

土壤液化與沉陷現象



作者：田竣宇

就讀學校：臺南一中

指導老師：邱文光 鍾廣吉

大概是因為在鄉下長大，所以對大自然也多了一份情感，喜歡運動，也悠游在文學與科學的氛圍裡，一年級下學期時開始了這個題目，由於必須實地採集樣本，必須花費不少的時間，不過進行地相當開心，在這段時間，很感謝爸媽跟妹妹一直陪著我，加上好友與老師的鼓勵，這個作品讓我學到很多，今後會更努力學習，充實自己。

研究動機

(一) 由於九二一大地震後，許多地區發生土壤液化、噴沙、地盤下陷斷裂及建築物沉陷、傾斜的現象。希望能找出土壤液化和土壤組成結構的關係，對國土規劃及防災工作有所裨益。

(二) 課本曾經介紹成岩作用中的壓密作用，因其可排除岩石空隙中的空氣和水，所以要探討壓力對液化情形的影響。

(三) 若空隙是水，那麼水排到哪裡去了呢？我們用力踩踏沙灘時，踩踏處將會凹陷，顯然沙地中的水是被排到四周的泥沙中，那麼這些泥沙中的水是否增加了？

由上述諸點，我們想到是否地震來臨時地層含水的泥沙受到的壓力不均，導致水被排擠至某一階段時造成該地區泥沙層的含水量遽增，而破壞了該區土壤結構的平衡狀態，因此產生土壤液化？

研究目的

- (一) 探討土壤液化和土壤含水量的關係。
- (二) 探討土壤液化和土壤受震頻率的關係。
- (三) 探討土壤液化和土壤受震時間的關係。
- (四) 探討土壤液化和土壤受震振幅的關係。
- (五) 探討土壤液化和載重下陷的關係。
- (六) 探討由不同比例的沙、泥混合而成的土壤是否與土壤液化的難易度有關？
- (七) 承(六)，探討以不同粒徑的沙與相同比例的泥混合而成的土壤其液化的情形是否有所差異。
- (八) 比較實際採樣的土壤其液化時的頻率為何。

實驗器材

- | | |
|-------------|-------------|
| (1) 燒杯 20 個 | (6) 各類泥沙、水 |
| (2) 量筒 2 個 | (7) 震盪器 1 台 |
| (3) 碼錶 3 個 | (8) U 型管一支 |
| (4) 砝碼數個 | (9) 半透膜數張 |
| (5) 量尺 1 把 | |

研究過程

(一) 實驗一：驗證土壤液化和土壤含水量的關係。

1. 實驗方法：

固定頻率、泥沙比例 (1 : 1) ，分別改變含水量，將八個燒杯置於震盪器上震盪一分鐘後紀錄結果(表一、圖一)。

(表一)

比較項目 組別	頻率 (R.P.M.)	含水量 (ml)	震盪前後土壤高度 比較	是否 液化
一	150	20	不變	否
二	150	30	不變	否
三	150	40	降低 0.5 cm	否
四	150	50	降低 0.6 cm	否
五	150	60	降低 0.8 cm	是
六	150	70	降低 1.0 cm	是
七	150	80	降低 1.2 cm	是
八	150	90	降低 1.5 cm	是

(二) 實驗二：驗證土壤液化和土壤受震頻率的關係。

1. 實驗方法：

固定含水量、泥沙比例 (1 : 1) ，分別改變頻率，將八個燒杯置於震盪器上震盪一分鐘後紀錄結果(表二、圖二)。

(表二)

比較項目 組別	頻率 (R.P.M.)	含水量 (ml)	震盪前後土壤高度 比較	是否 液化
一	25	60	不變	否
二	50	60	降低 0.1 cm	否
三	75	60	降低 0.2 cm	是
四	100	60	降低 0.5 cm	是
五	125	60	降低 0.8 cm	是
六	150	60	降低 1.0 cm	是
七	175	60	降低 1.4 cm	是
八	200	60	降低 1.9 cm	是

(三) 實驗三：驗證土壤液化和土壤受震時間的關係。

1. 實驗方法：

固定頻率、含水量、泥沙比例 (1 : 1)，改變震盪時間，將八個燒杯置於震盪器上震盪後紀錄結果(表三、圖三)。

(表三)

比較項目 組別	頻率 (R.P.M.)	含水量 (ml)	震盪時間 (sec)	震盪前後土壤 高度比較	是否 液化
一	150	70	10	降低 0.1 cm	否
二	150	70	20	降低 0.2 cm	否
三	150	70	30	降低 0.3 cm	是
四	150	70	40	降低 0.4 cm	是
五	150	70	50	降低 0.5 cm	是
六	150	70	60	降低 0.5 cm	是
七	150	70	70	降低 0.6 cm	是
八	150	70	80	降低 0.65cm	是

(四) 實驗四：驗證土壤液化和土壤受震振幅的關係。

1. 實驗方法：

固定頻率、含水量、泥沙比例 (1 : 1)，分別改變震盪振幅，將八個燒杯置於震盪器上震盪一分鐘後紀錄結果。

2. 實驗結果：

由於儀器振幅固定無法改變所以無法進行實驗。

(五) 實驗五：驗證土壤液化和載重下陷的關係。

1. 實驗方法：

將U型管之橫管一側裝置半透膜，固定頻率、含水量、泥沙比例 (1 : 1)，在一端置上重物(以能使將其中水壓入另一端為原則)分別改變載重量，將U型管置於震盪器上震盪一分鐘後紀錄結果(表四、圖四)。

(表四)

比較項目 組別	頻率 (R.P.M.)	含水量 (ml)	載重物 (g)	震盪前後土壤 高度比較	是否 液化
一	150	60	0	降低 0.8cm	是
二	150	60	250	降低 1.0cm	是
三	150	60	500	降低 1.1cm	是
四	150	60	750	降低 1.25cm	是
五	150	60	1000	降低 1.5cm	是

(六) 實驗六：

比較不同比例沙泥所混合成的土壤是否與土壤液化的難度有關？再進一步討論不同粒徑的沙在同比例混合土壤中何者較易液化。

1. 實驗方法：

(1)分 A、B 二組 (A 為粗粒徑沙與泥混合，B 為細粒徑沙與泥沙混合)，各使用 9 個燒杯，編號為 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9，及 B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8、B9，其中 A 組粒徑為 1mm、B 組粒徑為 0.2mm，又泥之粒徑過小不易辨別，不予討論：

(B)	沙(ml)	泥(ml)	水(ml)	(B)	沙(ml)	泥(ml)	水(ml)
A1	80	0	20	B1	80	0	20
A2	70	10	20	B2	70	10	20
A3	60	20	20	B3	60	20	20
A4	50	30	20	B4	50	30	20
A5	40	40	20	B5	40	40	20
A6	30	50	20	B6	30	50	20
A7	20	60	20	B7	20	60	20
A8	10	70	20	B8	10	70	20
A9	0	80	20	B9	0	80	20

(2)將 A、B 兩組各九個燒杯放在震盪器上震盪，並記錄各個燒杯中的土壤液化時(即表面有液體出現時)的時間(表五、六)(圖五、六)。

(表五)

項目 編號	液化時的時間(Sec.) (時間上限為 60 秒)
A1	>60
A2	>60
A3	8
A4	6
A5	23
A6	6
A7	>60
A8	55
A9	>60

(表六)

項目 編號	液化時的時間(Sec.) (時間上限為 60 秒)	有無液化
B1	>60	無
B2	>60	無
B3	58	有
B4	>60	無
B5	26	有
B6	36	有
B7	>60	無
B8	>60	無
B9	>60	無

(七) 實驗七：比較實際採樣的土壤其液化時的頻率為何。

1. 實驗方法：

將各採樣土壤固定震盪時間與水含量，置於震盪器上震盪後紀錄其液化時的頻率(表七)。

(表七)

採集土壤的地區	液化時的頻率(R.P.M)
臺南科學園區	150
臺南縣後壁鄉噴沙地區	100
臺南縣善化鎮南二高工程處	140
烏山頭水庫畔(大崎雙鳳宮)	150
臺南縣山上鄉	190
臺南市遠東百貨後面之工地	160
臺南一中校區內之土壤	超過儀器測量之範圍
臺南縣山上鄉與左鎮鄉交界處之惡地形	180

實驗討論

(一) 土壤淨力抗剪強度公式：

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \times \tan \phi$$

τ_f 為破壞面上的剪力強度

c 為凝聚強度

σ 為破壞面上的正應力

u 為孔隙水壓

ϕ 為內摩擦角

$(\sigma - u)$ 為有效應力

其中孔隙水壓值 u 主要由下列三部份組成：

$$u = u_o + u_s + u_e$$

u_o 為自地下水面計算所得之靜態水壓力

u_s 為土層上下界面有水頭差時所引致之滲流水壓力

u_e 為土層受震時所激發之動態水壓力又稱「超額孔隙水壓力」

(二) 根據以上實驗及以上條件，我們可以從中發現：

實驗一：預計含水量增加會使土壤中靜態水壓力上升，導致孔隙水壓力變大，因此會造成有效應力變小，整個土壤抗剪強度變弱更容易液化。

實驗二：預計頻率增加會使土壤中動態水壓力(超額孔隙水壓力)上升，導致孔隙水壓力變大，因此會造成有效應力變小，整個土壤抗剪強度變弱更容易液化。

實驗三：預計震盪時間的延長會使土壤中動態水壓力(超額孔隙水壓力)反覆持續激發上升，導致孔隙水壓力變大，因此會造成有效應力變小，整個土壤抗剪強度變弱更容易液化。

實驗四：預計振幅增加會使土壤中動態水壓力上升，導致孔隙水壓力變大，因此會造成有效應力變小，整個土壤抗剪強度變弱更容易液化。由於本次儀器無法改變振幅，所以未能驗證實驗推論。

實驗五：預計載重量增加會使土壤中水壓不平均，滲透水壓力上升，壓力小的地區含

水量增加容易液化，壓力大的地區土壤密度變大地盤下陷。

實驗一至五總結：

藉由實驗結果證明含水量多寡、震盪頻率高低、震盪時間長短、載重物輕重等，都會影響土壤液化的容易度。

實驗六：預計泥沙比例不同會影響土壤凝聚力。土壤中含沙量愈大凝聚力愈小，抗剪強度變弱容易液化。又土壤中含沙量過高，則孔隙水壓可以消散使有效應力增加不易液化；若沙之粒徑過小則凝聚力增加不易液化。由於實驗誤差較難判斷結果但仍可推論出其大概。

實驗七：由實驗結果可以看出台灣西部何處容易液化，進而防範災害減少損失。

結論

由於這次實驗可以知道：含水量大、受壓力小及含沙比例較多的地質較容易液化。所以，我們若可以知道一地層的含水量多寡、受壓力大小及泥沙比例，我們就可以預先知道哪一種地質構造有液化危險，也就能未雨綢繆預先做好防範措施以降低土壤液化的機率。另一方面，受壓力小的地層附近(有土壤液化的危險地方)可以使用人力施以外加壓力來平衡其地層所受壓力。如此一來，不僅能減少災害，更可以促進生態平衡，令地球自然景觀得以維護！

參考資料

- (一) 李德河等著,1999,《1999集集大地震災害調查研討會論文集 地盤液化與沉陷》, page D81 D101。
- (二) 黃燦輝、葉超雄著,1995年8月,《科學月刊26卷8期 日本阪神·淡路大震災之探討()土壤液化災害》, page 681 684。
- (三) 牛頓雜誌197期,1999年10月,《土壤液化的機制及其震害現象》, page 82 87,牛頓出版股份有限公司。