

## 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



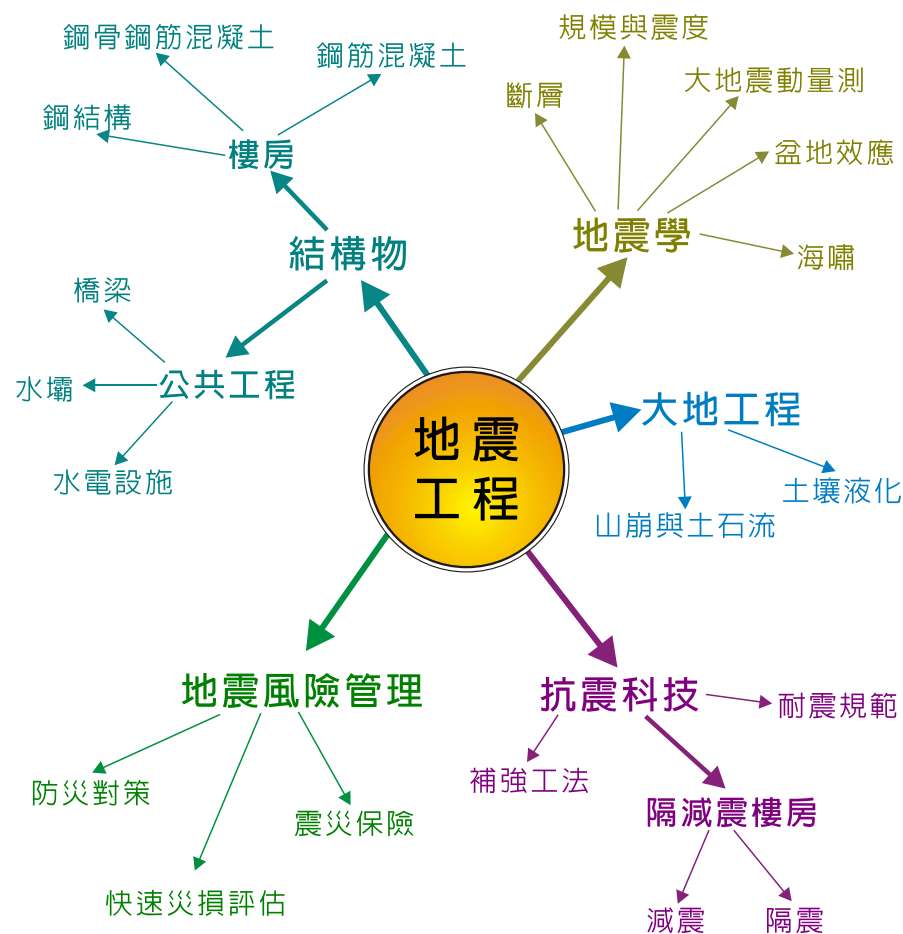
地震工程科技涵蓋的層面廣泛，凡是能減輕震災程度、迅速恢復社會機能的科技，都屬相關範疇。如果以上、中、下游的觀點區分，地震工程科技的上游是地震學、中游是工程技術、下游是災害風險管理，每個領域皆相當專業而繁浩。

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

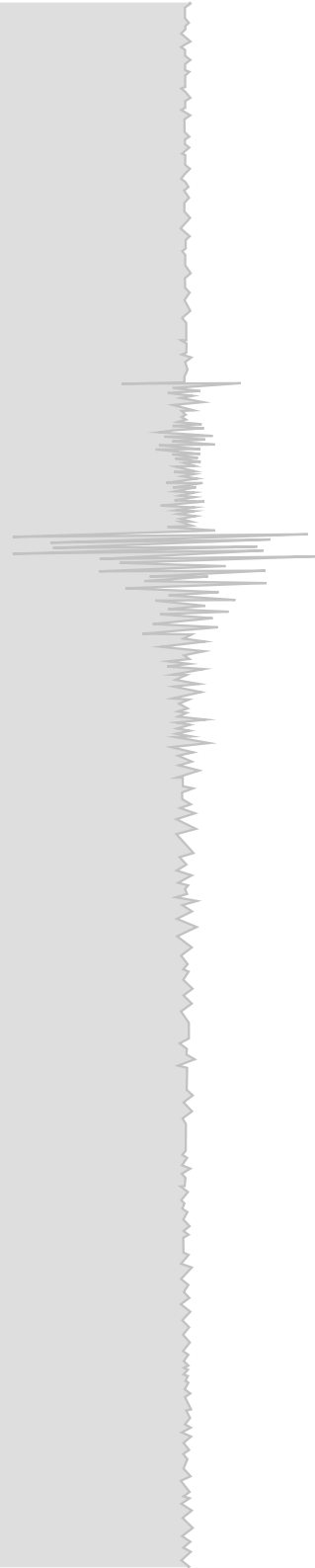
### 地震工程的架構：



## 目 錄

	頁次
<b>第一章 地震概說</b>	
(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
<b>第二章 地震災害與大地環境</b>	
(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
<b>第三章 地震與樓房振動</b>	
(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
<b>第四章 房屋結構的介紹</b>	
(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
<b>第五章 地震工程科技</b>	
(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
<b>第六章 居家抗震</b>	
(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
<b>附錄一、屋舍震後檢查</b>	230
<b>附錄二、選購屋舍停看聽</b>	240
<b>附錄三、地震工程相關網路資源</b>	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。這一連串的發現之前，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，地震是一種稱為鯨魚的動物所引起的；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。

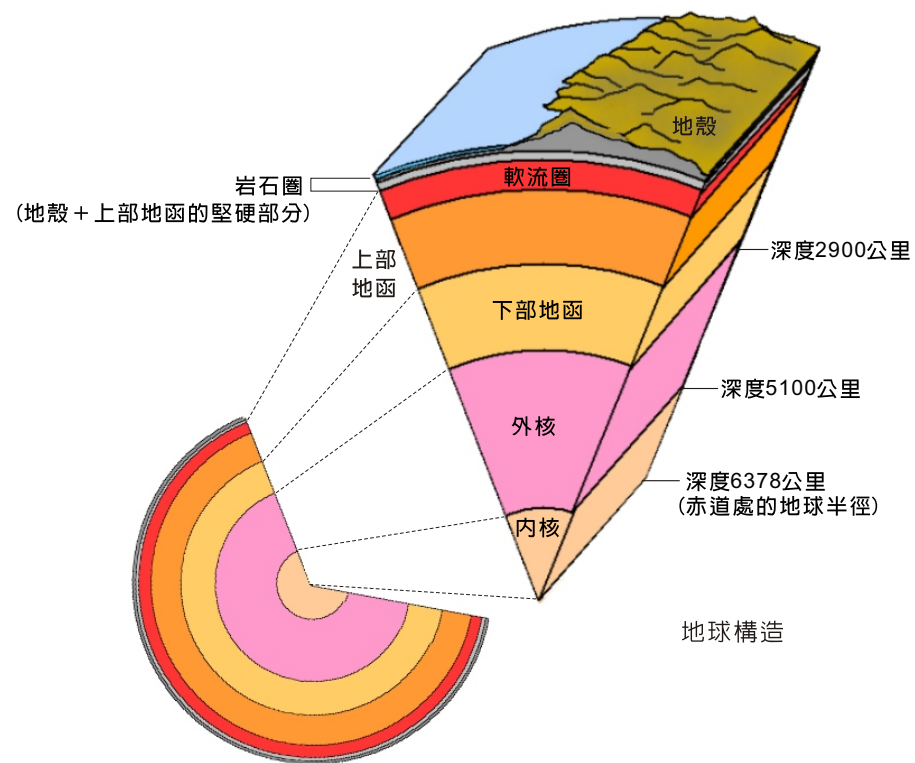
在臺灣，早期的住民認為地底有一頭大地牛在睡覺，每當牠睡醒翻身，就會牽動大地，引發地震，因此發生地震時，人們就說：「地牛翻身了！」



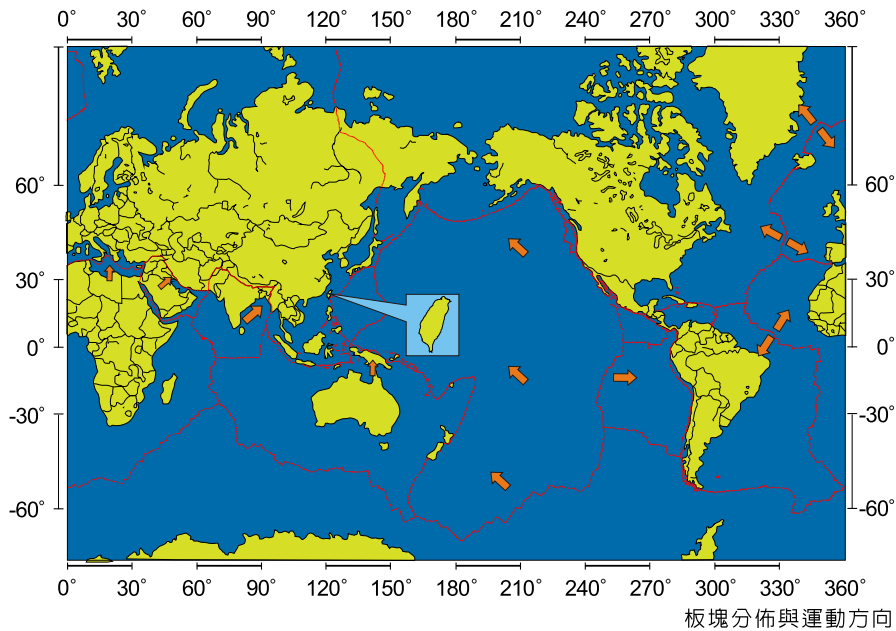
### ■ 板塊運動

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。

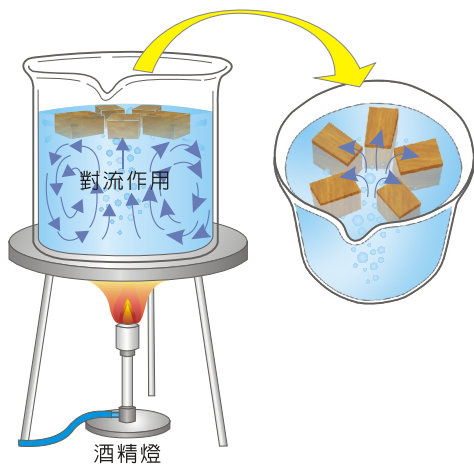


地殼就是我們所站著的土地，平均厚度只有35公里。如果把地球以蘋果來比喻，地殼的厚度相當於蘋果皮，不過這個「蘋果皮」並非完整連續，而是像拼圖一樣，由一塊一塊的板塊拼湊而成的。



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：

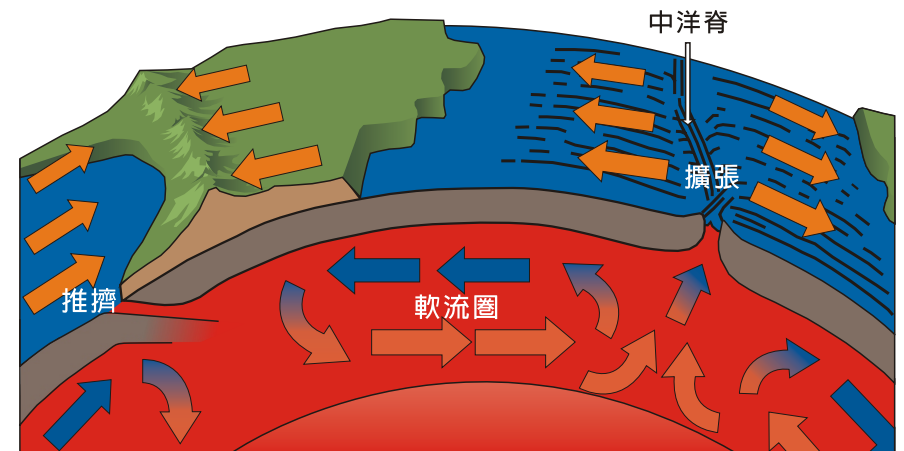


將裝有水及小木片的水杯加熱，水的對流作用會使木片往遠離熱源的方向移動。

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。

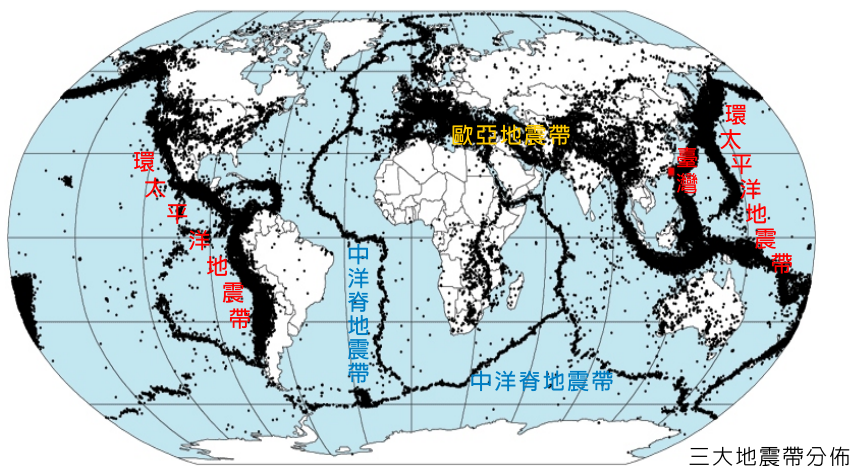
地殼下方的軟流圈，因為地球內部的高溫產生旺盛的對流作用，經常有熔岩自中洋脊湧出。冷卻後的熔岩形成新的岩塊，使中洋脊兩側的板塊不斷往外擴張，因而對相鄰的板塊造成推擠。

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。

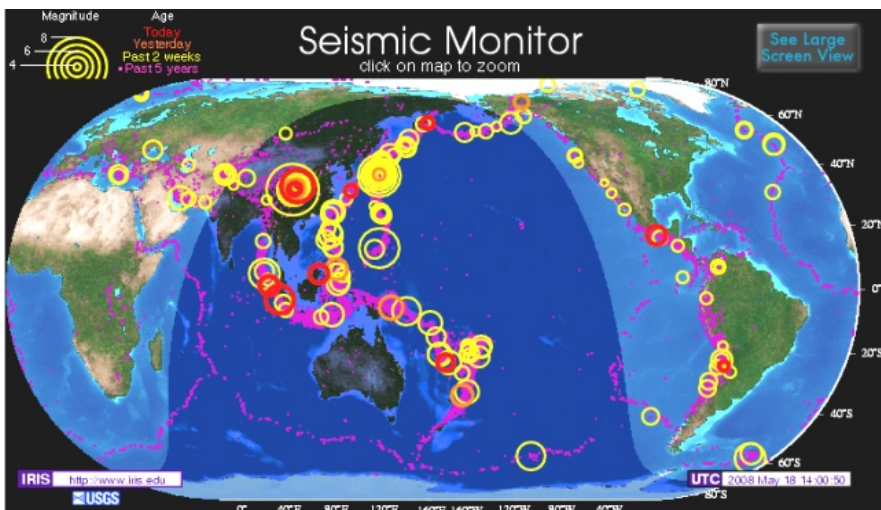


## ■ 地震帶

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%。



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。

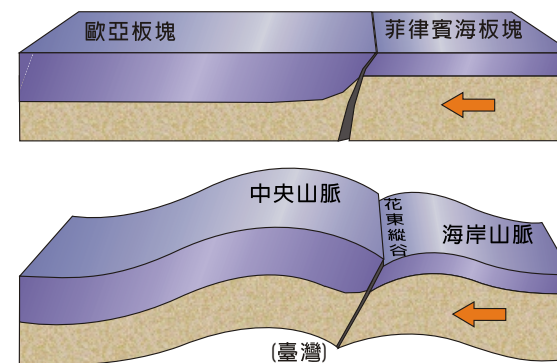


圖中粉紅點代表擷取日期前2週至5年間規模4以上地震的震央位置；紅色、橘色、黃色的圓圈分別代表擷取日當天、前一天和過去二週內，規模4以上地震的震央與規模，圓圈越大代表規模越大。

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。

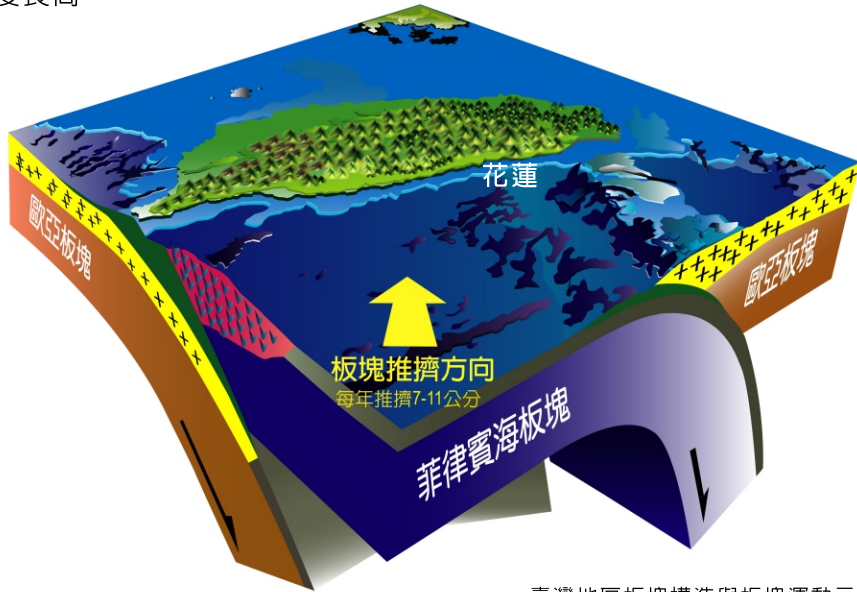


臺灣在地形上以花東縱谷為界，左右分屬不同的板塊，縱谷以東的海岸山脈屬於菲律賓海板塊，以西的中央山脈及西部山麓平原屬於歐亞板塊。



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。

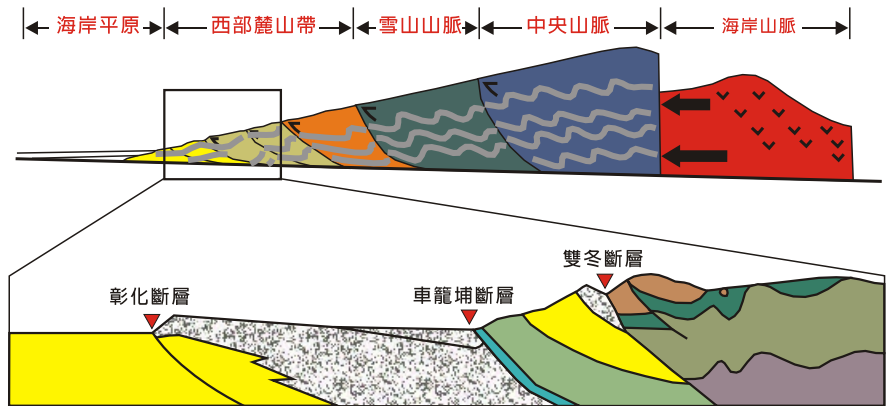
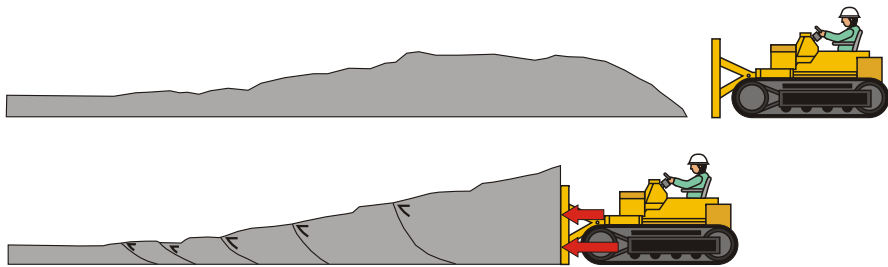
臺灣的造山運動造成複雜的褶皺地形和斷層，直到今天，菲律賓海板塊仍然以平均每年7~11公分的速度向歐亞板塊推擠，使中央山脈海拔高度持續上升，碰撞前緣的海岸山脈，每年以大約2~3公分的速度長高。



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。



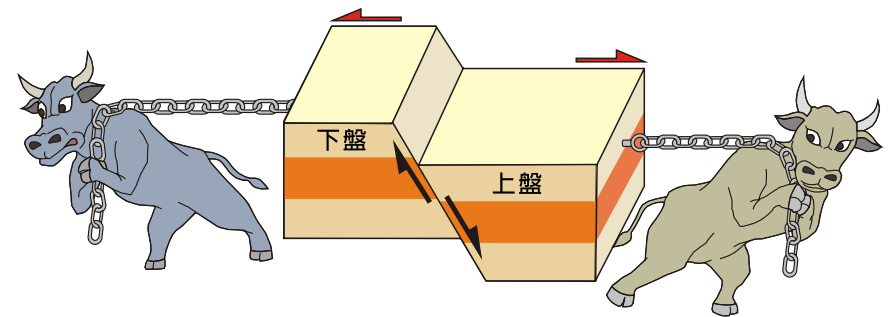
以上「推土機模型」示意圖參考自美國構造地質學者John Suppe的「薄皮構造理論」

### ■ 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

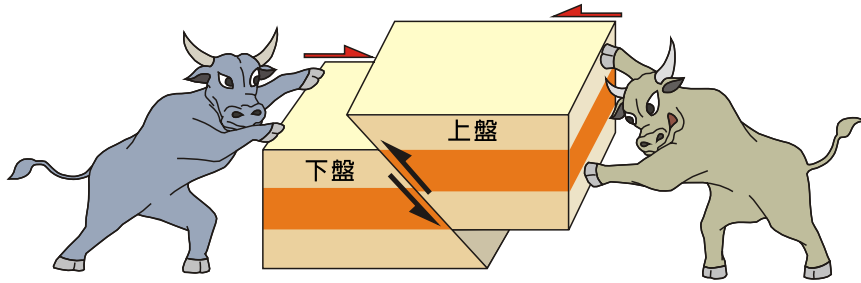
上盤的岩體相對於下盤，向下移動的斷層。





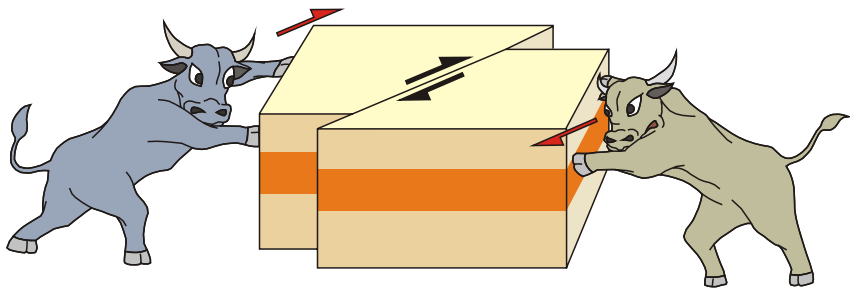
## ●●逆斷層

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。

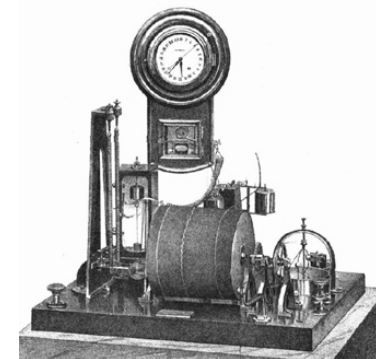


車籠埔斷層槽溝開挖，可以看出斷層活動的痕跡／  
照片來源：臺大地質系陳文山教授

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。

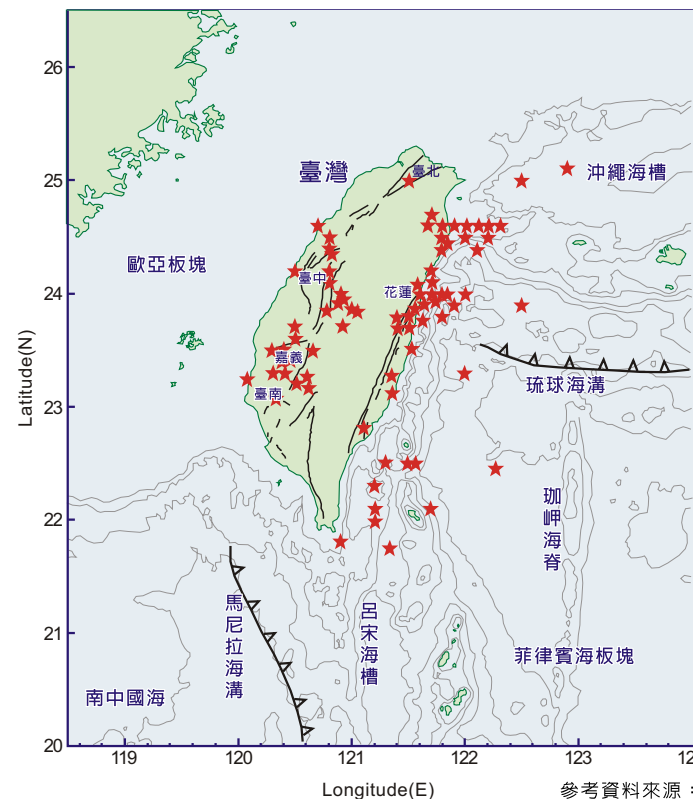
### ■ 近代重大災害地震

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。

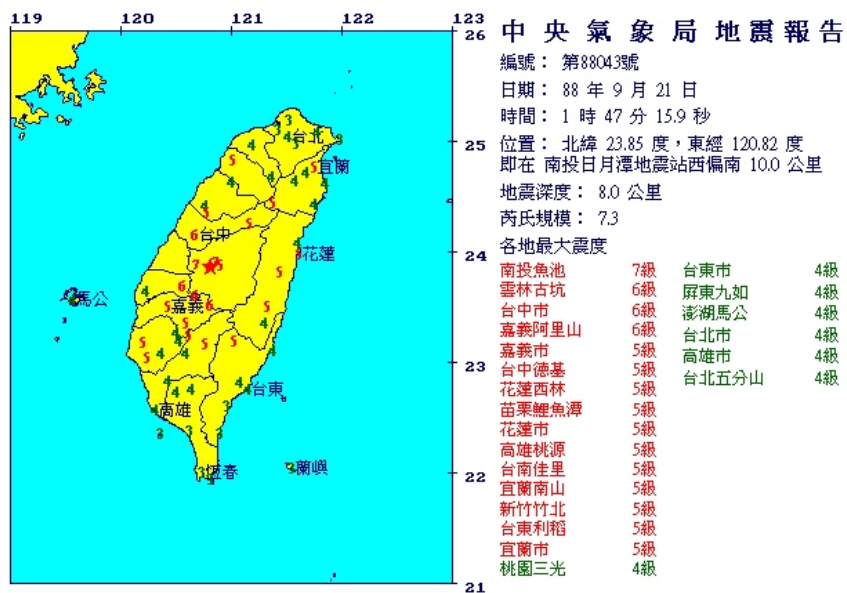


彎曲的舊鐵軌與一旁新建的鐵道

### (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？



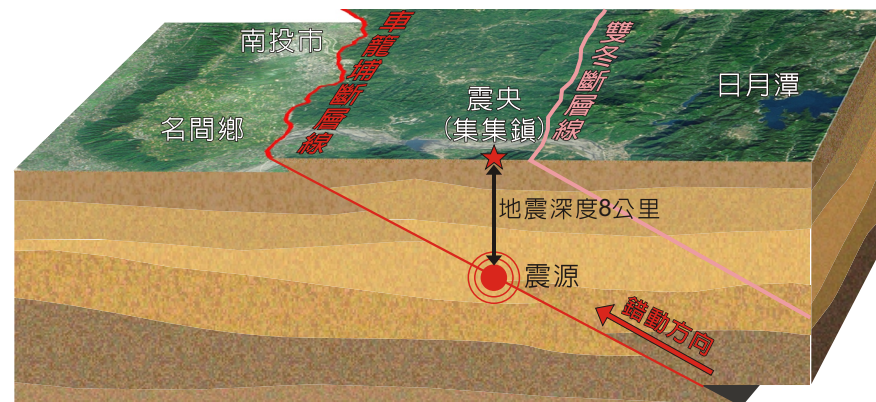
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

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）

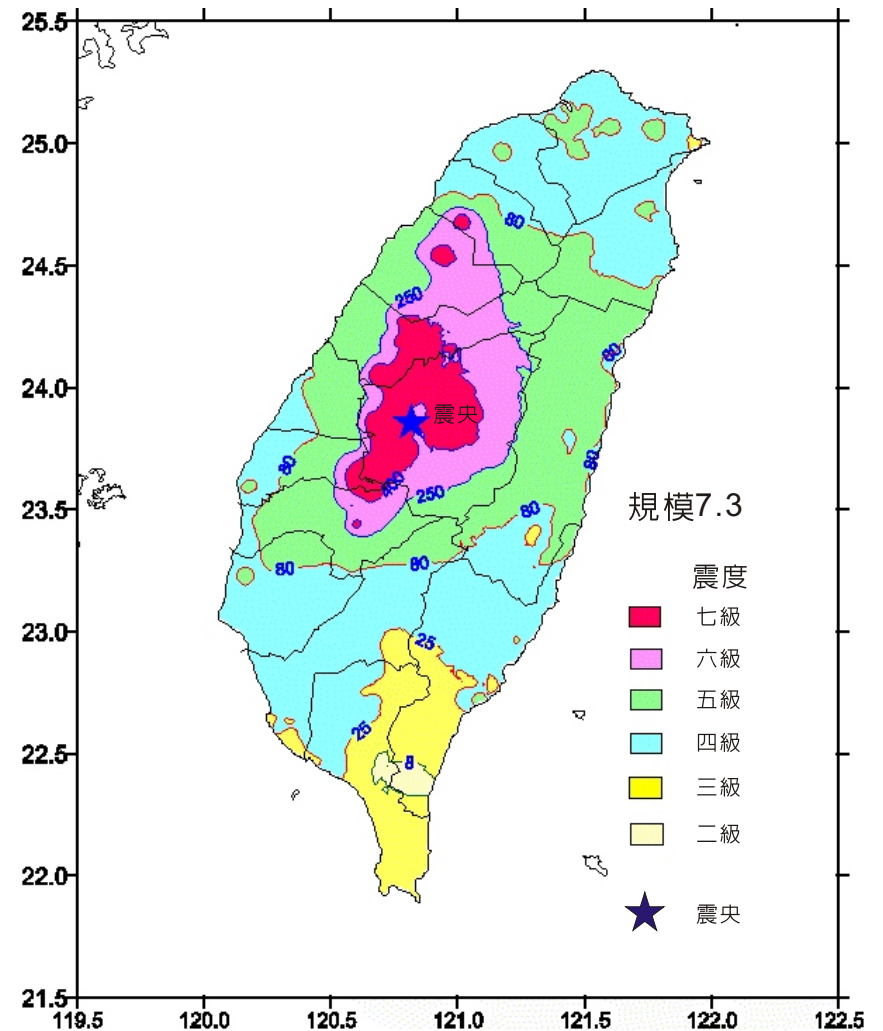
震度是指地震時人們對於地面震動的感受程度，或物品因震動遭受破壞的程度。中央氣象局利用地震觀測站所記錄的最大加速度，計算出各地區的最大震度，表達方式為數字後加「級」，如：「臺中市6級」、「臺北市4級」。

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

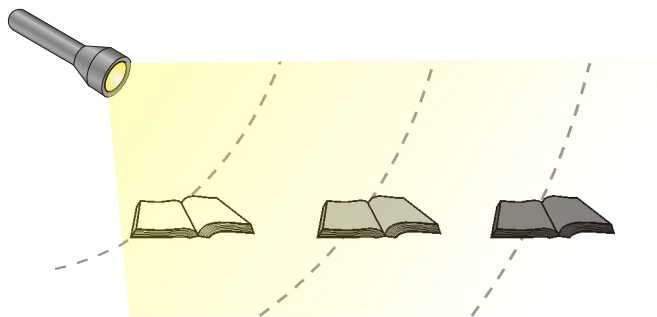
註2 資料來源：美國地質調查局 (USGS)

● 921集集地震等震度圖

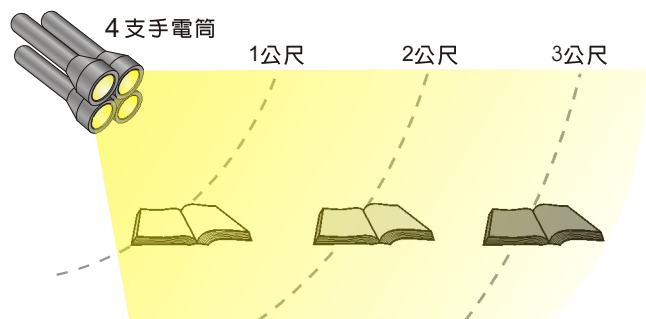
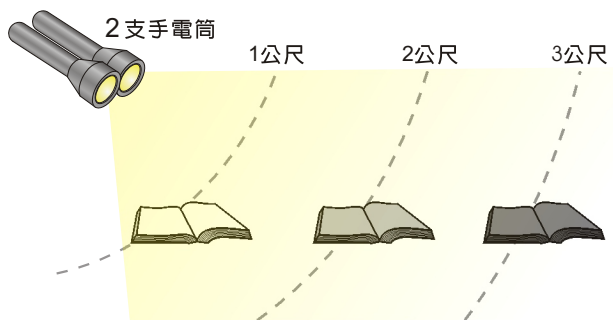


圖片來源：中央氣象局

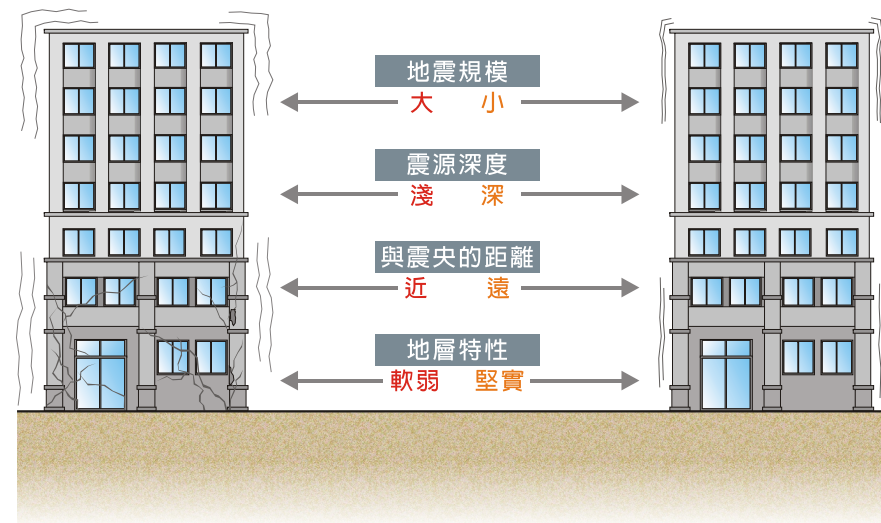
通常距離震央越近，震度越大；距離震央越遠，震度越小。這個原理就如同以手電筒照射物品，距離光源越近的物品看起來越亮，距離光源越遠的物品看起來越暗。



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。

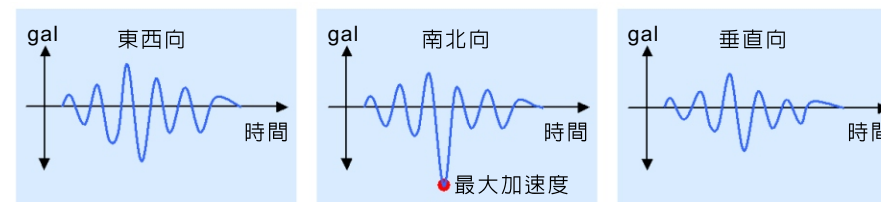


影響某個地點震度大小的因素包括：地震規模、震源深度、與震央的距離、該地的地層特性等。一般來說，地震規模越大、震源越淺、離震央越近、地層越軟弱，感受的震度越大，對建築物的傷害也越大。



### ■ 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。

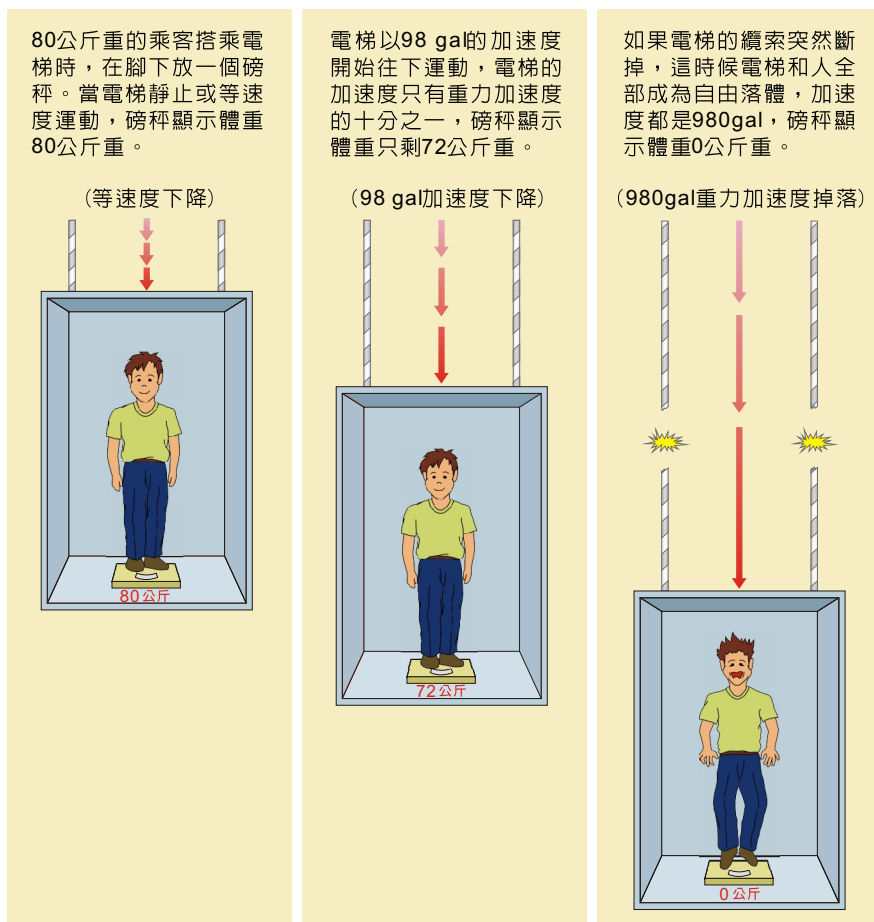


地震時，地震儀分別記錄三個方向的地表加速度，地震震度即是依據最大加速度劃分

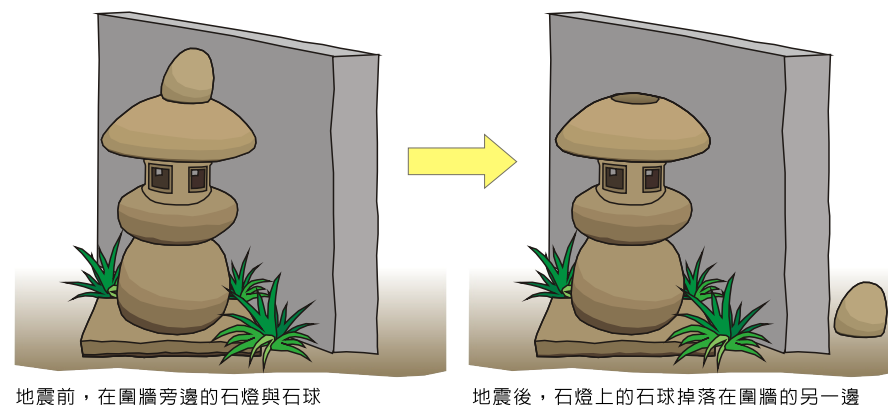


前頁圖中，「gal」是加速度的單位， $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm} / \text{sec}^2$ 。980 gal 大約等於一個重力加速度（1g），也就是物體從天空中落下，掉落速度加快的程度。以生活經驗來說，就像走路時不小心腳底踩空墜落，搭電梯時不幸遇上纜索斷裂電梯墜落的感覺。

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：



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？

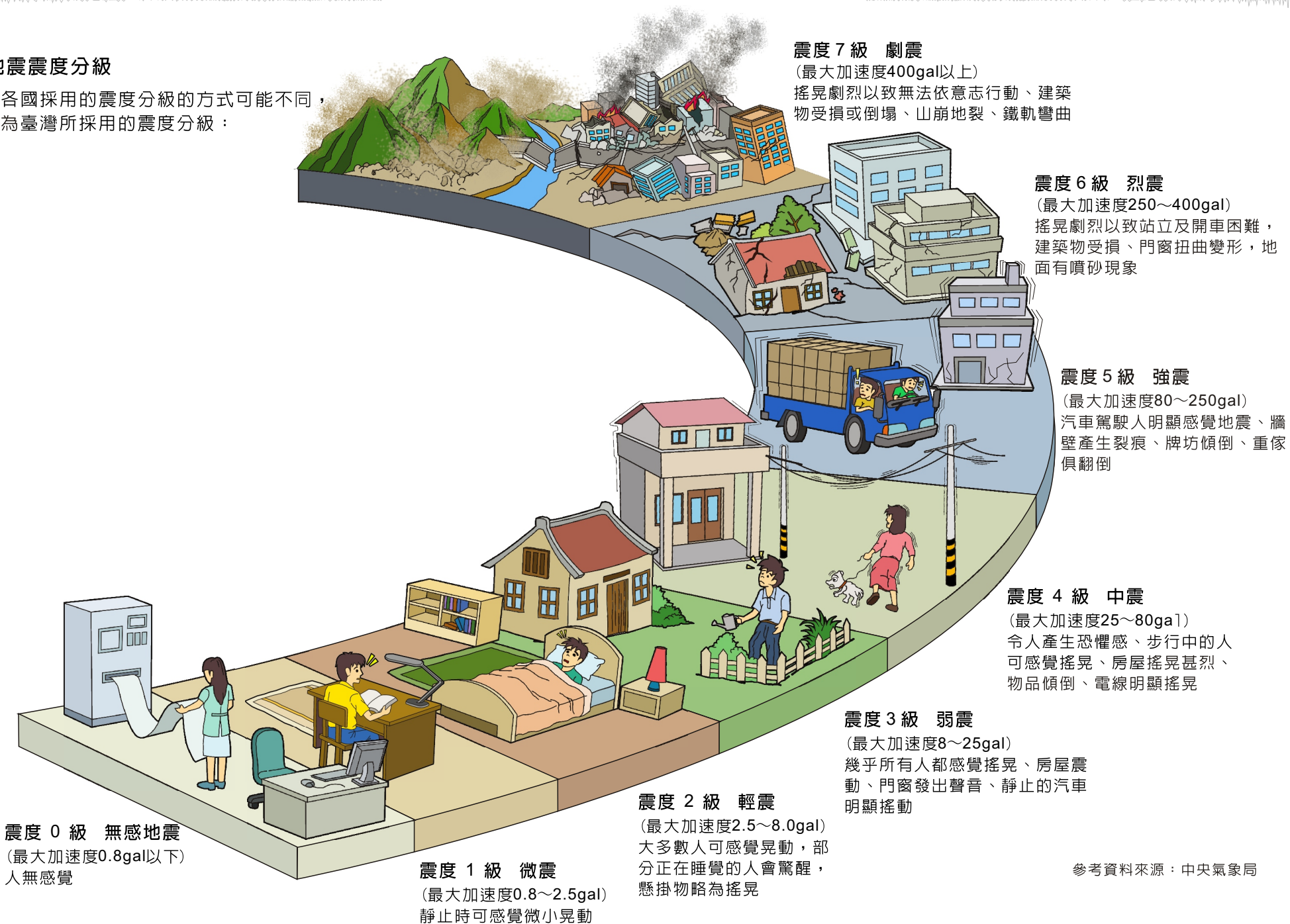


推測地震時可能的情形如下：

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：

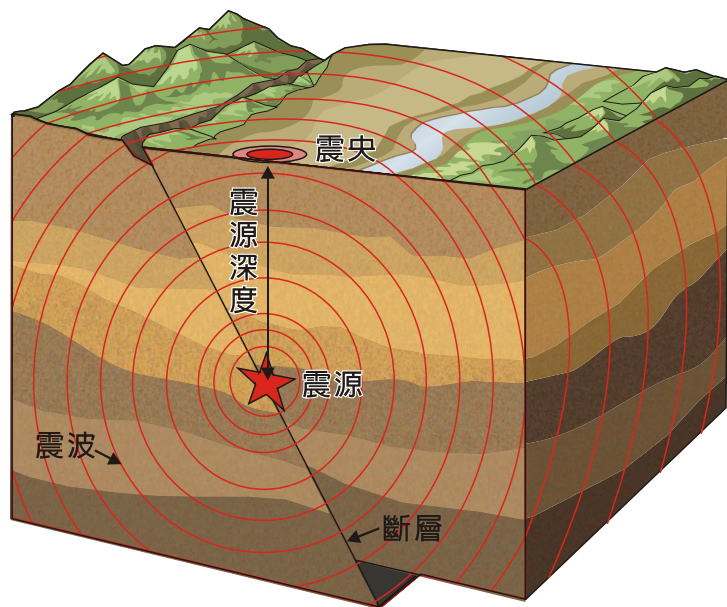


參考資料來源：中央氣象局

#### (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。

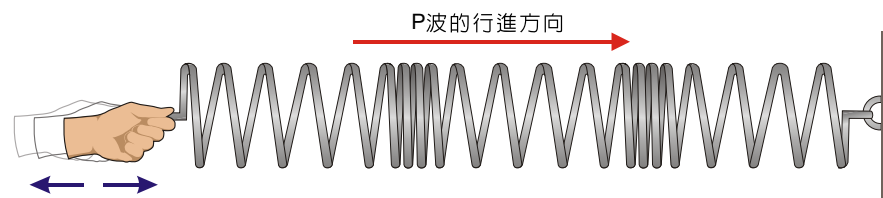
體波因為傳遞速度的差異，又分為P波和S波，地震觀測人員可以根據不同地震觀測站所偵測的P波和S波抵達時間差及震動幅度，計算出震央位置、地震規模與最大震度。



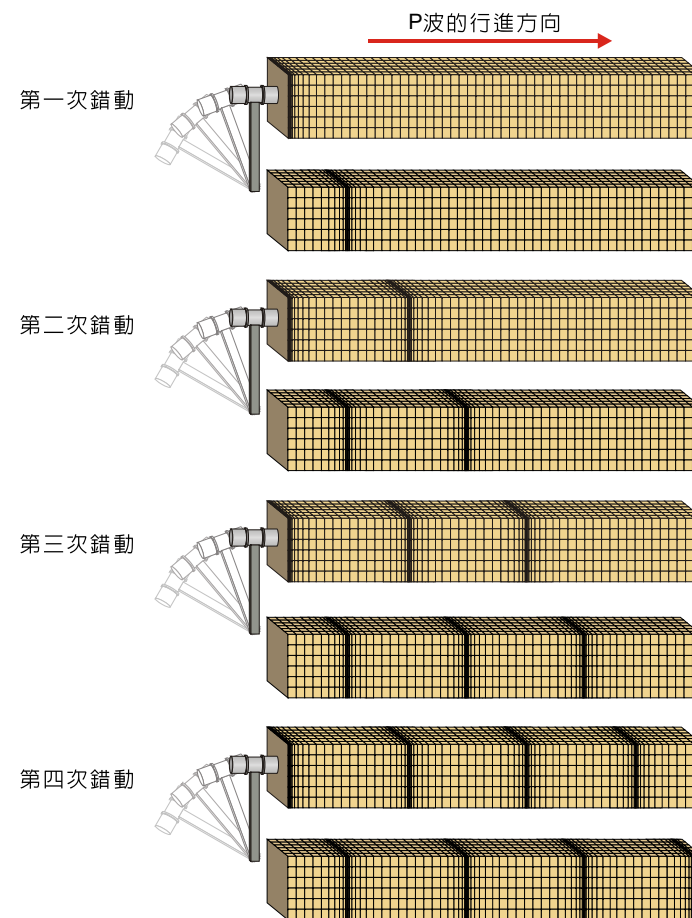
#### ■ P波

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。



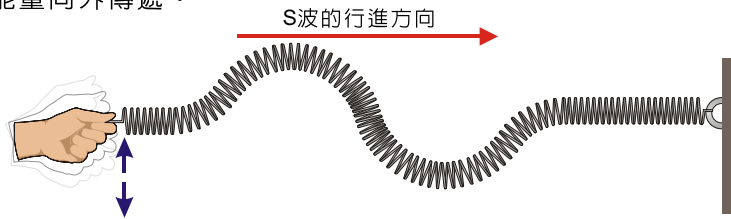
斷層開裂過程會不斷地製造出一波波的P波。



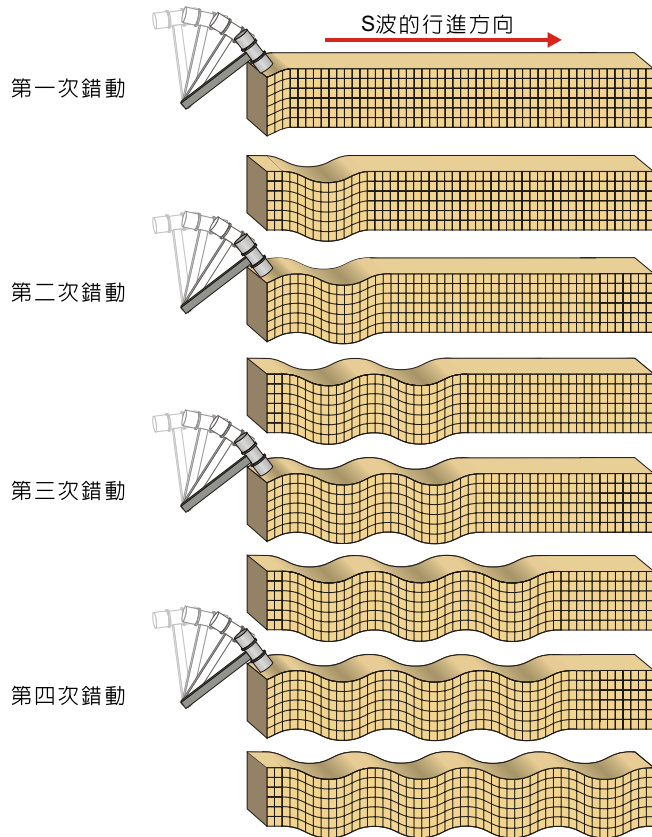
## ■ S波

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。

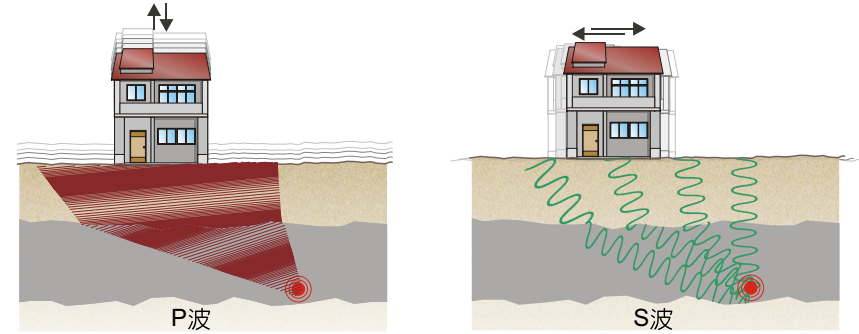
S波的行進就像將彈簧的一端固定在牆上，另一端用手抓住上下甩動一樣，波的行進方向與介質的振動方向是垂直的，藉由介質的變形，能量向外傳遞。



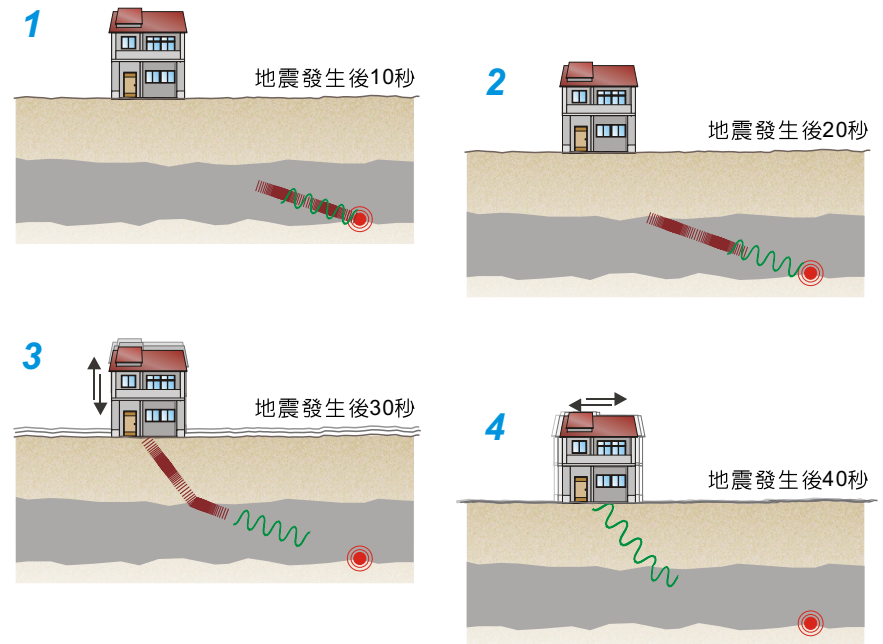
斷層開裂過程會不斷地製造出一波波的S波。



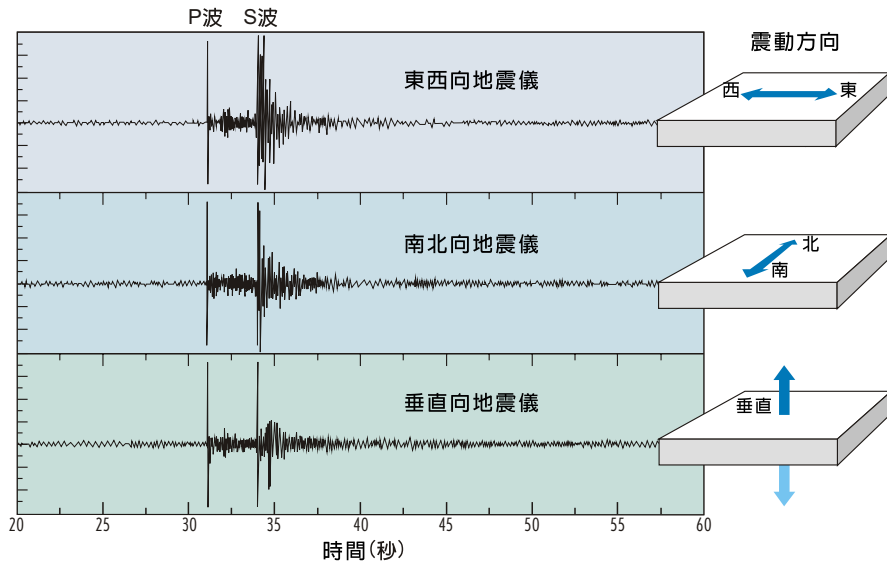
P波帶給人的感受是地表、房屋等上下震動，不過震動量通常較小；而S波帶給人的感受，則是歷時較長而且強烈的水平搖晃，所帶來的破壞性通常也較高。



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。

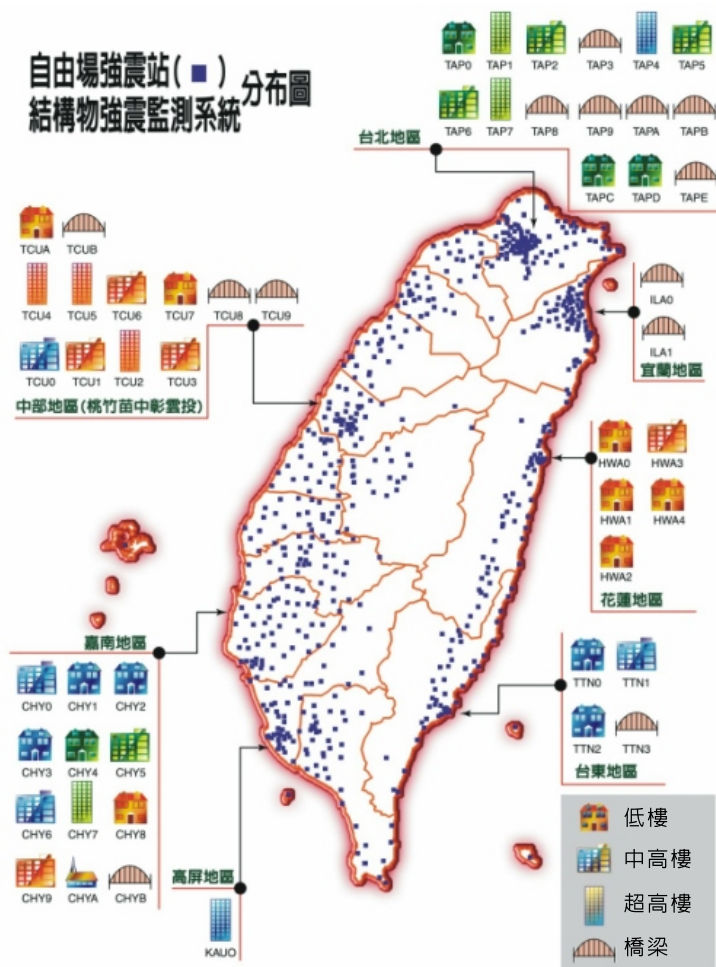


下圖為某次地震時，某地震觀測站的地震記錄。該地震觀測站共有東西向、南北向、垂直向三部地震儀，記錄不同震動方向的地震加速度，從圖中可以明顯看出P波和S波抵達的時間，大約相差3秒。



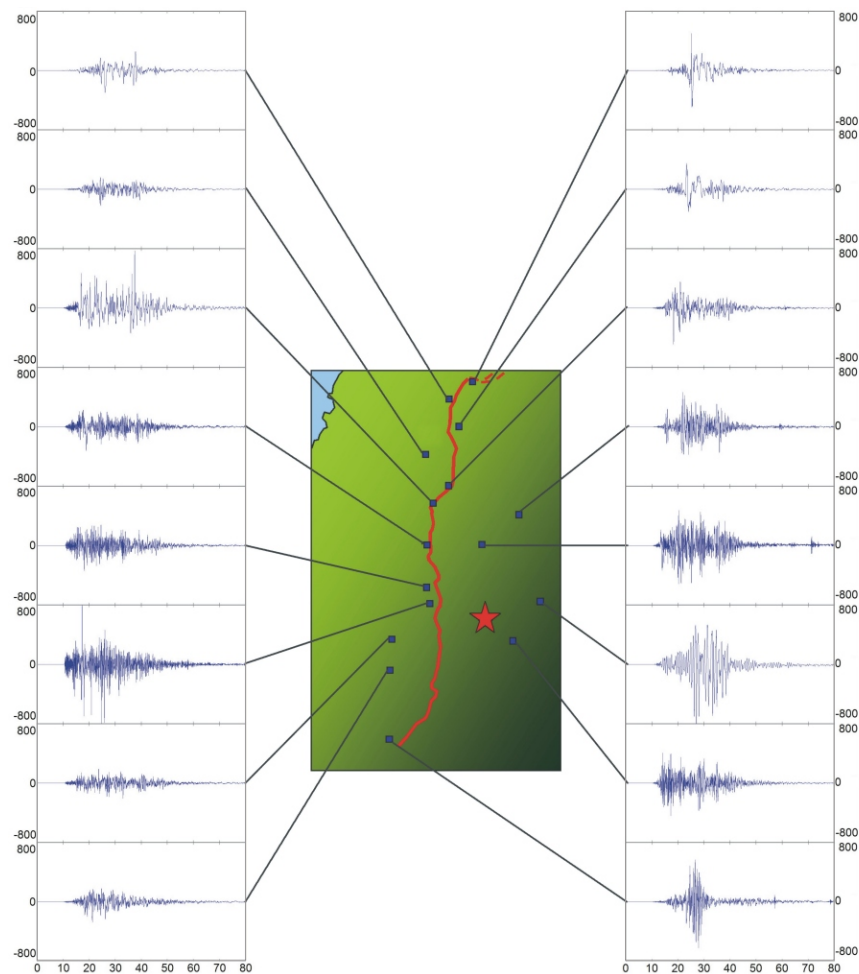
## (五) 中央氣象局地震觀測網

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。



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。