

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

080503

兵來將擋，水來土掩—海嘯的成因與影響

學校名稱：新竹縣新豐鄉埔和國民小學

作者： 小五 姚凱文 小五 李依婷 小五 許元怡 小五 許哲睿 小五 徐紹棋 小五 林芷語	指導老師： 葉建明
---	------------------

關鍵詞：海嘯、防波堤、地震

摘要

此次實驗利用特製水族箱(120cm x 30cm x 45cm)裝載水體，並利用起波器撥動水面，用以模擬海底地震所帶來的能量變化，並將水體染成紅色，方便觀察，藉由水深、坡度、底面的粗糙程度、地型型式等的改變，觀察記錄波速和浪高，以及防波堤型式與位置如何有效降低海嘯所帶來的衝擊，做一探討，讓我們對海嘯有更深一層的認識，也期望此次的實驗能提出較有效的防波堤型式，降低海嘯的傷害，讓我們的生命財產有更大的保障；面對此次日本 311 的九級大地震，台灣也同樣位於環太平洋地震帶上，相較於日本，我們不得不對它提早有所防範，以及應有一些基本的認識。

壹、研究動機

前一陣子電視上傳來了日本的強震訊息，此次強震芮氏規模上修為 9.0，為日本史上最大地震引發的大海嘯，沖走沿途的船隻、車輛、房屋與居民，造成日本東部沿岸地區災情慘重。當地震發生時，地殼板塊會相互擠壓或分開，因此海底大片區域會突然上升或下降。區域的海水也會隨之突然升起或下降，而偏離原本的平衡位置。在重力影響下，大量偏移的海水會形成波浪，因此形成海嘯。此次我們想透過模擬方式，在實驗室製作出海嘯，並想出是否能有效提出預警效果，讓海嘯來臨之前，能有多一點時間警告民眾，進行疏散；以及透過防波堤的設置，建議的高度與長度，符合最大的經濟效益，如何能夠減小海嘯所帶來的衝擊，並觀察何種地型最容易受到海嘯的傾襲，都是我們這一次實驗想要探討的問題，藉以模擬地震與海嘯所帶來的災害，提出有效的因應措施。



貳、研究目的

強震過後是海嘯最易發生的時候，對於海嘯的速度、高度、受地形影響的程度、範圍，以及防波堤的設置、長度、位置等是我們這次想要探討的主要問題，此次主要研究目的如下：

- 一、海嘯的成因及其影響。
- 二、模擬製作地震震源及起波器。
- 三、水深與海浪速度的關係。
- 四、水深與海浪高度的關係。
- 五、水牆高度與坡度的關係。
- 六、地形變化與浪高的關係。
- 七、防波堤與浪高及侵襲範圍的關係。
 1. 防波堤排列方式對浪高及侵襲範圍影響
 2. 防波堤與岸邊的距離對浪高及侵襲範圍影響



參、研究設備及器材

編號	器材設備名稱	單位	數量	備註
1	特製水族箱 (120cm x 30cm x 45cm)	座	1	
2	紅色墨水	罐	3	
3	魔鬼氈	條	10	
4	量角器	個	1	
5	直尺	支	2	
6	起波器(鋁料製作)	組	1	
7	三合木板 (製作地形)	片	1	
8	攝影器材(DV、數位相機)	台	2	
9	長橡皮筋	條	10	
10	氣球	個	3	
11	硬質塑膠板	片	1	
12	數學教具小積木	個	1	
13	彈簧	盒	1	
14	水桶	個	1	
15	保利龍板	片	5	



肆、研究過程與方法

【研究一】海嘯的成因文獻資料探討，以及有何影響？

當海洋中大量海水突如其來垂直地偏移時所產生的一連串大波浪。地震、山崩、火山爆發、爆炸，甚而宇宙小星體的衝擊，譬如隕石，都可能引起海嘯。

舉例來說，以兩塊木頭模擬地殼板塊運動時，當兩端不斷的施加壓力，一旦壓力累積過大，其中一塊將會向下隱沒，而另外一塊將會迅速往上抬升，連帶的將其上方的海水也往上抬升，瞬間的能量釋放出來，因而形成了海嘯。



通常在距離震源處越近的，所受到海嘯的威脅也最大，隨著距離的增加，能量消耗之下，越遠的地方所受到的海嘯威脅也隨之降低許多。

今年 3 月 11 日台北時間下午 1 點 47 分，日本外海發生大型海底地震，其地震強度高達芮氏規模 9.0。該地震隨即引發強烈海嘯，並在 10 分鐘左右即抵達日本之福島縣，並在仙台、岩手引起高達 10 公尺之恐怖巨浪。此次福島海嘯之所以如此強烈，主要是該海嘯擁有底下要件：

- (1) 地震規模要夠大，此次地震強度高達芮氏規模 9.0。
- (2) 水深要夠深。才有足夠的海水蘊藏能量，福島海嘯大約發生在水深 3 公里處。
- (3) 震央位置必須夠淺。此次福島地震深度則僅有 10 公里，屬於淺源地震。



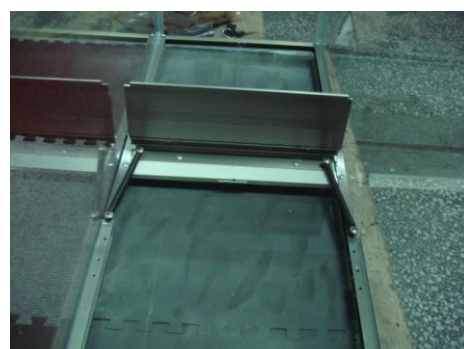
【研究二】如何模擬製作地震震源及起波器？

此次實驗中，我們向水族館訂製特製的玻璃水槽箱（120cm x 30cm x 45cm），利用這一個透明水槽箱觀察並模擬出海嘯的形成方式。

我們討論數種模擬海底地震震源及起波器製作，以下是我們討論並實驗的結果：

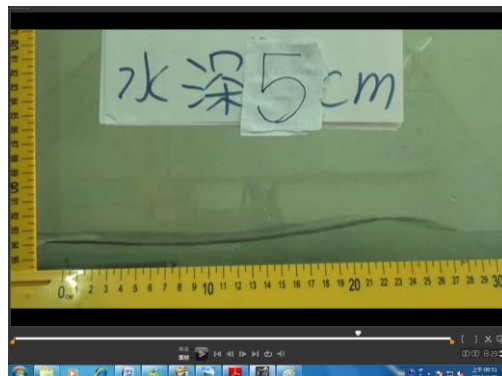
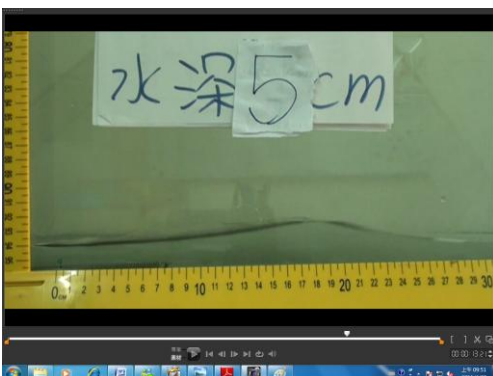
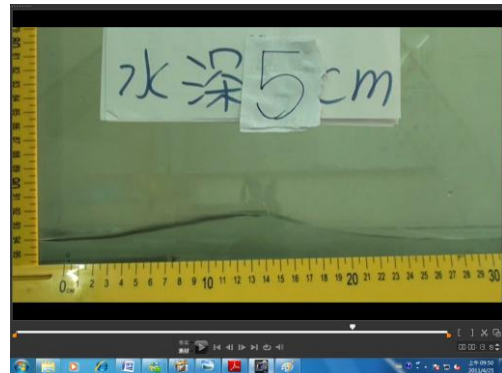
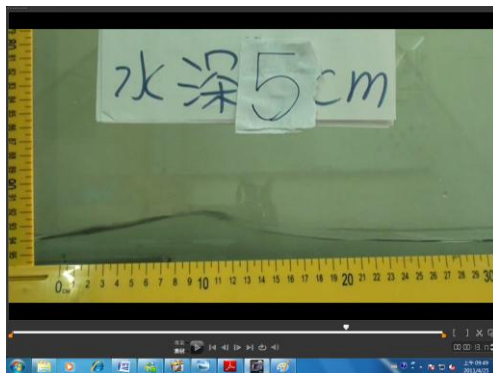
實驗方式	優點	缺點
以氣球在水底下引爆	材料容易取得，實驗方便	氣球大小不易控制，每一次的力量大小不同，充氣的氣球由於浮力不易置於水中
利用塑膠墊板的反彈力量	可以正確模擬地殼受力向上抬升的應力	不易彎曲產生應力，反彈力量不易控制，且水深需要較深
利用重物墜落產生波浪(模擬隕石的撞擊)	可以控制重物重量，改變震動能量	會有危險的疑慮，怕破壞水族箱本體
以手動木板撥水方式產生能量	簡單快速，材料容易取得，實驗方便	不易控制每一次的力量大小，造成實驗的誤差
利用彈簧彈力，連結木條，製作起波器	可以利用彈力控制力量，有效模擬地殼受力向上抬升的應力	會產生回彈，影響波的連續性
利用水桶倒水進入水槽箱內	可利用高低差位能不同方式產生能量，簡單易做	倒的速度不易控制，影響實驗的準確性

後來我們去找鄰居，利用下課時間找了鋁門窗店的沈老闆，告知我們的需求，我們畫了幾種設計圖，並與他一同討論出以軌道連接彈簧，再以鋁板廢料製作出起波器，這種方法最為可行，也感謝沈老闆的熱心協助。

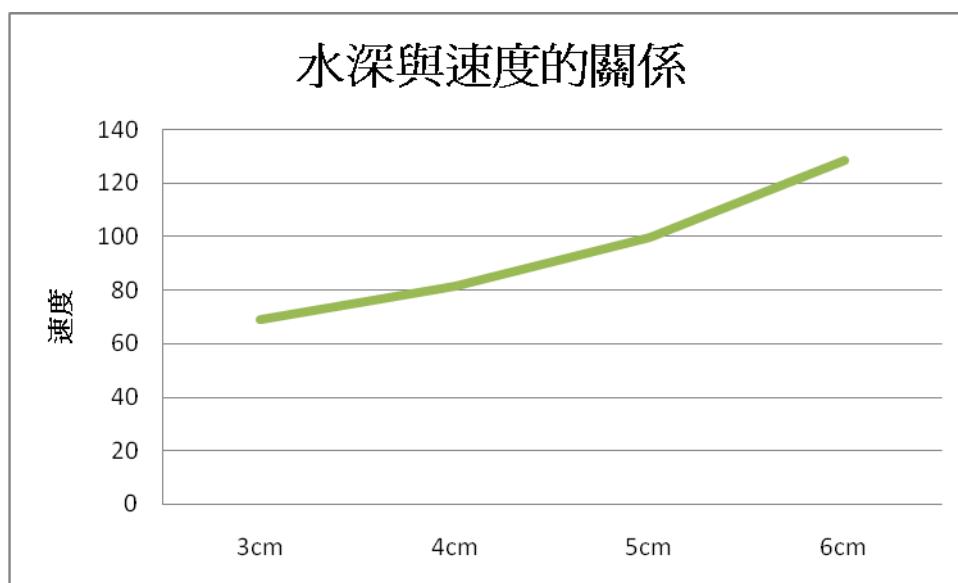


【研究三】水深與海浪速度的關係？

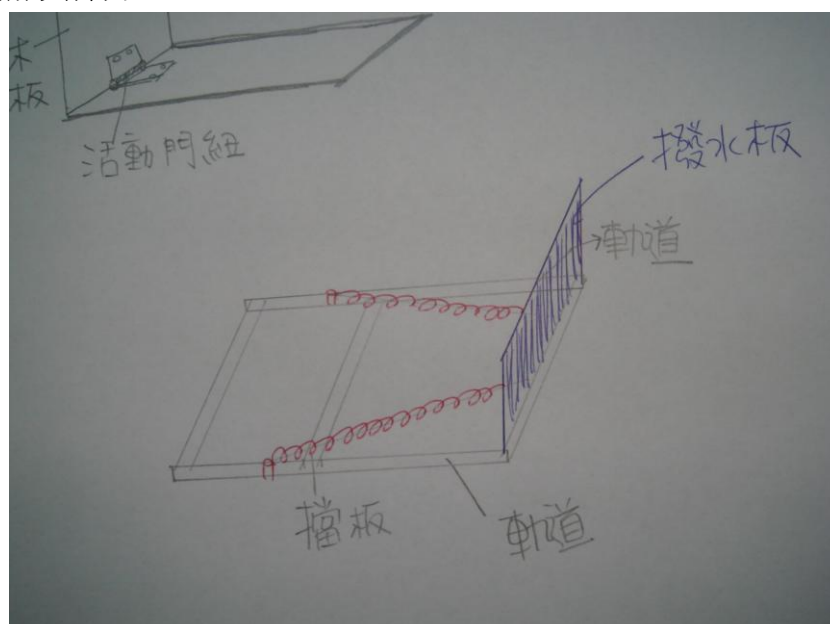
我們在水族箱中，裝入了不同的水深，依序有 3CM、4CM、5CM、6CM、7CM、8CM，將距離固定為 30cm，以數位相機(DV)拍攝下來，利用繪聲繪影軟體，時間間隔訂為 1/30 秒，再以慢動作撥放，觀察通過 30cm 之間的時間差為何，再利用距離除以時間，即可得到波的傳播速度。



水深(CM)	時間間隔一	時間間隔二	時間間隔三	平均時間(秒)	平均速度
3CM	13/30	14/30	13/30	13/30	69.2
4CM	11/30	12/30	11/30	11/30	81.8
5CM	9/30	8/30	9/30	9/30	100
6CM	7/30	8/30	7/30	7/30	128.6
7CM	-	-	-	-	-
8CM	-	--	-	-	-

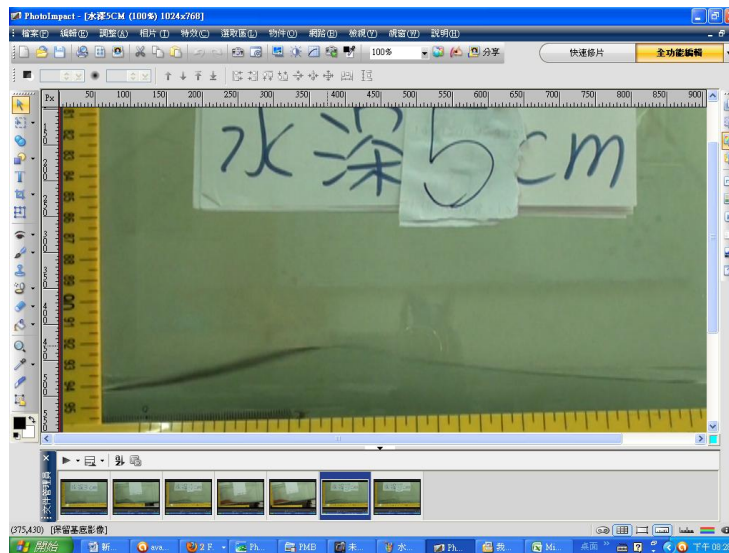


我們發現，當水深越深時，波的傳播速度越快，但當水高為 7cm 以上時，由於水的阻力變大，起波器的彈簧彈力不夠，無法有效製造波浪的效果，因此我們再改良，在中心處加上大條橡皮筋，來增加其彈力。

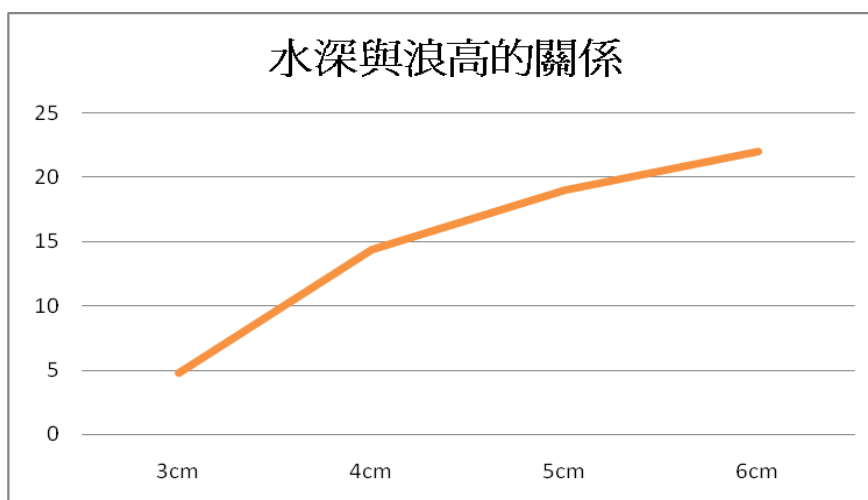


【研究四】水深與海浪高度的關係？

我們在水族箱中，裝入了不同的水深，依序有 3CM、4CM、5CM、6CM、7CM、8CM，以數位相機(DV)拍攝下來，將影片轉成照片，利用 PhotoImpact 軟體，以尺標方式，找出浪高移動最大的高度，觀察並記錄水深與浪高的關係。



水深(CM)	高度一	高度二	高度三	平均高度
3CM	5mm	4.6mm	4.8mm	4.8mm
4CM	14.4mm	14.6mm	14.2mm	14.4mm
5CM	17mm	19mm	21mm	19mm
6CM	22mm	25mm	20mm	22mm
7CM	-	-	-	-
8CM	-	-	-	-

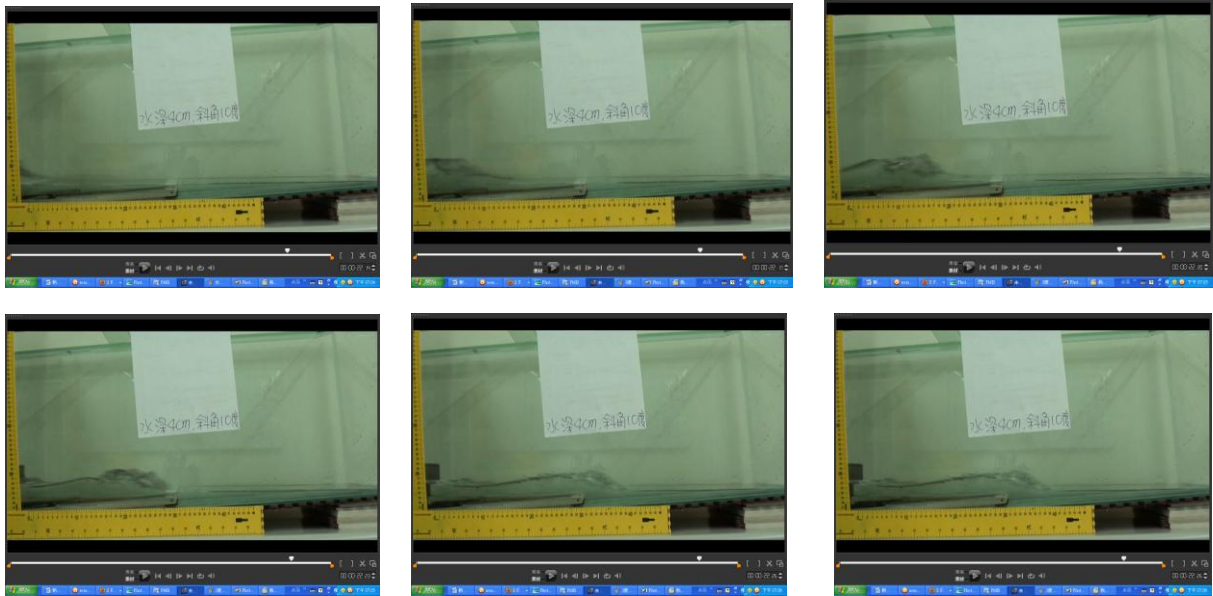


我們發現，當水深越深時，浪的高度也越高，相同能量之下，推動的水體越多，浪高也越高，由實驗可知，當水深由 3CM 到 4CM 時，浪高變化最大，之後隨著水深加深，浪高變化漸趨平緩。

【研究五】水牆高度與海底坡度的關係？

將水族箱頂部黏上一量角器，中間懸吊一砝碼，傾斜水族箱，由量角器上可以控制斜度分別為 3 度、5 度、7 度、9 度，利用起波器，製作波浪，以 DV 錄製下來，將影片轉成照片，觀察記錄以時間間隔為 1/10 秒，可以明顯觀察波浪的變化，再利用 Photoimpact 軟體，以尺規定位可以精確的定出水牆的高度，固定量取 10cm 處的波峰高度，觀察並記錄水牆高度的變化。

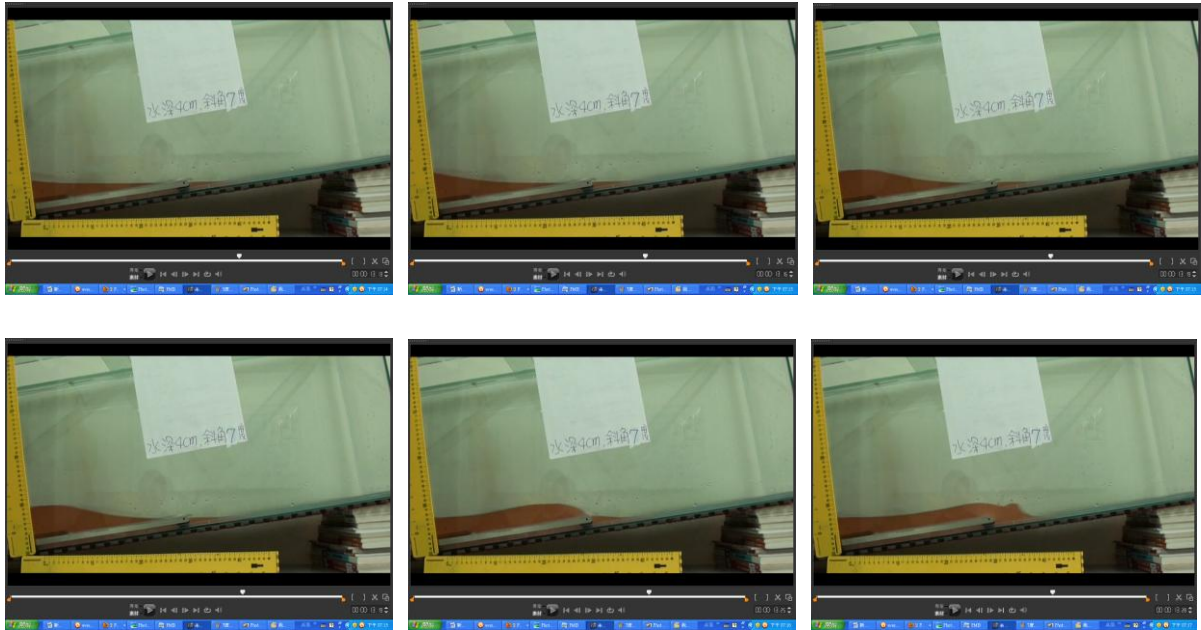
坡度 3 度(時間間隔 1/10 秒)



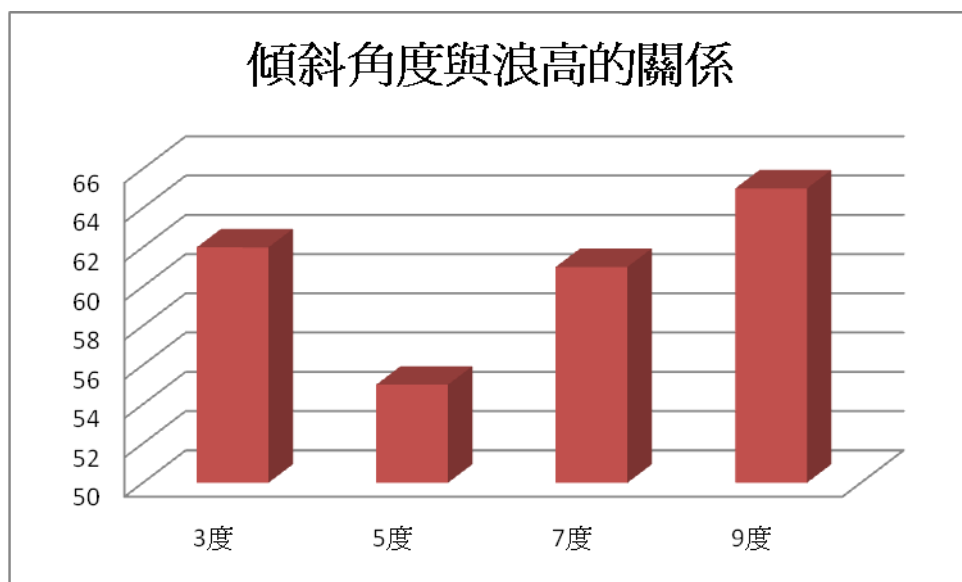
坡度 5 度(時間間隔 1/10 秒)



坡度 7 度(時間間隔 1/10 秒)



坡度	高度一	高度二	高度三	平均高度
3 度	61mm	64mm	61mm	62mm
5 度	53mm	58mm	54mm	55mm
7 度	60mm	59mm	64mm	61mm
9 度	64mm	64mm	67mm	65mm



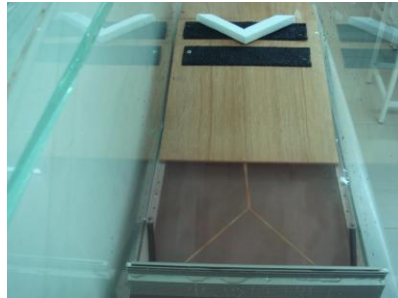
我們發現，角度傾斜越大，浪高也相對越大，但當角度大於 9 度時，起波器受到太大的阻力，無法有效觀察浪高。

【研究六】地形變化與浪高的關係？

以保利龍板切割出地形變化，分別有開放型、圓弧型、倒圓弧型、V字型、倒V字型、海灣型，再以起波器製造波浪，分別觀察浪高以及上岸之後的影響範圍。



圓弧型地形



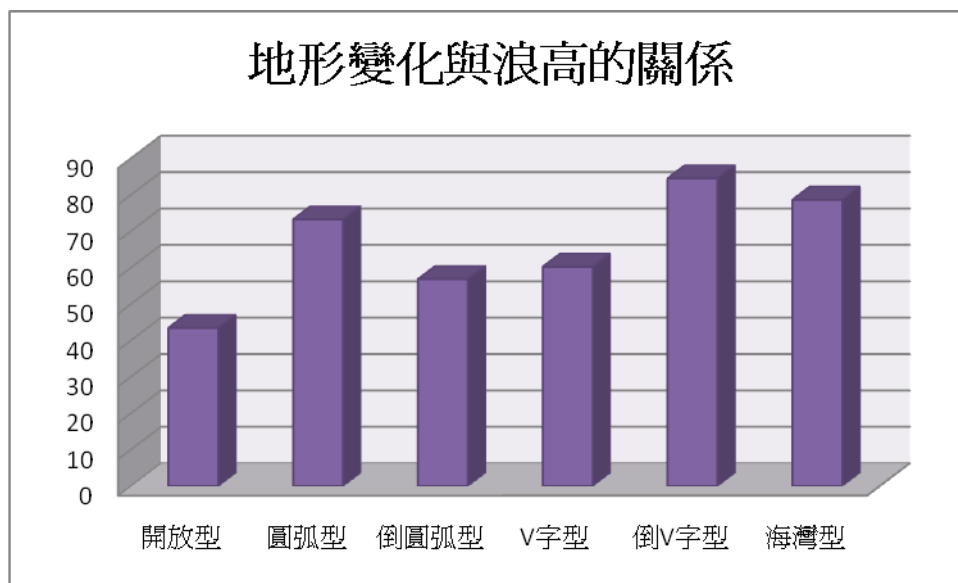
V字型地形



海灣型地形



地型類型	h1	h2	平均 h	地型類型	h1	h2	平均 h
 開放型	41.7mm	45.1mm	43.4mm	 V字型	60.6mm	59.8mm	60.2mm
 圓弧型	71.6mm	74.8mm	73.2mm	 倒V字型	86.3mm	82.7mm	84.5mm
 倒圓弧型	58.3mm	55.3mm	56.8mm	 海灣型	79.4mm	77.8mm	78.6mm



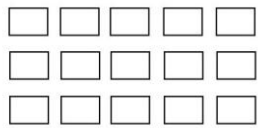
我們發現，地形中以圓弧型、倒 V 字型、海灣型，所得到的浪高較大，而其中又以倒 V 字型的地形所受到的浪高侵襲最為明顯。

【研究七】防波堤與浪高及侵襲範圍的關係？

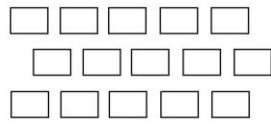
(一) 防波堤排列方式對浪高及侵襲範圍影響

我們利用小木塊，製作不同類型的防波堤形式，固定高度每一塊大小為 5CM X 2CM X 3CM，防波堤高度固定為 3CM，以魔鬼氈黏貼於木板斜坡上，再鎖上螺絲，避免泡水之後，沒有黏性，並固定置於岸上 2CM 處，型一為整齊型，型二為交叉型、型三為雜亂型，分別至於岸邊，觀察海浪的浪高(h)，及其影響範圍(L)。

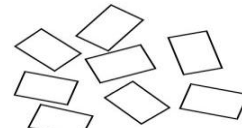
俯視圖



整齊型



交叉型



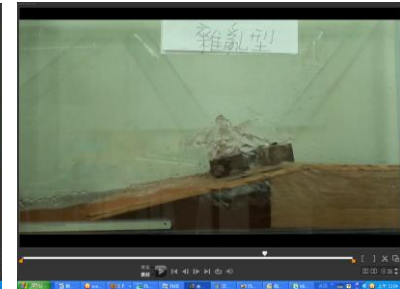
雜亂型



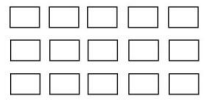
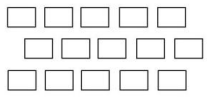

型一整齊型

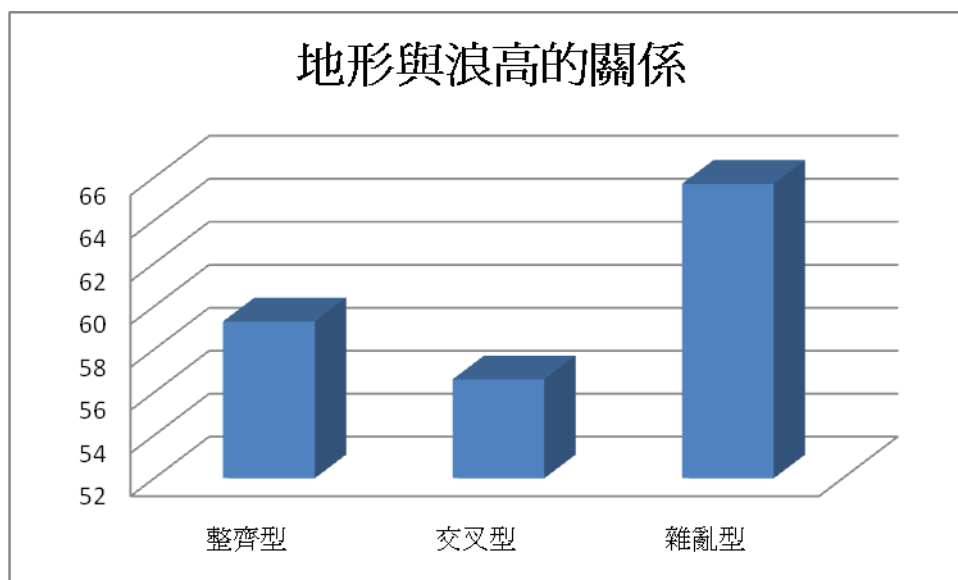


型二為交叉型



型三為雜亂型

防波堤類型	h1	h2	平均 h	L1	L2	平均 L
 整齊型	60.2mm	58.4mm	59.3mm	78.7mm	72.3mm	75.5mm
 交叉型	55.3mm	57.9mm	56.6mm	62.1mm	66.7mm	64.4mm
 雜亂型	61.1mm	65.7mm	63.4mm	67.6mm	66.8mm	67.2mm



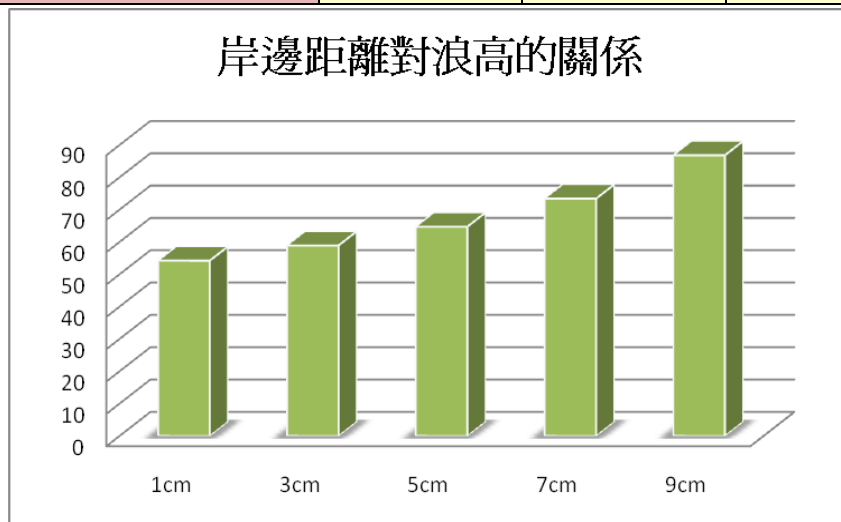
結果我們發現，當防坡堤為整齊型時，侵襲範圍最廣，可能由此中間縫隙整齊，海浪進來時寬度突然變小，速度變快，當防坡堤為雜亂型時，其浪高最大。

(二) 防波堤與岸邊的距離對浪高及侵襲範圍的關係

我們將防波堤固定長度為 25cm，高度固定為 3cm，固定斜坡角度為 20 度，分別距離岸邊為 1cm、3cm、5cm、7cm、9cm，利用起波器製造海浪，觀察浪高及侵襲範圍。



防波堤距離岸邊	h1	h2	平均 h
1cm	55.6mm	52.8mm	54.2mm
3cm	60.4mm	57.4mm	58.9mm
5cm	65.8mm	63.6mm	64.7mm
7cm	75.2mm	71.6mm	73.4mm
9cm	87.1mm	86.5mm	86.8mm

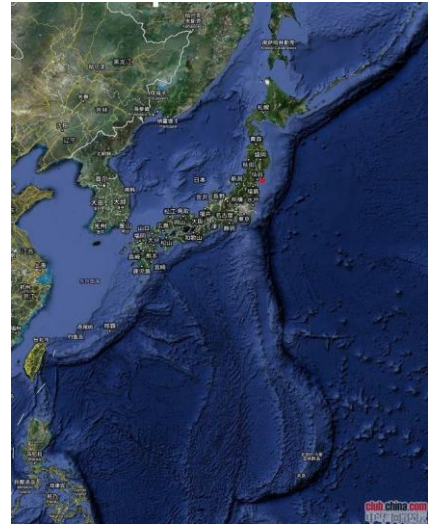


伍、研究結果

- 1、水深越深時，波的傳播速度越快，因此得知波速與水深有關係，由於此次我們起波器高度約為 10cm，當水深加深時，相對受到水的阻力也越大，所以水深受到限制，下次可以將起波器高度加高，彈簧加多，可以試驗更深的水深。
- 2、當水深越深時，浪的高度也越高，也就是說，當震源深度越深時，所引起的海嘯高度也相對變大。
- 3、海床斜度也會影響海浪的高度，當斜度越大時，其所產生的浪高也越大，但當角度大於 9 度時，由於起波器受到太大的阻力，無法有效產生推力，也影響實驗的準確性。
- 4、當我們探討不同的地形對浪高的影響時，我們發現，以圓弧型、倒 V 字型、海灣型，所得到的浪高較大，這些地形都有一共同點，就是兩側寬，中間窄，當海浪來時，兩側容易被擠到中間，造成集中效應，使得浪高更高，造成的破壞也更大。
- 5、當我們探討防波堤排列方式對浪高影響時，整齊排列的防波堤，其所影響的範圍最大，因為整齊型的防波堤，其中有一固定凹槽處，當海浪來時，寬度縮減，更容易深入內陸造成破壞，而雜亂型和交叉型的防波堤，比較容易抵銷海浪的侵襲，因此我們常見到海岸邊的防波堤，其排列方式大多是任意堆置的。
- 6、防波堤與岸邊的距離對浪高影響實驗中，距離岸邊越遠處，產生的浪高越高，可能是因為海浪未上岸能量較大，隨著距離的增加，能量也因為摩擦力的緣故越來越小，因此離岸邊越近，其浪高越低。

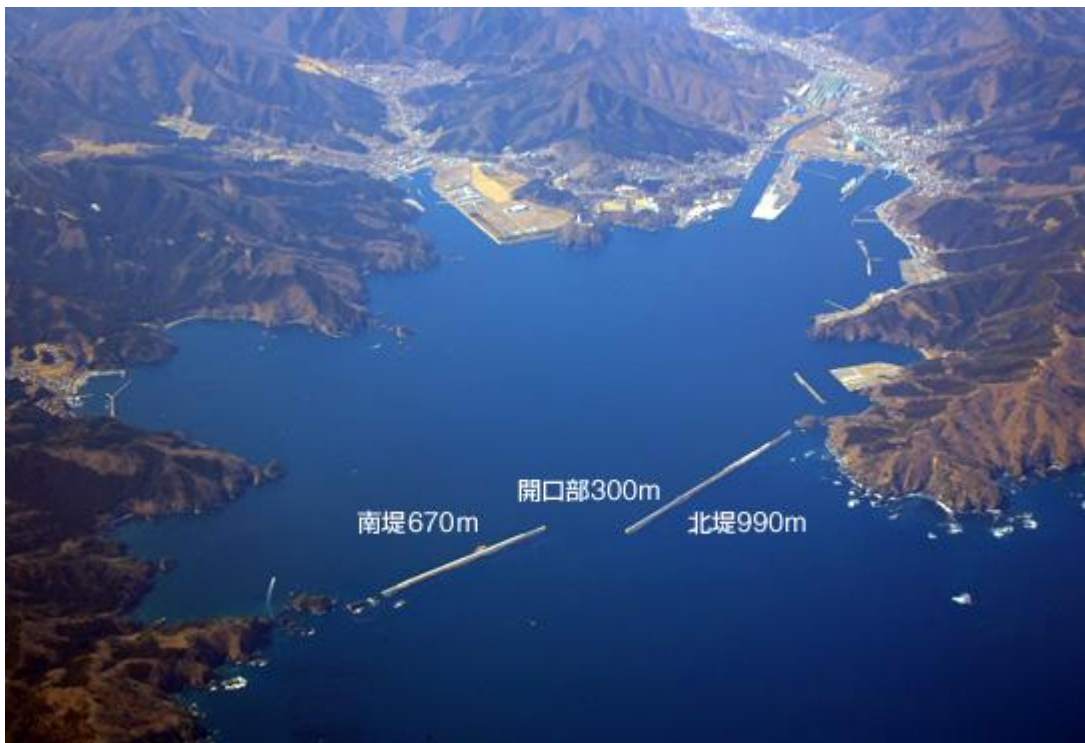
陸、討論

- 一、因為魚缸長度 120CM，以 DV 一台拍攝時，要將全部的水波變化拍攝進去，畫面會過於小，無法有效觀察到水波的行進情形，因此我們利用兩台 DV，一台拍攝前半部，另一台拍攝後半部，使得畫面可以比較大，也較清楚，方便我們觀察與記錄。
- 二、右圖為日本以及台灣的海底地形圖，此次發生在日本福島外海的地震，屬於 10 公里的淺源地震，距離福島 23 公里處，而福島的海底地形屬於平緩的斜坡，當強震來臨時，反而有利於海嘯的形成，行進路徑也正好直撲福島，若是海底落差大，或許可以減輕此次的傷害。
- 三、反觀我們台灣，在這次日本強震中所引起的海嘯，受到的傷害微忽其微，原因可能是我們距離震央有一定的距離，且我們與日本之間又有東亞島弧，海嘯容易被抵消能量，另外我們東部海岸地型屬於懸崖地型，可以減輕海嘯的衝擊。
- 四、防波堤設置位置，若離岸邊較遠處，雖可以較早抵擋海嘯的侵襲，但由於海底坡度的關係，離岸越遠處，防波堤的基礎部份相對也要設置越高，一般我們都是以海平面以上的高度探討防波堤的作用，離岸邊太遠，所耗費的建設經費與時間將相對地大大增加。
- 五、防坡堤位置離海岸邊越遠，越能提早抵擋海嘯的衝擊，但此次實驗發現離岸邊 9cm 處時，由於海浪的力道強勁，把整個防坡堤給衝倒了，可知要越早抵擋海嘯，所需要建造的堤防強度也要越高，因為海嘯會隨距離而減小其強度。
- 六、由於此次我們是利用水族箱來進行模擬水體，真實的海底深度很深，且海底地形複雜，不像水族箱底那麼平滑，又我們製作的起波器高度與強度受限的關係，無法觀察更深的水深，下次我們可以再改良起波器，增加實驗的準確性。



柒、結論

這次日本 311 的強震，造成數萬人傷亡，又引起核災，這樣的天災其實是可以有效預知的，我們台灣雖不像日本位處三大板塊交接之處，但我們仍然位處於環太平洋地震帶上，我們也曾受到大地震的侵襲，至於海嘯，1867 年發生在基隆的海嘯，根據記載，海嘯高度達 7.5 公尺，但該次地震規模卻只有 7.0 以下，我們比較容易忽略海嘯所帶來的傷害，在這次日本大海嘯之後，政府也開始埋設海底預警系統，監測海底地殼變動，或許在經費許可之下，可以考慮在基隆與屏東這兩處易受海嘯攻擊的地區外海處，增設堤防，讓我們有更多準備時間，希望透過此次對海嘯的研究，能更深入了解這一天災—海嘯。



* 特別感謝新東興鋁門窗沈老闆，提供製作起波器，特此感謝。

捌、參考資料及其他

一、網路：

- 1、（單篇文章）：台灣會不會發生大海嘯
(<http://sa.ylib.com/news/newsshow.asp?FDocNo=635&CL=32>)
- 2、（單篇文章）：2011 日本大海嘯之研究與省思
(<http://tsunami.ihs.ncu.edu.tw/tsunami/2011Japan.htm>)

二、書籍

- 1、Braja M.Das (1992) *Principles of Geotechnical Engineering*。台北：科技圖書。
- 2、翰林版五下自然與生活科技

【評語】 080503

優點：

1. 對於不易在自然界觀察的海嘯現象，能自行設計實驗器具，於實驗室進行實驗，探究海嘯成因與影響。
2. 能善用影音設備軟體，對圖片進行分析，增加實驗數據的準確。

缺點：

1. 學生對實驗設備的操作不熟悉，利用軟體對實驗數據的解讀也不夠正確。