

屏東縣第 64 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科別：地球科學科

組別：國中組

作品名稱：土壤顆粒大小和震動的關係



關鍵詞：土壤顆粒、地下水位、天坑

編號：B5009

作品名稱：土壤顆粒大小和震動的關係

摘要

實驗前，我們觀察每位同學的居家附近的土壤液化潛勢圖，發現居家附近都有土壤液化潛勢區，那到底土壤顆粒有甚麼性質會影響土壤液化呢？利用不同顆粒大小的土壤，以按摩槍來模擬地震發生時的震動觀察土壤液化的情況，並改變震動位置、水位高低等變因，觀察在不同變因下液化速度的差別。

實驗發現採樣的土壤中，顆粒小的土壤密度與孔隙率較小，含水量高；較大顆粒其滲透率較快。震動方向是從下方敲擊比起從側邊敲擊，建築物倒塌所需時間快許多；顆粒最小的土壤，建築物傾斜時間最慢，顆粒大的則較快傾斜。

不同含水量對土壤液化的程度影響中，我們發現：在飽和含水量時顆粒大的水位上升明顯的比較低，顆粒小的水位上升的高度比較高；土壤顆粒越小，越容易液化；顆粒較小的土壤的水含量在 25% 以下液化的時間就非常的慢；不同比例的水量會影響到土壤液化的時間與程度，且水越多液化速度越快。

壹、前言

一、研究動機

由於臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界處，因此地震頻繁。每當有地震發生，新聞除了報導傷亡，有時還會報導某處發生土壤液化。雖然「土壤液化」一詞經常在新聞媒體中被提及，不過我們尚未深入探討過，對相關的研究與知識充滿未知。

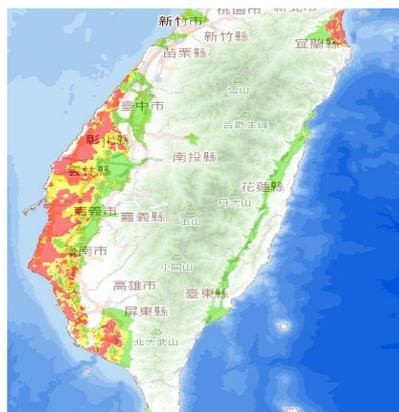
常聽到某處大樓突然傾斜、某條馬路突然陷落.....等等「天坑」事件頻傳，感覺我們的生命財產飽受威脅，於是在好奇心的驅使下，我們藉此機會去探討「土壤液化」發生的原因，經過資料的搜尋，發現土壤顆粒大小對土壤震動產生的結果影響很大，因此我們便由分析學校土壤組成的顆粒大小開始研究並深入了解振動方式及水位高低對土壤結構改變導致上面建物傾斜及土壤液化的影響。

二、文獻探討

(一) 土壤液化

是指土壤因地震的壓密作用而造成原本深埋於地底的地下水被擠壓至地面表面，導致土壤顆粒與顆粒之間的摩擦力下降到零，土壤因此失去了剪應力的強度，因此，土壤便成了液態狀，當地表無法承受地下水的壓力時就會破裂。

土壤液化通常發生在深度較淺處且充滿砂質土壤和黏土的地方，大多發生在西部的沿海平原(如右圖一)，當地的房屋可能遇到一定的搖晃程度就會倒塌或下陷，因此需要進行「灌漿」。(參考一)



圖一:台灣土壤容易液化區

(二) 土壤的組成 (參考二)

台灣的地質年輕、破碎，施工和防災上都容易產生問題，研究土壤的特性也因此非常重要。土壤由三種要素組成：顆粒、空氣以及水(如圖二)。乍看之下，土壤是隨處可見、平易近人的天然材料，但正因為土壤是自然生成的，我們很難掌控各地土壤的組成成分。同時，顆粒、空氣和水會互相作用，互相影響，因此當外力作用在土壤上，會產生很多複雜的行為。

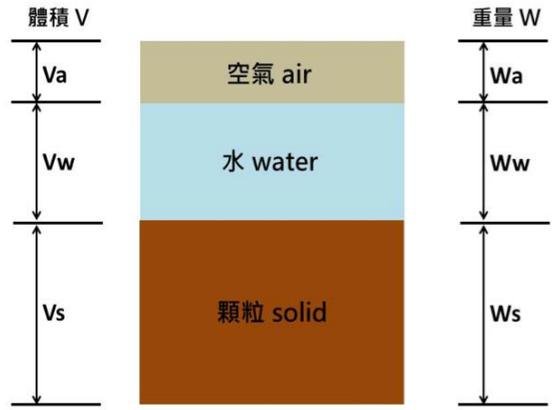


圖二:土壤三要素

一般而言，土壤的工程性質跟四個屬性有關，包含密度、孔隙、水分與顆粒大小。

1. 密度

土壤密度又稱土壤比重或單位重 (unit weight)，是將土壤的重量除以體積所得到的值。由於乾土壤和濕土壤的性質不一樣，因此在密度上也需要分開計算。如圖三，土壤濕密度 $\gamma = (W_s + W_w) / V$ ，而乾密度 $\gamma_d = W_s / V$ 。密度會影響土壤的透水性及可壓縮性，可以透過工程方法改變土壤的密度，使之較易施工。



圖三：土壤三相體積-重量關係圖

2. 孔隙

土壤的孔隙比 (void ratio) 是將土壤孔隙體積除以總體積所得到的值。孔隙比

$e = (V_a + V_w) / V_s$ 。孔隙多寡和土壤的透水性以及沉陷量有關，例如土壤液化，就是因為原本鬆散排列的土壤受地震等外力作用下排列變的緊密，孔隙變小，形成土壤下陷以及噴水噴砂的現象。

3. 水分

土壤的水分含量可以用濕度來表達，濕度是用水重量除以固體顆粒重量所得到的值。

$\omega = (W_w / W_s) \times 100\%$ 。土壤的含水量會隨著降雨和濕度變化等氣候因素而改變。

4. 顆粒大小

顆粒大小會影響土壤的表面積、透水性、密度以及膨脹性等等特性。土壤的顆粒大小有許多不同的分類方法，依據國際土壤學會 (International Soil Science Society, ISSS) 的規定，小於 2 mm 以下的顆粒為土壤，其中 20 μm ~ 2 mm 的為砂粒 (sand)，2 μm ~ 20 μm 稱為粉粒 (silt)，小於 2 μm 的稱為黏粒 (clay)。

(三) 土壤的顆粒大小對照網目大小 (參考三)

目數(mesh)和粒徑微米(μm)的換算公式：目數 \times 孔徑(微米數)=15000

目數 (mesh)	微米 (μm)						
2	8000	100	150	28	600	250	58
3	6700	115	125	30	550	270	53
4	4750	120	120	32	500	300	48
5	4000	125	115	35	425	325	45
6	3350	130	113	40	380	400	38
7	2800	140	109	42	355	500	25
8	2360	150	106	45	325	600	23
10	1700	160	96	48	300	800	18
12	1400	170	90	50	270	1000	13
14	1180	175	86	60	250	1340	10
16	1000	180	80	65	230	2000	6.5
18	880	200	75	70	212	5000	2.6
20	830	230	62	80	180	8000	1.6
24	700	240	61	90	160	10000	1.3

三、研究目的

(一) 住家附近土壤液化潛勢區查詢

(二) 分析土壤顆粒大小的物理性質：

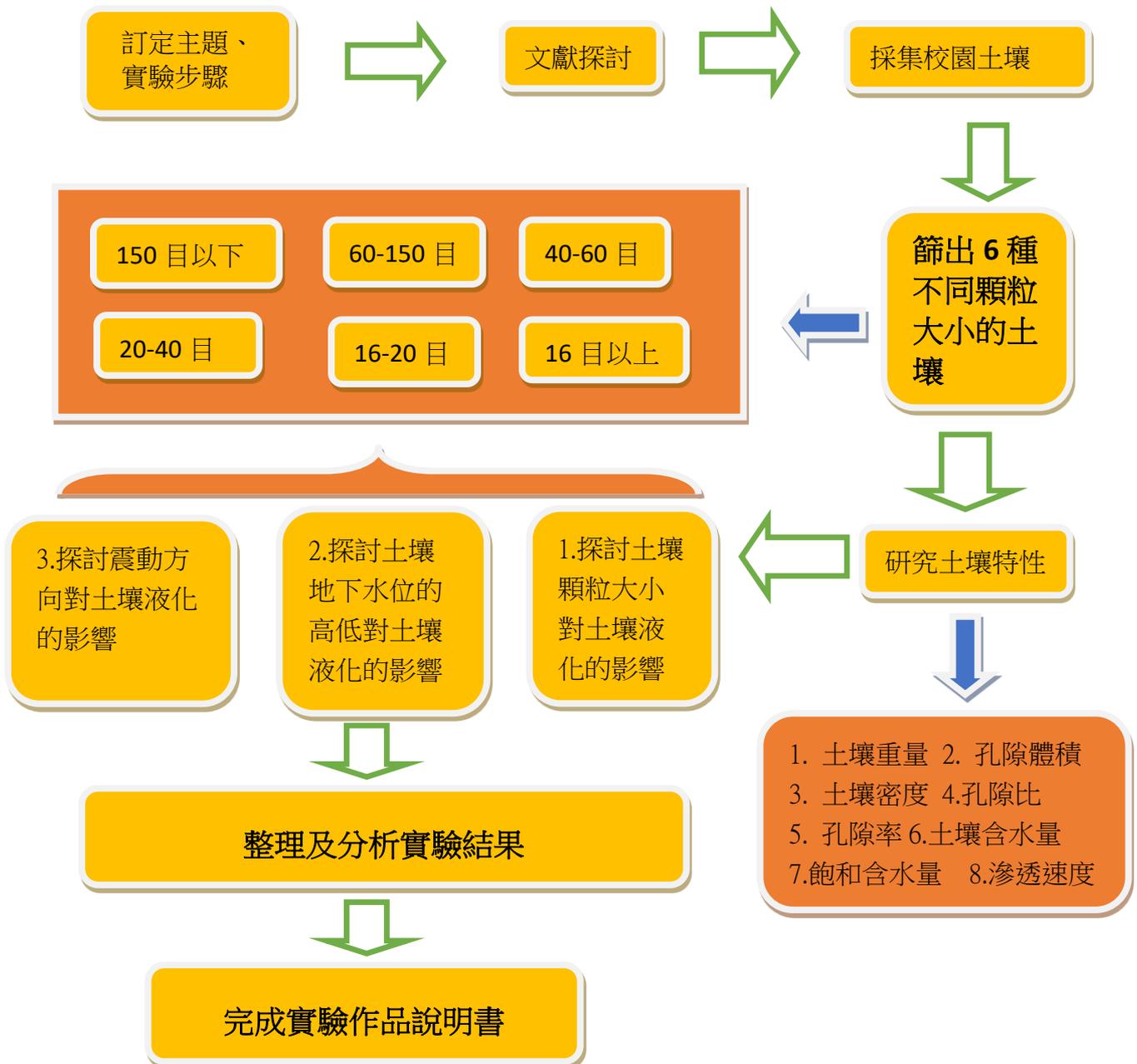
- 1. 土壤重量
- 2. 孔隙體積
- 3. 土壤密度
- 4. 孔隙比
- 5. 孔隙率
- 6. 土壤含水量
- 7. 飽和含水量
- 8. 滲透速度

(三) 探討土壤顆粒大小對土壤液化的影響

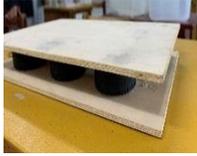
(四) 探討土壤地下水位的高低對土壤液化的影響

(五) 探討震動方向對土壤液化的影響

四、研究流程



貳、研究設備及器材

 <p>滴管、容器</p>	 <p>實驗盆</p>	 <p>拍照計時器</p>	 <p>培養皿</p>	 <p>不同網目紗網</p>
 <p>不同網目篩子</p>	 <p>電子秤、燒杯</p>	 <p>自製震動平台</p>	 <p>震動儀器</p>	 <p>烘乾機</p>
 <p>校園砂土、塑膠盆</p>	 <p>模擬房子</p>	 <p>碼表</p>	 <p>傾斜感應器</p>	 <p>腳架</p>
 <p>自製砂土壓平器</p>	 <p>挖土工具</p>	 <p>漏斗</p>		

參、研究過程及方法

※前置作業：

一、準備顆粒大小不同的土壤

- (一)到校園工地挖土。
- (二)準備各種篩目大小不同的篩網。
- (三)篩出 6 種不同顆粒大小的土壤 2000~3000 備用。



校園挖的土



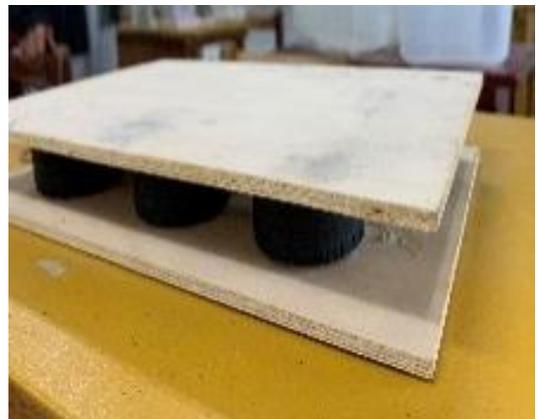
過篩的工具



過篩完成的土壤

二、製作震動平台

為了讓震動時，地層有搖晃以及搖晃均勻的現象，我們用兩片木板中間夾著六顆小輪胎(如右圖)，我們的沙盒就擺在上面，經由按摩槍產生的振動，來模擬地層的震動，探討震動和土壤顆粒大小的關係。



震動平台

※正式實驗：

一、住家附近土壤液化潛勢區查詢

- (一)利用「土壤液化潛勢查詢系統」搜尋住家附近土壤液化的趨勢。
- (二)將畫面截取於報告中分析。

二、分析土壤顆粒大小的物理性質：土壤重量、孔隙體積、土壤密度、孔隙比、孔隙率、土壤含水量、飽和含水量、滲透速度

- (一)準備 100ml 的燒杯 6 個，分別裝不同顆粒大小的沙子到 100ml 處，秤重，記錄其重量，重複 3 次，平均每 100ml 各種不同顆粒大小沙子的重量。
- (二)步驟 1.的沙子，倒入水到 100ml 處，記錄倒入的水量，即為孔隙的體積。
- (三)將 50g 各種顆粒大小的沙土烘乾，秤重，記錄其含水量，重複 3 次，平均其含水量。
- (四)測量土壤滲透率，注入 50mL 的水後，等待 2 小時，再測量流出水分的容積，並計算與原先水量的占比，並記錄的一滴水流下的時間。

※土壤內的飽和度(Degree of saturation, S)：土壤達飽和狀態時所含水的體積 $V_{water,s}$ 與孔隙之體積比值稱為飽和含水量，通常以百分比表示。當土壤達飽和時，其飽和含水量為 100%，即含水的體積 $V_{water,s}$ 與孔隙之體積相同。



秤重



估算滲透率

三、探討震動對不同土壤顆粒大小上建築物的影響

- (一)將顆粒最小的 150 目以下的土壤盒子放在震動平台上，擺上一個建築物。
- (二)雙手輕輕將盆子固定住，用按摩槍開始擊打震動盆子上的固定位置。
- (三)用攝影機錄下震動的過程。
- (四)慢動作重播，紀錄建築物傾斜的時間。



攝影建築物傾倒的情形

左右震動土壤

(五)每種顆粒大小皆重複步驟(一)~(四)三次，計算平均值。

四、探討不同顆粒大小土壤地下水位的高低對土壤液化的影響

- (一)在不同顆粒的土壤中裝入不同深度的水，依次是 1/4 飽和水量、2/4 飽和水量、3/4 飽和水量、飽和水量。
- (二)用按摩槍開始擊打震動盆子，觀察並記錄下土壤液化時間與水位上升高度。
- (三)每種水位做 3 次，並計算平均。
- (四)分析水位高低和土壤液化時間的關係。



25%飽和水位



50%飽和水位



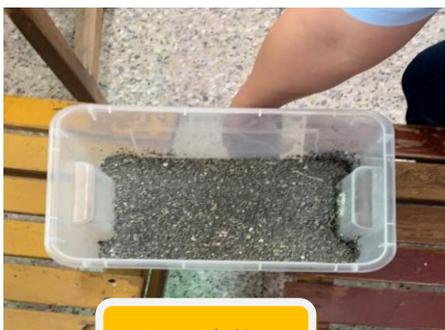
75%飽和水位



飽和水位

五、探討震動方向對不同顆粒大小土壤液化的影響

- (一)左右搖晃 :1. 將不同顆粒大小沙子裝入固定的盆子內，並將盆子放置於木板上，接著用按摩槍敲擊盆子側邊的固定位置，以及觀察盆子內土壤上的建物傾斜的時間，如實驗(三)。
2.如實驗(四)，觀察水位的變化。
- (二)上下搖晃 :1.將不同顆粒大小沙子裝入固定的盆子內，放在兩張桌子中間，接著用按摩槍敲擊盆子下方，錄影以便觀察盆子內建物傾斜的時間。
2. 如實驗(四)，改變敲擊的位置，改從下方敲擊，觀察水位的變化。



上下震動



左右震動

肆、研究結果與討論

一、住家附近土壤液化潛勢區查詢

電視媒體常報導道路崩塌造成天坑或建築物突然傾斜、滲水，不禁令我們擔心住家附近是否也存在著相同的危險。經查詢後發現台灣西半部都會區域處於其易發生的範圍內，屏東市也不例外。因此我們查了成員住家附近的土壤液化潛勢區，結果如下圖一～圖三。



【結果與討論】

- (一) 如圖一～圖三可知我們居家附近都有土壤液化潛勢區，潘同學和紀同學都在高潛勢區內(紅色)，蔡同學則在中潛勢區(黃色)。
- (二) 文獻中提到台灣屬於年輕的地層，地質不穩定，再加上暴雨、乾旱、高溫、溫差大等諸多氣候變遷因素，讓土壤底下格外不平靜。所以我們期待政府能督促建商在開闢建案時，多考慮一下土壤的結構，讓天坑發生率能降到最低，以保障居民的安全。

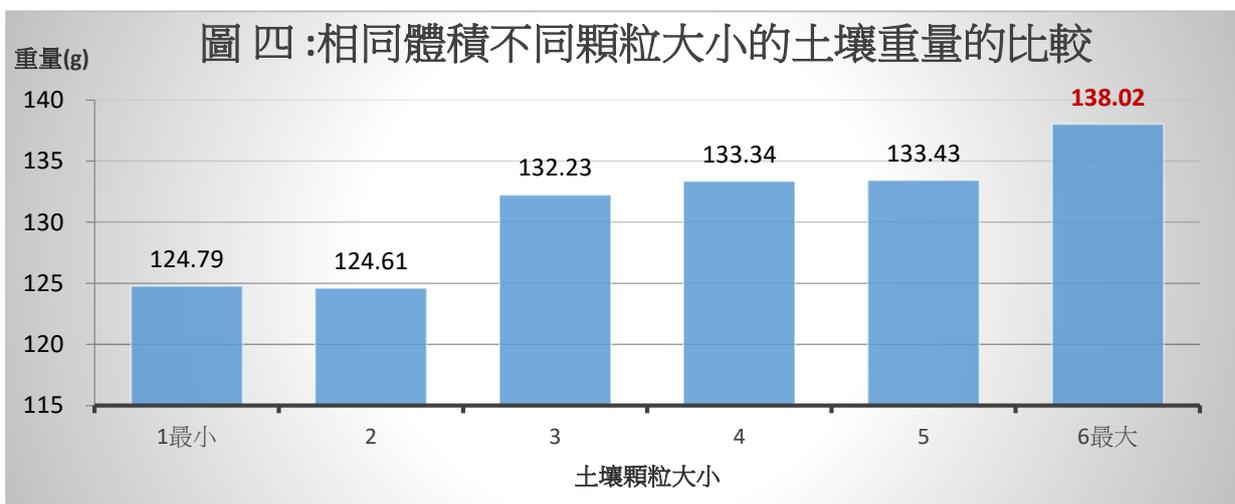
二、分析土壤顆粒大小的物理性質：土壤重量、孔隙體積、土壤密度、孔隙比、孔隙率、土壤含水量、飽和含水量、滲透速度

土壤的物理性質和土壤受到震動時，土壤顆粒的排列、空隙、含水量、支撐力及液化的狀況影響很大，所以我們先測量土壤的一些物理性質，結果如下：

(一) 探討土質種類顆粒大小與重量的關係

表一：同體積不同顆粒大小土壤的重量比較

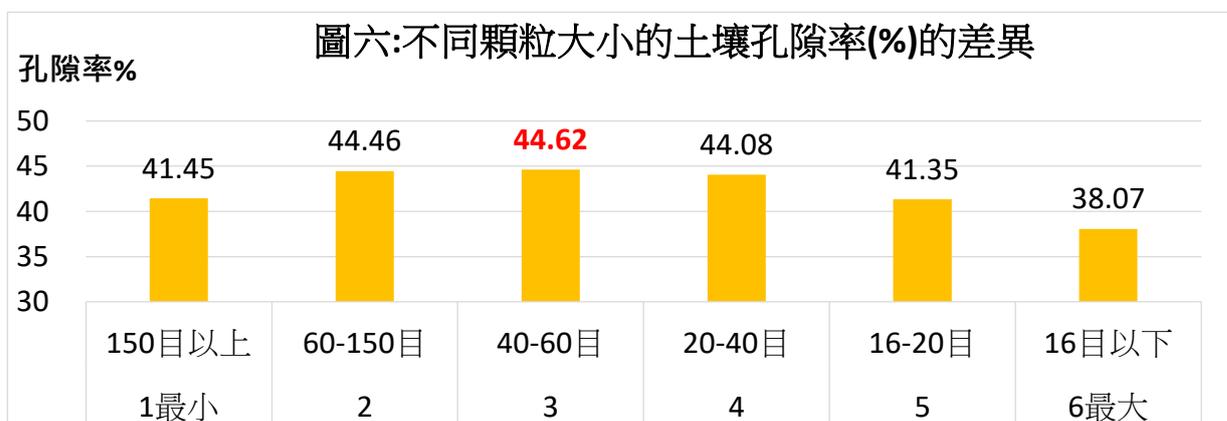
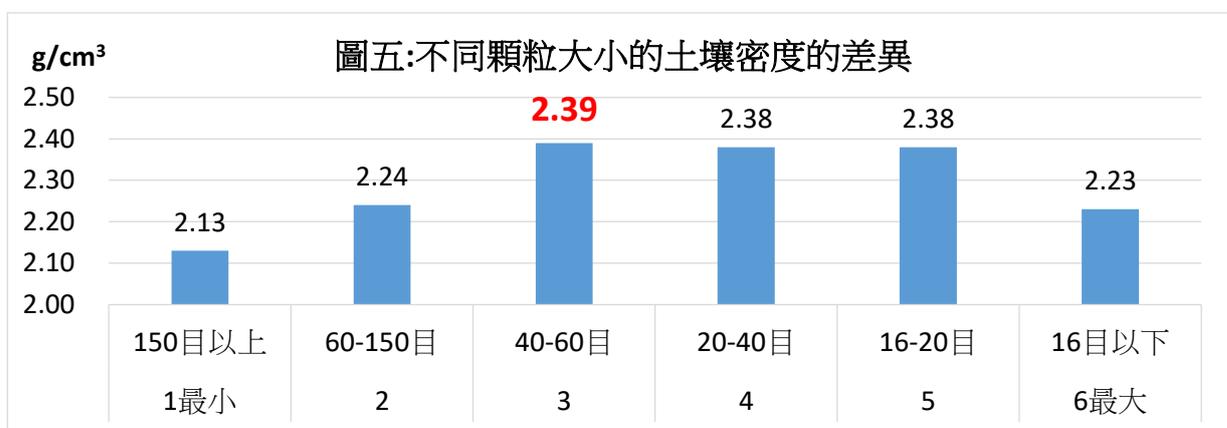
等級	顆粒大小	1	2	3	平均
1 最小	150 目以上	124.45	124.06	125.87	124.79
2	60-150 目	124.20	125.61	124.02	124.61
3	40-60 目	131.72	132.51	132.46	132.23
4	20-40 目	133.52	133.54	132.96	133.34
5	16-20 目	132.95	134.61	132.72	133.43
6 最大	16 目以下	138.32	137.23	138.50	138.02



(二)探討不同土壤孔隙率與密度

表二:不同顆粒大小的土壤孔隙與密度比較表

顆粒大小級數(小到大)	顆粒大小	乾土+瓶 W1(g)	乾土+瓶+水W2(g)	乾土重 W3(g)	孔隙體積 Vv (cm ³) W2-W1	乾土體積 Vdry soil (cm ³) V- Vv	土壤密度 Dsoil (g/cm ³)	孔隙比 e (%) W2-W1/V- Vv	孔隙率n (%) W2-W1/V	飽和含水量%
1	150目以上	168.59	210.03	124.79	41.45	58.55	2.13	70.79	41.45	33.22
2	60-150目	188.62	234.88	124.61	44.46	55.54	2.24	80.05	44.46	35.68
3	40-60目	184.41	230.53	132.23	44.62	55.38	2.39	80.57	44.62	33.74
4	20-40目	191.53	241.45	133.34	44.08	55.92	2.38	78.83	44.08	33.06
5	16-20目	186.70	228.05	133.43	41.35	58.65	2.28	70.50	41.35	30.99
6	16目以下	186.93	225	138.02	38.07	61.93	2.23	61.47	38.07	27.58



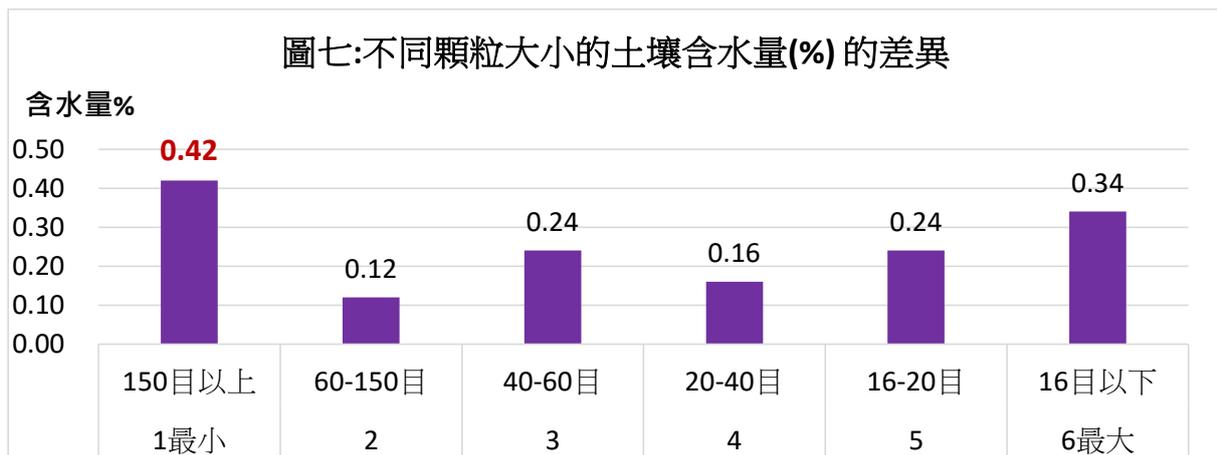
【結果與討論】

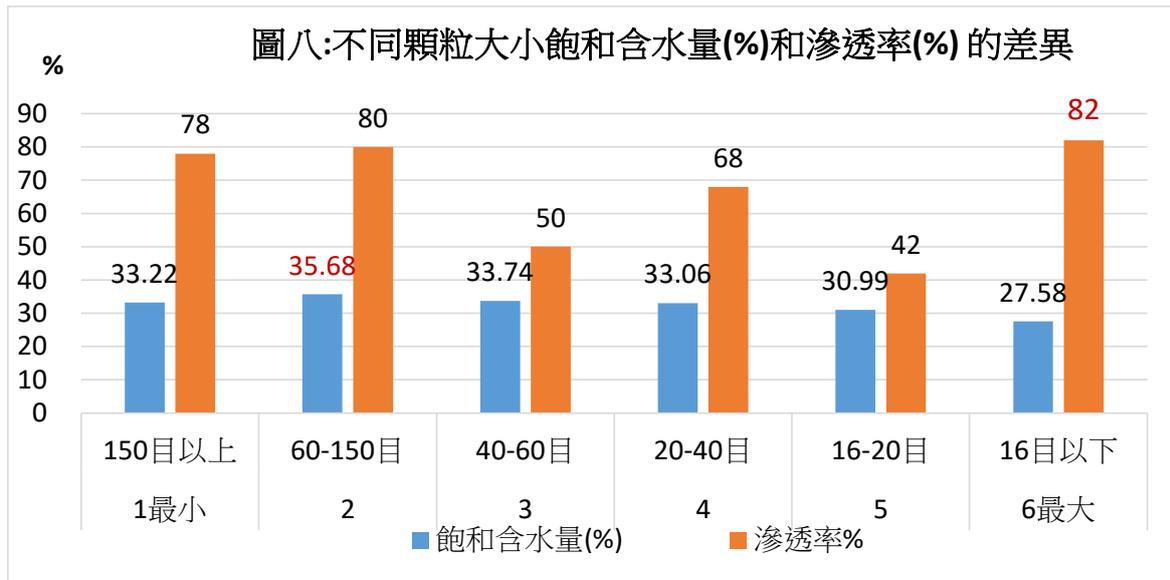
- (一)根據上表發現我們採樣的土壤以 40-60 目的土壤密度和孔隙率皆為最大，顆粒最小的密度最小，而顆粒最大的密度為倒數第二。
- (二)每個地區的土壤組成礦物成分不同，即使顆粒大小相近，密度和孔隙率也不一定相同，所以在做工程前應該針對該地區的土壤做一些基本的性質分析。
- (三)在我們採集的土壤中，發現顆粒最大及最小的土壤密度與孔隙率皆較小(圖五、圖六)。

(三)探討不同土壤含水量、滲透率與飽和含水量

表三: 不同顆粒大小的土壤的含水量與滲透率的比較表

顆粒大小 級數(小 到大)	顆粒大小	烤乾前 (g) W1	烤乾後 (g) W2	水重(g) W3	含水量 (%) W3/W2	飽和含水量(% 量(%))	滲透率%
1	150目以下	50g	49.79g	0.21g	0.42%	33.22	78%
2	60-150目	50g	49.94g	0.06g	0.12%	35.68	80%
3	40-60目	50g	49.88g	0.12g	0.24%	33.74	50%
4	20-40目	50g	49.92g	0.08g	0.16%	33.06	68%
5	16-20目	50g	49.88g	0.12g	0.24%	30.99	42%
6	16目以上	50g	49.83g	0.17g	0.34%	27.58	82%





【結果與討論】

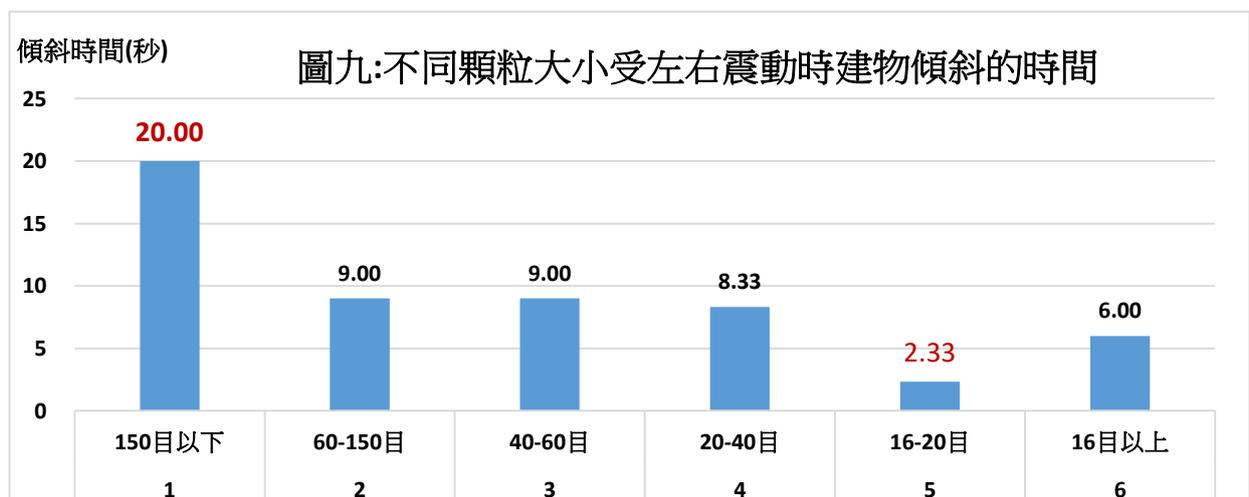
- (一)由圖七發現顆粒最小的 150 目以上，含水量最高，而顆粒最大的 16 目以下含水量第二，60~150 目含水量最少。
- (二)由圖八 16 目以下的較大顆粒其滲透率是最快的，推測可能和其飽和含水量最低有關，而 16-20 目滲透是最慢的。
- (三)由圖八得知飽和含水量最多的是 60~150 目，最少的是 16 目以下。

三、探討震動對不同土壤顆粒大小上建築物的影響

土壤受到震動時，土壤的顆粒重新排列，影響土壤的支撐力，其上的建築物將受到影響而傾斜，傾斜時間與顆粒大小的關係如下表：

表四：不同土壤顆粒大小上建築物受到震動時傾斜時間的比較

顆粒大小級數(小到大)	顆粒大小	傾斜時間1(秒)	傾斜時間2(秒)	傾斜時間3(秒)	平均(秒)
1	150目以下	16	24	20	20
2	60-150目	15	6	6	9
3	40-60目	7	12	8	9
4	20-40目	10	13	12	8.33
5	16-20目	1	3	3	2.33
6	16目以上	6	4	8	6



【結果與討論】

- (一)由圖九發現顆粒最小的傾斜時間最慢，顆粒大的較快傾斜。
- (二)16-20目傾斜速度極快可能是人為的誤差，應該增加實驗次數以減少誤差。
- (三)150目以下顆粒小，孔隙較少，土壤排列較緊實，所以土壤不容易下陷，因此地上物較不易傾斜。

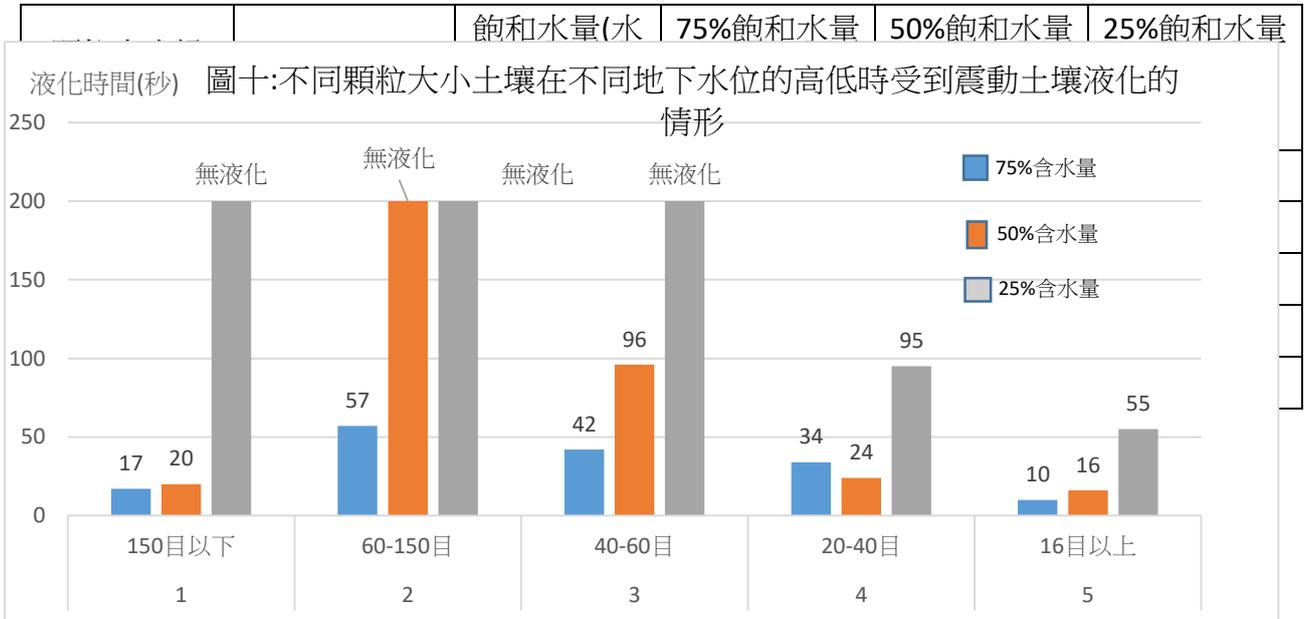


記錄建物傾斜的時間

四、探討不同顆粒大小土壤地下水位的高低對土壤液化的影響

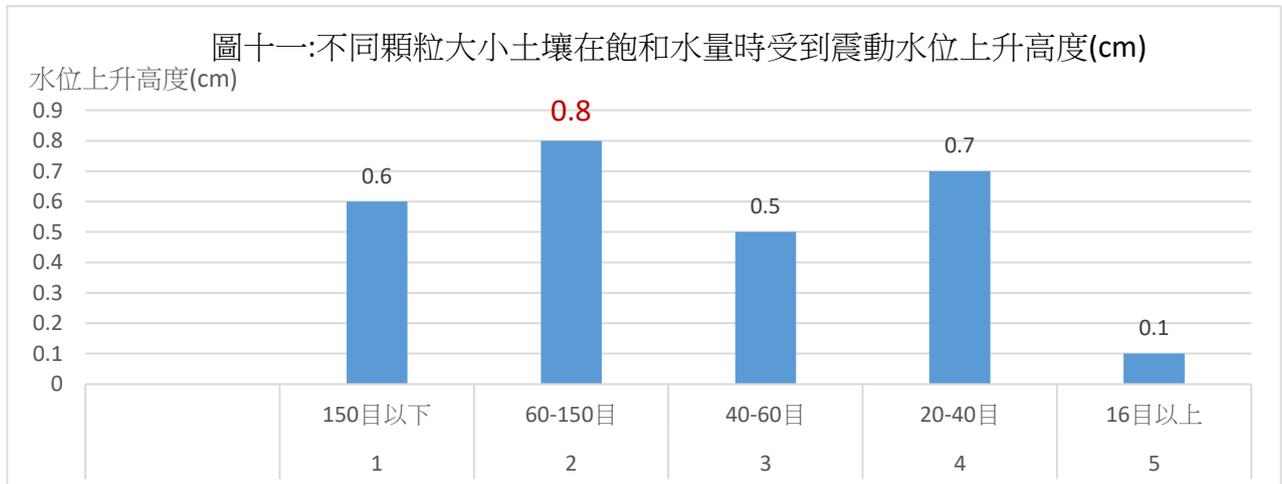
當地下水位改變時，土壤顆粒間的孔隙、排列發生改變，土壤受到震動時，流水佔據空氣的間隙，造成地層下陷及土壤液化，這種情形可能與土壤顆粒大小有關，我們研究的結果如下：

表五：不同顆粒大小土壤在不同地下水位的高低時受到震動土壤液化的情形



【結果與討論】

(一)由圖十一發現在飽和含水量時顆粒大的水位上升明顯的比較低，顆粒小的水位上升的高度比較高，這和土壤的空隙有很大的關係，顆粒大的(16目以下)孔隙小，飽和含水量低，所以地下水位本來就低，因此水位上升的高度就比較小。



(二)圖十發現相同的顆粒小的，土壤含水量高，液化的時間較短。

(三)由表五發現顆粒較小的土壤的水含量在 25%以下液化的時間就非常的慢，都超過 3 分鐘 (表格中「無」指 3 分鐘以上)。



飽和水位震動後，水位上升快速



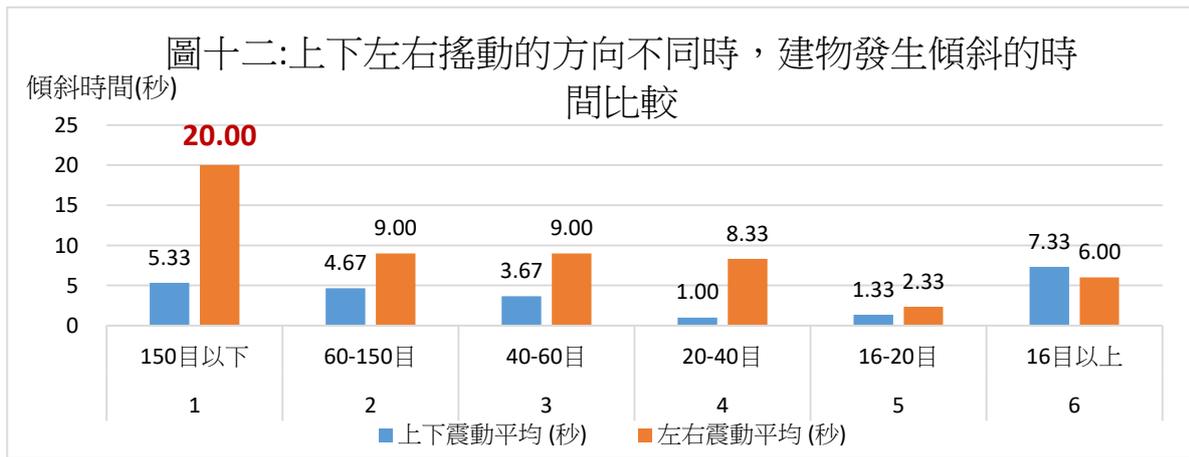
飽和水位震動後，土壤和水成黏稠狀

五、探討震動方向對土壤液化的影響

地震發生時，常常左右搖動，也會上下搖動，上下左右搖動的方向不同是否影響土壤顆粒的支撐力呢?實驗結果如下:

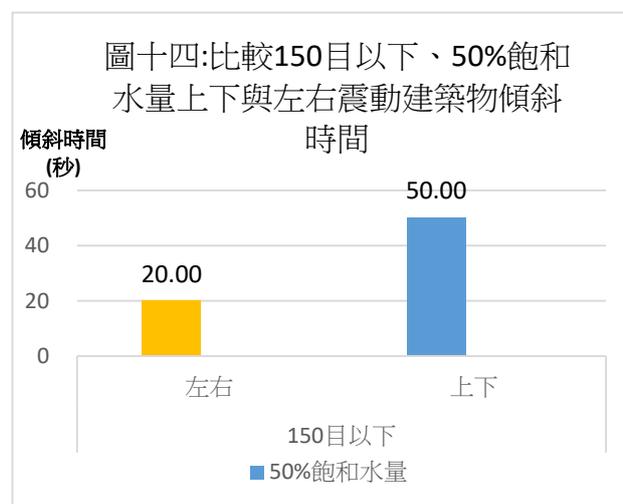
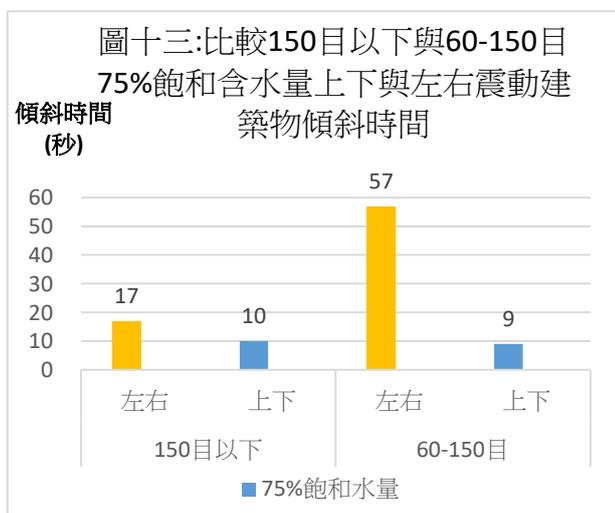
表六: 上下左右搖動的方向不同時，建物發生傾斜的時間比較

顆粒大小級數 (小到大)	顆粒大小	上下震動平均 (秒)	左右震動平均 (秒)
1	150目以下	5.33	20
2	60-150目	4.67	9
3	40-60目	3.67	9
4	20-40目	1	8.33
5	16-20目	1.33	2.33
6	16目以上	7.33	6



表七: 上下左右搖動的方向不同時，土壤發生液化的情形比較
(「無」是指震動超過3分鐘還沒有液化)

顆粒大小級數(小到大)	150目以下		60-150目	
	左右	上下	左右	上下
75%飽和水量 (土壤液化的時間-秒)	17	10	57	9
50%飽和水量 (土壤液化的時間-秒)	20 (表面溼)	50	無	無
25%飽和水量 (土壤液化的時間-秒)	無	無	無	無



【結果與討論】

- (一)由表六和圖 12 發現左右震動讓建築物傾斜的時間會比上下震動還要久，也就是上下震動建築物比較容易倒塌。
- (二)上下震動顆粒大小之間的差異比較小，左右震動比較大，尤其是顆粒小的比較穩定，建築物傾斜的時間比較長。
- (三)由表七發現 25%的含水量，上下左右震動時，顆粒小的 150 目以下和 60 到 150 目都沒有液化的現象，50%的含水量，150 目以下先產生液化，75%含水量時，兩種顆粒大小都有液化但是上下震動液化的時間差不多，左右震動則也是顆粒小一點(150 目以下)先液化。



150 目以下左右震動



150 目以下上下震動，先液化

伍、結論

- 一、我們居家附近都有土壤液化潛勢區，潘同學和紀同學都在高潛勢區內(紅色)，蔡同學則在中潛勢區(黃色)。
- 二、我們採樣的土壤顆粒最大及最小的土壤密度與孔隙率皆較小，40-60 目的土壤密度和孔隙率皆為最大。
- 三、我們採樣的土壤顆粒最小的 150 目以上，含水量最高，而顆粒最大的 16 目以下含水量第二。
- 四、16 目以下的較大顆粒其滲透率是最快的，飽和含水量最多的是 60~150 目，最少的是 16 目以下。
- 五、在建物傾斜實驗中發現顆粒最小的傾斜時間最慢，顆粒大的較快傾斜。
- 六、在飽和含水量時顆粒大的水位上升明顯的比較低，顆粒小的水位上升的高度比較高，這和土壤的空隙有很大的關係，顆粒大的(16 目以下)孔隙小，飽和含水量低，所以地下水位本來就低，因此水位上升的高度就比較小。
- 七、相同的顆粒小的，土壤含水量高，液化的時間較短。
- 八、顆粒較小的土壤的水含量在 25%以下液化的時間就非常的慢，都超過 3 分鐘。
- 九、左右震動讓建築物傾斜的時間會比上下震動還要久，也就是上下震動建築物比較容易倒塌。
- 十、上下震動顆粒大小之間的差異比較小，左右震動比較大，尤其是顆粒小的比較穩定，建築物傾斜的時間比較長。
- 十一、土壤 25%的含水量，上下左右震動時，顆粒小的 150 目以下和 60 到 150 目都沒有液化的現象，50%的含水量，150 目以下先產生液化，75%含水量時，兩種顆粒大小都有液化但是上下震動液化的時間差不多，左右震動則也是顆粒小一點(150 目以下)先液化。

陸、參考資料

一、土壤液化潛勢查詢系統

https://liquid.tgos.tw/TGOSimpleViewer2/Web/Map/TGOSimpleViewer_Map.aspx

二、土壤大小事 (Basic Properties of Soil)國立臺灣大學土木工程學系 張沅真

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=66911>

三、土壤顆粒對照

<https://shengcing.com/wp-content/uploads/2020/05/%E7%B6%B2%E7%9B%AE-mesh-micro-%E8%BD%89%E6%8F%9B%E8%A1%A8.pdf>

四、第五十二屆中小學科學展覽會高中組作品：水土交融—土壤液化的實驗室模擬

project.hgsh.hc.edu.tw/DataBase/343.pdf

五、土壤液化成因、災害與復健—作者：陳鴻銘

cgsweb.moeacgs.gov.tw/Result/921/9.陳銘鴻.pdf