

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

第三名

080504

**HOLD 住洄瀾灣**

～化仁海岸段離岸堤改善可行性之探究

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者：  小六 張宜絢  小六 陳 愛  小六 曾元媛  小六 張宜越  小六 陳逸帆	指導老師：  張玉真  周子宇
---	-----------------------------

關鍵詞：消波塊、離岸堤、海岸侵蝕

## 摘要

本研究經由實地調查、閱讀文獻及訪問第九河川局工程師後，瞭解離岸堤是目前花蓮海岸最主要的防護工法，且已經有不錯的成果。於是我們實驗模擬現今已養灘成功的化仁海堤，探討其離岸堤對於海岸侵蝕之影響。

實驗研究發現：一、十字塊消波塊在模擬現今與未來的海岸侵蝕情形，效果都優於目前所使用的林克塊消波塊。二、林克塊離岸堤的凸出部位，會增加掃浪帶的侵蝕量。三、使用防消波塊底沙侵蝕工法，可減少林克塊離岸堤底沙侵蝕的情形，但對十字塊離岸堤作用不大。

實驗研究結果：未來改善離岸堤凸出部份，使用十字塊消波塊施作，應較林克塊消波塊好。若要使用林克塊消波塊，則建議以防底沙侵蝕工法施作，可提升林克塊的安定性。

## 壹、 研究動機

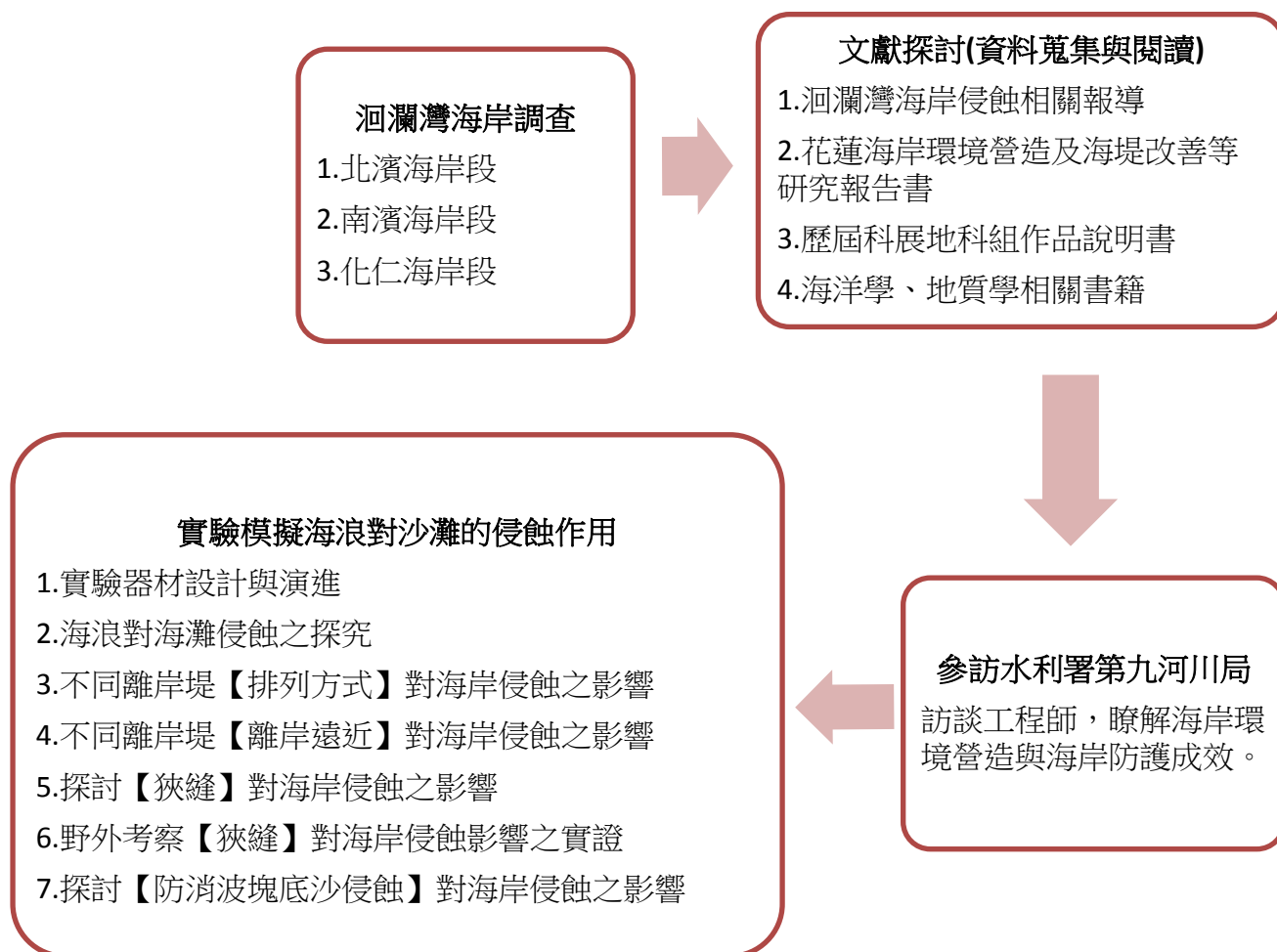
2013年11月，我們欣賞了齊柏林先生拍攝的紀錄片~看見台灣，在片中，我們看到台灣曾經擁有的美麗與即將面臨的災害。緊接著大家又在地方報上，看到一則有關花東海岸的新聞，內容大概是敘述東部海岸線退縮速度驚人、國土嚴重流失的問題，實在令人憂心。

在六上自然課本單元二「大的的奧秘」內容中，也提到自然界風化、侵蝕等作用，會造成地形、地貌的改變。我們實地走訪家鄉美麗的海岸~洄瀾灣，發現其海岸線長期受海浪沖刷侵蝕及沙源供應不足的影響，第九河川局在此海岸段，進行許多海岸環境營造及海堤改善工程，希望能保護現有的海灘。於是在老師指導下，我們著手進行一連串的實驗探究，希望能為留下美麗的洄瀾灣盡一份心力，不要讓它消失了。

## 貳、 研究目的

- 一、 藉由野外調查，觀察洄瀾灣海岸環境與海堤設置情形。
- 二、 藉由文獻探討，瞭解海岸侵蝕與海堤防護相關知識。
- 三、 藉由參訪活動，瞭解目前政府單位如何防護花蓮海岸受侵蝕。
- 四、 模擬海浪的侵蝕作用，並藉由實驗研究結果，提出化仁海岸段離岸堤改善可行性之建議。

## 參、 研究流程



## 肆、 研究設備與器材

### 一、野外調查:

風速計、風向計、指北針、木棍標尺、沙土取樣袋、鏟子、十字鎬。

### 二、實驗研究:

造浪器(WP-40)、實驗槽、海沙、自製消波塊模型、竹籤標尺、自製狹縫板、計時器。

## 伍、 研究過程與方法

### 一、 實地調查洄瀾灣海岸現況

我們選擇南北濱海岸、化仁海岸區段，也就是本研究所定義的『洄瀾灣』來進行實地探查，希望透過詳細的觀察記錄，瞭解其海岸樣貌。

洄瀾灣北起美崙溪口，南至花蓮溪口，海岸線長約四公里。本區域主要河川共三條，由北至南分別為美崙溪、吉安溪及花蓮溪。依照河川與排水系統出口可分為三段：北濱段－北起美崙溪出海口，南至自由街排水口；南濱段－北起自由街排水口，南至吉安溪出海口；化仁段－北起吉安溪出海口，南至花蓮溪出海口。

本段海岸約以吉安溪為分界，夏季呈現北淤積南侵蝕的趨勢，冬季則多呈現侵蝕現象，僅花蓮溪口北岸有淤積現象。整體來說，北濱段因花蓮港東岸防坡堤興建，改變沿岸流帶動漂沙方向，呈現淤積現象。南濱段因離沉積源花蓮溪甚遠，在無沙源供應下，呈現侵蝕現象。化仁段，則因花蓮溪的輸砂供應，呈現淤積現象。



圖 1：洄瀾灣海岸（資料來源：張國儀 2011）

## (一) 北濱海岸段

北起美崙溪出海口，南至自由街排水口。民國 68-75 年間，花蓮港務局為了停泊船隻的需要，陸續興建東、西防波堤。民國 76 年，東防波堤加長 800 公尺後，雖然有效消滅北濱海岸的侵蝕現象，卻對自由街排水口以南的南濱海岸灘線造成影響，出現明顯後退的情形。我們在此區段觀察到九河局設置長突堤、離岸堤群、及消波塊等護岸工法。

		
<p>圖 2.美崙溪出海口。</p>	<p>圖 3. 花蓮港東、西防波堤。</p>	<p>圖 4. 我們利用測距輪，測量陸地到潮水線間的海灘長度。</p>
		
<p>圖 5.北濱海岸邊的長突堤。</p>	<p>圖 6. 北濱海岸前的離岸堤群。</p>	<p>圖 7.自由街排水口，兩側堆置消波塊護岸。</p>

## (二) 南濱海岸段

北起自由街排水口，南至吉安溪出海口。南濱海堤主要是以拋填塊石護岸工法，來營造民眾親水空間。另外，為減緩南濱海岸的侵蝕速度，九河局以漸進方式先設置突堤，再設置離岸堤穩住灘線。

		
<p>圖 8.南濱海堤地標。</p>	<p>圖 9.南濱海岸:拋填塊石護岸工法。</p>	<p>圖 10. 我們在石塊灘上測量海灘寬度。</p>

圖 11-12.南濱海岸前的離岸堤群，會露出海面大約 1.5 米作為警示，以防止經過的船隻觸礁。		圖 13. 吉安溪出海口左側是拋填石塊護岸工法，右側為消波塊工法。

### (三) 化仁海岸段

北起吉安溪出海口，南至花蓮溪出海口。自 85-92 年間，九河局分別於南濱及化仁海堤灘線前 135 公尺處，各設置 8 座離岸堤，以增加消波功能。經過整治之後，目前海岸侵蝕減緩，退潮時可明顯見到海灘沙舌，且海灘上有許多消波塊已被沙土覆蓋(如圖 19)。

圖 14.吉安溪出海口。	圖 15. 海灘上除放置大石塊，也會設置消波塊。	圖 16. 海堤前段~十字型消波塊護岸。
圖 17. 海堤中段~協克塊消波塊。	圖 18. 海堤前設置離岸堤群。	圖 19. 海灘上許多消波塊都被沙土覆蓋了。

## 二、 文獻探討

為了更瞭解與本研究相關的知識，我們蒐集與閱讀資料，並到九河局借閱花蓮海岸的研究報告書進行討論，以下就波浪、潮汐、離岸堤、消波塊等知識進行探討。

### (一) 波浪

波浪有許多類別，最多的是由風吹過水面所造成的風浪。風浪的大小取決於風速和風的延續時間。而浪在近岸處，因為海水深度變淺，底部摩擦力大於頂部，使得波浪的上方速度比下方快，使得波浪破裂稱為碎浪，此區的水呈亂流狀運動，並以高速度向海面衝進，這就是**衝浪帶**。衝浪帶是海岸侵蝕與搬運的主要營力，能使海岸線變化，且將波浪能量耗盡。而它的寬度由海灘的坡度以及潮汐來決定。

位在衝浪帶的最靠近陸地部分，造成**掃浪帶**，在這一帶內，波浪呈一薄水層挾帶沉積物沿著海灘向上撥濺，在海灘上造成沉積作用。(何春蓀，1990)

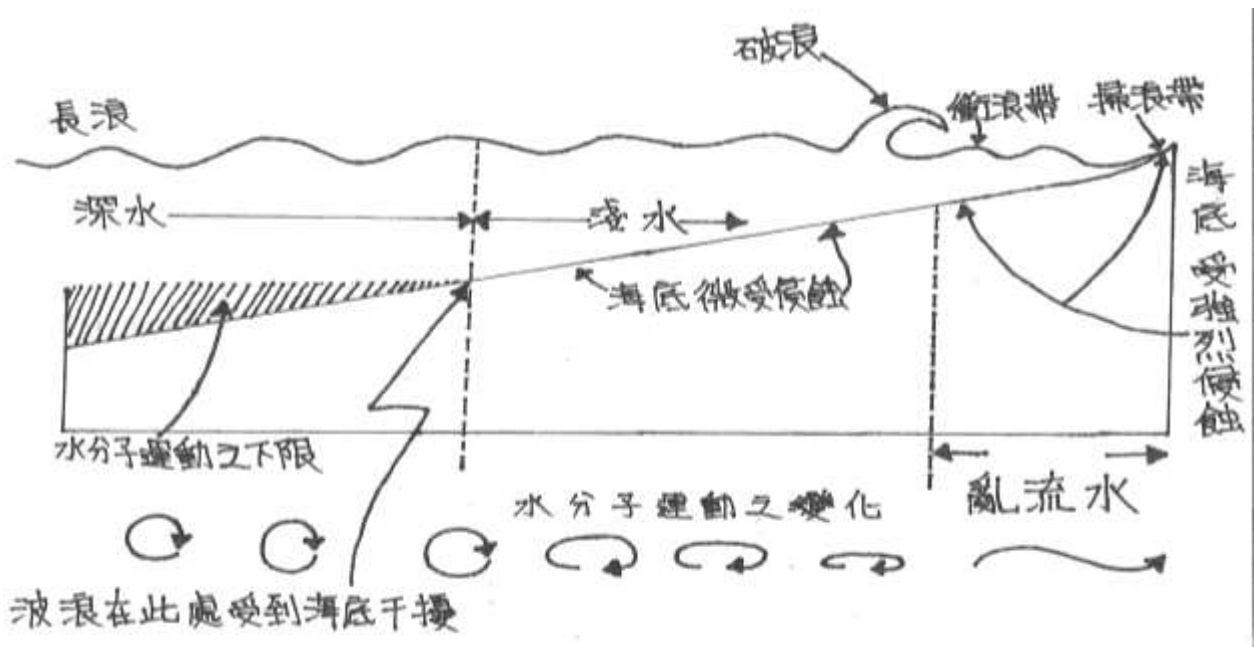


圖 20：波浪所造成的長浪、破浪、衝浪和掃浪。(資料來源：普通地質學)

### (二) 潮汐

潮汐形成原因是地球受其他天體的萬有引力，及兩者間公轉的離心力所造成的引潮力，主要影響地球潮汐的天體是月球，其次是太陽。

海水面上升段稱為漲潮；下降段稱為退潮。從漲潮轉為退潮時，海水位達到相對最高，稱為滿潮。從退潮轉為漲潮時，海水位達到相對最低，稱為乾潮。任一滿潮和相鄰乾潮的潮高差值，稱為潮差。(張憲國，2007)

### (三) 漲退潮對海岸的侵蝕機制

漲潮時波浪的溯升將海沙帶至沖刷帶而堆積；退潮時波浪回刷力量增強，將海沙運送至海中，造成海岸侵蝕。潮差愈大，潮流流速隨之增加，載沙能力增強。圖 21 為潮汐影響海岸變化的情形。

在理想狀態下，從漲潮到下一次的漲潮週期為 12 小時 50 分鐘，但因緯度和地形的不同，可分為全日潮與半日潮，花蓮則為半日潮區域。

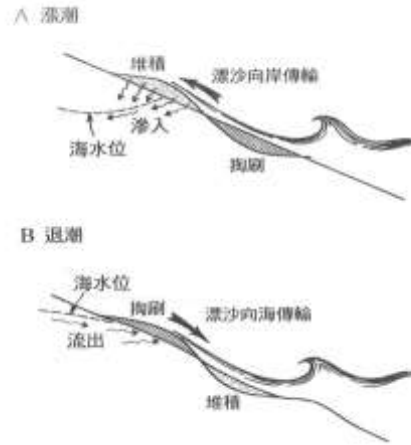


圖 21：漲退潮對海岸作用之侵蝕機制。  
資料來源：(許泰文，2007)

### (四) 消波塊

好的消波塊必須要有以下功能：一、消波性：減少波浪反射。二、安定性：不易受到波浪而位移，塊體和塊體必須能緊密結合，互相牽制不易潰散。三、施工方便：製作、運輸及吊放要容易施作。

我們實地進行洄瀾灣海岸線的消波塊分佈調查，發現有許多種類型的消波塊(如圖 23-26 所示)。其中，數量最多的是林克消波塊與十字形消波塊兩種，而離岸堤群，則皆以林克塊消波塊施作。



圖 22：常見的消波塊類型。  
資料來源：(林家瑜 2014)

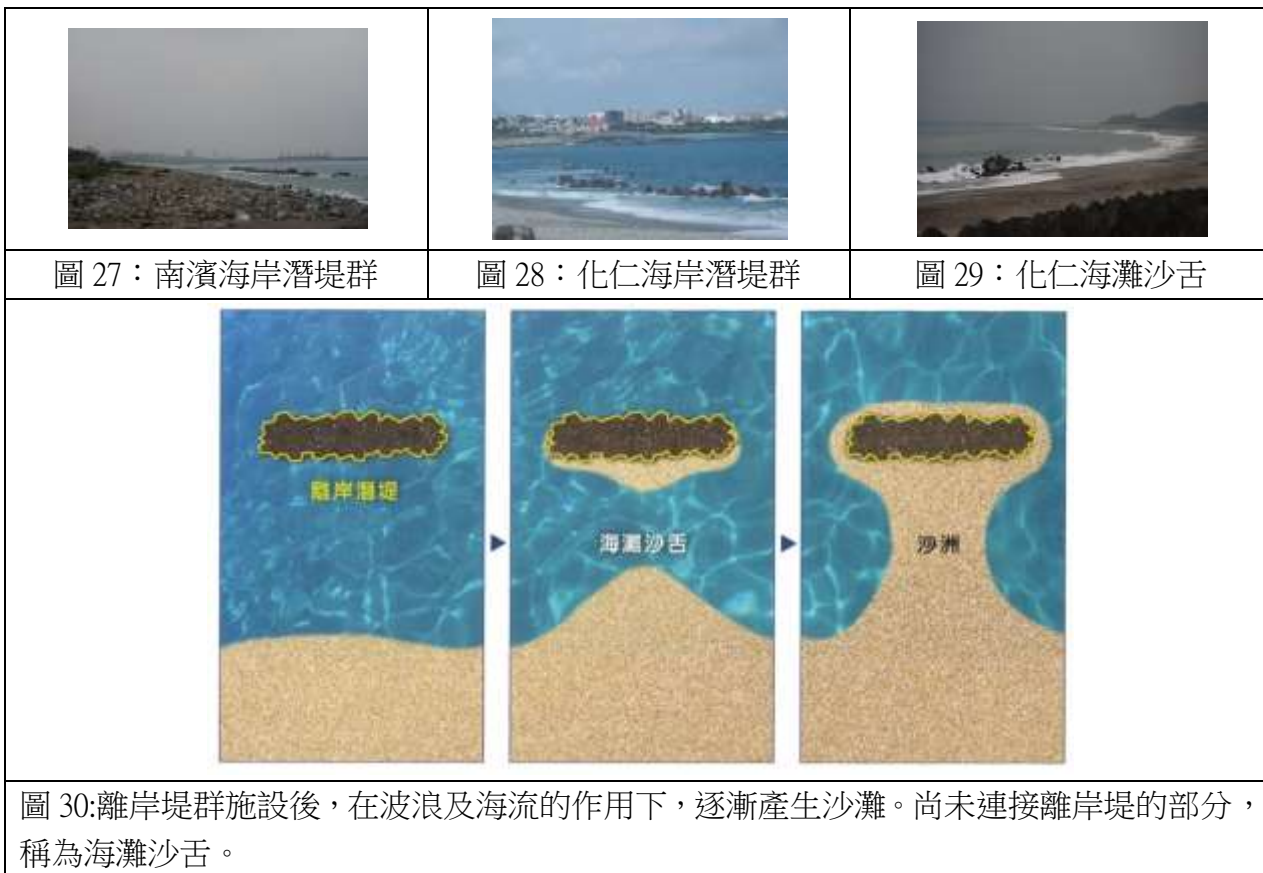
圖 23：北濱海岸～三角鼎空心消波塊	圖 24：南濱海岸～天允消波塊。	圖 25：化仁海岸～林克消波塊。	圖 26:化仁海岸～十字形消波塊。



### (五) 離岸堤

離岸堤的設置，主要是以消波塊為主體，其功能是将浪擋在外海，避免直接衝擊到沙灘。離岸堤的佈設必須要在水深 5 至 12 公尺處，且在沒有漲退潮時，其頂部應在水面下 0.5 公尺，因此稱為潛堤。但花蓮的潛堤因設置處接近海港，為了行船安全，設計上會突出海面 1.5 米作為警示。離岸堤單一施作的效果不是很好，通常會一系列施作，因此正確的說法應該稱為離岸堤群，以洄瀾灣的離岸堤群為例，其施作地點主要在近岸處，也就是距離海岸 100 公尺左右，每一座疊放三排消波塊約 80 公尺長，且為了要能夠使漂沙進入，彼此間留有約 30 公尺的空隙。

目前花蓮區的離岸堤，從民國 85 年開始施作至 92 年間，已建立 16 座離岸堤，其效果最好的區域在化仁段，不但灘線不再後退，且已經開始養出海灘沙舌，可見其防護功效。



### 三、 參訪水利署第九河川局

結束洄瀾灣海岸調查後，我們心中產生許多疑問：為什麼花蓮海岸線會有那麼多種類型的消波塊呢？如果潛堤能發揮養灘功效，為什麼只有化仁海岸段成效較好，而南濱海岸段卻不見明顯效果呢？於是，老師帶我們去拜訪第九河川局的工程師，請他們提供專業的解答。

#### 四、 實驗模擬海浪對沙灘的侵蝕作用

經由實地調查洄瀾灣海岸，及訪問工程師的活動，讓我們瞭解到花蓮海岸離岸堤的設置方式，以及化仁段離岸堤和別區段離岸堤的差異性。但我們心中仍存在許多疑問，例如：從化仁到南濱，離岸堤的養灘效果不是依序減少，而是突然消失了。此現象，除了受花蓮港興建東西防坡堤的影響外，應該還有其他原因。而花蓮海岸使用許多種類的消波塊，哪種消波塊可以提供離岸堤較好的防護成效？當化仁離岸堤已經養灘有成後，未來海岸線會有甚麼發展？於是我們著手進行實驗研究，來為這一連串的問題尋找解答。

##### 【實驗一】實驗器材設計與演進

在第 52 屆（陳彥廷等，2012）的研究中，討論了離岸堤的長度、擺設角度、離岸遠近、擺設間距以及擺設形狀等問題，但其討論的狀況為離岸堤設置之初，堤岸仍舊離岸的狀態。而本研究樣區化仁海岸段，目前已出現養灘成效，因此我們想要就養灘成功後的海岸狀態，來探討離岸堤對於海岸侵蝕之影響。

為了在實驗室中模擬海浪對海岸的侵蝕，我們必須先建構出適合的討論環境，以下就實驗槽設置與造浪器的演進過程作說明。

##### （一） 實驗槽設置

第 50 屆（張宛喬等，2010）的研究中，以鐵櫃抽屜為實驗槽，而第 52 屆（陳彥廷等，2012），則是設計長 180 cm、寬 90 cm、高 15 cm 的較大型水槽。為了模擬近似化仁海岸的實驗環境，我們進行以下的實驗槽設計。



圖 31：釘製木製實驗槽，長 150cm、寬 90cm、深 30cm，並鋪上防水塑膠布。



圖 32：以保麗龍板鋪設階面，但加水後，階面承受不住水的浮力，漂起來了。



圖 33：改以厚重的大理石板當階面，鋪上海沙後，完成實驗槽設計。

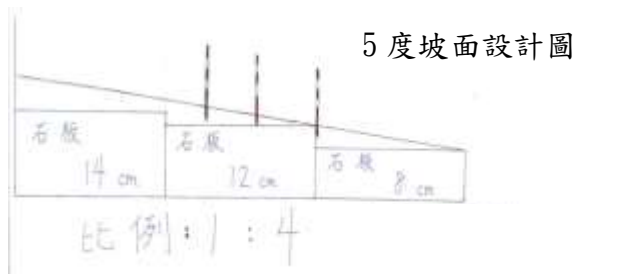


圖 34：在經濟部水利署 101 年的研究總報告書中指出，化仁海岸的坡度約為 5 度。因此我們設計的實驗槽是以 60x30x2cm 的大理石板鋪設灘面台階，第一階為 14cm，第二階為 12cm，第三階 8cm，這樣的鋪設方式可形成底為 60cm 高 6cm 的直角三角形，經三角函數計算可求得實驗槽灘面坡度為 5 度。

## (二) 實驗區網格點設置

第 52 屆（陳彥廷等，2012），在描述海岸侵蝕狀態時，是採用浪打上沙灘的波痕長度做為應變項，但我們實際測試的結果發現，波痕打入沙灘的範圍，不一定是侵蝕作用，也有可能造成掃浪帶的沉積。因此在本實驗中，我們使用網格點與標尺，來記錄沙灘的侵蝕量與淤積量，希望能更準確的描述海岸侵蝕情形。

我們先在大理石階面上，鋪上由化仁海岸採集回來的海沙，厚度為 3.5cm。接著在實驗槽上用紅色棉線拉出九點網格點，依序編號並設置標尺，用來記錄灘面的侵蝕量。

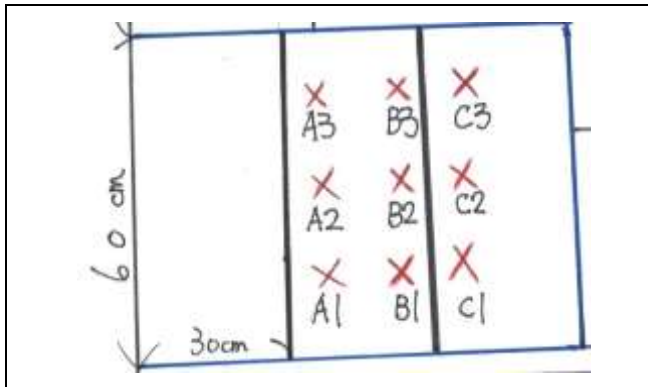


圖 35：網格點編號圖示，第一排為 A 排（A1、A2、A3）為掃浪帶；第二排為 B 排（B1、B2、B3）；第三排為 C 排（C1、C2、C3），B、C 排則為衝浪帶。



圖 36：在各標記點，插入用竹籤製作的標尺。我們在標尺上畫出黑白相間隔的刻度，用來標示海浪對沙灘的侵蝕量。

## (三) 造浪器設置

為了**模擬海浪**，我們必須設計一個簡單、實用的起波器。第 50 屆（張宛喬等，2010）的作者，是採用糖果罐配合波浪板自製出可轉動的起波器。而第 52 屆（陳彥廷等，2012）的作者，則是由馬達帶動起波板轉動，產生波浪。

我們也試著利用電風扇、塑膠桶風洞、直尺、塑膠板等器材，自製造浪器（如圖 37-41）。



圖 37：利用電風扇造浪。



圖 38：塑膠桶風洞造浪法。



圖 39：以直尺撥動水面造浪。



圖 40：以塑膠起波板造浪。



圖 41：變頻式造浪器。

經過數次實驗後，我們發現：利用自製起波器造浪，頻率不穩定，且無法完全模擬出海浪侵蝕沙灘的力道。最後，我們選用水族館使用的電動造浪器，利用它的變頻設計，選用合適的造浪頻率，來進行實驗研究，我們調整好頻率後，與第 52 屆（陳彥廷等，2012）所使用的造浪器比較（如圖 42-43），發現兩者所產生的波痕相似，是可行的造浪方式。

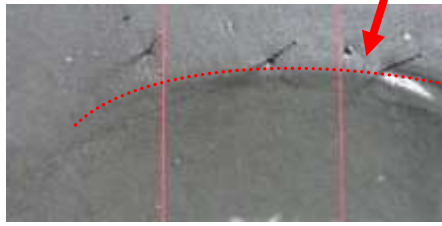


圖 42：本研究使用變頻式造浪器產生的波痕。

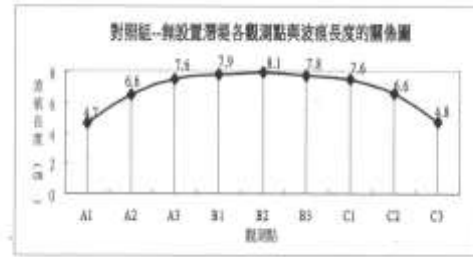


圖 43：52 屆研究報告書的波痕分析圖。(陳彥廷等，2012)

本實驗進行時，控制造浪頻率為每秒 1 次，總造浪時間為 1.5 小時，浪總拍打次數為 5400 次。而在化仁海岸段滿潮到乾潮時，我們觀察到海浪頻率為每秒 0.2~0.25 次，實際拍打時間為 6~7 小時，則總拍打次數為 4320~6300 次，因此我們的實驗設計，符合野外真實狀況。



另外，本實驗設計之波長經實測為 3~4cm，而野外海浪的波長多為 50~200 公尺。本實驗水位最低為 13.5 公分，水深對波長的比值大於 1/2，起波處為深水波水域，直至灘面處才成為淺水波水域，符合野外實際情形。

#### (四) 消波塊設計

在消波塊的設計上，野外消波塊實際高度為 3m，而我們設計的消波塊模型高度為 6cm，此長度比為 1：50。除高度外，消波塊重量也是我們需要考量的因素，依此比例尺，則消波塊的放大倍率為 125000 倍，對照我們設計的消波塊重量為 155g，換算成實際重量約為 20 噸重，是符合野外消波塊實際大小的。

另外，本實驗主要是模擬林克塊與十字塊兩種消波塊，本來我們打算使用相同材質製作，但使用油土製成的林克塊，在水中實驗一段時間後就會軟化變形，造成實驗誤差太大。於是我們改用小藥杯固定外型，製作出不會變形的林克塊，並與油土材質的十字塊進行密度比較，發現兩者的密度相差不大，於是我們正式使用這兩種消波塊模型來進行實驗研究。

表 1:自製消波塊模型密度分析

名稱	林克塊	十字塊
照片		
重量	155~165 克	115~125 克
體積(排水法)	80 cm <sup>3</sup> ~90 cm <sup>3</sup>	60 cm <sup>3</sup> ~70 cm <sup>3</sup>
密度	1.93~1.83 g/cm <sup>3</sup>	1.91~1.78 g/cm <sup>3</sup>

### （五） 實驗海沙採樣

本研究以化仁海岸段海灘為採樣區。採集海沙樣本時，以間隔 10 公尺的距離，畫出 3 個採樣點。每一採樣點，畫一個長寬 50 公分的方格，再分成四小格，每一小格從表層挖取約 20 公分深的海沙，均勻混合後，再裝入採樣袋。每一採樣點，皆秤取相同重量（10 公斤）的海沙後，密封後帶回學校進行相關實驗。

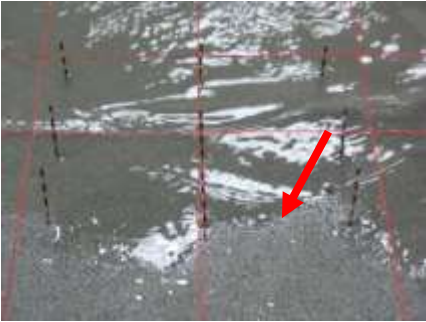

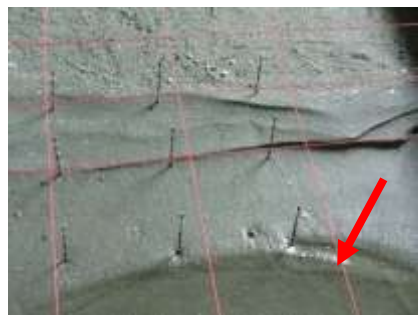
## 【實驗二】海浪對海岸侵蝕之探究

### （一） 模擬退潮狀態實驗：精緻版

由閱讀資料得知，退潮時海浪的侵蝕力道最大。因此，我們在 90 分鐘的實驗時間中，前 15 分鐘模擬滿潮水位，接下來的一個小時，每 30 秒撈水 350C.C.，以模擬退潮狀態，最後 15 分鐘，則模擬乾潮水位。

### （二） 模擬退潮狀態實驗：簡化版

由於進行上述實驗時，有研究方法及時間上的限制，因此我們改以較精簡的方式來模擬退潮情形，每次實驗進行 90 分鐘，如下列各圖示說明：

		
圖 44：實驗開始時，水位設定於 B 排標尺（模擬滿潮水位）	圖 45：半小時後撈水，將水位設定在 B、C 排標尺中間（模擬中間水位）	圖 46：再半小時後撈水，將水位設定至 C 排標尺（模擬乾潮水位）

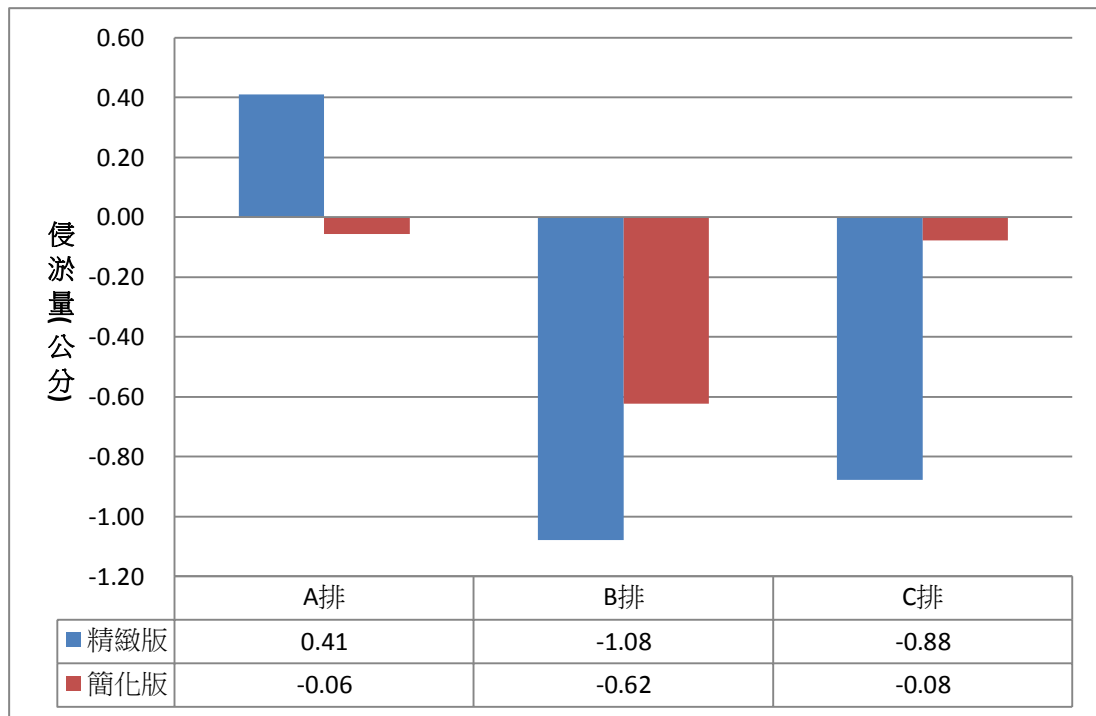
本實驗設定之潮汐情形為大潮，在野外實際潮差為 150cm，而實驗室潮差為 3cm，是符合實驗槽與野外 1：50 的比例的比例。實驗步驟如下：

### （三） 實驗步驟

- （1） 將坡面 5 度實驗槽鋪好沙，並依照網格點插上標尺。
- （2） 造浪器以每秒 1 次之頻率進行造浪。
- （3） 設定水位為滿潮位置，實驗進行 30 分鐘後，暫停造浪，紀錄標尺顯示的灘面侵蝕量。
- （4） 紀錄完成後，撈水至水位為中間位置，開啟造浪器，繼續實驗。
- （5） 實驗進行 60 分鐘後，暫停造浪，紀錄標尺顯示的灘面侵蝕量。
- （6） 紀錄完成後，撈水至水位為乾潮位置，開啟造浪器，繼續實驗。
- （7） 實驗進行 90 分鐘後，停止實驗，紀錄標尺顯示的灘面侵蝕量。完成一次實驗需歷時 90 分鐘。
- （8） 重複以上實驗步驟三次，計算灘面侵蝕量平均值。

(9) 將三次實驗中，乾潮水位時，A 排三支標尺的侵淤量，計算平均值。依同樣方式處理 B、C 排數據，並完成記錄表。

#### (四) 實驗結果



#### (五) 發現與討論

1. 比較兩個實驗，我們發現：在 A 排的淤積量，精緻版 > 簡化版；B、C 排的侵蝕量，精緻版 > 簡化版。
2. 觀察實驗結束後的灘面，精緻版會呈現較連續的坡面，簡化版則如階梯狀。
3. 精緻版實驗雖然較符合野外的退潮狀態，但基於實驗時間及操作上的考量，我們決定採用簡化版的實驗步驟，來進行後續各項實驗。
4. 本文後續實驗討論，皆將簡化版的實驗結果以「5 度對照組」稱之。





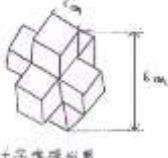



### 【實驗三】不同離岸堤『排列方式』對海岸侵蝕之影響

根據野外調查的結果，我們發現目前化仁海岸的離岸堤已發揮養灘功效，且離岸堤凸出海面的部分排列數不同。因此我們想了解不同消波塊排列數，對海岸侵蝕的影響。

另外，花蓮海岸最常見的消波塊種類為林克塊與十字塊，於是我們以這兩種消波塊模型，來進行實驗探討。

#### (一) 實驗步驟

- (1) 將坡度 5 度實驗槽鋪好沙，並依照網格點插上標尺。
- (2) 在 C 排前方 10 公分處，排列 1 排林克塊與 C 排同寬(圖 48)。
- (3) 實驗開始後，造浪器以每秒 1 次之頻率進行造浪，並依照【**實驗二**】的方式記錄實驗結果。
- (4) 重複三次實驗，求灘面侵蝕量平均值。
- (5) 接著將林克塊排列數，改為兩排、三排，重複以上步驟。
- (6) 林克塊實驗完成後，改成十字塊，重複以上步驟，進行三次實驗。

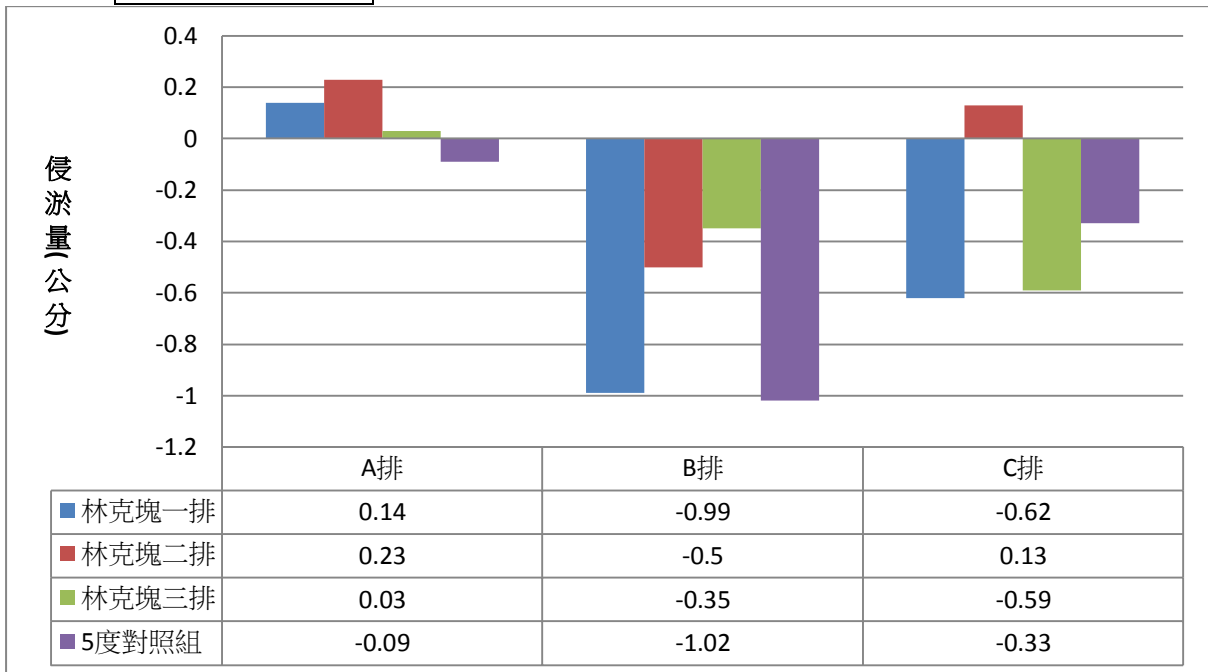
 <p>繪製林克塊模型圖</p>			
<p>圖 47：繪製林克塊模型圖。</p>	<p>圖 48：一排林克塊排列方式。</p>	<p>圖 49：二排林克塊排列方式。</p>	<p>圖 50：三排林克塊排列方式。</p>
 <p>繪製十字塊模型圖</p>			
<p>圖 51：繪製十字塊模型圖。</p>	<p>圖 52：一排十字塊排列方式。</p>	<p>圖 53：二排十字塊排列方式。</p>	<p>圖 54：三排十字塊排列方式。</p>

#### (二) 實驗數據分析

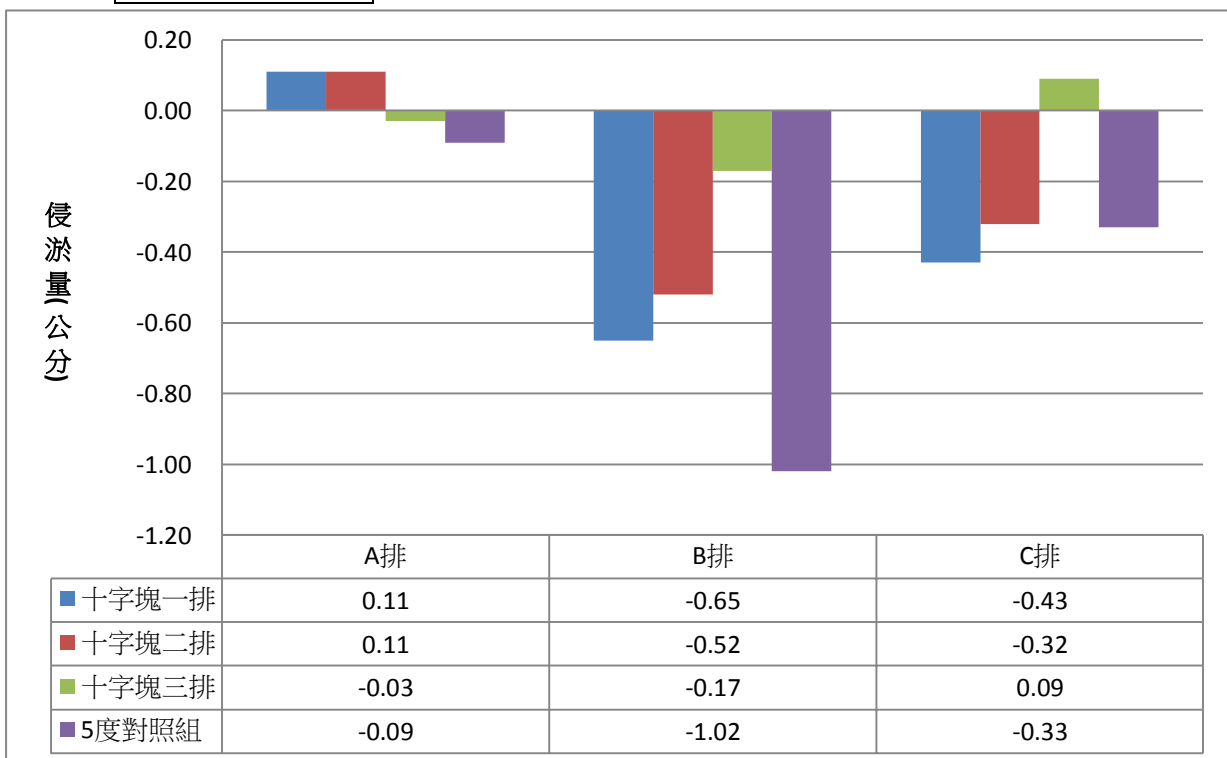
- (1) 將林克塊一排的三次實驗中，**乾潮水位時**，A 排三支標尺的侵蝕量，計算平均值，並換算成實際灘面高度。依同樣方式處理 B、C 排數據，即可得出乾潮時，ABC 三排的沙量。
- (2) 依照以上方式處理實驗中不同離岸堤排列數的數據。

### (三) 實驗結果

#### 1. 比較林克塊排列數不同的結果

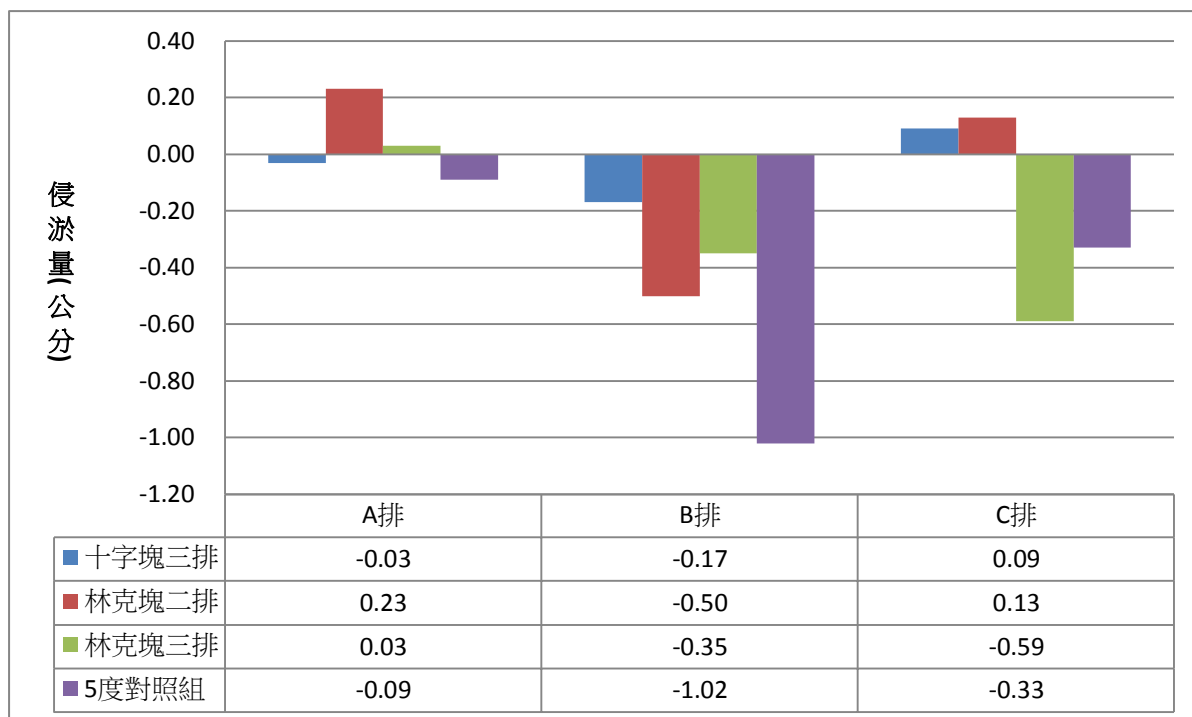


#### 2. 比較十字塊排列數不同的結果：





### 3. 綜合比較：



#### (四) 發現與討論

1. 依據林克塊排列方式的實驗結果：林克塊二排防侵蝕的效果，優於其它排列方式。
2. 依據十字塊排列方式的實驗結果：十字塊三排防侵蝕的效果，優於其它排列方式。
3. 根據文獻探討，化仁海堤防護工程，當初施作時的林克塊排列方式為三排。  
若與林克塊和十字塊最佳排列方式相比較，可知其效果優劣順序為：十字塊三排 > 林克塊二排 > 林克塊三排。
4. 綜合以上各點可知，凸出海面的離岸堤，以十字塊三排施作是較理想的方式。

## 【實驗四】不同離岸堤『離岸遠近』對海岸侵蝕之影響

我們假設化仁海岸的離岸堤，若持續發揮養灘功效，則現有的海灘將與離岸堤凸出海面部分連接在一起。我們想要了解當這種狀況發生時，離岸堤對海岸侵蝕的影響，因此設計以下實驗，來比較離岸堤離岸遠近，對海岸侵蝕的影響。

本實驗設計是將消波塊放置於標尺 C 排處，稱為『近岸』，對照組為實驗三，消波塊置於 C 排前 10 公分處，稱為『離岸』。

### (一) 實驗步驟

- (1) 將坡度 5 度試驗槽鋪好沙，並依照網格點插上標尺。
- (2) 在 **C 排處** 排列 1 排林克塊與 C 排同寬。
- (3) 實驗開始後，造浪器以每秒 1 次之頻率進行造浪，並依照【實驗二】的方式記錄實驗結果。
- (4) 重複三次實驗，求灘面侵蝕量平均值。
- (5) 接著將林克塊排列數，改為兩排、三排，重複以上步驟。
- (6) 林克塊實驗完成後，改成十字塊，重複以上步驟，進行三次實驗。

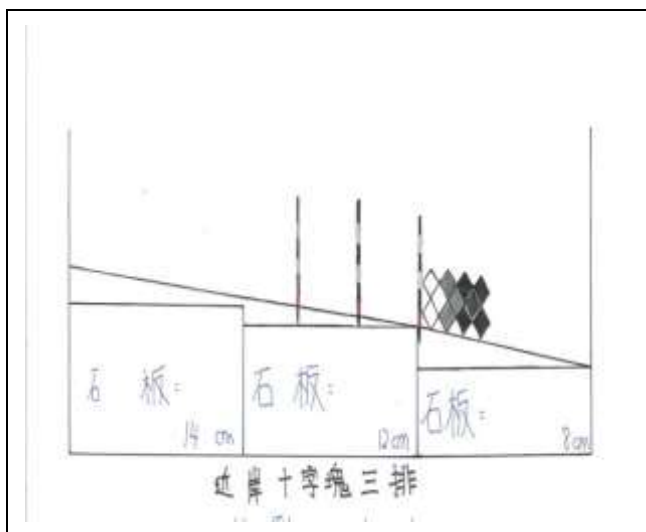


圖 55：消波塊近岸實驗設計圖。

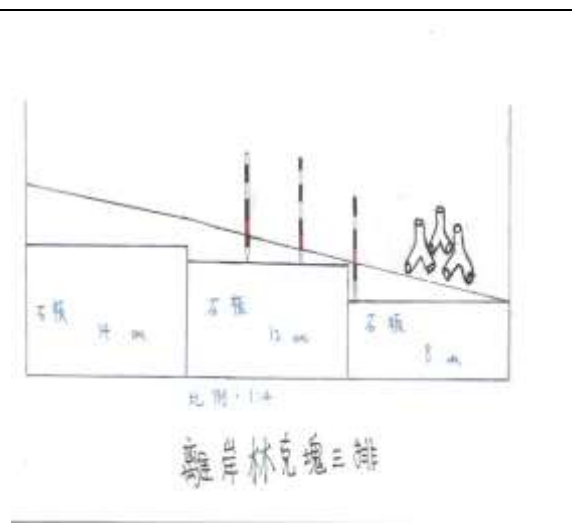
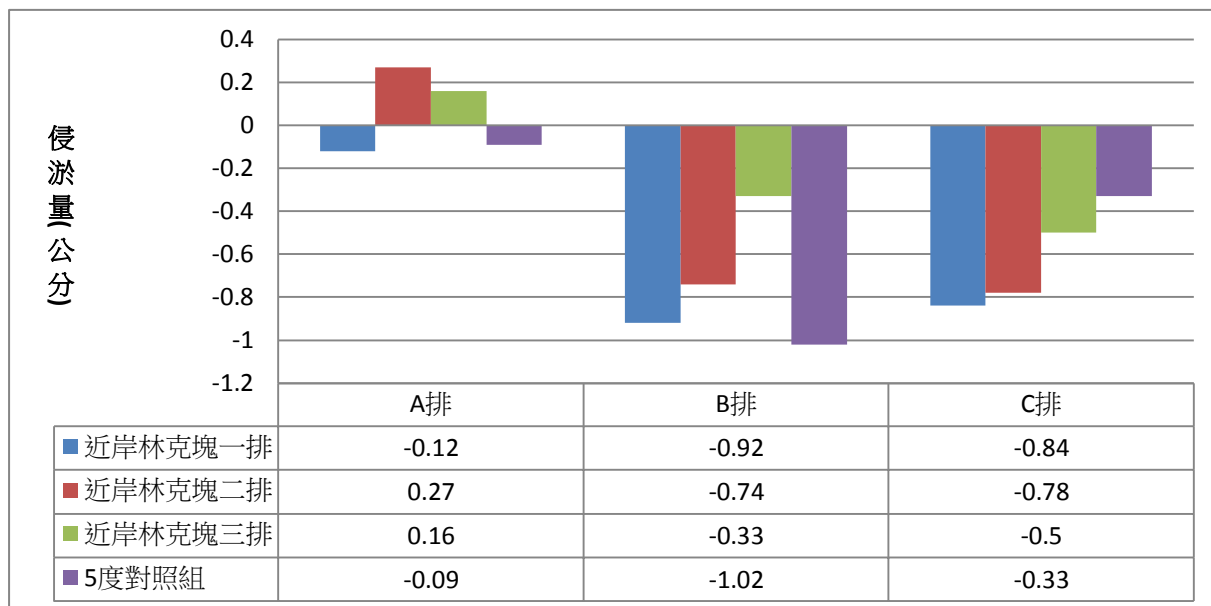


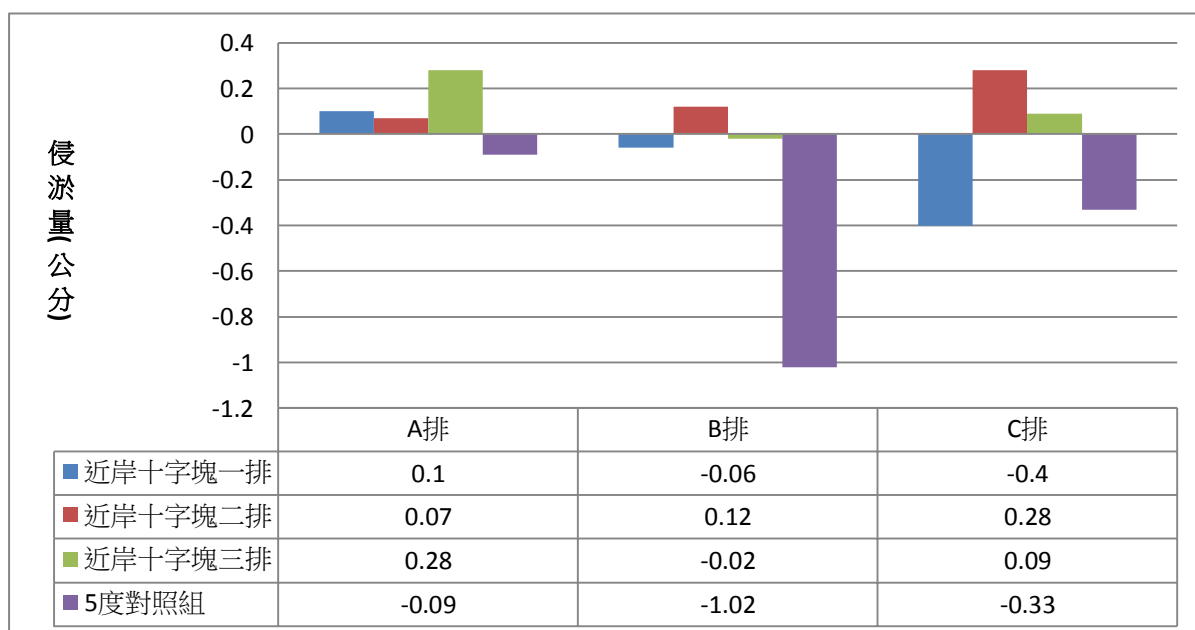
圖 56：消波塊離岸實驗設圖。

## (二) 實驗結果

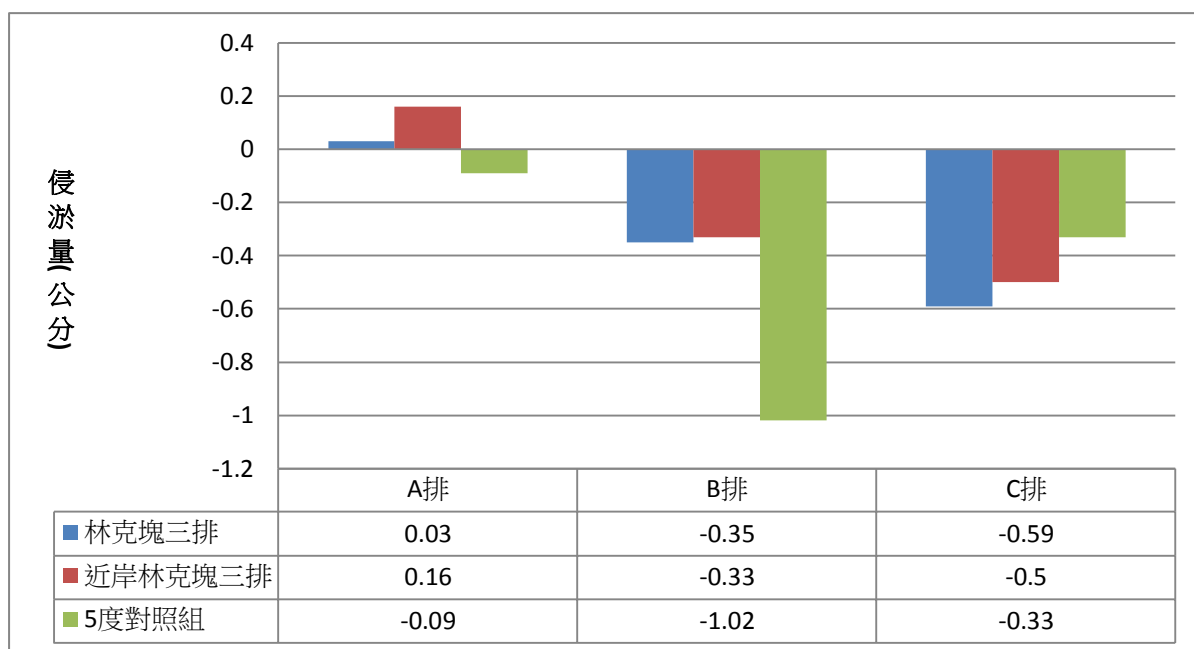
### 1. 比較近岸林克塊排列數不同的結果



### 2. 比較近岸十字塊排列數不同的結果



### 3. 綜合比較林克塊離岸位置不同的結果



#### (三) 發現與討論

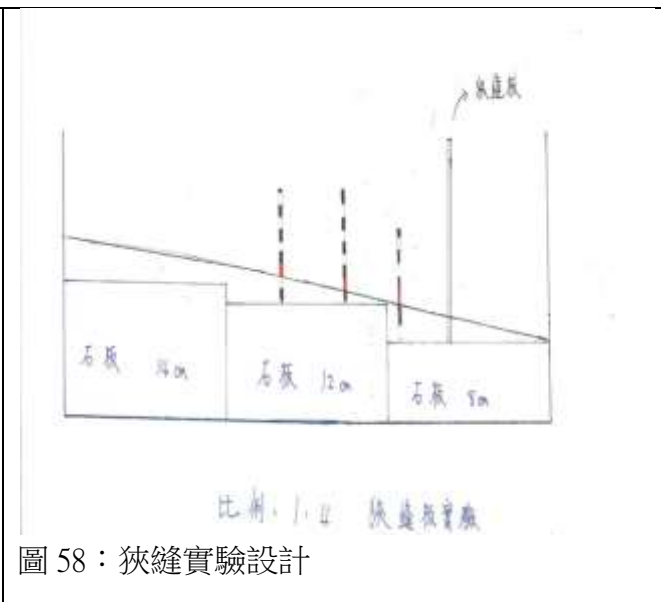
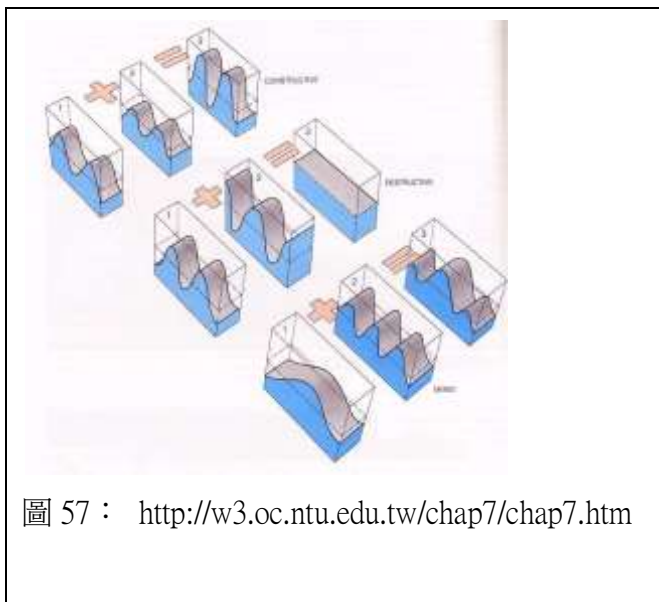
1. 依據近岸林克塊排列數不同的實驗結果：近岸林克塊三排，防侵蝕的效果，優於其它排列方式。且所有近岸林克塊的排列數，對於 C 排的防侵蝕效果較差，侵蝕量甚至比 5 度對照組更多。
2. 依據近岸十字塊排列數不同的實驗結果：近岸十字塊二排的所有標記點平均值，皆高於灘面原始量，可推測近岸十字塊二排是最佳的排列數。
3. 目前化仁海岸的離岸堤是以林克塊建置的，因此我們比較離岸林克塊三排與近岸林克塊三排的實驗結果，發現兩者侵淤量差別不大。我們推測，未來若化仁海堤持續淤積，林克塊離岸堤，仍可以維持和現在一樣的護岸效果。
4. 比較實驗二、三的林克塊實驗結果:多數林克塊實驗對 C 排的侵蝕量，大於 5 度對照組 C 排的侵蝕量，這表示林克塊凸出海面部分的離岸堤，離岸越近時會增加對 C 排的侵蝕量。

## 【實驗五】探討『狹縫』對海岸侵蝕之影響

從〔實驗三〕〔實驗四〕中，我們觀察到一個現象，使用林克塊似乎對 C 排有加強侵蝕的作用，尤其是當離岸堤越接近 C 排時，此現象越明顯。我們不禁好奇，究竟是甚麼原因造成這樣的結果？

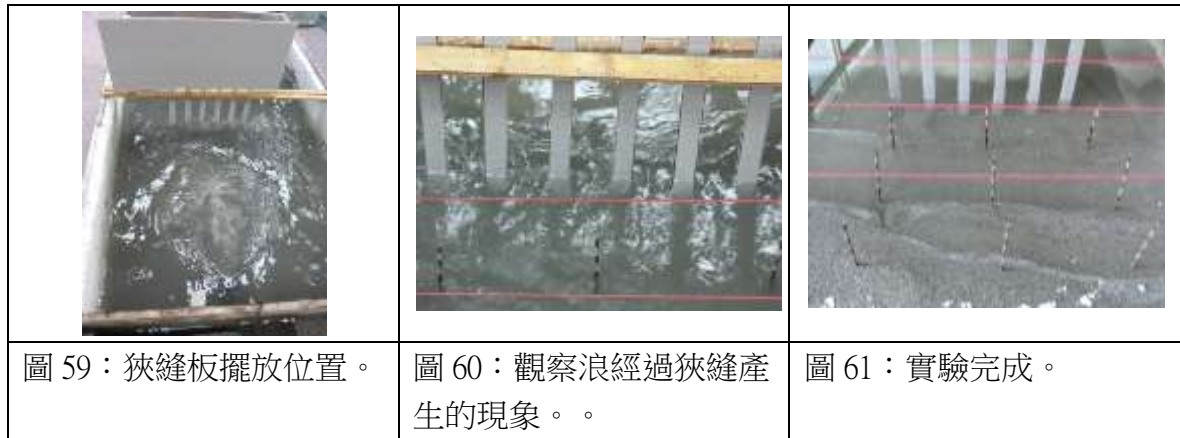
查閱文獻後發現，當水波經過狹縫時，會產生繞射作用，波動在狹縫上任何一個點，都可以視為新的點波源，若波互相疊加產生建設性干涉，就會增加波的破壞性。若產生相消性干涉，便會減低波的破壞性。

我們假設：林克塊離岸堤突出水面的部分，產生了許多狹縫，進而引發繞射效應，而且其產生的干涉是建設性的，因此我們設計狹縫實驗，來驗證此假設。



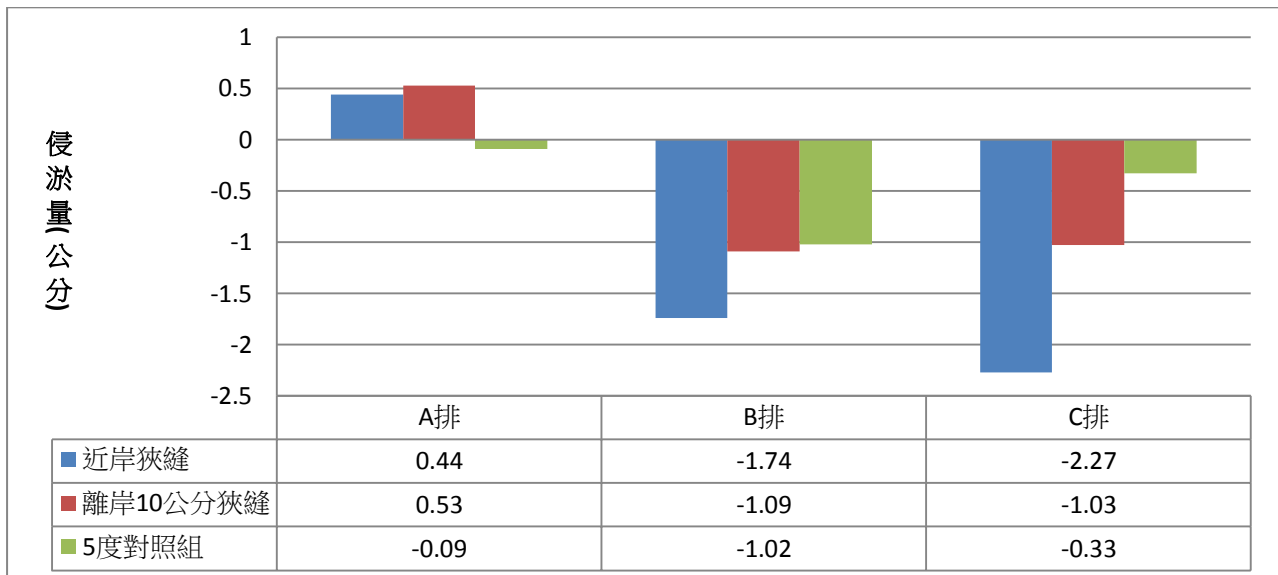
### (一) 實驗步驟

- (1) 將坡度 5 度實驗槽鋪好沙，並依照網格點插上標尺。
- (2) **離岸實驗**:在 C 排前方 10 公分處，排列依照消波塊間格所製作的狹縫板（如圖 62）。
- (3) 實驗開始，造浪器以每秒 1 次之頻率進行造浪，並依照實驗一之紀錄方式記錄，並改變水位，重複三次實驗求平均值。
- (4) **實驗完成後**，將狹縫板放置在 C 排處(近岸實驗)，重複以上步驟，進行三次實驗。



## (二) 實驗結果

我們將『近岸狹縫實驗』、『離岸 10 公分狹縫實驗』與『5 度對照組』的實驗結果作比較。分析如下：



## (三) 發現與討論

1. 根據實驗結果，我們比較狹縫實驗與 5 度對照組的侵蝕量，發現狹縫實驗產生較強的侵蝕作用，且狹縫越近岸，其侵蝕作用越強，與實驗假設相符。
2. 我們也發現，A 排掃浪帶產生較多的沉積量，推測是因為波能增加，使得浪能打到的距離增加。
3. 綜合以上各點，使用狹縫設計增加了侵蝕量與掃浪帶的深度。但因為實驗設備的限制，我們無法使用水波槽實驗來驗證是否為建設性干涉，僅能做出狹縫會造成侵蝕量加大的結論。

## 【實驗六】野外考察『狹縫』對海岸侵蝕影響之實證

從以上實驗我們發現，擺放離岸堤時，若產生狹縫，會造成侵蝕量增加。於是我們到野外做實驗，瞭解野外離岸堤的狹縫，對海岸侵蝕量的影響，是否也和實驗室有類似的結果。

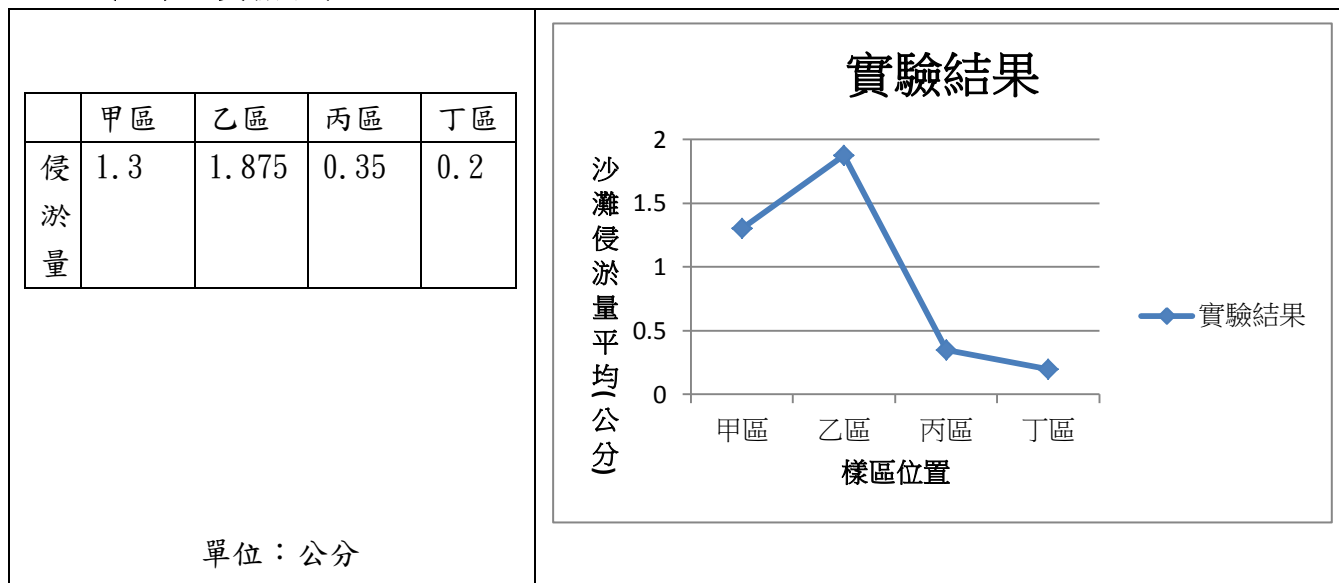
我們挑選和實驗室條件一樣的大潮日做實驗。在（甲區）無離岸堤段、（乙區）開始有離岸堤段、（丙區）露出海面離岸堤段、（丁區）離岸堤間距帶（如圖 62），各插上兩支標尺，一支插在掃浪帶（浪能碰觸最遠距），另一支在遠岸處距掃浪帶三公尺處，觀察 90 分鐘後做成紀錄，重複進行三次實驗。



圖 62：化仁海岸離岸堤群示意圖。(資料來源：張國儀，2011)



### (一) 實驗結果



### (二) 發現與討論

1. 經由實驗結果，我們發現:甲區(無離岸堤段)，開始有沉積作用，至乙區(開始有離岸堤段)，漸漸到達高峰，而至丙區(露出海面離岸堤段)與丁區(離岸堤間距帶)，卻出現沉積量快速減少的現象。
2. 四樣區距離花蓮溪口的遠近為甲→乙→丙→丁；四地點的沉積量:甲>乙>丙>丁；四點的離岸堤密度:丁>丙>乙>甲。我們推測四樣區的沉積量與花蓮溪口的漂沙供應較有關係。
3. 綜合以上各點，當花蓮溪口的沉積物出海後，沿著海流向北，遇到離岸堤群開始沉積，所以才會有越往北，沉積量越少的情形。至丙丁區時，離岸堤露出海面，產生狹縫，此時的離岸堤群反而加強了該地的侵蝕作用。這個現象可以解釋，為什麼化仁段至丙區離岸堤與海堤間仍有沙灘，而過了丙區至丁區卻迅速減少。
4. 根據九河局『101年度海岸環境營造與海堤改善可行性檢討報告』，也指出丙區海灘呈現沉積狀態，而丙丁區往南濱方向，其離岸堤淤砂效果就沒有化仁段顯著了。
5. 我們將這個調查結果帶回九河局和工程師討論，他們也認為我們的假設與實驗正確。目前工程單位已經開始調離凸出海面消波塊，目的就是要改善漂沙無法繼續往北堆積的狀態，此工程的實施，能減低狹縫侵蝕的效果。



## 【實驗七】探討『防消波塊底沙侵蝕』對海岸侵蝕之影響

在進行實驗三、四時，我們發現離岸堤凸出部份的消波塊會有崩落的現象。原因是當消波塊的底沙被侵蝕後，通常會發生滾落，而造成侵蝕量增加。於是我們再一次訪問九河局工程師，請教要如何防止此現象，叔叔們建議使用透水布再壓上石塊，以減少消波塊的底沙侵蝕。於是我們在實驗室進行了此實驗。

### (一) 實驗步驟

- (1) 將坡度 5 度實驗槽鋪好沙，並依照網格點插上標尺。
- (2) 在 C 排前方 10 公分處，沙面上墊上 40cm X 20cm 的透水布，並在四周圍壓上平均直徑 8cm 的卵石塊後，於透水布上面排列與 C 排同寬的林克塊(共三排)，如圖 68 所示。
- (3) 實驗開始後，造浪器以每秒 1 次之頻率進行造浪，並依照【**實驗二**】的方式記錄實驗結果。
- (4) 重複三次實驗，求灘面侵蝕量平均值。
- (5) 林克塊實驗完成後，改成十字塊(如圖 69)，重複以上步驟，進行三次實驗。



圖 67：透水布與消波塊擺放位置。



圖 68：林克塊實驗設計。



圖 69：十字塊實驗設計。

### (二) 實驗結果

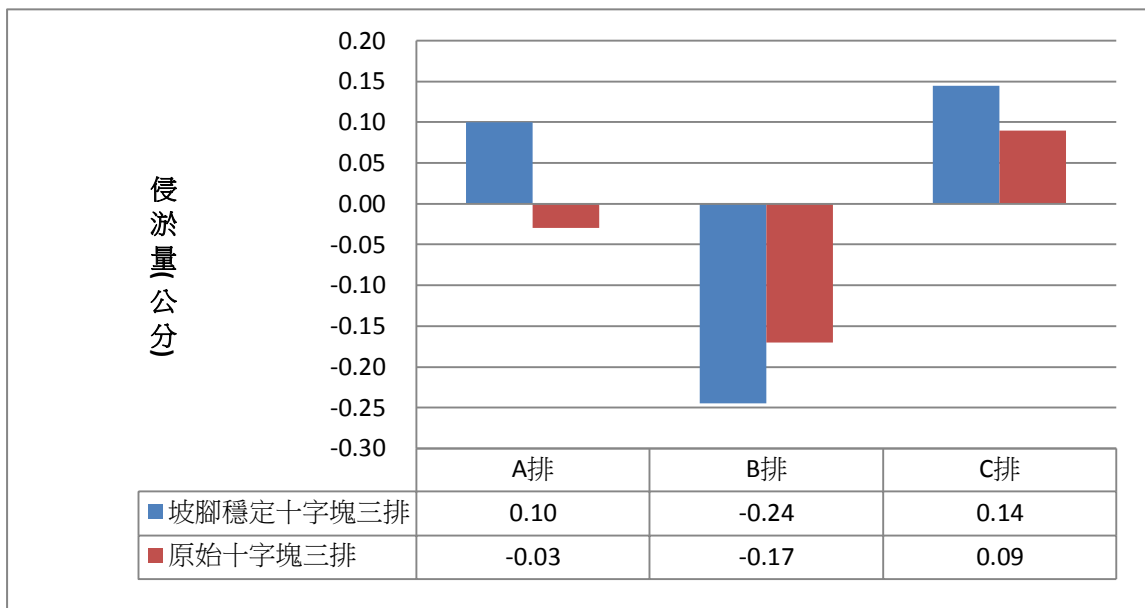
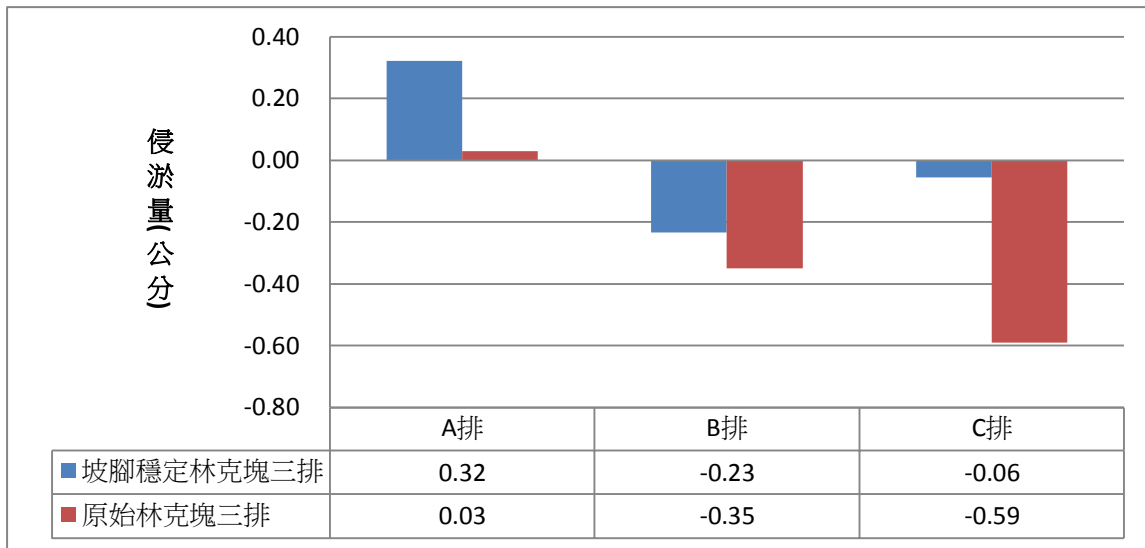
我們將實驗結果和實驗三(無防底沙侵蝕)的結果，做消波塊平均位移量與灘面侵淤量的比較：

#### 1. 消波塊平均位移量

表 2：消波塊平均位移量

	實驗三(原始)	實驗七(坡腳穩定)
林克塊三排	3.6cm	0.0cm
十字塊三排	0.8cm	0.1cm

## 2. 灘面侵淤量比較



### (三) 實驗發現與討論

1. 在林克塊實驗中，我們發現使用防底沙侵蝕工法後，會使得侵蝕量減少淤積量增多，且離岸堤幾乎沒有移動，與實驗三中，林克塊在沙灘上的平均位移量約 3.6 cm 比較，可見其對沙灘的防護功效相當顯著。
2. 在十字塊的實驗中，我們發現使用防底沙侵蝕工法後，侵淤量差別不大，且離岸堤幾乎沒有移動(約 0.1cm)，與實驗三十字塊的位移量(約 0.8 公分)做比較，差別不大。我們推測是十字塊三排的穩定性較高，不容易受海浪侵蝕的影響而位移。

3. 綜合以上各點，在 5 度的灘面使用林克塊時，需要使用防底沙侵蝕工法，才能提高林克塊的安定性，以發揮其護岸功效。而十字塊本身就能緊密結合，安定性較高，使得底沙如被一塊大板子壓實，即可發揮如透水布般大面積的固沙效果。
4. 消波塊的底沙侵蝕現象，多年來一直都是實務上相當嚴重的問題，但經過底沙的固定後，我們發現可減輕底沙侵蝕，讓消波塊能穩定在灘面上不會移動。此種工法對離岸堤的設置是一大進步，應可讓海岸線眾多消波塊保護工的設置，發揮更穩定的護岸成效。

## 陸、 結論

- 一、 根據野外調查的結果：目前目前洄瀾灣海岸的現況，北濱段因花蓮港東岸防坡堤興建，所產生的遮蔽效應，使得波浪威力減弱，呈現淤積現象。而南濱段因已遠離防坡堤的遮蔽，離兩大沉積源花蓮溪與美崙溪甚遠，在無沙源供應下，呈現侵蝕現象。而化仁段，則因花蓮溪的輸砂供應，而呈現淤積現象。
- 二、 為了防止洄瀾灣海岸侵蝕現象日趨嚴重，第九河川局自民國 85 年起，陸續在南北濱及化仁間，興建離岸堤。至今近 20 年，離岸堤在化仁海岸線已逐漸發揮養灘效果。
- 三、 整合各項實驗：
  - (一) 根據【實驗二】與【實驗三】的結果：當離岸堤已經養灘成功時，使用十字塊三排會是最好的護岸方式，但化仁海岸目前是使用林克塊消波塊，若能將現有的林克塊吊離，減量成為兩排的形式，應會有較好的護岸效果。
  - (二) 據【實驗二】到【實驗四】的結果：當離岸堤已和沙灘連接，繼續使用林克塊會造成海岸的侵蝕，使用十字塊則不會發生此狀況，因此以十字塊消波塊施作離岸堤較好。
  - (三) 根據【實驗二】到【實驗四】的結果：縫隙較多的林克塊越接近岸邊，C 排的侵蝕量會增加，甚至多於對照組的侵蝕量。我們假設是因為海浪通過這些縫隙，產生建設性干涉的結果，使得侵蝕量加大。此假設的結果，在【實驗五】獲得驗證。但我們不能確認是否為建設性干涉，僅做出狹縫會加大侵蝕量的結論。
  - (四) 根據【實驗六】的結果：藉由野外的觀察與實驗記錄、九河局的報告書，都能支持【實驗五】的結論~狹縫過多的區域，的確會引發侵蝕作用增加。因此我們建議施作離岸堤工程時，應減少離岸堤的狹縫，而此工程目前九河局已在施作中。
  - (五) 根據【實驗七】的結果：使用林克塊消波塊做離岸堤時，可以實施防底沙侵蝕工法，以提升林克塊的護岸效果，而十字塊消波塊因穩定性較高，可以不用此方式防止底沙侵蝕。

## 柒、 參考資料

- 何春蓀 (1990)。普通地質學。台北市：五南。
- 花蓮海岸環境營造及海堤改善可行性檢討總報告 (2012)。台北市：經濟部水利署。
- 張宛喬、李念紘、林國聖(2010)。小「堤」大作—新竹縣市沙灘消失原因之研究。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會，新竹私立上智國民中學。
- 張國儀 (2011)。川流不息～臺灣河川海岸的災害與重建。台北市：經濟部水利署。
- 張憲國(2007)。海水的漲退---潮汐。台北市：中興工程科技研究發展基金會。
- 許泰文(2007)。海岸漂砂對海岸地形變遷的影響。台北市：中興工程科技研究發展基金會。
- 陳彥廷、魏可欣、秦千賀、劉兆恆(2012)。搶救「沙灘」大作戰～探討潛堤對海岸沙灘的影響。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會，高雄市愛國國民小學。
- 歐善惠、張憲國(2007)。永不寧靜的海面---波浪。台北市：中興工程科技研究發展基金會。

## 【評語】 080504

### 優點：

1. 口頭表達生動流暢，回答詳細，團隊合作默契良好。
2. 實驗設計完整，能實地觀察海岸沖積結果，也在實驗室以實驗相互驗證，並訪問相關研究工作人員，以證實研究結果的可行性。

### 建議：

1. 實驗主要在研究海浪對沙灘的侵蝕，但文獻探討潮汐對海岸侵淤的機制較為不妥，應討論海浪對海岸侵淤的機制，再來設計相關實驗較佳。
2. 實驗中有關 ABC 三排的侵淤結果的說明，常忽略 B 排數據的異常，為何 B 的侵蝕量常比 A、C 排多，若能做更深入的探討會更具說服力。