

# 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

080503

天搖地動～耐震屋研究

學校名稱：苗栗縣公館鄉公館國民小學

作者：	指導老師：
小六 朱竣暉	謝祥宏
小六 鄭毓涵	湯千慧
小六 陳宥任	
小四 楊鎧嶸	

關鍵詞：地震、減震器、水平垂直振動

## 摘要

台灣位於地震帶上，常常會有地震發生，我們自由創作、設計耐震的房子，然後進行一系列有關耐震屋的研究。結果發現：

- 一、**模型屋中樑柱結構**：樑柱分段的振動時間>不分段振動時間，房屋樑柱不分段較快停止振動。
- 二、**模型屋中振動時間長短**：模型屋Ⅱ>模型屋Ⅲ>模型屋Ⅳ。相同面積下，愈接近正方形的模型屋震動時間較長。
- 三、**模型屋在垂直振動下**：不管是幾層屋，樓層越高，振動時間越長。
- 四、**模型屋在水平振動下**：四層屋以上，樓層越高，振動時間越長；三層屋以下，樓層越高，振動時間越短。
- 五、**減震效果**：X 型減震器>滾珠型減震器>阻尼器型減震器。
- 六、**根據研究最佳耐震屋**：房屋樑柱不分段、X 型減震器、三層屋以下是頂樓；四層屋以上是一樓。

## 壹、研究動機

去年夏日樂學時，老師說台灣位於地震帶上，常常會有地震發生，而地震常常造成房屋損毀、人員傷亡。老師讓我們自由創作，設計耐震的房子。有的同學設計成金字塔型，有的設計成 101 大樓、…等。我們很好奇：怎樣的房子較耐震？怎樣的設計可以減震呢？不同樓層，地震時的搖晃有何不同？（思考如圖 1）。因此，在老師指導下，我們便開始進行一連串的實驗，希望能找出最佳耐震的房子。

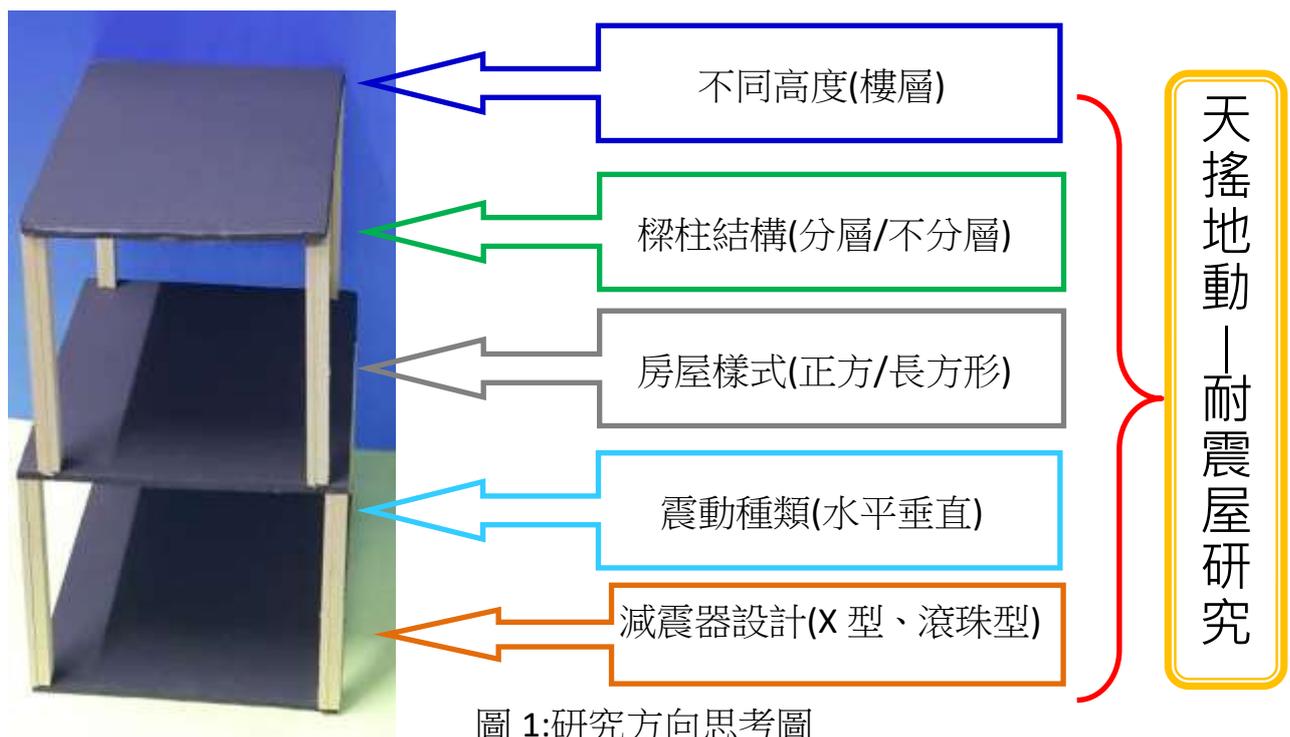


圖 1:研究方向思考圖

## 貳、研究目的及研究問題

我們針對影響房屋耐震的因素，進行一系列的研究，根據研究目的，提出以下研究問題：

### 目的一、樑柱分層與不分層，對房屋不同樓層振動時間長短的影響。

研究 1-1：樑柱分層與不分層，對房屋不同樓層振動時間長短的影響？

### 目的二、房屋樣式，對房屋振動時間長短的影響。

研究 2-1：房屋樣式，對房屋不同樓層振動時間長短的影響？

### 目的三、地震振動類型，對不同樣式房屋振動時間長短的影響。

研究 3-1：垂直振動類型地震，對不同樣式房屋振動時間長短的影響？

研究 3-2：水平振動類型地震，對不同樣式房屋振動時間長短的影響？

### 目的四、樓高與地震振動類型，對房屋振動時間長短的影響。

研究 4-1：不同樓高與水平振動類型地震，對房屋振動時間長短的影響？

研究 4-2：不同樓高與垂直振動類型地震，對房屋振動時間長短的影響？

### 目的五、不同減振器設計，對房屋振動減震影響。

研究 5-1：阻尼器型減震器，對房屋減震效果的影響？

研究 5-2：X 型減震器，對房屋減震效果的影響？

研究 5-3：滾珠型減震器，對房屋減震效果的影響？

●記得那一年夏日樂學我們創作的耐震屋~



●2020-21 年的耐震屋研究，由此展開.....

## 參、文獻探討

### 一、地震規模與級數

根據文獻（交通部中央氣象局地震震度分級），氣象局研訂新制地震震度分級，參考美、日相關作業與國內學者研究結果，以地動加速度與地動速度來區分，分為 0 級、1 級、2 級、3 級、4 級、5 弱、5 強、6 弱、6 強、7 級，共 10 個等級。在 2000 年 8 月之前的震度分級是沿用日本 1936 至 1948 年所使用的震度分級，將震度分成 0 級至 6 級，共 7 個等級，震度 6 級為地動加速度在 250gal 以上。1999 年 921 大地震時中央氣象局曾記錄到地動加速度超過 980gal 的資料，由於測得震度 6 級的地區廣闊，不利於受災情況之研判，中央氣象局在 2000 年 8 月公告增加一個震度分級，以地動加速度 400gal 作為震度 6 級的上限，400gal 以上定為震度 7 級。

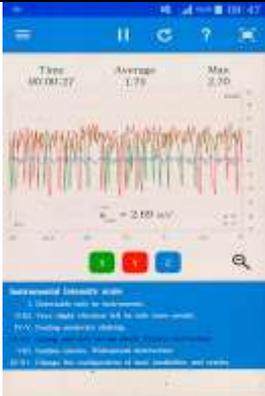
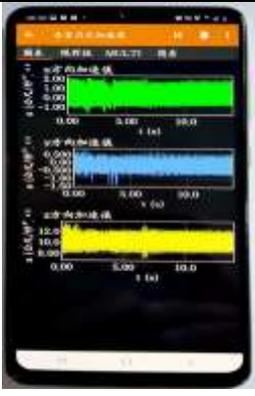
中央氣象局現行地震震度分級表										
震度	0級	1級	2級	3級	4級	5級	6級		7級	
加速度 cm/sec <sup>2</sup>	0.8	2.5	8.0	25	80	250		400		
	(只有震度 6 級與 7 級適用)									
中央氣象局新制地震震度分級表(109年1月1日起)										
震度	0級	1級	2級	3級	4級	5弱	5強	6弱	6強	7級
加速度 cm/sec <sup>2</sup>	0.8	2.5	8.0	25	80	30	50	80	140	
速度 cm/sec					15	30	50	80	140	
	(速度劃分，只考慮加地震度實際之影響)									

2020 年以前的震度是直接以地動加速度計算，2020 年起的震度計算是參考日本氣象廳、美國地質調查所的計算方法以及臺灣學者的相關研究，以下為最大地動加速度（PGA）及最大地動速度（PGV）範圍表。

震度階級	0 級	1 級	2 級	3 級	4 級	5 弱	5 強	6 弱	6 強	7 級
PGA (cm/sec <sup>2</sup> )	<0.8	0.8~2.5	2.5~8.0	8.0~25	25~80	80~140	140~250	250~440	440~800	>800
PGV (cm/sec)	<0.2	0.2~0.7	0.7~1.9	1.9~5.7	5.7~15	15~30	30~50	50~80	80~140	>140

## 二、地震模擬器地震震度測定

本研究以手機 app 程式 phyphox 及 Vibrometer 作為檢測地震模擬平台依據。以 5 強為設定震度範圍，加速度為 140~250 (cm/sec<sup>2</sup>)

項目/app	Vibrometer	phyphox
檢測地震模擬平台		
最大地動加速度 (PGA)	X、Y 加速度平均 175 (cm/sec <sup>2</sup> )	X、Y 加速度平均 200 (cm/sec <sup>2</sup> )
震度階級	5 強 (140~250)	5 強 (140~250)

## 三、與本研究相關之研究

在歷年有關耐震屋研究，在全國科展有：

科別	作品名稱	相關概念與研究發現
全國科展第 40 屆， 國小組地球科學科	不可思議的地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>●房子離震源愈遠，愈不容易倒塌。</li> <li>●長條一字形的房子最外側的房子易傾倒。</li> <li>●房屋的建築方向不同，產生破壞和傾倒的情況也可能不同。</li> <li>●建築形式則是以口字形建築物最好，盡量避免不規則形的凸出或是特殊的造型。</li> <li>●地基有吸收地震能量的東西，可以增加房屋的抗震強度。</li> </ul>
全國科展第 44 屆， 國小組地球科學科	921 地震，房子倒不倒有關係	<ul style="list-style-type: none"> <li>●建築物加上輔助支撐，可以大幅度改善建築物的耐震性。</li> <li>●以 X 形輔助支撐，在大地震來臨時，最能改善建築物本身的耐震性。</li> </ul>
全國科展第 44 屆， 國中組物理科	抗震大作戰—建築結構耐震研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>●牆面挖空、頂樓加蓋、樓層挑高，建築物會在該處產生弱點。</li> <li>●不對稱建築物遇震時會不自然扭轉且易倒。</li> <li>●隔震素材~滑軌、彈珠減震最好。</li> </ul>
全國科展第 47 屆， 國中組生物及地球科學科	十震九穩—建築物抗震之研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>●等底面積、同重量的建築物中，以底面內角有銳角者(例如三角形)之耐震程度較佳。</li> <li>●鋼骨構造的建築物以大 X 型的斜桿拉張作用，最能分擔樑柱所承受的撞擊力，故抗震能力最好。</li> </ul>
全國科展第 54 屆， 國中組地球科學科	纜纜升起 震震有辭~地震與纜車的邂逅	<ul style="list-style-type: none"> <li>●探討纜車在地震時的晃動情形，並嘗試設計抗震裝置。</li> <li>●地震模擬器的設計與製作。</li> <li>●設計球型阻尼器、吸震彈簧。</li> </ul>
全國科展第 55 屆， 國小組地球科學科	震不震「阻」了就知道—從阻尼器看地震對鋼骨	<ul style="list-style-type: none"> <li>●什麼方式 可以使建築物較穩固不容易倒塌</li> <li>●研製了彈簧、槓桿及磁力的阻尼器。</li> <li>●彈簧阻尼器 X 軸的避震效果較好；槓桿阻尼器在</li> </ul>

	大樓的影響	X 軸及 Z 軸的避震效果較好；磁力阻尼器則是在 X 軸東西向、Y 軸南北向及 Z 軸垂直上下都有不錯的效果。
全國科展第 60 屆，高中組地球與行星科學科	水塔與水撲滿—雙液體阻尼器之防震研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>●自製固定水撲滿設備以及不同形式網狀隔間液體阻尼零件。</li> <li>●水波擾動震盪越明顯阻尼效果越佳。</li> <li>●容器內水位量設定六分滿以上並加裝平行器壁網狀隔間阻尼效果較佳。</li> </ul>

以上這些研究，提供了地震模擬平台的製作可利用馬達、熱熔膠條及彈簧製作，並利用手機 app 測試其加速度。其次，在減震的方式上，利用阻尼器、X 形輔助支撐、彈簧、槓桿及磁力的阻尼器、水撲滿等，均可作為減震參考方法。

### 肆、研究架構

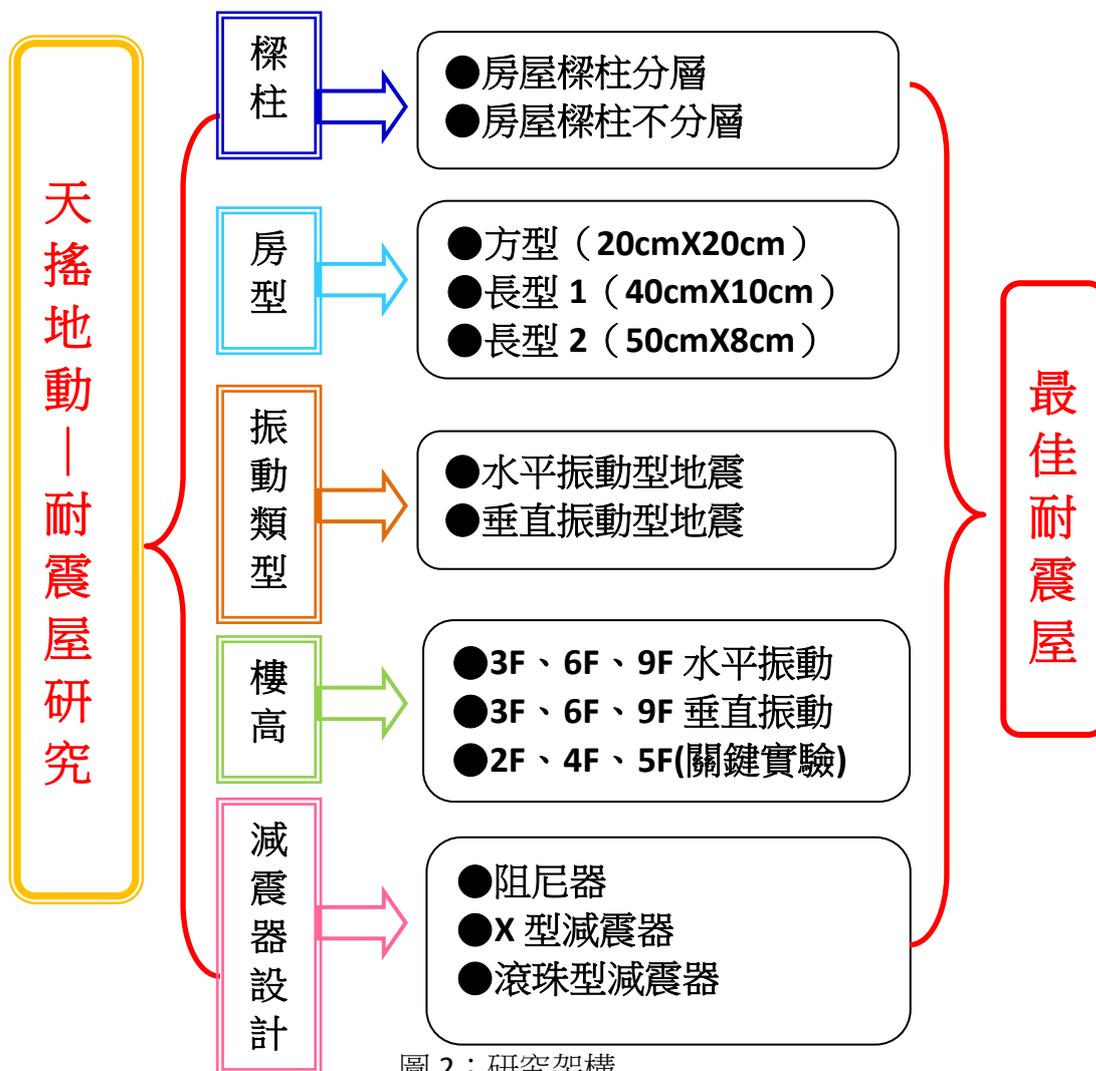


圖 2：研究架構

## 伍、研究設備及器材

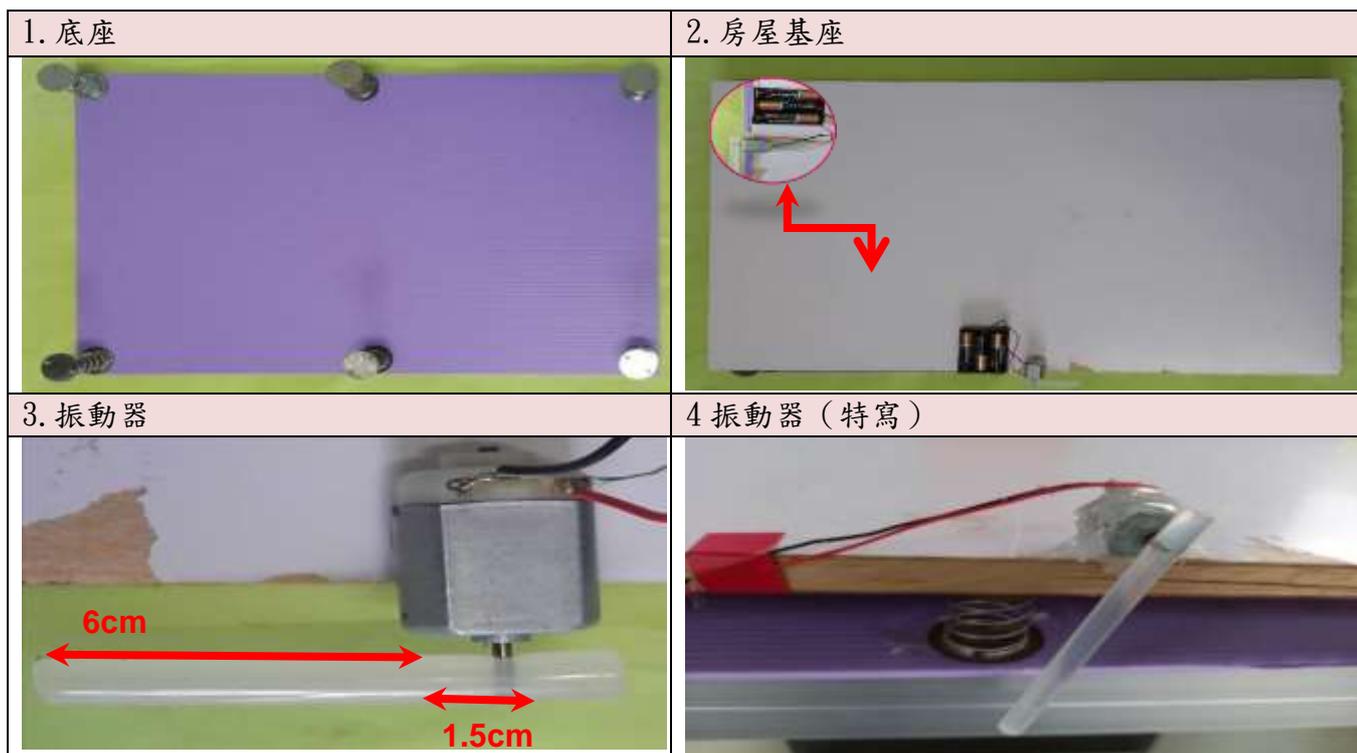
### 一、實驗器材：

(一) 材料：電池(3 號)、電池盒(3 顆 3 號)、熱熔膠條、小馬達(強力)。

(二) 工具：熱熔膠槍、電子秤、碼錶。

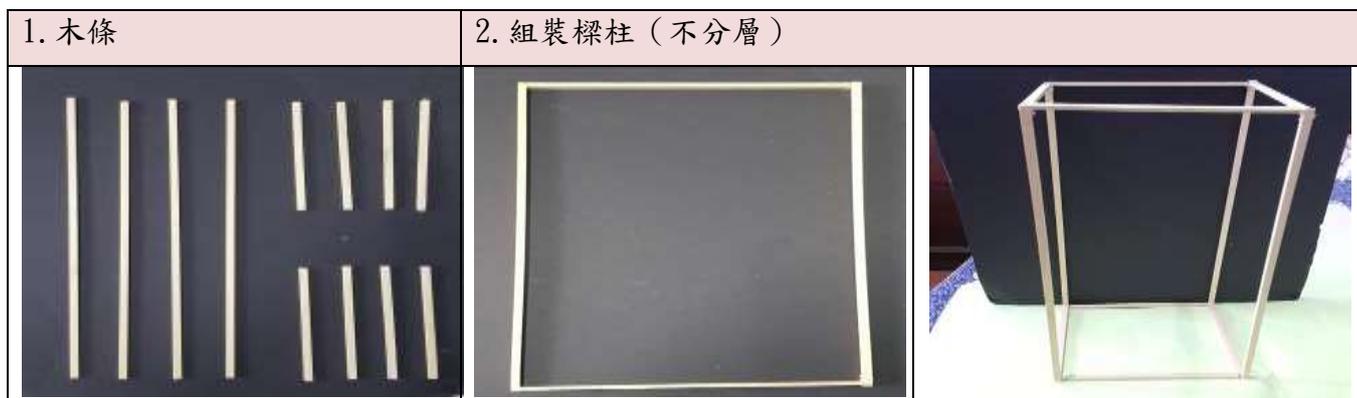
### 二、自製實驗裝置

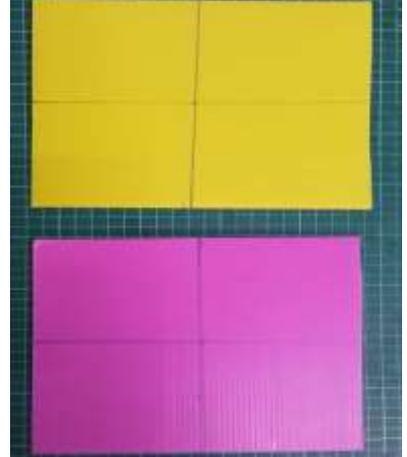
#### (一) 自製地震模擬器



#### (二) 模擬地震屋製作

##### ■ 樑柱結構製作 (不分層)



3. 完成骨架	4. 組裝屋子	
		

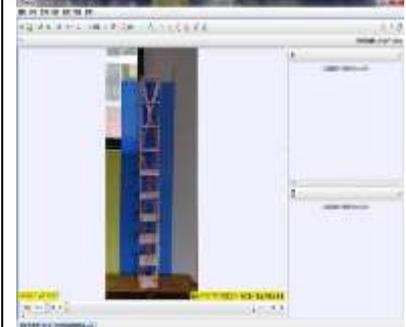
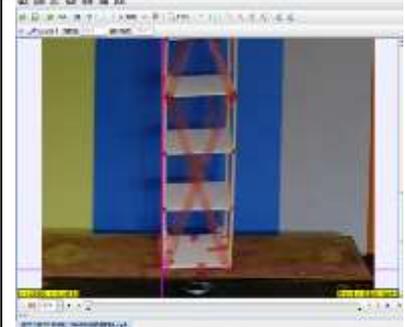
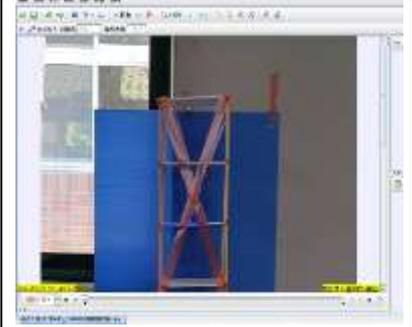
(二) 模型屋：(底面積相同)

		
地震屋模型 I (樑柱分段) (20cmX20cm)	地震屋模型 II (樑柱不分段) (20cmX20cm)	地震屋模型 III (40cmX10cm)
		
地震屋模型 IV (50cmX8cm)	二層屋模型 VIII (20cmX20cm)	三層模型屋 V (20cmX20cm)
		
四層屋模型 IX (20cmX20cm)	五層屋模型 X (20cmX20cm)	六層模型屋 VI (20cmX20cm)

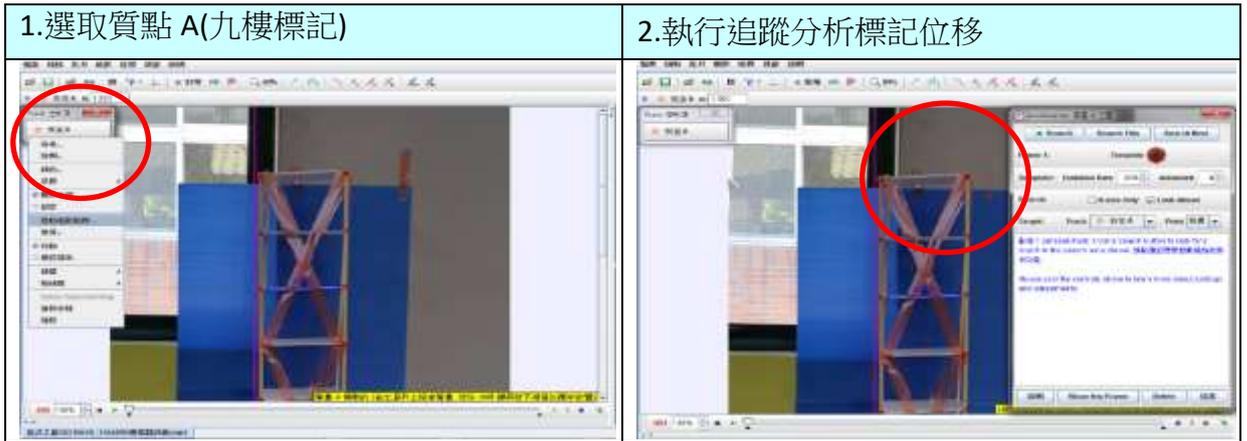
		
九層模型屋VII(20cmX20cm)	對照組(九層模型屋VII)	對照組(九層模型屋VII)(測試新平台)
		
大 X 型減震器	小 X 型減震器	滑動滾珠減震器

### 三、以 Tracker 分析模型位移量

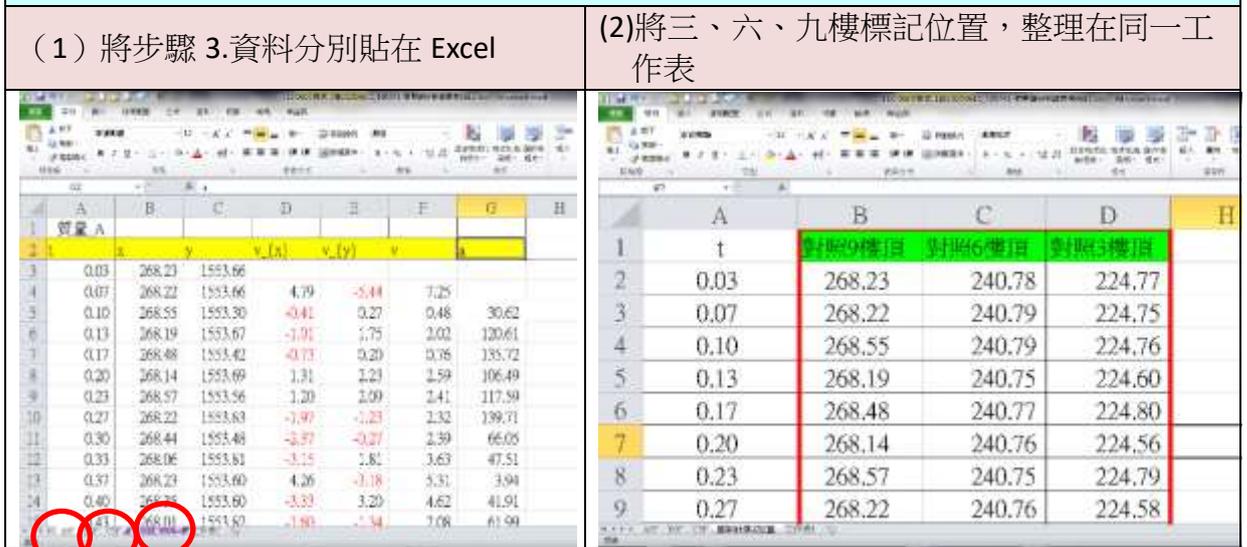
(一) 讀取影像檔、設置座標軸及校正桿

讀取影像檔	設置座標軸	設置校正桿
		

(二) 分析三、六、九樓基準點振幅及位移量



4. 取出三、六、九樓基準點的位置 (X)、速度 (Vx)、速度 (Vy)、加速度(a)資料，利用 Excel 進行位移量的變化統計分析。



### (3) 計算基準點位置變化 (振幅)

- 以第一個時間點為位置基準。
- 位置變化計算(振幅)：(黃色欄)  
位移量 = 所有時間位置 - 第一個時間位置

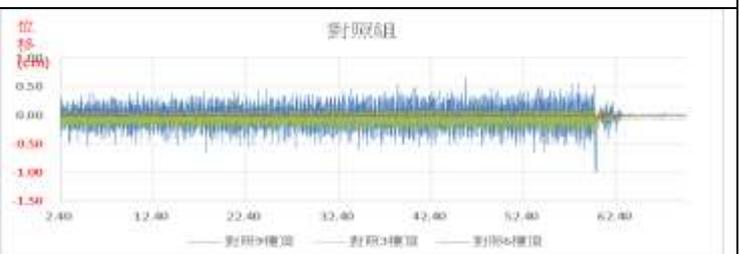
●舉例：

0.07 秒位移量

- 對照 9 樓位移量  
 $268.22 - 168.23 = -0.01$
- 對照 6 樓位移量  
 $240.79 - 240.78 = 0.01$
- 對照 3 樓位移量  
 $224.75 - 224.77 = -0.02$

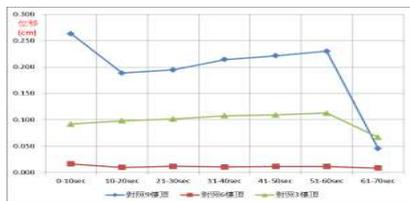
t	對照9樓頂	對照6樓頂	對照3樓頂	對照9樓頂	對照6樓頂	對照3樓頂
0.03	268.23	240.78	224.77	0.00	0.00	0.00
0.07	268.22	240.79	224.75	-0.01	0.01	-0.02
0.10	268.55	240.79	224.76	0.32	0.01	-0.01
0.13	268.19	240.75	224.60	-0.04	-0.03	-0.17
0.17	268.48	240.77	224.80	0.25	-0.00	0.03
0.20	268.14	240.76	224.56	-0.09	-0.02	-0.21
0.23	268.57	240.75	224.79	0.34	-0.02	0.03
0.27	268.22	240.76	224.58	-0.01	-0.02	-0.18
0.30	268.44	240.77	224.76	0.21	-0.01	-0.00
0.33	268.06	240.74	224.51	-0.17	-0.04	-0.26

- 將每秒不同位置變化，畫成每秒振幅變化。



### (4) 計算基準點位移量

- 將黃色欄轉換成位移量(正值)
- 利用 ABS 運算將所有資料轉成正數
- 計算每隔 10 秒位移平均
- 畫成統計圖



t	對照9樓頂	對照6樓頂	對照3樓頂	對照9樓頂	對照6樓頂	對照3樓頂	
0.03	0.00	0.00	0.00	0.10sec	0.263	0.016	0.092
0.07	0.01	0.01	0.02	10-20sec	0.189	0.010	0.098
0.10	0.32	0.01	0.01	21-30sec	0.194	0.012	0.101
0.13	0.04	0.03	0.17	31-40sec	0.214	0.010	0.108
0.17	0.25	0.00	0.03	41-50sec	0.221	0.011	0.109
0.20	0.09	0.02	0.21	51-60sec	0.230	0.011	0.113
0.23	0.34	0.02	0.03	61-70sec	0.045	0.008	0.067
0.27	0.01	0.02	0.18				
0.30	0.21	0.01	0.00				
0.33	0.17	0.04	0.26				
0.37	0.00	0.04	0.02				

## 陸、研究過程與結果

### 目的一、樑柱分層與不分層，對房屋不同樓層振動時間長短的影響

#### 研究 1-1：樑柱分層與不分層，對房屋不同樓層振動時間長短的影響？

##### 【研究構想】：

我們想了解樑柱分層與不分層，對房屋振動的影響，所以我們進行以下實驗。

##### 【實驗步驟】：

- 1.將模型屋 I（樑柱分段,20cmX20cm）、II（樑柱不分段,20cmX20cm）分別放到地震模型平台。
- 2.將振動器打開，振動一分鐘後，碼錶記錄一、二、三樓振動停止時間。
- 3.將結果記錄表格，畫成統計圖。



照片 1：樑柱分段 I 照片 2：樑柱不分段 II

##### 【研究發現】：

- 1.樑柱分段的模型屋 I，振動時間長短為 1 樓<2 樓<3 樓。
- 2.樑柱不分段的模型屋 II，振動時間長短為 1 樓<2 樓<3 樓。
- 3.樑柱分段的振動時間>樑柱不分段振動時間，表示房屋樑柱不分段較快停止振動。
- 4.不同樓層振動時間長短：不管樑柱是否分段，振動時間長短，都是由一樓到三樓振動時間漸漸增加。

表 1：房屋樑柱不分段振動時間比較

次別/樓層振動時間(秒)	1 樓	2 樓	3 樓
第 1 次	5.94	9.96	17.56
第 2 次	4.78	9.81	15.43
第 3 次	4.94	11.91	17.70
第 4 次	9.84	12.44	16.93
第 5 次	6.43	11.53	14.91
平均	<b>6.39</b>	<b>11.13</b>	<b>16.51</b>

表 2：房屋樑柱分段振動時間比較

次別/樓層振動時間(秒)	1 樓	2 樓	3 樓
第 1 次	23.31	28.15	57.47
第 2 次	15.63	28.90	33.65
第 3 次	20.62	44.97	72.53
第 4 次	20.29	32.72	55.80
第 5 次	23.37	61.00	66.47
平均	<b>20.64</b>	<b>39.15</b>	<b>57.18</b>

##### 【研究與討論】

在研究 1-1 房屋樑柱不分段結構，就像是生活中鋼骨結構所蓋的房子；而樑柱分段的房子，就好比是房蓋完一層，隔幾年後再蓋一層，樑柱用銜接方式連接。實驗結果發現樑柱不分段結構的房子，振動時間比樑柱分段的房子短，有較佳的減振效果（圖 1）。實驗結果與目前建築工程，高樓層房以鋼骨結構設計，已達到較佳減振效果。本研究後續實驗，將以樑柱不分段結構進行

實驗。

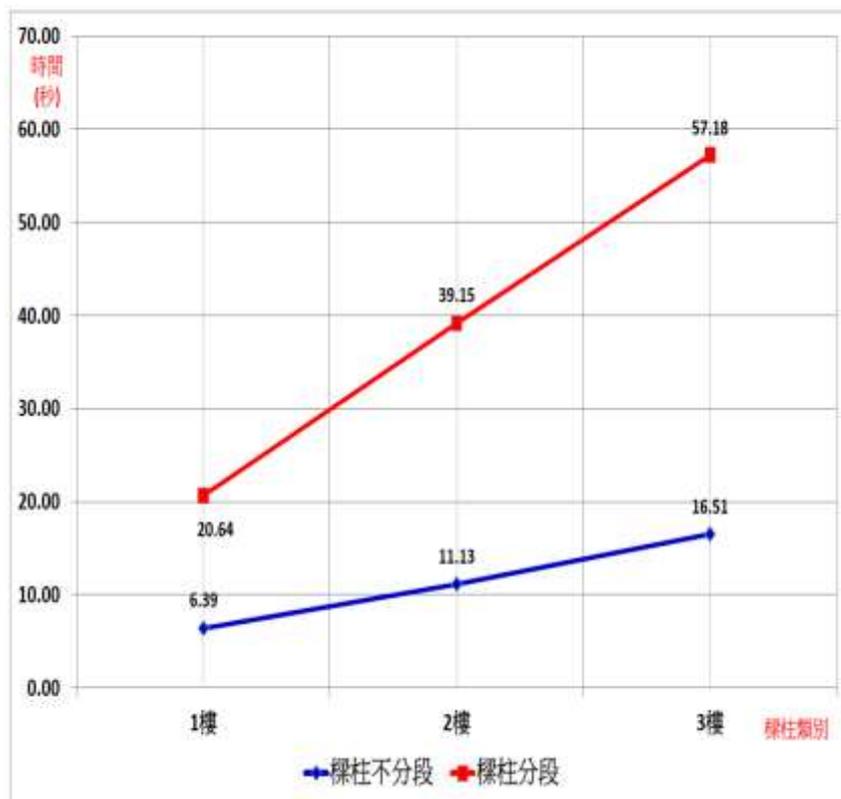


圖 1：房屋樑柱分段與不分段振動時間比較



照片 3：模型屋 II



照片 4：模型屋 III



照片 5：模型屋 IV

## 目的二、房屋樣式，對房屋振動時間長短的影響。

### 研究 2-1：房屋樣式，對房屋不同樓層振動時間長短的影響？

#### 【研究構想】：

我們住的房子，有些形狀是較接近正方形，而有些是較接近長方形。我們想知道，不同形狀房子在地震來時，振動時間長短是否不同？所以我們進行以下實驗。

#### 【實驗步驟】：

- 1.製作不同樣式模型屋：以模型屋 II 面積為 20cmX20cm 為基準，製作面積同為 400 平方公分，長寬不同的模型屋 III(40cmX10cm)、IV(50cmX8cm)【如照片 3、4、5】。
- 2.測試模型屋震動時間長短：將模型屋 II、III、IV 分別放到地震模型平台。
- 3.將振動器打開，振動一分鐘後，碼錶記錄一、二、三樓振動停止時間。
- 4.將結果記錄表格，畫成統計圖。

#### 【研究發現】：

- 1.振動時間長短：模型屋 II > III > IV，模型屋 II (20cmX20cm) 振動時間較長，模型屋 IV (50cmX8cm) 較短。
- 2.模型屋 II、III、IV 不同樓層的振動時間長短，都是從一樓到三樓振動時間逐漸增加。

#### 【研究與討論】：

從實驗發現(表3、圖2)，房屋較方正(20cmX20cm)，振動時間較長；而較狹長的房子(50cmX8cm)，振動時間較短。

表3：房屋樣式，對房屋振動時間長短的影響

房型/次別/樓層/ 振動時間(秒)	次別/樓層振 動時間(秒)	1樓	2樓	3樓
模型屋Ⅱ 20x20	第1次	17.15	26.47	30.45
	第2次	16.28	25.44	31.96
	第3次	19.36	27.68	32.54
	第4次	16.33	25.48	31.62
	第5次	17.41	28.74	33.00
	平均	<b>17.31</b>	<b>26.76</b>	<b>31.91</b>
模型屋Ⅲ 40X10	第1次	12.50	19.75	25.94
	第2次	10.63	17.51	26.85
	第3次	13.25	21.17	26.97
	第4次	12.44	15.00	18.36
	第5次	10.77	16.56	27.68
	平均	<b>11.92</b>	<b>18.00</b>	<b>25.16</b>
模型屋Ⅳ 50X8	第1次	10.18	15.16	20.62
	第2次	9.68	14.96	21.00
	第3次	12.49	13.68	22.17
	第4次	15.74	17.22	21.19
	第5次	13.96	14.88	23.47
	平均	<b>12.41</b>	<b>15.18</b>	<b>21.69</b>

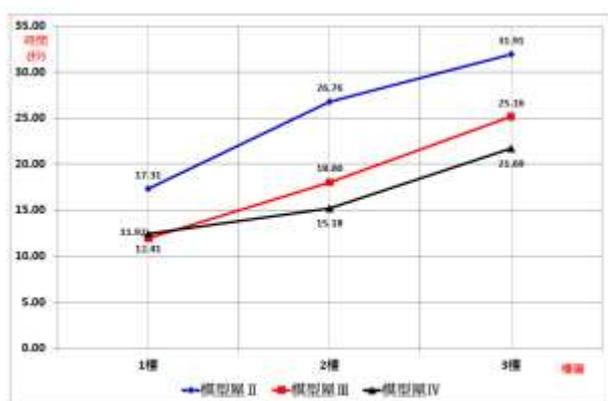


圖 2：房屋樣式，對房屋振動時間長短的影響



照片 6：製作模型屋Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

### 目的三、地震振動類型，對不同樣式房屋振動時間長短的影響。

#### 研究 3-1：垂直振動類型地震，對不同樣式房屋振動時間長短的影響？

##### 【研究構想】

我們想了解不同地震振動類型，對振動房屋振動的影響，我們先以垂直振動類型進行以下實驗。

### 【實驗步驟】：

- 1.將模型屋 II (樑柱不分段)(20cmX20cm)，放到地震模型平台。
- 2.將垂直振動器打開，振動一分鐘後，碼錶記錄一、二、三樓振動停止時間。
- 3.改用 III (樑柱不分段)(40cmX10cm)、 IV (樑柱不分段)(50cmX8cm)分別放到地震模型平台。  
重複步驟 2.
- 4.將結果記錄表格，畫成統計圖。

### 【研究發現】

- 1.模型屋 II、III、IV 各樓層振動的時間：都是 1 樓 < 2 樓 < 3 樓。1 樓振動時間最短，3 樓振動時間最長。
- 2.模型屋 II、III、IV 各樓層振動的時間長短，都是由 1 樓漸漸增加至 3 樓。
- 3.不同樣式房屋在垂直振動下的時間長短，模型屋 II > 模型屋 III > 模型屋 IV。

### 【結果與討論】

從實驗發現，在垂直振動下，不同樣式模型屋的振動時間長短，是模型屋 II > 模型屋 III > 模型屋 IV，表示較方正房子(模型屋 II)振動時間較長。而各樓層振動時間長短，不管是哪種樣式的模型屋，都是由一樓至三樓漸漸增加。在水平振動下，是否如此？有待下一個實驗繼續研究。

表 4：垂直振動對房型振動時間長短影響比較

房型/樓層振動時間(秒)	1 樓	2 樓	3 樓
模型屋 II (20cmx20cm)	17.31	26.76	31.91
模型屋 III (40cmx10cm)	11.92	18.00	25.16
模型屋 IV (50cmx8cm)	12.41	15.18	21.69

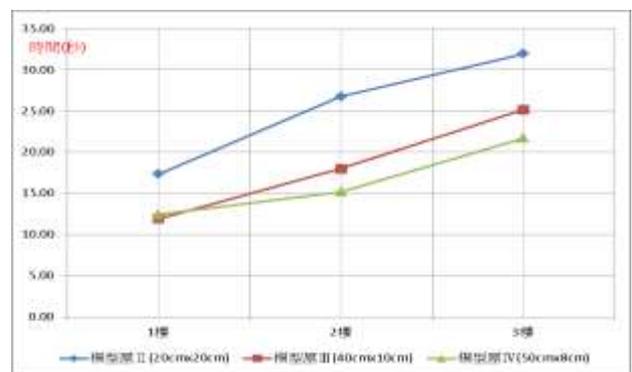


圖 3：垂直振動對不同房型振動時間長短比較

### 研究 3-2：水平振動類型地震，對不同樣式房屋振動時間長短的影響？

#### 【研究構想】

延續研究3-1垂直振動的研究，改以水平振動進行不同房屋樣式，對振動時間長短的研究。

#### 【實驗步驟】：

- 1.將模型屋 II (樑柱不分段)(20cmX20cm)，放到地震模型平台，。
- 2.將水平振動器打開，振動一分鐘後，碼錶記錄一、二、三樓振動停止時間。

3.改用 III(樑柱不分段)(40cmX10cm)、 IV(樑柱不分段)(50cmX8cm)分別放到地震模型平台。

重複步驟 2.

4.將結果記錄表格，畫成統計圖。

### 【研究發現】

- 1.模型屋 II、III、IV 各樓層振動的時間：都是 1 樓>2 樓>3 樓。3 樓振動時間最短，1 樓振動時間最長。
- 2.模型屋 II、III、IV 各樓層振動的時間長短，都是由 1 樓漸漸減少至 3 樓（圖 4）。
- 3.不同樣式房屋在水平振動下的時間長短，模型屋 IV>模型屋 II>模型屋 III。

表 5：水平振對房型振動時間長短影響比較

房型/樓層振動時間(秒)	1 樓	2 樓	3 樓
模型屋 II (20cmx20cm)	32.56	21.59	15.27
模型屋 III (40cmx10cm)	54.19	41.48	22.34
模型屋 IV (50cmx8cm)	58.58	50.06	27.08

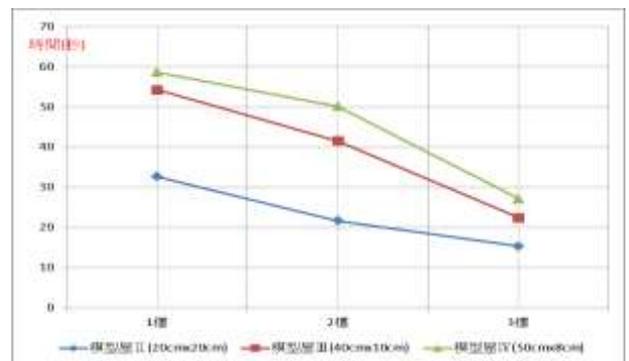


圖 4：水平振動對房型振動時間長短影響比較

### 【結果與討論】

從實驗發現，在水平振動下（表5），不同樣式模型屋的振動時間長短，是模型屋 IV>模型屋 III>模型屋 II，表示較方正房子(模型屋 II)振動時間較短。而各樓層振動時間長短，不管是哪種樣式的模型屋，都是由一樓至三樓漸漸減少。

比較水平及垂直振動下，同一樣式房型的差異（圖5~圖7）。結果發現，在垂直振動下，不同樓層振動時間長短，由一樓至三樓漸漸增加；而水平振動下，卻是由一樓至三樓漸漸減少。樓層振動時間長短，與振動方式正好相反。是否是樓層高度差異造成，有待下一個實驗繼續研究。

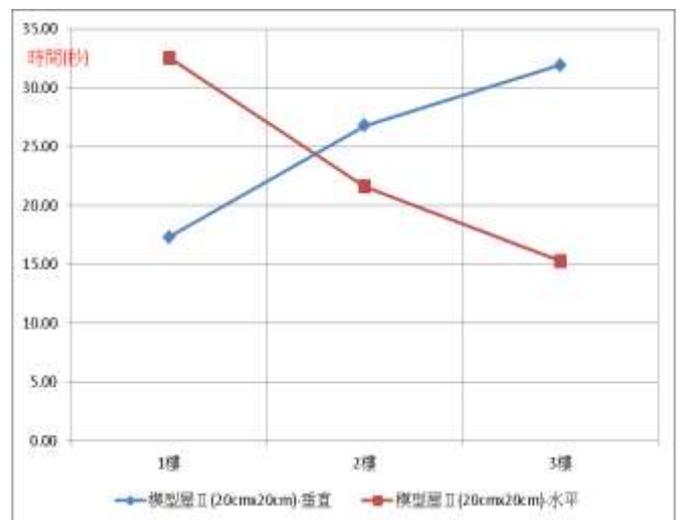


圖 5：不同振動對模型屋 II 振動時間長短比較

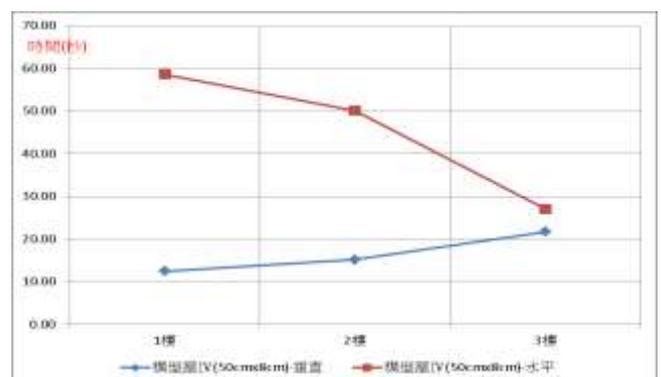
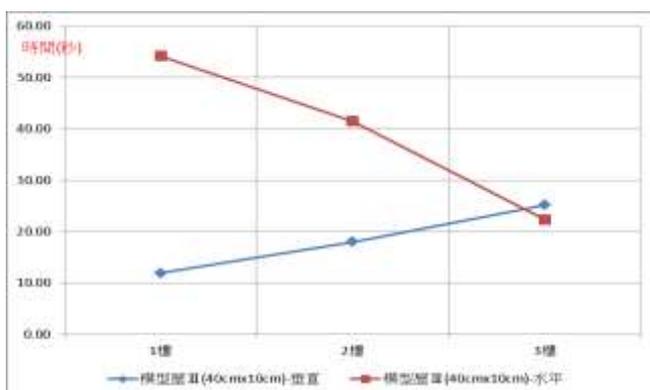


圖 6：不同振動對模型屋Ⅲ振動時間長短比較

圖 7：不同振動對模型屋Ⅳ振動時間長短比較

**目的四、樓高與地震振動類型，對房屋振動時間長短的影響。**

**研究 4-1：不同樓高與垂直振動類型地震，對房屋振動時間長短的影響？**

**【研究構想】：**

我們從研究3-1、3-2發現不同振動類型下，對三層屋不同樓層振動時間長短不同。垂直振動時，振動時間由一樓至三樓漸漸增加；而水平振動時，振動時間由一樓至三樓漸漸減少。我們推測是否是樓層高度不夠高，導致水平振動、垂直振動效果不同。因此，先進行高樓層在垂直振動下，不同樓層振動時間長短比較。

**【實驗步驟】：**

- 1.實驗裝置：利用木條、風扣板建 3 層模型屋 V(樑柱不分段)(20cmX20cm)、6 層模型屋 VI(樑柱不分段)(20cmX20cm)、9 層模型屋 VII(樑柱不分段)(20cmX20cm)。
- 2.對照組與實驗組重量變因控制：為了讓三、六、九層屋重量一致，以九層屋為基準，不足之重量，以大頭針、銅釘作為配重，平均分散於各樓層。

表 6：不同樓高模型屋配重一覽表

層屋/配重	原重	配重	總重
二層屋	86g	219g	305g
三層屋	113g	192g	305g
四層屋	140.5g	164.5g	305g
五層屋	168.6g	136.4g	305g
六層屋	210.5g	94.5	305g
九層屋	305g	0	305g

- 3.將 3 層模型屋 V，放到地震模型平台。
- 4.將垂直振動器打開(電池 3 顆)，振動一分鐘後，使用碼錶記錄一、二、三樓振動停止時間。重複實驗五次。
- 5.改用六層模型屋 VI(記錄二、四、六樓振動停止時間)、9 層模型屋 VII(記錄三、六、九樓振動停止時間)，分別放到地震模型平台。
- 6.重複步驟 3.~4.。
- 7.將結果記錄表格，畫成統計圖。

**【研究發現】**

- 1.三層屋，在垂直振動下，以 3 樓振動時間最長(25.78 秒)，1 樓振動時間最短(14.44 秒)。
- 2.六層屋，在垂直振動下，以 6 樓振動時間最長(23.38 秒)，1 樓振動時間最短(15.26 秒)。

- 3.九層屋，在垂直振動下，以 9 樓振動時間最長(26.15 秒)，1 樓振動時間最短(14.18 秒)。
- 4.在垂直振動下，三層屋、六層屋、九層屋，都是頂樓振動時間最長，一樓振動時間最短(表 7)。
- 5.在垂直振動下，三層屋、六層屋、九層屋，都是隨著樓層增加，振動時間越長(表 7)。

表 7：垂直振動下，三層屋、六層屋及九層屋樓層振動時間比較

次別/樓層/振動 時間(秒)	三層屋			六層屋			九層屋		
	1 樓	2 樓	3 樓	2 樓	4 樓	6 樓	3 樓	6 樓	9 樓
第 1 次	17.79	22.63	28.44	13.14	16.62	24.87	11.50	14.74	20.97
第 2 次	10.74	15.47	26.65	17.94	20.27	23.07	13.24	16.22	24.25
第 3 次	14.29	16.09	27.43	12.25	16.64	20.31	17.17	22.75	27.31
第 4 次	13.82	18.77	21.65	15.25	19.30	24.19	14.56	20.26	29.59
第 5 次	15.57	19.98	24.72	17.72	22.22	24.47	14.45	21.30	28.62
平均	<b>14.44</b>	<b>18.59</b>	<b>25.78</b>	<b>15.26</b>	<b>19.01</b>	<b>23.38</b>	<b>14.18</b>	<b>19.05</b>	<b>26.15</b>

#### 研究 4-2：不同樓高與水平振動類型地震，對房屋振動時間長短的影響？

**【研究構想】**：接續研究4-1垂直振動下對高樓層振動影響，改進行水平振動下，高樓層中不同樓層振動時間長短比較。

**【實驗步驟】**：

- 1.實驗裝置：利用木條、風扣板建 3 層模型屋 V(樑柱不分段)(20cmX20cm)、6 層模型屋 VI(樑柱不分段)(20cmX20cm)、9 層模型屋 VII(樑柱不分段)(20cmX20cm)。
- 2.將 3 層模型屋 V，放到地震模型平台。
- 3.將水平振動器打開(電池 3 顆)，振動一分鐘後，使用碼錶記錄一、二、三樓振動停止時間。重複實驗五次。
- 4.改用 6 層模型屋 VI(記錄二、四、六樓振動停止時間)、9 層模型屋 VII(記錄三、六、九樓振動停止時間)，分別放到地震模型平台。
- 5 重複步驟 3。
- 6.將結果記錄表格，畫成統計圖。

**【研究發現】**

- 1.三層屋，在水平振動下，以 1 樓振動時間最長(21.74 秒)，3 樓振動時間最短(12.33 秒)。
- 2.六層屋，在水平振動下，以 6 樓振動時間最長(24.72 秒)，1 樓振動時間最短(15.55 秒)。
- 3.九層屋，在水平振動下，以 9 樓振動時間最長(40.26 秒)，1 樓振動時間最短 15.92 秒)。
- 4.在水平振動下，三層屋，一樓，振動時間最長，頂樓，振動時間短(表 8)。
- 5.在水平振動下，三層屋，隨著樓層增加，振動時間越短(表 8)。
- 6.在水平振動下，六層屋、九層屋，都是頂樓，振動時間最長，一樓，振動時間短(表 8)。
- 7.在水平振動下，六層屋、九層屋，都是隨著樓層增加，振動時間越長(表 8)。

表 8：水平振動下，三層屋樓層振動時間比較

次別/樓層/振動 時間(秒)	三層屋			六層屋			九層屋		
	1 樓	2 樓	3 樓	1 樓	2 樓	3 樓	1 樓	2 樓	3 樓
第 1 次	22.58	18.97	11.94	14.07	15.63	21.31	11.63	26.09	34.19
第 2 次	21.69	17.42	12.69	13.40	15.82	20.72	18.00	21.87	33.82
第 3 次	20.29	15.59	12.37	15.32	18.94	28.54	19.44	34.14	48.03
第 4 次	21.03	14.64	10.29	16.91	19.75	26.03	13.81	30.79	44.19
第 5 次	23.12	17.74	14.38	18.04	21.28	27.00	16.74	28.28	41.06
平均	<b>21.74</b>	<b>16.87</b>	<b>12.33</b>	<b>15.55</b>	<b>18.28</b>	<b>24.72</b>	<b>15.92</b>	<b>28.23</b>	<b>40.26</b>

### 【結果與討論】

在研究 3-1 中，我們發現三層屋在水平振動與垂直振動下，振動時間長短相反，與一般高樓層感覺地震搖晃較為明顯的經驗不同，因此推測是否與樓層高度有關。並進行三層屋、六層屋、九層屋，高樓層實驗比較。實驗結果與討論如下：

1. 垂直振動：在研究 4-1 發現，三層屋、六層屋、九層屋，隨著樓層越高，振動時間越長。結果與研究 3-1 垂直振動下，樓層越高，振動時間越長，結果一致。另外我們也發現不論樓高，房屋在垂直振動時的搖晃時間都介於約 14~26 秒之間，幾乎沒有差異（圖 8）。
2. 水平振動：在研究 4-2 發現，六層屋、九層屋，不同樓層振動時間，都是由低層樓到高层樓，振動時間越長。而三層屋，隨著樓層增加，振動時間越短。這項結果與研究 3-1 相同。這個結果顯示，在水平振動下，三層樓以下，隨著樓層增加，振動時間越短(圖 9)；而高樓層下，六層屋、九層屋，水平振動與垂直振動時間結果相同，都是隨著樓層越高，振動時間越長。

此一結果也可以證實與研究四剛開始的假設，的確矮公寓與高樓大廈在地震來臨時的搖晃情形會有差異，但主要是在水平方向的振動上。

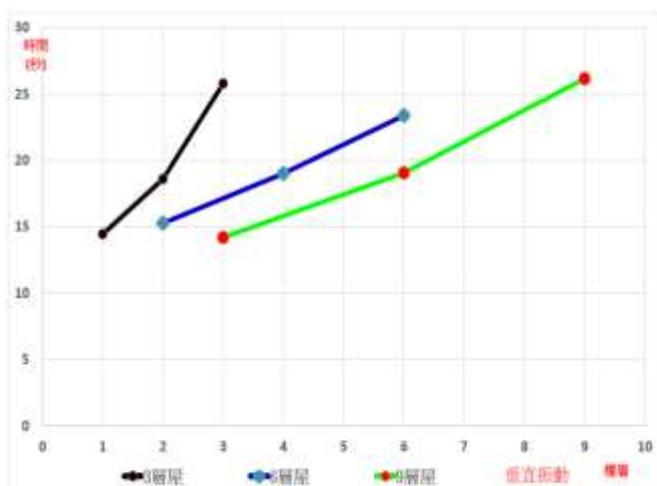


圖 8：垂直振動下，三、六、九層屋振動時間長短

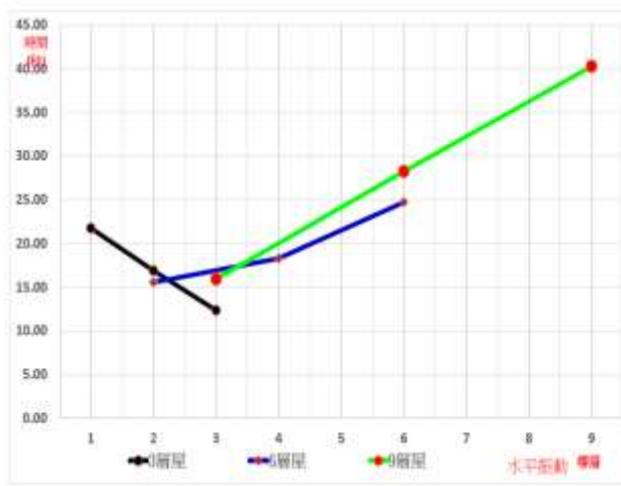


圖 9：水平振動下，三、六、九層屋振動時間長短

**延伸實驗：二層屋、四層屋、五層屋在水平振動、垂直振動下，對房屋振動時間長短的影響？**

**【延伸實驗構想】**

在研究 4-1、研究 4-2 中，發現在垂直振動下，樓層越高，振動時間越長；而在水平振動，三層屋，隨著樓層增加，振動時間越短；而六層屋、九層屋，樓層越高，振動時間越長。因此我們心想在水平振動時，樓層要到多高？才出現樓層越高，振動時間越短的現象。因此，補做二層屋、四層屋、五層屋，看看在不同振動類型下，振動時間長短是怎樣？

**【實驗步驟】：**

- 1.實驗裝置：利用木條、風扣板建二層屋模型Ⅷ (20cmX20cm)、四層屋模型Ⅸ(樑柱不分段)(20cmX20cm)、五層屋模型Ⅹ (20cmX20cm)。
- 2.將二層屋模型Ⅷ，放到地震模型平台。
- 3.將垂直振動器打開，振動一分鐘後，使用碼錶記錄一、二樓振動停止時間。重複實驗五次。
- 4.將水平振動器打開，振動一分鐘後，使用碼錶記錄一、二樓振動停止時間。重複實驗五次。
- 5.改用四層屋模型Ⅸ(記錄一、三、四樓振動停止時間)、五層屋模型Ⅹ(記錄一、三、五樓振動停止時間)，放到地震模型平台。
- 6.重複步驟 3.~4.。
- 7.將結果記錄表格，畫成統計圖。

**【研究發現】**

- 1.在垂直振動下模型屋振動時間長短：二層屋 2 樓(頂樓)>1 樓、四層屋 4 樓(頂樓)>3 樓>1 樓、五層屋 5 樓(頂樓)>3 樓>1 樓 (表 9)。
- 2.在水平振動下模型屋振動時間長短：二層屋 2 樓(頂樓)<1 樓、四層屋 4 樓(頂樓)>3 樓>1 樓、五層屋 5 樓(頂樓)>3 樓>1 樓 (表 10)。
- 3.在垂直振動下模型屋振動時間長短，不論是幾層屋，都是隨著樓層越高，振動時間越長。
- 4.在水平振動下模型屋振動時間長短，四層屋、五層屋都是隨著樓層越高，振動時間越長；而二層屋卻是隨著樓層越高，振動時間越短 (圖 10、11)。

表 9：垂直振動下，二層屋、四層屋及五層屋樓層振動時間比較

次別/樓層/振動時間(秒)	二層屋		四層屋			五層屋		
	1 樓	2 樓	1 樓	3 樓	4 樓	1 樓	3 樓	5 樓
第 1 次	12.10	21.00	16.84	23.89	38.21	11.69	18.57	26.69
第 2 次	14.69	22.03	18.19	30.56	43.47	12.78	22.69	30.19
第 3 次	12.10	19.96	25.43	30.37	48.63	12.44	21.44	32.28
第 4 次	13.18	21.88	15.09	38.55	58.63	11.34	17.37	29.78
第 5 次	18.75	23.59	15.69	27.94	32.56	10.81	19.42	32.41
平均	14.16	21.69	18.25	30.26	44.30	11.81	19.90	30.27

表 10：水平振動下，二層屋、四層屋及五層屋樓層振動時間比較

次別/樓層/振動 時間(秒)	二層屋		四層屋			五層屋		
	1 樓	2 樓	1 樓	3 樓	4 樓	1 樓	3 樓	5 樓
第 1 次	30.03	15.97	11.81	18.18	39.53	10.22	21.26	27.44
第 2 次	30.37	18.06	13.25	18.15	33.69	12.25	20.43	27.57
第 3 次	31.13	19.21	13.15	16.28	25.72	10.50	23.25	28.72
第 4 次	29.40	19.19	12.78	16.25	38.85	15.50	22.84	29.62
第 5 次	26.69	15.90	17.19	24.93	38.00	13.87	21.04	28.43
平均	29.52	17.67	13.64	18.76	35.16	12.47	21.76	28.36

### 【結果與討論】

從延伸實驗發現，而四層屋、五層屋與研究 4-1、研究 4-2 六層屋、九層屋結果一樣，水平振動及垂直振動時，都是樓層越高，振動時間越長。而二層屋實驗結果與三層屋結果一樣，在垂直振動時，樓層越高，振動時間越長（圖 10）；而水平振動時，樓層越高，振動時間越短（圖 11）。顯示三樓以下（含）在水平振動時，一樓比二樓、三樓振動時間較長。

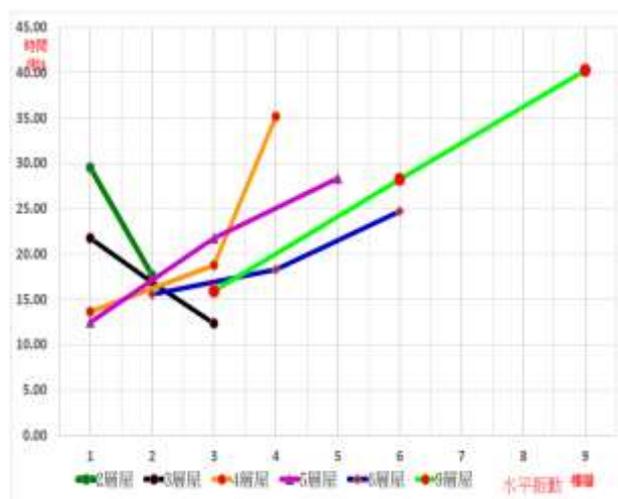
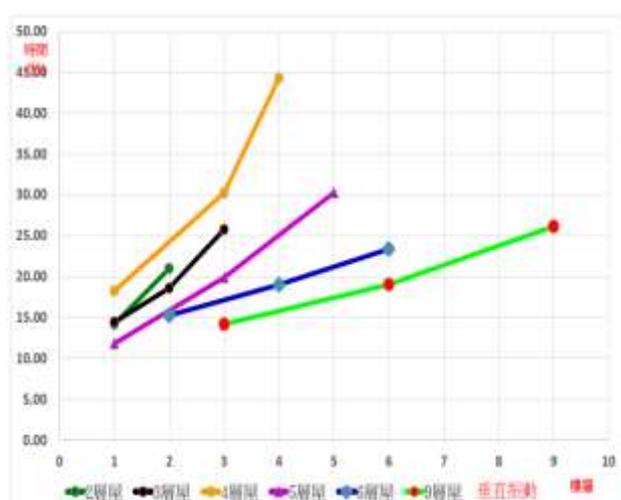


圖 10：垂直振動下，從低樓層到高樓層振動時間比較 圖 11：水平振動下，從低樓層到高樓層振動時間長短比較

### 目的五、不同減振器設計，對房屋振動減震影響。

#### 研究 5-1：阻尼器型減震器，對房屋減震效果的影響？

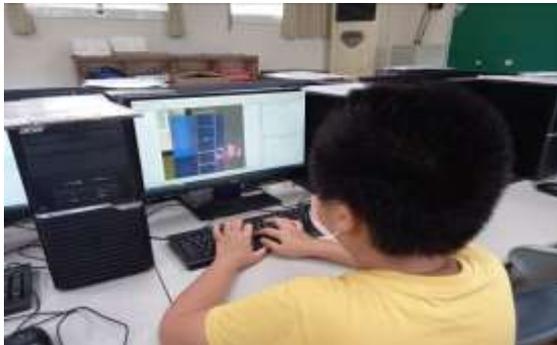
【研究構想】：我們想設計一個能減少振動的防震裝置。查了許多文獻，先以阻尼器試做。

並以高樓層屋（九層屋）進行實驗。

#### 【實驗步驟】：

1. 阻尼器：製作 3 克鋼珠長度 5cm 的阻尼器(A1) 及 3 克鋼珠長度 10cm(A2)阻尼器。
2. 將對照組模型屋Ⅶ(九層屋)固定在地震模型平台。
3. 在三、六、九層樓交接處，貼上紅色圓點，標記出三、六、九層位置，以作為 Tracker 分析位移量基準。

- 4.將振動器打開，振動一分鐘後關閉，並利用手機錄下開始至結束過程(三分鐘)。**重複五次實驗。**
- 5.將設置阻尼器(A1)的模型屋Ⅶ(九層屋)固定在地震模型平台。重複步驟 3.~4.。
- 6.改將設置阻尼器(A2)模型屋Ⅶ(九層屋)固定在地震模型平台。重複步驟 3.~4.。
- 7.將錄影檔，以 Tracker 分析三、六、九層位移量。(方法如 p9 三、Tracker 分析位移量)



照片 7：利用 Tracker 分析位移量及振幅



照片 8：開啟 10 台電腦以快速分析位移量及振幅

- 8.將結果記錄表格，畫成統計圖。

### 【研究發現】：

- 1.對照組樓層位移變化量：九樓>三樓>六樓。九樓位移最大，六樓最小。(表11、圖12)
- 2.裝上3克5公分阻尼器樓層位移變化量：九樓>三樓>六樓。九樓位移最大，六樓最小。(表12、圖13)
- 3.裝上3克10公分阻尼器樓層位移變化量：九樓>三樓>六樓。九樓位移最大，六樓最小。(表13、圖14)

### 4.減震效果

- (1)裝上3克5公分阻尼器樓層位移量<對照組樓層位移量，表示3克5公分阻尼器具有減震效果(圖15)。
- (2)裝上3克10公分阻尼器樓層位移量>對照組樓層位移量，表示3克10公分阻尼器沒有減震效果，反而增加了位移量(圖16)。
- (3)3克5公分阻尼器樓層位移量<3克10公分阻尼器樓層位移量，表示3克5公分阻尼器減震效果較好。

### 【結果與討論】

由實驗發現5公分阻尼器具有減振效果，而3克10公分阻尼器不僅沒有減震，反而提高移動位移量。推測3克5公分擺動週期較接近大樓震動週期，因而減少震動效果。

表 11：對照組不同樓層位移變化量

時間/樓層/ 位移(cm)	對照 9 樓頂	對照 6 樓頂	對照 3 樓頂
0-10sec	0.263	0.016	0.092
10-20sec	0.189	0.010	0.098
21-30sec	0.194	0.012	0.101
31-40sec	0.214	0.010	0.108
41-50sec	0.221	0.011	0.109
51-60sec	0.230	0.011	0.113
61-70sec	0.045	0.008	0.067

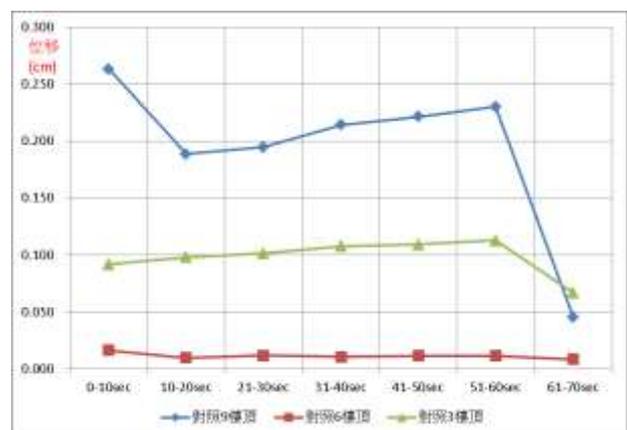


表12：A1阻尼器對九層屋振動時間長短影響

時間/樓層/ 位移(cm)	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂
0-10sec	0.110	0.012	0.042
10-20sec	0.119	0.011	0.046
21-30sec	0.133	0.011	0.051
31-40sec	0.150	0.012	0.054
41-50sec	0.149	0.011	0.058
51-60sec	0.174	0.013	0.064

表13：A2阻尼器對九層屋振動時間長短影響

時間/樓層/ 位移(cm)	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂
0-10sec	1.416	0.011	0.147
10-20sec	1.425	0.010	0.144
21-30sec	1.423	0.011	0.147
31-40sec	1.427	0.011	0.149
41-50sec	1.487	0.011	0.148
51-60sec	2.480	0.009	0.149

圖 12：對照組不同樓層位移變化

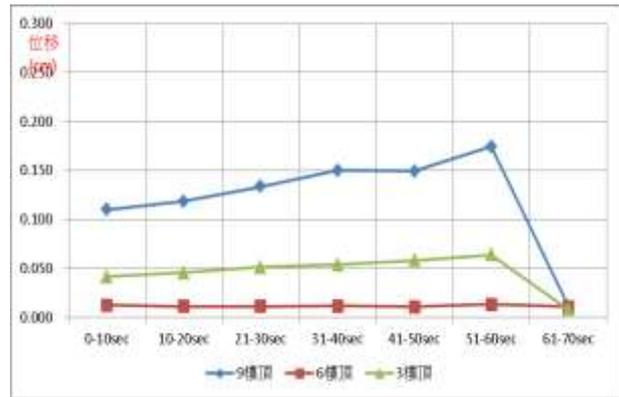


圖13：A1阻尼器對不同樓層位移影響

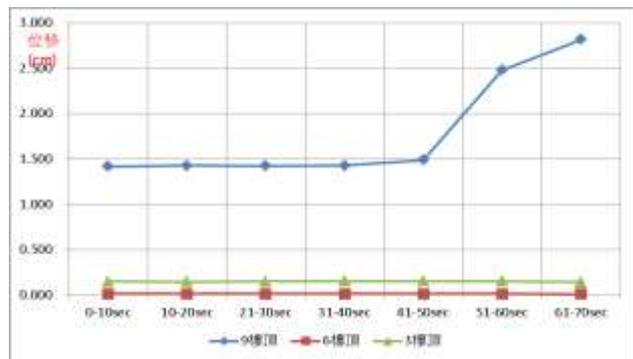


圖14：A1阻尼器對不同樓層位移影響

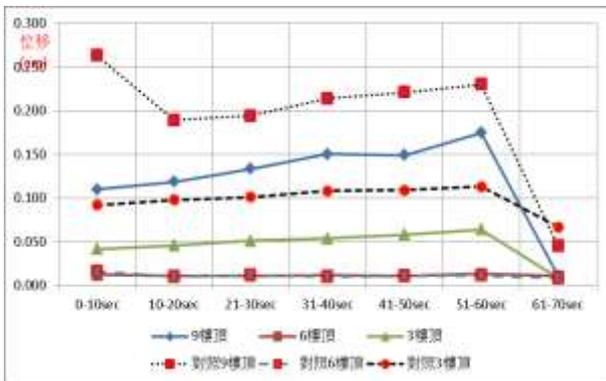


圖15：A1阻尼器與對照組減震比較

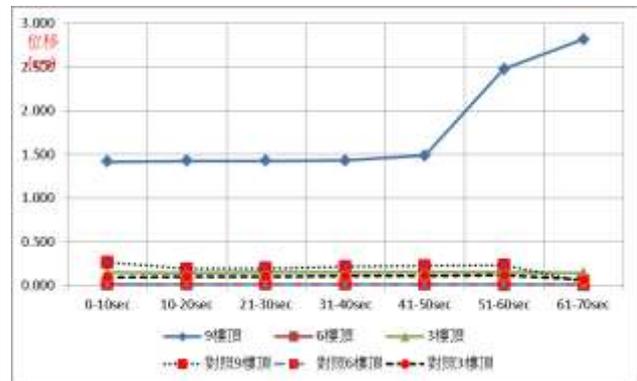


圖16：A2阻尼器與對照組減震比較

## 研究 5-2：X 型減震器，對房屋減震效果的影響？

**【研究構想】：**聽家裡的爺爺說在颱風來時，玻璃貼上X型膠帶，可以降低玻璃振動頻率。因此，我們想了解房屋的樑柱，如果也用膠帶以X型方式固定，能否達到減震效果，因此我們進行以下實驗。

**【實驗步驟】：**

1. 製作 X 型減震器：以無痕雙面膠帶（厚 1mm）製作 X 型製作減震器。

(1)大 X 型減震器：以無痕雙面膠帶，從九層模型屋九樓頂沿對角線黏至一樓對角線，形成一個大 X 型減震器。九層模型屋，四個面都依此方式製作大 X 型減震器。

(2)小 X 型減震器：以無痕雙面膠帶，每隔三個樓層，沿對角線黏至對角線，形成一個小 X 型減震器。九層模型屋，四個面都依此方式製作小 X 型減震器。



- 2.將對照組模型屋Ⅶ(九層屋)(20cmX20cm)固定在地震模型平台。
- 3.在三、六、九層樓交接處，貼上紅色圓點，標記出三、六、九層位置，以作為 Tracker 分析位移量基準。
- 4.將振動器打開，振動一分鐘後關閉，並利用手機錄下開始至結束過程(三分鐘)。重複五次實驗。
- 5.將設置大 X 型減震器的模型屋Ⅶ(九層屋)(20cmX20cm)固定在地震模型平台。重複步驟 3.~4。
- 6.改將設置小 X 型減震器的模型屋Ⅶ(九層屋)(20cmX20cm)固定在地震模型平台。重複步驟 3.~4。
- 7.將錄影檔，以 Tracker 分析三、六、九層每隔 10 秒位移量。
- 8.將結果記錄表格，畫成統計圖。

**【研究結果】：**

表 14：X 型減震器與對照組位移量比較

減震器	大 X 型			小 X 型			對照組		
	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂
0-10sec	0.051	0.011	0.058	0.013	0.010	0.009	0.263	0.016	0.092
10-20sec	0.049	0.007	0.058	0.017	0.009	0.009	0.189	0.01	0.098
21-30sec	0.047	0.007	0.057	0.012	0.010	0.009	0.194	0.012	0.101
31-40sec	0.057	0.006	0.059	0.011	0.010	0.008	0.214	0.01	0.108
41-50sec	0.056	0.006	0.058	0.012	0.011	0.008	0.221	0.011	0.109
51-60sec	0.163	0.024	0.062	0.017	0.011	0.008	0.23	0.011	0.113
61-70sec	0.017	0.005	0.005	0.008	0.010	0.006	0.045	0.008	0.067

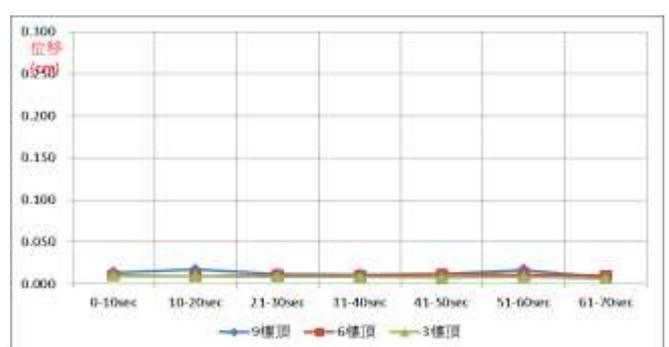
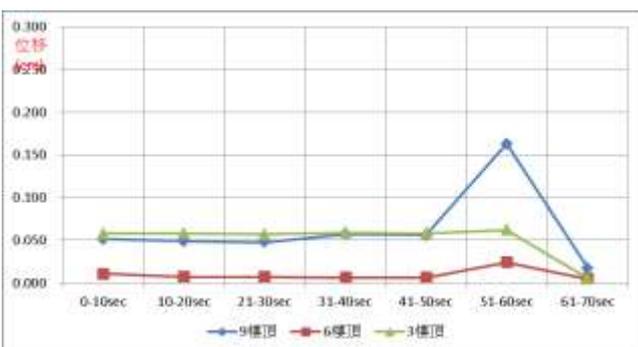


圖 17：大 X 型減震器對樓層位移變化

**【研究結果與討論】：**

**1.設置減震器對樓層位移影響（表 14）**

- (1)對照組：九樓位移變化最大，六樓最小。
- (2)大 X 型減震器，以九樓位移變化最大，六樓位移變化最小。(圖 17)
- (3)小 X 型減震器，以九樓位移變化最大，三樓位移變化最小。(圖 18)

**2.效果比較**

- (1)設置減震器後，位移量變化為：小 X 型四面的減震器<大 X 型四面的減震器<對照組
- (2)小 X 型四面的減震器位移量比大 X 型四面的減震器小，顯示有較好的減震效果。

**3.加上 X 型結構的減震器，有明顯效減低樓房的搖晃（位移量變小）。(圖 19~圖 21)**

圖 18：小 X 型減震器對樓層位移變化

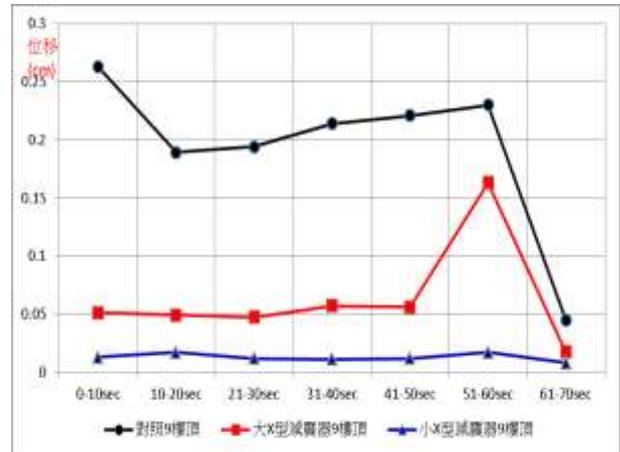


圖 19：X 型減震器與對照組九樓減震比較

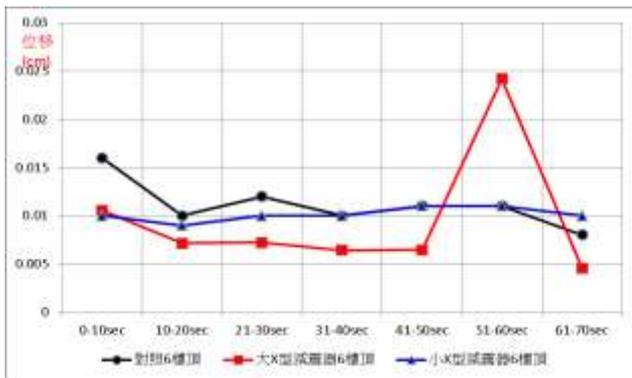


圖20：X型減震器與對照組六樓減震比較

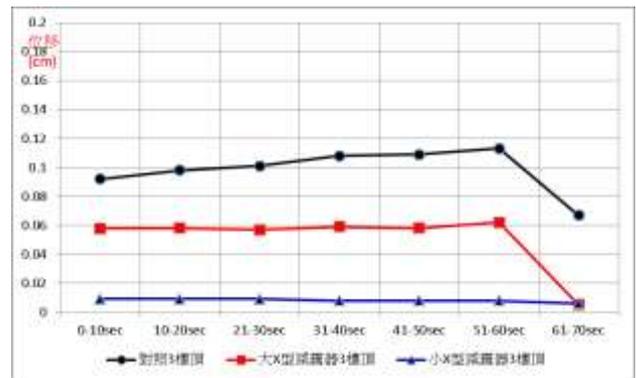


圖21：X型減震器與對照組三樓減震比較

**研究 5-3：滾珠型減震器，對房屋減震效果的影響？**

**【研究構想】：**

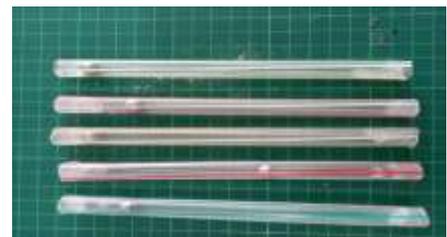
延續前面實驗，嘗試設計滾珠型減震器，當房屋振動時，滾珠隨著振動滾動，減少房屋振動。因此，我們進行以下實驗，測試「滾珠型減震器」能否達到減震效果。

**【實驗步驟】：**

**1.製作滾珠型減震器：**

- (1)取 20cm 粗吸管，放入 4 克鋼珠。
- (2)利用熱熔膠將粗吸管兩端封住。

**2.滾珠型減震器固定在三、六、九層，分別進行兩面滾珠型減震器、四面滾珠型減震器。**



- 3.對照組實驗與研究 5-2 相同。
- 4.將設置四面滾珠型減震器的模型屋VII(九層屋)(20cmX20cm)固定在地震模型平台。
- 5.在三、六、九層樓交接處，貼上紅色圓點，標記出三、六、九層位置，以作為 Tracker 分析位移量基準。
- 6.將振動器打開，振動一分鐘後關閉，並利用手機錄下開始至結束過程(三分鐘)。重複五次實驗。
- 7.改將設置兩面滾珠型減震器的模型屋VII(九層屋)(20cmX20cm)固定在地震模型平台。重複步驟 4.~6.。
- 8.將錄影檔，以 Tracker 分析三、六、九層位移量。
- 9.將結果記錄表格，畫成統計圖。

**【研究發現】：**

- 1.四面滾珠型減震器，位移量變化為：六樓>九樓>三樓。
- 2.兩面滾珠型減震器，位移量變化為：三樓>九樓>六樓。
- 3 減震效果：比較對照組與四面滾珠型減震器、兩面滾珠型減震器位移量，結果發現位移量都小於對照組（表 15、圖 22-28），顯示具有減振效果。

表 15：滾珠型減震器與對照組位移量比較

減震器	兩面滾珠型			四面滾珠型			對照組		
	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂
0-10sec	0.016	0.007	0.023	0.009	0.027	0.004	0.263	0.016	0.092
10-20sec	0.013	0.007	0.033	0.011	0.029	0.006	0.189	0.01	0.098
21-30sec	0.014	0.008	0.034	0.010	0.028	0.005	0.194	0.012	0.101
31-40sec	0.015	0.008	0.034	0.009	0.027	0.004	0.214	0.01	0.108
41-50sec	0.015	0.007	0.032	0.011	0.029	0.006	0.221	0.011	0.109
51-60sec	0.014	0.006	0.033	0.010	0.028	0.006	0.23	0.011	0.113
61-70sec	0.016	0.006	0.011	0.013	0.028	0.009	0.045	0.008	0.067

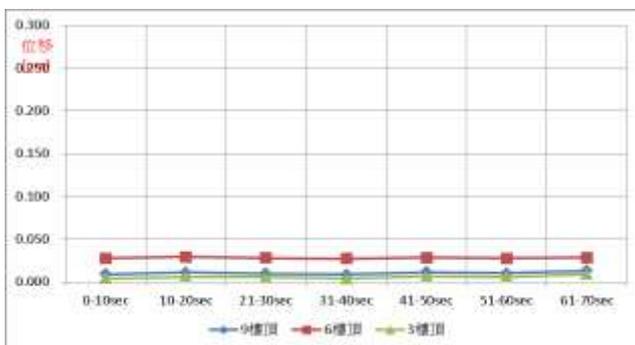


圖 22：四面滾珠型減震器對樓層位移變化

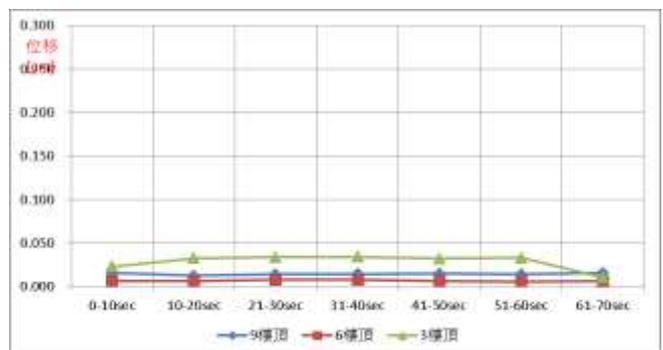


圖 23：兩面滾珠型減震器對樓層位移變化

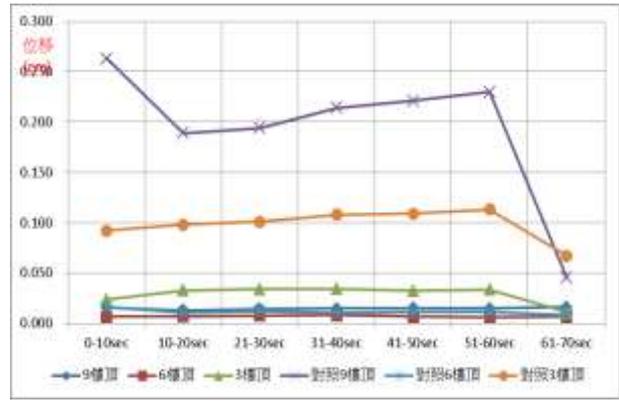
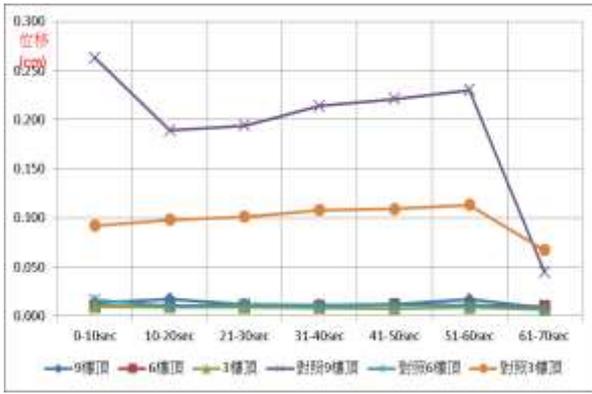


圖 24：對照組與四面滾珠型減震器位移比較

圖 25：對照組與兩面滾珠型減震器位移比較

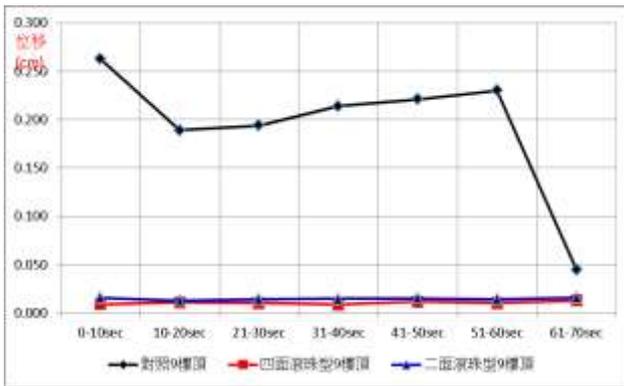


圖 26：滾珠型減震器與對照組九樓減震比較

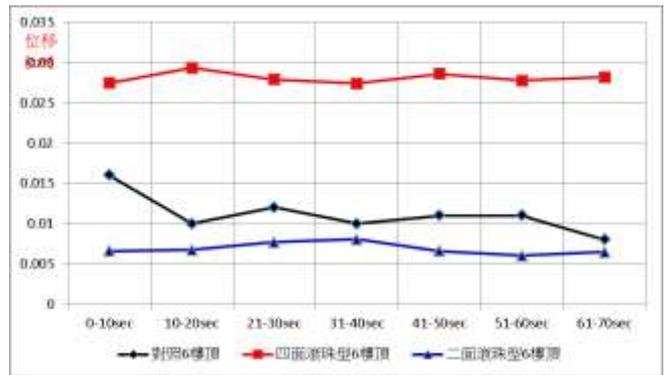


圖 27：滾珠型減震器與對照組六樓減震比較

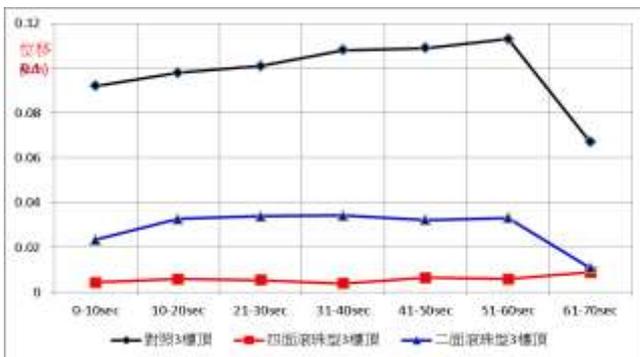


圖 28：滾珠型減震器與對照組三樓減震比較

### 【結果與討論】：

由研究 5-3 滾珠型減震器，不管是兩面或是四面，都具有減振效果。推測在振動時，滾珠來回滾動，抵銷原來振動。但結果也發現四面滾珠型減震器與兩面滾珠型減震器，在不同樓層位移量變化上，四面滾珠型減震器與兩面滾珠型減震器兩者正好相反，有待後續更進一步研究。

## 柒、討論

### 一、樑柱分層與不分層，對房屋振動時間長短的影響？

房屋的樑柱分層與不分層，對振動有何影響？由**研究1-1**發現房屋樑柱不分段，振動時間較短，有較佳的減振效果。樑柱不分層房子，因為整棟吸收振動，振動時間較短。例如在高樓層房子，以鋼骨結構方式較能有減振效果，其振動時間較短。而分層的房子，樑柱連接較不穩。穩通常是磚造因經濟問題，先蓋一層，等過幾年再蓋一層，形成老背少。在九二一地震時，這種房子就因為不穩倒了很多。因此，**樑柱不分層具有減震效果。**

### 二、房屋樣式，對房屋振動時間長短的影響

正方形的房子與長方形的房子，哪一種在地震來時震動的時間較長呢？由【研究2-1】發現房屋較方正(20cmX20cm)，振動時間較長；而較狹長的房子(50cmX8cm)，振動時間較短。這個結果推測原因是長型房子不管震源方向，長方形房子兩端接受到震動傳遞不均，震動受阻，因而震動時間較短；正方形房子四面接受到震度較均勻，因而震動時間較長。耐震度與振動時間有何關係？在**不可思議的地震**（第40屆全國國小組地球科），研究發現一字形兩端受到推擠力先倒塌，因而房屋振動的時間較短。從一樓到三樓振動時間增加。也就是**越高樓，振動時間越長。結果與一般經驗，樓層高震動時間較長一致。**

### 三、地震振動類型，對不同樣式房屋振動時間長短的影響

由【研究3-1】垂直振動下，不同房型模型屋Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ，振動時間長短都是由一樓至三樓漸漸增加。而在【研究3-2】發現水平振動，不同房型Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ，振動時間長短都是由一樓至三樓漸漸減短（圖5、6、7）。由兩個實驗發現，**樓層振動時間長短，與振動方式（垂直、水平）正好相反。**是否是樓層高度差異造成？由研究4-1、4-2繼續實驗。

### 四、樓高與地震振動類型，對房屋振動時間長短的影響

由【研究3-1】、【研究3-2】不同振動下，對三層屋不同樓層振動時間長短正好相反。我們推測是否是樓層高度不夠高，導致水平振動、垂直振動效果不同。由【研究4-1】垂直振動下，發現三層屋、六層屋、九層屋，隨著樓層越高，振動時間越長。結果與研究3-1垂直振動下，樓層越高，振動時間越長，結果一致。而由【研究4-2】水平振動下，六層屋、九層屋，不同樓層振動時間，都是由低層樓到高層樓，振動時間越長。而三層屋，隨著樓層增加，振動時間越短。此一結果也可以證實與研究四剛開始的假設，的確矮公寓與高樓大廈在地震來臨時的搖晃情形會有差異，但主要是在水平方向的振動上。

在水平振動下，三層屋，隨著樓層增加，振動時間越短；而六層屋、九層屋，樓層越高，

振動時間越長。如果是二層屋、四層屋、五層屋，在水平振動，振動時間長短是怎樣？由延伸實驗發現四層屋、五層屋與研究4-1、研究4-2六層屋、九層屋結果一樣，不論是水平振動或垂直振動都是樓層越高，振動時間越長。而二層屋實驗結果與三層屋結果一樣，在垂直振動時，樓層越高，振動時間越長；而水平振動時，樓層越高，振動時間越短。顯示三樓以下（含）在水平振動時，一樓比二樓、三樓振動時間較長（整理如表16）。

表 16：不同樓層水平、垂直振動下，振動時間長短比較摘要表

樓高	二層屋		三層屋		四層屋		五層屋		六層屋		九層屋							
趨勢	1F	→	2F	1F	→	3F	1F	→	4F	1F	→	5F	1F	→	6F	1F	→	9F
垂直振動	14.16→21.69 (短→長)		14.44→25.78 (短→長)		18.25→44.30 (短→長)		11.81→30.27 (短→長)		15.26→23.38 (短→長)		14.18→26.15 (短→長)							
水平振動	29.52→17.67 (長→短)		21.74→12.33 (長→短)		13.64→35.16 (短→長)		12.47→28.36 (短→長)		15.55→24.72 (短→長)		15.92→40.26 (短→長)							

## 五、不同減振器設計，對房屋振動減震影響

### （一）每隔10秒位移變化量

我們嘗試利用三種方式—阻尼器型、X 型減震器及滾珠型減震器，試驗房屋減振效果。由【研究 5-1】阻尼器型實驗發現，3 克 5 公分阻尼器具有減振效果，而 3 克 10 公分阻尼器不僅沒有減震，反而提高移動位移量。推測 3 克 5 公分擺動週期較接近大樓震動週期，因而減少震動效果。

而樑柱用膠帶以 X 型方式固定房子結構，能否像玻璃貼 X 型膠帶減少震動。以 Tracker 分析每隔 10 秒位移變化量。在【研究 5-2】X 型減震器實驗中，裝小 X 型四面的減震器房屋位移量最小，對照組的位移量最大，表示 X 型減震器效果最好（圖 18~21）。小 X 型四面的減震器就像是蓋大樓時除了鋼骨結構外，鋼骨之間還有 X 鋼條連接對角線，能達到更好的效果。

以同樣方法分析【研究 5-3】所嘗試設計滾珠型減震器，實驗發現不管是兩面或是四面，都具有減振效果。推測在振動時，滾珠來回滾動，抵銷原來振動。但也發現四面滾珠型減震器與兩面滾珠型減震器，不同樓層位移量變化，四面滾珠型減震器與兩面滾珠型減震器兩者正好相反，有待後續更進一步研究(圖 29-30)。

### （二）裝減震器振幅程度

將裝上 X 型四面的減震器、滾珠型減震器的九層屋，利用 Tracker 軟體分析每秒的三、六、九樓位置減去 0 秒初始位置獲得每秒振幅【詳見伍、研究設備及器材之三、以 Tracker 分析模型位移量】，重新畫出每秒樓層位置的變化量（圖 29-32）。



圖 29：大 X 型減震器對不同樓層位移變化

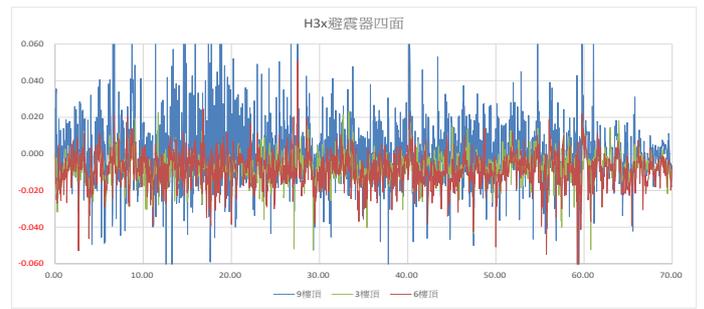


圖 30：小 X 型減震器對不同樓層位移變化

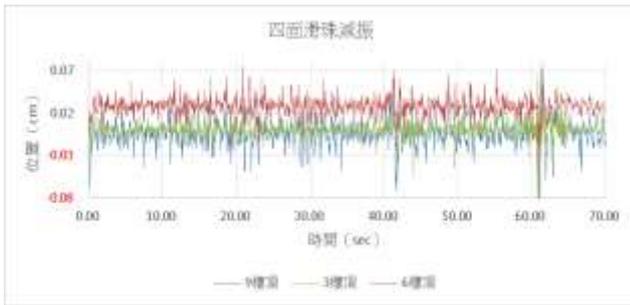


圖 31：四面滾珠型減震器對不同樓層位移變化

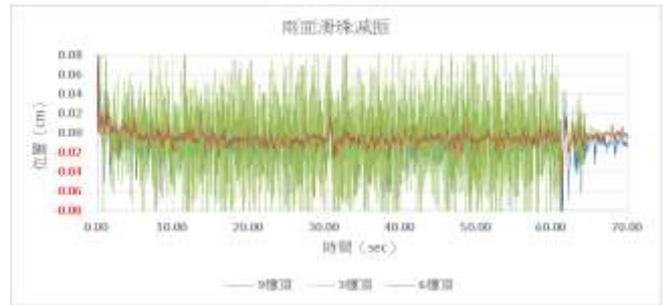


圖 32：兩面滾珠型減震器對不同樓層位移變化

由四組數據的圖形上下震盪幅度，計算振幅如表 17。由振幅變化量發現對照組振幅最大，而小 X 型減震器振幅最小；不管任何減振方法，都是九樓的振幅最大（圖 33），與前面的實驗結果一致。整棟房屋結構，都比不設置任何減振結構的對照組來的穩定許多，也就是裝了減震器其效果比對照組好。

表 17：減震器與對照組每秒振幅變化

振幅	9 樓頂	6 樓頂	3 樓頂
對照組	0.9cm	0.08cm	0.5cm
H1X 四面	0.4cm	0.05cm	0.4cm
H3X 四面	0.1cm	0.04cm	0.04cm
滾珠減振	0.08cm	0.05cm	0.05cm

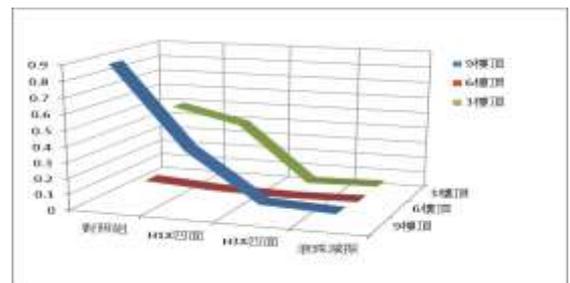


圖 33：減震器與對照組每秒振幅變化

## 捌、結論

- 模型屋中樑柱結構：**樑柱分段的振動時間 > 不分段振動時間，房屋樑柱不分段較快停止振動。
- 模型屋振動時間長短：**模型屋 II > 模型屋 III > 模型屋 IV，相同面積下，愈接近正方形的模型屋震動時間較長。
- 模型屋在垂直振動下：**不管是幾層屋，樓層越高，振動時間越長。
- 模型屋在水平振動下：**四層屋以上，樓層越高，振動時間越長；三層屋以下，樓層越

高，振動時間越短。

五、**減震效果**：X 型減震器>滾珠型減震器>阻尼器型減震器。

## 六、根據研究最佳耐震屋

項目	改變因素	較佳防震效果
樑柱	<input type="checkbox"/> 樑柱分層 <input type="checkbox"/> 樑柱不分層	<input checked="" type="checkbox"/> 不分層
房屋樣式	<input type="checkbox"/> 方型 II (20cmX20cm) <input type="checkbox"/> 長型 III (40cmX10cm) <input type="checkbox"/> 長型 IV (50cmX8cm)	<input checked="" type="checkbox"/> 方型 II (20cmX20cm)
樓高	垂直振動 <input type="checkbox"/> 兩層屋 <input type="checkbox"/> 三層屋 <input type="checkbox"/> 四層屋 <input type="checkbox"/> 五層屋 <input type="checkbox"/> 六層屋 <input type="checkbox"/> 九層屋	<input checked="" type="checkbox"/> 所有樓層 1F
	水平振動 <input type="checkbox"/> 兩層屋 <input type="checkbox"/> 三層屋 <input type="checkbox"/> 四層屋 <input type="checkbox"/> 五層屋 <input type="checkbox"/> 六層屋 <input type="checkbox"/> 九層屋	<input checked="" type="checkbox"/> 3 層屋以下~頂樓 <input checked="" type="checkbox"/> 四層屋以上~1F
減振效果	<input type="checkbox"/> X 型減震器 ( <input type="checkbox"/> 大 X 型 <input type="checkbox"/> 小 X 型) <input type="checkbox"/> 滾珠型減震器( <input type="checkbox"/> 兩面型 <input type="checkbox"/> 四面型) <input type="checkbox"/> 阻尼器型減震器	<input checked="" type="checkbox"/> X 型減震器(小 X 型)

## 玖、未來研究及建議

本次研究主要針對水平、垂直振動對房屋的影響加以探討，並了解不同高度的樓房在面臨地震時，會有不同的搖晃特性，也試著在建築上加上阻尼器以減少振動。但阻尼器型的減振器並沒有明顯效果，推測和擺動的頻率或增加的重量有關，未來可以再試著分析樓房的搖晃頻率，探討如何設計阻尼器以達成減震的效果。

## 拾、研究心得

- ：防疫期間，因為政府的規定，我們只好分批進行實驗。從製作房屋到分析結果，我們都進步了許多，在老師的建議下，我們將說明書、實驗方向、分析的軟體等部分加以調整，也發現組員們的重要性。實驗時，一位要幫忙錄影，一位要幫忙開震動裝置，一位要記錄，實驗完以後，要有人分析，有人紀錄，大家都有自己的工作，缺少一位就要增加組員的負擔，也藉由這個實驗更深入的了解關於地震的知識、房屋的架構、Tracker 軟體的使用方法，也體認到團結的重要。
- ：所謂「萬事起頭難」，雖然在去年的暑假我們已經有做過避震屋的經驗，但是對於在科展方面的應用卻一竅不通，藉由老師的耐心指導，才一步步漸入佳境。原本想接下來應該可以順順利利的進行全部實驗，沒想到地震模擬器卻故障失靈了，所幸組員們同心協力，土法煉鋼手做，大家分工合作，實驗的實驗，計時的計時、記錄的記錄，加上老師們齊力修復儀器，終於一一克服困難，完成了研究歷程。研究歷程印證了「事在人為」，只要肯努力，一定會有收穫。

- ：科展我選了「地震屋」當主題，雖然我們沒有選到最想要的，但是地震屋也很有趣。地震屋的樑柱是用木棒做的樓地板是風扣板，我們在每一層樓，都放上一支雷射筆，觀察房屋的震動情形，看哪一種形式最防震。為了實驗我們分為固定變因與改變變因；固定變因是材質與重量，改變變因有垂直震動、水平震動與有沒有阻泥擺以及阻尼擺的重量，我們還會改變震動的頻率。我覺得做地震屋實驗可以讓我知道地震的方式與來源，以及有效減少地震傷害的方法。
- ：在這次科展中，我學到如何建立一個實驗。實驗結果有時也會和假設不同，所以要把假設修改，再重新進行一次。結果有時候可以讓我知道原來真正的答案，其實和原來想法不同。讓我多多知道一些一般大家都不知道的小常識，由此學到更多的實驗，讓我增廣見聞，見識到實驗角色的用意，讓我更能快樂的學到進行實驗的重要性。

### 參考文獻

1. 不可思議的地震，第 40 屆全國中小學科展，國小組 地球科學科，2021.2.5 取自臺灣網路科教館科展群傑廳 <https://reurl.cc/NXMNo5>
2. 921 地震，房子倒不倒有關係，第 44 屆全國中小學科展，國小組 地球科學科，2021.3.5 取自臺灣網路科教館科展群傑廳 <https://reurl.cc/v5zK41>
3. 十震九穩—建築物抗震之研究，第 47 屆全國中小學科展，國中組生物及地球科學科，2021.2.5 取自臺灣網路科教館科展群傑廳 <https://reurl.cc/E20byA>
4. 探討常見建物斜撐型式之最佳化抗震效應，第 52 屆全國中小學科展，高中組 地球科學科，2021.2.5 取自臺灣網路科教館科展群傑廳 <https://reurl.cc/KxWO5R>
5. 震不震「阻」了就知道—從阻尼器看地震對鋼骨大樓的影響，第 55 屆全國中小學科展，高中組 地球科學科，2021.2.5 取自科展群傑 <https://reurl.cc/8yabMM>
6. 水塔與水撲滿—雙液體阻尼器之防震研究，第 60 屆全國中小學科展，高中組 地球與行星科學科，2021.2.5 取自臺灣網路科教館科展群傑廳 <https://reurl.cc/9rVIEY>
7. 交通部中央氣象局地震震度分級，交通部中央氣象局新聞稿。2021.1.25 取自 <https://reurl.cc/YWgvAD>
8. 如何幫大樓抗風防震？淺談台北 101 大樓阻尼器，2021.2.5 取自 <http://www.ntuce-newsletter.tw/vol.21/101damper-1.html>
9. 抗震大作戰—建築結構耐震研究，2021.1.25 取自臺灣網路科教館科展群傑廳 <https://reurl.cc/xGIRD1>
10. 纜纜升起 震震有辭~地震與纜車的邂逅，第 54 屆全國中小學科展，國中組地球科學科臺灣網路科教館科展群傑廳 <https://reurl.cc/kZl6VL>

## 【評語】 080503

### 【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. 創作設計不同類型耐震屋，進行系列耐震相關探討研究，歸納最佳設計耐震屋。
3. 研究作品與實驗過程完整，相關的文獻與研究成果調查詳細。

### 【建議】

1. 有歷屆科展的相關研究之調查(有七屆類似題目)，可惜並未說明與之前研究之異同，無法分辨本實驗之貢獻。例如，全國第47屆國中科展與第55屆國小科展有相似之結論(X型的斜桿拉張作用有抗震能力，以及阻尼器有避震效果等)

## 作品簡報

# 中華民國 第61屆中小學科學展覽會

組 別：國小組

科 別：地球科學

作品編號：**080503**

作品名稱：

天搖地動～耐震屋研究

# 研究架構

天搖地動——耐震屋研究

樑柱

- 房屋樑柱分層
- 房屋樑柱不分層

房型

- 方型 (20cmX20cm)
- 長型 1 (40cmX10cm)
- 長型 2 (50cmX8cm)

振動類型

- 水平振動型地震
- 垂直振動型地震

樓高

- 3F、6F、9F 水平振動
- 3F、6F、9F 垂直振動
- 2F、4F、5F(關鍵實驗)

減震器設計

- 阻尼器
- X 型減震器
- 滾珠型減震器

最佳耐震屋

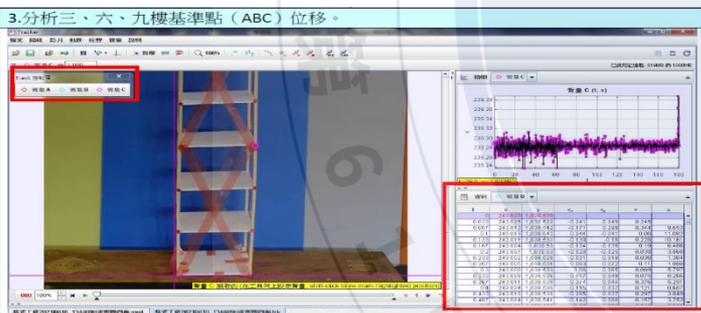
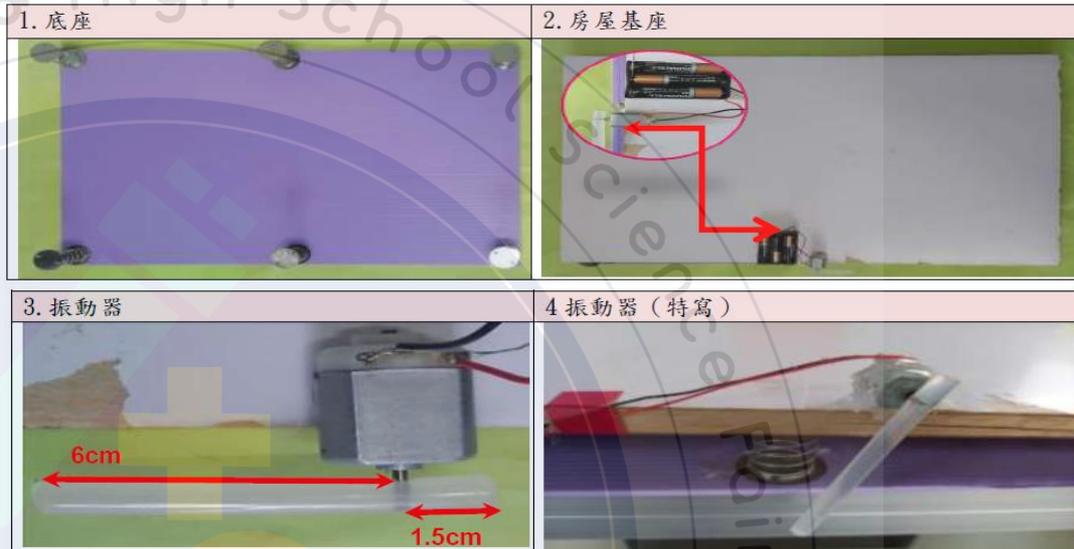
# 研究方法

## ■ 自製實驗裝置 (說明書p. 6-7)

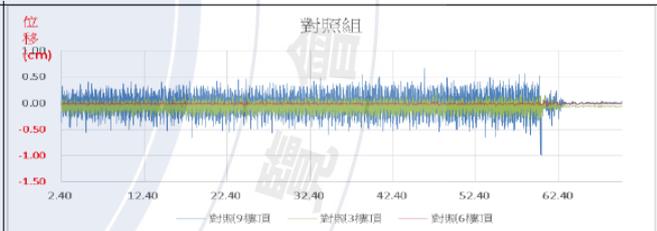
- 自製地震模擬器
- 自製模型屋 I ~ VII

## ■ 分析方法 (說明書p. 8-9)

- 碼表測量振動時間
- 手機app測試地震級數
- Tracker分析模型屋位移量 (說明書p. 9)

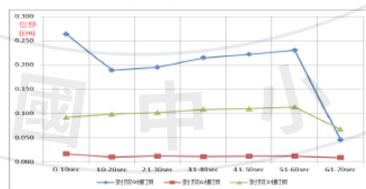


- 將每秒不同位置變化，畫成每秒振幅變化。



### (4) 計算基準點位移量

- 將黃色欄轉換成位移量(正值)
- 利用 ABS 運算將所有資料轉成正數
- 計算每隔 10 秒位移平均
- 畫成統計圖



### (3) 計算基準點位置變化 (振幅)

- 以第一個時間點為位置基準。
  - 位置變化計算(振幅): (黃色欄)
- 位移量 = 所有時間位置 - 第一個時間位置

- 舉例:
- 0.07 秒位移量
- 對照 9 樓位移量  
268.22-168.23=-1.01
- 對照 6 樓位移量  
240.79-240.78=0.01
- 對照 3 樓位移量  
224.75-224.77=-0.02

t	對照9樓頂	對照6樓頂	對照3樓頂
1	268.22	240.78	224.75
2	268.22	240.79	224.76
3	268.22	240.79	224.75
4	268.55	240.79	224.76
5	268.19	240.75	224.60
6	268.48	240.77	224.80
7	268.14	240.76	224.56
8	268.57	240.75	224.79
9	268.22	240.76	224.58
10	268.44	240.77	224.76
11	268.06	240.74	224.51

t	對照9樓頂	對照6樓頂	對照3樓頂
1	0.00	0.00	0.00
2	0.03	0.01	0.01
3	0.07	0.01	0.01
4	0.10	0.02	0.01
5	0.13	0.04	0.03
6	0.17	0.25	0.00
7	0.20	0.09	0.02
8	0.23	0.34	0.02
9	0.27	0.01	0.02
10	0.30	0.21	0.01
11	0.33	0.17	0.04
12	0.37	0.00	0.04

計算每隔 10 秒

# 目的一、樑柱分層與不分層，對房屋樓層振動時間長短的影響

## 研究1-1：樑柱分層與不分層

### 【研究方法】

- 自製模型屋 I、II（垂直振動）
- 碼表測量不同樓層雷射紅點停止時間



照片 1：樑柱分段 I 照片 2：樑柱不分段 II

### 【研究發現】

- 樑柱分段的振動時間 > 樑柱不分段振動時間，表示房屋樑柱不分段較快停止振動。
- 不同樓層振動時間長短：不管樑柱是否分段，振動時間長短，都是由一樓到三樓振動時間漸漸增加。

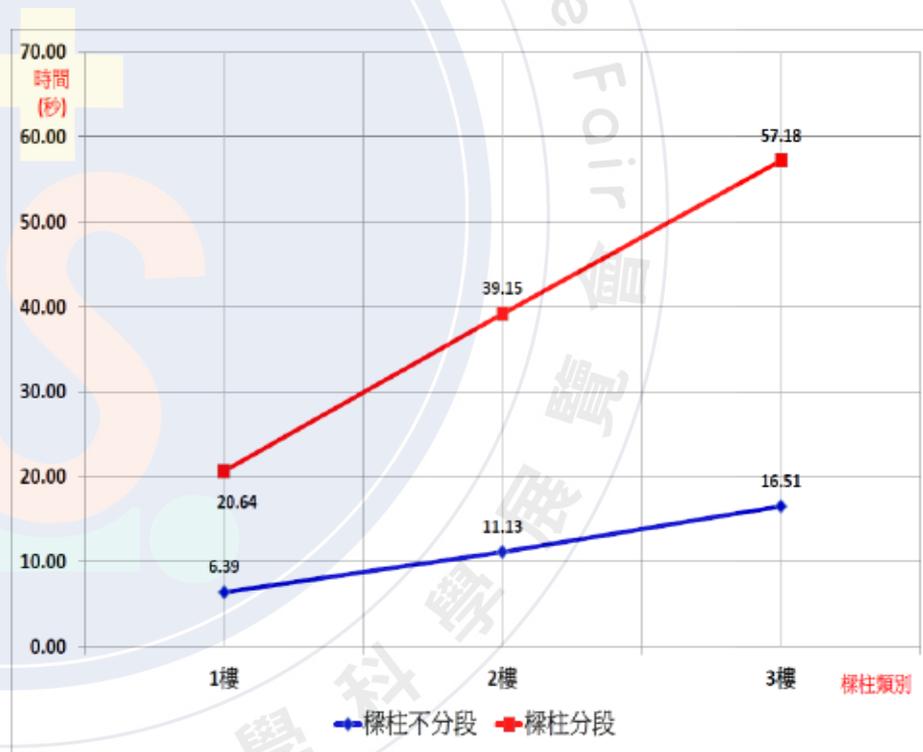


圖 1：房屋樑柱分段與不分段振動時間比較

詳細數據請參閱說明書第10頁

## 目的二、房屋樣式，對房屋振動時間長短的影響。

### 研究2-1：房屋樣式

#### 【研究方法】

- 自製模型 II、III、IV（垂直振動）



照片 3：模型屋 II



照片 4：模型屋 III



照片 5：模型屋 IV

#### 【研究發現】

- 振動時間長短：模型屋 II > III > IV，模型屋 II (20cmX20cm) 振動時間較長，模型屋 IV (50cmX8cm) 較短。
- 房屋較方正 (20cmX20cm)，振動時間較長；而較狹長的房子 (50cmX8cm)，振動時間較短。

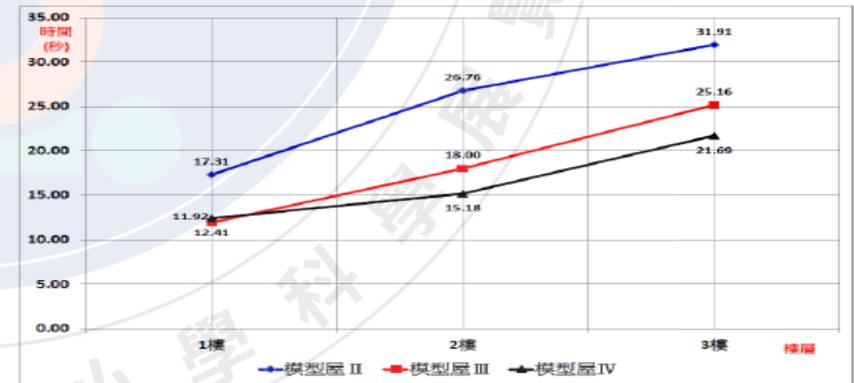


圖 2：房屋樣式，對房屋振動時間長短的影響

詳細數據請參閱說明書第12頁

# 目的三：地震振動類型，對不同樣式房屋振動時間長短的影響

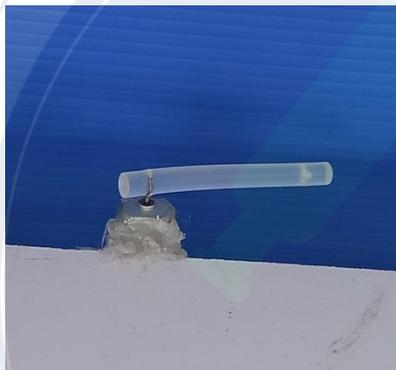
## 研究3-1：垂直振動型地震

### 【研究方法】

- 採用垂直振動、水平振動



垂直振動



水平振動

### 【研究發現】

- 垂直振動下，不同樓層振動時間長短，由一樓至三樓漸漸增加。
- 水平振動下，卻是由一樓至三樓漸漸減少。樓層振動時間長短，與振動方式正好相反。
- 推測是樓層高度差異造成，有待下一個實驗繼續研究。

詳細數據請參閱說明書第13-14頁

## 研究3-2：水平振動型地震

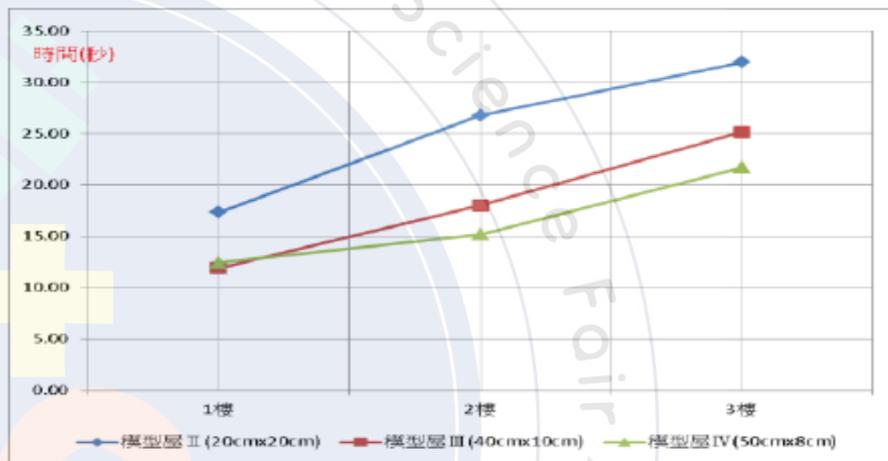


圖 3：垂直振動對不同房型振動時間長短比較

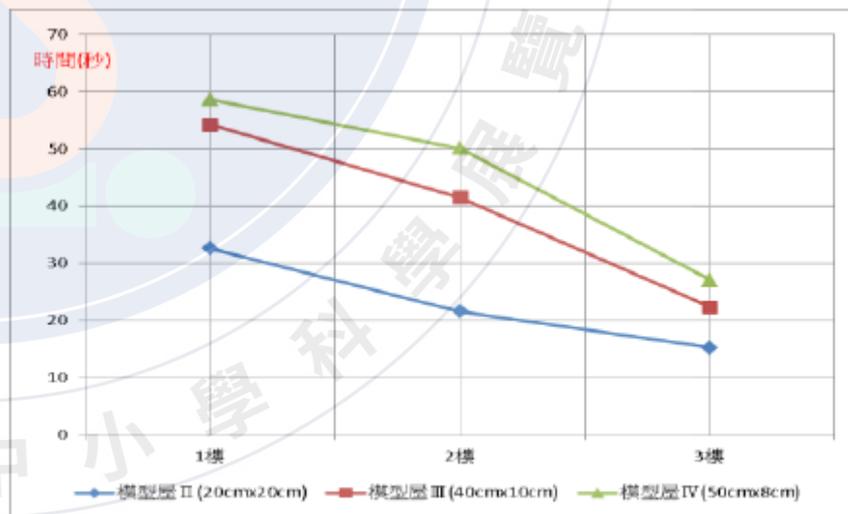


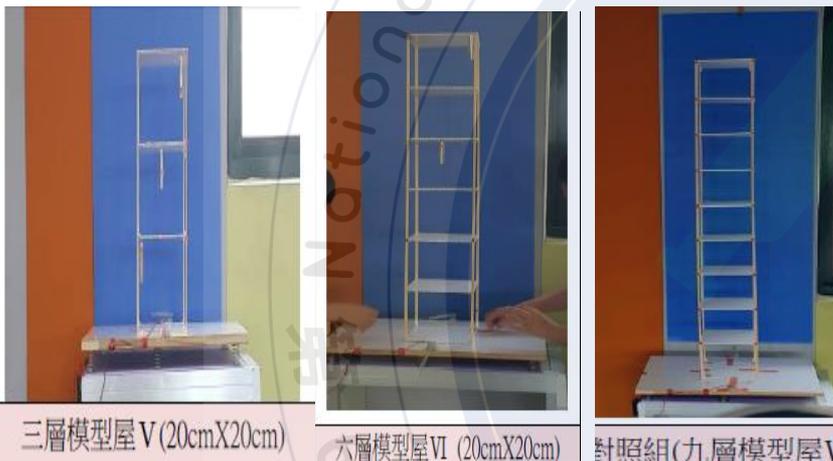
圖 4：水平振動對房型振動時間長短影響比較

# 目的四：樓高與地震振動類型，對房屋振動時間長短的影響

## 研究4-1：不同樓高與垂直振動類型

### 【研究方法】

- 自製三層屋、六層屋、九層屋
- 採用垂直振動、水平振動進行實驗



### 【研究發現】

- 垂直振動下，三層屋、六層屋、九層屋，隨著樓層越高，振動時間越長。
- 水平振動下，六層屋、九層屋，不同樓層振動時間，都是由低層樓到高层樓，
- 水平振動下，三層屋，隨著樓層增加，振動時間越短。

詳細數據請參閱說明書第16-17頁

## 研究4-2：不同樓高與水平振動型

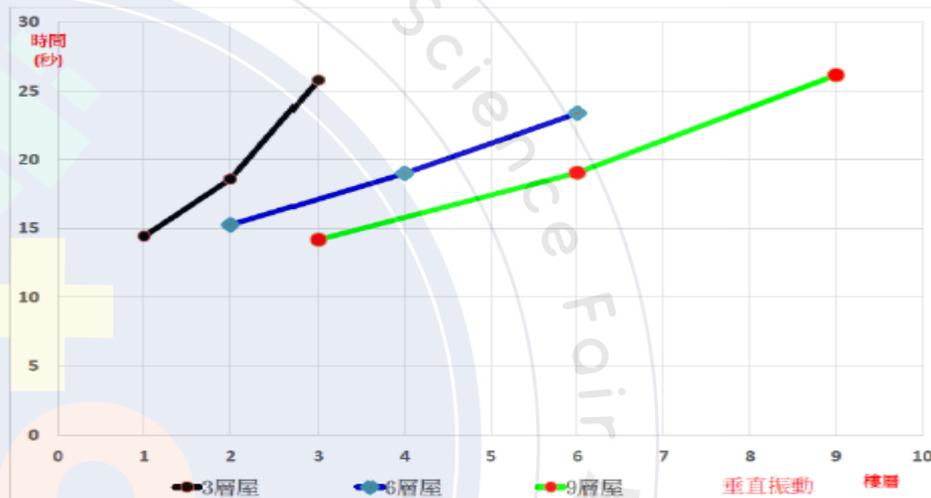


圖 8：垂直振動下，三、六、九層屋振動時間長短

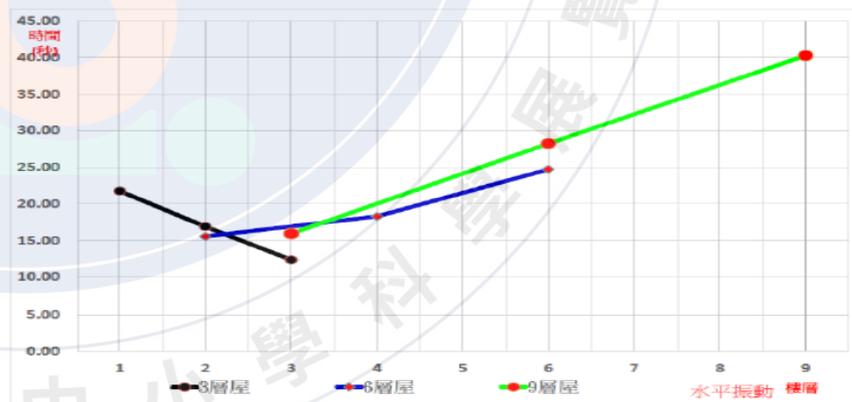


圖 9：水平振動下，三、六、九層屋振動時間長短

# 延伸實驗：二層屋、四層屋、五層屋在水平振動、垂直振動下，對房屋振動時間長短的影響？

## 【研究構想】

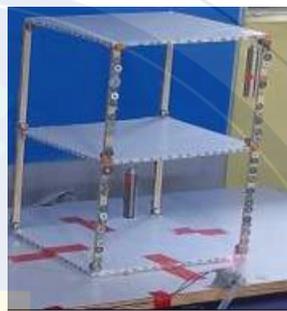
- 三層屋在水平振動下，振動時間長短與六層屋、九層屋相反；我們想探討是從哪個樓層開始相反？

## 【研究方法】

- 自製二層屋、四層屋、五層屋
- 採用垂直振動、水平振動進行實驗

## 【研究發現】

- 垂直振動下，隨著樓層越高，振動時間越長。
- 水平振動下，四樓以上（含），隨著樓層越高，振動時間越長。
- 水平振動下，三樓以下（含）在水平振動時，一樓比二樓、三樓振動時間較長。



二層屋模型VIII(20cmX20cm)



四層屋模型IX(20cmX20cm)



五層屋模型X(20cmX20cm)

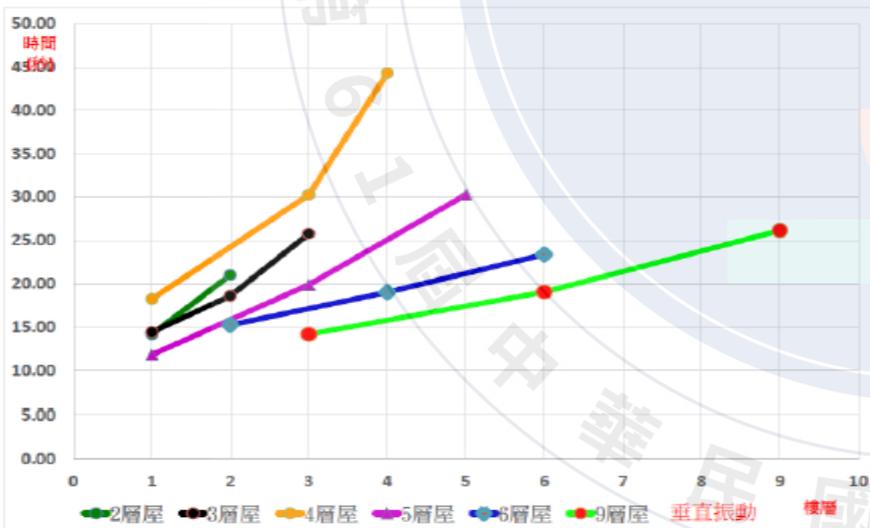


圖 10：垂直振動下，從低樓層到高樓層振動時間比較

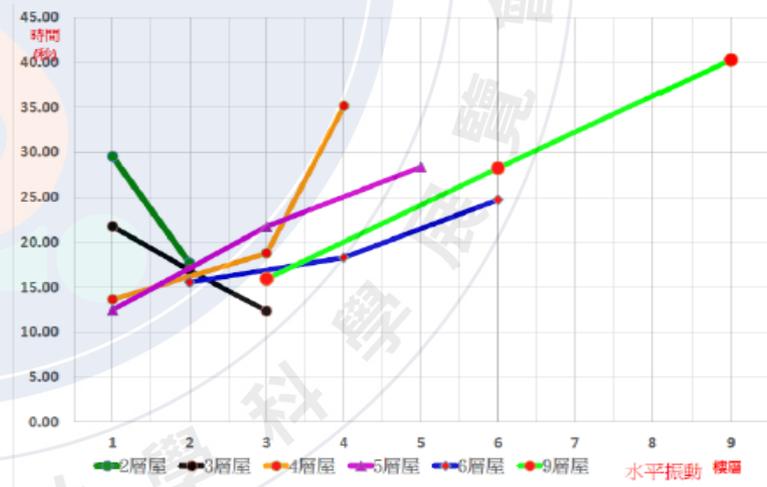


圖 11：水平振動下，從低樓層到高樓層振動時間長短比較

詳細數據請參閱說明書第18-19頁

# 目的五、不同減震器設計，對房屋振動減震影響

## 研究5-1：阻尼器型減震器，對房屋減震效果的影響？

### 【研究方法】

- 自製3克5公分阻尼器、3克10公分阻尼器
- 利用Tracker分析房屋樓層位移量

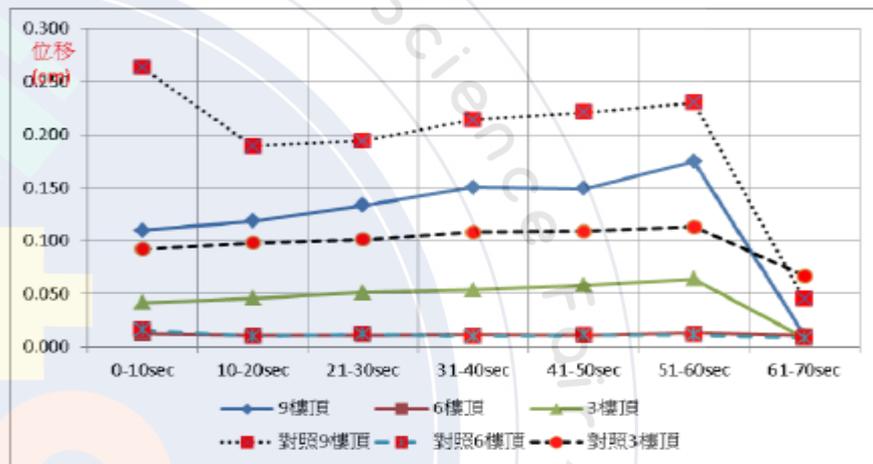
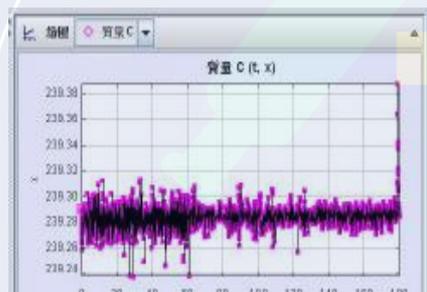


圖15：A1阻尼器與對照組減震比較

### 【研究發現】

- 5公分阻尼器具有減震效果
- 10公分阻尼器不僅沒有減震，反而提高移動位移量。
- 推測3克5公分擺動週期較接近大樓震動週期，因而減少震動效果。

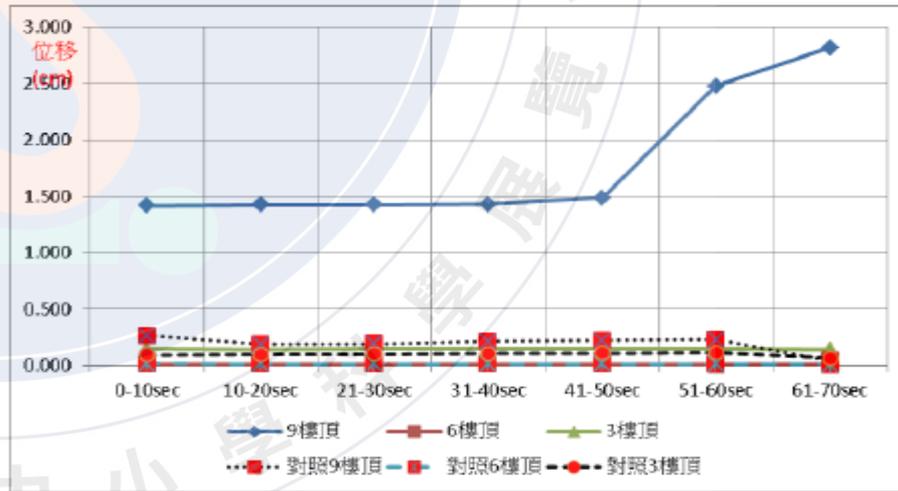


圖16：A2阻尼器與對照組減震比較

# 目的五、不同減震器設計，對房屋振動減震影響

## 研究5-2：X型減震器，對房屋減震效果的影響？

### 【研究方法】

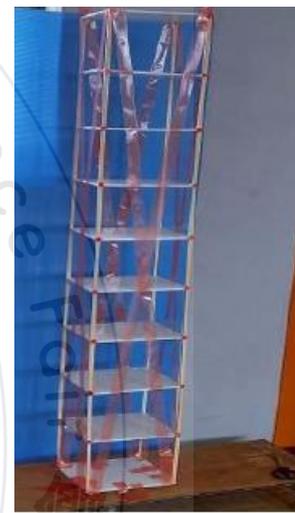
- 自製小X型四面的減震器、大X型四面的減震器
- 利用Tracker分析房屋樓層位移量

### 【研究發現】

- 設置減震器後，位移量變化為：小X型四面的減震器 < 大X型四面的減震器 < 對照組
- 小X型四面的減震器位移量比大X型四面的減震器小，顯示有較好的減震效果。
- 加上X型結構的減震器，有明顯效減低樓房的搖晃（位移量變小）



小 X 型減震器



大 X 型減震器

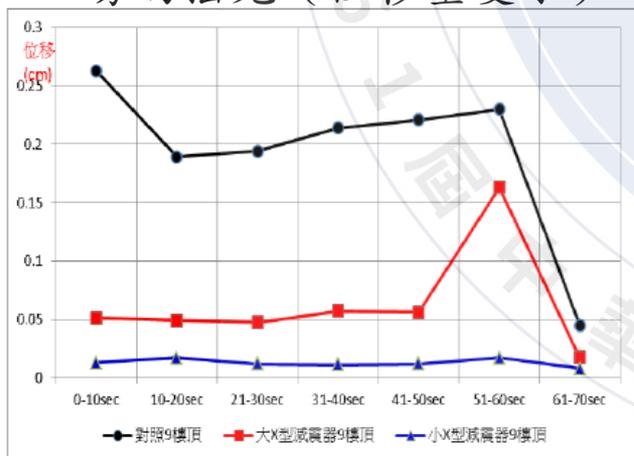


圖 19：X 型減震器與對照組九樓減震比較



圖20：X型減震器與對照組六樓減震比較

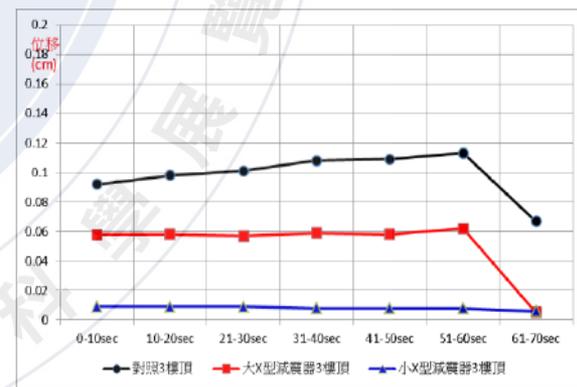


圖21：X型減震器與對照組三樓減震比較

# 目的五、不同減震器設計，對房屋振動減震影響

## 研究5-3：滾珠型減震器，對房屋減震效果的影響？

### 【研究方法】

- 自製四面滾珠型減震器、兩面滾珠型減震器。
- 利用Tracker分析分析三樓、六樓、九樓屋樓層位移量

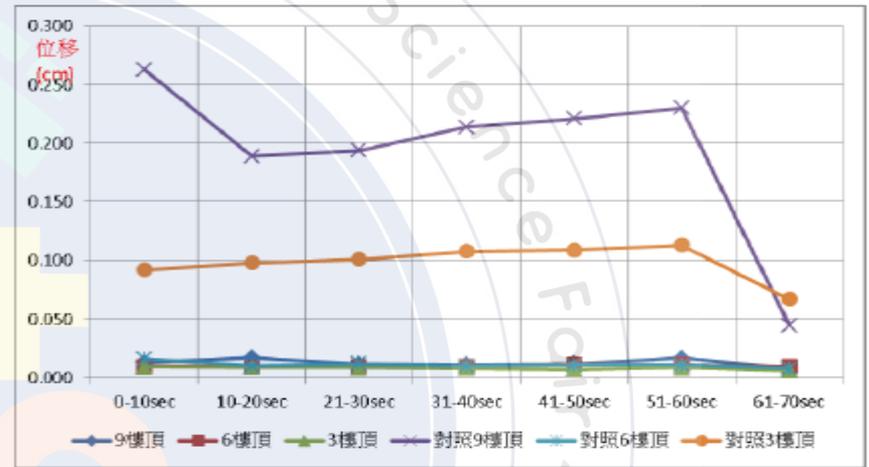
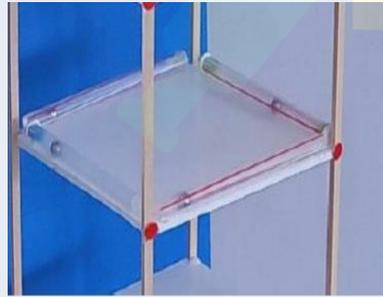


圖 24：對照組與四面滾珠型減震器位移比較

### 【研究發現】

- 四面滾珠型減震器，位移量變化為：六樓>九樓>三樓。
- 兩面滾珠型減震器，位移量變化為：三樓>九樓>六樓。
- 四面滾珠型減震器、兩面滾珠型減震器位移量，都小於對照組，顯示具減振效果

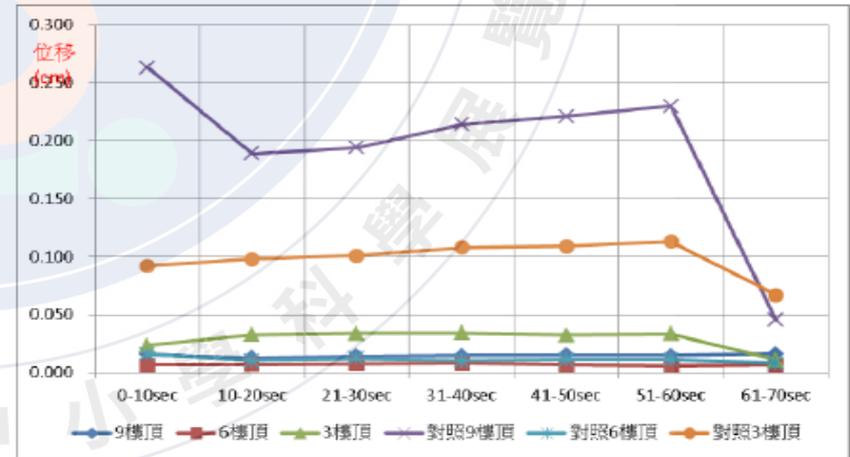


圖 25：對照組與兩面滾珠型減震器位移比較

詳細數據請參閱說明書第24-25頁

# 結 論

項目	最佳耐震屋	結論	
樑柱結構	<input type="checkbox"/> 樑柱分層 <input checked="" type="checkbox"/> 樑柱不分層	●房屋樑柱不分段較快停止振動。	
房屋樣式	<input checked="" type="checkbox"/> 方型Ⅱ (20cmX20cm) <input type="checkbox"/> 長型Ⅲ (40cmX10cm) <input type="checkbox"/> 長型Ⅳ (50cmX8cm)	●相同面積下，愈接近正方形的模型屋震動時間較長。	
樓高	垂直振動 <input checked="" type="checkbox"/> 兩層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 三層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 四層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 五層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 六層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 九層屋	<input checked="" type="checkbox"/> 1F <input type="checkbox"/> 頂樓	●樓層越高，振動時間越長。
	水平振動 <input checked="" type="checkbox"/> 兩層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 三層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 四層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 五層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 六層屋 <input checked="" type="checkbox"/> 九層屋	<input checked="" type="checkbox"/> 頂樓 <input checked="" type="checkbox"/> 1F	◆三層屋以下，樓層越高，振動時間越短。 ●四層屋以上，樓層越高，振動時間越長
減震效果	<input type="checkbox"/> X型 ( <input type="checkbox"/> 大X型 <input checked="" type="checkbox"/> 小X型) <input type="checkbox"/> 滾珠型 ( <input type="checkbox"/> 兩面型 <input checked="" type="checkbox"/> 四面型) <input type="checkbox"/> 阻尼器型 ( <input checked="" type="checkbox"/> 5公分 <input type="checkbox"/> 10公分)	●X型減震器>滾珠型減震器 >阻尼器型減震器。	