

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組地球科學科

040507

高雄縣立路竹高級中學

指導老師姓名

戴嘉亨

陳光榮

作者姓名

陳俊諺

黃景生

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會  
作品說明書

組別：高中組

科別：地球科學科

作品名稱：永續的鑽石海岸—有孔潛堤消波能力之研究

關鍵字：潛堤、反射率、渦流

## 摘要

潛堤能消散部分波能，控制海灘侵蝕達到保護海岸，但現有潛堤皆是實心的結構物，研究者從海蝕洞的特殊景觀聯想嘗試應用孔洞在潛堤結構，讓不透水式潛堤成為有孔透水式，故使得研究者想了解透水式潛堤其消波能力、堤後渦流強度與分布到底和不透水式潛堤有何差異？因而引發本研究之動機。

由於實際潛堤之結構相當龐大，因此本研究嘗試設計透水潛堤之模型，再進行模擬，實驗中針對（1）透水性潛堤（編號：A 結構物，進 6 出 4）、（2）透水性潛堤（編號：B 結構物，進 8 出 4）、（3）不透水性潛堤（編號：C 結構物）等三種潛堤加以試驗，根據所得的資料分析潛堤之特性，其中包含消波能力（反射率）、堤後渦流分布與本體穩定性。

由實驗研究結果發現（1）潛堤對不同波長的入射波會有不同的消波效果，在這其中會對某一特定波長產生最佳的消波能力（最大反射率）且將潛堤改成透水式潛堤則其反射率會降低，再者入水口孔徑愈大，反射率會愈低、（2）研究中所設計的透水式潛堤在水平出水口處會產生射流，有削減堤頂上方透射波所形成之渦流的功能，但射流如過大反而會形成更大之渦流強度、（3）渦流的產生會引起侵蝕，而堤頂壁的侵蝕會造成上方結構被破壞，其中以 C 結構物最嚴重；而堤腳的侵蝕會造成潛堤傾倒，偏離原位置，失去原始功能，其中也以 C 結構物最嚴重、（4）透水式潛堤，其水平入、出口之孔徑比例如不超過 3/2，則會在本體之穩定性表現較佳、堤後產生之渦流強度較低與渦流影響範圍會較小。

海岸防禦之施工方法選用何種結構物來保護海岸，應慎重考慮其立即性及長期性之影響，避免保護施工方法選擇不當，長期後反而更難保護；此外在設計上除要求結構物本身安全並發揮最大保護效果外，應使其對鄰近海岸之影響降至最低，就潛堤而言，因其承受巨大的能量，所以壽命也十分有限，故在消波效果、潛堤壽命長短與生態保育等方面取一平衡，是相當重要的。

# 永續的鑽石海岸—有孔潛堤消波能力之研究

## 壹、研究動機

傳統的防波堤雖可以防止波浪越坡，遏阻海水入侵及陸地流失，卻往往因波浪的反射，使得能量增加，讓堤腳之沖刷加劇，導致海灘加速流失；此外這些施工的方法，通常是以混凝土消波塊加高堤岸或作為被覆層保護，不僅妨礙觀海視線，同時存在的壓迫感使人民之親水意願大為降低。

而屬於較柔性的施工方法中，潛堤為沉沒海水之結構物，不露出水面對景觀破壞較少，亦能消散部分波能，降低水流流速，同時可使漂沙沉積於堤後，達到控制海灘侵蝕達到保護海岸之目的，而現有的潛堤為實心的混凝土結構物，研究者從海蝕洞的特殊景觀現象聯想到，如將孔洞應用在現有的潛堤結構，使它成為有孔透水式，其消波能力與本體穩定性有何改變？因此引發研究孔潛堤之動機。

## 貳、研究目的

- 一、研究發展透水式潛堤之結構。
- 二、探討三向透水式和不透水式潛堤對入射波之反射效果。
- 三、探討三向透水式和不透水式潛堤在堤後之流場分布與本體穩定性。

## 參、研究設備器材與裝置

### 設備器材：

- 一、水槽（全長 25m）-----一組
- 二、脈衝式雷射（120mJ）-----一台
- 三、CCD 攝影機 -----一台
- 四、桌上型電腦 -----一台
- 五、PIV 分析軟體-----一份
- 六、波高計-----五組

七、造波機-----一組

八、潛堤-----三個

(一) 有孔潛堤 (長 50 cm、寬 16cm、高 16cm、水平入口直徑 6cm、水平出口直徑 4cm、上方出口直徑 4cm)

(二) 有孔潛堤 (長 50 cm、寬 16cm、高 16cm、水平入口直徑 8cm、水平出口直徑 4cm、上方出口直徑 4cm)

(三) 無孔潛堤 (長 50 cm、寬 16cm、高 16cm)

### 裝置：

由上述之設備器材組裝後，會形成模擬波浪入射潛堤之主要裝置，其整體裝置如圖 1 所示。

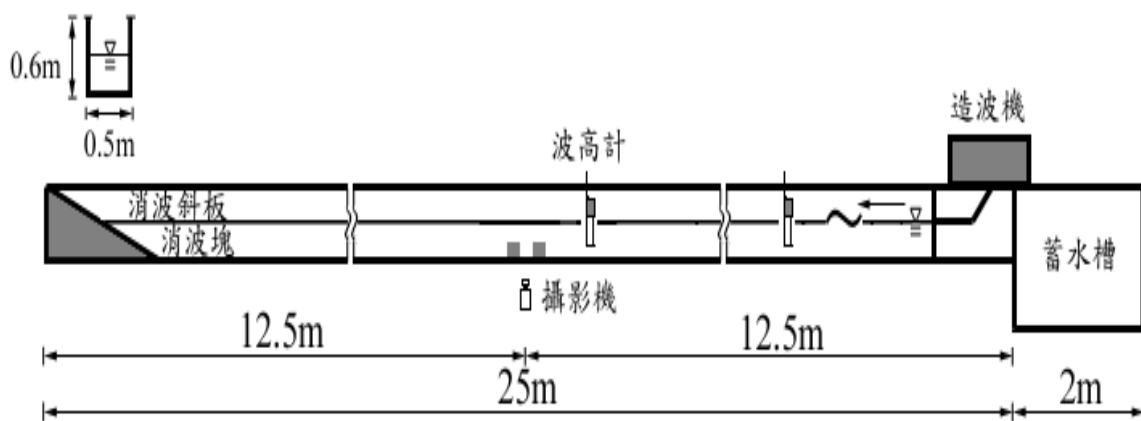


圖 1 實驗裝置圖

### 肆、名詞解釋與定義

一、潛堤：指潛入水中之堤岸。

二、反射率：
$$R = \frac{\eta_{\max} - \eta_{\min}}{\eta_{\max} + \eta_{\min}} \quad \text{----- (1)}$$
，當入射波被反射回來時，會與

後續的入射波形成類似駐波的波形，在第 (1) 式中， $\eta_{\max}$  為入射與反射波形成駐波的最大振幅， $\eta_{\min}$  為駐波的最小振幅，

R 值愈大阻絕波能之能力愈強；又根據能量守恆，反射能量與透射能量間恆存在：

$$K_R + K_T = 1 \text{-----} (2)$$

在第 (2) 式中， $K_R$  為反射率， $K_T$  為透射率。

三、波浪位相：波之週期如圖 2 所示，為了瞭解波浪通過三向透水式潛堤的流場機制，在此先定義波浪位相以及參考座標。在此定義當波浪之波峰通過離岸堤角（如圖 3 所示）的位置為零位相 ( $t/T = 0$ )。而離岸堤壁的位置定義為  $x = 0.0 \text{ mm}$ ，並在此定義逆時針渦流為正，順時針渦流為負。

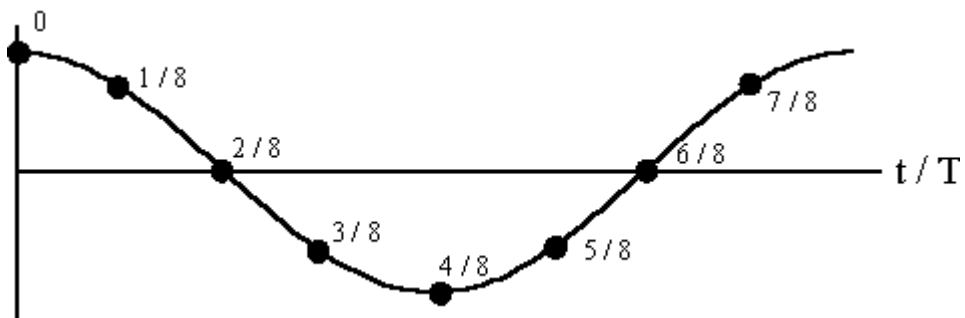


圖 2 水波之週期圖

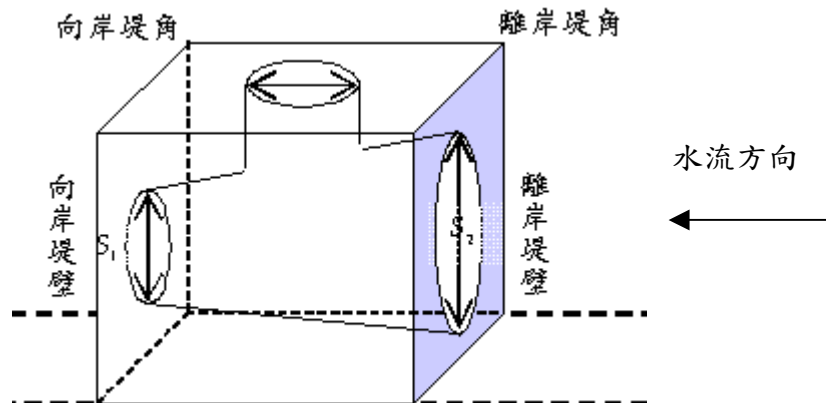


圖 3 離岸堤角與項岸堤角之位置界定圖

#### 四、有義週期波：

由於實際海浪之週期極不規則，如將其週期由長排列至短，取靠近長週期的前 1/3 加以平均，以此平均值來代表實際海浪之週期，而根據數值統計分析結果，此週期具有 80% 之代表性，而在不同區域（深度）其波長與週期之間存在下列之關係。

深水區（外海）之波長 L 與週期 T 的關係符合第（3）式：

$$L = (1.56)^2 T \text{----- (3)}$$

而淺水區（近沿岸）之波長 L 與週期 T 的關係符合第（4）式：

$$L = \sqrt{gh} T \text{----- (4)}$$

因此只要有週期資料即可算出波長之長度。

#### 五、潛堤編號：

- (1) 有孔潛堤（水平入口 6cm、水平出口 4cm）：以下實驗簡稱 A 結構物。
- (2) 有孔潛堤（水平入口 8cm、水平出口 4cm）：以下實驗簡稱 B 結構物。
- (3) 無孔潛堤：以下實驗簡稱 C 結構物。

#### 伍、研究限制

- 一、由名詞解釋中的「有義週期波」說明可了解，實際海浪之週期雖極不規則，但由統計後發現，可利用前 1/3 之長週期平均值來代表整體週期，其中能有 80% 的代表性，其所對應之波長亦具有 80% 的代表性，因此利用週期波來模擬海面之波浪雖具某種程度之代表性，同時亦存在 20% 的差異性。
- 二、根據學理得知，長波長具有較大的破壞能力（因作用時間較長），所以針對前述兩項特性（週期代表性與較嚴苛的波浪條件）加以模擬，故本實驗量測流場所使用的週期波是屬於波長較長的波源。

## 陸、實驗流程

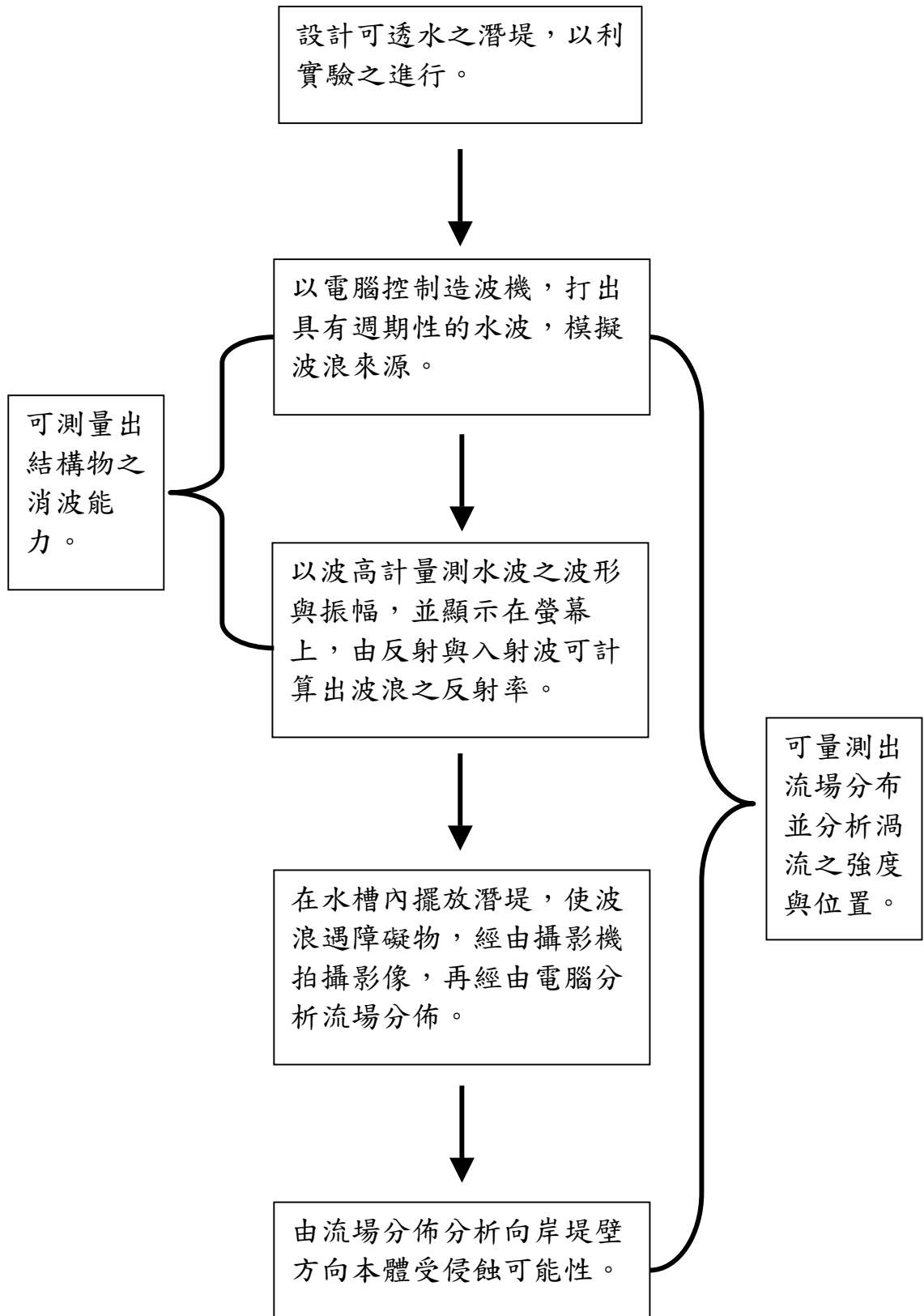


圖 4 實驗流程圖



## 柒、實驗步驟

### 一、實驗一：研究發展透水式潛堤之結構

#### (一).設計理念：

1.海堤或消波塊組成之護岸對於阻擋暴潮及波浪有相當顯著之效果，主要是結構對於波能之反射較強，因此能阻絕強大的波能入侵，但同時也容易造成反射波與入射波之能量疊加，產生能量更大之波浪，對於防禦結構容易產生破壞，因此設計孔洞讓部分能量透過。

2.根據流體力學中的連續性方程式： $A_1V_1=A_2V_2$ ----- (5)

孔徑小之處流速較快（如圖 5 所示），因此如讓水流從大口徑處往小口徑移動，水流會與管子邊緣摩擦劇烈而損失部分能量，故結構物孔徑由大而小。

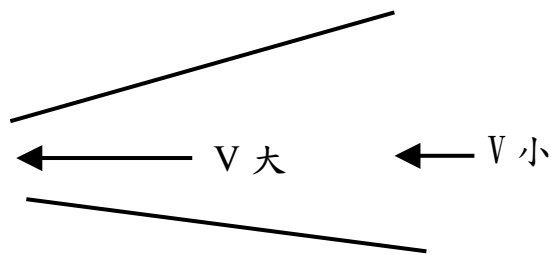


圖 5 流速與孔徑關係示意圖

3.如能利用波浪本身來消弱自己之能量，則可減弱波浪之威脅，所以結構中設計能有往上之通道，使一部份水流往上衝時，會與上方來的水流互相衝突，因而削弱波能（如圖 6 所示）。

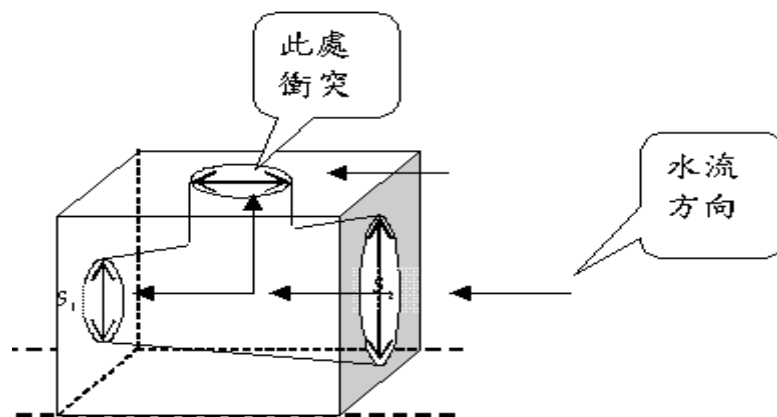


圖 6 水流衝突圖

## (二) 成品製作：

- 1.材料：以水泥混凝土為主，中間放有 PVC 管，作為通道。
- 2.成品規格：潛堤結構規格如圖 7 所示，照片如圖 8、圖 9、圖 10 所示。

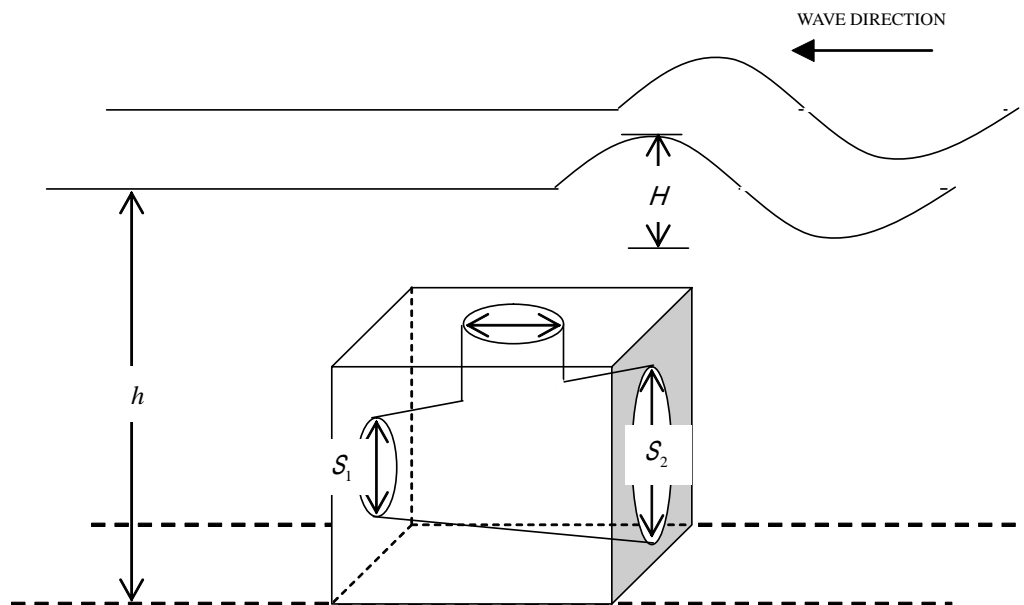


圖 7 透水式潛堤結構示意圖



圖 8 不透水潛堤



圖 9 透水式潛堤 (6 x4)



圖 10 透水式潛堤 (8 x4)

## 二、實驗二：研究透水式潛堤和不透水式潛堤對入射波之反射效果

### (一) 過程一：對 A 結構物改變不同波長進行試驗

#### 1.目的：

了解 A 結構物對不同週期波的反射率表現。

#### 2.方法與步驟：

固定振幅為 4cm 的波高，水深皆為 24cm，量測 A 結構物所造成的反射率，每一週期皆試驗五次取平均值。

#### 3.結果：

結果如圖 11 所示。

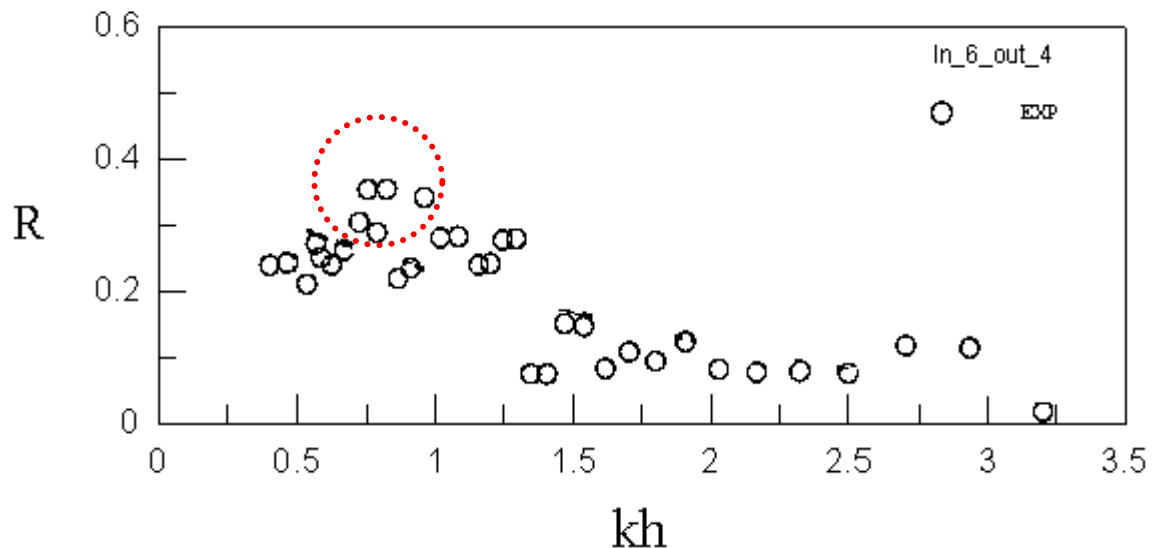


圖 11 A 結構物在不同波長入射後所得反射率圖

#### 4.分析：

- (1) 圖 11 中  $Kh$  所代表的涵意為「相對水深」，其值為  $Kh = \frac{2\pi h}{L}$ ，其中  $h$  為水深， $L$  為波長，因此橫座標愈往左方時（原點），其波長會愈長，亦即週期會愈長。
- (2) 由圖 11 發現 A 結構物潛堤對於不同週期入射波有著不同反射率，在長週期處有較大之反射率，在週期 1.3 秒，波長 1.8326m 時反射率有

極大值 0.355。A 結構物對於不同週期波之反射率呈現一高峰值（紅色圓圈），代表此週期波與 A 結構物有共振之效果，因此當此週期波進入潛堤時，其波高會特別拉高、波長變短，而擋住後方來的入射波，導致反射率最大，如圖 12 所示。

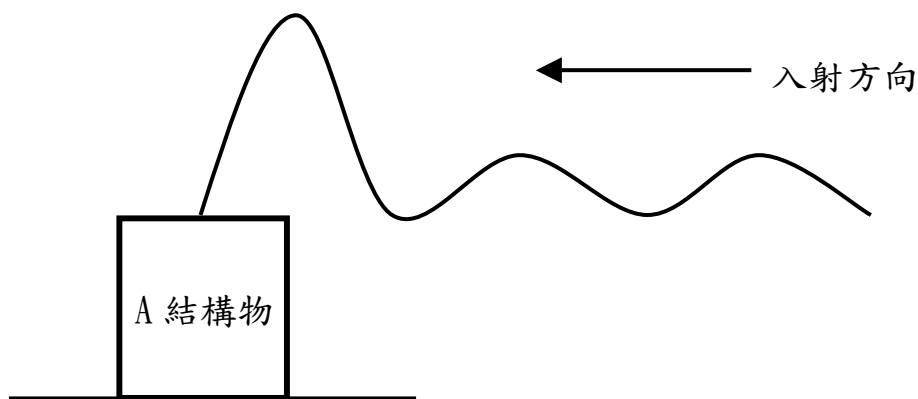


圖 12 共振波入射潛堤時反射率增大示意圖

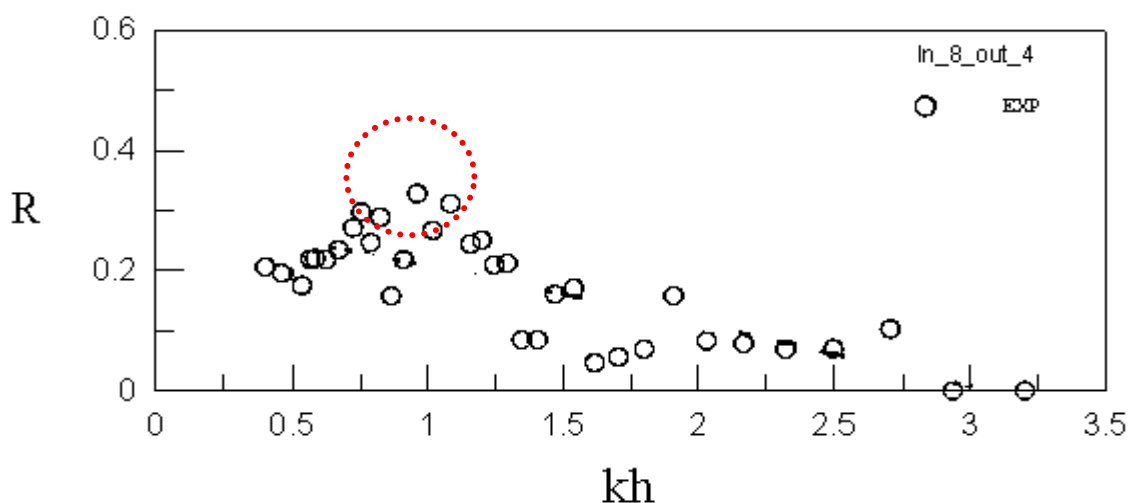
## (二) 過程二：對 B 結構物改變不同波長進行試驗

### 1. 目的：

目的在於了解入水口之口徑加大時，其反射率會有何改變？

### 2. 方法與步驟：同過程一。

### 3. 結果：結果如圖 13 所示。



13 B 結構物在不同波長入射後所得反射率圖

#### 4.分析：

由圖 13 得知，B 結構物對於不同週期波亦有著不同反射率，且在週期 1.15 秒、波長 1.5715m 時有反射率極大值 0.328（紅色圓圈），比 A 結構物略小。

### （三）過程三：對 C 結構物改變不同波長進行試驗

#### 1.目的：

想了解不透水式潛堤對不同週期波之反射率？

#### 2.方法與步驟：同過程一。

#### 3.結果：結果如圖 14 所示。

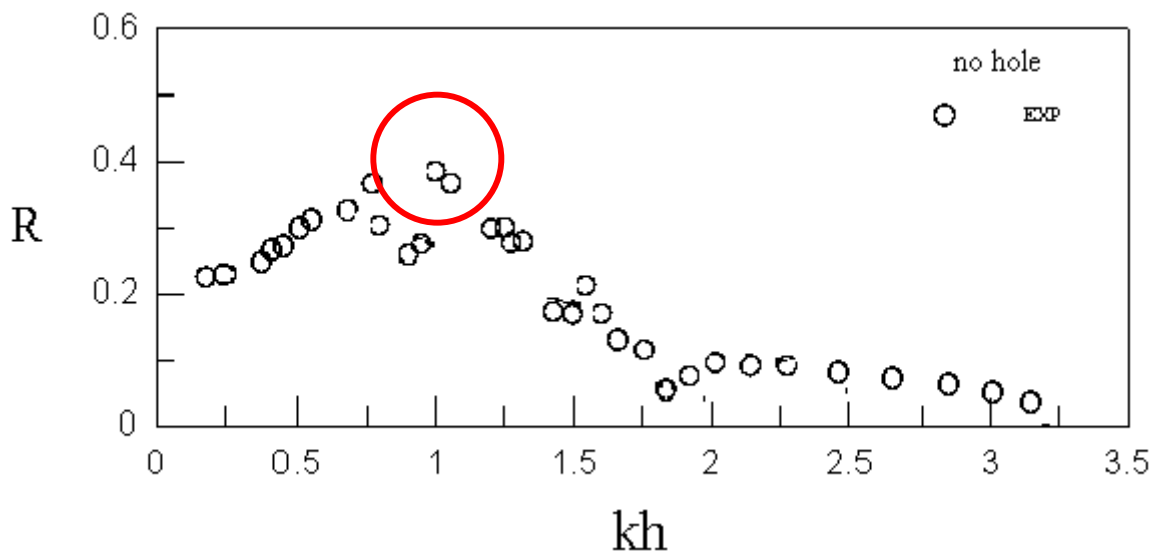


圖 14 C 結構物在不同波長入射後所得反射率圖

#### 4.分析：

由圖 14 得知，C 結構物對於不同週期波亦有著不同反射率，且在週期 1.15 秒、波長 1.5723m 時有反射率極大值 0.389（紅色圓圈）。

### (五) 綜合分析與討論：

1. 只要改變結構物本體之構造，就會改變其消波能力，由圖 12、13、14 可發現雖潛堤結構不同，但皆對某一週期波具有最大反射率，亦即代表與每一種結構物共振之波長不同，將每一種結構物之最大反射率資料列於表 2 中。

表 2 不同結構物在最大反射率時之相關參數表

結構物名稱	最大反射率時之週期	最大反射率時之波長	最大反射率
A(進 6 出 4)	1.30 秒	1.8326m	0.355
B(進 8 出 4)	1.15 秒	1.5715m	0.328
C(不透水)	1.15 秒	1.5723m	0.389

2. 由表 2 發現，只要將不透水式鑽孔後會使其反射率降低，根據資料，A 結構物與 B 結構物之入水與出水口徑比分別為 3/2 和 2，由此可知此比例愈大者將會有更多能量透射過去，反射率會下降。
3. 在表 2 中，週期 1.15 秒時 B 與 C 結構物之波長分別為 1.5715m 與 1.5723m，波長雖不同但差異甚小，因此可視為同波長，亦即 B 與 C 結構物在週期 1.15 秒、波長 1.5723m 時皆有最大反射率值，因此在下一個流場之試驗中，擬定以週期 1.15 秒、波長 1.5723m 為入射波源。

### 三、實驗三：探討三向透水式和不透水式潛堤在堤後之流場分布與本體穩定性。

#### (一) 過程一：對 A 結構物進行堤後之流場分布試驗。

1. 目的：為了解 A 結構物在長波長時，堤後流場流速之分佈，藉以分析本體穩定性。
2. 方法與步驟：同前述過程一之拍攝過程，固定週期 1.15 秒、波長 1.5723m。
3. 結果：

由實驗得知流場圖在前、後週期之差異性甚小，因此只列出一週期之流場圖，如圖 15 至圖 18 所示。

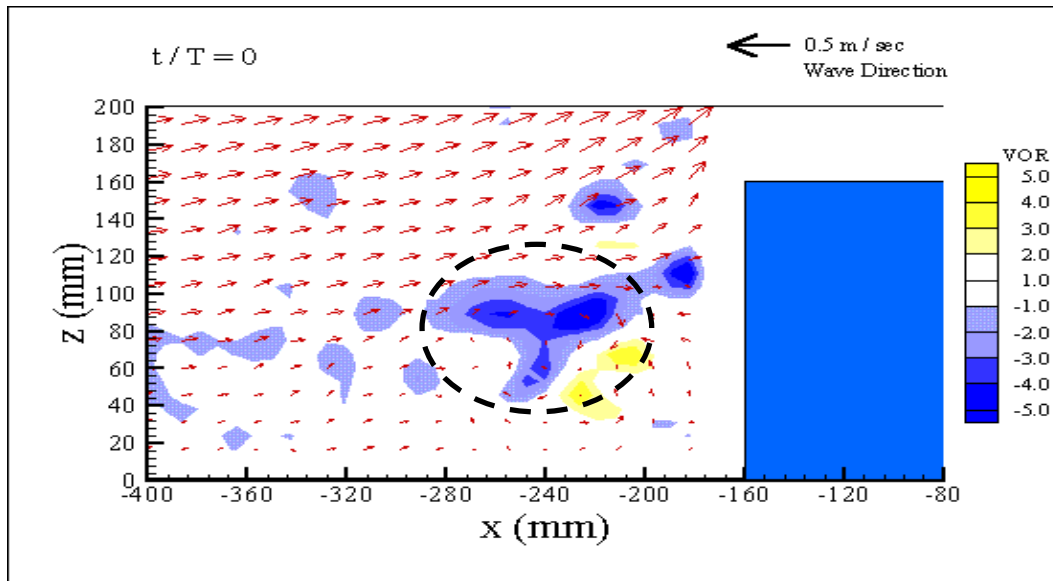


圖 15 A 結構物堤後在  $T=0$  時之流場分布圖

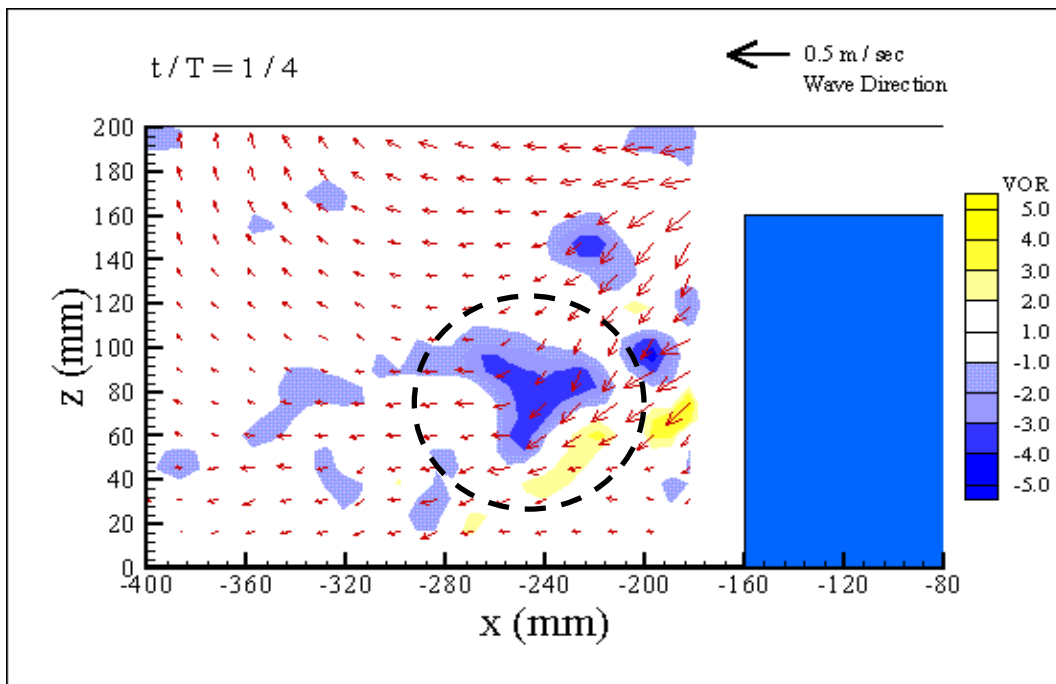


圖 16 A 結構物堤後在  $T/4$  時之流場分布圖

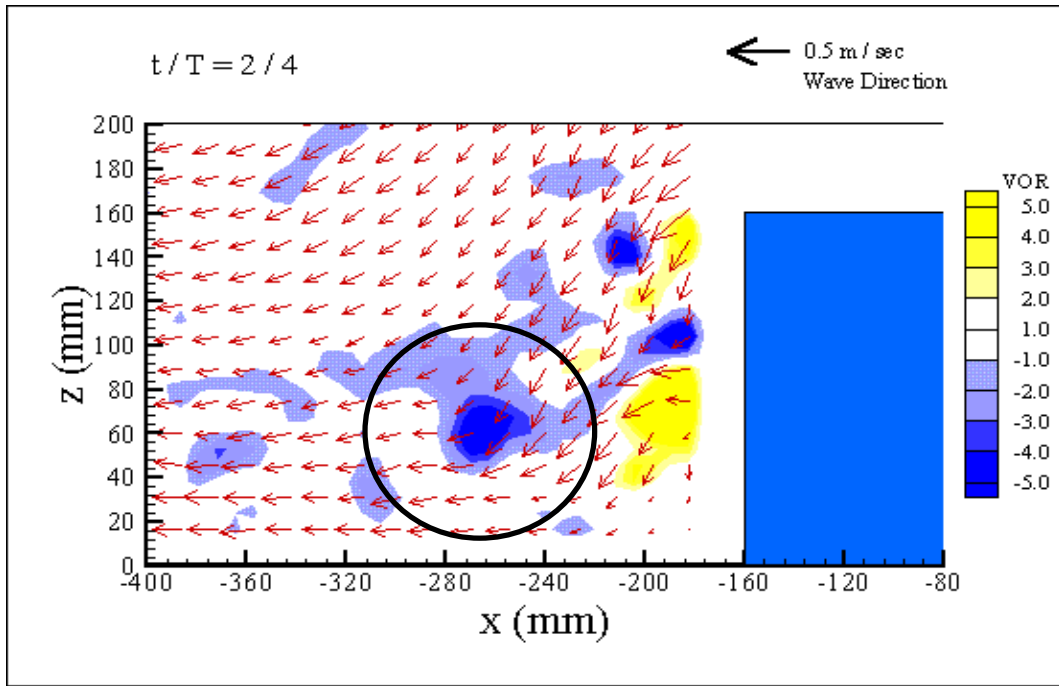


圖 17 A 結構物堤後在  $2T/4$  時之流場分布圖

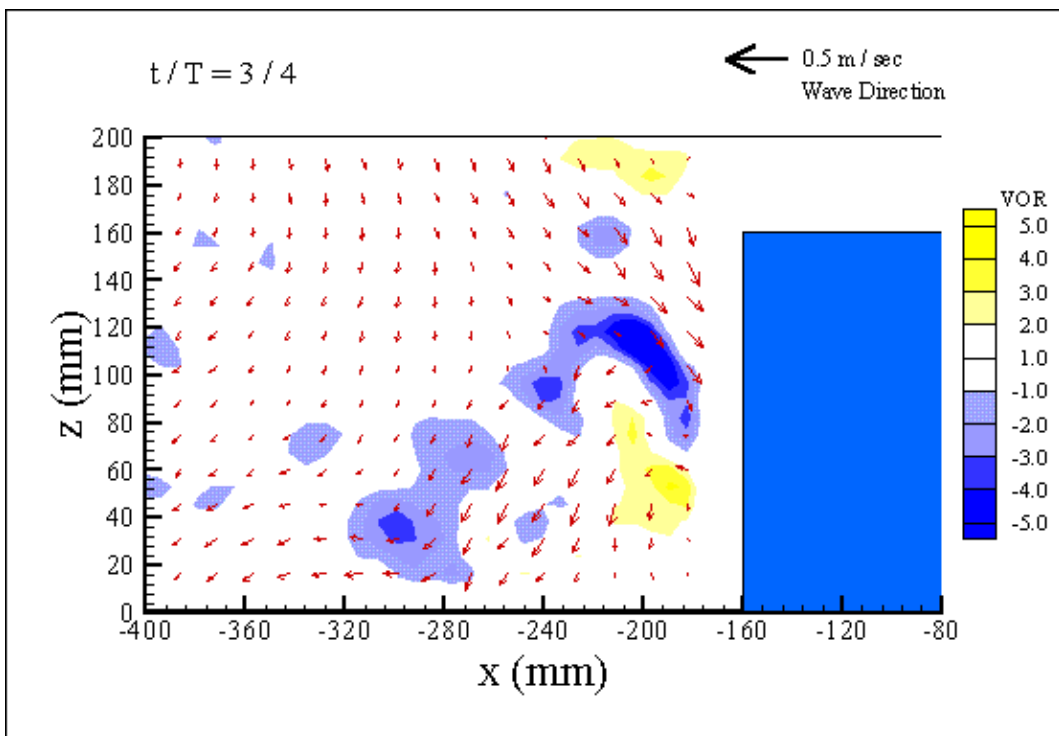


圖 18 A 結構物堤後在  $3T/4$  時之流場分布圖



#### 4.分析：

- (1) 圖 15 可知，當  $t/T=0$  時，在向岸側有一明顯的順時針渦流（圓圈處）。由圖 16 可知，在  $t/T=1/4$ ，於向岸堤角處產生一逆時針渦流，此逆時針渦流將隨著波峰的前進，緊貼著結構物的表面移動，在向岸堤壁側產生最大的逆時針渦流。
- (2) 圖 17 在  $t/T=2/4$ ，波峰已經通過向岸堤壁，故此向岸堤壁所產生的逆時針渦流達到成熟，發生最大逆時針渦流強度。圖 18 為  $t/T=3/4$ ，波浪波谷到達向岸堤角，向岸堤角處產生流體分離，便於向岸堤壁產生一順時針渦流欲隨著波谷往向岸堤角處移動。

#### 5.最大渦流強度發生之時序列資料：

由圖 19 為 A 結構物最大的順時針渦流強度不到  $10 (1/s)$ ，而最大逆時針渦流強度約有  $12 (1/s)$ 。

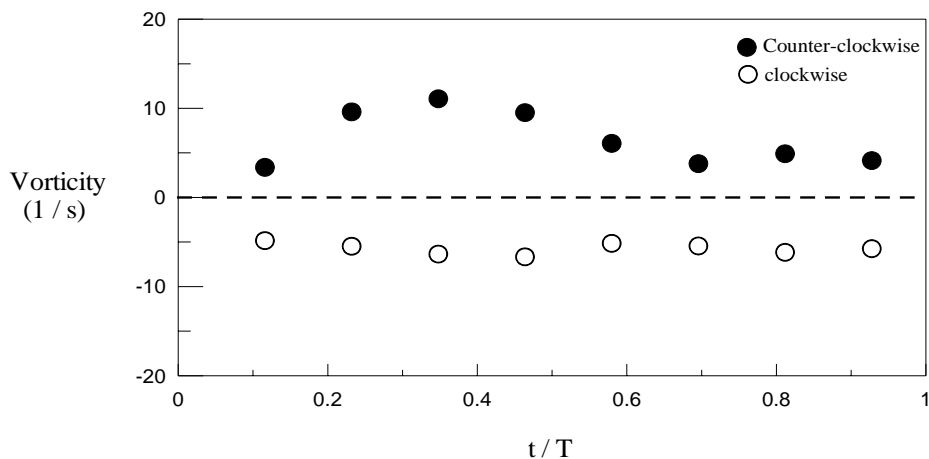


圖 19 A 結構物反射率 0.342 時之最大渦度時序列資料圖

#### 6.最大渦流發生位置之資料：

由圖 20 顯示，向岸側的逆時針渦流有往向岸側的方向移動的趨勢，最遠有影響到向岸側  $x = -280 \text{ mm}$  處。

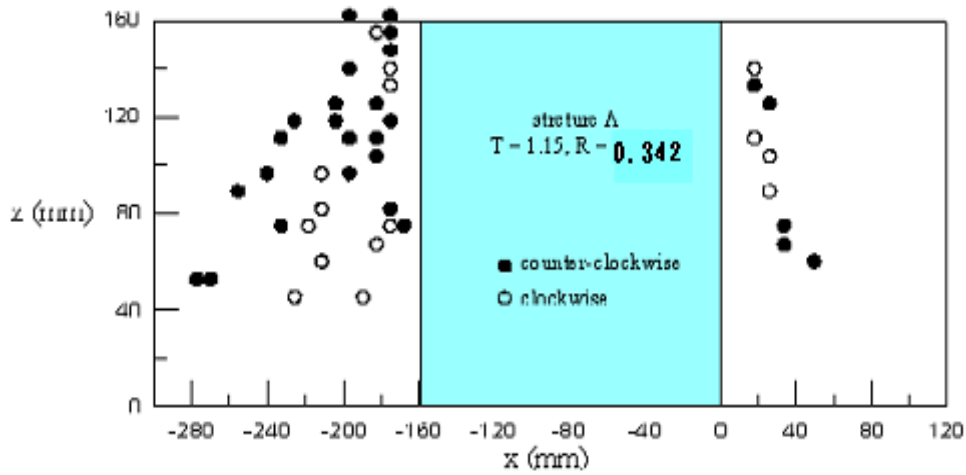


圖 20 A 結構物反射率為 0.342 之最大渦度發生位置圖

(二) 過程二：對結構物 B 進行堤後流場流速之試驗

- 1.目的：了解加大入水口之孔徑其堤後流場流速之分佈。
- 2.方法與步驟：固定週期 1.15 秒、波長 1.5723m。
- 3.結果：B 結構物一週期之流場圖，如圖 21 至圖 24 所示。

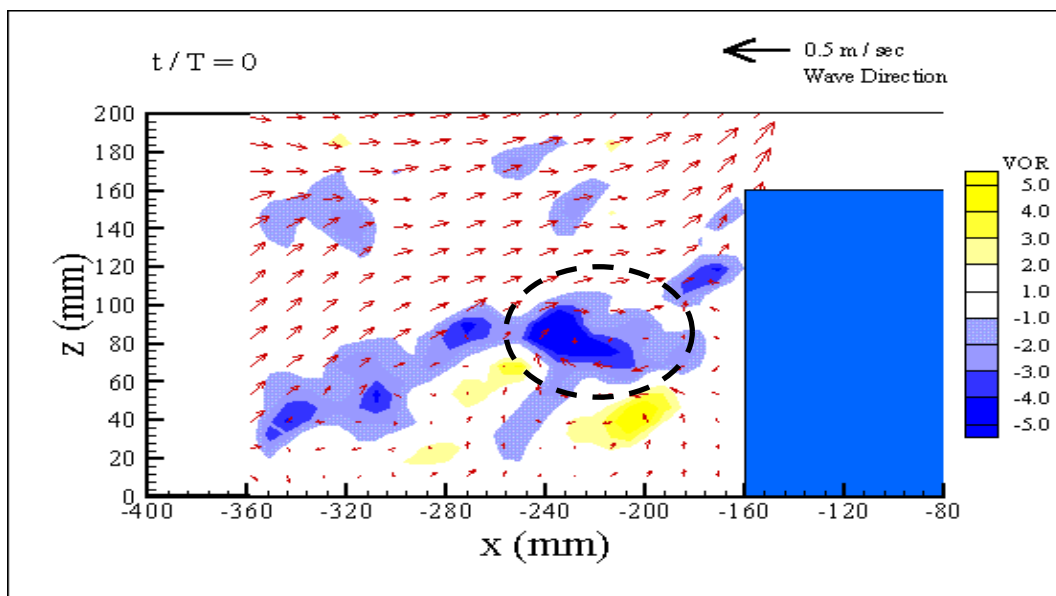


圖 21 B 結構物堤後在 T=0 時之流場分布圖

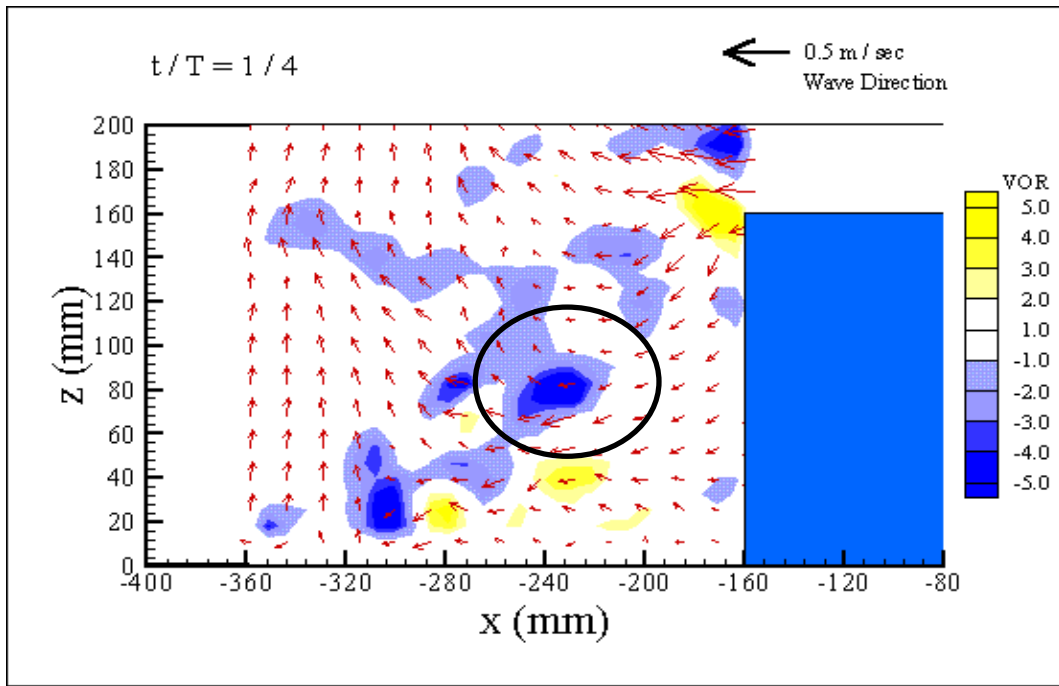


圖 22 B 結構物堤後在  $T/4$  時之流場分布圖

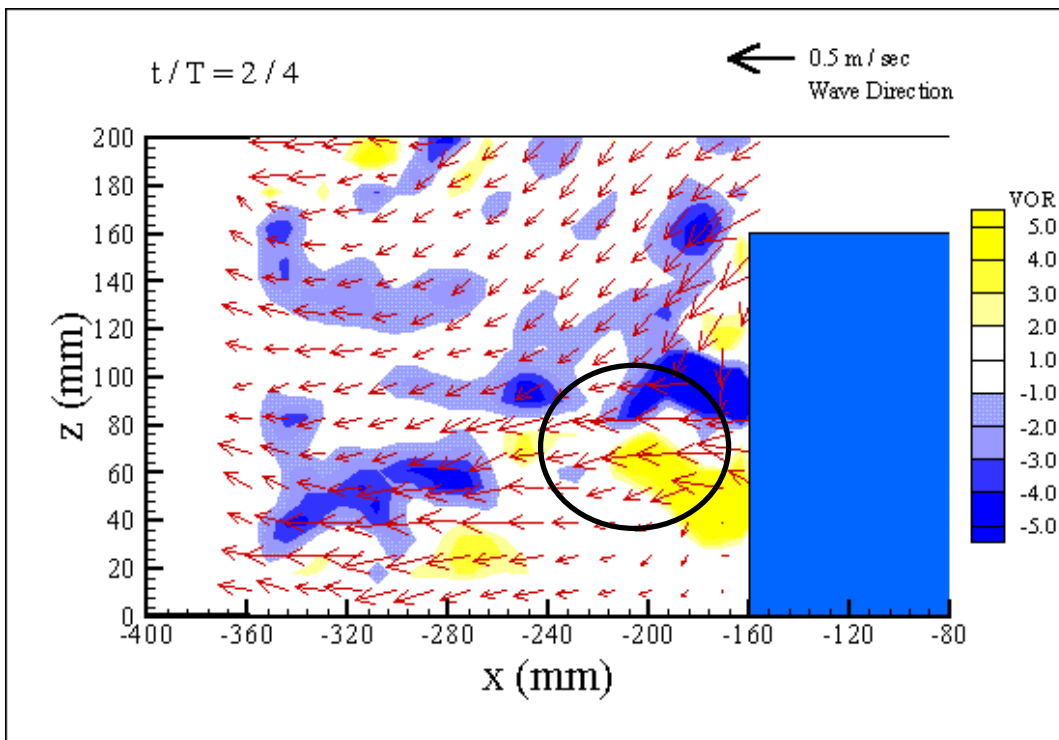


圖 23 B 結構物堤後在  $2T/4$  時之流場分布圖

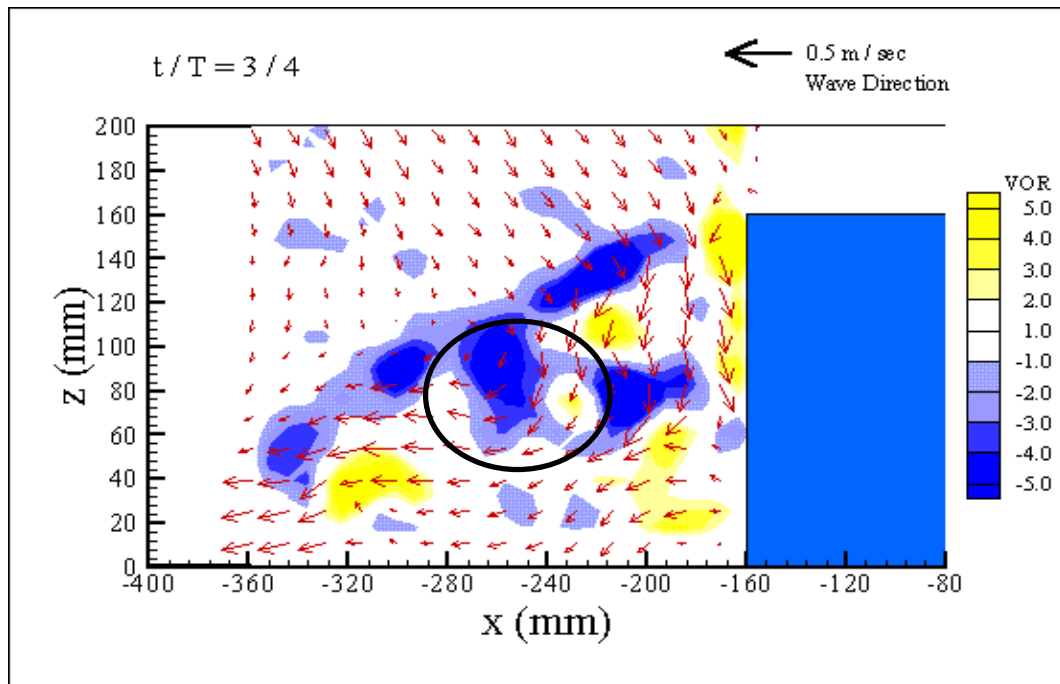


圖 24 B 結構物堤後在  $3T/4$  時之流場分布圖

#### 4.分析：

- (1) 圖 21 當  $t/T=0$  時，在向岸側有一明顯的順時針渦流。圖 22 知，在  $t/T=1/4$  此位相下波谷到達向岸堤角，發生流體分離現象，故於向岸堤角處開始發展一逆時針渦流。
- (2) 圖 23 在  $t/T=2/4$ ，波峰已經通過向岸堤壁，故此向岸堤壁所產生的逆時針渦流達到成熟，發生最大逆時針渦流強度。圖 24 為  $t/T=3/4$  的順時針渦流繼續融合，向岸側產生一個規模相當大的順時針渦流。

#### 5.大渦流強度發生之時序列資料：

圖 25 知結構物 B 最大的順時針渦流強度不到  $10 (1/s)$ ，而最大的逆時針渦流強度約有  $18 (1/s)$ ，平均值為  $8.500 (1/S)$ 。

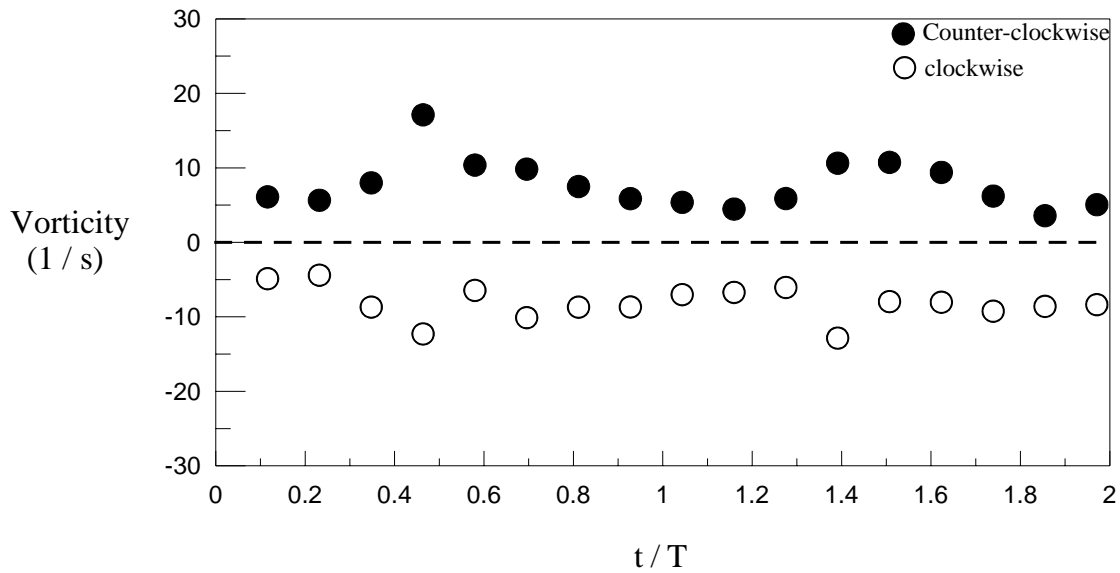


圖 25 B 結構物之渦流強度時序列資料

### 6. 最大渦流發生位置：

圖 26 中顯示最大順時針及最大逆時針渦流的發生位置比較接近向岸堤壁，渦流最遠影響到  $x = -300$  mm 處的位置。

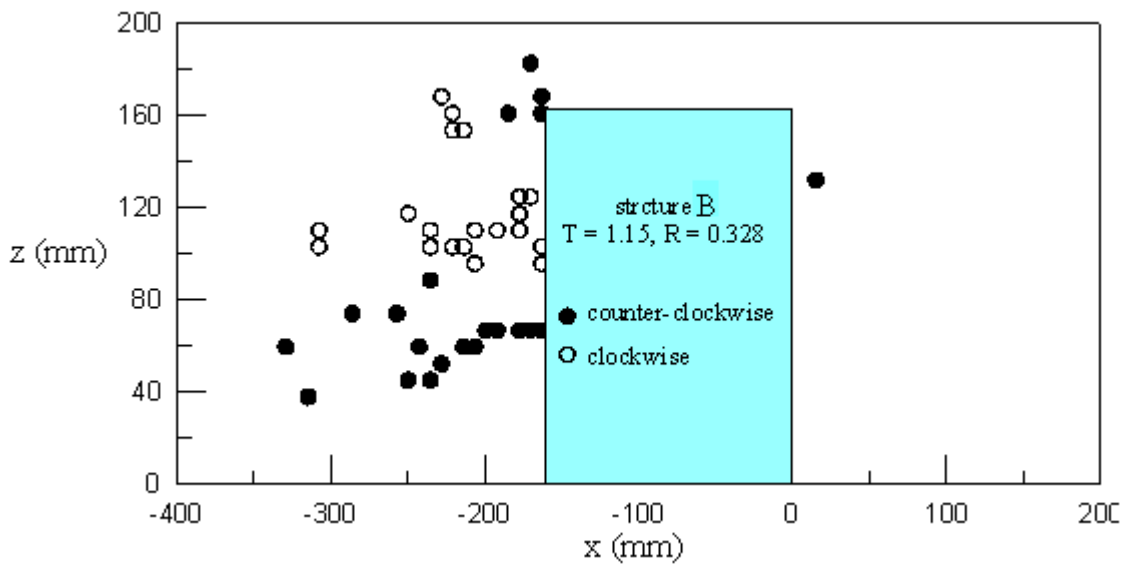


圖 26 結構物 B 在反射率 0.328 之最大渦度發生位置圖

### (三) 過程三：對 C 結構物堤後進行流場流速之試驗

1. 目的：了解 C 結構物在最大反射率時其堤後流場流速分佈。

2. 方法與步驟：固定週期 1.15 秒、波長 1.5723m。

3. 結果：C 結構物一週期之流場圖，如圖 27 至圖 30 所示。

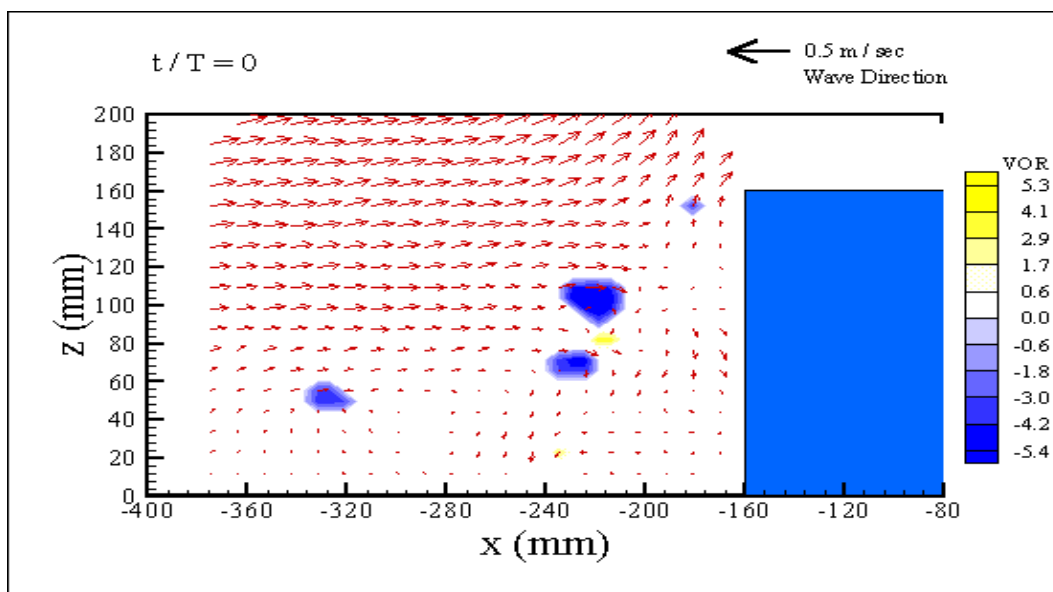


圖 27 C 結構物堤後在 T=0 時的流場分布圖

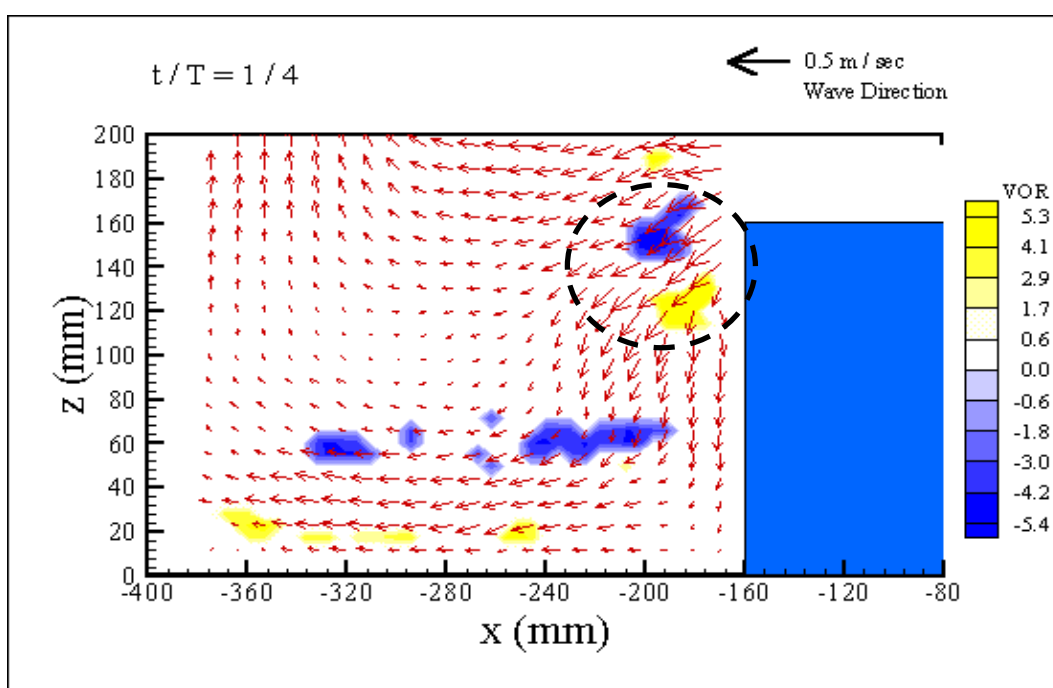


圖 28 C 結構物堤後在之 T/4 時之流場分布圖

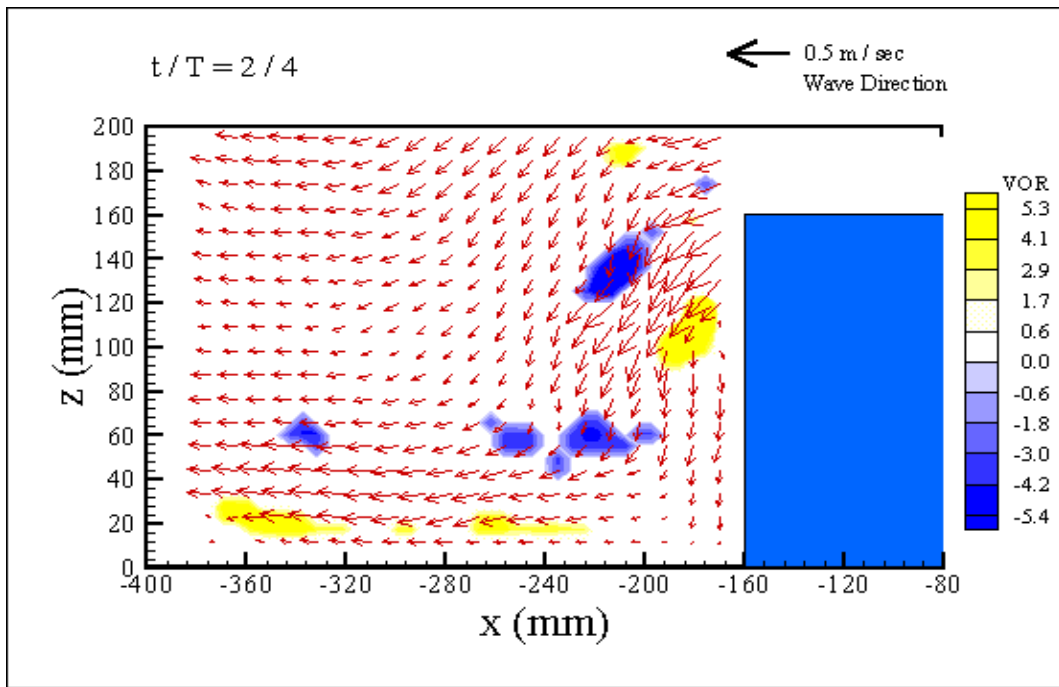


圖 29 C 結構物堤後在  $2T/4$  時之流場分布圖

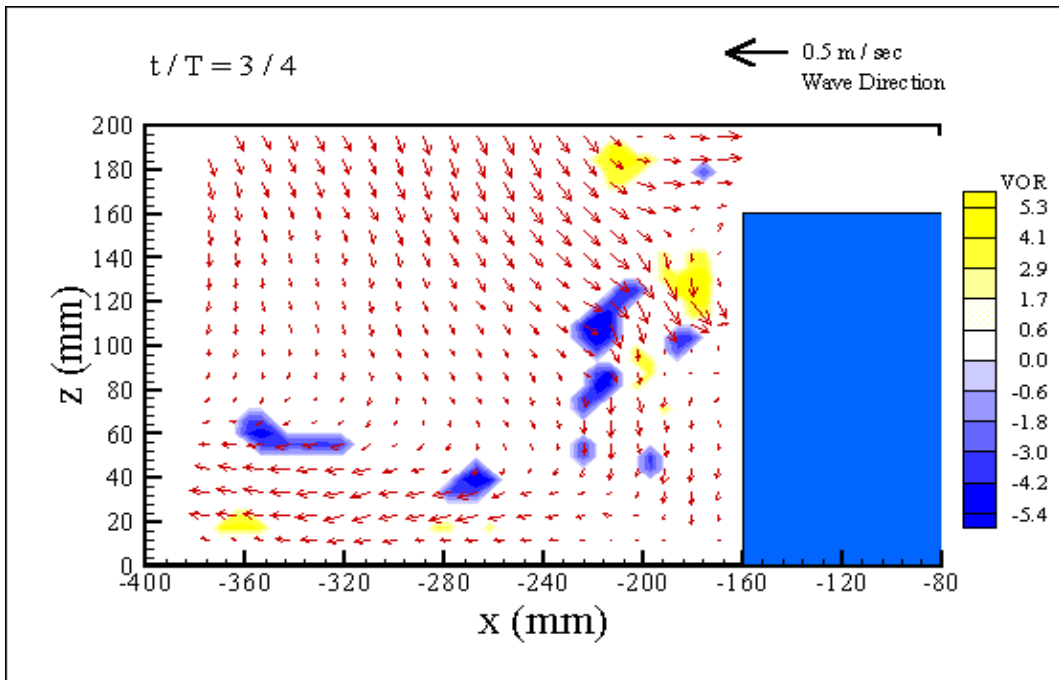


圖 30 C 結構物堤後在  $3T/4$  時之流場分布圖

#### 4. 分析：

(1) 圖 27 知當  $t/T = 0$ ，產生規模及強度較小的順時針、逆時針渦流。

由圖 28 可知，在  $t/T = 1/4$  波峰通過向岸堤壁並於向岸堤角處產生流體分離，故在向岸堤壁處會產生一逆時針渦流。

(2) 圖 29 在  $t/T = 2/4$ ，向岸堤壁的逆時針渦流漸漸向下移動，其渦流強度漸漸減少，並且和上方的順時針渦流開始分離。圖 30 知  $t/T = 3/4$  時，因為波谷到達向岸堤角產生流體分離，生成的順時針渦流，漸漸地將此微弱的逆時針渦流強度消滅至無。

#### 5. 最大渦流強度時序列資料：

圖 31 知結構物 C 的最大逆時針渦流強度約  $17(1/s)$ ，最小為  $5(1/s)$ ，平均值為  $8.125(1/s)$ 。

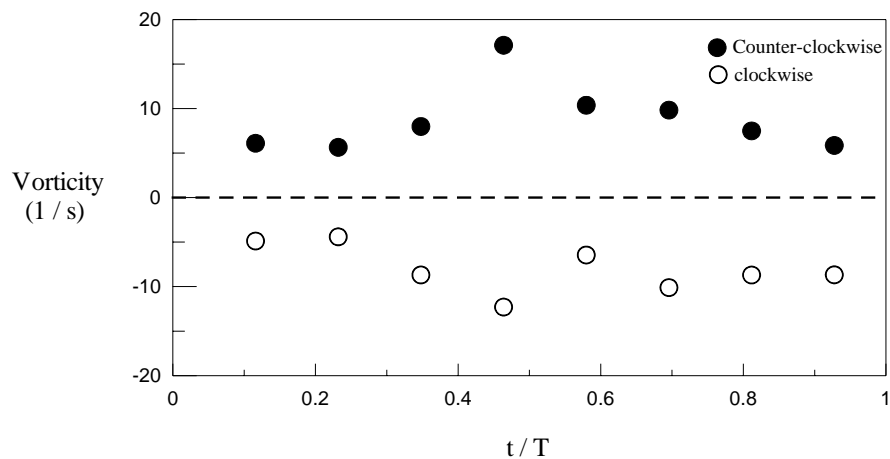


圖 31 C 結構物之渦流強度時序列資料圖

#### 6. 最大渦流強度發生位置：

圖 32 為 C 結構物且逆時針渦流最遠可影響到  $x = -400 \text{ mm}$  處的流場。



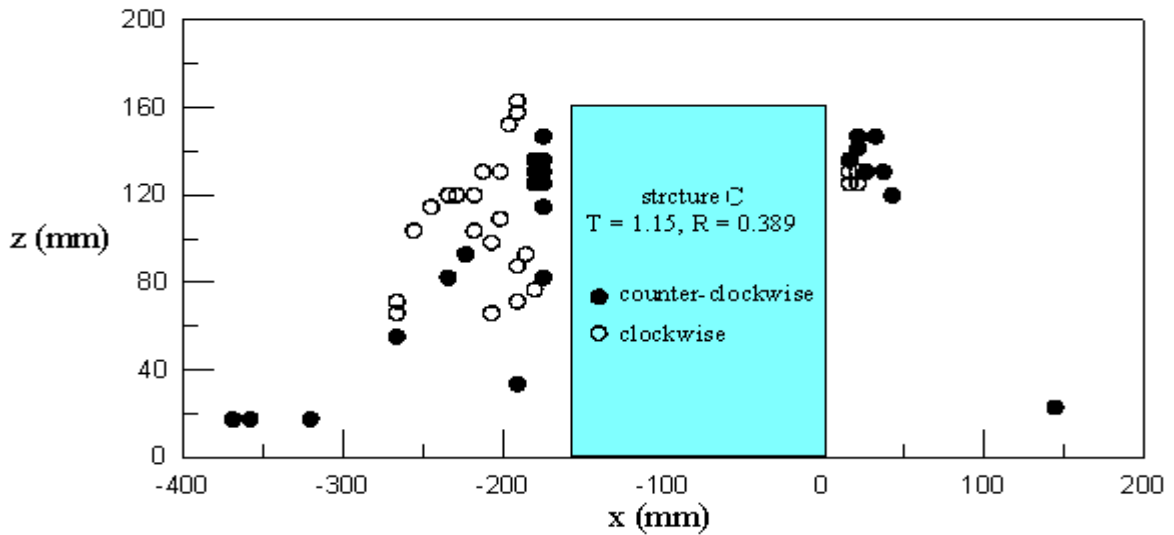


圖 32 C 結構物最大渦流強度發生位置圖

### 捌、分析與討論

一、對三種潛堤進行反射率、流場試驗後所得數據彙整於表 2。

表 2 三種潛堤在週期 1.15 秒時之反射率、渦流強度與影響範圍表

結構物名稱與編號	最大反射率	最大渦流強度與方向 (1/s)	一週期內渦流強度之平均值 (1/s)	渦流向岸堤壁方向影響最遠範圍	向岸堤壁從堤頂往下 2/3 處渦流總強度 (1/s) 與堤壁受侵蝕可能性	向岸堤壁從堤腳往上 1/3 處渦流總強度 (1/s) 與堤腳受淘空可能性
三向透水式潛堤 A (進 6cm 出 4cm)	0.342	逆時針約 12	6.125	280mm	110.24 最低	0 較低
三向透水式潛堤 B (進 8cm 出 4cm)	0.328	逆時針約 18	8.500	300mm	127.5 次之	0 較低
不透水式潛堤 C (不透水)	0.389	逆時針約 17	8.275	400mm	132.12 最高	9.25 較高

2. 由表 2 可看出，將不透水潛堤改成有孔透水式後，其反射率會降低，且最大渦流方向皆為逆時針方向，此現象可由圖 33 看出，因為波峰經過堤後(向岸堤方向)會往下落，因而會在堤壁方向行成逆時針之渦流。

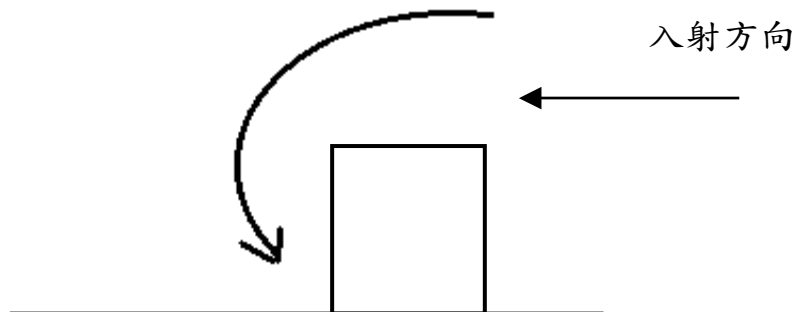


圖 33 最大渦流方向說明圖

3. 由表 2 發現：結構 B>結構 C>結構 A，其中結構 A 之渦流強度最小，代表由水平出水口打出之射流(圖 34 所示)，有效瓦解圖 33 之逆時渦流，使得平均渦流強度大大降低；但結構 B 因前後出口比例較大，射流強度過大，因而產生較結構 C 大的渦流強度。

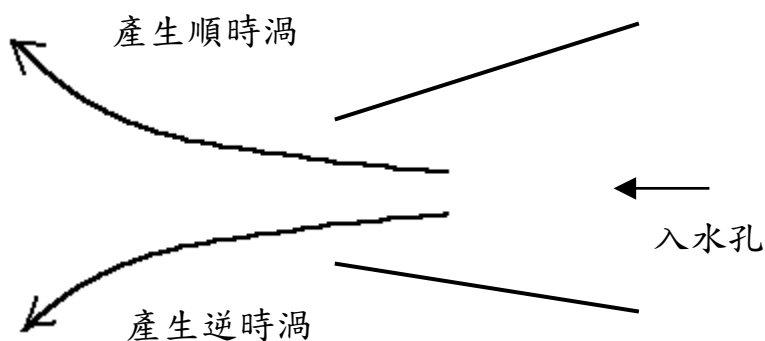


圖 34 有孔潛堤出口射流方向說明圖

4. 圖 35 可發現堤頂往下 2/3 處(紅色框)受侵蝕可能性比較：結構 C>結構 B>結構 A；又堤腳渦流強度比較(藍色框)：結構 C>結構 A=結構 B，。

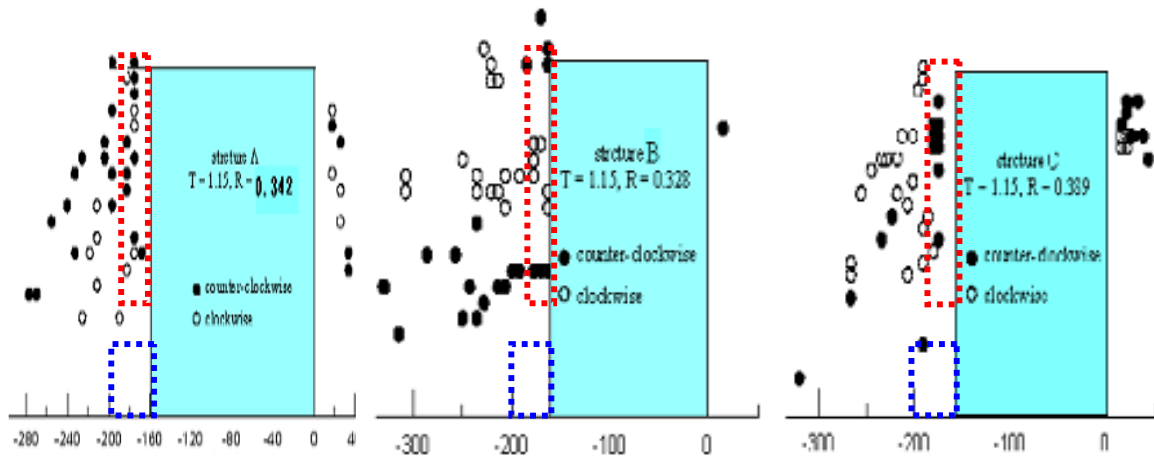


圖 35 三種潛堤堤後渦流分布比較圖

5. 結構物 B 的渦流強度時序列資料比較類似結構物 C 的渦流強度時序列資料，但是造成結構物 B 渦流強度增加(相較於結構物 A 的渦流強度時序列資料)的原因主要是來自於結構物表面的出水孔之孔徑比例變大，相對流出之流速會加快，因此產生與不透水式較接近的渦流強度(如圖 36 所示)。

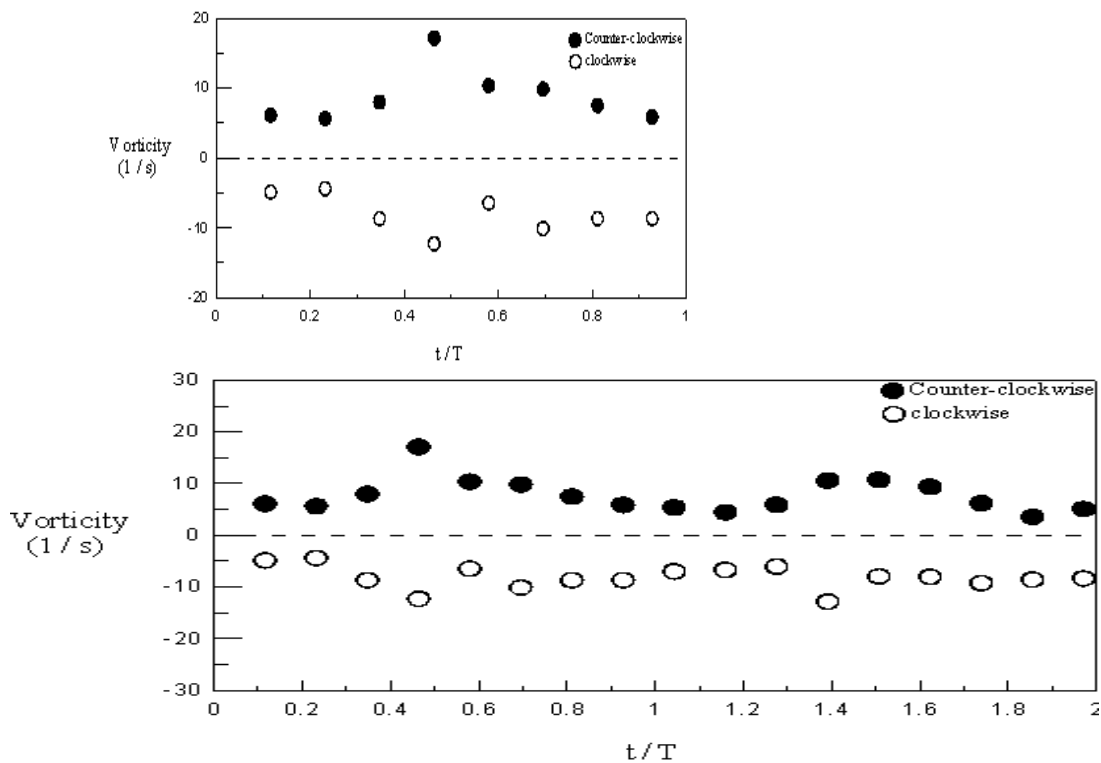


圖 36 B 與 C 結構物堤後渦流強度時序列資料比較圖

## 玖、結論

- 一、 潛堤對不同波長的入射波會有不同的消波效果，且在這其中會對某一特定波長產生最佳的消波能力（最大反射率），因此只要將不透水式改成透水式，會有一部分能量從中央孔洞透射，故其反射率會降低，又入水口孔徑愈大，透射過去之能量愈多，反射率會愈低。
- 二、 堤後會因為上方透射波的塌陷而在向岸堤方向形成逆時渦流；此外透水式潛堤中央的出水口會產生射流，此射流有削弱前述堤頂上方透射波所形成之渦流的功能，但射流如過大反而會形成更大之渦流強度。
- 三、 渦流的威脅性在於引起侵蝕現象，堤頂區域受侵蝕威脅之比較：C 結構物 > B 結構物 > A 結構物，以不透水式最嚴重；而堤腳的侵蝕會造成潛堤傾倒，偏離原位置，失去消波之功能，三種潛堤堤腳區域受侵蝕威脅之比較為：C 結構物 > A 結構物 = B 結構物。
- 四、 水平出口之射流能削弱上方透射之波能，使其渦流強度減弱（A 結構物），但如水平入、出口之孔徑比例太大則會產生更大渦流（B 結構物），因此設計上應調整水平入、出口之孔徑比例，使之不宜超過  $3/2$ ，避免增加渦流強度而影響本體之壽命。

## 拾、展望

經研究後，對三向透水式結構物已有初步之了解，因此在最後提出以下建議，以提供日後改進以及三向透水式結構物最佳化的設計：

- 一、 往後之研究可將潛堤反方向擺放，以了解入水孔小而出水孔大時之流場分布與本體穩定性有何差異。
- 二、 研究所使用的結構物，內部如能改變成較為流線的情況，則可以有效地增加堤頂出水孔的射流強度，此外可試著改變堤頂開口的位置，使堤頂出水孔產生的射流可以朝向入射波的方向，應可以有效增加結構物的堤前反射，降低結構物堤後的透射率。

三、本實驗雖未在生態保育方面進行試驗，但推估，渦流強度愈強，浮游生物較無法在此生存，相對水生動物也會難以在此存活，因此評估如要實施生態保育，則可能產生較佳環境的潛堤順序為：A 結構物> C 結構物> B 結構物。

#### 拾壹、參考資料

- 一、大同資訊(2002):高中基礎地球科學(全)、物質科學地球科學篇第一冊。
- 二、林宸生(2003):數位訊號—影像與語音處理，全華科技圖書有限公司。
- 三、吳盈志(1997):「波浪通過潛堤之渦流行為」，國立成功大學水利暨海洋工程研究所碩士論文。

## 評語

040507 高中組地球科學科 最佳創意獎

永續的鑽石海岸—有孔潛堤消波能力之研究

實驗製作頗有創意。