

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

佳作

040505

保護沙灘吧!波浪與淺化的實驗室模擬

學校名稱： 國立臺南第一高級中學

作者：	指導老師：
高二 王嘉霈	鄧明聖
高一 宮慶雲	邱文光
高一 林主培	

關鍵詞：相對水深、鎖相放大器、微小振幅波

作品名稱：保護沙灘吧！波浪與淺化的實驗室模擬

中文作品摘要：

本實驗利用喇叭、鉑黑電極、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，使得水槽及地表模型尺度變小(40x22x35cm)，因此可節省實驗的成本與時間。

筆者在坡度實驗中，發現當深度變化較大時，淺化係數都明顯變大很多。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相對於鄰近海溝，相對深度變化較大，都發生較明顯的海嘯危害。反之，東岸(相對深度變化較小)其海嘯波高都非常低。

坡度實驗中，坡度較小明顯碎波極限較遠(離岸距離 121.12cm)，且在沙灘存在的狀況下，碎波極限更遠(離岸距離 164.73cm)。可見沙灘可保護暴潮侵襲海岸，因為波浪提前於外海處碎波使進入岸邊的波浪不具有嚴重的侵蝕作用，不但可減少景觀上的破壞亦能達到相同的效果且不至於岸邊產生嚴重侵蝕的狀況。

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波浪、暴潮及海嘯隨地形變化的狀況。

壹、研究動機：

政府拓寬台十一線為三十公尺的四線道，處理緊鄰的海岸線方面，則是大量放置消波塊，企圖以其來延緩海岸被海浪侵蝕掏空的作用。造成消波塊的墳場海中生物的墓碑，整個海域生態惡化的範圍已延伸到岸外五百公尺，由於珊瑚礁是海中生物生長的重要環境，且具有保護陸地的功能，因此一被破壞則會造成海中生態失衡，及加速海水侵蝕海岸導致陸地流失的情形，而此一重要的觀點，卻從未被規劃單位及施工單位所考慮過。

花蓮水璉海岸被公認是花東海岸最美的一段，當整個東海岸都被層層的水泥消波塊鎖住時，這片綿延兩公里長的海灣，散發出難能可貴的自然光采，當地即將興建堤防，自然海岸恐怕會被破壞。花蓮水璉鹽寮海濱均是礫石灘而言，使用傳統的消波塊放置於沙灘上阻擋波浪侵襲方式，只是將波浪阻隔於消波塊之外，甚至直接於消波塊上碎波，必會造成波浪直接掏空基底砂石，使消波塊沈陷而喪失消波功能，因而再投注大筆金錢無止盡地吊置新的消波塊；人民的納稅錢就在這一來一往間給浪費了。許多專家學者也建議，與其以硬碰硬的方式，來防護海岸侵蝕，不如先人工養灘，本實驗希望透過不同坡度及沙灘底床摩擦下淺化係數的改變，用於預估碎波帶，提供海岸地區緩衝帶、人工養灘及保護台十一線沿線安全的有效建議。

1867 年 12 月 18 日，台灣北部地震，是台灣受海嘯侵襲之最大紀錄。有鑒於印尼大海嘯，台灣四面環海，因應台灣特殊海岸地形，海灣內和大陸架上的海嘯、暴潮及風浪的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，並且可模擬波浪動態圖，使應用於說明、教學及預測。

貳、研究目的：

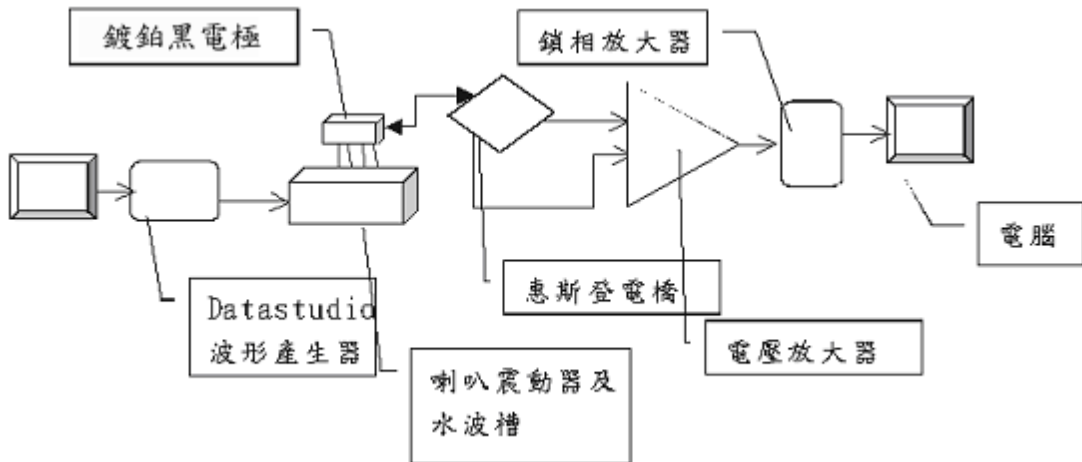
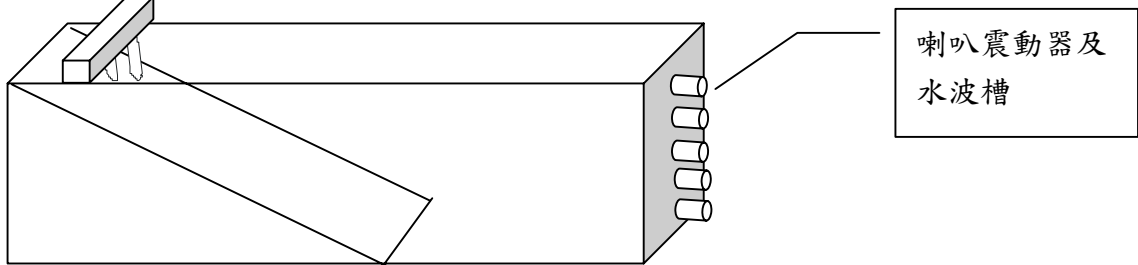
- 1、分析台灣東部、東北角及西南沿海地形。
- 2、近岸海底不同坡度及距離下，碎波極限及振幅的變化。
- 3、模擬沙灘有無對花蓮水璉地區的碎波極限及振幅的影響。
- 4、震源不同深度下，頻率及振幅的變化。
- 5、利用 Maple 及 Visual Basic 製作模擬動畫。

參、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

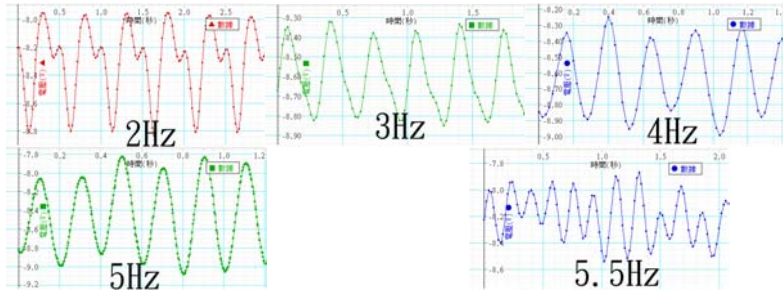
肆、實驗裝置：



伍、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〕震動器所生水波振幅和感測器輸出電壓振幅校正曲線

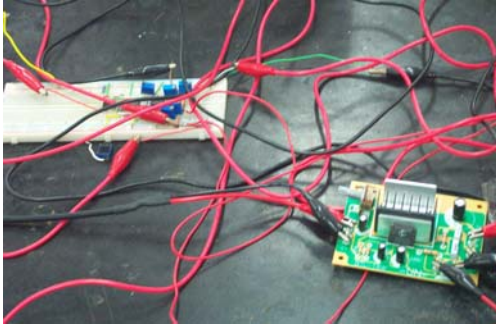
- 1、在靜水中，調校鉑黑電極上的惠斯登電橋，使輸出為零。
- 2、利用 datastudio 波型產生器，在 5V 下用方波，頻率取 2.0Hz。
- 3、因最大振幅時可使鉑黑電極中的水位提高，電導增加，故可由電導變動知道水波頻率；電導最大變動處即為最大振幅。
- 4、因為電導須在 1109Hz 交流電下操作，故鉑黑電極上須由波型產生器供應 1109Hz 交流電（電壓視所需靈敏度調整）。
- 5、鎖相放大器鎖定 1109Hz 為載波，把電導變化經電橋所生的電壓輸出，利用調幅解調方式，去除載波，再利用 datastudio 所附傅利葉轉換程式求出振幅及頻率。
- 6、利用直筒玻璃容器加入 50mL 水，測量水位上升 1.95 公分，得出容器截面積 50/1.95 平方公分。



左圖為鎖相放大器及電腦；



右圖為波形產生器及 sciworkshope750

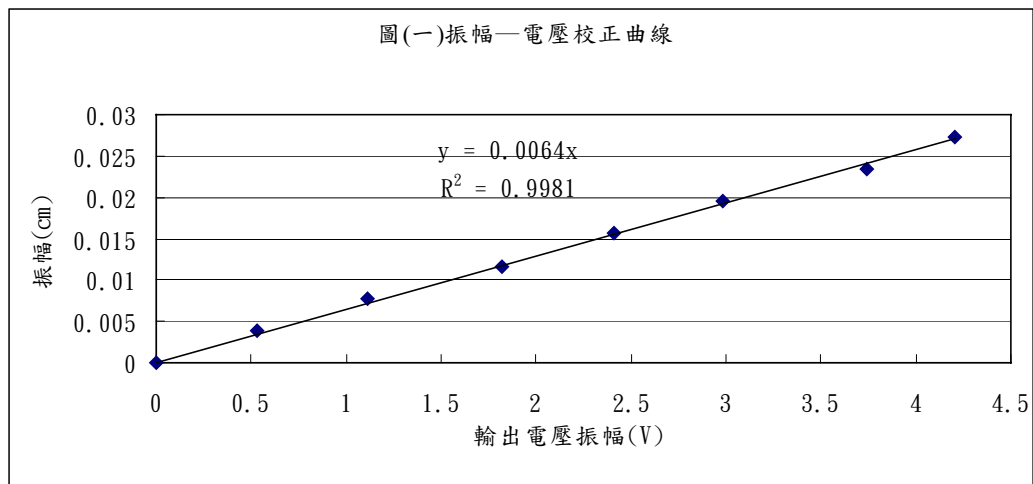


左側為惠司登電橋及 OPA；右側為功率放大器（接喇叭震動器）

[表二] 電導改變所輸出電壓量和水位振幅之關係表

加入水體(μL)	0	100	200	300	400	500	600	700
水位增加量(cm)	0	0.0039	0.0078	0.0117	0.0156	0.0195	0.0234	0.0273
電壓輸出(V)	-0.036	0.498	1.078	1.781	2.371	2.951	3.705	4.172
電壓差(V)	0	0.534	1.114	1.817	2.407	2.987	3.741	4.208

7、以微量吸管每次加入 $100\ \mu\text{L}$ 水，求出水上升量為 y 軸，電導改變輸出電壓量為 x 軸作圖。求出電導改變輸出電壓量和振幅水位的關係。



8、結果：電壓振幅和水波振幅成正比，且相關係數非常高。

$$\text{振幅} = 0.0064 \times \text{輸出電壓振幅}$$

[實驗三] 近岸海底不同坡度及距離下，碎波極限及振幅的變化。

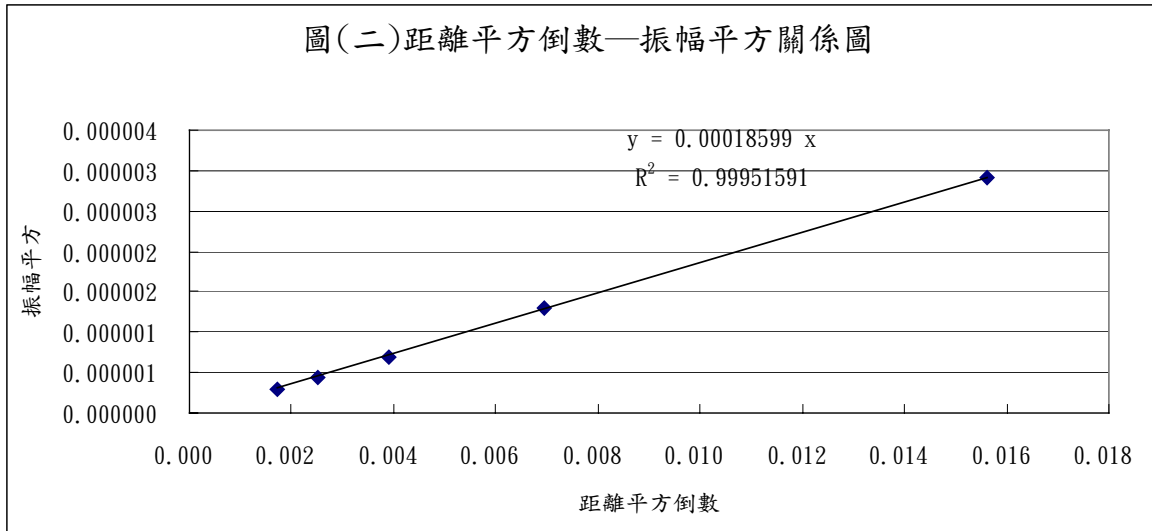
以壓克力墊片改變坡度，求不同坡度及距離下，頻率、波長及強度的變化。

一、實驗結果：

1、坡度 0° 分析結果

[表三]

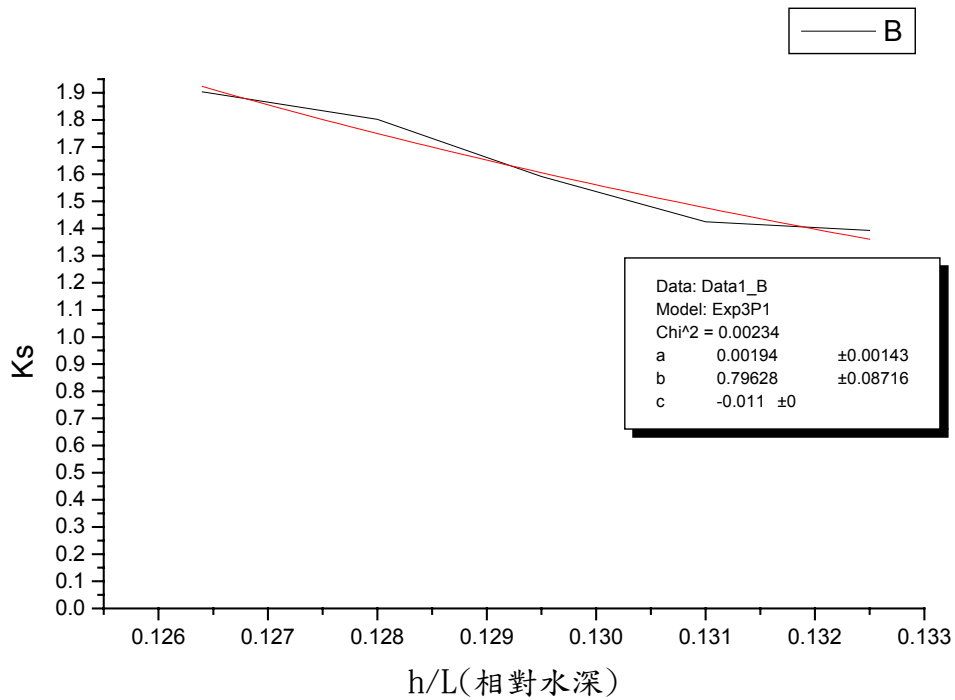
距離	修正電壓振幅	距離校正平方倒數	振幅	振幅平方
8	0.267	0.01563	0.00171	0.0000292
12	0.178	0.00694	0.00114	0.0000129
16	0.130	0.00391	0.00083	0.0000069
20	0.104	0.00250	0.00067	0.0000044
24	0.086	0.00174	0.00055	0.0000030



2、坡度 1.4° 分析結果

[表四]

距離(cm)	電壓振幅(V)	深度(cm)	振幅(cm)	修正振幅(cm)	Ks	h/L(相對水深)
8	0.371	4.3045	0.0024	0.0190	1.3928	0.1325
12	0.253	4.2067	0.0016	0.0194	1.4247	0.1310
16	0.212	4.1090	0.0014	0.0217	1.5918	0.1295
20	0.192	4.0112	0.0012	0.0246	1.8020	0.1280
24	0.169	3.9135	0.0011	0.0260	1.9034	0.1264

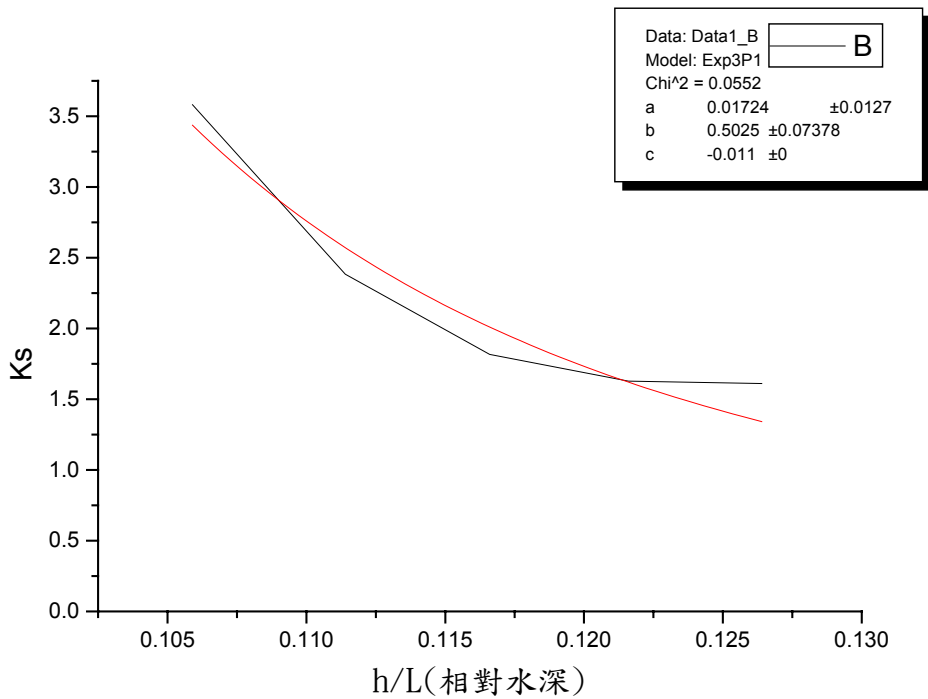


圖三

3、坡度 4.18° 分析結果

[表五]

距離(cm)	電壓振幅(V)	深度(cm)	振幅(cm)	修正振幅(cm)	Ks	h/L(相對水深)
8	0.429	3.9153	0.0027	0.0220	1.6106	0.1264
12	0.289	3.6230	0.0018	0.0222	1.6275	0.1216
16	0.242	3.3306	0.0015	0.0248	1.8171	0.1166
20	0.254	3.0383	0.0016	0.0325	2.3840	0.1114
24	0.318	2.7460	0.0020	0.0488	3.5816	0.1059



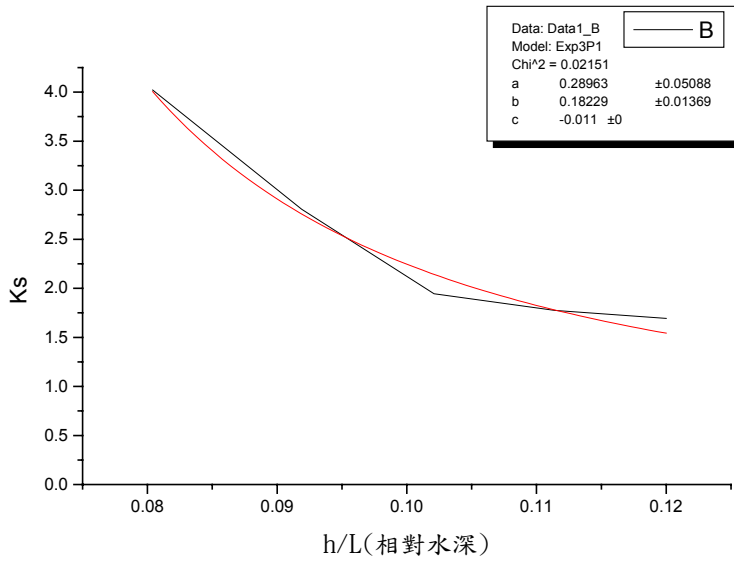
坡度4.18

圖四

4、坡度 6.93° 分析結果

[表六]

距離(cm)	電壓振幅(V)	深度(cm)	振幅(cm)	修正振幅(cm)	Ks	h/L(相對水深)
8	0.451	3.5276	0.0029	0.0231	1.6932	0.1200
12	0.315	3.0415	0.0020	0.0242	1.7739	0.1114
16	0.259	2.5553	0.0017	0.0265	1.9447	0.1021
20	0.299	2.0691	0.0019	0.0383	2.8063	0.0919
24	0.357	1.5829	0.0023	0.0548	4.0208	0.0804



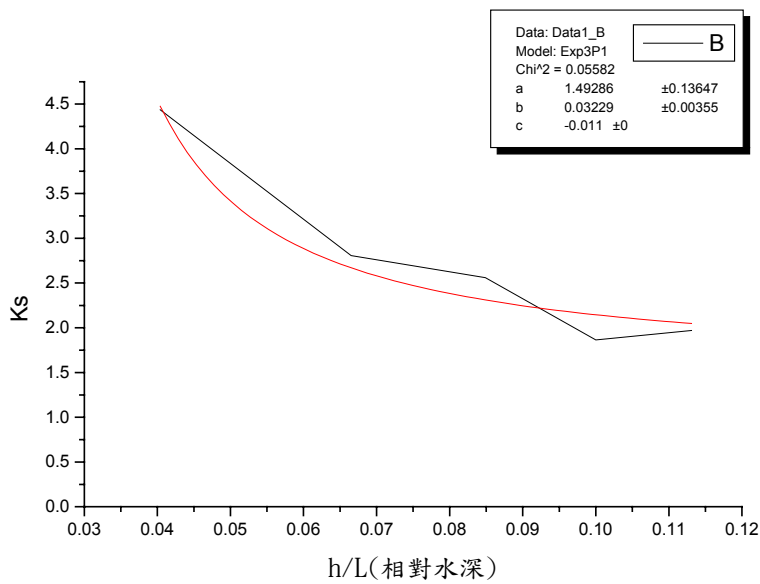
坡度6.93

圖五

5、坡度 9.69° 分析結果

[表七]

距離(cm)	電壓振幅(V)	深度(cm)	振幅(cm)	修正振幅(cm)	Ks	h/L(相對水深)
8	0.525	3.1334	0.0034	0.0269	1.9710	0.1131
12	0.331	2.4501	0.0021	0.0254	1.8640	0.1000
16	0.341	1.7668	0.0022	0.0349	2.5604	0.0849
20	0.299	1.0835	0.0019	0.0383	2.8063	0.0665
24	0.394	0.4002	0.0025	0.0605	4.4375	0.0404



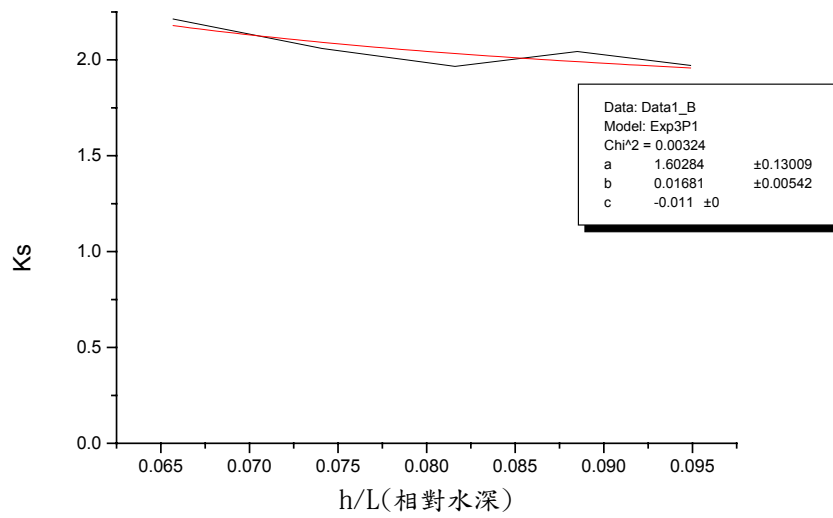
坡度9.69

圖六

6、坡度 16.0° 分析結果

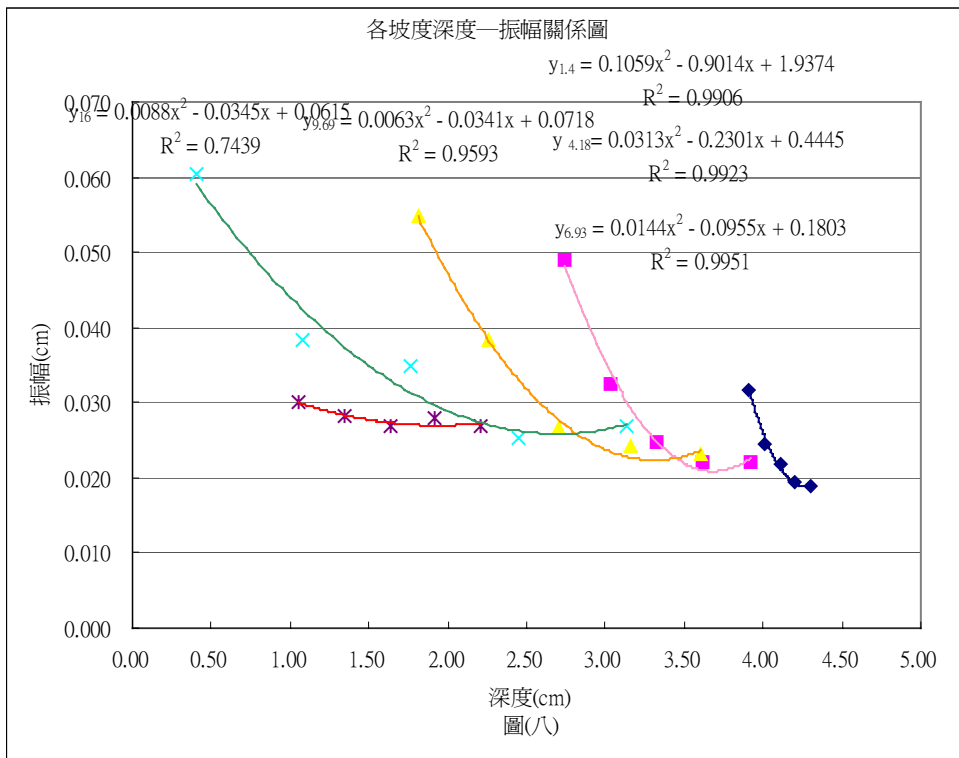
[表八]

距離(cm)	電壓振幅(V)	深度(cm)	振幅(cm)	修正振幅(cm)	Ks	h/L(相對水深)
8	0.525	2.2060	0.0034	0.0269	1.9710	0.0949
9	0.484	1.9193	0.0031	0.0279	2.0442	0.0885
10	0.419	1.6325	0.0027	0.0268	1.9663	0.0816
11	0.399	1.3458	0.0026	0.0281	2.0597	0.0741
12	0.393	1.0590	0.0025	0.0302	2.2131	0.0657



圖七

7、淺化係數公式和近岸海底角度關係，以多項式表示：



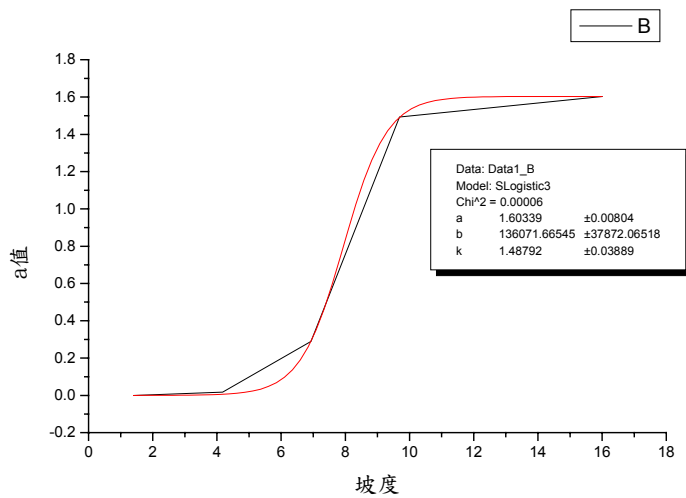
圖(八)

8、淺化係數公式和近岸海底角度關係式之求取：
圖三至圖七趨勢線方程式常數之比較

趨勢線方程式：淺化係數 = $a \times \text{EXP}\left(\frac{b}{\text{相對水深}-0.011}\right)$

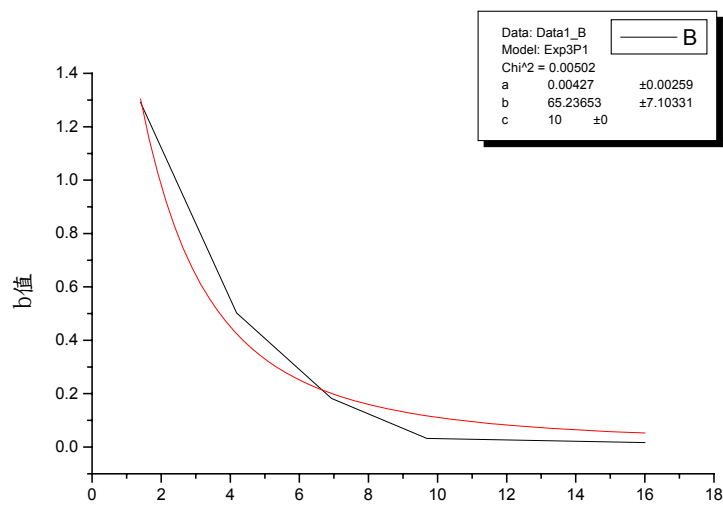
表(九)

坡度 (°)	a	b
1.40	0.00003	1.2907
4.18	0.01724	0.5025
6.93	0.28963	0.18229
9.69	1.49286	0.03229
16.00	1.60284	0.01681



圖九

a 值關係式 $a = 1.60339 / (1 + 136047.5439 * \exp(-1.48789 * \text{坡度}))$



圖十

b 值關係式 $b = 0.0047 \cdot \exp(65.23653 / (\text{坡度} + 10))$

綜合以上兩式得坡度、相對水深及淺化係數的關係式如下：

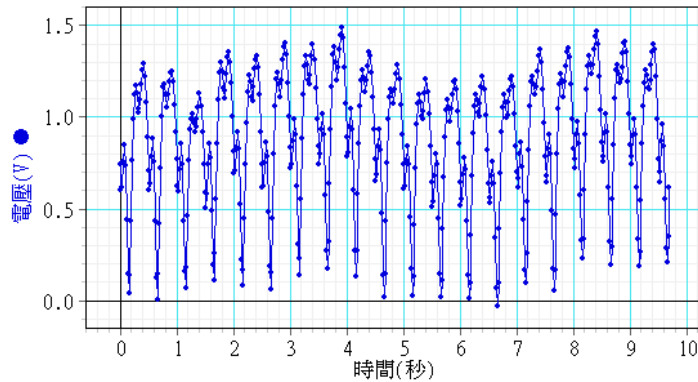
$$\text{淺化係數} = 1.60339 / (1 + 136047.5439 \cdot \exp(-1.48789 \cdot \text{坡度})) \\ \times \exp\left(\frac{0.0047 \cdot \exp(65.23653 / (\text{坡度} + 10))}{\text{相對水深} - 0.011}\right)$$

二、討論：

- 1、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(4.18 度在相對水深 0.06 淺化係數 K_s 等於 50)，此點和「近岸水動力學」一書(122 頁)所描述的結果相吻合。

- 2、波浪自外海傳至近岸，其淺化效應理論上和深度變淺有關，但從本實驗發現，坡度越小淺化效應越顯著(見圖八)；其可能原因為坡度大者反射率較大，而使能量累積較少，故在同樣深度變化下，也較不容易產生較大振幅的提昇



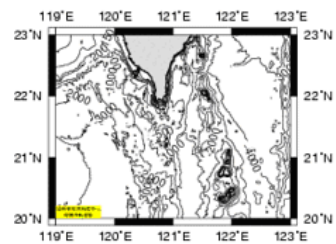
圖為坡度 6.93 距離 12 公分所測得結果，有類似入射波及反射波合成的包絡線。

- 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，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。

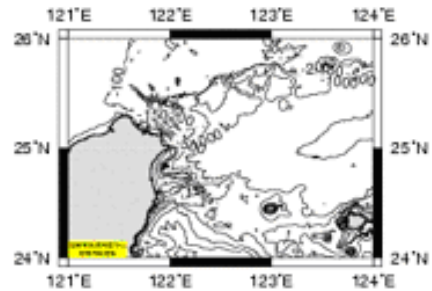


[表十]台灣西南沿海歷史上海嘯紀錄

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))

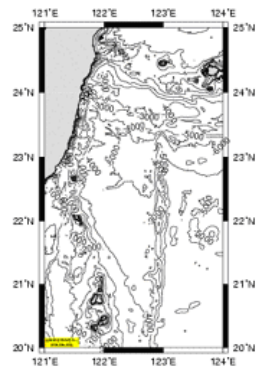


[表十一]台灣東北部沿海歷史上海嘯紀錄

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

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，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，故危險性相對較低。



[表十二]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、綜合本斜度實驗的結果，坡度大者在同樣的深度變化下，振幅增加較少（見圖八），故從深海傳遞來的波浪或海嘯對東部海岸影響較小；但是東部海岸是否就可免受侵蝕，則要由碎波的位置定，此點可利用 Miche(1944)及 McMowan(1894)所提出公式加以討論。

三、碎波極限的求取

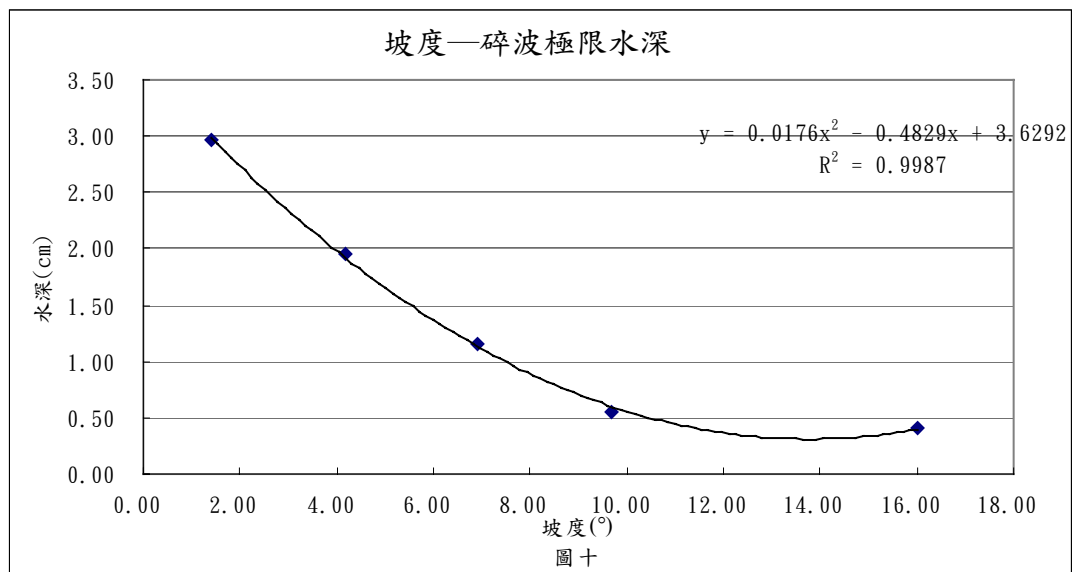
1、利用 Miche(1944)及 McMowan(1894)所提出公式估算碎波極限 H/h ，求取

各坡度之碎波極限，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。

表(十三)

坡度	碎波極限水深(cm)	離岸距離(cm)	波長(cm)
1.40	2.96	121.12	26.93
4.18	1.96	26.82	21.91
6.93	1.15	9.46	16.79
9.69	0.55	3.22	11.61
16.00	0.41	1.43	10.02



2、海灘剖面在同週期的波浪作用下，若波浪條件之極限碎波水深達到某一程度時，雖然深海波浪尖銳度持續增加，其對灘線的侵蝕作用則因碎波極限水深的增加而減少。

3、根據國外的研究顯示，離岸堤或沙洲需離岸達三倍波長才有保護效果，本實驗顯示，坡度1.4以上都無法達到此要求，顯示花東地區沿岸都屬於非常容易受波浪直接侵襲岸上的區域，應加強保護，且在敏感地區施工應順應自然構築沙灘及緩斜坡，建築物退後，把沙灘還給自然。

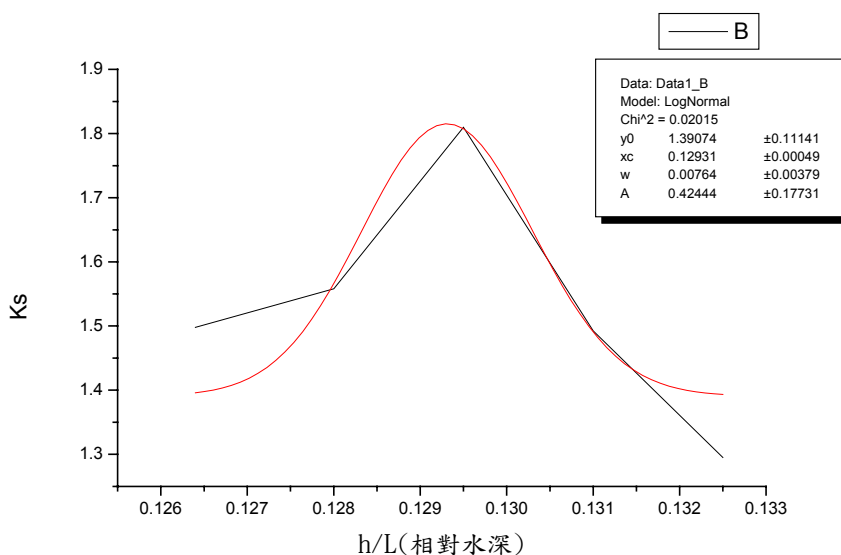
〔實驗四〕模擬沙灘有無對花蓮水璉地區的碎波極限及振幅的影響。

以壓克力墊片設定坡度為 1.4° （水璉鹽寮地區沙灘坡度），並灑上粒徑 0.2mm 至 0.4mm 石英沙（花蓮水璉鹽寮地區為礫石灘，粒徑在 4mm）求不同距離下，波長及強度的變化。

一、實驗結果：

表十四：有沙灘坡度為 1.4°

距離(cm)	電壓振幅(V)	深度(cm)	振幅(cm)	修正振幅(cm)	Ks	h/L(相對水深)
8	0.345	4.3045	0.0022	0.0177	1.2952	0.1325
12	0.265	4.2067	0.0017	0.0204	1.4923	0.1310
16	0.241	4.1090	0.0015	0.0247	1.8096	0.1295
20	0.166	4.0112	0.0011	0.0212	1.5580	0.1280
24	0.133	3.9135	0.0009	0.0204	1.4980	0.1264



圖十一

二、實驗討論：

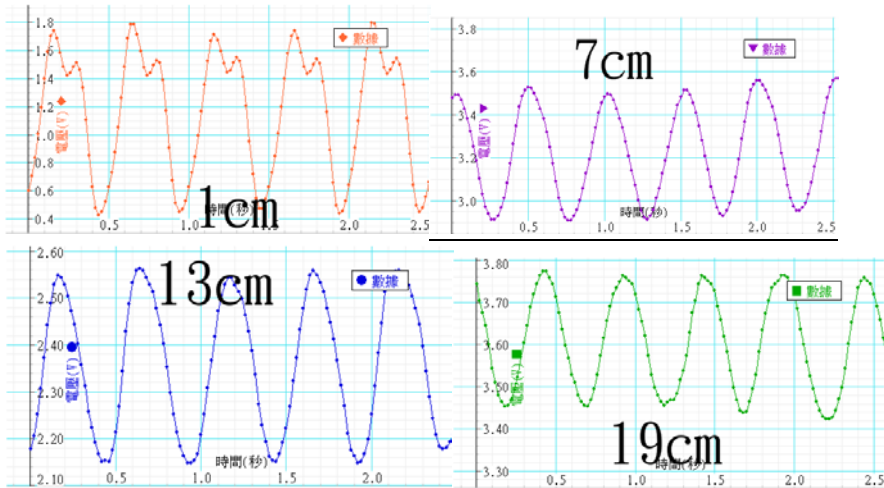
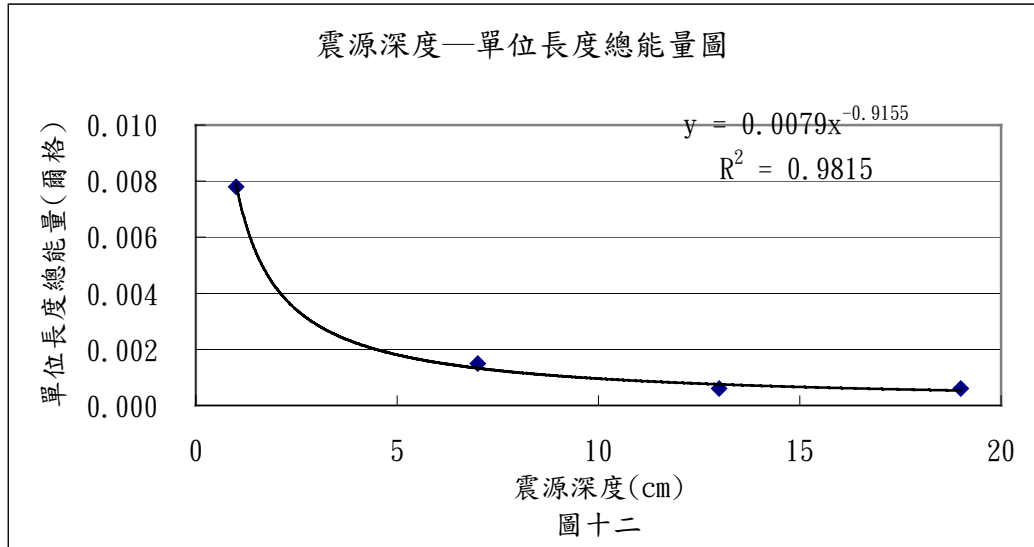
- 1、在電極距波源 16 公分處，淺化係數達到最高，可見該點已達碎波極限，經運算結果得離岸距離 164.73cm。
- 2、比較表三、表十四及表十三，即可發現沙灘底床確實造成相當大的摩擦使淺水波在相同淺化下振幅較小，並缺碎波極限也較大。
- 3、花東海岸屬於斷層海岸，海岸無明顯谷灣和峽灣，波浪在無明顯的地形保護下都能直接打上岸邊。所以東部居民、工務單位及砂石商應理解沙灘的重要性，沒有沙灘的保護，可能危及台十一線及居民的生命安全。
- 4、在防災及海岸保護的觀點下，宜規劃一海岸緩衝帶。颱風侵襲時，海岸因暴浪與暴潮偏差的影響，海灘及後灘陸地可能被侵蝕，海灘上被挖掘的沙土則在碎波帶附近形成離岸沙洲。隨颱風持續作用，沙洲體積隨之增大，遂使波浪提早在沙洲頂上碎波；在這樣的機制下，灘線侵蝕才能趨緩，使沙灘剖面達到穩定狀態。
- 5、為了使海堤免於波浪直接衝擊，建議在台十一線前再酌量預留海灘寬度。在暴潮偏差水位提升及暴浪侵蝕到達之預留海灘寬度。

〔實驗五〕不同深度下，強度的變化

鍍鉑黑電極下方，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。

〔表十五〕

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。

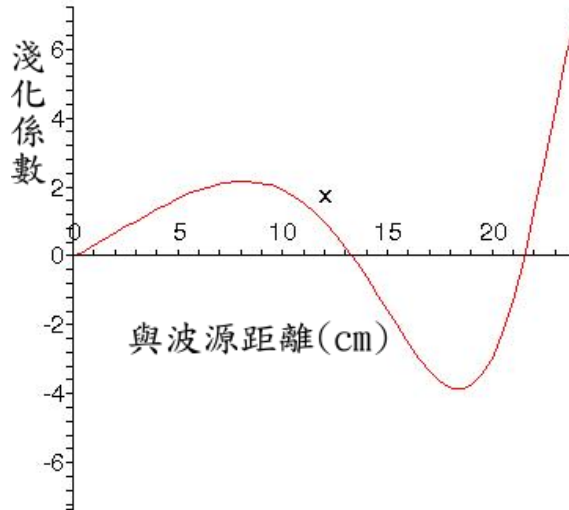
(2) 關係式：單位長度能量=0.0079×深度^{-0.9155}

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。

〔實驗六〕模擬程式的演算及 2D 動畫製作

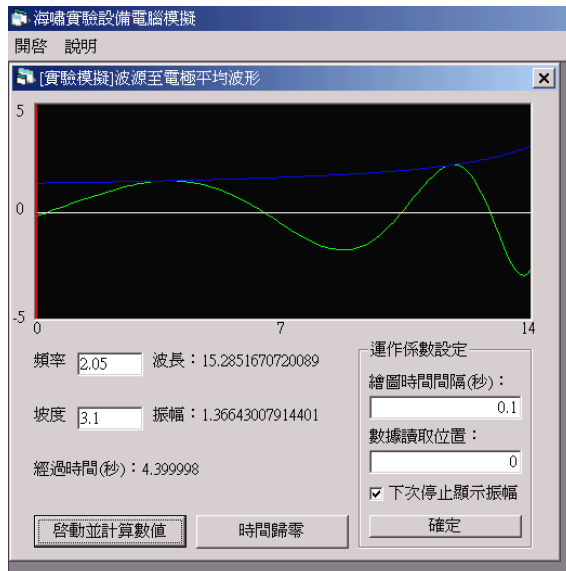
1、利用上述實驗結果的相關趨勢線，先在 Maple 中演算結果，把傅利葉分析所得波函數合成。

例如：下圖為坡度 6.93 之合成波的形狀及演算數學；沿斜面累加合成。



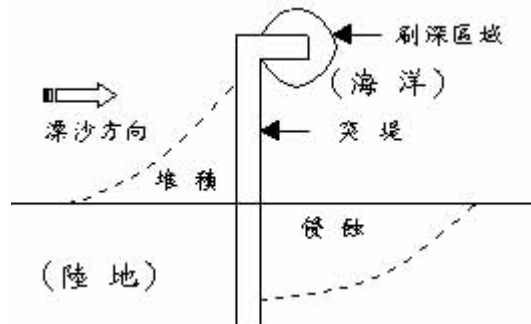
```
animate ((1.60339/(1+136047.5439*exp(-1.48789*6.93))) * exp(
0.0047*exp(65.23653/(6.93+10)))/(2*((4.5-x*tan(6.93*2*Pi/
360))/980)^0.5)-0.011) * sin(2*Pi*(2*x/(980*(4.5-x*tan(6.9
3*2*Pi/360)))^0.5-2.05*t)), x=0..24, t=0..0.1*Pi, frames=80)
```

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。



陸、實驗討論：

- 基本上，花東地區均屬侵蝕性的海岸，沒有天然的港灣可做遮蔽，波浪可長驅直入，本就不是一個良好的港址所在。再者，以鹽寮海濱均是礫石灘而言，使用傳統的消波塊放置於沙灘上阻擋波浪侵襲方式，只是將波浪阻隔於消波塊之外，甚至直接於消波塊上碎波，必會造成波浪直接掏空基底砂石，使消波塊沈陷而喪失消波功能，因而再投注大筆金錢無止盡地吊置新的消波塊；人民的納稅錢就在這一來一往間給浪費了。



根據資料，發現鹽寮漁港的錯誤興建，可能攔截了部分的沙源，另外許多商人也在水璉海岸大量採集礫石，作為景觀建築之用，由實驗中發現沒了平緩的沙灘，碎波就在半個波長距離之內，在多的消波塊及海堤，也阻擋不了大自然波浪的侵蝕。

- 本實驗所用的石英沙粒徑在 0.2mm 左右，與水璉及鹽寮海岸礫石灘粒徑 4mm 約差二十倍，及體積相差 8000 倍。因為花東地區年平均浪高 1.8 公尺，我們使用振幅 0.02-0.03cm 也約差 8000 倍，故本實驗在尺度上與該區吻合。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

- 11、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）。
- 12、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2Hz，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。
- 13、另外本實驗並未針對不同波浪尖銳度深入探討，此點可能需配合各海域四季波浪平均變化收集資料，以求得碎波極限可能範圍，以求建立離岸沙洲的可能資料。

柒、實驗展望：

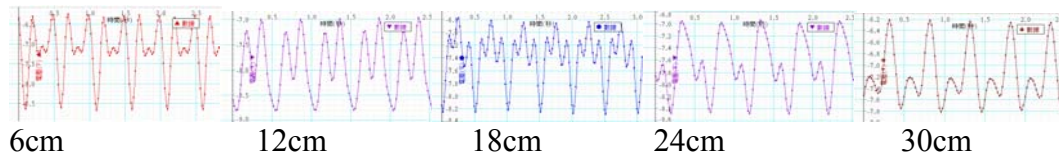
希望藉由此次的研究，探討台灣週邊發生海嘯的可能情形，以東北角、東部及西南沿海的地形加以模擬，探討可能發生的情形，希望以後建立更精密的模型借用這次研究的系統，對沿岸一些較複雜的波浪系統作更好的分析，以作為研究及教學演示的依據。

台灣四面環海，風浪隨著四季變化不斷地傳遞到近岸，為保護海岸及其腹地免於侵蝕與暴潮溢淹，減少波浪對海堤的破壞，在有限的公共財力下，如何使各種保護措施發揮其最大的效益，乃是當前海岸工程的重要課題之一。倘能改善傳統硬體工法，以軟性的人工養灘，配合適當的海灘緩衝帶，營造一個穩定的海岸，才是對海岸永續經營的正面作為。

捌、參考資料：

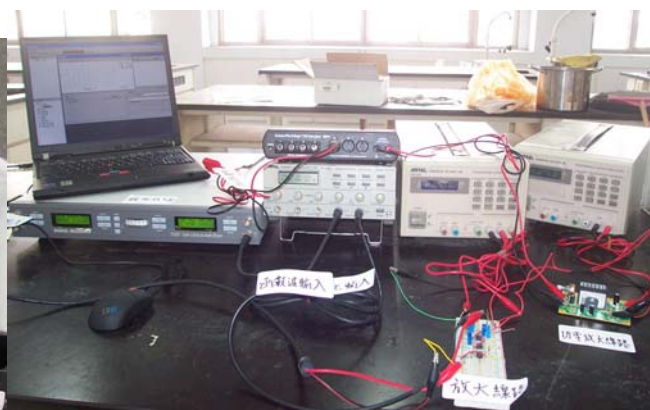
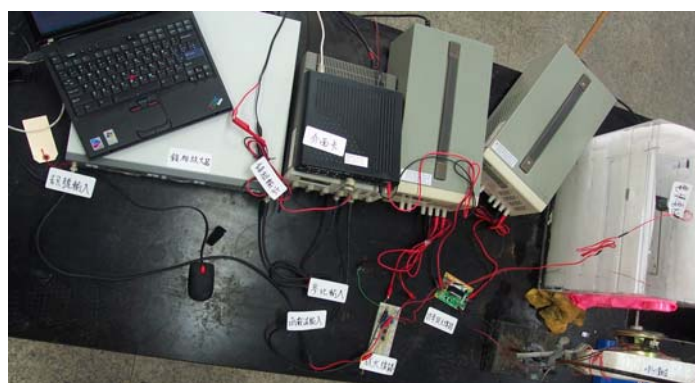
- 1、近岸水動力學，許泰文，中國土木水利工程學會，科技圖書股份有限公司，2003.7
- 2、波動及物理光學，吳文政，建宏出版社，1996.2
- 3、高中基礎地球科學，南一九十三年版

玖、附錄：
校正曲線波形圖

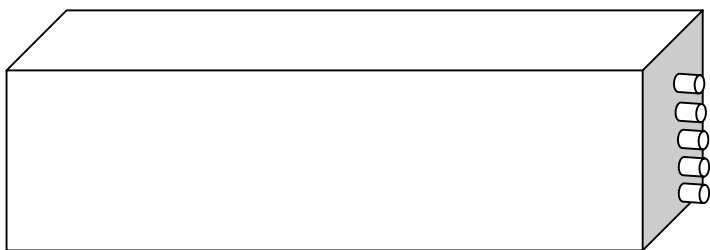


表三 台灣及其附近可能發生過的海嘯

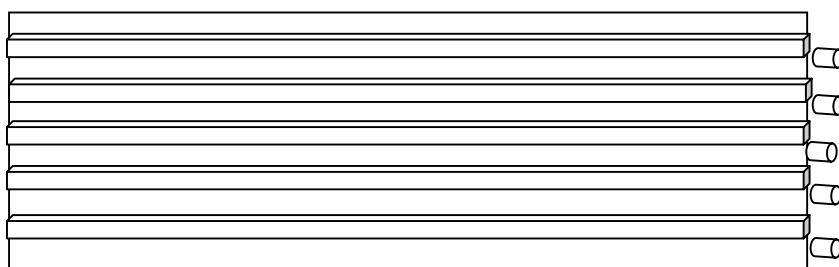
時間	海嘯侵襲之地區	出處及文獻所提供之信度、海嘯規模 (Mt) 或浪高 (H)	信度
1661 年 1 月 8 日	安平	Mt = 1, 信度 = 4 (包澄瀾等, 1991) Mt = 0, 信度 = 4 (游明聖, 1994)	3
1721 年 1 月 5 日	台南	Mt = -1, 信度 = 4 (游明聖, 1994)	2
1721 年 9 月	台南	(包澄瀾等, 1991)	0
1754 年 4 月	淡水	Mt = 1, 信度 = 3 (包澄瀾等, 1991)	2
1781 年 4-5 月	高雄地區	Mt = 1, 信度 = 3 (包澄瀾等, 1991) Mt > 2, 信度 = 4 (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)	4
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
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
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
1996 年 2 月 17 日	(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、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



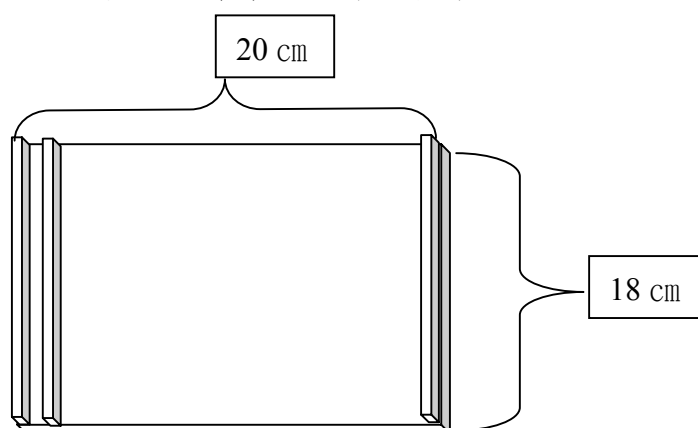
- 3、兩側板配合外接管內管上緣，各貼上 0.5x0.5x40 cm 的壓克力條（壓克力條下緣貼齊內管上緣）



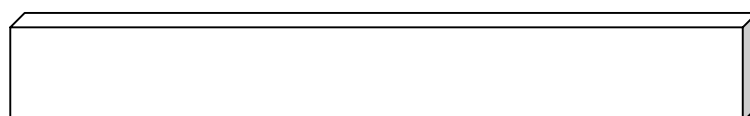
- 4、外接管分為內管及外套
- 5、內管厚 0.2 cm，內直徑 4 cm，外徑 4.4 cm，長度 2 cm，挖洞直徑 4 cm 通水槽內，並黏緊在水槽上，且不可漏水。（共 5 個）
- 6、外套（共 5 個）內直徑 4.6 cm，外徑 5.0 cm，長度 1.5 cm



- 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

040505 保護沙灘吧！波浪與淺化的實驗室模擬

本作品以電路實驗模擬海嘯在台灣地區可能產生的地點以及海嘯產生後對沿岸造成之影響具有學術與實用價值。