

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

探究精神獎

030120

浮屋減振定錨設計之研究

學校名稱：臺中市立大甲國民中學

作者： 國二 李宜哲 國二 莊易 國二 史代宇	指導老師： 楊鍾鳴 黃宥儒
--	-----------------------------

關鍵詞：駐波節點、重心、加速度

摘要

本研究目的在找出浮屋定錨系統最佳避振的懸吊系統裝置方式。研究發現串接的定錨設計方式，且上重下輕能有效的減少晃動。在水深度不深的情況下，水下的懸掛物越重(但不可超過浮力)、越深，並且放置在與波前垂直的重心線兩側可以減少許多水平方向的衝擊。經過實驗數據的檢視與物理駐波的討論，發現串接的懸吊系統其懸吊物擺放在節點處可以大大的降低晃動。本研究依據物理公式 $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ 與 $v = f \lambda$ 推算出懸掛物的節點位置，實際安裝後減振率達 50% 以上。振波藉由繫繩傳遞能量，而配重的定錨在節點處提供繩張力並且穩定的振動，利用繩的振動來消耗振波的能量，繩上的浮球可以降低繩張力並增加振波能量的消耗。文末並提出其他減少晃動的可能性建議。

壹、研究動機

荷蘭發展「漂浮城市」，各大新聞和報導皆有提及，我們從中得知有些浮屋會因為水波起伏，導致浮屋的穩定性不佳。而我們知道 101 大樓上有類似單擺的阻尼器與船錨，因此想到是否能夠利用類似的結構來為浮屋抗振，提高安全性和居住的舒適度。本研究希望能夠透過實驗驗證，並推理出實際可以應用於工程的應用模式。

貳、研究目的與問題

我們知道，配重物可以增加設備的慣性，減少搖晃的程度，配重物是否在特殊的位置剛好能減少搖晃的程度並藉由棉繩吸收傳遞的能量。因此我們針對配重物和是否有固定的物理模式提出以下的問題：

- 一、不同配重物的質量對減振率有何影響？
- 二、配重在水面下深淺對減振率有何影響？
- 三、平均分佈配重物重量位置對減振率有何影響？
- 四、配重物串接方式減振率有何影響？
- 五、配重物串接位置對減振率有何影響？
- 六、是否有物理模式可以應用？

參、研究設備及器材

一、應用軟體:Vibrometer 與 phyphox APP

二、一般設備:

透明膠帶x1	絕緣膠帶x1	棉繩x1	電子秤x1
直尺x1	電池x2	腳架x1	剪刀x1
螺絲x4	電池盒x1	乒乓球x2	壓克力板x1
智慧型手機x1	壓克力水管x1	馬達x1	電路板x1
水槽x1	雙面膠x2	美工刀x1	珍珠板x10
5g 砝碼x10	20g 砝碼x10	50g 砝碼x10	100 克砝碼x10

三、特殊設備：

(一)配重懸掛系統

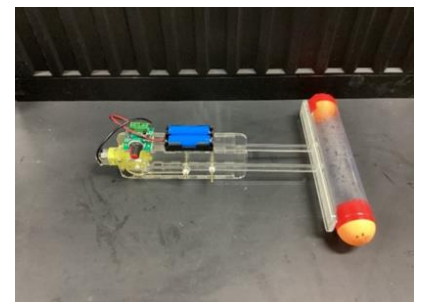
用以置入水槽偵測抗振程度。由珍珠板、棉繩、智慧型手機組成，重 235g。有四種，分別為正方形浮板、長方形浮板、圓形浮板、正方形浮屋。在正方形浮屋下，我們安裝舵面使其能夠測量單一 Y 方向的加速度。

如圖：



(二)起波器

此裝置設有變頻器能夠依據我們所需的頻率去製造我們想要的水波。由壓克力板、馬達、電路板、螺絲、電池盒、乒乓球、壓克力管組成，寬 22.5 長 32.5 公分。由 2 顆 14500 鋰電池串聯驅動 TT 馬達。使用齒輪箱比 1:120 時，再 8.2V 下的起波頻率為 2Hz；使用齒輪箱比 1:48 時，在 8.2V 下的起波頻率為 3Hz 如圖：



(三)水槽

我們使用 1000L 容量的大塑膠桶為容器，深 110cm，直徑 120cm，內側貼有海綿減少回波。



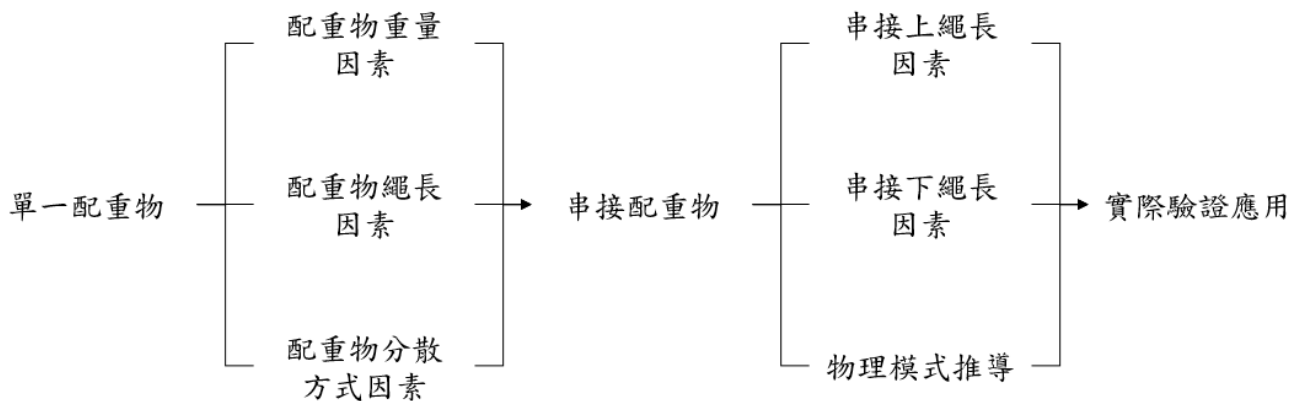
(四)駐波節點模擬裝置

我們使用起波器水平方向振動，改變串接的配重物繩長進行實驗五的模擬實驗與公式推導驗證。



肆、研究過程

一、實驗流程



二、實驗步驟

(一) 實驗一：不同配重的質量對抗振程度有何影響？

我們使用不同質量的配重物進行實驗，分別有：0g、50g、100g、150g、200g、250g

將裝置、水波器定位，如圖例：

同時啟動 Vibrometer 程式和水波器紀錄數據變化。紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。更換不同的質量比，繼續進行實驗。



※減振率的定義：我們以無任何配重物之空浮屋五次平均最大加速度基準 A，每次實驗之平均最大加速度 B。則減振率 (%) = $(A-B)/A * 100\%$

(二) 實驗二：配重物在水面下深淺對抗振程度有何影響？

我們使用不同的配重物繩長進行實驗，分別有：0cm、5cm、10cm、15cm、20cm

將裝置、水波器定位。同實驗一

同時啟用 Vibrometer 程式和水波器紀錄數據變化。

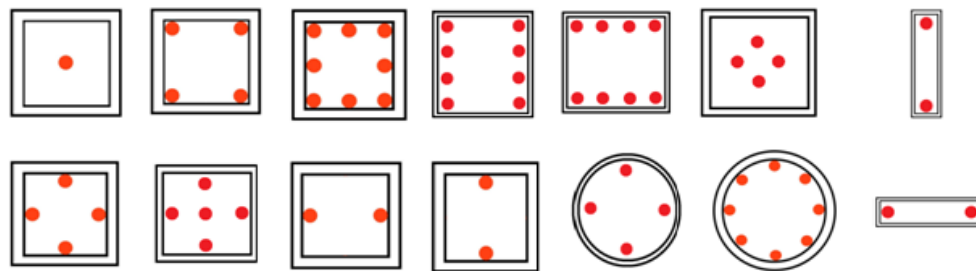
紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

更換不同的配重物繩長，繼續進行實驗。

(三) 實驗三：配重物分佈位置對抗振程度有何影響？

我們使用配重物相同質量不同分布方式進行實驗。

如圖：



將裝置、水波器定位。同實驗一

同時啟動 Vibrometer 程式和水波器紀錄數據變化。

記錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

更換不同分佈方式，繼續進行實驗。

(四)實驗四：配重物串接方式對抗振程度有何影響？

依據前面三個實驗來串接配重物，分別為兩側 100、50+50、25+75、75+25，在不同串接情況下量取 Y 方向與 Z 方向的加速度值。

(五)實驗五之一：懸掛物上重下輕的串接時改變第一段繩長對抗振程度有何影響？

我們使用不同的上方繩長進行實驗，分別有：10cm、20 cm、30 cm、40 cm、50cm、60 cm、70 cm

將裝置、水波器定位。

同時啟用 phyphox 程式和水波器紀錄數據變化。

記錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

更換第一段的繩長，繼續進行實驗。

實驗五之二：駐波節點影響晃動的驗證實驗

我們使用不同的上方繩長進行實驗，分別有：10cm、20 cm、30 cm、40 cm、50cm、60 cm、70 cm

將裝置、水波器定位。

同時啟用綠影功能和水波器紀錄數據變化。

記錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

更換第一段的繩長，繼續進行實驗。

實驗五之三：懸掛物上重下輕的串接時改變第二段繩長對抗振程度有何影響？

我們使用不同的下方繩長進行實驗，分別有：10cm、20 cm、30 cm、40 cm、50cm、60 cm、70 cm

將裝置、水波器定位。

同時啟用 phyphox 程式和水波器紀錄數據變化。

記錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

更換第二段的繩長，繼續進行實驗。

實驗五之四：駐波節點影響晃動的驗證實驗

我們使用不同的下方繩長進行實驗，分別有：10cm、20 cm、30 cm、40 cm、50cm、60 cm、70 cm

將裝置、水波器定位。

同時啟用綠影功能和水波器紀錄數據變化。

記錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

更換第二段的繩長，繼續進行實驗。

(六)我們經由與繩張力相關的物理公式來推測定錨懸掛系統的駐波節點位置來安裝串接的定錨系統，來了解抗振效果如何？詳細的系統安裝方式見實驗五後的問題討論。

伍、研究結果

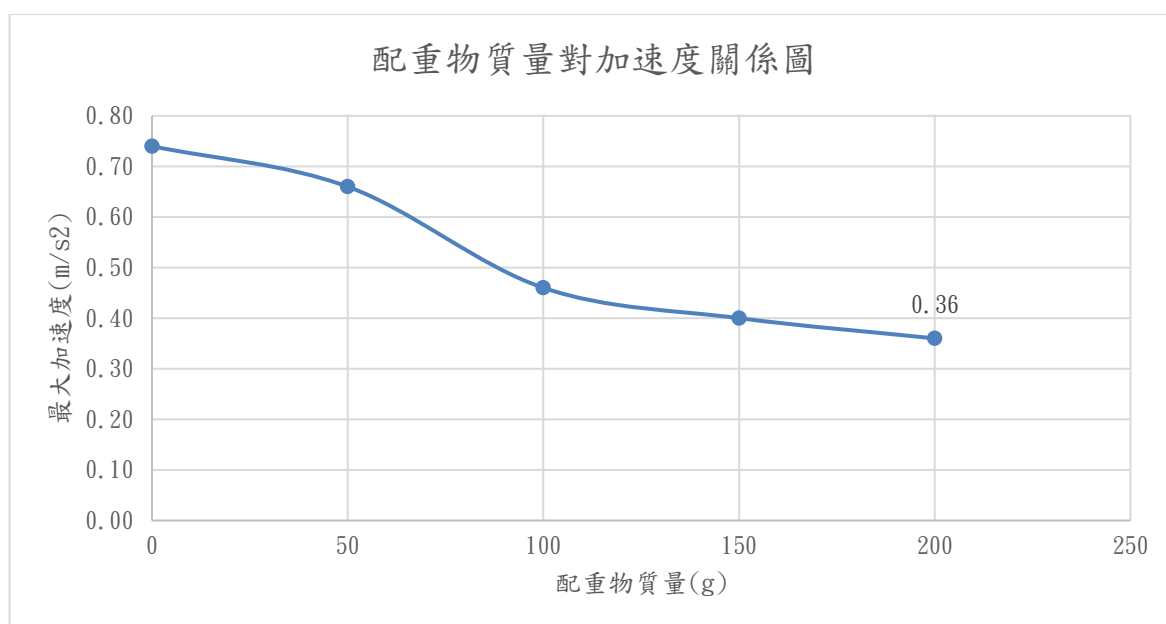
一、實驗一：不同配重物的質量對抗振程度有何影響？

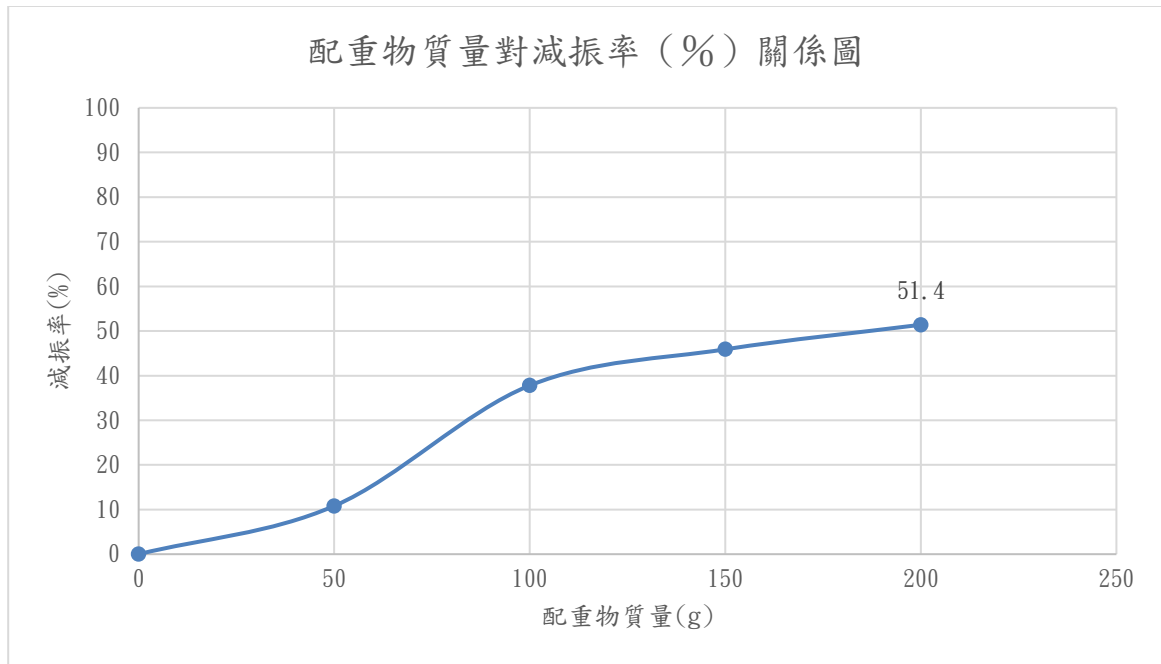
控制變因：配重物於浮板正下方深 10cm、配重數x1、浮屋重 235g、水深 24cm

操縱變因：改變不同配重的質量

研究結果：

配重物重量(g)		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率 (%)
0	最大加速度(m/s ²)	0.90	0.80	0.60	0.80	0.60	0.74	0.0
50	最大加速度(m/s ²)	0.70	0.50	0.90	0.70	0.50	0.66	10.8
100	最大加速度(m/s ²)	0.50	0.40	0.50	0.50	0.40	0.46	37.8
150	最大加速度(m/s ²)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	45.9
200	最大加速度(m/s ²)	0.30	0.40	0.40	0.30	0.40	0.36	51.4





小結：

1. 當配重物質量越大所得的最大加速度值越小，其抗振效果越好。
2. 隨著配重物的質量增加其減振率越高，但有趨於平緩的趨勢。

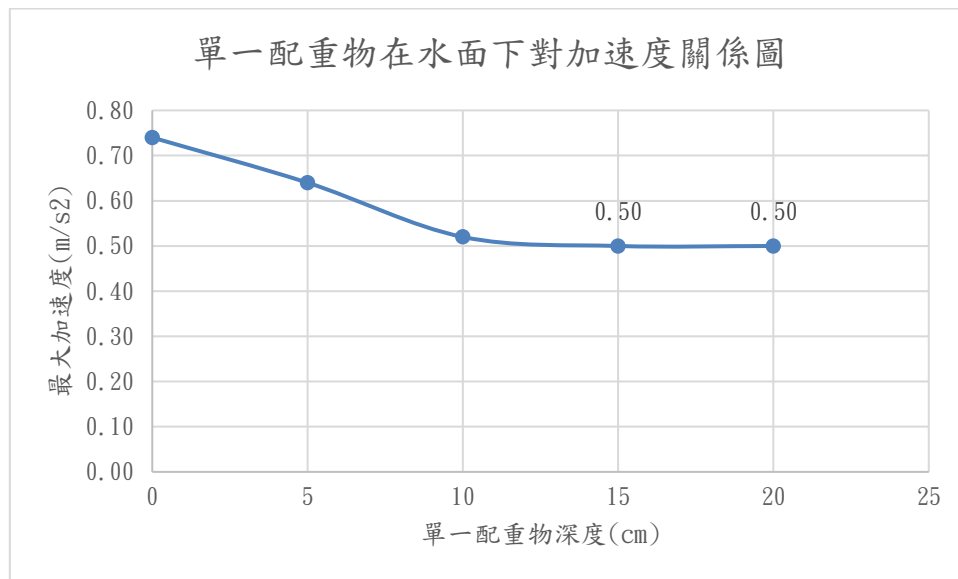
二、實驗二：配重物在水面下的深淺對抗振程度有何影響？

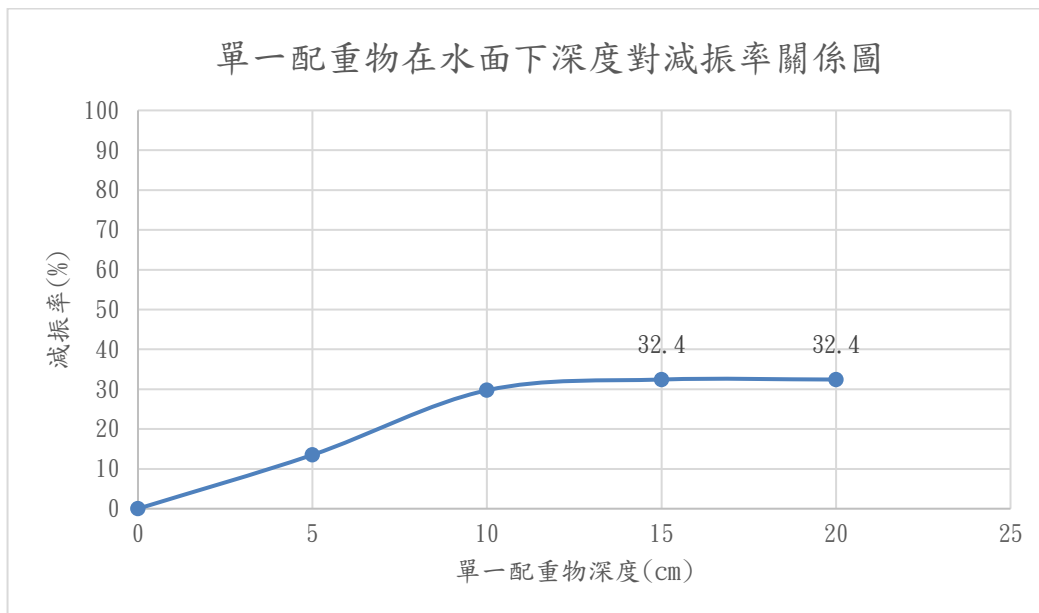
控制變因：配重物重 200g 在浮屋正下方、浮板重 235g、水深 24cm、配重數x1

操縱變因：改變配重物深淺

研究結果：

配重物深度(cm)		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率(%)
0	最大加速度 (m/s ²)	0.90	0.80	0.60	0.80	0.60	0.74	0.0
5	最大加速度 (m/s ²)	0.60	0.70	0.60	0.60	0.70	0.64	13.5
10	最大加速度 (m/s ²)	0.50	0.60	0.40	0.40	0.70	0.52	29.7
15	最大加速度 (m/s ²)	0.60	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	32.4
20	最大加速度 (m/s ²)	0.40	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	32.4





小結：

1. 單一配重物時，配重物在水面下越深處其減振率越好。
2. 隨配重物深度越深，減振率有趨緩的程度變化。

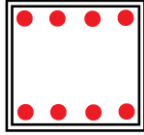
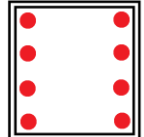
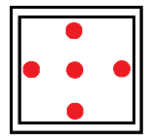


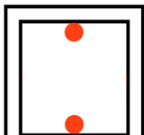
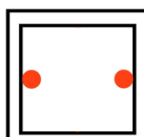
三、實驗三：配重物分佈方式對抗振程度有何影響？

控制變因：配重物在浮屋正下方、配重物 200g、浮板重 235g、水深 24cm、配重在水面下 15cm

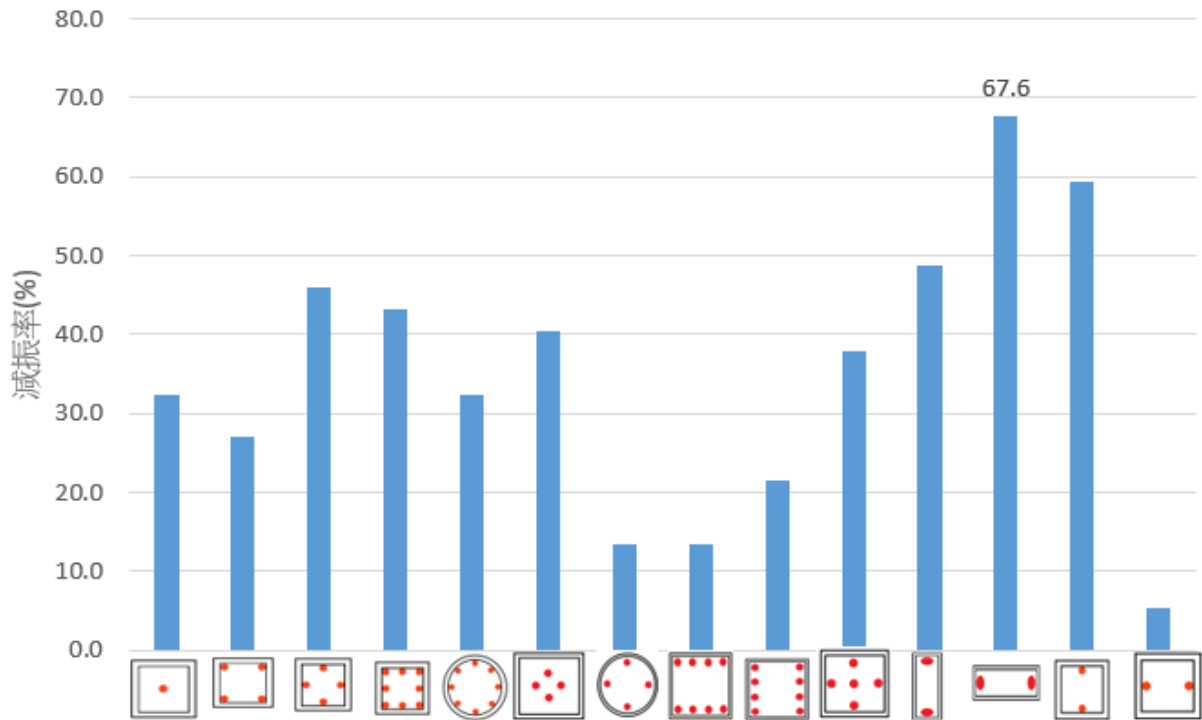
操縱變因：改變配重分佈方式

研究結果：









配重物分佈方式		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率 (%)
	最大加速度 (m/s^2)	0.60	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	32.4
	最大加速度 (m/s^2)	0.60	0.40	0.70	0.50	0.50	0.54	27.0
	最大加速度 (m/s^2)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	43.2
	最大加速度 (m/s^2)	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.42	13.5
	最大加速度 (m/s^2)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	21.6
	最大加速度 (m/s^2)	0.40	0.50	0.40	0.40	0.50	0.44	40.5
	最大加速度 (m/s^2)	0.60	0.50	0.60	0.70	0.80	0.64	45.9

	最大加速度 (m/s^2)	0.70	0.60	0.60	0.70	0.60	0.64	37.8
	最大加速度 (m/s^2)	0.70	0.60	0.80	0.40	0.40	0.58	59.5
	最大加速度 (m/s^2)	0.40	0.50	0.40	0.50	0.50	0.46	38.0
	最大加速度 (m/s^2)	0.30	0.40	0.50	0.40	0.30	0.38	13.5
	最大加速度 (m/s^2)	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.24	14.9
	最大加速度 (m/s^2)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	54.1
	最大加速度 (m/s^2)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	48.6

配重物分佈方式對減震率(%)關係圖



小結：

1. 從    的實驗結果比較顯示，當配重分佈在與波前方向成垂直的兩側時都可以有明顯的減振率。
2. 從   的實驗結果比較顯示，當配重集中分布在中心兩側有較好的減振率。
3. 從    的實驗結果比較顯示，當配重物越遠離外側有較好的減振率。

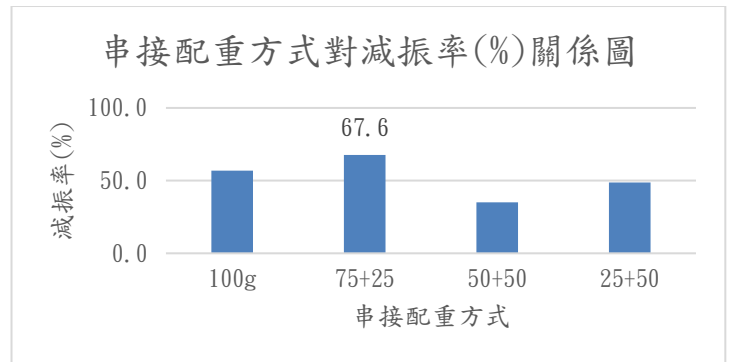
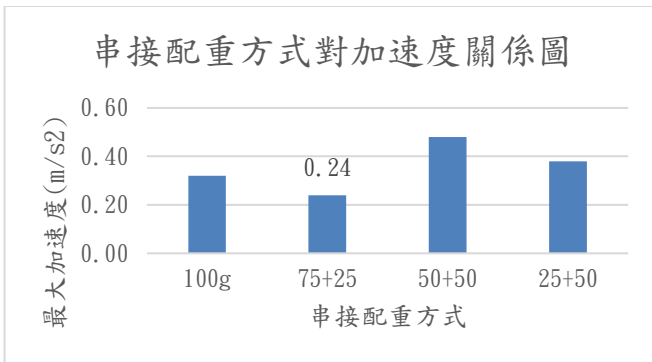
四、實驗四：配重物串接方式對抗振程度有何影響？

控制變因：浮屋重 235g、配重物於兩側上配重物深 7.5cm 深下配重物深 15cm、水深 24cm

操縱變因：改變配重物配重物上下方質量

研究結果：

配重物串接方式		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率 (%)
100g	y 最大加速度 (m/s ²)	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.32	56.8
75+25	y 最大加速度 (m/s ²)	0.30	0.20	0.20	0.30	0.20	0.24	67.6
50+50	y 最大加速度 (m/s ²)	0.50	0.50	0.40	0.50	0.50	0.48	35.1
25+50	y 最大加速度 (m/s ²)	0.30	0.30	0.40	0.40	0.50	0.38	48.6



小結：

1. 配重物串接時，且上為 75g 下為 25 時有最好的減振率。

五、實驗五之一：懸掛物上重下輕的串接時改變第一段繩長對抗振程度有何影響？

控制變因：浮屋重 235g、上配重物 100g、下配重物 20g、第二段繩長 30cm、水深 110cm、水波器頻率 3Hz

操縱變因：改變串接時第一段繩長

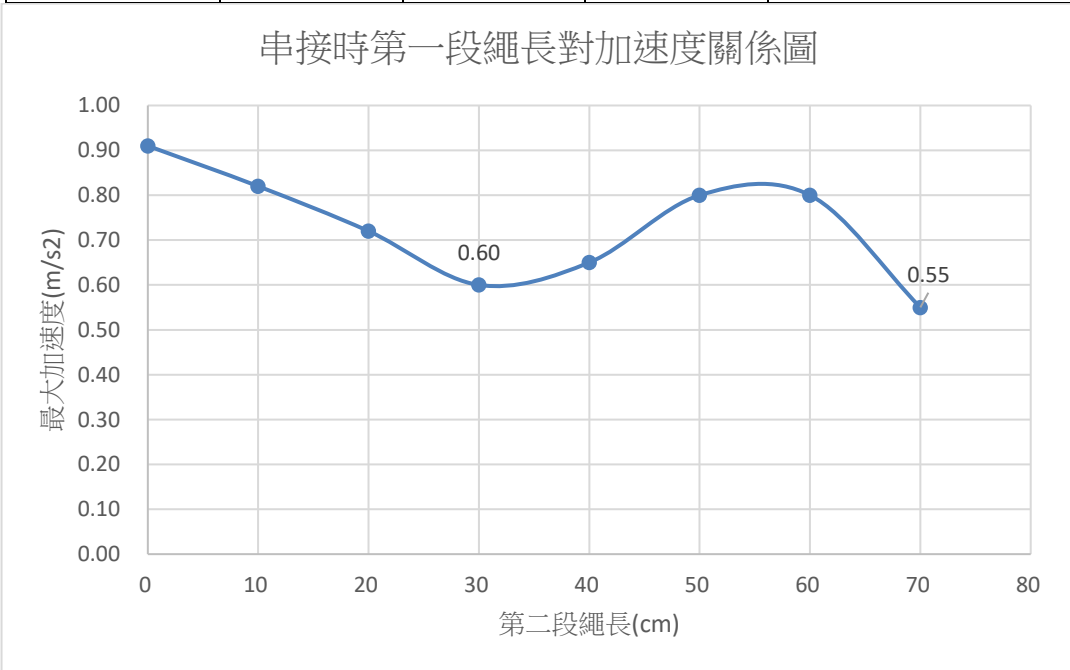
研究結果：

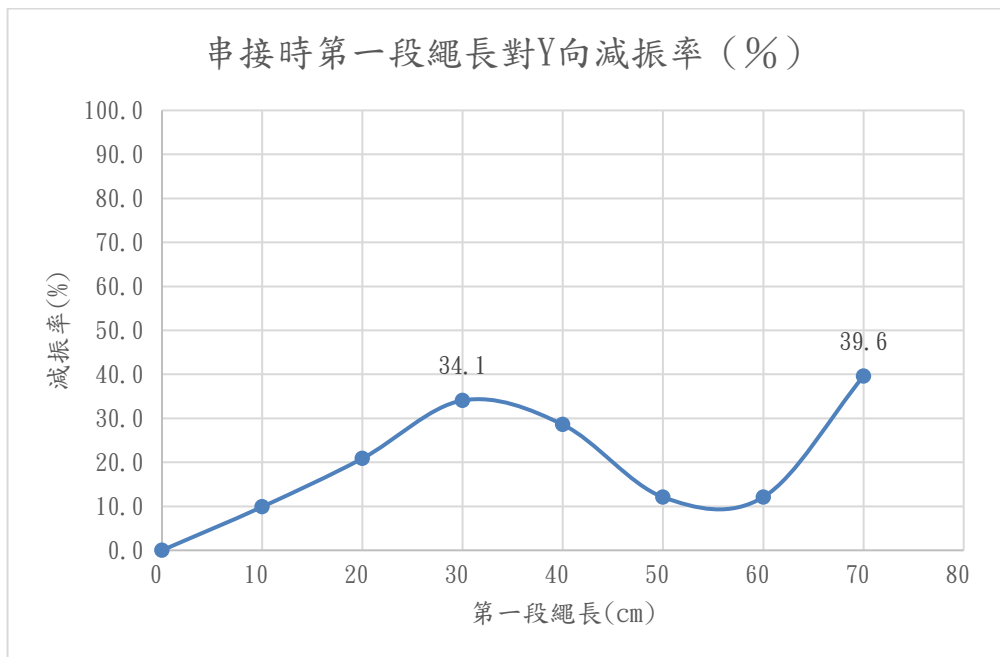
配重物第一段繩長(cm)		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
0	x 最大加速度(m/s ²)	0.19	0.22	0.16	0.23	0.20	0.20
	y 最大加速度(m/s ²)	0.90	0.93	0.87	0.89	0.94	0.91
	z 最大加速度(m/s ²)	9.48	9.75	9.80	9.75	9.73	9.70
10	x 最大加速度(m/s ²)	0.20	0.22	0.25	0.23	0.22	0.23
	y 最大加速度(m/s ²)	0.82	0.86	0.78	0.84	0.78	0.82
	z 最大加速度(m/s ²)	9.70	9.78	9.67	9.72	9.74	9.72
20	x 最大加速度(m/s ²)	0.18	0.30	0.16	0.25	0.21	0.22
	y 最大加速度(m/s ²)	0.70	0.78	0.69	0.74	0.68	0.72
	z 最大加速度(m/s ²)	9.71	9.69	9.76	9.80	9.79	9.75
30	x 最大加速度(m/s ²)	0.16	0.16	0.27	0.30	0.25	0.23
	y 最大加速度(m/s ²)	0.62	0.61	0.58	0.55	0.65	0.60
	z 最大加速度(m/s ²)	9.84	9.83	9.81	9.82	9.74	9.81
40	x 最大加速度(m/s ²)	0.30	0.19	0.17	0.20	0.36	0.24
	y 最大加速度(m/s ²)	0.65	0.58	0.58	0.61	0.80	0.64
	z 最大加速度(m/s ²)	9.69	9.80	9.76	9.72	9.66	9.73
50	x 最大加速度(m/s ²)	0.31	0.21	0.23	0.31	0.26	0.26
	y 最大加速度(m/s ²)	0.83	0.78	0.76	0.87	0.88	0.82
	z 最大加速度(m/s ²)	9.74	9.76	9.80	9.76	9.81	9.77
60	x 最大加速度(m/s ²)	0.31	0.21	0.23	0.31	0.26	0.26
	y 最大加速度(m/s ²)	0.73	0.89	0.85	0.75	0.90	0.82
	z 最大加速度(m/s ²)	9.74	9.76	9.80	9.76	9.81	9.77

70	x 最大加速度(m/s ²)	0.31	0.23	0.25	0.27	0.29	0.27
	y 最大加速度(m/s ²)	0.50	0.47	0.60	0.62	0.54	0.55
	z 最大加速度(m/s ²)	9.82	9.82	9.73	9.77	9.66	9.76

上繩長	X(m/s ²)	Y(m/s ²)	Z(m/s ²)	Y 向減振率 (%)
0	0.20	0.91	9.77	0.0
10	0.23	0.82	9.72	9.9
20	0.22	0.72	9.75	20.9
30	0.23	0.60	9.81	34.1
40	0.28	0.65	9.74	28.6
50	0.27	0.80	9.78	12.1
60	0.27	0.80	9.78	12.1
70	0.28	0.55	9.77	38.5

串接時第一段繩長對加速度關係圖





小結：

1. 上繩長在 30cm 與 70cm 處有最佳的減振率。

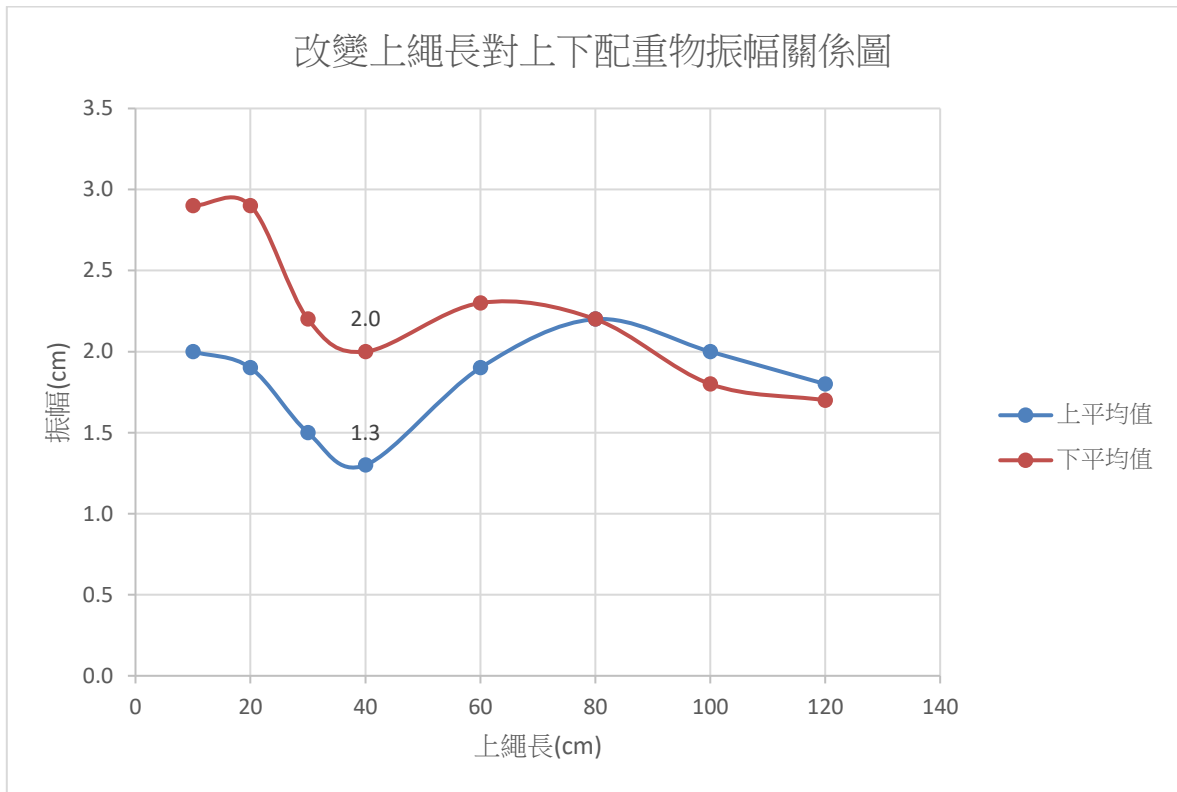
六、實驗五之二：第一段駐波節點影響晃動的驗證實驗

控制變因：上配重物 100g、下配重物 20g、第二段繩長 30cm、水波器頻率 3Hz

操縱變因：改變串接時第一段繩長

研究結果：

配重物第一段繩長(cm)		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
10	上配重物搖晃幅度(cm)	1.7	2.0	2.1	2.2	1.8	2.0
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.9	3.0	3.1	2.9	2.8	2.9
20	上配重物搖晃幅度(cm)	1.8	2.1	2.0	1.9	1.8	1.9
	下配重物搖晃幅度(cm)	3.0	2.6	3.1	3.0	2.7	2.9
30	上配重物搖晃幅度(cm)	1.2	1.5	1.7	2.0	1.3	1.5
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	3.1	2.1	2.0	2.2
40	上配重物搖晃幅度(cm)	1.1	2.0	1.2	1.1	1.0	1.3
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.5	2.1	2.1	2.0	1.3	2.0
60	上配重物搖晃幅度(cm)	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6
	下配重物搖晃幅度(cm)	1.2	2.1	2.9	2.4	3.1	2.2
80	上配重物搖晃幅度(cm)	2.4	2.0	1.9	2.1	2.5	2.2
	下配重物搖晃幅度(cm)	3.0	2.0	1.2	2.6	2.0	2.2
100	上配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.1	2.5	1.1	1.0	2.1	1.8
120	上配重物搖晃幅度(cm)	2.2	1.0	2.0	1.8	2.0	1.8
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.5	1.2	1.5	1.2	2.0	1.7



小結：

1. 上繩長在 40cm 與 120cm 時配重物有較小的振幅。
2. 上繩長的長度越長振幅越來越小。
3. 上繩長在 60cm 內，上配重物的振幅比下配重物的振幅大。

七、實驗五之三：懸掛物上重下輕的串接時改變第二段繩長對抗振程度有何影響？

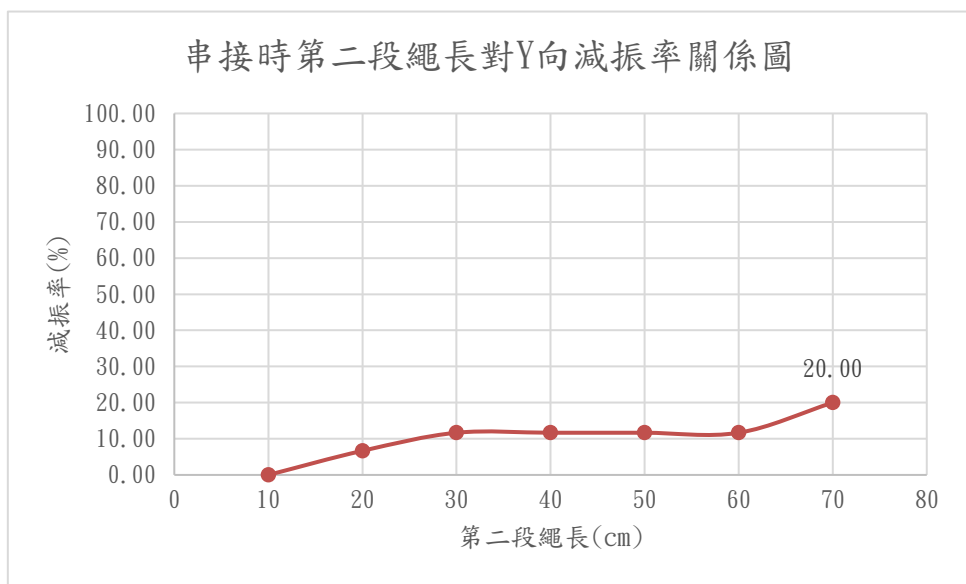
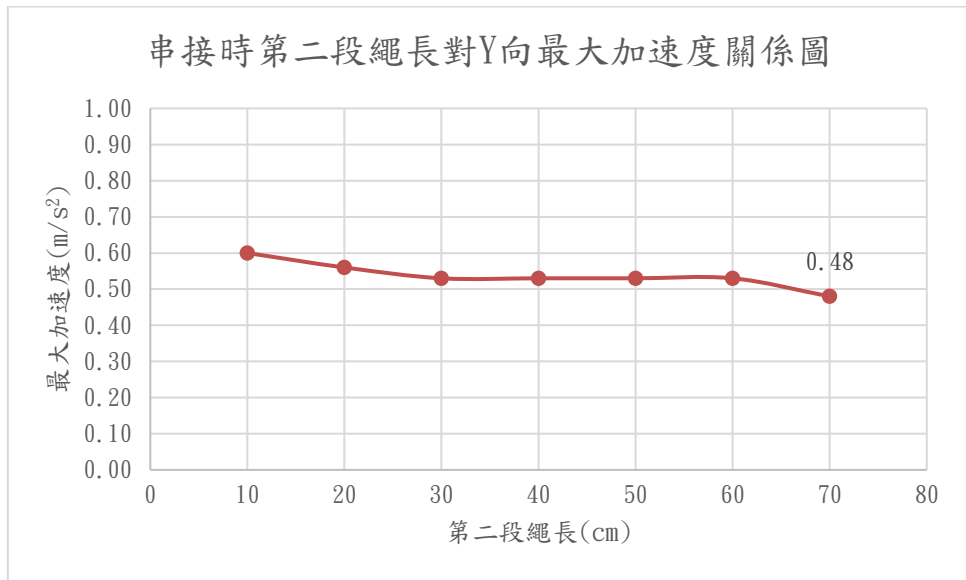
控制變因：上配重物 120g、下配重物 20g、第一段繩長 30cm、水波器頻率 3Hz

操縱變因：改變串接時第二段繩長

研究結果：

配重物第二段繩長(cm)		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
10	x 最大加速度(m/s ²)	0.28	0.26	0.46	0.27	0.47	0.35
	y 最大加速度(m/s ²)	0.55	0.51	0.76	0.56	0.60	0.60
	z 最大加速度(m/s ²)	9.68	9.77	9.66	9.75	9.76	9.72
20	x 最大加速度(m/s ²)	0.29	0.32	0.28	0.20	0.22	0.26
	y 最大加速度(m/s ²)	0.55	0.47	0.68	0.44	0.68	0.56
	z 最大加速度(m/s ²)	9.78	9.66	9.72	9.66	9.79	9.72
30	x 最大加速度(m/s ²)	0.22	0.26	0.21	0.19	0.25	0.23
	y 最大加速度(m/s ²)	0.62	0.63	0.57	0.32	0.53	0.53
	z 最大加速度(m/s ²)	9.86	9.79	9.67	9.69	9.78	9.76
40	x 最大加速度(m/s ²)	0.25	0.28	0.24	0.21	0.26	0.25
	y 最大加速度(m/s ²)	0.47	0.54	0.60	0.52	0.53	0.53
	z 最大加速度(m/s ²)	9.74	9.65	9.73	9.81	9.77	9.74
50	x 最大加速度(m/s ²)	0.17	0.20	0.20	0.19	0.21	0.19
	y 最大加速度(m/s ²)	0.48	0.64	0.61	0.56	0.61	0.58
	z 最大加速度(m/s ²)	9.82	9.82	9.78	9.78	9.78	9.80
60	x 最大加速度(m/s ²)	0.21	0.20	0.19	0.20	0.23	0.21
	y 最大加速度(m/s ²)	0.52	0.43	0.58	0.57	0.54	0.53
	z 最大加速度(m/s ²)	9.79	9.76	9.84	9.67	9.78	9.77
70	x 最大加速度(m/s ²)	0.09	0.21	0.21	0.16	0.31	0.20
	y 最大加速度(m/s ²)	0.25	0.55	0.49	0.48	0.62	0.48
	z 最大加速度(m/s ²)	5.05	9.83	9.79	9.86	9.81	8.87

第二段繩長(cm)	X	Y	Z	Y 向減振率 (%)
10	0.34	0.60	9.74	0.00
20	0.28	0.56	9.73	6.67
30	0.24	0.53	9.77	11.67
40	0.24	0.53	9.74	11.67
50	0.19	0.53	9.80	11.67
60	0.20	0.53	9.77	11.67
70	0.22	0.48	9.04	20.00



小結：

1. 下繩長越長有較佳的減振率。
2. 改變下繩長對減振率變化較小。

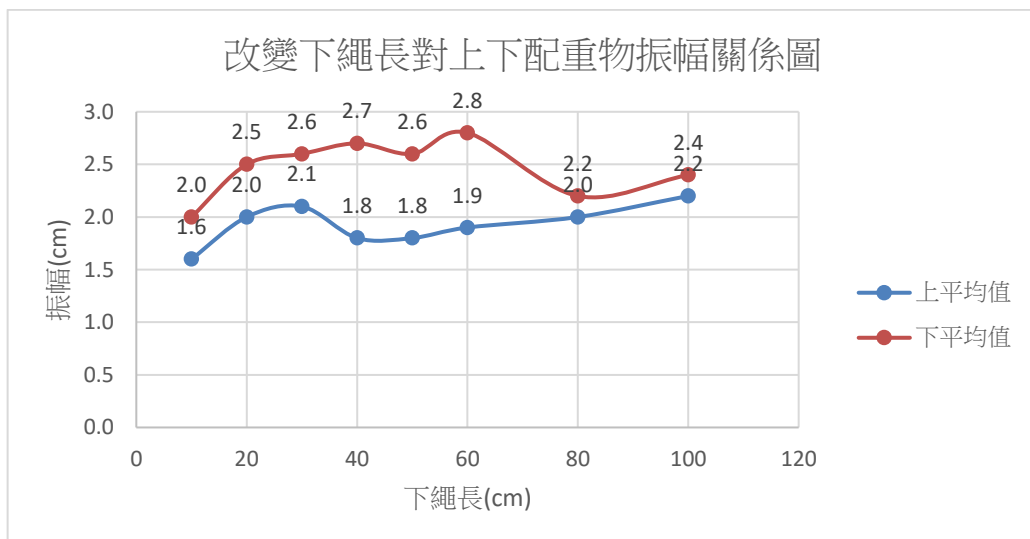
八、實驗五之四：第二段駐波節點影響晃動的驗證實驗

控制變因：上配重物 100g、下配重物 20g、第一段繩長 30cm、水波器頻率 3Hz

操縱變因：改變串接時第二段繩長

研究結果：

配重物第二段繩長(cm)		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
10	上配重物搖晃幅度(cm)	1.2	2.0	1.0	2.0	2.0	1.6
	下配重物搖晃幅度(cm)	1.5	2.3	2.0	1.5	2.5	2.0
20	上配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	下配重物搖晃幅度(cm)	3.1	2.0	3.0	2.0	2.5	2.5
30	上配重物搖晃幅度(cm)	2.2	2.5	2.0	2.0	2.0	2.1
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.7	3.0	2.5	2.0	3.0	2.6
40	上配重物搖晃幅度(cm)	1.2	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.0	3.0	3.0	2.7	3.0	2.7
50	上配重物搖晃幅度(cm)	1.5	2.0	1.9	1.7	2.0	1.8
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.0	3.0	3.0	2.0	3.0	2.6
60	上配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	2.0	2.0	1.4	1.9
	下配重物搖晃幅度(cm)	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.8
80	上配重物搖晃幅度(cm)	1.5	2.8	2.1	2.4	1.0	2.0
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.0	3.0	2.5	2.0	1.5	2.2
100	上配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	2.1	3.0	2.0	2.2
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.3	2.1	2.5	3.0	2.0	2.4

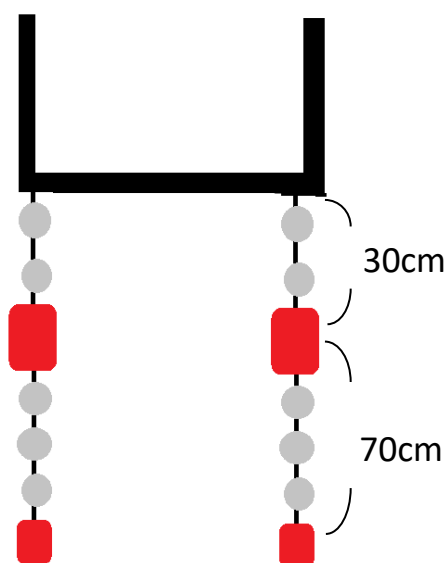
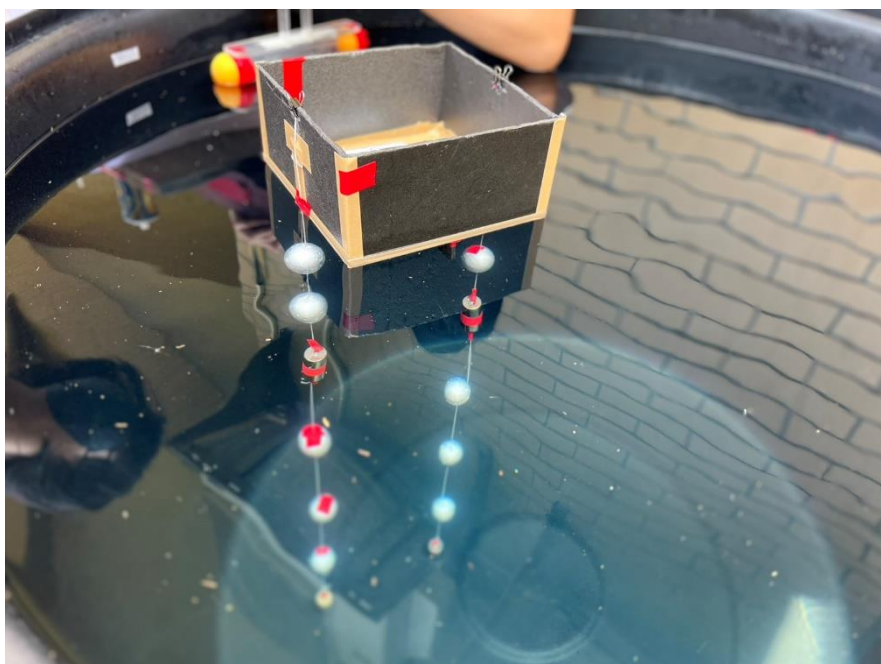


小結：

1. 改變下繩長對上配重物的振幅影響不大。
2. 下繩長約 10cm 時，配重物有最小的振幅。

九、實驗六：駐波節點調節的應用驗證

這個實驗我們安裝了半徑 2cm 的保力龍球（體積 $V = \pi r^3 * 4/3 = 33\text{cm}^3$ ），每側上配重物 200g，下配重物 100g，30cm 上繩懸掛 2 顆保力龍球，70cm 下繩懸掛 3 顆保力龍球。因此下繩繩張力約 1gw、上繩繩張力約 135g（ $300 - 33 * 5 = 135$ ）。因此上繩傳遞波速 $v = \sqrt{(F/\mu)} = \sqrt{(0.135 * 10 / 0.2 / 0.3)} = 1.42\text{m/s}$ ，上繩在頻率 3Hz 的傳播波長 $\lambda = v/f = 1.42/3 = 0.473\text{m}$ ，則半波長約為 0.236m。下繩傳遞波速 $v = \sqrt{(F/\mu)} = \sqrt{(0.001 * 10 / 0.1 / 0.7)} = 0.37\text{m/s}$ ，下繩在頻率 3Hz 的傳播波長 $\lambda = v/f = 0.37/3 = 0.12\text{m}$ 。6 倍的波長恰為 72cm。如此上下配重物將約安置在駐波節點上。



驗證結果：

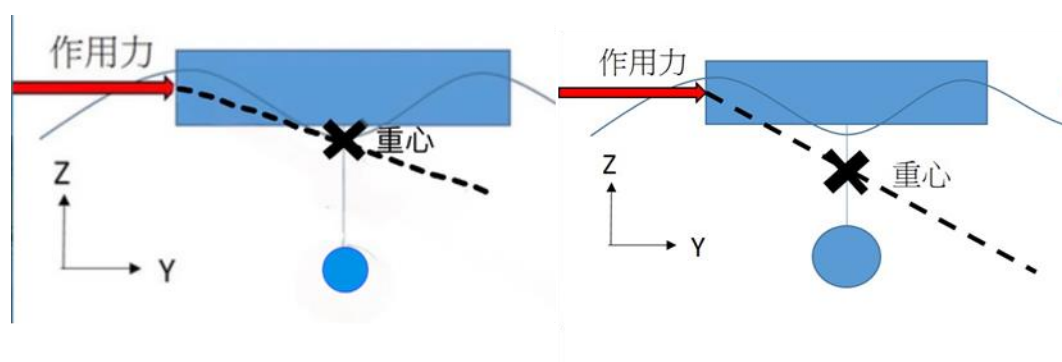
駐波節點調節應用	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
x 最大加速度 (m/s^2)	0.13	0.15	0.26	0.13	0.24	0.18
y 最大加速度 (m/s^2)	0.36	0.39	0.49	0.24	0.30	0.36
z 最大加速度 (m/s^2)	9.80	9.84	9.77	9.84	9.78	9.81

減振率 = $100\% * (0.74 - 0.36) / 0.74 = 51.4\%$ （有良好的減振效果）

陸、討論

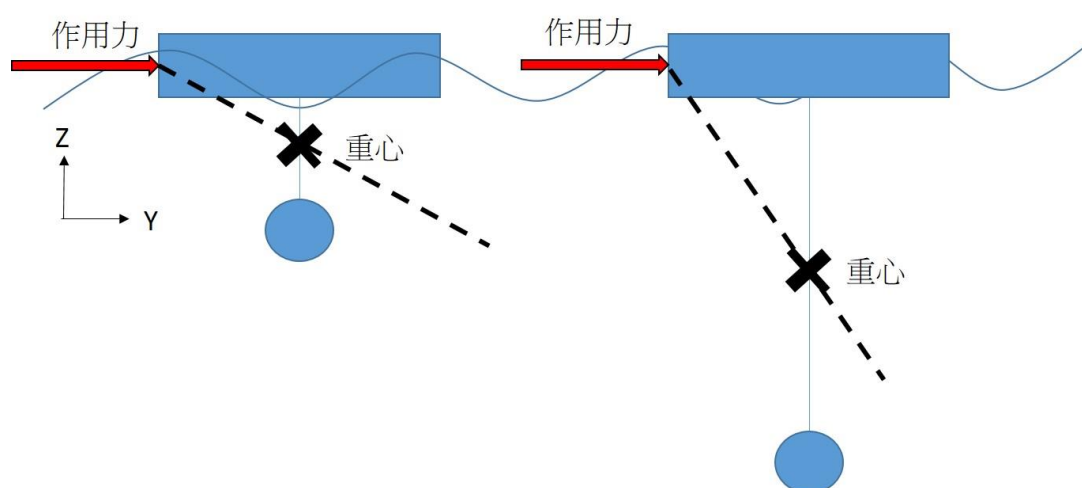
一、為何實驗一配重物在 200g 時對浮屋的抗振有最好的效果？


我們從實驗一得知，配重物重量 200g 時對浮屋的抗振有最好的效果。0g 到 150g 的配重物重量實驗因為重心和 200g 相比較高。如下圖，較高的重心會使 Y 方向的水平推力較大。雖然較低的重心會減少 Y 方向的水平推力但是會增加 Z 方向的垂直推力。可以說 Y 方向的振動減少了，Z 方向的振動可能增加。實驗二則以配重物 200g 進行配重物水面下深淺的實驗。



二、為何實驗二重物在水面下 15cm 時對浮屋的抗振有最好的效果？

為什麼配重物在 15cm 時有最好的抗振效果？與實驗一推測相同，配重物越深其重心越低，越不容易產生 Y 方向的晃動。大致上來說配重物越深其在 Y 方向的減振效果越好。於是我們採用配重物深度 15cm，進行實驗三。

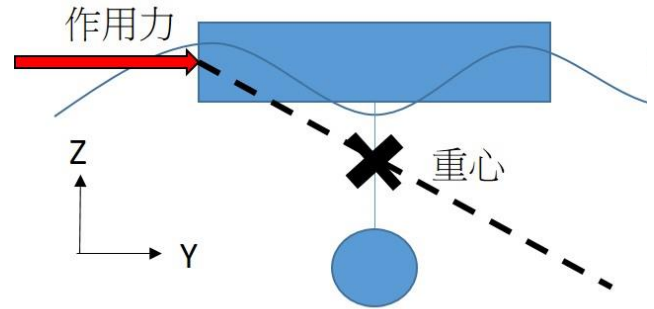


三、為何實驗三以  如此配重的位置擺放方式有最小的 Y 方向最大加速度值？

水波會讓介質以橢圓形運動方式移動，同時從討論一我們推測，水波會讓浮屋有 Y 方向與 Z 方向的振動，同時當 Z 方向的晃動有可能減少 Y 方向的晃動。當俯視來看



的配重物分布，如下圖從 X 方向看去，這樣的重量配置會恰好以配重物為軸心，使兩端受作用力後上下 (Z 方向) 旋轉晃動，因而大大的減少 Y 方向的晃動而有較小的加速度值。



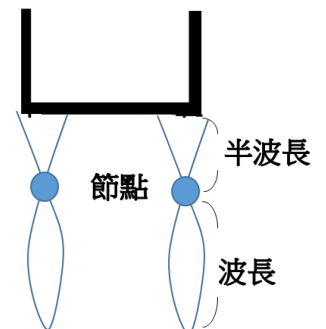
四、為何實驗四以配重物串接上為 75g、下為 25g 時的抗振效果最好？

當配重物串接時，我們推測受力作用時會以下方配重物為支點進行晃動因此上方配重物越重越難晃動。這有點類似拖車的原理，當拖車重心壓在後方會使得擺動不穩定而使之翻車。相對地，拖車重心壓在前方會使得擺動穩定。而上下方配重物的位置如何？我們推測與駐波節點與波長有關，因此我們在實驗五進行的駐波節點位置的推測研究。

五、實驗五配重物位置與駐波節點與波長是否相關？

從實驗五之一與五之三我們實際在水波槽可以發現在上方配重物 (100g) 在水面下約 30cm，下方配重物 (20g) 在水面下 100cm 時 (下段繩長 70cm) 有最佳的減振率。從實驗五之二與五之四研究結果發現串接配重物時，當上配重物在約 40cm 處、下配重物在 50cm 處有最小的振幅偏移。顯示將配重物串接時並放置在駐波節點位置時可以使配重物減少晃動，而有最佳減振率。因此可以推測串接方式的定錨設計與駐波節點與波長有關。

從能量傳播的角度來看，讓浮屋晃動的能量藉由繩波向下傳遞，而能量在使繩晃動而耗損。換句話說，如果繩質量夠大、繩張力夠大會快速的消耗晃動的能量，使得浮屋不易晃動。



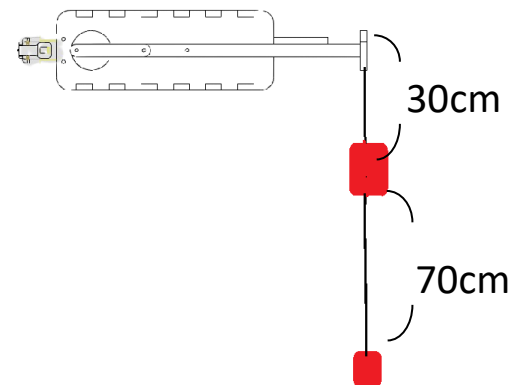
六、駐波節點與波長如何推算？

實驗五之二與五之四的研究結果顯示第一駐波節點（上方配重物）位置在 40cm，第二駐波節點（下方配重物）位置在 110cm 處。從物理公式來推導：

第一段的繩 40cm(0.4m)長、質量 100gw(0.1kg)，每單位長度質量為 $0.1/0.4=0.25\text{kg/m}$ ，受繩張力 $120\text{gw}(0.12\text{kgw}=1.2\text{kg}\cdot\text{m/s}^2)$ ，所以可以計算出上段繩波速 $v=\sqrt{(F/\mu)}=\sqrt{(1.2/0.25)}=2.19\text{m/s}$ 。此實驗起波頻率為 3Hz，又因為 $\lambda=v/f$ ，可推算出上段駐波波長 $\lambda=2.19/3=0.73\text{m}$ ，半波長 0.365m，而實驗五之二研究在約 30~40cm 處有最小振幅偏移。

第二段的繩 70cm(0.7m)長、質量 20gw(0.02kg)，每單位長度質量為 $0.02/0.7=0.03\text{kg/m}$ ，受繩張力 $20\text{gw}(0.02\text{kgw}=0.2\text{kg}\cdot\text{m/s}^2)$ ，所以可以計算出上段繩波速 $v=\sqrt{(F/\mu)}=\sqrt{(0.2/0.03)}=2.59\text{m/s}$ 。此實驗起波頻率為 3Hz，又因為 $\lambda=v/f$ ，可推算出下段駐波波長 $\lambda=2.59/3=0.863\text{m}$ ，而實驗五之四研究第二段繩長在約 60~70cm 處有最小振幅偏移。如此一來與實驗五之二與五之四的節點位置(30-110)接近。如圖：

然而與真實水槽實驗(實驗五之一、五之三)節點位置(30-80)又有些稍許的誤差，檢視裝置發現配重物的浮力會減少繩張力而大大的縮短節點波長。然而這提醒了我們，真實世界的搖晃頻率的重要性(一般如海浪、風的搖晃很低不到 1Hz)、可以使用串接浮球裝置來減少繩張力，並透過浮球浮力可以增加懸掛物的質量，致使將裝置應用在淺水區。因此我們增加了實驗六作為物理模式的驗證實驗。



七、如何實際應用？

浮屋只要有足夠的地下氣室或是浮筒支撐就能浮起，但是質量越大且重心越低的浮屋本體的設計將有較好的抗振率。若浮屋兩側要懸掛上 1000kg 下 200kg 的配重物與若每顆浮球體積約 0.1m^3 可產生 100kgw 浮力，若配置上繩 9 顆浮球、下繩 1 顆浮球，則下繩張力為 100kgw，上繩張力為 200kgw。以頻率為 1Hz 來計算，可推算上繩波長為 1.3m，則第一節點為水下 0.65m 處；下繩長為 2.2m，則第二節點為 2.85m 處。

柒、結論與建議

一、結論：

- (一)、浮屋配重錨的重量越大越能減少晃動。
- (二)、浮屋配重錨的位置越深越能減少晃動。
- (三)、透過浮屋配重時應注意水平受力 (Y) 方向與鉛直重力 (Z) 方向的加速度。
- (四)、與受力方向呈垂直的方向，在重心上的兩側增加配重物可以減少許多衝擊，減少搖晃。
- (五)、配重物以串接的方式定錨，且以上重下輕的方式可以減少許多衝擊而減振。
- (六)、串接配重物的定錨設計其位置可以用物理駐波節點與波長的公式 $v=\sqrt{F/\mu}$ 與 $v=f\lambda$ 來設計，會有良好的減振率。
- (七)、串接配重 2 個即可，越多個對減振率影響不大。
- (八)、第一個配重物的位置影響減振率較大。
- (九)、實際安裝應考慮起波頻率，一般海浪與風吹頻率低於 1Hz，會使得駐波波長較長，而使此設計不適合裝置在淺水域。但是透過串接浮球的方式可以減少繩張力與增加定錨質量而縮短駐波波長。

二、建議：

(一)、水面下方舵面的安裝對減振的探討

本實驗研究之初，浮屋會因受力不均而發生旋轉，致使無法正確的量測單一方向的加速度值。因此我們在水下使用舵面可以穩定受力來源使得浮屋與波前成垂直，所以我們覺得改變水面下的舵面安裝方式應該也可以漸少浮屋的搖晃。

(二)、浮屋周邊緩衝裝置的探討

本實驗研究專注在串接設計的減振影響，因此未對浮屋周邊的緩衝裝置進行探討，例如海綿、海綿彈簧等。

(三)、鉛錘方向減振的探討

本研究使用鉛垂方向的懸吊系統能減少水平方向的晃動的角度來看，若要減少鉛垂方向的晃動可以使用水平方向的串接。

(四)、系統裝置質量與減振率的探討

本實驗研究在實驗五之前所使用的懸吊裝置質量共 240g，最佳減振率為 48.5%。實驗六所使用的懸吊裝置質量共 600g，減振率為 51.4%。因此系統質量與減振率的關係值得探討。

捌、參考文獻資料

1. 擺 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%93%BA>
2. 結構工程 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%BB%93%E6%9E%84%E5%B7%A5%E7%A8%8B>
3. 自求多浮~浮屋多重機能性的研究全國中小學第 59 屆科學展覽國中組地球科學科作品說明書 楊芷芃、黃琬庭。
4. 國中自然課本第四冊力與浮力、國中第五冊運動力學、位能、能量轉換、地科板塊運動、國中第六冊地科地振與天然災害
5. 黃恩宇、郭書瑄。浮動城市。荷蘭漂浮建築經驗
6. 建築可隨水位升降的漂浮屋。 <http://www.rhythmsmonthly.com/?p=7170>

【評語】 030120

本研究透過水下懸掛重物探討浮屋的穩定性，透過科學的方法分析減震的效果。甚至討論懸掛重物的繩張力以消除波動。是一個有趣的想法。不過建議也要多考慮因為懸掛重物下沉，導致定傾中心下沉的效應。

作品海報

壹、研究動機

荷蘭發展「漂浮城市」，各大新聞和報導皆有提及，我們從中得知有些浮屋會因為水波起伏，導致浮屋的穩定性不佳。而我們知道101大樓上有類似單擺的阻尼器與船錨，因此想到是否能夠利用類似的結構來為浮屋抗振，提高安全性和居住的舒適度。本研究希望能夠透過實驗驗證，並推理出實際可以應用於工程的應用模式。

貳、研究目的與問題

我們知道，配重物可以增加設備的慣性，減少搖晃的程度，配重物在駐波節點剛好能減少搖晃的程度並藉由棉繩吸收傳遞的能量。因此我們針對配重物和是否有固定的物理模式提出以下的問題：

- 一、不同配重物的質量對減振率有何影響？
- 二、配重在水面下深淺對減振率有何影響？
- 三、平均分佈配重物重量位置對減振率有何影響？
- 四、配重物串接方式減振率有何影響？
- 五、配重物串接位置對減振率有何影響？
- 六、是否有物理模式可以應用？

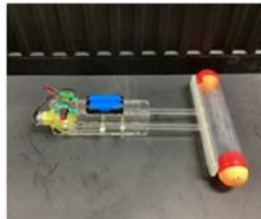
參、研究設備及器材

- 一、應用軟體:Vibrometer與phyphox APP
- 二、一般設備:
棉繩 電池 腳架 壓克力板
智慧型手機 壓克力水管 水槽 珍珠板 砝碼

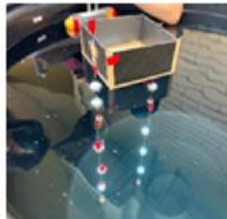
三、特殊設備



水槽



起波器



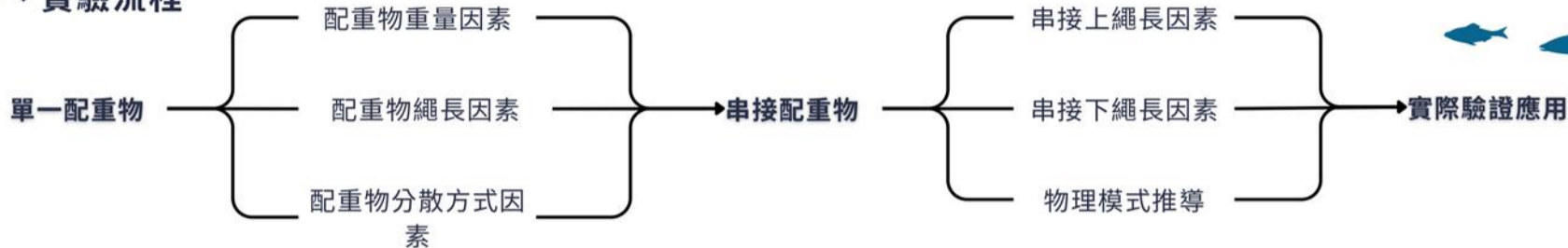
配重物懸掛系統



駐波節點模擬裝置

肆、研究過程

一、實驗流程



二、實驗步驟

※減振率的定義：我們以無任何配重物之空浮屋五次平均最大加速度基準A，每次實驗之平均最大加速度B。則減振率(%) = (A-B)/A * 100%

(一)實驗一：不同配重的質量對減振率有何影響？

我們使用不同質量的配重物進行實驗
分別有:0g、50g、100g、150g、200g、250g
同時啟用Vibrometer程式和水波器紀錄數據變化。
紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

(二)實驗二：配重物在水面下深淺對減振率有何影響？

我們使用不同的配重物繩長進行實驗
分別有:0cm、5cm、10cm、15cm、20cm
同時啟用Vibrometer程式和水波器紀錄數據變化。
紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

(三)實驗三：配重物分佈位置對減振率有何影響？

我們使用配重物相同質量不同分布方式進行實驗。
同時啟用Vibrometer程式和水波器紀錄數據變化。
紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

(四)實驗四：配重物串接方式對減振率有何影響？

依據前面三個實驗來串接配重物
分別為兩側100、50+50、25+75、75+25
在不同串接情況下量取Y方向與Z方向的加速度值。

(五)實驗五之一：懸掛物上重下輕的串接時改變第一段繩長對減振率有何影響？

我們使用不同的上方繩長進行實驗
分別有: 10cm、20 cm、30 cm、40 cm、50cm、60 cm、70 cm
同時啟用phyphox程式和水波器紀錄數據變化。
紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

實驗五之二：駐波節點影響晃動的驗證實驗

我們使用不同的上方繩長進行實驗
分別有: 10cm、20 cm、30 cm、40 cm、50cm、60 cm、70 cm
同時啟用綠影功能和水波器紀錄數據變化。
紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

實驗五之三：懸掛物上重下輕的串接時改變第二段繩長對減振率有何影響？

我們使用不同的下方繩長進行實驗
分別有: 10cm、20 cm、30 cm、40 cm、50cm、60 cm、70 cm
同時啟用phyphox程式和水波器紀錄數據變化。
紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

實驗五之四：駐波節點影響晃動的驗證實驗

我們使用不同的下方繩長進行實驗
分別有: 10cm、20 cm、30 cm、40 cm、50cm、60 cm、70 cm
同時啟用綠影功能和水波器紀錄數據變化。
紀錄五次，每次紀錄十五秒，取五次實驗平均。

(六) 我們經由與繩張力相關的物理公式來推測定錨懸掛系統的駐波節點位置來安裝串接的定錨系統，來了解抗震效果如何？

詳細的系統安裝方式見實驗五後的問題討論。

伍、研究結果

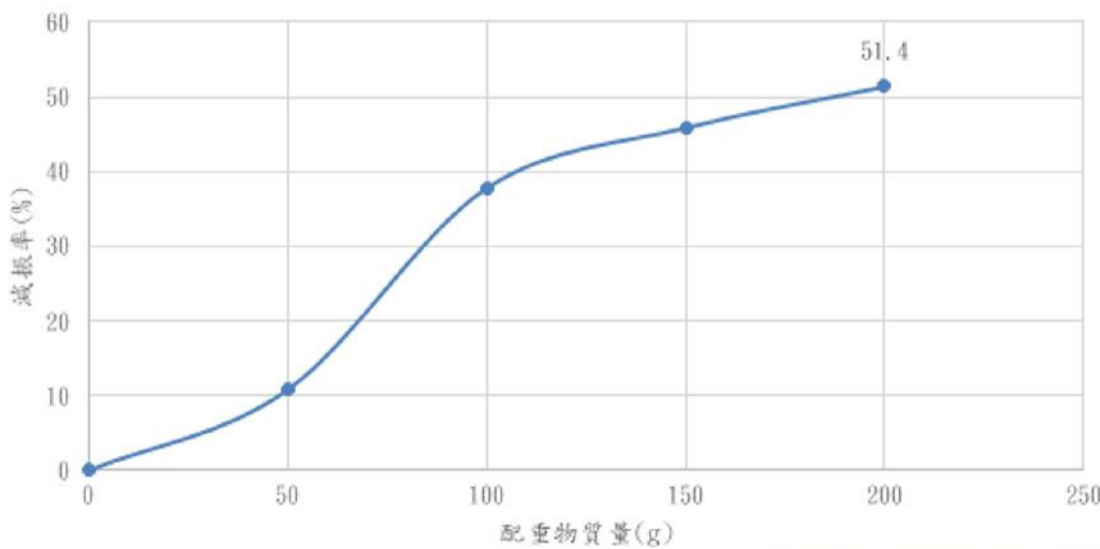
一、實驗一: 配重物在水面下的深淺對抗振程度有何影響?

配重物重量(g)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率(%)	
0	最大加速度(m/s ²)	0.90	0.80	0.60	0.80	0.60	0.74	0.0
50	最大加速度(m/s ²)	0.70	0.50	0.90	0.70	0.50	0.66	10.8
100	最大加速度(m/s ²)	0.50	0.40	0.50	0.50	0.40	0.46	37.8
150	最大加速度(m/s ²)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	45.9
200	最大加速度(m/s ²)	0.30	0.40	0.40	0.30	0.40	0.36	51.4

小結:

- 1.當配重物質量越大所得的最大加速度值越小，其抗振效果越好。
- 2.隨著配重物的質量增加其減振率越高，但有趨於平緩的趨勢。

配重物質量對減振率(%)關係圖



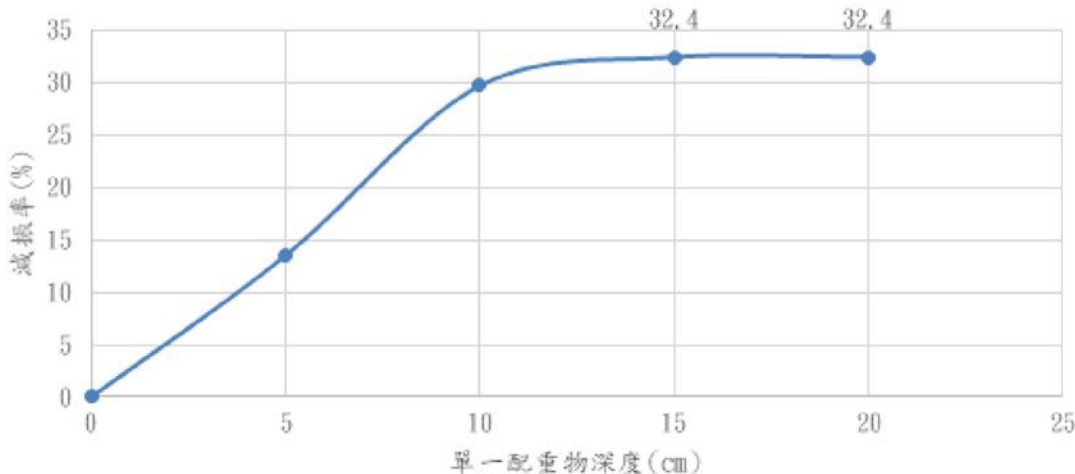
二、實驗二: 配重物在水面下的深淺對抗震程度有何影響?

配重物深度(cm)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率(%)	
0	最大加速度(m/s ²)	0.90	0.80	0.60	0.80	0.60	0.74	0.0
5	最大加速度(m/s ²)	0.60	0.70	0.60	0.60	0.70	0.64	13.5
10	最大加速度(m/s ²)	0.50	0.60	0.40	0.40	0.70	0.52	29.7
15	最大加速度(m/s ²)	0.60	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	32.4
20	最大加速度(m/s ²)	0.40	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	32.4

小結:

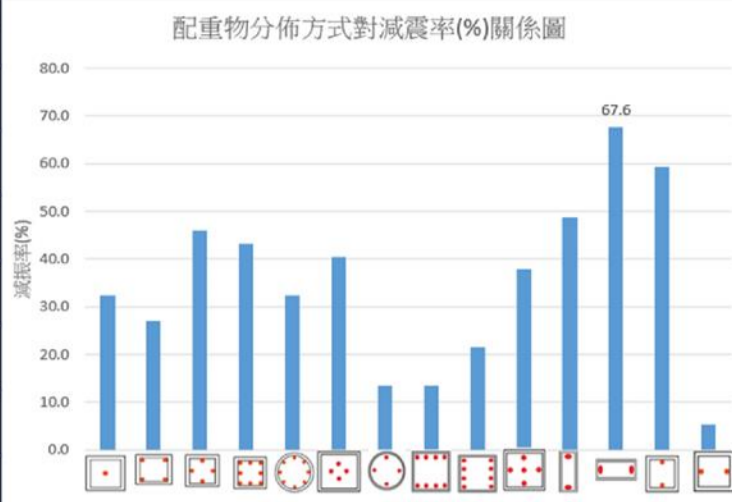
- 1.單一配重物時，配重物在水面下越深處其減振率越好。
- 2.隨配重物深度越深，減振率有趨緩的程度變化。

單一配重物在水面下深度對減振率(%)關係圖



三、實驗三：配重物分佈方式對抗震程度有何影響？

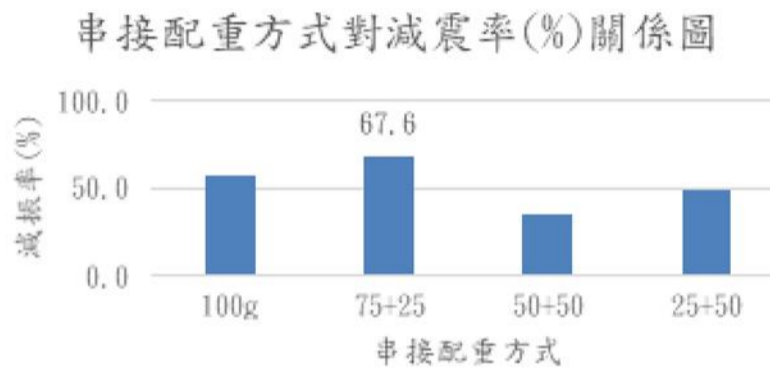
配重物分佈方式	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率(%)	配重物分佈方式	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率(%)
最大加速度(m/s ²)	0.60	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	32.4	最大加速度(m/s ²)	0.70	0.60	0.60	0.70	0.60	0.64	37.8
最大加速度(m/s ²)	0.60	0.40	0.70	0.50	0.50	0.54	27.0	最大加速度(m/s ²)	0.70	0.60	0.80	0.40	0.40	0.58	59.5
最大加速度(m/s ²)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	43.2	最大加速度(m/s ²)	0.40	0.50	0.40	0.50	0.50	0.46	38.0
最大加速度(m/s ²)	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.42	13.5	最大加速度(m/s ²)	0.30	0.40	0.50	0.40	0.30	0.38	13.5
最大加速度(m/s ²)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	21.6	最大加速度(m/s ²)	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.24	14.9
最大加速度(m/s ²)	0.40	0.50	0.40	0.40	0.50	0.44	40.5	最大加速度(m/s ²)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	54.1
最大加速度(m/s ²)	0.60	0.50	0.60	0.70	0.80	0.64	45.9	最大加速度(m/s ²)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	48.6



- 小結:
- 從 的實驗結果比較顯示，當配重分佈在與波前方向成垂直的兩側時都可以有明顯的減振率。
 - 從 的實驗結果比較顯示，當配重集中分布在中心兩側有較好的減振率。
 - 從 的實驗結果比較顯示，當配重物越遠離外側有較好的減振率。

四、實驗四：配重物串接方式對抗震程度有何影響？

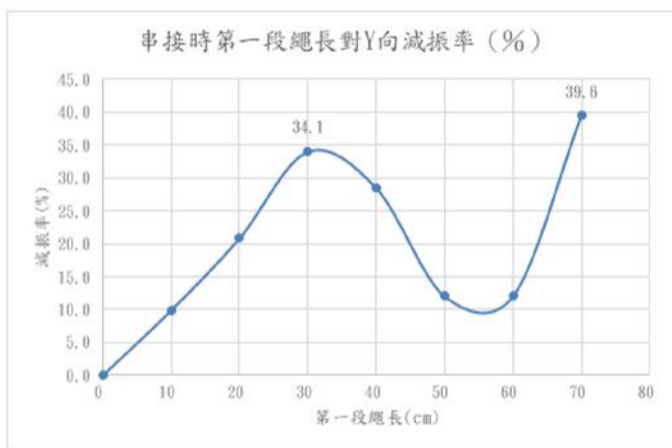
配重物串接方式	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	減振率(%)
100g y最大加速度(m/s ²)	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.32	56.8
75g+25g y最大加速度(m/s ²)	0.30	0.20	0.20	0.30	0.20	0.24	67.6
50g+50g y最大加速度(m/s ²)	0.50	0.50	0.40	0.50	0.50	0.48	35.1
25g+50g y最大加速度(m/s ²)	0.30	0.30	0.40	0.40	0.50	0.38	48.6



- 小結:
- 配重物串接時，且上為75g下為25時有最好的減振率。

五、實驗五之一：懸掛物上重下輕的串接時改變第一段繩長對抗震程度有何影響？

上繩長	X(m/s ²)	Y(m/s ²)	Z(m/s ²)	Y向減振率(%)	上繩長	X(m/s ²)	Y(m/s ²)	Z(m/s ²)	Y向減振率(%)
0	0.20	0.91	9.77	0.0	40	0.28	0.65	9.74	28.6
10	0.23	0.82	9.72	9.9	50	0.27	0.80	9.78	12.1
20	0.22	0.72	9.75	20.9	60	0.27	0.80	9.78	12.1
30	0.23	0.60	9.81	34.1	70	0.28	0.55	9.77	38.5

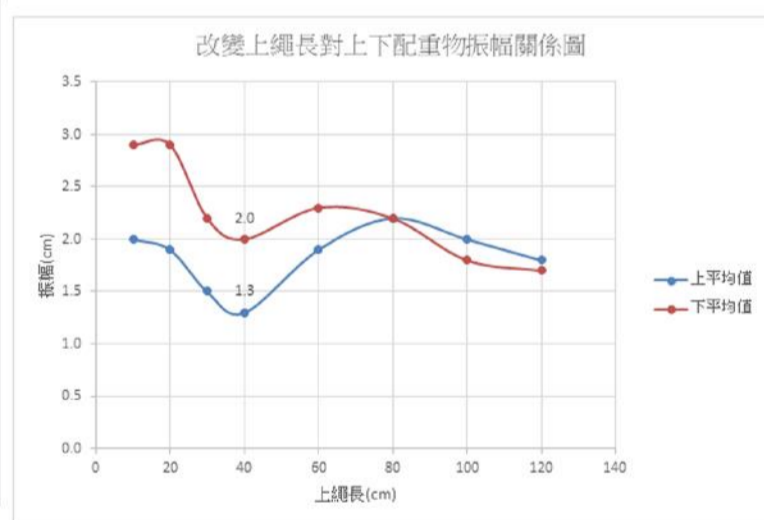


- 小結:
- 上繩長在30cm與70cm處有最佳的減振率。

六、實驗五之二：第一段駐波節點影響晃動的驗證實驗

配重物第一段繩長(cm)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	
10	上配重物搖晃幅度(cm)	1.7	2.0	2.1	2.2	1.8	2.0
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.9	3.0	3.1	2.9	2.8	2.9
20	上配重物搖晃幅度(cm)	1.8	2.1	2.0	1.9	1.8	1.9
	下配重物搖晃幅度(cm)	3.0	2.6	3.1	3.0	2.7	2.9
30	上配重物搖晃幅度(cm)	1.2	1.5	1.7	2.0	1.3	1.5
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	3.1	2.1	2.0	2.2
40	上配重物搖晃幅度(cm)	1.1	2.0	1.2	1.1	1.0	1.3
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.5	2.1	2.1	2.1	1.3	2.0

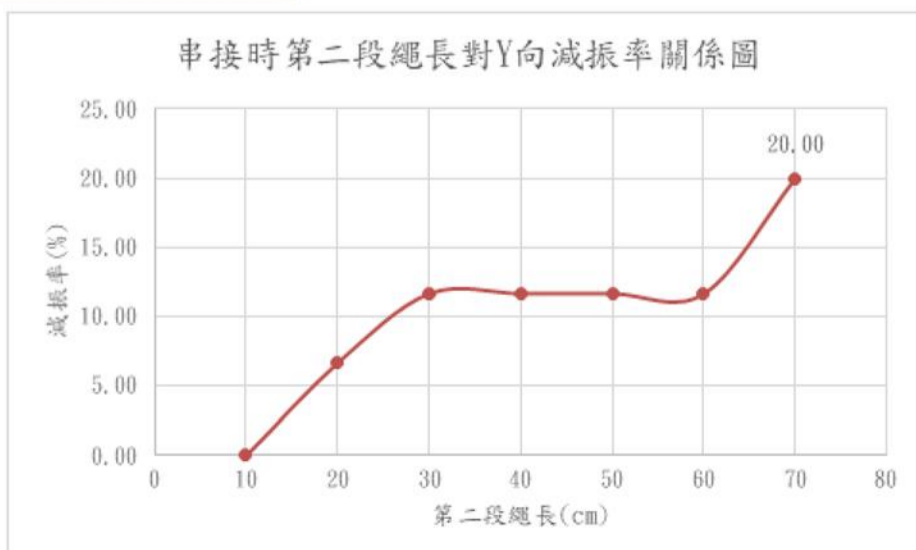
配重物第一段繩長(cm)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	
60	上配重物搖晃幅度(cm)	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6
	下配重物搖晃幅度(cm)	1.2	2.1	2.9	2.4	3.1	2.2
80	上配重物搖晃幅度(cm)	2.4	2.0	1.9	2.1	2.5	2.2
	下配重物搖晃幅度(cm)	3.0	2.0	1.2	2.6	2.0	2.2
100	上配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.1	2.5	1.1	1.0	2.1	1.8
120	上配重物搖晃幅度(cm)	2.2	1.0	2.0	1.8	2.0	1.8
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.5	1.2	1.5	1.2	2.0	1.7



- 小結:
- 上繩長在40cm與120cm時配重物有較小的振幅。
 - 上繩長的長度越長振幅越來越小。
 - 上繩長在60cm內，上配重物的振幅比下配重物的振幅大

七、實驗五之三：懸掛物上重下輕的串接時改變第二段繩長對抗震程度有何影響？

第二段繩長(cm)	X	Y	Z	Y向減振率(%)
10	0.34	0.60	9.74	0.00
20	0.28	0.56	9.73	6.67
30	0.24	0.53	9.77	11.67
40	0.24	0.53	9.74	11.67
50	0.19	0.53	9.80	11.67
60	0.20	0.53	9.77	11.67
70	0.22	0.48	9.04	20.00



- 小結:
- 下繩長越長有較佳的減振率。
 - 改變下繩長對減振率變化較小。

八、實驗五之四：第二段駐波節點影響晃動的驗證實驗

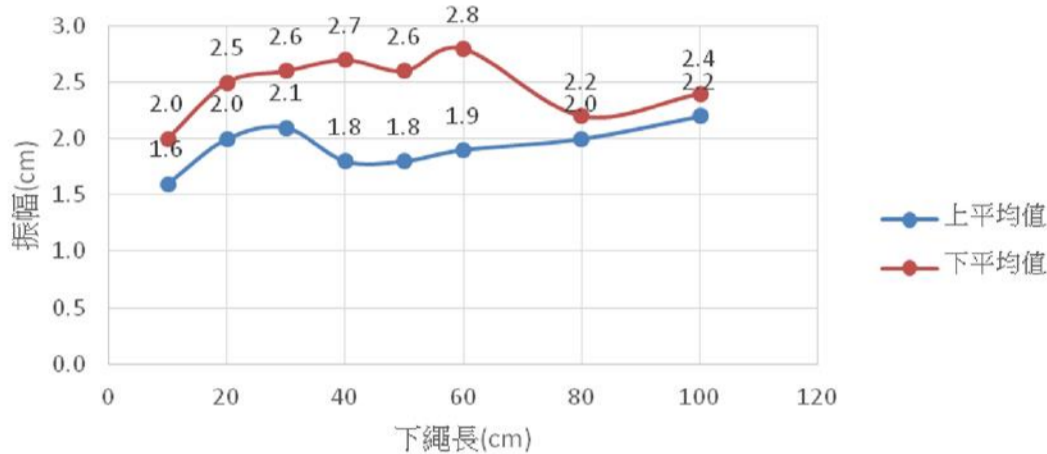
配重物第二段繩長(cm)		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
10	上配重物搖晃幅度(cm)	1.2	2.0	1.0	2.0	2.0	1.6
	下配重物搖晃幅度(cm)	1.5	2.3	2.0	1.5	2.5	2.0
20	上配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	下配重物搖晃幅度(cm)	3.1	2.0	3.0	2.0	2.5	2.5
30	上配重物搖晃幅度(cm)	2.2	2.5	2.0	2.0	2.0	2.1
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.7	3.0	2.5	2.0	3.0	2.6
40	上配重物搖晃幅度(cm)	1.2	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.0	3.0	3.0	2.7	3.0	2.7

小結：

1. 改變下繩長對上配重物的振幅影響不大。
2. 下繩長約10cm時，配重物有最小的振幅。

配重物第二段繩長(cm)		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
50	上配重物搖晃幅度(cm)	1.5	2.0	1.9	1.7	2.0	1.8
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.0	3.0	3.0	2.0	3.0	2.6
60	上配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	2.0	2.0	1.4	1.9
	下配重物搖晃幅度(cm)	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.8
80	上配重物搖晃幅度(cm)	1.5	2.8	2.1	2.4	1.0	2.0
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.0	3.0	2.5	2.0	1.5	2.2
100	上配重物搖晃幅度(cm)	2.0	2.0	2.1	3.0	2.0	2.2
	下配重物搖晃幅度(cm)	2.3	2.1	2.5	3.0	2.0	2.4

改變下繩長對上下配重物振幅關係圖



九、實驗六：駐波節點調節的應用驗證證

這個實驗我們安裝了半徑2cm的保力龍球（體積 $V=\pi r^3 \cdot 4/3=33\text{cm}^3$ ），每側上配重物200g，下配重物100g，30cm上繩懸掛2顆保力龍球，70cm下繩懸掛3顆保力龍球。因此下繩繩張力約1gw、上繩繩張力約135g（ $300-33 \cdot 5=135$ ）。因此上繩傳遞波速 $v=\sqrt{F/\mu}=\sqrt{(0.135 \cdot 10/0.2)/0.3}=1.42\text{m/s}$ ，上繩在頻率3Hz的傳播波長 $\lambda=v/f=1.42/3=0.473\text{m}$ ，則半波長約為0.236m。下繩傳遞波速 $v=\sqrt{F/\mu}=\sqrt{(0.001 \cdot 10/0.1)/0.7}=0.37\text{m/s}$ ，下繩在頻率3Hz的傳播波長 $\lambda=v/f=0.37/3=0.12\text{m}$ 。6倍的波長恰為72cm。如此上下配重物將約安置在駐波節點上。

駐波節點調節應用	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
x最大加速度(m/s ²)	0.13	0.15	0.26	0.13	0.24	0.18
y最大加速度(m/s ²)	0.36	0.39	0.49	0.24	0.30	0.36
z最大加速度(m/s ²)	9.80	9.84	9.77	9.84	9.78	9.81

減振率=100% * (0.74-0.36)/0.74=51.4%（有良好的減振效果）

陸、討論

一、為何實驗一配重物在200g時對浮屋的抗震有最好的效果？

我們從實驗一得知，配重物重量200g時對浮屋的抗震有最好的效果。0g到150g的配重物重量實驗因為重心和200g相比較高。較高的重心會使Y方向的水平推力較大。較低的重心會減少水平推力增加垂直推力。

二、為何實驗二重物在水面下15cm時對浮屋的抗震有最好的效果？

為什麼配重物在15cm時有最好的抗震效果？與實驗一推測相同，配重物越深其重心越低，越不容易產生Y方向的晃動。

三、為何實驗三以如此配重的位置擺放方式有最小的Y方向最大加速度值？

水波會讓介質以橢圓形運動方式移動，同時從討論一我們推測，水波會讓浮屋有Y方向與Z方向的振動，同時當Z方向的晃動有可能減少Y方向的晃動。當俯視來看的配重物分布，從X方向看去，這樣的重量配置會恰好以配重物為軸心，使兩端受作用力後上下（Z方向）旋轉晃動，因而減少方向的晃動而有較小的加速度值。

四、為何實驗四以配重物串接上為75g、下為25g時的抗震效果最好？

當配重物串接時，我們推測受力作用時會以下方配重物為支點進行晃動因此上方配重物越重越難晃動。這有點類似拖車的原理，當拖車重心壓在後方會使得擺動不穩定而使之翻車。相對地，拖車重心壓在前方會使得擺動穩定。而上下方配重物的位置如何？我們推測與駐波節點與波長有關，因此我們在實驗五進行的駐波節點位置的推測研究。

五、實驗五配重物位置與駐波節點與波長是否相關？

從實驗五之一與五之三我們實際在水波槽可以發現在上方配重物（100g）在水面下約30cm，下方配重物（20g）在水面下100cm時（下段繩長70cm）有最佳的減振率。從實驗五之二與五之四研究結果發現串接配重物時，當上配重物在約40cm處、下配重物在50cm處有最小的振幅偏移。顯示將配重物串接時放置在駐波節點位置時可以減少晃動，而有最佳減振率。因此推測串接方式的定錨設計與駐波節點與波長有關。從能量傳播的角度來看，讓浮屋晃動的能藉由繩波向下傳遞，而能量在使繩晃動而耗損。換句話說，如果繩質量大、繩張力大會使得浮屋不易晃動。

六、駐波節點與波長如何推算？

實驗五之二與五之四的研究結果顯示第一駐波節點（上方配重物）位置在40cm，第二駐波節點（下方配重物）位置在110cm處。從物理公式來推導：第一段的繩40cm（0.4m）長、質量100gw（0.1kg），每單位長度質量為 $0.1/0.4=0.25\text{kg/m}$ ，受繩張力120gw（ $0.12\text{kgw}=1.2\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ ），所以可以計算出上段繩波速 $v=\sqrt{F/\mu}=\sqrt{(1.2/0.25)=2.19\text{m/s}$ 。此實驗起波頻率為3Hz，又因為 $\lambda=v/f$ ，可推算出上段駐波波長 $\lambda=2.19/3=0.73\text{m}$ ，半波長0.365m，而實驗五之二研究在約30~40cm處有最小振幅偏移。第二段的繩70cm（0.7m）長、質量20gw（0.02kg），每單位長度質量為 $0.02/0.7=0.03\text{kg/m}$ ，受繩張力20gw（ $0.02\text{kgw}=0.2\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ ），所以可以計算出上段繩波速 $v=\sqrt{F/\mu}=\sqrt{(0.2/0.03)=2.59\text{m/s}$ 。此實驗起波頻率為3Hz，又因為 $\lambda=v/f$ ，可推算出下段駐波波長 $\lambda=2.59/3=0.863\text{m}$ ，而實驗五之四研究第二段繩長在約60~70cm處有最小振幅偏移。如此一來與實驗五之二與五之四的節點位置（30-110）接近。然而與真實水槽實驗（實驗五之一、五之三）節點位置（30-80）又有些稍許的誤差，檢視裝置發現配重物的浮力會減少繩張力而大大的縮短節點波長。然而這提醒了我們，真實世界的搖晃頻率的重要性（一般如海浪、風的搖晃很低不到1Hz），可以使用串接浮球裝置來減少繩張力，並透過浮球浮力可以增加懸掛物的質量，將裝置應用在淺水區。

七、如何實際應用？
浮屋只要有足夠的地下氣室或是浮筒支撐就能浮起，但是質量越大且重心越低的浮屋本體的設計將有較好的抗振率。若浮屋兩側要懸掛1000kg下200kg的配重物與若每顆浮球體積約0.1m³可產生100kgw浮力，若配置上繩9顆浮球、下繩1顆浮球，則下繩張力為100kgw，上繩張力為200kgw。以頻率為1Hz來計算，可推算上繩波長為1.3m，則第一節點為水下0.65m處；下繩長為2.2m，則第二節點為2.85m處。

柒、結論與建議

一、結論：

- (一)、浮屋配重錨的重量越大越能減少晃動。
- (二)、浮屋配重錨的位置越深越能減少晃動。
- (三)、浮屋配重時應注意水平受力（Y）方向、鉛直重力（Z）方向的加z速度。
- (四)、與受力方向呈垂直的方向，在重心的兩側增加配重物可以減少搖晃。
- (五)、配重物以串接的方式定錨，且以上重下輕的方式可以減少搖晃。
- (六)、串接配重物的定錨設計其位置可以用物理駐波節點與波長的公式 $v=\sqrt{F/\mu}$ 與 $v=f\lambda$ 來設計，會有良好的減振率。
- (七)、串接配重2個即可，越多個對減震率影響不大。
- (八)、第一個配重物的位置影響減震率較大。
- (九)、實際安裝應考慮起波頻率，一般海浪與風吹頻率低於1Hz，會使得駐波波長較長，而使此設計不適合裝置在淺水域。但是透過串接浮球的方式可以減少繩張力與增加定錨質量而縮短駐波波長。

二、建議：

(一)、水面下方舵面的安裝對減振的探討

本實驗研究之初，浮屋會因受力不均而發生旋轉，致使無法正確的測量單一方向的加速度值。因此我們在水下使用舵面可以穩定受力來源使得浮屋與波前成垂直，所以我們覺得改變水面下的舵面安裝方式應該也可以減少浮屋的搖晃。

(二)、浮屋周邊緩衝裝置的探討

本實驗研究專注在串接設計的減振影響，因此未對浮屋周邊的緩衝裝置進行探討，例如海綿、海綿彈簧等。

(三)、鉛錘方向減振的探討

本研究使用鉛垂方向的懸吊系統能減少水平方向的晃動的角度來看，若要減少鉛垂方向的晃動可以使用水平方向的串接。

(四)、系統裝置質量與減振率的探討

本實驗研究在實驗五之前所使用的懸吊裝置質量共240g，最佳減振率為48.5%。實驗六所使用的懸吊裝置質量共600g，減振率為51.4%。因此系統質量與減振率的關係值得探討。