

# 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

030503

震不倒的六家！？

學校名稱：新竹縣立六家高級中學附設國中部

作者：  國二 劉雲昊  國二 顏豪佑  國二 馬翊豪	指導老師：  陳怡錦  鄒惠雯
---	-----------------------------

關鍵詞：土壤液化、地震

## 摘要

地震發生時常伴隨土壤液化，出現砂質土壤失去承載建築物重量的力量，造成建築物下陷或傾斜。本研究針對竹北六家地區土壤液化和建築物型態間的關係進行探討，藉由土壤採樣，觀察外觀、計算含水量、土壤過篩、文獻資料等方式來瞭解其特性。模擬地震發生時，何種建築物型態在發生土壤液化時最不易傾倒？利用衛星影像空照圖統計常見建物形狀，以木塊製作模型，改變建築物地樁形狀、數目，結果以一字型、矩型、口型等建築物結構抗震效果最佳，土壤液化發生的時間最晚；口型或L型只要搖晃，轉角處就會裂開受損，防災效果較差。建築物地樁以方柱較圓柱佳，地樁愈深，數目越密集，建築物抗震及抗土壤液化能力較好。

## 壹、研究動機

民國 105 年 2 月 6 日的美濃大地震( $M_L=6.6$ )，造成許多人員的傷亡，除了地表斷裂與建物受震波破壞以外，當時台南新化區發生十分嚴重的土壤液化現象，造成建築物傾斜或倒塌，死傷慘重，連續多日的新聞畫面，讓我們心有餘悸！我們想知道，若土壤液化發生在我們生長的家鄉，會是什麼情形？

藉由經濟部中央地質調查所「台灣活動斷層觀測系統及便民查詢服務」的網頁查詢得知，竹北六家地區位處於湖口斷層、新竹斷層、新城斷層之間(圖 1)。查詢經濟部中央地質調查所公布的土壤液化潛勢圖，竹北六家地區被歸類於土壤液化低潛勢區(圖 2)。然而，新竹六家地區近年來蓬勃發展，附近有高鐵經過，原本大片的農田不到幾年的時間，形形色色的建築物如雨後春筍般一棟一棟的冒出，這樣高棟建築物，蓋在六家地區的土地上，發生土壤液化的機會大嗎？建築物的形狀是否會影響土壤液化的發生時間呢？竹北六家地區附近又會是如何呢？

藉由本研究瞭解竹北六家地區土壤液化和建築物的型態間的關係，冀望我們的家園是安全無虞的！

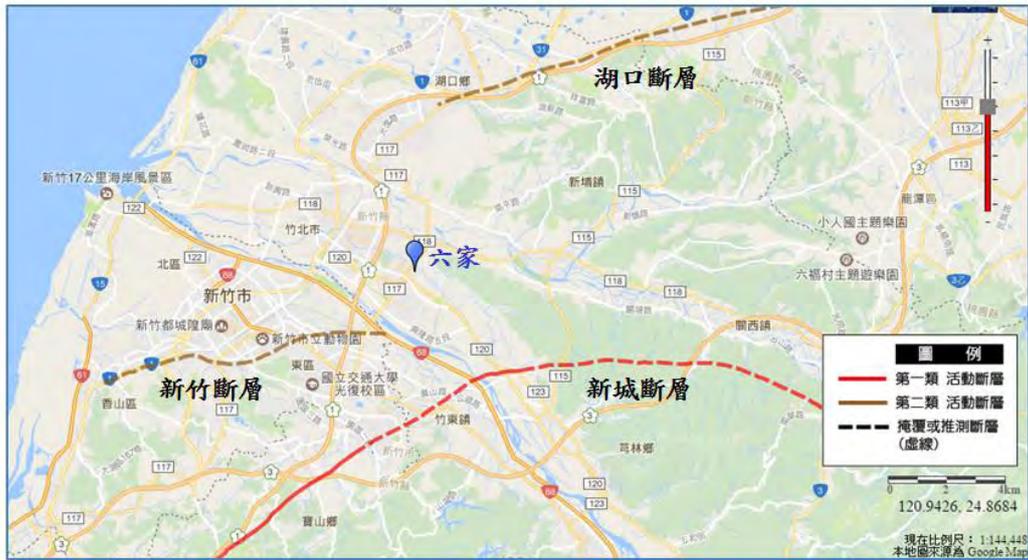


圖 1 「台灣活動斷層觀測系統及便民查詢服務」(經濟部中央地質調查所網頁)

土壤液化潛勢圖

新竹地區 Hsin Chu

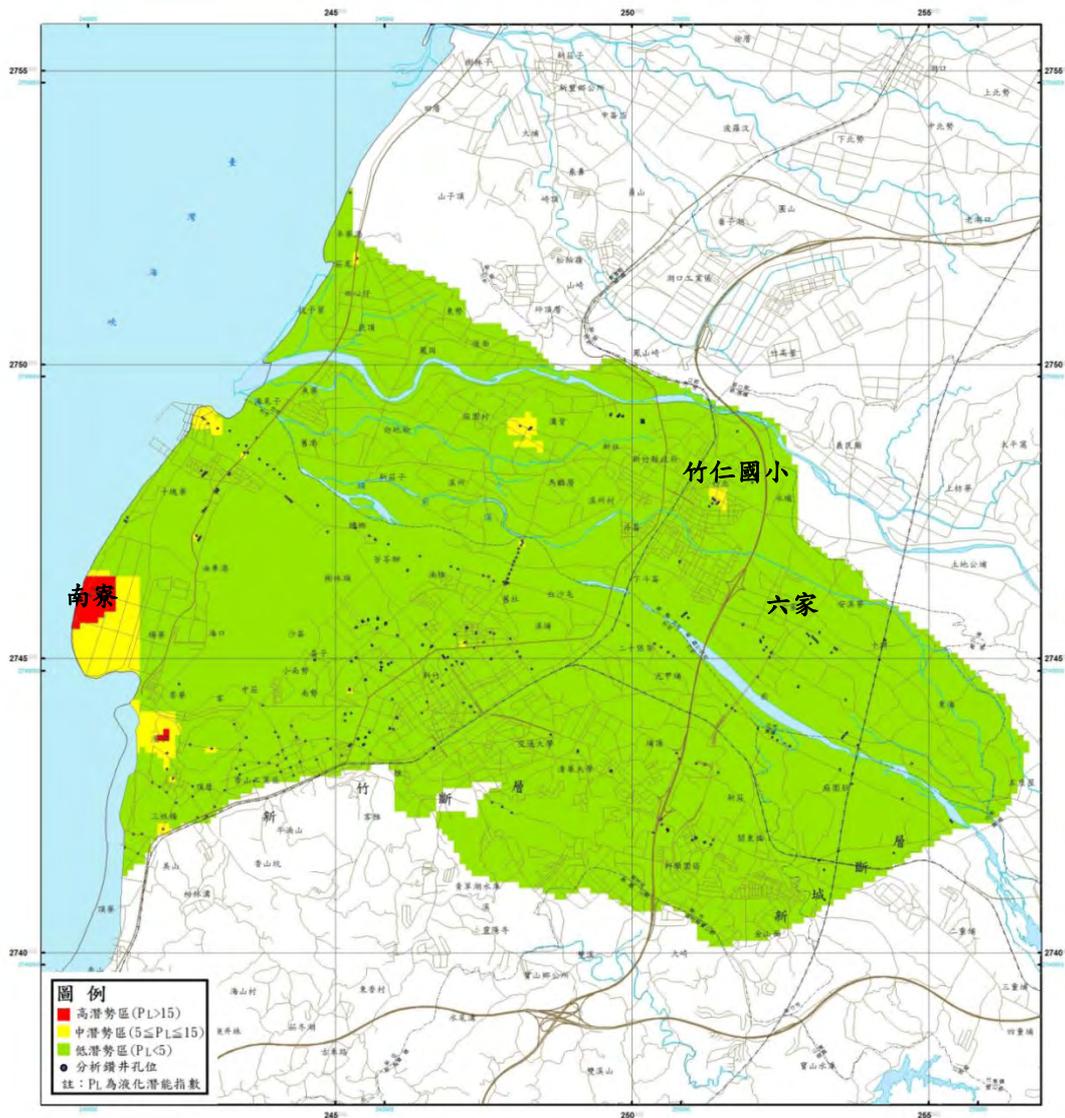


圖 2 新竹地區的土壤液化潛勢圖 (經濟部中央地質調查所網頁)

## 貳、研究目的

- 一、藉由採樣的土壤進行外觀觀察、含水率、過篩的粒徑分布與文獻資料等，瞭解竹北六家地區的土壤特性。
- 二、探討當地震發生時，建築物的型態(地樁數目、地樁形狀、不同建築物結構) 何種最不容易發生土壤液化而傾倒？

## 參、研究設備及器材

		
1.透明水族箱(含尺)及 多功能貼地車(環境模擬箱)[圖 3]	2.標準木板 (模擬地震搖晃的程度) [圖 4]	3. mesh 10 與 mesh 230 篩網[圖 5]
		
4.熱熔槍(黏合地樁用) [圖 6]	5.各式木塊(方柱 0,4,6,8 根) [圖 7] 各式木塊(圓柱、方柱) [圖 8]	6.各式木塊(建築物結構形狀) [圖 9]
		
7.烘箱(Channel 型號 OV452)[圖 10]	8.電子天平(JKH-1000, 1000g ±0.2g) [圖 11]	9.碼錶(計算時間) [圖 12]
		
9.土壤 A 新竹縣竹北市六家地區的農田 (六家高中附近) [圖 13]	8.土壤 B 紅土 新竹縣關西鎮六福村 (六福村主題樂園附近) [圖 14]	9.土壤 C 粉砂質土 新竹縣芎林鄉飛鳳山山坡 (芎林國中附近) [圖 15]
		
10.土壤 D 新竹縣竹仁國小附近[圖 16]	11.土壤 D 新竹縣竹北市頭前溪畔 (興隆國小附近) [圖 17]	12.土壤 E 新竹市南寮漁港(環保運動公園) [圖 18]

## 肆、研究過程與方法

### 一、研究方法

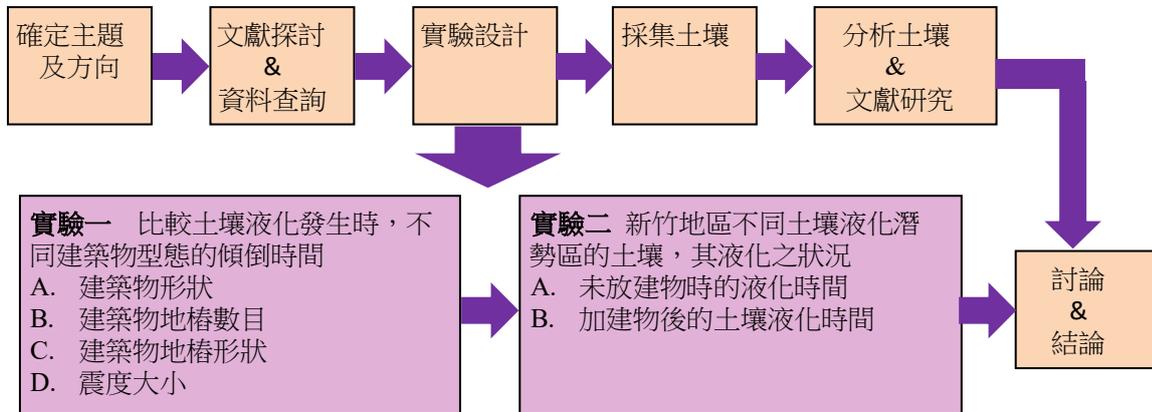


圖 19 研究方法架構圖

### 二、實驗設計

#### (一)文獻探討

##### 1. 六家地區土壤特性

曾浴沂、王新傳、梁鉅榮(民 52)針對新竹地區土壤分析，新竹縣由東向西的地勢漸低、地層年代漸新，最東邊由中新世晚期形成，而本研究的竹北地區土壤，分布於新竹縣西部，地質型態為鳳山溪頭前溪沿岸沖積層。

新竹縣竹北六家地區為鳳山溪與頭前溪之沖積平原，分佈於此兩溪流之側，約佔全縣面積 10%，土壤因受其沖積來源之不同，差異多，粗細紛雜，部分有含礫岩之淺土。曾浴沂等人(民 52)將本研究區域之土壤歸類為頭前溪砂質黏壤土，其剖面分析如下：

表一 新竹地區頭前溪砂質黏壤土之剖面分析

土壤號數 Sample No.	深度 Depth (cm)	機械組成 Mechanical Composition			
		粗砂 2-0.2mm	細砂 0.2-0.02mm	粉粒 0.02-0.002mm	黏砂 <0.002mm
		A35-001-1	0-15	5.985	52.532
A35-001-2	15-26	6.95	53.07	21.7	18.3
A35-001-3	26-38	14.17	59.79	14.5	11.7
A35-001-4	38-80	5.31	52.38	22.6	18.2

## 2.竹北地區的斷層

從經濟部中央地質調查所「台灣活動斷層觀測系統及便民查詢服務」的網頁查詢得知，竹北六家地區位處於湖口斷層、新竹斷層、新城斷層之間。

湖口斷層與新竹斷層都屬於第二類活動斷層，1 萬年前至 10 萬年前曾活動過 ([http://fault.moeacgs.gov.tw/TaiwanFaults\\_2009/](http://fault.moeacgs.gov.tw/TaiwanFaults_2009/))。

新城斷層屬於第一類活動斷層，參考地質敏感區劃定計畫書 F0004 新城斷層【經濟部】(民 104)，其研究說明新城斷層的活動斷層地質敏感區位於新竹縣、新竹市、苗栗縣等縣市，由東起於新竹縣芎林鄉、竹北市與竹東鎮交界一帶，向西南則迄至苗栗縣的頭份鎮，總長約 17.4 公里，總面積約 4.5 平方公里，透過篤行營區的開挖露頭，發現新城斷層切穿紅土層，曾多次活動，斷層上盤平均抬升速率約 1.0 公厘/年，並曾於 300 年前發生活動。由文獻得可知，新竹竹北地區仍有機會受到地震威脅，尚須謹慎面對。

## 3.土壤液化

土壤液化是指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，擠壓孔隙水，造成孔隙水壓增高，砂粒間的結合力因而消失的現象(陳銘鴻，民 91)。液化時砂粒與水混合成如泥漿的液體，而使砂質土壤失去承載建築物重量的力量，造成建築物下陷或傾斜。陳銘鴻(民 91)指出產生土壤液化的三個條件，缺一不可，分別為：疏鬆的砂質土壤、高含水量、夠大的地震強度。

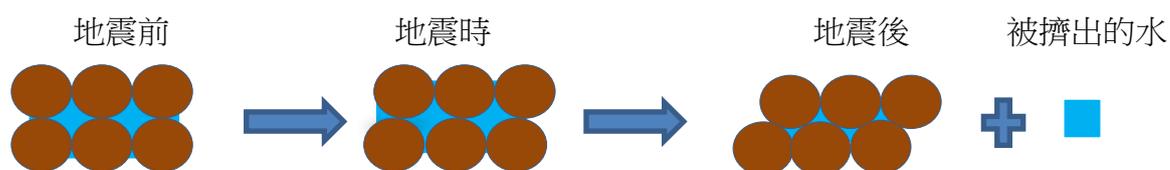


圖 20 土壤液化的示意圖

### (二)土壤取樣

#### 1.地點

本研究主要以六家農地的土壤進行實驗，模擬土壤液化發生時，建築物傾斜的情形。另外，由土壤液化潛勢圖發現：新竹地區有高潛勢區、中潛勢區、低潛勢區等三種。因此，我們也採集了其他不同潛勢區的土壤，一併進行探討，釐清新竹地區土壤的差異與土壤液化的相關性，採集土壤地點如下圖所示。



圖 21 新竹地區土壤液化潛勢圖與土壤採集地點



圖 22 土壤採集現場

表二 新竹地區土壤採集地點與土壤外觀的觀察

名稱	南寮漁港	竹仁國小	頭前溪畔	六家農地	飛鳳山山坡	關西
取樣地點	環保運動公園	竹仁國小附近	興隆國小附近	六家高中附近	芎林國中附近	六福村主題樂園附近
外觀	細砂土	粉砂質土	砂質土	粗砂質土壤	粗砂質土壤	紅土

## 2.前置作業

土壤採集之後，參照單信瑜(民，87)試驗室內土壤試驗的做法，計算土壤的含水量：

$$W = \frac{W_1 - W_s}{W_s} \times 100\%$$

溼土重  $W_1$ ，在  $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中，烘乾 24 小時，得乾土重  $W_s$ 。

並將乾燥土壤過篩，計算其各粒徑之重量百分比。以下為六家農地土壤的概述及各地土壤的粒徑分析：

表三、六家農地土壤取樣資訊

土 壤	六家農地			
土壤外觀	灰色，粗砂質土壤			
深 度	5~10 公分			
含 水 量	14.1%			
粒徑大小	礫 >2mm	砂 $2 \sim \frac{1}{16}$ mm	粉砂 $\frac{1}{16} \sim \frac{1}{256}$ mm	泥 $< \frac{1}{256}$ mm
	17.325	82.68%	0%	0%



圖 23、各採樣點的土壤粒徑重量百分比示意圖 (各取用 500 克的土壤過篩)

### (三)環境模擬裝置設計圖

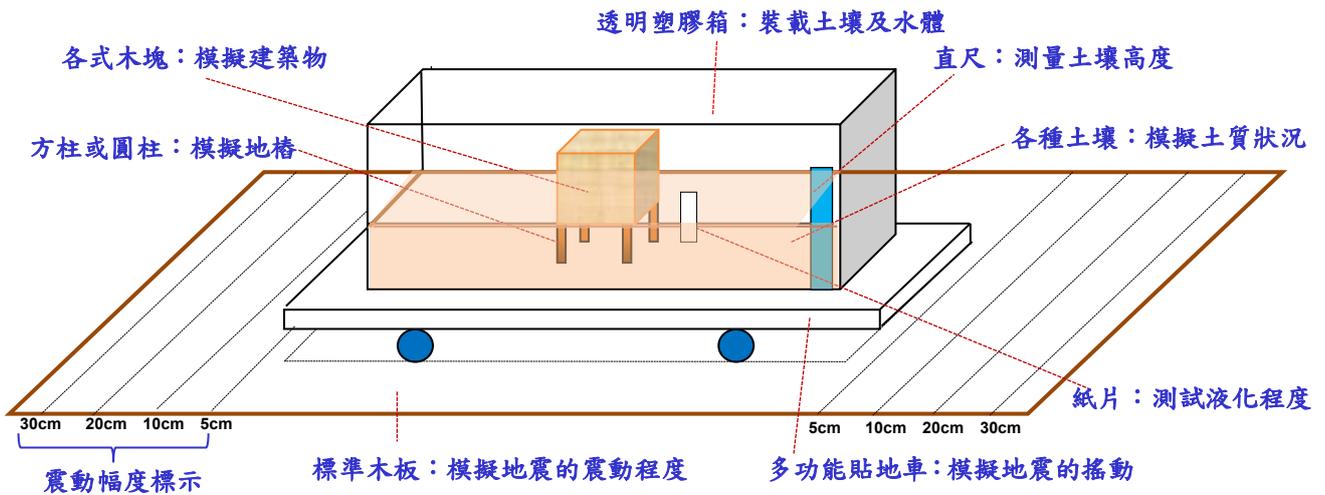


圖 24 環境模擬裝置



圖 25 環境模擬實際裝置

### (四)統計研究區域的常見建築物形狀

從 Google Earth 軟體的衛星影像空照圖搜尋「竹北/六家」，建築物各式型態分佈，並統計在竹北六家地區內的 95 棟建築物形狀，其中「一」型約佔 31.6%，「矩」型約佔 36.9%，「冂」型約佔 14.7%，「口」型約佔 10.5%，「L」型約佔 6.3%。

### (五)設計理念與實驗步驟

我們想要探討竹北六家地區土壤與建築物的形狀、地樁數目、地樁形狀以及震動程度等因素，對於發生地震時土壤液化的影響程度，因此我們設計並製作環境模擬裝置(圖 24、圖 25)：

- 1.以透明塑膠箱來裝載土壤與水體：透明箱內倒入 5 公分高的水，之後慢慢再加入乾燥後的土壤(乾燥 24 小時，溫度 110°C)，使土壤恰覆蓋至水面後，以直尺測量土壤高度，再加入約 1 公分厚之乾土，並於土壤上放置建築物模型，進行實驗。

- 2.以多功能貼地車來模擬地震的震動：以標準木板來模擬地震的震動程度，並於木板上劃記 5cm、10cm、20cm、30cm，模擬震度計算詳見於下文(六)模擬震度的計算。
- 3.以各式木塊(已有防水處理)來模擬建築物：由 Google Earth 衛星影像空照圖，統計竹北六家地區的建築物型態，發現竹北六家地區多以「一」字型建築物為主，另外，常見「矩」型、「口」型建築物，透過空照圖也發現少數的「 $\Gamma$ 」型、「L」型建築物，因此，本研究以竹北六家地區為例，將木塊切割成一字型、矩型、 $\Gamma$ 型、L型、口型建築物，進行土壤液化的模擬實驗。
- 4.以紙片 (2cm x 5cm 廚房紙巾) 測試土壤是否有發生液化，以碼錶來計量液化的時間，一旦液化就停止計時。
5. 以不同的地樁數目(方柱 0、4、6、8 根) 及形狀(圓柱、方柱)，針對六家農地的土壤，進行液化實驗。

#### (六)模擬震度的計算

本實驗將搖晃的劇烈程度換算成加速度，對應中央氣象局的地震震度分級表(表四)，以計算出每次搖晃時的震度大小。震度計算方法如下：

- 1.在標準木板上，以多功能貼地車(地動車)左右兩邊為起點(圖 26)，各向左右兩邊標示 0、5、10、20、30 公分的距離，來回移動十次，搖動結束，透過碼錶計時。
- 2.藉由搖動的時間及距離，畫出速度(V)與時間(t)的關係圖(圖 27)，以此算出平均地動加速度(表五)。本實驗採用 20 公分的搖晃距離，作為本實驗的標準距離，並控制本實驗的震度落在 4 級(中震)。



圖 26 環境模擬實際裝置(俯視圖)

表四、交通部中央氣象局地震震度分級表(2000年8月1日公告)

震度分級		地動加速度 (cm/s <sup>2</sup> ,gal)	人的感受	屋內情形	屋外情形
0	無感	0.8 以下	人無感覺		
1	微震	0.8~2.5	人靜止時可感覺微小搖晃		
2	輕震	2.5~8.0	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來	電燈等懸掛物有小搖晃	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短
3	弱震	8~25	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃
4	中震	25~80	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃
5	強震	80~250	大多數人會感到驚嚇恐慌	部分牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒
6	烈震	250~400	搖晃劇烈以致站立困難	部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象
7	劇震	400 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞

資料來源：交通部中央氣象局

表五、以標準木板模擬震度實驗

次數 cm	一	二	三	四	五	平均時間	來回一次的時間	加速度 (cm/sec <sup>2</sup> )	相對應的震度
5	12.78	12.09	11.91	11.38	12.59	12.15	1.21	22	3
10	13.19	13.00	12.97	14.84	13.47	13.494	1.35	43.9	4
20	15.00	15.63	14.93	14.97	16.65	15.436	1.54	67.14	4
30	16.59	15.72	16.63	17.35	18.05	16.87	1.69	84	5

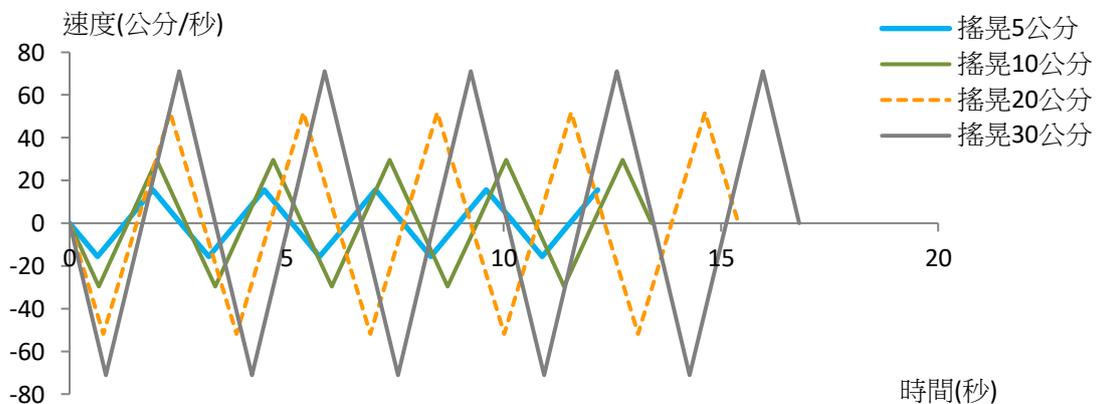


圖 27 搖動速度與時間關係圖(v-t 圖)

### 三、實驗過程

#### (一)實驗一：地震發生時，在六家地區的不同建築物型態，產生土壤液化的時間比較

**A.建築物形狀：**在環境模擬裝置中，放入六家農地的土壤，改變不同的建築物結構，分別為一字型、矩型(方型)、 $\Gamma$ 型、L型、口型五種，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間，反覆進行五次，並取平均值。

表六、各形狀木塊重量控制在差異 5 克之間，為本實驗的控制變因。

	一字型	矩型(方型)	$\Gamma$ 型	L型	口型
重量(公克)	335.2	337.0	337.6	336.0	338.6

**B.建築物地樁數目：**在環境模擬裝置中，放入六家農地的土壤，固定建築物形狀，改變地樁數量，分別以 0、4、6、8 根地樁進行實驗。藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。

**C.建築物地樁形狀：**在環境模擬裝置中，放入六家農地的土壤，固定建築物形狀及大小，測試圓柱地樁與方柱地樁的液化時間差異，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。

**D.震度大小的影響：**在環境模擬裝置中，放入六家農地的土壤，固定建築物的形狀及大小，地震震度(改變搖晃的加速度)，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。

#### (二)實驗二：新竹地區不同土壤液化潛勢區的土壤液化時間比較

##### **A.測試不同土壤未放建築物(未開發前)時的土壤液化時間：**

在環境模擬裝置中，放入各種不同的土壤，未加上建築物，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。

##### **B.測試不同土壤加上建築物後(已開發後)的土壤液化時間：**

在環境模擬裝置中，放入各種不同的土壤，加入固定建築物，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。

## 伍、研究結果

### 一、六家地區的土壤特性

(一)由文獻探討及網路資源，六家地區的土質：微灰色至灰色砂質粘壤土，結構鬆散，粗顆粒狀，通透性優良，有機質低，pH5.4。曾浴沂等人(民 52)研究竹北地區的土壤粒徑，礫石的顆粒極少，砂佔 60%，其餘為粉砂與泥的組成。

(二)經本研究觀察六家農地土壤呈淺灰色，表土摸起來有顆粒感，過篩發現六家農地土壤的組成有高達 80%以砂的顆粒大小為主，其餘的是較粗顆粒的小礫石，反而沒有粉砂與泥的顆粒。本實驗計算六家農地土壤的含水量，僅有 14%左右。

## 二、土壤液化與建築物型態之關係

### (一)實驗一：地震發生時，在六家地區的不同建築物型態，產生土壤液化的時間比較

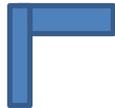
#### A.建築物形狀

(1)控制變因：六家農地土壤、建築物的重量、模擬震度為 4 級

(2)操縱變因：建築物的形狀(一字型、矩型、冂型、L 型、口型)

(3)應變變因：液化時間

(4)實驗結果：

建築物的結構形狀						
		一字型	矩型(方型)	冂型	L 型	口型
液化時間(秒)	1	54.91	51.60	39.54	48.65	47.44
	2	56.19	53.00	40.08	49.76	60.34
	3	54.44	54.23	37.69	49.52	57.81
	4	61.72	56.22	38.55	48.69	59.19
	5	58.75	44.43	42.32	47.86	59.04
	平均	57.20	51.90	39.64	48.90	56.76

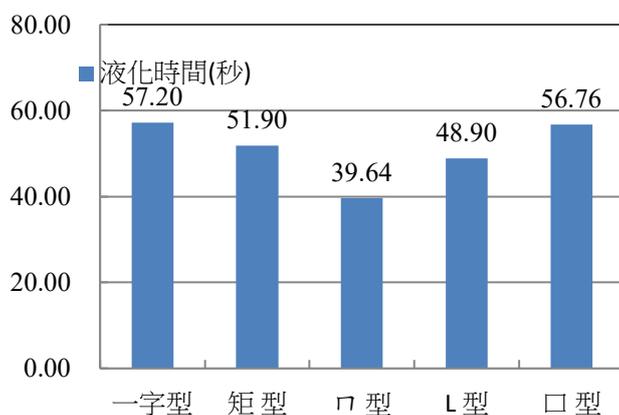


圖 28 建築物結構形狀與土壤液化的關係



圖 29 建築物的結構形狀

(5)小結論：一字型、矩型、口型最慢產生液化現象，而冂型最快產生液化現象。

L 型與冂型在實驗的過程中，有發生斷裂的現象，我們認為可能是受力不均勻而拉扯造成斷裂的情形。後續的實驗我們就將此牢牢固定，以利實驗的進行。

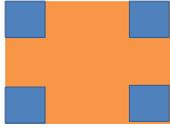
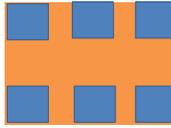
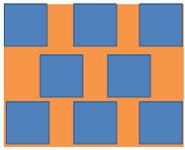
## B.建築物地樁數量

(1)控制變因：六家農地土壤、固定建築物的重量、模擬震度 4 級

(2)操縱變因：建築物的方形地樁數量(0，4，6，8 根)

(3)應變變因：液化時間

(4)實驗結果：

建築物地樁數量		0 根	4 根	6 根	8 根
建築物地樁排列方式					
液化時間(秒)	1	36.47	51.47	73.33	88.42
	2	34.69	47.61	71.19	90.26
	3	35.88	45.77	74.96	87.55
	4	34.99	53.04	74.76	91.76
	5	37.17	51.97	73.41	92.89
	平均	35.84	49.97	73.53	90.18

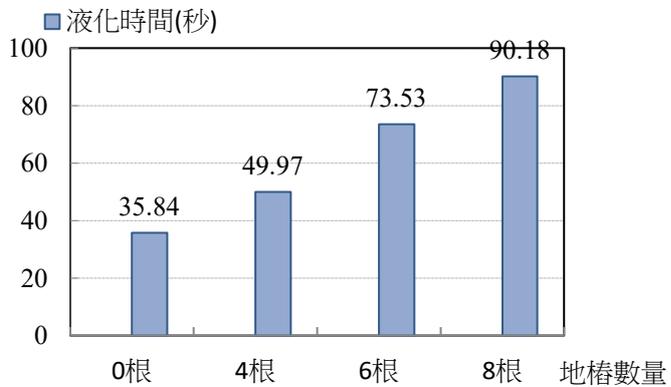


圖 30 建築物地樁數量對液化程度的影響



圖 31 建築物地樁數量與排列方式

(5)小結論：地樁數量是 8 根時，液化時間長達 90.18 秒，與不加地樁的 35.84 秒差距甚大，因此，建築物地樁數量愈多，可以延長土壤液化的時間。

### C.建築物地樁形狀

(1)控制變因：六家農地土壤、建築物的柱子為 4 根且高度相同(3cm)、模擬震度 4 級

(2)操縱變因：建築物的地樁形狀(圓柱及方柱)

(3)應變變因：液化時間

(4)實驗結果：

建築物的地樁形狀			
液化時間(秒)	1	28.66	33.07
	2	27.35	37.28
	3	31.53	40.71
	4	24.81	33.72
	5	27.04	34.07
	平均	27.88	35.77
備註		3cm 高的圓形柱	3cm 高的長方柱

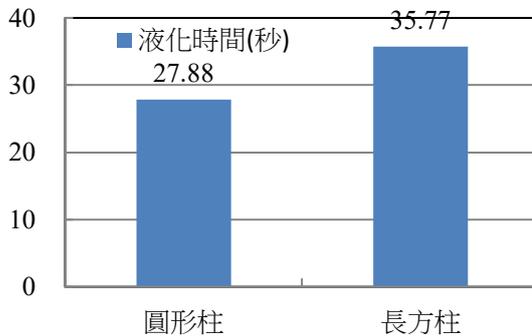


圖 32 建築物地樁形狀與土壤液化的關係



圖 33 建築物的地樁形狀

(5)小結論：方柱地樁是較圓柱地樁的液化時間長約 8 秒左右，代表地樁形狀也會影響土壤液化的速度。

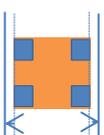
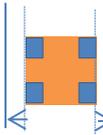
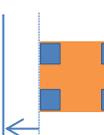
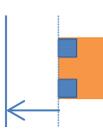
#### D.震度大小的影響

(1)控制變因：六家農地土壤、建築物的地樁形狀與數目

(2)操縱變因：不同的地震震度

(3)應變變因：液化時間

(4)實驗結果：

搖晃距離		左右 5cm	左右 10cm	左右 20cm	左右 30cm
左右的搖晃程度					
液化時間(秒)	1	67.22	43.97	31.28	17.32
	2	65.72	35.31	37.72	23.62
	3	63.19	45.65	29.03	27.91
	4	59.41	38.28	32.47	19.19
	5	60.87	39.25	34.75	21.44
	平均	63.28	40.49	33.05	21.90
加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		22	43	67	112.6
對應的震度		3	4	4	5

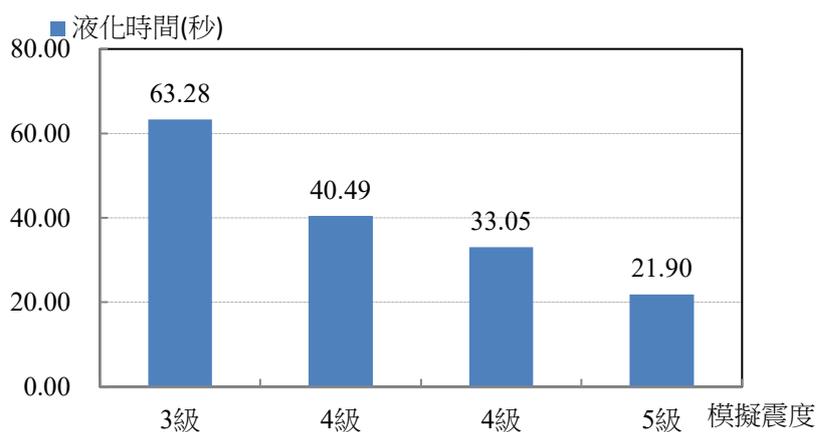


圖34地震震度與土壤液化的關係

(5)小結論：實驗結果顯示模擬震度最大的5級，產生土壤液化現象的時間最短，在地震搖晃21.90秒產生液化現象，表土出水的時間與震度成反比，這與我們所認知的事實相符合，也代表本實驗的可信度很高。

(二)實驗二：新竹地區不同土壤液化潛勢區的土壤液化時間比較

A.測試不同土壤未放建築物(未開發前)時的液化時間

(1)控制變因：水、覆土高度、模擬震度 4 級

(2)操縱變因：新竹地區土壤種類(土壤種類如下)

(3)應變變因：液化時間

(4)實驗結果：

地區		六家農地	關西	飛鳳山山坡	竹仁國小	頭前溪畔	南寮漁港
液化時間(秒)	1	39.47	90.47	47.1	31.19	40.37	31.96
	2	41.69	92.63	51.6	34.85	40.04	32.13
	3	39.88	95.73	45.76	36.44	40.06	37.76
	4	40.99	87.97	49.69	33.27	41.31	30.16
	5	39.17	98.77	42.73	33.49	40.62	28.79
	平均	40.24	93.11	47.38	33.85	40.48	32.16

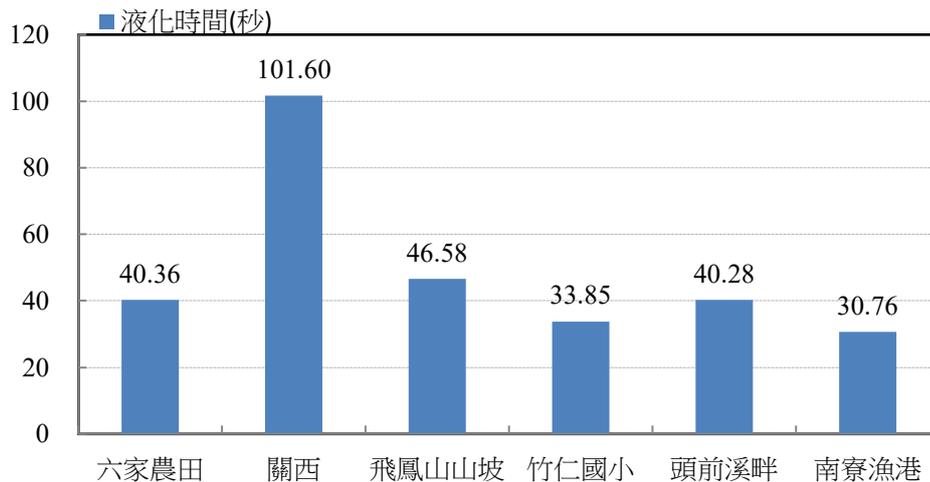


圖35 新竹地區土壤種類(未加建築物)與土壤液化的關係

(5)小結論：關西的紅土發生土壤液化的時間最長。而南寮漁港，同時也是土壤液化高潛勢區，地震來臨時，在相對較短的時間內發生土壤液化。竹仁國小(中潛勢區)所需時間是第二低的，僅次於南寮漁港。

## B.測試不同土壤加建物後的土壤液化時間

(1)控制變因：水、覆土高度、固定建築物型態、模擬震度 4 級

(2)操縱變因：新竹地區土壤種類

(3)應變變因：液化時間

(4)實驗結果：

地區		六家農地	關西	飛鳳山山坡	竹仁國小	頭前溪畔	南寮漁港
液化時間(秒)	1	36.03	90.47	42.32	39.8	39.69	21.76
	2	38.5	92.63	44.03	28.46	35.59	27.38
	3	37.68	95.73	43.56	35.31	35.73	19.79
	4	36.19	87.97	38.59	24.89	34.67	20.86
	5	39.17	98.77	43.1	33.76	36.74	24.37
	平均	37.51	93.11	42.32	32.44	36.48	22.83

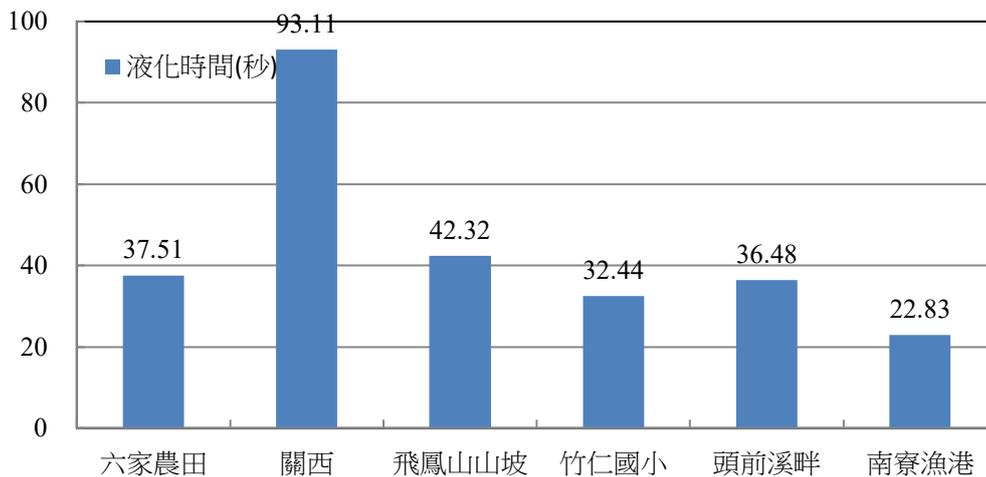


圖36 新竹地區土壤種類(加建築物)與土壤液化的關係

(5)小結論：加上建築物後，土體會增加重量，各地區土壤產生液化時間縮短 1 秒至 7 秒不等。南寮漁港的砂質土壤容易土壤液化，若蓋上建築物，萬一遇到地震及土壤液化，應變時間會很短暫。

## 陸、討論

一、本實驗設計參考行政院國家科學委員會補助的土壤液化模擬實驗(科學顧問:中研院地科所汪中和研究員, <https://www.youtube.com/watch?v=pfirt46jlyNw>), 不管實驗室內的一缸土是否能代表大自然土壤液化的實際情形, 在本實驗中, 嚴謹的思考每一項設計參數, 仍有不周密之處, 尚需改進。例如: 礙於取樣技術的困難, 我們的土壤採樣取自於地表層土 5 公分以下, 而非地表層土 1.5 公尺以下(容易產生土壤液化的土壤深度 1.5~9m)。(Tuttle et al. 1990)

二、在實驗設計之初, 有嘗試以水泥製作模型, 進行模擬實驗, 但礙於不同型態的建築物, 難以控制在相同的重量(重量誤差 5 公克內), 會增加實驗的複雜度, 最後選擇以木塊製作模型。

三、在**實驗一的 A**中, 經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間, 發現:

一字型 > 口型 > 矩形 > L 型 > 冂型。

由實驗結果得知: 一字型(細長型)與口型的建築物是最耐震的結構系統, 最不易產生土壤液化。我們認為可能是一字型(細長型)、口型、矩形的建築物質量與受力點較為平均, 故在實際狀況中, 應較不易扭轉、倒塌或斷裂; 而 L 型的建築物因受力點不均, 轉角處易裂開受損, 反而容易土壤液化; 冂型的建築物是最差的, 建築物容易扭轉, 倒塌機率高, 也最容易產生土壤液化。因此, 耐震並不是建築物體積大就較耐震, 必須看建築物的結構, 通常不規則形的建築物, 其轉角處會承受較多的擠壓或拉扯力量, 因而使得轉角處容易破裂!

四、在**實驗一的 B**中, 經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間, 發現:

建築物地樁數量愈多愈緊密, 整體岩盤會更紮實, 可能因為地樁和土壤間的接觸面積越大, 而延長土壤液化的時間。因此, 我們認為地震時, 建築物的地樁或梁柱愈緊密, 建築物較不易成為軟腳蝦而倒塌。

五、在**實驗一的 C**中, 當建築物重量相同時, 比較圓形柱與長方柱的地樁, 經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間, 發現: 圓形柱較長方柱易產生土壤液化。我們認為長方柱做為建築物地樁, 周圍稜稜角角, 且與土壤的接觸面積大, 摩擦阻力也大, 故可以延長土壤

液化發生的時間；而**圓形柱**做為建築物地樁，周圍較為圓滑，且與土壤的接觸面積小，摩擦阻力也小，故較易產生土壤液化。

六、由**實驗一的 D**可知：當震度越大(搖晃的幅度越大)，越快產生土壤液化，液化的發生時間與震度成反比。

七、在**實驗二**中，由新竹地區取樣的六種土壤中，經研究發現：

1.新竹關西的紅土是粉質土壤(13.72%)分佈在礫石層(47.68%)，顆粒非常細小，透水性不佳，且具有黏著性，緻密性大；竹仁國小(中潛勢區)的土壤為礫石(48.8%)與砂質土(43.92%)混合；南寮漁港(高潛勢區)的土壤主要為砂質土(86.8%)；六家農地和頭前溪畔距離較近，其土壤約有 80%砂質土與部分礫石。

2.上述六種土壤中，經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間：

關西 > 飛鳳山 > 六家 > 頭前溪畔 > 竹仁國小 > 南寮漁港。

3.不同土壤加上建築物後，土壤液化的時間縮短了 1 秒至 7 秒不等，代表加入建築物後，土體承載的荷重增加，土壤顆粒排列得更加緊密，發生土壤液化的時間會縮短。

4.飛鳳山與竹仁國小的土壤顆粒組成大致相似，但竹仁國小很明顯容易產生土壤液化，代表顆粒組成並非決定土壤液化的唯一因素。

5. 中央地質調查所公布的土壤液化潛勢區，新竹關西、飛鳳山、六家、頭前溪地區屬於**低潛勢區**，竹仁國小地區屬於**中潛勢區**，南寮地區屬於**高潛勢區**。本實驗結果顯示：新竹關西紅土平均 93 秒的時間才出現土壤液化的情形，所需時間最長，其次是飛鳳山、六家、頭前溪，最後是竹仁國小地區及南寮地區。由此可知，不同潛勢區的土壤特性的確會影響土壤液化的發生時間，並且，高潛勢區的土壤液化發生時間短於中潛勢區，低潛勢區則最長。

八、本實驗的模擬震度雖然可由搖晃的距離及時間回推算出地動加速度，但是，我們發現要達到震度 5 級以上，真的十分費力，且還需花時間計算回推，本研究嘗試搜尋手機軟體測試加速度，但是現今在網路上使用的軟體多以測量速度為主，標榜測量加速度的軟體卻沒有標示單位，此部分尚需在思考如何改善。

## 柒、結論

- 一、六家地區的農地和頭前溪畔距離較近，土壤性質相近，其土壤約有 80%砂質土與部分礫石。經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間，六家地區較其他地區長。
- 二、建築物地樁以方柱較圓柱佳，地樁愈深，數目越密集，建築物抗震且抗土壤液化能力較好。
- 三、竹北六家地區的建築物型態分佈比例以一字型(31.6%)與矩型(36.9%)居多，而冂型(14.7%)、口型(10.5%)、L 型(6.3%)則為少數。若地震時，以一字型與矩型的建築物結構較為穩固，且不易發生土壤液化。非常符合我們心目中”震不倒的六家”！

## 捌、未來展望

- 一、土壤液化並非絕症，其災害也不如斷層來的危險，且甚至有「液化減震」之功效。因此，若在建築前事先做好地質調查及分析，並且改善土質，相信土壤液化所帶來的災害必能減至最低。
- 二、陸續公布的「土壤液化潛勢圖」，很多人在意房價跌多少？但我們認為應該正確解讀「液化潛勢」的意義，以及知道「哪裡較有可能發生液化？」，不代表「真實的災情分布」，以期達到預先防災的效果。
- 三、本研究中，以多功能貼地車操作僅能模擬地震的 S 波，震度大小也可以用左右搖晃的距離來換算地動加速度，但 P 波與表面波的部分仍待突破，未來有機會也可以考慮加裝彈簧進來。
- 四、本研究中，受限於模擬的最大震度僅可達 5 級，再高的震度就無法突破，若未來想進一步探討，建議可設計精密機械來取代。

## 玖、參考資料及其他

1. Tuttle, M.P., T. Law, L. Seebet, and K. Jacob, Liquefaction and ground failure induced by the 1988 Saguenay, Quebec earthquake, *Can. Geotech. J.*, 27, 580-589, 1990.
2. 陳銘鴻(民 91)。土壤液化成因、災害與復健。臺灣之活動斷層與地震災害研討會，第 107-123 頁。
3. 牛頓出版股份有限公司(民 98)。土壤液化的機制及其震害現象。牛頓雜誌 197 期，1999 年 10 月，第 82 -87 頁。
4. 張文忠(民 99)。現地土壤液化模型試驗之發展與應用。地工技術，第 152 期(2010 年 9 月)，第 65-74 頁。
5. 謝昇航(民 100)。臺灣地區液化潛能製圖。國立中央大學碩士論文。
6. 林軒伊、呂恩暄、鄧郁璇(民 101)。水土交融-土壤液化的實驗室模擬。全國中小學科展第 52 屆中小學科學展覽會高中組地球科學科。
7. 宋沁諭(民 103)。不同建築配置在土壤液化狀況下受震反應之差異比較。全國中小學科展第 54 屆中小學科學展覽會國中組地球科學科。
8. 陳正興、陳家漢(民 103)。地震引致的土壤液化與側潰現象。科學發展 2014 年 6 月 498 期，第 12-17 頁。
9. 郭哲維、陳建丞、賴玟豪、吳承憲、蔡閔旭(民 103)。震震有池？~地震與土壤液化關係之探討。全國中小學科展第 54 屆中小學科學展覽會國小組地球科學科。
10. 陳宇翔、王禹傑、張家豪(民 104)。震震有池？震動能量、頻率與砂土性質對土壤液化的影響。全國中小學科展第 55 屆中小學科學展覽會高中組地球科學科。
11. 陳智(民 84)。建築結構設計精華—初版。—壹 北市。樓板的震動與舒適程度，第 133-147 頁。
12. 土壤液化潛勢查詢系統-經濟部中央地質調查所。取自：<http://www.moeacgs.gov.tw/2016.htm>
13. 國家地震工程研究中心：安全耐震的家。取自：<http://www.ncree.org/SafeHome/ncr02/ncr3.htm>
14. 曾浴沂、王新傳、梁鉅榮(民 52)。台灣省新竹縣之土壤。台灣省農業試驗業所報告，第 22 號，第 49-52 頁。
15. 單信瑜(民 87)。試驗室內土壤試驗。鑿井公會鑽探訓練班講義。
16. 經濟部中央地質調查所(民 104)。活動斷層地質敏感區劃定計畫書-F0004 新城斷層。

## 【評語】 030503

作者以實驗模擬地震對疊加不同型態建築物之含水土壤產生液化之時間，作者有其實驗設計之邏輯，建議針對以下幾點再加說明，以強化內容。

1. 土壤液化與地震震度及地下水位高低的關係更大，建議針對此二因子設計實驗討論。
2. 無建築物疊加之土壤液化時間比有建築物疊加的土壤液化時間短，與預期不符，如何解釋？
3. 可將土壤液化時間與土壤粒徑比例作 X-Y 圖，應可更明顯呈現兩者之相關性。

# 摘要

地震發生時常伴隨土壤液化，出現砂質土壤失去承載建築物重量的力量，造成建築物下陷或傾斜。本研究針對竹北六家地區土壤液化和建築物型態間的關係進行探討，藉由土壤採樣、觀察外觀、計算含水量、土壤過篩、文獻資料等方式來瞭解其特性。模擬地震發生時，何種建築物型態在發生土壤液化時最不易傾倒？利用衛星影像空照圖統計常見建物形狀，以木塊製作模型，改變建築物地樁形狀、數目，結果以一字型、矩型、口型等建築物結構抗震效果最佳，土壤液化發生的時間最晚；口型或L型只要搖晃，轉角處就會裂開受損，防災效果較差。建築物地樁以方柱較圓柱佳，地樁愈深，數目越密集，建築物抗震及抗土壤液化能力較好。

## 壹，研究動機

民國105年2月6日的美濃大地震(ML=6.6)，造成許多人員傷亡，除了地表斷裂與建物受震波破壞以外，當時台南新化區發生十分嚴重的土壤液化現象，造成建築物傾斜或倒塌，死傷慘重，連續多日的新聞畫面，讓我們心有餘悸！我們想知道，若土壤液化發生在我們生長的家鄉，會是什麼情形？

新竹六家地區近年來蓬勃發展，附近有高鐵經過，原本大片的農田不到幾年的時間，形形色色的建築物如雨後春筍般一棟一棟的冒出，這樣高棟建築物，蓋在六家地區的土地上，發生土壤液化的機會大嗎？建築物的形狀是否會影響土壤液化的發生時間呢？竹北六家地區附近又會是如何呢？希望藉由本研究瞭解竹北六家地區土壤液化和建築物的型態間的關係，冀望我們的家園是安全無虞的！



圖1「台灣活動斷層觀測系統及便民查詢服務」(經濟部中央地質調查所網頁)

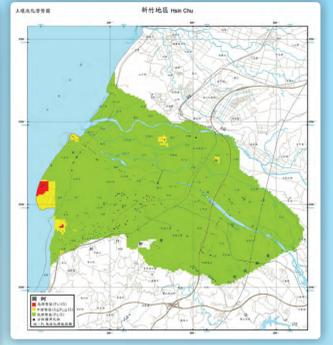


圖2 新竹地區的土壤液化潛勢圖(經濟部中央地質調查所網頁)

## 貳，研究目的

- 一、藉由採樣的土壤進行外觀觀察、含水率、過篩的粒徑分布與文獻資料等，瞭解竹北六家地區的土壤特性。
- 二、探討當地震發生時，建築物的型態(地樁數目、地樁形狀、不同建築物結構)何種最不容易發生土壤液化而傾倒？

## 參，研究設備及器材

	1.透明水族箱(含尺)及多功能貼地車(環境模擬箱)【圖3】		4.熱熔槍(黏合地樁用)【圖6】		7.烘箱(Channel型號OV452)【圖10】		9.土壤A 新竹縣竹北市六家地區的農田(六家高中附近)【圖13】		10.土壤D 新竹縣竹仁國小附近【圖16】
	2.標準木板(模擬地震搖晃的程度)【圖4】		5.各式木塊(方柱0.4, 6, 8根)【圖7】各式木塊(圓柱、方柱)【圖8】		8.電子天平(JKH-1000 1000g±0.2g)【圖11】		8.土壤B紅土 新竹縣關西鎮六福村(六福村主題樂園附近)【圖14】		11.土壤D 新竹縣竹北市頭前溪畔(興隆國小附近)【圖17】
	3.mesh 10與mesh 230篩網【圖5】		6.各式木塊(建築物結構形狀)【圖9】		9.碼錶(計算時間)【圖12】		9.土壤C粉砂質土 新竹縣芎林鄉飛鳳山坡(芎林國中附近)【圖15】		12.土壤E 新竹市南寮漁港(環保運動公園)【圖18】

## 肆，研究過程與方法

### 一、研究方法

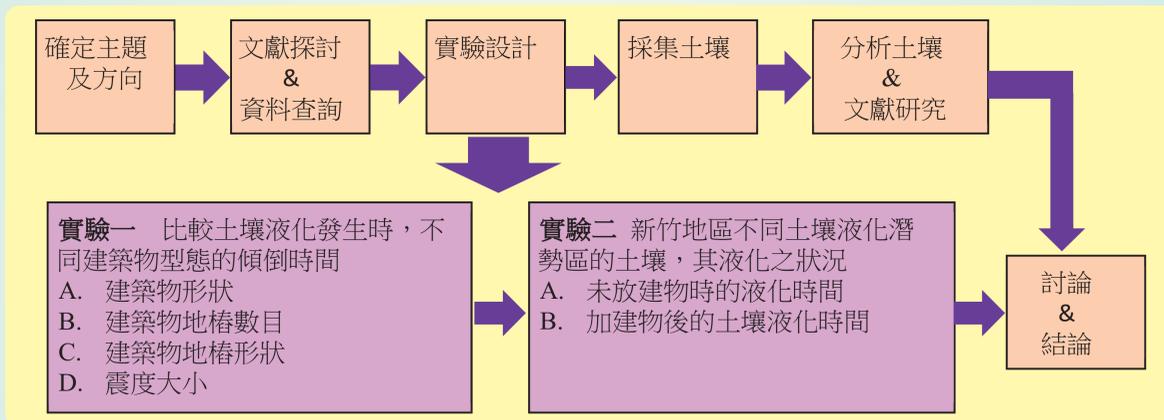


圖19 研究方法架構圖

### 二、實驗設計

#### (一)文獻探討

##### 1.六家地區土壤特性

新竹縣由東向西的地勢漸低、地層年代漸新，最東邊由中新世晚期形成，新竹縣竹北六家地區為鳳山溪與頭前溪之沖積平原，分佈於此兩溪流之側，約佔全縣面積10%，土壤因受其沖積來源之不同，差異多，粗細紛雜，部分有含礫岩之淺土。

##### 2.竹北地區的斷層

竹北六家地區位處於湖口斷層、新竹斷層、新城斷層之間。

湖口斷層與新竹斷層都屬於第二類活動斷層，1萬年前至10萬年前曾活動過。新城斷層屬於第一類活動斷層，地質敏感區位於新竹縣、新竹市、苗栗縣等縣市，由東起於新竹縣芎林鄉、竹北市與竹東鎮交界一帶，向西南則迄至苗栗縣的頭份鎮，總長約17.4公里，總面積約4.5平方公里，透過篤行營區的開挖露頭，發現新城斷層切穿紅土層，曾多次活動，斷層上盤平均抬升速率約1.0公厘/年，並曾於300年前發生活動。未來新竹竹北地區仍有機會受到地震威脅，尚須謹慎面對。

##### 3.土壤液化

土壤液化是指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，擠壓孔隙水，造成孔隙水壓增高，砂粒間的結合力因而消失的現象，常造成建築物下陷或傾斜。陳銘鴻(民91)指出產生土壤液化的三個條件，缺一不可，分別為：疏鬆的砂質土壤、高含水量、夠大的地震強度。

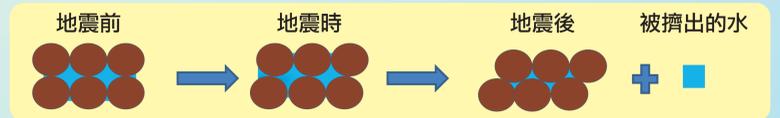


圖20 土壤液化的示意圖

#### (二)土壤取樣

##### 1.地點

本研究主要以六家農地的土壤進行實驗，模擬土壤液化發生時，建築物傾斜的情形。由土壤液化潛勢圖發現：新竹地區有高潛勢區、中潛勢區、低潛勢區等三種。因此，本研究也採集其他不同潛勢區的土壤進行探討，釐清新竹地區土壤的差異與土壤液化的相關性，採集土壤地點如下圖所示。



圖21 新竹地區土壤液化潛勢圖與土壤採集地點



圖22 土壤採集現場

名稱	南寮漁港	竹仁國小	頭前溪畔	六家農地	飛鳳山坡	關西
取樣地點	環保運動公園	竹仁國小附近	興隆國小附近	六家高中附近	芎林國中附近	六福村主題樂園附近
外觀	細砂土	粉砂質土	砂質土	粗砂質土壤	粗砂質土壤	紅土

表二 新竹地區土壤採集地點與土壤外觀的觀察

##### 2.前置作業

土壤採集之後，參照單信瑜(民，87)試驗室內土壤試驗的做法，計算土壤的含水量： $W = \frac{W_1 - W_s}{W_s} \times 100\%$ ，溼土重 $W_1$ ，在 $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的烘箱中，烘乾24小時，得乾土重 $W_s$ 。並將乾燥土壤過篩，計算其各粒徑之重量百分比。以下為六家農地土壤的概述及各地土壤的粒徑分析：



圖23 各採樣點的土壤粒徑重量百分比示意圖(各取用500克的土壤過篩)

土壤	六家農地			
土壤外觀	灰色，粗砂質土壤			
深度	5~10公分			
含水量	14.1%			
粒徑大小	礫	砂	粉砂	泥
	>2mm	2~ $\frac{1}{16}$ mm	$\frac{1}{16}$ ~ $\frac{1}{256}$ mm	< $\frac{1}{256}$ mm
	17.32%	82.68%	0%	0%

表三 六家農地土壤取樣資訊

### (三)環境模擬裝置設計圖

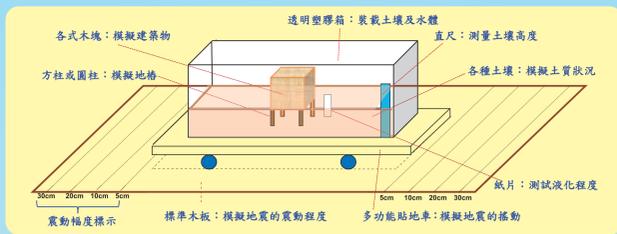


圖24環境模擬裝置

### (四)統計研究區域的常見建築物形狀

從Google Earth軟體的衛星影像空照圖搜尋「竹北/六家」，統計在竹北六家地區內的95棟建築物各式型態分佈，其中「一」型約佔31.6%，「矩」型約佔36.9%，「口」型約佔14.7%，「口」型約佔10.5%，「L」型約佔6.3%。

### (五)設計理念與實驗步驟

- 我們想要探討竹北六家地區土壤與建築物的形狀、地樁數目、地樁形狀以及震動程度等因素，對於發生地震時土壤液化的影響程度，環境模擬裝置如圖24、圖25：
- 1.以透明塑膠箱來裝載土壤與水體：透明箱內倒入5公分高的水，之後慢慢加入乾燥後的土壤(溫度110°C，24小時)，使土壤恰覆蓋至水面後，以直尺測量土壤高度，再加入約1公分厚之乾土，並於土壤上放置建築物模型，進行實驗。
  - 2.以多功能貼地車來模擬地震的震動：以標準木板模擬地震的震動程度，並於木板上劃記5cm、10cm、20cm、30cm，模擬震度計算詳見於(六)模擬震度的計算。
  - 3.以各式木塊(已有防水處理)來模擬建築物：由Google Earth衛星影像空照圖，統計竹北六家地區的建築物型態，將木塊切割成一字型、矩型、口型、L型、口型建築物，進行土壤液化的模擬實驗。
  - 4.以紙片(2cm x 5cm廚房紙巾) 測試土壤是否有發生液化，以碼錶來計量液化的時間，一旦液化就停止計時。
  - 5.以不同的地樁數目(方柱0、4、6、8根)及形狀(圓柱、方柱)，針對六家農地的土壤，進行液化實驗。

### (六)模擬震度的計算

本實驗將搖晃的劇烈程度換算成加速度，對應中央氣象局的地震震度分級表(表四)，以計算出每次搖晃時的震度大小。震度計算方法如下：

- 1.在標準木板上，以多功能貼地車(地動車)左右兩邊為起點(圖25)，各向左右兩邊標示0、5、10、20、30公分的距離，來回移動十次，搖動結束，透過碼錶計時。
- 2.藉由搖動的時間及距離，畫出速度(V)與時間(t)的關係圖(圖26)，以此算出平均地動加速度(表五)。本實驗採用20公分的搖晃距離作為標準距離，並控制震度落在4級(中震)。

震度分級	地動加速度 (cm/s², gal)	人的感受	屋內情形	屋外情形
0	無感	0.8以下	人無感覺	
1	微震	0.8~2.5	人靜止時可感覺微小搖晃	
2	輕震	2.5~8.0	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部份會醒來	電燈等懸掛物有小搖晃
3	弱震	8~25	幾乎所有的人都會感覺搖晃，有的人會有恐懼感	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺
4	中震	25~80	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害
5	強震	80~250	大多數人會感到驚嚇恐慌	部分牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒
6	烈震	250~400	搖晃劇烈以致站立困難	部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形
7	劇震	400以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或掉落地面

表四 交通部中央氣象局地震震度分級表(2000年8月1日公告)



圖25環境模擬實際裝置(俯視圖)

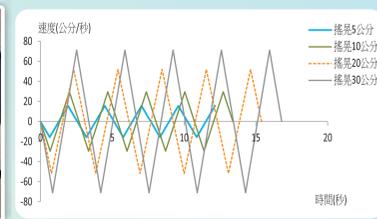


圖26 搖動速度與時間關係圖(v-t圖)

次數 cm	一	二	三	四	五	平均時間	來回一次的時間	加速度 (cm/sec²)	相對應的震度
5	12.78	12.09	11.91	11.38	12.59	12.15	1.21	22	3
10	13.19	13.00	12.97	14.84	13.47	13.494	1.35	43.9	4
20	15.00	15.63	14.93	14.97	16.65	15.436	1.54	67.14	4
30	16.59	15.72	16.63	17.35	18.05	16.87	1.69	84	5

表五 以標準木板模擬震度實驗

## 三、實驗過程

### (一)實驗一：地震發生時，在六家地區的不同建築物型態，產生土壤液化的時間比較

A.建築物形狀：在環境模擬裝置中，放入六家農地的土壤，改變不同的建築物結構，分別為一字型、矩型(方型)、口型、L型、口型五種，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間，反覆進行五次，並取平均值。

	一字型	矩型(方型)	口型	L型	口型
重量(公克)	335.2	337.0	337.6	336.0	338.6

表六 各形狀木塊重量控制在差異5克之間，為本實驗的控制變因

- B.建築物地樁數目：在環境模擬裝置中，放入六家農地的土壤，固定建築物形狀，改變地樁數量，分別以0、4、6、8根地樁進行實驗。藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。
- C.建築物地樁形狀：在環境模擬裝置中，放入六家農地的土壤，固定建築物形狀及大小，測試圓柱地樁與方柱地樁的液化時間差異，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。
- D.震度大小的影響：在環境模擬裝置中，放入六家農地的土壤，固定建築物的形狀及大小，地震震度(改變搖晃的加速度)，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。

### (二)實驗二：新竹地區不同土壤液化潛勢區的土壤液化時間比較

- A.測試不同土壤未放建築物(未開發前)時的土壤液化時間：  
在環境模擬裝置中，放入各種不同的土壤，未加上建築物，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。
- B.測試不同土壤加上建築物後(已開發後)的土壤液化時間：  
在環境模擬裝置中，放入各種不同的土壤，加入固定建築物，藉由紙片吸水的程度來測量土表溢水的時間。反覆進行五次，並取平均值。

## 伍，研究結果

### 一、六家地區的土壤特性

- (一)由文獻探討及網路資源，六家地區的土質：微灰色至灰色砂質粘壤土，結構鬆散，粗顆粒狀，通透性優良，有機質低，pH5.4。曾浴沂等人(民52)研究竹北地區的土壤粒徑，礫石的顆粒極少，砂佔60%，其餘為粉砂與泥的組成。
- (二)經本研究觀察六家農地土壤呈淺灰色，表土摸起來有顆粒感，過篩發現六家農地土壤的組成有高達80%以砂的顆粒大小為主，其餘的是較粗顆粒的小礫石，反而沒有粉砂與泥的顆粒。本實驗計算六家農地土壤的含水量，僅有14%左右。

### 二、土壤液化與建築物型態之關係

#### (一)實驗一：地震發生時，在六家地區的不同建築物型態，產生土壤液化的時間比較

##### A.建築物形狀

控制變因：六家農地土壤、建築物的重量、模擬震度為4級  
操縱變因：建築物的形狀(一字型、矩型、口型、L型、口型)  
應變變因：液化時間  
實驗結果：

建築物的結構形狀	液化時間(秒)				
	一字型	矩型(方型)	口型	L型	口型
1	54.91	51.60	39.54	48.65	47.44
2	56.19	53.00	40.08	49.76	60.34
3	54.44	54.23	37.69	49.52	57.81
4	61.72	56.22	38.55	48.69	59.19
5	58.75	44.43	42.32	47.86	59.04
平均	57.20	51.90	39.64	48.90	56.76

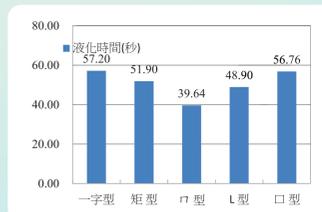


圖27 建築物結構形狀與土壤液化的關係



圖28 建築物的結構形狀

##### B.建築物地樁數量

控制變因：六家農地土壤、固定建築物的重量、模擬震度4級  
操縱變因：建築物的方形地樁數量(0，4，6，8根)  
應變變因：液化時間  
實驗結果：

建築物地樁數量	液化時間(秒)			
	0根	4根	6根	8根
1	36.47	51.47	73.33	88.42
2	34.69	47.61	71.19	90.26
3	35.88	45.77	74.96	87.55
4	34.99	53.04	74.76	91.76
5	37.17	51.97	73.41	92.89
平均	35.84	49.97	73.53	90.18

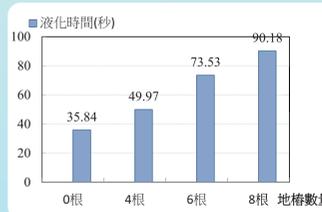


圖29 建築物地樁數量對液化程度的影響

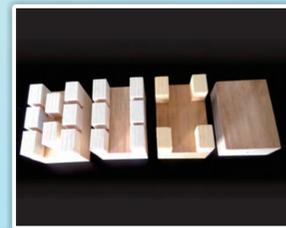


圖30 建築物地樁數量與排列方式

##### C.建築物地樁形狀

控制變因：六家農地土壤、建築物的柱子為4根且高度相同(3cm)、模擬震度4級  
操縱變因：建築物的地樁形狀(圓柱及方柱)  
應變變因：液化時間  
實驗結果：

建築物的地樁形狀	液化時間(秒)	
	圓形柱	長方柱
1	28.66	33.07
2	27.35	37.28
3	31.53	40.71
4	24.81	33.72
5	27.04	34.07
平均	27.88	35.77
備註	3cm高的圓形柱	3cm高的長方柱

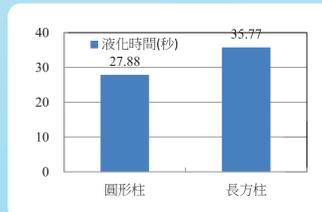


圖31 建築物地樁形狀與土壤液化的關係

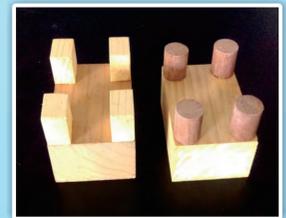


圖32 建築物的地樁形狀

#### D.震度大小的影響

控制變因：六家農地土壤、建築物的地樁形狀與數目

操縱變因：不同的地震震度

應變變因：液化時間

實驗結果：

搖晃距離	左右5cm	左右10cm	左右20cm	左右30cm
左右的搖晃程度				
1	67.22	43.97	31.28	17.32
2	65.72	35.31	37.72	23.62
3	63.19	45.65	29.03	27.91
4	59.41	38.28	32.47	19.19
5	60.87	39.25	34.75	21.44
平均	63.28	40.49	33.05	21.90
加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	22	43	67	112.6
對應的震度	3	4	4	5

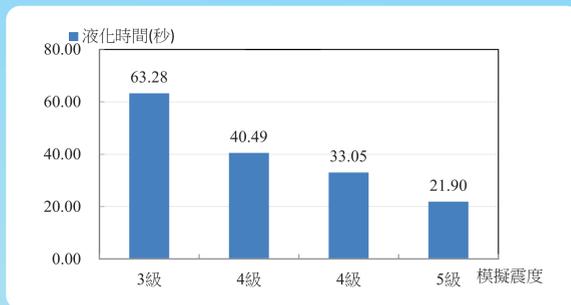


圖33 地震震度與土壤液化的關係

#### (二)實驗二：新竹地區不同土壤液化潛勢區的土壤液化時間比較

##### A.測試不同土壤未放建築物(未開發前)時的液化時間

控制變因：水、覆土高度、模擬震度4級

操縱變因：新竹地區土壤種類(土壤種類如下)

應變變因：液化時間

實驗結果：

地區	六家農地	關西	飛鳳山坡	竹仁國小	頭前溪畔	南寮漁港
1	39.47	90.47	47.1	31.19	40.37	31.96
2	41.69	92.63	51.6	34.85	40.04	32.13
3	39.88	95.73	45.76	36.44	40.06	37.76
4	40.99	87.97	49.69	33.27	41.31	30.16
5	39.17	98.77	42.73	33.49	40.62	28.79
平均	40.24	93.11	47.38	33.85	40.48	32.16



圖34 新竹地區土壤種類(未加建築物)與土壤液化的關係

##### B.測試不同土壤加建物後的土壤液化時間

控制變因：水、覆土高度、固定建築物型態、模擬震度4級

操縱變因：新竹地區土壤種類

應變變因：液化時間

實驗結果：

地區	六家農地	關西	飛鳳山坡	竹仁國小	頭前溪畔	南寮漁港
1	36.03	90.47	42.32	39.8	39.69	21.76
2	38.5	92.63	44.03	28.46	35.59	27.38
3	37.68	95.73	43.56	35.31	35.73	19.79
4	36.19	87.97	38.59	24.89	34.67	20.86
5	39.17	98.77	43.1	33.76	36.74	24.37
平均	37.51	93.11	42.32	32.44	36.48	22.83

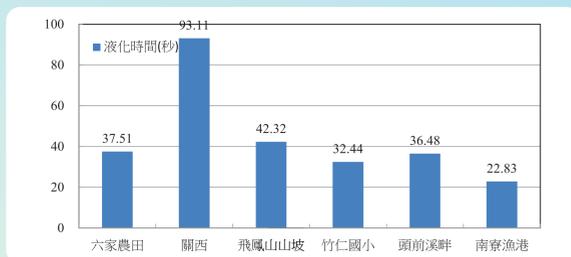


圖35 新竹地區土壤種類(加建築物)與土壤液化的關係

## 陸、討論

- 一、本實驗設計參考行政院國家科學委員會補助的土壤液化模擬實驗，不管實驗室內的一缸土是否能代表大自然土壤液化的實際情形，在本實驗中，嚴謹的思考每一項設計參數，仍有不周密之處，尚需改進。例如：礙於取樣技術的困難，我們的土壤採樣取自於地表層土5公分以下，而非地表層土1.5公尺以下(容易產生土壤液化的土壤深度1.5~9m)。(Tuttle et al. 1990)
- 二、在實驗設計之初，有嘗試以水泥製作模型，進行模擬實驗，但礙於不同型態的建築物，難以控制每一個模型的重量相同(重量誤差在5公克內)，會增加實驗的複雜度，最後選擇以木塊製作模型。
- 三、在實驗一的A中，經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間，發現：一字型 > 口型 > 矩形 > L型 > 冂型。  
由實驗結果得知：一字型(細長型)與口型的建築物是最耐震的結構系統，最不易產生土壤液化。我們認為可能是一字型(細長型)、口型、矩形的建築物質量與受力點較為平均，故在實際狀況中，應較不易扭轉、倒塌或斷裂；而L型的建築物因受力點不均，轉角處易裂開受損，反而容易土壤液化；冂型的建築物是最差的，建築物容易扭轉，倒塌機率高，也最容易產生土壤液化。因此，耐震並不是建築物體積大就較耐震，必須看建築物的結構，通常不規則形的建築物，其轉角處會承受較多的擠壓或拉扯力量，因而使得轉角處容易破裂！
- 四、在實驗一的B中，經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間，發現：  
建築物地樁數量愈多愈緊密，整體岩盤會更紮實，可能因為地樁和土壤間的接觸面積越大，而延長土壤液化的時間。因此，我們認為地震時，建築物的地樁或梁柱愈緊密，建築物較不易成為軟腳蝦而倒塌。
- 五、在實驗一的C中，當建築物重量相同時，比較圓形柱與長方柱的地樁，經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間，發現：圓形柱較長方柱易產生土壤液化。我們認為長方柱做為建築物地樁，周圍稜稜角角，且與土壤的接觸面積大，摩擦阻力也大，故可以延長土壤液化發生的時間；而圓形柱做為建築物地樁，周圍較為圓滑，且與土壤的接觸面積小，摩擦阻力也小，故較易產生土壤液化。
- 六、由實驗一的D可知：當震度越大(搖晃的幅度越大)，越快產生土壤液化，液化的發生時間與震度成反比。
- 七、在實驗二中，由新竹地區取樣的六種土壤中，經研究發現：
  - 1.新竹關西的紅土是粉質土壤(13.72%)分佈在礫石層(47.68%)，顆粒非常細小，透水性不佳，且具有黏著性，緻密性大；竹仁國小(中潛勢區)的土壤為礫石(48.8%)與砂質土(43.92%)混合；南寮漁港(高潛勢區)的土壤主要為砂質土(86.8%)；六家農地和頭前溪畔距離較近，其土壤約有80%砂質土與部分礫石。
  - 2.上述六種土壤中，經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間：關西 > 飛鳳山 > 六家 > 頭前溪畔 > 竹仁國小 > 南寮漁港。
  - 3.不同土壤加上建築物後，土壤液化的時間縮短了1秒至7秒不等，代表加入建築物後，土體承載的荷重增加，土壤顆粒排列得更加緊密，發生土壤液化的時間會縮短。
  - 4.飛鳳山與竹仁國小的土壤顆粒組成大致相似，但竹仁國小很明顯容易產生土壤液化，代表顆粒組成並非決定土壤液化的唯一因素。
  - 5.中央地質調查所公布的土壤液化潛勢區，新竹關西、飛鳳山、六家、頭前溪地區屬於低潛勢區，竹仁國小地區屬於中潛勢區，南寮地區屬於高潛勢區。本實驗結果顯示：新竹關西紅土平均93秒的時間才出現土壤液化的情形，所需時間最長，其次是飛鳳山、六家、頭前溪，最後是竹仁國小地區及南寮地區。由此可知，不同潛勢區的土壤特性的確會影響土壤液化的發生時間，並且，高潛勢區的土壤液化發生時間短於中潛勢區，低潛勢區則最長。
- 八、本實驗的模擬震度雖然可由搖晃的距離及時間回推算出地動加速度，但是，我們發現要達到震度5級以上，真的十分費力，且還需花時間計算回推，本研究嘗試搜尋手機軟體測試加速度，但是現今在網路上使用的軟體多以測量速度為主，標榜測量加速度的軟體卻沒有標示單位，此部分尚需在思考如何改善。

## 柒、結論

- 一、六家地區的農地和頭前溪畔距離較近，土壤性質相近，其土壤約有80%砂質土與部分礫石。經地震開始搖晃至發生土壤液化的時間，六家地區較長。
- 二、建築物地樁以方柱較圓柱佳，地樁愈深，數目越密集，建築物抗震且抗土壤液化能力較好。
- 三、竹北六家地區的建築物型態分佈比例以一字型(31.6%)與矩型(36.9%)居多，而冂型(14.7%)、口型(10.5%)、L型(6.3%)則為少數。若地震時，以一字型與矩型的建築物結構較為穩固，且不易發生土壤液化。非常符合我們心目中“震不倒的六家”！

## 捌、未來展望

- 一、土壤液化並非絕症，其災害也不如斷層來的危險，且甚至有「液化減震」之功效。因此，若在建築前事先做好地質調查及分析，並且改善土質，相信土壤液化所帶來的災害必能減至最低。
- 二、陸續公布的「土壤液化潛勢圖」，很多人在意房價跌多少？但我們認為應該正確解讀「液化潛勢」的意義，以及知道「哪裡較有可能發生液化？」，不代表「真實的災情分布」，以期達到預先防災的效果。
- 三、本研究中，以多功能貼地車操作僅能模擬地震的S波，震度大小也可以用左右搖晃的距離來換算地動加速度，但P波與表面波的部分仍待突破，未來有機會也可以考慮加裝彈簧進來。
- 四、本研究中，受限於模擬的最大震度僅可達5級，再高的震度就無法突破，若未來想進一步探討，建議可設計精密機械來取代。