

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	180009
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	護「灘」神「扇」— 風扇擾流應用於延緩突堤效應
得獎獎項	大會獎 四等獎

就讀學校 臺南市私立德光高級中學

指導教師 林聖鈞

作者姓名 林芄安、謝定宏

關鍵詞 漂沙、突堤效應、風扇擾波

作者簡介



林芫安（左邊）對科學實驗充滿好奇心，為了更深入的探討本次研究，自學微積分及趨勢方程式並應用自如。謝定宏（右邊）對實作、影音充滿興趣，設計水缸模型並將實驗過程轉至影音媒體。從頭到尾一同購買實驗素材，組裝器材，完成本次研究。

摘要

本研究以維繫現今環境，使人類保有生存優勢為前提，旨在探討於海水面下裝設風扇，藉風扇擾流改變沿岸流所挾帶漂沙之沉積分布，延緩突堤效應造成之負面影響。研究先以煙霧觀測五葉、七葉及九葉風扇擾流情形，再透過水流及螢光沙模擬安平商港外海，取得裝設各風扇後漂沙沉積變化過程。除可用於預測近表層沿岸流沉積外，也可套用於海底恆流。未來期望針對流量、流速與地形坡度等作出量化數據，以求得函數模型。另外，亦期望發展洋流發電、綠色能源等各種應用。

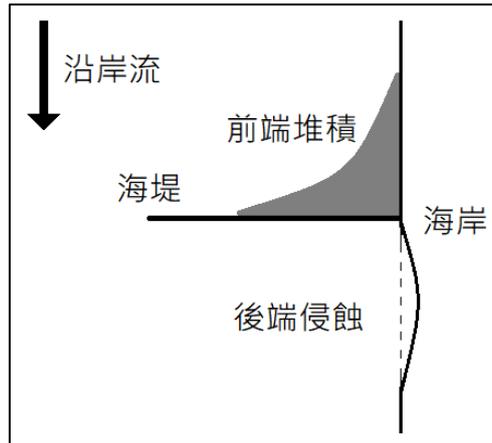
Abstract

This study focuses on installation of fans under sea surface to change the distribution of floating sand carried by the longshore current by fan turbulence and delay the negative impact caused by the groin effect. The study first observes the turbulence of five-leaf, seven-leaf, and nine-leaf fans with smoke, and then simulates the sea off Anping Commercial Port through water flow and fluorescent sand, and obtains the process of drifting sand deposition after each fan is installed. In addition to predicting the deposition of near-surface coastal currents, it can also be applied to seabed constant currents. In the future, it is expected to make quantitative data for flow, velocity, and terrain slope to obtain a functional model. Furthermore, it is also expected to develop various application such as ocean current power generation and green energy.

壹、前言

一、研究動機

身為海島的台灣，原本擁有美麗的沙灘。遙想當年，夕陽的餘暉灑落在一望無際的廣闊沙灘上，黃金海岸的風光深深地烙印在許多人的記憶中。然而在突堤效應的影響下，美麗沙灘不復存在。看到這個景況，促使身為台灣公民的我們升起熱忱，思考因應之道。要之，本研究嘗試利用風扇於海中受沿岸流推動轉動，進而對海流產生擾動並改變漂沙方向和沉沙趨勢等優勢。



圖一：突堤效應示意圖

二、研究目的

- (一) 改善安平港以南黃金海岸逐年受侵蝕、沙灘縮減問題。
- (二) 利用風扇擾流對海流作用以延緩突堤效應帶來之負面影響。

三、研究設備及器材

- (一) 以煙霧觀察不同風扇擾流性質之實驗

表一：煙霧擾流實驗器材表

設備	使用器材	註解
實驗用風扇	五葉扇 (<u>Cooler Master</u> 風壓型)	觀察不同葉數風扇擾流現象
	七葉扇 (<u>Cooler Master</u> 風量型)	
	九葉扇 (<u>Cooler Master</u> 平衡型)	
電路連接	大 3pin 轉小 3pin	連接風扇線路
	鱷魚夾	以並聯法連接 (電壓相等)
	直流電源供應器	供應 12 V 電壓
輸煙管路	立體四通、三通、L 型二通	使用於 PVC 管連接處
	洩壓閥	實驗開關
	PVC 異徑管	用於連結直徑不同之風扇和透明塑膠軟管

	PVC 四分管	煙霧管線
煙霧及 儲煙室	400w Fogger 製煙機、煙油	提供實驗所需煙霧
	大寶特瓶	儲煙室
	大寶特瓶	頭尾切除並放置內嵌風扇之保麗龍
	保麗龍板	一側厚度為 7cm 並裝設風扇， 另一側厚度為 4.5cm 連接 PVC 管
風扇區 擾流觀 測區工 具	透明塑膠軟管	觀測風扇擾流現象
	木條、固定鐵片	製作軟管之底部基座
	鐵箍環	固定軟管
	燈源機	從軟管末端管口向內照射便於 錄影觀測
	攝影機	記錄煙霧變化、擾流情形等
	保麗龍切割器	以 28GA 鎳鉻絲、支架 和 PVC 管自製

(二) 風扇擾流對水中螢光沙散布之實驗

表二：螢光沙擾流散布實驗器材表

設備	使用器材	註解
水槽	壓克力水箱	182cm×42cm×34.5cm，模擬實驗海域
	抽水馬達、 輸水塑膠軟管	將蓄水槽水輸向入水槽製作水壓差
	木板、木條、 L 型鐵片	製作 11°斜板使水缸傾斜，以模擬海岸斜坡
沙板	UVA365nm 紫外線燈管	紫外線照射螢光沙以便於觀察漂沙散布
	賽璐璐板	底板
	貼合噴膠	黏著底沙
標準網格	沙	直粒徑介於 0.16~0.40mm 間

	賽璐璐板	以遮蓋膠帶在賽璐璐板上貼出 5x5cm 網格， 覆蓋標準網格建立座標，求出散布圖形函數
	遮蓋膠帶	
螢光沙	紅色螢光漆	以紫外線照射產生螢光，便於觀測
	松香水	作為螢光漆溶劑
	沙	將沙染上螢光漆並風乾、磨碎備用
風扇	五葉扇	觀察不同葉數風扇擾流現象
	七葉扇	
	九葉扇	
	PVC 管、保麗龍	風扇鑲嵌固定於 PVC 管內保麗龍
	賽璐璐板、保麗龍、 泡棉膠、矽利康	填補風扇前端與 PVC 管間空隙、直角變因
工具	針筒、細水管	實驗後先以細水管利用虹吸現象將大部分螢 光沙吸出，再用針筒清除沙板上殘餘螢光沙
	保麗龍切割器	以 28GA 鎳鉻絲切割、支架以 PVC 管自製

貳、研究方法或過程

一、研究方法總述

- (一) 閱讀安平港以及黃金海岸海域相關文獻資料，了解該處海岸和沿岸流特性以及突堤效應對該地之影響。
- (二) 參照本實驗所選風扇 Cooler Master 官網提供風扇特性資料，風扇分為：「五葉風壓型、七葉風量型、九葉平衡型」，以相同控制變因（如電壓供應等）下，利用煙霧觀察各風扇的疏導以及擾流現象，觀察並驗證各組風扇疏導和擾流情形。

表三：風扇特性數據

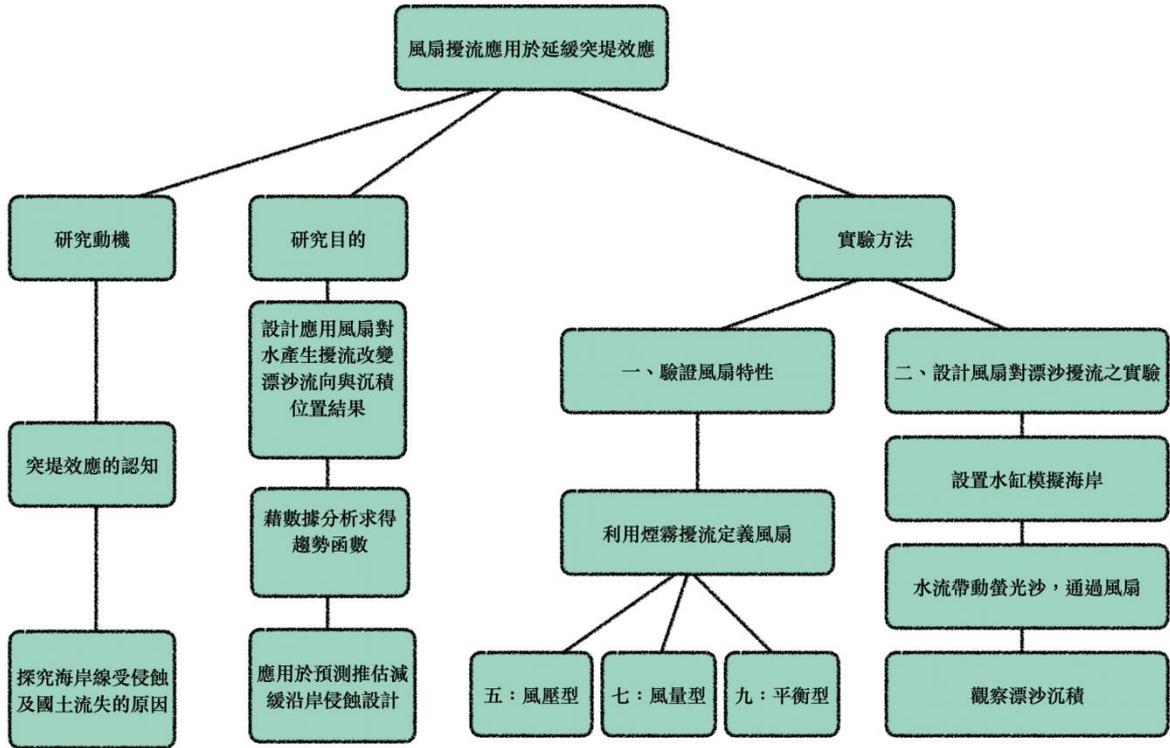
風扇名稱	風壓型	風量型	平衡型
葉數	五	七	九
模式	固定模式：P Mode （本實驗著重於葉片本身產生之擾流，而非馬達之通電運轉性能，因此將三組模式設為一致，且以表現結果最佳之 P Mode 呈現。）		
額定轉速 （RPM）（每分鐘轉速）	固定為 650~2500		
電壓 （VDC）（伏特）	固定為 12		
風壓值 （mmH ₂ O）（毫米水柱）	4.60	2.61	3.63
單位風量值 （CFM）（立方英尺／分鐘）	62.1	84.5	83.1
單一風扇風量值 （L／min）（公升／分鐘）	1757.43	2391.35	2351.73

註：資料由 Cooler Master 官方提供

- （三）以傾斜水缸模擬海岸地形，並參考煙霧實驗結果操作實驗，比對原始狀態（對照組）設置三種風扇後對水流狹帶之漂沙分布影響，做出風扇對突堤效應延緩的應用假設。
1. 實驗組：五葉扇、七葉扇、九葉扇
 2. 對照組：空管組（無裝設風扇，模擬原始海域漂沙現象）
- （四）歸納上述實驗結果並分析數據，提出突堤效應的延緩方法。

二、實驗設計

(一) 實驗設計總述



圖二：實驗架構圖

實驗共分為四部分。分別為一：「風扇於空氣中對煙霧擾流觀查」、二：「風扇於水中對螢光沙散布觀察」、三：「兩倍沙量螢光沙散布觀察」以及四：「驗證所發現之風扇應用特性」。

第一部分「風扇於空氣中對煙霧擾流觀查」(參見圖三)。將風扇置於保特瓶中，一側連接來自儲煙室的 PVC 管注入煙霧，另一側連接異徑管及透明塑膠軟管，觀察煙霧通過風扇後之結果；另外，於透明管後端放置燈源機提供光源，以反射煙霧方便觀測其受擾流的影響。儲煙室以三個寶特瓶倒置，於瓶蓋端接出 PVC 管，並分別連接製煙機充煙口和風扇區。儲煙室與風扇間則以 L 型管、立體四通和 PVC 管連接，將煙霧由立體四通上方導入並分別輸至三組風扇區，供給風扇煙霧(立體四通使用原因於表四詳述)。製煙機、儲煙室下方、L 型管前方皆裝設洩壓閥以作為實驗操作時之開關(洩壓閥編號參見圖四)。

第二部分「風扇於水中對螢光沙散布觀察」。於水缸下方堆疊木板、木條架設傾斜角度以模擬安平商港外海及黃金海岸之 11° 坡度（參見引註資料一），並以 L 型鐵片在外側加固強化水缸受壓結構。水缸共分隔為三區：入水槽、觀測槽、蓄水槽（參見圖九）。將風扇裝設於入水槽－觀測槽間隔板上，再由蓄水槽之沉水馬達將水定量輸至入水槽，使該槽水面上升。藉由蓄水槽之靜水壓及其與觀測槽間之連通管結構使水流量流經風扇並注入觀測槽，以模擬沿岸流之流動。觀測槽底部鋪上預製沙板以模擬海底底床，利用缸底沙板及 11° 傾斜角模擬黃金海岸坡度，觀察螢光沙通過無風扇（對照組）與不同風扇（實驗組）後之漂沙散布情形。此外針對槽內用水循環設計，於觀測槽－蓄水槽間裝設較低之壓克力板為控制擋板，藉此維持觀測槽水量，且當水位高度超過擋板，則觀測槽水能溢入蓄水槽以形成循環，並預防觀測槽之螢光沙流入蓄水槽。此外，於觀測槽外側裝設 UVA 燈管，並架設攝影機負片模式拍攝以清楚觀測螢光沙散布。各組風扇裝設於 PVC 管中，再將之鑲嵌於預先切割好之入水槽－觀測槽間隔板上。實驗前則透過頂端切除之針筒將定量螢光沙注入 PVC 管中，藉此模擬漂沙實驗。此外，於實驗結束時覆蓋標準網格建立笛卡爾座標後，可代入座標求出散布圖形邊界之非線性函數。實驗結果之圖形數據分析係透過積分法求出圖形邊界之上下兩函數間散布面積，再以上下函數中點連線求出散布趨勢曲線，計算趨勢函數之曲率比較擾流情形強弱，將實驗結果數據化，推導函數模型，預測未來地景變化。

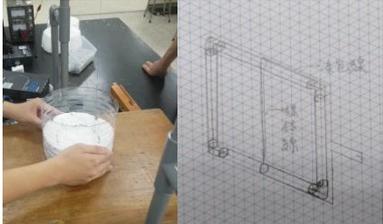
第三部分「兩倍沙量螢光沙散布觀察」。由於沿岸流為長時間影響海岸之海流，為求得更精確之實驗數據，將實驗時間延長至 1 小時，經計算後同時將螢光沙量增加，使實驗結果更趨近於實際海域之狀況且使散布趨勢更加明顯精準。藉此實驗發現漂沙集中度更高、沉積分佈曲線更加明顯，進而清楚獲得對照組與各風扇沉沙分佈狀況。

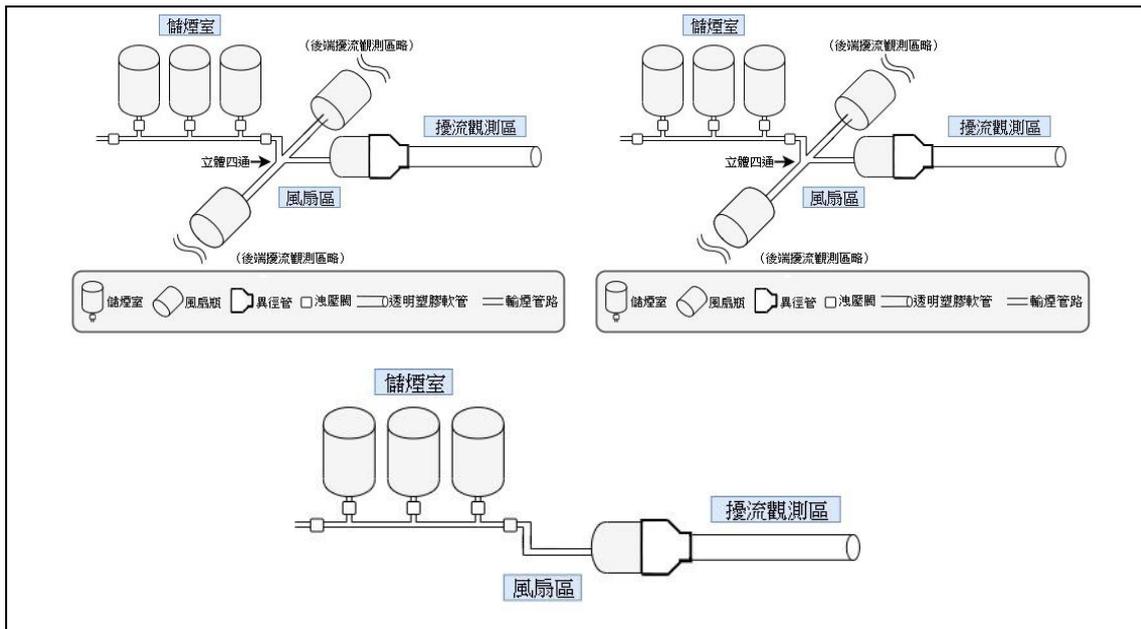
第四部分「驗證所發現之風扇應用特性」。以相同水缸配合坡度的模擬與突堤的製作，觀測各組沉沙分佈。

(二) 第一部分實驗設計

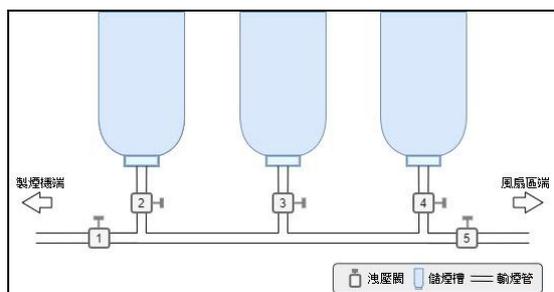
表四：風扇於空氣中對煙霧擾流觀查實驗設計表

設備	用途	註解
煙霧供應	利用煙霧製造機(400w Fogger)使煙油轉換為煙霧，再將噴煙口對準儲煙室下之四分管分別注入儲存。	原計畫另設燃燒室、燃煙餅供煙，然經嘗試有疏導效果不佳、硫惡臭污染環境等問題，且燃燒煙餅放熱易損壞器材(嘗試墊沙保護，如圖五，但煙餅於沙上極不易點燃而失敗)。為此改以製煙機製煙。
儲煙室	以三組大寶特瓶作為儲煙空間，於各瓶蓋處鑽孔、接上止閥接頭連結四分管，並於四分管處各裝上洩壓閥以控制煙霧進出。	洩壓閥編號參見圖七。
	於瓶頂端鑽數個小洞，以此平衡壓力、使煙霧能順利導入瓶中。	充煙時可依據洞口是否冒煙判定充滿與否。由於該處逸失煙量相比整體煙量微乎其微，因此不影響實驗。
	因油滴煙霧粒子質量較大，噴出後動能逐漸消失，煙霧將停止懸浮漸漸向下沉，故將寶特瓶倒立放置儲煙以免過度逸散	/
輸煙管路	<p>儲煙室導出之煙霧經 L 型二通向下導入立體四通上方開口，再從其餘三個開口流出並疏導至風扇區。</p>  <p>圖三：輸煙管路</p>	由於平面十字形結構的平面四通會使煙霧流經時導致往兩端之風扇存在 90°轉角，而往中間之風扇並無轉角，使大部分煙霧僅直線前進而不向兩側輸送。進而使實驗結果誤差、無法明確顯示風扇特性。而立體四通使三組風扇間管路皆產生 90°轉角，煙霧皆需轉向 90°輸往各風扇。因此消除單一風扇無轉角產生之實驗變因與誤差，故以立體四通連結。
風扇	截取大寶特瓶中間圓柱狀處。一側填塞 4.5cm 厚保麗龍並鑽洞，以接	保麗龍裁切方法： 由於市面上的保麗龍切割器較

區	<p>上來自儲煙室之煙霧管路；另一側填塞 7cm 厚保麗龍，並將風扇鑲嵌於其上。使得煙霧能經由管路導入瓶內並通過風扇。</p>	<p>小，不利於切割 7cm 之厚保麗龍，因此自製一臺大型保麗龍切割器使用。</p>
	<p>風扇後方裝設異徑管，以連接管徑不同之風扇寶特瓶和擾流觀測區之透明管。</p>	<p>利用 PVC 管作為支架，並於上下兩 PVC 管各綁上漆包線，漆包線一端以鱷魚夾連接直流電源供應器，另一端接上 28GA 粗度之鎳鉻絲(通電後可產生高溫，為切割器常用金屬絲)。</p> <p>將保麗龍板置於載物平台上，並通以 5V 電壓切割。</p>  <p>圖四：保麗龍切割器、設計圖</p>
擾流觀測區	<p>以透明塑膠管作為觀測空間，一端連接風扇區之異徑管，另一側為開放式使煙霧流出。</p>	 <p>圖五：異徑管及擾流觀測區</p>
	<p>所用之塑膠管為軟性材質，因此以木條、鐵片製成一底座，於其上放置塑膠管並以鐵箍環固定，使之保持筆直。</p>	<p>為使塑膠軟管較為平直、避免過度形變，預先以酒精燈烘烤加熱並將之塑型。</p>
	<p>管末端出口處放置燈源機向內照射，並於觀測區一側裝設攝影機以負片模式全程記錄。</p>	<p>負片模式可較清楚地觀察煙霧運行變化。</p>



圖六：風扇於空氣中對煙霧擾流觀查實驗設計側視圖



圖七：儲煙室洩壓閥編號



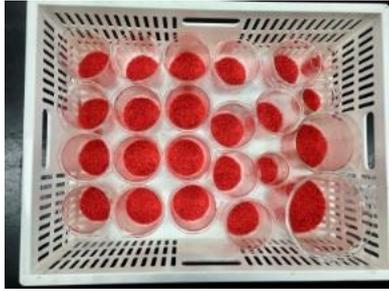
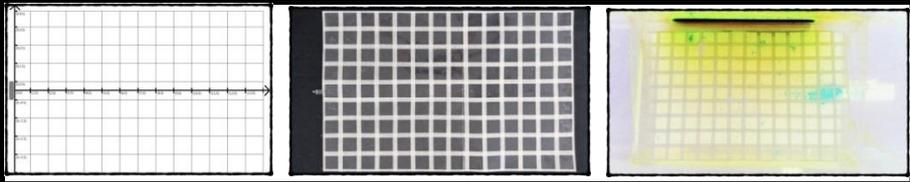
圖八：原始墊沙法設計（未採用）

（三）第二、三部分實驗設計

表五：風扇於水中對螢光沙散布觀察實驗設計表

設備	用途	註解
水缸	利用水缸模擬黃金海岸環境（如水流、11°斜坡等）。區分為入水槽、觀測槽以及蓄水槽。	 <p>圖九：水平儀測量水缸坡度</p>
	入水、觀測兩槽間壓克力板上裝設風扇，以入水槽水位	藉由靜水壓以及連通管原理使水流定量流經風扇並注入觀測槽，以模擬沿

	上升產生之水流推動風扇。	岸流。
	觀測、蓄水兩槽中隔板使觀測槽水能溢入蓄水槽以形成循環，並預防觀測槽螢光沙流入蓄水槽。	水槽分區參見圖十五。
風扇	<p>使用五、七、九三種葉數之風扇及無風扇空管實驗為對照組，觀測海流帶動螢光沙之改變記錄，並以固定截面風扇控制單位時間內流量一致。</p> <p>做法為將風扇鑲嵌於保麗龍以白膠黏附，再置入內徑大小一致之 PVC 管中以白膠黏附後封上矽利康加固。並以賽璐璐捲成圓筒附於保麗龍上，避免螢光沙摩擦阻力。</p>	 <p>圖十：風扇管前端</p>  <p>圖十一：風扇管後端</p>
缸底斜板	以木板、木條、L型鐵片製成斜坡並反覆測量調整直至11°，再將水缸至於其上。	<p>由《安平海域漂沙現場調查》得知坡度為11°。</p> <p>(本設計可因應不同海域之坡度進行調整。)</p>
沙板	於賽璐璐板重複噴上噴膠、鋪沙。完成後將之置入觀測槽底部，作為螢光沙著床處和觀察區。	加入沙板用於模擬海洋底床。
抽水馬達	於蓄水槽內放置抽水馬達，將水流抽送至入水槽，再流經觀測槽後回流蓄水槽達成循環。	<p>抽水馬達注入入水槽之水量需使人、觀兩水槽中風扇開口產生1600L/hr.之定量流量、20.1cm/hr.流速，因此需反覆量測、微調馬達抽水量。</p> <p>(推算法於本段(四)詳述)</p>
紅色螢光沙	將紅色螢光漆及松香水依比例混合後加入原沙攪拌均勻，之後鋪平置於陽光下曝曬乾燥，並將些許結塊沙粒以石	<p>此方法係參考《海岸碎波帶漂沙現場試驗》一文。以螢光漆、松香水、沙三者體積比依序為1:2:12。</p> <p>然沙子間仍存在空隙，不宜直接觀</p>

	<p>杵搗碎。</p> <p>根據上述文獻，安平商港至黃金海岸一帶之漂沙平均直徑為 0.16~0.40mm 之間，故螢光沙亦採此粒徑作為原沙。</p>	<p>察量筒刻度判斷體積，故以排水法測量：加水使沙子密實沉澱、填滿空隙，更為準確量測實際體積。經多次量測沙量為 22mL 時加水至等量，以排水法扣除加水量可求得實際沙量為 12mL。故依此換算後實際製作螢光沙之體積比例調整為螢光漆、松香水、沙為 1 : 2 : 22。</p>
	 <p>圖十二：螢光沙製備</p>	 <p>圖十三：螢光沙成品</p>
標準 網格	<p>以遮蓋膠帶在賽璐璐板上貼出 5x5cm 網格，作為座標依據。</p>	<p>實驗結束後將標準網格覆蓋於水面上，以建立座標。進而代入座標求出散布圖形之邊界函數、利用積分法求出圖形上下兩函數間散布面積，以及趨勢曲線和趨勢線曲率。</p>
	 <p>圖十四：標準網格（網格座標系、網格成品、覆蓋實圖）</p>	



圖十五：風扇於水中對螢光沙散布觀察實驗設計俯視圖



圖十六：水缸俯視圖

(四) 第二部分文獻探討與實驗數據計算

1. 突堤效應及海流性質簡述

當海岸有人工建築物向外突出時，將阻擋原先沿岸流以及漂沙路徑，使得海岸平衡機制遭受破壞。其中突堤前端堆積作用增大，導致泥沙淤積。突堤後端原先之漂沙供應受阻斷，逐漸使後端海岸受侵蝕。突堤效應將使得港口使用年限下降，因此著手進行實驗。閱讀文獻得知，海流組成主要由大範圍長時間之恒流、風吹流及潮流所組成。

- (1) 恒流為大範圍長期之洋流活動（如黑潮），主流於外海影響較顯著。此海流雖有季節性強弱變化但較能被推估。
- (2) 風吹流為近表海洋受風吹送所產生，季風盛行時搬運作用可觀。
- (3) 潮流為受潮汐影響形成較規律性之海流，其搬運之方向偏向風向之右側。
- (4) 沿岸流為受斜向入射波或沿岸波高不同等原因，發生變形及破碎所引起之沿海岸方向水流。此外其他影響沿岸流的因素還有剪應力、科氏力及床底摩擦力等變因。

2. 實驗所需流量

所需流量等於流體流速與管徑截面積的乘積，即：

$$Q = AV$$

式中 Q：實驗所需流量
 A：風扇截面積

V：實際海域平均流速

經測量得知本實驗採用之風扇直徑為 3.75cm。由《安平海域漂沙現場調查》論文中，作者李友平等人透過自由浮標追蹤測得安平商港外海沿岸流平均流速為 20.1cm/s。另外根據《台灣地區國內商港附近海域海氣象觀測分析研究(1/4)》(參見引註資料二)之研究，交通部運輸研究所亦測得平均流速為 20.1cm/s。因此依據直徑及流速可得到實驗所需流量為：

$$(3.75 \div 2)^2 \times \pi \times 20.1 \times (60 \times 60) \div 1000 = 800 \text{ L/hr}$$

3. 實驗所需螢光沙量

《海岸碎波帶漂沙現場試驗》(參見引註資料三)中，作者李友平等人使用 100kg 之螢光沙於 105m 乘以 20m 大小之選定地進行實地觀測。本次實驗所用水缸大小為 45.5cm 乘以 70cm，因此根據沙量比以及面積比列式求得所需沙量：

$$A_1 / A_2 = M_1 / M_2$$

式中 A_1 為論文中選定地面積

A_2 為實驗觀測區面積

M_1 為論文中使用螢光沙量

M_2 為實驗使用螢光沙量

可以依比例計算得到本實驗所需螢光沙量為：

$$45.5 \times 70 \times 10^5 \div 20 \times 105 \times 10^4 \approx 15.2 \text{ g}$$

(實驗時四捨五入取至整數位：15g)

4. 實驗用螢光沙密度測量

量測螢光沙密度，利用排水法。首先於量筒中盛裝 70 毫升水，再將 50 公克螢光沙倒入，讀取體積。量筒中水上升至 91 毫升，故螢光沙密度經計算後得知 2.381 g/cm^3 。

(五) 第三部分實驗設計

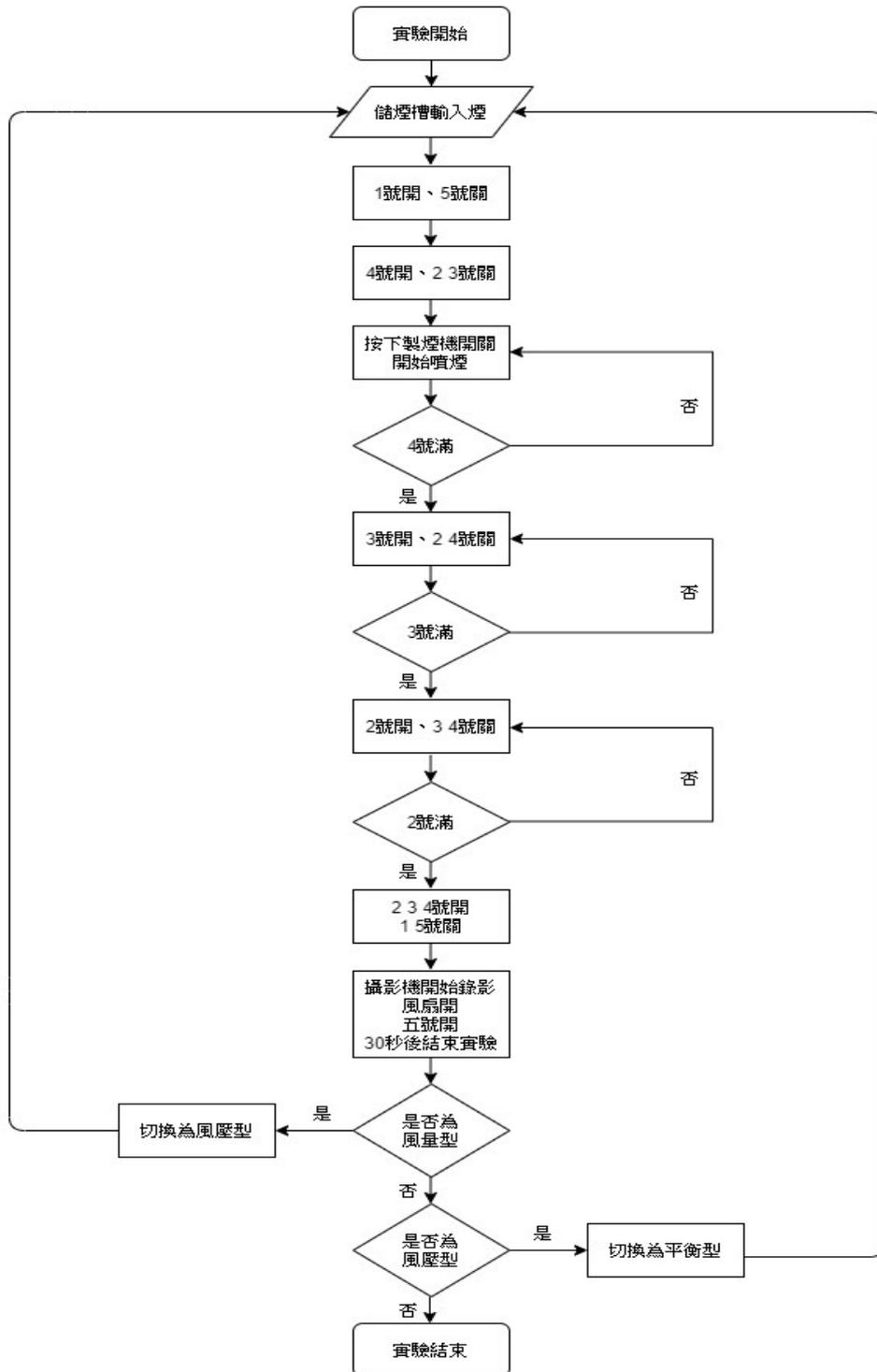
本實驗同「風扇於水中對螢光沙散布觀察」之設計，唯時間自 12 min 提升至 1 小時，螢光沙量增加至 30g。

(六) 第四部分實驗設計

為驗證所提出之應用方法，風壓型風扇配合突堤的製作；
風量型風扇配合垂直海岸線方向模擬；平衡型風扇為長期造灘
效應，將時間延長至 40 小時以更趨近於實際情況。

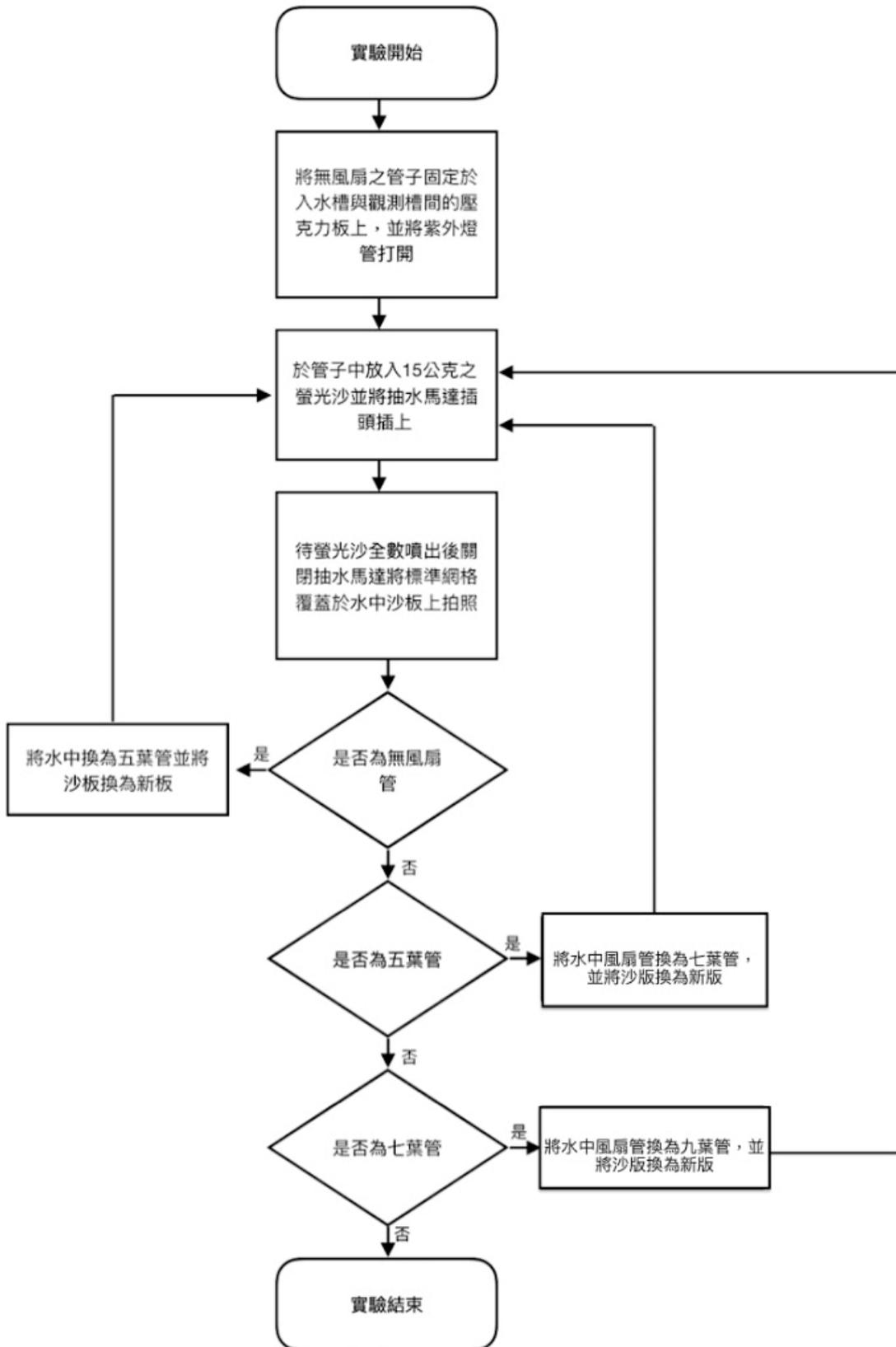
三、實驗流程

(一) 第一部分實驗流程圖



圖十七：第一部分實驗流程圖

(二) 第二部分實驗流程圖



圖十八：第二部分實驗流程圖

(第三部分實驗同上，唯螢光沙改為 30g 和時間延長至 1hr)

參、研究結果與討論

一、風扇於空氣中對煙霧擾流觀查結果

表六：風扇於空氣中對煙霧擾流觀查結果比較表

風扇	風壓型	風量型	平衡型
流速	快	中	慢
單位時間流量	中	大	小
流量變化	中	大	小
煙霧擾流間距	長	中	短
擾流強弱	強	中	弱

(一) 風壓型（五葉）風扇

風壓型的流速快速，短時間內即迅速排出煙霧。且由於管內煙濃度大量增加阻擋末端光源，近風扇端漸趨昏暗。故風壓型所產生之擾流情形最為顯著，煙霧通過風扇後便以逆時針向前旋出，呈現螺旋形快速向前運動，由於前進快速，肉眼觀察亦可清楚辨識，如圖十九至二十二及影片所示。

(影片網址：<https://www.youtube.com/watch?v=knCAXghIi-4>)



圖十九：啟動前



圖二十：啟動後 1



圖二十一：啟動後 2



圖二十二：啟動後 3

(二) 風量型（七葉）風扇

風量型抽煙量為三組中最大，在較短時間內即將儲煙室中的煙霧全部抽出，因此管內煙量濃度變化大。另外，風量型之

流速不如風壓型，因此煙霧減速後末端有逐漸向後堆積。而此濃度高的煙霧團將導致擾流情形相較於風壓型較不明顯，且大量煙霧遮蔽光源亦導致風扇端亮度變暗，如圖二十三至二十六及影片所示。

(影片網址：<https://www.youtube.com/watch?v=NU-IUjB7uiM>)



圖二十三：啟動前



圖二十四：啟動後 1



圖二十五：啟動後 2



圖二十六：啟動後 3

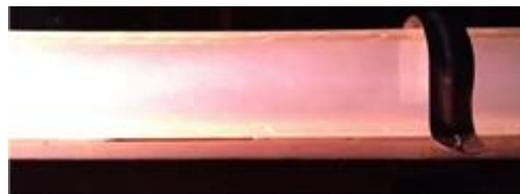
(三) 平衡型 (九葉) 風扇

經比對觀察後發現平衡型流速為三組最慢，煙霧擾流情形也最不明顯。然相較於另兩組的短時間大量輸出，平衡型煙量輸送較穩定，可長時間定量輸送。如圖二十七至三十及影片所示。

(影片網址：<https://www.youtube.com/watch?v=D4FIRAkWZvI>)



圖二十七：啟動前



圖二十八：啟動後 1



圖二十九：啟動後 2



圖三十：啟動後 3

(四)、實驗驗證風扇擾流情形

依據該實驗結果，可驗證三種葉片數風扇之性質。得知風壓型的確能造成最大擾流效果；風量型可產生較大流量；平衡型風扇之流量穩定性突出，於長時間、強穩定性輸送之情形下可發揮效應，亦有其應用之價值。

二、風扇於水中對螢光沙散布觀察結果

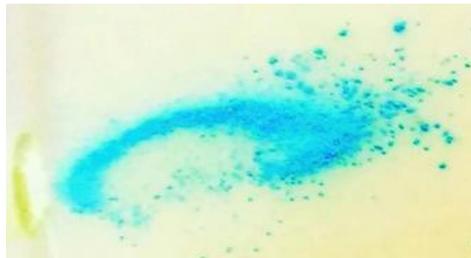
進行對照組空管實驗，螢光沙在出口處即大量沉積於底部，表示侵蝕較堆積作用旺盛且明顯，如圖三十一。裝設風壓型風扇使螢光沙分布呈現如橢圓形之分布，如圖三十二。風量型風扇將螢光沙聚集之效果較佳，使其分布較為集中，且比無風扇時更能將螢光沙帶離到原點較遠位置，如圖三十三。平衡型風扇之螢光沙分布則明顯集中於一條線上，雖有些許橢圓形分布但不如五葉風扇明顯，如圖三十四。



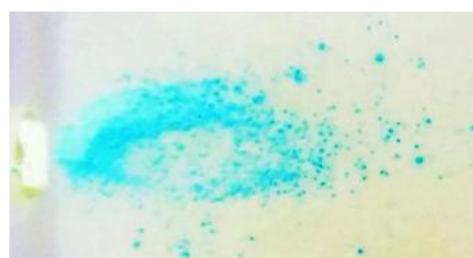
圖三十一：對照組（空管）



圖三十二：風壓型（五葉）



圖三十三：風量型（七葉）



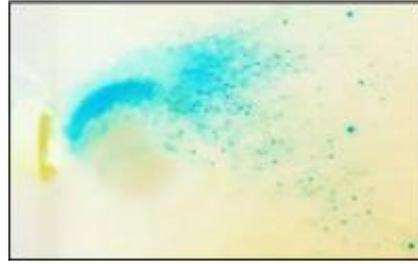
圖三十四：平衡型（九葉）

三、第三階段實驗螢光沙散布結果

經由第三階段實驗，更明顯看出各組螢光沙沈積區域中分為顏色較深及較淺處，分隔處之交界即為沈積趨勢線。相較於第二階段實驗，第三階段因螢光沙量加倍，因此裝設各風扇後沉積情形更加顯著。風壓型風扇在末端具有良好打散效果，可降低單位面積沉沙量。風量型風扇趨勢線最明顯，具最佳漂沙輸送效果。平衡型風扇沈積趨勢線最趨近直線，實際運用時較容易透過風扇擺設角度控制漂沙沈積點。



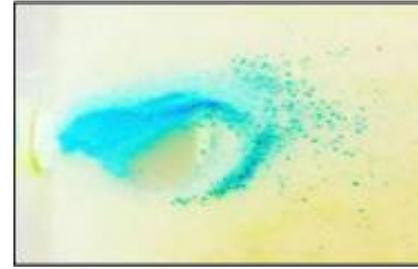
圖三十五：對照組（空管）



圖三十六：風壓型（五葉）



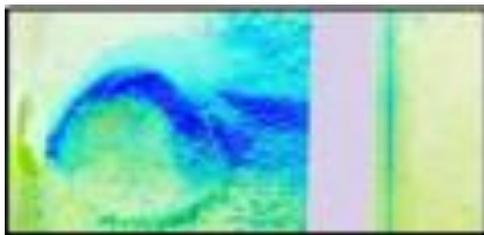
圖三十七：風量型（七葉）



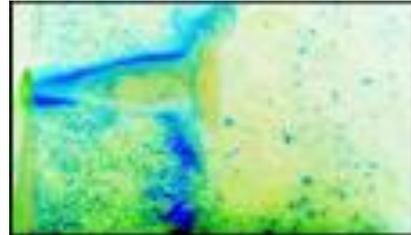
圖三十八：平衡型（九葉）

四、驗證實驗螢光沙散布結果

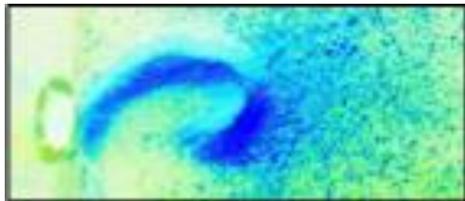
由驗證實驗可知，風壓型風扇裝設於突堤前端，降低單位面積沉沙量；風量型風扇因產生弧形分佈，適用於突堤後端受侵蝕處；平衡型風扇可經由調整與海岸線之夾角，控制漂沙沈積點，便於人工造灘控制。



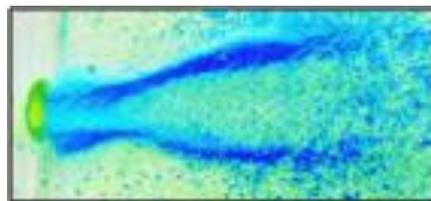
圖三十九：風壓型驗證實驗組



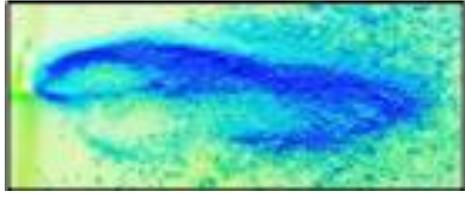
圖四十：風壓型驗證對照組



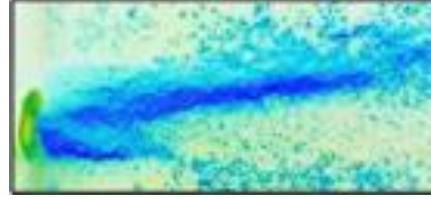
圖四十一：風量型驗證實驗組



圖四十二：風壓型驗證對照組



圖四十三：平衡型驗證實驗組



圖四十四：平衡型實驗對照組

五、數據分析

表七：邊界函數表

		f(x)	g(x)	B(x)
第二階段實驗	對照組	$-0.699x^2 + 0.834x + 0.500$	$0.645x^2 - 0.703x - 0.21$ 8	
	風壓型	$-0.358x^2 + 0.758x + 0.500$	$-0.987x^2 + 1.205x + 0.156$	$0.753x^2 - 1.919x + 1.245$
	風量型	$-0.150x^2 + 0.701x + 0.385$	$-0.339x^2 + 0.750x + 0.046$	$0.538x^2 - 2.447x + 2.772$
	平衡型	$-0.141x^2 + 0.601x + 0.187$	$-0.362x^2 + 1.585x - 1.616$	$0.350x^2 - 1.981x + 2.331$
第三階段實驗	對照組	$-0.333x^2 + 0.459x + 0.556$	$0.782x^2 - 0.702x - 0.134$	
	風壓型	$-0.259x^2 + 1.113x + 0.146$	$-0.524x^2 + 1.117x - 0.115$	$1.106x^2 - 4.189x + 4.169$
	風量型	$-0.116x^2 + 0.580x + 0.247$	$1.437x^2 - 1.188x - 0.068$	$-0.279x^2 + 1.153x - 0.947$
	平衡型	$-0.069x^2 + 0.325x + 0.369$	$0.731x^2 - 0.898x - 0.131$	$-0.989x^2 + 3.242x - 2.510$

註：對照組（空管）、風壓型（五葉）、風量型（七葉）、平衡型（九葉）

表八：實驗數據表

分析		對照組	風壓型 (五葉)	風量型 (七葉)	平衡型 (九葉)
第二階段實驗	散布面積 (cm ²)	19.670	14.048	25.954	53.067
	穩定函數 趨勢方程式	$-0.027x^2$ $+ 0.066x$ $+ 0.141$	$-0.673x^2$ $+ 0.982x$ $+ 0.328$	$-0.412x^2$ $+ 1.084x$ $+ 0.001$	$-0.252x^2$ $+ 1.093x$ $- 0.715$
	不穩定函數 趨勢方程式		$0.198x^2$ $- 0.581x$ $+ 0.873$	$0.177x^2$ $- 0.873x$ $+ 1.535$	$0.105x^2$ $- 0.69x$ $+ 1.259$

	穩定函數 趨勢線曲率	-0.054	-1.331	-0.757	1.000
	不穩定函數 趨勢線曲率		0.390	0.352	-0.678
	擾流角度 (穩定函數夾角)	/	37.162° ≤ θ ≤ 50.312°	35.030° ≤ θ ≤ 55.592°	31.006° ≤ θ ≤ 57.752°
	沉積角度 (不穩定函數 夾角)		-35.107° ≤ θ ≤ 39.828°	-55.185° ≤ θ ≤ -11.365°	-49.089° ≤ θ ≤ -2.277°
	最大沉積面積 趨勢 (cm ²)	42.294	39.182	95.529	121.597
	平均沈積高度(cm)	0.641	0.897	0.485	0.237
第三階段實驗	散布面積 (cm ²)	16.401	27.506	39.585	29.020
	穩定函數 趨勢方程式	0.225x ² - 0.122x + 0.211	-0.392x ² + 1.115x + 0.016	0.661x ² - 0.304x + 0.090	0.331x ² +0.287x -1.071
	不穩定函數 趨勢方程式		0.424x ² - 1.538x + 2.158	-0.198x ² + 0.867x - 0.350	-0.529x ² +1.784x -1.071
	穩定函數趨勢線曲 率	0.450	-0.414	1.182	0.661
	不穩定函數趨勢線 曲率		0.745	-0.396	-1.058
	擾流角度 (穩定函數夾角)	/	48.061° ≤ θ ≤ 48.163°	-49.911° ≤ θ ≤ 30.114°	-41.924° ≤ θ ≤ 18.004°
	沉積角度 (不穩定函數 夾角)		-35.069° ≤ θ ≤ 24.655°	-23.605° ≤ θ ≤ 19.034°	20.606° ≤ θ ≤ 53.288°

最大沉積面積 趨勢 (cm ²)	33.979	69.059	53.518	25.476
平均沈積高度(cm)	1.536	0.916	0.637	0.868

(一) 各組實驗結果函數推導

為將實驗結果轉變成函數模型，參考《安平海域漂沙現場調查》，建立每一格皆為邊長 5cm 正方形之網格座標，自風扇中心建立笛卡爾座標。以風扇中心為原點，向蓄水槽延伸出 X 軸，+Y 軸為水深處，-Y 軸為水淺處。為增加顏色對比，便於觀測，使用負片模式拍照後以描圖紙繪圖。其中，對照組實驗僅具有上 f(x) 及下 g(x) 兩函數，而裝設風扇後皆可觀測到三個函數，分別為上方一函數 f(x)，下方兩函數 g(x) 及 B(x)。分析裝設風扇後，上方函數 f(x) 為一穩定曲線，與沉沙圖形幾乎一致。下方兩函數因不同風扇而有所差異：風壓型之 g(x) 向下、B(x) 向上，風量型和平衡型之 g(x) 向上、B(x) 向下。g(x) 表示受風扇擾流效果較顯著處，故其函數圖形與散布圖形趨於一致。B(x) 表示風扇擾流影響漸弱處，且海水阻力、浮力及重力等作用增強導致漂沙向海水深處移動，故圖形較不圓滑。

(二) 總散布面積探討：以獲取沉沙可能分布區域面積

為計算螢光沙散布面積，求得對照組上函數 f(x) 及下函數 g(x)，各組風扇上函數 f(x)、下兩函數 g(x)、B(x) 做積分。計算時先將分布面積依函數交點區分數塊，再分別利用該區域上方之函數減下方函數做積分，最後再將其加總並扣除重複計算或無沉沙區域面積（此計算方法亦採用積分法）。為換算成實際面積並修正斜角 11° 造成之誤差，因此需乘以修正係數 (k=3.846) 以及 sec 11°，分別將每組風扇擾流計算方法羅列如下：

1. 第二、三階段實驗對照組之散布面積計算法

$$\int_a^b [f(x) - g(x)] dx k^2 \sec \theta$$

式中 f(x) 為上方函數

g(x) 為下方函數

[a,b] 為上方函數最左端點至 f(x) 頂點之 x 座標

k 為依比例換算標準網格與列印圖片所得之常數

θ 為海岸坡度 11°

2. 第二階段實驗風扇之散布面積計算法

$$\left\{ \int_a^c [f(x) - g(x)] dx + \int_c^b [f(x) - B(x)] dx \right\} k^2 \sec \theta$$

式中 $f(x)$ 為上方函數

$g(x)$ 為下方受風扇擾流效應較強之函數

$B(x)$ 受海水阻力、浮力及重力之作用較強之函數

$[a,c]$ 為原點到 $g(x)$ 與 $B(x)$ 較大之交點

$[c,b]$ 為 $g(x)$ 與 $B(x)$ 較大之交點至 $f(x)$ 與 $B(x)$ 之交點

k 為依比例換算標準網格與列印圖片所得之常數

θ 為海岸坡度 11°

3. 第三階段實驗風扇之散布面積計算法

(1) 風壓型

$$\left\{ \int_a^c [f(x) - g(x)] dx + \int_c^b [f(x) - B(x)] dx \right\} k^2 \sec \theta$$

式中 $f(x)$ 為上方函數

$g(x)$ 為下方受風扇擾流效應較強之函數

$B(x)$ 受海水阻力、浮力及重力之作用較強之函數

$[a,c]$ 為原點至 $g(x)$ 與 $B(x)$ 交點

$[c,b]$ 為 $g(x)$ 與 $B(x)$ 交點至 $f(x)$ 與 $B(x)$ 交點

k 為依比例換算標準網格與列印圖片所得之常數

θ 為海岸坡度 11°

(2) 風量型

$$\left\{ \int_a^c [f(x) - g(x)] dx + \int_c^b f(x) dx - \int_d^b B(x) dx \right\} k^2 \sec \theta$$

式中 $f(x)$ 為上方函數

$g(x)$ 為下方受風扇擾流效應較強之函數

$B(x)$ 受海水阻力、浮力及重力之作用較強之函數

$[a,c]$ 為原點至 $g(x)$ 與 $B(x)$ 較大之交點

$[c,b]$ 為 $g(x)$ 與 $B(x)$ 較大之交點至圖形末端點

$[d,b]$ 為 $B(x)$ 與 X 軸之兩交點區間

k 為依比例換算標準網格與列印圖片所得之常數

θ 為海岸坡度 11°

(3) 平衡型

$$\left\{ \int_a^c [f(x) - g(x)] dx - \int_a^c [g(x) - B(x)] dx + \int_c^b [f(x) - B(x)] dx \right\} k^2 \sec \theta$$

式中 $f(x)$ 為上方函數

$g(x)$ 為下方受風扇擾流效應較強之函數

$B(x)$ 受海水阻力、浮力及重力之作用較強之函數

$[a,c]$ 為原點至 $g(x)$ 與 $B(x)$ 較小之交點

$[d,c]$ 為 $g(x)$ 與 $B(x)$ 之兩交點區間

$[c,b]$ 為 $g(x)$ 與 $B(x)$ 較大之交點至 $f(x)$ 與 $B(x)$ 之交點

k 為依比例換算標準網格與列印圖片所得之常數

θ 為海岸坡度 11°

(三) 趨勢方程式：以獲取多數沉沙沉積分布趨勢

計算趨勢方程式利用上方函數加上下方函數再除以二求得，圖形即兩曲線間中點連線。由於對照組無風扇擾流影響，實驗中僅具有一條趨勢方程式。裝設風扇後則分為發散與集中兩條趨勢方程式。另外，風壓型風扇為先集中後發散，而風量型及平衡型風扇為先發散後集中。藉由趨勢方程式，可於合理區間內預測漂沙沉積分布，進而模擬漂沙沉積。

1. 對照組： $\frac{1}{2}[f(x) + g(x)]$

式中 $f(x)$ 為上方函數

$g(x)$ 為下方受風扇擾流效應較強之函數

2. 風壓型

(1) 穩定函數集中趨勢方程式： $T_{fg}(x) = \frac{1}{2}[f(x) + g(x)]$

式中 $T_{fg}(x)$ 為發散趨勢方程式

$f(x)$ 為上方函數

$g(x)$ 為下方受風扇擾流效應較強之函數

(2) 不穩定函數發散趨勢方程式：

$$T_{fB}(x) = \frac{1}{2}[f(x) + B(x)]$$

式中 $T_{fB}(x)$ 為集中趨勢方程式
 $f(x)$ 為上方函數
 $B(x)$ 為下方受海水阻力、浮力及重力之作用較強之函數

3. 風量型、平衡型

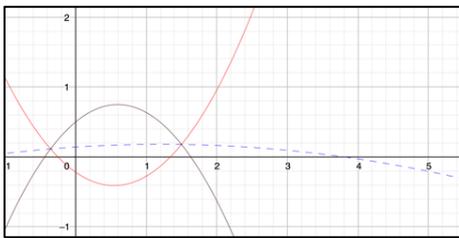
(1) 穩定函數發散趨勢方程式： $T_{fg}(x) = \frac{1}{2}[f(x) + g(x)]$

式中 $T_{fg}(x)$ 為發散趨勢方程式
 $f(x)$ 為上方函數
 $g(x)$ 為下方受風扇擾流效應較強之函數

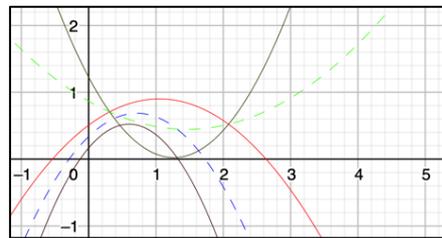
(2) 不穩定函數集中趨勢線方程式：

$$T_{fB}(x) = \frac{1}{2}[f(x) + B(x)]$$

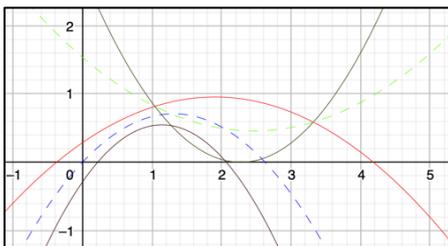
式中 $T_{fB}(x)$ 為集中趨勢方程式
 $f(x)$ 為上方函數
 $B(x)$ 為下方受海水阻力、浮力及重力之作用較強之函數



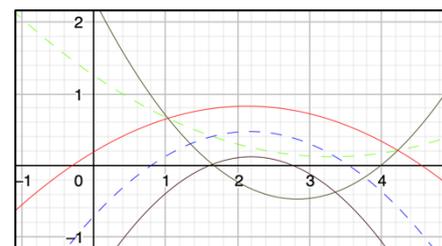
圖四十五：對照組第二階段



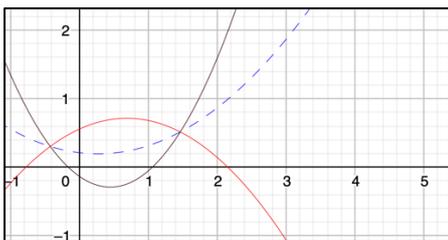
圖四十六：風壓型第二階段



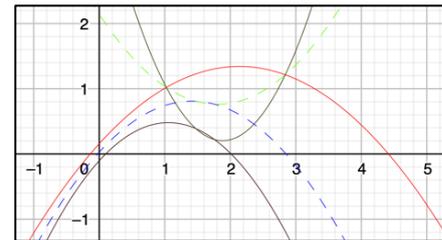
圖四十七：風量型第二階段



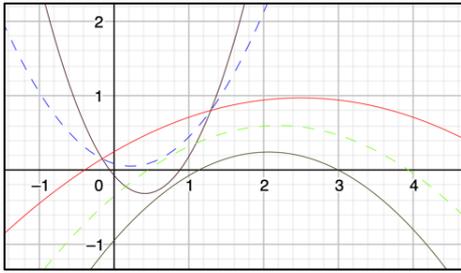
圖四十八：平衡型第二階段



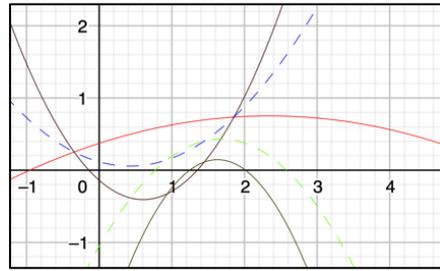
圖四十九：對照組第三階段



圖五十：風壓型第三階段



圖五十一：風量型第三階段



圖五十二：平衡型第三階段

註：實線為邊界函數 虛線為趨勢函數

(四) 趨勢方程式「曲率」推算：

以預測沉沙於散布及集中區域沉積之面積，方法為藉由該區域中點之曲率判斷。曲率越小，則沉沙面積愈加集中，曲率越大則反之。由曲率正負可知趨勢方向性，負值為向水淺處，正值為向水深處。計算方法如下：

1. 對照組： $K_t = T''(x)$

式中 K_t 為對照組趨勢方程式於頂點處曲率
 $T''(x)$ 為對照組趨勢方程式二階導函數

2. 風壓型

(1) 發散區間中點(α)趨勢線曲率：
$$K_{TfB} = \frac{T''_{fB}(\alpha)}{[1+T'_{fB}(\alpha)^2]^{\frac{3}{2}}}$$

式中 K_{TfB} 為發散趨勢方程式於發散區間中點 α 曲率
 $T''_{fB}(\alpha)$ 為發散趨勢方程式於發散區間中點 α 之二階導函式
 $T'_{fB}(\alpha)$ 為發散趨勢方程式於發散區間中點 α 之一階導函式

(2) 集中區間中點(β)趨勢線曲率：
$$K_{Tfg} = \frac{T''_{fg}(\beta)}{[1+T'_{fg}(\beta)^2]^{\frac{3}{2}}}$$

式中 K_{Tfg} 為集中趨勢方程式於集中區間中點 β 之曲率
 $T''_{fg}(\beta)$ 為集中趨勢方程式於集中區間中點 β 之二階導函式
 $T'_{fg}(\beta)$ 為集中趨勢方程式於集中區間中點 β 之一階導函式

3. 風量型、平衡型

$$(1) \text{ 發散區間中點}(\alpha)\text{趨勢線趨勢線} : K_{Tfg} = \frac{|T''_{fg}(\alpha)|}{[1+T'_{fg}(\alpha)^2]^{\frac{3}{2}}}$$

式中 K_{Tfg} 為發散趨勢方程式於發散區間中點 α 曲率
 $T''_{fg}(\alpha)$ 為發散趨勢方程式於發散區間中點 α 之二階導函式
 $T'_{fg}(\alpha)$ 為發散趨勢方程式於發散區間中點 α 之一階導函式

$$(2) \text{ 集中區間中點}(\beta)\text{趨勢線曲率} K_{TfB} = \frac{|T''_{fB}(\beta)|}{[1+T'_{fB}(\beta)^2]^{\frac{3}{2}}}$$

式中 K_{TfB} 為集中趨勢方程式於集中區間中點 β 之曲率
 $T''_{fB}(\beta)$ 為集中趨勢方程式於集中區間中點 β 之二階導函式
 $T'_{fB}(\beta)$ 為集中趨勢方程式於集中區間中點 β 之一階導函式

(五) 擾流角度與沉積角度：以獲取預測風扇擾流及沉沙角度

1. 對照組沉積角度

由於未裝設風扇無擾流效應，故漂沙直接於出口處沉積。沉積角由 $f(x)$ 與 $g(x)$ 圍成，計算方式如下：

$$\theta = \tan^{-1} f'(0)^{\circ} - \tan^{-1} g'(0)^{\circ}$$

式中 θ 為 $f(x)$ 、 $g(x)$ 夾角，亦即沉積角
 $f'(0)^{\circ}$ 為 $f(x)$ 上方函數之一階導函數於 $x=0$ 之值，單位為角度
 $g'(0)^{\circ}$ 為 $g(x)$ 下方函數之一階導函數於 $x=0$ 之值，單位為角度

2. 風扇擾流角度

在所有結果圖近風扇端，因風扇之擾流效應較顯著，使漂沙沉積產生偏轉。首先，計算 $f(x)$ 及 $g(x)$ 一次導函數，分別求得漂沙沉積最初點之各別斜率，亦即正切值 ($\tan\theta$)；再利用反函數分別求得此二函數於最初沉積點之兩夾角。藉此，即可換算出擾流角度區間。計算方式如下所示：

$$\theta_t = \tan^{-1} f'(0)^o - \tan^{-1} g'(0)^o$$

式中 θ_t 為擾流角度
 $f'(0)^o$ 為 $f(x)$ 上方函數一階導函式於 $x=0$ 切線斜率
 $g'(0)^o$ 為 $g(x)$ 下方函數一階導函式於 $x=0$ 切線斜率

3. 風扇沉積角度

在結果圖中，可得出集中區間與發散區間界線。藉由求得該處 X 座標帶入 $f(x)$ 及 $g(x)$ 之一次導函數，求得個別斜率，亦即正切值；再利用反函數求得此二夾角。藉此，即可得出沉積角度區間。計算方式如下所示：

$$\theta_p = \tan^{-1} f'(\gamma)^o - \tan^{-1} g'(\gamma)^o$$

式中 θ_p 為沉積角度
 $f'(\gamma)^o$ 為上方函數於 $x=\gamma$ 之一階導函數
 $g'(\gamma)^o$ 為下方不穩定函數於 $x=\gamma$ 之一階導函數
 γ 為發散區間與集中區間分界線

(六) 最大面積趨勢：以預測實際海域時沉沙分布最大散布面積

為預測應用於實際海域時沉沙分布最大散布面積，分別計算上函數 $f(0)$ 之切線，下方 $g(0)$ 與 $B(x)$ 頂點連線。再自原點積分至圖形末端 X 座標，求得兩斜直線函數圍成之區域面積，即為面積最大值。實際應用於海洋時僅需依照比例縮放即可預測面積與範圍；同時利用趨勢線則可預測此範圍中沉沙分布位置。計算方法如下：

$$\int_a^b \left\{ [f'(0)x + f(0)] - \left[\frac{B(v) - g(0)}{v} x + g(0) \right] \right\} dx \cdot k^2 \cdot \sec \theta$$

式中 $[a,b]$ 為圖形沉積起始點至圖形末端點
 $f'(0)x + f(0)$ 為上方函數於原始沉積點之斜截式
 $\frac{B(v)-g(0)}{v} x + g(0)$ 為下方原始沉積點與 $B(x)$ 頂點連線
 k 為依比例換算標準網格與列印圖片所得之常數
 θ 為海岸坡度 11°

(七) 平均沈積高度計算：

因操作實驗時螢光沙為操作變因，故理想狀態下將每一個與 $y-z$ 平面平行之截面為三角形。又體積為質量除以密度，因此以 x 函數式表示三角型底長度，可藉由積分 x 座標得到體積，進而推得平均沈積高度。計算方式如下：

$$\bar{Z} = \frac{2M}{\left\{ \int_a^b [f(x) - g(x)] dx \cdot k^2 \cdot \sec\theta \right\} \cdot \rho}$$

式中 \bar{Z} 為平均沈積高度

$[a,b]$ 為圖形沉積起始點至圖形末端點

$f(x)$ 為上方函數

$g(x)$ 為下方受風扇擾流效應較強之函數

k 為依比例換算標準網格與列印圖片所得之常數

θ 為海岸坡度 11°

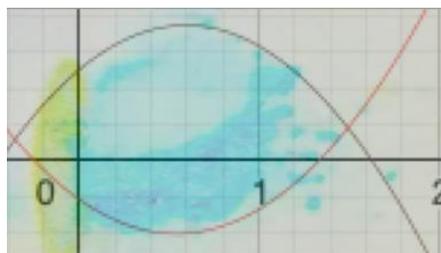
M 為實驗使用螢光沙質量

ρ 為螢光沙密度

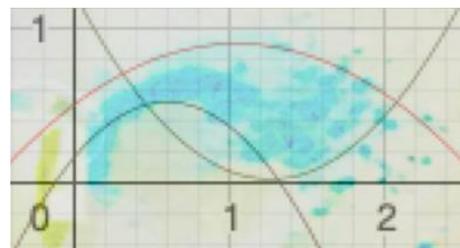
六、疊圖分析

(一) 第二、三階段邊界函數與散布圖疊圖分析

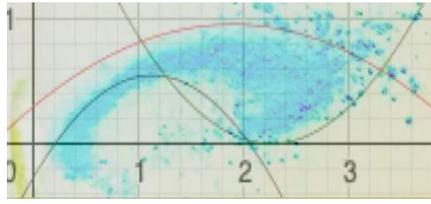
為檢測邊界函數與實際散布的精準度，透過疊圖分析，將函數圖疊於散布圖上，確保數據分析精準度。函數圖中原點對應風扇中心點，再經由調整邊界方程式係數，使該實驗結果最貼切實際情形。



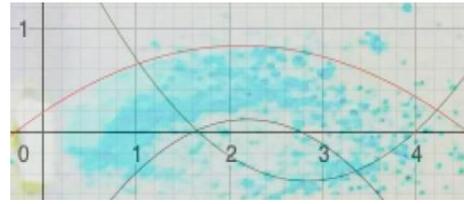
圖五十三：第二階段對照組疊圖



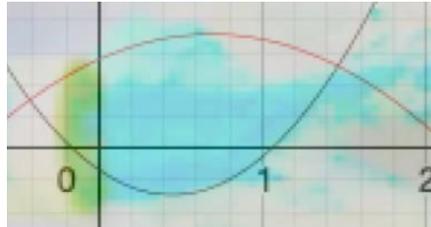
圖五十四：第二階段風壓型疊圖



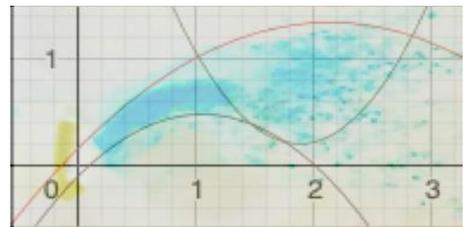
圖五十五：第二階段風量型疊圖



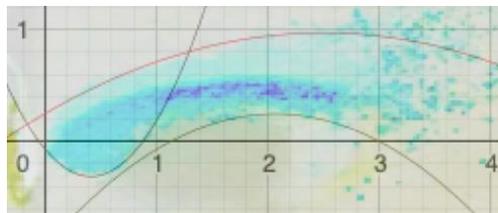
圖五十六：第二階段平衡型疊圖



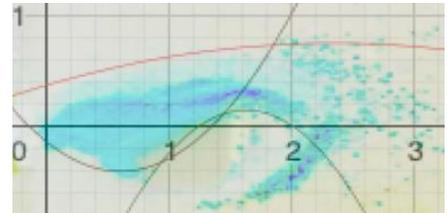
圖五十七：第三階段對照組疊圖



圖五十八：第三階段風壓型疊圖



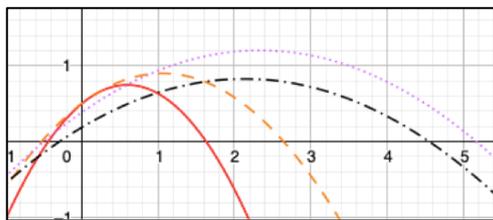
圖五十九：第三階段風量型疊圖



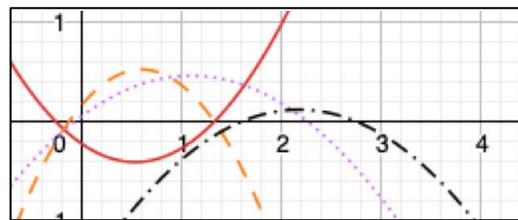
圖六十：第三階段平衡型疊圖

(二) 第二階段三邊界函數疊圖分析

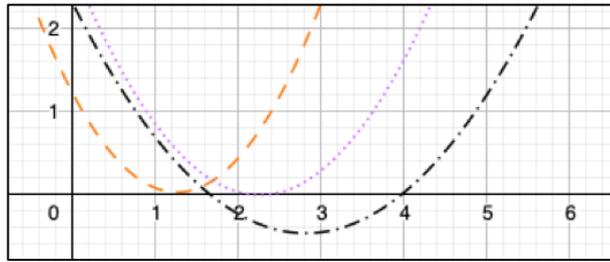
經由比對 $f(x)$ 方程式，可發現隨楓葉片數增加，函數開口也逐漸增大。其中頂點 X 座標又以風量型風扇最大，顯示風量型風扇輸送效果顯著。各組實驗 $g(x)$ 開口皆由原本向上轉為向下，表示風扇擾流效果會造成漂沙沈積改變，且頂點 Y 座標位移以風壓型風扇最大，擾流效果最佳。 $B(x)$ 則顯示風扇擾流效應作用範圍亦隨葉片數增加而增大。



圖六十一：第二階段 $f(x)$ 疊圖分析



圖六十二：第二階段 $g(x)$ 疊圖分析

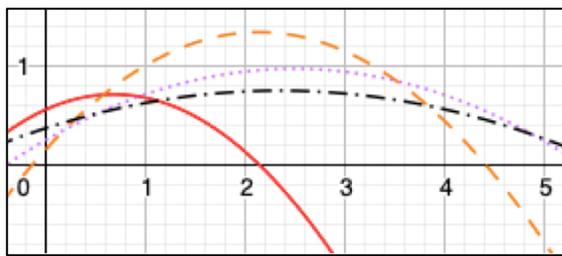


圖六十三：第二階段 $B(x)$ 疊圖分析

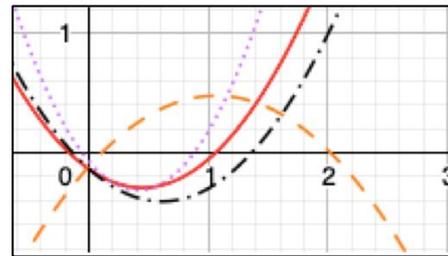
註  對照組  為風壓型  為風量型  為平衡型

(三) 第三階段三邊界函數疊圖分析

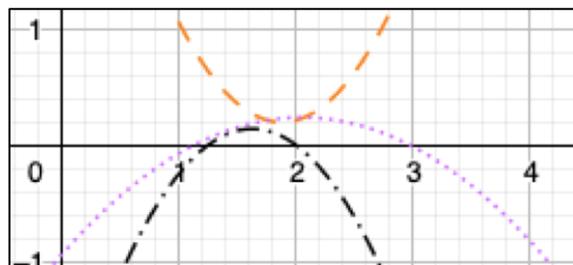
比對三組風扇 $f(x)$ 得知函數開口大小與風扇葉片數成正相關，頂點 Y 座標則為負相關；曲率越大則頂點 Y 座標越小。 $g(x)$ 函數與對照組比對，顯示擾流效應以風壓型最突出。由 $B(x)$ 函數可知，擾流與沉積區間具有直接影響，擾流區間愈大則沉積區間愈小；擾流區間愈小則沉積區間愈大。



圖六十四：第三階段 $f(x)$ 疊圖分析



圖六十五：第三階段 $g(x)$ 疊圖分析



圖六十六：第三階段 $B(x)$ 疊圖分析

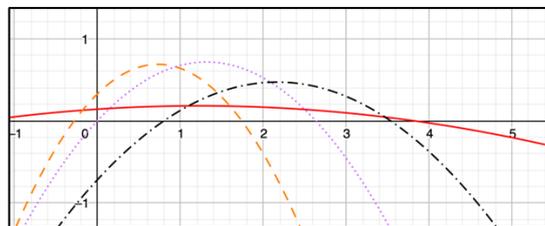
註  對照組  為風壓型  為風量型  為平衡型

(四) 二、三階段邊界函數綜合比較

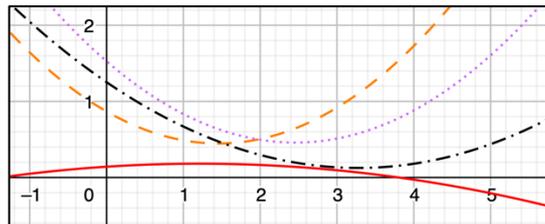
由 $f(x)$ 函數可知，風扇葉片數與開口大小成正相關，亦直接影響螢光沙沈積位置。葉片數增加，漂沙沈積愈趨近於直線，與海岸間相對距離也越大。 $g(x)$ 與 $B(x)$ 具有直接關係，擾流效應越顯著則 $g(x)$ 曲率越大；與 X 軸圍成區域越小， $B(x)$ 則越大，反之亦然。

(五) 第二階段趨勢函數疊圖分析

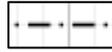
圖七十為第二階段穩定趨勢函數疊圖分析觀察之結果。風壓型風扇在穩定趨勢函數疊圖分析觀察之下，曲率最大，風量型風扇次之，而平衡型風扇曲率最小。由此可發現，曲率愈大愈能分散漂沙落點位置，曲率愈小愈能改變落點位置。相同地，圖七十一為不穩定趨勢函數之疊圖。經過分析後得知，風扇作用減弱後，因受海水浮力及重力影響逐漸增大，故沉積區間漂沙具離海岸方向沈積之趨勢。因此在風扇作用下可使漂沙沈積位置分布較廣且較趨近於海岸方向。



圖六十七：第二階段穩定趨勢函數疊圖



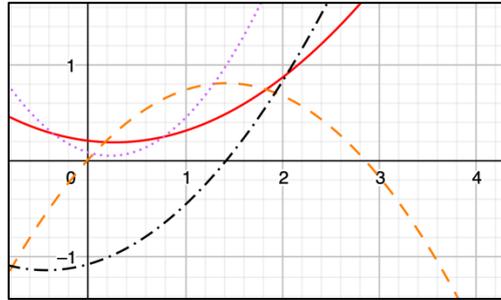
圖六十八：第二階段不穩定趨勢函數疊圖

註  對照組  為風壓型  為風量型  為平衡型

(六) 第三階段趨勢函數疊圖分析

由於第三階段實驗所放置螢光沙量提升至 30 公克，

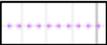
時間延長至 1 小時。當沙子完全沈積之後仍會受到水流影響，導致曲線較第二階段有些微變化。分析後發現，唯有風壓型風扇曲線開口與其他相反，可知其擾流最強。其餘風量型及平衡型中僅有些微曲率變化且增加與原點相對距離。



圖六十九：第三階段穩定趨勢函數疊圖



圖七十：第三階段不穩定趨勢函數疊圖

註  對照組  為風壓型  為風量型  為平衡型

七、實驗過程及操作問題之討論

本研究於原流速時因流量不足以推動足量之螢光沙，故加倍流量來觀測散布情形。由於馬達流量限制及水缸本身容積不足，只能操作至 2 倍流量，無法再繼續加倍流量求出更精準的數據以使圖形及函數更加完善，但是仍透過多次實驗成功加入數據求得更準確之平均分布曲線。而分布過遠之螢光沙，推測其原因為第一次沉積後水流持續推動，使之再度被帶至更遠的地點，但是其量與主要沉沙之面積比例相對下非常小，因此暫時認定為漂沙誤差且將在未來進一步探究。此外，操作實驗時由於風扇轉軸非密閉式，軸承因長時浸泡於水中致使其轉動可能受水質或漂沙干擾影響，進而影響風扇之轉動速度。故實際於海洋興建風扇體時，需製作密閉式轉軸防止軸承受海水侵蝕與漂沙干擾。

肆、結論與應用

一、主要未來利用

(一) 延緩突堤前端堆積：風壓型（五葉）風扇之應用

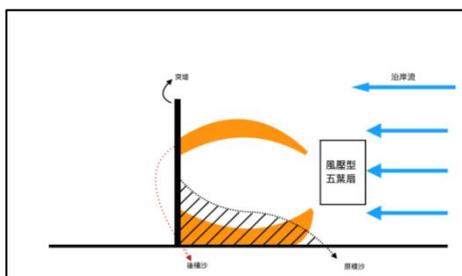
突堤效應前端海岸線因突堤干擾，沿岸流所挾帶之漂沙大量沉積，使港口水深降低，影響其使用年限。如圖七十五所示，藉由水下裝設風壓型風扇，以該風扇於後端發散沉積特性，增加漂沙散布面積，使單位面積沉沙量降低，淤積速度亦得減緩，進而延長港口使用年限。

(二) 延緩突堤後端侵蝕：風量型（七葉）風扇之應用

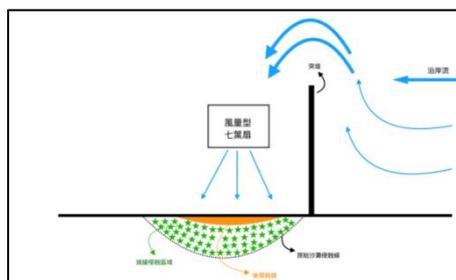
突堤後端海岸線受侵蝕作用較為嚴重。如圖七十六所示，可藉由裝設風量型風扇，透過其疏導特性將漂沙疏導至海岸線凹陷處。另外，裝設風扇同時會使海流流速降低，藉此亦可減緩侵蝕力。透過侵蝕力減緩及堆積增加，即可於突堤效應後端凹陷處形成人造灘。

(三) 沿岸流造灘：平衡型（九葉）風扇之應用

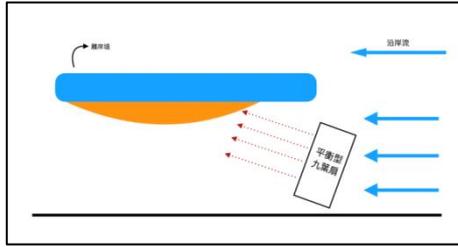
如圖七十七所示，在一海岸線，利用九葉風扇為平均疏導漂沙的特性，於原點設置一風扇，至漂沙集中區間末端再設置另一風扇，後方則依此類推。透過此方法，當漂沙進入發散區間前會再度因風扇擾流產生集中趨勢，使漂沙更加集中沉積。並藉由平衡型風扇穩定疏導性，使漂沙逐漸沉積，堆積成灘。透過與離岸堤岸搭配應用，即可有效利用沿岸流及海浪所挾帶之漂沙，加速人工造灘之速率。並可利用風扇角度調整與離岸堤設置搭配攔沙使沙灘堆積出所需地景。



圖七十一：風壓型風扇之應用



圖七十二：風量型風扇之應用



圖七十三：平衡型風扇之應用

二、次要未來利用

(一) 沿岸流發電

利用風扇疏導漂沙時利用海流主動推動風扇，因此可透過風扇轉動，將動能轉為電能，供給沿岸地區。

(二) 橋墩侵蝕減緩

水流夾帶砂石沖刷橋墩會增加侵蝕力。於橋墩前方裝設風扇可減弱水流侵蝕力，同時使砂石集中於橋墩前方堆積，延長橋墩使用壽命。

(三) 水庫淤砂處理

於水庫水進入處裝設風扇，水流經風扇可藉此將砂石集中，再做底泥後續處理較直接抽取能降低能源消耗。

三、研究結論

現在為改善黃金海岸一帶突堤效應所造成之海岸線侵蝕，已有利用建設離岸堤之方式防治。雖然有一定績效，但仍會使海岸線侵蝕遷往離岸堤下游。若經由建設風扇之方式，應可將漂沙導向侵蝕處，同時透過風扇轉動減少海流侵蝕力，以減緩突堤效應之侵蝕。故本研究利用風扇擾流探討，進一步延伸應用於水缸海流攔沙模型。藉由裝設風扇探討其擾流對沿岸流所攜帶之漂沙分布情形，再依據其散布圖形進行記錄所獲得之數據，顯示各類風扇將會以不同形式影響水流挾帶之漂沙沉積變化，進而改變沉沙地形。故可將之設計應用於海岸地形的沿岸流侵蝕控制，如突堤效應及人工造灘。接著進一步藉微積分及三角函數等分析數據，探討流量與漂沙散布情形與面積關係函數模型，以利將實驗模擬結果推算並其預測效應。未來結合本篇探討之不同風扇特性進行海床風扇規劃排列組合，獲取統計的數據，即能成就更完善之海流對海岸地形控制預測模型。此外，因沿岸流為相對穩定性高之海流，可達到穩定發電，亦期望與洋流發電結合，經由風扇轉動將

動能轉換成為電能，同時發展綠色能源。或是於河流中橋墩上游處，裝設風扇可使侵蝕力減弱，同時亦可使沙石沉積，降低橋墩崩塌的風險。抑或是於水庫中利用風扇導流特性，將沙石集中後再做底泥之後續處理。

伍、引註資料及其他

一、引註資料

- (一) 李友平 (1993) ●安平海域漂沙現場調查-台灣海洋工程學會載於台灣海洋工程學會●中華民國第十五屆海洋工程研討會論文集 (689-700)●高雄市：台灣海洋工程學會。
- (二) 李友平、顏沛華 (2001) ●海岸碎波帶漂沙現場試驗。載於台灣海洋工程學會：第 23 屆海洋工程研討會論文集 (549-545)●高雄市：台灣海洋工程學會。
- (三) 吳基、徐如涓、林受勳、蘇青和 (2006) ●台灣地區國內商港附近海域海氣象觀測分析研究(1/4)●台北市：交通部運輸研究所。
- (四) 林立青、張憲國 (2001) ●載於台灣海洋工程學會：第 23 屆海洋工程研討會論文集(508-515)●高雄市：台灣海洋工程學會。
- (五) 林莞安、陳奕翔、謝定宏 (2020) ●護「灘」神「扇」—風扇擾流應用於延緩突堤效應●台南市：台南市德光高級中學。
- (六) 莊文傑、江中權 (2006) ●載於台灣海洋工程學會：第 28 屆海洋工程研討會論文集(325-330)●高雄市：台灣海洋工程學會。
- (七) 蘇青和、吳基、徐如涓、林受勳 (2002) ●安平港港口區域潮汐及海流特性研究●
取自：<http://www.tsoe.org.tw/downloads/thesis/2002C17.PDF>
- (八) 教育百科—流量連續性。取自 <https://reurl.cc/KkLary>。
- (九) Cooler Master。取自：<https://apac.coolermaster.com/tw/>。

【評語】 180009

探討於海水面下裝設風扇，藉風扇擾流改變沿岸流所挾帶漂沙之沉積分布，延緩突堤效應造成之負面影響。研究先以煙霧觀測五葉、七葉及九葉風扇擾流情形，再透過水流及螢光沙模擬安平商港外海，取得裝設各風扇後漂沙沉積變化過程。動機很有解決實務問題的期望，也在實驗室做了很詳細之實驗與分析，但要應用於實際海岸沿岸流漂砂問題，實際問題與水工實驗間的尺度大小關係必須先釐清，實驗設計的物理背景應作完整分析與考慮，否則實務應用不易。