

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

第二名

040502

『波淘砂湧』--拋石養灘的探究

學校名稱： 國立宜蘭高級中學

作者： 高二 張齡云 高二 陳冠綸 高二 陳昱臻 高二 賴佳禾	指導老師： 林清正
---	--------------

關鍵詞：侵蝕作用、拋石

壹、摘要

宜蘭縣海岸線全長 106 公里，絕大部分地區屬於侵蝕海岸。而影響海岸變動主要因素為波浪、潮汐、水力及風力等作用力；另外宜蘭縣海岸東向寬廣太平洋，每年颱風期間的暴風巨浪更在瞬間就可能使海岸地形完全改觀。經過實地探勘及資料的蒐集發現，現今宜蘭海岸線已施作的海岸保護工法包括了：突堤、傳統海堤、拋石堤、編籬定沙及沙丘植生等工法。因此我們利用自製的造波水槽的模型試驗方法，想了解波浪與漲退潮的營力對於海岸侵蝕所產生的影響；以及針對拋石堤這種近自然的工法，對於波浪所產生的防護作用。利用造波水槽，產生不同波長的人工波浪，並且經過實驗研究發現：位於深水區與淺水區的海床砂子受到海浪作用而呈現不同的運動方式，另外在拋石固砂的研究方面，不同的拋石排列方式、形狀以及不同間隙大小，觀察波浪對其所產生的侵蝕與堆積效應。

貳、研究動機：

當某日我們到家鄉壯圍海邊參加淨灘的活動，看到了海邊堆了一列列的水泥消波塊，總覺得破壞了美麗的自然海岸。然而在淨灘的過程中，我們也發現了在一些海岸區域，堆的不是水泥的消波塊，而是一些天然的岩石，似乎也具有保護海岸並防止了海浪的侵蝕作用。回想在一年級基礎地球科學的海洋單元中曾提到了台灣的海岸，老師曾說過了除了用水泥的消波塊外，工程界尚有採用較自然的拋石工法，於是我們查詢了防止海岸侵蝕的相關資料，發現宜蘭海岸線已有幾處地點採用拋石的工法，但是絕大部分地點還是採用傳統的水泥消波塊，因此我們起了研究的念頭，想了解拋石與波浪之間的作用以及對海岸的侵蝕產生了何種保護作用。

參、研究目的：

- 一、了解波浪對海床上砂子所產生的搬運作用。
- 二、不同波長的大小對海岸侵蝕所產生的效應。
- 三、觀察水流流經拋石周圍時所產生的現象(流向、繞射、侵蝕、堆積等現象)。
- 四、了解拋石排列方式對防止波浪侵蝕海岸現象的效果(間距大小、整齊或穿插排列)。
- 五、漲退潮對於海岸侵蝕的影響。

肆、研究設備及器材：

- 一、造波水槽(透明，148.5*25.5*13.0 公分)
- 二、壓克力板一片 (25.5*13.0 公分)-製波板
- 三、砂(洗淨且依顆粒大小分類並不論成分)
- 四、形狀及大小不同的岩石 (模擬拋石)
- 五、消波海棉
- 六、節拍器
- 七、數位攝影機
- 八、電腦影像擷取軟體 (POWER DVD)

伍、研究過程與方法：

一、實驗儀器準備：

- (一)將透明沉積槽一邊墊高，將砂堆傾斜 10 度(利用量角器測量)，模擬海灘傾斜(如下圖 1)。上面放置一層砂(利用篩網將沙洗淨過濾)，並將剖面畫在水槽上，使每次的原始海灘都可以趨近相同，以此模擬海岸。



圖 1

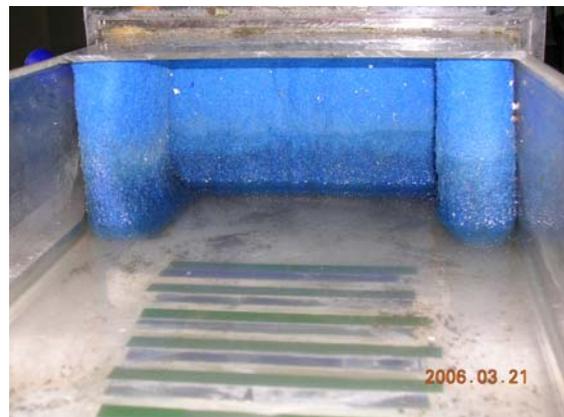
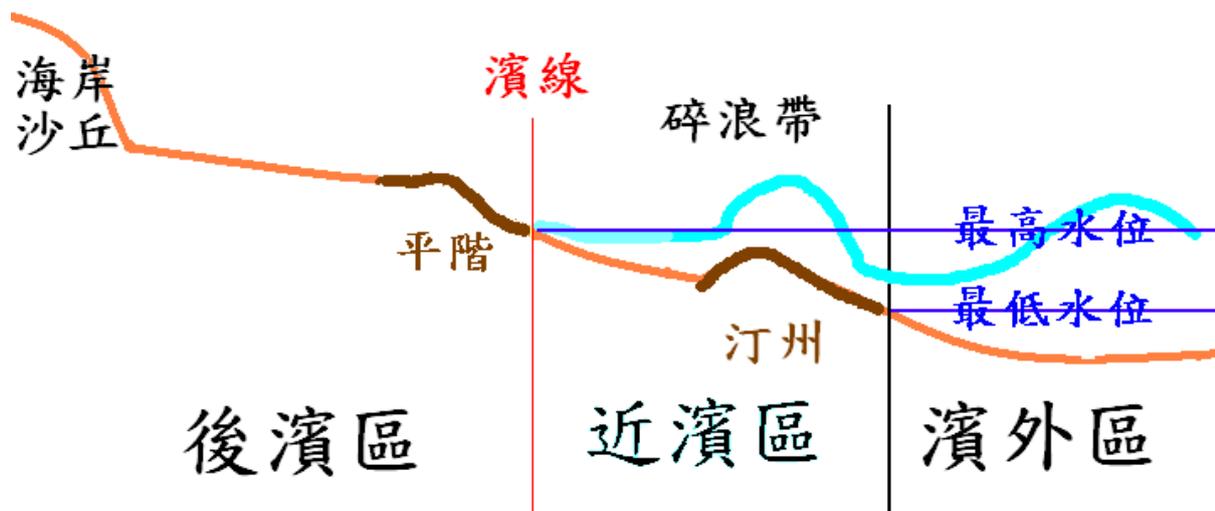


圖 2

- (二)從最深處離邊緣 12 公分處開始，將寬為 1 公分的彩色膠帶(藍、綠)以一條綠、一條藍、隔 1 公分的方式，貼出 17 公分的範圍，用一大小剛好之壓克力板，利用推不同長度製造不同波長的波，在沉積槽側面沿水平線每 1 公分以油性筆做記號，以便於計算波長 (圖 2)。
- (三)架設數位攝影機，全程攝影波浪行進過程。並利用影像剪擷軟體處理所拍攝的影像。

二、本說明書內文相關名詞定義：



- (一) 平階 (Berm)：當波浪持續沿灘面往復的運動，在最大波浪所能達到的前緣將會形成一凸起的地形構造。
- (二) 沿岸汀州 (longshore bars)：當近岸砂粒隨著海水上溯再沿灘面退回時，將會遇到下一上溯的波浪，因此近岸的砂粒因這兩個去回波的力量持續相互抵銷，最後在此區的外緣水體下形成砂洲堆積。

三、實驗 (一)：

- (一) 實驗步驟：全程攝影分別觀察波浪經過深水區與淺水區內波浪的變化，以及波浪對於槽底沉積物的搬運作用。並且利用電腦擷取軟體，觀察並分析波浪的波形變化與沉積槽底的砂粒受波浪搬運移動現象。

四、實驗 (二)：

- (一) 實驗步驟：在控制頻率之下，製造不同波長的波，且用數位攝影機錄影並經由電腦擷圖軟體分析其波長 (如下圖 3)，同時觀察紀錄模擬砂灘所受侵蝕或堆積的現象，並找出侵蝕力與波長的關係。



圖 3

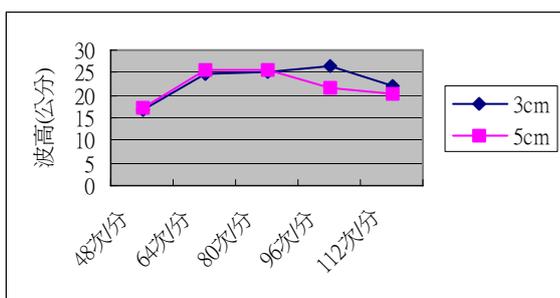
(二) 實驗紀錄：(量測波長單位為公分)

紀錄 1：波浪製造板推動 3 公分											48 times/per minute (每分鐘製造 48 個水波)
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	15.1	17.8	19.0	17.4	17.0	19.3	14.5	17.0	16.3	13.4	16.68
紀錄 2：波浪製造板推動 5 公分											48 times/per minute (每分鐘製造 48 個水波)
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	19.1	15.0	13.4	16.4	14.3	15.6	20.1	21.4	16.7	19.7	17.17
紀錄 3：波浪製造板推動 3 公分											64 times/per minute (每分鐘製造 64 個水波)
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	20.2	27.5	24.3	25.0	23.4	24.5	22.3	27.6	25.1	25.4	24.53

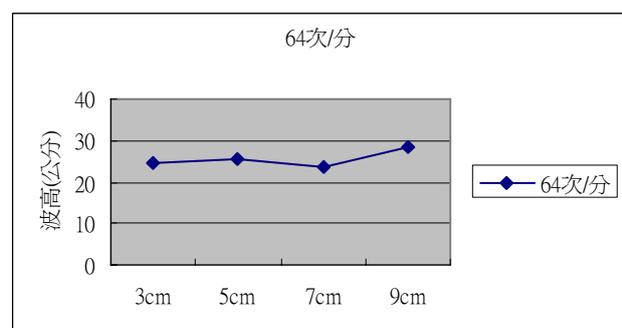
紀錄 4：波浪製造板推動 5 公分											64 times/per minute (每分鐘製造 64 個水波)
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	27.7	24.2	24.6	28.5	24.6	26.7	26.0	26.4	25.1	22.2	25.6
紀錄 5：波浪製造板推動 7 公分											64 times/per minute (每分鐘製造 64 個水波)
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	24.1	26.0	24.6	26.2	25.8	22.0	22.9	21.7	22.4	22.7	23.84

紀錄 6：波浪製造板推動 9 公分												64 times/per minute (每分鐘製造 64 個水波)											
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	28.1	30.1	23.5	27.9	24.7	29.8	28.2	30.0	31.6	32.6	28.65	量測波長	28.3	23.9	25.2	26.8	24.2	25.9	27.8	25.2	22.3	23.3	25.29
紀錄 7：波浪製造板推動 3 公分												80 times/per minute (每分鐘製造 80 個水波)											
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	28.0	26.5	24.2	27.6	27.5	25.8	24.3	27.6	20.6	25.1	25.72	量測波長	28.3	27.8	26.4	25.7	27.0	25.3	28.1	24.9	24.1	25.8	26.34
紀錄 8：波浪製造板推動 5 公分												80 times/per minute (每分鐘製造 80 個水波)											
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	28.0	26.5	24.2	27.6	27.5	25.8	24.3	27.6	20.6	25.1	25.72	量測波長	28.3	27.8	26.4	25.7	27.0	25.3	28.1	24.9	24.1	25.8	26.34
紀錄 9：波浪製造板推動 3 公分												96 times/per minute (每分鐘製造 80 個水波)											
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	28.3	27.8	26.4	25.7	27.0	25.3	28.1	24.9	24.1	25.8	26.34	量測波長	28.3	27.8	26.4	25.7	27.0	25.3	28.1	24.9	24.1	25.8	26.34
紀錄 10：波浪製造板推動 5 公分												96 times/per minute (每分鐘製造 80 個水波)											
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	22.2	21.9	21.3	22.3	22.1	20.2	20.4	21.0	25.1	20.0	21.65	量測波長	22.2	21.9	21.3	22.3	22.1	20.2	20.4	21.0	25.1	20.0	21.65
紀錄 11：波浪製造板推動 3 公分												112 times/per minute (每分鐘製造 112 個水波)											
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	22.5	22.6	22.4	21.8	24.6	20.2	20.3	22.3	24.6	18.7	22.0	量測波長	22.5	22.6	22.4	21.8	24.6	20.2	20.3	22.3	24.6	18.7	22.0
紀錄 12：波浪製造板推動 5 公分												112 times/per minute (每分鐘製造 112 個水波)											
實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
量測波長	24.5	20.3	17.7	20.1	18.4	19.7	18.5	24.5	18.8	20.2	20.27	量測波長	24.5	20.3	17.7	20.1	18.4	19.7	18.5	24.5	18.8	20.2	20.27

(三) 1. 實驗分析 1：



表一：不同頻率之下之波高變化



表二：以固定頻率下波高隨製波器推動距離而變化

2.實驗分析 2：為觀察波浪對侵蝕海岸的變化，今對於(1)碎浪高度(2)碎浪高度定義如下圖 4

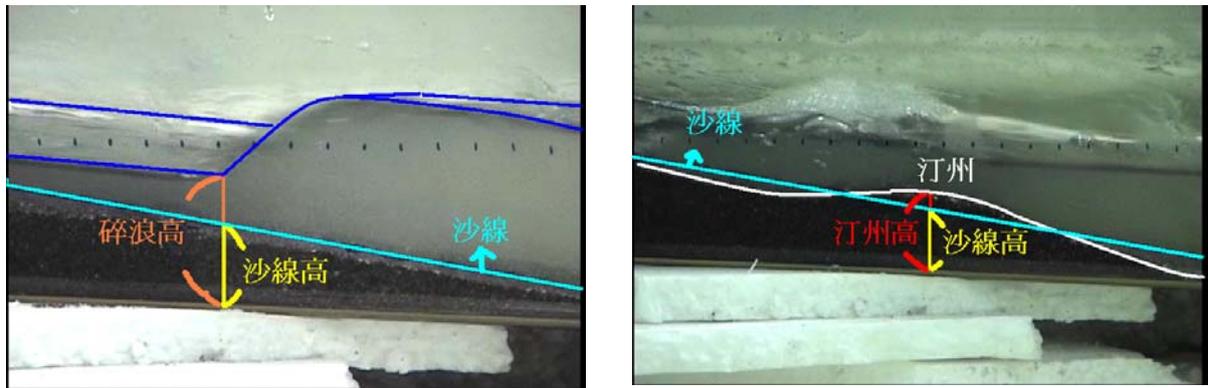
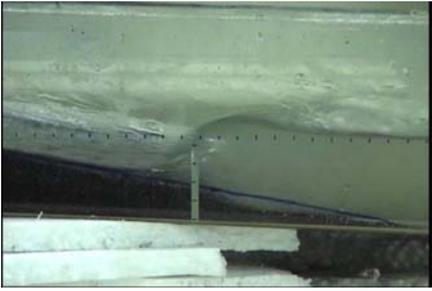


圖 4

(四) 實驗記錄：

 <p>48 次/分、3 公分：碎浪位於沙線 2.3cm、高位於底面 3.2 公分</p>	 <p>48 次/分、3 公分：沿岸汀州位於沙線 2.0cm、高位於底面 2.1 公分高處</p>
 <p>48 次/分、5 公分：碎浪位於沙線 2.1cm、高位於底面 3.0 公分</p>	 <p>48 次/分、5 公分：沿岸汀州位於沙線 2.0cm 高位於底面公分 1.8 高處</p>



64 次/分、3 公分：碎浪位於沙線 1.6cm、高位於底面 3.8 公分



64 次/分、3 公分：沿岸汀州位於沙線 2.0cm 高位於底面 2.0 公分高處



64 次/分、5 公分：碎浪位於沙線 2.0cm、高位於底面 3.8 公分



64 次/分、5 公分：沿岸汀州位於沙線 1.8cm 高位於底面 2.0 公分高處



64 次/分、7 公分：碎浪位於沙線 1.5cm、高位於底面 4.0 公分



64 次/分、7 公分：沿岸汀州位於沙線 1.3cm、高位於底面 1.8 公分高處



64 次/分、9 公分：碎浪位於沙線 2.1cm、高位於底面 3.0 公分



64 次/分、9 公分：沿岸汀州位於沙線 1.5cm 高位於底面公分 2.0 高處



84 次/分、3 公分：碎浪位於沙線 1.7cm、高位於底面 4.5 公分



84 次/分、3 公分：沿岸汀州位於沙線 2.0cm 高位於底面 2.4 公分高處



96 次/分、3 公分：碎浪位於沙線 2.4cm、高位於底面 4.5 公分



96 次/分、3 公分：沿岸汀州位於沙線 2.2cm 高位於底面 2.2 公分高處



96 次/分、5 公分：碎浪位於沙線 2.3cm、高位於底面 3.5 公分



96 次/分、3 公分：沿岸汀州位於沙線 2.6cm 高位於底面 2.2 公分高處



112 次/分、3 公分：碎浪位於沙線 2.2cm、高位於底面 3.5 公分



112 次/分、3 公分：沿岸汀州位於沙線 2.1cm 高位於底面 2.5 公分高處

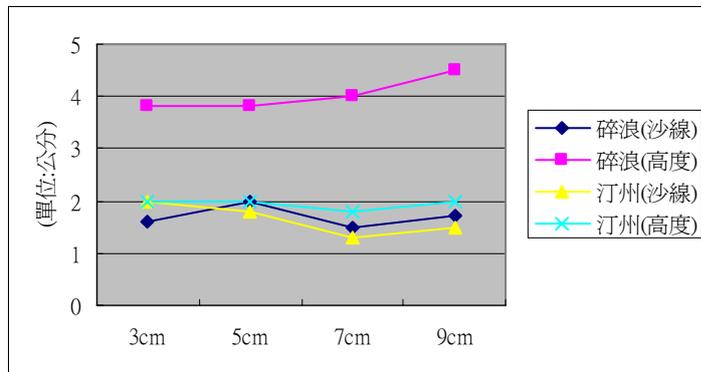


112 次/分、5 公分：碎浪位於沙線 2.5cm、高位
於底面 4.5 公分

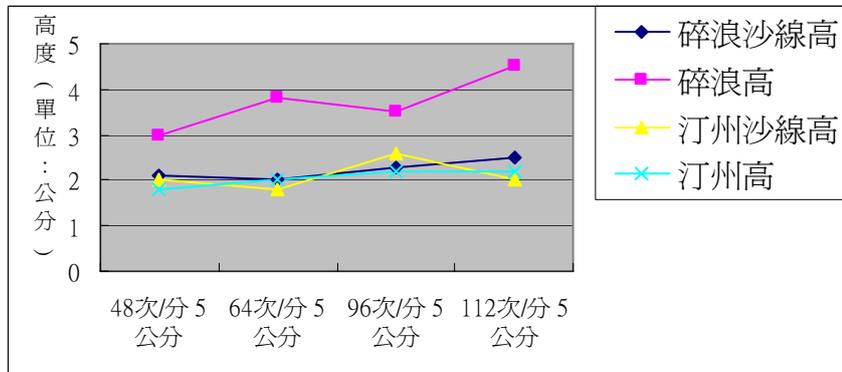


112 次/分、5 公分：沿岸汀州位於沙線 2.0cm 高
位於底面 2.2 公分高處

(五) 實驗結果分析：



表三：固定頻率之下碎浪與汀州隨製波器推動距離位置變化



表四：固定推動距離之下碎浪與汀州位置變化

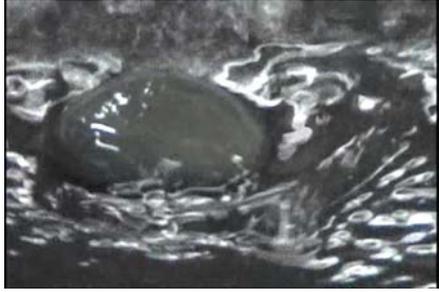
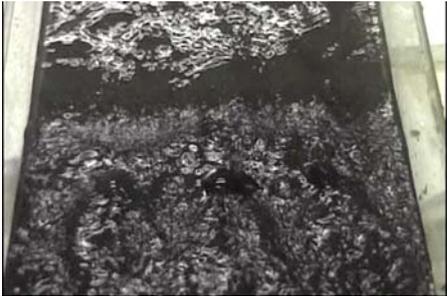
五、實驗 (三)：

(一) 實驗步驟：使用適當的波長 (波長 24.5 公分的波，64 次/分，推三公分)，流經其周圍時所產生的現象(流向、渦流、侵蝕、堆積等)，並進而觀察這些現象對於不同形狀的拋石 (下圖 5) 有無差異。

圖 5：形狀各異的拋石圓形、橢圓形、三角形



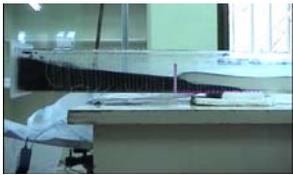
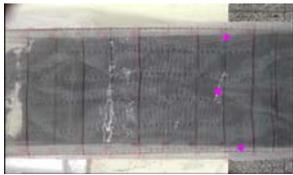
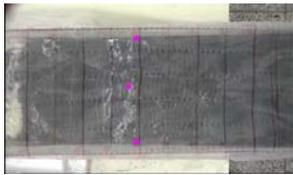
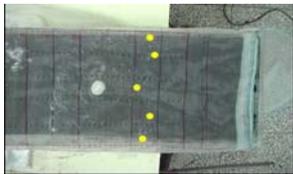
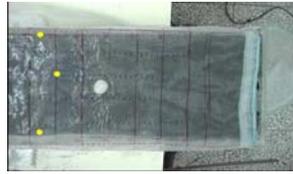
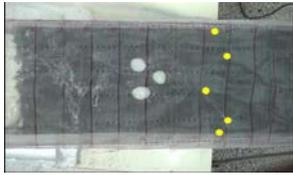
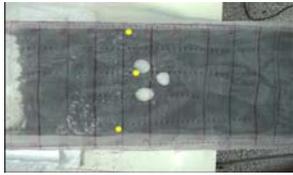
(二) 實驗結果紀錄：

	
<p>波行進到拋石旁的時候</p>	<p>波回去的時候</p>
	
<p>去波流經形狀各異拋石旁</p>	<p>回波流經形狀各異拋石旁</p>

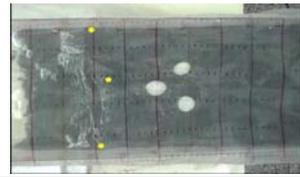
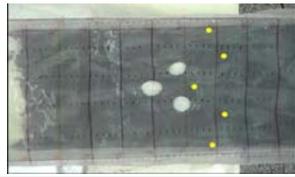
六、實驗(四)：

(一) 實驗步驟：利用波長 24.5 公分的波(64 次/分，推三公分)做實驗，將三顆石頭排成正三角、倒三角，六顆石頭排放成兩排平行對齊、兩排平行交錯、圓形及隨意放置。

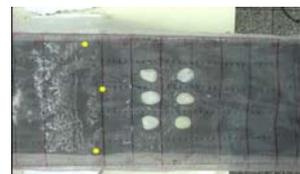
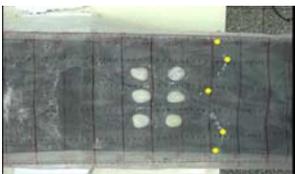
(二) 實驗結果紀錄：

<p>全無石頭</p>		
		
<p>一個石頭</p>		
		
<p>一上二下</p>		
		

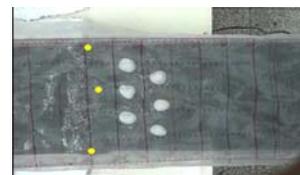
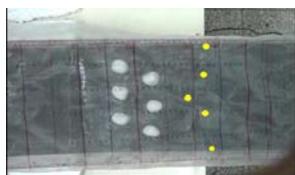
一下二上



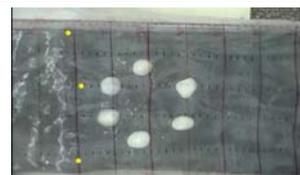
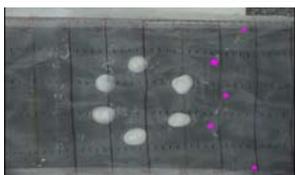
整齊



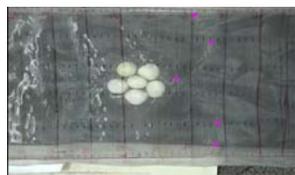
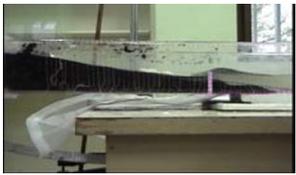
參差



圓

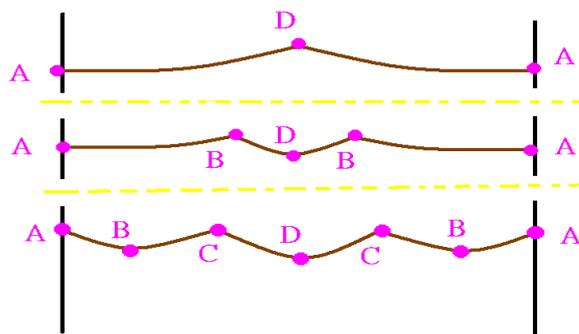


小石變大石

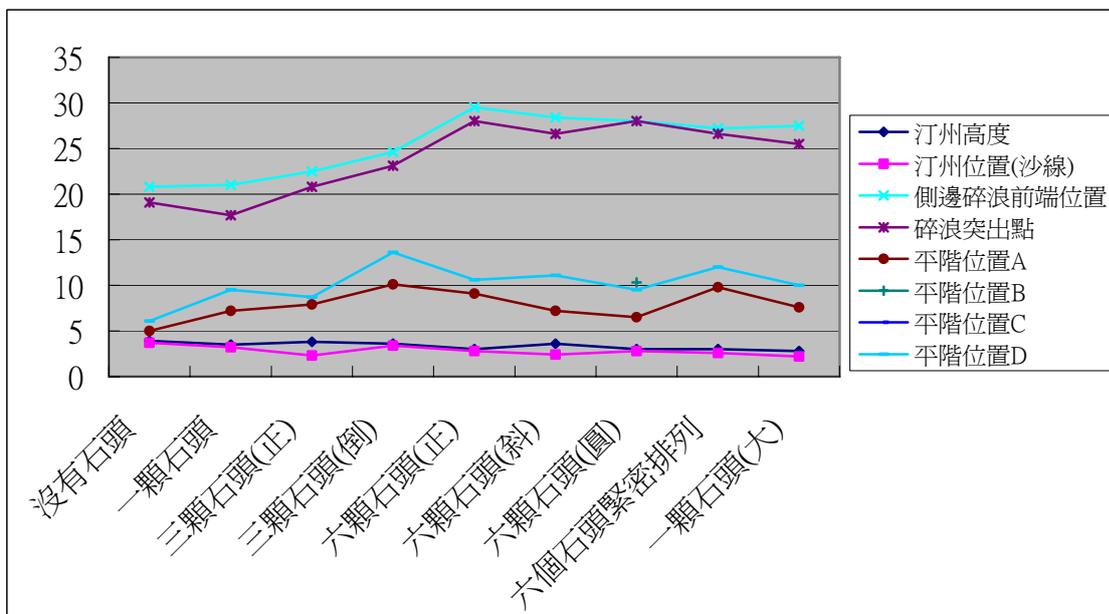
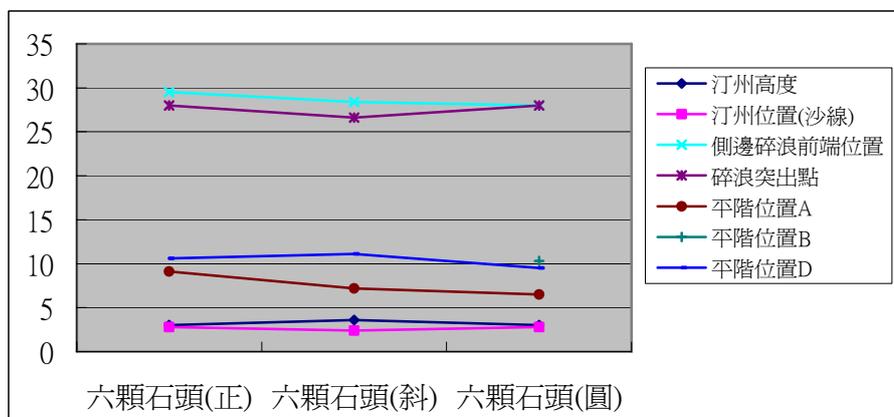
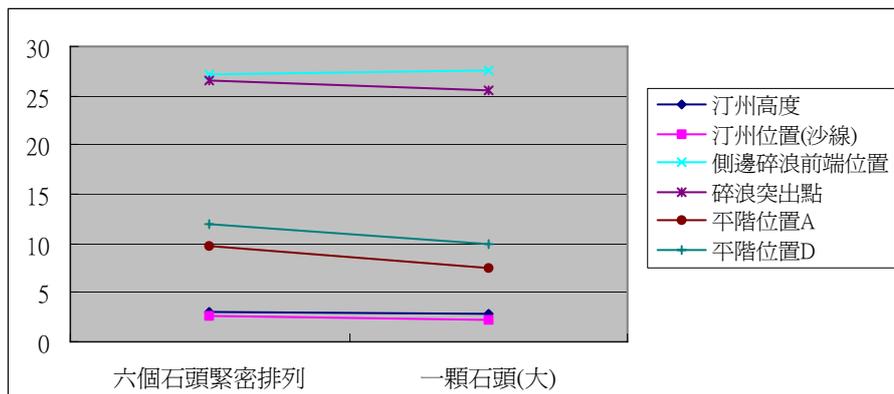


(三) 實驗結果分析：

1. 平階曲線示意圖：



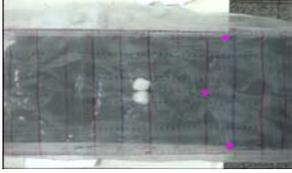
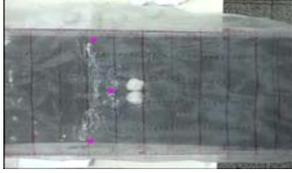
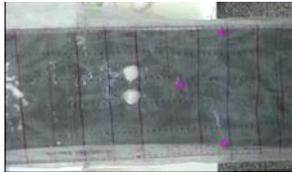
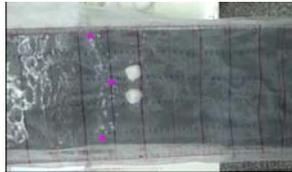
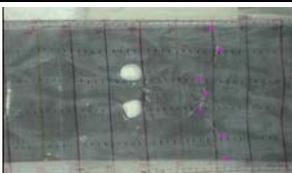
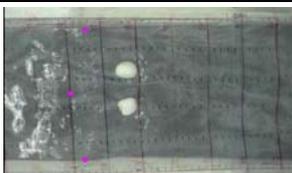
2.數據分析：



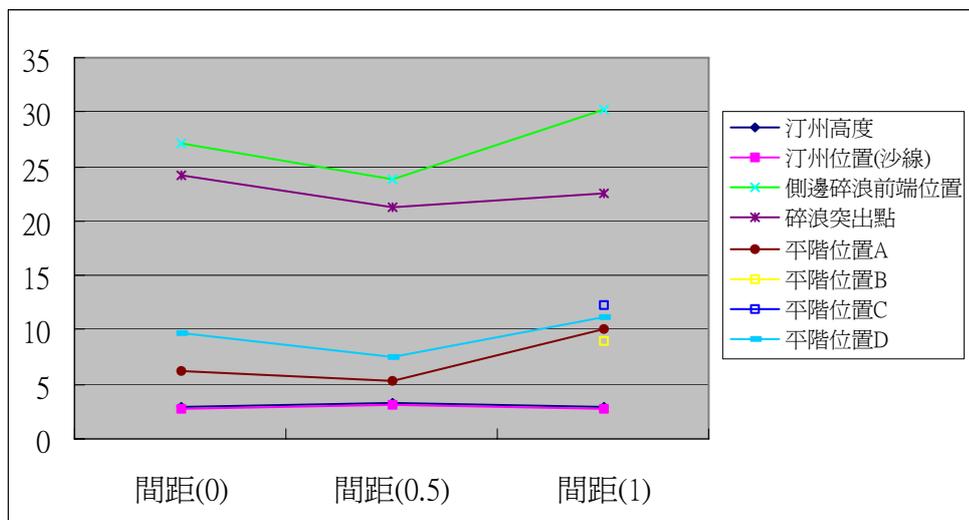
七、實驗（五）：

（一）實驗步驟：利用波長 24.5 公分的波(64 次/分，推三公分)做實驗，將大小適中的數顆拋石排列在靜止時的濱線上，空隙分別為一個石頭寬、半個石頭寬、沒有空隙。

（二）實驗結果記錄：

零空隙		
		
零點五空隙		
		
一空隙		
		

（三）實驗結果分析：



八、實驗（六）：

（一）實驗步驟：利用加水和抽水的方式改變水位以模擬漲退潮的營力，並利用波長 24.5 公分的波(64 次/分，推三公分)做實驗，觀察海岸堆積和侵蝕的情形。

（二）實驗器材：



圖 6：漲潮裝置進水實驗中



圖 7：退潮裝置放水實驗中

（三）實驗結果記錄：



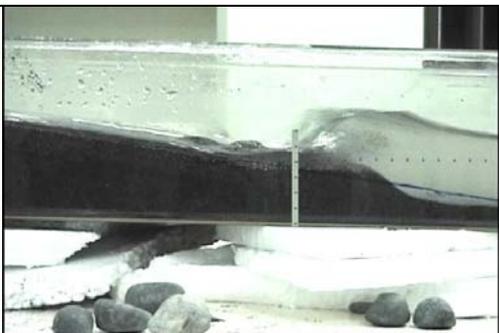
潮高最高時的碎浪

沙線 4.2cm 碎浪高度 5.1cm



潮高最高時的汀州

沙線 3.4cm 汀州高度 4.1cm



潮高最低時的碎浪

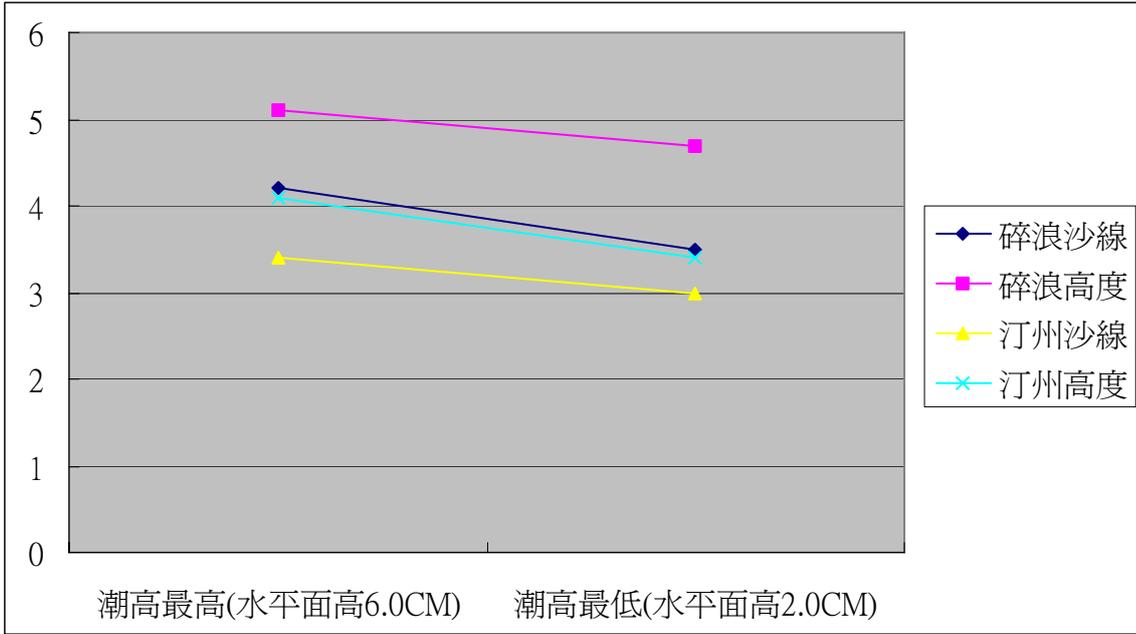
沙線 3.5cm 碎浪高度 4.7cm



潮高最低時的汀州

沙線 3.0cm 汀州高度 3.4cm

(四) 實驗結果分析：



表五：漲退潮時沿岸汀州與碎浪波高之變化分析

陸、研究結果：

一、波浪從深水區進入淺水區對於海底沉積物所產生的搬運作用與波形的變化

(一) 深水區：我們觀察波浪在此區傳遞過程，較能維持波形而未達碎波狀態。觀察槽底的砂子運動方式發現：當波浪的波鋒到達時，砂子開始被帶離槽底，而隨著波鋒繼續向前通過，砂子呈現前後運動之後而向前躍動一點距離（如下圖 8,9）。

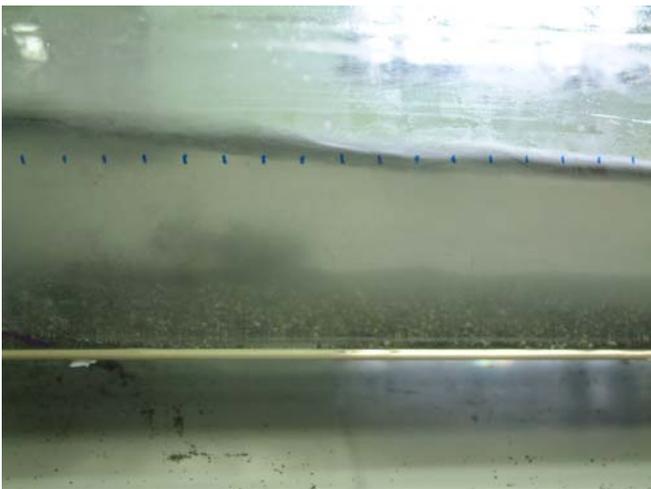


圖 8：深水區中砂子運動

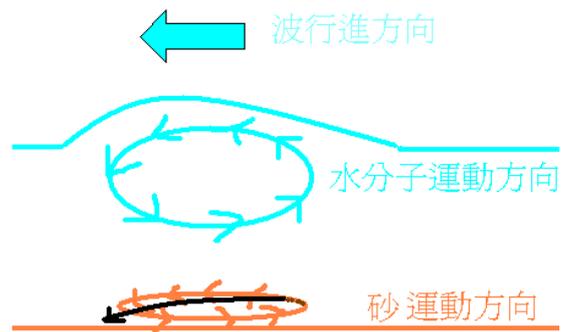


圖 9：深水區中砂子受波浪作用運動示意圖

(二) 淺水區：此地區應屬於碎浪帶區域之內，在此區域內的波浪波高有逐漸變高的趨勢，最後波形破碎，水分子隨著碎浪一波波往復性的運動。同時觀察到的槽底砂粒的運動發現：

- 1、當碎浪撲上海灘時，近岸砂粒子隨著整片海水上溯，到達最高處時之後，由於海灘中的水已達到飽和，所以大部分的砂粒又隨著回波沿灘面直接退回。
- 2、當波浪持續沿灘面往復的運動，在最大波浪所能達到的前緣將會形成一凸起的地形構造，稱為平階（Berm）(如下圖 10,11)。
- 3、當近岸砂粒隨著海水上溯再沿灘面退回時，將會遇到下一上溯的波浪，因此近岸的砂粒因這兩個去回波的力量持續相互抵銷，最後在此區的外緣水體下形成砂洲堆積，稱為沿岸汀州（longshore bars）(如下圖 10,11)。
- 4、沿岸汀州（longshore bars）的形態為平行海岸線發育，另外再向海側坡度較陡，另一向岸側面則較平緩。

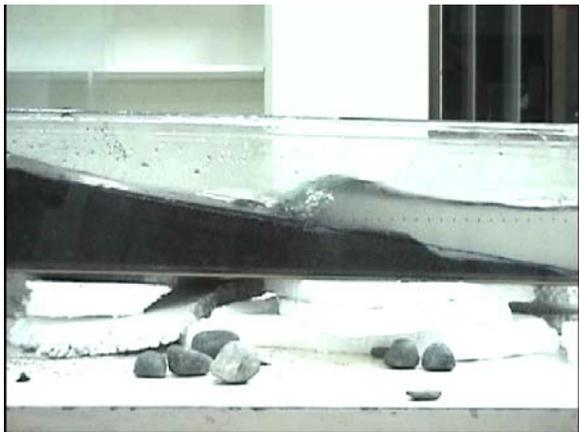


圖 10

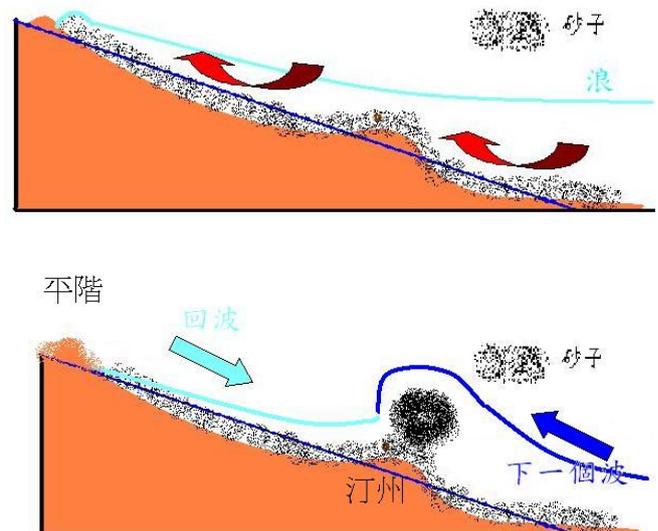


圖 11

二、不同波長波浪對於海岸侵蝕的影響：

- (一) 頻率愈大(單位時間內所製造的波浪次數愈多)、或製波板推的距離愈大則波浪波長有呈現愈長的趨勢。
- (二)從實驗的觀察可發現：當波長很小的浪這灘面向上時，這些水體的水到達灘面的位置亦較低，而這些水體的水全部滲入砂灘裡，帶上岸的砂粒就停留在灘面上。但波長較長的浪常持續作用之下，由於灘面砂子已飽含了水，所以隨這上溯波浪的砂子全部都隨著回波退回海中。而突然的大浪更可發現被回波沖下灘面的砂粒有增多的現象，而平階的位置也因此而向上侵蝕而愈向岸移動，而灘面剖面亦產生了變動。

(三) 波長愈長的浪，去波與回波交會的位置有像海岸移動的現象，也因此沿岸汀州

(longsure bars)的位置亦有向岸移動的現象。而從實驗的觀察發現：當波浪愈長時，去波的強度增強，相對回復的波強度亦增強，但是去波強度遠比因重力沿灘面下滑的回波強度更強，因此產生沿岸汀州的位置還是有向岸移動的現象。

(四) 沿岸汀州的發育可以減緩海灘的侵蝕：因為較大的浪侵蝕下的砂子並不會被帶入外海，而是接著會隨外海的而來波浪而促使砂子停留在碎浪帶。

三、波浪流經拋石所產生的侵蝕與堆積現象

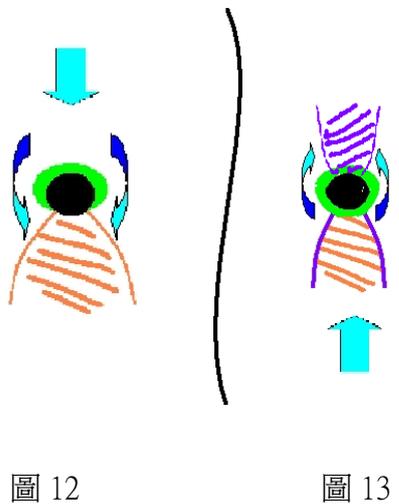
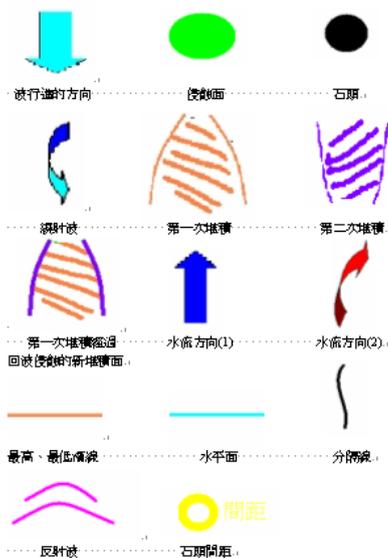


圖 12

圖 13

圖例
說明：



(一) 波浪流經拋石所產生的現象說明：

1、當去波經過拋石時(如左圖 12)，水流受到拋石的阻擋而產生繞射現象，所以在鄰近拋石週圍時產生了侵蝕作用。另外同時在拋石正後方產生了的扇形的堆積。

2、當回波回復時，拋石周圍再次產生了侵蝕的作用，原先的扇形堆積會因為回波作用而帶走一些砂子，扇形寬度變窄，但同時亦在拋石另一方向亦產生了堆積現象。

3、當波浪持續作用後發現由於拋石四週持續受到侵蝕，拋石慢慢呈現沉陷的現象，最後全部被砂子所覆蓋。

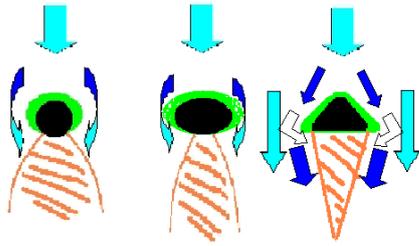


圖 14

(二) 波浪流經形狀各異拋石所產生的現象
 1、當水流經過不同形狀拋石產生了不同堆積現象(如左圖 14)：圓形拋石因水流產生的繞射作用而形成了扇型堆積，橢圓形拋石因繞射作用最強而呈現較狹窄的扇形堆積，而三角形的拋石則因繞射波較不明顯形成了三角形態的堆積。

四、不同排列與不同間距的拋石所產生的侵蝕堆積效應

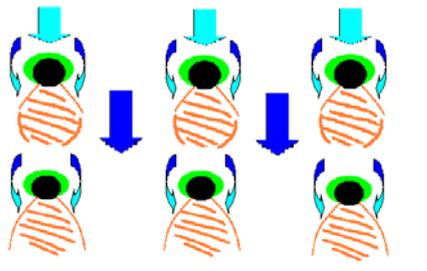


圖 15

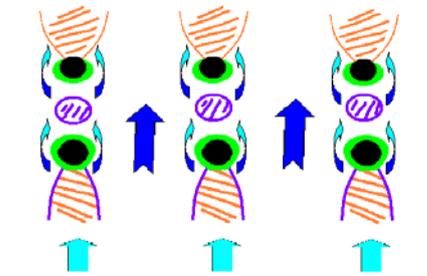


圖 16

(一) 排列整齊狀：
 1、當水流經整齊排列的拋石時(如圖 15、16)其個別拋石產生如單一所成的堆積與侵蝕形態。然而持續作用之下，兩排拋石之間，則因波的來回堆積侵蝕交互作用，最後呈橢圓形的堆積。
 2、除了環繞拋石周圍有侵蝕作用發生之外做外，拋石之間由於水流通過，產生的強烈侵蝕作用。

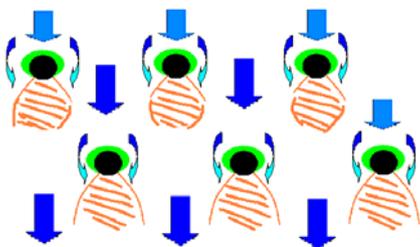
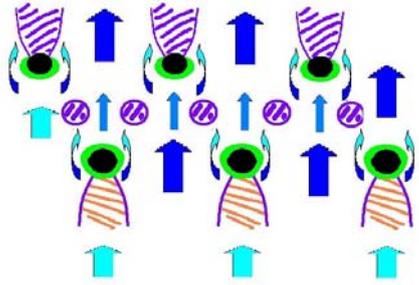
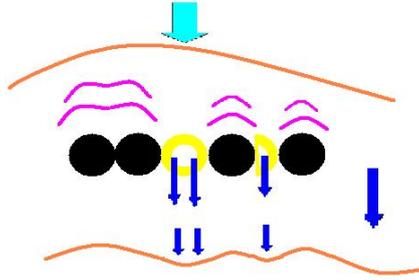


圖 17

(二)兩排交錯排列狀：
 1、當水流流經交錯排列拋石(如圖 17、18)觀察發現因水流遭受阻擋，水流減弱的結果造成拋石周圍繞射作用減弱，因此拋石四週侵蝕現象較不明顯。

 <p style="text-align: center;">圖 18</p>	<p>2、對比整齊排列的狀況發現：在兩列拋石之間有較大面積的堆積出現(如圖 18)</p>
 <p style="text-align: center;">圖 19</p>	<p>(三)不同間距的侵蝕堆積效應：</p> <p>1、拋石的間距大小與波浪流經時產生繞射強弱有密切關係如圖 19 排列實驗發現：當拋石緊靠間距很小的時候，其產生的侵蝕效應較小，堆積的面積較大。</p> <p>2、實驗觀察發現當波浪持續作用一段時間，沿岸汀州有呈現彎曲的現象，亦即當拋石緊靠時，消波的效果最好，因此沿岸汀州有往外海移動的現象。</p>

五、海水漲潮水位升高與退潮時水位降低對於海岸所產生的侵蝕效應

(一) 在漲潮水位漸高的與退潮水位降低的過程中，海灘剖面是一直處於變動中。在海水上升(模擬漲潮) 過程中發現平階與沿岸汀州位置雖然變化不大，但可觀察其有漸漸往上移動的趨勢，持續作用一段時間後發現海灘剖面變得更傾斜(圖 20)。

(二) 在海水面下降(模擬退潮) 過程中發現平階沿岸汀州位置雖然變化不大，但亦可觀察其有漸漸往外海移動的趨勢，持續作用一段時間後發現海灘剖面變得較平緩(圖 21)。當水位退至最低點，沿岸汀州露出水面



圖 20：海水面上升時海灘剖面變陡

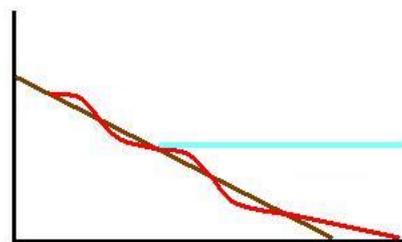


圖 21：海水面下降時海灘剖面變平緩

柒、討論：

- 一、在波長、頻率以及製波板推動距離相互關係的實驗中，發現推的距離越長波長有越長的趨勢，但頻率超過了 80 次/分時，波長突然有變短的現象。探究其最主要原因是前行的波遇灘面反射而與後到的波產生了波的合成作用。因此為克服此項誤差，我們必須將造波水槽的長度再加長。另外原因可能是因為我們的實驗裝置是用手動製波，當頻率快卻還要推很長的實驗就會造成較大的誤差。此外為減少紀錄上的誤差，於計算不同頻率的波長時，採用的方式是觀察高於原水平面的半個波長，利用原先標示好的格子點(1cm)取至小數第一位，觀察十次並取其平均值來求取波長。
- 二、當我們發現頻率超過了 80 次/分時會產生誤差，因此接下來波浪與拋石作用的一系列實驗我們則選定 64 次/分的控制的頻率，波長部分則選推三公分的，因為三公分的波長，比較不會受到造波水槽底部摩擦的影響。
- 三、在不同波長對於海灘的侵蝕中實驗中發現，持續穩定的波浪對於海灘侵蝕的影響並不劇烈，這當然最主要是本次研究著重在波浪營力尚未考慮到沿岸流輸砂的作用。但我們實地到宜蘭海岸幾處海岸侵蝕最嚴重的地方，例如清水地區以及頭城海水浴場附近發現海岸線後退幾乎都已接近民宅。根據經濟部水利署第一河川局：「宜蘭海岸地形與漂沙及波潮流監測調查計劃(1)(2)」中的資料，宜蘭地區的浪在冬天時從東北方來，平均波長為 155 公分，頻率約為 6.4 秒/個，而夏天時浪則從東南東來，平均波長為 95 公分，頻率約為 5.9 秒/個，平均潮差約 1.17 公尺。因此波浪進入海岸的方向改變，也影響了沿岸流輸砂。另外這些地區可能一些的海岸硬體設施包括了一些突堤，部分阻擋改變了輸砂的平衡。而這些地區的海灘線後退除了長期輸砂平衡改變之外，颱風是另一重要因素。宜蘭海岸直接面對太平洋，颱風所引起的巨浪與暴潮，直接就侵蝕海岸沙丘。以 1995 年 7 月海棠颱風為例，其最大波高可到達 6.96m，是使海岸沙丘後退侵蝕最主要原因。
- 四、在不同拋石間距大小的實驗中發現，過大的空隙於波浪通過時受到的消波影響非常小，但相反的兩拋石愈靠近，則過小孔隙將使波浪經過時產生強烈繞射作用。例如我們實驗時就發現若採用 1 / 4 拋石大小的間距，其產生的孔隙導流會將拋兩石間的砂掏空，導致兩石頭緊貼在一起。因此在實際考量拋石養灘的工法必須先對當地的波浪波長先做調查，再決定施作拋石的空隙大小已達到最大的固砂養灘功能。
- 五、在拋石排列的方式與形狀的研究上發現，三角形的拋石的波浪繞射作用遠比圓形及橢圓形狀都弱。因此我們認為實際運用上拋石形狀最好具稜角，即愈多角形狀的拋石固

砂能力愈佳。另外拋石排列愈整齊，消波固砂的能力愈差。

六、在漲退潮對海岸侵蝕的實驗中，已經觀察說明水位升高與降低對於海岸侵蝕與堆積產生影響。但實際在考慮潮汐變化對於海岸侵蝕的影響中，除水位高低之外尚須考慮潮流的流向與流速。例如宜蘭海域在漲潮時大致流向為北北東流向，退潮流的流向則向東南方向流動，此流向均非垂直宜蘭海岸線。

捌、結論：

- 一、波浪從深水區進入淺水區波高漸高最後達碎波狀態而上溯砂灘，並且在海灘剖面上出現了沿岸汀州（longshore bars）與平階（Berm）地形特徵。
- 二、深水下的砂粒於波鋒經過時隨著水分子作用而呈現前後運動而後向前躍動一點距離的運動方式，而向近岸接近。近岸砂粒子則隨著整片海水上溯後回流，持續沿灘面往復的運動。
- 三、頻率愈大(單位時間內所製造的波浪次數愈多)、或製波板推的距離愈大則波浪波長有呈現愈長的趨勢。
- 四、波長愈長的浪造成平階（Berm）地形向上侵蝕而愈向岸移動，而沿岸汀州 (longshore bars)的位置亦有向岸移動的現象。
- 五、波浪流經拋石所產生的繞射作用，造成拋石四周分別產生不同的侵蝕堆積。而因持續侵蝕將使拋石漸漸沉陷。
- 六、不同形狀、排列方式與間隙大小的拋石對於固砂消波效果：排列參差、多角形狀的拋石固砂效果愈佳。
- 七、漲潮水位漸高的過程中，沿岸汀州位置漸往上移動的趨勢，海灘剖面變得更傾斜。在海水面下降(模擬退潮) 過程中平階地形與沿岸汀州有漸漸往外海移動的趨勢，海灘剖面變得較平緩。

玖、參考文獻：

- 一、大同資訊(2004)：高中基礎地球科學(全)一冊、物質科學地球科學篇(上)
- 二、經濟部水利署第一河川局，「宜蘭海岸地形與漂沙及波潮流監測調查計劃(1)(2)」(2005)
- 三、商務印書館：「海灘和海浪」
- 四、國科會專題研究會：「頭城海水浴場未來應該如何發展」

拾、附錄：

一、未來展望：

(一) 魚礁：在查相關資料時，我們注意到魚礁之類的物體對波浪所產生的消滅功用，因此我們想，若波的力度減小了，侵蝕力也會變小相對的，就可以防止海岸被侵蝕，但因水波槽深度有限，所以仍在設計實驗方法，希望日後有時間可以獲得應證。

(二) 在我們目前所做的實驗中，皆將海灘的傾斜角度固定為 10 度，但事實上，海灘有些比較平緩，有些則更陡峭，因此我們希望能研究不同傾斜角度的海灘，並做相同實驗，觀察其會有什麼不同的效果。或許在 10 度最好的方法，當角度改變時就不一定了。

(三) 沿岸流：因為現在我們做的實驗及觀察都是製造純粹的正弦波，但實際上在海灘影響侵蝕和堆積的還有沿岸流，所以以後若繼續研究，可以綜合沿岸流和正弦波，以更了解拋石在海灘真正的作用，目前已經裝置一個 100*100*50CM 的正方形水槽，在其內作出模擬，並同時運用兩個製波器來製造正弦波和沿岸流。

(四) 消波塊：其實本來在一開始做這個題目的時候我們想同時做拋石和消波塊，但查前人研究後發現，消波塊的相關研究部分頗為完整，所以我們只針對拋石的部分設計實驗，並分析成果，但在實地觀察宜蘭的海灘時，發現是消波塊和拋石一起使用，或許效果會不一樣，雖然消波塊主要是防止沿岸流的侵蝕，但未來可以研究對於正弦波有沒有功效，而除消波塊和拋石外，突堤效應相當也是值得探討的。

(五) 製波方式：之間在設計實驗時有想到利用電動的方式製造波，但試了很多方法都失敗，我們還是選擇最不嚴謹但最親易大眾實驗的人工推波，雖然我們已經盡量控制每個波都一樣，但事實上很難保證。最近我們找到可以利用有突出一角的變速馬達，藉這馬達轉動將板上提，再利用重力下壓來製造波，希望在之後能重新作過一次誤差較小的實驗。

二、宜蘭壯圍鄉過嶺村的海邊實地觀察觀察拋石工法與突堤工法

實際探勘：



海浪最外緣的沉積物



過嶺海邊的拋石(已被沙子埋住大半)



消波塊堤及拋石



過嶺海邊的拋石



10 點 40 分挖石頭中
(現場實驗)



消波塊及拋石的混合使用



消波塊的固沙作用



因消波塊明顯突出的海岸



沙堤上的植被努力固沙



一遠離海岸的石頭
大堤及防風林



石頭大堤多用變質岩



兩消波塊堤中的海岸
明顯內凹



10 點 40 分挖出的石頭



12 點整回來觀察(只剩下一點點從沙中露出)



三、 實地模擬波浪與拋石之間侵蝕與沉積作用



一個罐子



正三角形排列的罐子



倒三角形排列的罐子



六個交叉排列的罐子



六個整齊排列的罐子



六個圓形排列的罐子

評 語

040502 『波淘砂湧』--拋石養灘的探討

1. 能以簡單的實驗展現海岸地帶的沖蝕特性，並思索不同的防範方式，值得肯定。
2. 如能嘗試去以不同形狀之消波塊的排列，以及解決波浪之起波機制，則可以有更多的成果展示。