

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科(三)

第二名

033002

白浪滔滔我不怕-消波塊與海岸保護

學校名稱： 連江縣立敬恆國民中小學

作者：  國二 陳凌翥  國二 曹浩喆  國二 陳奕帆	指導老師：  曹博凱  林冠州
---	-----------------------------

關鍵詞： 消波塊、海岸保護、造浪機

## 摘要

本研究透過3D 列印製作消波塊與自製造浪機，並用海浪沖刷粉筆模擬岸邊侵蝕效果，尋找減緩海浪岸侵蝕方法。

本研究製作兩種造浪機。大型版：壓克力板製水缸，用活塞推動造浪板，因漏水問題，改良小型版；小型版：採現成魚缸、TT 馬達配合連桿帶動造浪板。小型版波形更流暢。

首先，確定粉筆泡水25分後重量趨穩定；在單排測試中，林克塊減浪效果最佳。實驗亦發現，消波塊離岸越近、裸露體積越多，減浪效果越好。增加排數方面，小浪排數越多效果越佳，大浪下則需至少兩排以上才具顯著效果，綜合成本與效益，建議使用兩排設計。

針對家鄉情境，設計 A 至 D 四種配置，D 型適合冬季東北季風大浪條件，如東北向海岸；C 型則適用於港口等平靜海面。

## 壹、研究動機

偏遠小島上，沒有可以逛街的商圈，沒有可以觀影的電影院，大部分休閒娛樂都圍繞著周圍海洋，對我們來說從小最大樂趣——是和家人到海邊去釣魚。為了尋找好釣場，除了港口、海岸邊，消波塊上更是我們經常光顧之處。

等待魚兒上鉤前常常會想這些奇形怪狀的石頭為什麼要放在岸邊，隨著年紀的增長才知道它們保護海岸的作用，但平常站在上方釣魚，並沒有感受的他的實際作用，便開始好奇消波塊的保護作用到底如何，是否真的能夠為我們抵擋大浪，因此有了此次研究主題的發想。

而家鄉四面環海，隨著強烈的海風吹拂，有時更是能捲起2.5m 以上的浪高，海浪不斷的侵蝕著我們的島嶼，使得海岸保護成為重要課題之一，因此我們決定自己設計造浪機，模擬海浪沖刷海岸，藉由改變消波塊的形狀及排列，評估哪種組合對水土保持最有效，也許能在未來海岸工程的參考及防災提供參考，為保護家鄉的海岸進自己的一份力。





## 貳、研究目的

- 一、比較不同形狀消波塊對減緩侵蝕(減浪)效果。
- 二、比較消波塊放置角度對減緩侵蝕(減浪)效果。
- 三、比較消波塊放置於不同位置對減緩侵蝕(減浪)效果。
- 四、探討消波塊增加排數對減緩侵蝕(減浪)效果。
- 五、探討海岸如何排列對減緩侵蝕(減浪)效果。

## 參、研究設備及器材

### 一、環境設置材料


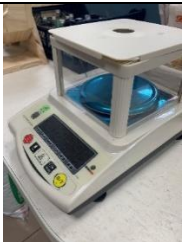




資料來源:本頁圖表照片由作者編製拍攝

A4大小壓克力板(3mm)	木塊	魚缸
		
黏合材料(壓克力膠、水性壓克力填縫劑、熱熔膠，瞬間膠、膠帶、太棒膠)		
		

### 二、造浪機

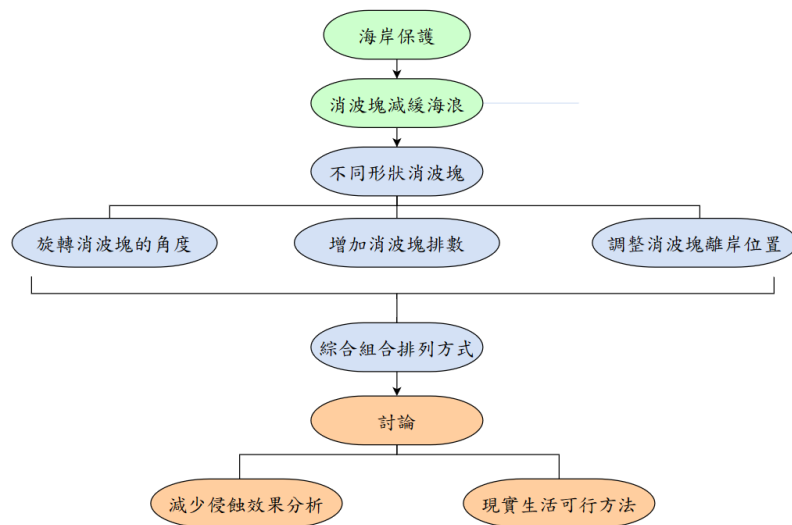
A4大小壓克力板(2mm)	木棒	3D 列印物件
		
雷射物件	1 : 200 TT 馬達	螺絲、螺帽
		

### 三、實驗工具

粉筆	電子秤	直流電源供應器
		
桌上型鑽床	顏色墨水	直尺
		

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗研究流程圖：



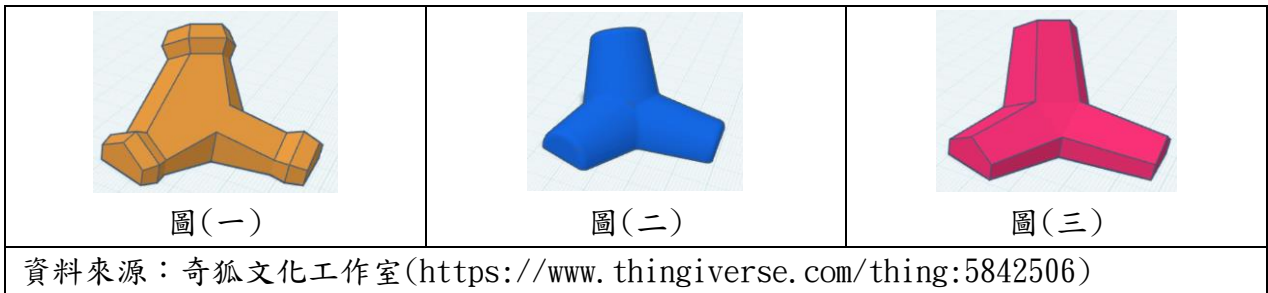
### 二、前置準備

資料來源:作者編製

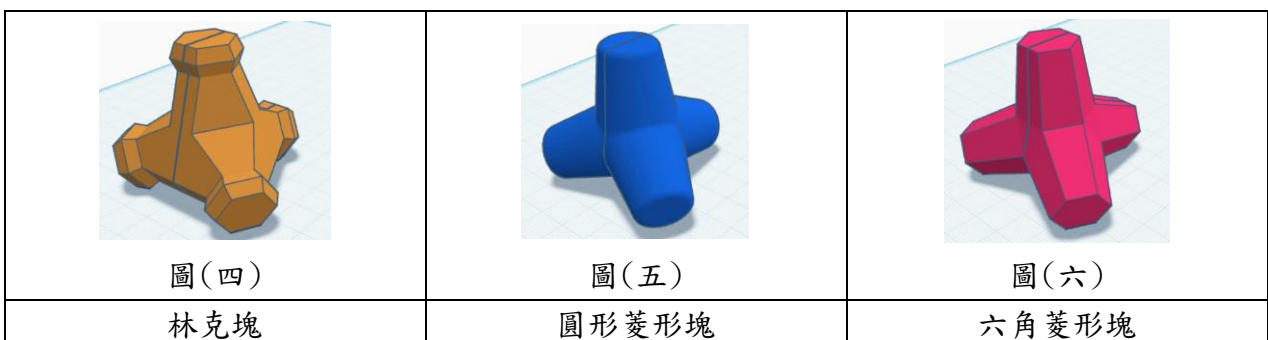
#### (一)消波塊製作

學校今年剛購買了一臺3D 列印機，也在寒假前特地請校外的老師教我們使用 Tinkercad 來製作3D 模型。原本打算自己製作消波塊的模型，實際嘗試過後，發現消波塊的形狀及斜角不容易用多邊形組合出來，導致我們製作的模型與實際的消波塊差異極大。

因此在老師的建議下，我們開始在網路上尋找模型的資源，剛好就找到專家製作的3種常見消波塊的模型。如下圖：



再利用鏡射列印就可以將兩塊黏在一起變成完整的消波塊，然後參考國立臺灣海洋大學臺灣海洋教育中心的資料替三種消波塊命名，由於圖(三)並沒有在資料當中，但也是我們常見的消波塊，考量其長得與圖(二)菱形塊相似，只是兩者的角一個為圓形，另一個為六邊型，因此我們直接以此為命名方式。






## (二)造浪機與水缸製作


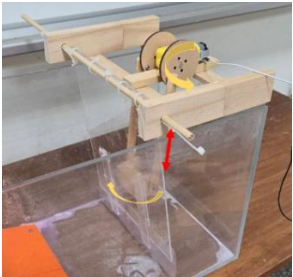
製作項目主要分為四大項：水缸、造浪裝置、斜面受浪平台及粉筆放置平台。

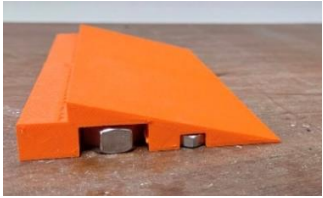

### 1. 大型版

水缸		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 底面：六片 A4 3mm 壓克力板黏合。 將板子固定在木板上增厚。</li> <li>2. 側面：A4 3mm 壓克力板完整的膠合。 (黏合材料：壓克力膠、水性壓克力填縫劑、熱熔膠，瞬間膠、膠帶)</li> </ol>
造浪裝置		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 3D 列印和雷切機製作齒輪及活塞裝置。</li> <li>2. 動力源：鑽床推動並用齒輪變速。</li> <li>3. 作用：齒輪帶動活塞前後推動，將水往前推製造波浪。(大齒輪：小齒輪=40：10)</li> </ol>
斜面受浪平台	 此為版本三	版本一：使用木板及木條支撐。 阻礙—因木板較薄，泡水會彎曲。 版本二：直接使用3D 列印來印出。 阻礙—3D 列印太輕，水缸浮力強，無法配重。
粉筆放置平台		利用木塊鑽孔，將粉筆直立於木塊上方。

### 2. 小型版

資料來源:作者編製

水缸		現成魚缸。(外徑300×200mm，內徑290×190mm) 省去漏水、水箱變形、無法承受水壓等困擾。
造浪裝置		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 零件製作： 雷切機製作雷切圓輪、線鋸機切割木棍。</li> <li>2. 動力源： 用 TT 馬達(直流減速馬達1:220)來轉動兩側圓輪，帶動連桿產生造浪運動。</li> <li>3. 搭配直流電源供應器，可調整電壓為3 V、4.5 V、6 V 造出不同的浪高。</li> </ol>

斜面 受浪平台		3D 列印平台，並在平台下方預留空間，黏合螺帽來配重，使平台可以直接下沉到水中。
粉筆 放置平台		透過3D 列印列印平台，將4支粉筆以2x2方式堆疊形成一個面。

### 3. 兩者比較

資料來源:作者編製

	大型版	小型版
製作方式	壓克力板黏合	現成魚缸
內徑長寬	1260 × 297 mm(A4大小×6片)	290 × 190 mm
造浪機動力	桌上型鑽床	TT 馬達+直流電源供應器
驅動方式	鑽床旋轉齒輪帶動活塞前後推動。	TT 馬達轉動圓輪帶動連桿產生造浪運動。
造浪模式	前後推進	弧形向上撥動
斜面平台材料	木材→3D 列印→壓克力	3D 列印
斜面角度	14.04 度(直角三角形高:底=1:4)	
粉筆放置方式	10支粉筆直立	4支粉筆橫向排列形成一個面

### 4. 大型版問題修正

資料來源:作者編製

	大型版難點	小型版改進
修正一 改變水缸	1. 水缸藉由壓克力板黏合，因人工製作，相對來說會有誤差。 2. 無法克服水壓，漏水導致實驗失敗。	成品的魚缸，四面平整，且不會有漏水問題，長期實驗也沒問題。
修正二 造浪方式	前後推進時，回推導致力量抵消。 運作方式阻力過大，導致做動不順暢。	弧形向上撥動，減少回推的力量。 改善做動不順、阻力過大問題。
修正三 驅動裝置 更改	1. 鑽床轉速過快，雖已使用齒輪減速，但速度還是很快，且扭力太大導致3D 列印的齒輪易損毀。 2. 鑽床長久運轉會有過熱問題，學校僅有兩臺，替換不易。	1. 因體積變小，可使用 TT 馬達當作驅動裝置，再加上直流電源供應器可藉由改變電壓來變化浪高。 2. TT 馬達數量多，且替換容易，耗電量也較小。
修正四 斜面平台	體積較大，導致浮力上升，平台很難沉水底。	體積較小，在平台下方用螺帽進行配重即可沉到水底。
修正五 粉筆擺放 方式	水缸寬度較寬，若是擺滿整個寬度，粉筆的消耗量太大，僅能直立擺放幾支，這樣設置比起海岸的牆壁，更像在測試橋梁的底柱，較不符合我們的設想情境。	水缸寬度較窄，可直接利用少量粉筆擺出一個平面，符合我們設想海岸情境。

資料來源:作者編製

## 5. 小型版缺點

(1)浪的沖刷效果較大型版的弱不少，導致粉筆變化量較小，需增加沖刷的時間較能觀察到明顯的變化。

(2)因魚缸為現有成品，長寬比無法自由變化，僅能調整其他條件已符合我們的需求。

### (四)海浪介紹

1. 海洋中的波浪主要分為風浪與湧浪兩種。所謂「無風不起浪」，海洋中的波浪一般是由風力所引起的，這種由當地的風所產生的，叫做風浪。「無風三尺浪」是指由其它海域傳來、或當地風力迅速減小、或風向改變後遺留下來的浪就叫做湧浪。

(成功大學近海水文中心 <https://reurl.cc/VYMqoN> )

2. 本實驗裝置設計接近長浪，而且本裝置底部並無地形破壞、海浪非常的圓滑規則，與垂直海岸線垂直，無其他雜亂方向的海浪。

項目	風浪	湧浪(長浪)
產生原因	當地風力所產生	其他海域傳來，或當地風力迅速減弱、風向改變後殘留的波浪
外形特徵	尖削，海面凌亂	圓滑、規則
波長與周期	波長短、周期短	波長長（可達數百米）、周期長
能量消耗	尚未經長距離傳播，能量較高（但也很容易消散）	傳播過程中受到空氣阻力與海水摩擦，能量逐漸消耗
傳播速度	較慢，與當地風向相關	傳播速度快，常快於天氣系統的移動速度
危險性	常見於風強時，視覺上較易察覺	即使風平浪靜也可能出現，對岸邊活動的人構成潛在威脅(瘋狗浪就是屬於異常的長浪)
與天氣的關聯	直接與當地風有關	可作為颱風或西南氣流等天氣系統來臨的先兆
到淺海時變化	影響相對較小	波底因受海底摩擦而停滯，波峰繼續前進，導致波高增加並破碎

### (三)實驗流程

資料來源:作者編製

#### 1. 實驗假設

(1)本實驗設計的造浪機只有一種海浪，假設所有浪都是(湧)長浪，而且與垂直海岸垂直。並不討論海浪側向或其他方向侵蝕、其他降水過程(逕流、起霧)其他侵蝕。

(2)本實驗利用粉筆取代岩石沖刷，把岩壁自然崩解所有過程，通通簡化為粉筆的酸鹼溶解過程及脫落過程。雖然這樣的反應很單一，卻可以很直觀的表達所有海浪的侵蝕作用的強弱。(粉筆侵蝕減少程度=減緩侵蝕效果=減浪效果)

(3)本實驗造浪機是使用3V~7.2V的減速直流馬達(TT馬達)搭配直流電源供應器。

適合馬達檔位有3V(風平浪靜)、4.5V(春天夏天)、6V(冬天、東北季風)，對應家鄉海浪變化情形。

## 2. 操作步驟

使用直流電源供應器穩定供電，讓造浪機持續運作，人工浪不斷沖刷斜面平台。模擬不同海浪情境，透過電壓調整改變海浪大小，針對不同變因去觀察減緩海浪效果。

- (1)不同形狀消波塊對海浪的減緩效果：找出最佳的消波塊或找出各自的功用
- (2)旋轉擺放角度對海浪的減緩效果：找出消波塊形狀上對於減浪的意義
- (3)調整離岸位置對海浪的減緩效果：了解海水高度(潮汐)對於減浪的影響
- (4)增加消波塊排數對海浪的減緩效果：在成本及效益的考量找出效果最好的排數
- (5)綜合前四種進行討論：找出最適合家鄉的消波塊排列方式

## 3. 電壓對浪高的影響

### ●測量海浪侵蝕方式

本使用紀錄浪高方式作為海邊侵蝕力道數據，但消波塊會讓海浪產生形狀變化。

故開發了兩個方法能夠更客觀的分析海邊侵蝕狀況。

(1)方式一(鐵尺-錄影法):能夠找出真實情境中海浪家鄉氣候與本實驗的關係。

(2)方式二(粉筆侵蝕法):能夠客觀紀錄侵蝕狀況，也能記錄時間的影響。

方式一 鐵尺-錄影法	將鐵尺置於魚缸外，透過高速錄影紀錄，觀察不同情況下，浪高的變化。 在沒有使用消波塊時，可直觀測出海浪高度，便於計算出真實情境中海浪的比例。 但在使用消波塊消浪後海浪會變形，故無法精確的測量出浪高的變化。
方式二 粉筆侵蝕法	將粉筆置於平台上，透過人造浪不斷沖刷，定期測量粉筆重量變化，為避免手指接出粉筆產生誤差，需連同粉筆放置架一起測重。 此方式為測量有消波塊時，海浪受消波塊作用變形。故改以此方式測量能夠客觀紀錄侵蝕的狀況，也能記錄時間的影響。

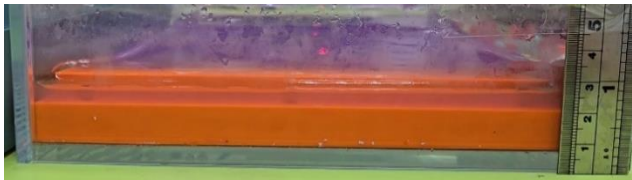


資料來源:作者編製



●找尋造浪機的波浪與家鄉真實情境的關係

使用直流電源供應器輸出3種電壓，分別來模擬三種不同的浪高。

實驗時海平面為 17 mm ( $25 - 8 = 17$  mm 扣掉底部玻璃厚度)進行測量：

電壓	浪況	描述	浪高 (浪高-海平面)	實拍圖
3V	微浪	模擬風平浪靜	$28 - 25 = 3$ mm (鐵尺刻度)	
4.5V	小浪	模擬春天夏天	$31 - 25 = 6$ mm (鐵尺刻度)	
6V	大浪	模擬冬天 ( $\frac{10}{6} = 1.8 \div 2$ )	$35 - 25 = 10$ mm (鐵尺刻度)	

浮標每月波高統計表(2010-2024)

測站資訊-位於：墾江無南平座 經度：120.51 緯度：26.35

月份	觀測次數	最大示性波高				平均示性波高	平均週期
		波高 (公尺)	尖峰週期 (秒)	波向 (度)	發生時間 (年/月/日)	(公尺)	秒
1	7697	6.0	8.9	45	2017/01/30	2.1	5.5
2	7029	6.3	8.5	45	2013/02/08	2.0	5.6
3	8016	6.0	8.8	56	2016/03/09	1.6	5.4
4	8109	5.0	8.6	56	2015/04/07	1.3	5.3
5	9174	4.5	8.3	33	2016/05/16	1.2	5.1
6	9177	3.9	11.1	112	2023/06/01	1.2	4.8
7	9539	11.3	11.6	281	2013/07/13	1.3	4.8
8	10243	12.8	13.1	135	2015/08/08	1.3	5.1
9	9959	10.6	13.1	-	2016/09/28	1.6	5.4
10	10294	9.1	15.1	202	2013/10/06	2.2	5.7
11	9928	5.9	10.4	45	2022/11/30	2.0	5.5
12	9205	6.6	9.8	45	2020/12/30	2.3	5.7



上圖為交通部中央氣象署2010~2024年的每月海浪平均高度。

本實驗利用的是平均示性波高，最能代表家鄉每個月分真實海浪情形。

(最大示性波高會受到極端天氣影響，例如：颱風、寒潮)

由上圖觀察夏天(7月)的平均示性波高為 1.3 m，冬天(12月)的平均示性波高為 2.3 m。

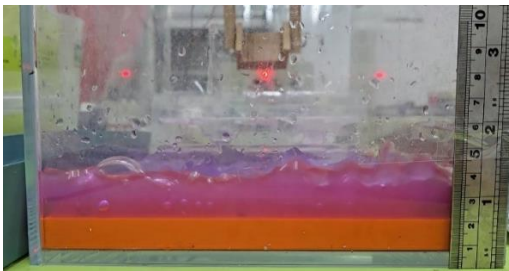

$2.3/1.3$  大約等於 2 可知冬天的浪高大約為夏天的兩倍。

對應本實驗 6 V 浪高 10 mm，4.5 V 浪高 6 mm； $10 / 6$ 大約為 2 倍，恰好對應假設。

資料來源:圖表照片由作者編製拍攝

#### 4. 消波塊減緩人造浪的效果

實驗時海平面為 17 mm ( $25 - 8 = 17$  mm 扣掉底部玻璃厚度)進行測量：

無放置消波塊	只放置一排消波塊
浪高 40 mm (鐵尺刻度)	浪高 35 mm (鐵尺刻度)
	

由上圖可知：使用方式一(鐵尺-錄影法)看出消波塊對人工浪有明顯的減浪效果。

同時也發現使用消波塊後海浪的形狀會有明顯變化，不容易客觀測量。

實驗時，發現高速錄影測量浪高不夠精確、客觀，也難以詳細表達侵蝕的時間變化。

故後續實驗採用方式二(粉筆侵蝕法)可以更具體的描述海浪對不同情況的消波塊侵蝕影響。

同時能記錄沖刷時間對於岸邊水土的情形，也能在數據的分析上更貼近現實。

資料來源：作者拍攝編製

#### 5. 粉筆實驗前處理

粉筆會吸水、發生反應，為了排除粉筆泡水重量會增加，或粉筆與水發生反應，導致實驗誤差過大無法進行。因此決定先將粉筆泡水至重量穩定後，再進行實驗。

粉筆泡水(每支粉筆 10~11g，一次泡 4 支)							
時間(分)	0	5	10	15	20	25	30
第一組(g)	42.08	42.3	43.22	43.87	44.9	44.54	44.52
第二組(g)	41.48	42.3	42.87	43.53	44.14	44.07	44.05
第三組(g)	41.63	42.16	42.96	43.76	44.6	44.52	44.48
第四組(g)	41.2	41.69	42.33	43.13	43.85	43.72	43.68
第五組(g)	41.33	42.24	42.77	43.34	44.03	44.11	44.04

上圖為粉筆泡水重量與時間的關係圖

1. 本實驗將四支粉筆測量重量後泡水，每 5 分鐘記錄一次重量變化，連續紀錄 30 分鐘。
2. 發現在 20 分鐘重量增加到最大值；25 分鐘紀錄重量開始下降，粉筆表面有脫落情形；30 分鐘時重量趨於穩定。

推論：粉筆泡水 25 分重量趨於穩定，故後續實驗均先將粉筆浸泡 25 分後開始後續實驗。

#### 6. 環境設定



固定項目	環境溫度	測試水位高度	造浪機位置
條件設定	18°C (開冷氣恆溫)	20 mm (重新設定)	固定於魚缸最後方
備註	將溫度固定避免水體積變化。	不考慮魚缸底部	降低造浪板干擾實驗。

資料來源：作者編製

## 7. 五種變因排列方式

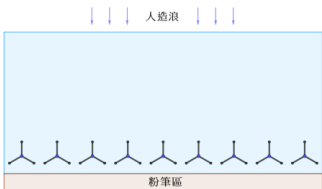
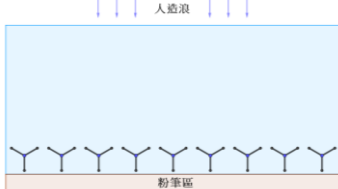
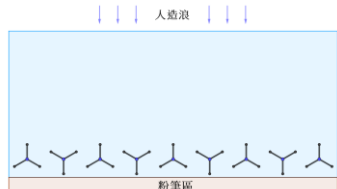
### (1)三種不同形狀消波塊

資料來源:作者拍攝編製

名稱	林克塊	圓形菱形塊	六角菱形塊
實際3D 列印			
示意圖	<p>實驗編號-(1)A、無消波塊(空白實驗)</p> <p>本實驗設定:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 消波塊面向固定方向固定。</li> <li>2. 消波塊只有一排。</li> <li>3. 消波塊水平間距 1 mm。</li> <li>4. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。</li> <li>5. 用粉筆侵蝕法實驗。</li> </ol> <p>※目的:不同消波塊對海浪影響。</p>		

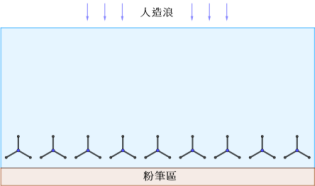
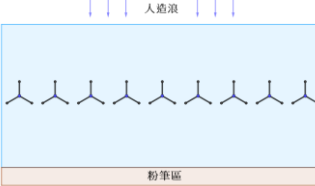
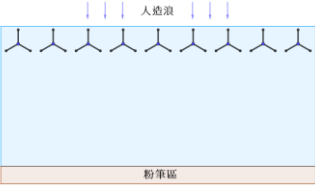
經實驗發現因林克塊效果最好，所以我們決定後續實驗皆使用林克塊進行。

### (2)旋轉擺放的角度對減緩侵蝕(減浪)效果

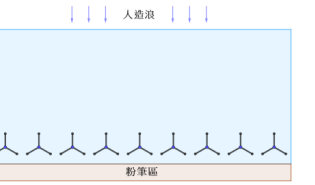
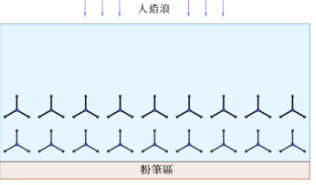
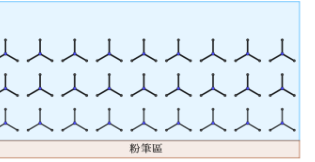
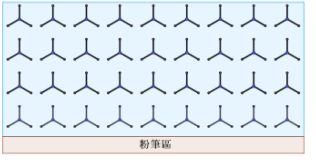
實驗編號	(2)A-正放	(2)B-逆放	(2)C-交錯放置
示意圖			
實驗說明	<p>實驗編號:(2)A、(2)B、(2)C 實驗設定</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 利用林克塊旋轉擺放角度:正放、逆放、交錯放置。</li> <li>2. 消波塊只有一排。</li> <li>3. 消波塊水平間距 1 mm。</li> <li>4. 3~6 V 測量侵蝕情形。</li> <li>5. 用粉筆侵蝕法實驗。</li> </ol> <p>※目的:比較不同排列對於海浪影響。</p>		

資料來源:作者編製

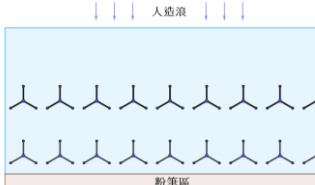
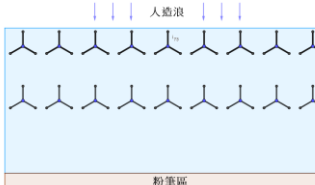
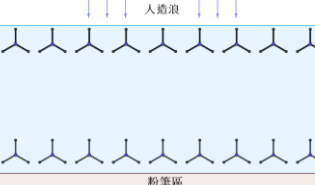
(3)調整離岸的位置對減緩侵蝕(減浪)效果

實驗編號	(3)A 同(2)A-離岸最近	(3)B-離岸中間	(3)C-離岸最遠
示意圖			
實驗說明	實驗編號:(3)A、(3)B、(3)C 實驗設定 1. 利用林克塊調整離岸位置: 離岸最近(整顆裸露)、次之(淹至消波塊中心位置)、最遠(僅剩頂部突出處)。 2. 消波塊只有一排。 3. 消波塊水平間距1 mm。 4. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。 5. 用粉筆侵蝕法實驗。 ※目的:消波塊被海平面淹沒程度對海浪影響。		

(4)增加消波塊的排數對減緩侵蝕(減浪)效果

實驗編號	(4)A 同(2)A	(4)B	實驗說明
示意圖			實驗編號: (4)A、(4)B、(4)C、4(D) 實驗設定 1. 利用林克塊改變排數。 2. 消波塊水平間距 1 mm。 3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。 4. 用粉筆侵蝕法實驗。 ※目的:排數增加與海浪影響。
實驗編號	(4)C	(4)D	
示意圖			

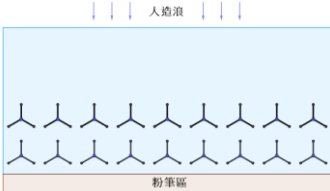
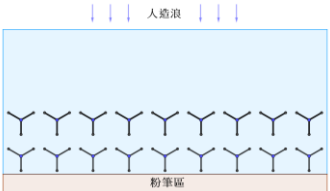
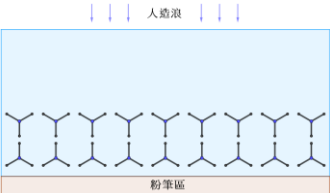
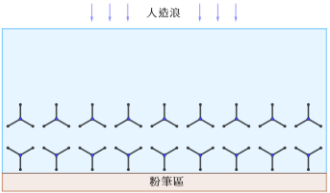
(5)綜合討論—兩排同方向不同位置對減緩侵蝕(減浪)效果

實驗編號	(5)A	(5)B	(5)C
示意圖			
實驗說明	實驗編號:(5)A、(5)B、(5)C 實驗設定 1. 利用林克塊排兩排並改變與海水的相對位置。 2. 消波塊水平間距 1 mm。 3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。 4. 用粉筆侵蝕法實驗。 ※目的:雙排消波塊與海水相對位置分布位置改變對於海浪影響。		

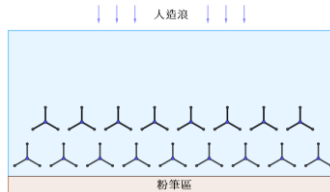
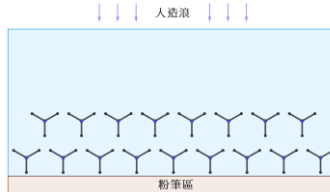
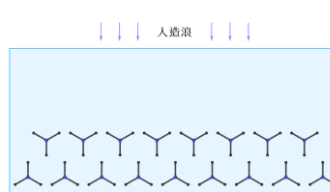
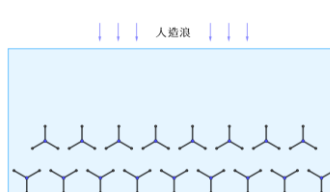
經實驗發現因兩排靠近岸邊效果最好,所以我們決定後續實驗皆使用此排列進行。



(6)綜合討論—兩排不同方向同位置，不交錯對減緩侵蝕(減浪)效果

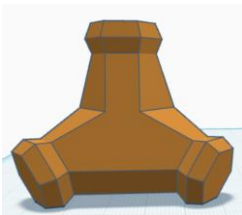
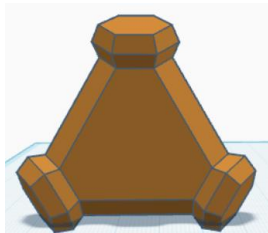
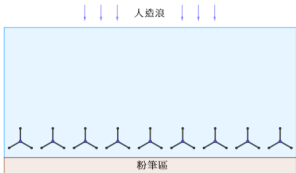
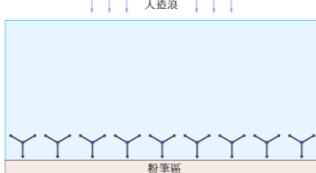
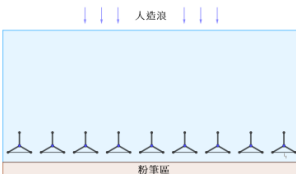
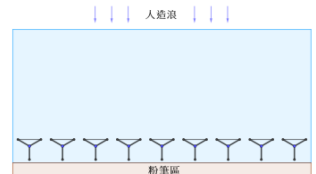
實驗編號	(6)A 同(4)B	(6)B	實驗說明
示意圖			<p>實驗編號： (6)A、(6)B、(6)C、(6)D</p> <p>實驗設定</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 林克塊兩排不同旋轉角度。</li> <li>2. 消波塊水平間距 1 mm。</li> <li>3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。</li> <li>4. 用粉筆侵蝕法實驗。</li> </ol> <p>※目的：</p> <p>雙排旋轉角度對海浪影響。</p>
實驗編號	(6)C	(6)D	
示意圖			

(7)綜合討論—兩排不同方向同位置，交錯對減緩侵蝕(減浪)效果

實驗編號	(7)A	(7)B	實驗說明
示意圖			<p>實驗編號： (7)A、(7)B、(7)C、(7)D</p> <p>實驗設定</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 林克塊兩排改變排列(交錯)。</li> <li>2. 消波塊水平間距 1 mm。</li> <li>3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。</li> <li>4. 用粉筆侵蝕法實驗。</li> </ol> <p>※目的：</p> <p>雙排交錯與否對海浪影響。</p>
實驗編號	(7)C	(7)D	
示意圖			

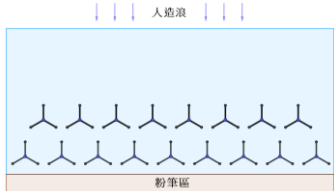
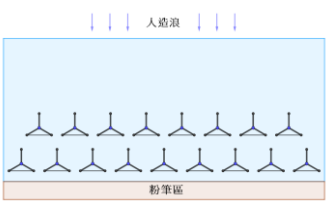
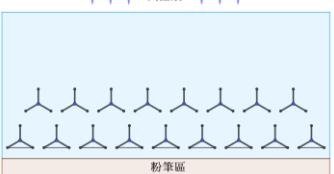
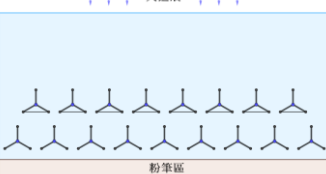
資料來源：圖表 (3)至(7)皆由作者編製

(8)綜合討論—林克塊底面方向是否對與減緩侵蝕(減浪)效果

林克塊側面		林克塊底面	
			
形狀差異			
1. 由於林克塊相較於另外兩種菱形塊(圓形、六角)消波塊的形狀上不太相同。			
2. 形狀上在底面多了一個三角形。			
實驗編號	(8)A 同(2)A	(8)B 同(2)B	實驗說明
示意圖			實驗編號： (8)A、(8)B、(8)C、(8)D 實驗設定 1. 將林克塊改變底面位置。 2. 消波塊只有一排。 3. 消波塊水平間距1 mm。 4. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形 5. 用粉筆侵蝕法實驗。 ※目的： 了解林克塊底面形狀對海浪的意義。
實驗編號	(8)C	(8)D	
示意圖	 直線部分為底面方向	 直線部分為底面方向	

資料來源:作者編製

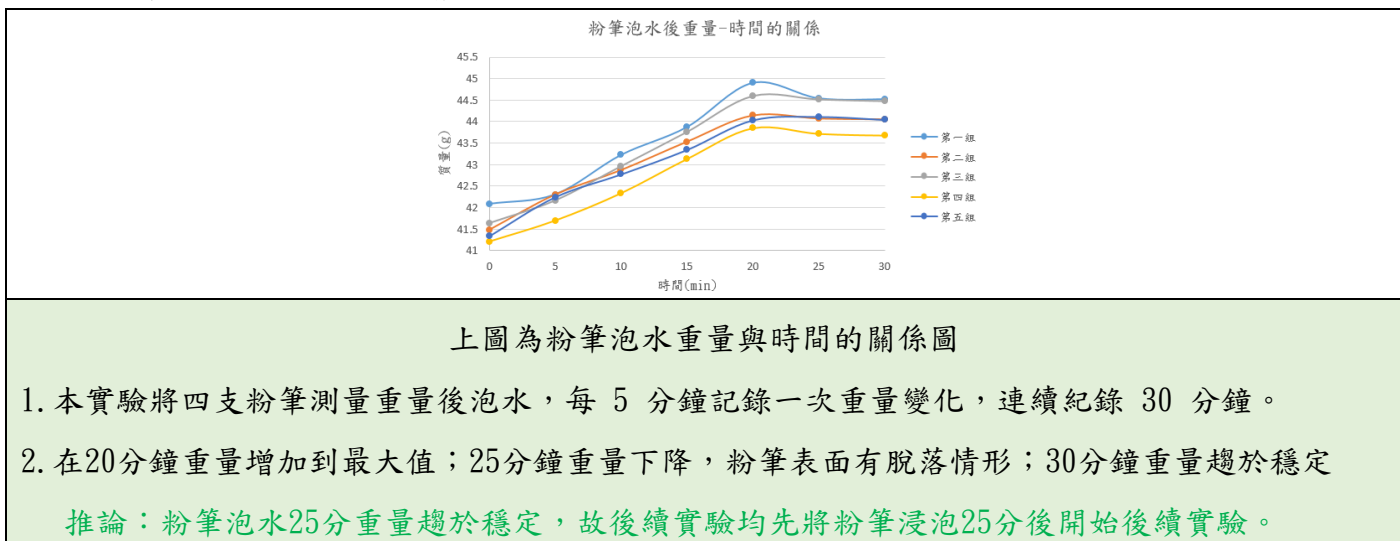
(9)綜合討論—雙排最佳解

實驗編號	(9)A 同(7)A	(9)B	實驗說明
示意圖		 直線部分為底面方向	<p>實驗編號： (9)A、(9)B、(9)C、(9)D</p> <p>實驗設定</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 林克塊底面朝後，並交錯排列。</li> <li>2. 消波塊水平間距 1 mm。</li> <li>3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形</li> <li>4. 用粉筆侵蝕法實驗。</li> </ol> <p>※目的：</p> <p>形狀最佳：林克塊</p> <p>效益最佳：雙排</p> <p>排列最佳：靠岸交錯</p> <p>整合以上實驗，希望找出減浪效果最佳解。</p>
實驗編號	(9)C	(9)D	
示意圖	 直線部分為底面方向	 直線部分為底面方向	

資料來源:作者編製

## 伍、研究結果

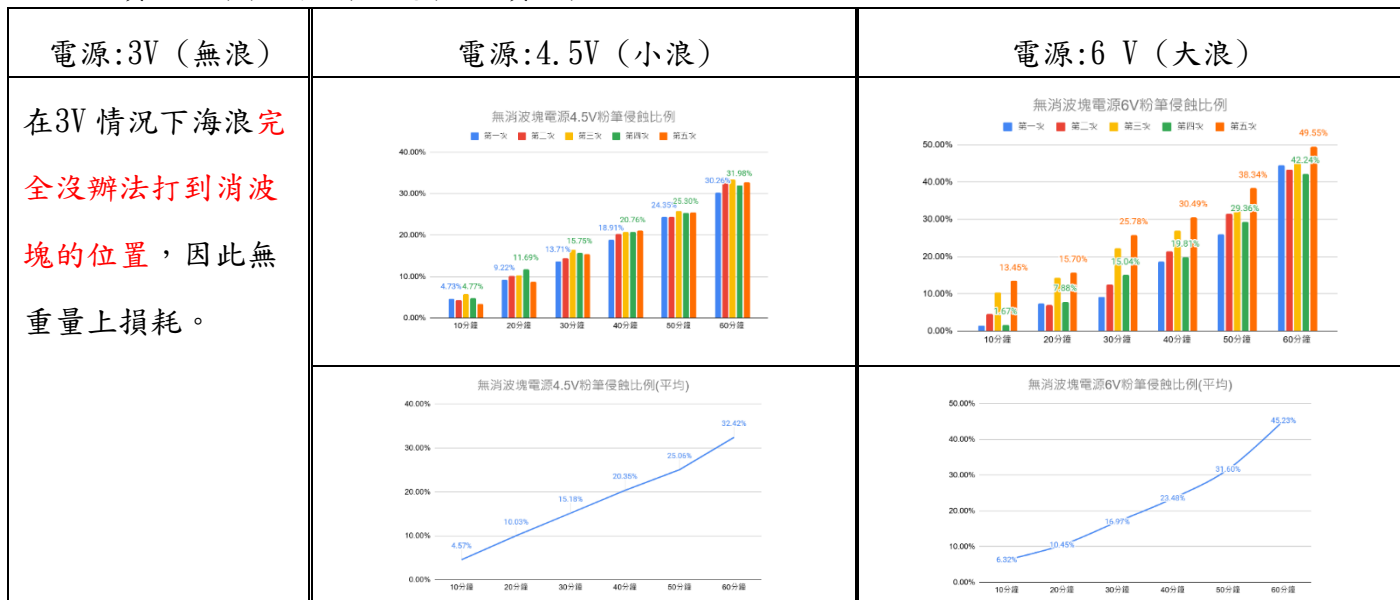
### 前置：粉筆泡水的重量變化影響



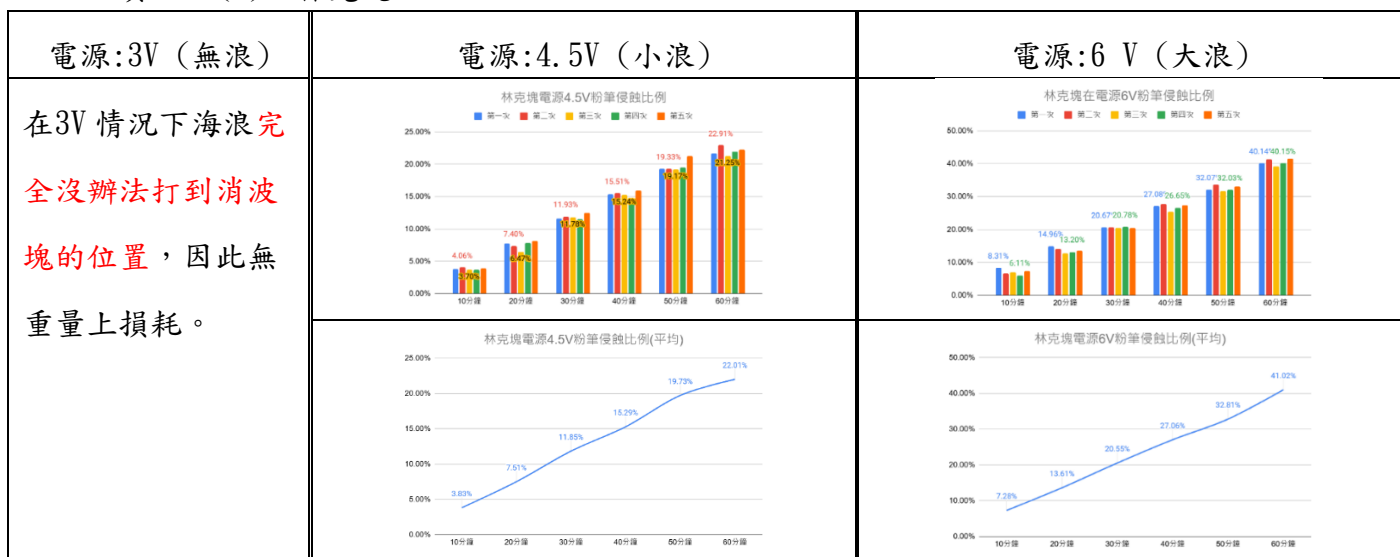
資料來源：圖表由作者編製

### 一、比較無消波塊(空白實驗)、不同消波塊對減緩侵蝕(減浪)效果

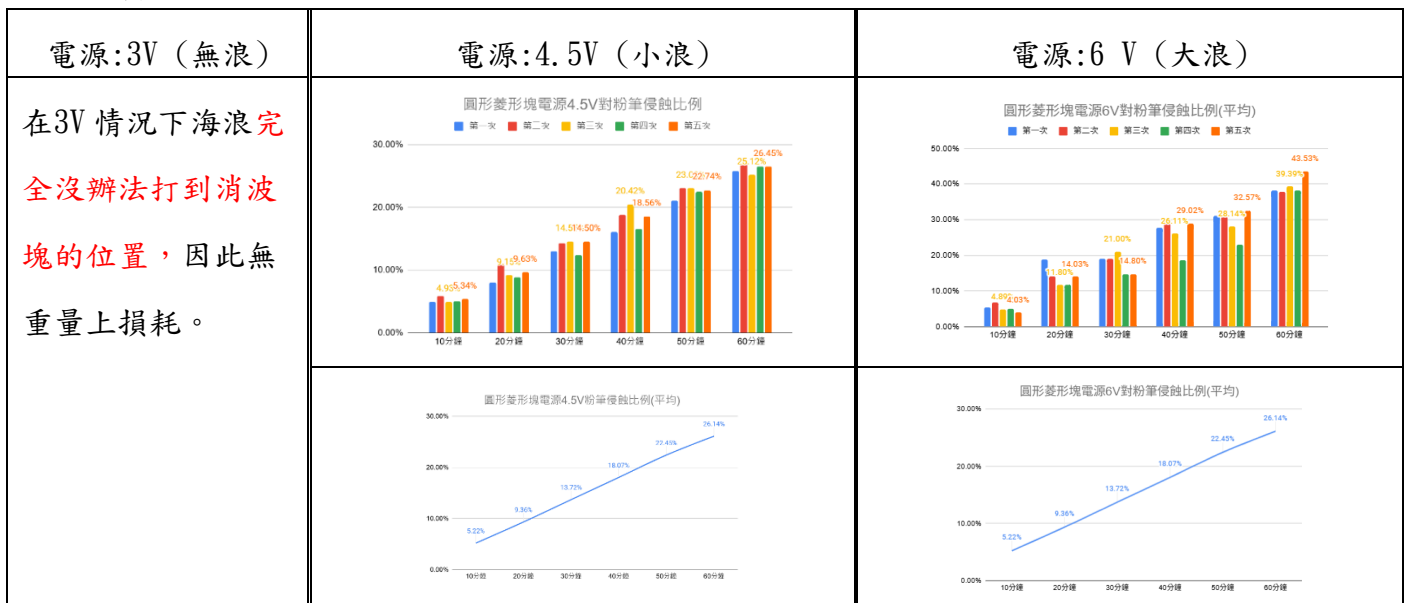
#### 1. 實驗一(1)A-無消波塊(空白實驗)



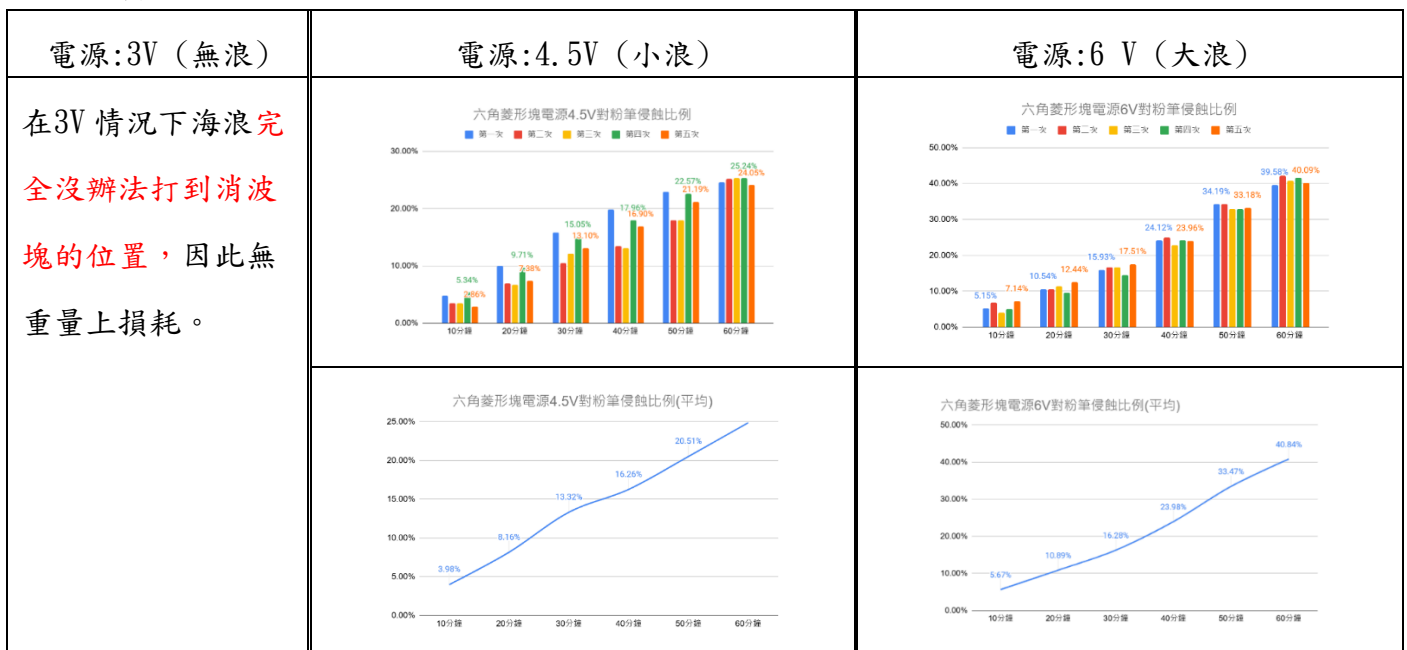
#### 2. 實驗一(1)A-林克塊



### 3. 實驗一(1)A-圓形菱形塊



### 4. 實驗一(1)A-六角菱形塊



資料來源:實驗一圖表1至4由作者編製

### 比較無消波塊(空白實驗)、不同消波塊對減緩侵蝕(減浪)效果

電源 4.5V	0分	10分	20分	30分	40分	50分	60分
無消波塊(平均)	0	4.57%	10.03%	15.18%	20.35%	25.06%	32.42%
林克塊(平均)	0	3.83%	7.51%	11.85%	15.29%	19.73%	22.01%
圓形菱形塊(平均)	0	5.22%	9.36%	13.72%	18.07%	22.45%	26.14%
六角菱形塊(平均)	0	3.98%	8.16%	13.32%	16.26%	20.51%	24.87%

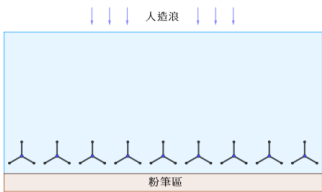
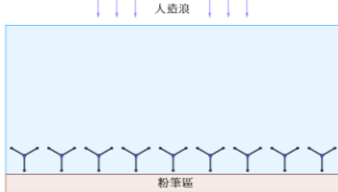
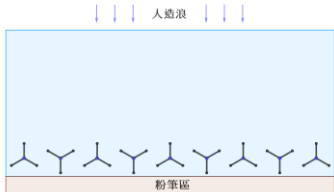
電源 6V	0	10分	20分	30分	40分	50分	60分
無消波塊(平均)	0	6.32%	10.45%	16.97%	23.48%	31.60%	45.23%
林克塊(平均)	0	7.28%	13.61%	20.55%	27.06%	32.81%	41.02%
圓形菱形塊(平均)	0	5.22%	14.12%	17.74%	26.29%	29.12%	39.38%
六角菱形塊(平均)	0	5.67%	10.89%	16.28%	23.98%	33.47%	40.84%

- 在小浪(4.5V)情況下，**林克塊效果**最好。  
4.5V 效果:林克塊>六角菱形塊>圓形菱形塊>無消波塊。
- 在大浪(6V)情況下，各消波塊差異不大，推測是做實驗時浪都直接淹沒整體。  
6V 效果:林克塊=圓形菱形塊=六角菱形塊>無消波塊

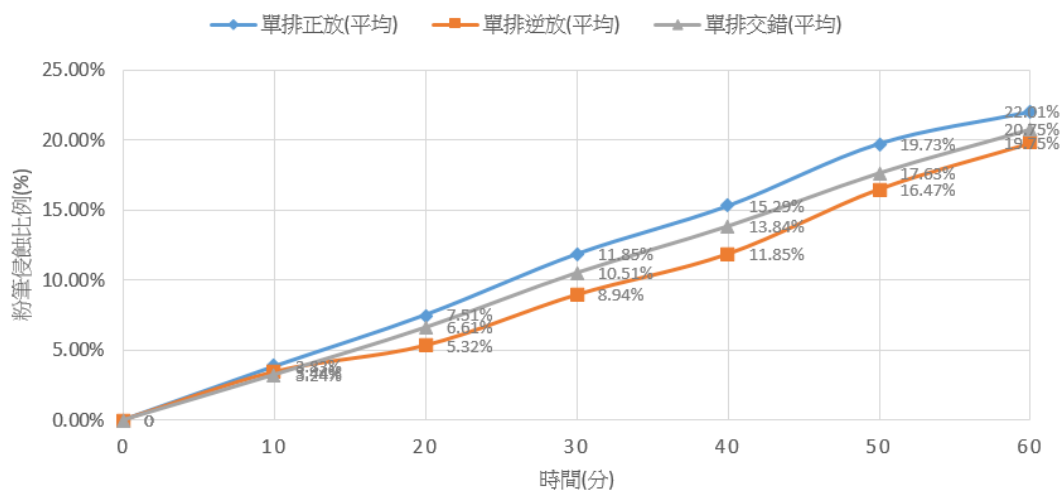
資料來源:作者編製



## 二、單排林克塊旋轉角度對減緩侵蝕(減浪)效果

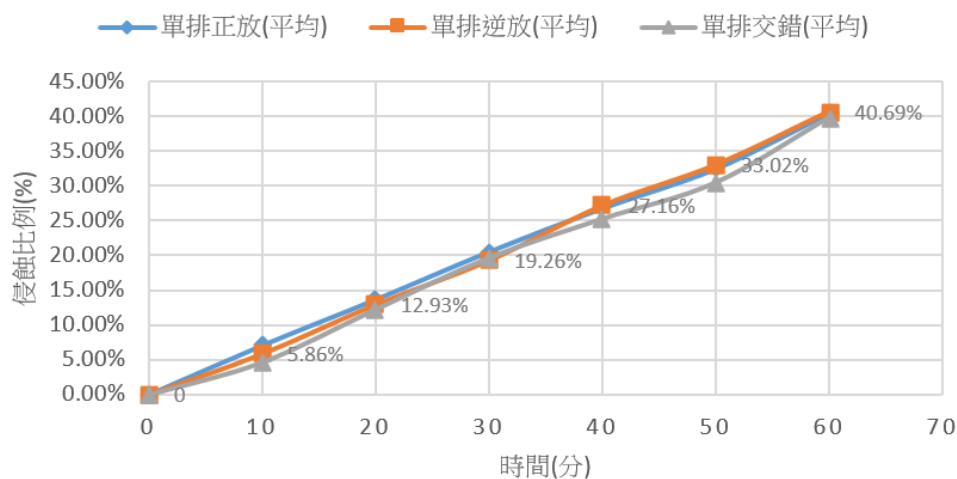
實驗編號	(2)A-正放	(2)B-逆放	(2)C-交錯放置
示意圖			
實驗說明	實驗編號:(2)A、(2)B、(2)C 實驗設定 1. 利用林克塊旋轉擺放角度：正放、逆放、交錯放置。 2. 消波塊只有一排。 3. 消波塊水平間距 1 mm。 4. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。 5. 使用方式二(粉筆侵蝕法)實驗。 ※目的:比較不同排列對於海浪影響。		

旋轉角度在4.5V下對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：B(逆放) > C(交錯) > A(正放)

旋轉角度在6V下對粉筆侵蝕影響



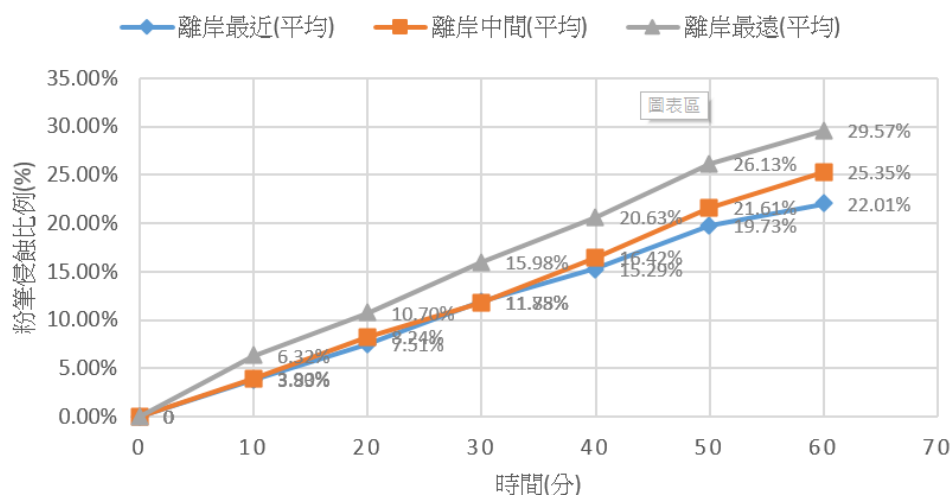
減浪效果比較：A(正放) = B(逆放) = C(交錯)

資料來源:作者編製

### 三、調整離岸的位置對減緩侵蝕(減浪)效果

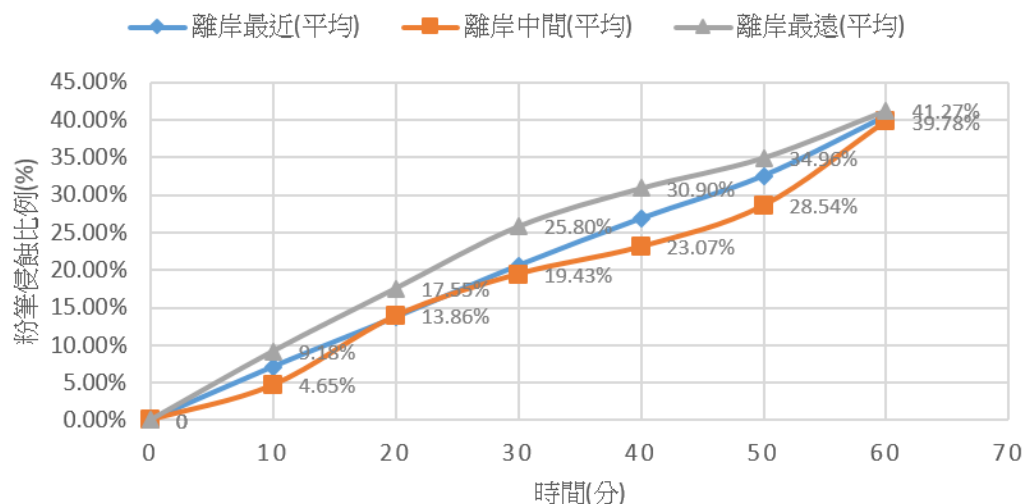
實驗編號	(3)A 同(2)-離岸最近	(3)B-離岸中間	(3)C-離岸最遠
示意圖			
實驗說明	<p>實驗編號(3)A、(3)B、(3)C 實驗設定</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>利用林克塊調整離岸位置： 離岸最近(整顆裸露)、次之(淹至消波塊中心位置)、最遠(僅剩頂部突出處)。</li> <li>消波塊只有一排、消波塊水平間距1 mm。</li> <li>電壓3~6 V 測量侵蝕情形。</li> <li>使用方式二(粉筆侵蝕法)實驗。</li> </ol> <p>※目的：消波塊被海平面淹沒程度對海浪影響。</p>		

離岸位置在4.5V下對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：B>C>A

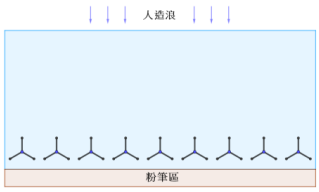
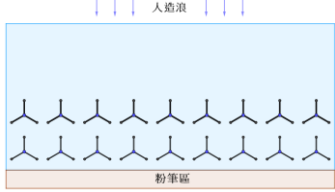
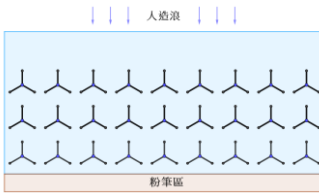
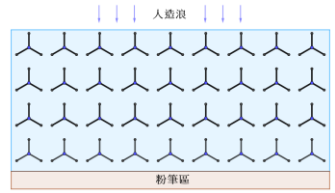
離岸位置在6V下對粉筆侵蝕影響



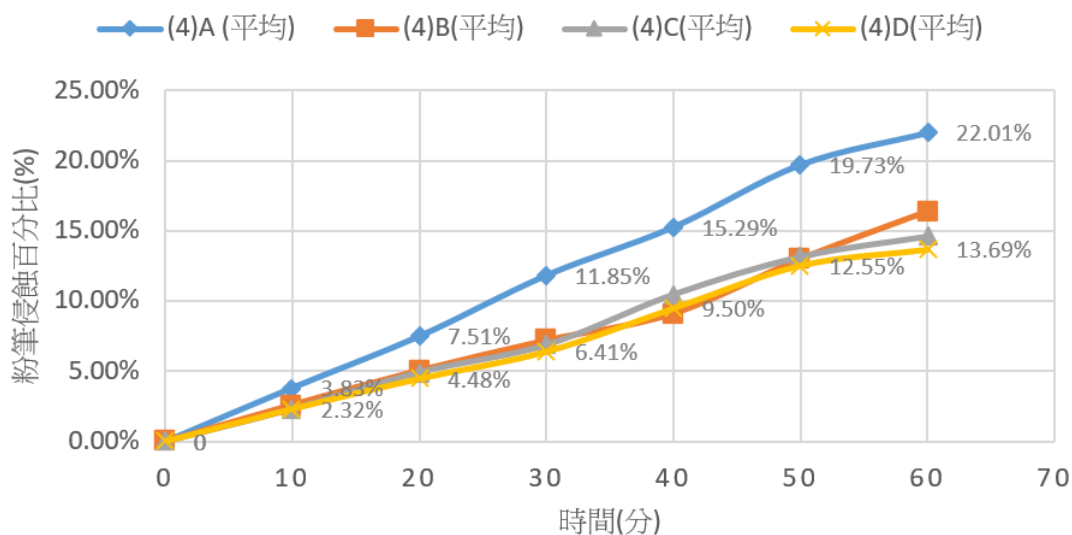
減浪效果比較：A=B=C

資料來源：圖表由作者編製

#### 四、增加消波塊的排數對減緩侵蝕(減浪)效果

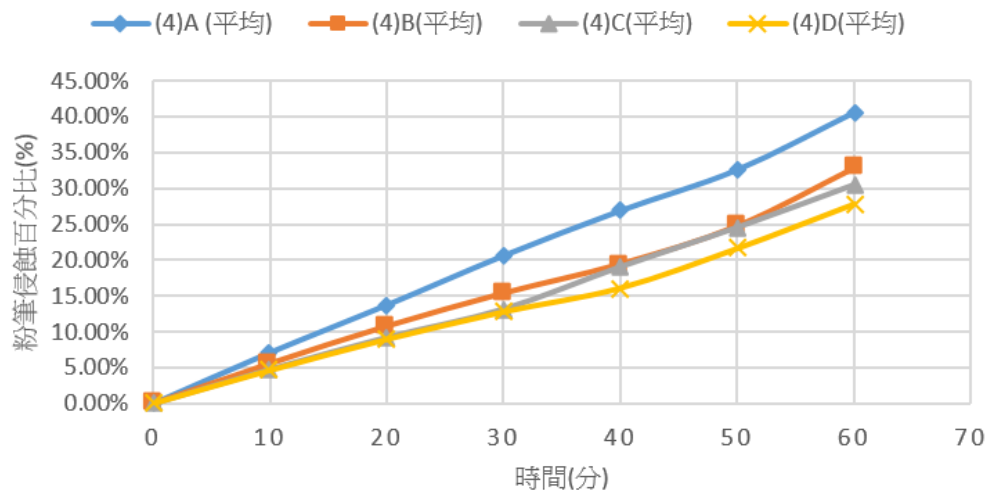
實驗編號	(4)A 同(3)A	(4)B	實驗說明
示意圖			<b>實驗編號：</b> (4)A、(4)B、(4)C、4(D) <b>實驗設定</b> 1. 利用林克塊改變排數。 2. 消波塊水平間距 1 mm。 3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。 4. 用粉筆侵蝕法實驗。 <b>※目的：排數增加與海浪影響。</b>
實驗編號	(4)C	(4)D	
示意圖			

#### 排數增加在4.5V對粉筆侵蝕比例影響



減浪效果比較：D>C>B>A

#### 排數增加在6V對粉筆侵蝕比例影響



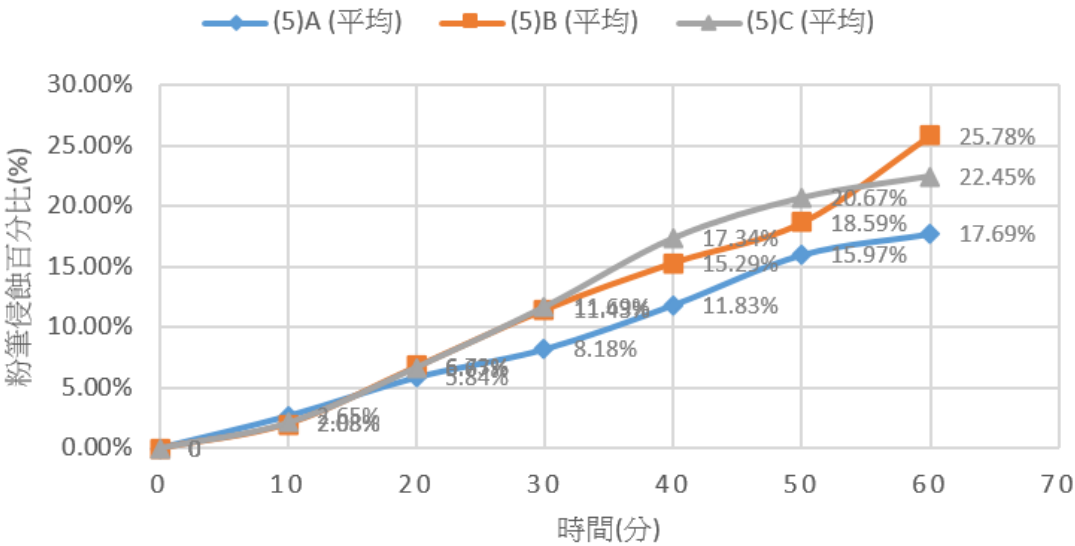
減浪效果比較：D>C>B>A

資料來源：圖表由作者編製

五、討論雙排消波塊位置變化對減緩侵蝕(減浪)效果

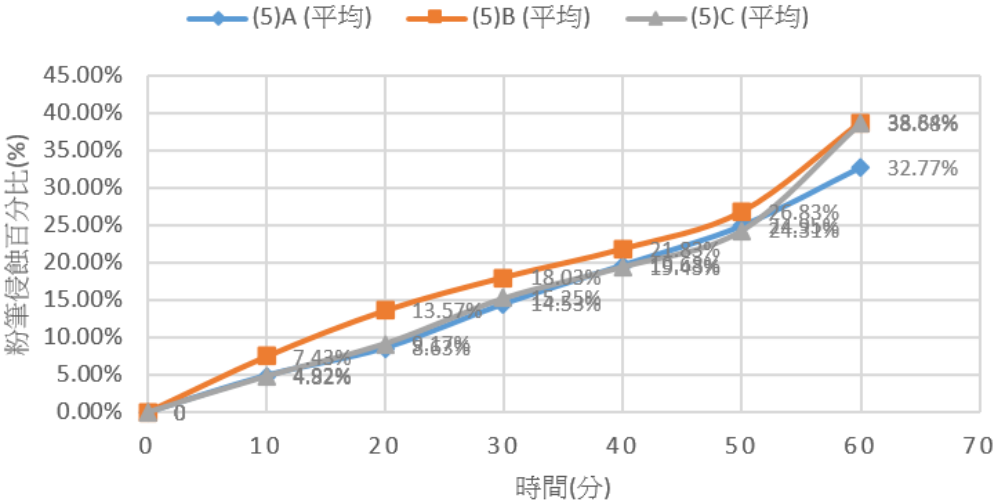
實驗編號	(5)A	(5)B	(5)C
示意圖			
實驗說明	<p>實驗編號:(5)A、(5)B、(5)C 實驗設定</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 利用林克塊排兩排並改變與海水的相對位置。</li><li>2. 消波塊水平間距 1 mm。</li><li>3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。</li><li>4. 使用方式二(粉筆侵蝕法)實驗。</li></ol> <p>※目的:雙排消波塊與海水相對位置分布位置改變對於海浪影響。</p>		

雙排位置變化在4.5V對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：A>C>B

雙排位置變化在6V對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：A>C>B

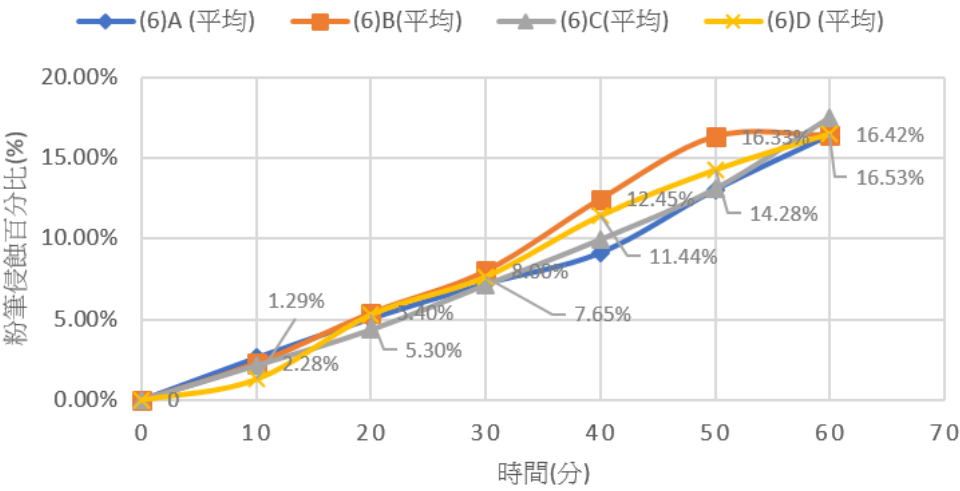
資料來源:圖表由作者編製



六、綜合討論—兩排消波塊不同方向同位置，不交錯 對減緩侵蝕(減浪)效果

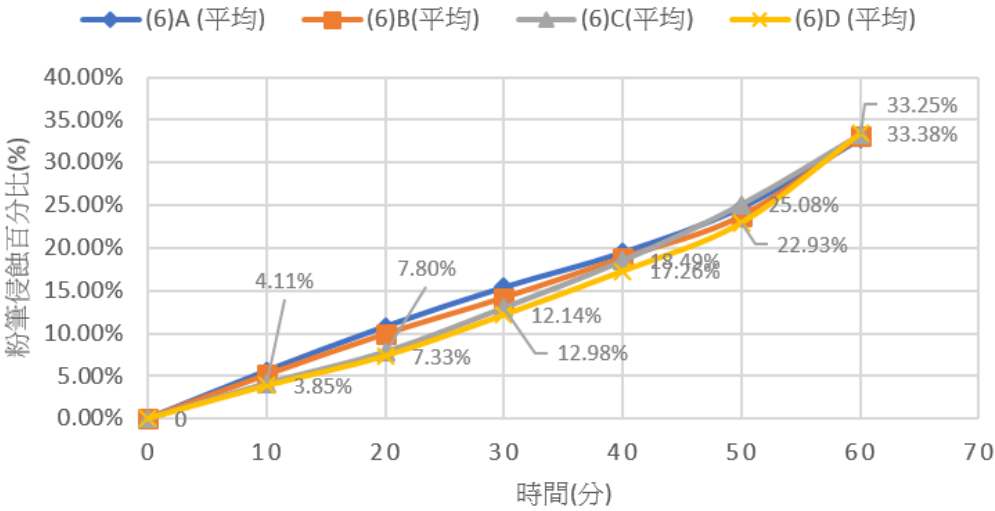
實驗編號	(6)A 同(4)B	(6)B	實驗說明
示意圖			<p>實驗編號： (6)A、(6)B、(6)C、(6)D</p> <p>實驗設定</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 林克塊兩排不同旋轉角度。</li><li>2. 消波塊水平間距 1 mm。</li><li>3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。</li><li>4. 用方式二(粉筆侵蝕法)實驗。</li></ol> <p>※目的：</p> <p>雙排旋轉角度對海浪影響。</p>
實驗編號	(6)C	(6)D	
示意圖			

雙排旋轉角度4.5V對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：A=B=C=D

雙排旋轉角度6V對粉筆侵蝕影響



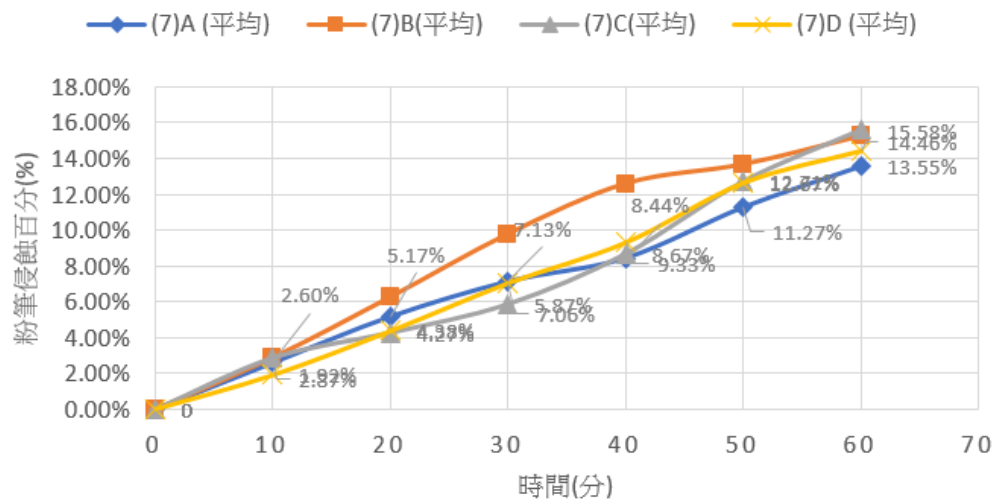
減浪效果比較：A=B=C=D

資料來源：圖表由作者編製

七、綜合討論—兩排消波塊不同方向同位置，交錯 對減緩侵蝕(減浪)效果

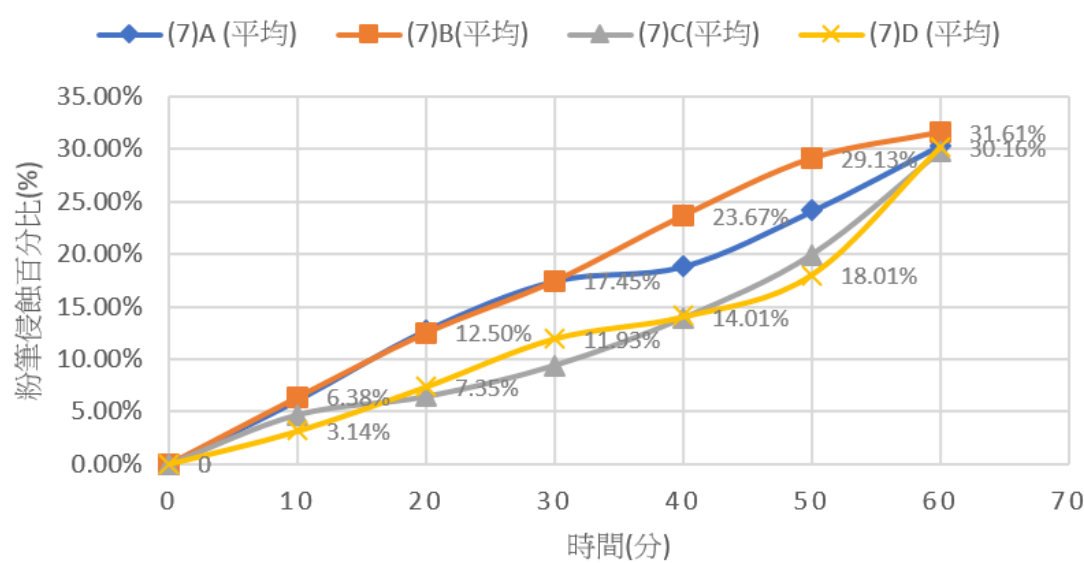
實驗編號	(7)A	(7)B	實驗說明
示意圖			實驗編號： (7)A、(7)B、(7)C、(7)D 實驗設定 1. 林克塊兩排改變排列(交錯)。 2. 消波塊水平間距 1 mm。 3. 電壓3~6 V 測量侵蝕情形。 4. 用方式二(粉筆侵蝕法)實驗
實驗編號	(7)C	(7)D	
示意圖			※目的： 雙排交錯與否對海浪影響。

雙排位置變換4.5V對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：A>D>B>C

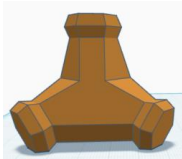
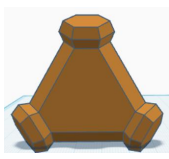
雙排位置變換6V對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：A>D>B>C

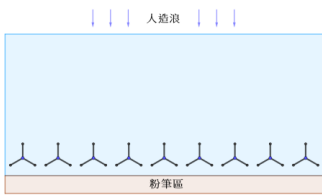
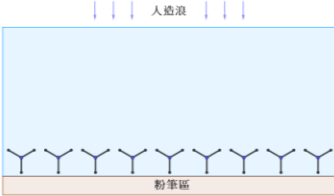
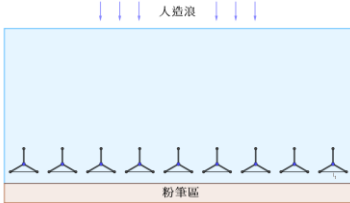
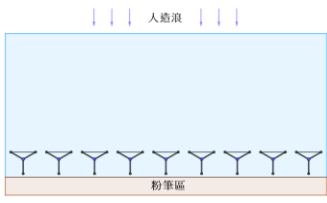
資料來源:圖表由作者編製

## 八、綜合討論—林克塊底面方向是否對與減緩侵蝕(減浪)效果

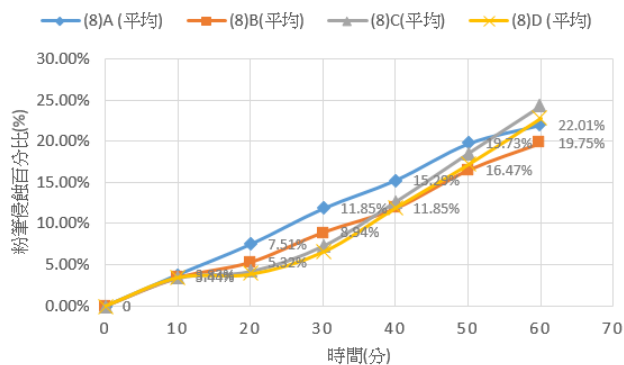
林克塊側面	林克塊底面
	

兩者差異：

1. 由於林克塊相較於另外兩種菱形塊(圓形、六角)消波塊的形狀上不太相同。
2. 形狀上在底面多了一個三角形。

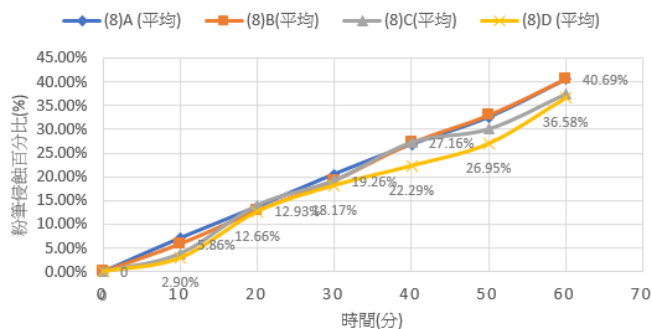
實驗編號	(8)A 同(2)A	(8)B 同(2)B	實驗說明
示意圖			<p>實驗編號： (8)A、(8)B、(8)C、(8)D</p> <p>實驗設定</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將林克塊改變底面位置。</li> <li>2. 消波塊水平間距1 mm。</li> <li>3. 電壓變化測量侵蝕情形。</li> <li>4. 用方式二(粉筆侵蝕法)。</li> </ol> <p>※目的：</p> <p>了解林克塊底面形狀對海浪的意義。</p>
實驗編號	(8)C	(8)D	
示意圖			

底面方向變化4.5V對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：B>A>D>C

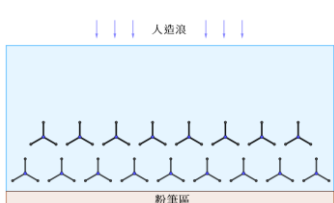
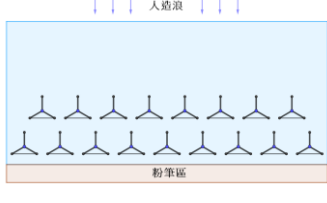
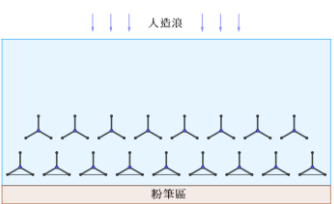
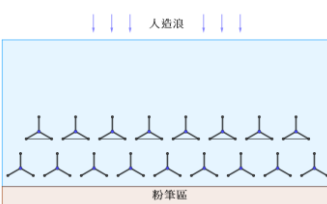
底面方向變化6V對粉筆侵蝕影響



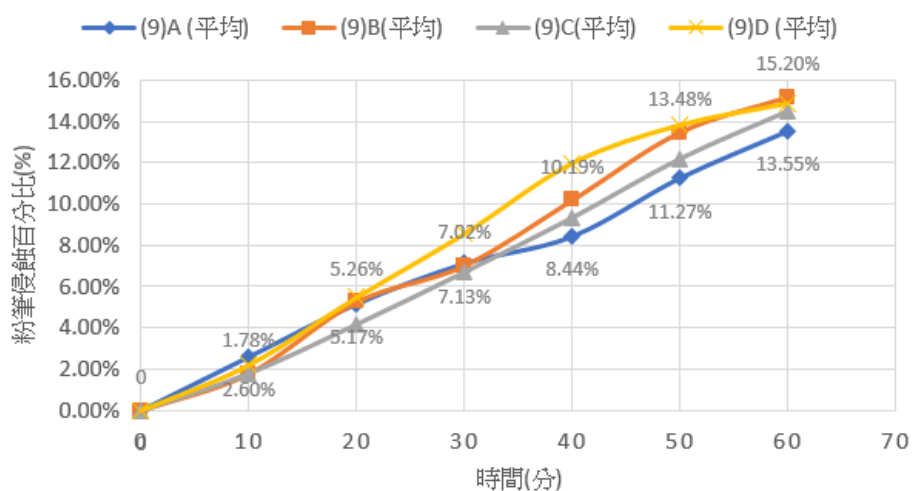
減浪效果比較：D>C>A=B

資料來源：圖表由作者編製

## 九、綜合討論—雙排最佳解

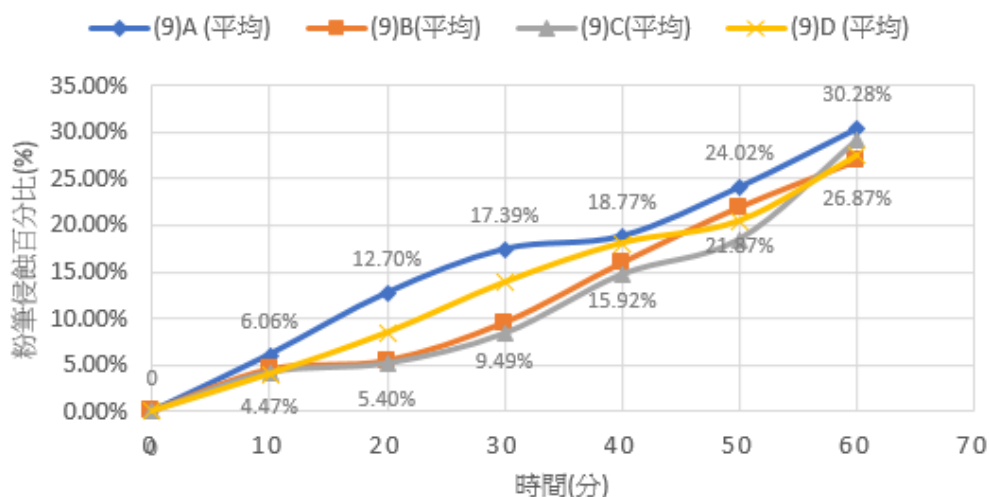
實驗編號	(9)A 同(7)A	(9)B	實驗說明
示意圖			<b>實驗編號：</b> (9)A、(9)B、(9)C、(9)D <b>實驗設定</b> 1. 林克塊底面朝後，並交錯排列。 2. 消波塊水平間距 1 mm。 3. 電壓變化測量侵蝕情形。 4. 用方式二(粉筆侵蝕法)。 <b>※目的：</b> 形狀最佳：林克塊 效益最佳：雙排 排列最佳：靠岸交錯(實驗(7)A) 整合以上實驗，希望找出減浪效果最佳解。
實驗編號	(9)C	(9)D	
示意圖			

綜合排列4.5V對粉筆侵蝕影響



減浪效果比較：A>C>D>B

綜合排列6V對粉筆侵蝕影響



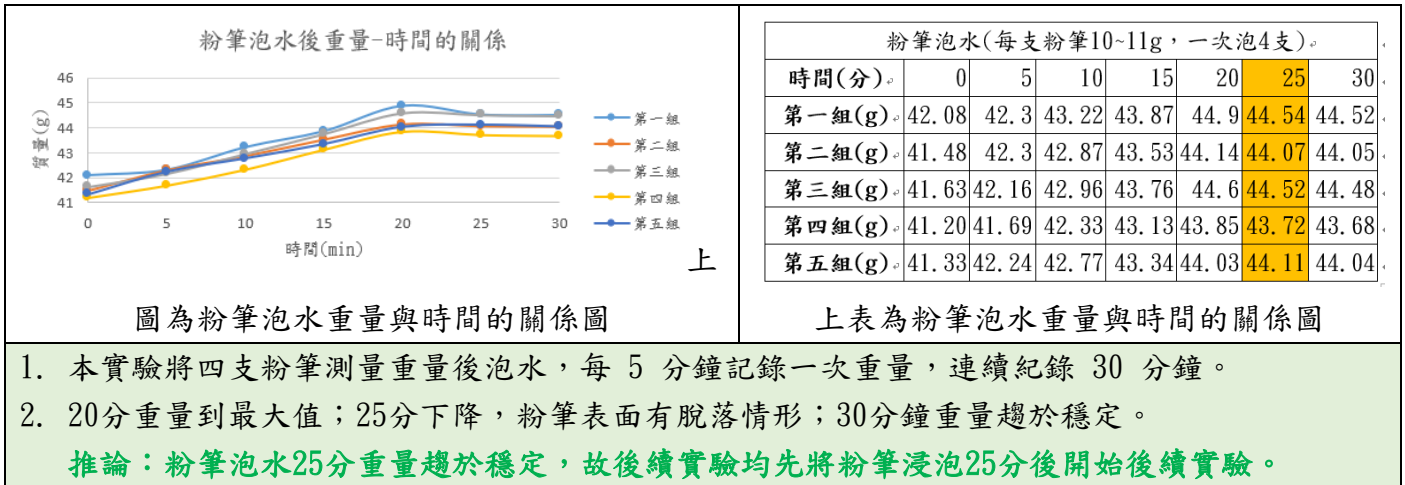
減浪效果比較：B>D>C>A

資料來源：圖表由作者編製



## 陸、討論

### 前置：粉筆浸泡水的最佳化時間



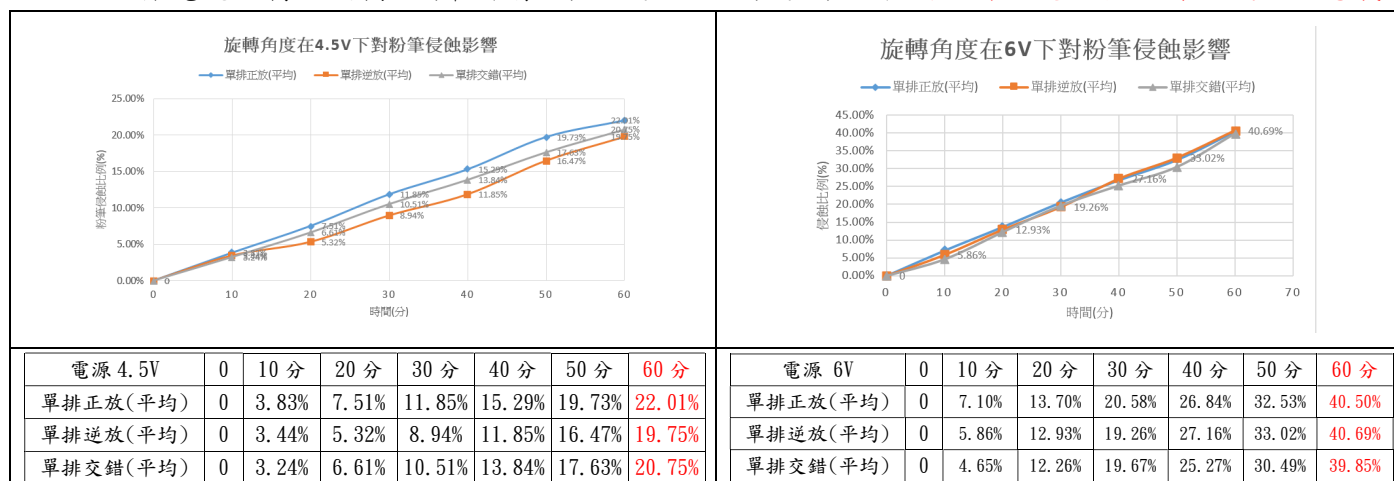
資料來源:圖表由作者編製

### 一、無消波塊、林克塊、圓形菱形塊、六角菱形塊(單排形況)，減緩侵蝕(減浪)效果最佳情形



資料來源:圖表由作者編製

## 二、林克塊旋轉不同角度(單排情況)，減緩侵蝕(減浪)效果找出消波塊形狀上對於減浪的意義



由上圖表可知：

在消波塊面向旋轉、只有一排、水平間距 1 mm，電源4.5V 條件下，

單排逆放>單排交錯>單排正放

小結：

1. 在小浪(4.5V)下觀察:單排逆放效果最好。
2. 推測逆放直接破壞海浪效果最好，導致減緩效果最佳。
3. 推測單排正放最早接觸海浪的面積最小，導致破壞海浪效果不理想。

由上圖表可知：

在消波塊面向旋轉、只有一排、水平間距1mm，電源 6V 條件下，

單排逆放=單排交錯=單排正放

小結：

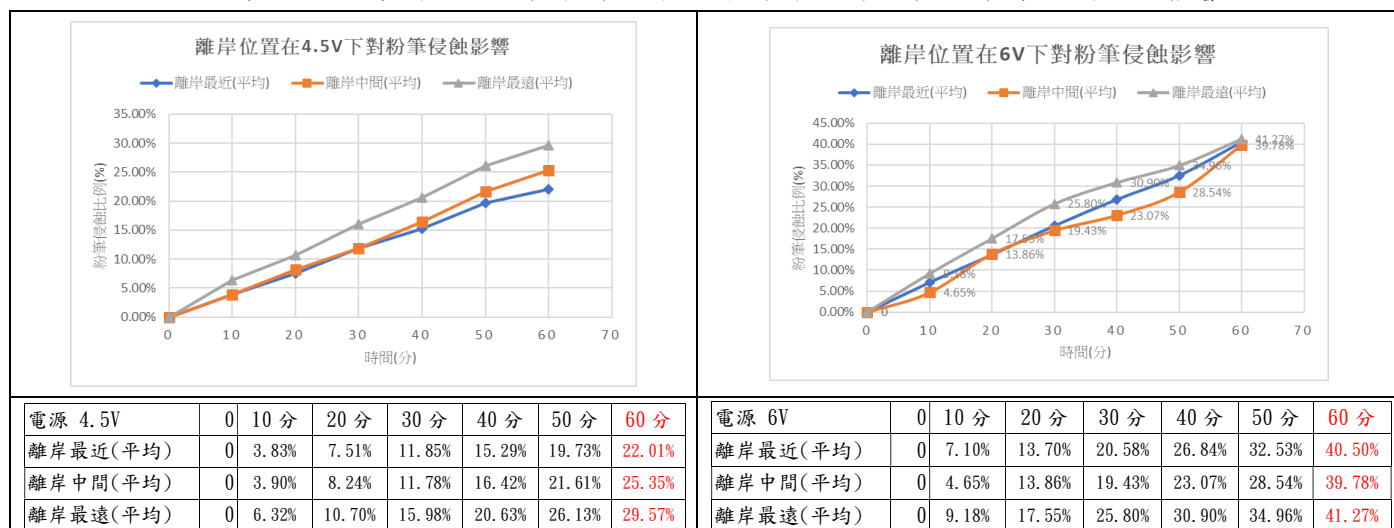
1. 在大浪(6V)情況下，各消波塊差異不大，推測是做實驗時浪都直接淹沒整體。
2. 需要排數增加才能減緩侵蝕。

消波塊形狀上對於減浪的意義

1. 僅一排時最早的接觸面積對破壞海浪的效果有正相關。
2. 越接近海浪的消波塊擔任切分海浪、初次破壞形狀的角色。
3. 越接近岸邊的消波塊擔任阻擋海浪、分攤側邊海浪衝擊的角色。

資料來源:圖表由作者編製

## 三、調整離岸的位置對減緩侵蝕(減浪)效果：了解海水高度(潮汐)對於減浪的影響



由上圖表可知：(電源4.5V 條件下)

在消波塊面向固定方向固定、單排、水平間距 1 mm 下，離岸越近，效果越好。

由上圖表可知：(電源 6V 條件下)

在消波塊面向固定方向固定、單排、水平間距 1 mm 下，離岸位置效果幾乎沒有差異。

小結：

- 離岸最近代表無浪時整顆消波塊裸露；  
離岸中間代表無浪時消波塊淹到中心位置。  
離岸最遠代表無浪時剩頂部突出在海面上。
- 整顆裸露>半顆>快被淹沒

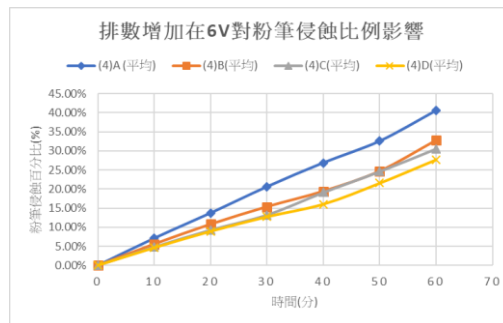
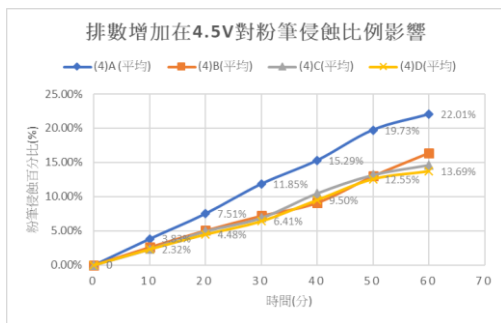
了解海水高度(潮汐)對於減浪的影響

最佳的減浪情境還是要整顆消波塊裸露，但海水會有潮汐漲退。

因此在架設消波塊的時候需要考慮的是消波塊在海面上的體積多寡，才能有最好的效果。

資料來源：圖表由作者編製

#### 四、增加消波塊的排數對減緩侵蝕(減浪)效果：在成本及效益的考量找出效果最好的排數



電源 4.5V	0	10 分	20 分	30 分	40 分	50 分	60 分
一排正向(平均)	0	3.83%	7.51%	11.85%	15.29%	19.73%	22.01%
兩排正向(平均)	0	2.61%	5.05%	7.19%	9.10%	12.99%	16.37%
三排正向(平均)	0	2.32%	4.94%	6.90%	10.49%	13.18%	14.63%
四排正向(平均)	0	2.32%	4.48%	6.41%	9.50%	12.55%	13.69%

電源 6 V	0	10 分	20 分	30 分	40 分	50 分	60 分
一排正向(平均)	0	7.10%	13.70%	20.58%	26.84%	32.53%	40.50%
兩排正向(平均)	0	5.59%	10.78%	15.37%	19.43%	24.71%	32.76%
三排正向(平均)	0	4.79%	9.25%	13.19%	19.09%	24.59%	30.53%
四排正向(平均)	0	4.63%	8.94%	12.76%	16.07%	21.58%	27.75%

由上圖表可知：(電源4.5V 條件下)  
在消波塊面向固定、水平間距 1 mm 下，  
排數增加，效果越好。

由上圖表可知：(電源 6V 條件下)  
在消波塊方向固定、水平間距 1 mm，下，  
排數增加，效果越好。

小結：

- 排數增加，效果越好
- 可觀察到一排>>兩排(降低6%)  
兩排>>三排(降低2%)  
三排>>四排(降低1%)

小結：

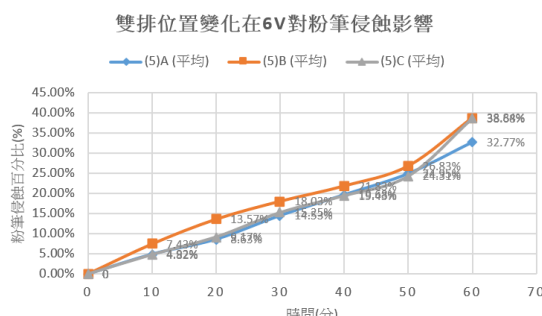
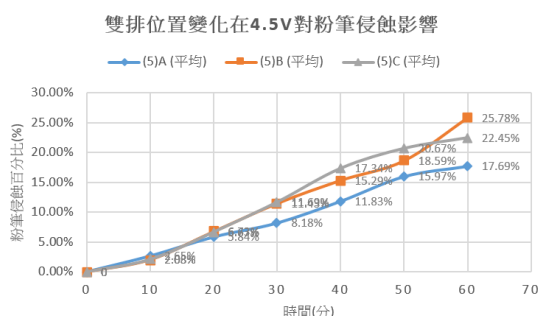
- 單排幾乎沒有效果在排數增加後，終於能夠減緩侵蝕。
- 可觀察到一排>>兩排(降低8%)  
兩排>>三排(降低2%)  
三排>>四排(降低3%)

在成本及效益的考量找出效果最好的排數

- 除了消波塊生產成本之外，海邊的土地也是重要的資源，不可能無限制放消波塊。
  - 上方數據顯示兩排消波塊兩排與三排消波塊是最有效益的。
- 海岸地形也會影響到排數，因此兩排應該比較符合現況。

資料來源：圖表由作者編製

#### 五、討論雙排消波塊位置變化對減緩侵蝕(減浪)效果：雙排效果最好的位置



	0	10	20	30	40	50	60
(5)A (平均)	0	2.65%	5.84%	8.18%	11.83%	15.97%	17.69%
(5)B (平均)	0	2.03%	6.73%	11.43%	15.29%	18.59%	25.78%
(5)C (平均)	0	2.08%	6.67%	11.69%	17.34%	20.67%	22.45%

	0	10	20	30	40	50	60
(5)A (平均)	0	4.92%	8.63%	14.53%	19.68%	24.95%	32.77%
(5)B (平均)	0	7.43%	13.57%	18.03%	21.83%	26.83%	38.84%
(5)C (平均)	0	4.82%	9.17%	15.25%	19.43%	24.31%	38.68%

由上圖表可知：(電源4.5V 條件下) 在消波塊面向固定、水平間距 1 mm 下， 整體消波塊在海面上體積越多，效果越好	由上圖表可知：(電源 6V 條件下) 在消波塊方向固定、水平間距 1 mm，下， 至少要2排數以才有減緩侵蝕效果。
小結： 1. 海面上體積越多，效果越好 2. 可觀察到離岸近+離岸中(體積最大) 離岸中+離岸遠(體積最小) 離岸近+離岸遠	小結： 1. 至少要2排數以才有減緩侵蝕效果。 2. 可觀察到海面下的消波塊也有減緩效果，只 但須更多排數。
雙排效果最好的位置：離岸最近兩排 1. 海平面上方體積越多，減緩侵蝕效果越好。 2. 海平面下方體積也有減緩侵蝕效果，只是需要一定的數量，體積門檻較高。	

資料來源：圖表由作者編製

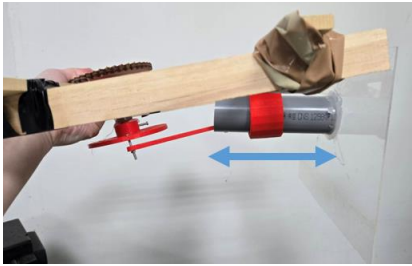
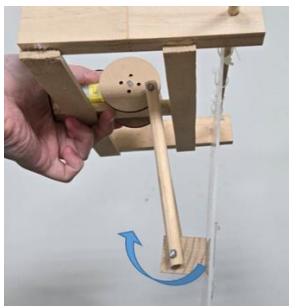
#### 六、綜合討論(六~八)四種進行討論：找出最適合家鄉消波塊排列方式

實驗	結論
綜合討論(六)—— 兩排消波塊不同方向同位置，不交錯 對減緩侵蝕(減浪)效果	1. 雙排情形下，前排消波塊擔任切分海浪、初次破壞形狀的角色；後派消波塊擔任阻擋海浪、分攤側邊海浪衝擊的角色。 2. 交錯能讓兩者角色功能更加強。因此交錯比旋轉方向重要。
綜合討論(七)—— 兩排消波塊不同方向同位置，交錯 對 減緩侵蝕(減浪)效果	
綜合討論(八)—— 林克塊底面方向是否對與減緩侵蝕(減浪)效果	單排情況下； 1. 林克塊底面朝下時，對4.5V 減緩侵蝕效果最好 2. 林克塊底面朝前時，對46V 減緩侵蝕效果最好
綜合討論(九)——雙排最佳解	整合以上實驗： ● 形狀最佳：林克塊 ● 效益最佳：雙排 ● 排列最佳：靠岸交錯(實驗(7)A) 希望找出減浪效果最佳解。
	減浪效果(4.5V)比較：A>C>D>B 減浪效果(6V)比較：B>D>C>A A 適合海浪平地區或潮差較小； B 適合海浪強烈地區，潮差不大；
	C、D 適合海浪變化大地區或潮差明顯。 ● 6V 情形下，減侵蝕效果 D>C(耐大浪) ● 4.5V 情形下，小浪撞擊緩和程度 C>D

資料來源：圖表由作者編製



七、兩種造浪機對造浪效果的影響：

比較項目	大型版	小型版
造浪方式	 <p>前後推動</p>	 <p>前上波動</p>
造浪類型	水被壓縮推出去，波型近似縱波。	水透向前上撥出，浪形近似海浪波。
造浪週期	經由齒輪旋轉直接帶動，與馬達轉速及齒輪齒數有高度相關。	雖與馬達轉速有一定關聯，但可透過連桿的位置去調整週期、浪高，甚至浪的形狀
浪高控制	與壓克力板吃水深度及推動角度有關	

資料來源:圖表由作者編製

本次研究製作了兩種造浪機，大型版製作起來，零件及組合都相對簡單，運作方式比較單純，但我們以這種方式測試時，發現雖然推動的浪穩定，但在斜坡前往往往會逐漸得「平掉」，而缺少往上的衝擊；另外來看小型版的造浪機，透過壓克力板向前向上「推舉」水，製作時雖然為了調整連桿位置花了一些時間測試，但製造出的浪更加強勁，浪的形狀帶有一點弧度，可以推到較遠的距離，並形成浪花。比起大型版的造浪方式，小型版造出得更符合自然形成的浪。



## 柒、結論

前置、粉筆浸泡水的最佳化時間

粉筆泡水25分重量趨於穩定，故後續實驗均先將粉筆浸泡25分後開始後續實驗。

一、無消波塊、林克塊、圓形菱形塊、六角菱形塊(單排情況)，減緩侵蝕(減浪)效果情形。

1. 在小浪(4.5V)單排條件下，效果：林克塊 > 六角菱形塊 > 圓形菱形塊，林克塊效果最佳
2. 在大浪(6V)單排下，效果：林克塊 = 六角菱形塊 = 圓形菱形塊，需實驗多排效果。

二、林克塊旋轉不同角度(單排情況)，減緩效果最佳情形

1. 在小浪(4.5V)單排條件下，效果：單排逆放 > 單排交錯 > 單排正放。
2. 在大浪(6V)單排條件下，效果：單排逆放 = 單排交錯 = 單排正放。
3. 僅一排時，最早的接觸面積對破壞海浪的效果有正相關。

三、調整離岸的位置對海浪的減緩效果：了解海水高度(潮汐)對於減緩侵蝕(減浪)效果

1. 離岸最近代表無浪時整顆消波塊裸露；離岸中間代表無浪時消波塊淹到中心位置；  
離岸最遠代表無浪時剩頂部突出在海面上。
2. 消波塊裸露程度越多，減緩侵蝕(減浪)效果越好。

四、增加消波塊的排數對減緩侵蝕(減浪)效果：在成本及效益的考量找出效果最好的排數

1. 小浪(4.5V)下：雖然排數增加，效果越好；大浪(6V)下：排數增加後，能夠減緩侵蝕。
2. 數據顯示兩排消波塊兩排與三排消波塊是最有效益的。
3. 海岸地形也會影響到排數，因此兩排應該比較符合現況。

五、討論雙排消波塊位置變化對減緩侵蝕(減浪)效果：雙排效果最好的位置

1. 雙排效果最好的位置：離岸最近兩排
2. 海平面上方體積越多，減緩侵蝕效果越好。
3. 海平面下方體積也有減緩侵蝕效果，只是需要一定的數量，體積門檻較高。

六、綜合討論(六~七)：林克塊旋轉及交錯對其減緩侵蝕效果

1. 雙排情形下，前排消波塊擔任切分海浪、初次破壞形狀的角色；
2. 後排消波塊擔任阻擋海浪、分攤側邊海浪衝擊的角色。
3. 雙排交錯可以達成二次減緩侵蝕的效果。

## 七、綜合討論(八)：林克塊底面方向對其減緩侵蝕效果影響

1. 林克塊底面方向對小浪效果佳；底面朝前對大浪效果佳。

## 八、綜合討論(九)：雙排最佳解

1. A 適合海浪平地區或潮差較小。
2. B 適合海浪強烈地區，潮差不大。
3. C、D 適合海浪變化大地區或潮差明顯。

## 九、綜合討論(九)：最適合家鄉情況

1. 面東北方向海面，(9)D 最佳。(因家鄉冬天承受強烈東北季風，需耐大浪)
2. 面西南方向海面或港口附近，(9)C 最佳。(因考慮減少潑濺效果9(C)，最合適)

## 十、自製造浪機

1. 大型版造浪機：波較規律，週期易控制，但造浪不夠強。
2. 小型版造浪機：波的帶有弧形，需透過調整連桿來改變週期，造浪的衝擊力較強。
3. 小型造浪機更符合自然情境，更適合本次的實驗。
4. 家鄉：夏天的平均示性波高為 1.3 m，冬天的平均示性波高為 2.3 m。 $\frac{2.3}{1.3} \approx 2$
5. 小型造浪機：6 V 浪高 10 mm，4.5 V 浪高 6 mm；10 / 6 大約為 2 倍

## 十一、3D 列印消波塊

1. 消波塊重量一公噸，邊長1.5公尺；3D 列印消波塊邊長在1.5公分，邊長縮小100倍。
2. 消波塊形狀特殊，採用網路的檔案進行列印。
3. 列印難度：林克塊最困難，圓形菱形塊次之，六角菱形塊，列印成功率最高。

## 捌、參考資料及其他

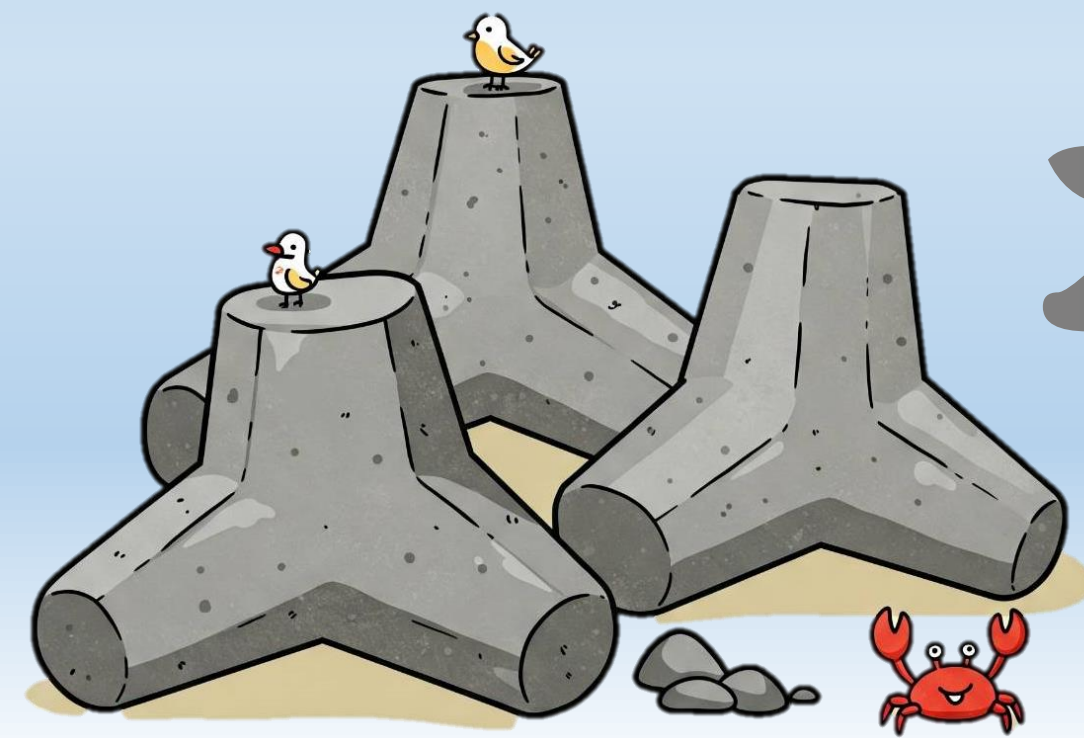
- 一、張亦萱、陳威仁、陳威廷、陳筠、陳芬瑋、許庭源(2004)。從人工消波塊看自然生態工法。第44屆全國中小學科學展覽會國小組生活與應用科學組。
- 二、林聖淵、黃仁郁、何逸群、鄭天霖(2003)。海浪的力量—防波堤的設計第44屆全國中小學科學展覽會國中組生活與應用科學組。
- 三、張宜綸、陳愛、曾元媛、張宜越、陳逸帆(2014)。HOLD 住洄瀾灣～化仁海岸段離岸堤改善可行性之探究。第54屆全國中小學科學展覽會國小組地球科學組。
- 四、3D 列印模型：奇狐文化工作室(<https://www.thingiverse.com/thing:5842506>)
- 五、浪高資訊：中央氣象局([https://www.cwa.gov.tw/V8/C/C/MMC\\_STAT/sta\\_wave.html](https://www.cwa.gov.tw/V8/C/C/MMC_STAT/sta_wave.html))
- 六、海浪介紹：成功大學近海水文中心(<https://reurl.cc/VYMQoN>)
- 七、本作品說明書內的照片、圖表皆由作者自行拍攝、編製。

## 【評語】 033002

1. 研究主題清楚且聚焦，探討三種消波塊的抗浪及消浪效果。  
研究內容具實用性及驗證性，且能貼合濱海生活環境進行觀察及設計。
2. 實驗運用 3D 列印製作三種消波塊，且自製造浪機，探討模擬海浪沖刷海岸侵蝕效果，並提出消波塊減緩海岸侵蝕的實驗觀察方法。
3. 實驗方法有多樣化的思考及設計，如進行不同消波塊方向、角度、位置、排數等組合設計，觀察各種組合消浪能量的結果。其成果可作為海岸工程及防災提供參考，具環境應用潛力。

作品海報

白浪滔滔我不怕——



消波塊與海岸保護



摘要

本研究透過3D列印製作消波塊與自製造浪機，並用海浪沖刷粉筆模擬岸邊侵蝕效果，尋找減緩海浪岸侵蝕方法。

本研究製作兩種造浪機。大型版：壓克力板製水缸，用活塞推動造浪板，因漏水問題，改良小型版；小型版：採現成魚缸、TT馬達配合連桿帶動造浪板。小型版波形更流暢。

首先，確定粉筆泡水25分後重量趨穩定；在單排測試中，林克塊減浪效果最佳。實驗亦發現，消波塊離岸越近、裸露體積越多，減浪效果越好。增加排數方面，小浪排數越多效果越佳，大浪下則需至少兩排以上才具顯著效果，綜合成本與效益，建議使用兩排設計。

針對家鄉情境，設計A至D四種配置，D型適合冬季東北季風大浪條件，如東北向海岸；C型則適用於港口等平靜海面。

壹、研究動機

偏遠小島上，沒有可以逛街的商圈，沒有可以觀影的電影院，大部分休閒娛樂都圍繞著周圍海洋，對我們來說從小最大樂趣——是和家人到海邊去釣魚。為了尋找好釣場，除了港口、海岸邊，消波塊上更是我們經常光顧之處。

等待魚兒上鉤前常常會想這些奇形怪狀的石頭為什麼要放在岸邊，隨著年紀的增長才知道它們保護海岸的作用，但平常站在上方釣魚，並沒有感受的他的實際作用，便開始好奇消波塊的保護作用到底如何，是否真的能夠為我們抵擋大浪，因此有了此次研究主題的發想。

而家鄉(離島)四面環海，隨著強烈的海風吹拂，有時更是能捲起2.5m以上的浪高，海浪不斷的侵蝕著我們的島嶼，使得海岸保護成為重要課題之一，因此我們決定自己設計造浪機，模擬海浪沖刷海岸，藉由改變消波塊的形狀及排列，逐漸，評估哪種組合對水土保持最有效，也許能在未來海岸工程的參考及離島防災提供參考，為保護家鄉的海岸進自己的一份力。

貳、研究目的

- 一、比較不同形狀消波塊對減緩侵蝕效果。
- 二、比較消波塊放置角度對對減緩侵蝕效果。
- 三、比較消波塊放置不同位置對減緩侵蝕效果。
- 四、探討消波塊增加排數對減緩侵蝕效果。
- 五、探討海岸如何排列對減緩侵蝕效果。

參、研究設備及器材

- 一、環境設置材料：  
壓克力板、木塊、魚缸、黏合工具
- 二、造浪機：  
壓克力板、木棒、3D列印、雷切物件、TT馬達、螺絲
- 三、實驗工具：  
粉筆、電子秤、直流電供、桌上型鑽床、墨水、直尺

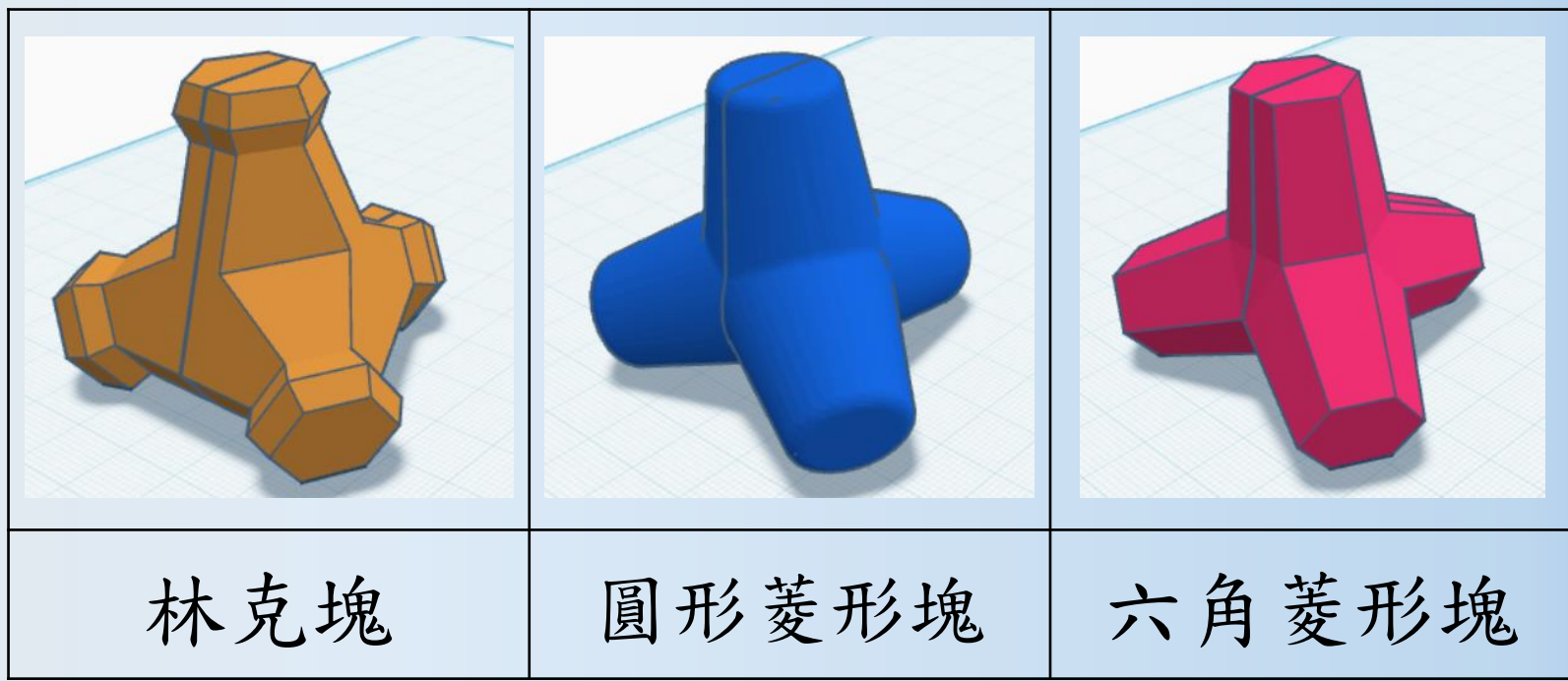
肆、研究過程或方法

一、前置準備

(一)消波塊製作

學校今年剛購買了一臺3D列印機，也在寒假前特地請校外的老師教我們使用Tinkercad來製作3D模型。原本打算自己製作消波塊的模型，實際嘗試過後，發現消波塊的形狀及斜角不容易用多邊形組合出來，導致我們製作的模型與實際的消波塊差異極大。


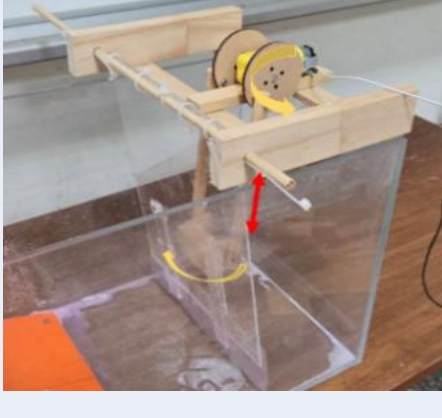

因此在老師的建議下，我們開始在網路上尋找模型的資源，剛好就找到專家製作的3種常見消波塊的模型，並參考國立臺灣海洋大學臺灣海洋教育中心的資料替三種消波塊命名。如圖：



資料來源:作者編製

(二)造浪機與水缸製作

1、兩者比較：

	大型版	小型版
水缸	 壓克力板+木板	 現成魚缸
造浪機	 鑽床推動並用齒輪變速，齒輪帶動活塞製造波浪。	 用TT馬達轉動兩側圓輪，帶動連桿產生造浪運動，
斜面受浪平台	 壓克力板+木條支撐	 3D列印+螺帽配重
粉筆放置平台	 10支粉筆直立	 4支粉筆橫置

資料來源:作者編製

2、大型版問題修正：

	大型版	小型版
修正一 改變水缸	1. 因人工製作，會有誤差。 2. 無法克服水壓，漏水導致失敗。	成品的魚缸，四面平整，且不會有漏水問題，長期實驗也沒問題。
修正二 造浪方式	1. 前後推進，回推導致力量抵消 2. 運作時阻力過大，做動不順暢。	1. 弧形向上撥動，降低回推力道。 2. 改善做動不順、阻力過大問題。
修正三 驅動裝置 更改	1. 鑽床轉速過快，扭力太大導致3D列印的齒輪易損毀。 2. 鑽床長久運轉會有過熱問題，學校僅有兩臺，替換不易。	1. 因體積變小，用TT馬達當作驅動裝置，電供改變電壓變化浪高。 2. TT馬達數量多，且替換容易，耗電量也較小。
修正四 斜面平台	體積較大，導致浮力上升，平台很難沉水底。	體積較小，在平台下方用螺帽進行配重即可沉到水底。
修正五 粉筆擺放 方式	水缸寬度較寬，設置比起海岸的牆壁，更像在測試橋梁底柱，較不符合我們的情境	水缸寬度較窄，可直接利用少量粉筆擺出一個平面，符合我們設想海岸情境。

資料來源:作者編製

3、小型版缺點：

- (1) 浪的沖刷效果較大型版的弱不少，導致粉筆變化量較小，需增加沖刷的時間較能觀察到明顯的變化。
- (2) 因魚缸為現有成品，長寬比無法自由變化，僅能調整其他條件已符合我們的需求。

(三) 海浪介紹(參考成功大學近海水文中心 <https://reurl.cc/VYMOoN>)

資料來源:作者編製

項目	產生原因	外形	波長與周期	能量消耗	傳播速度	危險性	與天氣的關聯	到淺海時變化
風浪	當地風力所產生	尖削凌亂	波長短 周期短	尚未經長距離傳播，能量較高(但易消散)	較慢，與當地風向相關	常見於風強時，視覺上較易察覺	直接與當地風有關	影響相對較小
湧浪(長浪)	其他海域傳來或風力迅速減弱、風向改變後殘留的波浪	圓滑規則	波長長 周期長	傳播過程中受到空氣阻力與海水摩擦，能量逐漸消耗	傳播速度快，常快於天氣系統的移動速度	即使風平浪靜也可能出現，對岸邊活動的人構成潛在威脅	可作為颱風或西南氣流等天氣系統來臨的先兆	波底因受海底摩擦而停滯，波峰繼續前進，導致波高增加並破碎

實驗裝置設計接近長浪，且裝置底部並無地形破壞、海浪圓滑規則，與垂直海岸線垂直，無其他雜亂方向的海浪。



(四) 實驗流程

1. 實驗假設

- (1) 假設所有浪都是(湧)長浪，而且與垂直海岸垂直。  
並不討論海浪側向或其他方向侵蝕、其他降水過程侵蝕。
- (2) 本實驗利用粉筆取代岩石沖刷，把岩壁自然崩解所有過程，通通簡化為粉筆的酸鹼溶解過程及脫落過程。  
(粉筆侵蝕減少程度＝減緩侵蝕效果＝減浪效果)
- (3) 造浪機使用3V~7.2V的減速直流馬達(TT馬達) 搭配直流電供。  
馬達檔位有3V(風平浪靜)、4.5V(春天夏天)、6V(冬天、東北季風)，對應家鄉海浪變化情形。

3. 電壓對浪高的影響

(1) 測量海浪侵蝕的方式

本實驗紀錄浪高方式作為海邊侵蝕力道數據，但消波塊會讓海浪產生形狀變化。故使用兩個方法能夠更客觀的分析海邊侵蝕狀況。


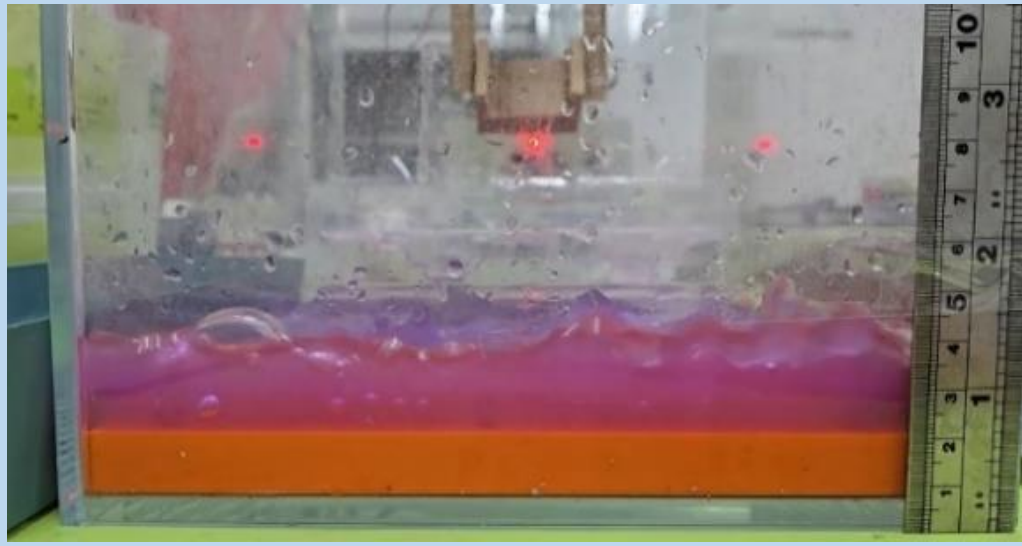
(2) 找尋造浪機的波浪與家鄉真實情境的關係

使用直流電源供應器輸出3種電壓，分別來模擬三種不同的浪高。

方式一 鐵尺-錄影法	將鐵尺置於魚缸外，透過錄影紀錄，觀察浪高變化。 不用消波塊時，可直觀測出海浪高度，能計算出真實情境中海浪的比例。 使用消波塊消浪後海浪會變形，無法精確的測量。
方式二 粉筆侵蝕法	將粉筆置於平台上，透過人造浪不斷沖刷，定期測量粉筆重量變化，為避免手指接出粉筆產生誤差，需連同粉筆放置架一起測重。 此方式為測量有消波塊時，海浪受消波塊作用變形故改以此方式測量能夠客觀紀錄侵蝕的狀況，也能記錄時間的影響。

資料來源:作者編製

4. 消波塊減緩人造浪的效果

無放置消波塊	只放置一排消波塊
浪高 40 mm (鐵尺刻度)	浪高 35 mm (鐵尺刻度)
	




由上圖可知：  
使用方式一看出消波塊對人工浪有明顯的減浪效果。  
發現使用消波塊後海浪形狀會有明顯變化，不易客觀測量。  
發現高速錄影測量浪高不精確，也難以詳細表達侵蝕的時間變化  
後續實驗採用方式二可以更具體描述海浪對不同情況的消波塊侵蝕影響。同時能記錄沖刷時間對於岸邊水土的情形，也能在數據的分析上更貼近現實。

資料來源:作者編製

2. 操作步驟

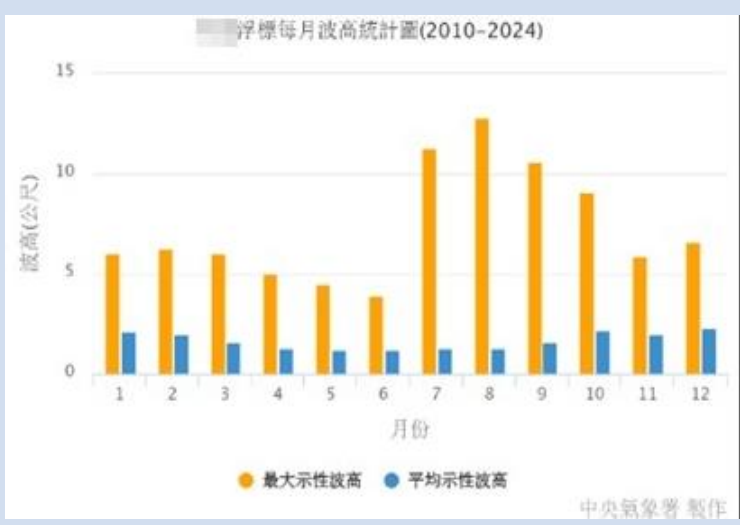
使用直流電源供應器穩定供電，製造人工浪不斷沖刷斜面平台。  
透過電壓調整改變海浪大小，模擬不同海浪情境，  
針對以下不同變因去觀察減緩海浪效果。

- (1) 不同形狀消波塊：找出最佳的消波塊或找出各自的功用
- (2) 旋轉擺放角度：找出消波塊形狀上對於減浪的意義
- (3) 調整離岸位置：了解海水高度(潮汐)對於減浪的影響
- (4) 增加消波塊排數：成本及效益考量找出效果最好的排數
- (5) 綜合前四種進行討論：最適合家鄉的消波塊排列方式

電壓	浪況	描述	浪高 (浪高-海平面)	實拍圖
3V	微浪	模擬風平浪靜	28 - 25 = 3 mm (鐵尺刻度)	
4.5V	小浪	模擬春天夏天	31 - 25 = 6 mm (鐵尺刻度)	
6V	大浪	模擬冬天	35 - 25 = 10 mm (鐵尺刻度)	

資料來源:作者編製

月份	浪高(mm)	浪高(mm)	浪高(mm)	浪高(mm)	浪高(mm)
1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
3	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
4	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
6	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
7	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
11	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
12	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0



資料來源:中央氣象署

上圖為交通部中央氣象署2010~2024年的每月海浪平均高度。  
2.3/1.3 大約等於 2 可知冬天的浪高大約為夏天的兩倍。  
對應 6 V浪高 10 mm，4.5 V浪高 6 mm；10 / 6大約為 2 倍，對應假設。

5. 粉筆實驗前處理

粉筆會吸水、發生反應，導致實驗誤差過大無法進行。  
決定先將粉筆泡水至重量穩定後，再進行實驗。  
將四支粉筆測量重量後泡水，每 5 分鐘記錄，連續 30 分鐘。

6. 環境設定

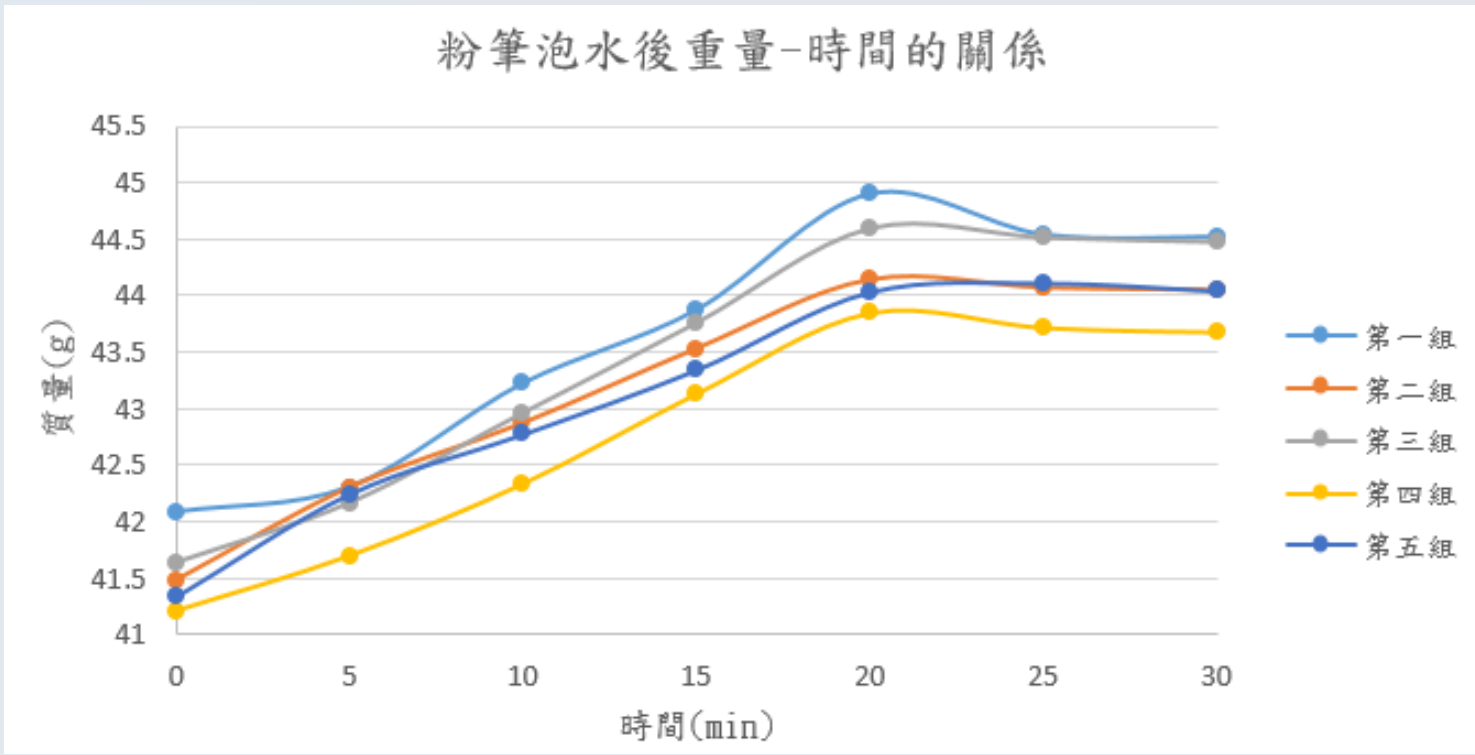
固定項目	環境溫度	測試水位高度	造浪機位置
條件設定	18℃ (開冷氣恆溫)	20 mm (重新設定)	固定於魚缸最後方
備註	將溫度固定避免水體積變化	不考慮魚缸底部	降低造浪板干擾實驗

資料來源:作者編製

伍、研究結果與討論

前置：粉筆泡水的重量變化影響

時間(分)	0	5	10	15	20	25	30
第一組(g)	42.08	42.3	43.22	43.87	44.9	44.54	44.52
第二組(g)	41.48	42.3	42.87	43.53	44.14	44.07	44.05
第三組(g)	41.63	42.16	42.96	43.76	44.6	44.52	44.48
第四組(g)	41.2	41.69	42.33	43.13	43.85	43.72	43.68
第五組(g)	41.33	42.24	42.77	43.34	44.03	44.11	44.04

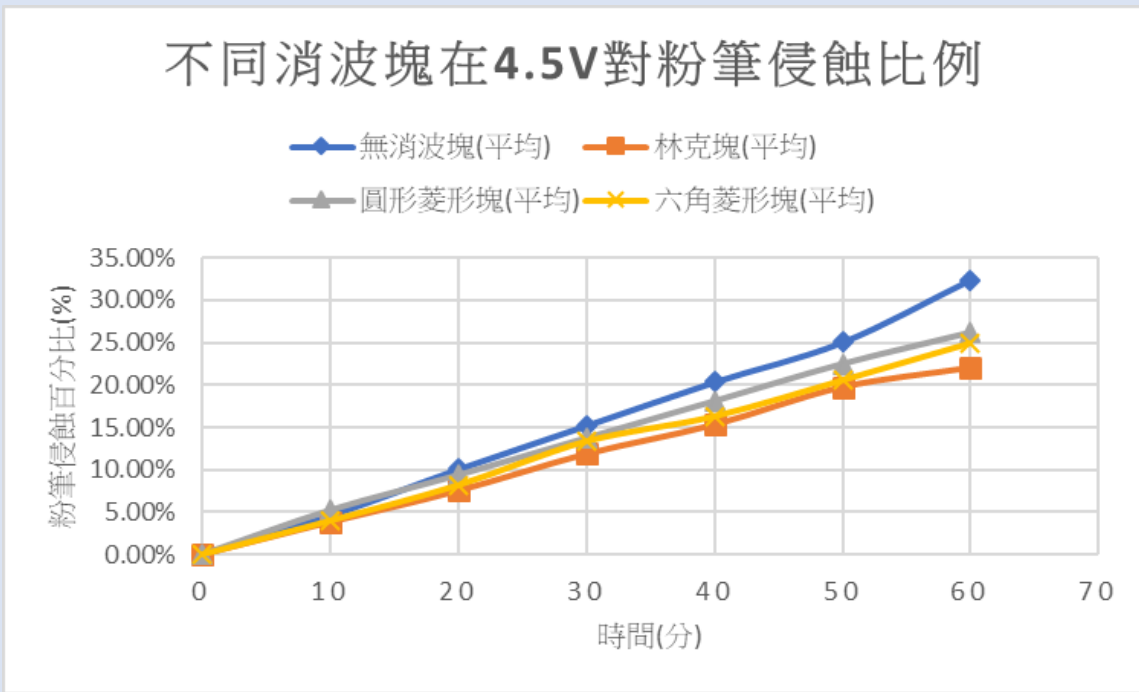


資料來源:作者編製

在20分鐘重量到最大值；25分鐘重量下降，粉筆有脫落情形；30分鐘重量穩定。  
推論：粉筆泡水25分重量趨於穩定，故後續實驗均先將粉筆浸泡25分後再開始實驗。

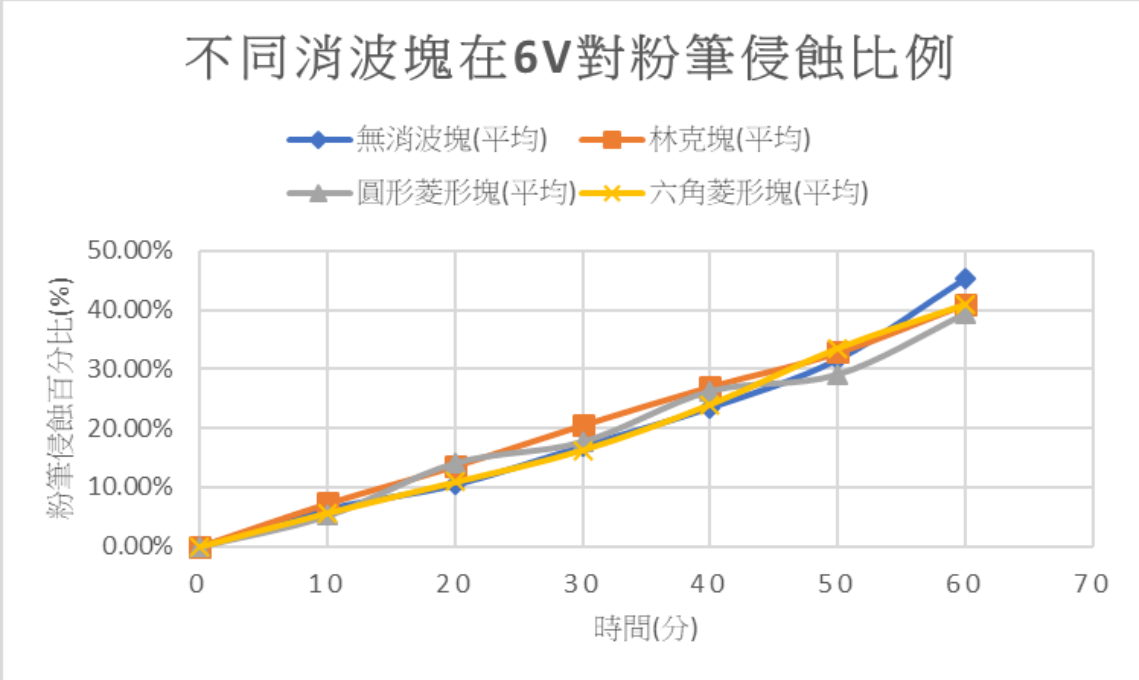
一、比較無消波塊(空白實驗)、不同消波塊

因電源在3V(無浪) 海浪完全沒辦法打到消波塊的位置無重量上損耗，  
因此不呈現相關資料。



林克塊 > 六角菱形塊 > 圓形菱形塊 > 無消波塊

- 在小浪(4.5V)下，林克塊效果最好。
- 推測林克塊底部有突出一塊三角形，及頂點上有突起狀，能對海浪造成額外破壞。
- 推測六角菱形塊有突起稜線，能破壞海浪。
- 推測圓形菱形塊，最圓滑，海浪破壞最差。實驗觀察出破壞較少，浪高平穩不易變化。

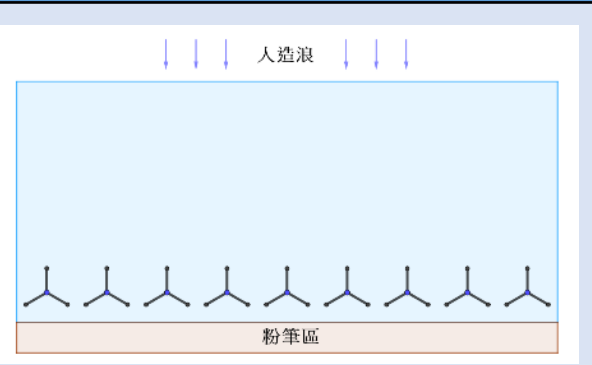
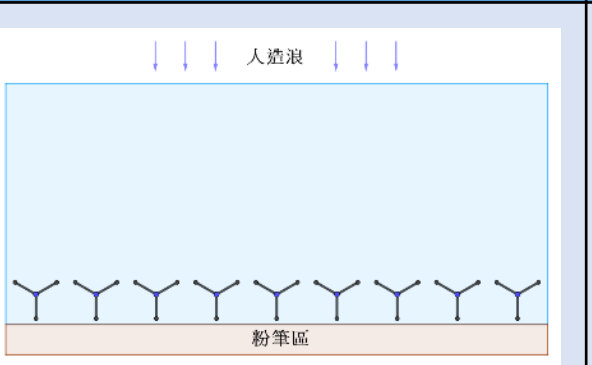
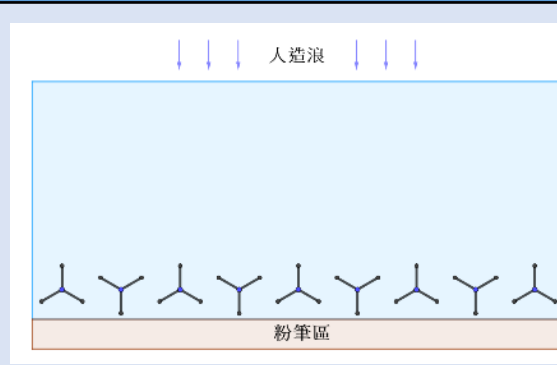


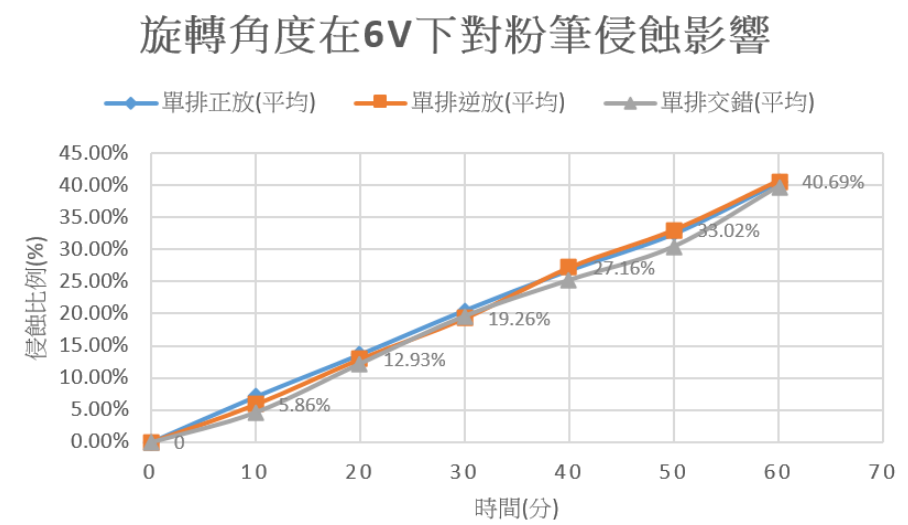
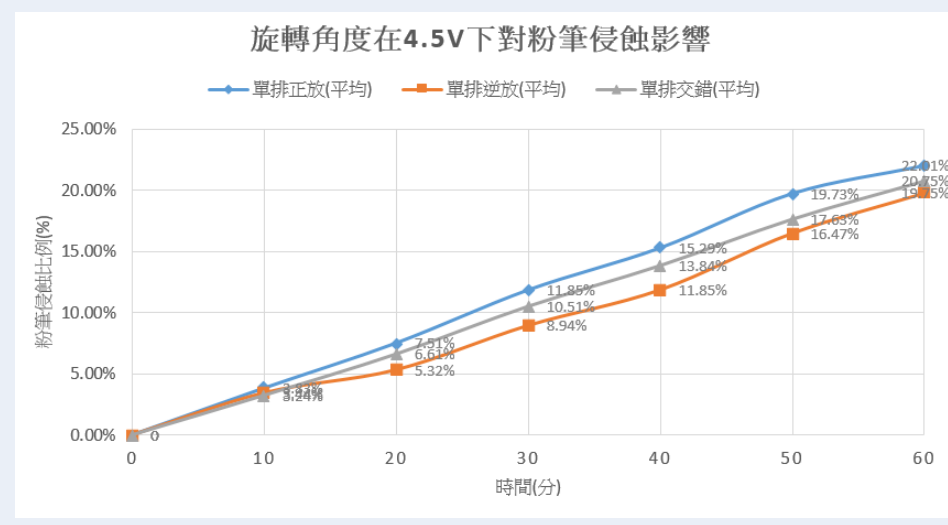
林克塊 = 圓形菱形塊 = 六角菱形塊 > 無消波塊

- 大浪(6V)情況下，各消波塊差異不大，推測是做實驗時浪都直接淹沒整體。
- 因此消波塊形狀差異對結果影響不大，可能需要增加排數測試比較。

資料來源:作者編製

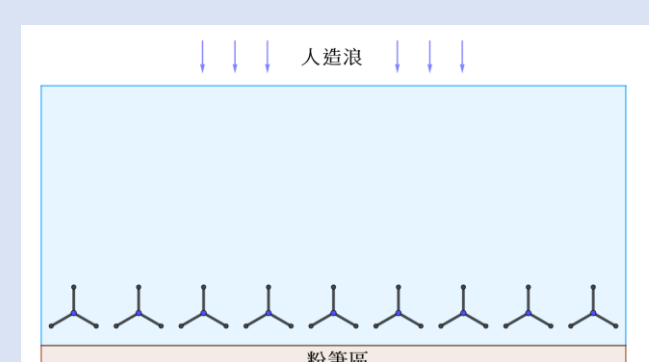
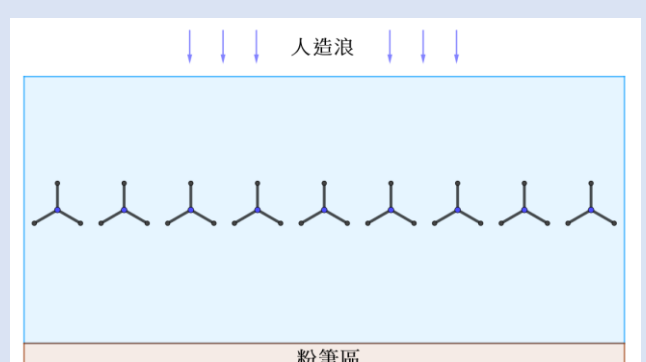
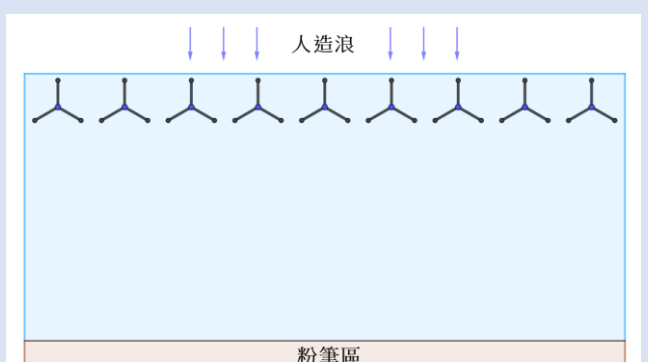
二、林克塊旋轉不同角度/單排情況

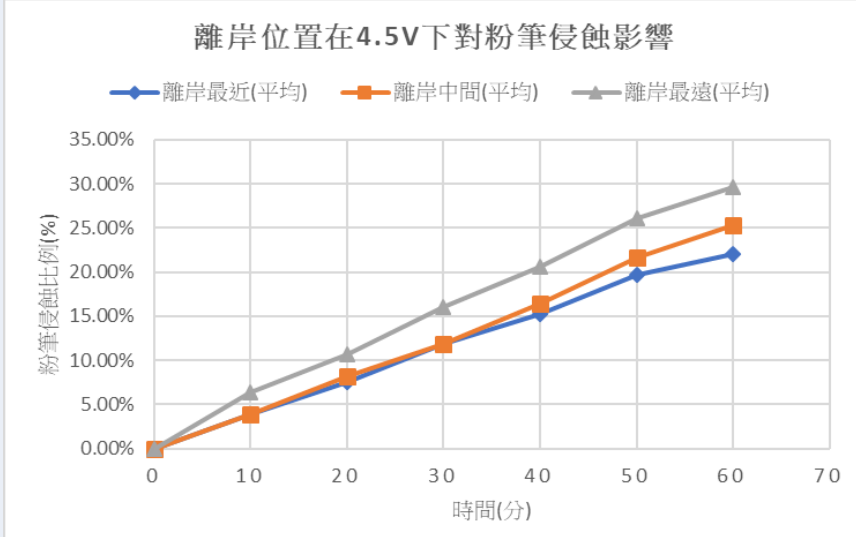
編號	(2) A正放	(2) B逆放	(2) C交錯放置
示意圖			



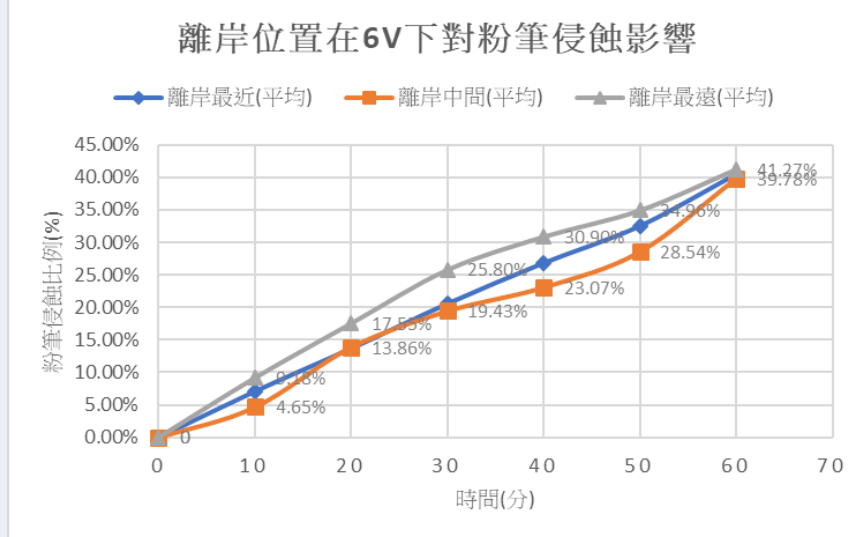
資料來源:作者編製

三、調整離岸的位置

編號	(3) A離岸最近 同(2)	(3) B離岸中間	(3) C離岸最遠
示意圖			



離岸越近，效果越好。



效果幾乎沒有差異。

資料來源:作者編製



四、增加消波塊的排數

資料來源:作者編製

編號	(4) A 一排 同 (3) A	(4) B 二排																																																																																
示意圖																																																																																		
編號	(4) C 三排	(4) D 四排																																																																																
示意圖																																																																																		
<p>排數增加在4.5V對粉筆侵蝕比例影響</p> <table><thead><tr><th>時間(分)</th><th>(4)A (平均)</th><th>(4)B (平均)</th><th>(4)C (平均)</th><th>(4)D (平均)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>1.71%</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.29%</td></tr><tr><td>20</td><td>3.43%</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>8.57%</td></tr><tr><td>30</td><td>5.14%</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>12.86%</td></tr><tr><td>40</td><td>6.86%</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>17.14%</td></tr><tr><td>50</td><td>8.57%</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>21.43%</td></tr><tr><td>60</td><td>10.29%</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>25.71%</td></tr></tbody></table>		時間(分)	(4)A (平均)	(4)B (平均)	(4)C (平均)	(4)D (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10	1.71%	2.50%	3.57%	4.29%	20	3.43%	5.00%	7.14%	8.57%	30	5.14%	7.50%	10.71%	12.86%	40	6.86%	10.00%	14.29%	17.14%	50	8.57%	12.50%	17.86%	21.43%	60	10.29%	15.00%	21.43%	25.71%	<p>排數增加在6V對粉筆侵蝕比例影響</p> <table><thead><tr><th>時間(分)</th><th>(4)A (平均)</th><th>(4)B (平均)</th><th>(4)C (平均)</th><th>(4)D (平均)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.76%</td><td>5.71%</td></tr><tr><td>20</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>9.52%</td><td>11.43%</td></tr><tr><td>30</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>14.29%</td><td>17.14%</td></tr><tr><td>40</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>18.97%</td><td>22.86%</td></tr><tr><td>50</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>23.68%</td><td>28.57%</td></tr><tr><td>60</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>28.39%</td><td>34.29%</td></tr></tbody></table>	時間(分)	(4)A (平均)	(4)B (平均)	(4)C (平均)	(4)D (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10	2.50%	3.57%	4.76%	5.71%	20	5.00%	7.14%	9.52%	11.43%	30	7.50%	10.71%	14.29%	17.14%	40	10.00%	14.29%	18.97%	22.86%	50	12.50%	17.86%	23.68%	28.57%	60	15.00%	21.43%	28.39%	34.29%
時間(分)	(4)A (平均)	(4)B (平均)	(4)C (平均)	(4)D (平均)																																																																														
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%																																																																														
10	1.71%	2.50%	3.57%	4.29%																																																																														
20	3.43%	5.00%	7.14%	8.57%																																																																														
30	5.14%	7.50%	10.71%	12.86%																																																																														
40	6.86%	10.00%	14.29%	17.14%																																																																														
50	8.57%	12.50%	17.86%	21.43%																																																																														
60	10.29%	15.00%	21.43%	25.71%																																																																														
時間(分)	(4)A (平均)	(4)B (平均)	(4)C (平均)	(4)D (平均)																																																																														
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%																																																																														
10	2.50%	3.57%	4.76%	5.71%																																																																														
20	5.00%	7.14%	9.52%	11.43%																																																																														
30	7.50%	10.71%	14.29%	17.14%																																																																														
40	10.00%	14.29%	18.97%	22.86%																																																																														
50	12.50%	17.86%	23.68%	28.57%																																																																														
60	15.00%	21.43%	28.39%	34.29%																																																																														
排數增加，效果越好。		至少兩排才有效果																																																																																

六、綜合討論—兩排消波塊不同方向同位置，不交錯

七、綜合討論—兩排消波塊不同方向同位置，交錯

編號	(6) A 同 (4) B	(6) B	(7) A	(7) B																																																																															
示意圖																																																																																			
編號	(6) C	(6) D	(7) C	(7) D																																																																															
示意圖																																																																																			
<p>雙排旋轉角度4.5V對粉筆侵蝕影響</p> <table><caption>雙排旋轉角度4.5V對粉筆侵蝕影響數據 (估計值)</caption><tr><th>時間(分)</th><th>(6)A (平均)</th><th>(6)B (平均)</th><th>(6)C (平均)</th><th>(6)D (平均)</th></tr><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>1.71%</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.29%</td></tr><tr><td>20</td><td>3.43%</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>8.57%</td></tr><tr><td>30</td><td>5.14%</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>12.86%</td></tr><tr><td>40</td><td>6.86%</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>17.14%</td></tr><tr><td>50</td><td>8.57%</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>21.43%</td></tr><tr><td>60</td><td>10.29%</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>25.71%</td></tr></table>		時間(分)	(6)A (平均)	(6)B (平均)	(6)C (平均)	(6)D (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10	1.71%	2.50%	3.57%	4.29%	20	3.43%	5.00%	7.14%	8.57%	30	5.14%	7.50%	10.71%	12.86%	40	6.86%	10.00%	14.29%	17.14%	50	8.57%	12.50%	17.86%	21.43%	60	10.29%	15.00%	21.43%	25.71%	<p>雙排旋轉角度6V對粉筆侵蝕影響</p> <table><caption>雙排旋轉角度6V對粉筆侵蝕影響數據 (估計值)</caption><tr><th>時間(分)</th><th>(6)A (平均)</th><th>(6)B (平均)</th><th>(6)C (平均)</th><th>(6)D (平均)</th></tr><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.76%</td><td>5.71%</td></tr><tr><td>20</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>9.52%</td><td>11.43%</td></tr><tr><td>30</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>14.29%</td><td>17.14%</td></tr><tr><td>40</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>18.97%</td><td>22.86%</td></tr><tr><td>50</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>23.68%</td><td>28.57%</td></tr><tr><td>60</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>28.39%</td><td>34.29%</td></tr></table>		時間(分)	(6)A (平均)	(6)B (平均)	(6)C (平均)	(6)D (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10	2.50%	3.57%	4.76%	5.71%	20	5.00%	7.14%	9.52%	11.43%	30	7.50%	10.71%	14.29%	17.14%	40	10.00%	14.29%	18.97%	22.86%	50	12.50%	17.86%	23.68%	28.57%	60	15.00%	21.43%	28.39%	34.29%
時間(分)	(6)A (平均)	(6)B (平均)	(6)C (平均)	(6)D (平均)																																																																															
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%																																																																															
10	1.71%	2.50%	3.57%	4.29%																																																																															
20	3.43%	5.00%	7.14%	8.57%																																																																															
30	5.14%	7.50%	10.71%	12.86%																																																																															
40	6.86%	10.00%	14.29%	17.14%																																																																															
50	8.57%	12.50%	17.86%	21.43%																																																																															
60	10.29%	15.00%	21.43%	25.71%																																																																															
時間(分)	(6)A (平均)	(6)B (平均)	(6)C (平均)	(6)D (平均)																																																																															
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%																																																																															
10	2.50%	3.57%	4.76%	5.71%																																																																															
20	5.00%	7.14%	9.52%	11.43%																																																																															
30	7.50%	10.71%	14.29%	17.14%																																																																															
40	10.00%	14.29%	18.97%	22.86%																																																																															
50	12.50%	17.86%	23.68%	28.57%																																																																															
60	15.00%	21.43%	28.39%	34.29%																																																																															
<p>減浪效果比較 A=B=C=D</p>		<p>減浪效果比較 A=B=C=D</p>																																																																																	
<p>減浪效果比較 A&gt;D&gt;B&gt;C</p>		<p>減浪效果比較 A&gt;D&gt;B&gt;C</p>																																																																																	

五、討論雙排消波塊位置變/雙排效果最好的位置

資料來源:作者編製

編號	(5) A	(5) B	(5) C																																																															
示意圖																																																																		
<p>雙排位置變化在4.5V對粉筆侵蝕影響</p> <table><caption>雙排位置變化在4.5V對粉筆侵蝕影響數據 (估計值)</caption><tr><th>時間(分)</th><th>(5)A (平均)</th><th>(5)B (平均)</th><th>(5)C (平均)</th></tr><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>1.71%</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td></tr><tr><td>20</td><td>3.43%</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td></tr><tr><td>30</td><td>5.14%</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td></tr><tr><td>40</td><td>6.86%</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td></tr><tr><td>50</td><td>8.57%</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td></tr><tr><td>60</td><td>10.29%</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td></tr></table>		時間(分)	(5)A (平均)	(5)B (平均)	(5)C (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	10	1.71%	2.50%	3.57%	20	3.43%	5.00%	7.14%	30	5.14%	7.50%	10.71%	40	6.86%	10.00%	14.29%	50	8.57%	12.50%	17.86%	60	10.29%	15.00%	21.43%	<p>雙排位置變化在6V對粉筆侵蝕影響</p> <table><caption>雙排位置變化在6V對粉筆侵蝕影響數據 (估計值)</caption><tr><th>時間(分)</th><th>(5)A (平均)</th><th>(5)B (平均)</th><th>(5)C (平均)</th></tr><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.76%</td></tr><tr><td>20</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>9.52%</td></tr><tr><td>30</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>14.29%</td></tr><tr><td>40</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>18.97%</td></tr><tr><td>50</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>23.68%</td></tr><tr><td>60</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>28.39%</td></tr></table>	時間(分)	(5)A (平均)	(5)B (平均)	(5)C (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	10	2.50%	3.57%	4.76%	20	5.00%	7.14%	9.52%	30	7.50%	10.71%	14.29%	40	10.00%	14.29%	18.97%	50	12.50%	17.86%	23.68%	60	15.00%	21.43%	28.39%
時間(分)	(5)A (平均)	(5)B (平均)	(5)C (平均)																																																															
0	0.00%	0.00%	0.00%																																																															
10	1.71%	2.50%	3.57%																																																															
20	3.43%	5.00%	7.14%																																																															
30	5.14%	7.50%	10.71%																																																															
40	6.86%	10.00%	14.29%																																																															
50	8.57%	12.50%	17.86%																																																															
60	10.29%	15.00%	21.43%																																																															
時間(分)	(5)A (平均)	(5)B (平均)	(5)C (平均)																																																															
0	0.00%	0.00%	0.00%																																																															
10	2.50%	3.57%	4.76%																																																															
20	5.00%	7.14%	9.52%																																																															
30	7.50%	10.71%	14.29%																																																															
40	10.00%	14.29%	18.97%																																																															
50	12.50%	17.86%	23.68%																																																															
60	15.00%	21.43%	28.39%																																																															
<p>消波塊在海面上 體積越多，效果越好</p>		<p>至少要2排 才有減緩侵蝕效果。</p>																																																																

九、綜合討論—雙排最佳解

資料來源:作者編製

編號	示意圖	數據圖																																								
(9) A		<p>綜合排列4.5V對粉筆侵蝕影響</p> <table border="1"><thead><tr><th>時間(分)</th><th>(9)A (平均)</th><th>(9)B (平均)</th><th>(9)C (平均)</th><th>(9)D (平均)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>1.71%</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.29%</td></tr><tr><td>20</td><td>3.43%</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>8.57%</td></tr><tr><td>30</td><td>5.14%</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>12.86%</td></tr><tr><td>40</td><td>6.86%</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>17.14%</td></tr><tr><td>50</td><td>8.57%</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>21.43%</td></tr><tr><td>60</td><td>10.29%</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>25.71%</td></tr></tbody></table>	時間(分)	(9)A (平均)	(9)B (平均)	(9)C (平均)	(9)D (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10	1.71%	2.50%	3.57%	4.29%	20	3.43%	5.00%	7.14%	8.57%	30	5.14%	7.50%	10.71%	12.86%	40	6.86%	10.00%	14.29%	17.14%	50	8.57%	12.50%	17.86%	21.43%	60	10.29%	15.00%	21.43%	25.71%
時間(分)	(9)A (平均)	(9)B (平均)	(9)C (平均)	(9)D (平均)																																						
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%																																						
10	1.71%	2.50%	3.57%	4.29%																																						
20	3.43%	5.00%	7.14%	8.57%																																						
30	5.14%	7.50%	10.71%	12.86%																																						
40	6.86%	10.00%	14.29%	17.14%																																						
50	8.57%	12.50%	17.86%	21.43%																																						
60	10.29%	15.00%	21.43%	25.71%																																						
(9) B		<p>減浪效果比較： A &gt; C &gt; D &gt; B</p>																																								
(9) C		<p>綜合排列6V對粉筆侵蝕影響</p> <table border="1"><thead><tr><th>時間(分)</th><th>(9)A (平均)</th><th>(9)B (平均)</th><th>(9)C (平均)</th><th>(9)D (平均)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.76%</td><td>5.71%</td></tr><tr><td>20</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>9.52%</td><td>11.43%</td></tr><tr><td>30</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>14.29%</td><td>17.14%</td></tr><tr><td>40</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>18.97%</td><td>22.86%</td></tr><tr><td>50</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>23.68%</td><td>28.57%</td></tr><tr><td>60</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>28.39%</td><td>34.29%</td></tr></tbody></table>	時間(分)	(9)A (平均)	(9)B (平均)	(9)C (平均)	(9)D (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10	2.50%	3.57%	4.76%	5.71%	20	5.00%	7.14%	9.52%	11.43%	30	7.50%	10.71%	14.29%	17.14%	40	10.00%	14.29%	18.97%	22.86%	50	12.50%	17.86%	23.68%	28.57%	60	15.00%	21.43%	28.39%	34.29%
時間(分)	(9)A (平均)	(9)B (平均)	(9)C (平均)	(9)D (平均)																																						
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%																																						
10	2.50%	3.57%	4.76%	5.71%																																						
20	5.00%	7.14%	9.52%	11.43%																																						
30	7.50%	10.71%	14.29%	17.14%																																						
40	10.00%	14.29%	18.97%	22.86%																																						
50	12.50%	17.86%	23.68%	28.57%																																						
60	15.00%	21.43%	28.39%	34.29%																																						
(9) D		<p>減浪效果比較： B &gt; D &gt; C &gt; A</p>																																								

八、綜合討論—林克塊底面方向

資料來源:作者編製

編號	(8) A 同 (2) A	(8) B 同 (2) B	(8) C	(8) D																																																																															
示意圖																																																																																			
<p>底面方向變化4.5V對粉筆侵蝕影響</p> <table><caption>底面方向變化4.5V對粉筆侵蝕影響數據 (估計值)</caption><tr><th>時間(分)</th><th>(8)A (平均)</th><th>(8)B (平均)</th><th>(8)C (平均)</th><th>(8)D (平均)</th></tr><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>1.71%</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.29%</td></tr><tr><td>20</td><td>3.43%</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>8.57%</td></tr><tr><td>30</td><td>5.14%</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>12.86%</td></tr><tr><td>40</td><td>6.86%</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>17.14%</td></tr><tr><td>50</td><td>8.57%</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>21.43%</td></tr><tr><td>60</td><td>10.29%</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>25.71%</td></tr></table>		時間(分)	(8)A (平均)	(8)B (平均)	(8)C (平均)	(8)D (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10	1.71%	2.50%	3.57%	4.29%	20	3.43%	5.00%	7.14%	8.57%	30	5.14%	7.50%	10.71%	12.86%	40	6.86%	10.00%	14.29%	17.14%	50	8.57%	12.50%	17.86%	21.43%	60	10.29%	15.00%	21.43%	25.71%	<p>底面方向變化6V對粉筆侵蝕影響</p> <table><caption>底面方向變化6V對粉筆侵蝕影響數據 (估計值)</caption><tr><th>時間(分)</th><th>(8)A (平均)</th><th>(8)B (平均)</th><th>(8)C (平均)</th><th>(8)D (平均)</th></tr><tr><td>0</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>10</td><td>2.50%</td><td>3.57%</td><td>4.76%</td><td>5.71%</td></tr><tr><td>20</td><td>5.00%</td><td>7.14%</td><td>9.52%</td><td>11.43%</td></tr><tr><td>30</td><td>7.50%</td><td>10.71%</td><td>14.29%</td><td>17.14%</td></tr><tr><td>40</td><td>10.00%</td><td>14.29%</td><td>18.97%</td><td>22.86%</td></tr><tr><td>50</td><td>12.50%</td><td>17.86%</td><td>23.68%</td><td>28.57%</td></tr><tr><td>60</td><td>15.00%</td><td>21.43%</td><td>28.39%</td><td>34.29%</td></tr></table>		時間(分)	(8)A (平均)	(8)B (平均)	(8)C (平均)	(8)D (平均)	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10	2.50%	3.57%	4.76%	5.71%	20	5.00%	7.14%	9.52%	11.43%	30	7.50%	10.71%	14.29%	17.14%	40	10.00%	14.29%	18.97%	22.86%	50	12.50%	17.86%	23.68%	28.57%	60	15.00%	21.43%	28.39%	34.29%
時間(分)	(8)A (平均)	(8)B (平均)	(8)C (平均)	(8)D (平均)																																																																															
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%																																																																															
10	1.71%	2.50%	3.57%	4.29%																																																																															
20	3.43%	5.00%	7.14%	8.57%																																																																															
30	5.14%	7.50%	10.71%	12.86%																																																																															
40	6.86%	10.00%	14.29%	17.14%																																																																															
50	8.57%	12.50%	17.86%	21.43%																																																																															
60	10.29%	15.00%	21.43%	25.71%																																																																															
時間(分)	(8)A (平均)	(8)B (平均)	(8)C (平均)	(8)D (平均)																																																																															
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%																																																																															
10	2.50%	3.57%	4.76%	5.71%																																																																															
20	5.00%	7.14%	9.52%	11.43%																																																																															
30	7.50%	10.71%	14.29%	17.14%																																																																															
40	10.00%	14.29%	18.97%	22.86%																																																																															
50	12.50%	17.86%	23.68%	28.57%																																																																															
60	15.00%	21.43%	28.39%	34.29%																																																																															
<p>減浪效果比較： B&gt;A&gt;D&gt;C</p>		<p>減浪效果比較： D&gt;C&gt;A=B</p>																																																																																	

十、兩種造浪機對造浪效果的影響：

資料來源:作者編製

	造浪方式	造浪類型	造浪週期	浪高控制
大型版		近似縱波	馬達轉速、齒輪齒數高度相關。	與吃水深度、推動角度有關。
小型版		近似海浪波	馬達轉速有關，但可透過連桿調整週期、浪高、浪形。	

陸、結論

前置、粉筆浸泡水的最佳化時間

粉筆泡水25分重量趨於穩定，故後續實驗均先將粉筆浸泡25分後開始實驗

一、無消波塊、林克塊、圓形菱形塊、六角菱形塊，減緩侵蝕(減浪)效果

1. 小浪單排效果：林克塊>六角菱形塊>圓形菱形塊，林克塊效果最佳
2. 大浪單排效果：林克塊=六角菱形塊=圓形菱形塊，需實驗多排效果

二、林克塊旋轉不同角度(單排)，減緩效果最佳情形

1. 小浪，效果：單排逆放>單排交錯>單排正放
2. 大浪，效果：單排逆放=單排交錯=單排正放
3. 單排時，最早的接觸面積對破壞海浪的效果有正相關

三、調整離岸位置對海浪減緩效果：海水高度(潮汐)對減緩侵蝕(減浪)效果

1. 離岸最近代表無浪時整顆消波塊裸露
2. 離岸中間代表無浪時消波塊淹到中心位置
3. 離岸最遠代表無浪時剩頂部突出在海面上
4. 消波塊裸露程度越多，減緩侵蝕(減浪)效果越好

四、增加消波塊的排數對減緩侵蝕(減浪)效果：在成本效益考量最佳方法

1. 小浪：雖然排數增加，效果越好；
2. 大浪：排數增加後，能夠減緩侵蝕
3. 數據顯示兩排消波塊兩排與三排消波塊是最有效益的
4. 海岸地形也會影響到排數，因此兩排應該比較符合現況

五、討論雙排消波塊位置變化對減緩侵蝕(減浪)效果：雙排效果最好的位置

1. 雙排效果最好的位置：離岸最近兩排
2. 海平面上方體積越多，減緩侵蝕效果越好
3. 海平面下體積也有減緩侵蝕效果，只是需要一定的數量比較有效

六、綜合討論(六~七)：

林克塊旋轉及交錯對其減緩侵蝕效果(雙排)

1. 前排擔任切分海浪、初次破壞形狀角色
2. 後排擔任阻擋海浪分攤側浪衝擊角色
3. 雙排交錯可以達成二次減緩侵蝕的效果

柒、參考資料及其他

本作品海報之圖表、照片由作者自製拍攝。

3D列印模型：奇狐文化工作室(<https://www.thingiverse.com/thing:5842506>)

中央氣象局([https://www.cwa.gov.tw/V8/C/C/MMC\\_STAT/sta\\_wave.html](https://www.cwa.gov.tw/V8/C/C/MMC_STAT/sta_wave.html))

張亦萱、陳威仁、陳威廷、陳筠、陳芬瑋、許庭源(2004)——從人工消波塊看自然生態工法。第44屆全國科展國小生活與應用科學組。

林聖淵、黃仁郁、何逸群、鄭天霖(2003)。海浪的力量—防波堤的設計。第44屆全國科展國中生活與應用科學組。

張宜鈞、陳愛、曾元媛、張宜越、陳逸帆(2014)。HOLD 住洄瀾灣~化仁海岸段離岸堤改善可行性之探究。第54屆全國科展國小地科組。