# 中華民國第54屆中小學科學展覽會
# 作品說明書

---

國中組　地球科學科

**第三名**

030509

**不同建築配置在土壤液化狀況下受震反應之差異比較**

學校名稱：高雄市立五福國民中學

| 作者： | 指導老師： |
| --- | --- |
| 國二 宋沁諭 | 許芳雪<br>余尚芸 |


關鍵詞：土壤液化、建築配置、沉陷量

# 摘 要

沿海地區地質受震後易產生土壤液化，影響建物安全性。本研究以相同土質，模擬土壤液化後並進行震動實驗，期能比較出不同建物配置和基地沉陷量的相關性。

研究結果顯示，未過篩土質因顆粒大小差異，易在震動後造成土壤液化；當建物過重易造成較嚴重沉陷；偏心建築配置，受震後易造成基地不均勻沉陷，且在餘震後易造成更大災害，使建物倒塌；基地面積越大，土壤液化後沉陷會比面積小的輕微，傾斜程度也較小。在相同基地面積下，當地震波方向與基地長邊同向時，較不易沉陷；建物重心過高，地震後易承受較大旋轉力矩而倒塌。

研究結果建議開發基地時應選擇非沿海地區或進行地盤改造，面積大且接近方形基地上配置輕量且重心較低建物。


# 壹、研究動機

2011 年 3 月 11 日下午，日本東北發生芮氏規模 8.9 級的地震，造成重大災情，更引起大海嘯。新聞報導指出，此一大地震造成許多海港沿岸地區產生土壤液化的現象，我們居住的高雄也是海港城市，在資料的搜尋中，發現土壤液化的問題亦是高雄的隱憂。高雄的地質，大多是軟弱地質，尤其是海港沿岸鄰近地區，土壤液化的隱憂始終存在。而土壤液化的研究多半是以分析地質土壤成分、密度、震度的動態模式等因素為主，研究地下結構體的形式與液化的改良，但對於一般購屋的消費者而言，我們很難清楚了解地質以及地下構造物的情況，因此我們如果能夠知道地上物的配置和土壤液化沉陷的關係，就可以做為潛在危險的判斷依據。

# 貳、研究目的

土壤液化和土壤之粒徑與組成有相關性，但在相同的土壤條件之下，建築物之配置，是否也影響土壤液化的反應呢？本研究希望能藉由相對條件下之沉陷量實驗數據，比較各相異參數之下，土壤液化的速度、分布、及建築物傾斜狀態。

以下為本研究計畫預期探討之參數關係：

一、探討**土質組成差異**與沉陷量的相關性

二、探討**建築物之總重量**與沉陷量的相關性

三、探討**建築物之重量分布均勻與否**與沉陷量的相關性

四、探討**基地上載重集中或分散**與沉陷量的相關性

五、探討**基地面積大小**與沉陷量的相關性

六、探討**等面積基地細長比**與沉陷量的相關性

# 參、實驗理論與計畫

## 一、 實驗理論

（一）相對密度的計算：

空氣的體積 Va　水的體積 Vw　土顆粒體積 Vs

$V_T$=Va+Vw

e(土壤孔隙比)= $V_T$/Vs

相對密度 Dr%= $e_{max}$−e/ $e_{max}$−$e_{min}$

本實驗設定的土質相對密度為 40~50%

（二）比重

$r_s$(單位重)= $W_s$(重量) / $V_s$(體積)

$G_s$(沙比重)=$r_s$(沙單位重) /$r_w$(水單位重)

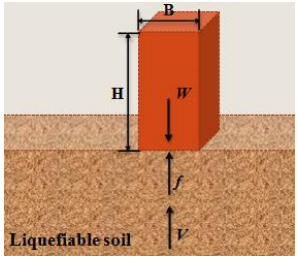
（三） 沉陷量數學式 Sawicki et al. (2009)

$$z=\frac{b}{a}\left[1-\exp(-at)\right]$$

$$a=\frac{\gamma_m BL}{\xi} \qquad b=\frac{W}{\xi}$$

$$\xi=8\overline{D}\eta$$

$$\overline{D}=2\sqrt{BL/\pi}$$




依上述之沉陷量公式，沉陷量 z 與重量 W、接觸面積 BL、比重 D、以及黏滯係數 η 相關。

## 二、 實驗計畫

### （一）基地尺寸設定：(B, L)

依據高雄市都市計畫圖，歸納出高雄地區較為完整的住宅區之街廓總尺寸，寬度介於 50m～100m 之間，長度則介於 140m~180m 之間。而以高雄市大型街廓開發之住宅為案例，大多以半個街廓作為開發基地，因此設定基地尺寸約為 70m*90m 左右。本實驗計畫以 1：500 之縮尺比例模型進行，因此設定基地底座尺寸 BxL 為 14cm×18cm，以及 6cm×18cm 兩種。

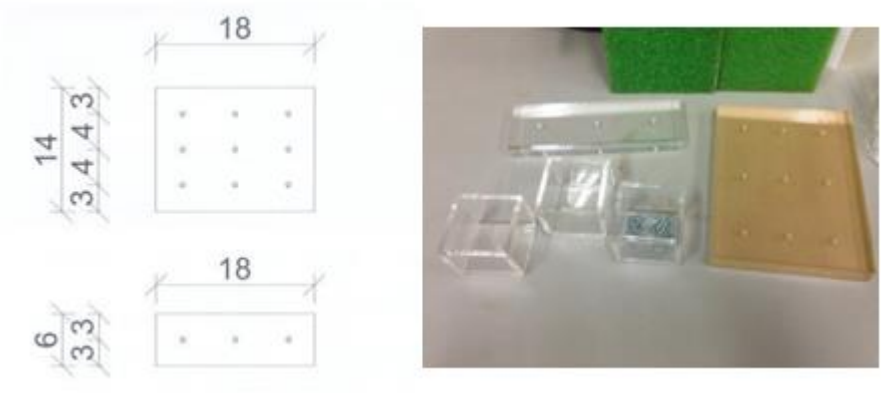



圖 1：建築物底板

## (二) 建築物重量及配置計畫：

依據高雄市建築法規，住宅區建築物依第一、二、三、四、五種住宅區，其建蔽率分別由 40%~60%，容積率則為 420%~800%。根據以上資訊，本實驗預計將以下列各種較為常見的建築配置狀況進行實驗。

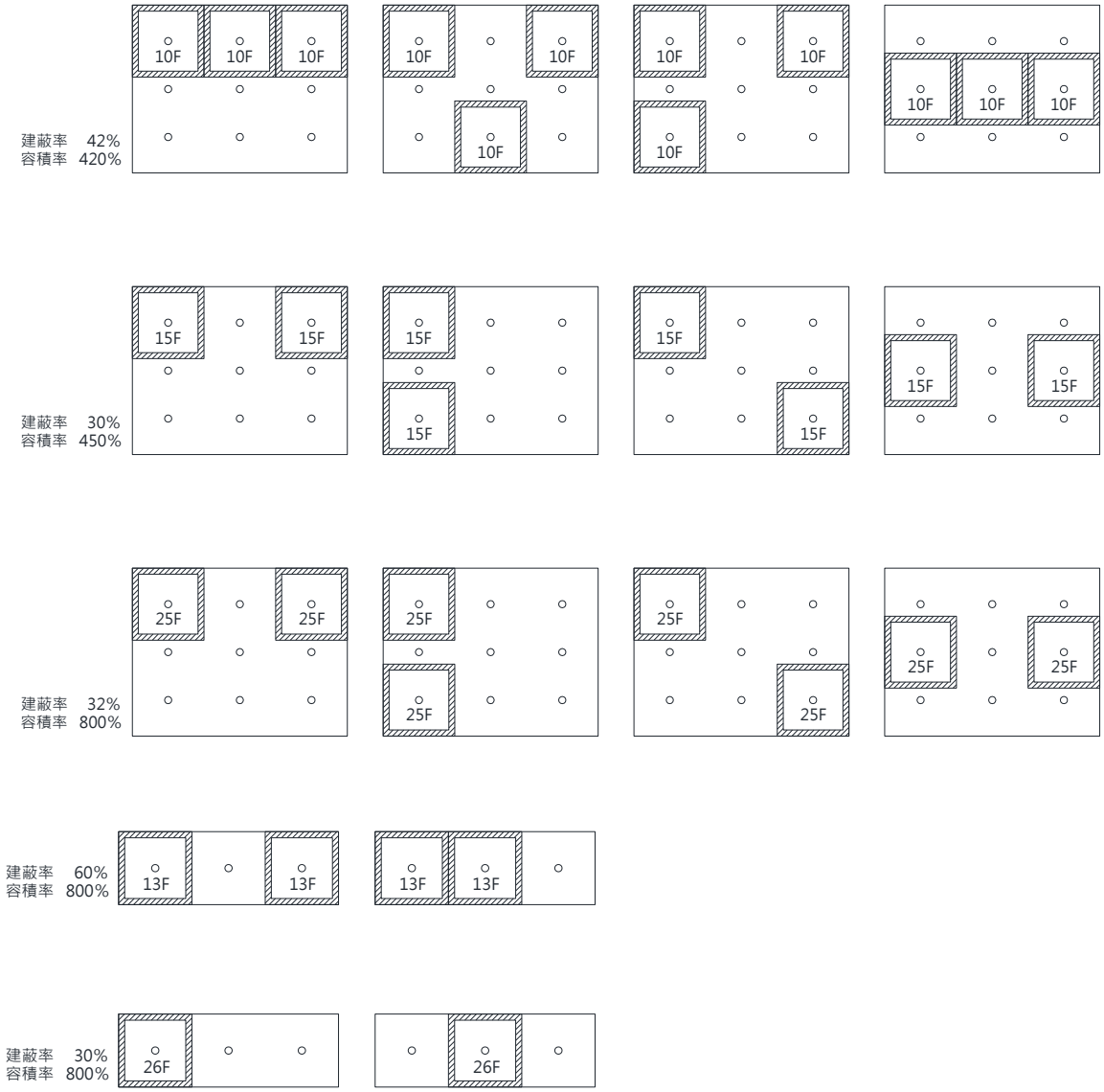



圖 2：常見建築物重量及分布

# 肆、實驗設備

一、實驗主體

(一) **沙土：**取自高雄地表下 5m~10m 的土壤，以求盡可能模擬高雄地質。

(二) **漏斗器：**採日本霣降式漏斗器，以控制土層相對密度。實驗中以不鏽鋼板折成長方形漏斗狀，並於漏斗器末端加裝網格，控制鋪沙時單位時間內沙粒下降之數量。

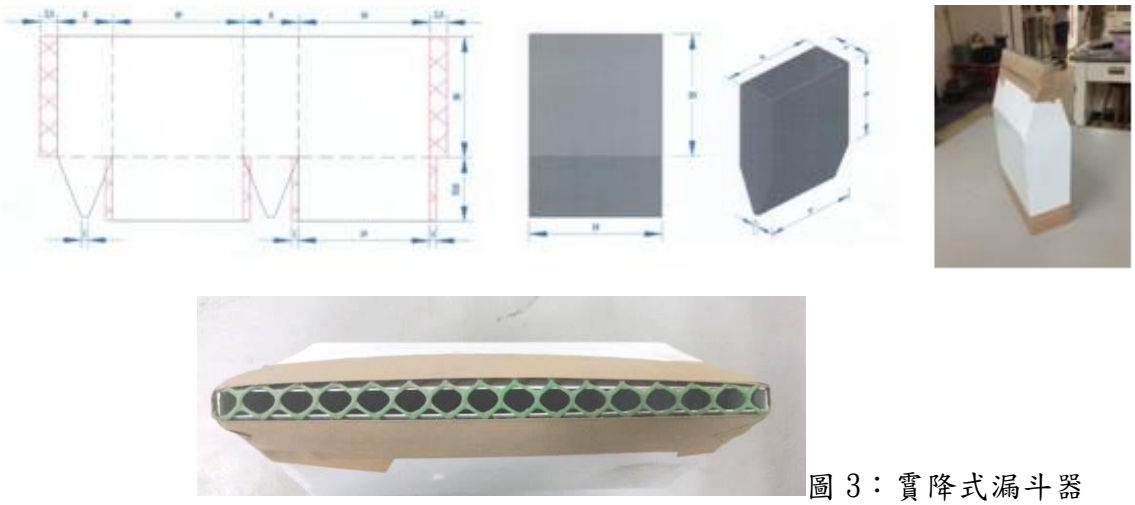


圖 3：霣降式漏斗器

(三) **試驗箱及基座：**以壓克力製作，可觀察土層變化，並於四周標示刻度，以便於記錄沉陷量。

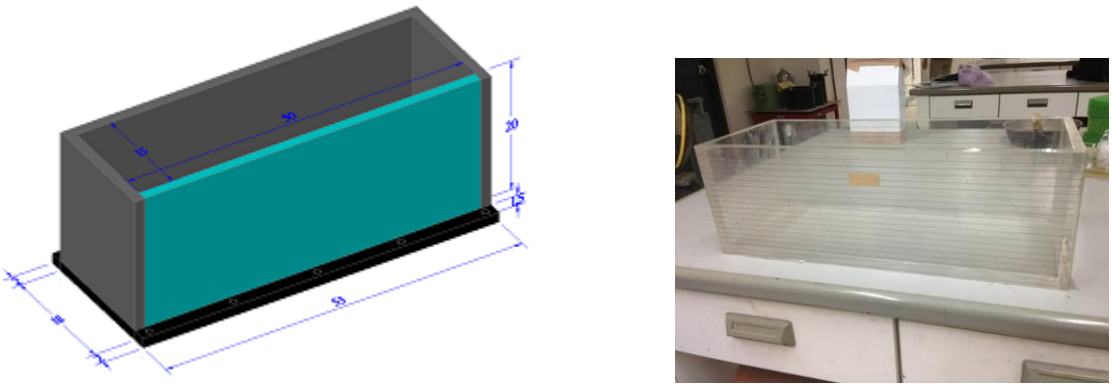


圖 4：模型試驗箱

(四) **地震模擬振動台：**小型地震模擬震動台可承重 300kg，加速度 0.6G(600gal)。(1gal=1cm/sec$^2$)

圖 5：地震模擬振動台試驗區

二、輔助工具

土壤粒徑過篩機

磅秤

計時器

改良吸塵器-800W

分層用黏土

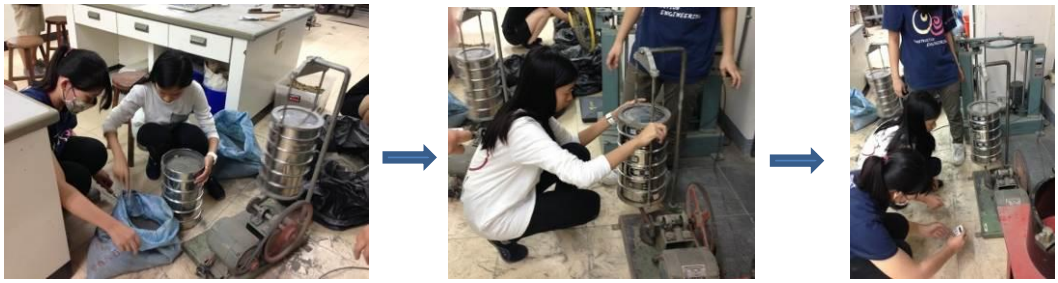
## 伍、實驗過程與方法

### 一、 土壤取得

取土位置位於中華路與修文街交叉口一帶，接近沿海。實驗所用之沙土取土深度為地下 10m 左右。

## 二、沙粒過篩

1. 將不同號數的篩網依照大小順序疊放。
2. 篩網分為＃4, ＃8, ＃16, #30, #50, #100, #200 七種不同粒徑。



3. 在最上層填滿取得的混合沙土，鎖固於過篩機後，開始震篩 30 秒。

4. 取下篩網，沙粒已經依不同粒徑的分別於各篩網中，分別測量並記錄每一種粒徑的淨重。
5. 分析各粒徑砂石重量占有比例，如圖 6：

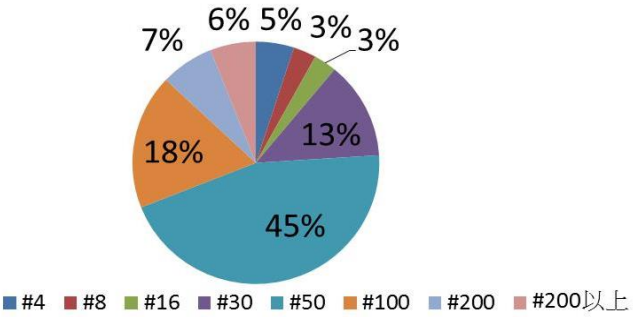



圖 6：各粒徑砂石重量占有比例

左圖中顯示左側#50 之沙土可承重，但#200 之沙土與水混和則成為爛泥不適合建築。

本研究以粒徑#50 之沙土作為鋪沙土層，原因如下：

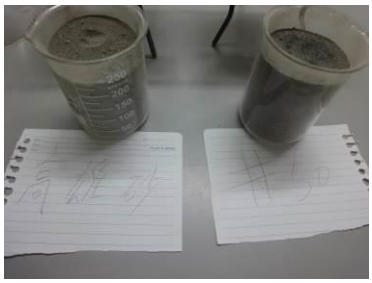
(1)是過篩後主要土石

(2)較好控制均勻鋪沙

(3)易控制相對密度

**(砂粒過篩記錄表詳附錄)**

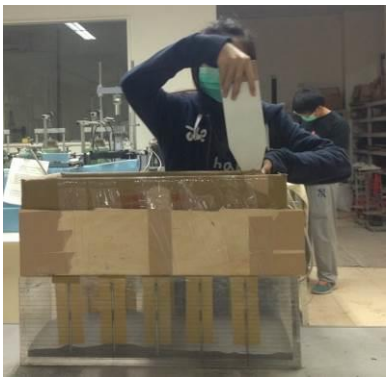
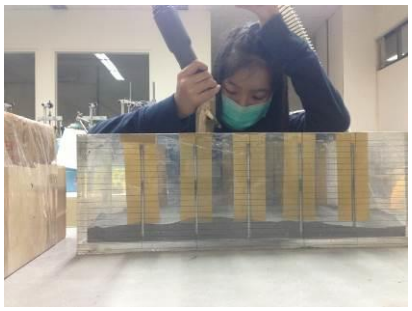
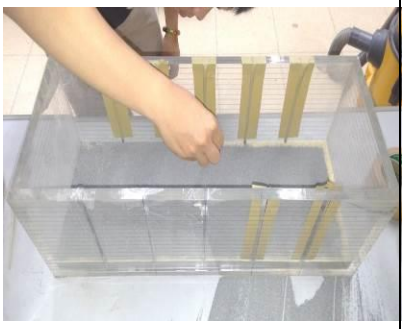
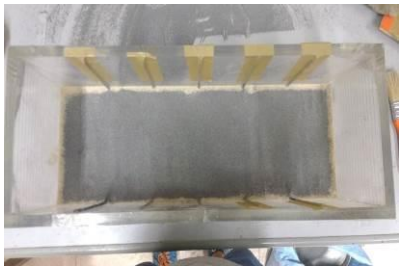
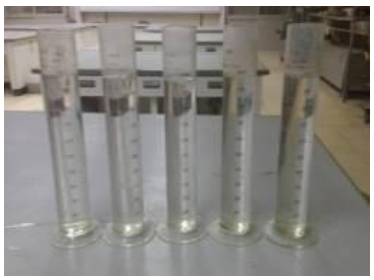
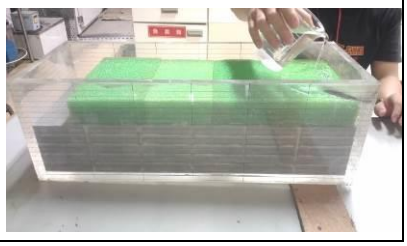
**三、土壤比重實驗：**



1. 秤比重瓶的重量為 $W_b$。
2. 每瓶中加入 15g 乾土，稱(瓶+乾土)重 $W_{bs}$。則乾土重 $W_s = W_{bs} - W_b$。
3. 加蒸餾水入瓶，使其充分淹沒土壤。
4. 用酒精燈將比重瓶加熱，且經常搖動幫助氣泡逸出，沸騰後 15 分鐘即可。
5. 用濕毛巾使其冷卻至室溫後，加蒸餾水至瓶頸之 100ml 刻劃線處。
6. 拭乾瓶外之水，並秤(瓶+乾土+水)重得 $W_2$。
7. 將瓶中之土清出，洗淨後注入蒸餾水，再用濕毛巾使其冷卻至室溫，當溫度平衡後加蒸餾水至瓶頸之刻劃線處。
8. 拭乾瓶外之水，並秤(瓶+水)重得 $W_1$。
9. 計算 $G_{S(T°C)} = \dfrac{W_S}{W_1 - (W_2 + W_s)}$
10. 紀錄室溫為 T，求 k 之值，即可計算 $G_{S(20°C)} = \dfrac{W_S}{W_1 - (W_2 + W_s)} \times k$

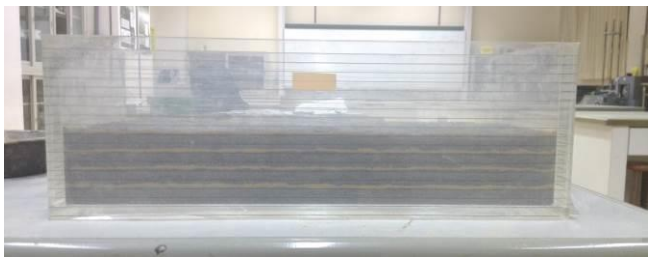
## 四、土層鋪沙作業過程及相對密度計算

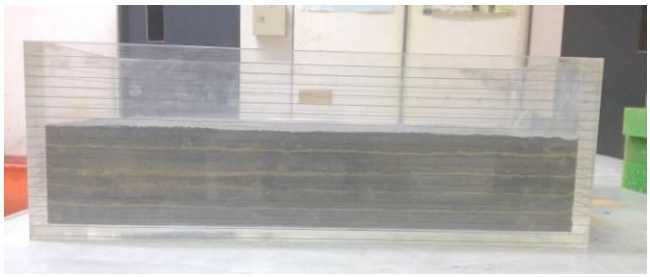
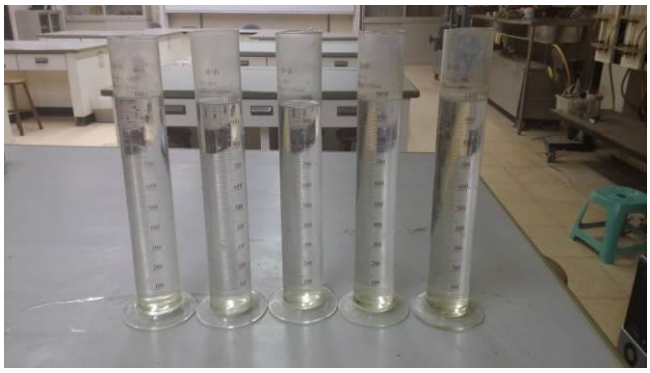
### （一）鋪沙作業

| | | |
|---|---|---|
| 1.在漏斗器中，裝入大約 7 分滿的＃50 沙土。<br> | 2.備妥模型試驗箱<br> | 3.霣降法施作<br>  |
| 4.鋪設時，控制一定的速率，使沙土均勻落下<br> | 5.吸取多餘土至平整，並避免吸塵器吸口直接碰觸土壤。<br>  | 6.四周鋪設特殊色沙，以觀察側向位移<br>  |
| 7.第一層染色線示意圖，共鋪五層(10cm)<br>  | 8.計算相對密度所需要水量<br>  | 9.鋪上海棉，水要透過海棉，以避免水直接沖刷沙土造成分布不均<br>  |

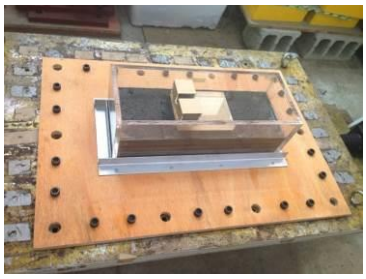
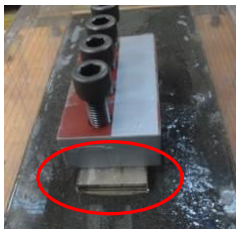
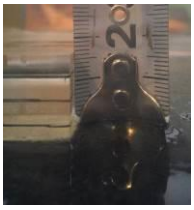
補充說明：步驟 2：模型試驗箱上方加裝紙箱，是為了方便在落沙操作時能夠有一個高度的依循，避免沙土的不均勻分布。

(二)相對密度計算

| 相對密度約 50%之高雄砂土層 10cm 製作 | |
|---|---|
| 一層砂土共 2cm<br> | $W_c = 7.187kg$<br>$W_c + W_s = 10.30kg$<br>$V_T = 55.2 \times 20 \times 2 = 2208cm^3$<br>$V_S = \frac{(10.30 - 7.187) \times 10^4}{2.376 \times 9.81} = 1335.561cm^3$<br>$e = \frac{2208 - 1335.561}{1335.561} = 0.653$<br>相對密度$D_r = \frac{0.852 - 0.653}{0.852 - 0.485} = 54.1\%$ |
| 二層砂土共 4cm<br> | 第一層 $W_c + W_s = 10.30kg$<br>第二層 $W_c + W_s = 13.40kg$<br>$V_T = 55.2 \times 20 \times 2 = 2208cm^3$<br>$V_S = \frac{(13.40 - 10.30) \times 10^4}{2.376 \times 9.81} = 1329.983cm^3$<br>$e = \frac{2208 - 1329.983}{1329.983} = 0.660$<br>相對密度$D_r = \frac{0.852 - 0.660}{0.852 - 0.485} = 52.27\%$ |
| 三層砂土共 6cm<br> | 第二層 $W_c + W_s = 13.40kg$<br>第三層 $W_c + W_s = 16.50kg$<br>$V_T = 55.2 \times 20 \times 2 = 2208cm^3$<br>$V_S = \frac{(16.50 - 13.40) \times 10^4}{2.376 \times 9.81} = 1329.983cm^3$<br>$e = \frac{2208 - 1329.983}{1329.983} = 0.660$<br>相對密度$D_r = \frac{0.852 - 0.660}{0.852 - 0.485} = 52.27\%$ |
| 四層砂土共 8cm<br>  | 第三層 $W_c + W_s = 16.50g$<br>第四層 $W_c + W_s = 19.55kg$<br>$V_T = 55.2 \times 20 \times 2 = 2208cm^3$<br>$V_S = \frac{(19.55 - 16.50) \times 10^4}{2.376 \times 9.81} = 1308.532cm^3$<br>$e = \frac{2208 - 1308.532}{1308.532} = 0.687$<br>相對密度$D_r = \frac{0.852 - 0.687}{0.852 - 0.485} = 44.85\%$ |

| | |
|---|---|
| 五層砂土共 10cm<br>  | 第三層 $W_c + W_s = 19.55g$<br>第四層 $W_c + W_s = 22.65kg$<br>$V_T = 55.2 \times 20 \times 2 = 2208cm^3$<br>$V_S = \frac{(22.65 - 19.55) \times 10^4}{2.376 \times 9.81} = 1329.983cm^3$<br>$e = \frac{2208 - 1325.693}{1325.693} = 0.660$<br>相對密度$D_r = \frac{0.852 - 0.666}{0.852 - 0.485} = 52.27\%$ |
| 加入水量<br>  | 平均相對密度 $Dr$ = 51.152%<br>平均土壤孔隙比值 e=0.664<br>$V_T = 55.2 \times 20 \times 10 = 11040cm^3$<br>$V_S = \frac{V_T}{1+e} = \frac{11040}{1+0.664} = 6634.615cm^3$<br>$V_V = V_T - V_S = 4405.384cm^3 = 4405ml$<br>考慮海棉吸水額外再加 595ml，故共添加 5000ml 水使土濕潤 |

**五、震動試驗**

| | | |
|---|---|---|
| 1. 先期試驗，以小型震動台為主。<br> | 2. 將壓克力試驗箱放置到地板中心。<br> | 3. 準備基地底座，放上模擬建物<br> |
| 4. 將配置好建物的基地底座放入鋪好沙土的模擬箱<br>  | 5. 四周架設數位相機。<br> | 6. 在底板上畫刻度以方便量測沉陷量<br>   |

# 陸、實驗結果

以兩實驗相對組，運用錄影機及加速度計，紀錄不同建物配置狀況在相同震動強度之下，發生土壤液化導致基座沉陷量的差異比較。

**研究一、 探討土質組成差異對沉陷量的影響**

(一)實驗結果：

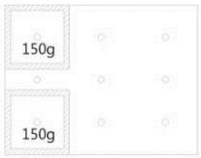
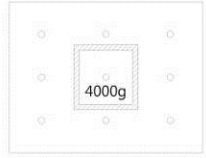
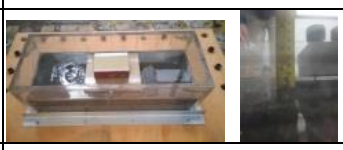
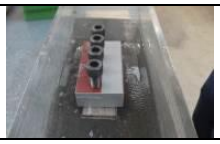
| | | | |
|---|---|---|---|
| 模擬建物配置 | | | |
| 實驗相片 | | | |
| 基座底版 B╳L | | 14cm╳18cm | 14cm╳18cm |
| 土壤粒徑組成 | | **#50 號砂(高雄)** | **未過篩之高雄砂** |
| 相對密度 | | 40% | -- |
| 地上物重量 | | 4000g | 4000g |
| 震度設定 | | 400gal | 400gal |
| 震動時間 | | 40 s | 40 s |
| 沈陷量 | 前方 | 0.53cm | 1.05cm |
| | 後方 | 0.53cm | 1.10cm |
| | **平均** | **0.53cm** | **1.08cm** |

(二)討論：

實驗結果顯示使用了未過篩之高雄砂，發現沉陷量明顯變大，顯然土壤的組成對沉陷量有直接的影響，而未經過篩造成幾乎為兩倍的沉陷量，顯示高雄砂的組成恐有較易於造成液化沉陷的傾向。其原因為未過篩的土質沙粒間孔隙較大，當震動產生時，顆粒較易移動而使得基底較容易沉陷。

**研究二、探討建築物之總重量與沉陷量的相關性**

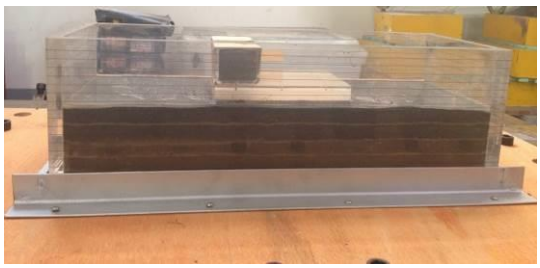
(一)實驗結果：

| 模擬建物配置 | |  |  | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 實驗相片 | | | |  |  |
| 基座底版 B╳L | | 14cm╳18cm | 14cm╳18cm | 6cm╳18cm | 6cm╳18cm |
| 土壤粒徑組成 | | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) |
| 相對密度 | | 50% | 50% | 50% | 50% |
| 地上物重量 | | 300g | 4000g | 3000g | 4000g |
| 震度設定 | | 400gal | 400gal | 400gal | 400gal |
| 震動時間 | | 40 s | 40 s | 40 s | 40 s |
| 沈陷量 | 前方 | ≒ 0cm | 0.42cm | 0.25cm | 0.70cm |
| | 後方 | ≒ 0cm | 0.42cm | 0.25cm | 0.60cm |
| | **平均** | **0 cm** | **0.42cm** | **0.25cm** | **0.65cm** |

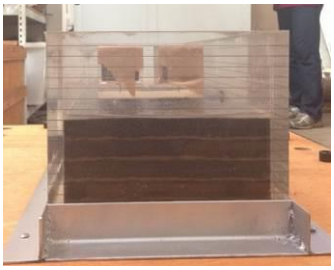
(二)討論：

1. 依據實驗結果，在 14cm╳18cm 之底版上方放置兩座建築物，重量依據 1/500 的縮尺比例換算，放置 150g+150g=300g 之重量，在施以 200gal 之加速度(震度)之後，沉陷量極為微小，幾近於零，但土壤的水分已經擠壓出，顯示土壤液化現象已經發生，但因為重量不足，水分擠出之後，反而土壤更結實，即使再一次以 400gal 震動之，也未能有明顯的沉陷量。在相同基地上改以放置 4000g 之重量，施以 400gal 之加速度(震度)之後，觀察到建築物產生 0.42cm 的沉陷，以實際比例而言已經是極為嚴重的沉陷。因此，顯示在基地上的絕對重量差異會影響土壤液化之後的沉陷量。

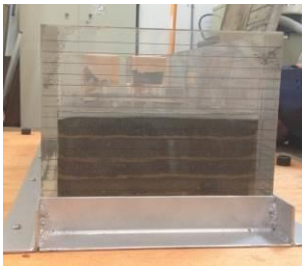
圖 7：震動後水壓向上激發



(300g 配重-震動前)



(一回震動後)

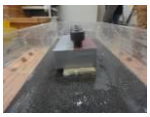


(二回震動後)

2. 另一組實驗對照組，是在同為 6cm×14cm 基底上，分別配置 3000g 及 4000g 物重，震動後以 4000g 的沉陷量較大。在底面積相同的情況下，物重愈重，對土層的下壓力也愈大，導致沉陷量也愈大。

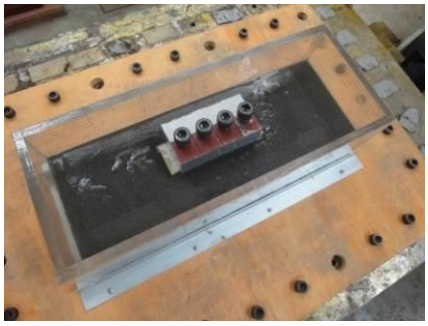
**研究三、探討建築物之重量分布是否均勻與沉陷量的相關性**

(一)實驗結果：

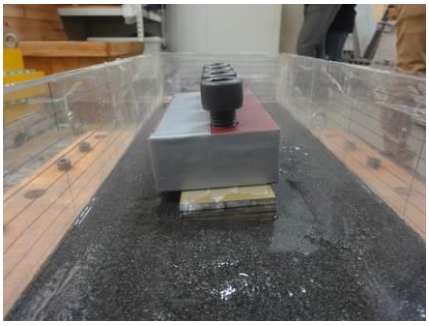
| 模擬建物配置 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 實驗相片 | | |  | | 公式推導結果<br>尚未實驗 |
| 基座底版 B╳L | | 6cm╳18cm | 6cm╳18cm | 14cm╳18cm | 14cm╳18cm |
| 土壤粒徑組成 | | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) |
| 相對密度 | | 50% | 50% | 50% | 50% |
| 地上物重量 | | 4000g | 4000g | 4000g | 4000g |
| 震度設定 | | 400gal | 400gal | 400gal | 400gal |
| 震動時間 | | 40 s | 40 s | 40 s | 40 s |
| 沈陷量 | 前方 | 0.70cm | 0.40cm | 0.42cm | 1.03cm |
| | 後方 | 0.60cm | 0.95cm | 0.42cm | 1.93cm |
| | **平均** | **0.65cm** | **0.68cm** | 0.42cm | 1.48cm |
| **理論公式推算** | | | | | 0.42cm |

(二)討論：

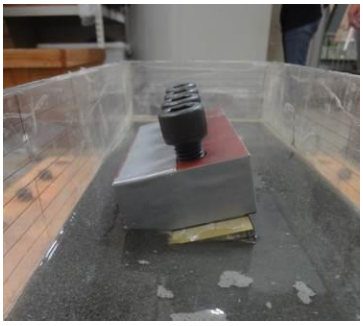
1. 在第一組實驗中，底板同樣為 6cm╳18cm 的細長基地，上方同樣放置 4000g 重物，差異在於地上物放置之位置往長邊的一側偏移，在同樣施以 400 gal 之加速度(震度)，震動 40 秒之後，放置正中央的沉陷量在震動前後產生 0.65cm 的平均沉陷量，而偏移放置的實驗組則產生 0.68cm 的平均沉陷量，不過基座前後沉陷量有 0.55cm 的差異。因此在不均勻配置的實驗結果顯示，有較大的偏心沉陷差異，並且在第二回的再次震動後，偏心的一側沉陷量達到接近 2cm。因此，如果建築物因不均勻配置，造成偏心沉陷之後，如遇到餘震之連續震動後，將造成更大的破壞。



(6cm╳18cm 基地-震動前)



(一回震動後)

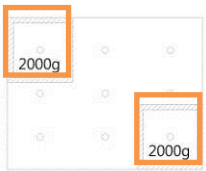
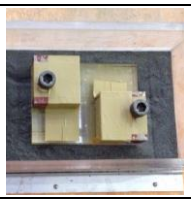


(二回震動後)

2. 在第二組實驗中，底板同樣為 14cm╳18cm 的細長基地，上方同樣放置 4000g 重物，差異在於地上物放置之位置往長邊的一側偏移，在同樣施以 400 gal 之加速度(震度)，震動 40 秒之後，偏心放置有較大的沉陷量。我們也試著以理論經驗公式推導比較，結果有很大差異，顯示沉陷量理論中，並沒有考慮建物偏心放置的因素。

**研究四、探討基地上載重集中或分散與沉陷量的相關性**

(一)實驗結果：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 模擬建物配置 | | |  |
| 實驗相片 | | |  |
| 基座底版 B╳L | | 14cm╳18cm | 14cm╳18cm |
| 土壤粒徑組成 | | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) |
| 相對密度 | | 50% | 50% |
| 地上物重量 | | 4000g | 4000g |
| 震度設定 | | 400gal | 400gal |
| 震動時間 | | 40 s | 40 s |
| 沈陷量 | 前方 | 0.42cm | 0.673cm |
| | 後方 | 0.42cm | 0.677cm |
| | **平均** | **0.42cm** | **0.675cm** |
| **理論公式推算** | | | **0.42cm** |

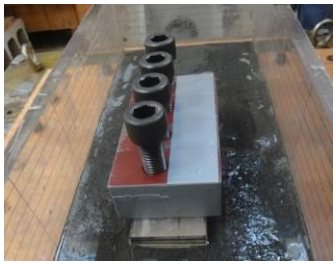
(二)討論：

而當地上物之總重量不變，集中或分散配置是否會影響沉陷量？在本實驗中，我們在 14╳18 之基地底版上皆放置 4Kg 之重量，差異在於其一集中配置於中心，另一個則分散配置於左上及右下兩端，整體而言，兩組實驗重心皆位於基地中央。

依理論，原本預測建物配置均勻或分散應不致影響沉陷量；但分散實驗因換了大型震動器，與原先小型震動器雖設定震動加速度皆 400gal，但可能機械所能達到的震度實際上有所差異，因此造成了沉陷數據上的差異。不過仍須進一步實驗來確認。

## 研究五、基地面積大小(BL)對沉陷量之影響

### (一)實驗結果：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 模擬建物配置 | | | |
| 實驗相片 | | |  |
| 基座底版 B╳L | | 14cm╳18cm | 6cm╳18cm |
| 土壤粒徑組成 | | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) |
| 相對密度 | | 50% | 50% |
| 地上物重量 | | 4000g | 4000g |
| 震度設定 | | 400gal | 400gal |
| 震動時間 | | 40 s | 40 s |
| 沈陷量 | 前方 | 0.42cm | 0.70cm |
| | 後方 | 0.42cm | 0.60cm |
| | **平均** | **0.42cm** | **0.65cm** |

### (二)討論：

為了了解基地大小與沉陷量之關係，在此研究中使用了 6cm╳18cm 及 14cm╳18cm 之基地底版進行實驗比較。實驗結果 6cm╳18cm 的基地震動後產生了 0.65cm 之沉陷量；而 14cm╳18cm 之基地震動後產生了 0.42cm 之沉陷量，顯示當地上物總重量相同時，沉陷量會隨著基地面積增大而減少。其原因為在相同下壓重量時，基地面積大對地層土質的壓力較小，因此沉陷量也較小。

**研究五、探討等面積基地細長比與沉陷量差異**

在前一個實驗中，顯示沉陷量與基地面積的大小有關係，但如果基地面積相同，而基地細長比不同，是否會影響沉陷量？

(一)實驗結果：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 模擬建物配置 | | | |
| 實驗相片 | | | |
| 基座底版 B╳L | | 6cm╳18cm=108cm² | 10.4cm╳10.4cm=108cm² |
| 土壤粒徑組成 | | #50 號砂(高雄) | #50 號砂(高雄) |
| 相對密度 | | 50% | 50% |
| 地上物重量 | | 4000g | 4000g |
| 震度設定 | | 400gal | 400gal |
| 震動時間 | | 40 s | 40 s |
| 沈陷量 | 前方 | 0.70cm | |
| | 後方 | 0.60cm | |
| | **平均** | **0.65cm** | **完全沉陷** |
| **理論公式推算** | | | **0.65cm** |

(二)討論：

依據沉陷量數學式，若底面積相者，在土壤、載重、震度、與時間等條件相同的情況下，計算出的沉陷量應為相等。

因此 10.4*10.4 之模型實驗，原本未預期會整座塌陷，推測是因為：

**1. 地上物重心過高，造成傾倒**

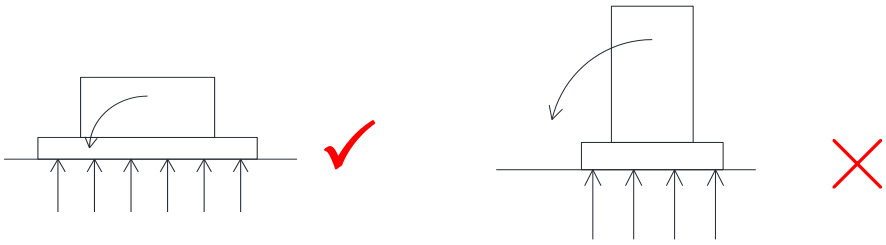


圖 8：建物重心高度影響示意圖

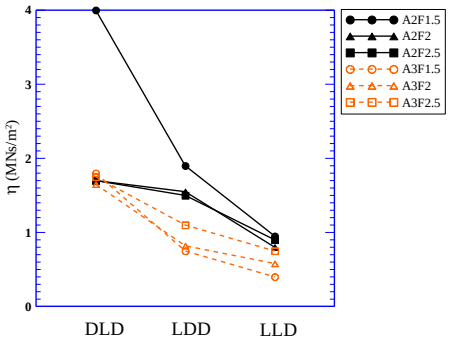
**2. 地震力方向與基地長邊平行時，較能抵抗液化沉陷的傾倒破壞**

圖 9：基地邊長與地震波方向對建物影響示意圖

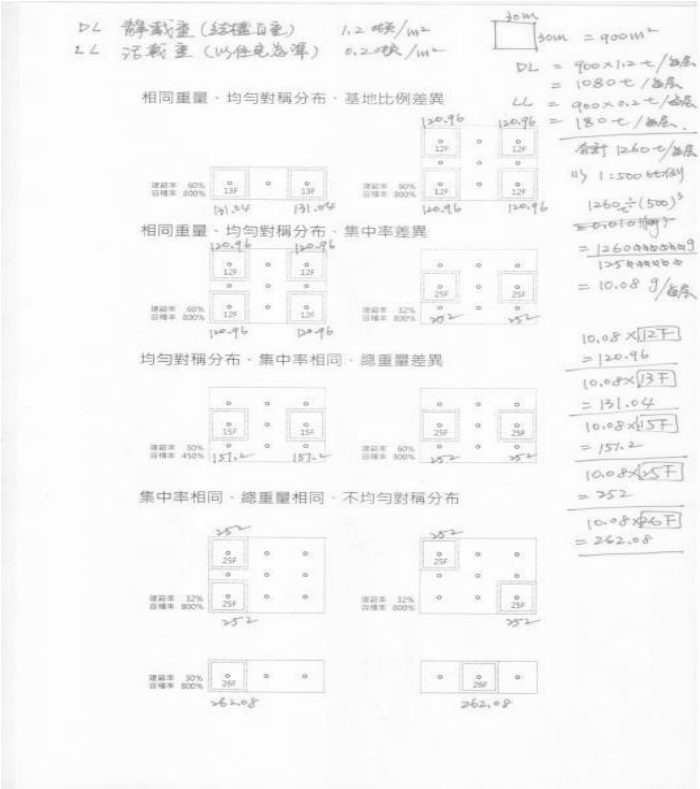
**※延伸性探討：縮尺模型之重量計算**

經過在 14cm╳18cm 之底板上方放置兩座 150g 的實驗，顯示實驗的重量若依照縮尺比例計算，則相對極小，將很難由目視觀察沉陷量。

依據 Sawicki et al. (2009)的沉陷量數學式，其中以黏滯係數作為計算之浮動參數，目前的研究多以經驗值曲線設定數值。在本實驗中，我們的確是擱置了實際重量的問題，但如果能找到實驗值與實際值的相對倍數關係，則此實驗將可以預測實際可能之沉陷量。




(黏滯係數案例整合 _張秉洋 2011)




（依照縮尺體積計算建築物重量）

# 柒、結論

**一、 針對各項實驗結果綜合比較，整理如圖 10：**

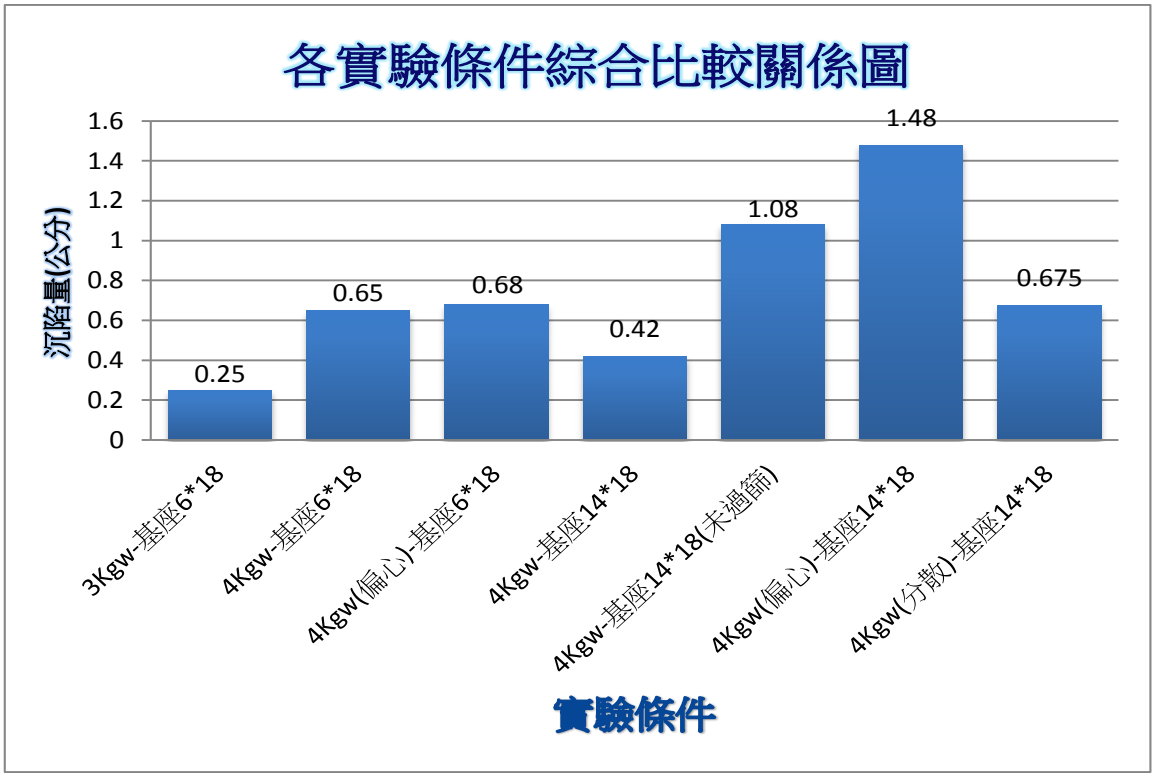



圖 10：綜合本研究各實驗條件之沉陷量比較

依據上述的實驗，我們提出了高雄地區對於建築物配置的一些初步的建議：

**1、選擇非沿海地區之基地（參：研究一）**

實驗中所使用之＃50 號砂，相較於未過篩的高雄沿海地區之土壤，高雄沿海地區之土壤組成相對較易發生液化及沉陷，但這部分仍須進一步以高雄不同地區的土壤進行相對比較，則更能獲致結論。

**2、選擇輕量建築的方式(參：研究二)**

為避免過大的載重造成沉陷，建議選擇輕量化之建築方式。

**3、建築物避免偏心配置（參：研究三、四）**

地上物之配置相對於建築基地，應盡可能讓重心接近基地中心，以避免偏心配置造成基地傾斜，若再遇餘震則會造成更大的破壞。

**4、選擇較大面積之基地(參：研究五)**

相同的地上物，較大面積之基地，可減少沉陷量。

**5、地上物形式避免重心過高(參：研究六)**

地上物之重心若太高，容易造成傾斜翻轉，加重沉陷之破壞。

**6、細長比過大之基地較難抵抗與短邊平行之地震力(參：研究六)**

因地震力之方向無法預期，為避免地震力不巧與短邊平行造成過大的沉陷破壞，方形的基地是較為保守安全的選擇。

**7、過度密集的建築開發會相互引發不可預期之沉陷變化(參：後期實驗之檢討)**

後期實驗中因將兩基地共置於實驗箱中進行震動實驗，結果造成兩基地的相互影響，致沉陷量遠超過預期。因此，過度的密集開發，應容易造成與此實驗相同之不良影響。

# 捌、未來展望

在實驗的過程中，遇到了許多未能預期的困難，為了能均勻鋪沙，耗費了相當多的時間，這過程雖然辛苦，但獲得了許多寶貴的經驗與相關知識的認識。

本實驗雖然以沉陷量數學式作為理論基礎，但在實驗中我們卻發現了一些待研究之新課題:

**一、預測實際沉陷量之可能性**

原本預期以 1/500 縮尺模型的模式，進行實際建築物重量換算之實驗的想法顯然難以執行，這個問題經過討論，可能是縮尺觀念的問題，或是縮尺後之實驗沉陷量微乎其微，而實驗記錄之儀器無法測得明顯差異。因此如何測量實驗數據，並如何反推回實際沉陷量，是可能的新課題。

**二、發現沉陷量數學式忽略之參數**

沉陷量數學式中主要之參數為總重量 W，以及接觸面積 BL，但兩者均未能完全涵蓋實際可能的現狀，包含重量的偏心配置、建築物之重心過高、以及基地細長比與地震力方向之關係。在科學公式中雖經常會有忽略一些條件而理想化的情形，但或許適度修正沉陷量數學式是未來可能的後續研究課題。

# 玖、參考文獻


一、 王郁琛(2006)。**<土層模式對地盤改良區域建築物受震反應之影響>**，國立中央大學碩士論文。

二、 張秉洋(2011)。**<淺基礎於液化土上之受震反應與土壤液化引起沉陷的簡易評估法>**，國立高雄第一科技大學碩士論文。

三、 蕭達鴻(2001)。**<高雄地區土層分佈對建築施工之影響>**，國立高雄應用科技大學土木系研究報告，高雄市政府工務局。

四、 土壤液化實驗。http://www.youtube.com/watch?v=yJ-u4ShK1RM。

## 【評語】030509

**優點：**

控制變因簡明，實驗難度高，結果可預期且具實用性。

**缺點：**

實驗複雜性高，難以重複驗證；模型的數學超越國中生基礎；計算式中的符號意義缺少說明。

**建議改進事項：**

(1) 0.6 g 並非 600 gal，應釐清。

(2) 土壤比重的公式似有誤，且憑空出現 k 值，說明不足。

(3) $e_{max}$, $e_{min}$ 如何取得毫無說明。

(4) 振動台除加速度振幅外，頻率應該也要敘述。結構物的高度與共振頻率有關，卻未考量在內。

(5) 試驗箱尺寸大小宜另以文字敘述，圖片不清楚。

(6) 四之(二)相對密度計算中的變數(例 Wc,Ws,VT 等)定義宜在報告中加以說明。

(7) 圖 9 的「地表振動方向」(地震力方向)應改為雙箭頭。

(8) 加速度值>400gal 相當於我國震度 7 級，只有在類似 1999 集集地震時才會長時間搖晃，故搖晃時間也應重視。

(9) 現有手機 APP 可協助測量並記錄加速度值，振動台的搖晃振幅與頻率均可加以分析。