

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

080502

「震震有池」—地震與土壤液化關係之探討

學校名稱：嘉義縣太保市太保國民小學

作者： 小六 郭哲維 小六 陳建丞 小五 賴玟豪 小五 吳承憲 小五 蔡閔旭	指導老師： 黃柏鴻 蔡承璋
---	-----------------------------

關鍵詞：土壤液化

一、摘要

本研究欲探討不同的地下水、砂石、地震狀態與土壤液化的形成之關聯，以及不同地基類型的建築物受土壤液化之影響，因此設計實驗來模擬不同的(1)地下水狀態、(2)砂石種類及分佈、(3)震波類型、(4)建築物地基。經由實驗的結果發現：

- (一) 地下水水量愈多或深度愈淺時，愈容易造成地層明顯的下陷。
- (二) 地震 S 波為垂直的震動，會使土壤顆粒的排列與向上支撐的結構被破壞，造成地層高度明顯改變。
- (三) 地基基樁較長、底板較寬或者座向與震源方向平行，可使建築物更能抵抗地震與土壤液化災害。
- (四) 土壤顆粒愈大，地層下陷愈嚴重，但是建築物較不易傾倒。
- (五) 較深地層屬於大顆粒時，地震時土壤顆粒縫隙產生較大的改變，而地層下陷程度也會較為明顯。

二、研究動機

在一次自然課中，老師介紹到與地震有關的現象，當談到其中一項自然現象「土壤液化」，同學們都感到有些納悶，百思不解土壤怎麼會液化呢？經過老師仔細的說明後，才有了稍微的認識，於是同學們有如好奇寶寶般，紛紛舉手向老師問一堆問題，老師也仔細的繼續向我們說明幾項相關的例子，並且鼓勵我們繼續去探討。

我們幾位同學討論到土壤會因為地層的震動而有液化的現象時，除了覺得不可思議外，也認為這個現象將會對人們生命財產形成無形的威脅，所以主動請老師協助我們一同進行探討，以求更深入的認識土壤液化的形成與地層、地震的關係。

三、文獻探討

(一) 地震波

依據彈性回跳理論，地震產生的主因是地層斷層的破裂，兩邊的岩體會產生相對的移動，並將蘊含其中的能量給釋放出來。大部分的能量在震動之前，為克服摩擦力而以熱能的方式散失了，而另外一部分的能量則形成了彈性波，造成地層的快速位移。當地層快速移動時，推力的部份會形成壓縮波，即所謂的 P 波，而沿著斷層面的位移則會形成剪力波，即所謂的 S 波。

(1) P 波（縱波或壓縮波）：其性質與音波相似，質點的相互運動和震波傳播方向相同，傳播速度最快。

(2) S 波（橫波或剪力波）：質點運動與震波傳播的方向彼此垂直，產生水平方向的振動，速度較 P 波慢。

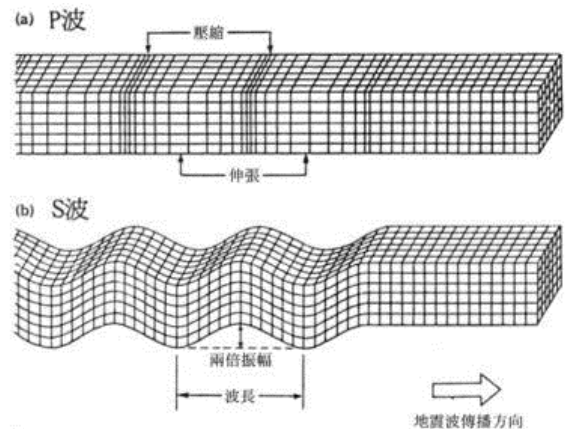


圖 3-1 不同的地震波之震動與傳播方式引自

<http://scman.cwb.gov.tw/eqv5/eq100/100/021.HTM>

(二) 土壤液化

土壤液化是一種可能伴隨地震而來的自然現象，在台灣所發生的嘉南大地震及集集大地震都曾導致大規模的土壤液化災害，造成房屋傾斜、橋樑陷落及河道護岸毀壞等破壞，是常常發生地震的台灣所應迫切關注的課題。



圖 3-2 土壤液化災害-房屋傾斜



圖 3-3 土壤液化災害-橋墩陷落

<http://kbteq.ascsc.net/archive/nsc/eidc/2/t4-d-3.html>

地震並非是土壤液化發生的唯一要素，在一般的地層中土質大多呈現鬆散排列，顆粒之間的孔隙大，若又屬於地下含水層，則孔隙間可能充滿水份而呈現飽和狀態，但是顆粒彼此之間具有摩擦力，或者稱為作用力，使土壤結構具有一定的強度，且能支撐上方的地層。

而土壤液化的發生是因為地震發生時，搖晃的力量超過了土壤顆粒間的作用力，導致顆粒的排列從鬆散變成緊密(如圖 3-4)，使孔隙變小，而水受到擠壓之後，水壓便會上升，若水沒有適當的路徑排出，再加上地震的時間夠長，則當水的壓力累積到與顆粒之間的作用力相同時，顆粒便會懸浮在水中，使土壤的強度完全消失，形成土壤液化現象(如圖 3-5、3-6)。

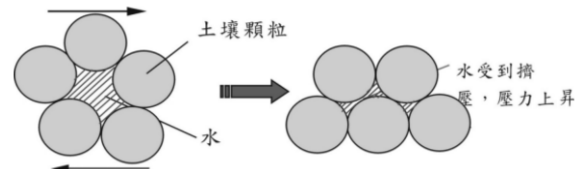


圖 3-4 土壤受搖晃而排列更為緊密

引自 <http://cgswb.moeacgs.gov.tw/Result/921/9> 陳鴻銘.pdf

土壤液化與土壤顆粒的孔隙大小(稱為孔隙率)有直接關係，土壤液化容易出現在特定的土壤地層中，孔隙較大的粗礫石，因為孔隙水較容易排出所以不易產生土壤液化現象，而孔隙較小的細砂則因為孔隙水不易排出，容易有土壤液化的情形(如圖 3-7、3-8)。

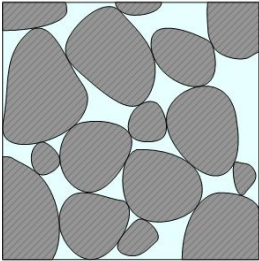


圖 3-5

原土壤間具有支撐力 土壤強度消失，呈現液化
引自 <http://www.dalec.com.tw/ccat/Liquefaction.aspx>

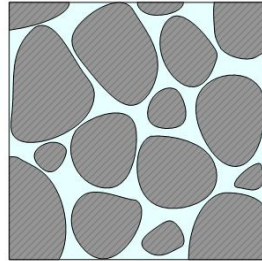


圖 3-6



圖 3-7

粗礫石地層
引自 <http://cgswb.moeacgs.gov.tw/Result/921/9>.陳鴻銘.pdf

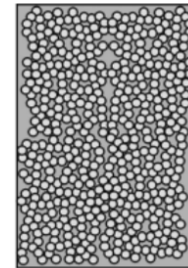


圖 3-8

細砂地層
引自 <http://cgswb.moeacgs.gov.tw/Result/921/9>.陳鴻銘.pdf

四、研究目的

本研究的目的可大略分為四項，而每一項則包含所屬的實驗

(一)探討不同的地下水狀態對形成土壤液化災害之影響

實驗一：不同地下水水量對形成土壤液化災害之影響實驗

實驗二：不同地下水水面深度對形成土壤液化災害之影響實驗

(二)探討不同的地震種類對於形成土壤液化災害之影響

實驗三：不同地震之類型對形成土壤液化災害之影響實驗

(三)探討不同的建築物狀態對於形成土壤液化災害之影響

實驗四：不同建築物地基底板寬度對形成土壤液化災害之影響實驗

實驗五：不同建築物地基基樁深度對形成土壤液化災害之影響實驗

實驗六：不同建築物方向對形成土壤液化災害之影響實驗

(四)探討不同的土壤分布對於形成土壤液化災害之影響

實驗七：不同種類的砂土對形成土壤液化災害之影響實驗

實驗八：不同砂土的分佈情形對形成土壤液化災害之影響實驗

五、研究設備及器材

表 5-1 實驗設備所需工具及材料(不包含測試不良作品之所耗費材料)

實驗箱及 驅動馬達組	工具	螺絲起子、熱熔膠槍、焊槍、手搖鑽
	材料	滑輪底座、壓克力板、矽利康、馬達組、電線壓條、木板、熱熔膠、電線、牛筋繩、定滑輪教具、捲尺、變壓器
承載箱及 浮力水箱	工具	熱熔膠槍、焊槍
	材料	壓克力板、矽利康、熱熔膠
注水架	工具	鐵絲剪、焊槍
	材料	烤肉架、塑膠管、膠帶、保特瓶、打氣筒、矽利康、三腳架

實驗器材所需工具及材料

實驗材料	砂子、土、水
記錄工具	數位相機、數位 DV、馬錶

六、研究流程與設計

(一) 研究流程

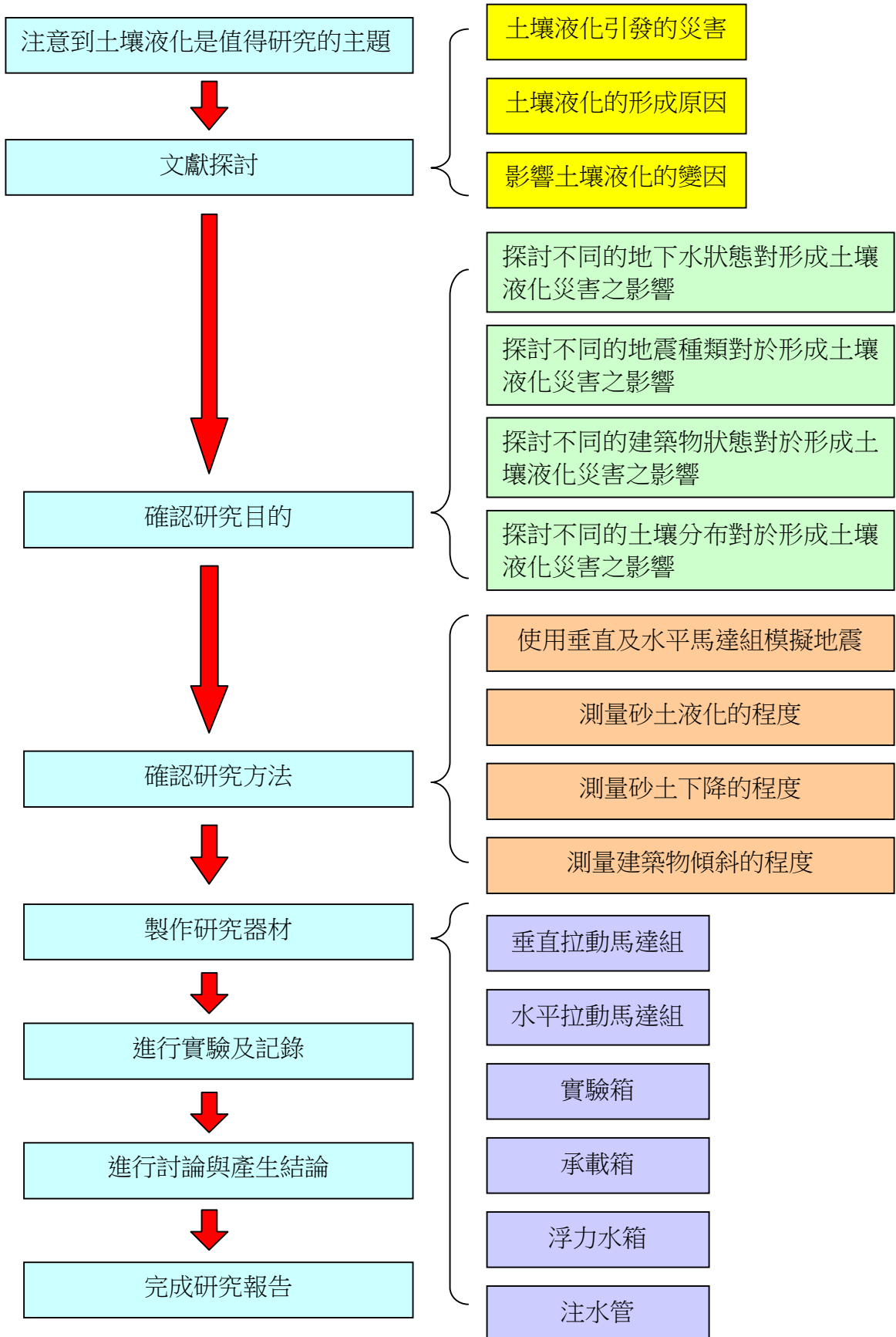


圖 6-1 研究流程圖

(二) 研究設計

整個研究共分為四個主要項目，分別是地下水的狀態、地下土壤層的狀態、震波類型以及建築物狀況，而本研究中，主要實驗器材有七大項，依照製作順序排列分別為土壤分類、水平拉動馬達組、實驗箱、承載箱、浮力水箱、垂直拉動馬達組及注水管，以下依序說明製作過程。



圖 6-2 實驗設備全貌

1. 土壤分類：本研究需要針對不同粗細的土壤進行土壤液化的實驗，因此土壤的取得與分類就顯得格外重要，以下分別介紹土壤的取得方式以及土壤的分類方法。
 - (1) 土壤取得：我們首先在校園中尋找適當土壤取得地點，後來發現跳遠的砂丘及教學農場可以取得，於是我們帶著鏟子及箱子到這些地點挖取我們所需的土壤。
 - (2) 土壤分類：為了能產生實驗用的大中小顆粒之砂土，我們先將取得的土壤均勻的攪拌，使所有的樣本土壤是一致的，接著開始進行分類，我們使用二種不同孔洞大小的濾網，將樣本土壤分類成三大類，便是本研究的大中小顆粒之土壤。



圖 6-3 到砂丘取得較大顆粒土壤



圖 6-4 到教學農場取得小顆粒土壤



圖 6-5 均勻攪拌所有土壤



圖 6-6 將土壤進行分類

2. 水平拉動馬達組的製作：為了達到更為科學及方便的測量目的，我們利用機器人齒輪組來拉動實驗用的砂土，模擬地震的發生，其中水平拉動馬達組可產生水平方向震動，代表地震時的 P 波。
 - (1) 組裝馬達：我們首先組裝機器人齒輪組，將各部位齒輪結合穩固，另外，考量到裝有砂土的實驗箱具有相當的重量，若要順利的拉動，需要相當大的力量，於是我們嘗試將兩個獨立的馬達組以並聯的方式連接起來(圖 6-7)，為了避免兩個馬達的速度的不同步而發生卡死現象，我們做了三個修改，首先是共用轉動軸，使馬達速度同步，其次是將電線

改為並聯方式連接，以求轉動無時間差，最後是兩組的齒輪相位要相同，因此在插入馬達時要同步(圖 6-8)，才不致發生細小的轉動差異，而發生卡死情況。

- (2) 固定馬達組及軌道：為了能固定馬達組，我們在木板上畫上尺寸(圖 6-9)，請老師協助切割，然後以木螺絲將馬達組固定在木板上，接著用鐵絲剪將電線壓條的底座剪成我們所需的長度，並黏貼在確認好的木板位置上，即完成好水平拉動馬達組(圖 6-10)。

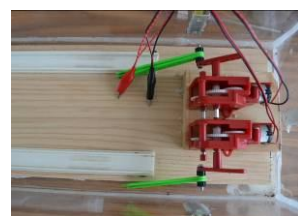


圖 6-7 並聯在一起的齒輪組 圖 6-8 同時將馬達插入 圖 6-9 在木板上畫好切割線 圖 6-10 完成水平拉動馬達組

3. 實驗箱的製作：實驗箱的用途為放置實驗之砂石土壤以及模擬之建築物，為實驗時所需要觀察的重點，因此所採用的材質為透明、堅硬且易加工的壓克力板。

- (1) 取得壓克力板及黏合：我們確認好實驗箱的大小，請老師協助購買，並由老闆直接進行切割(圖 6-11)，接著我們將壓克力板先以膠帶做暫時的固定，然後在老師的指導下，小心的使用氣仿來黏合壓克力板邊界(圖 6-12)，最後，再以矽利康塗抹邊界，增加箱子強度(圖 6-13)。
- (2) 固定輪子：在半完成的實驗箱底面標記輪子位置，需注意左右之距離，以配合軌道的間距，接著以矽利康將輪子固定在箱子底面(圖 6-14)。
- (3) 固定扣環：我們利用焊鐵在實驗箱上熔出四個洞，將扣環固定在箱子前方，以利馬達拉動。



圖 6-11 老闆協助切壓克力板 圖 6-12 以氣仿黏合壓克力板 圖 6-13 使用矽利康固定箱子 圖 6-14 固定輪子於底面上

4. 承載箱的製作：承載箱的用途是要承載實驗箱及水平拉動馬達組，因此需要確定好適當的尺寸，並且同樣使用透明壓克力板來製作。

- (1) 黏合箱子本體：我們確認好要能容納實驗箱及水平拉動馬達組的尺寸，同樣購買已裁切好的壓克力板，然後進行黏合，而此特別需要注意箱子的強度。
- (2) 固定防撞滑輪：為了能讓承載箱能更流暢的在浮力箱內上下震動，我們在承載箱的四週裝設防撞滑輪共 12 顆(圖 6-15)，以限制其上下移動的方向。
- (3) 固定吊繩：為了結合上下移動馬達組，我們以焊槍在承載箱的側邊上方熔出四個洞，來綁上吊繩，並且為了能方便我們分離吊繩及承載箱，我們使用鑰匙圈套在洞上，而吊繩則綁上吊勾(圖 6-16)，增加拆卸的靈活度。
- (4) 浮力底墊：為了提升承載箱的浮力，我們先裁切好保麗龍板(圖 6-17)，然後黏貼在承載箱的下方，如此便完成了承載箱的製作(圖 6-18)。

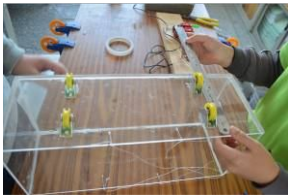


圖 6-15 固定防撞滑輪

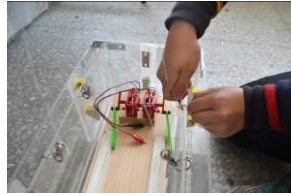


圖 6-16 以吊勾拉著承載箱



圖 6-17 裁切保麗龍板



圖 6-18 完成承載箱本體

5. 浮力水箱的製作：浮力水箱的用途是為了提供承載箱向上浮力，使垂直拉動馬達能拉動重約十公斤的承載箱及實驗箱，也同樣使用透明壓克力板來製作，但要特別注意密閉性，以防漏水，並且要更為堅固。

- (1) 黏合箱子本體：我們確認好要能容納承載箱及其防撞滑輪的大小，但不可留下過大的縫隙，因此在箱子內需墊兩塊壓克力板(圖 6-19)，來減少縫隙，使實驗不會產生過大的搖晃。
- (2) 加強結構：我們在浮力水箱的四個角黏上壓克力板及 L 型鐵片(圖 6-20)，最後在底部墊上保麗龍板(圖 6-21)，方便我們抬起水箱倒水，如此便完成了浮力水箱的製作(圖 6-22)。



圖 6-19 減小震動縫隙



圖 6-20 黏上 L 型鐵片



圖 6-21 底部墊上保麗龍板



圖 6-22 完成浮力水箱本體

6. 垂直拉動馬達組的製作：為了能模擬地震時的 S 波，我們將水平與垂直的拉動馬達分開，有利實驗控制，但是我們所使用的馬達並無法提供如此大的拉力，所以需借助於浮力馬達。

- (1) 固定馬達組：與水平拉動馬達組相同，將二個馬達組並聯，增加拉力，然後固定在木板上方(圖 6-23)，在曲軸前方綁上吊繩。
- (2) 固定定滑輪：為產生垂直拉力，我們在桌面固定定滑輪(圖 6-24)，使馬達組拉力轉換為垂直方向，並用吊繩勾住承載箱。

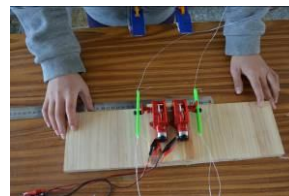


圖 6-23 固定馬達組於木板



圖 6-24 固定定滑輪

7. 注水管的製作：為模擬地下水層，我們設計了一項可控制水量、水位及讓水能均勻分佈的器材—注水管，以下說明製作方法。

- (1) 在塑膠管上燒出小洞：我們先將塑膠管以 U 字形的的方式固定在鐵架上(圖 6-25)，接著使用焊槍，在細塑膠管上燒出小洞(圖 6-26)，讓水可以同時等量的流入土壤中。
- (2) 結合塑膠管及水壓筒：將鐵架彎曲成 L 形，使其可以放入實驗箱中，另外，為了能將水注入土壤中，我們需要使用一密閉之容器做為水壓筒，接著將塑膠管的另一端共四條與水壓筒連結(圖 6-27)，使水可以從水壓筒注入到塑膠管中。
- (3) 結合水壓筒及打氣筒：我們將水壓筒的蓋子穿入一條塑膠管，管子另一端結合打氣筒，我們可以藉著打氣筒(圖 6-28)，將空氣打入水壓筒中，進一步將水注入土壤中。



圖 6-25 固定塑膠管



圖 6-26 在塑膠管上燒出小河



圖 6-27 結合塑膠管及水壓筒



圖 6-28 使用打氣筒注水

七、實驗方法與記錄

(一)實驗方法：

以下介紹本研究大部份的實驗之進行方法，而每個實驗的細部差異或不同的控制變因則會在第八章中詳細介紹。

- 1.盛裝砂土：本研究為了容易比較，我們每次實驗皆將砂土倒至 7 公分的厚度，避免不同的砂土重量影響到馬達轉動速度，以下為盛裝砂土的程序。
 - (1) 放置注水管：我們先將注水管放入實驗箱中，並固定好高度(如圖 7-1)。
 - (2) 選擇所需砂土：依據實驗的項目，我們將預先分類好的砂土放入實驗箱中，倒到 7 公分的高度，並使用塑膠板將砂土刮平，使砂土高度一致(如圖 7-2)。
 - (3) 注水：接著用量杯量好實驗所需之水量，倒入水壓筒中，若水無法順利向下流，則使用打氣筒，將水推向土壤(如圖 7-3)。



圖 7-1 固定好注水管高度



圖 7-2 刮平砂土表面



圖 7-3 將水推入砂土中

- 2.放置建築物模型：為了能模擬建築物在土壤液化的過程中所受的影響，我們需放置一個建築物模型，此模型可以調整重量、地基大小、地基深度以及方向。

- (1) 調整建築物狀態：我們依據實驗需求，在黏貼適當的地基底板及地基基樁，並倒入適量的砂土，並以電子秤確認建築物的重量(圖 7-4)。
- (2) 放置建築物模型：將建築物模型放置在實驗箱的中央位置，垂直的將基樁插入砂土中，使建築物呈現水平狀態(圖 7-5)，最後調整攝影機鏡頭對準模型 (圖 7-6)。



圖 7-4 確認建築物模型重量



圖 7-5 將建築物放置妥當



圖 7-6 對準錄影機並按下錄影鍵

- 3.開啟馬達模擬地震：為了模擬地震震波，我們同時開啟垂直及水平拉動馬達組，每次實驗持續 30 秒鐘。

- (1) 確認馬達轉動正常：在未注入水之前，我們會將馬達組試轉，確認垂直及水平馬達能順利拉動實驗箱(圖 7-7)，然後再注入水於正確的深度。
- (2) 控制震動時間：為了能確認震動的時間長度，我們在注入水之後，即開啟垂直及水平拉動馬達組，模擬 P 波及 S 波，並同時使用馬錶來計時，待搖晃達 30 秒後，即關閉



圖 7-7 將馬達試轉，確認轉動順暢

電源，並進行測量。

- 4.變因的控制：為了使實驗結果更加精確及可信，我們在進行實驗時設定了九個控制變因，表 7-1 分別列出控制變因的名稱及其數值，但在對應的實驗中，則此控制變因則變為操縱變因，例如在實驗一中，地下水水量屬於操縱變因。

表 7-1 控制變因的名稱及其數值

項目	數值
土壤高度	7 公分
土壤粗細	混合
地下水水面深度	3.5 公分
地下水水量	300 毫公升
馬達電壓	直流電 6 伏特
地震時間	30 秒
建築物地基大小	6×6 公分
建築基樁深度	3 公分
建築重量	150 公克

(二)觀察與記錄方法：

本研究在實驗時針對常伴隨土壤液化現象出現的二個項目進行記錄，分別是地層下陷程度及建築物傾倒時間，詳細說明如下。

- (1) 地層下陷程度：在模擬地震搖晃後，我們使用尺來測量土壤高度的位置，以了解地層下陷的程度。

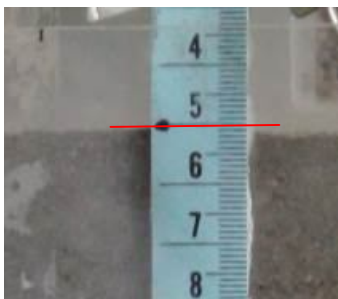


圖 7-8 地震搖晃前



圖 7-9 地震搖晃後

- (2) 建築物傾倒時間：在模擬地震搖晃過程中，我們使用碼表來測量建築物傾倒所需時間，以了解建築物所遭受之破壞程度。



圖 7-10 建築物傾倒前



圖 7-11 建築物傾倒後

八、研究結果及討論

以下依序針對各實驗的結果進行說明，並依據實驗結果進行討論

(一)實驗一：不同地下水水量對形成土壤液化災害之影響實驗

此項實驗的目的是為了了解不同水量的地下水是否會影響土壤液化的程度，我們分別在注水管中裝入了 0、100、200、300、400 毫升的水量，其餘步驟如第七章說明，實驗後我們測量地層下陷的程度。

1.實驗結果

表 8-1 不同地下水水量對形成土壤液化災害之影響實驗結果

地下水水量	第一次	第二次	平均
0 毫升	0.21 公分	0.18 公分	0.19 公分
100 毫升	0.25 公分	0.24 公分	0.245 公分
200 毫升	0.46 公分	0.46 公分	0.46 公分
300 毫升	0.51 公分	0.48 公分	0.495 公分
400 毫升	0.52 公分	0.50 公分	0.51 公分

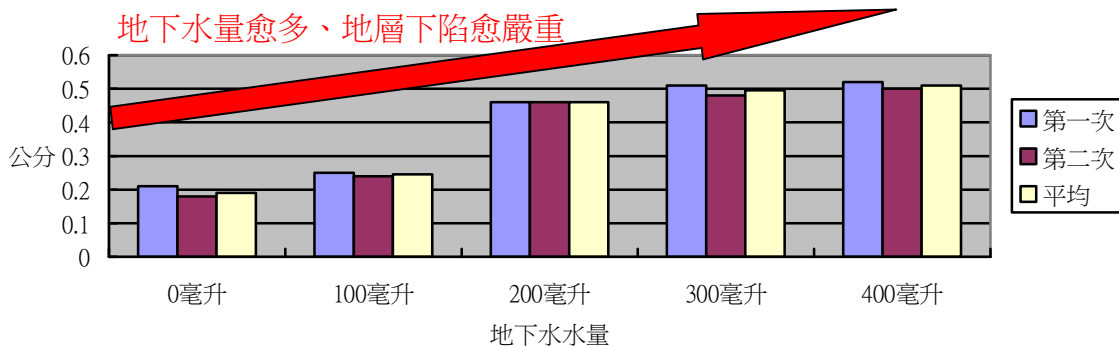


圖 8-1 不同地下水水量對形成土壤液化災害之影響實驗結果直方圖

2.討論：

- (1)實驗結果發現，當地下水水量 0、100、200、300、400 毫升時，地層下陷情況分別為 0.19、0.24、0.46、0.49、0.51 公分，代表地下水水量愈多，地震導致地層下陷的情況愈明顯。
- (2)我們推測可能是沒有地下水時，地震的搖晃只會造成土石之間錯動，而使原本較鬆散的排列變的更緊密，下陷程度有限。但是，當地層中含有地下水時，則搖晃造成土石變的更為緊密，導致地下水受到壓迫而往其他方向滲透，使原本沒有含水的土壤也吸收了水份，然而這些水份並沒有支撐力量，反而因為含水，而使土壤內聚力變大，導致顆粒變的更為緊實，造成地層更明顯的下陷。

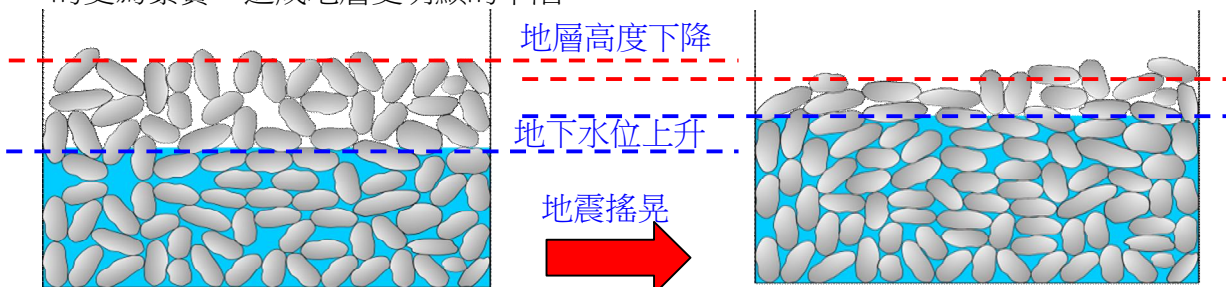


圖 8-2 地震使原本排列鬆散的土壤更緊密的排列示意圖

(二)實驗二：不同地下水水面深度對形成土壤液化災害之影響實驗

地下水深度位置可能會影響土壤液化狀況，因此本研究欲探討地下水的水面深度對形成土壤液化災害之影響，我們改變注水管的位置來調整地下水的水位，分別是距離土壤表面 0.5、2、3.5、5、6.5 公分處，其餘實驗步驟如第七章說明，實驗後我們測量地層下陷的程度。

1.實驗結果

表 8-2 不同地下水深度對形成土壤液化災害之影響實驗結果

地下水深度	第一次	第二次	平均
0.5 公分	0.44 公分	0.48 公分	0.46 公分
2 公分	0.43 公分	0.42 公分	0.425 公分
3.5 公分	0.24 公分	0.24 公分	0.24 公分
5 公分	0.20 公分	0.22 公分	0.21 公分
6.5 公分	0.16 公分	0.15 公分	0.155 公分

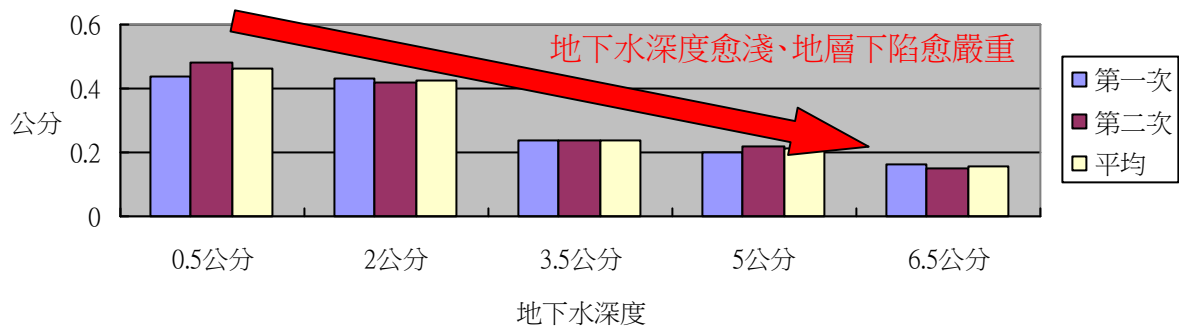


圖 8-3 不同地下水深度對形成土壤液化災害之影響實驗結果直方圖

2.討論：

- (1) 實驗結果發現，當地下水深度為 0.5、2、3.5、5、6.5 公分時，地層下陷情況分別為 0.46、0.425、0.24、0.21、0.155 公分，代表地下水深度愈淺，地層下陷的程度愈嚴重。
- (2) 我們推測原因可能是土壤液化時所產生的地層下陷可能受到兩個因素的影響，其一是土壤中的水份會使一些顆粒較小的土壤之內聚力變大，而變的更為緊密；其二是土壤的鬆緊程度，若原本的土壤愈鬆軟，則在地震的搖晃下，會使地層下陷的愈明顯。
- (3) 綜合上述二因素，當地下水的深度愈深時，因為周圍的土壤受上方地層重力的擠壓呈現較為緊密的狀態，因此當地震發生時，土壤雖然排列變的更緊密，但是幅度不大；反之，當地下水所在位置是在離地面較近的地層中，則土壤呈現較為鬆散的狀態，因此搖晃會使鬆散的土壤之體積壓縮的更為明顯，地層下陷就更為嚴重。

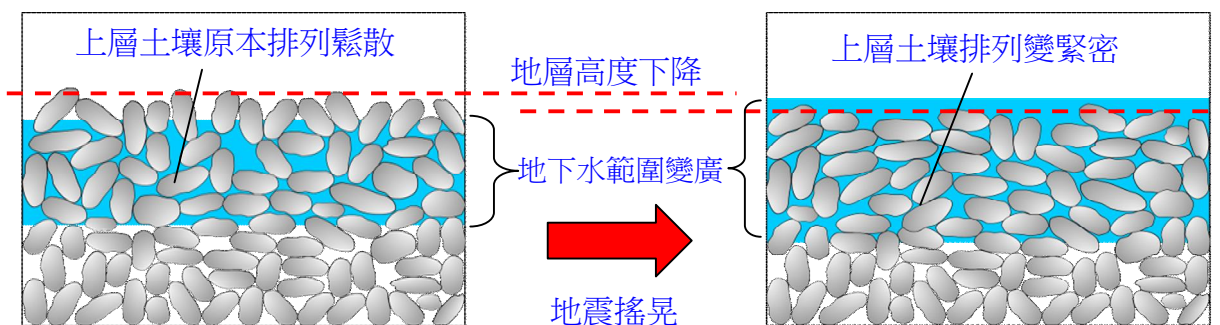


圖 8-4 地下水愈淺導致地層下陷愈明顯示意圖

(三)實驗三：不同地震之類型對形成土壤液化災害之影響實驗

地震是引發土壤液化的主因，本研究為了獨立探討不同類型的震波對土壤液化的影響，先進行地震 P 波實驗，在地面上的觀察者來看是屬於水平搖晃，所以我們只開啟水平拉動馬達組；接著進行地震 S 波，也就是垂直搖晃，所以我們只開啟垂直拉動馬達；接著模擬一般地震，先 P 波再 S 波的順序，其餘實驗步驟如第七章說明，實驗後我們測量地層下陷的程度。

1.實驗結果

表 8-3 不同地震之類型對形成土壤液化災害之影響實驗結果

地震類型	第一次	第二次	平均
慢速 P 波	0.05 公分	0.01 公分	0.03 公分
快速 P 波	0.09 公分	0.07 公分	0.08 公分
慢速 S 波	0.26 公分	0.27 公分	0.265 公分
快速 S 波	0.42 公分	0.43 公分	0.425 公分
先 P 波再 S 波	0.31 公分	0.29 公分	0.30 公分

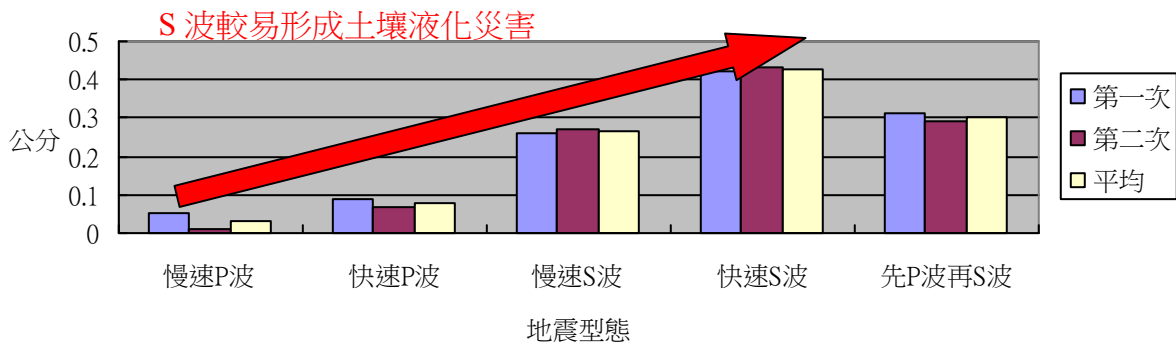


圖 8-5 不同地震之類型對形成土壤液化災害之影響實驗結果直方圖

2.討論：

- (1) 實驗結果發現，S 波所產生的土壤下陷較大，從弱到強，分別為 0.265 及 0.425 公分，而 P 波所產生的土壤下陷相當小，從弱到強，分別為 0.03 及 0.08 公分。
- (2) 我們推測原因可能是水平的搖晃力量提供了土壤調整排列狀態的機會，但也可能破壞了原本緊密的排列，因此搖晃前後的地層高度沒有太大的改變。
- (3) 相對的，垂直的震動則會使原本土壤顆粒的排列與向上支撐的結構被破壞，再加上重力因素，所以每一次的震動就會把土壤壓縮的更為緊密，造成土壤間的水壓上升，水往其他的縫隙流出，因此搖晃前後的地層高度就有明顯的改變。
- (4) 若先進行 P 波再 S 波，從實驗結果來推論，其下陷程度並沒有比單純進行較長時間且較強的 S 波來的明顯，因此我們認為 S 波具有決定的影響性。

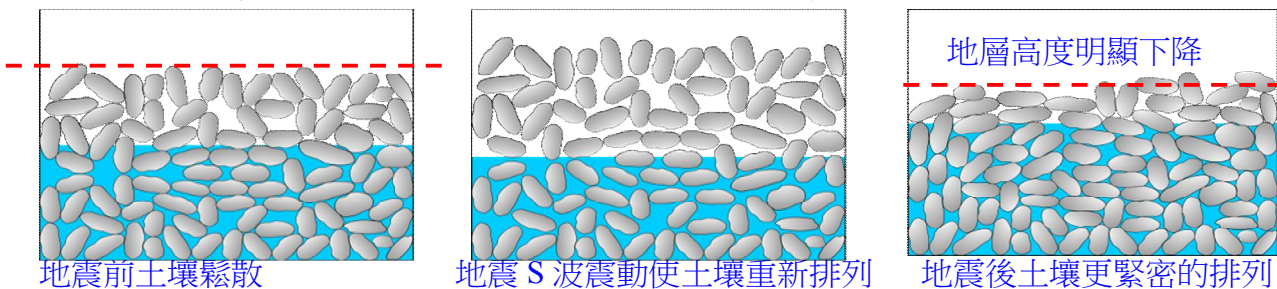
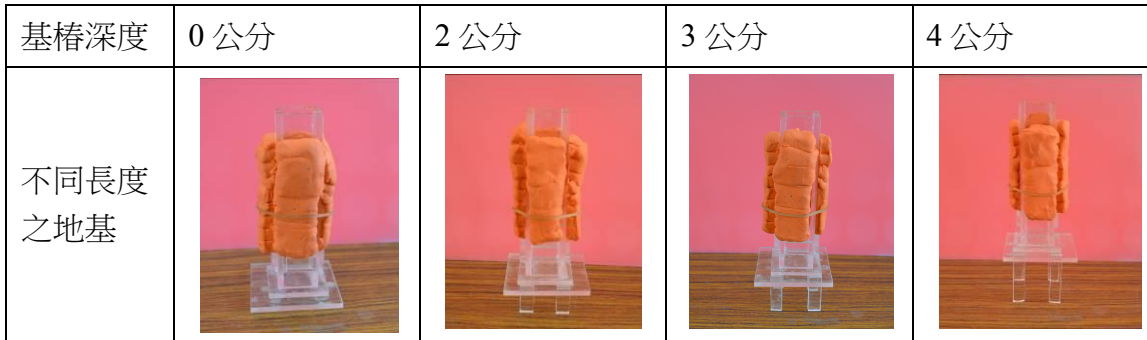


圖 8-6 地震 S 波導致土壤顆粒示意圖

(四)實驗四：不同建築物地基基樁深度對形成土壤液化災害之影響實驗

在地震發生時，有些地區常常會引發土壤液化的災害，包含對建築物所形成的破壞，在常發生地震的台灣，建築的設計必須要有所因應，因此我們想探討建築地基的基樁深度是否有助於減少土壤液化的情形，我們設計一個建築物模型，然後調整基樁深度分別為 0、2、3、4 公分，其餘實驗步驟如第七章說明，實驗後我們測量建築物傾倒所需時間。



1.實驗結果

表 8-4 不同建築物地基基樁深度對形成土壤液化災害之影響實驗結果

基樁深度	第一次	第二次	平均
0 公分	沒有倒	沒有倒	沒有倒
2 公分	6.5 秒	8.4 秒	7.45 秒
3 公分	20.6 秒	19.6 秒	20.1 秒
4 公分	沒有倒	沒有倒	沒有倒

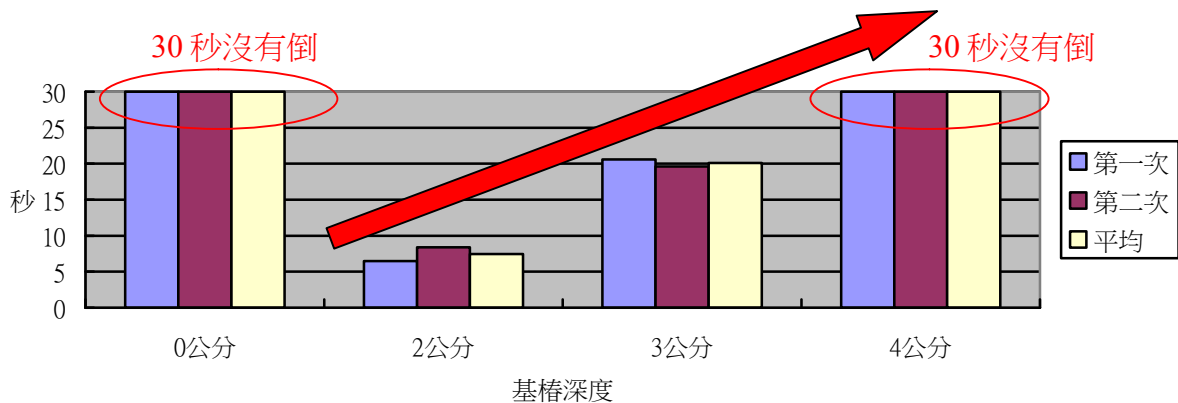
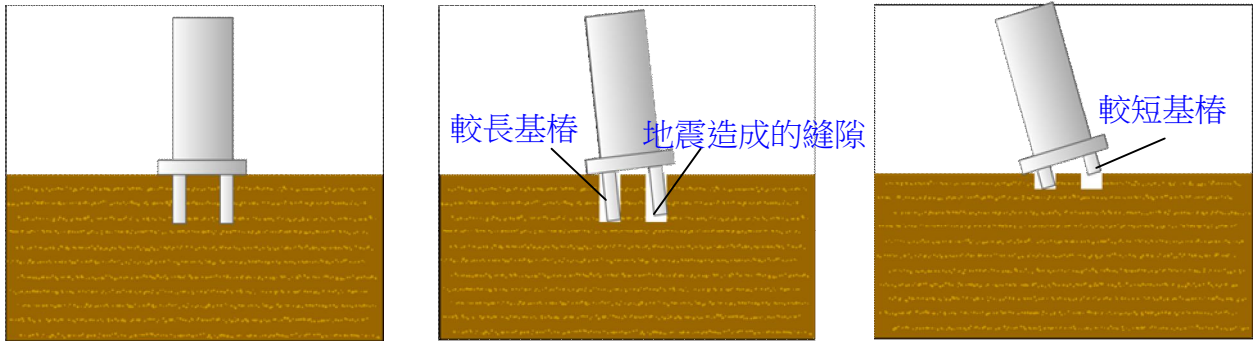


圖 8-7 不同建築物地基基樁深度對形成土壤液化災害之影響實驗結果直方圖

2.討論：

- (1) 由實驗結果發現，地基從 2 公分、3 公分到 4 公分，支撐的時間由 7.45 秒、20.1 秒到 30 秒不倒，可以發現地基愈長，建築物愈能抵抗地震及土壤液化的破壞，但是當建築物模型沒有地基時，反而在 30 秒的搖晃下也同樣不會傾倒。
- (2) 我們認為可能的原因有二，其一是地震時，建築物除了受到嚴重的震動外，也因為土壤的液化而使地面陷落及變的鬆軟，而每一次搖晃，地基基樁會被抽離其原來位置，搖晃愈久，則基樁被抽離愈明顯，最後當地基與土壤的摩擦力無法抵抗搖晃時，建築物就會傾倒，因此若有較長且堅硬的地基，則可使建築物抵抗更久的搖晃。

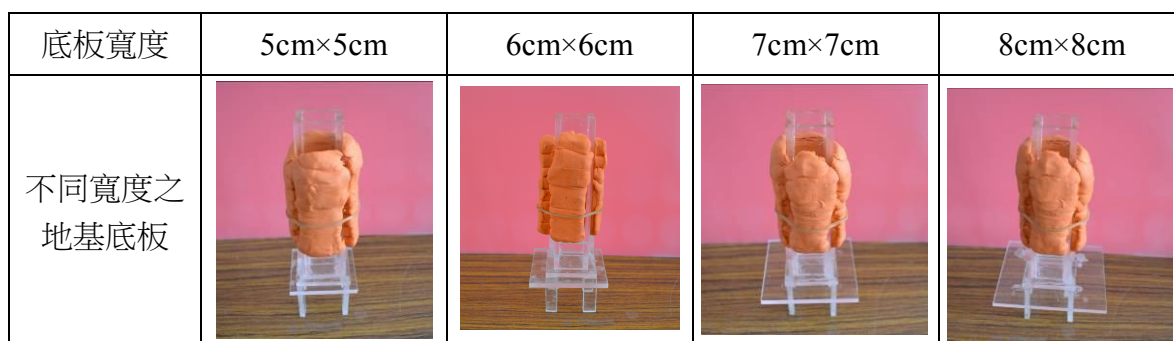
(3) 其二是當建築物重心不高，且地震的搖晃還不足以讓建築物的重心超出建築底板的邊緣時，則沒有地基反而不會傾倒，因為搖晃時，建築物雖有晃動，但沒有傾倒的狀況出現，我們觀察到建築物的位置產生了位移，而此狀況並不適用於實際建築物的設計上。



地震前基樁與地層緊密結合 較長基樁之建築物較不易傾倒 較短基樁之建築物易傾倒
圖 8-8 地基基樁愈深愈能抵抗地震搖晃示意圖

(五)實驗五：不同建築物地基礎板寬度對形成土壤液化災害之影響實驗

地基對於建築物的穩固而言相當重要，除了上一個實驗所探討的地基深度外，我們認為地基礎板的寬度也是一個重要的部份，因此我們將本實驗的建築物模型之地基做了尺寸上的修改，分別為邊長 5cm、6cm、7cm、8cm 的正方形，其餘實驗步驟如第七章說明，實驗後我們測量建築物傾倒所需時間。



1. 實驗結果

表 8-5 不同建築物地基礎板寬度對形成土壤液化災害之影響實驗結果

地基深度	第一次	第二次	平均
5cm×5cm	14.3 秒	15.6 秒	14.95 秒
6cm×6cm	20.5 秒	22.9 秒	21.7 秒
7cm×7cm	27.8 秒	24.5 秒	26.15 秒
8cm×8cm	沒有倒	沒有倒	沒有倒

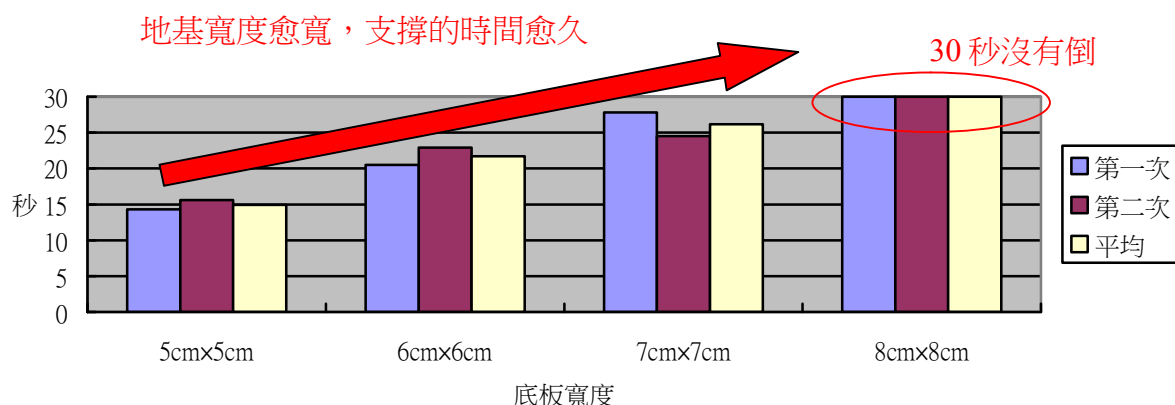
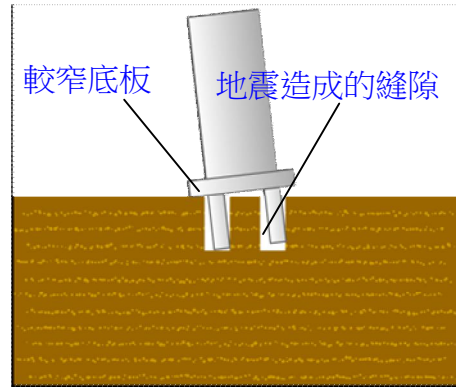
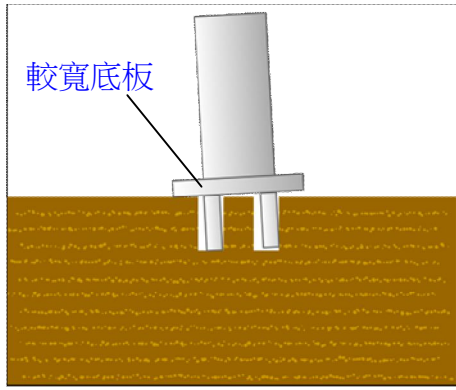


圖 8-9 不同建築物地基礎板寬度對形成土壤液化災害之影響實驗結果直方圖

2. 討論：

- (1) 實驗結果發現，地基礎板的寬度從大到小，為 5cm×5cm、6cm×6cm、7cm×7cm、8cm×8cm，支撐的時間由 14.95、21.7、26.15 及 30 秒不倒，可以發現地基愈寬，建築物愈能抵抗地震及土壤液化的破壞。
- (2) 我們推測原因可能是建築物受到地震的晃動時，地基基樁受到了抽離，使建築物傾斜愈來愈嚴重，但如果重心仍在地基的底板範圍內，則建築物仍然不會傾倒，因此在地震搖晃的過程中，建築物雖然逐漸在傾斜，但如果地基的底板愈寬大，則建築物是愈安全的。

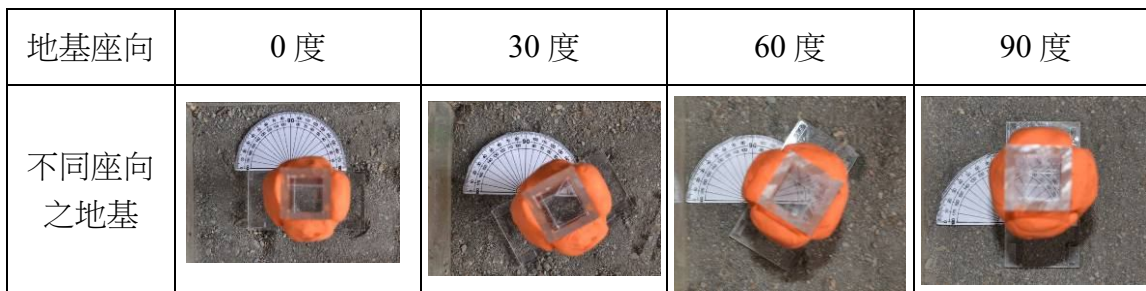


地基底板愈寬在相同搖晃下傾斜度愈小 地基底板愈窄在相同搖晃下傾斜度愈大

圖 8-10 地基底板愈寬愈能抵抗地震搖晃示意圖

(六)實驗六：不同建築物地基座向對形成土壤液化災害之影響實驗

在每一次發生地震後，地質學家總會進行地質調查分析，並告訴民眾此次地震是因為某一個斷層造成的，所以每個人都可以依據自己的住家位置了解地震來襲較有可能的方向，也因此可以依據這個地震方向來設計較安全的建築物座向，本實驗我們將建築物模型的地基改為**長方形**，並藉著改變模型的方向，來探討不同建築物地基座向對形成土壤液化災害之影響，其餘實驗步驟如第七章說明，實驗後我們測量建築物傾倒所需時間。



1. 實驗結果

表 8-6 不同建築物地基座向對形成土壤液化災害之影響實驗結果

地基座向	第一次	第二次	平均
0 度	沒有倒	沒有倒	沒有倒
30 度	19.6 秒	17.2 秒	18.4 秒
60 度	5.3 秒	9.5 秒	7.4 秒
90 度	2.5 秒	4.1 秒	3.3 秒

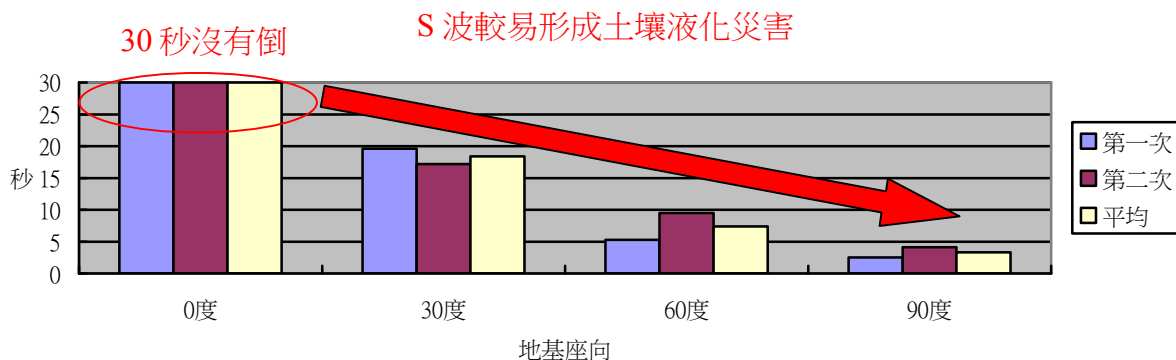


圖 8-11 不同建築物地基座向對形成土壤液化災害之影響實驗結果直方圖

2. 討論：

- (1) 實驗結果發現，建築物的地基座向有 0 度、30 度、60 度、90 度四種，其支撐的時間分別為 30 秒不倒、18.4 秒、7.4 秒及 3.3 秒，可以發現地基的座向與地震來源方向平行或夾角愈小，建築物愈能抵抗地震及土壤液化的破壞。
- (2) 經討論，我們認為地震的震波方向與地震的水平搖晃方向是相同的，因此如果將原本固定大小的長方形地基礎板調整成與地震方向相同或較小的夾角，則地基基樁的距離在此地震方向的分段上較長，因此建築物在搖晃時，其重心不易超出地基礎板的邊緣。

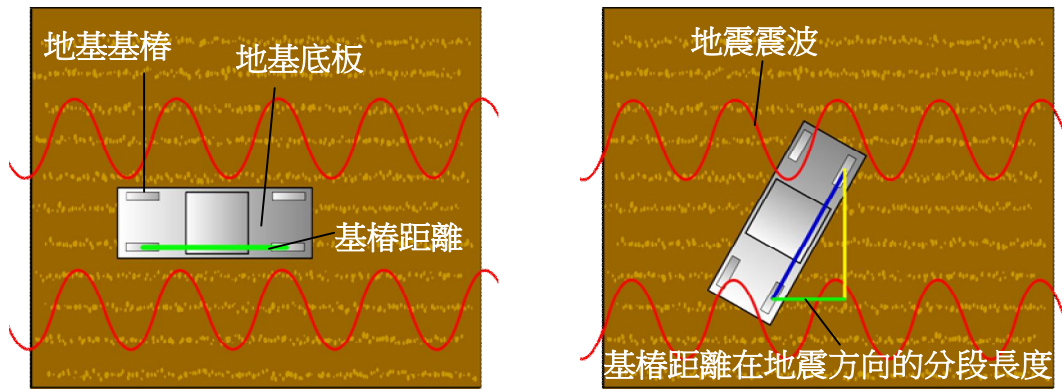
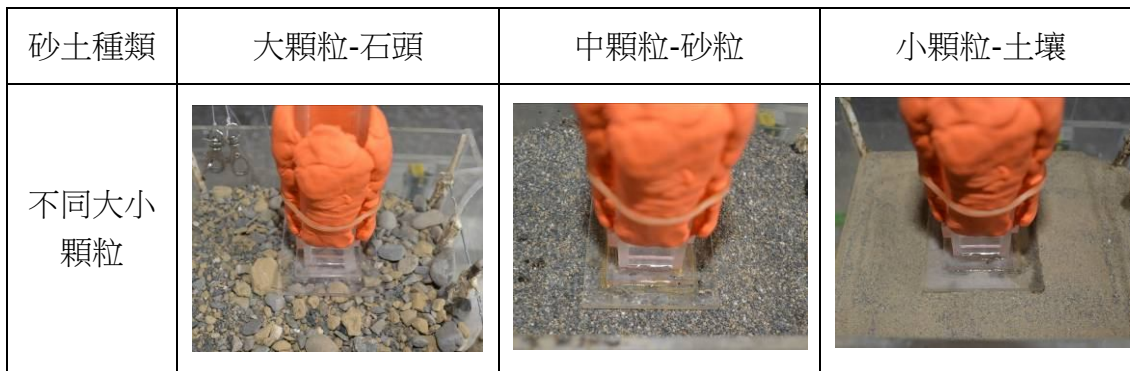


圖 8-12 地基基樁的距離在地震方向的分段長度示意圖

(七)實驗七：不同種類砂土對形成土壤液化災害之影響實驗

在文獻探討的過程中，我們了解到土壤的孔隙大小可能會影響土壤液化的發生，因此本實驗特地以不同濾網過濾分類好的大中小顆粒之砂石土壤，分別放入實驗箱中，藉以了解不同種類的砂土對形成土壤液化災害之影響，其餘實驗步驟如第七章說明，實驗後我們測量地層下陷的程度以及建築物傾倒所需時間。



1. 實驗結果

表 7-7 不同種類砂土對形成土壤液化災害之影響實驗結果

砂土種類	傾倒時間			下陷程度		
	第一次	第二次	平均	第一次	第二次	平均
大顆粒-石頭	沒有倒	沒有倒	沒有倒	1.05 公分	1.07 公分	1.06 公分
中顆粒-砂粒	24.5 秒	21.6 秒	23.05 秒	0.65 公分	0.69 公分	0.67 公分
小顆粒-土壤	沒有倒	沒有倒	沒有倒	0.49 公分	0.45 公分	0.47 公分

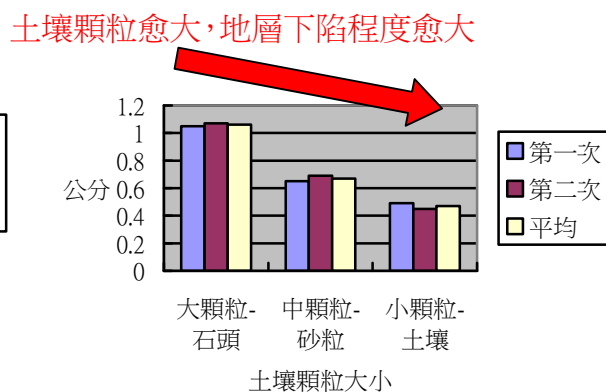
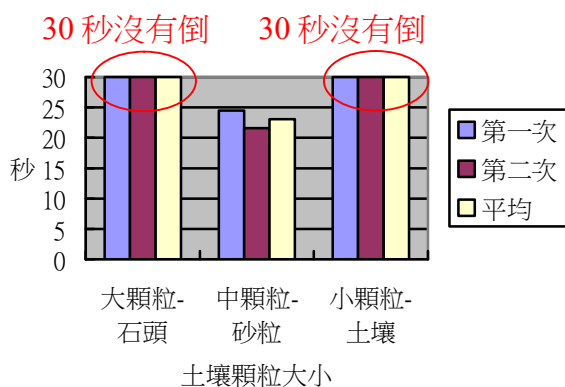


圖 8-13 不同土壤顆粒大小建築物傾倒時間直方圖

8-14 不同土壤顆粒大小地層下陷高度直方圖

2. 討論：

- (1) 實驗結果發現，土壤顆粒由大到小，地層下陷的距離分別為 1.06、0.67、0.47 公分，可以歸納出土壤顆粒愈大，地層下陷愈嚴重，另外，建築物傾倒的時間分別為 30 秒不倒、23.05 秒、30 秒不倒，可以發現顆粒愈小，則傾斜時間愈快，但是若顆粒過小的土壤，則會產生內聚力，建築物反而不會倒下。

- (2) 經過討論後，我們認為當土壤的顆粒愈大時，顆粒之間的縫隙愈大，而當搖晃發生時，顆粒的間隙變小的程度也愈大，地層下陷的程度就愈高。
- (3) 相對的，如果顆粒愈小，如砂土，則顆粒原本的縫隙就小，則在搖晃發生時，顆粒的間隙雖然變小，但與原本的間隙差異並不大，所以地層下陷的程度就不高。
- (4) 另外，土壤顆粒愈大，則水份較易排出，而使土壤顆粒對於地基基樁產生摩擦力，所以也能使建築物較不易傾倒，反之顆粒愈小，則因為水份停留在顆粒之間，將使土壤顆粒呈現懸浮狀態，因此將使土壤顆粒對於地基基樁無法產生摩擦力，建築物就較易傾倒。
- (5) 而土壤顆粒過小，已到達粉狀，則土壤遇到水會呈現膠狀，具有強大的內聚力，反而能緊緊固定地基基樁，但是，當我們將尺寸放大至實際的建築物時，此內聚力並不會跟著提升，所以只能解釋建築物模型的實驗，而不可推論至實際建築物面對地震的狀態上。

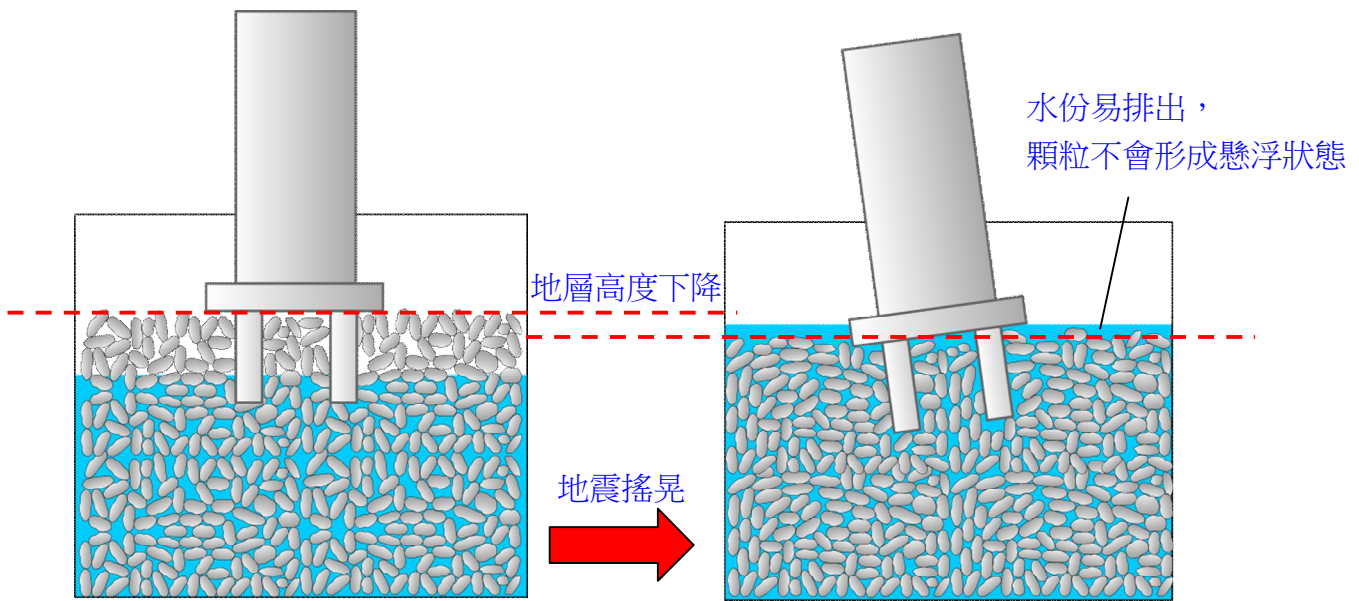
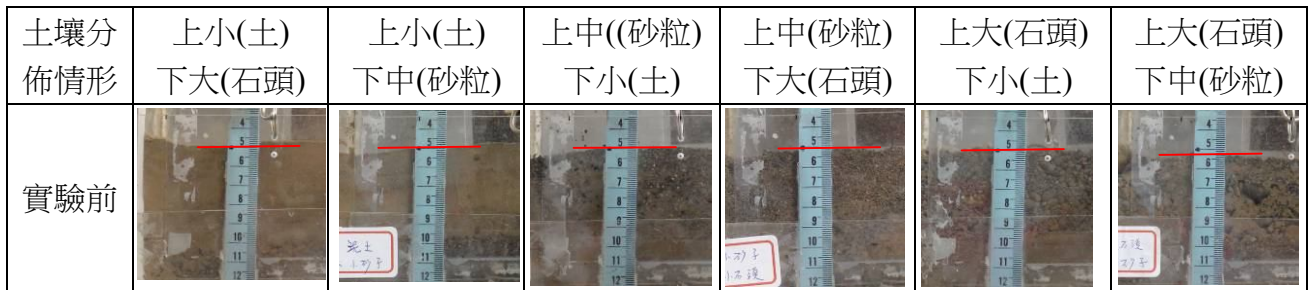


圖 8-15 大顆粒土壤使地面下陷並維持基樁支撐示意圖

(八)實驗八：不同砂土分佈對形成土壤液化災害之影響實驗

土壤的大小會影響到土壤液化的狀況，但是在一般的地層中，土壤分布可能相當複雜，非單一種類，在不同深度有著不同土壤或岩層，所以本實驗想要探討土壤的不同分布排列對於土壤液化災害之影響，其餘實驗步驟如第七章說明，實驗後我們測量地層下陷的程度。



1. 實驗結果

表 8-8 不同砂土分佈對形成土壤液化災害之影響實驗結果

土壤分佈情形	第一次	第二次	平均
上小(土)下大(石頭)	0.41 公分	0.40 公分	0.405 公分
上大(石頭)下小(土)	0.21 公分	0.20 公分	0.205 公分
上小(土)下中(砂粒)	0.39 公分	0.41 公分	0.40 公分
上中(砂粒)下小(土)	0.20 公分	0.22 公分	0.21 公分
上中(砂粒)下大(石頭)	0.51 公分	0.51 公分	0.51 公分
上大(石頭)下中(砂粒)	0.39 公分	0.40 公分	0.395 公分

上方土壤顆粒小而下方土壤顆粒大之排列，地層下陷程度較明顯

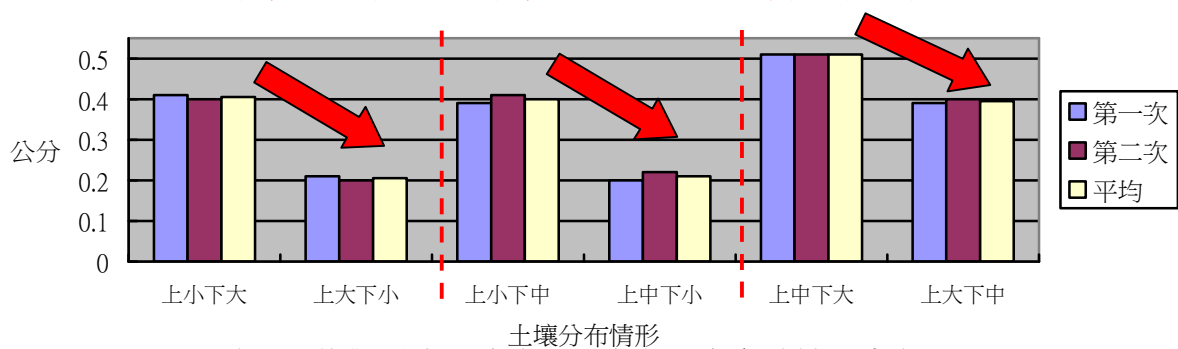


圖 8-16 不同砂土分佈對形成土壤液化災害之影響實驗結果直方圖

2. 討論：

- (1) 將實驗結果兩兩進行比較，首先是(上小下大)與(上大下小)，其下陷高度分別為 0.405 及 0.205 公分，再來是(上小下中)與(上中下小)，其下陷高度分別為 0.40 及 0.21 公分，最後是(上中下大)與(上大下中)，其下陷高度分別為 0.51 及 0.395 公分，我們可以發現相同的兩種土石種類，在不同的排列情形，便出現了不同的結果，從結果中發現其共通的現象是上方土壤顆粒小而下方土壤顆粒大之排列，地層下陷程度較明顯。
- (2) 我們推測原因可能是，上方的地層重量壓迫下方的地層，而當下方的地層之土壤顆粒較大時，縫隙會產生較大改變；而上方地層所受壓迫的重力較小，所以產生的影響也相對較小。

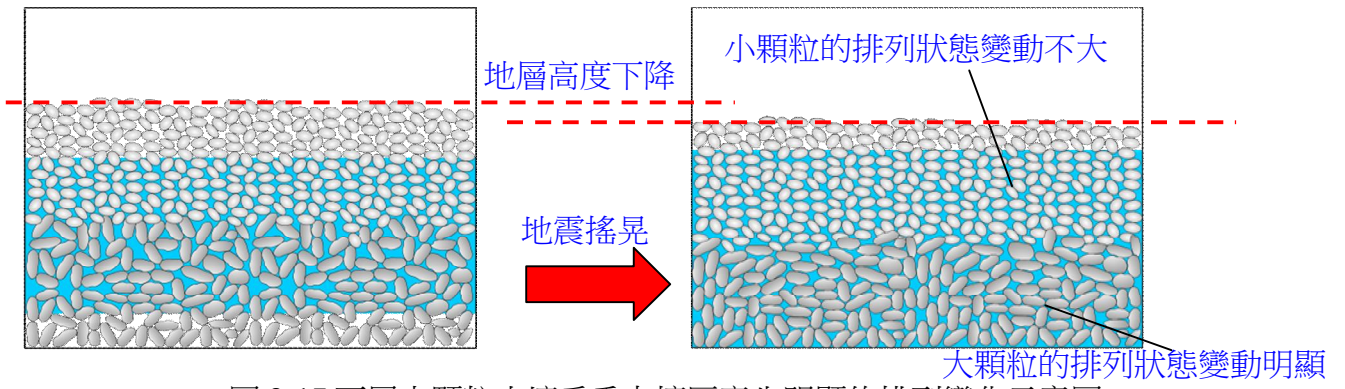


圖 8-17 下層大顆粒土壤受重力擠壓產生明顯的排列變化示意圖

九、研究結論

研究結果：綜合本研究四大目的之八項實驗所獲得之結果及討論，我們推論出下列八項結論，以下依序說明。

1. 地下水水量愈多時，愈容易造成地層明顯的下陷。
2. 地下水水面深度愈淺時，地層下陷愈為嚴重。
3. 地震 P 波較 S 波對於地層高度的下陷更具有威力。
4. 建築物的地基愈長，愈能抵抗地震晃動所帶來的破壞性。
5. 建築物的地底板愈寬大時，愈能抵抗地震晃動所帶來的破壞性。
6. 長條形之建築物座向與地震方向相同或夾角較小時，則建築物較不易傾倒。
7. 地震時，土壤顆粒愈大時，地層下陷雖然愈嚴重，但是建築物卻愈不易傾倒。
8. 地層中，若較深的地層屬於愈大的顆粒，則地層下陷程度愈明顯。

十、參考資料

趙克常 (民 102 年)。地震概論。台北市。五南。

劉興詩 (民 102 年)。地震的故事。台北市。中華。

陳銘鴻(民 91)。土壤液化成因、災害與復建。民 102 年 10 月 20 日，取自：
<http://cgsweb.moeacgs.gov.tw/Result/921/9.陳銘鴻.pdf>

地震百問(民 103)。21.主要的地震波有那些？。民 103 年 2 月 5 日，取自：
<http://scman.cwb.gov.tw/eqv5/eq100/100/021.HTM>

地震波 (民 103)。維基百科。民 103 年 2 月 2 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/地震波>

【評語】 080502

優點：

1. 本研究主要在探討不同變因對土壤液化的影響，且能針對主題做有系統的研究，並得到相當的結論。
2. 實驗設計尚稱合宜，並能根據實驗需求設計自製實驗器材，兼顧變因的控制，掌握科學研究之精神。

建議：

1. 本研究過去已有很多相關實驗研究，若能把前人研究拿出做分析，並比較研究結果之不同，則更有價值。
2. 每個實驗至少三次以上較佳，更能顯出實驗結果的可信度。
3. 對研究中所使用到的科學名詞定義要釐清並能真正了解，如：
P 波 S 波的運動方式及傳遞方向。