

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

團隊合作獎

030507

探討阻尼球對高樓的減震效果及影響

學校名稱：花蓮縣私立海星高級中學(附屬國中)

作者： 國二 李泓毅 國二 黃韋銓 國二 林宇澤	指導老師： 葉東茂 廖啟岑
---	-----------------------------

關鍵詞：地震、減震、阻尼球

摘要

地震這項話題一直是我們在注意的，尤其更身處於板塊交界帶上，地震成為重要的課題，近年來有許多研究在對地震進行更地研究深入。本研究的目的是在探討阻尼球置於不同的樓層高度後，施以人為震度後對建築物的減震及影響，我們自行製作地震台、建築物、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。

實驗結果顯示，對應對壓換算最小地震級數為 3 級，最大為 5 強。而每個地震級數都有對應較佳放置阻尼球的樓層。且將阻尼球放置在房屋模型 6 分之 3 處帶來的減震效果最佳，而其他情況仍有加裝阻尼球造成加速度增加的情況出現，而在能量轉移的過程中多為高層樓轉向低層樓居多。

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：

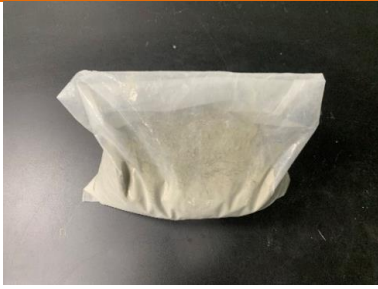


圖 A：水泥（作者自攝）



圖 B：線鋸機、電鑽、手機、手機架（作者自攝）



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（作者自攝）



圖 D：木板、木材（作者自攝）



圖 E：馬達、L型鐵片（作者自攝）



圖 F：鋁擠料、電壓控制器（作者自攝）

二、程式：



圖 G：phyphox（作者自攝）

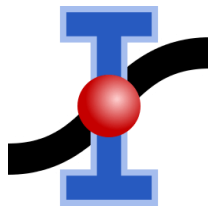


圖 H：SciDAVis（取自參考文獻五）

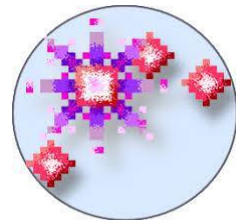


圖 I：Tracker（取自參考文獻六）

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

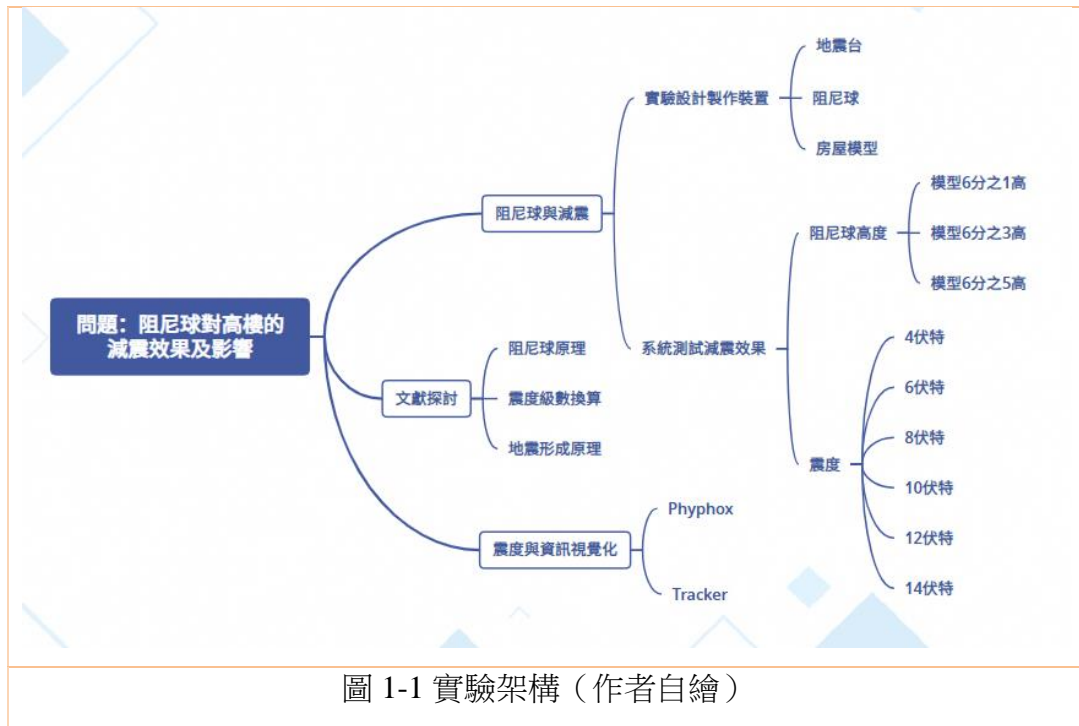


圖 1-1 實驗架構（作者自繪）

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：將厚度相同的木塊固定在木板底下，留出鎖螺絲的空間。
 - (4) 步驟四：製作傳動裝置，用 L 行馬達架固定住馬達，並將鐵片焊在馬達上，連接處用螺絲、墊片和螺帽固定(如圖 1-3)。
 - (5) 步驟五：將電壓控制器和馬達的正負極連接，接上插頭即可運作。
 - (6) 步驟六：在平台右方放上裝滿水的寶特瓶作為配重(如圖 1-4)。
 - (7) 成品(如圖 1-5)所示。

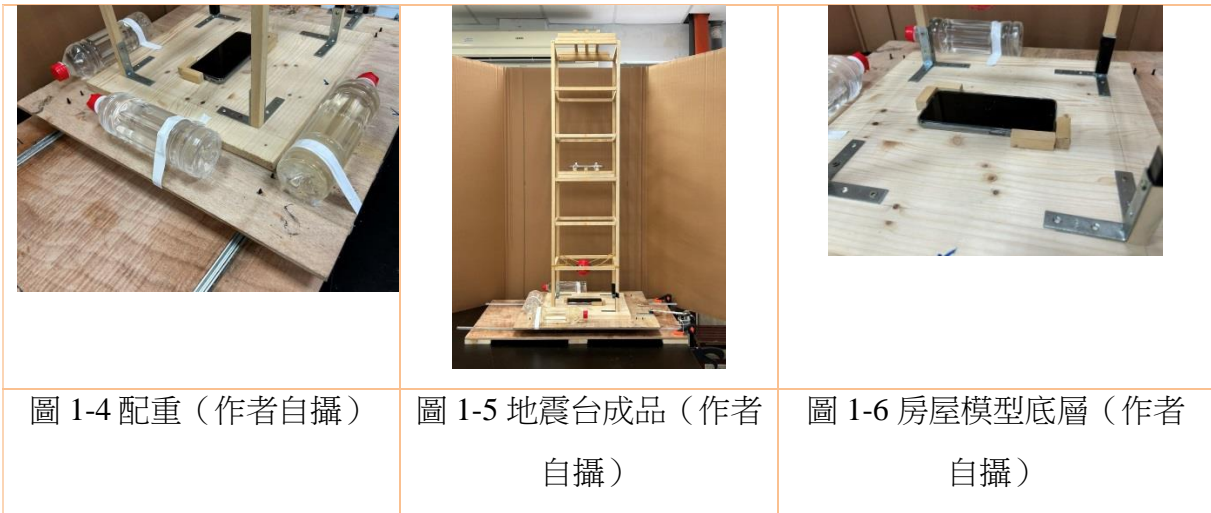
(二) 房屋模型製作過程

1. 理念：藉由木條來建造房屋模型，利用 L 型鐵片、熱熔膠、螺絲來固定，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：在底層放置小段木條，用來固定手機(如圖 1-6)。
 - (5) 步驟五：在中層和頂層放置三根木條，用來固定手機用(如圖 1-7、1-8)。
 - (6) 步驟六：

(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，套在四個方向不同的方位上，並用強力膠帶固定於扭蛋殼上(如圖 1-9)。

		
圖 1-1 滑軌 (作者自攝)	圖 1-2 螺絲固定滑軌 (作者自攝)	圖 1-3 傳動裝置 (作者自攝)



四、實驗二：利用 Tracker 測量 4、6、8、10、12、14 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 4 伏特、6 伏特、8 伏特、10 伏特、12 伏特、14 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
- 4.

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. 將手機放置在可拍下房屋整體的地方 (如圖 2-1)。
2. 先測量未放置阻尼球在 4 伏特、6 伏特、8 伏特、10 伏特、12 伏特、14 伏特的數據。
3. 開啟電源並錄影測量數據，測量 15 秒，完成後匯出數據。
4. 於房屋模型中放入阻尼球 (如圖 2-2)。
5. 於 4 伏特、6 伏特、8 伏特、10 伏特、12 伏特、14 伏特的電壓和房屋模型 6 分之 1、6 分之 3、6 分之 5 高處放置阻尼球的實驗種各測試一次，完成後匯出數據。

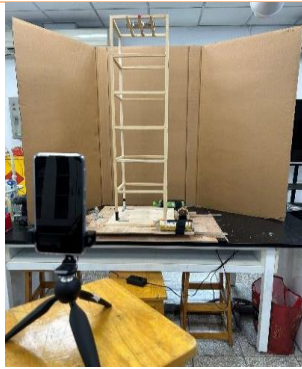
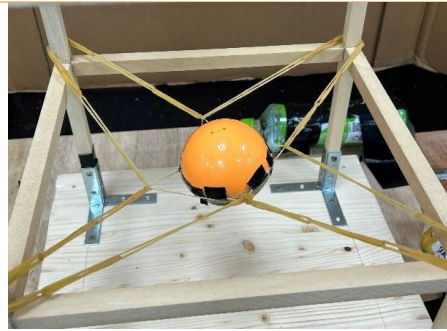


圖 2-1 手機放置位置圖 (作者自攝)



2-2 阻尼球放置方式 (作者自攝)

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 (三支)

(二) 實驗過程

1. 於房屋模型底、中、頂層放置手機，並用束帶和木塊固定，確保不會掉落。
2. 其餘步驟如實驗二。

伍、實驗結果與討論

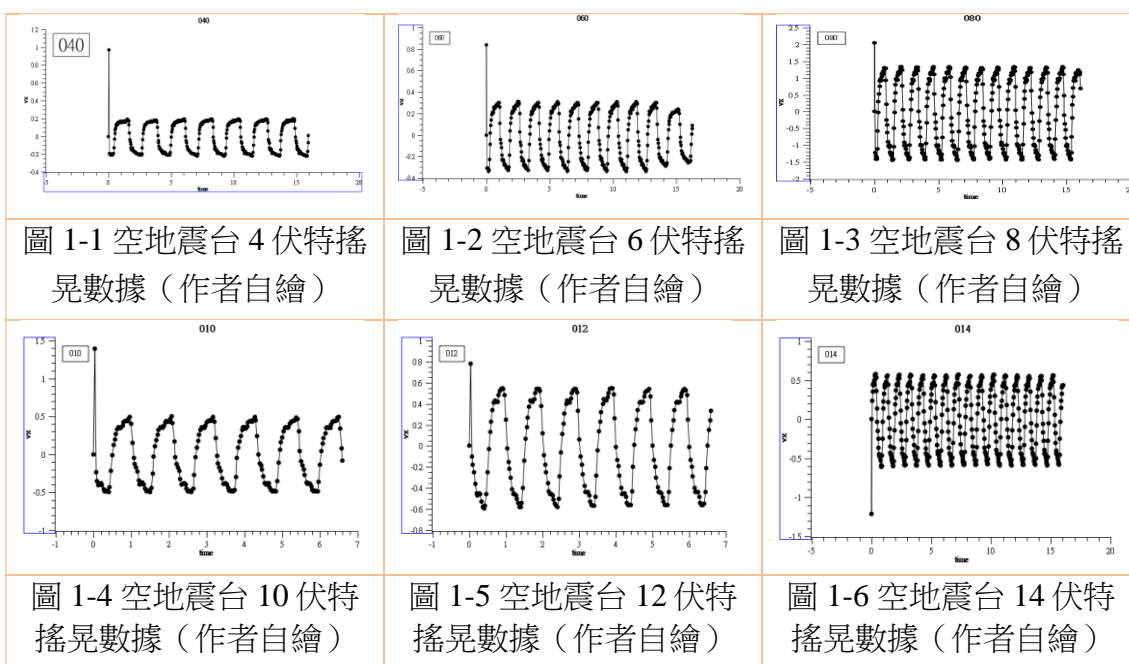
一、實驗二：利用 Tracker 測量 4、6、8、10、12、14 伏特對應的地震級數

(一) 測量 4、6、8、10、12、14 伏特震度的移動量，數據如下圖 1-1~1-6 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

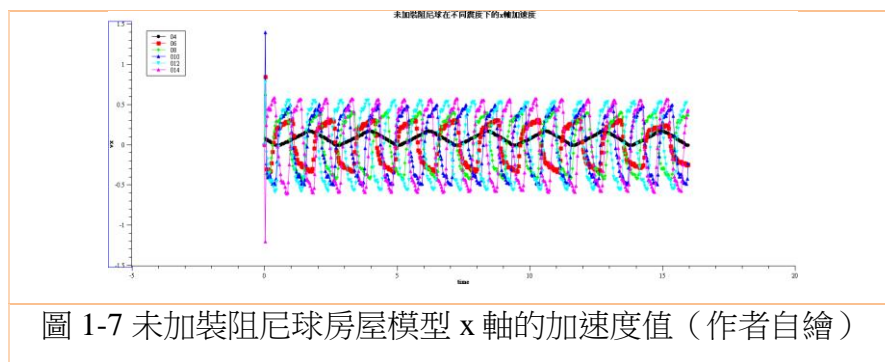
伏特	4	6	8	10	12	14
帶入公式(cm/sec^2)	14.88	30.36	45.35	60.59	76	86.01
震度分級	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強

(作者自製，資料來源：實驗數據)



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，房屋模型在不同震度的移動量及加速度，數據如下圖 1-7~1-9 所示，測得的結果作為其他實驗種的對照組。



(二) 選擇阻尼球在房屋模型不同比例高度三種高度，測試房屋模型和阻尼球在不同震度下的減震效果及影響。實驗結果如下圖：

1. 阻尼球放在模型高 6 分之 1 處，測量結果如下圖 1-8~1-10、表 2-1~2-6 所示：

- (1) 房屋模型：當阻尼球放置在模型 6 分之 1 處時，不同級數下的抗震效果從優到劣為(3 級>5 強>4 強>4 中強>4 中弱>4 弱)，而其中在 4 弱震度下阻尼球未起到減震效果，反而增加加速度。
- (2) 阻尼球：阻尼球的加速度從大到小為(5 強>4 強>4 中弱>4 中強>4 弱>3 級)。
- (3) 討論：因使用彈簧來固定阻尼球，力量為動能轉位能，無法散失，其能量會轉移到別處。不同震度下其轉換樓層為：3 級震度下能量轉移到模型 6 分之 4 處；4 弱震度下無降震效果，其中在模型 6 分之 6 處加速度增加最多；4 中弱震度下能量轉移到模型 6 分之 1 處和模型 6 分之 4 處；4 中強震度下能量轉移到模型 6 分之 1 處；4 強震度下能量轉移到較低樓層；5 強震度下能量轉移到模型 6 分之 3 處。

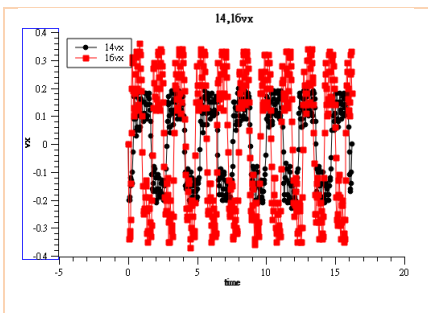


圖 1-8 阻尼球於模型高 6 分之 1 處在 4、6 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

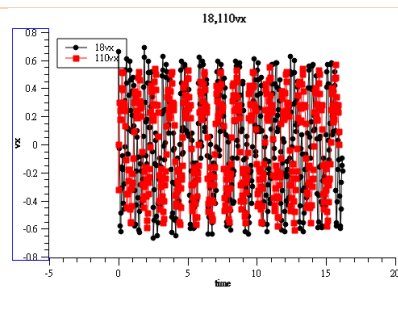


圖 1-9 阻尼球於模型高 6 分之 1 處在 8、10 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

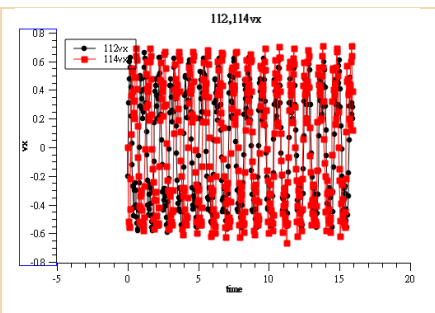


圖 1-10 阻尼球於模型高 6 分之 1 處在 12、14 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

表 2-1 3 級震度下阻尼球置於模型高 6 分之 1 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.20	0.21	0.20	0.20	0.23	0.23
實驗組加速度	0.18	0.18	0.18	0.20	0.21	0.22
差異加速度值	-0.02	-0.03	-0.02	0	-0.02	-0.01
降震比(%)	-10	-14.29	-10	0	-8.70	-4.35

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-2 4 弱震度下阻尼球置於模型高 6 分之 1 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.30	0.30	0.31	0.33	0.34	0.34
實驗組加速度	0.31	0.31	0.32	0.34	0.35	0.38
差異加速度值	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
降震比(%)	3.33	3.33	3.23	3.03	2.94	11.76

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-3 4 中弱震度下阻尼球置於模型高 6 分之 1 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.39	0.40	0.42	0.43	0.45	0.47
實驗組加速度	0.39	0.39	0.41	0.43	0.44	0.45
差異加速度值	0	-0.01	-0.01	0	-0.01	-0.02
降震比(%)	0	-2.5	-2.38	0	-2.22	-4.26

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-4 4 中強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 1 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.46	0.48	0.51	0.55	0.58	0.60
實驗組加速度	0.45	0.44	0.47	0.50	0.52	0.54
差異加速度值	-0.01	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06
降震比(%)	-2.17	-8.33	-7.84	-9.09	-10.34	-9.99

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-5 4 強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 1 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.52	0.56	0.59	0.61	0.65	0.67
實驗組加速度	0.48	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60
差異加速度值	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.07	-0.07
降震比(%)	-7.69	-7.14	-8.47	-8.20	-10.77	-10.44

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-6 5 強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 1 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.63	0.57	0.61	0.64	0.67	0.69
實驗組加速度	0.56	0.55	0.60	0.61	0.64	0.67
差異加速度值	-0.07	-3.51	-0.01	-0.03	-0.03	-0.02
降震比(%)	-11.11	-3.51	-1.64	-4.69	-4.48	-2.90

(作者自製，資料來源：實驗數據)

2. 阻尼球放在模型高 6 分之 3 處，測量結果如下圖 1-11~1-13、表 2-7~2-12 所示：

- (1) 房屋模型：當阻尼球放置在模型 6 分之 3 處時，不同級數下的抗震效果從優到劣為(3 級>4 強>4 中強>4 弱>4 中弱>5 強)，數據皆顯示有減震效果，其中以 3 級震度下降震效果最佳。
- (2) 阻尼球：阻尼球的加速度從大到小為(4 中弱>5 強>4 中強>4 中弱>4 弱>3 級)。
- (3) 討論：因使用彈簧來固定阻尼球，力量為動能轉位能，無法散失，其能量會轉移到別處。不同震度下其轉換樓層為：3 級震度下能量無明顯轉移跡象，推測其降震原因為阻尼球搖晃的頻率和房屋模型相反，而達到減震效果；4 弱震度下能量轉移到模型 6 分之 3 處；4 中弱震度下能量轉移到模型 6 分之 2 處；4 中強震度下能量無明顯轉移跡象，其推測原因與上述相同；4 強震度下能量轉移到模型 6 分之 1 處；5 強震度下能量轉移到模型 6 分之 6 處。

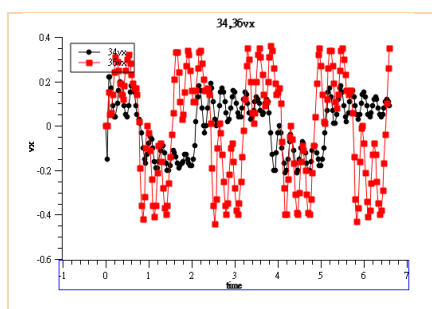


圖 1-11 阻尼球於模型高 6 分之 3 處在 4、6 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

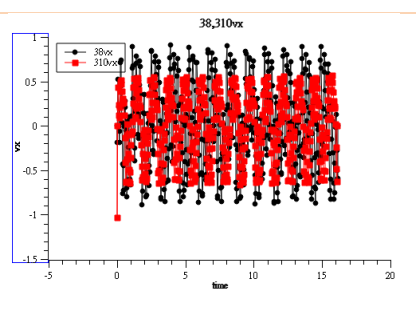


圖 1-12 阻尼球於模型高 6 分之 3 處在 8、10 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

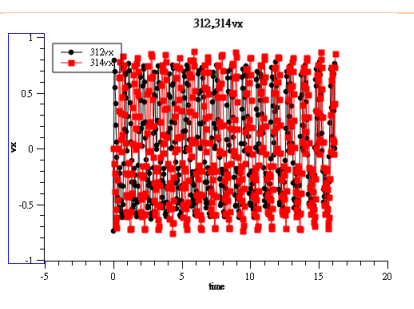


圖 1-13 阻尼球於模型高 6 分之 3 處在 12、14 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

表 2-7 3 級震度下阻尼球置於模型高 6 分之 3 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.24
實驗組加速度	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17
差異加速度值	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.07
降震比(%)	-20.00	-15.00	-15.00	-19.05	-14.29	-29.17

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-8 4 弱震度下阻尼球置於模型高 6 分之 3 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.30	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35
實驗組加速度	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32
差異加速度值	-0.03	-0.02	-0.02	-0.30	-0.03	-0.03
降震比(%)	-10.00	-6.67	-6.45	-9.09	-8.82	-8.57

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-9 4 中弱震度下阻尼球置於模型高 6 分之 3 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.39	0.40	0.42	0.43	0.45	0.46
實驗組加速度	0.38	0.39	0.38	0.39	0.42	0.43
差異加速度值	-0.01	-0.01	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03
降震比(%)	-2.56	-2.50	-9.52	-9.30	-6.66	-6.52

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-10 4 中強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 3 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.47	0.48	0.52	0.55	0.57	0.60
實驗組加速度	0.43	0.43	0.47	0.50	0.52	0.55
差異加速度值	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
降震比(%)	-8.51	-10.42	-9.62	-9.09	-8.77	-8.34

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-11 4 強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 3 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.50	0.56	0.59	0.63	0.65	0.67
實驗組加速度	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60
差異加速度值	0	-0.04	-0.05	-0.07	-0.07	-0.07
降震比(%)	0	-7.14	-8.47	-11.11	-10.77	-10.45

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-12 5 強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 3 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.55	0.57	0.61	0.64	0.65	0.69
實驗組加速度	0.54	0.56	0.58	0.62	0.60	0.69
差異加速度值	-0.01	-0.01	-0.03	-0.02	-0.05	0
降震比(%)	-1.82	-1.76	-4.92	-3.13	-7.69	0

(作者自製，資料來源：實驗數據)

3. 阻尼球放在模型高 6 分之 5 處，測量結果如下圖 1-12~1~13、表 2-13~2-18 所示：

- (1) 房屋模型：當阻尼球放置在模型 6 分之 5 處時，不同級數下的抗震效果從優到劣為(4 中強>4 中弱>4 強>5 強>4 弱>3 級)，而其中在 3 級震度下阻尼球未起到減震效果，反而增加加速度，而 4 弱震度的降震效果不明顯。
- (2) 阻尼球：阻尼球的加速度從大到小為(4 中弱>5 強>4 中強>4 中弱>4 弱>3 級)。
- (3) 討論：因使用彈簧來固定阻尼球，力量為動能轉位能，無法散失，其能量會轉移到別處。不同震度下其轉換樓層為：3 級震度下無減震效果，其中以模型 6 分之 5 處加速度值最大；4 弱震度下減震效果較不明顯，能量散失到較多處；4 中弱震度下能量轉移到模型 6 分之 6 處；4 中強震度下能量轉移到模型 6 分之 1 處；4 強震度下能量無明顯轉移跡象，推測其減震原因為阻尼球搖晃的頻率和房屋模型相反，而達到減震效果；5 強震度下減震效果較不明顯，能量轉移到模型 6 分之 2 處。

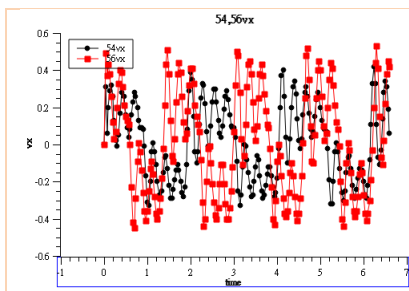


圖 1-14 阻尼球於模型高 6 分之 5 處在 4、6 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

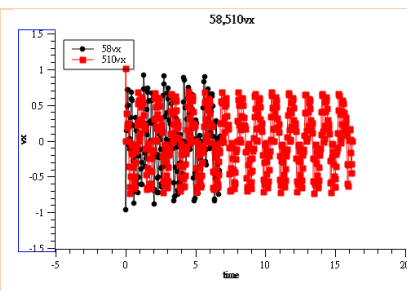


圖 1-15 阻尼球於模型高 6 分之 5 處在 8、10 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

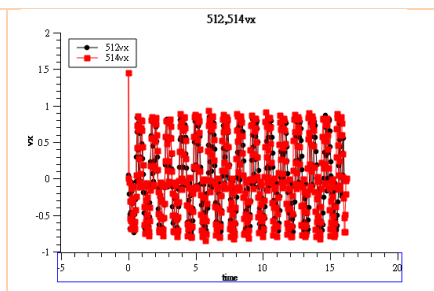


圖 1-16 阻尼球於模型高 6 分之 5 處在 12、14 伏特 x 軸的加速度值 (作者自繪)

表 2-13 3 級震度下阻尼球置於模型高 6 分之 5 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21	0.23
實驗組加速度	0.22	0.22	0.22	0.22	0.24	0.25
差異加速度值	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
降震比(%)	9.99	9.99	9.99	9.99	14.29	8.70

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-14 4 弱震度下阻尼球置於模型高 6 分之 5 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.30	0.30	0.32	0.33	0.34	0.35
實驗組加速度	0.29	0.30	0.31	0.32	0.34	0.35
差異加速度值	-0.01	0	0.01	-0.01	0	0
降震比(%)	-3.33	0	-3.13	-3.03	0	0

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-15 4 中弱震度下阻尼球置於模型高 6 分之 5 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.39	0.40	0.42	0.43	0.45	0.47
實驗組加速度	0.37	0.35	0.36	0.40	0.43	0.47
差異加速度值	-0.02	-0.05	-0.06	-0.03	-0.02	0
降震比(%)	-5.13	-12.50	-14.29	-7.00	-4.44	0

表 2-16 4 中強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 5 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.47	0.48	0.52	0.55	0.57	0.60
實驗組加速度	0.44	0.42	0.46	0.50	0.53	0.56
差異加速度值	-0.03	-0.06	-0.06	-0.05	-0.04	-0.04
降震比(%)	-6.38	-12.50	-11.54	-9.09	-7.02	-6.66

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-17 4 強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 5 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.53	0.56	0.59	0.61	0.64	0.67
實驗組加速度	0.50	0.53	0.56	0.58	0.61	0.63
差異加速度值	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04
降震比(%)	-5.66	-5.36	-5.08	-4.92	-4.69	-4.48

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 2-18 5 強震度下阻尼球置於模型高 6 分之 5 處不同樓層的降震效果

	6 分之 1	6 分之 2	6 分之 3	6 分之 4	6 分之 5	6 分之 6
對照組加速度	0.55	0.57	0.61	0.64	0.67	0.69
實驗組加速度	0.53	0.56	0.58	0.62	0.64	0.67
差異加速度值	-0.02	-0.01	-0.03	-0.02	-0.03	-0.02
降震比(%)	-3.64	-1.75	-4.92	-3.13	-4.48	-2.90

(作者自製，資料來源：實驗數據)

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，不同震度的加速度數據表 3-1 所示，測得的結果作為其他實驗種的對照組。

表 3-1 未加裝阻尼球不同震度在房屋模型不同高度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
6 分之 6 處加速度	12.70	16.20	18.84	22.20	22.96	26.20
6 分之 3 處加速度	13.10	14.43	19.23	21.87	20.31	23.62
6 分之 1 處加速度	13.06	15.92	18.95	25.24	22.06	23.52

(作者自製，資料來源：實驗數據)

(二) 選擇阻尼球在三種不同高度，測試房屋模型在不同震度下的減震效果及影響。

1. 阻尼球放在模型高 6 分之 1 處，測量結果如下表 4-1~4-3 所示：

表 4-1 阻尼球置於模型高 6 分之 1 處在模型高 6 分之 1 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	13.06	15.92	18.95	25.24	22.06	23.52
實驗組加速度	12.57	14.92	18.02	25.20	21.32	20.54
差異加速度值	-0.49	-1.00	-0.93	-0.04	-0.74	-2.98
降震比(%)	-3.75	-6.28	-4.91	-0.16	-3.35	-10.80

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 4-2 阻尼球置於模型高 6 分之 1 處在模型高 6 分之 3 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	13.10	14.43	19.23	21.87	20.31	23.62
實驗組加速度	12.44	14.48	15.79	21.43	18.98	21.25
差異加速度值	-0.66	0.05	-3.44	-0.44	-1.33	-2.37
降震比(%)	-5.04	0.35	-17.89	-2.01	-6.55	-10.03

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 4-3 阻尼球置於模型高 6 分之 1 處在模型高 6 分之 6 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	12.70	16.20	18.84	22.20	22.96	26.20
實驗組加速度	12.39	16.75	17.66	21.91	21.97	23.15
差異加速度值	-0.31	0.55	-1.18	-0.29	-0.99	-3.05
降震比(%)	-2.44	3.40	-6.26	-1.31	-4.31	-11.64

(作者自製，資料來源：實驗數據)

- (1) 討論：當阻尼球放在模型高 6 分之 1 處，在 3 級、4 中弱、4 中強、4 強、5 強震度下皆有減震效果；4 弱震度下中高樓層無法達到良好減震效，與 tracker 分析的結果相符。

2. 阻尼球放在模型高 6 分之 3 處，測量結果如下表 4-4~4-6 所示：

表 4-4 阻尼球置於模型高 6 分之 3 處在模型高 6 分之 1 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	13.06	15.92	18.95	25.24	22.06	23.52
實驗組加速度	12.04	14.75	16.87	21.34	22.03	20.49
差異加速度值	-1.02	-1.17	-2.08	-3.90	-0.03	-3.03
降震比(%)	-7.81	-7.35	-10.98	-15.45	-0.14	-12.88

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 4-5 阻尼球置於模型高 6 分之 3 處在模型高 6 分之 3 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	13.10	14.43	19.23	21.87	20.31	23.62
實驗組加速度	12.34	13.89	16.39	20.30	18.86	22.41
差異加速度值	-0.76	-0.54	-2.84	-5.70	-1.45	-1.21
降震比(%)	-5.80	-3.74	-14.77	-7.18	-7.14	-5.12

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 4-6 阻尼球置於模型高 6 分之 3 處在模型高 6 分之 6 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	12.70	16.20	18.84	22.20	22.96	26.20
實驗組加速度	11.70	14.14	16.61	20.96	20.63	22.61
差異加速度值	-1.00	-2.06	-2.23	-1.24	-2.33	-3.59
降震比(%)	-7.87	-12.71	-11.84	-5.59	-10.15	-13.70

(作者自製，資料來源：實驗數據)

- (1) 討論：當阻尼球放在模型高 6 分之 3 處，在 3 級、4 弱、4 中弱、4 中強、4 強、5 強震度下低中高樓層皆有減震效果，與 tracker 分析的結果相符。

3. 阻尼球放在模型高 6 分之 5 處，測量結果如下表 4-7~4-9 所示：

表 4-7 阻尼球置於模型高 6 分之 5 處在模型高 6 分之 1 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	13.06	15.92	18.95	25.24	22.06	23.52
實驗組加速度	13.18	15.10	16.92	20.98	21.79	21.65
差異加速度值	0.12	-0.82	-2.03	-4.26	-0.27	-2.03
降震比(%)	0.92	-5.15	-10.71	-16.88	-1.22	-8.63

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 4-8 阻尼球置於模型高 6 分之 5 處在模型高 6 分之 3 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	13.10	14.43	19.23	21.87	20.31	23.62
實驗組加速度	13.54	14.16	16.59	19.00	19.25	21.10
差異加速度值	0.44	-0.27	-7.36	-2.87	-1.06	-2.52
降震比(%)	3.36	-1.87	-13.73	-13.12	-5.22	-10.67

(作者自製，資料來源：實驗數據)

表 4-9 阻尼球置於模型高 6 分之 5 處在模型高 6 分之 6 處不同震度 x 軸的加速度值

	3 級	4 弱	4 中弱	4 中強	4 強	5 強
對照組加速度	12.70	16.20	18.84	22.20	22.96	26.20
實驗組加速度	12.93	14.51	17.01	21.23	19.85	19.55
差異加速度值	0.23	-1.69	-1.83	-0.97	-3.11	-6.65
降震比(%)	1.81	-10.43	-9.71	-4.37	-13.55	-25.38

(作者自製，資料來源：實驗數據)

- (1) 討論：當阻尼球放在模型高 6 分之 5 處，在 3 級震度下無法達到減震效果；在 4 弱、4 中弱、4 中強、4 強、5 強震度下低中高樓層皆有減震效果，與 tracker 分析的結果相符。

陸、結論及期許

綜合以上實驗結果，我們得到以下幾點結論

一、震度級數

- (一) 4 伏特轉為震度級數為 3 級
- (二) 6 伏特轉為震度級數為 4 弱級
- (三) 8 伏特轉為震度級數為 4 中弱級
- (四) 10 伏特轉為震度級數為 4 中強級
- (五) 12 伏特轉為震度級數為 4 強級
- (六) 14 伏特轉為震度級數為 5 強級

二、房屋模型減震影響

- (一) 阻尼球置於模型高 $\frac{6}{10}$ 處，在 3 級震度下減震效果最佳，在 4 弱震度下無法達到減震效果。
- (二) 阻尼球置於模型高 $\frac{6}{10}$ 處，在各個震度下皆有減震效果，其中以 3 級震度下減震效果最佳。
- (三) 阻尼球置於模型高 $\frac{6}{10}$ 處，在 4 中強震度下減震效果最佳，而在 3 級震度下無法達到減震效果，在 4 弱震度下減震效果不明顯。
- (四) 本實驗所使用的阻尼器為橡皮筋，是經由動能轉位能，能量並非散失，而是轉移到別處樓層，進而造成樓層之間的加速度不一致，但確實能降低某些樓層的加速度。其中以高樓層轉移到低樓層較多。

三、各震度最佳減震方案

- (一) 3 級震度在房屋模型的 $\frac{6}{10}$ 處放置阻尼球效果最佳。
- (二) 4 弱震度在房屋模型的 $\frac{6}{10}$ 處放置阻尼球效果最佳。
- (三) 4 中弱震度在房屋模型的 $\frac{6}{10}$ 處放置阻尼球效果最佳。
- (四) 4 中強級震度在房屋模型的 $\frac{6}{10}$ 處放置阻尼球效果最佳。
- (五) 4 強級震度在房屋模型的 $\frac{6}{10}$ 處放置阻尼球效果最佳。
- (六) 5 強級震度在房屋模型的 $\frac{6}{10}$ 處放置阻尼球效果最佳。

四、將來可增加伏特數以提高震度、新增地下室樓層、改進阻尼球裝置等，進行更深入的探討。

柒、參考資料

- 一、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心（2009）。油壓阻尼器在超高大樓的抗風減振應用。民國 112 年 11 月 21 日，取自，
https://www.ncree.org/SafeHome/ncr05/pc2_5.htm。
- 二、臺北市政府教育局(2019)。交通部中央氣象局修正地震震度分級民國。112 年 11 月 21 日，取自 <https://reurl.cc/ezvr2Q>。
- 三、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心（2009）。地震的震度如何分級？民國 112 年 11 月 21 日，取自 https://www.ncree.org/safehome/ncr01/pc3_4.htm。
- 四、王秋文、謝紹松（2009）。如何幫大樓抗風防震？淺談台北 101 大樓阻尼器，台大土木系杜風電子報。112 年 11 月 21 日，取自 <http://www.ntuce-newsletter.tw/vol.21/101damper-1.html>。
- 五、[SciDAVis for Mac]. <https://www.macupdate.com/app/mac/27635/scidavis>。
- 六、[Tracker Home]. <https://physlets.org/tracker/>。

【評語】 030507

本研究為探討阻尼球置於不同的樓層位置對建築物的減震效果，自行製數據作地震台、建築物、阻尼球，並實拍攝搖晃的情況、用簡易加速度紀錄設備，記載與提供分析數據。研究團隊展示設計與分析的能力，證實研究方法可行並提供可分析數據。阻尼球顯現制震效果，本研究宜增加實驗縮減模型尺寸及阻尼球以橡皮筋取代可能造成反應差異說明及實際應用時的限制。本研究分析過程中阻尼球為實驗重點元件，阻球的震動行為特徵為何，是否進行追蹤並與建物震動比較？

作品簡報



探討阻尼球對高樓 的減震效果及影響



摘要

地震這項話題一直是我們在注意的，尤其更身處於板塊交界帶上，地震成為每個人的課題，近年來有許多研究在對地震進行更深地研究深入。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。

實驗結果顯示，對應電壓換算最小地震級數為3級，最大為5強。而每個地震級數都有對應較佳放置阻尼球的樓層。且將阻尼球放置在房屋模型6分之3處帶來的減震效果最佳，而其他情況仍有加裝阻尼球造成加速度增加的情況出現，而在能量轉移的過程中多為高層樓轉向低層樓居多。

壹、研究動機

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。

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效果
- 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：略（參閱報告書）
- 二.程式：phyphox、SciDAVis、Tracker

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

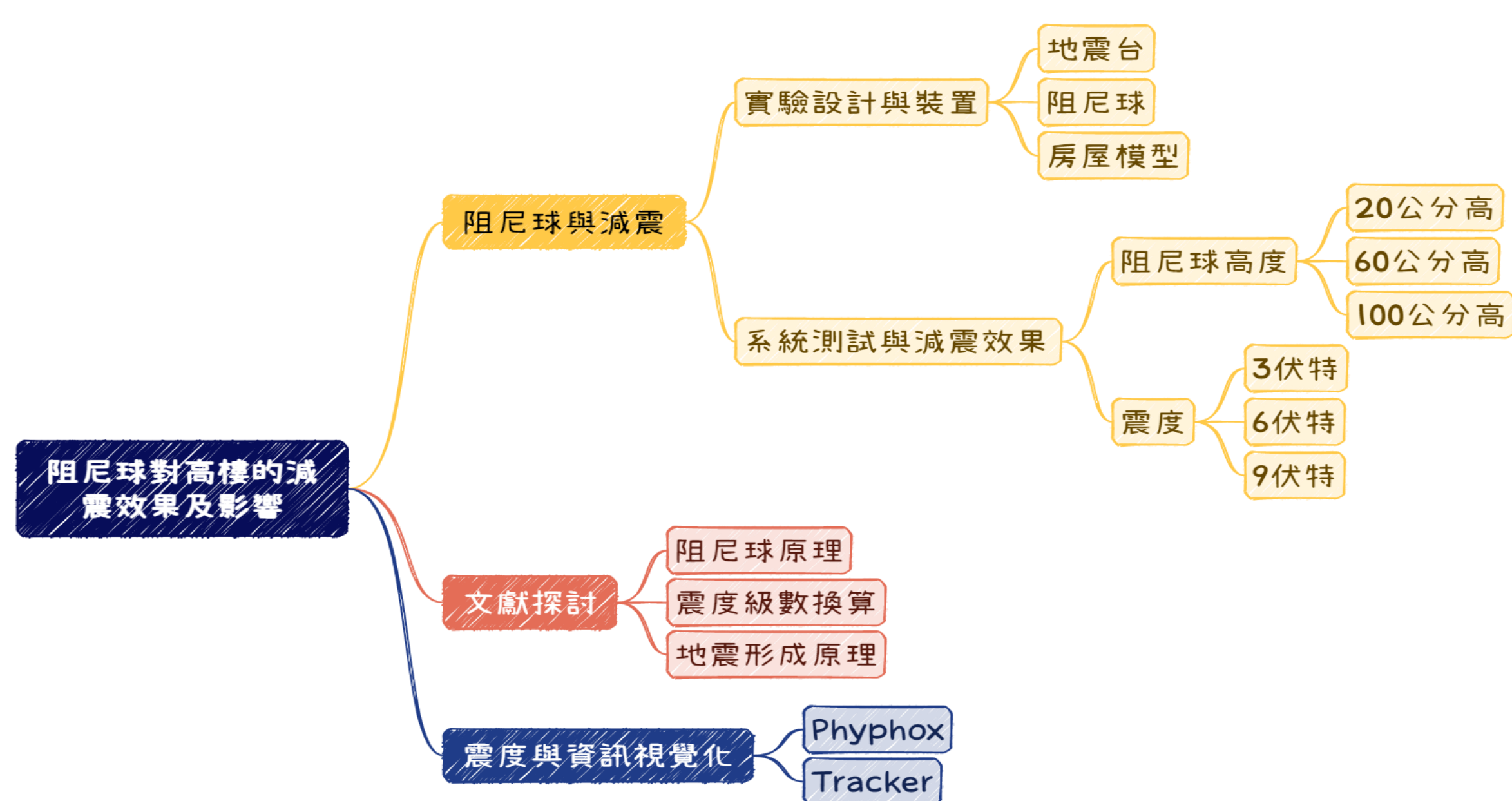


圖1-1 實驗架構

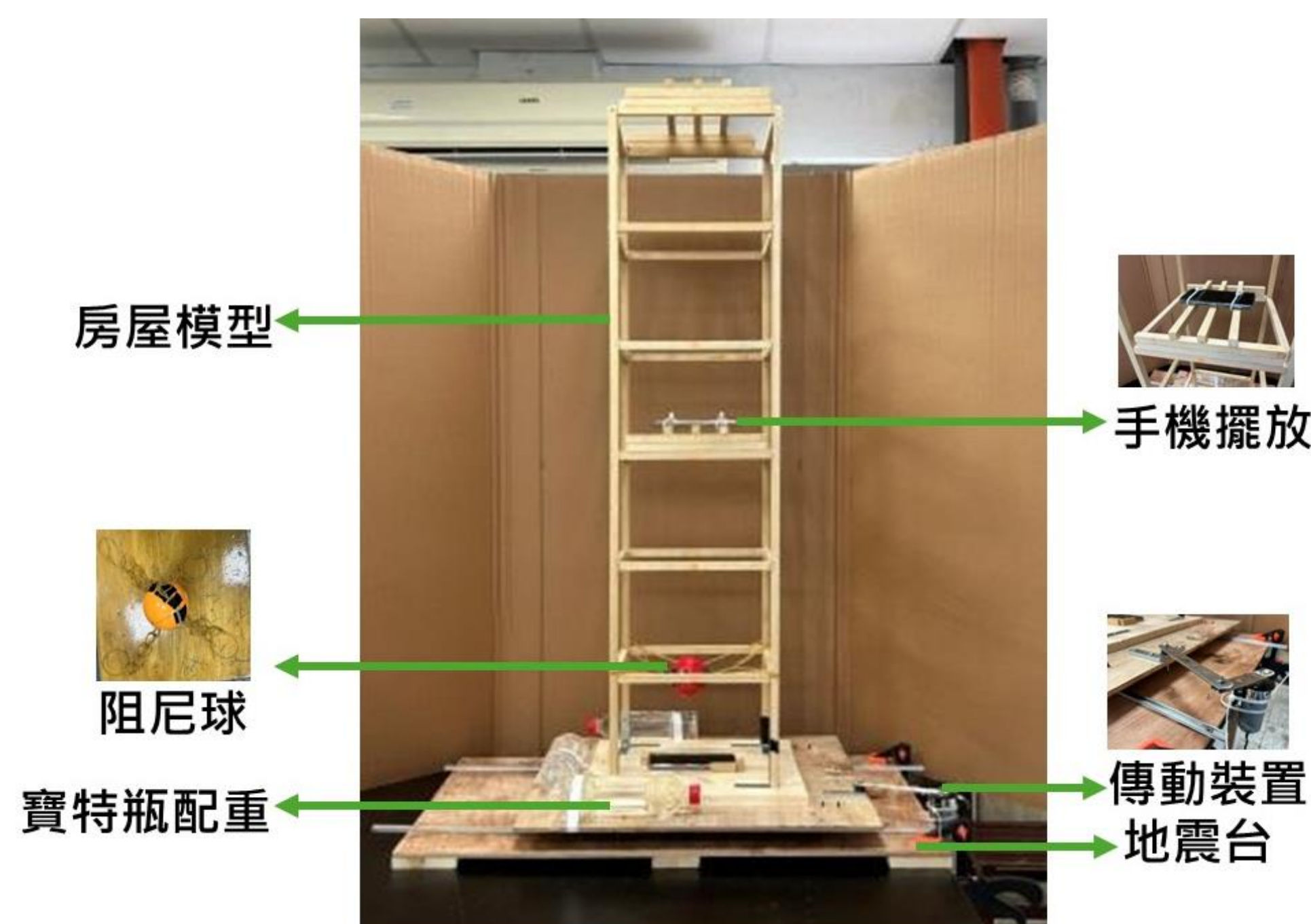


圖1-5 地震台成品（實驗裝置）

二. 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：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



圖1-1 滑軌



圖1-2 螺絲固定滑軌

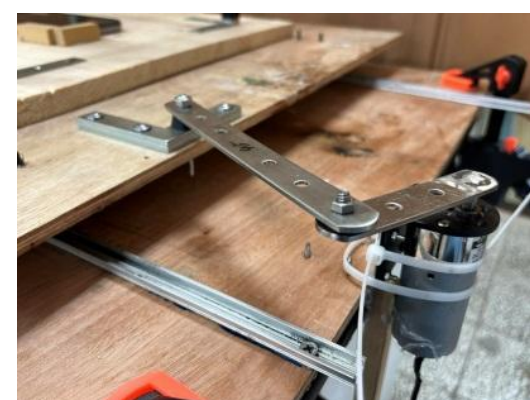


圖1-3 傳動裝置

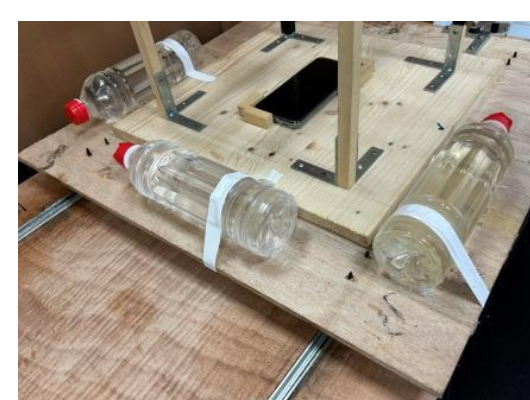


圖1-4 配重

（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型鐵片、熱熔膠、螺絲來固定，並將建築物分層，以此模擬較高的建築物。
2. 製作過程



圖1-6 房屋模型底層



圖1-7 房屋模型中層



圖1-8 房屋模型頂層

（三）阻尼球製作過程

1. 理念：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：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。將7條橡皮筋串起，套在四個方向不同的方位上，並用強力膠帶固定於扭蛋殼上(如圖1-9)。



圖1-9 阻尼球

三. 實驗二：利用Tracker測量4、6、8、10、12、14伏特對應的地震級數

（一）實驗裝置：地震台

（二）實驗過程

1. 分別測量4伏特、6伏特、8伏特、10伏特、12伏特、14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

四. 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：地震台、房屋模型、阻尼球、手機架、測量用之手機（一支）

（二）實驗過程

1. 將手機放置在可拍下房屋整體的地方(如圖2-1)。
2. 先測量未放置阻尼球在4伏特、6伏特、8伏特、10伏特、12伏特、14伏特的數據。
3. 開啟電源並錄影測量數據，測量15秒，完成後匯出數據。
4. 於房屋模型中放入阻尼球(如圖2-2)。
5. 於不同伏特的電壓和房屋模型6分之1、6分之3、6分之5高處放置阻尼球的實驗種各測試一次，完成後匯出數據。

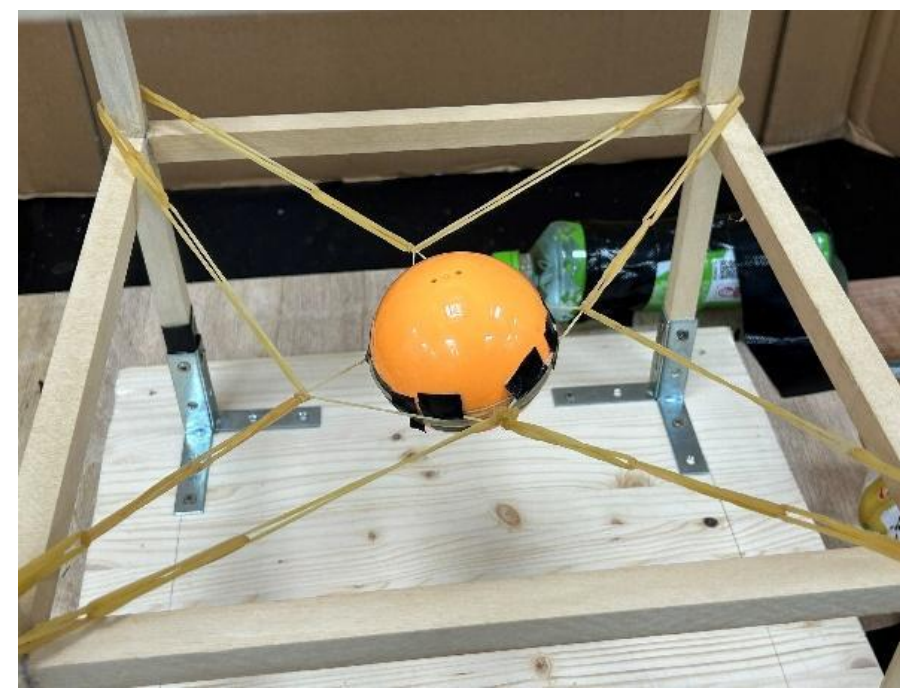


圖2-1 阻尼球放置方式

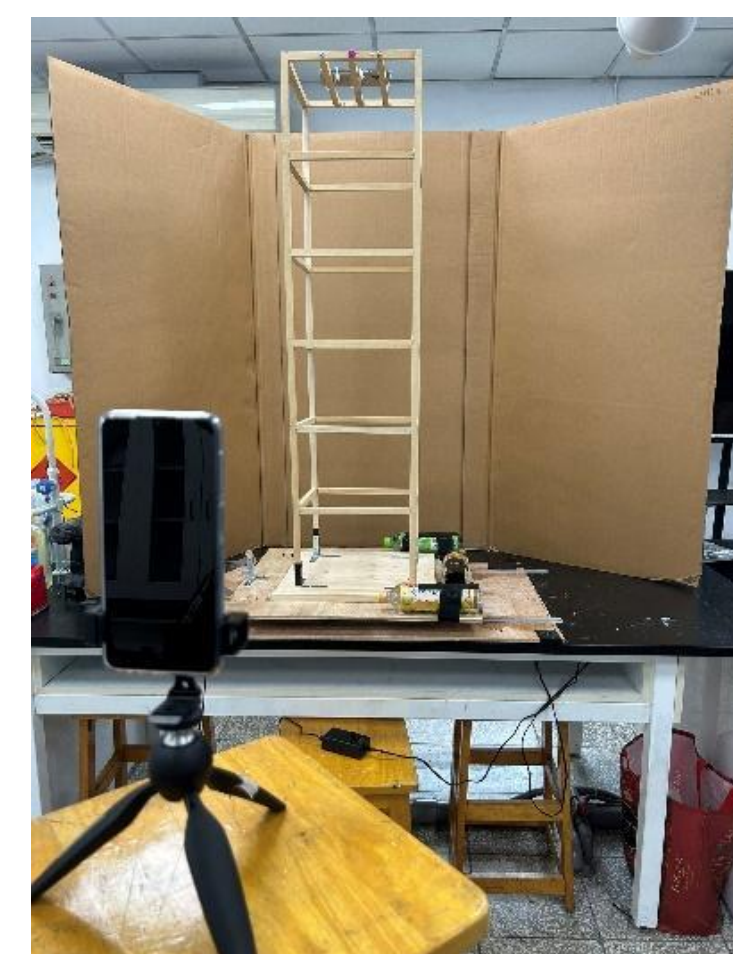


圖2-2 手機放置位置

五. 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：地震台、房屋模型、阻尼球、束帶、測量用之手機（三支）

（二）實驗過程

1. 於房屋模型底、中、頂層放置手機，並用束帶和木塊固定，確保不會掉落。
2. 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4、6、8、10、12、14伏特對應的地震級數

(一) 測量4、6、8、10、12、14伏特震度的移動量，數據如下圖1-1~1-6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	4	6	8	10	12	14
帶入公式(cm/sec^2)	14.88	30.36	45.35	60.59	76	86.01
震度分級	3級	4弱	4中弱	4中強	4強	5強

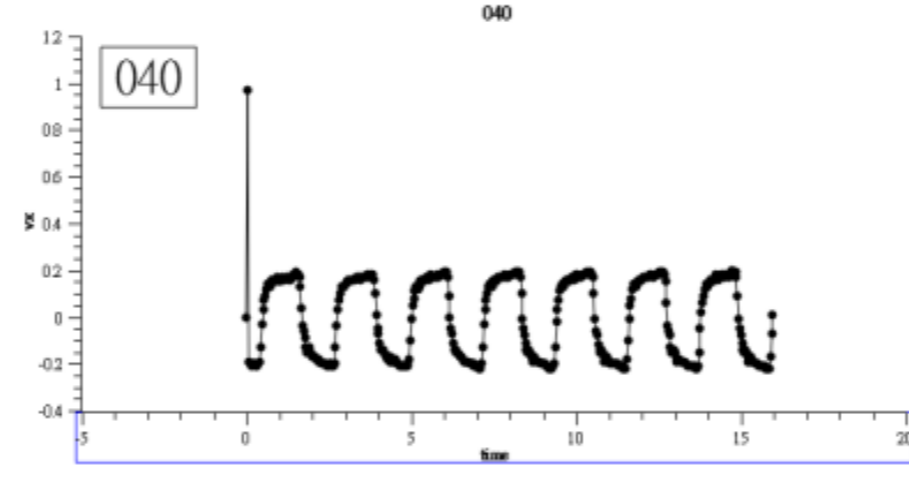


圖1-1 空地地震台4伏特搖晃數據

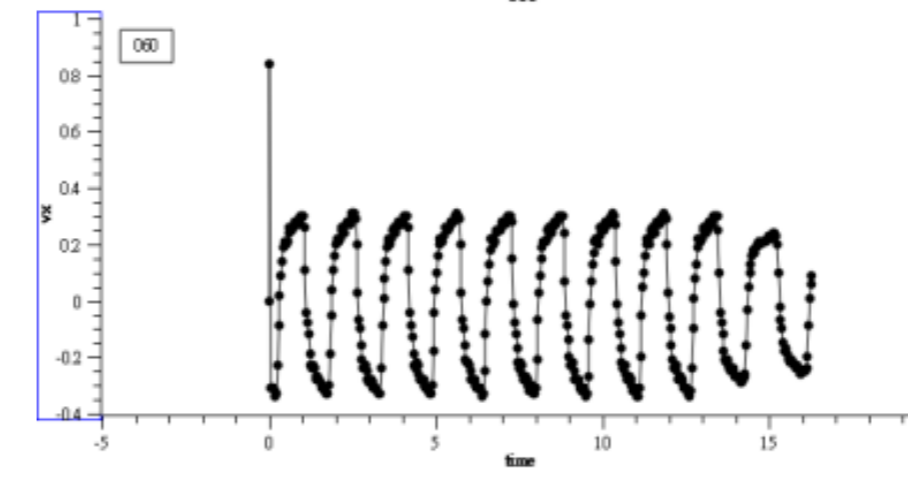


圖1-2 空地地震台6伏特搖晃數據

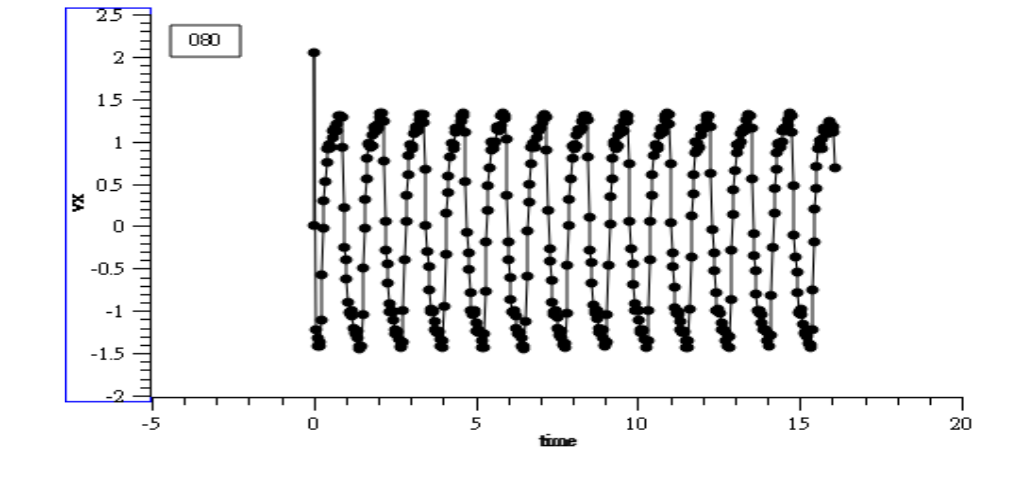


圖1-3 空地地震台8伏特搖晃數據

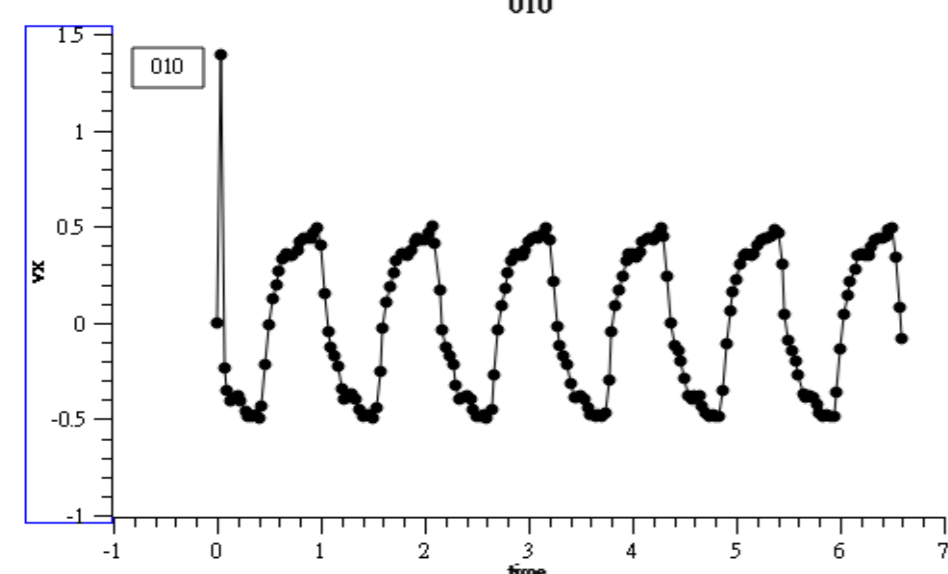


圖1-4 空地地震台10伏特搖晃數據

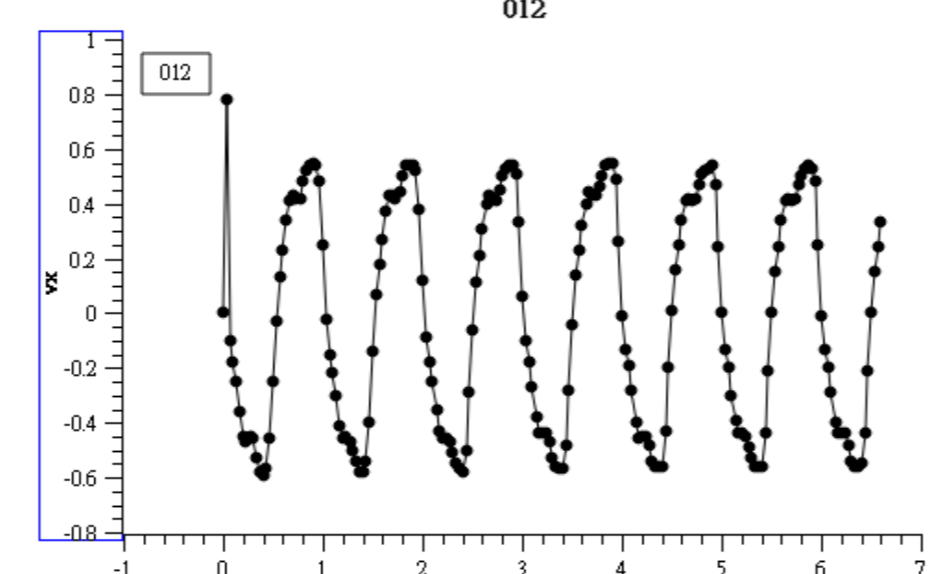


圖1-5 空地地震台12伏特搖晃數據

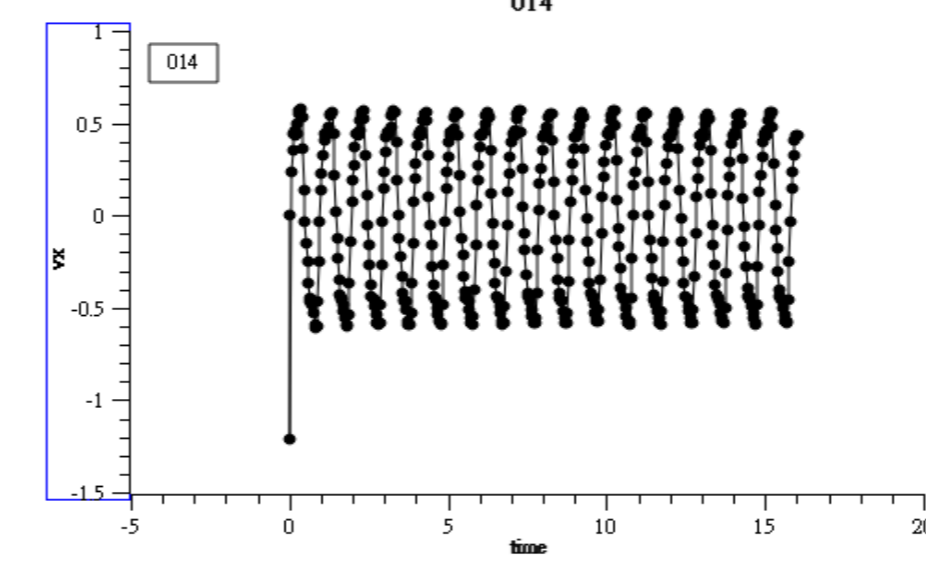


圖1-6 空地地震台14伏特搖晃數據

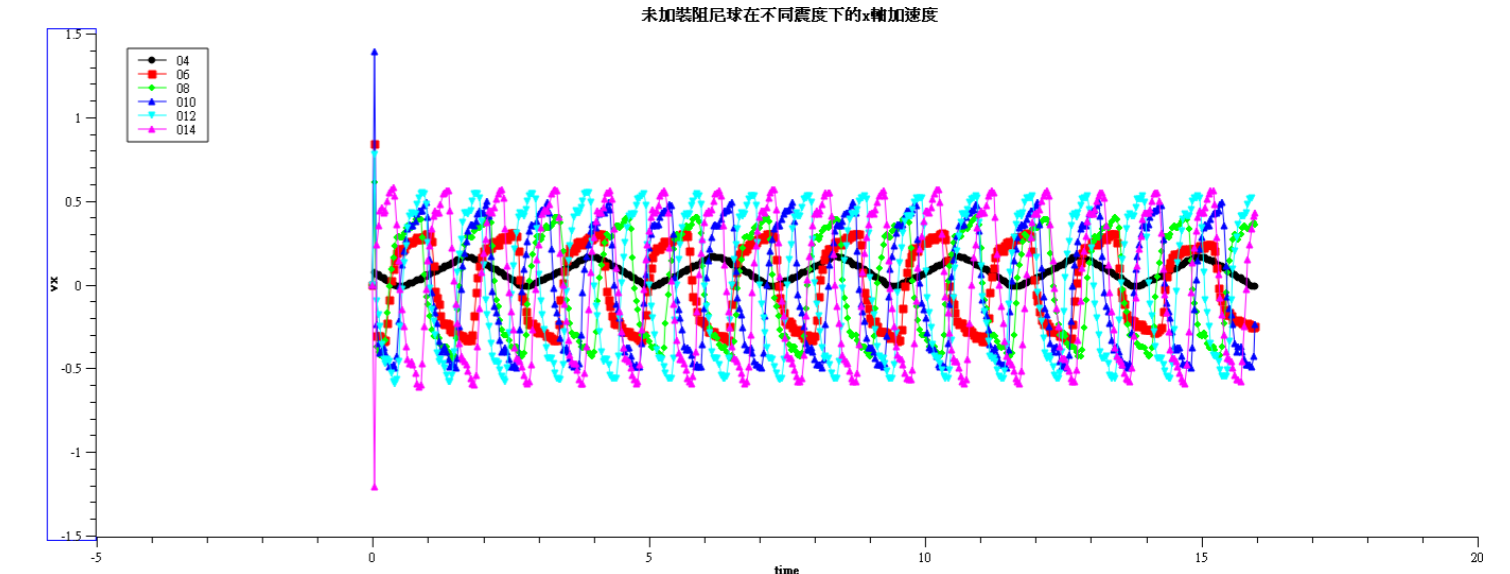


圖1-7 未加裝阻尼球房屋模型x軸的加速度值

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，房屋模型在不同震度的移動量及加速度，數據如圖1-7所示，測得的結果作為其他實驗種的對照組。
(二) 選擇阻尼球在房屋模型不同比例高度三種高度，測試房屋模型和阻尼球在不同震度下的減震效果及影響。實驗結果如下圖：

1. 阻尼球放在模型高6分之1處，測量結果如下圖1-8~1-10、表2-1~2-6所示：

- (1) 房屋模型：當阻尼球放置在模型6分之1處時，不同級數下的抗震效果從優到劣為(3級>5強>4強>4中強>4中弱>4弱)，而其中在4弱震度下阻尼球未起到減震效果，反而增加加速度。
- (2) 阻尼球：阻尼球的加速度從大到小為(5強>4強>4中弱>4中強>4弱>3級)。
- (3) 討論：因使用彈簧來固定阻尼球，力量為動能轉位能，無法散失，其能量會轉移到別處。不同震度下其轉換樓層為：3級震度下能量轉移到模型6分之4處；4弱震度下無降震效果，其中在模型6分之6處加速度增加最多；4中弱震度下能量轉移到模型6分之1處和模型6分之4處；4中強震度下能量轉移到模型6分之1處；4強震度下能量轉移到較低樓層；5強震度下能量轉移到模型6分之3處。

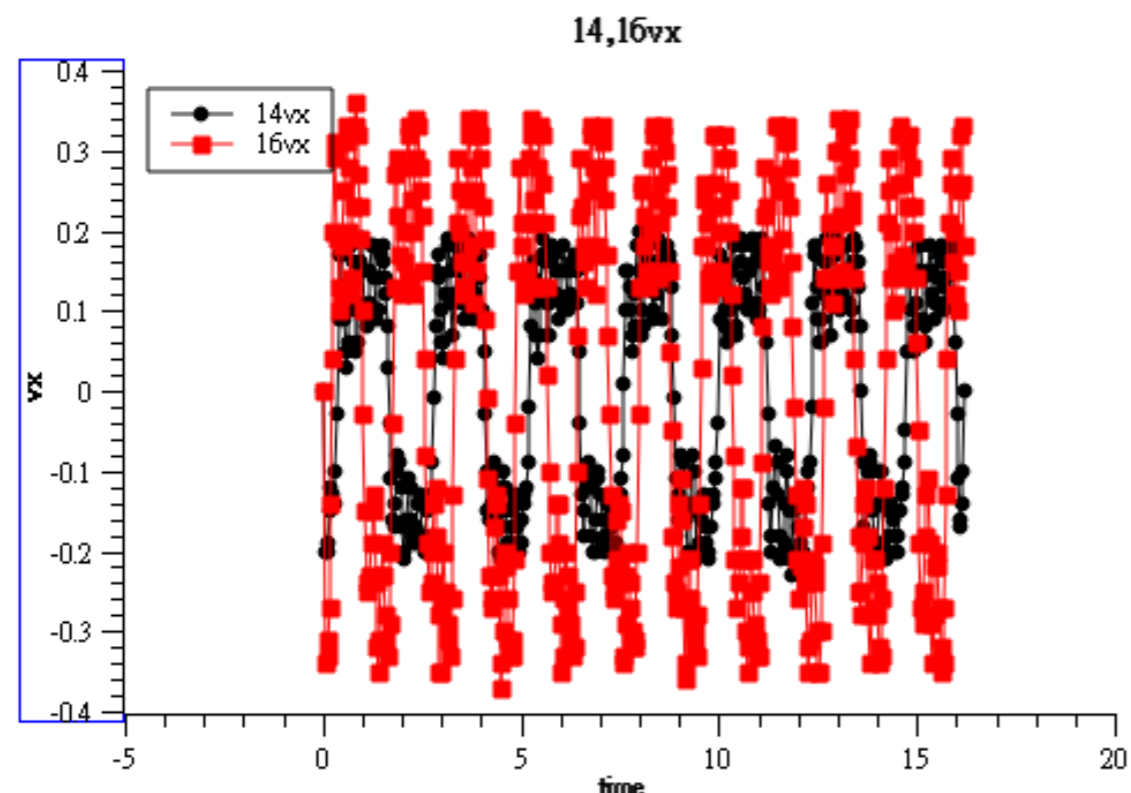


圖1-8 阻尼球於模型高6分之1處在4、6伏特x軸的加速度值

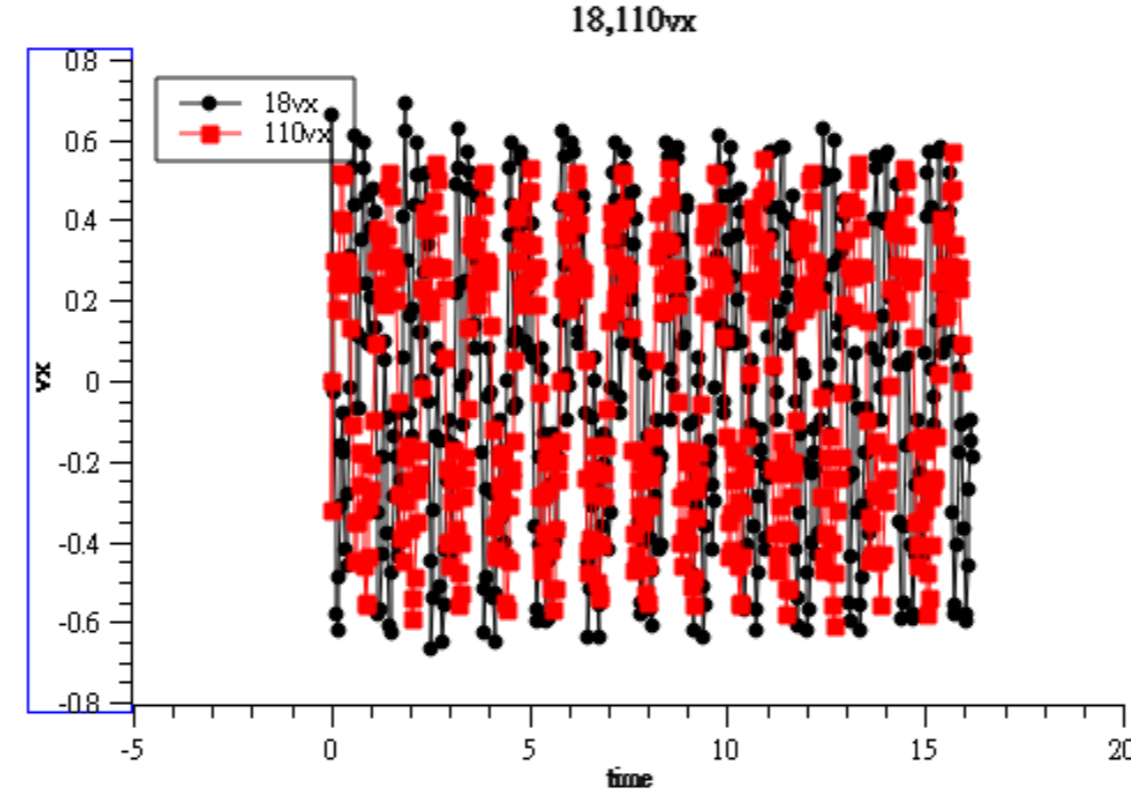


圖1-9 阻尼球於模型高6分之1處在8、10伏特x軸的加速度值

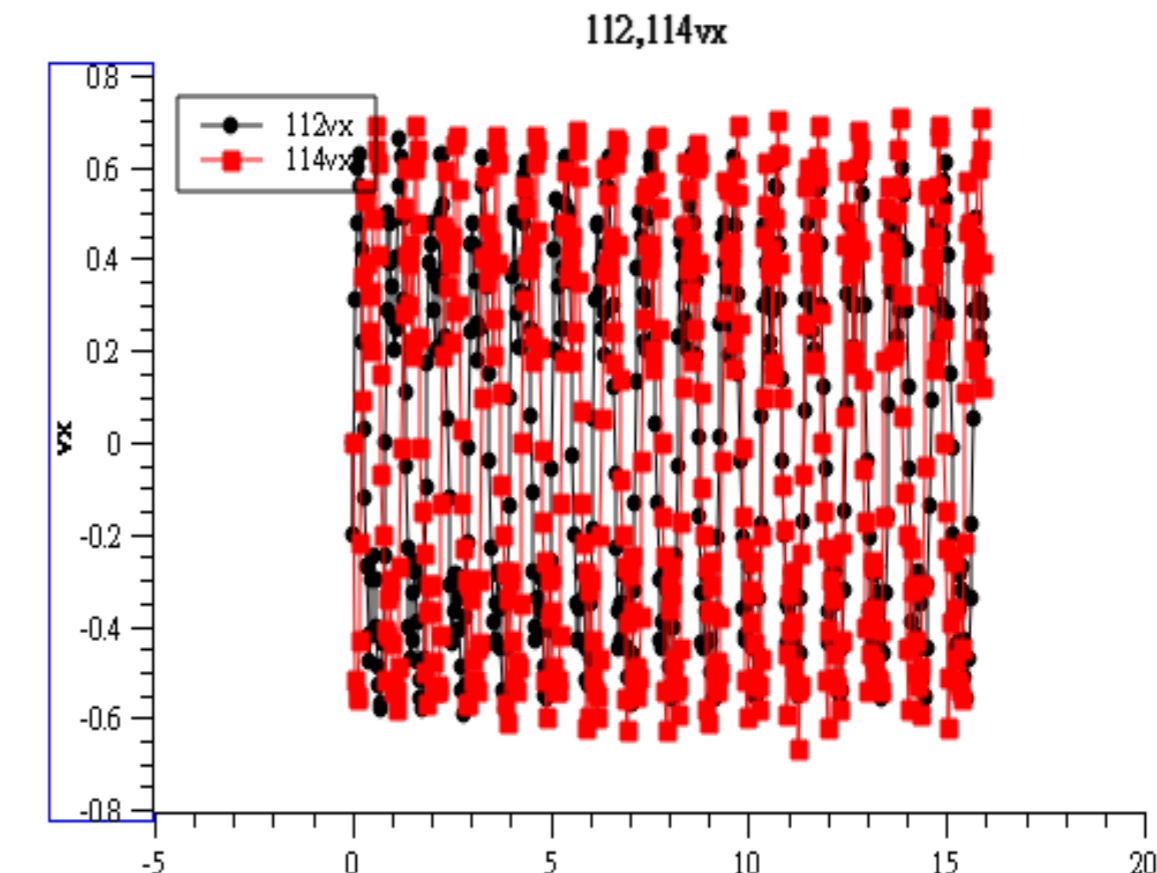


圖1-10 阻尼球於模型高6分之1處在12、14伏特x軸的加速度值

表2-1 3級震度下阻尼球置於模型高6分之1處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.20	0.21	0.20	0.20	0.23	0.23
實驗組加速度	0.18	0.18	0.18	0.20	0.21	0.22
差異加速度值	-0.02	-0.03	-0.02	0	-0.02	-0.01
降震比(%)	-10	-14.29	-10	0	-8.70	-4.35

表2-2 4弱震度下阻尼球置於模型高6分之1處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.30	0.30	0.31	0.33	0.34	0.34
實驗組加速度	0.31	0.31	0.32	0.34	0.35	0.38
差異加速度值	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
降震比(%)	3.33	3.33	3.23	3.03	2.94	11.76

表2-3 4中弱震度下阻尼球置於模型高6分之1處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.39	0.40	0.42	0.43	0.45	0.47
實驗組加速度	0.39	0.39	0.41	0.43	0.44	0.45
差異加速度值	0	-0.01	-0.01	0	-0.01	-0.02
降震比(%)	0	-2.5	-2.38	0	-2.22	-4.26

表2-4 4中強震度下阻尼球置於模型高6分之1處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.46	0.48	0.51	0.55	0.58	0.60
實驗組加速度	0.45	0.44	0.47	0.50	0.52	0.54
差異加速度值	-0.01	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06
降震比(%)	-2.17	-8.33	-7.84	-9.09	-10.34	-9.99

表2-5 4強震度下阻尼球置於模型高6分之1處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.52	0.56	0.59	0.61	0.65	0.67
實驗組加速度	0.48	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60
差異加速度值	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.07	-0.07
降震比(%)	-7.69	-7.14	-8.47	-8.20	-10.77	-10.44

表2-6 5強震度下阻尼球置於模型高6分之1處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.63	0.57	0.61	0.64	0.67	0.69
實驗組加速度	0.56	0.55	0.60	0.61	0.64	0.67
差異加速度值	-0.07	-3.51	-0.01	-0.03	-0.03	-0.02
降震比(%)	-11.11	-3.51	-1.64	-4.69	-4.48	-2.90

2. 阻尼球放在模型高6分之3處，測量結果如下圖1-11~1-13、表2-7~2-12所示：

- (1) 房屋模型：當阻尼球放置在模型6分之3處時，不同級數下的抗震效果從優到劣為(3級>4強>4中強>4弱>4中弱>5強)，數據皆顯示有減震效果，其中以3級震度下降震效果最佳。
- (2) 阻尼球：阻尼球的加速度從大到小為(4中弱>5強>4中強>4中弱>4弱>3級)。
- (3) 討論：因使用彈簧來固定阻尼球，力量為動能轉位能，無法散失，其能量會轉移到別處。不同震度下其轉換樓層為：3級震度下能量無明顯轉移跡象，推測其降震原因為阻尼球搖晃的頻率和房屋模型相反，而達到減震效果；4弱震度下能量轉移到模型6分之3處；4中弱震度下能量轉移到模型6分之2處；4中強震度下能量無明顯轉移跡象，其推測原因與上述相同；4強震度下能量轉移到模型6分之1處；5強震度下能量轉移到模型6分之6處。

表2-7 3級震度下阻尼球置於模型高6分之3處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.24
實驗組加速度	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17
差異加速度值	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.07
降震比(%)	-20.00	-15.00	-15.00	-19.05	-14.29	-29.17

表2-8 4弱震度下阻尼球置於模型高6分之3處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.30	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35
實驗組加速度	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32
差異加速度值	-0.03	-0.02	-0.02	-0.30	-0.03	-0.03
降震比(%)	-10.00	-6.67	-6.45	-9.09	-8.82	-8.57

表2-9 4中弱震度下阻尼球置於模型高6分之3處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.39	0.40	0.42	0.43	0.45	0.46
實驗組加速度	0.38	0.39	0.38	0.39	0.42	0.43
差異加速度值	-0.01	-0.01	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03
降震比(%)	-2.56	-2.50	-9.52	-9.30	-6.66	-6.52

表2-10 4中強震度下阻尼球置於模型高6分之3處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.47	0.48	0.52	0.55	0.57	0.60
實驗組加速度	0.43	0.43	0.47	0.50	0.52	0.55
差異加速度值	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
降震比(%)	-8.51	-10.42	-9.62	-9.09	-8.77	-8.34

表2-11 4強震度下阻尼球置於模型高6分之3處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.50	0.56	0.59	0.63	0.65	0.67
實驗組加速度	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60
差異加速度值	0	-0.04	-0.05	-0.07	-0.07	-0.07
降震比(%)	0	-7.14	-8.47	-11.11	-10.77	-10.45

表2-12 5強震度下阻尼球置於模型高6分之3處不同樓層的降震效果

	6分之1	6分之2	6分之3	6分之4	6分之5	6分之6
對照組加速度	0.55	0.57	0.61	0.64	0.65	0.69
實驗組加速度	0.54	0.56	0.58	0.62	0.60	0.69
差異加速度值	-0.01	-0.01	-0.03	-0.02	-0.05	0
降震比(%)	-1.82	-1.76	-4.92	-3.13	-7.69	0

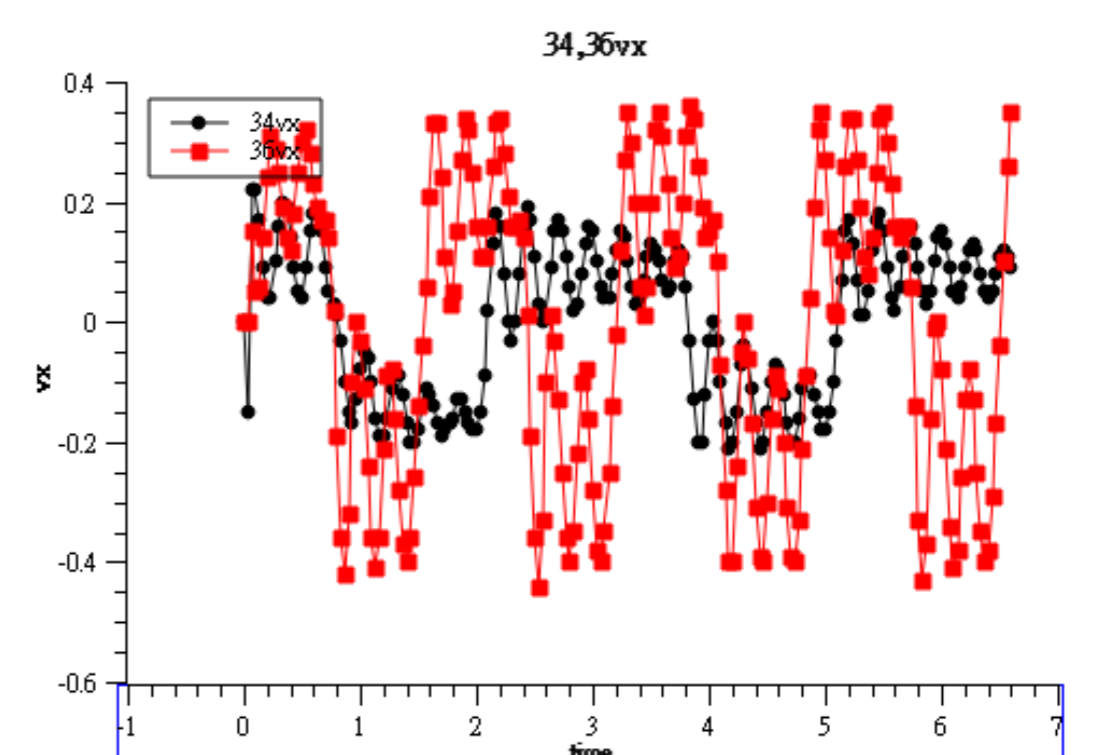


圖1-11 阻尼球於模型高6分之3處在4、6伏特x軸的加速度值

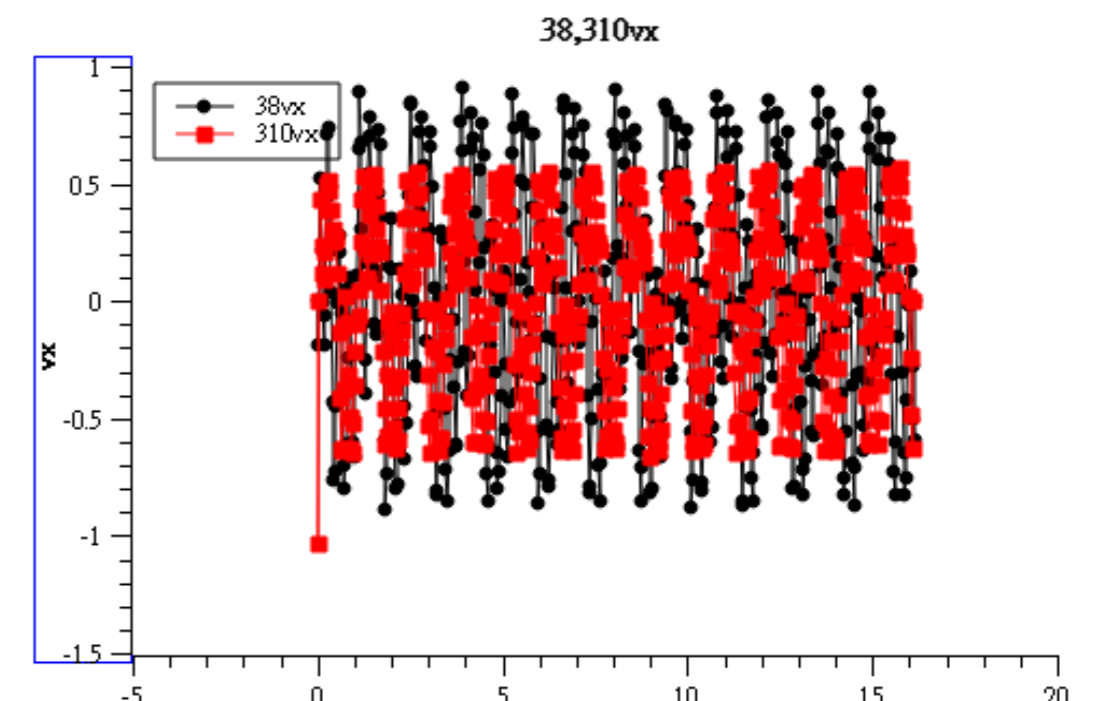


圖1-12 阻尼球於模型高6分之3處在8、10伏特x軸的加速度值

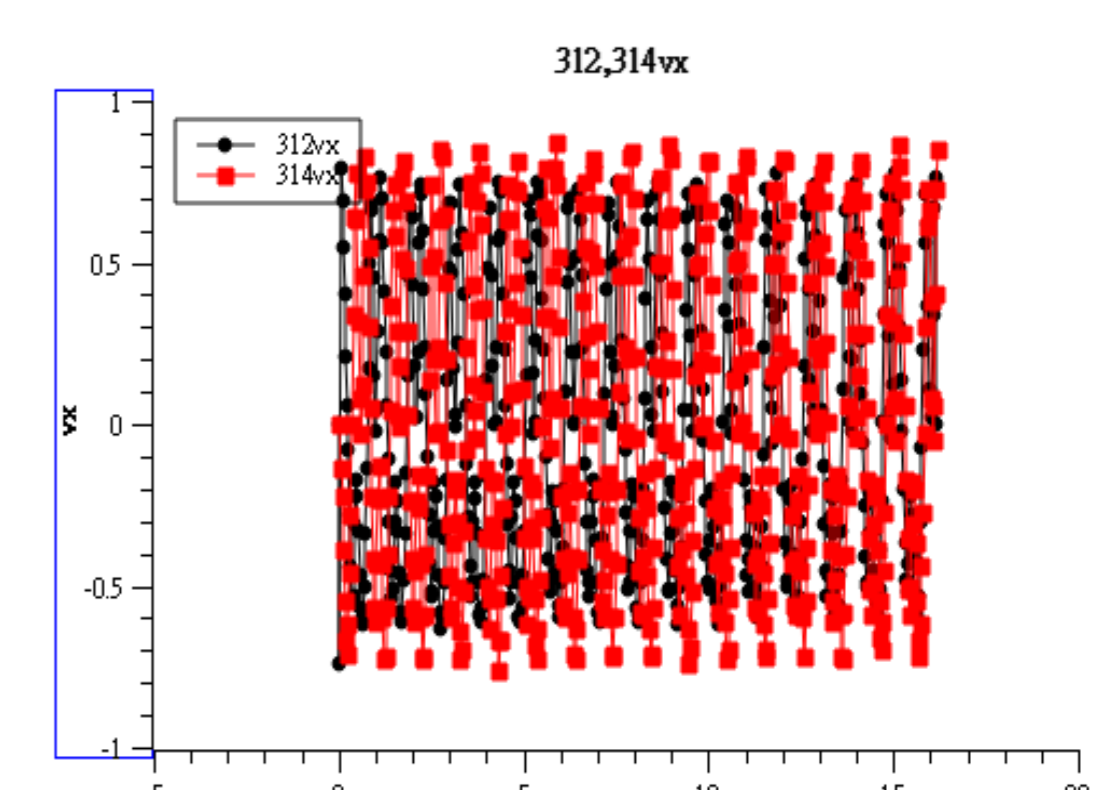


圖1-13 阻尼球於模型高6分之3處在12、14伏特x軸的加速度值

3. 阻尼球放在模型高6分之5處，測量結果如下圖1-12~1-13、表2-13~2-18所示：

(1)房屋模型：當阻尼球放置在模型6分之5處時，不同級數下的抗震效果從優到劣為**(4中強>4中弱>4強>5強>4弱>3級)**，而其中在**3級震度**下阻尼球未起到減震效果，反而增加加速度，而**4弱震度**的降震效果不明顯。

(2)阻尼球：阻尼球的加速度從大到小為**(4中弱>5強>4中強>4中弱>弱>3級)**。

(3)討論：因使用彈簧來固定阻尼球，力量為動能轉位能，無法散失，其能量會轉移到別處。不同震度下其轉換樓層為：**3級震度下無減震效果**，其中以**模型6分之5處**加速度值最大；**4弱震度下減震效果較不明顯**，能量散失到較多處；**4中弱震度下**能量轉移到**模型6分之6處**；**4中強震度下**能量轉移到**模型6分之1處**；**4強震度下**能量無明顯轉移跡象，推測其減震原因為**阻尼球搖晃的頻率和房屋模型相反**，而達到減震效果；**5強震度下減震效果較不明顯**，能量轉移到**模型6分之2處**。

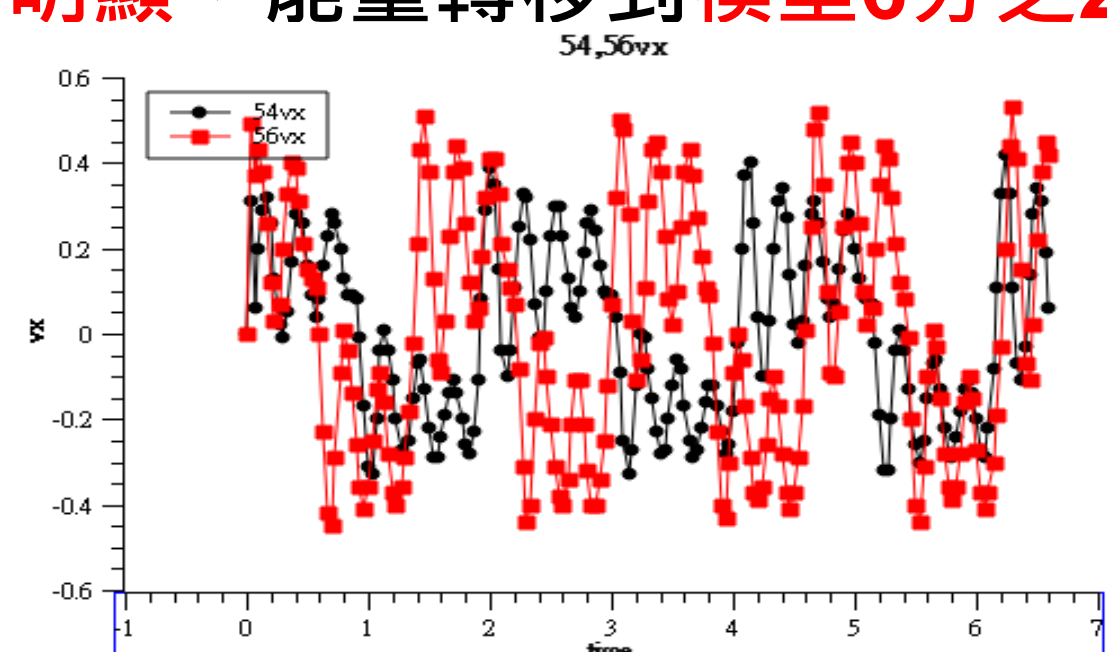


圖1-14 阻尼球於模型高6分之5處在4、6伏特x軸的加速度值

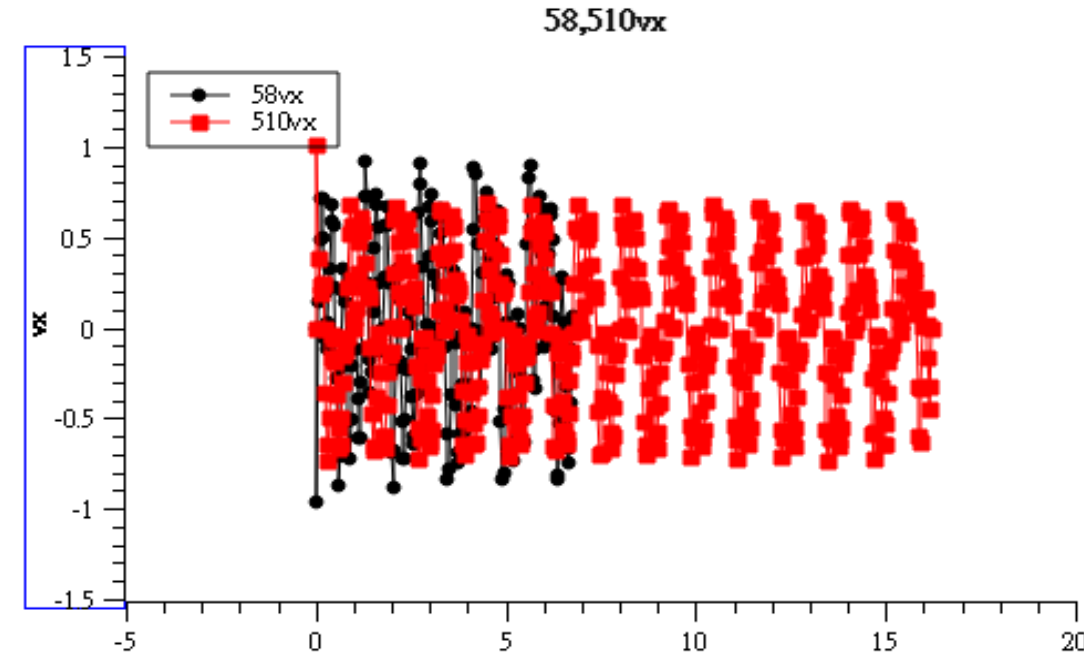


圖1-15 阻尼球於模型高6分之5處在8、10伏特x軸的加速度值

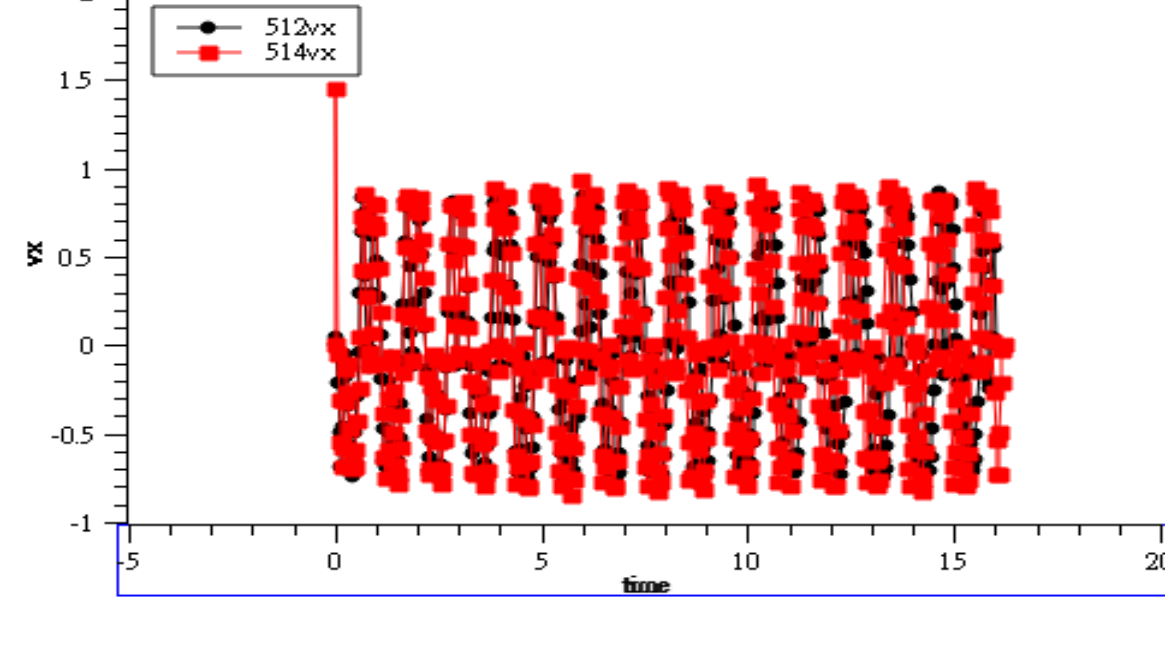


圖1-16 阻尼球於模型高6分之5處在12、14伏特x軸的加速度值

表2-13 3級震度下阻尼球置於模型高6分之5處不同樓層的降震效果

Table with 7 columns (6分-1 to 6分-6) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from 0.20 to 14.29.

表2-14 4弱震度下阻尼球置於模型高6分之5處不同樓層的降震效果

Table with 7 columns (6分-1 to 6分-6) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -3.33 to 0.35.

表2-15 4中弱震度下阻尼球置於模型高6分之5處不同樓層的降震效果

Table with 7 columns (6分-1 to 6分-6) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -5.13 to 0.47.

表2-16 4中強震度下阻尼球置於模型高6分之5處不同樓層的降震效果

Table with 7 columns (6分-1 to 6分-6) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -6.38 to 0.60.

表2-17 4強震度下阻尼球置於模型高6分之5處不同樓層的降震效果

Table with 7 columns (6分-1 to 6分-6) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -5.66 to 0.67.

表2-18 5強震度下阻尼球置於模型高6分之5處不同樓層的降震效果

Table with 7 columns (6分-1 to 6分-6) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -3.64 to 0.69.

三.實驗四：利用Phyphox APP 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，不同震度的加速度數據表3-1所示，測得的結果作為其他實驗種的對照組。

表3-1 未加裝阻尼球不同震度在房屋模型不同高度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 3 rows (6分之6, 6分之3, 6分之1). Values range from 12.70 to 26.20.

(二)選擇阻尼球在三種不同高度，測試房屋模型在不同震度下的減震效果及影響。

1. 阻尼球放在模型高6分之1處，測量結果如下表4-1~4-3所示：

表4-1 阻尼球置於模型高6分之1處在模型高6分之1處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -3.75 to 23.52.

表4-2 阻尼球置於模型高6分之1處在模型高6分之3處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -5.04 to 23.62.

表4-3 阻尼球置於模型高6分之1處在模型高6分之6處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -2.44 to 26.20.

3. 阻尼球放在模型高6分之3處，測量結果如下表4-4~4-6所示：

4. 討論：當阻尼球放在模型高6分之3處，在**3級、4弱、4中弱、4中強、4強、5強**震度下**低中高樓層皆有減震效果**，與tracker分析的結果相符。

表4-4 阻尼球置於模型高6分之3處在模型高6分之1處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -7.81 to 23.52.

表4-5 阻尼球置於模型高6分之3處在模型高6分之3處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -5.80 to 23.62.

表4-6 阻尼球置於模型高6分之3處在模型高6分之6處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from -7.87 to 26.20.

5. 阻尼球放在模型高6分之5處，測量結果如下表4-7~4-9所示：

6. 討論：當阻尼球放在模型高6分之5處，在**3級震度**下無法達到減震效果；在**4弱、4中弱、4中強、4強、5強**震度下**低中高樓層皆有減震效果**，與tracker分析的結果相符。

表4-7 阻尼球置於模型高6分之5處在模型高6分之1處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from 0.92 to 23.52.

表4-8 阻尼球置於模型高6分之5處在模型高6分之3處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from 3.36 to 23.62.

表4-9 阻尼球置於模型高6分之5處在模型高6分之6處不同震度x軸的加速度值

Table with 7 columns (震度) and 4 rows (對照組, 實驗組, 差異, 降震比). Values range from 1.81 to 26.20.

陸、結論及期許

一.震度級數：4伏特轉為震度級數為3級、6伏特轉為震度級數為4弱級、8伏特轉為震度級數為4中弱級、10伏特轉為震度級數為4中強級、12伏特轉為震度級數為4強級、14伏特轉為震度級數為5強級

二.房屋模型減震影響

- (一) 阻尼球置於模型高6分之1處，在3級震度下減震效果最佳，在4弱震度下無法達到減震效果。
(二) 阻尼球置於模型高6分之3處，在各個震度下皆有減震效果，其中以3級震度下減震效果最佳。
(三) 阻尼球置於模型高6分之5處，在4中強震度下減震效果最佳，而在3級震度下無法達到減震效果，在4弱震度下減震效果不明顯。
(四) 本實驗所使用的阻尼器為橡皮筋，是經由動能轉位能，能量並非散失，而是轉移到別處樓層，進而造成樓層之間的加速度不一致，但確實能降低某些樓層的加速度。其中以高樓層轉移到低樓層較多

三.各震度最佳減震方案

- (一) 3級震度在房屋模型的6分之3處放置阻尼球效果最佳。
(二) 4弱震度在房屋模型的6分之3處放置阻尼球效果最佳。
(三) 4中弱震度在房屋模型的6分之5處放置阻尼球效果最佳。
(四) 4中強級震度在房屋模型的6分之5處放置阻尼球效果最佳。
(五) 4強級震度在房屋模型的6分之3處放置阻尼球效果最佳。
(六) 5強級震度在房屋模型的6分之1處放置阻尼球效果最佳。

四.將來可增加伏特數以提高震度、新增地下室樓層、改進阻尼球裝置等，進行更深入的探討。

柒、參考資料 (略參閱報告書)