

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100007

參展科別 工程學

作品名稱 漂浮城市~創意的隔震設計

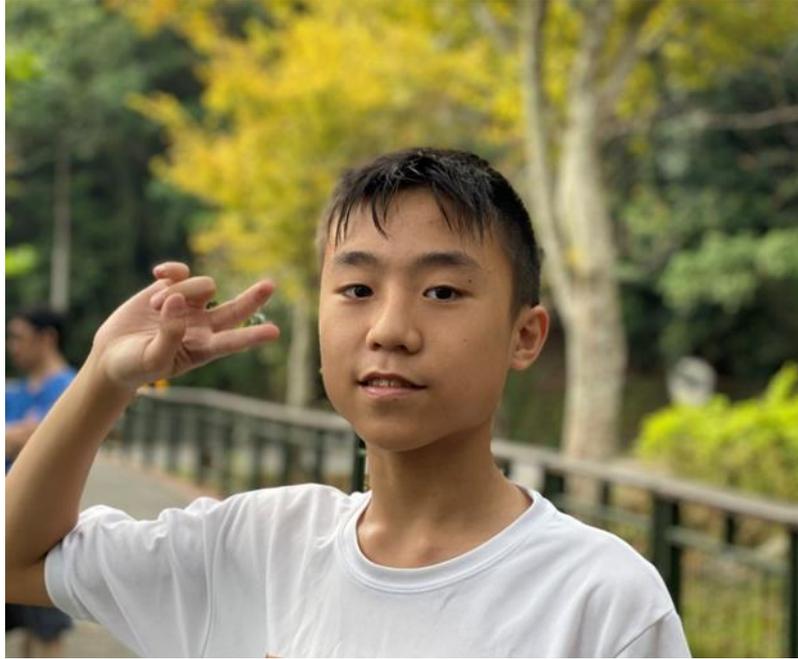
就讀學校 彰化縣立陽明國民中學

指導教師 蔡名峯、陳炳彰

作者姓名 李騏睿

關鍵詞 空氣墊、隔震設計、樂高 EV3

作者簡介



我是李騏睿，目前就讀彰化縣立陽明國中二年級。我從小就對於機械、電腦及自然的事物很有興趣，在小一時接觸到樂高 EV3 時，就猶然地熱衷於此，之後每年皆有參賽並獲獎，並於 107 年時獲得全國教育盃機器人大賽創意組第二名；另外從小四開始也自學 Scratch 程式語言，並且每年在貓咪盃 Scratch 程式語言競賽中皆有獲獎，目前也開始學習 Python 程式語言，由於也對於科學的喜好，從小四開始也年年參加科展競賽，除了有獲獎之外，也累積了許多科學的實作經驗；很榮幸入選國際科展參賽，希望藉此能增加自己的視野及科學的創意交流。

Abstract

Use tabletop hockey toys to inspire us to make a new design that allows buildings to float and absorb shock or isolate vibration as **The Base Isolation Devices**, and use **The Lego EV3 Education Module** to design experiments to explore the factors that affect the shock reduction effect.

We found that as long as the two interfaces at the bottom of the building are filled with air to form an "**Air Cushion**" as base isolator devices, the friction can be reduced and the effect of shock absorption can be achieved. The larger of the building base area, the lighter of the building weight, the smoother of the building base contact surface, and the high-frequency earthquakes vibration will have better shock absorption effect in our new seismic dampers design .

In addition, in order to reduce the irregularity sliding of buildings and the exceeds of the original building design activities area caused by Base Isolation Devices, we also design a addition buildings seismic isolation devices that use Viscous Dampers or shock-absorbing rubber pads setting around the buildings to avoid collisions during sliding and prevent damage the building.

Finally, We hope that this new and creative seismic isolation device design can inspire the building industry to have different thinking and afflatus to make a better building seismic dampers design in the future. Therefore, people can permanently keep safety and prevent damage from the earthquakes.

摘要

利用桌面曲棍球的玩具，啟發本組做出能讓建築物漂浮減震的設計，並使用**樂高 EV3 教育模組**設計實驗來探討其中影響減震效果的變因。本組發現：**只要在建築物底部兩個介面中充入空氣形成「空氣墊」，就可以減少摩擦力而達到減震的效果**，另外也發現，讓建築物懸浮的空氣墊氣壓越大、底面積越大、重量越輕、接觸底面越光滑、及在高頻的地震下，其減震的效果越好。此外，為了減少因為減震產生的建築物滑動而超過原本建築物設計活動的範圍，使用此隔震設計的建築物也需要設計使用阻尼或避震墊在建築物的周邊，以避免滑動時撞壞建築物。最後希望提出此創意的隔震設計讓業界有不同的思考及靈感，做出將來更好的建築物避震設計，讓人們可永久免於地震的傷害。

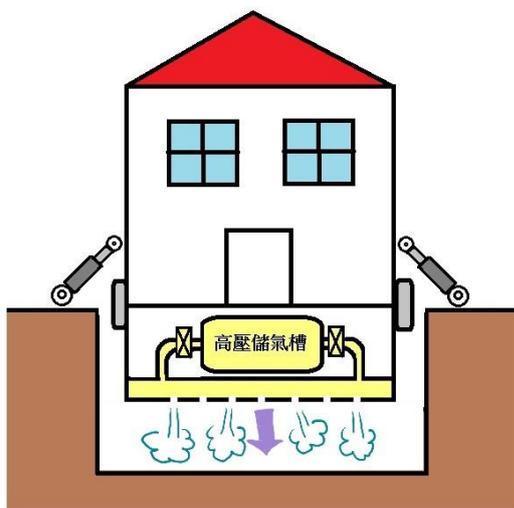
壹、研究動機

某天，和妹妹在玩桌上曲棍球的玩具，很好奇為什麼桌上曲棍球可以一直在有很多小孔的桌面滑動而不會停止，在好奇心驅使下拆開玩具發現，原來是有一顆打氣的馬達，將空氣從玩具桌面的小孔打出，讓曲棍球可以懸浮因而減少摩擦，氣墊船也是相同的原理，這時突然靈機一動，台灣位處多地震帶上，地震常造成建物損毀及人員傷亡，如果可以利用這個原理，利用空氣墊氣壓懸浮的原理，讓建築物可以在地震發生時飄浮起來或減少和地面的摩擦力，是否就可以達到避震的效果？因此就開始了本組改造桌上曲棍球的玩具及避震的實驗。

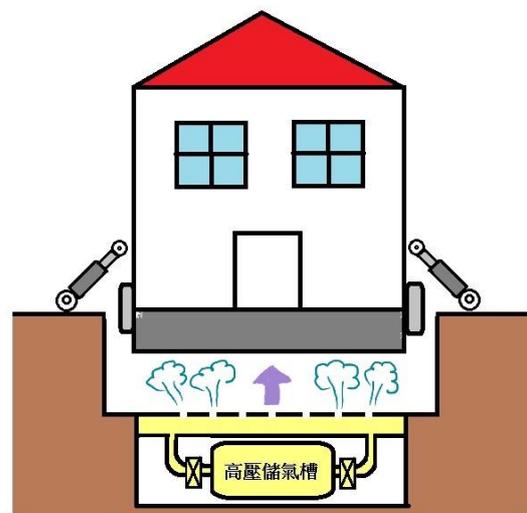
貳、研究目的

利用樂高 EV3 教育模組設計實驗來找出影響空氣墊氣壓懸浮避震效果的因素：

- 一、探討建築物底部吹出空氣墊的氣壓壓力對振幅的影響。
- 二、探討建築物底部面積對振幅的影響。
- 三、探討建築物重量對振幅的影響。
- 四、探討建築物底部的光滑程度對振幅的影響。
- 五、探討在不同地震的震動頻率下對振幅的影響。
- 六、找出在上數變因中，建築物底部的最大靜摩擦角 (係數) 變化。

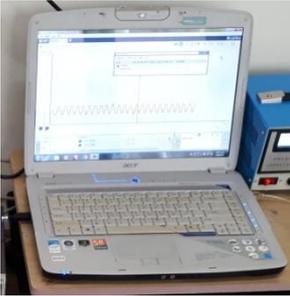


高壓空氣往下噴來達到隔震懸浮



高壓空氣往上噴來達到隔震懸浮

參、研究設備及器材

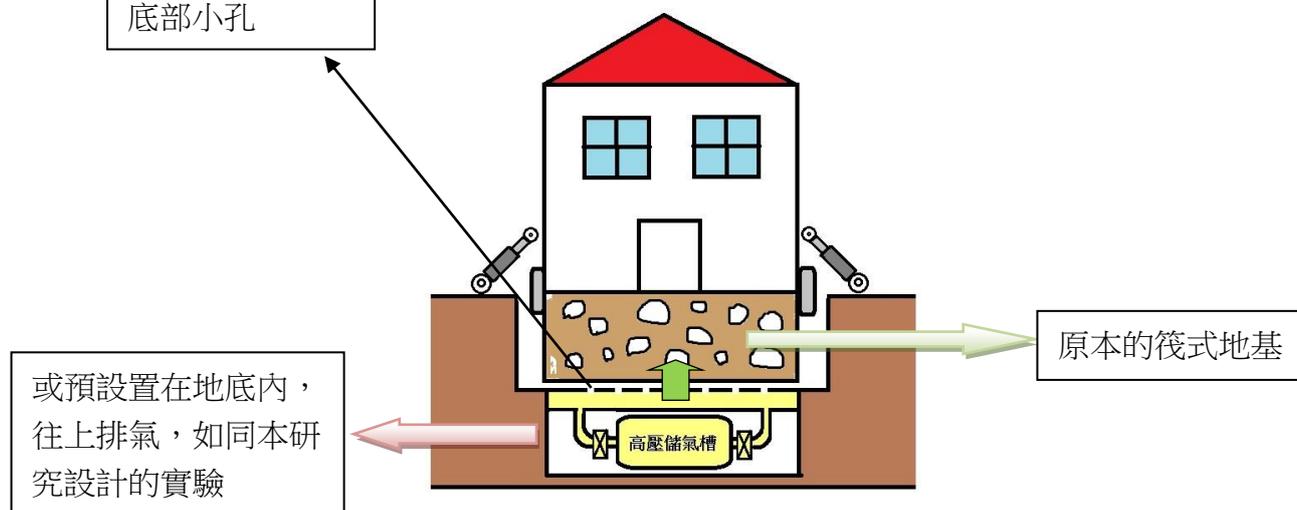
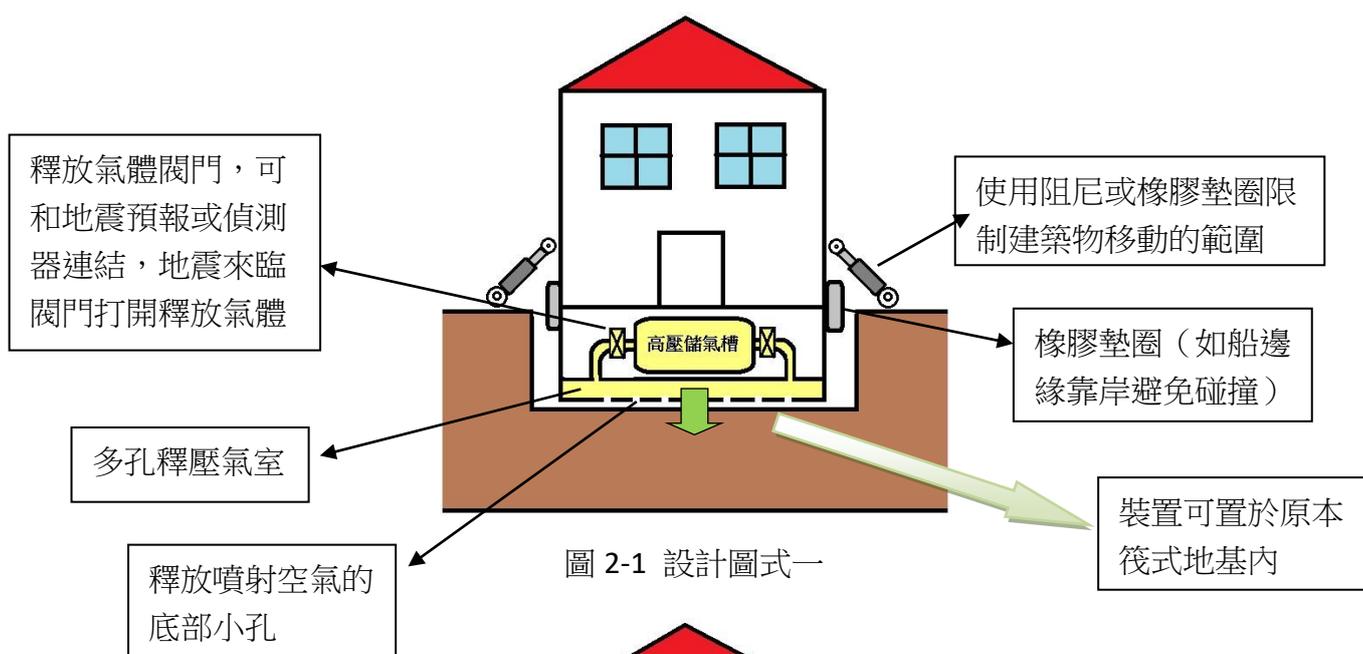
 <p>圖 1-1 樂高 EV3 教育模組</p>	 <p>圖 1-2 桌上曲棍球玩具板</p>	 <p>圖 1-3 二手搖擺機</p>
 <p>圖 1-4 改裝木板材料</p>	 <p>圖 1-5 塑膠盒</p>	 <p>圖 1-6 配重用舊電池</p>
 <p>圖 1-7 電子秤</p>	 <p>圖 1-8 可調式直流電源供應器</p>	 <p>圖 1-9 可調式交流電源供應器</p>
 <p>圖 1-10 電腦及 EV3 軟體</p>		

肆、研究過程或方法

一、隔震設計的想法：

利用大型的儲氣槽儲存高壓壓縮的空氣在建築物地下室，當偵測到地震先到達的 P 波或利用遠距地震預警系統在地震到達前 1~2 秒時，釋放氣體，讓高壓空氣從建築物底部多孔的平面噴出，讓空氣充斥於建築物底部平面和地面中間的隙縫，形成「空氣墊」，減少建築物底部的摩擦力或釋放壓力可大到讓建築物輕微飄浮在空中，地震來時，建築物就不會跟地面一起搖擺，達到避震或隔震的效果。當地震過去後，再利用空壓機重新充填空氣，等待下一次地震來時再度啟動。

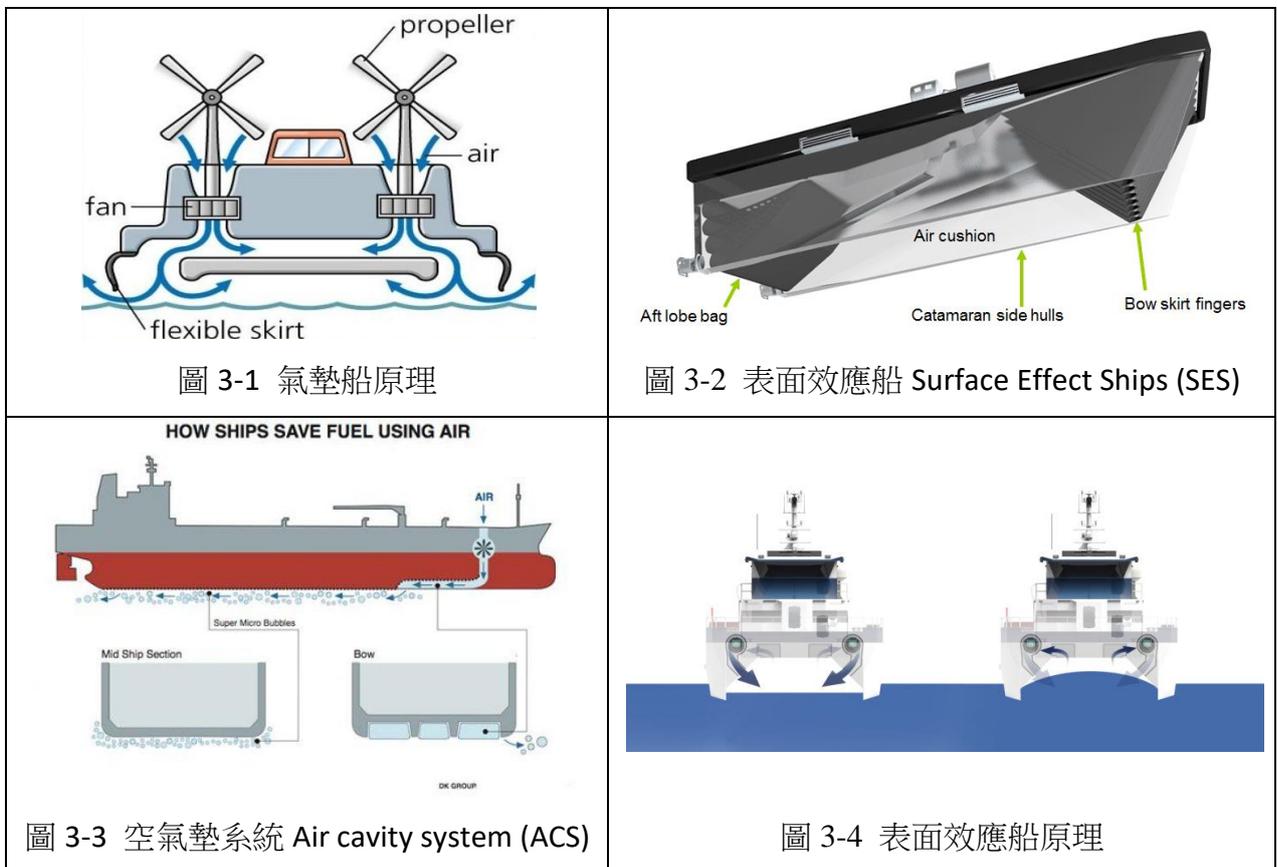
- 圖 2-1 是將高壓儲氣槽設置在建築物地下室或筏式地基中，釋放空氣時往下噴射。
- 圖 2-2 是將高壓儲氣槽設置在地底中，釋放空氣時往上噴射，此為本組實驗的設計。



二、應用原理

本組應用的原理是在兩個物體接觸的表面間充入氣體或液體（空氣或水）形成的**表面效應**，**減少兩個介面間的摩擦阻力**，目前常應用在船體設計，有以下幾種設計：

- (一)、 **表面效應船 (Surface Effect Ships ; SES)** 或稱**側壁式氣墊船**：在船底與水面之間形成一層高壓空氣泡將船舉起，可以減低水的阻力，美國海軍已應用在快速艦艇上。
- (二)、 **空氣墊系統 (Air cavity system ; ACS)**：通常用在大型輪船油輪等，將空氣打入船底，在船底周圍形成空氣墊氣泡包覆，減少阻力，可讓大型輪船減少油耗，航行更加穩定並減少船底的侵蝕破損，**極地破冰船也常使用 ACS**，**減少破冰船卡在冰縫中**。
- (三)、 **全墊式氣墊船**：就是一般常見的氣墊船，利用強力風扇將空氣往船底下吹形成空氣墊，周圍有「橡膠側裙」避免空氣洩漏得過快，和 ACS 及 SES 系統相比，全墊式氣墊船耗能較高，也容易受風力影響而航行偏移，但因為可懸浮在水上及陸地不同的地形，可以應用範圍也很廣，常做為兩棲登陸艇或短距離的接泊渡輪，**本組設計的隔震系統較類似全墊式氣墊船的原理**。



三、模擬實驗的設計及方法

(一)、 **地震模擬器**：利用二手不要的搖擺機，將其改裝成地震模擬器，模擬地震水平搖動的情形。

(二)、 **模擬懸浮氣壓產生器**：將桌上曲棍球玩具利用木板，改裝放置於搖擺機上，並將桌上曲棍球玩具中的**充氣馬達電源外接出來，使用可調整的直流電源供應器來提供電源，作為用來改變桌上曲棍球噴出氣壓的大小**。本實驗利用 EV3 組件組成實驗限制活動區域，限制模擬建物在一定方向內移動，並將桌上曲棍球板實驗區域以外的小孔，**用透明寬膠帶將小孔貼住，只開放板上限制區域內的小孔，讓氣壓可以更集中產生在本組要實驗的區域內**（如下圖 4）。

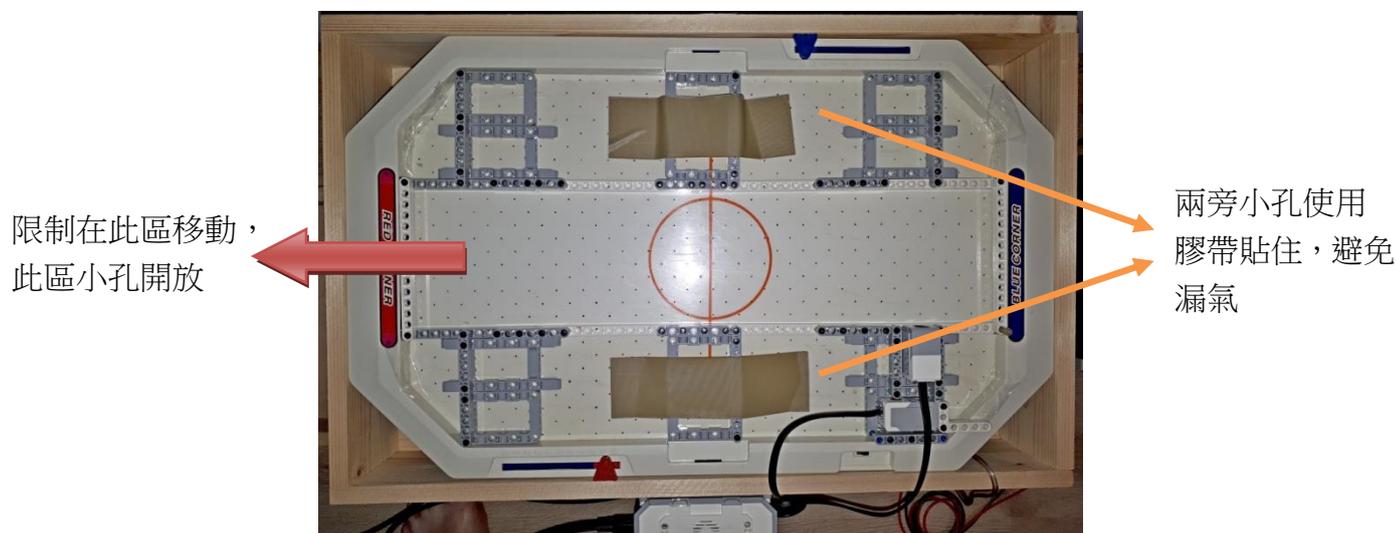
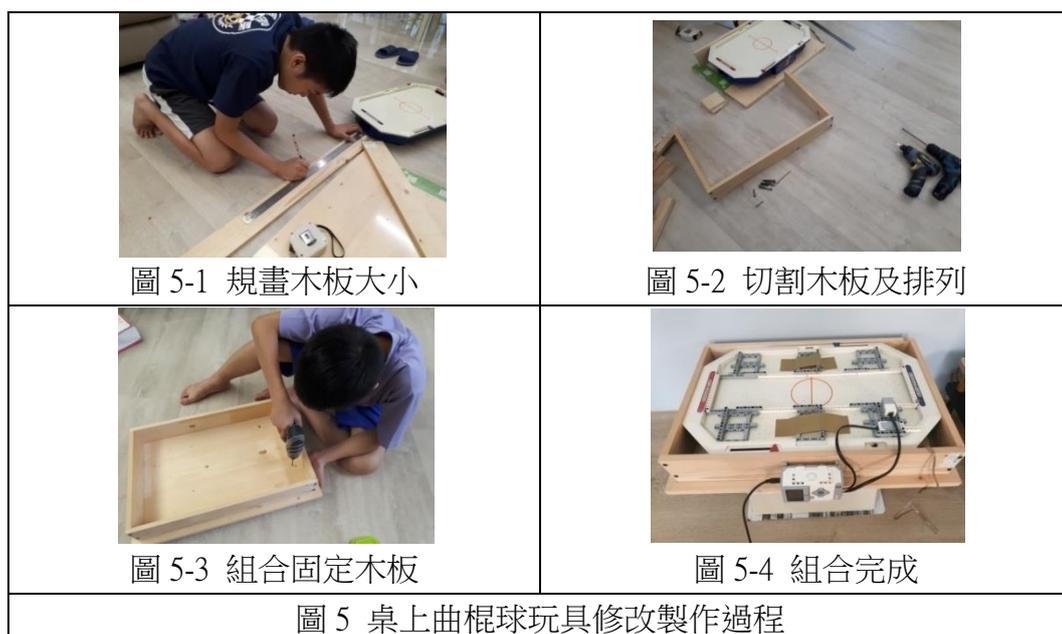


圖 4 桌上曲棍球玩具修改圖



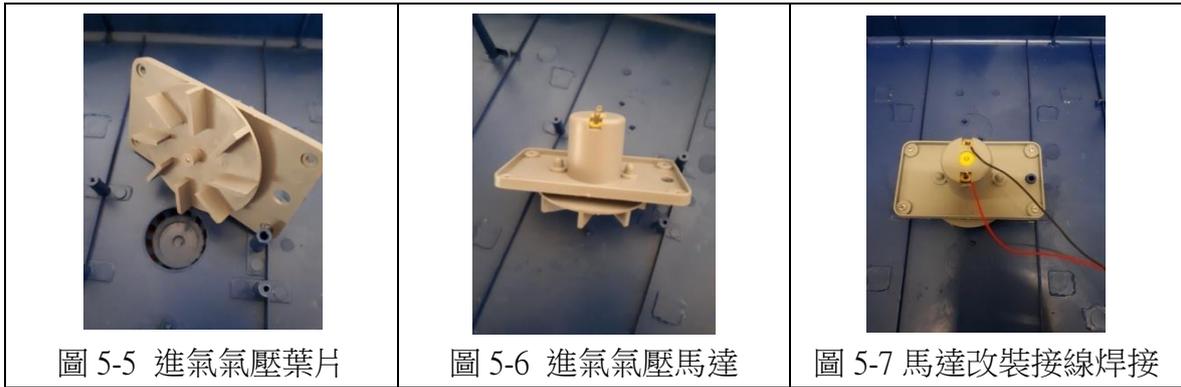


圖 5-5 進氣氣壓葉片

圖 5-6 進氣氣壓馬達

圖 5-7 馬達改裝接線焊接

(三)、**模擬建築物**：本實驗將透明塑膠盒在底部黏上木質波麗板，當作模擬建物，多黏上一個**底板是要讓模擬建物的底部較為平整，和地面有較完整的接觸**，另外使用透明塑膠盒是為了方便在操作實驗變因時，可以看清楚模擬建物內是否有加重量，或底部有使用不同的材質。

(四)、**實驗時**，將模擬建物放在剛剛設計好的桌上型曲棍球玩具平板上，啟動搖擺機（如下圖 6），此時桌上曲棍球玩具就會跟著搖擺機搖動，在桌上曲棍球玩具上的模擬建物就會如同受到地震般得搖動起來，此時再**利用超音波測距儀，從搖擺機外一個固定不動點，測量桌面曲棍球玩具和模擬建物跟此不動點的距離變化，即可得到兩者搖動距離的變化，即振幅，再比較兩者的振幅大小，就可以知道是否有減震的效果。**

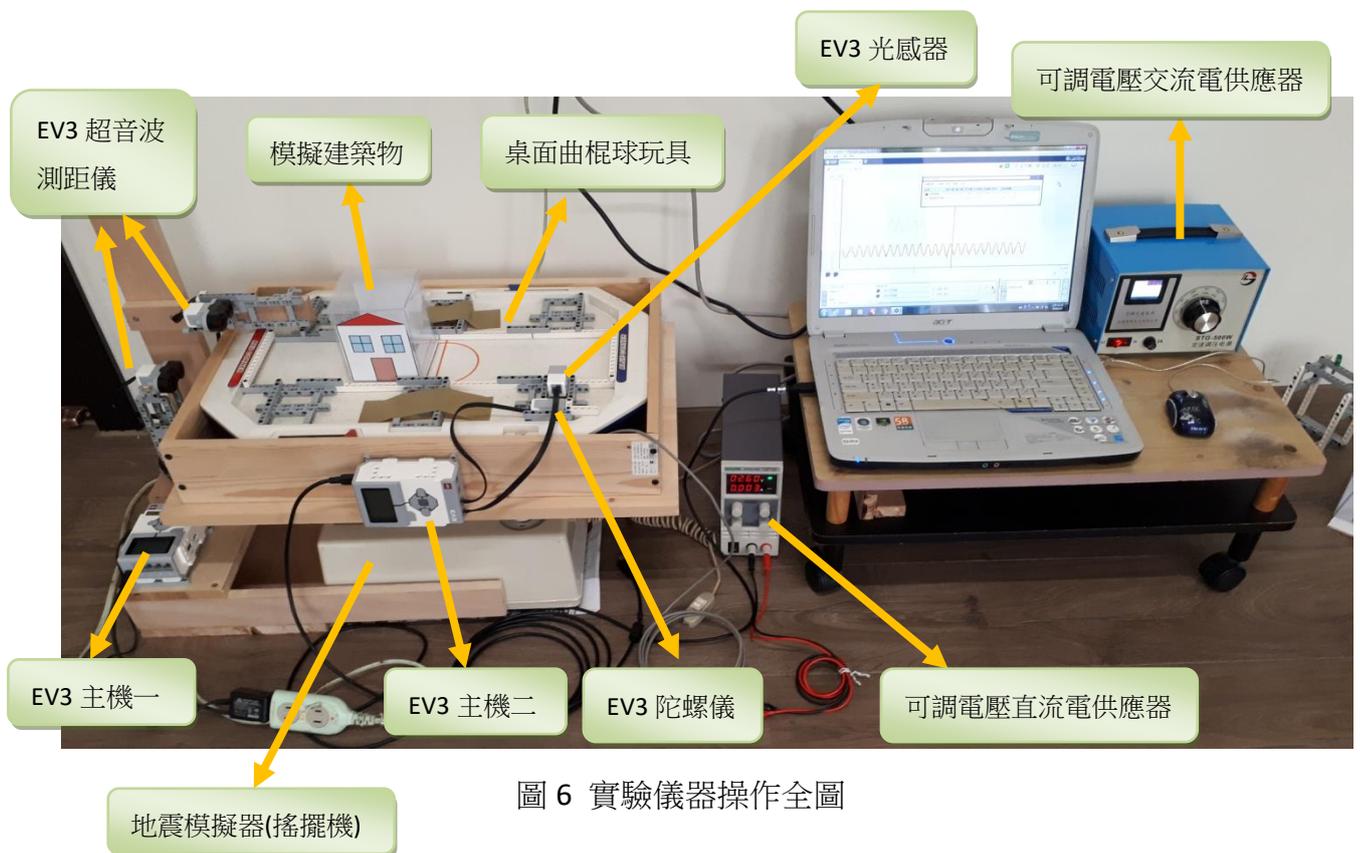


圖 6 實驗儀器操作全圖

(五)、為了測量地震模擬器上模擬的建築物受地震搖擺時擺動距離的大小等變化，本實驗利用 ev3 中的超音波測距儀，及 ev3 提供內建的截取實驗數據軟體，一樣利用木板及 ev3 的配件將兩組超音波測距儀分別裝在地震模擬器外部一個固定支架上，一組用來測量模擬建物擺動距離的變化，另一組用來測量地震模擬器擺動距離的變化作為對照（如下圖 7-1）。

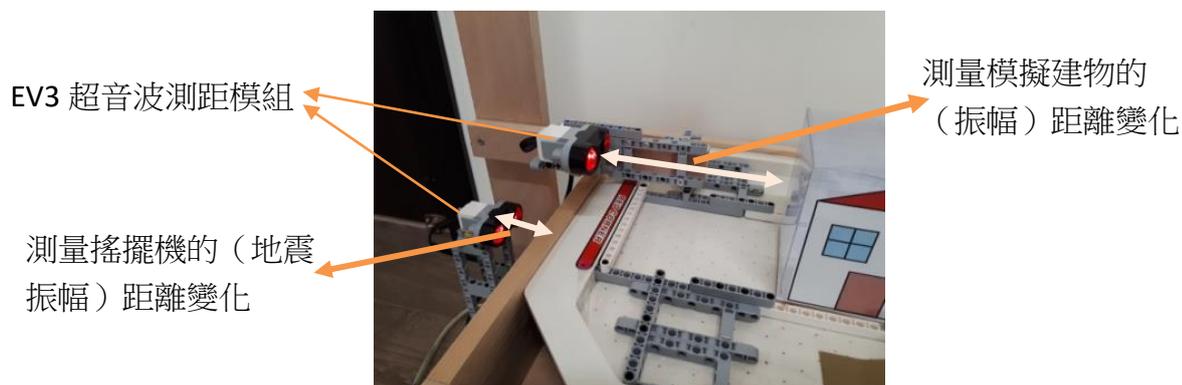


圖 7-1 超音波模組



圖 7-2 可分離的超音波振幅測量組件

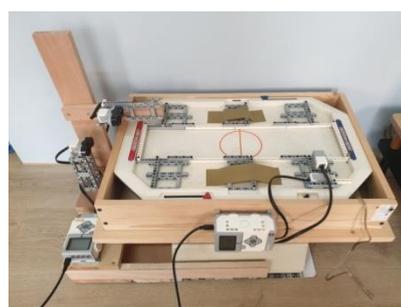


圖 7-3 組合完成實驗組件

(六)、(如下圖 8)樂高 EV3 有內建的數據擷取軟體，不需要再另外編寫程式來實驗，可以利用電腦即時截取超音波測距儀的數據，並即時顯示在電腦螢幕上，並可將數據儲存下來做之後得分析，或使用內建的數據統計計算。

(七)、實驗開始時，先開啟桌上曲棍球玩具的氣壓馬達，再啟動地震模擬器後，利用 ev3 內建實驗數據擷取軟體，將每秒的取樣速率設定在 1000 次，設定每次實驗取樣 10 秒鐘，將實驗數據紀錄下來分析，但為了減少誤差，只分析取樣第 4 秒到第 6 秒的實驗數據，作為實驗結果。

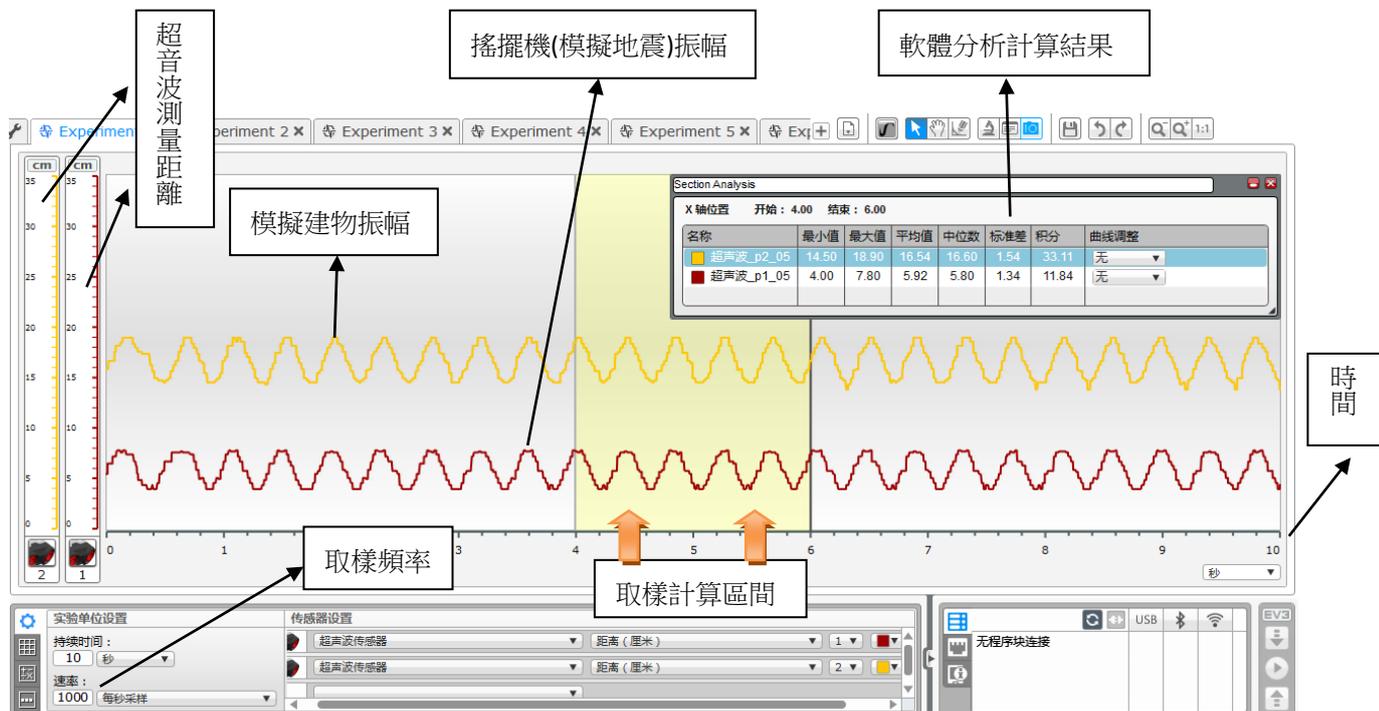


圖 8 EV3 實驗軟體

(八)、 改變桌上曲棍球玩具充氣馬達電壓大小，地震搖擺器搖擺的頻率，模擬建物的底面積大小、不同材質種類，不同重量等變數，利用 ev3 內建實驗數據擷取軟體，將實驗數據紀錄下來分析，每種變數實驗重複五次，再取平均值，以減少實驗誤差。

(九)、 如果有明顯的避震效果，模擬建築物的振幅應該會小於地震模擬器的震幅，那要如何分析振幅的大小呢？本實驗利用 EV3 內建的實驗數據擷取軟體就有內建一個數據標準差的分析，自動算出所有取樣數據的標準差，所謂標準差是指所得的每一點數據和所有數據的平均值的平均差距，即可以用來分析數據分散的情形，結果發現把標準差計算用在分析振幅大小中，將振幅曲線圖做標準差的計算，標準差的大小變化就會和振幅的變化成正比，平均振幅大，標準差就會大，平均振幅小，標準差就會小，因此只要比較每一條振幅曲線的標準差，即可比較振幅是否有變大或變小，而不需要另外寫程式去計算平均的振幅來比較。

標準差值公式
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

N：計算樣品的總個位數

μ ：樣品的平均中心值

x_i ：個體的數值

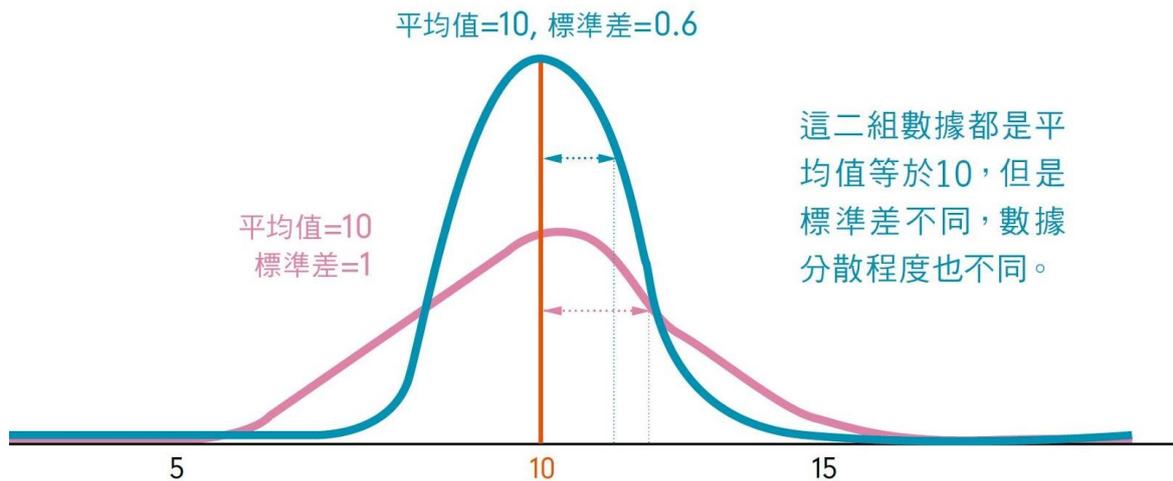


圖 9 標準差圖

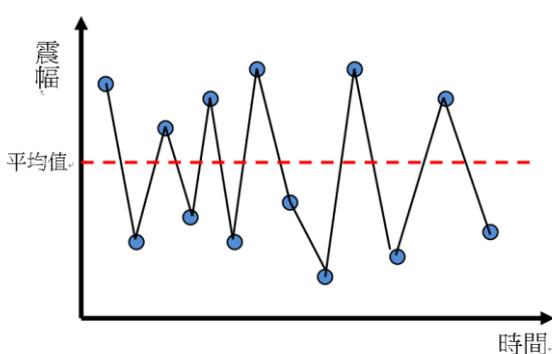


圖 10-1 振幅大，數值分散，標準差大

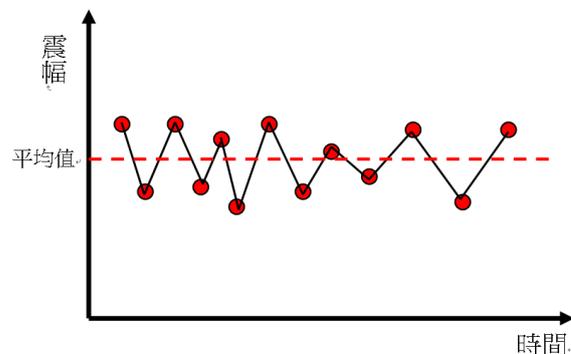


圖 10-2 振幅小，數值集中，標準差小

(十)、此外，想要了解模擬建築物在桌上曲棍球玩具不同變數下的摩擦力是否有不一樣，本實驗利用 **ev3 中陀螺儀及光敏度**的組件，用來紀錄角度的變化及物體是否有移動，為了方便能快速記錄實驗，本研究**另外利用有支援樂高 EV3 的 LabView 軟體**，編寫軟體來記錄在不同變數下，**模擬建築物的最大靜摩擦角有何變化**，避震效果是否和摩擦力有關。

(十一)、LabView 的程式內容如下圖 11-1，虛擬實驗面板如下圖 11-2，LabView 是一種工業控制電腦普遍使用的圖型化虛擬面板控制程式，在很多工廠的自動化機械中的電腦都可以看到，由於是**圖型化介面程式**，所以所有的指令都是圖型 Icon，執行程序利用不同的線條連結，不需要背指令，虛擬操作面板也是內建模組設計，**非常容易學**

習，樂高 EV3 內建的圖型化軟體也是應用 LabView 為內碼基礎來開發，所以 LabView 只要增加樂高 EV3 驅動模組套件，就可以利用 LabView 來控制樂高 EV3 的硬體，

(十二)、 操作最大靜摩擦角實驗時，把地震模擬器中的桌上曲棍球平台拆卸下來直接放置水平地上，將平台一端固定，另一端用手慢慢抬起，改變平台的角度，此時陀螺儀的角度就會開始改變，當角度大到摩擦力無法支持模擬建築物時，模擬建築物便會滑下，同時安裝 EV3 的測光感度計組件在模擬建築物的邊緣，當模擬建築物滑下改變位置時，光感度計便會測出模擬建築物表面的反光(或亮度)有改變，此時電腦便會紀錄下這一瞬間陀螺儀的角度，這即是模擬建築物的最大摩擦角。因為 Labview 剛好有支援 EV3，因此本研究編寫程式來自動紀錄最大靜摩擦角的實驗，方便快速做出實驗結果。

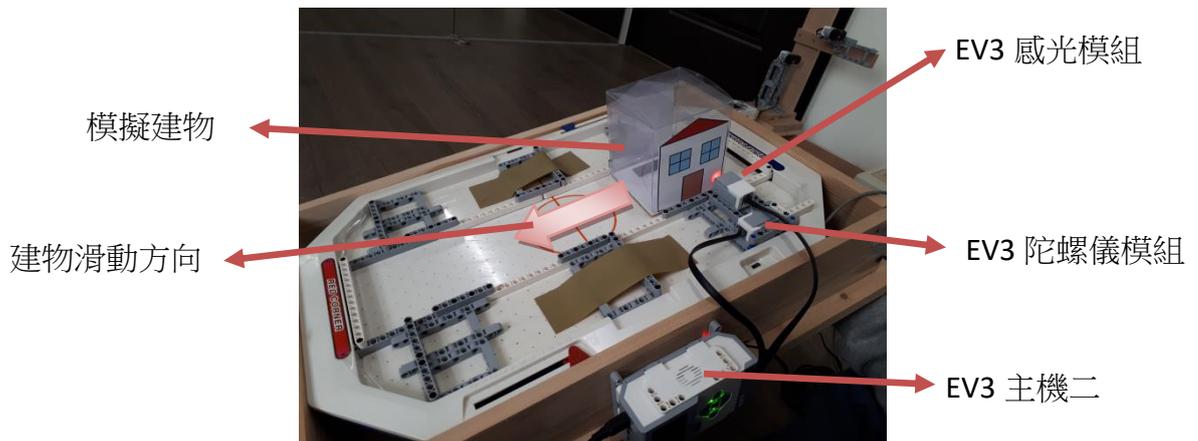


圖 11-1 最大靜摩擦角實驗設計組件

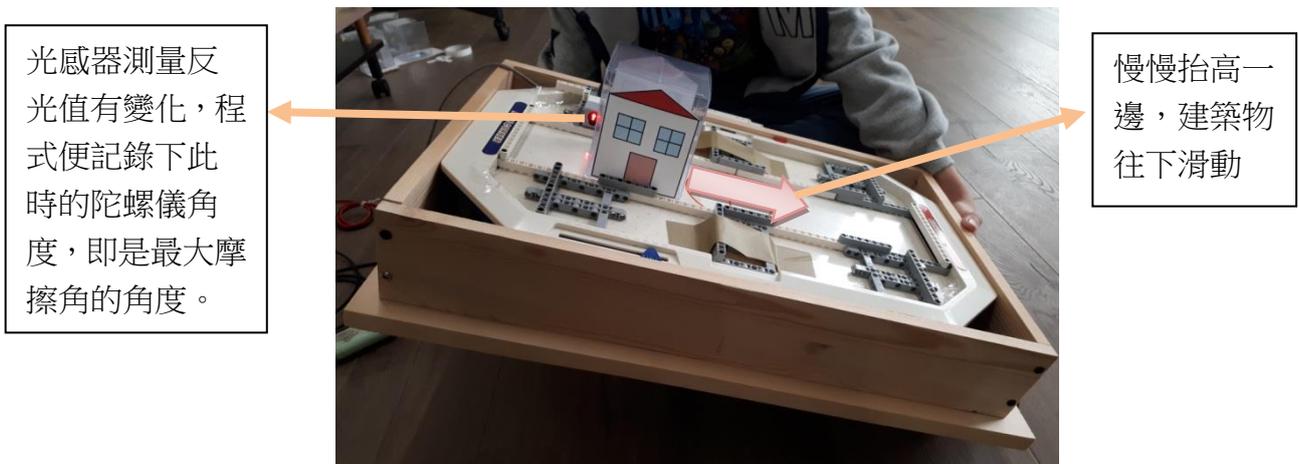


圖 11-2 最大靜摩擦角實驗原理方式

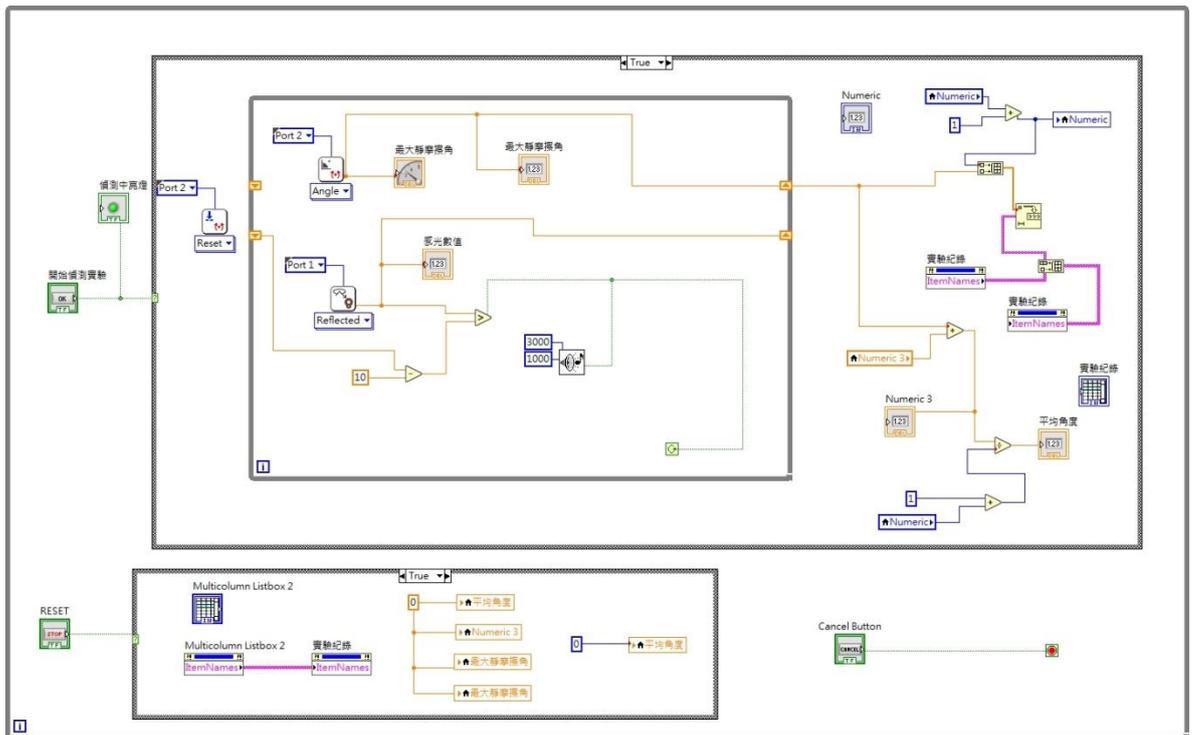


圖 12-1 最大靜摩擦角實驗 Labview 程式

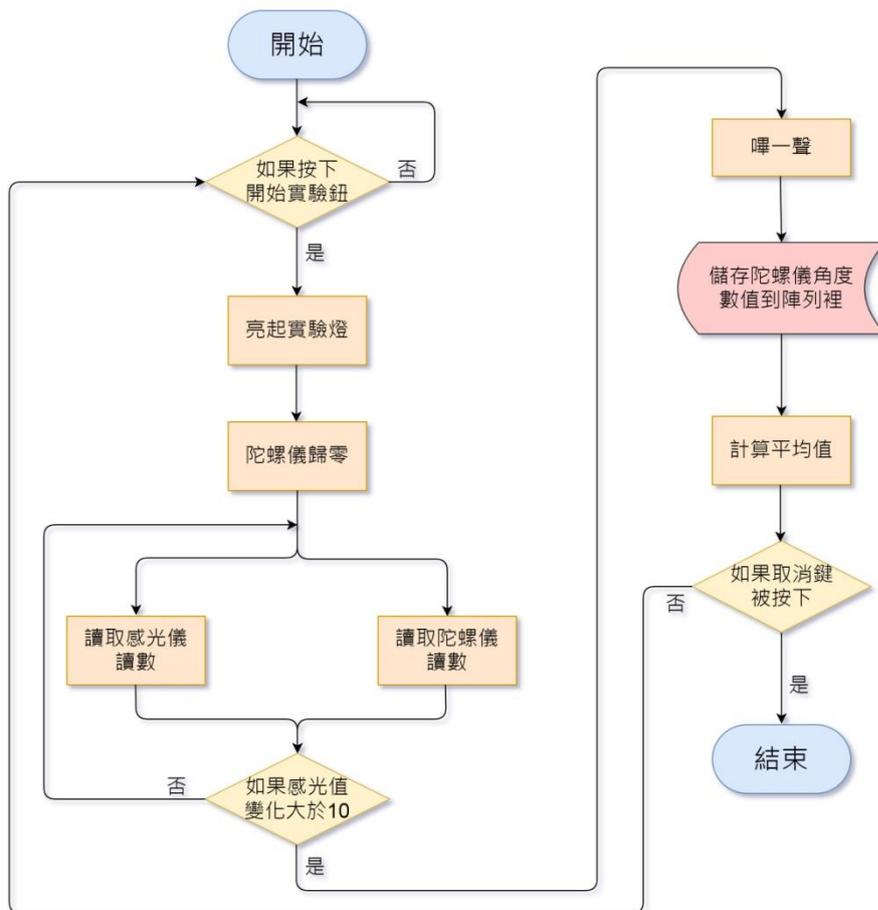


圖 12-2 最大靜摩擦角實驗程式邏輯圖

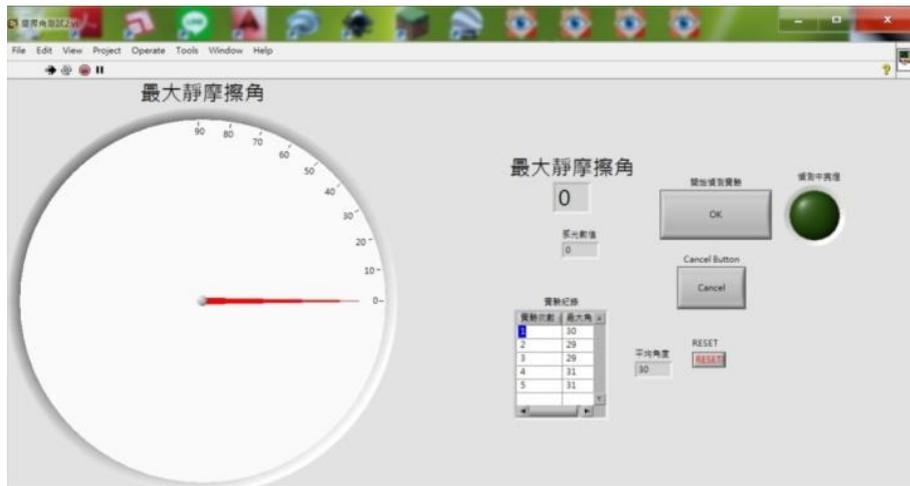


圖 13 最大靜摩擦角實驗 Labview 設計電腦虛擬面板

(十三)、 實驗方法是先啟動桌上曲棍球玩具的氣壓馬達，接著啟動程式，然後開始慢慢抬起一邊的平台，直到模擬建築物滑下，重複以上實驗步驟五次，電腦會自動記錄下來，以減少實驗誤差，然後改變不同的實驗變數，重複以上的實驗步驟。

伍、研究結果與討論

<實驗一> 探討建築物底部吹出空氣墊的氣壓壓力對振幅的影響

一、氣壓越大，避震的效果是否越好？本實驗試著調整桌上曲棍球產生氣壓的馬達，利用可調整電壓的直流電源供應器，發現電壓越高，馬達的轉速就越快，轉速越快，產生的氣壓就越高，因此設定的電壓為 0V 1.5V 3V 4.5V 6V 7.5V 六種電壓，每個供電壓測試五次求取平均振幅的標準差，所得結果如下：

<EV3 實驗軟體實際測試圖>

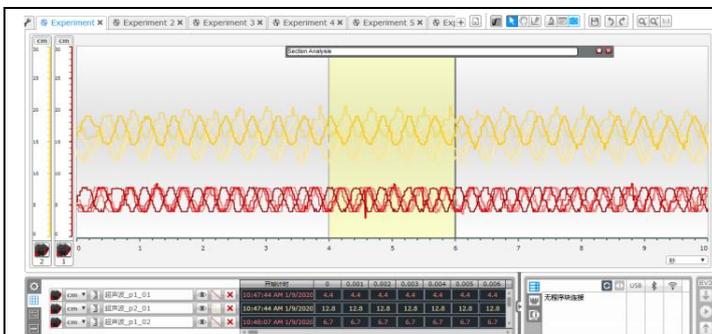


圖 14-1 0V 實驗結果振幅圖

上為模擬建物振幅，下為搖擺機振幅
5 次實驗圖形重疊在同一圖上

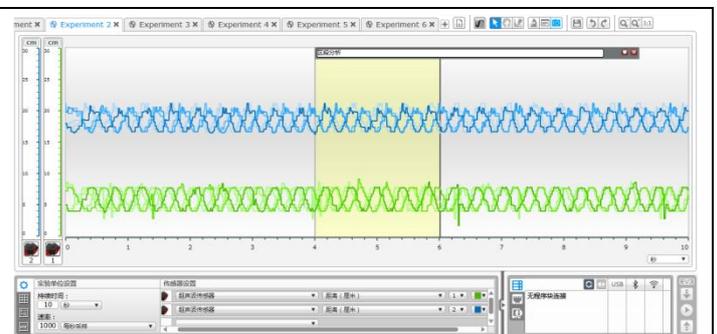


圖 14-2 1.5V 實驗結果振幅圖

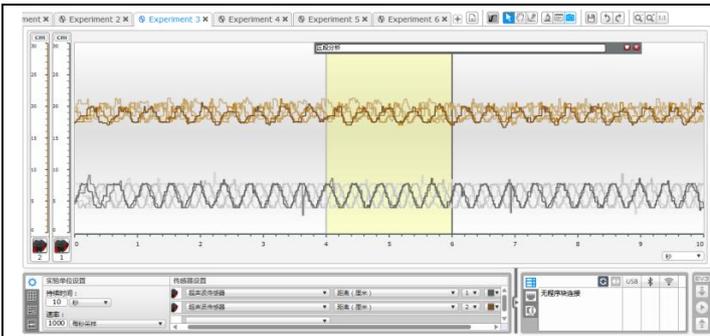


圖 14-3 3V 實驗結果振幅圖

上方模擬建物的振幅已經有比下方地震振幅縮小

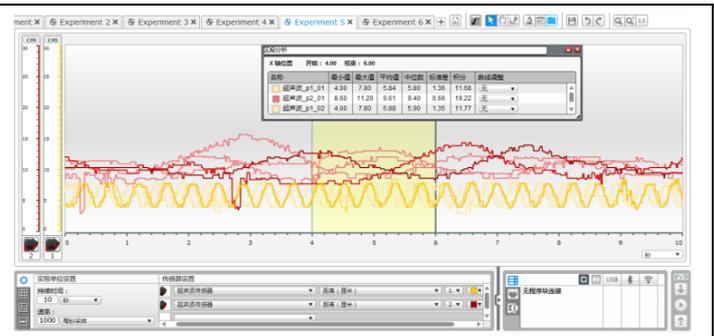


圖 14-4 4.5V 實驗結果振幅圖

因為開始飄浮沒有摩擦力，模擬建物開始飄移

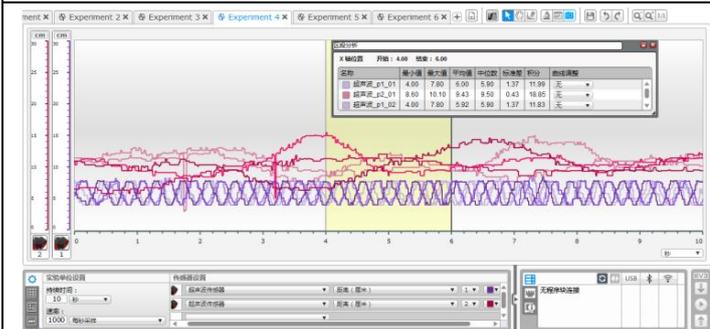


圖 14-5 6V 實驗結果振幅圖

模擬建物漂移得更厲害

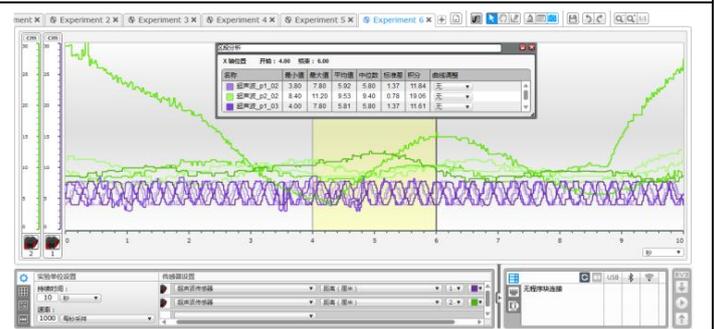


圖 14-6 7.5V 實驗結果振幅圖

表 1 不同懸浮氣壓馬達電壓，在單一模擬建物振幅實驗標準差

馬達電壓	0V		1.5V		3V		4.5V		6V		7.5V	
	建物 振幅	地震 振幅										
第 1 次	1.54	1.38	1.22	1.45	0.92	1.31	0.43	1.37	0.66	1.36	0.78	1.37
第 2 次	1.57	1.36	1.36	1.32	1.04	1.38	0.88	1.37	0.91	1.35	0.93	1.37
第 3 次	1.54	1.35	1.23	1.37	0.97	1.37	1.95	1.36	1.16	1.37	0.63	1.41
第 4 次	1.41	1.38	1.25	1.44	0.83	1.40	0.42	1.37	1.68	1.43	0.70	1.35
第 5 次	1.57	1.35	1.27	1.36	0.92	1.37	1.87	1.37	1.42	1.34	3.65	1.50

二、上表 1 中，由於懸浮氣壓馬達電壓大到一個程度後，模擬建物開始胡亂飄移，因此將漂移過大的數據標出紅色，之後的平均值計算將不會列入計算，以避免誤差！

三、上表 1 中的實驗結果只列出了建物振幅和地震震幅，需要將建物振幅標準差減掉地震震幅的標準差，才能知道建物的振幅是否有比地震的震幅來的小，而知道是否達到減震的效果，因此整理出下表 2。

振幅縮小幅度評估值 = 模擬建物振幅標準差 - 地震模擬器振幅標準差
負值 (-) 為有減震 (避震或隔震) 效果
正值 (+) 為沒有減震效果，比地震搖擺得更厲害

表 2 <實驗一>建物振幅和地震震幅標準差的差值計算結果

建物振幅和地震震幅標準差的差值	0V	1.5V	3V	4.5V	6V	7.5V
第 1 次	+0.16	-0.23	-0.39	-0.94	-0.7	-0.59
第 2 次	+0.21	+0.04	-0.34	-0.49	-0.44	-0.44
第 3 次	+0.19	-0.14	-0.40	+0.59	-0.21	-0.78
第 4 次	+0.03	-0.19	-0.57	-0.95	+0.25	-0.65
第 5 次	+0.22	-0.09	-0.45	+0.5	+0.08	+2.15
平均	+0.162	-0.122	-0.43	-0.793	-0.57	-0.615

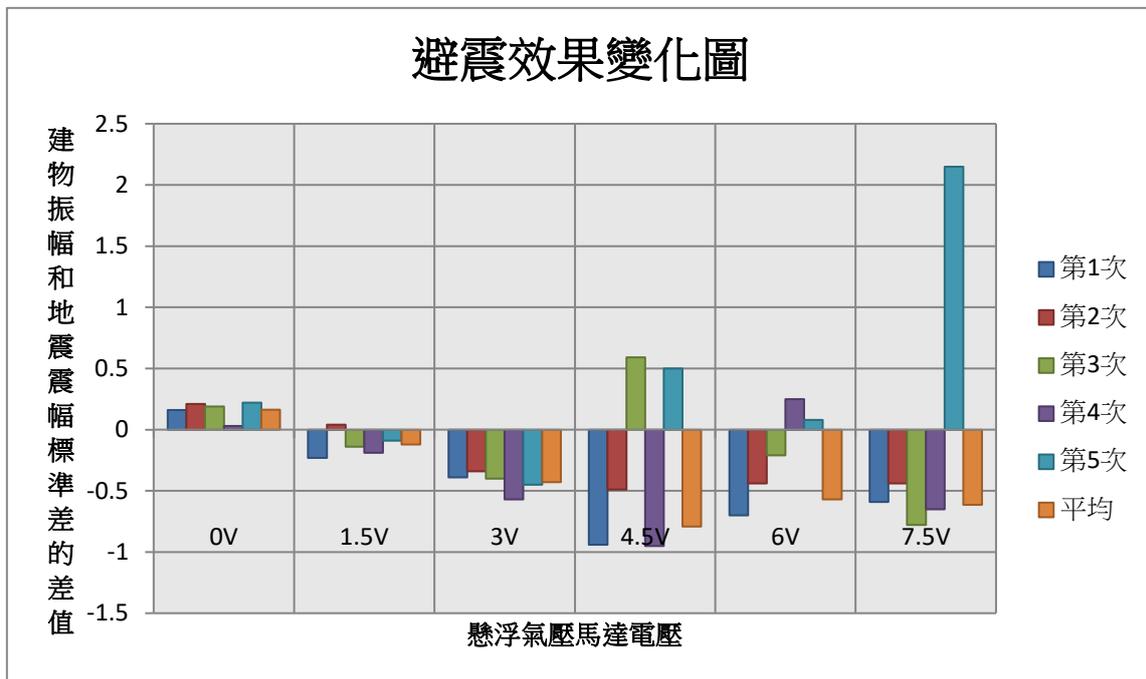


圖 15 在不同懸浮氣壓馬達電壓下，建物振幅和地震震幅標準差的差值趨勢變化圖

四、產生氣壓的大小和馬達轉速成正比，應該也會與馬達輸入的電壓成正比，由上圖 15 中發現電壓越高，振幅的標準差變小，表示避震效果越好，但是高到 6V 時，振幅的標準差並沒有再繼續縮小，因此，氣壓馬達電壓高到一定程度後（約 4.5V），避震效果就不會再大幅增加，可能是因為完全沒有摩擦力，模擬建物就會開始飄移，所以模擬建物會大幅滑動撞到邊緣，而造成振幅的標準差變的很大！。

五、在沒有啟動懸浮氣壓馬達（0V）的振幅分析中，模擬建物的振幅竟比地震震幅來得大，本組認為應該有兩個原因：

- (一)、因為模擬建物並沒有固定在地震模擬器上，每次搖擺時，因為慣性，所以模擬建物的搖擺振幅會比地震震幅來的移動多一點。
- (二)、模擬建物距離地震模擬器的搖擺中心比較遠，所以搖擺振幅會被放大，測量地震震幅和搖擺中心的距離較近，所以振幅較小。

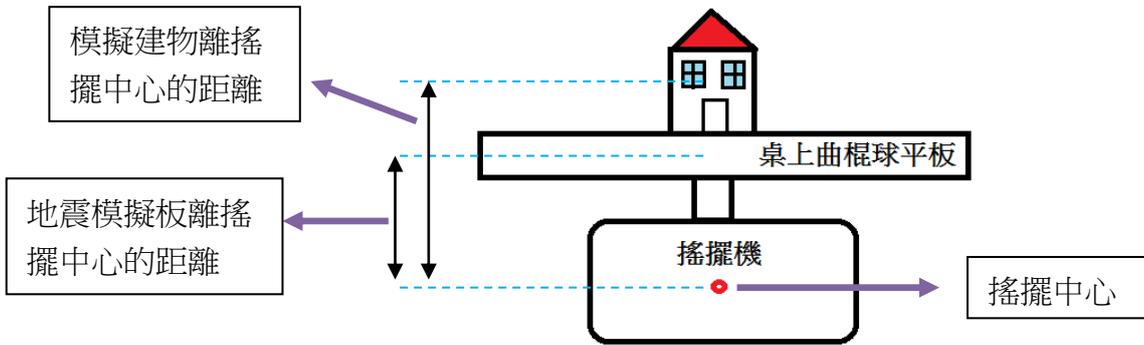


圖 16 搖擺機中心距離說明

表 3 <實驗一>在不同懸浮氣壓馬達電壓下的最大靜摩擦角

最大摩擦角	0V	1.5V	3V	4.5V	6V	7.5V
第 1 次	30 度	24 度	12 度	7 度	0 度	0 度
第 2 次	29 度	24 度	15 度	5 度	3 度	0 度
第 3 次	29 度	25 度	14 度	5 度	0 度	0 度
第 4 次	31 度	25 度	15 度	6 度	3 度	0 度
第 5 次	31 度	26 度	15 度	4 度	0 度	0 度
平均	31 度	24.8 度	14.2 度	5.4 度	1.2 度	0 度

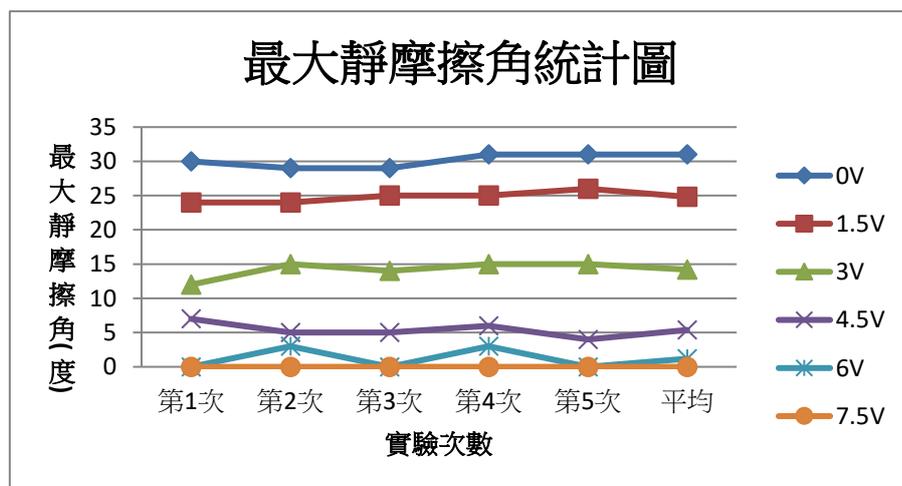


圖 17 <實驗一>最大靜摩擦角統計圖

六、由圖 17 最大摩擦角也可以發現，懸浮氣壓馬達的電壓越高，摩擦力會越小，只要有一點氣壓存在，就可以減少摩擦力，到了 6V 已上，可能氣壓已經可以讓模擬建物漂浮而完全沒有摩擦力，所以幾乎無法測出摩擦角，造成很多上標中紅字的 0，這同時也符合測量振幅實驗 4.5V 已上的馬達氣壓，**模擬建物就會開始胡亂飄移，也是因為完全沒有摩擦力的因素。**

七、把振幅標準差每次的實驗結果分開成模擬建物組和地震震幅組，做成下圖 16 統計圖，也可從統計圖中看出以下的結論：

(一)、從圖 18-1 中可以看出，每次實驗利用搖擺機改造的地震模擬器產生的振幅都很穩定，幾乎都在同一直線中，**表示地震震幅的對照組誤差小具有參考性。**

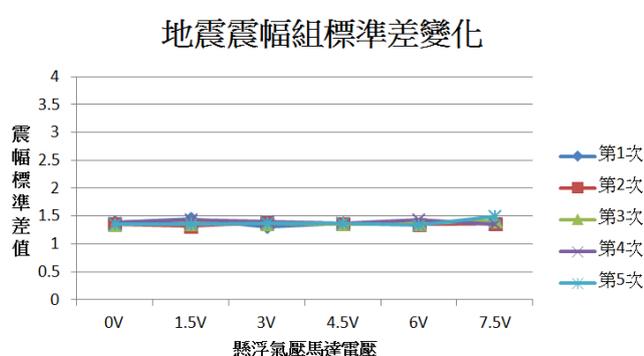


圖 18-1 地震震幅標準差曲線變化圖

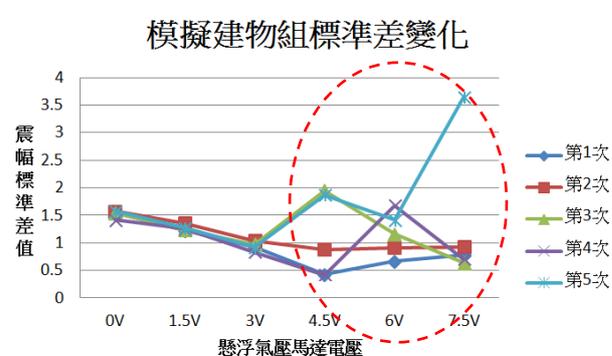


圖 18-2 模擬建物振幅標準差曲線變化圖

(二)、從圖 18-2 模擬建物振幅標準差曲線變化圖中可以看出，模擬建物每次實驗的振幅變化，在 0V~3V 都非常一致，振幅有變小的趨勢，但是在 4.5V~7.5V 就非常散亂（紅色虛線圈圈處），有變更小也有變更大，原因也是 4.5V 以上因為已經完全沒有摩擦力，所以模擬建物會亂飄，造成很大的誤差，只能說 4.5V 以上已經達到最大的避震效果，再加大氣壓的電力已經是多餘的。

<實驗二> 探討建築物底部面積對振幅的影響

一、在桌上曲棍球吹出的氣壓恆定下，作用在模擬建築物的底部總壓力應該是底面積乘以平均氣壓壓力，但是由於**模擬建物底面積越大時，同時底面積的摩擦力也會加大**，所以本研究想了解，是否建築物底面積越大，避震效果是否會有不同。

二、本實驗將底面積設定在 9 公分 X 9 公分，9 公分 X 13.5 公分，9 公分 X 18 公分

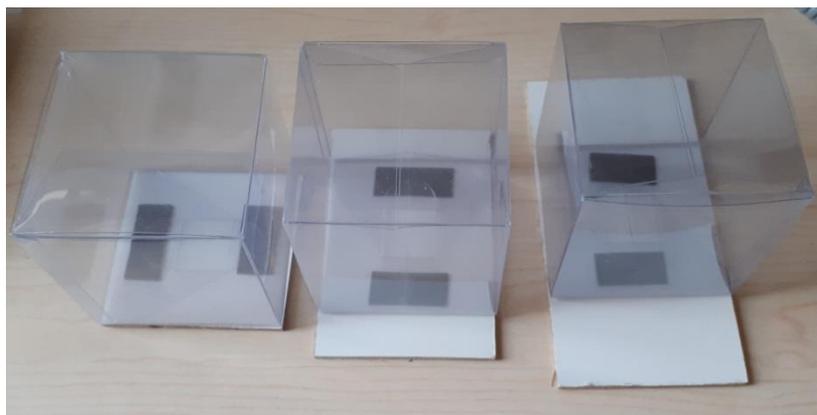


圖 19-1 不同底部大小的模擬建物



圖 19-2 配重木片

三、為了控制變因，本實驗在不同模擬建物模型中，置入依比例配重的木片 4.5 公分 X 9 公分數片，以便讓所有不同底面積的模擬建物模型有相同的重量，控制只有底面積這項變因不同。

以下是實驗結果圖表

表 4-1 不同建物底面積氣壓馬達電壓 0V 實驗結果

底面積	9X9		9X13.5		9X18	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.25	1.37	1.25	1.37	1.44	1.42
第 2 次	1.26	1.44	1.46	1.37	1.46	1.40
第 3 次	1.33	1.42	1.47	1.36	1.50	1.38
第 4 次	1.32	1.36	1.41	1.29	1.58	1.44
第 5 次	1.23	1.41	1.25	1.39	1.55	1.44

表 4-2 不同建物底面積氣壓馬達電壓 1.5V 實驗結果

底面積	9X9		9X13.5		9X18	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.31	1.41	1.32	1.42	1.17	1.45
第 2 次	1.37	1.39	1.28	1.44	1.34	1.40
第 3 次	1.33	1.40	1.33	1.38	1.43	1.43
第 4 次	1.33	1.35	1.32	1.37	1.47	1.46
第 5 次	1.37	1.44	1.26	1.46	1.51	1.43

表 4-3 不同建物底面積氣壓馬達電壓 3V 實驗結果

底面積	9X9		9X13.5		9X18	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.39	1.46	1.24	1.49	1.29	1.43
第 2 次	1.47	1.42	1.22	1.40	1.29	1.43
第 3 次	1.44	1.45	1.23	1.41	1.56	1.44
第 4 次	1.47	1.43	1.34	1.45	1.49	1.40
第 5 次	1.48	1.43	1.19	1.42	1.45	1.47

表 4-4 不同建物底面積氣壓馬達電壓 4.5V 實驗結果

底面積	9X9		9X13.5		9X18	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.38	1.36	0.63	1.33	1.00	1.41
第 2 次	0.87	1.37	1.18	1.36	1.05	1.42
第 3 次	1.86	1.37	2.86	1.40	1.05	1.40
第 4 次	0.51	1.39	2.99	1.37	0.94	1.44
第 5 次	0.86	1.34	0.90	1.38	1.11	1.43

表 4-5 不同建物底面積氣壓馬達電壓 6V 實驗結果

底面積	9X9		9X13.5		9X18	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	0.65	1.42	0.42	1.38	0.64	1.44
第 2 次	1.23	1.42	1.41	1.42	0.52	1.46
第 3 次	1.26	1.38	10.25	1.37	0.81	1.41
第 4 次	0.68	1.40	7.37	1.36	0.69	1.48
第 5 次	0.44	1.37	3.47	1.37	0.48	1.41

表 4-6 不同建物底面積氣壓馬達電壓 7.5V 實驗結果

底面積	9X9		9X13.5		9X18	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	9.62	1.36	9.55	1.40	0.55	1.41
第 2 次	2.56	1.38	5.11	1.39	0.33	1.42
第 3 次	5.53	1.40	4.74	1.38	0.75	1.45
第 4 次	4.67	1.38	7.88	1.38	0.65	1.47
第 5 次	2.71	1.40	3.17	1.36	0.39	1.44

表 5-1 不同建物底面積氣壓馬達電壓 0V 標準差差值

底面積	9X9	9X13.5	9X18
第 1 次	-0.12	-0.12	0.02
第 2 次	-0.18	0.09	0.06
第 3 次	-0.09	0.11	0.12
第 4 次	-0.04	0.12	0.14
第 5 次	-0.18	-0.14	0.11
平均	-0.122	0.012	0.09

表 5-2 不同建物底面積氣壓馬達電壓 1.5V 標準差差值

底面積	9X9	9X13.5	9X18
第 1 次	-0.1	-0.1	-0.28
第 2 次	-0.02	-0.16	-0.06
第 3 次	-0.07	-0.05	0
第 4 次	-0.02	-0.05	0.01
第 5 次	-0.07	-0.2	0.08
平均	-0.056	-0.112	-0.05

表 5-3 不同建物底面積氣壓馬達電壓 3V 標準差差值

底面積	9X9	9X13.5	9X18
第 1 次	-0.07	-0.25	-0.14
第 2 次	0.05	-0.18	-0.14
第 3 次	-0.01	-0.18	0.12
第 4 次	0.04	-0.11	0.09
第 5 次	0.05	-0.23	-0.02
平均	0.012	-0.19	-0.018

表 5-4 不同建物底面積氣壓馬達電壓 4.5V 標準差差值

底面積	9X9	9X13.5	9X18
第 1 次	0.02	-0.7	-0.41
第 2 次	-0.5	-0.18	-0.37
第 3 次	0.49	1.46	-0.35
第 4 次	-0.88	1.62	-0.5
第 5 次	-0.48	-0.48	-0.32
平均	-0.27	0.344	-0.39

表 5-5 不同建物底面積氣壓馬達電壓 6V 標準差差值

底面積	9X9	9X13.5	9X18
第 1 次	-0.77	-0.96	-0.8
第 2 次	-0.19	-0.01	-0.94
第 3 次	-0.12	8.88	-0.6
第 4 次	-0.72	6.01	-0.79
第 5 次	-0.93	2.1	-0.93
平均	-0.546	3.204	-0.812

表 5-6 不同建物底面積氣壓馬達電壓 7.5V 標準差差值

底面積	9X9	9X13.5	9X18
第 1 次	8.26	8.15	-0.86
第 2 次	1.18	3.72	-1.09
第 3 次	4.13	3.36	-0.7
第 4 次	3.29	6.5	-0.82
第 5 次	1.31	1.81	-1.05
平均	3.634	4.708	-0.904

表 6-1 模擬建物不同底面積最大靜摩擦角實驗結果

最大摩擦角	0V			1.5V			3V		
	9X9	9X13.5	9X18	9X9	9X13.5	9X18	9X9	9X13.5	9X18
第 1 次	33	34	31	30	23	23	24	17	8
第 2 次	33	31	32	29	23	24	23	18	8
第 3 次	36	32	33	31	23	24	17	16	7
第 4 次	35	35	32	30	22	22	23	16	8
第 5 次	33	34	31	32	24	23	21	18	9
平均	34	33.2	31.8	30.4	23	23.2	21.6	17	8

表 6-2 模擬建物不同底面積最大靜摩擦角實驗結果

最大摩擦角	4.5V			6V			7.5V		
	9X9	9X13.5	9X18	9X9	9X13.5	9X18	9X9	9X13.5	9X18
第 1 次	18	2	0	0	0	0	0	0	0
第 2 次	15	3	0	0	0	0	0	0	0
第 3 次	13	0	0	0	0	0	0	0	0
第 4 次	12	0	0	0	0	0	0	0	0
第 5 次	13	0	0	0	0	0	0	0	0
平均	14.2	1	0	0	0	0	0	0	0

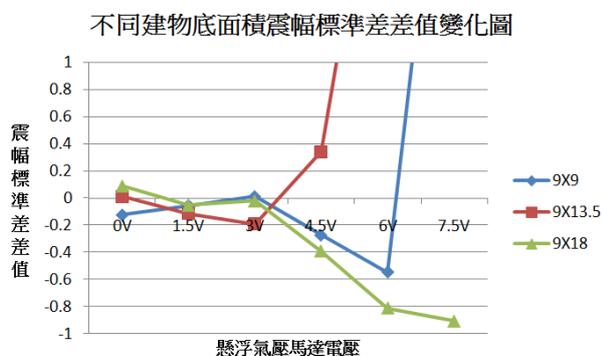


圖 20-1 不同底面積振幅標準差直變化圖

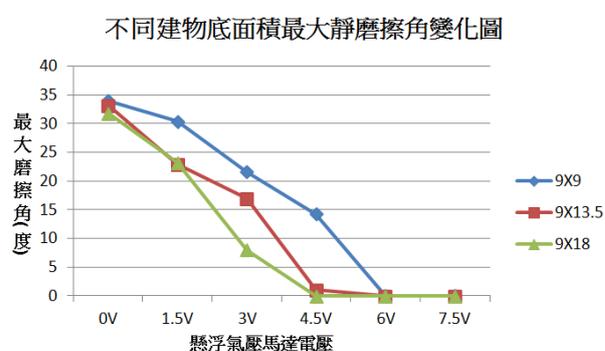


圖 20-2 不同電物底面積最大靜磨差角變化圖

四、實驗結果發現，在沒有氣壓產生的時候，所有不同底面積的模擬建物其振幅縮小的幅度和最大靜摩擦角其實都差不多，但是一開始有懸浮氣壓產生時，底面積比較大的，其振幅縮小的幅度會比底面積小的來得多，而最大靜摩擦角也是有同樣的情形，**底面積越大，最大靜摩擦角越小**，氣壓大到一個程度（4.5V 以上），幾乎都會開始胡亂漂移而沒有摩擦力。

<實驗三> 探討建築物重量對振幅的影響



一、建築物的重量不同，是否會有不同的振幅（避震）的效果？本組測得 9X9 平方公分的模擬建物的重量是 46.15 克重，國際牌鹼性電池的重量一顆是 23.19 克重，剛好是模擬建物的一半，因此可利用電池來做為增加模擬建物重量的配重，本實驗依序以**對照組（不放電池）約 46 克重，實驗組一加 2 顆電池約 92 克重，實驗組二加 4 顆電池約 138 克重**，一樣在不同氣壓馬達電壓下，觀察振幅的變化。

實驗結果如下：

表 7-1 不同建物重量氣壓馬達電壓 0V 標準差

底面積	46 克重		92 克重		138 克重	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.31	1.44	1.35	1.49	1.32	1.40
第 2 次	1.34	1.47	1.36	1.42	1.27	1.40
第 3 次	1.33	1.44	1.39	1.45	1.33	1.46
第 4 次	1.27	1.41	1.27	1.36	1.39	1.42
第 5 次	1.29	1.38	1.33	1.47	1.42	1.42

表 7-2 不同建物重量氣壓馬達電壓 1.5V 標準差

底面積	46 克重		92 克重		138 克重	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.31	1.49	1.40	1.46	1.33	1.45
第 2 次	1.29	1.43	1.39	1.48	1.33	1.44
第 3 次	1.39	1.42	1.28	1.46	1.33	1.40
第 4 次	1.32	1.49	1.26	1.46	1.38	1.43
第 5 次	1.33	1.47	1.35	1.45	1.34	1.39

表 7-3 不同建物重量氣壓馬達電壓 3V 標準差

底面積	46 克重		92 克重		138 克重	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.04	1.37	1.33	1.47	1.34	1.47
第 2 次	1.00	1.42	1.33	1.50	1.44	1.40
第 3 次	1.02	1.42	1.23	1.42	1.42	1.45
第 4 次	1.09	1.45	1.26	1.40	1.35	1.46
第 5 次	1.02	1.43	1.26	1.40	1.32	1.47

表 7-4 不同建物重量氣壓馬達電壓 4.5V 標準差

底面積	46 克重		92 克重		138 克重	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.20	1.41	1.24	1.44	1.39	1.43
第 2 次	0.52	1.47	1.20	1.45	1.34	1.44
第 3 次	0.44	1.40	1.15	1.54	1.30	1.41
第 4 次	0.53	1.44	1.21	1.43	1.33	1.42
第 5 次	0.47	1.42	1.23	1.50	1.39	1.45

表 7-5 不同建物重量氣壓馬達電壓 6V 標準差

底面積	46 克重		92 克重		138 克重	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	0.43	1.35	1.04	1.46	1.22	1.50
第 2 次	0.68	1.38	1.07	1.51	1.27	1.49
第 3 次	1.13	1.40	1.01	1.48	1.24	1.42
第 4 次	0.45	1.33	1.32	1.43	1.18	1.50
第 5 次	2.56	1.36	1.20	1.44	1.26	1.46

表 7-6 不同建物重量氣壓馬達電壓 7.5V 標準差

底面積	46 克重		92 克重		138 克重	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	3.55	1.37	0.92	1.49	1.28	1.45
第 2 次	0.42	1.36	1.11	1.46	1.21	1.49
第 3 次	1.22	1.36	0.78	1.39	1.19	1.46
第 4 次	0.66	1.41	0.76	1.41	1.19	1.43
第 5 次	2.43	1.40	1.02	1.41	1.22	1.47

表 8-1 不同建物重量氣壓馬達電壓 0V 標準差差值

重量	46 克重	92 克重	138 克重
第 1 次	-0.13	-0.14	-0.08
第 2 次	-0.13	-0.06	-0.13
第 3 次	-0.11	-0.06	-0.13
第 4 次	-0.14	-0.09	-0.03
第 5 次	-0.09	-0.14	0
平均	-0.12	-0.098	-0.074

表 8-2 不同建物重量氣壓馬達電壓 1.5V 標準差差值

重量	46 克重	92 克重	138 克重
第 1 次	-0.18	-0.06	-0.12
第 2 次	-0.14	-0.09	-0.11
第 3 次	-0.03	-0.18	-0.07
第 4 次	-0.17	-0.2	-0.05
第 5 次	-0.14	-0.1	-0.05
平均	-0.132	-0.126	-0.08

表 8-3 不同建物重量氣壓馬達電壓 3V 標準差差值

重量	46 克重	92 克重	138 克重
第 1 次	-0.33	-0.14	-0.13
第 2 次	-0.42	-0.17	0.04
第 3 次	-0.4	-0.19	-0.03
第 4 次	-0.36	-0.14	-0.11
第 5 次	-0.41	-0.14	-0.15
平均	-0.384	-0.156	-0.076

表 8-4 不同建物重量氣壓馬達電壓 4.5V 標準差差值

重量	46 克重	92 克重	138 克重
第 1 次	-0.21	-0.2	-0.04
第 2 次	-0.95	-0.25	-0.1
第 3 次	-0.96	-0.39	-0.11
第 4 次	-0.91	-0.22	-0.09
第 5 次	-0.95	-0.27	-0.06
平均	-0.796	-0.266	-0.08

表 8-5 不同建物重量氣壓馬達電壓 6V 標準差差值

重量	46 克重	92 克重	138 克重
第 1 次	-0.92	-0.42	-0.28
第 2 次	-0.7	-0.44	-0.22
第 3 次	-0.27	-0.47	-0.18
第 4 次	-0.88	-0.11	-0.32
第 5 次	1.2	-0.24	-0.2
平均	-0.314	-0.336	-0.24

表 8-6 不同建物重量氣壓馬達電壓 7.5V 標準差差值

重量	46 克重	92 克重	138 克重
第 1 次	2.18	-0.57	-0.17
第 2 次	-0.94	-0.35	-0.28
第 3 次	-0.14	-0.61	-0.27
第 4 次	-0.75	-0.65	-0.24
第 5 次	1.03	-0.39	-0.25
平均	0.276	-0.514	-0.242

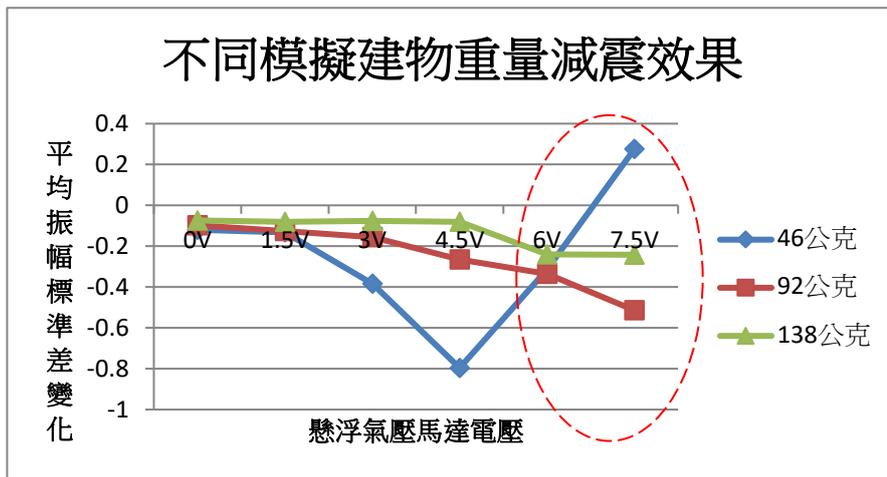


圖 22 不同模擬建物重量振幅標準差變化

二、由上圖 22 中可知，**建物的重量越重，減震的效果越差**

三、不過從實驗中也發現：**不管建物多重，只要有懸浮氣壓產生，都會有減震的效果，只有減震多寡的差異！**本組認為是因為在建物底部和震動的地面兩個相接的介面中，如果可流動性的物質加入其中，不管是液體或是氣體，都會讓兩個介面的摩擦力變小，進而達到減震的效果，但摩擦力也和重量成正比，建物越重摩擦力就會越大，減震效果就會越差。

四、沒有增加重量的模擬建物（46 克重），同樣在 6V 以上就開始漂移，所以造成圖 20 中紅色圈圈內振幅變大的誤差，而有加重的建物，因為還沒達到漂浮的浮力，所以還是有減震效果。

<實驗四> 探討建築物底部的光滑程度對振幅的影響

一、利用模擬建物底下墊的木板(波麗板)有兩面不同光滑度的材質，觀察不同光滑度的底部，對於振幅是否有影響？



圖 23 不同材質的底部

振幅標準差	粗糙(木紋面)		光滑(白色面)	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.53	1.36	1.44	1.36
第 2 次	1.57	1.38	1.40	1.41
第 3 次	1.44	1.35	1.44	1.39
第 4 次	1.56	1.38	1.44	1.42
第 5 次	1.43	1.35	1.40	1.39

振幅標準差	粗糙(木紋面)		光滑(白色面)	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.25	1.44	1.13	1.38
第 2 次	1.36	1.33	1.25	1.37
第 3 次	1.26	1.37	1.14	1.41
第 4 次	1.28	1.39	1.27	1.39
第 5 次	1.29	1.40	1.12	1.39

振幅標準差	粗糙(木紋面)		光滑(白色面)	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	0.99	1.32	0.97	1.40
第 2 次	1.02	1.36	0.87	1.37
第 3 次	0.95	1.39	0.89	1.39
第 4 次	0.92	1.40	0.75	1.40
第 5 次	0.88	1.37	0.85	1.41

振幅標準差	粗糙(木紋面)		光滑(白色面)	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	0.88	1.37	0.78	1.41
第 2 次	0.79	1.36	0.66	1.42
第 3 次	0.90	1.37	0.74	1.40
第 4 次	0.66	1.36	0.68	1.40
第 5 次	0.86	1.40	0.60	1.38

振幅標準差	粗糙(木紋面)		光滑(白色面)	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	1.22	1.44	1.74	1.49
第 2 次	0.45	1.35	0.95	1.41
第 3 次	1.43	1.37	0.61	1.48
第 4 次	1.65	1.37	0.77	1.51
第 5 次	0.56	1.37	0.68	1.37

振幅標準差	粗糙(木紋面)		光滑(白色面)	
	建物振幅	地震震幅	建物振幅	地震震幅
第 1 次	2.65	1.37	1.60	1.38
第 2 次	0.66	1.41	1.28	1.41
第 3 次	3.56	1.50	1.83	1.43
第 4 次	0.72	1.41	1.56	1.41
第 5 次	0.85	1.40	2.29	1.41

表 10 不同建物底面材質氣壓馬達電壓標準差差值計算

振幅標準差	0V		1.5V		3V		4.5V		6V		7.5V	
	粗糙	光滑	粗糙	光滑	粗糙	光滑	粗糙	光滑	粗糙	光滑	粗糙	光滑
第 1 次	0.17	0.08	-0.19	-0.25	-0.33	-0.43	-0.49	-0.63	-0.22	0.25	1.28	0.22
第 2 次	0.19	-0.01	0.03	-0.12	-0.34	-0.5	-0.57	-0.76	-0.9	-0.46	-0.75	-0.13
第 3 次	0.09	0.05	-0.11	-0.27	-0.44	-0.5	-0.47	-0.66	0.06	-0.87	2.06	0.4
第 4 次	0.18	0.02	-0.11	-0.12	-0.48	-0.65	-0.7	-0.72	0.28	-0.74	-0.69	0.15
第 5 次	0.08	0.01	-0.11	-0.27	-0.49	-0.56	-0.54	-0.78	-0.81	-0.69	-0.55	0.88
平均	0.142	0.03	-0.098	-0.206	-0.416	-0.528	-0.554	-0.71	-0.318	-0.502	0.27	0.304

表 11 不同建物底面材質氣壓馬達電壓最大靜摩擦角

最大摩擦角 (度)	0V		1.5V		3V		4.5V		6V		7.5V	
	粗糙	光滑	粗糙	光滑	粗糙	光滑	粗糙	光滑	粗糙	光滑	粗糙	光滑
第 1 次	30	31	24	23	12	8	7	0	0	0	0	0
第 2 次	29	30	24	24	15	8	5	0	3	0	0	0
第 3 次	29	31	25	23	14	8	5	0	0	0	0	0
第 4 次	31	30	25	22	15	8	6	0	3	0	0	1
第 5 次	31	31	26	24	15	8	4	0	0	1	0	0
平均	31	30.6	24.8	23.2	14.2	8	5.4	0	1.2	0.2	0	0.2

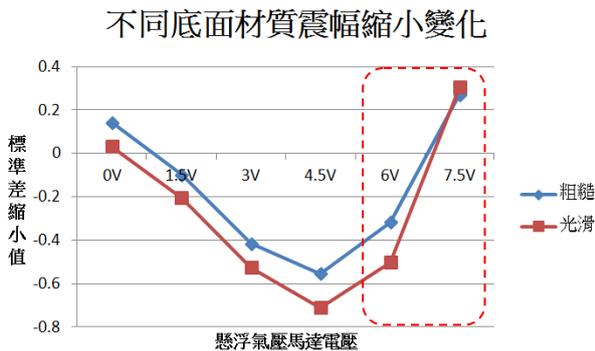


圖 24-1 不同建物底面材質振幅標準差差值計算變化

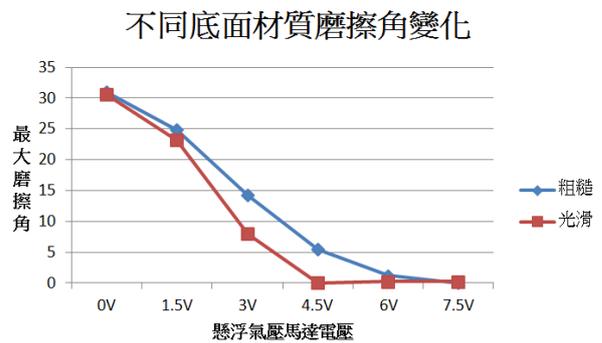


圖 24-2 不同建物底面材質最大靜摩擦角變化

二、在圖 22-1 中可以發現，在不同的懸浮氣壓電壓中，光滑面的減震效果還是會比粗糙面的減震效果來得好，至於為何在 6V~7.5V 以上電壓減震效果反而變差（圖 24-1 紅色虛線處），同樣是因為 6V 以上的懸浮馬達電壓已經讓模擬建物完全漂浮，造成胡亂飄移而產生振幅加大的誤差，在最大靜摩擦角的實驗中也同樣印證這個原因，6V 以上不管是粗糙面或光滑面其最大靜摩擦角都幾乎為 0，表示已經完全漂浮。

<實驗五> 探討在不同地震的震動頻率下對振幅的影響

一、由於地震震動的頻率及振幅並不是固定的，若改變實驗的震動頻率，是否會有不同的結果？由於本實驗用的搖擺機，擺動的原理是利用偏心軸的交流馬達驅動，如果改變交流電的電壓，來改變交流馬達的轉速，就可以改變搖擺振動的頻率，所以本研究就找了一台交流電變壓器來做實驗。



二、市電交流電電壓值約 113V，本組慢慢將交流電電壓調降後，發現馬達轉速有慢慢在

變慢，當調到交流電電壓約 40V 左右就無法再繼續調降減速，因為低於 40V 時，搖擺機的交流馬達似乎轉動的力矩不足，便停止下來無法繼續轉動搖擺，因此本實驗將高頻地震設定在正常市電 110V 下，實驗數值就可以直接取自實驗一的實驗結果來作比較，而低頻地震的電壓就設定在 40V 下。

下圖 25 是本實驗如何計算高頻地震及低頻地震的頻率數值的方法。

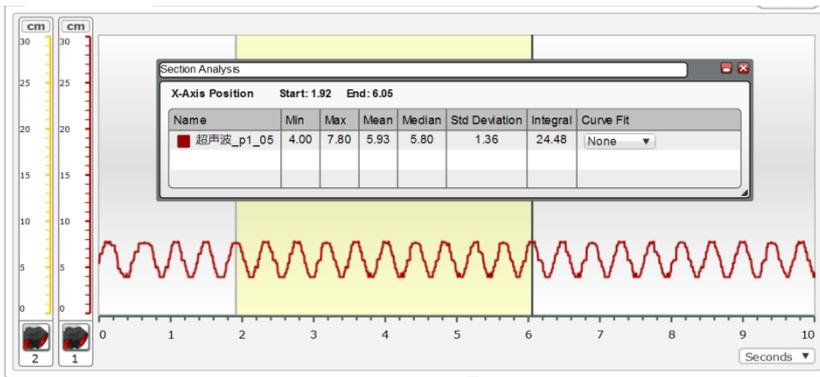


圖 25-1 高頻地震模擬器頻率分析圖

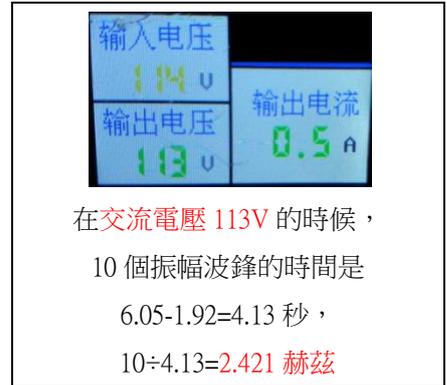


圖 25-2 高頻地震頻率計算

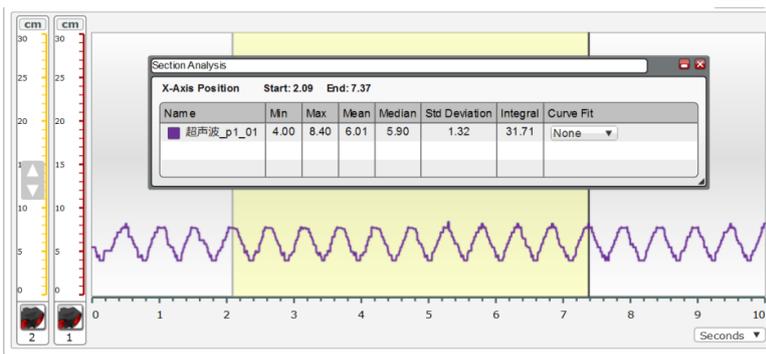


圖 25-3 低頻地震模擬器頻率分析圖

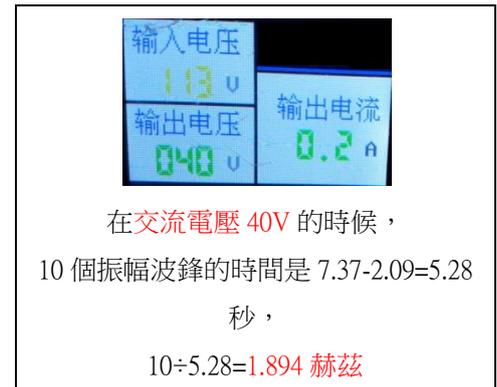


圖 25-4 低頻地震頻率計算

表 12 模擬低頻地震 1.894Hz 不同懸浮氣壓馬達電壓標準差實驗結果

電壓	0V		1.5V		3V		4.5V		6V		7.5V	
	建物	地震										
第 1 次	1.38	1.28	1.35	1.34	1.21	1.33	0.69	1.33	0.54	1.34	0.49	1.3
第 2 次	1.42	1.34	1.22	1.33	1.25	1.33	1.58	1.36	0.73	1.26	0.74	1.32
第 3 次	1.42	1.3	1.26	1.31	1.31	1.34	2.31	1.35	0.56	1.29	2.13	1.28
第 4 次	1.44	1.31	1.34	1.34	1.32	1.35	0.77	1.37	0.57	1.31	0.63	1.34
第 5 次	1.36	1.31	1.2	1.33	1.28	1.34	1.08	1.35	1.24	1.32	1.05	1.3

表 13 高低頻地震振幅縮小(標準差差值)統計表(高頻數值直接取自實驗一)

振幅縮小值	低頻地震 1.894Hz						高頻地震 2.421Hz					
	0V	1.5V	3V	4.5V	6V	7.5V	0V	1.5V	3V	4.5V	6V	7.5V
第 1 次	0.1	0.01	-0.12	-0.64	-0.8	-0.81	+0.16	-0.23	-0.39	-0.94	-0.7	-0.59
第 2 次	0.08	-0.11	-0.08	0.22	-0.53	-0.58	+0.21	+0.04	-0.34	-0.49	-0.44	-0.44
第 3 次	0.12	-0.05	-0.03	0.96	-0.73	0.85	+0.19	-0.14	-0.40	+0.59	-0.21	-0.78
第 4 次	0.13	0	-0.03	-0.6	-0.74	-0.71	+0.03	-0.19	-0.57	-0.95	+0.25	-0.65
第 5 次	0.05	-0.13	-0.06	-0.27	-0.08	-0.25	+0.22	-0.09	-0.45	+0.5	+0.08	+2.15
平均	0.096	-0.056	-0.064	-0.066	-0.576	-0.3	+0.162	-0.122	-0.43	-0.793	-0.57	-0.615

三、將表 13 的實驗結果做成曲線圖來比較，得到下圖 24，從圖中結果發現：避震設計在高頻地震的減震效果會優於在低頻地震中。為何會有這樣的結果，本組認為是慣性，因為建物本身的慣性，當建物因為摩擦力被地震帶往同一方向時，高頻地震加速度快，當建物需要產生摩擦力的時間來和地震同步時，因為時間不夠，地震的加速度就又改變方向，所以建物本身的慣性造成在高頻地震下就比較不會被地震帶動而一同擺動，低頻地震產生摩擦力的時間比較多，所以建物就容易被地震帶往同一方向，跟著地震擺動。所以本研究的避震設計，在低頻地震中，就會比在高頻地震中來得差。

不同地震頻率避震效果比較圖

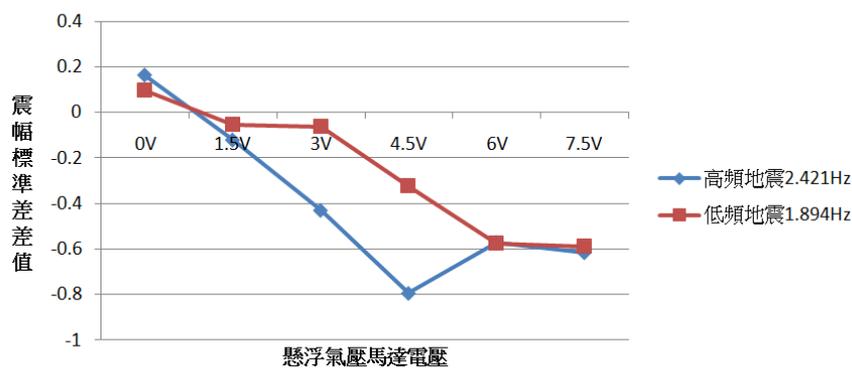


圖 26 高低頻地震在不同電壓下避震效果變化圖

四、同樣地，當懸浮氣壓馬達電壓大於 6V 以上，模擬建物就完全漂浮已經和地面沒有接觸，所以沒有摩擦力，因此不管高頻地震或低頻地震，都不會影響避震的效果，皆可以達到最高的減震效果。

五、本研究的地震模擬器擺動是偏心馬達帶動，因此在平面投影的移動，隨著時間變化，其軌跡剛好會形成**正弦波**的線條，就如同實驗中超音波測距儀測得的振幅波形，因此高低頻的地震換算成加速度，對照成中央氣象局地震震度，可以用下列公式算出：

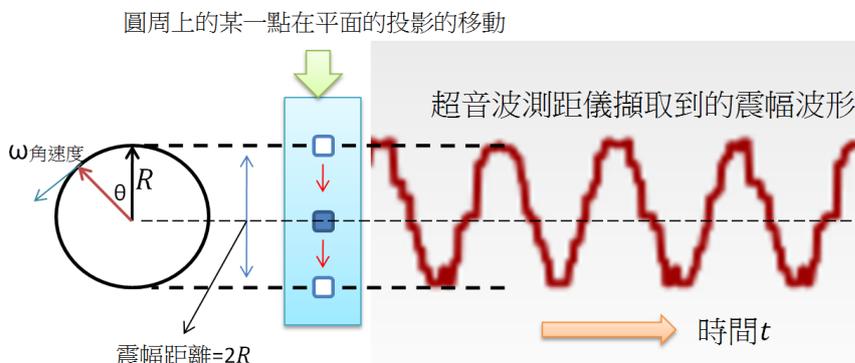
$$\chi \text{ 移動距離} = R \cos(\omega t + \theta)$$

$$v \text{ 速度} = \frac{d\chi}{dt} = R\omega \sin(\omega t + \theta)$$

$$\alpha \text{ 加速度} = \frac{dv}{dt} = R\omega^2 \cos(\omega t + \theta)$$

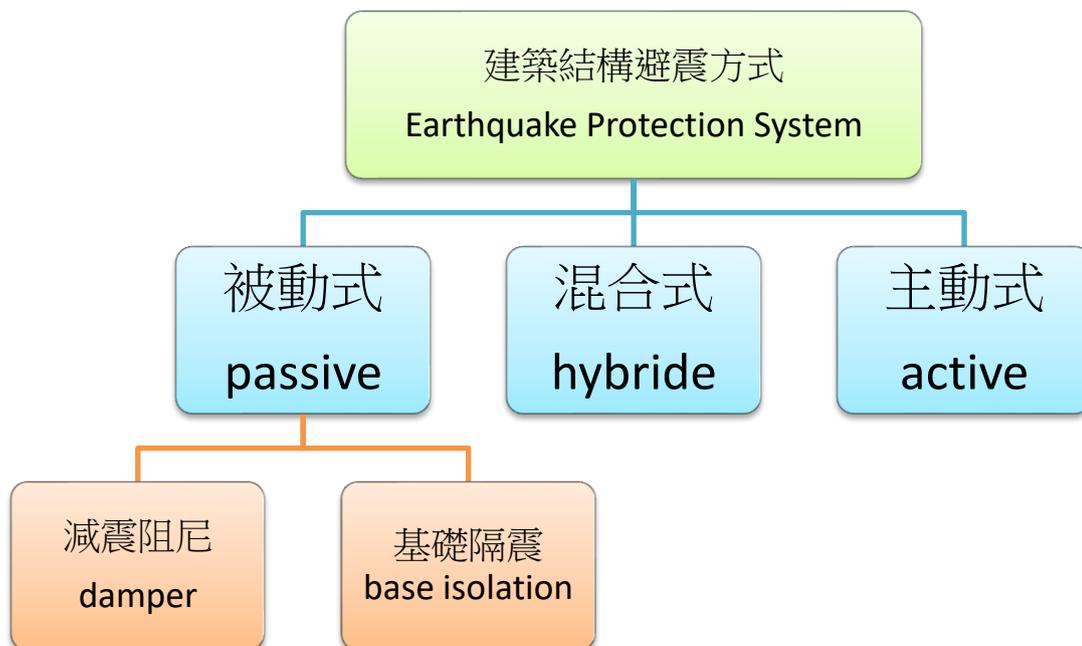
在投影平面的加速度即為
 $A_{\text{地震模擬平台加速度}} = R\omega^2$
 $= R(2\pi f)^2 = 4\pi^2 R f^2$

f ：震動頻率

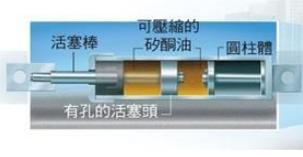
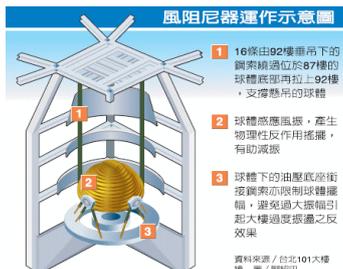
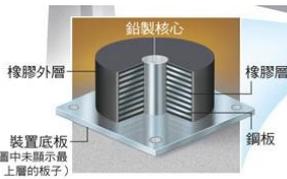
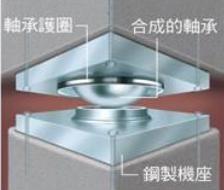


	平均振幅距離一半 R (cm)	平均頻率 f (次/秒)	地震模擬加速度 $4\pi^2 R f^2$ (cm/秒 ²)	換算成中央氣象局 地震震度(級)
高頻地震	1.84	2.421	425.76	7 級
低頻地震	1.95	1.894	276.16	6 級

陸、延伸討論



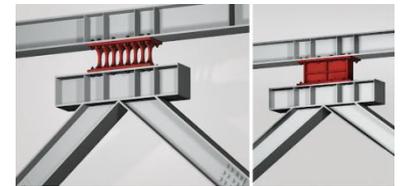
一、目前建築物避震器的種類分類如上圖所示，常見的隔震裝置如下表：

			
圖 27-1 大型油壓阻尼	圖 27-2 懸吊重球	圖 27-3 底部橡膠隔震器	圖 27-4 滑動承軸

我們依據查到的資料，隔震的裝置又可細分為以下幾種：

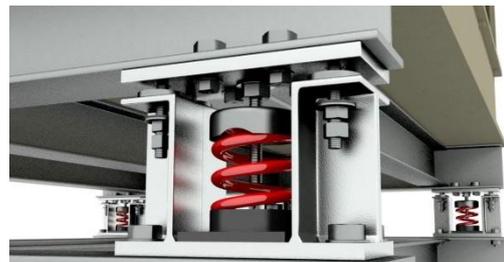
1. Damper 減震阻尼種類有

- Viscous Dampers
- Viscoelastic Dampers
- Friction Dampers
- Tuned Mass Damper (TMD)
- Yielding Dampers
- Magnetic Damper



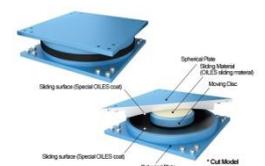
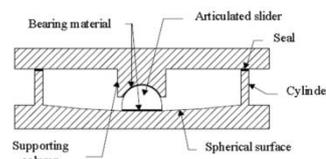
2. 彈性承軸系統種類 elastomeric bearing

- Natural rubber bearing
- Low damping rubber bearings
- Lead plug rubber bearings
- High damping rubber bearing
- Spring

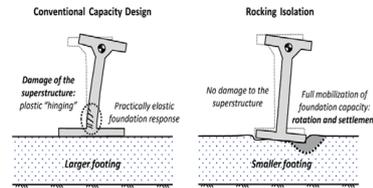
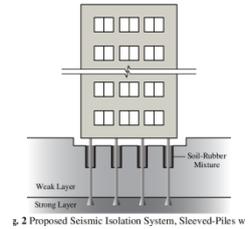


3. 滑動方式減震系統種類 Sliding System

- Resilient Friction System
- Friction Pendulum System
- Curved Slider Bearings or Pendulum Bearings 曲面滑動承軸



- Flat Slider Bearings 平面滑動承軸
- Ball & Roller Bearings 球型或滾輪承軸
- Raft or Mat Foundation 筏式基礎地基
- Soft-story system
- Sleeved Piles system
- Rocking Isolation systems



4. 研發中新型主動式隔震系統

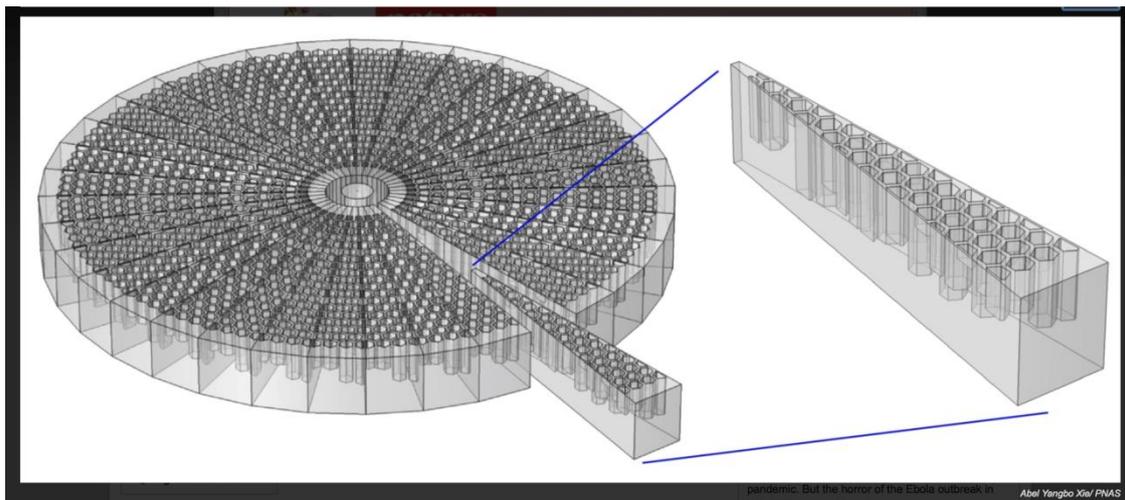
- Seismic Invisibility Cloak System 防震隱形披風
- Magnetic Levitation System 磁力懸浮系統
- Air or Liquid Cushion System 空氣液體墊(懸浮)系統



我們創意的隔震裝置其實是屬於 **Base Isolation** 的一種，我們將之命名為 **Air or Liquid Cushion System 空氣液體墊(懸浮)系統**，其實台灣在 921 地震後，常見於一般低樓層建築中的 **筏式基礎地基**，也是屬於 **Base Isolation** 可以隔震的一種建築法，另外目前還有類似較新的隔震研究，是利用**電磁力**，在偵測到地震時或地震預警時，利用電力啟動電磁力，讓建築物懸浮而產生隔震的效果，和我們的設計相比，電磁力隔震的建置成本會較高，另外地震後傳統電力傳輸會中斷，萬一餘震又陸續發生，也會讓需要電力的電磁力懸浮隔震無法使用而失去隔震的效果，我們設計的空氣懸浮隔震系統，可以**利用多個高壓空氣儲氣槽，分梯次釋放高壓空氣**，在電力中斷但餘震又來臨時，可使用一般電池控制的氣體閥門，讓另外的儲氣槽釋放空氣來達到再度隔震的作用。

另一種目前研發中的隔震裝置稱為 **Seismic Invisibility Cloak System 防震隱形披風**，是將建築物蓋在一個特殊的地基上，這個地基稱為 **Invisibility Cloak 隱形披風**（如下頁圖），這個特殊的地基特殊的材質及設計，可以將地震波或表面波的能量，從這個地基的一端吸收後，柔和地傳到另一端，再傳出到另一端的地面外，地震能量不會往上散射到建築物內，而達到避震的效果，位於美國加州蘋果總公司 Apple Park 內的多棟建築也採用此種最新的減震裝置，在

古代的羅馬競技場地基中，也有發現類似的避震結構。



Base Isolation Devices 基礎隔震是目前使用最普遍的隔震方式，其實已經多年使用在全世界各地的建築，基礎隔震的裝置目前大多只能減少建築物左右搖晃的程度，對於上下震動的減震效果不多，但是根據研究發現，地震時通常先到達的上下震動的 **P** 波，對於建築物的破壞較小，因為建築物本身建構時就要抵抗垂直重力的影響，所以建築物大部分能對抗上下的震動，而通常會造成建築物破壞的，大多是後來左右搖晃的 **S** 波，大部分的隔震裝置都能有效減少左右搖晃的震動，因此 **Base Isolation** 的隔震裝置能有效的減少地震對於建築物的破壞。

Base Isolation Devices 可應用在下列多種需要避震的情況：

1. 重要橋梁的樑柱
2. 重要建築物，如醫院、核電廠、學校、政府機關
3. 重要歷史建築
4. 重要展示櫃，如花瓶文物
5. 科學儀器防震等

每種避震器各有各的優缺點及適合使用的建築，和本研究的設計較相近的是滑動承軸或滾輪的設計，一般滑動承軸的設計，大多應用在保護櫥櫃裡的藝術品或精密儀器設備等小型的設備，減輕所承受的地震擾動，安裝於樓地板與櫥櫃之間，以隔離地板的水平振動，以下是兩者相比較的優缺點：

- (一)、 本研究的設計同樣也特別適用在避震的櫥櫃或精密儀器的桌子，
- (二)、 另外因為沒有的地震的時候，本研究的設計和地面仍有接觸及摩擦力，所以不會如同滑動承軸，不小心碰到或風吹的時後，隔震櫥櫃就會滑動，也因此滑動承軸或滾輪的隔震設計比較不適用在建築物或需要設計一個止滑器。
- (三)、 滑動承軸的設計，大多只能在水平單一方向的避震（如下圖 28），不如本研究設計空氣墊滑動式的可在水平任意方向滑動來避震。
- (四)、 此外滑動承軸的隔震設計，會將承軸安裝在凹型槽中，在承軸滑動時，除了水平的移動，因為凹槽的原因，同時隔震器上的平台也會有上下的移動，在地震時，穩定性不如本研究的空氣墊氣壓懸浮避震，本研究設計的空氣墊氣壓懸浮可能也會有些許的往上移動，但是移動的量是非常微小的。

另外，如果和其他減震的設備比較起來，本研究的設計還有以下優點：

- (五)、 本研究設計的氣壓避震器沒有恢復係數，不須考慮的地震的強度或加速度是否會過大而造成將避震器破壞或永久形變的情形，變成完全沒有避震效果。

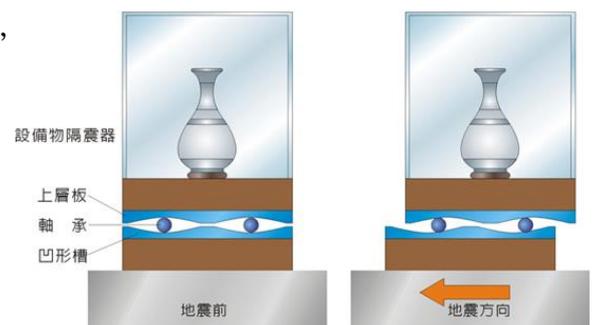


圖 28 滑動承軸櫥櫃

- (六)、 本研究的設計不需使用特殊的材料或技術，建置成本及運作成本較低
- (七)、 只要不斷地利用空氣壓縮機充氣備用，或使用多個儲氣槽，本研究的空氣墊氣壓避震器可以不斷地重複使用，即使損壞了，也不會如損壞的底部橡膠隔震器會損害建築物的安全性，同時也可以容易維修。
- (八)、 由於台灣的建築物大多是小型低樓層建築，本研究的設計也特別適合台灣的小型低樓層建築，但是就不適用於高樓建築，由於高樓建築重量較大，較難使用更高的氣壓來達到避震效果；另外也由於高樓建築的重心較高，本研究的空氣墊氣壓避震器和地面沒有連結，地震時，高樓有可能會有傾倒的可能。

二、實驗的困難與解決辦法

- (一)、 一開始本組想測量桌上曲棍球小孔出來的氣壓並改變氣壓大小來控制變因，但

到報告發表以前都還沒有其他方法可測量，所以便利用可改變氣壓的馬達電壓來達到改變懸浮氣壓的大小，方法雖然可行（做出實驗結果），但是如果實際應用在生活中，還是需要測出實際氣壓大小和模擬建物重量的關係。

（二）、目前本研究實驗設計只是在驗證設計理論，使用縮小比例的模型，但是如果放大到實際生活中，一般小型獨棟建物的重量高達數百公噸以上（鋼筋水泥每立方公尺約 2.4 公噸），使用懸浮氣壓實際需使用多大才能達到有效的避震效果仍是未知數，所以將來需要放大實驗規模，可以得到更接近實際的情形。

（三）、由於本實驗的地震模擬器是使用單相交流馬達來驅動，若要改變地震的頻率需改變交流馬達的轉速，由於單相交流馬達的相位角是固定的，想要改變轉速需要改變輸入交流電的電壓，或改變馬達的電感，但是單相交流馬達電壓變小時，其轉動力矩也會跟著變小，因此將交流電壓降到約 40V 以下時，搖擺機便無法擺動，此時變小的轉速只能讓地震的頻率從 2.4Hz 降到 1.9Hz，不夠大到可以讓實驗做更明顯的差異分析，實驗的振幅級數也過高（搖擺機換算的級數高達 6~7 級），因此將來需要將馬達換成可變速的直流馬達或改變搖擺機中曲軸連桿得齒輪數，才能較有效產生不同的地震頻率。

（四）、另外實驗中也發現，當懸浮隔震效果越來越明顯時，建築物開始會亂飄，可能原因是由於

1. 噴出氣孔的氣壓壓力大小不一，
2. 氣孔密集度過於稀疏，
3. 建築物底面不夠平整，
4. 建築物的重量重心不平均

造成模擬建築物底部的摩擦力不一，而有摩擦的分力產生，造成會亂飄的情形；如要改善，可考慮將氣孔密度提高，或在模擬建築物兩側使用橡皮筋固定，作為模擬加裝液態阻尼避免建築物因亂飄去撞到外緣而造成破壞，應該也可以減少實驗的誤差；而建築物重心不平均的問題，目前還未想到解決的方法。

三、未來實驗的設計方向

- (一)、放大實驗規模及比例，並將懸浮儲氣槽裝置放置模擬建物內，比較不同儲氣槽壓力的避震效果。
- (二)、由於的地震不只有水平的震動，同時也常伴有垂直上下的移動，本組也很有興趣想知道，研究的避震設計在垂直面上上下移動的地震，是否也會有避震的效果，將來也考慮增加這個部分的實驗。

柒、結論

綜合以上實驗的結果，整理出以下的結論：

- 一、懸浮氣壓越大，減震的效果越好，但是如果懸浮氣壓大到可以完全支撐建築物的重量時，減震效果就不會再繼續增加。
- 二、面積越大的建築物，由於可以分散建物的重量壓力，因此當有懸浮氣壓產生時，減震效果會比面積小的建物來得好。
- 三、重量越大的建築物，因為需要更大的懸浮氣壓，所以減震效果會比重量輕得建築物來得差，因此本研究的設計只能用在一般小型的獨棟建築，不適用在高樓大廈。此外雖然建築物越重，避震的效果越差，但是即使噴出的氣壓無法讓建築物完全懸浮在空中，只要有氣體流進建築物的底面和地面接觸的隙縫中，就可以減少一部分的摩擦力，而有一定的減震或隔震的效果。
- 四、建築物光滑的底面會比粗糙的底部避震效果來得好，原因就在摩擦力，因此如果要應用此設計在實際生活中的建築物時，底部設計是硬質光滑的鋼板會比水泥板來得好。
- 五、本研究的設計在不同頻率的地震皆有減震的效果，但是對於高頻的地震，其減震效果會優於低頻的地震。
- 六、本組由實驗中發現，當減震到一定效果時，建築物可能會胡亂漂移導致撞到可活動的邊界，若要用此設計實際應用到生活中，除了使用氣壓懸浮的設計外，在建築物可活動的範圍內，需加上限制阻尼，或預防碰撞的橡膠墊，以避免撞壞建築物。

由以上模擬實驗的結論，認為本研究的設計應該是可行的，希望提出這個富有創意的構想，提供給台灣相關避震建築設計多一個可以參考的方案，進而可以減少地震的傷亡。

捌、參考資料及其他

- 一、中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 國小物理組 水塔超人震得住-液體阻尼器的防震研究 王子誥
- 二、耐震安全的家---認識地震工程，國家地震研究中心出版物，
http://www.ncree.org/safehome/pdf/ITEE_All.pdf
- 三、如何幫大樓抗風防震？淺談台北 101 大樓阻尼器，王秋文、謝紹松、張國儀，台灣大學杜風電子報 Vol 21，<http://www.ntuce-newsletter.tw/vol.21/101damper-1.html>
- 四、科技解剖室---建築的吸震裝置，菲謝蒂（Mark Fischetti），宋宜真，科學人雜誌 2004 年第 33 期 11 月號
- 五、虛擬儀控程式設計：LabVIEW 201X，謝岱凌、張家維、徐如欣、蕭子健，高立圖書出版社，2011/07/01
- 六、LabVIEW 高階機器人教戰手冊（第二版），CAVEDU 教育團隊、曾吉弘、官文絢、吳維翰，碁峰出版社，2014/12/22
- 七、<https://blog.jumpstartrecovery.com/more-ways-to-keep-buildings-safe-in-earthquakes/>
- 八、<https://blog.jumpstartrecovery.com/base-isolation-in-san-francisco/>

【評語】 100007

本作品提出於建築物底部兩個介面中充入空氣形成「空氣墊」，便可以達到減震的效果，另外也發現，讓建築物懸浮的空氣墊氣壓越大、底面積越大、接觸底面光滑、及在高頻的地震下，其減震的效果越好。工作雖具創意，然而，由於工程，社會和成本問題，試圖在現有建築物上大量安裝氣墊或減震裝置可能是不切實際的。儘管如此，報告中有關各種阻尼技術的討論仍具有教育意義。