

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 地球科學科

佳作

030507

大地的眼淚-地震對土壤液化的影響

學校名稱：臺南市立建興國民中學

作者：  國二 鍾詠傑  國二 謝政佑	指導老師：  劉沛琳  楊志鴻
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：土壤液化、側潰、噴砂

## 摘要

本研究主要探討台南市中西區某國中於 2016 年 0206 地震後校園內噴沙現象形成的原因，針對造成土壤液化的可能因素，包括土質、水、地震等因素進行實驗分析，其中取樣不同來源的土壤，探討其土壤密度、孔隙率、含水量、滲透率等對土壤液化所造成的影響。

研究中設計的不同地質組成，並透過震盪器的震盪作用，來了解造成土壤在震後重新排列、噴砂、測潰現象的成因。並透過自製水分滲透機構，來測量不同土質達到飽和所需要的時間，來了解不同地質組成對含水量的承受力。

最後設計一個固定方向的自製水平震盪機構，模擬不同角度的震波來源，對建築物的影響，進一步來推論校園中造成的噴砂現象的成因，探討相關土壤液化的防治與因應對策。

## 壹、研究動機

2016 年 2 月 6 日上午發生高雄美濃的芮氏規模 6.6 地震，最大震度 7 級在台南新化，不僅造成永康維冠大樓倒塌，台南市中西區某國中校園內也在災後發現第一棟大樓底下有土壤液化和噴砂現象(如圖 1-1)。但 2017 年 2 月 11 日震央在台南西南方外海的地震，雖然震度也高達 6 級，校園建築也有災損，但同位置卻沒有再度出現液化、噴砂的現象。

2016 年科奧競賽題目中(如圖 1-2)，提到地震造成土壤液化時，砂礫互相滑動的摩擦力小，可利用土壤樣品的孔隙率，來預測土地液化的可能性，其中當土壤樣品中沙粒空區的總體積比沙粒的總體積之比值超過 0.65(或 65%)，地震時就可能發生液化。經濟部水利署與中央地質調查所的資料，也指出 1999 年 921 大地震發生時，臺灣西南部地區大部分觀測井的地下水位都出現激烈的升降變動，並且水位變化曾高達 11 公尺，堪稱世界最大的紀錄，突顯出臺灣地區地震與地下水之間的關係密切。這引起我們對地震造成土壤液化的好奇，因此，我們希望藉這一系列實驗來探究土壤液化問題。



圖 1-1 台南市某國中第一棟大樓地震後土壤液化在噴砂後造成的沙漬痕跡

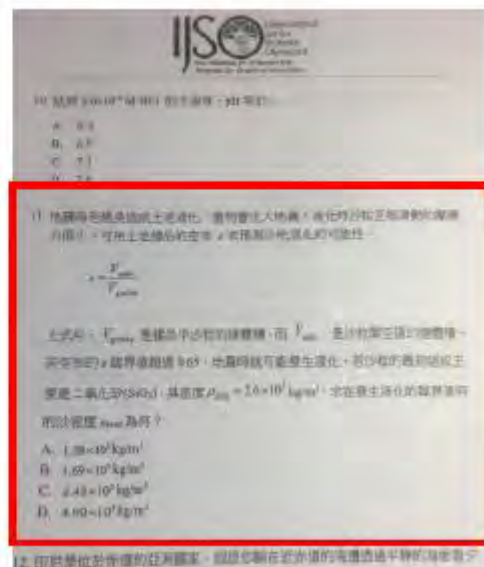


圖 1-2 2016 年科奧競賽題目

## 貳、研究目的

為了探討土壤液化的形成原因，想找出哪種土質與狀況容易造成土壤液化，並找出適當與可行性的處理對策，研究目的分述如下：

### 一、分析各土壤特性：

- (一) 探討土質種類顆粒特性與重量
- (二) 探討不同土壤孔隙率與密度
- (三) 探討不同土壤含水量
- (四) 探討地下水對不同土壤的滲透速度與飽和含水量

### 二、分析地震對不同土壤造成液化的影響

- (一) 探討地震對不同土壤重新排列的影響
- (二) 地下水層對不同土壤的側潰現象
- (三) 地下水層對不同地點的噴砂影響

### 三、探討地震防治及因應對策

- (一) 以模型房屋模擬於不同土壤下的震盪影響
- (二) 在地震時不同地點對地下水位上升的影響
- (三) 探討震央對不同角度下之液化區噴砂的影響

## 參、實驗設備與器材








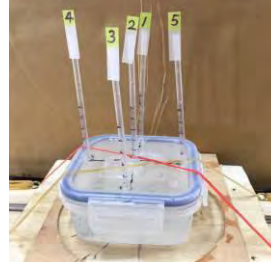
### 一、實驗器材：

花園土、工地砂、紙、筆、電腦、圓形盆子、小量杯、量筒、滴管、長尺（最小刻度為1mm）、竹籤、各式大小方形圓形膠盒數個、勺子、保麗龍等。

### 二、實驗設備：(如表 1)

- (一)精密天平，HG 型號，ViBRA Co. Ltd.，日本，0-10000g，精度 0.01g。
- (二)震盪器，TS-500 型號，Faith Technology Co. Ltd.，台灣。
- (三)電子秤，SK-2 型號，BHL Online Co. Ltd.，台灣。
- (四)篩子：10 目(孔徑：2.00 mm)及 30 目(孔徑：600  $\mu$ m)，尚偉公司，台灣。
- (五)房屋模型：陶瓷，台灣。
- (六)自製水平震盪器：L x W x H= 60x20x30 cm，撞擊力 5 Kgf。
- (七)自製水分滲透機構：L x W x H= 10x10x60 cm，測量滲透深度 50cm。
- (八)自製液面上升機構：L x W x H= 15x15x15 cm，測量液面範圍 0-10cm。

表 1 實驗設備一覽表

<p>精密天平</p> 	<p>震盪器</p> 	<p>電子秤</p> 	<p>篩子</p> 
<p>房屋模型</p> 	<p>自製水平震盪機構</p> 	<p>自製水分滲透機構</p> 	<p>自製液面上升機構</p> 

註 1、震盪器的旋鈕刻度，對應實際震盪轉速校正如下：（單位：轉/分鐘, r.p.m）

旋鈕刻度	旋鈕角度 (度)	實際振盪轉速 r.p.m.			
		第一次 (r.p.m.)	第二次 (r.p.m.)	第三次 (r.p.m.)	平均 (r.p.m.)
刻度一	45	24	24	24	24
刻度二	90	46	46	45	46
刻度三	135	86	84	87	86
刻度四	180	120	130	120	126
刻度五	225	166	165	169	167
刻度六	270	220	226	224	223
刻度七	315	250	256	259	255

## 肆、研究過程與方法

### 一、發展研究架構

### 二、文獻探討

### 三、分析不同顆粒土壤的重量、密度、孔隙率、含水量及滲透等特性

- (一) 重量實驗
- (二) 孔隙率與密度實驗
- (三) 含水量實驗
- (四) 滲透實驗

### 四、分析地震對不同區域的土壤液化的影響。

- (一) 震盪對土壤重新排列實驗
- (二) 側潰實驗
- (三) 噴砂實驗

### 五、探討地震防治及因應對策

- (一) 震盪實驗
- (二) 液面上升實驗
- (三) 角度實驗

## 伍、研究結果與討論

### 一、發展研究架構

本研究先取樣不同來源的土壤，探討其土壤密度、孔隙率、含水量、滲透率等基本物理性質，再分析地震對土壤的影響，最後根據所設計的實驗結果，找出可以防治土壤液化的可行方案，研究架構如圖 2。

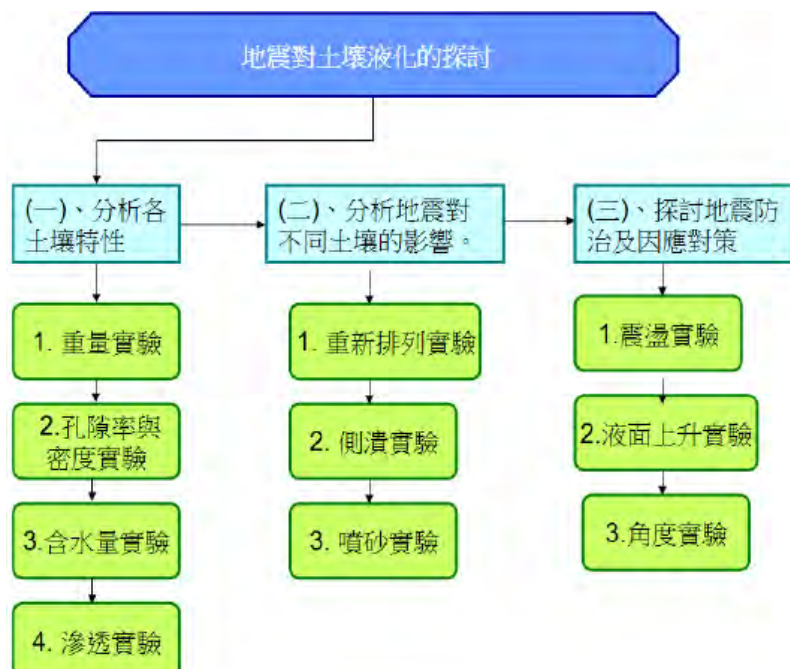


圖 2、土壤液化研究架構圖

## 二、文獻探討

土壤是由空氣、水與土粒所構成，一定體積內的土壤重量中，包括有水與土粒。土壤液化是由固體狀態的土壤混合水搖晃轉化為泥漿狀態的行為，與土石流的差別，為土石流是因為降雨量過大，水滲入表層砂質土層造成，而土壤液化則是地下水層的水，因地震壓力上升到地表砂質土層所造成。土壤液化有三個成因，一是土質鬆散，二是較高地下水位，三是發生強烈地震，說明如下：

### 1. 土質鬆散：

土質鬆散成因是因土質顆粒大小差異太大所致，經過震盪後會重新排列與下陷。就地質材料而言，顆粒愈細的沉積物愈容易產生土壤液化。一般有兩種土壤可能會發生這種現象：一是黏土；另一是細砂或粉砂質土壤。

### 2. 較高的地下水位：

地下水係指流動或停滯於地面以下之水，通常存在於飽和含水的土壤及岩石孔隙或裂隙中，地下水位會依照季節與雨量有所變化，水位上升形成的水壓，會引發地表岩石、沉積物或地層破裂，最後由孔隙中或岩層的破裂面中噴出，輕微則可能僅是水析出地面變得溼潤，水壓大的狀態下會形成噴泉或是湧泉。

### 3. 發生強烈地震：

以中央氣象局的地震分級來看，芮氏六級可稱為強烈地震，在人口密集的地區，對一定數量的建造優良的建築物造成損壞。抗震結構承受輕度到中度損傷。設計不佳的結構造成中度至嚴重的傷害。在更廣泛的領域都感覺到地震，從震央到數百英里或公里。於震央區有強至劇烈搖晃。芮氏七級可稱為重大地震，導致大部分建築物損壞，有的部分或全部倒塌或受到嚴重損壞。設計優良的結構也可能造成損害。在很遠的距離都有重大損害，但主要局限於震央 250 公里內，全球每年約發生 10–20 次(線上維基百科)。此外，地震所產生的震波應力會擠壓的地下水上升，使地層中泥質沉積物含水過飽和，進而形成液化的泥漿，沿著上覆岩層或土壤的裂隙或舊有的水井孔道等，冒出溢流噴發在地表面。如發生噴砂甚至形成泥火山或造成地面隆起或破裂等現象。此外，地震也會使含水過飽和的土壤，沿地面斜坡順勢流動下滑而發生砂土泥漿流動。當液化土壤層上若有其他無法液化的礫石、沙土層或其他人工結構物存在時，這些上覆層會因土壤液化而失去支撐力道，而瞬間發生移位與地層沉陷等現象(陳，2002)。

### 三、分析不同顆粒土壤的重量、密度、孔隙率、含水量及滲透等特性

#### (一)土壤準備：

1. 將花園土與工地砂分別以不同孔徑篩子分成三類不同大小顆粒的實驗用土，共六種實驗用土(簡稱)分別為工地砂細(工細)、工地砂中(工中)、工地砂粗(工粗)、花園土細(花細)、花園土中(花中)、花園土粗(花粗)來做為以下說明。
2. 所有篩選土壤的分類過程皆經過二次重複篩選確認，如圖 3。




工地砂土:細、中、粗	花園土壤:細、中、粗	篩土過程
		

圖 3、土壤分類與篩土過程

#### (二)土壤重量測量實驗：

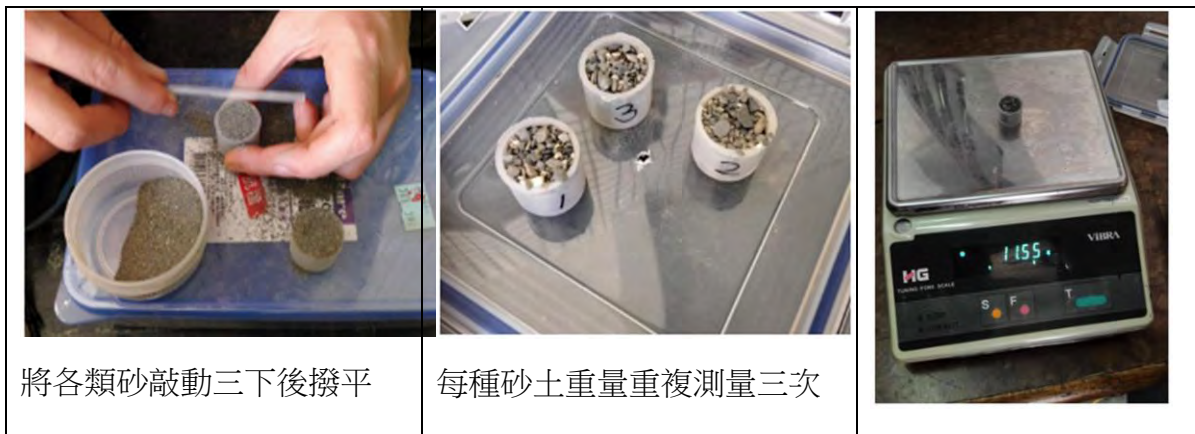
##### 1.定義：

- (1)土壤重量為一定體積杯子中的土壤重量，包括空氣( $W_{air}$ )、水( $W_{water}$ )與土粒( $W_{dry\ soil}$ )。其中空氣重量可忽略，故定義土壤單位重量為  $W_{soil}$  (g)。

$$W_{soil} (g) = W_{water} (g) + W_{dry\ soil} (g) + W_{cup} (g) \text{-----式(1)}$$

##### 2.實驗步驟：

- (1)取三個相同容量的量杯，利用精密天平測量其空杯重量，如表 2-1。
- (2)將六種實驗用土分別放入三個小量杯中，每次裝滿土後皆敲動三下直至其土壤凸出後撥平後於天平上測量，如圖 4，記錄得出三個量杯含土壤重量的平均值，如表 2-2。



將各類砂敲動三下後撥平

每種砂土重量重複測量三次

圖 4、以精密天平測各類砂土重量

### 3.實驗結果

表 2-1 空杯重量( $W_{cup}$ )表

	第 1 次測量 (g)	第 2 次測量 (g)	第 3 次測量 (g)	平均重量 (g)
空杯重	2.37	2.36	2.38	2.37

表 2-2 各類砂土的重量( $W_{soil}$  (g))表

砂土	顆粒大小	第 1 次測量(g)	第 2 次測量(g)	第 3 次測量(g)	平均重量(g)
工地砂	細	11.4	11.15	11.65	11.31
		11.3	11.3	11.45	
		11.25	11	11.35	
	中	10.95	10.85	11.15	10.87
		10.8	10.85	10.85	
		10.9	10.8	10.7	
	粗	11.85	11.65	11.3	11.47
		11.65	11.5	11.45	
		11.7	10.95	11.15	
花園土	細	8.3	8.3	8.55	8.52
		8.55	8.55	8.5	
		8.7	8.55	8.65	
	中	9.25	9.25	9.2	9.33
		9.35	9.55	9.3	
		9.3	9.3	9.5	
	粗	10.5	9.85	10.2	9.97
		9.9	9.4	10	
		9.6	9.75	10.5	



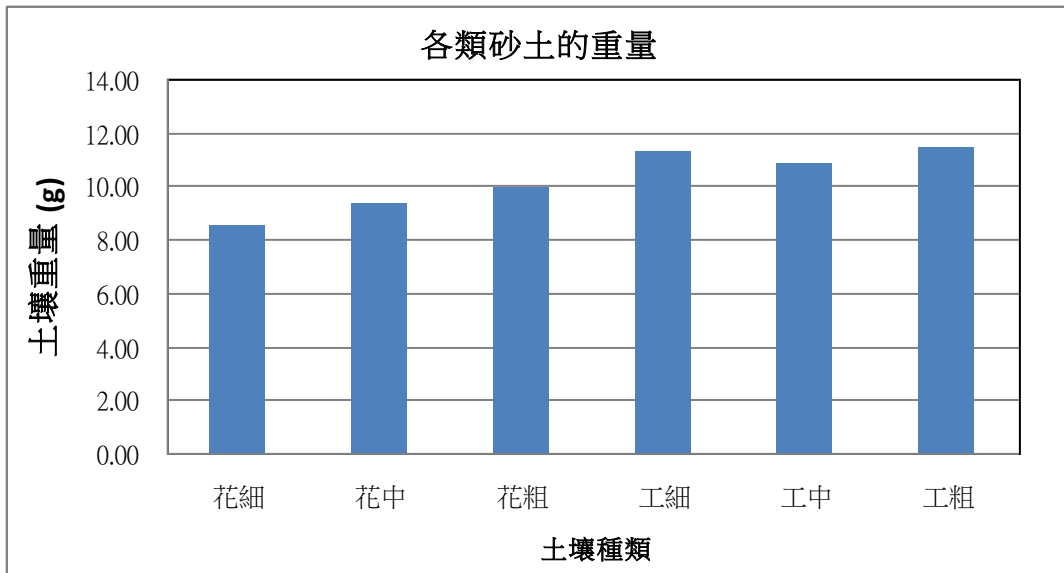


圖 5、各類砂土的重量

#### 4.實驗討論：

我們以同體積的六種砂土比較，發現各類砂土中的土壤重量與顆粒大小成正相關，但工中土壤卻較工細的土壤輕，推測可能是工中土壤的孔隙，比工細較多且大所造成，所以工細的土壤密度較大(見表 3-2)，在相同體積中的工細的土壤比較重。

### (三) 孔隙率及密度實驗

#### 1.定義：

(1)孔隙率(Porosity,  $n$ )：指散粒狀土壤體積中，土壤中孔隙體積( $V_v$ ，包括水與空氣)與總體積( $V_t$ ，包括土、水與空氣)的比值，通常以百分率表示。

$$n = V_v / V_t \times 100 \% \text{-----式(2)}$$

(2)孔隙比 (Void ratio,  $e$ )，土壤中孔隙( $V_v$ )和土壤固體體積( $V_{soil}$ )之比。

$$e = V_v / V_{soil} \text{-----式(3)}$$

(3)土壤密度(Soil particle density,  $D_{soil}$ )：又稱土壤比重，單位為( $g/cm^3$ )。一般土壤的密度多在  $2.6-2.8 g/cm^3$  範圍內，有機質含量高的土壤密度會比較低。

$$D_{soil} = W_{dry\ soil} / V_{dry\ soil} \text{-----式(4)}$$

(4)孔隙體積(Void volume,  $V_v$ )

$$V_v = (W_2 - W_1) / D_{water} \text{-----式(5)}$$

(5)乾燥土壤體積(Dry soil volume,  $V_{dry\ soil}$ )

$$V_{dry\ soil} = (W_4 - (W_2 - W_1)) / D_{water} \text{-----式(6)}$$

#### 2.實驗步驟：

(1)將各組實驗用空瓶加滿水，秤其重量後，結果如表 3-1。

- (2)將六組土壤裝滿空瓶且不擠壓土壤，再以水填滿，秤其重量(即土壤+杯+水重)。
- (3)放入烤箱(溫度達 150 度) 60 分鐘烘乾後，測得各組乾土重量。結果如表 3-2。
- (4) 因為水在 25°C 密度  $D_{\text{water}} (\text{g}/\text{cm}^3) = 0.9971(\text{g}/\text{cm}^3) \approx 1 (\text{g}/\text{cm}^3)$ ，故可得孔隙的體積與土壤顆粒的體積，並計算各組土壤的孔隙率及土壤密度，結果如表 3-2。
- (5) 將表三各組土壤的孔隙率與密度，轉成圖 6-1，圖 6-2。

### 3.實驗結果：

表 3-1 空瓶之重量與容積測量表

空瓶	空瓶重 $W_b(\text{g})$	水與瓶重 $W_b+W_{\text{water}}(\text{g})$	空瓶的容積( $\text{cm}^3$ ) $=\text{水總重}(\text{g})W_{\text{water}}/ D_{\text{water}}(\text{g}/\text{cm}^3)$
第一次	156.5	260	103.5
第二次	155	258.5	103.5
第三次	155.6	258.5	102.9
平均	155.7	259	<b>103.3</b>

表 3-2 各組土壤之孔隙率比較表

種類	顆粒大小	乾土+瓶 $W1$ (g)	乾土+瓶 +水 $W2$ (g)	乾土重 $W3$ (g)	孔隙體積 $V_v$ ( $\text{cm}^3$ )	乾土體積 $V_{\text{dry soil}}$ ( $\text{cm}^3$ )	土壤密度 $D_{\text{soil}}$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	孔隙比 $e$ (%)	孔隙率 $n$ (%)
花園土	細	286.5	330.5	130.9	44	59.3	2.20	74.1	42.6
	中	281.5	329	125.9	47.5	55.8	2.25	85.1	46.0
	粗	300	340	144.4	40	63.3	2.28	63.1	38.7
工地砂	細	302.5	344	146.4	41.5	61.8	2.36	67.1	40.2
	中	300	341	144.4	41	62.3	2.31	65.8	39.7
	粗	320	353	164.4	33	70.3	2.33	46.9	32.0

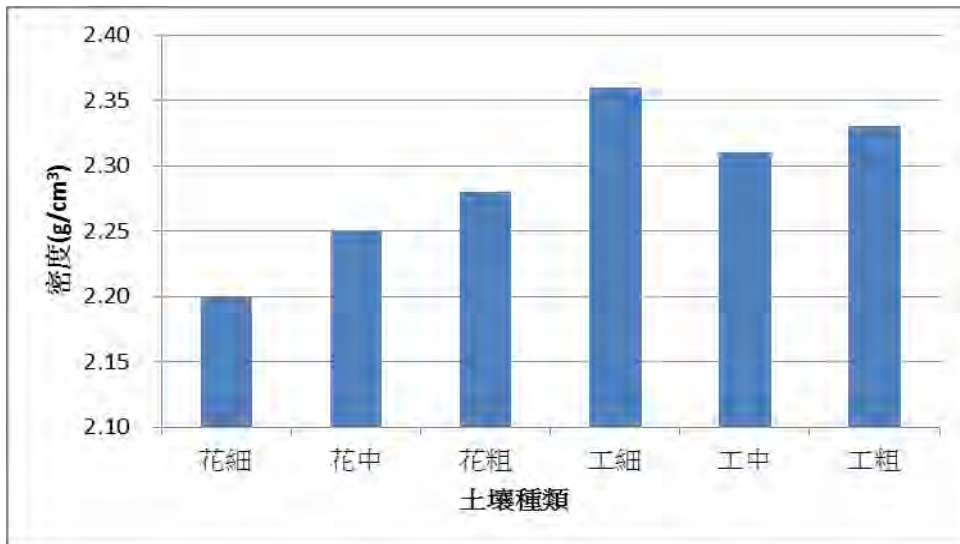


圖 6-1、各組土壤之密度

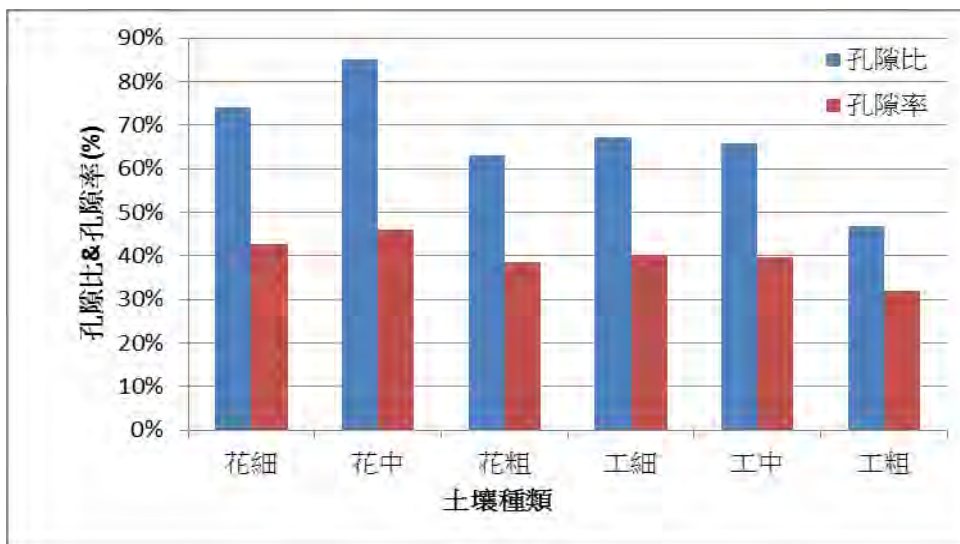


圖 6-2、各組土壤之孔隙比與孔隙率

#### 4. 實驗討論：

本實驗各組土壤的密度範圍在  $2.20 \sim 2.36 \text{ g/cm}^3$  之間，土壤密度越大，在相同體積中的土壤就會比較重，**工地土的密度皆大於花園土**。我們由表 3-2 實驗結果可看到花園土及工地土中**當顆粒越粗，孔隙率越低**，而花園土的孔隙率介於 38.7%至 42.5%之間，工地土的孔隙率介於 32.0%~40.2%之間，各組花園土孔隙率皆高於工地土的孔隙率。而文獻指出當土壤樣品中沙粒空區的總體積比沙粒的總體積之比值超過 0.65(或 65%)，地震時就可能發生液化。在後續的實驗中，花園土都易產生液化現象，我們在回顧本實驗後也發現其中**花中、花細以及工細的孔隙比在 67.1%~85.1%之間**，由此印證孔隙比當超過 65%是容易液化的分界點，**孔隙比越高越容易液化**。

#### (四) 含水量實驗

##### 1. 定義：

土壤的含水量(Moisture content, MC)為土壤內所含水之重量( $W_{\text{water}}$ )與土壤固形物之重量(乾單位重  $W_{\text{dry soil}}$ )，通常以百分比表示。

$$MC = W_{\text{water}} (g) / W_{\text{dry soil}} (g) \times 100\% \text{-----式(7)}$$

##### 2. 實驗步驟：

- (1) 正常溼度下將六組土壤放入鋁箔紙盤上，測量各組總重量(即土壤+鋁箔紙)。
- (2) 放入烤箱(溫度已達 150 度)120 分鐘後，待冷卻後取出。
- (3) 分別秤各組土壤重量如圖 8，並計算各組土壤的，結果如表 4。
- (4) 將表 4 各組土壤的表轉成圖 9。



圖 8 烘烤土壤 :由左至右依序為烤前土秤重、將土烘烤、烤溫 150°C、烤後土秤重

##### 3. 實驗結果：

表 4 各組土壤含水量

		烤前(g) W1	烤後(g) W2	水重(g) W3	含水量(%) W3/W2
花園土	細	114	109.5	4.5	4.1%
	中	122	118.5	3.5	2.95%
	粗	150	142.5	7.5	5.26%
工地砂	細	117.5	114.5	3	2.62%
	中	146	132	14	10.6%
	粗	143	127.5	15.5	12.15%

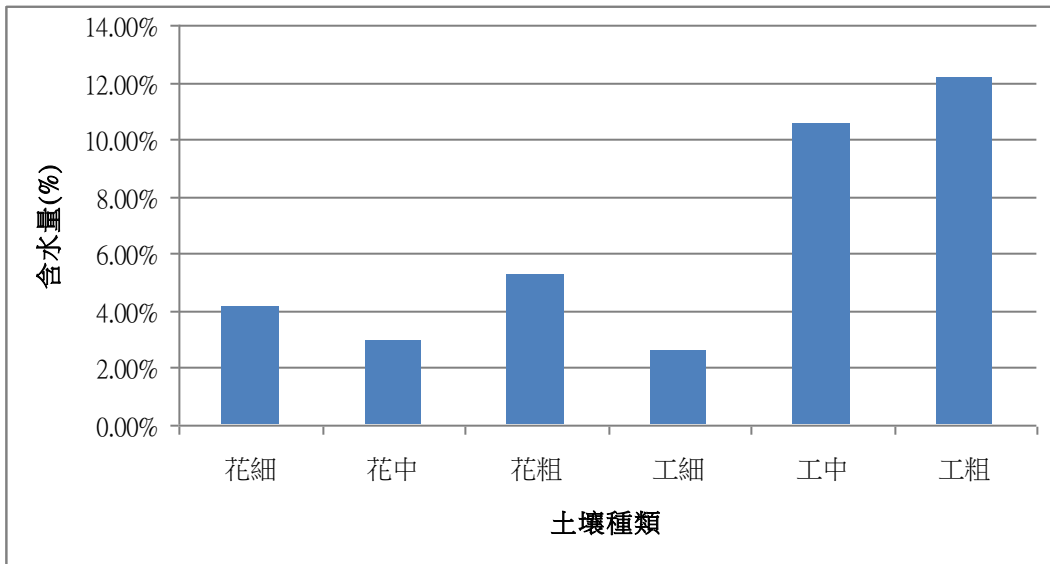


圖 9、各組土壤正常濕度下的含水量

#### 4.實驗討論：

在砂質土壤中飽和度是引發土壤液化的一個關鍵原因，而土壤孔隙間的飽和度最主要就是土壤含水量的多寡，不同含水量的土壤對於土壤遭受震波時有不同的反應(顏，2012)。我們在正常濕度下觀察到花園土的含水量較工地土低，而花園土的含水量介於 2.95%至 5.26%之間，工地土的含水量介於 2.62%~12.15%之間，可發現各組工地土之間的含水量變異較大。

#### (五) 滲透實驗

##### 1.定義：

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。

$$S = V_{water,s} / V_v \times 100\% \text{-----式(8)}$$

土壤滲透速率的定義，是以從開始注入 50mL 水後，到流出 50mL 所花的時間，計算出不同土壤其平均每秒的滲透量，稱為其滲透速率。

##### 2.實驗步驟：

- (1)將一小密封盒子上下兩處鑽孔。
- (2)上孔與滴定管連接。
- (3)盒子下孔與燒杯連接，觀察漏出的水。
- (4)分別測量滴落第一滴水開始的時間，滴落第一滴水時所注入的水量，以及燒杯滴滿 50ml 的時間，結果如表 5。
- (5) 將表 5 轉成圖 10。

### 3.實驗結果：

表 5、各組土壤的滲透時間與含水量比較表

		第一滴的時間 (sec)	滴 50ml 的時間 D(sec)	達飽和含水率的水量 (ml)	滲透速率 (ml/sec)D/50
花園土	細	44	41	24	1.22
	中	35	34	30	1.47
	粗	10	35	13.5	1.43
工地砂	細	23	45	23.5	1.11
	中	19	51	22.5	0.98
	粗	7	54	9.5	0.92

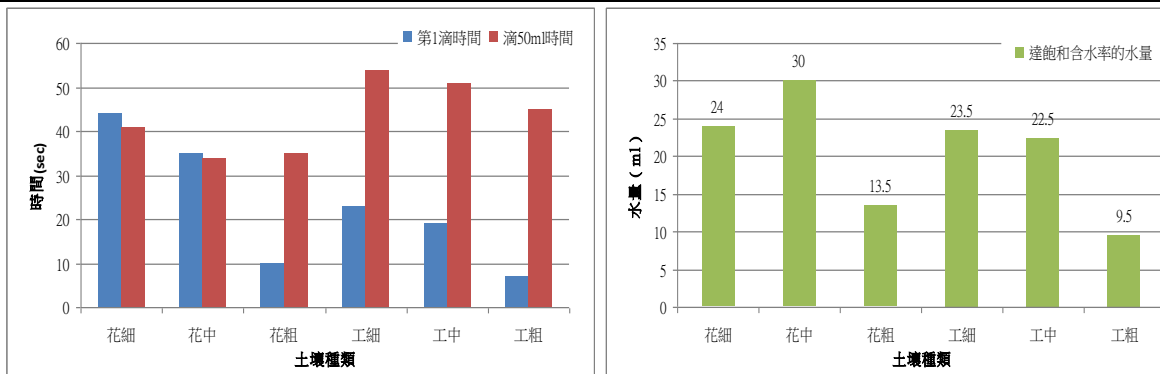


圖 10、各組土壤的滲透時間與含水量比較圖

### 4.實驗討論：

根據文獻說明，土壤液化通常發生在排水性差的鬆散飽和土壤，如粉土質砂、鬆散細砂或不排水的礫石層，經由外力動態荷重反覆震盪，如地震，鬆散沙的土壤體積減少，土壤孔隙水壓力增加(顏，2012)。在我們的實驗中，工地細砂的滴落第一滴水開始的時間在工細組之時間共花費 23 秒，花園土之花細與花中滴落第一滴水開始的時間共花費 44 秒與 35 秒，工地砂與花園土顆粒越小流速越慢，顆粒越大流速越快，故顆粒小流速慢時，較易保住水分。且顆粒大的含水量較低，排水速度快，較不易形成液化。在滲透 50ml 的時間性上面，工地砂需要花費 45~54 秒。而花園土需要花費 35~41 秒，所以花園土達飽和狀態時需要的時間較短，故我們推測花園土顆粒小是最易產生土壤液化的土質。

## 四、分析地震效應對不同區域的土壤液化的影響

### (一) 震盪對沙層重新排列實驗

#### 1.定義：

當排列鬆散且孔隙中充滿水的砂質土壤受到地震激烈搖動後，土壤顆粒排列趨於緊密而擠壓孔隙水，造成孔隙水壓增高，沙粒間的結合力因而減少甚至消失，當液化發生時砂與水混合成如泥漿般的液體，在地震發生後，由於砂土顆粒錯動後變為緊密導致地層發生下陷的情形，如圖 11。

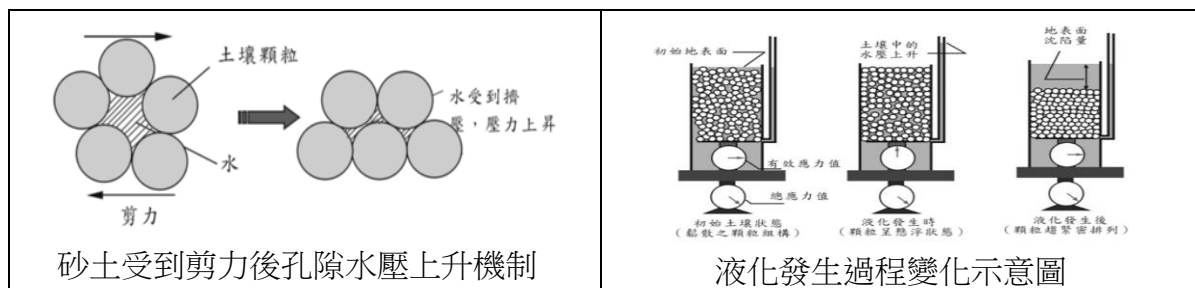


圖 11、孔隙水壓上升機制與液化發生過程變化示意圖(陳，2002)

### 2.實驗步驟：

- (1) 將六組乾燥土壤分別取三量杯的土放入方形密封盒中將水加至土面等高，先劃一橫線為記號。
- (2) 加蓋並固定後，開始震盪 5 分鐘，速度為第七刻度(最大)，如圖 12。
- (3) 測量開蓋子觀察並測量液面高度與土層最高與最低位置(cm)並記錄測量，結果如表 6，圖 13。
- (4) 將液面高度變化表 6 轉成圖 14。

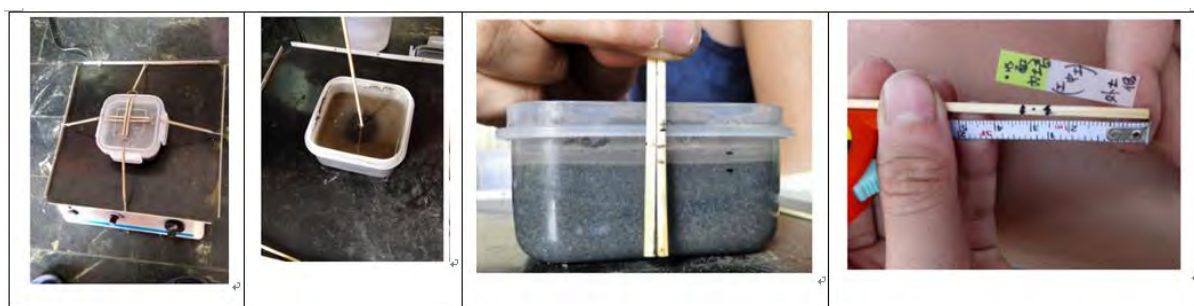


圖 12、測量震盪後液面與土高度：由左至右依序為震盪土壤、以竹籤紀錄土最高點、紀錄土最低點、量測高度

### 3.實驗結果：

表 6、不同顆粒大小土壤震盪後重新排列之土高比較表

土壤種類		震前水高(cm)	震後土最高點(cm)	震後土最低點(cm)
花園土	粗	2.6	2.6	2.4
	中	2.7	2.3	2.3
	細	2.4	2.0	2.0

工地砂	粗	2.8	4.3	2.3
	中	2.9	3.2	2.5
	細	3.0	3.0	2.5

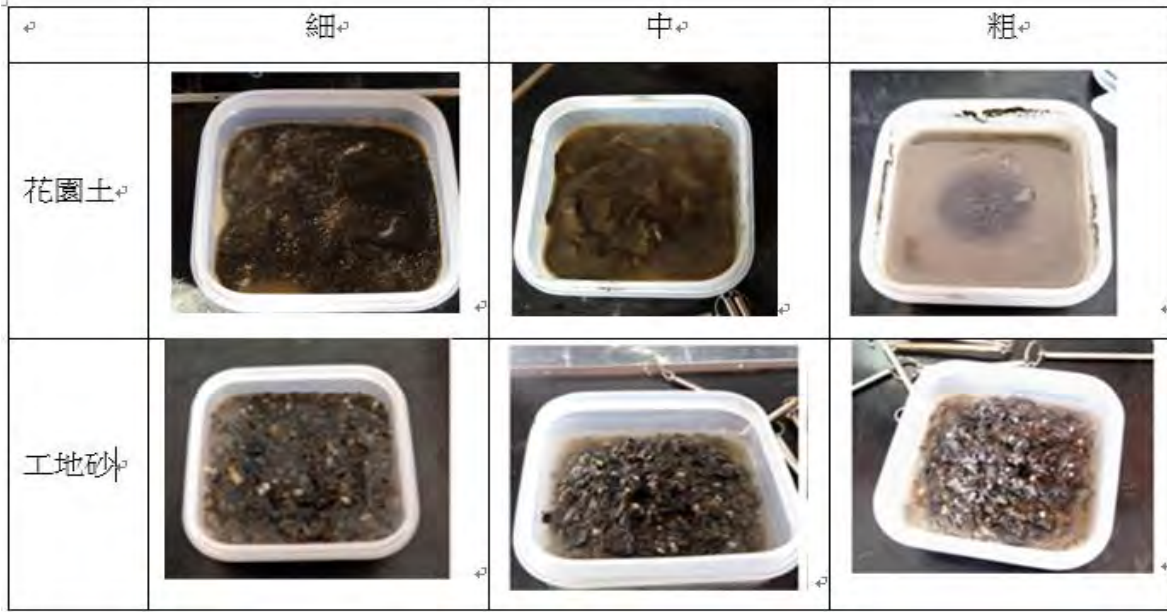


圖 13、震盪後土壤液面高度變化圖

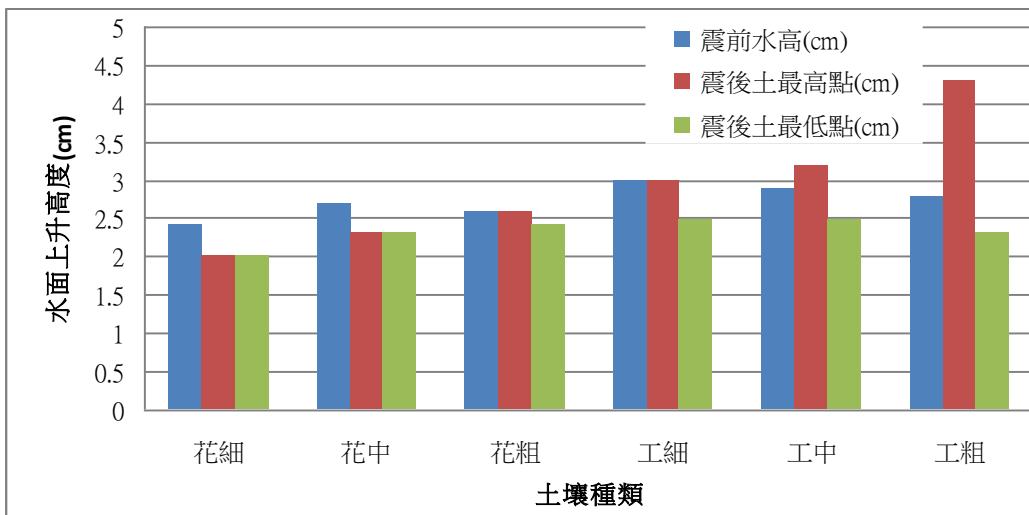


圖 14、各組土壤震盪後重新排列之土高比較圖

### 5. 實驗討論：

我們發現每種土壤經由搖晃固定時間後造成密度與孔隙度改變，土壤會更緊實，顆粒的緊密度會表現在體積上，也會造成高度的改變。由實驗結果觀察到砂層粒子重新排列現象在工地細砂組震盪後，中央與水面同高，四周土層較水面低。花園中土與花園細土組震盪後都成泥漿，水土面皆均勻混合，土易與水面一起流動，所以經過震盪後，飽含水份之土質越細與液化現象成正相關，而造成土質流動。經實驗也發現盆地的地形發生地震時，我們觀察出



土壤受震波作用會產生向中央靠攏的趨勢，但是，靠近邊緣周圍的地質高度較低，推測可能有側潰現象產生。並推想若已經震盪重新排列過一次之後，下次再經震盪重新排列的土壤要再液化的機會其可能性將會降低。

## (二) 側潰現象

### 1. 定義：

土壤液化所引發的側潰現象常發生在緩坡或近水岸地形，附近地面會出現接近平行於堤岸的主要裂縫，並伴隨連接主要裂縫的細小裂縫，及有深度或斷裂的地盤崩陷。此外，地震對不同地形會產生不同的效應，即盆地效應(沖積層效應)，最明顯會發生在台北盆地與西部平原區中，主要是物理上的共振現象，地震從堅硬的岩盤經過鬆軟的沖積層中，地震的波動會因介質的不同而讓波動放大，地震波頻段被限制在盆地之中，使得震動更為劇烈。

### 2. 實驗步驟：

(1) 在填滿工細土的大方盒中放入一小濾紙盒工中濕土(飽和)並在上覆蓋一層薄乾沙。

(2) 方盒加蓋並固定後，開始震盪 5 分鐘，速度為第五刻度(最大)。

(3) 開蓋觀察土壤表面變化。

(4) 為了模擬不同土質離河流水岸較遠處的地形，將大方盒改圓盒並重複 1~3 步驟，結果如圖 15。

(5) 為了模擬不同土質河流水岸旁的地形，故大方盒區放濕砂，倒入小方盒乾砂並重複 1~3 步驟，結果如圖 17。

### 3. 實驗結果：

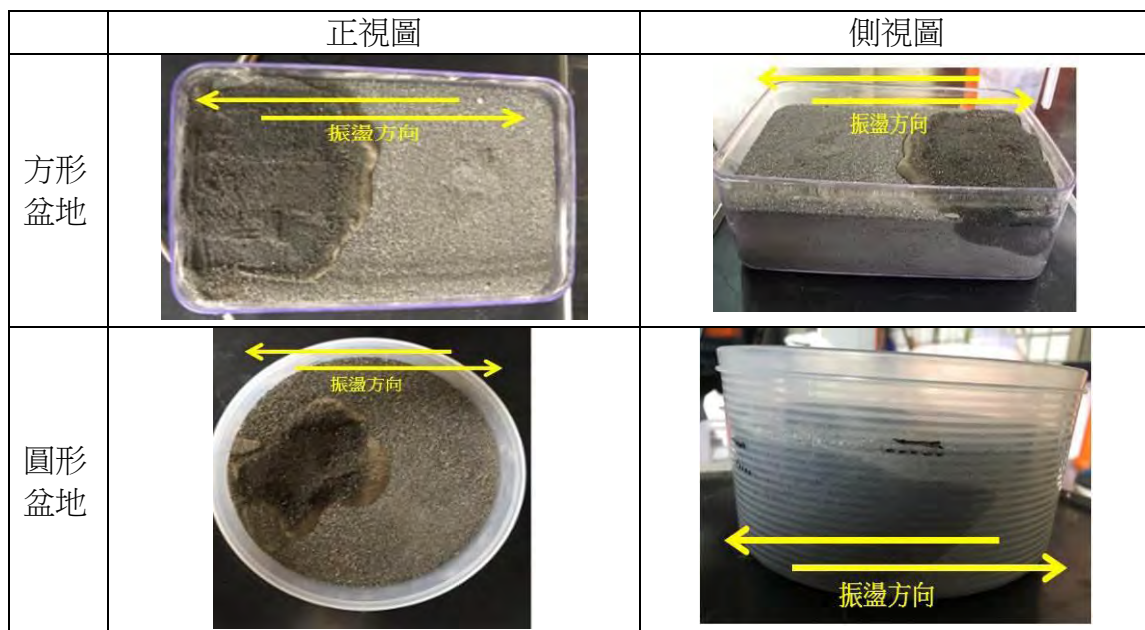


圖 15、模擬不同土質地形的側潰試驗[圖式為震盪後噴砂的濕土痕跡]

#### 4.實驗討論：

實驗中設計為內盒中顆粒工中的土質而外盒為小顆粒工細的土質，當振盪時，工中的水會進到工細裡面，取代工細的間隙形成地表崩陷與土壤液化現象。此外，本實驗在模擬一般周圍多為堅硬岩層而內為鬆軟土質的盆地地形，由於共振結構的影響，當振盪震波時通過盒子內鬆軟土質時，震波會有放大的作用。並且震波在盒子周圍器壁的阻擋下也會產生反射波的作用，類似盆地周圍山丘的影響，會使震波在盆地內來回反射，產生所謂的盆地效應，這兩種作用力會使振盪震波的破壞力產生放大作用，如圖 16 為 921 地震時通過台北盆地震波受盆地效應產生放大作用(溫等，2005)。結果顯示，在方形盒子中土壤液化多發生在靠近盒子的邊緣。但是，圓形盒子中土壤液化卻發生在靠近中央的區域，並且土壤下陷程度較方形盒子深 0.3-0.5 cm，驗證文獻中盆地效應的確比較引發土壤液化與地表下陷的災情(藍，2014)。

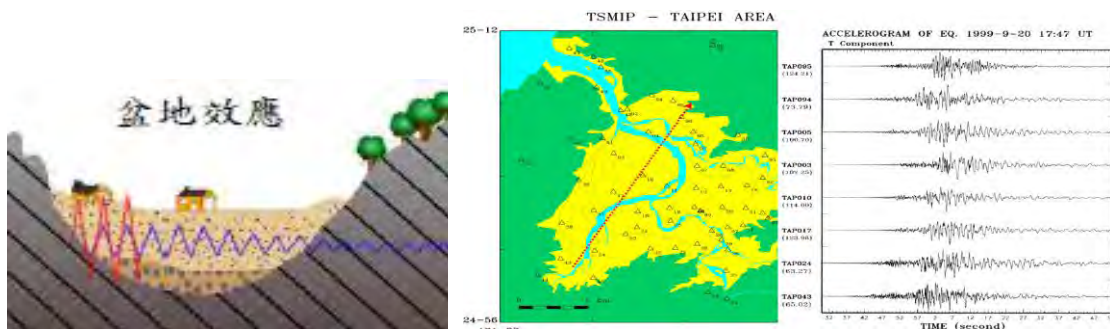


圖 16、地震通過台北盆地震波受盆地效應產生放大作用(溫等，2005)



圖 17、震盪後不同土質地形的側潰狀況

[圖示由左至右依序為震盪時、震盪後以五個角度觀察砂土下陷的情形]

另外我們更改地形變化，將外盒改放濕砂而內盒放乾沙，可以模擬離河流水岸旁的地形在地震後的側潰現象，在經由震盪後觀察到在地質交界處皆有濕砂下陷，尤其方盒四角更為明顯。在翻閱文獻時也發現有很多重大的地震事件伴隨有地盤側潰的現象，如 1999 年集集地震也引致南投貓羅溪沿岸發生數公尺的側向變位，臺中霧峰地區發生的側潰現象也造成農田與地盤龜裂，許多地上、下結構物嚴重受損(陳、陳 2014)。由實驗結果顯示，令人擔心的是土壤岩層可能會由於地下水的滲入，造成土質分布重新排列

後，會造成更大的空洞，所以推想學校在地震後，因土壤液化下陷並造成噴砂的現象，此嚴重問題將會危及校園的安全。

### (三) 噴砂實驗

#### 1. 定義：

在飽和土壤經地震後產生土壤液化現象，土壤顆粒排列緊密擠壓孔隙水，使孔隙水壓增高至超過負荷時，便能使的沙土由地層中裂隙往上衝出地面，稱為噴砂，同時也可能出現流砂及地層下陷等現象。

#### 2. 實驗步驟：

(1) 將一密閉方盒之盒蓋的四邊中點及中央點共鑽 5 個孔，並標示編號如圖 18-1。

(2) 盒內裝定量的飽和濕砂土，待氣泡排出，加蓋並固定後，開始震盪 5 分鐘，速度為第七刻度(最大) 圖 18-1。

(3) 觀察其噴砂點與量，結果如表 7，圖 18-2。

#### 3. 實驗結果：



圖 18-1、在飽和土壤經震盪後產生土壤液化現象的噴砂實驗

(圖示由左至右依序為盒上有留噴砂孔、放置乾砂、飽和濕砂、震盪試驗中)

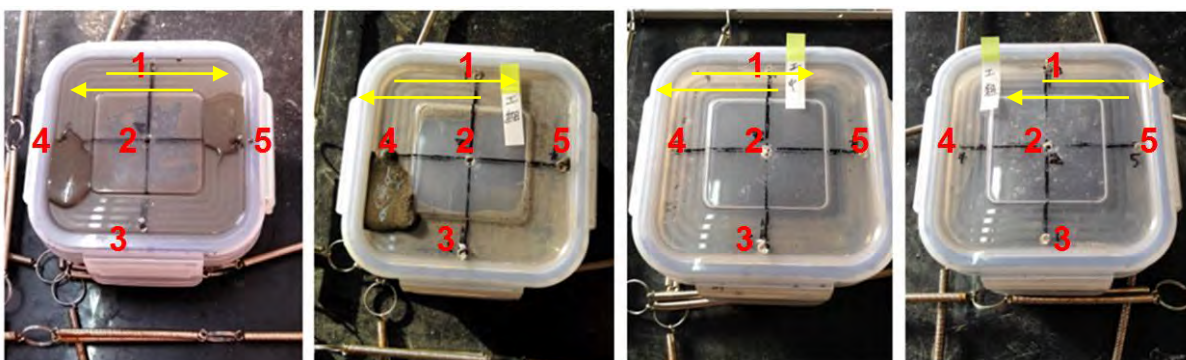


圖 18-2、經震盪後產生土壤液化現象的噴砂區域

(圖示由左至右依序為花細、工細、工中、工粗，箭頭為振盪方向)

表 7 不同顆粒土壤噴砂區域比較圖

	上方點 編號 1	中央點編號 2	下方點 編號 3	左方點 編號 4	右方點 編號 5
花園細土	無噴砂	無噴砂	無噴砂	大量噴砂	大量噴砂
工地細砂	無噴砂	無噴砂	無噴砂	中量噴砂	少量噴砂
工地中砂	無噴砂	無噴砂	有水漬	有水漬	有水漬
工地粗砂	有水漬	無噴砂	無噴砂	有水漬	有水漬

#### 4.實驗討論：

在步驟二加水入花園及工地土壤時皆有數顆氣泡冒出。待未再冒出氣泡才進行實驗。由於花園土壤粗中細液化現象相近，故取花園細土為主要實驗組。在震盪後發現各類土壤之中央點皆無噴砂情形，而在花園土之兩側[點 4、點 5]有明顯大量噴砂，且呈現與震盪方向平行，而工地各類土壤震盪後在鑽孔處有出現水痕但並無砂土噴出。結果說明花園細土和工地細砂在相同振盪的震波下，比較容易產生土壤液化現象，並且當震波垂直於盒子的邊界上，會產生較大的壓力，使土壤在表層較薄的地方會產生如同地震造成土壤液化的噴砂現象。

## 五、探討地震防治及因應對策

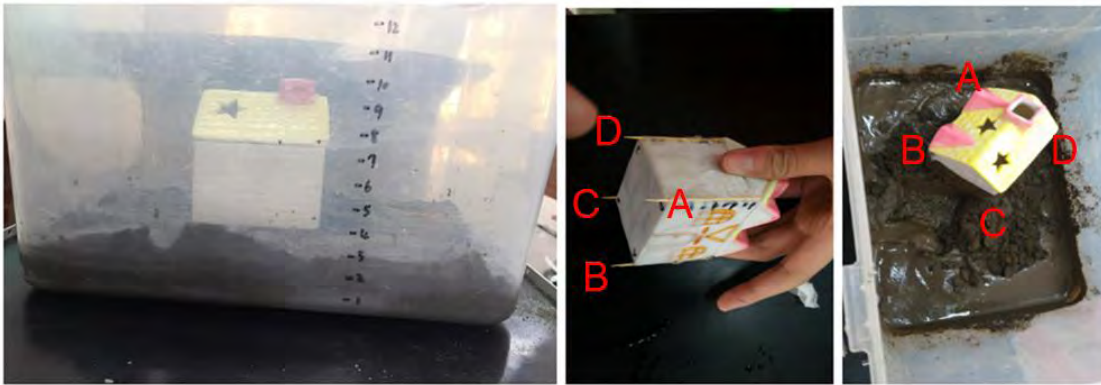
### (一) 震盪實驗

#### 1.定義：

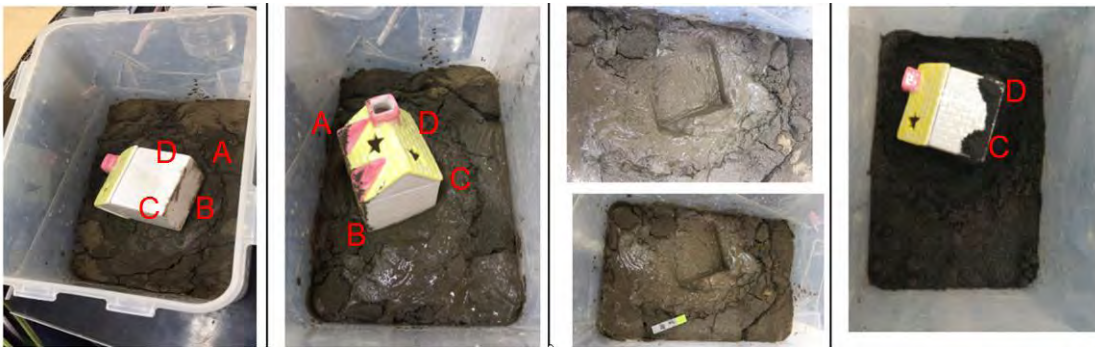
當地震會使鬆散的砂質土層與受到壓縮上升的地下水，造成沙層與水混合成為如泥漿般的液體，並且水分不能從排出時，就會產生的土壤液化(soil liquefaction)現象，不僅會致使地面建築物失去支撐上部結構的能力，並且會產生下陷或傾斜等現象。

#### 2.實驗步驟：

- (1)將濕土置於方盒底部 1.5 公分深，覆蓋 0.5 公分厚乾土，由於花園土壤之粗中細液化現象相近，故取花園細土為主要實驗組。
- (2) 於正中央放上一陶瓷模型房屋，以第七刻度(最大)震盪 10 秒。
- (3) 觀測房子四個邊下陷深度，結果如表 8。
- (4)將表八結果轉成圖 20。



上圖左至右依序為震盪前土高、有地基的模型房屋、震盪後模型房屋位移圖



上圖左至右依序為倒塌的模型房屋、土壤液化時、土壤下陷、觀察模型房屋下陷土深

圖 19、震盪作用產生土壤液化造成陶瓷模型房屋下陷實驗

### 3.實驗結果：

在震盪八秒內，發現在顆粒較細的土質上方的四角下陷明顯比顆粒較粗的土壤為深。震盪約八秒就造成無地基之房屋模型有滾動現象。實驗也發現土壤液化具有復發性，曾發生液化現象的區域，當下一次足夠振盪作用力時，原位址仍可能會再產生土壤液化，且其抗液化能力較初始狀況為低(詹，2016)。

表 8、震盪後房屋下陷深度表

無地基 乾砂 0.5cm 濕砂 1.5cm					
下陷深度單位：cm		A 角	B 角	C 角	D 角
花園土	細	3	1	2.5	3.5
	中	2	2	2	2
工地砂	粗	1	1	0.5	0.5
	細	3.5	3.5	0.5	0.5

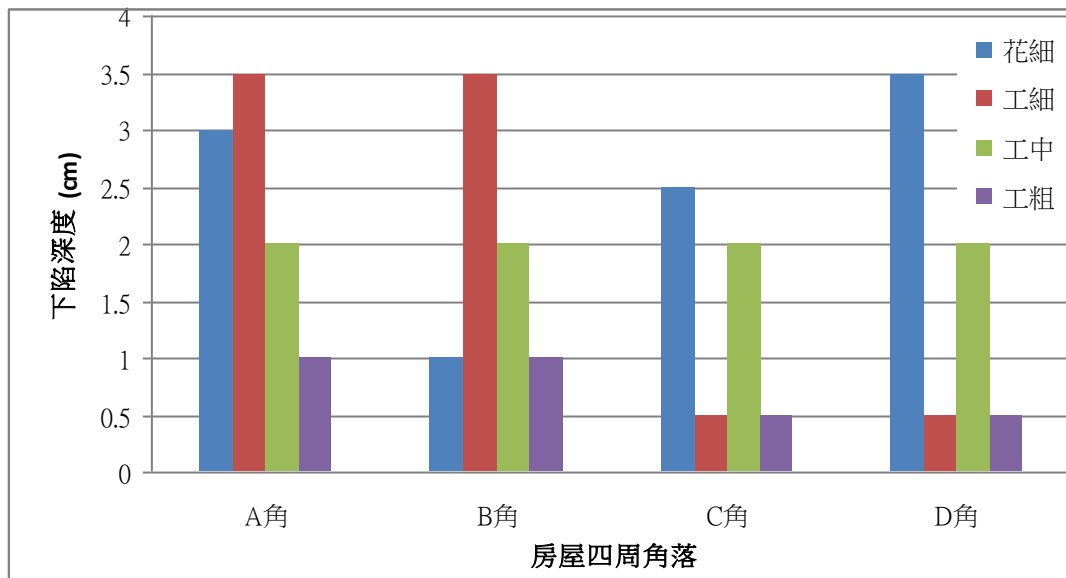


圖 20、不同土壤因地震造成土壤液化使房屋模型下陷狀況

#### 4. 實驗討論：

在震盪八秒內，發現放在顆粒較細的土質房屋之四角下陷深度比顆粒較粗的土壤為深。之後製造 1cm 地基，震動八秒也是產生房屋滾動，可能需要再進一步設計深地基或再改良。因此，房子需藉由強化與加深的地基結構，來降低土壤液化造成的危害。

#### (二) 液面上升實驗

##### 1. 定義：

當地震力作用到孔隙水壓力時，孔隙水壓力超過負荷時就會噴散，待地震結束後水壓消散，孔隙水壓就回到靜止的情況。故在地震時不同地點之地下水位上升不同。

##### 2. 實驗步驟：

- (1) 將密閉保鮮盒上蓋打孔(小盒五孔、大盒九孔)。
- (2) 接上畫有刻度(公分)的編號吸管，並用矽膠封住接口。
- (3) 以第七刻度震盪 10 秒，觀察其液面高度變化，結果如表 9，10。
- (4) 將表 9 轉成圖 22。將表 10 轉成圖 23。

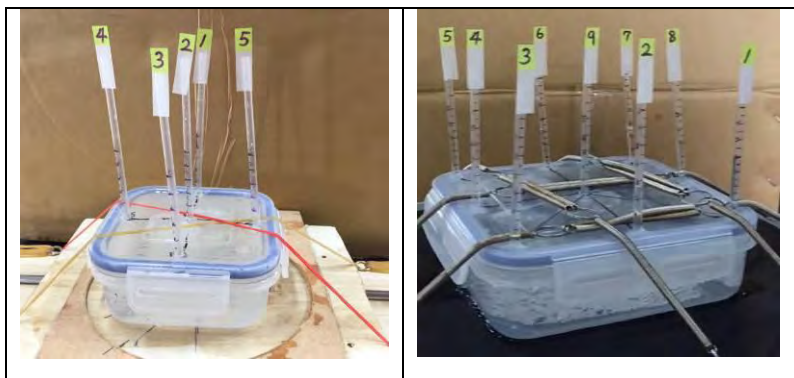


圖 21、以自製液面上升機構模擬地震造成地下水層液面上升實驗

3.實驗結果：

表 9、五孔盒震盪後液面上升高度變化表(單位:公分)，盒中液面的原始高度為 0.5cm。

吸管編號/ 液面上升高度變化量	1 號	(中央) 2 號	3 號	4 號	5 號
第一次	2	-0.5	2	1	1.5
第二次	1.5	-0.5	2	1	1.5
第三次	2	-0.5	1.5	1	1.5

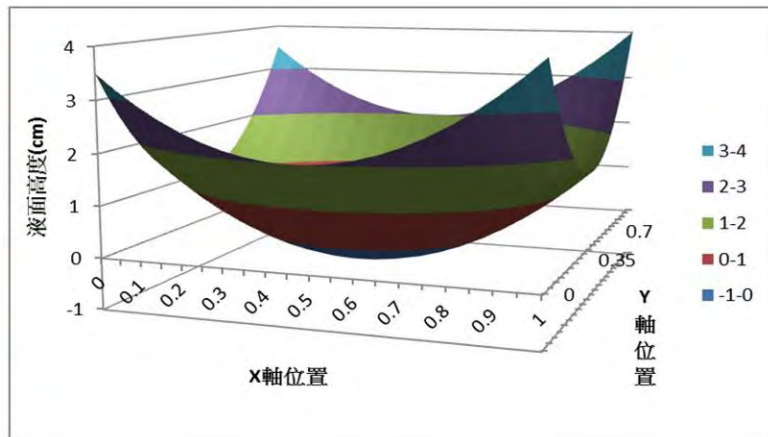
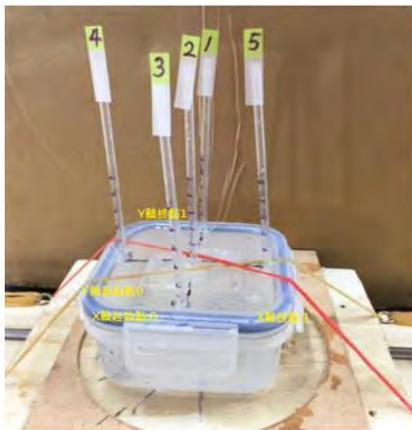


圖 22、模擬地震在局部區域地形造成地下水層液面上升變化

表 10、九孔盒震盪後液面上升高度變化表(單位:公分)，盒中液面的原始高度為 2cm。

吸管編號/ 液面上升高度變化量	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號	6 號	7 號	8 號	中央 9 號
第一次	2	1	2	1.5	2.5	1	4	1.5	-1.0
第二次	2	1	2	1.5	2.5	1	4	1.5	-1.0
第三次	2.5	0.5	2	1.5	2.5	1	4	1.5	-1.0

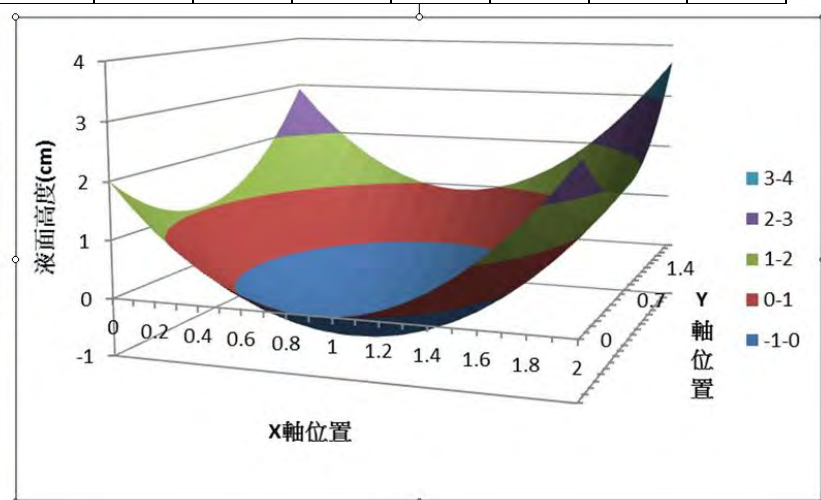
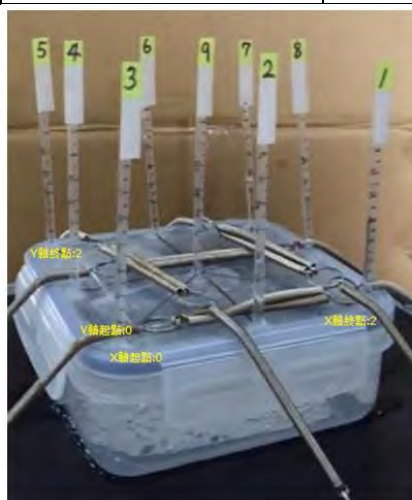


圖 23、模擬地震對大範圍區域地形造成地下水層液面上升變化

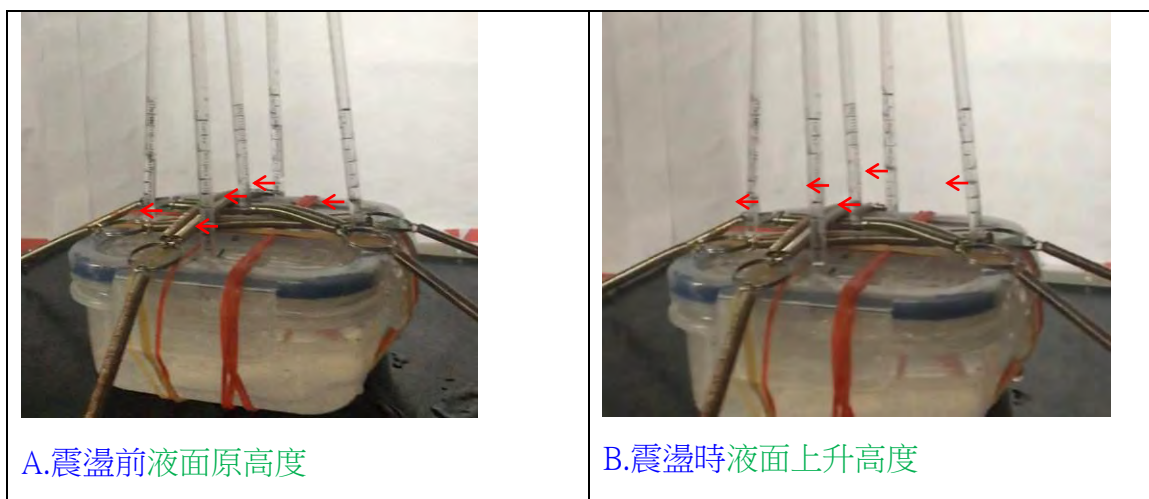


圖 24、震盪前後液面上升高度比較圖(紅色箭頭所指為快拍下液面上升位置處)

#### 4. 實驗討論：

此實驗是以應用方型盒子的模型，模擬盆地地形受到不同程度的地震，地下水層因震盪所產生的水位變化。實驗發現在震盪過程中，模型周圍四角落的水柱起伏大且有 2~3cm 水位上升，而中央水柱起伏小且變化只有 0.5~1cm，並且隨著增加震盪頻率後，周圍水位上升更顯著，而在中心的水位只有小幅度的下降。實驗利用 Excel 分析工具箱的迴歸工具軟體，將表 9 和表 10 的數據，找出在震盪時液面變化的數學方程式，分別如下：

表 9： $Z=7X^2+10Y^2-6.5X-10Y+3.5, R^2=0.94, p<0.05$ -----式(9)

表 10： $Z=2.38X^2+1.38Y^2-4.38X-2.29Y+2, R^2=0.99, p<0.05$ -----式(10)

其中，X 為盒子水平軸距離，Y 為盒子垂直軸距離，Z 為液面上升高度變化。

再將式(9)和式(10)用 Excel 劃出液位變化的曲面圖，分別可以得到模擬水層液面上升變化狀況，如圖 22 及圖 23 所示。

因此，可以推測當地震對富含水層的盆地地形，尤其是盆地靠近山脈的四周，會有大幅度的水位上升的狀況，產生相當大的水壓，進而在地層薄弱的地方，就容易產生噴砂或土壤液化現象。

### (三)角度實驗

#### 1. 定義：

為了探討地震噴砂與校內建築物之災情是否有角度關係，假設震央與建築物走向呈現一個特定角度，會先有明顯的液化現象。

#### 2. 實驗步驟：

- (1)自製水平方向震盪器，在圓盒內部裝定量濕砂土。
- (2)利用隔板創造與水平夾角的邊界(平行 0 度、30 度、45 度、60 度、90 度)，水平拉至 10 公分處共震盪五次。



(3)觀察在不同邊界角度下震盪後的液化情形。

3. 實驗結果：

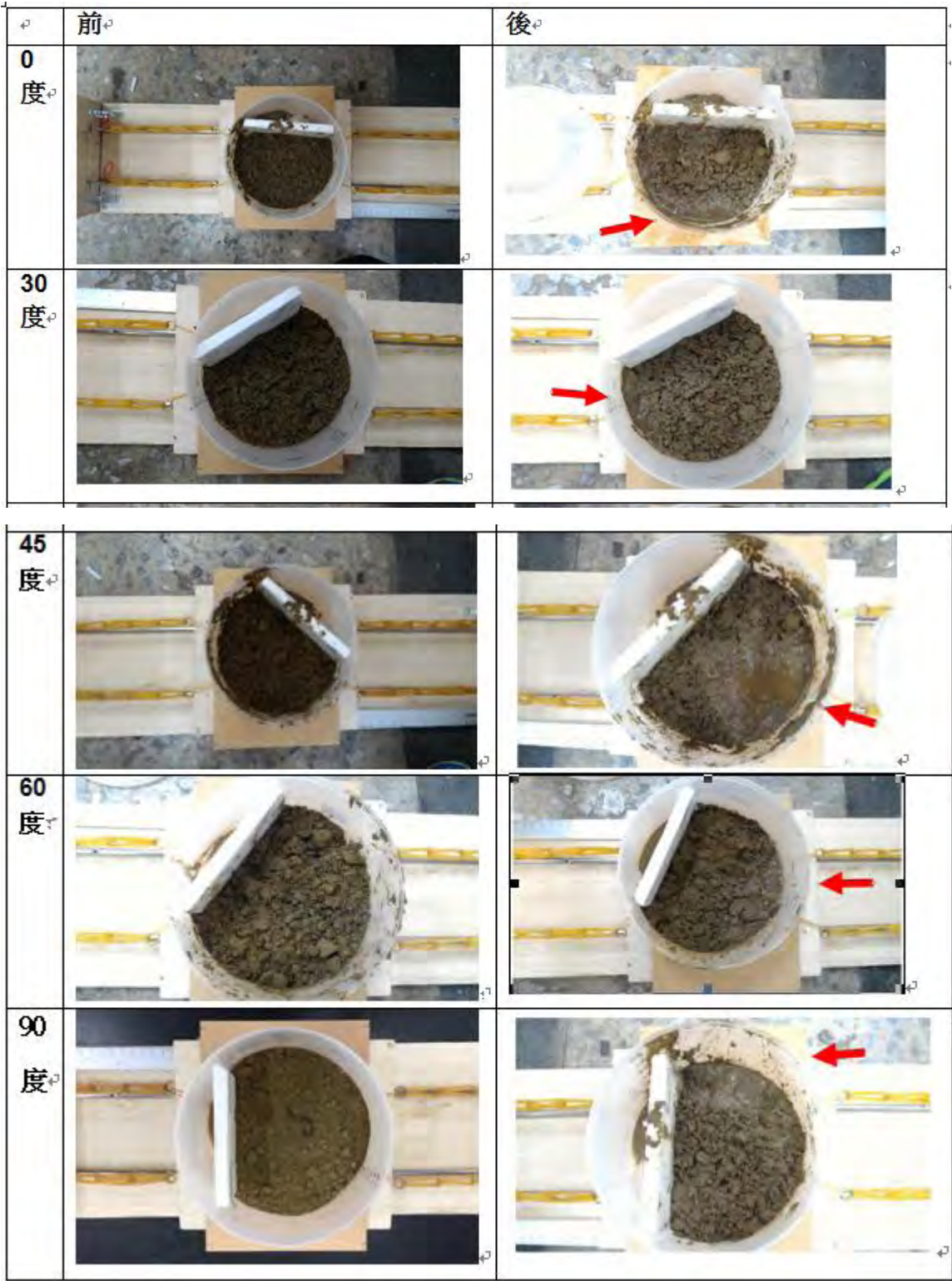


圖 25 地震震波與建築物走向的角度關係(紅色箭頭所指為最快發現土壤液化現象位置)

4.實驗討論：

本實驗要觀察的是最先液化的區域與角度的關係，我們發現當與震盪的方向夾 30 度角時，液化區在擋板側，而其他夾角及平行震盪時，液化區都在擋板遠端。當繼續震盪，液化

區域也持續擴大。但我們試著以不同角度來施加震盪力，推測夾角較小的區域可能較容易先開始液化。此外，台南地區在 2016 年與 2017 年的 2 月均發生過兩次震度和大小規模相似的地震，卻造成校區不同的程度破壞效果。兩次地震的震央與學校的相關位置與角度，如圖 26 及圖 27，校區內的主棟建築為東西向，如圖 28。其中在 2016 年的美濃地震曾造成校園南側建物旁的噴砂現象，2017 年的地震，相同地點卻無噴砂現象發生，而在東西向建物卻發生嚴重的裂痕，如圖 29。

根據研究結果對實際的狀況做兩種推論，其一為在第一次地震噴砂後，地下土壤重新排列，也可能使土壤更加堅硬而沒有噴砂；第二為在相同時期（二月）類似強度的地震，可能因為震央方向不同，導致地下水位上升與增加水壓的幅度不大，故造成噴砂出現與否的差異。2017 年 2 月的地震後，造成校區主棟建築，成垂直的兩面牆壁東西向之側有裂開，南北向之側卻沒有龜裂的情形，如圖 29，研究發現地震的破壞力也與角度有關。



圖 26 2017 年 2 月 11 日台南沿海地震震央與台南市某學校位置的角度關係

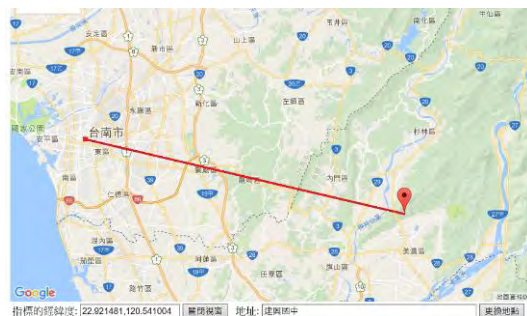


圖 27 2016 年 2 月 6 日高雄美濃地震的震央與台南市某學校位置角度關係

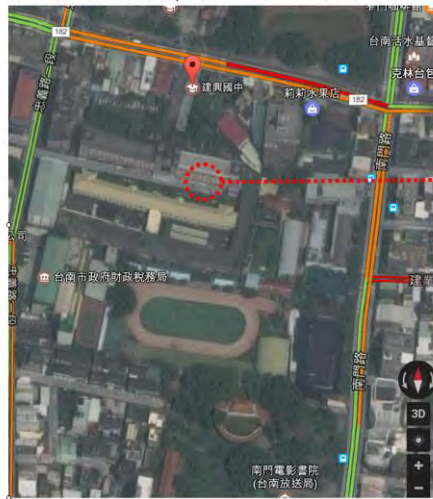


圖 28 以台南某國中校區平面圖(建物坐南朝北)對照(南側)噴砂現象發生地點



圖 29 此學校內地震後建物裂痕圖 (方框處為東西向建物，有發生裂痕)



圖 30 此校內之古溪流圖(由左至右依序為古地圖、校內福安坑溪、校內地下水井水位)

在此學校內有一條東西向的古溪流叫福安坑溪如圖 30，可能造成此校區內的地下水層含水量較高，研究也發現 2016 年美濃地震震央與校內建築物呈現約 30 度夾角，經由角度實驗的結果，我們發現當障礙地形與地震方向夾角 30 度時，土壤液化和噴砂現象明顯出現在障礙地形側，因此驗證了 2016 年美濃地震的強震作用，造成此校在地震後發現在牆角的噴砂現象，應該與障礙物當時與地震的角度相關。

大規模的噴砂造成建築物沉陷導致結構物開裂、路面路基破壞、維生管線破裂，以及地盤側潰、橋梁基礎損傷等災害(陳、陳，2014)。經由以上的實驗，在未來的防治上我們建議可以藉由土壤探勘，了解土壤岩層分布狀況，進一步在易發生噴砂區域，建立監測站或增設排水排壓設施，不僅可以做地震的預測，也可以監控地下水引起土壤液化狀況，並分析可能的液化地區與建築物地點及結構的交角，事前進行的震盪儀器的探測與預防，分析房屋結構與改善建築方法，也許將可有助於防止土壤液化災情發生。

## 陸、結論

- (一)土壤特性實驗中，土壤重量與顆粒大小成正相關，但工中土壤的孔隙，比工細較多且大所造成，所以工細的土壤密度較大，在相同體積中的工細的土壤比較重。
- (二)工地土的密度皆大於花園土。土壤的顆粒越粗，孔隙率越低。其中花中、花細以及工細的孔隙比在 67.1%~85.1%，我們從文獻推論這三種土壤的土質容易發生液化現象，也證實孔隙比為超過 65%是容易液化的分界點。
- (三)在正常濕度下花園土的含水量較工地土低，但各組工地土間的含水量變異較大。
- (四)大顆粒土壤的含水量較低，其空隙較大排水性較佳，較不易形成液化。花園土達飽和狀態時需要的時間較短，排水性較差，故推測花園土顆粒小是最易產生土壤液化的土質。
- (五)重新排列實驗中，工地細砂組中央與水面同高，四周土層較水面低。花園土皆成泥漿，水土面皆均勻混合，飽含水份之土質越細與液化現象成正相關，而造成土質流動。也發現土壤受震波作用會產生向中央靠攏的趨勢，靠近邊緣周圍的地質高度較低，推測可能有側潰現象產生。
- (六)在側潰與噴砂實驗中，由震盪後在地質交界處皆有濕砂下陷，或有濕砂溢出現象。花園土之兩側有大量明顯噴砂，故發現土壤岩層可能會由於地下水的滲入，造成土質分布重新排列後，進而會造成噴砂現象與更大的空洞，地質下陷嚴重進而會危及校園的安全。
- (七)房子需藉由強化與加深的地基結構，來降低土壤液化造成的危害。
- (八)地震發生時，會造成大幅度的地下水位上升，使孔隙水壓增高至超過負荷時，進而在地層薄弱的地方或盆地地形的四周區域，造成噴砂現象。
- (九)以不同角度來施加單一方向震盪力時，推測夾角較小的區域可能較容易先開始液化。推論學校地震後發現在牆角的噴砂現象，應該與障礙物當時與地震的角度相關。
- (十)在本系列實驗中，當土壤顆粒較細，容易達到飽和含水量，排水效果較差，經由強烈震盪後較易液化。且地震會造成地下水位的上升，或土壤液化區的側潰與噴砂現象。為了防治災情在易發生噴砂區域，建立監測站或增設排水排壓設施，事前進行的震盪儀器的探測與預防，將有助於防止土壤液化災情發生。

## 柒、參考資料

1. 中央地質調查所。 <http://www.geologycloud.tw>
2. 陳正興、陳家漢(2014)。地震引致的土壤液化與側潰現象，科學發展，498，p.12-17。
3. 陳銘鴻 (2002)。土壤液化成因、災害與復建，臺灣之活動斷層與地震災害研討會，p.107-123。
4. 溫國樑、簡文郁、張毓文、陳國昌、江準熙(2005)。台灣地區強地動場址效應之研究，中央氣象局地震技術報告彙編，39，p.127-176。
5. 經濟部中央地質調查所 <http://twgeoref.moeacgs.gov.tw>
6. 賈儀平、何宛芸、江藝萱(2011)。地下水位異常變化可以預測地震，地質，27(1)， p.62-65。
7. 維基百科(2016)。土壤液化。 <https://zh.wikipedia.org/wiki>
8. 藍詩婷(2014)。地形對地震震波反應之影響，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
9. 顏宏任(2012)。砂質土壤炸震夯實之研究，碩博士論文。
10. 詹松儒(2016)。解剖土壤液化，大地技師，13(9)，p.72-81。

## 【評語】 030507

1. 利用不同粗細顆粒之 6 種土壤進行土壤液化的試驗及比較，相當有實用價值
2. 各項試驗分析清晰，有系統，具邏輯性。
3. 現地取樣試驗並進行現場比較，具有鄉土之相關性。

# 摘要

本研究主要探討台南某地區地震後引發噴砂現象的原因，針對造成土壤液化的各項特性進行分析實驗，包含取樣不同來源的土壤，探討其土壤密度、孔隙率、含水量、滲透率對土壤液化的影響。透過震盪器的震盪作用，分析了解在震盪後土壤重新排列、噴砂、側潰等現象，最後透過自製的水平震盪機構來討論不同角度震波來源與噴砂現象的關係及土壤液化防治與因應對策。

## 壹、研究動機

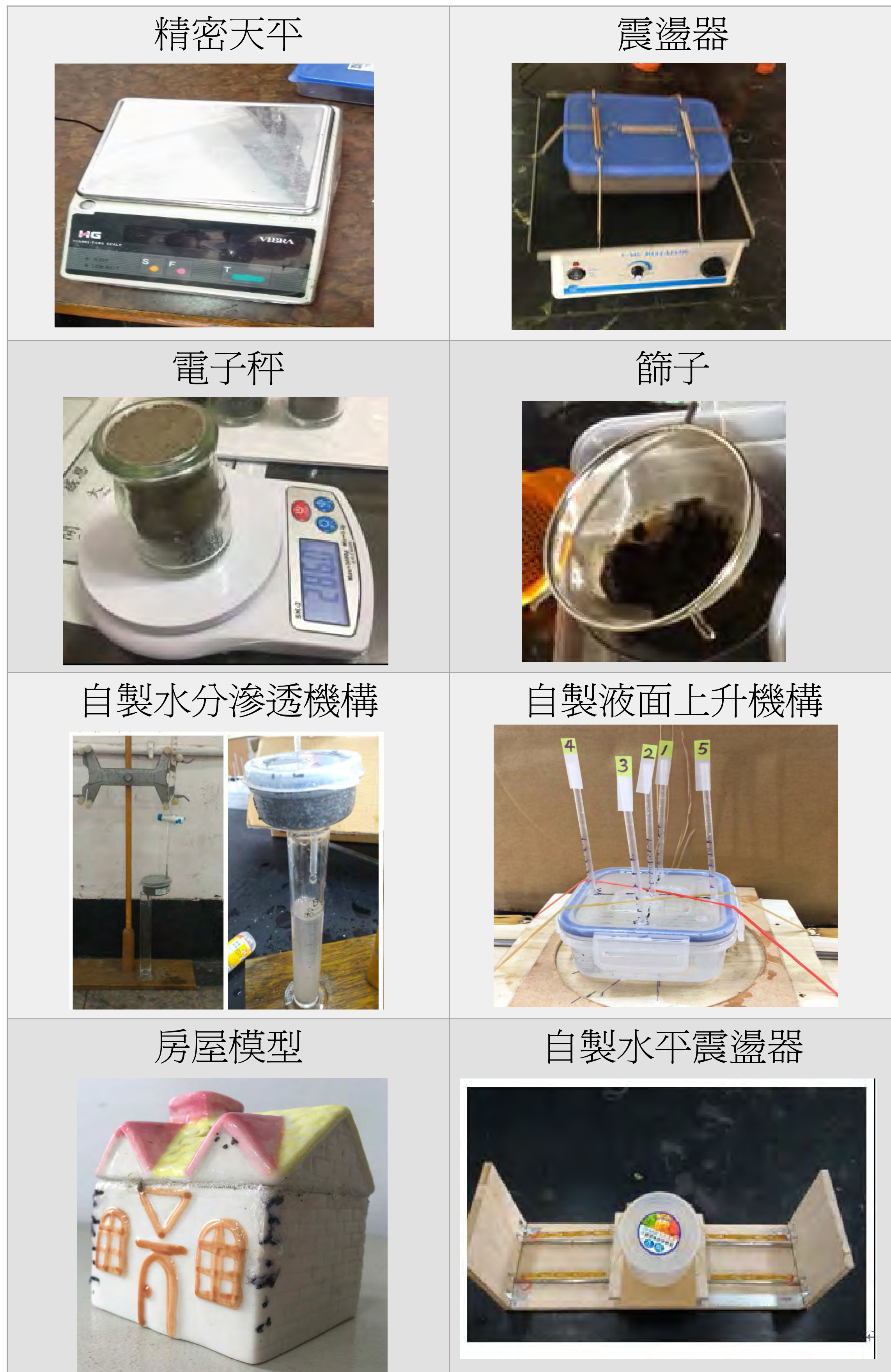
2016年2月6日上午發生高雄美濃的芮氏規模6.6地震，最大震度在台南新化7級，不僅造成永康維冠大樓倒塌，台南某學校校園內更在災後發現在大樓地面牆角，發現土壤液化和噴砂現象，引起我們對地震造成土壤液化的好奇，我們在討論科奧題目時更提到預測液化的可能，又在文獻資料中發現地震時會引起地下水位出現激烈變化，因此，我們希望藉著一系列實驗來探討土壤液化問題。

## 貳、研究目的

- 分析各土壤特性：
  - 土質種類顆粒特性與重量
  - 探討不同土壤孔隙率與密度
  - 探討不同土壤含水量
  - 探討地下水對不同土壤的滲透速度與飽和含水量
- 分析地震對不同土壤造成液化的影響
  - 探討地震對不同土壤重新排列的影響
  - 地下水層對不同土壤的側潰現象
  - 地下水層對不同地點的噴砂影響
- 探討土壤液化防治及因應對策
  - 以模型房屋模擬於不同土壤下的震盪影響
  - 在地震時不同地點對地下水位上升的影響
  - 探討震央對不同角度下之液化區噴砂的影響

## 參、實驗設備與器材

- 實驗器材  
花園土、工地砂、紙、筆、電腦、圓形盆子、小量杯、量筒、滴管、長尺（最小刻度為1mm）、竹籤、各式大小方形圓形膠盒數個、勺子、保麗龍等。
- 實驗設備

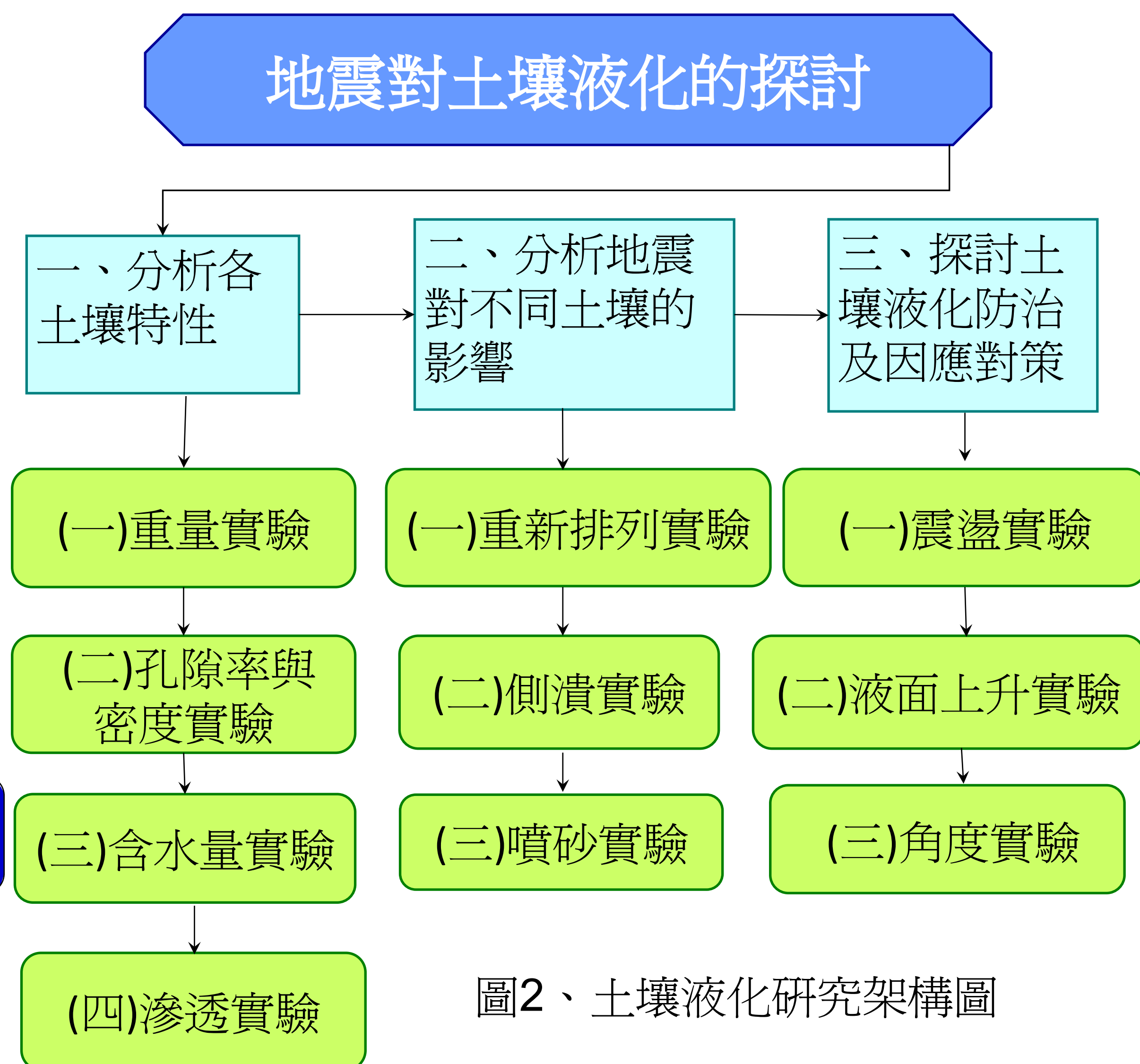


### 實驗前準備:

將花園土與工地砂以不同孔徑篩子分類為六種實驗用土，以下簡稱工細、工中、工粗、花細、花中、花粗。



## 肆、研究架構與方法



### 發生土壤液化之三成因:

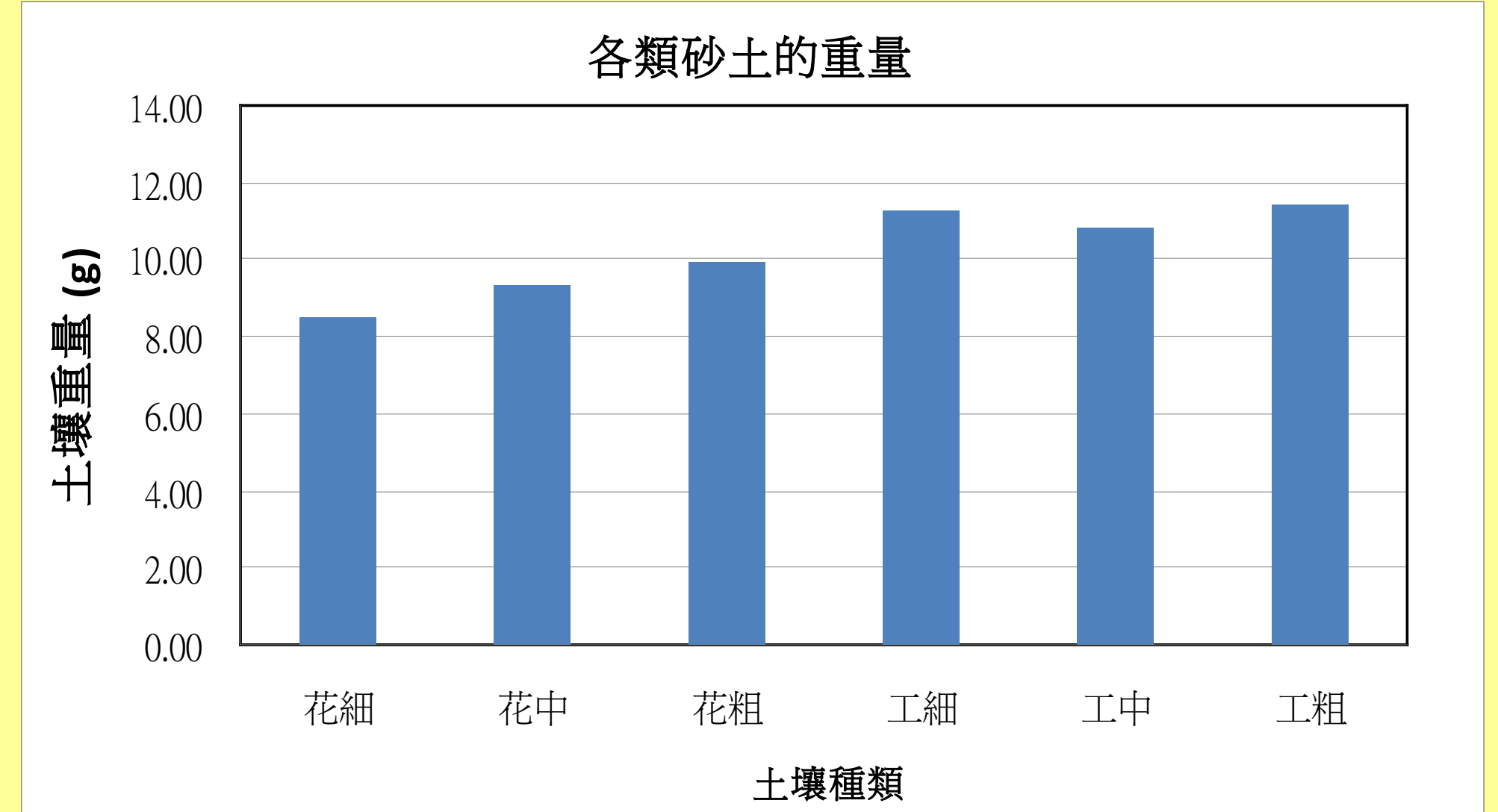
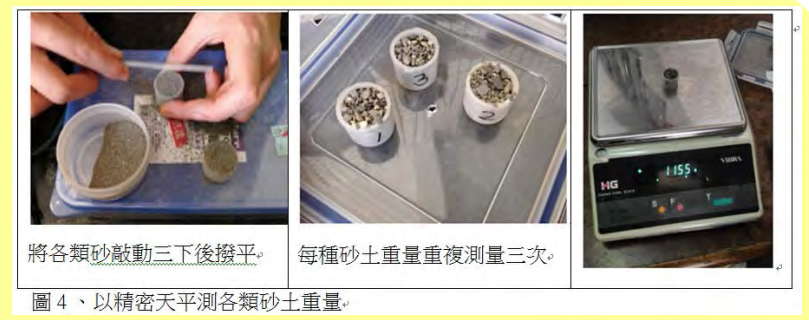
- 土質鬆散
- 較高地下水位
- 強烈地震

## 伍、研究結果與討論

### 一、分析各土壤特性

#### (一)重量實驗

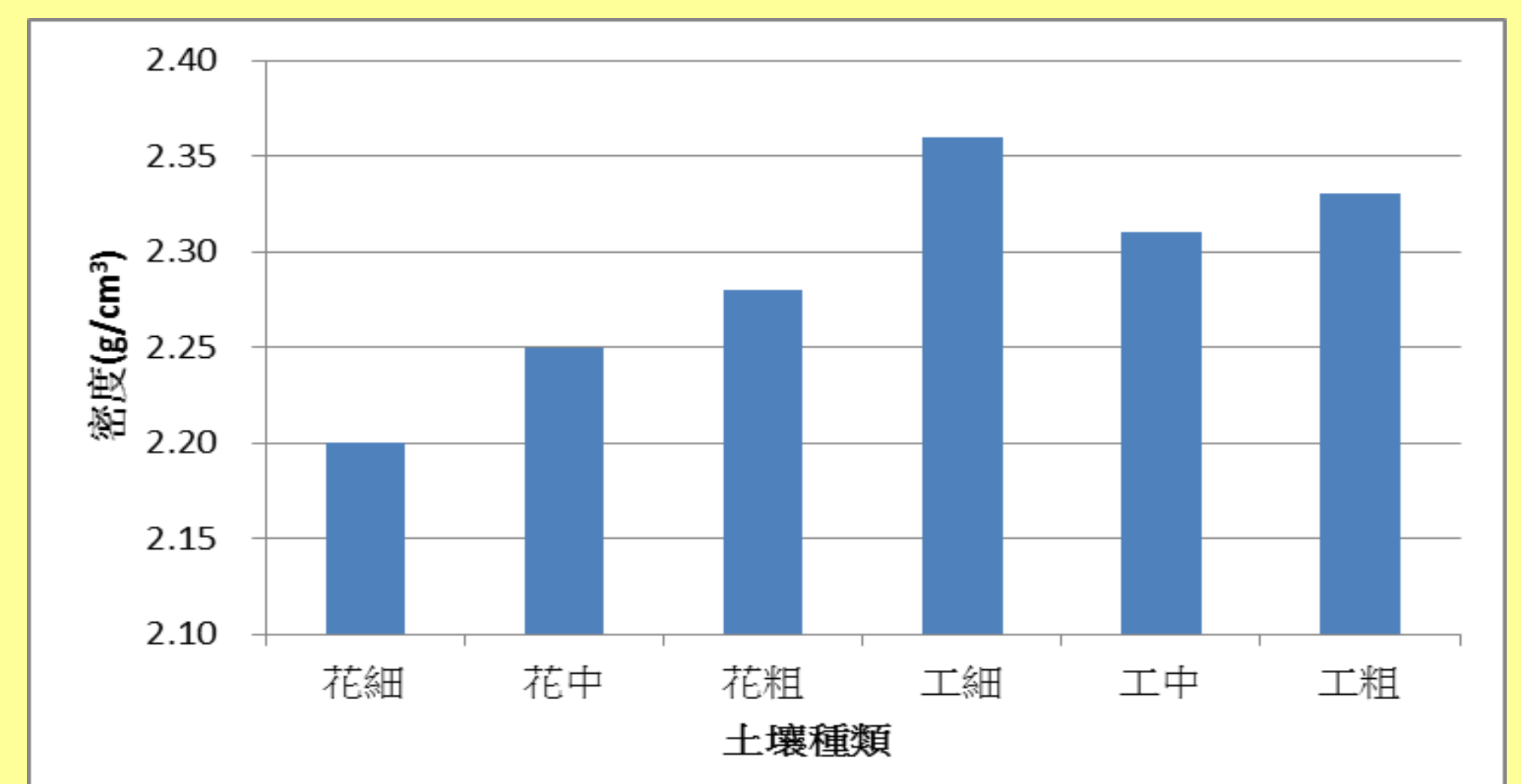
- 每種土皆敲三下並把土面撥平
- 測量: (1)杯重 (2)杯+水重 (3)杯+土壤重

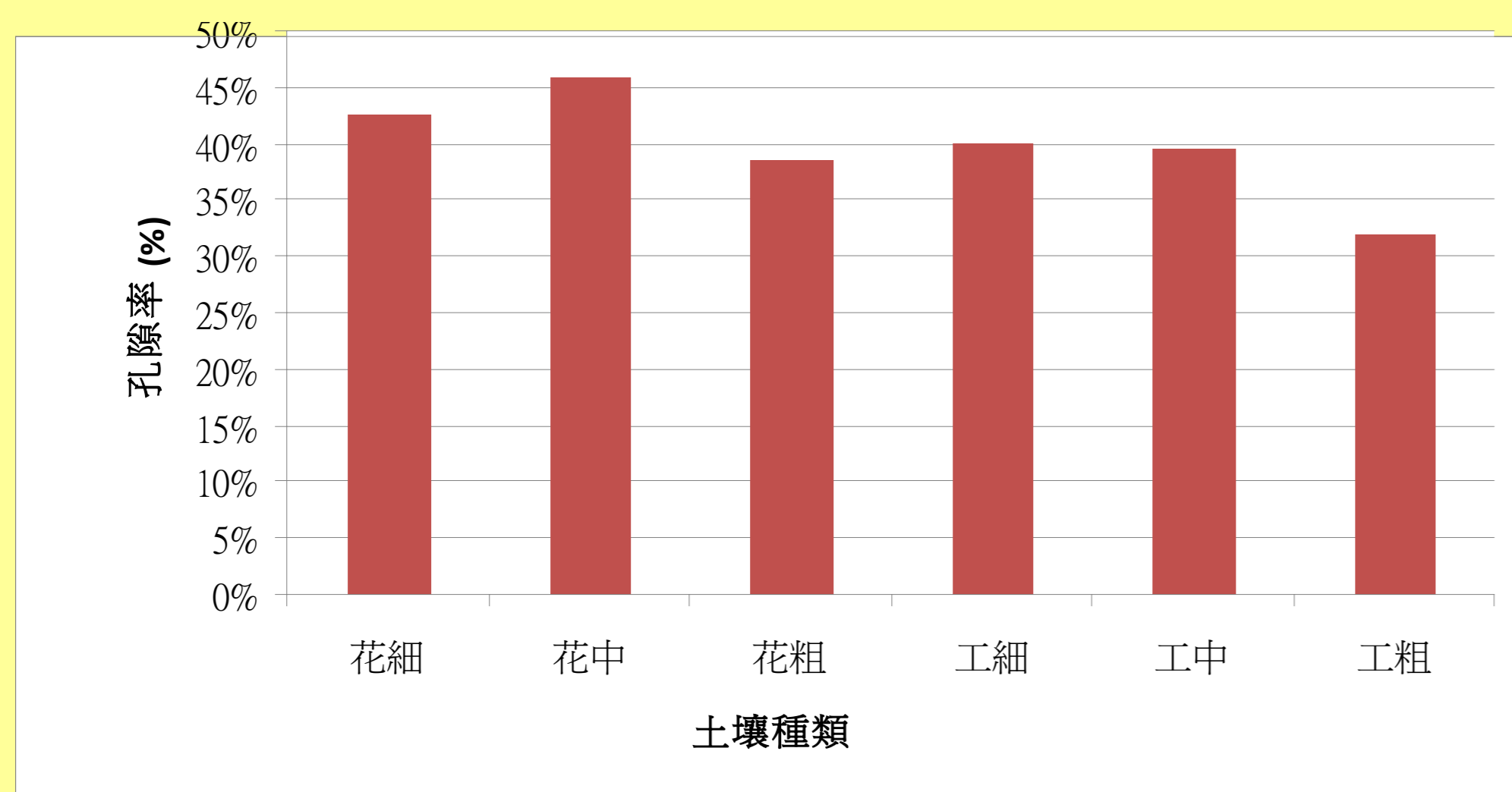


土壤重量與顆粒大小成正相關，但發現在相同體積中工細的土壤比工中的土壤重，推測可能是工中土壤的孔隙比工細較多且大，以及工細的土壤密度較大所造成。下圖工地土的密度皆大於花園土。

#### (二)孔隙率與密度實驗

- 取六種土壤測重後再以水加滿秤重並烘乾
- 測重，求加水前後重量與體積算密度與孔隙率

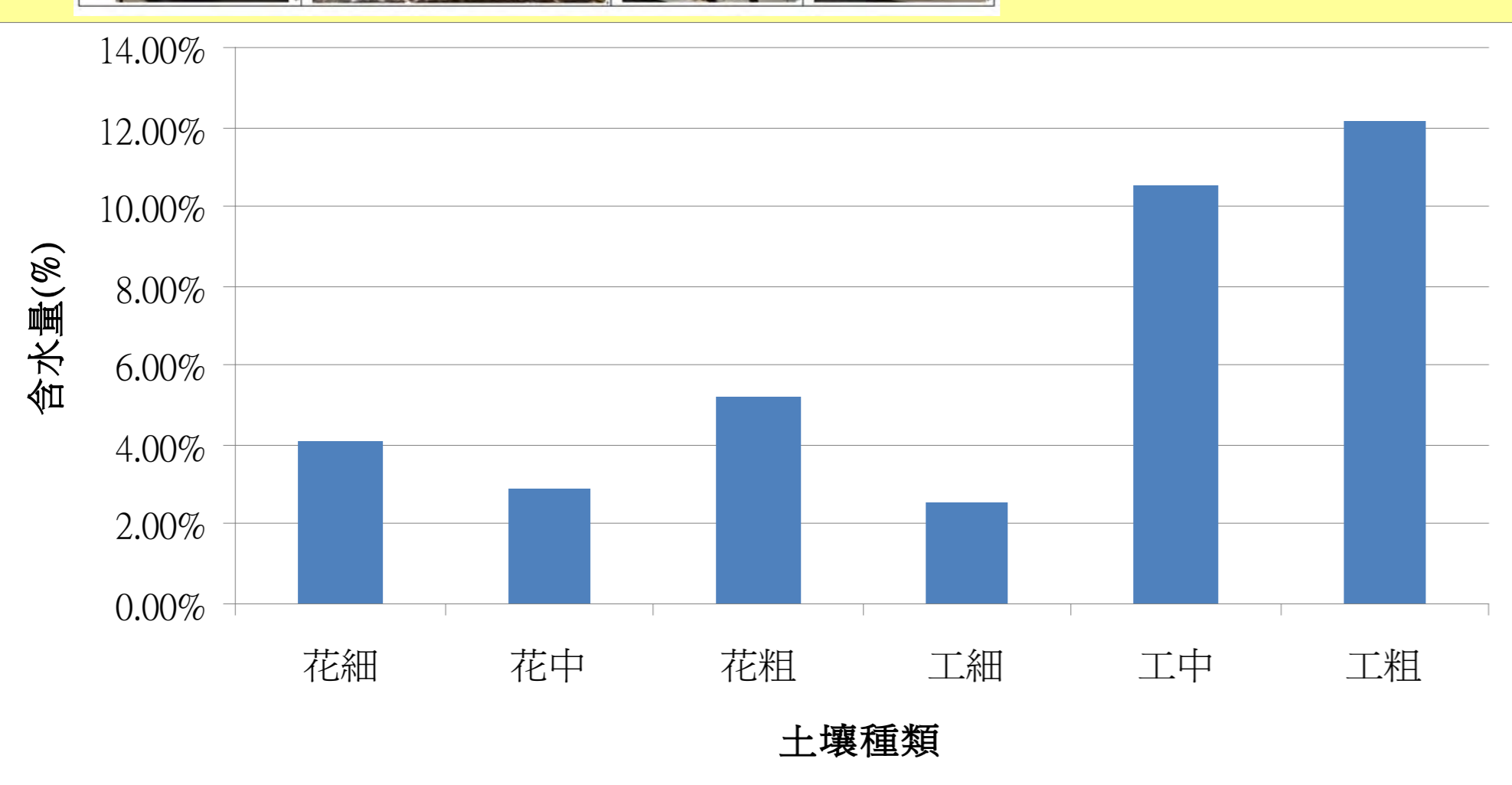




**孔隙率實驗結果：**發現不同土壤顆粒越粗，其孔隙率越低。其中花園土的孔隙率介於38.7%至42.6%之間，工地土的孔隙率介於32.0%~40.2%之間，各組的花園土孔隙率皆高於工地土的孔隙率。

### (三) 含水量實驗

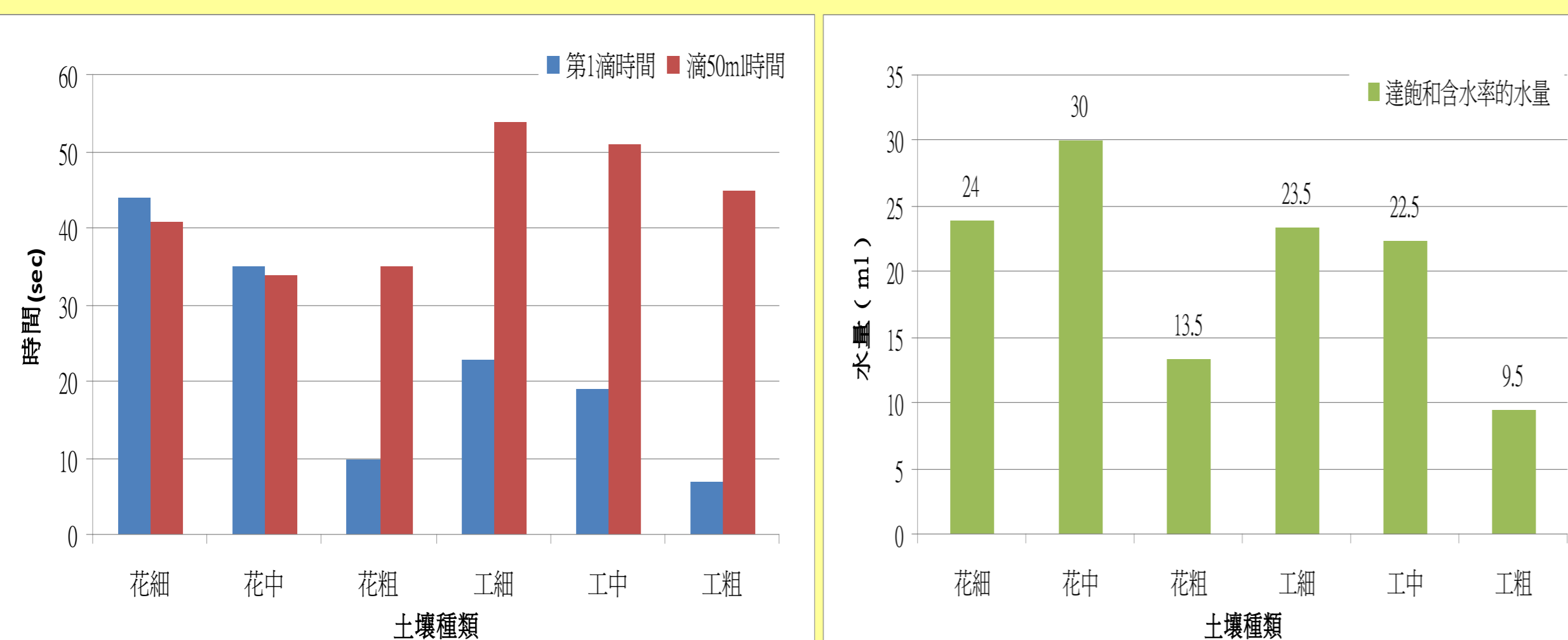
1. 將六種土壤分別放盤上，測量各組總質量
2. 放入烤箱150度烤120分鐘後，待冷卻後取出
3. 分別秤各組土壤質量，並計算含水量



**花園土的含水量明顯較工地土低**，其中花園土的含水量介於2.95%至5.26%之間，工地土的含水量介於2.62%至12.15%之間，也發現工地土的含水量變異較大。

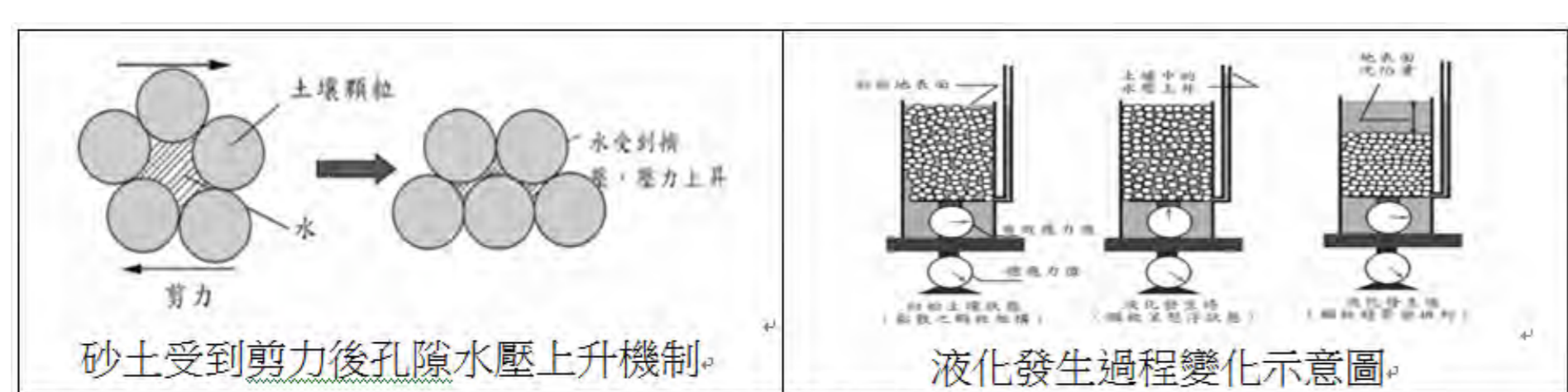
### (四) 滲透實驗

1. 將一小密封盒子上下對稱鑽孔
2. 滴定管由上孔處灌入水，並置一燒杯於下孔處
3. 測量滴落時間與滴落的量



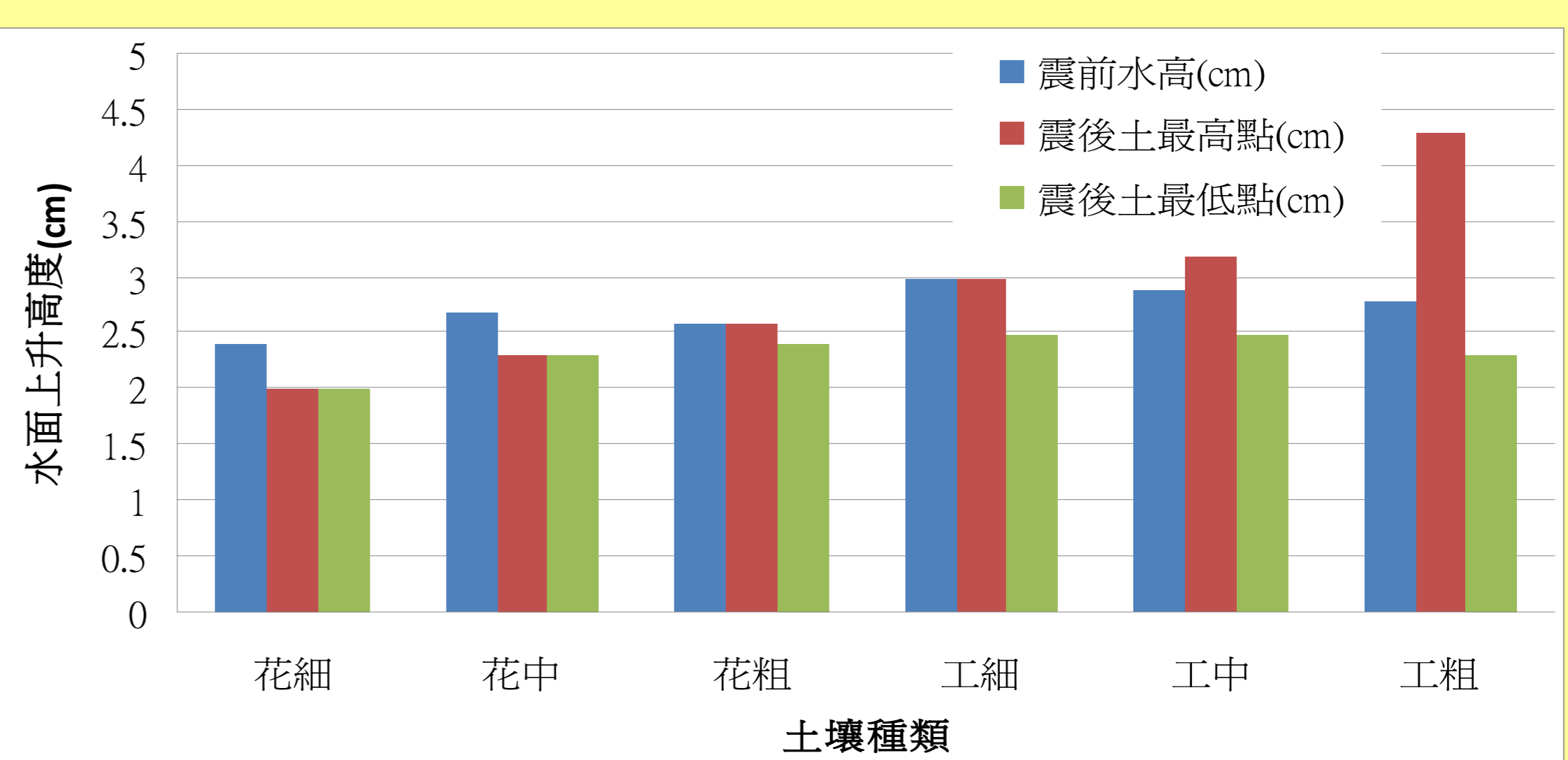
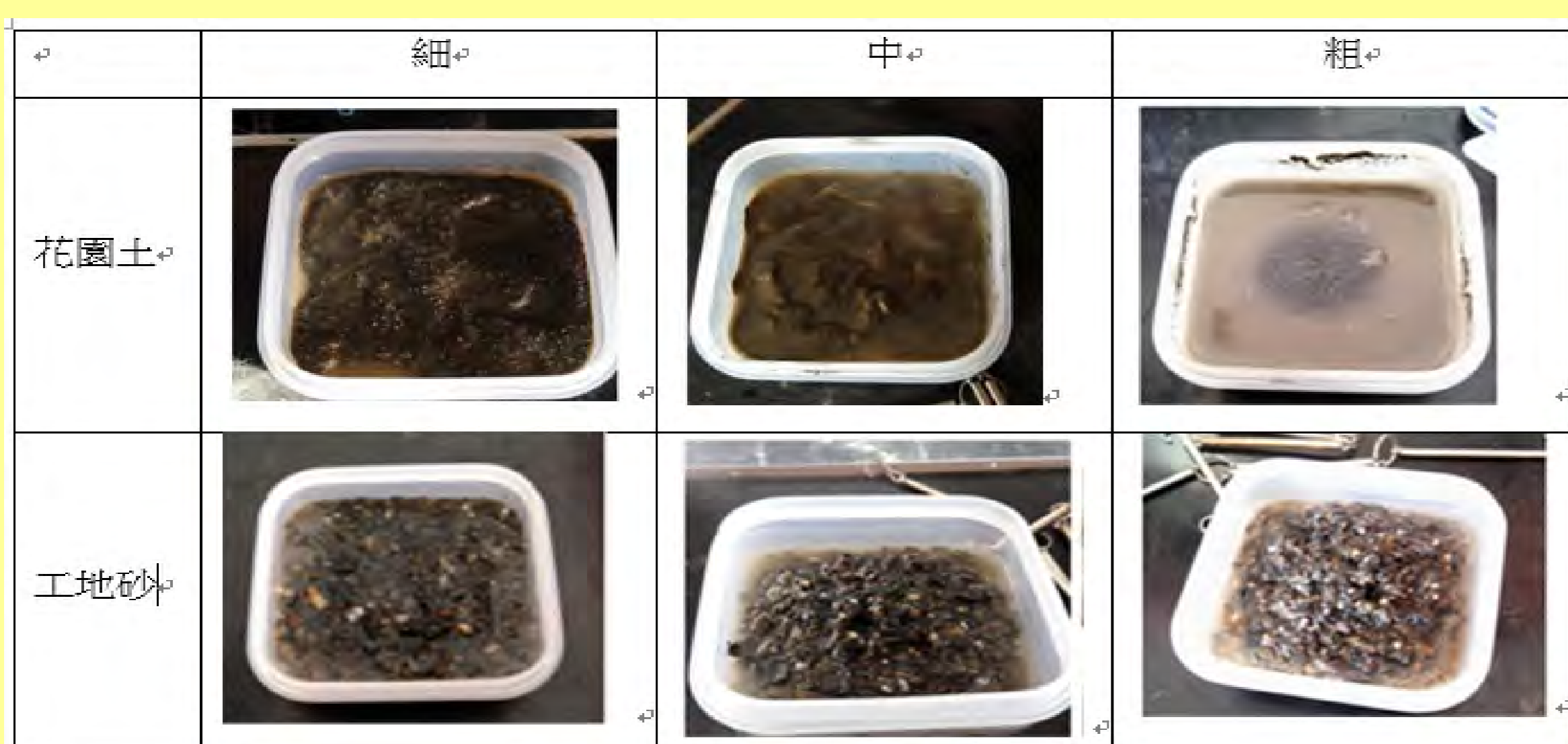
發現顆粒越小而水流速越慢，顆粒越大水流速越快而滲透速度快，故顆粒小表示較易保住水分而含水量高。我們推測地震時花園土的顆粒小是容易形成液化的土質。

## 二、分析地震對不同土壤的影響



### (一) 震盪對沙層重新排列實驗

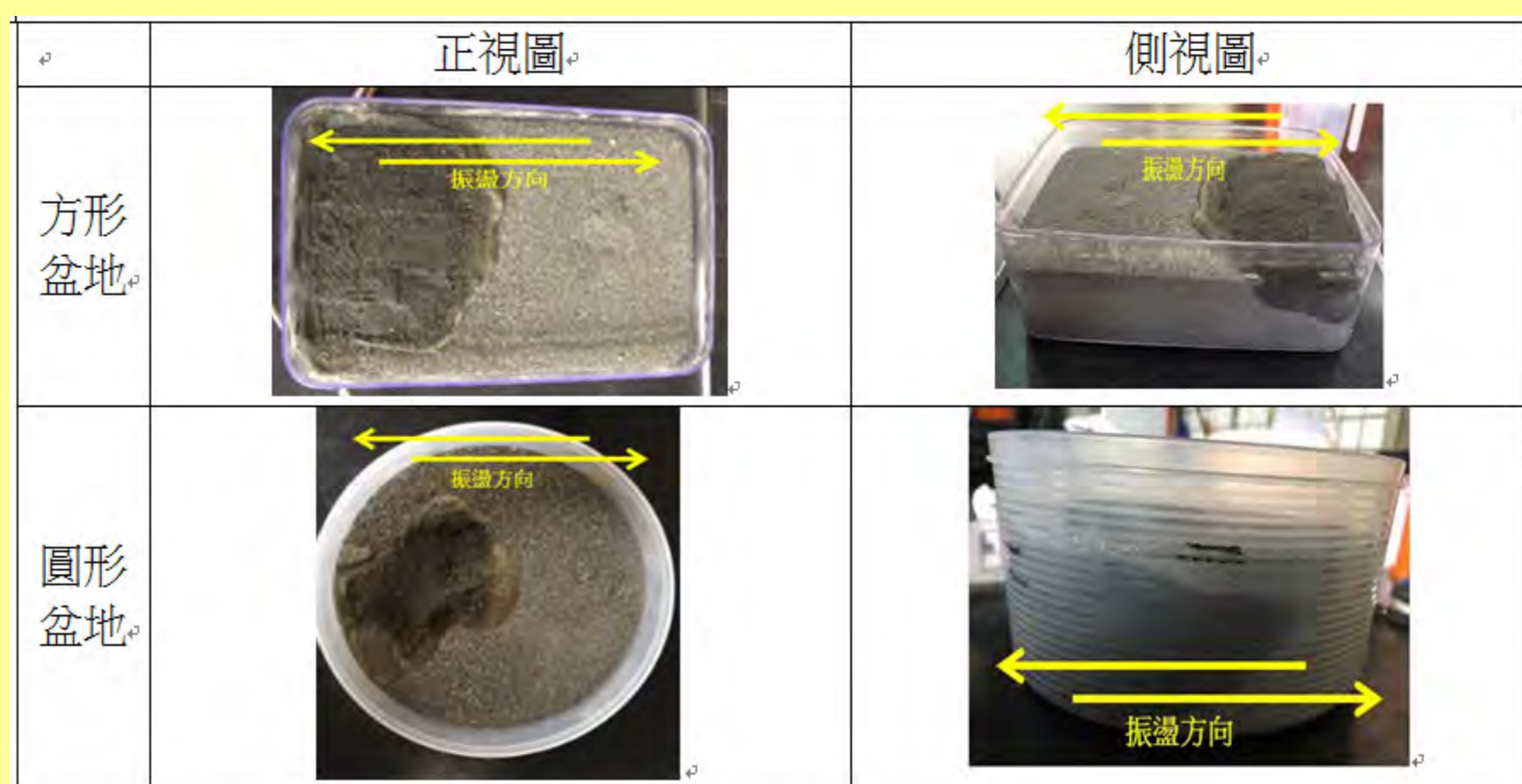
1. 個別取三量杯的同類土壤於方盒內(共六組土壤)
2. 加水始與土面等高，並做記號劃一橫線
3. 以震盪器的最大速度搖晃五分鐘
4. 觀察液面高度與土層最高與最低位置分布情形



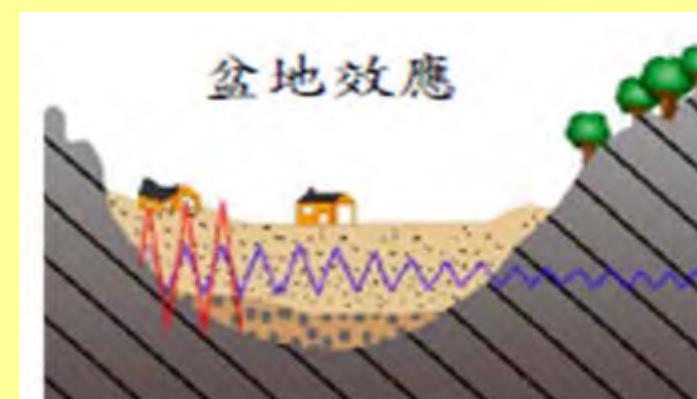
**重新排列實驗結果：**經過震盪後，含水之土質越細者與液化現象成正相關，而土質流動經實驗觀察發現震盪後土壤向中央靠攏的現象，而周圍較低推測有側潰現象發生。

### (二) 側潰實驗

1. 在一大方盒內填滿乾土，放入一小方盒區濕土並蓋上薄乾砂後，加蓋固定
2. 震盪五分鐘後，觀察表面高度變化及乾濕分布
3. 將一大方盒改成一大圓盒，重複上述步驟並觀察



以方盒模擬河道地形，圓盒模擬盆地地形，觀察噴砂現象，發現在方形盒子中土壤液化多發生在靠近盒子的邊緣。但是，圓形盒子中土壤液化卻發生在靠近中央的區域。

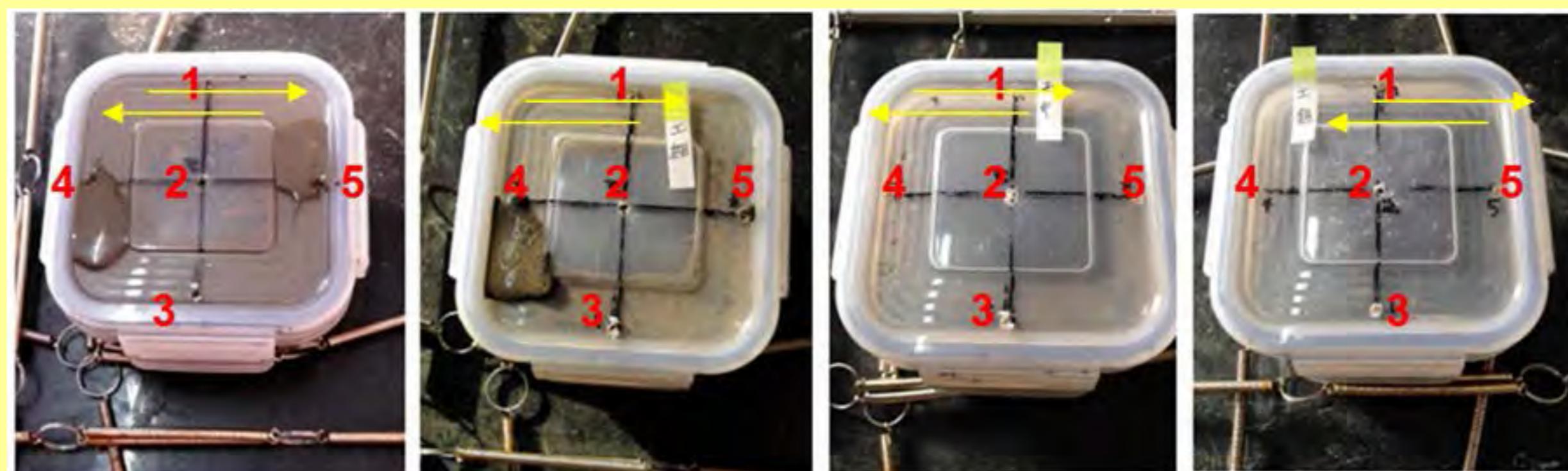


利用外盒濕砂內盒乾沙來模擬液化區與不同地質在地震後的側潰現象，經實驗發現震盪後在地質交界處皆有濕砂下陷，尤其在方盒四角更為明顯。

以上地形在震盪後在地質交界處皆有濕砂下陷，或有濕砂溢出現象，故發現土壤岩層可能會由於地下水的滲入，造成土質分布重新排列後，進而造成噴砂現象與更大的空洞，地質下陷嚴重進而會危及校園的安全。

### (三) 噴砂實驗

1. 將一方盒四邊長的中點鑽孔及中心點，並其內裝定量各類處理後土壤
2. 放於震盪機搖晃五分鐘後，觀察其噴砂點與量



	上方點編號1	中央點編號2	下方點編號3	右方點編號4	左方點編號5
花園土	無噴砂	無噴砂	無噴砂	大量噴砂	大量噴砂
工地細砂	無噴砂	無噴砂	無噴砂	中量噴砂	少量噴砂
工地中砂	無噴砂	無噴砂	有水漬	有水漬	有水漬
工地粗砂	有水漬	無噴砂	無噴砂	有水漬	有水漬

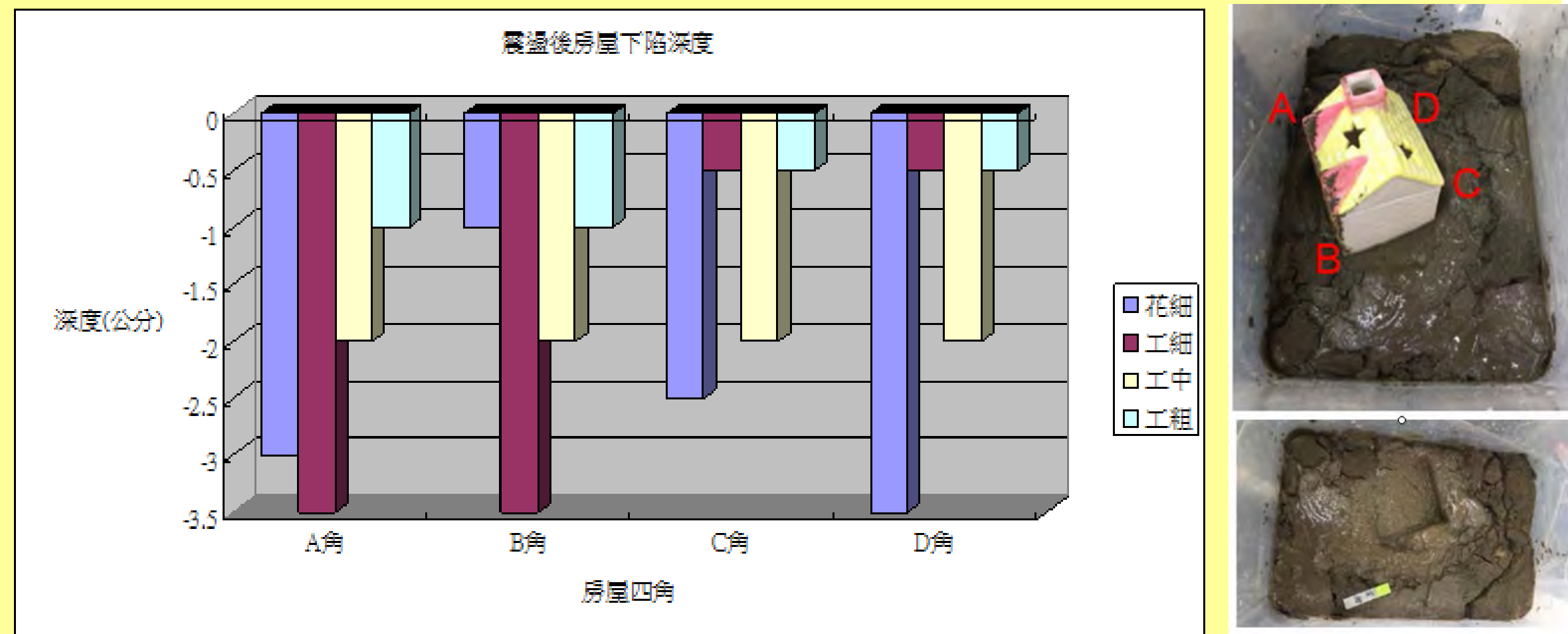
震盪後發現各類土壤之中央點皆無噴砂情形，而在花園土之兩側，有大量明顯噴砂，且呈現與震盪方向平行，而工地各類土壤震盪後在鑽孔處只有出現水痕但並無砂土噴出。



### 三、探討土壤液化防治及因應對策

#### (一)震盪實驗

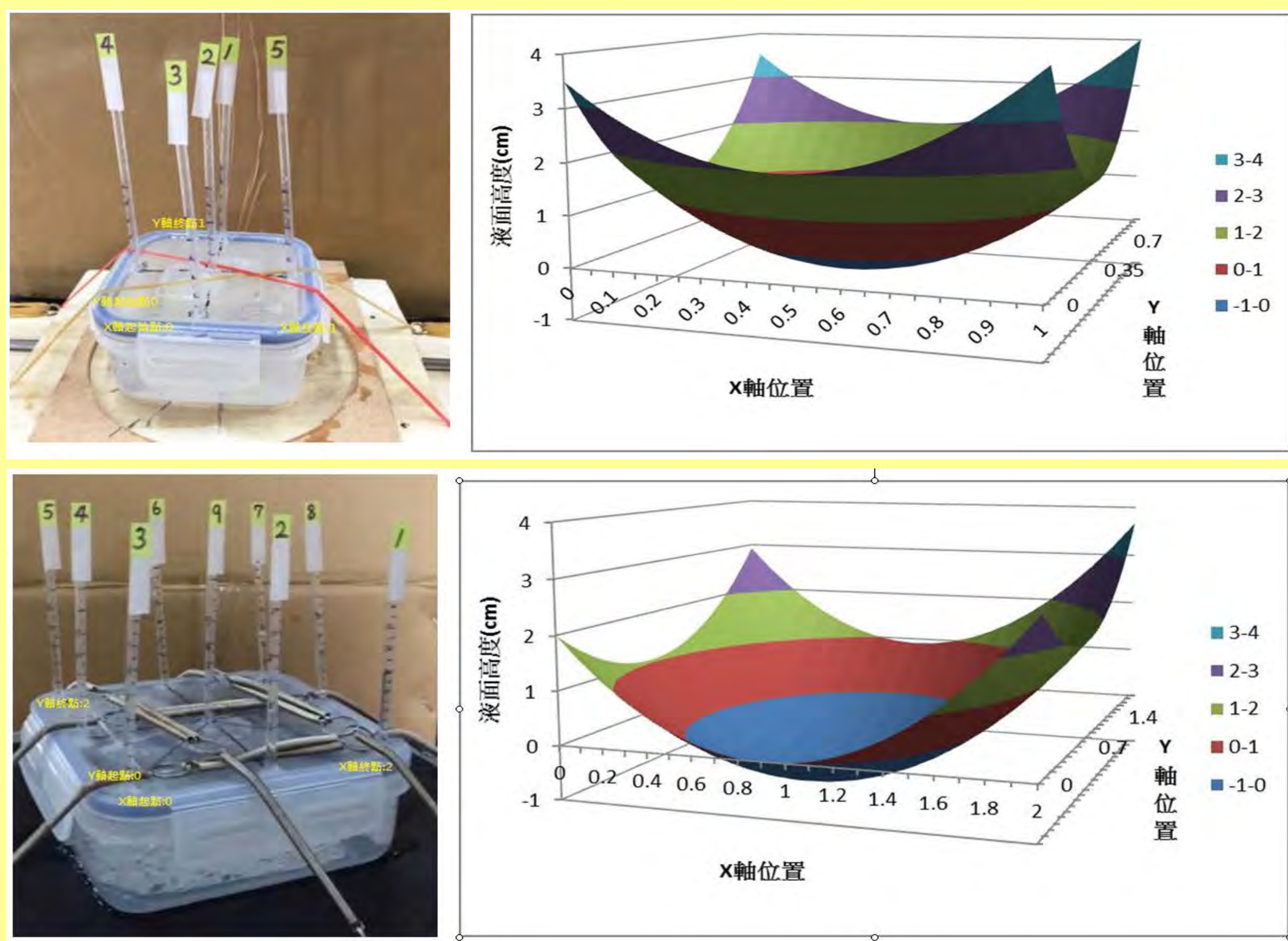
1. 盒內放入同類土壤，其中先放入2公分濕土，再覆蓋0.5公分乾土(共四組土壤)
2. 正中央放上一陶瓷模型房屋，設定震盪30秒
3. 觀測房屋四個邊下陷深度



震盪實驗結果：在震盪八秒內，發現放在顆粒較細的土壤之房屋四角下陷深度比顆粒較粗的土壤下陷較深。

#### (二)液面上升實驗

1. 將密閉保鮮盒上蓋打孔(小五孔、大九孔)
2. 接上畫有刻度的吸管，並用矽膠封住接口
3. 震盪並觀察其液面高度變化



液面上升實驗結果：在震盪過程中四個角落的水柱起伏大，中央水柱起伏小。推論震盪時地下水位會產生變化，或許可進一步透過水位來監測液化潛能。



在此學校內有一條東西向的古溪流叫福安坑溪如上圖，可能造成此校區內的地下水層含水量較高。

### 陸、研究結論

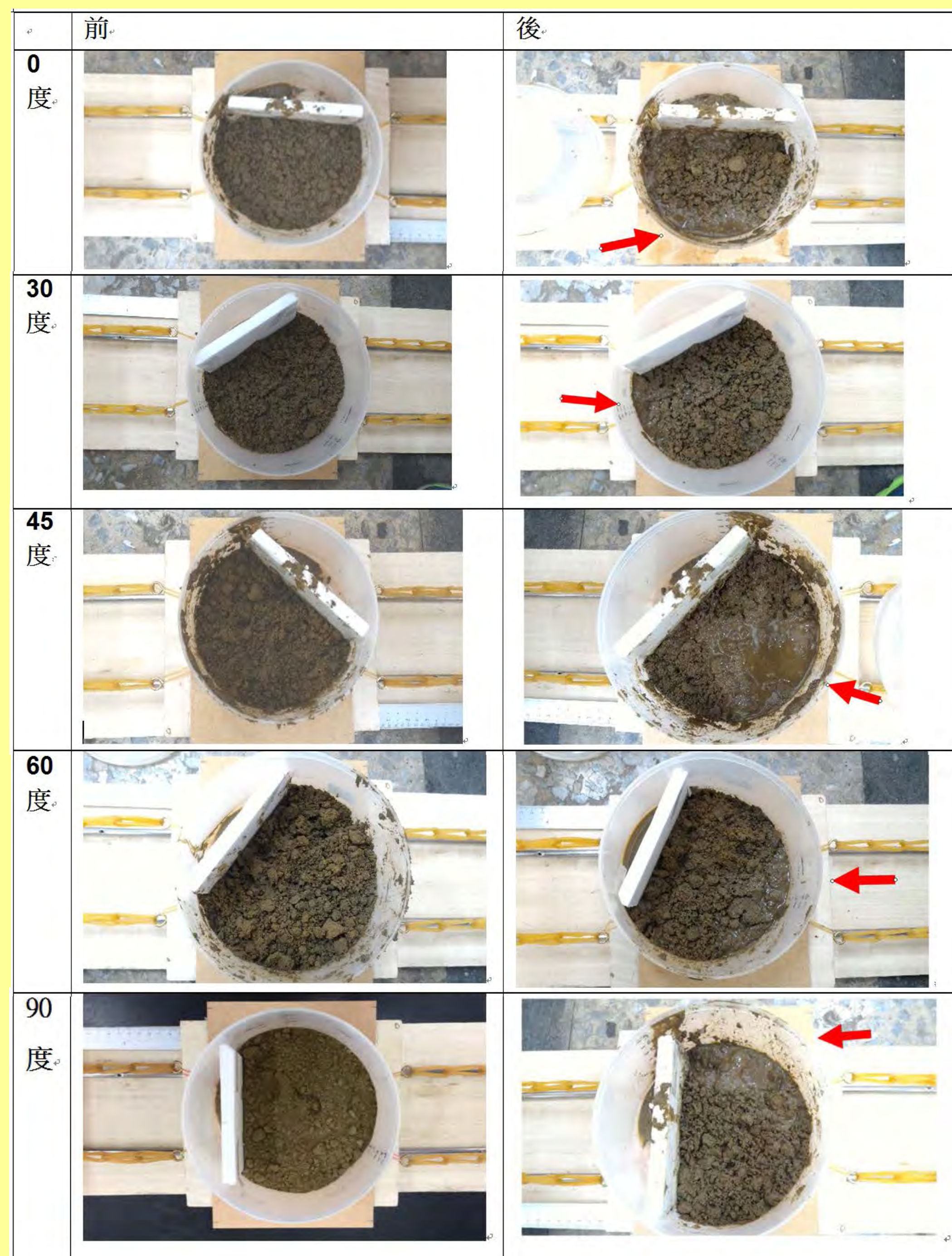
在本系列實驗中，當土壤顆粒較細，較易達到飽和含水量，排水效果亦較差，經由強烈震盪後較易液化。

且地震會造成地下水位的上升，引發土壤液化區的側潰與噴砂現象發生機率提高。

為了防治災情，建議可在易發生噴砂區域，建立**監測站**或**增設排水排壓設施**，並可於事前進行相似的**震盪儀器的探測**與預防，將有助於防範土壤液化災情發生。

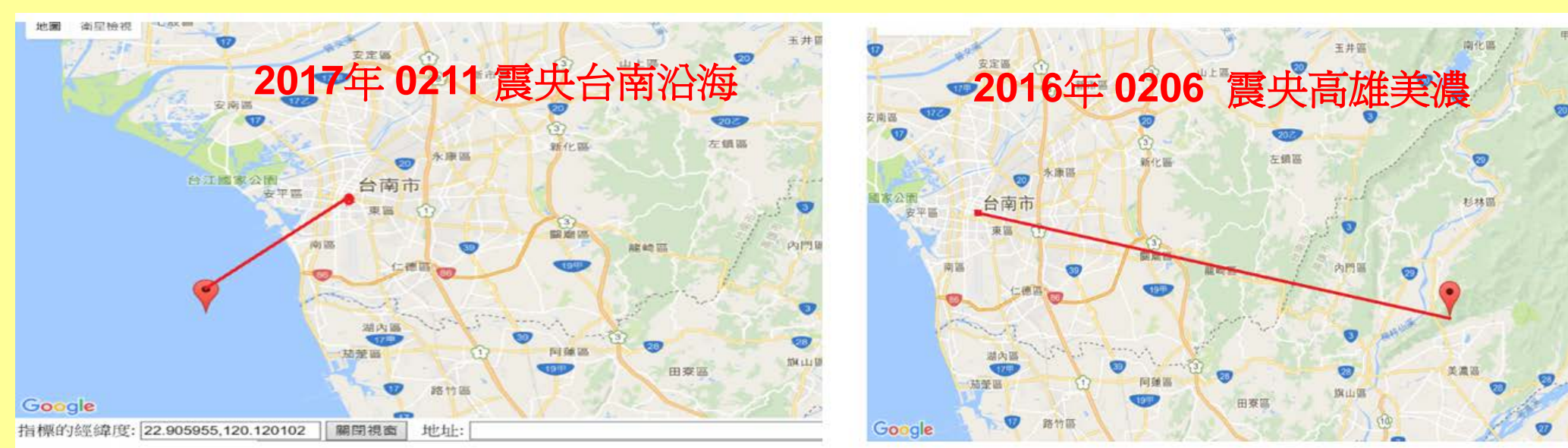
#### (三)角度實驗

1. 自製水平方向震盪器，圓盒內部裝定量濕砂土
2. 利用隔板創造與水平夾角的邊界
3. 觀察土壤在不同邊界角度下的液化情形



(紅色箭頭所指為最快發現土壤液化現象位置)

角度實驗結果：與震盪的方向夾30度角時液化區在擋板邊，但其他夾角及平行震盪時液化區都在擋板遠端，推測夾角較小的區域可能容易先開始液化。



### 柒、參考資料

1. 中央地質調查所。 <http://www.geologycloud.tw>
2. 陳正興、陳家漢(2014)。地震引致的土壤液化與側潰現象，科學發展，498，p.12-17。
3. 陳銘鴻(2002)。土壤液化成因、災害與復建，臺灣之活動斷層與地震災害研討會，p.107-123。
4. 溫國樑、簡文郁、張毓文、陳國昌、江準熙(2005)。台灣地區強地動場址效應之研究，中央氣象局地震技術報告彙編，39，p.127-176。
5. 經濟部中央地質調查所 <http://twgeoref.moeacgs.gov.tw>
6. 賈儀平、何宛芸、江藝萱(2011)。地下水位異常變化可以預測地震，地質，27(1)，p.62-65。
7. 維基百科(2016)。土壤液化。 <https://zh.wikipedia.org/wiki>
8. 藍詩婷(2014)。地形對地震震波反應之影響，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
9. 顏宏任(2012)。砂質土壤炸震夯實之研究，碩博士論文。
10. 詹松儒(2016)。解剖土壤液化，大地技師，13(9)，p.72-81。