

新竹市第 42 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：地球科學

組 別：國小組

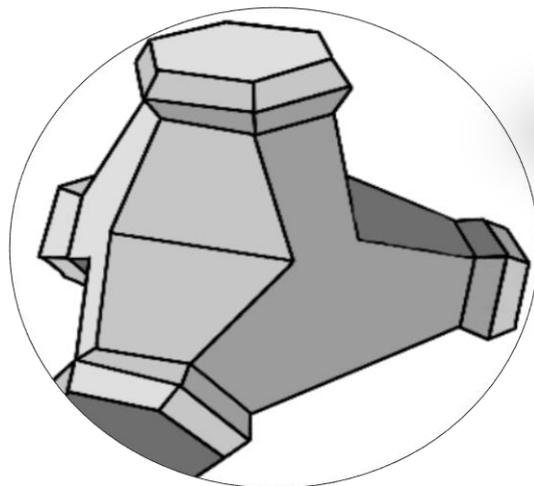
作品名稱：小「堤」大作—探討新竹 17 公里消波塊型態對波浪之影響

關 鍵 詞：消波塊、堤岸、波浪

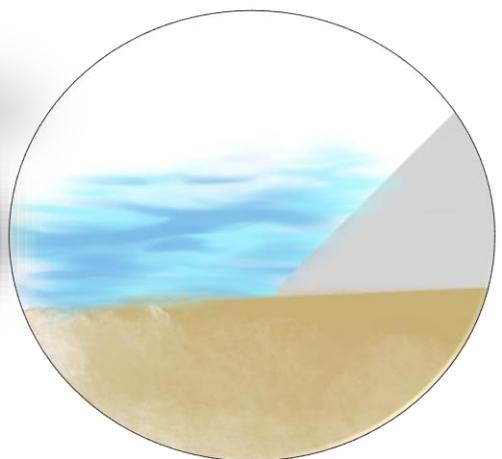
編 號：113PB - E001



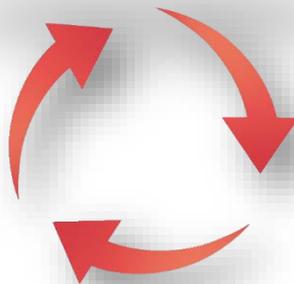
波浪



消波塊



堤岸



摘要

本研究以四個面向去觀察實驗，新竹 17 公里海岸線消波塊種類、11 種消波塊抵浪效果、消波塊擺設區域的差異性及外堤增設的探討。利用模擬實驗的方式，研究各式堤防及消波塊的抵浪效果，使用三種度數來營造不同大小的波浪，實驗過程中發現消波塊的種類會造就出不同的消浪效果，以三腳鼎塊消浪效果最好，三和塊的抵浪效果最差。然而增設外堤可以有效抵消波浪，大堤防及礫石堤防消浪效果最好。以 17 公里海岸線來說，距離外海的遠近會影響消波塊投放的種類及數量，觀察發現距離外海較近的南寮漁港的消波塊種類有五種，海山漁港及金城湖河口區的消波塊種類有四種，水資源公園、賞蟹步道及風情海岸則無消波塊，觀察得知無消波塊的區域離外海最遠距離有 2.27 公里，在海浪打進來同時也被這廣大的沙灘地給抵消掉。

壹、研究動機

我們在新竹 17 公里海岸線騎腳踏車的過程中，發現海岸邊堆放著大大小小不同的水泥塊。好奇這些水泥塊為何要被丟在海岸邊。回學校詢問自然老師後，才明白這些奇形怪狀的水泥塊叫做消波塊，經過網路查詢後才知道這些所謂的消波塊，是用來抵擋海浪衝擊，降低海浪對海岸的侵蝕，且這些消波塊除了形狀不同外，還有各自的名稱，這點讓我們非常驚訝！

另外在六年級自然課「大地的奧秘」單元中，我們學到相關海岸與消波塊的關聯性及功能，也發現消波塊的種類不只一種，擺放的區域跟數量也會因位置而不一樣。於是，集結了幾位同學，實際走訪 17 公里海岸線觀察各區域的消波塊，種類及擺放的位置，我們想要利用這個機會，透過觀察與實際操作並討論結果，探討 17 公里海岸線的堤岸與消波塊的組成、各種消波塊對抵擋波浪的效果及自然海岸和人工海岸的差異性。希望藉由這次的科展研究，好好認識這些奇形怪狀的消波塊。

在老師的用心指導下，一起收集資訊並規劃實驗方式，使用油土模型、石膏模型及矽膠模組來製作各種消波塊，再用 3D 列印各種堤防，使用玻璃缸、伺服馬達及壓克力板製作出造浪機來測試各種消波塊不同的種類及排列方式。過程中也體會到消波塊對環境的優缺點及必要性，大家要如何在環境保護及人為安全的衝突下，與大自然和平共存，勢必是未來人類必須要關注的環境議題。

貳、研究目的

- 一、 認識新竹市 17 公里海岸風景區。
 1. 蒐集新竹市 17 公里海岸相關文獻資料。
 2. 實際考察 17 公里海岸環境。
- 二、 探討台灣常用消波塊的類型。
 1. 分析台灣常用消波塊種類。
 2. 探討消波塊常用種類的用途。
 3. 調查新竹市 17 公里海岸現有的消波塊種類
- 三、 消波塊的應用實驗。
 1. 製作 17 公里海岸現有消波塊的種類。
 2. 消波塊沖刷抵浪防護實驗。
 3. 探討消波塊排列組合的差異性。
 4. 分析 17 公里海岸的各種消波塊的消波效果。
- 四、 探討新竹市 17 公里海岸設計之組成。
 1. 探討 17 公里各區域消波塊的組成分布。
 2. 外堤設置對海岸地形的效應研究。
- 五、 新竹市 17 公里海岸環境的推廣
 1. 消波塊的回收利用。
 2. 探討消波塊的必要性。
 3. 人工海岸與自然海岸的並存方式。

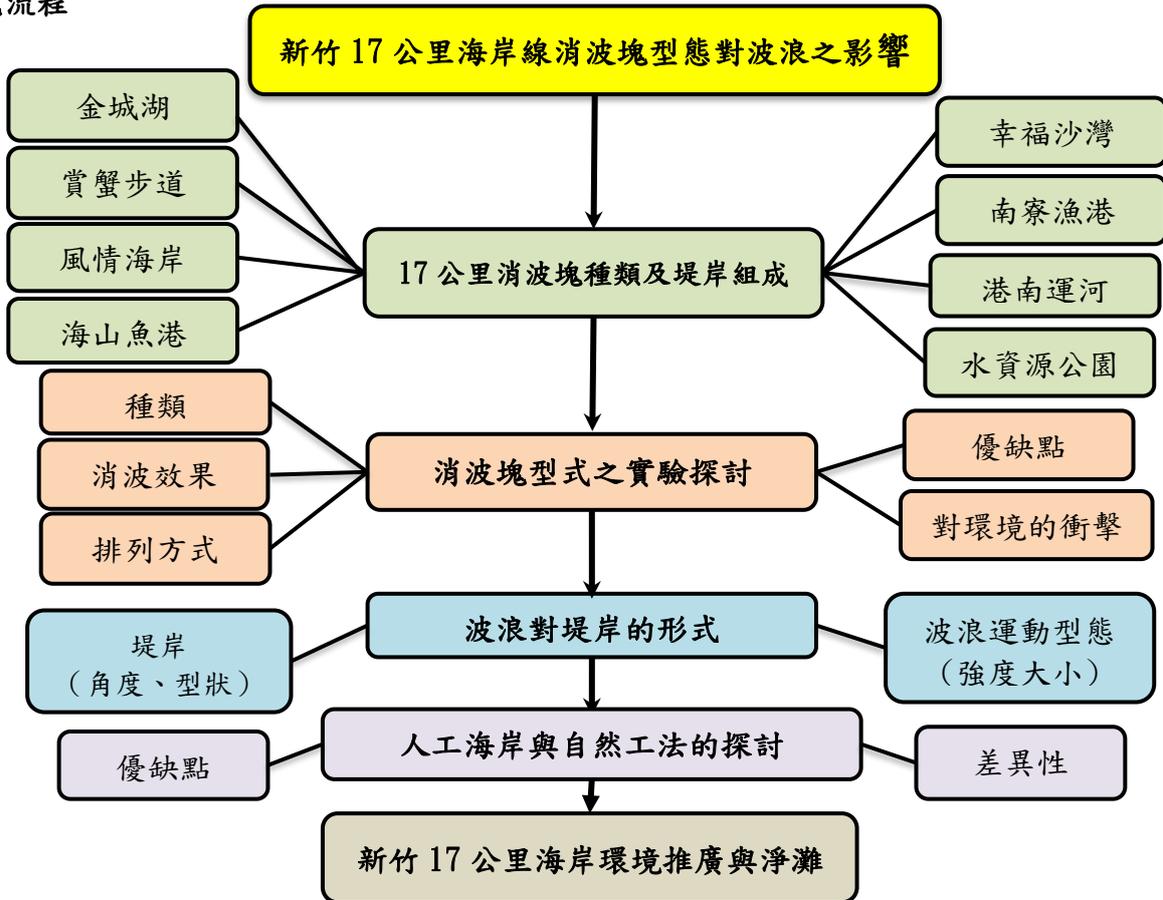
參、研究設備與器材

目的	設備與用品
1. 戶外觀察	相機、筆記本、筆、量角器
2. 觀察紀錄	筆記本、excel 統計報表、標籤紙
3. 查詢資料	筆電、平板
4. 製作模型	石膏、3D 列印、離型劑，矽膠，口罩，免洗手套，紙盒、橡皮筋、冰棒棍、美工刀、泡棉膠、量杯、石膏粉、磅秤
5. 實驗材料	實驗用水缸、木板、石頭、網袋、伺服馬達、沙子、壓克力板、消波塊模型、3D 列印塑膠堤防、魔鬼氈、藍色食用色素

表 3-1 研究設備與器材

肆、研究過程與方法

一、研究流程



二、認識新竹 17 公里海岸風景區

在日治時代，日本政府就已經有開發新竹香山海埔地的計畫，直到 1957 年台灣光復後，台灣政府才開始規劃新竹港南海埔新生地，並在 1959 年建造堤坊，於 1962 年完成約 90 公頃的實驗區，1966 年增加了約 315 公頃。（新竹漁港的興建導致已經廢棄的南寮海水浴場，於 1990 年被新竹政府建造的青年娛樂中心取代，但青年娛樂中心裡的海水浴場被破壞後，因水質不佳而停止開放）。1993 年這裡被台灣省的旅遊局規劃成西部濱海遊戲區的景點之一，並將此地與新竹 17 公里海岸線聯合後，成為了台灣北部最知名的景點。（圖 4-1）

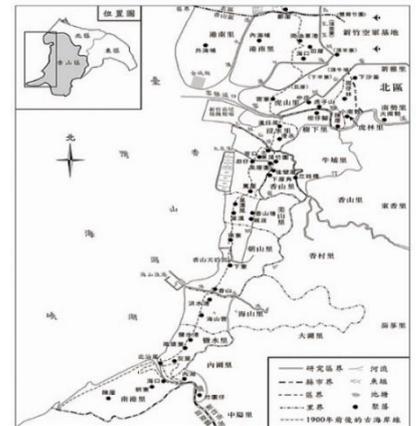


圖 4-1 新竹沿海的地區的地理環境變遷與區域發展資料來源：黃琇勻老師繪製

三、新竹市 17 公里海岸線樣區的選定及消波塊種類分析

我們實際走訪新竹市 17 公里風景海岸線，選定南寮漁港為起點到海山魚港為終點，過程中共發現了 11 種消波塊，包含漁港、海岸邊及堤防外等，都有擺放不同的消波塊，因此得知不同區域所擺放的消波塊種類皆不同，推測消波塊的形狀種類及功能性皆不同。

新竹 17 公里海岸線環境考察（圖 4-1~4-4）



圖 4-2 三腳鼎塊觀察



圖 4-3 四角林克塊觀察



圖 4-4 沙灘地形觀察

(一) 觀察樣區的選定

我們選定新竹市 17 公里海岸線的八個研究樣區是：南寮漁港、幸福沙灣、港南運河、金城湖、水資源公園、賞蟹步道、風情海岸、海山漁港。

1. 新竹市 17 公里海岸線 (圖 4-24)



圖 4-24 新竹市 17 公里海岸線

2. 觀察樣區的選定 (圖 4-25~4-32)



(二) 探討新竹市 17 公里海岸現有的消波塊種類與結構 (圖 4-33~4-43)

我們將所發現的消波塊種類編號，共 11 種，分別為：A. 協克塊、B. 菱形塊、C. 四腳林克塊、D. 三腳鼎塊、E. 元鼎塊、F. 六腳塊、G. 力川塊、H. 三和塊、I. 安卡塊、J. 中空三角塊、K. 雙 T 塊。以下是 17 公里海岸線 11 種消波塊的基本介紹。





圖 4-37 E. 元鼎塊：
整體形狀像螺絲帽般的六角形，上下各凸三塊五角形。常用於河川上、中、下游和海岸、漁港堤岸。

圖 4-38 F. 六腳塊：
外型像六個方形接合在一起。常用於河川使用或是港口出海口附近。

圖 4-39 G. 力川塊：
外型像四邊形但中間有個圓洞，四邊形上下都各有四個方塊。常用於河川上、中和下游。

圖 4-40 H. 三和塊：
外型有如三個長方形互相交疊在一起。常用於河川上、中、下游和海岸、漁港堤岸。



圖 4-41 I. 安卡塊：
外型像蝴蝶結，由兩塊梯形合在一起常用於河川中、下游和漁港堤岸。



圖 4-42 J. 中空三角塊：
外型像是一個三角形但中間為空心。常用於海岸、漁港堤岸。



圖 4-43 K. 雙 T 塊：
外型像是兩個 T 合在一起。常用於漁港堤岸。

四、探討台灣常用消波塊的種類

(一)消波塊的緣由 (圖 4-44)

消波塊在 1950 年由法國人皮埃爾·丹奈爾發明，當專利保護期結束後，開始普及全世界，二次世界大戰北非戰線上，法軍用防護塊來阻擋德軍的坦克車前進，戰爭結束後，將此種防護塊拋在北非卡薩布蘭卡防波堤周圍，以替代護堤方塊，本為廢物利用，發現有很好的消波效果。經過不斷的實驗後，證明有消波作用，安定性良好，於是取得世界性專利。為消波塊的鼻祖，此後各種形式的消波塊相繼推出。



圖 4-44 戰爭期間用來阻擋戰車前進

(二)台灣海岸線現有消波塊種類的組成

臺灣較常見的消波塊約有 20 種左右，依照形狀的不同，功能和相對用途也不同，投放的區域也都不同，常使用的種類約 15 種左右。(表 4-1)

消波塊擺放位置	種類
河川上游段或水流直沖段	元鼎塊、六鼎塊、雙十塊、三腳鼎塊、三和塊、天允塊
河川中游段	元鼎塊、六鼎塊、力川塊、蜂巢塊、林克塊、三腳鼎塊、三和塊、安卡塊、天允塊、六腳塊
河川下游段	元鼎塊、六鼎塊、力川塊、蜂巢塊、林克塊、三腳鼎塊、三和塊、安卡塊、天允塊、六腳塊
漁港、海岸堤防	元鼎塊、六鼎塊、力川塊、蜂巢塊、天允塊、林克塊、協克塊、三和塊、安卡塊、六腳塊、菱形塊、利水塊

表 4-1 台灣常見消波塊種類及擺放位置

(三)海洋大學河海工程系觀摩學習 (圖 4-45~4-47)

想要更了解消波塊在台灣海岸線的種類及作用原理，特地到海洋大學河海工程系參觀學習，其目的是讓我們更瞭解台灣消波塊的種類、擺放方式、投放區域等相關知識。



圖 4-45 教授教學消波塊基本原理



圖 4-46 觀摩大型造浪設備



圖 4-47 教授講解造浪的擺浪原理

五、新竹市 17 公里海岸線現有消波塊的模型製作

為了實驗各種消波塊的抵浪效果，跟海洋大學河海工程系借了五種消波塊模型，但我們實際觀察 17 公里海岸線的消波塊種類，高達 11 種之多，海洋大學只有 5 種（其中雙 T 塊在使用的過程中，不幸掉落而斷掉），於是我們利用 3D 列印的方式，製作了另外 7 種消波塊，才符合我們要實驗的種類。此外各種堤防也一併使用 3D 列印製作。

(一)消波塊及堤防模型（圖 4-48~4-54）



圖 4-48 海洋大學借的消波塊模型



圖 4-49 用 3D 列印的消波塊模型



圖 4-50 用 3D 列印各種堤防模型

※以下是我們設計的外堤尺寸：階梯堤防、大堤（中堤+小堤）、中堤、小堤及 L、U 型堤

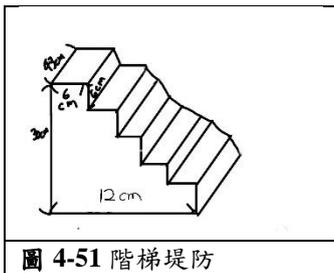


圖 4-51 階梯堤防

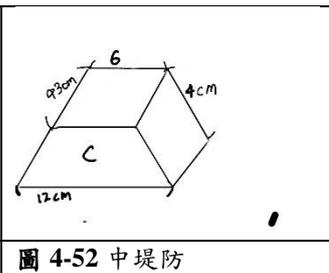


圖 4-52 中堤防

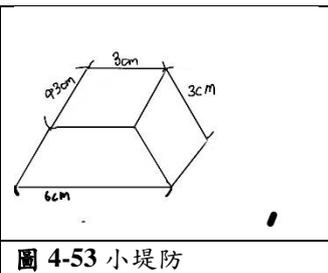


圖 4-53 小堤防

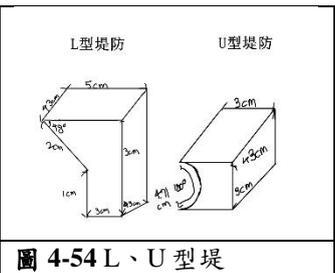


圖 4-54 L、U 型堤

(二)消波塊模型翻模材料（圖 4-55）



圖 4-55：離型劑，矽膠，3D 列印消波塊模型，口罩，免洗手套，紙盒、橡皮筋、冰棒棍、美工刀、泡棉膠、量杯、石膏粉、磅秤

(三)消波塊翻模製作過程（圖 4-56~4-63）



圖 4-56 模具底部貼雙面泡棉膠，防止模具浮起來。



圖 4-57 灌模容器內部及模型原型噴離型劑。



圖 4-58 矽膠與硬化劑的比例：100：2。

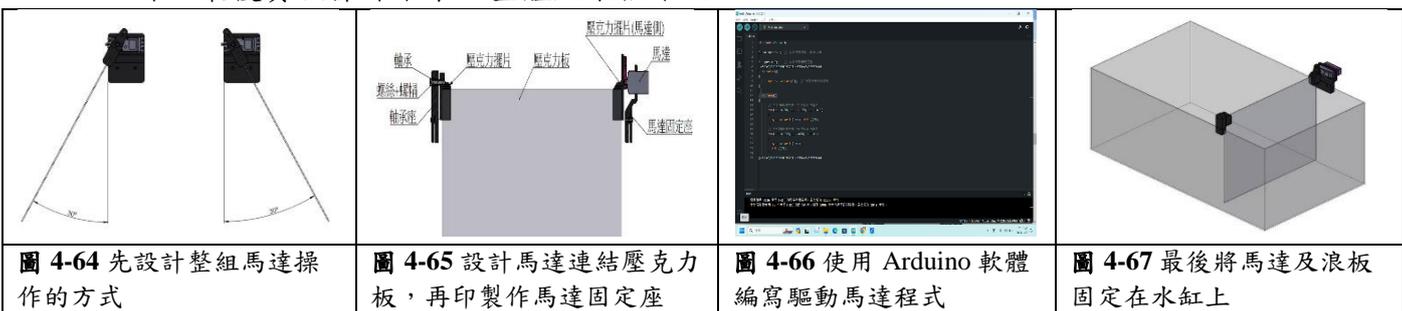


圖 4-59 調和後，要盡速攪拌均勻，防止固化。



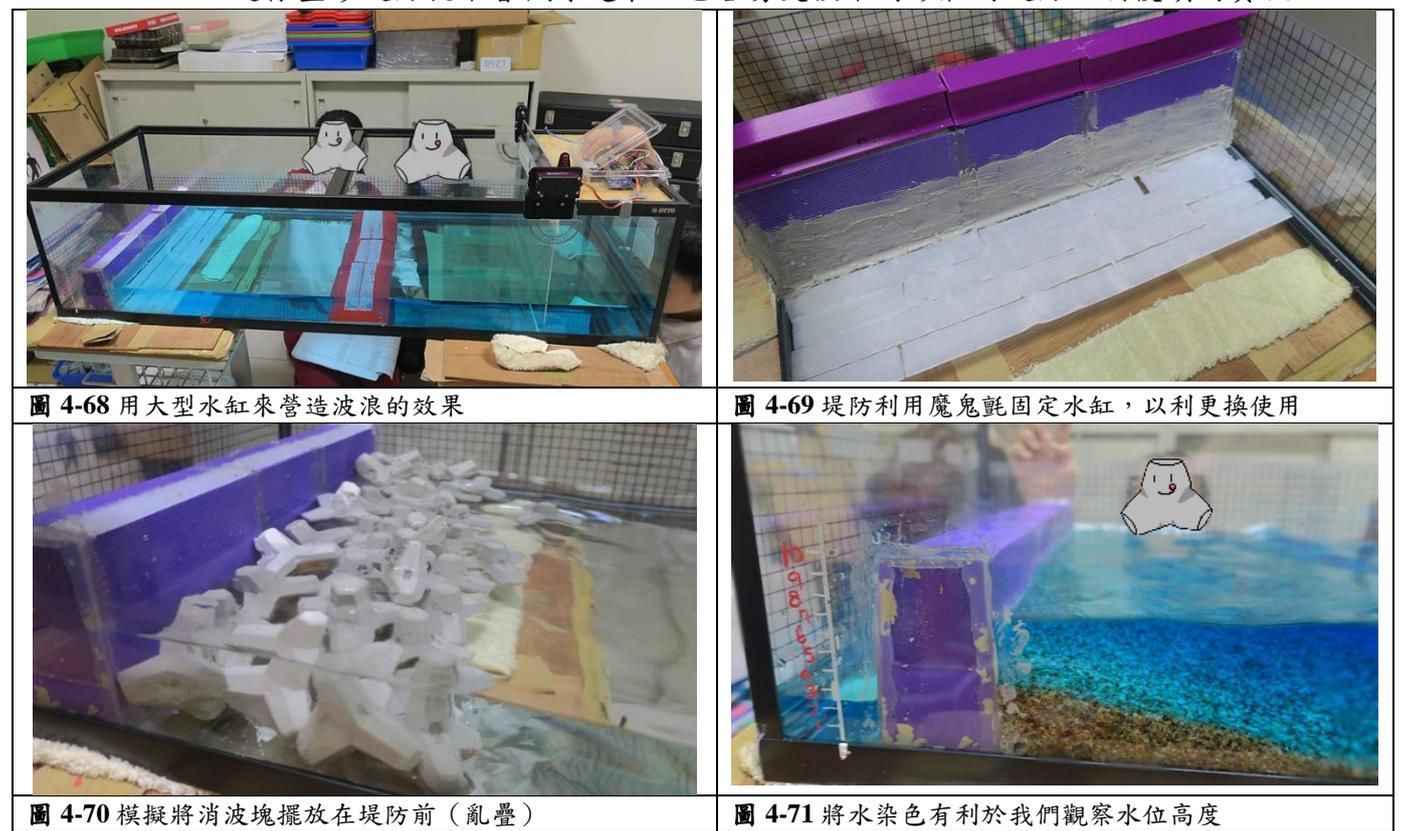
(四)馬達及浪板的製作 (圖 4-64~4-67)

為了模擬海浪的拍浪效果，花了點時間找合適的馬達，後來找到體積小、力量不差的伺服馬達來使用，再利用 3D 列印馬達的基座，用來固定伺服馬達連接在壓克力板，這樣就形成一個造浪板。最後使用 **Arduino 軟體程式** 來撰寫所需的程式語言，操控伺服馬達的動作，最後實驗操作下來，整體效果很不錯。



(五)水缸與消波塊設置實驗 (圖 4-68~4-71)

我們使用長 120 公分、寬 30 公分、高 25 公分的水缸來實驗，將水缸右側裝置馬達及浪板，再利用電腦控制馬達來帶動浪板，以利推動水來製造波浪的效果。另一側我們用 3D 列印製作**高 10 公分、寬 5 公分的堤防**，來**模擬海岸邊的水泥堤防**。水位高度我們設置在 7 公分，其目的在於水波浪高的情況下，給予 3 公分的浪高當界線，當浪碰觸到堤防後，水會往堤防後方溢出，以**拍打 10 次為準則**，觀察水位高度。**堤防部分則用魔鬼氈固定**在水缸上，這樣塑膠堤防就不會飄浮起來，也容易更換不同形狀的堤防以利後續的實驗。



伍、研究結果

一、 新竹市 17 公里海岸線現有消波塊種類組成之分析

我們選定八個研究樣區：南寮漁港、幸福沙灣、港南運河、金城湖、水資源公園、賞蟹步道、風情海岸、海山漁港。每個樣區的環境及消波塊種類皆不同，以下圖示是各區的介紹。觀察得知南寮漁港有五種消波塊為最多，海山漁港及金城湖的則有四種，推測漁港內多半為漁船停靠使用，需要不同種類的消波塊來抵消波浪，讓內港的漁船可以穩定不翻覆。

(一) 17 公里海岸線消波塊分佈區域 (圖 5-1~5-8)



圖 5-1 南寮漁港共五種消波塊：四腳林克塊、雙 T 塊、三腳鼎塊、三和塊及安卡塊。



圖 5-2 幸福沙灣只有一種消波塊：四腳林克塊及礫石堆疊成的堤防。

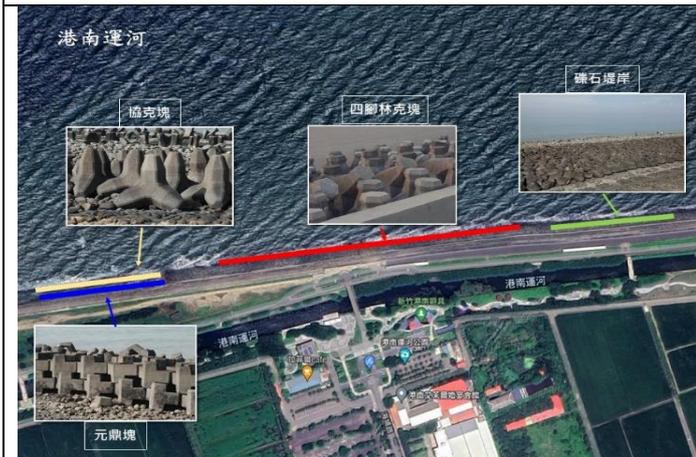


圖 5-3 港南運河共三種消波塊：協克塊、四腳林克塊、元鼎塊及一種礫石堆疊成的堤防。



圖 5-4 金城湖共四種消波塊：三角空心塊、三腳鼎塊、菱形塊、力川塊。



圖 5-5 水資源公園無消波塊，是由礫石堆疊成的堤岸。



圖 5-6 賞蟹步道無消波塊分佈，北岸有方形礫石堆疊起來的堤岸，南邊則是礫石疊成的堤岸和水泥礫石堤岸。



圖 5-7 風情海岸無消波塊，有水泥邊坡堤岸。



圖 5-8 海山漁港共有四種消波塊：四腳林克塊、六角塊、元鼎塊、三角鼎塊。

※觀察結論：從地理位置上發現，金城湖以後的區域，就無消波塊，直到海山漁港內才會有消波塊的分布。無消波塊的區域多半以水泥堤防為主，且離外海的距離較遠（1.68 公里~2.27 公里），推測此區有廣大的沙灘地，可以有效抵消外海的波浪到人民活動的範圍。



圖 5-9 11 種消波塊模型



圖 5-10 消波塊模型晾乾



圖 5-11 各種消波塊數量約 30 個

※個別化製作 11 種消波塊，每一種數量約 30 個，重量從 24g~75g 不等。（圖 5-9~5-11）

二、波浪對堤岸衝擊實驗

我們發現漁港外會設置一道外堤，每當退潮的時候，外堤就會顯露出來，漲潮的時候就會被海水淹沒，沒有找退潮時機，就不容易觀察到漁港外的外堤。另外在海岸邊也有不同的堤岸，有礫石堆砌或水泥石階狀。因為好奇這些形狀的抵浪效果是如何，所以我們使用三種不同擺浪度數，造就出不同大小的波浪，實驗看看哪一種效果最好。

度數分別：40°~140°；30°~150°；60°~120°

(一) 探討外堤設置抵浪效果 (圖 5-12~5-14)



圖 5-12 礫石外堤 2 層高出水面

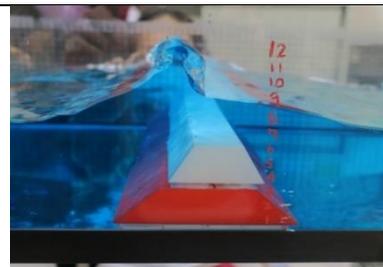


圖 5-13 大外堤 6 公分高

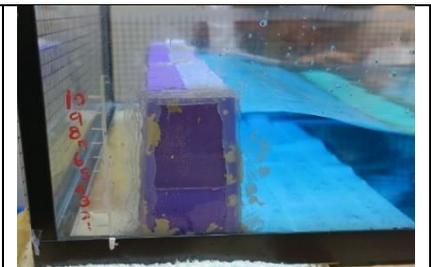
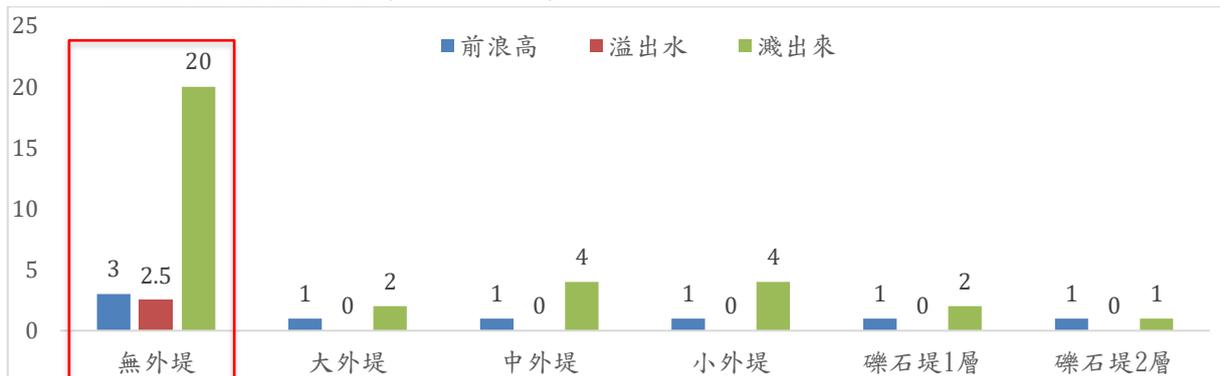


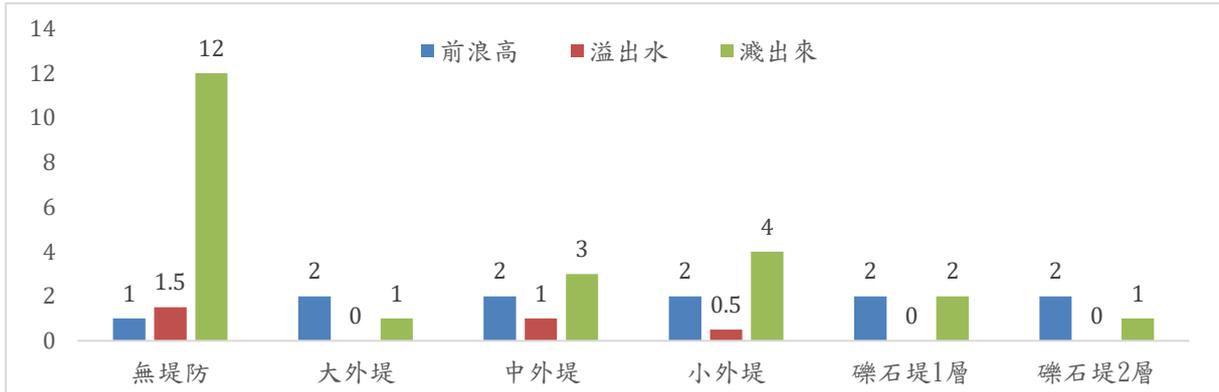
圖 5-14 堤防高 10 公分、厚 5 公分

1. 堤防加各種外堤 (40°~140°)



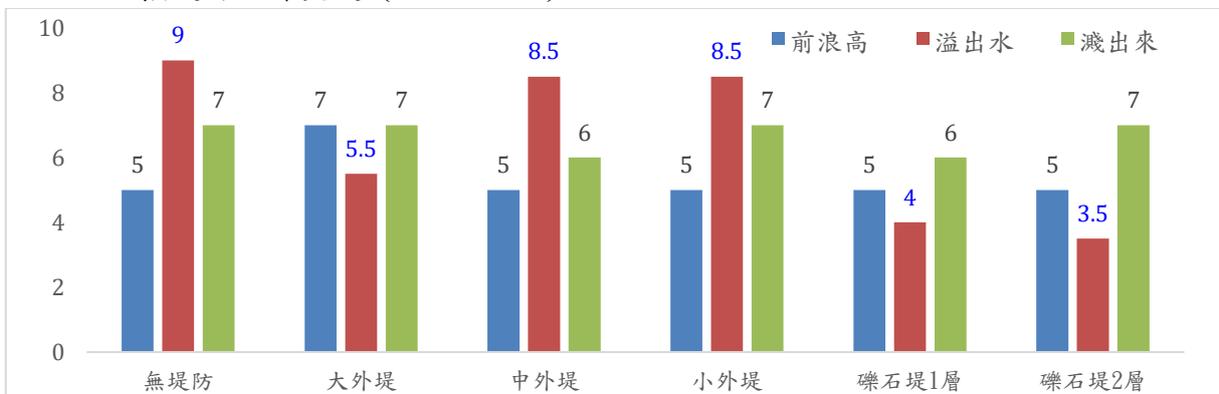
實驗結論：明顯可以看出，在無外堤的情況下，水花濺出較高，且溢出堤防的水位 2.5 公分。加了外堤後，不管大小或石礫如何，抵浪的效果都不錯，礫石堤防兩層的效果最好。

2. 無堤防加外突堤 (30°~150°)



實驗結論：在無堤防的情況下，濺起的水花通常都比較高，加了外堤後，就明顯降低水花的濺起及溢出的水。因此得知增設外堤可以有效抑制波浪的湧起，減緩水花的濺起。

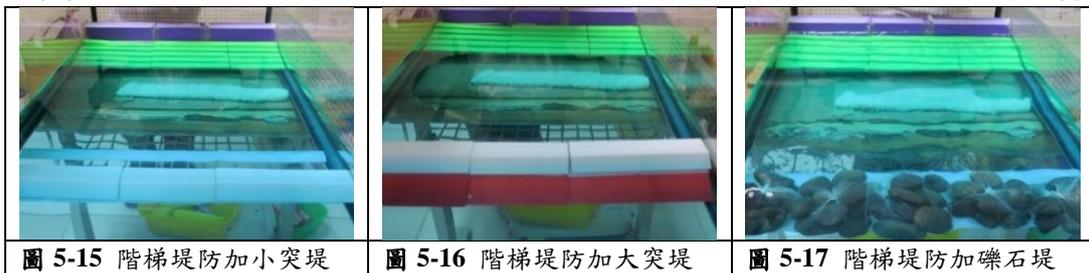
3. 無堤防加外突堤 (60°~120°)



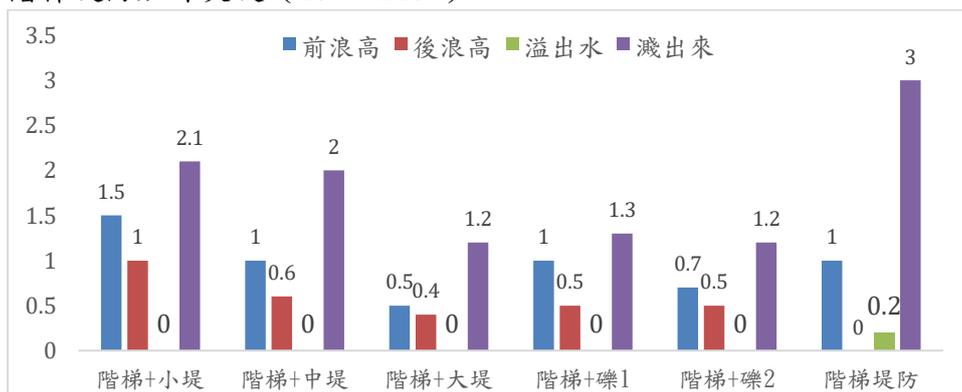
實驗結論：此角度來回擺盪較快，形成的波浪也較多，反而造成溢出的水位較高。有效抑制溢出水位的是礫石堤防兩層，水位高度為 3.5 公分，最高的則是無堤防 9 公分，中小外堤也有 8.5 公分。其中礫石堤 1 層的效果最好，溢出水有 4 公分。雖比礫石堤 2 層水多了 0.5 公分，但是平均成績比前者好。因此得知在波浪速度快的情況下，會決定浪花回彈的效果，容易造成水位濺起及溢出。

(二) 階梯堤防加外突堤 (圖 5-15~5-17)

在南寮漁港看到魚鱗天梯時，好奇這種形狀對抵浪的效果會是如何，於是使用了 3D 列印製作階梯堤防，再探討這階梯堤防的抵浪效果，然後添加外堤防去增加實驗的效果。

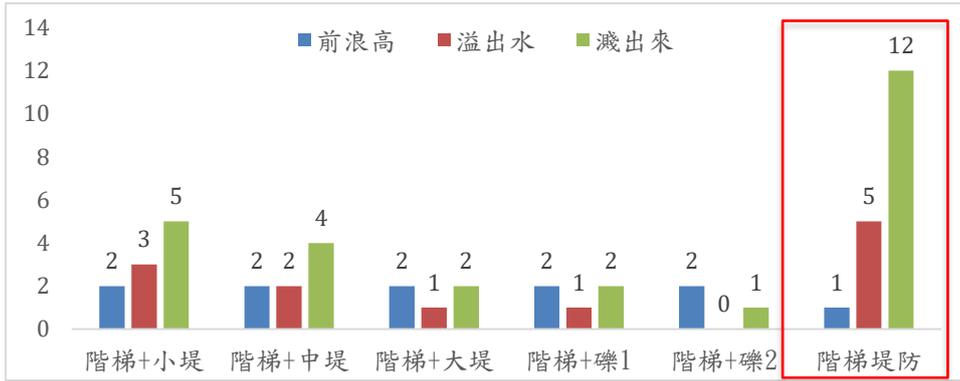


1. 階梯堤防加外突堤 (40°~140°)



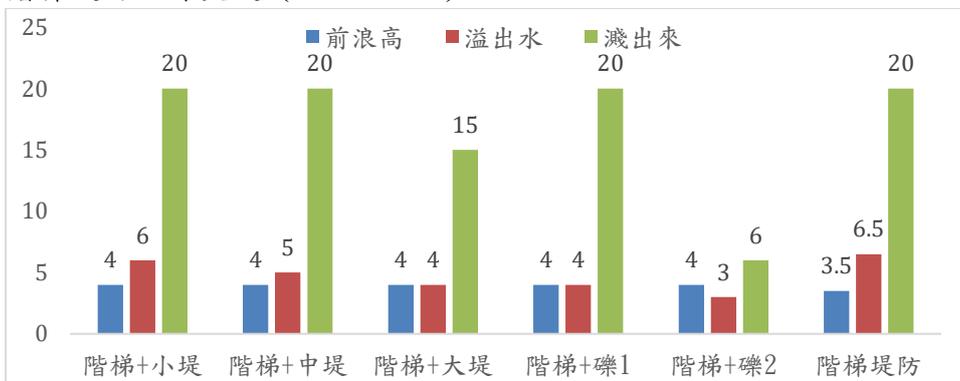
實驗結論：由實驗得出，拍浪 10 次的情況下，只要增加外堤防，幾乎沒有水溢出來，階梯堤防加大堤防跟兩層礫石的抵浪效果最好，小堤防則有濺出水面約 2.1 公分，沒有加外堤防則會有水溢出。

2. 階梯堤防加外突堤 (30°~150°)



實驗結論：只有階梯堤防的情況下，水花會濺起 12 公分左右的高度，且溢出的水位就 5 公分了，然而加了各種外突堤，就明顯舒緩波浪的衝擊，減少水花的濺起及溢出的水。

3. 階梯堤防加外突堤 (60°~120°)



實驗結論：此表可以看出水花多半會濺很高，唯獨階梯堤防加礫石堤防兩層的效果最好，但拍打 10 次左右，溢出的水位也有 3 公分。因此得出在急促的波浪拍打下，外堤的抵消效果還是有限，只能緩和大浪變成小浪。

(三) 堤防增加 U、L 增堤實驗 (圖 5-18~5-19)

當波浪到達堤岸會讓水溢出堤防，如果改造堤防上方的形狀，是否會有其他的效果？所以利用 3D 列印的方式製作了 U 形及 L 形堤防，這兩種堤防形狀大致雷同，其目的是要讓波浪打在堤防上後能夠順利回彈，不讓水直接溢出堤防。

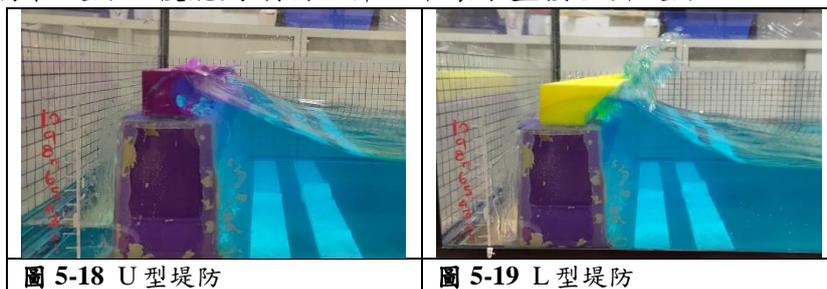
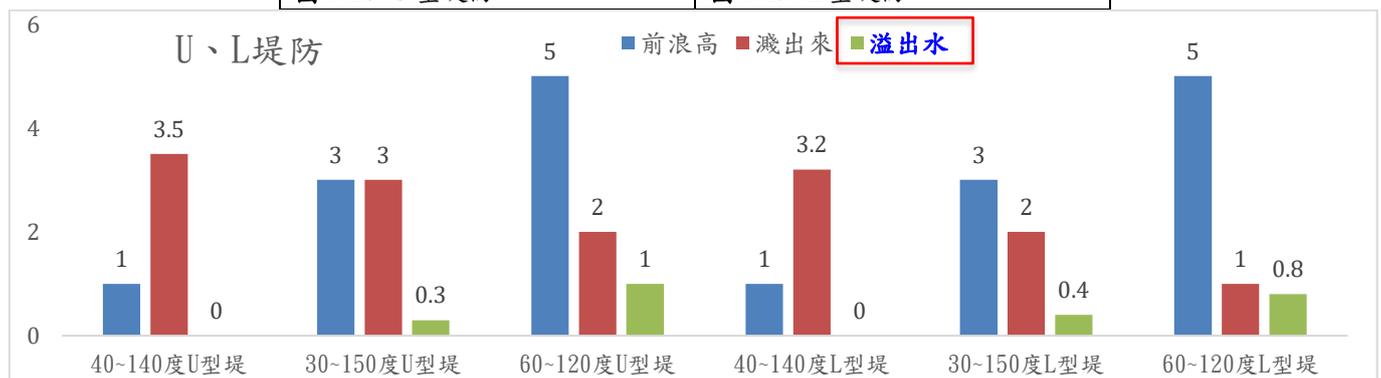


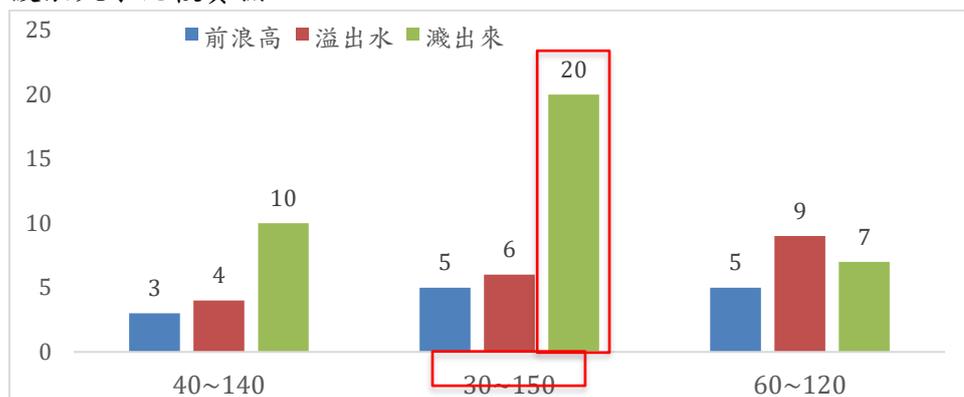
圖 5-18 U 型堤防

圖 5-19 L 型堤防



實驗結論：我們發現增設這兩種堤防，有效降低水溢出的機率，可以將海浪彈回水面上，有效抵擋海浪的衝擊效應導致溢出的效果。

(四) 波浪大小比較實驗



實驗結論：我們發現波浪在 5 公分的情況下，碰觸到堤防水花會濺出水缸；在 $40^{\circ}\sim 140^{\circ}$ 的度數威力比較小，溢出的水只有 4 公分，濺出水面的高度則是 10 公分。

三、 波浪對消波塊衝擊實驗

探討 17 公里海岸線 11 種消波塊的抵浪效果，利用不同的角度來觀察各種消波塊在抵銷波浪的效果，分別以三種度數的造浪效果為實驗，看看哪一種消波塊抵浪效果最好。

(一) 三排消波塊排列實驗 (圖 5-20~5-22)

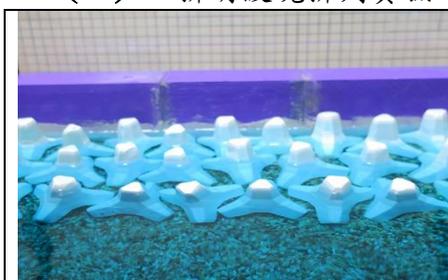


圖 5-20 協克塊三排

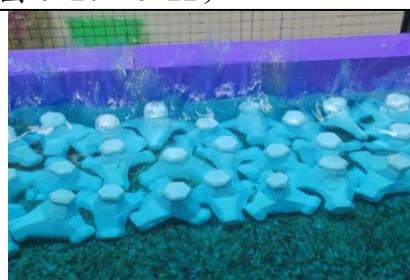
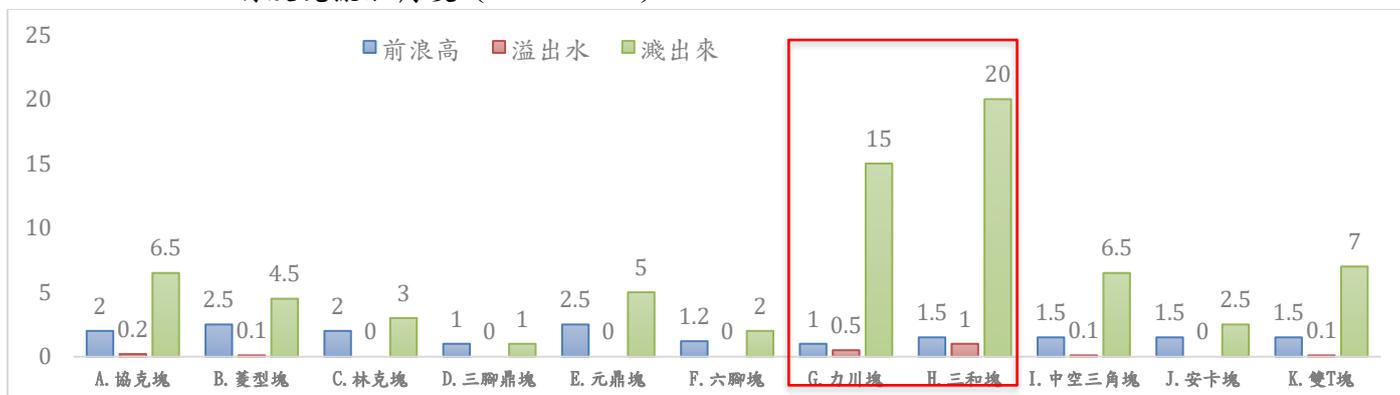


圖 5-21 林克塊三排



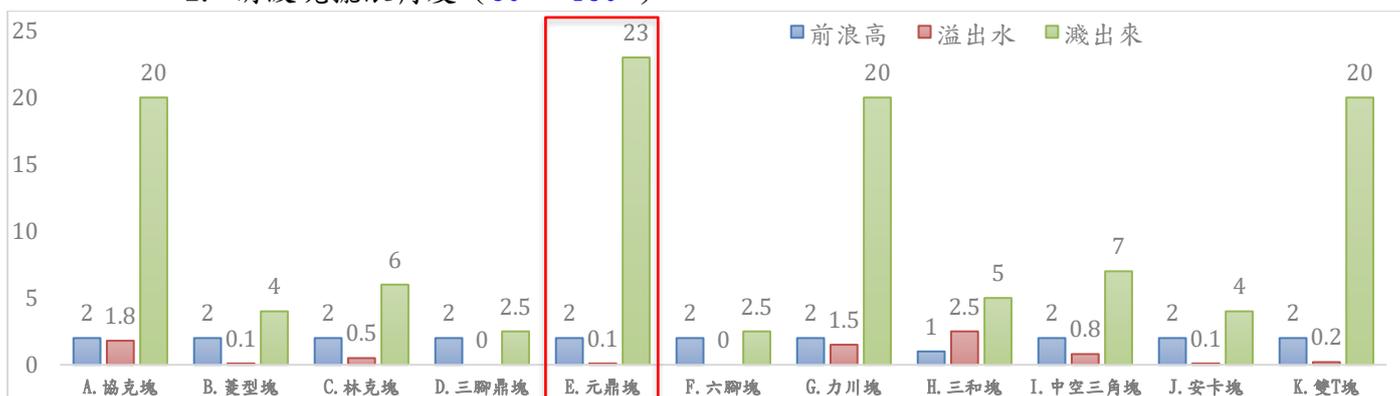
圖 5-22 菱形塊三排

1. 消波塊擺浪角度 ($40^{\circ}\sim 140^{\circ}$)



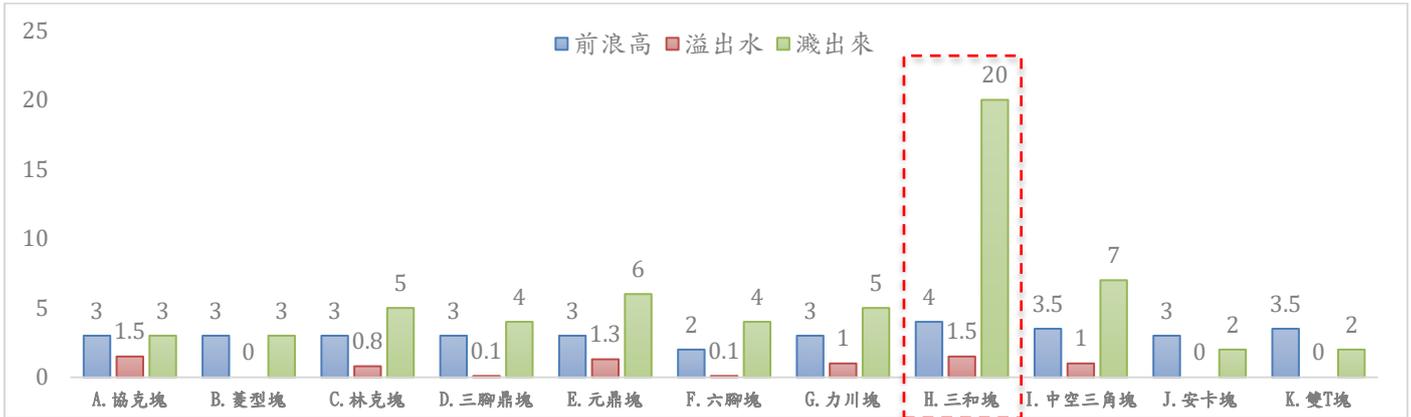
實驗結論：由實驗得知三腳鼎塊的抵浪效果最好，其次為六角塊及林克塊，最差的為三和塊跟力川塊，濺起的水位超過 15 公分。綜合來說大部分幾乎沒有水溢出，唯獨三和塊跟力川塊的有水溢出。

2. 消波塊擺浪角度 ($30^{\circ}\sim 150^{\circ}$)



實驗結論：三腳鼎塊跟六腳塊的抵浪效果不錯，無水溢出來，濺起的水位在 2.5 公分左右，除了協克塊、力川塊、雙 T 塊及元鼎塊濺起的水位落在 20 公分以上外，其餘都可以壓在 7 公分以內。

3. 消波塊擺浪角度 (60°~120°)



實驗結論：三和塊的濺起水位高達 20 公分，相較於其他種類高出許多，推測三和塊不太適合在最前線的區域抵擋海浪，屬於在漁港內的堤防來抵擋小波浪。

(二) 兩排消波塊排列實驗 (圖 5-23~5-25)



圖 5-23 力川塊兩排

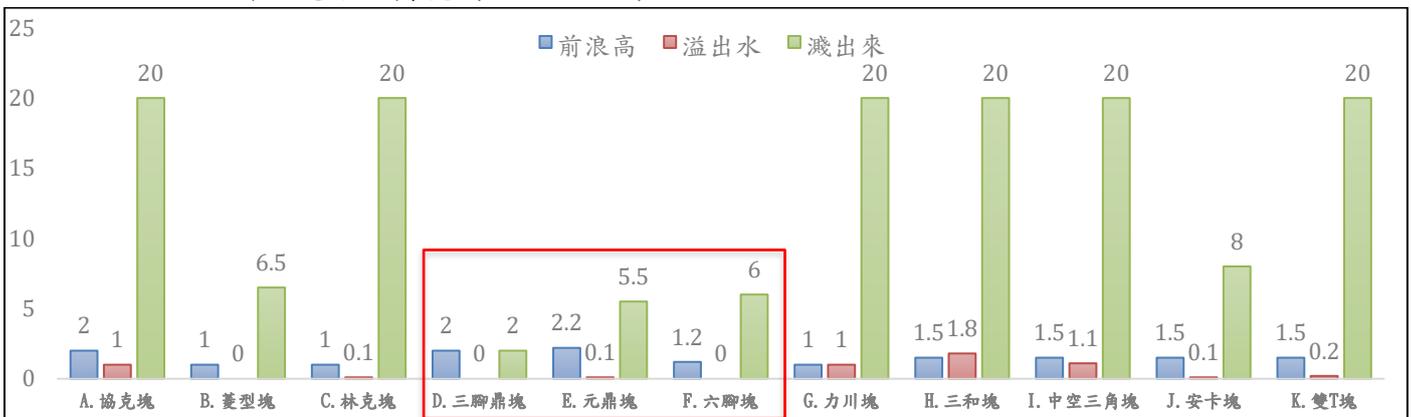


圖 5-24 三和塊兩排



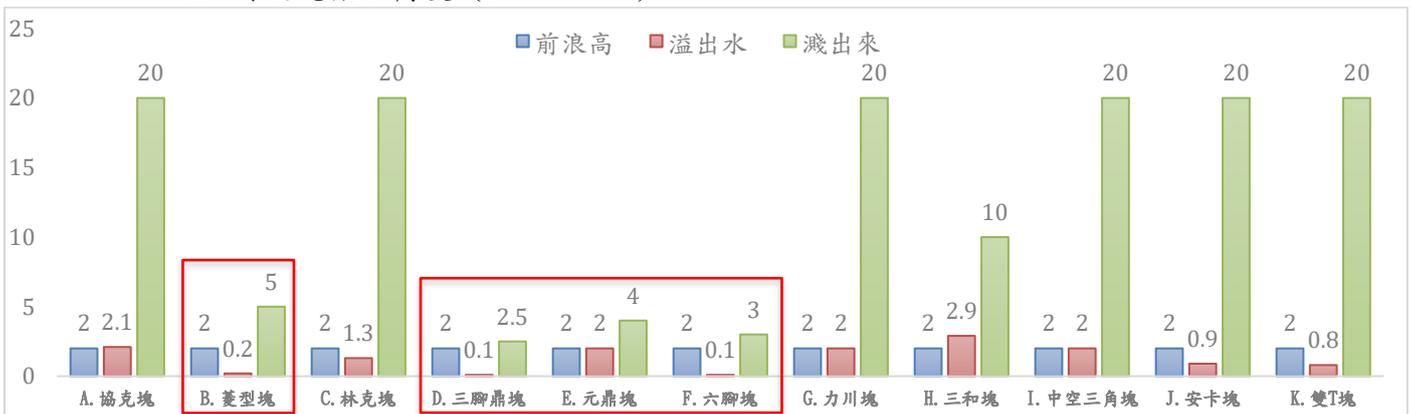
圖 5-25 三腳鼎塊兩排

1. 消波塊擺浪角度 (40°~140°)



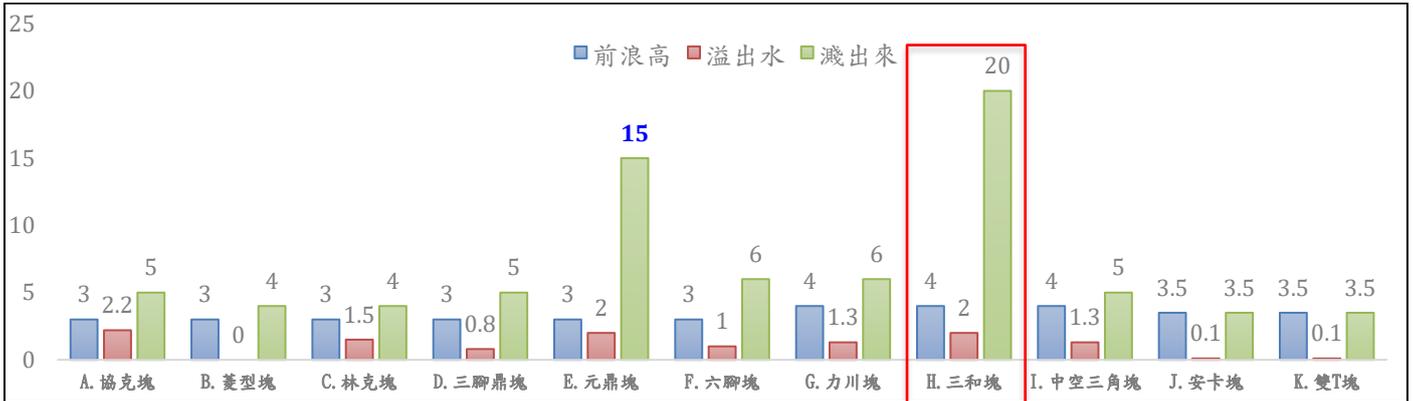
實驗結論：兩排消波塊的情況下，會發現濺起來的水花較高，11 種消波塊就有 6 種超過 20 公分；三角鼎塊的抵浪效果最佳，沒有水溢出來。

2. 消波塊擺浪角度 (30°~150°)



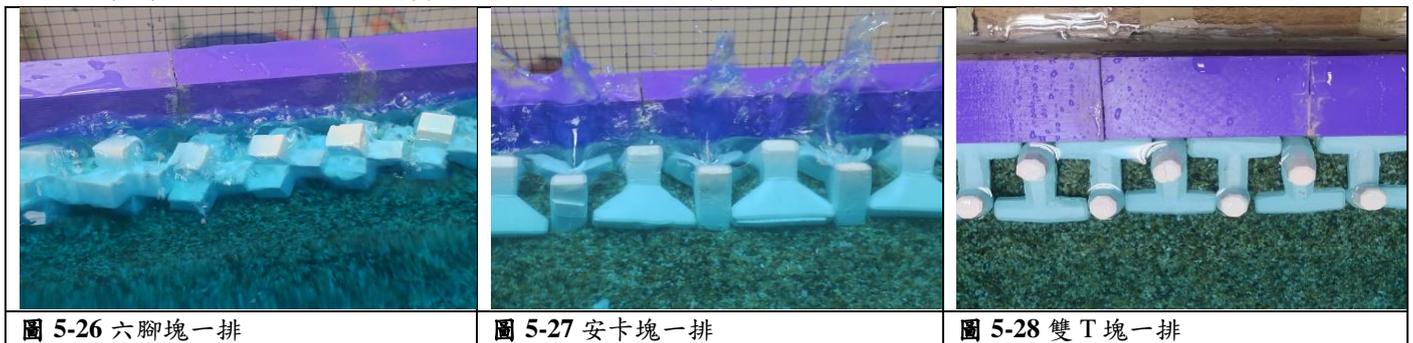
實驗結論：實驗得知有六種消波塊的水花濺起的高度落在 20 公分，三和塊溢出的水位最高 2.9 公分，三腳鼎塊及六角塊表現還是最理想，水位溢出也落在 0.1 公分。

3. 消波塊擺浪角度 (60°~120°)

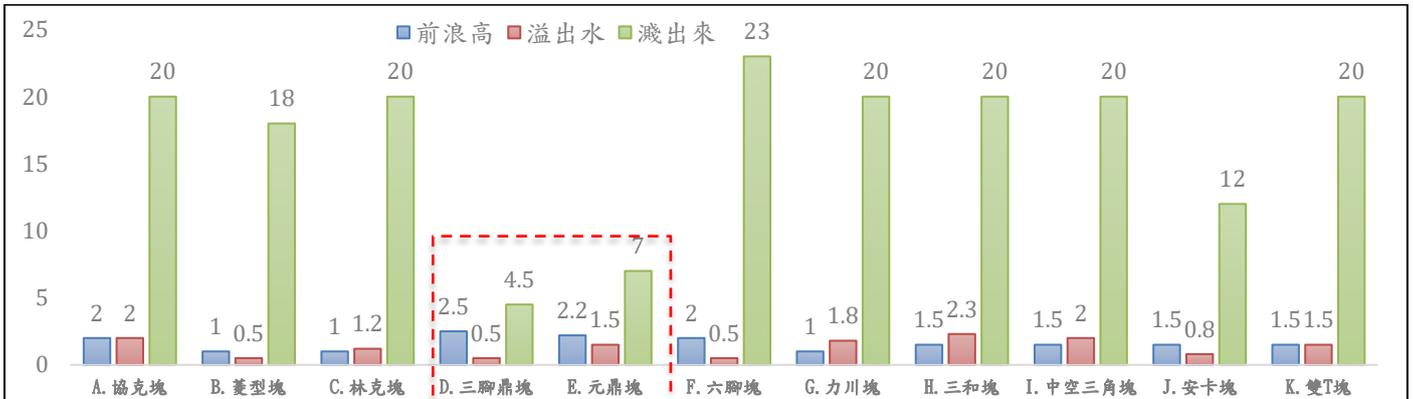


實驗結論：三和塊表現還是比較差，水花濺起的高度都落在 20 公分，反觀元鼎塊出乎意料水花也濺出約 15 公分，其他種類表現還算不錯，菱型塊、安卡塊及雙 T 塊的溢出水位很少，表現最佳。

(三) 一排消波塊排列實驗 (圖 5-26~5-28)

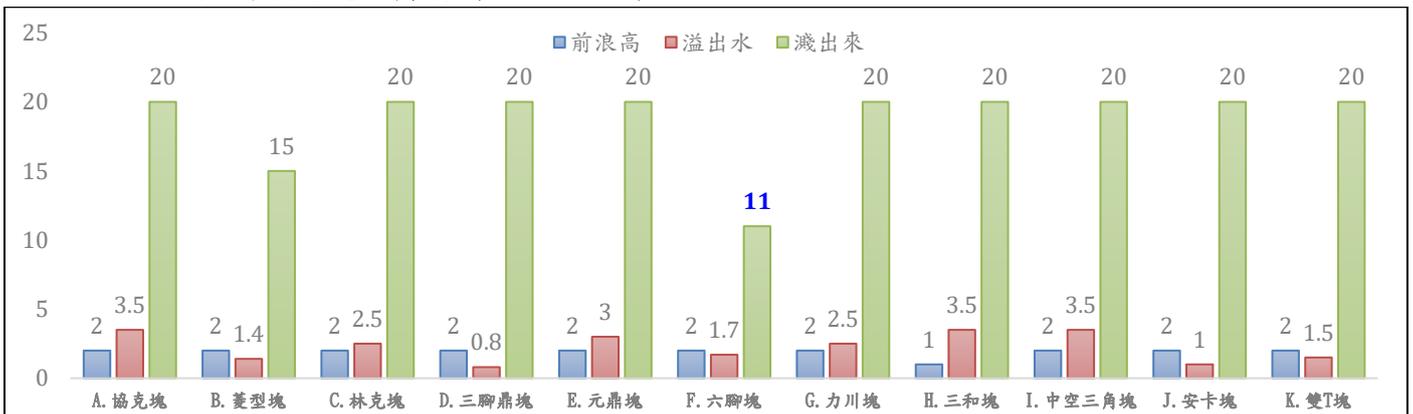


1. 消波塊擺浪角度 (40°~140°)



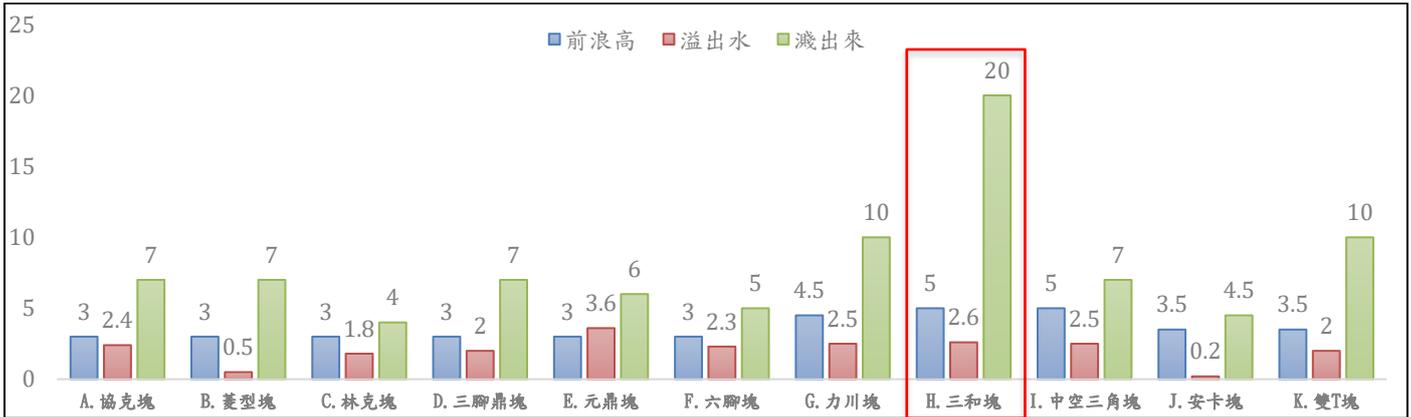
實驗結論：在一排消波塊的情況下，可以發現有九種消波塊的水花濺起的高度較高，都超過 10 公分，三腳鼎塊跟元鼎塊的效果最好，溢出水位低，濺起的水花也控制在 7 公分以下。因此得知此角度表現最好的是三腳鼎塊、元鼎塊、六腳塊及安卡塊。

2. 消波塊擺浪角度 (30°~150°)



實驗結論：每種消波塊水花濺起的高度都超過 11 公分，在溢出水位的部分，三腳鼎塊表現最好，再則為安卡塊。因此得知此角度表現最好的是菱形塊及六腳塊。

3. 消波塊擺浪角度 (60°~120°)



實驗結論：三和塊的水花濺起高於 20 公分，其餘都落在 10 公分以下，溢出水位則以菱形塊及安卡塊最好，都低於 1 公分，其他消波塊都表現不錯。因此得知此角度表現最好的是菱形塊及安卡塊。

(四) 亂堆疊消波塊排列實驗 (圖 5-29~5-31)

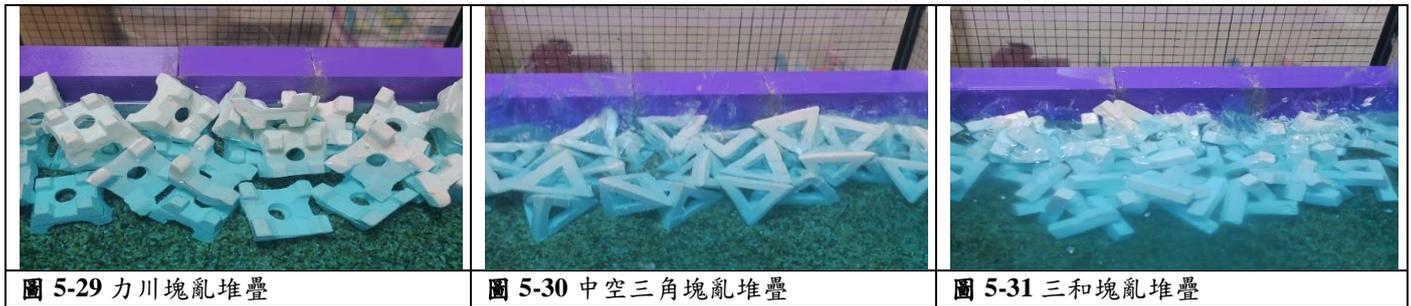
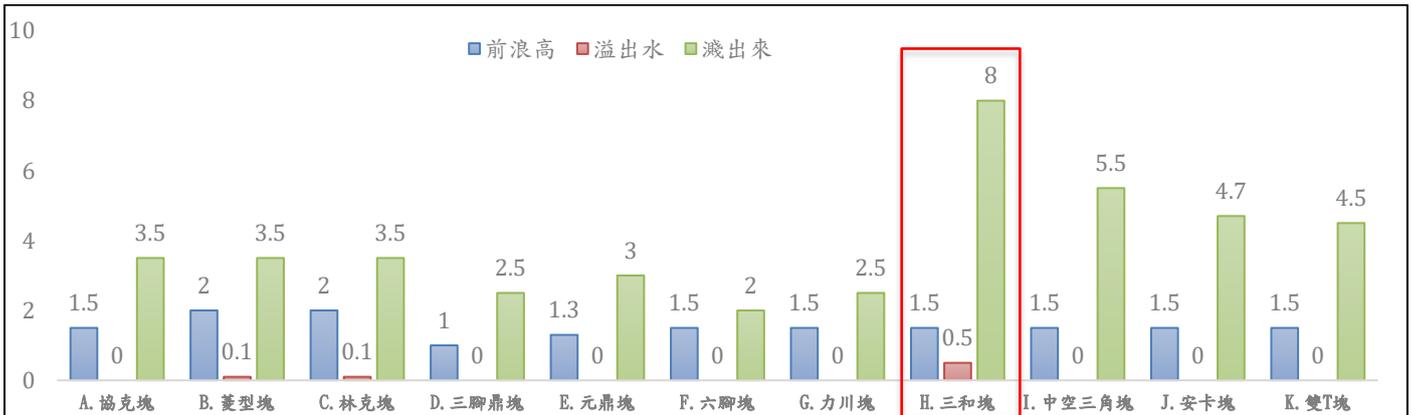


圖 5-29 力川塊亂堆疊

圖 5-30 中空三角塊亂堆疊

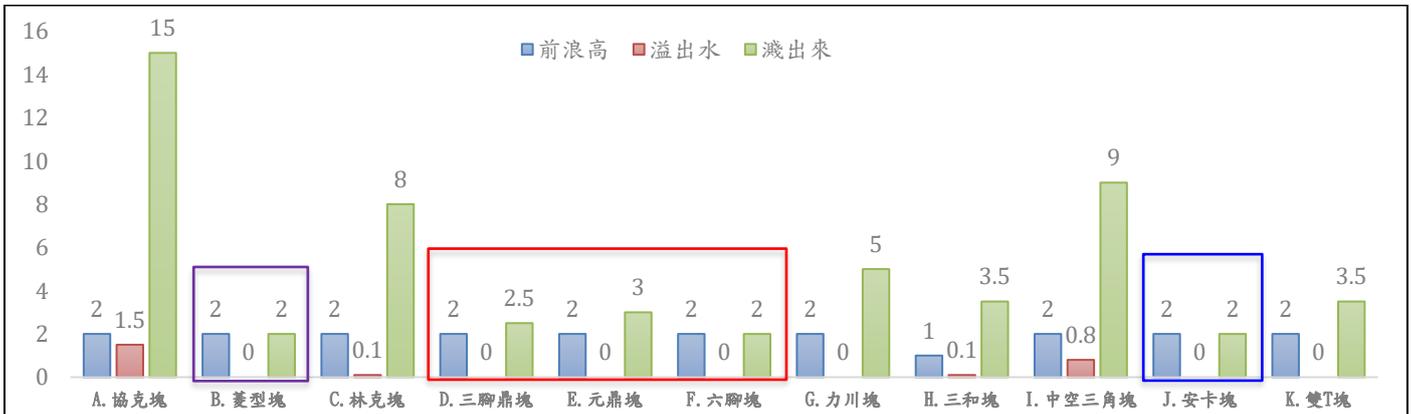
圖 5-31 三和塊亂堆疊

1. 消波塊擺浪角度 (40°~140°)



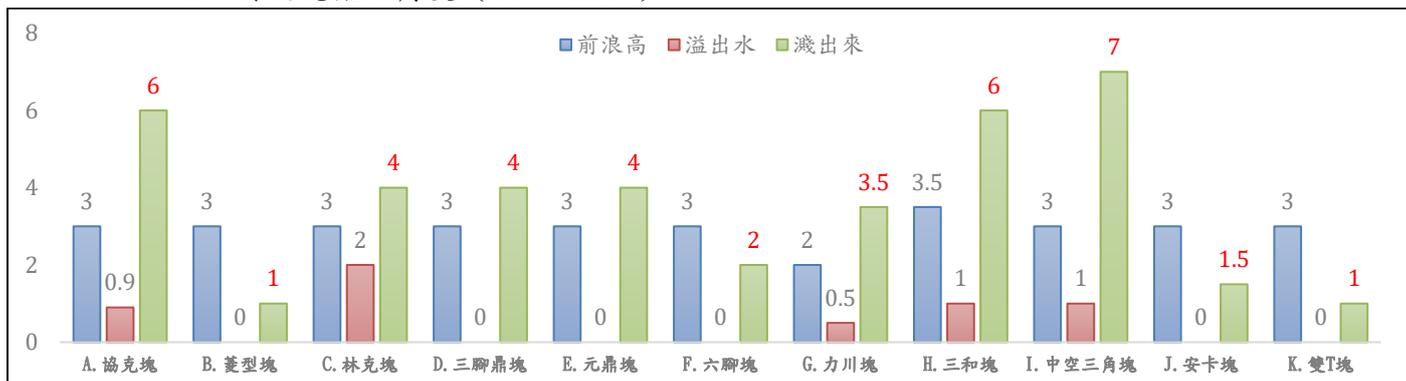
實驗結論：亂疊的比整齊排列的抵浪效果還要好，三和塊在前三次的整齊排列實驗下，水花濺起的高度都超過 20 公分，反觀亂堆疊的狀況下，能有效抑制水花的濺起，連溢出的水位都低於 1 公分，效果很好。因此得知此角度除了三和塊的表現稍微差了點，其餘種類的消波塊都很不錯。

2. 消波塊擺浪角度 (30°~150°)



實驗結論：此表可以看出協克塊濺起的水花較高，且溢出的水位 1.5 公分；其他種類的消波塊溢出的水位都低於 1 公分，大部分都沒有水溢出堤防後方。因此得知此角度表現最好的是菱形塊、林克塊、三腳鼎塊、元鼎塊、六腳塊、力川塊、三和塊、安卡塊及雙 T 塊。

3. 消波塊擺浪角度 (60°~120°)

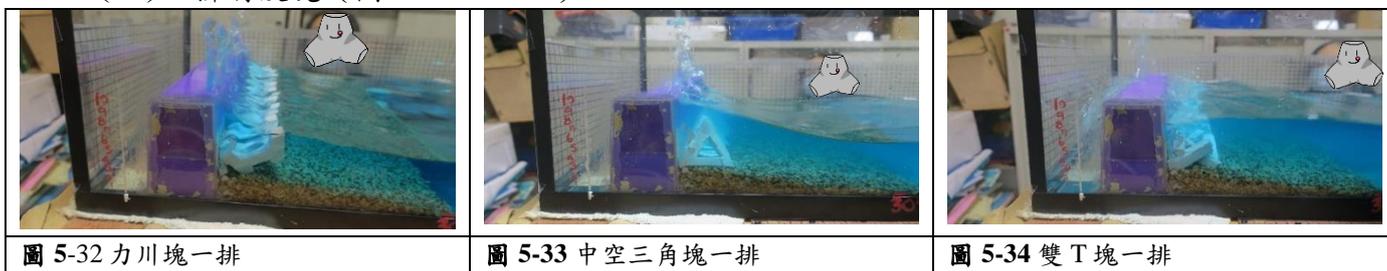


實驗結論：菱形塊、三腳鼎塊、元鼎塊、六腳塊、安卡塊及雙T塊在抵銷波浪的效果較佳，溢出的水位皆是0公分，協克塊、三和塊及中空三角塊反倒有6公分的水花及1公分的溢出水。

四、分析消波塊水花濺起的效果

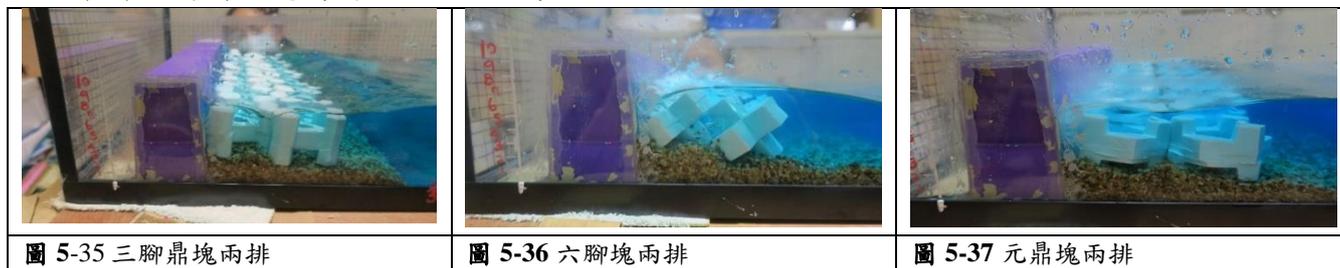
經過實驗發現不同角度的擺浪造成的波浪大小不同，來回擺盪較快，波浪起伏較大，反之則較小，實驗結果得知不同形狀的消波塊，消浪效果也不同，以下是我們探討的結論。

(一) 一排消波塊 (圖 5-32~5-34)



實驗結論：一排消波塊所濺起的水花通常都比較高，多半都會濺出水缸的高度，落在20公分左右。

(二) 二排消波塊 (圖 5-35~5-37)



實驗結論：三腳鼎塊及元鼎塊的消波效果很好，波浪彷彿被吸走似的，六腳塊也不錯。

(三) 三排消波塊 (圖 5-38~5-40)



實驗結論：三排的效果多半比較好，水花會明顯地往前捲，不太會溢出後方堤防。

(四) 亂堆疊方式 (圖 5-41~5-43)



實驗結論：亂堆疊的效果出奇的好，不管是水花濺起或是溢出的水位相對的低很多。

陸、討論

一、探討消波塊擺放環境的差異



圖 6-1 頭前溪下游-力川塊



圖 6-2 幸福沙灣-林克塊



圖 6-3 風情海岸-廣大的沙灘

(一) 河川地形 (圖 6-1)

河川水位變化多端，上游的水速湍急、中下游的水速漸漸緩和。由於上游的水速較快，所以這種類型的水域適合元鼎塊和三腳鼎塊（排列），而中游的部分比上游還要緩和些，除了元鼎塊、三腳鼎塊和三和塊之外，也可用力川塊和林克塊（排列）、安卡塊和六腳塊（吊放），在河川下游的階段則跟中游的部分一樣。

(二) 海岸地形



圖 6-4 港南運河公園離海距離 53m



圖 6-5 風情海岸距離海為 2.1km

1. 海岸邊 (圖 6-2)

馬路及人為設施靠近海岸，在海岸邊都會放置消波塊，擺放的消波塊都以林克塊、協克塊及菱形塊這三種為主，吊掛方便，製作成本較為便宜，抵浪效果也不錯，缺點在於不太美觀，隔絕民眾親近大海的機會。

2. 沙灘區 (圖 6-3~6-5)

廣大的沙灘會因地形因素，當海浪打進岸邊時，會抵消不少能量，使波浪不會有太大的起伏，且沙灘地區通常不會再次設立人為設施，同時沙灘環境提供了不少生物在此棲息外，礙於美觀，也不會在此堆放消波塊，影響到民眾在沙灘上遊玩。

二、探討消波塊抵浪之漩渦產生

在實驗的過程中發現波浪在消波塊上會產生漩渦，不同種類的漩渦大小不同！這讓我們備感好奇，這漩渦是否會影響波浪的緩衝！漩渦越大，抵銷波浪的效果是否越好？這點值得探討研究，漩渦是否會影響海岸的環境生態，讓生物無法在消波塊間生存，每當海浪過來，形成漩渦的情況下，將此區的生物捲到海中。（圖 6-6~6-9）



圖 6-6 波浪遇到協克塊產生渦流反應



圖 6-7 波浪遇到六腳塊產生渦流反應



圖 6-8 波浪遇到菱形塊產生渦流反應



圖 6-9 波浪遇到三腳鼎塊產生渦流反應

三、探討 17 公里海岸線突堤效應的問題 (圖 6-10~6-11)

台灣的突堤大多都分佈在西部地區，主要是用來保護海岸環境。我們在 17 公里海岸線也有發現突堤的興建，是在賞蟹步道跟南寮漁港北側靠近頭前溪出海口處。但由於海堤等人工建構物突出於海岸，延伸而出，阻擋原先沿岸流、海岸飄沙的路徑，造成飄沙堆積於岸上，導致海岸景觀不佳及環境受蝕。換句話說，突堤效應將會造成堤前堆積、堤後侵蝕的狀況。



圖 6-10 礫石突堤-賞蟹步道



圖 6-11 突堤效應導致淤沙

四、探討消波塊對環境的迫害

(一)消波塊在環境方面的影響

1. 消波塊生產後需要土地儲存和放置，導致土地使用變化，影響當地的自然景觀。
2. 資源消耗：消波塊的生產需要大量水泥及其他的資源，進而對環境產生壓力。
3. 空氣污染：消波塊的生產過程可能排放有害氣體和粉塵，對空氣品質造成污染。
4. 水質影響：消波塊的生產可能導致水質污染，因為生產過程中可能會產生廢水和化學物質，對水生生物造成危害。
5. 生態破壞：消波塊的大規模使用和放置可能破壞當地的生態環境，影響動植物的棲息地，並可能導致物種消失或遷徙。
6. 氣候變化：混凝土的生產過程釋放二氧化碳，會對氣候變化產生負面影響。

(二)減輕消波塊對環境的影響

1. 選擇環保型原材料，減少對天然資源的依賴。
2. 進行環境影響評估，生產和使用消波塊可能帶來的影響，並採取適當的措施進行管理。
3. 鼓勵再利用和回收，以減少廢棄物產生。
4. 促進城市規劃，以減少不必要的土地使用，並保護自然環境。
5. 推動再生能源的使用，減少生產過程中的碳排放。

※綜合考慮這些因素，可以在設計和使用消波塊時，更好地平衡建設需求和環境保護。

五、探討有無消波塊對海岸之影響

消波塊在海岸上的用處在於波浪的大小。如果浪小，消波塊就能發揮作用，當浪過大時，消波塊可能會受不了海岸撞擊而破碎或是被整塊捲起、拋向岸邊並加速撞擊海堤堤面，反過來破壞水泥結構。此外，如果排列不當，也可能增強消波塊附近的渦流，產生侵蝕消波塊底部的海床，使其更快沒入海中。東、西海岸的消波塊大小重量也皆不同，東岸地勢較高，海浪衝擊較大，所以消波塊的噸數跟大小會比西岸更大更重，耐用度跟穩定度相對較好。

六、新竹市 17 公里海岸線環境推廣教育

我們想知道一般民眾對消波塊的認知有多少，透過實際走訪 17 公里風景區，找尋民眾做問卷並告知消波塊對環境的優缺點。(圖 6-12~6-14)

(一)問卷調查



圖 6-12 南寮漁港波光市集做問卷

圖 6-13 解釋消波塊的功能與特性

圖 6-14 染色的消波塊贈送給民眾

1. 年齡與性別 (圖 6-15~6-16)

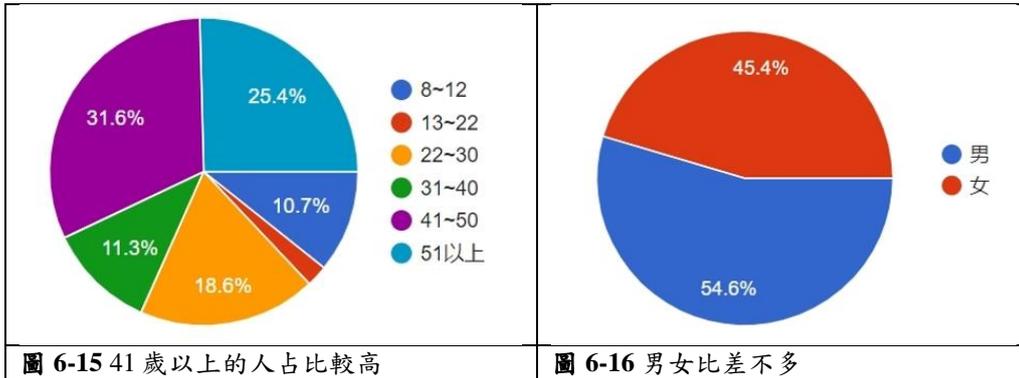


圖 6-15 41 歲以上的人占比較高

圖 6-16 男女比差不多

在 17 公里海岸線訪談了 174 位民眾，有 31.6% 為 41~50 歲最多，最少為 13~22 歲之間。※假日期間會到此區域遊玩的民眾大部分歲數都落在 41 歲以上，男生比例較高。

2. 你知道什麼是消波塊嗎？消波塊的用途？ (圖 6-17~6-18)

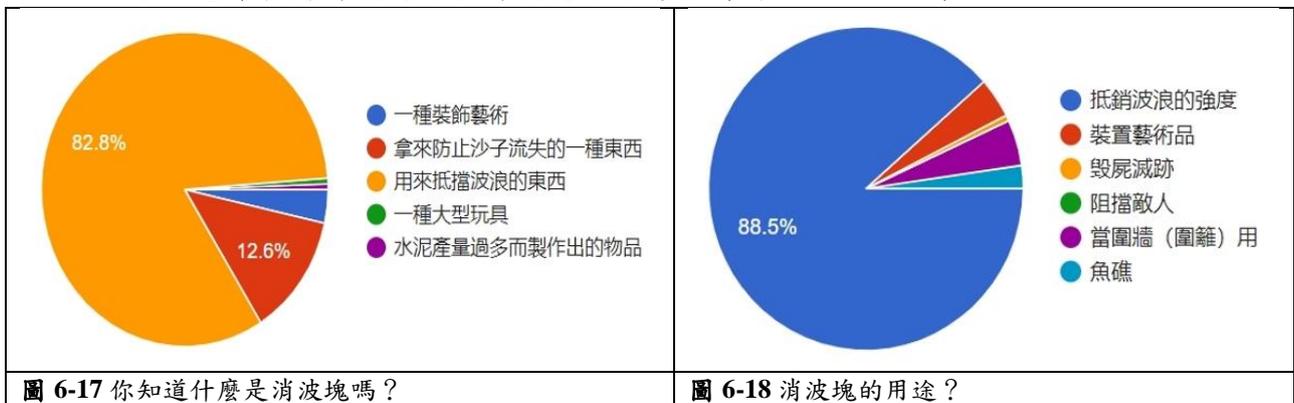


圖 6-17 你知道什麼是消波塊嗎？

圖 6-18 消波塊的用途？

有 82.8% 的民眾都知道消波塊是用來抵擋波浪，其次為 12.6% 的民眾是認為來防止沙子流失。※因此得知一般民眾對消波塊的認知就是抵擋波浪來侵蝕海岸。

3. 消波塊最初的功能是？消波塊原產地？ (圖 6-19~6-20)

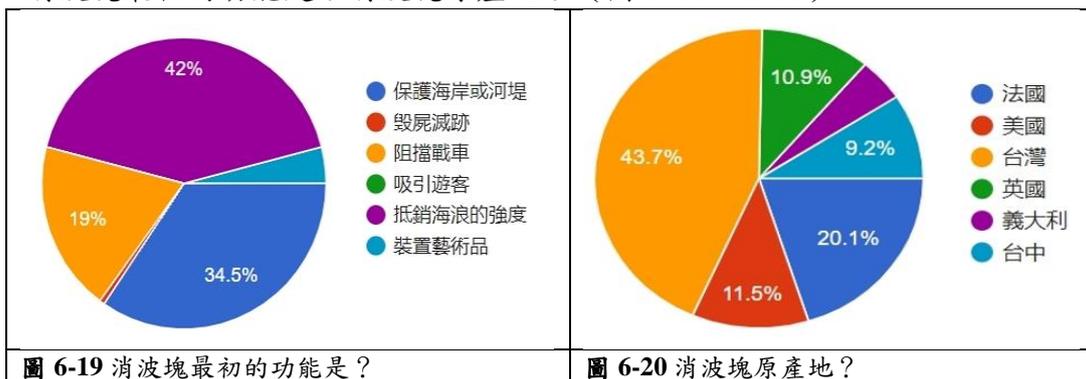
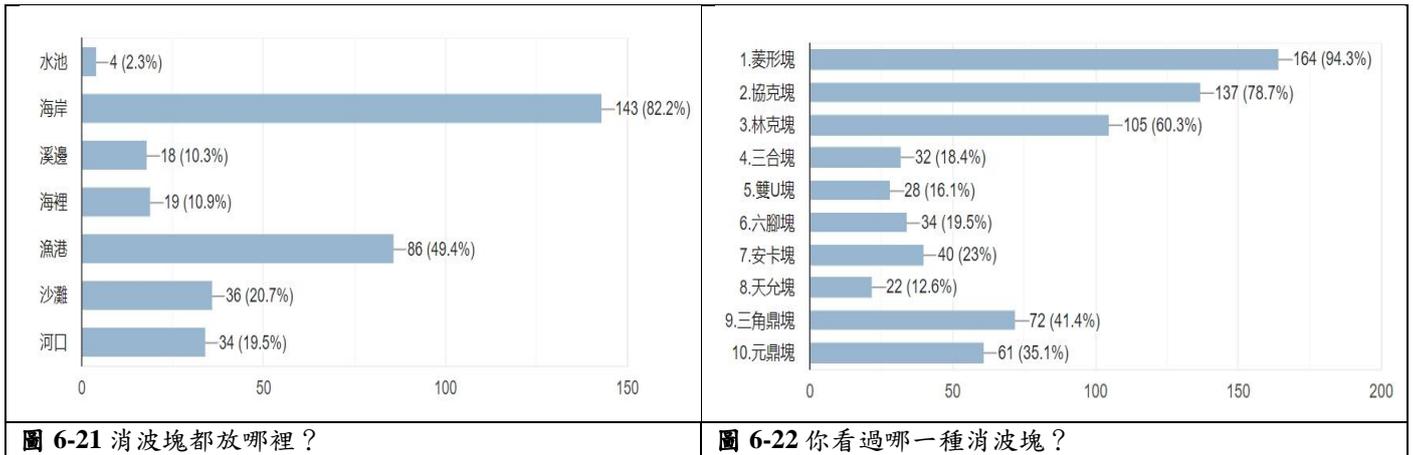


圖 6-19 消波塊最初的功能是？

圖 6-20 消波塊原產地？

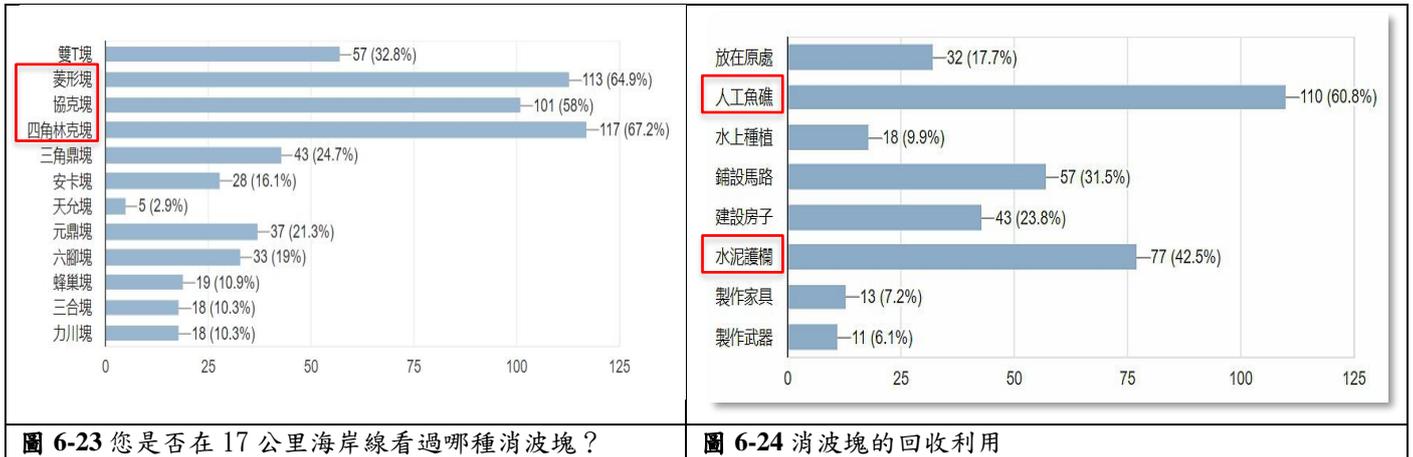
有 42% 的民眾認為最初消波塊的功能為抵銷海浪強度使用，次高為 34.5% 民眾認為是保護海岸或河堤使用，然而有 19% 民眾覺得是用來阻擋戰車；有 43.7% 的民眾認為消波塊是台灣產的，結果真正的產地是法國。

4. 消波塊都放哪裡？ 你看過哪一種消波塊？（圖 6-21~6-22）



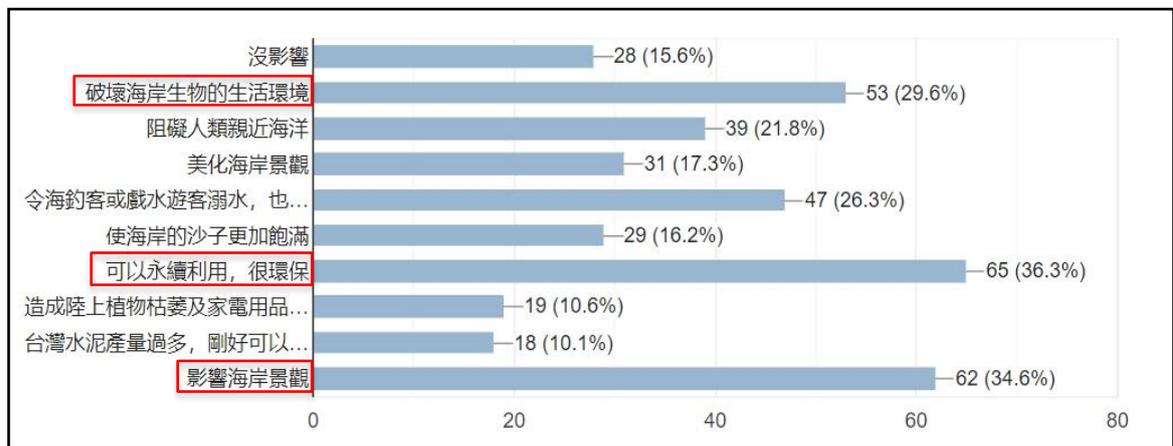
有 82.2% 的民眾認為消波塊就是擺在海岸，49.4% 的民眾則認為是擺在漁港內，代表一般民眾還是有留意到消波塊都在此區域最容易看到；有 94.3% 的民眾都看過俗稱海肉粽的菱形塊、協克塊及林克塊，至於其他種類則較少人看過，而三角頂塊（41.4%）及元鼎塊（35.1%）次高。

5. 您在 17 公里海岸線看過哪一種消波塊？消波塊的回收機制？（圖 6-23~6-24）



菱形塊（64.9%）跟林克塊（67.2%）這兩種是最多人看過的種類，最少看過是天允塊（2.9%）。有 60.8% 的民眾認為過多或淘汰的消波塊可以做為人工魚礁，這點倒是出乎我們意料之外，次高是 42.5% 製作水泥護欄，再者是 31.5% 用來鋪設馬路。

6. 消波塊對環境的影響？（圖 6-25）



有 36.3% 的民眾認為消波塊可以永續利用很環保，有 34.6% 及 29.6% 的民眾則認為會影響海岸景觀及破壞環境。因此得知大部分民眾認為消波塊是會影響海岸生態環境。

(二)淨灘活動

觀察消波塊的過程中，發現許多垃圾卡在海岸邊，看的很難過，藉由這次機會，我們就一起進入海岸林清除這些海洋廢棄物，多為這片土地盡一分心力。(圖 6-26~6-28)



圖 6-26 礫石區撿拾海漂垃圾



圖 6-27 沙灘區撿拾海漂垃圾



圖 6-28 大部分垃圾都以塑膠類為主

七、探討損壞消波塊的回收方式

消波塊是用來抵銷海浪的衝擊以保護海岸或河堤，但長期被海浪拍打侵蝕的情況下，消波塊必定會有損耗，如果這些殘破不堪的消波塊想要回收或再利用，要怎麼辦呢？以下是我們想的方法。(圖 6-29~6-34)

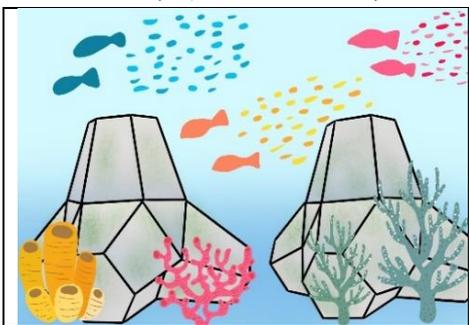


圖 6-29 人工魚礁

找一個適合擺放消波塊的位置，並把消波塊丟到海裡。

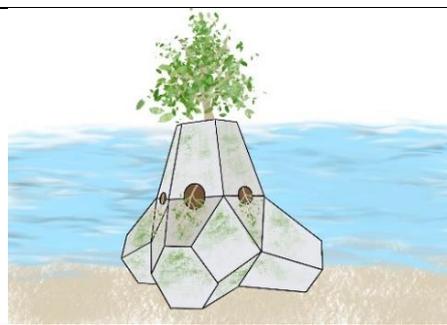


圖 6-30 水上種植

在不需要的消波塊裡鑽洞，放入泥土後，在丟進水裡(海、湖、河)



圖 6-31 鋪設馬路

把消波塊打碎，加水，混成水泥，鋪成馬路。



圖 6-32 建設房子

把消波塊打碎，加水，混成水泥，蓋成房子。



圖 6-33 水泥護欄

把消波塊打碎，加水，混成水泥，做成護欄。



圖 6-34 製作家具

把消波塊打碎，加水，混成水泥，製作家具。

八、人工海岸與天然海岸的並存方式

在保護海岸線、促進環境永續發展和環境保護的前提下，平衡人工海岸和天然海岸的並存方式。以下是我們探討的方向：

1. 生態恢復與保護區域：在選定特定區域時，可以保留一部分區域作為自然海岸，用來保護生態系統和提供野生動植物的棲息地。同時在需要保護的區域周邊建設人工海岸，以提供防風防浪和保護基礎設施的功能。
2. 結構多樣性：設計人工海岸時，可以使用多種結構形式，如堤防、防波堤、人工浪堤等。這些結構可以根據當地的地理特點和生態需求進行調整，以實現更好的自然適應性。
3. 融合自然元素：在人工海岸的設計中，可以融合一些天然元素，如沙丘、植被等，以模仿自然海岸的特徵，同時提供保護功能。

4. 公共參與和教育：在人工海岸的規劃和建設過程中，鼓勵公眾參與，促進對於海岸保護和生態保育的理解。透過環境教學場域，提高人民對於自然海岸和人工海岸的認知。
5. 長期監測和管理：建設後的人工海岸需要長期的監測和管理，以確保其功能的有效性，同時也確保天然生態系統的健康。
6. 持續經營模式：可以考慮建立一種可持續經營模式，通過旅遊、教育、研究等方式，使人工海岸成為當地經濟和社會的一部分。

※總之，人工海岸與天然海岸的並存方式需要綜合考慮環境、社會和經濟因素，以確保海岸保護和可持續發展的目標能夠得到平衡實現。

柒、結論

一、探討 17 公里海岸線消波塊擺放的環境

在 17 公里海岸風景區我們發現約有 11 種消波塊，最多種消波塊的地方多半都在漁港，但也發現金城湖區域也有四種消波塊分布在此，再者此區域為客雅溪的出海口，漲退潮較明顯，因此推斷此區域的消波塊種類比較多樣性。（圖 7-1）



圖 7-1 新竹市 17 公里海岸線 8 個觀察樣區全景圖

(一) 漁港內 (圖 7-2~7-3)



圖 7-2 南寮漁港-中大型漁船為主



圖 7-3 海山漁港-停靠中小型漁船為主

1. 南寮漁港

南寮漁港內港裡沒有任何一種消波塊，推測要停泊船隻，需要垂直牆面，好讓船隻停靠岸邊，再者消波塊因形狀凹凸不平，如擺放在漁港內，船隻的碰撞容易造成損壞。

2. 海山漁港

海山漁港屬於小型漁港，周圍有大片的海埔新生地，港口內除了停靠船隻的牆面沒有放消波塊外，在進入狹小的內港前有一排三腳鼎塊，這是很特別的，觀察此港口可以發現淤沙嚴重，因此這漁港多半都是停靠小型漁船為主。

(二) 堤防外 (外港)

1. 南寮漁港 (圖 7-4~7-5)



圖 7-4 南寮漁港外港-雙 T 塊



圖 7-5 南寮漁港北堤-林克塊

外港的消波塊就有四種之多，尤其是兩側外突堤是林克塊最多的區域，抵禦波浪來襲，減緩衝擊漁港，中間為漁船行進的路線，兩側前段是雙 T 塊分布，中段則是三角鼎塊堆放的地方，後段是三和塊堆放的區域，可以看出光這一區域擺放的消波塊種類不同外，其功能性也有差別，在實驗過程中三角鼎塊、林克塊及雙 T 塊的抵浪效果較好，較差的三和塊則放在後段來緩和海浪進入港口內。

2. 海山漁港 (圖 7-6~7-8)



圖 7-6 海山漁港南堤-林克塊



圖 7-7 海山漁港內港-三腳鼎塊



圖 7-8 泗水港溪-元鼎塊及六腳塊

漁港的南北堤都以堆疊林克塊為主，主要用來阻擋東北季風及西南季風引起的海浪，港口內則有三腳鼎塊擺放在北側水泥岸牆旁，用來趨緩進入港口內的波浪，以免造成海浪太高而濺起水花到岸上。海山漁港是泗水港溪出海口，在連接漁港的河口北側擺放元鼎塊，南側為六腳塊，推測是嚴防海浪倒灌至溪流口，可以減緩海浪回流至溪流，防範海水倒灌。

(三) 海岸線 (圖 7-9~7-12)



圖 7-9 幸福沙灣



圖 7-10 水資源公園



圖 7-11 賞蟹步道



圖 7-12 風情海岸

1. 幸福沙灣、水資源公園、賞蟹步道、風情海岸

這四個區域都有一個共同特點，就是有廣大的沙灘或是泥灘地，海水漲潮也比較難到達海岸邊，因此這些區域多半都沒有擺放消波塊。

2. 港南運河 (圖 7-13~7-15)



圖 7-13 元鼎塊堆疊此區



圖 7-14 此區堆放不少菱形塊



圖 7-15 此區有四種消波塊堆放

港南運河外圍很靠近大海，沿線堆放許多消波塊，越靠近客雅溪出海口區的消波塊種類更多，

光這區就有四種消波塊堆放在一起，整個景觀不太美觀，同時觀察菱形塊會堆出外海，像突堤那樣方式堆疊出去，整體而言此區的消波塊較為雜亂堆放，但提供釣客釣魚的平台。

(四) 河口處 (圖 7-16~7-18)



圖 7-16 河口區就堆放了不少消波塊



圖 7-17 客雅溪出海口-中空三角塊



圖 7-18 垃圾掩埋場-消波塊堡壘

1. 金城湖

垃圾掩埋場設在客雅溪出海口，整個掩埋場都被菱形塊給包圍了，堆疊的厚度將近 7 層之高，海水衝擊下，可以有效抵銷海水灌入掩埋場。在河道旁會擺放中空三角塊，擺放的很零散，擺放的方式跟突堤形式一樣，目的也是抵銷過多的海水進來河道。

二、探討消波塊排列方式

我們在觀察到的消波塊堆疊方式有兩種：整齊排列及隨意堆疊。消波塊的形狀特殊，有菱有角，在堆疊擺放的時候，也要考慮環境及採用的消波塊形狀，適合哪一種排列方式。

1. 隨意堆疊 (圖 7-19~7-24)



圖 7-19 海山漁港南堤的林克塊堆疊



圖 7-20 南寮漁港北堤雙 T 塊堆疊



圖 7-21 頭前溪北側河口元鼎塊亂疊

※通常看到隨意堆疊的區域以外海為主，外海波浪大，衝擊力強，需要更穩定且消波效果要好，有些種類的消波塊適合亂堆疊，如：雙 T 塊、林克塊這兩種在外海地區較為常見，或是最接近海邊的地方。經過實驗，確實在亂堆疊的情況下，阻擋水花的濺起及溢出水位的抑制效果比較好。



圖 7-22 林克塊亂堆疊



圖 7-23 雙 T 塊亂堆疊



圖 7-24 元鼎塊亂堆疊

2. 整齊排列 (圖 7-25~7-30)



圖 7-25 南寮漁港南堤元鼎塊



圖 7-26 垃圾掩埋場周圍協克塊



圖 7-27 海山漁港六角塊

※整齊排列的消波塊除了美觀外，會排列在沿岸或是內港內，如三腳鼎塊整齊排列在內港周圍，當浪進來可以有效抵擋波浪；垃圾掩埋場周圍整齊堆放著協克塊，就像一座堅固的碉堡，當波浪來

襲，堆疊層數高達七層的協克塊能夠有效抵銷波浪，且。泗水港溪連接海山漁港的河道南側，是六腳塊唯一堆放的地方，此區淤泥嚴重，六腳塊可以很穩地固定在此，不怕被波浪給捲走。

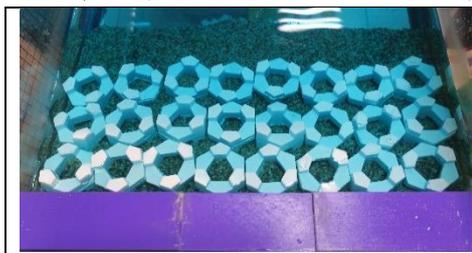


圖 7-28 元鼎塊整齊排列



圖 7-29 協克塊整齊排列



圖 7-30 六腳塊

3. 消波塊滾動探討 (圖 7-31~7-33)

實驗過程中如果波浪太強，消波塊容易被波浪帶走，甚至被浪捲走，如果消波塊本身重量不夠重，形狀沒有可供固定在沙灘或泥灘地等環境，當大浪來襲，很容易被海浪捲走！



圖 7-31 排列整齊的六腳塊滾動



圖 7-32 中空三角塊被波浪捲動

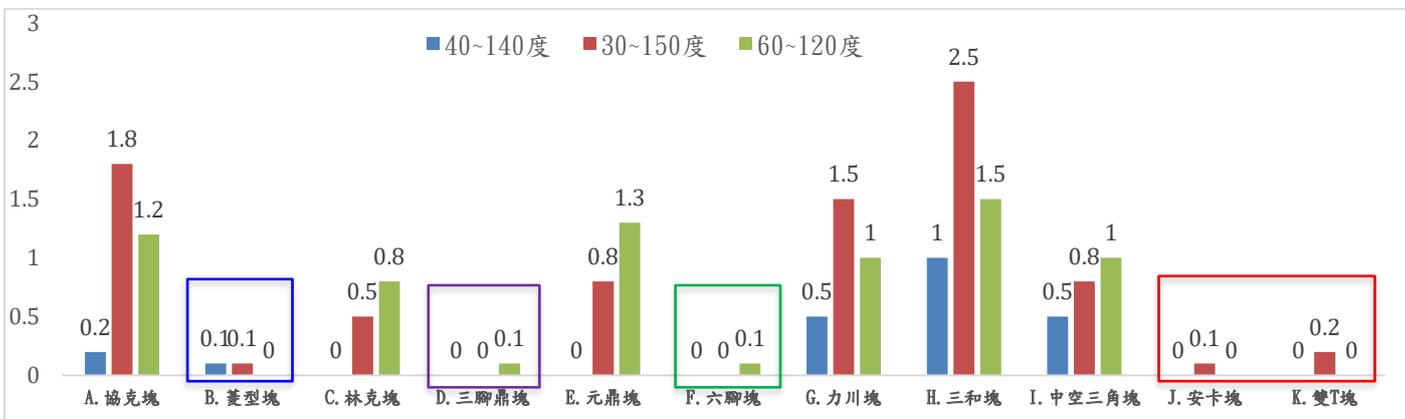


圖 7-33 元鼎塊被波浪捲走

三、探討實驗下的消波塊消浪效益 (溢出水位)

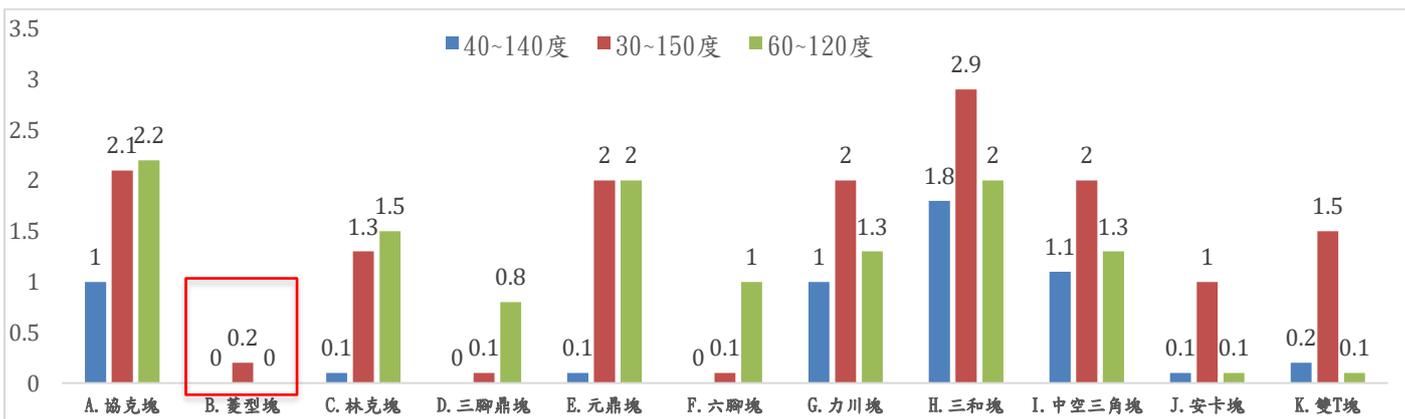
實驗結果發現這 11 種消波塊的抵浪效果不同，三種不同的擺浪度數造就出不同種類的消波塊抵浪效果，以下是我們實驗不同高度的波浪，溢出堤防外的水位高度皆不同。

(一) 三排消波塊



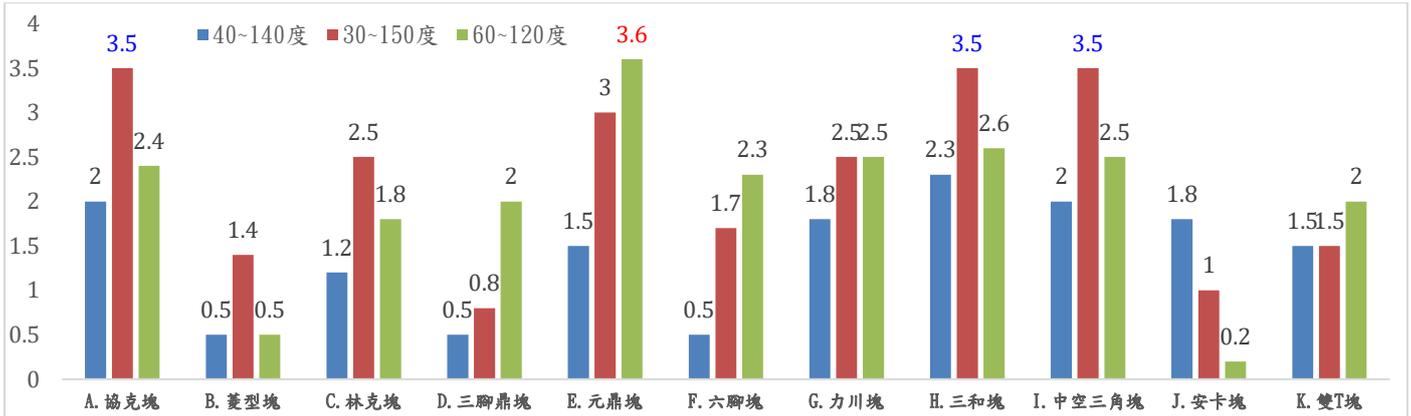
實驗結論：此表可以看得出，在三排消波塊的實驗下，菱形塊、林克塊、三腳鼎塊、六腳塊、安卡塊及雙T塊的表現很好，水位溢出的高度都落在 1 公分以內。最差的三和塊則有 2.5 公分，其他的消波塊溢出的水位都控制在 2 公分以內。因此得知除了三和塊外，其餘消波塊的消浪效果都很好。

(二) 兩排消波塊



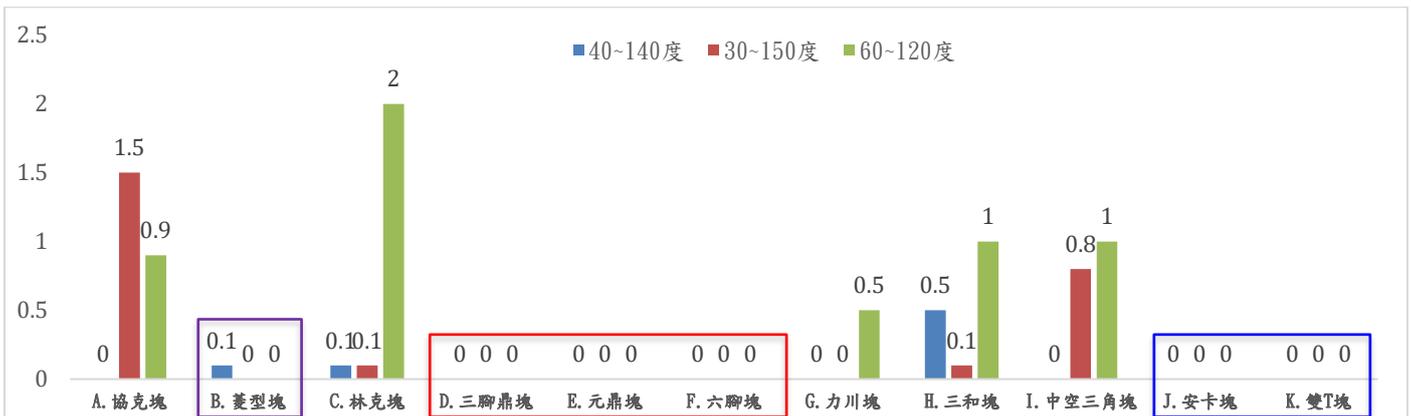
實驗結論：菱形塊的效果出奇的好，溢出的水位很低 0.2 公分，其餘的消波塊水位 2 公分左右，唯獨三和塊的表現差強人意，溢出水位將近 3 公分。

(三)一排消波塊



實驗結論：在一排的實驗下，可以明顯對比所有消波塊的消浪效果有明顯變差，水位溢出都相對增加不少，菱形塊還是表現得很好，三腳鼎塊、安卡塊及雙T塊都可以將水位壓在 2 公分以內，協克塊、三和塊及中空三角塊在 30~150 度的表現較差，溢出的水位都落在 3.5 公分，元鼎塊則在 60~120 度的實驗下，溢出的水位高達 3.6 公分。因此得知在一排的排列下，大部分還是較難抵銷波浪的衝擊，導致不少水溢出堤防外。

(四)隨意疊消波塊



實驗結論：亂疊的情況下，大部分的水位溢出明顯降低，就連三和塊溢出的水位都降到 1 公分，表現出奇的好。協克塊在 60~120 度的情況下，溢出的水位高達 2 公分，這非常意外。協克塊除了 40~140 度的擺浪表現較好外，其餘的都不太好。

※實驗總結：消波塊是用於海岸防護的重型結構，通常由混凝土或其他材料製成，用於減緩海浪衝擊，保護海岸線和附近的建築物、碼頭、船隻等設施。實際走訪 17 公里海岸線，觀察出不同環境與地形，消波塊種類及堆放方式皆不同，靠近外海的波浪較大，所堆放的消波塊需要噸數較重且大，隨意亂堆疊的方式更有效抵禦波浪的侵蝕。沙灘地區為民眾戲水區域，礙於美觀及遊客在此戲水的因素下，且沙灘消除波浪的能力很強，通常沙灘地不堆放消波塊。在焚化廠旁的沙灘地就看到一整排林克塊堆放於此，推測海岸離建築設施較近，必須要有消波塊來抵禦波浪，才会有沙灘在前，消波塊在中，水泥牆及礫石邊坡在後的畫面。泥灘地是潮間帶的生物棲息地，為了保護其環境，且泥灘地也有吸收波浪的效果，因此不會在此堆放消波塊。（圖 7-34~7-36）

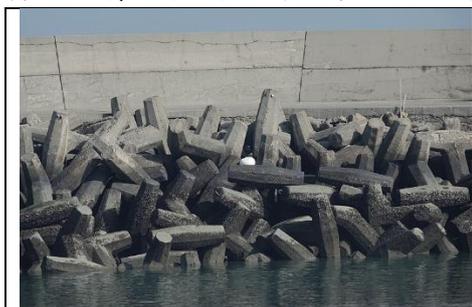


圖 7-34 南寮漁港北堤雙T塊亂堆



圖 7-35 焚化廠旁的林克塊堆放



圖 7-36 賞蟹步道濕地

捌、參考文獻資料

1. 新竹市政府全國水環境改善計畫 (2017)
2. 高忠人 (2018) 常用混泥土異型塊類型及應用。台灣省水利技師公會
3. 陳建智、簡士濠 格框工孔洞設計對削減水流能力之影響 (2014)
4. 台灣還需要消波塊嗎?《科學人》(2019)
5. 黃宗舜再談美麗海島的消逝美。臺灣天然海岸殺手—消波塊
6. 消波塊對海岸傷害有多大?千億稅金殺死寶島美景,多數台灣人不知的3大戰慄真相/遠見雜誌
7. 「終流砥柱-消波塊對橋墩沖刷的影響」/第59屆中小學科學展覽會
8. 「河中、海邊消波塊的性能研究」/香港第33屆聯校科學科學展覽會
9. 「「海浪大力士」-沿岸海浪能量取得的探討」/第60屆中小學科學展覽會
10. 「堤」心吊膽-突堤效應之強弱變因與減緩之方法/第56屆中小學科學展覽會
11. 「蚵殼心、離岸情-探討蚵殼生態人工礁作為離岸堤之可行性研究」/第58屆中小學科學展覽會
12. 「岸與浪-探討波浪對海岸地形的影響」/第60屆中小學科學展覽會
13. 「白浪掏沙我不怕~各式堤防與突堤效應之關聯探討」/第60屆國中小學科學展覽會
14. 「「岸」潮洶湧-離岸流的模擬與探討」/第59屆中小學科學展覽會
15. 「貝」水一戰!-貝殼轉動定向與自製消波塊之研究/第58屆中小學科學展覽會
16. 「『岸』然失色-人工海岸對天然海岸影響之探討」/第26屆中小學
17. 從人工消波塊看自然生態工法/第44屆中小學科學展覽會
18. 岸與浪-探討波浪對海岸地形的影響/第56屆中小學科學展覽會
19. 來電海盜船-鐘擺式海浪發電機/第59屆中小學科學展覽會
20. 海洋垃圾防衛悍將—收集型三腳鼎消波塊/第58屆中小學科學展覽會