

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

探究精神獎

080508

探討建築物結構與地基對抗震及抗土壤液化之
效果

學校名稱：臺北市文山區木柵國民小學

作者： 小五 張永馨 小四 張筠媗	指導老師： 彭賜梅 潘怡如
-------------------------	---------------------

關鍵詞：土壤液化、抗震力、結構補強

摘要

本研究探討不同結構補強建築物的抗震能力與不同基礎建築物的抗土壤液化能力，最後合併出最能夠抗震及抗土壤液化的建築物型式。

我們測試地面以上不同結構補強的建築物以及地面以下不同的基礎，並將不同結構補強搭配不同基礎，分別測試其抗震及抗土壤液化能力。

本研究主要發現:

- 一、單斜撐結構補強的抗震能力比加裝阻尼球好。
- 二、樁基礎的抗土壤液化能力優於筏式基礎。
- 三、單斜撐搭配樁基礎的建築物抗震效果較佳。
- 四、使用砂石改善土壤，能使筏式基礎建築物提升抗震效果。

壹、研究動機

最近住家附近的老屋陸續進行都更改建，剛好碰上打地基，心中浮現 921 土壤液化的案例，讓我們開始思考為什麼地震會讓固體的土壤變成像流體？如果建築在土壤液化潛勢區的建物，使用不同的地基做基礎，又或者改良土壤液化區的土質，是否可以有效降低地震災害？哪種地基搭配哪種建物結構最能抗震？於是我們開始了一系列的測試與實驗，希望藉此找到答案。

貳、研究目的

- 一、比較不同結構建築物在減少搖晃上之抗震效果。
- 二、分析不同基礎建築物在土壤液化區之抗震效果。
- 三、探究不同結構結合不同基礎的建築物在土壤液化區之抗震效果。
- 四、找出改良土壤的添加物提升筏式基礎建築物之抗震效果。

參、研究設備及器材

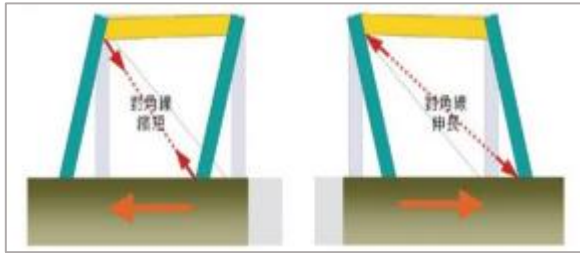
			
木板	圓木棒	方竹棒	瓦楞板
			
珍珠板	QCN 感測器	熱熔膠	整理箱
			
玻璃彈珠加扭蛋殼	地震模擬平台 (瘦身搖擺機)	建築物模型 A	建築物模型 B、C
			
砂質土	小碎石	樁基礎	筏式基礎

肆、研究過程與結果

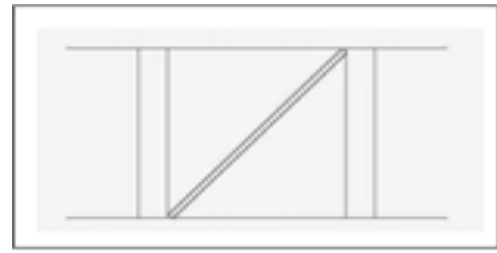
一、探討建築物加單斜撐之抗震效果

(一)資料蒐集分析

斜撐又稱側向支撐，並非為建築物的主要結構，而是輔助結構，當地震時建築物擺動，原本的方形空間變成菱形，對角線的長度因而縮短或伸長，此時斜支撐可以增加水平側向的抵抗力(圖一)。



圖一：斜撐示意圖



圖二：斜撐模擬圖(自繪)

斜撐補強能增加建築物一樓的最大基底剪力，達到耐震能力補強的效果。通常會裝在建築物樓層的對角上(圖二)，可以增加建築物的水平側向抵抗力。為了避免建築物受到地震而結構變形，減少內側結構變形之位移所產生的破壞，加裝斜支撐可使力量分散，增強建築物韌性。

(二)實驗模型設計

我們製作每層樓高 13cm 的六層樓建物模型，並在每層樓的 X、Y 水平向對角上都加上單斜撐(圖三)。

二、探討建築物加裝阻尼器之抗震效果

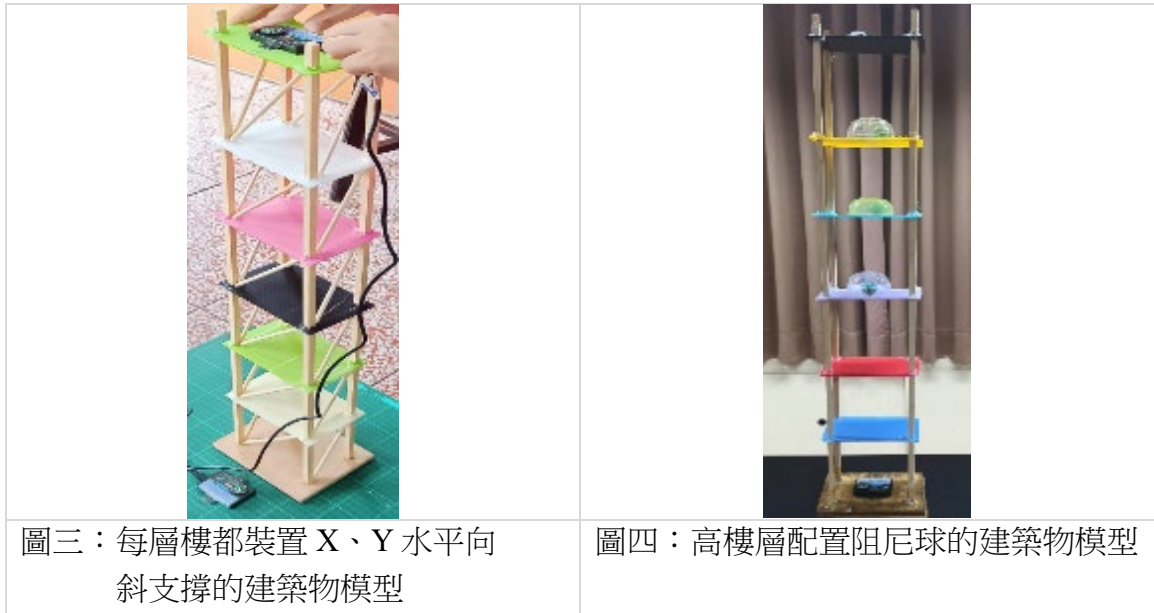
(一)資料蒐集分析

從各種相關研究報告加以討論與分析歸納，得知：阻尼器是一種利用阻尼特性來吸收或抑制位移量，藉以減緩力學振動及消耗動能的機械或液壓裝置。因此，阻尼器就像是建築物的避震器，原理就如同汽車的避震器一樣，吸收能量減少震動，增加舒適性與安全性。我們可以把阻尼器安裝在樓層間，達到「消能」的目的，也可以安裝在基底，發揮「隔震」的效果。如臺北 101 大樓最著名的金色圓球體阻尼器，重達 660 噸左右，能有效降低建築物面臨地震及風振的振動反應。

(二)實驗模型設計

我們在高樓層(四樓~六樓)的樓層板黏上半球形扭蛋殼，裡面各放置一顆玻璃

彈珠來模擬阻尼球(圖四)，利用彈珠 360 度的滾動來吸收或抑制位移量，達到「消能」的目的。每組扭蛋殼含玻璃彈珠重量 32.4 公克，模型四樓~六樓共加裝三組總重量 97.2 公克，低於建築物模型淨重量 292.8 公克，如此的設計不會因為彈珠重量大於建築物模型重量，而導致彈珠來回擺動產生的力量大於建築物的抵抗強度，反而讓建築物晃動變大。



三、比較不同結構的建築物其減少搖晃的抗震效果

實驗一：建築物無單斜撐、加單斜撐、加裝阻尼球之減少搖晃的抗震效果比較

(一)實驗裝置：

1. 地震模擬平台：

使用瘦身搖擺機來當作地震模擬平台(圖五)，將 QCN 地震感測器(圖六)放置於平台上，選擇震動模式三進行搖測，再根據 QCN 傳輸出來的 excel 量測數據表，繪製地震加速度圖(圖七)判斷地震級數，X 軸代表時間 sec(excel 欄位值為其數據)、Y 軸代表加速度，其值約 1.2 m/sec^2 ，對照中央氣象局地震震度分級表，知其為 5 級震度，接下來的實驗皆以此方式進行。

2. 建築物模型：

我們選用 10cm*12cm 瓦楞板當作建築物的樓層板材料，採用長度 90cm 方竹棒來做建築物的骨架，在瓦楞板上打洞並讓木棒穿過去，製作每層樓高 13cm 的六層樓建築物模型，一共 DIY A、B、C 三組來模擬建築物的結構(圖八)。

模型 A：無斜撐的建築物

模型 B：無斜撐，加裝阻尼球的建築物、

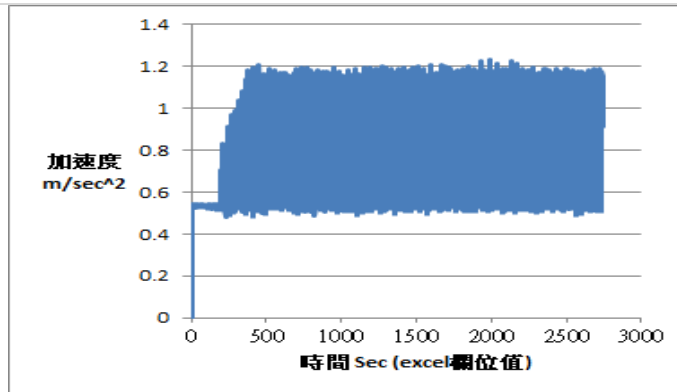
模型 C：單斜撐的建築物。



圖五：地震模擬平台



圖六：QCN 地震感測器



圖七：加速度-時間分佈圖



圖八:建築物結構

(二)實驗步驟與結果：

1. 參照交通部中央氣象局地震震度分級表(舊制)(表一)，加速度的單位是以 $1\text{gal}=1\text{cm}/\text{sec}^2$ 做計算。

表一：地震震度分級(舊制)與 QCN 加速度測量值對照表

震度分級		地動加速度範圍	測震 QCN 地動加速度範圍
		PGA=(cm/sec^2)	PGA=(m/sec^2)
0 級	無感	0.8Gal 以下	0.008 以下
1 級	微震	0.8~2.5Gal	0.008~0.025
2 級	輕震	2.5~8Gal	0.025~0.08
3 級	弱震	8~25Gal	0.08~0.25
4 級	中震	25~80Gal	0.25~0.8
5 級	強震	80~250Gal	0.8~2.5
6 級	烈震	250~400Gal	2.5~4
7 級	劇震	>400Gal 以上	> 4 以上

2. 首先將建築物模型固定黏在地震模擬平台上，再把 QCN 感測器用魔鬼氈黏在建築物頂樓，記錄地震時搖晃的加速度數值。QCN 顯示的加速度單位為 m/sec^2 。
3. 啟動地震模擬平台，搖動 30 秒達 5 級地震，搖測三次取得建築物頂樓加速度，計算求出 X、Y 水平合加速度，加速度值越小代表越抗震。

X、Y 水平合加速度的公式： $\sqrt{|X|^2 + |Y|^2}$

4. 實驗結果如表二之加速度-時間分佈圖所示。

表二：不同結構建築物之抗震比較

	A 無斜撐建築物頂樓	B 阻尼球建築物頂樓	C 單斜撐建築物頂樓
第一次			
第二次			
第三次			
說明	<p>加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 25.0 m/sec²。</p>	<p>加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 15.0m/ sec²明顯相較於無斜撐建物來得低。 證明加裝阻尼球具有消能功能，有效減少建築物擺動的幅度，增強抗震能力。 特別的是地震剛開始及結束時，因為阻尼球未 360 度運轉，未產生與建築物結構反向共振的行為，建築物搖晃力強烈，散佈圖頭尾呈現高加速度狀態。</p>	<p>加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 10.0m/ sec²明顯相較於無斜撐建物及阻尼球建物來得低。 加速度比較：單斜撐<阻尼球建築物<無斜撐。 證明加裝斜支撐能讓建築物抵抗地震帶來的水平側向力，讓建築物結構更堅強穩重，有效減少建築物擺動的幅度。</p>
抗震效果	弱	中	強

(三)實驗一結果分析：

1. 加裝阻尼器的確增加建築物的抗震力。阻尼器能改變建築物頻率，讓建物與阻尼器的頻率接近,達到消能作用。
2. 斜支撐對於建築物的耐震性是相對加分的，在地震頻繁的區域，斜撐是不可或缺的一個部分。

四、瞭解土壤液化的意義、成因和現象

一棟房屋要如何才有抗震的能力，地基與結構是關鍵，除了要有良好的結構來承擔載重與傳遞力量，還要有適合的基礎，進而達到抗震及耐震之能力。於是我們想深入研究不同基礎的作用，進階探討建築物要使用哪種基礎，可以增加建築物的抗震能力，並預防土壤液化的災害。

另外，我們依據各種相關研究報告討論及分析，歸納以下兩點：

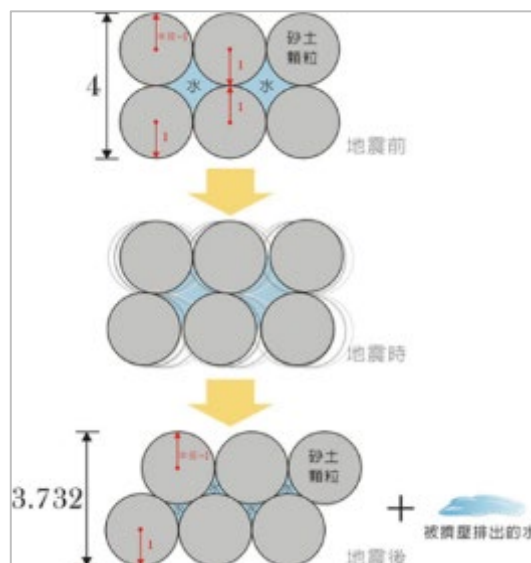
(一)土壤液化的意義和成因：

土壤液化是一種自然的現象，當鬆軟的砂土層受到強大的外力時，土壤擠壓孔隙間的水分，進而造成土壤中的水分飽和，變成像泥漿一樣的液體狀態。

土壤液化是因為「砂質土壤」結合「高地下水位」的狀況，遇到一定強度的地震搖晃，導致類似砂質顆粒浮在水中的現象，進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。

(二)土壤液化造成的現象：

地震造成土壤液化之後，土壤顆粒重新排列，可能產生比土壤液化前更緊密的狀況。如圖九所示：



圖九:土壤液化成因示意圖

土壤顆粒就像小時候玩耍的球池裡的球一般，球和球之間存在彼此擠壓的力，這個力量越大，土壤的強度就越強。當顆粒間的孔隙有水時，水壓會讓顆粒間擠壓的力量降低；強震使孔隙水壓變得很大，造成顆粒間擠壓的力量完全消失，土壤失去強度，就會產生土壤液化的現象。進而出現噴砂或噴泥水現象、土壤承载力減弱、地層下陷或斷裂、建築物傾斜或塌陷等情形。

(三) 模擬高液化土壤：

在 50L 整理箱中(圖十)裝一半的砂土，再放置於地震模擬器上(圖十一)，依次注入 100mL 的水量，觀察在模擬 5 級地震的情況下土壤的變化，依測試結果得知注入 800mL 水量可以最快製造出土壤液化的效果(表三)。

表三：注入水量與土壤液化觀察資料

注入水的體積	肉眼觀察結果
100mL	未液化
500mL	輕微液化
800mL	高度液化



圖十：土壤液化示意圖



圖十一：模擬建物放在土壤液化區

五、比較不同建築物基礎在土壤液化區的抗震效果

實驗二：樁基礎與筏式基礎地基在土壤液化區之抗震效果比較

(一) 資料蒐集分析:

參考歷屆科展作品發現其大多聚焦在建物結構補強的抗震能力探討，少有研究基礎對建築物抗震的影響，因此我們假設不同的基礎對建築物的抗震能力表現是

有差別的。現在常用的基礎有很多種：獨立基礎、筏式基礎、箱形基礎、樁基礎...等。我們選擇現今大樓最常採用的樁基礎與筏式基礎這兩種型式(表四)，此兩種型式的基礎對抗土壤液化是很好的。因此我們也想知道這兩種型式基礎的建築物分別在高度液化潛勢區，是否會有土壤液化現象造成建築物傾倒或沉陷的情況。

表四：基礎種類對照說明

基礎種類	說明
樁基礎	利用基礎構造將建築物各種載重間接傳遞至較深地層中，為「深基礎」。樁基礎主要是遇到土質不好的地層，會將基礎樁打入地底或岩盤，才能穩固基礎，並且讓基礎上方建築物的重量傳遞到比較深的地底層，耐震性也會比較高，所以樓層較高、重量較重的重要性大樓與建築物大多採用樁基礎，例如：臺北 101 大樓。
筏式基礎	利用基礎板將建築物各種載重直接傳佈於有限深度之地層上，為「淺基礎」。筏式基礎則是把房子的地基像是木筏一樣包覆在地底下，就像是船在水面下，所以即使周遭是土壤液化區，房子也能很穩固的對抗地震的搖晃。主要是大樓及社區最常採用的工法，建築物越重，施加在土壤的力量會越大，所以要擴大基礎面積，建築物才會穩固。

(二)實驗裝置：

1. 樁基礎模型：

我們選用 15cm*12cm*0.7cm 木板當作建築物樓層板面材料，將 12cm 高的基礎共 13 根，以打釘子方式固定在木板上(圖十二左)。

2. 筏基礎模型：

我們以木板黏合成 15cm*12cm*0.7cm 木盒，裡面用珍珠板模擬鋼筋及基礎板模排佈方式，填沙模擬灌入混凝土，最後用膠帶封起來完成模型(圖十二右)。

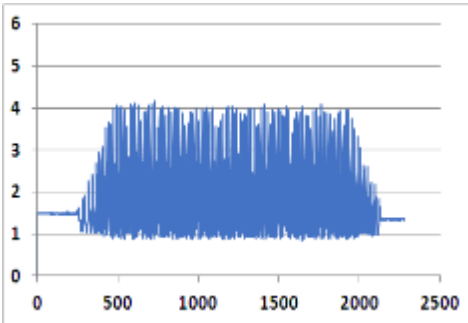
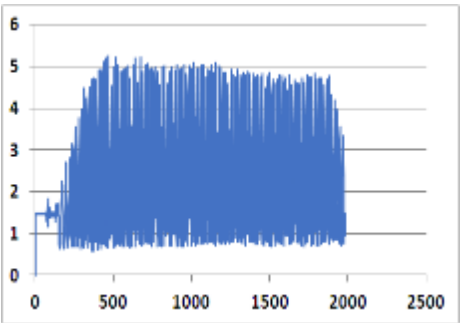
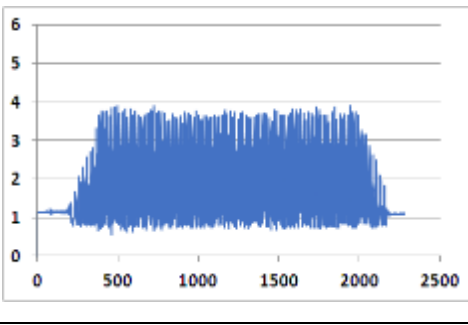
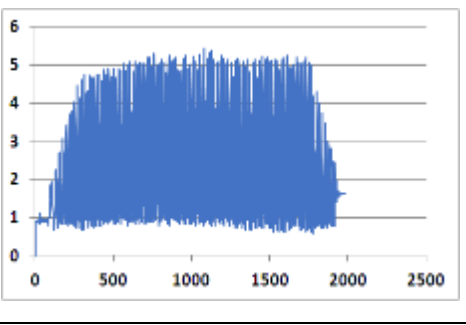
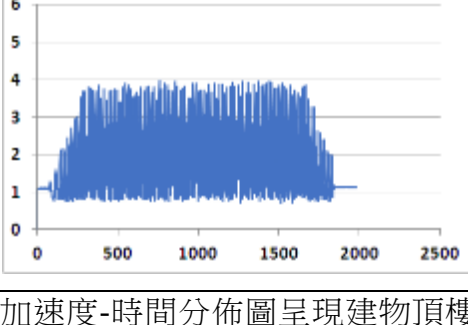
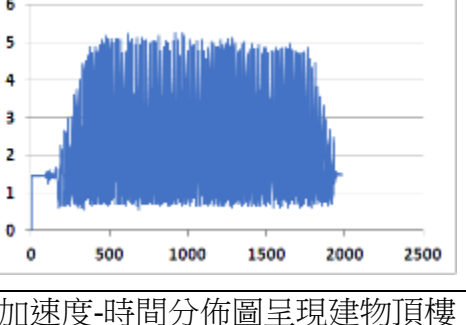
基礎種類	樁基礎	筏式基礎
基礎模型		

圖十二：樁基礎與筏式基礎模型

(三)實驗步驟與結果：

1. 實測樁基礎模型、筏式基礎模型的抗震能力。
2. 透過先前的實驗(表三)我們得知可以將砂土箱底部加入 800mL 水，再鋪上砂質土壤，模擬高度液化潛勢區，以進行抗震比較實驗。
3. 首先將基礎模型置入砂土箱內，再把 QCN 感測器用魔鬼氈黏在基礎平台上，最後將砂土箱放置在地震模擬平台上。
4. 啟動地震模擬平台，搖動 30 秒達 5 級地震，搖測三次取得建築物頂樓加速度值，計算求出 X、Y 水平合加速度，加速度值越小代表越抗震。
5. 結果如表五之加速度-時間分佈圖所示。

表五：不同基礎於土壤液化區之抗震比較

	樁基礎模型	筏式基礎模型
第一次		
第二次		
第三次		
說明	加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 4.0 m/sec^2	加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 5.0 m/sec^2
抗震效果	優	

(四)實驗二結果分析：

1. 根據搖測實驗結果顯示樁基礎的抗震力優於筏式基礎(表五)。
2. 樁基礎是將基礎樁打入地底或岩盤，我們的模擬過程是將基礎樁打入砂土箱最底部(圖十三)，因此能穩固基礎，耐震性較高。
3. 筏式基礎則是把地基像是木筏一樣包覆在地底下，就像是船在水面下，我們的模擬過程是將筏式地基嵌入砂土箱，位於高地下水位之上(圖十四)，地震搖晃時即使周遭是土壤液化區，筏式基礎也能平穩地跟著搖晃，具有分散震度的能力。



圖十三：模擬樁基礎打入地底或岩盤

圖十四：模擬筏式基礎嵌入地下層區

六、比較不同結構及基礎之建築物在土壤液化區的抗震效果

實驗三：樁基礎搭配單斜撐建築物與阻尼球建築物在土壤液化區之抗震效果比較

(一)實驗裝置：

單斜撐建築物黏合樁基礎模型、阻尼球建築物黏合樁基礎模型插入高土壤液化區砂土箱(圖十五)。

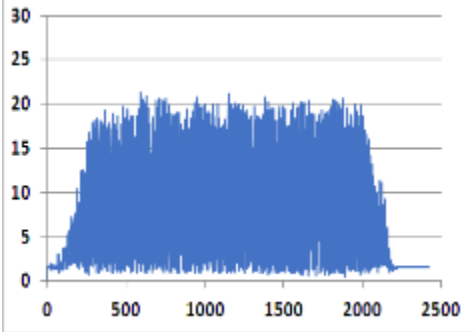
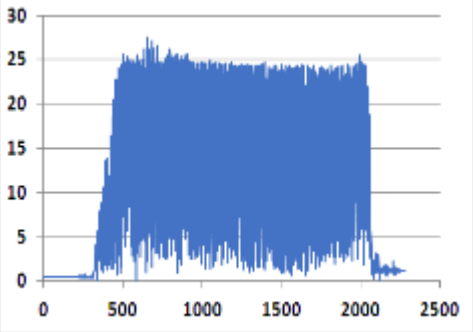
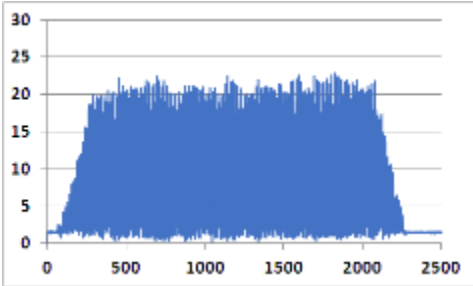
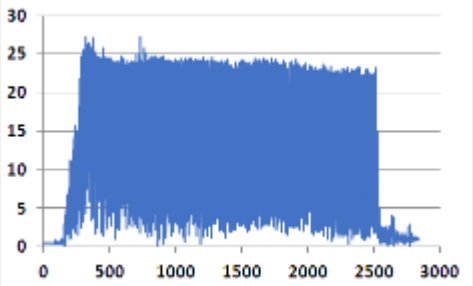
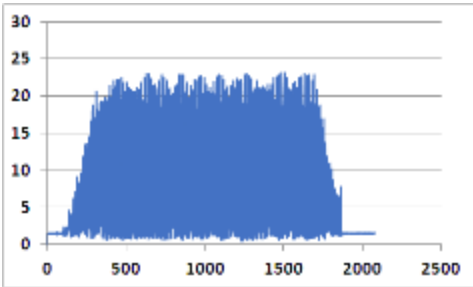
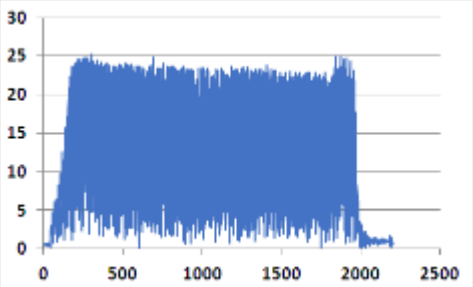


圖十五：單斜撐、阻尼球建築物黏合樁基礎模型

(二)實驗步驟與結果：

1. 首先將建物+基礎模型置入高度液化潛勢區砂土箱內，再把 QCN 感測器用魔鬼氈黏在建築物頂樓、基礎平台，最後將砂土箱放置在地震模擬平台上。
2. 啟動地震模擬平台，搖動 30 秒達 5 級地震，搖測三次取得建築物頂樓加速度，計算求出 X、Y 水平合加速度，加速度值越小代表越抗震。
3. 實驗結果如表六之加速度-時間分佈圖所示。

表六：樁基礎結合不同建築物結構之抗震比較

	單斜撐建物結合樁基礎模型	阻尼球建物結合樁基礎模型
第一次		
第二次		
第三次		
說明	<p>加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 20.0 m/sec²</p> <p>分佈圖呈現穩定，每秒起始加速度值也是平穩狀態，證明單斜撐建物結合樁基礎模型在土壤液化區的穩固能力</p>	<p>加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 25.0 m/sec²</p> <p>分佈圖呈現相對不穩定，每秒起始加速度值不穩定狀態可以證明阻尼球建物結合樁基礎模型，在土壤液化區穩固能力比單斜撐弱</p>
抗震效果	優	

(三)實驗三結果分析：

- 1.單斜撐建築物結合樁基礎的抗震力優於阻尼球建築物結合樁基礎。
- 2.砂質土壤產生土壤液化，造成較多水分浮到土壤的上面，從加速度-時間分佈圖呈現波形平穩，我們發現兩組樁基礎建築物都沒有發生房屋傾斜及地層下陷的情況。
- 3.顯示樁基礎為「深基礎」能夠穩固地基、耐震性較高。

實驗四：筏式基礎搭配單斜撐建築物與阻尼球建築物在土壤液化區之抗震效果比較

(一)實驗裝置：

模擬單斜撐、阻尼球建築物黏合筏式基礎插入高土壤液化區砂土箱(圖十六)。

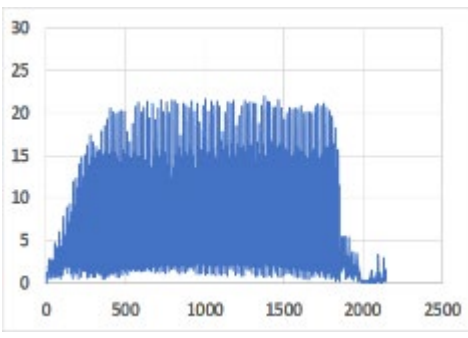
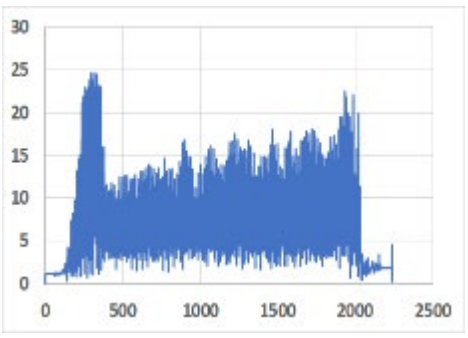
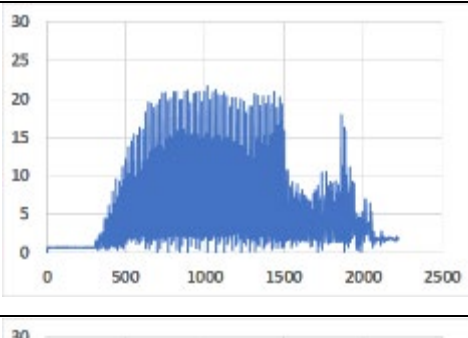
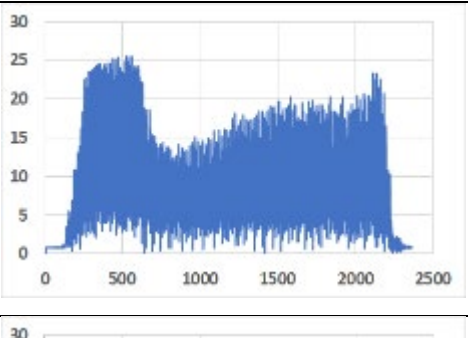
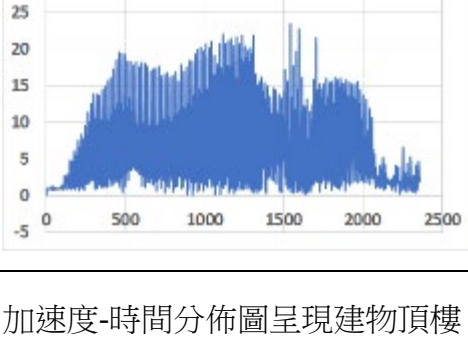
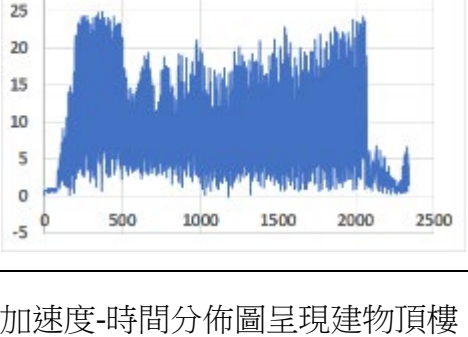


圖十六：單斜撐(左)、阻尼球(右)建築物黏合筏式基礎

(二)實驗步驟與結果：

1. 首先將建物加上基礎模型置入高度液化潛勢區砂土箱內，再把 QCN 感測器用魔鬼氈黏在建築物頂樓、基礎平台，最後將砂土箱放置在地震模擬平台上。
2. 啟動地震模擬平台，搖動 30 秒達 5 級地震，搖測三次得出建築物頂樓加速度，計算求出 X、Y 水平合加速度，加速度值越小代表越抗震。
3. 實驗結果如表七之加速度-時間分佈圖所示。

表七：筏式基礎結合不同建築物結構之抗震比較

	單斜撐建物結合筏式基礎模型	阻尼球建物結合筏式基礎模型
第一次		
第二次		
第三次		
說明	加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 20.0 m/sec ²	加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 25.0 m/sec ²
抗震效果	優	

(三)實驗四結果分析：

1. 單斜撐建築物加上筏式基礎的抗震力優於阻尼球建築物加上筏式基礎。
2. 砂質土壤產生土壤液化，造成較多水分浮到土壤的上面，加速度-時間分佈圖顯示波型不穩定，我們發現兩組筏式基礎建築物已搖晃浮起，發生房屋傾斜及地層下陷的情況。
3. 筏式基礎為「淺基礎」，如果加上建築物模型的重量，施加在土壤的力量將會越大，因此可能要擴大基礎面積，才能增加建築物的抗震能力。

實驗五：單斜撐建築物搭配樁基礎與筏式基礎在土壤液化區之抗震效果比較

綜合實驗三與實驗四顯示：單斜撐結構設計的建築物在樁基礎及筏式基礎的地基都是具有高抗震力(表八)。因此接著深入探究單斜撐結構設計的建築物在土壤液化區採用什麼基礎會最具高抗震力。

表八：不同建築物結構於不同基礎之抗震效果比較

建物結構 建物地基	單斜撐建築物	阻尼球建築物
樁基礎	高抗震	次抗震
筏式基礎	高抗震	次抗震
抗震效果	優	

(一) 實驗裝置：

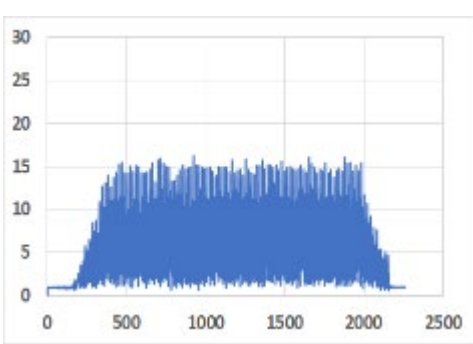
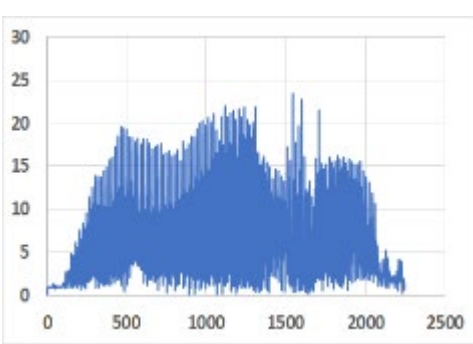
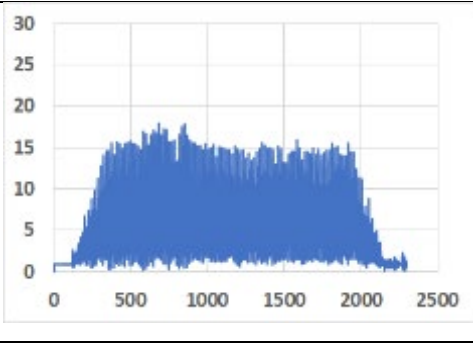
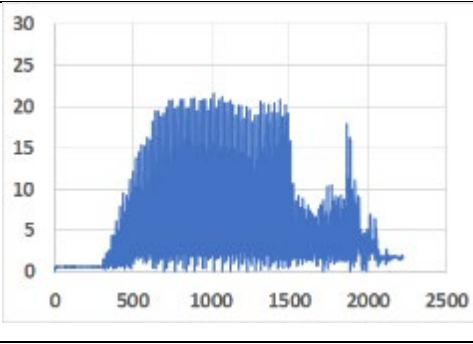
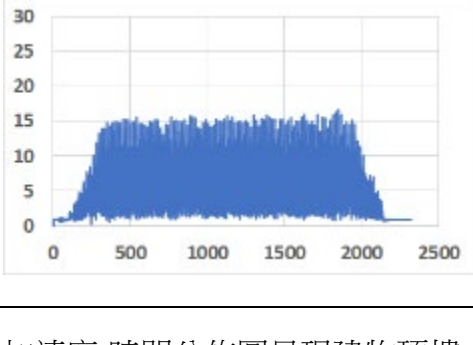
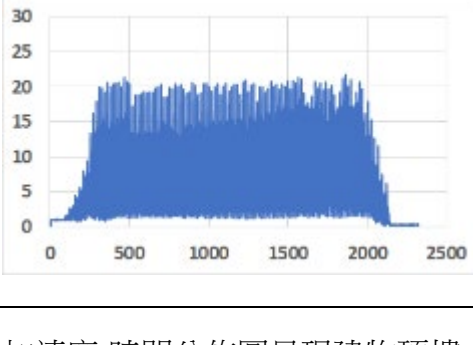
將單斜撐建築物黏合樁基礎模型、單斜撐建築物黏合筏式基礎模型(圖十五)。



(二) 實驗步驟與結果：

1. 首先將建物加上基礎模型置入高度液化潛勢區砂土箱內，再把 QCN 感測器用魔鬼氈黏在建築物頂樓、基礎平台，最後將砂土箱放置在地震模擬平台上。
2. 啟動地震模擬平台，搖動 30 秒達 5 級地震，搖測三次取得建築物頂樓加速度，計算求出 X、Y 水平合加速度，加速度值越小代表越抗震。
3. 實驗結果如表九之加速度-時間分佈圖所示。

表九：單斜撐建築物於不同基礎之抗震比較

	單斜撐建物結合樁基礎模型	單斜撐建物結合筏式基礎模型
第一次		
第二次		
第三次		
說明	加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 15.0 m/sec ²	加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 20.0 m/sec ²
抗震效果	優	

(三) 實驗五結果分析：

1. 單斜撐結構設計結合樁基礎地基是最能夠抗震及抗土壤液化的建築物型式。
2. 單斜撐結合筏式基礎建物模型的加速度-時間分佈圖呈現水平加速度的波形不穩定，且觀察到建築物已搖晃浮起、房屋傾斜，地層也有下陷的情況。
3. 單斜撐結合樁基礎建物模型的加速度-時間分佈圖呈現水平加速度的波形穩定，顯示建築物仍然穩固，具有高抗震力。

七、使用砂石改良土壤，研究筏式基礎建築物的抗震效果

實驗六：筏式基礎搭配單斜撐建物與阻尼球建物在砂石土壤之抗震效果

實驗三至五顯示樁基礎具有高抗震力，不需要進行土壤改良，因此選擇筏式基礎結合單斜撐及阻尼球建物模型進行實驗。

(一) 實驗裝置：

對比 800mL 砂土組需要有更高液化的實驗條件，我們將整理箱底部加入 1600mL 水，再鋪上加入大量砂石的土壤(圖十八)。



(二) 實驗步驟與結果：

1. 首先將建物加上基礎模型置入高度液化砂石土箱內，再把 QCN 感測器用魔鬼氈黏在建築物頂樓、基礎平台上，最後將砂石土箱放置在地震模擬平台上。
2. 啟動地震模擬平台，搖動 30 秒達 5 級地震，搖測三次取得建築物頂樓加速度，計算求出 X、Y 水平合加速度，加速度值越小代表越抗震。

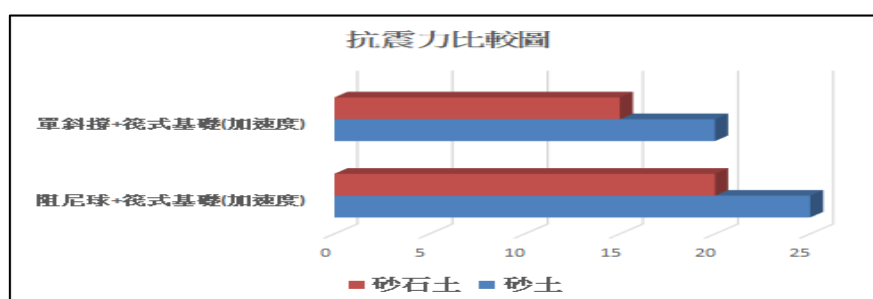
3. 實驗結果如表十之加速度-時間分佈圖所示。

表十：單斜撐與阻尼球建物結合筏式基礎在砂石土壤之抗震比較

	單斜撐建物結合筏式基礎模型	阻尼球建物結合筏式基礎模型
第一次		
第二次		
第三次		
說明	<p>加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 15.0 m/sec^2</p> <p>分佈圖不再呈現波型不穩定，證明在砂石土壤之下，單斜撐建物結合筏式基礎模型在土壤液化區的抗震力增加</p>	<p>加速度-時間分佈圖呈現建物頂樓水平合加速度值之峰值趨勢接近於 20.0 m/sec^2</p> <p>分佈圖不再呈現波型不穩定，證明在砂石土壤之下，阻尼球建物結合筏式基礎模型在土壤液化區的抗震力增加</p>
抗震效果	優	

(三) 實驗六結果分析：

1. 加速度-時間分佈圖呈現穩定波形，顯示加入大量砂石的土壤的確能增加建築物基礎的抗震力，能有效預防土壤液化的產生。
2. 比較實驗四砂土(表七)與實驗六砂石土(表十)結合筏式基礎搭配斜撐、阻尼器之抗震能力(圖十九)，顯示無論是單斜撐建物或是阻尼球建物搭配筏式基礎在砂石土壤中均有較佳的抗震力，因此用砂石改善土壤能提升筏式基礎在高度土壤液化區建築物的抗震能力。



圖十九：不同結構建物結合筏式基礎在不同土壤之抗震比較

伍、討論

一、比較不同結構建築物在減少搖晃上之抗震效果

根據實驗一，我們發現建築物加裝單斜撐之結構補強的抗震能力比加裝阻尼器好。分析實驗結果可能的原因是：

- (一) 斜撐補強能增加建築物所有樓層的側向力，使建築物的最大基底剪力提高，增加耐震能力。
- (二) 加裝阻尼球作用為阻尼球隨著建築物的晃動而產生相對移動，一來一往的晃動抵銷，可以讓建築物的振動週期減緩，減少建築物晃動的幅度。
- (三) 加裝斜撐的模型比模擬阻尼球的房屋晃動量還小，主要是因為我們在每個樓層都加上斜撐，所以有斜撐的房屋側向力強度增加，使模型更能夠抵抗地震的力量。

二、分析不同基礎建築物在土壤液化區之抗震效果

根據實驗二~五，我們發現樁基礎的抗土壤液化能力比筏式基礎好、單斜撐加上樁基礎的建築物抗震及抗土壤液化效果較佳。發生土壤液化時，筏式基礎建築物比樁基礎建築物容易傾斜。探討可能的原因是：

- (一) 樁基礎與土壤間具有摩擦力，樁頭也有承載力，只要基樁數量、尺寸與長度足夠，就可以承擔並傳遞房屋重量。樁基礎在土壤中的深度比較深，已超過液化層，

所以不易因土壤液化造成建築物破壞。

(二) 筏式基礎的深度比較淺，若基礎深度還處在液化層，強震來時，還是有可能會導致基礎產生沉陷、房屋傾斜。

三、使用砂石改良土壤，能使筏式基礎建築物提升抗震效果

根據實驗六，我們發現砂質土壤在混合大量砂石後，在強震下不易有土壤液化的現象。探討砂石土不容易發生液化的原因是：

(一) 因為石頭有固定的體積，當強震來臨時，土壤中因為夾雜大量的石頭，石頭間會有孔隙，所以不易造成孔隙中的水過度擠壓而水壓升高。

(二) 石頭本身可以承受的剪應力強度比較大，因此夾雜大量石頭的土層強度更強，可以承受的壓力相對來說也會更大。

四、本實驗原先是以容器盛裝 100mL 色素水置於建物頂樓，經手動模擬 7 級以上地震搖測，取得剩餘的水量，表示其抗震程度。因手動模擬地震和水量數據誤差大，經指導老師修正後以減肥搖擺機取代手動模擬地震、QCN 感測器取代測水量，QCN 感測器的上限約為 5 級地震，因此將初期實驗數據附錄於後作為更大地震值之參考，惟採 QCN 感測器的實驗結果與初期實驗採測水量之實驗結果一致(詳見附錄)。

陸、結論

這次的研究讓我們了解到當地震來臨時，建築物斜支撐補強與加裝阻尼器補強的抗震效果、土壤液化的原理以及樁基礎與筏式基礎的抗震作用，獲得結論如下：

一、建築物使用斜支撐補強加上樁基礎，對整體的抗震與抗土壤液化是較佳的選擇。

二、遇到軟弱的地質，儘量採用深基礎，例如：樁基礎，以避免建築物傾倒損壞。

三、建築物若坐落在高度土壤液化的潛勢區，打地基的同時，以砂石改良土壤，將使建物更有效對抗土壤液化以防震。

四、建築物在規劃時可根據土質軟硬不同與是否接近斷層帶，採用不同的結構與基礎形式，配合適當的土壤改良，將可達到較佳的耐震效果。

柒、參考文獻資料

交通部中央氣象局地震震度分級表。

<https://www.cwb.gov.tw/Data/service/Newsbb/CH/1081218earthquakepress.pdf>

阻尼器。取自維基百科。

<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E9%98%BB%E5%B0%BC%E5%99%A8>

土壤液化。取自中央地質調查所土壤液化潛勢查詢系統。

<https://www.liquid.net.tw/cgs/public/QA01.html>

土壤液化潛勢查詢系統。取自中央地質調查所。取自 <https://www.liquid.net.tw/cgs/public/>

什麼是土壤液化？如果真的住在潛勢區該怎麼辦？PanSci 泛科學。取自

<https://youtu.be/UjV3-oRs8GA>

萬吉建設(2020年7月10日)。細心在你看不到的地方用心__筏式基礎。取自

<https://www.youtube.com/watch?v=v6iKreu-wM0>

【科學不一樣】「共振效應」破壞力加倍(2015年4月27日)。TVBSNEWS。取自

https://www.youtube.com/watch?v=jFSX-5bUghY&ab_channel=TVBSNEWS

蕭永群(2016)。如何防震、隔震、減震？一次搞懂建築「抗震」原理。The News Lens 關鍵評論。取自 <https://www.thenewslens.com/article/37584>

【十點不一樣】強震恐引發土壤液化臺北「這些地方」變高潛勢區(2020年11月2日)。

TVBSNEWS。取自

https://www.youtube.com/watch?v=nU42KLsXLq4&ab_channel=TVBSNEWS

游在行、陳妍臻、李珈羽、陳亮羽(2019)。Hold 得住嗎？～不同耐震補強方式對改善建築物穩固性的成效探討。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會。取自

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-080509.pdf>

劉昆忻、黃聖閔、楊凱鈞(2018)。制震阻尼系統在縮尺建物消能運用之初步評估探討。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。取自

<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race1/58/pdf/NPHSF2018-052401.pdf>

王紫楹、鄭芷庭、張芷軒、劉志煦、王識傑(2015)。震不震「阻」了就知道—從阻尼器看地震對鋼骨大樓的影響。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。取自

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/55/pdf/080510.pdf>

許官平、謝亞璇、洪峻巖(2012)。探討常見建物斜撐形式之最佳化抗震效應。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會。取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/pdf/040501.pdf>

捌、附錄

探討不同結構建築物的抗震與抗土壤液化之效果 (初期實驗)

一、實驗裝置:

(一) 地震模擬平台(圖一)



圖一：地震模擬平台

(二) 建築物模型與頂樓色素水測震裝置(圖二)



圖二：建物裝置

(三) 測震 App

手機下載 App(圖三)，App 測震圖顯示 MAX>4 為 7 級劇震(圖四)，我們這次實驗主要是搖測左右水平搖晃的 7 級劇震，如 App 測震圖上的黃色 Y 軸波形。



圖三：App 名稱



圖四：測震圖

二、實驗結果

實驗一：建築物無單斜撐、加單斜撐、加阻尼球之減少搖晃的抗震效果

(一) 我們將三組建築物模型固定在地震模擬平台上，來回搖動 30 秒達 7 級地震(圖五)，搖測三次得出剩餘水位數據如表一、圖六。

(二) 研究發現：

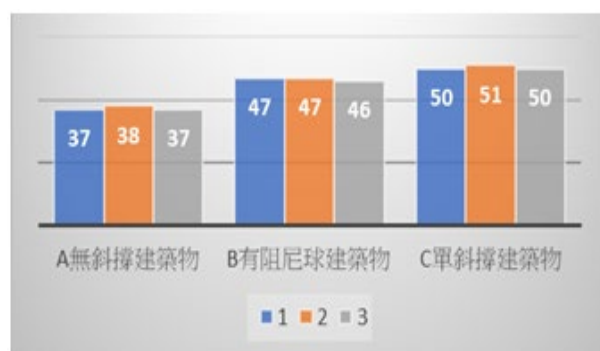
1. 加裝阻尼器的確增加建築物的抗震力。
2. 斜支撐對於建築物的耐震性是相對加分的，在地震頻繁的區域，斜撐是不可或缺的一個部分。我們發現高樓層建築為了鞏固建築物，大多數都有設計斜撐在建築物上。

表一：不同結構建物之抗震比較

建築物結構	A 無斜撐建築物	B 阻尼球建築物	C 單斜撐建築物
第一次*容器水位	37 mL	47 mL	50 mL
第二次*容器水位	38 mL	47 mL	51 mL
第三次*容器水位	37 mL	46 mL	50 mL
抗震效果	弱	中	強



圖五：實驗一測震圖



圖六：不同建物抗震比較圖

實驗二：樁基礎與筏式基礎地基在土壤液化區之抗震效

(一) 首先我們將樁基礎與筏式基礎模型，兩種地基同時黏合單斜撐建築物，接著將兩組模型插入土壤液化砂土箱內，來回搖動 30 秒達 7 級地震(圖七)，搖測三次得出剩餘水位數據如下表二、圖八。

(二) 研究發現：

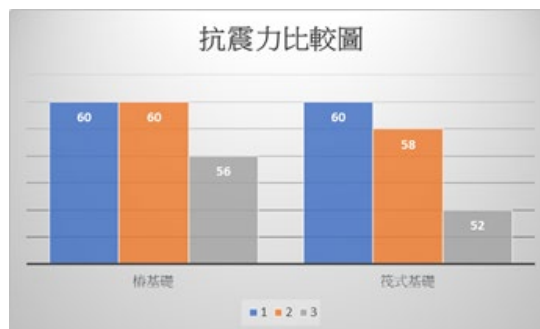
1. 樁基礎的抗震力優於筏式基礎。
2. 樁基礎會將基礎樁打入地底或岩盤，才能穩固基礎，並且讓基礎上方建築物的重量傳遞到比較深的地底層，耐震性比較高。
3. 筏式基礎則是把房子的地基像是木筏一樣包覆在地底下，就像是船在水面下，所以即使是土壤液化區，房子也能很穩固的對抗地震的搖晃，建築物越重，施加在土壤的力量會越大，所以要擴大基礎面積，建築物才會穩固。

表二：單斜撐於不同基礎之抗震比較

建築物結構+地基	單斜撐結合樁基礎	單斜撐結合筏式基礎
第一次*容器水位	60 mL	60 mL
第二次*容器水位	60 mL	58 mL
第三次*容器水位	56 mL	52 mL
抗震效果	高抗震	次抗震



圖七：實驗二測震圖



圖八：單斜撐結合不同基礎之抗震比較

實驗三：樁基礎搭配單斜撐建築物與阻尼球建築物在土壤液化區之抗震效果

(一) 首先我們將樁基礎模型黏合單斜撐建築物、將樁基礎模型黏合加裝阻尼球建築物，接著將兩組模型插入高度土壤液化砂土箱內，來回搖動 30 秒達 7 級劇震(圖九)，搖測三次得出剩餘水位數據如下表三、圖十。

(二) 研究發現：

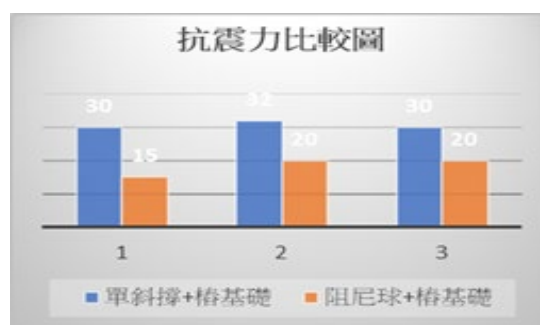
1. 單斜撐建築物+樁基礎的抗震力優於加裝阻尼球建築物+樁基礎。
2. 劇震已讓砂質土壤產生土壤液化，造成較多水分浮到土壤的上面，我們發現兩組樁基礎建築物都沒有發生房屋傾斜、地層下陷的情況。

表三：不同結構建物於樁基礎之抗震比較

建築物結構+地基	單斜撐結合樁基礎	阻尼球結合樁基礎
第一次*容器水位	30 mL	15 mL
第二次*容器水位	32 mL	20 mL
第三次*容器水位	30 mL	20 mL
抗震效果	高抗震	次抗震



圖九：實驗三測震圖



圖十：不同結構建物結合樁基礎之抗震比較

實驗四：筏式基礎搭配單斜撐建築物與阻尼球建築物在土壤液化區之抗震效果

(一) 首先我們將筏式基礎模型黏合單斜撐建築物、將筏式基礎模型黏合加裝阻尼球建築物，接著將兩組模型插入高度土壤液化砂土箱內，來回搖動 30 秒達 7 級劇震 (圖十一)，搖測三次得出剩餘水位數據如下表四、圖十二。

(二) 研究發現：

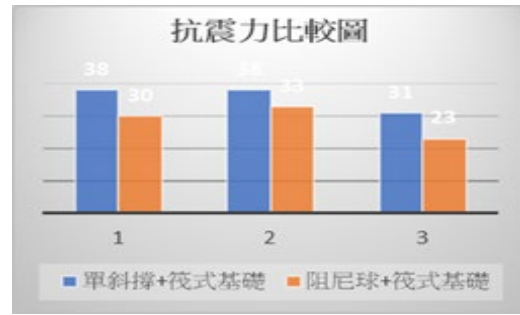
1. 單斜撐建築物+筏式基礎的抗震力優於加裝阻尼球建築物+筏式基礎。
2. 劇震已讓砂質土壤產生土壤液化，造成較多水分浮到土壤的上面，我們發現兩組筏式基礎建築物已搖晃浮起，發生房屋傾斜、地層下陷的情況。

表四：不同結構建物於筏式基礎之抗震比較

建築物結構+地基	單斜撐結合筏式基礎	阻尼球結合筏式基礎
第一次*容器水位	38 mL	30 mL
第二次*容器水位	38 mL	33 mL
第三次*容器水位	31 mL	23 mL
抗震效果	高抗震	次抗震



圖十一：實驗四測震圖



圖十二：不同結構建物結合筏基礎之抗震比較

實驗五：單斜撐建築物搭配樁基礎與筏式基礎在土壤液化區之抗震效果

綜合前兩次的實驗結果得出結論：單斜撐結構設計的建築物在樁基礎及筏式基礎的地基都是具有高抗震力。於是我們深入探究單斜撐結構設計的建築物在土壤液化區採用什麼基礎會最具高抗震力？

(一) 首先我們將單斜撐建築物黏合樁基礎模型、將單斜撐建築物黏合筏式基礎模型，接著將兩組模型插入高度土壤液化砂土箱內，來回搖動 30 秒達 7 級劇震(圖十三)，搖測三次得出剩餘水位數據如下表五、圖十四。

(二) 研究發現：

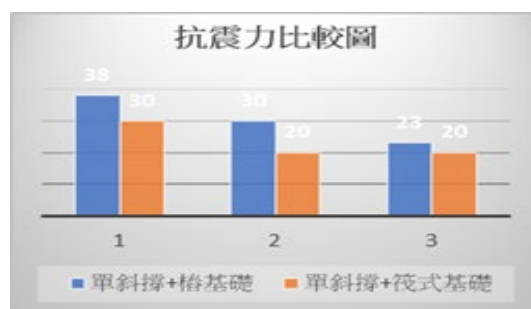
1. 單斜撐結構結合樁基礎地基是最具抗震力的設計，能有效預防土壤液化的發生。
2. 劇震已讓砂質土壤產生土壤液化，造成較多水分浮到土壤的上面，我們發現單斜撐+樁基礎建築物仍然穩固，但是單斜撐+筏式基礎建築物已搖晃浮起，發生房屋傾斜、地層下陷的情況。

表五：單斜撐於不同基礎抗震比較

建築物結構+地基	單斜撐結合樁基礎	單斜撐結合筏式基礎
第一次*容器水位	38 mL	30 mL
第二次*容器水位	30 mL	20 mL
第三次*容器水位	23 mL	20 mL
抗震效果	優	



圖十三：實驗五測震圖



圖十四：單斜撐結合不同基礎抗震比較

實驗六：筏式基礎搭配單斜撐建物與阻尼球建物在砂石土壤區之抗震效果

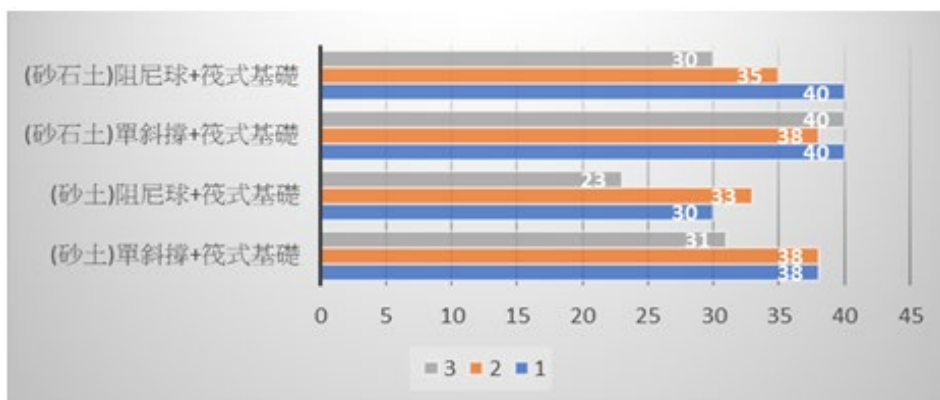
- (一) 我們將筏式基礎模型黏合單斜撐建築物、將筏式基礎模型黏合加裝阻尼球建築物，兩組模型插入高度土壤液化砂石土壤箱內，來回搖動 30 秒達 7 級劇震(圖十五)，搖測三次得出剩餘水位數據(表六)，並與前面搖測砂土的相同建築物模型得出剩餘水位數據相比較，將兩者剩餘水位數據以抗震力比較圖做分析(圖十六)。
- (二) 研究發現：加入大量砂石的土壤的確能增加建築物基礎的抗震力，能有效預防土壤液化的產生。

表六：不同結構建物結合筏基礎在砂石土之抗震比較

砂石土		
建築物+地基	單斜撐結合筏式基礎	阻尼球結合筏式基礎
第一次*容器水位	40 mL	40 mL
第二次*容器水位	38 mL	35 mL
第三次*容器水位	40 mL	30 mL



圖十五：實驗六測震圖



圖十六：不同結構建物結合筏基礎在不同土壤之抗震比較

【評語】 080508

【優點】

1. 研究主題與減災相關即與生活相關，具社會應用可能。
2. 研究作品與實驗過程完整，探討不同結構補強建築物的抗震能力與不同基礎建築物的抗土壤液化能力，實際製作不同形式結構物並討論結構物補強及、土壤改善之抗震效果。
3. 客觀推論實驗結果並量化資料。
4. 研究工作完整性高，日誌佳。

【建議】

1. 實驗本身做得很好，唯結論欠啟發或說明獨特性。
2. 歷屆科展皆有相關研究，可惜並未說明與之前研究之異同，無法分辨本實驗之貢獻。

作品簡報

探討建築物結構與地基 對抗震及抗土壤液化之效果



組別：國小組
科別：地球科學科

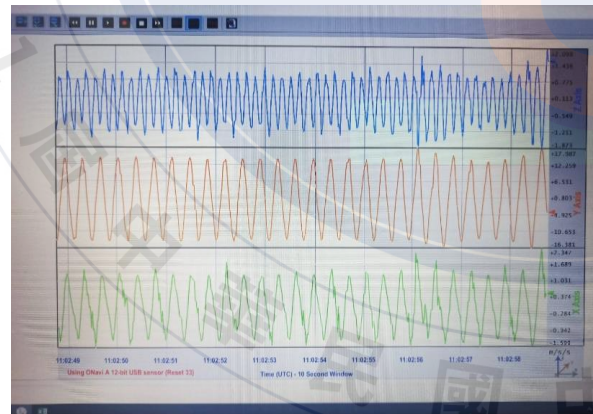
研究目的

- 一、比較不同結構建築物在減少搖晃上之抗震效果。
- 二、分析不同基礎建築物在土壤液化區之抗震效果。
- 三、探究不同結構結合不同基礎的建築物在土壤液化區之抗震效果。
- 四、找出改良土壤的添加物提升筏式基礎建築物之抗震效果。



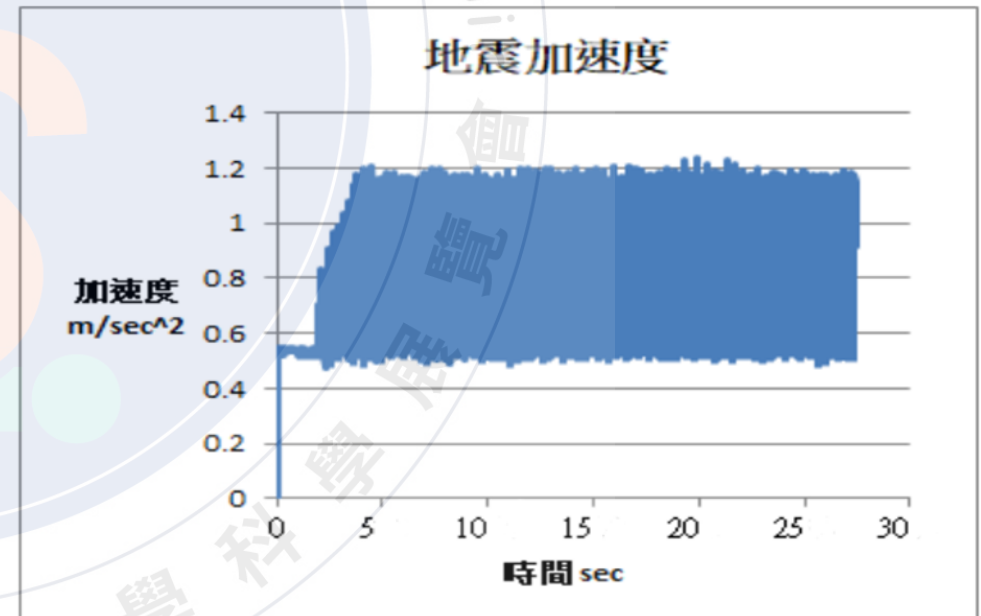
研究設備

1.地震模擬平台：



2. 臺灣捕震網QCN感測器：

QCN傳輸出excel量測數據表，套用公式繪製地震加速度圖，以判斷地震級數。



加速度-時間分佈圖

3. 建築物模型：

A 無斜撐建築物

B 無斜撐，加裝阻尼球建築物

C 單斜撐建築物



4. 模擬高度土壤液化：

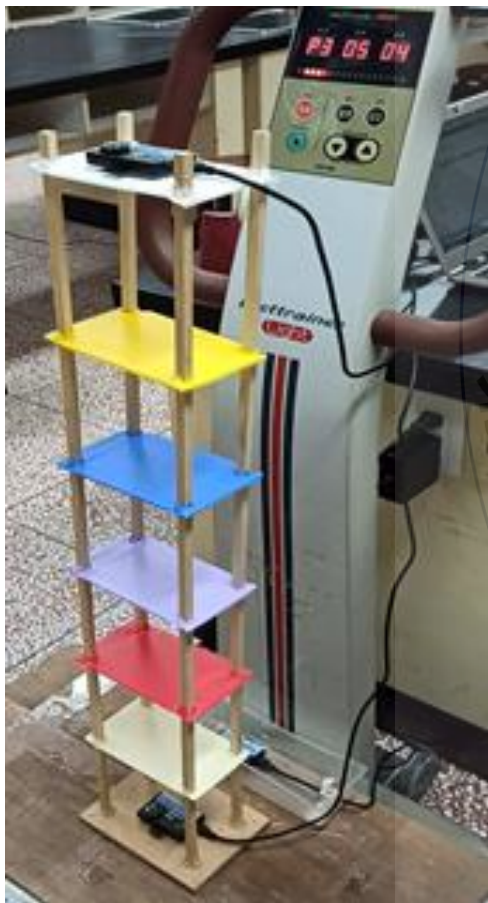
注入水量與土壤液化觀察資料

注入水的體積	肉眼觀察結果
100mL	未液化
500mL	輕微液化
800mL	高度液化

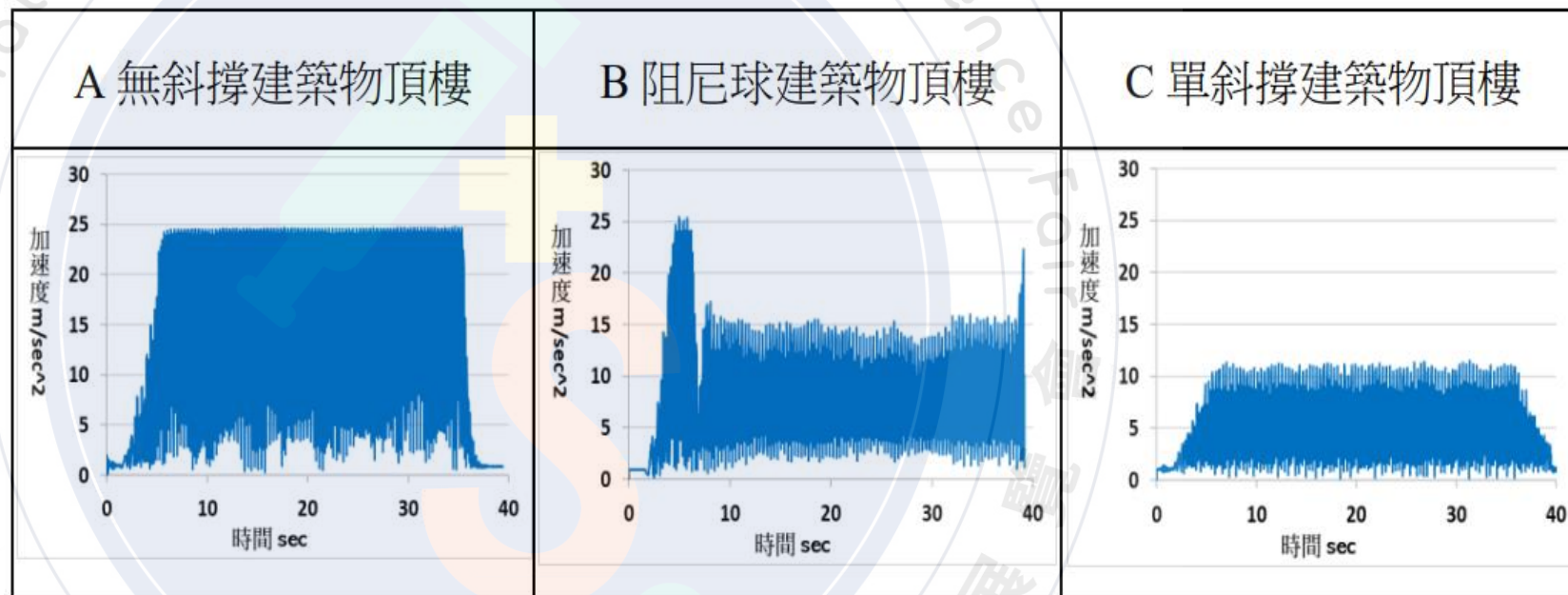


研究結果

實驗一：建築物無單斜撐、加單斜撐、加裝阻尼球之抗震效果比較



無斜撐建物



結果分析：

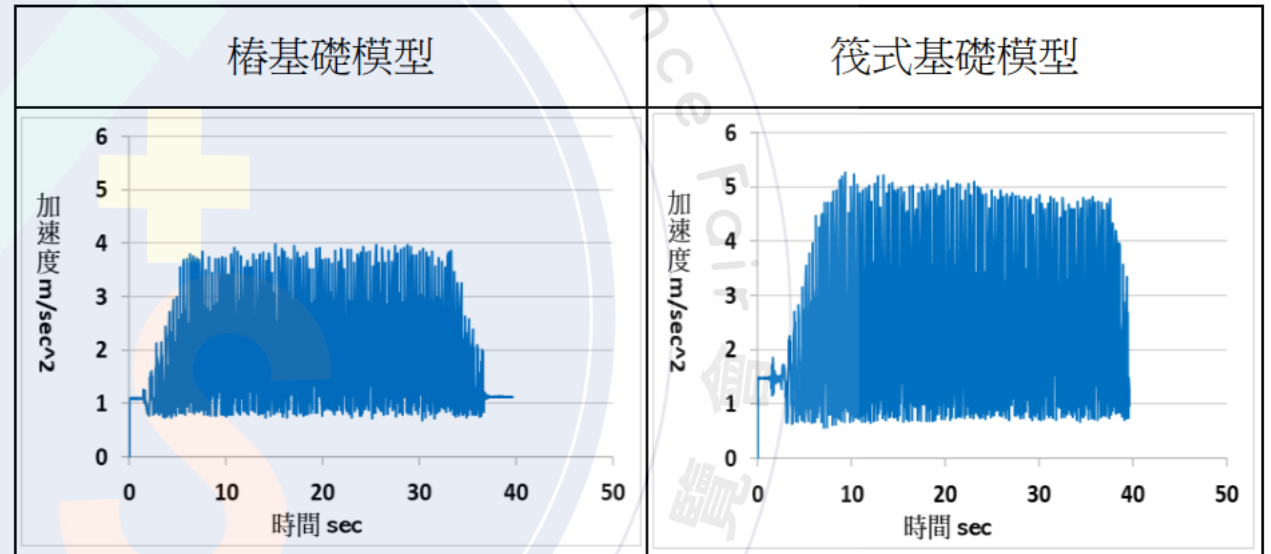
- 加裝阻尼球能增加建築物的抗震力
- 加裝斜支撐的抗震能力最佳

實驗二：樁基礎與筏式基礎地基在土壤液化區之抗震效果比較



樁基礎

筏式基礎



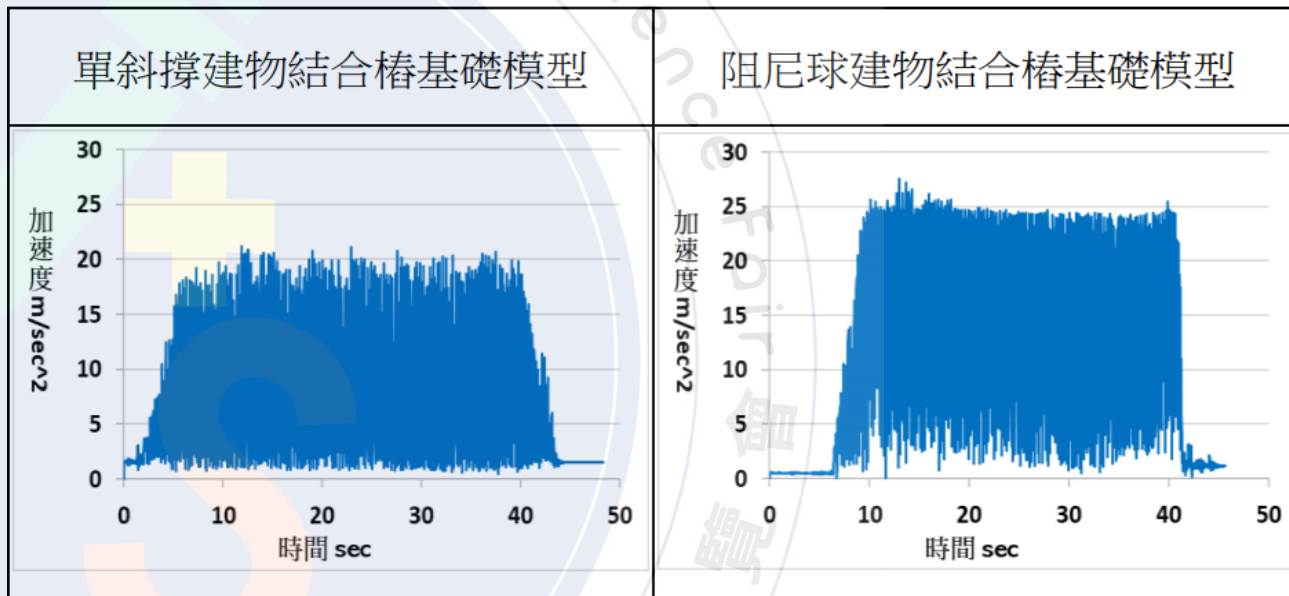
結果分析：

- 樁基礎的抗震力優於筏式基礎

實驗三：樁基礎搭配單斜撐或阻尼球建物在土壤液化區之抗震效果比較



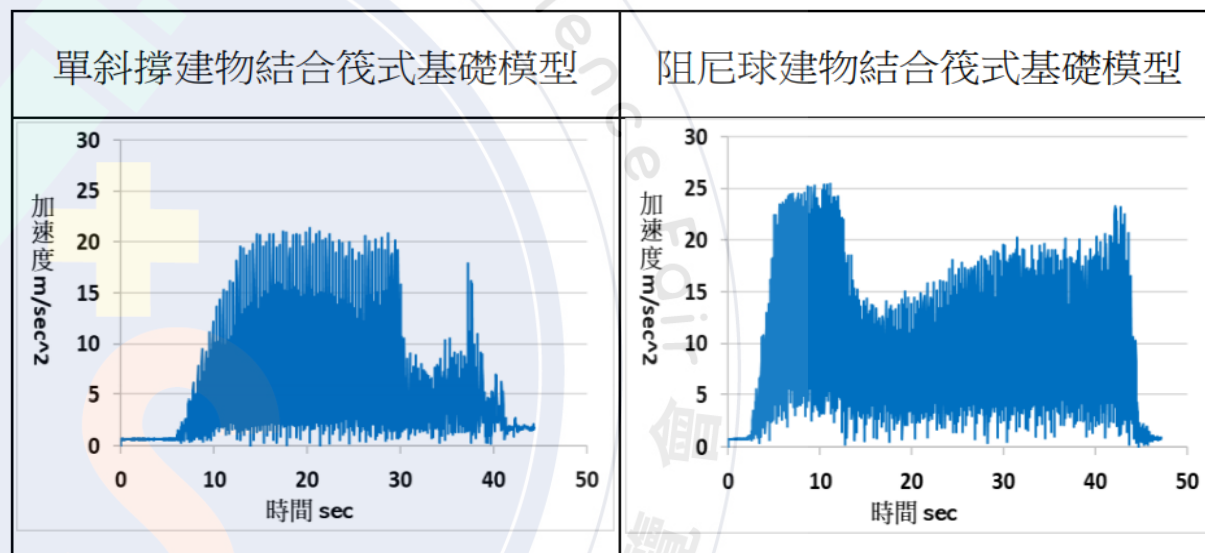
單斜撐、阻尼球建築物
黏合樁基礎模型



結果分析：

- 單斜撐建築物結合樁基礎抗震力優於
阻尼球建築物結合樁基礎

實驗四：筏式基礎搭配單斜撐或阻尼球建物在土壤液化區之抗震效果比較

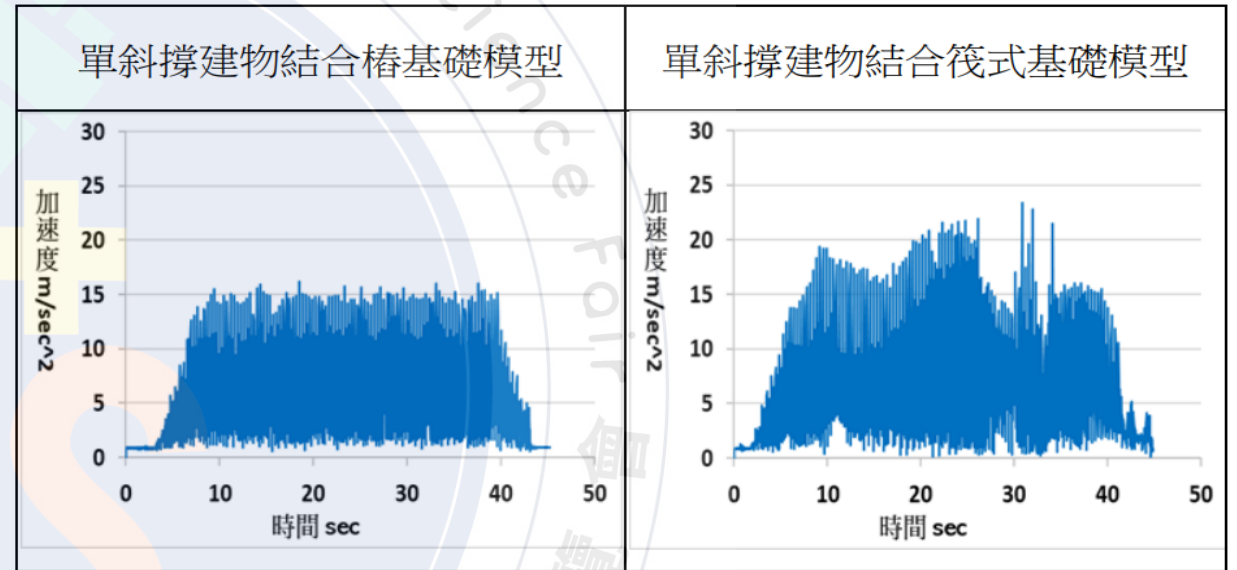


結果分析：

- 單斜撐建築物結合筏式基礎抗震力優於
阻尼球建築物結合筏式基礎

單斜撐(左)、阻尼球(右)建築物黏合筏式基礎

實驗五：單斜撐建物搭配樁基礎或筏式基礎在土壤液化區之抗震效果比較



結果分析：

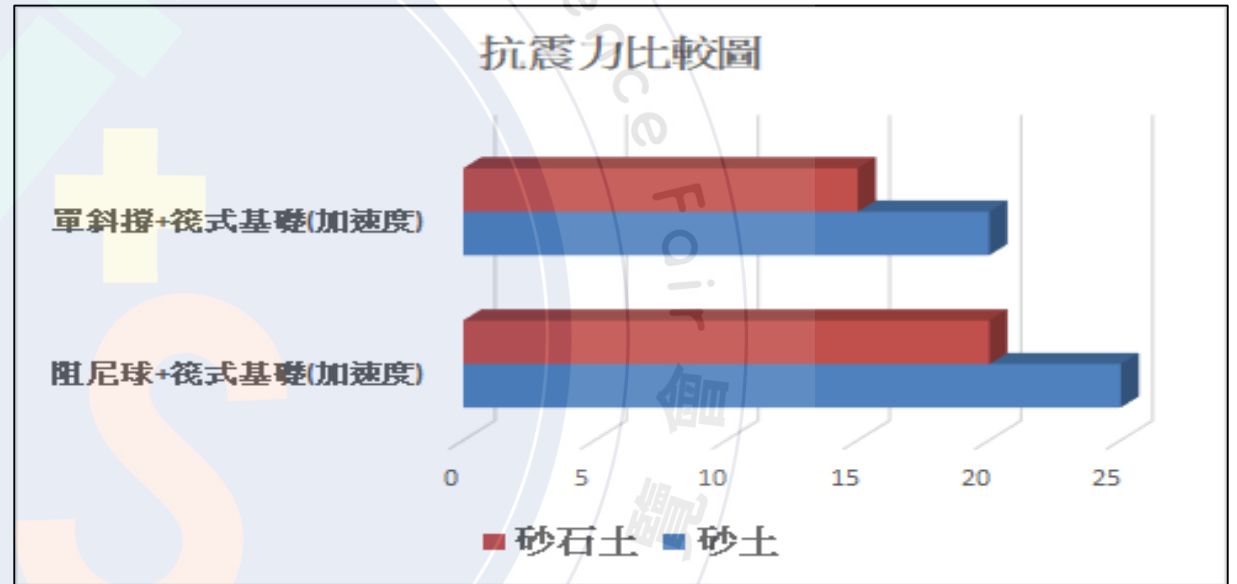
- 單斜撐結構設計結合樁基礎地基是最能夠抗震及抗土壤液化的建築物型式

單斜撐建築物黏合樁基礎(左)、筏式基礎(右)

實驗六：筏式基礎搭配單斜撐或阻尼球建物在砂石土壤之抗震效果比較



高土壤液化-砂石土壤

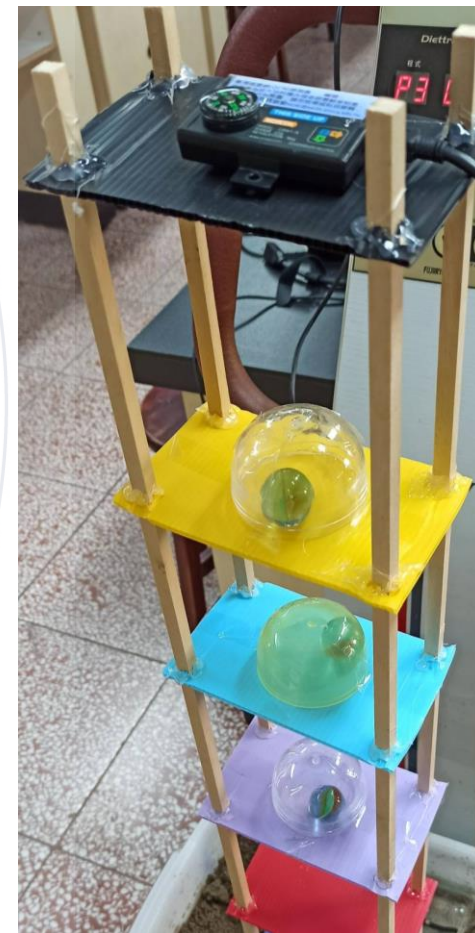


結果分析：

- 高土壤液化潛勢區加入大量砂石能增加筏式基礎建築物的抗震力

討論

- 一、斜撐、阻尼球之抗震原理
- 二、樁基礎、筏式基礎之抗土壤液化原理
- 三、土壤改良之抗震及抗土壤液化原理



結論

- 一、建築物使用斜支撐補強加上樁基礎，對整體抗震與抗土壤液化是較佳的選擇。
- 二、遇到軟弱的地質儘量採用深基礎，如樁基礎，以避免建築物傾倒損壞。
- 三、欲在高度土壤液化的潛勢區興建大樓，打地基的同時以砂石改良土壤，將使建築物更有效對抗土壤液化。

參考文獻

土壤液化。取自中央地質調查所土壤液化潛勢查詢系統。

<https://www.liquid.net.tw/cgs/public/QA01.html>

游在行、陳妍臻、李珈羽、陳亮羽(2019)。Hold得住嗎？不同耐震補強方式對改善建築物穩固性的成效探討。中華民國第59屆中小學科展覽會。取自

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-080509.pdf>