

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

第二名

080513

海流玄機～探討不同海岸條件對離岸流的影響

學校名稱：高雄市三民區愛國國民小學

作者： 小六 陳彥廷 小六 魏可欣 小六 秦千賀 小六 蘇于棠	指導老師： 陳建良 王雅芬
---	-----------------------------

關鍵詞：離岸流、波浪、水流

摘 要

本研究藉由資料蒐集了解離岸流的成因與影響，並透過實地探訪得知旗津地區離岸流的概況，發現民眾缺乏離岸流知識，在身處海島國家的我們應是一項警訊。

研究中發現在海岸前灘旁出現有低凹處的沙灘較容易出現離岸流，當波浪與海岸沙灘的夾角越小時會較明顯。波浪較大時、海水深度較深及沙灘的坡度較大時，離岸水流也都會較強。

我們經實驗發現：離岸流通常會在離岸邊一段距離的位置出現，在不同條件下出現在離岸邊的距離並不一樣，當海水較深或波浪較大時離岸流出現的位置會較靠近岸邊，值得注意。發現如果設置離岸潛堤，離岸流會在離岸邊較遠處才發生，顯示設置離岸潛堤有阻擋離岸流出現位置的效果。

壹、研究動機

我們曾經針對旗津海岸進行相關研究，在過去文獻資料閱讀中，曾讀過「沿岸流」、「離岸流」等海流的作用，而且，每到夏天就常聽到有泳客不慎被捲入離岸流且發生意外的溺水事件，教育部還曾拍攝教學影片請民眾提高警覺，因此，「離岸流」的議題特別吸引我們關注。到底什麼是離岸流？如何形成的呢？它的行進軌跡又是如何呢？當遇上離岸流時，又應該如何脫困呢？剛好在自然課【大地的奧秘】單元(康軒版六上第二單元)的討論中，老師與我們談到海岸會受到不同水流的作用而產生改變，為了解答心中疑惑，於是，我們展開對「離岸流」的探討。

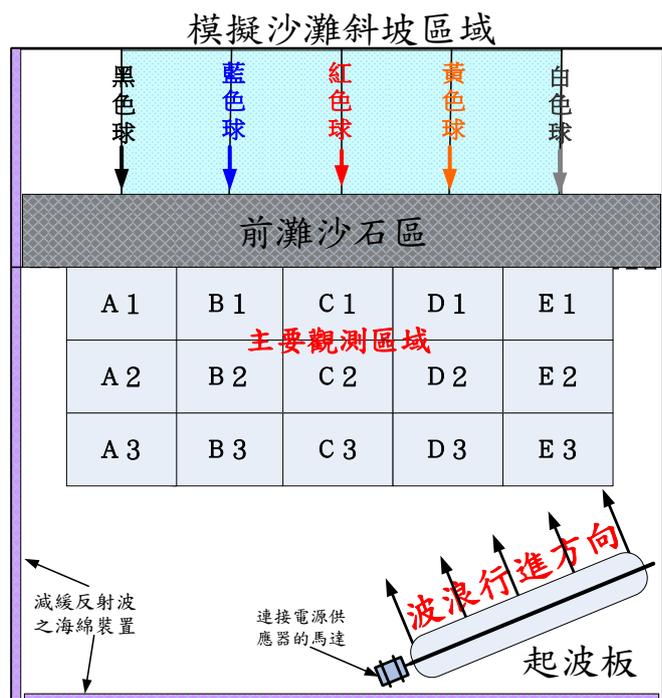
貳、研究目的

- 一、探討離岸流形成的原因。
- 二、實地探訪旗津海岸離岸流的概況。
- 三、探討在不同海岸條件下離岸流出現的情形。
- 四、找出避免離岸流作用的較佳方式。

參、研究設備與器材

水槽(180cm×180cm×20cm)、起波板、亮光漆、千斤頂、馬達、電源供應器、調速控制器、測速器、海綿、礫石、自製突堤模型、水平儀、傾斜儀、數位相機。

※完整水槽配置如右圖：

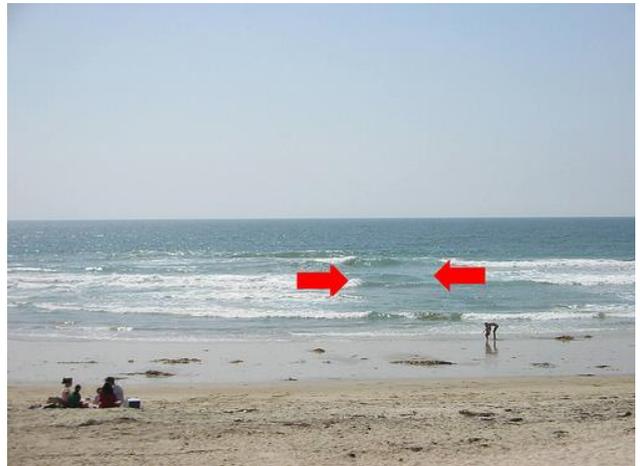


肆、研究過程及方式

研究一、探討離岸流形成的原因。

一、離岸流的形成機制

從資料中我們得知：海邊淺灘尤其是沙灘，因地形的關係，常有股強勁的水流，往外海衝出去，這種激流稱為『離岸流』。它的外表看起來平靜無波，不了解的人以為這樣的水域比較安全，如果隨便進入，將會被強流迅速帶出外海，而發生事故。如右圖紅色箭頭標示處看起來比兩旁平靜無浪，正因為那裡有「離岸流」(Rip current)。



(引自 <http://e-info.org.tw/node/87433>)

典型的『離岸流』流速大約是 0.5-2.5 公尺/秒，主要是當海浪沖擊向海岸時，因為遇到阻礙(陸地)而潰散，而大量的海水必須尋找回到海裡的路徑，但由於受到後續海浪的推擠，這些海水初期會沿著與沙灘平行的方向移動，最後匯集成一道或數道的強大水流退回海中，上述過程循環發生而形成離岸流。

常見的「離岸流」是在固定的沙洲之間出現，持續時間並不一定，可能突然出現，然後突然消失，從幾分鐘到幾星期都有可能。

二、離岸流出現的位置與海岸地形

學者歐善惠(民 102)撰文中談到：海岸地帶是海洋與陸地的交界地帶，海岸地帶的水域中當波浪斜向進入岸邊時，由於地形影響產生了碎波，生成了詭譎多變的近岸水流系統，與海岸平行的是沿岸流，與海岸垂直的是離岸流，離岸流是泳客的殺手，現場不易察覺，但從高空觀察卻很明顯。在學者戴義欽(民 102)的撰文中也提到離岸流是水體被推擠返回海中的水流，所以常發生在沿岸沙洲低凹處、錐狀海灘或月彎形海灘，以及突堤或防波堤附近。

離岸越遠，離岸流力道越弱。離岸流除了可搬運海底沉積物如砂、石、貝殼等，也會造成沿海地形的改變。若於野外觀察離岸流，白色水花即為碎浪區，水域較淺，中間深色無浪花的水域即為離岸流位置所在，水域較深，即為離岸流流動的位置。

黃翊翔(民 98)在研究報告中指出台灣離岸流分布的可能位置包括：(1)碎浪區浪花斷掉的位置；(2)海灣兩側的岬角地形旁邊；(3)突堤旁邊；(4)河口地區。這些地區的水流都會往離岸方向行進，是海灘的主要危險區。另一研究者林雪美等(民 98)也利用 25 年的航照觀察福隆長期以來的離岸流分布，發現在福隆地區冬季時的離岸流分布較夏天密集而且明顯，且在河口和挖子漁港的堤防旁邊都有固定的離岸流存在。

在高雄市第 53 屆科展研究-「走過蚵仔寮，初探離岸流」作品中，研究者藉著沙灘地區地形實查，找出離岸流可能出現的地區，並就地作浮瓶檢測，藉由染料發現水箱實驗可以清楚看見水流的方向有規則性，也發現不論海岸線是突出還是凹槽，同樣能看見離岸水流。

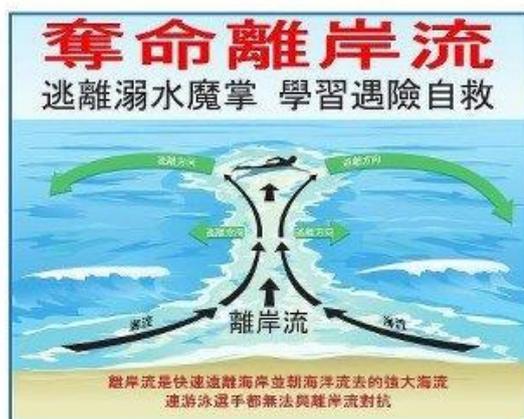
三、離岸流與戲水安全

許多資料顯示：「離岸流」是到海邊戲水時最大的安全威脅，全美每年約有一百人喪生於這種海流。澳洲的最新研究也發現：離岸流是澳洲最致命的隱藏版殺手，離岸流危險致命，造成的死亡人數遠超過野火、暴風、洪水和鯊魚總和。刊登在「自然災害與地球科學系統」期刊(NHESS)的文章中，海岸地形學家布蘭德爾(Rob Brander)也表示：「離岸流所造成的人命損失，遠超過其他為人知的自然災害。」指出離岸流造成澳洲每年平均至少 21 人死亡。

離岸流的出現會將泳客拉離海邊，可能帶離海岸好遠一段距離。因此泳客可能會驚慌，最後溺水。離岸流最強的時候是退潮時，所以到海邊玩水一定要先查詢潮汐狀況，並在海邊下水前一定要先觀察海象。

但若不幸被海流帶出外海時應如何應變呢？首先就是要保持冷靜。離岸流只會把人帶離海岸，不會把人捲到海底。基本的水母飄便能自救，不要直接往岸上游，去對抗海流。若是在離岸流發生處戲水，自救的方法就是沿著海岸線方向游，直到游出離岸流的影響範圍，再由入射角度游回到岸邊。

所以，到海邊戲水時應先觀察地形與海面狀況，若發現有類似兩邊都是海浪，中間出現相對平靜無浪的區域，應該避免在該處戲水，盡量遠離。

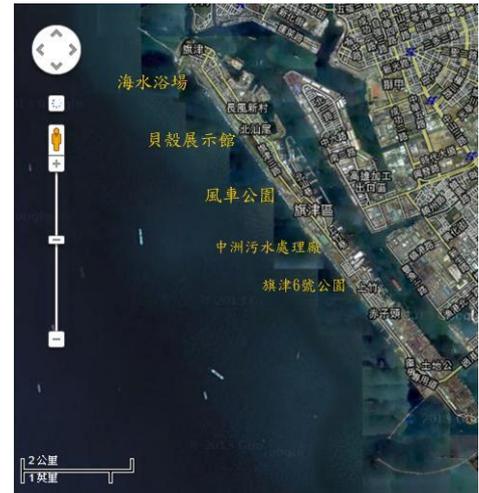


(引自 http://www.ripcurrents.noaa.gov/signs/RIP_CURRENT-chinese.jpg 修改)

研究二、實地探訪旗津海岸離岸流的概況。

我們在民國 103 年 1 月 18 日實地前往旗津海岸探訪，觀察摘要如下：

1. 旗津 6 號公園：發現沙灘前方有設置離岸堤的沙灘，沙石淤積較多，且坡度平緩，而沒有離岸堤的沙灘，沙石則淤積較少，坡度也較陡。



實地探訪旗津地區相關位置圖
(以 Google map 修製)

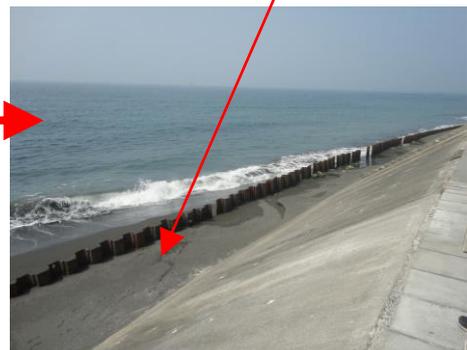
※訪談：

- (1) 旗津中洲在地人(莊先生)：表示並不清楚離岸流為何，但告訴我們旗津的溺水意外大都發生於海水浴場附近。
- (2) 釣客(當地漁民孫先生)：表示曾遭遇離岸流，據說漁民們都稱此海流為迴旋渦。他談到：「冬天因東北季風的關係，台東以北地區較可能出現離岸流，旗津地區應該不會出現離岸流，到了 7 月由於高雄風大，因此較容易出現離岸流。」最後他提供遇到離岸流不能慌張，要往兩邊游，才能脫離險境，與我們在資料中所提到的方法一致。

2. 中洲污水處理廠後方：我們發現岸邊設置突堤，沙灘沙石淤積多，有一些遊客於此地遊玩。



3. 風車公園：在海岸外的離岸堤工程已完工，從遠處看去會看見露出海面一小塊消波塊，去年初見到裸露的石頭地基已不復見，原本鐵片內的石頭，現在都已經變成了沙灘。



※訪談：

(1)遊客：訪談幾位遊客，都表示並不清楚離岸流為何。



(2)海岸管理人員(許先生)：清楚離岸流，自己也曾遇到過，被海流帶走的力量真的很大，若是沒有經驗的人，可能會因此而溺水了。他很熱心的向我們分享了他對離岸流的經驗：

①夏天時，在旗津這地區由於西南氣流較盛、颱風多的關係，因此較容易出現離岸流，在旗后山旁邊岬灣處較常發生離岸流。

②根據他的經驗認為在漲潮時離岸流較小，退潮時離岸流會較大；另外也談到離岸潛堤消波塊建造以後，確實有阻擋海浪、減少離岸流的效果。

③他還告訴我們如果遇到離岸流時不可緊張，先隨著海流仰飄一段距離後，等離岸流力量小一點再以45度角游回岸邊以求脫困。



④依據他長年的經驗，告訴我們在海邊玩水時若是遇到腳踩的地方感覺到腳底的沙子一直被帶離，有可能出現離岸流了，要趕快遠離此地，以避免發生危險。

4. 風車公園北側海岸：去年發現海浪侵蝕至廢棄的電石渣堆置場，經過近年的海岸工程，已回復多年前的沙灘景象。



5. 海岸公園-貝殼展示館：海岸工程已完成，近岸處有一圓形堤頂，旁有大面積的沙灘及一些遊客，但現場看起來有點凌亂，貝殼展示館封閉整修中。



※訪談：

(1)遊客：訪談幾位遊客，表示都並不清楚離岸流為何。

(2)潛水人員(北部救難人員羅先生)：明瞭離岸流的知識，提出他們在旗津海岸旁潛下水後發現因堤防建造的關係，感覺到波浪被擠壓穿越離岸潛堤後以較斜的角度往沙灘方向前進。認為潛堤的擺設可能會影響離岸流的出現，建議政府做一些堤防保護措施，應多考慮位置的配置是否適當。

6. 旗津海水浴場：海岸保護工程已完成，遠處可見多處的潛堤保護，近沙灘處已經有大量的沙子，形成一大沙灘，出現一些踏浪的遊客。



※訪談：

(1)遊客：訪談幾位遊客，表示都不清楚離岸流為何。

(2)原想訪談海水浴場救生員，但遍尋不著。



親身體驗水流力量



海水浴場旁的岬灣



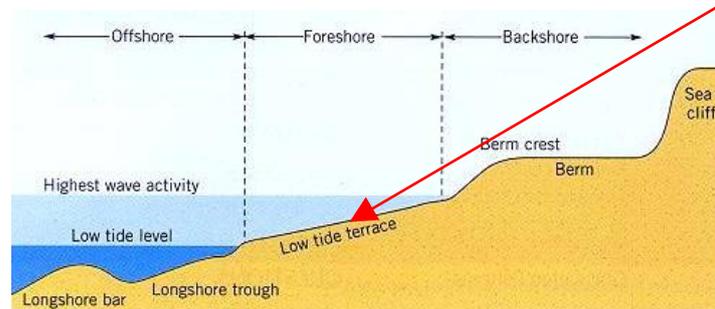
以傾斜儀實測沙灘坡度

藉由實地探訪我們了解到一般民眾對於離岸流的認識相當少，而較常出海的漁民或在當地工作的人員對於離岸流皆有相當的認識且知道遇到離岸流時要如何自救保命。這一趟的實地探訪讓我們收穫許多，也將所見所聞一一與資料內容對照，為了對離岸流更進一步的了解，因此，設計後續實驗進行探討。

研究三、探討在不同海岸條件下離岸流出現的情形。

進行觀測離岸流現象，首先針對波浪方向與沿岸沙洲是否有低凹處對離岸流產生的影響進行探討，將「波浪方向」與「沙灘旁有無低凹處」兩項變因交錯進行實驗觀測。

為定義實驗操作中的「前灘」一詞，根據資料(台灣大學海洋學教材-第九章淺水海洋學-<http://w3.oc.ntu.edu.tw/chap9/chap9.htm>)得知：海灘(Beach)係指由波浪所攜帶沉積物質在水陸交界處所形成之堆積場地的統稱。狹義上則指低潮線與海岸線之間的範圍，即波浪所挾帶沉積物能達到之最高極限的區域。海灘可分為三區：(1)後灘(Backshore)、(2)前灘(Foreshore)與(3)外灘(Offshore)，取決於灘面高度是否(1)高於高潮位、(2)介於高與低潮位之間以及(3)低於低潮位。



(引自 <http://w3.oc.ntu.edu.tw/chap9/chap9.htm>)

根據資料(海洋生命科學導論參考用書)：海流主要是由風吹海面引起的，海流流速決定於風力的大小，流向則受風向及地球自轉所產生的科氏力影響。因此，實驗中操控之波浪方向係參考中央氣象局風向資料，以旗津地區風向為西南風、南南西風、南風及南南東風為依據；實驗設計中之夾角便依據旗津地區海岸方位與風向夾角(如下圖所示)做為實驗操控之組別。



旗津海岸地區風向與海岸沙灘形成夾角圖(以 Google map 修製)

實驗(一)「不同的波浪方向」與「沙灘旁有無低凹處」與離岸流出現的關係

※器材配置及相對位置圖說如下：

<p>波浪與海岸沙灘夾角---實驗操作器材配置圖</p>		
<p>波浪與沙灘夾角</p>	<p>90 度角</p>	<p>67.5 度角</p>
<p>相當於旗津海岸風向</p>	<p>西南風</p>	<p>南南西風</p>
<p>波浪與海岸沙灘夾角---實驗操作器材配置圖</p>		
<p>波浪與沙灘夾角</p>	<p>45 度角</p>	<p>22.5 度角</p>
<p>相當於旗津海岸風向</p>	<p>南風</p>	<p>南南東風</p>

1. 先調整起波器使波浪角度與模擬海岸沙灘成 90 度角，再於水槽內裝水 11 公分深，並調整起波板入水 2 公分，固定轉速(40RPM)後持續轉動。
2. 在模擬 10 度角斜坡沙灘上每隔 30cm 處作一記號，共 5 處(如配置圖)，在 5 個不同沙灘位置分別準備黑色、藍色、紅色、黃色及白色彈力球各 10 顆；並調整模擬海灘的前灘沙石使其連續不斷。
3. 依序使彈力球由斜坡自然落入水槽，計時 2 分鐘，觀察並記錄每一顆彈力球在水槽中流動的方向與路徑。
4. 依序改變波浪與海岸沙灘所成的夾角，重覆上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果，最後統計彈力球出現最多的路徑。

5. 重新調整模擬海灘的前灘沙石區中央位置使其下凹 5cm 及下凹 10cm，再重覆上述步驟，進行實驗觀測與記錄。(詳細數據參閱附件)

P.S 彈力球為本實驗觀察水流流動路徑之指標物，可浮於水面上。為方便識別表示出現在不同位置的彈力球，將其噴漆成黑色、藍色、紅色、黃色及白色五種，後續實驗皆使用相同的彈力球。(直徑大小 17mm、重 2.5 克)

※記錄表格如右表，說明如下：

本研究觀測統計最後結果記錄於右表中，以各種不同顏色線條表示不同位置的彈力球流動的路徑，以線條粗細表示出現次數的多寡：

出現較多以粗線條  表示，

出現較少以細線條  表示。

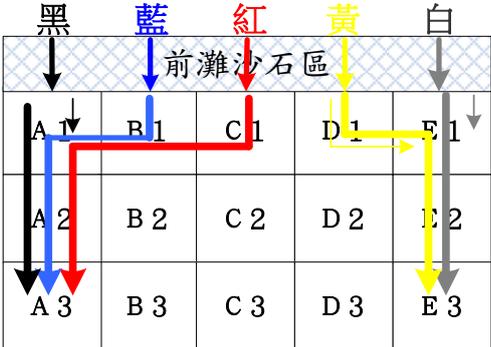
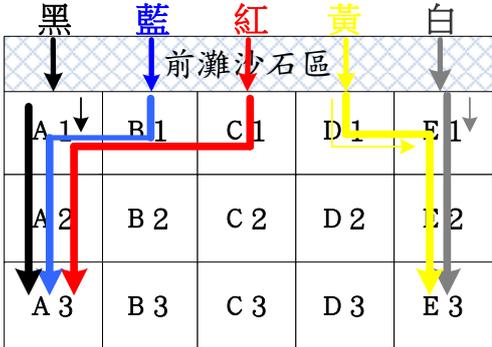
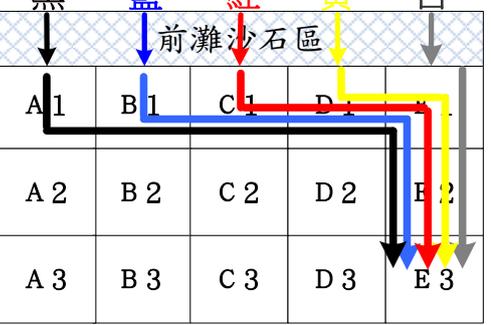
記錄表--繪製彈力球流動路徑

變因：

組別：

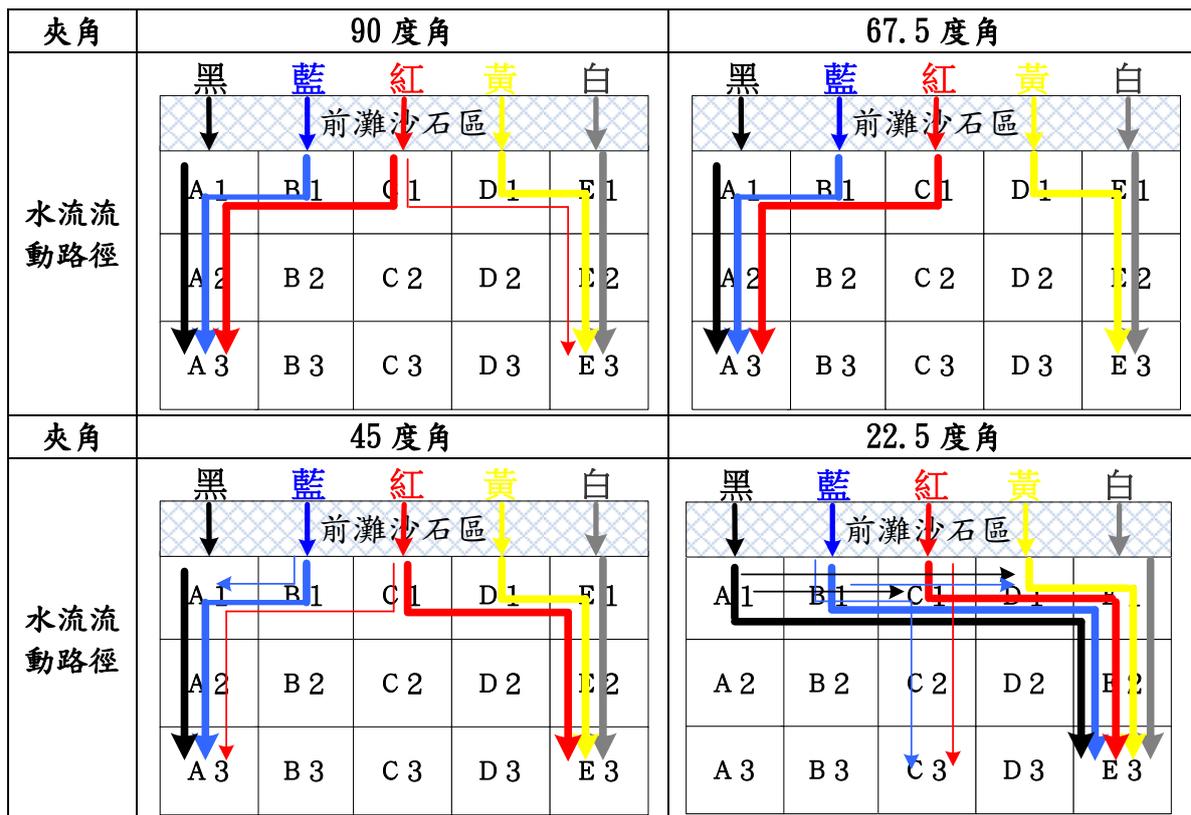
黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
A1	B1	C1	D1	E1
A2	B2	C2	D2	E2
A3	B3	C3	D3	E3

☞記錄(一)-1 前灘沙石平整無下凹缺口

夾角	90 度角	67.5 度角
水流流動路徑		
夾角	45 度角	22.5 度角
水流流動路徑		

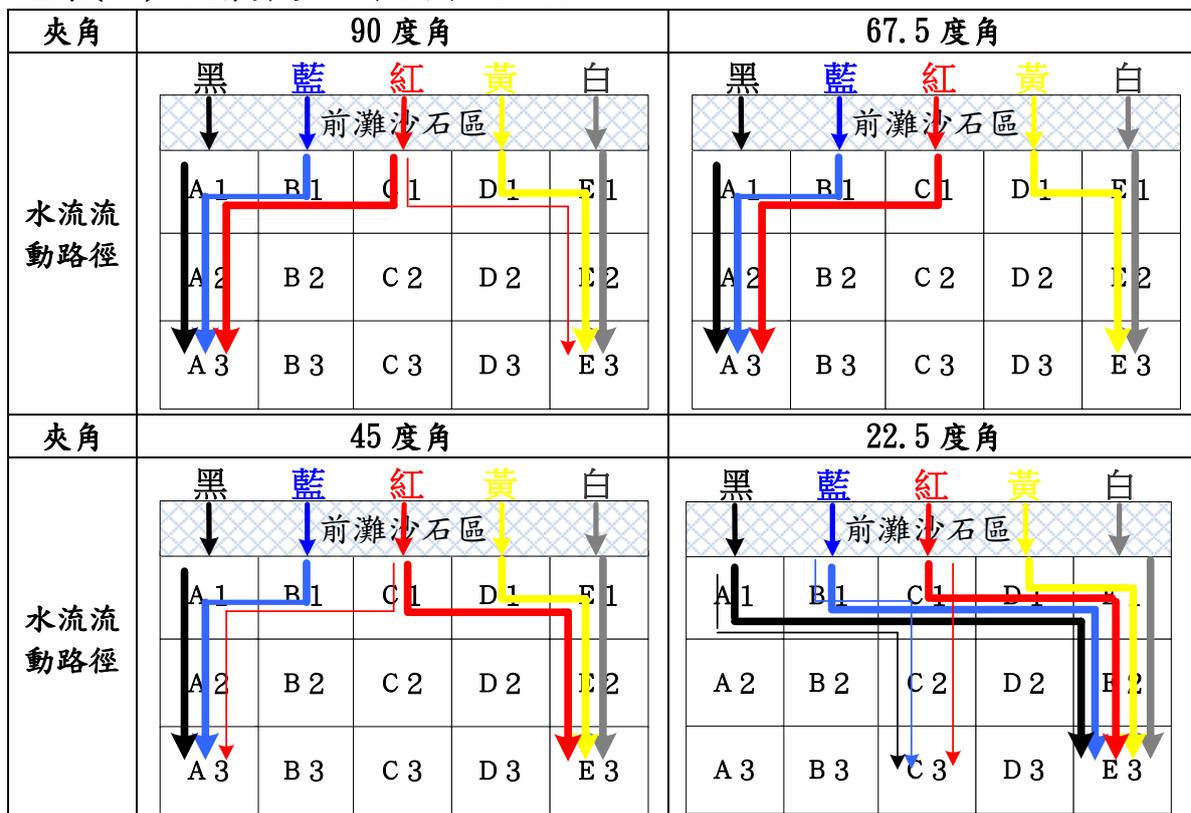
結果：發現波浪與海岸沙灘的夾角較大時，彈力球的流動會較平均的往兩側 A 及 E 區流動；但是當波浪與海岸沙灘的夾角越小(22.5 度)，黑色、藍色及紅色球不但沒有朝 A 區流動，反而都流向了 E 區。

☞記錄(一)-2 前灘沙石中央下凹 5cm



結果：發現波浪與海岸沙灘的夾角較大時，彈力球的流動會較平均的往兩側 A 及 E 區流動；但是當波浪與海岸沙灘的夾角越小(22.5 度)，黑色、藍色及紅色球會流向 E 區，而且藍色及紅色球出現部份流向 C 區。

☞記錄(一)-3 前灘沙石中央下凹 10cm



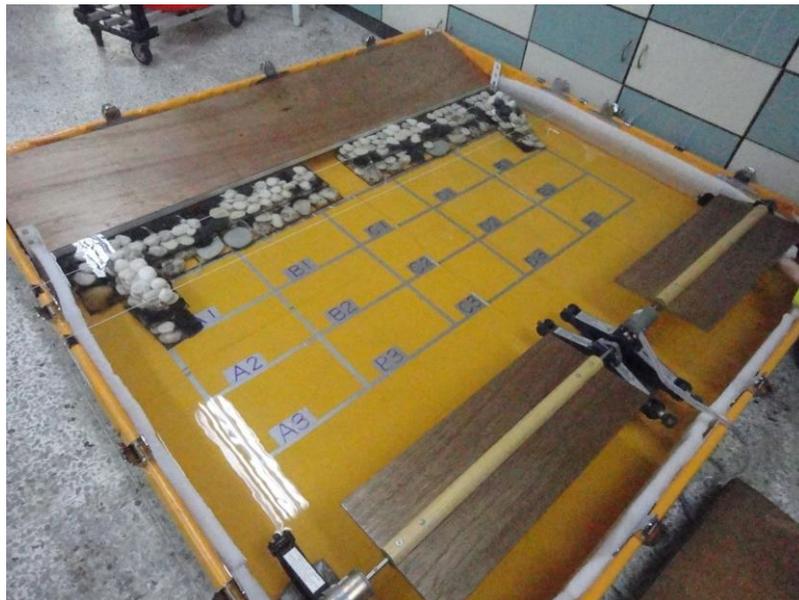
結果：發現波浪與海岸沙灘的夾角較大時，彈力球的流動會較平均的往兩側 A 及 E 區流動；但是當波浪與海岸沙灘的夾角越小(22.5 度)，黑色、藍色及紅色球會流向 E 區，而且黑色、藍色及紅色球出現部份流向 C 區。

※小結：

1. 實驗中發現在「沙灘旁有無低凹處」的條件下，波浪與海岸沙灘的夾角較大時，彈力球的流動都會較平均的往兩側 A 及 E 區流動；波浪與海岸沙灘的夾角較小時，五個顏色的彈力球主要流動方向多朝向 E 區。
2. 在前灘中央出現下凹的組別(5cm 及 10cm)中，當波浪與海岸沙灘的夾角較小時，部份黑色、藍色及紅色球流向 C 區，顯示前灘的下凹處影響到水流動，使得彈力球出現離岸流動的現象。

※後續實驗水槽及起波器裝置說明：

由實驗(二)開始，為模擬大海中多重的海浪情境，水槽設置為 2 座起波板，同步起波，如下圖示。



實驗(二)不同的海岸地形對離岸流出現的影響。

1. 先調整起波器使波浪角度與模擬海岸沙灘成 90 度角，再於水槽內裝水 11 公分深，並調整起波板入水 2 公分，固定轉速(40RPM)後持續轉動。
2. 調整模擬海灘成長條狀地形，並於前灘沙石使其連續不斷，在 5 個不同沙灘位置分別準備黑色、藍色、紅色、黃色及白色彈力球各 10 顆。
3. 依序使彈力球由斜坡自然落入水槽，計時 2 分鐘，觀察並記錄每一顆彈力球在水槽中流動的方向與路徑。

4. 依序改變不同海岸地形及下凹 10cm 缺口，重覆上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。(詳細數據參閱附件)

地形	長條狀(無下凹缺口)海岸	長條狀(有下凹缺口)海岸
水流流動路徑		

結果：

1. 發現在不同地形下，黑色球多流向 A 區、白色球多流向 E 區，藍、紅、黃色球則多流向 C 區，但在長條狀(無下凹缺口)的海岸地形實驗中，雖然藍、黃色球也多流向 C 區，但流速較為緩慢。
2. 在岬灣與突堤地形中的 A、E 區出現部份停留的現象，而且藍色球也有一部份會流向 A 區，其中突堤地形的黃色球也有一部份會流向 E 區。



實驗(三)不同的波浪大小對離岸流出現的影響。

1. 先調整起波器使波浪角度與模擬海岸沙灘成 90 度角，再於水槽內裝水 11 公分深，並調整起波板入水 1 公分，固定轉速(40RPM)後持續轉動。
2. 調整模擬沙灘坡度 10 度及雙突堤地形，在前灘中央位置使其下凹 10cm

缺口，並在 5 個不同沙灘位置分別準備黑色、藍色、紅色、黃色及白色彈力球各 10 顆。

- 依序使彈力球由斜坡自然落入水槽，計時 2 分鐘，觀察並記錄每一顆彈力球在水槽中流動的方向與路徑。
- 依序改變起波板入水深度(波浪大小)，重覆上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。(詳細數據參閱附件)

深度	入水 1 cm					入水 2 cm				
水流流動路徑										



結果：

- 發現在起波板入水 1-2cm 時(表示浪比較小)，黑色球多流向 A 區、白色球多流向 E 區，藍、黃色球除了分別往 A、E 區流動外，也有部份會流向 C 區，而紅色球則一致的流向 C 區。
- 當起波板入水 3cm 時(表示浪比較大)，黑色及白色球除了流向 A、E 區外，也有部份會流向 C 區，藍、黃色球則一致的流向 C 區，而紅色球出現往左右(B 及 D 區)偏移後，最後還是一致的流向 C 區。

實驗(四)不同的海水深淺對離岸流出現的影響。

- 步驟 1. 先調整起波器使波浪角度與模擬海岸沙灘成 90 度角，再於水槽內裝水 11 公分深，並調整起波板入水 2 公分，固定轉速(40RPM)後持續轉動。
- 調整模擬沙灘坡度 10 度及雙突堤地形，在前灘中央位置使其下凹 10cm 缺口，並在 5 個不同沙灘位置分別準備黑色、藍色、紅色、黃色及白色彈力球各 10 顆。

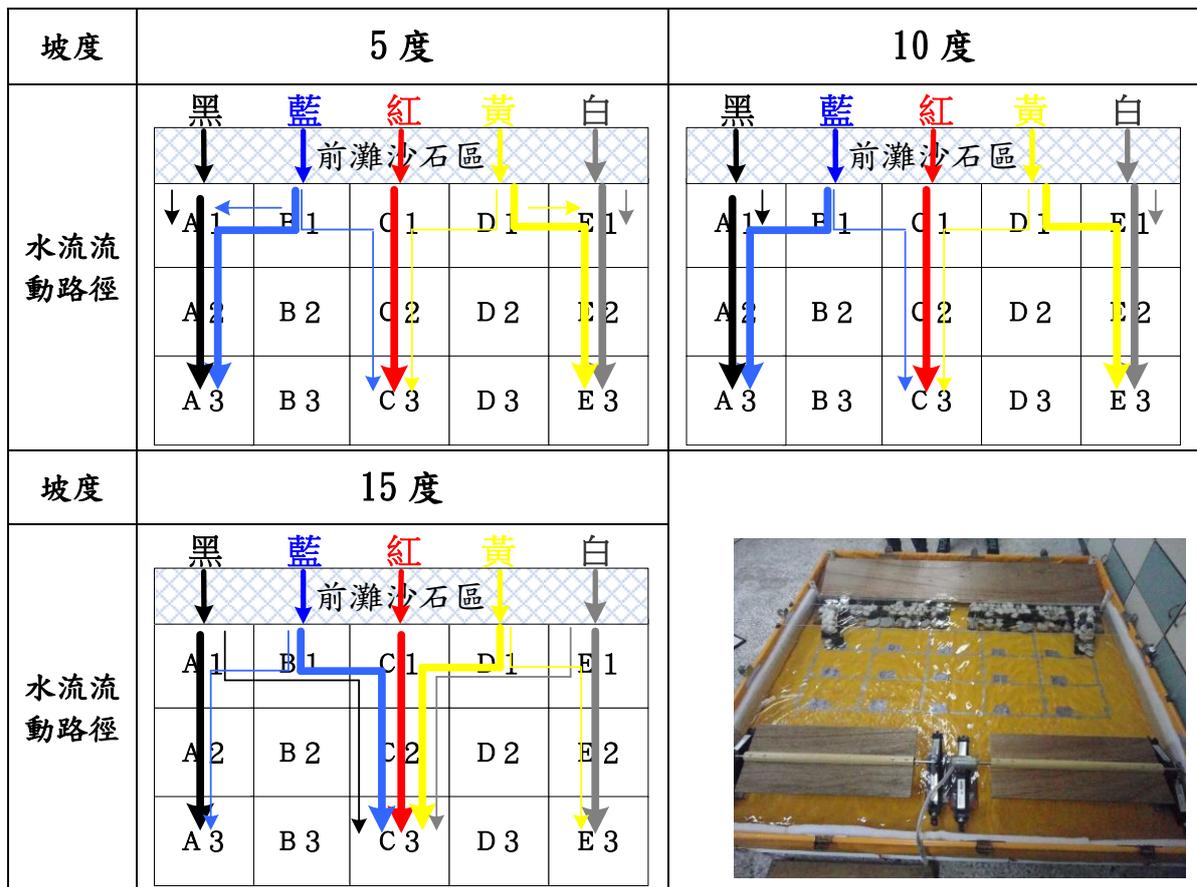
- 依序使彈力球由斜坡自然落入水槽，計時 2 分鐘，觀察並記錄每一顆彈力球在水槽中流動的方向與路徑。
- 依序改變海水深度，重覆上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。(詳細數據參閱附件)

深度	水深 11 cm	水深 13 cm
水流流動路徑		
	<p>深度</p> <p>水深 15 cm</p>	
水流流動路徑		

結果：發現水深 13 或 15cm 時，黑色及白色球除了流向 A、E 區外，也有部份會流向 C 區，而紅色球則一致的流向 C 區；而藍、黃色球除了流向 C 區外，在水深 15cm 時也有部份會分別往 A、E 區流動。

實驗(五)不同的沙灘坡度高低對離岸流出現的影響。

- 先調整起波器使波浪角度與模擬海岸沙灘成 90 度角，再於水槽內裝水 11 公分深，並調整起波板入水 2 公分，固定轉速(40RPM)後持續轉動。
- 調整模擬沙灘坡度 5 度及雙突堤地形，在前灘中央位置使其下凹 10cm 缺口，並在 5 個不同沙灘位置分別準備黑色、藍色、紅色、黃色及白色彈力球各 10 顆。
- 依序使彈力球由斜坡自然落入水槽，計時 2 分鐘，觀察並記錄每一顆彈力球在水槽中流動的方向與路徑。
- 依序改變坡度大小，重覆上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。(詳細數據參閱附件)



結果：

1. 發現在沙灘坡度 5 度或 10 度時，黑色及白色球除了流向 A、E 區外，也出現一部份停留的情況；藍、黃色球除了分別往 A、E 區流動外，也有部份會流向 C 區，而紅色球則一致的流向 C 區。
2. 當沙灘坡度調整成 15 度時，黑色及白色球除了流向 A、E 區外，也有部份會流向 C 區；藍、黃色球除了流向 C 區外，也有部份會分別往 A、E 區流動；而紅色球則一致的流向 C 區。
3. 顯示當坡度較大時，靠近下凹處的藍、黃色球會較明顯流向 C 區。

研究四、找出避免離岸流作用的較佳的方式。

經研究三實驗，發現除了波浪方向、沙灘旁有無低凹處、海岸地形、波浪大小、海水深淺及沙灘坡度等因素對離岸流出現有不同程度的影響外，我們也發現當彈力球在海岸旁的不同位置受到離岸流的影響都不太一樣，為了更確認海岸沙灘旁不同的位置受到離岸流的影響如何，設計以下實驗。

實驗(六)在海岸旁不同的位置受到離岸流作用的影響。

步驟 1. 調整模擬沙灘坡度 10 度及雙突堤地形，在前灘中央位置使其下凹 10cm 缺口，再調整起波器使波浪角度與模擬海岸沙灘成 90 度角，並於水槽內裝水 11 公分深，調整起波板入水 2 公分，固定轉速(40RPM)後持續轉動。

2. 依 5 個不同沙灘位置分別準備黑、藍、紅、黃及白色彈力球數顆，於各指定位置將球輕放於水面，觀察並記錄彈力球在 3 秒內往海岸或離岸方向流動的情形，以圖示及箭頭符號表示。

p. s 不同顏色的彈力球●，分布在不同的位置，↑表示球往沙灘方向流動，↓表示往離岸方向流動，空白表示停留狀態。

模擬沙灘區域-前灘														
A1	● ● ●	↑	B1	● ● ●	↑	C1	● ● ●	D1	● ● ●	↑	E1	● ● ●	↑	
A2	● ● ●	↑ ↑ ↑	B2	● ● ●	↑ ↑ ↑	C2	● ● ●	↓ ↓ ↓	D2	● ● ●	↑ ↑ ↑	E2	● ● ●	↑ ↑ ↑
A3	● ● ●	↑ ↑ ↑	B3	● ● ●	↑ ↑ ↑	C3	● ● ●	↓ ↓ ↓	D3	● ● ●	↑ ↑ ↑	E3	● ● ●	↑ ↑ ↑

結果：發現在 C2 區的紅色彈力球，水流最為快速的將球帶往離岸方向流動，緊靠沙灘位置的球會先停留在原地打轉，其他位置的球都向岸邊流動。

※進一步研究

經由實驗證實離岸流會出現在離海岸旁一段距離，為了更了解不同海岸條件下，離岸流出現的位置是否有所不同，因此，我們針對研究三中各項變因影響離岸流較大之條件進行離岸流出現位置的探討，進行以下實驗。

實驗(七)離岸流在特殊海岸條件下出現的位置。

步驟 1. 依實驗之變因條件配置各項器材，並控制其他變因，以固定轉速(40RPM)持續轉動進行實驗。

2. 以紅色彈力球數顆，於 C 區各指定位置將球輕放於水面，觀察並記錄彈力球在 3 秒內會往離岸方向流動的位置，以圖示及箭頭符號表示。

條件 位置	長條狀 (有下凹缺口)	雙突堤 (有下凹缺口)	波浪大小 (入水 3cm)	海水深淺 (15cm)	沙灘坡度 (15 度)
1	●	●	●	● ↓	●
2	C1 ●	C1 ●	C1 ● ↓	C1 ● ↓	C1 ●
3	● ↓	●	● ↓	● ↓	● ↓
1	● ↓	● ↓	● ↓	● ↓	● ↓
2	C2 ● ↓	C2 ● ↓	C2 ● ↓	C2 ● ↓	C2 ● ↓
3	● ↓	● ↓	● ↓	● ↓	● ↓
1	● ↓	● ↓	● ↓	● ↓	● ↓
2	C3 ● ↓	C3 ● ↓	C3 ● ↓	C3 ● ↓	C3 ● ↓
3	● ↓	● ↓	● ↓	● ↓	● ↓

結果：

1. 長條狀(有下凹缺口)的海岸地形與沙灘坡度 15 度的海岸沙灘，出現離岸流的位置都比雙突堤(有下凹缺口)的海岸地形出現離岸流的位置來得靠近岸邊。
2. 當波浪較大時，在 C1 的第二顆球就產生離岸流動的現象了，顯示波浪較大的時候離岸較近的區域就會出現明顯的離岸流。
3. 當海水較深時，在 C1 的第一顆球就產生離岸流動的現象了，顯示海水較深時候離岸較近的區域就會出現明顯的離岸流。

實驗(八)離岸潛堤消波塊的設置對離岸流出現位置的影響。

- 步驟 1. 調整模擬沙灘坡度 10 度及雙突堤地形，在前灘中央位置使其下凹 10cm 缺口，再調整起波器使波浪角度與模擬海岸沙灘成 90 度角，並於水槽內裝水 11 公分深，調整起波板入水 2 公分，固定轉速(40RPM)後持續轉動。
2. 以紅色彈力球數顆，於 C 區各指定位置將球輕放於水面，觀察並記錄彈力球在 3 秒內會往離岸方向流動的位置，以圖示及箭頭符號表示。
 3. 依序改變設置潛堤數量，重覆上述 1-2 步驟，觀測並記錄結果。

條件 位置	雙突堤 (有下凹缺口)	雙突堤 (有下凹缺口) 加設一座潛堤	雙突堤 (有下凹缺口) 加設二座潛堤
1	●	●	●
2	C1 ●	C1 ●	C1 ●
3	●	●	●
1	● ↓	●	●
2	C2 ● ↓	C2 ●	C2 ●
3	● ↓	● ↓	●
1	● ↓	● ↓	● ↓
2	C3 ● ↓	C3 ● ↓	C3 ● ↓
3	● ↓	● ↓	● ↓

結果：發現設置離岸潛堤後，離岸流會在離岸邊較遠處才會明顯出現，設置的座數愈多，離岸流出現的位置會離岸邊愈遠，顯示設置離岸潛堤有阻擋離岸流出現位置的效果。



伍、討 論

- 一、本研究中因起波板架設及下凹缺口位於模擬前灘中央，發現主要離岸流動的觀測區域都出現在 C 區，因此，後續結果說明均以 C 區作為離岸流出現的主要討論依據。
- 二、實驗(一)中發現當波浪與海岸沙灘的夾角越小(22.5 度)，黑色、藍色及紅色球不但沒有朝 A 區流動，反而都流向了 E 區，在前灘中央出現下凹的組別中，部份黑色及藍色球還會流向 C 區，顯示前灘的下凹處影響到水流動，使得彈力球出現離岸流動的現象。
- 三、實驗(二)中發現在長條狀(無下凹缺口)的海岸地形實驗中，雖然藍、黃色球也多流向 C 區，但流速較為緩慢。在沙灘有下凹缺口的不同地形下，黑色及白色球會流向 A 及 E 區，藍、紅、黃色球則穩定的流向 C 區；在岬灣與突堤地形中有時會出現球一直停留的現象，是否表示出現其他水流情形，值得進一步探討。
- 四、實驗(二)中發現岬灣和突堤前端(與海水交接處)皆有一股強力的離岸水流將彈力球帶離，使彈力球流動至此處，會突然較快速的流動，顯示此交接位置有一股會改變原本在 A 區及 E 區水流流動的力量。
- 五、實驗(三)中發現當起波板調至入水 1cm 時(表示浪較小)，雖有部份球也會流向 C 區，但離岸流動的現象就沒有很明顯。當起波板調至入水 3cm 時(表示浪較大)，會使得不同位置較多的彈力球都流向 C 區。
- 六、實驗(四)中發現海水越深時，似乎使水流越混亂，增強 C 區的離岸水流，使原來流向 A、E 區的彈力球，也有部份會流向 C 區。
- 七、實驗(五)中發現沙灘的坡度越小時，會使波浪接觸到沙灘時的水流較為平緩，彈力球被帶往離岸方向的速度較慢。當沙灘坡度調整成 15 度時，黑色及白色球除了流向 A、E 區外，也有部份會流向 C 區，顯示在坡度較大時離岸流的力量較強。
- 八、我們發現在各實驗的 A、C、E 區皆有一股離岸水流的力量存在，其中以 C 區最為明顯，當彈力球流至 C 區時便會快速帶離，但在不同條件下依然會造成水流流動有些許不同。
- 九、實驗中發現沿岸流動的彈力球較不會被帶往離岸方向，但當彈力球流到 C1 區慢慢遠離岸邊時，球會一下子被快速帶離；後經實驗驗證：在 C2 區(離前灘約 20cm)出現的離岸流是最強烈的。由此可知，在海中戲水時，應是離開岸邊一段距離後，才會出現明顯離岸流，將人快速帶出外海。
- 十、海水深度較深和波浪較大時，離岸流發生的位置距離海岸會愈近，實驗中的組別以海水深度為 15 公分時最為明顯。



陸、結 論

- 一、離岸流的成因主要是海浪沖擊海岸時，因為遇到阻礙(陸地)而潰散，大量的海水必須尋找回到海裡的路徑，但由於受到後續海浪的推擠，這些海水初期會沿著與沙灘平行的方向移動，最後匯集成一道或數道的強大水流退回海中，這過程循環發生而形成離岸流。
- 二、透過實地探訪，我們得知旗津地區的海岸會有離岸流的出現，可能在夏季較常見，尤其是在颱風來襲的前後，另外在岬灣附近也常會遇到，大家應多加小心。
- 三、海岸前灘的下凹處會影響到水的流動，使得彈力球出現離岸流動的現象，當波浪與海岸沙灘的夾角越小(22.5度)時較明顯。
- 四、不同海岸地形在前灘有下凹缺口的情況，較容易出現離岸流現象；在岬灣與突堤側也會出現較強的水流力量。
- 五、波浪較小時，離岸流的現象較不明顯，波浪較大時，離岸水流會較強。
- 六、海水深度較深及沙灘的坡度較大時，離岸水流可能較強，但並不是都非常明顯，可進一步實驗探討。
- 七、離岸流發生的位置應該是離岸邊一段距離，本實驗中的條件出現離岸流較明顯的位置大約在離前灘 20cm 至 40cm 的區域。也發現當波浪較大或海水較深時，離岸流出現的位置會比較靠近海岸的區域。因此，我們在海水浴場戲水時，只要離開岸邊一段距離就應多加注意是否有離岸流的出現，以免發生危險。
- 八、離岸潛堤的海岸保護工程，會影響到離岸流出現的位置，有設置離岸潛堤的海岸沙灘，離岸流通常會在離岸邊較遠的位置才出現，至於是否能夠完全避免離岸流的出現，值得更進一步的探討。

柒、參考資料

- 一、王美芬(民 102)。第二單元-大地的奧祕。國民小學自然與生活科技第七冊(六上)。臺北：康軒文教。
- 二、林雪美、黃翊翔、沈淑敏(民 98)。台灣東北部福隆海灘類型和裂流分布之長期變動研究。地理研究，50：47-66。
- 三、邵廣昭、陳義雄、黃將修(民 99)。海洋生命科學導論參考用書。教育部顧問室海洋教育先導型計畫辦公室。
- 四、黃翊翔、林雪美(民 98)。小心海灘隱形殺手！--淺談裂流--。國立臺灣科學教育館科學研習月刊，第 48 期。
- 五、黃翊翔(民 98)。台灣東北部福隆海域海灘類型和裂流分布的時空間變動研究。台灣師範大學地理研究所碩士論文。
- 六、歐善惠(民 102)。海岸地帶的奇特現象。科學發展，488 期，p4-5。
- 七、戴義欽(民 102)。詭譎多變的近岸水流。科學發展，488 期，p22-27。

八、台灣大學海洋學教材-第九章淺水海洋學。民 102 年 12 月 10 日，取自：
<http://w3.oc.ntu.edu.tw/chap9/chap9.htm>

九、台灣海岸離岸流發生地與海岸地形特性之研究。民 102 年 12 月 15，取自：
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111419260686.pdf>

十、高雄市中小學科學展覽系統-高雄市第 53 屆中小學科學展覽作品-走過蚵仔寮-初探離岸流。民 102 年 12 月 15 日，取自：

http://science.kh.edu.tw/science/article_docs/kcjh/53/532004001.pdf

十一、澳洲最致命隱藏版殺手：離岸流。MSN 新聞頻道。民 102 年 12 月 10 日，取自：<http://news.msn.com.tw/news3449131.aspx>



協助製助起波板



一起堆疊製作突堤模型



將觀測用彈力球噴漆



動手組裝水槽-黏貼吸波海綿



佈置第一代測量方法-之後已改良



利用測轉速器測量轉速

附件：實驗觀測原始數據

變因條件：實驗(一)前灘沙石平整無下凹缺口-90 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1 停	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1 停	E1 停
第十次	A1 停	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1 停	E1 停
共 計	A1→A2→A3 A1 停	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3 D1→E1 停	E1→E2→E3 E1 停

變因條件：實驗(一)前灘沙石平整無下凹缺口-67.5 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1 停	E1→E2→E3
第十次	A1 停	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1 停	E1 停
共 計	A1→A2→A3 A1 停	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3 D1→E1 停	E1→E2→E3 E1 停

變因條件：實驗(一)前灘沙石平整無下凹缺口-45 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→A1 停	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1 停	B1→A1 停	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1 停	B1→A1 停	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1 停	B1→A1 停	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→A2→A3 A1 停	B1→A1→A2→A3 B1→A1 停	C1→B1→A1→A2→A3 C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(一)前灘沙石平整無下凹缺口-22.5 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(一)前灘沙石中央下凹 5cm-90 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3 C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(一)前灘沙石中央下凹 5cm-67.5 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

第七次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(一)前灘沙石中央下凹 5cm-45 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1→A2→A3	B1→A1 停	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3 B1→A1 停	C1→D1→E1→E2→E3 C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(一)前灘沙石中央下凹 5cm-22.5 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→B1→C1→D1 停	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→B1→C1→D1 停	B1→C1→D1	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→B1→C1→D1 停	B1→C1→D1	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1→B1→C1 停	C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1→B1→C1 停	C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→B1→C1→D1→ E1→E2→E3 A1→B1→C1→D1 停 A1→B1→C1 停	B1→C1→D1→ E1→E2→E3 B1→C1→D1 停 C1→C2→C3	C1→D1→E1→E2→E3 C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(一)前灘沙石中央下凹 10cm-90 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→B1→A1→A2→A3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

第三次	A1→B1→C1→ D1→E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→B1→C1→ D1→E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→B1→C1→ D1→E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→B1→C1→ D1→E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→D1→E1→E2→E3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→B1→C1→ D1→E1→E2→E3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→B1→C1→ D1→E1→E2→E3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1→B1→C1→C2→C3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1→B1→C1→C2→C3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→B1→C1→ D1→E1→E2→E3 A1→B1→C1→C2→C3	B1→C1→D1→ E1→E2→E3 B1→C1→C2→C3	C1→D1→E1→E2→E3 C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(二)海岸地形-長條狀(無下凹缺口)

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第九次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→D2→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→D1→D2→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3 B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3 C1→D1→D2→C2→C3	D1→C1→C2→C3 D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(二)海岸地形-長條狀(有下凹缺口)

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第九次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第十次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
共 計	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(二)海岸地形-岬灣(單側)

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第六次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第七次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→C1→C2→C3	C1→D2→D3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→C1→C2→C3	C1→D2→D3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第九次	A1 停	B1→C1→C2→C3	C1→D2→D3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第十次	A1 停	B1→C1→C2→C3	C1→D2→D3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
共 計	A1→A2→A3 A1→B1→C1→ C2→C3 A1 停	B1→A1→A2→A3 B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3 C1→D2→D3	D1→C1→C2→C3 D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

變因條件：實驗(三)入水深度(波浪大小)-水下 1 cm

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第九次	A1 停	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1 停
第十次	A1 停	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1 停
共 計	A1→A2→A3 A1 停	B1→A1→A2→A3 B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3 D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3 E1 停

變因條件：實驗(三)入水深度(波浪大小)-水下 3 cm

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→B2→C2→C3	C1→D1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→B2→C2→C3	C1→D1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→B2→C2→C3	C1→D1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→B2→C2→C3	C1→D1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→B2→C2→C3	C1→D1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→B2→C2→C3	C1→D1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→B2→C2→C3	C1→B1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→B2→C2→C3	C1→B1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→D1→C1→ C2→C3

第九次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→B2→C2→C3	C1→B1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→D1→C1→ C2→C3
第十次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→B2→C2→C3	C1→B1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→D1→C1→ C2→C3
共 計	A1→A2→A3 A1→B1→C1→ C2→C3	B1→B2→C2→C3	C1→D1→C2→C3 C1→B1→C2→C3	D1→D2→C2→C3	E1→E2→E3 E1→D1→C1→ C2→C3

變因條件：實驗(四)海水深度-13 cm

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第九次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第十次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→D1→C1→ C2→C3
共 計	A1→A2→A3 A1→B1→C1→ C2→C3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3 E1→D1→C1→ C2→C3

變因條件：實驗(四)海水深度-15 cm

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第九次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→D1→C1→ C2→C3
第十次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→D1→C1→ C2→C3
共 計	A1→A2→A3 A1→B1→C1→ C2→C3	B1→C1→C2→C3 B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3 D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3 E1→D1→C1→ C2→C3

變因條件：實驗(五)沙灘坡度-5 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3

第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第九次	A1 停	B1→A1 停	C1→C2→C3	D1→E1 停	E1→E2→E3
第十次	A1 停	B1→A1 停	C1→C2→C3	D1→E1 停	E1 停
共 計	A1→A2→A3 A1 停	B1→A1→A2→A3 B1→C1→C2→C3 B1→A1 停	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3 D1→C1→C2→C3 D1→E1 停	E1→E2→E3 E1 停

變因條件：實驗(五)沙灘坡度-15 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→D1→C1→ C2→C3
第九次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→D1→C1→ C2→C3
第十次	A1→B1→C1→ C2→C3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→D1→C1→ C2→C3
共 計	A1→A2→A3 A1→B1→C1→ C2→C3	B1→C1→C2→C3 B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3 D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3 E1→D1→C1→ C2→C3

*標準組--變因條件

實驗(二)海岸地形-兩側突堤、實驗(三)入水深度(波浪大小)-水下 2 cm、
實驗(四)海水深度-11 cm、實驗(五)沙灘坡度-10 度

	黑 ↓	藍 ↓	紅 ↓	黃 ↓	白 ↓
第一次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第二次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第三次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第四次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第五次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第六次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第七次	A1→A2→A3	B1→A1→A2→A3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3	E1→E2→E3
第八次	A1→A2→A3	B1→C1→D2→D3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第九次	A1→A2→A3	B1→C1→D2→D3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3
第十次	A1 停	B1→C1→D2→D3	C1→C2→C3	D1→C1→C2→C3	E1 停
共 計	A1→A2→A3 A1 停	B1→A1→A2→A3 B1→C1→C2→C3	C1→C2→C3	D1→E1→E2→E3 D1→C1→C2→C3	E1→E2→E3 E1 停

【評語】 080513

優點：

1. 研究題材富鄉土性，並能實地勘查探訪，並透過文獻資料做為實驗設計的依據。
2. 能把控制變因清楚地設定，並據以科學地探討，本作品整體實驗有很完整的規劃。
3. 實驗過程分工合作展現團隊精神。
4. 口頭表達生動，能透過圖表及實驗的錄影影片清楚的呈現實驗結果。

建議：

1. 有關離岸流的相關知識需要再更進一步了解，以釐清實驗結果是一般波浪作用產生，還是離岸流造成。
2. 實驗使用兩座起波器，是否起波器本身所產生的波即造成干擾，要多注意。可考慮改成一座大型的起波器。