

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 地球科學科

第二名

030502

震震有聲 水峰鳴

-探討利用水波當成地震警報器之可行性

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國一 王子誥 國一 吳宗諭	指導老師： 蔡名峯 韓顏吉
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：地震、水波、水波共振

摘要

本研究探討水面受地震表面波影響所造成的水波運動情形，藉以判讀地震級數。實驗中，利用電流感應水波導電原理測得水波高度，得知地震級數與水波高度關係，以此作為設定電流感應器水波高感應點，達到當地震警報器之可行性。

本組以電流調整器控制怠速馬達，來自製地震模擬器模擬不同地震震度，經實驗發現，大約震度一級至三級水波高度不明顯，震度約四級時，會產生單一波峰的第二次反射波，震度約五、六級時，水體內部翻轉產生氣泡，波峰有拋碎的現象。今以長方形容器，電流感應水波導電原理來當警報器，若要偵測震度三至四級，其設定感應點高度以 0.3 公分最佳；要偵測震度五至七級，其設定感應點高度以 0.7 公分最佳。

壹、研究動機

台灣處於歐亞板塊與菲律賓海板塊之間，當地震時造成很大的傷害，不久前高雄美濃地震(6.6 級)，維冠金龍大樓倒塌，造成數人傷亡。我的外婆就住在維冠大樓的隔壁棟大廈，過年初二回外婆家，看到倒塌的大樓以及搶救傷患人員進出，內心有所感傷，當天的夜晚，外婆敘述地震的情形，其中描述到舅舅魚缸的水都灑出地板，害外婆要逃跑時差一點跌倒。

這時候讓我聯想到，地震的能量會把水推向器壁產生的水波動，地震振幅小，水波的力量無法灑出魚缸，但震幅大的時候，水波的力量確可以把水灑出魚缸外。因此我想假如能藉由地震能量與水波關係來判定地震的級數，並利用水波的高度對映，地震的級數的特性，來自製有震級數的警報器，有這樣的警報器，在深夜發生地震時，能幫助更多的人逃離不安全的建築物，或能更有充裕的時間躲到更安全的地方。

貳、研究目的

- 一、探討長方形水波模擬箱，水受樂夫波在不同大小震度震盪影響，水波變化情形。
- 二、探討長方形水波模擬箱，水受雷利波在不同大小震度震盪影響，水波變化情形。
- 三、探討長方形水波模擬箱，水受樂夫波在不同大小震度震盪，水波高低變化情形。
- 四、探討長方形水波模擬箱，水受雷利波在不同大小震度震盪，水波高低變化情形。

參、設備器材

一、研究器材











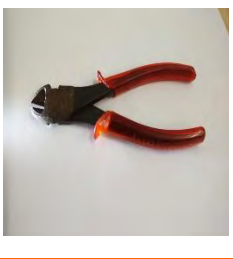









				
(1)警報器	(2)電流調整器	(3)木條	(4)木板	(5)電線正負極夾
				
(6)怠速馬達	(7)汽車輪子	(8)電流感應器	(9)圓柱體容器	(10)游標卡尺
				
(11)老虎鉗	(12)十字螺絲起子	(13)剪刀	(14)鑽孔機	(15)熱熔膠槍
				
(16)釘子	(17)銅線	(18)橡皮圈	(19)收束帶	(20)碼表

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

肆、研究過程與方法

一、實驗流程

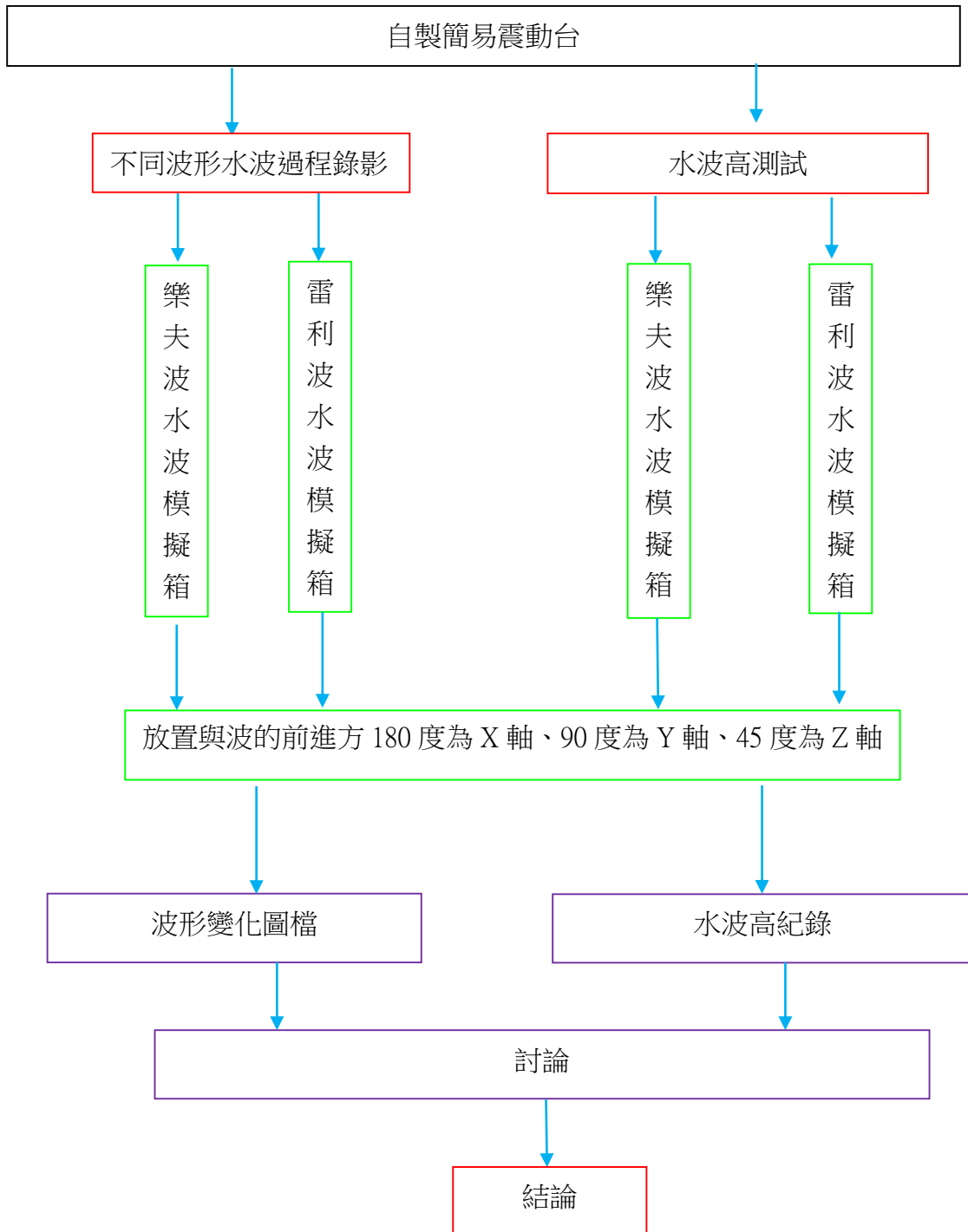


圖 4 實驗流程

二、研究方法

(一)自製簡易震動台，震動台加速度計算公式，對應震度分級數

本組使用的簡易震動台並無加速度設定功能，只有無段轉速控制器，為確認震動台的加速度，於是藉由震動台的運動方式去推算。其中震動台是以等速率圓周運動方式進行，而震動台面可依據等速率圓周運動〈如圖 5 所示〉，推算出震動台面的運動加速度為震動台加速度計算公式：

震動台面的最大運動加速度 a_M 為

$$a_M = R * \omega^2 = 4 * \pi^2 * R * f^2$$

$$\chi = R \cos(\omega t + \theta)$$

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

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

ω =角速度

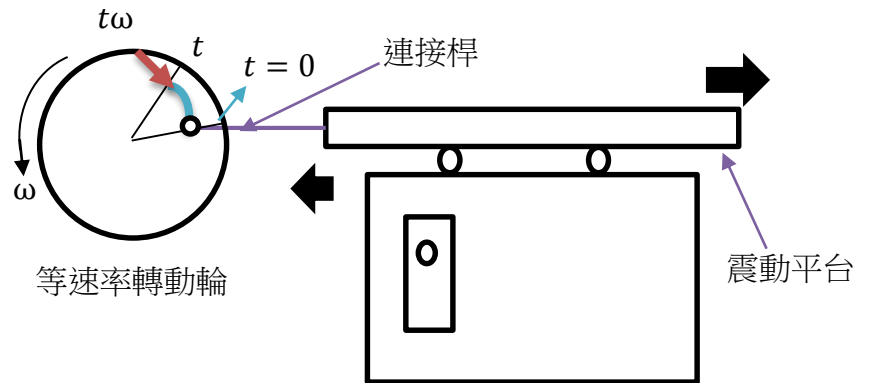


圖 5 震動台等速率圓周運動方式示意圖

2. 依震動台震動頻率分別模擬 10 種不同之地震頻率

1. 第 1 階段：水平移動來回 9 次/1 分鐘， $9/60=0.15$ 次/sec
2. 第 2 階段：水平移動來回 17 次/1 分鐘， $17/60=0.28$ 次/sec
3. 第 3 階段：水平移動來回 24 次/1 分鐘， $24/60=0.4$ 次/sec
4. 第 4 階段：水平移動來回 51 次/1 分鐘， $51/60=0.85$ 次/sec
5. 第 5 階段：水平移動來回 90 次/1 分鐘， $90/60=1.5$ 次/sec
6. 第 6 階段：水平移動來回 104 次/1 分鐘， $104/60=1.73$ 次/sec
7. 第 7 階段：水平移動來回 127 次/1 分鐘， $127/60=2.11$ 次/sec

表 1 震動台加速度對應震度分級換算表請參考圖 6 中央氣象局公告之地震震度分級表圖

階段	振幅距離(cm)	頻率	推算加速度(cm/sec^2)	推算對應震度分級	
1	2.5	0.15	2.2	1	微震
2	2.5	0.28	7.7	2	輕震
3	2.5	0.4	15.7	3	弱震
4	2.5	0.85	71.3	4	中震
5	2.5	1.5	222.	5	強震
6	2.5	1.73	295.3	6	烈震
7	2.5	2.11	439.4	7	劇震

註：推算加速度(cm/sec^2) 對應圖 6 中央氣象局地震震度分級表圖內的地動加速度。

震度分級	地動加速度範圍	人的感受	物內情形	屋外情形
0. 無感	0.8 Gal 以下	人無感覺。		
1. 微震	0.8 ~ 2.5 Gal	人靜止時可感覺微小搖晃。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。
2. 輕震	2.5 ~ 8.0 Gal	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來。	房屋震動，碗盤、門窗發出聲音，懸掛物搖擺。	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。
3. 弱震	8 ~ 25 Gal	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害。	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖動，步行中的人也感到搖晃。
4. 中震	25 ~ 80 Gal	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒。	部分牆壁產生裂痕，重家具可能翻倒。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊窗窗傾倒。
5. 強震	80 ~ 250 Gal	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分建築物受損，重家具翻倒，門窗扭曲變形。	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象。
6. 烈震	250 ~ 400 Gal	搖晃劇烈以致站立困難。	部分建築物受損嚴重或倒塌幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面。	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞。
7. 劇震	400 Gal 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動。		

備註: 1Gal = 1cm/s²

圖 6 交通部中央氣象局公告之地震震度分級表圖

(二) 不同波形震波實驗方式

1. 樂夫波實驗方式

樂夫波粒子振動方向和波前進方向垂直，但振動只發生在水平方向上，沒有垂直分量，類似於S波，差別是側向震動振幅會隨深度增加而減少。本組從樂夫波運動方式得知，其樂夫波的粒子震動方向和波前進方向垂直，為了模擬樂夫波的運動方式做實驗，將震動台上裝置一只與波運動方向平行的木門鉸鍊，並在平台下方，利用安裝滑輪與斜面軌，讓平台能有垂直上下高低，像S波一樣的搖動作為放置容器測試平台。

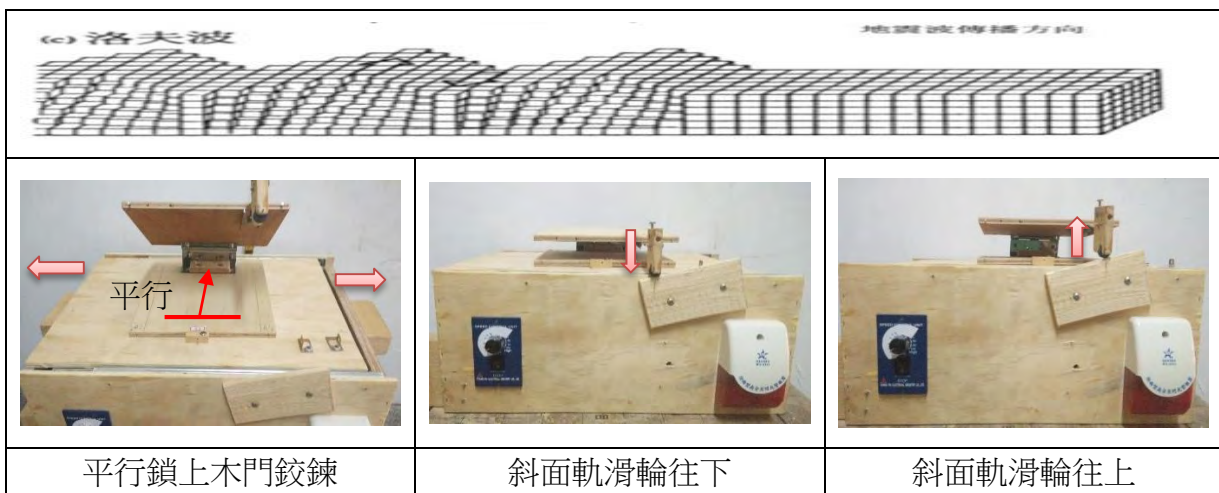


圖 7 樂夫波測試震動平台解說圖

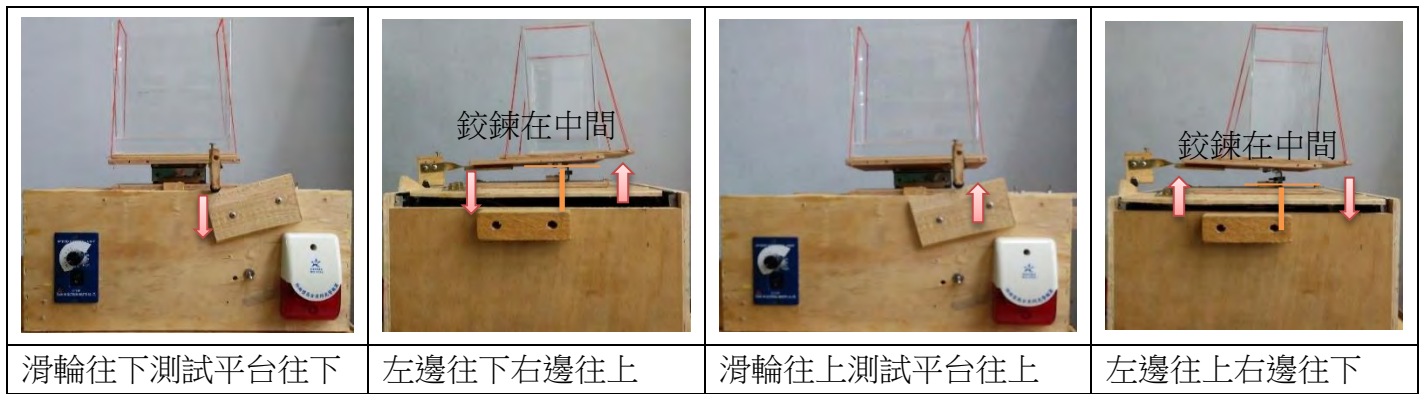


圖 8 樂夫波測試平台波動解說圖

2. 雷利波實驗方式

雷利波又稱為地滾波，粒子運動方式類似海浪，在垂直面上，粒子呈逆時針橢圓形振動震，震動振幅一樣會隨深度增加而減少。本組從雷利波運動方式得知，其雷利波的粒子運動方式像海浪一樣，為了模擬雷利波的運動方式做實驗，將震動台上裝一只與波運動方向垂直的木門鉸鍊，並在平台下方，利用安裝滑輪與斜面軌，讓平台能有水平上下高低，像海浪一樣的搖動，作為放置容器測試平台。

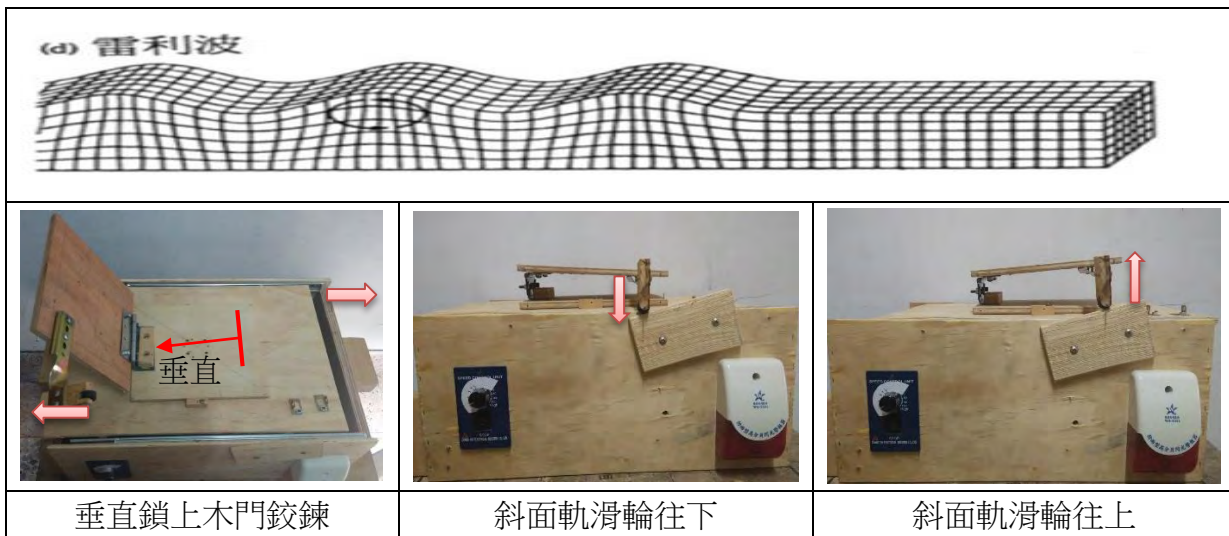


圖 9 雷利波測試震動平台解說圖

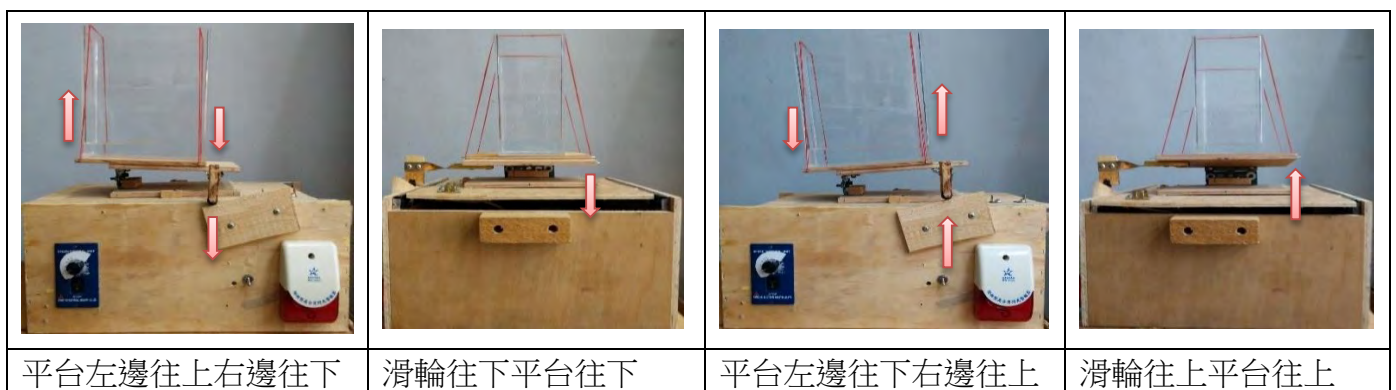


圖 10 雷利波測試平台波動解說圖

(三) 水波模擬箱，水受不同波形震波水波變化情形實驗方法

1. 樂夫波與雷利波實驗方法

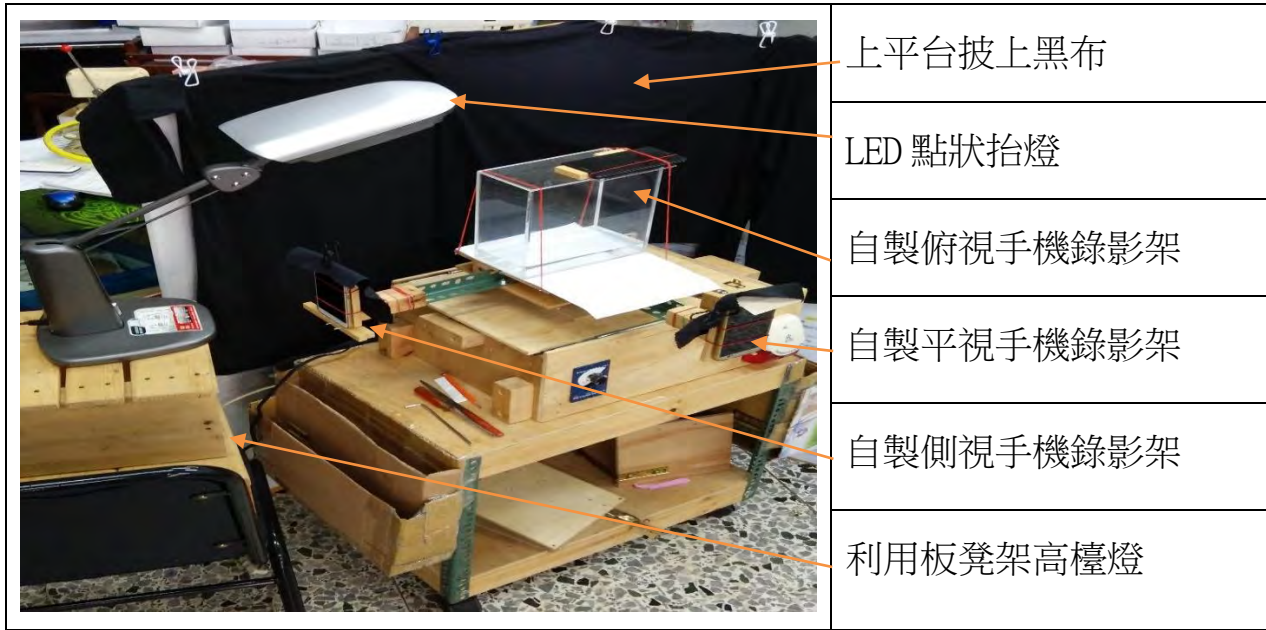


圖 11 樂夫波與雷利波錄影水波模擬箱震動實驗解說圖

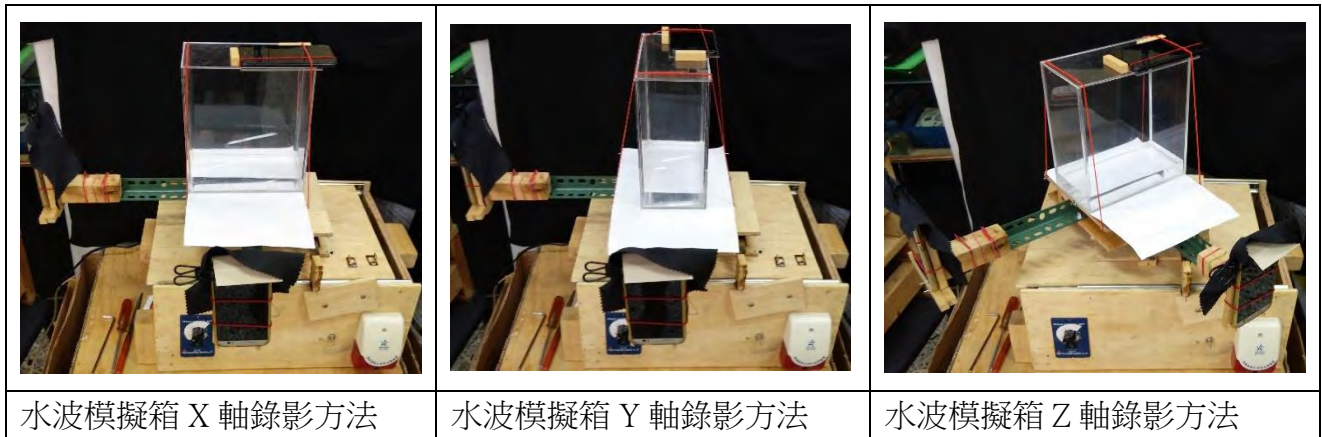


圖 12 樂夫波與雷利波錄影震動平台解說圖

(1) 樂夫波與雷利波測試平台，中間放置長 20 公分×寬 10 公分長方形水波模擬箱，注入 3 公分高度的水，利用橡皮圈固定平視、俯視、側視手機與水波模擬箱。手機開啟錄影模式，打開檯燈、平視、側視與俯視手機，同步開啟錄影、震動台電源，進行一分鐘錄影。

(四) 圓柱體容器中，水所受震波大小測試水位高低實驗方法

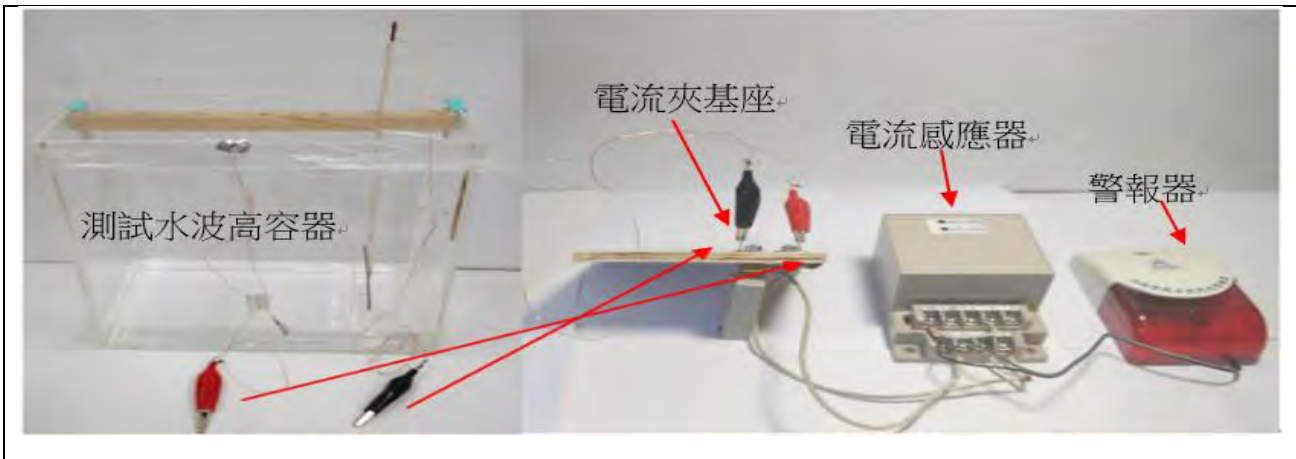
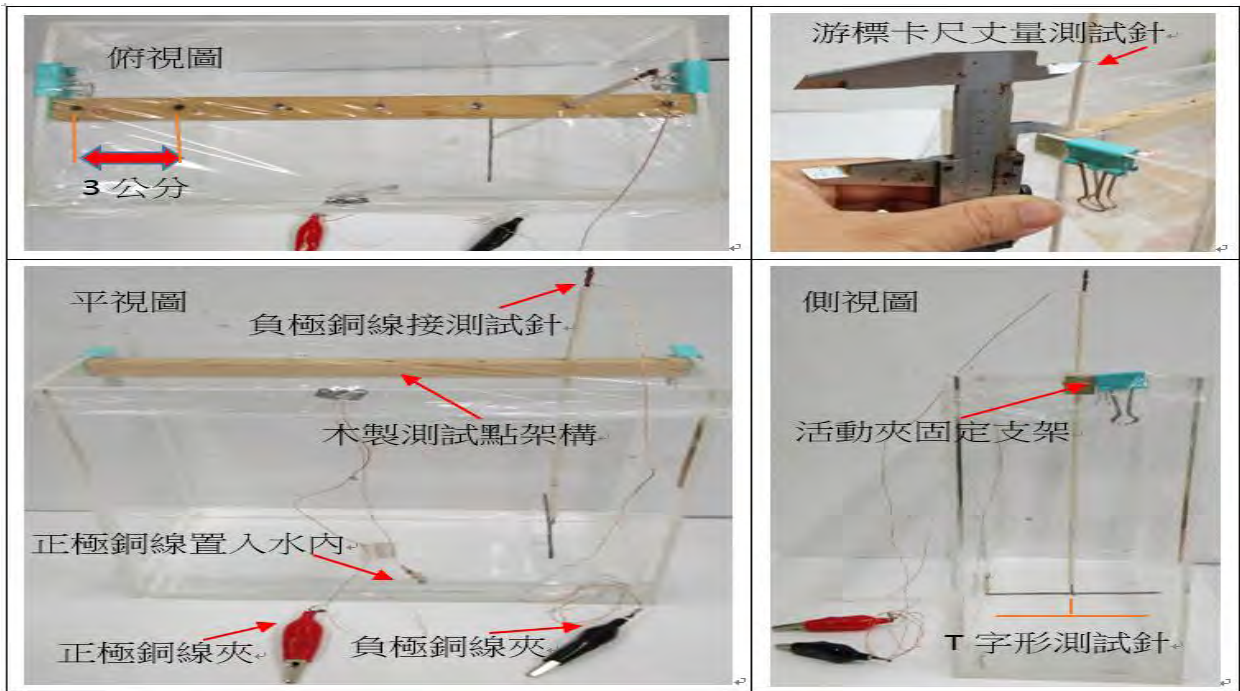


圖 13 水波高低測試方法解說圖

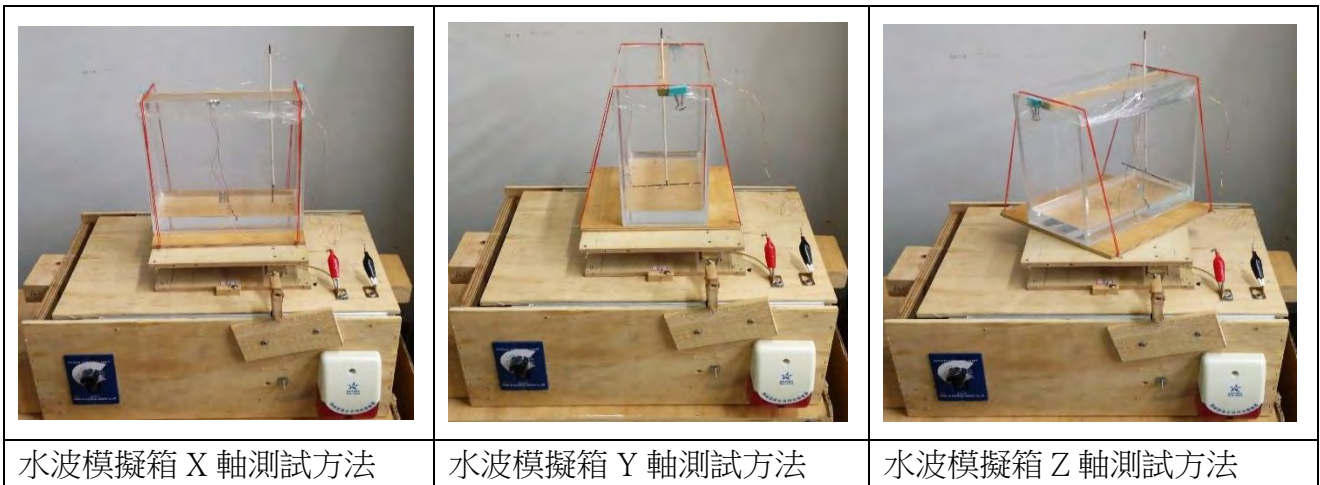


圖 14 不同軸向水波高低測試方法解說圖

- (1) 本組利用電流感應水波導電原理，測試水波高度，正極導電線置入水波內，負極連接 T 形測試針插入一字測試點架構，T 形測試針點慢慢接觸水平面，然後在一字測試點架構與測試針接觸處，畫出一條藍色線條，作為水位歸零點。
- (2) 木製一字測試點架構，以長方形水波模擬箱內徑邊緣算起畫出 7 個點，左右分別距離內徑 0.5 公分測試點、以及每隔 3 公分處作為測試點。
- (3) 長方形水波模擬箱放置與波的前進方向 180 度為 X 軸、90 度為 Y 軸、45 度為 Z 軸。
- (4) 長方形水波模擬箱尺寸為長 20 公分×寬 10 公分，長方形水波模擬箱，裝 3 公分高度的水進行測試。
- (5) 利用橡皮圈固定水波模擬箱，開啟震動平台，T 形測試針由高往下，找出水波最高點，並利用游標卡尺丈量水位高度。以上測試，每一個測試點，尋找出最高水波高，以上程序重覆測試 6 次，記錄 6 次水波最高公分數，再計算出平均值。

伍、研究結果與討論

一、探討長方形水波模擬箱，水受樂夫波在不同大小震度震盪影響，水波變化情形。

(一) 地震樂夫波模擬震度一級水波震盪情形

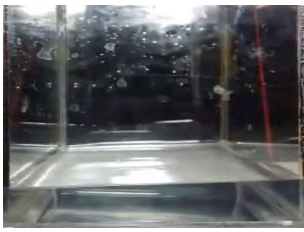

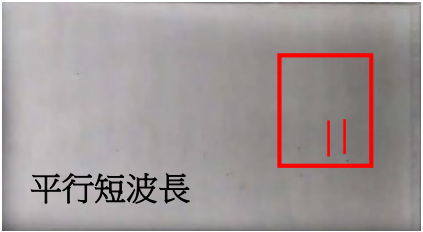
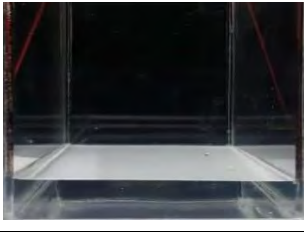
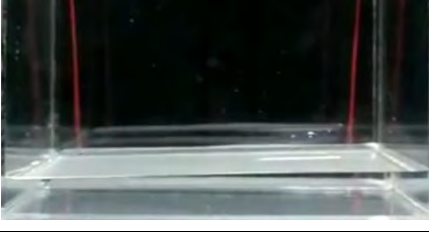
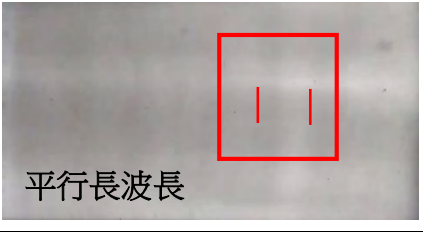



樂夫波加速度 2.2(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱		側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸			 平行短波長
	Y 軸			 平行長波長
	Z 軸			 平行中波長

圖 15 樂夫波模擬震度一級波震盪概況圖

1. 從圖 15，震度一級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，**X 軸**為平行短波長，**Y 軸**為平行長波長，**Z 軸**為平行中波長。平視圖與側視圖水波震盪不明顯。

(二) 地震樂夫波模擬震度二級水波震盪情形



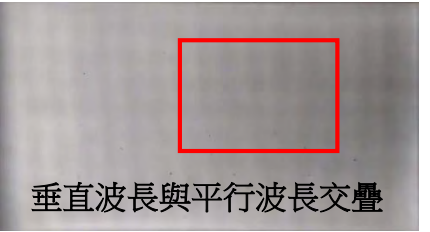
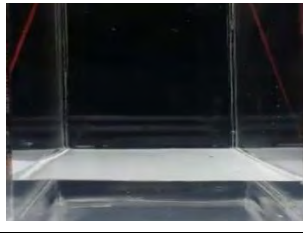
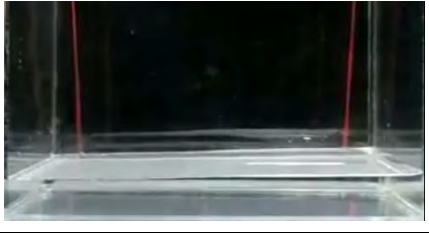
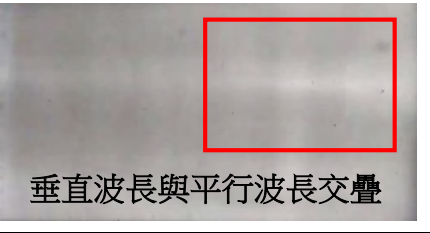

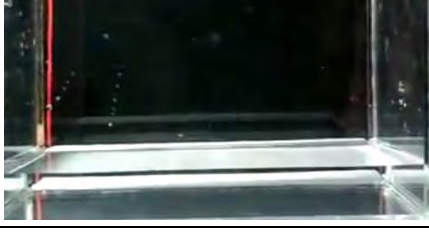
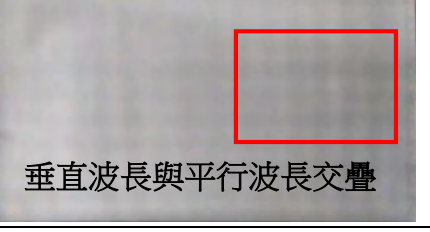
樂夫波加速度 $7.7(\text{cm}/\text{sec}^2)$ 水波震盪概況				
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖	
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸			 垂直波長與平行波長交疊
	Y 軸			 垂直波長與平行波長交疊
	Z 軸			 垂直波長與平行波長交疊

圖 16 樂夫波模擬震度二級水波震盪概況

1. 從圖 16，震度二級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，**X 軸**為垂直波長與平行波長交疊，**Y 軸**垂直波長與平行波長交疊，**Z 軸**為垂直波長與平行波長交疊。平視圖與側視圖水波震盪不明顯。

(三) 地震樂夫波模擬震度三級水波震盪情形

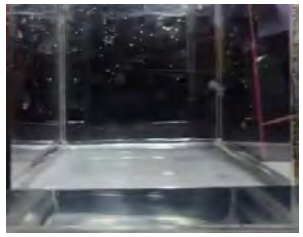

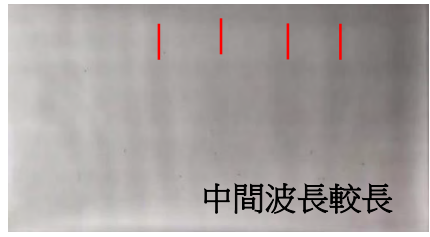
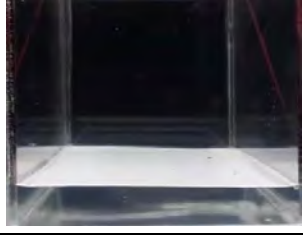
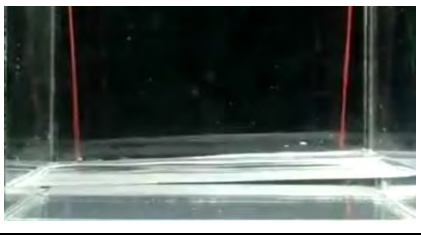
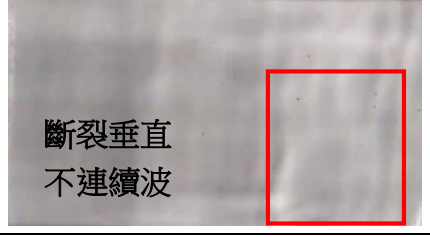
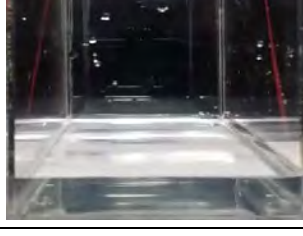

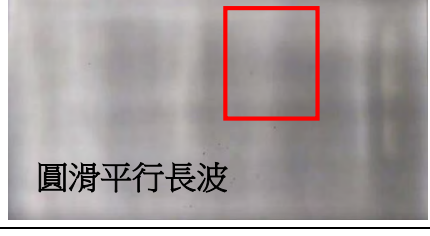
樂夫波加速度 15.7(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖	
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸			 中間波長較長
	Y 軸			 斷裂垂直 不連續波
	Z 軸			 圓滑平行長波

圖 17 樂夫波模擬震度三級水波震盪概況

1. 從圖 17，震度三級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為中間波長較長左右波長較短，Y 軸為斷裂垂直不連續波，Z 軸為圓滑平行長波。平視圖與側視圖水波震盪已有水波輪廓。

(四) 地震樂夫波模擬震度四級水波震盪情形



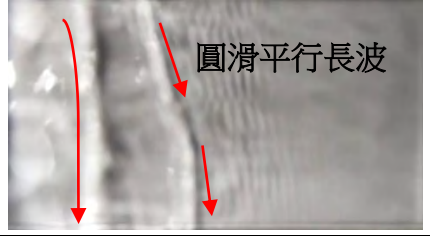

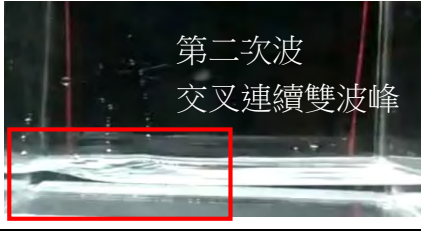
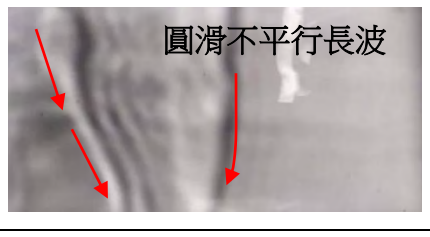
樂夫波加速度 71.3(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖	
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		 第二次波 單一高波峰	 圓滑平行長波
	Y 軸		 第二次波 交叉連續雙波峰	 圓滑不平行長波



圖 18 樂夫波模擬震度四級水波震盪概況

1. 從圖 18，震度四級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為圓滑平行長波，Y 軸為圓滑不平行長波，Z 軸為圓滑平行長波。
2. 從圖 18，平視圖的波形，X 軸已經產生第二次波的單一高波峰，其波峰較高、波谷較陡及波長較短，Y 軸已經產生第二次波的交叉連續雙波峰，Z 軸已經產生第二次波的平行連續雙波峰，其波峰較低、波谷較平緩及波長較長。
3. 從圖 18，側視圖的波形，水波震盪已有成型的水波輪廓。

(五) 地震樂夫波模擬震度五級水波震盪情形

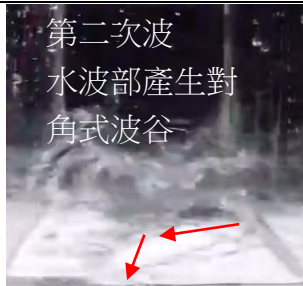
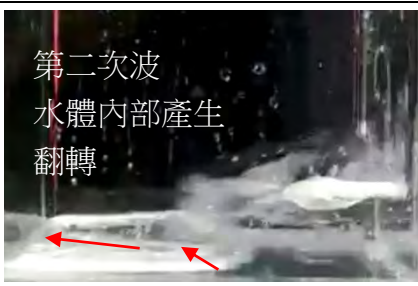


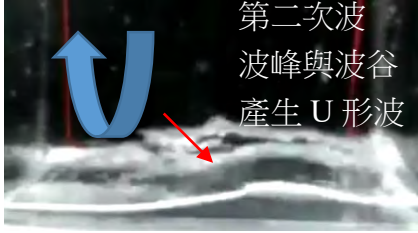
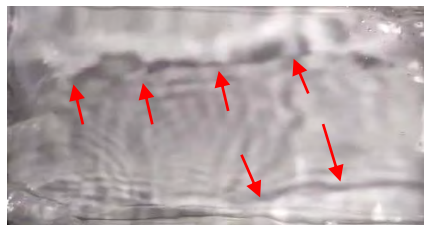



樂夫波加速度 222(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱		側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸	 第二次波 水波部產生對 角式波谷	 第二次波 水體內部產生 翻轉	
	Y 軸	 第二次波 水波部產生對 角式波谷	 第二次波 波峰與波谷 產生 U 形波	
	Z 軸	 第二次波 水波部產生對 角式波谷	 第二次波 水體內部產生 翻轉	

圖 19 樂夫波模擬震度五級水波震盪概況

1. 從圖 19，震度五級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為紊流擾動波形，Y 軸為垂直上下紊流波形，Z 軸為紊流波流擾動波形。

- 從圖 19，平視圖的波形，X 軸為第二次波的單一高波峰，水體內部產生翻轉，Y 軸為第二次波的波峰與波谷產生 U 形波，Z 軸為第二次波的單一高波峰，水體內部產生翻轉。
- 從圖 19，側視圖的波形，X 軸為第二次波的水波內部產生對角式波谷，Y 軸為第二次波左右波峰與中間波谷的 U 形波，Z 軸為第二次波的水波內部產生對角式波谷。

(六) 地震樂夫波加速度模擬震度六級水波震盪情形

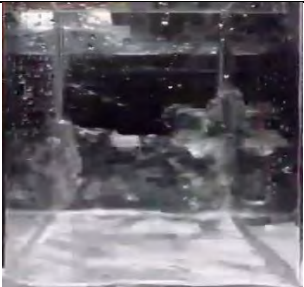

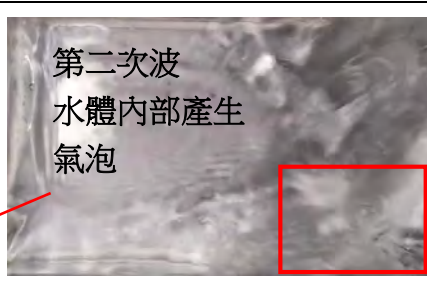
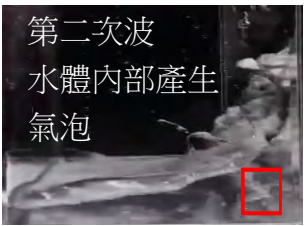




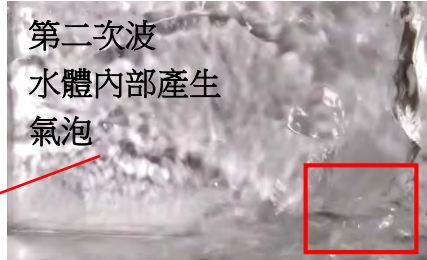
樂夫波加速度 295.3(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖	
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		第二次波波峰已產生 往下破碎波 	第二次波 水體內部產生 氣泡 
	Y 軸	第二次波 水體內部產生 氣泡 		
	Z 軸		第二次波波峰已產生 往上破碎波 	第二次波 水體內部產生 氣泡 

圖 20 樂夫波模擬震度六級水波震盪概況

- 從圖 20，震度六級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為紊流擾動波形，Y 軸為垂直上下紊流波形，Z 軸為紊流擾動波形。
- 從圖 20，平視圖的波形，X 軸為第二次波的單一高波峰，波峰已產生往下破碎波，水體內部產生氣泡等現象，Y 軸為第二次波的波峰與波谷產生 U 形波，水體內部產生氣泡等現象，Z 軸為第二次波的單一高波峰，波峰已產生往上破碎波，水體內部產生氣泡等現象。

(七) 地震樂夫波模擬震度七級水波震盪情形

樂夫波加速度 439.4(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖	
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		第二次波波峰已產生甩拋破碎波 	
	Y 軸		第二次波波峰已產生甩拋破碎波 	
	Z 軸		第二次波波峰已產生甩拋破碎波 	

圖 21 樂夫波模擬震度七級水波震盪概況

1. 從圖 21，震度七級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，**X 軸**為破碎紊流擾動波形，**Y 軸**為快速垂直上下紊流波形，**Z 軸**為快速紊流波流擾動波形。
2. 從圖 21，平視圖的波形，**X 軸**為第二次波的單一高波峰，水體內部產生翻轉，水體內部產生氣泡，波峰已產生甩拋破碎波等現象，**Y 軸**為第二次波的單一高波峰，水體內部產生翻轉，水體內部產生氣泡，波峰已產生甩拋破碎波等現象，**Z 軸**為第二次波的單一高波峰，水體內部產生翻轉，水體內部產生氣泡，波峰已產生甩拋破碎波等現象。

討論:

1. 由下表 1 觀察發現模擬震度一級至二級，表面波的波形，為有規律的平行波長與垂直波長與平行波長交疊，為何會產生這個現象呢?本組推論當水波模擬箱受樂夫波振盪影響，水波模擬箱除了受水平振動，還有少許的垂直振動影響，容器內的波動會往水平方向推，碰撞器壁產生反射的波動，當波回到容器中間時，此時又受到垂直振動力的影響，水平波動與垂直水平波動相互干涉，因此產生了垂直波長與平行波長交疊現象。水波震盪不明顯。
2. 由下表 1 觀察發現模擬震度三級表面波的波形，中間波長較長左右波長較短，Y 軸為斷裂垂直不連續波，Z 軸為圓滑平行長波，水波震盪不明顯。
3. 由下表 1 觀察發現模擬震度四級表面波的波形，圓滑平行長波與圓滑不平行長波，已經產生第二次波，單一高波峰、交叉連續雙波峰，以及平行連續雙波峰等，水波輪廓已成形。
4. 由下表 1 觀察發現模擬震度五級表面波的波形，紊流擾動波形以及垂直上下紊流波形，第二次波單一高波峰，水波產生對角式波谷、對角式波峰，水波對角式有規律的 360 度旋轉本組把這個現象的波動稱之為對角式螺旋波動。Y 軸第二次波，左右波峰、中間波谷的 U 形波。
5. 由下表 1 觀察發現模擬震度六級、七級表面波的波形，紊流擾動波形以及垂直上下紊流波形，第二次波單一高波峰，水體內部翻轉、水體內部產生氣泡、水波流速最快，波峰已產生用拋破碎波等現象。Y 軸為波峰與波谷產生 U 形波，水體內部產生氣泡等現象。

綜合以上不同加速度，本組把水波外觀與水波運動方式分類如下表:

表 1 水波外觀與水波運動方式差異表

不同震度	表面波的波形	水波運動方式	水 波 特 點
模擬震度一級	規律平行波動	波動不明顯	水波震盪不明顯
模擬震度二級	垂直平行交疊	波動不明顯	垂直波長與平行波長交疊
模擬震度三級	平行長短波動	已有水波輪廓	中間長波左右短波、圓滑平行長波
模擬震度四級	圓滑形波動	已成形第二次波	交叉連續雙波峰、平行連續雙波峰
模擬震度五級	紊流擾動波形	360 度旋轉波動	對角式波谷及對角式波峰的螺旋波動
模擬震度六級	上下紊流波形	波峰已產破碎波	波峰已破碎波水體內部產生氣泡等現象
模擬震度七級	紊流擾動波形	波峰上下破碎波	水波內部翻轉流速最快波峰用拋破碎波

二、 探討長方形水波模擬箱，水受雷利波在不同大小震度震盪影響，水波變化情形

(一) 地震雷利波模擬震度一級水波震盪情形

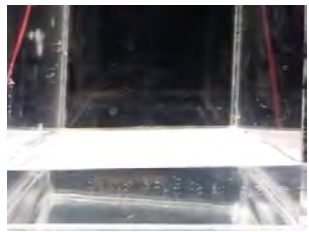

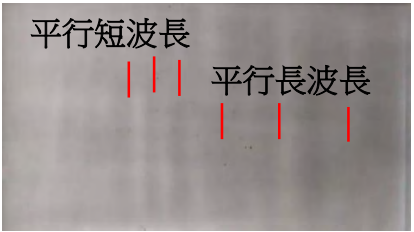
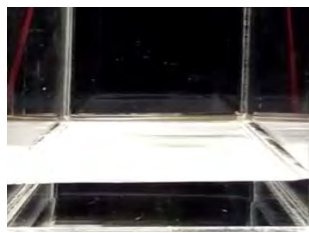

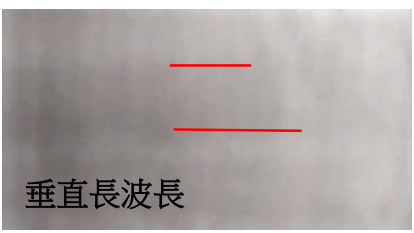
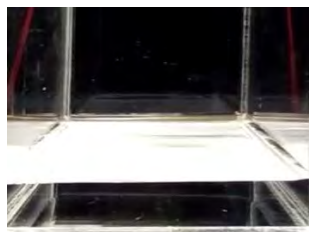
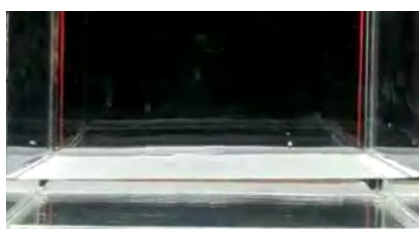
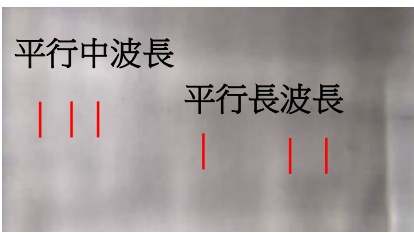
雷利波加速度 2.2(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱		側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸			平行短波長 
	Y 軸			垂直長波長 
	Z 軸			平行中波長 平行長波長 

圖 22 雷利波模擬震度一級水波震盪概況

1. 從圖 22，震度一級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為平行長波與短波，Y 軸為平行長波長，Z 軸為平行中波與長波。平視圖與側視圖水波震盪不明顯。

(二) 地震雷利波模擬震度二級水波震盪情形

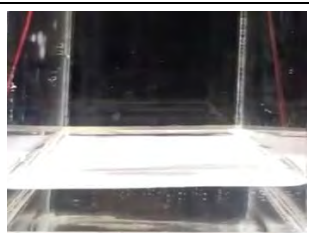

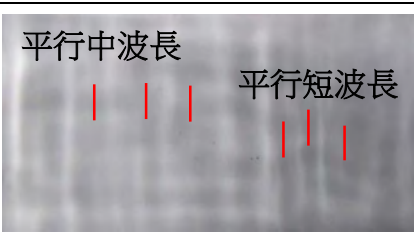
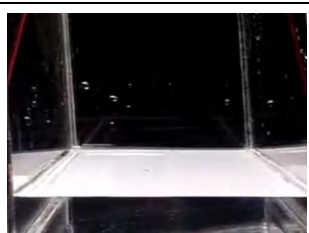

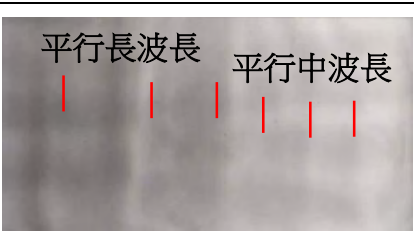
雷利波加速度 7.7(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱		側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸			平行中波長 平行短波長 
	Y 軸			平行長波長 平行中波長 



圖 23 雷利波模擬震度二級水波震盪概況

1. 從圖 23，震度二級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為平行中波與短波，Y 軸為平行長波與中波，Z 軸為平行雙連波長。平視圖與側視圖水波震盪不明顯。

(三) 地震雷利波模擬震度三級水波震盪情形

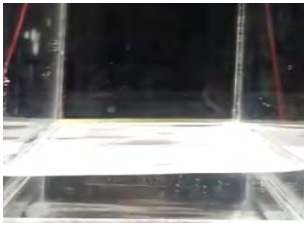

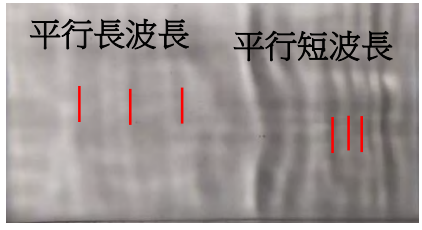
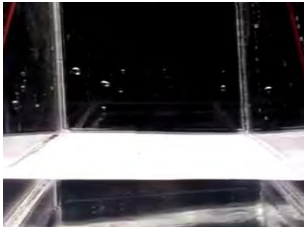

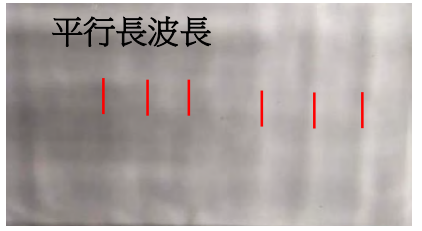

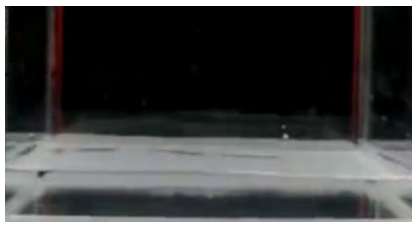
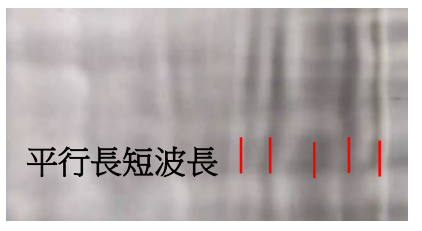
雷利波加速度 15.7(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱		側視圖	平視圖	俯視圖
不同 軸度 震盪 水波 運動 圖	X 軸			
	Y 軸			
	Z 軸			

圖 24 雷利波模擬震度三級水波震盪概況

1. 從圖 24，震度三級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為平行長波與短波，Y 軸為平行長波長，Z 軸為平行長短波長。平視圖與側視圖水波震盪不明顯。

(四) 地震雷利波模擬震度四級水波震盪情形

雷利波加速度 71.3(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖	
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸			 平行波長與垂直波長交疊
	Y 軸			 平行波長 不明顯平行波長
	Z 軸			 平行波長與垂直波長交疊

圖 25 雷利波模擬震度四級水波震盪概況

1. 從圖 25，震度四級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，**X 軸**為平行波長與垂直波長交疊，**Y 軸**為平行長波長與不明顯平行波長，**Z 軸**為平行波長與垂直波長交疊。平視圖與側視圖水波震盪不明顯。

(五) 地震雷利波模擬震度五級水波震盪情形

雷利波加速度 222(cm/sec ²)水波震盪概況				
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖	
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		 第二次波 波峰寬 波峰低	 平行紊流波
	Y 軸		 第二次波 波峰與波谷 產生 U 形波	 垂直圓滑平行波



圖 26 雷利波模擬震度五級水波震盪概況

1. 從圖 26，震度五級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為平行紊擾動波形，Y 軸為垂直圓滑平行波，Z 軸為平行紊流擾動波形。
2. 從圖 26，平視圖的波形，X 軸已經產生第二次波的單一高波峰，其波峰較低、波峰較寬、波谷較平緩、波長較長，Y 軸已經產生第二次波，其波峰與波谷產生 U 形波，Z 軸已經產生第二次波的平行連續雙波峰，其波峰較高、波峰較窄、波谷較陡、波長較短。側視圖的波形，水波震盪已有成型的水波輪廓。

(六) 地震雷利波模擬震度六級水波震盪情形


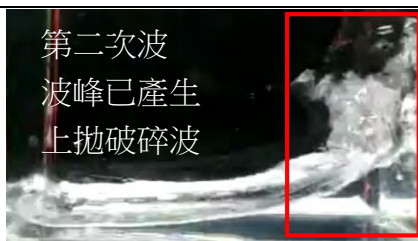
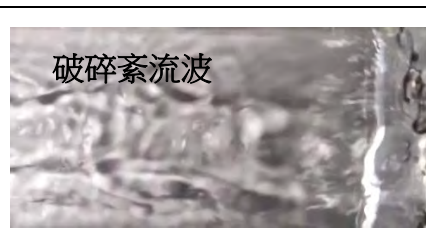

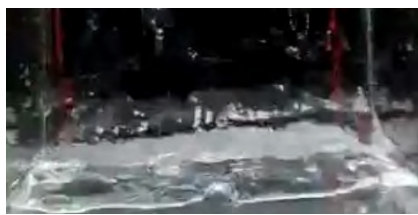
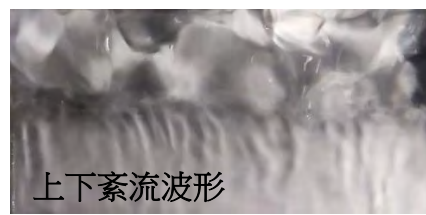

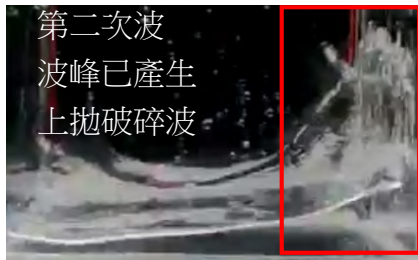
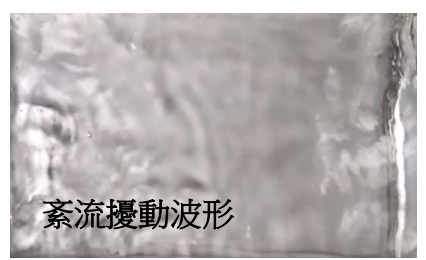
雷利波加速度 $295.3(\text{cm}/\text{sec}^2)$ 水波震盪概況				
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖	
不同 軸度 震盪 水波 運動 圖	X 軸		 第二次波 波峰已產生 上拋破碎波	 破碎紊流波
	Y 軸			 上下紊流波形
	Z 軸		 第二次波 波峰已產生 上拋破碎波	 紊流擾動波形

圖 27 雷利波模擬震度六級水波震盪概況

1. 從圖 27，震度六級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為破碎紊擾動波形，Y 軸為垂直上下紊流波形，Z 軸為紊流擾動波形。

2. 從圖 27，平視圖的波形，X 軸為第二次波的單一高波峰，波峰已產生往上破碎波，水體內部產生翻轉，Y 軸為第二次波的波峰與波谷產生 U 形波，Z 軸為第二次波的單一高波峰，波峰已產生往上破碎波，水體內部產生翻轉等現象。

(七) 地震雷利波模擬震度七級水波震盪情形

雷利波加速度 439.4(cm/sec ²)水波震盪概況					
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖		
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		第二次波 波峰窄 波峰高 	氣泡 平行紊流波	
	Y 軸	 氣泡 	 第二次波 波峰已產生 甩拋破碎波	上下紊流波	
	Z 軸		第二次波 波峰寬 波峰低 	快速紊流波	氣泡

圖 28 雷利波模擬震度七級水波震盪概況

1. 從圖 28，震度七級水波震盪概況圖觀察發現，俯視圖表面波的波形，X 軸為平行紊流波，Y 軸為快速垂直上下紊流波形，Z 軸為快速紊流波。
2. 從圖 28，平視圖的波形，X 軸為第二次波的單一高波峰，其波峰較窄、波峰較高、水體內部產生翻轉，水體內部產生氣泡等現象，Y 軸為第二次波的單一高波峰，水體內部產生翻轉，水體內部產生氣泡，波峰已產生甩拋破碎波等現象，Z 軸為第二次波的單一高波峰，其波峰較低、波峰較寬、水體內部產生翻轉，水體內部產生氣泡等現象。

討論:

1. 由下表 2 觀察發現模擬震度一級、二級、三級表面波的波形，為有規律的平行長波、中波、短波、雙連波交互水波運動，水波震盪不明顯。
2. 由下表 2 觀察發現模擬震度四級表面波的波形，為平行波長與垂直波長交疊、平行長波長與不明顯平行波長，水波震盪已有水波輪廓。
3. 由下表 2 觀察發現模擬震度五級表面波的波形，為平行紊流擾動波形以及垂直圓滑平行波，水波產生第二次波的單一高波峰，低寬波峰、平緩波谷與高窄波峰、較陡波谷，水波震盪已有成型的水波輪廓。
4. 由下表 2 觀察發現模擬震度六級、七級表面波的波形為，破碎紊流擾動波、垂直上下紊流波、平行紊流快速紊流波，為第二次波的單一高波峰，波峰已產生往上下破碎波波峰、低寬波峰、高窄波峰，其水體內部翻轉、水體內部產生氣泡、水波流速最快，波峰已產生甩拋破碎波等現象。Y 軸為第二次波的波峰與波谷產生 U 形波。

綜合以上不同震度，本組把水波外觀與水波運動方式分類如下表:

表 2 水波外觀與水波運動方式差異表

不同震度	表面波的波形	水波運動方式	水 波 特 點
模擬震度一級	長中短平行波	波動不明顯	規律平行長波、中波、短波交互運動
模擬震度二級	長中短平行波	波動不明顯	長、中、短波、雙連波長交互運動
模擬震度三級	長中短平行波	波動不明顯	規律平行長波、中波、短波交互運動
模擬震度四級	垂直平行交疊	成形波輪廓	平行與垂直交疊波長與不明顯平行波長
模擬震度五級	平行紊流擾動	形成第二次波	低寬波峰平緩波谷、高窄波峰較陡波谷
模擬震度六級	破碎紊流擾動	波峰已產破碎波	波峰已破碎波水體內部產生氣泡等現象
模擬震度七級	快速紊流波形	波峰上下破碎波	水波內部翻轉流速最快波峰甩拋破碎波

三、 探討長方形水波模擬箱，水受樂夫波在不同大小震度震盪，水波高低變化情形。

(一) 水波模擬箱受樂夫波 X 軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

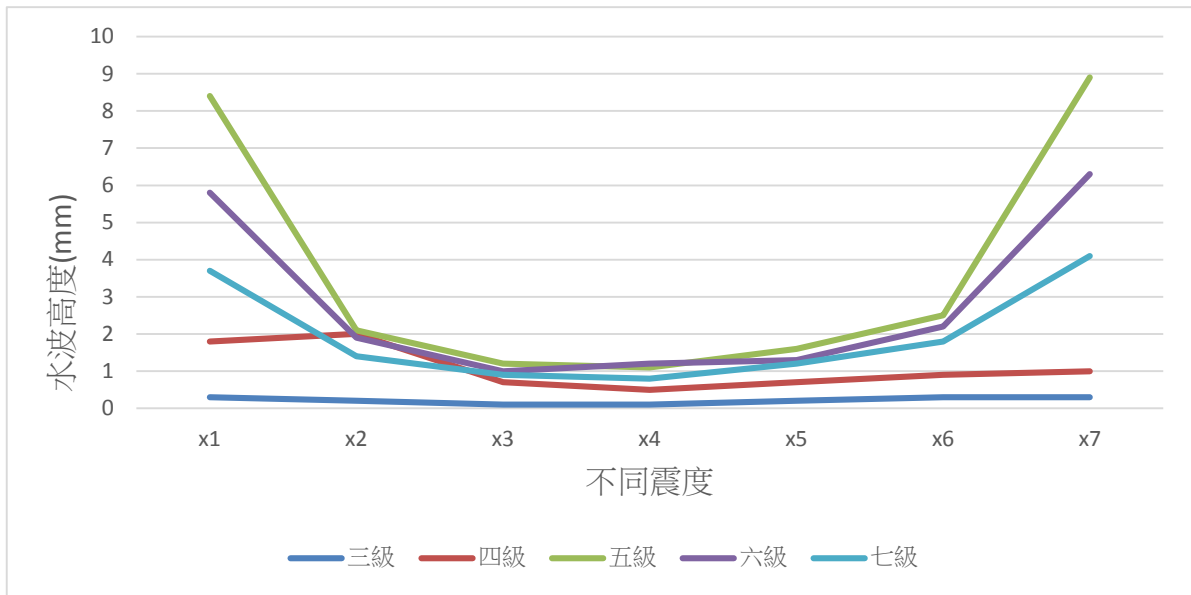


圖 29 樂夫波 X 軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

1. 由以上圖 29 樂夫波 X 軸前進方向不同震度與水波高低關係圖，觀察發現模擬震度一級至二級水波高度為 0.1 公分以下；模擬震度三級，其水波高度從 0.1 公分到 0.3 公分；模擬震度四級產生第二次波其水波高度從 0.5 公分到 2.0 公分；模擬震度五級水波高度為最大值，其水波高度從 1.1 公分到 8.9 公分；模擬震度六級水波高度開始往下滑，其水波高度從 1.0 公分到 6.3 公分；模擬震度七級水波流速最快，其水波高度從 0.8 公分到 4.5 公分。

(二) 水波模擬箱受樂夫波 Y 軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

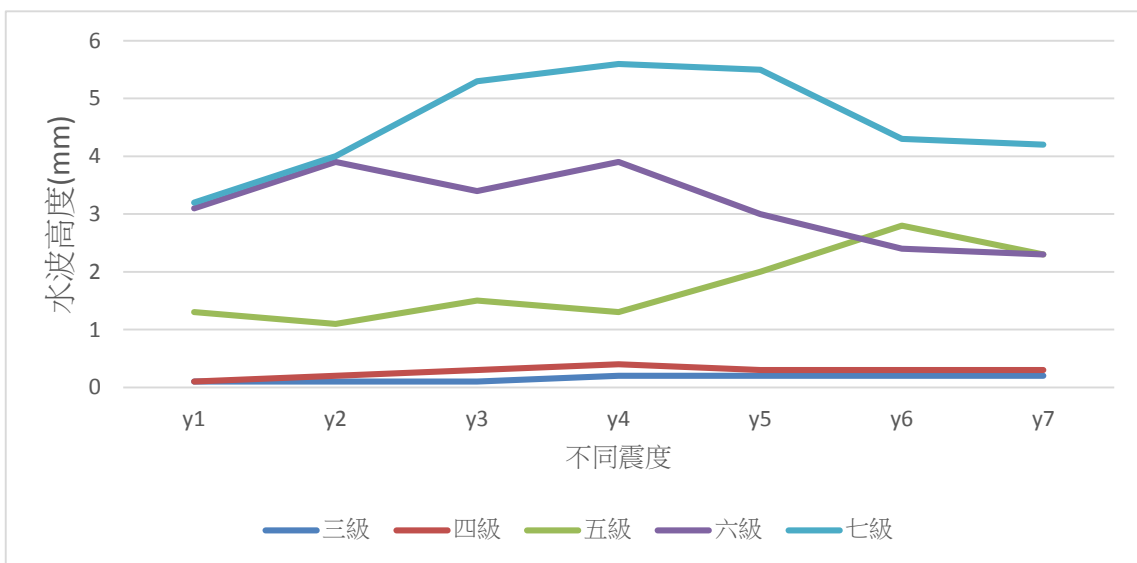


圖 30 樂夫波 Y 軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

1. 由圖 30 樂夫波 Y 軸前進方向不同震度與水波高低關係圖，觀察發現模擬震度一級至二級水波高度為 0.1 公分以下；模擬震度三級，其水波高度從 0.1 公分到 0.2 公分；模擬震度四級產生第二次波其水波高度從 0.1 公分到 0.4 公分；模擬震度五級水波高度從 1.1 公分到 2.8 公分；模擬震度六級水波高度從 2.3 公分到 3.9 公分；模擬震度七級水波高度為最大值，水波流速最快，其水波高度從 3.2 公分到 5.6 公分。

(三) 水波模擬箱受樂夫波 Z 軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

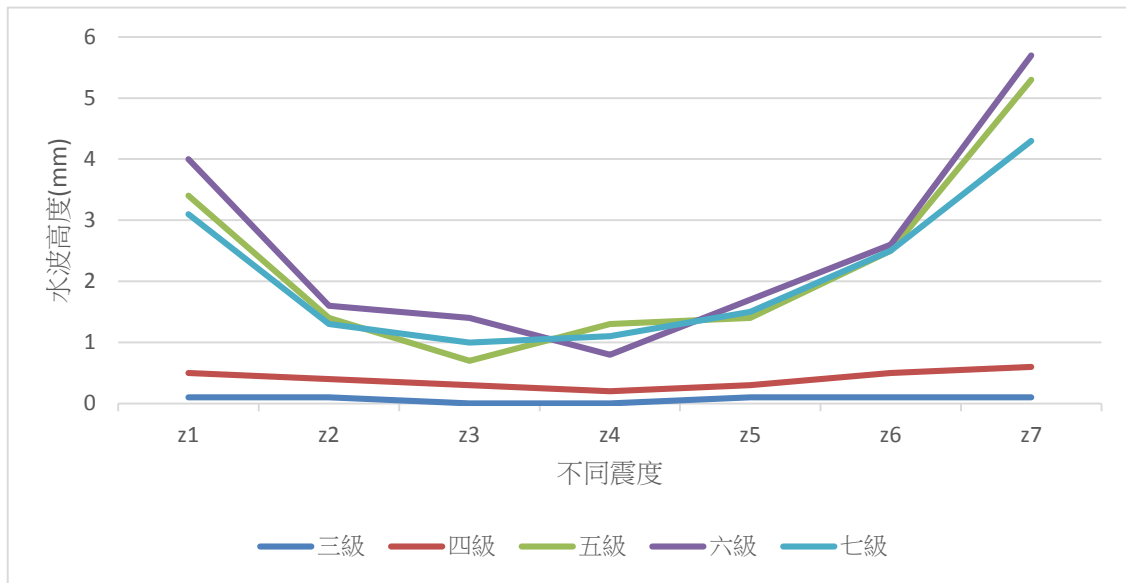


圖 31 樂夫波 Z 軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

1. 由以上圖 31 樂夫波 Z 軸前進方向不同震度與水波高低關係圖，觀察發現模擬震度一級至二級水波高度為 0.1 公分以下；水在模擬震度三級其水波高度從 0.0 公分到 0.1 公分；模擬震度四級產生第二次波其水波高度從 0.2 公分到 0.6 公分；模擬震度五級水波高度從 0.7 公分到 5.3 公分；模擬震度六級水波高度為最大值，水波高度從 0.8 公分到 5.7 公分；模擬震度七級水波高度開始往下滑，水波流速最快，其水波高度從 1.0 公分到 4.3 公分。

討論:

1. 由下表 3 可以得知，水波模擬箱受樂夫波 X 軸、Y 軸、Z 軸前進方向震盪，模擬震度一級至模擬震度二級水波高度不明顯；模擬震度三級水波輪廓產生；模擬震四度級產生第二次波其水波高度從 0.1 公分到 1.8 公分高；X 軸模擬震度五級、Y 軸模擬震度七級、Z 軸模擬震度六級水波高最大值；X 軸模擬震度六級、Y 軸模擬震度七級之後，Z 軸模擬震度七級水波高度開始往下滑。

綜合以上樂夫波的前進方向，水波模擬箱受 X 軸、Y 軸、Z 軸震盪，本組把不同震度水波高及水波現象，分成四個波段，分別為 0.1 公分以下波段、產生第二次波段、水波高最大值波段、水波高下滑波段，其水波高度與不同震度關係如下所表。

表 3 樂夫波前進方向在不同震度與水波高低關係表

波形	不同模擬震度	X 軸水波高	Y 軸水波高	Z 軸水波高
樂夫波	模擬震度一級	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段
	模擬震度二級	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段
	模擬震度三級	0.1 至 0.3 公分	0.1 至 0.2 公分	0.0 至 0.1 公分
	模擬震度四級	0.5 至 1.8 公分	0.1 至 0.4 公分	0.2 至 0.6 公分
	水波現象	產生第二次波	產生第二次波	產生第二次波
	模擬震度五級	1.1 至 8.9 公分	1.1 至 2.8 公分	0.7 至 5.3 公分
	水波現象	水波高最大值		
模擬震度六級	1.0 至 6.3 公分	2.3 至 3.9 公分	0.8 至 5.7 公分	
水波現象	水波高下滑		水波高最大值	
模擬震度七級	0.8 至 4.5 公分	3.2 至 5.6 公分	1.0 至 4.3 公分	
水波現象		水波高最大值	水波高下滑	

四、探討長方形水波模擬箱，水受雷利波在不同震度震盪，水波高低變化情形。

(一) 水波模擬箱受雷利波 X 軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

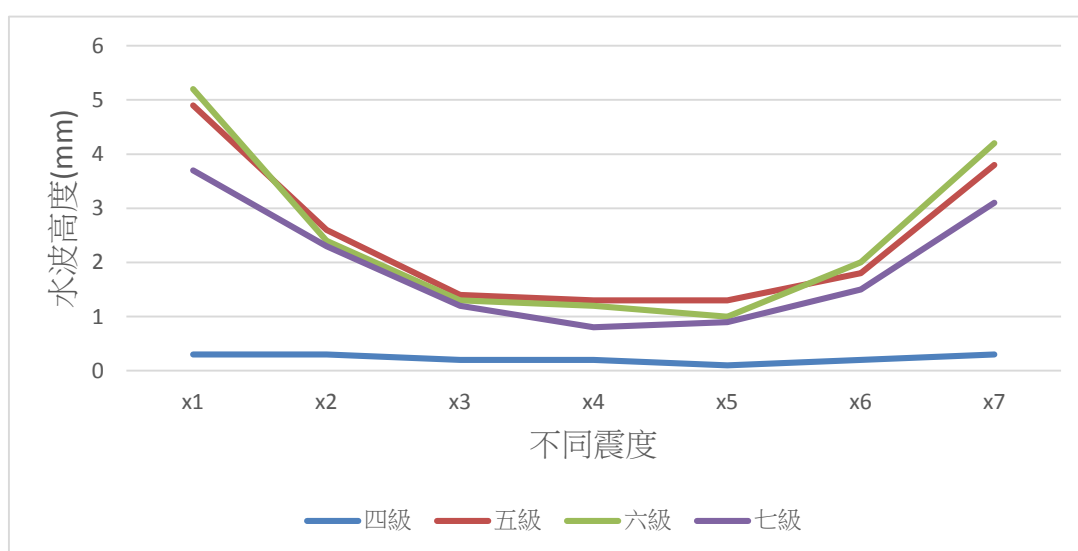


圖 32 雷利波 X 軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

1. 由以上圖 32 雷利波 X 軸前進方向不同震度與水波高低關係圖，觀察發現模擬震度一級、二級、三級水波高度為 0.1 公分以下；模擬震度四級產生水波輪廓，其水波高度從 0.1 公分到 0.3 公分；模擬震度五級產生第二次波其水波高度從 1.3 公分到 4.9 公分；模擬震度六級水波高度為最大值，其水波高度從 1.0 公分到 5.2 公分高；模擬震度七級水波高度開始往下滑，其水波高度從 0.8 公分到 3.7 公分高。

(二) 水波模擬箱受雷利波 Y 軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

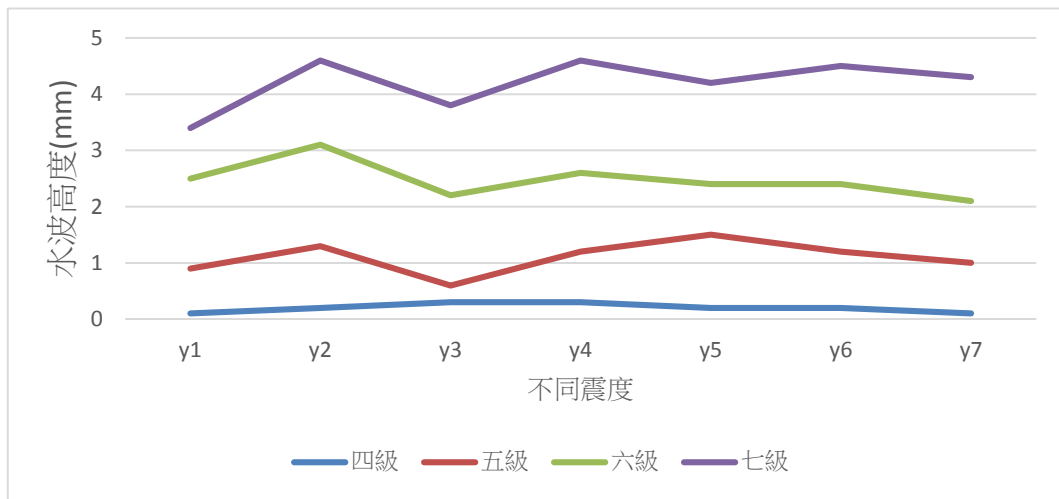


圖 33 雷利波 Y 軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

1. 由以上圖 33 雷利波 X 軸前進方向不同震度與水波高低關係圖，觀察發現模擬震度一級、至三級水波高度為 0.1 公分以下；模擬震度四級產生水波輪廓，其水波高度從 0.1 公分到 0.3 公分高；模擬震度五級產生第二次波，其水波高度從 0.6 公分到 1.5 公分高；模擬震度七級水波高度為最大值，其水波高度從 3.4 公分到 4.6 公分高。

(三) 水波模擬箱受雷利波 Z 軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

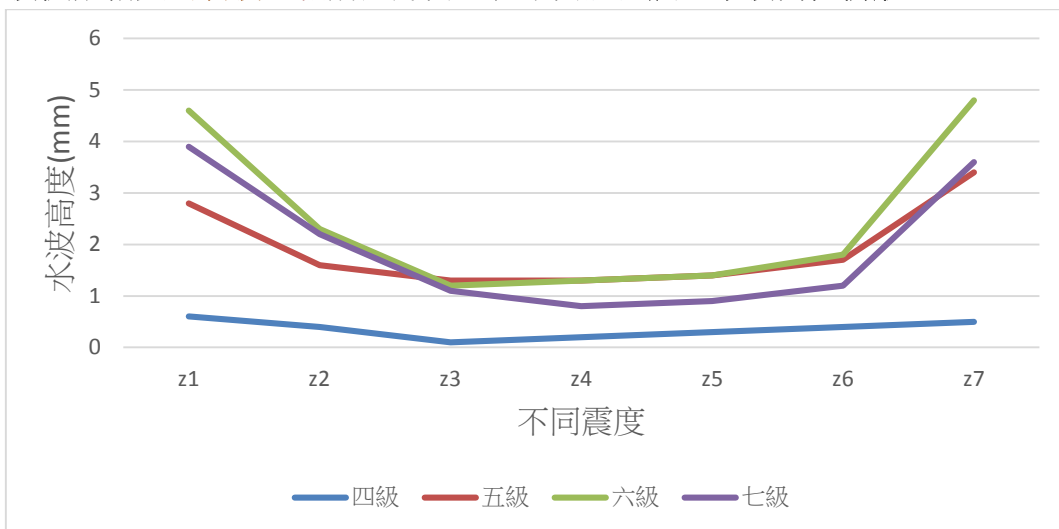


圖 34 雷利波 Z 軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

1. 由以上圖 34 雷利波 Z 軸前進方向不同震度與水波高低關係圖，觀察發現模擬震度一級、二級、三級水波高度為 0.1 公分以下；模擬震度四級產生水波輪廓，其水波高度從 0.1 公分到 0.6 公分；模擬震度五級產生第二次波，其水波高度從 1.3 公分到 2.4 公分；模擬震度六級水波高度為最大值，其水波高度從 1.2 公分到 4.8 公分；模擬震度七級水波高度開始往下滑，其水波高度從 0.8 公分到 3.9 公分。

討論:

綜合以上樂夫波的前進方向，水波模擬箱受 X 軸、Y 軸、Z 軸震盪，本組把不同震度水波高及水波現象，分成四個波段，分別為 0.1 公分以下波段、產生第二次波段、水波高最大值波段、水波高下滑波段，其水波高度與加速度關係如圖下所表。

表 4 雷利波不同前進方向不同震度與水波高低關係表

波形	不同模擬震度	X 軸水波高	Y 軸水波高	Z 軸水波高
雷利波	模擬震度一級	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段
	模擬震度二級	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段
	模擬震度三級	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段	0.1 公分以下波段
	模擬震度四級	0.1 至 0.3 公分	0.1 至 0.3 公分	0.1 至 0.6 公分
	模擬震度五級	1.3 至 4.9 公分	0.9 至 1.5 公分	1.3 至 3.4 公分
	水波現象	產生第二次波	產生第二次波	產生第二次波
	模擬震度六級	1.0 至 5.2 公分	2.1 至 3.1 公分	1.2 至 4.8 公分
水波現象	水波高最大值		水波高最大值	
模擬震度七級	0.8 至 3.7 公分	3.4 至 4.6 公分	0.8 至 3.9 公分	
水波現象	水波高下滑	水波高最大值	水波高下滑	

1. 由表 4 可以得知，水波模擬箱受雷利波 X 軸、Y 軸、Z 軸前進方向震盪，模擬震度一級、二級、三級水波高度不明顯；模擬震度四級水波輪廓產生，模擬震度五級產生第二次波其水波高度從 0.1 公分到 1.8 公分。X 軸模擬震度六級、Y 軸模擬震度七級、Z 軸模擬震度六級，水波高最大值；X 軸模擬震度七級、Y 軸模擬震度七級之後，Z 軸加速度模擬震度七級水波高度開始往下滑。

2. 由表 4 可以得知，長 20 公分x寬 10 公分長方形水波模擬箱，X 軸、Z 軸容器長 20 公分，長 20 公分波動空間與模擬震度六級最佳水波共振。Y 軸容器寬 10 公分，寬 10 公分波動空間與模擬震度七級最佳水波共振。因此，地震振幅較小時，以長 20 公分波動空間水波振幅較明顯；地震振幅較大時，以寬 10 公分波動空間水波振幅較明顯。

陸、結論

綜合以上實驗，我們可以得到以下之結論：

- 一、若要以長方形容器，來觀察地震表面波(樂夫波、雷利波)水波運動判讀地震的震度，模擬震度一級至二級波動不明顯，模擬震度三級已有水波輪廓；模擬震度四級會有第二次波單一高波峰、平行交叉連續雙波峰，水波輪廓已成形；模擬震度五級會形成 360 度對角式螺旋波動、中間波谷的 U 形波；模擬震度六級與七級表面波為破碎紊流擾動波形以及垂直上下紊流波形，水體內部翻轉、水體內部產生氣泡、水波流速最快，波峰已產生甩拋破碎波等現象。
- 二、綜合地震表面波(樂夫波、雷利波)水波模擬箱水波震盪情形，本組以「交通部中央氣象局地震震度分級表」地動加速度範圍，推算對應本實驗加速度，整理出判讀地震級數與水波模擬箱水波震盪情形對照表。

表 5 地震級數與水波模擬箱水波情形對照表

模擬地震級數		地動加速度範圍	加速度(cm/sec ²)	水波模擬箱水波情形
1 級	微震	0.8~2.5Gal	2.2	水波動不明顯
2 級	輕震	2.5~8.0Gal	7.7	已有水波輪廓
3 級	弱震	8~25Gal	15.7	水波輪廓已成形
4 級	中震	25~80Ga	71.3	第二次波單一高波峰
5 級	強震	80~250Gal	222.	360 度對角式螺旋波動
6 級	烈震	250~400Gal	295.3	水體內部翻轉、產生氣泡
7 級	劇震	400Gal 以上	439.4	流速最快波峰甩拋破碎波

- 三、綜合地震表面波(樂夫波、雷利波) 以測試水波高度來實驗，模擬震度一級至二級水波高度不明顯，模擬震度三級水波輪廓產生；模擬震度四級會有第二次波；模擬震度五級水波高最大值；模擬震度六級水波高度開始往下滑。

四、綜合地震表面波(樂夫波、雷利波)水波模擬箱水波震盪，本組利用「交通部中央氣象局地震震度分級表」地動加速度範圍，推算對應本實驗加速度，整理出地震級數與水波模擬箱水波高度情形對照表。

表 6 地震級數與水波模擬箱水波高度情形對照表

模擬地震級數		地動加速度範圍	加速度(cm/sec ²)	水波模擬箱水波高度情形
1 級	微震	0.8~2.5Gal	2.2	0.1 公分以下
2 級	輕震	2.5~8.0Gal	7.7	0.1 公分以下
3 級	弱震	8~25Gal	15.7	0.1 公分至 0.3 公分
4 級	中震	25~80Ga	71.3	0.1 公分至 0.6 公分
5 級	強震	80~250Gal	222.	0.7 公分至 8.9 公分
6 級	烈震	250~400Gal	295.3	1.0 公分至 5.7 公分
7 級	劇震	400Gal 以上	439.4	0.8 公分至 5.6 公分

五、若要以長方形容器長 20 公分×寬 10 公分、設定水位高 3 公分，電流感應水波導電原理來當警報器。要偵測 3 級至 4 級地震，以設定水波高 0.1 公分至 0.6 公分最佳；要偵測 5 級地震，以設定水波高 0.7 公分至 8.9 公分最佳；要偵測 6 級至 7 級地震，以設定水波高 0.8 公分至 5.7 公分最佳。

柒、參考資料

- 一、中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 高職組 土木科 不動如山-滑缸型抗震設備
- 二、中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 國中組 地球科學科 "城市殺手"直下型地震
- 三、地震震度分級表取自 中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw>
- 四、科技大觀園 水波物語 2002/12/18 盛博納 | 自由撰稿人 <https://scitechvista.nat.gov.tw>
- 五、中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 國小組 物理學科 水塔超人震得住-液體阻尼器的防震研究。

【評語】 030502

1. 團隊利用水波試驗探討它用來作地震警報的可能性，雖然造成強烈晃動之 S 波與表面波發生時間很接近，而無法分辨，整體而言本作品為一有創意的實驗。
2. 本作品內容資料豐富，議題探討深入，具有實驗精神。

作品海報

壹、研究動機

高雄美濃地震，維冠金龍大樓倒塌，造成數人傷亡。我的外婆就住在維冠大樓的隔壁棟大廈，過年初二回外婆家，外婆敘述地震的情形，其中描述到舅舅魚缸的水都灑出地板，害外婆要逃跑時差一點跌倒。這時候讓我聯想到，地震的能量大，會把水推往器壁灑出魚缸外；地震能量小，水波的力量無法灑出魚缸。因此，藉由地震能量與水波高關係來判讀地震的級數，並利用電流感應水波高度，能對映地震級數的特性，來自製判讀震度的警報器，若有這樣的警報器，當深夜發生地震時，能幫助更多人逃離不安全的建築物，或能更有充裕時間躲到更安全的地方。

貳、研究目的

- 一. 探討長方形水波模擬箱，水受樂夫波在不同大小震度震盪影響，水波變化情形。
- 二. 探討長方形水波模擬箱，水受雷利波在不同大小震度震盪影響，水波變化情形。
- 三. 探討長方形水波模擬箱，水受樂夫波與雷利波在不同大小震度震盪，水波高低變化情形。
- 四. 探討不同大小圓柱體容器水波模擬箱，水受樂夫波與雷利波在不同大小震度震盪，水波高低變化情形。

參、研究器材



圖1 測試實驗裝置說明圖

肆、研究過程與方法

一、實驗流程

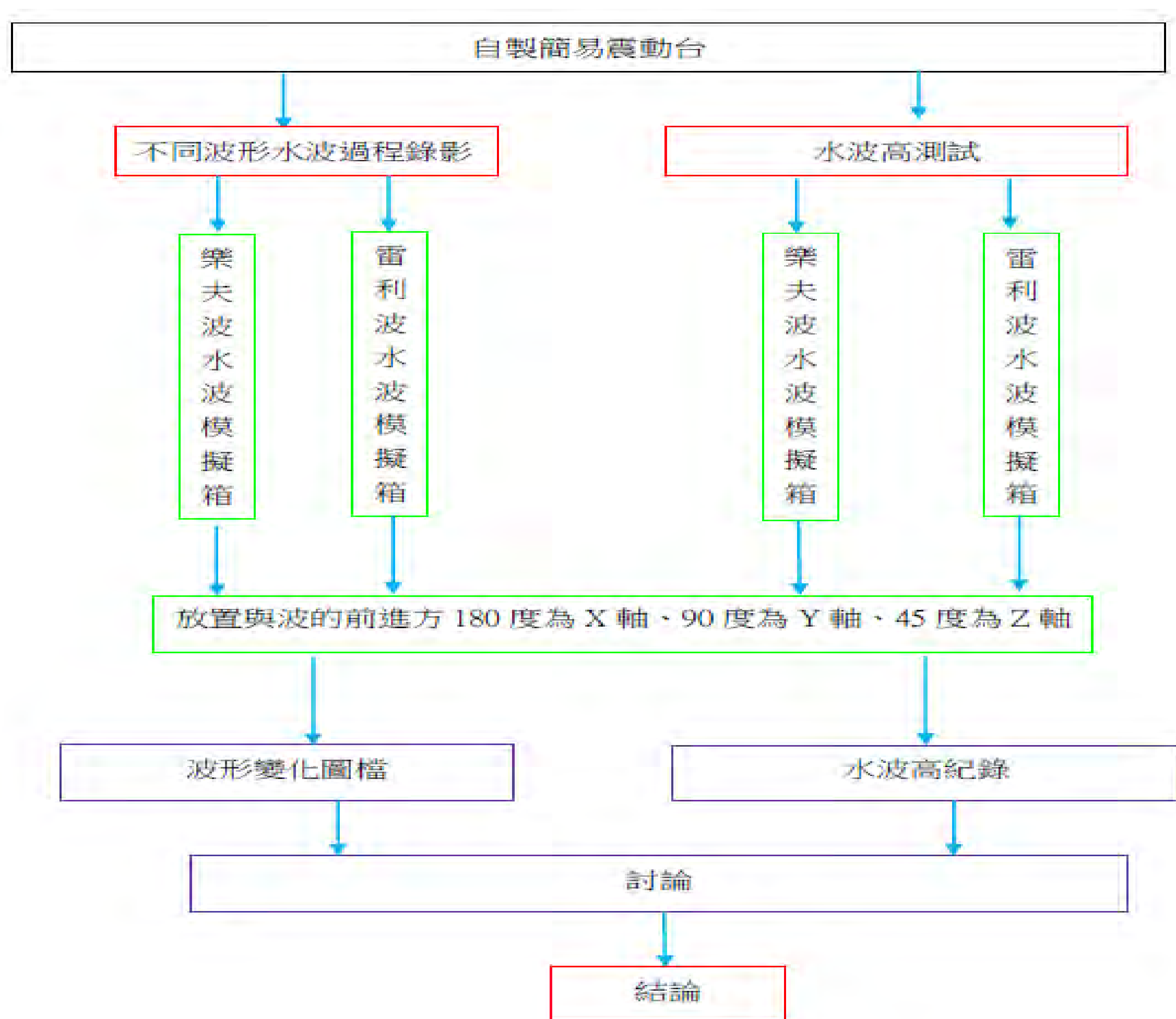


圖2 實驗流程圖

二、研究方法

(一) 自製簡易震動台，震動台加速度計算公式，對應震度分級數

震動台加速度計算公式：

震動檯面的最大運動加速度 a_M 為

$$a_M = R \cdot \omega^2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot R \cdot f^2$$

$$\chi = R \cos(\omega t + \theta)$$

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

$$a = \frac{dv}{dt} = -R\omega^2 \cos(\omega t + \theta)$$

ω =角速度

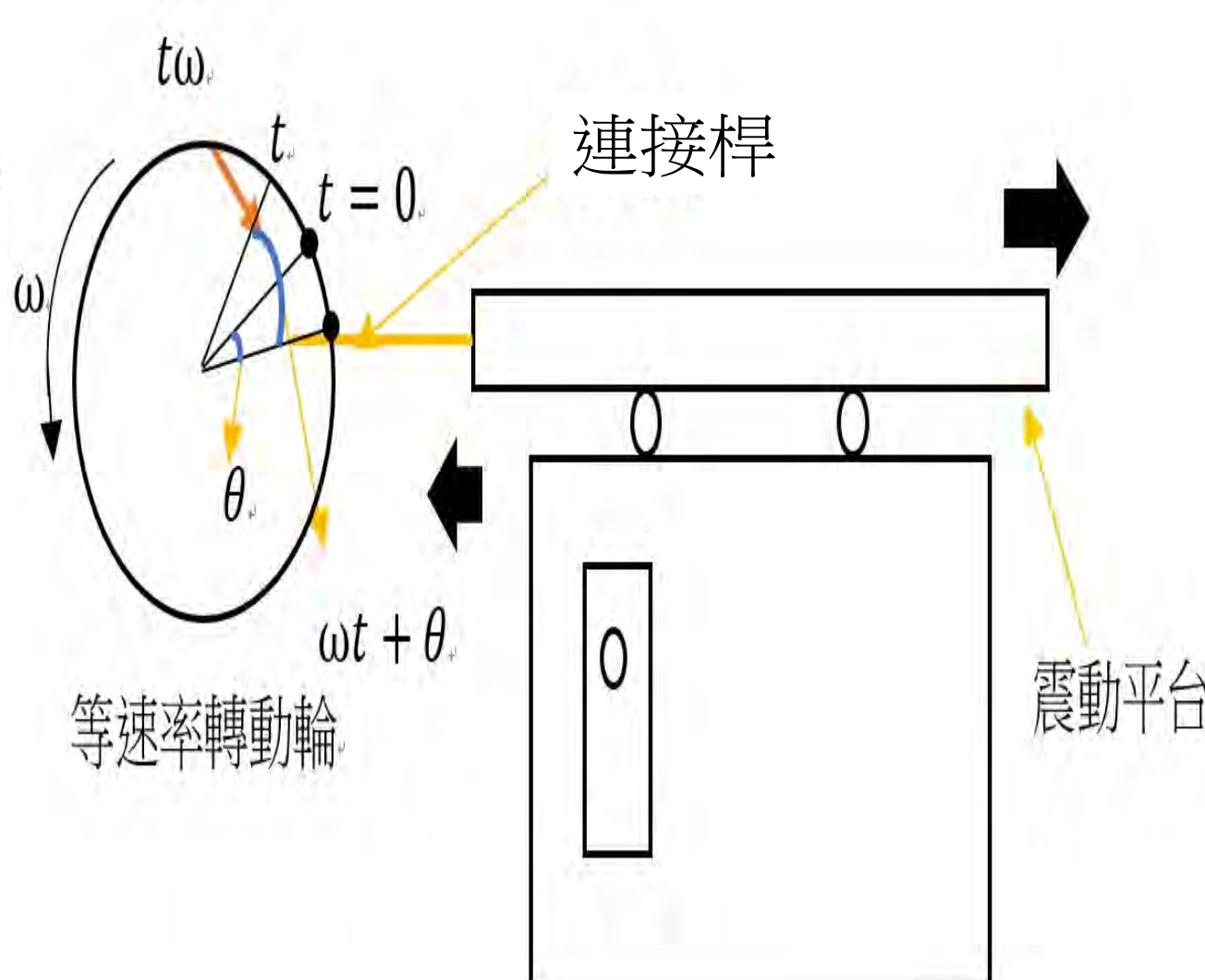


表1 震動台加速度對應震度分級換算表請參考圖4 中央氣象局公告地震震度分級表圖

階段	振幅距離(cm)	頻率	推算加速度 (cm/sec ²)	推算對應震度分級
1	2.5	0.15	2.2	1 微震
2	2.5	0.28	7.7	2 輕震
3	2.5	0.4	15.7	3 弱震
4	2.5	0.85	71.3	4 中震
5	2.5	1.5	222	5 強震
6	2.5	1.73	295.3	6 烈震
7	2.5	2.11	439.4	7 劇震

震度分級	推估加速度範圍	人的感覺	物內情形	屋外情形
0. 無感	0.8 Gal 以上	人無感覺		
1. 微震	0.8 - 2.5 Gal	人靜止時可感覺到搖晃，睡眠中的人有大部分會醒來。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但震度很輕。
2. 輕震	2.5 - 8.0 Gal	幾乎所有的人都會醒來，有的人會有恐懼感。	房屋發出聲音，懸掛物搖晃。	靜止的汽車明顯搖晃，電線略有搖晃。
3. 弱震	8 - 25 Gal	有相當程度的恐懼感。部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會醒來。	房屋搖動並發出聲音，部分建築物傾倒，部分建築物受損。	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也會感到搖晃。
4. 中震	25 - 80 Gal	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分牆壁產生裂縫，部分建築物受損，部分建築物倒塌，部分建築物受損。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊掉到路面上。
5. 強震	80 - 250 Gal	搖晃劇烈以致站立困難。	部分建築物受損，部分建築物倒塌，部分建築物受損。	汽車駕駛人閉車困難，出現噴沙噴泥現象。
6. 烈震	250 - 400 Gal	搖晃劇烈以致無法依意志行動。	部分建築物受損，部分建築物倒塌，部分建築物受損。	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破裂。
7. 劇震	400 Gal 以上			

圖4 交通部中央氣象局公告之地震震度分級表圖

伍、研究結果與討論

一、探討長方形水波模擬箱，水受樂夫波在不同大小震度震盪影響，水波變化情形。

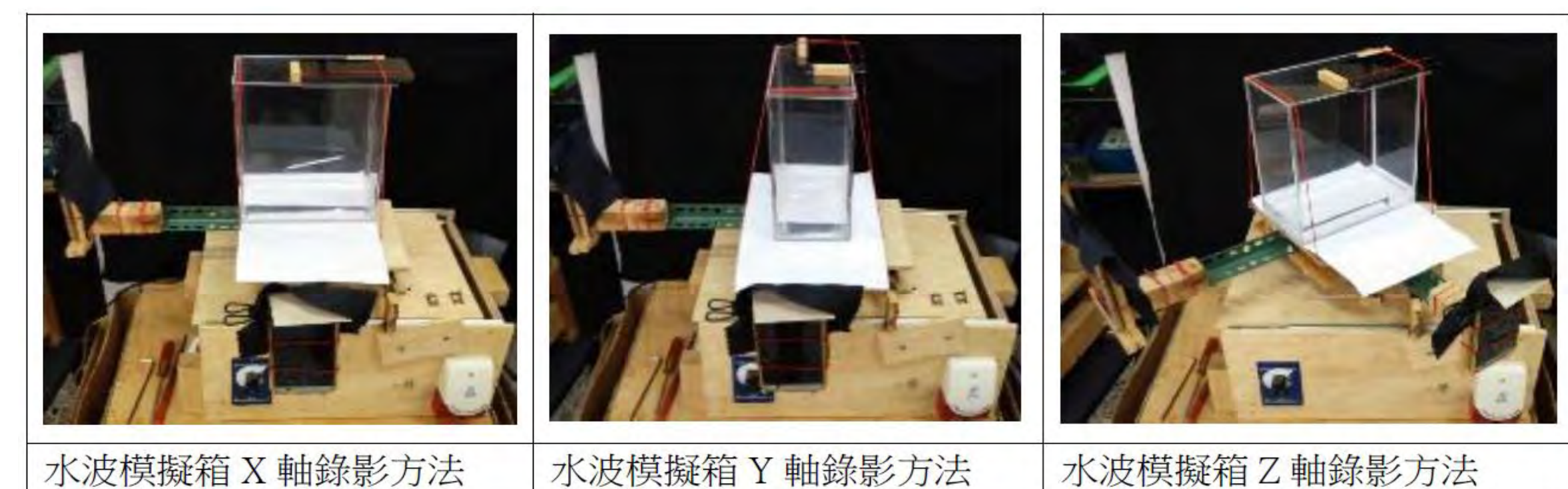


圖5 樂夫波與雷利波錄影震動平台解說圖

(一) 模擬震度一級水波震盪情形 (二) 模擬震度二級水波震盪情形

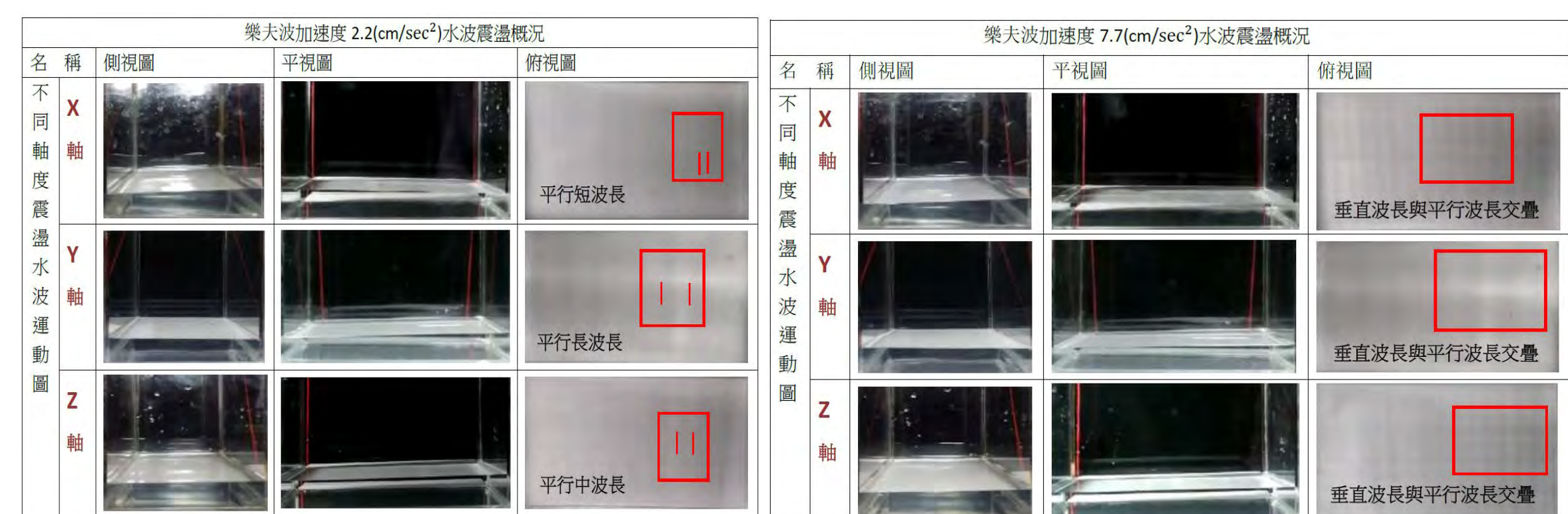


圖6 模擬震度一級波震盪概況圖

圖7 模擬震度二級水波震盪概況

(三) 地震樂夫波模擬震度三級水波震盪情形

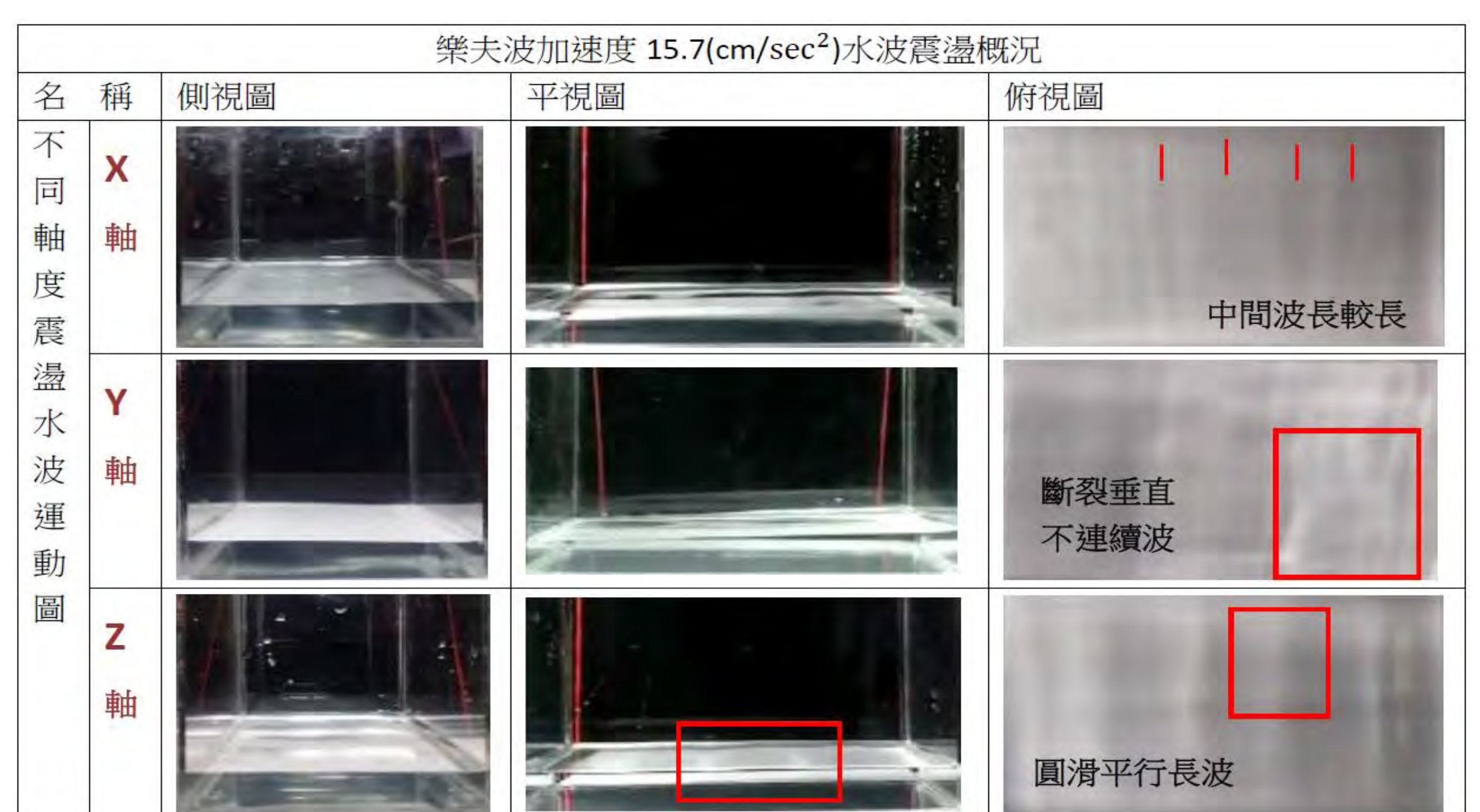


圖8 樂夫波模擬震度三級水波震盪概況

(四) 地震樂夫波模擬震度四級水波震盪情形

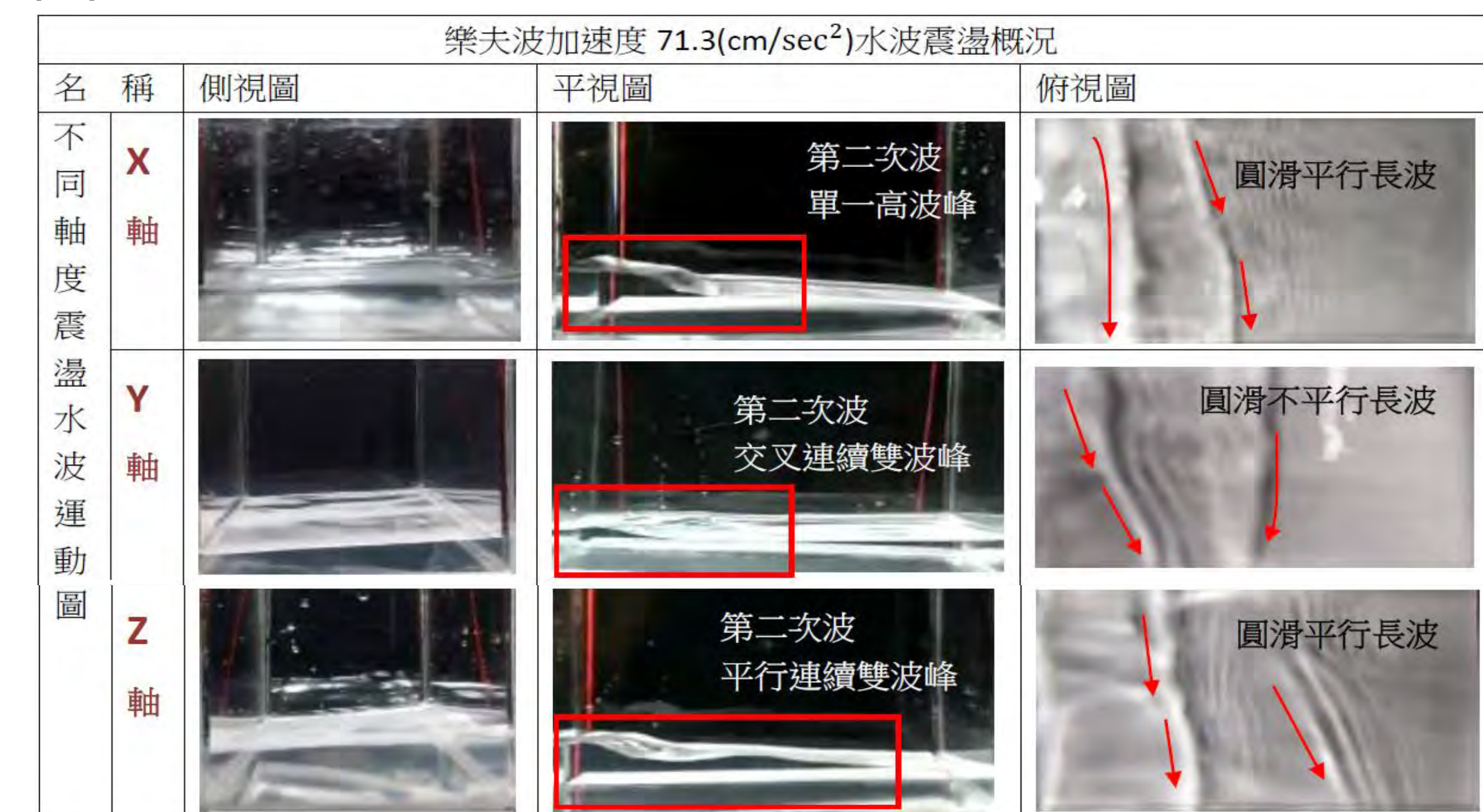


圖9 樂夫波模擬震度四級水波震盪概況

(五) 地震樂夫波模擬震度五級水波震盪情形

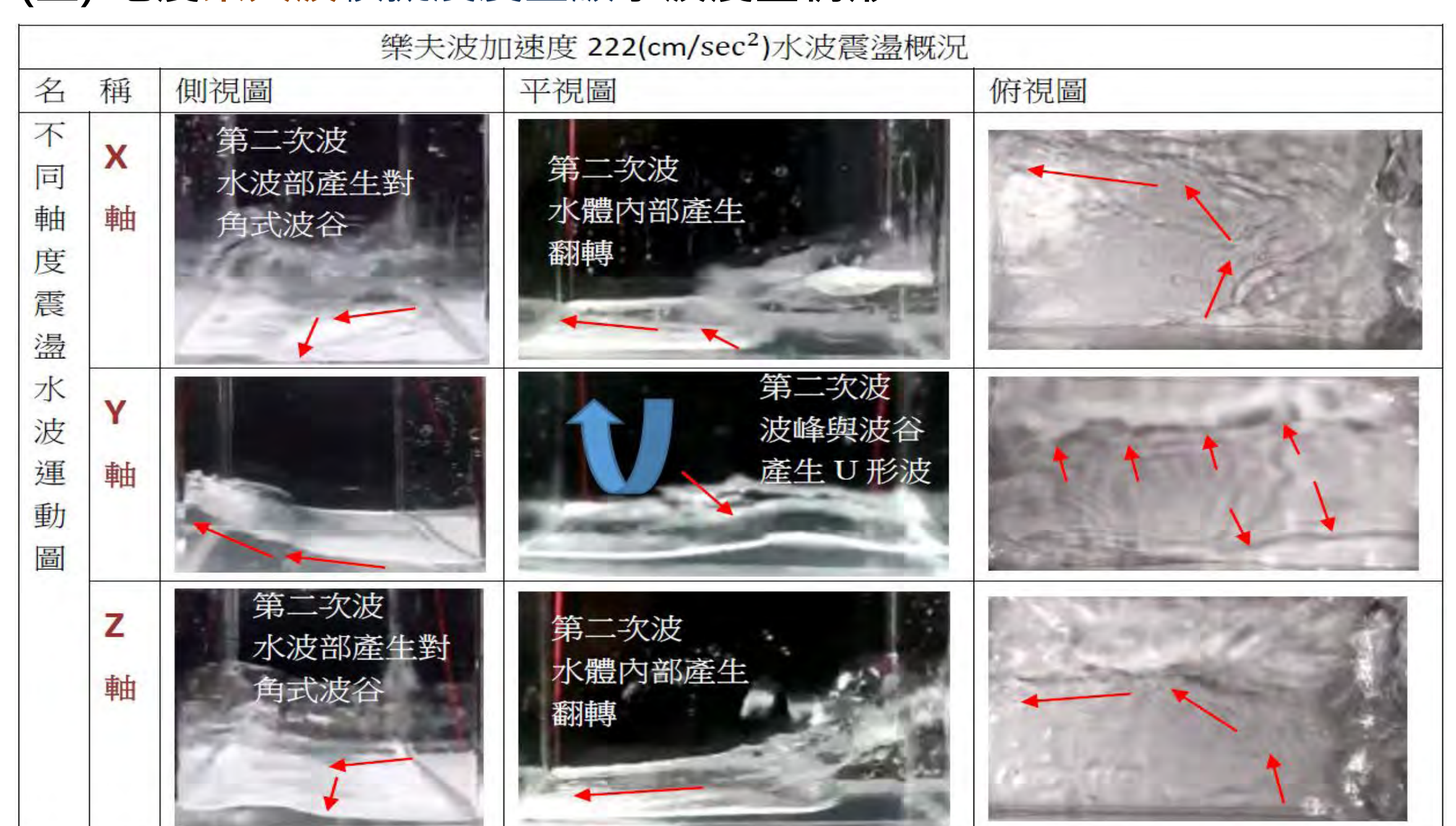


圖10 樂夫波模擬震度五級水波震盪概況

(六) 地震樂夫波加速度模擬震度六級水波震盪情形

樂夫波加速度 295.3(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸	第二次波波峰已產生 往下破碎波	第二次波 水體內部產生 氣泡
	Y 軸	第二次波 水體內部產生 氣泡	
	Z 軸	第二次波 波峰已產生 往上破碎波	第二次波 水體內部產生 氣泡

圖11樂夫波模擬震度六級水波震盪概況

(七) 地震樂夫波模擬震度七級水波震盪情形

樂夫波加速度 439.4(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸	第二次波 波峰已產生 用拋破碎波	
	Y 軸	第二次波 波峰已產生 用拋破碎波	
	Z 軸	第二次波 波峰已產生 用拋破碎波	

圖12樂夫波模擬震度七級水波震盪概況

討論:

表1 水波外觀與水波運動方式差異表

不同震度	表面波的波形	水波運動方式	水波特點
模擬震度一級	規律平行波動	波動不明顯	水波震盪不明顯
模擬震度二級	垂直平行交疊	波動不明顯	垂直波長與平行波長交疊
模擬震度三級	平行長短波動	已有水波輪廓	中間長波左右短波、圓滑平行長波
模擬震度四級	圓滑形波動	已成形第二次波	交叉連續雙波峰、平行連續雙波峰
模擬震度五級	紊流擾動波形	360度旋轉波動	對角式波谷及對角式波峰的螺旋波動
模擬震度六級	上下紊流波形	波峰已產破碎波	波峰已破碎水體內部產生氣泡等現象
模擬震度七級	紊流擾動波形	波峰上下破碎波	水波內部翻轉流速最快波峰用拋破碎波

(四) 地震雷利波模擬震度四級水波震盪情形

雷利波加速度 71.3(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		平行波長 與垂直波 長交疊
	Y 軸		平行波長 不明顯平行波長
	Z 軸		平行波長 與垂直波 長交疊

圖16雷利波模擬震度四級水波震盪概況

(五) 地震雷利波模擬震度五級水波震盪情形

雷利波加速度 222(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸	第二次波 波峰寬 波峰低	平行紊流波
	Y 軸	第二次波 波峰與波谷 產生U形波	垂直圓滑平行波
	Z 軸	第二次波 波峰窄 波峰高	平行紊流波

圖17雷利波模擬震度五級水波震盪概況

(六) 地震雷利波模擬震度六級水波震盪情形

雷利波加速度 295.3(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸	第二次波 波峰已產生 上拋破碎波	破碎紊流波
	Y 軸		上下紊流波形
	Z 軸	第二次波 波峰已產生 上拋破碎波	紊流擾動波形

圖18雷利波模擬震度六級水波震盪概況

(七) 地震雷利波模擬震度七級水波震盪情形

雷利波加速度 439.4(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸	第二次波 波峰窄 波峰高	氣泡 平行紊流波
	Y 軸	第二次波 波峰已產生 用拋破碎波	上下紊流波
	Z 軸	第二次波 波峰寬 波峰低	快速紊流波 氣泡

圖19雷利波模擬震度七級水波震盪概況

討論:

表2水波外觀與水波運動方式差異表

不同震度	表面波的波形	水波運動方式	水波特點
模擬震度一級	長中短平行波	波動不明顯	規律平行長波、中波、短波交互運動
模擬震度二級	長中短平行波	波動不明顯	長、中、短波、雙連波長交互運動
模擬震度三級	長中短平行波	波動不明顯	規律平行長波、中波、短波交互運動
模擬震度四級	垂直平行交疊	成形波輪廓	平行與垂直交疊波長與不明顯平行波長
模擬震度五級	平行紊流擾動	形成第二次波	低寬波峰平緩波谷、高窄波峰較陡波谷
模擬震度六級	破碎紊流擾動	波峰已產破碎波	波峰已破碎水體內部產生氣泡等現象
模擬震度七級	快速紊流波形	波峰上下破碎波	水波內部翻轉流速最快波峰用拋破碎波

二、探討長方形水波模擬箱，水受雷利波在不同大小震度震盪影響，水波變化情形

(一) 模擬震度一級水波震盪情形

雷利波加速度 2.2(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		平行短波長 平行長波長
	Y 軸		垂直長波長
	Z 軸		平行中波長 平行長波長

圖13模擬震度一級水波震盪概況

(二) 模擬震度二級水波震盪情形

雷利波加速度 7.7(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		平行中波長 平行短波長
	Y 軸		平行長波長 平行中波長
	Z 軸		平行雙連波長

圖14模擬震度二級水波震盪概況

(三) 地震雷利波模擬震度三級水波震盪情形

雷利波加速度 15.7(cm/sec ²)水波震盪概況			
名稱	側視圖	平視圖	俯視圖
不同軸度震盪水波運動圖	X 軸		平行長波長 平行短波長
	Y 軸		平行長波長
	Z 軸		平行長短波長

圖15雷利波模擬震度三級水波震盪概況

三. 探討長方形水波模擬箱，水受樂夫波與雷利波在不同大小震度震盪，水波高低變化情形。

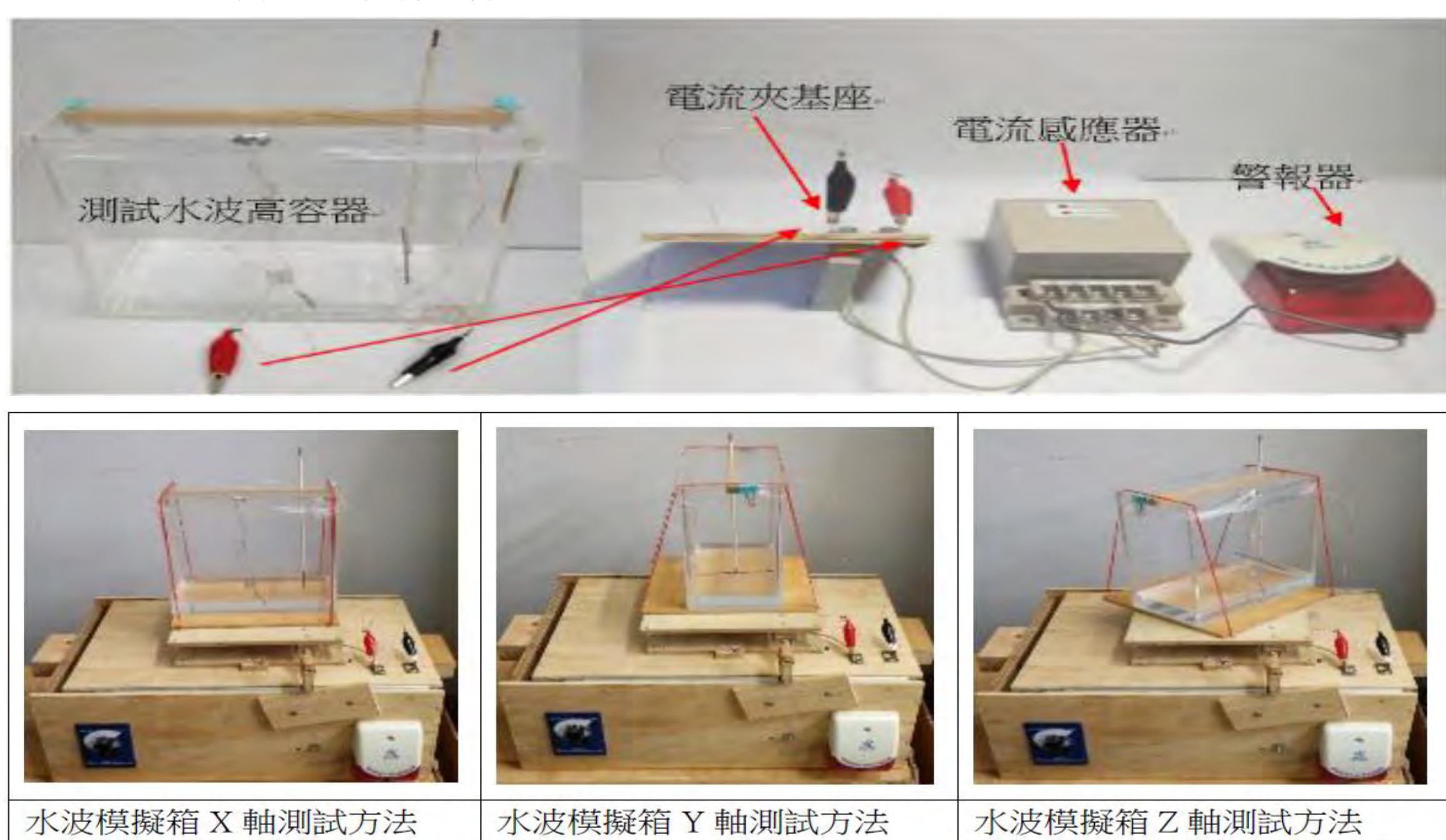


圖20不同軸向水波高低測試方法解說圖

(一) 長方形水波模擬箱受樂夫波X、Y、Z軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

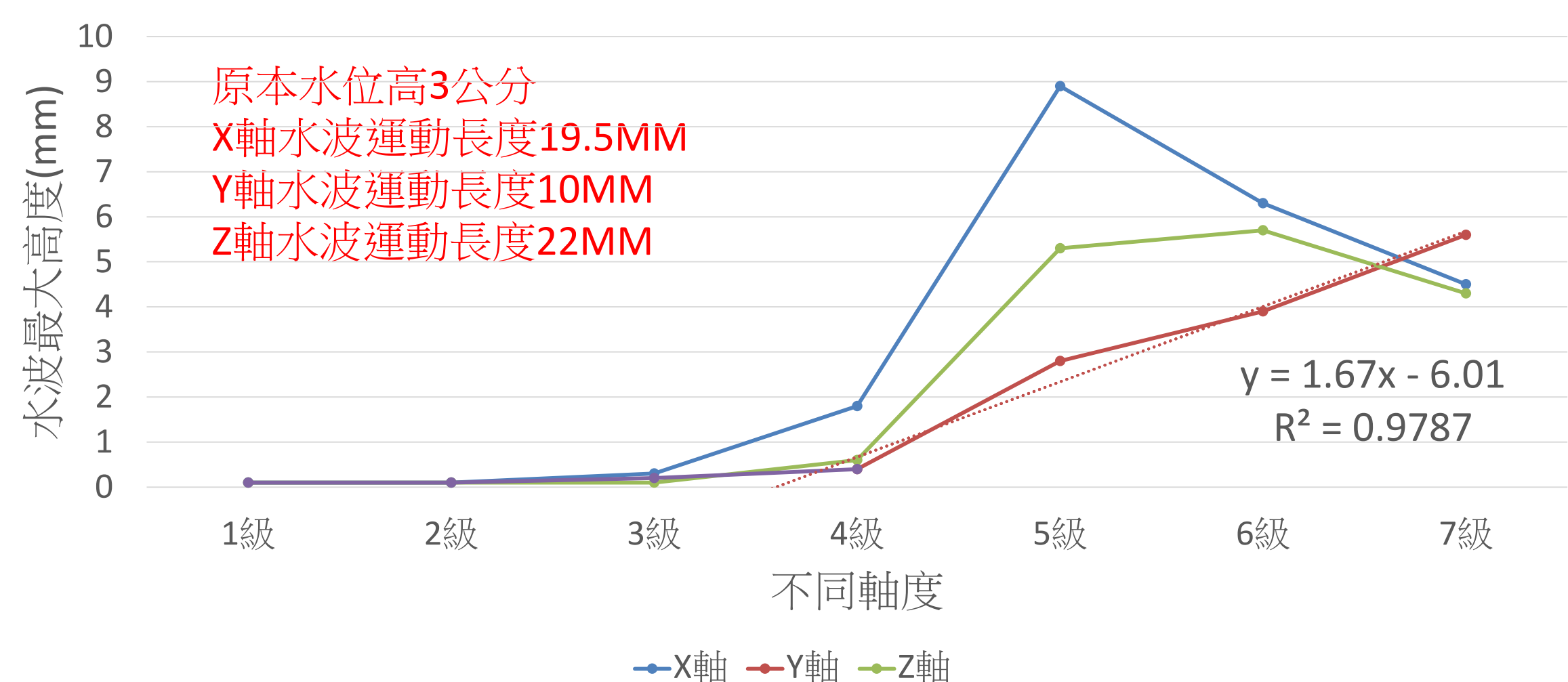


圖21樂夫波X、Y、Z軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

(二) 長方形水波模擬箱受雷利波X、Y、Z軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

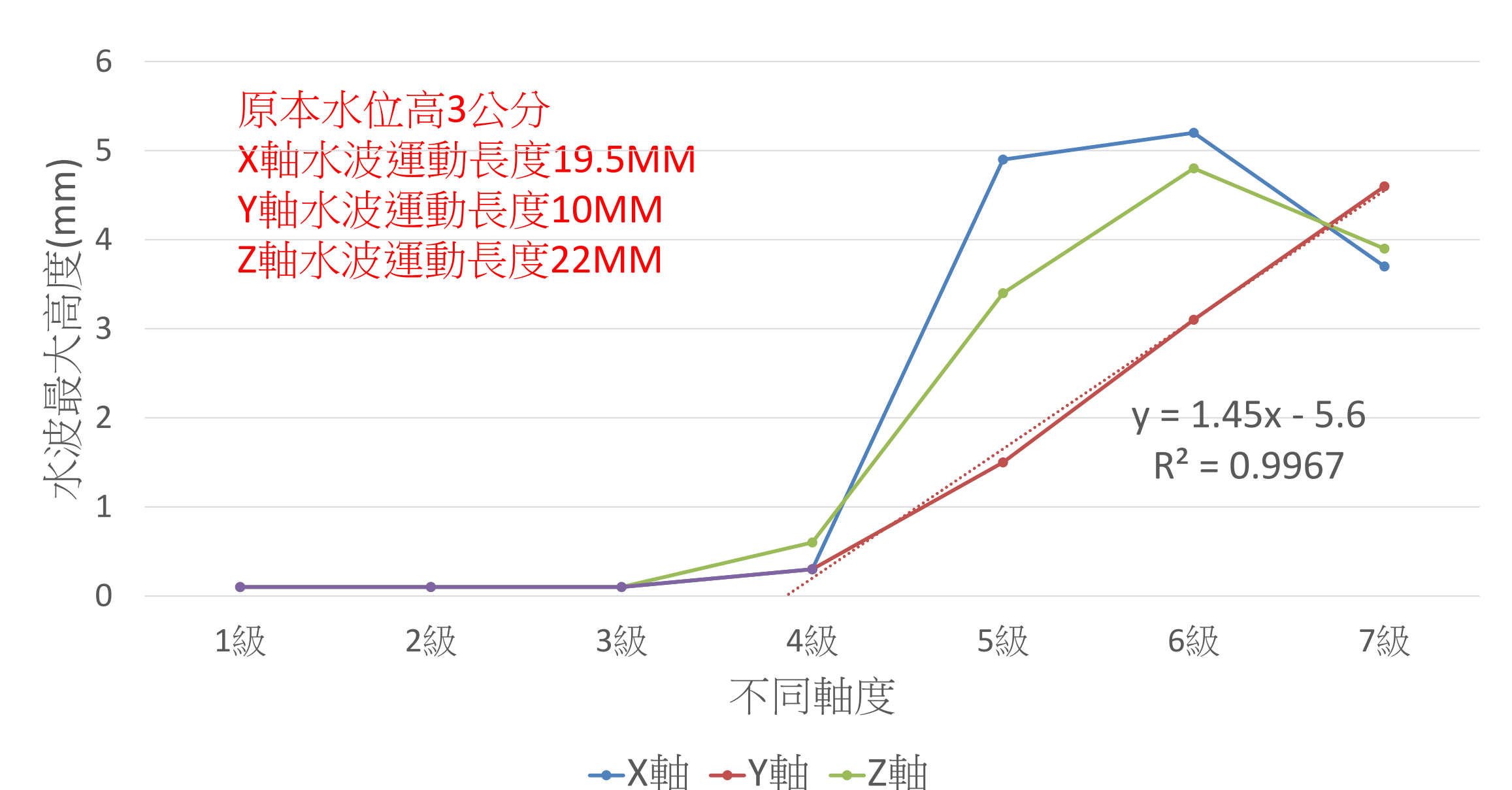


圖 23雷利波X、Y、Z軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

討論:

一. 綜合地震表面波(樂夫波、雷利波)水波模擬箱水波震盪，整理出地震級數與水波模擬箱水波高度情形對照表。

表4地震級數與水波模擬箱水波高度情形對照表

模擬地震級數	地動加速度範圍	加速度(cm/sec ²)	水波模擬箱水波高度情形
1級	0.8~2.5Gal	2.2	0.1公分以下
2級	2.5~8.0Gal	7.7	0.1公分以下
3級	8~25Gal	15.7	0.1公分至 0.3公分
4級	25~80Ga	71.3	0.1公分至 0.6公分
5級	80~250Gal	222.0	0.7公分至 8.9公分
6級	250~400Gal	295.3	1.0公分至 5.7公分
7級	400Gal 以上	439.4	0.8公分至 5.6公分

四. 探討不同大小圓柱體水波模擬箱，水受樂夫波、雷利波在不同震度震盪，水波高低變化情形。

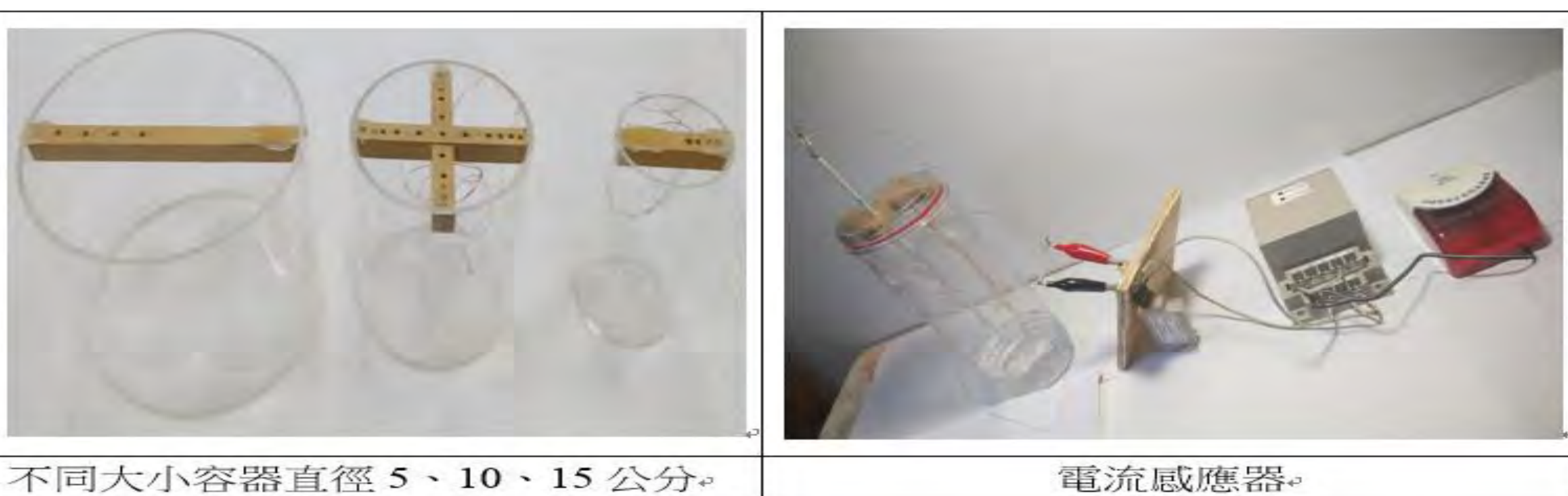


圖24 不同大小圓柱體容器電流感應測試水波高解說圖

(一) 不同大小圓柱體水波模擬箱受樂夫波X軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

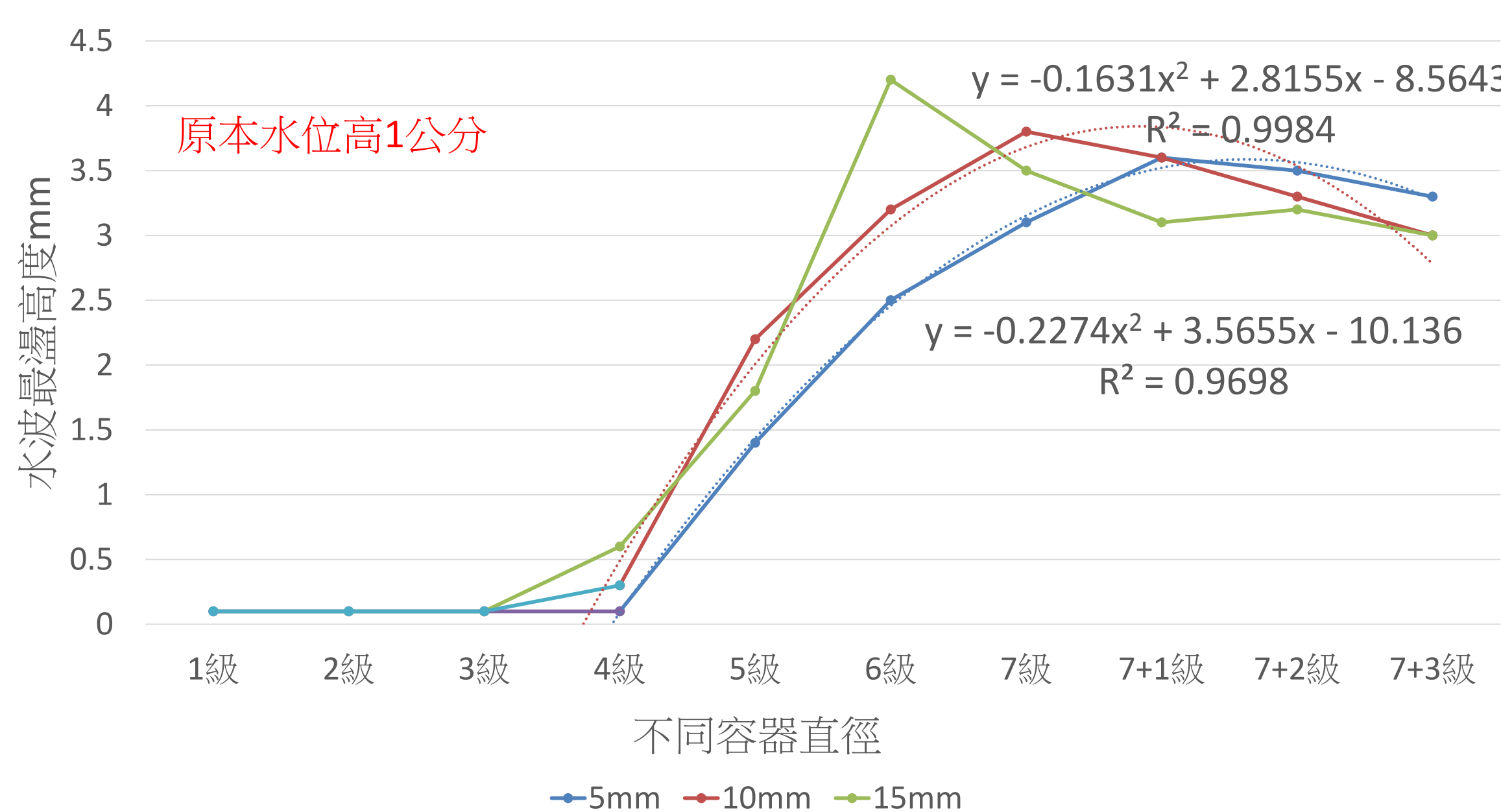


圖 25雷利波X軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

(二) 不同大小圓柱體水波模擬箱受雷利波X軸前進方向，在不同震度震盪水波高低情形

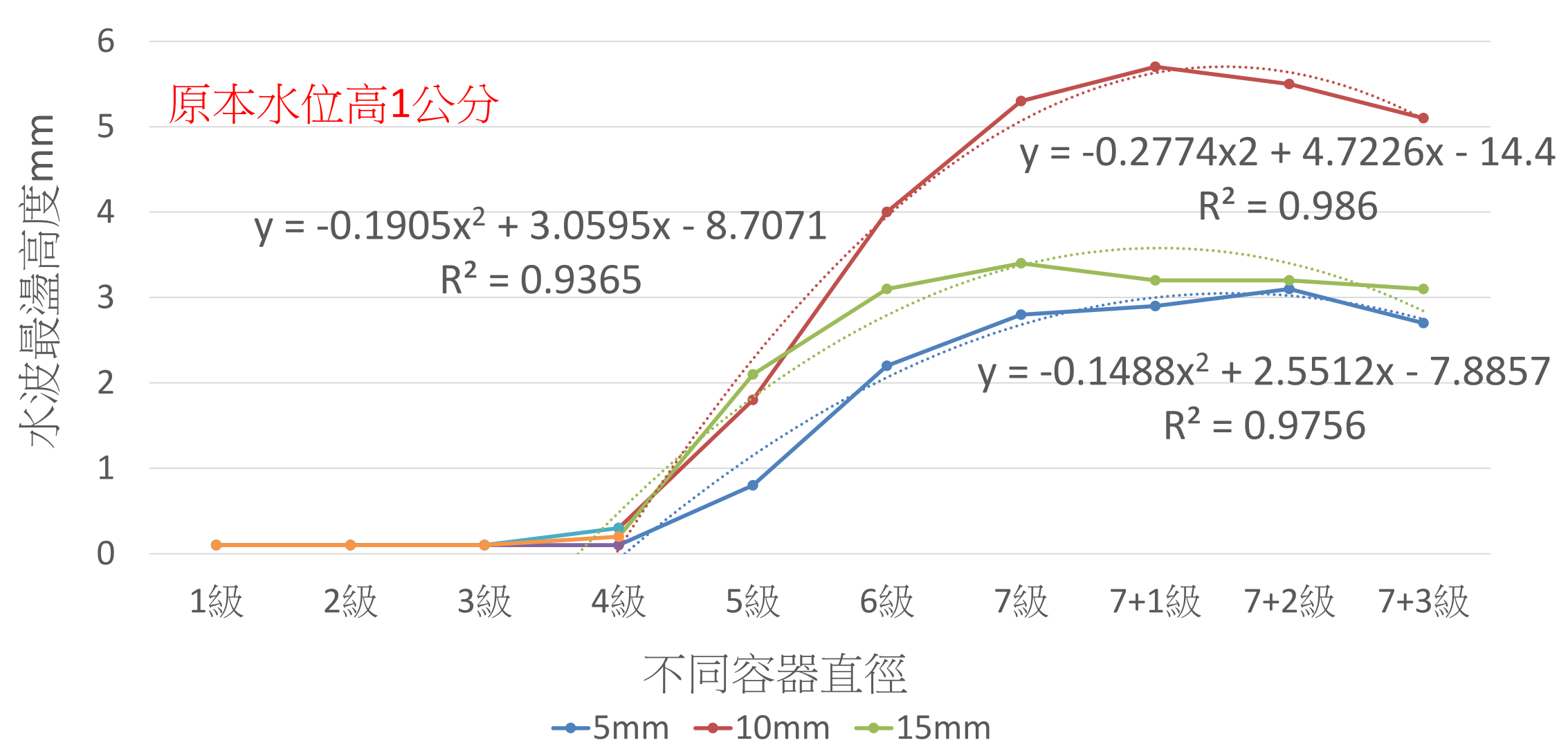


圖26雷利波X軸前進方向在不同震度與水波高低關係圖

討論:

表5地震級數與圓柱體容器水波高度情形對照表

模擬地震級數	加速度(cm/sec ²)	直徑 5 mm	直徑 10mm	直徑 15mm
1級	微震	2.2	0.1公分以下	0.1公分以下
2級	輕震	7.7	0.1公分以下	0.1公分以下
3級	弱震	15.7	0.1公分以下	0.1公分以下
4級	中震	71.3	0.1公分以下	0.1至0.3公分
5級	強震	222.0	0.1至1.4公分	0.5至2.2公分
6級	烈震	295.3	0.2至2.5公分	0.8至4.0公分
7級	劇震	439.4	0.4至3.1公分	0.9至5.3公分
7+1級	劇震	504.0	0.5至3.6公分	0.7至5.7公分
7+2級	劇震	597.2	0.6至3.5公分	0.5至5.5公分
7+3級	劇震	751.8	0.5至3.3公分	0.4至5.1公分

陸、結論

綜合以上實驗，我們可以得到以下之結論：

一. 若要以長20公分×寬10公分、設定水位高3公分，的水族箱來觀察水波震盪情形，馬上判讀地震級數其水波震盪情形如下表。

表6地震級數與水波模擬箱水波情形對照表

模擬地震級數	地動加速度範圍	加速度(cm/sec ²)	水波模擬箱水波情形
1級	0.8~2.5Gal	2.2	水波動不明顯
2級	2.5~8.0Gal	7.7	已有水波輪廓
3級	8~25Gal	15.7	水波輪廓已成形
4級	25~80Ga	71.3	第二次波單一高波峰
5級	80~250Gal	222.0	360度對角式螺旋波動
6級	250~400Gal	295.3	水體內部翻轉、產生氣泡
7級	400Gal 以上	439.4	流速最快波峰甩拋破碎波

二. 以長方形容器測試水波高度來實驗，X軸、Z軸在模擬震度五級水波高最大值；Y軸在模擬震度七級水波高最大值。長方形容器受不同方向震央震盪影響，會有不同水波運動長度。因此，只能偵測震度3級至5級，要偵測震度6級至7級，因容器邊界效應不同無法偵測。長方形容器不適合做為地震警報之裝水容器。

三. 以不同大小圓柱體容器來實驗，地震震度較小時，以大容器水波震盪較明顯，地震的震度較大時，以小容器水波震盪較明顯。直徑5公分只能偵測震度5至7級；直徑15公分只能偵測震度4至6級；直徑10公分效果最佳，可以偵測震度4至7級。

四. 若要以直徑10公分圓柱體容器水波高度1公分，利用電流感應水波導電原理來當警報器，要偵測震度4級以設定水波高0.3公分最佳；要偵測震度5級，以設定水波高2.2公分最佳；要偵測震度6級，以設定水波高4.0公分最佳；要偵測震度7級，以設定水波高5.3公分最佳。

表7地震級數與圓柱體容器水波高度情形對照表

不同圓柱體	直徑 5 公分	直徑 10 公分	直徑 15 公分
可偵測震度	震度 5 至 7 級	震度 4 至 7 級	震度 4 至 6 級
水波高度	震度 4 級	0.1公分以下	0.1至0.3公分
	震度 5 級	0.1至1.4公分	0.5至2.2公分
	震度 6 級	0.2至2.5公分	0.8至4.0公分
	震度 7 級	0.4至3.1公分	0.9至5.3公分

五. 經本實驗可以得知，當地震來臨時可藉由水族箱內，水波震盪情形來馬上判讀地震級數。若要以不同形狀容器來裝水，利用電流感應水波導電原理來當地震警報器，長方形容器受形狀之故，會有不同邊界效應，不適合作為地震警報器之容器；直徑10公分圓柱體容器，作為地震警報器之容器效果最佳。

柒、參考資料

- 中華民國第55屆中小學科學展覽會 高職組 土木科 不動如山-滑缸型抗震設備
- 中華民國第53屆中小學科學展覽會 國中組 地球科學科 "城市殺手"直下型地震
- 地震震度分級表取自 中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw>
- 科技大觀園 水波物語2002/12/18盛博納 | 自由撰 <https://scitechvista.nat.gov.tw>
- 中華民國第56屆中小學科學展覽會 國小組 物理科水塔超人震得住-液體阻尼器的防震研究。