

110 學年度臺中市中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：地球與行星科學

組 別：高中職組

作品名稱：海浪滔滔我不怕—海嘯和障礙物的關係

關 鍵 詞：海嘯、水波

編 號：

摘要

因觀看海嘯災後紀錄片而深感震撼，所以小組設計了各式模擬實驗希望能找到減少海嘯災難的方法，例如說直接在岸前加設擋板、岸前一段距離的海底增加障礙物（目的是使海底深度高低相間而達到破壞波型的效果）等等，根據模擬出來的結果，將擋板放置在特定位置，才會產生明顯的破壞性干涉，如果障礙物放在特定距離反而會使波高增加，故並不是有放擋板就能減少浪高，還需要放在能產生明顯的破壞性干涉的位置。另外，擺放障礙物的材質不同，來減少波高的效果也不一樣，在本模擬實驗來說，減少波高的效果是大石頭>小石頭>擋版。

壹、研究動機

小組因為共同觀看 2011 年 3 月 11 日發生的 311 大地震紀錄片，而在這部影片當中，有些距離海岸遠達數公里的地區都被海嘯淹沒了，許多沿海城市與當地設備也都被摧毀。不僅如此，巨大海嘯還導致了福島第一核電站發生核事故。這些狀況使得該次震災成為日本歷史上傷亡最慘重的自然災害之一。看完紀錄片的我們對於地震以及海嘯有極大的興趣，且對這次的紀錄片的內容感到非常震懾，使我們不禁聯想到台灣，台灣一樣位於環太平洋地震帶，而台灣是否也會像日本一樣發生海嘯的災難呢？於是小組查找資料，發現基隆在 1867 年時也曾經發生過一次大海嘯，根據阿瓦力茲（Alvarez）所著《福爾摩沙》（Formosa）記載。

「1867 年 12 月 18 日，北部地震更烈，災害亦更大，基隆城全被破壞，港水似已退落淨盡，船隻被擱於沙灘上，不久，水又復回，來勢猛烈，船被衝出，魚亦隨之而去，沙灘上一切被沖走(註 1)。」

雖然那次的基隆大海嘯所造成的波高只有 7~8 公尺，但是卻總共奪走了數百人的生命，所以在台灣也是有可能會發生海嘯的，因此小組希望能透過這次的實驗探討可以找到一些方法減緩海嘯的影響，降低波高，減少海嘯所帶過來的災害，為我們共有的台灣增加一層守護。

貳、研究目的

地震過後是海嘯最容易發生的時候，對於海嘯的高度、受地形影響的程度，是小組想要探討的問題，小組會設計一個模擬實驗，模擬海嘯發生的狀況，之後小組會加入不同的障礙物且放置在不同離岸距離，以分析如何最能降低海嘯的高度，減少破壞程度。此次模擬實驗主要研究目的如下：此次主要研究目的如下：

- 一、水深與海嘯高度的關係。
- 二、地形變化與海嘯高度的關係。
- 三、不同障礙物對海嘯高度之影響。
- 四、障礙物離岸距離對海嘯高度之影響。

參、研究設備及器材

1. 特製水缸一座(見圖一)
2. 直尺一支
3. 起波器一組
4. 量角器一個
5. 攝影器材一台
6. 瓦楞板數個
7. 水桶一個
8. 彩色筆數隻
9. 大石頭數顆(見圖二)
10. 小石頭數顆



圖一：特製水缸



圖二：石頭

肆、研究過程與方法

一、海嘯文獻探討

(一)海嘯的成因

海嘯最常發生的原因是因為海底地震導致了斷層的移動，小組以地殼運動方式來劃分，大致可以分成正斷層、逆斷層、與平移斷層。除此之外，還有逆斷層和平移斷層的組合以及正斷層和平移斷層的組合，其中只有正斷層和逆斷層會造成地表的垂直位移。所以如果只有平移斷層的話是不會引起海嘯的。如果是正逆斷層與平移斷層的組合型就要以正逆斷層為主(註 2)。根據中央氣象局資料，如果海底地震為淺層地震，且地震規模達到芮氏 6.0 以上，就要預警海嘯的發生。海嘯的發生一般來說必須要將海水做到大規模的垂直方向移動才有能會發生海嘯，所以一般的小小地震是不會引發海嘯的。根據以上幾點，小組可以知道海嘯的產生不論是斷層抬升或是斷層陷落都是會影響海嘯產生的情況，而水波的外力全都是重力，由此可知所有組成海嘯的水波全都應為重力波(註 4)。

(二)海嘯的傳播

一般而言在，海嘯的波長大約是在 450-500 公里，但震幅僅僅只有 10 多公分，所以對於海上的人來說幾乎感受不到海嘯正在發生，很難預測。根據上方資料顯示海嘯的波長往往是要比水深長非常多，所以海嘯屬於是一種淺水波，小組可以利用淺水波的特性來解釋海嘯的傳播，而當海嘯到達岸邊時，波速變慢，波長變短，導致波高增加進而產生海嘯，以下有三種情況可以使得波高大幅提升：

1. 不整齊的海岸地形：如深 V 字形海灣內，容易造成海嘯能量集中，使波高升高。
2. 共振效應：水波到達的區域，如果到達水域震動頻率與水波相同便能產生共振效應。
3. 反覆現象：不一定是第一個波到達時波高最高(註 3)。

淺水波定義： $\frac{\lambda}{h}$ 需大於 20

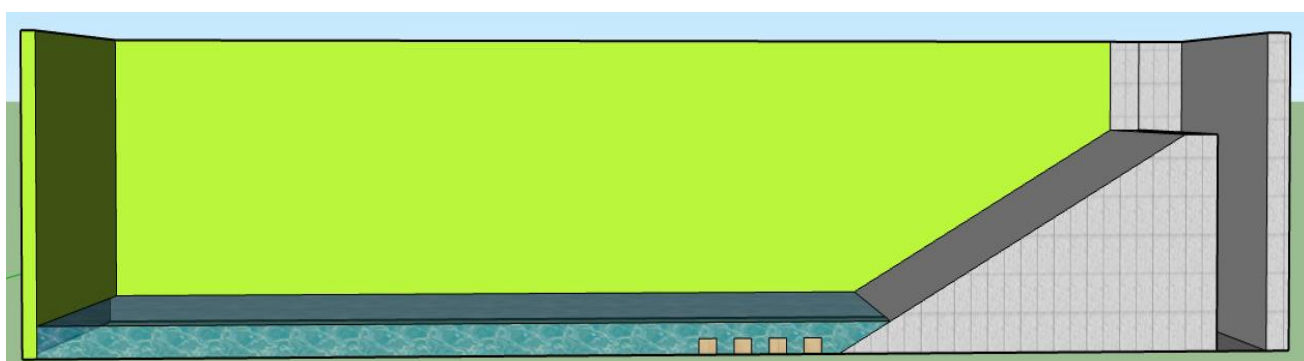
淺水波物理特性:波速 = \sqrt{gh} ; 波長 = $T\sqrt{gh}$ 。

(符號解釋: 週期 T ; 水深 h ; 波長 λ ; 重力加速度 g)(註 5)

二、開始實驗

小組利用特製的水缸和瓦楞擋板以及不同障礙進行實驗(見圖三)，使用塑膠板推動水以製造水波，藉由瓦楞擋板放置的距離差異和不同障礙物以及不同水深對浪高之研究。

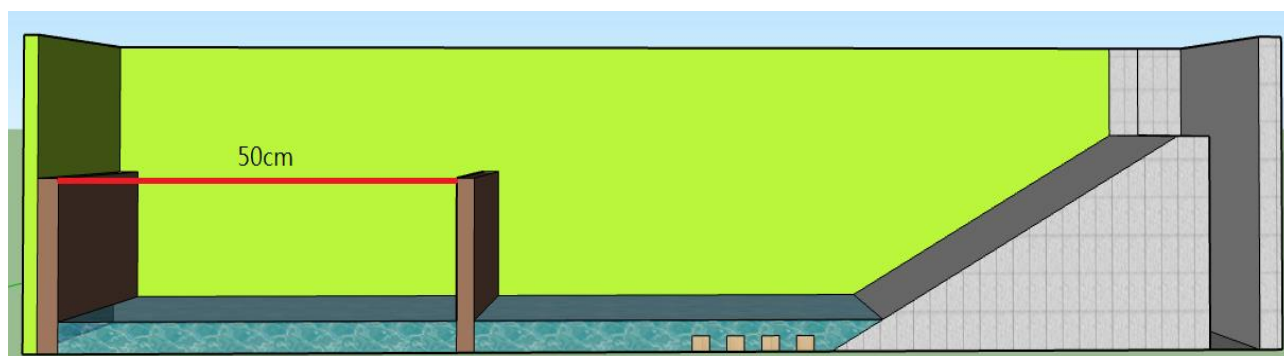
[實驗一]產生淺水波



圖三：特製水缸示意圖

小組都知道海嘯是屬於淺水波的一種，所以小組製造的水波也必須是淺水波，來符合淺水波的特性，因此小組開始實驗如何才能產生淺水波，淺水波的條件是波長與水深的比值大於 20，根據這點小組開始做實驗，我們測出每次推動 50cm(圖四)出來必是淺水波，於是決定每次推動的長度為 50cm，因為小組每次都是使用擋板推出 50cm 並且每次推動所花費的時間皆為三秒鐘使得小組可以定量產生出水波，使得實驗更加準確。

根據圖五小組的特製水缸高度為 30cm 根據比例尺得知標記為黃色的地方長度約為 66.12cm。



圖四：推動水示意圖



圖五：水缸尺寸

而當波峰從左側到達右側指定長度時候耗費 0.737 秒(見圖六)，這時小組可以得知波速為 $66.12/0.737 \approx 89.715$ 公分每秒，與我們淺水波公式所帶出來的(g 在地表時，視為相同，小組使用 $g=980\text{cm/s}^2$ 計算) $\sqrt{980 * 8} \approx 88.543$ 與我們所測出數值差不多。



圖六：波峰測量圖

接著小組開始測量 1/4 振幅經過所需要的時間(見圖七)，小組的測量結果為 1/4 週期大約需要耗時 0.79 秒，所以小組可以接著推論得到一個完整的水波它的週期所需時間為 3.16 秒。



圖七：週期測量圖

最後小組可以從波速公式(波速等於波長除以週期 $V=f\lambda$)又頻率跟週期成倒數可以移項得到波長等於波速乘上週期($vT=\lambda$): $89.715*3.16\div 283.499\text{cm}$ ，而代入淺水波波長公式: $3.16 * \sqrt{980 * 8} = 277.124$ 誤差僅為 6.325cm；2.2%所以我們製造出來的水波為淺水波，而小組的水深最深僅僅只有 8cm， $283.499\text{ cm} > 160\text{ cm}$ ，而我們每次製造波的條件皆相同，所以不論是在 3cm、5cm 製造出來的波應該皆為淺水波。藉此可以得知小組所製造的水波跟海嘯一樣皆為淺水波。

[實驗二]不同水深對於水波波高之影響

小組使用相同的水缸。然後把水深分別加 8cm、5cm、3cm，之後再進行起波，用來觀察水的深度對於製造出的水波波高之關係，以下為小組的實驗的數據還有實驗結果(表一)。

表一：不同水深對水波波高的結果

不同水深對水波波高的結果(公分)			
第幾次/水深	8cm	5cm	3cm
第 1 次	5.00	7.40	6.90
第 2 次	6.00	6.10	6.73
第 3 次	5.00	6.60	8.61
第 4 次	4.90	8.65	7.30
第 5 次	5.00	6.60	7.85
第 6 次	4.89	8.00	7.40
第 7 次	4.89	6.50	8.79
第 8 次	4.70	6.65	6.70
第 9 次	5.50	7.70	6.70
第 10 次	6.25	6.30	5.80
第 11 次	5.90		
第 12 次	5.55		
第 13 次	6.20		
第 14 次	6.99		
第 15 次	5.10		
第 16 次	4.89		
第 17 次	5.40		
第 18 次	6.10		
第 19 次	6.85		
第 20 次	5.40		
平均	5.53 cm	7.05 cm	7.28 cm

可以看出水深越深，到達岸邊時波高越小。

[實驗三]障礙物離岸距離對於浪高之影響

小組使用相同的水缸，接著把水深分別加至 8cm、5cm、3cm，再進行起波並且放置的離岸距離不同但障礙物相同來做離岸距離於水波浪高之影響，在障礙物的部分我們都是以等比例縮小，使得障礙物的高度皆為水深的一半，達到每次實驗得以比較，以下為小組的實驗結果(表二、表三、表四)。

表二：水深 8cm 時水波波高與障礙物離岸距離之關係

水深 8cm 時水波波高與障礙物離岸距離之關係(單位:公分)					
第幾次/離岸距離	20cm	15cm	10cm	5cm	未加
第 1 次	4.49	4.29	4.25	4.59	5.00
第 2 次	5.25	3.60	5.20	6.99	6.00
第 3 次	4.89	3.80	3.65	6.99	5.00
第 4 次	5.25	4.45	6.49	4.05	4.90
第 5 次	4.89	3.12	3.89	6.99	5.00
第 6 次	4.75	3.40	5.50	5.10	4.89
第 7 次	4.10	3.12	4.85	5.90	4.89
第 8 次	3.39	4.00	5.50	6.99	4.70
第 9 次	3.89	4.00	4.10	4.60	5.50
第 10 次	4.59	5.09	4.35	5.80	6.25
第 11 次	3.60	4.00	3.31	5.80	5.90
第 12 次	4.70	3.00	4.10	4.90	5.55
第 13 次	4.41	4.00	4.80	5.95	6.20
第 14 次	4.70	4.51	4.10	4.45	6.99
第 15 次	4.30	4.11	5.75	5.30	5.10
第 16 次	5.10	6.65	5.50	5.40	4.89
第 17 次	5.85	5.10	4.20	4.11	5.40
第 18 次	4.60	4.55	3.80	4.35	6.10
第 19 次	4.90	5.40	4.90	5.00	6.85
第 20 次	3.90	5.40	4.90	5.90	5.40
平均	4.58	4.28	4.66	5.46	5.53

表三：水深 5cm 時水波波高與障礙物離岸距離之關係

水深 5cm 時水波波高與障礙物離岸距離之關係(單位:公分)					
第幾次/離岸距離	20cm	15cm	10cm	5cm	未加
第 1 次	6.90	7.15	7.20	7.25	7.40
第 2 次	7.65	6.90	8.55	5.00	6.10
第 3 次	8.00	6.25	6.15	7.25	6.60
第 4 次	6.30	9.09	5.02	5.60	8.65
第 5 次	8.75	6.90	5.02	6.80	6.60
第 6 次	6.19	5.90	5.50	7.25	8.00
第 7 次	8.01	5.20	5.90	8.10	6.50
第 8 次	8.75	4.80	5.45	7.60	6.65
第 9 次	5.50	6.00	5.45	6.60	7.70
第 10 次	6.41	7.20	7.35	8.85	6.30
平均	7.25	6.54	6.16	7.03	7.05

表四：水深 3cm 時水波波高與障礙物離岸距離之關係

水深 3cm 時水波波高與障礙物離岸距離之關係(單位:公分)					
第幾次/離岸距離	20cm	15cm	10cm	5cm	未加
第 1 次	7.85	7.55	6.80	7.50	6.90
第 2 次	7.50	7.70	7.22	7.20	6.73
第 3 次	7.50	8.10	6.35	7.60	8.61
第 4 次	7.75	5.45	6.35	7.60	7.30
第 5 次	7.65	5.10	6.50	8.75	7.85
第 6 次	6.85	5.70	8.40	7.30	7.40
第 7 次	7.75	6.55	7.00	7.05	8.79
第 8 次	7.20	7.00	6.45	8.05	6.70
第 9 次	6.80	7.40	7.05	6.60	6.70
第 10 次	6.30	7.20	6.35	7.40	5.80
平均	7.32	6.78	6.85	7.51	7.28

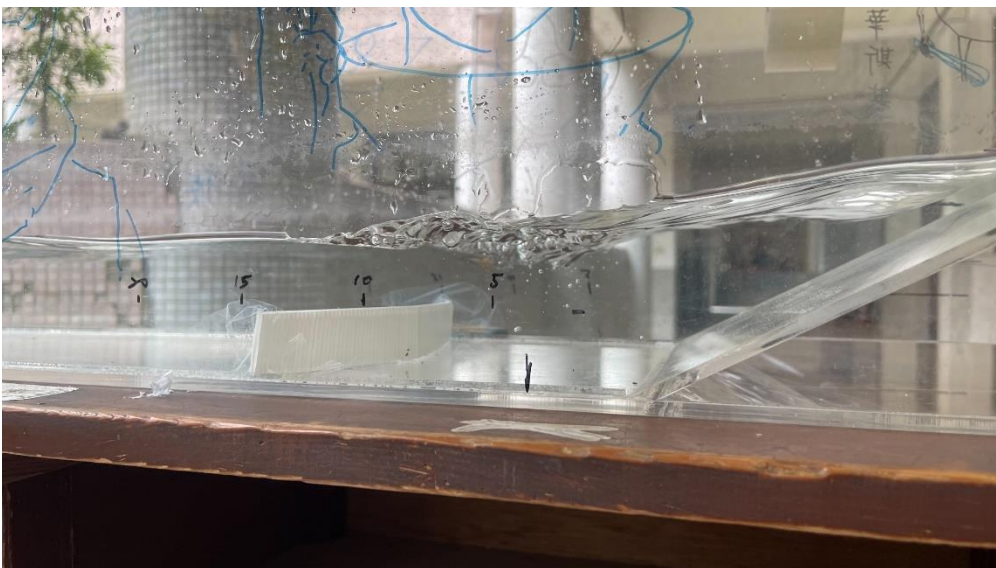
可以看出大部分狀況下，有加障礙物比未加障礙物，會使波高降低，但是障礙物擺放在某些距離之下，反而使波高變高。

[實驗四]

利用特製水缸和模擬海岸邊的石頭(見圖八)以及瓦楞擋板(見圖九)來進行實驗，之後再使用塑膠板推動水來製造水波，然後藉由著不同障礙物的特性、形狀、體積的差異與水波波高進行研究(表五)。



圖八：小石頭排列



圖九：擋板擋水

表五：水深 8cm 時各種擋板位於 5cm 與水波波高之關係

水深 8cm 時各種擋板位於 5cm 與水波波高之關係(公分)			
第幾次/5 公分處放置方式	未加	5 公分擋版	石頭
第 1 次	5.00	4.59	5.75
第 2 次	6.00	6.99	6.00
第 3 次	5.00	6.99	5.75
第 4 次	4.90	4.05	5.16
第 5 次	5.00	6.99	4.15
第 6 次	4.89	5.10	6.30
第 7 次	4.89	5.90	5.05
第 8 次	4.70	6.99	4.15
第 9 次	5.50	4.60	6.26
第 10 次	6.25	5.80	4.30
第 11 次	5.90	5.80	4.15
第 12 次	5.55	4.90	4.50
第 13 次	6.20	5.95	3.55
第 14 次	6.99	4.45	3.15
第 15 次	5.10	5.30	3.40
第 16 次	4.89	5.40	5.36
第 17 次	5.40	4.11	4.15
第 18 次	6.10	4.35	3.50
第 19 次	6.85	5.00	4.71
第 20 次	5.40	5.90	5.05
平均	5.53	5.46	4.15

[實驗五]

利用特製水缸和石頭進行實驗，使用塑膠板推動水以製造水波，藉由石頭放置的方式研究。

水深 8cm，將大石頭、小石頭放置於 5cm 一橫排和放置一段長度約 20cm 的大石頭，以下為實驗數據(表六)。

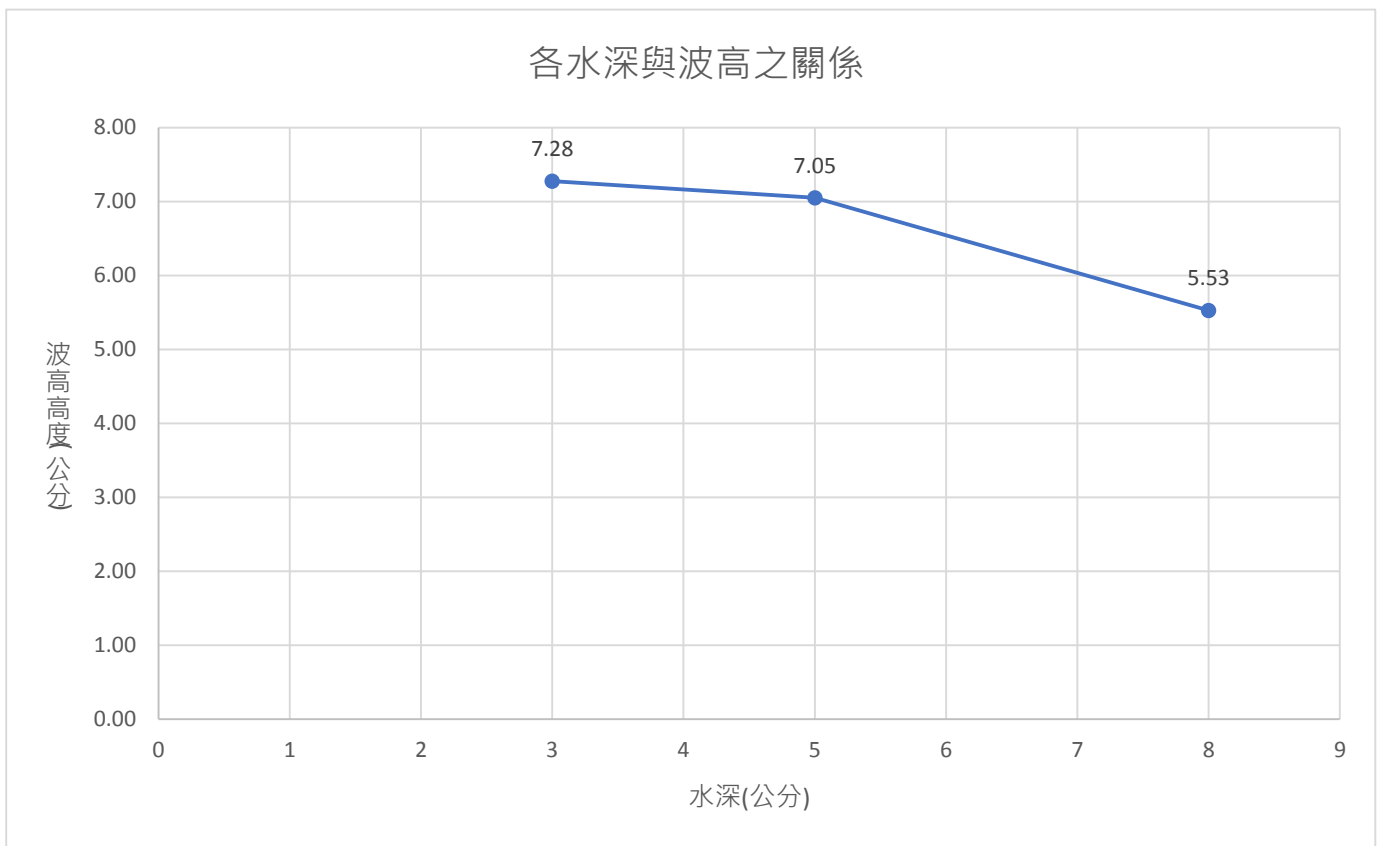
表六：水深 8cm 時水波波高與石頭放置方式之關係

水深 8cm 時水波波高與石頭放置方式之關係(公分)			
第幾次/石頭放置方式	大石頭	大石頭鋪長	小石頭
第 1 次	4.15	3.80	5.30
第 2 次	4.50	4.90	5.59
第 3 次	3.55	4.35	4.60
第 4 次	3.15	3.35	4.30
第 5 次	3.40	2.95	4.55
第 6 次	5.36	3.35	4.52
第 7 次	4.15	4.25	5.00
第 8 次	3.50	3.55	4.54
第 9 次	4.71	4.10	4.21
第 10 次	5.05	4.25	5.40
平均	4.15	3.89	4.80

伍、 討論

一.水深和對浪高的影響

藉由沒擋板的 3cm、5cm、8cm 的波高比較，可看出在水深 3cm 時的波高(7.28cm)>在水深 5cm 時的波高(7.05cm)>在水深 8cm 時的波高(5.53cm)，進一步推測是因為能量守恆所導致，因為推動的力 F (F 為在 3 秒內推動 50cm 水的力)皆相同而每次推動的距離皆為 50 公分，所以每次作功皆相同；小組所出的力與水波移動方向同向，所以可知力對於水波的作功為正功，根據能量守恆定律，假設忽略摩擦力，全部的作功都轉換成重力位能，又重力位能等於 mgh (g 為重力加速度，在地表視為常數、 m 為質量、 h 為波高)，質量與高度成反比，我們可以知道水深越深截面積較大，所以水體質量越大，故可得到水體質量越小波高越高；同理，質量越大波高越低(圖十)。



圖十：各水深與波高之關係

二.擋板後的差別

觀察每個加擋板後的實驗，依最後平均來看，可發現在特定距離內，可以使波高小於未加擋板的高度。

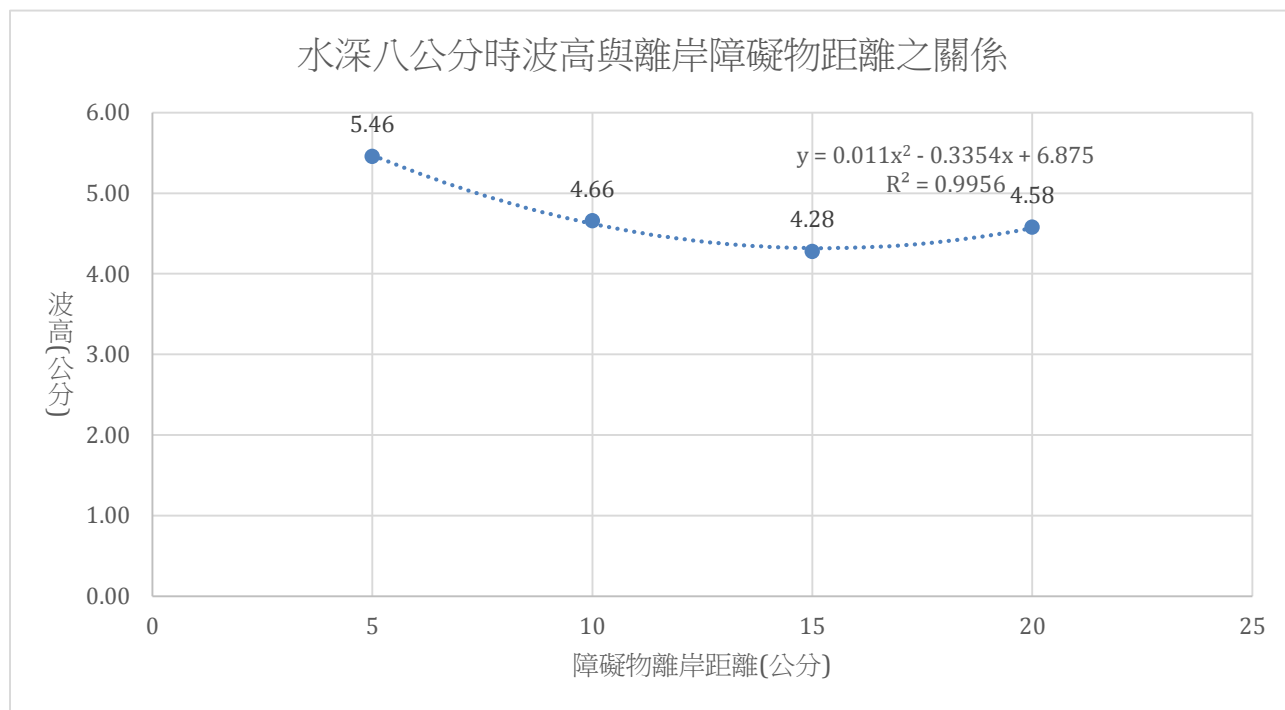
若排除人工推水因而導致的誤差，考慮波的繞射現象，因為被擋板擋住的那部分水會根據繞射現象而產生一個新的波，就此可得出波高為：原先的波高+繞射的水波，而在離岸距離不同時，雖然繞射的水波皆相同，可是兩波的相位並沒有完全對到，使得這兩個波會互相干涉，其中包括建設性干涉及破壞性干涉，藉此可以合理的解釋：為何障礙物擺放在特定離岸距離會出現比未加擋板的波高還要高；反之，也能解釋為何會出現比未加擋板時的較低波高(表七)。

表七：各水深波高與障礙物離岸距離之關係

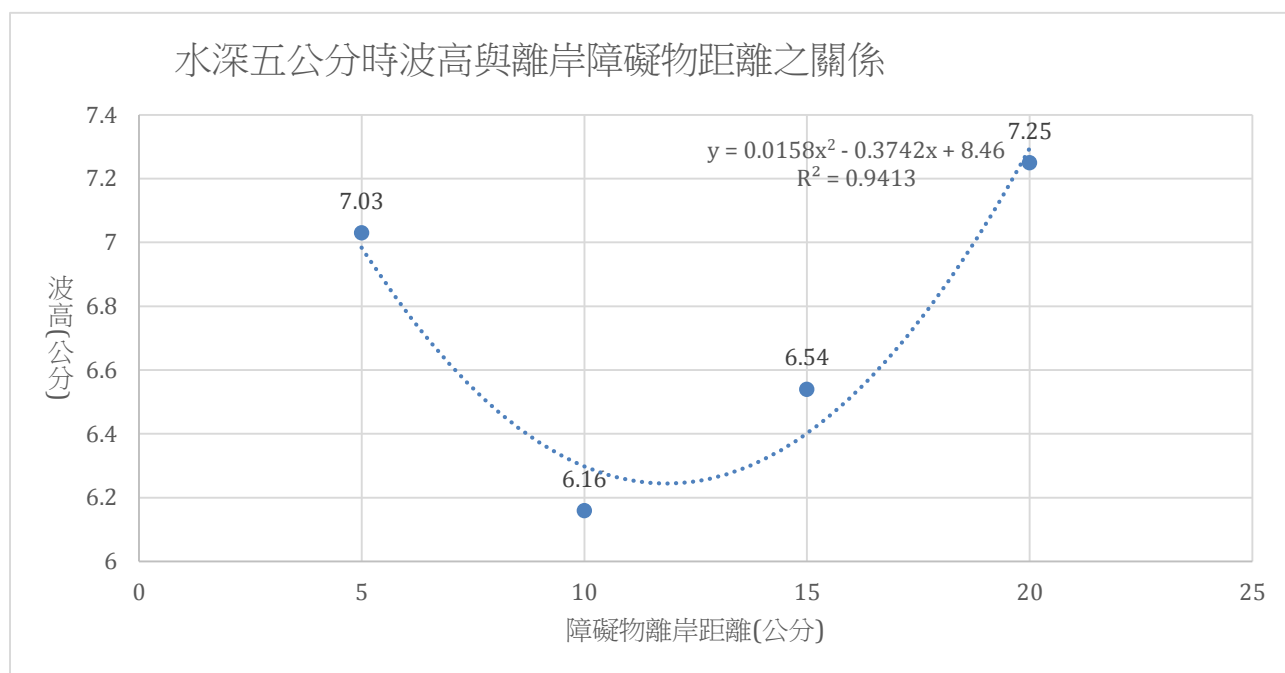
各水深波高與障礙物離岸距離之關係					
水深/離岸距離	20cm	15cm	10cm	5cm	未加
3cm 平均浪高(公分)	7.32	6.78	6.85	7.51	7.28
5cm 平均浪高(公分)	7.25	6.54	6.16	7.03	7.05
8cm 平均浪高(公分)	4.58	4.28	4.66	5.46	5.53

三.理想極值與實際數據

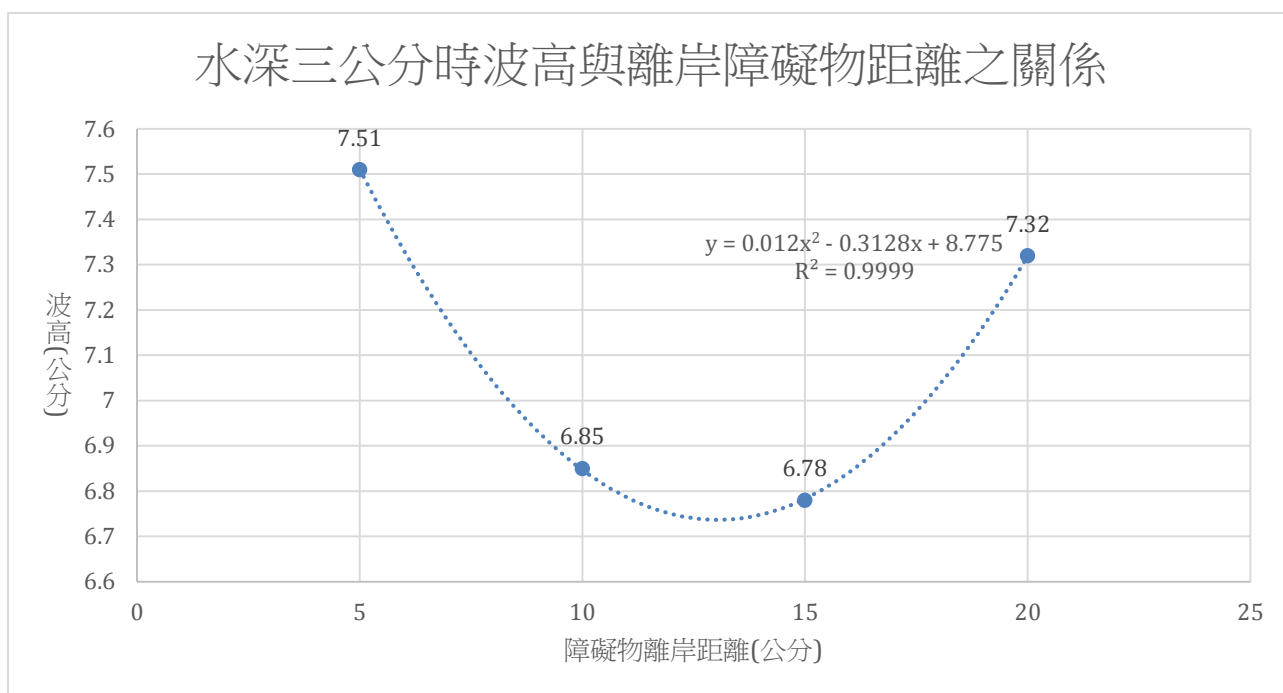
小組將"各水深波高與障礙物離岸距離之關係"做成圖表，並對其回歸，發現回歸出一個二次曲線且決定係數相當高(圖十一、圖十二、圖十三)，也就是此數據的回歸曲線是值得參考的。小組猜測因為干涉現象發生在打上岸的那刻，疊加的相位可能是破壞性干涉、建設性干涉或是剛好介於兩者之間，而二次曲線的最低點，可能就是疊加相位為破壞性干涉最強的位置。



圖十一：水深八公分時波高與離岸障礙物距離之關係



圖十二：水深五公分時波高與離岸障礙物距離之關係



圖十三：水深三公分時波高與離岸障礙物距離之關係

根據計算各個實驗二次函數的波高最小值，水深八公分時發生在離岸 15.24 公分；水深五公分時發生在離岸 11.84 公分；水深三公分時發生在離岸 13.03 公分

四.擋板材質差異(石頭、瓦楞擋板)

根據水深 8cm 時各種擋板位於五公分與波高之關係的數據顯示：無擋板的波高(5.53cm)>瓦楞紙擋板的波高(5.46cm)>石頭的波高(4.72cm)。

明顯的看出石頭抑制浪高的效果比擋板好，因為盡可能找高度與擋板一樣的石頭，也就是說若投影在垂直平面上，擋板和石頭的高度皆為 4cm，故干涉的情況可以排除，則考慮吸收力：擋板薄薄的一片可能承受不住水波的能量而導致變形，但石頭較堅硬能承受此能量且不位移，這兩者差別使得最終到達岸邊的能量：石頭<擋板，符合浪高結果：石頭<擋板(表八)。

表八：水深 8cm 時各種擋板位於 5cm 與波高之關係

水深 8cm 時各種擋板位於 5cm 與波高之關係			
平均/5 公分處放置方式	未加	擋板	石頭
平均波高(公分)	5.53	5.46	4.15

五.石頭的放置方式

1.比較一排石頭和鋪長的浪高關係

若把鋪長的石頭(圖十四)切分為很多個一排，故此能消耗的能量能比只有一排還多，所以到岸時能量：鋪長<一排，符合浪高的結果：鋪長(3.89cm)<一排(4.15cm)。



圖十四：石頭鋪長

2.比較大石頭和小石頭分別放一排與浪高的關係

小石頭使浪高減少的高度明顯小於大石頭所減少的，比較大、小石頭可發現，大石頭高度、厚度都大於小石頭，所以小組推測是因為小石頭所能減少波的能量小於大石頭所能減少波的能量，故浪高：大石頭<小石頭(表九)。

表九：水深 8cm 時波高與石頭放置方式之關係

水深 8cm 時波高與石頭放置方式之關係			
波高/放置方式	大石頭放一排	大石頭鋪長	小石頭放一排
平均(公分)	4.15	3.89	4.80

陸、結論

一.並不是有放擋板就能減少浪高

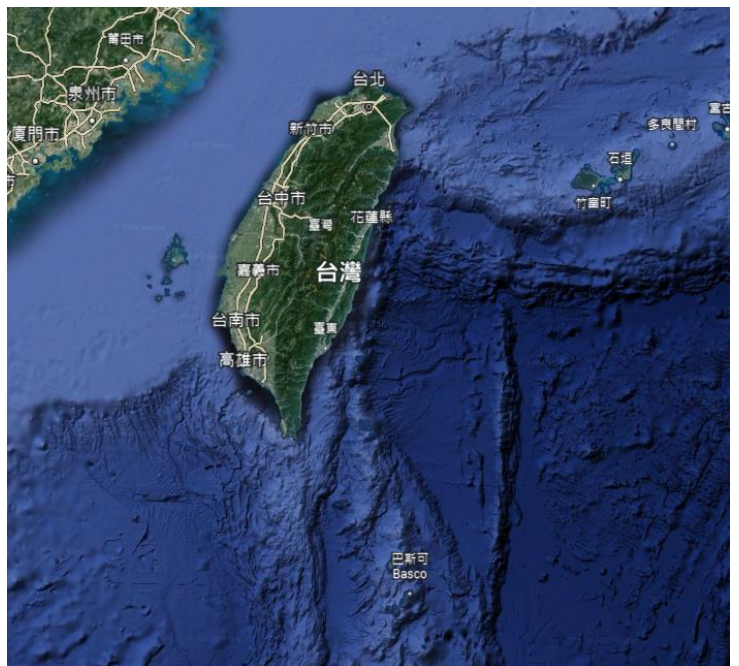
根據"討論二"的結果，到達岸邊的波會受到干涉的影響，又疊加的波根據實驗結果是屬於二次函數，因為我們的實驗水道設備可能較短，若推廣到無限長的水道，疊加的波可能是週期函數，根據模擬出來的結果，將擋板放置在特定位置，才會產生明顯的破壞性干涉，如果障礙物放在特定距離反而會使波高增加，故並不是有放擋板就能減少浪高，還需要放在能產生明顯的破壞性干涉的位置。

二.材質會影響波高

根據"討論四"和"討論五"，石頭在大小、擺放方式的差異都能造成最終波高不同，而根據"討論五 2"，小組覺得不同障礙物會影響波高，更可能是因為間隙的關係，我們可以想像擋版間隙為零，而小石頭之間，雖然有間隙，但是間隙比較小所繞射出來的波比較小，進而產生破壞性干涉比較小，同理大石頭間隙較大，繞射出來的波比較大以至於干涉效果較佳，所以以材質來減少波高的效果來說，大石頭>小石頭>擋板。

三.為什麼台灣東部沒有海嘯

在台灣東部有個海底山脈平均高度為 2000 公尺，而東邊海洋深度大約為 4000 公尺，與我們的擋板實驗尺度相同擋板高度為水深的一半，因此小組推測東部沒有海嘯有一部分原因是因為那個海底山脈。



圖十五：台灣近海海底形圖(資料來源：Google earth)

柒、未來展望

一.試著印證出此週期函數

根據"結論一"的推論，若能將此週期函數證明出來，當把擋板放置於固定位置時，則波高能大約等於函數所對應出的值，就可以對實際的海嘯做運用。

二.用更多其他材質做實驗，找到能使波高最小的擋板

根據"結論二"的推論，可以知道石頭和瓦楞紙對於減少波高有不同的效果，故猜想各式擋板在同個位置下能造成不同的波高，主要使用不吸水的材質像是玻璃、木頭、鋼鐵、塑膠等，希望能找出可以配合週期函數的波谷且能做出最低波高的材質。

三.除了在海底下做擋板，考慮在岸上做擋板

因為我們這組的實驗主要以水底下的擋板，況且我們若在現實世界無法確切的知道下一次的震源會在哪裡，若能在岸上做擋板就能避免不知震源在何處地震距離有多遠，而進而導致波高比原先未加擋板的高。

而在岸上做擋板可以考慮利用形狀的變換，在易發生在海嘯的海岸邊，放置一排特殊擋板進而不用考慮在不知道震源距離有多遠的情況下，隨時做好抵擋海嘯的準備。

捌、參考資料

一、維基百科 1867 年基隆海嘯:。取自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/1867年基隆海嘯>

二、吳祚任 (2007)。終極天災：海嘯。取自網站：

<http://tsunami.ihs.ncu.edu.tw/tsunami/tsunami.htm>

三、台中市政府消防局。海嘯之減災與應變。取自網站：

https://www.fire.taichung.gov.tw/df_ufiles/b/12.海嘯之減災整備與應變.pdf

四、交通部中央氣象局 (2011)，交通部中央氣象局海嘯資訊發布作業要點。取自網站：

<https://motclaw.motc.gov.tw/webMotcLaw2018/Law/ArticleContent?LawID=K0087000&keyword1=&keyword2=&keyword3=&keyword4=>

五、奈須紀辛 著 曾萬年 譯。海洋的科學-探討浩瀚海洋的本質，35～49 頁。