

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書



科 別：地球科學科

組 別：國中組

作品名稱：探討阻尼球對高樓的減震效果及影響

關鍵詞：地震、減震、阻尼球

編號：

目錄

1. 摘要	3
2. 壹、研究動機	3
3. 貳、研究目的	3
4. 參、研究設備及器材	4
5. 肆、研究過程及方法	5
6. 伍、實驗結果與討論	10
7. 陸、結論	199
8. 柒、參考資料	20

摘要

地震這項話題一直是我們在注意的，尤其更生楚瑜板塊交界帶上，地震成為每個的課題。近年來有許多研究在對地震進行更地研究深入，為了更了解它，或為了保護我們，去探究各種變因及可能性。如今已成為了科展發展的方向之一。

本研究的目的是在探討阻尼球置於不同的高度和震度對大樓的減震及影響，我們自行製作地震台、阻尼球，並用 Tracker 拍攝搖晃的情況、用 Phyphox APP 紀錄加速度，將數據匯出程式並做出分析。探究阻尼球的減震能力，或著阻尼球的限制在哪。

壹、研究動機

在獨特的地理位置下，花蓮為地震發生次數較頻繁的縣市之一。其中，地震更是不可預測的嚴重自然災害之一，能在短時間內造成巨大的損失和破壞。頻繁的地震更考驗建築物的隱定性及耐震度，也直接影響我們的生命安全。這使得地震防災成為極為重要的議題。

抗震的結構種類眾多，而阻尼球作為一種先進的減震技術，已經被證明能有效地減少建築物在地震中的搖晃，從而保護結構和提高人員安全，但運用阻尼球結構的建築物卻不多。

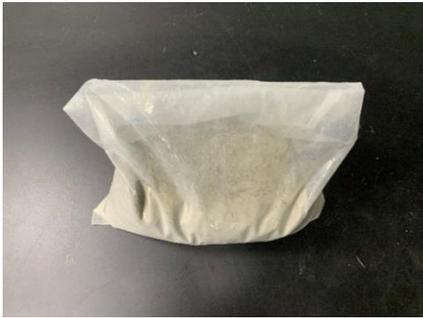
對大眾來說，這類議題並未受到太多重視及關注。我們便思考如何應用此議題進行抗震科學層面的探究，探究阻尼球對於建築物減震能力的有效性，及不同位置下的減震能力，更深入了解阻尼球的功用及實際效果。

貳、研究目的

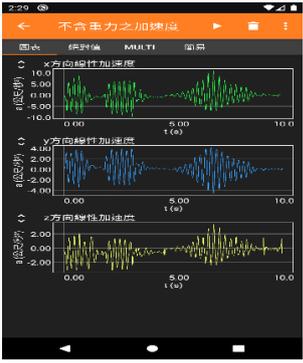
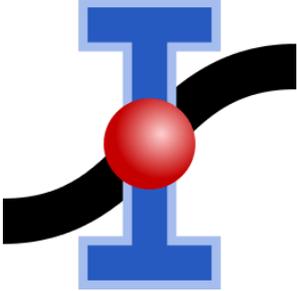
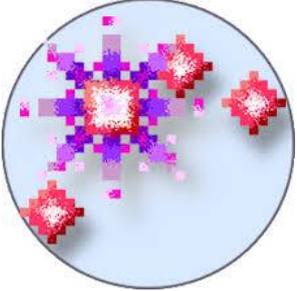
- 一、製作地震台及房屋模型
- 二、探討阻尼球在各種不同高度的抗震較果
- 三、探討阻尼球在各種不同震度下的抗震效果

參、研究設備及器材

一、器材：

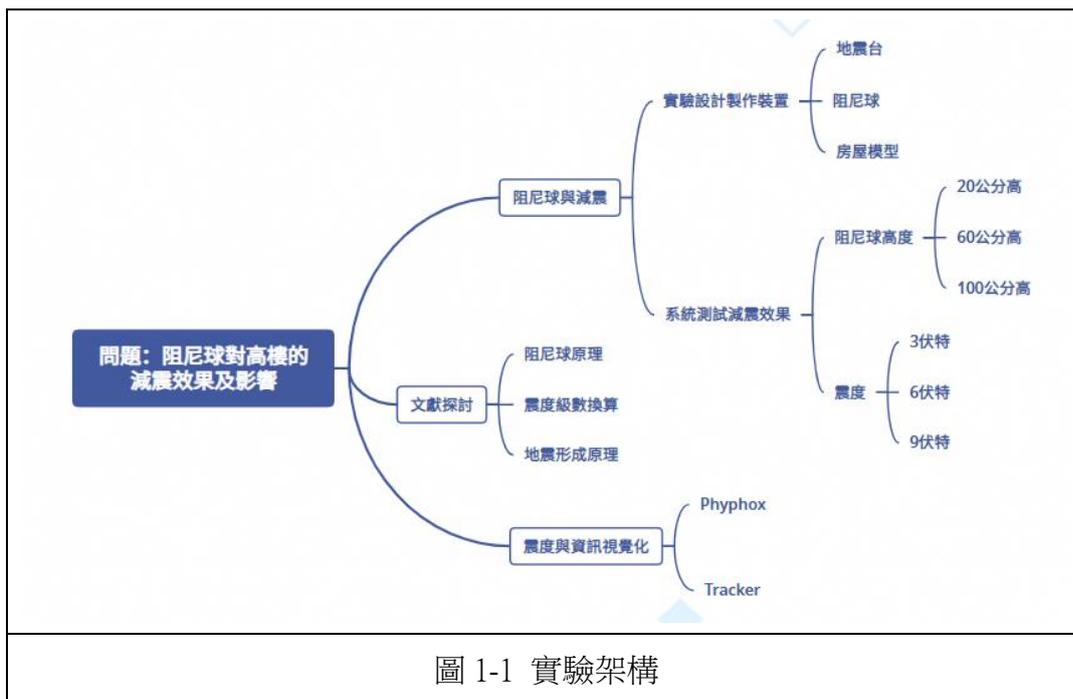
	
<p>圖A：水泥</p>	<p>圖B：線鋸機、電鑽、手機、手機架</p>
	
<p>圖C：連桿、美工刀、麥克筆、紐帶殼、熱熔膠槍、熱熔膠條、水平儀、膠帶、絕緣膠帶、尺、砂紙、螺絲</p>	<p>圖D：木板、木材</p>
	
<p>圖E：馬達、L型鐵片</p>	<p>圖F：鋁擠料、電壓控制器</p>

二、程式：

		
<p>圖 G : phyphox</p>	<p>圖 H : SciDAVis</p>	<p>圖 I : Tracker</p>

肆、研究過程及方法

一、實驗流程:我們根據研究的目的，設計了以下幾個實驗



二、文獻收集

(一) 阻尼球的原理：質量阻尼器的力學原理由質量塊（慣性力）、彈簧（彈性恢復力）與阻尼（能量消散）所組成，裝設於結構物上使之降低結構的動態反應，如頂層位移及加速度反應。調質阻尼器的作用原理為：將阻尼器自身的頻率調整接近於主結構的控制

頻率，如此一來，當外力（風力、地震力）使得結構物的主要頻率被激發時，阻尼器會產生與主結構反向共振的行為，此時作用在主結構上的能量會藉由調質阻尼器而消散。

（二）地震波：

科學家將地震波依照傳播路徑分為兩大類：

1. 體波(body wave)：在地球內部傳播，依波動性質不同又分為：
 - (1) P 波(primary wave，縱波或壓縮波)：傳遞速度較快，通常是地震發生後，最早被地震儀偵測到的波。波的行進方式是，就像抓住彈簧的一端前後推拉，產生波動一樣，波的行進方向與介質的運動方向平行，藉由介質的壓縮與伸張，能量向外傳遞。
 - (2) S 波(shear wave or secondary wave，橫波或剪力波)：傳遞速度較慢，S 波的行進就像將彈簧的一端固定在牆上，另一端用手抓住上下甩動，波的行進方向與介質的震動方向是垂直的，藉由介質的變形，能量向外傳遞。
2. 表面波(surface wave)：只能沿地球表面傳播，是威力最強、水平傳播距離最遠的地震波，雖然能量會隨著傳播距離而減少，但是頻率低、震幅大的表面波仍可以傳到幾千公里外的地區。表面波由運動方式可區分為：
 - (1) 雷利波(Rayleigh wave)：上下混合震動，運動軌跡為橢圓形震動，他的運動方式向像海浪一樣，而震動振幅會隨深度增加而減少。
 - (2) 洛夫波(Love wave)：震動方向和波前進方向垂直，震動只發生在水平方向上，沒有垂直分量，只有左右震動，側向震動振幅會隨深度增加而減少。

震波的速度為 P 波 > S 波 > 表面波。因此，體波於地震發生時產生，經過地球內部，傳達至地球表面的轉變為表面波作為傳播，若先不考慮地震波動的衰減與幾何擴散特性，那麼在地表所感受到的震動應該是先由 P 波所引起的短期上下震動，隨後為由 S 波引起的短周期水平震動，最後是由表面波所引起的長周期運動。因此地震時，我們會先感受到上下震動，再來水平震動。

三、實驗一：製作地震模擬裝置、房屋模型及阻尼球

(一) 地震台製作過程

1. 理念：藉由網路上查詢了解地震台的原理，利用電壓控制器改變馬達轉速調整搖晃頻率，再用連桿連接平台，即可增減地震台的震度。
2. 製作過程
 - (1) 步驟一：製作滑軌底座，將兩條鋁擠料(長約 100cm)利用螺絲固定在木板上(約 100cmx61cmx1cm)，並確認已平行(如圖 1-1)。
 - (2) 步驟二：將滑輪利用螺絲固定在木板上 (如圖 1-2)。
 - (3) 步驟三：製作傳動裝置，用 L 型鐵片和熱熔膠固定住馬達，並將鐵片焊在馬達上，再利用螺絲和木頭將另一端固定在平台上 (如圖 1-3)。
 - (4) 步驟四：將電壓控制器和馬達的正負極連接，接上插頭即可運作。
 - (5) 步驟五：在平台右方放上裝滿水的寶特瓶作為配重(如圖 1-6)。

(二) 房屋模型製作過程

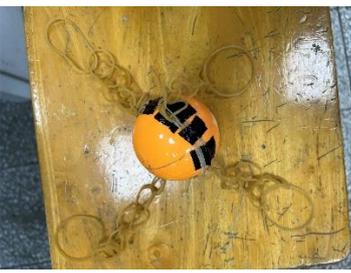
1. 理念：藉由木條來建造房屋模型，利用 L 行鐵片和熱熔膠來固定，並將建築物分層，以此模擬較高的建築物。
2. 製作過程
 - (1) 步驟一：製作梁柱，將木條(長 120cm)用螺絲和 L 型鐵片固定於四角，梁柱之間的距離為 30 公分。
 - (2) 步驟二：製作支撐柱，將木條切短(長 120cm)長並用熱溶膠固定，每 20 公分為一層，將建築物分為 6 層。
 - (3) 步驟三：於房屋模型底板用螺絲開孔，用來固定於地震台上。
 - (4) 步驟四：在頂層放置三根木條，用來放置手機用 (如圖 1-4)。

(三) 阻尼球製作過程

1. 理念：藉由網路查詢資料，利用沉重的球形物體來充當質量球，再利用彈性物品來緩衝力量，以此來探討減震的效果。
2. 製作過程

(1) 步驟一：調製水泥，水泥和水的比例以 3:1 調製，並倒入扭蛋殼中等待至凝固。

(2) 步驟二：將 7 條橡皮筋串起，並用強力膠帶固定於扭蛋殼上，根據上述重

		
圖 1-1 滑軌	圖 1-2 螺絲固定滑軌	圖 1-3 傳動裝置
		
圖 1-4 房屋模型頂層	圖 1-5 阻尼球	圖 1-6 配重

四、實驗二：利用 Tracker 測量 3、6、9 伏特對應的地震級數

(一) 實驗裝置

1. 地震台

(二) 實驗過程

1. 分別測量 3、6、9 伏特的影片 15 秒各一次，並將數據匯出
2. 利用 Tracker 將最大加速度算出
3. 帶入公式換算求得地震級數

五、實驗三：利用 Tracker 測量房屋模型和阻尼球在不同震度和高度下的移動量及加速度

(一) 實驗裝置

1. 地震台、房屋模型、阻尼球
2. 手機架、測量用之手機 (一支)

(二) 實驗過程

1. 先測量未放置阻尼球在 3 伏特、6 伏特、9 伏特的數據。
2. 於房屋模型中放入阻尼球 (如圖 2-1)。
3. 將手機放置在可拍下房屋整體的地方 (如圖 2-2)。
4. 同時開啟電源並錄影測量數據，測量 15 秒。
5. 完成實驗後匯出數據。
6. 於 3 伏特、6 伏特、9 伏特的電壓和 20 公分、60 公分、100 公分高放置阻尼球的實驗種各測試一次。

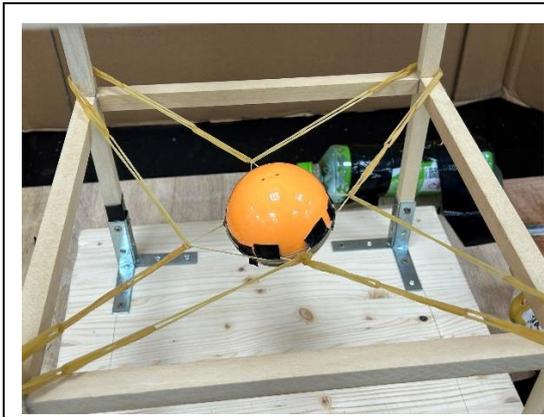


圖 2-1 阻尼球放置方式



圖 2-2 手機放置位置

六、實驗四：利用 phyphox 測量房屋模型在不同震度和高度下的移動量及加速度

(一) 實驗裝置

1. 地震台、房屋模型、阻尼球
2. 束帶、測量用之手機 (一支)

(二) 實驗過程

1. 於房屋模型頂層放置手機，並用束帶綁緊，確保不會掉落。
2. 先測量未放置阻尼球在 3 伏特、6 伏特、9 伏特的數據。
3. 於房屋模型中放入阻尼球。
4. 同時開啟電源並測量數據，測量 15 秒。
5. 其餘步驟如實驗二。

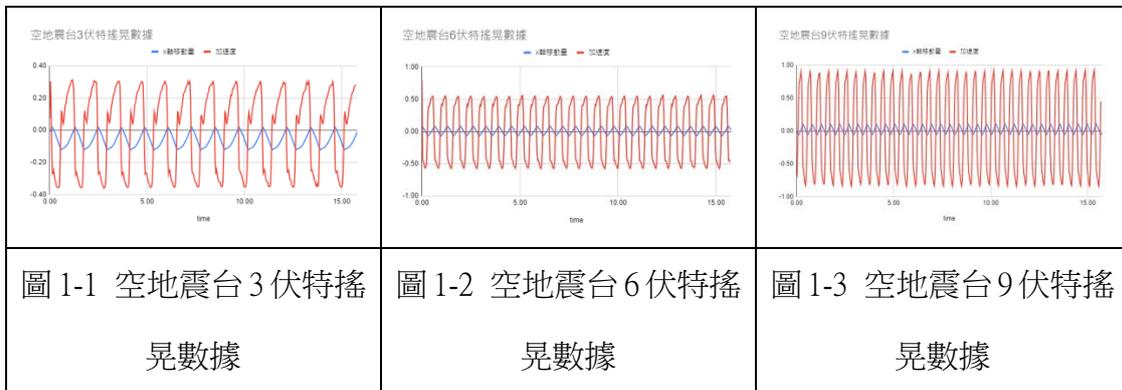
伍、實驗結果與討論

一、實驗二：利用 Tracker 測量 3、6、9 伏特對應的地震級數

(一) 測量 3、6、9 伏特震度的移動量，數據如下圖 1-1~1-3 所示，再帶入公式(cm/sec^2)，對照中央氣象局的震度分級，即可得出震度。數據如下圖表 1 所示：

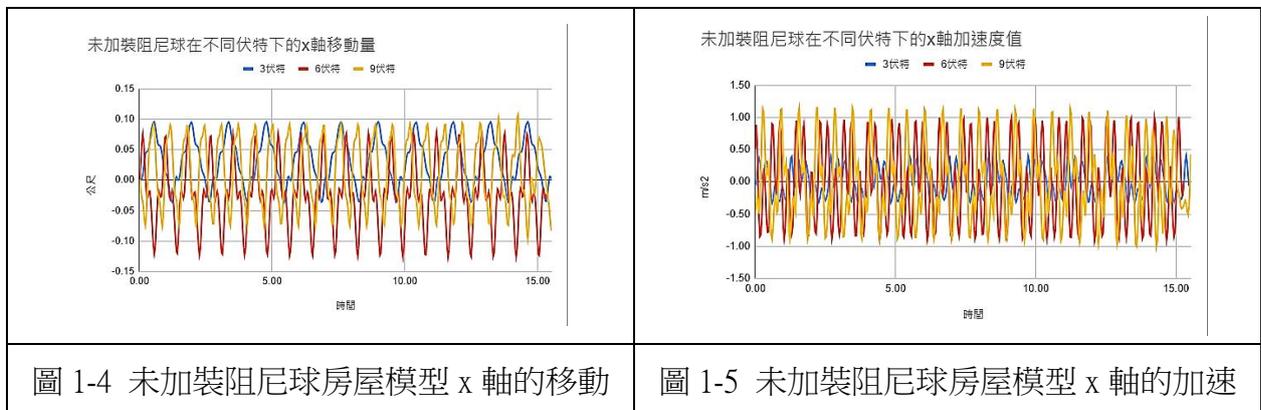
表 1 各個伏特換算震度分級

伏特數	3	6	9
帶入公式(cm/sec^2)	23.3	50	69
震度分級	3 級	4 級	4 級



二、實驗三：利用 Tracker 測量房屋模型和阻尼球在不同震度和高度下的移動量及加速度

(一) 實驗前先測量未放置阻尼球，房屋模型在 3 伏特、6 伏特、9 伏特震度的移動量及加速度，數據如下圖 1-4~15 所示，測得的結果作為其他實驗種的對照組。



量	度值
---	----

(二) 選擇阻尼球在 20、60、100 公分三種高度，測試房屋模型和阻尼球在 3、6、9 伏特震度下的減震效果及影響。實驗結果如下圖：

1. 阻尼球放 20 公分處，測量結果如下圖 1-6~1-12 所示：

- (1) 房屋模型：可以看到在 20 公分加裝阻尼球的房屋模型在 3 伏特震度和 6 伏特震度的加速度值有稍微削減，和 9 伏特震度無明顯減震功效。在加速度值大小為(9 伏特>6 伏特>3 伏特)，也看到與未加裝阻尼球的數據相比波動次數減少了一些。
- (2) 阻尼球：可以看到阻尼球掛於 20 公分高時，移動量的大小為(9 伏特>6 伏特>3 伏特)，加速度值則是為(9 伏特=6 伏特>3 伏特)。
- (3) 討論：在大樓的最底層放阻尼球在較輕微的震度中可以起到些微的減震影響，但若震度再往上加加速度值就增加了。推測阻尼球在更大的地震中搖晃成為了共震的物品之一，導致加速度值增加。

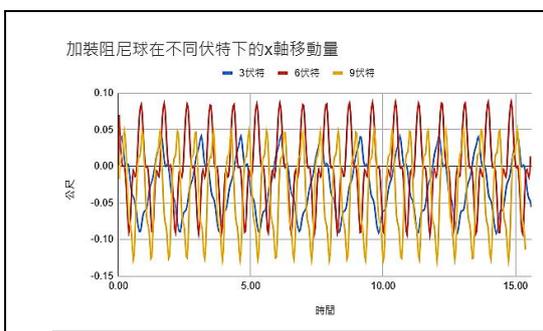


圖 1-6 加裝阻尼球於 20 公分高房屋模型

x 軸的移動量

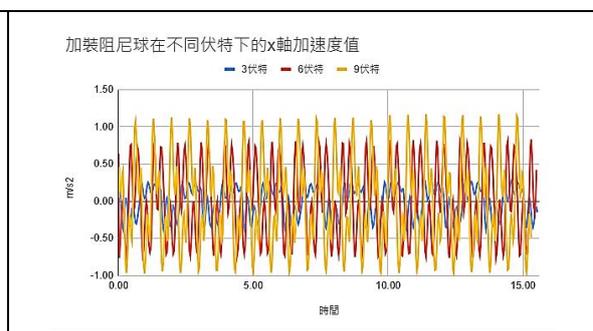


圖 1-7 加裝阻尼球於 20 公分高房屋模型

x 軸的加速度值

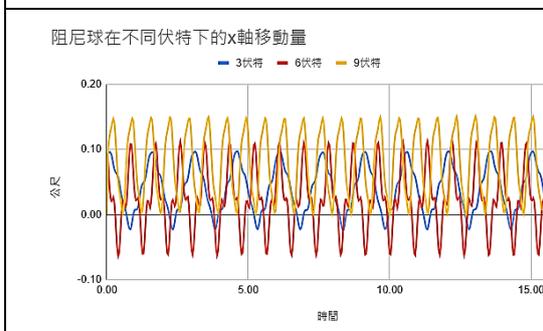


圖 1-8 阻尼球於 20 公分 x 軸的移動量

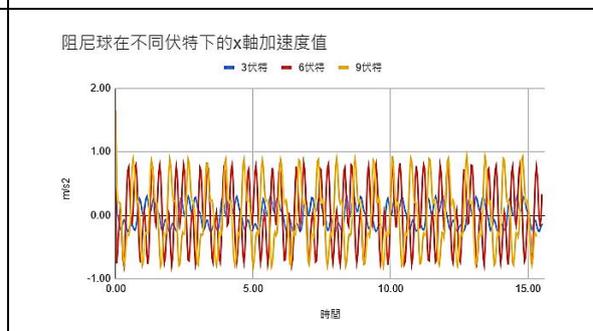
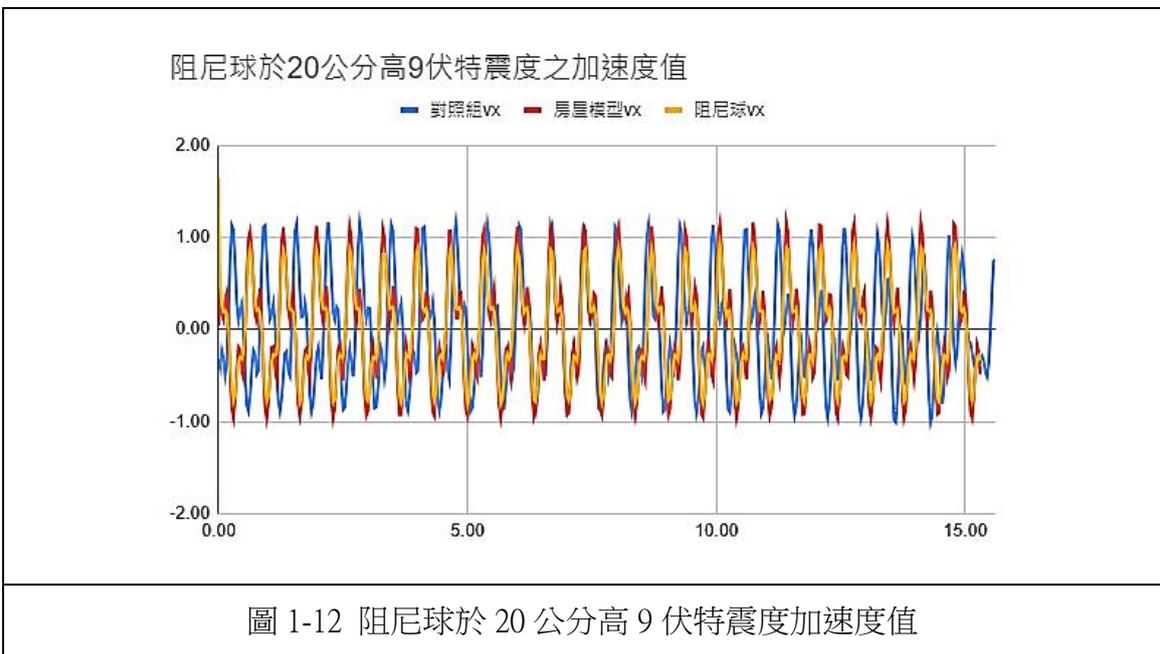
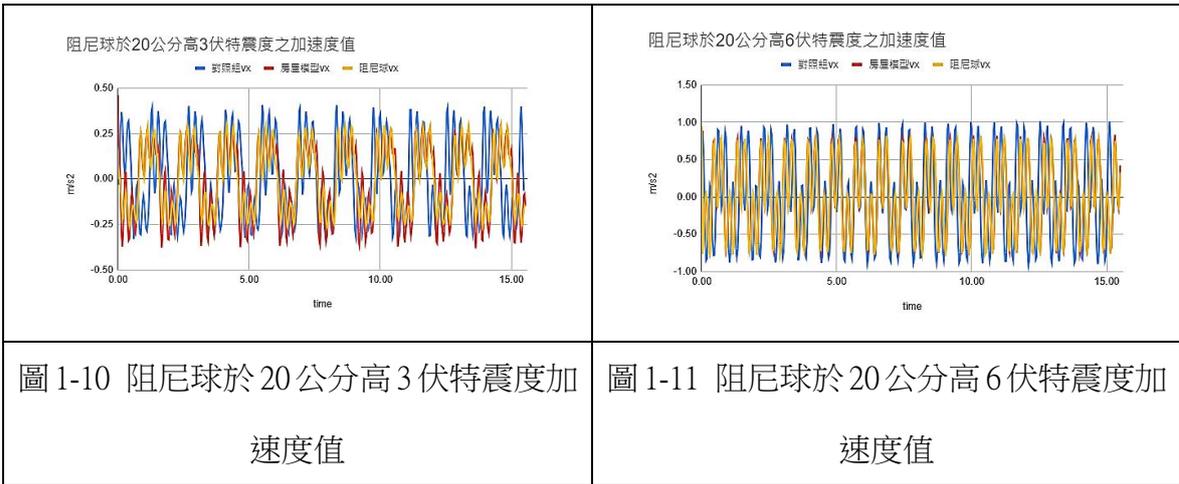


圖 1-9 阻尼球於 20 公分 x 軸的加速度值



2. 阻尼球放 60 公分處，測量結果如下圖 1-13~1-19 所示：

- (1) 房屋模型：可以看到在 60 公分處加裝阻尼球 6 伏特震度的加速度值大幅減少，而 9 伏特震度則是不減反增(9 伏特>6 伏特>3 伏特)。
- (2) 阻尼球：可以看到阻尼球掛於 60 公分高時，移動量的大小為(6 伏特>9 伏特>3 伏特)，加速度值則是為(6 伏特>9 伏特>3 伏特)。
- (3) 討論：根據上述實驗結果，可見小震福和大震福阻尼球都無法減少加速度，但卻可以減少適中震度的能量，推測阻尼球在特定的高度和振動頻率下，達到了頻率和大樓的振動頻率相近，藉由反向共震吸收掉了能量。

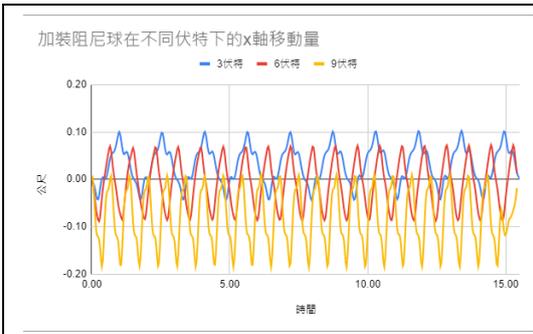


圖 1-13 加裝阻尼球於 60 公分高房屋模型 x 軸的移動量

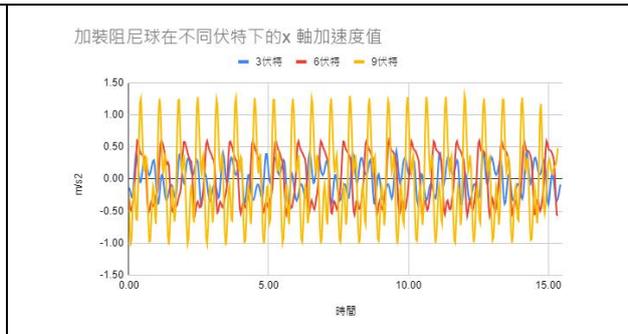


圖 1-14 加裝阻尼球於 60 公分高房屋模型 x 軸的加速度值

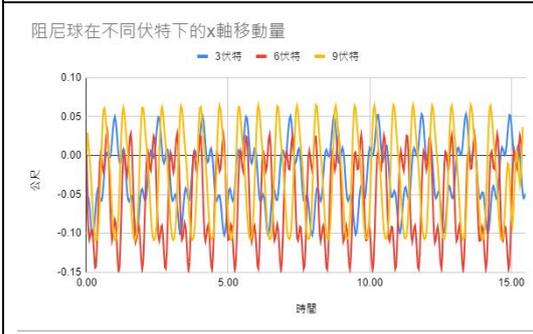


圖 1-15 阻尼球於 60 公分 x 軸的移動量

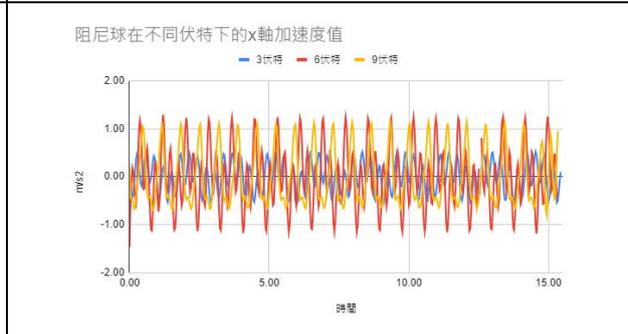


圖 1-16 阻尼球於 60 公分 x 軸的加速度值

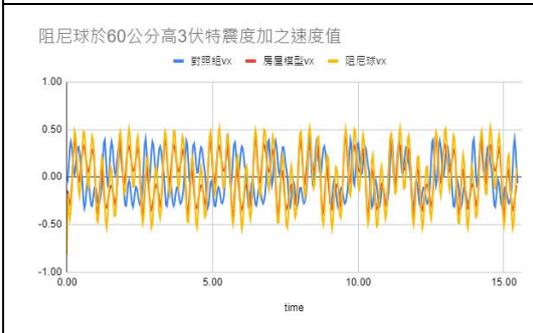


圖 1-17 阻尼球於 60 公分高 3 伏特震度加速度值

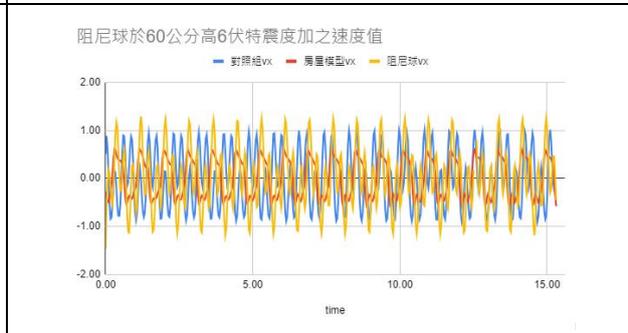


圖 1-18 阻尼球於 60 公分高 6 伏特震度加速度值

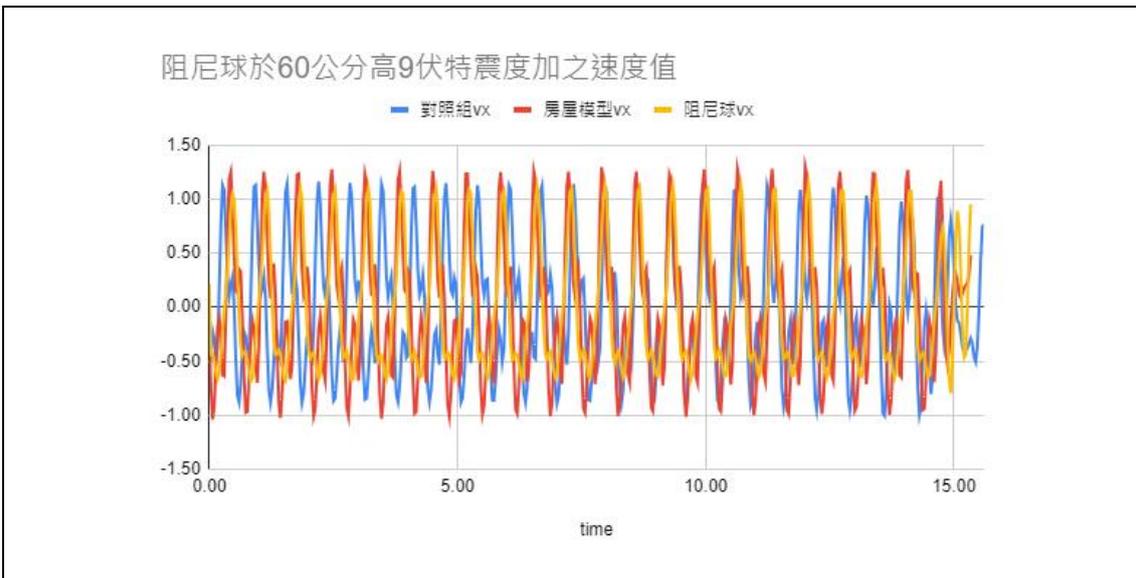


圖 1-17 阻尼球於 60 公分高 9 伏特震度加速度值

3. 阻尼球放 100 公分處，測量結果如下圖 1-18~1~24 所示：

- (1) 房屋模型：在阻尼球位於 100 公分高時，三種伏特皆可減少加速度值，而其中 6 伏特震度實驗種減少的加速度值最多。
- (2) 阻尼球；可以看到阻尼球掛於 100 公分高時，移動量的大小為(9 伏特>6 伏特>3 伏特)，加速度值則是為(9 伏特>6 伏特>3 伏特)。
- (3) 討論：根據上述實驗結果，皆是減少速度值。推測阻尼球置於高樓上方，減震效果較放在低層樓好，越上方阻尼球較能吸收能量來抵銷搖晃。

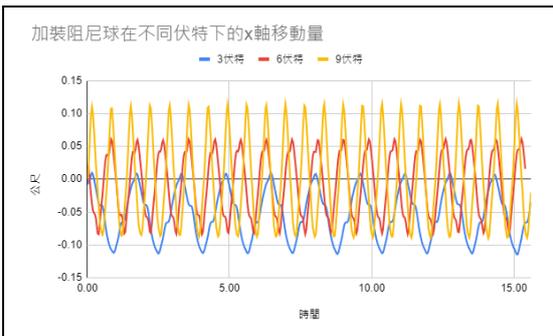


圖 1-18 加裝阻尼球於 100 公分高房屋模型 x 軸的移動量

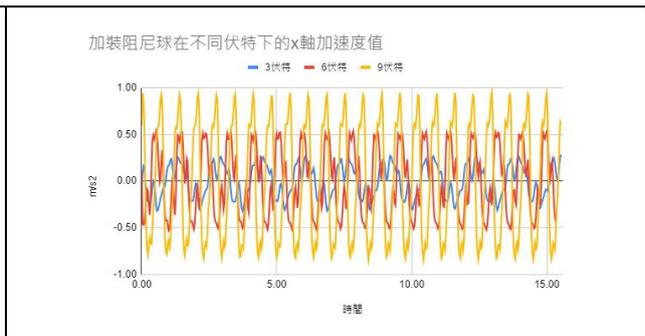


圖 1-19 加裝阻尼球於 100 公分高房屋模型 x 軸的加速度值

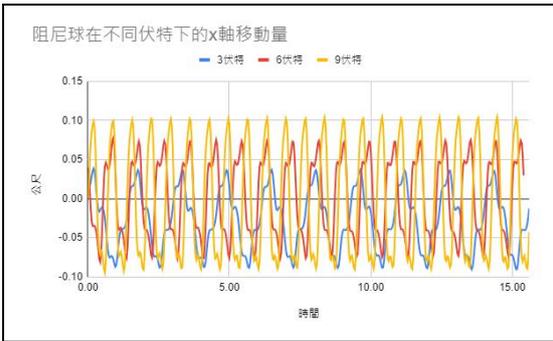


圖 1-20 阻尼球於 100 公分 x 軸的移動量

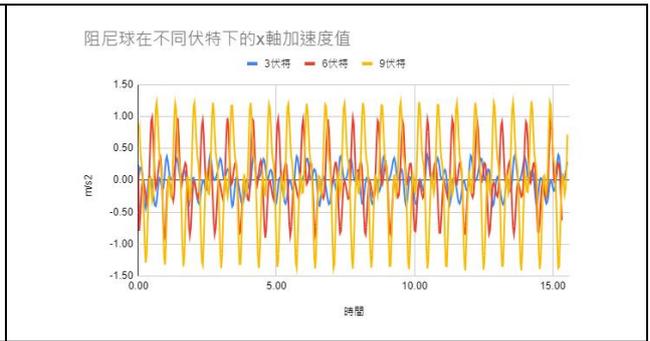


圖 1-21 阻尼球於 100 公分 x 軸的加速度值

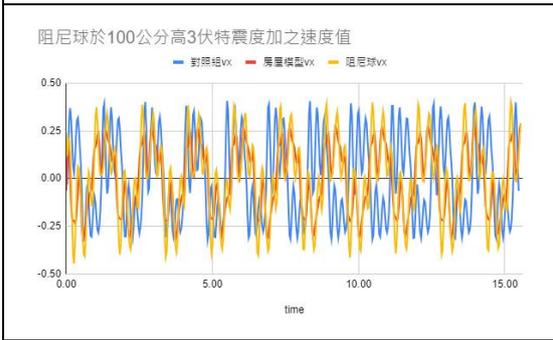


圖 1-22 阻尼球於 100 公分高 3 伏特震度加速度值

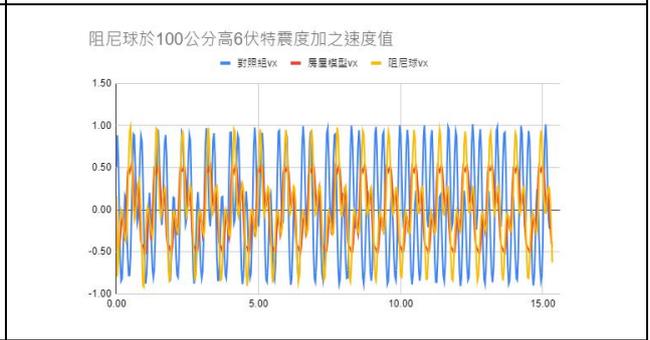


圖 1-23 阻尼球於 100 公分高 6 伏特震度加速度值

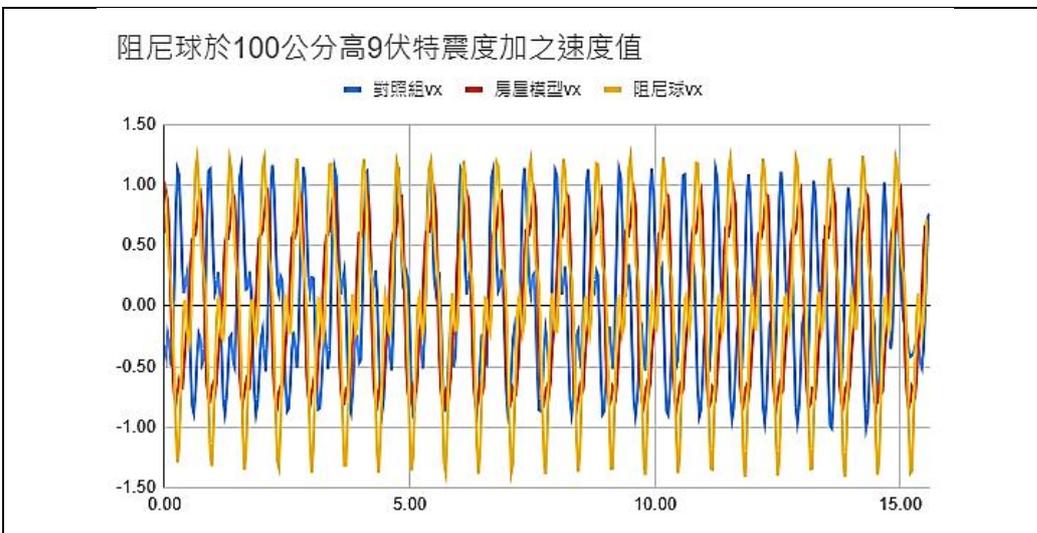
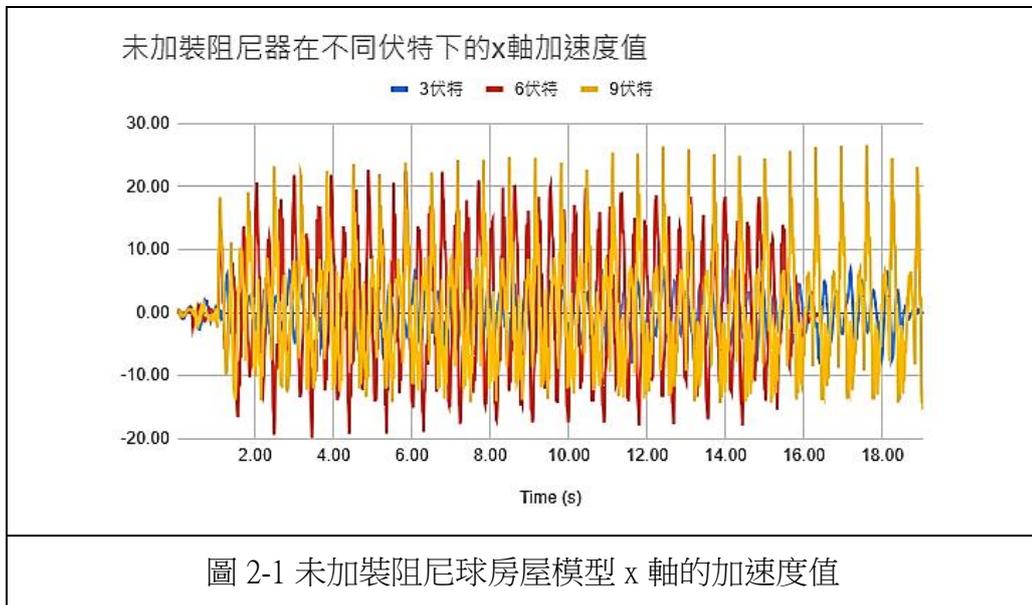


圖 1-24 阻尼球於 100 公分高 9 伏特震度加速度值

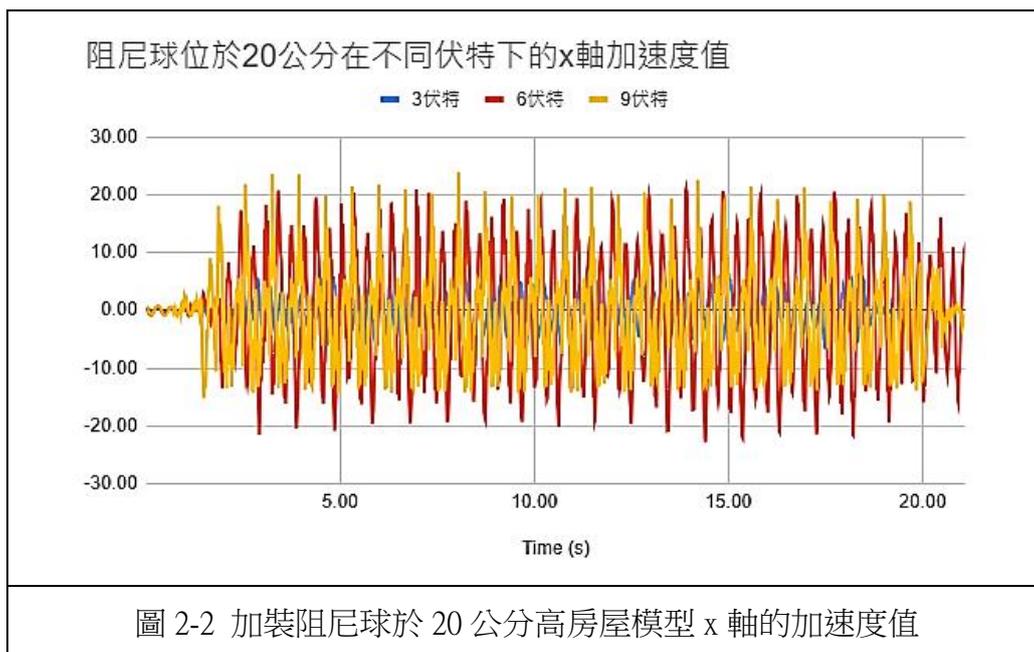
三、實驗四：利用 *phyphox* 測量房屋模型在不同震度和高度下的移動量及加速度

(一) 實驗前先測量未放置阻尼球，3 伏特、6 伏特、9 伏特的移動量及加速度數據圖 2-1 所示，測得的結果作為其他實驗種的對照組。

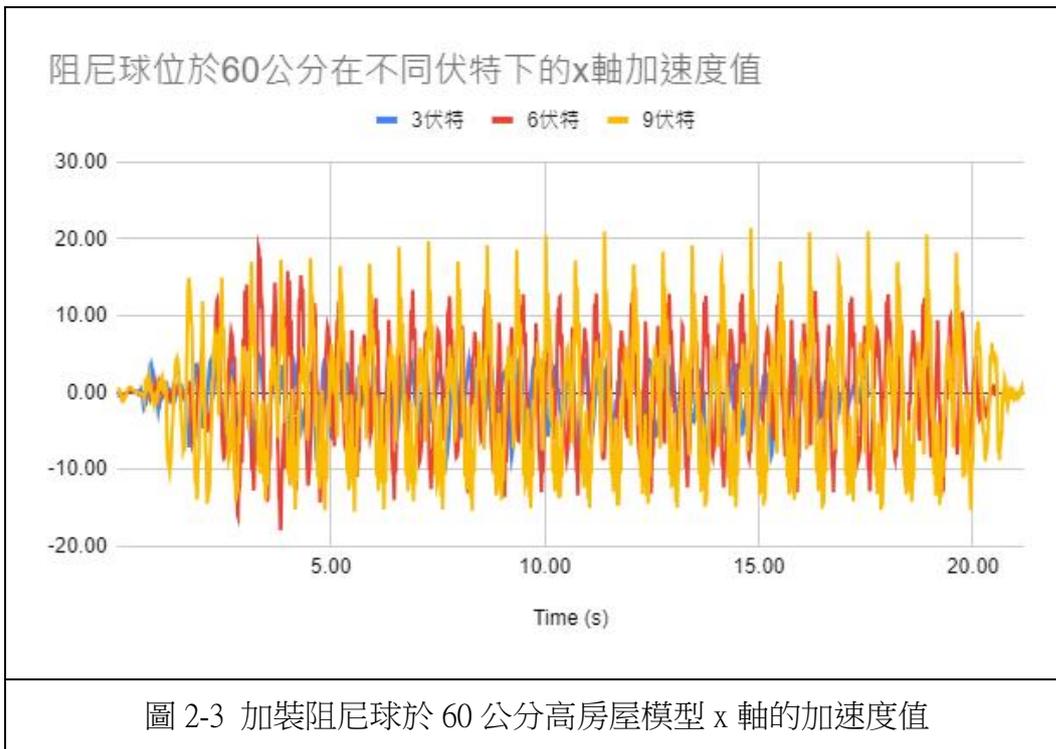


(二) 選擇阻尼球在 20、60、100 公分三種高度，測試房屋模型在 3、6、9 伏特震度下的減震效果及影響。

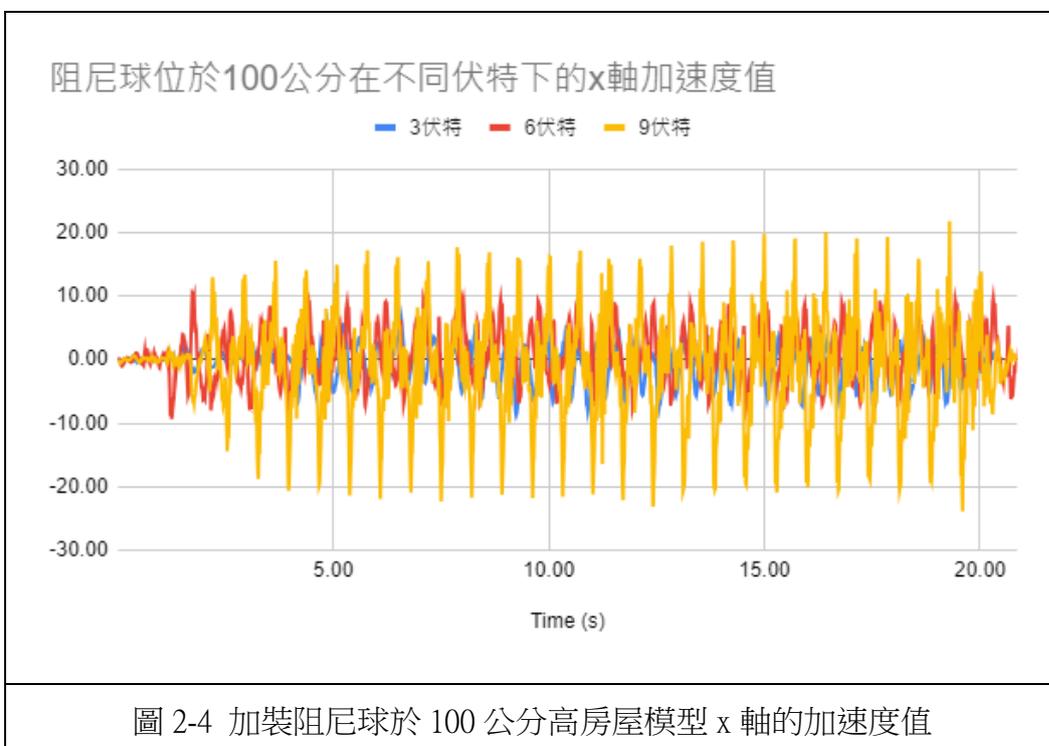
1. 阻尼球放 20 公分處，測量結果如下圖 2-2 所示：可以看到三個震度的變化皆不明顯，阻尼球所帶來的減震效果並不明顯。



阻尼球放 60 公分處，測量結果如下圖 2-3 所示：可見 6 伏特震度的加速度值大幅減少，減震效果顯著。而其餘兩個震度的減震效果不明顯。



2. 阻尼球放 100 公分處，測量結果如下圖 2-4 所示：可見 3 伏特震度和 6 伏特震度的加速度值大幅減少，減震效果顯著。而 9 伏特震度的減振效果較不明顯。



3. 討論：根據以上實驗結果，推論阻尼球並不適合放在低樓層，靠近高樓層的地方阻尼球才能發揮發的功效。

一、下方為在各個震度下不同高度的降震效果，測量結果如表 2-1~2-3 所示：

表 2-1 3 伏特震度下阻尼球置於不同高度的降震效果

	對照組	20 公分高	60 公分高	100 公分高
加速度值	0.41	0.28	0.44	0.29
差異加速度值	X	-0.13	0.03	-0.12
降震比(%)	X	-31.7	7.32	-29.27

表 2-2 6 伏特震度下阻尼球置於不同高度的降震效果

	對照組	20 公分高	60 公分高	100 公分高
加速度值	1.01	0.83	0.6	0.54
差異加速度值	X	-0.18	-0.41	-0.47
降震比(%)	X	-17.82	-40.59	-46.54

表 2-3 9 伏特震度下阻尼球置於不同高度的降震效果

	對照組	20 公分高	60 公分高	100 公分高
加速度值	1.14	1.17	1.3	0.96
差異加速度值		0.03	0.16	-0.18
降震比(%)		2.63	14.03	-15.79

陸、結論

綜合以上實驗結果，我們得到以下幾點結論

一、震度級數

- (一) 3 伏特轉為震度級數為 3 級
- (二) 6 伏特轉為震度級數為 4 級
- (三) 9 伏特轉為震度級數為 4 級

二、房屋模型減震影響

- (一) 阻尼球置於 20 公分高時，3 伏特震度的減震效果最明顯，而在 9 伏特震度時會些微增加加速度。
- (二) 阻尼球置於 60 公分高時，6 伏特震度的減震效果最明顯，而在 3 伏特震度和 9 伏特震度下都會增加加速度。
- (三) 阻尼球置於 100 公分高時，三種伏特震度皆會減少加速度，其中以 6 伏特震度減少最多。

三、阻尼球減震影響

- (一) 阻尼球置於 20 公分高時，6 伏特震度和 9 伏特震度的移動值和加速度相近，加速度值則以 3 伏特震度最小。
- (二) 阻尼球置於 60 公分高時，三種震度的移動值相近，加速度值則以 3 伏特震度最小。
- (三) 阻尼球置於 100 公分高時，3 伏特震度的移動值和加速度值皆為最小，其餘兩個震度的移動量和加速度值皆相近。

四、各震度最佳減震方案

- (一) 3 伏特震度在房屋模型的 1/6 處放置阻尼球效果最佳
- (二) 6 伏特震度在房屋模型的 5/6 處放置阻尼球效果最佳
- (三) 9 伏特震度在房屋模型的 5/6 處放置阻尼球效果最佳

柒、參考資料

一、油壓阻尼器在超高大樓的抗風減振應用，取

自:https://www.ncree.org/SafeHome/ncr05/pc2_5.htm

二、交通部中央氣象局修正地震震度分級(2019 年 12 月 26 日)，取自 <https://reurl.cc/ezvr2Q>

三、地震的震度如何分級？

取自 https://www.ncree.org/safehome/ncr01/pc3_4.htm

四、如何幫大樓抗風防震？淺談台北 101 大樓阻尼器(2009)，取自

<http://www.ntuce-newsletter.tw/vol.21/101damper-1.html>