

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

第一名

040505

東沙島的美麗與哀愁～沙嘴移動及其地形的探討

學校名稱：國立高雄師範大學附屬高級中學

作者： 高一 蔣孟庭	指導老師： 簡聿成
---------------	--------------

關鍵詞：沙嘴 突堤 東沙島

摘 要

民國 82~85 年間國軍以防止海岸侵蝕為由，構築突堤及碼頭而挖除破壞「會擺動的沙嘴」——「東沙沙嘴」，使原本的淤積地形於五年內被侵蝕而消失。

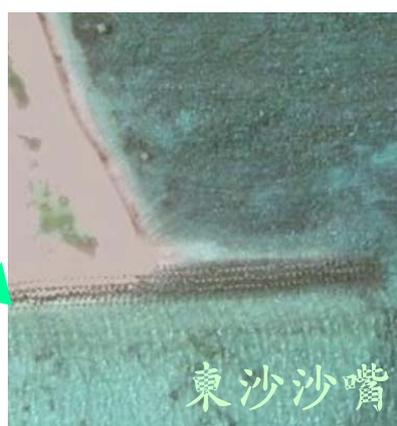
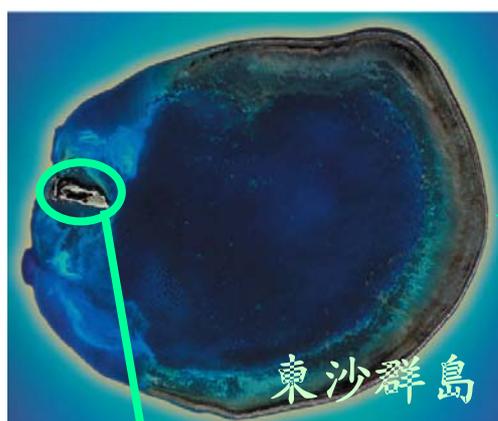
影響東沙沙嘴擺動的原因，主因非文獻提及的海流，而是季風再加上波（沿岸流）的影響。沙嘴的侵蝕分突堤南方的單堤侵蝕：積沙向外擴散落在環礁或礁湖中，和北方的雙堤侵蝕：沙子的水平移動與鉛直移動，即沙子受反射波的影響，造成雙堤間海岸線凹凸不平直。

在政府大力提倡復育東沙珊瑚礁的同時，是否能多關照東沙沙嘴，拆除突堤。而我們皆下來想要探討的，是波入射的角度、前堤和海岸的角度及前堤和後堤的長度彼此的影響及關連，以便瞭解何者對海岸侵蝕的影響最大，而對症下藥阻止沙嘴的侵蝕。

東沙島的美麗與哀愁～沙嘴移動及其地形的探討

壹、研究動機

前陣子轟動一時的新聞——台灣將在東沙群島設立第一個海洋國家公園——「東沙環礁國家公園」。但是民國 82～85 年間國軍以防止海岸侵蝕為由，構築突堤及碼頭而挖除破壞其著名的地形景觀「會擺動的沙嘴」——「東沙沙嘴」，使之於五年內不復見。想要使東沙群島再現風采的第一步就是瞭解她。在強烈好奇心及求知慾的作用下，便展開了對東沙島「會擺動的沙嘴」的探討。



貳、研究目的

- 一、瞭解東沙島的形成原因
- 二、瞭解各種因素對東沙島形成的影響
- 三、瞭解東沙島沙嘴的成因及其「擺動」之原因
- 四、瞭解東沙島目前沙的淤積情形
- 五、瞭解突堤對積沙的影響

參、研究設備與器材

- 一、實驗：水波槽（55 cm×55 cm×4.5 cm）、瓦楞紙板水槽（100 cm×30 cm×10 cm）、起波器、抽水馬達（RIO-600 沈水馬達）、水管、碎蛋殼、研鉢（三號、四號）、海綿條（4 cm×4 cm×50 cm）、油黏土、瓦楞紙板（100 cm×60 cm）
- 二、紀錄與分析：數位相機（Sony Cyber-shot DSC-T50）、數位攝影機（Sony DCR-PC350）、交直流電源裝置

肆、研究過程與結果討論

一、瞭解東沙島的形成原因：

（一）研究過程：

1. 從衛星影像圖及空照圖觀察並分析東沙島。
2. 以水波槽、研鉢、碎蛋殼等模擬東沙島的形成。

（二）研究結果：

1. 文獻：沙嘴是一種沙洲，多由沿岸流或海浪搬運沿岸沙，在海岬尖端或海岸轉折處沉積，一端和海岸相連，另一端伸向海中。東沙沙嘴俗稱龍尾或龍擺尾。

東沙群島又名「月牙島」，古稱「南澳氣」。位於南海最北端， 20°N ， 116°E ，距高雄西南 240 哩，有國軍防守。由北衛灘環礁、南衛灘環礁（皆無島礁露出）及東沙環組成，地勢低平，冬季受東北季風影響。

高雄市政府計畫設立台灣第一座海洋國家公園，含東沙島及環礁，名為「東沙環礁國家公園」。

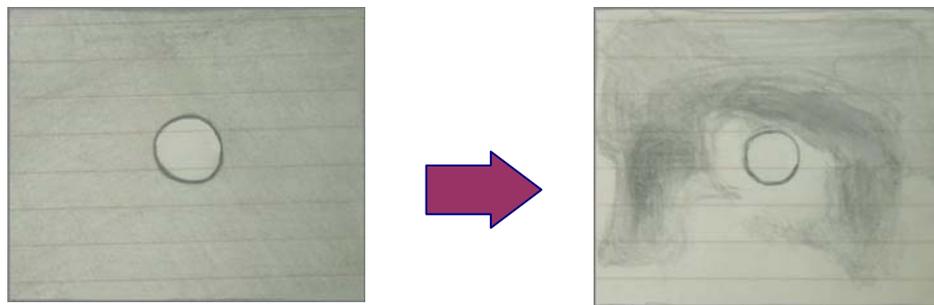
2. 觀察：。東沙島在東沙群島西邊，呈西北西~東南東走向，島形如鉗子，有一開口向西的大瀉湖，而東南有一片陸地。



東沙島底層為珊瑚礁石，表層覆蓋貝殼及珊瑚風化的白沙，沙岸地形發達，尤其南側。

實驗 1-1：海底淤沙之侵蝕與堆積

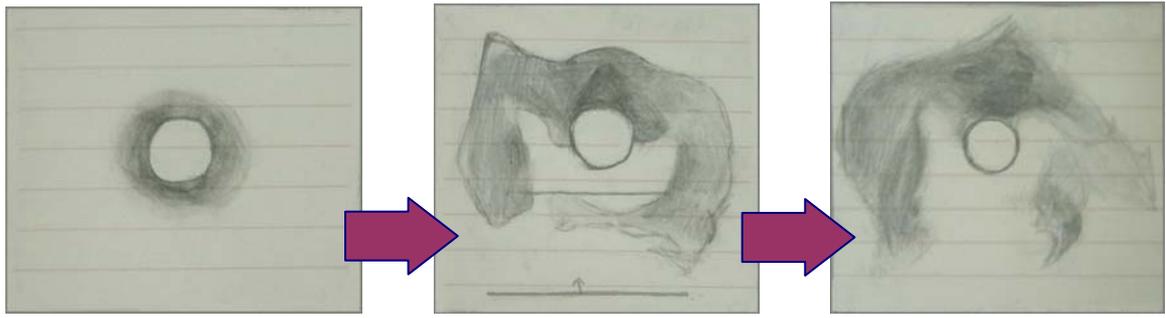
研鉢倒扣，類比東沙島做為波的障礙物置於水波槽中央，碎蛋殼為淤沙均勻填滿水波槽，設為海底淤沙。以 40 公分直尺自水波槽邊框連續穩定的向前推 15 公分，持續至淤沙不再有明顯改變，約五~十分鐘。結果如圖一。



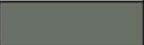
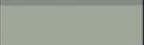
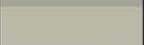
圖一：海底淤沙之侵蝕與堆積

實驗 1-2：海灘之侵蝕與堆積

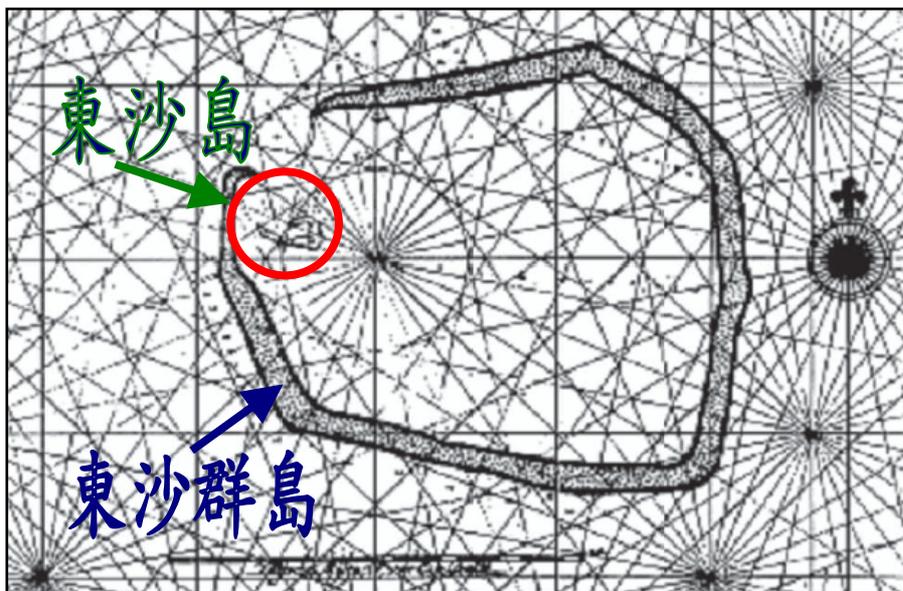
同 1-1 步驟，將碎蛋殼均勻環繞在研鉢四周，設為沙灘。重複 1-1 步驟。結果如圖二。



圖二：海灘之侵蝕與堆積

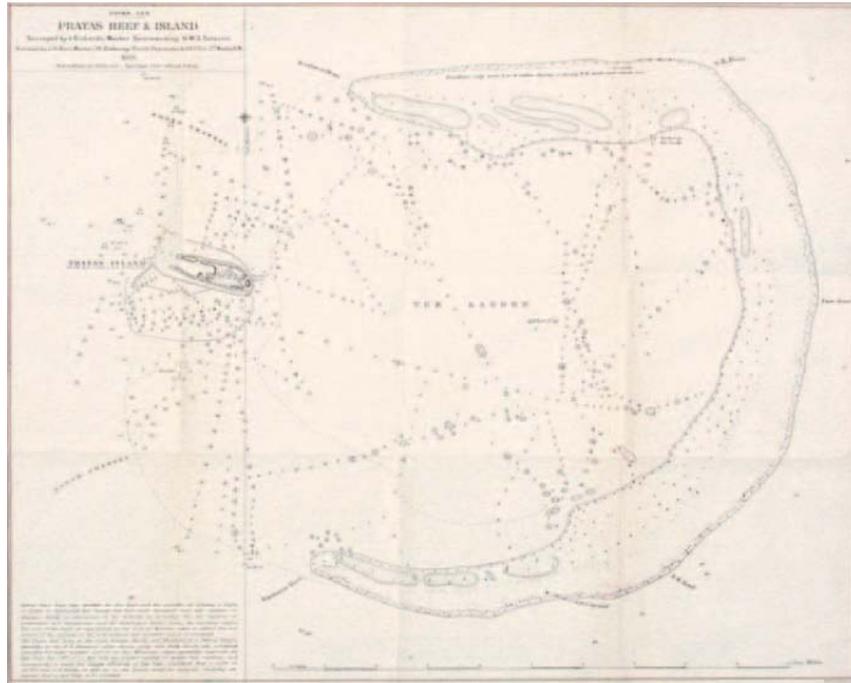
實驗1-1、實驗1-2圖例		
水深 (cm)	圖例	備註
0.5		※顏色越深，代表水深越淺，蛋殼淤沙越靠近水面。
0.8		
1		
1.5		
1.8		
2		

(三) 實驗結果與分析：東沙群島為環狀珊瑚礁。由古地圖可知，東沙島早先為一突出水面的馬蹄形裸露珊瑚礁岩，無東南方的陸地，即現今瀉湖的藍本，如圖三。



圖三：東沙島古地圖

東沙群島持續下沉，東南方的陸地也逐漸淤積形成，如圖四。



圖四：1958 年的東沙環礁水深圖

最後除東沙島，東沙群島沒入海中，形成現今的樣子，如圖五。



圖五：東沙群島現狀

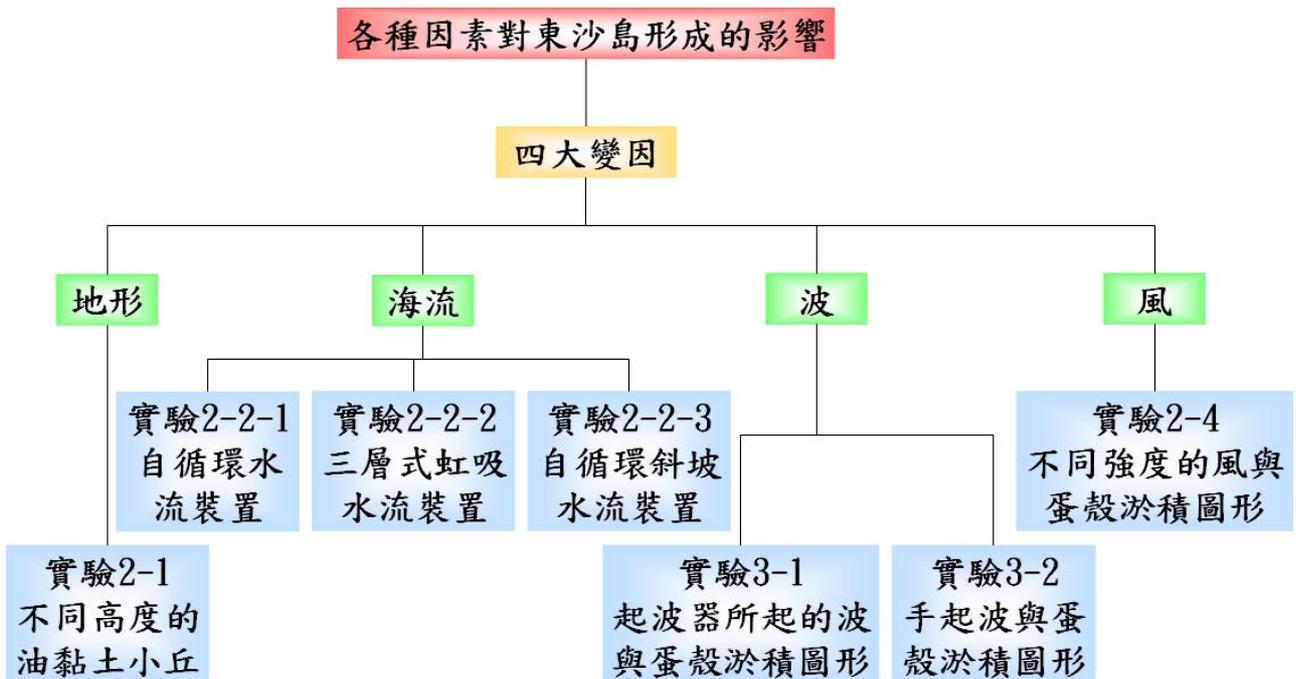
推論：東沙島東南陸地為淤積地形。實驗 1-1 後半部淤沙無明顯改變，判斷東沙島並非擁有大量海底淤沙。所以東南方陸地，為珊瑚礁逐漸風化形成沙灘，再經海浪堆積形成。

實驗中發現，自水波槽邊框連續向前推 15 公分所形成的波，造成的淤沙模擬，效果最佳。

二、瞭解各種因素對東沙島形成的影響

(一) 研究過程：以控制四大變因：地形、海流與波、風，來瞭解到底是何種因素造成東沙島奇特的樣貌。

(二) 研究流程：



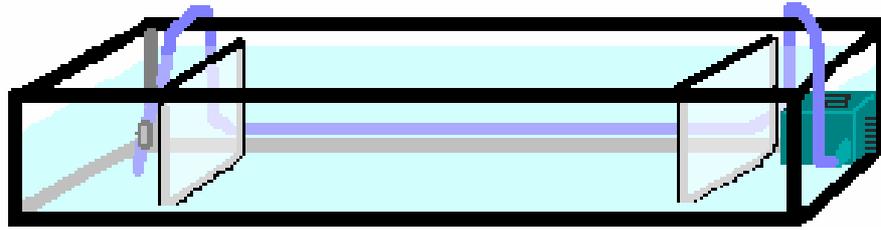
(三) 實驗設計：

實驗 2-1 地形：不同斜度的油黏土小丘

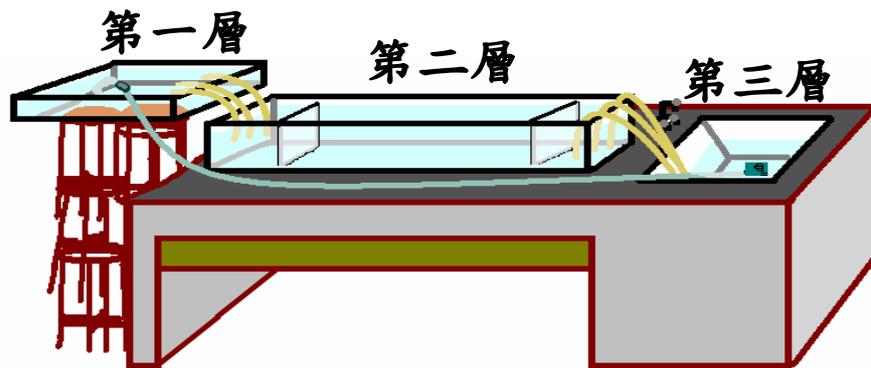
15° 30° 45° 60°



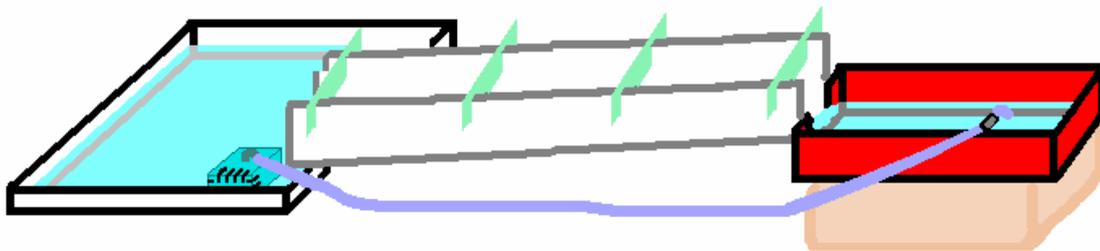
實驗 2-2-1 海流：自循環水流裝置



實驗 2-2-2 海流：三層式虹吸水流裝置



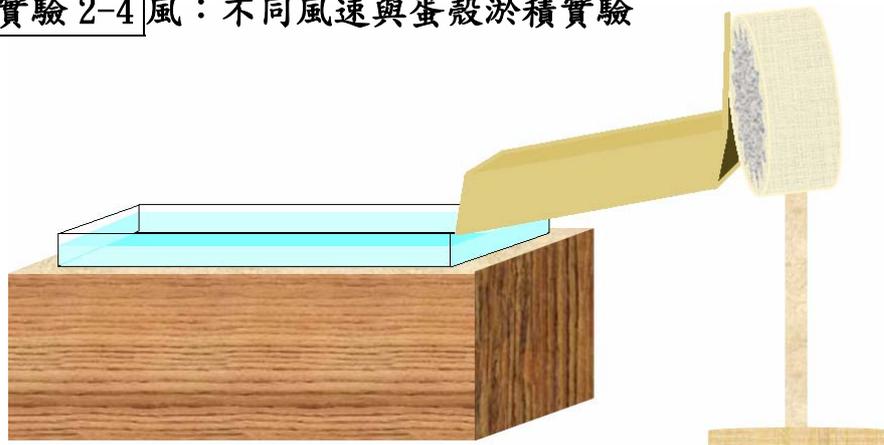
實驗 2-2-3 海流：自循環斜坡水流裝置



實驗 2-3-1 波：以起波器所起的波與蛋殼淤積實驗（如討論三）

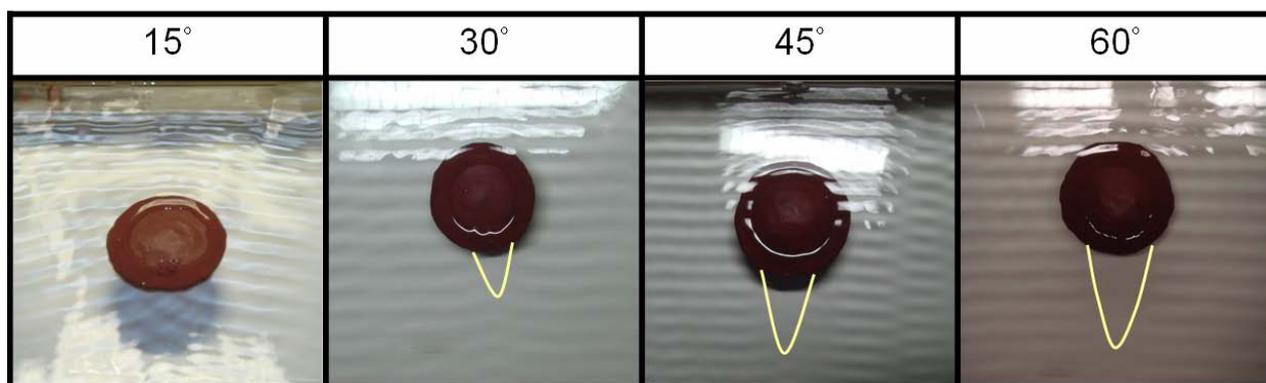
實驗 2-3-2 波：以手起波與蛋殼淤積實驗（如表一）

實驗 2-4 風：不同風速與蛋殼淤積實驗



(四) 實驗結果與分析：

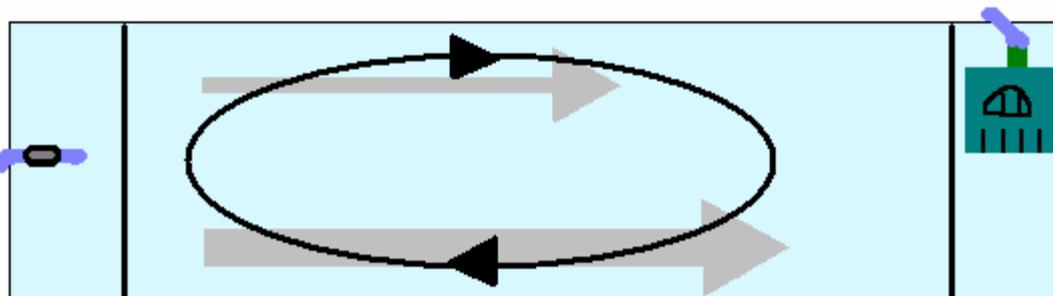
1 地形：當平行波遇到油黏土小丘時，無論是 15° 、 30° 、 45° 和 60° 小丘皆會出現半弧形的波紋。當波繞射過小丘後會交會，但在 15° 的小丘後方直接交會，沒有形成無波紋的區塊，其餘三個小丘皆有，且角度越大，區塊越大、越長，如圖六。



圖六：不同角度油黏土小丘之無波紋區塊

因 30° 小丘的無波區塊太小不易觀察； 60° 小丘的則太長，會超出水波槽，故之後的實驗皆用 45° 的小丘。

2. 海流：平穩的海流不易控制，故設計了三種裝置。自循環水流裝置與三層式虹吸水流裝置的水流太弱，且有上、下層流速及流向不同的情形，因此不採用，如圖七示。



圖七：水波槽內的流速及流向

※ 圖片說明：灰色箭頭為下層水流之流向，左右流量不均；黑色箭頭為上層水流之流向，有迴轉的狀況。

自循環斜坡水流裝置無法在水一溢出時就產生平穩的水流，且水流太薄且流速過快。

3. 波：因起波器所製造的波能量太弱，故改以手起波做為波源。

結果說明：由表一可發現障礙物後方出現一處明顯淤沙，且有類似沙嘴圖形的次數最多。視淤沙特別顯著的實驗 A、C 為符合東沙地形的實驗，因東沙島東南側也有發達的沙地。

當障礙物較小時，水深 1.5 公分以上易出現符合東沙地形的圖形；當障礙物較大時，沙量多寡皆可達到效果。

表一：手起波與蛋殼淤積實驗圖形

障礙物	組別	水深 (cm)	沙量 (cc)	照片	形狀	備註
小研鉢	A	1.2	140		障礙物後方有一處明顯淤沙	淤沙特別顯著
	B	1.5	140		障礙物後方有一處明顯淤沙	
	C	2	140		障礙物後方有一處明顯淤沙	淤沙特別顯著
	D	2	70		障礙物後方有一處明顯淤沙	減少沙量
大研鉢	E	2	70		障礙物後方有一處明顯淤沙	
	F	2	140		障礙物後方有一處明顯淤沙	增加沙量

推論 2-1.：**海流與波**：由實驗推測，現今東沙島東南的陸地，為經海流及波長年淤積後形成。

實驗中水深不超過 2 公分是因水波槽過淺，水過多易溢出，而改變控制變因。在障礙物較大的實驗中，水深不小於 2 公分，是因

若水深過淺易激起水花，使控制變因改變。

推論 2-2. : **海流與波:**因手起波所產生的波浪非表面波，而為同時產生海流與波的波。東沙島為珊瑚礁地形，水淺。故在這個部分視海流與波浪對東沙島的影響相同。

推論 4. : **風:**由於風吹會形成表面波，故視之結果與波相同。

三、瞭解東沙島沙嘴的成因及其「擺動」之原因

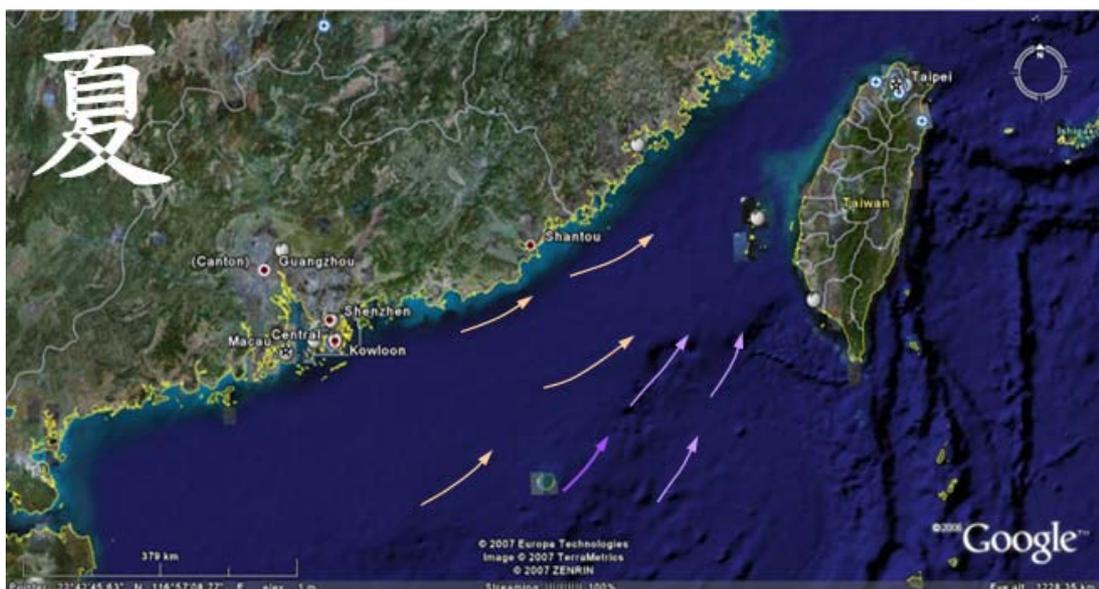
(一) 研究過程：利用文獻、衛星影像圖及空照圖等資料分析觀察並討論之。

(二) 實驗結果：

1. 文獻：150 年前便有沙嘴存在的紀錄。東沙島「龍擺尾」在未興建突堤群之前，受東北及西南季風影響，於冬季受海流影響逐漸由北移至南，夏季相反，由南移向北，是東沙島特殊地形景觀。



2. 觀察：東沙群島夏季有由西南向東北的南海海流（沿岸流，橘色箭頭）及黑潮支流（紫色箭頭）流經；冬季則有由東南向西北的黑潮支流。如圖八、圖九。東沙沙嘴已被放置消波塊，無移動跡象，而海浪在沙嘴附近交會。



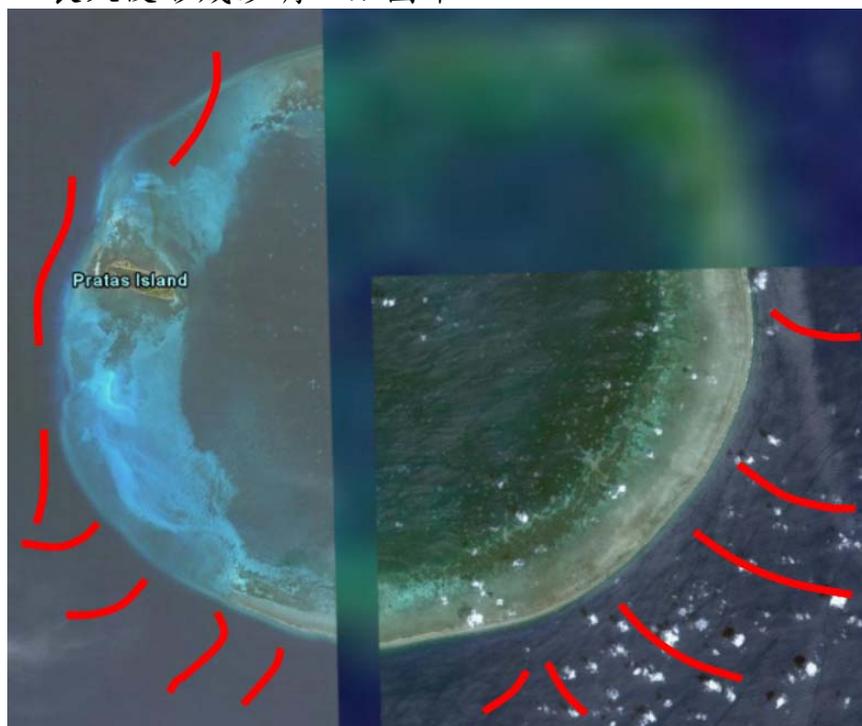
圖八：夏海流方向



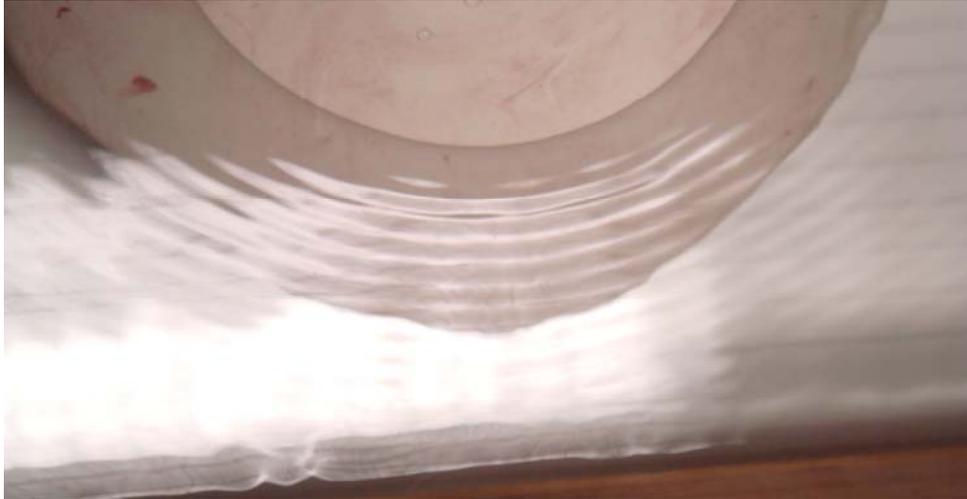
圖九：冬海流方向

(三) 實驗結果與分析：

1. 洋流屬於大規模的表層海水移動，但影響沿岸陸地的主要是沿岸流。因此東沙沙嘴應是受沿岸流的影響而擺動，非洋流。
2. 風吹引起的表面波會向岸走，因水深淺有別，而有折射現象，如圖十。波最後會平行海岸，如圖十一。故當海波傳播至東沙島時，會形成一由西向東之波，受東沙島本身地形阻擋而分為上、下兩道，在東沙島東南方交會，長久便形成沙嘴，如圖十二。



圖十：東沙群島波的繞射



圖十一：波的折射

※ 圖片說明：圖十二是利用 Google Earth 所提供的衛星影像圖放大至可清楚看見波的走向後拼貼，並繪製波的走向。將波前（亮紋）以快取圖案中的手繪多邊行描繪，並視波整體的走向做調整。再以垂直線的一邊平行波，另一邊的端點延伸至下一個波，做為下一個直角位置，以此類推。



圖十二：東沙島沿岸波的走向

3. 東沙島亦受季風影響：夏季受西南季風影響；冬季受東北季風及東北信風雙重影響，因此冬季沙嘴擺動由北至南。
4. **推論**：從衛星影像圖中可看見，沙嘴南邊的顏色較亮，故判斷為淤沙較多、水深較淺；沙嘴北邊的顏色較深，故判斷為淤沙較少、水深較深，如圖十三。



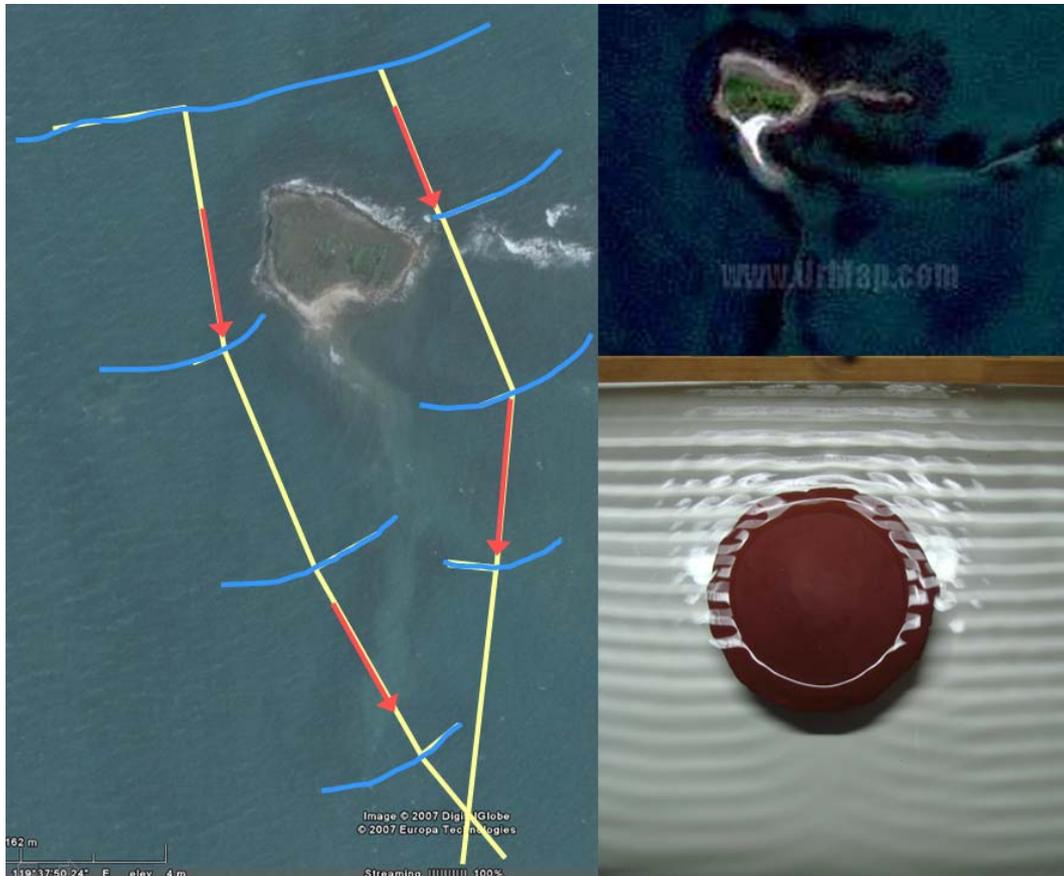
圖十三：東沙沙嘴

(四) 自然景觀印證

1. 澎湖白沙鄉員貝嶼西南的小島



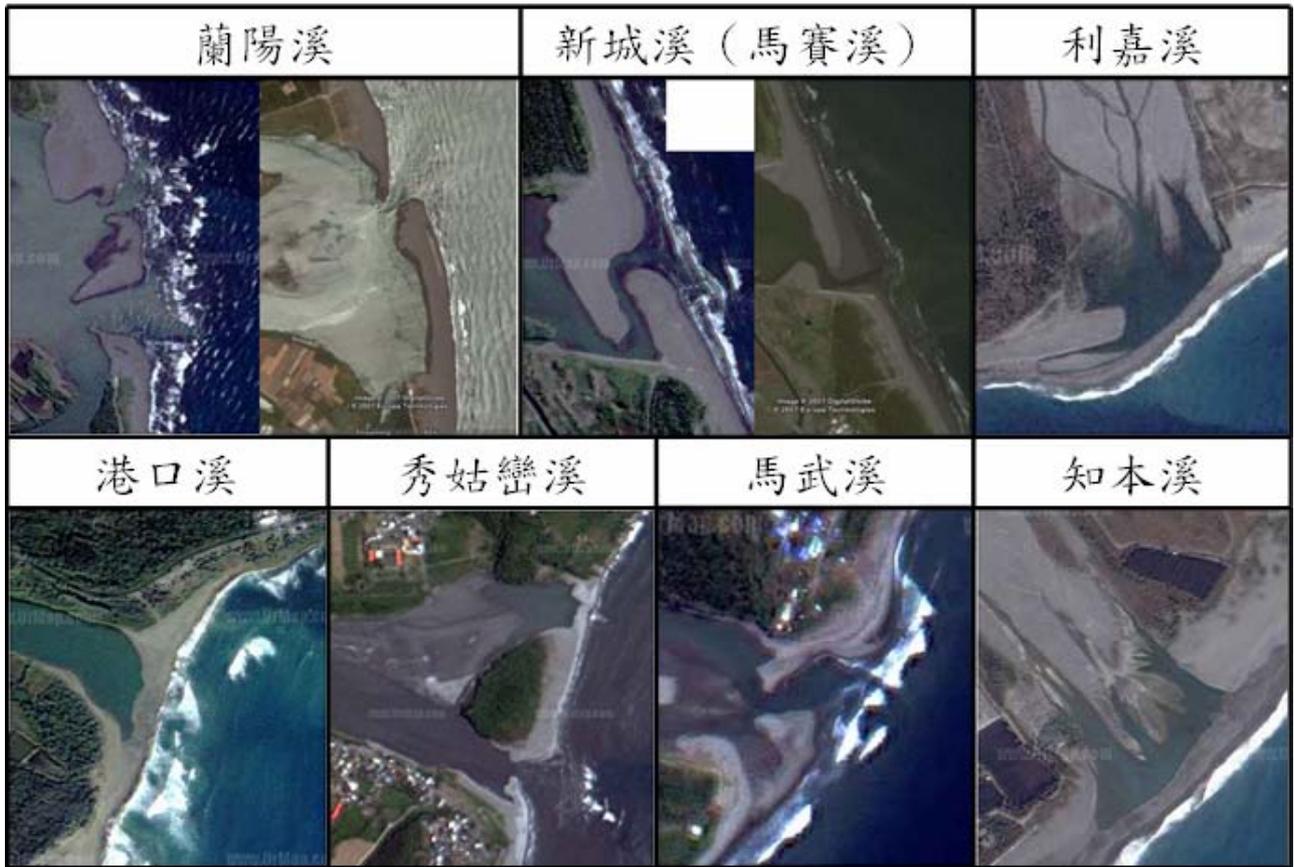
觀察小島四周的波，圖十四。可發現當波遇障礙物，會分成兩道；越過障礙物後因波的繞射而交會。障礙物後方因為出現干涉現象，所以波的影響較弱，故會淤沙，長久便可能形成沙嘴。



圖十四：當波遇障礙物時的表現

2. 沒口溪

河川搬運泥沙入海，受沿岸流及風影響，在河口堆積沙嘴。冬季時風浪大、河水少，故沙嘴寬且長，甚至阻塞河口形成沒口溪，如圖十五。當夏季洪水氾濫時，大量河水便將沙嘴沖失縮短。



圖十五：沒口溪

以沒口溪的成因此解釋東沙沙嘴移動主因為季風及波（形成沿岸流）。但是任方向前進的波，繞射至東沙島時皆由西向東傳播，經地形分割後交會於沙嘴附近，故認為季風為沙嘴移動的主要原因。

3. 風吹沙

風吹沙是沙礫被雨水和風力雙重搬運所致，呈東北至西南走向。冬季東北季風將太平洋沿岸的沙吹向龍磐台地，被崖壁阻擋堆積，形成沙丘，最後堆向台地面。由此可知季風有能力搬運大量的沙，尤其是東北季風，故更加確信東沙沙嘴冬季是向南擺動。



圖十六：風吹沙

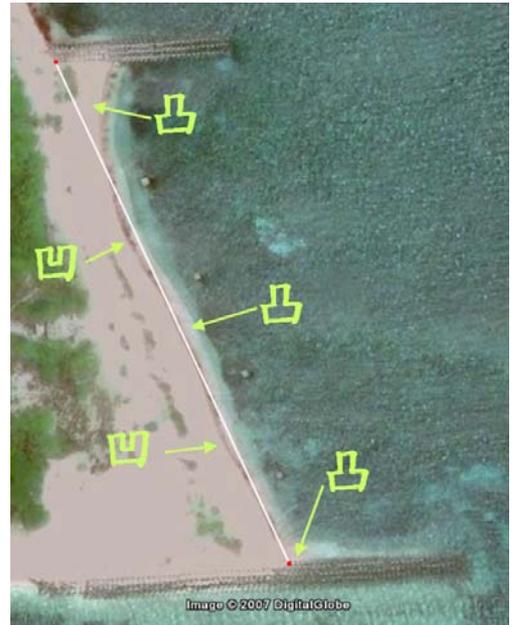
四、瞭解東沙島目前沙的淤積情形

(一) 研究過程：

1. 利用文獻、衛星影像圖及空照圖等資料，分析並繪圖觀察。
2. 以水波槽、碎蛋殼及油黏土模擬海岸線的侵蝕與堆積

(二) 實驗結果：

1. 文獻：龍擺尾地形景觀，在民國 82~85 年間因防止海岸侵蝕構築突堤群，及簡易碼頭興建工程而遭挖除破壞。
2. 觀察：東沙沙嘴已消失，只剩堤。但沙嘴北方的突堤南邊卻出現淤沙的情形，只有單邊積沙似突堤效應。而兩堤間的海岸線不平整，有明顯的侵蝕（凹）與堆積（凸）之區別，呈現先凸後凹再凸再凹最後再凸的情形，如圖十七。
3. 訂定東沙沙嘴的突堤為堤 A，其北方的突堤為堤 B，再北的突堤為堤 C。堤 A 及堤 B 間的海岸為海岸 a，堤 B 及堤 C 間的海岸為海岸 b。如圖十八。



圖十七：凹凸的海岸線

實驗 4-1: 單堤之沙的新淤積地

以研鉢倒扣為障礙物置於水波槽中央。注水 1.5 公分，碎蛋殼環繞研鉢四周。障礙物後方的蛋殼向前尖起，上放長方體油黏土土條（10 cm×2 cm×1 cm），設為沙嘴及突堤。水槽放入海綿吸震。重複 1-1 步驟。實驗結果如下表二。



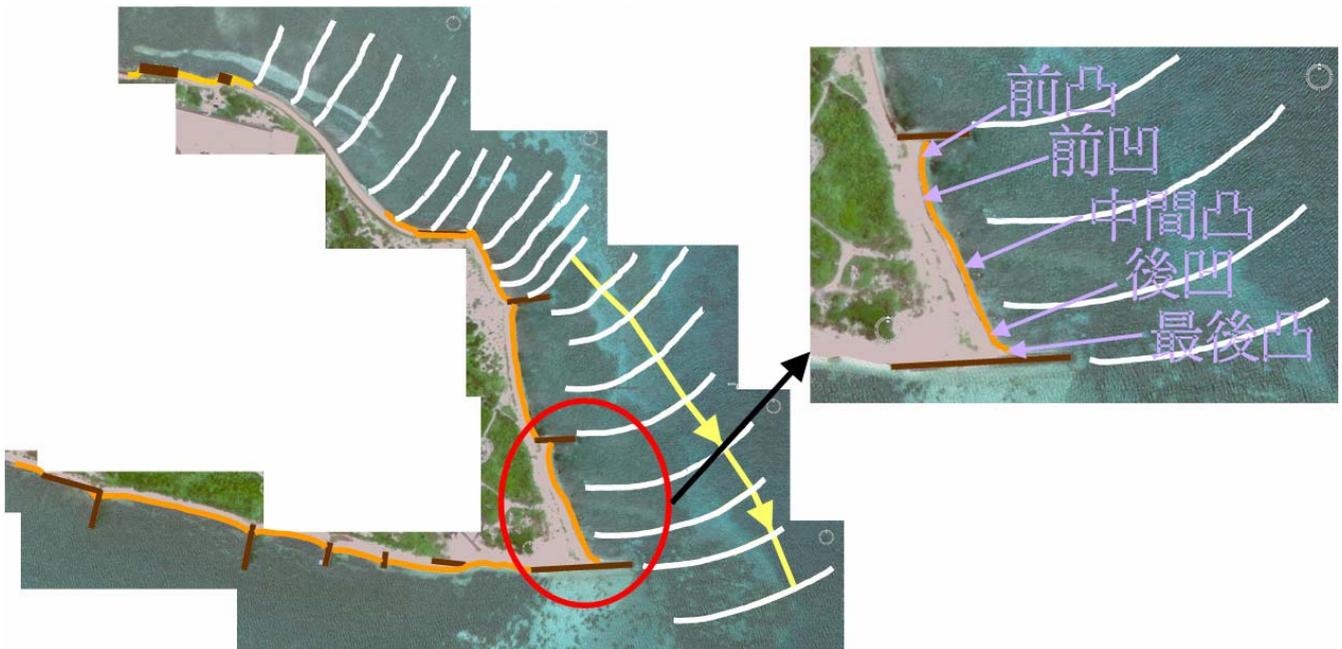
圖十八：突堤與海岸的代稱

表二：單堤之沙的新淤積地

障礙物	組別	水深	沙量	圖片		
				原貌	結果	侵蝕痕跡
小研鉢	A	1.5 公分	70 c. c.			
	B					
大研鉢	C		140 c. c.			
	D					

實驗 4-2: 雙堤之海岸線的模擬

以油黏土製成 $20 \times 3 \times 1$ (cm^3) 土堤，置於水波槽距離前、後分別為 18、7 公分處，中間 25 公分則以 210 cc 的蛋殼沙鋪平成沙灘。水波槽其他三邊放入海綿吸震，重複 1-1 步驟。實驗結果如圖十九。實驗中定波前先到的堤為前堤，後到的則為後堤。



圖十九：雙堤間的海岸線

※ 圖片說明：橙色線條為海岸線，咖啡色線條為突堤，白色線條為波前。

(三) 實驗結果與分析：

1. 從圖二十中可以清楚發現，沙嘴的下方皆被侵蝕掏空，故油黏土條下陷。拿走油黏土土條，也可清楚看見被侵蝕的痕跡。



圖二十：單堤下沙的侵蝕

因實驗設計是承襲實驗 2-3-2，因此蛋殼沙的分佈部分近似實驗 2-3-2 波。不同之處，如障礙物後方沙嘴的堆積。實驗 2-3-2 的積沙較多、較厚、較集中，而實驗四的積沙則較少、較薄、較分散。

若只觀沙嘴部分積沙的分佈改變，會發現蛋殼沙向後、向外散出去，且越靠近末端侵蝕越嚴重，因此才會使油黏土條傾斜。

推論：東沙島沙嘴原本的積沙，因加蓋突堤而向外擴散，沈積於環礁上或落入礁湖中，故從空照圖中無法辨別。

2. 突堤效應：突堤效應的成因是因建設突堤延伸海岸而出，阻擋原先海岸飄沙之路徑，造成飄沙於堤前堆積、堤後因原先飄沙供應之沙量減少而侵蝕。例如澎湖西湖鄉隘門沙灘，圖二十一。





圖二十一：隘門沙灘之突堤效應

堤 B 因建突堤而產生的侵蝕與堆積，並非突堤效應，如圖二十二圈起處。因兩者沙子的侵蝕與堆積地點相反：突堤效應是沙子於堤前堆積，堤後侵蝕；東沙沙嘴北方突堤線則是堤前侵蝕，堤後堆積。



圖二十二：東沙沙嘴之凸堤對積沙的影響

3. 4-2 實驗結果分析：



圖二十三：雙堤之海岸線的模擬

雙突堤間的海岸線侵蝕與堆積，可分成沙子的水平移動與鉛直移動。

(1) 水平移動：

由規模較大的反射波所造成，當入射波傳播至後堤時，會產生反射波，將後堤前的沙子向前堤後帶。如圖二十四，可清楚看見入射波與反射波。

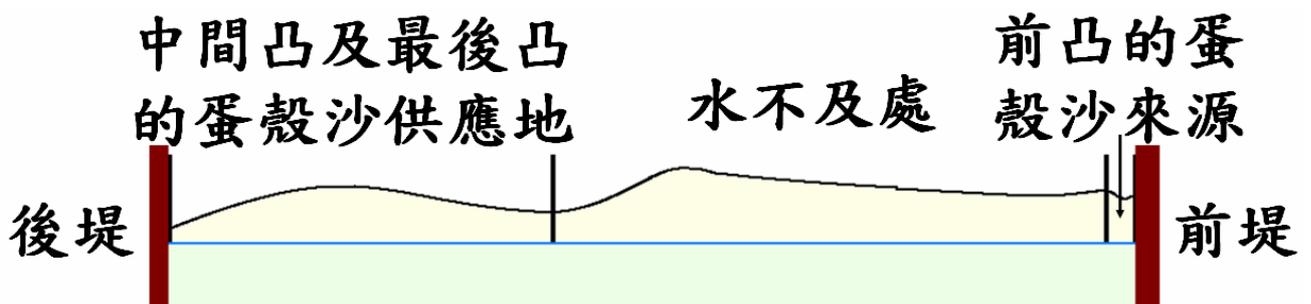
當波傳播至前堤時，因受前堤阻礙而有繞射現象，因此前堤後方會有漩渦的產生，漩渦會背離前堤及稍偏波源的方向前進。因此若前堤太短，前凸的沙子便易被漩渦帶走，使得前凸、前凹不明顯。



圖二十四：入射波和反射波

(2) 鉛直移動：

是由小範圍的反射波所造成，會將沙灘上的沙往下帶（圖二十）。前凸及最後凸的根本沙源皆為自身上方沙灘，而中間凸的沙源則來自後半部沙灘，如圖二十五及圖二十六。前凹及後凹則是相對產生。



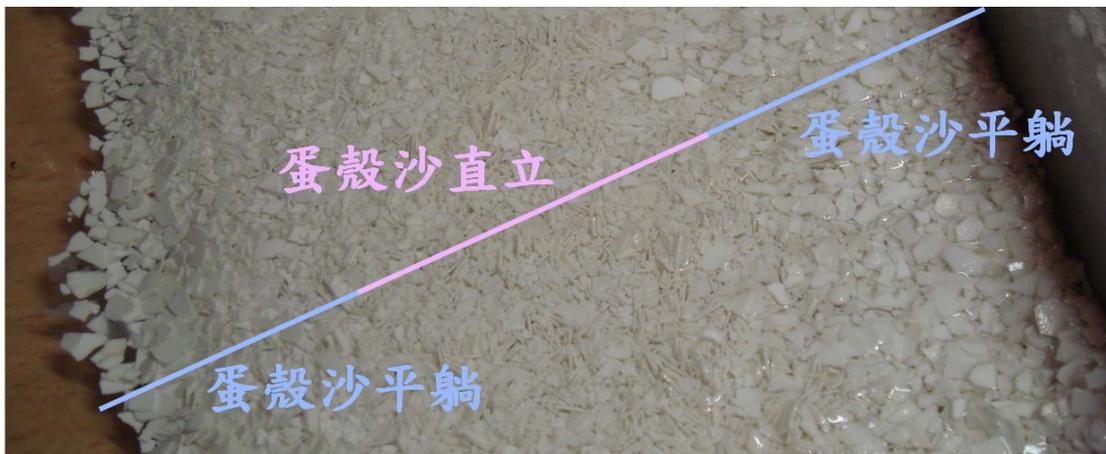
圖二十五：沙源分析

因形成中央凸的反射波是前堤方向，因此沙子會向入射波的方向堆積，使得中間凸形成弧度先大再小的曲線，如圖二十六。中央凸也因持續堆積而變得陡峭。



圖二十六：小範圍的走向反射波

4. 實驗時發現當沙子的移動接近穩定時，將沙子切成平行海岸線三等分，會發現左、右等分的表面沙子平躺，還能受波影響；中間等分的表面沙子直立，不再受波的影響，如圖二十七。



圖二十七：蛋殼的直立與平躺

判斷是因最上端的蛋殼沙為沙源，即最初排列散亂的沙。中間的蛋殼沙因處入、反射波必經之地，故可受波搬運的平躺蛋殼沙被帶走，留下波無法搬運的直立蛋殼沙。末端的蛋殼沙灘，是由波可搬運的平躺蛋殼沙堆積形成的。

5. 提 A 是東沙島突堤群位置最南的東西向突堤，因此提 A 與東沙島南岸

突堤的交互作用不明顯，故視沙嘴南方的侵蝕為單堤侵蝕，即實驗結果 4-1；堤 A、B 間的交互作用明顯，故以雙堤侵蝕解釋，即實驗結果 4-2。

故沙嘴南方的沙子是被侵蝕而向後向外散了出去；沙嘴北方雖然有最後凸上方沙源的補充，但同時也有規模較大的反射波侵蝕，總體看來還是侵蝕。

五、瞭解突堤對積沙的影響

(一) 研究過程：模擬東沙島沙嘴及其北方的突堤之間，波和堤的影響。

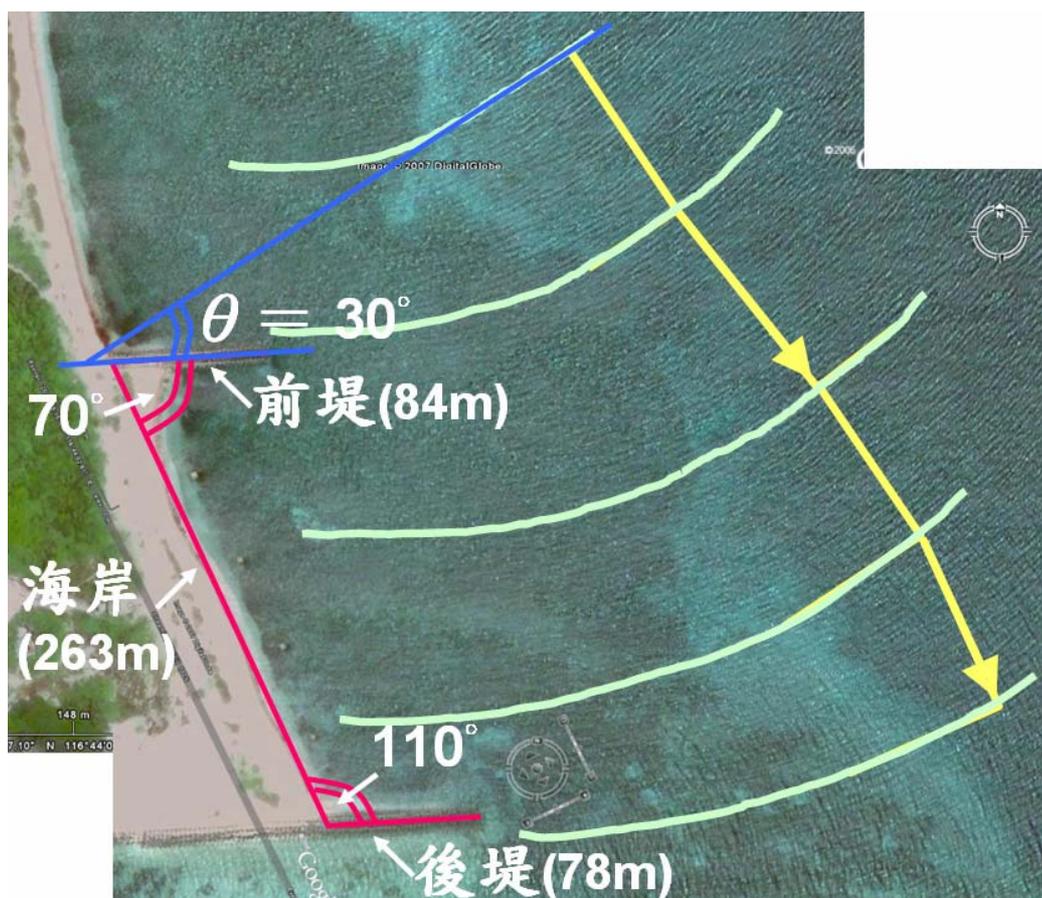
(二) 實驗結果：

實驗：雙堤間波的侵蝕力

起波器以交直流電源裝置代替電池並架於水波槽上，以油黏土製成 $26.3 \times 3 \times 1$ 、 $8.4 \times 3 \times 1$ 及 $7.8 \times 3 \times 1$ (cm^3) 的土堤（海岸、前堤及後堤），置於水波槽中排列成傾斜的門字形，如圖二十九並放入海綿吸震。置玻璃板於水波槽上並將雷射筆置於其上，觀察雷射光在各點的擺動幅度，以方格紙置於水波槽下記錄，如圖二十八。



圖二十八：實驗 4-1 之裝置示意圖



圖二十九：東沙島浪和堤之角度及堤長

以波前為始邊、前堤為終邊，夾 θ 角（負角）。波與前堤夾 30° ；前堤與海岸夾 70° ；海岸與後堤夾 110° 。

（三）實驗結果與分析：

光束穿透水波，便如穿透透境，會產生折射使光束擺動，而擺動的幅度便代表波的震幅，因光束折射的角度是由震幅控制。實驗中以光束最大晃動範圍為晃動幅度。光束擺動的方向即波的走向，若同時有方向不同的波通過，光束便會轉動。

實驗結果如表三及圖三十：X 代表缺少數據。藍色代表數據差異大，有待再試驗。各數據之平均值求得後以 K 點之數值為 100 當標準，其餘等比例換算，再除以二會製成圖三十。

多數光束有週期性的晃動。但 J、K、L 三點位於堤外，光束晃動如極光，並不規則。若數據中之晃動方向有不同，便括弧著名。凡光束有轉圈，以點虛線表示；在堤內且不轉動以實線表示；在堤外以虛線表示。

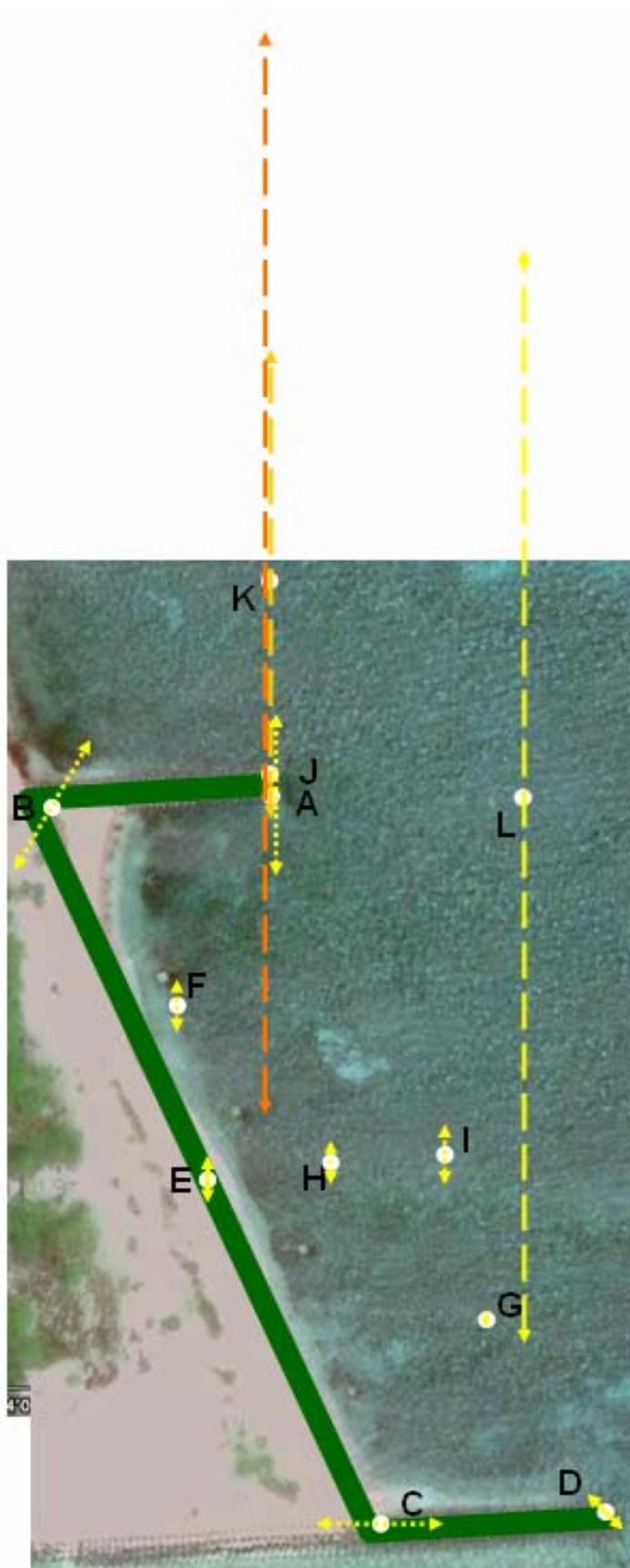
表三：光束數據表

點	晃動幅度(cm)				平均值 (cm)	換算	長度	位置	方向	圖例 (雙箭頭)
	1	2	3	4						
A	1.5	1.2	X	X	1.35	15	7.5	前堤內側端 點	繞圈	點虛線
B	0.9	1.6	X	X	1.25	13.9	6.95	前堤與海岸 焦點	右前到左後 加繞圈	點虛線
C	1.6	0.5	X	X	1.05	11.7	5.85	後堤與海岸 焦點	左右加繞圈	點虛線
D	0.45	0.45	0.4	0.4	0.43	4.7	2.35	後堤內側端 點	左前到右後 (前後)	實線
E	0.4	0.4	X	X	0.4	4.4	2.20	AB中點	前後	實線
F	0.65	0.3	0.4	0.4	0.44	4.9	2.45	正△ABF之F 點	繞圈(前後 加繞圈)	點虛線
G	0.35	0.3	0.3	X	0.14	1.5	0.75	正△CDG之G 點	前後加繞圈	點虛線
H	0.4	0.4	0.3	X	0.37	4.1	2.05	FG中點	前後加繞圈	點虛線
I	0.5	0.6	0.4	X	0.5	5.6	2.80	AD中點	前後加繞圈	點虛線
J	3.9	X	X	X	3.9	43.3	2.17	前堤外側端 點	不規則	虛線
K	9	X	X	X	9	100	50	A點垂直向上	不規則	虛線
L	9.1	X	X	X	9.1	101	50.5	A點平行向右	不規則	虛線

從圖三十可發現在堤外之三點晃動弧度較堤內大很多，表示突堤削弱了大部分的能量。而雙堤間的波較弱，反而堤邊的光束較強，尤其B、C點，即前凸、最後凸。

若配合圖二十九，便可發現入射波因繞射現象使A點光束轉動。波繼續前進，使G、H、I點光束前後晃動，且隨距離增加而減弱。波遇後堤時產生反射波，使D點光束斜向晃動。C點光束同時受入、反射波影響而轉圈。而E、F點入、反射波方向相似，故光束前後晃動。反射波於B點遇前堤再反射，故光束轉動。

C點光束轉動，代表有兩不同方向的波經過，會將沙子侵蝕並帶走，沿著反射波向北移，到B點再反射，但能量已無法搬動沙子而淤積，形成最後凸。



圖三十：各點的運動情形

A點為黃色點虛線；J點為橘色虛線；J點為橘紅色虛線。

伍、結論

1. 東沙島早先為一突出水面的馬蹄形裸露珊瑚礁岩，而珊瑚礁逐漸風化成沙形成沙灘，再經海浪堆積後形成東南方的陸地。
2. 風吹引起的表面波會向岸走，而因水的深淺有別，有折射現象，最後平行海岸。所以當海波傳播至東沙島時，便形成一由西向東之波，受東沙島（障礙物）本身地形阻擋而分為上、下兩道在東南方交會（即沙嘴位置）。因為波遇障礙物的繞射現象，使得波對障礙物的後方影響較弱，故易淤沙，長久便形成沙嘴。
3. 因為任何方向前進的波，折射後皆由西向東傳播至東沙島，經地形分割後交會於沙嘴附近，因此季風為沙嘴移動的主要原因。此外季風也有能力搬運大量的沙，尤其是東北季風。
4. 東沙島沙嘴北方的海岸凹凸不平並非突堤效應造成，因兩者沙子的侵蝕與堆積地點相反：東沙沙嘴的突堤南方的侵蝕為單堤的侵蝕，即積沙向外擴散，沈積於環礁上或落入礁湖中，因此判斷突堤南方淤沙較多、水深較淺，故顏色較亮；而北方突堤間的交互作用明顯，因此以雙堤的侵蝕解釋之，即沙子的水平移動（入射波傳播至後堤時會產生反射波，將後堤前的沙子向前堤後帶。）與鉛直移動（由小範圍的反射波所造成，其會將沙灘上的沙往下帶，如前凸及最後凸的沙源皆為自身上方的沙灘），因此判斷突堤南方淤沙較少、水深較深，故顏色較深。
5. 影響東沙沙嘴擺動的原因，為波（沿岸流）和季風。但因興建突堤於沙嘴上，堤導致沙嘴被侵蝕而完全消失。

陸、未來展望

1. 突堤的興建與沙嘴的消失已是不可改變的事實，但為何原本的淤積地形反而變成了侵蝕地形？在政府大力提倡復育東沙珊瑚礁的同時，是否能拆除東沙島東南岸的突堤使東沙沙嘴再次成為淤積地形。

2. 雙堤間沙子的移動所造成海岸線的凹凸，並不單單發生海岸 a。其實在海岸 b，也有出現類似的情形出現，只是較不明顯。但為何在海岸 a 比較明顯？這或許與入射波的角度、入射波和前堤的角度及前堤及後堤的長度有關。若能找出彼此的關連，便能瞭解何者對海岸侵蝕的影響最大，而對症下藥改進突堤。而以上幾個變因的實驗及更進一步的探討，便是我們皆下來想要討論的。

例如：在不拆除突堤的前提下，雙堤間的海岸線長短是不變的因素，因此我們想利用改變前堤與後堤的長度，使突堤所攔截的入射波減少或削弱以減少子的水平移動及鉛直移動。

3. 在討論 4 中提及沙子平躺及直立的現象，若能確定此排列情形是當沙子的移動呈現穩定時才出現，便能以此做為實驗時間的依據。

柒、參考資料

書籍：

- 1、 邱文彥（民 94 年 7 月）。海中的文化探險 東沙水下考古的起步與啟示。新活水月刊，7，56~64。

網站：

- 1、 高雄市政府海洋局 海洋事務 東、南沙簡介
(<http://marinekcg.so-buy.com/front/bin/ptdetail.phtml?Category=59813&Part=g>)
- 2、 內政部營建署 東沙·台灣第一座海洋國家公園
(<http://np.cpami.gov.tw/park/2006111501.asp>)
- 3、 Google Earth-Home
(<http://earth.google.com/>)
- 4、 國家測論壇 邱文彥 東沙保育之課題與未來
(<http://www.npf.org.tw/monthly/00205/theme-164.htm>)
- 5、 UrMap 你的地圖網

(<http://www.urmap.com.tw/>)

電子報：

- 1、宮守業（民 95）。一張 150 年前的東沙環礁水深圖。國立自然科學博物館電子報第六版。

東沙島的美麗與哀愁～沙嘴移動及其地形
【評語】 040505
的探討

1. 對於高中生無法抵達之地點，能以遙測照片為線索，並輔以模擬實驗進行推論，表現頗佳。
2. 作品呈現時，思路清晰，表達明確。
3. 惜推論僅及單一地點，稍嫌薄弱。