

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學

作 品 名 稱：台灣沿岸地形與海嘯的實驗室模擬

得 獎 獎 項：佳作

學校 / 作者：國立臺南第一高級中學 鄧允中
國立臺南第一高級中學 王嘉霈

作者簡介



第一作者：鄧允中

打混於南一中資優班，現任橋藝社社長，牌藝至爛，社史罕見。曾多次參加科展，也幸運地得過全國科展第一名與第三名各一次。不過，今年倒是頭一遭參加台灣國際科展，感覺很不一樣。吾人熱愛搖滾樂，立志發揚龐克搖滾精神，撰寫此文時，意外在按下 Alt+Tab 後發現幾分鐘前 GreenDay 剛獲頒'06Grammy 的年度最佳唱片，興奮不已。

自兒少之時便常隨老爸作實驗，從化學、物理到應科皆有所接觸，習得許多正規課堂上永遠學不到的事物，而比賽時的經歷與實驗室中學長弟們的有趣互動更是令我印象深刻。

對我們這些習慣搞化學的人而言，地科這件實驗是個全新的挑戰，尤其考驗著思考不甚精細的我。這個研究真的給了我們很多的經驗及訓練，我們都感到受益匪淺。當然，如果因此而被踢出國門當然是更好囉！

第二作者：王嘉霈

嗨，我是王嘉霈. 照片左邊那位。目前是南一中二年級，我和鄧允中是國小及國中的多年朋友阿！我從小對科學就有深厚的興趣，喜歡親手做些實驗或工藝品之類的。有空喜歡打打排球。這是我第一次參加科展，有點生疏，花了一個暑假作實驗，學到了很多新的觀念。

在此感謝老師及教授投入大量心血指導我們!!!

作品名稱：台灣沿岸地形與海嘯的實驗室模擬

一、中英文作品摘要：

1、中文作品摘要：

本實驗利用喇叭、薄膜電極、波型產生器、鎖相放大器、及 750 介面卡組合一套系統,此系統可使偵測精密度大幅提升($\pm 4 \times 10^{-5} \text{cm}$),使得水槽及地表模型尺度變小($40 \times 22 \times 35 \text{cm}$),因此可節省實驗的成本與時間

我們在坡度實驗中,發現坡度在 3 度左右,淺化係數都超過 3. 對照台灣沿岸發生海嘯的歷史記載,確實在台灣東北角及西南沿岸等坡度為三度之地區都發生較明顯的海嘯危害. 反之,坡度在四度以上的東岸其海嘯波高都非常低.

最後再藉著硬體系統及電腦 2D 動畫模擬的整合,使我們可方便掌握波浪在不同坡度及位置,其波長及波高變化比,如此有助於預估及說明海嘯隨地形變化的狀況.

2、Abstract :

By using the horn, membranous electrodes, function generator, phase-locked amplifier, and Science Workshop 750, we plan to assemble a tsunami simulation system in which the precision can be getting increased ($\pm 4 \times 10^{-5} \text{cm}$). Because of the improvement of its precision, the size of the tank and of the surface models will become smaller. As a result, the money and time spent on the experiment will be spare.

When experimenting on the influence of inclination of the landforms, we observed that when the inclination reaches about 3 degrees, the shoaling coefficient exceeded 3. The result of our experiment can provide an explanation to the tsunami on the northeast and southwest coast of Taiwan. According to the historical records, the disastrous tsunami happens frequently on the northeast and southwest coast of Taiwan where its inclination is also about 3 degrees as well. On the other hand, on the eastern coast, the wave height is lower and its inclination exceeds 4 degrees. Apparently, our experimenting result is correspond to the natural phenomena in Taiwan's coast.

Besides, with the help of hardware system and computer 2D animation simulation, we can easily measure the wavelength and wave height scale of the wave in different inclinations and positions. Therefore, this tsunami simulation system can provide a great help to estimate and explain the phenomena of tsunami which may change its condition in different landforms.

二、內文：

(一) 研究動機：

世界上有記載的由大地震引起的海嘯，80%以上發生在太平洋地區。在環太平洋地震帶的西北太平洋海域，更是發生地震海嘯的集中區域。海嘯主要分布在日本太平洋沿岸，太平洋的西部、南部和西南部，夏威夷群島，中南美和北美。2004年12月26日發生的東南亞大海嘯，是由於印度和緬甸兩塊板塊構造突然運動相碰時，印度板塊構造被向下擠壓，造成海床隆起一道山脊，海水因此向上湧出，結果引發了此次的海嘯。1867年12月18日，台灣北部地震，是日有十五次的連續地震，基隆沿岸山傾、地裂、全島震動，基隆全市房屋倒壞，死者數百人，基隆港水向外流出，港內海底露，瞬間巨浪捲進，船隻沖進市內造成重大災害；淡水也有類似災情，數百人傷亡，是台灣受海嘯侵襲之最大紀錄。

大洋中海嘯震源的水面最初昇高的幅度大致在1~2米之間。雖然海嘯在沿岸會造成巨大的破壞，但在深海傳播時，由於波高和波長之比(波陡)甚小，週期較長，難以察覺到反常的現象。海嘯的性質，主要取決於其源地的特性和幾何特徵、海底變形的大小、地震的持續時間和強度等因素。海嘯的傳播可分為3個階段：1. 源地附近的傳播；2. 大洋中的自由傳播，3. 近岸帶中的傳播。此外，海嘯波在傳播過程中遇到海岸邊界、海島、半島、海角等障礙物時，還會產生繞射。海嘯進入大陸架後，因深度急劇變淺，能量集中，引起振幅增大，並能誘發出以邊緣波形式傳播的一類長波。從週邊環境及歷史紀錄，因應台灣特殊海岸地形，海灣內和大陸架上的海嘯動力學研究最為重要。故本實驗希望藉由模型的建立，感測系統的整合，使研究者可在各種模型條件下，獲得水波傳遞的相關物理量，並且可模擬動態圖使應用於說明及教學。

(二) 研究目的：

- 1、分析台灣東北角及西南沿海地形。
- 2、不同深度下，頻率及強度的變化。
- 3、近岸海底不同坡度下，頻率及強度的變化。
- 4、近岸海底峽谷不同張角下，頻率及強度的變化。
- 5、利用 Maple 及 Visual Basic 製作模擬動畫。

(三) 研究原理：

1、水波總能量公式 $E = \frac{1}{2}ky_0^2$ 。

2、微小振幅波理論 (small amplitude wave theory)

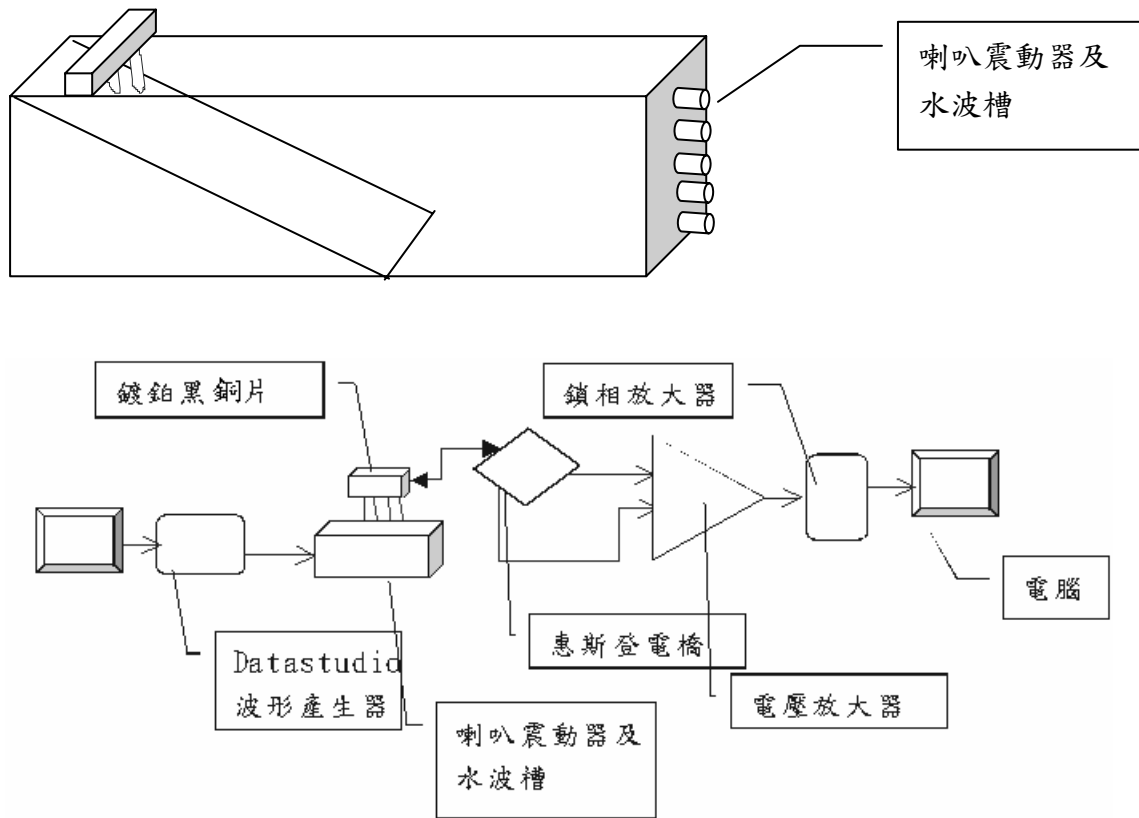
(1) 深水：波速 $= \frac{g}{2\pi}T$ ；波長 $= \frac{g}{2\pi}T^2$ ($\frac{h}{\lambda} > \frac{1}{2}$)

(2) 中度水深：波速 $= \frac{g}{2\pi}T \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$ ；波長 $= \frac{g}{2\pi}T^2 \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$ ($\frac{1}{20} \leq \frac{h}{\lambda} \leq \frac{1}{2}$)

(3) 淺水區：波速 $= \sqrt{gh}$ ；波長 $= T\sqrt{gh}$ ($\frac{h}{\lambda} < \frac{1}{20}$)

能量 E ；波數 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ；振幅 y_0 ；週期 T ；水深 h ；波長 λ ；重力加速度 g

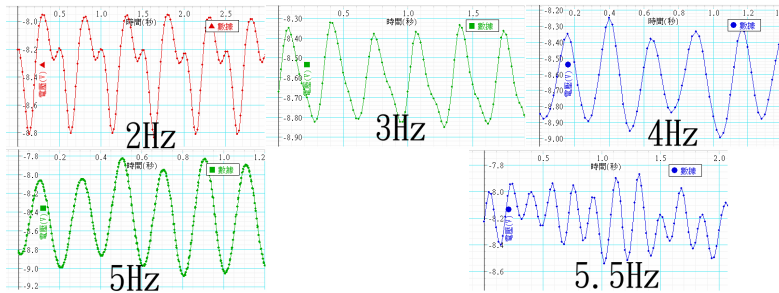
(四) 實驗裝置：



(五) 研究步驟：

〔實驗一〕喇叭震動器頻率選擇

因為地震所生的海嘯為低頻水波，故希望選擇較低頻率的震動，但又需顧及輸入裝置在低頻的雜訊，故需考慮以下三點：喇叭輸出及訊號讀取可正確穩定；濾水棉消除反射干擾的效率；波形完整穩定（大小一致）。



1、 [表一]喇叭震動器所生輸出電壓變化表

頻率	2	3	4	5	5.5
輸出電壓變化	0.805	0.5-0.55	0.6-0.7	0.2-0.8	0.2-0.7

2、 結果： 從上 datastudio 圖看出 3—5.5Hz 每週期的振幅並不盡相同，可見從橡皮膜上傳遞震動、電極彈性響應穩定性及輸出能量上以 2Hz 最佳。

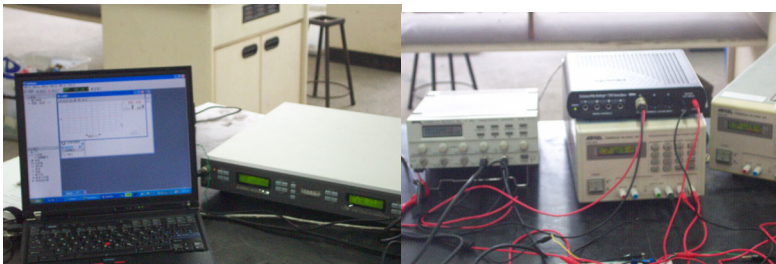
3、 結論：以 2Hz 符合筆者的實驗需求。

〔實驗二〕喇叭衝程測量

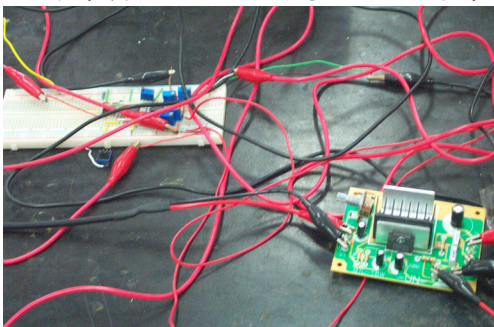
- 1、目的：求出實驗三所需的震源振幅
- 2、在箱子上架上直尺，利用數位相機連拍。
- 3、利用 Potoimpact7 軟體分析最大震動位移。
- 4、結果：最大震動位移 0.777 cm (108/139)
震源振幅為 0.388 cm

〔實驗三〕震動器所生水波振幅和感測器輸出電壓振幅校正曲線

- 1、因為震動器把震動傳至水中時，輸出能量和傳至水中能量並不相符，為了後續實驗，須先求出頻率和傳至水中能量校正曲線。
- 2、在靜水中，調校銅箔鉑黑片上的惠斯登電橋，使輸出為零。
- 3、利用 datastudio 波型產生器，在 5V 下用方波，頻率取 2.0Hz。
- 4、因最大振幅時可使銅箔鉑黑片距離縮短，故電導增加，故可由電導變動知道水波頻率；電導最大變動處即為最大振幅。
- 5、因為電導須在 1109Hz 交流電下操作，故銅箔鉑黑片上須由波型產生器供應 1109Hz 交流電（電壓視所需靈敏度調整）。
- 6、鎖相放大器鎖定 1109Hz 為載波，把電導變化經電橋所生的電壓輸出，利用調幅解調方式，去除載波，再利用 datastudio 所附傅利葉轉換程式求出振幅及頻率。
- 7、按微小振幅波理論淺水公式波長 $=T\sqrt{gh}$ ，水深須在 40 公分以上，頻率 20Hz 以下，把震動器及感測器接置於相距 6—30 公分處。
- 8、在同一頻率下，改變感測器和震動器的距離，測得水波頻率及最大振幅（最大電導改變量）利用水波單位長度能量公式 $E = \frac{1}{2}\rho\omega^2y_0^2$ 計算得該距離水波能量，視震動震動器為點波源，按二維表面波能量和距離成反比，故可求出該震動器振動頻率下傳至水中的能量。



左圖為鎖相放大器及電腦；右圖為波形產生器及 sciworkshope750

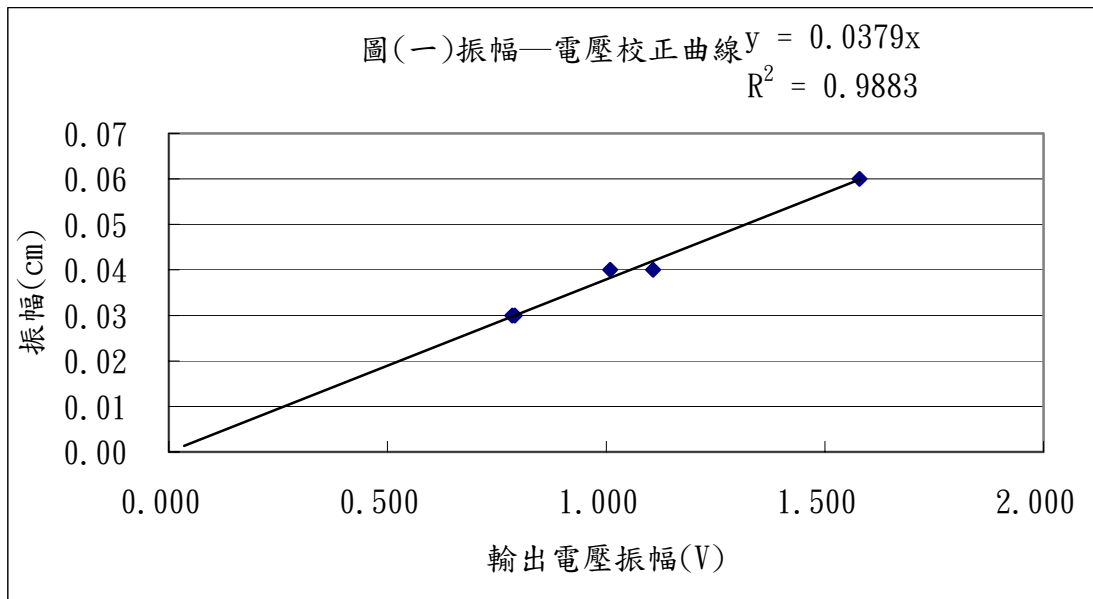


左側為惠司登電橋及 OPA；右側為功率放大器（接喇叭震動器）

[表二] 按微小振幅波理論，距離和振幅之關係表

距離	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0
頻率	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05
振幅 (cm)	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03
最大電導改變輸出電壓量振幅	1.579	1.107	1.009	0.791	0.785
波長 (cm)	37.11	37.11	37.11	37.11	37.11
單位長度能量 (爾格)	0.3309	0.1655	0.1103	0.0827	0.0662

- 9、以求出該震動器振動同一頻率下傳至水中不同的振幅為 y 軸，該震動器振動最大電導改變輸出電壓量為 x 軸作圖。求出最大電導改變輸出電壓量和振幅的關係。



- 10、結果：電壓振幅和水波振幅成正比，且相關係數非常高。
 振幅 = $0.0379 \times$ 輸出電壓振幅

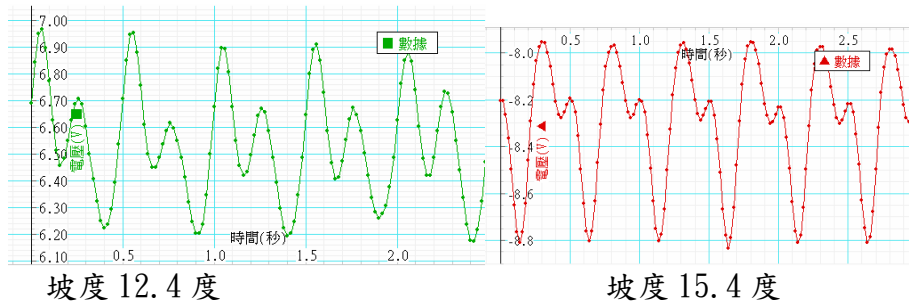
[實驗四] 近岸海底不同坡度下，頻率及強度的變化。

銅箔鉛黑片下方，壓克力墊片改變坡度，求不同坡度下，頻率、波長及強度的變化。

[表三] 不同坡度下，頻率及強度的變化

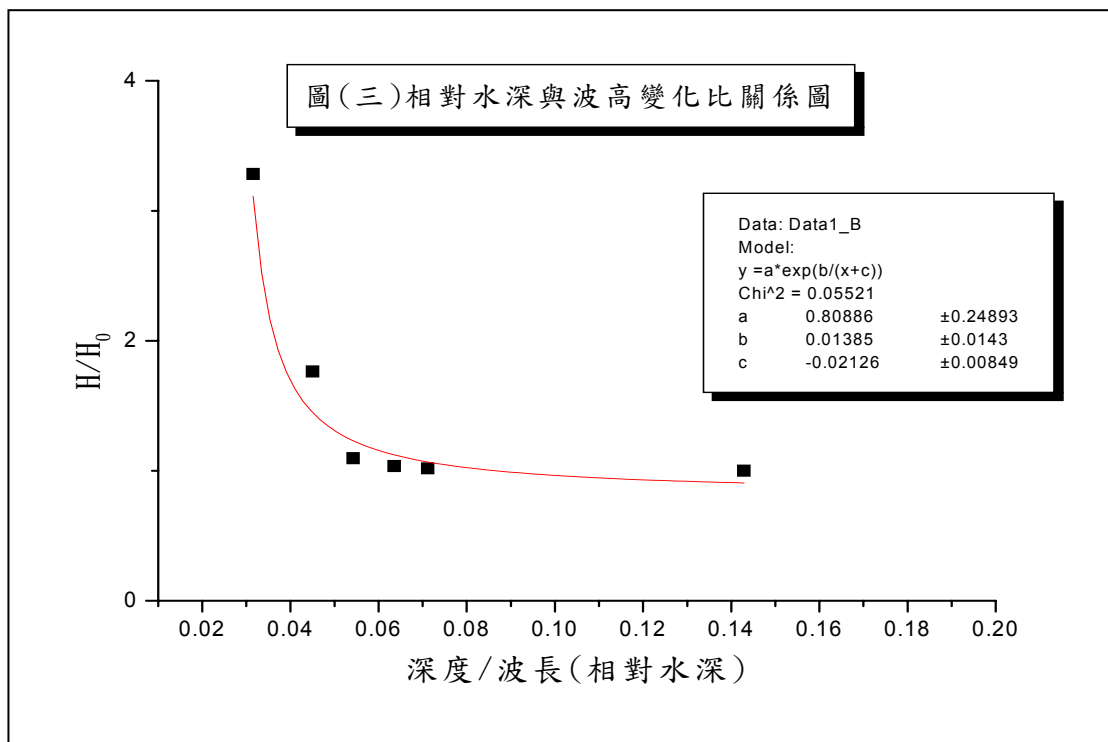
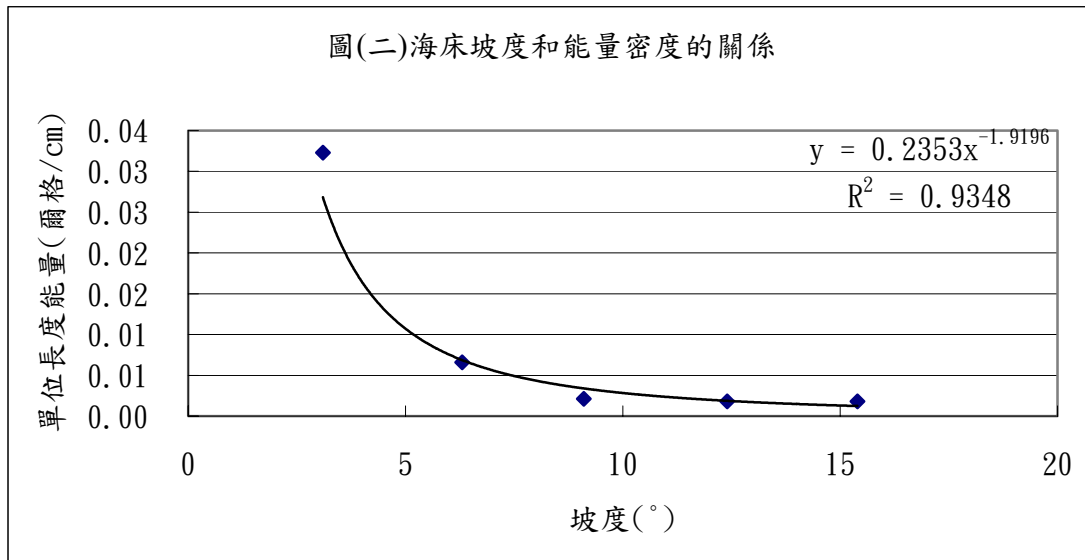
角度(°)	15.4	12.4	9.1	6.3	3.1
電極水深(cm)	1.2	1.0	0.7	0.5	0.2
震源深度(cm)	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0
單一基頻振幅(cm)	0.0041	0.0044	0.0050	0.0089	0.0197
電極波長	17.426	15.569	13.289	11.033	7.727
電極 h/L(相對水深)	0.07113	0.06355	0.05424	0.04503	0.03154
tan 角度(°)	0.2754	0.2199	0.1602	0.1104	0.0542
振源振幅	0.0087	0.0092	0.0099	0.0109	0.0130

平行波振源振幅	0.0040	0.0042	0.0046	0.0050	0.0060
電極 Ks(波高變化比)	1.0180	1.0371	1.0967	1.7640	3.2833
碎波極限 H/h	5.9268	6.1774	6.4779	6.7577	7.1121



坡度 12.4 度

坡度 15.4 度



[表四]坡度 15.4 度傅利葉分析結果

	頻率	輸出電壓 振幅	二倍頻率	輸出電壓 振幅	三倍頻率	輸出電壓振幅
1	2.05	0.161	4.00	0.112	6.15	0.000
2	2.05	0.140	4.20	0.114	6.15	0.087
3	2.05	0.116	4.20	0.108	6.15	0.085
4	2.05	0.097	4.00	0.126	5.96	0.049
5	2.05	0.088	4.20	0.125	5.96	0.047
平均	2.05	0.120	4.12	0.117	6.07	0.054
	振幅	0.0046	振幅	0.0044	振幅	0.0020
	單位長度能量	0.0003	單位長度能量	0.0010	單位長度能量	0.0005
	單位長度總能量	0.0018				
	單一基頻振幅	0.0047				

[表五]坡度 3.1 度傅利葉分析結果

	頻率	輸出電壓 振幅	二倍頻率	輸出電壓 振幅	三倍頻率	輸出電壓振幅
1	2.05	0.113	4.00	0.322	6.15	0.427
2	2.05	0.084	4.20	0.290	6.15	0.351
3	2.05	0.068	4.20	0.297	6.15	0.360
4	2.05	0.086	4.20	0.299	6.15	0.373
5	2.05	0.075	4.20	0.284	6.15	0.411
平均	2.05	0.085	4.16	0.298	6.15	0.384
	振幅	0.0032	振幅	0.0113	振幅	0.0146
	單位長度能量	0.0001	單位長度能量	0.0070	單位長度能量	0.0252
	單位長度總能量	0.0323				
	單一基頻振幅	0.0197				
	波長	37.13	坡度 3.1 度			

1、 結果：關係式 $E = 0.2353 \times \text{坡度}^{-1.9196}$

淺化係數 = $0.80458 \times \text{EXP}(0.02889 / (\text{相對水深} - 0.011))$

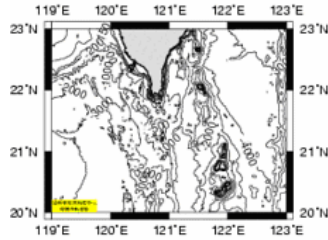
2、討論：

- (1) 角度越小倍頻及三倍頻強度越強，表現在波形上波的疊加高度越高。
- (2) 因為偵測電極和喇叭震動器正對面，故不討論折射係數的影響，但關於折射的影響及淺化的影響(Shoaling)，存在以下關係： $\frac{H}{H_0} = K_s \times K_R$ 。筆者發現，在 $h/L < 0.06$ 淺化係數 K_s ，急劇升高，此點和「近岸水動力學」一書(122頁)所描述的結果相吻合。
- (3) 本實驗為了使波浪在能量不會因碎波而使能量守恆無法應用在模擬及計算上，特別根據 Miche(1944)及 McMowan(1894)所提出公式估算碎波極限 H/h ，以確定所有實驗條件皆在不發生碎波的

$$\text{範圍內，其公式如下：} \frac{H}{h_b} = 0.142 \times \frac{L_b}{h_b} \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b}$$

L_b 為碎波點波長； h_b 為碎波點水深。

- (4) 角度從 3 至 16 度是台灣海峽南部馬尼拉海溝接上台灣海峽中的高屏峽谷及澎湖水道大陸棚的坡度，可見在南海若發生海底斷層垂直錯動，有可能在台灣西南部發生海嘯。



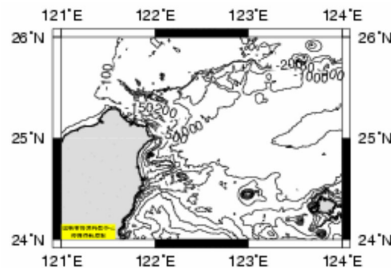
澎湖水道坡度都在 1 度以下，入射波產生溢波及捲波之機率很高，對照資料顯示在彰化及安平都曾發生海嘯。

[表六]台灣西南沿海歷史上海嘯紀錄

時間	海嘯侵襲地區	海嘯規模及信度
1661.1.8	安平	Mt = 1, 信度 = 4
1721.1.5	台南、嘉義、彰化	Mt = -1, 信度 = 4
1781.4	台灣海峽南部地區	Mt = 1, 信度 = 3
1792.8.9	彰化地區	Mt > 2, 信度 = 4
1866.6.11	高雄地區	Mt = 0, 信度 = 4

從文獻記載，當上述海嘯發生在台灣海峽南部沿岸幾乎都有海嘯災情傳出，此點可從實驗結果得到證實。

- (5) 東北角因為位於沖繩海槽及大陸棚邊緣，坡度都在 1 度左右。(三貂角 2.29 至 0.15 度基隆嶼附近))



[表七]台灣東北部沿海歷史上海嘯紀錄

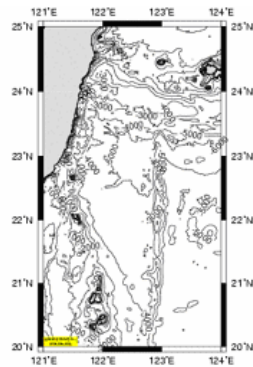
時間	海嘯侵襲地區	海嘯規模及信度
1754.4	淡水	Mt < 6, 信度 = 3
1867.6.11	基隆地區	Mt = 2, 信度 = 4
1867.12.18	基隆地區	Mt = 2, 信度 = 4
1915.10.22	東北部海域	Mt = -1, 信度 = 4
1917.5.6	基隆地區	Mt = -1, 信度 = 4
1960.5.24	基隆(0.66m)、花蓮(0.3m)	Mt = 0, 信度 = 3

1867 年 6 月 11 日此次海嘯地震之震央徐明同定在東經 121.8 度、北緯 25.2 度，李鑑等定在東經 121.7 度、北緯 25.5 度，規模 6.0，蔡義本定在東經 121.7 度、北緯 25.3 度，規模 7.0；徐泓根據「淡水廳志」的記載，「(同治六年)冬十一月，地大震。……二十三日，雞籠頭、金包里沿海，山傾地裂，海水暴漲，屋宇傾壞，溺數百人。」。又根據 Alvarez, Formosa 一書云：「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。筆者根據震央計算其坡度只有 0.15 度，水深 200 公尺，且每 1 分鐘漲退一次(頻率 0.0167Hz)故按實驗所得淺化係數 $=0.80458 \times \text{EXP}(0.02889/(\text{相對水深}-0.011))$ ，若基隆港水深為 20 公尺，則海嘯振幅可增加為 6.08 倍，可見可造成非常大的傷害。

值得注意的是，1960 年智利海嘯，在坡度較小的基隆造成較花蓮高的浪高(幾乎兩倍多)，此點和實驗結果相吻合。

- (6) 東部台東及花蓮由於坡度較大，根據表三反射率的結果其對海嘯的反射率較高，故危險性相對較低，因為角度在 6 度以下才突然升高。



除了在綠島及蘭嶼與台東海岸間坡度才接近 4 度，其他都在 6 至 11 度，故較安全，對照資料顯示，其曾發生波高皆在 2 公尺以下。

[表八]台灣東部沿海歷史上海嘯紀錄

時間	海嘯侵襲地區	海嘯規模及信度
1951. 10. 24	東北部海域	Mt = -1, 信度 = 4
1963. 2. 13	台灣東部	Mt = -1, 信度 = 4
1963. 10. 13	花蓮 (0.1 公尺)	Mt = -1, 信度 = 4
1964. 3. 28	花蓮 (0.15 公尺)	Mt = -1, 信度 = 4
1966. 3. 13	台灣東部	Mt = 0, 信度 = 4
1972. 1. 25	台灣東部	Mt = 0, 信度 = 4
1978. 3. 12	蘭嶼	Mt = 0, 信度 = 4
1986. 11. 15	台灣東部、花蓮 (2 公尺)	Mt = 1, 信度 = 4
1993. 8. 8	台灣東部、花蓮 (0.29 公尺)	Mt = -1, 信度 = 4

- (7) 高屏峽谷影響高雄地區的部分由下一實驗討論。

〔實驗五〕近岸海底峽谷不同張角下，頻率、波長及強度的變化。

銅箔鉛黑片下方，壓克力墊片改變張角，求不同張角下，頻率、波長及強度的變化。

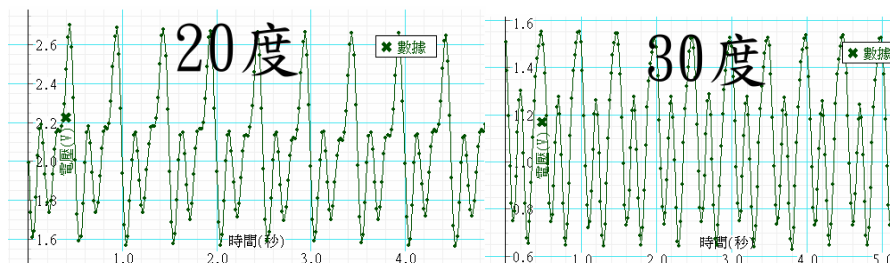
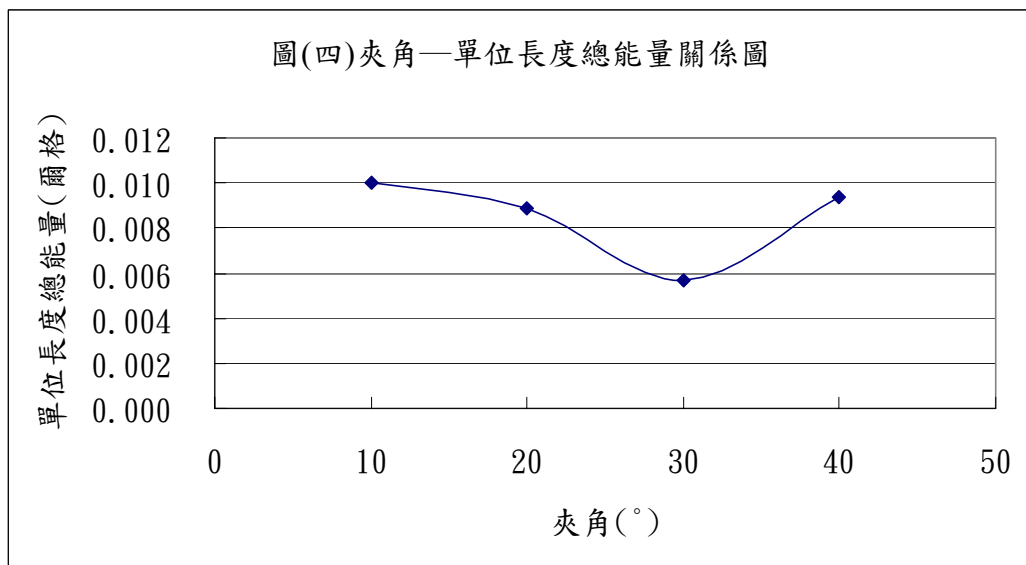
〔表九〕振幅、能量、淺化係數、折射係數及波高變化比關係表

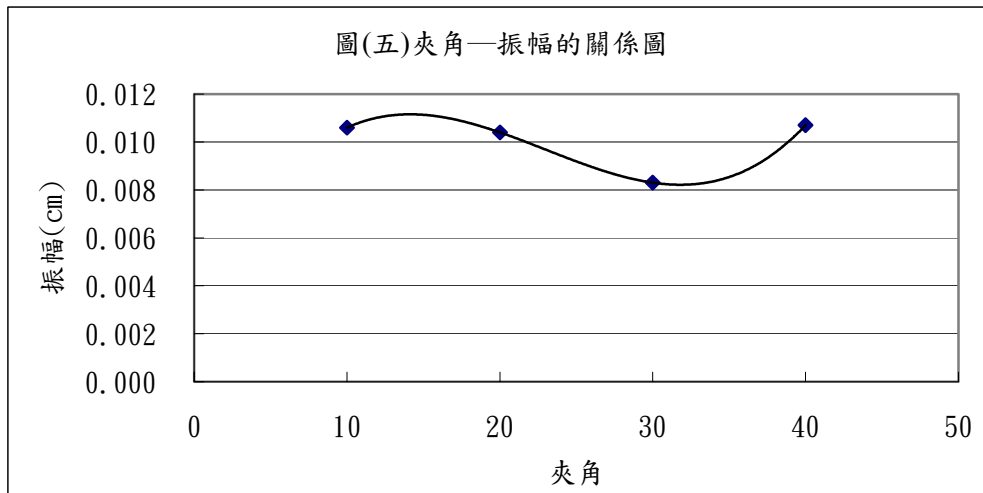
夾角	40	30	20	10
單位長度總能量	0.0094	0.0057	0.0089	0.0100
振幅	0.0107	0.0083	0.0104	0.0106
深度	0.497	0.497	0.497	0.497
坡度	6.3	6.3	6.3	6.3
kh	0.141	0.141	0.141	0.141
K_R	0.992	0.996	0.998	1.000
K_S	1.764	1.764	1.764	1.764
H/H_0	1.751	1.756	1.760	1.763

k 為波數；h 為深度； K_R 折射係數； K_S 淺化係數； H/H_0 波高變化比

$$kh = 2\pi f \sqrt{\frac{h}{g}} ; K_R = \left[\frac{1 - \sin^2 \theta_0}{1 - (\tanh kh)^2 \times \sin^2 \theta_0} \right]^{0.25} ; K_S \text{ 淺化係數由實驗四求得。}$$

得。





[表十] 夾角度 10 度傅利葉分析結果

	頻率	輸出電壓振幅	二倍頻率	輸出電壓振幅	三倍頻率	輸出電壓振幅
1	2.25	0.105	4.20	0.118	6.15	0.275
2	2.05	0.119	4.20	0.160	6.15	0.185
3	2.05	0.121	4.20	0.088	6.15	0.210
4	2.15	0.099	4.00	0.143	6.15	0.174
5	2.15	0.125	4.20	0.123	6.15	0.279
平均	2.13	0.114	4.16	0.126	6.15	0.225
	振幅	0.0043	振幅	0.0048	振幅	0.0085
	單位長度 能量	0.0003	單位長度 能量	0.0012	單位長度 能量	0.0086
	單位長度 總能量	0.0101				
	單一基頻 振幅	0.0106				

1、 結果：

- (1) 在夾角 30 度以下，角度越小，能量越集中，振幅疊加越多。
- (2) 按理論運算及實驗四所得結果，折射及淺化所造成波高變化比應該隨角度變大而變小 $H/H_0 = -8 \times 10^{-06} x^2 - 3 \times 10^{-05} x + 1.7642$ ，但尚有反射問題，故在 40 度角有偏大的結果。
- (3) 40 度有反常能量集中的現象。

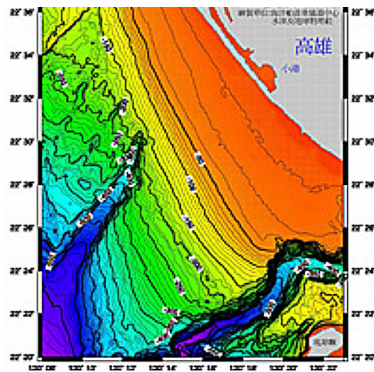
2、 討論：

- (1) 按張角大小、電極距岸的距離及能量守恆，應存在此關係式：
 波進入夾角距岸的距離 $h \times \tan \theta \times$ 單位長度能量 $E_0 =$
 感測電極距岸的距離 $h \times \tan \theta \times$ 單位長度能量 E_x
 可見不考慮反射及摩擦的因素，角度對能量集中無關。
- (2) 但反射在反射介面角度較小下，反射能量損失較小，故張角小者，波的疊加較明顯。若再考慮折射進入夾角內的結果，則依

$$K_R = \left[\frac{1 - \sin^2 \theta_0}{1 - (\tanh kh)^2 \times \sin^2 \theta_0} \right]^{0.25}, \text{ 折射係數不一定在角度較小下會}$$

有較大的值(若對上式微分可在45度得一極值),所以在筆者實驗的角度10至40度下,以30度振幅最小。

- (3) 其實利用本套實驗裝置,可不理會各種繁瑣的理論運算,只要建構各種地形模型,即可由電腦螢幕上看到波形及振幅,非常方便應用在教學示範上。
- (4) 因為起波器距離岸邊19.5 cm,感測器距岸4.5 cm,在40度角,若水波聚焦於感測器上,則會有較強能量集中,故隨著地震震源及和海岸弧度,有可能在特殊地點生成大能量集中,未必小角度就一定較危險。
- (5) 高屏峽谷及曾文溪出海口海底地形角度皆在10度左右,且坡度1度左右,若在台灣海峽南部發生逆斷層錯動由上述結果應該非常可能發生海嘯。如下圖

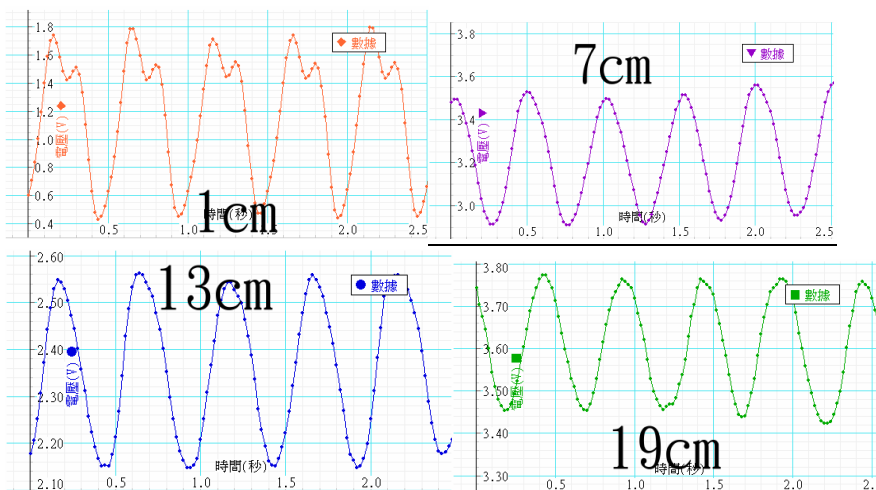
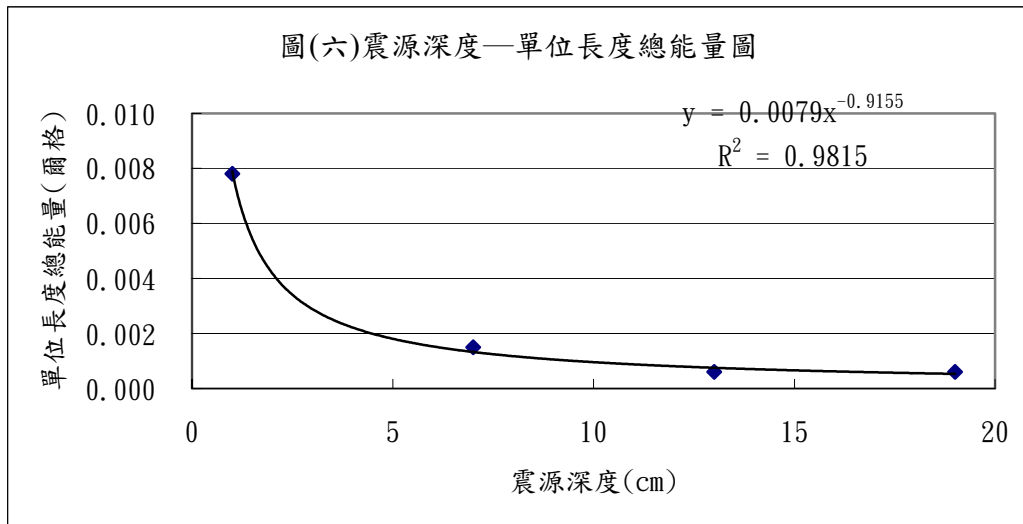


〔實驗六〕不同深度下，強度的變化

銅箔鉛黑片下方，利用塑膠棒水平垂直上下震動，固定頻率 2Hz，加水使感測電極和震動器深度距離改變，模擬海底斷層在不同深度下垂直震動所生水波到達海面，表面波的強度及波形之差異。

[表十一]

深度	1	7	13	19
單位長度總能量	0.0078	0.0015	0.0006	0.0006



1、結果：

(1) 最小深度出現倍頻及波形的疊加，強度也隨深度降低而增加。

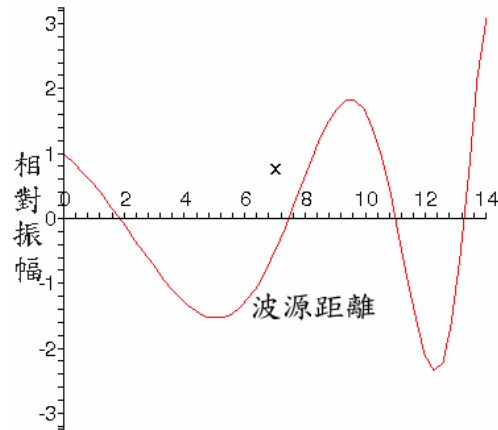
(2) 關係式：單位長度能量=0.0079×深度^{-0.9155}

2、討論：按震波以三維傳遞，強度和距離平方成反比，但由關係是得知，強度衰減卻以-0.9155次方的關係存在。有可能是槽底反射加強了能量的集中，此點也表示若海底反射能力很強，則海嘯的能量將更可怕。

[實驗七] 模擬程式的演算及 2D 動畫製作

1、利用上述實驗結果的相關趨勢線，先在 Maple 中演算結果，把傅利葉分析所得波函數合成。

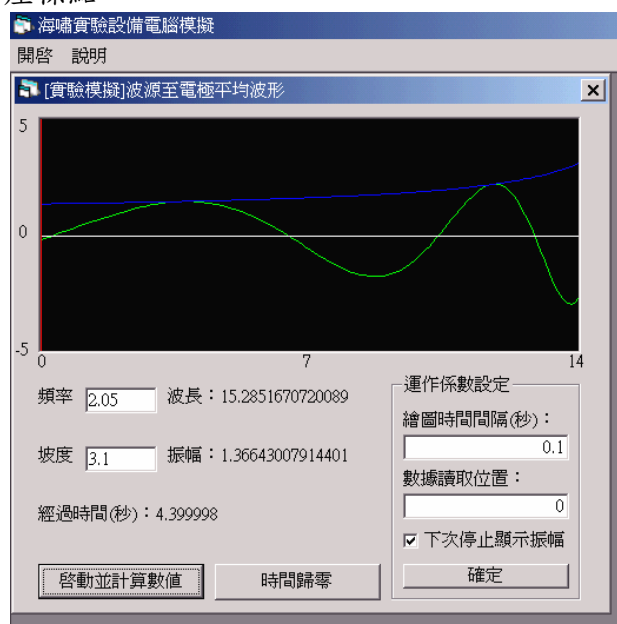
例如：下圖為坡度 3.1 之合成波的形狀及演算數學；沿斜面累加合成。



```
animate(0.80458*exp(0.02889/((2.05*((18.5-x)*tan(3.1*2*Pi/360)/980))^0.5)-0.011
)) * sin(2*Pi*(2.05*x/(980*(18.5-x)*tan(3.1*2*Pi/360))^0.5-2.05*t)), x=0..14, t=0..0.1*Pi, frames=80);
```

$$\text{animate} \left(0.80458 e^{\left(\frac{0.4411707382}{((18.5-x)\tan(0.01722222222\pi))^0.5} - 0.011 \right)} \sin \left(2\pi \left(\frac{0.06548484792x}{((18.5-x)\tan(0.01722222222\pi))^0.5} - 2.05t \right) \right), x=(0..14), t=(0..0.1\pi), \right)$$

2、利用 Visual Basic 製作模擬動畫把頻率、坡度、波長、相對振幅、不同位置的相對振幅、不同位置的波長變化、播放時間及播放時間間格等變數放入程式中，使使用者可隨時調整，動態看到實驗及預估的結果。程式並可在暫停時顯示座標點。



(六) 實驗討論：

- 1、本實驗利用喇叭、波形產生器、鎖相放大器及介面卡，成功的解析出複雜的水波振幅、波形及頻率，只要在淺水波的模式下 ($kh < 0.05$ ； $kh = 2\pi f \sqrt{\frac{h}{g}}$)，可解析各種地形下振幅、波形及頻率，不需應用複雜的運算，可讓研究者獲得所需的數據。
- 2、因為所用的水槽尺度較小，也可方便在教室中示範講解使用。
- 3、因為海嘯通常波長很長，在深海及淺海皆屬於淺水波，故非常適用於本實驗的裝置。
- 4、坡度的實驗，本套實驗可直接求得時間對波形的變化圖，但經 Maple 程式計算可得到位移對波形的變化圖，其能量集中現象非常明顯，非用基頻所得平均振幅所能相比，此點也證實，在海嘯發生時，可能相隔幾個小浪再發生一個巨浪。
- 5、本實驗在模擬程式的演算及 2D 動畫製作，已獲致相當成功，可使研究者及學生都相當方便，去理解及預估水波在水深、坡度及各種頻率下的變化。
- 6、基於感測器尺度的限制，對於較小坡度及碎浪所生能量消散現象，無法有效探討，此點需由擴大水槽尺度來克服，但又違背可在教室示範的方便性，需後續實驗來補強。
- 7、在角度測量實驗，因為反射、干涉及灣內固有頻率的影響，可能在各個點上所得結果會不盡相符，故必須每一個點都去加以檢測，才能建立較完整的模型。
- 8、如果要對台海附近的波浪模式有更進一步的了解，可借用本裝置，再製作相關位置的海底及沿岸模型，就可從實際操作中獲得所需結果。
- 9、雷諾數(Reynold number)，是判斷流體流動形態的指標。

$$\text{雷諾數的定義為 } Re = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

D：管內直徑，[m]； v：平均速度，[m/s]； ρ ：密度，[kg/m³]

μ ：黏度，[kg/m·s，或 Pa·s]

Re < 2,100 層流； Re > 4,000 擾流； 2,100 < Re < 4,000 過渡流

絕大多數的縮尺模型試驗，都無法真正滿足雷諾數的要求，必須從流場擾流特性的相似性著眼。本實驗除角度及斜度的實驗外，電極所處位置的雷諾數皆大於 4,000，故不受兩側水黏滯層流的影響。本實驗在校正曲線及深度實驗上都維持在雷諾數顯示擾流的狀況；但在角度及斜度的實驗中，卻無可避免流體分子黏性效應（主要從底部而來）但海嘯在靠近海岸，也面臨雷諾數進入層流的狀況，本實驗希望在不同的縮小尺度，看此系統所運作結果是否接近？此點期待將來進一步確認。

- 10、為了消滅反射波能量，並滿足波量是向外傳遞的邊界條件，本實驗以(1)兩側及背板貼上海綿(2)喇叭震動器頻率選擇避免水槽和水波產生反射(3)確保本實驗電極所處位置為一擾流流場（水深及頻率選擇）。

11、另外海嘯在深海中的波長約 400 公里，頻率約 0.00005Hz，與筆者實驗裝置波長約 40 公分，頻率 2 Hz，各差一萬倍到數萬倍，故在建立各種模型前需以此倍率來縮小，或許才有更準確的參考價值。

(七) 實驗展望：

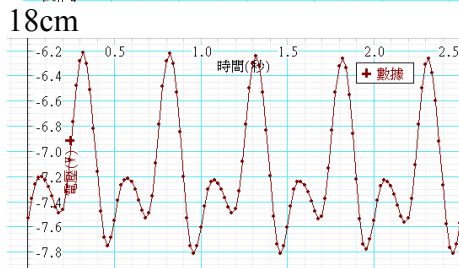
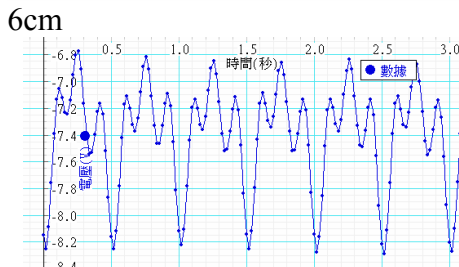
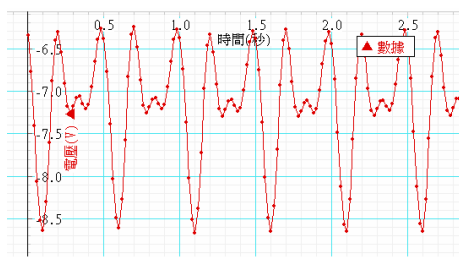
希望藉由此次的研究，探討台灣週邊發生海嘯的可能情形，以東北角、東部及西南沿海的地形加以模擬，探討可能發生的情形，希望以後建立更精密的模型借用這次研究的系統，對沿岸一些較複雜的波浪系統作更好的分析，以作為研究及教學演示的依據。

(八) 參考資料：

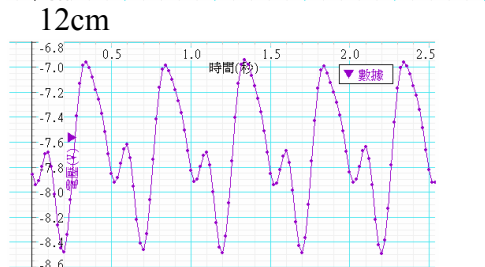
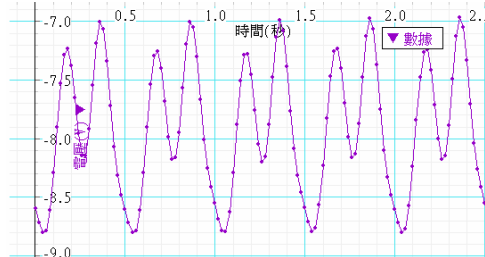
- 1、近岸水動力學，許泰文，中國土木水利工程學會，科技圖書股份有限公司，2003.7
- 2、波動及物理光學，吳文政，建宏出版社，1996.2
- 3、高中基礎地球科學，南一九十三年版

(九) 附錄：

校正曲線波形圖

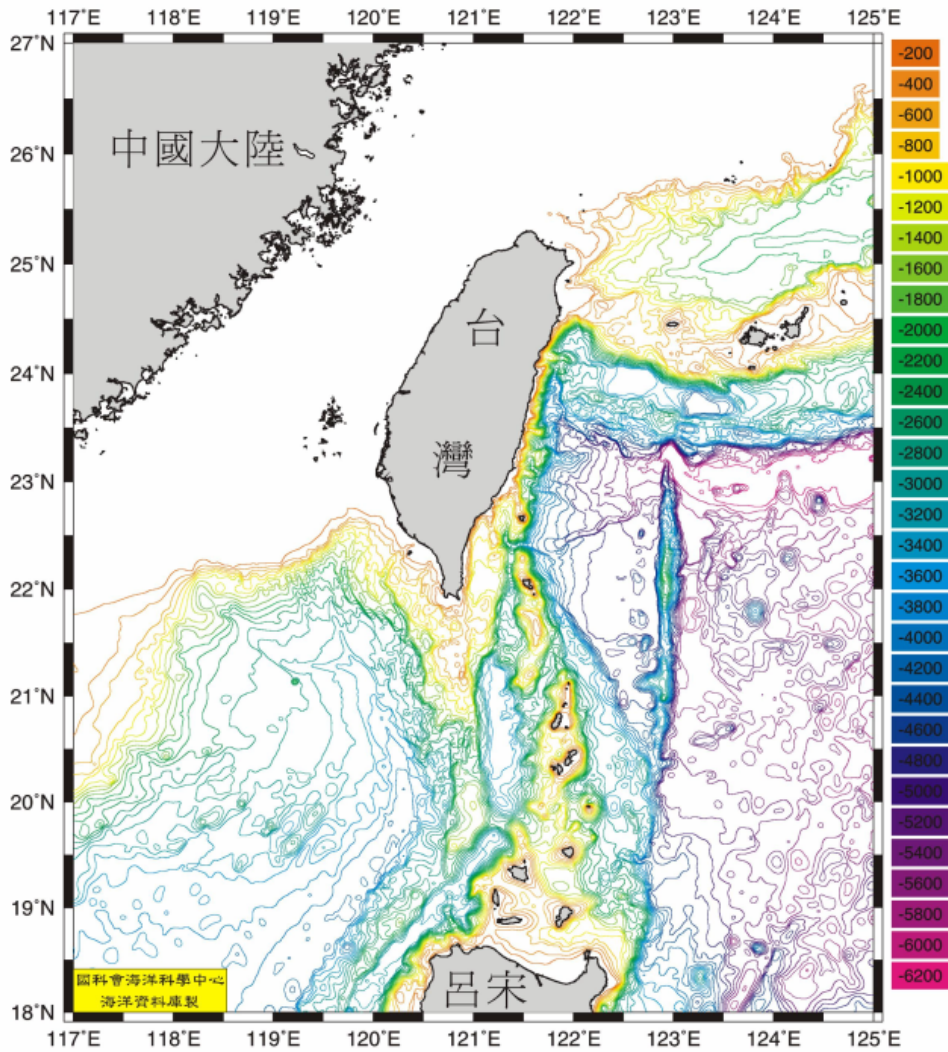


30cm



24cm

台灣附近海域水深等深線圖



國家海洋科學研究中心海洋資料庫

1997年8月1日 成立

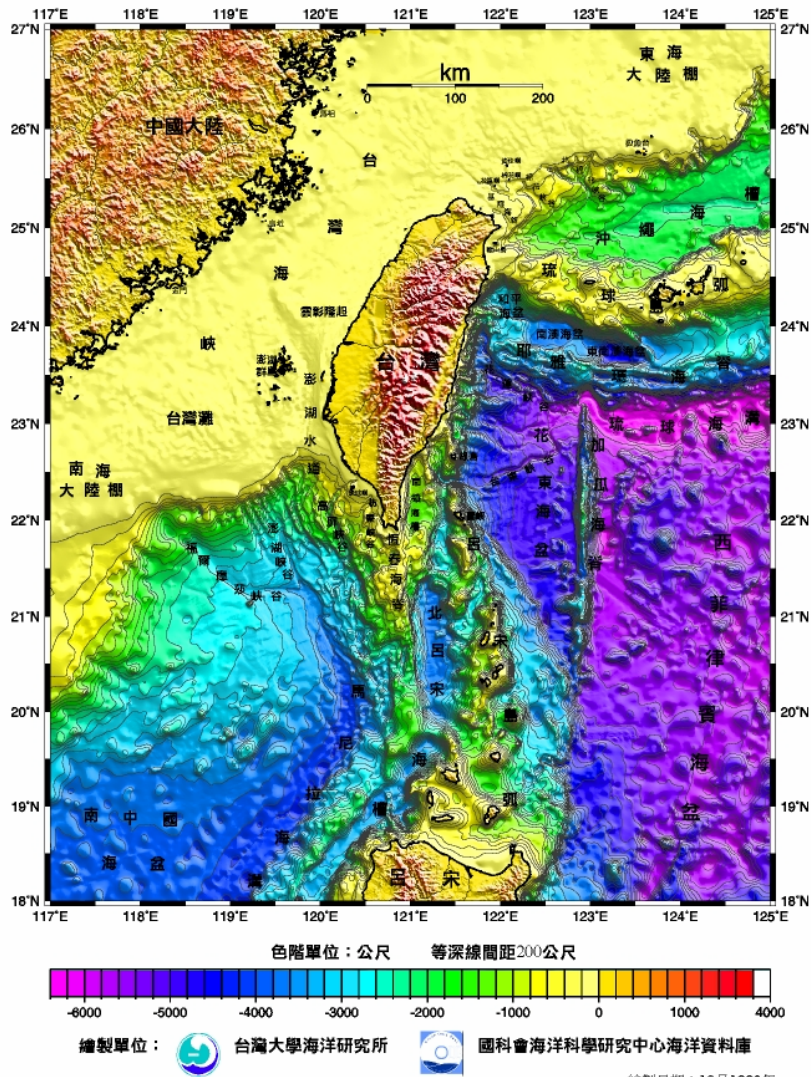
網址：<http://duck2.oc.ntu.edu.tw/core/center.html>

專線電話：(02)23640921

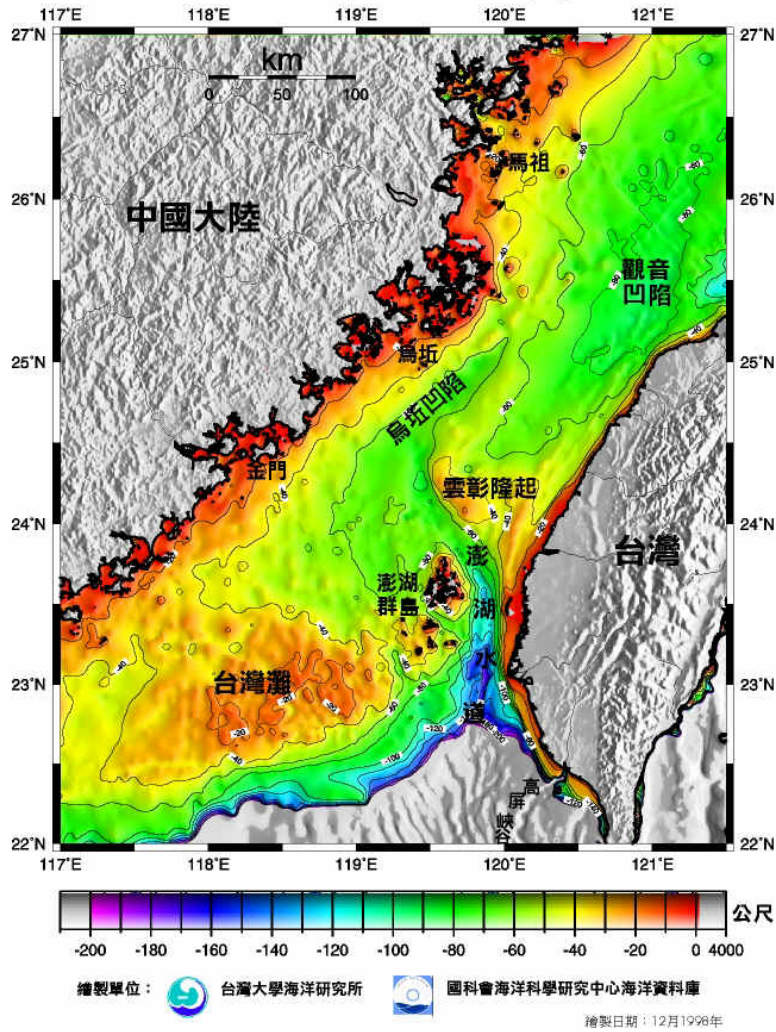
傳真：(02)23644049

 海洋資料庫謹製
1999年12月

台灣周圍海域海底地形圖



台灣海峽水深圖



表一 今村與飯田海嘯規模之分級表（取自徐明同，1981）

規模	說明
4	波高超過 30 公尺，被害區域達到沿岸 500 公里以上者。
3	波高超過 10-20 公尺，被害區域達到沿岸 400 公里以上者。
2	波高 4-6 公尺程度，可使部分房屋流失，人畜溺死者。
1	波高 2 公尺左右，損壞海濱的房屋，帶走船舶的程度。
0	波高 1 公尺左右，可能造成小災受害者。
-1	波高 50 公分以下，通常無災受害者。

海嘯信度表（表二）取自包澄瀾（1991）一書中葉琳女士所編寫之第八章。葉琳女士所示之海嘯信度表則取自渡邊偉夫。

表二 海嘯信度表（取自包澄瀾，1991）

海嘯信度	說明
4	海嘯（信度近於 1.0）
3	可能是海嘯（信度近於 0.75）
2	可疑海嘯（信度近於 0.5）
1	非常可疑海嘯（信度近於 0.25）
0	不是海嘯

台灣及其鄰近地區的海嘯

本節依年代，將所收集之資料加以整理，不論海嘯可信度有多少都列入。讀者可由所提供之資料判斷其發生之可能性及海嘯規模的大小，或收集更詳盡的資料來映證。

資料整理如下表（表三）。表中最後一欄，主觀的說明作者認為這些海嘯（或疑是海嘯）侵襲台灣的可能性，可能性低並不表示海嘯沒有發生。因為可能有某些海嘯的確發生在台灣附近，台灣也確實受到影響，但沒有記載。也可能是海嘯源區離台灣較遠或受海底地形的影響，海嘯並沒有侵襲台灣。

表三 台灣及其附近可能發生過的海嘯

時間	海嘯侵襲之地區	出處及文獻所提供之信度、海嘯規模(Mt)或浪高(H)	此海嘯侵襲台灣之可能性(信度)
1076年(10月31日-11月28日)	海陽、潮陽	宋史五行志(李善邦, 1981)	0
1353年8月1日	泉州	元史五行志(李善邦, 1981)	0
1604年12月29日	台灣海峽北部	(包澄瀾等, 1991)	0
1640年(9月16日-10月14日)	廣東揭陽、澄海、潮陽	Mt = 0, 信度 = 4(包澄瀾等, 1991)	1

1641年(9月16日-11月26日)	廣東澄海、潮陽	(包澄瀾等, 1991)	0
1661年1月8日	安平	Mt = 1, 信度 = 4 (包澄瀾等, 1991) Mt = 0, 信度 = 4 (游明聖, 1994)	3
1721年1月5日	台南	Mt = -1, 信度 = 4 (游明聖, 1994)	2
1721年9月	台南	(包澄瀾等, 1991)	0
1754年4月	淡水	Mt = 1, 信度 = 3 (包澄瀾等, 1991)	2
1741年2月24日	日本石垣島	日本石垣島宮良村 85.4 公尺 (宇佐美龍夫, 1977) 日本石垣島 85 公尺 (徐明同, 1981)	3
1781年4-5月	高雄地區	Mt = 1, 信度 = 3 (包澄瀾等, 1991) Mt > 2, 信度 = 4 (游明聖, 1994)	3
1792年8月9日	彰化地區	(包澄瀾等, 1991) Mt > 2, 信度 = 4 (游明聖, 1994)	3
1866年6月11日	高雄地區	Mt = 0, 信度 = 4 (游明聖, 1994)	3
1867年6月11日	基隆地區	Mt = 2, 信度 = 4 (包澄瀾等, 1991) Mt = 2, 信度 = 4 (徐明同, 1981) Mt = 2, 信度 = 4 (游明聖, 1994)	4
1917年1月25日	福建同安	Mt = 1, 信度 = 4 (包澄瀾等, 1991) (李起彤, 1991)	3
1917年5月6日	台灣東部	Mt = -1, 信度 = 4 (包澄瀾等, 1991) (徐明同, 1981)	2
1918年2月13日	廣東汕頭	Mt = 1, 信度 = 4 (包澄瀾等, 1991)	1
1918年5月1日	基隆	(楊春生等, 1983)	1
1921年9月	台南	(馬宗晉等, 1994)	1
1938年6月10日	日本宮古島	平良港 1.5 公尺, 信度 = 4 (宇佐美龍夫, 1977)	1
1951年10月22日	東北部海域	Mt = -1, 信度 = 4 (徐明同, 1981) (楊春生等, 1983)	4
1960年5月24日	智利	基隆 0.66 公尺, 花蓮 0.3 公尺 (徐明同, 1981)	4

1963年2月13日	台灣東部	Mt = -1, 信度 = 4 (羽鳥德太郎, 1994)	3
1963年10月13日	千島列島	花蓮約 0.1 公尺, 信度 = 4 (徐明同, 1981)	4
1964年3月28日	阿拉斯加	花蓮約 0.15 公尺, 信度 = 4 (徐明同, 1964)	4
1966年3月13日	台灣東部	Mt = -1, 信度 = 4 (包澄瀾等, 1991) Mt = 0, 信度 = 4 (羽鳥德太郎, 1994)	3
1972年1月25日	台灣東部	Mt = 0, 信度 = 4 (羽鳥德太郎, 1994)	3
1978年3月12日	蘭嶼	Mt = 0, 信度 = 4 (羽鳥德太郎, 1994) (李德貴, 1981)	4
1986年11月15日	台灣東部	花蓮 2 公尺, 石垣島 0.3 公尺, 宮古島 0.45 公尺 (許明光等, 1994)	4
1988年2月29日	北太平洋	坎門 0.37 公分, 廈門 0.34 公尺 (包澄瀾等, 1991)	3
1993年8月8日	關島附近	花蓮 0.29 公尺, 成功 0.27 公尺 (氣象局海象測報中心) 陳建宏 (1994)	4
1994年9月16日	福建東山附近、澎湖	東山 0.18 公尺 (李起彤), 澎湖 0.38 公尺 (氣象局海象測報中心徐月娟)	4
1996年2月17日	台灣(海嘯源區在印尼)	成功 0.55 公尺, 鹽寮 0.3 公尺, 基隆 0.36 公尺 (氣象局海象測報中心徐月娟)	4

1、1604年(明萬曆32年)12月29日台灣海峽北部

包澄瀾等(1991)一書中,葉琳女士引述楊華庭(1987,海嘯及太平洋海嘯警報系統,海洋預報,風暴潮及海嘯增刊)之「中國海嘯歷史年表」。謂震央在北緯25度、東經119.5度,即福建泉州附近,震級8。高中和等(1992)謂明史、泉州府志等記載了1603年泉州一帶因颶風而形成的海水暴漲,卻沒有提到1604年泉州海外規模8之大地震是否引起“潮災”。到目前為止,沒有任何文獻提到此次地震海水有異常現象。此一事件為海嘯的可能性不高。

2、1661(清順治17年,明永曆14年)年(1月8/9日~2月15日)安平

包澄瀾等(1991)根據楊華庭之「中國海嘯歷史年表」。1661年1月8日,東經120.1度、北緯23.0度發生震級6.4的地震,海嘯規模為1,海嘯信度為4。災情記述為「台灣安平大海嘯。“海潮至,淹廬舍無算”」。鄭世楠等(1989),

謂此一地震震央在台南附近，震災地區為台南，相關於地震之記述為「地裂，餘震達六週，房倒 23」。

根據徐泓(1983)引述德人海卜脫(Herport)著旅行記(Reisnach Java, Formosa, Vorder-Indien und Ceylon, 1659-1663)稱：1661年1月某日晨六時開始地震，約歷三十分，居民均以為地將裂開。安平房屋倒塌二十三棟，「海地」城破裂多處。大震之後仍不斷有輕微地震，使人如置身舟中，約三小時，無一人能站穩。其時適有三船入港，在水中亦激烈震動，一若即將覆滅者。此次地震中，有一事最可驚奇，即海水曾被捲入空中，其狀如雲。此次地震，無論海中，在陸上，人身均能感覺，共歷六星期」。

3、1721年(清康熙59年)1月5日台南

根據徐泓(1983)引述明清史料戊篇(第1本, 21葉上)載朱一貴供詞有云「去年(康熙五十九年, 西元1721年1月5日).....因地震, 海水冷漲, 眾百姓合夥謝神唱戲」。因無海嘯災害之報導, 游明聖(1994)將海嘯規模定為-1。根據鄭世楠、葉永田(1989), 此一地震震災地區為嘉義、台南、彰化。徐明同將此地震定在東經120.4度北緯23.2度規模6.5; 李泮鑑等定在東經120.3度北緯23.0度規模6.0。

4、1721年(清康熙60年)9月(?)台南海嘯

包澄瀾等(1991)引述楊華庭(1987)之「中國海嘯歷史年表」。對1721年9月台南之海嘯並無任何描述。可能是1721年1月5日台南海嘯之誤, 也可能是另一個海嘯。根據鄭世楠、葉永田(1989), 1721年9至10月有一地震, 震央在台南附近, 震災地區為台南地區。沒有疑似海嘯跡象的描述。

5、1754(清乾隆19年)年4月淡水

包澄瀾等(1991)引述楊華庭(1987)之「中國海嘯歷史年表」。1754年4月, 東經121.4度北緯25.3度台灣淡水發生震級(規模) $M < 6$ 的地震, 海嘯規模為1, 海嘯之信度為3。災情記述為「許多房屋被海嘯破壞」。不知災情是根據何種史料所做的結論。時值清乾隆年間, 或許可以找到其他官方文書以為佐証。

6、1781年(清乾隆46年)5月間(4月24日-6月21日)高雄

根據徐泓(1983)所編之「清代台灣天然災害史料彙編」, 1781年高雄曾發生海嘯。他所根據的是「台灣采訪冊」(頁41)「祥異, 地震」的記載。「(乾隆46年)鳳港西里有加藤港, 多生加藤, 可作澀, 染工賴之, 故名云。港有船通郡, 往來潮汐無異。乾隆四十六年四、五月間, 時甚晴霽, 忽海水暴吼如雷, 巨浪排空, 水漲數十丈, 近村人居被淹, 皆攀援而上至尾, 自分必死, 不數刻, 水暴退, 人在竹上搖曳呼救, 有強力者一躍至地, 兼救他人, 互相引援而下。間有牧地甚廣及附近田園勾壑, 悉是魚蝦, 撥刺跳躍, 十里內村民提籃契筒, 往爭取焉。聞只淹斃一婦, 婦素悍, 事姑不孝, 餘皆得全活。嗣聞是日有漁人獲兩, 將歸, 霎時間波濤暴起, 二物竟趣, 漁者乘筏從竹上過, 遠望其家已成巨浸, 至水汐時, 茅屋數椽, 已無有矣。」。馬宗晉等(1994)除引述清光緒五年「清江縣志」卷八, 「侵祥」, 第20頁及「台灣采訪冊」第一冊, 「祥異」第41頁, 「鳳山縣加藤港事」之外。引述了日本海嘯歷史學家鳥羽德太郎之描述「台灣海峽海嘯。

海水暴吼如雷，水漲持續 1 至 8 小時。海嘯吞沒村庄，無數人民在海嘯中喪生」。又引述前蘇聯科學院通訊院士 Soloviev 和 Go 依據 1852 年以來荷蘭及英國的資料「影響所及台灣全島的地震，且伴隨橫掃台灣西南沿海的海嘯，造成了巨大的破壞。幾乎全島海水溢 120 公里。地動與海嘯持續達 8 小時。該島的三個重鎮和二十餘個村莊，先是被地震破壞，隨後又為海嘯浸吞。海水退去後，在那些原是建築物的地方，充其量只剩下一堆瓦礫。幾乎無一人生還。40,000 多居民喪生。無數船沉沒或被毀。在一些原是伸向大海的海角處，已被沖刷，形成新的懸崖峭壁和海灣。安平鎮（即蘭遮）及赤崁城堡（台南市赤崁樓舊址）連同其坐落的山包均被沖跑了」。羽鳥及 Soloviev 依據歷史資料評估這次海嘯規模為 1，信度 3。李起彤最近曾到北京拜訪楊華庭教授（私人交談），楊教授早年留學蘇聯，精通俄文，楊教授說他在蘇聯時曾在前蘇聯檔案館中查看過荷、英有關此一海嘯的史料。

包澄瀾等（1991）引述楊華庭（1987）之「中國海嘯歷史年表」。1781 年 5 月 22 日，台灣及台灣海峽地震，產生規模為 1 之海嘯，海嘯之信度為 3。災情記述與徐泓所摘錄之「台灣采訪冊」的之記載完全相同。但楊華庭之災情記述加了一句「台灣海峽地震海嘯持續 1-8 小時，共死 5 萬多人」，應是引述 Soloviev 的論著。此與「台灣采訪冊」所載「聞只淹斃一婦，.....餘皆全活。」相差頗巨。中國之史料上並未記載此一事件是伴隨地震發生，是否是地震海嘯需要進一步探討。若是遠地地震所造成之海嘯，大陸沿海應受到影響，而有記載。但經李起彤查証，福建、廣東兩省未見記載。台灣最早開發的區域就是台灣南部地區，又值乾隆年間，如此重大災害，官方文獻必有記載，此一事件有待史學家進一步查証。

7、1792 年（清乾隆 57 年）8 月 9 日彰化

徐泓（1983）所編之「清代台灣天然災害史料彙編」，引述「台灣采訪冊」（頁 39-40）「祥異，地震」有下面一段話：「乾隆壬子歲六月，郡城地震，西定坊新街折一亭，隕一命。次日，聞嘉城地大震，店屋、民房倒壞，而繼之以火。一城惶恐無措，民房燒損過半，死者百餘人。壬子，將赴鄉闈，時六月望，泊舟鹿耳門，船常搖蕩，不為異也。忽無風，水湧起數丈，舟人曰：『地震甚。』又在大洋中亦然，茫茫黑海，搖搖巨舟，亦知地震，洵可異也。....」。

又徐泓（1983）所編之「清代台灣天然災害史料彙編」中，清代台灣洪災與風災史料則載有：

1)彰化縣志（卷 6，頁 174）：「（乾隆五十七年），水沖案內豁免揀東、大肚、二林、貓快等保勻丁兩。」

2)台灣府賦役冊（頁 10）：「題報彰化縣乾隆五十七年地震案內，被水沖失豁免田園共一百三十八甲三分。」徐泓（1983）所引述的這兩份史料（未註明日期）所指可能是同一件事。如果揀東、大肚、二林、貓快等地，當年是在海邊或河口，且田園是被海水所沖失，則海嘯的可能性極大。

包澄瀾等（1991）一書中，葉琳女士引述楊華庭（1987）之「中國海嘯歷史年表」。1792 年 8 月 9 日震央在嘉義，東經 121.7 度北緯 23.6 度，震級 6.75。根據鄭世楠，葉永田（1989），1792 年只提到此地震之震災地區在嘉義、台南、彰化。徐明同將此地震之震央定在東經 120.4 度、北緯 23.7 度，規模 7.1；李泮鑑等定在

東經 120.5 度、北緯 23.6 度，規模 6.75；蔡義本定在東經 120.5 度、北緯 23.6 度，規模 7.1。

8、1866 年（清同治 5 年）12 月 16 日高雄

游明聖（1994）謂根據徐泓（1983）引述 Alvarez 著 Formosa 書「晨 8 時 20 分，發生地震，約歷一分鐘，樹林、房舍及港中船隻，無不震動，河水陡落三尺，忽又上升，似將發生水災」。認為此一事件有可能是海嘯。根據鄭世楠、葉永田（1989），震災地區為高雄地區。

9、年（清同治 6 年）12 月 18 日基隆

根據徐泓（1983）所編之「清代台灣天然災害史料彙編」，1867 年 12 月 18 日台北、基隆、苗栗地震。徐泓根據「淡水廳志」的記載，「（同治六年）冬十一月，地大震。……二十三日，雞籠頭、金包里沿海，山傾地裂，海水暴漲，屋宇傾壞，溺數百人。」。又根據 Alvarez，Formosa 一書云：「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。……」。李起彤（1991）在海嘯一節，引述了李善邦（1981，「中國地震」，地震出版社）一書中對中國海嘯考証的所得之「中國歷史海嘯一覽表」。其中提到李善邦引用「日本地震史料」所得的一段話「同治六年十一月二十三日台灣基隆大地震，全市房屋倒塌，且伴有海嘯，附近火山口流出熱水，死者頗多。」。

徐明同（1981）估計此地震規模大約是 7.0，徐明同根據 Davidson (Davidson, J. W., 1903, The island of Formosa, past and present, 646 pp.) 所述「此地震在台灣全島都有感覺而北部地區最強烈，而基隆市街及其附近發生大災害。據在海關服務的外國人報告，在這一天基隆發生十五次有感地震，而引起災害者為第一次地震。第一次地震發生後十五秒內發生災害而基隆市街變成廢墟。由基隆港的海水流出，而留下海底暴露的事實，可判斷地震力。幸而當時沒有外國船舶在港內，而只有中國帆船。這些大小帆船一瞬間留在乾的海底，而另一瞬間被折回的巨大波浪淹沒或者以驚人的速度猛衝街上，破壞海邊附近留下來的少數房屋。很多魚向海岸衝上來，而人民迅速地拾集。在許多地方，大地裂開而再封閉，有一座山裂開而形成大山峽，而從山的側面流出熱水。這些熱水來自火山坑，而富有硫磺質溫泉和噴泉。此外還有發生許多有形的變化，包含基隆拋錨地加深數英尺。人命損失不知道，很可能沒有計算，預估死者可能達數百人。」海嘯規模為 2。

包澄瀾等（1991）一書中葉琳女士謂此次海嘯持續了 38 小時，淹沒 120 公里長的海岸線，4-5 萬人死亡。楊華庭（1987）之「中國海嘯歷史年表」中記載地震發生於 1867 年 12 月 18 日，震央為東經 121.7 度北緯 25.5 度，震級 7，產生規

模為 2 之海嘯，海嘯之信度為 4。災情記述為「震後碼頭上水，眾多船屋被毀，死數百」。

此次海嘯地震之震央徐明同定在東經 121.8 度、北緯 25.2 度，李鑑等定在東經 121.7 度、北緯 25.5 度，規模 6.0，蔡義本定在東經 121.7 度、北緯 25.3 度，規模 7.0（鄭世楠、葉永田，1989）。此次海嘯宇佐美龍夫之「日本被害地震總覽」卻無任何描述。

1960 年智利海嘯，記者訪問省氣象所預報科長湯捷喜，聯合報 49 年 5 月 25 日報載：「.... 根據日本高橋龍太郎博士的研究文獻，本省於光緒 12 年（作者認為是同治六年之誤）及民國六年前後，曾發生二次海嘯，前者海嘯之最高波浪高達 7.5 公尺，在基隆方面造成嚴重災害。..... 又據日人岡田四亥氏記載，光緒 12 年（公元 1867）（西元正確，故作者認為也是同治六年之誤）12 月 18 日在基隆方面發生的海嘯，因大地震而發生。當時海水一時向外流出而現出海底，然後不久大波浪復由外洋流入港內，再衝入基隆市區，其速度甚快，而在淡水，雞籠頭，金包里沿海沖毀房屋無數，溺死數百人.....」。

此海嘯也影響到長江口之水位，根據李起彤譯自 Soloviev (1974) (原文為俄文) 之論著，揚子江面先下降 135 公分，後上昇 165 公分。此一事件為海嘯當無疑問。

10、1917 年 5 月 6 日基隆

包澄瀾等 (1991) 引述楊華庭 (1987) 之「中國海嘯歷史年表」。1917 年 5 月 6 日 21 時 19 分，東經 121.6 度北緯 23.2 度發生地震，震級 5.8，產生規模為 -1 之海嘯，海嘯之信度為 4。災情記述為「基隆海嘯 1 米，周期 26 分」。

徐明同 (1981) 謂「據劉氏 (劉行灼，1962，海嘯雜話之四，氣象所簡訊，第 206 期，5-7 頁) 引用今村 (今村明恆，1942，日本津波史，海洋的科學，2 (2)，74-80) 之海載年表中，1917 年 5 月 6 日台灣東北部有規模為 1 之海嘯記載，但筆者 (徐明同) 再詳細查閱台灣地震目錄 (徐明同，1980，台灣地震目錄，台大地震工程研究中心，77 頁) 及理科年表 (東京天文台，1971，理科年表，地 144-171) 之災害地震年代表，均找不到海嘯之記錄。」

1960 年智利海嘯，記者訪問省氣象所預報科長湯捷喜，聯合報 49 年 5 月 25 日報載：「.... 根據日本高橋龍太郎博士的研究文獻，本省於..... 及民國六年前後，曾發生二次海嘯，前者海嘯.....。後者，波浪最高 3.7 公尺，損害情形不祥」。

鄭世楠、葉永田 (1989) 一書中並無任何記載，表示該日台灣地區並無規模大於 5 之地震。

11、1918 年 5 月 1 日基隆

楊春生等（1983）在「台灣東北部海岸地震海嘯數值推算之研究」中謂台電電源開發處之調查報告提到，1918年5月1日台灣東北部海底地震引起海嘯，基隆海嘯溯上約3.7公尺。查鄭世楠、葉永田（1989）一書，該日並無規模大於5之地震。

12、1921年9月台南

馬宗晉等（1994）提到此海嘯，海嘯規模0-1，但沒有提到出處

13、1951年10月22日花蓮

徐明同（1981）謂「地震規模7.3，震央在花蓮東方，花蓮附近發生大災害，死者68人，傷者856人，房屋損害2382戶，花蓮驗潮儀有海嘯記錄，波高幾十公分而已，海嘯規模為-1。鄭世楠、葉永田（1989），地震發生在東經121.7度北緯23.8度，規模7.3

民國49年5月25日聯合報：

「基隆測候所的記錄，24日上午6時30分，基隆港內海潮高出海平面1.9公尺，為基隆海潮的最高記錄，上一次的最高記錄是1.5公尺。」；

「基隆市區內田寮港運河的尚志橋於上午5時許，被來自淺水碼頭附近港內的漂浮的巨枝柳安木所沖垮，另有崇仁、平等、自由三橋亦被沖壞。……。據昨日目擊當時的市民稱：有一艘小舢舨，被旋轉的海潮捲得直立達數分鐘之久，然後再傾覆。另有三艘舢舨亦被捲覆沒。」；

「據高雄港務局消息，海水已增高三尺，但未造成災害」；

「因受琉球海嘯影響，花蓮潮差，今天一夜高至0.90公尺。……比平時最高潮時高0.15公尺。……據說今晨5時潮差較高，比平常海面約高30公分。」

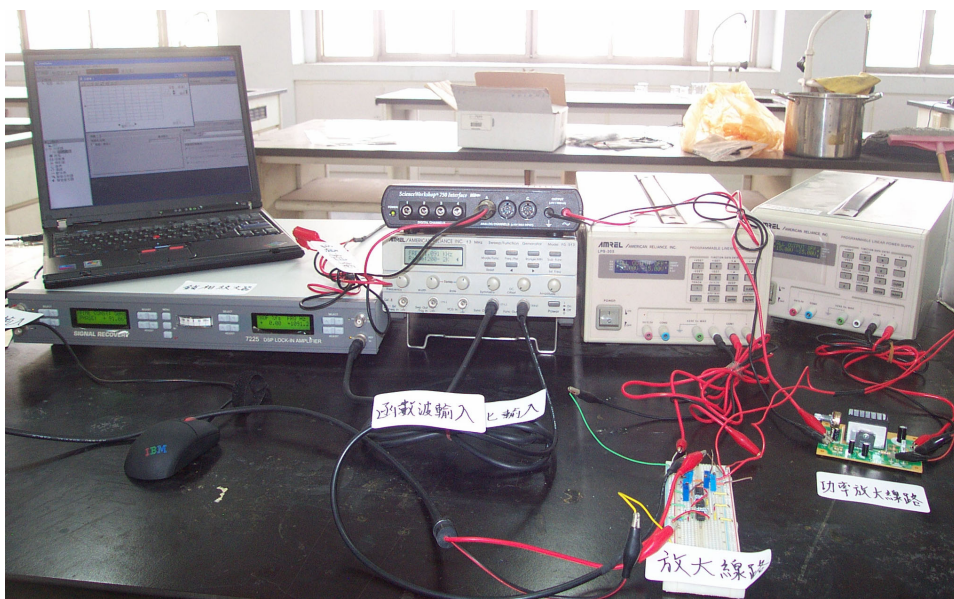
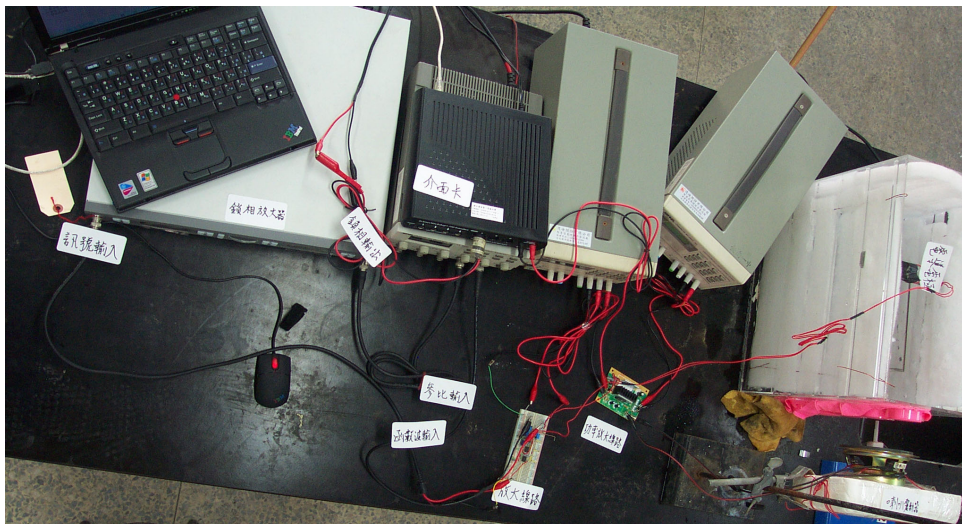
民國49年5月25日中央日報：

「南方澳漁港24日凌晨5時許發生海嘯多次，居民圍觀者如睹，蔚成奇景。初來時浪潮洶湧，港內海面驟漲起5尺餘高，去時浪潮急劇下降，每隔10分鐘一次，前後六次之多。當海潮第三次來時，適瑞振隆漁船在受檢查時。為浪潮沖走200餘公尺，幸未發生事端。」；

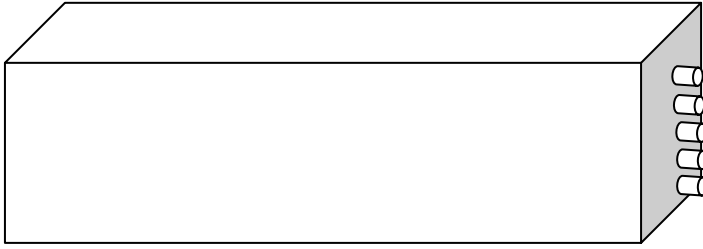
「恒春鎮南海里沿海24日發生罕見的海嘯奇觀。此一在風平浪靜中突然發生的海嘯，係開始於24日6時許，其中海水漲得最高的一次約有丈餘，二分鐘後迅速退卻，此後每隔五分鐘，即漲潮一次。距海平線約有6台尺高的廣闊海岸砂灘，均在海水湧入範圍，一輛貨運卡車於上午8時許，駛入砂灘搬運海砂，即為漲潮陷住，無法駛離。」此次海嘯幾乎全省都感受到。不同報紙對同一地區海嘯高度之報導有時相差甚多，可能是目測的關係。

14、1963年2月13日台灣東部

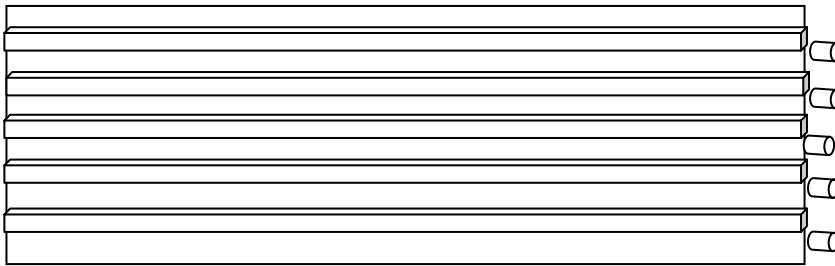
羽鳥德太郎(1994)根據Soloviev及Go(1974)及Iida(1984)謂引起該海嘯之震央在東經122.1度、北緯24.2度，深度53公里，地震規模6.9(Ms)，海嘯規模-1，台灣地區死亡15人。鄭世楠、葉永田(1989)，1963年2月13日8時50分發生地震，震央在東經122.1度北緯24.4度，深度47公里規模7.2，並沒有死亡及災害之記載。



- 1、長度（內）：40 cm；寬度（內）：22 cm；深度（內）：35 cm
- 2、右側外接管，以中心點為準，第一管距離底部 6 cm，其他各管依序，各中心點都距離 6 cm



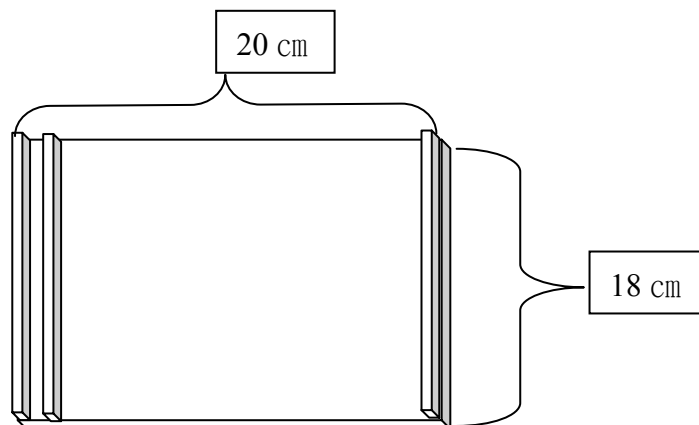
- 3、兩側板配合外接管內管上緣，各貼上 0.5x0.5x40 cm 的壓克力條（壓克力條下緣貼齊內管上緣）



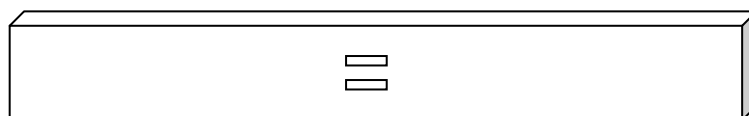
- 4、外接管分為內管及外套
- 5、內管厚 0.2 cm，內直徑 4 cm，外徑 4.4 cm，長度 2 cm，挖洞直徑 4 cm 通水槽內，並黏緊在水槽上，且不可漏水。（共 5 個）
- 6、外套（共 5 個）內直徑 4.6 cm，外徑 5.0 cm，長度 1.5 cm



- 7、附件：0.5x18x20 cm 壓克力板一片，上黏貼三條 0.5x2x18 cm 之壓克力條，其中頭尾各一，距一端 0.8 cm 在黏貼一條如下圖



- 8、長條電極架：長度：22 cm；寬度：3 cm；厚度：1 cm，中央挖距離 0.5 cm 的縫隙，且縫隙長 0.1 cm，寬 1 cm



評語

本作品分析台灣東北角及西南沿海之地形，並探討在不同深度下頻率及強度變化，此外亦討論在不同坡度下及海岸峽谷不同張角下，頻率及強度變化的情形，本作品利用「喇叭震動器/水波槽」惠斯登電橋模板海嘯電生的情形，尚見科教意義。