

2025年臺灣國際科學展覽會

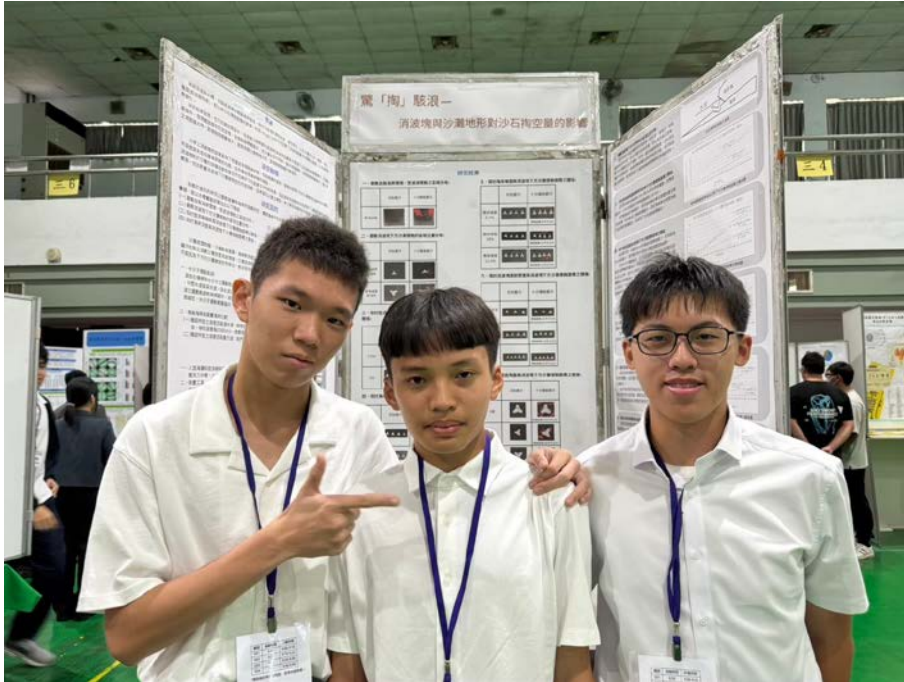
優勝作品專輯

作品編號	180014
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	驚「掏」駭浪—消波塊與沙灘地形對沙石掏空量的影響

就讀學校	國立臺南第一高級中學
指導教師	黃建彰 施怡如
作者姓名	張鈞碩 林士傑 陳子恩

關鍵詞	<u>消波塊、掏空、侵蝕</u>
-----	------------------

作者簡介



我們來自台南一中，是三位熱愛研究的高中生，雖然地科並不是熱門的科目，但我們卻在地科課堂被深深吸引，在實驗室裡研究的過程，不只得到不錯的成果，也加強與同伴之間的羈絆，之前的南區以及全國科展都是利用中文去交流，而國際科展利用英文提升不少難度，但由於我們對此的熱愛，應該也能有不錯的表現。

2025 年臺灣國際科學展覽會

研究報告

區別：

科別：地球與環境科學科

作品名稱：驚「掏」駭浪—消波塊與沙灘地形對沙石掏空量的影響

關鍵詞：消波塊、掏空、侵蝕

編號：

（編號由國立臺灣科學教育館統一填列）

摘要

本研究使用水槽、自製造浪器，模擬海岸環境，探討消波塊的擺放角度、擺放密度，以及沙灘的水深、坡度、波浪強度(造浪器頻率)，對沿岸沙石侵蝕面積的影響。利用 image j 分析在不同因素下消波塊周圍沙石侵蝕之面積，以及其隨時間的變化。研究結果發現，在不同擺放角度中，消波塊之兩角面向波浪時(本研究定義為 0 度)其下沙石侵蝕面積最大；在擺放密度中，發現擺放越多的消波塊，其侵蝕面積越大；在沙灘水深不同時，當水深越淺時，其侵蝕面積越大；當沙灘之坡度越大時，其侵蝕面積越大；當造浪器之頻率越大時，其侵蝕面積也會增加，而計算體積時，發現在不同擺放角度下，掏空的體積與侵蝕面積成正相關。

Abstract

By using the customized sink and the manual equipment, efficiently producing waves in our experiment, we want to unveil the secrets behind the extent of coastal erosion when changing some independent variables including the angle and density of tetrapods, the water depth, the slope of the beach, and the wave strength. With Image J analyzing the areas of sand erosion around the tetrapods under different conditions, we come to the conclusion that the greatest extent of sand erosion lies in the particular circumstances when two sides of the tetrapods face the ocean, which is defined as an angle of 0 in our research, the water depth is the shallowest, the slope of the beach is the steepest, the wave is the strongest, and the number of tetrapods placing on the coastline is largest. Additionally, it is found that the volume of erosion is positively correlated with the erosion area under various angle placements.

壹、前言

一、研究動機：

沙岸上消波塊的設置是為了抵擋波浪侵蝕海岸線，但經過資料查詢，發現消波塊下方的沙灘會產生被掏空的現象，可能使其失去保護海岸線的功能，反而會助長海岸線的侵蝕，新聞亦曾報導有關於消波塊附近可能易產生離岸流的現象，並且會加劇侵蝕海岸地形，使得消波塊附近產生肉眼不易察覺的低窪地區，提升遊客受傷的風險，甚至發生不少遊客溺斃的事件。

消波塊對於沙灘的保護或是危害在不同條件下可能產生不同的效果，甚是複雜，沒有一定的結論，因此本研究想要探究消波塊下沙灘侵蝕量與波浪的關係，找出影響消波塊下沙灘被掏空的可能因素，我們希望可以建立模型，來了解消波塊附近可能產生的危險帶。

二、研究目的：

有鑑於過去的研究主要都是實際海岸的個案研究，實際海岸中的因素頗多且交互影響，難以人為控制變因進行實驗，因此本研究將使用水槽實驗進行模擬消波塊、沙灘與波浪的交互作用並試圖找出以下關係：

- (一)觀察自製海岸環境，受波浪侵蝕之區域分布。
- (二)觀察消波塊下方沙灘侵蝕的區域位置分布。
- (三)探討造浪器馬達頻率與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係。
- (四)探討海床深度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係。
- (五)探討海床坡度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係。
- (六)探討消波塊擺放密度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係。
- (七)探討消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係。
- (八) 探討消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕體積之關係。

三、文獻回顧：

沙灘坡度較緩，沙灘較為寬廣，海岸較為穩定，所受侵蝕後退較不顯著（許民陽，2002），但林雪美(2011)的論文顯示在新北頂寮沙灘放置消波塊後，沙灘坡度變陡，可能導致沙灘變得不太穩定，更容易受到波浪侵蝕。消波塊本身也可能因為下方的沙灘被掏空而移位，無法有效地防止沙灘的侵蝕，無法達到當初防止沙灘侵蝕的目的。

(一)消波塊：

1、外形與結構：

常見的外形有點類似正四面體，是由中心點往四個方向伸展，分別對應正四面體的頂點，亦有其他形狀，像是八腳錐體、三角形、圓形和球狀。

2、抵抗能力：

當其錯亂擺放時，能有效降低波浪的衝擊，其原理是兩個腳間形成剖半的弧形，再加上柱體間隱約有著使波浪流經之通道，可藉此吸收波浪之衝擊能量，而當波浪通過此隱形流道時，同時會對消波塊形成向下的作用力，使消波塊更不易被沖走。

3、堆放方式：

消波塊會因地理位置和功能而有不同的堆疊方式，理論上若將消波塊放在防波堤效果較佳，而放於沙灘則成效不彰。消波塊的形狀和向外突出的三個腳會環環緊扣，若隨機擺放會使其更不易位置錯移。

(二)波浪：

1、種類：

(1)深水波：水深大於波長的二分之一時，稱為深水波。

(2)淺水波：水深小於波長的二十分之一時，稱為淺水波。

(3)表面張力波：當波長較短時，波浪受到表面張力影響較大，其波峰成圓形及波谷成 V 型。

(4)重力波：當波長較長時，重力效應影響較大。

(5)碎浪：當波高與波長的比值大於 1/7 時，會形成碎浪。

2、波速：

(1)淺水波速度： $V = \sqrt{gd}$

(2)深水波速度： $V = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$

(其中 V 為波速，L 為波長，d 為水深，g 為重力加速度。)

3、水分子運動軌跡：

波浪在傳遞時水分子之運動軌跡如附圖所示，由左至右代表淺水波、中間水波與深水波，深水波之水分子運動軌跡略呈圓形，而淺水波之運動軌跡則為橢圓形，

由這三張圖可得出相同現象，離水氣交介面越近，水分子擾動範圍越大（其圓弧較大）。

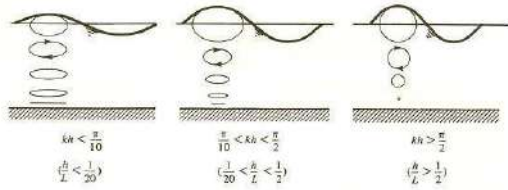


圖 1:不同水深之水分子運動軌跡示意圖

(摘自 Dean R.G. and R. A. Dalrymple (1984)

"Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists")

(三) 反射定律:

- 1、反射線、入射線和法線在同一平面內。
- 2、反射線和入射線分居法線兩側。
- 3、反射角等於入射角。

貳、研究設備及器材

一、造浪器與人造海灘之製造

(一)、第一代造浪器(測掏空面積)

- 1、將兩根 10cm 吸管分別利用熱融膠黏上長寬為 30cm*10cm 厚珍珠板兩端。
- 2、將馬達插入吸管中，用熱熔膠固定之，使厚珍珠板能夠隨馬達旋轉而不掉落。
- 3、將馬達用熱熔膠黏在塑膠平台上(圖 2)，把造浪器放於水槽中。
- 4、馬達兩端分別接在電源供應器之正負極(圖 3)，開啟電源使造浪器能夠旋轉。



圖 2:造浪器 (作者拍攝)



圖 3:整組(作者拍攝)

(二)、第一代人造沙灘

- 1、在透明水槽內，一端置入裁剪好的厚珍珠板使其增高，使沙灘產生應有之坡度模擬海床的角度。
- 2、在大珍珠板上鋪上一層 0.5 公分厚的海沙，使每次的原始沙灘趨於相同。

- 3、在水槽兩側放入適當高度之海綿條，減少波浪撞擊兩側產生駐波之影響，使波浪之製造更真實。

(三)、第一代造浪器加人造海灘

- 1、第一代實驗器材因較薄的海沙和波高較小的海浪，使其侵蝕能露出底下紅色珍珠板，便能算出其侵蝕區域分布和面積大小。
- 2、整組實驗器材示意圖(圖 4、圖 5)

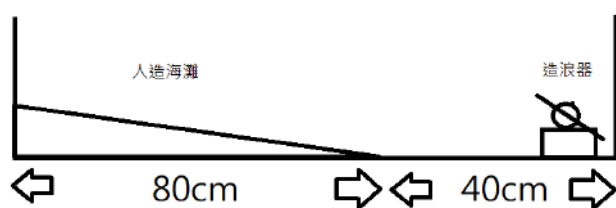


圖 4 實驗示意圖

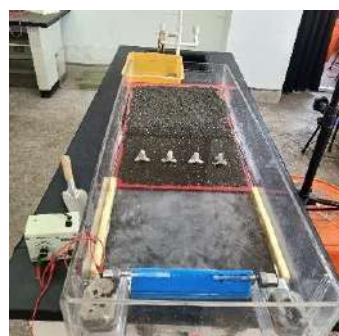


圖 5 整組實驗器材(作者拍攝)

(四)、第二代造浪器(測掏空體積和深度)

- 1、裁剪一根長 40cm 的圓筒，以兩個輪子將其兩邊黏牢，保持其內部中空，防止水濺入而使重量改變。
- 2、裁下兩塊鑽有半徑和馬達軸心相同圓孔的厚紙板，並且孔徑位於圓心上方 $1/2$ 半徑處，使其運轉時接近橢圓柱，較能使波連續並且更接近正弦波(圖 6)。
- 3、將這兩小塊厚紙板分別貼在兩輪子上，並用熱熔膠將馬達的鐵芯緊緊插入圓孔中，使圓筒能隨馬達旋轉而不掉落，形成造浪器。
- 4、把造浪器放於水槽中，兩個馬達的兩端分別接在電源供應器之正負極(圖 7)，開啟電源使造浪器能夠旋轉。



圖 6 波形 (作者拍攝)



圖 7 整組馬達 (作者拍攝)

(五)、第二代人造沙灘

- 1、將紅色珍珠板移開，並用海沙填出斜度約為 $6/70$ 的均勻海灘

(六)、第二代造浪器和人造海灘

- 1、第二代造浪器所造的波高較高且海浪強度較第一代大，當要測其侵蝕體積時，紅色珍珠板會影響侵蝕深度(當紅色珍珠板露出，該處侵蝕現象便停)，所以利用第二代人造海灘才能算出真實掏空體積。

- 2、整組實驗示意圖(圖 8、圖 9)

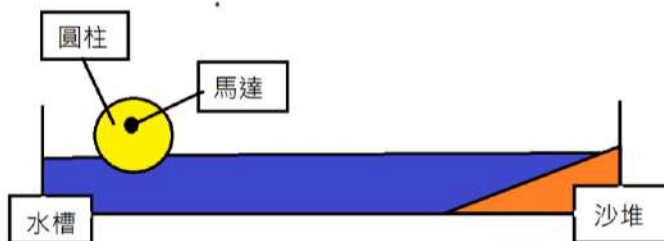
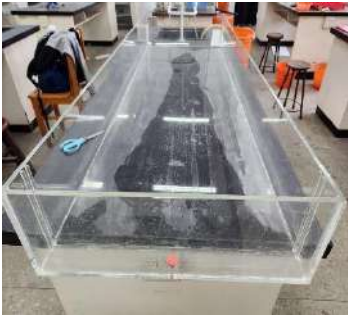


圖 8 整組實驗示意圖



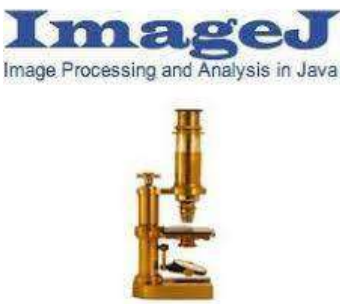
圖 9 整組實驗器材圖(作者拍攝)

二、實驗器材

器材	壓克力水槽	沙子	水
圖示	 圖 10 (作者拍攝)	 圖 11 (作者拍攝)	 圖 12 (作者拍攝)
用途	裝水和沙子。	形成沙岸。	模擬海水。

器材	珍珠板	電源供應器	馬達
圖示	 圖 13 (作者拍攝)	 圖 14 (作者拍攝)	 圖 15 (作者拍攝)
用途	形成有斜度之斜坡。	使馬達轉動。	帶動吸管旋轉。

器材	吸管	電線	消波塊
圖示	 圖 16 (作者拍攝)	 圖 17 (作者拍攝)	 圖 18 (作者拍攝)
用途	組成造浪器。	連接電源供應器。	實驗主要研究主體。

器材	手機架	image j	尺
圖示	 圖 19 (作者拍攝)	 圖 20 (取自 ImageJ)	 圖 21
用途	架高手機作為拍攝。	分析圖片。	量測距離。

器材	雷射測距儀	圓柱	
圖示	 圖 22 (作者拍攝)	 圖 23 (作者拍攝)	
用途	量測該點距測距儀的距離。	第二代造浪器的元件。	

三、模擬海岸與真實海岸比較

- 1、確認所造之浪是否為淺水波：檢視我們所拍攝到的實驗影像，波長的直接量測誤差值較大，所以以波速與頻率(0.5Hz)來換算波長，我們以 tracker 追蹤波浪，得到波速為 0.560m/s，換算得波長為 112 公分，大於水深(3 公分)的 20 倍，符合淺水波之定義。
- 2、確認所造之浪是否為重力波：我們模擬的海水波長大於 1.74cm，表示其為重力波，而非表面張力波。

參、研究過程或方法

一、流程圖

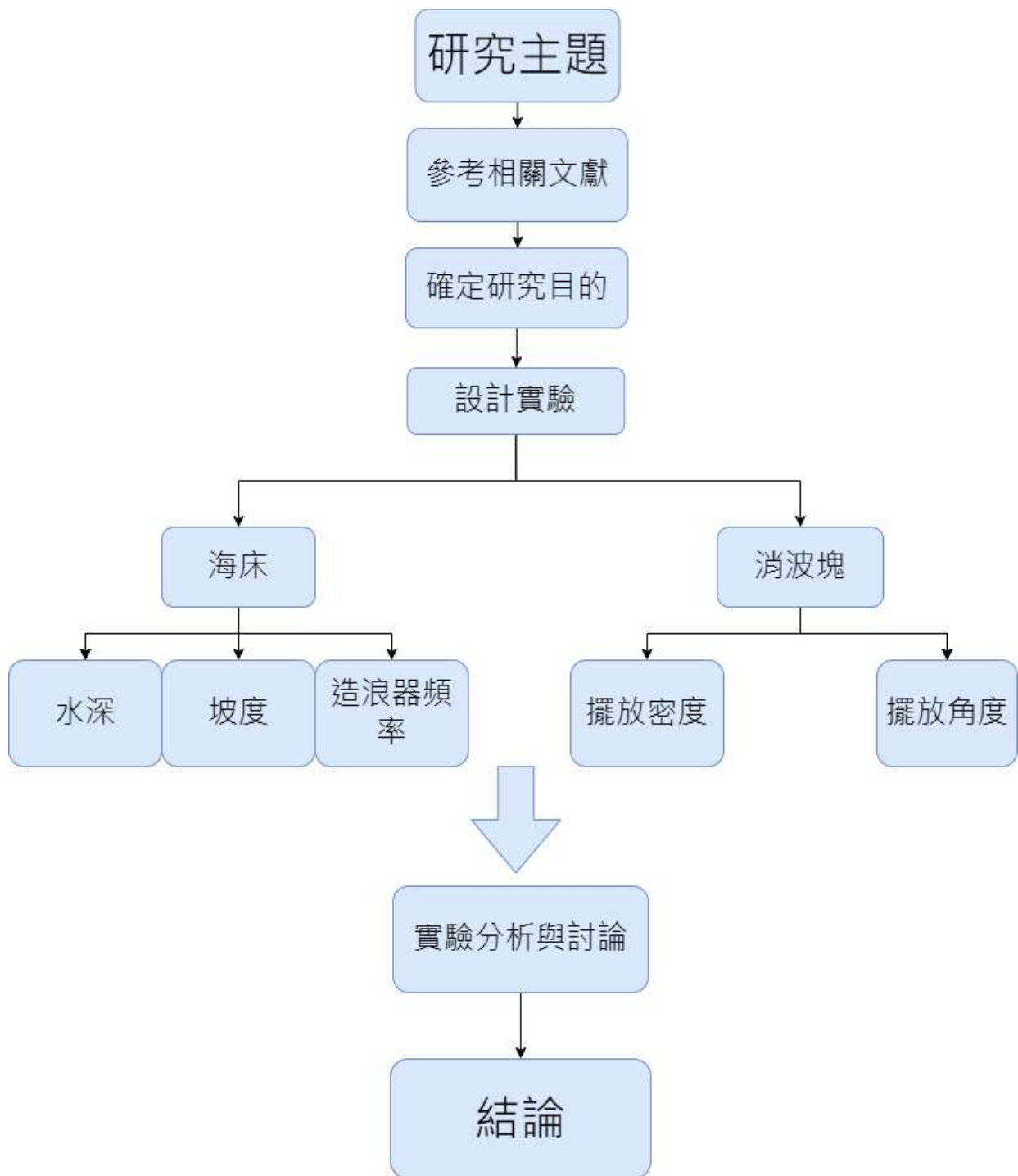


圖 24 流程圖

二、侵蝕面積量測之實驗步驟

(一)觀察自製海岸環境，受波浪侵蝕之區域分布。

1、於壓克力水槽中，置入一長寬分別為 90 公分與 45 公分之珍珠板模擬海床，並且

設置海床坡度為 10%(圖 25)。

- 2、取定量沙子，鋪於固定坡度之斜坡上，使沙子厚度為 0.5 公分，再加入 3 公分深的水(圖 26)。
- 3、於水槽正上方架設手機(圖 27、圖 28)，拍攝記錄實驗過程。
- 4、置入自製造浪器，並開始啟動之。
- 5、錄影十分鐘之後，每三十秒截一張圖，將此二十一張照片放入 IMAGE J 分析，觀察海沙流失，導致紅色珍珠板出露之面積(圖 29)。
- 6、重複上述內容 5 次並取面積平均值。
- 7、比對出何處為此人造沙灘侵蝕最強處。

(二)觀察消波塊下方沙灘侵蝕的區域位置分布

- 1、於壓克力水槽中，置入一長寬分別為 90 公分與 45 公分之珍珠板模擬海床，並且設置海床坡度為 10%。
- 2、取定量沙子，鋪於固定坡度之斜坡上，使沙子厚度為 0.5 公分，再加入 3 公分深的水。
- 3、置放一個消波塊於距海岸線 35 公分處，使其單角處背對海岸線，於水槽正上方架設手機，拍攝記錄實驗過程。
- 4、置入自製造浪器，並開始啟動之。
- 5、錄影十分鐘之後，每三十秒截一張圖，將此二十一張照片放入 IMAGE J 分析，觀察海沙流失，導致紅色珍珠板出露之面積。
- 6、重複上述內容 5 次並取面積平均值。
- 7、將消波塊順時針轉 180 度，使單角處正對海的方向，並重複 1 至 6 之步驟。

(三)探討波浪頻率與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

- 1、於壓克力水槽中，置入一長寬分別為 90 公分與 45 公分之珍珠板模擬海床，並且設置海床坡度為 10%。
- 2、取定量沙子，鋪於固定坡度之斜坡上，使沙子厚度為 0.5 公分，再加入 3 公分深的水。
- 3、置放四個消波塊於距海岸線 35 公分處，使其單角處背對海岸線，於水槽正上方架設手機，拍攝記錄實驗過程。
- 4、置入自製造浪器，並調整電源供應器至電壓 6V，使之以頻率 0.5Hz 轉動。
- 5、錄影十分鐘之後，每三十秒截一張圖，將此二十一張照片放入 IMAGE J 分析，觀察海沙流失，導致紅色珍珠板出露之面積。

6、再調整電源供應器電壓至 9V，使造浪器以頻率 1Hz 轉動，並重複 1 至 5 之步驟。

7、紀錄實驗數據。

(四)探討海床深度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

1、於壓克力水槽中，置入一長寬分別為 90 公分與 45 公分之珍珠板模擬海床，並且設置海床坡度為 10%。

2、取定量沙子，鋪於固定坡度之斜坡上，使沙子厚度為 0.5 公分，再加入 3 公分深的水。

3、置放四個消波塊於距海岸線 35 公分處，使其單角處背對海岸線，於水槽正上方架設手機，拍攝記錄實驗過程。

4、置入自製造浪器，並開始啟動之。

5、錄影十分鐘之後，每三十秒截一張圖，將此二十一張照片放入 IMAGE J 分析，觀察海沙流失，導致紅色珍珠板出露之面積。

6、重複上述內容 5 次並取面積平均值。

7、再注入水調整海床深度至 4 公分，並重複 1 至 6 之步驟。

8、再注入水調整海床深度至 5 公分，並重複 1 至 6 之步驟。

(五)探討海床坡度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

1、於壓克力水槽中，置入一長寬分別為 90 公分與 45 公分之珍珠板模擬海床，並且設置海床坡度為 10%。

2、取定量沙子，鋪於固定坡度之斜坡上，使沙子厚度為 0.5 公分，再加入 3 公分深的水。

3、置放四個消波塊於距海岸線 35 公分處，使其單角處背對海岸線，於水槽正上方架設手機，拍攝記錄實驗過程。

4、置入自製造浪器，並開始啟動之。

5、錄影十分鐘之後，每三十秒截一張圖，將此二十一張照片放入 IMAGE J 分析，觀察海沙流失，導致紅色珍珠板出露之面積。

6、重複上述內容 5 次並取面積平均值。

7、再調整海床坡度至 6.67%，並重複 1 至 6 之步驟。

8、再調整海床坡度至 13.3%，並重複 1 至 6 之步驟。

(六)探討消波塊擺放密度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

- 1、於壓克力水槽中，置入一長寬分別為 90 公分與 45 公分之珍珠板模擬海床，並且設置海床坡度為 10%。
- 2、取定量沙子，鋪於固定坡度之斜坡上，使沙子厚度為 0.5 公分，再加入 3 公分深的水。
- 3、置放四個消波塊於距海岸線 35 公分處，使其單角處背對海岸線，於水槽正上方架設手機，拍攝記錄實驗過程。
- 4、置入自製造浪器，並開始啟動之。
- 5、錄影十分鐘之後，每三十秒截一張圖，將此二十一張照片放入 IMAGE J 分析，觀察海沙流失，導致紅色珍珠板出露之面積。
- 6、重複上述內容 5 次並取面積平均值。
- 7、再改為放置三個消波塊，並重複 1 至 6 之步驟。
- 8、再改為放置五個消波塊，並重複 1 至 6 之步驟。

(七)探討消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

- 1、於壓克力水槽中，置入一長寬分別為 90 公分與 45 公分之珍珠板模擬海床，並且設置海床坡度為 10%。
- 2、取定量沙子，鋪於固定坡度之斜坡上，使沙子厚度為 0.5 公分，再加入 3 公分深的水。
- 3、置放四個消波塊於距海岸線 35 公分處，使其單角處背對海岸線，於水槽正上方架設手機，拍攝記錄實驗過程。
- 4、置入自製造浪器，並開始啟動之。
- 5、錄影十分鐘之後，每三十秒截一張圖，將此二十一張照片放入 IMAGE J 分析，觀察海沙流失，導致紅色珍珠板出露之面積。
- 6、重複上述內容 5 次並取面積平均值。
- 7、再調整消波塊角度順時鐘轉 30 度，並重複 1 至 6 之步驟。
- 8、再調整消波塊角度順時鐘再轉 30 度(相較於初始狀態轉 60 度)，並重複 1 至 6 之步驟。
- 9、再調整消波塊角度順時鐘再轉 30 度(相較於初始狀態轉 90 度)，並重複 1 至 6 之步驟。



圖 25 紅色珍珠板模擬海床



圖 26 珍珠板上鋪沙照片

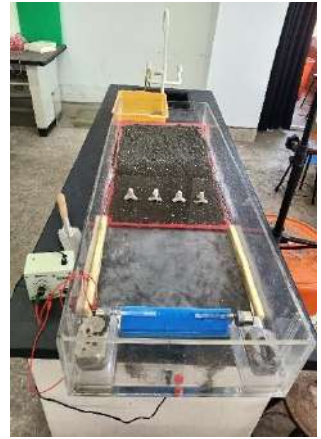


圖 27 實驗裝置俯拍照片



圖 28 實驗裝置測拍照片



圖 29 消波塊周圍侵蝕照片

三、侵蝕體積量測之實驗步驟

(一)探討消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕體積之關係。

- 1、於壓克力水槽中，將海沙緊實鋪成海床，並且設置海床坡度為 8.6%，再加入 4cm 深的水。
- 2、置放四個消波塊於距海岸線 28 公分處，使單角處背對海岸線。(由於新的設置在 28 公分為最大侵蝕處)
- 3、置入自製造浪器，並開始啟動之。
- 4、十分鐘之後，利用雷射測距儀以及 5*21 的網格，測量消波塊擺放位置附近。(距海岸線 26 公分到 30 公分和從消波塊中心算起左右各 5cm 的長方形區域，即消波塊下沙灘侵蝕最劇處)
- 5、將各點數據輸入 excel 進行分析並做出曲面圖和多張剖面圖，計算出所取範圍內沙灘被侵蝕體積。
- 6、重複上述內容 5 次並取體積平均值。

- 7、再調整消波塊角度順時鐘轉 30 度，並重複 1 至 6 之步驟。
- 8、再調整消波塊角度順時鐘再轉 30 度(相較於初始狀態轉 60 度)，並重複 1 至 6 步驟。
- 9、再調整消波塊角度順時鐘再轉 30 度(相較於初始狀態轉 90 度)，並重複 1 至 6 之步驟。

四、侵蝕面積之分析方法

- (一)將實驗照片匯入 imageJ(圖 30)。
- (二)利用 Color Threshold 模式選取範圍內(消波塊邊界往外推兩公分)紅色區域，即為侵蝕處(圖 31、圖 32)。
- (三)利用 Analyze particles 模式可得到紅色區域的面積。
- (四)將此數據複製到 excel(圖 33)。
- (五)利用 excel 之加總得到總面積的數值。
- (六)製作出圖表並分析之。

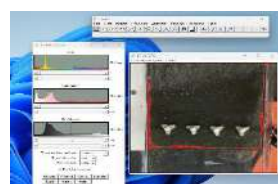
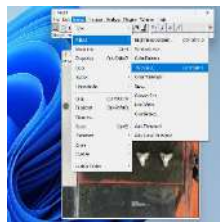
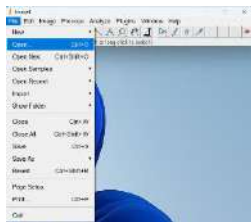


圖 30 選取照片 圖 31Color Threshold 圖 32Analyze particles 圖 33excel 分析

五、侵蝕體積之分析方法

- (一)將實驗後高度匯入 excel，利用前後對比得到橫切侵蝕量。
- (二)將每個片面侵蝕量的量加總即可得到體積。(掏空量)

肆、研究結果

一、觀察自製海岸環境，受波浪侵蝕之區域分布：

	初始圖示	十分鐘後圖示
無消波塊	 圖 34	 圖 35

二、觀察消波塊下方沙灘侵蝕的區域位置分布：

	初始圖示	十分鐘後圖示
單角處 背對海岸	 圖 36	 圖 37
單角處 面對海岸	 圖 38	 圖 39

三、探討造浪器馬達頻率與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係：

	初始圖示	十分鐘後圖示
--	------	--------

頻率 0.5Hz	 圖 40	 圖 41 侵蝕面積:134 平方公分
頻率 1Hz	 圖 42	 圖 43 侵蝕面積:718 平方公分

四、探討海床深度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係:

	初始圖示	十分鐘後圖示
水深 3 公分	 圖 44	 圖 45 侵蝕面積:135 平方公分
水深 4 公分	 圖 46	 圖 47 侵蝕面積:112 平方公分
水深 5 公分	 圖 48	 圖 49 侵蝕面積:45 平方公分

五、探討海床坡度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係:

	初始圖示	十分鐘後圖示
海床坡度 6.67%	 圖 50	 圖 51 侵蝕面積:79 平方公分
海床坡度 10.00%	 圖 52	 圖 53 侵蝕面積:135 平方公分
海床坡度 13.33%	 圖 54	 圖 55 侵蝕面積:180 平方公分

六、探討消波塊擺放密度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係:

	初始圖示	十分鐘後圖示
三個 消波塊	 圖 56	 圖 57 侵蝕面積:124 平方公分

四個 消波塊	 圖 58	 圖 59 侵蝕面積:435 平方公分
五個 消波塊	 圖 60	 圖 61 侵蝕面積:936 平方公分

七、消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

	初始圖示	十分鐘後圖示
0 度	 圖 62	 圖 63 侵蝕面積:552 平方公分

30 度	 圖 64	 圖 65 侵蝕面積:280 平方公分
60 度	 圖 66	 圖 67 侵蝕面積:125 平方公分
90 度	 圖 68	 圖 69 侵蝕面積:344 平方公分

八、消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕體積之關係

	初始圖示	十分鐘後圖示
0 度	 圖 70	 圖 71
30 度	 圖 72	 圖 73
60 度	 圖 74	 圖 75
90 度	 圖 76	 圖 77

伍、討論

一、觀察自製海岸環境，受波浪侵蝕之區域分布:

我們發現侵蝕區域主要分布在距離海岸線 34 公分到 36 公分處，表示此處侵蝕大於堆積。因此我們之後的實驗設計，均將消波塊置放於距離海岸線 35 公分處，用以觀察擺放消波塊後此處侵蝕與堆積的情況。

二、觀察消波塊下方沙灘侵蝕的區域位置分布:

由圖 37、39 可知，消波塊的三個角隨時間推移而有侵蝕情形並逐漸向外擴張，不論是單角朝向海或是背對海，兩角處的侵蝕皆大於一角處。

當波浪拍打消波塊體迎向海的那一側斜面，會產生一股較強勁的反射水流，因水流遵守反射定律(附圖 78)，所以會先對消波塊前方的沙灘產生向下侵蝕，形成一個凹陷處如附圖 79，當水流往海的方向退回時，消波塊角會阻攔高處回流所帶來的沙粒，以至於凹陷處無法被填補。

當水流往海的方向退回時，消波塊兩角之間的弧線區域不會阻攔回流所帶來的沙粒，使弧線區域的侵蝕較不明顯。

但由於每一次的侵蝕過程，沙粒被帶動的路徑、侵蝕裸露的區域與範圍，均略有不同，使得消波塊附近的水流方向不斷改變，導致雖然主要區域會分布在兩角附近，但最顯著的侵蝕區域位置有時會在兩角前側、有時會在兩角後側(以海的方向作相對位置)。

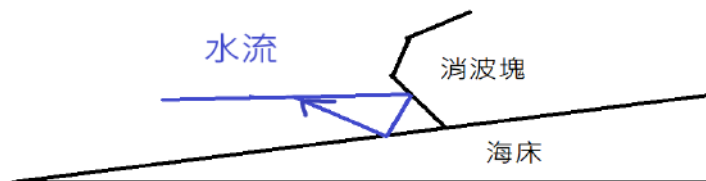


圖 78 消波塊側面侵蝕示意圖

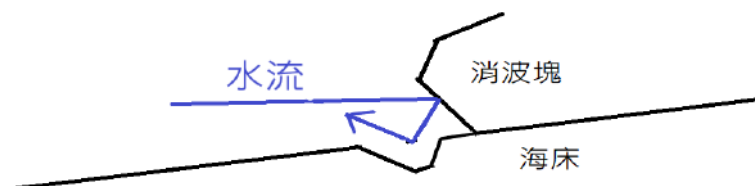


圖 79 消波塊側面侵蝕示意圖

由體積測量實驗中，亦能佐證消波塊下方沙灘侵蝕情形，我們取消波塊擺放角度 0 度 (如圖 86A) 的距海岸線 26 公分，以及 30 公分處之垂直侵蝕剖面圖(圖 80)，從下圖可看出雙角處(藍色)的侵蝕量明顯大於單角處(紅色)。

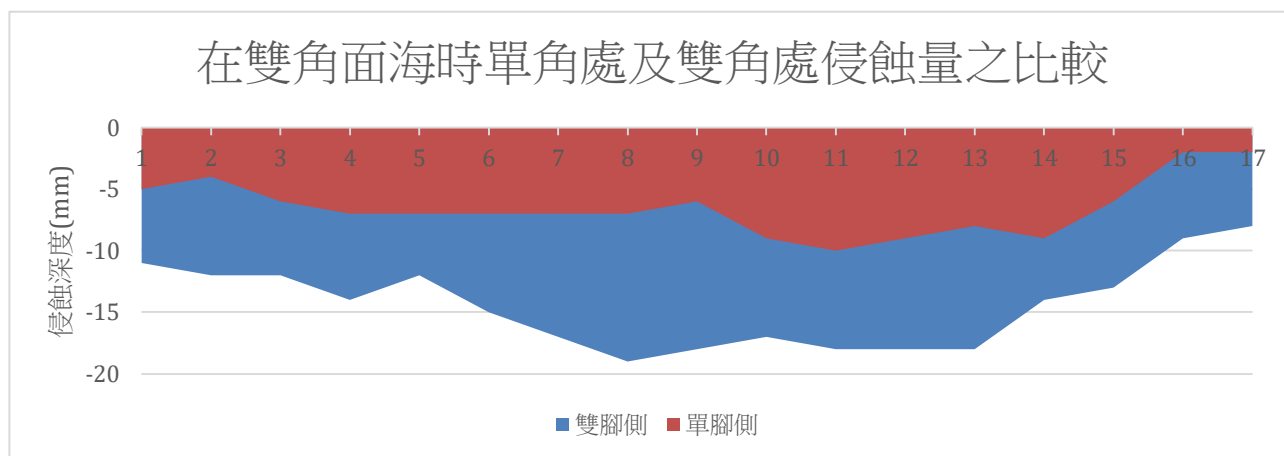


圖 80 雙角面海時單角處及雙角處侵蝕量之關係圖

三、探討造浪器馬達頻率與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

設定造浪器的頻率為 0.5Hz 與 1Hz 做出兩組實驗，從圖 81 可知，頻率 0.5Hz 所造成的侵蝕面積總和小於頻率 1Hz。

我們推論由於頻率越大，造浪器就會在單位時間內產生更大的能量，即所造成之侵蝕面積越大，因此推論單位時間內波浪給予消波塊的能量越大，消波塊下方的侵蝕面積越大。

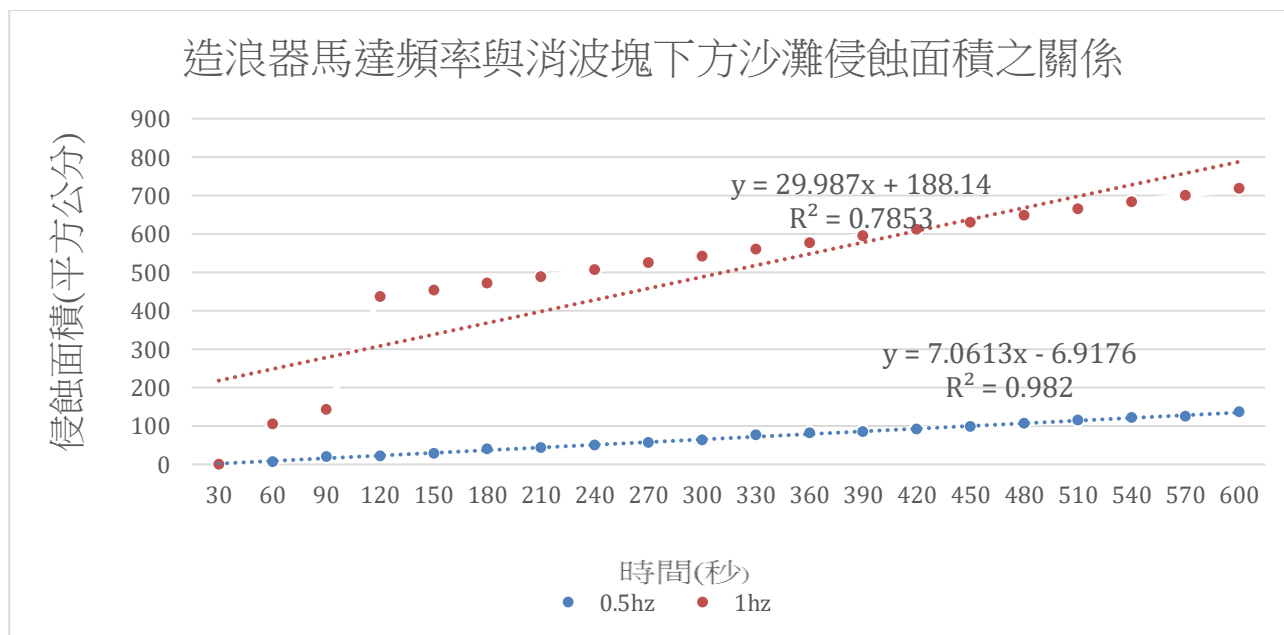


圖 81 造浪器馬達頻率與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係圖

四、探討海床深度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

當控制其他因素不變時，我們改變海水深度為操作變因，但為了維持造浪器的扇葉吃水深度相同，我們依照不同深度，利用了厚度不同的厚紙板作為增高，如圖 82。



圖 82 造浪器增高示意圖

由圖 83 可知，深度為 5cm 所侵蝕的面積為最小，而深度為 3cm 的為最大，我們推知海水深度和侵蝕面積成負相關。

已知水分子運動軌跡，離水氣交介面越遠，水分子擾動範圍越小，由於我們發現消波塊主要侵蝕的部分為其兩角處附近，在不同深度時，由於造浪器產生的波浪主要帶動表層海水，而較深的水則受到較少的擾動，故水深 3 公分時，由於水深較淺，消波塊的兩角處正對著水分子擾動最大的表層海水，造成侵蝕較明顯，而水深 5 公分時，由於水深較深，消波塊的兩角處位於水分子擾動較小處，故其造成侵蝕較不明顯，因此海水深度和侵蝕面積呈負相關。

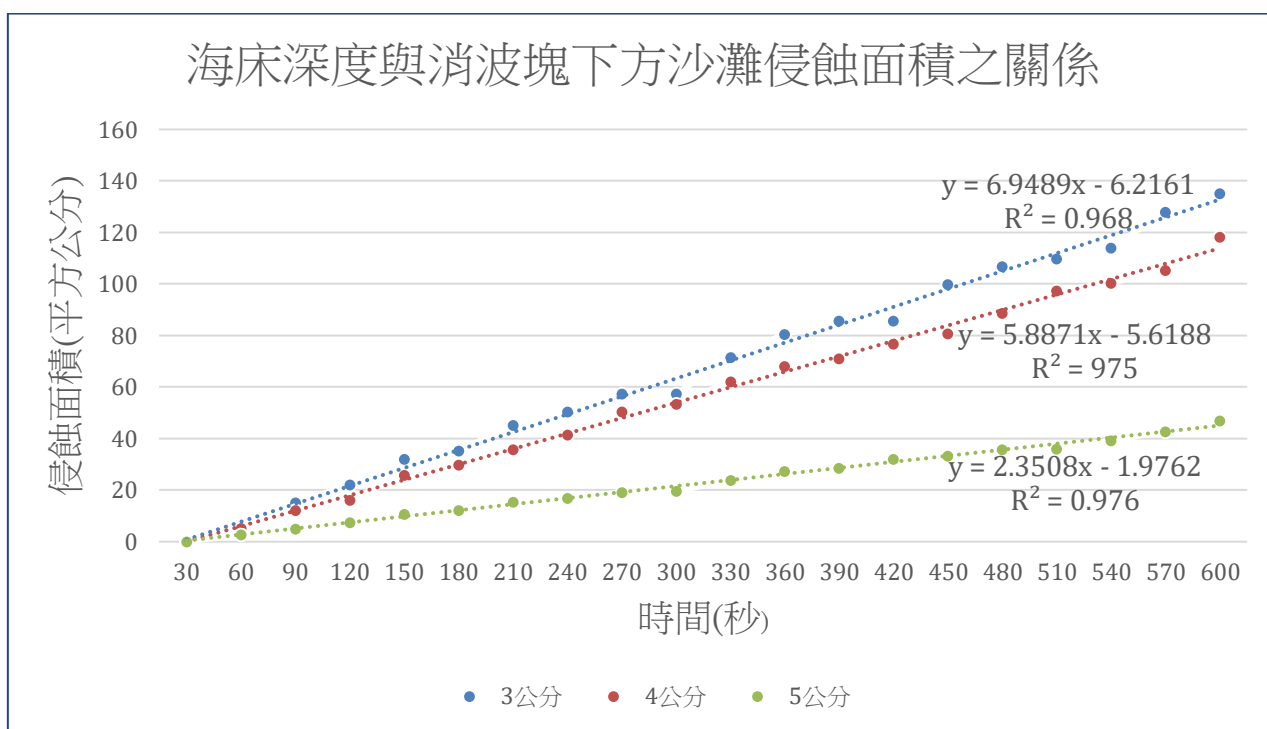


圖 83 海床深度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係圖

五、探討海床坡度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係

由圖 84 可知，當我們固定四個消波塊排一排，與海岸線距離皆為 35cm 時，坡度較大的沙灘其侵蝕面積最大，而坡度越小則反之，推出坡度與所侵蝕的面積成正相關。

我們推論坡度較大的沙灘會使海沙受到較大下滑力，懸浮的海沙會被帶得更遠，對於沙灘的侵蝕更加容易且顯著。

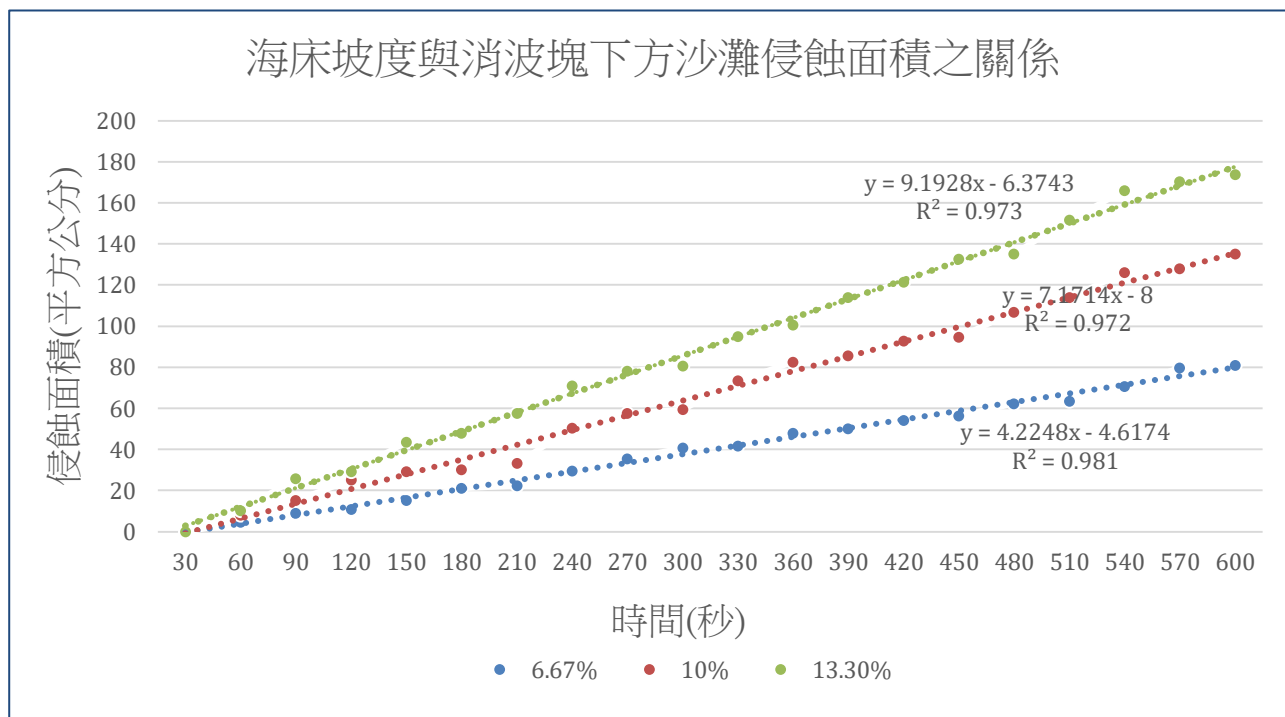


圖 84 海床坡度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係圖

六、探討消波塊擺放密度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係:

由圖 85 可知，設定消波塊擺放的數量為操作變因，分別有 3 個、4 個、5 個消波塊的實驗。由圖 85 可看出同一排擺放的消波塊越多，其侵蝕速率也會較大。

我們推測是因為當消波塊擺得越緊密時，反射的面積越多且反射水流的方向越混亂，導致消波塊兩角處的底部海沙會更容易懸浮，使其更易受到海流的帶動而被掏空，故其侵蝕速率較大。

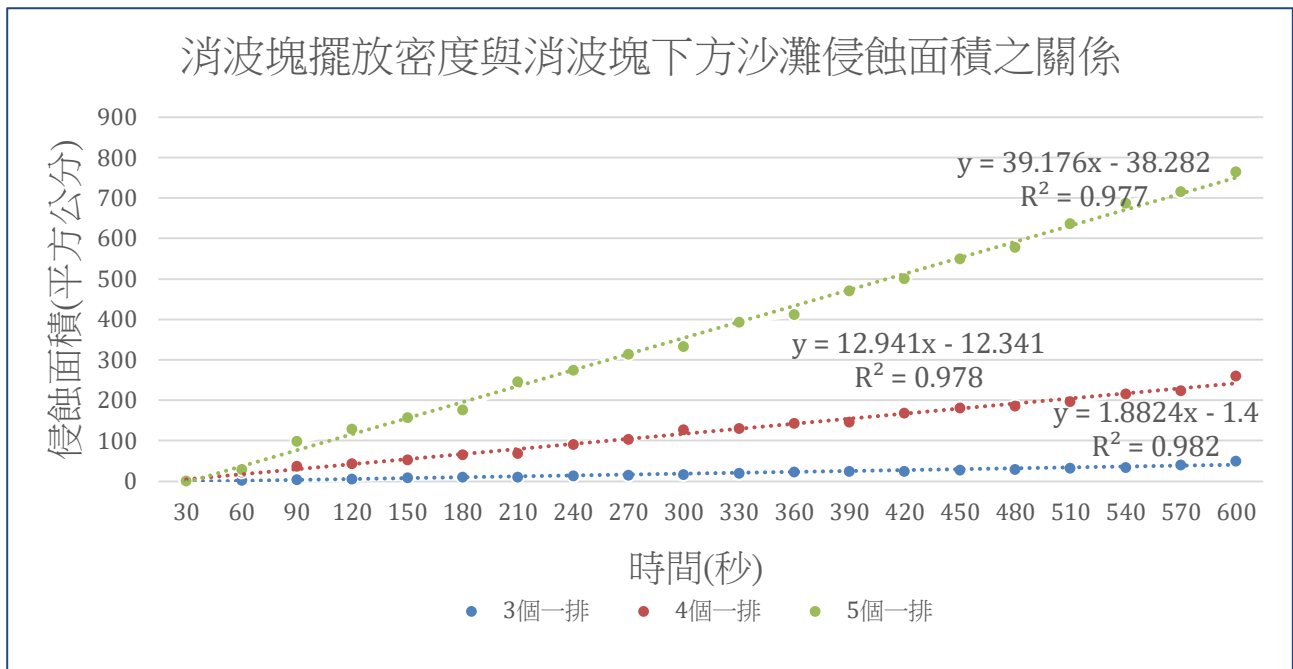


圖 85 消波塊擺放密度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係圖

七、探討消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係:

設定消波塊的角度為操作變因，圖 86 為各個擺放角度消波塊之示意圖。由圖 87 可看出，消波塊下的侵蝕面積大小為 0 度>30 度>90 度>60 度。

由此，我們推論 0 度(如圖 86A)時消波塊兩角面海，水流的能量較強，因此侵蝕遠高於沉積，然而 60 度(如圖 86C)消波塊兩角背海，到達兩角處的水流能量較弱，使得侵蝕與沉積的差異小於 0 度，而 30 度(如圖 86B)和 90 度(如圖 86D)則是介於兩者之間。

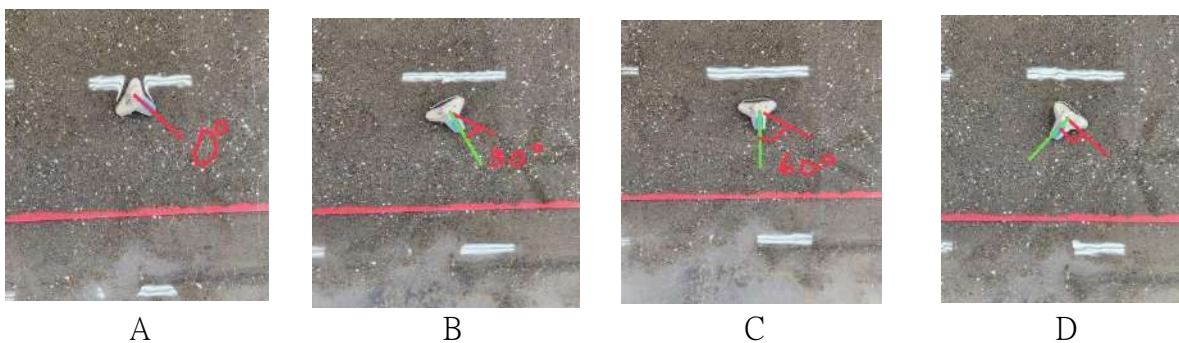


圖 86 不同消波塊擺放角度圖示

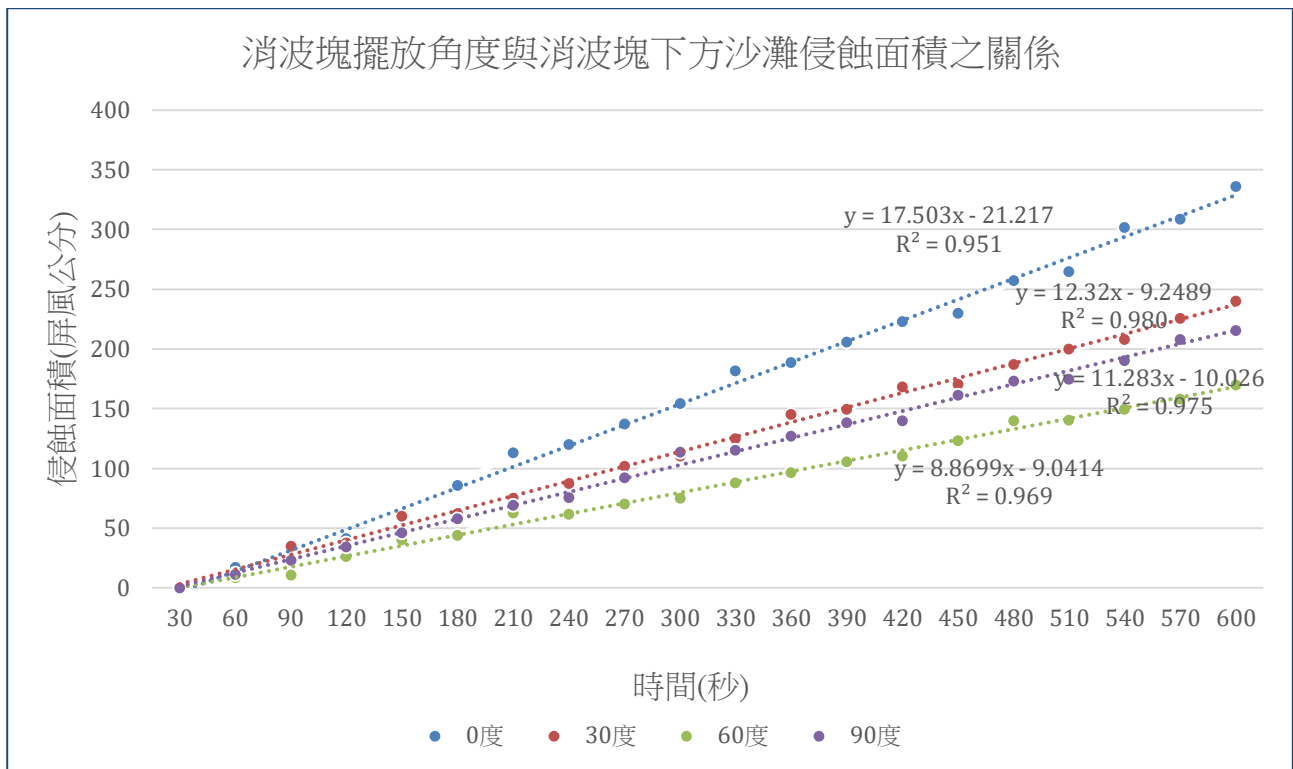
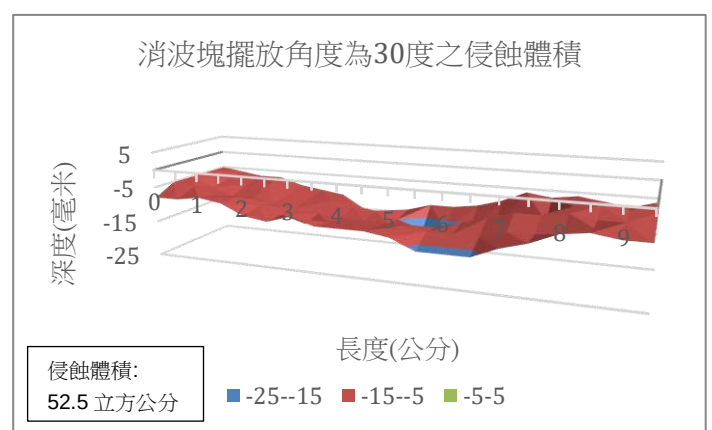
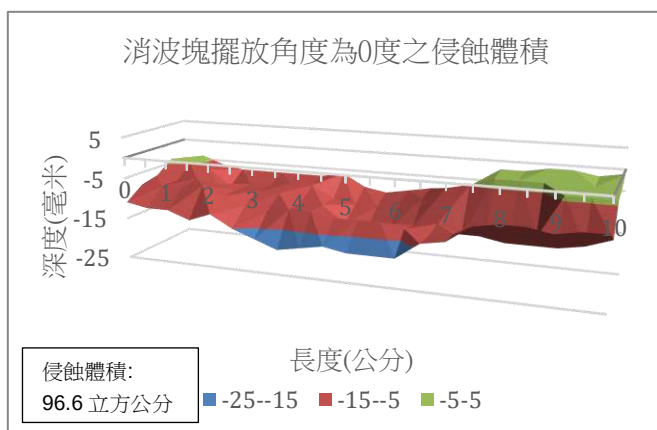


圖 87 消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕面積之關係圖

八、探討消波塊擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕體積之關係:

本研究起初無法克服沙灘侵蝕體積的測量技術問題，以致於之前的研究是採用觀察照片中紅色面積的大小來計算侵蝕量。而在之後技術上得到突破，可以求得體積，本實驗選擇角度作為變因，得到以下四張消波塊不同擺放角度與消波塊下方侵蝕體積之關係圖。



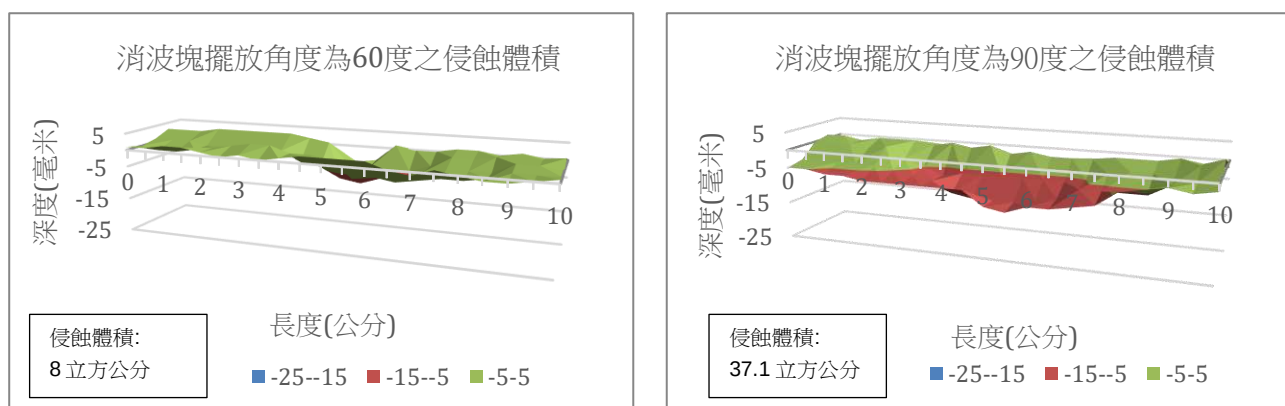


圖 88 消波塊在不同擺放角度下之侵蝕體積圖

此四張圖(圖 88)量測消波塊中心前後各 2 公分和左右各 5 公分，而消波塊擺放位置約位於圖中橫軸 5-6 公分處，由這四張侵蝕地形示意圖可看出，消波塊擺放處都明顯呈現凹陷狀況。且由圖 89 可知，侵蝕體積和侵蝕面積呈現相同的趨勢。

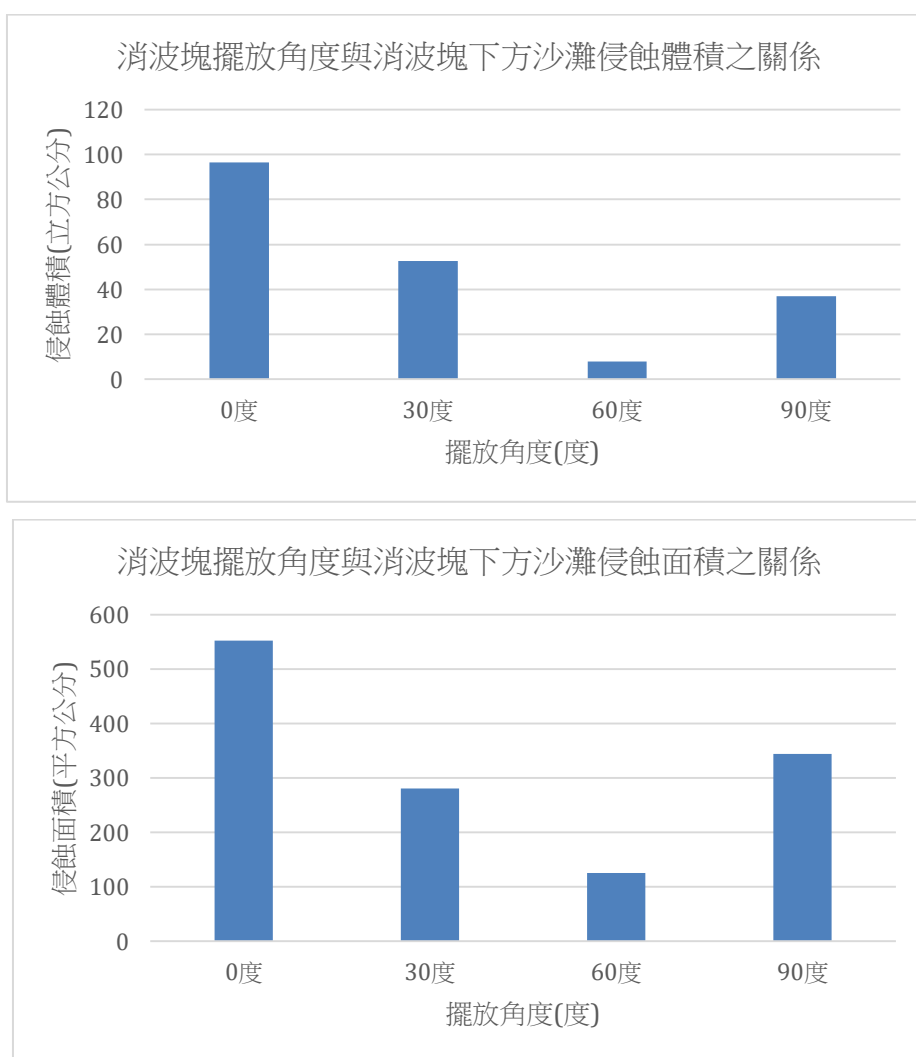


圖 89 消波塊不同擺放角度與消波塊下方沙灘侵蝕面積與體積之比較

陸、結論

一、觀察自製海岸環境，受波浪侵蝕之區域分布：

(一)距離海岸線 35 公分處為此沙灘被波浪侵蝕最強處。

二、消波塊性質測試

(一)消波塊侵蝕和沙石流失兩角側明顯大於單角處。

(二)造浪器頻率大小和侵蝕程度成正相關。

(三)海床深度和侵蝕面積成負相關。

(四)海床坡度和侵蝕面積成正相關。

(五)消波塊擺放密度和侵蝕面積成正相關。

三、消波塊擺放之角度比較：

(一)擺放角度為 30 度和 90 度的侵蝕速率大致一樣，而擺放角度為 0 度和 60 度的侵蝕速率則是 0 度兩腳面海大於 60 度兩角背海。

柒、參考文獻資料

一、黃議德. (2002, April 15). 海岸巨人-----消波塊. <https://www.nmmst.gov.tw/other/B151-wc.pdf>

二、林雪美, 朱明人, & 黃映慈. (2011, November). 沙質海岸沙灘劣化與復育策略：以宜蘭海岸為例. <https://www.geo.ntnu.edu.tw/wp-content/uploads/2022/01/552.pdf>

三、張齡云, 陳冠綸, 陳昱臻, & 賴佳禾. (2006). 『波淘沙湧』--拋石養灘的探究. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/senior/0405/040502.pdf>

四、簡伶縈, & 蔡淑君. (2004). 浪碎何方. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/E/040506.pdf>

五、鄭芳松, 陳佑炘, & 呂艾庭. (2019, July 21). 具能量吸收之消波塊結構. <https://patentimages.storage.googleapis.com/48/92/33/99ae776b2b404a/TWI666362B.pdf>

【評語】 180014

本研究使用水槽、自製造浪器，模擬海岸環境，探討消波塊的擺放角度、擺放密度，以及沙灘的水深、坡度、波浪強度(造浪器頻率)，對沿岸沙石侵蝕面積的影響。討論完整，結論明確，值得鼓勵。唯應用實須注意實驗裝置之尺度與自然環境尺度之差異，另外，除了波浪之外，亦有可能在自然環境下，有其他變因的討論，可供未來研究參考。