

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 地球科學科

佳作

040509

不可不『堤防』

學校名稱：國立鳳山高級中學

作者： 高二 李啟維	指導老師： 張怡萍
---------------	--------------

關鍵詞：突堤效應 海岸變遷

## 壹、摘要：

突堤為突出海岸之海岸保護工程，具有攔截沿岸漂砂、控制海灘地形、改變海岸線方向、阻擋沿岸流或改變潮流方向的功能。

本實驗係使用一大水槽，模擬突堤效應的發生，觀察它對堤前、堤後的影響，並藉由外海堆沙圖形，來觀察分析出水流繞射過堤岸後之情況。並控制變因，改變突堤長度或波的入射角，發現當堤長愈長或入射角愈大時，在堤後的侵蝕會增加，且侵蝕距離越遠。另外還推廣至形狀上的差異。L 字型，凹處堆積現象最多，且堤後侵蝕最少；T 字型，堤前、堤後的凹處皆可堆積，且可應付不同的入射波。

為了佐證實驗上得到的結果，確定得到的結果與真實情況是否相同或相似。藉由探究於實地探察來驗證，以得更多深入的探討。

然而，海岸工程如果單以堤防做防堵泥沙或波浪的思考，往往過於簡化，在堤防附近的海岸常引起意想不到的嚴重淤沙或侵蝕。因此海岸工程設施影響海岸波浪的沉積與侵蝕作用對海岸地形的改變可謂牽一髮而動全身，的確是不可不提防啊！

## 貳、研究動機：

每次到高雄西子灣及旗津欣賞海景、觀看船舶進出港口時，總會看到那長長的堤防：一座堤防在西子灣，另一座在旗津，好像亙久守護著高雄港的一雙鐵臂。有時，我會踏上那筆直延伸的堤防，看著台灣海峽日夜不歇的潮汐，在潮起潮落間，輕撫著堤防，細語呢喃；或聽著海浪撞擊到堤防堆疊的破浪石，發出的怒吼聲。

長久以來，就一直深藏著這樣的疑惑：這些堤防建造的目的是什麼？這些堤防又跟海浪有什麼關係？後來讀到高中地科課本時，書中提到堤防是一個控制海岸上下游堆積的結構物，才知道那一條長長的堤防是有其功用的。在研讀地科知識的同時也發現到原來堤防常會因各種實用需要而有不同的建構形式，其中以“突堤效應”這一主題最吸引我，引起我更大的興趣想去了解它、去研究它，以滿足我長久來對堤防所擁有的那份濃厚好奇心。

## 參、研究目的：

1. 模擬海灘在突堤效應下所引起的各種變化。
2. 模擬突堤的長度改變時堤後之侵蝕情形。
3. 模擬海灘受不同的波向角衝擊時堤後之狀況。
4. 觀察在不同形狀的海堤下的漂沙運動。

## 肆、研究設備及器材：

1. 壓克力水槽(148×88×30 cm)----- 1 個
2. 推波板(63 cm)----- 1 把
3. 木塊----- 5 個  
---長 (36.5 cm、40.5 cm、44.5 cm、46.5 cm)、寬 4.6 cm、高 9.8 cm  
---長 22.3 cm、寬 4.6 cm、高 9.8 cm × 2 (塊)
4. 砂 (少許洗淨後且經過濾的細沙)

## 伍、研究過程或方法：

### 一、研究原理：

(一) 繞射：繞射是波（無論是水波、聲波、光波、電磁波）的一種特性。於波行進的前方置一障礙物，其波前將會在此障礙物邊緣附近產生一些變化，波的傳遞方向將不再只有原來的行進方向，在障礙物缺角邊緣的波會向四周擴散，有一部份波的能量會傳遞至障礙物後方的區域，只是傳遞至障礙物後方波的能量會迅速遞減，這就是波的繞射現象。在日常生活中因為水波和聲波的波長都比較長（可從幾公分至幾公尺），所以產生的繞射現象比較明顯而容易被察覺到。

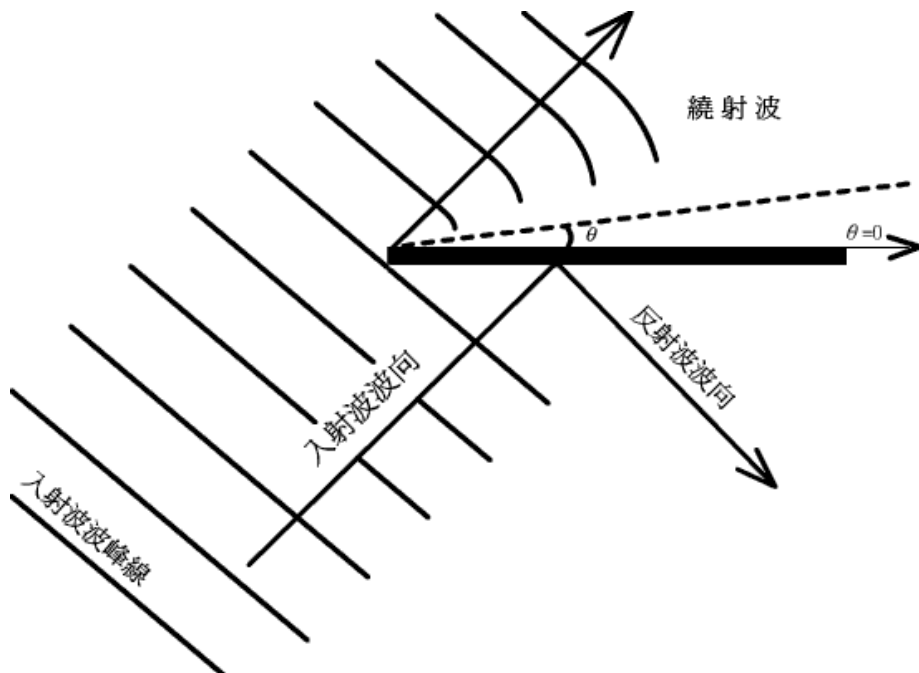


圖 5-1-1 繞射圖

(二) 突堤效應：突堤構築以後，具有攔截沿岸漂砂、控制海灘地形、改變海岸線方向、阻擋沿岸流或改變潮流方向等功能。而突堤效應是由於突堤等人工建構物突出於海岸，延伸而出，阻擋原先沿岸流、海岸漂沙之路徑，造成漂沙於上游側堆積淤沙，而下游側原先有漂沙供應的地區則因為漂沙量減少、短缺，導致下游灘線發生較嚴重的侵蝕，平衡機制因此遭受破壞，輸出大於輸入，逐漸出現堤前堤後海岸的變遷(如圖 5-1-2)。突堤效應其實是「沿岸流輸沙」、「阻礙物」和「波浪侵蝕」三要素交互作用的結果。

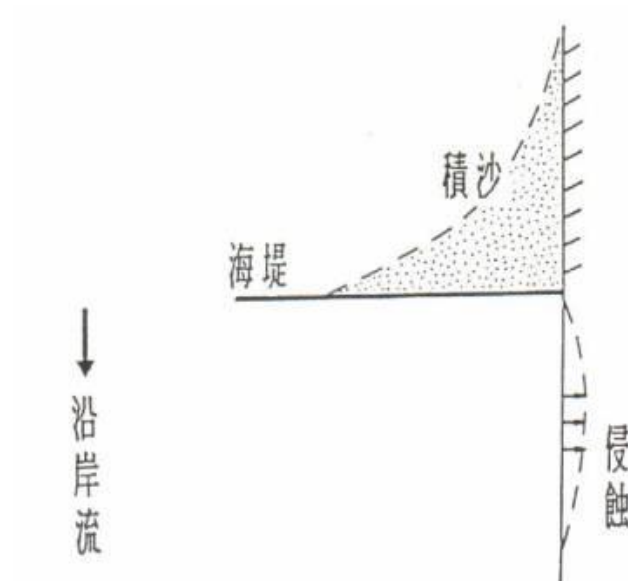
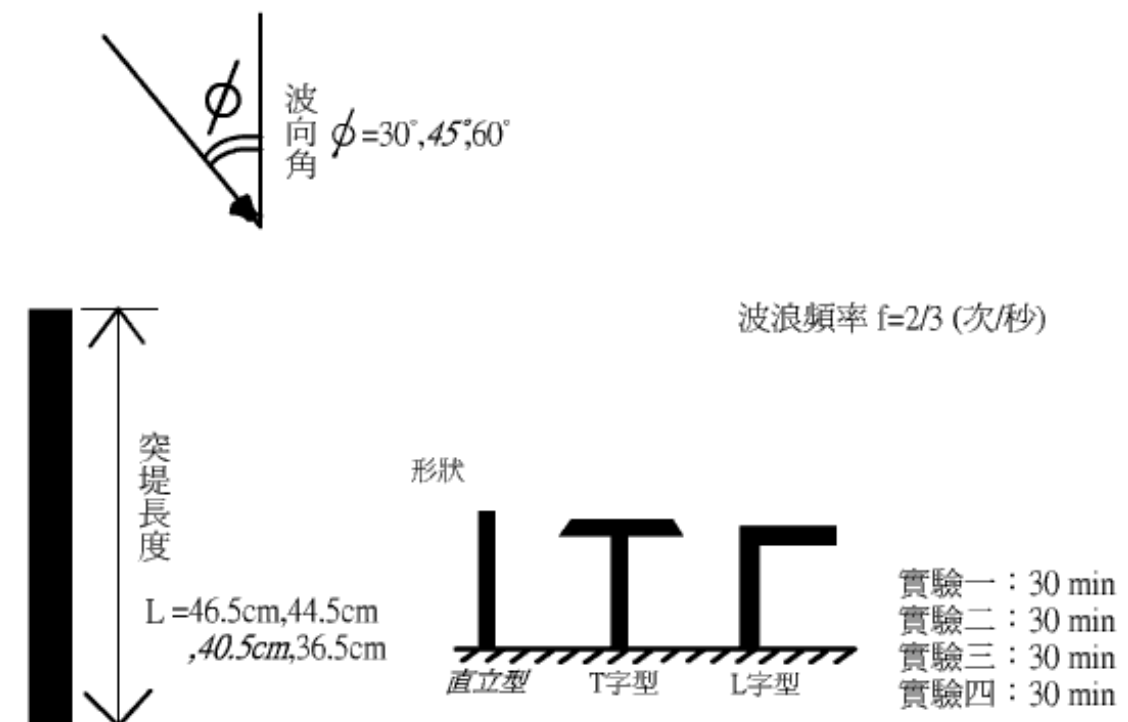


圖 5-1-2 突堤效應簡圖

二、研究概圖：



三、實驗一：模擬海灘在突堤效應下所引起的各種變化

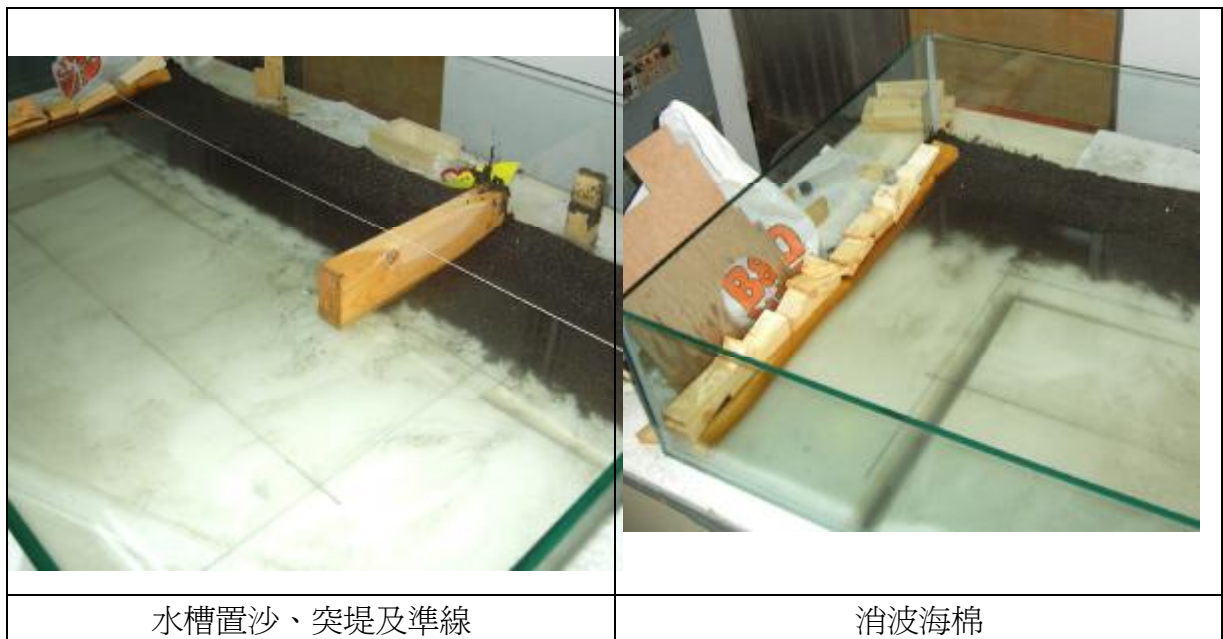
(一) 實驗步驟：

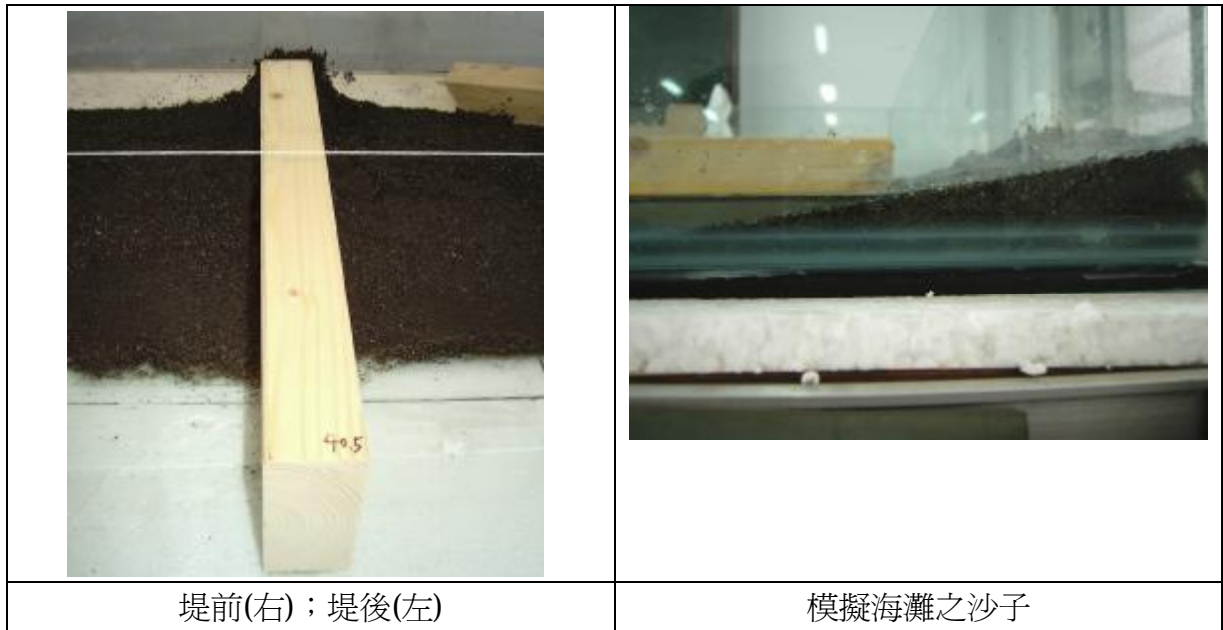
1. 於水槽上鋪上一層沙，模擬一海灘，此海灘為斜坡，其  $\tan \theta = 6 \text{ cm} / 25 \text{ cm}$ ，並黏一細線於上以固定其灘線至邊緣的距離，使因實驗重覆操作時所造成的

誤差降到最低。加水，使其水深達 2.3 cm，如此的話可減少表面波的存在，而多為底層波的流動，使沙子更易於漂動。

2. 於一邊界處擺上多塊消波海棉，以物體壓住來防止海綿漂動。如此可降低因先前受到反射出現的波，與後來的波產生重疊性相加或相消性相減，而大異於自然環境時的狀況。
3. 置一突堤(長 40.5 cm、寬 4.6 cm)於水槽中間偏向入射波處，周圍利用沙子使其固定，以防沙子從下方或其他地方流出，使得堤前堤後為非獨立狀態，導致堤岸兩側沙灘受到水流流向相互影響。
4. 以頻率 40 次/分，推動近 6 cm，波向角 45°之固定規則波，模擬海浪流動衝擊堤前及堤後。於推波期間，觀察沙子之漂移軌跡及其所造成海岸線之變化，並參考水之流動現象來分析。
5. 30 分鐘為一段落，紀錄及拍攝其現象，觀察其漂沙的流動及形成圖形，其中以堤後為主要探討區。

(二) 實驗照圖：





#### 四、實驗二：模擬突堤的長度改變時的堤後之侵蝕現象

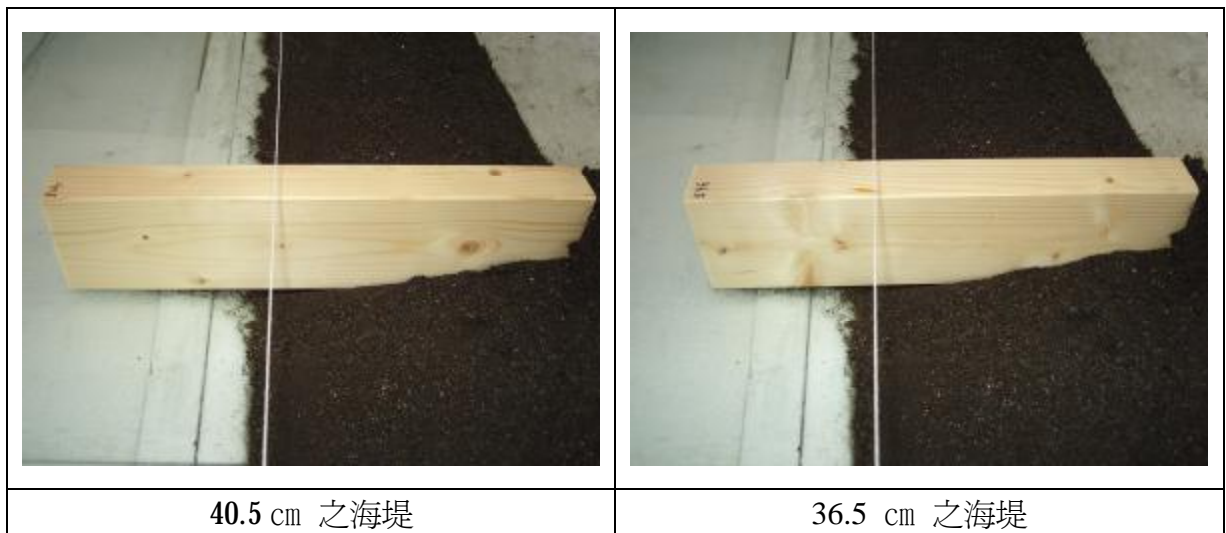
##### (一) 實驗步驟：

1. 依實驗一之模型、海灘坡度和長度，且其準線仍保持不動。取一長突堤，以頻率 40 次/分，推動近 6 cm，波向角 45°之固定規則波，模擬海浪流動來衝擊堤前及堤後。
2. 觀察水流經過堤岸之情況，以明白堤岸之遮蔽區內的漂沙走向。並可觀看外海之漂沙運動，以加強水流觀察，更明朗水的流動情形。
3. 30 分鐘為一段落，紀錄其侵蝕數據及拍攝其堤後之現象。
4. 重新鋪設海灘。將其侵蝕堆積撫平，並依  $\tan \theta = 6 \text{ cm} / 25 \text{ cm}$  斜度，準線令為海岸線。
5. 重置突堤，依【46.5 cm、44.5 cm、40.5 cm、36.5 cm】突堤長度反覆實驗步驟 1 至 4。

##### (二) 實驗照圖







五、實驗三：模擬海灘受不同的波向角衝擊時的堤後狀況

- (一) 依實驗一之模型、海灘坡度和長度，且其準線仍保持不動。取一長突堤，長度令為 40.5 cm，以頻率 40 次/分，推動近 6 cm，波向角 =  $\varphi$  之固定規則波，模擬海浪流動來衝擊堤前及堤後。
- (二) 觀察水流經過堤岸之情況，以明白堤岸之遮蔽區內的漂沙走向。並可觀看外海之漂沙運動，以加強水流觀察，更明朗化水的流動情形。
- (三) 30 分鐘為一段落，紀錄其侵蝕數據及拍攝堤後之效應。
- (四) 重新鋪設海灘。將其侵蝕堆積撫平，並依  $\tan \theta = 6 \text{ cm} / 25 \text{ cm}$  斜度，準線令為海岸線。
- (五) 改變波向角，依  $\angle \varphi = [30^\circ、45^\circ、60^\circ]$  之波向角反覆實驗步驟 1 至 4。



六、實驗四：觀察在不同形狀海堤下的漂沙運動

- (一) 依實驗一之模型、海灘坡度和長度，且其準線仍保持不動。取一特殊形狀之突堤，以頻率 40 次/分，推動近 6 cm，波向角  $45^\circ$  之固定規則波，模擬海浪流動來衝擊堤前及堤後。
- (二) 觀察水流經過堤岸之情況，以明白堤岸之遮蔽區內的漂沙走向。並可觀看外海之漂沙運動，以加強水流觀察，更明朗化水的流動情形。
- (三) 30 分鐘為一段落，紀錄其侵蝕數據及拍攝堤後之現象。
- (四) 重新鋪設海灘。將其侵蝕堆積撫平，並依  $\tan \theta = 6 \text{ cm} / 25 \text{ cm}$  斜度，準線令為海岸線。
- (五) 改變突堤形狀，依【直立型、L 字型、T 字型】之堤岸形狀反覆實驗步驟 1 至 4。





- (六) L 字型為長 22.3 cm、寬 4.6 cm 經熱溶膠黏著於長形海堤後而成。
- (七) T 字型為長 22.3 cm、寬 4.6 cm 由中線斜 50° 切割而成兩塊，再黏於長形海堤而成其 T 字形狀。

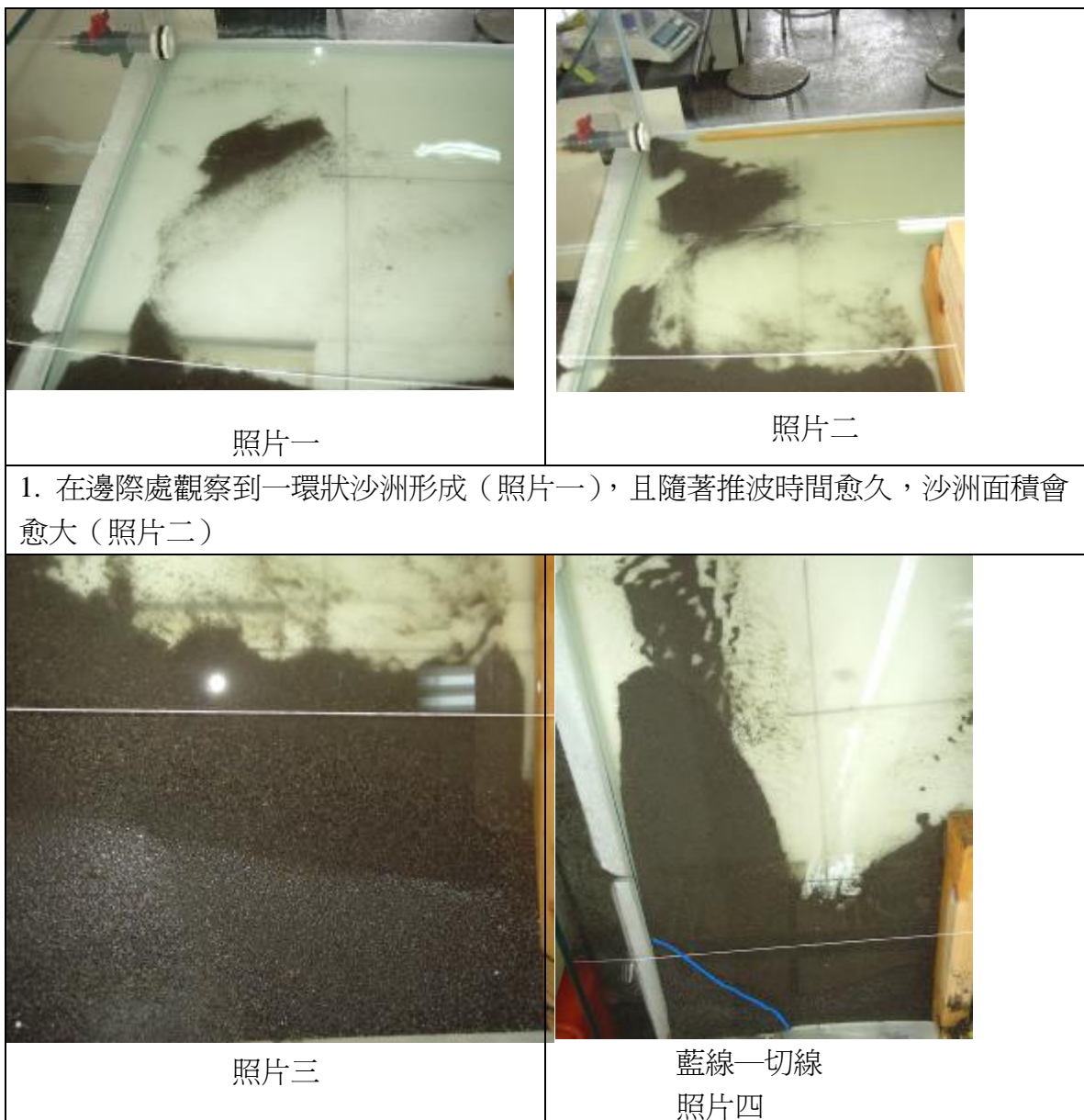
## 陸、研究結果

一、實驗一：模擬海灘在突堤效應下所引起的各種變化：

(固定條件： $f=2/3$  赫， $R=6$  cm， $\angle \varphi=45^\circ$ ，規則波，堤長= 40.5 cm)

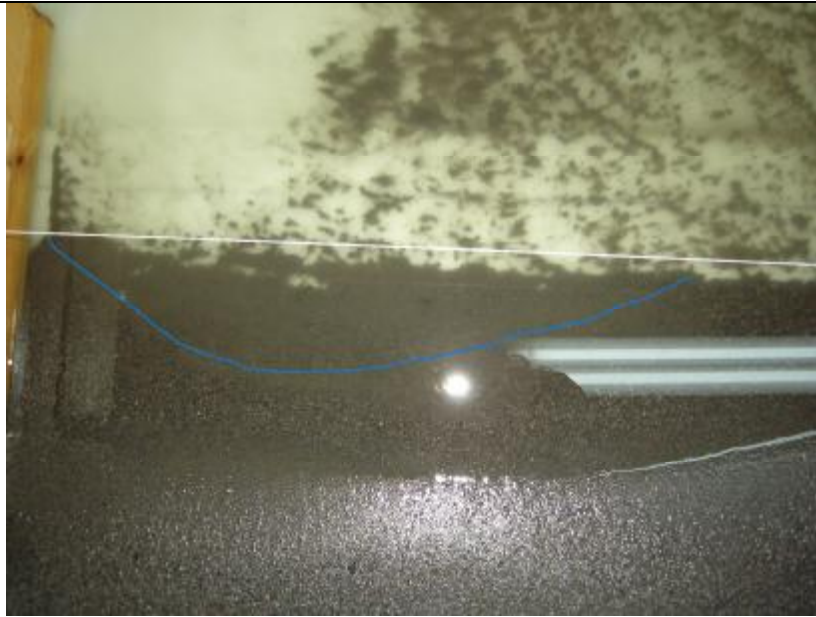
此實驗可分為堤前、堤後及外海來觀察、分析

(一) 堤前：



2. 堤前堆積現象不太明顯，只觀察到灘線有前進之趨勢（照片三）；愈近堤岸的海灘坡度愈平緩，而愈遠離堤岸的海灘則出現一明顯的切線：一側為水侵蝕之地方，另一側則為水波無法到達處(照片四為不同次之實驗，但仍是相同變因)
3. 推波板(63 cm)本身因前進關係，使其兩側之水流形成一弧狀水流，而非真實海岸般的一平面波前

(二) 堤後：



藍線—落差處

白光：閃光燈

照片五

1. (1) 無明顯可見之侵蝕區，但仍可看出海灘少沙之處，形成一階梯狀的落差  
 (2) 堤後並非馬上受到侵蝕，而為更後方受到侵蝕較為嚴重，但是在其更後方所受到的侵蝕量則會退減，形成一弧狀侵蝕如圖中藍線所示。  
 (3) 灘線有些許外移現象，應為原本置於海灘區沙子受渦流影響而被帶下。其中亦發現灘線改變最明顯的是中前方



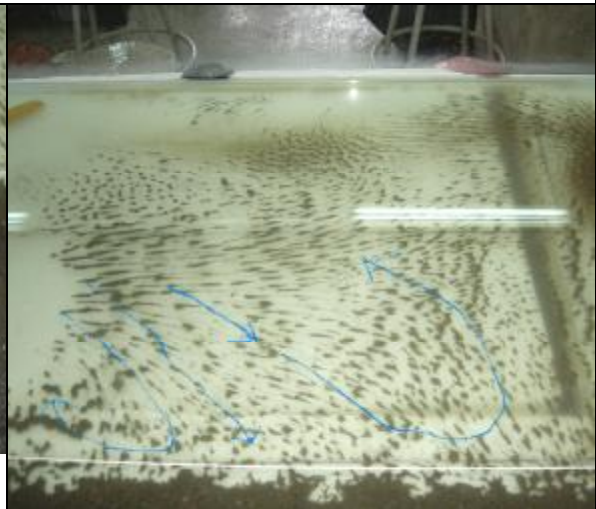
淺藍線—侵蝕；深藍線—堆積

照片六

2. 離堤後較遠處之沙子並無侵蝕現象，反而此處的沙子較未作用前更為厚實，應屬堆積現象。但愈接近消波海棉處愈不明顯



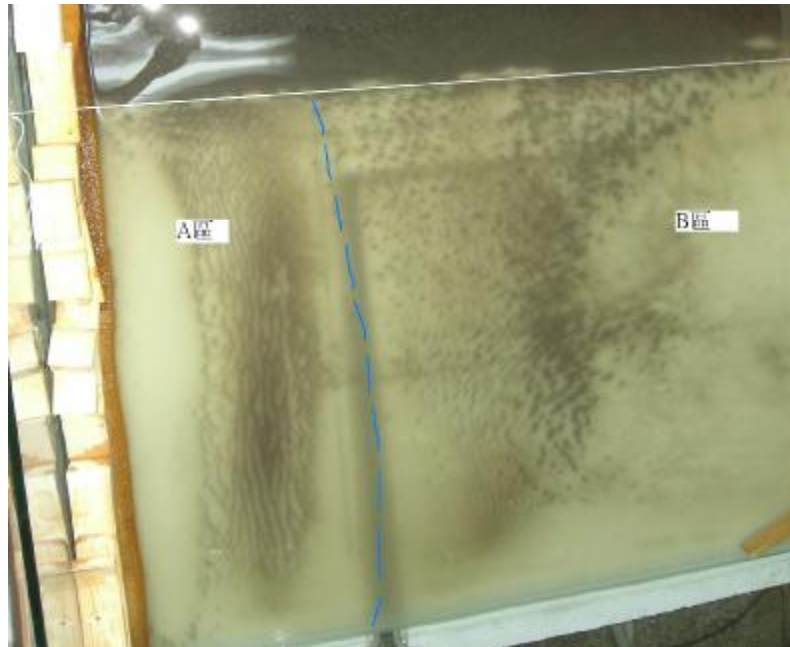
照片七



照片八

3. (1)參照外海漂沙堆積的照片與堤後堆積狀況，發現一個現象：堤岸後方仍有水流往下游流動，為逆時針環流，帶動了沙的流動（照片八）  
 (2)較左側近堤岸處有另一順時針環流，但較不明顯。（照片七）

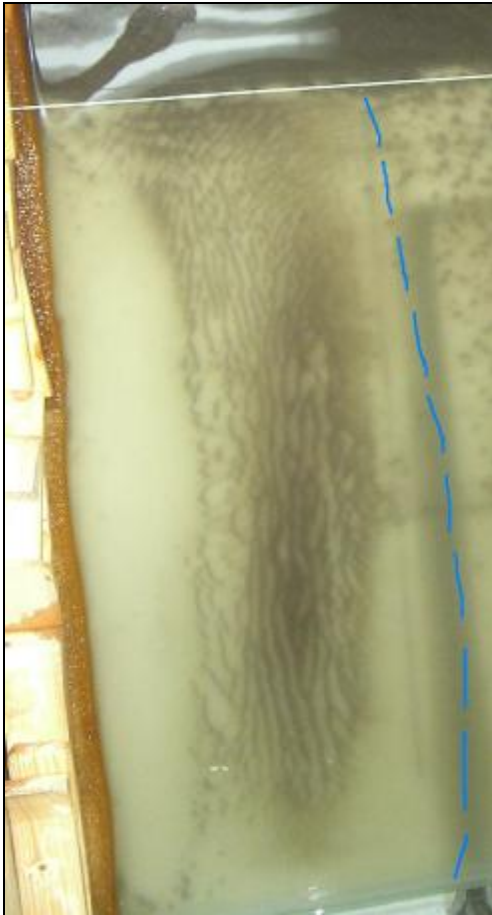
(三) 外海：



照片九

1. 有許多小細沙漂流至此，形成似流場的堆積  
 2. 外海堆積根據其圖形可分兩區：近邊際一側(A 區)形成許多互相平行的沙洲，沙子堆積優勢由內而外移；其餘(B 區)多位於堤後方，成一明顯的環狀流場堆積





照片十 (A 區)



照片十一 (B 區)

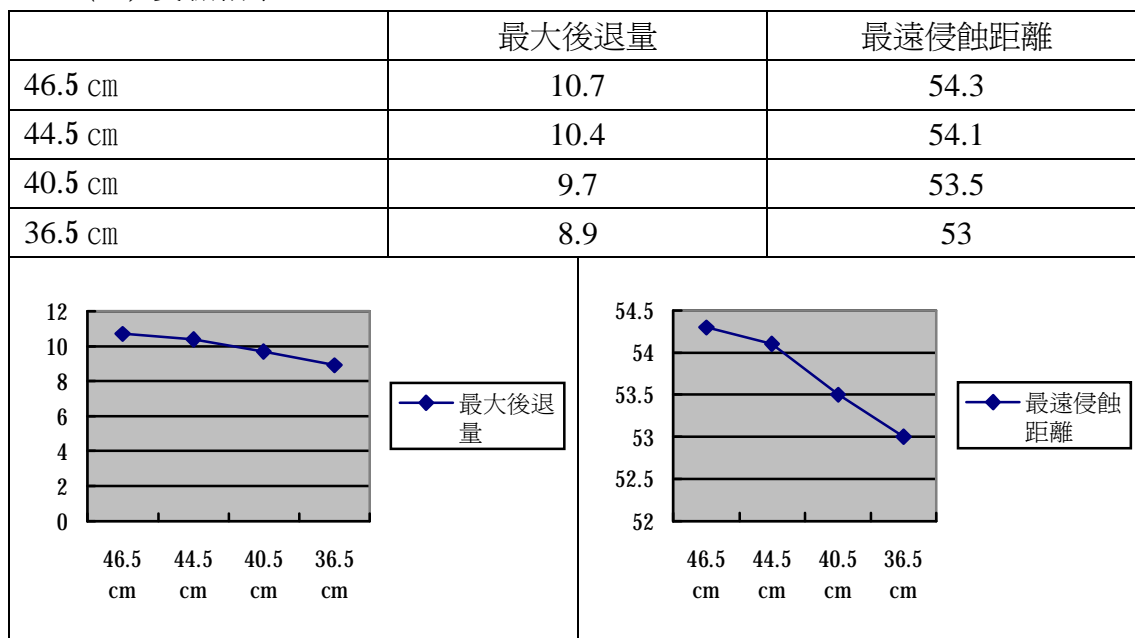
2. 當推波時間逐漸增加時可發現

- (1) A 區：其條紋越趨明顯，唯其下端略彎向前堤，與 B 區環狀堆積平行亦為相接。細看 A 區內部堆積，為不規則的細線（照片十）
- (2) B 區：將此區可分為上、下、左上。下區為一弧狀的堆積；上區之細沙則呈現幅射狀的堆積；左上區則有不漂動的漂沙。如照片十一(借用後方實驗結果之相同情況時，卻較明顯可見的圖)---搭配堤後之現象

二、實驗二：模擬突堤的長度改變時的堤後侵蝕情形：  
 (固定條件： $f=2/3$  赫,  $R=6$  cm,  $\angle \varphi=45^\circ$ , 規則波)

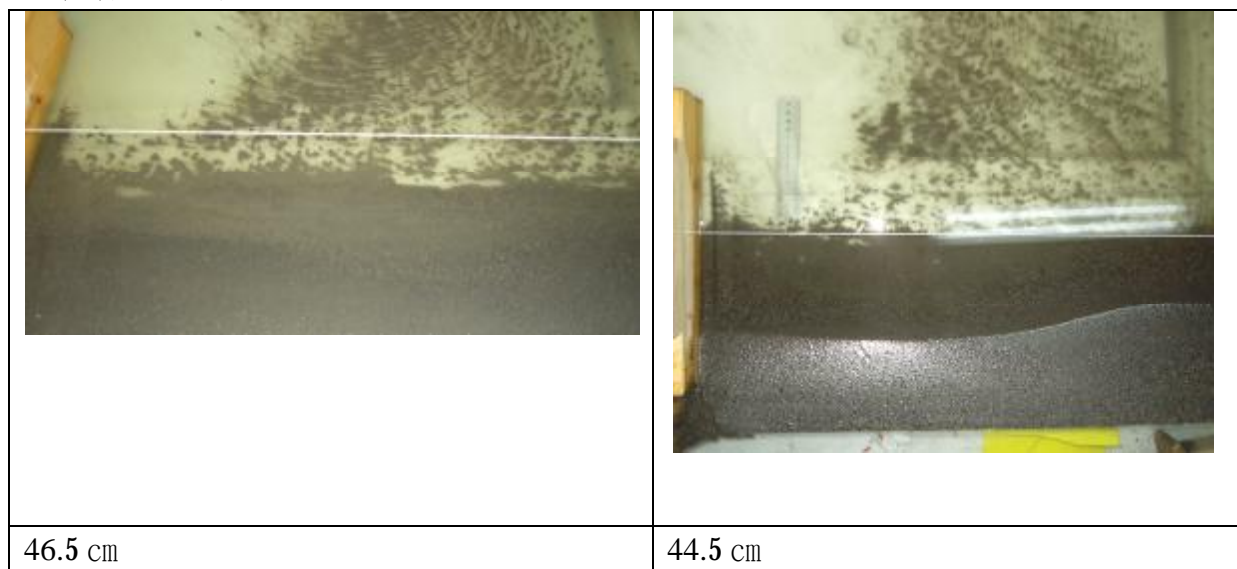
註：最大後退量：準線至侵蝕最後之距離  
 最遠侵蝕距離：堤後至無侵蝕的地方之距離

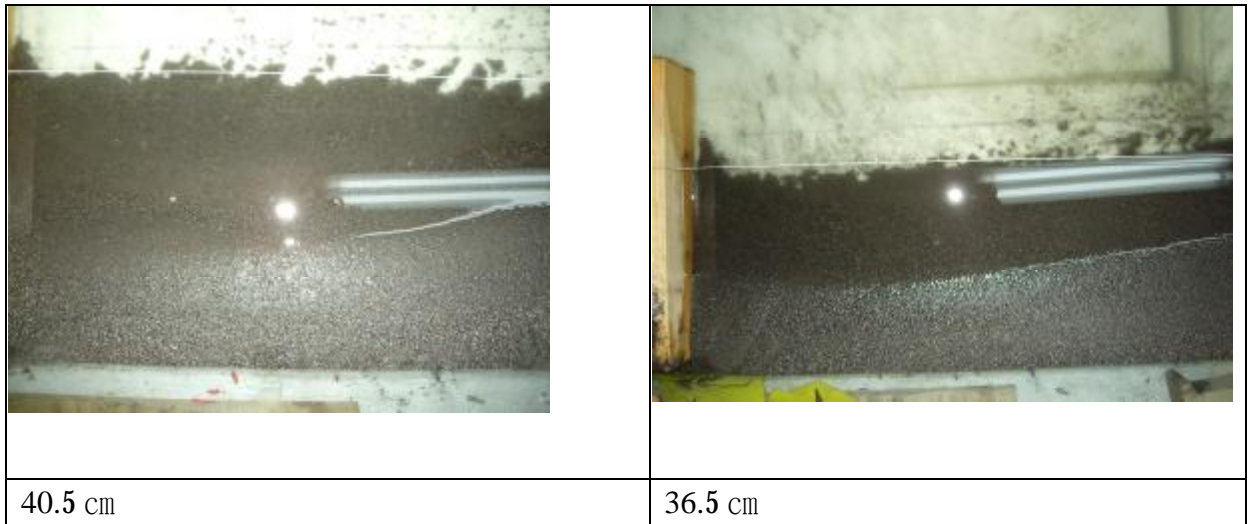
(一) 實驗結果：



注意：46.5 cm與其他堤長間隔不太相同

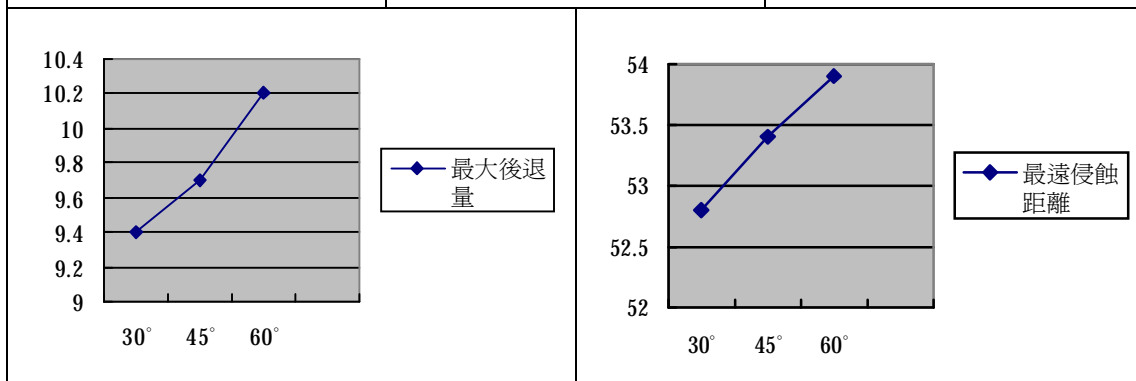
(二) 實驗結果照圖：





二、實驗三：模擬海灘受不同的波向角衝擊時之堤後狀況  
 (固定條件：f=2/3 赫 ,R=6 cm ,規則波, 堤長=40.5 cm)  
 (二) 實驗結果：

	最大後退量	最遠侵蝕距離
30°	9.4	52.8
45°	9.7	53.4
60°	10.2	53.9





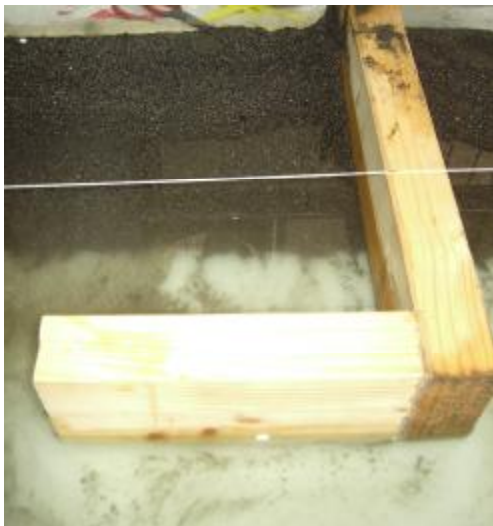
四、實驗四：觀察在不同形狀的海堤下的漂沙運動  
 (固定條件： $f=2/3$  赫,  $R=6$  cm,  $\angle \varphi=45^\circ$ , 規則波)

(一)實驗結果：

1. 直立型：

<p>堤長：40.5 cm                  寬度：4.6 cm</p>	
<p>其漂沙運動，請參照實驗一的模擬海灘在突堤效應下所引起的各種變化                  其中有較詳盡之敘述</p>	

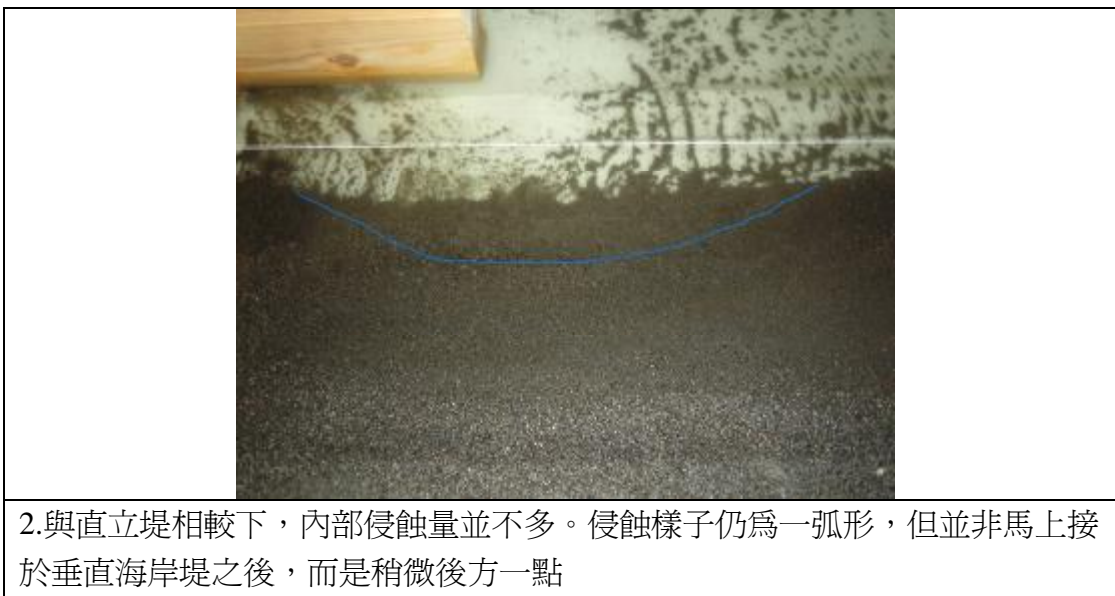
2. L 字型：

<p>垂直海岸                  堤長：40.5 cm；寬度：4.6 cm</p>	
<p>平行海岸                  堤長：22.3 cm；寬度：4.6 cm</p>	

(1) 堤前：



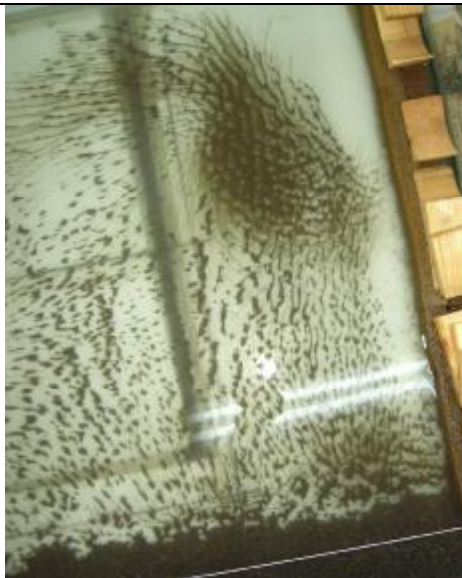
(2) 堤後：



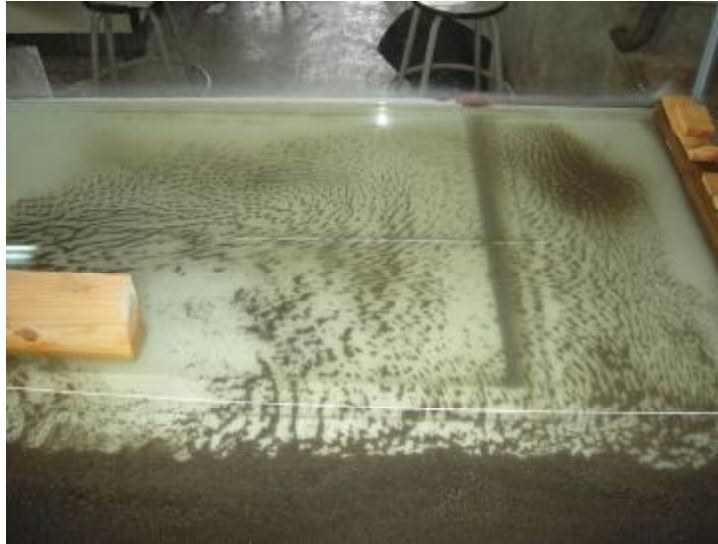
(3) 外海：



1. 堤前端漂沙呈直線形堆積，超過了堤的長度後，形成一往下游堆疊的漂沙堆積，另有一經反射的水流帶動，促使其生成逆時針環狀堆積在堤之上方



2. 上端沙子爲此照片中堆積最多之地方，另一則爲下端近海灘處，爲一平行但上端成一弧狀向外擴張



L 字型海堤實驗結果全圖

### 3. T 字型：

垂直海岸

堤長：40.5 cm；

寬度：4.6 cm。

平行海岸(左右對稱)

上底：21.42 cm；

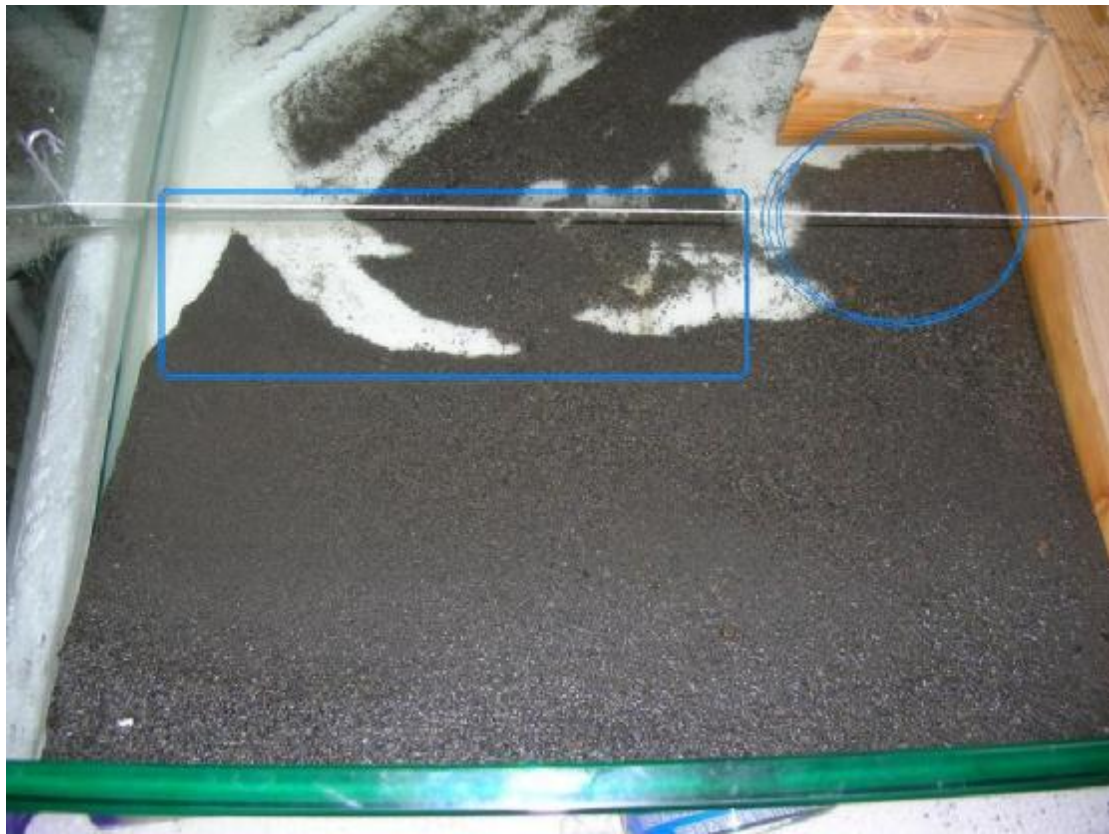
下底：32.38 cm；

厚度：4.6 cm。





(1) 堤前

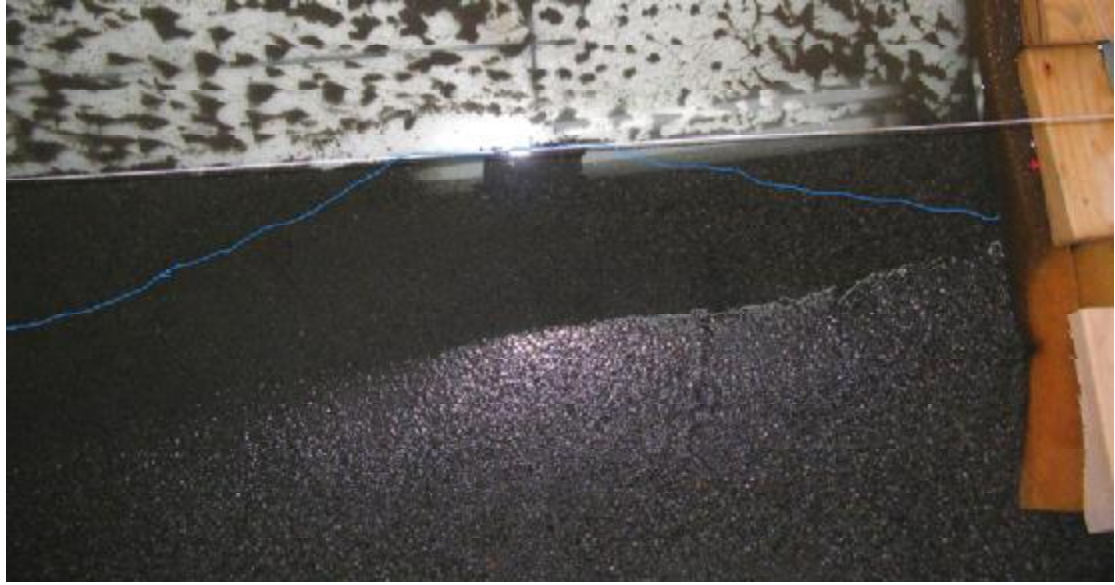


1. 可明顯看出為一進夷堆積海岸
2. 堆積處主要在 T 字型凹處及其灘線外（如照片中藍圈及藍色方形處）。因為拍照角度關係，此兩處實為灘線外，所以特用標記標出

(2) 堤後



1. 其水流經繞射入內，其一匯入 T 字型凹處(遮蔽區)，形成堆積現象；其一會形成一水流帶走沙子，產生侵蝕（如照片中藍線所示）



2. 如同直立堤之突堤效應，此圖之中前方，亦有堆積現象發生，但愈近消波海棉則愈不清礎，甚至會因為沙子被帶走而侵蝕

### (3) 外海

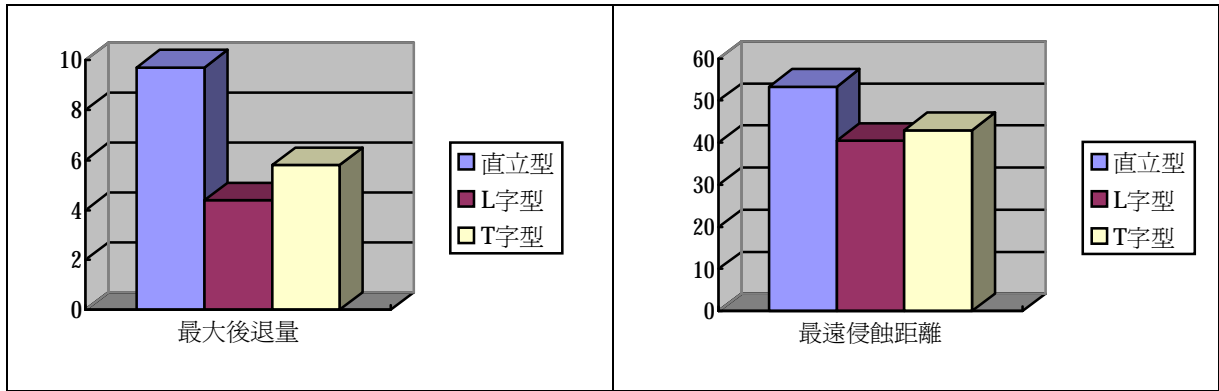


1. 其流場略似直立型海堤，與 L 字型海堤差異較大
2. 堆積現象在照片下面及照片上面最明顯，為水流匯集之處。

#### 4. 實驗數據：

	最大後退量	最遠侵蝕距離
直立型	9.7	53.4
L 字型	4.4	40.5
T 字型	5.8	43.0





## 柒、討論：

### 一、實驗一：

(一) 斜向海流衝擊堤前時，水流受到堤防阻隔，多為反射，所以此區可能會有許多變數，此時堤後的狀況似乎就變得較單純了許多，且使突堤設置於左方邊界來進行實驗，將所有空間用來分析下游之波流場結構特性及灘線變遷，更能精確反映出突堤下游灘線侵蝕之特性。

(二) 可能本實驗受水波槽大小限制、推波板長度影響，而非大自然般寬廣，故本實驗之波於堤前無法全部沖刷到，所以產生一明顯高低落差。另外也因為本實驗中漂沙的輸送量較小，所以也因此其堤前堆積不如預期般多且明顯。

(三) 堤前有一沙洲，可能與推波板有關，其推進時，帶動了堤前之沙子的漂移，最後可能會於推波板後方產生沈積，其餘則會繼續於堤前產生其他現象，如堆積等。

(四) 下游（即堤後）因為有突堤遮蔽之影響，稍微有一環狀水流的出現，為順時針，與堤後侵蝕或許有關聯。另外於更下游處也有一環狀水流，但其為逆時針，其兩環狀水流之交接處可能為侵蝕區最大後退量產生的位置。



圖 7-1 堤後水流流向

(五) 灘線移動狀況，以堤前之伸長遠較於堤後之微伸更為明顯，可能是因波浪於堤前之能量較無消

減，而堤後之能量卻因為繞射、碎波迅速的減弱，此時堤後水流已無足夠能力去移動粗沙，只移動得了較細的沙，也因此呈現為一階梯狀的侵蝕。推測如果將推波時間拉長，或許其灘線移動會更易見得。

(六) 外海漂沙 A 區為一迴流及水推流匯集處，成一似平行圖形，推斷 A 區生成原因可能為反射波(海棉無法全部吸掉的部分反射)與推波兩相形成的

重疊性相加或相消性相減。隨著時間增加後，B 區之流場堆積越趨可見，A 區與 B 區相關處也越趨明顯，A 區之外端或因為連接了 B 區之流場，或受到 B 區之流場的影響而成一環流，兩者皆有出現於所做實驗中，其原因可能與流場圖有關。

(七) 其後方近邊際處非侵蝕而為堆積，可能來自於前方沙子受侵蝕後，經水流輸送後，隨著距離的輸送，水流的力量漸減，達到最遠侵蝕距離而後已無力搬動沙子，即產生堆積。但由於實驗模型大小關係，其會受消波海棉之邊際效應影響，一部分往前且往上形成一迴流，另一部分則因能量降低而停留於此處，此時沙子可能就此堆積；因此實驗結果顯示出此處沙子會增厚而結實。

## 二、實驗二 + 實驗三：

(一) 由實驗二結果得出，堤長越長，其侵蝕量越大，不僅是在最大後退量或是最遠侵蝕距離皆是愈來愈大。其可能跟之前外海所討論之環狀水流有關，堤長越長時，其遮蔽區增加，後方之環流發展結構完整，則最大後退量增加，環流規模亦較大；因此最遠侵蝕距離也愈遠，此外更有向下游偏移之趨勢。

(二) 由實驗三結果得出，波向角越大，其侵蝕量越大，但其最遠侵蝕距離增幅比例卻不如堤長增加時大。其可能與環狀水流有關連性：因波向角增加後，屬平行海岸之海流較大，使其堤後遮蔽效應之下游繞射區範圍因此而增加。當繞射區範圍增加時，其環流系統因而較完整且規模也較大，同堤長越長時水流造成之情形，使其最大後退量及最遠侵距離皆增加。

## 三、實驗四：

(一) 若突堤形狀為 L 字型，其最大後退量及最遠侵蝕距離皆最小。其堤前與直立型海堤相似，只有些許不同，其漂沙會受平行海岸的堤岸而反射，堆積少許增加。在堤後，因其平行海岸之海堤較長，有一導流之功能，逐漸地其能量在其運行中消耗掉，因此使其侵蝕起點後移，其侵蝕也較其他形狀之堤為少，而最後繞至本為遮蔽區的海流，可能是因迴流受堤岸阻擋而堆積，還增加了直立型海堤所沒有的固沙功用。

(二) 若突堤形狀為 T 字型，堤前因突起的堤使其受海浪衝擊時，可能會有繞射在這產生及一導流入堤內側，使其不論受任何方向之海流皆能發揮其固沙能力，其中還有可能因為兩端設為斜向，使其有一阻隔的功用，導致後方水流流向漸趨平緩，此處亦是個易沖刷的地塊。在外海漂沙觀察方面，較為重要的是其與 L 字型之間的差別，可能與其平行海岸之堤長度有關，在 T 字型上下區之堆積較平緩，有可能是後區之水流受阻擋沒有像 L 字型般遠。

#### 四、實地探察：

(一)目的：藉探勘真實海岸地形來加深實驗的真實性及精確性，以得更多深入的探討。

#### (二)高雄港探察：

高雄港港域幅員遼闊，腹地廣大，臨海有狹長沙洲屏蔽，港灣形勢天成，地理條件優良，現有船舶進出之港口共有二個。第一港口位於萬壽山與旗後山之間；第二港口位於紅毛港與旗津之間。

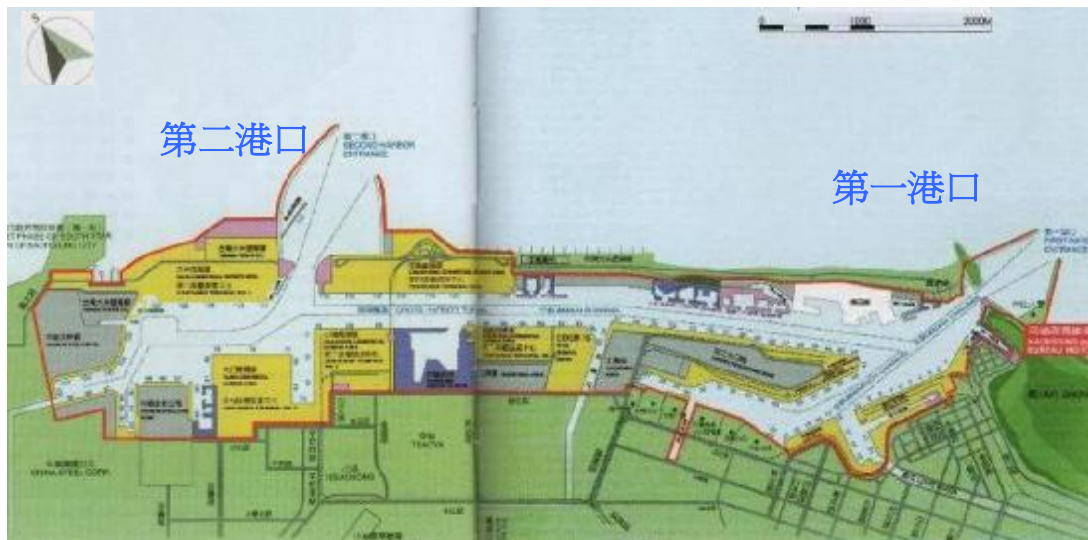


圖 7-4-1 高雄港總圖

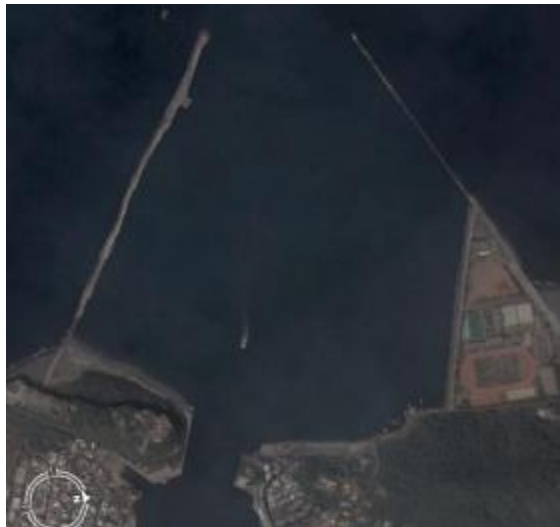


圖 7-4-2 第一港口之空照圖 (N→)  
左堤(旗津)938.0m；右堤(西子灣)938.8m



圖 7-4-3 第二港口之空照圖 (N↘)  
左堤(紅毛港)2184.4m；右堤(旗津)1322.7m

第一港口 (位於旗津之堤防)	---港口航道水深為-11.0m
	
左側為堤岸的迎浪面，右側為堤岸的內面	從堤岸的頂端，往後拍到了許多的消波塊，及很長很長的突堤
第二港口 (位於高雄之堤防)	---港口航道水深為-16.0m
	
堤防 (較南方) 全景照	從堤岸的末端，往前拍攝得到相異於第一港口的消波塊 (半圓形)

### (三) 風向對高雄所造成的波浪

(以下資料參考於台灣四周高雄港海域潮汐與潮流之數值模研究)

依據中央氣象局高雄測候站民國 73 年至民國 83 年之觀測記錄統計分析結果可知，高雄地區冬季季風期約由每年 10 月至翌年 4 月，風向以 NNE~WNW 間為主；而 5 月及 6 月為轉型期，WNW 向及 SSE 向所佔比重相當，7 至 9 月則為夏季季風期，風向以 WNW、ENE、S 及 SSE 居多。全年而言，風向以 WNW 出現頻率最高，N 向次之。

在高雄港區，由於冬季風向大多偏西北，風速較小，且受喇叭狀地形影響，當波浪傳至本區海域時，波高均大為衰減，一般皆屬湧浪性質，波高通常在一公尺左右，週期約為八秒；而夏季雖受西南季風直接作用，又其間夾帶有颱風之侵襲，致夏季波浪分佈反而較冬季為大，如非受颱風之影響，波高均在一至二公尺範圍，其繼續時間約為一至二天，但有長達六至七天之記錄。



高雄地區風統計													
													(m/s)
項目/時期	全年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均	2.6	2.8	2.7	2.7	2.5	2.5	2.6	2.9	2.8	2.5	2.3	2.4	2.6
最大	/	11.7	11.7	12.0	12.3	11.5	20.2	18.0	16.0	21.7	15.2	12.2	11.7
極大	/	17.5	22.4	19.0	26.0	23.1	27.1	30.7	28.0	40.6	23.2	72.4	21.8
資料來源：中央氣象局													

圖 7-4-4 高雄港港域月統計風速

(四) 高雄港的突堤形式：

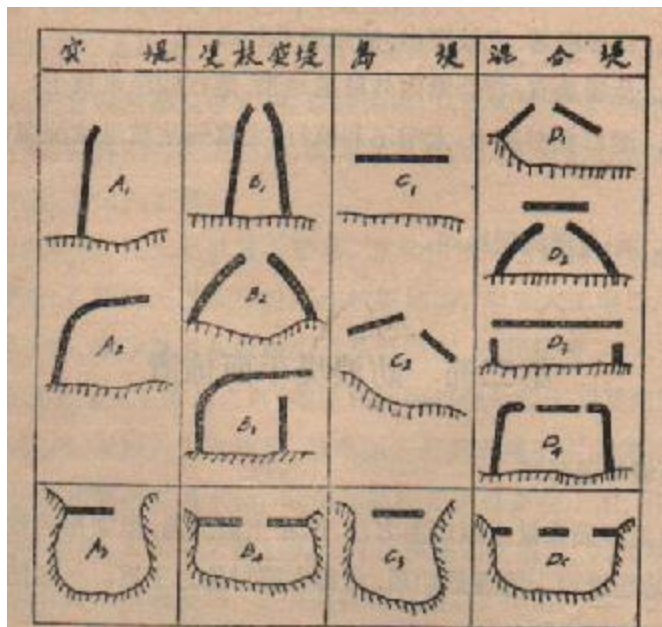


圖 7-4-5 突堤佈置形式圖(摘圖於海港工程學)

(五)高雄因突堤效應所造成的海岸變遷：

高雄港因建置防波堤，以達到防止波浪侵蝕及沿岸流漂沙，然而，在其雙枝突堤形式下，有一重大缺點，從港口流入之少量漂沙，接著會再對港口造成堆積。此種現象，都是因為在這種突堤形式中，使漂沙無其他出口，即使其漂沙量極少，但其只能接受漂沙的堆積而不易將港口本身內的泥沙淤積排出。

(自由時報／2007年6月5日) 高雄港一年要清出二十萬立方公尺的廢土，加上十萬噸的船席位(碼頭)污泥。港務局表示，今年耗資一億多元於浚深，清運六十三、六十四號碼頭及周遭航道污泥，便於碼頭加深作業。預計完工後，兩座碼頭加深至十四米，便於貨櫃船隊大型化作業。港埠工程處並利用挖出的污泥、廢沙回填旗津之中洲污水處理廠養灘。港務人士表示，高雄港二港口外的南堤因受西南氣流影響，而淤積漂沙。

左圖是擷取至書中之一圖，圖中明敘各種突堤的佈置形式，如本實驗中即以 A<sub>1</sub> 為主。至於高雄港的堤防佈置，應屬雙枝突堤中的 B<sub>2</sub>(第一港口)或 B<sub>3</sub>(第二港口)。

雙枝突堤為兩道單枝突堤合併而成，以圍成較大水域，保持港內航道水深。而當初高雄兩大港口的雙突堤建設原因是為了遮斷外海之波浪及漂沙進入港內之建築物。

當初建設突堤群的原因即是爲了防止旗津海岸的沙子流失，並有養灘的功能。今看其圖 7-4-6，果以達至保護海岸的環境，另外還可看出，其堤右爲一堆積現象，堤左爲一侵蝕現象，符合本實驗一中的實驗結果。

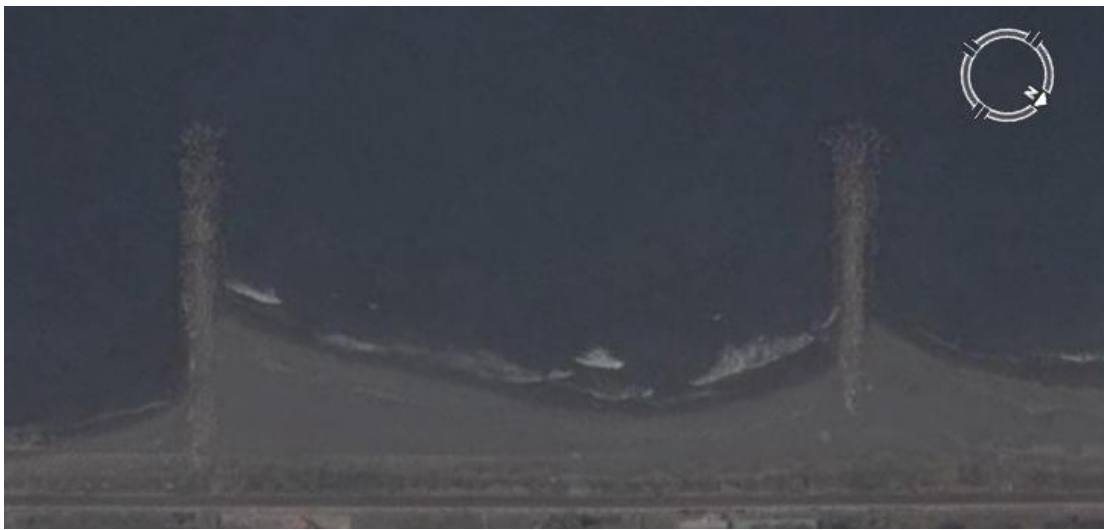


圖 7-4-6 中洲污水處理廠外的突堤群



圖 7-4-7 中洲污水處理廠外的突堤群全景

(六)前往實地探察的原因，主要是爲了更加佐證實驗上得到的結果，確定得到的結果與真實情況是否相同或相似。畢竟於實驗模型中，其被圍大矣，缺少了真實的近無邊際之海岸，更多了我們實驗上不去考慮的變因，如我們實驗中沒去探討海床坡度是否也會影響實驗的結果。雖說如此，水工模型實驗本身亦具相似性原理，雖不能將許多變數，完整呈現爲變化多端之自然海岸在一模型中，但仍不失爲了解其海岸變動的方法。



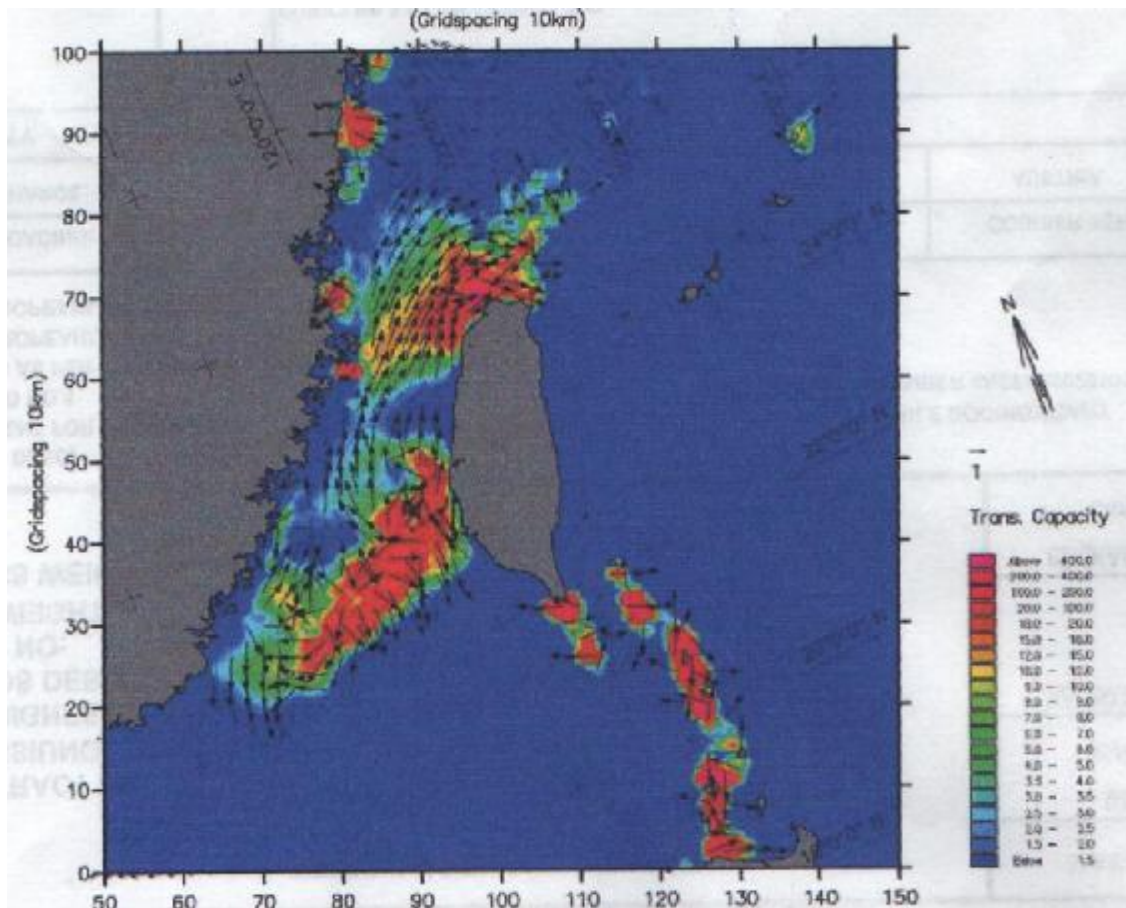


圖 7-4-8 台灣環島近岸海域之漂沙攜運潛勢及其優勢方向

### 捌、結論：

- 一、堤前沙子會因堤防阻擋而堆積，但其水流仍會繼續前進，經繞射後至堤後方，會形成一順時渦流往堤方向漂動，及一逆時渦流漸漸遠離堤而後成一沿岸流。這兩渦流皆為帶走沙子堆積，造就侵蝕的主因。
- 二、當波向角及突堤長度的增加，使突堤下游之遮蔽區範圍加大，遮蔽區內之環流系統結構發展因而完整。環流系統及沿岸流會帶走較多突堤後方的砂，導致下游受侵蝕的情況較為嚴重。這樣的現象都起因於波向角及突堤長度的增加。
- 三、突堤形狀可分為直立型、T字型、L字型，其中以直立型最為簡便，T字型的話當面對近似直角方向入射之波浪侵襲時，亦能發揮其功用，L、Z字型可使其回流減弱，內面而亦能貯留土沙。不過較一般來說，T字型為現今海岸結構物較為熱門的突堤，少了直立型的純擋沙，及多了保護除了沿岸流以外海流的破壞，所以較其他更有其利用價值。
- 四、當初高雄港突堤建設的原因是為了防波、防潮，以免外海的波浪衝入而影響到港口本身的運行及安全上的顧慮。後來探其影響，果以達至當初建設的目的，但另外也因為堤防的關係，產生了一突堤效效應，因而造成了海岸的消

長。所以於堤防建設，需考慮到海岸一般狀況及其漂沙的情況，不然可能解決了一個問題，但卻又跑出另一個問題來。

五、實驗結果中可看出突堤上游呈一堆積現象，下游則為侵蝕。而從實地探查中得知：如將多個突堤排列一起，成一突堤群，其侵蝕區搭配著堆積區可形成一斜形灘線，將可達到海岸固沙甚至養灘的功能，如中洲污水處理廠外突堤群的堆積情況。

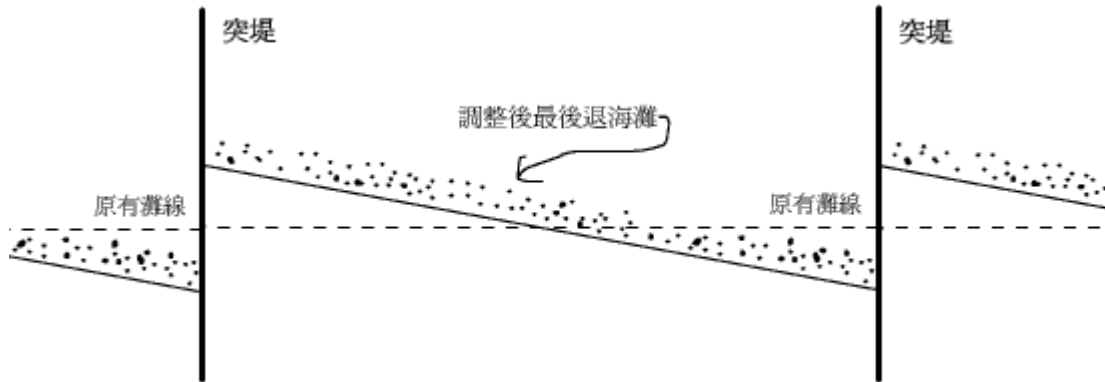


圖 8-5 突堤群之示意圖

六、未來展望：

- (一) 應可改用更高階的儀器，測出波場及流場，這樣的話，其在一更為準確的固定條件下，得到的數據更為正確且精準，也越能加強結論的正確性。
- (二) 漂沙實驗中，可以加入擬真的沿岸漂沙，可使得整個不再單純探究堤岸下游的侵蝕，而試著探討堤岸上游的堆積現象。更可試著把模型的寬加大，使其受邊界效應不再明顯。
- (三) 於結論中，認為將數個突堤排置，將可能更有效的保護海岸。未來可以研究討論突堤之間的距離應如何設計最好。
- (四) 實驗過程中，發現受邊界影響而仍有反射波的產生，這種反射波會導致實驗結果上的誤差，所以未來應該增進消波海棉的功能，以將其誤差能降到最低。
- (五) 突堤配置方向一般與灘線垂直，但如果將突堤擺成斜的，或許其變遷狀況又不太一樣。未來可研究波向角與突堤交角的關係，以得到最佳角度關係為目的。
- (六) 起波器：本於實驗起初，打算使用水波槽實驗中的起波器，可能其力過小，推了幾天後，沙子方面仍沒有動靜。原本有打算利用彈簧之伸縮性來達成一穩定推波長及週期：利用電動馬達

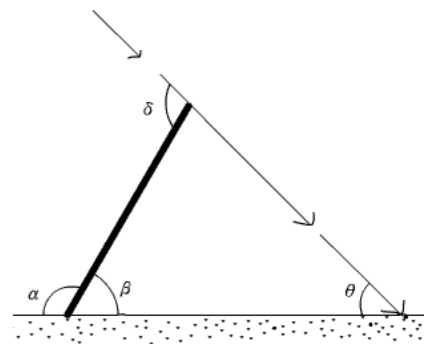


圖 8-6 斜突堤

捲線壓縮彈簧，斷電（或用電容器），彈簧恢復原長，細線拉住不使彈簧做 S.H.M 運動，再次充電捲線。只是其仍為單純理論想法，欲實行之，須先克服起波板可能受水的阻力而上揚，或起波板本身受力不均而產生力矩。最後，使用最不嚴謹卻最符合自然多變性的人工推波，雖然已經盡量控制每一次推波的固定，但實際上卻難以保證。最近亦想出可使用相吸相斥的磁力，來避免受力矩及其他力學因素干擾，此外，還可得一實驗誤差較小之實驗，但實體上的設計仍於構想當中，期待未來能進一步改進。

## 玖、參考資料及其他

1. 侯和雄，蕭榮祥，「海岸與港灣水力學」，大學圖書供應社
2. 湯麟武，「港灣工程」，中國土木水利工程學會
3. 郭金棟，「海岸工程」，中國土木水利工程學會
4. 郭金棟，「海岸工法之新技術研發」，經濟部水資源局
5. 凌士彥，「海港工程學」，國立編譯館
6. 莊文傑、江中權，「台灣四周高雄港海域潮汐與潮流之數值模研究」交通部運輸研究所
7. 吳南靖、朱志誠、張欽森，「西子灣海岸環境營造計畫」中國技術第 70 期
8. 邱筱嵐，指導教授：許榮中  
「以人工岬灣與養灘綜合工法應用於花蓮南、北濱海岸」  
中山大學海洋環境及工程學系
9. 侯和雄，「海岸工程規劃設計研究—港灣工程之維護、管理及設計水位」交通部運輸研究所
10. 「高中基礎地球科學」，九十五年新課程暫綱
11. 「高中物質科學物理篇 二下」，南一九十四年版
12. GoogleEarth

【評語】 040509 不可不『堤防』

1. 能分項討論堤防型態及水波入射角對侵蝕沈積的影響，實驗設計明確。
2. 照片及資料點的取樣不夠清楚。
3. 高雄港突堤前後侵蝕與積砂實例的呈現與實驗的呼應不足，可再多著墨。