

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第一名

080109

水塔超人震得住-液體阻尼器的防震研究

學校名稱：彰化縣彰化市民生國民小學

作者： 小六 王子誥	指導老師： 鄭暉群
---------------	--------------

關鍵詞：地震、阻尼器、調諧阻尼器

得獎感言

尋回自信，躍上絢麗舞台

偶然於圖書館看到雜誌介紹 101 大樓的阻尼器，在地震或風大時會有擺動的現象，以消耗地震或風的動能，減緩大樓的搖晃；而我也觀察到水塔內的水在地震時，同樣會有波動的現象。藉由這一點聯想，讓我想進一步探討水塔當作阻尼器之可行性。

研究過程中，我們集思廣益、發揮創意，利用足部搖擺機，改裝成實驗需要的【模擬震動平台】。接著依設計好的方法進行實驗，在這過程裡，曾因自製研究儀器不能有效固定控制變因，導致實驗數據相差太大。為了突破實驗瓶頸，讓每次的振動頻率和震動週期都一致，我花了非常多的時間鑽研，才將儀器改善完成，就在完成的那一刻，緊繃的神經終於得以放鬆。實驗進行中，令我印象最深刻的，非【隔間實驗】莫屬，這是探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用三層隔間、不同大小孔洞阻尼效果的實驗，因為每一次實驗結果的變化都令我們驚訝，好奇與擔憂的混亂情緒不時纏繞心頭，經過多次的實驗，不斷修正再挑戰，終於讓我們發現一大祕密——原來隔間孔洞越小，阻尼效果越佳，如果沒有孔洞的話，阻尼效果反而變差！這個結果，實在讓我們覺得太神奇了！

實驗進行過程，有許多難忘的經歷，並且不斷的從未知中摸索、探尋，不斷的進行觀察、發現問題、推論、思考，再將蒐集到的資料與知識融會貫通的運用在研究的推理揣摩中，進而驚奇連連的像得到一把神奇的鑰匙，解開一切謎團，過程雖然辛苦，但獲得的是前所未有的體驗與豐富的收穫。

本次的科展是我第一次參加，有老師及校長的指導與鼓勵，我才能完成所有實驗、研究推論及一篇完整的報告。當知道我們投入心血研究的作品榮獲「第一名」時，實在難以相信！成功的那一刻，激動的情緒更是難以言喻，也很感謝縣賽評審教授們提供的意見與建議，讓我的研究內容得以再補不足。在此，我除了要感謝母校民生國小對我的支持外，我也要謝謝陽明國中的協助指導，提供資源。最後更要感謝父母的鼓勵與陪伴，當我精疲力竭時，你們為我加油打氣，讓我充滿動力；在我情緒低落時，你們全力支持與鼓勵，讓我慢慢走出低潮。謝謝大家的一路陪伴，使我能獲得佳績！

我不是資優生，在校成績也不好，但是參加科展比賽並且榮獲佳績讓我有很大的自信心，所以我要鼓勵，不管是資優生，還是非資優生，只要你有興趣並願意花時間探索科學的奧秘，你都可以登上閃亮的舞台。



家人是我最大的依靠，有他們的全力支持我才能站上這個舞台



為一般民眾解說，是訓練口才的一個好機會



我與搖擺機合照

摘要

本實驗研究結果發現：(1)以不同形狀容器來實驗，以圓柱體容器阻尼效果最好。當容器固定為圓柱體且改變容器內液體高度來實驗則發現，有控制重量時以液面高度 6.5 公分阻尼效果最好，當無控制重量時以液面高度為 8 公分阻尼效果最好；若以不同直徑且液面高度相同圓柱體來實驗，則直徑 15 公分阻尼效果最好。(2)以不同大小孔洞及不同層次來實驗，即在圓柱體容器內加裝不同層次的孔洞隔間，則以孔洞 0.2 公分×0.2 公分的三層隔間阻尼效果最好。(3)若在建物上方懸吊不同長度，相同重量的懸吊質塊來實驗，擺長的週期越接近震盪器的週期阻尼效果最好；但若擺長固定，改變懸吊質塊的重量，則以質塊越重的阻尼效果最好。

壹、研究動機

在圖書館偶然看到一本雜誌，內容介紹台北 101 大樓，87 至 92 層的風阻尼器，那一顆球體讓我聯想到，自家頂樓的水塔，心想水塔可以提供飲用，又能當阻尼器一舉數得。

於是我利用寶特瓶裝水，然後放在木板上搖動，觀察發現寶特瓶內水的波動，與前進方向相反，這個原理與雜誌報導風阻尼器原理相近，我向老師分享這個發現，老師鼓勵我把這個發現，做更精細的研究，我與老師就開始進行自製阻尼器的研究。

貳、研究目的

- 一、 探討液體在容器中固定重量，不同形狀之阻尼效果。
- 二、 探討圓柱體容器內，固定重量與容器直徑，不同液體高度之阻尼效果。
- 三、 探討圓柱體容器內，固定容器直徑不固定重量，不同液體高度之阻尼效果。
- 四、 探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，不同直徑圓柱體容器之阻尼效果。
- 五、 探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用一層隔間，不同大小孔洞之阻尼效果。
- 六、 探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用二層隔間，不同大小孔洞之阻尼效果。
- 七、 探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用三層隔間，不同大小孔洞之阻尼效果。
- 八、 探討長方形容器內，固定液體高度及重量，不同長度之阻尼效果。
- 九、 探討固定質塊重量，不同懸吊長度之阻尼效果。
- 十、 探討固定懸吊長度，不同質塊重量之阻尼效果。

參、設備器材

一、研究器材

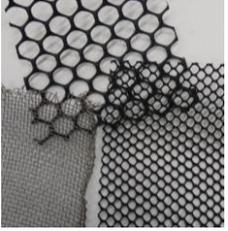
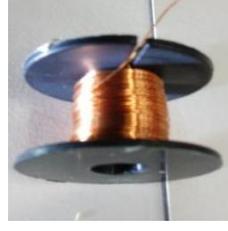
				
(1)特製木箱機座	(2)足部搖擺機	(3)木條	(4)木板	(5)孔洞膠網
				
(6)大正四方形容器	(7)大長方形容器	(8)圓柱體容器	(9)圓柱體容器	(10)免洗筷
				
(11)老虎鉗	(12)十字螺絲起子	(13)剪刀	(14)鑽孔機	(15)熱熔膠槍
				
(16)釘子	(17)銅線	(18)橡皮圈	(19)收束帶	(20)碼表

圖 1 設備器材圖

二、自製左右搖擺地震模擬器



圖 2 自製模擬振動平台流程圖

三、實驗裝置

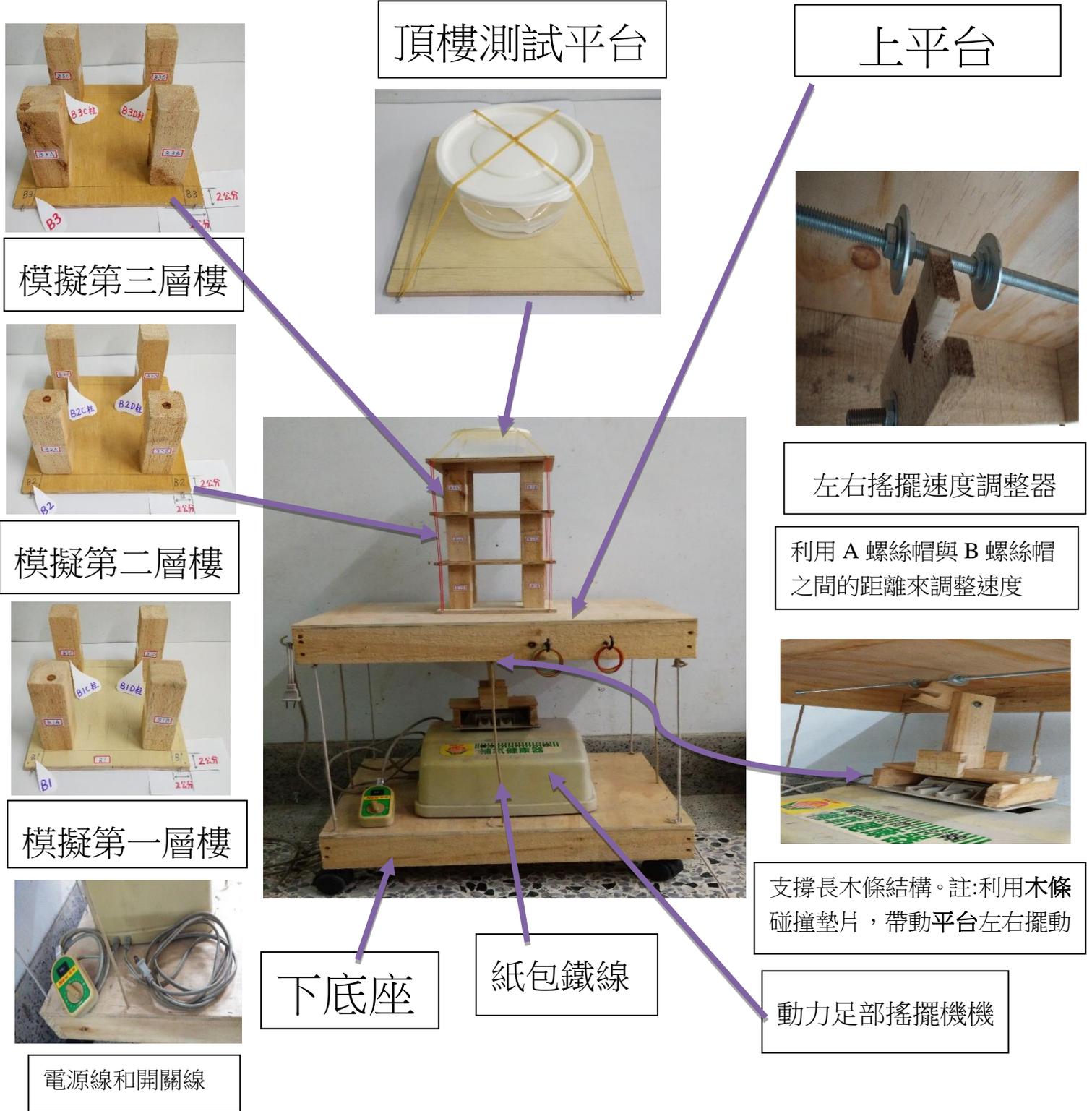


圖 3 阻尼測試實驗裝置說明圖

四、實驗流程

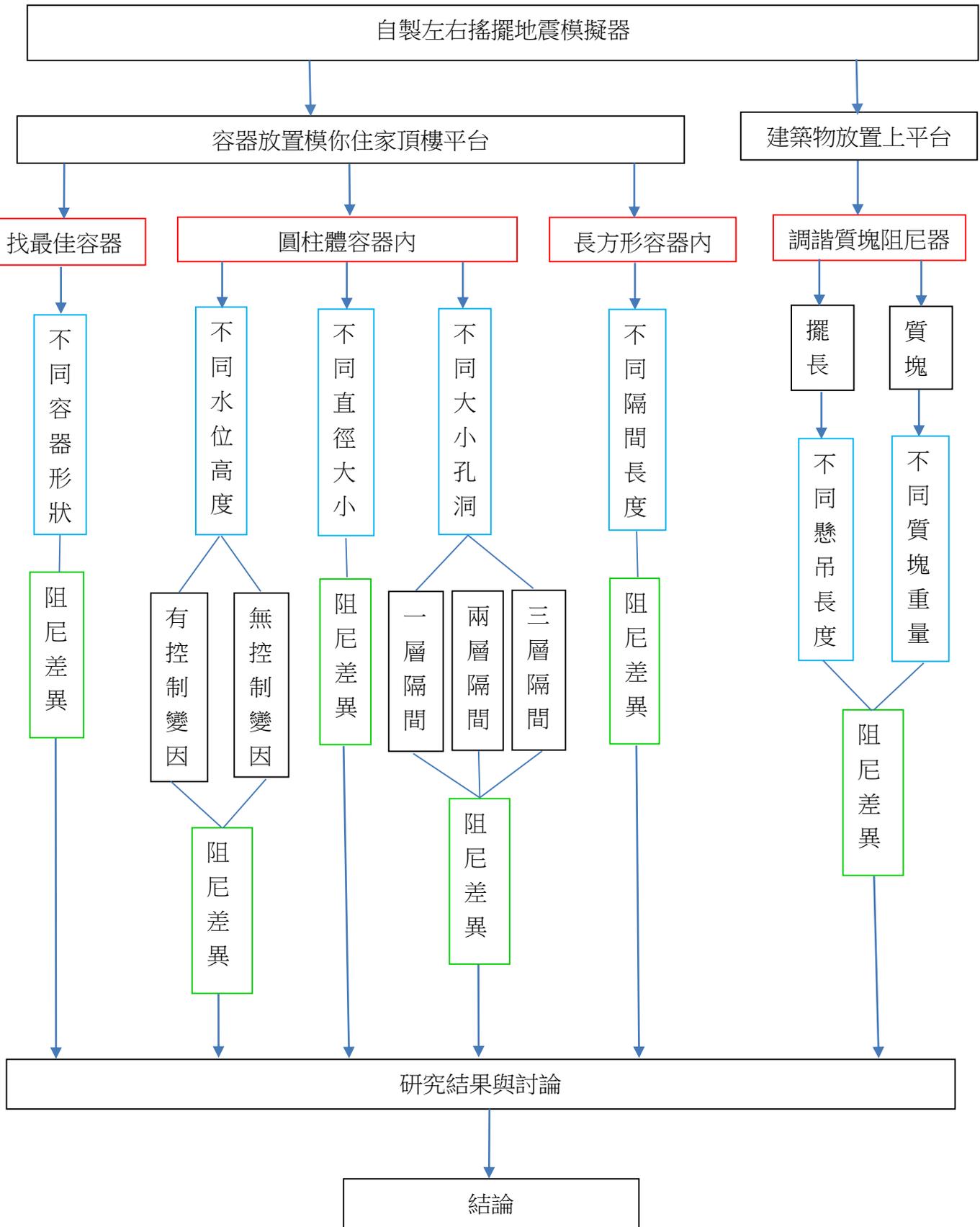


圖 4 概念架構圖

1. 實驗 1 至 8 探討之容器，均放置在模擬三樓透天住家頂層測試平台，進行阻尼效果測試。
2. 實驗 9 至 10 探討之模擬三樓透天住家不同懸吊長，及不同質塊重量測試，均放置在地震模擬振動台的上平台，進行阻尼效果測試。
3. 以上所有的測試，地震模擬振動平台，統一設定在左右搖擺振動，其振動週期為 0.428 秒 / 次，進行阻尼效果測試。
4. 開啟地震模擬振動平台，觀察模擬三樓透天住家倒塌的瞬間，並用碼錶紀錄秒數，以上程序重複測試三次，紀錄三次倒塌的秒數，再計算出平均值。

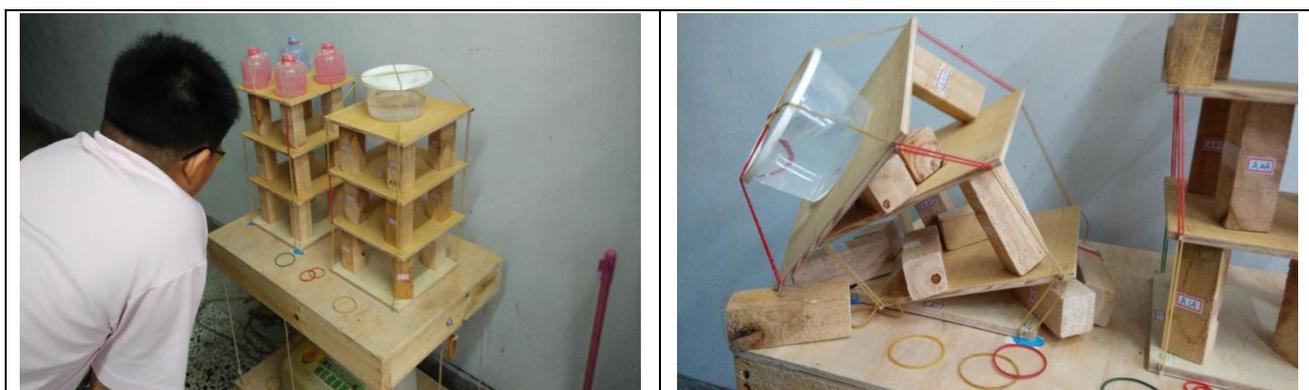


圖 5 觀察倒塌瞬間情形及已倒塌的實驗結果圖

肆、研究過程與方法

(一) 探討液體在容器中固定重量，不同形狀之阻尼效果。

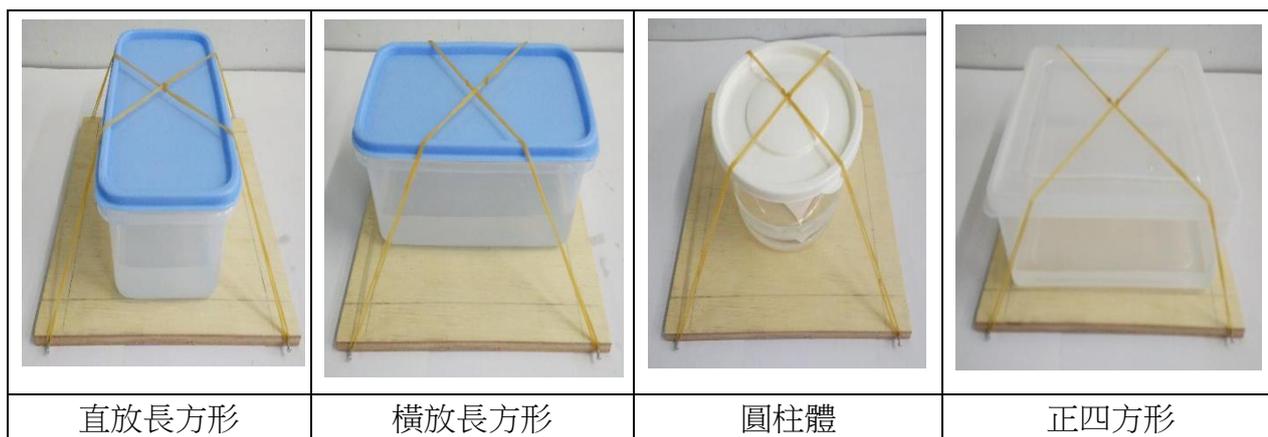


圖 6 不同形狀容器圖

1. 在模擬三樓透天住家，最上層樓放置不同形狀容器，分別為 9 公分 x17 公分 x6 公分直放長方形、9 公分 x17 公分 x6 公分橫放長方形、直徑 10.5 公分 x6 公分圓柱體、17 公分 x17 公分 x7 正正方形等大容器。

- 每個不同形狀容器內，注入 300 cc 的水，並用橡皮圈固定大容器。
- 在容器中，注入 300 cc 的水，最重為正方形容器為 389 克，為了不要因容器形狀不同，重量不同產生變因，因此容器外用橡皮圈，固定廢電池及容器，控制每一個容器，總重量為 389 克，來進行阻尼測試。

(二) 探討圓柱體容器內固定重量與容器直徑，不同液體高度之阻尼效果。

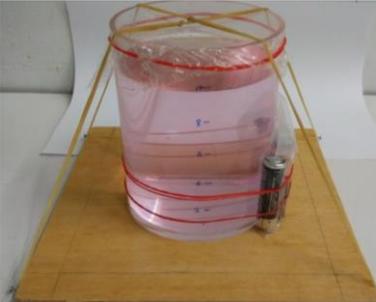
		
2 公分高液體	4 公分高液體	6 公分高液體
		
8 公分高液體	10 公分高液體	12 公分高液體

圖 7 固定重量及直徑不同水位高容器圖

- 本容器為直徑 10 公分圓柱體容器，分別注入 2 公分、4 公分、6 公分、8 公分、10 公分、12 公分高度的，水進行阻尼測試。
- 本容器水裝 12 公分高全滿為 982 克，為了不要因容器內水的高度不同，重量不同產生變因，因此容器外用橡皮圈，固定廢電池及容器，控制每一個容器，總重量為 982 克，來進行阻尼測試。
- 經阻尼測試，發現 8 公分左右阻尼效果最好，因此增加 7.5 公分、8.5 公分，進行更精細測試，找出最好的水位高度。

(三)探討圓柱體容器內，固定容器直徑不固定重量，不同液體高度之阻尼效果。

		
2 公分高液體	4 公分高液體	6 公分高液體
		
8 公分高液體	10 公分高液體	12 公分高液體

圖 8 固定容器直徑不固定重量，不同水位高度容器圖

1. 本容器為直徑 10 公分圓柱體容器，分別注入 2 公分、4 公分、6 公分、8 公分、10 公分、12 公分高度的水，進行阻尼測試。
2. 經阻尼測試，發現 6 公分至 8 公分之間阻尼效果最好，因此增加 6.5 公分、7 公分、7.5 公分高度的水，進行更精細測試，找出最好的水位高度。

(四)探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，不同直徑圓柱體容器之阻尼效果。

		
直徑 5 公分容器	直徑 10 公分容器	直徑 15 公分容器

圖 9 固定重量及水位高不同直徑容器圖

1. 本容器分別為直徑 5 公分圓柱體容器、直徑 10 公分圓柱體容器、直徑 15 公分圓柱體容器，在其不同直徑大小的容器內，統一注入 6 公分高的水。
2. 本次測試容器最重容器為直徑 15 公分圓柱體容器，重量為 1246 克，為了不要因容器直徑不同，重量不同產生變因，因此容器外利用橡皮圈固定廢電池及容器，控制每個容器總重量為 1246 克，來進行阻尼測試。

(五)探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用一層隔間，不同大小孔洞之阻尼效果。

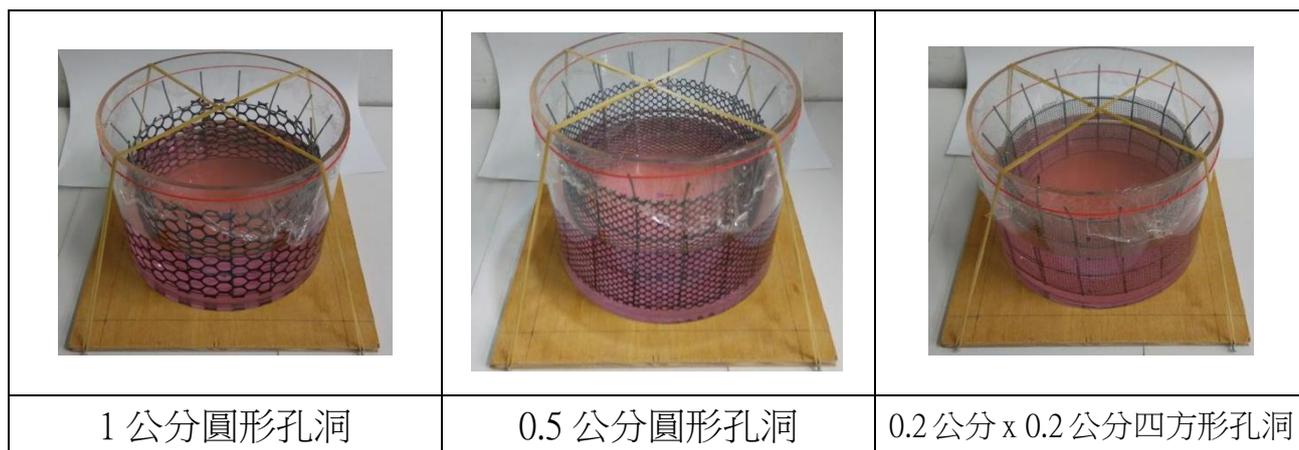


圖 10 固定重量及水位高，使用一層不同大小隔間孔洞圖

1. 本測試為直徑 15 公分圓柱體容器，在容器內利用 2.5 公分 x 3 公分鐵絲網與 1 公分孔洞膠網、0.5 公分膠網、0.2 公分 x 0.2 公分紗網，建構一個直徑 12 公分高 9 公分的隔間，做為阻尼效果測試。
2. 本容器注入水位設定高度為 6 公分。
3. 本容器內 0.2 公分 x 0.2 公分四方形孔洞隔間最重為 1293 克，為了不要因容器內的孔洞隔間不同，重量不同產生變因，因此容器外用橡皮圈，固定廢電池及容器，控制每一個容器，總重量為 1293 克，來進行阻尼測試。

(六)探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用二層隔間，不同大小孔洞之阻尼效果。

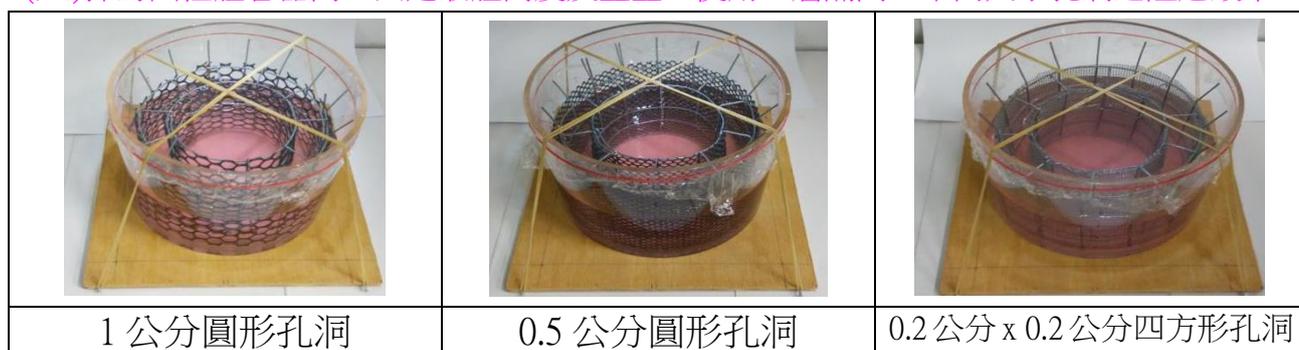


圖 11 固定重量及水位高，使用兩層不同大小隔間孔洞圖

1. 本測試為直徑 15 公分圓柱體容器，在容器內利用 2.5 公分 x3 公分鐵絲網與 1 公分孔洞膠網、0.5 公分膠網、0.2 公分 x0.2 公分紗網，建構兩個隔間，分別為直徑 12 公分高 9 公分與直徑 9 公分高 9 公分，做為阻尼效果測試。
2. 本容器注入水位設定高度為 6 公分。
3. 本容器內，0.2 公分 x0.2 公分四方形孔洞隔間最重為 1324 克，為了不要因容器內的孔洞隔間不同，重量不同產生變因，因此容器外用橡皮圈，固定廢電池及容器，控制每一個容器，總重量為 1324 克，來進行阻尼測試。

(七)探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用三層隔間、不同大小孔洞之阻尼效果。

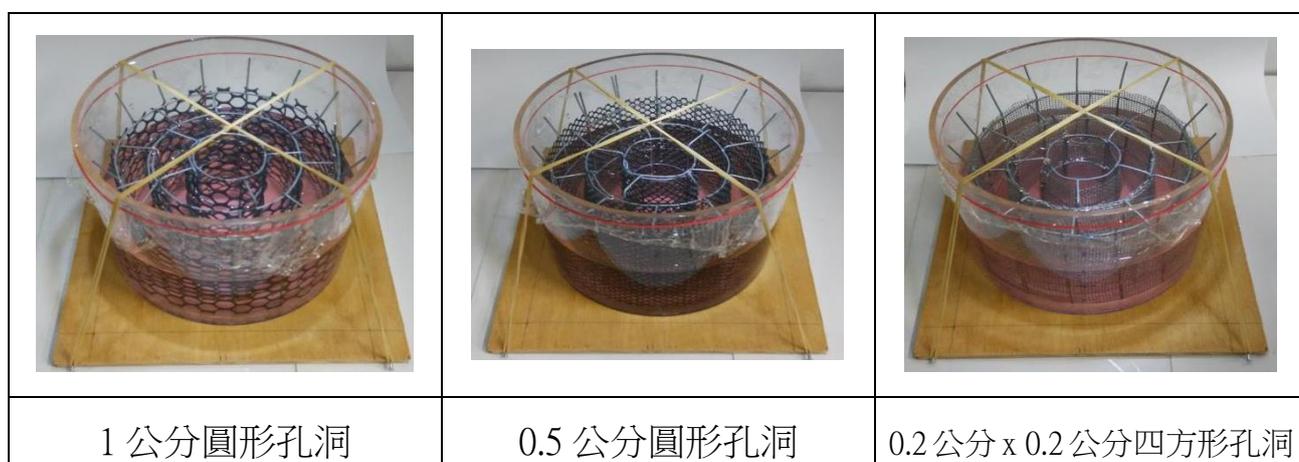


圖 12 固定重量及水位高，使用三層不同大小隔間孔洞圖

1. 本測試為直徑 15 公分圓柱體容器，在容器內利用，2.5 公分 x3 公分鐵絲網與 1 公分孔洞膠網、0.5 公分膠網、0.2 公分 x0.2 公分紗網，建構三個隔間，分別為直徑 12 公分高 9 公分、直徑 9 公分高 9 公分、直徑 6 公分高 9 公分，做為阻尼效果測試。
2. 本容器注入水位設定高度為 6 公分。
3. 本容器內，0.2 公分 x0.2 公分四方形孔洞隔間最重為 1341 克，為了不要因容器內的孔洞隔間不同，重量不同產生變因，因此容器外用橡皮圈，固定廢電池及容器，控制每一個容器，總重量為 1341 克，來進行阻尼測試。

(八)探討長方形容器內，固定液體高度及重量，不同長度之阻尼效果。

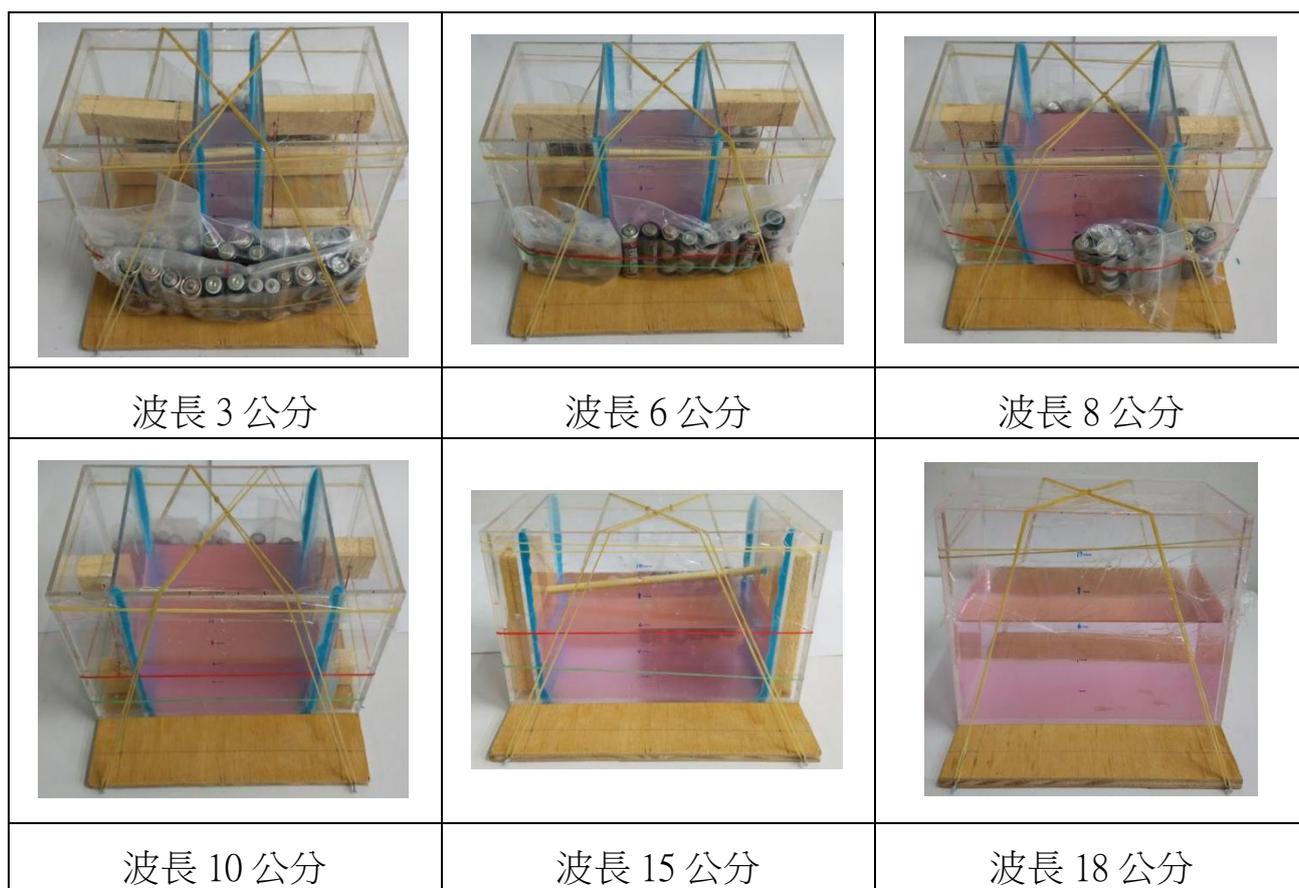


圖 13 固定重量及水位高，不同長度隔間容器圖

1. 本測試為長 18.5 公分 高 12 公分 寬 10 公分長方形容器，在容器內利用兩塊壓克力板，與自製特製木條，隔間出 3 公分、6 公分、9 公分、12 公分、15 公分、18 公分等 6 種長度做為阻尼效果測試。
2. 把長方形容器水位高度設定為 6 公分，波長 18 公分容器重量為 1495 克，為了不要因容器長度不同，重量不同產生變因，因此容器外利用橡皮圈固定廢電池及容器，控制每個容器總重量為 1495 克，來進行阻尼測試。

(九)探討固定質塊重量，不同懸吊長度之阻尼效果。

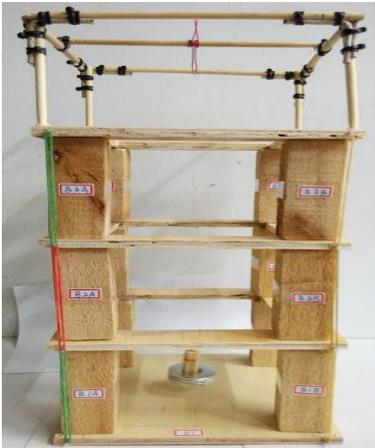
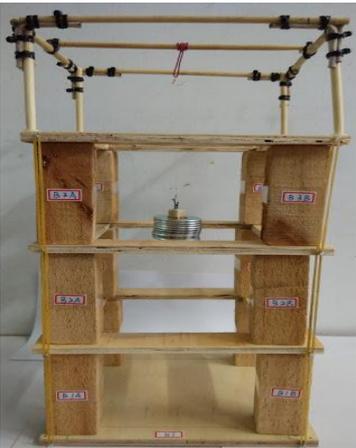
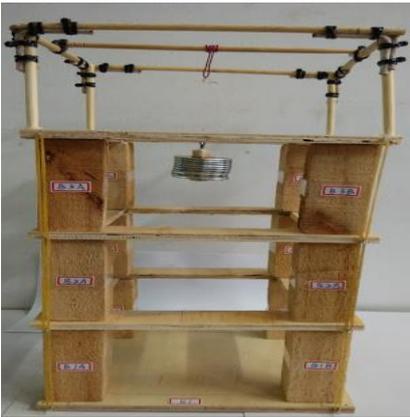
		
懸吊擺長 39 公分	懸吊擺長 32.5 公分	懸吊擺長 26 公分
		
懸吊擺長 19.5 公分	懸吊擺長 13 公分	懸吊擺長 6.5 公分

圖 14 固定質塊重量不同懸吊長度圖

1. 本模擬三樓透天住家，高度為 33 公分，頂部加裝結構為 12 公分總長 45 公分，在總長 45 公分中，設計 6 種擺長分配在其中，分別為 6.5 公分、13 公分、19.5 公分、26 公分、32.5 公分及 39 公分等。
2. 6 種不同懸吊擺長設定，固定四片質塊 88 克，進行阻尼效果測試。
3. 在阻尼測試發現，懸吊擺長 6.5 公分效果較好，為了找出更好的擺長，因此再設定擺長 5.5 公分、4.5 公分及 3.5 公分，進行阻尼效果測試。

(十)探討固定懸吊長度，不同質塊重量之阻尼效果。

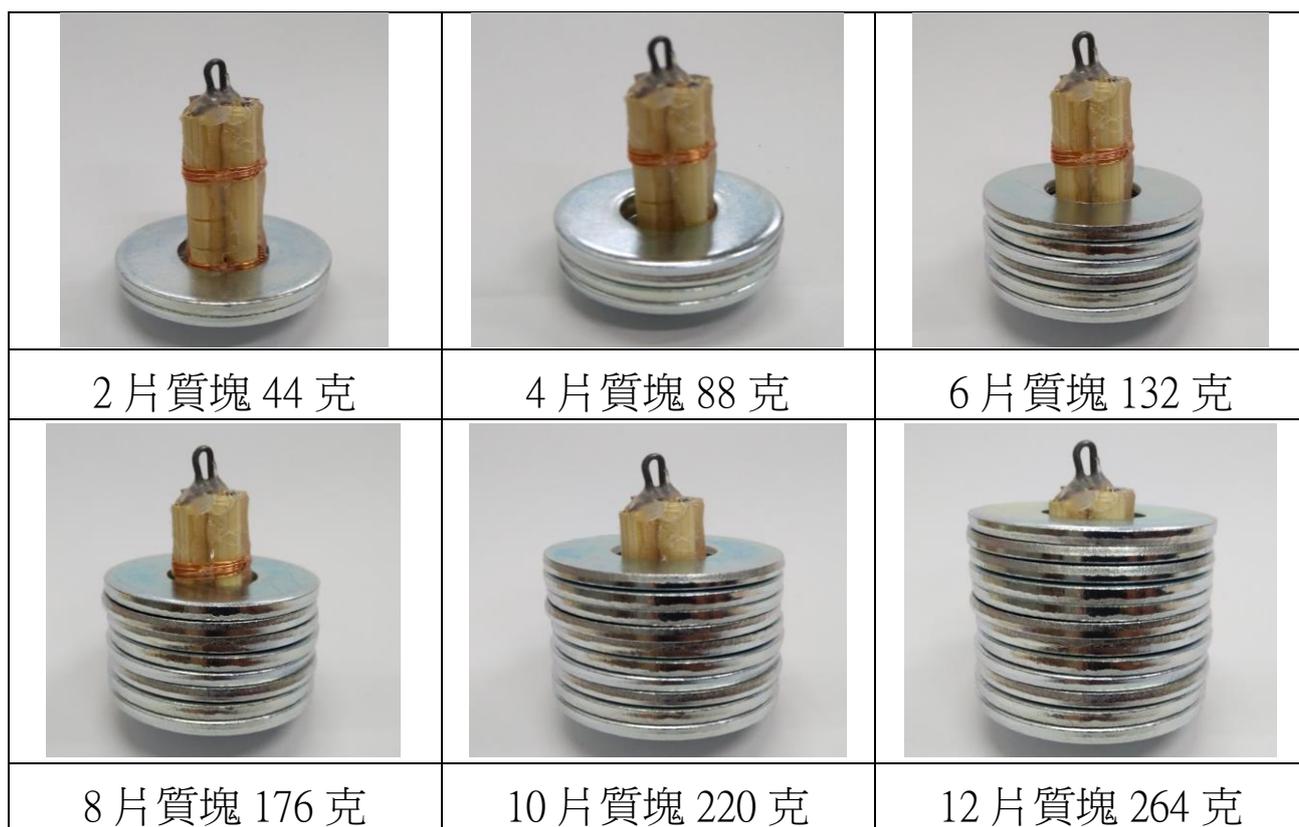


圖 15 不同質塊重量圖

1. 本質塊是利用外徑 4 公分、內徑 1.7 公分、厚度 0.3 公分的金屬墊片作為質塊，每一個質塊重量為 22 克。
2. 本次測試在模擬三樓透天住家，設定懸吊擺長 6.5 公分，在懸吊 6 種不同重量質塊，分別 2 片質塊 44 克、4 片質塊 88 克、6 片質塊 132 克、8 片質塊 176 克、10 片質塊 220 克、12 片質塊 264 克等，進行阻尼測試。

伍、研究結果與討論

(一)探討液體在容器中固定重量，不同形狀之阻尼效果。

表 1 不同容器形狀固定重量倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

容器 次數	直放長方形	橫放長方形	圓柱體	正四方形
第一次	4.08	6.11	8.23	6.13
第二次	3.95	6.45	7.71	8.1
第三次	4.38	7.61	6.98	7.63
平均值	4.136	6.72	7.64	7.286

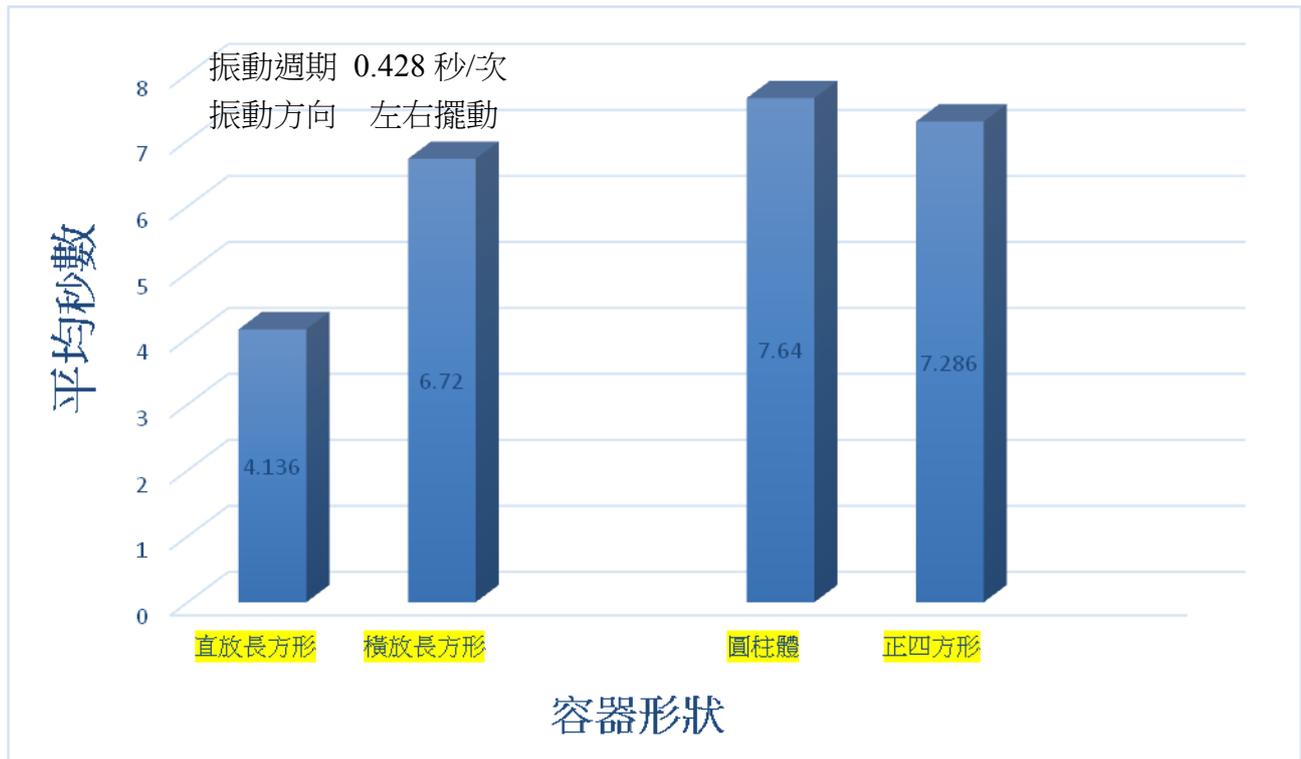


圖 16 固定重量 389 克，平均秒數與容器形狀關係圖

1. 從表 1 的數據中發現，圓柱體容器阻尼效果最好，其次是正四方形容器。

討論:

為何圓形容器阻尼效果最好?

- 當水在長方容器與正方形容器內，受到振動力的影響，液體會產生波動，這個波動在長方容器內與正方形容器內，會有規律的平行波動與規律的平行反射波，當振幅變大時，波動會往器壁撞擊，有些部分的液體，會往半空中甩至容器中間，最後容器中間會產生一條平行高峰波，聚集在容器中間，而容器左右液體變少，形成容器內左右波谷，容器內中間聚集液體，形成波峰現象。以上為左右搖擺振動觀察總結，液體在長方容器與正方形容器內，液體是有規律的平行波動。
- 當水在圓柱體容器內，受到外力振動力的影響，液體會產生波動，這個波動在圓柱體容器內，會產生以下六種的變化：一、剛開始有規律平行波動，二、不規律波動與不規律反射波，三、上、下波谷、左右波峰，四、形成鴨蛋型波谷，五、左右波峰瞬間崩裂鴨蛋型波谷，六、形成螺旋波動。以上為左、右搖擺振動觀察總結，液體在圓柱體容器內，液體是沒有規律的波動。見下圖 17 所示

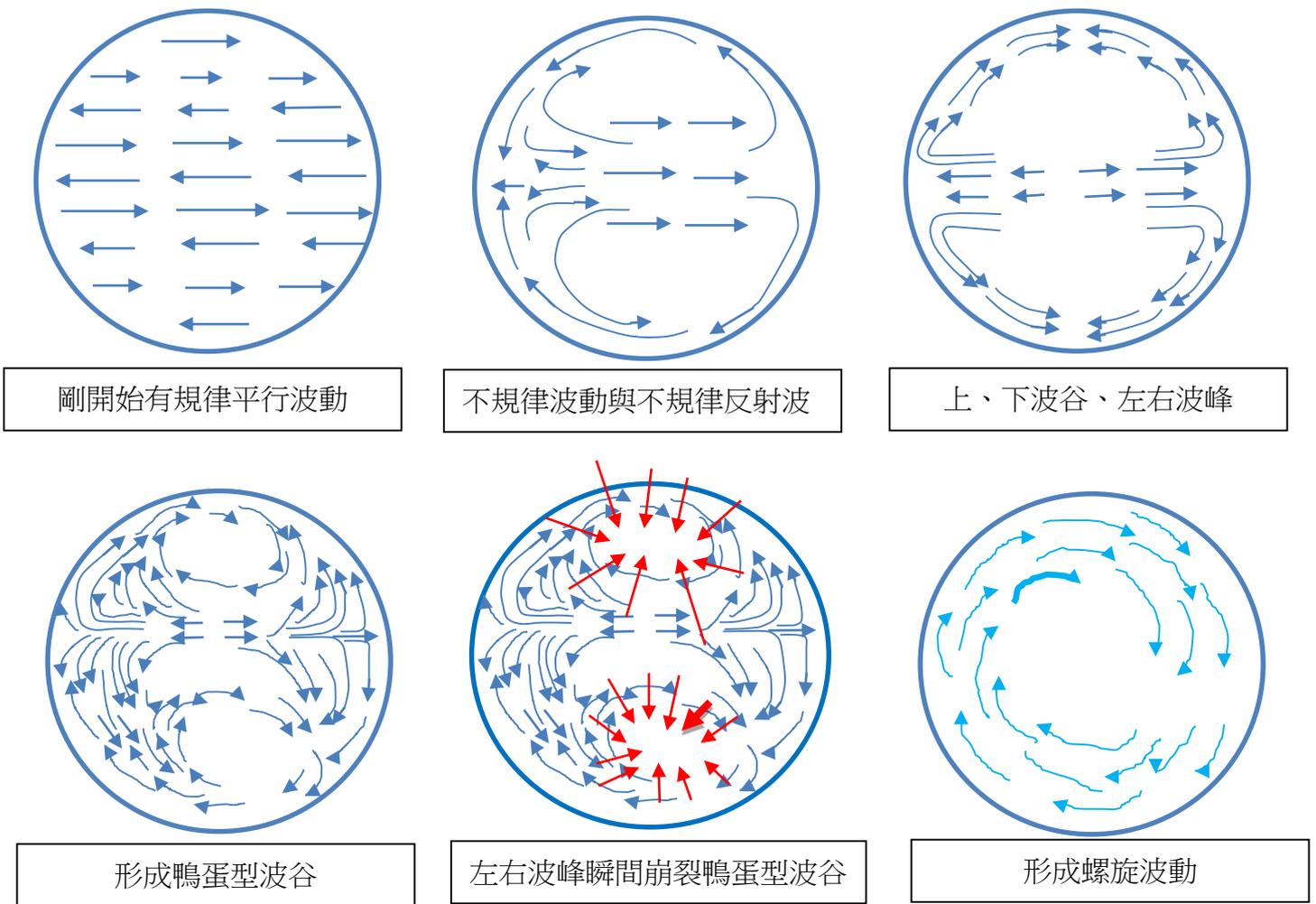


圖 17 螺旋波動形成過程圖

3. 圓柱體容器，因為波動不規律，水在容器內產生不規則的擾動現象較明顯。反觀長方形容器與正方形容器內波動規律，水在容器內較沒有擾動現象。因此容器內的擾動現象越明顯，阻尼效果越好，推論擾動現象與阻尼效果成正比。

(二)探討圓柱體容器內固定重量與容器直徑，不同液體高度之阻尼效果。

表 2 圓柱體容器內固定重量與容器直徑，不同液體高度倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

高度 次數	2 公分	4 公分	6 公分	6.5 公分	7 公分	7.5 公分	8 公分	10 公分	12 公分
第一次	4.24	5.75	8.03	7.61	7.97	7.57	6.87	4.51	3.08
第二次	4.52	6.81	7.95	8.02	7.91	7.45	6.32	4.93	2.95
第三次	4.3	6.08	7.31	7.98	7.53	7.61	6.45	4.75	3.41
平均	4.35	6.21	7.76	7.87	7.8	7.54	6.54	4.73	3.14

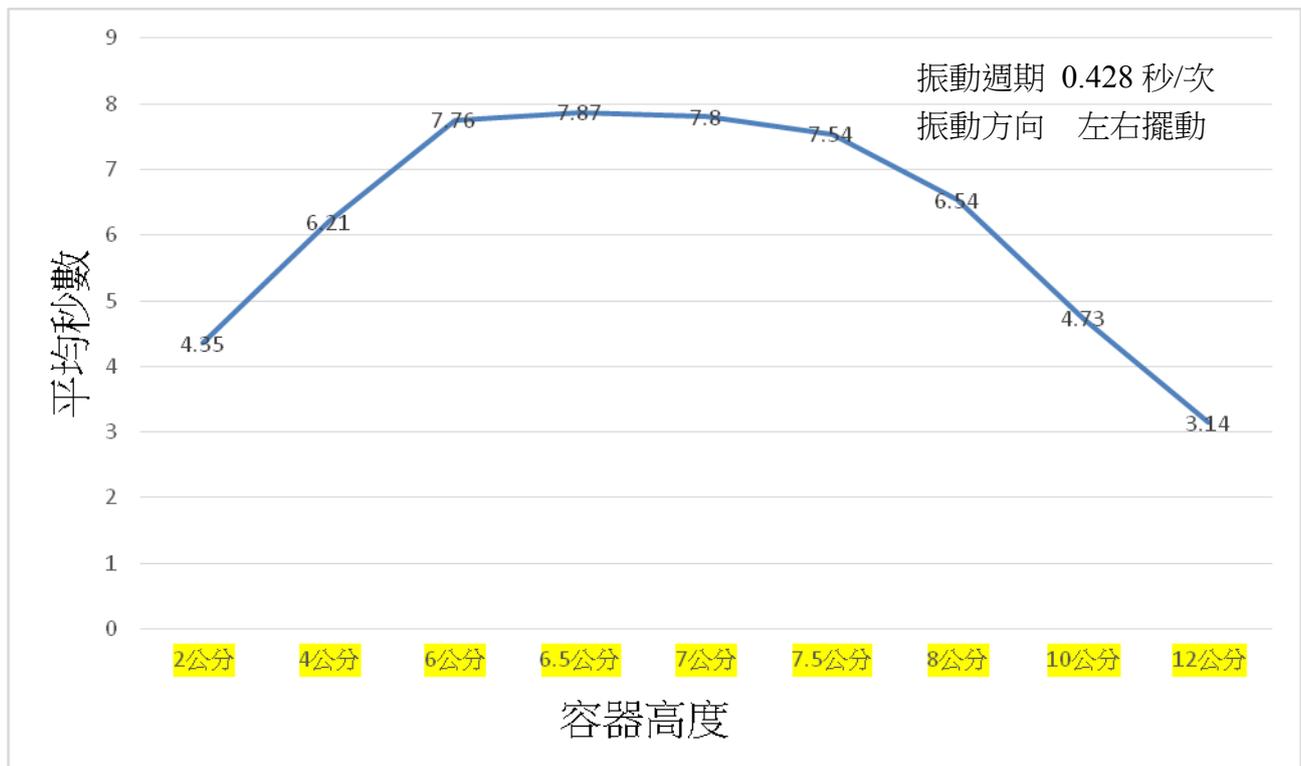


圖 18 固定重量 982 克平均秒數與容器高度關係圖

1. 從表 2 數據得知，圓柱體容器 6.5 公分高，阻尼效果最好。

討論:

把直徑 10 公分圓柱體容器內，有裝水的部分稱為水的液體運動空間，沒裝水的部分稱為水的波動空間。

1. 在本實驗當圓柱體容器水位高 12 公分時，只有液體運動空間，完全沒有水的波動空間，**3.14 秒**阻尼效果差。
2. 在本實驗當圓柱容器水位高 10 公分時，水的波動空間 2 公分，水的液體運動空間 10 公分時，**4.7 秒**阻尼效果差。
3. 在本實驗當圓柱體容器水位高 2 公分，水的波動空間 10 公分，水的液體運動空間 2 公分時，**4.3 秒**阻尼效果差。
4. 在本實驗當圓柱體水位高 6.5 公分，水的波動空間 5.5 公分，水的液體運動空間為 6.5 公分時，阻尼效果最好，其水的波動空間與水的液體運動空間比例為 11 : 13，在這樣的比列下水有足夠的波動空間與液體運動空間，相互作用，阻尼效果最好。

(三)探討圓柱體容器內，固定容器直徑不固定重量，不同液體高度之阻尼效果。

表 3 圓柱體容器內固定容器直徑不固定重量，不同液體高度倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

高度 次數	2公分	4公分	6公分	7.5公分	8公分	8.5公分	10公分	12公分
第一次	4.79	5.98	6.34	7.03	7.97	7.03	4.95	3.28
第二次	5.12	5.79	6.52	7.12	8.03	6.98	5.11	2.98
第三次	4.98	5.86	6.87	7.3	7.59	7.15	5.41	3.35
平均	4.96	5.87	6.51	7.15	7.86	7.05	5.15	3.2

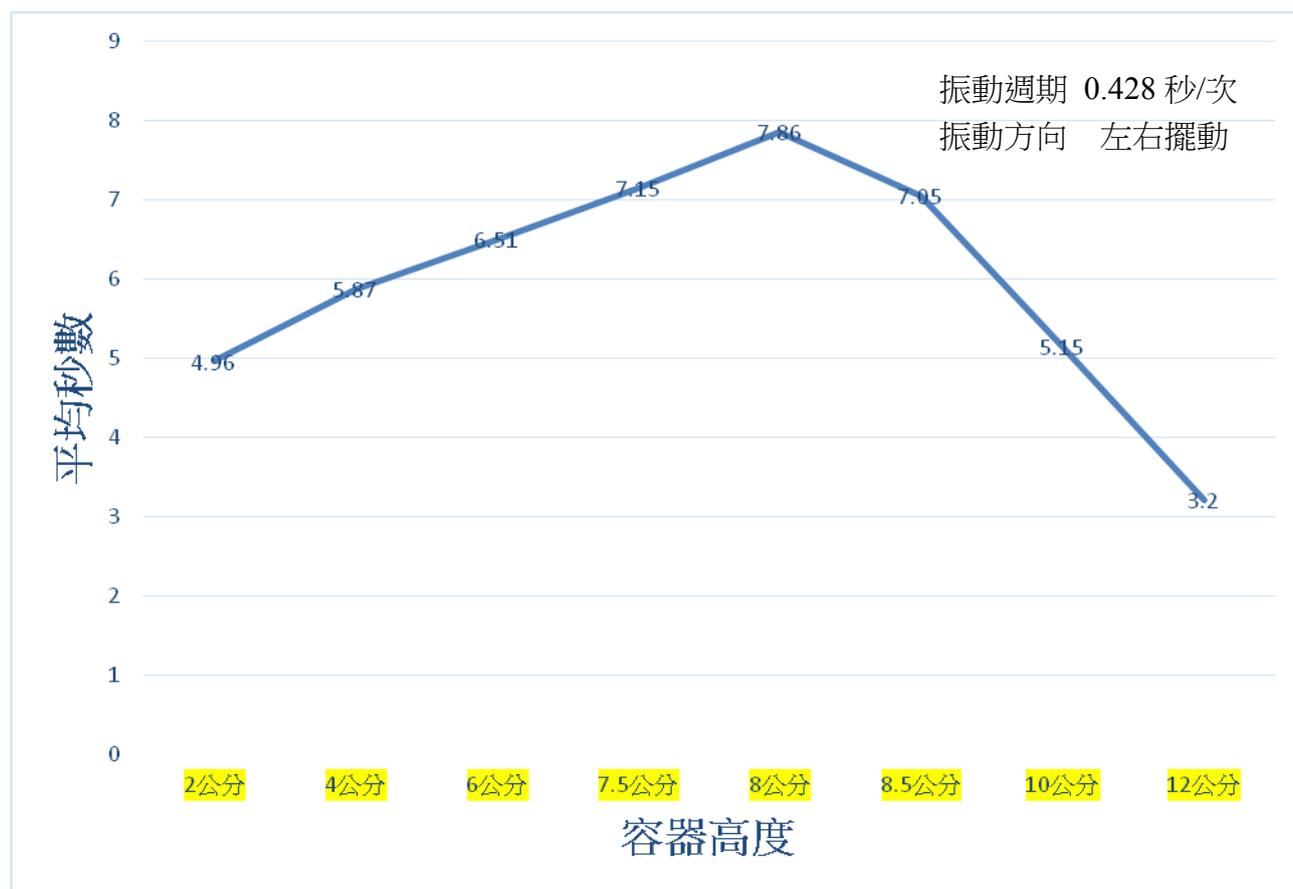


圖 19 平均秒數與容器高度關係圖

1. 從表 3 數據得知，圓柱體容器水位高 8 公分，阻尼效果最好。

討論:

從圖 19 得知阻尼效果最好為水位高 8 公分(因沒有控制重量變因，水高 8 公分重量為 713 克)，倒塌秒數為 7.86 秒，在探討三中，從圖 18 得知阻尼效果最好為水位高 6.5 公分(因有控制重量變因，水高 6.5 公分重量為 982 克)，倒塌秒速為 7.76 秒。從以上兩個圖表得知，在圓柱體容器，有控制變因，水位高 6.5 公分，就能達到最好的阻尼效果；沒有控制變因，水位高 8 公分，

才能達到最好的阻尼效果，其中的差別在於重量，增加水的高度，等於增加水的重量，以此推論，水的高度 6.5 公分重量 982 公克(有控制變因)，與水位高度 8 公分 713 公克(無控制變因)在同樣一個條件下放置模擬振動建築物上，容器的重量足夠，只需水位高 6.5 公分就能達到最好的阻尼效果，容器的重量不足時，需要水位高 8 公分，才能達到最好的阻尼效果。

(四)探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，不同直徑圓柱體容器之阻尼效果。

表 4 不同直徑圓柱體容器固定液體高度及重量倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

容器 次數	直徑 5 公分容器	直徑 10 公分容器	直徑 15 公分容器
第一次	7.49	8.03	7.58
第二次	7.86	7.95	8.03
第三次	7.9	7.31	8.02
平均	7.75	7.76	7.87

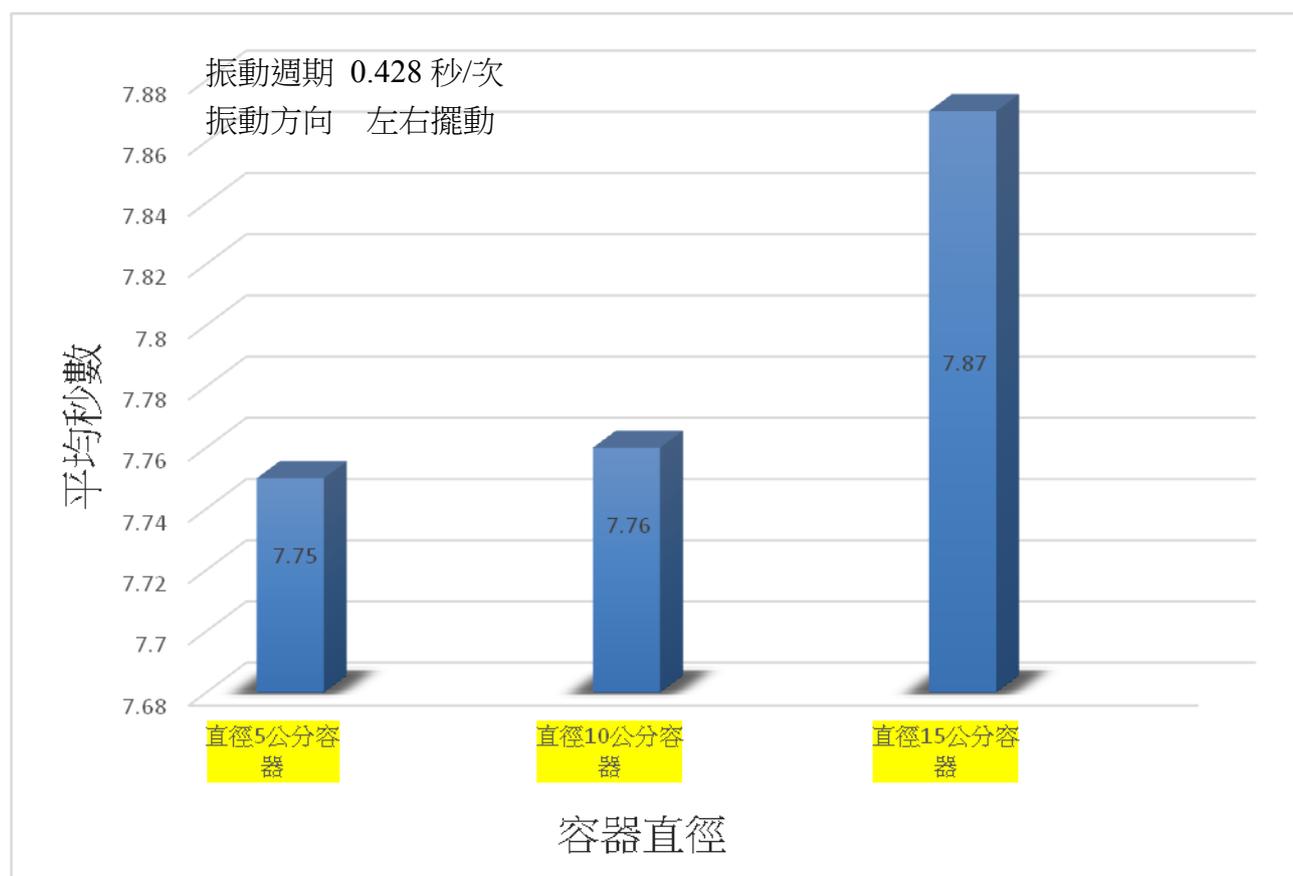


圖 20 固定重量 1246 克、水位高 6 公分，平均秒數與容器直徑關係圖

1. 從表 4 中的數據得知，直徑 15 公分圓柱體容器，阻尼效果最好。

2. 從表 4 中的數據得知，三種不同直徑圓柱體，阻尼效果相差不多。

討論:

1. 從表 4 中的數據發現圓柱體容器直徑 5 公分 7.75 秒、直徑 10 公分 7.76 秒、直徑 15 公分 7.87 秒其阻尼效果相差不大。因此，推論圓柱體容器直徑大小，影響阻尼效果之變異不大。

(五)探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用一層隔間，不同大小孔洞之阻尼效果。

表 5 固定液體高度及重量，使用一層隔間，不同大小孔洞倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

容器 次數	1 公分圓形孔洞	0.4 公分圓形孔洞	0.2x0.2 四方形孔洞
第一次	8.03	8.01	8.09
第二次	7.98	8.07	8.07
第三次	8.06	8.04	8.05
平均值	8.02	8.04	8.07

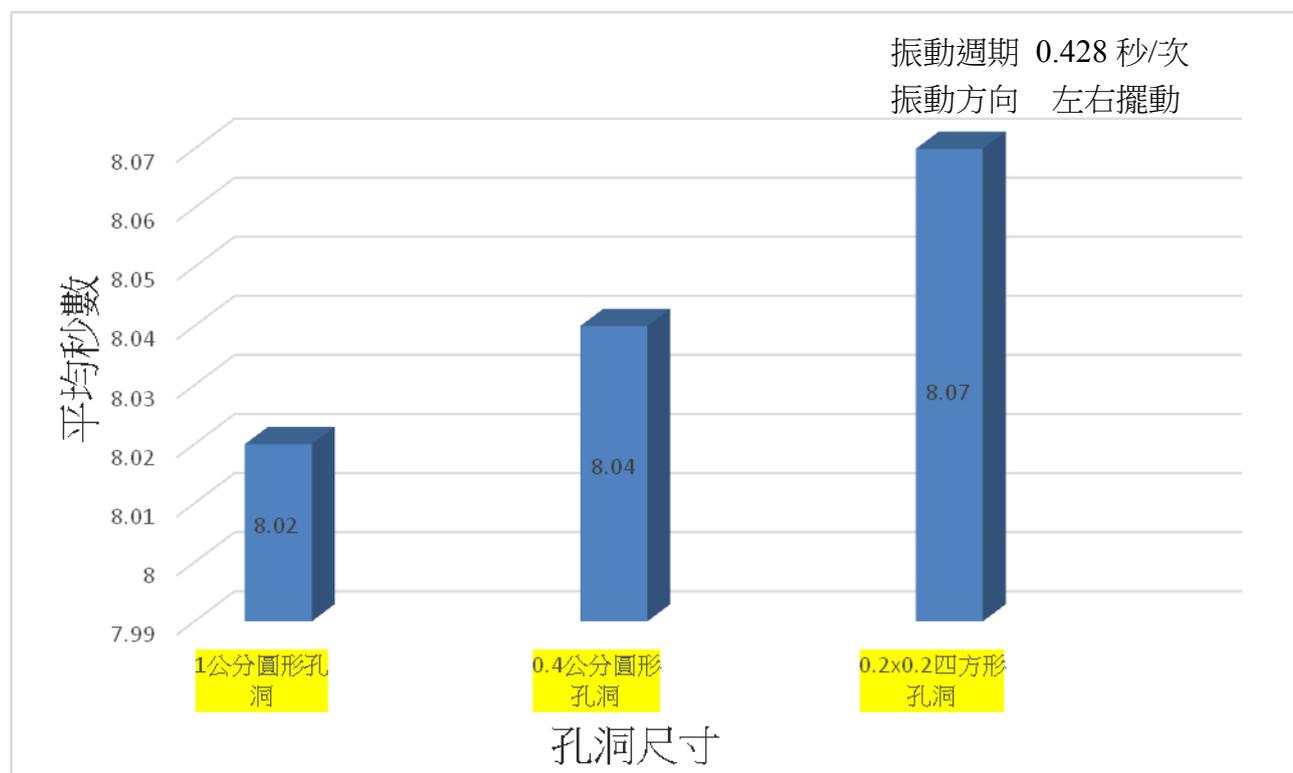


圖 21 固定重量 1293 克、水位高 6 公分，平均秒數與孔洞尺寸關係圖

1. 從表 5 中的數據發現，0.2 公分 x0.2 公分四方形孔洞阻尼效果最好，1 公分圓形孔洞阻尼效果最差。

討論:

1. 在圓柱體容器內，加裝一層隔間，其隔間孔洞圓形直徑 1 公分孔洞，阻尼效果最差，隔間孔洞 0.2 公分 x 0.2 公分四方形孔洞阻尼效果最好，推論，隔間孔洞圓形直徑 1 公分孔洞，孔洞較大，水的阻尼力小，液體流速快，紊流產生耗能作用小，因此阻尼效果差。隔間孔洞 0.2 公分 x 0.2 公分四方形孔洞較小，水的阻尼力大，液體流速慢，紊流產生耗能作用大，因此阻尼效果好，見圖 22 所示。

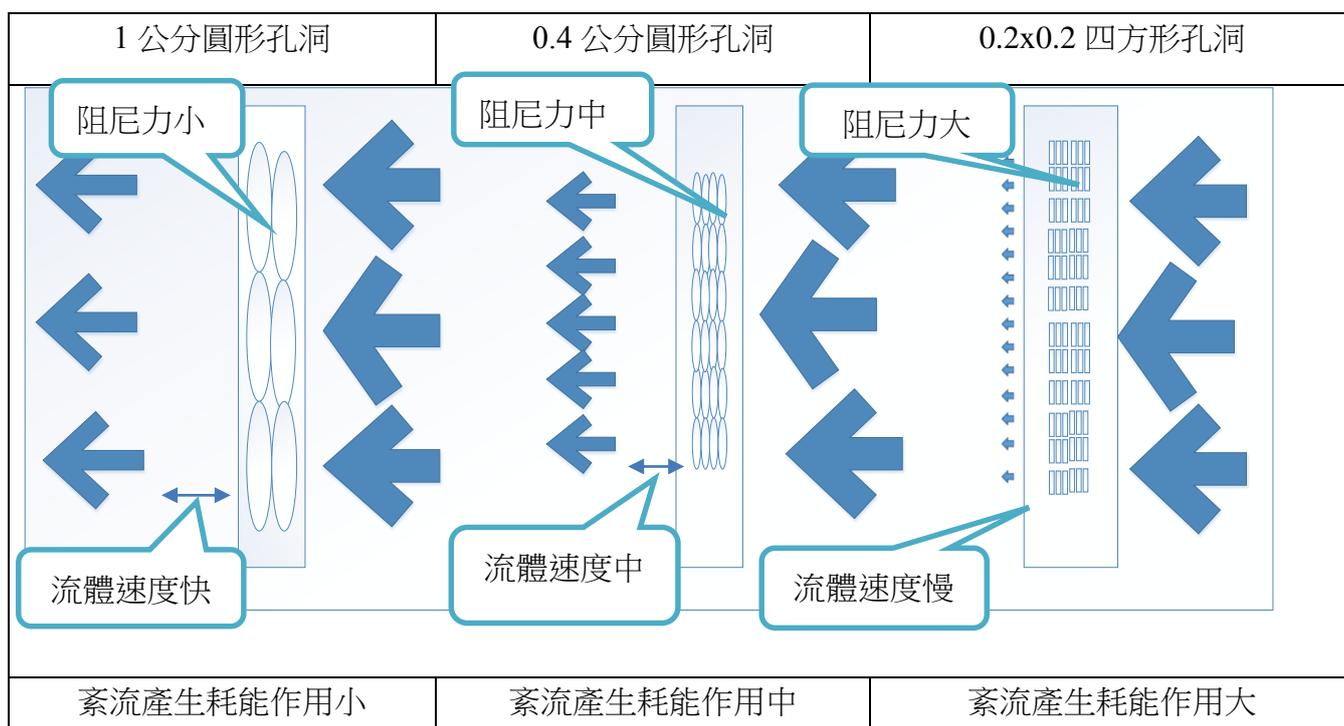


圖 22 容器隔間孔洞液體運動圖

(六)探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用二層隔間，不同大小孔洞之阻尼效果。

表 6 固定液體高度及重量，使用二層隔間不同大小孔洞倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

容器	1 公分圓形孔洞	0.4 公分圓形孔洞	0.2x0.2 四方形孔洞
第一次	8.55	8.6	8.57
第二次	8.48	8.53	8.61
第三次	8.52	8.57	8.66
平均值	8.51	8.56	8.61

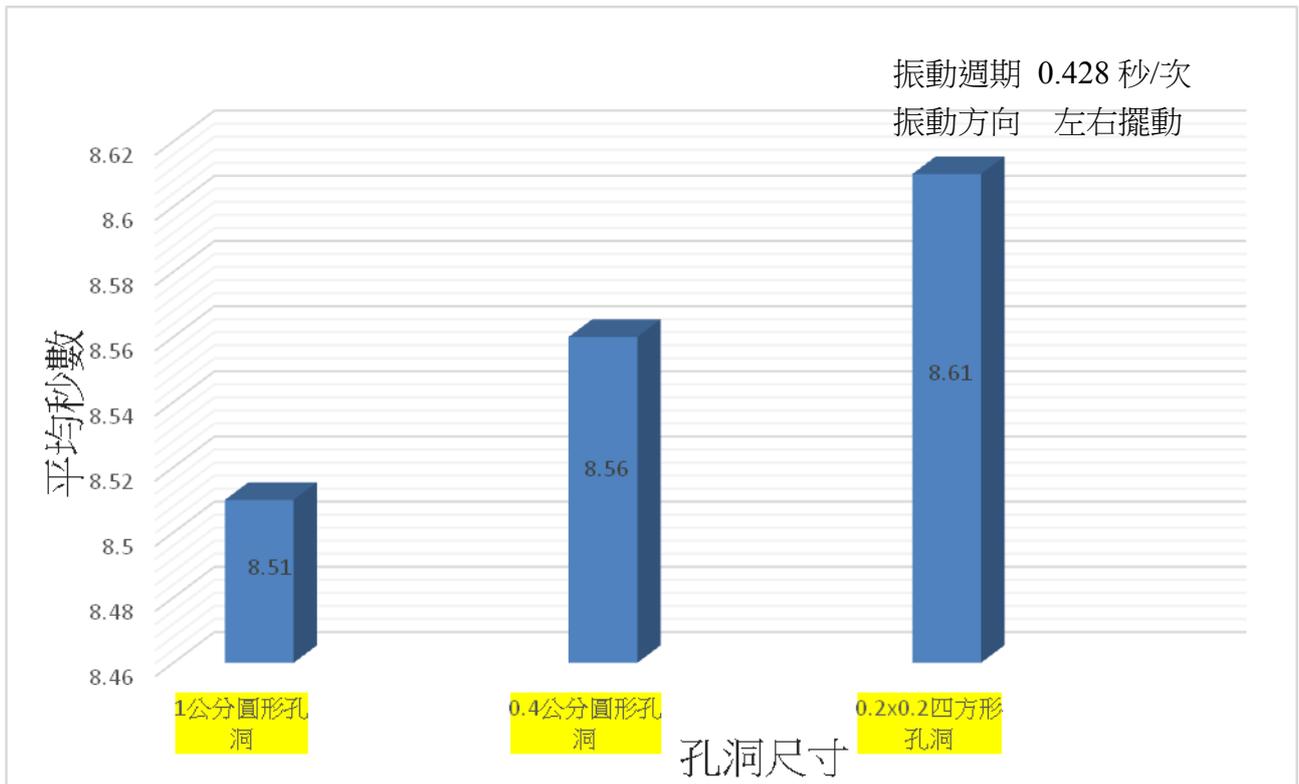


圖 23 固定重量 1324 克、水位高 6 公分，平均秒數與孔洞尺寸關係圖

1. 從表 6 中的數據發現，0.2x0.2 四方形孔洞阻尼效果最好。

討論:

1. 圓柱體容器內，加裝一層隔間與加裝兩層隔間，測試比較發現，加裝兩層隔間，阻尼效果是有提升的。推論加裝兩層隔間，能增加液體運動時的吸收或釋放能量，因此隔間孔洞是一種流體式的減振器。

(七)探討圓柱體容器內，固定液體高度及重量，使用三層隔間，不同大小孔洞之阻尼效果。

表 7 固定液體高度及重量，使用三層隔間，不同大小孔洞倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

容器 次數	1 公分圓形孔洞	0.4 公分圓形孔洞	0.2x0.2 四方形孔洞
第一次	8.77	8.88	8.98
第二次	8.9	8.94	9.08
第三次	8.68	9.01	9.02
平均值	8.78	8.94	9.02

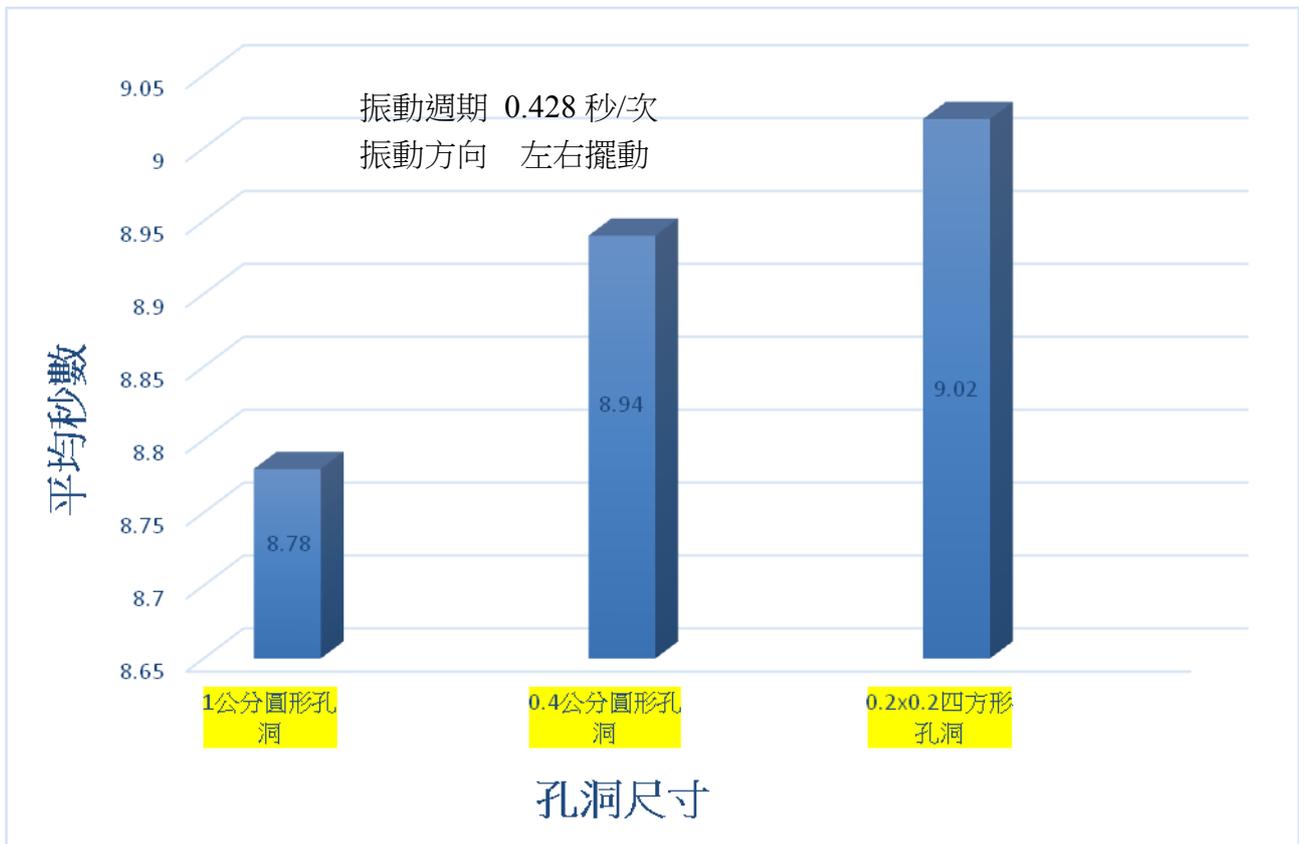


圖 24 固定重量 1341 克、水位高 6 公分，平均秒數與孔洞尺寸關係圖

1. 從表 7 中的數據發現，0.2 公分 x0.2 公分四方形孔洞阻尼效果最好。

討論:

1. 當水在沒有隔間的圓柱體內，受到外力振動的影響，形成螺旋波動時間較快，水的破碎現象較多，螺旋波動的波峰與波谷高低相差較大。在有三層孔洞隔間的圓柱體內，形成螺旋波動的時間較慢，水的破碎現象較小，螺旋波動的波峰與波谷高低相差較少。由本測試發現，孔洞隔間數越多，阻尼效果越好，孔洞隔間數與阻尼效果成正比。

(八)探討長方形容器內，固定液體高度及重量，不同長度之阻尼效果。

表 8 長方形容器固定液體高度及重量不同長度倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

波長 次數	0 公分	3 公分	6 公分	9 公分	12 公分	15 公分	18 公分
第一次	3.23	3.63	3.82	4.07	4.83	5.74	6.21
第二次	3.21	3.42	3.61	3.98	4.55	5.98	6.65
第三次	2.93	3.31	3.94	4.4	4.94	6.03	7.58
平均值	3.05	3.45	3.79	4.15	4.77	5.91	6.81

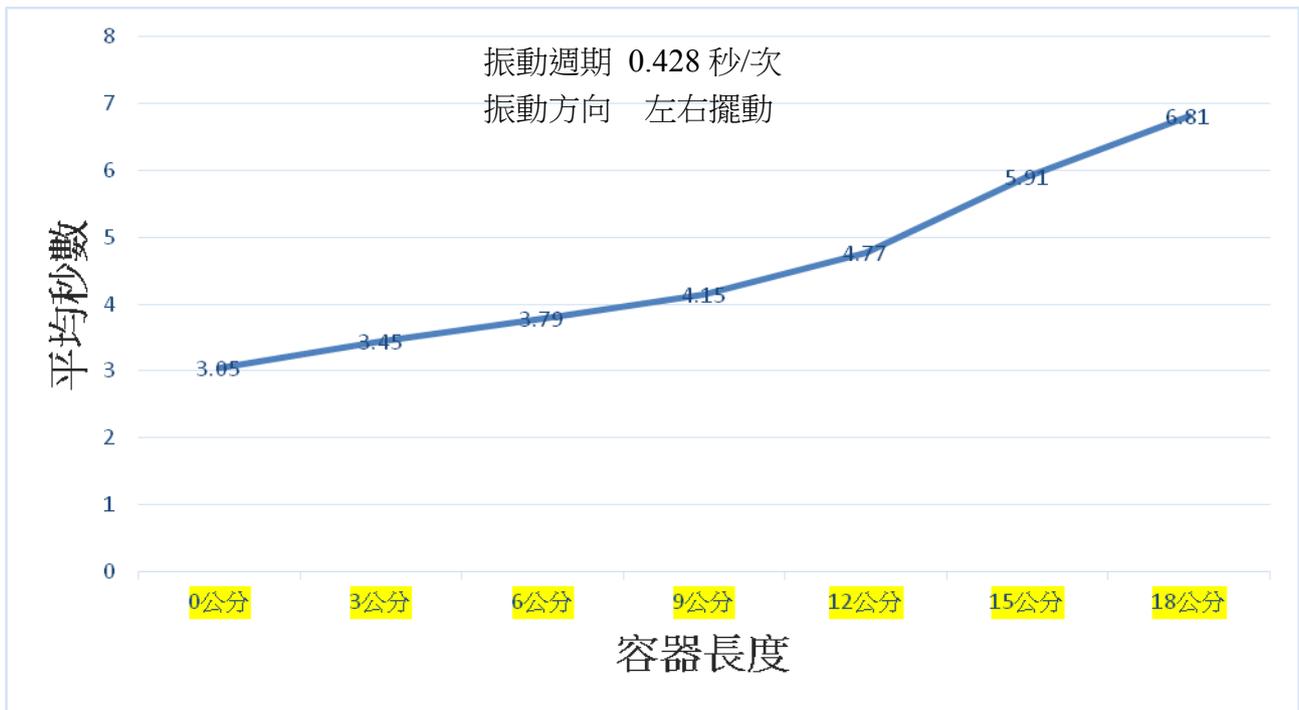


圖 25 固定重量 1495 克、水位高 6 公分，平均秒數與容器長度關係圖

1. 從表 8 中的數據發現，波動長度 18 公分，阻尼效果最好。

討論:

在長方形容器內，3 公分隔間容器倒塌秒數為 3.45 秒，波長 18 公分容器隔間倒塌秒數為 6.81 秒，兩者相差 3.36 秒，從表 8 數據中發現 3 公分隔間容器阻尼效果較差，波長 18 公分隔間容器阻尼效果較好。推論 3 公分隔間容器內，波動長度與空間不足，因此阻尼效果較差；波長 18 公分隔間容器內，因有足夠的波動長度與空間，讓水在容器內產生反作用力的波動，以達到相互抵消振幅，進而完成阻尼效果，如圖 26 所示。

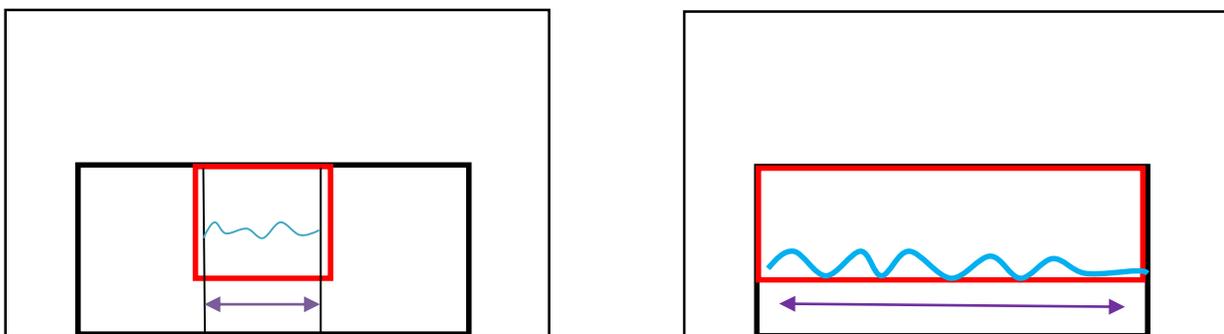


圖 26 波動長度與空間關係圖 紅色框內為波動空間，紫色線為波動長度

(九)探討固定質塊重量，不同懸吊長度之阻尼效果。

表 9 不同懸吊長度固定質塊重量倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

擺長 週期 次數	3.5 公分	4.5 公分	5.5 公分	6.5 公分	13 公分	19.5 公分	26 公分	32.5 公分	39 公分
第一次	3.98	4.02	4.48	4.03	3.7	3.28	2.92	2.46	1.92
第二次	3.86	4.46	4.21	4.52	3.65	3.17	3.03	2.65	2.34
第三次	4.03	4.23	4.3	4.27	3.84	3.45	2.85	2.17	1.72
平均值	3.95	4.23	4.33	4.27	3.73	3.3	2.93	2.42	1.99

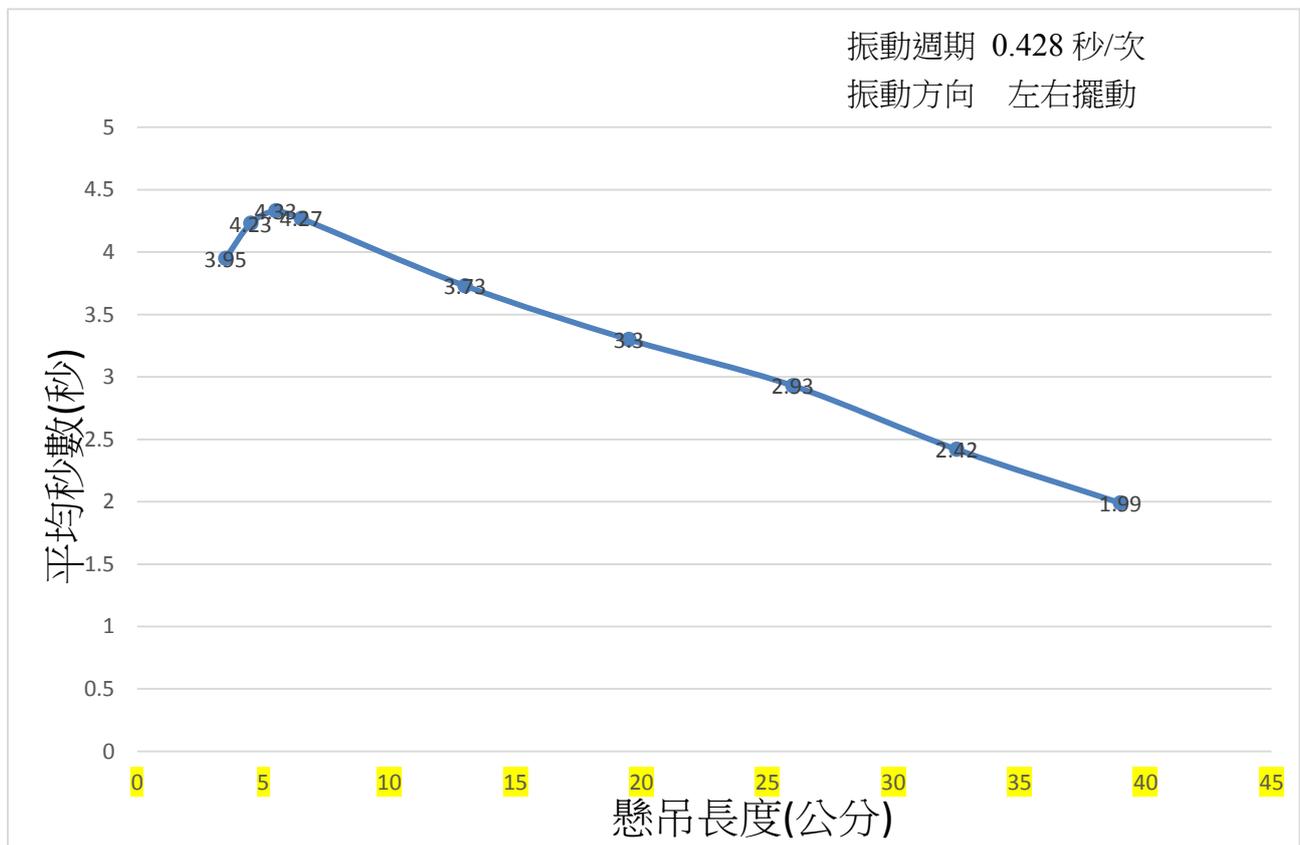


圖 27 固定質塊 88 克平均秒數與懸吊長度關係圖

從公式:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

T：週期、L：擺長、g：重力加速度

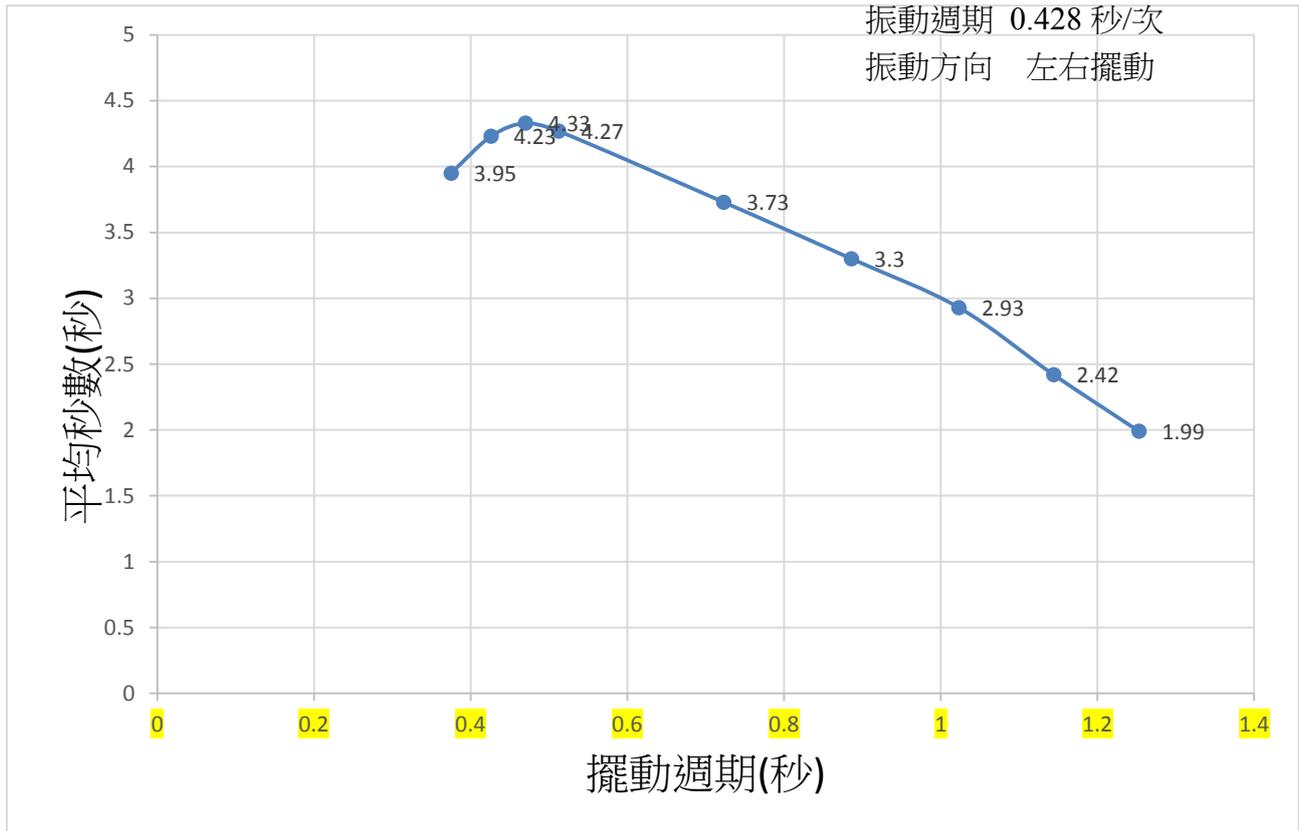


圖 28 固定質塊 88 克平均秒數與擺動週期關係圖

1. 表 9 中的數據發現，懸吊長度 39 公分阻尼效果最差，懸吊長度 5.5 公分阻尼效果最好。

討論：

由本實驗觀察現象：

- 擺長觀察現象：擺長 39 公分時，懸吊質塊，擺動速度較慢，擺動週期較長，擺動角度小；擺長 6 公分時，懸吊質塊擺動速度較快，擺動週期較短，擺動角度較大。由以上現象得知擺長越長，質塊擺動速度越慢，擺動周期越長，擺動的角度較小；擺長愈短，質塊擺動速度愈快，擺動週期愈短，擺動角度越大。
- 阻尼器欲產生最大效用，而擺盪頻率大約是結構擺盪頻率的 87%~100% 之間。頻率愈接近，阻尼器便會與結構共振，產生阻止結構運動的反力。與大樓的搖擺頻率愈接近，阻尼效果才會較好。張民豈，(2005)。
- 建築物觀察現象：
當模擬三層住家，建築物結構內，懸吊擺長 39 公分質塊時，質塊擺動速度越慢，建築物內每一層的四根木柱振動會比較大，建築物倒塌速度快。建築物結構內，懸吊擺長 6 公

分質塊時，質塊擺動速度快，建築物內每一層的四根木柱振動會比較小，建築物倒塌速度慢。由以上兩點觀察推論，當地震時，地震波會傳入建築物結構裡，沒有加裝調諧質塊阻尼器之建築物時，是建築物結構與地震波產生共振，因此建築物倒塌較快。有加裝調諧質塊阻尼器之建築物，是調諧質塊阻尼器與地震波產生共振，因此建築物倒塌較慢。

4. 在本實驗發現由圖 28 得知，擺長週期 1.253 阻尼效果最差，擺長週期 0.47 阻尼效果最好，模擬地震振動器設定振動週期為 0.428 秒/次，由以上兩者比較得知，擺長的週期愈接近，震盪器的週期之阻尼效果最好。(按照這個理論，應該要在擺長週期 0.426 秒/次效果最好，但是在實驗上確是擺長週期 0.47 阻尼效果最好，因此要檢討在實驗中，在綁尼龍線(釣魚線)時，所造成的 1 公分誤差。

(十)探討固定懸吊長度，不同質塊重量之阻尼效果。

表 10 不同質塊重量固定懸吊長度倒塌秒數紀錄表(單位:秒)

重量 秒數	44 克	88 克	132 克	176 克	220 克	264 克
第一次	3.92	4.08	5.03	5.32	5.85	6.05
第二次	4.06	4.45	5.18	5.24	5.62	5.76
第三次	4.12	4.28	4.98	5.4	5.73	6.12
平均值	4.03	4.27	5.06	5.32	5.73	5.97

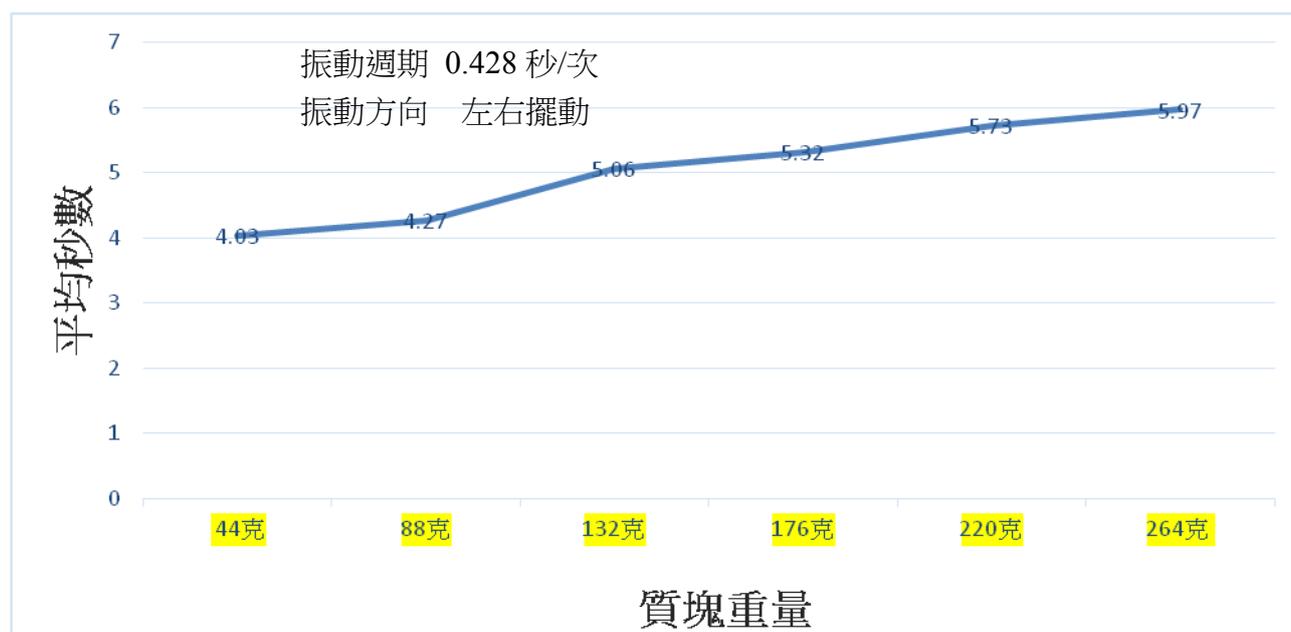


圖 29 固定擺長 6.5 公分平均秒數與質塊重量關係圖

1. 表 10 中的數據發現，12 片質塊 264 克阻尼效果最好。

討論：

根據我們的資料查詢，阻尼器欲產生最大效用，阻尼器質量大約為大樓結構的 2%，放置的阻尼器愈重，效果不一定更好，張民崑（2005）。而本實驗發現，懸吊質塊重量 44 公克，阻尼效果較差，懸吊質塊重量 264 克，阻尼效果較好，為何質塊重量 264 克阻尼效果較好呢？推論在同樣的條件下，分別懸吊 44 克質塊與 264 克質塊，同樣的擺動一個週期，44 克質塊耗能損耗較小，264 克質塊耗能損耗較大，因此 264 克質塊阻尼效果較好，但不能表示質塊愈重阻尼效果愈好，本次實驗最重質塊為 264 克，模擬三層樓住家，建築物結構總重為 1240 克，預估質塊重量與建築物結構重量，未超過阻尼器抗建築物重量比，如果質塊太重，會讓建築物結構破壞，阻尼效果必會變差。因設備與技術上的問題，無法做更進一步的探索與討論。

陸、結論

綜合以上實驗，我們可以得到以下之結論：

- (1) 以不同形狀容器來實驗則以圓柱體容器阻尼效果最好。
- (2) 當容器固定為圓柱體，改變容器內液體高度來實驗則發現，有控制重量時以液面高度 6.5 公分阻尼效果最好，當無控制重量時以液面高度為 8 公分阻尼效果最好。
- (3) 以不同直徑，但液面高度相同的圓柱體容器來實驗，則直徑 15 公分阻尼效果最好。
- (4) 以不同大小孔洞，且不同層次來實驗，即在圓柱體容器內，加裝不同層次的孔洞隔間，則以孔洞 0.2 公分 x 0.2 公分的三層隔間阻尼效果最好。
- (5) 若在建物上方懸吊不同長度、相同重量的懸吊質塊來實驗，則擺長的週期越接近震盪器的週期，阻尼效果最好。若擺長固定，改變懸吊質塊的重量來實驗，則以質塊越重的，阻尼效果最好。

台灣為處於歐亞與菲律賓海板塊地震帶，時常遭受地震天災的侵襲，如前陣子的美濃大地震，在成台南多戶名宅倒塌，但過去阻尼器大都運用在高樓建築上，確忽略了一般住家，希望能藉由這次實驗，能把水塔減震的阻尼器再深入的研究探討，並運用在未來的建築物上，帶給更多人安全的家。

柒、參考資料

康軒版國小自然（六上）第一單元 地震對地表的影響

幼福（2005）。自然科學一本通。台北：幼福。

阻尼器。網址 <http://www.twwiki.com/wiki/%E9%A2%A8%E9%98%BB%E5%B0%BC%E5%99%A8>

台北 101 網頁。網址 <http://www.taipei-101.com.tw/observatory.aspx>

張民豈(2005)。淺談調諧質量阻尼器。 <http://www.ceci.org.tw/book/67/67bk11a.htm>

【評語】 080109

由參考的研究去發想，在過程中設計新的隔網結構，概念新穎且具應用價值。可再將共振的概念加入設計中。