

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

探究精神獎

082921

「貝」水一戰！

— 貝殼轉動定向與自製消波塊之研究

學校名稱：國立臺中教育大學附設實驗國民小學

| | |
|--|---------------------|
| 作者： 小六 歐陽昱婷 小六 吳雨珊 小六 黃子瑋 小五 賴巧芸 | 指導老師： 黃尚偉 簡辛如 |
|--|---------------------|

關鍵詞：貝殼、轉動定向、消波塊

摘要

消波塊擁有削弱海浪力量的功能，但海浪有時會將消波塊沖離原本位置或捲入海中，造成消波功能喪失。

老師在課堂介紹「沙灘的貝殼會因為海浪將殼底朝向海浪來源方向（斜坡低處）」（命名為「轉動定向」）。我們聯想到消波塊是否也能自動轉向呢？我們自製起波裝置與模擬沙灘箱、測試 3D 列印模型翻模石膏方法、量化沙灘沙子流失量，研究轉動定向的變因與原理。發現圓錐是轉動定向最適合的形狀，但海浪會繼續讓圓錐晃動！而六角錐可以做到轉動定向後，固定在停止位置（命名為「轉動定位」）。

我們將研究結果自製消波塊（六角錐、六爪），經過沙灘模擬檢測，自製消波塊擁有比市售消波塊更好的消波能力，且擁有「不易移動位置、會自動調整方向」優點。

壹、研究動機

有一天，老師在課堂播放科學博物館特展的貝殼影片（圖 1）。影片中貝殼在沙灘上，一波海浪打來，貝殼就自動轉向大海的方向。這個現象令我們驚訝和好奇！我們實際用水盆測試（圖 2、3），發現錐螺會將殼底朝向海浪來源方向（斜坡低處），我們將它命名為「轉動定向」！

自動轉向的貝殼，讓我們聯想到沙灘上的消波塊有時被海浪沖得東倒西歪或捲回海中，因為移動了位置喪失了原本消波的功能。如果能夠將轉動定向的原理應用在消波塊上，那消波塊是不是能更穩定與耐用。我們進一步研究貝殼轉動定向的變因與原理，嘗試將發現應用在自製消波塊上。

貳、研究目的

- 一、 研究影響貝殼轉動定向的變因。
- 二、 歸納轉動定向和轉動定位最佳化的形狀。
- 三、 推論轉動定向和轉動定位的原理。
- 四、 研發沙灘沙量流失的量化方法。
- 五、 應用轉動定向研發自製消波塊。



圖 1：科博館「有膽有識-海膽大驚奇」展場展示貝殼會受到海浪而轉動至海浪方向。



圖 2：使用水盆模擬沙灘，以板子製造波浪，錐螺確實會自動轉向。



圖 3：使用傾斜水盆（不放沙），以板子製造波浪，錐螺也會自動轉向。

肆、實驗裝置設計

研究過全國科展有關沙灘實驗作品，我們需要**能消波的水槽**和**製造波浪的起波器**。為了更快速檢核貝殼在沙灘的轉動狀況，我們設計**能更換斜坡角度和粗糙度的模擬沙灘箱**。一共花了**三個月**設計與製作出「**斜坡定向測量**」裝置，並制訂出標準實驗流程和量化測量方法。

一、斜坡定向測量裝置

1. 消波水槽：

我們需要一個大水槽當作製造波浪的場所。經過詢問後，學校老師有一個展示大木箱（長 185cm、寬 95cm、高 13.5cm）能借我們。我們購買透明塑膠布鋪在木箱上面防水。但塑膠布破洞造成木箱大漏水！我們為了增加防水效果，決定在木箱上塗上一層矽利康，鋪上較防水的月曆紙襯底，再鋪二層透明塑膠布，木箱成功變成防水的水槽。

在水槽中以板子起波測試時，我們發現波浪打在水槽上會造成不斷反射的波浪，影響到原本的起波效果。我們購買了海綿排在兩側嘗試消波。經過測試各種擺法，我們發現將海綿以電火布捆起來的圓筒形效果最好。但海綿放在水中會浮起來，因此我們在海綿中塞入石塊加重。



向學校老師借展示大木箱，搬回實驗教室



至五金行買透明塑膠布讓大木箱能防水。



塑膠布破洞造成大淹水！防水效果不夠！



先以矽利康塗在大木箱上，做一層防水層



封上 2 層透明塑膠布來防止水外漏。



經過測試，海綿捆成筒狀消波效果較好。



海綿會浮在水面，裡面放入石塊加重。



完成的筒狀消波海綿排在水槽兩側消波。



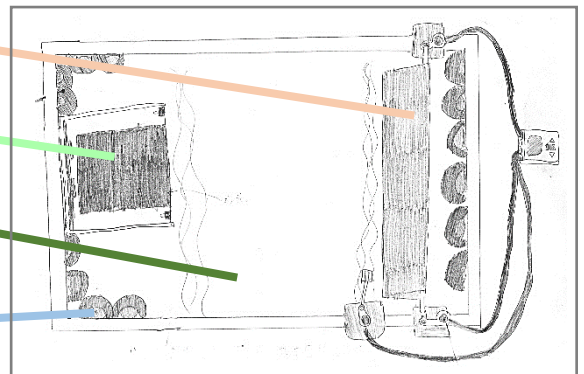
設計圖

自製起波器

模擬沙灘箱

多層防水層

消波筒狀海綿

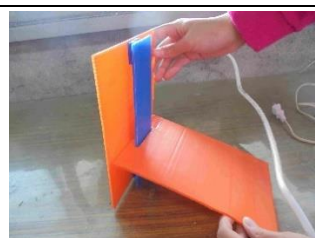


2. 模擬沙灘箱：

大木箱的寬度是 90 公分，模擬沙灘時寬度會過寬。我們決定訂做內部長 40 cm、寬 40 cm、高 15cm 的壓克力箱，在裡面進行定向測試實驗。我們去掉一邊側面讓波浪可以打進來。

斜坡定向測試時需要用到沙灘，沙子容易因為波浪的拍打而流失，我們想要一個能夠**快速檢測沙灘斜坡效果的裝置**。我們設計一片長 40 cm、寬 40 cm 壓克力斜坡板，並**設計工字結構**，讓斜坡板能夠調整位置。板子下面用長尾夾固定斜坡高度，就可以**任意調整斜坡角度**。

我們測試可調整角度的斜坡板，發現壓克力板太過光滑，貝殼雖然容易轉向，但沒有模擬出沙灘的效果。於是我們嘗試在壓克力板上加上砂紙。經過實驗測試後（見實驗一），發現砂紙越光滑，貝殼越容易轉動定向。我們最後挑選 **280 cw 砂紙黏在壓克力板上模擬沙灘**。



設計工字結構，斜坡板能自由調整位置。



斜坡板斜放，工字結構會卡住斜坡不滑落



拿設計的模型及設計圖至壓克力店訂購



訂製的工字結構壓克力斜坡板太過光滑。



在壓克力斜坡板上以鉤磁鐵固定砂紙測試



將挑選的 280 cw 砂紙黏在壓克力板上



貼上砂紙的壓克力板斜坡能模擬傾斜沙灘



壓克力板下方使用長尾夾協助固定高度。

設計圖

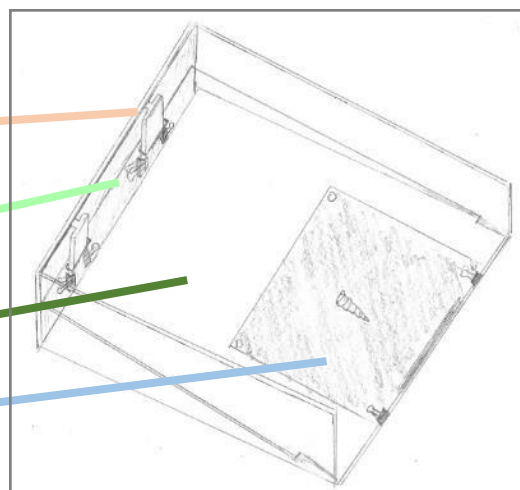


工字結構支撐

固定高度長尾夾

可調整斜坡板

280 cw 砂紙



3. 自製起波器：

為了能夠模擬海浪，在測試初期，我們使用科展看板的標題板來推動水製造海浪。但使用人力推動穩定度不夠，我們需要使用機器來推動海浪。我們想到學校上過課的**電子樂高**，可以使用主機控制馬達，並用樂高零件組裝，製作出我們想要的穩定起波器。

我們嘗試了很多方法進行起波，但效果都不佳，最後將方法鎖定在「往前推動」和「轉動扇葉」進行研發。我們嘗試以電子樂高的履帶製作出能夠前後推動的裝置，並在前端黏上塑膠瓦楞板來推動水製作波浪。瓦楞板推動水時會有阻力，造成馬達轉動回來時，履帶無法回到原來位置。測試一個月後，都無法克服履帶位置沒回歸的問題，只好放棄「往前推動」方法。

改用「**轉動扇葉**」的方法，我們參考了 43 屆科展作品（註 8）將扇葉做成等腰三角形，使扇葉穩固不變形。但等腰三角形扇葉，因為兩邊扇葉等長，後端扇葉容易卡住水槽底部。我們將扇葉改良成**不等長鈍角三角形扇葉**，前端長扇葉能夠刮到底面的水，後端短扇葉不會卡住水槽底部。我們將馬達黏在木板上，另一片木板鎖在水槽框上，使用長尾夾夾住兩片木板，方便馬達拆卸維修。為了調整起波的頻率，我們使用樂高零件製作了一個煞車，將扇葉擋住，讓起波能夠像海浪一樣 4 秒一下。我們花了**二個月**終於成功製作出馬達驅動的自製起波器！



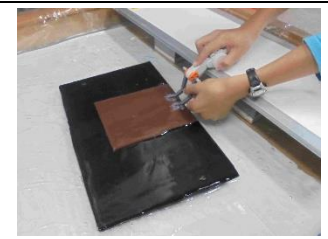
使用看板標題板進行製波，但人力不穩定



嘗試重物掉落至水中製波，波浪不穩定。



加重物的扇葉拍打水面製波，沒有波浪。



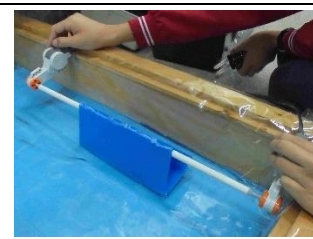
將水底板子抬起製波，水太重馬達抬不動



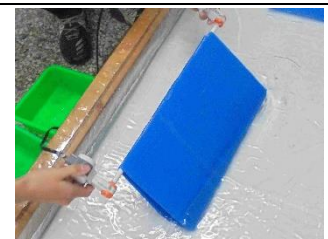
使用電子樂高的履帶製作往前推動起波器



往前推動起波器，履帶無法回到原來位置



改用轉動等腰三角形扇葉，但容易卡住。



改良成不等長鈍角三角形扇葉，起波順暢



扇葉過長會把水撈起來，修正扇葉長度






修正過的扇葉長度不會將水撈起又能製波

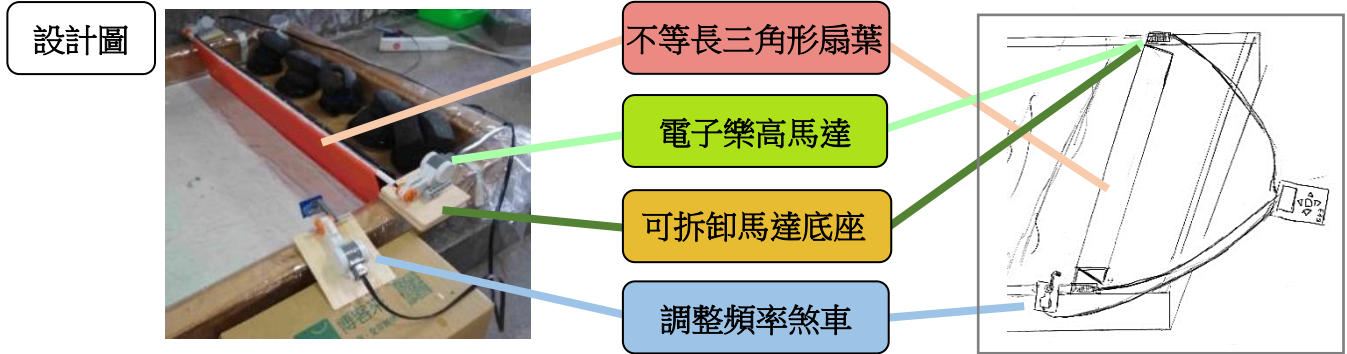


將馬達黏在木板上，方便拆卸和維修。






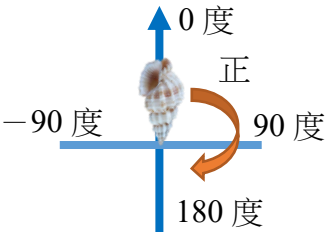
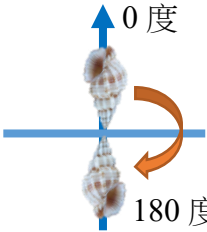

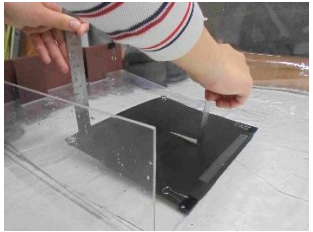
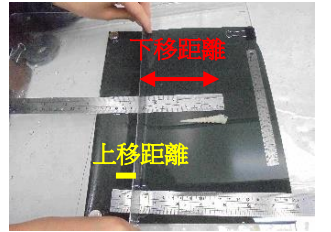
將自製起波器以魔鬼氈固定在水槽框上。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 魔鬼沾固定木板，木板滑動導致馬達晃動 | 學習使用電鑽，將另一片木板鎖在水槽上 | 兩片木板以長尾夾夾住，馬達方便拆卸。 | 以樂高零件製作煞車，減慢起波的頻率。 |



二、「斜坡定向測量」標準實驗流程：

1. 設定斜坡角度與水位高度，在斜坡的水位交界處以鐵尺在砂紙上畫線做為「起點標線」。
2. 將待測物（例如：貝殼）放置在斜坡上，待測物頂端切齊起點標線。
3. 斜坡高處垂直水位交界訂為 0 度，順時針轉為正，逆時針轉為負。
4. 以自製起波器進行起波，當待測物頂端從 0 度角轉動至正或負 180 度時，則停止起波。並計算待測物轉動 180 度所需的起波次數，為「定向次數」。測 12 次後，假如待測物沒有轉動或移動則停止實驗。同一待測物測量五次，求平均值。
5. 實驗中待測物如果往斜坡下方移動，紀錄並測量移動到最下方的位置，為「下移距離」。
6. 實驗中待測物如果往斜坡上方移動，紀錄並測量移動到最上方的位置，為「上移距離」。













| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 設定斜坡的放置高度，決定斜坡角度。 | 以鐵尺在水位交界處畫出「起點標線」。 | 將待測物放在斜坡，頂端切齊起點標線。 | 定義斜坡高處為 0 度，順時針轉為正。 |
|  |  |  |  |
| 當貝殼轉動至 180 度後，停止起波。 | 貝殼轉動 180 度後，以鐵尺紀錄下移距離 | 以鐵尺標記實驗中貝殼的上移與下移距離 | 將鐵尺平放測量出貝殼的上移與下移距離 |

伍、3D 製模與翻模研究

使用貝殼進行實驗時，因為貝殼無法改變比例和形狀，不容易進行變因實驗操作。我們想到用 3D 列印幾何模型來替代貝殼進行測試。但 3D 列印模型的材料是塑膠，放入水中會浮起來，無法替代貝殼進行定向實驗。後來在創客博覽會看過使用 3D 列印模型翻模成水泥塊的作品，水泥塊能夠沈在水底，而且消波塊的主要材質也是水泥。我們決定嘗試以矽膠進行 3D 列印模型製模，並用水泥、石膏翻模成想要的形狀，以便進行比例改變的變因實驗。

一、3D 製模與翻模

我們首先測試水泥砂混水的比例，找出最適當翻模的比例為水泥砂：水為 3：1，並練習用果凍模子製作水泥模型。接著利用學校的 3D 列印機列印出立體 3D 模型，嘗試以矽膠與硬化劑進行製模的動作。但 3D 模型會浮在矽膠上，無法讓矽膠整個蓋過，就無法製模。經過測試，我們使用熱熔膠槍將 3D 模型黏在紙杯底座，倒矽膠時 3D 模型就不會浮起來。成功的用矽膠製作出 3D 模型的模子。接著以調配好的水泥灌入倒放的矽膠模子中，成功翻模出水泥模型。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 3D 列印貝殼模型會浮在水面上無法測轉動 | 創客博覽會展示的 3D 列印模型水泥翻模。 | 測試不同比例的水泥砂與水的效果！ | 以 3：1 比例練習用果凍模子製作水泥模型 |
|  |  |  |  |
| 以 3D 列印機列印出網路上的 3D 模型。 | 3D 列印模型會浮在矽膠上，導致製模失敗 | 以熱熔膠將 3D 模型黏在紙杯底，不會浮起 | 成功以矽膠製模出 3D 模型的模子。 |
|  |  |  |  |
| 將矽膠模子噴上矽油，脫膜時不會黏住。 | 將水泥倒入倒放的矽膠模子中，進行翻模 | 水泥乾掉後，從矽膠模子中取出水泥模型 | 成功以矽膠製模、水泥翻模出 3D 模型！ |

二、底部非平面模型的製模

我們接著嘗試自製消波塊，卻遭遇問題「消波塊底部並不是平面，無法直接黏貼在紙杯底部，非平面的底部也無法製模」。我們發現底部是非平面不規則模型必須懸空在杯子中才能完整製模，我們嘗試將消波塊模型架高，並將矽膠剖半，成功的製出水泥消波塊。但使用懸空的方法耗時耗力，灌水泥時模型容易有破洞。後來嘗試將 3D 模型剖半，就可以將一半的消波塊模型黏在紙杯底部，並將水泥改成顆粒較細的石膏（比例為石膏：水=1.2：1），灌矽膠製模和石膏翻模都變得很方便，最後使用三秒膠將石膏塊黏起來。製作的方便性和速度都變好了！

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 從 3D 模型素材網站下載和列印消波塊 | 因為消波塊模型底部非平面，需架高製模 | 嘗試用牙籤黏住消波塊模型頂端進行製模 | 將矽膠倒入架高的 3D 列印消波塊模型中。 |
|  |  |  |  |
| 將硬化的矽膠剖開，取出消波塊模型。 | 只能從上方小洞灌模，自己研發灌漿工具 | 水泥硬化後，扒開矽膠模取出消波塊模型 | 翻模成功的消波塊，但耗時耗力容易損壞 |
|  |  |  |  |
| 改成列印剖半的消波塊模型，底面是平的 | 剖半消波塊，可以組合成一個完整消波塊。 | 剖半消波塊製模方便，可以直接黏在杯底 | 石膏（白）翻模效果比水泥（灰）效果好 |
|  |  |  |  |
| 完成的石膏翻模消波塊，快速又方便。 | 但剖半方法做出的消波塊，中間會有縫隙 | 使用剖半方法可以大量製作出矽膠模。 | 快速製作出大量的消波塊！ |

陸、沙灘流失狀況量化

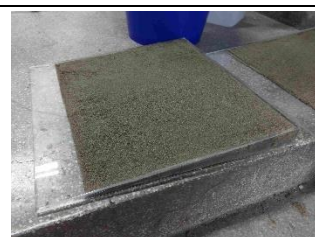
我們想將貝殼轉動定向的特性應用在消波塊上，消波塊最主要的功能是避免沙灘被侵蝕，因此我們需要找出**如何量化沙灘流失的方法**。我們搜尋了**歷屆全國科展有關沙灘的研究**，整理他們**測量沙灘流失的方法**，分析如下：

| 屆數、作品名稱 | 檢測方法 | 優缺點 |
|---------------------------|--------------------------------------|--|
| 44 屆 從人工消波塊看 自然生態工法 | 以 1 平方公分為單位的面積板，描繪並測量崩塌形狀及面積。 | 1. (缺) 無法以單位面積板計算出完整的面積。 2. (缺) 目測無法確認崩塌狀況。 3. (缺) 觀察崩塌的面積範圍，並無法知道流失深度，因此不容易測得真正流失沙子量。 |
| 48 屆 「岸」藏玄機 | 在模擬沙灘斜坡的九個觀測點上，觀察波浪的痕跡長度。 | 1. (優) 觀察橫向沙灘不同位置的變化。 2. (缺) 波痕範圍的侵蝕效果不一(甚至可能是淤積效果)，波痕範圍無法代表沙子流失量。 3. (缺) 沒有觀察縱向沙灘的變化。 |
| 52 屆 搶救「沙灘」大作戰 | | |
| 52 屆 小「堤」大作 | 觀察沙子移動的方向與範圍。 | 1. (缺) 測量方式沒有量化。 |
| 54 屆 HOLD 住洄瀾灣 | 沙灘上插上黑白相間的竹籤當標尺，測量九個點(三排位置)標尺的灘面侵蝕量。 | 1. (優) 以竹籤標尺記錄沙灘高度變化。 2. (缺) 竹籤標尺一直插在沙灘上，易影響實驗 3. (缺) 只有紀錄九個點的沙量變化，無法觀察整體沙灘的變化。 |

瞭解歷屆科展作品測量沙灘侵蝕的方法，我們開始進行量化沙灘流失狀況的設計。

一、沙盤

進行沙灘模擬實驗，最麻煩的是**更換沙灘沙子，並確保沙灘角度**。當我們拆卸「模擬沙灘箱」的斜坡板時，想到**更換沙子時是否能像拆卸斜坡板一樣**。於是想到可以設計一個像畚斗形狀，用來裝沙的沙盤。更換沙子時，只要把用過的沙盤從壓克力箱拿起來，替換新的沙盤進去。而且沙盤角度固定，裝好沙後，沙灘斜坡角度也確定了！於是我們用塑膠瓦楞板製作了沙盤模型，確認可行後，訂做成**5 度角壓克力沙盤**。我們做出了**容易裝填和更換的沙盤！**



以壓克力箱為模子，設計製作出沙盤模型

將沙子放入沙盤模型中測試裝沙的效果。

訂製壓克力沙盤，裝填沙灘只要將沙刮平

沙盤可事前製作，且能馬上更換進行實驗

二、繪製沙灘輪廓圖

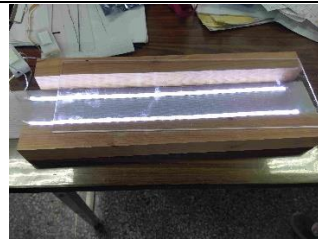
我們從 54 屆科展作品(註 7)得到靈感，要得知沙灘流失量可以測量沙子高度。但 54 屆作品以竹籤測量，只能夠得到點的資料。我們想到如果拿板子切入沙盤中，就可以得到整個沙灘輪廓的剖面圖。我們後來使用壓克力板切入沙中，但我們遭遇到問題！繪製沙灘輪廓時，必須在水中，但蠟筆在水中無法畫在壓克力板上。我們後來找到給小孩在浴室玩耍的「浴室蠟筆」，能夠在泡水的壓克力板上上色。於是我們可以在沙灘實驗後，在壓克力板畫出沙灘改變的輪廓。為了方便後續計算，我們必須將壓克力板上的輪廓謄到方格紙上。我們使用長條 Led 燈發光，再放上木板架高，讓方格紙透光，方便畫出沙灘輪廓。我們成功繪製出沙灘輪廓的剖面圖！



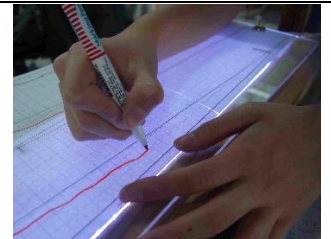
一般蠟筆無法在泡水的壓克力板上畫畫



我們找到浴室蠟筆不怕濕，能在水中作畫



以長條 Led 燈透光，方便透視描繪輪廓

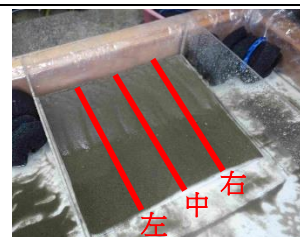


方格紙透光後，能看得到底下壓克力板輪廓

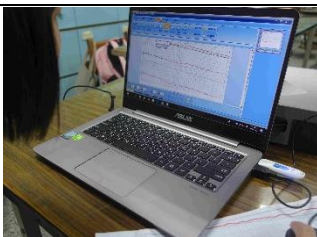
三、計算沙灘流失量、將紙本沙灘輪廓圖電子化

(計算沙灘流失量) 為了得到較精準的紀錄，我們每次沙灘實驗後會在沙盤上取三次「沙灘輪廓圖」(將沙盤縱向分成四等分，分別取沙灘 1/4、1/2、3/4 位置的縱向剖面圖，見下方最左圖)，繪製在方格紙上。我們將輪廓圖的方格紙掃描後，以電子顯微鏡軟體「Motic Images Plus 2.0」計算出輪廓圖上「侵蝕前後沙灘輪廓差異的面積」。將三次沙灘輪廓圖的面積平均，求得較精準的平均面積，接著乘上沙盤的真正寬度(40cm)，就可估算出真正的沙灘沙子流失量！

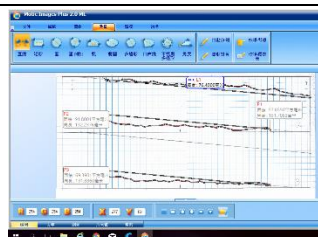
(將紙本沙灘輪廓圖電子化) 雖然得到三次沙灘剖面圖，但卻沒辦法把這些紙本的輪廓做整合。老師找到「GetData Graph Digitizer」軟體，能夠將紙本折線圖電子化成 excel 電子檔。老師幫我們將紙本的沙灘剖面圖全部電子化，轉化成 excel 檔折線圖，並幫我們繪製出三次沙灘輪廓圖的平均輪廓。我們就能夠將每次實驗以沙灘輪廓平均折線圖進行比較和討論！



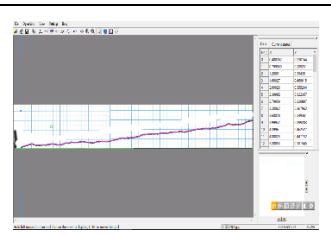
沙盤上取三次輪廓圖，取沙灘 1/4、1/2、3/4 位置縱向剖面圖



使用 Motic Images Plus 2.0 計算侵蝕前後沙灘輪廓差異的面積。



用侵蝕前後輪廓差異的面積，乘上沙盤寬度可得沙子流失量。



使用 GetData Graph Digitizer 軟體能將紙本折線圖電子化。

柒、研究過程及結果

實驗一、斜坡角度與粗糙度比較：

(一)、研究動機：

沙灘會有不同的坡度和砂石顆粒，是否會影響貝殼轉動定向呢？！我們採用自製的「模擬沙灘箱」，可以任意改變斜坡角度，研究坡度對於貝殼定向影響。在斜坡上貼上不同顆粒大小的砂紙，研究沙灘粗糙度的影響。並藉由這個研究決定之後實驗的**斜坡角度**與**粗糙度**。

(二)、研究方法（實驗標準流程請詳見「肆、實驗裝置設計」）（5秒起波1次）：

1. **（粗糙度實驗）**至五金行購買不同顆粒大小砂紙。因為**砂紙型號沒有規律比例**，我們挑選摸起來顆粒有很大差異的砂紙（100、280、1000、2000 cw，數字越大，顆粒越細）。
2. 將斜坡固定為5度角，砂紙以鉤磁鐵固定在斜坡上。因為砂紙泡水會捲曲，砂紙上下以鐵尺壓住避免捲曲。以錐螺進行不同砂紙的斜坡定向測量實驗，測量三次，計算平均。
3. **（角度實驗）**老師協助我們使用三角函數計算出不同斜坡角度的高度。只要將長尾夾**調整到計算出的高度，就能將斜坡架出5、10、15度角**。（砂紙使用280 cw）
4. 以錐螺進行不同角度的斜坡定向測量實驗，測量五次，計算平均。

(三)、斜坡粗糙度與角度比較（詳見原始記錄）：

| 斜坡粗糙度 | | 粗糙 ← → 光滑 | | | |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 斜坡粗糙度(cw) | 100 | 280 | 1000 | 2000 |
| 定向次數(次) | 6.3 | 3.7 | 3.0 | 1.7 | 1.0 |
| 上移距離(cm) | 0 | 4.7 | 2.1 | 0 | 4.5 |
| 下移距離(cm) | 13.5 | 6.9 | 11.7 | 11.6 | 10.3 |

| 斜坡角度 | | 角度低 ← → 角度高 | | | |
|----------|---------|-------------|------------|------------|----|
| | 斜坡角度(度) | 0 | 5 | 10 | 15 |
| 定向次數(次) | 無法轉動定向 | 3.0 | 2.0 | 1.0 | |
| 上移距離(cm) | | 1.6 | 2.8 | 0 | |
| 下移距離(cm) | | 9.4 | 11.3 | 13.3 | |

(四)、研究結果：

1. **斜坡越光滑，越容易轉動定向。斜坡角度越高，越容易轉動定向，越容易下移。**
2. **斜坡0度無法產生轉動定向，因此斜坡角度是影響轉動定向很重要的因素。**
3. 經過評估後，決定未來實驗的斜坡採用「**砂紙貼上280cw，角度固定在5度角**」。



圖 4：測試不同砂紙粗糙度，決定使用 280cw



圖 5：使用高度固定斜坡角度，準確度高。



圖 6：斜坡角度越高，轉動定向越容易。

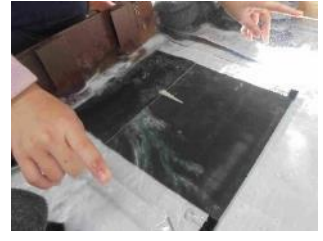


圖 7：斜坡 0 度無法轉動定向，貝殼會到處跑

實驗二、貝殼種類對轉動定向的影響：

(一)、研究動機：

科博館的展場只有使用錐螺進行轉動定向，但**其他種類的貝殼是否會出現相同效果？**我們推測「**形狀**」是影響轉動定向的主要原因，決定根據貝殼圖鑑上的形狀分析進行分類整理。並到**貝殼專賣店購買各種形狀的貝殼**，希望能找到哪些貝殼能夠轉動定向。

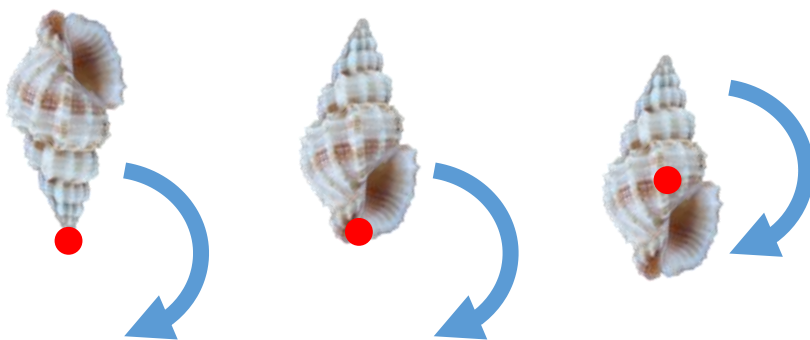
(二)、研究方法（實驗標準流程請詳見「肆、實驗裝置設計」）：

1. 我們至貝殼專賣店依貝殼圖鑑挑選各類形狀貝殼代表。整理並測量貝殼長、寬、高和重量，繪製紀錄表格。
2. 將各類貝殼以不同方向放入斜坡中進行多次起波，觀察**貝殼是否會轉成相同的方向位置**，稱為「**最終位置**」。未來進行該貝殼實驗時，**該貝殼轉到最終位置即為實驗結束**。
3. 貝殼開口朝上以各種放法進行轉動定向實驗（角度 5 度、砂紙 280cw、5 秒起波 1 次）

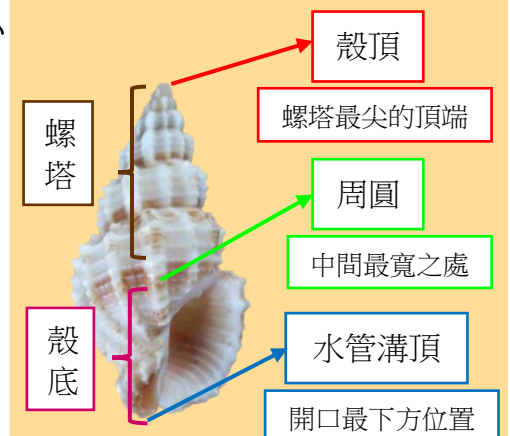
(三)、貝殼種類比較（每種貝殼都至少用 2 個放法測試，但下表只呈現轉動最佳的放法）：

我們發現能夠轉動定向的貝殼，卻有**三種不同的轉動方法**，差異在**轉動的圓心在不同位置**。因此將能轉動定向的貝殼實驗表格整理成下面三種類型。








(1) 以殼頂為圓心 (2) 以水管溝頂為圓心 (3) 以周圓為圓心



貝殼部位名詞定義：














1. 能夠轉動定向的貝殼：

| 轉動圓心位置 | 以殼頂為圓心 | | | | |
|-----------|---|---|---|---|---|
| 貝殼種類 | 螺絲形  | | | 陀螺形  | |
| 貝殼名稱 | 錐螺 | 小錐螺 | 褐斑筍螺 | 高腰鐘螺 | 細紋鐘螺 |
| 貝殼最終位置 |  |  |  |  |  |
| 長、寬、高(cm) | 8.7、2.0、1.8 | 5.5、1.1、1.3 | 7.0、1.2、1.2 | 3.0、3.0、4.0 | 3.0、3.0、3.0 |
| 重量(g) | 11.40 | 2.90 | 6.40 | 14.20 | 4.20 |
| 定向次數(次) | 1.66 | 2.00 | 1.33 | 1.33 | 2.33 |
| 上移距離(cm) | 0 | 3.23 | 0 | 0 | 2.70 |
| 下移距離(cm) | 17.36 | 10.93 | 21.23 | 9.26 | 1.73 |

| 轉動圓心位置 | 以水管溝頂為圓心 | | | 以周圓為圓心 | |
|-----------|---|---|---|--|--|
| 貝殼種類 | 棍棒形  | 紡錘形  | 梨形  | 卵形  | |
| 貝殼名稱 | 寶島骨螺 | 編織蛹筆螺 | 峨螺 | 玉兔螺 | 金環寶螺 |
| 貝殼最終位置 |  |  |  |  |  |
| 長、寬、高(cm) | 6.5、3.0、2.8 | 4.0、4.0、4.0 | 4.0、2.0、2.3 | 3.0、2.0、1.9 | 3.0、2.0、1.8 |
| 重量(g) | 6.87 | 5.80 | 4.90 | 5.92 | 5.17 |
| 定向次數(次) | 5.33 | 1.33 | 2.00 | 5.00 | 2.00 |
| 上移距離(cm) | 5.33 | 0 | 4.20 | 4.83 | 5.90 |
| 下移距離(cm) | 0 | 11.10 | 6.20 | 0 | 0 |

2. 無法轉動定向的貝殼：

| 貝殼種類 | 心形  | 梨形  | 螺絲形  | 陀螺形  | 卵形  | 琵琶形  |
|------------|--|--|---|---|--|---|
| 貝殼名稱 | 雞心貝 | 金塔玉黍螺 | 竹筍蟹守螺 | 血斑鐘螺 | 長葡萄螺 | 豹斑玉螺 |
| 貝殼長相 |  |  |  |  |  |  |
| 長、寬、高(cm) | 1.7、1.5、1.5 | 2.5、1.6、2.0 | 3.8、1.0、1.5 | 2.0、2.0、2.0 | 2.3、1.3、1.0 | 2.0、1.5、1.5 |
| 重量(g) | 1.88 | 2.60 | 2.40 | 3.60 | 1.38 | 1.70 |
| 無法旋轉定向原因推論 | 重量太輕（所有貝殼重量都在 3.60 克以下）、體積太小（體積都在約 8cm ³ 以下）。當波浪打過來，貝殼會直接被波浪沖走，隨著波浪而移動。 | | | | | |

| 貝殼種類 | 紡錘形 | 棍棒形 | 陀螺形 | 紡錘形 | 琵琶形 | 陀螺形 |
|----------------|--------------------|-------------|--------------|----------------|--------------------|-------------|
| 貝殼名稱 | 飛彈螺 | 光環芋螺 | 黑線車輪螺 | 台灣捲管螺 | 黃齒岩螺 | 染色小蠔螺 |
| 貝殼長相 | | | | | | |
| 長、寬、高(cm) | 5.0、1.0、1.5 | 4.7、2.0、2.0 | 3.0、3.0、1.5 | 5.5、1.5、1.5 | 2.5、3.0、1.8 | 3.5、3.0、4.0 |
| 重量(g) | 2.30 | 6.00 | 4.80 | 3.80 | 5.09 | 6.80 |
| 無法旋轉定向 原因推論 | 形狀近似圓柱，波浪來了，會一直滾動。 | | 太扁的圓錐，會原地轉動。 | 近似等長雙圓錐，會一直滾動。 | 形狀近似球體，波浪來了，會一直滾動。 | |

| 貝殼種類 | 扇形 | | 棍棒形 | 棍棒形 | | 紡錘形 |
|----------------|-----------------|-------------|-------------|---------------------------------|-------------|-------------|
| 貝殼名稱 | 紫晃蛤 | 文蛤 | 翼法螺 | 大鵝頭拳螺 | 玉女象法螺 | 旋梯螺 |
| 貝殼長相 | | | | | | |
| 長、寬、高(cm) | 3.5、5.0、2.5 | 3.5、3.0、2.5 | 3.5、2.5、1.0 | 4.7、3.0、2.5 | 3.0、2.0、1.9 | 5.5、3.3、3.0 |
| 重量(g) | 8.87 | 4.90 | 1.59 | 7.03 | 3.43 | 5.50 |
| 無法旋轉定向 原因推論 | 中空內含空氣，會漂浮在水面上。 | | 寬大又扁，無法轉動 | 一端特別大、重，殼頂那端會靠地，水管溝頂那端會翹起來以致卡住。 | | |

(四)、討論：

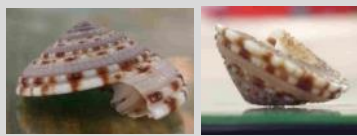


1. 我們發現「能夠轉動定向」貝殼的「轉動圓心」和「形狀」有關，分析如下：

| | | | |
|-----------|---|---|---|
| 轉動圓心及最後位置 | 殼頂 | 水管溝頂 | 周圓 |
| 貝殼種類 | | | |
| 形狀分析 | 形狀像圓錐 貝殼大部分都是螺塔 重量大多集中在開口處 | 形狀像不等長雙圓錐 重量大多集中在周圓和螺塔 | 形狀像剖半雙圓錐 貝殼底部是平的 |
| 原因推論 | 因為形狀為 圓錐狀 ，重量大多集中圓錐底部，因此 以圓錐頂點為圓心 進行旋轉。 | 因為形狀為 不等長雙圓錐 ，但重量大多集中在周圓和螺塔，因此 以重量輕的水管溝頂那端為圓心 進行旋轉。 | 因為寶螺 底部是平的 ， 形狀像雙圓錐 ，兩端重量差不多，因此 以中心點圓周為圓心 進行旋轉 |

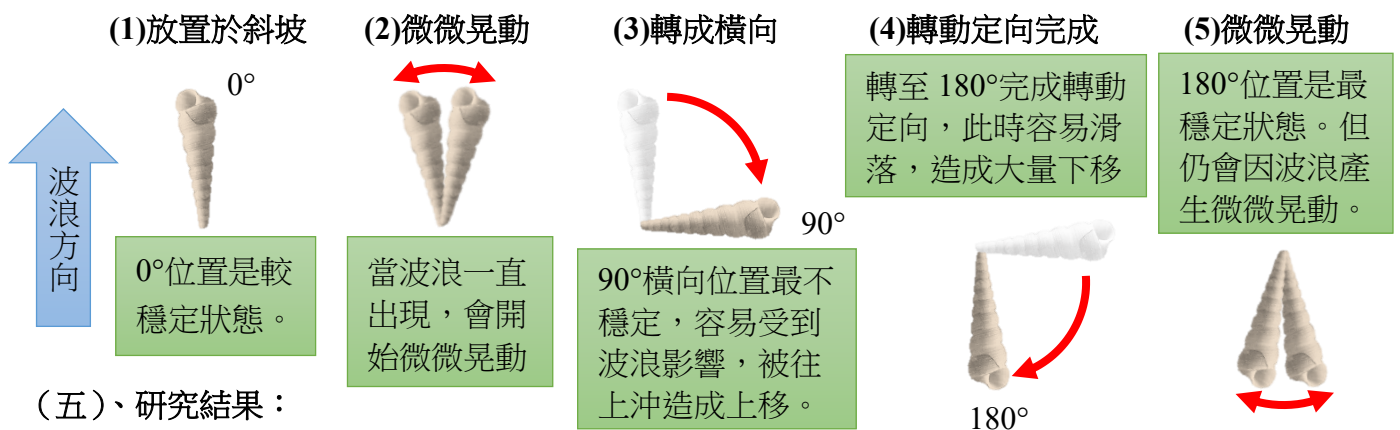
2. 我們將「不能夠轉動定向」貝殼的推論原因分成三大類：

- (1) 太輕太小：貝殼的大小形狀差異很多，我們實驗時挑選了各種貝殼進行測試。但只要重量低於 3.60g 以下、體積約 8cm³ 以下（以貝殼測量出的長寬高相乘得出體積），當波浪打過來，貝殼就會被沖走，無法檢測實驗。但卻有一個特例！**小錐螺（2.90g、7.856 cm³）**不會被沖走，還能夠轉動定向，代表圓錐狀更能夠承受海浪的沖擊！
- (2) 沒有最終位置：我們以幾何圖形試著歸納貝殼形狀產生的差異。發現當**形狀像圓柱、球體、等長雙圓錐**，當波浪打過來，就會自己滾動，甚至滾落斜坡，無法停下來。只有像**圓錐或不等長雙圓錐**，才會出現貝殼停留在相同的最終位置。
- (3) 形狀不適合旋轉：有些貝殼形狀太扁；中空浮在水面；一端特別重，以致於會翹起來；開口外唇過大而卡住，導致貝殼無法順利旋轉，更不可能產生轉動定向。

3. 購買貝殼時，我們挑選**底面積約相同，高度不同**的鐘螺進行高度比較，表格分析如下：

| 貝殼名稱 | 黑線車輪螺 | 細紋鐘螺 | 高腰鐘螺 |
|-----------|--|---|--|
| 貝殼長相 |  |  |  |
| 長、寬、高(cm) | 3.0、3.0、1.5 | 3.0、3.0、3.0 | 3.0、3.0、4.0 |
| 定向次數(次) | 無法定向！ | 2.33 | 1.33 |
| 結論歸納 | 高度太小（太扁）的圓錐，會在原地轉動，無法旋轉定向。 高度越高的圓錐，產生轉動定向的次數越少。 | | |

4. 我們觀察能夠轉動定向的貝殼，發現**轉動定向的產生有下列的程序存在：**



(五)、研究結果：

1. 貝殼種類中最適合轉動定向的類型是**螺絲形**及**高度高的陀螺形**。
2. 貝殼適不適合轉動定向主要受到**形狀、大小、重量**的影響。
3. 能夠轉動定向的貝殼有三種**圓心位置不同的轉法「殼頂、水管溝頂及周圍」**。

- 適合轉動定向的貝殼形狀為**圓錐、不等長雙圓錐和剖半雙圓錐**。
- 不能夠轉動定向貝殼的推論原因有三點：太輕太小、沒有最終位置、形狀不適合旋轉。
- 高度越高、重量越重的貝殼，越容易轉動定向。
- 長度越長的錐螺，下移距離越大。寶螺只會上移，不會下移。
- 當貝殼轉到 90 度橫放時，最容易受到波浪影響沖上岸，產生上移的效果。
- 有刺的貝殼當刺分佈在轉動部位，仍可以轉動(例：寶島骨螺)或滾動(例：黃齒岩螺)。**



圖 8：至貝殼專賣店購買需要的貝殼。



圖 9：使用貝殼圖鑑進行分類和辨別貝殼



圖 10：整理分類貝殼，並測量長度和重量。



圖 11：將高腰鐘螺放在斜坡上進行起波實驗。



圖 12：轉動圓心在殼頂的貝殼形狀長的差不多



圖 13：針對無法轉動定向的貝殼分析原因並歸類

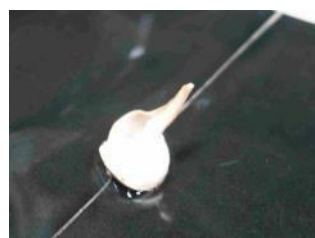


圖 14：大鵝頭拳螺殼頂過重，水管溝會翹起來。



圖 15：測試高度不同，底面積相同的貝殼差異

實驗三、幾何形狀對轉動定向的影響：

(一)、研究動機：





我們發現**貝殼形狀是影響轉動定向最重要的因素**。但不可能找到符合各種幾何形狀，及能夠改變比例的貝殼。我們決定使用**3D 列印幾何模型**進行起波實驗。但 3D 列印模型材質是塑膠，會浮在水面上。我們利用**矽膠製模與石膏翻模**，製作出**可以沈在水中的模型！**

(二)、研究方法（實驗標準流程請詳見「肆、實驗裝置設計」）：









- 使用 123D Desig 軟體繪製各種形狀的幾何模型，比例以底直徑 2 cm 高 5 cm 為基準（球體只有直徑 2 cm）。將幾何模型切片、列印出來，並以矽膠製模與石膏翻模。
- 因為圓錐和角錐最尖端太細，進行石膏翻模時會斷掉，因此我們重新繪製，將高拉高成 6 公分，再切掉最上面 1 公分，製作成台體，避免尖端太細斷掉。**
- 每一種形狀檢測四種方向（0°、45°、90°、立起來）（5 度角、砂紙 280cw、3 秒起波 1 次）。

(三)、幾何形狀比較 (能夠立起來的幾何形狀經過 40 下都無法轉動，直接省略表格)：

1. 能夠轉動定向的幾何形狀比較表格：

| 幾何形狀名稱 | 圓錐 | | | 六角錐 | | | 八角錐 | | | 不等長雙圓錐 | | | |
|--------------|---|---------------------|------|---|------|------|---|-------|------|---|------|------|---|
| 幾何形狀 最終位置 |  | | |  | | |  | | |  | | | |
| 直徑、高(cm) | 2、5 | | | 2、5 | | | 2、5 | | | 2、上高 1.5 下高 3.5 | | | |
| 擺放角度(度) | 0 | 45 | 90 | 0 | 45 | 90 | 0 | 45 | 90 | 0 | 45 | 90 | |
| 定向次數(次) | 1.80 | 放下 會自 動滑 落 | 1.20 | 40 下 無法 轉動 | 2.60 | 1.80 | 40 下 無法 轉動 (微晃) | 2.20 | 1.60 | 3.20 | 1.20 | 1.00 | |
| 上移距離(cm) | 0 | | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 3.42 | 0 | 0 |
| 下移距離(cm) | 7.74 | | 7.88 | | 7.86 | 7.78 | | 10.14 | 6.84 | 1.88 | 9.28 | 7.82 | |

2. 無法轉動定向的幾何形狀比較表格：

| 幾何形狀名稱 | 長方體 | 四角台體 | 四角錐 | 正方體 | 圓柱 | 球體 | 橢圓 | 等長雙圓錐 |
|--------------|---|---|---|---|--|---|---|---|
| 幾何形狀 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 直徑(邊長)、高(cm) | 2、5 | 上底 0.9 下底 2、5 | 2、5 | 2 | 2、5 | 2 | 2、5 | 2、上高 2.5 下高 2.5 |
| 無法轉動 定向原因 | 40 下無 法轉動 | 40 下無 法轉動 | 40 下無 法轉動 | 40 下無 法轉動 | 波浪來會 橫向滾動 | 會自動 滾落 | 會自動 滾落 | 平衡時會 自動滾落 |
| 原因歸納 | 《形狀不適合旋轉》因為都是有稜角的柱體或錐體，轉動時會被棱角卡住，所以不會移動。即使是上小下大的四角錐也都不會移動。 | | | | 《沒有最終位置》因為有圓的部位，容易自己滾落斜坡。球體和橢圓放了就滾。圓柱和等長雙圓錐遇到波浪才會滾動。等長雙圓錐會以中間底做滾動。 | | | |

3. 圓錐及各種角錐長條圖分析：

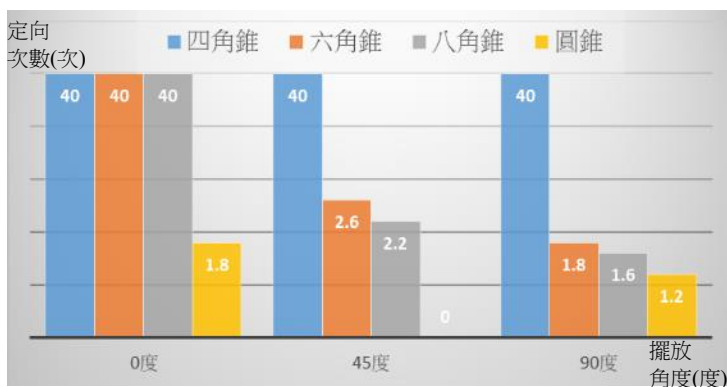


表 1：圓錐、角錐擺放角度對定向次數長條圖

從左側長條圖我們發現，當角錐數越多，越容易轉動定向。四角錐時因為角錐數很少，所以不會轉動。圓錐則很容易轉動定向。擺放角度越大（越傾斜於水平面），則越容易轉動定向。

(四)、研究結果：

- 適合轉動定向幾何形狀為 **圓錐、六角錐、八角錐及不等長雙圓錐**。與貝殼種類結論相似
- 不適合轉動定向幾何形狀的原因是「形狀不適合旋轉、沒有最終位置」。
- 角錐數越多，越容易轉動定向。四角錐完全無法轉動，圓錐是最適合轉動定向形狀。**

4. 角錐當轉動定向至 180°時，會固定位置不動（命名為「轉動定位」），不會微微晃動。
5. 擺放角度越大（越偏向海浪來源方向），越容易轉動定向。
6. 圓錐、角錐不會產生上移現象，位於 90°位置時穩定度比貝殼高，不會被波浪往上沖。

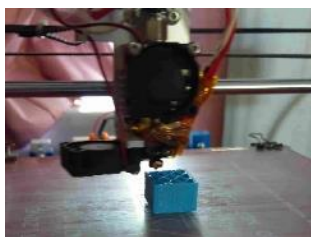


圖 16：以 3D 列印出各種幾何模型。



圖 17：以矽膠製模 3D 列印幾何模型。



圖 18：水泥顆粒太粗，翻模易壞掉，只好放棄



圖 19：改用石膏翻模，雖然易碎，但翻模容易



圖 20：將各種幾何模型以矽膠模以石膏進行翻模



圖 21：3D 列印模型與石膏翻模模型。



圖 22：各種幾何形狀立起來時，都不會移動。



圖 23：四角錐因為有稜角，無法轉動。

實驗四、圓錐各種比例改變比較：

（一）、研究動機：

根據實驗三結論**圓錐是最適合轉動定向的形狀**，我們決定測試**圓錐的各種比例變化（底直徑、圓錐高、圓台體上底直徑）**瞭解變因的變化，找到**最適合進行轉動定向的比例**。

（二）、研究方法（實驗標準流程請詳見「肆、實驗裝置設計」）：

1. **（底直徑實驗）**以 123D Design 軟體繪製不同底直徑（1、2、3、4、5cm）、高 5cm 圓錐，3D 列印、製模與翻模成石膏模型。進行「5 度角、3 秒起波 1 次」的起波實驗。測量定向次數、上移距離、下移距離。測量五次，求數據平均。
2. **（圓錐高實驗）**以不同高（1、2、3、4、5cm）、底直徑 2cm 圓錐，進行起波實驗。
3. **（圓錐台體上底直徑實驗）**之前繪製圓錐時，因為**直接繪製高 5cm 的圓錐，最前面尖端會過細，造成翻模時斷裂**。因此圓錐後來都先將高拉高超過 5cm，再切掉超過 5cm 的部分，製作出台體，讓製模順利。因此這一次研究台體上底直徑產生差異，採用**將高拉高的方式**，將高改變為 6、10、14、18cm，再將高於 5cm 的部分切掉，製作出上底慢慢變大的圓錐台體（下底皆為 5cm、高 5cm）。對照組使用圓柱體。

(三)、圓錐各種比例改變比較 (詳見原始記錄)：

1. 底直徑實驗 (高 5cm)：

| | 底面積小 ← | | | | → 底面積大 |
|----------|--------|------|-------|-------|--------|
| 底直徑(cm) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 重量(g) | 1.22 | 7.80 | 12.85 | 21.93 | 36.66 |
| 定向次數(次) | 4.20 | 1.80 | 4.40 | 13.20 | 21.90 |
| 上移距離(cm) | 2.94 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 下移距離(cm) | 1.00 | 7.74 | 12.06 | 12.23 | 11.04 |

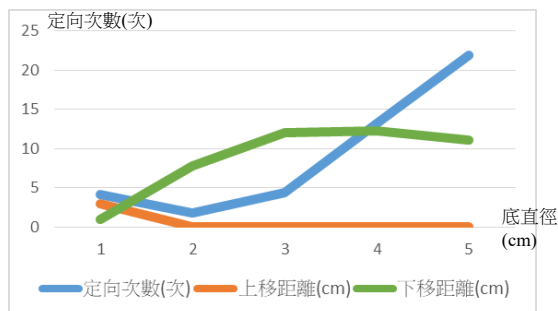


表 2：圓錐底直徑對定向次數折線圖

2. 圓錐高實驗 (底直徑 2cm)：

| | 高小 ← | | | | → 高大 |
|----------|------|------|------|-------|------------------|
| 高(cm) | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| 重量(g) | 1.40 | 4.19 | 7.80 | 10.15 | 12.12 |
| 定向次數(次) | 原地轉 | 1.60 | 1.80 | 6.40 | 40 下 沒有 轉動 |
| 上移距離(cm) | 動，無 | 1.00 | 0 | 0 | |
| 下移距離(cm) | 法定向 | 4.30 | 7.74 | 15.00 | |

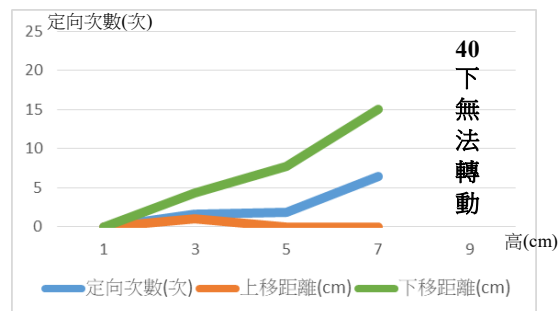


表 3：圓錐高對定向次數折線圖

2. 圓錐台體上底直徑實驗 (下底直徑 2cm、高 5cm)：

| | 上底面積小 ← | | | | → 上底面積大 |
|----------|---------|-------|-------|-------|------------------|
| 拉高高度(cm) | 6 | 10 | 14 | 18 | 圓柱 |
| 重量(g) | 6.87 | 8.75 | 9.52 | 12.07 | 12.95 |
| 定向次數(次) | 1.80 | 5.00 | 8.00 | 40 下 | 40 下 沒有 轉動 |
| 上移距離(cm) | 0 | 0 | 0 | 沒有 | |
| 下移距離(cm) | 7.74 | 11.66 | 15.14 | 轉動 | |

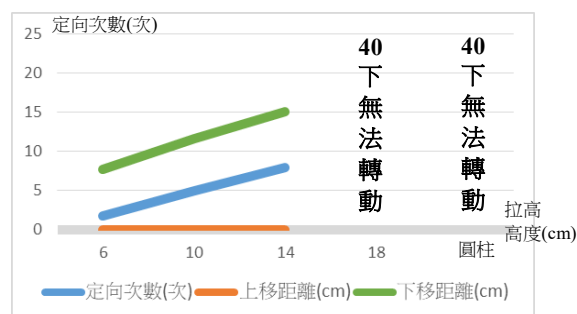


表 4：圓錐台體上底直徑對定向次數折線圖

(四)、研究結果：

1. 圓錐底直徑為 2cm 時，最容易轉動定向，底直徑越大或越小都會增加定向次數。
2. 圓錐高為 5cm 時，最容易轉動定向，高越大會增加定向次數，高太小會原地轉動。
3. 圓錐台體上底直徑越小，越容易轉動定向。
4. 建議最適合轉動定向的圓錐為底直徑 2cm、高 5cm。圓錐台體上底直徑考量拉高高度 6cm 的圓錐前端容易斷裂，建議拉高 7cm，再切除至 5cm。



圖 24：以 123D Design 軟體繪製不同比例圓錐

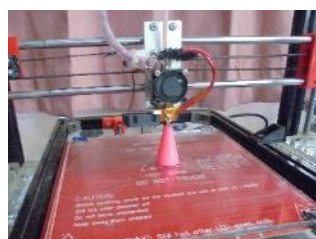


圖 25：以學校的 3D 列印機將圓錐印出來。



圖 26：圓錐太高要用塑



膠盒製模，不能用紙杯的 3D 列印模型取出。



圖 28：圓錐底直徑變大的矽膠模完成了。



圖 29：調配石膏倒入矽膠模中進行翻模。



圖 30：圓錐底直徑變小的石膏模型完成了。



圖 31：不同高、相同的底直徑的圓錐石膏模型



圖 32：不同底直徑圓錐的石膏與翻模模子。



圖 33：圓錐台體上底直徑不同的石膏模型。



圖 34：以起波器進行測試的底直徑 5cm 圓錐



圖 35：底直徑 5cm 圓錐需要的定向次數很多

實驗五、角錐數、放置角度與轉動定位比較：

(一)、研究動機：

圓錐轉動定向結束時，遇到波浪還是會微微晃動，無法完全固定位置。但在實驗三結論發現「**角錐轉動定向至 180°時，會固定位置不動**」，我們將這個現象命名為「**轉動定位**」。我們覺得**可以使用角錐的轉動定位性質設計出穩定的消波塊**。我們決定測試**哪一種角錐數的轉動定位效果最佳**。因為海浪有時會因地形改變而改變海浪拍打陸地的方向，我們決定測試沙灘模擬箱放置不同角度，當斜坡方向與海浪來源方向不同的差異。

(二)、研究方法：

1. 以 123D Design 軟體繪製出四~八角錐（直徑 2 公分、高 5 公分），製作成石膏模型。
2. 將角錐底朝斜坡高處，底對齊水位交界處。進行「10 度角、4 秒起波 1 次」起波實驗（此次實驗使用 10 度角，因為只用 5 度角，角錐不容易轉動定向），測試角錐轉動後，是否會「轉動定位」，並記錄轉動定位時的角度。測試五次，計算平均。
3. 改變沙灘模擬箱放置角度（波浪來的方向與沙灘模擬箱的夾角），進行步驟 2 檢測。

(三)、角錐數比較（轉動狀況：× 完全不轉動；○ 能轉動定位；△ 無法轉動定位）：

| 轉動狀況及停止角度 | 四角錐 | | 五角錐 | | 六角錐 | | 七角錐 | | 八角錐 | | 圓錐 | |
|-----------|-----|----|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|----|----|
| | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 |
| 0 | × | | ○ | 180.0 | ○ | 180.0 | ○ | 180.0 | ○ | 180.0 | △ | |
| 30 | × | | ○ | 195.8 | ○ | 187.6 | ○ | 199.4 | △ | | △ | |
| 60 | × | | × | | ○ | 208.6 | ○ | 195.2 | △ | | △ | |
| 90 | × | | × | | ○ | 202.8 | ○ | 203.6 | ○ | 199.2 | △ | |

(四)、研究結果：

1. **角錐數越多（越接近圓錐），越容易轉動定向**，四角錐、五角錐會出現無法轉動定向。
2. **角錐數越少，越容易轉動定位**，八角錐及圓錐轉動定向後不容易停下來。
3. 推薦使用「**六角錐**」當消波塊，因為**最容易轉動定向和轉動定位**。
4. 模擬沙灘箱與海浪夾角 0 度時，角錐轉動定位停止都是 180 度。**模擬沙灘箱放置夾角增加時，角錐會偏向海浪方向增加角度**（因為斜坡板傾斜方向固定，無法像沙灘會隨海浪方向慢慢改變斜坡方向，因此角錐轉動定位的停止角度並無法完全轉向海浪方向）。

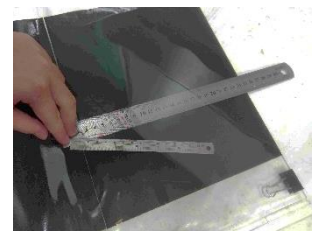
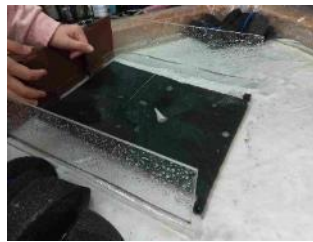
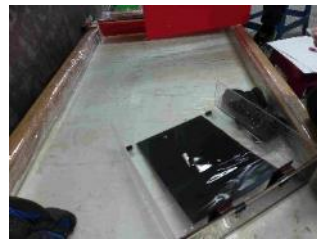
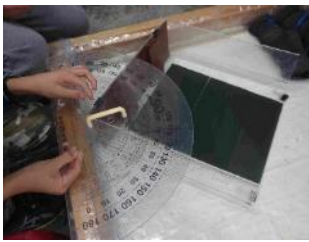


圖 36：沙灘模擬箱放置與海浪方向差 60 度。 圖 37：沙灘模擬箱放置與海浪方向差 30 度。 圖 38：記錄角錐轉動定位後的停止角度。 圖 39：測量角錐轉動定向後停止的角度。

實驗六、自製消波塊與市售消波塊比較：

(一)、自製消波塊的評估與製作：

我們藉由之前的結論，評估自製消波塊最佳比例。最後訂為「**底 2 cm、高 5 cm 的六角錐台體（高 7 cm 角錐，再切至 5 cm）**」，轉動定向和轉動定位效果皆佳。我們依照這個比例製作出自製消波塊石膏模型。

為了評估與市售消波塊差異，老師協助至 3D 列印素材網站（thingiverse）找到市售消波塊模型列印出來。經過研究後(參考「伍、3D 製模與翻模研究」)，我們製作出市售消波塊石膏模型。**為了能夠進行自製與市售消波塊的比較測試，我們讓兩種消波塊的重量相似！**



圖 40：討論最佳比例時，拿之前實驗的 3D 列印模型做比較。 圖 41：利用排水法測出消波塊模型的體積。以便計算自製消波塊大小 圖 42：讓自製消波塊重量與市售消波塊相似，兩者差 0.08 克。 圖 43：石膏翻模後的六角錐台體自製消波塊。

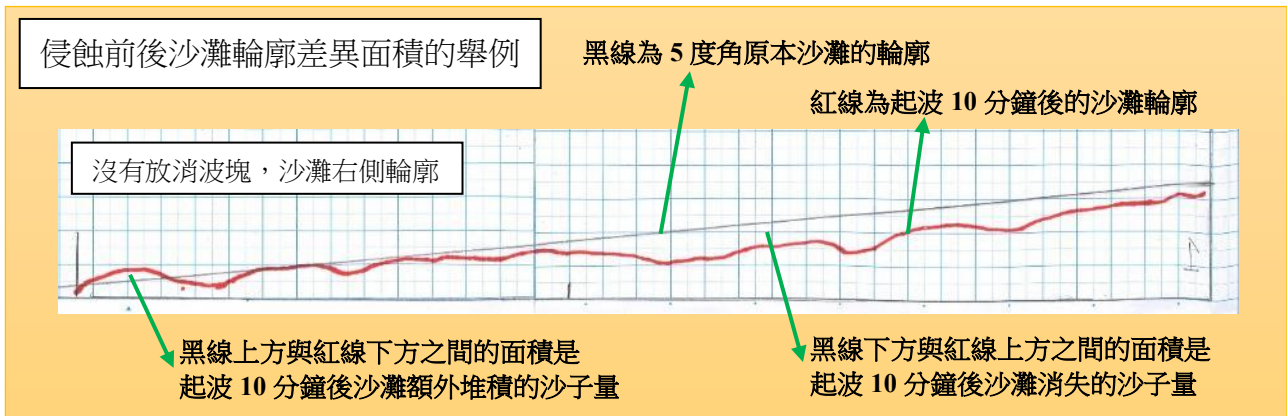
(二)、自製消波塊與市售消波塊比較：

想比較自製與市售消波塊差異，我們參考54屆科展作品內容(註7)「好的消波塊必須有以下功能：一、消波性：減少波浪反射。二、安定性：不易受到波浪而位移。」進行比較：

1. 消波性比較：

消波功能主要在防止沙灘流失，因此我們比較兩種消波塊放置後「沙灘沙子流失量」，並針對「沙灘輪廓折線圖」進行分析比較（詳細介紹請參考「陸、沙灘侵蝕狀況量化」）。

我們將10顆市售消波塊以一排擺放在沙盤上，起波10分鐘（4秒起波1次）。10分鐘後，停止起波器，以壓克力板和浴室蠟筆畫下三個位置（1/4、1/2、3/4）的沙灘縱向輪廓圖，謄至方格紙上。以軟體計算出「侵蝕前後沙灘輪廓差異的面積」，轉換成「沙灘沙子流失量」。並用軟體將沙灘輪廓圖電子化成折線圖，藉此計算出三個位置的平均輪廓折線圖。



更換成自製消波塊（一排）進行相同測試。將消波塊排放二排進行相同測試。對照組為沒有擺放任何消波塊的沙盤進行相同測試。以下為表格分析：

(1) 沙灘沙子流失量比較：

| 測試消波塊 | 沒有放消波塊 | 一排市售消波塊 | 二排市售消波塊 | 一排自製消波塊 | 二排自製消波塊 |
|----------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 左側沙量流失面積(cm ²) | 15.86 | 18.48 | 14.26 | 9.85 | 4.14 |
| 中間沙量流失面積(cm ²) | 25.16 | 15.86 | 18.20 | 15.25 | 1.12 |
| 右側沙量流失面積(cm ²) | 19.02 | 13.53 | 10.66 | 8.81 | 3.82 |
| 平均沙量流失面積(cm ²) | 20.01 | 15.95 | 14.37 | 11.30 | 3.02 |
| 總流失沙量體積(cm ³) | 780.58 | 622.18 | 560.44 | 440.88 | 117.94 |

乘上沙盤寬 40 cm

從上表可知，沙灘沙子流失量的比較是

a. 沒有放消波塊 > 一排市售消波塊 > 二排市售消波塊 > 一排自製消波塊 > 二排自製消波塊

b. 自製消波塊保護沙灘流失的效果很好，二排自製消波塊效果是沒有消波塊的 1/7 流失量。

(2) 沙灘輪廓折線圖比較（橫座標36為放置消波塊位置，縱座標2為水位高度）：

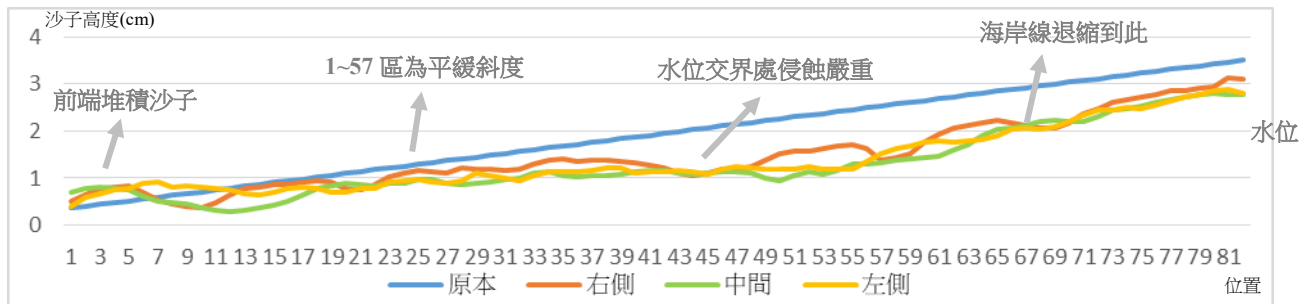


表 5：「沒有放消波塊」沙灘輪廓折線圖

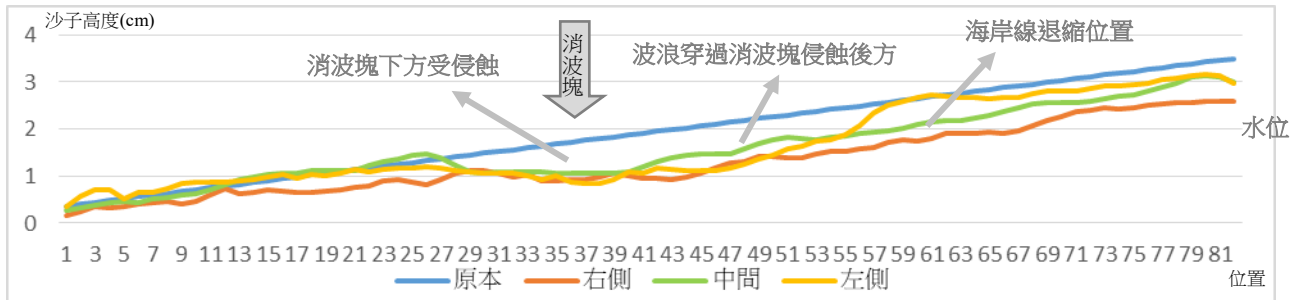


表 6：「一排市售消波塊」沙灘輪廓折線圖

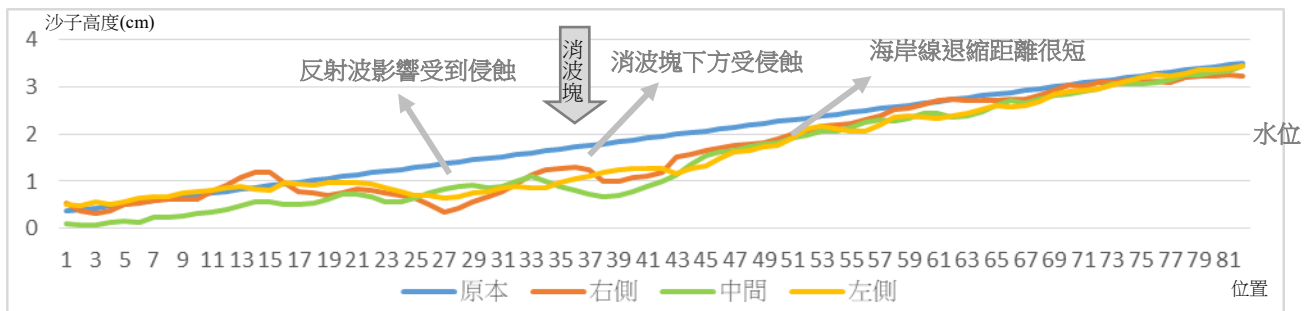


表 7：「一排自製消波塊」沙灘輪廓折線圖

我們彙整了表 5~7，將「右側、中間、左側」平均成一條折線圖，彙整成表 8。

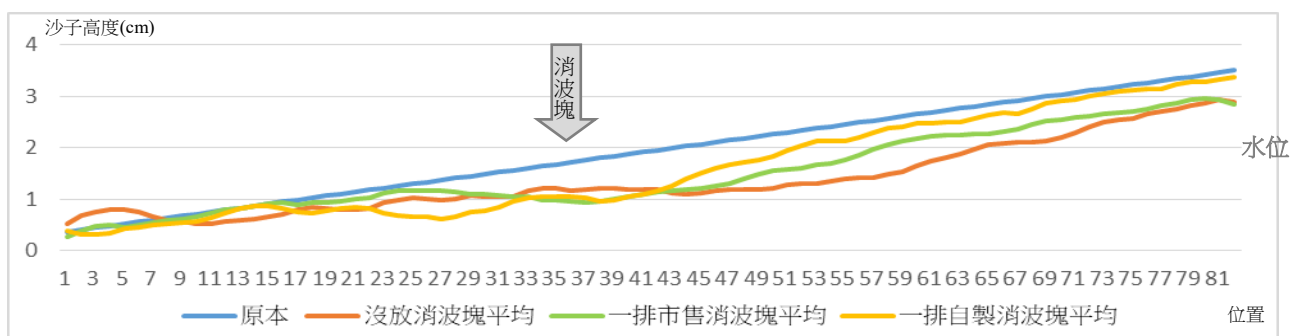


表 8：「市售與自製消波塊一排比較」沙灘輪廓折線圖

- a. 消波塊後面沙量：自製消波塊 > 市售消波塊 > 沒有消波塊。
 - b. 消波塊放置位置沙灘高度：沒有消波塊(1.17) > 自製消波塊(1.04) = 市售消波塊(0.96)。
 - c. 海岸線退縮狀況：自製消波塊(第 52 區) > 市售消波塊(第 58 區) > 沒有消波塊(第 65 區)。
- 由此可得知「自製消波塊的消波性較高！」

我們繼續進行**二排消波塊**的比較（橫座標 36 為放置消波塊位置，縱座標 2 為水位高度）

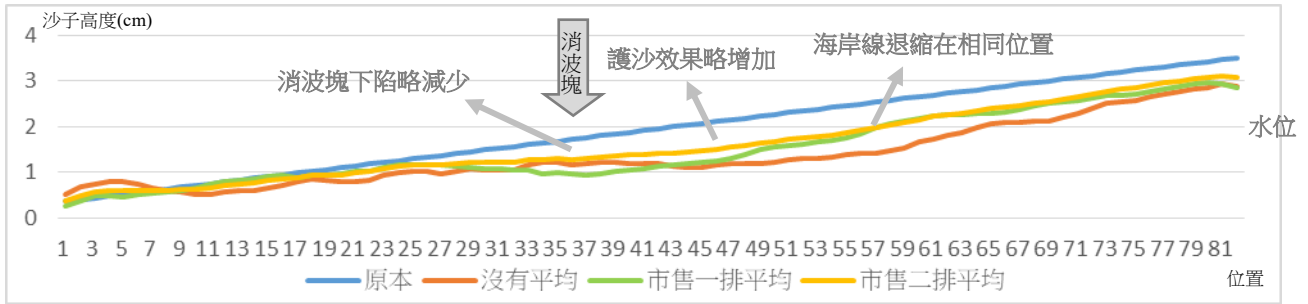


表 9：「市售消波塊排數比較」沙灘輪廓折線圖

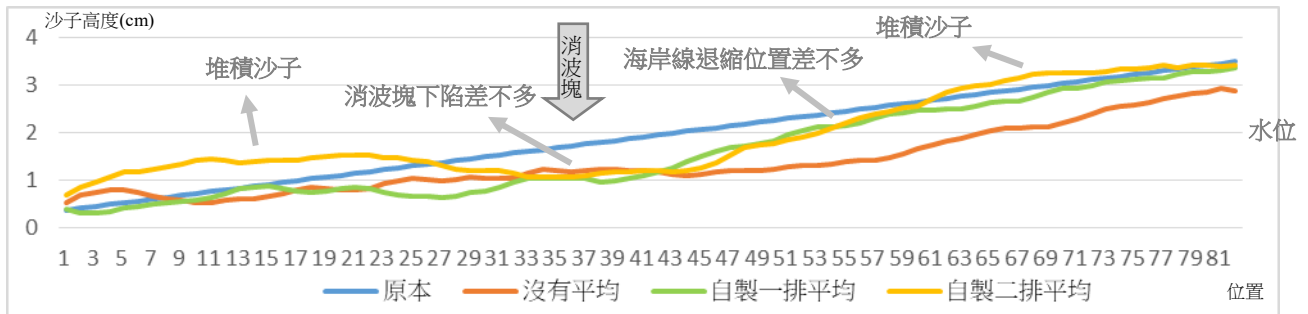


表 10：「自製消波塊排數比較」沙灘輪廓折線圖

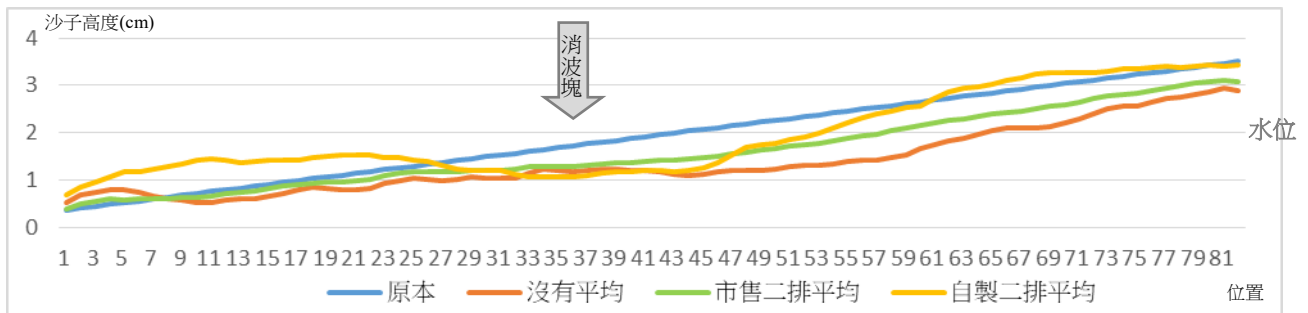


表 11：「市售與自製消波塊二排比較」沙灘輪廓折線圖

由表 9~11 可得知：**二排自製消波塊的效果比二排市售消波塊護沙效果好！**二排自製消波塊與一排自製消波塊下陷程度差不多，但二排自製消波塊**在沙灘前端和後端都堆積了沙子！**

2. 安定性比較：

我們比較自製與市售兩種消波塊哪種容易被波浪沖離位置。但因為我們無法改變波浪力道大小，我們改用**增加斜坡的角度，測量消波塊在哪種角度會被沖離放置位置。**

我們將一顆市售消波塊放在 280cw 砂紙斜坡板上，4 秒起波 1 次，從 5 度角開始起波 1 分鐘，檢測消波塊是否移動位置。進行五次檢測。如果不會移動，更改角度（7、9、11、13、15 度）繼續測試。更改成自製消波塊（底面朝海浪方向），進行相同檢測。表格如下：

| 測試消波塊 | 市售消波塊 | 自製消波塊 |
|------------|-------|----------------------|
| 移動位置的角度（度） | 5 度 | 15 度仍不會移動（斜坡板無法調到更高） |

由上面表格可知市售消波塊較容易被波浪沖走！**「自製消波塊的安定性較高！」**



圖 44：測試一排市售消波塊的護沙效果。



圖 45：將一排自製消波塊擺至沙盤進行實驗。



圖 46：二排市售消波塊測試完，繪製沙灘輪廓



圖 47：測試二排自製消波塊，護沙效果佳。

實驗七、改良自製消波塊（六爪消波塊）：

我們思考自製消波塊的改良方式，發現自製消波塊的底面比市售消波塊矮，如果讓自製消波塊底部張的更開，是否消波效果會更好？

我們將原本的六角錐台體底部加上了市售消波塊的外型，變成六爪造型。為了怕壓扁過的六爪容易斷掉，又加了六根支撐柱在角錐上。

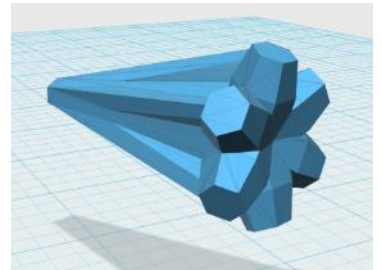


圖 48：六爪消波塊(六角錐台體融合市售消波塊)

老師幫我們把討論的構想以 123D Design 繪製出來（如圖 48），我們將它製作成石膏模型，以一排六爪消波塊進行沙盤起波實驗，得出數據與折線圖與其他消波塊比較如下：

| 測試消波塊 | 沒有放消波塊 | 一排市售消波塊 | 一排自製消波塊 | 一排六爪消波塊 |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| 總流失沙量體積(cm ³) | 780.58 | 622.18 | 440.88 | 110.74 |

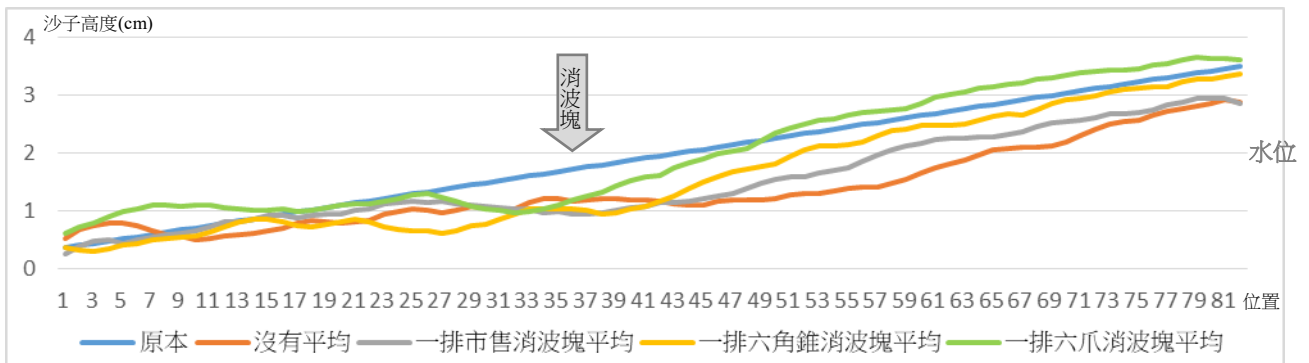


表 12：「六爪與其他消波塊比較」沙灘輪廓折線圖

我們發現六爪消波塊的護沙效果比自製消波塊更好！前端和後端都能夠堆積沙子，消波塊下陷高度與沒有放消波塊差不多。改造自製消波塊成功！



圖 49：左邊三爪無法轉動定向，最後採用右邊六爪形狀。



圖 50：底部融合市售消波塊形狀，設計成六爪



圖 51：以石膏翻模出來的六爪消波塊。



圖 52：六爪消波塊的消波能力更佳。

捌、討論

一、「轉動定向、轉動定位」的原理與變因探討：

經過一連串的實驗，我們嘗試推論「轉動定向」的原理如下：

影響轉動定向最大變因是形狀，其中又以圓錐形效果最好。將圓錐放置桌上，當圓錐被推動後，圓錐會以頂點為圓心繞圈(如圖 53)。因為圓錐頂點和底是兩個不同大小的圓。當圓錐轉動一圈時，頂點和底也同時轉一圈。因為頂點很小，幾乎在原地不動。但底很大，所以底前進很長距離。因此造成一側的頂點沒有前進，另一側的底前進很多，圓錐就會轉彎。因為頂點很小，所以看起來就像是圓錐繞著頂點轉了一圈(如圖 54)。因此在實驗四(圓錐各種比例改變比較)圓錐台體上底直徑實驗中，當上底越大，下移距離會越大。因為上底變大，頂點那一側前進距離也增加。圓錐台體轉動時，轉動範圍會變大，因此下移距離變大(如圖 55)。

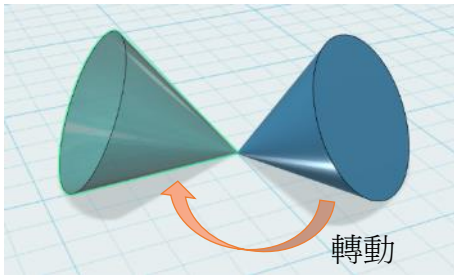


圖 53：圓錐在桌上被轉動時會以頂點為圓心繞圈。

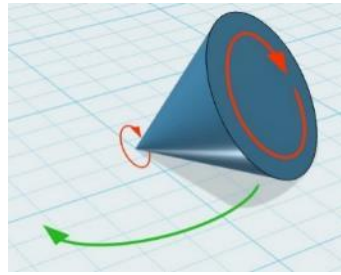


圖 54：圓錐頂點沒前進，底前進很長的距離。

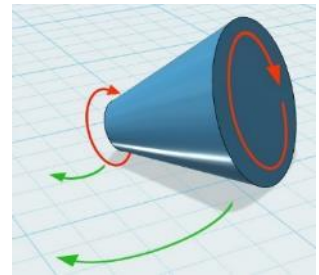


圖 55：圓錐台體上底也前進了距離，因此轉動範圍變大

圓錐轉動會自轉繞圈現象，當放在沙灘上，由於海浪力量分成上沖和下拉兩種力量。當海浪上沖時，讓圓錐微微晃動(如圖 56)，晃動到偏移離開 0 度位置時，海浪下拉的力量會將圓錐往下拉。圓錐因為斜坡的關係會往下轉動至斜坡低處，但因為圓錐轉動會自轉繞圈，所以以頂點為圓心，繞至 180 度的位置(如圖 57)。即使海浪後來繼續拍打，但因為圓錐重心在下方，所以也不會再轉回 0 度，但會在 180 度附近做微微晃動。以上就是轉動定向原理！

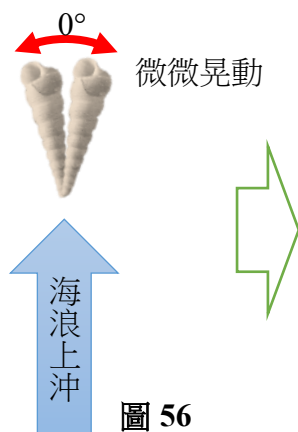


圖 56

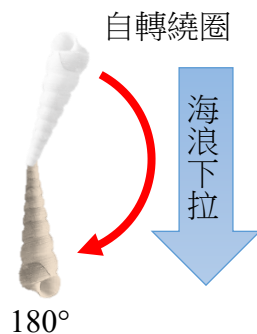


圖 57

轉動定向同時會受到斜坡影響(參考實驗一：斜坡角度與粗糙度比較)，當斜坡角度越大或越光滑，越容易發生。但角度過大或太光滑，會造成圓錐直接滑落斜坡！斜坡本身方向也會影響轉動角度，如果海浪來源方向與斜坡方向不同，兩者同時會影響轉動角度。

由於圓錐轉動定向在海浪拍打時，並無法停止在 180 度的定點。因此我們繼續研究能夠讓物體轉動後就維持在定點的「轉動定位」。最適合轉動定位是角錐，其中又以「六角錐」效果最好。因為角錐本身有稜角，轉動時底面必須被轉動到能夠跨越另一邊（如圖 58）。

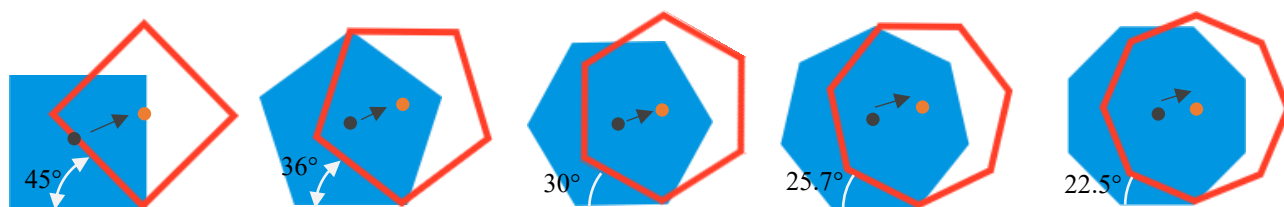


圖 58：黑點為正多邊形的重心，當正多邊形翻面時，重心要被抬高轉動至橘點。

由圖 58 當角錐邊數越少，需要抬轉角度越大，很難轉動。邊數越多，越容易轉動定向。當角錐轉到 180 度位置時，假如波浪力道無法再抬轉翻面，角錐就會穩定，固定在停止位置，便是「轉動定位」原理。邊數太多時，因為抬轉角度不大，很容易就被波浪再抬轉，便無法轉動定位。因此實驗五中四角錐與五角錐無法轉動定向，八角錐有時無法轉動定位。

二、「自製消波塊」特色分析：

我們藉由轉動定向與轉動定位想法，設計與測試了自製消波塊，以下分析特點：

1. 不易移動位置：

市售消波塊容易受到海浪影響被往上推上沙灘或是被捲入海裡。我們的自製消波塊不易受到海浪影響移動位置。在實驗二(貝殼種類對轉動定向的影響)中，重量低於 3.60g 以下、體積約 8cm³ 以下的貝殼都會被波浪往上沖。只有小錐螺（2.90g、7.856 cm³）不會被沖走，並做出轉動定向。在實驗六（自製消波塊與市售消波塊比較）安定性比較中，市售消波塊在 5 度角就被波浪沖動，但自製消波塊在 15 度角都不會移動。由此可以證明不易移動位置。

錐螺以外的小貝殼與市售消波塊形狀都是球狀，海浪很大時，會做出滾動動作。但錐螺及自製消波塊都是長圓錐狀，不會滾動。即使移動位置，會因為轉動定向保持在附近位置。

2. 會自動調整方向：

自製消波塊擁有轉動定向和轉動定位的能力，因此當自製消波塊被海浪沖成不同的角度，或是時間久了海浪方向產生改變，都會隨著海浪方向自己調整方向，然後固定方向，讓消波能力最強的底面朝向海洋。在實驗三（幾何形狀對轉動定向的影響），只要能夠轉動的幾何模型，放置在 0、45、90 度位置，都能夠自己轉到 180 度。因此在斜坡上，放置任何角

度，最後自製消波塊都會回到 180 度的位置。在實驗五（角錐數、放置角度與轉動定位比較）嘗試將模擬沙灘箱轉動角度，改變波浪過來的方向。實驗結果角錐會偏向海浪方向增加角度。由此可知，自製消波塊擁有自動調整方向的能力。

3. 消波能力更佳：

消波塊主要功能是削弱波浪的力量，**自製消波塊經過實驗檢測，比同重量的市售消波塊有更佳的消波能力**。在實驗六（自製消波塊與市售消波塊比較）消波性比較自製消波塊的沙灘沙子流失量比市售消波塊少。沙灘輪廓折線圖的「沙灘護沙狀況、消波塊下陷程度、海岸退縮位置」也是自製消波塊較佳！

玖、未來研究方向

1. 自製與市售消波塊的持續比較：

因為研究時間不夠，因此自製與市售消波塊只做到二排的比較。但「**沙灘流失量數據化**」及「**沙灘輪廓折線圖**」是相當好用的檢測工具，能藉由輪廓折線圖推估沙灘各處所發生的狀況。如果未來要進行相關研究，可以進行其他消波方式檢測，瞭解消波塊對沙灘輪廓的影響效果。例如：「**海底消波法**」（將消波塊拋置在距沙灘一定距離海平面下，不浮出海面，在海潮抵達沙灘前減緩其衝擊力）、「**離岸堤**」（將堤防平行築在離岸陸棚中不露出水面）。

2. 自製消波塊的堆疊密合度研究：

目前研究的**自製消波塊因為是六角錐形，當多排堆疊時的密合度並不高**。實驗二（貝殼種類對轉動定向的影響）的結論發現**有刺的貝殼當刺分佈在轉動部位，仍然可以轉動**。可以將這個現象用在自製消波塊的改良。讓六角錐出現橫向的環(如圖 59)或是設計凹陷卡榫、尖刺，讓方向相反自製消波塊可以互相卡住，更適合堆疊密合。

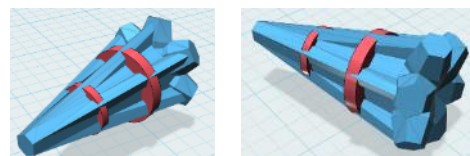


圖 59

3. 轉動定位在山坡的應用：

轉動定向和轉動定位也能夠發生在沒有水的斜坡（山坡）！當有**外力導致圓錐、角錐滾落山坡，圓錐和角錐都會轉動定向至 180 度位置，而角錐更會出現定位的能力**。由於台灣地小人稠，很多社區都是蓋在山坡地。因此可以**將轉動定位的現象在山坡上使用物品進行應用**（例如：擋車石、盆栽等），可避免物品滾落斜坡。

拾、結論

一、影響貝殼轉動定向、轉動定位的變因：

1. 「轉動定向」是指「錐體轉動後將底朝向海浪來源方向（斜坡低處）」。
2. 「轉動定位」是指「角錐在轉動定向後，固定在停止位置」。
3. 斜坡越光滑、角度越高，越容易轉動定向。
4. 擺放角度越大（越偏向海浪來源方向），越容易轉動定向。
5. 角錐數越多，越容易轉動定向。角錐數越少，越容易轉動定位。
6. 圓錐底直徑為 2cm 時，最容易轉動定向，底直徑越大或越小都會增加定向次數。
7. 圓錐高為 5cm 時，最容易轉動定向，高越大會增加次數，高太小會原地轉動。
8. 圓錐台體上底直徑越小，越容易轉動定向。
9. 模擬沙灘箱改變放置方向（改變海浪方向），角錐會偏向海浪來源方向增加角度。

二、貝殼轉動定向研究：

1. 貝殼種類中能轉動定向是螺絲形、陀螺形及卵形，效果最好是螺絲形（例：錐螺）。
2. 貝殼有三種圓心位置不同的轉法「殼頂、水管溝頂及周圓」，效果最好是殼頂轉法。
3. 有刺的貝殼當刺分佈在轉動部位，仍然可以轉動或滾動。

三、轉動定向和轉動定位最佳化的形狀：

1. 幾何形狀中能轉動定向為圓錐、六角錐、八角錐及不等長雙圓錐，效果最好是圓錐。
2. 最適合轉動定向形狀比例是「底 2 公分、高 5 公分圓錐台體（拉高 7cm 切至 5cm）」
3. 角錐才能轉動定位，其中「六角錐」是轉動定向和轉動定位都效果最好的形狀。

四、轉動定向和轉動定位的原理推論：

1. 轉動定向是因為「圓錐轉動時會以頂點為圓心自轉繞圈。在沙灘斜坡上受到海浪上沖使圓錐晃動，海浪下拉時讓圓錐往下轉動。使底朝向海浪來源方向（斜坡低處）」。
2. 轉動定位是因為「角錐有稜角，轉動時需一定力道才能被抬高翻面。當角錐轉動定向完成，底朝海浪來源方向，海浪力道不足將角錐翻面，角錐就會固定位置不動。」

五、沙灘沙量流失的量化方法：

1. 將壓克力板縱切沙灘，以浴室蠟筆在壓克力板描繪沙灘高度，可得到沙灘輪廓。
2. 計算出侵蝕前後沙灘輪廓差異的面積，乘上沙灘寬可估算出沙灘沙子流失量。
3. 將紙本沙灘輪廓轉換成電腦折線圖，能平均不同位置沙灘輪廓，得到平均輪廓折線圖

六、應用轉動定向研發自製消波塊：

1. 自製消波塊及六爪消波塊擁有不易移動位置、會自動調整方向、消波能力更佳優點。

拾壹、心得

經過長久的努力，我們終於完成科展實驗。雖然過程中相當辛苦，但我們的努力，換來完成實驗的滿滿成就感。過程中的有趣發現，就是支持我們持續研究的動力。

作科展是一個恐怖的考驗，我們必須比同年齡小孩花更多時間在學校作實驗、分析資料、撰寫實驗報告，還要面對種種失敗和問題。例如：在水槽旁蹲大半天卻找不到有效果的貝殼；灌了一大批石膏模，卻沒有一個成功；幫水槽換一次水就搞得教室鬧水災；灌矽膠時手會滴到矽膠和矽油，讓大家的手都變成防水手。還要一直重複做一樣的實驗，真的很無聊。

這些過程讓我們體會到科學研究的辛苦，也讓我們成長很多。我不再只會嘴巴說說，會計畫實踐。同時我學到分配時間的重要性。不會前面拖拖拉拉，後面才努力趕工，如果懂得分配時間會更有效率完成事情，甚至事前先評估這件事是否值得投入心血。實驗最後我們找出最適合形狀時，開心到快飛上天！做了這麼久終於有成果，心中更有無法形容的成就感。

最後要謝謝支持我們的人，耐心指導我們的老師、支持我們的家人、幫我們分辨各種貝殼的貝殼店老闆、認真聽我們的模型設計，幫我們做出成品的壓克力店老闆，因為您們讓我們實驗更完善。

拾貳、參考資料

| | 參考資料內容 | 參考資料出處 |
|---|---------------|---|
| 1 | 貝殼形狀分類 | 彼得·當斯(1996)· <i>貝殼圖鑑</i> ·臺北縣：貓頭鷹。 |
| 2 | 貝殼形狀分類 | 賴景陽(2005)· <i>台灣貝殼圖鑑</i> ·臺北市：貓頭鷹。 |
| 3 | 起波方法、檢測沙灘流失方法 | 張亦萱、陳威仁、陳威廷、陳筠、陳芬瑋、許庭源(2004)· <i>從人工消波塊看自然生態工法</i> · <i>中華民國第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書</i> ·取自 https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=1059 |
| 4 | 起波方法、檢測沙灘流失方法 | 陳宥睿、楊于萱、周冠伶、吳宗懋、吳昱儒(2008)· <i>「岸」藏玄機～探討在不同條件下離岸堤的作用</i> · <i>中華民國第四十八屆中小學科學展覽會作品說明書</i> ·取自 https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=3060 |
| 5 | 起波方法、檢測沙灘流失方法 | 陳彥廷、魏可欣、秦千賀、劉兆恆(2012)· <i>搶救「沙灘」大作戰～探討潛堤對海岸沙灘的影響</i> · <i>中華民國第五十二屆中小學科學展覽會作品說明書</i> ·取自 https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=8224 |
| 6 | 起波方法、檢測沙灘流失方法 | 張宛喬、李念紘、林國聖(2012)· <i>小「堤」大作—新竹縣市沙灘消失原因之研究</i> · <i>中華民國第五十二屆中小學科學展覽會作品說明書</i> ·取自 https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=5215 |
| 7 | 起波方法、檢測沙灘流失方法 | 張宜鈞、陳愛、曾元媛、張宜越、陳逸帆(2014)· <i>HOLD 住洄瀾灣～化仁海岸段離岸堤改善可行性之探究</i> · <i>中華民國第五十四屆中小學科學展覽會作品說明書</i> ·取自 https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=10169 |
| 8 | 起波方法 | 林聖淵、黃仁郁、何逸群、鄭天霖(2003)· <i>海浪的力量—防波提的設計</i> · <i>中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書</i> ·取自 https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=496 |
| 9 | 消波塊 3D 模型 | https://www.thingiverse.com/ |

【評語】 082921

受錐螺的啟發，設計且自製能轉動定向的消波塊，本實驗多為探討改良式消波塊的轉動定向和轉動定位，建議應多著墨在消波塊主要的功能是減少沙量流失。本研究探究精神佳，值得鼓勵。

摘要

消波塊擁有削弱海浪力量功能，但海浪有時會將消波塊沖離位置或捲入海中，造成消波功能喪失。老師在課堂介紹「沙灘的貝殼會因為海浪將殼底朝向海浪來源方向（斜坡低處）」（命名為「轉動定向」）。我們聯想到消波塊是否也能自動轉向呢？我們自製起波裝置與模擬沙灘箱、測試3D列印模型翻模石膏方法、量化沙灘沙子流失量，研究轉動定向的變因與原理。發現圓錐是轉動定向最適合的形狀，但海浪會繼續讓圓錐晃動！而六角錐可以做到轉動定向後，固定在停止位置（命名為「轉動定位」）。我們將研究結果自製消波塊（六角錐、六爪），經過沙灘模擬檢測，自製消波塊擁有比市售消波塊更好的消波能力，且擁有「不易移動位置、會自動調整方向」優點。

壹、研究動機

老師在課堂播放科博館特展的影片。影片中貝殼在沙灘上，當海浪打來，貝殼就自動轉向大海的方向。這個現象令我們驚訝和好奇！我們實際用水盆測試(圖2、3)發現錐螺會將殼底朝向海浪來源方向（斜坡低處），我們將它命名為「轉動定向」！

自動轉向的貝殼，讓我們聯想到沙灘上的消波塊有時被海浪沖得東倒西歪或捲回海中，因為移動了位置喪失了原本消波的功能。如果能夠將轉動定向的原理應用在消波塊上，那消波塊是不是能更穩定與耐用。我們進一步研究貝殼轉動定向的變因與原理，嘗試將發現應用在自製消波塊上。



圖1：科博館「有膽有識-海膽大驚奇」展場展示貝殼轉動定向。

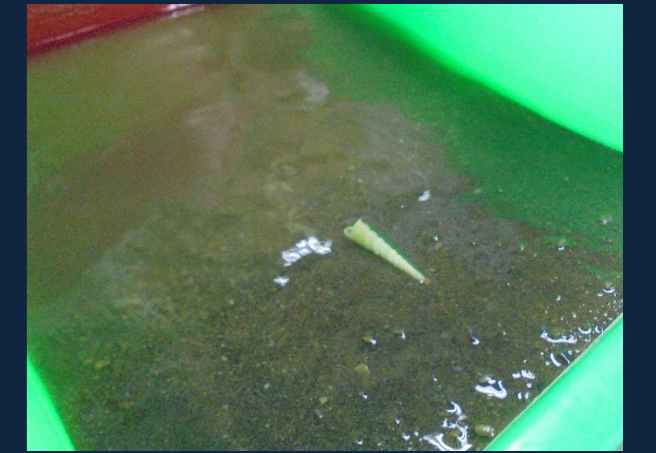


圖2：使用水盆模擬沙灘，以板子製造波浪，錐螺會自動轉向。

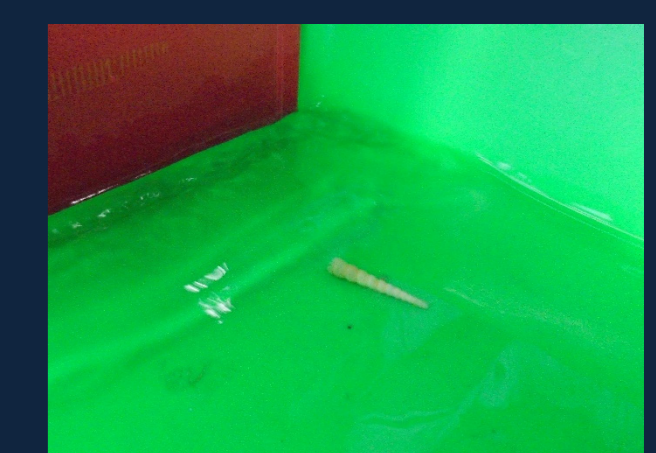


圖3：使用傾斜水盆（不放沙），錐螺也會自動轉向。


貳、研究目的

- 一、研究影響貝殼轉動定向的變因。
- 二、歸納轉動定向和轉動定位最佳化的形狀。
- 三、推論轉動定向和轉動定位的原理。
- 四、研發沙灘沙量流失的量化方法。
- 五、應用轉動定向研發自製消波塊。

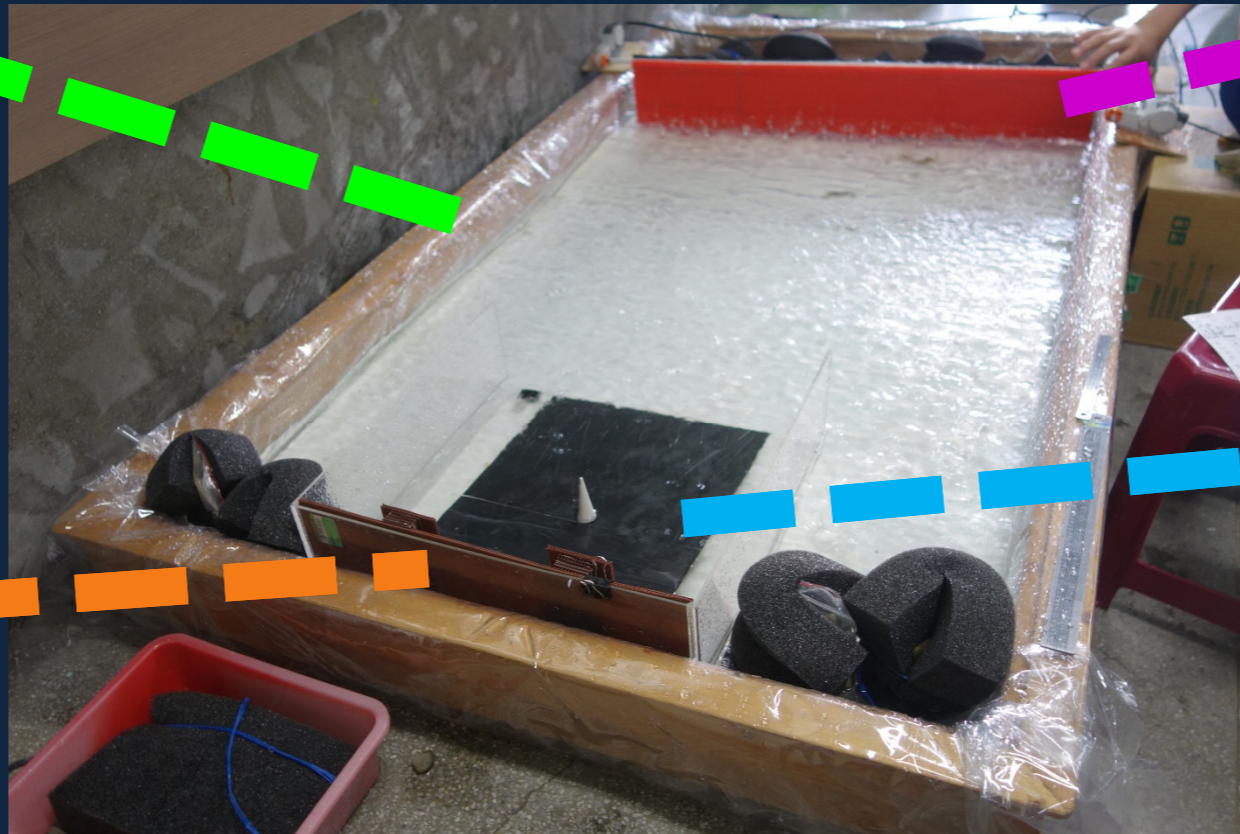
參、實驗裝置設計

自製檢測裝置 我們參考歷屆全國科展有關沙灘實驗作品，花了二個月設計出斜坡定向測量裝置。


消波水槽
將學校展示木箱增加防水效果，並將海綿捆成圓筒狀，擺放在木箱兩側消波。




斜坡定向測量裝置



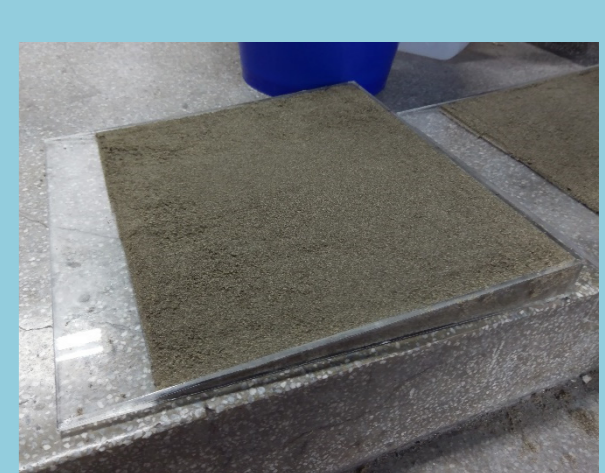
自製起波器
以電子樂高製作轉動扇葉的起波器，用不等長三角形扇葉，讓起波更順暢。



模擬沙灘箱
以壓克力板製作出模擬斜坡，能以工字結構調整角度。並貼上砂紙增加粗糙度。



更換沙盤
設計5度角的壓克力沙盤，可快速裝填和更換沙灘。進行沙灘模擬實驗。



3D製模與翻模 貝殼無法改變形狀比例，不易進行變因實驗。我們改用3D列印幾何模型，但3D列印模型放入水中會浮起來。最後以矽膠將3D模型製模，用石膏翻模。製作做出能夠沈在水中進行實驗的幾何模型及消波塊。

沙灘流失量化 我們以浴室蠟筆在壓克力板畫出沙灘侵蝕後的輪廓。以軟體計算「侵蝕前後沙灘輪廓差異面積」，乘上沙盤寬度，可得沙灘沙子流失量。以軟體將紙本折線圖電子化成excel電子檔將三次輪廓平均，可得到沙灘輪廓平均折線圖。



圖4：3D印表機印出要製模的模型。

圖4：矽膠倒在3D列印模型上，進行製模。

圖5：石膏倒入矽膠模中，翻模出石膏模型

圖6：浴室蠟筆不怕濕，能在水中板子畫線

圖7：下方以LED燈打光，方便描繪輪廓

圖8：用Motic Images Plus 2.0 軟體計算沙灘輪廓差異的面積。

圖9：用GetData Graph Digitizer 軟體能將紙本折線圖電子化。

肆、研究過程及結果

研究一、斜坡角度與粗糙度比較：

研究結果：我們以模擬沙灘箱測試斜坡角度對轉動定向的影響，並在斜坡上固定不同顆粒的砂紙測試粗糙度測試轉動定向。經過實驗後（見表1、2），我們發現 1. 斜坡越光滑，越容易轉動定向。斜坡角度越高，越容易轉動定向，越容易下移。2. 斜坡0度無法產生轉動定向，因此斜坡角度是影響轉動定向很重要的因素。3. 經過評估後，決定未來實驗的斜坡採用「砂紙貼上280cw，角度固定在5度角」。

| 斜坡粗糙度 | 粗糙 | 光滑 | | | |
|---------|-----|-----|------|------|------|
| 粗糙度(cw) | 100 | 280 | 1000 | 2000 | 沒有砂紙 |
| 定向次數(次) | 6.3 | 3.7 | 3.0 | 1.7 | 1.0 |

表1：斜坡粗糙度對轉動定向次數的影響

| 斜坡角度 | 角度低 | 角度高 | | |
|---------|--------|-----|-----|-----|
| 角度(度) | 0 | 5 | 10 | 15 |
| 定向次數(次) | 無法轉動定向 | 3.0 | 2.0 | 1.0 |

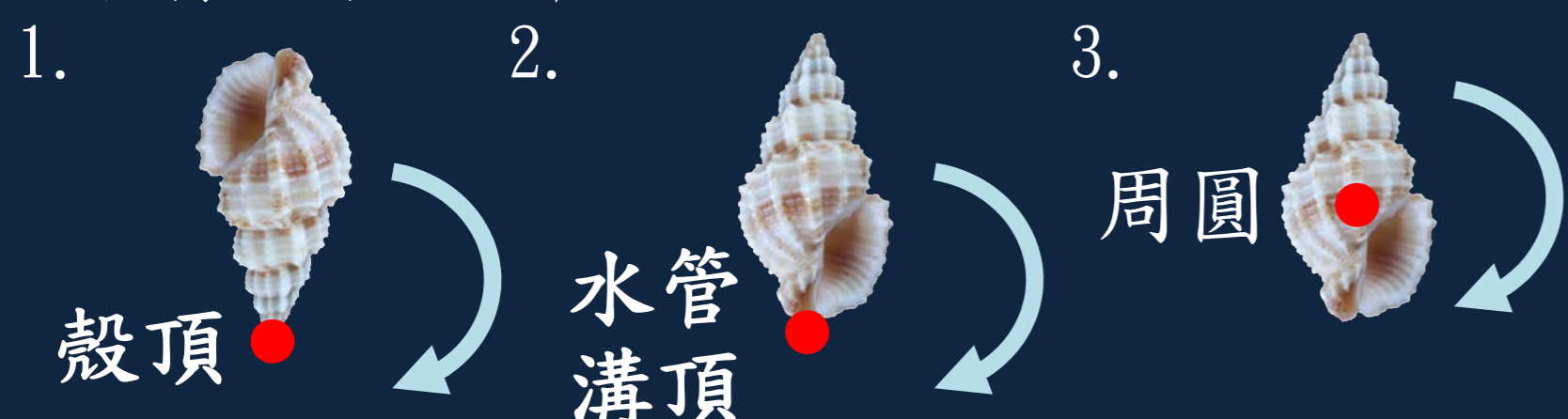
表2：斜坡角度對轉動定向次數的影響

研究二、貝殼種類對轉動定向的影響：

研究過程：我們想測試各種貝殼轉動定向的效果，決定根據貝殼圖鑑上的形狀進行分類整理，並到貝殼專賣店購買各種形狀的貝殼。實驗後發現能夠轉動定向的貝殼有三種轉法，因為圓心在不同位置。

數據分析：我們一共檢測了28種貝殼，只有10種貝殼能夠轉動定向，以轉動圓心分類如下：

三種轉動圓心分析：



| 轉動圓心位置 | 以殼頂為圓心 | | | | | 以水管溝頂為圓心 | | | 以周圍為圓心 | | |
|---------|--------|------|------|------|------|----------|------|-------|--------|------|------|
| | 貝殼種類 | 螺絲形 | 小錐螺 | 褐斑筒螺 | 高腰鐘螺 | 細紋鐘螺 | 寶島骨螺 | 編織蝸筆螺 | 峨螺 | 玉兔螺 | 金環寶螺 |
| 貝殼最終位置 | | | | | | | | | | | |
| 定向次數(次) | 1.66 | 2.00 | 1.33 | 1.33 | 2.33 | 5.33 | 1.33 | 2.00 | 5.00 | 2.00 | |

表3：貝殼種類對轉動定向次數的影響

- 研究結果：**
1. 貝殼種類中最適合轉動定向的類型是**螺絲形**及高度高的**陀螺形**。
 2. 貝殼適不適合轉動定向主要受到**形狀、大小、重量**的影響。
 3. 能夠轉動定向的貝殼有**三種圓心位置不同的轉法「殼頂、水管溝頂及周圍」**。
 4. 適合轉動定向的貝殼形狀為**圓錐、不等長雙圓錐和剖半雙圓錐**。

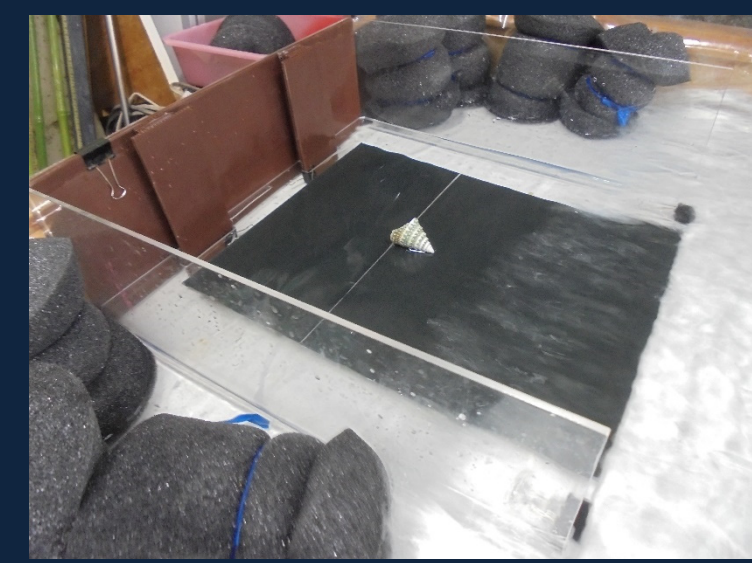


圖9：將高腰鐘螺放在斜坡上進行起波實驗。



圖10：轉動圓心在殼頂的貝殼形狀長的差不多

研究三、幾何形狀對轉動定向的影響：

研究過程：形狀是影響轉動定向的重要因素。但不可能找到符合各種幾何形狀，又能改變比例的貝殼。我們利用**矽膠製模與石膏翻模**，製作出能沈在水中的各種幾何模型！測試幾何模型擺放不同角度(0°、45°、90°)產生轉動定向的次數。
數據分析：我們測試了12種幾何模型，只有以下**四種能夠產生轉動定向**。分析表格如下：

| 幾何形狀名稱 | 圓錐 | | | 六角錐 | | | 八角錐 | | | 不等長雙圓錐 | | |
|----------|------|--------|------|---------|------|------|---------|------|------|--------------|------|------|
| 幾何形狀最終位置 | | | | | | | | | | | | |
| 直徑、高(cm) | 2、5 | | | 2、5 | | | 2、5 | | | 2、上高1.5下高3.5 | | |
| 擺放角度(度) | 0 | 45 | 90 | 0 | 45 | 90 | 0 | 45 | 90 | 0 | 45 | 90 |
| 定向次數(次) | 1.80 | 放下自動滑落 | 1.20 | 40下無法轉動 | 2.60 | 1.80 | 40下無法轉動 | 2.20 | 1.60 | 3.20 | 1.20 | 1.00 |

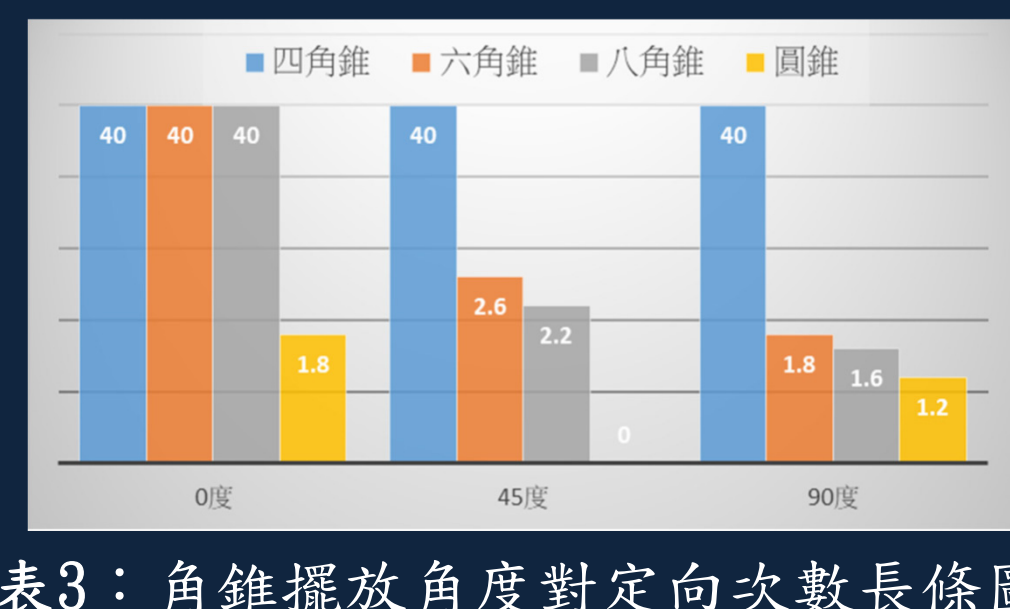


表3：角錐擺放角度對定向次數長條圖

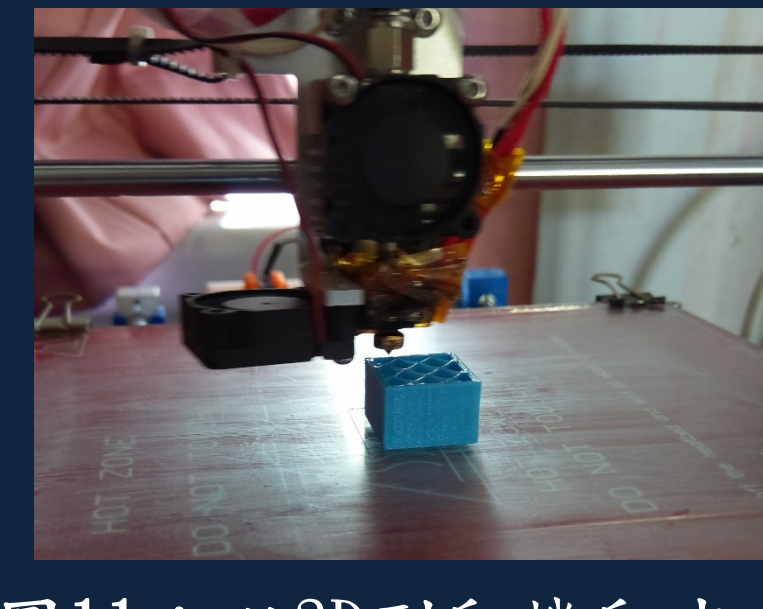


圖11：以3D列印機印出各種幾何模型。

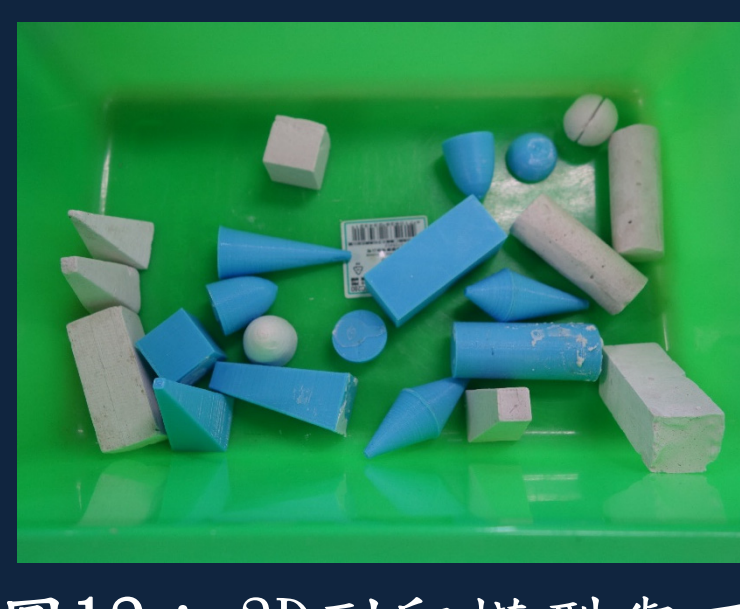


圖12：3D列印模型與石膏翻模模型。

- 研究結果：**
1. 適合轉動定向幾何形狀為**圓錐、六角錐、八角錐及不等長雙圓錐**。
 2. **角錐數越多，越容易轉動定向**。四角錐完全無法轉動。**圓錐**是最適合轉動定向形狀。
 3. **角錐當轉動定向至180°時，會固定位置不動**（命名為「轉動定位」），不會微微晃動。
 4. 擺放角度越大（越偏向海浪來源方向），越容易轉動定向。

研究四、圓錐各種比例改變比較：

研究過程：根據研究三結論圓錐是最適合轉動定向的形狀，我們決定測試**圓錐的各種比例變化**（底直徑、圓錐高、圓台體上底直徑）瞭解變因的變化，找到最適合進行轉動定向的比例。

數據分析：以三種圓錐的比例變化（底直徑、圓錐高、圓台體上底直徑），進行數據與折線圖比較：

| 底直徑 | 底面積小 ← 底面積大 | | | | |
|----------|-------------|------|-------|-------|-------|
| 底直徑(cm) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 定向次數(次) | 4.20 | 1.80 | 4.40 | 13.20 | 21.90 |
| 上移距離(cm) | 2.94 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 下移距離(cm) | 1.00 | 7.74 | 12.06 | 12.23 | 11.04 |

表4：底直徑對定向次數的影響

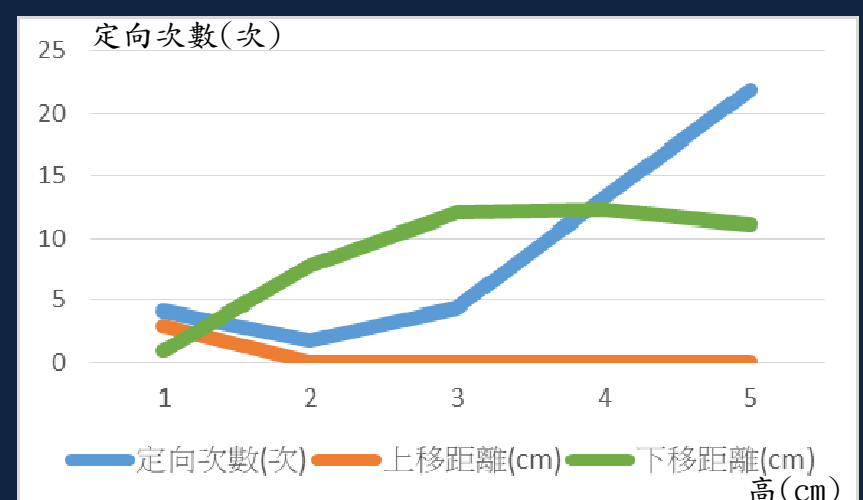


表5：底直徑對定向次數折線圖

| 圓錐高 | 高小 ← 高大 | | | | |
|----------|----------|------|-------|------|---------|
| 高(cm) | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| 定向次數(次) | 原地轉動無法定向 | 1.60 | 1.80 | 6.40 | 40下無法轉動 |
| 上移距離(cm) | 1.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 下移距離(cm) | 4.30 | 7.74 | 15.00 | 0 | 0 |

表6：圓錐高對定向次數的影響

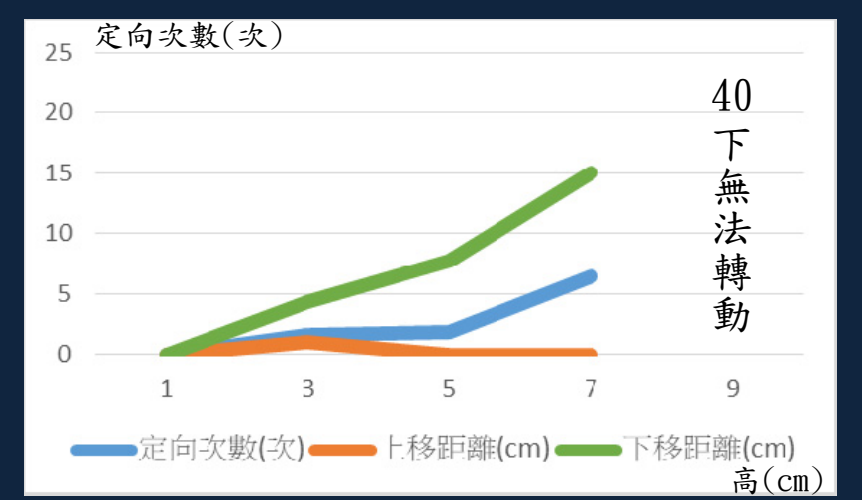


表7：圓錐高對定向次數折線圖

| 圓台體上底 | 直徑小 ← 直徑大 | | | | |
|----------|-----------|-------|-------|---------|---------|
| 拉高高度(cm) | 6 | 10 | 14 | 18 | 圓柱 |
| 定向次數(次) | 1.80 | 5.00 | 8.00 | 40下無法轉動 | 40下無法轉動 |
| 上移距離(cm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 下移距離(cm) | 7.74 | 11.66 | 15.14 | 0 | 0 |

表8：圓台體上底直徑對定向次數的影響

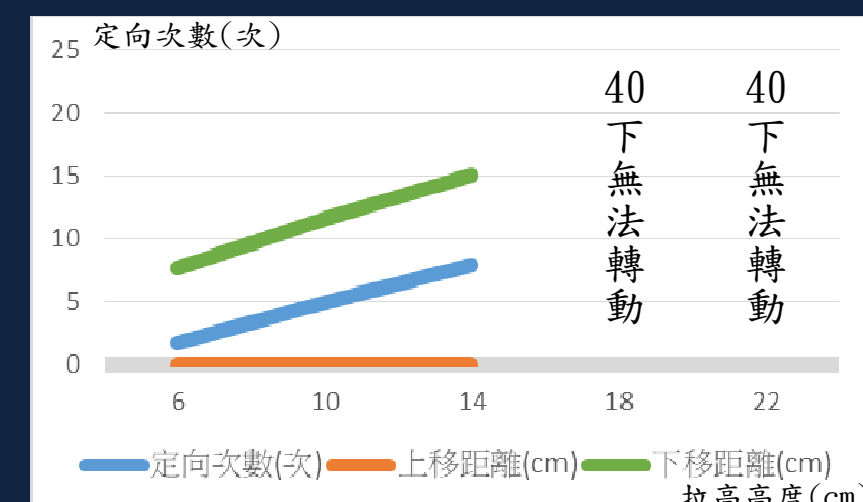


表9：圓台體上底直徑折線圖

- 研究結果：**
1. 圓錐**底直徑2cm**時，最容易轉動定向（底直徑越大或越小都會增加定向次數）。
 2. 圓錐**高5cm**時，最容易轉動定向（高越大會增加定向次數，高太小會原地轉動）。
 3. 圓錐**台體上底直徑越小**，越容易轉動定向。
 4. 最適合轉動定向的圓錐為**底直徑2cm、高5cm**。圓錐台體拉高7cm，再切除至5cm。

研究五、角錐數、放置角度與轉動定位比較：

研究過程：我們想要測試哪一種**角錐數的轉動定位效果最佳**，並測試沙灘模擬箱放置不同角度後，角錐的轉動差異。

數據分析：
 （轉動狀況：× 完全不轉動；○ 能轉動定位；△ 無法轉動定位）

| 轉動狀況 | 四角錐 | | 五角錐 | | 六角錐 | | 七角錐 | | 八角錐 | | 圓錐 | |
|------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|----|----|
| 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 | 狀況 | 角度 |
| 0 | × | 180.0 | ○ | 180.0 | ○ | 180.0 | ○ | 180.0 | ○ | 180.0 | △ | |
| 30 | × | 195.8 | ○ | 187.6 | ○ | 199.4 | △ | 199.4 | △ | 199.2 | △ | |
| 60 | × | 208.6 | ○ | 208.6 | ○ | 195.2 | △ | 195.2 | △ | 199.2 | △ | |
| 90 | × | 202.8 | ○ | 202.8 | ○ | 203.6 | ○ | 203.6 | ○ | 199.2 | △ | |

- 研究結果：**
1. **角錐數越多（越接近圓錐），越容易轉動定向**。
 2. **角錐數越少，越容易轉動定位**。
 3. 「**六角錐**」最容易轉動定向和轉動定位。
 4. 模擬沙灘箱放置夾角增加時，角錐會偏向海浪方向增加角度。



圖14：改變模擬沙灘箱的放置角度，測試角錐！

研究六、自製消波塊與市售消波塊比較：

研究過程：我們依研究四的最佳比例「底2 cm、高5 cm的六角錐台體（高7 cm角錐，再切至5 cm）」**自製六角消波塊**。並與**市售消波塊**進行起波實驗比較差異（在沙盤上放置一排消波塊，進行10分鐘起波，觀察沙灘受侵蝕的變化）。

沙灘沙子流失量 以軟體計算「**侵蝕前後沙灘輪廓差異的面積**」，轉換成「**沙灘沙子流失量**」。

| 乘上沙盤寬40cm | 沙灘沙子流失量 | | 一排市售消波塊 | | 一排自製消波塊 | |
|----------------------------|----------------------------|--------|---------|--------|---------|------|
| | 左側沙量流失面積(cm ²) | 15.86 | 18.48 | 14.26 | 9.85 | 4.14 |
| 中間沙量流失面積(cm ²) | 25.16 | 15.86 | 18.20 | 15.25 | 1.12 | |
| 右側沙量流失面積(cm ²) | 19.02 | 13.53 | 10.66 | 8.81 | 3.82 | |
| 平均沙量流失面積(cm ²) | 20.01 | 15.95 | 14.37 | 11.30 | 3.02 | |
| 總流失沙量體積(cm ³) | 780.58 | 622.18 | 560.44 | 440.88 | 117.94 | |

- a. 沙灘沙子流失量：沒放消波塊 > 一排市售消波塊 > 二排市售消波塊 > 一排自製消波塊 > 二排自製消波塊
 b. **自製消波塊保護沙灘流失的效果很好！**

沙灘輪廓折線圖 以軟體將沙灘輪廓圖電子化成折線圖，藉此計算與繪製出三個位置的**沙灘平均輪廓折線圖**。

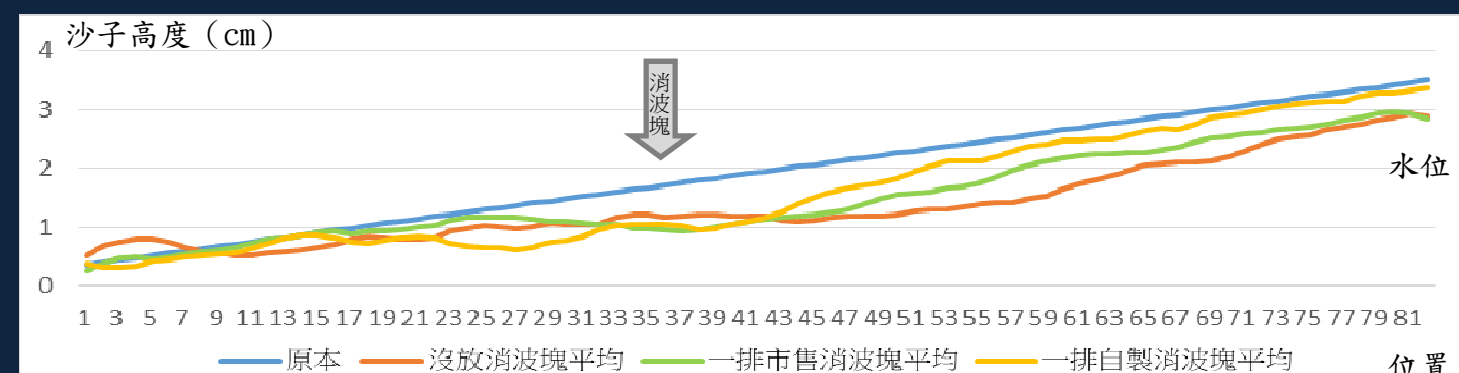


表10：「自製與市售消波塊一排」沙灘輪廓折線圖

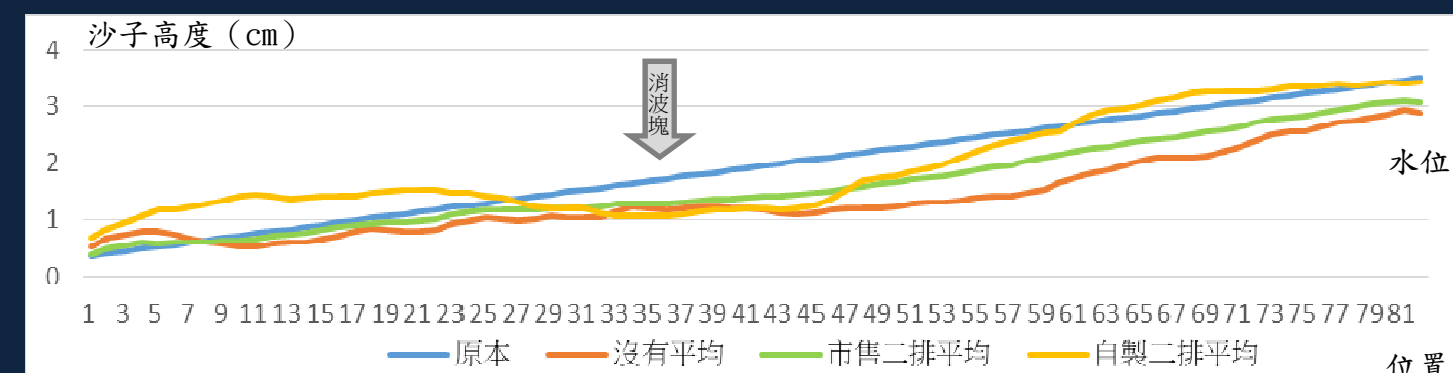


表11：「自製與市售消波塊二排」沙灘輪廓折線圖

- a. 消波塊後面沙量：**自製消波塊** > 市售消波塊 > 沒有消波塊。
 b. 海岸線退縮狀況：**自製消波塊** (第52區) > 市售消波塊 (第58區) > 沒有消波塊 (第65區)。



圖15：以123D Design軟體繪製不同比例圓錐。



圖16：不同高、相同底直徑的圓錐石膏模型。



圖17：石膏翻模後的六角錐台體自製消波塊。

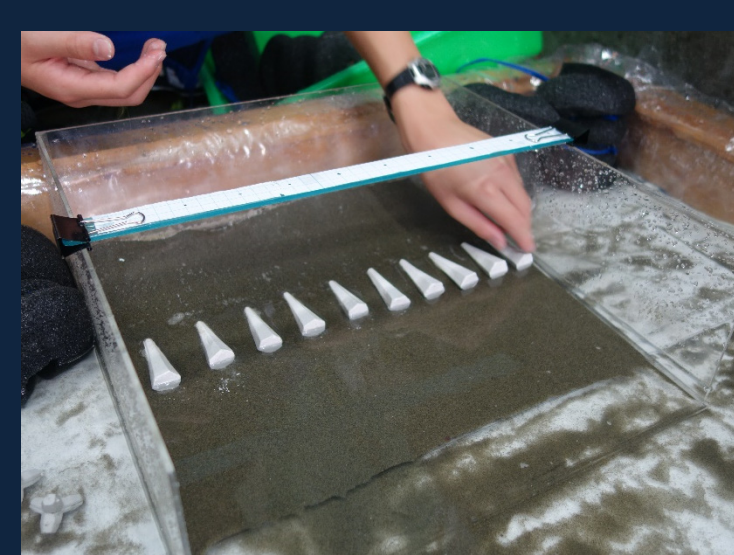


圖18：將一排自製消波塊擺至沙盤進行起波實驗。

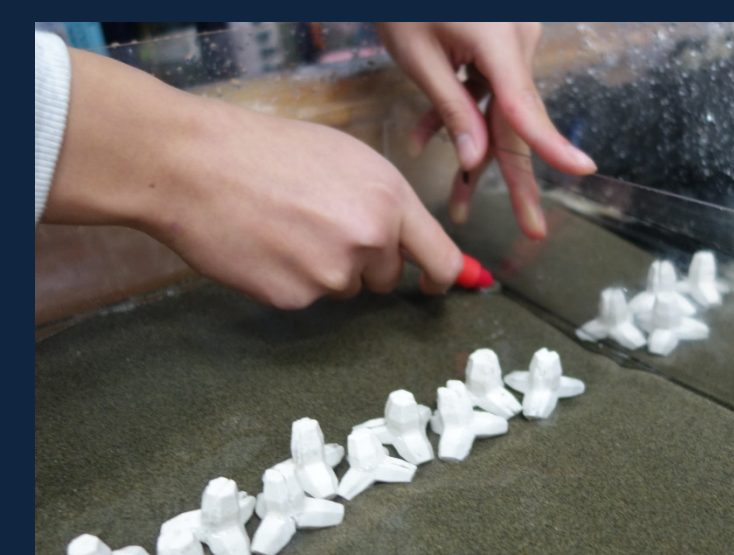


圖19：二排市售消波塊測試完，繪製沙灘輪廓。



圖20：測試二排自製消波塊，護沙效果佳。

研究七、改良自製消波塊（六爪消波塊）：

我們嘗試改良自製消波塊，於是將原本的六角錐台體底部加上了市售消波塊的外型，變成六爪造型，命名為「六爪消波塊」。我們將它製作成石膏模型，並與其他消波塊進行比較。發現六爪消波塊的護沙效果比自製和市售消波塊更好！

| 沙灘沙子流失量 | 沒有放消波塊 | 一排市售消波塊 | 一排自製消波塊 | 一排六爪消波塊 |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| 總流失沙量體積(cm ³) | 780.58 | 622.18 | 440.88 | 110.74 |

表12：「六爪與其他消波塊比較」沙灘沙子流失量比較

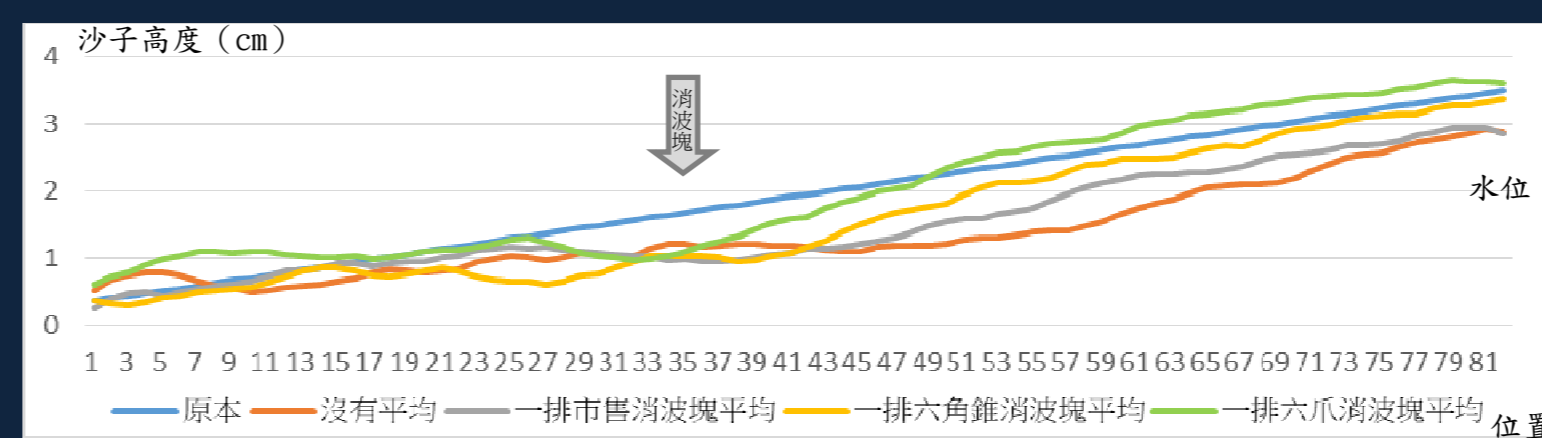


表13：「六爪與其他消波塊比較」沙灘輪廓折線圖

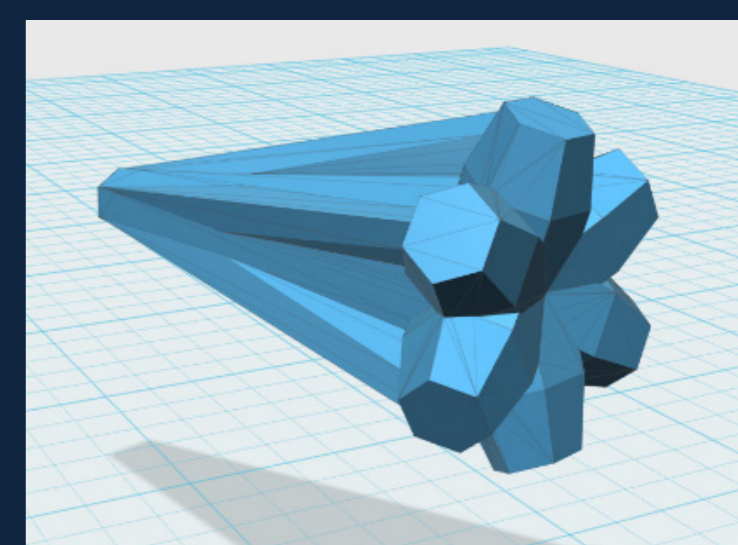


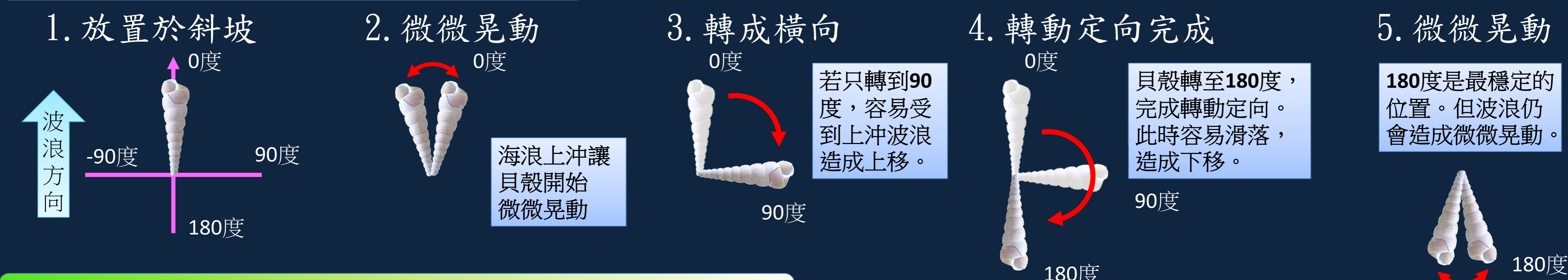
圖21：六爪消波塊(六角錐台體融合市售消波塊)



圖22：以石膏翻模出來的六爪消波塊。

伍、討論

一、「轉動定向」產生的程序：



二、「轉動定向、轉動定位」的原理探討：

轉動定向原理 影響轉動定向最大變因是形狀，其中又以圓錐形效果最好。將圓錐放置桌上，當圓錐被推動後，由於圓錐上小下大，圓錐會以頂點為圓心自轉繞圈。當圓錐放在沙灘斜坡上，海浪上沖時讓圓錐微微晃動。海浪下拉時將圓錐往下拉。圓錐轉動會以頂點為圓心自轉繞圈，所以圓錐轉成180度位置。因為圓錐重心在下方，即使海浪繼續拍打，也不會再轉回0度，但會在180度附近微微晃動。

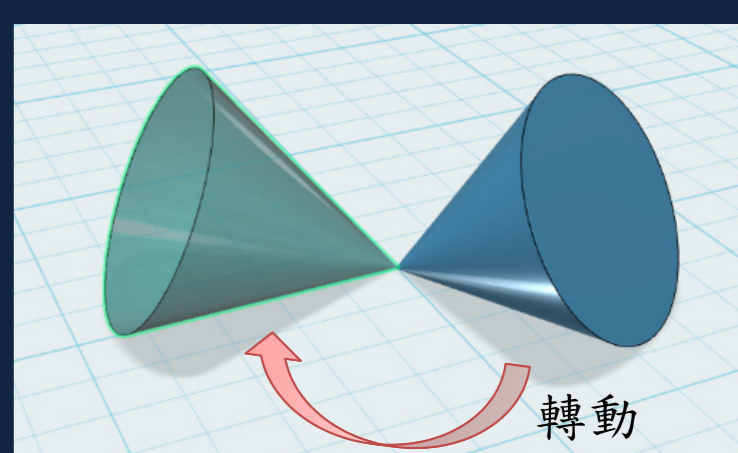


圖23：圓錐在桌上被轉動時會以頂點為圓心繞圈。

轉動定位原理 最適合轉動定位是角錐，其中以「六角錐」效果最好。因為角錐本身有稜角，轉動時底面必須被轉動到能夠跨越另一邊。當角錐邊數越少，需要抬轉角度越大，很難轉動。邊數越多，越容易轉動。當角錐轉到180度位置時，假如波浪力道無法再抬轉翻面，角錐就會穩定，固定在停止位置，便是「轉動定位」原理。

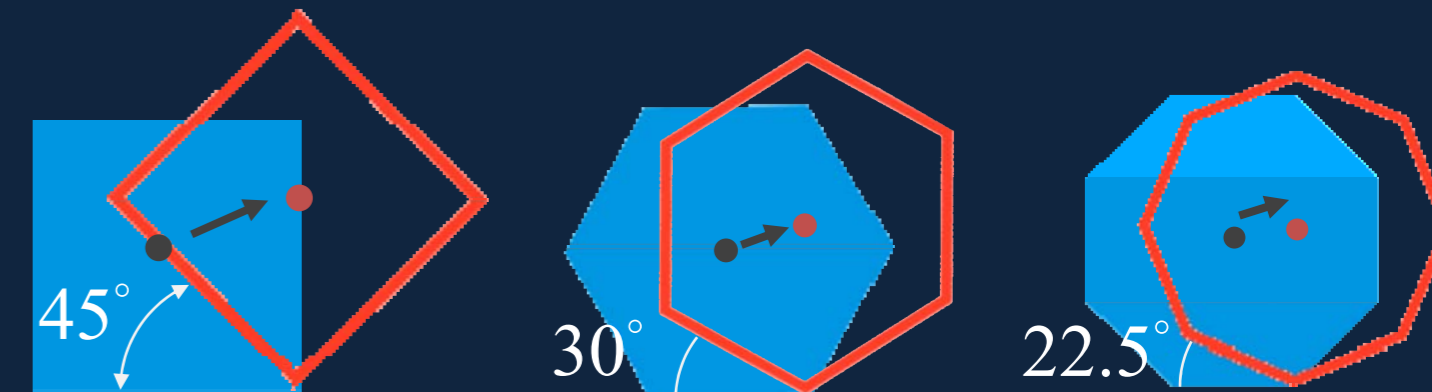


圖24：四邊形抬轉角度大，無法轉動定向。八邊形抬轉角度小，無法轉動定位。六邊形是最適合同時轉動定向和轉動定位的形狀。

三、「自製消波塊」特色分析：

- 不易移動位置** 錐螺以外的小貝殼與市售消波塊形狀都是球狀，海浪很大時，會做出滾動動作。但錐螺及自製消波塊都是長圓錐狀，不會滾動。即使移動位置，會因為轉動定向保持在附近位置。
- 會自動調整方向** 自製消波塊能轉動定向和轉動定位，因此當自製消波塊被海浪沖成不同的角度，或是時間久了海浪方向產生改變，都會隨著海浪方向自己調整方向，讓消波能力最強的底面朝向海洋。
- 消波能力更佳** 自製消波塊經過實驗檢測，比同重量的市售消波塊有更佳的消波能力。

陸、結論

一、影響貝殼轉動定向、轉動定位的變因：

- 「轉動定向」是指「錐體轉動後將底朝向海浪來源方向（斜坡低處）」。
- 「轉動定位」是指「角錐在轉動定向後，固定在停止位置」。
- 斜坡越光滑、角度越高，越容易轉動定向。擺放角度越大（越偏向海浪來源方向），越容易轉動定向。
- 角錐數越多，越容易轉動定向。角錐數越少，越容易轉動定位。
- 圓錐底直徑為2cm時，最容易轉動定向，底直徑越大或越小都會增加定向次數。圓錐高為5cm時，最容易轉動定向，高越大會增加次數，高太小會原地轉動。圓錐台體上底直徑越小，越容易轉動定向。

二、貝殼轉動定向研究：

- 貝殼種類中能轉動定向是螺絲形、陀螺形及卵形，效果最好是螺絲形（例：錐螺）。
- 貝殼有三種圓心位置不同的轉法「殼頂、水管溝頂及周圍」，效果最好是殼頂轉法。
- 有刺的貝殼當刺分佈在轉動部位，仍然可以轉動或滾動。

三、轉動定向和轉動定位最佳化的形狀：

- 幾何形狀中能轉動定向為圓錐、六角錐、八角錐及不等長雙圓錐，效果最好是圓錐。
- 最適合轉動定向形狀比例是「底2公分、高5公分圓錐台體（拉高7cm切至5cm）」。
- 角錐才能轉動定位，其中「六角錐」是轉動定向和轉動定位都效果最好的形狀。

四、轉動定向和轉動定位的原理推論：

- 轉動定向是因為「圓錐轉動時會以頂點為圓心自轉繞圈。在沙灘斜坡上受到海浪上沖使圓錐晃動，海浪下拉時讓圓錐往下轉動。使底朝向海浪來源方向（斜坡低處）」。
- 轉動定位是因為「角錐有稜角，轉動時需一定力道才能被抬高翻面。當角錐轉動定向完成，底朝海浪來源方向，海浪力道不足將角錐翻面，角錐就會固定位置不動。」

五、沙灘沙量流失的量化方法：

- 將壓克力板縱切沙灘，以浴室蠟筆在壓克力板描繪沙灘高度，可得到沙灘輪廓。
- 計算出侵蝕前後沙灘輪廓差異的面積，乘上沙灘寬可估算出沙灘沙子流失量。
- 將紙本沙灘輪廓轉換成電腦折線圖，能平均不同位置沙灘輪廓，得到平均輪廓折線圖。

六、應用轉動定向研發自製消波塊：

- 自製消波塊及六爪消波塊擁有不易移動位置、會自動調整方向、消波能力更佳優點。