

臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學

作 品 名 稱：消波一線牽－花蓮港港池共振

學校 / 作者：國立臺南第一高級中學
國立臺南第一高級中學

吳宗祐
陳政瑜

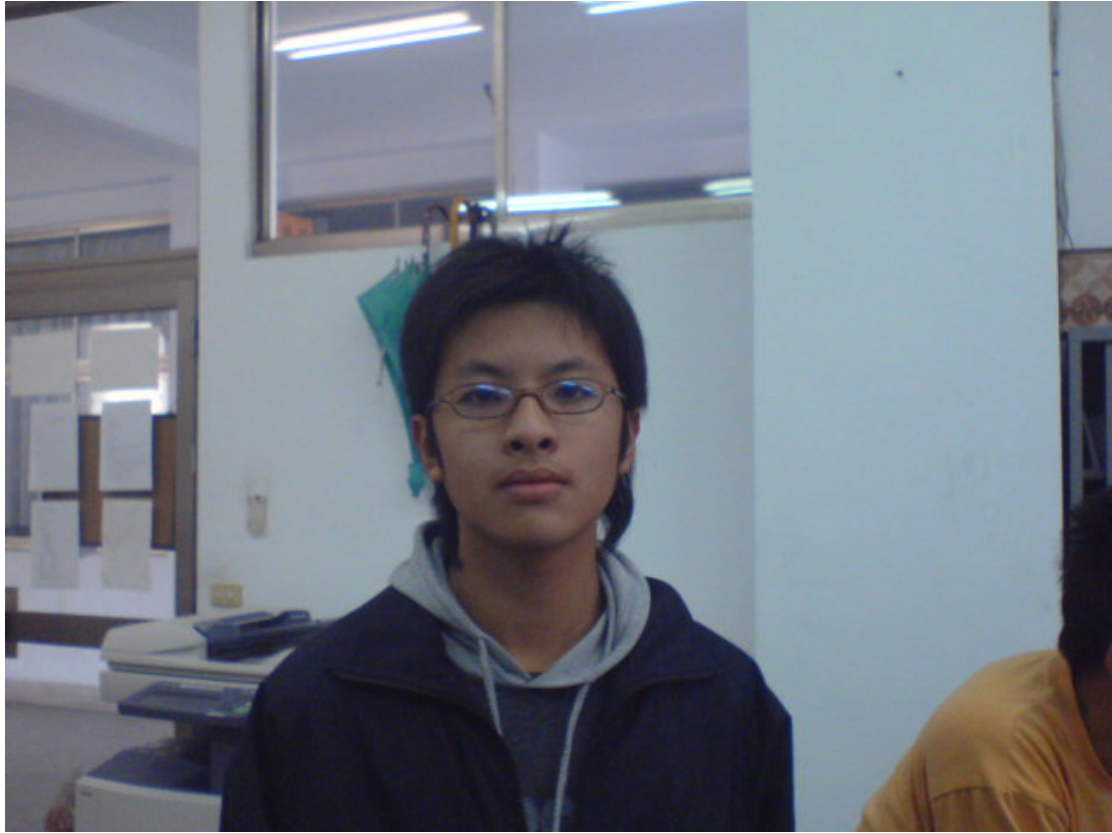
作者簡介



一位漫步在竹園崗上的少年，掛著無憂無慮的笑臉，哼著輕快的歌。那就是我——吳宗祐，目前就讀台南一中二年級。「愛玩」是我的寫照，我玩童子軍、玩排球、玩音樂……。平常我就很喜歡跑「外務」、接「case」，課外活動一個接一個，也在學校當工讀生，賺外快。但是我絕對不會讓它們影響到學校課業。我的個性開朗、熱情、講義氣，且不拘小節，所以擁有很多朋友。

在國中便對科展有所憧憬，所以上了高中我堅持做研究，而不以專題報告交差。選擇地球科學為主題是出於對大海的嚮往，雖然最後我們的題目是靠近陸地的港口，但絲毫不影響我對整個實驗的熱情。在整個研究的過程中我學到了很多，從搜集資料、研讀背景知識、參訪水工試驗所……到實際做實驗。我很感謝我們的兩位指導老師以及所有幫助過我們的人。也希望我們的研究能夠對人類有所貢獻。

作者簡介



哈囉!我是陳政瑜，目前就讀於台南一中二年級，自高一以來已經遊玩各種社團，不停的轉社成爲我的嗜好，從嚴謹的科研社到呆板的橋藝社到...尙未能加入的足球社。個性白目的我一向都喜歡與他人交際，因此我認識了許多朋友並得到他們的歡心。雖然大家都說高中課業壓力繁重，但是就我來說，只要有心應該不算太難。

小時後，我的好奇心常常搞的爸爸雞飛狗跳。於是在國小的時候，做過科展，並得到優勝。上了高中以後，心血來潮，就和同學一起做科展。在這次的實驗後，我穫益良多，這都要感謝我的夥伴、王牌指導老師 SD。

作品名稱：消波一線牽－花蓮港港池共振

一、中英文作品摘要：

(一)、中文作品摘要：

本實驗利用喇叭、鍍鉑黑電極、波型產生器、鎖相放大器、及 sciworkshope750 介面卡組合一套系統，此系統可使偵測精密度大幅提升，使得花蓮港模型尺度變小(120×60×4cm)，因此可節省實驗的成本與時間。

本實驗希望藉由模型的建立，感測系統的整合，傅立葉分析，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。鑒於花蓮港喇叭狀港池經實驗後證明容易造成港內共振，且不同的入射波頻率不同，所造成的共振現象及共振位置相當複雜。本實驗為縮小模型，但卻可測出的共振頻率、衰退時間及振幅且非常明顯（精密度達 $3.0 \times 10^{-4} \text{cm/mV}$ ）。

首要課題是要在港內消除反射的波，在模型實驗中，測量有無加消波線及加不同材質的線時波衰退時間的長短，得到衰退時間牽線消波者比實驗組減少為 0.2—0.6 之間；振幅減少為 0.03—0.89 之間，且越鬆散、分支越多、孔隙越大的物質消波狀況越佳，所以毛線效果最佳，棉線次之而尼龍繩最差。

(二)、Abstract：

This study utilizes the loudspeaker, the platinum-plated electrode, Sweep Function Generators, DSP Lock-in Amplifier, and the sciworkshope750 interface to construct our system. The system will enhance the great precision of detection, which diminishes the **Hualien** Harbor model yardstick to 120*60*4(cm). Thus we can save the cost and time of the experiments.

We combine the setting-up of the model, the integration of the sensors and the Fast Fourier Transform (FFT) system so that the researchers can obtain the physics-related data when the water transmits ripples in various kinds of conditions. Seeing that the bell-shaped **Hualien** Harbor is apt to cause resonance in its basin, which is confirmed by our experiments later, our primary goal is to find a way to diminish the waves reflected in the harbor. With the diverse frequencies of incident waves, resultant resonance phenomena and positions are rather complicated. Our experiments are based on a miniature model, but the resonance frequency, the time of wave declining and the wave amplitude are easily measured, with the precision up to $3.0 \times 10^{-4} \text{cm/mV}$.

In another experiment, we add strings made of different materials that can subdue waves. Compared with the records without strings, the strings can reduce the time of wave declining by 0.2-0.6 and can reduce the amplitude by 0.03- 0.89. We have come to the conclusion that strings made of looser, more-branching and bigger-interstice material perform better in diminishing waves. Hence, the knitting wool has the best results, followed by the cotton threads and then the nylon ropes.

二、內文

(一)、 研究動機

花蓮港在 1978 年開始第四期擴建工程，並在 1991 年完工，共完成東防波堤 1,837m、西防波堤 1,050m 的延長工程，改善了往年越波的情況。但因東防波堤的擴建，整個港區更區近喇叭狀。花蓮港夏秋時，颱風常朝東部迎面而來，花蓮港也正受衝擊，造成港內水面不平穩，使港內的共振現象更為嚴重，造成船隻斷纜，船身損壞，使得花蓮港沒有發揮庇護效果，反而船隻還需出港錨泊。花東海岸地形特殊，在討論共振時需要考慮的條件繁多，因此現實與在實驗室內或水工模擬的狀況差異不小，而當今海內外學者也還未確定花蓮港港池共振形成的所有原因。所以我們想從模型中尋求簡單又實際的方法來避免港內共振的現象。

(二)、 研究目的

- 1、 利用模型探討花蓮港內共振現象
- 2、 製作有效之消波設施

(三)、 研究原理

- 1、 利用鉑電極浸入水中之面積的改變，使輸出電壓也相對改變，以振波大小及振波衰退時間長短來判定是否有共振現象。

- 2、 水波總能量公式 $E = \frac{1}{2}ky_0^2$ 。

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

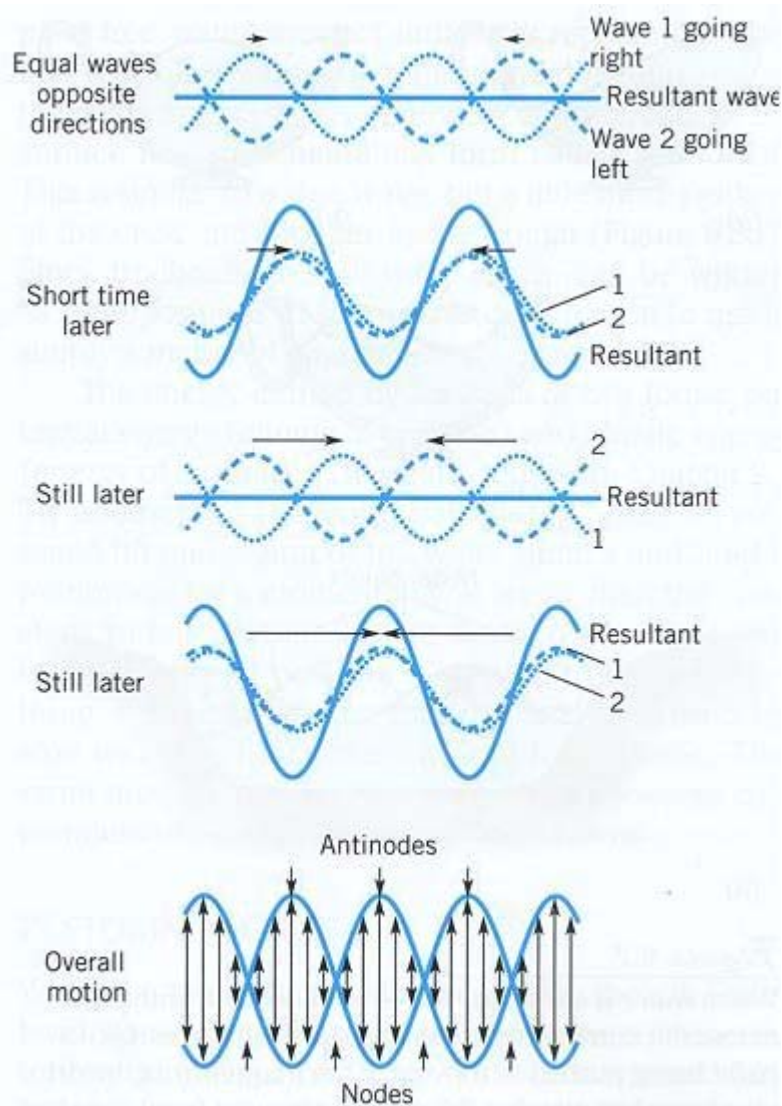
- (1) 深水：波速 $= \frac{g}{2\pi}T$ ；波長 $= \frac{g}{2\pi}T^2$ ($\frac{h}{\lambda} > \frac{1}{2}$)

- (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

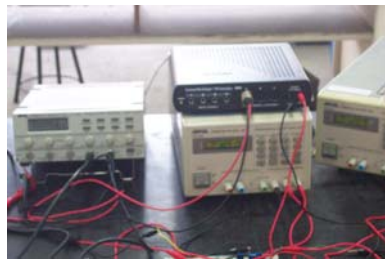
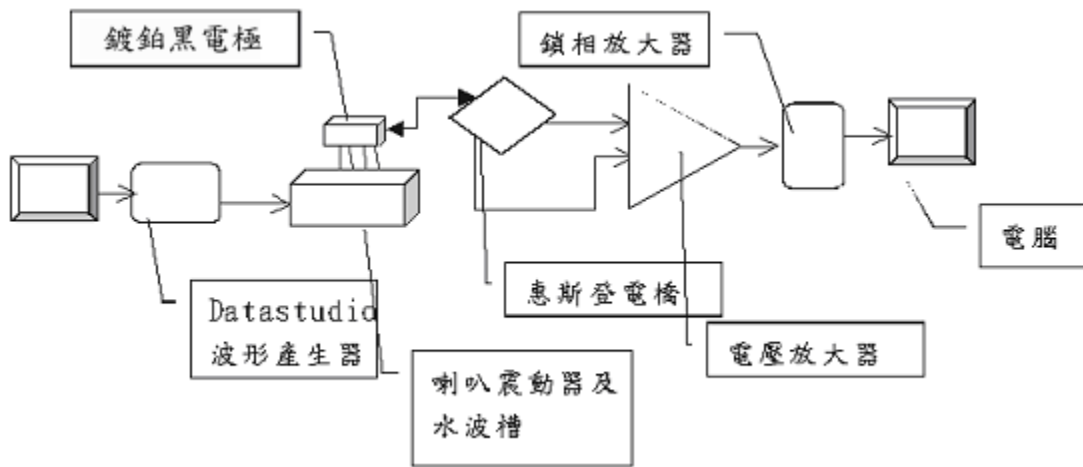
- 4、 在同一介質中，若有兩相同波長之波，相向而行，其相位差為 $1/2$ 時，則可互相干涉形成駐波(standing wave)。
- 5、 駐波(Standing wave)：外觀波形並無明顯之移動趨勢，各點僅有水面上下起伏者稱之



6、**盪漾**(Seiches):或稱**港池盪漾**，在邊界受限制的水體（如港灣）內，波浪進入後會發生重覆反射形成複雜的**駐波**型態，各處海水有節奏地上上下下或是此上彼下，這種現象稱為**盪漾**，而振動之頻率則為港池之共振頻率，建構海港需避免此問題。「茶壺裡的風暴」即是盪漾之一例。

(四)、 研究設備及器材

- 1、 花蓮港壓克力縮小模型（5410 倍）
- 2、 惠思登電橋
- 3、 喇叭（製波器）
- 4、 電源供應器（2 個）
- 5、 訊號產生器
- 6、 鎖像放大器
- 7、 介面卡 sciworkshope750&datastudio
- 8、 電腦



左圖為鎖相放大器及電腦； 右圖為波形產生器及 sciworkshope750
花蓮港地圖

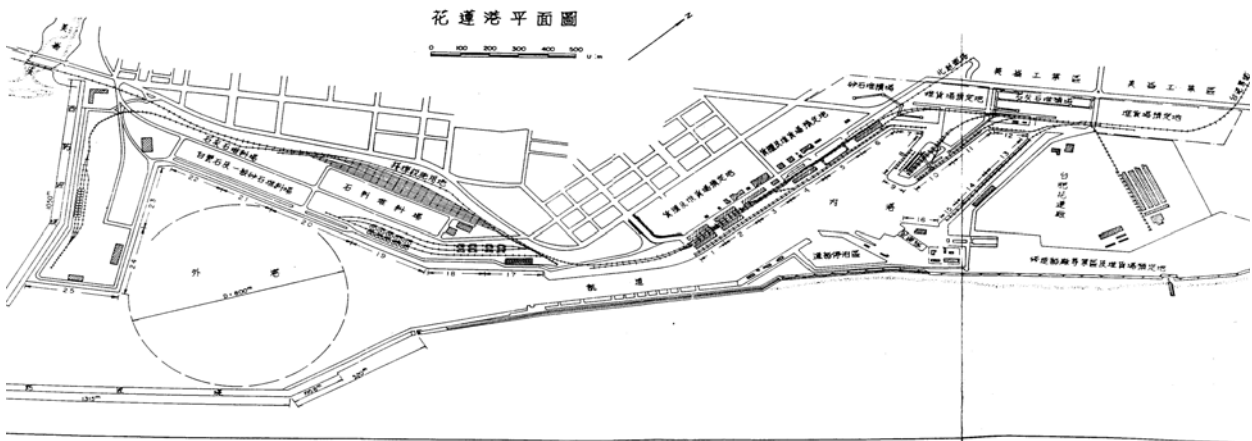
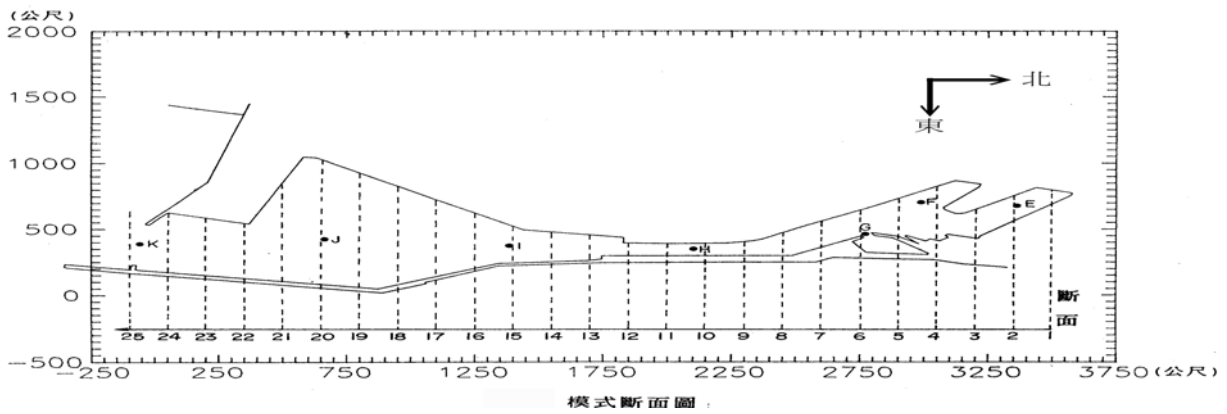


圖 2-1 花蓮港平面佈置圖

花蓮港模型圖



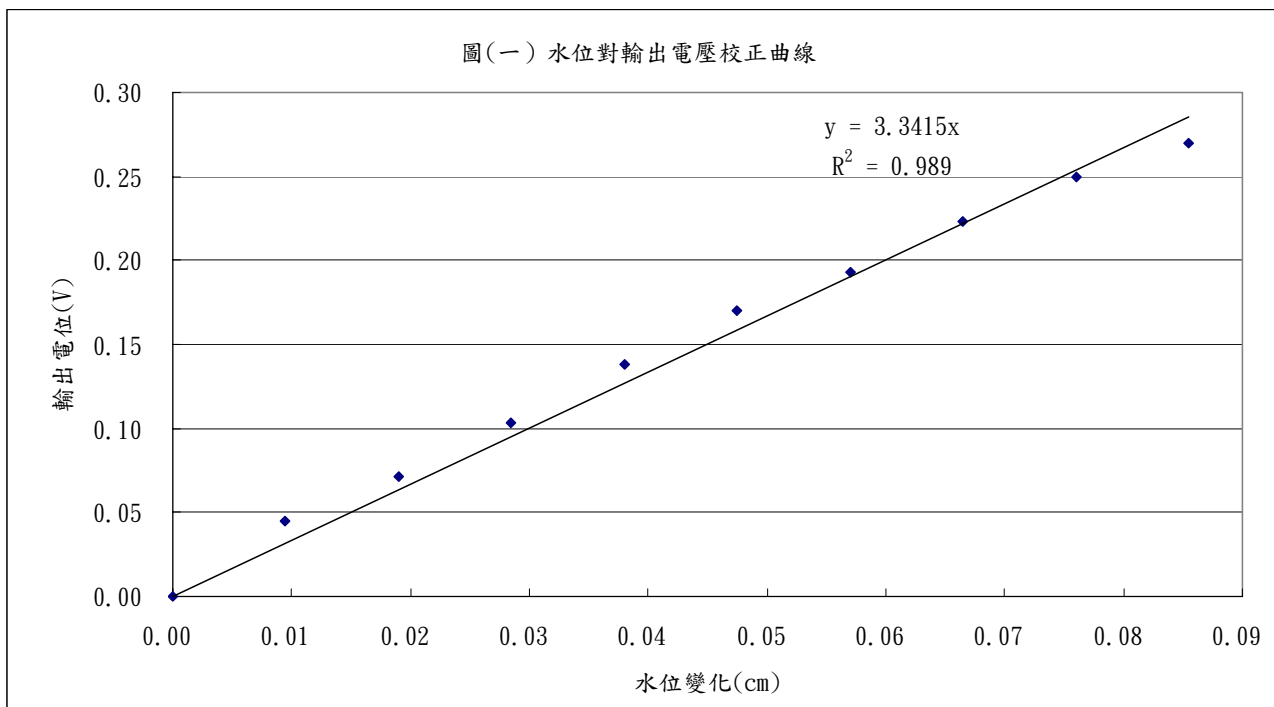
(五)、 研究過程及方法

【實驗一】輸出電壓差與水位變化之校正曲線

- 1、 取一直筒量杯，量出其直筒截面積 52.6 (100mL/1.9cm)，裝入超純水和沙。
- 2、 在靜水中，調校鍍鉑黑電極上的惠斯登電橋，使輸出電壓穩定。
- 3、 以微量吸管每次加入 0.5mL 水，求出水上升量為 x 軸，電導改變輸出電壓量為 y 軸作圖。並求出輸出電壓量和水位變化的關係。
- 4、 實驗結果：此量杯之截面積為 0.019，。由圖（一）可知其水位對輸出電位之公式為 輸出電壓 = 3.3415 × 水位變化。

表（一）輸出電壓及水位變化表

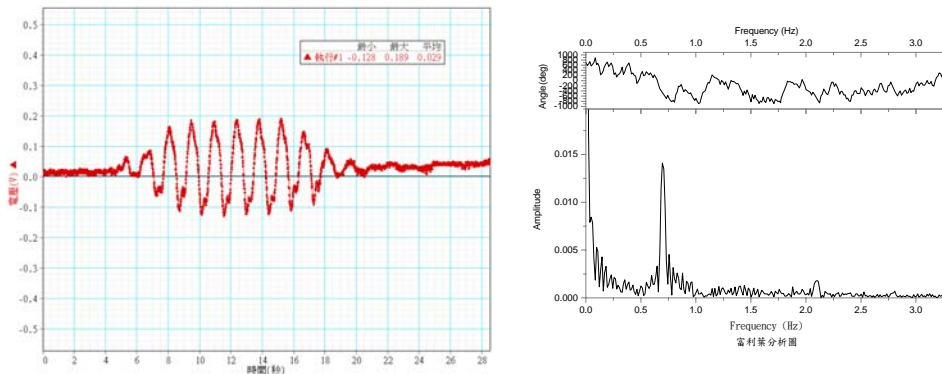
次數	加入水體積(ml)	水位高度變化(cm)	輸出電壓(V)	電壓變化(V)
1	0.000	0.00000	0.012	0.000
2	0.500	0.00950	0.057	0.045
3	1.000	0.01900	0.083	0.071
4	1.500	0.02850	0.115	0.103
5	2.000	0.03800	0.150	0.138
6	2.500	0.04750	0.182	0.170
7	3.000	0.05700	0.205	0.193
8	3.500	0.06650	0.235	0.223
9	4.000	0.07600	0.262	0.250
10	4.500	0.08550	0.282	0.270



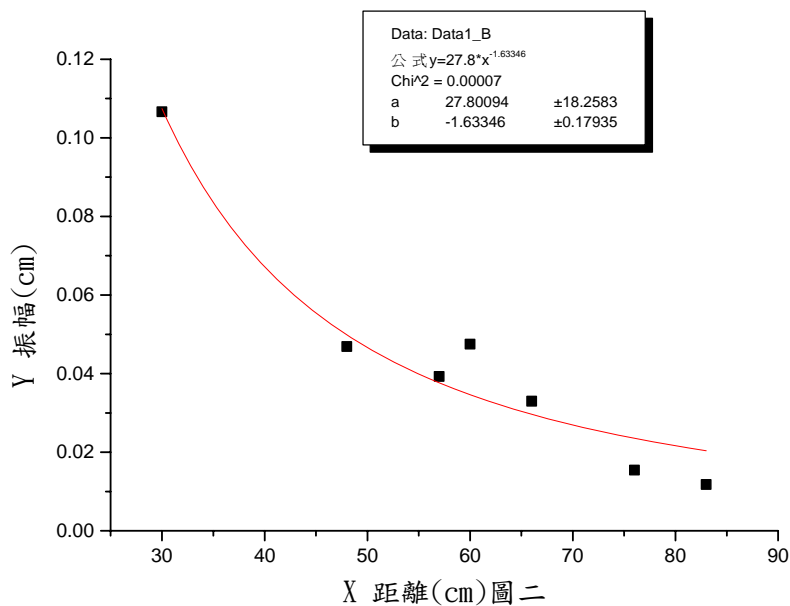
【實驗二】無共振現象（港外區域）之對照組

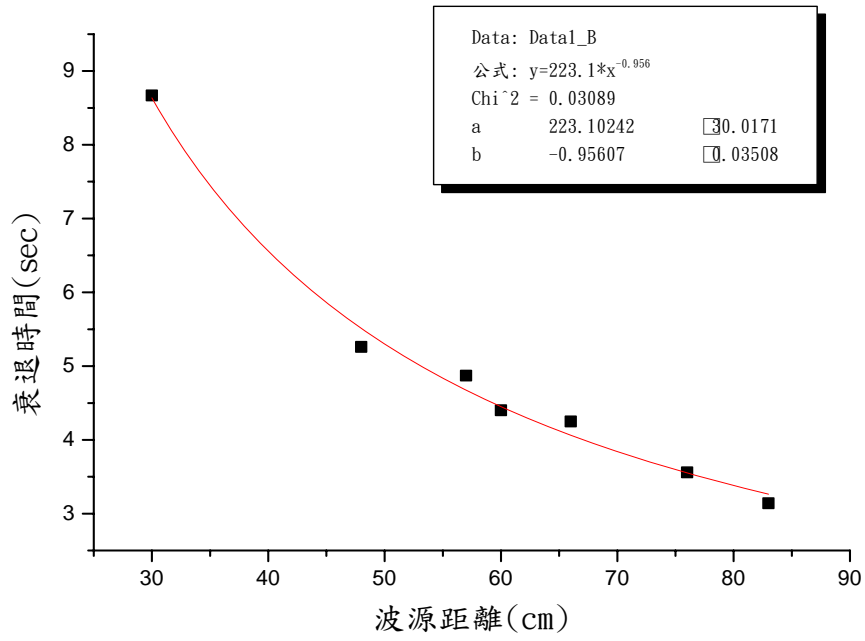
- 1、在模型邊緣除了港區內，均鋪上濾水棉及脫脂棉花做消波。
- 2、模型之長邊貼上布尺做為座標 x 軸，在電阻橋上貼布尺做為 y 軸。
- 3、起波器（喇叭）在模型左側，利用 datastudio 波型產生器，在 4V 下用正弦波，頻率取 0.7Hz。喇叭輸出及訊號讀取可正確穩定；濾水棉及脫脂棉花消除反射干擾的效率；波形完整穩定（大小一致）。
- 4、利用波通過鍍鉑黑電導時，電阻變化經惠斯登電橋及電壓放大器輸出電壓，再經過鎖相放大器和介面卡將數據傳入電腦。利用 datastudio 電壓感應器，用圖表觀察其電壓變化。
- 5、在 x 軸做測量，並測出當波源結束造波後，水面恢復平靜的衰退時間。此實驗為對照組，主要測量其衰退時間與波源遠近之關係，因此 y 軸皆取 15.5（港外區域 y 方向之中點）。
- 6、實驗結果：

(1) 穩定性及輸出能量上以 0.7Hz 最佳。

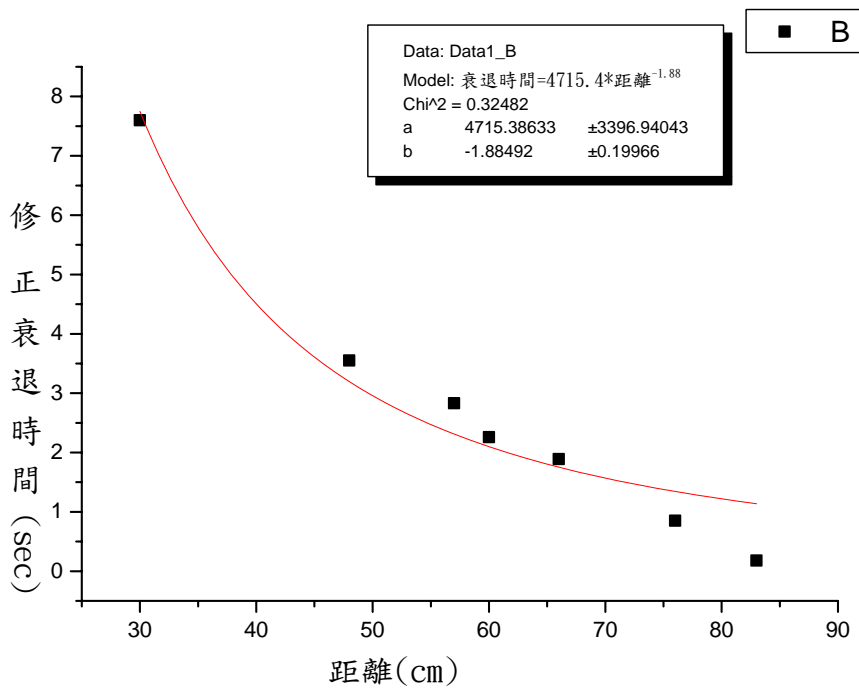


(2) 發現越接近製波器的點 (X 座標越大) 衰退的時間越長且初始振幅越大。隨著 X 座標變小，初始振幅變小且衰退的時間也變小。





圖三



(圖四)

7、討論：

(1) 電極彈性響應穩定性及輸出能量上以 0.7Hz 最佳，符合筆者的實驗需求。

(2) 在模型的港外區所作對照組的結果距離和振幅大致上有以下的關係

$$\text{振幅} = 27.8 \times \text{距離}^{(-1.63346)}$$

(3) 衰退時間 = 223.1 × 波源距離^(-0.956)

(4) 因為波浪傳遞需要時間，若扣除不同距離下的傳遞時間（水深 0.8cm；0.7Hz；波速 28cm/sec），其修正衰退時間 = 4715.4 × 距離^(-1.88)，非常接近二次方的倒數關係，誤差的部分，可能和起波器非完全點波源有關。

【實驗三】港區內之共振現象

1、起波器（喇叭）在模型（X=113，Y=41）處，利用 datastudio 波型產生器，在 4V 下用正弦波，頻率取 0.7Hz。

2、在港口及港區內數點做測量（x 軸與對照組相同），並測出當波源結束造波後，水面恢復平靜的衰退時間，並對照實驗二之數據，及利用傅立葉分析其頻譜判斷其有無共振現象。

3、改變頻率尋找不同頻率下發生共振的位置。

4、結果：

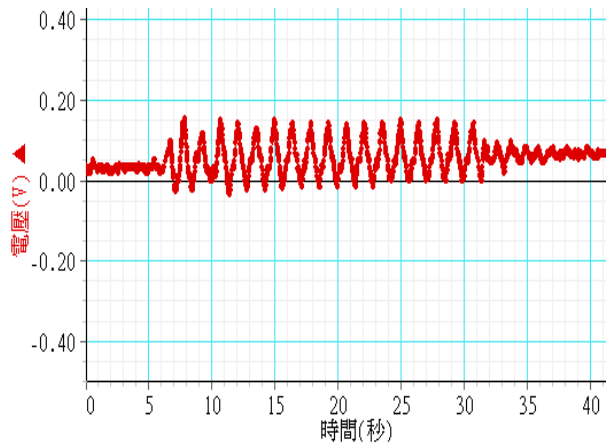
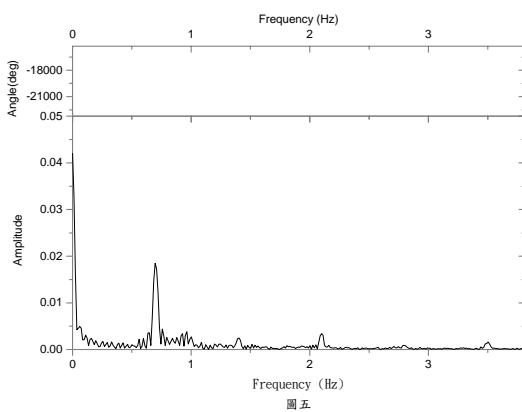
(1) 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，y 座標 43cm 各距離最大衰退時間

表二

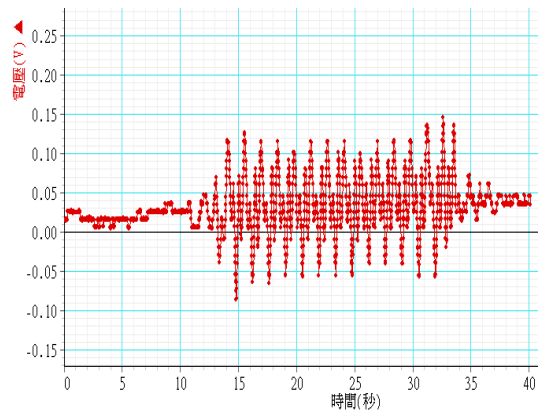
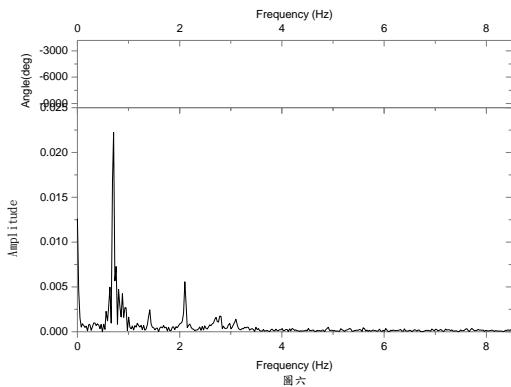
距離 (cm)	最大振幅 (cm)	第一振幅 (cm)	實驗組比第一振幅倍率	最大衰退時間 (sec)	修正衰退時間 (sec)	對照組修正衰退時間 (sec)	實驗組比對照組衰退時間倍率
48	0.054	0.024	2.210	14.820	13.106	3.55	3.692
57	0.018	0.016	1.173	16.015	13.979	2.83	4.940
60	0.013	0.008	1.654	12.885	10.742	2.26	4.753
66	0.016	0.006	2.600	11.250	8.893	1.89	4.705
76	0.029	0.013	2.205	6.060	3.346	0.85	3.936

註：「距離」為測量點與波源之距離。

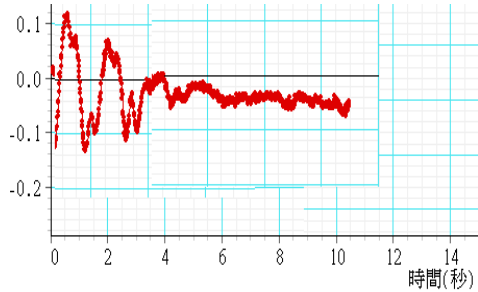
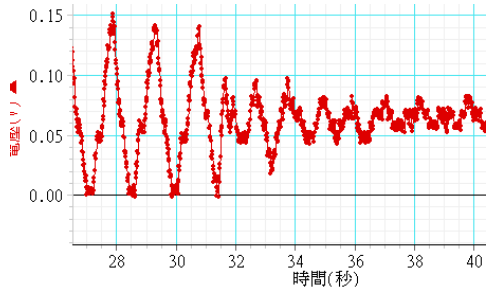
(2) 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，y 座標 43cm，發現港區寬度為波長約一半者時間最長分析其頻譜及波形如下（距離 57cm，寬度 18.5cm）



- (3) 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，y 座標 43cm，時間增加率較小者（距離 76cm，寬度 5.5cm）分析其頻譜及波形如下



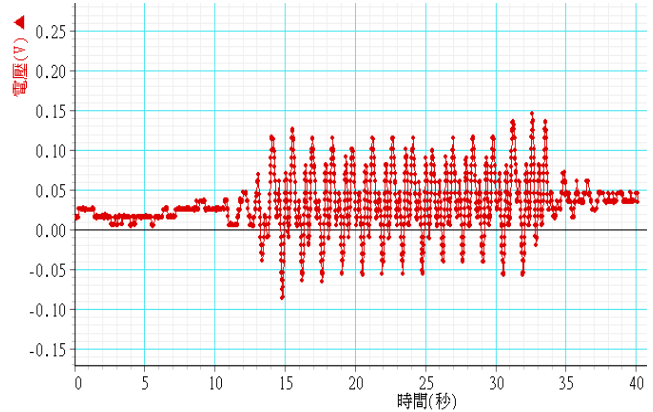
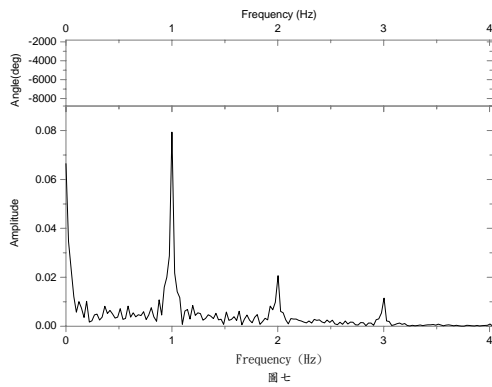
- (4) 港區內和對照組波浪衰退波形



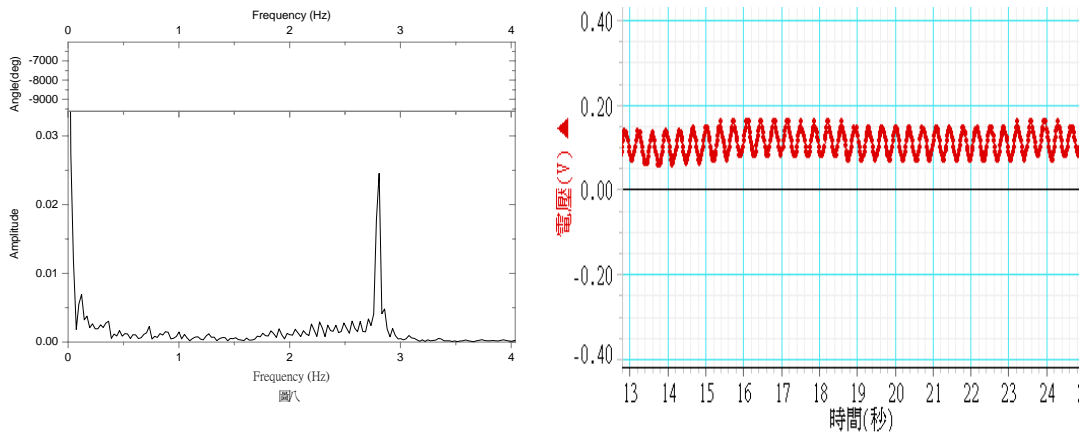
港區內波浪衰退波形

對照組波浪衰退波形

- (5) 5V 正弦波，頻率 1 Hz，波長 28cm，y 座標 43cm，港區寬度為波長一半者時間最長分析其頻譜及波形如下（距離 66cm，寬度 14.7cm）



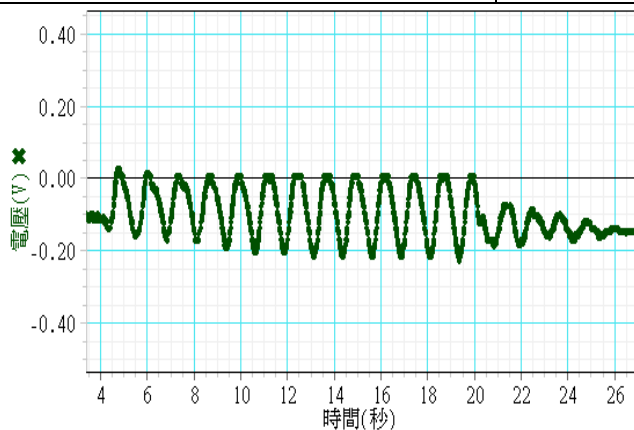
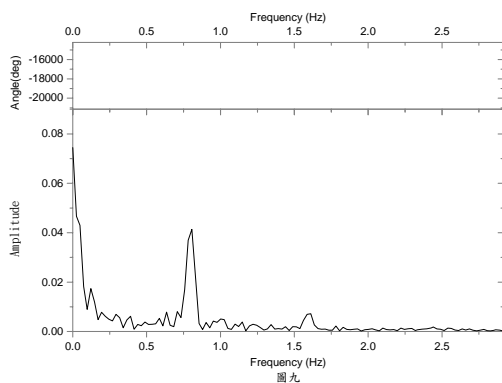
(6) 4V 正弦波，頻率 2.8Hz，波長 10cm，y 座標 43cm，港區寬度為波長一半者時間最長分析其頻譜及波形如下（距離 76cm，寬度 5.5cm）



(7) 4V 正弦波，頻率 0.8 Hz，波長 35cm，距離 58 公分，寬度 17.5 公分，各 y 軸共振結果

表三

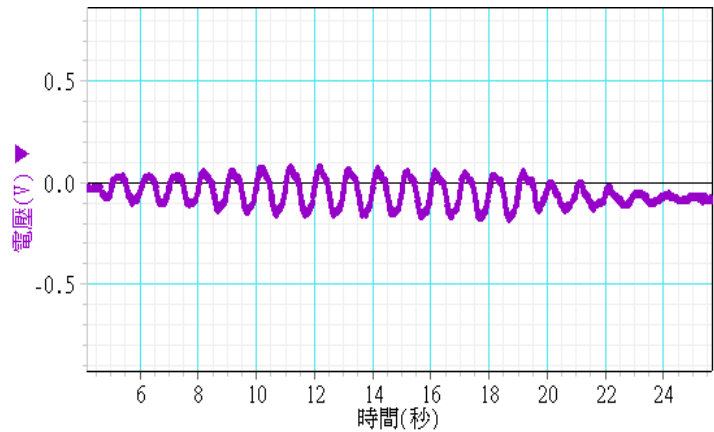
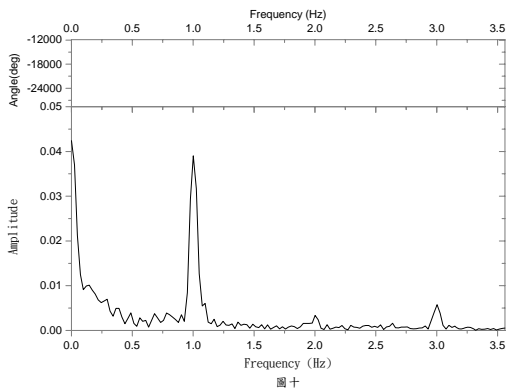
y 座標	最大振幅(cm)	第一振幅(cm)	實驗組比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	對照組修正衰退時間(sec)	實驗組比對照組衰退時間倍率
33.5	0.0554	0.023	2.434	6.940	4.869	2.83	1.720
35.5	0.0575	0.019	3.048	6.330	4.259	2.83	1.505
37.5	0.0554	0.019	2.937	8.140	6.069	2.83	2.144
41.5	0.0350	0.025	1.410	5.900	3.829	2.83	1.353
43.5	0.0218	0.025	0.880	6.300	4.229	2.83	1.494
45.5	0.0126	0.019	0.656	6.860	4.789	2.83	1.692
47.5	0.0117	0.018	0.639	9.600	7.529	2.83	2.660
49.5	0.0204	0.018	1.153	9.520	7.449	2.83	2.632
實驗組比對照組衰退時間平均倍率							1.900



(8) 4V 正弦波，頻率 1.0Hz，波長 28cm，距離 66.7 公分，寬度 14 公分，各 y 軸共振結果

表四

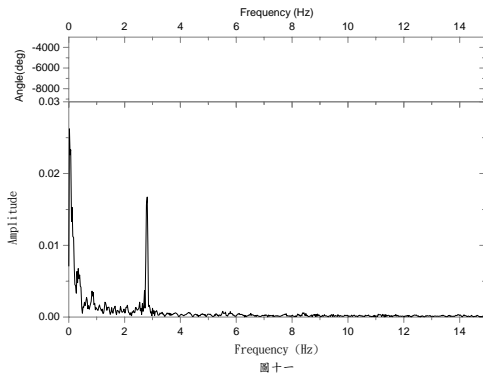
y 座標	最大振幅(cm)	第一振幅(cm)	實驗組比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	對照組修正衰退時間(sec)	實驗組比對照組衰退時間倍率
33.5	0.025	0.015	1.694	4.510	2.128	1.89	2.120
35.5	0.040	0.018	2.164	8.620	6.238	1.89	1.382
37.5	0.018	0.018	1.034	7.570	5.188	1.89	1.459
41.5	0.034	0.018	1.949	6.170	3.788	1.89	1.629
43.5	0.041	0.016	2.537	7.240	4.858	1.89	1.490
45.5	0.048	0.016	2.944	6.880	4.498	1.89	1.530
47.5	0.063	0.016	3.889	6.450	4.068	1.89	1.586
實驗組比對照組衰退時間平均倍率							1.599



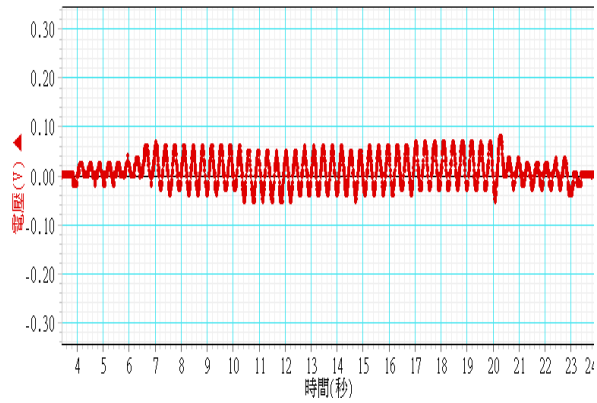
(9) 4V 正弦波，頻率 2.8 Hz，波長 10cm，距離 79 公分，寬度 5 公分，各 y 軸共振結果

表五

y 座標	最大振幅(cm)	第一振幅(cm)	實驗組比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	對照組修正衰退時間(sec)	實驗組比對照組衰退時間倍率
41.5	0.014	0.007	2.136	4.820	1.999	0.85	2.412
42.5	0.015	0.007	2.227	3.520	0.699	0.85	5.039
43.5	0.018	0.006	3.050	5.000	2.179	0.85	2.295
實驗組比對照組衰退時間平均倍率							3.249



圖十一



5、討論：

- (1) 本實驗選用頻率為 0.7Hz 的原因有以下三點，一為由林鼎傑之報告得知：共振機制與港池寬度無關，因此選用頻率 0.7Hz、波長為 40cm 作為實驗用頻率（本花蓮港模型最大寬度只達 18.5cm，不及 0.7Hz 半波長）；二為由以上實驗得知頻率越大消退時間越短，因此採用 0.7Hz 的波較容易看出消退時間的改變；三為其波形較單一，沒有其他雜波的干擾，可使實驗進行較順利。
- (2) 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，各距離最大衰退時間都比對照組增加 3.7—5 倍，顯示入射波受到港池反射波影響甚巨，並且有駐波型態的波動，其振幅未必最高，但震盪最久，由傅立葉分析其頻率也顯示只有單一頻率，應有共振現象。改採其他波長如 28cm，其最大衰退時間皆較小。由共振理論知，若港池長度為入射波長一半之整數倍，此波會在港內發生共振現象。可見花蓮港模型水域長度約為 20cm 的整數倍。
- (3) 因為花蓮港呈喇叭狀，越往喇叭裡能量越集中振幅越大，是可以預期的，但寬度×振幅倍率平方在同一振源下應為固定值（能量守恒），但從表六發現，有高低起伏，再由傅立葉分析（圖五），發現單一頻率震動，確定港池長度會影響生成共振，此點和高階 Boussinesq 模式於港池震盪之數值模擬—林鼎傑一文所得結果一致。

表六

x 座標(cm)	寬度(cm)	實驗組比第一振幅倍率	寬度×振幅倍率平方
65	7.4	2.210	36.1
56	18.5	1.173	25.5
53	17.1	1.654	46.8
47	14.7	2.600	99.4
37	5.5	2.205	26.7

- (4) 從 x 座標 56（距波源 57cm，港寬 18.5cm）發現其衰退時間較長，並且傅立葉分析其頻率（見圖五）也顯示只有單一頻率；比較 x 座標 37（距波源 66cm，港寬 14.7cm），其波形較複雜，傅立葉分析其頻率（見圖六）也顯示較多倍頻出現。由前一結果發現其港寬為 18.5cm，接近波的半波長（20cm）。研判港池寬度應對共振有所影響。所以我們改變頻率（波長），並在港寬是半波長處做測量。

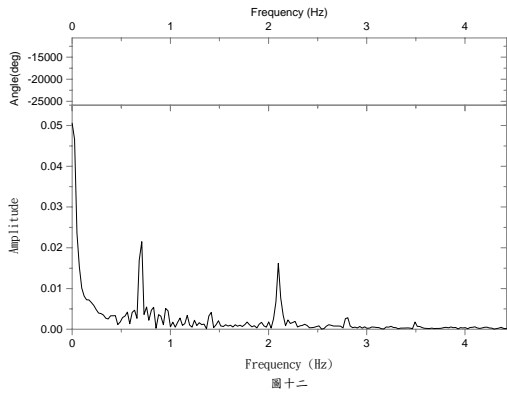
- (5) 進一步探討寬度為波長恰一半之處的震動情形（4V 正弦波，頻率 0.8 Hz，距離 58cm，波長 35cm；4V 正弦波，頻率 1 Hz，波長 28cm，距離 66.7cm，寬度 14cm；4V 正弦波，頻率 2.8Hz，波長 10cm，距離 79cm，寬度 5.0cm），結果如表三至五，顯示有非常大的影響，此點和一般模擬研究的結果有明顯不符。但這結果，應證波浪進入港區有明顯繞射波從東南往西北方向進行，故花蓮港共振模式應和長寬皆有關係。
- (6) 由於發生駐波的位置，恰好都為該頻率水波的波長的一半，可見入射波波長與港池寬度及長度比例為線性震盪首要機制，顯示入射波受到港池反射波影響甚巨，為線性震盪的一個關鍵所在。
- (7) 港區內振幅增加 0.6—3.9 倍，顯示有些地點盪漾較嚴重，有些可能破壞性干涉而振幅較小。
- (8) 寬度在非半波長整數倍者，由傅利葉轉換其頻譜，發現基頻及倍頻的強度都很強，沒有共振的現象；波形也顯示有入射波及反射波疊加的情形。所以振幅可能因建設性干涉而生成更大的駐波。可由圖六（港寬 5.5cm，4V 正弦波，0.7 Hz）的頻譜及波形得到證明。

【實驗四】為了阻擋反射波，筆者進行了以下的實驗：各種材質消波線的效果

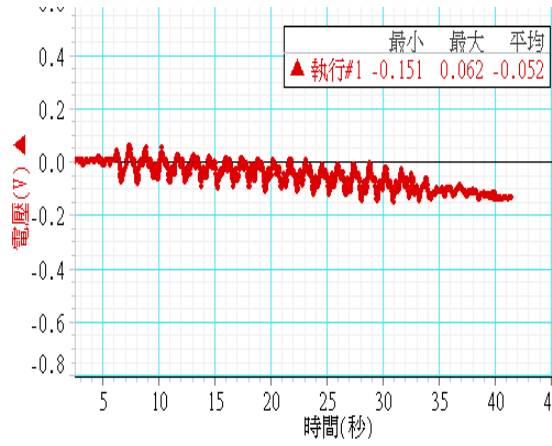
- 1、 在先前的實驗中，發現在港內 x 軸 56 處（距離 57cm）之共振最為明顯，而此實驗為測量各種材質消波線的效果，因此只在此處取數點作實驗。
- 2、 此實驗使用三種密度、蓬鬆程度不同的線。分別為棉線、毛線、人工合成纖維的尼龍線（1—2mm）。
- 3、 利用此三種細線，在外港港壁處牽起一條線，再用縫衣針穿過細線作固定。
- 4、 重複上述實驗。
- 5、 為了證實其他位置及頻率也同樣受到影響，在 5V 正弦波，頻率 1 Hz，波長 28cm，距離 60cm，寬度 14.5cm 及 4V 正弦波，頻率 2.8Hz，波長 10cm，距離 76cm，寬度 5.2cm，也進行相同測試。
- 6、 結果：
 - (1) 人工合成纖維的尼龍線

表七：4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，x 座標 56cm；距離 57cm，寬度 20cm（x 座標以北方為 0；y 座標東方為 0）

y 座標	最大振幅 (cm)	實驗組最大振幅 (cm)	尼龍線比實驗組振幅倍率	最大衰退時間 (sec)	修正衰退時間 (sec)	實驗組修正衰退時間 (sec)	尼龍線比實驗組衰退時間倍率
38	0.012	0.0200	0.584	8.490	6.454	13.979	0.462
42	0.011	0.0130	0.875	6.050	4.014	11.709	0.343
43	0.011	0.0130	0.852	6.130	4.094	10.519	0.389
44	0.010	0.0130	0.783	6.660	4.624	11.020	0.420
45	0.006	0.0100	0.628	6.950	4.914	8.074	0.609



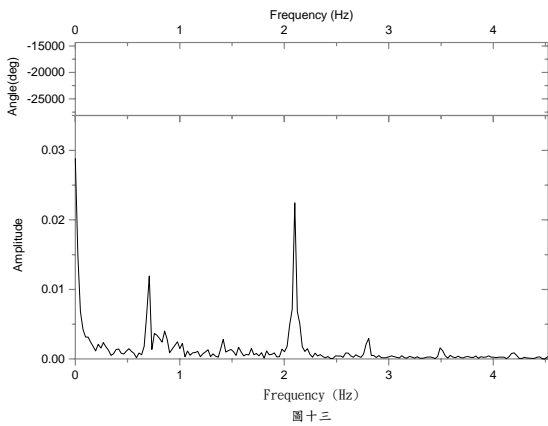
圖十二



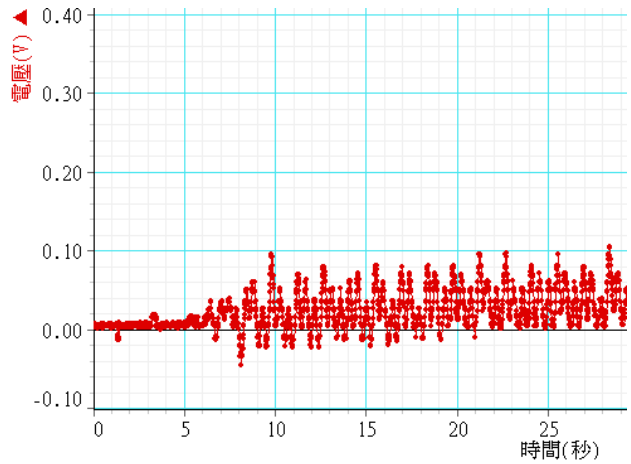
(2) 棉線

表八：4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，x 座標 56cm；距離 57cm，寬度 20cm (x 座標以北方為 0；y 座標東方為 0)

y 座標	最大振幅 (cm)	實驗組最大振幅(cm)	棉線比實驗組振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	實驗組修正衰退時間(sec)	棉線比實驗組衰退時間倍率
38	0.0096	0.0200	0.479	7.310	5.274	13.979	0.377
42	0.0045	0.0130	0.345	6.050	4.014	11.709	0.343
43	0.0051	0.0130	0.391	7.010	4.974	10.519	0.473
44	0.0039	0.0130	0.299	6.660	4.624	11.020	0.420
45	0.0003	0.0100	0.030	6.950	4.914	8.074	0.609



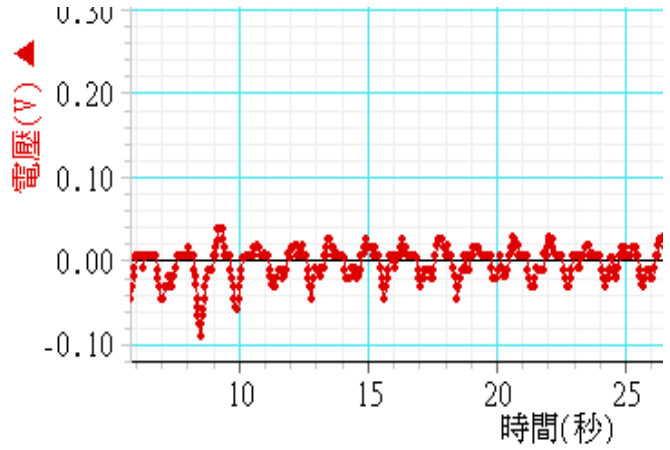
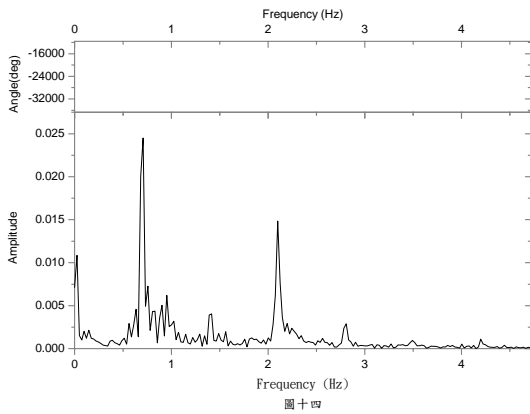
圖十三



(3) 毛線

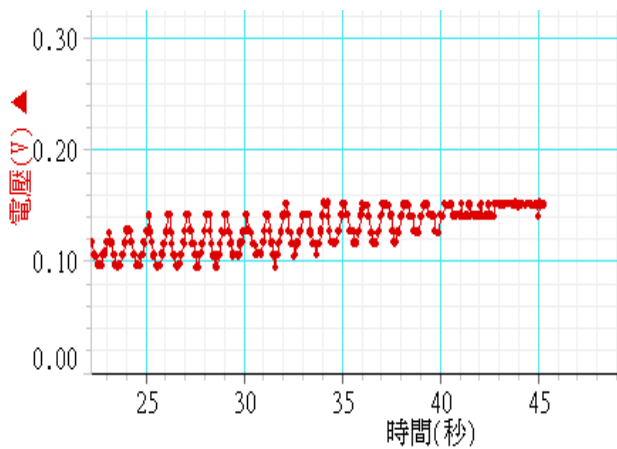
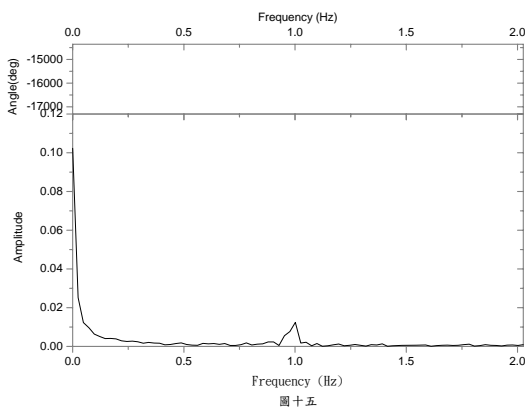
表九：4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，x 座標 56cm；距離 57cm，寬度 20cm (x 座標以北方為 0；y 座標東方為 0)

y 座標	最大振幅 (cm)	實驗組最大振幅 (cm)	毛線比實驗組振幅倍率	最大衰退時間 (sec)	修正衰退時間 (sec)	實驗組修正衰退時間 (sec)	毛線比實驗組衰退時間倍率
38	0.0122	0.0200	0.609	5.660	3.624	13.979	0.259
42	0.0105	0.0130	0.808	6.800	4.764	11.709	0.407
43	0.0084	0.0130	0.645	6.130	4.094	10.519	0.389
44	0.0088	0.0130	0.675	5.580	3.544	11.020	0.322
45	0.0056	0.0100	0.563	6.950	4.914	8.074	0.609



(4) 表六：毛線，5V 正弦波，頻率 1 Hz，波長 28cm，距離 60cm，寬度 14.5cm：

y 座標	最大振幅 (cm)	實驗組最大振幅 (cm)	毛線比實驗組振幅倍率	最大衰退時間 (sec)	修正衰退時間 (sec)	實驗組修正衰退時間 (sec)	毛線比實驗組衰退時間倍率
44	0.0059	0.0130	0.451	6.430	4.287	11.020	0.389



6、討論

- (1) 比較圖五、圖七、圖八（有生駐波者）及圖十二、圖十三、圖十四（牽線消波者）發現前者基頻振幅遠遠超越倍頻振幅，甚至只有基頻振幅，顯示有明顯共振，後者卻有較多其他倍頻後雜亂頻率震動，且倍頻振幅甚至大於基頻振幅，如圖十二；且波形震動圖也顯示牽線消波者波形複雜。
- (2) 就衰退時間看，牽線消波者比實驗組介於 0.2—0.6 之間，其中毛線達 0.259，比港外對照組的 0.271 還小，可見已完全消除共振現象。
- (3) 從振幅來看，牽線消波者比實驗組介於 0.03—0.89 之間，比港外對照組比實驗組的 0.46—1.00 還小，證明可確實減少振幅。
- (4) 比較圖十二、圖十三、圖十四（牽線消波者）發現蓬鬆度愈高，且有細纖維分枝者，消除共振現象的能力越好，尤其顯示在衰退時間上更為明顯，在振幅最大的東防波堤航道中間（y 座標=38）各為尼龍線 0.462、棉線 0.377、毛線 0.259，以毛線減少最多；從振幅減少來看，棉線最好，但波形圖看出毛線最凌亂，可見毛線消波最好。
- (5) 比較圖十三、圖十四、圖十五發現無論任何頻率(0.7、1.0、2.8Hz)毛線皆能有效消波。
- (6) 從質量看三種消波線，分別為每 30cm 尼龍線 0.48 克、棉線 0.13 克、毛線 0.11 克，可見消波並沒有和質量有正相關。

(六)、實驗討論：

- 1、本實驗採用 0.7、0.8、1.0、2.8Hz 來研究，若以放大 5410 來看是相當低的頻率，因為從參考資料中發現，在某些較長週期波條件的長浪($kl < 1.0$)下，岸壁消能效果有明顯被高估的現象，即低估了港池的波高放大率（本實驗在長度為波長整數倍及頻率較低的實驗中都得到較長的消退時間）；筆者希望不透過理論計算，直接由系統模型來探討，發現波高增加二倍左右，且共振時間拉長約 5 倍，若以花東地區年平均浪高 1.76 公尺，則放大至約 3—4 公尺，則港區反倒是對船不安全的地方，難怪大浪來襲，花蓮港船隻需出港避難，也證實資料中的看法。
- 2、筆者所用的波源位於港區開口的東南方（座標 $x=113, y=41$ ）本來預估若波浪進入港區時港區的長度會決定震盪的發生，而寬度應該沒有影響（參考“高階 Boussinesq 模式於港池震盪之研究”），但結果發現在座標 $y=38-44$ 位於東航道中央，在航道尚未彎進內港，總長度 40 公分，為半波長的整數倍，此處共振異常明顯。經由後來的實驗發現，共振時間和港池寬度非常有關（參考圖五—圖十一）。可見花蓮海岸繞射波進入港內，使波浪方向改變不容忽視。
- 3、從實驗四發現，消波繩的質量不是消波性能的決定性因素，而和消波繩的表面組態有關。毛線的表面有非常多的細分支線，吸水膨脹後更是明顯，應是其具有最佳消波能力的主因。現今有些港區配置浮筒消波，但若表面未加以處理，而只是光滑的硬質表面，就如實驗四中的塑膠線，消波效果就會較差。

- 4、本實驗是以波長較長，振幅較大的波為主，如由東北季風吹來的長浪。利用起波器以 4V 造波，在入港處測量第一個振幅（絕對沒有共振）大小，其結果在依實際比例放大後如下表，放大後的振幅在 1.17–1.58 (m)，平均 1.38 (m)。從參考資料中發現，由港灣技術中心統計之花蓮港附近的波浪平均波高為 1.76 (m)，也就是振幅 0.88 (m)。顯示本實驗所使用的波在放大後極具參考價值。

X 座標(cm)	y 座標(cm)	第一振幅(v)	第一振幅(cm)	放大後振幅(m)
65	33	0.0975	0.0292	1.5786
65	34	0.0725	0.0217	1.1738
65	35	0.0810	0.0242	1.3114
65	37	0.0910	0.0272	1.4733
平均振幅(m)				1.3843

- 5、本實驗所用的石英沙粒徑在 0.2mm 左右，與花東地區海岸礫石灘粒徑 4mm 約差二十倍，即體積相差 8000 倍。因為花東地區年平均浪高 1.76 公尺，我們使用振幅 0.01–0.04cm 也約差 4500–18000 倍，故本實驗在模型的尺度上與該區吻合。
- 6、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。

- 7、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。
- 8、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。
- 9、此實驗之精密度、靈敏度皆極高，因此小誤差必須儘量屏除。鍍鉑黑電極之浸水深度更是必須每次皆相同。本實驗以 y 軸橋為基準，將電極置於橋上，從橋上緣測量其與水面之間的高度，以 2.1cm 為準。每次實驗前皆測量，確保每次電極浸水深度皆相同，並由電導值加以確認。
- 10、本實驗進行時，礙於本來存在環境中之低頻波，使得未造波前，電壓輸出受其影響而不穩定，進而造成認定衰退時間之「結束點」並不嚴謹。因此，我們在造波前，先由電壓輸出圖中，測出其背景的「基本振幅」。認定結束點時，以「第一個」小於或等於基本振幅的波為結束點。另在 excel 做折線圖，縱軸為波峰及波谷之電壓，橫軸為時間，取波峰連線及波谷連線此兩現逼近之點為結束點。令其誤差降至最低。
- 11、根據成功大學研究試驗報告—海灘侵蝕防治新科技研發(4/4)第 2-94 頁，表 2-4-7，

花蓮港附近在七十九年一月至八十六年六月測得之季風入射波浪，夏季平均波高為 1.79 (m)，平均週期為 7.4 (sec)，入射波向為東、東南。冬季平均波高為 1.73 (m)，平均週期為 7.3 (sec)，入射波向為東北。

(七)、 結論：

本實驗顯示對於低頻的長浪而言，其港壁對反射波之消減程度有限，無法有效防止港內之共振現象。資料顯示消波塊在實際情況上並不實用，因其會被風浪侵蝕底部砂質基盤，進而造成消波塊崩毀。根據本實驗的結果，消波繩是很好的選擇。消波繩繫置於水面，不會有基部被掏空的風險，維修上也較為方便。本實驗綜合以上結果，建議除了以突堤、潛礁區、拓寬內航道來解決問題外，並加上消波繩。

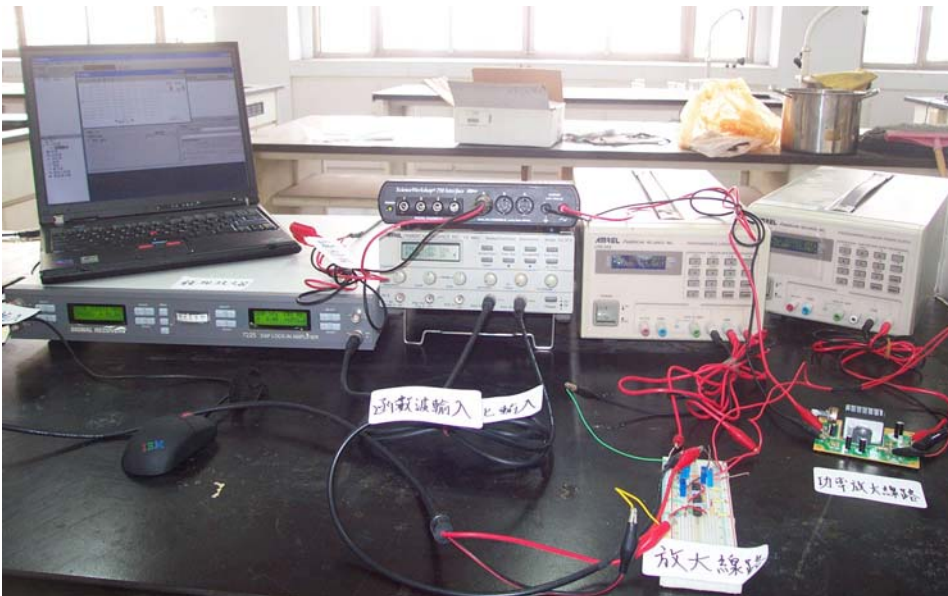
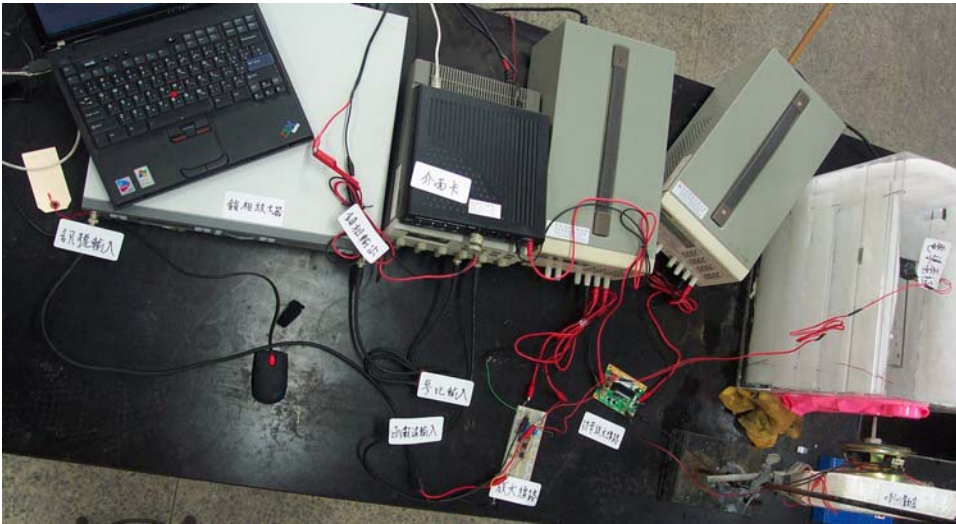
筆者希望本實驗的系統能提供水工模型試驗進行規則波及不規則波在各種港池之研究，並提供各種數值分析。本實驗的系統也可對各種消波設施作模型試驗。本實驗系統輕巧，在建置上遠比實際水工模型方便。本實驗的精密度極高，就算放大五千倍後誤差也極小，證明本系統在做水工試驗時可優先考量，避免大型工程的資源耗費。

未來希望可以再對花蓮港作更深入的研究，改變波源的位置，模擬不同季節不同方向的入射波，找出不同繞射波入港所造成的共振影響。利用本系統建置簡便的優勢，可迅速找出特定形狀的突堤，配合消波線一舉解決各季節港池共振的問題。

(八)、 參考資料：

- 1、 海洋台灣雙月刊 第十一期 台十一線踏察報告 方雅芬 施心翊
網址：<http://www.ocean.org.tw/mag/011/index.htm>
- 2、 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
- 3、 蘇澳、花蓮港區水理特性及環境容量研究(一) 黃煌輝 溫清光 陳怡發 傅新義 潘春花 謝秀青 國立成功大學台南水工試驗所 1991.6
- 4、 高階 Boussinesq 模式於港池振盪之數值模擬 林鼎傑 國立成功大學碩士論文 2005.5
- 5、 海灘侵蝕防治新科技研發(4/4) 國立成功大學水工試驗所 經濟部水利署 2005.5

(九)、附錄



評語

本作品以模擬實驗設法以纜繩來減少花蓮港之港池共振效應，但模擬結果是否可以應用到實際之現場，仍有探討之餘地。