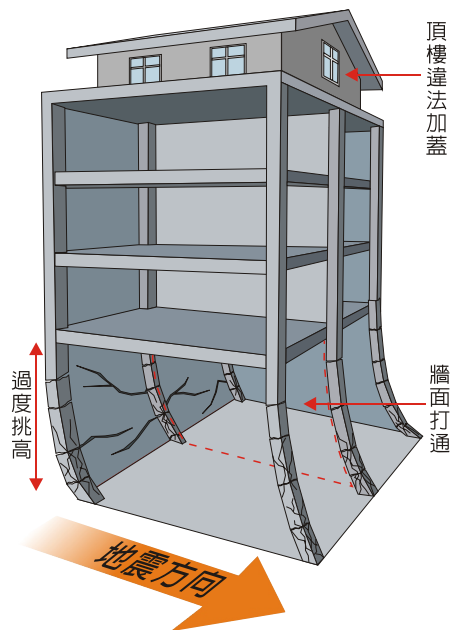
鄰棟間距不足，建築物相互碰撞而震損

■ 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。

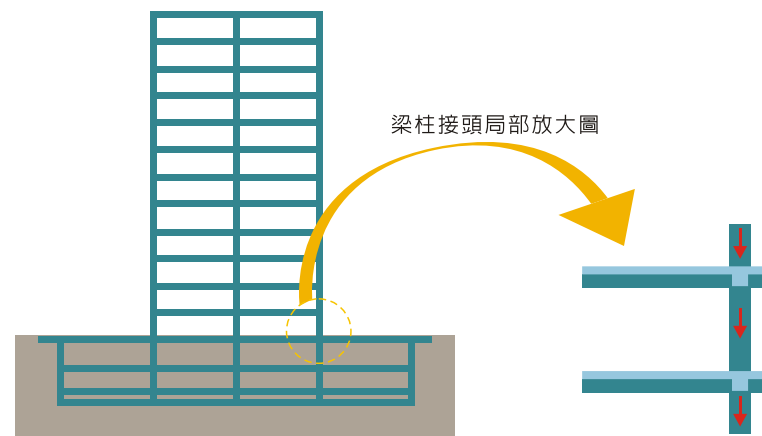
房屋設計時，若為了門面美觀氣派而將一樓過度挑高，卻沒有加粗柱子或增設牆壁量，一樓大廳可能會成為軟弱底層；倘若住戶再自行違法頂樓加蓋，加重底層結構的負荷，對於底層的耐震力更是雪上加霜。



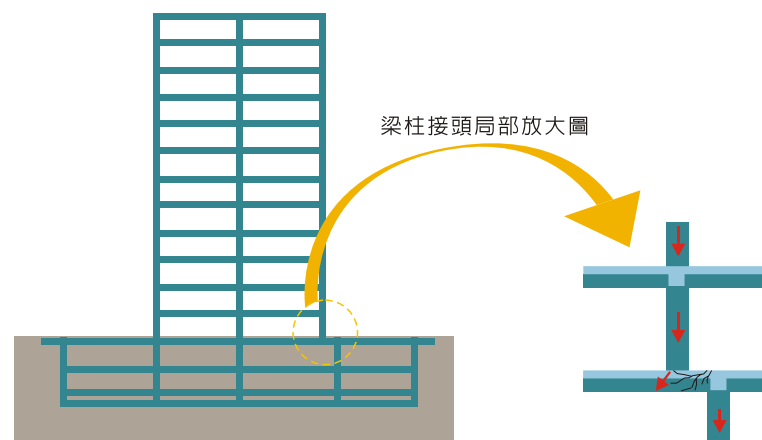
許多建築頂樓加蓋、一樓壁量不足，形成軟弱底層，以致921集集地震時，一樓完全崩塌而無存活空間／照片來源：內政部營建署雪霸國家公園管理處 俞錚峰 攝

● 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。

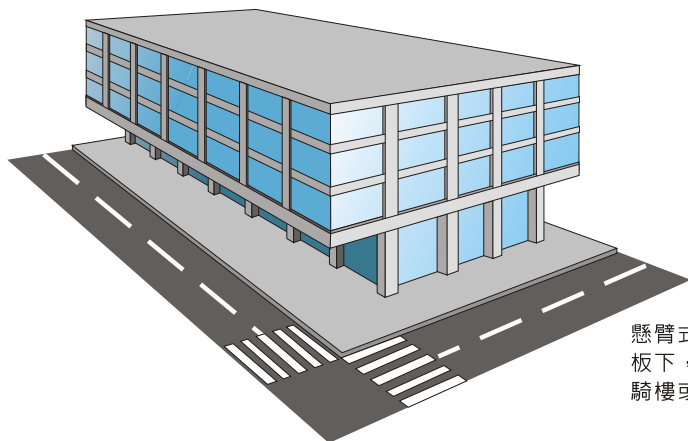


如果柱線不連貫，建築物重量的傳遞路徑複雜，容易在不連貫處發生破壞，而形成軟弱層，增加地震震損倒塌的風險。



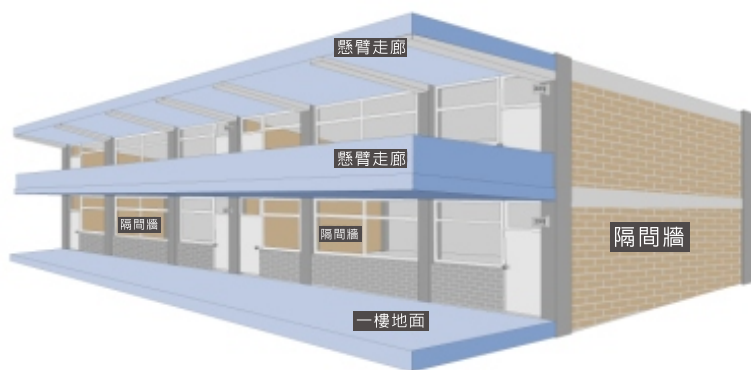
● 懸臂式建築

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

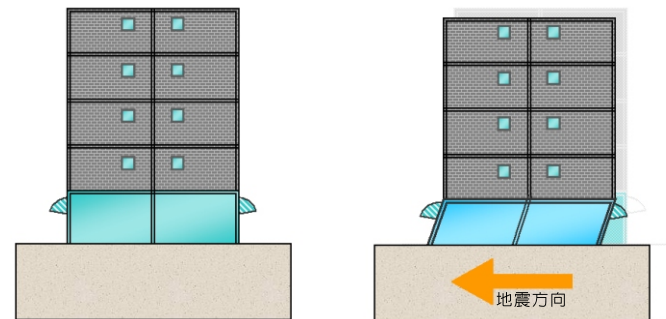
臺灣1970年代以前興建的校舍，設計上著重採光、通風、師生活動空間，因此多設計為「廊外無柱」的懸臂式建築，耐震力普遍不足。921集集地震時，中部地區這類型老舊校舍，多嚴重震損或倒塌。



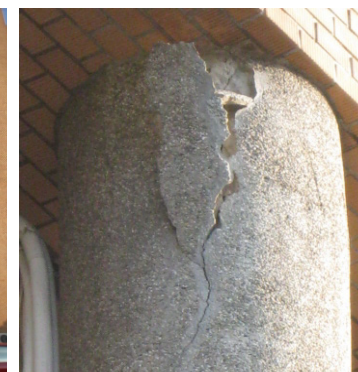
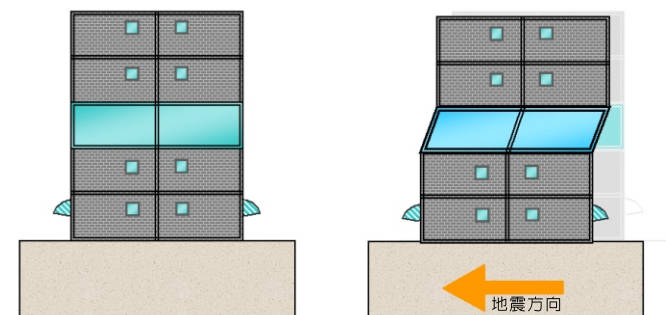
臺灣早期許多校舍多屬於懸臂式建築

● 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。



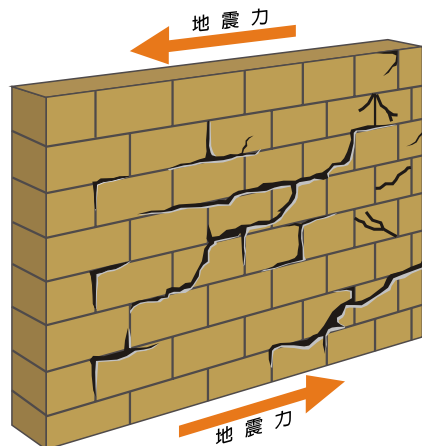
除了一樓之外，建築物其他樓層也可能為了作為開放性營業空間而打除牆壁，以致於該樓層成為軟弱層。



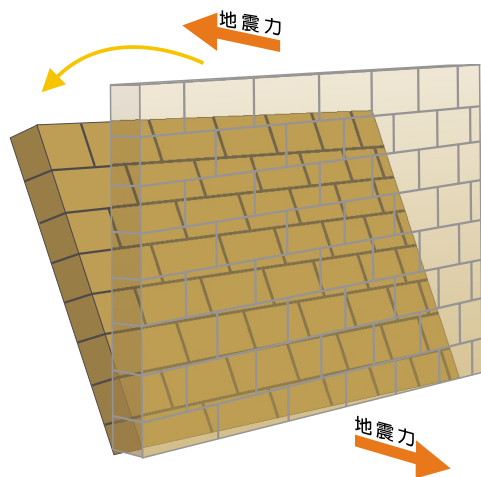
臺北市大安區一棟公共建築，二樓壁量少且柱子細長，形成軟弱層現象，柱子多震損

■ 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。

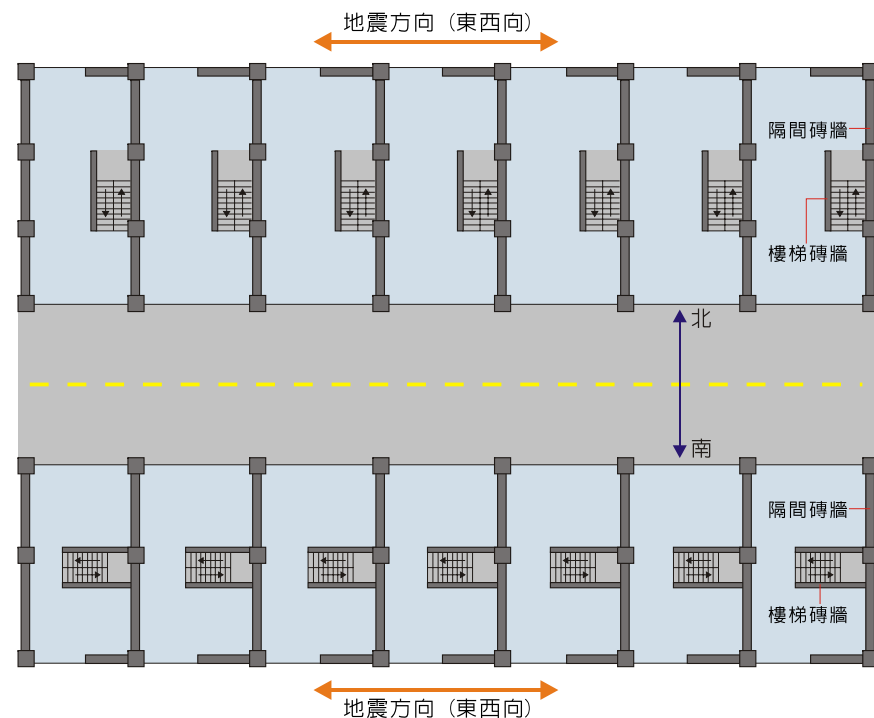


當地震力與牆壁垂直時，牆壁顯得柔弱，無法協助柱子抵抗地震地震力量。



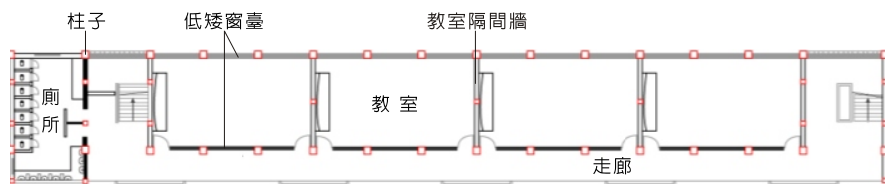
因此，要提升建築物的耐震力，壁量與配置方向應適當得宜。

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

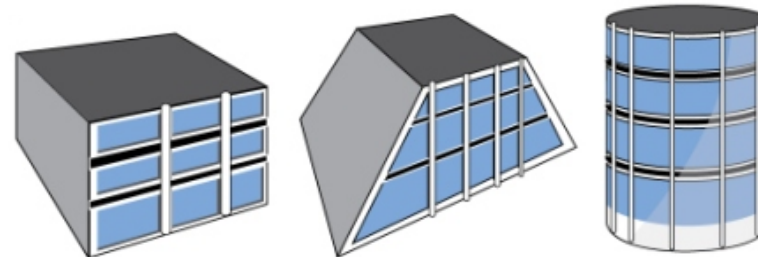
集集地震發生前，極少數的校舍在一樓柱子兩側加建窄牆，大幅提升底層的耐震力，因此倖存而免於崩塌。

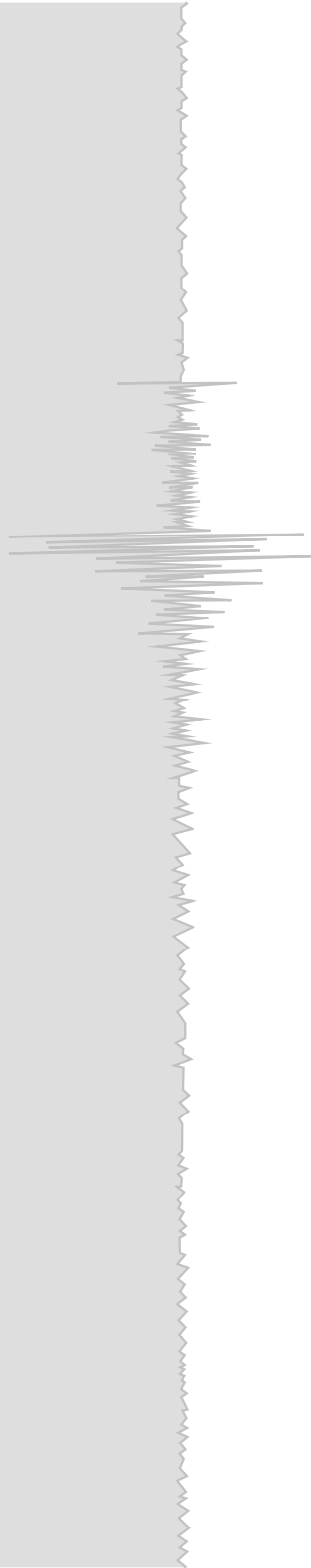


臺中縣大里市塗城國小在集集地震的震損情形。照片中，一樓柱子兩側有窄牆，一樓結構仍然完整；但柱旁沒有窄牆的二樓則震損。

■ 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。





第四章 房屋構造的介紹

- (一) 臺灣常見的建築構造
- (二) 鋼筋混凝土構造的原理
- (三) 鋼筋混凝土構造的施工細節

（一）臺灣常見的建築構造

■ 建築材料的演進

建築材料的演進，常與當地的天然資源、歷史文化等因素相關。臺灣早期不同族群的原住民，各以竹子、茅草、石板、石頭等搭建房屋；明末清初，大陸閩粵移民來臺開拓墾殖後，開始有了土角磚、紅磚、木材等建築材料。近代隨著工業發展，鋼筋與混凝土成為建築材料的主流，而新近二、三十年來，鋼骨建材的使用也日益廣泛。

建築技術的發展軌跡，與建築材料相關，例如：以竹子為建材時，牽涉到竹子品種的選擇、竹子砍下來之後如何預製、竹編技巧等；以石板為建材時，牽涉到的則是石板的選擇、穩固的堆疊方式。每當一種新興的建築材料出現，也代表著相對應的新建築技術。因此觀察建築材料的演進，可看出生活型態的演變，也能了解建築技術的發展軌跡。

● 土角厝

土角厝為臺灣早期的農村建築型態，土角厝是利用土角磚交錯疊砌成牆面，是以牆為建物主體的建築物。有的土角厝會在外牆上塗抹石灰修飾，並覆蓋稻草、芒草、瓦片等作為屋頂。

製作土角磚時，通常利用黏性土加入稻殼、稻桿合成土漿，經過踩踏攪拌後，將土漿填入框模，日曬風乾而成土角磚。



土角厝，部分石灰牆面裝飾已經剝落

● 木構造建築

臺灣的木構造建築主要盛行於清末與日據時期，以廟宇、公共建築以及富人宅邸採用居多，目前臺灣傳統建築中列為古蹟及歷史建築者約64%為木構造。傳統的木構造建築技術稱為大木作，架構梁柱時不使用鐵釘，而是以卡榫接頭相連接。



國家一級古蹟鹿港龍山寺

● 磚造建築

磚造建築自清初至二十世紀中期，一直是臺灣重要的建築型態，從平民居住的三合院到各式公共建築都廣為採用。純磚造建築以砌磚為牆，並以瓦片為屋頂，純磚造建築因耐震性差，現今已罕有新建的純磚造建築，不過紅磚塊仍應用於鋼筋混凝土建築的隔間牆。



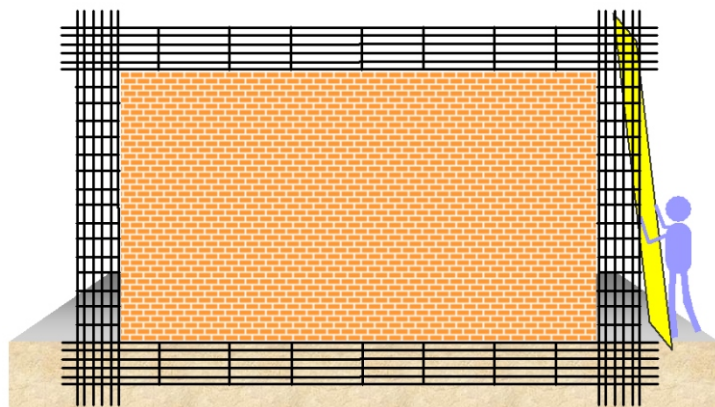
彰化縣鹿港鎮九曲巷古蹟

● 加強磚造建築

二十世紀初，臺灣重要建築開始局部採用鋼筋混凝土加固，方式是先砌好磚牆，再以鋼筋混凝土搭建梁柱以束制磚牆，磚牆仍是承載結構重量與抵抗地震的主體。1970年以後，新建的加強磚造建築已較少見。這種構造在外觀上與鋼筋混凝土建築非常相似，很容易讓人混淆誤會，購屋或整修房屋前，應確認建物所有權狀上的構造別說明。此外，加強磚造的磚牆是承重牆，不可打除，連開孔都有都有限制規定，須特別注意。



加強磚造建築



加強磚造建築施工時，先砌好磚牆，再搭建梁柱

臺灣現今仍有許多人居住在純磚造建築與加強磚造建築中，但這些構造形式已非建築主流，以下就新興建築的主要構造類型分別介紹。

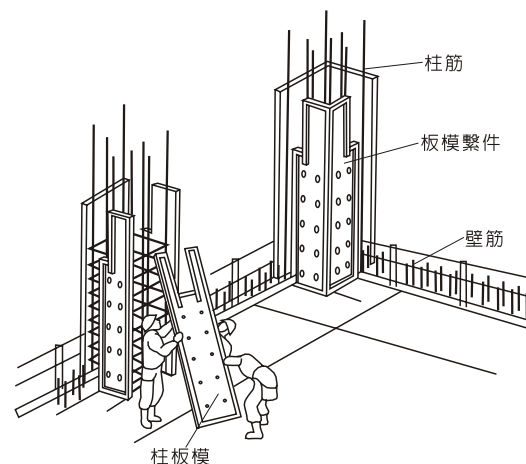
■ 鋼筋混凝土構造

鋼筋混凝土構造(Reinforced Concrete Structures，簡稱RC)，是利用鋼筋、混凝土為材料，建構梁、柱、樓板、牆的建築形式，並常以磚牆作隔間牆。臺灣在1970年代之後興建的建築，大多採用鋼筋混凝土構造，直到今天，鋼筋混凝土構造仍然是臺灣建築的主流，據估計，目前住宅用樓房約有九成以上是屬於鋼筋混凝土建築。

鋼筋混凝土建築的施工方式，是於基礎完成後，組立柱子的鋼筋，並在鋼筋外圍架設模板，再澆注混凝土；待柱子的混凝土凝固達到一定強度後，再組立梁和樓板的鋼筋，並架設模板灌注混凝土，之後逐層往上興建。

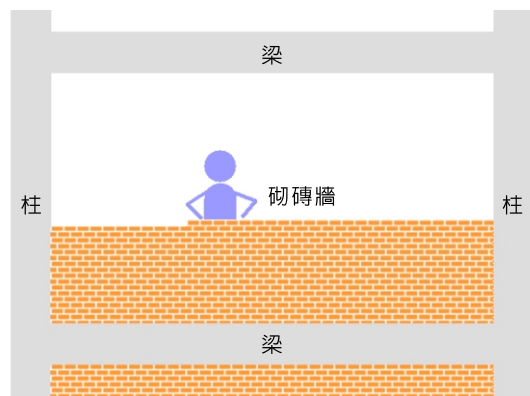


完成基礎後，組立柱子的鋼筋



架設模板以灌注混凝土

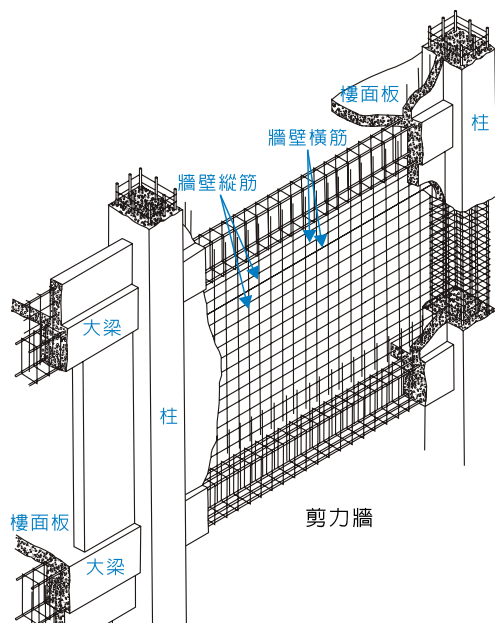
鋼筋混凝土建築的隔間牆，是在梁、柱和樓板完成後，才砌磚建牆的。隔間磚牆不負責承載建築重量，不視為結構體的一部份，理論上是可打除的。但921集集地震震災調查發現，隔間磚牆的存在，有助於防止建築倒塌，因此現今工程師多建議不要輕言打除。



完成梁、柱和樓板後，再砌隔間磚牆

有些鋼筋混凝土建築在設計時，加入以鋼筋、混凝土構成的牆，這種牆稱作剪力牆。電梯通道間的牆，通常就是剪力牆。

剪力牆外觀上與一般漆飾過的隔間磚牆無異，但功能不同。隔間磚牆不負責承載結構重量，而剪力牆和梁、柱一樣，都是承重、抗震的主結構，因此千萬不可打除剪力牆或變換位置，以免危害建築的耐震能力。

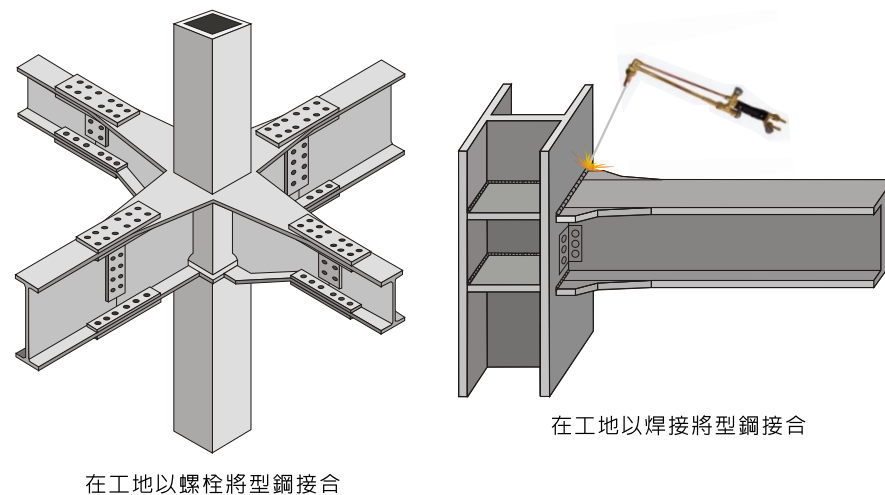


在工地以螺栓將型鋼接合

臺灣的鋼筋混凝土建築，樓層高於25層的棟數不多，原因是臺灣的地震發生頻率高，而目前所使用的鋼筋混凝土建材，強度對重量的比值小，樓高越高，低樓層的柱子需要越粗壯，才有足夠的支撐力與抗震能力。興建25樓層以上的鋼筋混凝土建築，低樓層柱子的長寬尺寸可能得超過1.3公尺以上，不僅材料成本的大幅提升，也嚴重影響室內的可用空間。因此臺灣超過25層以上的高樓或超高大樓，多採用鋼骨構造或鋼骨鋼筋混凝土構造。

■ 鋼骨構造

鋼骨構造 (Steel Structure, 簡稱SS)，常見的玻璃帷幕商用辦公大樓多屬。鋼骨建築營建的過程，是將鋼鐵廠預鑄完成的型鋼，以拖板車運送至工地現場，之後再以螺栓、焊接等方式接合。梁、柱主結構完成後，再以鋼浪板澆置混凝土鋪設樓板，並以輕質材料裝設隔間牆。與鋼筋混凝土建築相比較，鋼骨建築興建所需的工期短、勞動人數少，但是技術性較高，焊接施工人員必須持有相關証照才能勝任。



在工地以焊接將型鋼接合

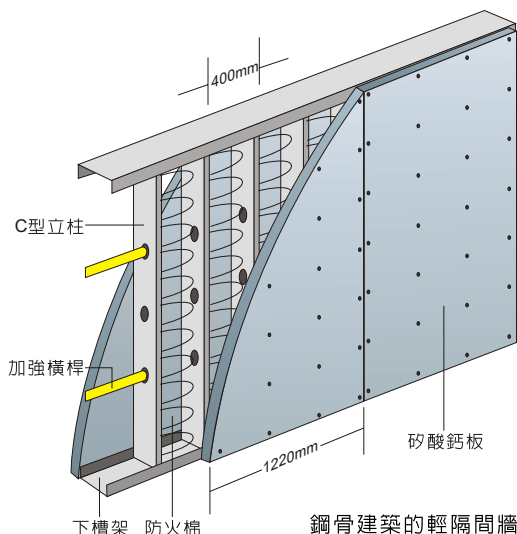
老舊的鋼骨構造建築拆除後，其鋼材可回收再生使用，因而鋼骨建築被視為環保建築。

然而鋼材有不耐熱的缺點，在高溫下容易變形甚至起火燃燒，因此在結構興建期間，必須施作防火披覆，以延長鋼材的防火時效。911事件之後（紐約雙子星大樓遭受恐怖攻擊而燃燒倒塌），鋼骨構造的防火披覆工程更受到高度的重視。



正施作防火披覆工程的鋼骨建築

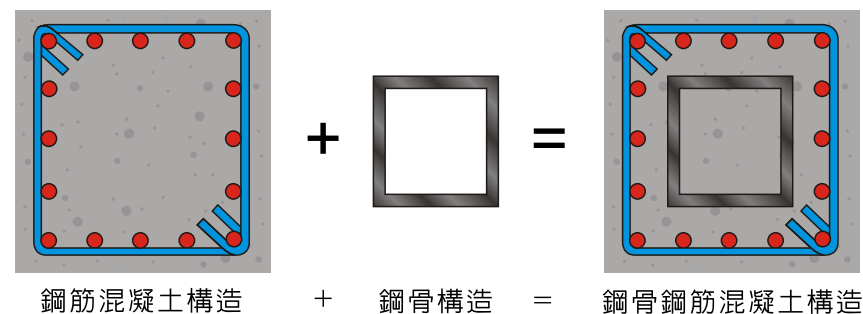
鋼骨建築的隔間牆，通常採用「輕隔間牆」，方便牆面與主結構固鎖接合。輕隔間牆相對於鋼柱與鋼梁而言相當柔軟，不具備承重及抗震的功能，因此不視為主結構的一部分。



鋼材的強度對重量的比值大，而且韌性佳，使得鋼骨構造建築輕盈耐震，適合用來建造高樓或超高樓。但也正因結構輕盈，隔音效果不如鋼筋混凝土構造，且強風吹襲時容易晃動，易使高樓上的人感覺不適，鋼結構建築若作為居住使用，舒適性相對較差，因此臺灣的鋼骨建築大多為辦公大樓。

■ 鋼骨鋼筋混凝土構造

傳統鋼筋混凝土材料在建造高樓時，顯得相當厚重而不利耐震；鋼骨構造建築輕盈耐震，但舒適性相對較差。為了兼顧高樓的耐震與舒適性，日本工程界結合鋼筋混凝土與鋼骨建材，率先開發鋼骨鋼筋混凝土建築(Steel Reinforced Concrete，簡稱SRC)。



鋼骨鋼筋混凝土建築的興建方式，是將型鋼組合成梁柱構架，再於鋼骨外部組立鋼筋，之後架設模板再灌注混凝土，所以鋼骨與鋼筋同樣包覆在混凝土內，結構構件不需再施作防火披覆工程。雖然說，鋼骨鋼筋混凝土構造同時包含了鋼筋混凝土構造與鋼骨構造的優點，但在設計及施工上較這兩種構造更為複雜，造價也高出許多，並且需要良好的施工團隊，才能讓品質獲得保障。



在鋼骨結構外圍組立鋼筋

與鋼骨構造相比較，鋼骨鋼筋混凝土構造相對沉穩，所以超高樓建築的低樓層常採用鋼骨鋼筋混凝土，以穩定大樓，提升低樓層耐震度；高樓層則採用鋼骨構造，使高樓層輕盈耐震。臺北101大樓就是鋼骨構造與鋼骨鋼筋混凝土構造結合的應用案例。

鋼骨鋼筋混凝土雖然是新興的建築工法，但臺灣已經有不少鋼骨鋼筋混凝土的住宅、商辦大樓，尤其在921集集地震後，國內更吹起一股鋼骨鋼筋混凝土建築的風潮，不論建築的樓層高低，許多建商紛紛標榜「鋼骨鋼筋混凝土構造」作為銷售賣點。事實上，由於材料特性的差異，鋼筋混凝土構造、鋼骨鋼筋混凝土構造與鋼骨構造分別適合用於不同樓高範圍的建築。消費者買屋時，如果不是購買超高樓建築，可以多了解鋼筋混凝土構造的優點與施工要點（本手冊下一節），不必執意選購造價較高的鋼骨建築或鋼骨鋼筋混凝土建築。

■ 鋼筋混凝土、鋼骨鋼筋混凝土、鋼骨構造的特性與差異比較

	RC 鋼筋混凝土構造	SRC 鋼骨鋼筋混凝土構造	SS 鋼骨構造
適用建築高度*	低、中、高樓建築	中、高樓建築 (適用於高樓及超高大樓的低樓層部分)	高樓及超高大樓
建築成本	低	高	高
主結構材料	鋼筋、混凝土	鋼骨、鋼筋、混凝土	鋼骨
主結構重量	重	中	輕
因風及地震晃動程度	小	小	稍大
抗震方式	鋼筋與核心混凝土消化地震能量	鋼筋、鋼骨與核心混凝土同時消化地震能量	鋼骨韌性耗能
建築造型	變化較小	介於二者中間	外形可多變化
施工時間	長	長	短
施工複雜度	高	極高	中
施工技術性	中	高	高
防火性	佳	佳	稍差
隔音效果	佳	佳	稍差
環保度	施工污染較多 建材耗能多且少回收	介於二者中間	施工污染少 建材可回收

* 註：這裡所稱的建築高度大致為：5層樓以下建築稱低樓，6~18層樓建築稱中樓，18~30層樓建築稱高樓，30層以上的建築稱超高大樓，這些樓層高度劃分僅為參考，並非絕對值。

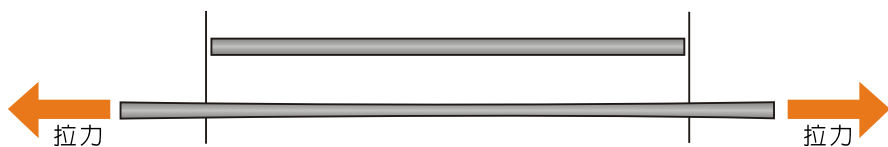
(二) 鋼筋混凝土構造的原理

921集集地震中，許多鋼筋混凝土建築倒塌，造成民衆對鋼筋混凝土建築產生疑懼。但根據結構專家災後調查發現，多數倒塌的鋼筋混凝土建築，其實是設計及施工不良，或人為不當使用所造成的。集集地震驗證了工程師長久以來的論說：鋼筋混凝土建築物只要符合現行的耐震設計，並確實做好施工過程的每一個環節，就足以抵擋絕大多數的地震。(註：座落在斷層破裂帶、興建年代久遠耐震標準不足，這類建築不在此限)

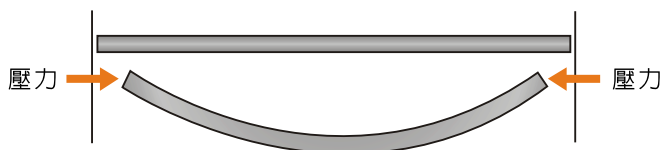
鋼筋混凝土構造是臺灣現今最主要的建築型態，大多數人每天生活於其間，對於和生活息息相關的鋼筋混凝土構造，宜有基本的了解。以下就鋼筋混凝土構造的原理及施工細節加以介紹。

■ 材料特性

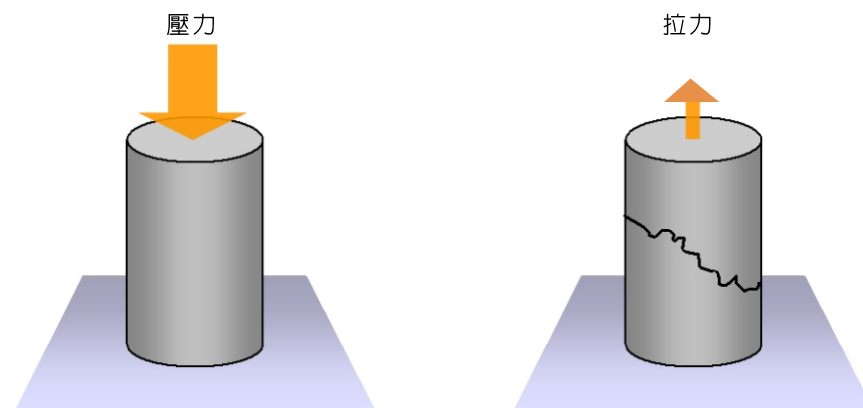
鋼筋具有高度的延展性，受拉不容易斷裂，可藉由伸長變形而吸收能量。



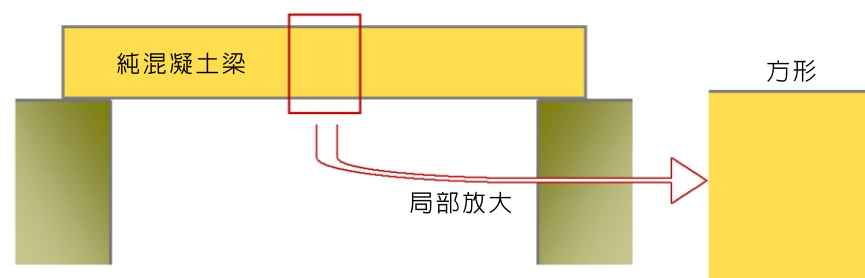
但鋼筋受壓時容易發生挫屈，而且越長的鋼筋越容易挫屈。



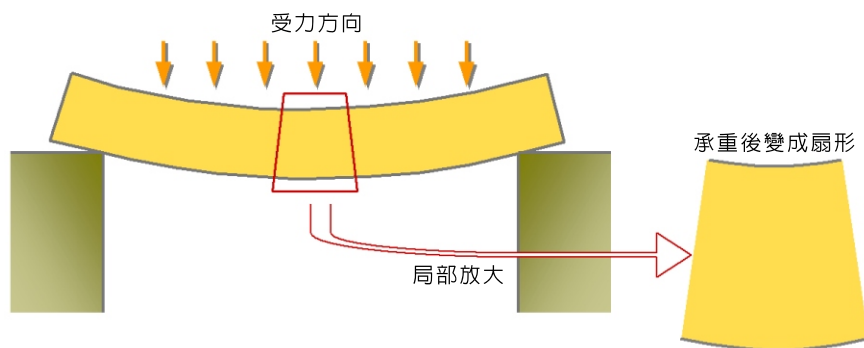
混凝土是利用砂、小礫石、水泥和水，依適當比例混和而成的建築材料，具有良好的抗壓性與耐火性，但抗拉性很差，容易開裂破壞。



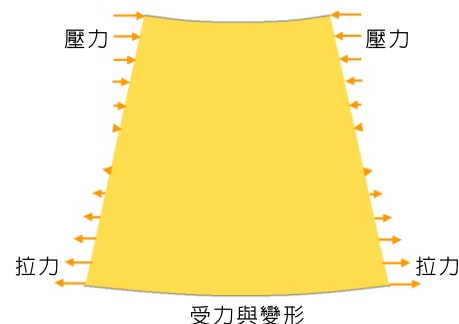
所以將抗拉性佳但抗壓性差的鋼筋，與抗壓性佳但抗拉性差的混凝土結合，正好使兩種材料互補長短。以下取一根橫梁為例，說明鋼筋與混凝土如何互補長短。



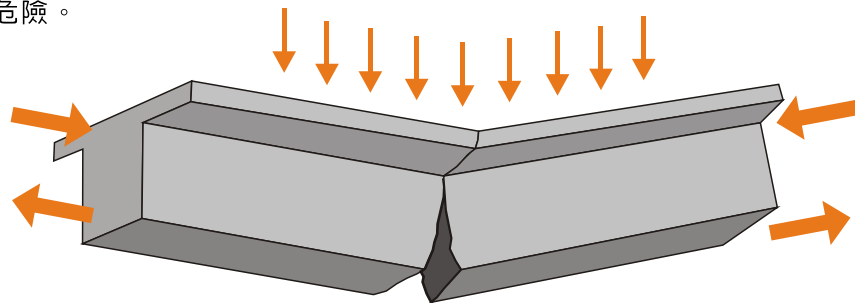
梁承受重量後，局部形狀由方形變成扇形。



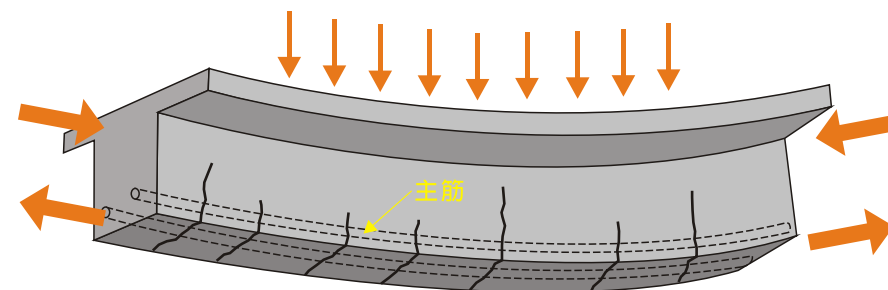
梁的局部形狀，由方形變成扇形，可以推知，梁的上緣側受到兩邊的壓力，使長度縮短；梁的下緣側受到兩邊的拉力，使長度拉長。



由於混凝土的抗拉性不佳，梁如果完全以混凝土為建材，一旦承重稍大時，梁的下緣側很容易開裂，進而毫無預警地瞬間崩斷，相當危險。

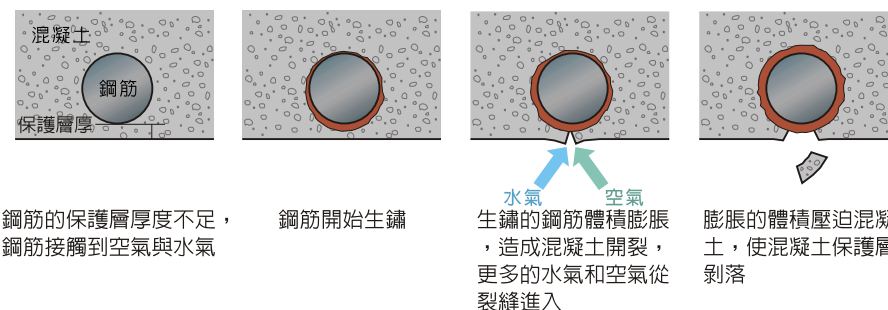


為了避免梁瞬間斷裂，工程師發現只要在混凝土受拉處配置鋼筋，就可以彌補混凝土不抗拉的缺點，當梁承重過大時，混凝土雖然仍會開裂，但鋼筋可以串起開裂的混凝土，同時發揮高延展性，使梁具有較大的變形能力，雖然變形且開裂，但不會突然坍塌。人們發現梁有明顯變形時，仍有充裕的時間逃離現場。



■ 保護層的重要性

鋼筋配置在混凝土受拉力越大的地方，越能發揮效益。這是不是代表梁的鋼筋最好配置在梁的下緣側，愈邊緣愈好呢？事實並非如此，因為鋼筋不耐火、不耐鏽蝕，配置時，鋼筋需要讓足夠厚度的混凝土包裹著，加以保護。一般而言，柱子的保護層厚度約需5公分，梁的保護層厚度約需2.5公分，才能避免鋼筋因與空氣接觸而氧化。如果混凝土保護層不足，鋼筋接觸到空氣與水氣，將導致鋼筋生鏽和混凝土剝落。當混凝土剝落嚴重，鋼筋與混凝土失去密合性，房屋的耐震能力將因而降低。



鋼筋的保護層厚度不足，鋼筋接觸到空氣與水氣

鋼筋開始生鏽

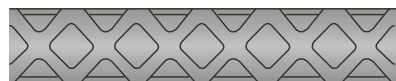
生鏽的鋼筋體積膨脹，造成混凝土開裂，更多的水氣和空氣從裂縫進入

膨脹的體積壓迫混凝土，使混凝土保護層剝落

■ 握裹與錨定

以混凝土與鋼筋複合成的建材，發揮握裹力與錨定力，才能讓結構兼具抗壓又抗拉的優點。握裹力是鋼筋與混凝土間的膠結力，握裹力的大小除了與混凝土的品質有關之外，也和鋼筋的表面形狀、握裹長度等因素密切相關；此外，可以將鋼筋的末端折彎，利用鋼筋彎鉤提供端部錨定，而縮短所需的握裹長度。

早期建築用的鋼筋，是表面光滑的光面鋼筋，與混凝土密合後的握裹力不佳，因此，後來改良成表面佈滿凸凹紋的竹節鋼筋，大幅改善了握裹力。

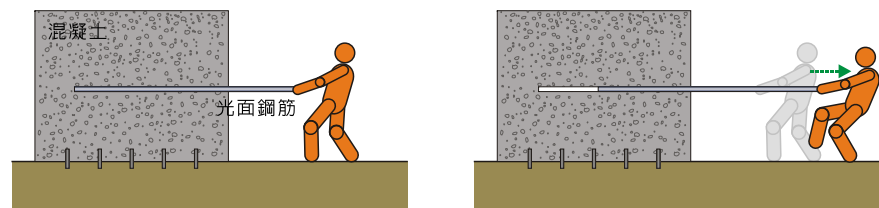


竹節鋼筋外觀

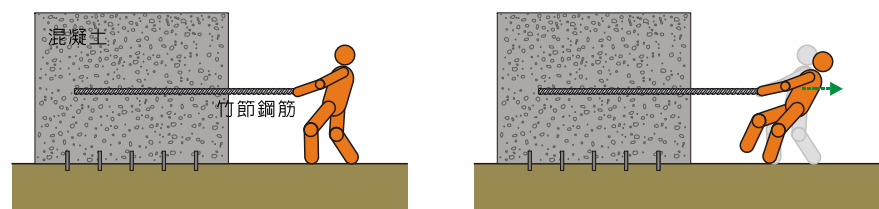


光面鋼筋外觀

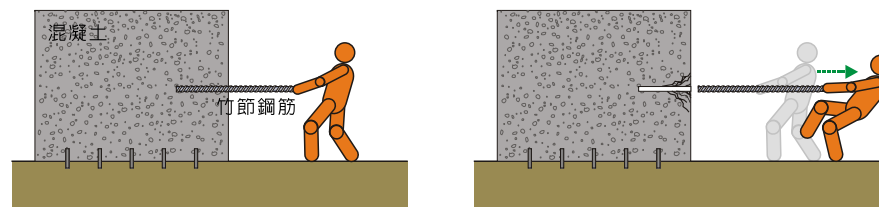
植入混凝土塊的光面鋼筋，因握裹力不佳，鋼筋很容易拉拔取出。



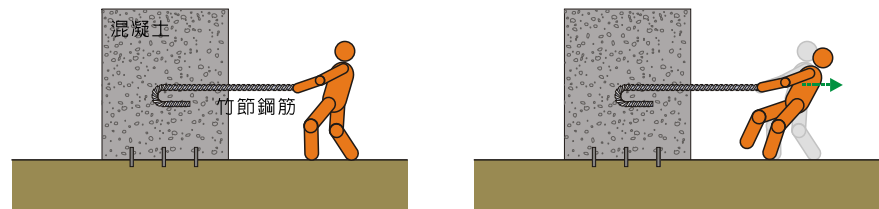
植入混凝土塊的竹節鋼筋，握裹力佳，鋼筋不容易拉拔取出。



竹節鋼筋植入的深度不夠，握裹力不足，鋼筋很容易拉拔取出



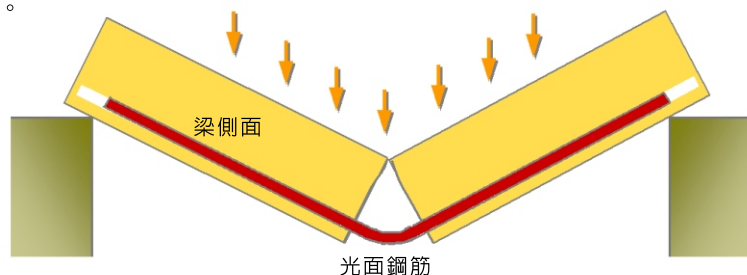
如果混凝土塊的厚度有限，握裹長度不足，為避免握裹力不夠，則可將鋼筋折彎錨定，鋼筋不容易拉拔取出。



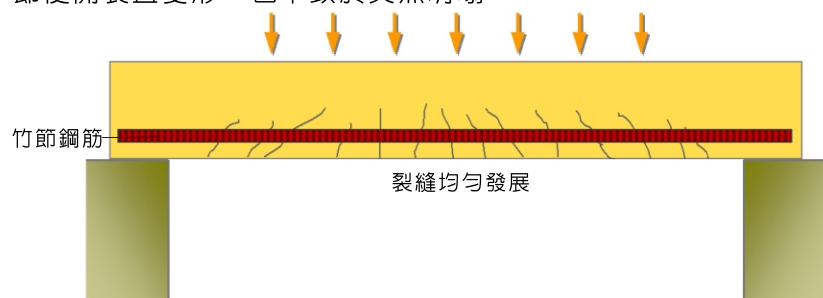
梁下緣配置光面鋼筋或竹節鋼筋，承載荷重時，各會發生什麼情形呢？



植入光面鋼筋，光面鋼筋握裹力不足，鋼筋滑移，梁開裂後瞬間斷裂。

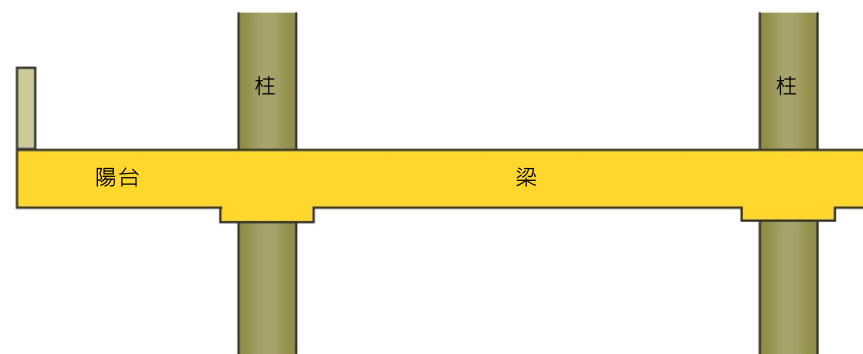


植入竹節鋼筋，竹節鋼筋能發揮握裹力，串起開裂的混凝土，梁即使開裂且變形，也不致於突然坍塌。

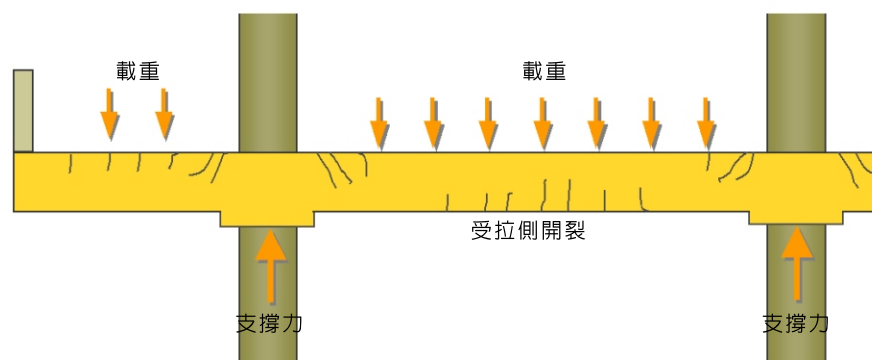


■ 鋼筋該如何配置？

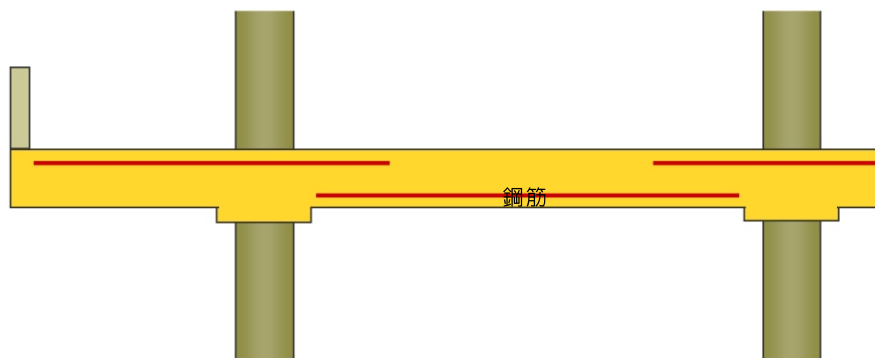
鋼筋一定要配在梁的下緣側嗎？不，正確來說，鋼筋應該配置在混凝土容易開裂的地方，協助混凝土結構發揮抗拉作用。想想看，下圖的梁與陽台如何配筋呢？



從下圖可以看出，承載重量的梁與陽台，混凝土承受拉力的位置，不必定都在下緣側。



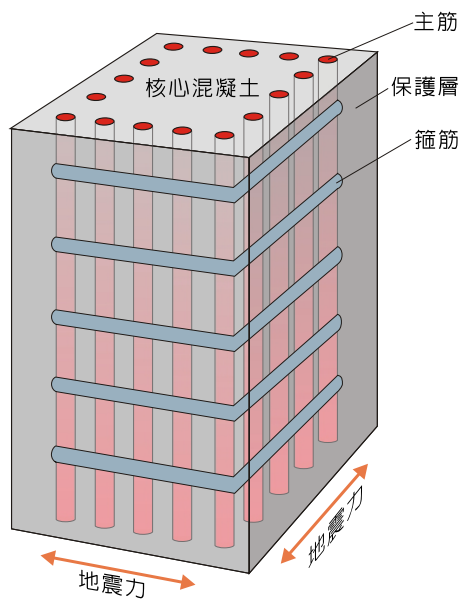
通常梁或陽台的上下緣都配有鋼筋，而在混凝土承受拉力的位置，會配置較多的鋼筋。



混凝土承受拉力的位置，配置較多的鋼筋

柱子負起承載建築重量與抗震的任務，所以柱子配筋更嚴謹重要。水平地震力可能來自不同方向，為避免柱子任何一面因鋼筋量不足而彎折破壞，所以主筋的位置和數量，大致對稱且相當。

柱子的「核心混凝土」是承載建築物重量，以及建築物抵抗地震力的核心部位，如果核心混凝土受損而崩落，整棟建築將傾斜或倒塌。所以，除了主筋之外，柱子尚須配置足夠的箍筋，防止主筋挫屈，有效圍束保護核心混凝土。



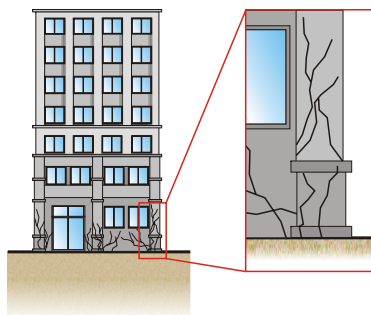
柱子的配筋

(三) 鋼筋混凝土構造的施工細節

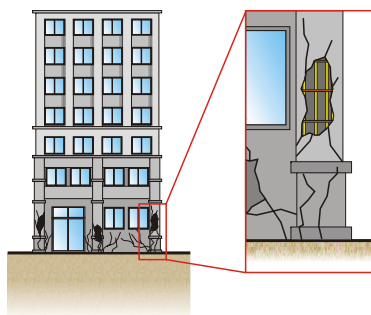
結構專家調查921集集地震震害，歸納出多數因「施工細節不良」而倒塌的鋼筋混凝土建築，其破壞模式與崩塌過程大致如圖所示。施工細節不良的原因，有的是營建廠商偷工減料；也有的是因建造年代久遠，當時的規範較寬鬆，施工細節要求不如現今嚴格。

■ 房屋倒塌的過程

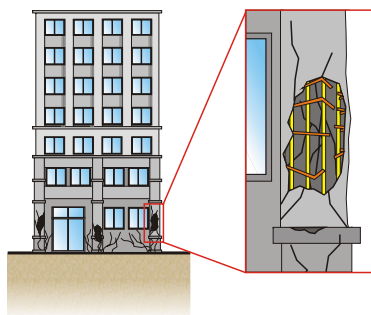
1. 柱子開裂



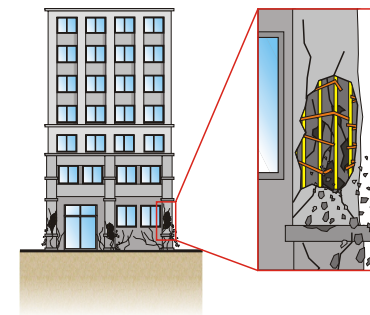
2. 混凝土保護層脫落



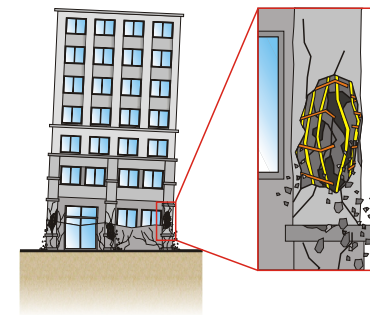
3. 箍筋彎鉤只有90度，極容易箍筋脫鉤



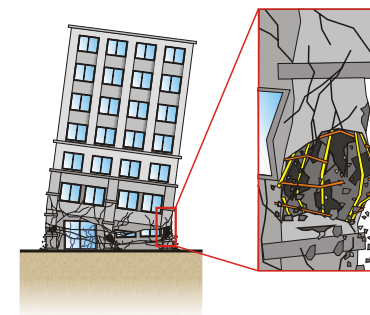
4. 箍筋間距過大，核心混凝土脫落



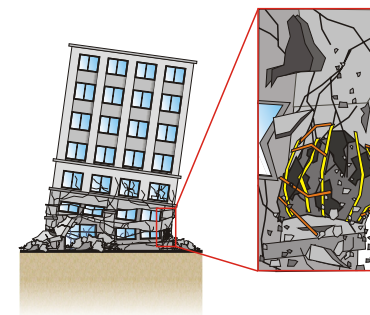
5. 主筋挫屈



6. 房屋傾斜

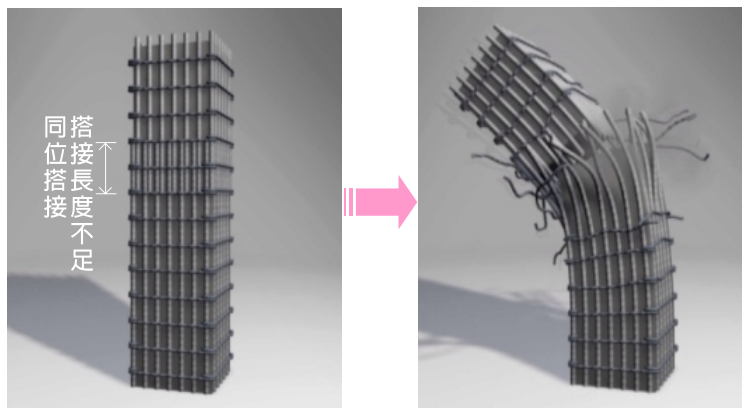


7. 房屋崩塌造成死傷



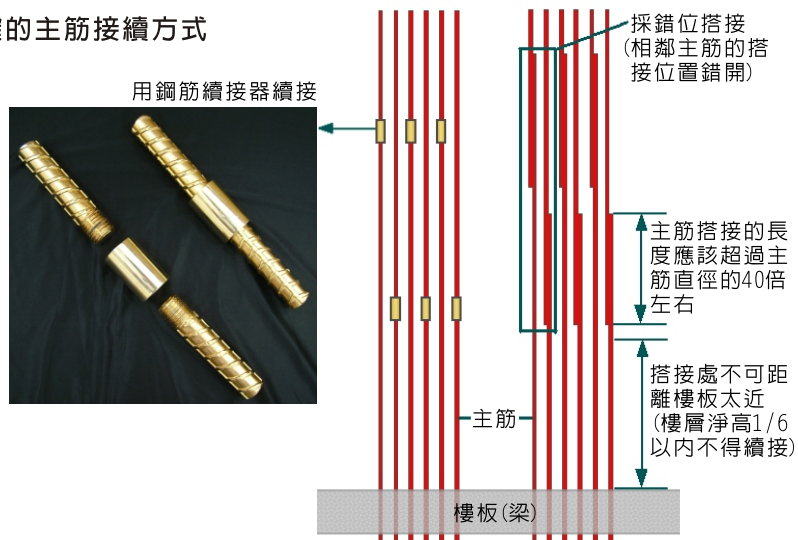
■ 主筋搭接

鋼鐵廠生產建築用的鋼筋，約裁切成12~15公尺長，以方便拖板車運送。鋼筋運送到工地之後，須相互搭接，才能讓主筋從基礎延續到頂樓。搭接處是鋼筋不連貫點，也是柱子相對脆弱的地方，容易拉拔斷裂，因此在鋼筋混凝土構造的施工規範中，訂定了詳細的搭接規定，以免柱子耐震能力不足。

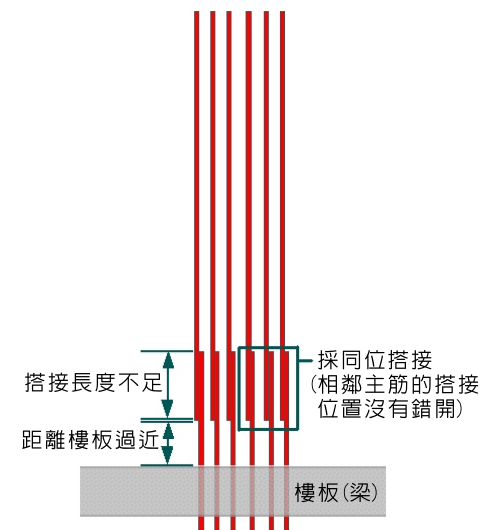


主筋同位搭接，搭接處成為柱子最脆弱的地方，地震時此處容易拉拔斷裂

● 正確的主筋接續方式



● 錯誤的主筋搭接方式



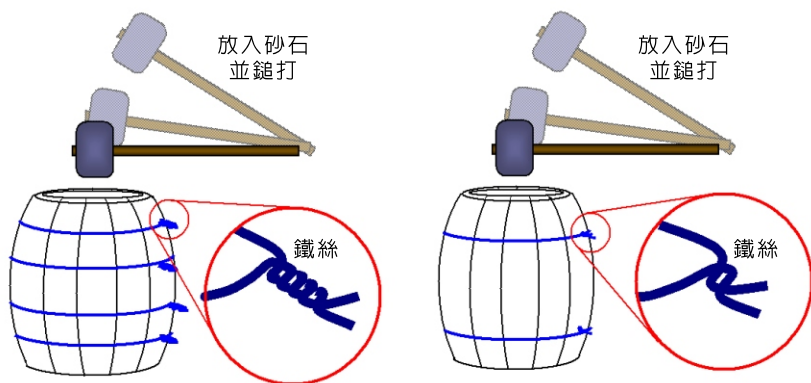
臺北縣新莊市「博士的家」在集集地震中倒塌，造成43人死亡、2人失蹤。照片中的殘柱可看出主筋同位搭，而且不見箍筋。

■ 箍筋與繫筋

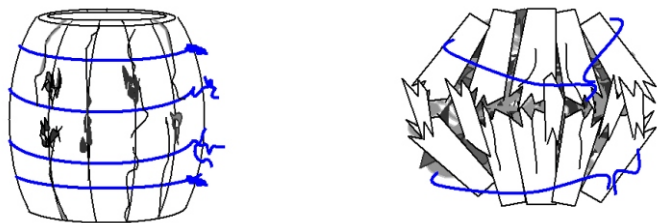
● 箍筋的功能

許多人以為綁紮主筋的箍筋，只是為了施工過程中的需要，暫時穩立主筋而已。事實上，箍筋的功能不只協助主筋直立，箍筋的間距、彎鉤角度、彎鉤長度、箍筋粗細等，更是攸關建築物的耐震能力。為何箍筋施工細節這麼重要性呢？我們可用以下的橡木桶實驗作說明。

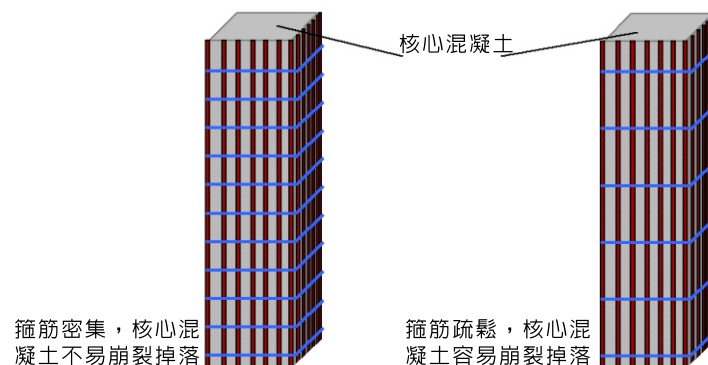
橡木桶內皆放滿砂石，以同樣的榔頭、同樣的力道鎚打，哪一個橡木桶比較容易迸裂？



左邊的橡木桶，外箍鐵絲間距短，鐵絲末端纏繞緊密，故能耐鎚打；右邊的橡木桶，外箍鐵絲間距長，而且鐵絲末端纏繞鬆散，鎚打後，鐵絲鬆脫，木桶迸裂，砂石外漏。

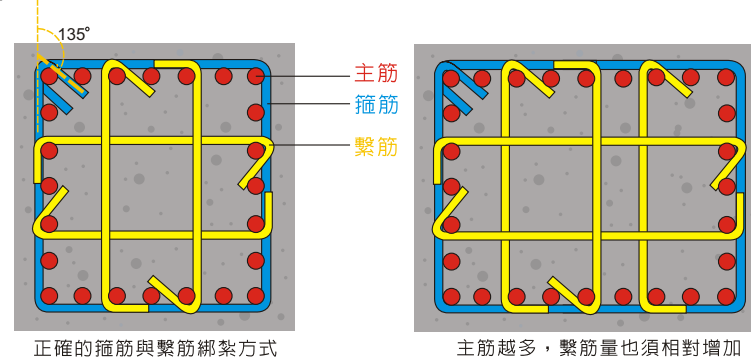


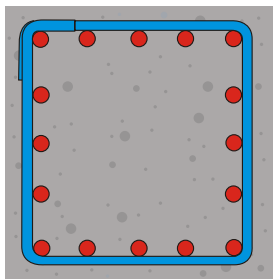
柱子耐不耐震與橡木桶耐不耐鎚打的例子相似。橡木桶木片如同柱子的主筋，桶內的砂石如同核心混凝土，箍住木桶的鐵絲如同柱子的箍筋，而柱子承受地震力就如同橡木桶承受鎚打。如果箍筋太細、箍筋間距過長、箍筋末端沒有「耐震彎鉤」，地震時會造成箍筋鬆脫、主筋挫屈、核心混凝土崩裂掉落，房子跟著倒塌。



● 繫筋與耐震彎鉤

除了箍筋之外，主筋之間必須綁紮足夠的繫筋，以加固核心混凝土的圍束效果。綁紮箍筋和繫筋時，必須將箍筋的兩端都折彎成135度，繫筋則只須將一端折彎成135度（基於施工考量，繫筋另一端可為90度），形成耐震彎鉤。耐震彎鉤因伸入核心混凝土中，因此不易鬆脫。





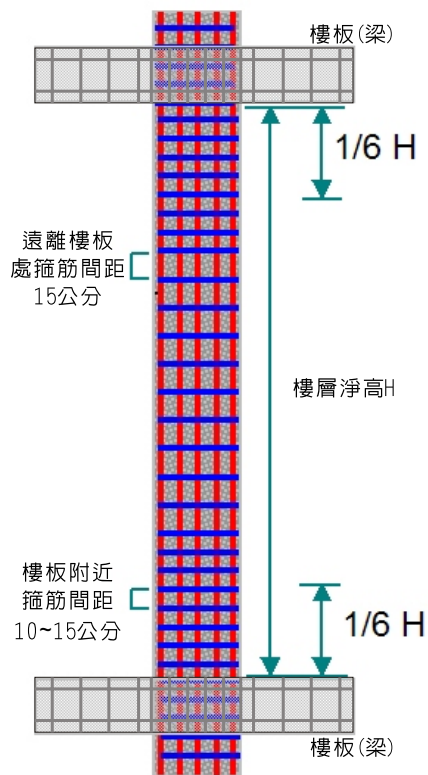
不良的箍筋綁紮：

- ◆ 箍筋末端只有90度而且彎鉤長度不足
- ◆ 缺乏繫筋

● 箍筋間距規定

依據工程規範，柱子在梁或樓板的附近，也就是樓層淨高 $1/6$ 以內，箍筋間距為10公分~15公分，相當於一個拳頭寬度；遠離樓板的部份，間距可以放寬，但不得超過15公分。

理論上箍筋的間距越小，對核心混凝土的圍束效果越好，但實務上，過度密集的箍筋會妨礙混凝土澆注時的流動性，反而不切實際。



早期建築法規較寬鬆，921集集地震時，許多老舊校舍因柱子的箍筋間距過大(30公分~35公分)、箍筋90度彎鉤容易脫鉤、未綁紮繫筋、柱中水管過粗等因素，而不耐震

■ 材料的檢驗

主筋搭接、箍筋綁紮及繫筋綁紮等施工細節，都是可以目視檢查尺寸的項目，但是只做好這些細節並不代表房屋一定堅固耐震，因為還有無法目視檢視的要點，如材料品質的好壞，也是房屋耐震的關鍵因素。集集地震震害調查中，工程師發現好幾棟倒塌的建築，肇因於混凝土的品質不良、抗壓強度不足，由此可見材料品質管制與檢驗的重要性。

● 鋼筋的檢驗

建築法規明定：「鋼筋送抵工地時應檢附鋼筋出廠檢驗報告，其檢驗項目應包括外觀、機械性質、化學成分及輻射性」；此外，為了確保鋼筋的強度符合建築物的設計需求，施工單位必須於工地現場擷取鋼筋樣本，送至實驗室進行鋼筋拉伸實驗，檢測其強度與延展性。消費者購屋，可請建商出示鋼筋出廠檢驗報告以及拉伸測試報告。



鋼筋拉伸強度試驗

● 混凝土的抗壓測試

混凝土是由砂石、水和水泥等材料混拌而成的，材料配比適當，混凝土凝固後才有足夠的抗壓強度。標準配比的混凝土較為濃稠，灌漿時不容易由地面直接以輸送管輸送到高樓層，因此不肖建商可能會增加水的用量以降低濃稠度，方便輸送。這麼一來將造成混凝土的抗壓強度不足，影響建築物的耐震能力。

為確保混凝土具有足夠的抗壓強度，施工現場進行混凝土澆注時，須抽取混凝土樣本。抽樣試體經過28天養護之後，置於測試機台上逐漸施加壓力，直到混凝土試體破裂為止。試體破裂時的壓力值即為混凝土的抗壓強度。



混凝土抗壓試驗



921集集地震，雲林縣斗六市數棟大樓崩塌。相同主因之一為混凝土強度不足（混凝土呈土黃色粉末狀）

● 混凝土的氯離子檢驗

砂石是混凝土的主要材料之一，砂石可能取自河川，也可能取自海岸邊。砂石若取自海岸邊，並且未經洗滌淨化處理，則砂石表面富含的氯離子，會使所興建的樓房，成屋後約六至十年內，逐漸形成俗稱的「海砂屋」。



海砂屋的天花板，混凝土塊毫無預警地脫落，威脅住戶的安全，也影響房屋的耐震能力

事實上海砂並非不可使用，鄰近國家日本發展出利用淡水洗滌海砂去鹽的技術，使海砂中氯離子濃度符合標準，洗滌後的海砂用量幾乎佔日本全國砂石總用量的40%。所以，使用未經處理的海砂，海砂氯離子濃度不符規範，才是造成「海砂屋」現象的主因。

為確保混凝土的氯離子濃度符合標準，不論砂石是來自河砂或海砂，混凝土澆注前，必須進行氯離子濃度檢測。根據規定，每立方公尺新拌混凝土的氯離子濃度不得超過0.3公斤。

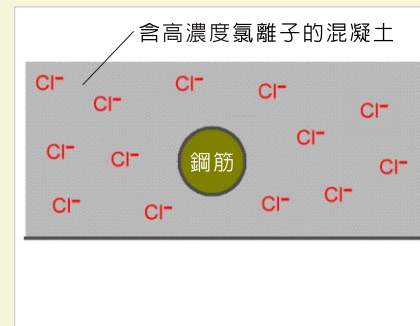


圖片來源：西第社區都市更新會

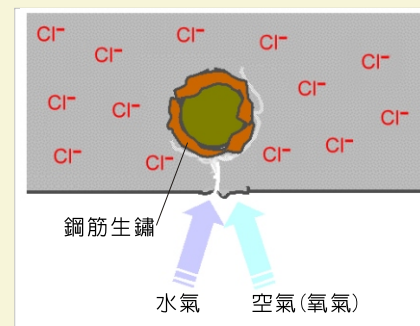
混凝土氯離子濃度檢測

海砂屋是如何形成的呢？

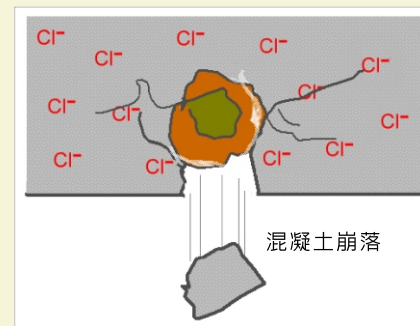
混凝土中未經淨化的海砂含有高濃度的氯離子鹽類，鹽類能受潮自行吸收空氣中的水份，而水份中又含氧氣，促使鋼筋表面鏽蝕。

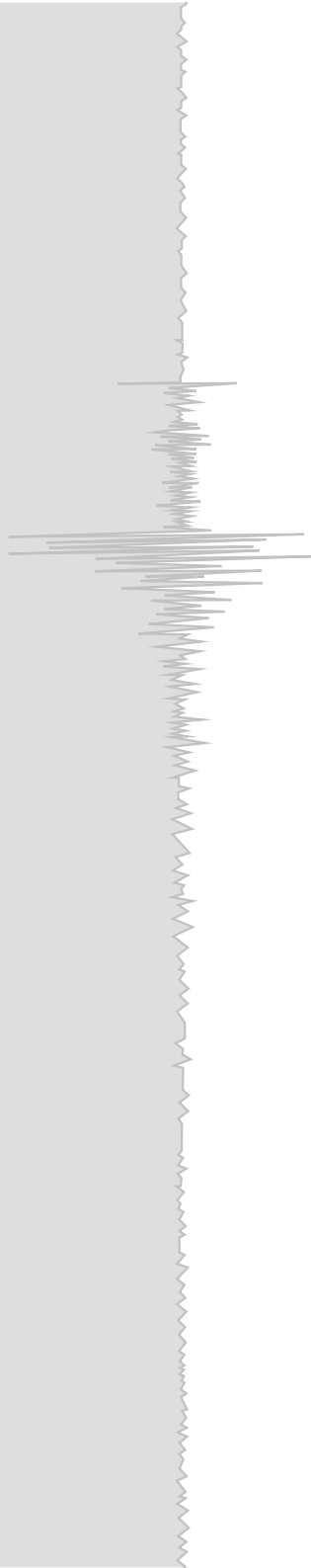


生鏽的鋼筋體積會膨脹成原來的3-7倍，將混凝土的表面撐開，讓更多的水氣和氧氣從裂縫中進入，加速鋼筋的生鏽速度。



嚴重生鏽的鋼筋，壓迫混凝土保護層，使混凝土崩落，導致鋼筋外露。外露的鋼筋不再與混凝土密合，嚴重減損建築物的耐震能力。





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

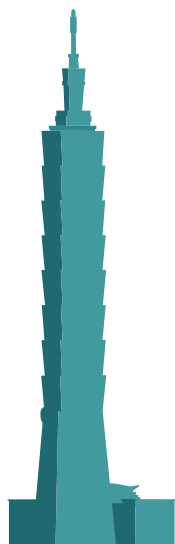
板塊運動使全世界許多國家與地區，同樣面對地震隨時來襲的威脅，各國政府莫不謹慎因應，擬定相關防震救災計劃。另一方面，都市發展下，越來越多人口集中於都市，促使建築物越蓋越高、交通道路日易繁忙、橋梁與管線日易複雜。因此，地震工程科技必須不斷地提升，以因應更多樣、更有效的地震安全需求。



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

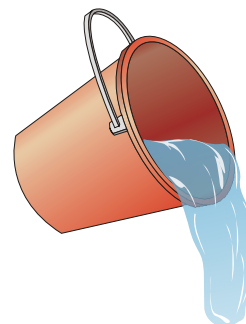


臺北101大樓
高508公尺
2004年完工

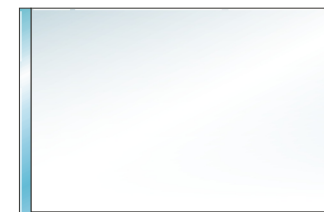
地震工程科技涵蓋的層面很廣，除了建築物的耐震科技之外，還包括橋梁、電廠、鐵路、醫院、自來水、瓦斯管線等耐震技術，以及利用電腦運算技術快速評估地震災情，以便在最短的時間內提供救災資訊等。大體而言，凡能減輕震災程度，迅速恢復社會機能的工程技術和資訊傳播，都屬於地震工程科技的範疇。本手冊僅偏重新興的建築技術介紹。

■ 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。



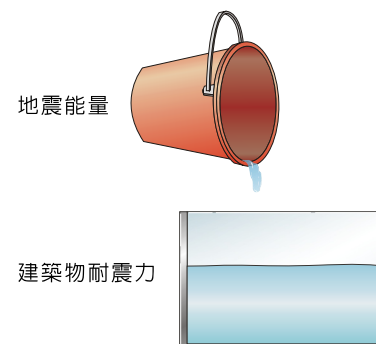
水桶裡的水代表地震的能量



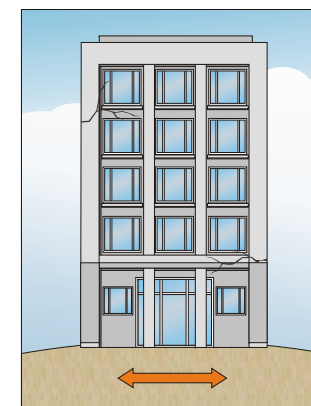
水族箱的容量代表建築的耐震能力

● 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。



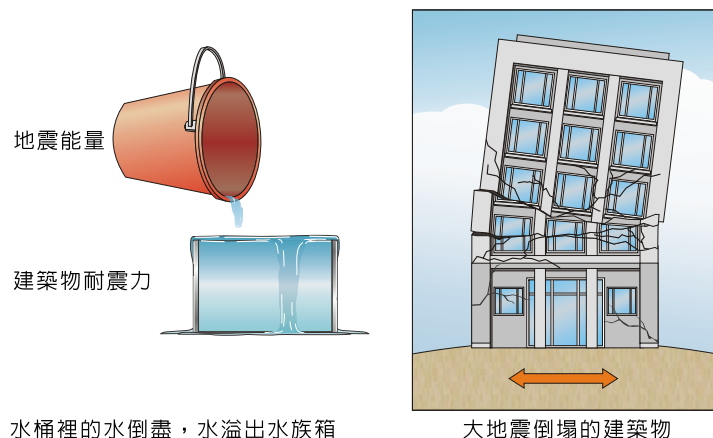
水桶裡的水倒盡，水不會溢出水族箱



大震不倒的建築物

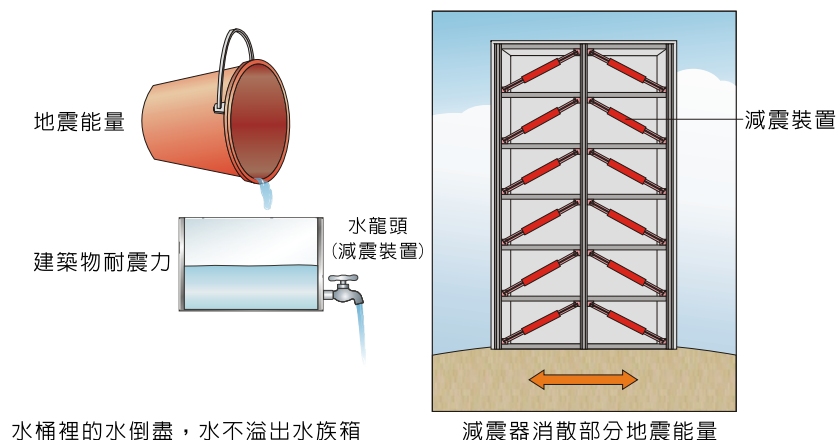
● 不耐震建築

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。



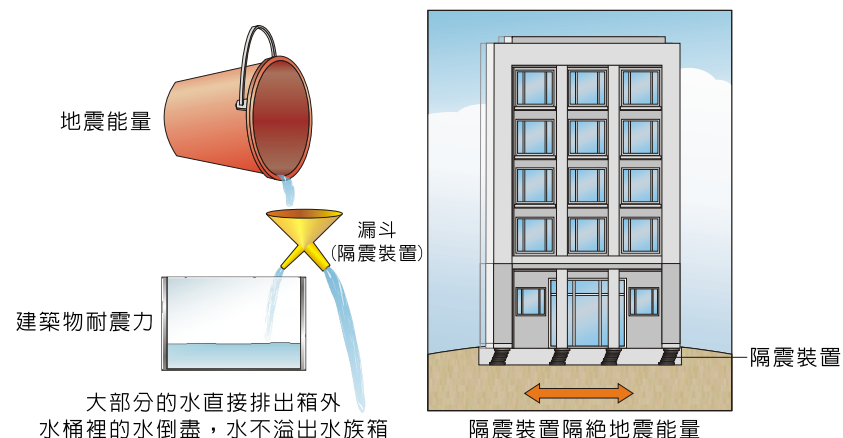
● 減震建築

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。



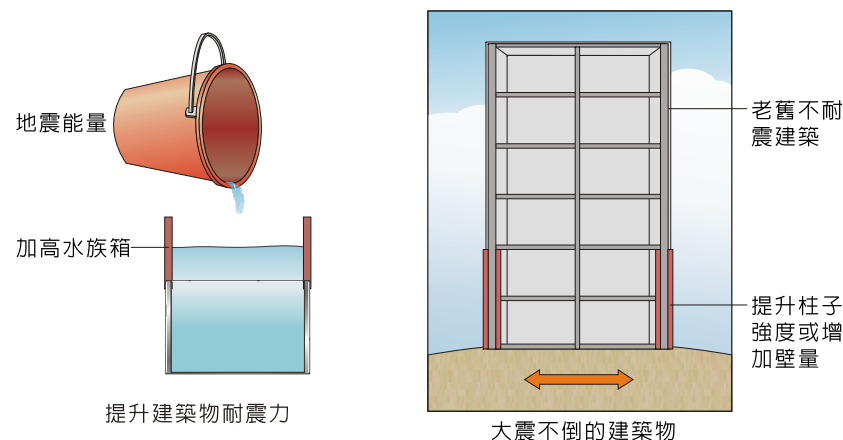
● 隔震建築

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

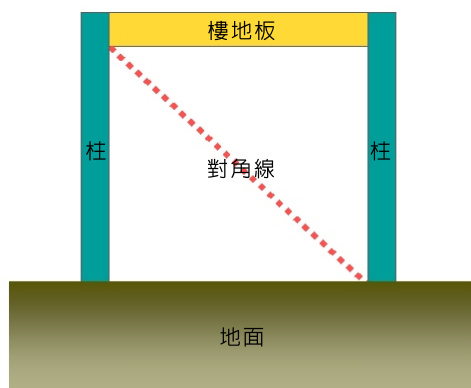
如果現有的水族箱容量過小，但卻不想丟棄時，可以加深水族箱的深度，以增加蓄水量。舊建築也一樣，如果不合於現在的耐震標準，可在專業技師檢查評估後，選擇合適的補強方法，提高舊建築的耐震能力。



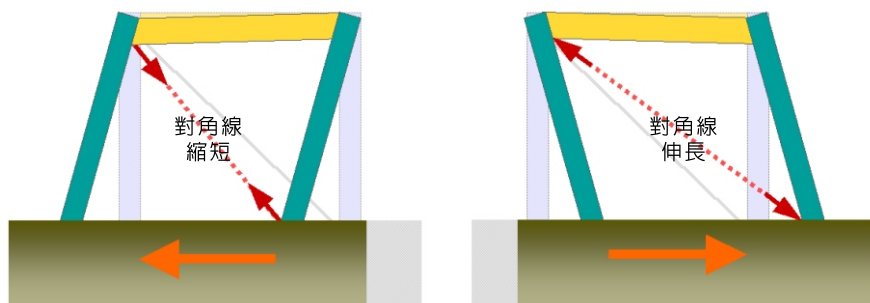
(二) 減震技術

■ 減震器的功用

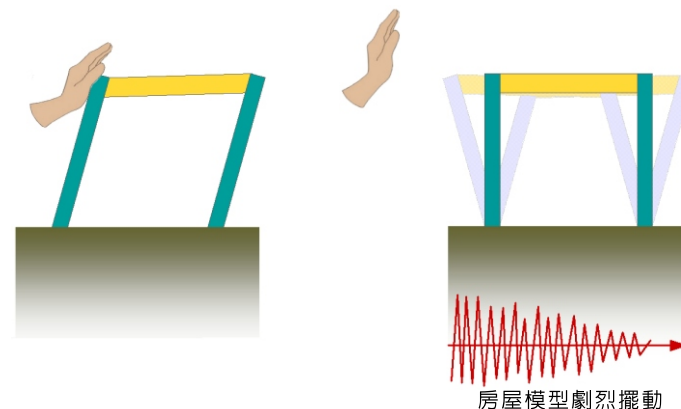
樓房建築的樓地板和柱，構成如圖的方形空間。當樓房靜止時，對角線長度保持不變。



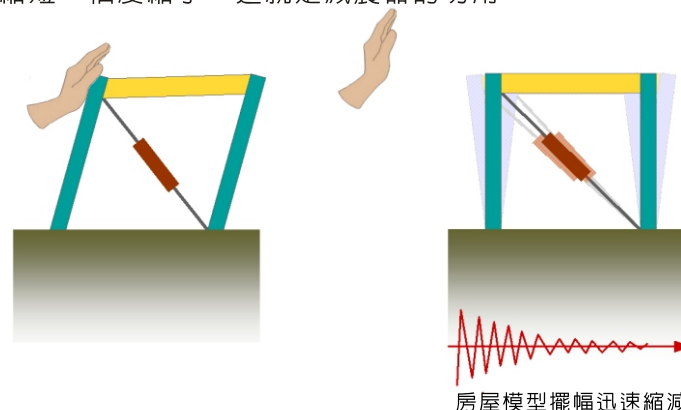
地震時建築擺動，原本的方形空間變成菱形，對角線的長度因而縮短或伸長。



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。

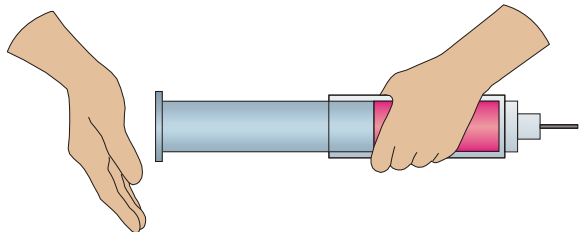


地震時，建築物可藉由減震器的運動，吸收部份的結構振動能量，達到減震效果。減震器依材料狀態，大致分為油壓減震器與鋼板減震器兩種，一般而言，油壓減震器的減震消能與材料的流動速度有關，鋼板減震器的減震消能與材料的變形大小有關。

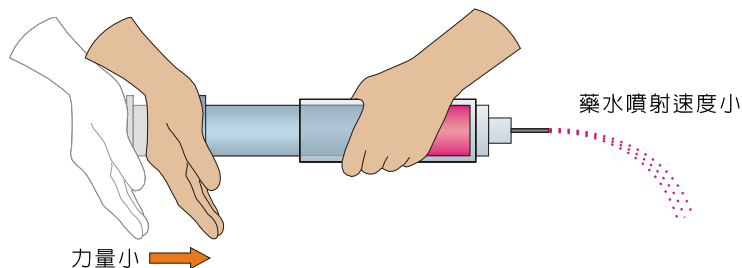
■ 油壓減震器

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。

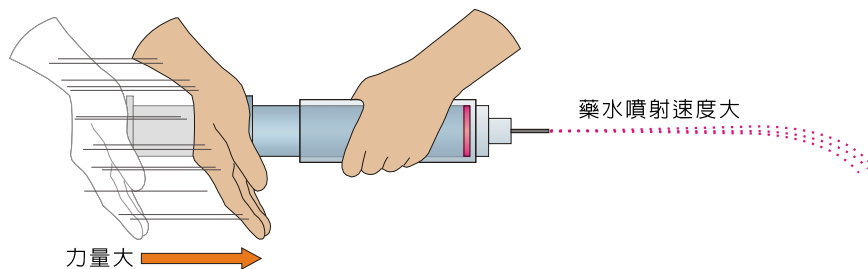
不推擠針筒的活塞時，針筒內的藥水不會流動。



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。

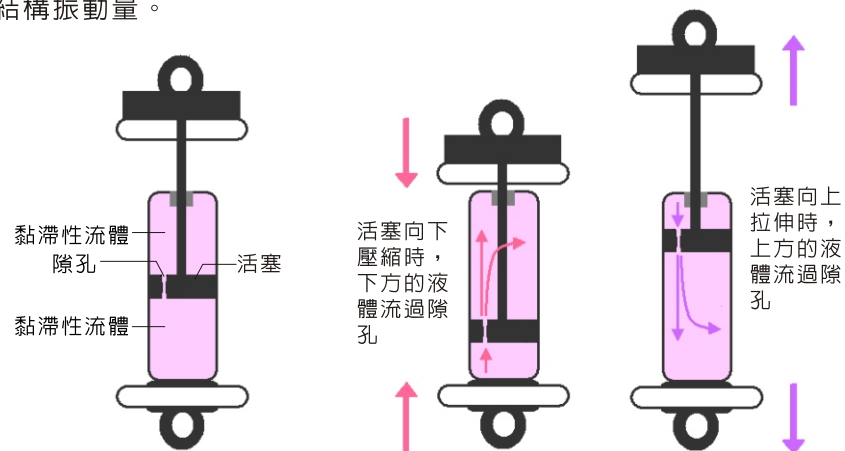


將原理類似針筒的油壓阻尼器，裝置在建築物的斜撐上，地震導致建築變形時，斜撐會拉壓阻尼器，使阻尼器產生阻尼力，阻擋結構變形，並吸收結構振動能量。



裝置在大樓裡的油壓
阻尼器

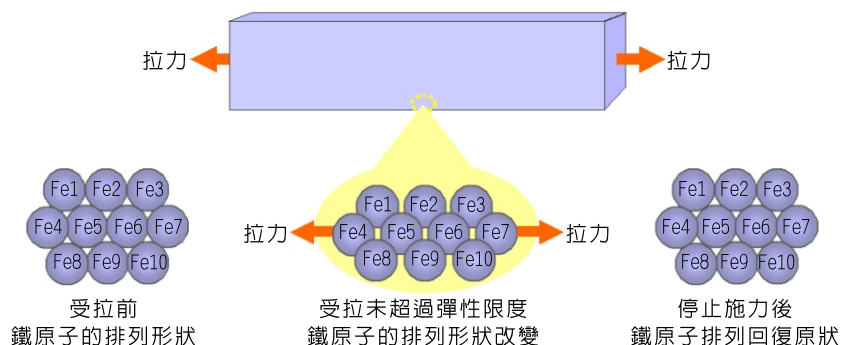
油壓阻尼器的正式學名為「流體黏滯阻尼器 Fluid Viscous Damper」，其構造是在一個附有活塞的圓筒中，填入黏滯性的流體。當活塞前後運動時，黏滯性流體會快速通過活塞的隙孔，流體因摩擦而增溫。在活塞前後運動的過程中，結構的動能會轉換成流體的熱能，因而減少結構振動量。



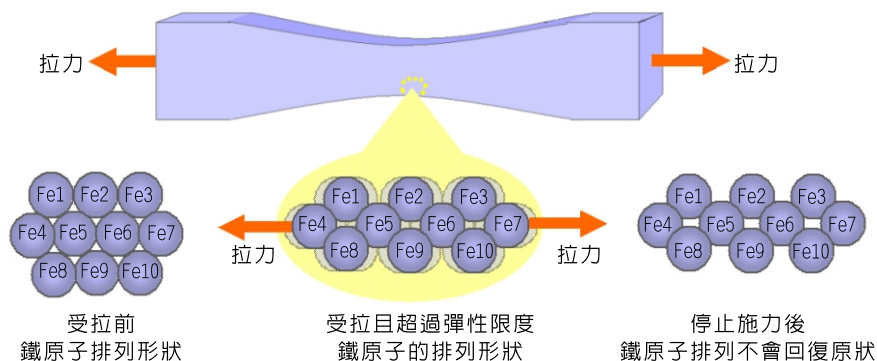
流體黏滯阻尼器的構造與運動

■ 鋼板減震器

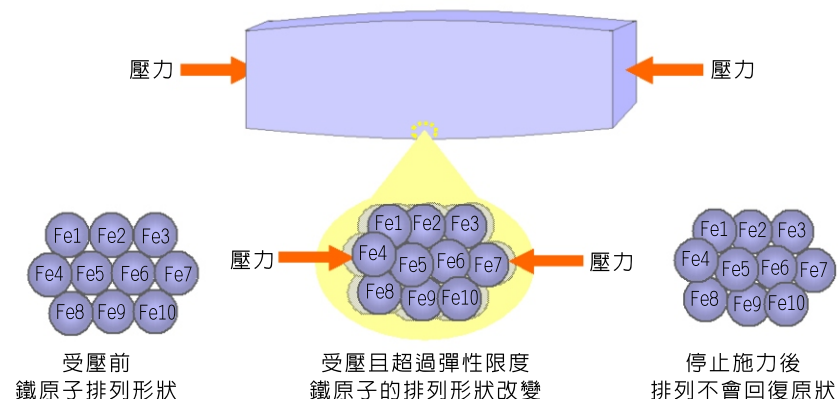
長條形鋼材承受拉力而伸長變形時，如果「變形程度」沒有超過材料的「彈性限度」，當停止施力後，鋼材會回復成原來的長度，鐵原子回復成原本的排列形狀。



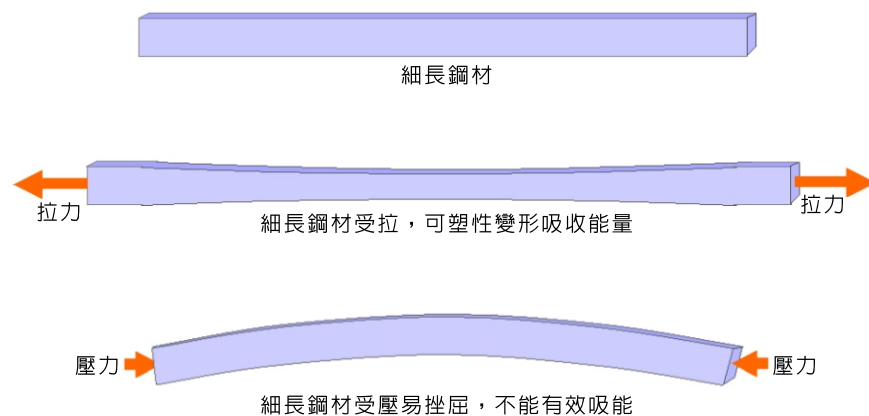
如果鋼材承受更大的拉力，以致超過材料的彈性限度，拉力所作的功，會轉換成永久改變鐵原子排列形狀所需的能量。之後即使停止施力，鋼材也不會回復成原本的模樣，而永久變形，這種現象就稱為**塑性變形**。鋼材的塑性變形，能發揮吸能減震的功用。



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。

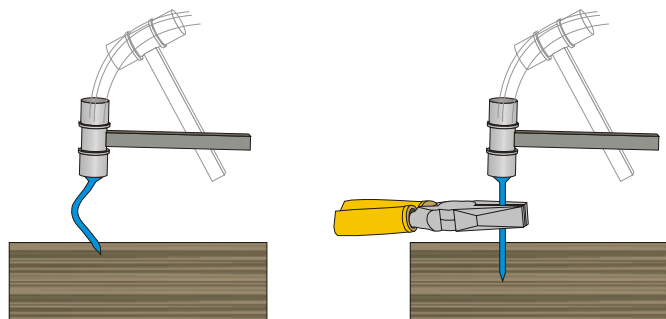


為避免細長鋼材過早挫屈，可外加「束制」固定，束制的範圍越大，細長鋼材越不容易挫屈。鋼材承受壓力時，能塑性變形吸能減震。



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

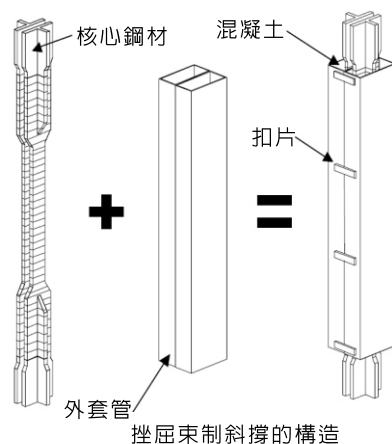
挫屈與束制的關係，也可從鎚打釘子的生活經驗觀察得到：



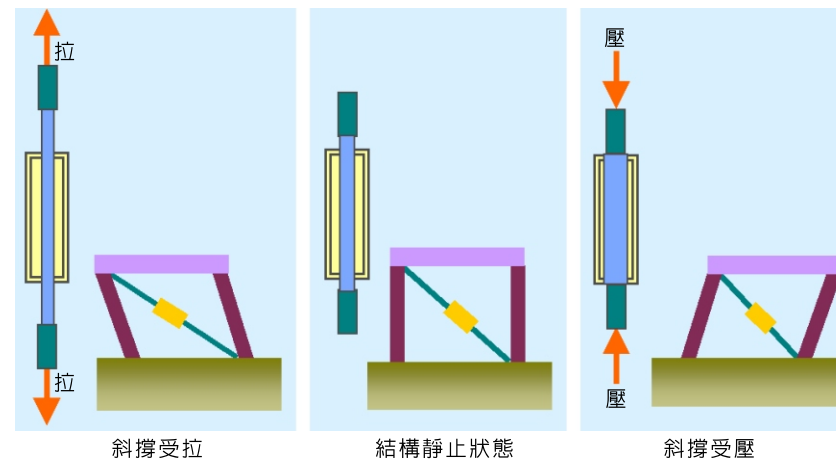
細長的鐵釘，
鎚擊易挫屈

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。



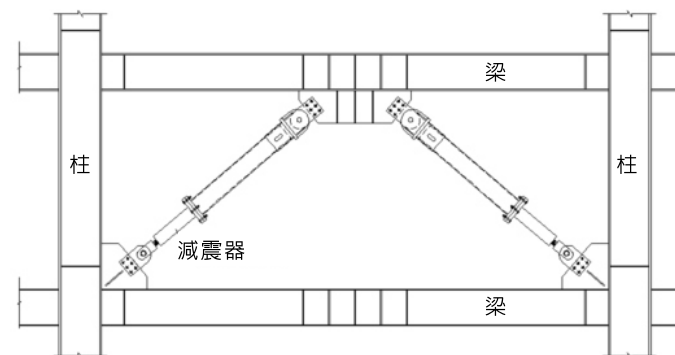
挫屈束制斜撐的核心鋼材受拉力或受壓力，經由伸長或縮短的塑性變形過程，吸收結構振動能量，發揮減震的功能。



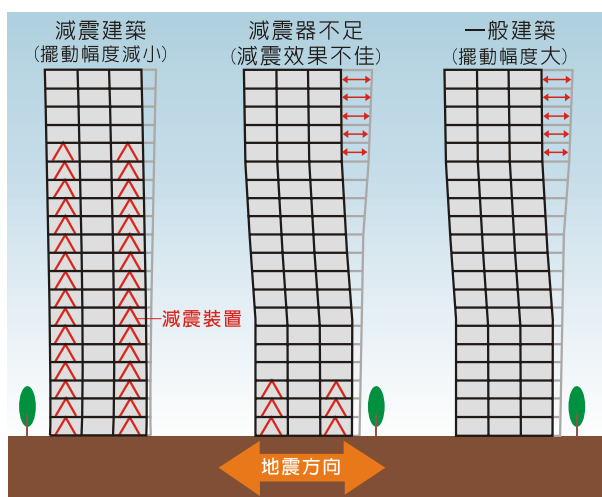
■ 減震器的應用與限制

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。

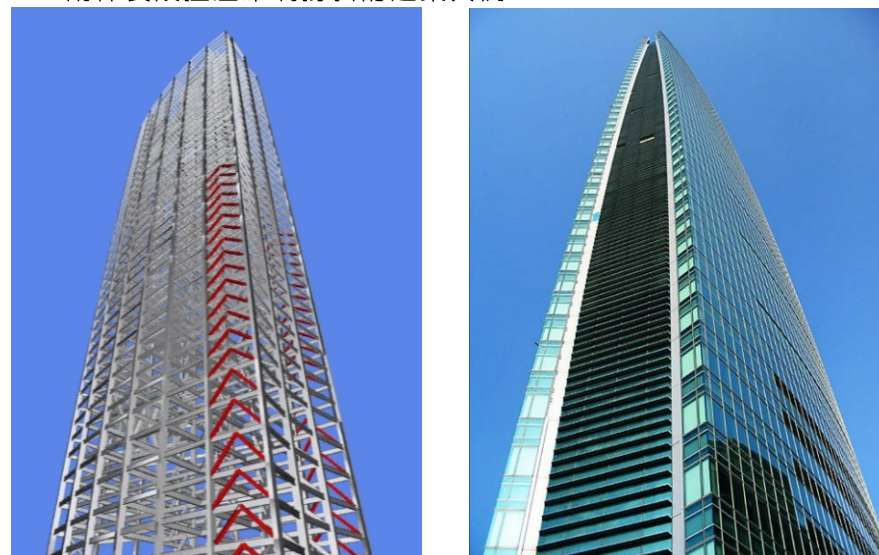


減震器通常不是建商自行製造，而是像鋼筋、水泥一樣，由建商向供應商採購，建商應驗證供應商所售的減震器確實符合設計需求，方式是抽取減震器樣本，委託大型實驗室進行測試。

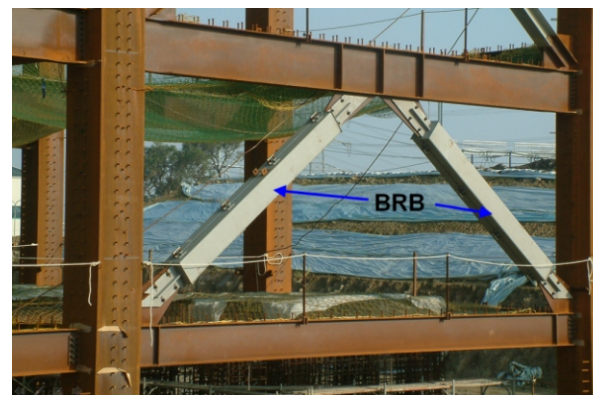


國家地震工程研究中心實驗場，正進行的斜撐減震器試驗

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。

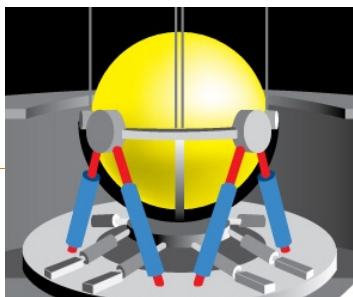
颱風來襲時，超高大樓承受劇烈變動的風壓，而產生強烈晃動。根據工程計算，三、四十層樓以上的大樓在設計時，風力所造成的舒適度考量，已經超越地震力的考量。

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？

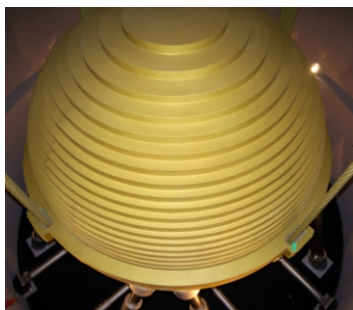
101大樓92樓到87樓之間，以12公尺長的纜索，懸掛了一顆重達660噸的質量塊。纜索的上方固定在92樓，下方的質量塊則垂掛在87樓處，並且以8支阻尼器與樓板連接，組成單擺式的「調諧質量塊阻尼器減振系統，（Tune Mass Damper）」。



臺北101大樓

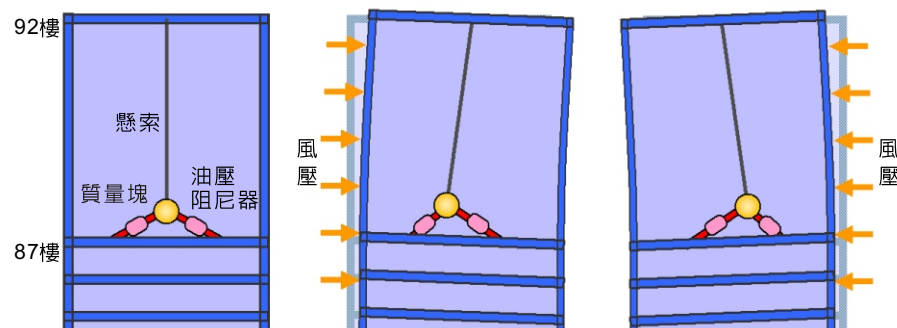


頂端垂掛於92樓的質量塊，以8根油壓阻尼器與87樓的地板相連



101大樓的質量塊，外型如同一顆金色的大球

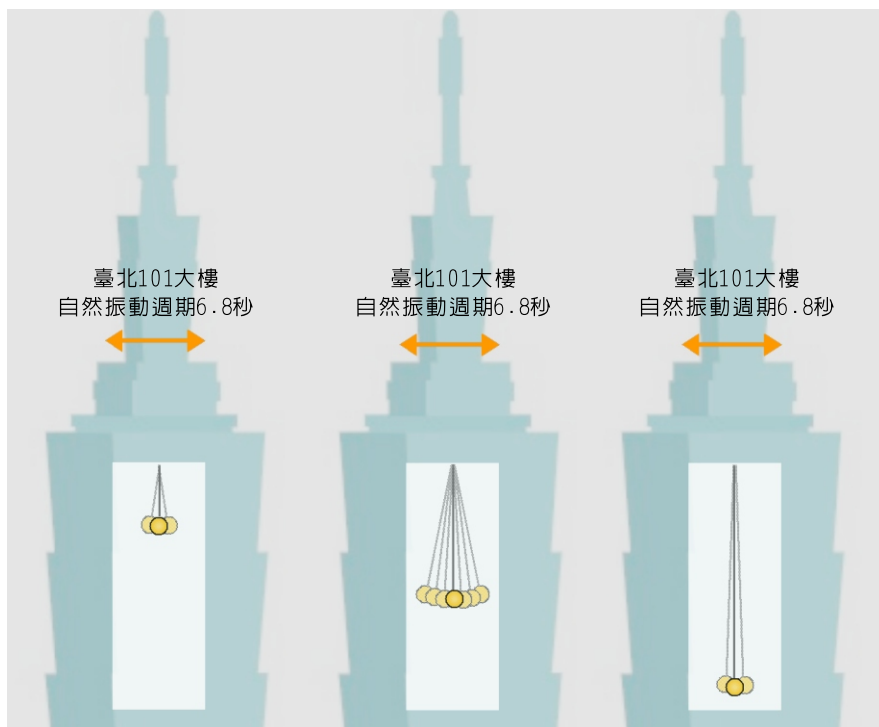
當101大樓承受風壓而擺動時，懸掛的質量塊因為「質量慣性作用」，與大樓有了相對運動，使阻尼器拉伸或壓縮。阻尼器拉伸或壓縮過程中，吸收了大樓的振動能量，減輕大樓晃動的程度。



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

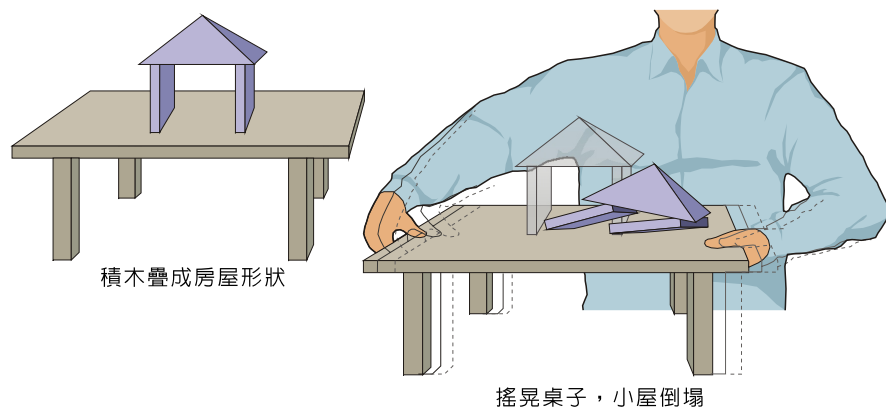
註：根據高中物理，單擺振動週期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

L 為長度(單位：m)， g 為重力加速度 9.8 m/sec^2

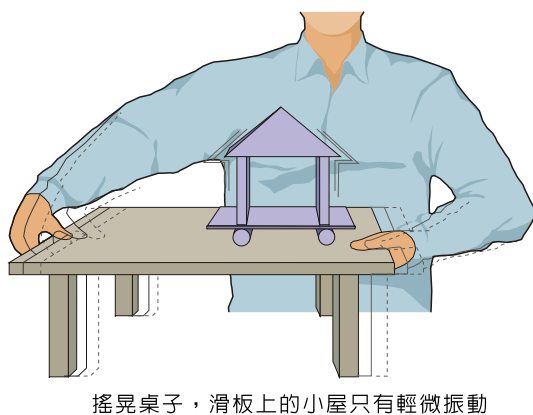
(三) 隔震技術

■ 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。

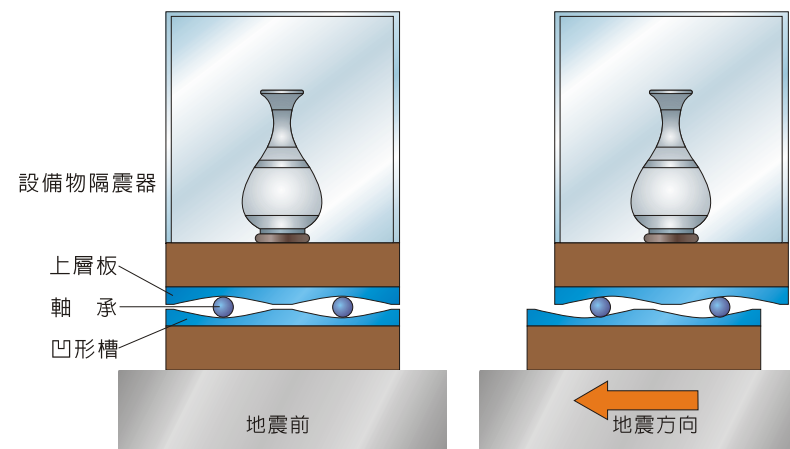


如果將小屋蓋在滑板上，手持桌緣左右搖晃，滑板在桌上滑移，小屋輕微振動而不倒塌。

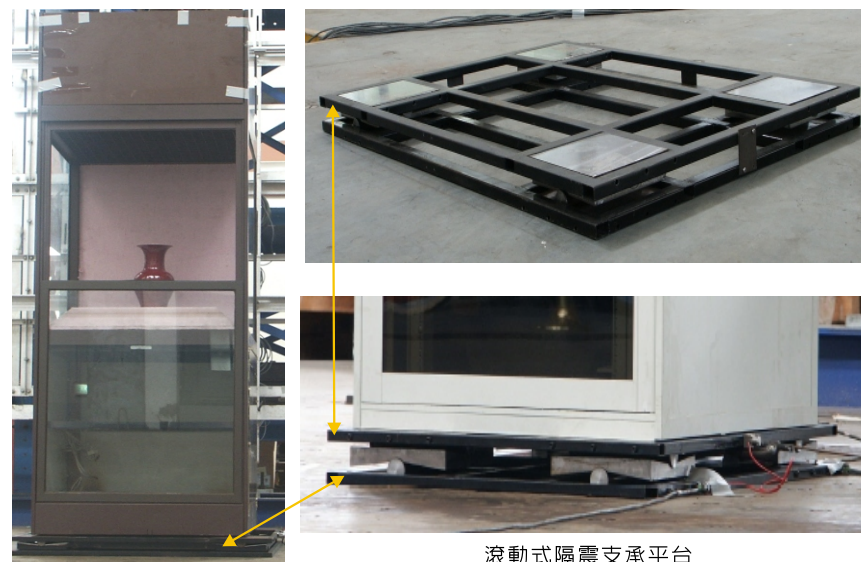


■ 設備物隔震器

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。

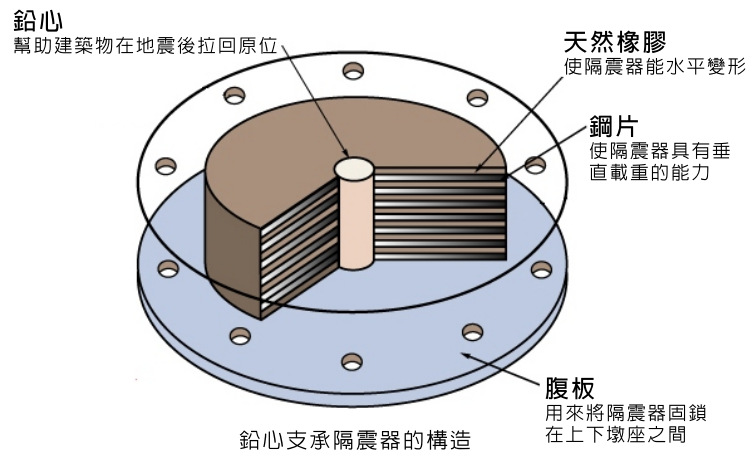


設備物隔震器能隔離大部分的地震擾動，保護櫥櫃中的珍貴物品或設備

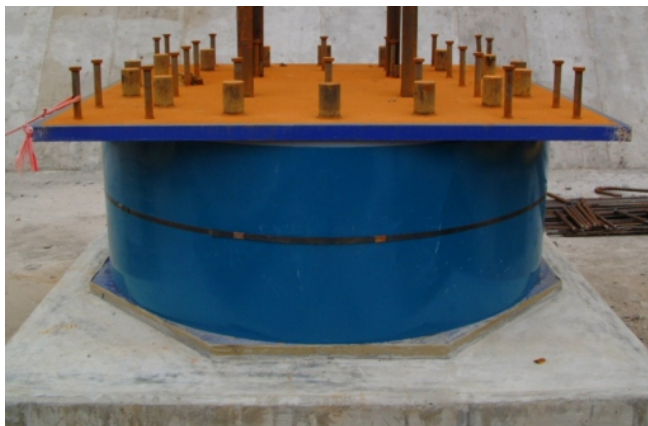


■ 建築物隔震器

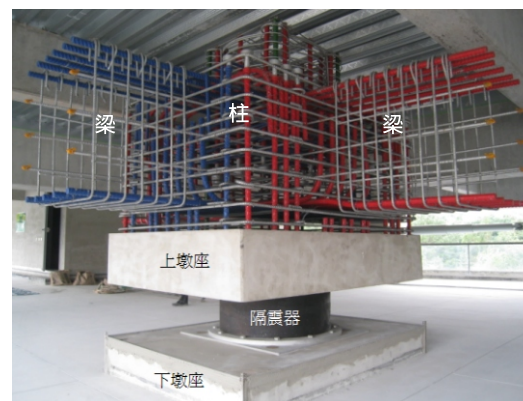
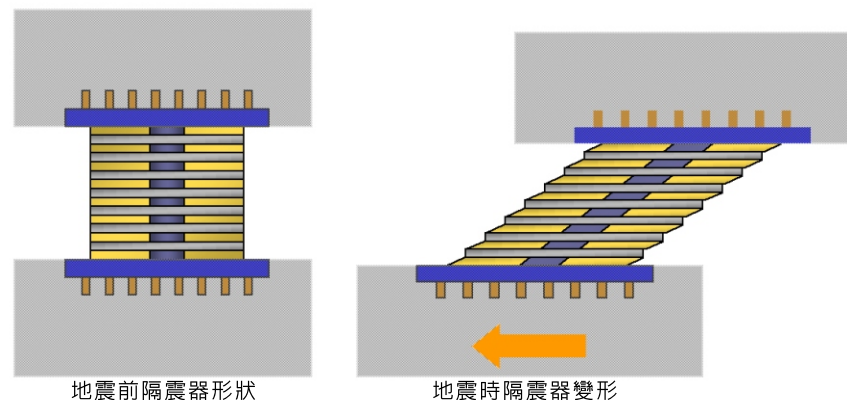
建築物隔震器通常裝置在建築物的基礎或低樓層處，隔離地表水平震動，減輕地震對建築物的擾動。「鉛心橡膠支承墊（Lead Rubber Bearing）」是最為典型的一種。



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

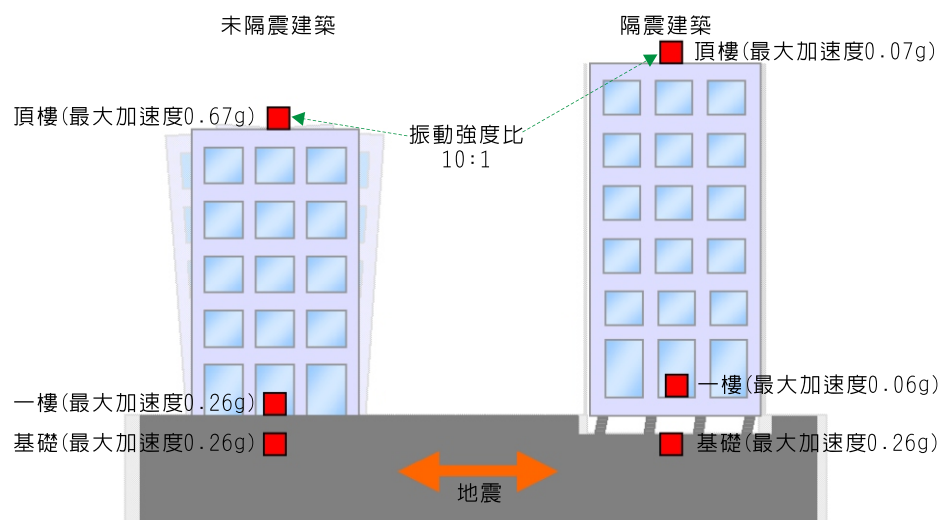


隔震器四周加裝隔板以防火害，並阻絕陽光中的紫外線，避免橡膠過早老化

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	

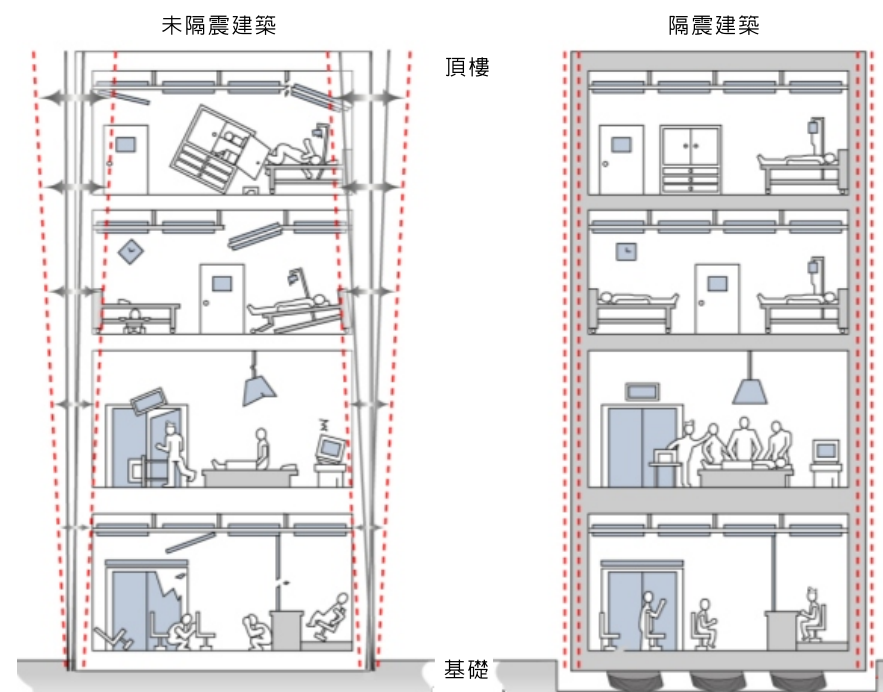
1995年日本阪神地震，建築物振動量比較



■ 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)



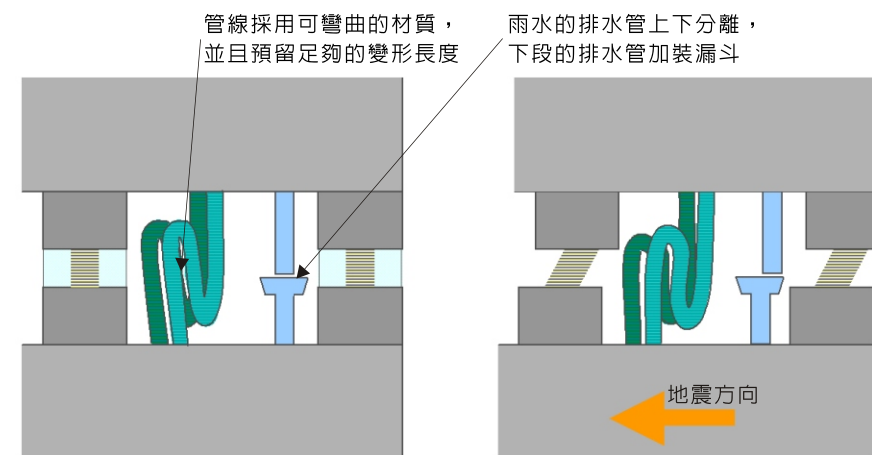
臺北市災害應變中心
(基礎隔震)



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

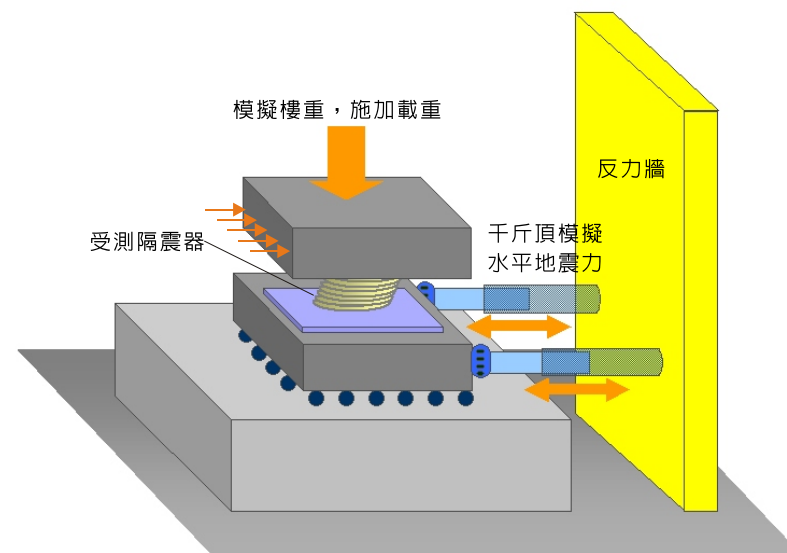


隔震層管線配置外觀

■ 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。



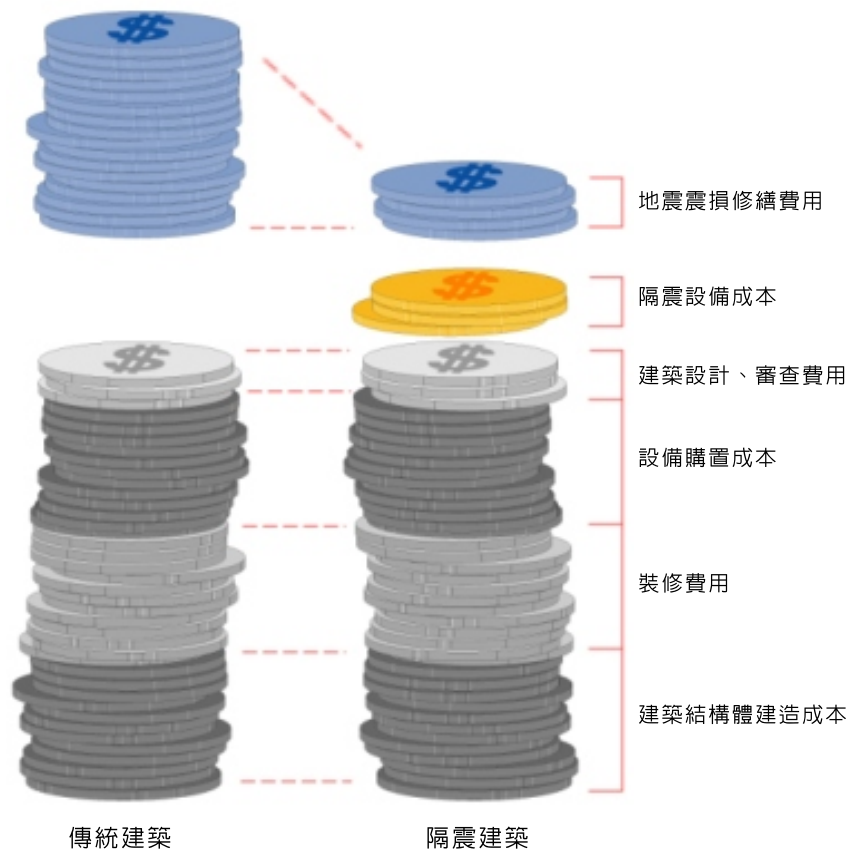
國家地震工程研究中心MATS試驗系統示意



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。



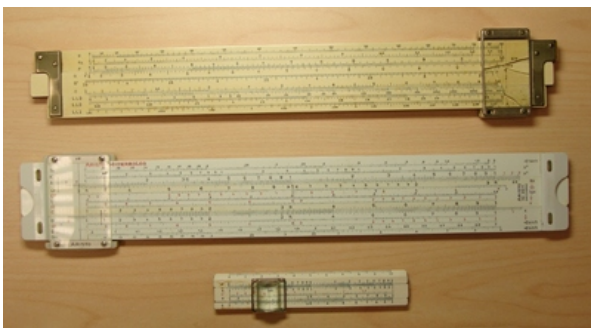
(四) 電腦在地震工程上的應用

■ 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



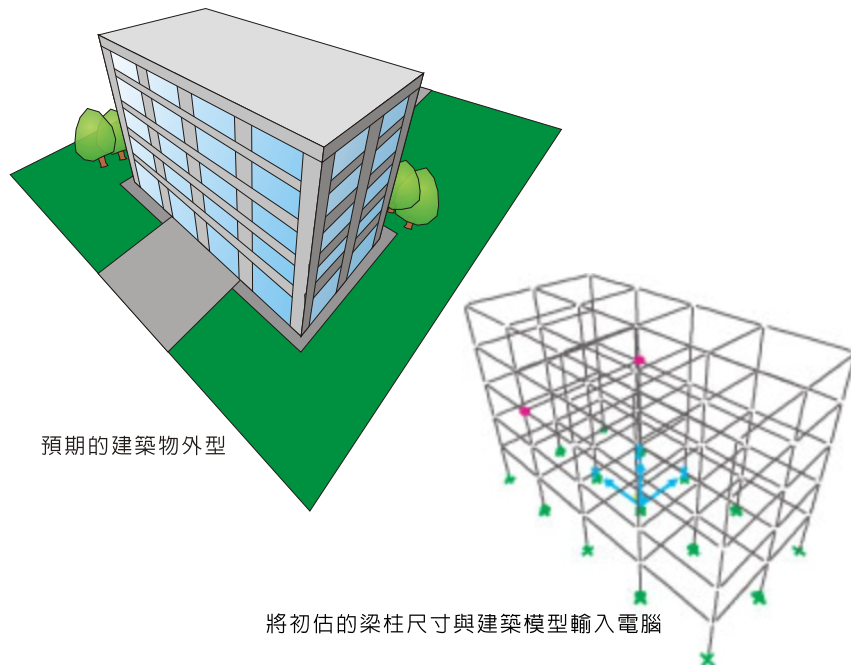
臺大校史館館藏的「工程計算尺」／照片來源：國立臺灣大學校史館

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

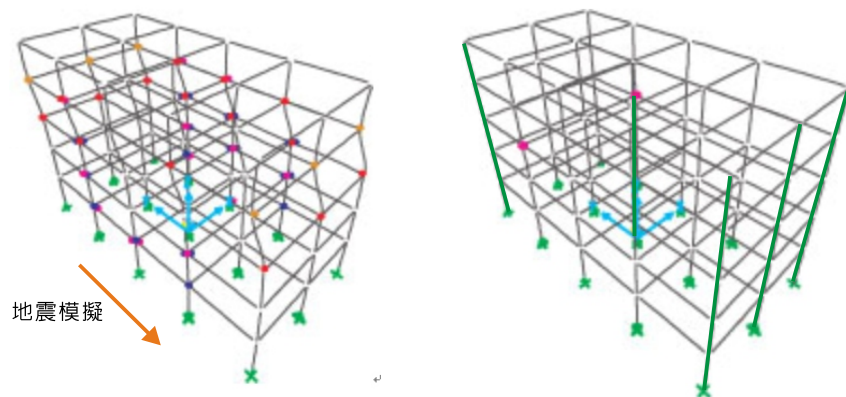
一棟大樓的興建，需要多種專業合力才能完成，例如：負責空間規劃與建築造型的建築師、負責水電設備的機電工程師、負責工程設計的土木工程師以及負責施工業務的工地主任。其中，與建築物耐震設計關係最密切的，就屬土木工程師。

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。



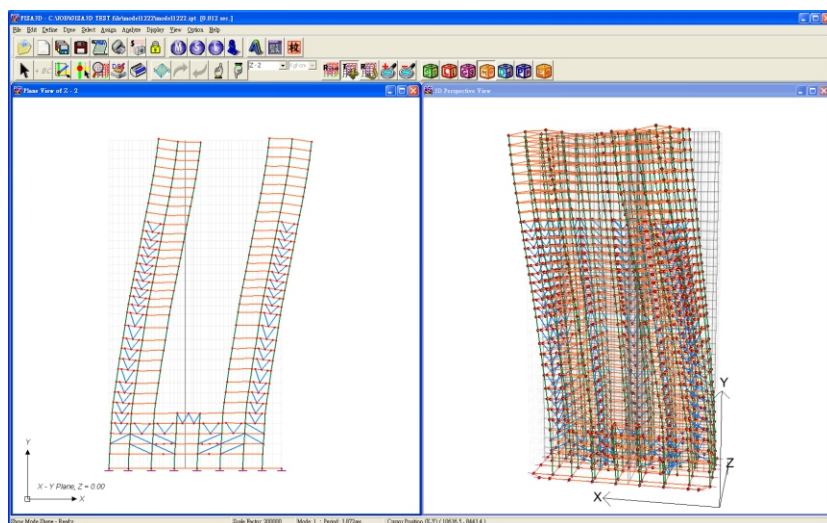
預期的建築物外型

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



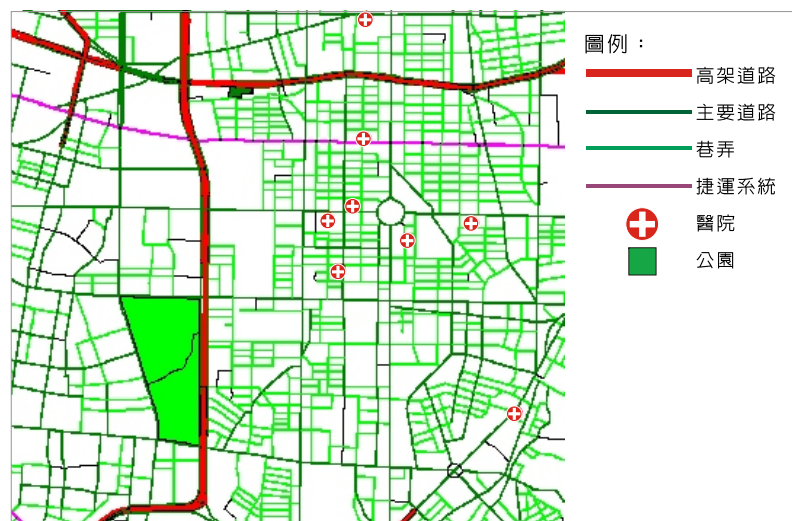
「臺灣地震損失評估系統」是依據臺灣地區之活斷層調查和地震活動特性，分析各地區發生地震的可能性和地震規模，進而比較各地區承受地震的風險，計算地震引致的年平均損失或單一地震可能引致的最大損失。在發生強震前，根據不同模擬地震的假設，進行一系列的震災境況模擬，並將評估結果建置成資料庫。

「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。

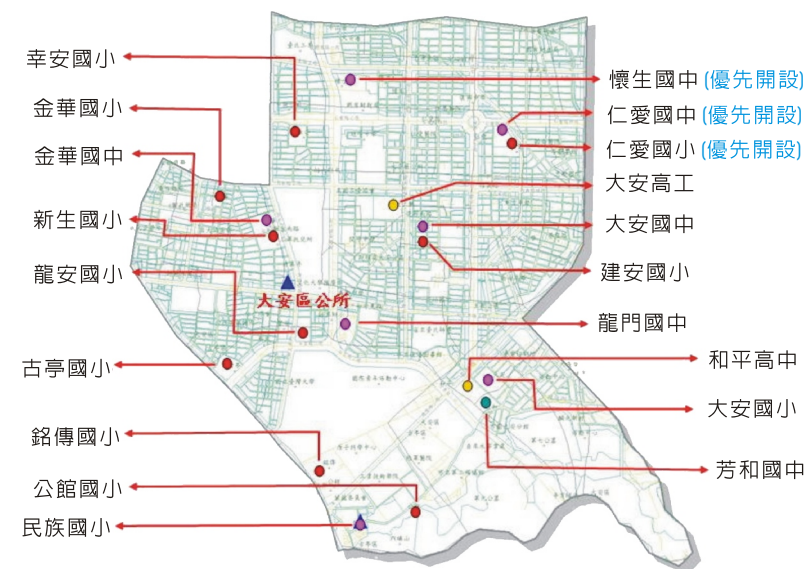
● 擬定減災對策

「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

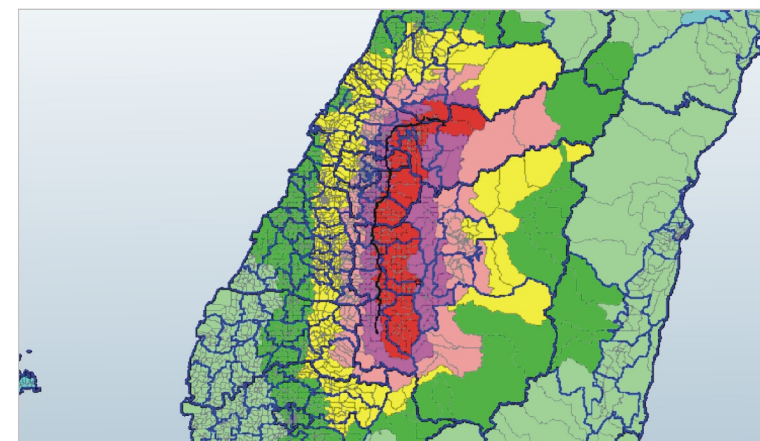
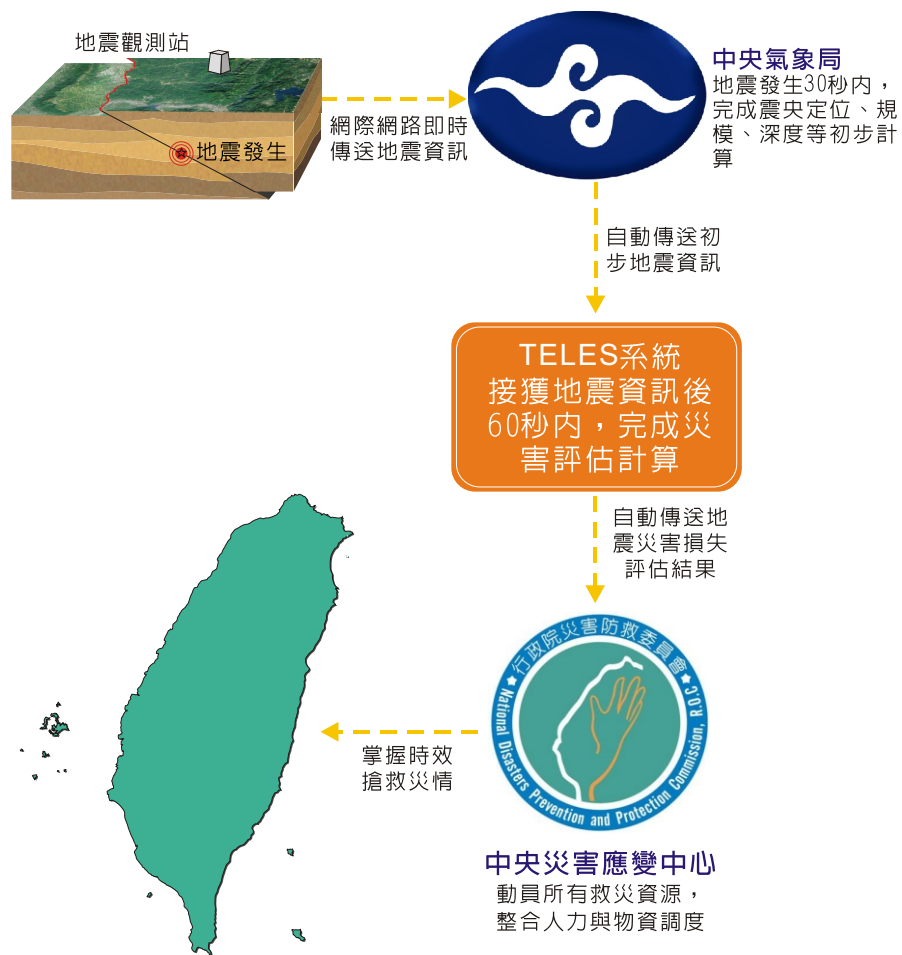


臺北市大安區緊急安置所分佈

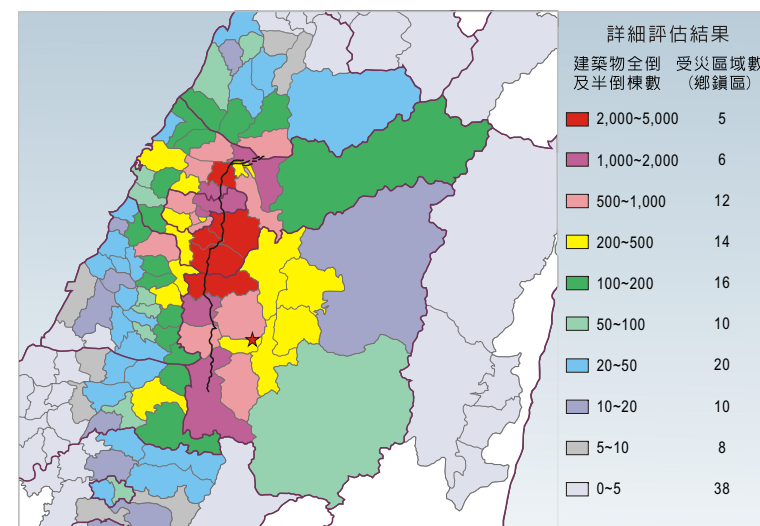
● 提升救災效率

「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



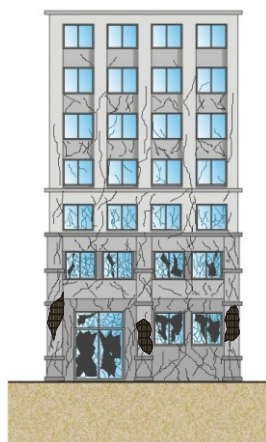
根據歷史地震統計，當地平均每30年就會發生一次的最大地震，其強度不會使建築物受損，在地震過後能夠維持其正常機能。

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。

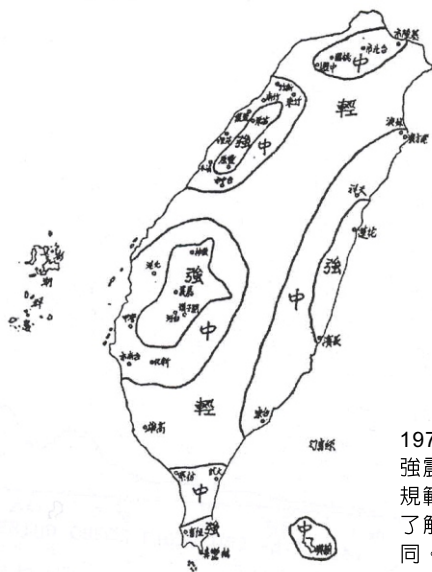
■ 《建築物耐震設計規範》的重要沿革

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。

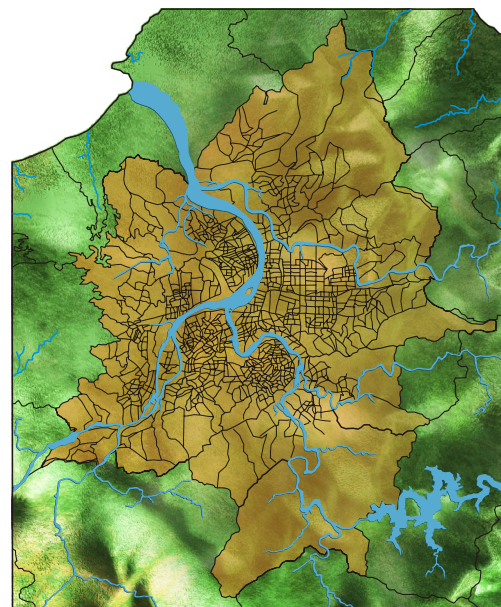
● 1982年

《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

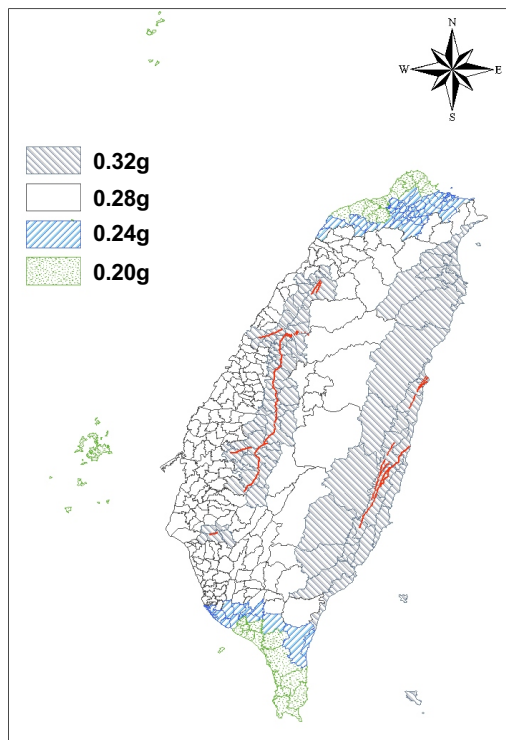
鑒於1995年日本阪神大地震的嚴重土壤液化災情，《建築物耐震設計規範》增訂了土壤液化評估方法，並且嚴格規定鋼筋混凝土的施工細節。

● 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

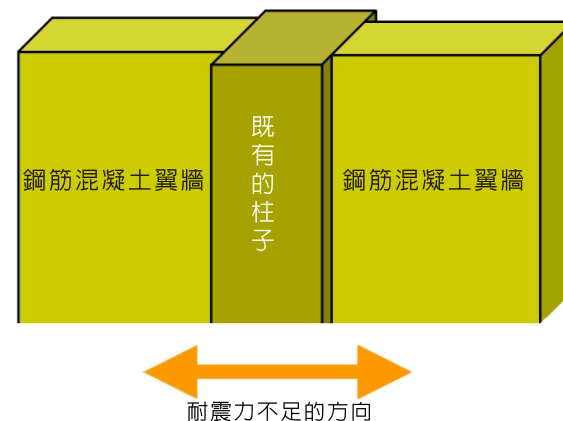
建築物歷經一場地震後，可能有結構受損的情形，住戶可以委託專業技師勘驗，再予以適當補強，並不必定得拆除重建。



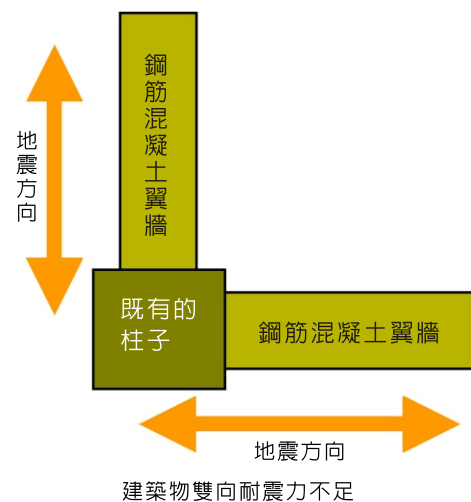
地震震損教室，須進行修復補強工程

■ 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



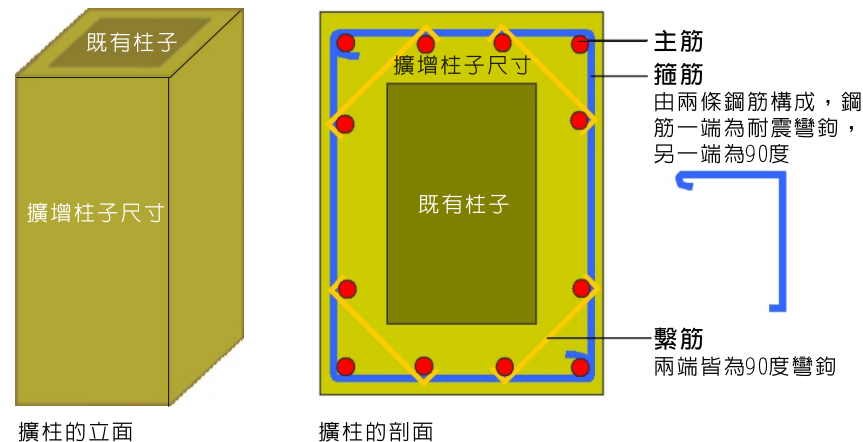
3. 補強柱體裂縫後，鑽孔植入鋼筋並綁紮成牆的形狀



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。



擴柱的立面

擴柱的剖面

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



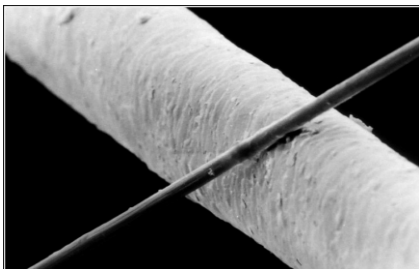
3. 去除裸露鋼筋的鐵銹後，綁紮箍筋和繫筋



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

■ 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：



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



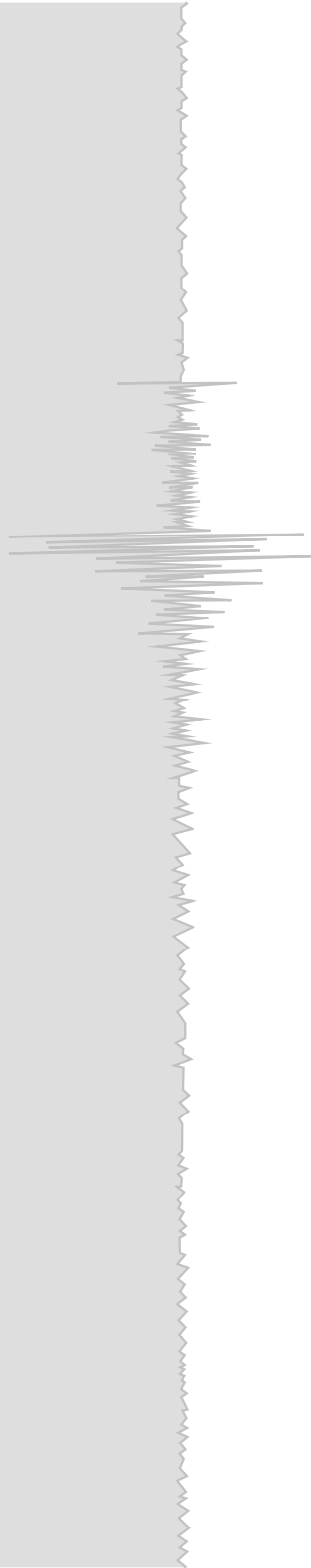
2.去除裸露鋼筋的鐵鏽後，以兩片L形鋼板包覆柱體



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



第六章 居家抗震

- (一) 921地震，一位受災者的現身說法
- (二) 傢俱、家電與易碎物件的牢固
- (三) 地震避難須知
- (四) 地震保險

（一）921地震，一位受災者的現身說法

1999年的9月21日凌晨1點47分，臺灣中部發生了規模7.3的大地震，震央在南投縣集集鎮。許多人在睡夢中驚醒，倉皇逃生；許多建築經不起劇烈的搖晃而嚴重受損、倒塌。

住在重災區的陳先生回憶起當時的景況：「那天半夜感覺一陣輕微震動就給震醒，正想起床，結果立刻就是一陣劇烈的天搖地動，房子發出恐怖的叫聲，玻璃破裂落地的聲音與人們的尖叫声忽遠忽近，感覺房子要垮了，我立刻穿上拖鞋往外跑，才跑兩三步就一個不穩而摔倒，還被倒下的櫃子撞傷手臂，艱難地半爬半跑地往屋外移動。跑到屋外時地震也差不多停止了。驚魂甫定，發現不遠處煙霧瀰漫，有好幾間房子倒塌了。」

陳先生接著說：「對當時的巨震，大家議論紛紛，幾位鄰居焦急的回到屋內察看受損的情況。沒想到幾分鐘後，地又劇烈的搖動，這一次的地震感覺比第一次還要劇烈，又有許多房子在第二次的地震中倒塌，有幾位剛剛回到屋內的鄰居因而受困，大家立刻展開挖掘與救援。我很幸運，房子並沒受到太嚴重的損壞，但由於餘震不斷，我和家人也跟其他人一樣都到空地上搭帳篷，整整一個多星期不敢住在房子裡。」

從陳先生所描述的地震經驗中，歸納以下重點：

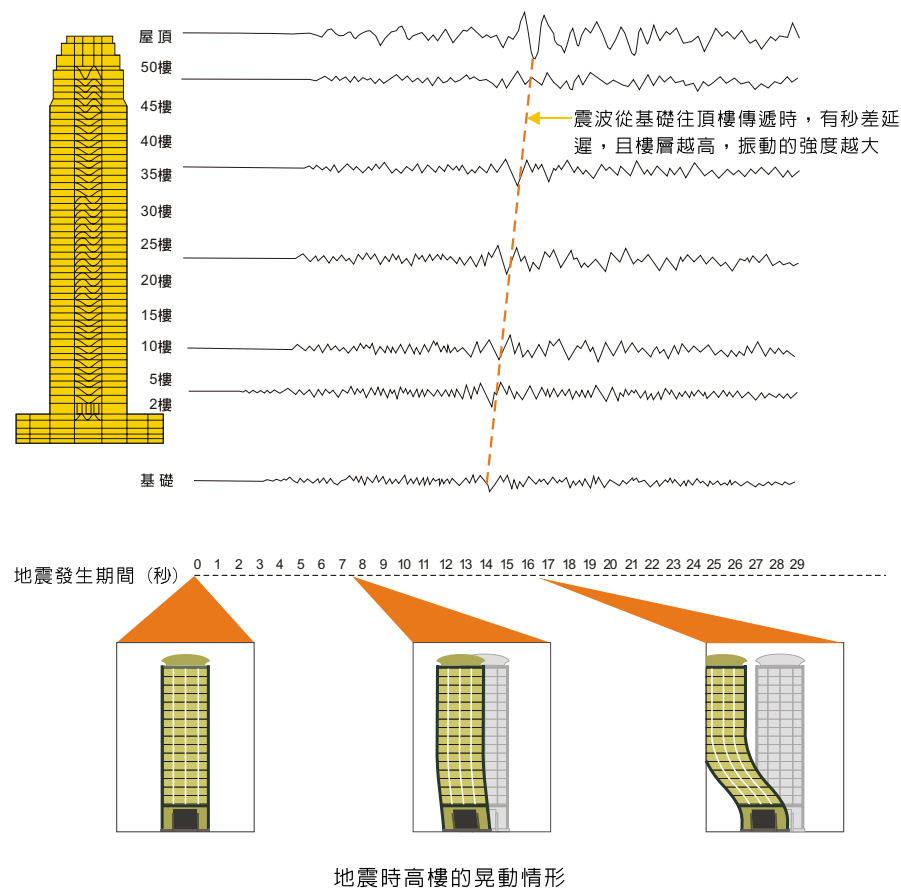
1. 釀災的大地震會在瞬間劇烈震動，造成災害，讓人沒有太多時間思考或做出反應。而且劇烈震動會讓人移動困難，容易摔倒。
2. 「餘震」可能緊隨著主震之後幾分鐘內發生，震動可能比主震大，讓已在主震中受損的房子倒塌，而傷及人命。
3. 超過耐震設計標準的地震，可能會使房子嚴重受損，甚至倒塌。家裡的櫥櫃、吊掛物及部分裝潢會掉落傷人，阻擋逃生去路。

採訪撰寫／簡文郁博士



(二) 傢俱、家電與易碎物件的牢固

中央氣象局所發布的地震報告裡，各地的最大震度是指當地觀測到的地表震動程度。地震發生時，位在一樓的人會發現：3級的震度會使懸掛物明顯搖擺；震度4級時，沒有固定好的物品、重傢俱會傾倒位移……震動情形與中央氣象局的震度分級表大致相符（請參考第一章第三節），但位處高樓上的人所感受到的搖晃程度，遠比在地面強烈，傢俱物品掉落傷人的機率也更大。



許多人家庭成員中，包含行動力較差的年長者與稚弱的嬰幼兒。當大地震發生時，房屋強烈晃動，大型傢俱翻倒、碎玻璃掉落滿地，家庭成員要全體安全逃生將十分困難！

一個耐震安全的家，不單是建築耐震，還要注意地震來襲時，居家空間是否安全。平時就應該留意居家空間的安全性，例如：大型傢俱的牢固、瓦斯桶的穩固、玻璃易碎品的安置、熱水瓶的擺放等。臺灣的居家抗震專用商品不若日本發達，但只要了解一些原則，自行到五金行、傢俱店、文具行等購買相關零件，即可在家DIY，達到相同的抗震效果。

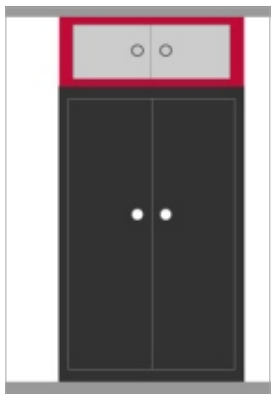


未固定好的櫥櫃在地震中倒塌，相當危險

■ 櫥櫃的抗震措施

活動式櫥櫃在大地震發生時，有倒塌之虞，因此應儘可能將**重物**放在櫥櫃底層，降低櫥櫃重心；同時將櫥櫃妥善固定，避免櫥櫃倒塌。

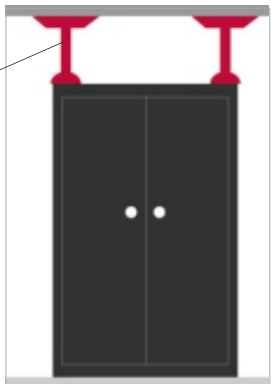
活動式櫥櫃可加購或訂製一個大小合適的上櫃，疊放在大櫥櫃上，上櫃與樓地板相接。



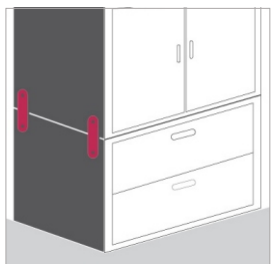
使用櫥櫃支撐桿，裝置在櫥櫃與上層樓地板之間。



裝設支撐桿



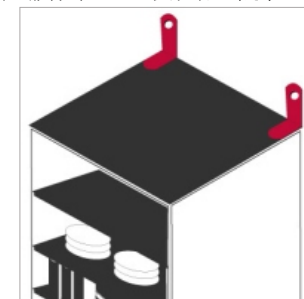
疊放的櫥櫃如果沒有固定好，地震時，上層的櫥櫃容易傾倒。因此最好利用金屬鎖片和螺絲，將上下層櫥櫃固鎖在一起。



如果天花板的支撐力不足，可將鏈條扣件或L型角鐵的一端固定在櫥櫃上方，另一端固定在牆面上，以固定櫥櫃。

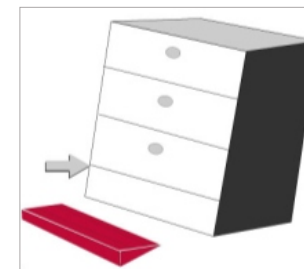


鏈條扣件固定



角鐵固定

單一的矮櫃可以找一側較薄、一側較厚的木板，塞入矮櫃下方，使矮櫃的重心略為傾向牆壁。



如果在櫥櫃中擺放易碎品，可利用活動扣件固定櫥櫃門，防止易碎品在地震時跌出。

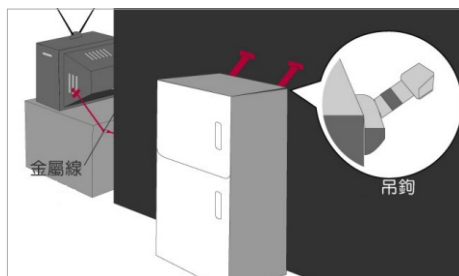


書櫃可以加裝保護繩，避免書籍在地震時跌出。

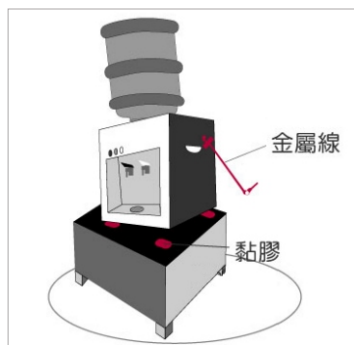


■ 家電的抗震措施

冰箱、電視等大型電器用品，可比照櫥櫃的方式，以扣件加固。

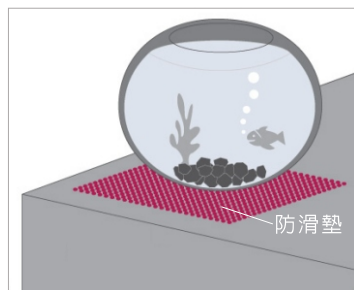


開飲機一旦翻倒，濺出的熱開水可能造成燙傷，應留意防範。可利用防震黏膠固定底部，或利用扣件加固於牆上，提高穩定度。



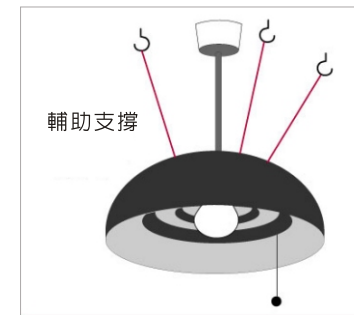
■ 易碎品的抗震措施

魚缸、陶瓷花瓶等易碎的小型物件，如果掉落破碎，地面將佈滿尖銳的碎裂片。為減少易碎品翻覆掉落的可能性，可在物件的底部貼上防震黏膠；如果物件有經常挪動的需求，則可放置防滑墊防止滑動。



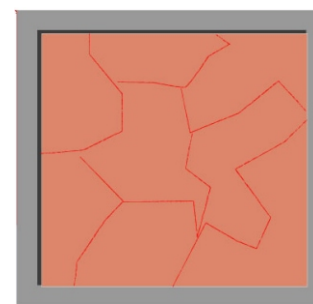
■ 懸掛物的抗震措施

吊燈以及掛在牆壁的時鐘、鏡子、畫框、相框等，一旦掉落地面，飛濺的玻璃碎片可能砸刺傷人。防止懸掛燈飾掉落，可以在懸吊物上方加綁安全繩索，固定在天花板上，作為輔助支撐；防止牆壁上的懸掛物掉落，除了原本的懸掛方式外，可於物件背面黏貼魔鬼粘，加強牢固。

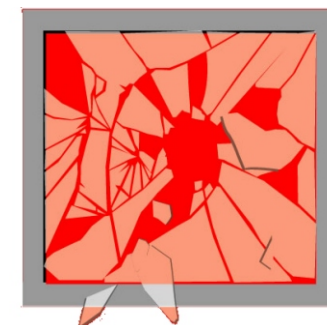


■ 玻璃窗的抗震措施

強烈地震的搖晃使樓房結構變形，窗框、門框受到擠壓，可能造成玻璃破裂飛濺傷人，滿地的玻璃碎片也會阻礙逃生。因此，最好事先將大面積的玻璃包覆防爆膜，以免玻璃破裂飛濺。



已包覆防爆膜



未包覆防爆膜

■ 防範因地震引起火災

地震可能引發火災，造成「二次災害」。歷史上曾有多次地震引發大火，釀成嚴重災情，例如：1906年美國舊金山大地震，大火延燒4天，造成25萬人無家可歸；1923年日本關東大地震，造成14萬人死亡，大火燒毀44萬7,000多棟房屋，死於火災的人數遠超過因房屋倒塌而死亡的人數。



1964年白河地震引發大火，嘉義市鬧區形成一片火海，燒毀174棟房屋／
照片來源：行政院新聞局



1995年日本阪神地震，因煤氣管線破裂，引發200多起火災，因地震及火災死亡的人數達5502人

預防地震引起火災，瓦斯用畢應隨手關閉。家用桶裝瓦斯平時應固定好，以免瓦斯桶傾倒，扯斷瓦斯管線，造成瓦斯外洩。固定桶裝瓦斯，可用堅固的繩索或鐵鍊束制瓦斯桶的活動。地震後應確認家中沒有瓦斯外洩的情形，才能用火或開啓電源。



牆上固定點



束制固定的瓦斯桶

因應初期火災，家中應備用滅火器，放置在容易拿取的地方。

市售滅火器的種類依藥劑不同，主要有分為乾粉滅火器、二氧化碳滅火器、泡沫滅火器等。各類滅火器的應用範圍和注意事項有所差異，選購時應閱讀滅火器上的標示。例如：



手提式滅火器

● 可撲滅的火災種類

滅火器上須標示可撲滅的火災類型，如：ABC、AB、AC、BC。

- A. 普通火災－木材、紙張、棉紗、塑膠、布料等引起之火災
- B. 油類火災－石油、動物油脂、有機溶劑、天然氣等引起之火災
- C. 電器火災－由電器設備引起之火災

● 須有標準檢驗局檢驗標誌

● 使用期限

● 滅火值

滅火值越高，代表滅火的效能越好

● 定期更換藥劑與檢查壓力表的說明

參考資料來源：內政部消防署網站、消防影音新聞台

(三) 地震避難須知

■ 地震來了怎麼辦？

遇到危急狀況，應冷靜應變，才能自救。居家時，萬一發生大地震，在情況許可下，建議採取以下步驟應變：

1. 熄滅正在使用中的火源，並關閉瓦斯開關。
2. 打開大門，以避免門框變形而無法開啓。
3. 穿上鞋子。
4. 如果判斷可以及時逃到空曠處，立刻離開屋內（切忌搭乘電梯）；如果判斷來不及逃離屋內，則就近躲避在相對較安全的角落空間。

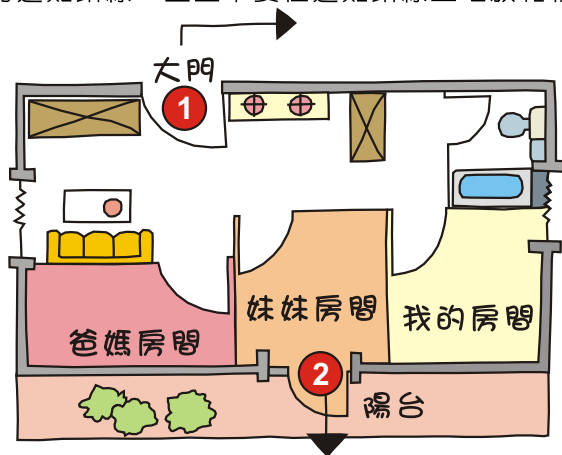
強烈地震過後，可疏散家人至戶外，並觀察建築結構有無立即的危險（參考附錄一），判斷無立即危險再回家。回到家中，應留意有無瓦斯外洩，確認無瓦斯外洩才能使用電器與爐火。

■ 如何避難到安全的地方？

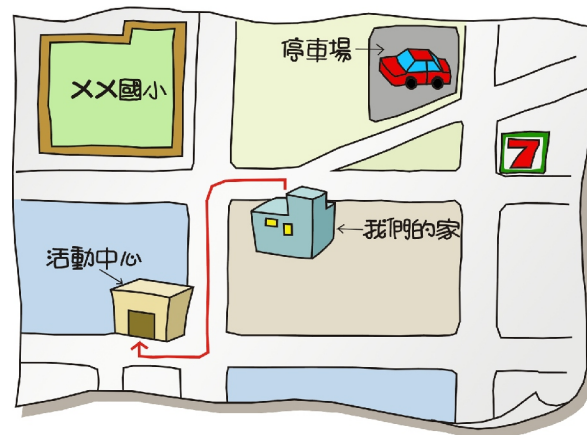
● 規劃避難路線

預先設想避難路線，就不用在危急的情況下，考驗自己的運氣。家裡最好有二條以上的避難路線，並且不要在避難路線上堆放雜物。另外，因應深夜受災停電，避免黑暗中倉皇無措，最好在床頭處準備手電筒，以應付夜間突發狀況。

家裡的避難路線規劃

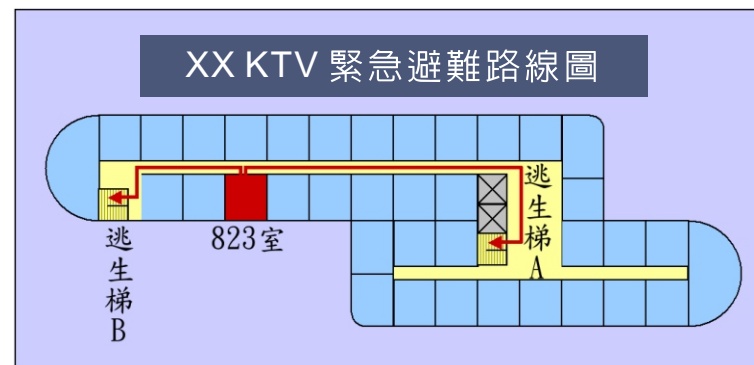


家人彼此之間，平時即約定好住家附近的避難地點，一旦災情嚴重，失去聯絡，可在約定的地點會合。



住家附近的避難點／圖片來源：財團法人地震保險基金

平常前往戲院、旅館、KTV、購物中心等不熟悉的建築物時，應養成觀察緊急避難路線的好習慣，遇上地震或火災時，才能安全逃生。場所中如有工作人員指揮協助，則聽從指示，依序逃離。



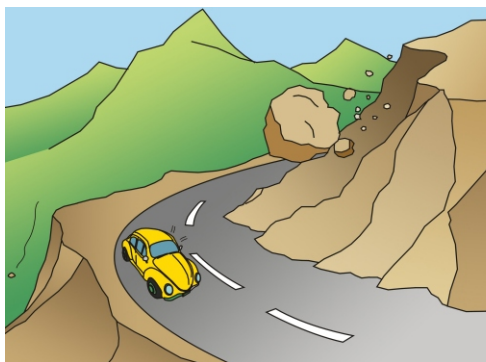
● 避開危險的地方

地震時不要靠近窗戶，並避免停留在吊扇、燈具等懸掛物下方。離開大樓時，切記不可搭乘電梯，以免因停電或電梯故障而受困。進入街道後，要小心屋瓦、瓷磚、招牌等物品掉落。大地震過後可能有強烈餘震，切勿靠近震損嚴重的建築物。



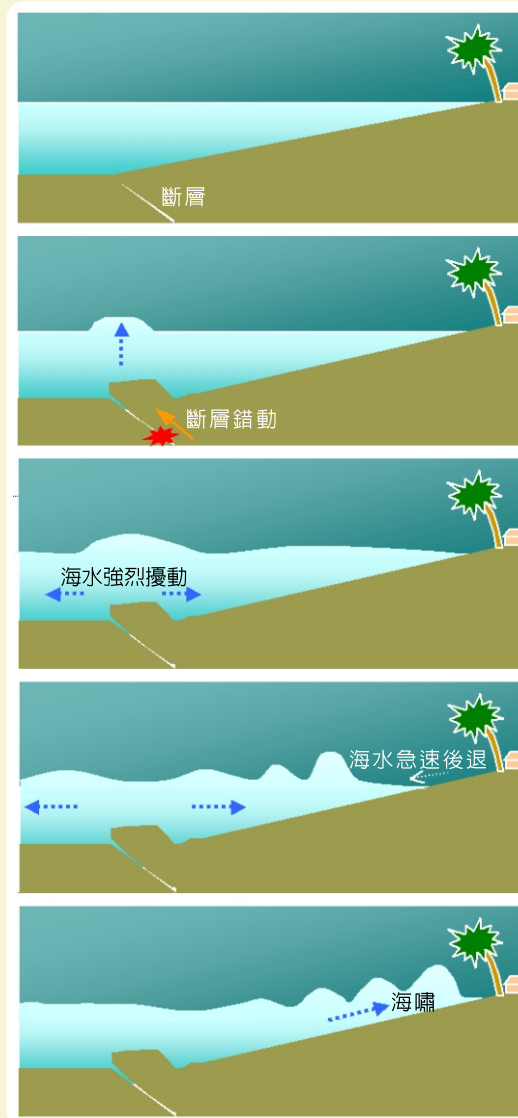
避難時應行走樓梯，不可搭乘電梯／圖片來源：財團法人住宅地震保險基金

地震時如果人在山區，應遠離懸崖、峭壁、陡坡旁，避開土石崩落或地層滑移區。大地震剛結束時，不宜在海邊或河口逗留，以防海嘯發生。在海邊時，即使沒有感覺到地震發生，一旦發現海水水位急速後退，也要警覺，迅速呼伴離開，因為這可能是遠地地震引發海嘯的前兆。



在山區勿逗留在可能土石崩落或地層滑移之區域

🔍 海嘯是如何形成的？



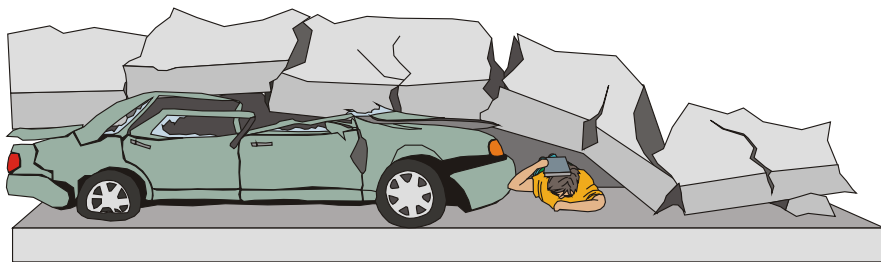
● 穩固的冰箱旁

如果房屋的樓板在地震中坍塌，冰箱可以支撐部分樓板，形成救命的三角空間。冰箱中儲放的食物和水，可作為受困時的維生資源。



■ 正在開車怎麼辦？

發生大地震時如果正在街道上開車，應減緩車速，慢慢停靠在空曠的路邊，並離開車內。萬一大地震發生時，人正在停車場，應立即下車，到車子的前方趴低在地上。車子堅硬的引擎會比車廂來得耐壓，可形成三角躲避空間。



■ 不幸受困時該怎麼辦？

- 如有可能，隨身的手機撥打119電話求救。
- 保持冷靜，不放棄獲救的希望。
- 傾聽是否有砂石剝落的聲音，如果建築物還在移動，應暫時停留在安全的避難處。
- 判斷建築物處於靜止狀態，再小心扳開障礙物，往水源或光源前進。
- 無法脫困時，聆聽外面動靜，適時呼救求援，切忌持續喊叫浪費體力。
- 規律地製造求救聲響，例如利用緊急避難背包裡的哨子或敲擊水管、鋼筋等。
- 受傷時應先包紮止血，如果傷勢嚴重，捲曲身體靜待救援。
- 受困時，水是維生關鍵。嘗試尋找水源並節制飲量，等待救難人員抵達。

(四) 地震保險

地震威脅人們的生命財產，但現今科技能力仍無法預測地震發生的時間。面對隨時可能發生的地震，除了選購耐震的房屋、改善安全的居家環境、掌握避難的要點之外，還可以多作些什麼呢？天災往往出乎意料之外，即便是選購了耐震的房屋，房屋還是有可能嚴重受損而不再適合居住，但如果住戶在震災前加入了地震保險，萬一房屋震損達到「全損」標準，將可獲得適度理賠保障，減輕震災對於家庭的直接衝擊。

■ 財團法人住宅地震保險基金

921集集地震造成51,712戶房屋全倒，53,768戶房屋半倒，然而當時投保住宅火險附加地震險的家庭，只有總家庭戶數的2%，使得許多受災家庭的生活陷入困境。鑑於風險管理的重要，政府在2002年成立「財團法人住宅地震保險基金」，簡稱「地震基金」，是亞洲繼日本及土耳其之後，第三個由國家主導而成立的政策性住宅地震保險機構。根據這項保險制度的設計，在單一場地震中，當災害損失賠償的總金額超過保險公司承擔額度時，即由地震保險基金承擔。

截至2008年底止，住宅地震保險有效保單已達203萬件，以全國780萬戶統計，投保率已達26.02%。有意加入的民衆，可以向國內各產物保險公司投保「住宅火災及地震保險」。

■ 住宅地震保險內容

參考資料來源：財團法人住宅地震保險基金

● 保險標的物

住宅建築物（只保房屋，不保動產、裝潢及人身安全）。

● 承保之危險事故

房屋因以下事故造成「全損」：

地震震動引起之火災、爆炸、山崩。

地震引起之地層下陷、滑動、開裂、決口。

地震引起之海嘯、海潮高漲、洪水。

● 保險費

地震險採單一費率，自2009年4月1日起，一年期保費為新台幣1,350元（購買「住宅火災及地震保險」須另外加計火災險保費）。

● 保險金額

保險金額以房屋重置成本為計算基礎，每一住宅建築物最高保額以新台幣120萬元為限；臨時住宿費用每一住宅建築物以新台幣18萬元為限。

● 理賠標準

房屋須達「全損」標準方予理賠，全損標準判定如下：

1. 經政府機關通知拆除、命令拆除或逕予拆除。
2. 經本保險合格評估人員評定，或經建築師公會或結構、土木、大地等技師公會鑑定為不堪居住必須拆除重建，或非經修建不能居住且修復費用為重置成本50%以上者。

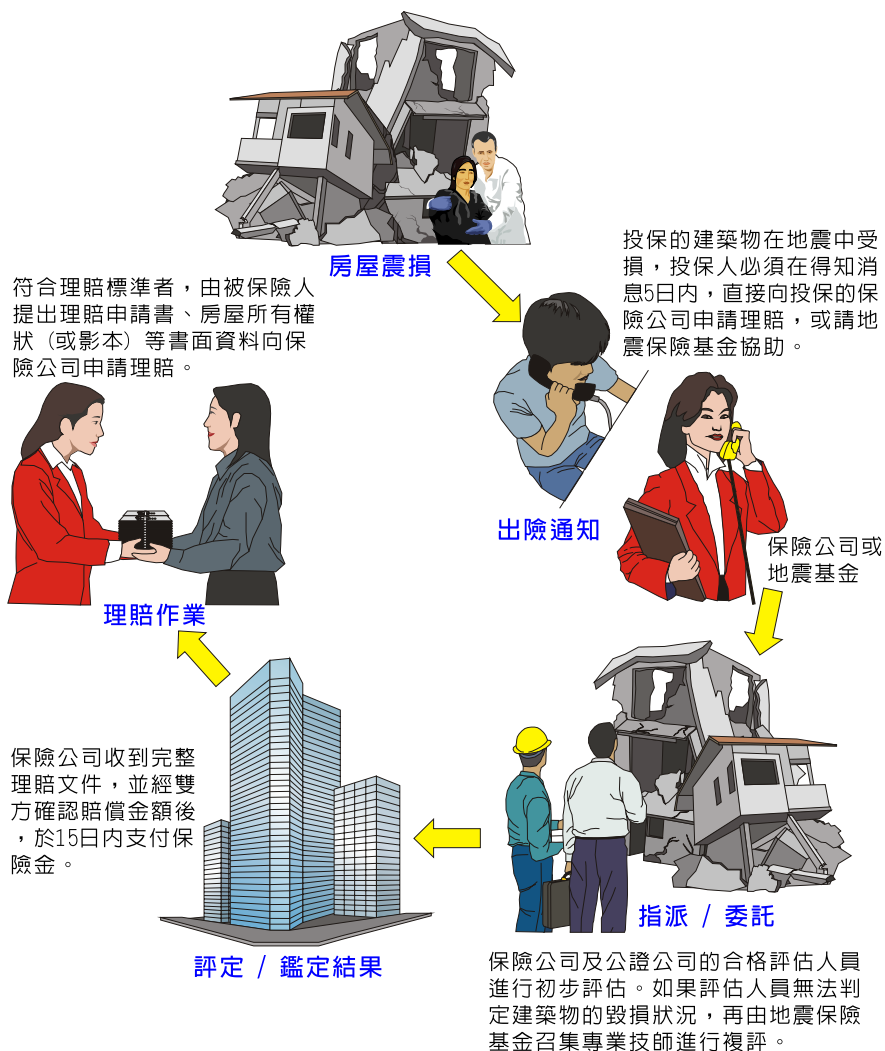


房屋須達全損標準方予理賠

● 擴大地震保險

民衆考量自身的財產價值與經濟能力，如欲投保超過新台幣120萬元以上的保障，或針對屋內動產及裝潢購買保險者，可向原保險公司投保擴大地震險。

■ 申請住宅地震基本保險的理賠流程



■ 地震保險承保單位

保險公司	報案電話	網 址
臺灣產物保險公司	0809-068-888	www.tfmi.com.tw
兆豐產物保險公司	0800-053-588	www.cki.com.tw
華山產物保險公司	0800-095-795	www.walsun.com.tw
富邦產物保險公司	0800-009-888	www.fubon.com/insurance/home
蘇黎世產物保險公司	0800-077-568	www.zurich.com.tw
泰安產物保險公司	0800-012-080	www.taian.com.tw
明台產物保險公司	0800-078-888	www.mingtai.com.tw
友邦產物保險公司	0800-005-678	www.aiggeneral.com.tw
第一產物保險公司	0800-288-068	www.firstins.com.tw
旺旺友聯產物保險公司	0800-024-024	www.unionins.com.tw
新光產物保險公司	0800-789-999	www.skinsurance.com.tw
華南產物保險公司	0800-010-850	www.south-china.com.tw
國泰世紀產物保險公司	0800-036-599	www.cathay-ins.com.tw
新安東京海上產物保險公司	0800-050-119	www.tmuewa.com.tw
美商安達北美洲產物保險公司	0800-886-588	www.ace-lina.com.tw
港商亞洲產物保險公司	0800-886-588	www.asiainsurance.com.tw
日商三井住友海上火災產物保險公司	0800-032-141	www.ms-ins.com.tw
龍平安產物保險公司	0800-075-777	www.dragonins.com.tw

更多關於地震保險的資訊：
 行政院金融監督管理委員會保險局 <http://www.ib.gov.tw/>
 財團法人住宅地震保險基金 <http://www.treif.org.tw/>

附錄一、屋舍震後檢查

大地震過後，樓房可能出現新的裂縫，甚至整棟傾斜，這時住戶們難免心中疑懼：應該立刻離開屋內嗎？我可不可以回家拿東西？等一下再有餘震，房子會不會倒下來？需不需要請專業技師來檢查房屋結構？裂縫放著不管有危險嗎？

主震過後，樓房可能已嚴重震損，餘震若再來襲，樓房有隨時倒塌的風險；但也可能只是樓房外觀輕微破壞，日後再進行修補即可。那麼，該如何判讀震損程度，以採取合適的對策，維護家人安全呢？

地震過後，應注意建築物的外觀狀況是否正常，查看家中、地下室、公共空間的結構系統，梁、柱、牆是否有新增的開裂、裂縫、裂紋。如果有發現，可參考以下圖文說明，依危急程度採取合適處置方法。

危急程度A

應立即離開屋內，並儘速通知專業技師前往檢查房屋是否有崩塌之虞。

危急程度B

通知專業技師前來檢查，確認結構是否須修復補強。

危急程度C

不影響結構安全，可自行修補。

(1)房屋傾斜的檢查

① 目視可察覺樓房傾斜

危急程度A

② 雖然目視無法察覺樓房傾斜，但仍懷疑樓房已經傾斜

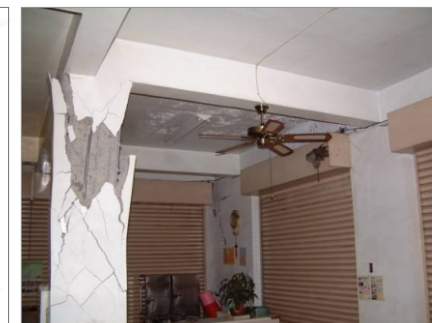
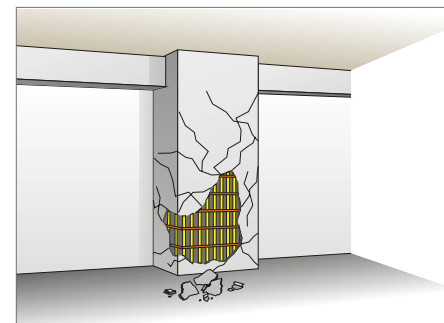
危急程度B



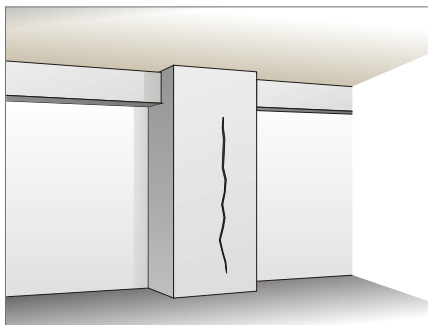
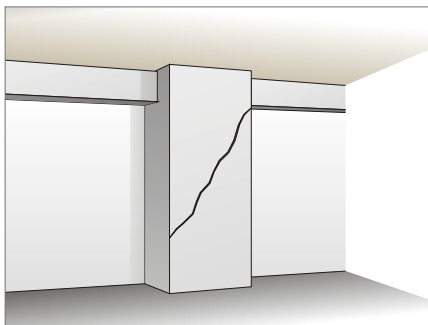
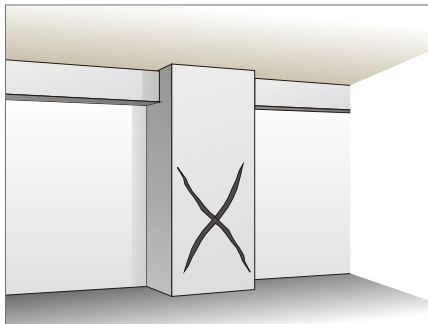
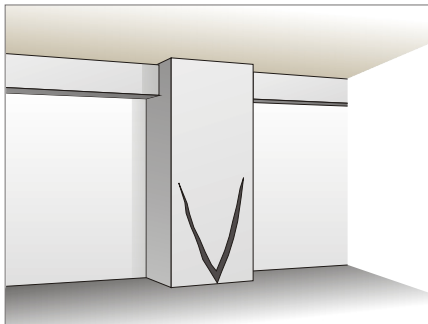
(2)柱子的檢查

① 柱子鋼筋外露

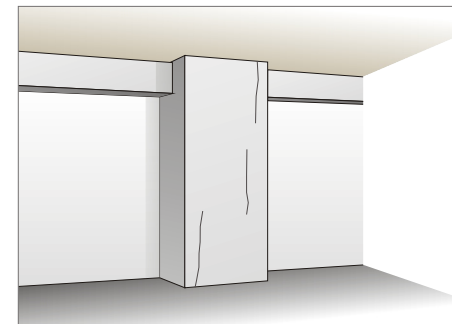
危急程度A



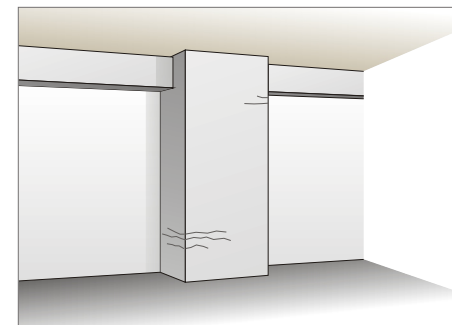
② 柱子有連續的X形、V形、倒V形、斜向或垂直向開裂
危急程度A



③ 柱子有不連續的垂直向、斜向裂縫
危急程度B

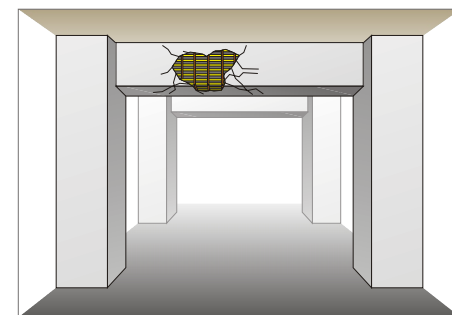


④ 柱子有細小的水平向裂紋
危急程度C



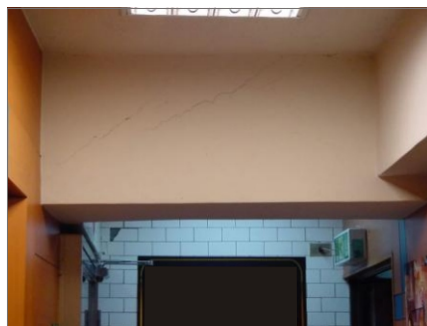
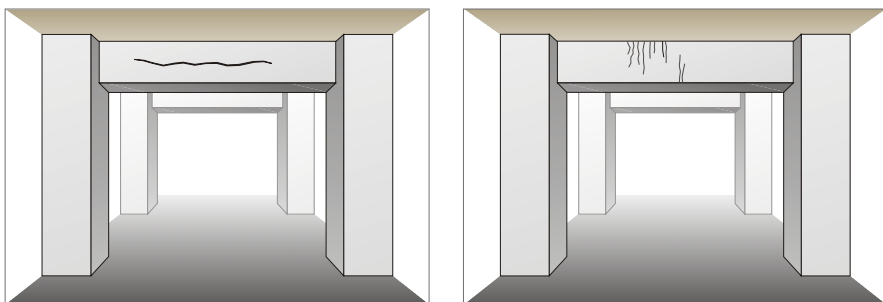
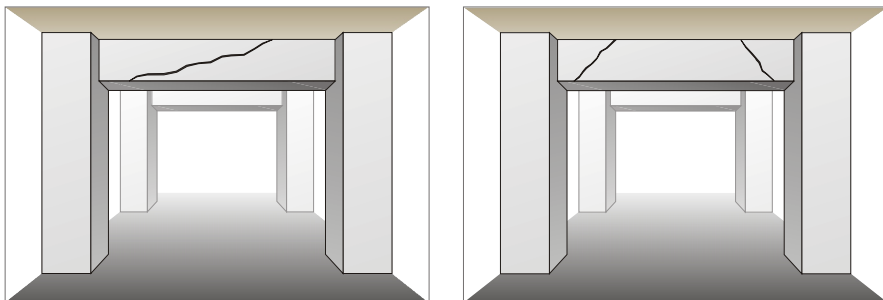
(3) 梁的檢查

① 梁的鋼筋外露
危急程度A



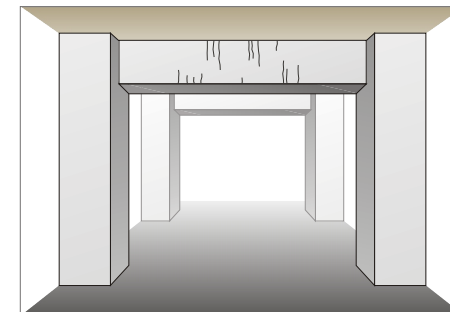
② 梁有明顯而連續的X形、斜向、水平向、垂直向裂縫

危急程度B



③ 梁有垂直向不連續的裂紋

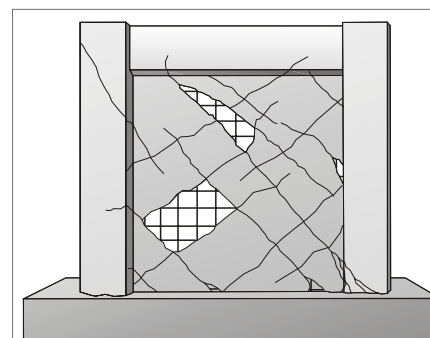
危急程度C



(4) 牆的檢查

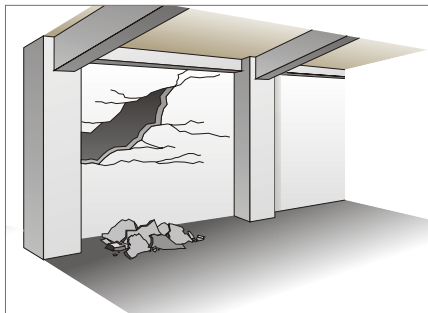
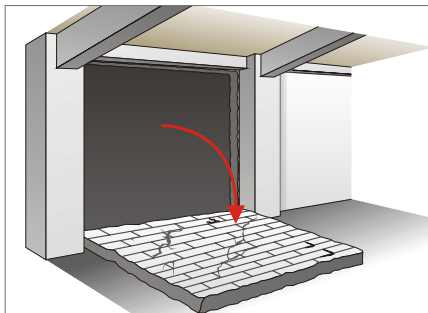
① 剪力牆的鋼筋外露

危急程度A



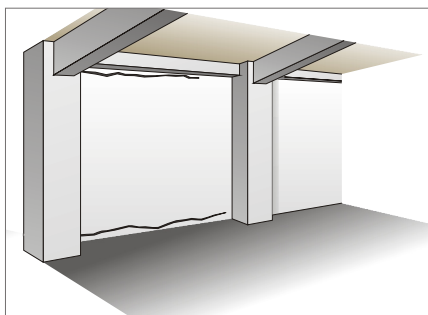
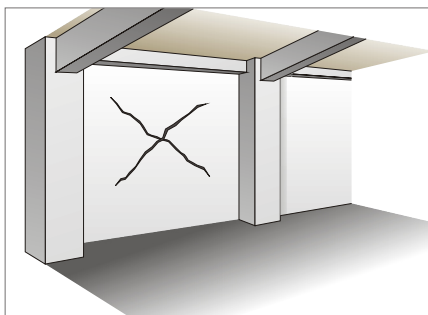
② 加強磚造房屋的承重牆、鋼筋混凝土建築的隔間牆，整片倒塌、傾斜或大面積掉落

危急程度A



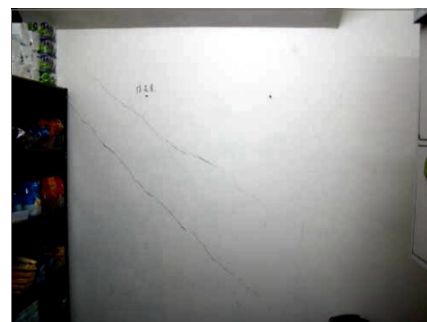
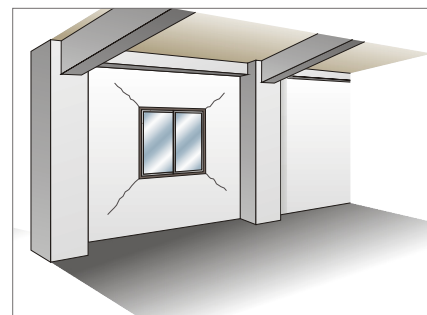
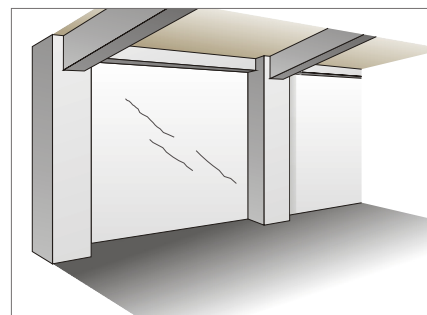
③ 剪力牆、加強磚造房屋的承重牆、鋼筋混凝土建築的隔間牆，有長而連續的開裂

危急程度B



④ 剪力牆、加強磚造房屋的承重牆、鋼筋混凝土建築的隔間牆，有短而不連續的裂紋

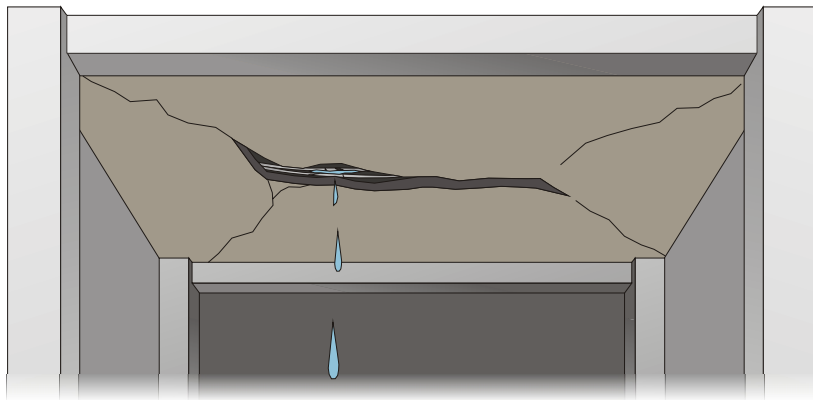
危急程度C



(5)樓板的檢查

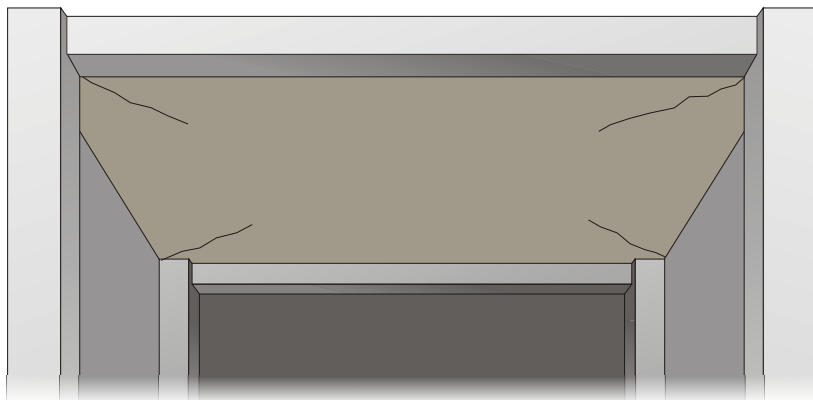
① 樓板開裂，管線破壞

危急程度A



② 樓板角隅出現裂縫

危急程度B



附錄二、選購屋舍停看聽

多數人一生只會經歷極少數次的購屋決策，購屋牽涉的，是辛苦大半輩子的工作收入，也是全家託付安身之所，萬一誤購危樓，房屋地震時倒塌，家人傷亡，將是終身遺憾。

寬敞舒適、生活機能、景觀視野等條件固然是購屋考慮項目，但更重要的是住得安全，才能讓生命與財產有保障。「安全好宅」比「優美豪宅」，更務實經濟。為避免因不知情而誤購危樓，買屋時可依下列提示檢視。

● 留意「近山不連山，近水不靠水」

為景觀和視野，越來越多的建案往河岸、山坡發展，選購鄰近河岸的住宅，記得與河岸保持適當距離，避免河岸沖刷造成地基淘空；選購鄰近山坡的住宅，記得與山坡保持適當距離，避免邊坡滑動或巨石鬆動，衝毀建築物。

● 索取地質鑽探報告

興建房屋前，建商須委託專業技師進行地質鑽探，分析建地的地質結構：土質是否鬆軟、是否為廢土回填的地基、是否有土壤液化的可能、是否臨近斷層或礦坑等。消費者購屋前可向建商索取鑽探報告，要求了解地質結構，尤其是蓋在山坡地的房屋，更應確認地質是否為「順向坡結構」。

● 留意邊坡滑移的徵兆

買山坡地的成屋前，先觀察附近的擋土牆、路面、排水溝、岩層等是否出現過大裂痕，這些裂痕可能是邊坡滑移的徵兆。此外，擋土牆與房屋的距離不可過近，並且須具備良好的排水系統，以免大雨時因水壓過大壓毀擋土牆。若已購置山坡地上的屋舍，遇颱風豪雨時，建議暫時撤離到安全的地點。

● 土壤液化防治

房屋如果位於土壤液化潛勢區域內，應確認建商在興建房屋基礎前，已做好土壤液化防治工作，防治方式可能為：動力夯實、打設砂樁、置換土壤、將基樁打入岩盤或非液化區等。

● 耐震力不因結構構造而有差別

消費者如有寬裕的購屋預算，可考慮選購減震建築或隔震建築，但無須過度執意，完全聽信廣告，以致購買售價過高的建築。事實上，任何一棟建築，只要符合耐震設計規範，無論結構形式是鋼筋混凝土構造（RC）、鋼骨構造（SC）或鋼骨鋼筋混凝土構造（SRC），都具有同樣好的耐震力。

● 留意鄰棟間距

建築物相鄰過近，地震時可能彼此碰撞而受損，甚至是倒塌。購屋時宜多加留意。

● 選擇耐震的建築外形

地基方正，外形對稱的建築，地震時不會扭轉，安全性較高。柱過於細長、一樓大廳過度挑高、樓層突出或退縮、平面形狀複雜不對稱的建築，選購時宜審慎小心。

● 檢查柱、牆的配置

柱、牆的配置，最好從基礎連貫到頂樓。購屋前應該檢查柱線是否規則對稱、柱子間距是否相距過遠、柱或牆是否已被屋主任意敲除。

● 氯離子含量檢測

為避免誤購海砂屋，買鋼筋混凝土構造的預售屋或新成屋前，請建商出具檢測證明，所使用的混凝土，氯離子含量在 0.3kg/m^3 以下。購買中古屋，可與原屋主協調，委託專業機構抽取3件以上的樣本，進行氯離子含量檢測。

● 挑高樓層的耐震問題

任何樓層挑高的建築，應留意該樓層的柱子尺寸是否加粗，或設置較多的牆壁，以避免「軟弱層效應」。

● 檢查龜裂處

買屋前，檢查結構是否有「系統性」裂縫，例如親自從頂樓走樓梯到地下室，觀察各樓層、公共空間是否有相類似的長裂縫。如果梁、柱、牆有明顯的45度角裂縫，裂縫與梁柱方向平行，或裂縫可塞入一枚錢幣，代表結構已經受損，房屋的耐震能力有疑慮。

● 避免二次施工的危害

建商或前任屋主在取得房屋的使用執照後，為了增加使用坪數，私自修改增建，例如違法夾層、陽台外推、頂樓加蓋等，都會減損結構的耐震力。萬一樓房日後在地震中受損或倒塌，責任歸咎將難以釐清。為確認房屋是否經過違法的二次施工，購屋時可請賣方提供建築竣工圖查對，或向縣市政府的建築管理單位洽詢。

● 高樓層的消防安全

根據消防法規規定，1994年以前興建的大樓，11樓以上的樓層須安裝灑水系統；1995年以後興建的大樓，若樓高超過15層樓，則每層樓皆須安裝灑水系統，而且大樓中必須以防火材質設置防火避難層。

● 消防通道寬度

巷道的寬度應大於3.5公尺並隨時保持暢通，萬一發生火災時，消防車可以駛入。救火處至少需要4.1公尺寬的操作空間，6層樓以上的建築物需要更大的救災空間，以便雲梯消防車操作。

● 社區管理委員會

管理委員會運作良好的社區，可發揮監督，限制住戶任意拆除牆面或改變房屋結構，而影響整體建築的安全性；也不允許住戶將私人物品堆放在逃生梯，阻礙逃生路線。經由社區居民的共識與凝聚力，共同管理居住環境的安全。

● 仔細閱讀交易條款

購屋簽約時，要仔細閱讀交易條款，避免權益受損。此外，可將房屋銷售時所印製的宣傳品保留下來，作為驗屋依據。

● 監督施工品質

向長期經營、信譽良好的建商購屋，工程品質相對較有保障。建築施工期間，消費者可聯合起來向建商索取建築執照影本、施工藍圖、鋼筋或鋼骨的出廠檢驗證明影本、建材品質證明文件(如混凝土強度)，並經常到工地監看施工品質，如主筋搭接、箍筋綁紮等，可拍照存證。相關文件建議保存，方便日後賣屋時佐證「好宅」。

附錄三、地震工程相關網路資源

■ 地震相關資訊

● 中央氣象局

<http://www.cwb.gov.tw>

天氣預報、天氣觀測、地震測報、颱風資訊
「地震百問」介紹地震的基本知識

● 地震聯合研究機構全球地震監視系統

Incorporated Research Institutions for Seismology

<http://www.iris.edu/seismon>

全球即時地震觀測資訊

● 美國國家地質調查所地震災害調查與研究

U.S. Geological Survey Earthquake Hazards Program

<http://earthquake.usgs.gov>

全球地震資訊彙整與研究

● 經濟部中央地質調查所

<http://www.moeacgs.gov.tw>

全國地質、礦產、斷層之調查及研究

● 經濟部中央地質調查所臺灣地質知識服務網

<http://twgeoref.moeacgs.gov.tw>

臺灣地區及鄰近海域之地質科學相關知識、調查文件與圖庫分享

■ 地震工程學習網站

● 北一女中地球科學學習網站

<http://earth.fg.tp.edu.tw>

臺北盆地與臺灣島的形成、板塊運動、地震、海嘯等地球科學知識

● 阿山的地科研究室

<http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/index-Earthquake.html>

古地震研究、地科教室、地質公園

● 國立科學工藝博物館撼天動地地震科學探索

<http://www3.nstm.gov.tw/earthquake>

地震科學、地震工程探索

● 國家地震工程中心

<http://www.ncree.org>

耐震技術研究、地震災損快速評估、建築物結構實驗

● 921地震教育園區

<http://www.921emt.edu.tw>

保存921地震遺址，記錄地震史實，提供社會大眾及學校有關地震教材。園區隸屬於「國立自然科學博物館」

● 921網路博物館

<http://921.gov.tw>

921地震相關的文獻、照片、影音、故事、活動宣傳、教育資源、地震遺址介紹

● 日本名古屋大學環境學研究科－福和實驗室

http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/labofT/bururu_english/index.htm

有趣的地震工程科普實驗

■ 防救災相關單位

● 內政部消防署全球資訊網、消防影音新聞台

<http://www.nfa.gov.tw>

消防法規查詢、火災預防知識、消防救災與緊急救護資訊

<http://enews.nfa.gov.tw/V4index-enews.asp>

消防小常識、消防教室、救災實錄

● 內政部營建署

<http://www.cpami.gov.tw>

建築物耐震設計規範及解說

● 行政院災害防救委員會

<http://www.ndppc.nat.gov.tw>

災害防救計畫、跨部會災害防救協調整合

● 行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網

<http://246.swcb.gov.tw>

土石流警戒及防災資訊、親子線上學習、重大土石流災情報告

● 行政院原子能委員會

<http://www.aec.gov.tw>

輻射屋查詢、環境輻射偵測

■ 專業技師公會

● 臺北市土木工程技師公會

<http://www.tpce.org.tw/>

結構安全評估、水土保持設施評估

● 臺北市結構工程工業技師公會

<http://www.tsea.com.tw/>

結構安全鑑定、結構補強鑑定、耐震能力評估

● 臺北市／臺灣省大地工程技師公會

<http://www.pga.org.tw/>

工址地盤調查、土層與岩心鑑定、擋土結構及支撐、地盤改良及灌漿、邊坡穩定

● 臺灣省土木工程技師公會

<http://www.twce.org.tw/>

結構安全評估、水土保持設施評估



耐震安全的家－認識地震工程

出版單位：財團法人國家實驗研究院
國家地震工程研究中心

發行人：蔡克銓

編輯群：李政寬、張惠玲、邱世彬

美術編輯：黃育仁

地址：臺北市辛亥路三段200號

電話：02-66300930

出版日期：2009年9月

