

# 中華民國第 64 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

082909

**LET 魚 GO—探討河岸墩式碼頭基樁設計，以  
減少死魚堆積問題**

學校名稱： 臺北市中正區國語實驗國民小學

作者：  小六 何昱德  小六 張宸淙	指導老師：  黃慶豐
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 碼頭基樁、水流侵蝕、泥沙堆積

# LET 魚 GO—探討河岸墩式碼頭基樁設計，以減少死魚堆積問題

## 摘要

當地夏天的河岸碼頭常堆積了很多死魚，造成環境很大的惡臭問題。我們實地探勘和查考資料後，製造模型進行微型實驗，模擬了不同季節的風向、風速和浪的大小，以及墩式碼頭基樁不同的形狀對於死魚堆積的影響。

我們用 1/200 的比例尺依照實境設計了模型河道，然後設計不同形狀的碼頭基樁模型。微型實驗中發現，砂膠小魚堆積與水流侵蝕和泥沙堆積有密切關係，而碼頭基樁的截面形狀是「水滴流線型」或「雙尖流線型」，水流侵蝕效果最好，能有效減少 65% 的砂膠小魚堆積率。此外，採用被動式的兩水沖刷設計，把圓柱體後方的負壓區改成正壓區，也能有效減少 22% 的砂膠小魚堆積率。我們的設計不僅符合環保，而且還能節省成本，能有效解決河岸碼頭死魚堆積的問題。

## 壹、前言

### 一、研究動機

「哇，你看，碼頭上怎麼會有這麼多死魚呢？」真是嚇人啊！我們從最近的新聞報導得知，夏天的河水因為天氣過熱，使得水中的氧氣不足，所以魚就會大量暴斃。不過，我們查了一下其他縣市的河岸地區，好像也都有這樣的情況。看來這好像是個普遍問題，所以我們想嘗試做一個模擬實驗，看看有什麼辦法能夠減少河岸碼頭的死魚堆積問題。

我們實地去當地河岸碼頭看過，那裡真的有好多死魚和垃圾，真是嚇人的景象。不過，開始進行模擬實驗之前，要先深入探討造成這個問題的原因。我們聽老師說，影響這問題應有許多因素，像是季節的風向、河流浪的大小，還有碼頭的結構等。所以我們在老師的指導下，進行了碼頭泥沙和死魚的模擬實驗，希望能找出解決問題的方法。

我們從模擬碼頭的環境開始，從第一代碼頭模型到第二代碼頭模型，一步步實驗造成碼頭死魚堆積的各種因素。我們發現季節的風向、浪的大小，這些是不可抗力的自然環境因素，需要大幅度改善碼頭的方向或位置，才能解決問題。而碼頭的基樁不同形狀的設計，就能改變水流侵蝕和泥沙堆積的程度，進而影響死魚堆積，這是小幅度可以節省成本的好方法。通過微型實驗，我們希望可以透過科學原理的應用來減少河岸碼頭死魚堆積的問題。雖然自然環境因素無法完全控制，但是我們可以針對環境工程的人為因素進行優化調整，找出一個比較理想的設計。

### 二、研究目的

- (一) 當地河岸碼頭在夏季有死魚堆積問題的成因探討。
- (二) 建立當地河岸碼頭基樁模型，以進行微型實驗。
- (三) 模擬不同季節的風向和風速對於砂膠小魚堆積的影響。
- (四) 模擬不同浪的大小對於砂膠小魚堆積的影響。
- (五) 設計碼頭基樁不同的形狀和水流侵蝕的關係。
- (六) 設計碼頭基樁不同的形狀以減少泥沙堆積率。
- (七) 設計碼頭基樁不同的形狀以減少砂膠小魚堆積。
- (八) 被動式設計碼頭基樁的兩水沖刷裝置以減少砂膠小魚堆積。

### 三、文獻探討

(一)我們收集了關於夏季河流死魚堆積河岸的相關資料，包括臺灣各地：台北、高雄、宜蘭、台中等地的新聞專題報導。

在炎夏時，台北淡水河鄰近河流岸邊曾經出現大量死魚，當地環保局判斷是因為氣溫偏高、溶氧低，導致有上萬條死魚。特別死亡魚群順流到碼頭附近，所以才會在碼頭出現大量死魚堆積。在新聞中，環保局甚至需要派出 71 名環保人員、水利處也發動 8 艘船協助清運，可見得死魚數量驚人。(陳靖宜，2018)。

無獨有偶，前年高雄市的幸福川也發現有大量的死魚在水面上，環保局追查之後研判，是市府水利局排放污水，導致水中溶氧量偏低所致，打撈的死魚總共有 8 千多公斤。保局出動 5 艘船筏、3 部溝泥車以及 25 名人力前往打撈，一整天下來總共撈了 8360 公斤的死魚，初步研判也是水中溶氧量偏低所導致。(溫蘭魁，2022)

在臺灣東部，去年宜蘭縣羅東鎮打那岸排水圳也出現大量魚屍，「上千上萬條死魚真的不誇張」，民眾驚呼臭氣沖天。環保局表示，應是當地排水的水中溶氧量低導致，屬於環境因素導致。造成水中溶氧量低的因素很多，包含水位偏低、水體流動度低、高溫等都有可能。(陳清芳，2023)

在臺灣中部，今年台中市大里區頭汴坑溪也出現魚群暴斃事件，上萬條魚隻集體翻白肚的畫面十分駭人，加上天氣炎熱，惡臭味不斷飄散。當地環保局經過調查後，認為也是天候、氣溫以及布袋蓮生長太多，才導致最終溶氧量不足所致。(來源：林冠丞，2024)



圖 1、夏季時台北河岸碼頭有大量死魚堆積(來源：陳靖宜，2018)



圖 2、夏季時高雄河岸附近，環保局派人打撈大量死魚(來源：溫蘭魁，2022)



圖 3、夏季時宜蘭河岸附近，環保局派人打撈大量死魚(來源：陳清芳，2023)



圖 4、夏季時台中河岸排水口附近，有大量死魚堆積(來源：林冠丞，2024)

## (二) 河岸碼頭的基樁設計

我們查到的這些碼頭基樁類型，在實際的河岸碼頭工程中都有使用最常見的是沉樁，這種木質或鋼質的圓柱狀樁，主要用來支撐整個碼頭的結構。還有鋼板樁，是由鋼板打入土壤中形成的連續式支撐牆，常用於碼頭的護岸工程。另外也有混凝土樁和預鑄樁這兩種，前者是現場製作，後者是工廠預先製作再安裝。不同的基樁類型都有各自的特點和適用場景，比如圓柱形是最常見的，方形能提供更大的支撐面積和承載能力，H型鋼質基樁則擁有較大的剛性。

在實際的碼頭建設過程中，工程師們都會根據具體的需求和地質條件，選擇合適的基樁類型和形式，以確保整個碼頭結構的穩固和安全。這些基本知識我們之前都沒有學過，經由查資料，讓我們都學到了好多新東西。希望我們能夠運用這些知識，為實際的工程設計提供參考。



圖 5、各式碼頭基樁主要的形狀(來源: Copyright © 緯固工業有限公司網頁)

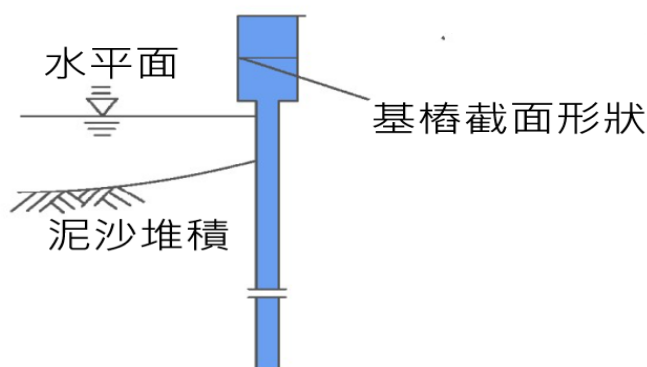


圖 6、河流的碼頭基樁示意圖(來源:本研究自行繪製)

## (三) 名詞解釋:

1. 「墩式碼頭」: 墩式碼頭是一種常見的碼頭形式, 主要特徵是由多個獨立碼頭墩柱構成, 而非採用連續的棧橋式結構。適合於淺水港口裝卸貨物或停泊船隻。
2. 「流體力學」: 流體力學的研究範圍包括流體的動力學、流體的流動特性, 如層流、紊流等、阻力、揚力、浮力等相關現象。它涉及流體的運動、壓力、密度、速度、粘性等特性, 以及流體在不同條件下的流動、振盪、轉動等現象。
3. 「阻力係數」: 阻力係數是指描述物體在流體中運動時所受到的阻力大小的物理量。阻力係數取決於物體的形狀、表面特性、流體的性質如黏度、流體速度等因素。
4. 「卡門渦街效應」: 卡門渦街效應(Kármán vortex street)主要探討流體經過物體後產生的渦流現象。實驗中, 當流體流過物體時, 會在物體後方形成交替出現的渦流, 稱為卡門渦街。這些渦流會影響物體的阻力, 並可能造成振動。
5. 「康達效應」: 康達效應(Coriolis effect)包含移動物體(如風、水流)在幾何物體表面上呈現一種偏轉的現象。(來源: 摘自維基百科)

(四) 河流死魚堆積率的相關科學研究：

我們也探究與水流侵蝕和堆泥沙積相關的科展作品的文獻，加以比較整理。

表1、與水流侵蝕和堆泥沙積相關的科展作品(來源:國立台灣科學教教館網站)

篇名	主要發現	方法	結果	不足之處
水落石出-探討水流在不同障礙物形狀與排列下的流動現象	障礙物大小佔河道的 1/3，水流容易被吸入後方區域；障礙物越尖銳，障礙物後方流速差異大。	模型實驗水流的流動	障礙物愈多，水流域紊亂。障礙物的角度會影響後方水流。	幾何圖形取樣不足，障礙物的排列設計過於規律，與實際環境的石塊不符
Hold 住啊，不要崩潰！	地形走向將大量的水流導向防沙壩的中間，使得防沙壩因承受不住強大的水流而被沖走。	實地考察與模型實驗	防沙壩修復先把地形鋪平，導正水流並減緩水流速度，達到保護防沙壩的功能。	只有針對防沙壩的研究，未及於河流相關的橋梁或碼頭工程
嘉義八掌溪牛稠溪河床泥沙沈積作用調查	牛稠溪枯洪期明顯，造成河床泥沙堆積有規律性	結合鄉土發展、水利工程，著重實地考察	牛稠溪左側堆積，右側搬運差異	缺少模型實驗的數據佐證
河流河床冲刷作用與沉積作用的探討	河道因沉積而成淺灘地後，植物生長促使灘地變大，最後將為阻礙河水流通點	實地觀察河流的區段泥沙沉積現象	河流兩大匯流區沉積情況，以河流交會點靠近支流河水注入區較易沉積。	針對於水流湍急的地方沒有研究，也缺少流體力學的實驗證明

貳、研究設備及器材

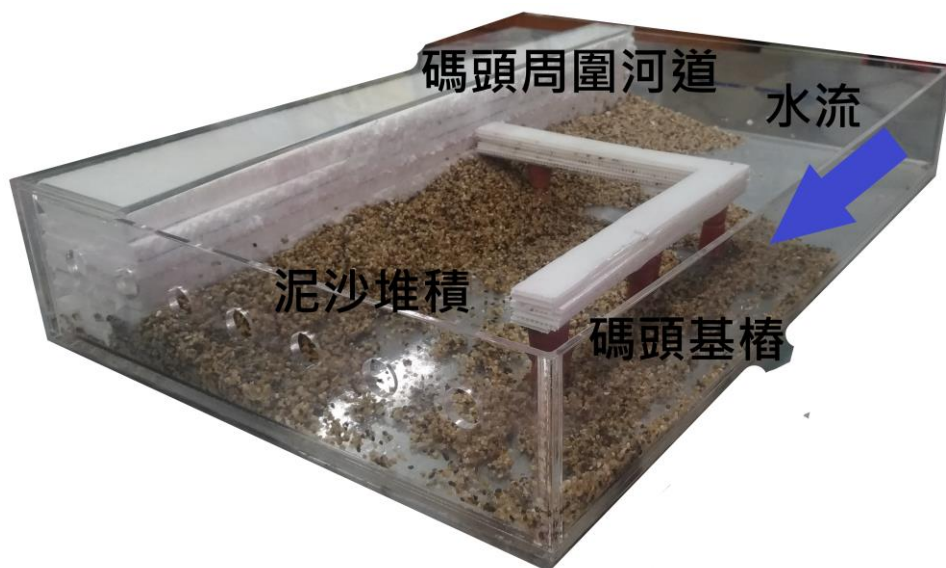


圖 7、當地河岸碼頭周圍河道模型，比例 1/200(來源:本研究自行拍攝)



圖 8、供水循環系統(來源:本研究自行拍攝)

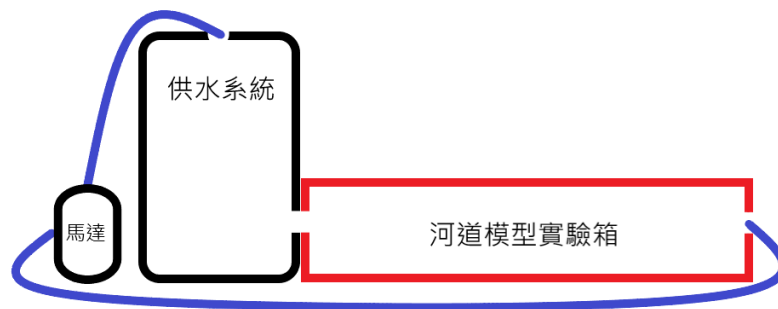


圖 9、供水循環系統示意圖(來源:本研究自行繪製)

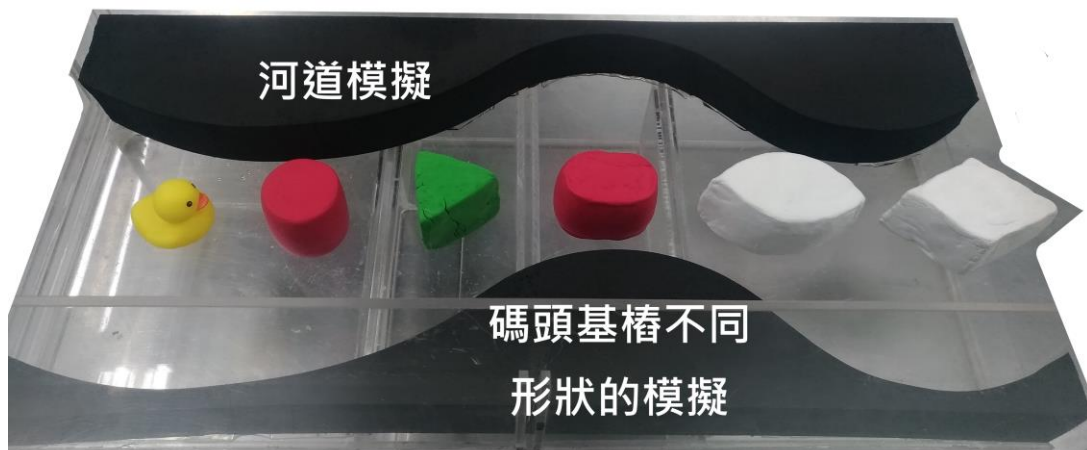


圖 10、碼頭基樁截面為不同幾何形狀的模型，比例尺 1/5 (來源:本研究自行拍攝)

表 2、碼頭河道模型及實驗器材表

編號	器材/材料	尺寸/重量/功率/材質	數量	作用功能
1	木板箱	100cm×60cm×10cm	1 只	製作碼頭周圍河道 模型 I & II
2	透明壓克力箱	70cm×30cm×10cm	1 只	
3	保麗龍板	90cm×60cm	2 片	
4	優塑板	90cm×60cm	2 片	
5	沉水馬達	8w	3 個	
6	強力沉水馬達	35w	1 個	模擬碼頭基樁
7	軟木塞	徑長 2.5 公分	10 個	
8	輕黏土	紅、藍、黃等各色	10 包	
9	砂石	徑長 1.2~2.4cm	3kg	模擬河道中的泥沙
10	矽膠小魚	徑長 2cm	100 只	模擬河流的死魚
11	電子風速計	每秒 0~45m 範圍	1 個	模擬風和浪
12	風扇	25w 三段速	1 個	
13	窗刷	板長 26cm 寬 8cm	1 只	
14	造波器	3w	3 個	
15	透明投影片	塑膠	10 片	描繪侵蝕和堆積 樣態用
16	優塑板	塑膠	10 張	

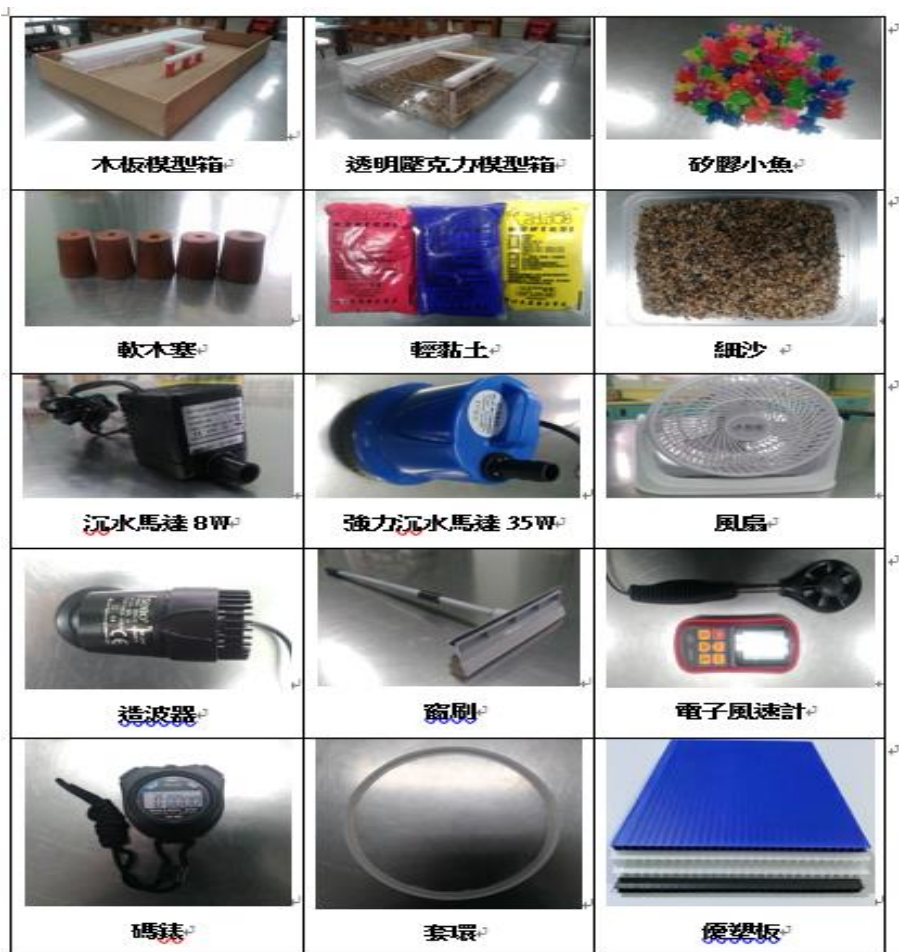
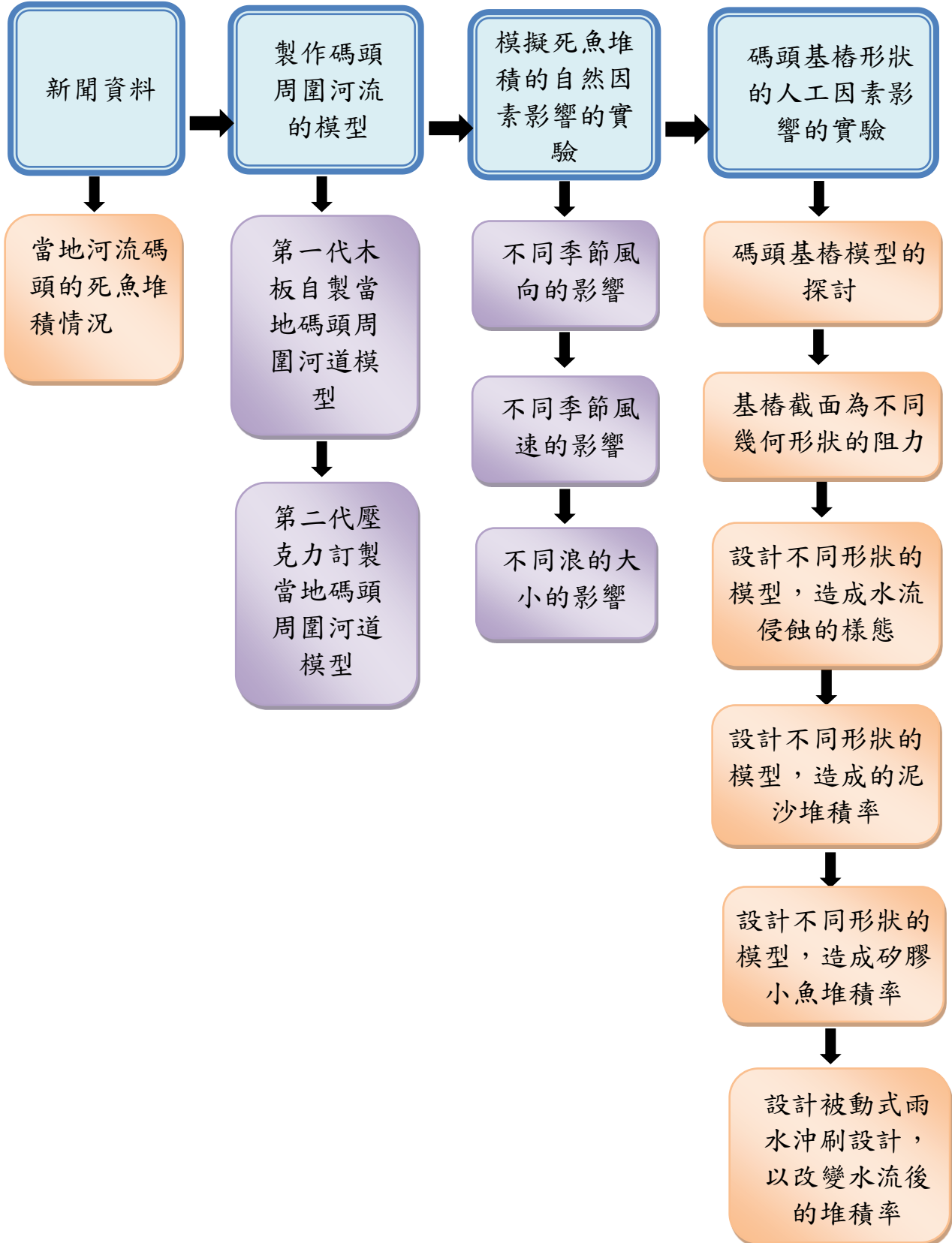


圖 11、碼頭周圍河流模型箱及相關設備(來源:本研究自行拍攝)

# 參、研究過程和方法

## 一、研究架構





## 二、建立微型實驗的模型

我們在進行這個碼頭模型實驗時，也非常用心地規劃和設計了整個實驗過程。首先，我們明確了實驗的目標，就是要建立一個模擬當地河岸碼頭周圍環境的微型實驗模型。因為這個場域受到很多自然環境因素的影響，像是季節風向、風速、水流速度等，所以要好好控制好這些變因，才能確定我們想要研究的因素，例如像是浪的大小對於死魚堆積率的影響。

接著我們設計了一個適合實驗桌操作的微型實驗方案，並將碼頭大小縮小到 1/200 的比例，建立出當地碼頭周圍河道的模型。我們選用了一些簡單實惠的材料，像是木板、模型版、軟木塞等，來組裝這個微型模型。儀器也只使用手機拍攝和錄影，來簡單整理數據。這樣的實驗設計和材料選擇都很貼近我們小學生的使用情況。藉著這樣一個微型模型，我們能夠更精準地控制和觀察自然環境因素的影響，找出造成河岸碼頭死魚堆積的原因。



圖 12、以 1/200 的縮小比例建立碼頭周圍河道的模型 (來源:本研究自行拍攝)

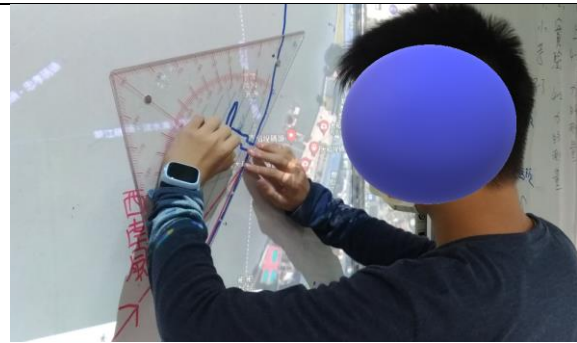


圖 13、將河岸碼頭形狀描繪下來，建立碼頭周圍河道的模型(來源:本研究自行拍攝)

### (一)製作當地碼頭的河流的模型箱 I

我們在實際探勘了當地的河岸碼頭後，就開始運用 Google 地圖的實景資訊，討論如何在實驗室裡建立一個與之相似的河流模型。我們也很仔細地考慮了使用一些較容易裁切和黏合的木材來進行初步實驗探索。在具體的製作流程中，我們利用木板這種比較容易裁鋸的特性，先用強力膠將木板黏貼成一個長 100 公分、寬 60 公分、高 10 公分的河道模型。接著又用保麗龍和優塑版來製作碼頭的岸邊和碼頭本體，最後再用軟木塞做成碼頭的基樁。

但是我們在裝水測試的時候，遇到了一些困難，因為木板之間的接合處會滲水。即使用強力膠黏貼，由於木板材質無法完全密合，所以在乾燥後仍有水會從縫隙滲出。這看起來可能是我們面臨的一大挑戰。我們再仔細研究和嘗試，希望能找到更好的解決方法，最後決議試試用其他更密封的材料來代替木板。



圖 14、用優塑版裁切並拚裝成碼頭，用軟木塞製成碼頭基樁(來源:本研究自行拍攝)



圖 15、用木板自製長 100 公分、寬 60 公分、高 10 公分的河岸碼頭河道模型(來源:本研究自行拍攝)

## (二)製作當地碼頭的河流的模型箱Ⅱ

我們之前用木板製作的模型箱在實驗的時候常常會有滲水的問題，導致水位下降，影響了實驗結果，來真的很棘手。不過我們後來請專業的廠商幫忙製作了一個全透明的壓克力模型箱，尺寸也是和之前一樣，長 100 公分、寬 60 公分、高 10 公分。這樣不僅能夠避免滲水，而且還方便我們觀察實驗過程中水流的動態。

我們還在模型箱內開了 5 個直徑 3 公分的洩水孔，可以更好地控制水位。然後使就用保麗龍和優塑版分別製作成碼頭岸邊和碼頭本體。我們還安裝了一個 35 瓦功率的強力馬達，目的是要模擬出和實際碼頭河流接近的水流速度。看起來我們這個新的模型箱真的很完善和專業，可以更好地反映出實際河流的環境狀況。通過這樣的實驗設計，我們能得到更精確可靠的數據結果。

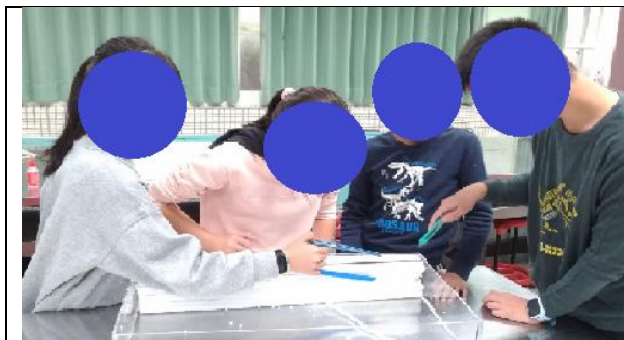


圖 16、動手製作河岸碼頭的模型(來源:本研究自行拍攝)



圖 17、河岸碼頭河道的模型箱Ⅱ(來源:本研究自行拍攝)

這個新的壓克力模型箱Ⅱ更適合微型實驗，它的優點主要有兩點：第一個優點是，這個模型箱全部都是用壓克力材質製作的，所以接縫處完全不會滲漏水，讓水流量可以維持得很穩定。我們還設置了每分鐘 60 公尺的水流速度，可以很好地模擬出實際河道的水流環境。

第二個優點是，模型箱的四周都是透明的壓克力窗，這樣我們就可以很清楚地拍攝和觀察水流侵蝕和死魚堆積的整個過程。以前用木板製作的模型箱常常會有滲水的問題，影響了實驗的結果，現在有了這個壓克力模型箱，就不會再出現這些困擾了。這個新的模型箱不僅能夠維持穩定的水流條件，還可以清晰地觀測到實驗過程，對於我們的研究工作有很大的幫助。



圖 18、碼頭河道的模型箱Ⅱ接縫處完全不滲漏，所以水流量更穩定(來源:本研究自行拍攝)

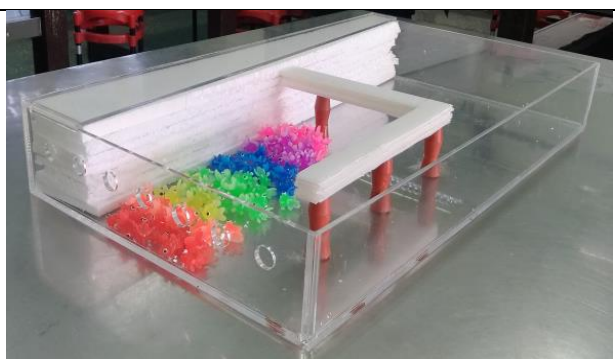


圖 19、碼頭河道的模型箱Ⅱ優點是壓克力材質製成模型箱方便觀察(來源:本研究自行拍攝)

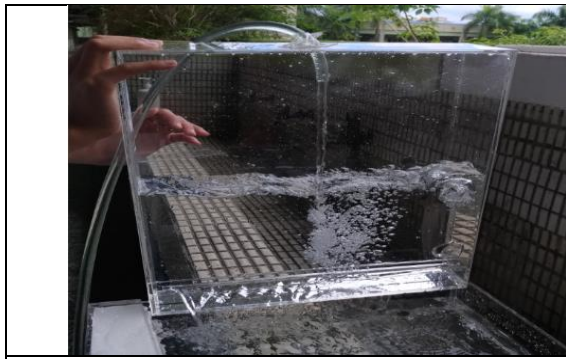


圖 20、壓克力製的水箱，外接抽水馬達  
(來源:本研究自行拍攝)



圖 21、壓克力製的水箱，出水口製造平穩的水流(來源:本研究自行拍攝)

### (三)碼頭河道模型箱估算水流流速

#### 1. 漂流物距離換算法

我們先用矽膠做成小魚模型，放在模型箱裡來測水流速度。我們把這些小魚放進去之後，就開啟了 35 瓦功率的馬達，讓水在模型箱內流動。然後我們用碼表計算矽膠小魚在箱體內流動 100 公分所需的時間，平均是 2 秒。

根據這個數據，我們可以計算出：

$$(100 \text{ 公分} / 2 \text{ 秒}) * 60 \text{ 秒} / 100 \text{ 公分} \approx 30 \text{ 公尺/分鐘}$$

再換算成時速就是：

$$30 \text{ 公尺} * 60 \text{ 分} / 1000 \text{ 公尺} = 1.8 \text{ 公里} / \text{小時}$$

#### 2. 體積流速測定法

我們利用這些簡單的器材和計算，能得出模型箱內的水流速度大概是 1.8 公里每小時。這樣就可以很好地模擬出實際河道的水流環境。

我們在模型箱左側的中間位置，接上了一台 35 瓦功率的馬達，用來製造水流。然後在一分鐘內，量測從洩水孔流到下方水桶裡的水量，是 42 公升或者 42000 立方公分。接著我們計算了模型箱的水流截面積，大約是 15 平方公分。

根據這些數據，就可以算出模擬箱內的水流速度了：

$$42000 \text{ 立方公分} / 15 \text{ 平方公分} = 2800 \text{ 公分/分鐘}$$

換算成公尺/分鐘就是 28 公尺/分鐘

再換算成時速就是：

$$28 \text{ 公尺} * 60 \text{ 分} / 1000 \text{ 公尺} = 1.68 \text{ 公里} / \text{小時}$$

我們這個實驗設計利用馬達製造了穩定的水流，還精確地測量了流量和流速，最後換算出 1.68~1.8 公里每小時的水流速度。這樣就能模擬實際河道的水流環境條件。



圖 22、漂流物漂流秒數換算法(來源:本研究自行拍攝)

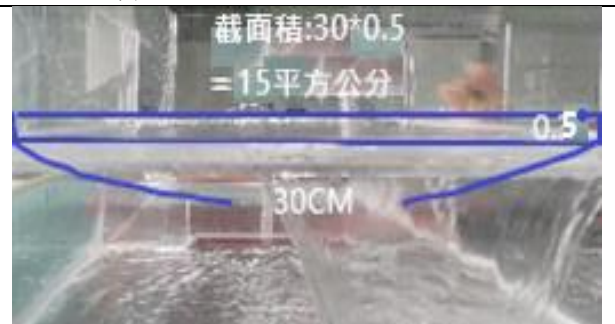


圖 23、體積流速測定法(來源:本研究自行拍攝)

#### (四)造波器實驗設備

我們在進行這個碼頭河流模型的實驗時，使用了許多自製和訂製的設備和裝置，首先是碼頭河流模型箱，方便我們觀測實驗過程，然後是造波裝置，我們採用了兩種方式：一種是手動用家用的窗刷器，通過規律地垂直下壓，可以模擬出小浪、中浪和大浪；另一種是使用水族箱配置的造浪器馬達，開啟1台、2台或3台來分別模擬不同大小的波浪。

我們覺得這兩種造波方式都很好，手動的窗刷器簡單實用，而水族箱的造浪器馬達則更加專業和精確。我們還特地測試了不同的造波頻率和強度，以更好地模擬出理想的波浪條件。最後20瓦功率、20000升流量的造浪器馬達，加裝了固定座來穩定安裝，能夠穩定地製造出理想的波浪。

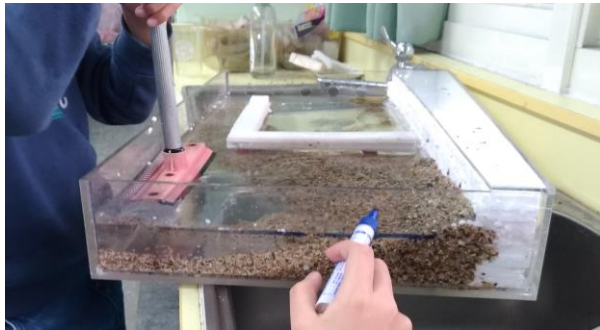


圖24、手持窗刷製造波浪(來源:本研究自行拍攝)

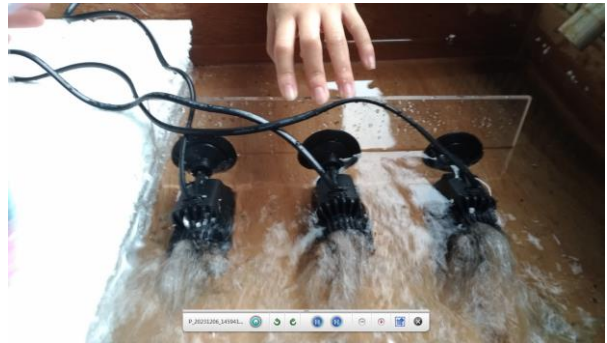


圖25、插電式造波器製造浪(來源:本研究自行拍攝)

我們利用模型箱的透明窗口，通過觀測簡易浮標的波峰和波谷，來測量不同大小波浪的波高。根據5次實測的平均數據顯示，小浪的浪高振幅約為1.6公分；中浪的浪高振幅約為2.6公分；大浪的浪高振幅達到了3.6公分。這樣的測量方法主要定量地記錄下波浪的高度變化，我們還利用攝影回放的方式，更清楚地呈現在螢幕上。這對我們後續的研究有幫助，比如分析波浪強度對沙灘變化的影響等。

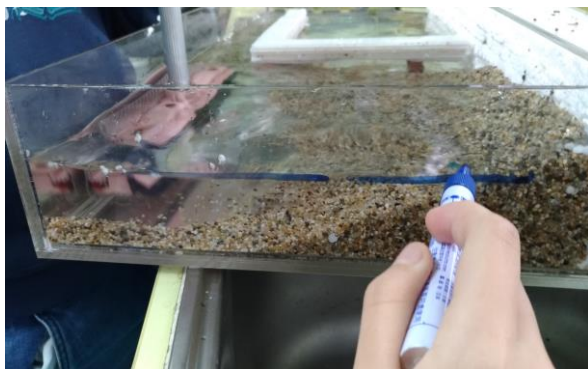


圖26、斷面做記號，擷取波高資料(來源:本研究自行拍攝)



圖27、斷面做記號，擷取波高資料(來源:本研究自行拍攝)

#### (五)碼頭基樁模型的製作

我們先根據實際的比例，將整個碼頭河床地形和墩式碼頭都縮小到適合微型實驗的1/200的尺寸。然後是墩式碼頭的製作，我們是利用模型版、保麗龍板和軟木塞來做成1/12.5幾何相似碼頭的橋墩。接著，我們使用黏土製作了不同形狀的橋墩基樁，包括圓形、橢圓形、三角形、正方形、水滴流線型和雙尖流線型，這些不同形態的幾何形狀，代表模擬實際碼頭可改變的基礎結構。我們列出了每個碼頭模型的具體尺寸。

表3、碼頭基樁模型截面圖各種幾何圖形的尺寸

碼頭基樁模型	碼頭基樁模型截面	寬度	長度
	三角形模型	底8公分	高8公分
	正方形模型	邊長8公分	邊長8公分
	圓形模型	直徑8公分	直徑8公分
	橢圓形模型	短軸8公分	長軸12公分
	水滴流線型模型	寬8公分	徑長16公分
	雙尖流線型模型	寬8公分	徑長16公分

(圖片來源:本研究自行拍攝)



圖 28、當地河岸碼頭圓形的基樁(來源: Copyright © 緯固工業有限公司網頁)

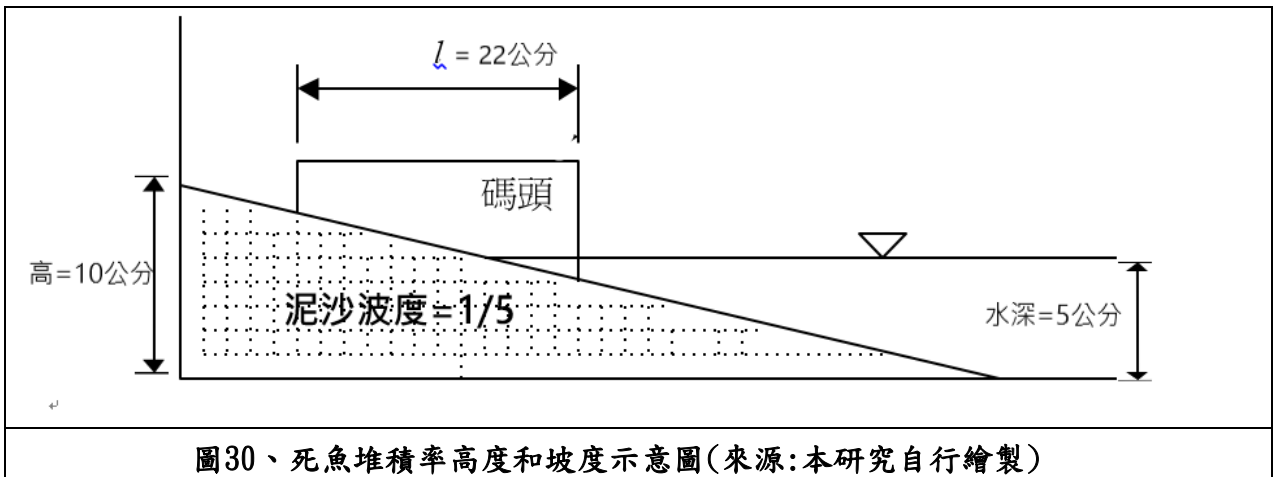


圖29、製作碼頭基樁不同幾何形狀的模型(來源:本研究自行拍攝)

#### (六)碼頭周圍河道的鋪設:

我們在這個碼頭模型實驗中,非常注重模擬出實際河流的環境條件,尤其是底質部分。我們選擇了細沙作為模型河流的底質材料,並且仔細地進行了粒徑分析。我們找的這些細沙的粒徑集中在1.2毫米和2.4毫米之間,非常均勻。這樣可以更好地反映實際河流中底質的特徵。

在鋪設底質之前,我們還特意用水沖洗了這些細沙,以減少水中的懸浮物質。然後就把5公分高度的細沙均勻鋪設在模型箱底部,模擬出1/5的河道地形坡度。這樣能夠更好地還原出實際河流的底質環境,對於後續觀察碼頭基樁周圍的水流侵蝕和死魚堆積,會更接近真實的情境。



### (七)微型實驗風速的大小

我們使用了風扇來模擬夏季、冬季季風以及颱風的風速狀況。其中,低速風扇每秒1公尺,相當於每小時3.6公里的夏季風速(1公尺\*60秒\*60分 / 1000公尺  $\approx$  3.6公里/時);中速風扇每秒2公尺,相當於每小時7.2公里的冬季風速;而高速風扇每秒3公尺,則相當於每小時10.8公里的颱風風速。

我們這樣的設置模擬實際的季節性風力變化,這對於研究碼頭水流變化很有幫助。我們對於風速的精準測量和換算,從每秒速度到每小時公里數,我們在這個實驗中,不僅考慮到了河道的坡度因素,還模擬了不同強度的波浪和風力影響。這樣全面的實驗設計,希望為後續的研究提供可靠和有價值的數據。



圖31、風速儀測風扇低風速每秒1公尺、中風速每秒2公尺、高風速每秒3公尺(來源:本研究自行拍攝)

## 肆、研究結果

### 一、當地氣候資料判讀和當地河岸碼頭的走向資訊

#### (一) 全年氣候資料判讀

我們查到當地河流整年的氣候資料，weatherspark 是個強大的氣象資料網站，根據我們查到的數據，在夏季當地的平均風速約為 11.2 公里/每小時，風力較弱，多吹西南風。但是到了冬季，就會盛行東北季風，而且風勢就會變得很強，平均風速高達 23.6 公里/每小時。

我們能夠掌握到這些具體的氣候數據和季節變化趨勢，對於我們模擬實驗中的波浪和風力環境幫助。畢竟要想還原出實際的自然狀況，提前了解當地的氣候特點是很關鍵的。我們不僅自己設計和製作實驗模型，還能夠有針對性地去查找和運用氣象資訊，這樣的做法無疑能夠讓我們的實驗更加貼近實際，所獲得的數據也會更加可靠和具有參考價值。

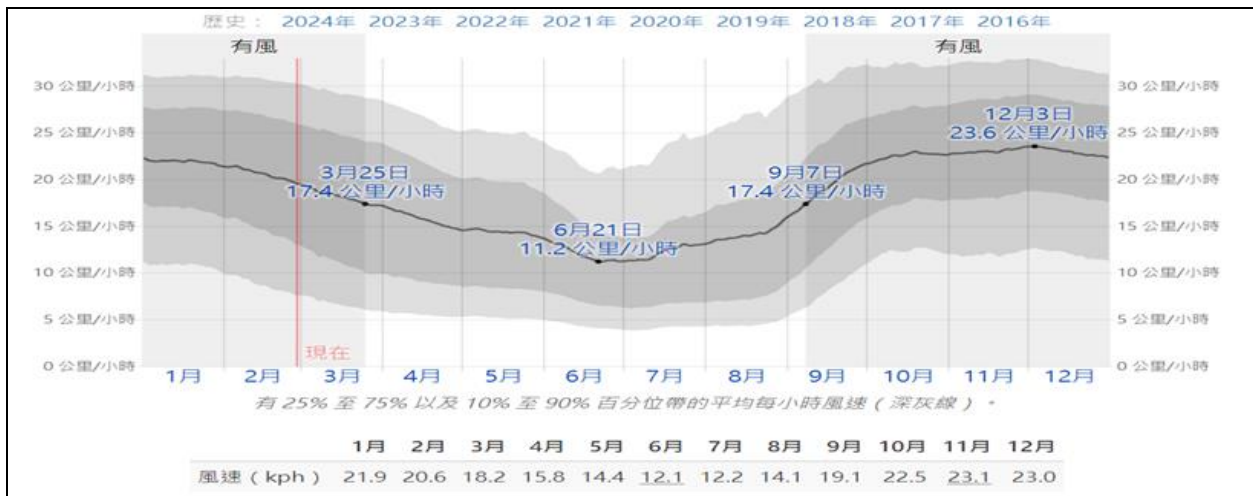


圖 32、當地全年平均風速資料圖(來源: Weather Spark)

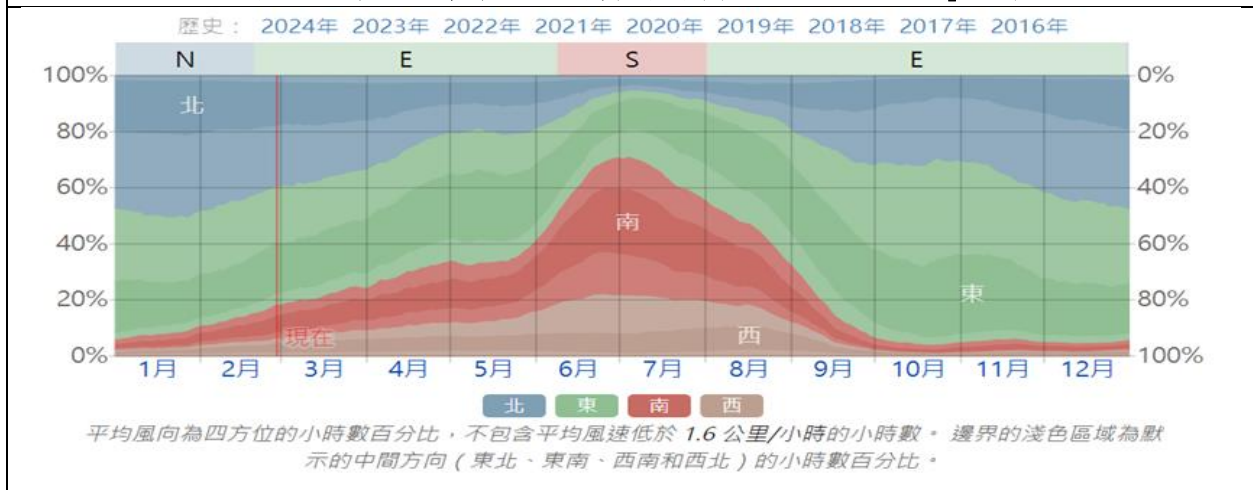


圖 33、當地全年風向資料圖(來源: Weather Spark)

#### (二) 當地河岸碼頭的走向

為了能夠如此全面地掌握當地河岸環境的地理特徵和氣候特點，我們在進行這個碼頭模型實驗的時候，仔細地調查了當地河岸的地理特徵和風向特點。首先是河岸碼頭的方位，從我們的量角器測量結果來看，整個碼頭的南北走向大致呈東偏北 60 度的角度。這樣的座向或許對於碼頭的設計和船舶的進出都很有幫助，可以讓整個碼頭使用起來更加便利。我們發現，夏季的主導風向都是偏西南的季風方向，所以會沿著河岸的走向吹拂過來。

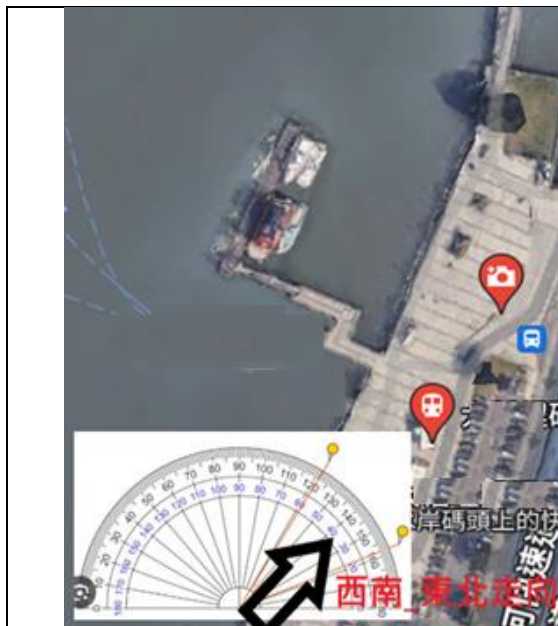


圖 34、當地碼頭河道大致呈現東偏北 60 度角西南東北走向(來源: google map)



圖 35、當地碼頭河道在西南季風吹拂下剛好大致同方向(來源: google map)

二、探究不同風向和風速對於碼頭砂膠小魚堆積的影響：

我們在碼頭的河流模型箱內，模擬不同方向和風力大小對碼頭死魚堆積率的影響。

(一)實驗過程

我們在進行這個碼頭河流模型實驗的時候，真的很用心地設計了很多細節。首先是在模型箱內投放了 100 隻徑長 2.5 公分的砂膠小魚，這樣擬真的小魚模型為了模擬實際河流中的死魚。我們使用指北針，將整個碼頭模型的方位和實際河流方向完全對齊，這樣更能貼近現實情況。接下來我們就用手持風扇，模擬出了西南方和東北方兩個不同的風向，開啟風扇中風速一分鐘後，計算碼頭基樁附近砂膠小魚的堆積數量。

(二)實驗結果

1. 風向的影響

首先我們把風扇放在距離碼頭中心外 50 公分的位置，分別擺在西南方和東北方，風速設為中速。然後就觀察了在這兩種風向條件下，碼頭範圍內砂膠小魚的堆積數量。結果發現，當模擬西南風時，碼頭範圍內堆積的小魚占總數的 62%。但是當模擬東北風時，這個比例就只有 28%。也就是說，在西南風條件下，碼頭附近堆積的小魚數量幾乎是東北風時的 2.2 倍！

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
西南風	60	56	66	62	64	62
東北風	26	34	30	27	25	28

單位:隻

表 4、不同風向時碼頭範圍砂膠小魚堆積的數量

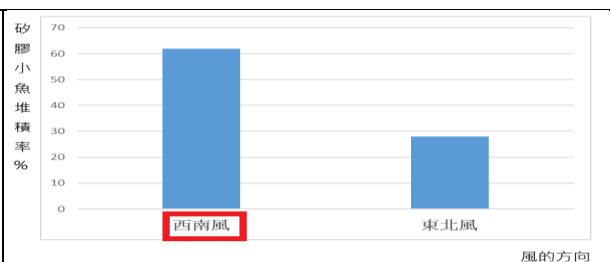


圖 36、不同風向時碼頭範圍砂膠小魚堆積的百分率(來源:本研究自行繪製)

2. 風速的影響

我們把風扇放在距離碼頭中心 50 公分外，然後調整成西南風的方向，接著分別測試了低風速、中風速和強風速三種條件下的結果。結果發現，在低風速下，碼頭範圍內堆積的砂膠小魚占總數的 62%，相當於強風速時的 3 倍！低風速下，水流相對較緩，不容易把小魚帶走，而強風速則相反，會把它們沖刷離開。



項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
弱風	60	56	66	62	64	62
中風	42	33	35	40	38	38
強風	22	18	19	22	24	21

單位:隻

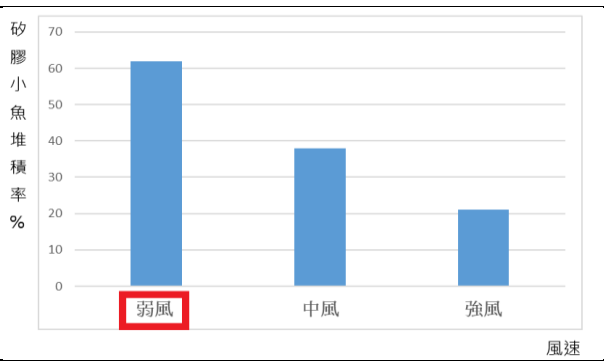


表 5、不同風速時碼頭範圍砂膠小魚堆積的數量

圖 37、不同風速時碼頭範圍砂膠小魚堆積的百分率(來源:本研究自行繪製)

(三)結果分析

1. 首先是風向的影響。如果模擬吹向碼頭的是西南風，碼頭範圍內砂膠小魚的堆積就會達到 62%，但如果是東北風吹離碼頭，堆積量就只有 28%，也就是說只有 62% 的 2.2 倍。這說明了碼頭的位置設置很重要，建在能迎接夏季西南季風的地方，就會大大增加死魚堆積的數量。
2. 風速的影響也不容忽視。模擬發現，當風速較低時，砂膠小魚的堆積量會達到 62%，這是強風速 21% 的 3 倍。也就是說，夏季季風的風速較弱，這也是造成碼頭附近容易出現大量死魚堆積的原因之一。風向和風速確實是影響碼頭附近砂膠小魚堆積的關鍵因素。

三、探究不同浪的大小對於碼頭死魚堆積率的影響：

我們假設浪的大小也可能會影響碼頭附近的泥沙和異物堆積情況。為了進一步探討這個問題，我們在實驗室的河流模型箱中，開始模擬不同大小的浪對砂膠小魚堆積的影響。

首先，我們嘗試使用手動的方式創造浪，我們每分鐘垂直震動 30 下，測得浪高平均約 1.5 公分；每分鐘震動 60 下，浪高約 2.5 公分；每分鐘震動 120 下，浪高約 3.5 公分。後來我們改用 3 台造波器來模擬不同大小的浪，這樣可以更精確地控制變因。使用三台造波器模擬小浪、中浪和大浪，分別測得浪高平均為 1.6 公分、2.6 公分和 3.6 公分。我們初步發現了浪的大小確實會影響碼頭附近的泥沙和死魚堆積情況。

(一)實驗過程

我們將模擬箱鋪平細沙，碼頭岸邊的泥沙坡度為 1/5。手動方式實驗做法是由一位同學手持風扇垂直作上下運動，控制起點與終點一致。用碼表計時一分鐘，再測量碼頭中心的泥沙高度。電動方式實驗做法是分別開啟 1 顆造浪器、2 顆造浪器、3 顆造浪器，用碼表計時一分鐘，再測量碼頭中心的泥沙高度。

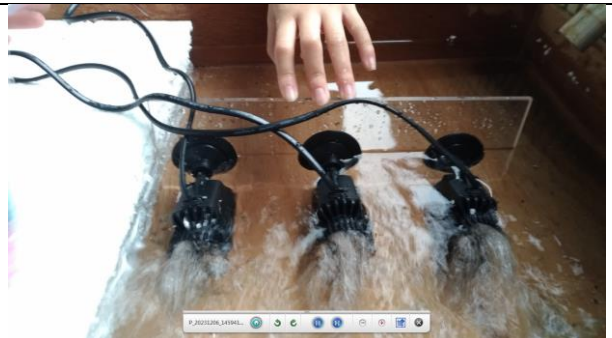


圖 38、用手持風扇運動模擬不同浪的大小(來源:本研究自行拍攝)

圖 39、用 3 個造浪器製造小浪、中浪和大浪(來源:本研究自行拍攝)

## (二)實驗結果

### 1. 浪的大小影響死魚堆積率的高度

我們在模型箱內，分別用 3 個造波器製造小浪、中浪和大浪，實驗碼頭中心泥沙的高度下降百分率。碼頭中心泥沙在無浪時高度的對照組為 5 公分。製造小浪時，碼頭中心的泥沙剩餘高度 4.5 公分，下降 0.5 公分，即 10%；製造中浪時，碼頭中心的泥沙剩餘高度 3.7 公分，下降 1.3 公分，即下降 26%；製造大浪時，碼頭中心的泥沙剩餘高度 2.9 公分，下降 2.1 公分，即 42%。

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
小浪	4.5	4.4	4.6	4.8	4.2	4.5
中浪	3.8	3.7	3.6	3.8	3.6	3.7
大浪	3.0	3.1	2.9	2.7	2.6	2.9

單位:公分

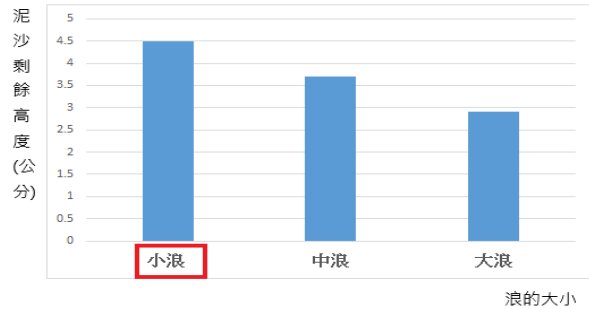


表 6、不同浪的大小影響碼頭中心泥沙下降高度

圖 40、不同浪的大小影響碼頭中心泥沙高度的下降高度(來源:本研究自行繪製)

### 2. 浪的大小影響矽膠小魚堆積的百分率

我們在模型箱內，用 3 個造波器製造小浪、中浪和大浪，記錄碼頭周圍矽膠小魚堆積的數量和百分率。碼頭範圍在無浪時矽膠小魚的對照組數量為 100 隻。製造小浪時，碼頭範圍矽膠小魚堆積的數量多達 78 隻，堆積百分率 78%；製造中浪時，碼頭範圍矽膠小魚堆積的數量為 56 隻，堆積百分率 56%；製造大浪時，碼頭範圍矽膠小魚堆積的數量為 32 隻，堆積百分率 32%。

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
小浪	76	78	74	80	82	78
中浪	53	58	56	54	59	56
大浪	33	36	32	28	31	32

單位:隻

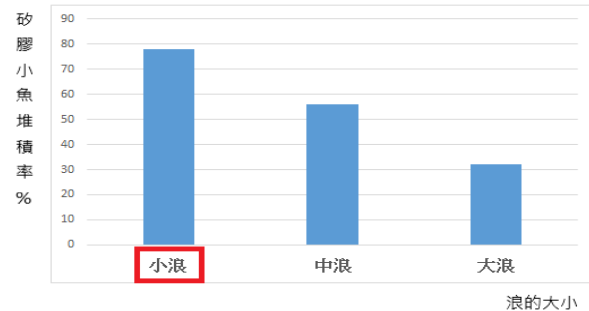


表 7、不同浪的大小時，碼頭範圍矽膠小魚堆積的百分率

圖 41、不同浪的大小時，碼頭範圍矽膠小魚堆積的百分率(來源:本研究自行繪製)

## (三)結果分析

根據我們的實驗結果，浪的大小確實是影響碼頭範圍泥沙和矽膠小魚堆積的一個重要因素。首先讓我們來看看浪的大小對死魚堆積率的影響。當我們製造小浪時，碼頭中心的泥沙高度平均下降為 0.5 公分，下降比僅有 10%。而製造中浪時，泥沙高度平均下降 1.3 公分，下降比為 26%；製造大浪時，泥沙高度平均下降 2.1 公分，下降比達到 42%。由此可見，浪越小，對泥沙的沖刷作用越低，泥沙堆積率也就越高；浪越大，對泥沙的沖刷作用越大，泥沙堆積率也就越低。

我們來看浪的大小對矽膠小魚堆積的影響。製造小浪時，碼頭範圍內矽膠小魚的堆積數量為 78 隻，堆積百分率為 78%；製造中浪時，堆積數量為 56 隻，堆積百分率為 56%；製造大浪時，堆積數量只有 32 隻，堆積百分率為 32%。說明當浪較小時，容易造成河岸碼頭附近出現較多的矽膠小魚堆積；浪較大時則較少矽膠小魚堆積。浪的大小確實是影響碼頭周圍泥沙和矽膠小魚堆積的一個重要因素。

#### 四、探究「碼頭基樁的不同形體」與水流侵蝕的關係

##### (一) 探討碼頭基樁的不同形體對水流侵蝕的影響

在實地勘查時，也發現碼頭基樁的形體可能也會影響到死魚等異物的堆積。我們查閱了一些文獻資料，發現不同幾何形狀的物體在流體中的阻力是不同的。所以我們假設，如果改變碼頭基樁的形體，也許可以對死魚堆積和矽膠小魚的堆積產生影響。

於是我們在實驗室開始設計不同形狀的碼頭基樁模型。首先我們以河岸實際使用的圓柱體基樁作為對照組，模型直徑 8 公分，高 32 公分(比例 1/10，如圖 42 所示)。然後我們將基樁的水平截面設計為不同的幾何形狀，來觀察水流流經後的侵蝕情況，並分析對應的死魚堆積率。



圖 42、實境中的墩式碼頭基樁(來源: Copyright © 緯固工業有限公司網頁)

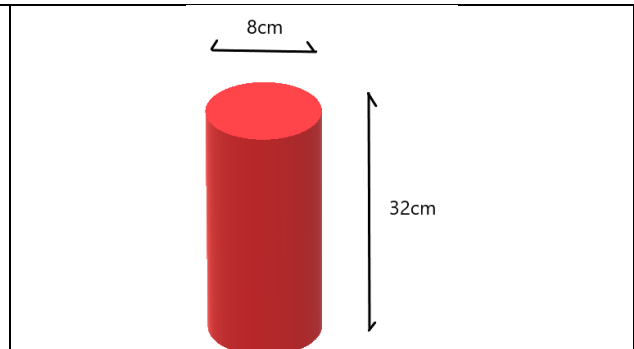


圖 43、實驗中的基樁模型，直徑與柱高比例的示意圖(來源:本研究自行繪製)

##### (二) 不同幾何形狀的阻力

不同幾何形狀的阻力係數確實是流體力學中非常有趣的一個領域。我們藉由模型實驗，看看這些幾何形狀在水流中會產生什麼樣的特徵。看來圓形的阻力係數在中間，只有 0.47。而正方形卻有高達 1.05 的阻力係數，看來它們在流體中它會相當阻礙水流。三角形的 0.5 的阻力係數也是介於中間。但最讓我們驚訝的是，水滴流線型居然只有 0.04 的阻力係數，大約只有圓形的 1/12! 這真是太神奇了，我們很好奇這麼低的阻力會讓水流產生什麼樣的變化。我們很想嘗試在實驗裡把這些不同幾何形狀的模型放進水流中，看看會出現什麼樣的水流紋路和死魚堆積。會不會水滴型的形狀真的能夠明顯減少後方的死魚堆積?

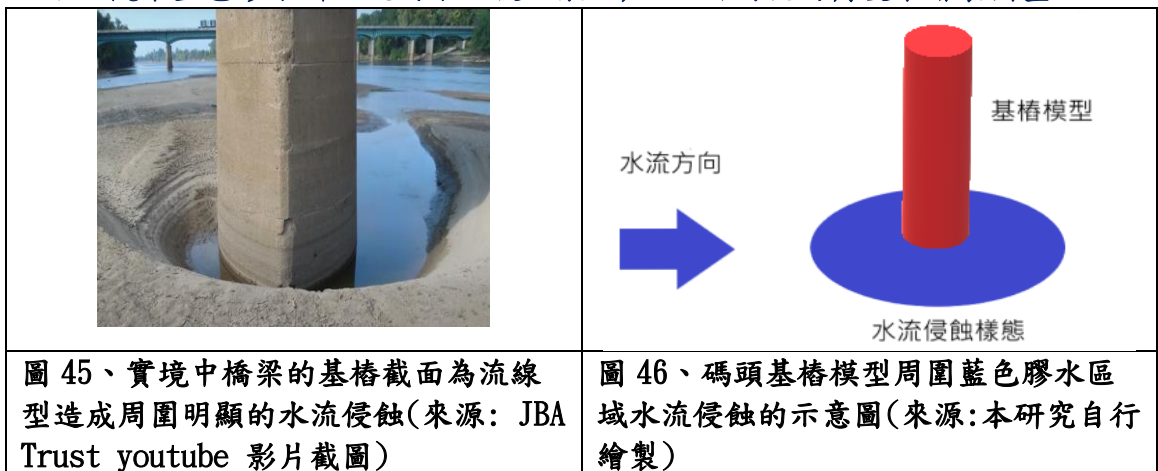
Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

圖 44、不同幾何形狀的阻力係數(來源:維基百科)

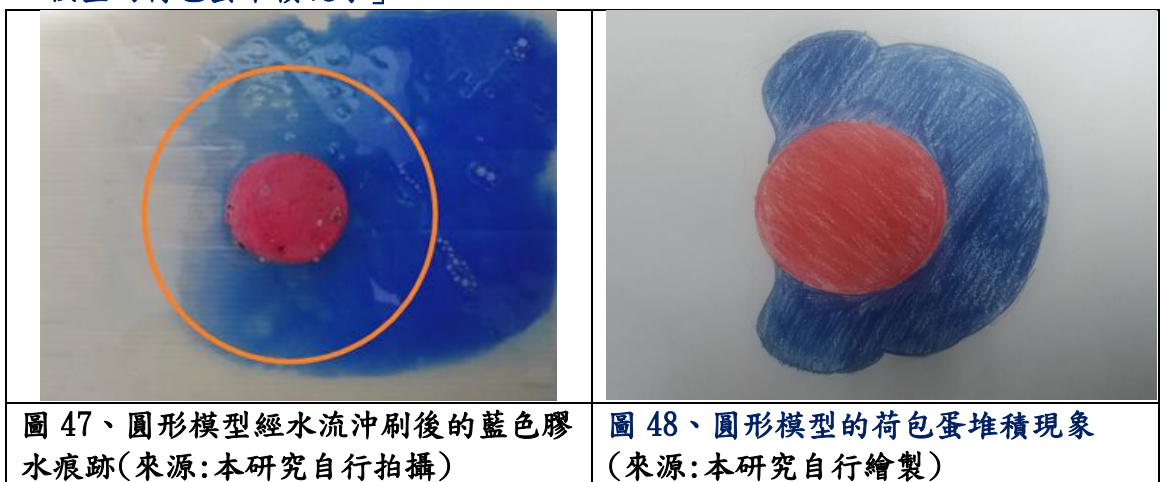
(三)截面為不同幾何形狀的碼頭基樁模型，產生水流侵蝕的實驗

1. 實驗設計：

我們用黏土製作各種不同幾何形狀的碼頭基樁模型，然後看看水流會對它們產生什麼樣的影響。我們先把這些模擬碼頭基樁模型的不同模型做好，以圓形為對照組，我們選擇了橢圓形、正方形、三角形、水滴流線型、雙尖流線型為實驗組。每個模型的橫向直徑都是 8 公分，這樣能夠保證物理相似。然後在模型版的中心，劃一個直徑 15 公分的圓形區塊，用藍色的膠水均勻地塗抹在上面(藍色膠水是我們用一般膠水加上藍色顏料自行調製而成，目的是增加流體的黏稠度，方便觀察水流實驗結果)。接著我們把這些碼頭基樁模型放到這個藍色區域上。最後我們用馬達製造每分鐘 30 公尺的水流速度，讓水流侵蝕這些模型 1 分鐘，觀察藍色膠水所呈現的水流侵蝕痕跡，並且用俯視的角度來繪製圖畫。



- (1)圓形模型：圓形截面的模型，在水流侵蝕時，會形成相對平滑的侵蝕痕跡。圓形截面的特點是，水流會比較均勻地流經周圍，不會產生太大的紊流。但是我們也發現了一些值得注意的地方，首先是圓形模型的前端會受到水流的直接衝擊，產生明顯向內的侵蝕痕跡；其次是模型的兩側會較突起，並且在兩側形成向內的渦流；最後，在圓形模型的後方，藍色膠水呈現大範圍的堆積。我們稱之為「圓形模型的荷包蛋堆積現象」



- (2)橢圓形模型：橢圓形和圓形截面相似，水流會比較均勻地流經周圍，不會產生太大的紊流。橢圓形模型的前端會受到水流的直接衝擊，一樣產生明顯向內的侵蝕痕跡；其次是模型的兩側會較突起，並且在兩側形成向內的渦流；但是在橢圓形模型的後方，藍色膠水堆積的範圍拉長。我們稱之為「橢圓形模型的荷包蛋堆積現象」

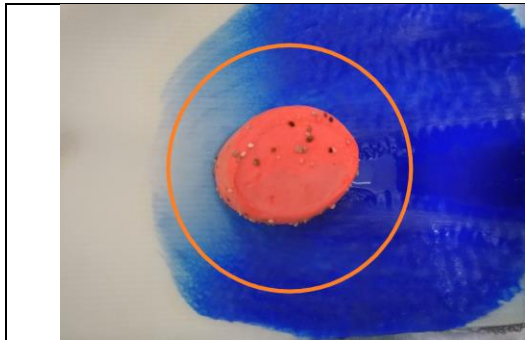


圖 49、橢圓形模型經水流沖刷後的藍色膠水痕跡(來源:本研究自行拍攝)



圖 50、橢圓形模型的荷包蛋堆積現象(來源:本研究自行繪製)

- (3)正方形模型：我們發現水流侵蝕正方形模型時，會有一些明顯的特徵表現：首先，正方形的銳角會阻擋水流，導致水流在前端明顯擴散開來，形成較大的前向壓力。其次，水流經過正方形的兩側，會產生較大的紊流和渦流，在模型兩側形成清晰的渦漩。再者，在正方形模型的後方，會形成明顯的渦流帶，形成更寬廣範圍的藍色膠水堆積。我們稱之為「正方形模型的荷包蛋堆積現象」

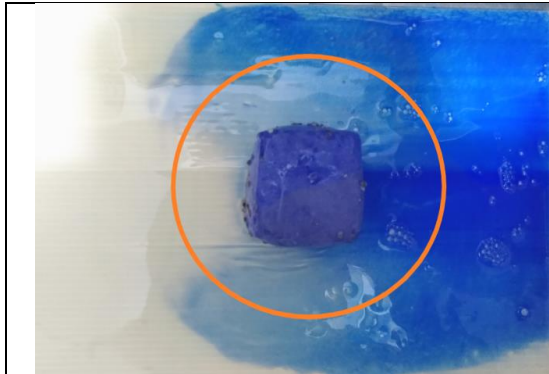


圖 51、正方形模型經水流沖刷後的藍色膠水痕跡(來源:本研究自行拍攝)

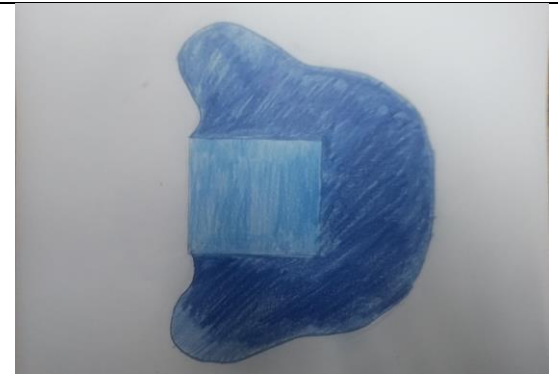


圖 52、正方形模型的荷包蛋堆積現象(來源:本研究自行繪製)

- (4)三角形模型：我們發現當水流侵蝕三角形模型時，會出現以下一些特徵：首先，三角形的尖銳前端會使得水流在前方明顯分流開來，產生較大的前向壓力。其次，水流繞過三角形的兩側，會產生較強的渦流，在模型兩側形成渦漩。再者，在三角形模型的後方，會形成一條明顯的渦流帶，形成清晰的藍色膠水堆跡。我們稱之為「三角形模型的荷包蛋堆積現象」

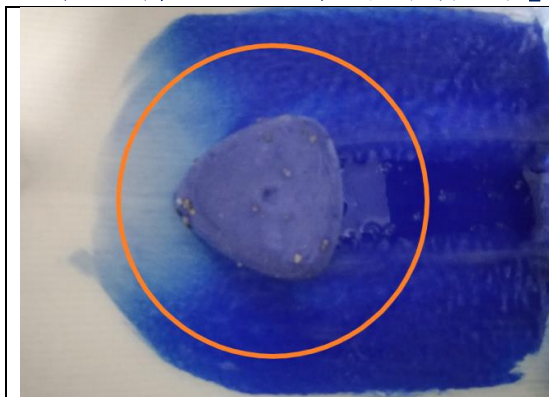


圖 53、三角形模型體經水流沖刷後的藍色膠水痕跡(來源:本研究自行拍攝)



圖 54、正方形模型的荷包蛋堆積現象(來源:本研究自行繪製)

(5)水滴流線型模型：我們發現在水滴流線型模型的前方，水流會被擋住而加速流動，而在模型的後方，則會因水流速度會產生強烈的湍流；在水滴流線型模型的兩側快速沖刷。在水滴流線型模型的後方，水流會形成渦流，使得藍色膠水形成狹小的三角洲痕跡。我們稱之為「水滴流線型模型的三角洲堆積現象」



圖 55、水滴流線型模型經水流侵蝕後的藍色膠水痕跡(來源:本研究自行拍攝)

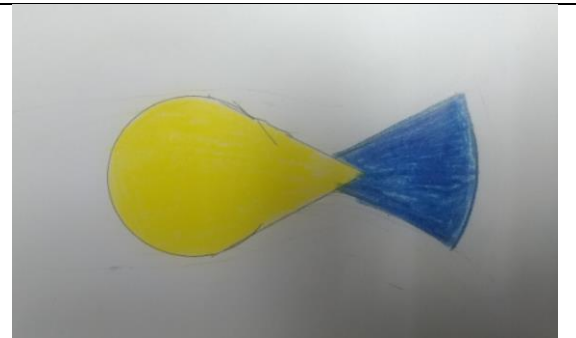


圖 56、水滴流線型模型的堆積現象(來源:本研究自行繪製)

(6)雙尖流線型模型：雙尖流線型和水滴流線型都具有較低的阻力係數，在流體中都有較低的阻力。在雙尖流線型模型在前方水流會更迅速從流線型模型兩側加速流動。在雙尖流線型後方也會產生渦流，使得藍色膠水形成比水滴流線型更狹窄的三角洲的痕跡。我們稱之為「雙尖流線型模型的三角洲堆積現象」

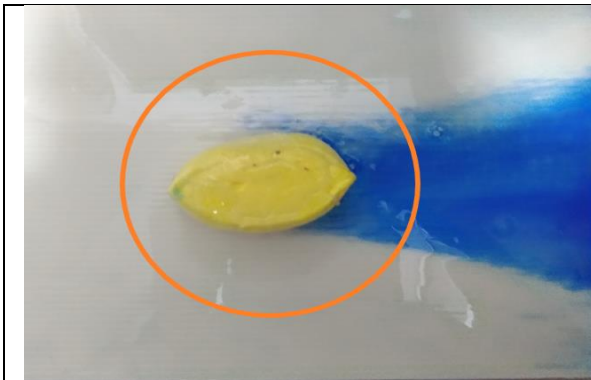


圖 57、雙尖流線型模型經水流侵蝕後的藍色膠水痕跡(來源:本研究自行拍攝)

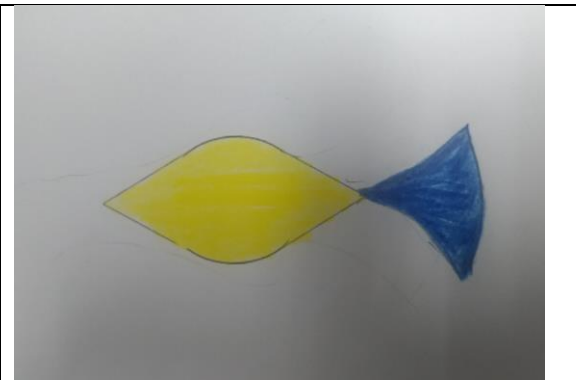


圖 58、雙尖流線型模型的扇形堆積現象(來源:本研究自行繪製)

## 2. 結果分析：

根據流體力學的原理的卡門渦街效應(Kármán vortex street), 水流在遇到柱體表面時，會在柱體的兩側形成兩道方向相反的渦流。這是因為水流會受到速度和壓力的影響。當水流遇到柱體的正前方，會形成一個水流的正壓區。當水流繞過柱體後，在柱體的兩側就會產生兩股方向相反的渦流，因此在柱體的後方形成低壓區，水流的速度就會減慢，使得藍色膠水在這裡堆積。

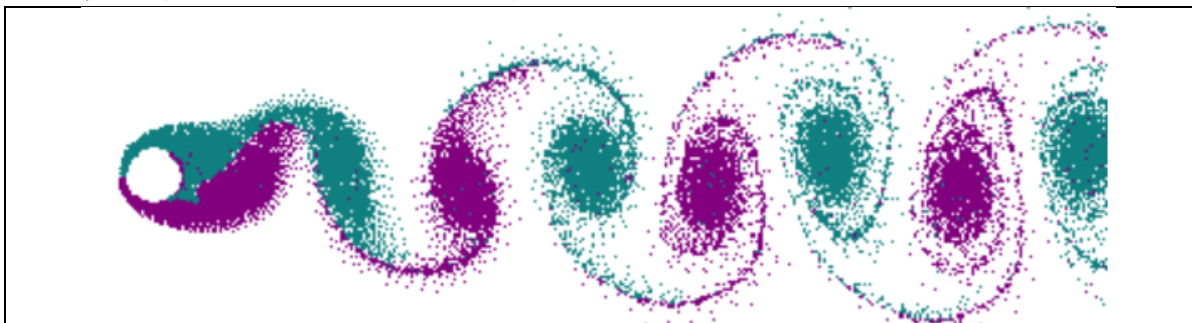
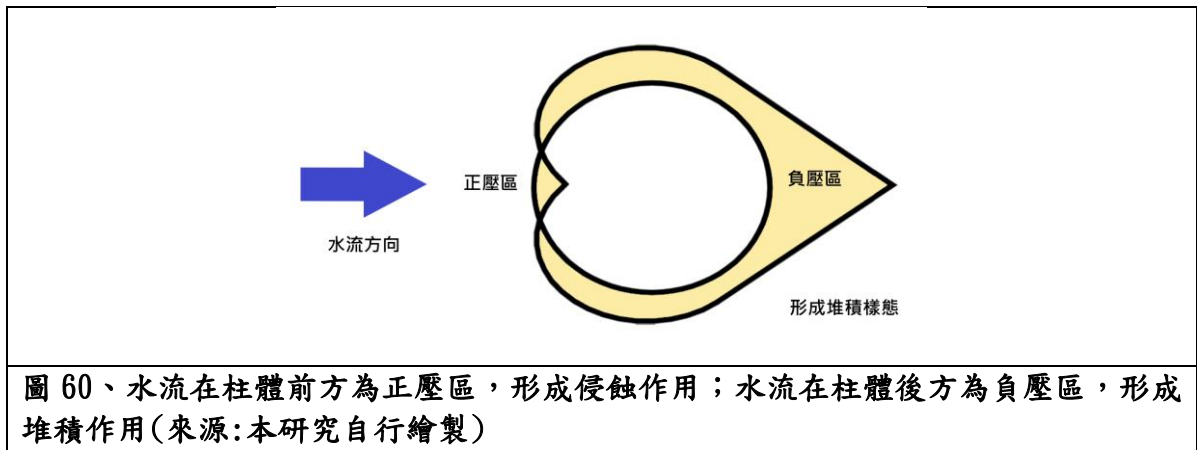


圖 59、卡門渦街效應指在水流柱體後方呈現兩道方向相反的渦流(來源:維基百科)



五、探究截面為不同幾何形狀的碼頭基樁模型，造成的泥沙堆積率

我們用黏土來塑造不同幾何形狀的碼頭基樁模型。這些模型的橫向徑長或最寬距離都是 8 公分。然後，我們在可移動的實驗板中央的一個直徑 15 公分、高 0.5 公分的塑膠圓環區域內，均勻地鋪上一層 1.2 到 2.4 毫米大小的細沙。我們秤了這些細沙的總重量是 392 公克。我們再將這些不同形狀的基樁模型依次放在沙子區域上。我們使用一台馬達，讓水以每分鐘 30 公尺的速度來沖刷這些模型，持續 1 分鐘。最後，我們再來測量一下每個模型周圍剩下的細沙重量，就可以比較出不同形狀的模型對於沙子堆積的影響。

(一)實驗結果:

1. 圓形模型：圓形模型在直徑 15cm 的塑膠圓環範圍內的泥沙原重 392 公克，沖刷 1 分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為 249 公克，泥沙堆積率約為 64%。

表 8、圓形模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量 單位:公克

圓形模型	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	261	253	242	247	241	249



圖 61、圓形模型放置在鋪滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)



圖 62、圓形模型周圍在水流沖刷後泥沙堆積率為 64%(來源:本研究自行拍攝)

2. 橢圓形模型：橢圓形模型在直徑 15cm 的塑膠圓環範圍內的泥沙原重 392 公克，沖刷 1 分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為 275 公克，泥沙堆積率約為 70%。

表 9、橢圓形模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量 單位:公克

橢圓形模型	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	282	265	269	276	281	275



圖 63、橢圓形模型放置在鋪滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)



圖 64、橢圓形模型周圍在水流沖刷後泥沙堆積率為 70%(來源:本研究自行拍攝)

3. 正方形模型：正方形模型在直徑 15cm 的塑膠圓環範圍內的泥沙原重 392 公克，沖刷 1 分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為 312 公克，泥沙堆積率約為 80%。

表 11、正方形模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量

單位:公克

正方形模型	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	322	306	309	320	304	312

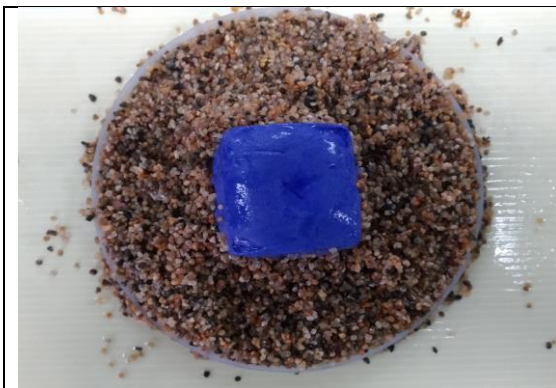


圖 65、正方形模型放置在鋪滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)



圖 66、正方形模型周圍在水流沖刷後泥沙堆積率為 80%(來源:本研究自行拍攝)

4. 三角形模型：三角形模型在直徑 15cm 的塑膠圓環範圍內的泥沙原重 392 公克，沖刷 1 分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為 284 公克，泥沙堆積率約為 72%。

表 12、三角形模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量

單位:公克

三角形模型	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	290	293	282	277	280	284

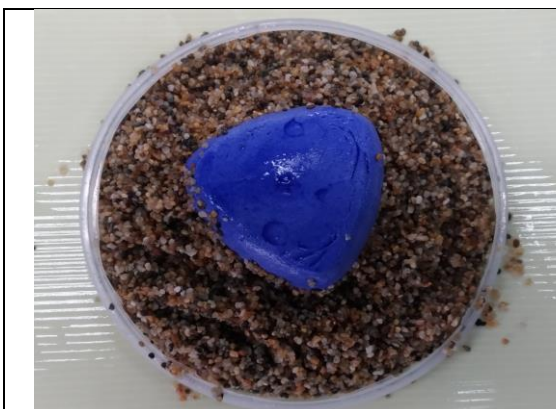




圖 67、橢圓形模型放置在鋪滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)	圖 68、橢圓形模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量堆積率為 72%(來源:本研究自行拍攝)
-------------------------------------	---

5. 水滴流線型模型: 水滴流線型模型在直徑 15cm 的塑膠圓環範圍內的泥沙原重 392 公克, 沖刷 1 分鐘後, 剩餘泥沙秤得平均重量為 70 公克, 泥沙堆積率約為 18%。

表 13、水滴流線型模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量 單位: 公克

水滴流線型模型	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	75	63	69	77	65	70



圖 69、水滴流線型模型放置在鋪滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)	圖 70、水滴流線型模型周圍在水流沖刷後泥沙堆積率為 18%(來源:本研究自行拍攝)
---------------------------------------	--

6. 雙尖流線型模型: 雙尖流線型模型在直徑 15cm 的塑膠圓環範圍內的泥沙原重 392 公克, 沖刷 1 分鐘後, 剩餘泥沙秤得平均重量為 66 公克, 泥沙堆積率約為 16%。

表 14、雙尖流線型模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量 單位: 公克

雙尖流線型模型	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	65	68	69	62	64	66



圖 71、雙尖流線型模型放置在鋪滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)	圖 72、雙尖流線型周圍在水流沖刷後泥沙堆積率為 16%(來源:本研究自行拍攝)
---------------------------------------	--

## (二)結果分析:

表 15、截面為不同幾何形狀的模型周圍在水流沖刷後的沙堆積重量

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
圓形	261	253	242	247	241	249
橢圓形	282	265	269	276	281	275
正方形	322	306	309	320	304	312
三角形	290	293	282	277	280	284
水滴流線型	75	63	69	77	65	70
雙尖流線型	65	68	69	62	64	66

單位:公克

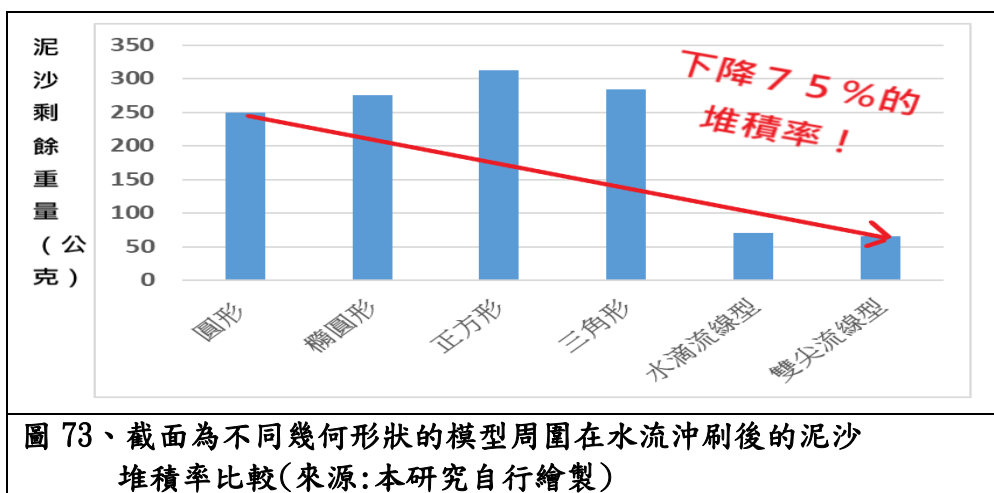


圖 73、截面為不同幾何形狀的模型周圍在水流沖刷後的泥沙堆積率比較(來源:本研究自行繪製)

我們比較了不同幾何形狀的碼頭基樁模型,看看它們在受水流沖刷後的泥沙堆積表現如何。圓形的幾何形狀雖然很均勻,在沖刷後泥沙堆積率為 64%。橢圓形在沖刷後泥沙堆積率為 70%。正方形在沖刷後泥沙堆積率為 80%。三角形在沖刷後泥沙堆積率為 68%。不過,水滴流線型和雙尖流線型的表現則非常優秀!水滴流線型在沖刷後泥沙堆積率只有 18%。雙尖流線型則更勝一籌,泥沙堆積率僅 16%。我們發現,這兩種流線型的形狀具有較佳的流體動力,所以泥沙能夠均勻地流走,幾乎不會產生堆積。相比之下,若將圓形模型改為流線型模型後方的泥沙堆積率從 64% 下降至 16%,減少了 75%!

## 六、探究截面為不同幾何形狀的碼頭基樁模型,造成矽膠小魚堆積的影響

### (一)實驗過程

接著我們將已做好的黏土塑形的各種幾何形狀的碼頭基樁柱體模型,測試水流沖刷後,在模型後方的矽膠小魚堆積率。我們在實驗板上將碼頭基樁柱體模型放置已佈滿細沙的圓形區塊內,直徑長 15 公分的塑膠圓環區塊,均勻佈滿徑長 1.2~2.4 毫米的細沙,和徑長 2 公分體的矽膠小魚共 100 隻,再將碼頭基樁柱體模型放置已佈滿細沙的圓形區塊上,以馬達製造每分鐘 30 公尺的水流速度下沖刷 1 分鐘,計算在模型版上矽膠小魚所堆積的數量百分率。

### (二)實驗結果

1. 圓形模型和橢圓形模型:圓形模型在受到水流沖刷時會形成均勻的矽膠小魚堆積,矽膠小魚會相對均勻地沉積在周圍。橢圓形模型在受到水流沖刷時,矽膠小魚堆積會受到長軸比例的影響,形成較狹長的堆積情況。



圖 74、圓形的模型周圍，矽膠小魚堆積的樣態(來源:本研究自行拍攝)



圖 75、橢圓形的模型周圍，矽膠小魚堆積的樣態(來源:本研究自行拍攝)

2. 正方形模型和三角形模型：在水流中沖刷時，由於其角落較為尖銳，會導致矽膠小魚在角落處堆積較多，或形成角落後方較大範圍的矽膠小魚堆積。三角形在受到水流侵蝕時，由於其底部尖角處會產生渦流和局部加速，矽膠小魚在底邊後方堆積較多。



圖 76、正方形的模型周圍，矽膠小魚堆積的樣態(來源:本研究自行拍攝)



圖 77、三角形的模型周圍，矽膠小魚堆積的樣態(來源:本研究自行拍攝)

3. 水滴流線型和雙尖流線型模型：水滴流線型和雙流線型在受到水流沖刷時，由於其流體在流線型會產生局部加速，矽膠小魚迅速流走，因此矽膠小魚堆積只會堆積在尾端的小三角洲。



圖 78、水滴流線型的模型周圍，矽膠小魚堆積的樣態(來源:本研究自行拍攝)



圖 79、雙尖流線型的模型周圍，矽膠小魚堆積的樣態(來源:本研究自行拍攝)

### (三) 結果分析

表 16、截面為不同幾何形種的柱體周圍，矽膠小魚堆積的數量百分率

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
圓形	43	38	36	42	39	40
橢圓形	43	46	49	48	47	43
正方形	56	58	64	60	54	58
三角形	43	38	48	45	48	44
水滴流線型	13	17	19	15	12	15
雙尖流線型	11	15	16	12	10	13

單位:隻

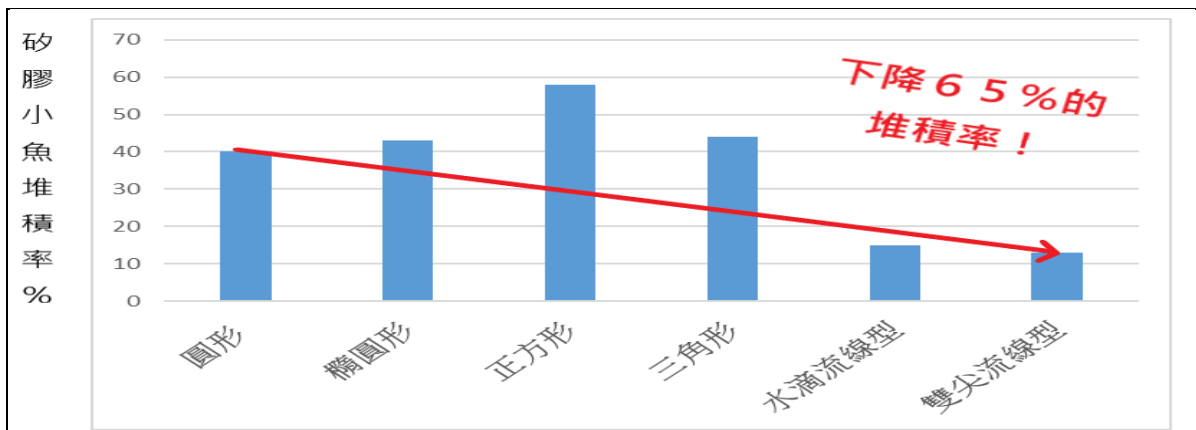


圖 80、截面為不同幾何形狀的柱體周圍，砂膠小魚堆積的數量比較(來源:本研究自行繪製)

七、探究在不改變原本碼頭基樁的圓柱體結構，以被動式設計雨水沖沙盒在墩式柱體的上方，以減少砂膠小魚的堆積率



圖 81、雨水沖刷盒俯視圖(來源:本研究自行繪製)



圖 82、雨水沖刷盒側面圖(來源:本研究自行拍攝)

(一)實驗過程

我們用簡易塑膠盒(長 20 公分，寬 13 公分，高 5 公分)，在中心與圓柱體貼合的圓形兩側，各挖開 1 公分直徑的小洞，接上適合的透明塑膠軟管，將水管引流至柱體兩側，就是簡易的雨水沖刷裝置了。一樣放置在圓形模型的柱體上(直徑為 8 公分，柱高 40 公分)，另在模型版中心直徑長 15 公分的圓形區塊內，均勻佈滿直徑長 1.2~2.4 毫米的細沙，再將碼頭基樁柱體模型放置已佈滿細沙的塑膠圓環區塊上，以馬達製造每分鐘 30 公尺的水流速度沖刷 1 分鐘，測量在實驗板上的砂膠小魚數量。



圖 83、短管雨水沖裝置在圓形模型周圍，泥沙沖刷的情形(來源:本研究自行拍攝)



圖 84、長管雨水沖裝置在圓形模型周圍，泥沙沖刷效果明顯(來源:本研究自行拍攝)

## (二)實驗結果

1. 泥沙沉積率：沖刷前的泥沙為 392 公克，沖刷後平均重量為 284 公克，泥沙堆積率為 72%，亦即雨水沖刷的被動式裝置，可以減少 28%的泥沙堆積率。

表 17、長管雨水沖裝置在圓形模型的剩餘泥沙重量

單位:公克

剩餘泥沙重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	290	293	282	277	280	284

2. 矽膠小魚堆積率：沖刷前為 100 隻矽膠小魚，沖刷後平均留下 78 隻矽膠小魚，小魚堆積率為 78%，亦即雨水沖刷的被動式裝置，也可以減少 22%的矽膠小魚堆積率。

表 18、長管雨水沖裝置在圓形模型的剩餘矽膠小魚數量

單位:隻

剩餘小魚數量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	77	81	76	82	72	78

## 伍、討論

### 一、微型實驗探究河岸碼頭周圍泥沙或死魚堆積的可行性

(一)我們從河流下游河岸碼頭周圍的實際探勘，對照水利局流速資料對照並設計實地測量碼頭周圍河流水流速度，設計微型實驗的模型箱，進行模擬碼頭基樁的不同形體影響水流侵蝕和死魚堆積率的實驗，將流體和阻體力學簡化為直觀的圖形型態，具有理論和實驗驗證的價值。

(二)從第一代木板製的碼頭周圍河流模型箱、經過研究和修正，到第二代透明壓克力製的碼頭周圍河流模型箱的設計，我們發現水流的方向和流速都會造成泥沙堆積的不同影響，然後設定水流和方向的適當性，更能精準的實測碼頭基樁的不同形體。實驗過程中，我們持續回測，找出碼頭基樁型體裝置之較佳形狀，以減少碼頭周圍河流死魚堆積率和死魚堆積的可行性。

### 二、發現「水流侵蝕和泥沙堆積」是影響碼頭周圍死魚堆積的重要因素：

(一)在實驗中我們發現，因為根據流體力學的卡門渦街效應(Kármán vortex street)，水流會受速度、壓力影響，所以在水流在遇到碼頭基樁柱體後，正面的正壓區壓力較大，同時在兩側會產生兩個方向相反旋轉的力，造成渦流，且因為柱體後方的負壓區壓力較小，以此形成柱體前方水流侵蝕作用明顯，柱體後方堆積作用較明顯。

(二)因為流理力學的原理和公式甚為複雜，我們小學生就以直觀方式，比較水流侵蝕和死魚堆積率區域的差異，也可看出不同幾何形體造成的不同侵蝕和堆積結果，符合流體力學的康達效應(Coriolis effect)，水流在柱體表面上呈現一種偏轉的現象。

### 三、研究困難

因為水流的流向不易控制，操作微型實驗時要做好控制水流方向的穩定、箱體的平衡、放置模擬矽膠小魚的固定點等，避免會影響實驗的數據。模型箱所進行的微型實驗，僅為水工模型的初探，有待更精確的水流計、水壓計提供精密數據和水工建模的系統化實驗。

### 四、研究未來方向

影響河流堆積物的因素還有河流的流速、河流的水位、河床的不同坡度、碼頭構基樁的材質、延伸碼頭的結構等因素，還有漲潮時會使較輕的矽膠小魚回流，而退潮時應有助於矽膠小魚往下游流動，潮汐的因素也是探究的方向之一。

## 陸、結論

### 一、風向和風速對死魚堆積的影響

風向和風速是影響碼頭附近矽膠小魚堆積的關鍵因素。

- (一)當模擬西南風吹向碼頭時，碼頭範圍內堆積的小魚占總數的 62%，而東北風時只有 28%，也就是西南風條件下的 2.2 倍。這說明碼頭的位置對於迎接夏季西南季風非常重要，可以大幅增加死魚堆積。
- (二)實驗也發現，當風速較低時，矽膠小魚的堆積量會達到 62%，是強風速時的 3 倍。這表明，夏季季風的風速較弱，也是造成碼頭附近容易出現大量死魚堆積的重要原因之一。因此，在規劃碼頭時，應考慮當地的風向和風速特徵，並採取相應的防範措施，以減少河岸死魚堆積的污染問題。

### 二、浪的大小對泥沙和死魚堆積的影響

- (一)實驗結果顯示，浪的大小也是影響碼頭周圍泥沙和矽膠小魚堆積的重要因素。當製造小浪時，碼頭中心的泥沙高度下降 90%，但製造大浪時則下降達 58%。這表明浪越小，對泥沙的沖刷作用越低，造成死魚堆積的增加。
- (二)同樣製造小浪時，碼頭範圍內矽膠小魚的堆積數量最多，達 78 隻，堆積百分率為 78%。而製造大浪時，堆積數量僅有 32 隻，堆積百分率為 32%。這說明當浪較小時，如夏季水流情況，容易造成河岸碼頭附近出現較多的死魚堆積。因此，在選址和設計碼頭時，需要充分考慮當地的浪況特點，以減少碼頭附近因死魚堆積而造成的環境污染問題。

### 三、不同幾何形狀碼頭基樁對水流侵蝕和泥沙堆積的影響

- (一)實驗對比了多種幾何形狀的碼頭基樁模型，發現流線型模型如水滴流線型和雙尖流線型表現最佳。水滴流線型在沖刷後的泥沙堆積率只有 18%，雙尖流線型更低為 16%，遠優於圓形的 64%、橢圓形的 70%和正方形的 80%等模型的泥沙堆積率。這是因為流線型的幾何形狀能更好地引導水流，減少渦流和局部高速流動，使泥沙能夠均勻地流走，不易堆積。相比之下，角部較為尖銳的幾何形狀，如正方形和三角形，在受水流沖刷時容易產生渦流和局部加速，從而導致泥沙堆積。
- (二)建議根據不同幾何形狀的特性，選擇水滴流尖流線型的形狀具有較好的流體動力學性能，漂浮物在其表面會相對均勻地流走，幾乎不會形成堆積，因此建議設計碼頭基樁截面的形狀為水滴流線型或雙尖流線型最佳，比較一般的圓柱體碼頭基樁，水滴流線型或雙尖流線型的碼頭基樁，可有效減少 65%的死魚堆積率。

### 四、增加被動式雨水引流沖刷設計，可以節省成本

- (一)碼頭基樁在考慮不改變原本碼頭基樁的設計，加上被動式雨水引流沖刷裝置，可以被動式利用水流將原柱體的碼頭基樁後方的負壓區改正壓區，經過實驗反覆驗證，增加水流可以減少泥沙堆積，也能減少碼頭死魚堆積的問題。
- (二)建議根據被動式設計，將雨水盒的水，引兩條水管沿圓柱體的兩側流下，在不改變柱體的情形，將柱體後的負壓區改為正壓區，也能有效降低 22%的死魚堆積率。

風向和風速、浪的大以及碼頭基樁的幾何形狀，都是影響碼頭附近死魚堆積的關鍵因素。通過合理規劃和設計，可以有效降低這一環境污染問題。未來可進一步探討更多的影響因素和對策，以期為河岸碼頭的環境保護貢獻更多成果。

## 柒、參考資料及其他

### 一、中文部份

#### (一)期刊文章

曾文水庫泥沙濃度觀測建置及泥沙運移研究暨數模分析規劃(2013)，南區水資源局。

<https://tw.weatherspark.com/>

李明靜(2003)。河川表面流速與流量非接觸式量測方法之發展與應用。國立成功大學水利及海洋工程研究所論文

#### (二)網路文章

胡介申、徐筱琿(2020年11月11日)。乾淨的河、湛藍的海－河流域廢棄物快篩調查成果。荒野保護協會。取自 <https://www.sow.org.tw/blog/20201111/41985>

#### (三)媒體報導

陳靖宜(2018年8月14日)。高溫魚災擴大？大稻埕水岸邊也出現上萬條死魚。聯合報。摘自 <https://news.housefun.com.tw/news/article/786380204274.html>

溫蘭魁(2022年12月16日)。高雄幸福川驚見大量死魚，原因曝光了。中廣新聞網。摘自 <https://tw.sports.yahoo.com/news/>

陳清芳(2023年5月31日)。宜蘭打那岸排水圳漂滿死魚，疑水中溶氧量低導致。中央通訊社。摘自 <https://www.cna.com.tw/news/alloc//202305310267.aspx>

林冠丞(2024年3月25日)。超臭！台中大里上萬魚「集體翻白肚」環保局揭致死原因。YAHOO!新聞網。摘自 <https://tw.news.yahoo.com/>

我們的島(2018年8月15日)。河流域裡魚群大量暴斃的情形。公視我們的島FACEBOOK。

<https://www.facebook.com/PTSourisland/photos/a.136748506644/10155912580486645/?type=3>

#### (四)科展研究

「水落石出-探討水流在不同障礙物形狀與排列下的流動現象」等科展作品，全國科學展覽會國小組生活與應用科學科。網路科教館。<https://www.ntsec.edu.tw/>

#### (五)名詞解釋

阻力係數，卡門渦街理論，康達效應。維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/>

#### (六)工程公司網頁

碼頭鋼管樁、鋼板樁防蝕系統。緯固工業有限公司。

[https://www.palpl.com.tw/Denso/Marine\\_Jetty\\_Pier\\_Pipes.html](https://www.palpl.com.tw/Denso/Marine_Jetty_Pier_Pipes.html)

### 二、英文部份

#### (一)網路影片

JBA Trust hydraulic flume showing how engineered structures affect flow in rivers. [https://www.youtube.com/watch?v=m\\_ZLyzByj98](https://www.youtube.com/watch?v=m_ZLyzByj98)

#### (二)氣象查詢網站

Weather Spark, <https://tw.weatherspark.com/>

#### (三)google map

Google map, <https://www.google.com/maps/search>

#### (四)體積法測流速

Volumetric flow rate, <https://zh-twg.lambdageeks.com/volumetric-flow-rate-volume-flow-rate/>

## 【評語】 082909

1. 本研究設計多種幾何形狀的河岸墩式碼頭基樁以減少夏季河岸碼頭死魚堆積問題。使用 1/200 比例尺製作模型，模擬不同季節的風向、風速和浪的大小微型實驗。實驗設計符合環保要求，還能節省成本，有效解決河岸碼頭的死魚堆積問題。
2. 研究發現基樁截面形狀對水流和泥沙侵蝕的影響，能提供有效的科學依據，還為實際工程設計提供了參考，但建議本主題未來可歸屬於應科三進行評審。

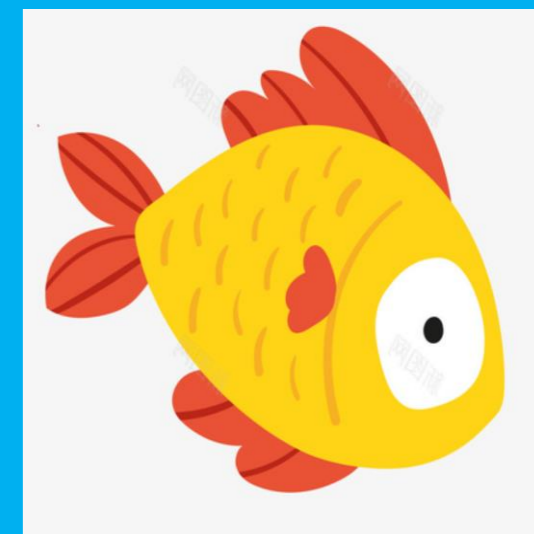
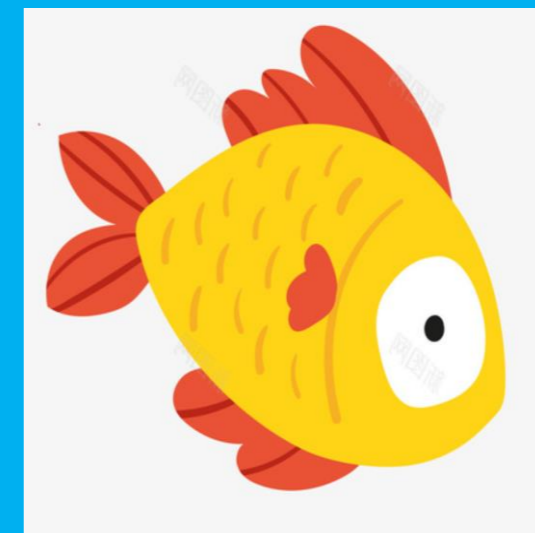


## 作品簡報

# LET 魚 GO —

## 探討墩式碼頭基樁設計

## ，以減少死魚堆積問題



# 摘要

當地夏天的河岸碼頭常堆積了很多死魚,造成環境很大的惡臭問題。我們實地探勘和查考資料後,製造模型進行微型實驗,模擬了不同季節的風向、風速和浪的大小,以及墩式碼頭基樁不同的形狀對於死魚堆積的影響。

我們用1/200的比例尺依照實境設計了模型河道,然後設計不同形狀的碼頭基樁模型。微型實驗中發現,矽膠小魚堆積與水流侵蝕和泥沙堆積有密切關係,而碼頭基樁的截面形狀是「水滴流線型」或「雙尖流線型」,水流侵蝕效果最好,能有效減少65%的矽膠小魚堆積率。此外,採用被動式的雨水沖刷設計,把圓柱體後方的負壓區改成正壓區,也能有效減少22%的矽膠小魚堆積率。我們的設計不僅符合環保,而且還能節省成本,能有效解決河岸碼頭死魚堆積的問題。

## 壹、動機

「哇,你看,碼頭上怎麼會有這麼多死魚呢?」真是嚇人啊!我們從最近的新聞報導得知,夏天的河水因為天氣過熱,使得水中的氧氣不足,所以魚就會大量暴斃。不過,我們查了一下其他縣市的河岸地區,好像也都有這樣的情況。看來這好像是個普遍問題,所以我們想嘗試做一個模擬實驗,看看有什麼辦法能夠減少河岸碼頭的死魚堆積問題。

我們實地去當地河岸碼頭看過,那裡真的有好多死魚和垃圾,真是嚇人的景象。不過,開始進行模擬實驗之前,要先深入探討造成這個問題的原因。我們聽老師說,影響這問題應有許多因素,像是季節的風向、河流浪的大小,還有碼頭的結構等。所以我們在老師的指導下,進行了碼頭泥沙和死魚的模擬實驗,希望能找出解決問題的方法。

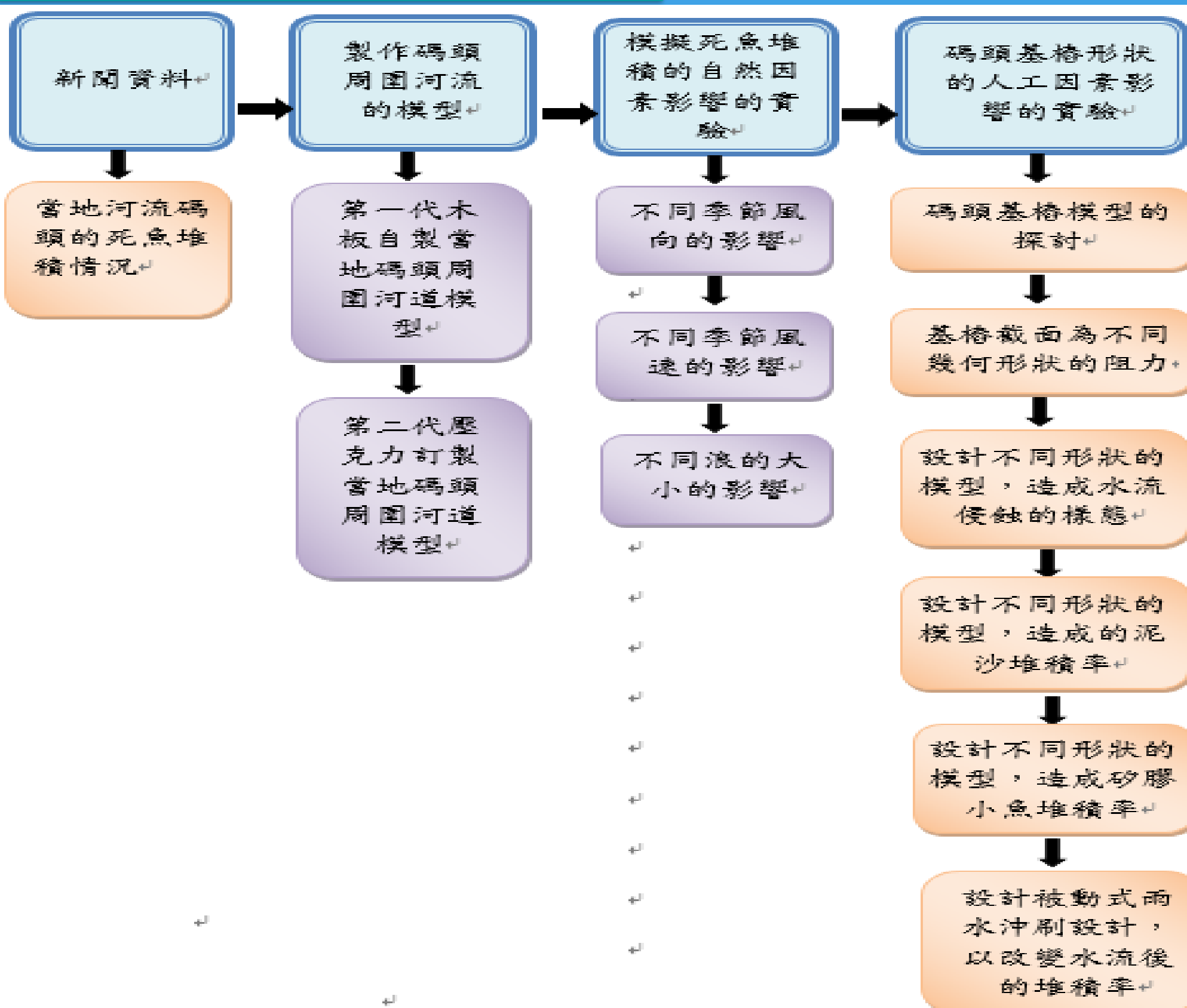
## 貳、研究目的

- (一)當地河岸碼頭在夏季有死魚堆積問題的成因探討。
- (二)建立當地河岸碼頭基樁模型,以進行微型實驗。
- (三)模擬不同季節的風向和風速對於矽膠小魚堆積的影響。
- (四)模擬不同浪的大小對於矽膠小魚堆積的影響。

- (五)設計碼頭基樁不同的形狀和水流侵蝕的關係。
- (六)設計碼頭基樁不同的形狀以減少泥沙堆積率。
- (七)設計碼頭基樁不同的形狀以減少矽膠小魚堆積。
- (八)被動式設計碼頭基樁的雨水沖刷裝置以減少矽膠小魚堆積。

## 參、研究過程

### 一、研究架構



### 二、研究設備

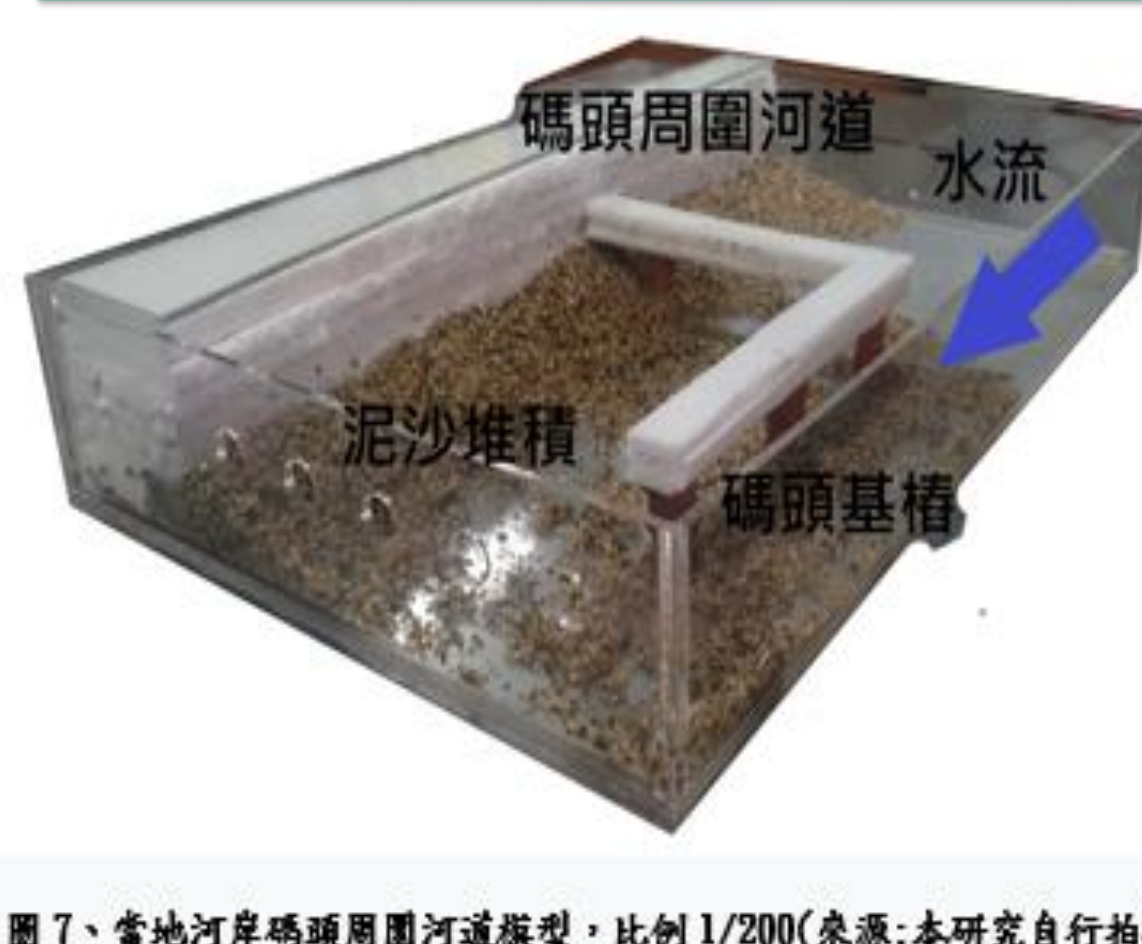


圖7、當地河岸碼頭周圍河道模型,比例1/200(來源:本研究自行拍攝)

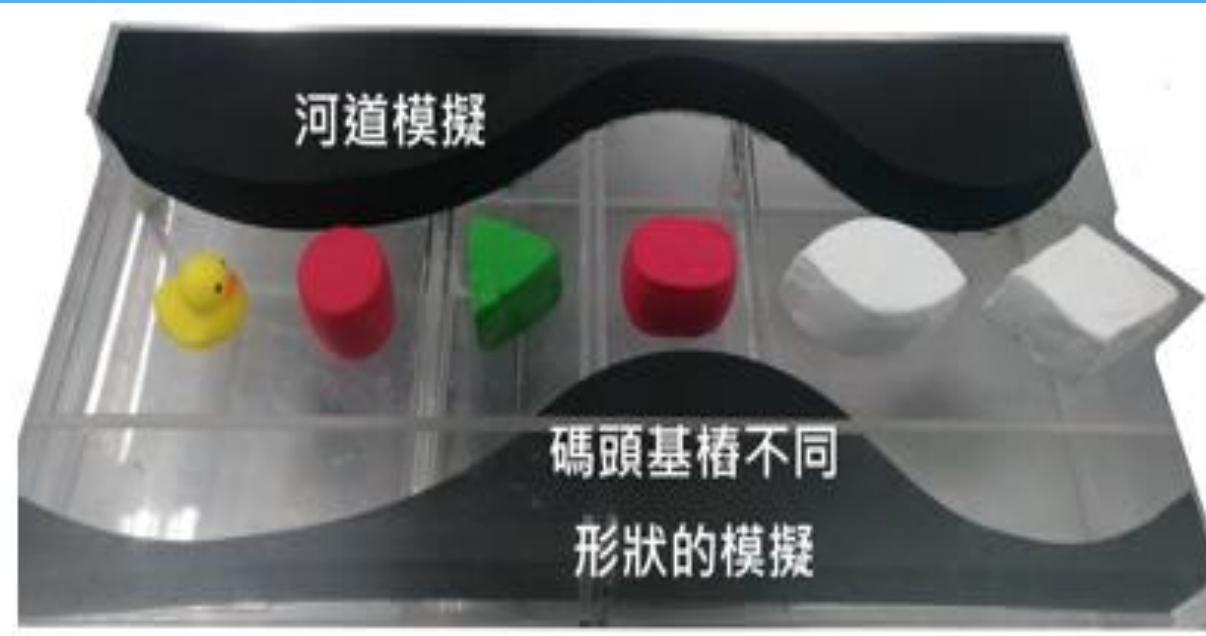


圖10、碼頭基樁截面為不同幾何形狀的模型,比例尺1/5(來源:本研究自行拍攝)



圖8、供水循環系統(來源:本研究自行拍攝)

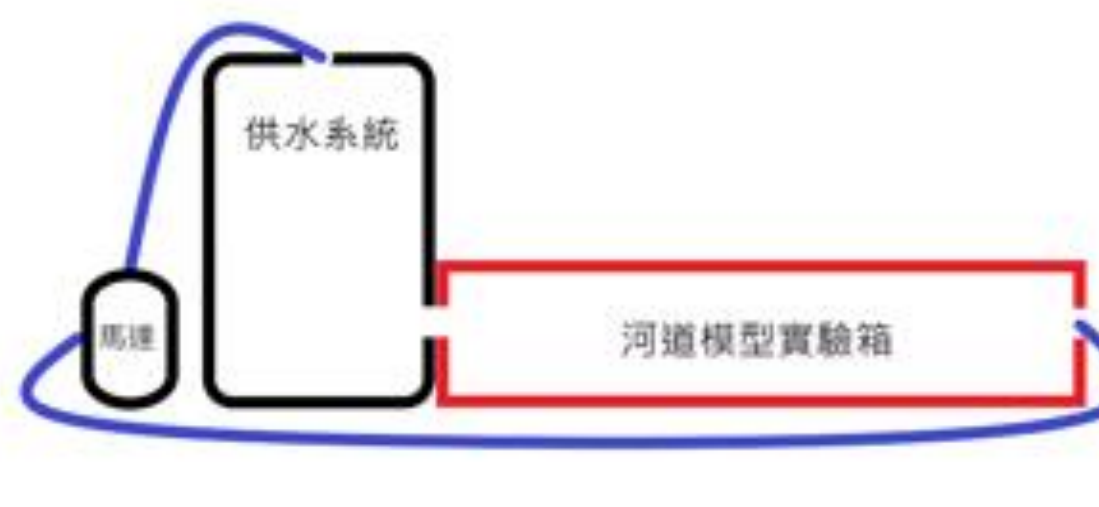


圖9、供水循環系統示意圖(來源:本研究自行繪製)

## 三、文獻探討

### (一)臺灣各地河流夏季死魚堆積的問題

我們收集了關於夏季河流死魚堆積河岸的相關資料,包括臺灣各地:台北、高雄、宜蘭、台中等地的新聞專題報導。例如,台北淡水河鄰近河流岸邊曾經出現大量死魚,在新聞中,環保局甚至需要派出71名環保人員、水利處也發動8艘船協助清運,可見得死魚數量驚人。前年高雄市的幸福川也發現有大量的死魚在水面上,打撈的死魚總共有8千多公斤。



圖1、夏季時台北河岸碼頭有大量死魚堆積(來源:陳靖宜,2018)



圖2、夏季時高雄河岸附近,環保局派人打撈大量死魚(來源:溫蘭超,2022)

### (二) 河流泥沙堆積的相關科學研究

我們也探究與水流侵蝕和堆泥沙積相關的科展作品的文獻,加以比較。

表1、與水流侵蝕和堆泥沙積相關的科展作品(來源:國立台灣科學教育館網站)

篇名	主要發現	方法	結果	不足之處
水落石出-探討水流在不同障礙物形狀與排列下的流動現象	障礙物大小佔河道的1/3,水流容易被吸入後方區域;障礙物越尖銳,障礙物後方流速差異	模型實驗水流的流動	障礙物愈多,水流紊亂。障礙物的角度會影響後方水流。	幾何圖形取樣不足,障礙物的排列設計過於規律,與實際環境的石塊不符。
Hold住們,不要崩潰!	地形走向將大量的水流導向防沙壩的中間,使得防沙壩因承受不住強大的水流而被沖走。	實地考察與模型實驗	防沙壩修復先把地形鋪平,導正水流並減緩水流速度,達到保護防沙壩的功能。	只有針對防沙壩的研究,未及於河流相關的橋樑或碼頭工程。
嘉義八掌溪牛稠溪河床泥沙沈積作用調查	牛稠溪枯洪期明顯,造成河床泥沙堆積有規律性。	結合鄉土發展、水利工程,著重實地考察	牛稠溪左側堆積,右側搬運差異。	缺少模型實驗的數據佐證。
河流河床沖刷作用與沉積作用的探討	河道因沉積而成淺灘地後,植物生長促使灘地變大,最後將為阻礙河水流通點。	實地觀察河流的變段泥沙沉積現象	河流兩大匯流區沉積情況,以河流交會點靠近支流河水注入區較易沉積。	針對水流湍急的地方沒有研究,也缺少流體力學的實驗證明。

## 四、研究設計

我們建立當地碼頭周圍的河流模型,為使得在實驗室進行微型實驗。我們建立模型的步驟如下:

- (1)設立目標:因為當地碼頭的場域因素,受到季節風向、風速、水流速度、漲退潮等自然環境因素同時作用,環境變因相當複雜,所以我們在實驗室內建立一個碼頭周圍的河流模型,可以做好控制變因,確定要研究的因素影響。
- (2)實驗設計:根據研究目,我們設計一個適合實驗桌上操做的微型實驗方案。
- (3)縮小比例:將碼頭大小以1/200的比例縮小,建立碼頭周圍河道的模型。
- (4)材料準備:所需材料以精簡為原則,所一開始始使用木板、優塑板等較容易裁切和黏貼板材製作碼頭,實驗室的圓柱狀軟木塞做為碼頭基樁。

### (一)製作碼頭的河流模型箱 I

我們在當地碼頭實際探勘碼頭後,根據google的實景地圖,以1/200的比例建立碼頭的河流模型。第一代河流模型是利用木板比較容易裁鋸的特性,再用強力膠黏貼製成長100公分、寬60公分、高10公分的河流模型,並且用保麗龍裁切並拼裝成碼頭岸邊,用優塑版裁切並拼裝成碼頭,用軟木塞製成碼頭基樁。困難是裝水測試因為木板接合處會滲水,雖然用強力膠黏貼,因為木板材質無法完全密合,所以黏貼乾燥後仍有水會從縫隙滲出。



圖12、以1/200的縮小比例建立碼頭周圍河道的模型(來源:本研究自行拍攝)

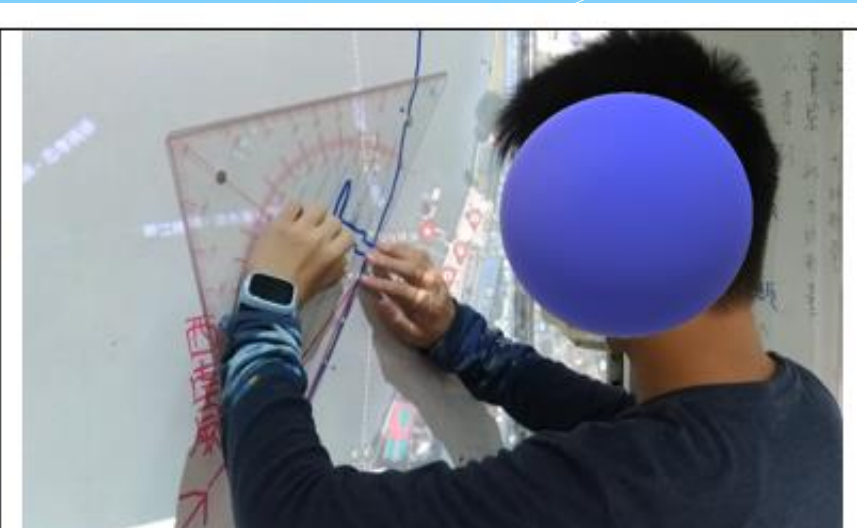


圖13、將河岸碼頭形狀描繪下來,建立碼頭周圍河道的模型(來源:本研究自行拍攝)

### (二)製作碼頭的河流模型箱 II

碼頭的河流的模型箱 I 實驗數次後,會有滲水的問題,水位就會下降影響實驗結果,所以我們請廠商製作全透明壓克力黏合的第二代河流模型,模型箱內部一樣陳設,且安裝35w強力馬達製造水流,以接近碼頭的河流真實的水流速度。河流的模型箱 II 的優點,全壓克力材質,接縫處完全不滲漏,所以水流量更穩定,以每分鐘30公尺的水流速度流動;且四周側邊都是壓克力透明窗,可以清楚拍攝和觀察水流侵蝕和泥沙堆積的過程。



圖14、用優塑版裁切並拼裝成碼頭,用軟木塞製成碼頭基樁(來源:本研究自行拍攝)



圖15、用木板自製長100公分、寬60公分、高10公分的河岸碼頭河道模型(來源:本研究自行拍攝)



# 實驗四 探究截面為不同幾何形狀的碼頭基樁模型，造成的泥沙堆積率

一、上述實驗三，水流經過不同形狀之柱體，形成不同樣態的藍色膠水痕跡，但是無法量化。所以本實驗另在優塑板中心直徑長15公分的圓形區域內，均勻佈滿徑長1.2~2.4毫米的細沙，再將碼頭基樁柱體模型放置已佈滿細沙的圓形區域上(泥沙重392公克)，以馬達製造每分鐘30公尺的水流沖刷1分鐘各5次，測量柱體周圍的細沙區域所剩餘的泥沙平均重量和百分率。

表8、圓形模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
圓形	261	253	242	247	241	249



圖61、圓形模型放置已佈滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)。

圖62、圓形模型周圍在水流沖刷後，剩餘泥沙堆積量(來源:本研究自行拍攝)。

表11、正方形模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
正方形	322	306	309	320	304	312

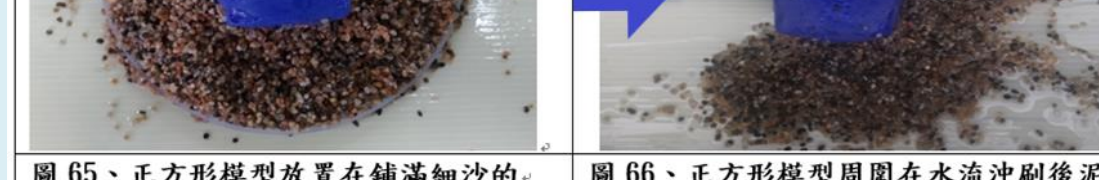


圖66、正方形模型放置已佈滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)。

圖68、正方形模型周圍在水流沖刷後，剩餘泥沙堆積量(來源:本研究自行拍攝)。

表13、水滴流線型模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
水滴流線型	75	63	69	77	65	70

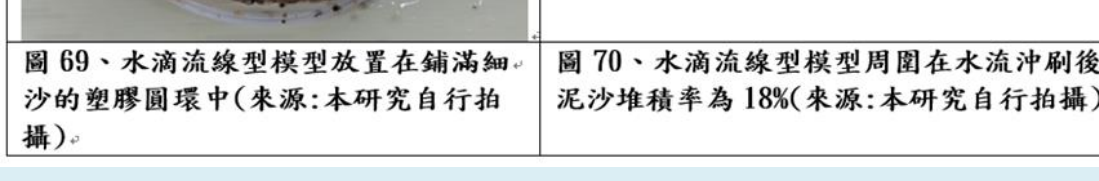


圖69、水滴流線型模型放置已佈滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)。

圖70、水滴流線型模型周圍在水流沖刷後，剩餘泥沙堆積量(來源:本研究自行拍攝)。

表14、雙尖流線型模型在水流沖刷後的剩餘泥沙重量

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
雙尖流線型	65	68	69	62	64	66

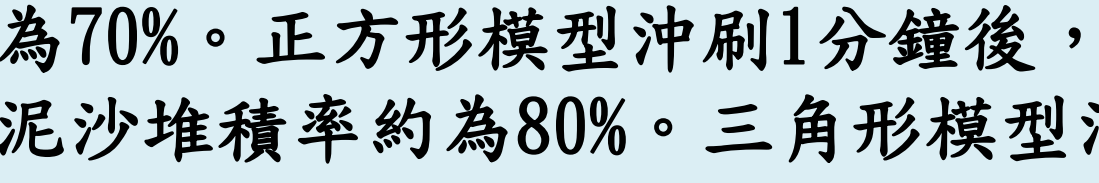


圖71、雙尖流線型模型放置已佈滿細沙的塑膠圓環中(來源:本研究自行拍攝)。

圖72、雙尖流線型模型周圍在水流沖刷後，剩餘泥沙堆積量(來源:本研究自行拍攝)。

## 二、實驗結果:

圓形模型在直徑15cm的塑膠圓環範圍內的泥沙原重392公克，沖刷1分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為249公克，泥沙堆積率約為64%。橢圓形沖刷1分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為275公克，剩餘泥沙堆積率約為70%。正方形模型沖刷1分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為312公克，泥沙堆積率約為79%。三角形模型沖刷1分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為284公克，泥沙堆積率約為72%。水滴流線型模型沖刷1分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為70公克，泥沙堆積率約為18%。雙尖流線型模型在直徑15cm的塑膠圓環範圍內的泥沙原重392公克，沖刷1分鐘後，剩餘泥沙秤得平均重量為66公克，泥沙堆積率約為17%。

表15、截面為不同幾何形狀的模型周圍在水流沖刷後的泥沙堆積重量

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
圓形	261	253	242	247	241	249
橢圓形	282	265	269	276	281	275
正方形	322	306	309	320	304	312
三角形	290	293	282	277	280	284
水滴流線型	75	63	69	77	65	70
雙尖流線型	65	68	69	62	64	66

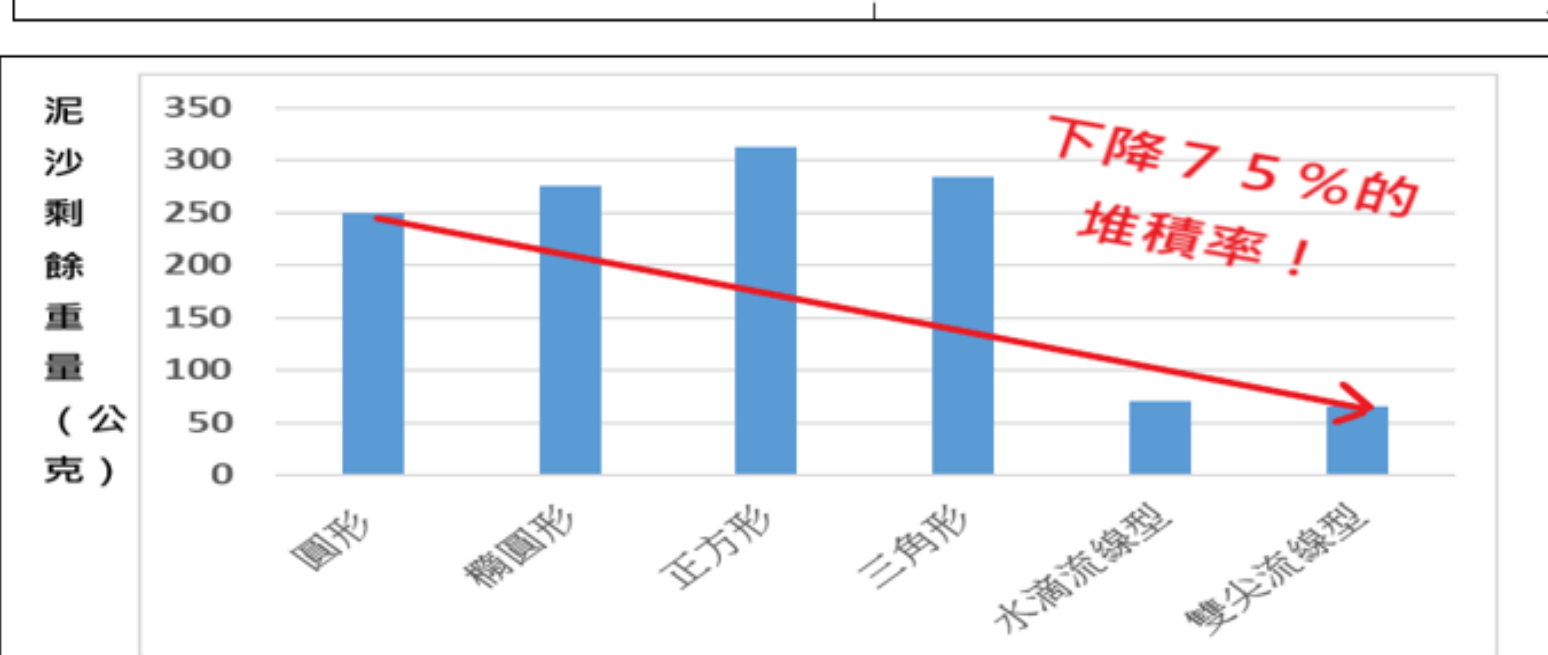


圖73、截面為不同幾何形狀的模型周圍在水流沖刷後的泥沙堆積率比較(來源:本研究自行繪製)。

# 實驗五 探究截面為不同幾何形狀的碼頭基樁模型，造成砂膠小魚堆積的影響

我們進一步比較截面為不同幾何形狀的碼頭基樁模型，在同樣的實驗條件下，柱體周圍沖刷後的砂膠小魚堆積數量如何。圓形在沖刷後砂膠小魚堆積率為40%。橢圓形的堆積43%，正方形的堆積率為58%，三角形的堆積率為44%，水滴流線型在沖刷後砂膠小魚堆積率只有15%。雙尖流線型則更勝一籌，砂膠小魚堆積率僅13%。若將圓形模型改為雙尖流線型模型，砂膠小魚堆積率從40%下降至13%，減少了65%的堆積!

# 伍、研究討論

- 一、設計碼頭河流的模型的微型實驗：我們請採用成本規模較小的微型實驗，也可簡化實驗的操縱變因，例如操作碼頭基樁地不同形狀，以呈現水流侵蝕和泥沙堆積的樣態，如此在較小的範圍內進行河流的微型實驗，節省實驗設備和材料的成本，又能讓學生實驗操作環保議題，值得推廣。
- 二、碼頭基樁截面的不同形狀會影響碼頭基樁水流侵蝕和泥沙堆積：我們假設基樁的不同形狀會影響水流的侵蝕，進而影響泥沙堆積，和異物如死魚堆積。經過科學的實驗數據，證明水流在遇到柱體並非直接繞過，而是會因柱體形狀不同而產生不同的侵蝕和堆積的現象。

# 陸、結論

- 一、風向和風速對死魚堆積的影響  
當模擬西南風吹向碼頭時，碼頭範圍內堆積的小魚占總數的62%，是東北風條件下的2.2倍。建議碼頭的位置應避免迎向夏季西南季風，可以大幅增加死魚堆積。
- 二、浪的大小對泥沙和死魚堆積的影響  
當製造大浪時，碼頭中心的泥沙高度下降率達42%，是小浪條件下的4倍。製造大浪時，砂膠小魚的堆積率為32%，是小浪條件下的一半。建議碼頭在夏季可以人工造浪，以減少河岸碼頭附近的死魚堆積。
- 三、截面為不同幾何形狀碼頭基樁對砂膠小魚堆積的影響  
實驗結果發現，水滴流線型在沖刷後的砂膠小魚堆積率只有15%或雙尖流線型為13%，都遠優於圓形的40%的砂膠小魚堆積率。建議碼頭基樁可設計為截面形狀水滴流線型或雙尖流線型，比較一般的圓形的碼頭基樁，可以有效減少65%的砂膠小魚堆積率。
- 四、增加被動式雨水引流沖刷設計，可以節省成本  
碼頭基樁在考慮不改變原本碼頭基樁的設計，加上被動式雨水引流沖刷裝置，可以被動式利用水流將原柱體的碼頭基樁後方的負壓區改正壓區，經過實驗反覆驗證，增加水流可以減少泥沙堆積，也能減少碼頭死魚堆積的問題。建議碼頭基樁上方皆能有被動式設計，將雨水引流，將柱體後的負壓區改為正壓區，也能有效降低22%的死魚堆積率。  
風向和風速、浪的大以及碼頭基樁的幾何形狀，都是影響碼頭附近死魚堆積的關鍵因素。通過合理規劃和設計，可以有效降低這一環境污染問題。未來可進一步探討更多的影響因素和對策，以期為河岸碼頭的環境保護貢獻更多成果。

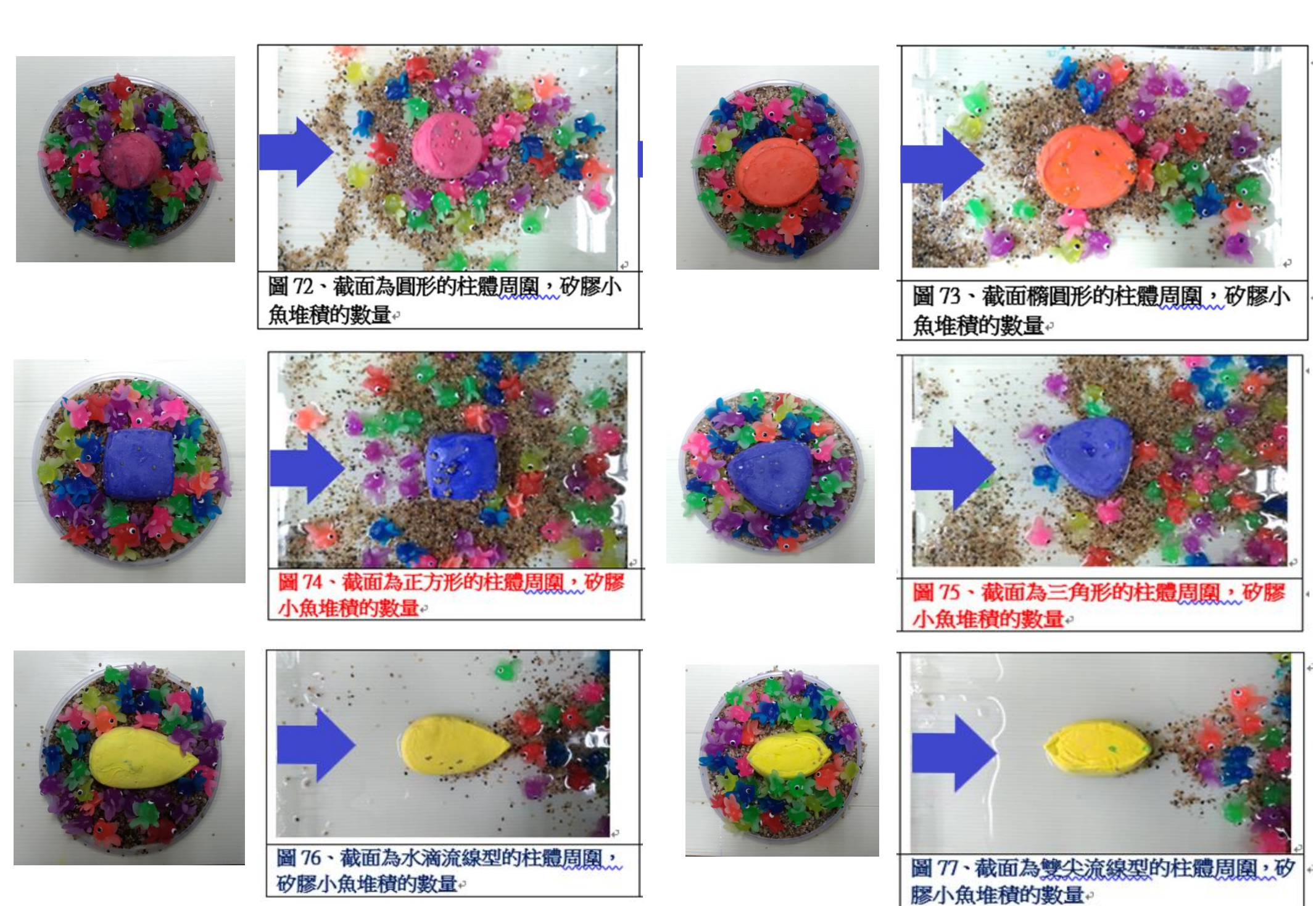


表16、截面為不同幾何形狀的柱體周圍，砂膠小魚堆積的數量百分率

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
圓形	43	38	36	42	39	40
橢圓形	43	46	49	48	47	43
正方形	56	58	64	60	54	58
三角形	43	38	48	45	48	44
水滴流線型	13	17	19	15	12	15
雙尖流線型	11	15	16	12	10	13

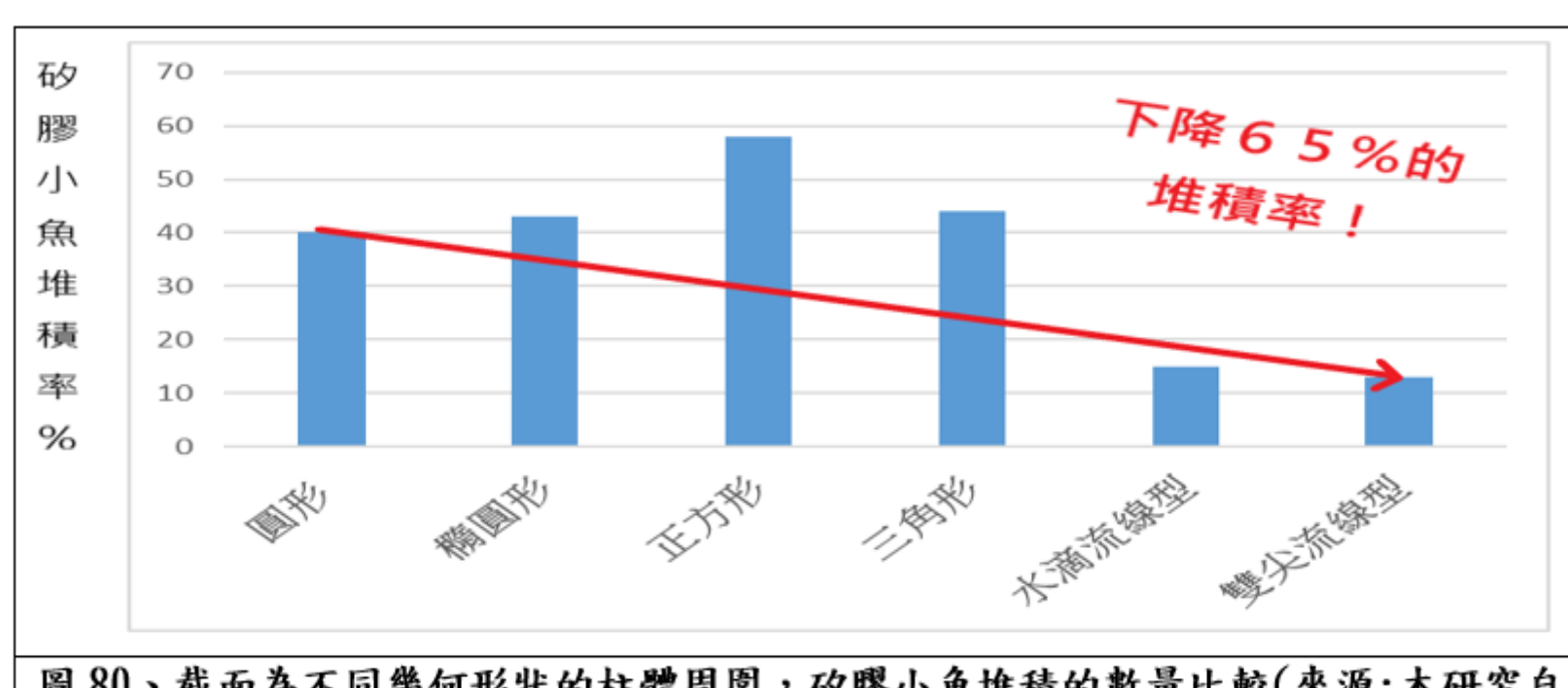


圖80、截面為不同幾何形狀的柱體周圍，砂膠小魚堆積的數量比較(來源:本研究自行繪製)。

# 實驗六 探究以被動式設計雨水沖沙盒在墩式柱體的上方，以減少砂膠小魚的堆積率

我們用簡易塑膠盒(長20公分，寬13公分，高5公分)，在中心與圓柱體貼合的圓形兩側，各挖開1公分直徑的小洞，接上適合的透明塑膠軟管，將水管引流至柱體兩側，就是簡易的雨水沖刷裝置了。放置在圓形模型的柱體上，另在模型版中心直徑長15公分的圓形區域內，均勻佈滿徑長1.2~2.4毫米的細沙，再將碼頭基樁柱體模型放置已佈滿細沙的塑膠圓環區域上，以馬達製造每分鐘30公尺的水流速度沖刷1分鐘，測量在實驗板上的砂膠小魚數量。

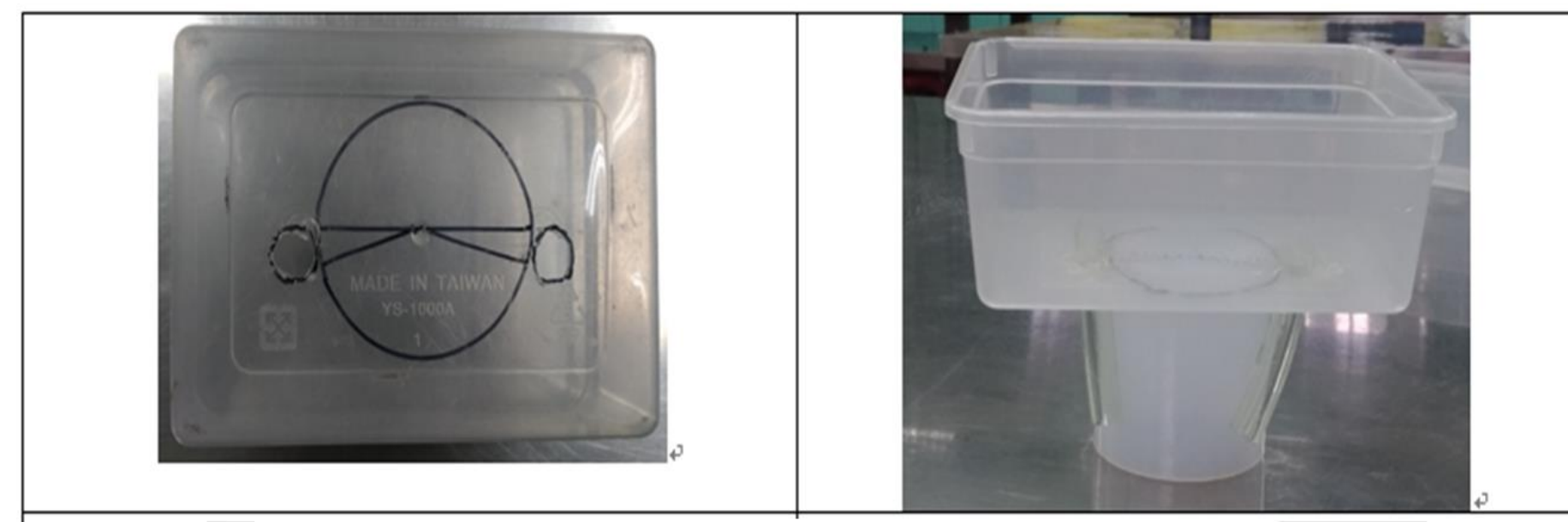


圖81、在塑膠盒內，圓形直徑投影的兩側挖洞，引雨水沖刷將負壓區改為正壓區，也可減少碼頭基樁附近的堆積。

## 二、實驗結果:

- 1. 泥沙堆積率：沖刷前的泥沙為392公克，沖刷後平均重量為284公克，泥沙堆積率為72%，亦即雨水沖刷的被動式裝置，可以減少28%的泥沙堆積率。
- 2. 砂膠小魚堆積率：沖刷前為100隻砂膠小魚，沖刷後平均留下78隻砂膠小魚，小魚堆積率為78%，亦即雨水沖刷的被動式裝置，也可以減少22%的砂膠小魚堆積率。

表17、長管雨水沖裝置在圓形模型的剩餘泥沙重量

剩餘泥沙重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	290	293	282	277	280	284

表18、長管雨水沖裝置在圓形模型的剩餘砂膠小魚數量

剩餘小魚數量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
	77	81	76	82	72	78



圖84、長管雨水沖裝置在圓形模型周圍，泥沙沖刷效果明顯(來源:本研究自行拍攝)。

# 柒、參考文獻

- 一、中文部份
  - (一)期刊文章  
曾文水庫泥沙濃度觀測建置及泥沙運移研究暨數模分析規劃(2013)，南區水資源局。<https://tw.weatherspark.com/>
  - (二)媒體報導  
陳靖宜(2018年8月15日)。高溫魚災擴大? 河流水岸邊也出現上萬條死魚。聯合新聞網。News <https://news.housefun.com.tw/news/article/786380204274.html>
  - (三)文獻理論  
卡門渦街理論、流體阻力係數、康達效應。維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/>
  - (四)相關科展研究:「水落石出-探討水流在不同障礙物形狀與排列下的流動現象」等。網路科教館。<https://www.ntsec.edu.tw/>