

# 第六屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA6-006

作品名稱：天羅地網—花蓮港港池共振

姓名：吳宗祐

關鍵字：相對水深、鎖相放大器、駐波

## 摘要

花蓮港於 1991 年完成了第四期擴建，改善了以往的越波情況，其港池形狀在東防波堤完工後更趨於狹長之喇叭狀，使得花蓮港港池共振更為嚴重。筆者因此設計了本實驗，希望能夠從模型中尋求簡單又實際的方法來探討及避免港池內的共振現象。

本實驗的感測系統將電腦、喇叭(起波器)、鍍鉑黑電極、波型產生器、鎖相放大器、惠斯登電橋及 sciworkshope750 介面卡組合成一套系統。此系統大幅提升實驗偵測精密度，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。(精密度達  $3.0 \times 10^{-4} \text{cm/mV}$ ) 筆者希望藉由模型的建立，感測系統的整合，以及傅立葉分析，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。本實驗雖為縮小模型，但由於系統的精密，測出的共振頻率、衰退時間及振幅皆非常明顯。

鑒於花蓮港喇叭狀港池經實驗後證明容易造成港內共振，且不同頻率的入射波所造成的共振現象以及共振位置相當複雜，首要課題是要在港內設置適宜之消波裝置，以減緩共振現象。本實驗由降低水面震盪時間及消弱震盪幅度兩方面著手，分別於港壁設置消波線、於港底設置消波網格。筆者使用三種不同材質之消波線，分別為毛線、棉線、尼龍繩，及三種不同孔徑大小之網格，分別為鐵網(0.45cm\*0.45cm)、塑膠網(0.2cm\*0.2cm)、紗布(0.05cm\*0.05cm)。

實驗結果發現，消波線以最鬆散、分支最多且孔隙最大之毛線效果最佳，棉線次之而尼龍繩最差。消波網格則以孔徑最大的鐵網消弱振幅能力最為佳，塑膠網次之而孔徑最小的紗布最差。消波塊在實際情況上並不實用，因為消波塊會被風浪侵蝕其底部砂質基盤，進而造成崩毀，而本實驗亦模擬消波塊，證實其消波能力的確有限。因此，消波繩與消波網格是很好的選擇。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；消波網格設置較方便也較經濟實惠。

筆者亦希望本實驗的感測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。本系統可對各種消波設施作模型試驗。基於本實驗系統之輕巧，在建置上遠比實際水工模型方便，且在一般實驗室就可進行，另外，本系統克服一般縮小模型的弱點，擁有精密度極高的優點，就算放大五千倍後誤差也極小，以上幾點皆證明本系統在做水工試驗時可做為優先考量，避免大型工程的資源耗費。

未來筆者希望可以再對花蓮港作更深入的研究，如改變波源的位置，以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，配合消波線及港底網格一舉解決各季節港池共振的問題。另外，筆者希望能將消波繩、消波網格推廣，不只是港內的共振消除，如當今迫切之養灘，皆可應用。

## 壹、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，整個港區更趨近於外寬內窄的喇叭狀。臺灣夏秋時，颱風經常由東部直撲而來，正面衝擊位於東岸的花蓮港，伴隨而來的大風大浪，在花蓮港共振效應之下，造成港內水面不平穩，甚至劇烈蕩漾，進而造成船隻斷纜，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。所以我們希望能夠從模型中尋求簡單又實際的方法來探討及避免港池內的共振現象。

## 貳、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

## 參、研究原理

- 1、當水波經過鉑電極時，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。並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  $\lambda$ ；重力加速度  $g$

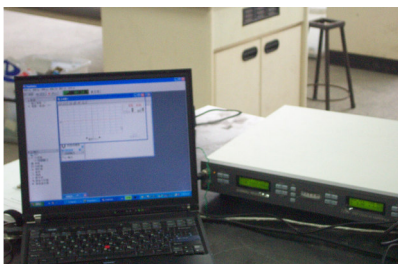
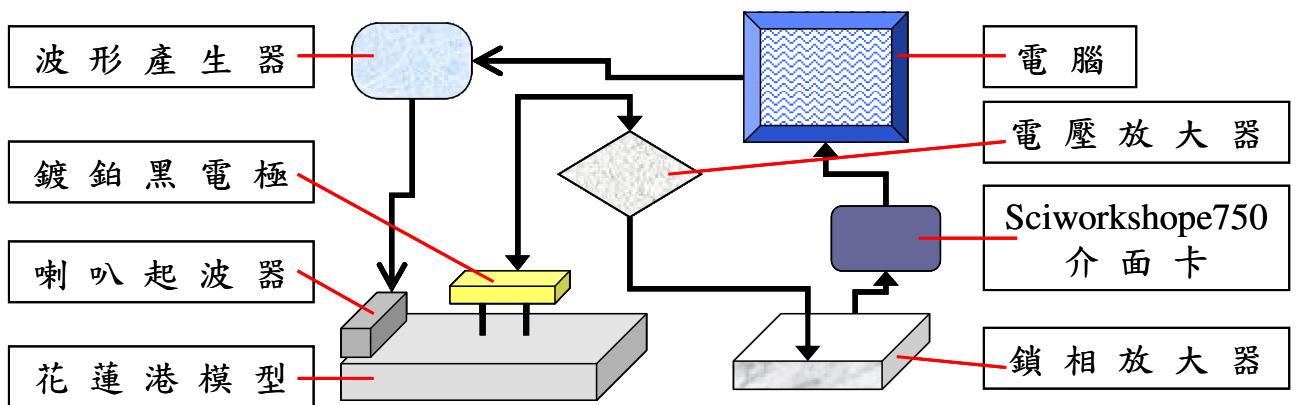
- 4、在同一介質中，若有兩相同波長之波，相向而行，其相位差為  $1/2$  時，則可互相干涉形成駐波 (standing wave)。
- 5、駐波 (Standing wave)：外觀波形並無明顯之移動趨勢，各點僅有水面上下起伏者稱之。(參考附錄 1)
- 6、盪漾 (Seiches)：或稱港池盪漾，在邊界受限制的水體 (如港灣) 內，波浪進入後會

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。

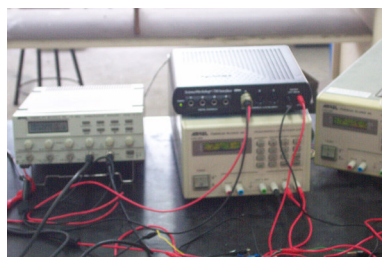
## 肆、研究設備及器材

- 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

註：參考附錄 2、3、4



左圖為鎖相放大器及電腦；



右圖為波形產生器及 sciworkshope750 介面卡

## 伍、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 52.63 (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 52.63，。由圖 (1-1) 可知其水位對輸出電位之公式為 輸出電壓 = 3.3415 × 水位變化。

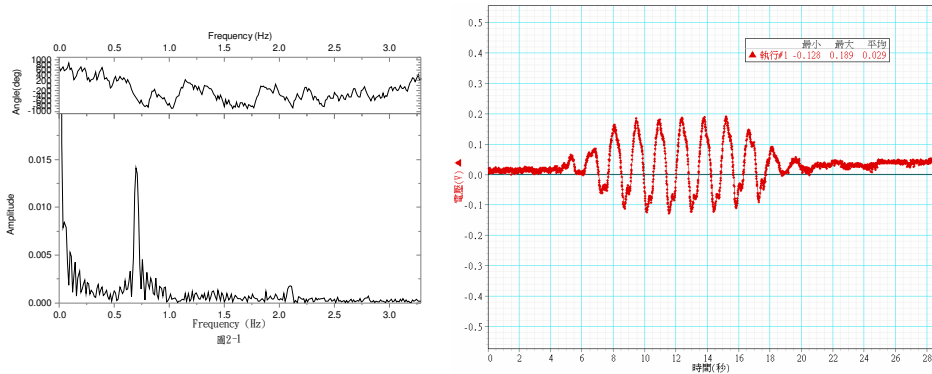
表 1-1 輸出電壓及水位變化表

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（南北向，北方為 0cm），在電阻橋上貼布尺做為 y 軸（東西向，東方為 0 cm）。
- 3、起波器（喇叭）在模型座標（113，41），利用 datastudio 波型產生器，在 4V 下用正弦波，頻率取 0.7 Hz。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，以及振幅與波源遠近之關係，因此 y 軸皆取 15.5cm（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 0.7 Hz 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。

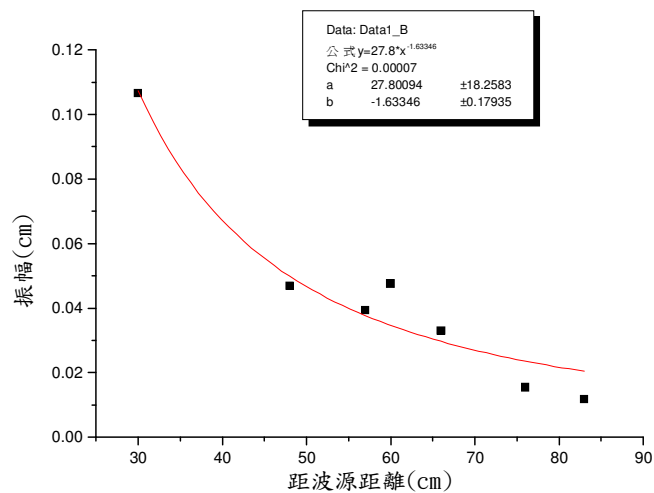
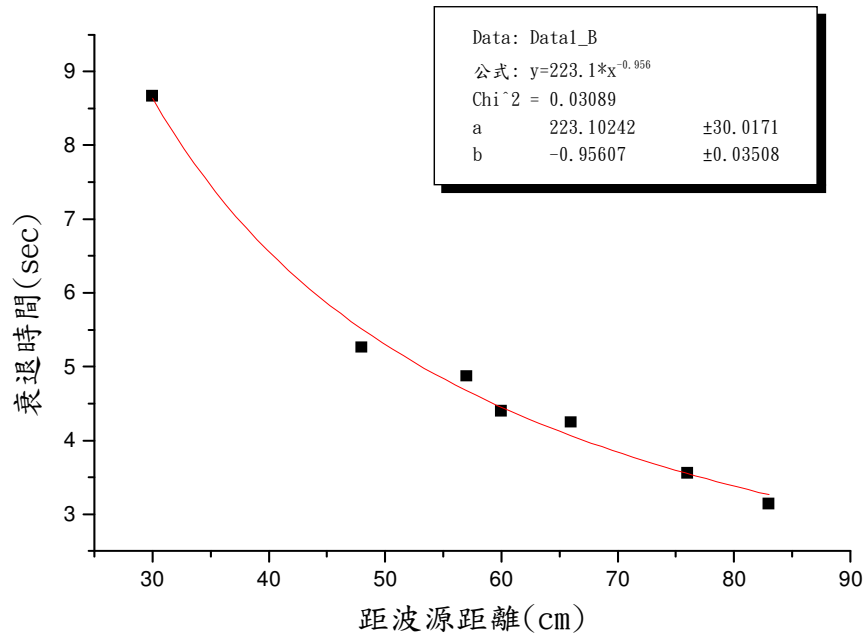
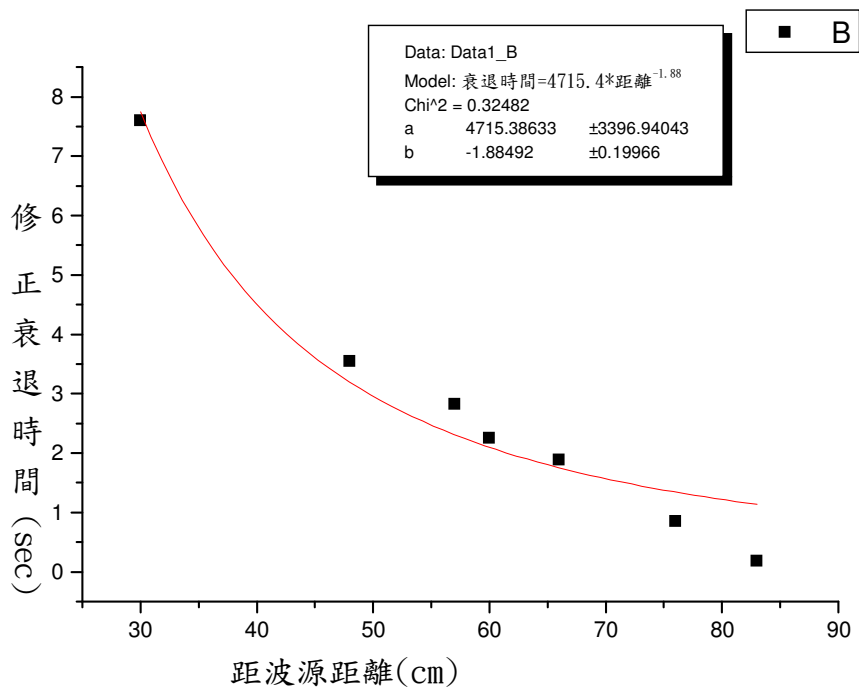


圖2-2



圖(2-3)



圖(2-4)

7、討論：

- (1) 電極彈性響應穩定性及輸出能量上以 0.7 Hz 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 =  $223.1 \times \text{波源距離}^{(-0.956)}$
- (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 =  $4715.4 \times \text{距離}^{(-1.88)}$ ，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。
- (5) 此實驗之結果及方程式可作為下列各實驗之對照組。

【實驗三】港區內之共振現象

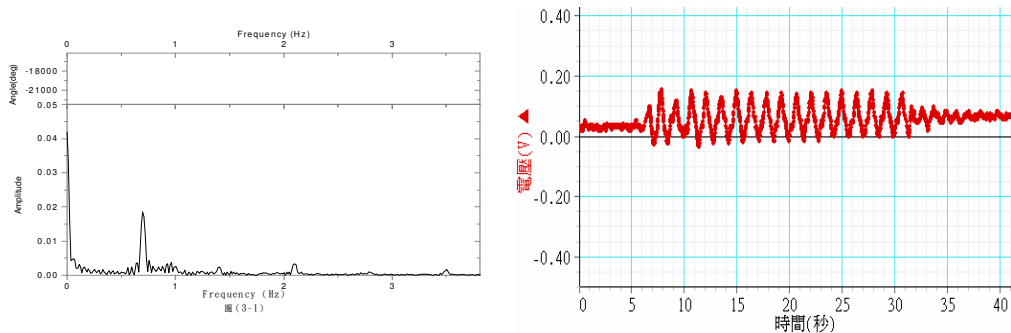
- 1、起波器（喇叭）在模型（X=113，Y=41）處，利用 datastudio 波型產生器，在 4V 下用正弦波，頻率取 0.7 Hz。
- 2、在港口及港區內數點做測量（x 軸與對照組相同），並測出當波源結束造波後，水面恢復平靜的衰退時間，並對照實驗二之數據，及利用傅立葉分析其頻譜判斷其有無共振現象。
- 3、改變頻率尋找不同頻率下發生共振的位置。
- 4、結果：
  - (1) 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，y 座標 43cm 各距離最大衰退時間

表 3-1

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	0.030	1.823	13.260	11.546	3.55	3.252
57	0.016	0.010	1.600	11.91	9.874	2.83	3.489
60	0.013	0.008	1.580	11.09	8.947	2.26	3.959
66	0.016	0.009	1.793	6.170	3.813	1.89	2.017
76	0.023	0.017	1.385	6.060	3.346	0.85	3.936

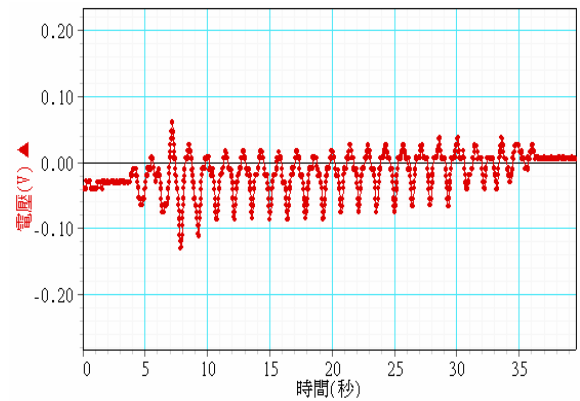
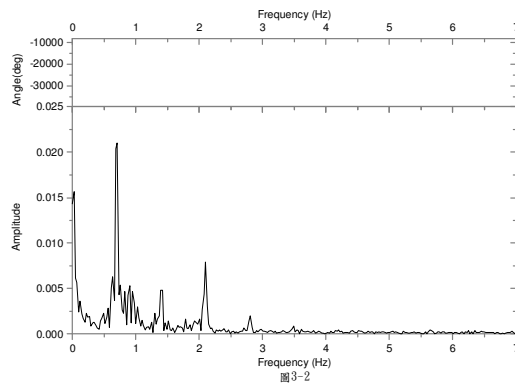
註：「距離」為測量點與波源之距離。

- (2) 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，y 座標 43cm，時間增加率較長者（距離 57cm）分析其頻譜及波形如下

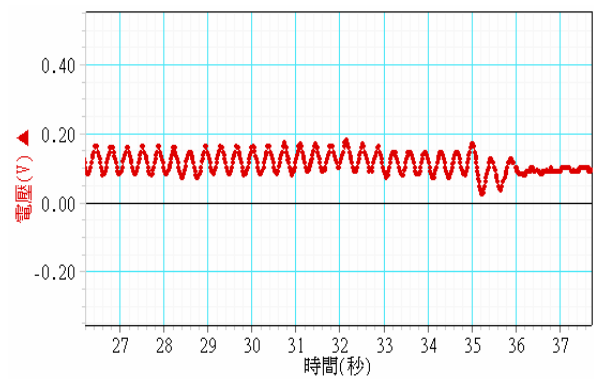
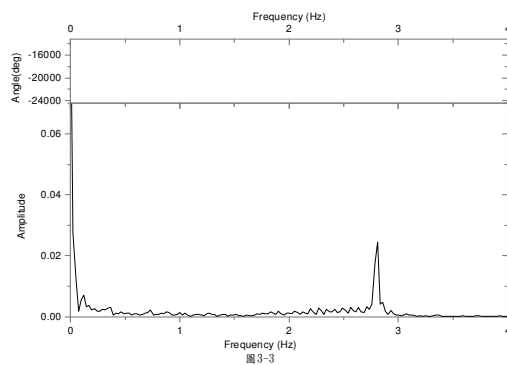




(3) 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，時間增加率較小者（距離 66cm）分析其頻譜及波形如下



(4) 4V 正弦波，頻率 2.8 Hz，波長 10cm，y 座標 41cm（距離 76cm）分析其頻譜及波形如下



(5) 港區內和對照組波浪衰退波形比較

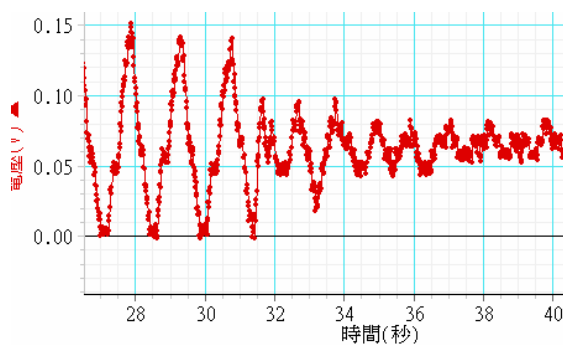


圖 (3-4) 港區內波浪衰退波形

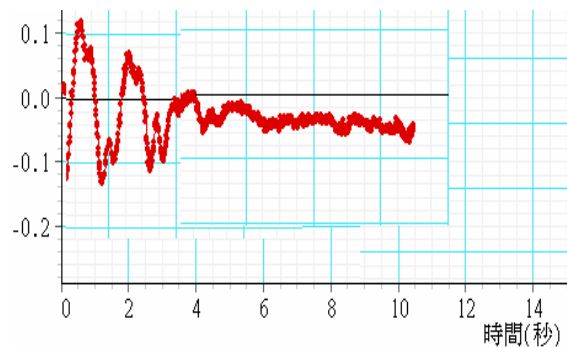


圖 (3-5) 對照組波浪衰退波形

## 5、討論：

- (1) 本實驗選用頻率為 0.7 Hz 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（本花蓮港模型港寬最大寬度只達 18.5cm，不及 0.7Hz 半波長）；二為經由幾次試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 2—4 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。震盪最久的位置其振幅未必最高，但由傅立葉分析其頻率顯示只有單一頻率，應有共振現象。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）。從表 3-2 發現，寬度×振幅倍率平方有高低起伏，並非定值，顯示其振幅越大並非完只是單純的能量集中所導致；再由傅立葉分析（圖六），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 3-2

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	1.823	24.6
56	18.5	1.600	47.4
53	17.1	1.580	42.7
47	14.7	1.793	47.3
37	5.5	1.385	10.6

- (4) 筆者另取 4V 正弦波，頻率 2.8 Hz，波長 10cm，y 座標 41cm（距離 76cm），發現經過傅立葉分析其頻譜後，只有單一頻率且非常明顯，即確實有共振現象，且其共振機制及發生位置受入射波頻率影響甚劇。

### 【實驗四】各種材質消波線的效果

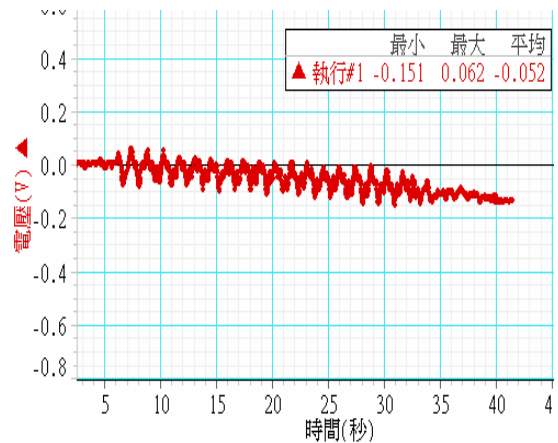
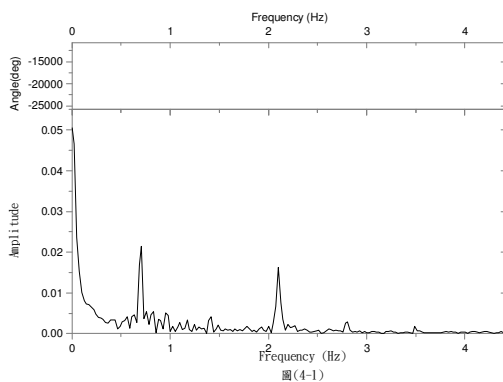
- 1、為了阻擋反射波，筆者進行了以下的實驗。
- 2、在先前的實驗中，發現在港內 x 軸 56 處（距離 57cm）之共振最為明顯，而此實驗為測量各種材質消波的效果，因此只在此處取數點作實驗。
- 3、此實驗分別使用三種密度、蓬鬆程度不同的線。分別為棉線、毛線、人工合成纖維的尼龍線（1—2mm）。
- 4、利用此三種細線，在外港港壁處牽起一條線，再用縫衣針穿過細線作固定。
- 5、重複上述實驗。
- 6、結果：

(1) 人工合成纖維的尼龍線

表 4-1 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，距離 57cm，寬度 20cm

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)	尼龍線比實驗組衰退時間倍率
38	0.012	0.0260	0.449	8.490	6.454	15.984	0.404
42	0.011	0.0160	0.711	6.050	4.014	14.454	0.278
43	0.011	0.0160	0.692	6.130	4.094	9.874	0.415
44	0.010	0.0150	0.678	6.660	4.624	9.844	0.470
45	0.006	0.0180	0.349	6.950	4.914	8.484	0.579

其傅立葉分析圖及波形圖如下

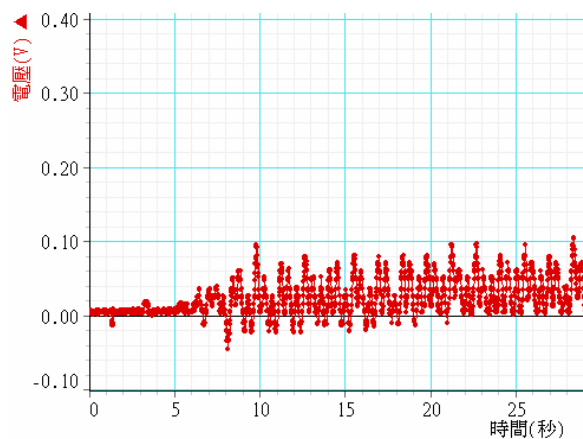
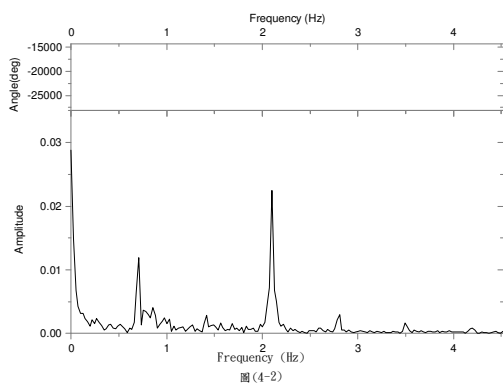


(2) 棉線

表 4-2 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，距離 57cm，寬度 20cm

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	0.0260	0.368	7.310	5.274	15.984	0.330
42	0.0045	0.0160	0.281	6.050	4.014	14.454	0.278
43	0.0051	0.0160	0.318	7.010	4.974	9.874	0.504
44	0.0039	0.0150	0.259	6.660	4.624	9.844	0.470
45	0.0003	0.0180	0.017	6.950	4.914	8.484	0.579

其傅立葉分析圖及波形圖如下

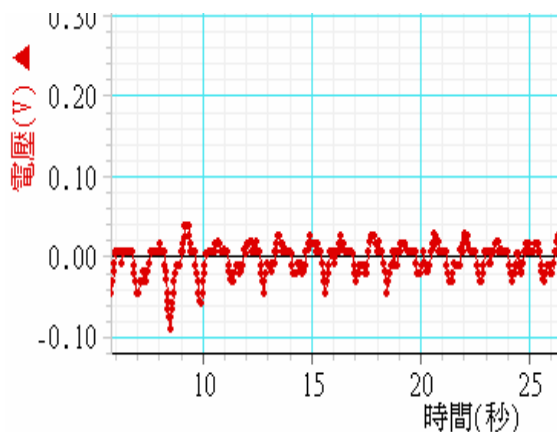
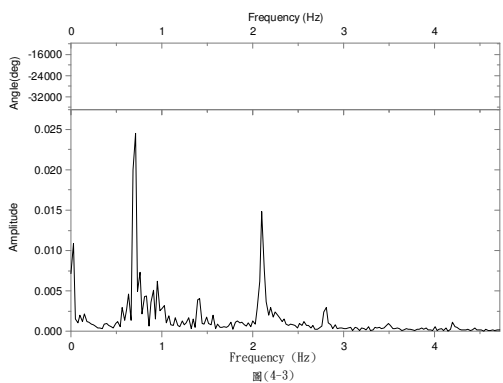


(3) 毛線 (一)

表 4-3 4V 正弦波，頻率 0.7 Hz，波長 40cm，距離 57cm，寬度 20cm

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	0.0260	0.468	5.660	3.624	15.984	0.227
42	0.0105	0.0160	0.657	6.800	4.764	14.454	0.330
43	0.0084	0.0160	0.524	6.130	4.094	9.874	0.415
44	0.0088	0.0150	0.585	5.580	3.544	9.844	0.360
45	0.0056	0.0180	0.313	6.950	4.914	8.484	0.579

其傅立葉分析圖及波形圖如下

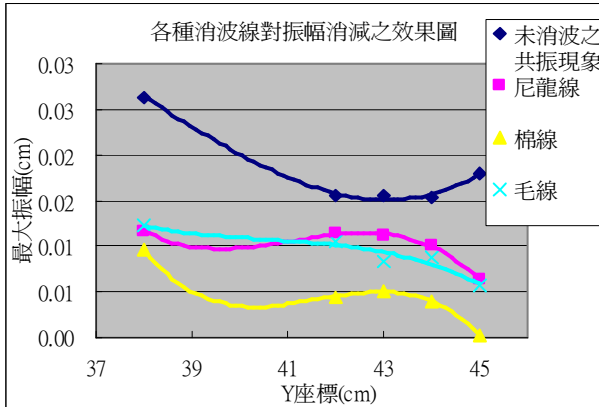


(4) 毛線 (二)

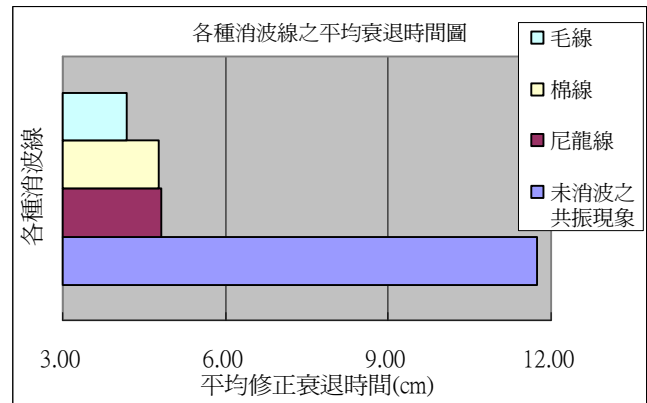
表 4-4 4V 正弦波，頻率 2.8Hz，波長 10cm，距離 76cm，寬度 20cm

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
41	0.0047	0.1200	0.039	3.560	0.846	1.320	0.641

### (5) 各種消波線之比較



圖(4-4)



圖(4-5)

### 7、討論：

- (1) 比較圖 3-1、圖 3-3 (有產生駐波者) 及圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3 (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 4-2；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，牽線消波者比實驗三之共振現象組倍率介於 0.2—0.6 之間，其中毛線達 0.227；同位置對照組比實驗三之共振現象組倍率為 0.287。此結果顯示，用毛線做消波後，衰退時間竟比無共振之對照組短，可見消除共振現象效果顯著。
- (3) 從振幅來看，牽線消波者比實驗組倍率介於 0.02—0.71 之間，證明牽線消波後可確實減少振幅。
- (4) 比較圖 4-1、圖 4-2、圖 4-2 (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)，牽線消波與否之比較各為尼龍線 0.404、棉線 0.330、毛線 0.227。從振幅減少來看，棉線最好，但從衰退時間來看，毛線減少最多，且從波形圖及傅立葉分析圖看出毛線的波形最凌亂，可見毛線消波能力最好。由圖 4-4 及圖 4-5 也可明顯看出此結果。
- (5) 經多次實驗後發現無論任何頻率(0.7、1.0、2.8Hz)毛線皆能有效消波。(參考表 4-3、表 4-4)
- (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。

【實驗五】港區共振現象再論

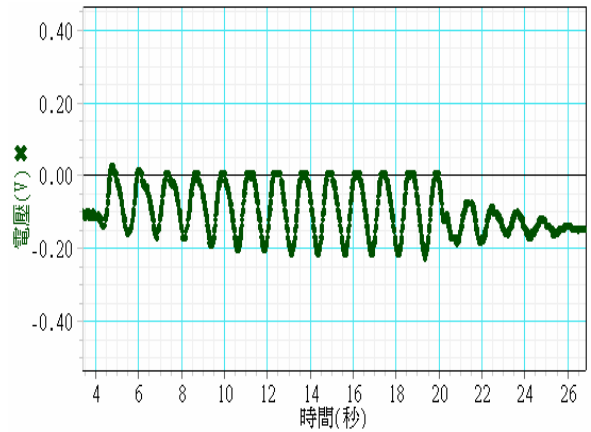
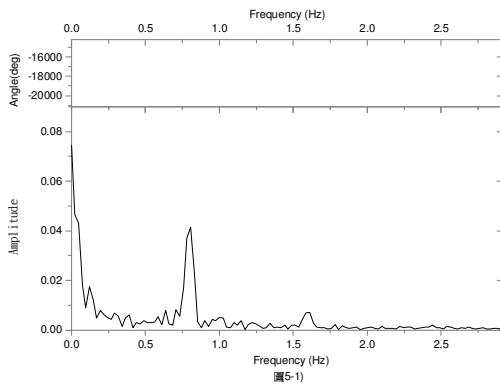
- 1、 在先前的實驗已証實花蓮港確實會有共振現象，而筆者懷疑港區的寬度是否會影響其共振的機制。
- 2、 因此筆者在港寬為入射波波長一半處做測量。
- 3、 本花蓮港港池模型並無港寬為 20 公分，不符頻率為 0.7Hz 之半波長，因此，我們改用 0.8Hz 代替。
- 4、 另取 1.0Hz 及 2.8Hz 作測量。
- 5、 重複上述實驗。
- 6、 結果：

(6) 4V 正弦波，頻率 0.8 Hz，波長 35cm，距離 58cm，寬度 17.5cm

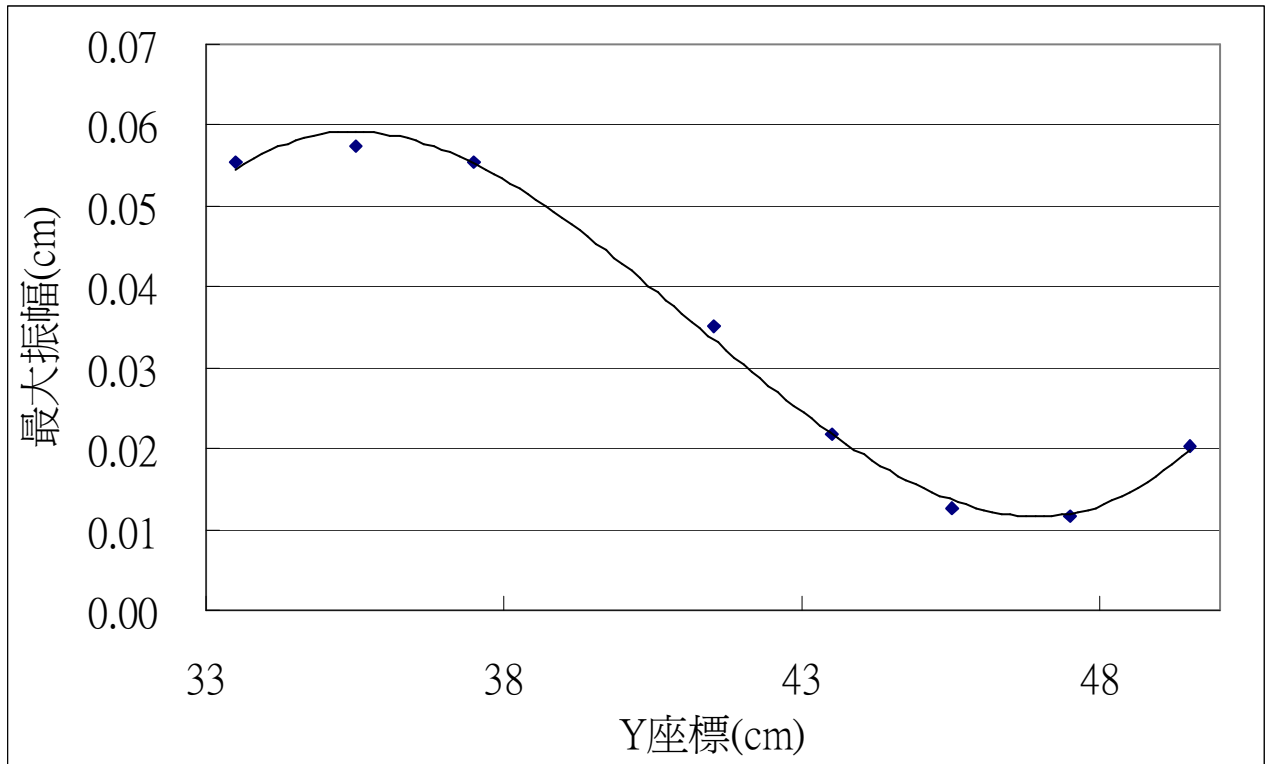
表 5-1

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

其傅立葉分析圖及波形圖如下



將各點之最大振幅作趨勢圖如下



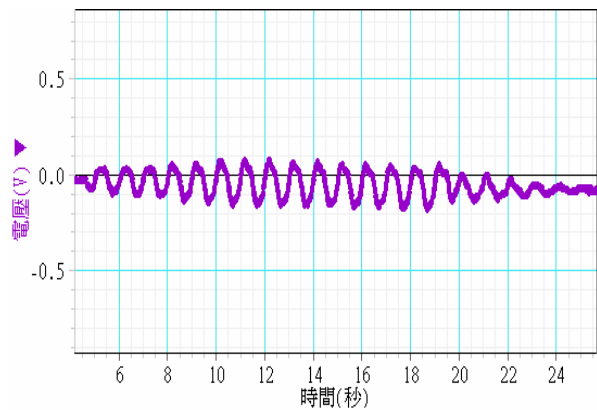
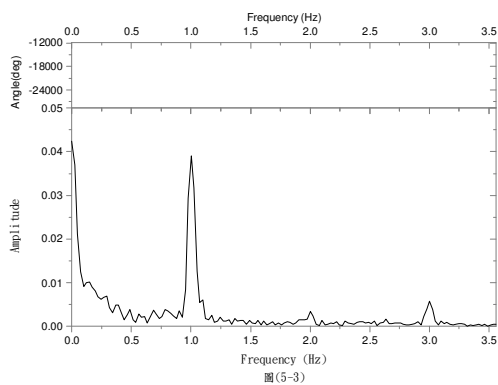
圖(5-2)

(7) 4V 正弦波，頻率 1.0Hz，波長 28cm，距離 66.7cm，寬度 14cm

表 5-2

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

其傅立葉分析圖及波形圖如下

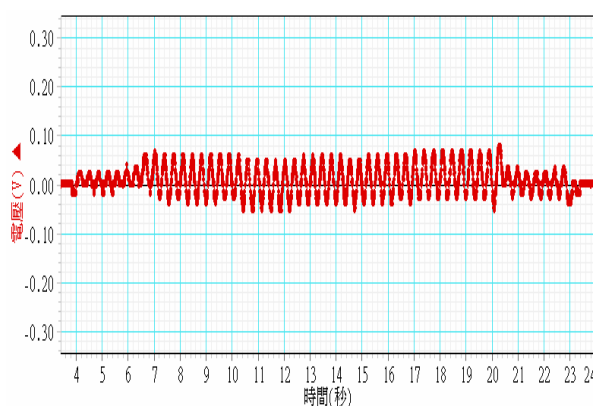
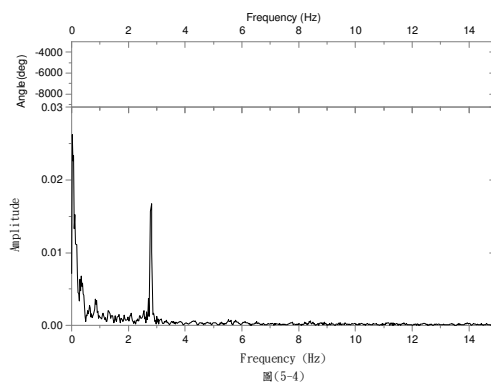


(8) 4V 正弦波，頻率 2.8 Hz，波長 10cm，距離 79cm，寬度 5cm

表 5-3

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

其傅立葉分析圖及波形圖如下



## 7、討論：

- (1) 從實驗三發現衰退時間最長，共振現象最明顯的位置為 (56, 43)，並且由傅立葉分析發現其頻譜(見圖 3-1)也顯示只有單一頻率，而該位置的港寬為 18.5cm，接近波的半波長 (20cm)。筆者研判港池寬度對共振應有所影響。因此筆者改變頻率(波長)，並在港寬是半波長處做測量。
- (2) 進一步探討寬度為波長恰一半之處的共振情形 (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 5-1、表 5-2、表 5-3，顯示有非常大的影響。



- (3) 最大振幅比第一振幅（造波後第一個測量到的波，絕對沒有共振）倍率，在本實驗中最大的數據高達 3.9 倍（表九）。此結果與實驗三相比，差異極大。
- (4) 由圖 5-2，顯示有非常明顯的共振現象。由共振理論得知，當共振發生時，波浪會形成複雜的駐波型態。此圖與該理論相似度甚高，證明筆者確實找到真正的共振位置。而且由圖可明顯看出節點（Node）與腹點（Antinode），分別為（55, 47.5）、（55, 35.5）。
- (5) 寬度在非半波長整數倍者，雖亦有振幅較高的現象，但經由傅立葉分析轉換其頻譜，發現基頻及倍頻的強度都很強，即不為共振現象，故研判其現象僅為建設性干涉所造成。可由圖 3-2（港寬 5.5cm，4V 正弦波，0.7 Hz）的頻譜及波形得到證明。
- (6) 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，或為節點（Node）。
- (7) 本實驗的結果和一般模擬研究的結果有明顯不符，為筆者之重大發現。
- (8) 波浪進入港區有明顯繞射波從東南往西北方向進行，用肉眼即可觀察，故花蓮港共振現象應和長寬皆有關係。
- (9) 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劇，為線性震盪的一個關鍵所在。

#### 【實驗六】港底網格的消波效果

- 1、我們嘗試在港底鋪設網格，直接破壞其水面下波的前進，進而分散他的能量，達到消波的效果。
- 2、由先前的實驗，我們證明出港寬為半波長的整數倍時，會出現明顯共振，所以我們對照實驗五之表 5-1、表 5-2、表 5-3 測試。
- 3、實驗使用三種不同孔徑的網格，分別為：鐵網〔0.45cm\*0.45cm〕、塑膠網〔0.2cm\*0.2cm〕、紗網〔0.05cm\*0.05cm〕。
- 4、將網格剪成花蓮港的形狀並平鋪在港底。
- 5、重複上述實驗。
- 6、結果：
  - (1) 紗布：

表 6-1 4V 正弦波，頻率 0.8Hz，波長 35cm，距離 58cm，寬度 17.5cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	紗布組比對照組振幅倍率	紗布組比共振現象 0.8Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 0.8Hz 組修正衰退時間(sec)	紗布組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率
33.5	0.0308	0.012	2.648	0.557	0.019	1.609	6.070	3.999	4.869	0.821
35.5	0.0503	0.012	4.319	0.875	0.015	3.429	6.610	4.539	4.259	1.066
37.5	0.0497	0.012	4.268	0.897	0.023	2.128	6.390	4.319	6.069	0.712

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	紗布組比對照組振幅倍率	紗布組比共振現象 0.8Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 0.8Hz 組修正衰退時間(sec)	紗布組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率
41.5	0.0314	0.012	2.699	0.897	0.022	1.400	6.090	4.019	3.829	1.050
43.5	0.0263	0.012	2.262	1.205	0.023	1.128	3.360	1.289	4.229	0.305
45.5	0.0201	0.012	1.723	1.595	0.018	1.098	6.750	4.679	4.789	0.977
47.5	0.0156	0.012	1.337	1.333	0.021	0.732	4.890	2.819	7.529	0.374
49.5	0.0123	0.012	1.054	0.603	0.022	0.554	6.040	3.969	7.449	0.533
紗布組比共振 0.8Hz 組平均衰退時間倍率										0.730

其傅立葉分析圖及波形圖如下

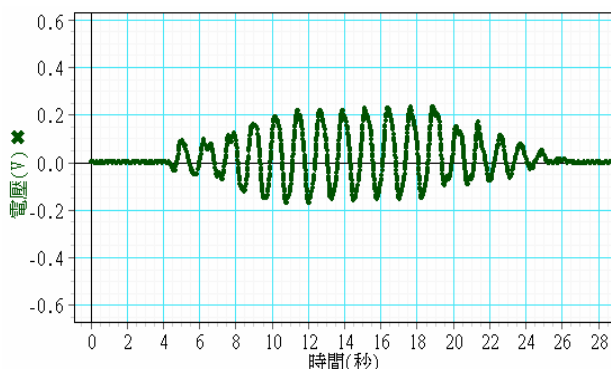
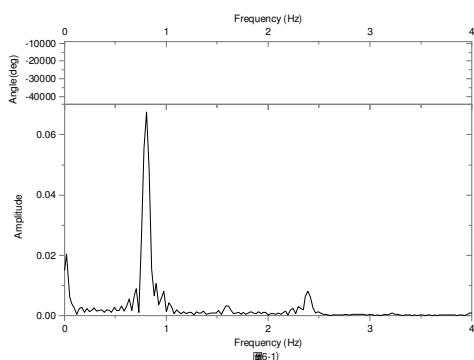


表 6-2 4V 正弦波，頻率 1.0Hz，波長 28cm，距離 66.7cm，寬度 14cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	紗布組比對照組振幅倍率	紗布組比共振 1.0Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 1.0Hz 組修正衰退時間(sec)	紗布組比共振 1.0Hz 組衰退時間倍率
33.5	0.046	0.010	4.553	1.855	0.024	1.901	6.850	4.468	2.128	2.100
35.5	0.050	0.010	4.908	1.258	0.025	1.953	7.240	4.858	6.238	0.779
37.5	0.041	0.010	4.080	2.262	0.027	1.516	6.920	4.538	5.188	0.875
41.5	0.047	0.010	4.642	1.365	0.025	1.892	5.340	2.958	3.788	0.781
43.5	0.041	0.010	4.050	1.000	0.018	2.322	5.150	2.768	4.858	0.570
45.5	0.048	0.010	4.760	1.013	0.021	2.268	4.910	2.528	4.498	0.562
47.5	0.057	0.010	5.647	0.910	0.018	3.131	5.530	3.148	4.068	0.774
紗布組比共振 1.0Hz 組衰退時間平均倍率										0.920

其傅立葉分析圖及波形圖如下

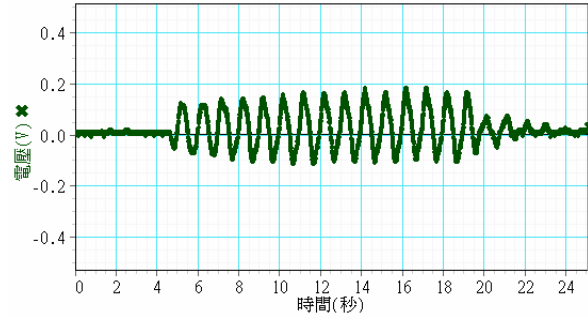
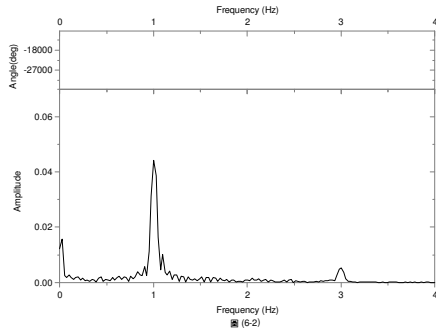
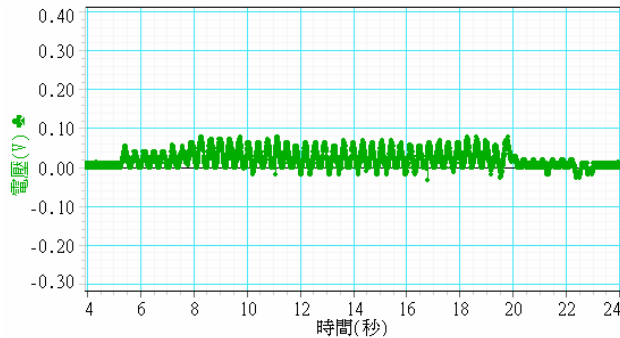
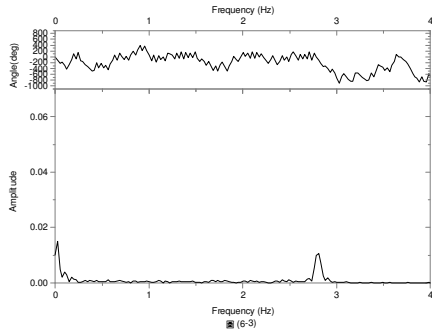


表 6-3 4V 正弦波，頻率 2.8Hz，波長 10cm，距離 79cm，寬度 5cm

y 座標	最大振幅 (cm)	對照組最大振幅 (cm)	紗布組比對照組振幅倍率	紗布組比共振 2.8Hz 組振幅倍率	第一振幅 (cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間 (sec)	修正衰退時間 (sec)	共振 2.8Hz 組修正衰退時間 (sec)	紗布組比共振 2.8Hz 組衰退時間倍率
41.5	0.010	0.009	1.121	0.684	0.025	0.383	3.660	0.839	1.999	0.419
42.5	0.010	0.009	1.191	0.678	0.025	0.407	4.440	1.619	0.699	2.316
43.5	0.013	0.009	1.471	0.698	0.027	0.466	4.530	1.709	2.179	0.784
紗布組比共振 2.8Hz 組衰退時間平均倍率										1.173

其傅立葉分析圖及波形圖如下



(2) 塑膠網：

表 6-4 4V 正弦波，頻率 0.8Hz，波長 35cm，距離 58cm，寬度 17.5cm

y 座標	最大振幅 (cm)	對照組最大振幅 (cm)	塑膠網組比對照組振幅倍率	塑膠網組比共振現象 0.8Hz 組振幅倍率	第一振幅 (cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間 (sec)	修正衰退時間 (sec)	共振 0.8Hz 組修正衰退時間 (sec)	塑膠網組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率
33.5	0.0329	0.012	2.828	0.595	0.024	1.392	6.290	4.219	4.869	0.866
35.5	0.0277	0.012	2.378	0.482	0.023	1.217	5.600	3.529	4.259	0.828
37.5	0.0263	0.012	2.262	0.476	0.023	1.158	4.710	2.639	6.069	0.435
41.5	0.0278	0.012	2.391	0.795	0.021	1.310	5.330	3.259	3.829	0.851
43.5	0.0272	0.012	2.340	1.247	0.020	1.379	5.840	3.769	4.229	0.891

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	塑膠網組比對照組振幅倍率	塑膠網組比共振現象 0.8Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 0.8Hz 組修正衰退時間(sec)	塑膠網組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率
45.5	0.0242	0.012	2.082	1.929	0.023	1.066	7.420	5.349	4.789	1.117
47.5	0.0227	0.012	1.954	1.949	0.022	1.041	6.040	3.969	7.529	0.527
49.5	0.0242	0.012	2.082	1.191	0.020	1.227	5.460	3.389	7.449	0.455
塑膠網組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率										0.746

其傅立葉分析圖及波形圖如下

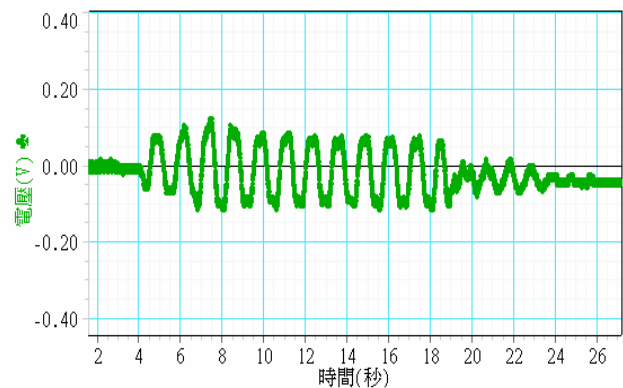
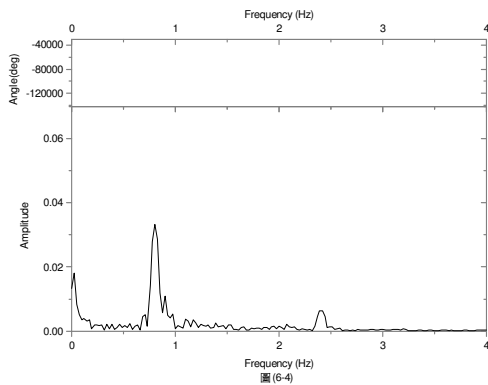


表 6-5 4V 正弦波，頻率 1.0Hz，波長 28cm，距離 66.7cm，寬度 14cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	塑膠網組比對照組振幅倍率	塑膠網組比共振 1.0Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 1.0Hz 組修正衰退時間(sec)	塑膠網組比共振 1.0Hz 組衰退時間倍率
33.5	0.016	0.010	1.597	0.651	0.024	0.684	6.380	3.998	2.128	1.879
35.5	0.018	0.010	1.744	0.447	0.022	0.808	4.160	1.778	6.238	0.285
37.5	0.031	0.010	3.104	1.721	0.028	1.141	3.880	1.498	5.188	0.289
41.5	0.046	0.010	4.583	1.348	0.028	1.632	5.150	2.768	3.788	0.731
43.5	0.054	0.010	5.351	1.321	0.023	2.321	5.220	2.838	4.858	0.584
45.5	0.053	0.010	5.204	1.107	0.263	0.200	4.370	1.988	4.498	0.442
47.5	0.072	0.010	7.155	1.152	0.023	3.184	5.320	2.938	4.068	0.722
塑膠網組比共振 1.0Hz 組衰退時間平均倍率										0.704

其傅立葉分析圖及波形圖如下

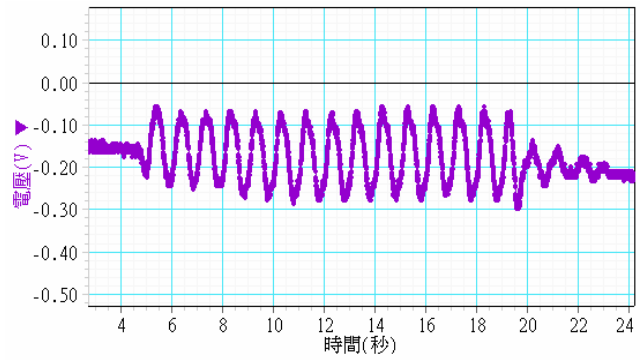
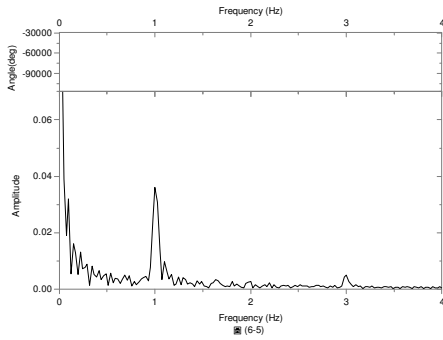
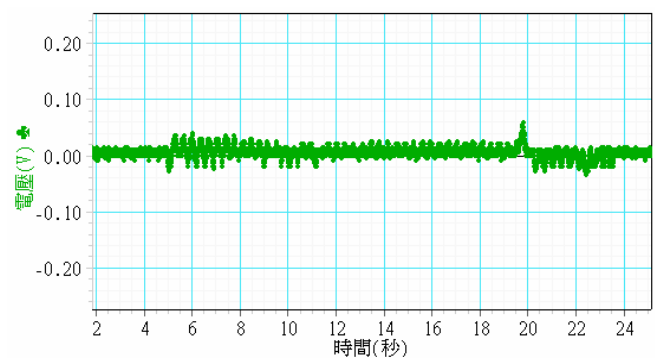
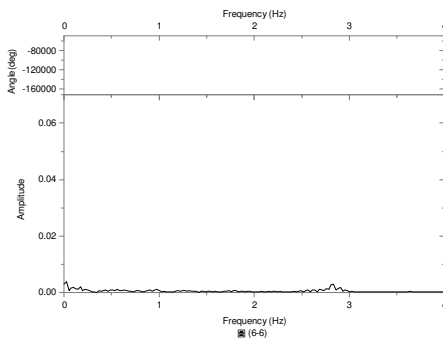


表 6-6 4V 正弦波, 頻率 2.8Hz, 波長 10cm, 距離 79cm, 寬度 5cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	塑膠網組比對照組振幅倍率	塑膠網組比共振 2.8Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 2.8Hz 組修正衰退時間(sec)	塑膠網組比共振 2.8Hz 組衰退時間倍率
41.5	0.005	0.009	0.595	0.363	0.032	0.159	3.760	0.939	1.999	0.470
42.5	0.007	0.009	0.770	0.439	0.025	0.263	3.190	0.369	0.699	0.527
43.5	0.007	0.009	0.770	0.366	0.031	0.212	4.750	1.929	2.179	0.885
塑膠網組比共振 2.8Hz 組衰退時間平均倍率										0.627

其傅立葉分析圖及波形圖如下



(3) 鐵網：

表 6-7 4V 正弦波, 頻率 0.8Hz, 波長 35cm, 距離 58cm, 寬度 17.5cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	鐵網組比對照組振幅倍率	鐵網組比共振現象 0.8Hz 組共振倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 0.8Hz 組修正衰退時間(sec)	鐵網組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率
33.5	0.013	0.012	1.131	0.238	0.013	1.000	5.84	3.769	4.869	0.774
35.5	0.016	0.012	1.388	0.281	0.016	1.038	6.76	4.689	4.259	1.101
37.5	0.010	0.012	0.874	0.184	0.013	0.810	5.69	3.619	6.069	0.596
41.5	0.009	0.012	0.746	0.248	0.012	0.725	4.51	2.439	3.829	0.637
43.5	0.009	0.012	0.771	0.411	0.010	0.938	6.03	3.959	4.229	0.936
45.5	0.010	0.012	0.823	0.762	0.012	0.821	6.08	4.009	4.789	0.837

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	鐵網組比對照組振幅倍率	鐵網組比共振現象 0.8Hz 組共振倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 0.8Hz 組修正衰退時間(sec)	鐵網組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率
47.5	0.009	0.012	0.746	0.744	0.009	1.000	3.88	1.809	7.529	0.240
49.5	0.010	0.012	0.823	0.471	0.008	1.185	5.88	3.809	7.449	0.511
鐵網組比共振 0.8Hz 組衰退時間平均倍率										0.704

其傅立葉分析圖及波形圖如下

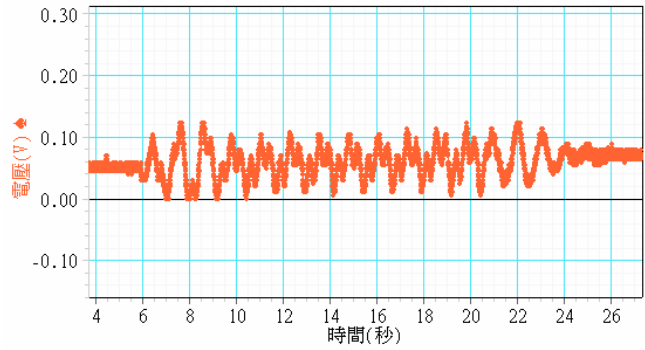
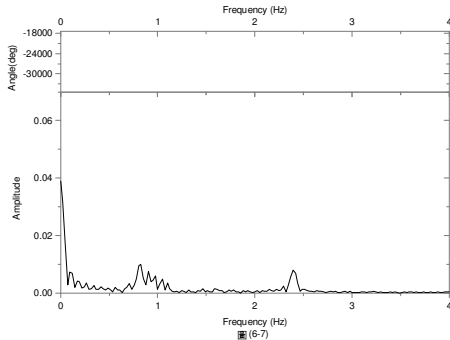


表 6-8 4V 正弦波，頻率 1.0Hz，波長 28cm，距離 66.7cm，寬度 14cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	鐵網組比對照組振幅倍率	鐵網組比共振 1.0Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 1.0Hz 組修正衰退時間(sec)	鐵網組比共振 1.0Hz 組衰退時間倍率
33.5	0.007	0.010	0.650	0.265	0.005	1.222	7.090	4.708	2.128	2.212
35.5	0.009	0.010	0.857	0.220	0.007	1.160	6.040	3.658	6.238	0.586
37.5	0.004	0.010	0.355	0.197	0.008	0.444	6.170	3.788	5.188	0.730
41.5	0.021	0.010	2.099	0.617	0.011	1.919	7.220	4.838	3.788	1.277
43.5	0.020	0.010	1.951	0.482	0.011	1.784	4.980	2.598	4.858	0.535
45.5	0.027	0.010	2.661	0.566	0.011	2.432	7.140	4.758	4.498	1.058
47.5	0.028	0.010	2.750	0.443	0.010	2.906	6.930	4.548	4.068	1.118
鐵網組比共振 1.0Hz 組衰退時間平均倍率										1.068

其傅立葉分析圖及波形圖如下

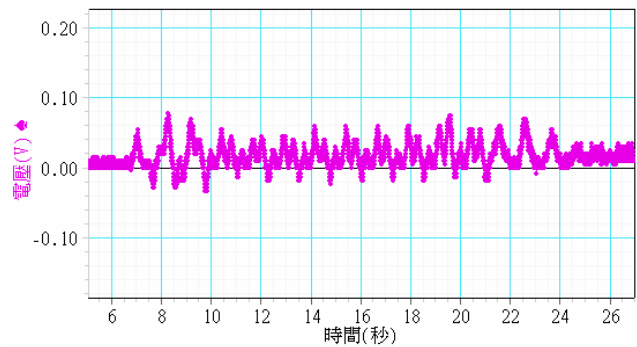
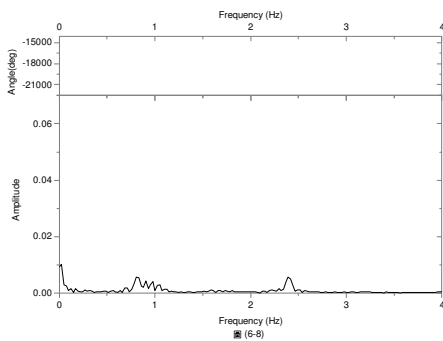
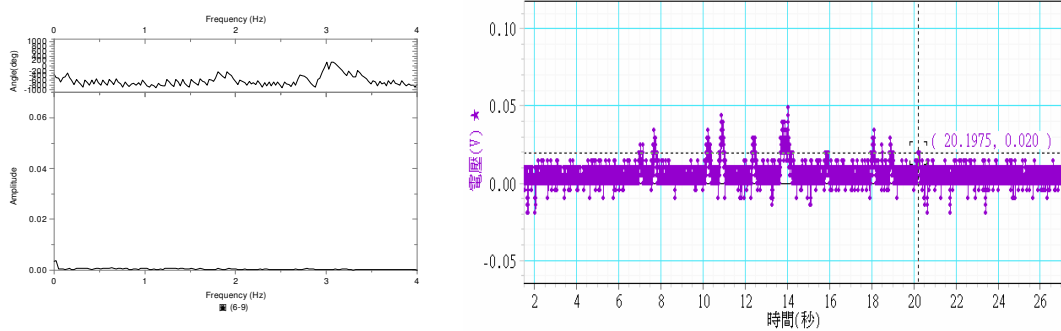


表 6-9 4V 正弦波，頻率 2.8Hz，波長 10cm，距離 79cm，寬度 5cm

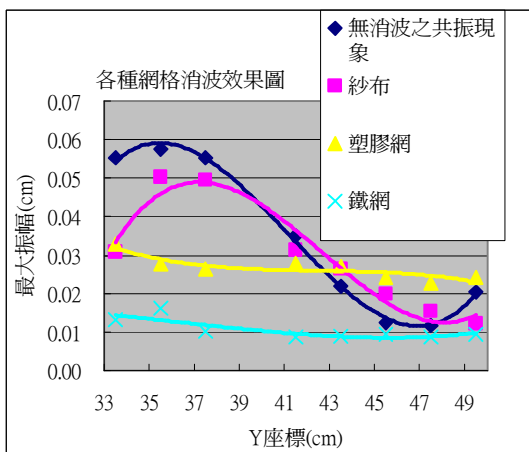
y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	鐵網組比對照組振幅倍率	鐵網組比共振 2.8Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 2.8Hz 組修正衰退時間(sec)	鐵網組比共振 2.8Hz 組衰退時間倍率
41.5	0.009	0.009	1.016	0.620	0.005	1.706	6.950	4.129	1.999	2.065
42.5	0.010	0.009	1.121	0.638	0.007	1.333	6.690	3.869	0.699	5.534
43.5	0.006	0.009	0.700	0.333	0.025	0.239	3.950	1.129	2.179	0.518
鐵網組比對照組衰退時間平均倍率										2.706

其傅立葉分析圖及波形圖如下

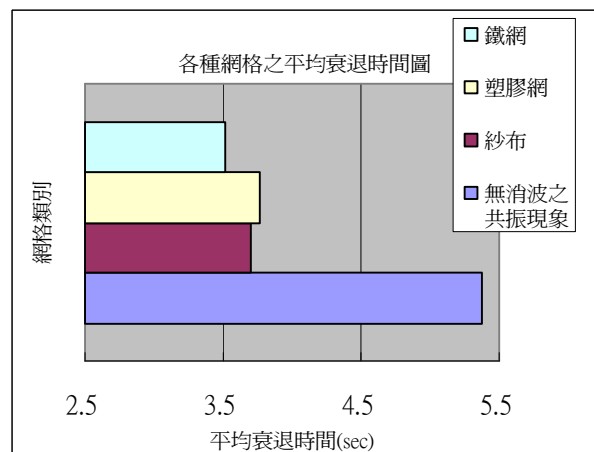


### 7、討論：

- (1) 比較實驗五(有生駐波者)及本實驗(設置網格者)的各圖表，發現並非所有網格皆能非常有效消波。
- (2) 從振幅的消減比例上來看，分別為紗布 0.56—2.26，塑膠網 0.36—1.95，鐵網 0.18—0.76，顯示各種網格的消波效果並不相同，且明顯以鐵網為最佳。
- (3) 我們使用傅立葉分析分析頻譜，發現鐵網無論在各頻率其消滅波的能量皆有很好的效果，且由圖 可知，分析後各頻率的波振幅皆不及 0.001。



圖(6-10)



圖(6-11)

- (4) 圖 6-10 及圖 6-11 為各種網格的消波能力圖(4V 正弦波，頻率 0.8Hz，波長 35cm，距離 58cm，寬度 17.5cm)。由圖 6-10 可知，在四種不同狀況下，Y 座標為 47.5

時都有最小的振幅，判斷該處應為共振現象之節點(Nodes)，尤以無消波之共振現象組特別明顯；而在 Y 座標為 35.5 時有最大振幅，判斷該處就是共振上下起伏最為嚴重的「腹點」(Antinodes)。塑膠網及鐵網皆可消除節點與腹點，使水面振盪較一致，其中又以鐵網降低振幅的幅度最大，且各個位置都有效。由圖 6-11 可知，三種網格都可有效縮短水面上下振盪的時間，又以鐵網效果最佳。此二圖皆顯示，無論在降低振幅或縮短衰退時間方面，鐵網的效果都最為明顯。

(5) 消波效果最佳的是鐵網。推測是因為過密的紗布在波通過時，作用僅有如粗糙的接觸平面，而無法真正消滅能量。相對的，鐵網的大孔徑對於行進的波，反而提供一個凹凸程度較大的底面，更能有效消除波的能量。此現象有如馬路上減速用凸起，多而密的凸起對駕駛人而言近似一個平面；較高而不密者較能將減速的功能發揮到最大。

(6) 無論任何頻率(0.8 Hz、1.0 Hz、2.8 Hz)鐵網消滅波的能量均為最佳。

(7) 綜合此實驗的結果，筆者發現，在港底鋪上網格做消波時，網格的孔徑越大，消波能力越好。

註：鐵網(0.45cm\*0.45cm)，塑膠網(0.2cm\*0.2cm)，紗布(0.05cm\*0.05cm)

#### 【實驗七】消波塊之模擬

- 1、我們另外在港壁放置小石塊，模擬現實生活中的消波塊。
- 2、由先前的實驗，我們證明出港寬為半波長的整數倍時，會出現明顯共振，所以我們對照實驗五之表 5-1、表 5-2、表 5-3 作測試。
- 3、此實驗使用水族箱用的小石子
- 4、將小石子沿港壁排列在港底。
- 5、重複上述實驗。
- 6、結果：

表 7-1 4V 正弦波，頻率 0.8 Hz，波長 35cm，距離 58cm，寬度 17.5cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	小石子組比對照組振幅倍率	小石子組比共振現象 0.8Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 0.8Hz 組修正衰退時間(sec)	小石子組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率
33.5	0.0320	0.012	2.751	0.578	0.022	1.427	5.660	3.589	4.869	0.737
35.5	0.0308	0.012	2.648	0.536	0.022	1.411	5.740	3.669	4.259	0.861
37.5	0.0338	0.012	2.905	0.611	0.026	1.284	5.740	3.669	6.069	0.604
41.5	0.0314	0.012	2.699	0.897	0.023	1.382	6.250	4.179	3.829	1.091
43.5	0.0284	0.012	2.442	1.301	0.023	1.250	5.740	3.669	4.229	0.867
45.5	0.0242	0.012	2.082	1.929	0.020	1.227	6.600	4.529	4.789	0.946
47.5	0.0257	0.012	2.211	2.205	0.020	1.303	6.890	4.819	7.529	0.640
49.5	0.0227	0.012	1.954	1.118	0.020	1.152	8.030	5.959	7.449	0.800
小石子組比共振 0.8Hz 組衰退時間倍率										0.818



其傅立葉分析圖及波形圖如下

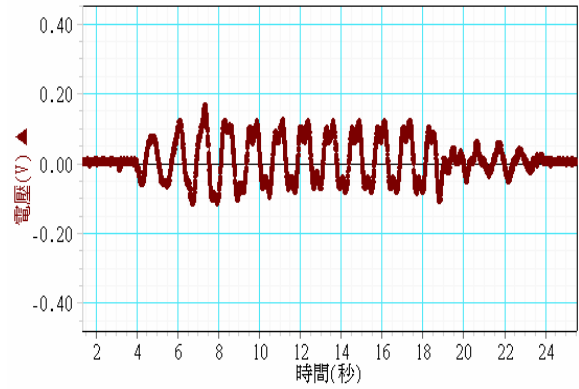
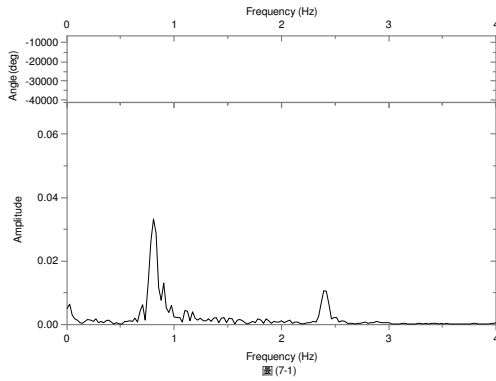


表 7-2 4V 正弦波，頻率 1.0 Hz，波長 28cm，距離 66.7cm，寬度 14cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	小石子組比對照組振幅倍率	小石子組比共振 1.0Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 1.0Hz 組修正衰退時間(sec)	小石子組比共振 1.0Hz 組衰退時間倍率
33.5	0.016	0.010	1.597	0.651	0.019	0.844	9.240	6.858	2.128	3.223
35.5	0.018	0.010	1.744	0.447	0.021	0.831	6.780	4.398	6.238	0.705
37.5	0.019	0.010	1.833	1.016	0.019	0.969	7.910	5.528	5.188	1.066
41.5	0.033	0.010	3.223	0.948	0.024	1.380	4.480	2.098	3.788	0.554
43.5	0.040	0.010	3.903	0.964	0.021	1.859	5.680	3.298	4.858	0.679
45.5	0.046	0.010	4.553	0.969	0.021	2.169	5.670	3.288	4.498	0.731
47.5	0.049	0.010	4.849	0.781	0.021	2.310	6.090	3.708	4.068	0.911
小石子組比共振 1.0Hz 組衰退時間平均倍率										1.124

其傅立葉分析圖及波形圖如下

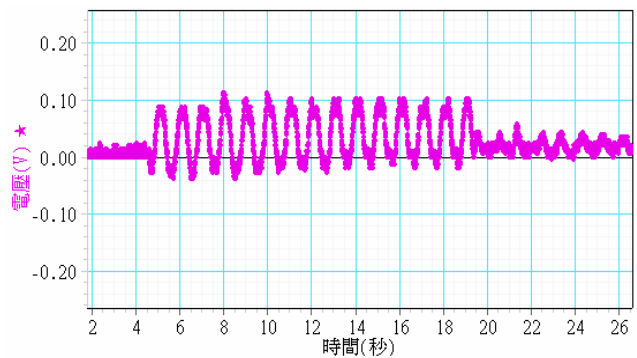
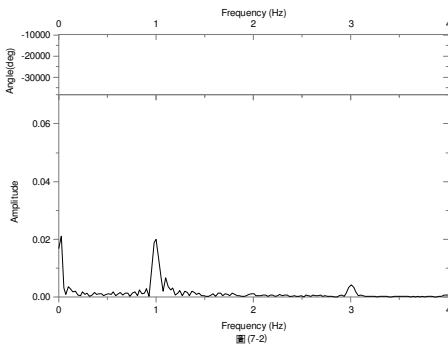
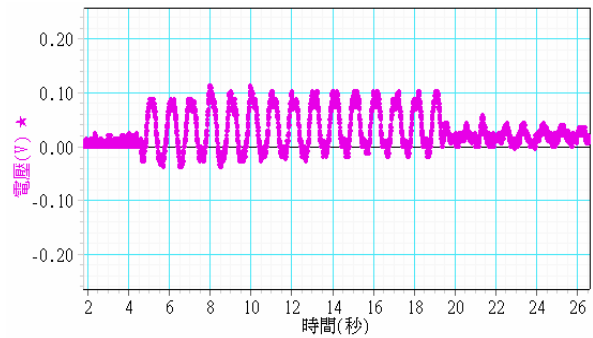
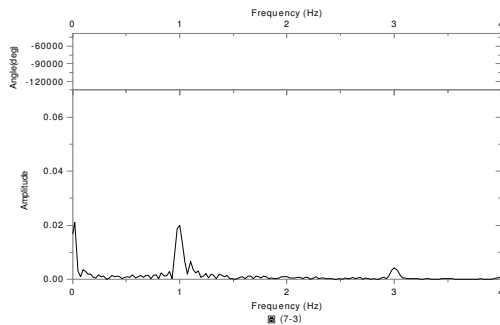


表 7-3 4V 正弦波，頻率 2.8 Hz，波長 10cm，距離 79cm，寬度 5cm

y 座標	最大振幅(cm)	對照組最大振幅(cm)	小石子組比對照組振幅倍率	小石子組比共振 2.8Hz 組振幅倍率	第一振幅(cm)	最大振幅比第一振幅倍率	最大衰退時間(sec)	修正衰退時間(sec)	共振 2.8Hz 組修正衰退時間(sec)	小石子組比共振 2.8Hz 組衰退時間倍率
41.5	0.046	0.009	5.393	3.292	0.020	2.333	3.720	0.899	1.999	0.450
42.5	0.023	0.009	2.731	1.556	0.018	1.279	3.420	0.599	0.699	0.856
43.5	0.034	0.009	4.027	1.912	0.020	1.691	7.010	4.189	2.179	1.922
小石子組比共振 2.8Hz 組衰退時間平均倍率										1.076

其傅立葉分析圖及波形圖如下



## 7、 討論：

- (1) 小石塊使港內水波反射產生雜波，使得波形比先前實驗產生的波形複雜得多。
- (2) 當水波入港時，會因小石塊不規則的形狀及密集的排列方式，而產生不規則雜亂的反射波即漫射，因為有漫射造成不同相位和不同方向的擾流，數據顯示有些地方入射波和反射波能量互相抵消而有些地方卻因為能量聚集，特別難消退，使得各個地方的衰退時間相差甚大，如表 7-3，y 座標 42.5 及 43.5 的衰退時間差了 3.41 倍。
- (3) 小石塊的消波情況會因位置而不同，所以在實際應用上有其一定的限制，並不適合用來做全面性的消波。
- (4) 在現實生活中，使用消波塊做消波會有其基部砂石被掏空的危險，結果消波塊會很容易沉入海底，使得政府必須再添置消波塊，造成金錢及時間上的浪費。

## 陸、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。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，就如實驗四中的尼龍線，消波效果就會較差；然而有些港區在港壁設置消波塊，在經筆者試驗後（實驗七）証實，有些位置能量集中，有些能量消散，消波能力不均，亦不適於大範圍的消波。
- 4、本實驗所用之網格在材質上有差異，但對於迎面而來的水波，三種網格應不至於被水波所牽動，因此並不會有水波能量被網格動能被消掉的疑慮。在放大尺度來看，三種網格相對於水波都可視為一堅硬且密度極高之材質，因此材質的差異對消波的能力應無不同。且本實驗主要是以生活中容易取得之消波材料為考量，才選用紗布、塑膠網及鐵網作為消波網格之材料。
- 5、由各消波線和各網格的傅立葉分析圖可發現：消波線皆有較多的倍頻振幅，顯示波在打到消波線而反射後，產生多種不同的相位差，而不會只差  $1/2$ ，因此能有效消除共振，並產生破壞性干涉，達到消波的目的。而網格雖無明顯倍頻振幅，但卻在減緩水面上下振盪之振幅有極大的效果。因此，筆者建議在做消波時，應同時施用本實驗之兩種方法，即水面消波繩與港底網格，雙管齊下，以達到最為完整之消波效果。
- 6、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表 8-1，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。

表 8-1

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

- 7、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。

- 8、本實驗利用喇叭造波，因此所形成的波為一接近點波源之圓形波源，此現象與現實海浪並不相似。但本實驗用的港區模型，造波處與港區有一段距離，因此，當波傳至港區開口時，此圓形波已擴大，而可以視為接近平行波。實驗用以感測之兩鉑電極間寬度不及 0.5cm，而當一個波從波源傳至電極時，兩鉑電極可視為圓形波圓周上相近的兩點，而近似平行波的效果，因此與現實狀況相差不遠。而且港區現實接收到的波也並非完全平行。

- 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]；  $\rho$ ：密度，[kg/m<sup>3</sup>]

$\mu$ ：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。

- 10、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。

- 11、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。

- 12、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。

- 13、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。

- 14、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。

- 15、當今台灣西部海岸有非常嚴重之國土流失的問題，沙質海岸不斷向後退，而在岸邊的堤防、碉堡也接連沉入海底，由新聞報導可知台南四草至二仁溪一帶有海岸線後

退的現象。目前在海岸線養灘的方法為在離海一百公尺處放置三十至四十公噸的消波塊，減緩波浪對海岸線沙灘的侵蝕，然而這只能減緩海岸被侵蝕的趨勢，治標不能治本，且在海外的消波塊也有基部被掏空之虞。因此，筆者認為或可利用本實驗所建議之消波繩解決此問題，例如在海外養蚵架之間牽設消波繩，代替消波塊。

## 柒、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，因為消波塊會被風浪侵蝕其底部砂質基盤，進而造成崩毀，而本實驗亦模擬消波塊，進而證實其消波能力有限。根據本實驗的結果，消波繩與港底網格是很好的選擇。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；港底網格設置較方便也較經濟實惠。消波繩以越蓬鬆、分支越多的材質效果越好，而消波網格則應將孔徑適度放大，針對不同港口、不同的共振頻率找出最適宜之大小。綜合以上結果，筆者建議除了以突堤、潛礁區、拓寬內航道來解決問題外，在港壁加上消波繩，港底鋪設網格，多管齊下，一舉消波。

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。本系統也可對各種消波設施作模型試驗。基於本實驗系統之輕巧，在建置上遠比實際水工模型方便，且在一般實驗室就可進行，另外，本系統克服一般縮小模型的弱點，擁有精密度極高的優點，就算放大五千倍後誤差也極小，以上幾點在在證明本系統在做水工試驗時可做為優先考量，避免大型工程的資源耗費。

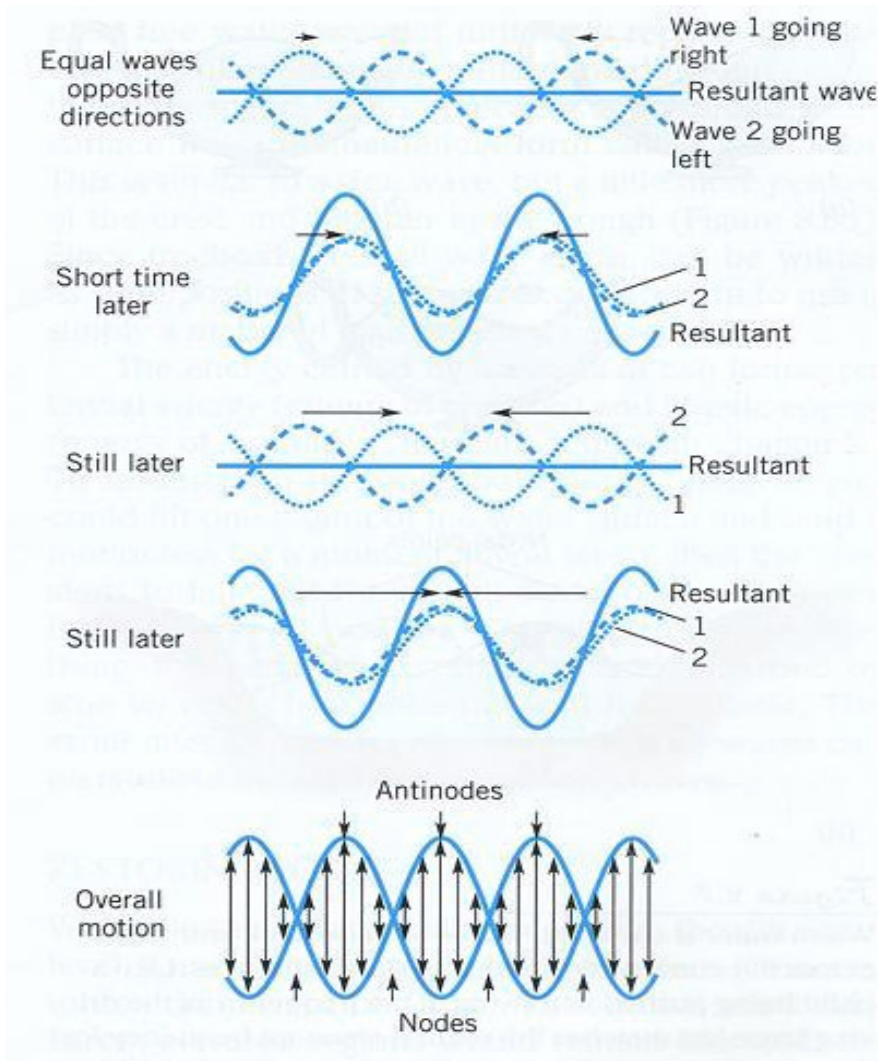
未來筆者希望可以再對花蓮港作更深入的研究，如改變波源的位置，以模擬不同季節不同方向的入射波，找出不同繞射波入港所造成的共振影響。利用本系統建置簡便的優勢，可迅速找出特定形狀的突堤，配合消波線及港底網格一舉解決各季節港池共振的問題。另外，筆者希望能將消波繩、消波網格推廣，不只是港內的共振消除，如當今迫切之養灘，皆可應用。

## 捌、參考資料

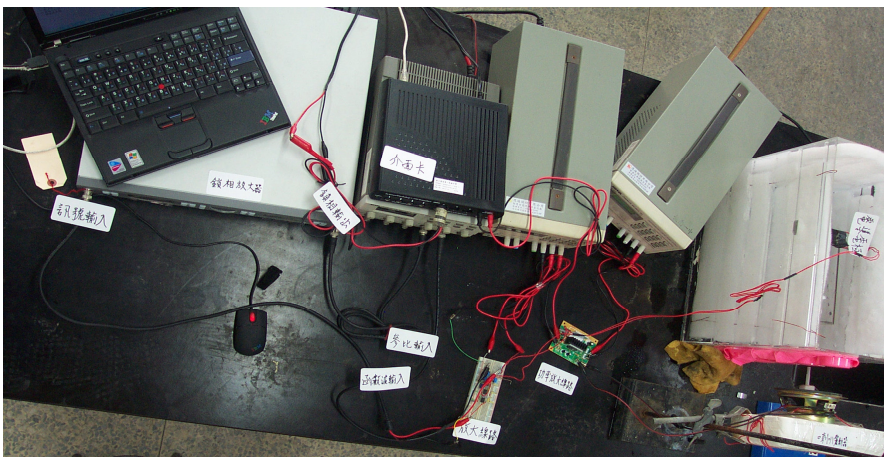
- 1、海洋台灣雙月刊 第十一期 台十一線踏察報告 方雅芬 施心翊  
網址：<http://www.ocean.org.tw/mag/011/index.htm>
- 2、近岸水動力學 許泰文 中國土木水利工程學會 科技圖書股份有限公司 2003.7
- 3、蘇澳、花蓮港區水理特性及環境容量研究（一） 黃煌輝 溫清光 陳怡發 傅新義 潘春花 謝秀青 國立成功大學台南水工試驗所 1991.6
- 4、高階 Boussinesq 模式於港池振盪之數值模擬 林鼎傑 國立成功大學碩士論文 2005.5
- 5、海灘侵蝕防治新科技研發（4/4） 國立成功大學水工試驗所 經濟部水利署 2005.5

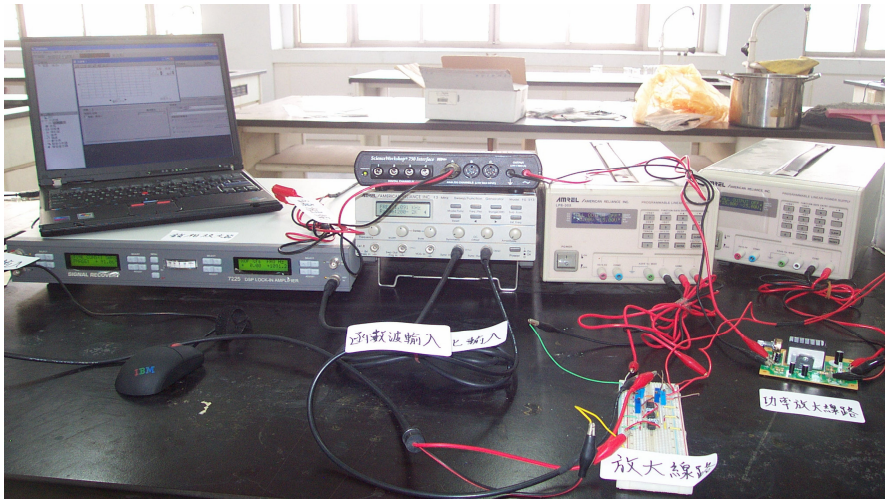
## 玖、附錄

### 1、駐波(Standing wave)



### 2、實驗設備器材





### 3、花蓮港地圖

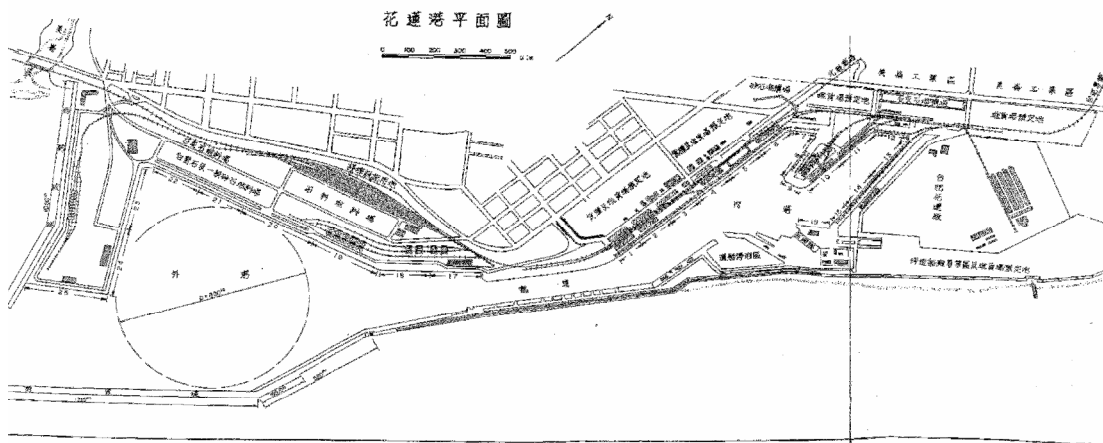


圖 2-1 花蓮港平面佈置圖

### 4、花蓮港模型

