

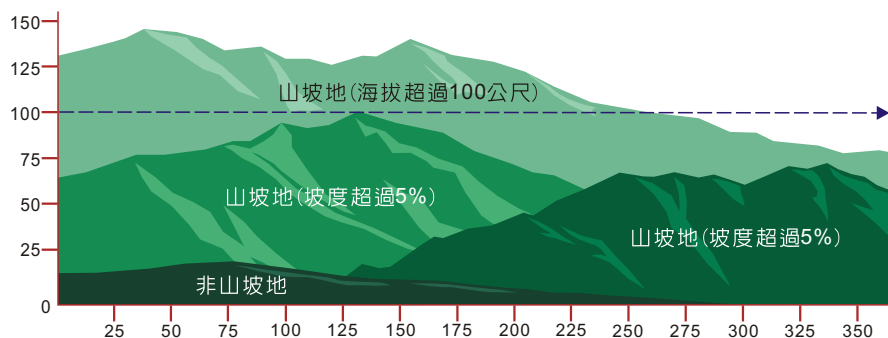
第二章 地震災害與大地環境

- (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

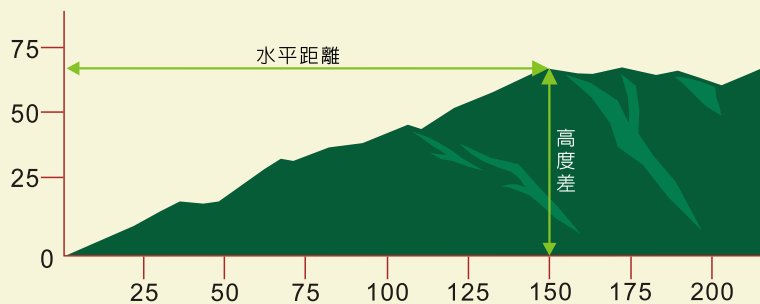
肇因於造山運動，臺灣地區地質結構複雜多變，地勢高聳崎嶇，有超過百分之七十三的地表面積的屬於**山坡地**（海拔高度超過100公尺，或未超過100公尺但坡度達5%以上的區域）。山坡地如果位處地層結構破碎帶，逢豪雨或地震，地理環境容易發生大變遷，天然災害發生在山坡地的機率遠比平地為大。

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。



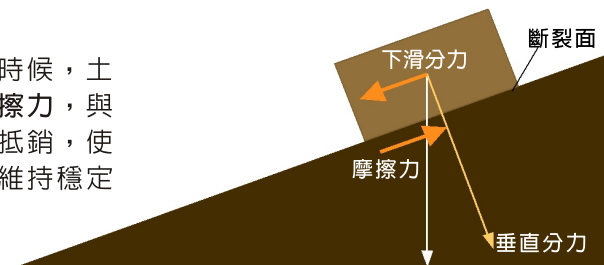
坡度的計算方式為：高度差÷水平距離

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

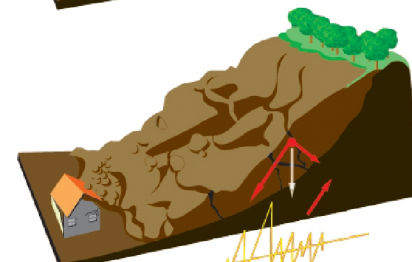
山坡地在平常的時候，土塊和斷裂面之間的摩擦力，與土塊的下滑分力互相抵銷，使地層不會滑動，坡面維持穩定平衡的狀態。



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

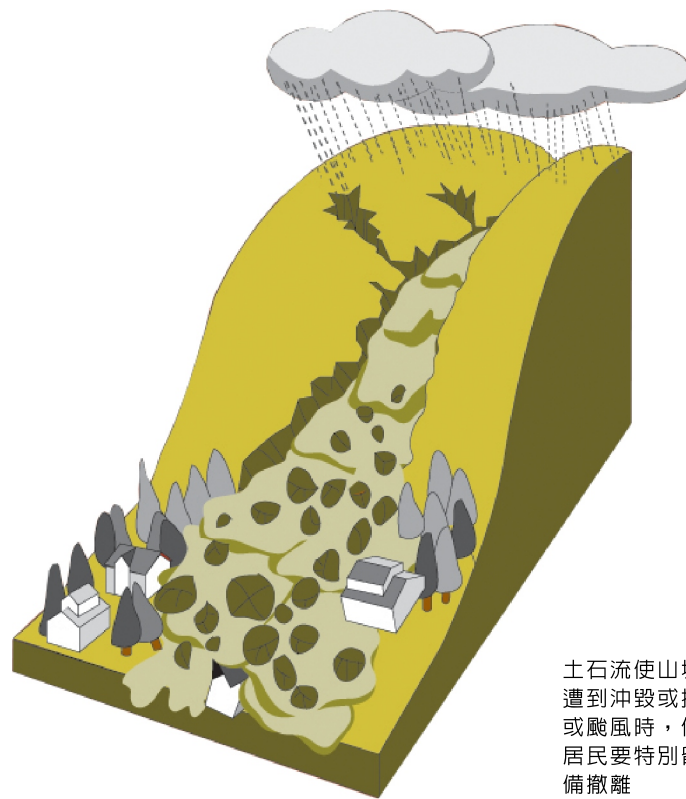


921集集地震造成南投九份二山山崩，十餘戶人家在睡夢中遭到活埋

■ 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

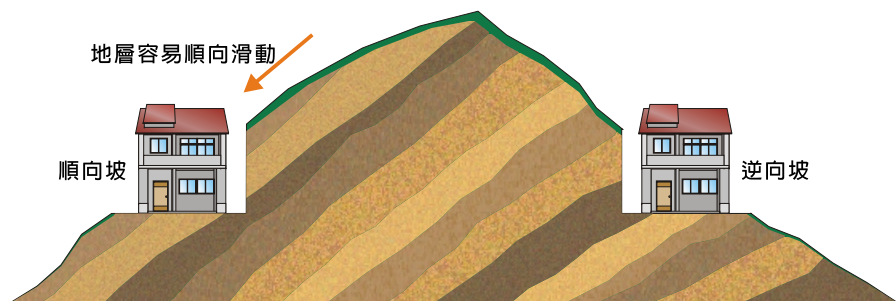


2008年辛樂克颱風夾帶的豪雨，在南投縣廬山溫泉風景區引發嚴重的土石流災情，造成二棟飯店倒塌、多家飯店地基海空／楊士德攝

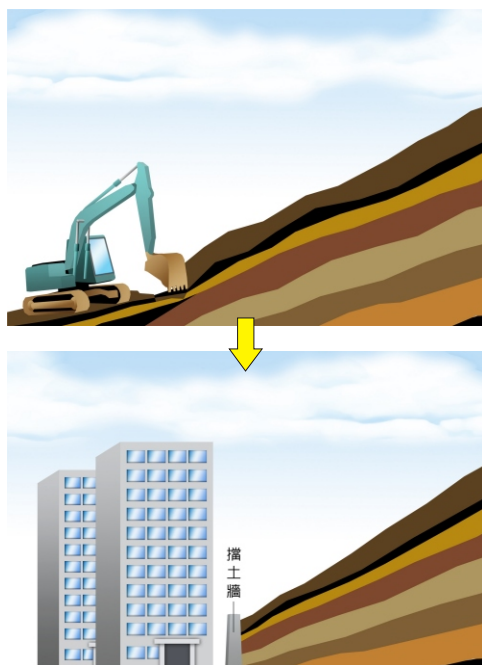
■ 順向坡破壞

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。

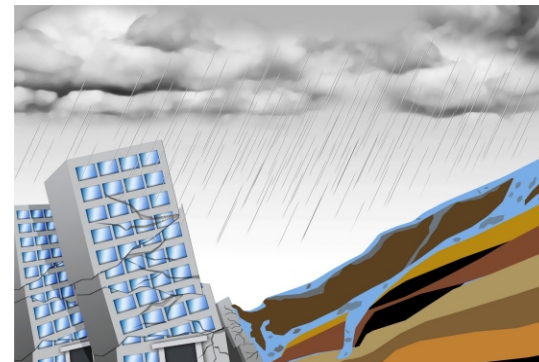
工程師不建議在陡峭的山坡地上興建房子，但如果非得要在這樣的山坡地上蓋房子，下圖中你會選擇蓋在哪一側呢？



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

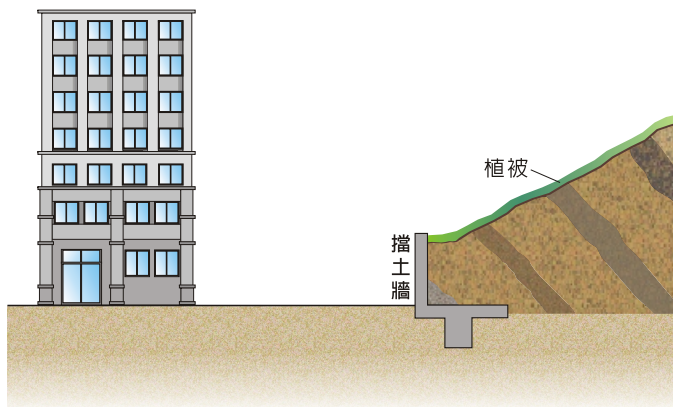


林肯大郡社區附近可以看到明顯的順向坡地層結構

■ 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



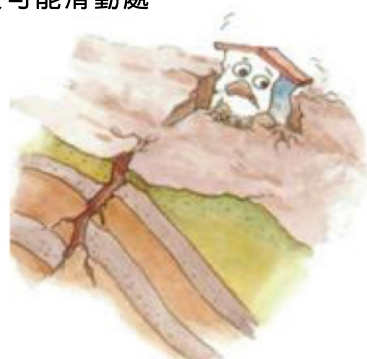
● 坡度陡峭的山坡地



● 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

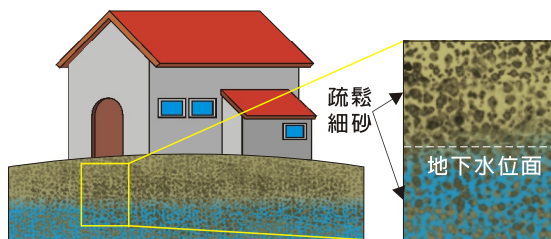


危險的河岸崖邊。崖邊在921集集地震中崩塌，使得上方的房子岌岌可危／照片來源：飛虎空中攝影

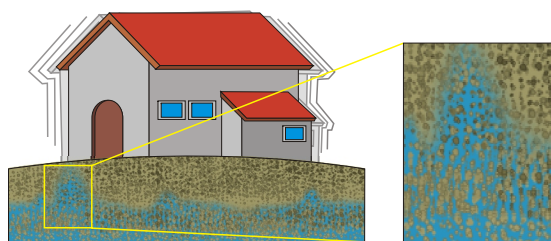
(三) 土壤液化現象與防治

■ 什麼是土壤液化？

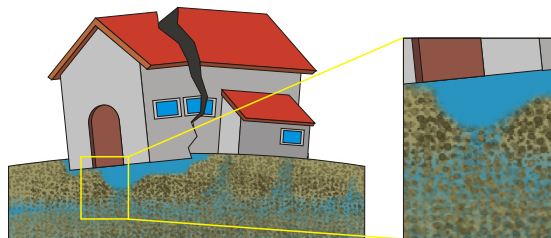
在地下水位高、土層為疏鬆細砂，地下水位以下的土壤顆粒間充滿水分，顆粒暫時維持穩定的狀態。



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。



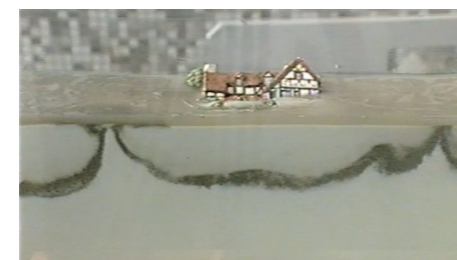
為方便實驗觀察，將部份灑入的細砂先行染黑，並且在地表面放置一個建築物模型。此時地表是乾砂，地下水位在地表下數公分處。



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。



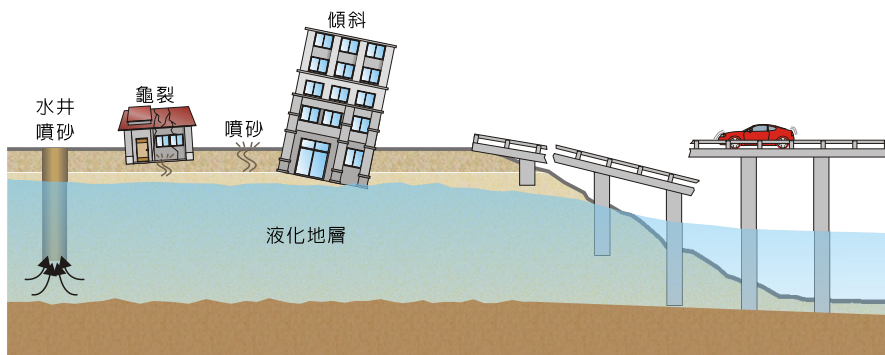
砂與水充分混合，形成宛如液體的狀態，使房屋模型因為土層缺乏足夠的支撐力而沉陷；細砂顆粒間的水壓過高時，地下水會往地表面層噴出。



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

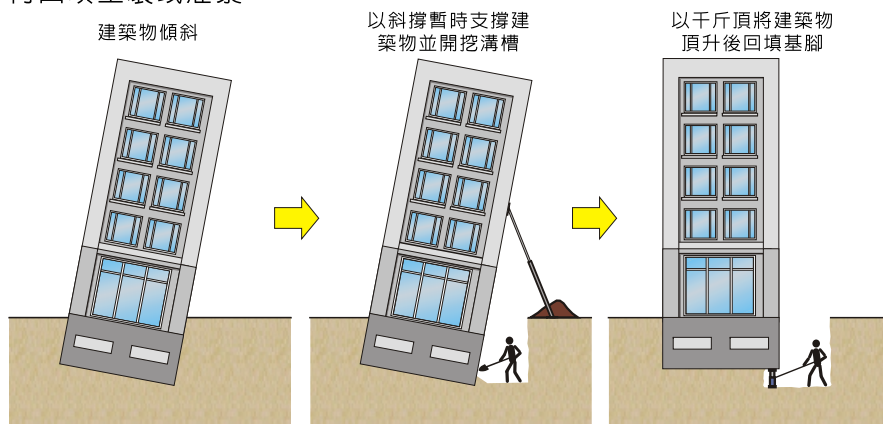
■ 房屋因土壤液化下沉或傾斜時該怎麼辦？

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

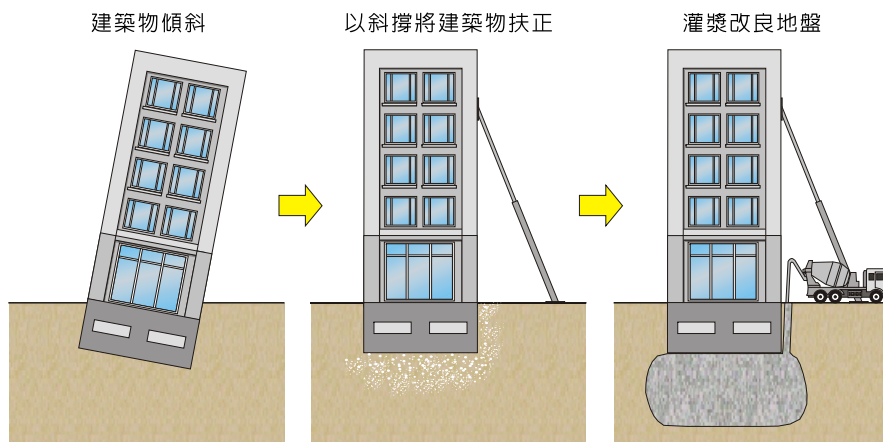
頂升工法是921集集地震後，土壤液化受災民衆廣為採用的工法，施工時先沿著建築物開挖一條溝槽，將千斤頂及木塊置於建築物基礎下方，以千斤頂將建築物頂升至水平後，重新建造基腳，基腳完成後再回填土壤或灌漿。



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。

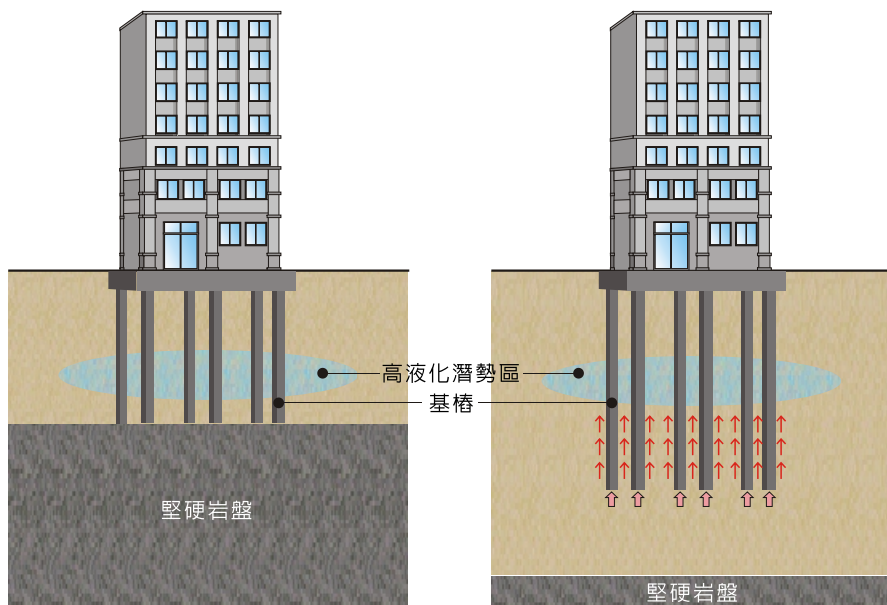


地質鑽探調查是利用機具將套管鑽入地底，以取得岩石或土壤樣本，送至實驗室分析其地質結構、組成、土壤含水量、土壤孔隙比率等／照片來源：國家型數位典藏計畫

● 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。

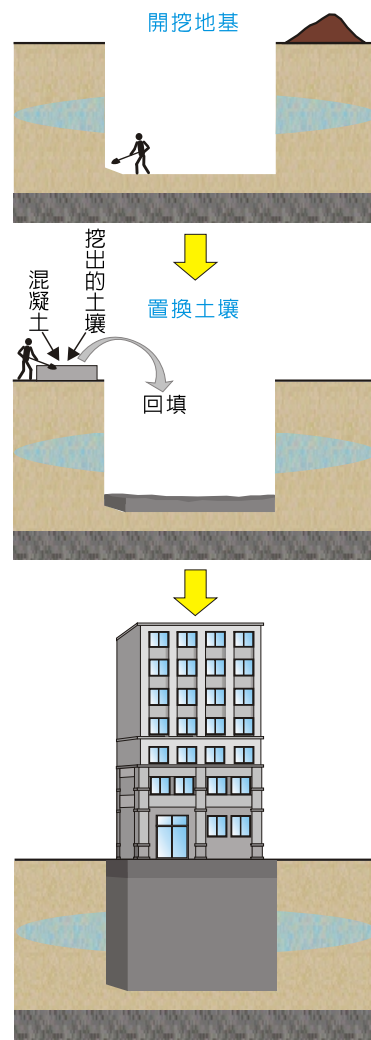


將基樁貫入堅硬岩盤

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

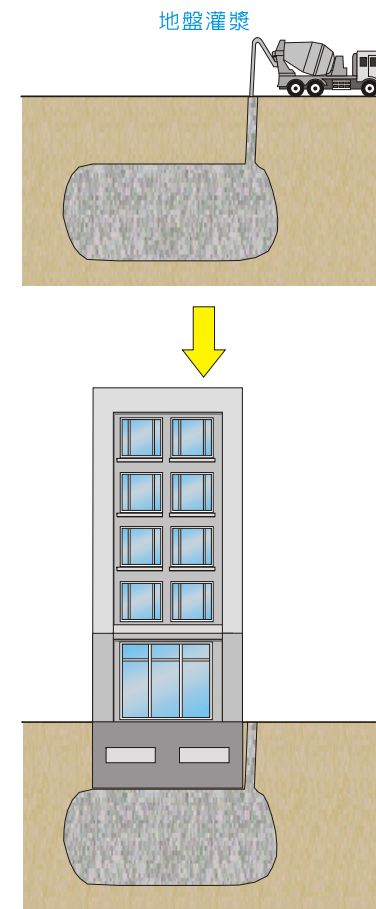
針對深度較淺、範圍較小的高液化潛勢區，可以直接挖掘地基的土層，再將開挖得來的土壤與混凝土拌合後回填。



開挖置換土壤示意

● 灌漿地盤改良

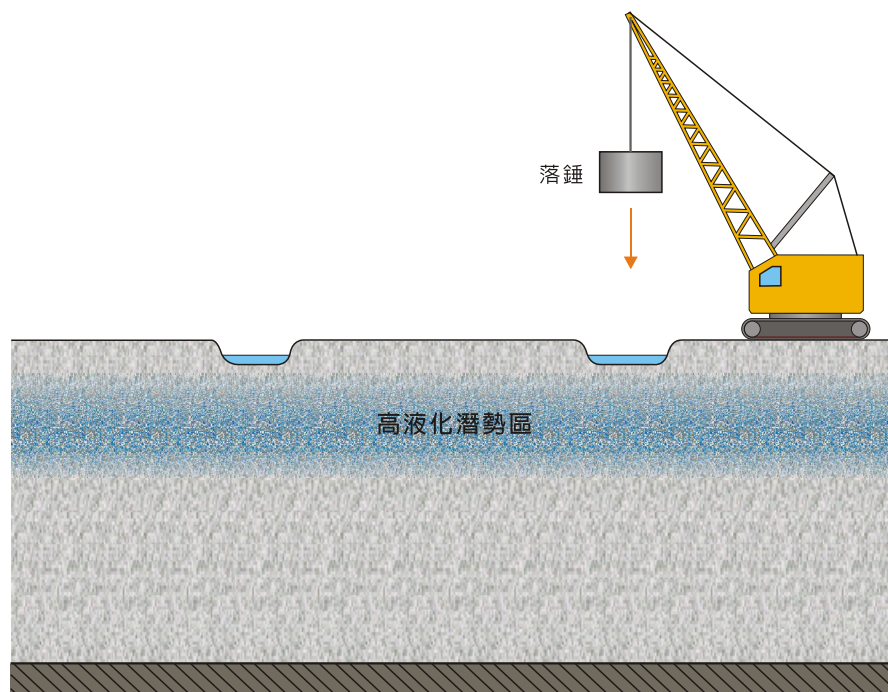
針對深度較淺、範圍較小的高液化潛勢區，在興建房屋前，灌漿改良地盤。



地盤改良示意

● 動力夯實法

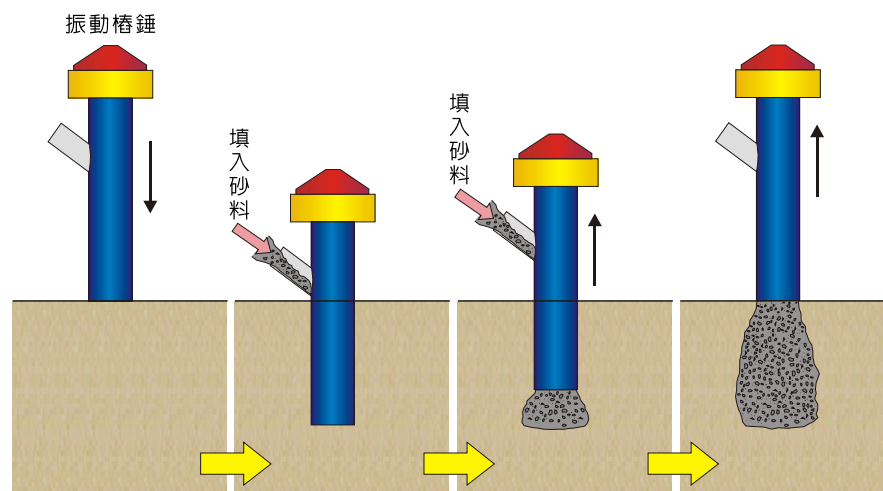
大面積的工程於興建前，利用吊車將鐵塊重物吊至高處後釋放，使其自由落體墜下，錘擊欲改良的地面，壓縮土壤的孔隙，減小日後發生液化的可能性或災害程度，此工法適合深度10公尺以內的土壤改良。雲林麥寮臺塑六輕園區，建廠前即採用此工法改良地盤。



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

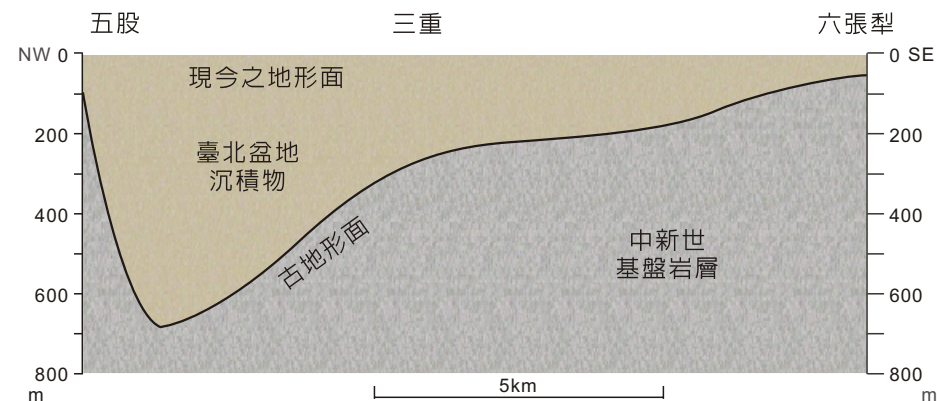
■ 臺北盆地是怎麼形成的？

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」。



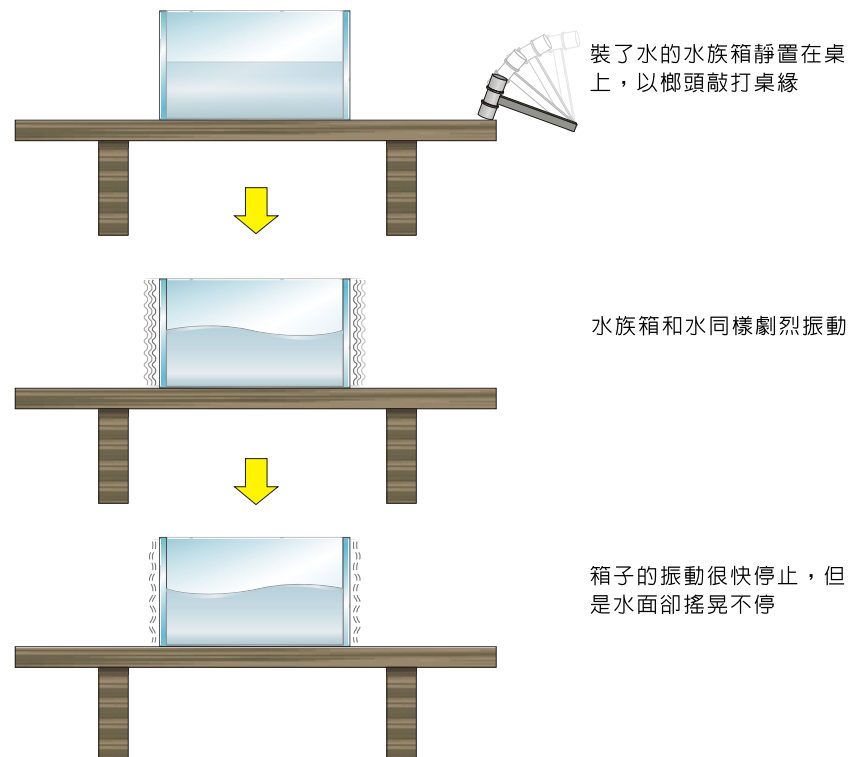
時代雜誌封面刊登1985年墨西哥地震，「盆地效應」使首都墨西哥市災情慘重／照片來源：時代雜誌



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

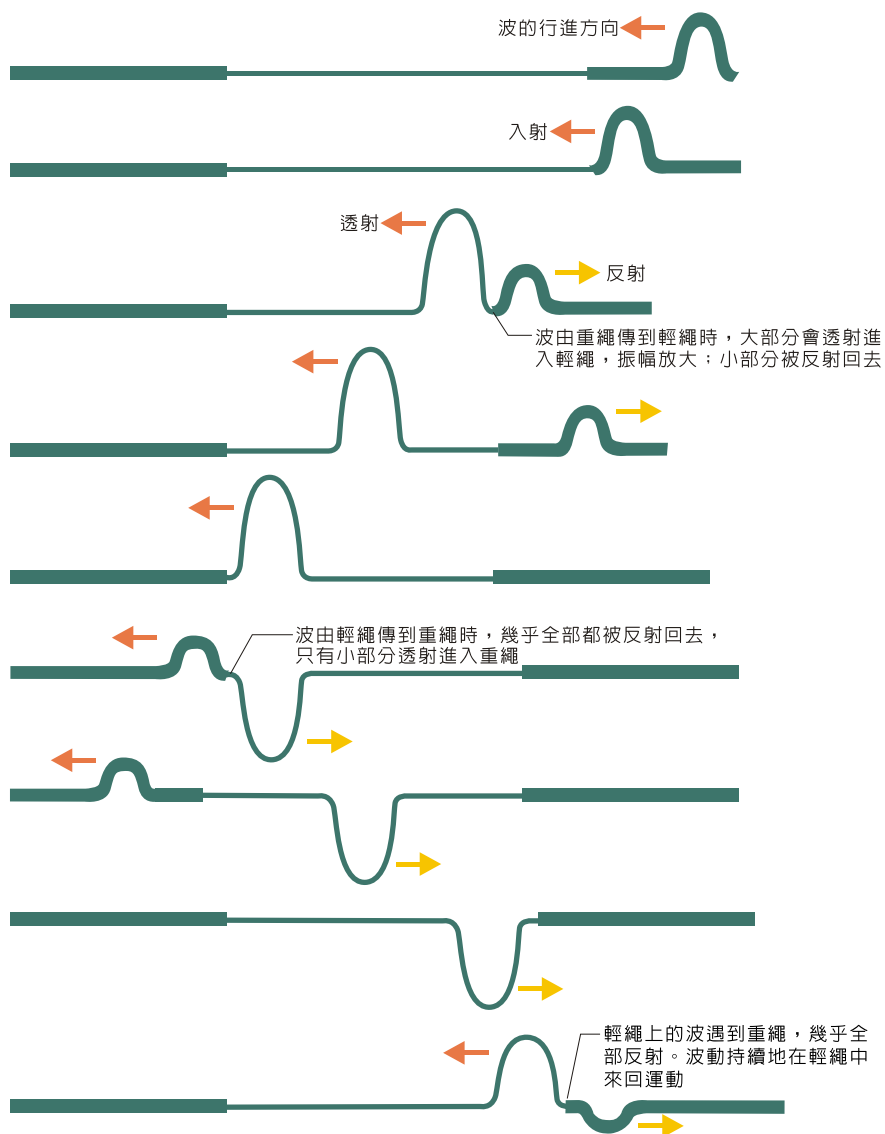
盆地效應的發生，是因為盆地內鬆軟地層的震波，傳遞至周圍堅硬地層時受到阻擋，而在盆地內來回反射，這個情形就像敲打一個裝水的水族箱，敲打停止後，水波仍會持續盪漾一段時間。



「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。

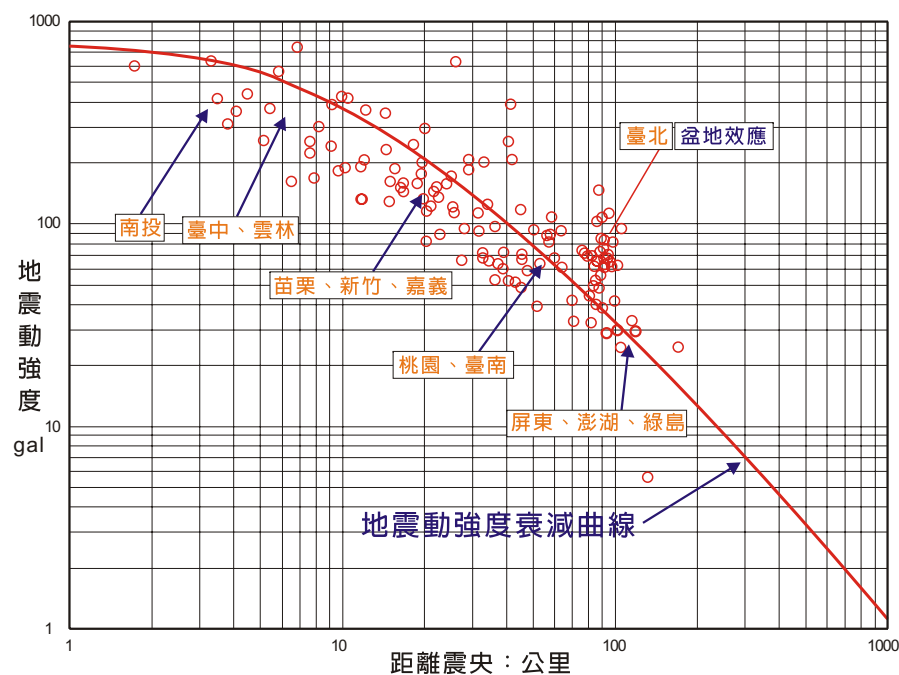




從這個實驗中，可以看到輕軟繩子上的波動，在二端重硬的繩索之間來回反彈，不易消散。這也就是為什麼地震時，盆地內部感受到地面搖晃的時間長，且震動劇烈的緣故

■ 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。

