

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

第二名

030502

往事重「堤」看頭城—突堤效應

學校名稱：宜蘭縣立頭城國民中學

作者： 國二 黃寶霈 國二 林昶伸 國二 張嘉慧	指導老師： 黃正衛 吳瑞祥
---	-----------------------------

關鍵詞：突堤效應、頭城海濱森林公園、烏石港

摘要

突堤效應是指人工建構物突出於海岸，延伸而出，阻擋原先海流和海岸積沙的路徑，造成沙子在上游堆積，而下游原先有沙岸的地區則因為沙子量逐漸減少，侵蝕大於堆積，逐漸出現海岸遭受破壞。突堤效應會造成壩前堆積、壩後侵蝕的情況。因為突堤效應造成的結果，頭城海濱森林公園（原頭城海水浴場），在這十多年中，原本的沙灘現在已完全被海水覆蓋。

本校位於頭城海濱森林公園附近，看到頭城海濱森林公園的海沙在烏石港建後已經流失不見，希望藉由實驗瞭解突堤效應，並希望在實驗後對頭城海濱森林公園的突堤效應提出建議。

壹、研究動機

從雪山隧道開通以來，在週六日時常可見頭城街上熱鬧許多，尤其是夏天時，有許多車的車頂上多了一個配備——衝浪板，所有的車子全都往外澳灘區移動。

反觀曾是宜蘭縣唯一的海水浴場——頭城海水浴場，現已改為頭城海濱森林公園，似是走入停滯的歷史，除了斑駁的建築、空洞的浪潮聲，獨留清潔打掃的工作人員及替代役。

頭城海水浴場原為蘭陽地區唯一的海水浴場。民國六十九年時，因濱海公路的通車，為其帶來熱絡的商機！場內設施完善，有停車場、更衣室、休息室、餐廳、涼亭…等，全建在海岸沙丘高地上，鄰旁有片廣大的木麻黃防風林，可以容納四、五百人活動、露營，是蘭陽地區夏日渡假休閒的好去處。爸媽都說，他們小時候在夏天時最喜歡做的事，就是全家人一起到海水浴場享受涼爽的海風、用沙砌城堡、游泳逐浪、捉螃蟹、撿貝殼，海灘上非常多人，大家都開開心心的在沙灘上玩耍，好不快活。

但因烏石港的興建，堤防外突，阻擋了海沙的補給，造成海浪嚴重向海岸線侵蝕，沙灘不斷流失，海岸線內移，二公里的沙灘，在 98 年五、六月之前，縱深緊縮剩一、二十幾公尺。但六月過後，海水浴場的沙灘在海浪的侵蝕作用力下，就算當局以投消波塊的方式來企圖挽救，還是無法阻止沙灘——全部消失！直至今日，連地基也都受到海浪的侵蝕，地基地部的基石已被淘空一部份，在公園旁的海岸就佈滿了原是海水浴場地基的大小石塊。

反觀目前北台灣最夯的衝浪新天堂，是十多年前沒有這麼一大片沙灘的外澳灘區，每當天氣晴朗的週六、日，外澳灘區人車擁塞，為的都是享受藍天下的白浪！這時讓我們感到疑惑的是：頭城海水浴場的沙灘為何會消失不見？而外澳沙灘的沙又是怎麼來的呢？



圖 1-1 八十年代的頭城海水浴場



圖 1-2 民國 109 年一月頭城海濱森林公園的海岸



圖 1-3 民國 109 年一月的外澳沙灘區

在國一的地理課堂上，地理老師在說明海岸線變化時，曾經提及海岸的變遷除了自然現象，人類的活動更是海岸線變化的主角，台灣的海岸線有 1316 公里長，其中，人工海岸的比例就高達 55.3%；宜蘭是個幸福的地方，因為在宜蘭縣 119 公里的海岸線中，自然海岸保留了 74%，有 89 公里長；當然這也代表宜蘭還有 30 公里的人工海岸線，其中就包括了烏石港一帶。

民國八十四年，因為烏石港的重建，保護了港中的漁船；然而，烏石港海堤突出於海岸延伸而出，阻擋原先沿岸流、海岸漂沙之路徑，造成漂沙於上游側淤沙堆積，而下游側原先有漂沙供應的地區則因為漂沙量減少、短缺，平衡機制遭受破壞，輸出大於輸入，而逐漸出現海岸侵蝕。換言之，突堤效應將會造成堤前堆積、堤後侵蝕的狀況。

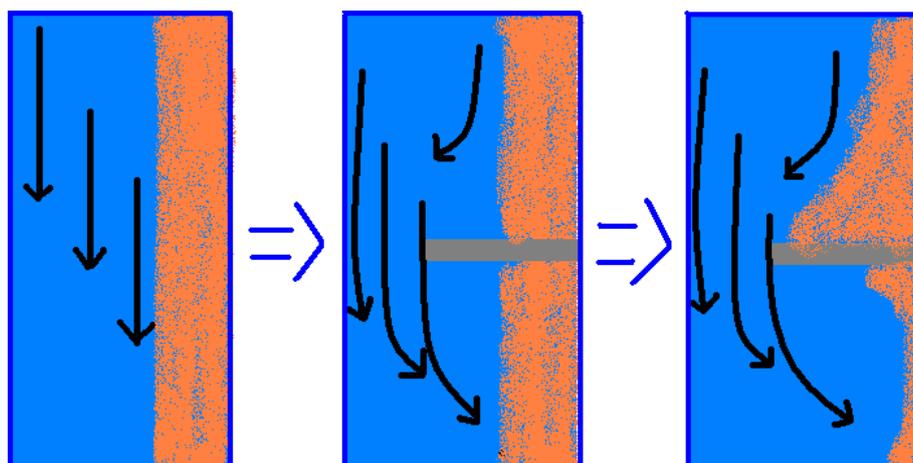


圖 1-4 突堤效應過程簡圖

而突堤效應在課本是不曾出現的理論，經過老師的講解雖大致理解其中的現象，但對其形成因素、過程及結果，甚至解決之法都心存疑惑，因此就想利用實驗的方式來瞭解何謂突堤效應，烏石港的興建如何影響頭城海水浴場及外澳的海岸線，造成海沙的堆積及侵蝕之轉變。

貳、研究目的

但因為海水侵蝕的關係，海岸正一步一步的減少消退，曾經是北部地區重要消暑勝地的頭城海水浴場，現在已自台灣地圖消失，不再有昔日的風光，這都是因為突堤效應造成的結果。因此我們實驗設計理念以突堤效應為中心，藉此瞭解突堤效應發生的前因後果及影響。在實驗的過程中，我們實驗目的是希望瞭解下列問題：

- 一、探討壩堤的興建是否會造成突堤效應（堤前堆積、堤後侵蝕）。
- 二、比較壩堤的長短是否會造成突堤效應更加明顯。
- 三、探討海水流速快慢是否會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。
- 四、比較不同角度之壩堤所造成的突堤效應之結果。

參、研究設備及器材

一、實驗器材：

- (一) 水管
- (二) 抽水馬達
- (三) 電動鑽孔機

(四) 壓克力板水箱及壩堤

1、水箱：長:116cm、寬:60cm、高:30cm

2、壩堤：(1)大：40cm

(2)小：20cm

(五) 量角器

(六) 接著劑

(七) 海沙

(八) 乒乓球

(九) 計時器

(十) 相機及手機

二、研究設備

實驗設備	
海岸模擬水箱	<p>1.水箱：購買符合尺寸之壓克力板，並請商家用黏著劑黏成實驗需要之水箱(如圖 3-1)。且在壓克力水箱底，利用量角器量出 50 度、70 度、90 度、105 度、120 度等五種角度黏著小壓克力塊，來控制壩堤角度實驗(如圖 3-2)。</p> <p>2.壩堤：購買二片(20*25cm、40*25cm)之壓克力板以模擬壩堤(如圖 3-3)。</p> <p>3.海灘：為求實驗之準確度，模擬水箱內沙灘取自外澳灘區(如圖 3-4)。</p> <p>4.海岸突堤模擬：將海沙置入水箱(如圖 3-5)，再模擬海岸未產生突堤效應前之平整狀態(如圖 3-6)，最後置入壩堤。</p>

<p>循環水設備</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.將抽水馬達及水管連接(如圖 3-7~圖 3-8)。 2.在水管連接處裝置水閘，用以控制水流速度。(如圖 3-9) 3.在水管末端利用生活科技教室內的電動鑽洞器將水管鑽一排洞，以模擬海水平行海岸流動(如圖 3-10)。
<p>攝影設備與</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 數位相機，拍攝、錄取實驗過程，放置於水箱旁拍攝。



圖 3-1 海岸模擬水箱



圖 3-2 控制壩堤角度小壓克力塊



圖 3-3 模擬壩堤之壓克力板



圖 3-4 外澳灘區的海沙



圖 3-5 將海沙置入水箱



圖 3-6 完成模擬沙灘



圖 3-7 抽水馬達及水管連接



圖 3-8 循環水設備

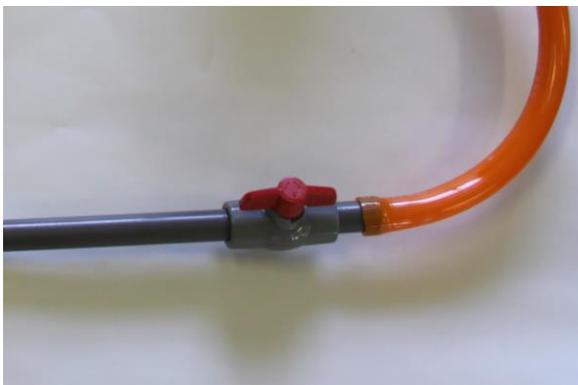


圖 3-9 水閘



圖 3-10 模擬海水平行流動之出水口

肆、研究過程或方法

一、實驗一：探討壩堤的興建是否會造成突堤效應（堤前堆積、堤後侵蝕）。

(一)將壓克力板置於水箱中央，模擬壩堤，並模擬海岸未產生突堤效應前之平整狀態（如圖 4-1）。

(二)打開循環水系統，讓水開始流動，觀察模擬沙灘是否產生突堤效應(如圖 4-2)。



圖 4-1 模擬海岸



圖 4-2 打開循環水系統



圖 4-3 觀察水流與沙灘之改變

二、實驗二：比較壩堤的長短是否會造成突堤效應更加明顯。

(一)模擬壩堤共分二種長度，分別為突出沙岸 10cm、20cm(如圖 4-4~圖 4-5)。

(二)觀察在不同長度壩堤，沙灘的突堤效應是否有所變化。



圖 4-4 突出 10cm 壩堤



圖 4-5 突出 20cm 壩堤

三、實驗三：探討海水流速快慢是否會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。

(一)利用循環水系統的流速控制閘來控制流水速度。

(二)利用乒乓球較輕的特性，進行流速測試實驗(如圖 4-6~圖 4-7)。

(三)觀察在不同流速的水流，沙灘的突堤效應是否有所變化。



圖 4-6 乒乓球進行流速測試



圖 4-7 乒乓球進行流速測試

四、實驗四：比較不同角度之壩堤所造成的突堤效應之結果。

(一)將壩堤依設計之五種角度(50 度、70 度、90 度、105 度、120 度)進行實驗
(如圖 4-8~圖 4-12)。

(二)觀察不同角度之壩堤所造成的突堤效應之結果。



圖 4-8 50 度壩堤



圖 4-9 70 度壩堤



圖 4-10 90 度壩堤



圖 4-11 105 度壩堤



圖 4-12 120 度壩堤

伍、研究結果

一、探討壩堤的興建是否會造成突堤效應（堤前堆積、堤後侵蝕）。

(一)實驗時間：30 分鐘

(二)實驗結果：放置好突出岸邊 10 公分壩堤後開啟循環水系統，讓水開始流動(如圖 5-1~圖 5-2)。經過 30 分鐘，在壩堤前有堆積現象(向外堆積約 3cm)，壩堤後有侵蝕現象（向內侵蝕約 5cm），證實了壩堤的興建會造成突堤效應(如圖 5-3)。



圖 5-1 10 公分壩堤實驗前



圖 5-2 開啟循環水系統



圖 5-3 10 公分壩堤實驗後

二、比較壩堤的長短是否會造成突堤效應更加明顯。

(一)實驗時間：各 30 分鐘

(二)實驗結果：

- 1.在實驗(一)中採用突出岸邊 10 公分壩堤，故在實驗(二)直接採用實驗(一)中突出岸邊 10 公分壩堤之短壩數據，再增加突出岸邊 20 公分壩堤之長壩實驗
- 2.放置好突出岸邊 20 公分壩堤後開啟循環水系統，讓水開始流動(如圖 5-4~圖 5-5)。經過 30 分鐘，在壩堤前有堆積現象(向外堆積約 20cm)，壩堤後沒有侵蝕現象(向內侵蝕 0 cm)。經觀察與討論，應是受限於本實驗水箱之體積不足，在使用較長壩堤時會造成水流不易流過有限空間，使得壩前有迴流現象，故堆積較明顯，而壩後水流流速過慢，無法產生侵蝕現象。
- 3.根據實驗所整理的數據(如表 5-1)，可知道突出的壩堤愈長，在壩堤前堆積的現象愈明顯(如圖 5-4~圖 5-7)。由上數據可推論，壩堤長短，會影響到突堤效應的結果。



圖 5-4 20 公分壩堤實驗前



圖 5-5 20 公分壩堤實驗後



圖 5-6 20 公分壩堤壩前堆積測量

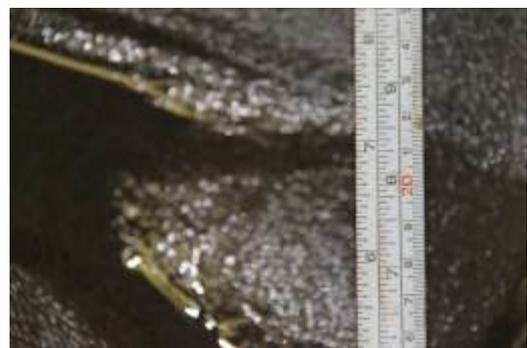


圖 5-7 20 公分壩堤壩前堆積 20 公分

(三)實驗變因及數據：

表 5-1 壩堤長短之實驗數據

變 因	突出沙岸距離 (cm)	堆積時間 (分鐘)	壩前堆積 (cm)	壩後侵蝕 (cm)
長壩	20(cm)	30(分鐘)	20(cm)	0(cm)
短壩	10(cm)	30(分鐘)	3(cm)	5(cm)

三、探討海水流速快慢是否會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。

(一)實驗時間：每組流速實驗 30 分鐘。

(二)流速實驗：將乒乓球置於水箱右側，使其飄流至左側（總長度為 80cm），利用計時器測量出飄流的時間(以 80cm 所需秒數來測量，再推算流速，單位 cm/s，以下簡稱流速)，測出流速。每組流速實驗測量十二次，除去最快及最慢二次，剩餘十次求出平均值。最後取得 22.3 cm/s、13.2 cm/s、11.6 cm/s 三種流速為實驗流速(如表 5-2)。

表 5-2 流速實驗之數據

流速 施測 80cm 秒數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均 秒數	流速 (cm/s)
流速 A	4.61	3.60	3.71	4.26	3.41	2.88	3.00	3.22	4.24	2.84	3.58	22.3
流速 B	5.70	6.72	5.89	6.97	5.62	5.63	6.87	4.84	6.82	5.77	6.08	13.2
流速 C	5.39	6.45	7.07	8.87	8.31	6.10	7.90	5.27	5.08	8.80	6.92	11.6

(三) 實驗結果：根據以下三組流速測試數據，可知道流速會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。但本實驗在 A 流速之壩前堆積現象不明顯。

1.流速 A：沙灘產生變化(如圖 5-8~圖 5-10)，壩前堆積 3cm，壩後侵蝕 5cm。



圖 5-8 流速 A 實驗前



圖 5-9 流速 A 實驗中



圖 5-10 流速 A 實驗後

2. 流速 B：沙灘產生變化(如圖 5-11~圖 5-14)，壩前堆積 9cm，壩後侵蝕 4cm。



圖 5-11 流速 B 實驗前



圖 5-12 流速 B 實驗後



圖 5-13 流速 B 壩前堆積測量



圖 5-14 流速 B 壩後侵蝕測量

3. 流速 C：沙灘產生變化(如圖 5-15~圖 5-17)，壩前堆積 5cm，壩後侵蝕 3cm。



圖 5-15 流速 C 實驗前



圖 5-16 流速 C 實驗後及壩後侵蝕測量



圖 5-17 流速 C 實驗後壩前堆積測量

(四)實驗變因及數據：

表 5-3 流速實驗結果及數據

變 因	流速(cm/s)	堆積現象(cm)	侵蝕現象(cm)
流速 A	22.3	3(cm)	5(cm)
流速 B	13.2	9(cm)	4(cm)
流速 C	11.6	5(cm)	3(cm)

四、比較不同角度之壩堤所造成的突堤效應之結果。

(一)實驗時間：依設計之五種角度(50 度、70 度、90 度、105 度及 120 度)，每組各實驗 30 分鐘。

(二)實驗結果：由下列實驗數據可知，不同角度壩堤會產生不同的堆積及侵蝕結果，其中以 70 度壩堤造成之壩前堆積最明顯(26cm)，105 度壩堤壩前堆積最不明顯(4cm)；90 度壩堤造成之壩後侵蝕最明顯(7cm)，105 度及 120 度壩堤壩後侵蝕最不明顯(2cm)，如表 5-4。

1. 50 度壩堤：壩前堆積 15cm，壩後侵蝕 5cm(如圖 5-18~圖 5-21)。



圖 5-18 50 度壩堤實驗前



圖 5-19 50 度壩堤實驗中



圖 5-20 50 度壩堤實驗後壩前堆積測量



圖 5-21 50 度壩堤實驗後壩後侵蝕測量

2. 70 度壩堤：壩前堆積 26cm，壩後侵蝕 6cm(如圖 5-22~圖 5-25)。



圖 5-22 70 度壩堤實驗前



圖 5-23 70 度壩堤實驗中



圖 5-24 70 度壩堤實驗後壩前堆積測量



圖 5-25 70 度壩堤實驗後壩後侵蝕測量

3. 90 度壩堤：壩前堆積 20cm，壩後侵蝕 7cm(如圖 5-26~圖 5-29)。



圖 5-26 90 度壩堤實驗前



圖 5-27 90 度壩堤實驗中



圖 5-28 90 度壩堤實驗後壩前堆積測量



圖 5-29 90 度壩堤實驗後壩後侵蝕測量

4. 105 度壩堤：壩前堆積 4cm，壩後侵蝕 2cm(如圖 5-30~圖 5-33)。



圖 5-30 105 度壩堤實驗前



圖 5-31 105 度壩堤實驗後



圖 5-32 105 度壩堤實驗後壩前堆積測量

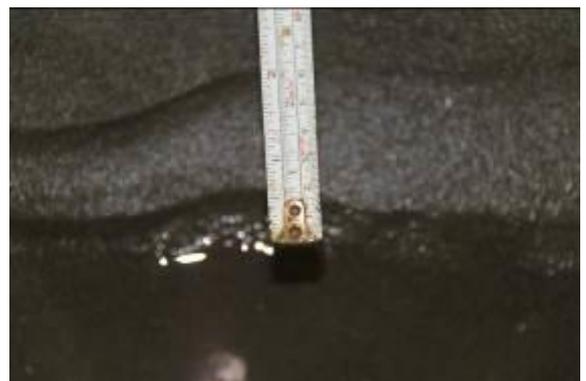


圖 5-33 105 度壩堤實驗後壩後侵蝕測量

5. 120 度壩堤：壩前堆積 10cm，壩後侵蝕 2cm(如圖 5-34~圖 5-37)。



圖 5-34 120 度壩堤實驗前



圖 5-35 120 度壩堤實驗中



圖 5-36 120 度壩堤實驗後壩前堆積測量



圖 5-37 120 度壩堤實驗後壩後侵蝕測量

(三)實驗變因及數據：

表 5-4 不同角度之壩堤實驗數據

變因	50 度壩堤	70 度壩堤	90 度壩堤	105 度壩堤	120 度壩堤
壩前堆積 (cm)	15(cm)	26(cm)	20(cm)	4(cm)	10(cm)
壩後侵蝕 (cm)	5(cm)	6(cm)	7(cm)	2(cm)	2(cm)

陸、討論

一、因為沙實地採自於外澳灘區，在實驗之初將海沙置入水中時，因沙中雜質多，而讓水呈混濁狀態(如圖 6-1~圖 6-2)，導致實驗無法順利進行，所以我們洗沙洗了 7 次，才讓水呈較清澈狀態，方得進行實驗！由此可證明頭城海水浴場及外澳灘區的海水污染程度，這也是本次實驗的意外發現，此亦告知大眾應該更加重視海洋污染問題。



圖 6-1 混濁的海沙 (一)



圖 6-2 混濁的海沙 (二)

二、在實際海岸線的突堤效應範圍是非常廣且經過日積月累才形成，因此本次實驗的水箱在比例上有改進空間，因壓克力板水箱太小，內箱水循環系統無法讓水順利形成類似海流之流動現象，而在水箱內形成迴流的狀態。為了克服此問題，經小組多次討論及實驗，最後將左側打洞，讓水能以最快速度流出，再利用抽水機將水抽回水箱右側，在水箱內形成類似海流之流動現象。但因抽水機馬力太小，無法快速抽水，造成流出水量過大，須在實驗過程以人力補充水箱內水量。原本設計之水箱為長 120cm、寬 60cm、高 30cm，可加長長度及加寬寬度(以利突堤效應形成)，降低高度(方便實驗過程進行)。

三、因時間限制，每組實驗我們都以 30 分鐘為實驗時間，若以更長的時間來進行實驗，相信會有貼近真實現況的實驗結果。

四、流速測量使用乒乓球，因其仍有重量，加上流動時會因迴流或流水方向不易固定而非直線流動，而且使用碼錶測量，誤差較大。故所求得之流速只能作流速快慢之依據，亦無法推估實際流速。

五、本次驗實二中，長壩堤前有堆積現象(向外堆積約 20cm)，壩堤後沒有侵蝕現象(向內侵蝕 0 cm)。經觀察與討論，應是受限於本實驗水箱之體積不足，在使用較長壩堤

時會造成水流不易流過有限空間，使得壩前有迴流現象，故堆積較明顯，而壩後水流流速過慢，無法產生侵蝕現象。若要改善此現象，需待改進實驗水箱及解決迴流問題。

六、本次實驗三中，A 流速之壩前堆積現象不明顯，經觀察與討論推估應與流速過快造成迴流及排水速度無法配合有關，因此與實驗二相同，都需要改進實驗水箱及解決迴流問題。

七、本次實驗只實驗到壩堤長短、水流速度及壩堤角度的影響，其實影響突堤效應的因素不只這些，例如還有壩堤形狀、壩堤透水性、風力影響、雙壩堤等，都是有趣而且值得去探討的變因。

柒、結論

一、經過置放壩堤並開啟循環水系統，30 分鐘後在壩堤前有向外堆積現象，壩堤後有向海岸侵蝕現象，證實了壩堤的興建會造成突堤效應。

二、根據實驗二結果的表 5-1 數據，將長短壩及堆積、侵蝕情形繪製成下圖：

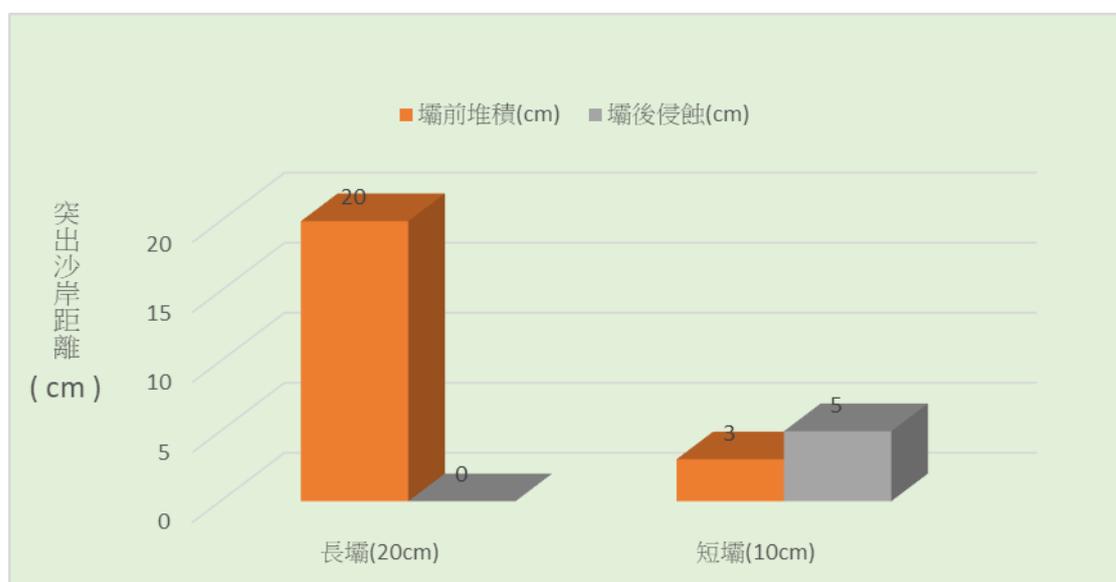


圖 7-1 實驗二的長短壩堤之堆積、侵蝕情形

(一)由上圖 7-1 可知道突出的壩堤愈長，在壩堤前堆積的現象愈明顯。

(二)因但受限於本實驗水箱之體積不足，在使用較長壩堤時會造成水流不易流過有限

空間，使得壩前有迴流現象，故堆積較明顯，而壩後水流流速過慢，無法產生侵蝕現象；而使用短壩時就明顯有壩前堆積、壩後侵蝕現象。

(三)由數據可推論，壩堤愈長，突堤效應愈明顯。

三、根據實驗三結果的表 5-3 數據，將流速及堆積、侵蝕情形繪製成下圖：

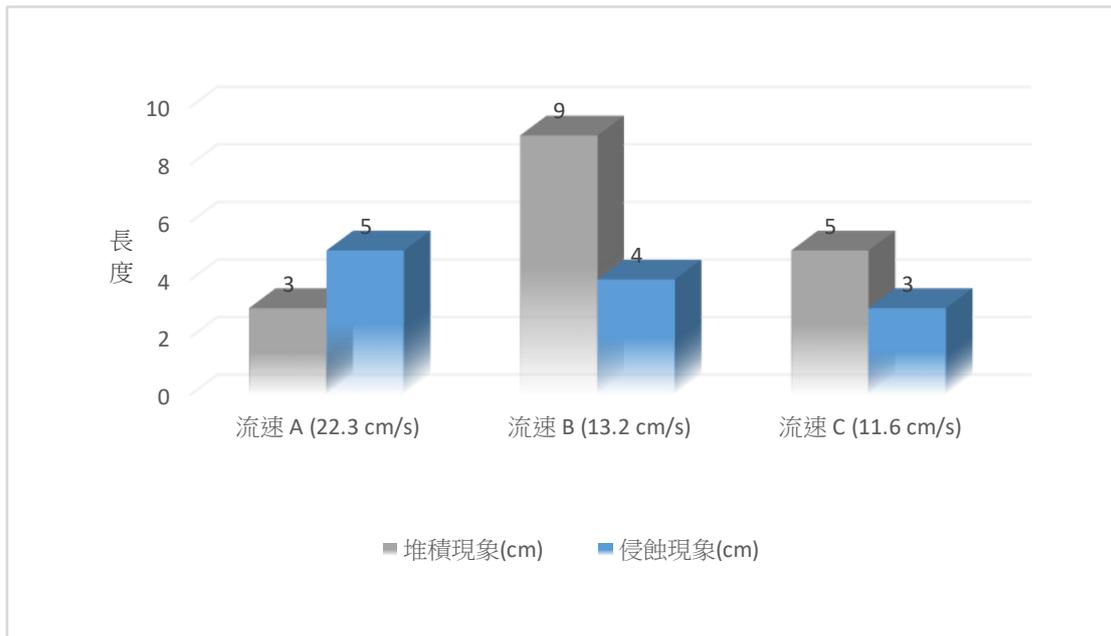


圖 7-2 實驗三的三種流速的堆積、侵蝕情形

由上圖 7-2 之可知，流速會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。

但本實驗在 A 流速之壩前堆積現象不明顯。

四、根據實驗四結果的表 5-4 數據，將不同角度壩堤會產生不同的堆積及侵蝕結果繪製成下圖：

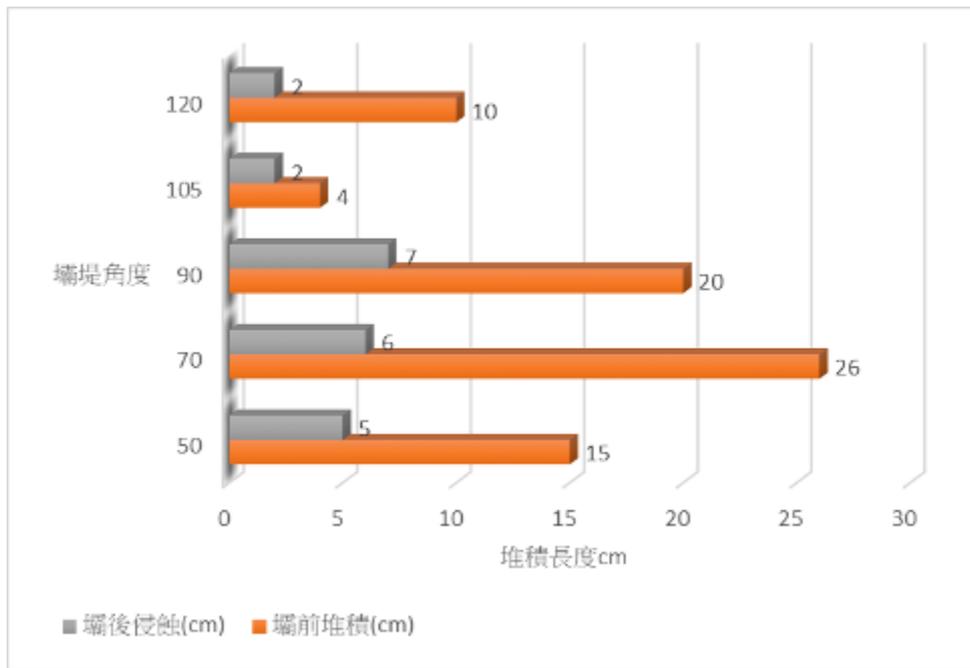


圖 7-3 實驗四中的不同角度壩堤之堆積、侵蝕情形

由上圖 7-3 可知，不同角度壩堤會產生不同的堆積及侵蝕結果，其中以 70 度壩堤造成之壩前堆積最明顯(26cm)，120 度壩堤壩前堆積最不明顯(10cm)；90 度壩堤造成之壩後侵蝕最明顯(7cm)，105 度及 120 度壩堤壩後侵蝕最不明顯(2cm)。

五、經由此研究才對突堤效應有更深入的了解，原來在海岸建造一個工程的影響是這麼大。烏石港的建造，造成了頭城海水浴場的消失，而且侵蝕還在進行當中，本研究的結果可供證實突堤的影響，希望相關單位在修建任何海岸工程前，能在工程建設及海岸環境及生態中取得平衡點，以永續經營的態度來面對。

捌、參考資料及其他

一、淺談突堤，取自：

<http://www.twce.org.tw/info/%E6%8A%80%E5%B8%AB%E5%A0%B1/455-4-1.htm>

二、搶救沙灘大作戰~~模擬福隆沙灘演進與變遷，取自：

<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2006/03/2006033117023071.pdf>

三、「滾蛟龍的反噬」-一模糊方法對土石流發生之探討，取自：

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030502.pdf>

四、叱「柵」風雲--透水柵工法在台灣的適用性研究，取自：

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/high/031730.pdf>

五、滾滾濁水入海流－河川入海濁流之實驗模擬，取自：

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030506.pdf>

六、呼嘯而過，取自：

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/junior/0317/031733.pdf>

七、橋墩追追追～橋墩抗水能力與沙石掏空情形探討，取自：

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0317/031726.pdf>

【評語】 030502

研究主題清楚且聚焦，並具鄉土相關性。結果具再現性，大體上數據足以定性證實結論與釋義。表達清楚。並了解與作品相關之基本科學原理。

該作品以實驗的方式探討了烏石港堤坊工程對頭城濱海森林公園及外澳沙灘所產生的突堤效應，透過操弄壩長、壩堤角度、海流的流速等，來了解突堤效應。

整個實驗器材都自行規劃設計，實驗流程考慮了不同的控制因素，也得到有意義的結果。未來可以延伸到其他的港口。沙灘原料的來源問題。

主題相當正確，也具有很親和力的鄉土性。港口對海砂堆積之影響，不只在台灣為重要議題，在世界各地亦為重要議題。該作品能討論到實驗模型尺寸對實驗影響，堤防角度對堆沙影響合乎科學直覺。未來可探索更多海港進一步深化成果。

※、摘要

突堤效應是指人工建構物突出於海岸，延伸而出，阻擋原先海流和海岸積沙的路徑，造成沙子在上游堆積，而下游原先有沙岸的地區則因為沙子量逐漸減少，侵蝕大於堆積，逐漸出現海岸遭受破壞。突堤效應會造成壩前堆積、壩後侵蝕的情況。因為突堤效應造成的結果，頭城海濱森林公園（原頭城海水浴場），在這十多年中，原本的沙灘現在已完全被海水覆蓋。

本校位於頭城海濱森林公園附近，看到頭城海濱森林公園的海沙在烏石港建後已經流失不見，希望藉由實驗瞭解突堤效應，並希望在實驗後對頭城海濱森林公園的突堤效應提出建議。

壹、研究動機

從雪山隧道開通以來，在週六日時常可見頭城街上熱鬧許多，尤其是夏天時，有許多車的車頂上多了一個配備——衝浪板，所有的車子全都往外澳灘區移動。

反觀曾是宜蘭縣唯一的海水浴場——頭城海水浴場，現已改為頭城海濱森林公園，似是走入停滯的歷史，除了斑駁的建築、空洞的浪潮聲，獨留清潔打掃的工作人員及替代役。

頭城海水浴場原為蘭陽地區唯一的海水浴場。民國六十九年時，因濱海公路的通車，為其帶來熱絡的商機！場內設施完善，有停車場、更衣室、休息室、餐廳、涼亭...等，全建在海岸沙丘高地上，鄰旁有片廣大的木麻黃防風林，可以容納四、五百人活動、露營，是蘭陽地區夏日渡假休閒的好去處。爸媽都說，他們小時候在夏天時最喜歡做的事，就是全家人一起到海水浴場享受涼爽的海風、用沙砌城堡、游泳逐浪、捉螃蟹、撿貝殼，海灘上非常多人，大家都開開心心的在沙灘上玩耍，好不快活。

但因烏石港的興建，堤防外突，阻擋了海沙的補給，造成海浪嚴重向海岸線侵蝕，沙灘不斷流失，海岸線內移，二公里的沙灘，在98年五、六月之前，縱深緊縮剩一、二十幾公尺。但六月過後，海水浴場的沙灘在海浪的侵蝕作用力下，就算當局以投消波塊的方式來企圖挽救，還是無法阻止沙灘——全部消失！直至今日，連地基也都受到海浪的侵蝕，地基地部的基石已被淘空一部份，在公園旁的海岸就佈滿了原是海水浴場地基的大小石塊。

反觀目前北台灣最夯的衝浪新天堂，是十多年前沒有這麼一大片沙灘的外澳灘區，每當天氣晴朗的週六、日，外澳灘區人車擁塞，為的都是享受藍天下的白浪！這時讓我們感到疑惑的是：頭城海水浴場的沙灘為何會消失不見？而外澳沙灘的沙又是怎麼來的呢？

在國一的地理課堂上，地理老師在說明海岸線變化時，曾經提及海岸的變遷除了自然現象，人類的活動更是海岸線變化的主角，台灣的海岸線有1316公里長，其中，人工海岸的比例就高達55.3%；宜蘭是個幸福的地方，因為在宜蘭縣119公里的海岸線中，自然海岸保留了74%，有89公里長；當然這也代表宜蘭還有30公里的人工海岸線，其中就包括了烏石港一帶。

民國八十四年，因為烏石港的重建，保護了港中的漁船；然而，烏石港海堤突出於海岸延伸而出，阻擋原先沿岸流、海岸漂沙之路徑，造成漂沙於上游側淤沙堆積，而下游側原先有漂沙供應的地區則因為漂沙量減少、短缺，平衡機制遭受破壞，輸出大於輸入，而逐漸出現海岸侵蝕。換言之，突堤效應將會造成堤前堆積、堤後侵蝕的狀況。



圖1-1 八十年代的頭城海水浴場



圖1-2 民國109年一月頭城海濱森林公園的海岸



圖1-3 民國109年一月的外澳沙灘區

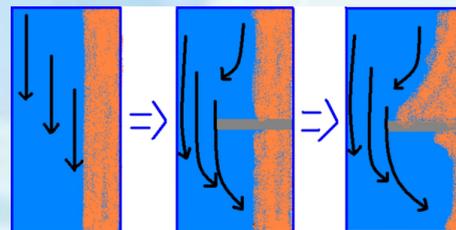


圖1-4 突堤效應過程簡圖

貳、研究目的

但因為海水侵蝕的關係，海岸正一步一步的減少消退，曾經是北部地區重要消暑勝地的頭城海水浴場，現在已自台灣地圖消失，不再有昔日的風光，這都是因為突堤效應造成的結果。因此我們實驗設計理念以突堤效應為中心，藉此瞭解突堤效應發生的前因後果及影響。在實驗的過程中，我們實驗目的是希望瞭解下列問題：

- 一、探討壩堤的興建是否會造成突堤效應（堤前堆積、堤後侵蝕）。
- 二、比較壩堤的長短是否會造成突堤效應更加明顯。
- 三、探討海水流速快慢是否會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。
- 四、比較不同角度之壩堤所造成的突堤效應之結果。

參、研究設備及器材

一、實驗器材：

- (一)壓克力板水箱及壩堤：1.水箱：長116cm X 寬60cm X 高30cm 2.壩堤：大40cm 小20cm (二)水管 (三)抽水馬達 (四)電動鑽孔機 (五)量角器 (六)接著劑 (七)海沙 (八)乒乓球 (九)計時器 (十)相機及手機

二、研究實驗設備：

- 海岸模擬水箱** 1.水箱：購買符合尺寸之壓克力板，並請商家用黏著劑黏成實驗需要之水箱(如圖3-1)。且在壓克力水箱底，利用量角器量出50度、70度、90度、105度、120度等五種角度黏著小壓克力塊，來控制壩堤角度實驗(如圖3-2)。
- 2.壩堤：購買二片(20*25cm、40*25cm)之壓克力板以模擬壩堤(如圖3-3)。
- 3.海灘：為求實驗之準確度，模擬水箱內沙灘取自外澳灘區(如圖3-4)。
- 4.海岸突堤模擬：將海沙置入水箱(如圖3-5)，再模擬海岸未產生突堤效應前之平整狀態(如圖3-6)，最後置入壩堤。



圖3-1 海岸模擬水箱



圖3-2 控制壩堤角度小壓克力塊



圖3-3 模擬壩堤之壓克力板



圖3-4 外澳灘區的海沙



圖3-5 將海沙置入水箱



圖3-6 完成模擬沙灘

循環水設備

- 1.將抽水馬達及水管連接(如圖3-7~圖3-8)。
- 2.在水管連接處裝置水閘，用以控制水流速度。(如圖3-9)
- 3.在水管末端利用生活科技教室內的電動鑽洞器將水管鑽一排洞，以模擬海水平行海岸流動(如圖3-10)

攝影設備

- 1.數位相機，拍攝、錄取實驗過程，放置於水箱旁拍攝。



圖3-7 抽水馬達及水管連接



圖3-8 循環水設備



圖3-9 水閘



圖3-10 模擬海水平行流動之出水口

肆、研究過程或方法

實驗一：探討壩堤的興建是否會造成突堤效應（堤前堆積、堤後侵蝕）。

- (一)將壓克力板置於水箱中央，模擬壩堤，並模擬海岸未產生突堤效應前之平整狀態(如圖4-1)。
- (二)打開循環水系統，讓水開始流動，觀察模擬沙灘是否產生突堤效應(如圖4-2~圖4-3)。

實驗二：比較壩堤的長短是否會造成突堤效應更加明顯。

- (一)模擬壩堤共分二種長度，分別為突出沙岸10cm、20cm(如圖4-4~圖4-5)。
- (二)觀察在不同長度壩堤，沙灘的突堤效應是否有所變化。



圖4-1 模擬海岸



圖4-2 打開循環水系統



圖4-3 觀察水流與沙灘之改變

實驗三：探討海水流速快慢是否會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。

- (一)利用循環水系統的流速控制閘來控制流水速度。
- (二)利用乒乓球較輕的特性，進行流速測試實驗(如圖4-6~圖4-7)。
- (三)觀察在不同流速的水流，沙灘的突堤效應是否有所變化。

實驗四：比較不同角度之壩堤所造成的突堤效應之結果。

- (一)將壩堤依設計之五種角度(50度、70度、90度、105度、120度)進行實驗(如圖4-8~圖4-12)。
- (二)觀察不同角度之壩堤所造成的突堤效應之結果。



圖4-4 突出10cm壩堤



圖4-5 突出20cm壩堤



圖4-6 乒乓球進行流速測試



圖4-7 乒乓球進行流速測試



圖4-8 50度壩堤



圖4-9 70度壩堤



圖4-10 90度壩堤



圖4-11 105度壩堤



圖4-12 120度壩堤

伍、研究結果

一、探討壩堤的興建是否會造成突堤效應(堤前堆積、堤後侵蝕)。

- (一)實驗時間：30分鐘
- (二)實驗結果：放置好突出岸邊10公分壩堤後開啟循環水系統，讓水開始流動(如圖5-1~圖5-2)。經過30分鐘，在壩堤前有堆積現象(向外堆積約3cm)，壩堤後有侵蝕現象(向內侵蝕約5cm)，證實了壩堤的興建會造成突堤效應(如圖5-3)。

二、比較壩堤的長短是否會造成突堤效應更加明顯。

- (一)實驗時間：各30分鐘
- (二)實驗結果：
 - 在實驗(一)中採用突出岸邊10公分壩堤，故在實驗(二)直接採用實驗(一)中突出岸邊10公分壩堤之短壩數據，再增加突出岸邊20公分壩堤之長壩實驗。
 - 放置好突出岸邊20公分壩堤後開啟循環水系統，讓水開始流動(如圖5-4~圖5-5)。經過30分鐘，在壩堤前有堆積現象(向外堆積約20cm)，壩堤後沒有侵蝕現象(向內侵蝕0cm)。經觀察與討論，應是受限於本實驗水箱之體積不足，在使用較長壩堤時會造成水流不易流過有限空間，使得壩前有迴流現象，故堆積較明顯，而壩後水流流速過慢，無法產生侵蝕現象。
 - 根據實驗所整理的數據(如表5-1)，可知道突出的壩堤愈長，在壩堤前堆積的現象愈明顯(如圖5-4~圖5-7)。由上數據可推論，壩堤長短，會影響到突堤效應的結果。

表5-1壩堤長短實驗數據

變因	突出沙岸距離(cm)	堆積時間(分鐘)	壩前堆積(cm)	壩後侵蝕(cm)
長壩	20(cm)	30(分鐘)	20(cm)	0(cm)
短壩	10(cm)	30(分鐘)	3(cm)	5(cm)



圖5-1 10公分壩堤實驗前



圖5-2 開啟循環水系統



圖5-3 10公分壩堤實驗後



圖5-4 20公分壩堤實驗前



圖5-5 20公分壩堤實驗後



圖5-6 20公分壩堤壩前堆積測量

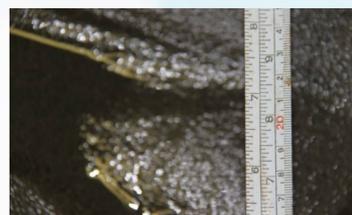


圖5-7 20公分壩堤壩前堆積20公分

三、探討海水流速快慢是否會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。

- (一)實驗時間：每組流速實驗30分鐘。
- (二)流速實驗：將乒乓球置於水箱右側，使其飄流至左側(總長度為80cm)，利用計時器測量出飄流的時間(以80cm所需秒數來測量，再推算流速，單位cm/s，以下簡稱流速)，測出流速。每組流速實驗測量十二次，除去最快及最慢二次，剩餘十次求出平均值。最後取得22.3 cm/s、13.2 cm/s、11.6 cm/s三種流速為實驗流速(如表5-2)。

表5-2流速實驗之數據

流速施測80cm秒數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均秒數	流速(cm/s)
流速A	4.61	3.60	3.71	4.26	3.41	2.88	3.00	3.22	4.24	2.84	3.58	22.3
流速B	5.70	6.72	5.89	6.97	5.62	5.63	6.87	4.84	6.82	5.77	6.08	13.2
流速C	5.39	6.45	7.07	8.87	8.31	6.10	7.90	5.27	5.08	8.80	6.92	11.6

(三)實驗結果：根據以下三組流速測試數據，可知道流速會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。但本實驗在A流速之壩前堆積現象不明顯。

- 流速A：沙灘產生變化(如圖5-8~圖5-10)，壩前堆積3cm，壩後侵蝕5cm。
- 流速B：沙灘產生變化(如圖5-11~圖5-14)，壩前堆積9cm，壩後侵蝕4cm。
- 流速C：沙灘產生變化(如圖5-15~圖5-17)，壩前堆積5cm，壩後侵蝕3cm。

(四)實驗變因及數據：(表5-3)流速實驗結果及數據。



圖5-8 流速A實驗前



圖5-9 流速A實驗中



圖5-10 流速A實驗後



圖5-11 流速B實驗前



圖5-12 流速B實驗後



圖5-13 流速B壩前堆積測量

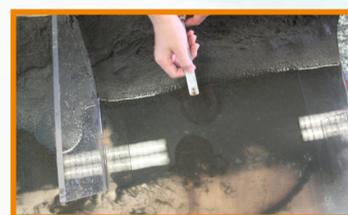


圖5-14 流速B壩後侵蝕測量



圖5-15 流速C實驗前



圖5-16 流速C實驗後及壩後侵蝕測量



圖5-17 流速C實驗後壩前堆積測量

表5-3流速實驗結果及數據

變因	流速(cm/s)	堆積現象(cm)	侵蝕現象(cm)
流速A	22.3	3(cm)	5(cm)
流速B	13.2	9(cm)	4(cm)
流速C	11.6	5(cm)	3(cm)

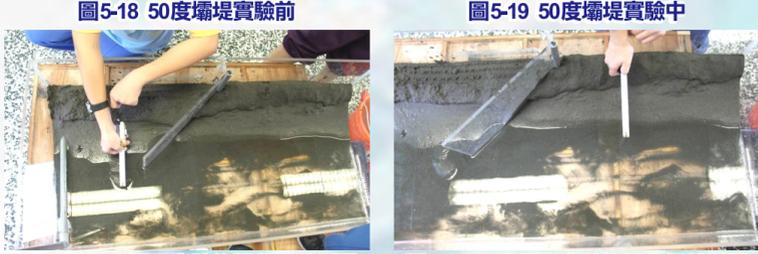
表5-4不同角度之壩堤實驗數據

變因	50度壩堤	70度壩堤	90度壩堤	105度壩堤	120度壩堤
壩前堆積 (cm)	15(cm)	26(cm)	20(cm)	4(cm)	10(cm)
壩後侵蝕 (cm)	5(cm)	6(cm)	7(cm)	2(cm)	2(cm)

四、比較不同角度之壩堤所造成的突堤效應之結果。

- (一)實驗時間：依設計之五種角度(50度、70度、90度、105度及120度)每組各實驗30分鐘。
- (二)實驗結果：由下列實驗數據可知，不同角度壩堤會產生不同的堆積及侵蝕結果，其中以70度壩堤造成之壩前堆積最明顯(26cm)，105度壩堤壩前堆積最不明顯(4cm)；90度壩堤造成之壩後侵蝕最明顯(7cm)，105度及120度壩堤壩後侵蝕最不明顯(2cm)，(如表5-4)。

50度壩堤：壩前堆積15cm，壩後侵蝕5cm(如圖5-18~21)



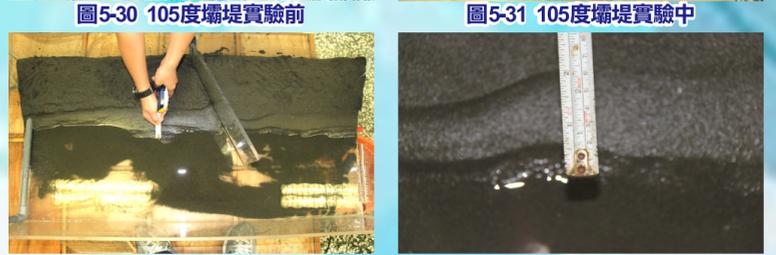
70度壩堤：壩前堆積26cm，壩後侵蝕6cm(如圖5-22~25)



90度壩堤：壩前堆積20cm，壩後侵蝕7cm(如圖5-26~29)



105度壩堤：壩前堆積4cm，壩後侵蝕2cm(如圖5-30~33)



120度壩堤：壩前堆積10cm，壩後侵蝕2cm(如圖5-34~37)



圖6-1 混濁的海沙(一)

圖6-2 混濁的海沙(二)

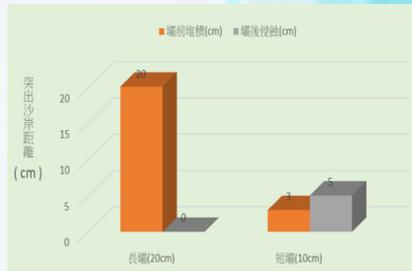


圖7-1 實驗二的長短壩堤之堆積、侵蝕情形

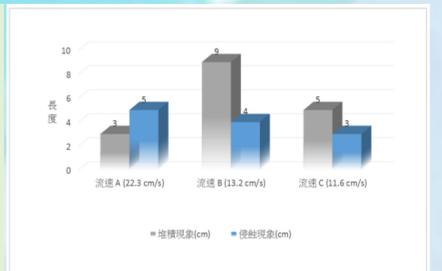


圖7-2 實驗三的三種流速的堆積、侵蝕情形

陸、討論

- 一、因為沙質地採自於外澳灘區，在實驗之初將海沙置入水中時，因沙中雜質多，而讓水呈混濁狀態(如圖6-1~圖6-2)，導致實驗無法順利進行，所以我們洗沙洗了7次，才讓水呈較清澈狀態，方得進行實驗！由此可證明頭城海水浴場及外澳灘區的海水污染程度，這也是本次實驗的意外發現，此亦告知大眾應該更加重視海洋污染問題。
- 二、在實際海岸線的突堤效應範圍是非常廣且經過日積月累才形成，因此本次實驗的水箱在比例上有改進空間，因壓克力板水箱太小，內箱水循環系統無法讓水順利形成類似海流之流動現象，而在水箱內形成迴流的狀態。為了克服此問題，經小組多次討論及實驗，最後將左側打洞，讓水能以最快速度流出，再利用抽水機將水抽回水箱右側，在水箱內形成類似海流之流動現象。但因抽水機馬力太小，無法快速抽水，造成流出水量過大，須在實驗過程以人力補充水箱內水量。原本設計之水箱為長120cm、寬60cm、高30cm，可加長長度及加寬寬度(以利突堤效應形成)，降低高度(方便實驗過程進行)。
- 三、因時間限制，每組實驗我們都以30分鐘為實驗時間，若以更長的時間來進行實驗，相信會有貼近真實現況的實驗結果。
- 四、流速測量使用乒乓球，因其仍有重量，加上流動時會因迴流或流水方向不易固定而非直線流動，而且使用碼錶測量，誤差較大。故所求得之流速只能作流速快慢之依據，亦無法推估實際流速。
- 五、本次實驗二中，長壩堤前有堆積現象(向外堆積約20cm)，壩堤後沒有侵蝕現象(向內侵蝕0 cm)。經觀察與討論，應是受限於本實驗水箱之體積不足，在使用較長壩堤時會造成水流不易流過有限空間，使得壩前有迴流現象，故堆積較明顯，而壩後水流流速過慢，無法產生侵蝕現象。若要改善此現象，需待改進實驗水箱及解決迴流問題。
- 六、本次實驗三中，A流速之壩前堆積現象不明顯，經觀察與討論推估應與流速過快造成迴流及排水速度無法配合有關，因此與實驗三相同，都需要改進實驗水箱及解決迴流問題。
- 七、本次實驗只實驗到壩堤長短、水流速度及壩堤角度的影響，其實影響突堤效應的因素不只這些，例如還有壩堤形狀、壩堤透水性、風力影響、雙壩堤等，都是有趣而且值得去探討的變因。

柒、結論

- 一、經過置放壩堤並開啟循環水系統，30分鐘後在壩堤前有向外堆積現象，壩堤後有向海岸侵蝕現象，證實了壩堤的興建會造成突堤效應。
- 二、根據實驗二結果的(表5-1)數據，將長短壩及堆積、侵蝕情形繪製成(圖7-1)：
 - (一)由(圖7-1)可知道突出的壩堤愈長，在壩堤前堆積的現象愈明顯。
 - (二)因但受限於本實驗水箱之體積不足，在使用較長壩堤時會造成水流不易流過有限空間，使得壩前有迴流現象，故堆積較明顯，而壩後水流流速過慢，無法產生侵蝕現象；而使用短壩時就明顯有壩前堆積、壩後侵蝕現象。
 - (三)由數據可推論，壩堤愈長，突堤效應愈明顯。
- 三、根據實驗三結果的(表5-3)數據，將流速及堆積、侵蝕情形繪製成(圖7-2)：
 - 由(圖7-2)之可知，流速會影響突堤效應侵蝕及堆積之速度。但本實驗在A流速之壩前堆積現象不明顯。
- 四、根據實驗四結果的(表5-4)數據，將不同角度壩堤會產生不同的堆積及侵蝕結果繪製成(圖7-3)：
 - 由(圖7-3)可知，不同角度壩堤會產生不同的堆積及侵蝕結果，其中以70度壩堤造成之壩前堆積最明顯(26cm)，120度壩堤壩前堆積最不明顯(10cm)；90度壩堤造成之壩後侵蝕最明顯(7cm)，105度及120度壩堤壩後侵蝕最不明顯(2cm)。
- 五、經由此研究才對突堤效應有更深的了解，原來在海岸建造一個工程的影響是這麼大。烏石港的建造，造成了頭城海水浴場的消失，而且侵蝕還在進行當中，本研究的結果可供證實突堤的影響，希望相關單位在修建任何海岸工程前，能在工程建設及海岸環境及生態中取得平衡點，以永續經營的態度來面對。

捌、參考資料及其他

- 一、淺談突堤，取自：<http://www.twce.org.tw/info/%E6%8A%80%E5%B8%AB%E5%A0%B1/455-4-1.htm>
- 二、搶救沙灘大作戰--模擬福隆沙灘演進與變遷，取自：<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2006/03/2006033117023071.pdf>
- 三、「滾蛟龍的反噬」-模糊方法對土石流發生之探討，取自：<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030502.pdf>
- 四、叱「柵」風雲--透水柵工法在台灣的適用性研究，取自：<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/high/031730.pdf>
- 五、滾滾濁水入海流-一河川入海濁流之實驗模擬，取自：<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030506.pdf>
- 六、呼嘯而過，取自：<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/junior/0317/031733.pdf>
- 七、橋墩追追追~橋墩抗水能力與沙石掏空情形探討，取自：<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0317/031726.pdf>

圖7-3 實驗四中的不同角度壩堤之堆積及侵蝕情形

