

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

第三名

051911

花蓮的難堤-南濱離岸堤養灘效果之探討

學校名稱：國立花蓮高級中學

作者： 高一 黃昱翔 高一 陶柏瑋 高一 楊鈞亦	指導老師： 侯統源
-----------------------------------------------	------------------

關鍵詞：花蓮南濱海岸、突堤效應、離岸堤

摘要

受花蓮港東堤擴建後的突堤效應影響，花蓮北濱及南濱海岸的侵蝕現象十分顯著。為此，第九河川局增設了許多維持灘線的設施。本研究以等比例縮小仿造花蓮港鄰近區域進行實驗，發現花蓮港外海的波浪受到花蓮港東堤影響產生繞射現象，使南濱海岸受侵蝕的情形大於北濱海岸。因此，本研究主要針對南濱海岸離岸堤的建造對減緩南濱海岸侵蝕效果進行實驗。在我們的實驗中，我們發現離岸堤對於減緩海岸侵蝕情形有相當大的幫助。本研究另外改變離岸堤的擺設方式，試圖找出離岸堤對於減緩海岸侵蝕最佳的方法。我們的初步實驗結果顯示，當離岸堤與海岸向北夾 135 度以及排成 \sim 型時，具有良好的抗侵蝕效果。

壹、研究動機

在我們的校園內即可見到遼闊的太平洋與繁忙的花蓮港，花蓮縣北濱與南濱海灘更是花蓮學生們下課後常去遊玩的地點。花蓮港東堤擴建後，對花蓮港南岸的海岸造成的侵蝕現象加劇，甚至可能危害濱海居民之生命財產安全。第九河川局指出：「北濱海岸因花蓮港擴建後產生的『突堤效應』，侵蝕情況逐漸減輕，但自由街排水口以南的南濱海岸，灘線明顯後退，堤前的沙灘幾乎消失殆盡，是侵蝕最嚴重的位置。」

我們於新聞報導中看到花蓮外海進行的離岸堤加強與改善工程：「緊鄰花蓮市的南、北濱屬於侵蝕海岸，50 年來退縮近 200 公尺，為第九河川局海岸防護重點區域，30 年前陸續辦理相關防護工程，設置 16 座離岸堤減緩侵蝕及穩定沙源。」(自由時報，2012)

我們好奇南濱海岸離岸堤的設置對養灘效果與灘線的影響有多少、是否有更好的離岸堤設置方式？為了找出較好的養灘方法，本研究試著深入探討南濱海岸離岸堤的設置與花蓮港南方因突堤效應受到侵蝕的南濱海岸之間的交互影響。

貳、研究目的

- 一、花蓮港東堤的突堤效應對花蓮北濱與南濱海岸的影響。
- 二、改變南濱離岸堤與海岸距離，探討其對養灘效果的影響。
- 三、改變南濱單一離岸堤與海岸交角，探討其對養灘效果的影響。
- 四、將南濱離岸堤以 \sim 型以及前後交錯排列，探討其對養灘效果的影響。
- 五、將上述各實驗複合設置，探討其對養灘效果的影響。

參、研究設備與器材

- 一、程式軟體：Microsoft Excel、Google Earth、Visual Basic、Image J、Quantum GIS。
- 二、觀測資料：氣象局資料開放平台、交通部港灣環境資訊網、內政部海域資訊整合平臺。
- 三、實驗器材：

水箱(172cm x 58cm)	工業電扇	塑膠瓦楞板	鋼絲絨
			
海綿	防水膠帶	紙黏土	鉛塊
			
防水漆	積木	沉積物	手機
			

▲表一、實驗器材。

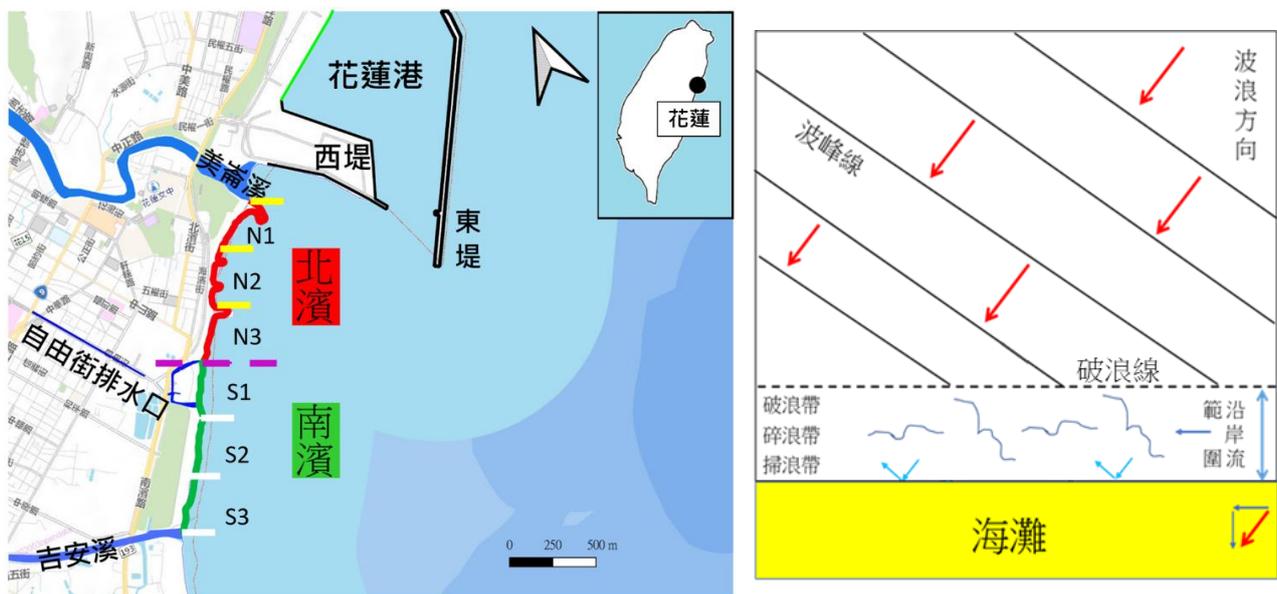
肆、研究過程與方法

一、研究區域背景探討

(一)、區域背景

花蓮北濱海岸全長約 940 公尺、南濱海岸全長約 960 公尺，兩者以自由街排水口為界。北濱北方與美崙溪相鄰，花蓮港西堤建於美崙溪出海口以北。自由街排水口以南至吉安溪為南濱的範圍(圖一)。受到美崙溪和吉安溪的影響，此處是花東少有的天然沙岸，亦是附近居民的遊憩場所(林俊全，2016)。

因花蓮北濱及南濱皆為侵蝕型海岸，花蓮港東堤擴建之後，北濱因受到花蓮港東堤保護，侵蝕情況逐漸改善，但南濱區域則因花蓮港東堤擴建的突堤效應，使侵蝕日益加劇。



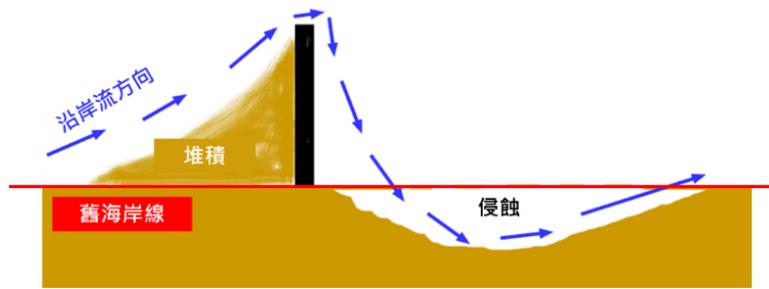
▲圖一、研究區域。

▲圖二、沿岸流生成示意圖。

(二)、突堤效應

當波浪受到海底地形、障礙物及海岸線並非完全平直時，以非垂直海岸的方向入射，並在破浪帶內形成和海岸平行的水流，稱為沿岸流。沿岸流會帶動破浪帶內的沙礫以滾動或跳躍的方式隨著波浪前進的方向往岸移動，其後又隨著反射的波浪反向後退，使得這些沿岸漂沙以鋸齒狀的路徑往沿岸流的流動方向移動(圖二)(劉聰桂等，2018)。

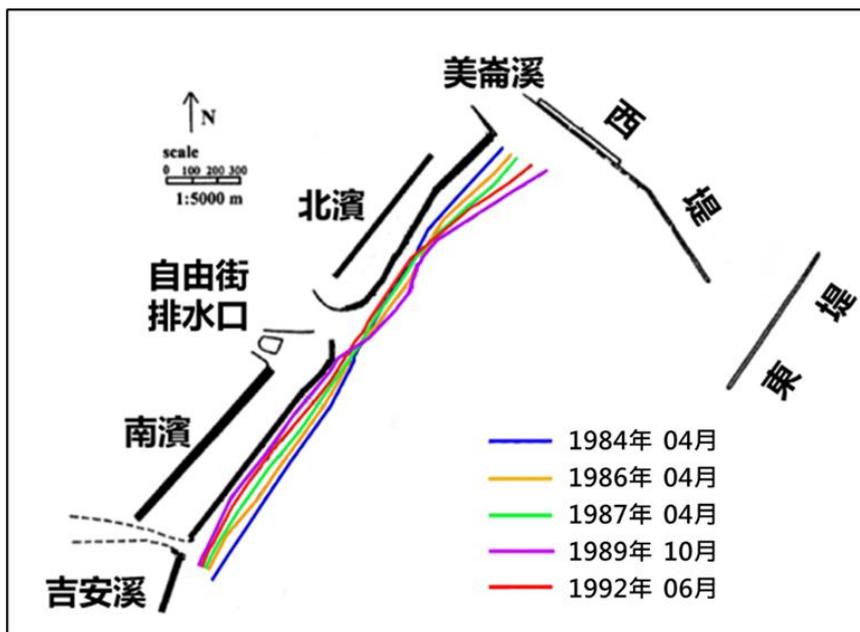
沿岸流會帶著從前濱侵蝕來的沿岸漂沙移動，當帶著沿岸漂沙的沿岸流受到障礙物阻擋，會使得沿岸漂沙在障礙物前堆積，而障礙物後因為沙源的供給較少，而易產生侵蝕的現象，此現象即為「突堤效應」(圖三)。



▲圖三、突堤效應示意圖(修改自：查爾斯頓大學環境資源及地質學系)。

(三)、灘線變遷

為了保護花蓮港避免受颱風大浪襲擊，造成花蓮港內船隻的損壞，第九河川局針對花蓮港東堤進行了擴建工程。1987年工程完工以後，北濱海岸受到延伸後的東堤保護，波浪於此區的營力較小，因此北濱海岸靠近美崙溪出海口的地方有沉積物堆積。但南濱海岸開始受到延伸後花蓮港東堤突堤效應影響，又因為吉安溪與自由街排水口的輸沙量相對於美崙溪較少，在沙源供應不足與突堤效應的影響下，南濱的海岸線迅速退縮(圖四)(Hsu, Ou and Tzang, 2000)。



▲圖四、北濱與南濱海岸在東堤擴建前後的灘線變化(修改自：Hsu, Ou and Tzang, 2000)。

當波浪受到花蓮港東堤影響而繞射後，對海岸的影響甚鉅。因受到東堤的保護，北濱一帶的波浪入射能量變得較為微弱(Hsu et al., 2000)，造成侵蝕營力減弱，使得北濱海岸呈現堆積的現象，進而使海岸線有向外擴張的趨勢。而在南濱海灘，則因受到繞射波的影響，海灘受到侵蝕(Hsu et al., 2000)，使得海岸線有向內陸移動的趨勢。

(四)、水利工程

花蓮北濱及南濱，因民國六十年代「東沙西送」的政策，灘線開始明顯退縮。為了減緩海岸的侵蝕，便展開了一系列的海岸防治工程(表二)。

年度(民國)	內容	備註
74	北濱海堤養修	北濱灘線迅速外移，南濱尚穩定
76	花蓮港東堤完工	南濱侵蝕加劇
77	新南濱海堤興建	
79-80	南濱離岸堤共 6 座	
80-81	北濱離岸堤共 5 座	
81	美崙溪導流堤	
85-88	南濱離岸潛堤共 7 座	
92	北濱離岸潛堤共 1 座	位於南北濱交界
101-103	美崙溪導流堤延長 60 和 61 公尺	
102	北濱海岸新設三座 40 公尺突堤	
103	北濱第三支短突堤延伸 15 公尺	
107	南濱及化仁潛堤加強改善工程	本研究主要探討工程

▲表二、花蓮港歷年海岸防治工程。

民國 76 年，因花蓮港東堤擴建工程完工，造成北濱以及南濱海灘侵蝕加劇，海岸線呈現明顯退縮。為了防止侵蝕現象持續發生，以致危害濱海居民生命財產安全，並有效阻止灘線退縮，經濟部水利署第九河川局(九河局)於民國 80 年代設立離岸堤，以保護本區段灘線不再退縮。

離岸堤設立後，北濱侵蝕狀況明顯改善，甚至於美崙溪口有淤積的情形，因此設立了導流堤以減緩淤積。然而南濱成效似乎有限，於是九河局於民國 88 年至 90 年在距海堤前方約 135 公尺處，設立離岸潛堤，並獲得明顯的改善(邱曉嵐，2004)。近年來，北濱處的灘線又有退縮的情形，因此第九河川局新設三隻短突堤，但美崙溪口又有堆積，於是又將導流堤延長(經濟部水利署第九河川局【九河局】，2017)。

而南濱海岸離岸潛堤歷年因為受到颱風、長期浪襲以及沙質沿岸地質自然沉陷，民國 106 年已有海堤沉於水面下及有流失的情形，為改善及加強保護，於民國 107 年進行改善工程，南濱海灘設立離岸潛堤，試圖減緩海岸線退縮的情況(九河局，2018)(表三)，亦為本研究的主題，試圖更改離岸堤的擺設方式，找到最佳的養灘方法。

計畫名稱	海岸環境營造計畫
工程名稱	南濱及化仁潛堤加強改善工程
工程執行機關	經濟部水利署第九河川局
開工日期	107 年 04 月 20 日
完工日期	107 年 11 月 02 日
工程地點	花蓮縣花蓮市、吉安鄉

▲表三、南濱及化仁潛堤加強改善工程(擷取自：九河局，2018)。

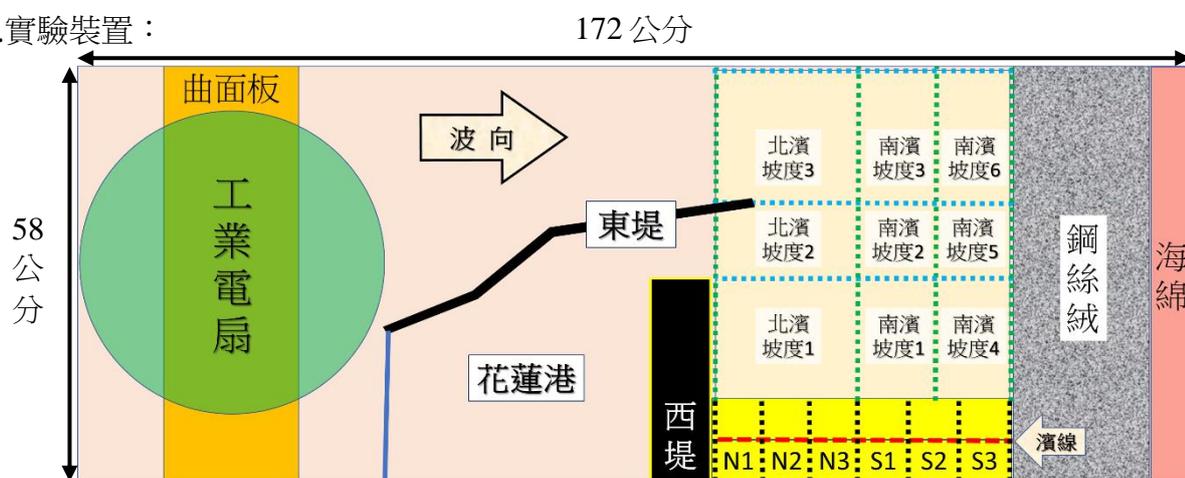
二、實驗方法與過程



▲圖五、研究流程圖。

(一)、實驗方法

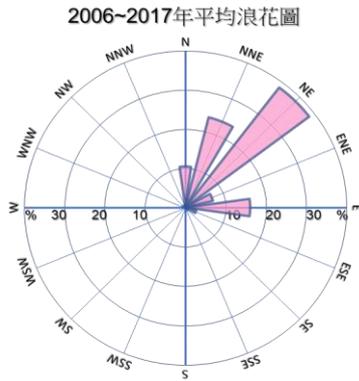
1.實驗裝置：



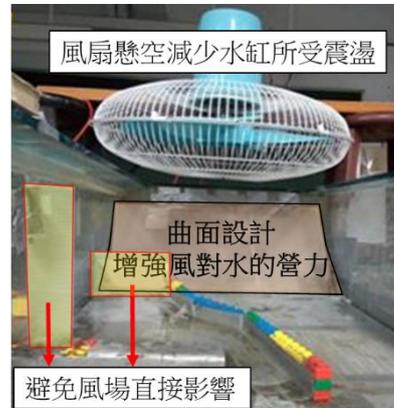
▲圖六、實驗裝置示意圖。

2. 實驗設計：

為了模擬花蓮港外海風場，我們使用工業電風扇，並將其懸空架設於模型之上(圖六)。由中央氣象局 2006 年至 2017 年波浪的觀測資料可發現，花蓮外海的有意義波向以東北往西南方傳遞為主(圖七)，因此我們此次的實驗將風場設定為東北風。



▲圖七、2006-2017 年均浪花圖。



▲圖八、實驗裝置側視圖。

在風場下方設計了一個曲面塑膠瓦楞紙板，可使風場充分進入水中，增強風場對於水的營力。另外，我們亦使用塑膠瓦楞紙板阻擋風場直接進入實驗中的花蓮港地區與近岸，避免因強風而造成實驗的誤差。本實驗利用積木模擬花蓮港東堤與西堤，重現波浪受花蓮港影響後的情形，並將模型末端擺滿鋼絲絨與海綿(圖六)，減少波浪的反射。實驗過程中，將手機架於模擬實驗上方，於實驗開始前、後各拍一張照片做紀錄，並進行疊圖，分析侵蝕前與侵蝕後海岸灘線的變化情形。

當水深小於 $1/20$ 波長的淺水環境時，不同的水深會對於波速有影響。水深越深，水波波速也較快(4.1)，其中 v 代表波速， g 代表重力加速度， d 代表水深。為了減少地形所造成的誤差，我們使用塑膠瓦楞紙板製作並模擬海底地形。

$$v = \sqrt{gd} \text{ ----- (4.1)}$$



▲圖九、坡度區塊示意圖。

根據內政部海域資訊整合平臺的資料，在南濱南北坡度相差較大，因此本實驗將南濱外海分成南段與北段。而北濱則因坡度變化較小，南段與北段差異不大，因此僅將北濱段區分為一個區塊。另外，因外海坡度有急遽變化，因此我們再將此三區塊再以西堤與東堤的相對位置為依據，各區分為三個區塊，共九個區塊作為本實驗的海底地形(圖九)。

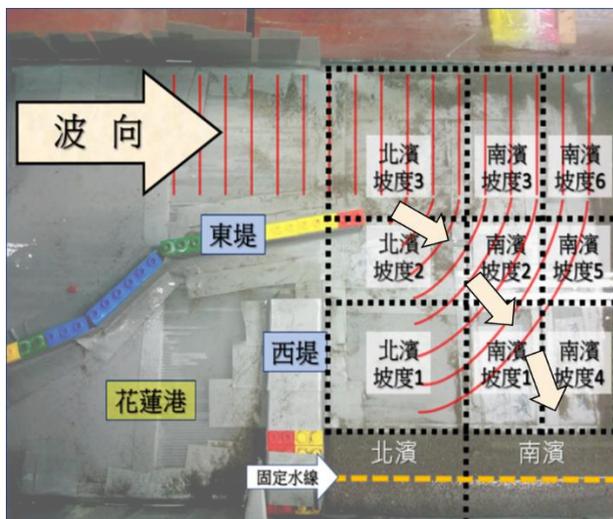
我們在離岸處預留了大約 7 公分的寬度來排列沉積物，以坡度 15° 向岸上排列，並且分別對水線與海岸最高線做記號，使每次實驗結束後能準確的還原，盡量降低因實驗操控上的誤差。

(1).模型比例選定：

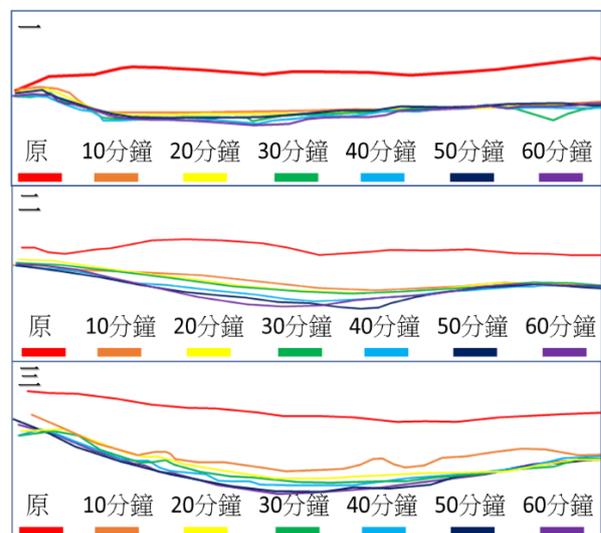
根據交通部中央氣象局的觀測數據，花蓮外海有意義波浪的平均示性週期為 6.05 秒，花蓮港東堤附近的水深大約是 30 公尺。將觀測資料帶入淺水波公式(式 4.1)與波速公式(式 4.2)，可得花蓮外海波浪的波長大約是 110 公尺。而我們的風場所造成的水波波長大約是 2 公分，兩者相差 5500 倍，為了提高實驗的真實性，我們將實驗模型與真實情況進行 1：5500 的比例縮小。

$$v = f \lambda \text{ ----- (4.2)}$$

從實驗裝置上方向下方觀察，水波經過花蓮港東堤時會發生繞射現象，於較外海處與岸呈約 30°角入射，越近岸其入射角度越小，逐漸趨於垂直入射(圖十)。



▲圖十、實驗示意圖。



▲圖十一、每十分鐘灘線變化圖。

(2).風場持續時間選定：

在沒有架設離岸堤的情況下，風場持續六十分鐘，每隔十分鐘記錄一次。經過三次重複實驗後，我們發現在沒有輸沙的情況下，二十分鐘之後的灘線變化較一致且趨於穩定(圖十一)，於是本研究設定每次實驗風場持續時間為二十分鐘。

(3).離岸堤模型：

南濱外海總共設有 8 組離岸堤，由衛星影像可得知每一組離岸堤平均約長 80 公尺，經過等比例縮小 5500 倍後，長度約為 1.5 公分。本實驗使用紙黏土模擬南濱外海的離岸堤，又為了使離岸堤於我們模擬實驗中能夠穩定下沉在底部，我們使用釣魚用小鉛塊增加重量，並於離岸堤模型塗上一層防水膠，避免離岸堤在實驗過程中遇水而被破壞(圖十二)。

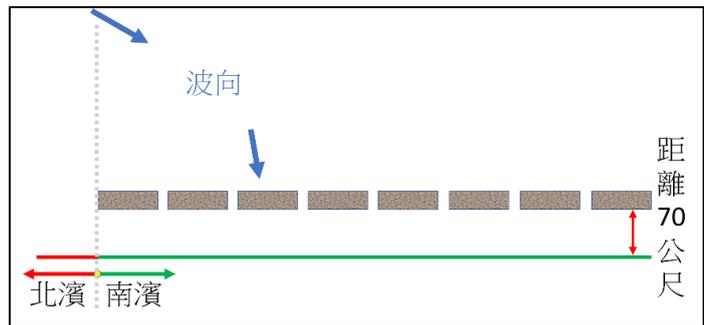


▲圖十二、離岸堤模型。

(二)、實驗模擬

1.真實情形實驗：

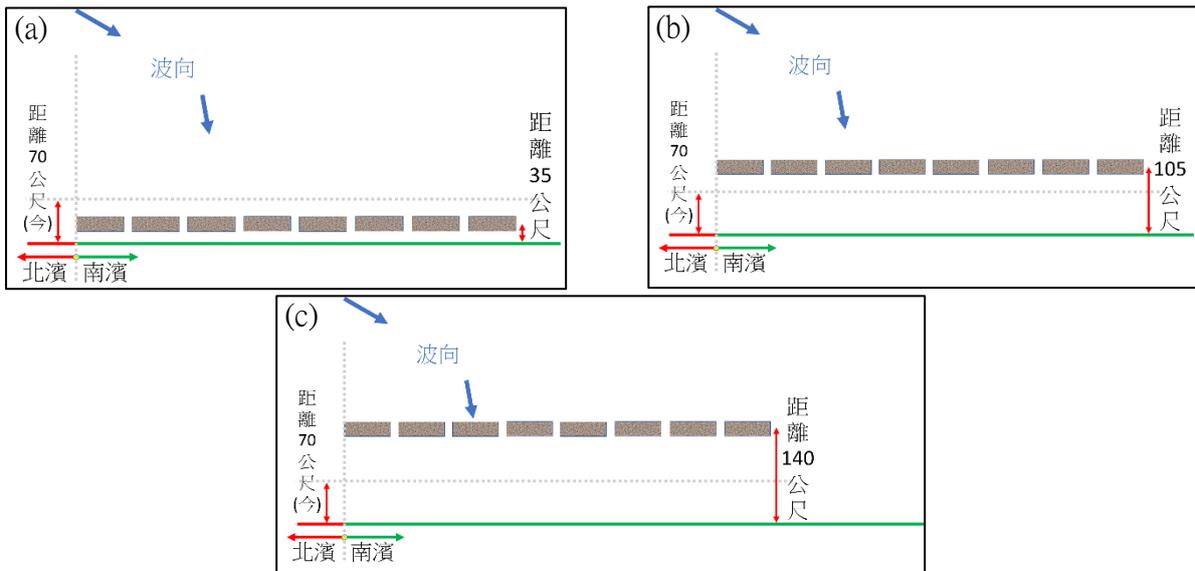
現今離岸堤離岸 70 公尺，並平行於海岸線排列，本實驗先模擬現今真實情形以作為實驗的對照組(圖十三)。



▲圖十三、真實情形實驗。

2.離岸堤距離實驗：

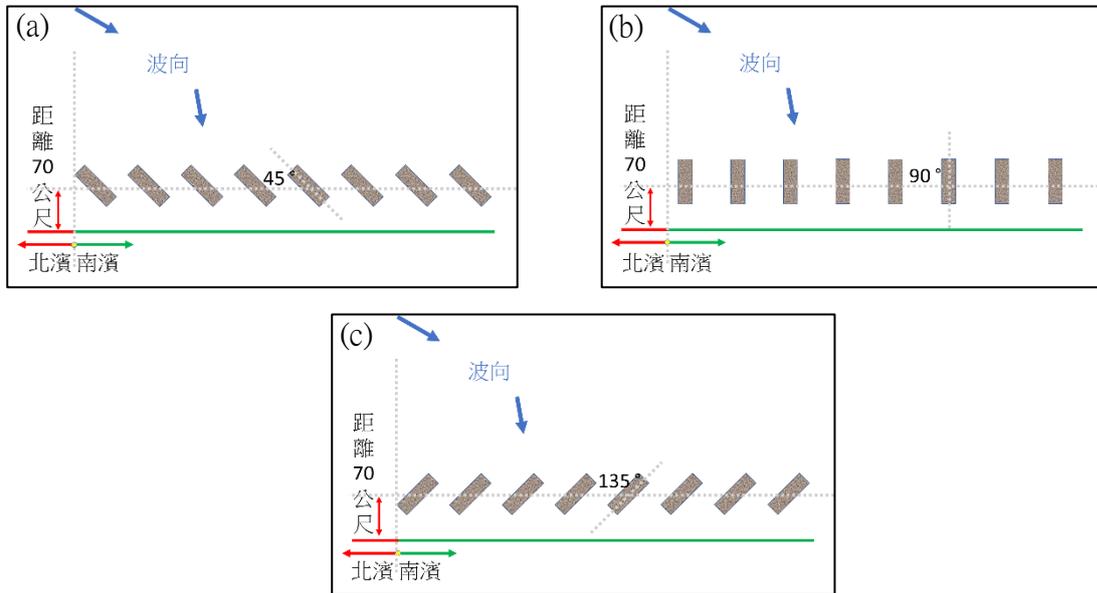
我們認為波浪破碎的地點對於海灘的侵蝕有著密切的關係，因此我們變更離岸堤離岸距離，想試著找出養灘最適當的距離。我們增加選用了三種不同的離岸堤距離，分別為：現今距離的 0.5 倍(35 公尺)、現今距離的 1.5 倍(105 公尺)與現今距離的 2 倍(140 公尺)(圖十四)。



▲圖十四、離岸堤離岸距離實驗。(a)35 公尺、(b)105 公尺、(c)140 公尺。

3.離岸堤角度實驗：

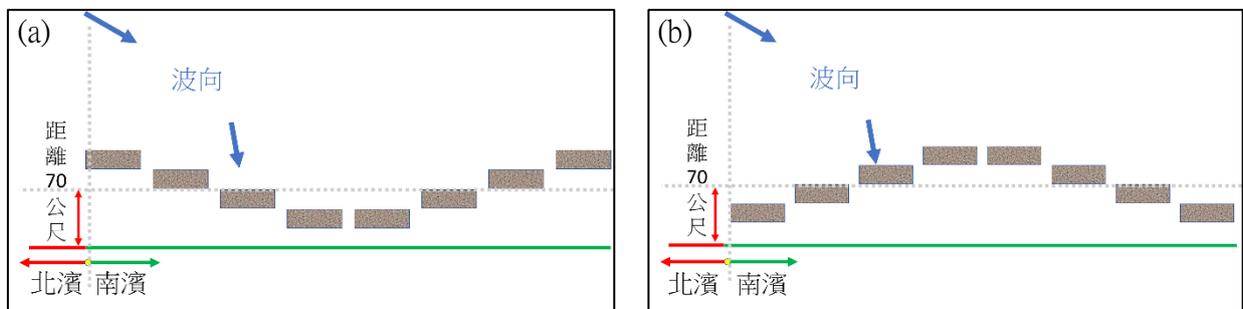
由於單一離岸堤不同的設置的角度會造成不同的反射波方向，可能會影響沿岸流的方向而造成不同的侵蝕結果。於是我們改變了單一離岸堤與海岸向北夾的角度，試著驗證我們的想法。此研究以每 45°為單位來做實驗，分別新增模擬離岸堤與海岸向北夾的角度為 45°、90°與 135°的情形(圖十五)。



▲圖十五、離岸堤角度實驗。(a)45 度、(b)90 度、(c)135 度。

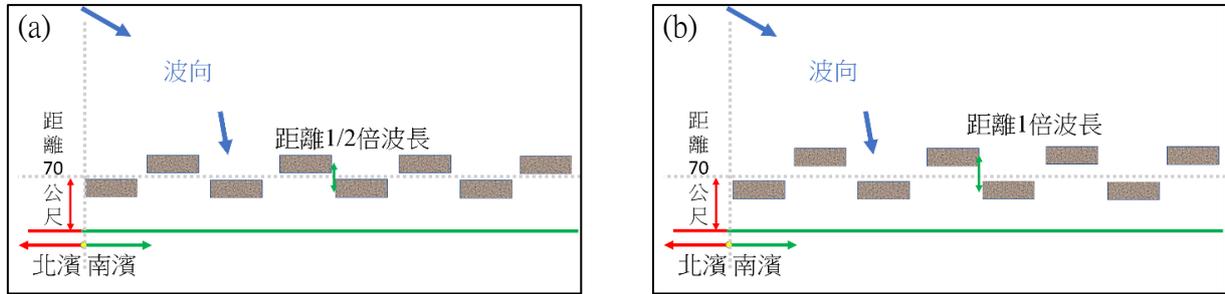
4.離岸堤排列形狀實驗：

由於現今南濱外海的離岸堤都是在同一直線上延伸的一字堤，還未看過不同排列形狀的離岸堤，於是本研究想試著探討除了一型的方式排列，有沒有效果更佳的形狀。因此我們設計以 ∨ 與 ∟ 型排列，設定離岸堤整體中心處為離岸 70 公尺。其距離即為現今離岸堤至灘線距離 (圖十六)。



▲圖十六、離岸堤排列形狀實驗。(a) ∨ 型排列、(b) ∟ 型排列。

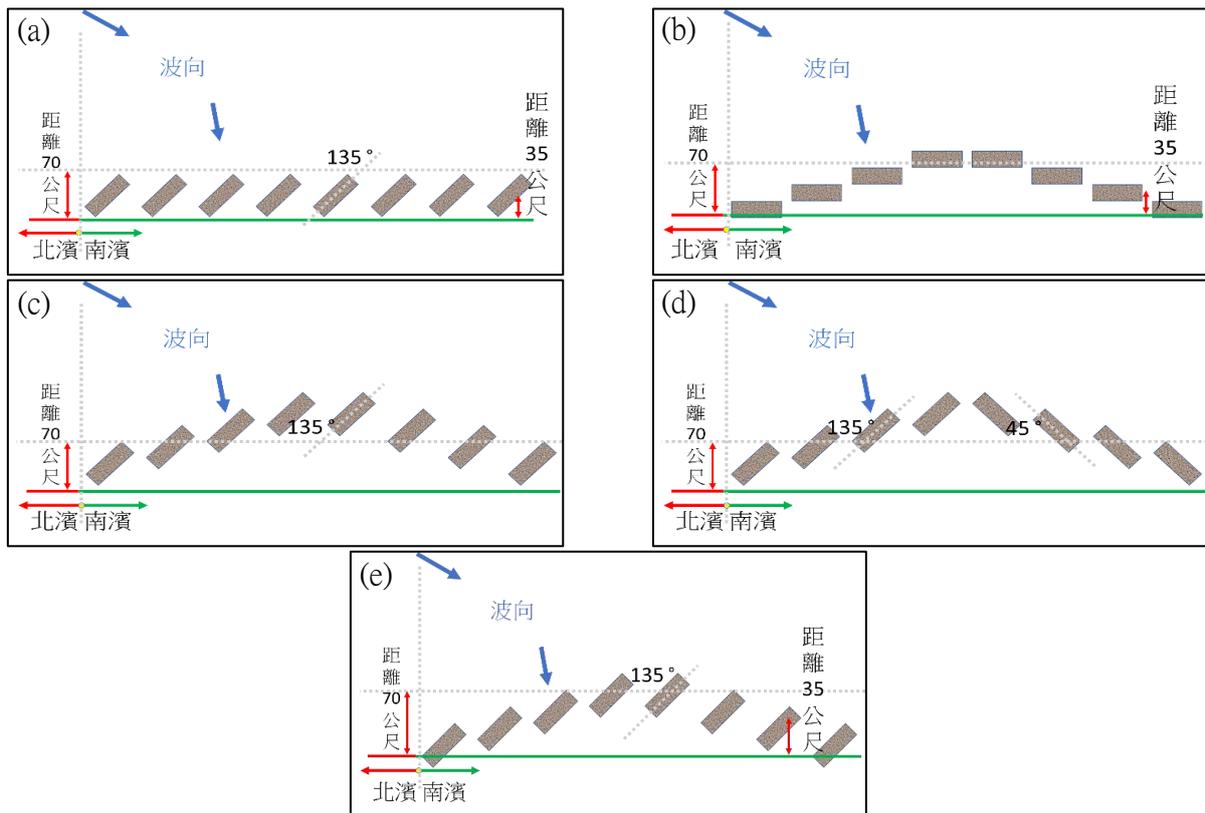
另外，我們試著讓波浪的入射波與受離岸堤影響的反射波產生破壞性干涉，進而減弱波浪的能量。於是我們設計離岸堤前後交錯排列，設定離岸堤整體中心處為離岸 70 公尺，即為現今離岸堤至灘線距離。我們是根據實驗模型水波波長設計離岸堤前後間距，為 1/2 倍波長與 1 倍波長共兩種進行實驗(圖十七)。



▲圖十七、離岸堤排列形狀實驗。間距(a)1/2 倍、(b)1 倍波長交錯排列。

5. 複合型實驗：

我們為了探討不同因素交互作用後對養灘效果的影響，因此本研究將上述各項實驗中最好的結果共同考慮，試圖探討同時改變兩個或以上操縱因子後對於養灘效果的影響(圖十八)。



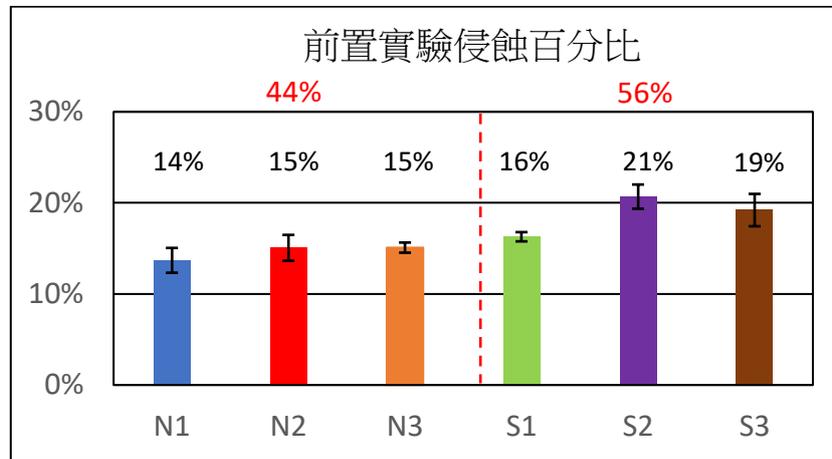
▲圖十八、複合型實驗。(a)距離 35 公尺與角度 135 度、(b)距離 35 公尺與 \sim 型排列、(c)角度 135 度與 \sim 型排列、(d)角度 135、45 度與 \sim 型排列、(e)距離 35 公尺與角度 135 度與 \sim 型排列。

伍、研究結果

一、結果分析方法：

- 1、將北濱與南濱均分為：北濱北段(N1)、北濱中段(N2)、北濱南段(N3)、南濱北段(S1)、南濱中段(S2)與南濱南段(S3)。
- 2、在北濱及南濱外海改變離岸堤的架設情況下進行五次實驗。
- 3、為排除實驗系統性的誤差，將各段侵蝕量除以總侵蝕量，得出各段侵蝕量的比例。
- 4、比較五次實驗結果，將差異過多的數據去除，至多去除兩組數據。
- 5、剔除極端數據組後取平均值，並製作直方圖，比較各段侵蝕情況。

二、前置實驗(無架設離岸堤)：

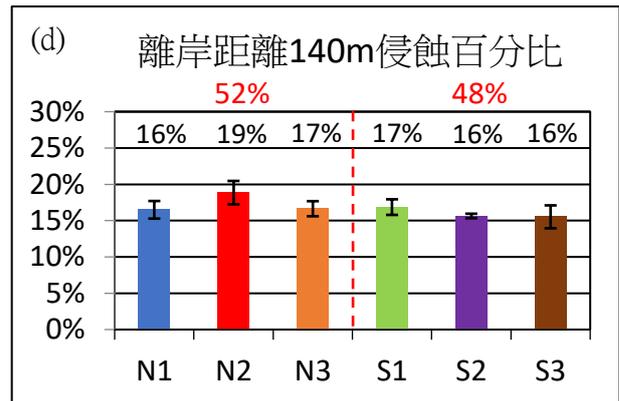
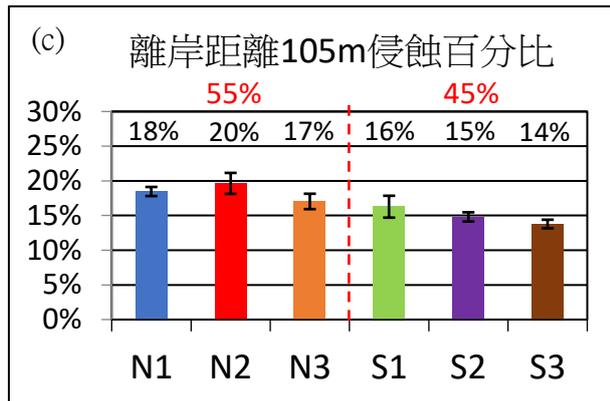
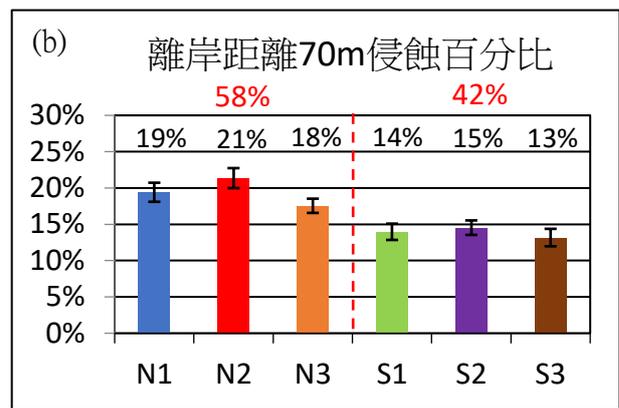
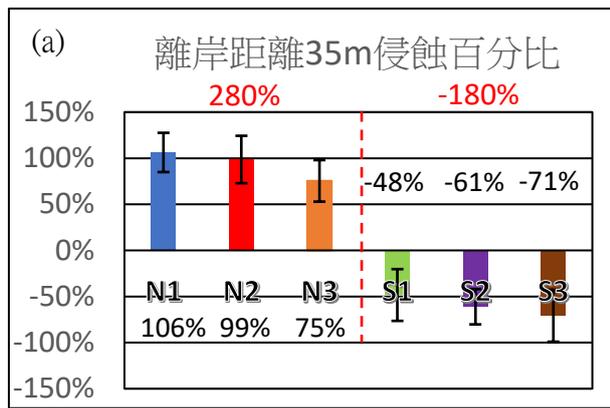


▲圖十九、前置實驗侵蝕百分比。

圖十九顯示在未架設離岸堤的情況下，侵蝕大多數都集中在南濱一帶。將南、北濱互相比較後可發現，北濱侵蝕量約為全部侵蝕量的 44%，而南濱侵蝕量約為全部侵蝕量的 56%，可發現南濱的侵蝕較北濱嚴重。

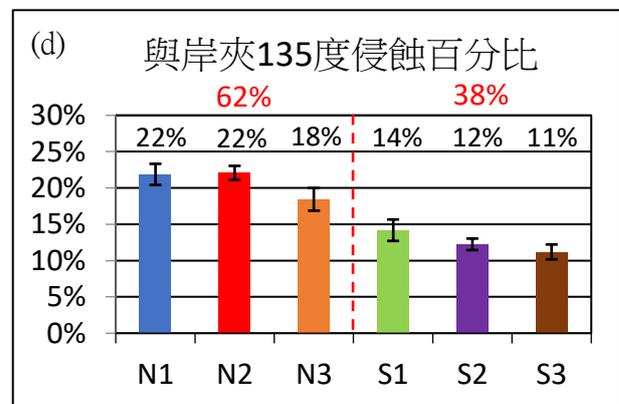
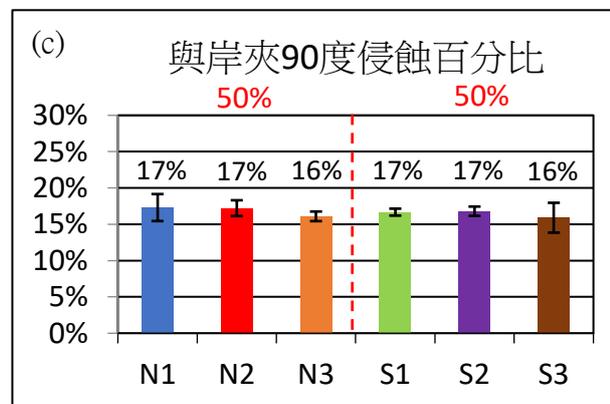
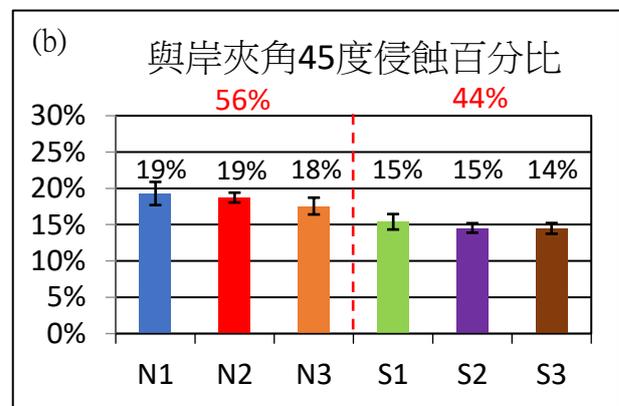
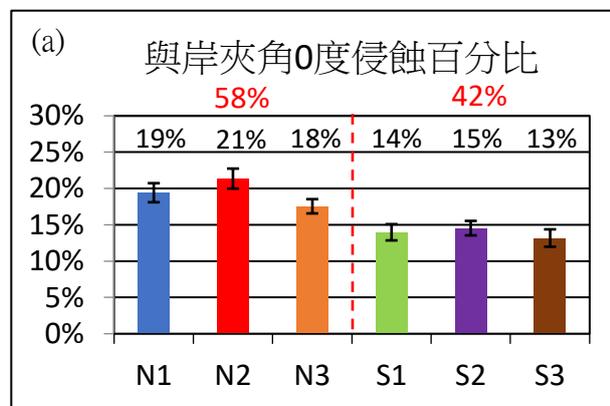
三、離岸堤距離實驗：

由圖二十我們發現離岸堤架設在離岸距離 35 公尺時(現今距離 1/2 倍)的於南濱段有堆積情形，距離 70 公尺時(現今距離)，北濱總侵蝕量為 58%，南濱為 42%。當離岸堤距離為 105 公尺時(現今距離的 1.5 倍)，北濱總侵蝕量為 55%，南濱為 45%。若將離岸堤架設至距離 140 公尺時(現今距離的 2 倍)，北濱總侵蝕量為 52%，南濱為 48%。我們結果顯示離岸堤擺設離岸越近，對南濱有較好的養灘效果。



▲圖二十、離岸堤離岸距離各段侵蝕百分比。(a)35、(b)70、(c)105、(d)140 公尺。

四、離岸堤角度實驗：



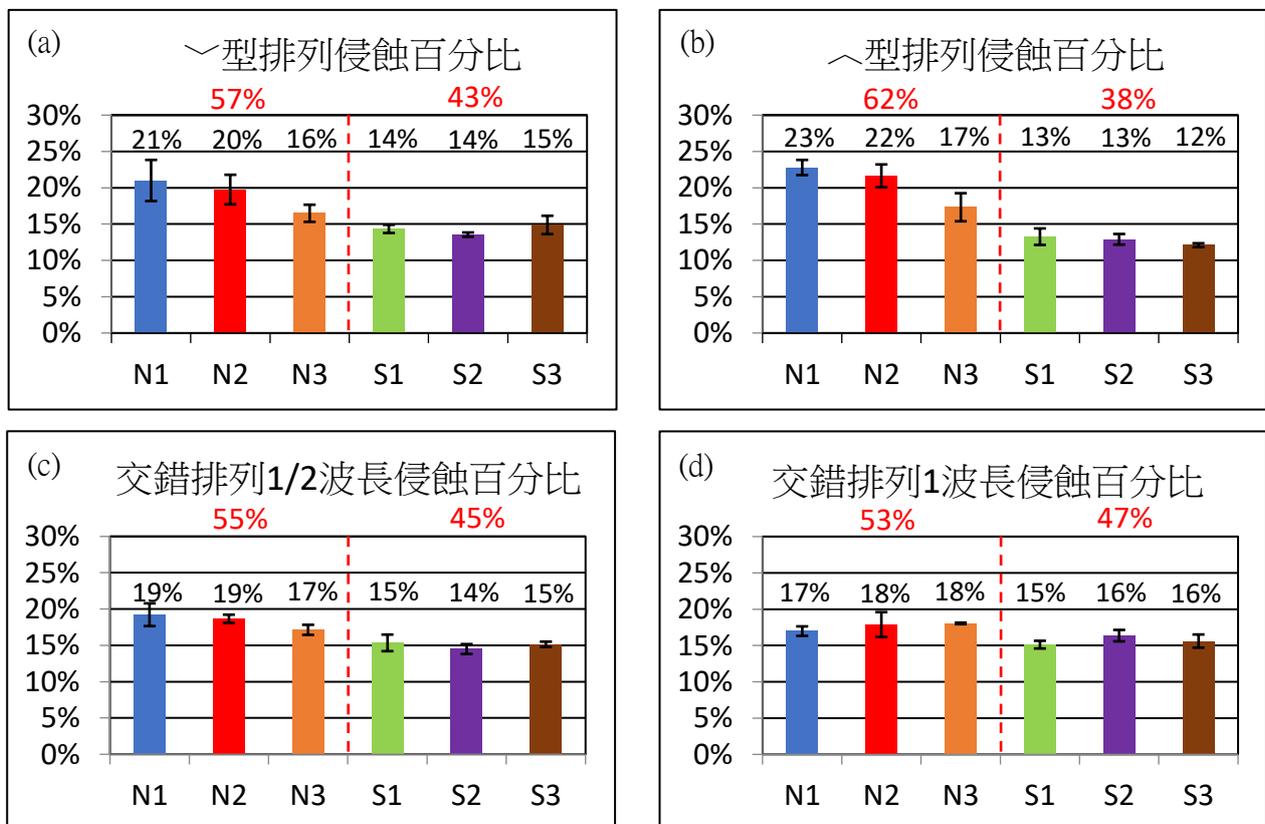
▲圖二十一、離岸堤與岸夾角各段侵蝕百分比。(a)0、(b)45、(c)90、(d)135 度。

由圖二十一可發現，當離岸堤與岸向北的延伸線夾 0° (現今擺放方式)，北濱總侵蝕量為 58%，南濱為 42%。當離岸堤與岸夾 45° 時，北濱總侵蝕量為 56%，南濱為 44%。若將離岸堤改為與岸夾 90° 時，北濱總侵蝕量為 50%，南濱為 50%，南北濱侵蝕總量幾乎一致。而將離岸堤與岸夾 135° 擺放時，北濱侵蝕量為 62%，南濱侵蝕量為 38%。我們的結果顯示將離岸堤改為 135° 擺放時具有較好的養灘效果。

五、離岸堤排列形狀實驗：

根據本實驗結果圖二十二，我們發現當排列形狀為 \sim 型時，北濱的侵蝕量約為 57%，南濱侵蝕量為 43%。若將離岸堤的排列方式改為 \wedge 型時，北濱的侵蝕量為 62%，南濱的侵蝕量為 38%。可見當排列形狀為 \wedge 型時，相對於排列方式為 \sim 型時有更好養灘線的效果。

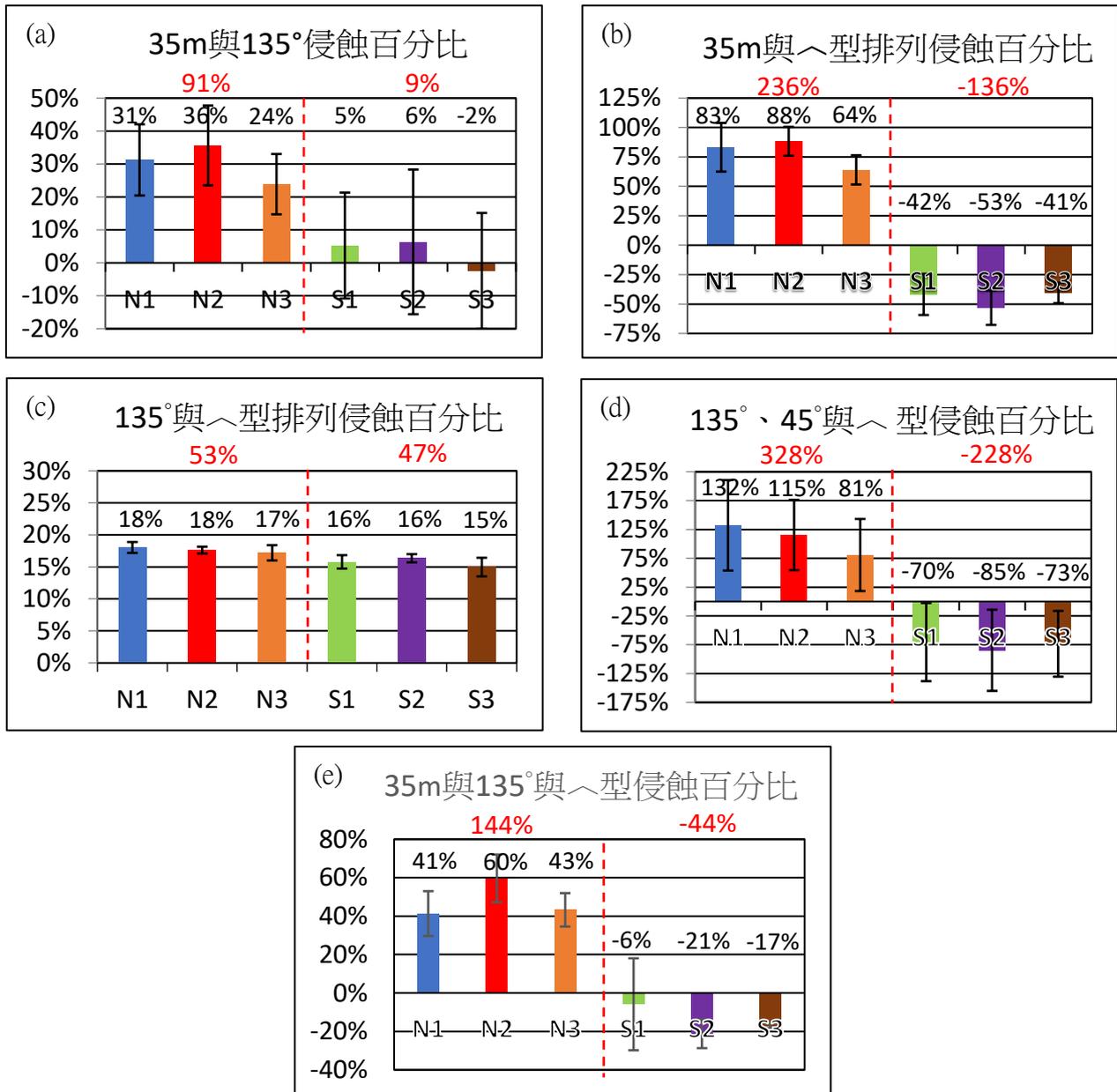
而若將離岸堤改為前後交錯排列，當兩堤前後間距為一半波長時北濱侵蝕量為 55%，而南濱侵蝕量為 45%。若將前後間距改為一倍波長時，北濱侵蝕量為 53%，而南濱侵蝕量為 47%。由我們的實驗結果可以知道當兩堤前後間距為一半波長時，相對於排列方式為間距一倍波長時對南濱海灘有更好養護灘線的效果。



▲圖二十二、離岸堤排列形狀各段侵蝕百分比。(a) \sim 型、(b) \wedge 型、(c) 1/2 波長、(d) 1 波長。

六、複合型實驗：

由圖二十三我們發現，當離岸堤呈現 35 公尺與 135° 排列時，北濱侵蝕量為 91%而南濱為 9%，在 S3 甚至有堆積情形。當離岸堤呈現 35 公尺與 \wedge 型排列時，北濱侵蝕量為 236%而南濱為-136%，於南濱各處皆有堆積的現象產生。當離岸堤架設為 135° 與 \wedge 型排列時，北濱侵蝕量為 53%，南濱則為 47%，相對其他組合養灘效果較差。另外我們做了 135°、45°與 \wedge 型排列，於北濱的侵蝕量為 328%，南濱侵蝕量為-228%，顯示於南濱有嚴重堆積情況。若考慮 35 公尺、135° 與 \wedge 型排列，北濱侵蝕量為 144%，南濱侵蝕量為-44%，亦於南濱堆積。



▲圖二十三、複合型排列各段侵蝕百分比。(a)距離 35 公尺與角度 135 度、(b)距離 35 公尺與 \wedge 型排列、(c)角度 135 度與 \wedge 型排列、(d)角度 135、45 度與 \wedge 型排列、(e)距離 35 公尺與角度 135 度與 \wedge 型排列。

陸、討論

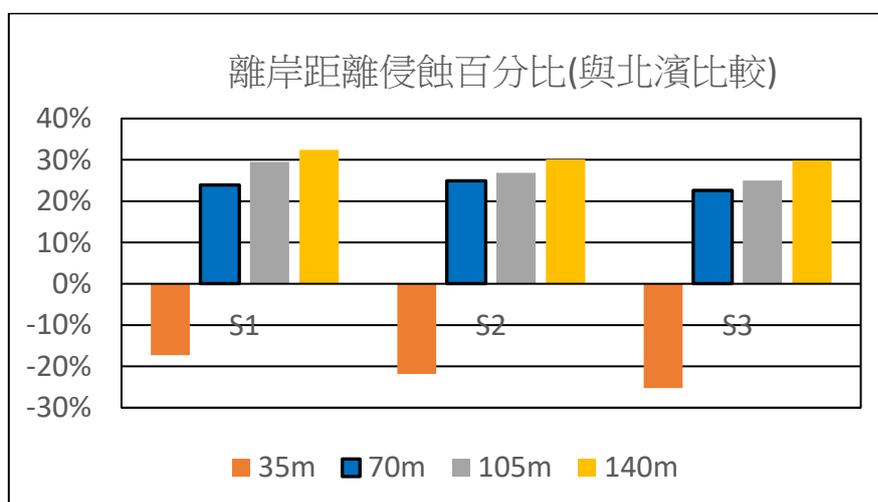
一、前置實驗(無架設離岸堤)：

若沒有於南濱海岸架設離岸堤，南濱侵蝕量較北濱大。北濱在 N2 與 N3 相較於 N1 有較多的侵蝕(圖十九)。推測造成此種結果的原因為北濱受到花蓮港西堤與東堤的保護，造成營力較小。而實際上此區域緊鄰美崙溪的出海口，沙源充足(Hsu et al., 2000)，使得灘線與其他地點相對較為趨外、受到的侵蝕能力相對較弱。

而南濱侵蝕情況較嚴重的原因可能是波浪經過花蓮港東堤後繞射所致(Hsu et al., 2000)，受到花蓮港東堤影響，波浪自花蓮港外海傳遞至花蓮港東堤後會產生繞射現象，繞射後的波浪主要能量朝南濱傳遞，又因吉安溪的供沙量不足以彌補波浪所造成的侵蝕現象，因此南濱海岸的侵蝕情況嚴重。本研究實驗結果與 Hsu 等人(2000)利用數值模擬所得結果相似。

二、離岸堤距離實驗：

本研究於南濱海灘架設離岸堤，探討南濱離岸堤架設對維護灘線的影響，並未對北濱架設離岸堤，因此北濱的侵蝕變化不大。因此本研究將北濱的侵蝕總量設為 100%，將南濱各段與北濱做比較，進而比較南濱離岸堤架設方式與各段的養灘效果。



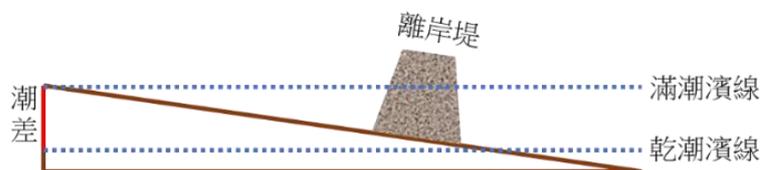
▲圖二十四、離岸堤距離實驗南濱各段侵蝕百分比。

當我們將離岸堤架設於南濱外海時，均使南濱海灘的侵蝕能力趨緩。由圖二十四可以發現，若將離岸堤架設至離岸 70 公尺(現今距離)時，相對於北濱的侵蝕，南濱的侵蝕量僅有北濱的 71%，相較於架設離岸堤前南濱較北濱的侵蝕量為 128%有明顯減少，約只有原本五成五的侵蝕量。

若將離岸堤架設在現今的 0.5 倍距離(離岸 35 公尺)，可發現南濱的 S1、S2 與 S3 在沒有沙源的供應下仍呈現堆積狀態(圖二十四)。推測可能是因為當波浪向岸拍打後，回流將沙粒往外海帶離時被離岸堤阻擋，無法將沉積物繼續向外海搬運，造成沙粒堆積在離岸堤與岸之間，於是呈現了以堆積為主的情形。

若將離岸堤架設在現今距離的 1.5 倍(離岸 105 公尺)，與現今距離的 2 倍(離岸 140 公尺)，其養灘效果皆較現況(離岸 70 公尺)差。另外，我們發現，當離岸堤的擺設越近岸，其養灘的效果越佳，我們推測可能的原因為，當離岸堤放置在較外海時，較無法阻擋回流將沉積物帶離海岸所致。

現今的離岸堤架設於離岸 70 公尺處，而非養灘效果較佳的 35 公尺，推測其原因為：(1). 經濟效益：架設於外海 35 公尺處的離岸堤會因淤沙造成灘線快速向外海擴展，讓離岸堤使用年限縮短，增加成本負擔。且淤沙的情況可能會生成繫陸沙洲，則可能造成另外的突堤效應，影響其他地區海岸線。另外，淤沙的狀況亦可能覆蓋原有海洋，使得藻類死亡，而造成生態浩劫。(2). 潮汐影響：花蓮港附近海域在大潮時，潮差可達 150~160 公分，而南濱外海的坡度大約為 1/15~1/20。當大潮乾潮時，很可能會使濱線後退至離岸堤之後(圖二十五)，如此一來，離岸堤地基裸露，將不具有抵抗波浪侵蝕的功能，且可能受到波浪的影響，使離岸堤的地基被掏空而有倒塌的危險。

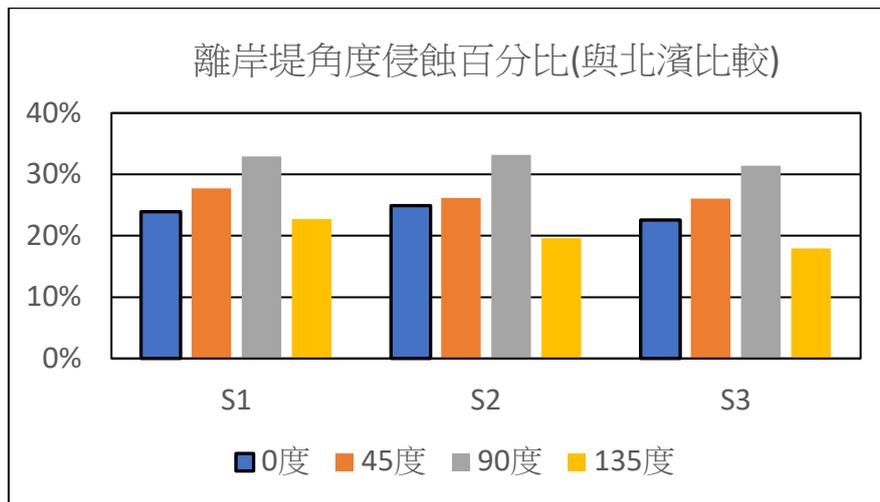


▲圖二十五、離岸堤與潮差示意圖。

三、離岸堤角度實驗：

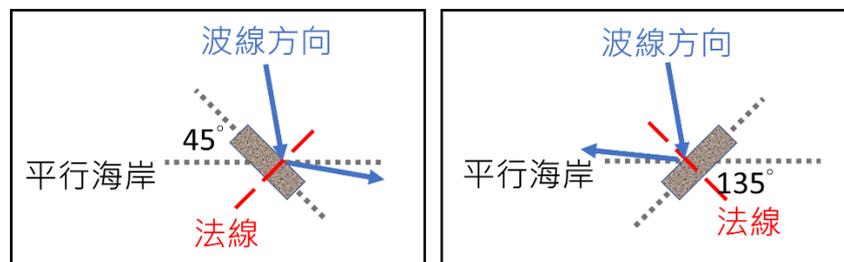
由圖二十六可發現，當離岸堤與海岸線岸向北夾 135° 時，有較好的養灘的效果，南濱侵蝕量約僅有北濱的 60%，尤其越靠近南濱南端 S3 區域效果最佳。而若將角度改為 45° 時，南濱侵蝕量約為北濱的 80%，若將單一離岸堤與岸的夾角改為 90° 時，在南濱段的抗侵蝕效果十分不佳，侵蝕量約為北濱的 98%。值得注意的是，是當單一離岸堤與岸的夾角為 45° 與 90° 的結果都比現今 0° 的養灘效果更差，現今擺放方式的南濱相較於北濱侵蝕量約為 71%。

當波浪經過花蓮港東堤時，受東堤的影響而產生繞射，我們於實驗裝置中觀察，此繞射角度大約為 30° 度，但隨著海岸地形的改變，波浪會因地形影響造成波速下降，逐漸接近垂直入射海岸。



▲圖二十六、離岸堤角度實驗南濱各段侵蝕百分比。

將離岸堤擺設方式與海岸夾 135° 時，由於入射的波浪受到離岸堤影響後，部分能量往外海與北濱方向反射(圖二十七)，因此造成南濱的侵蝕量較少，且越往南方侵蝕量越少，因此將離岸堤擺設方式與海岸夾 135° 時能對南濱海灘有較好的養灘效果。相對的，將離岸堤以與岸夾 45° 設置時，由於入射的波浪受到離岸堤影響後，部分能量往南濱方向反射(圖二十七)，因此造成南濱侵蝕量相較與岸夾 0° 時略為增加。當離岸堤擺放方式與海岸線互相垂直時，因以截面積較小的那面正對入射的波浪，因此無法抵擋大多數波浪的能量，而讓波浪能較與岸夾 0° 時更容易侵蝕海岸，使得養灘效果較其他的角度差。

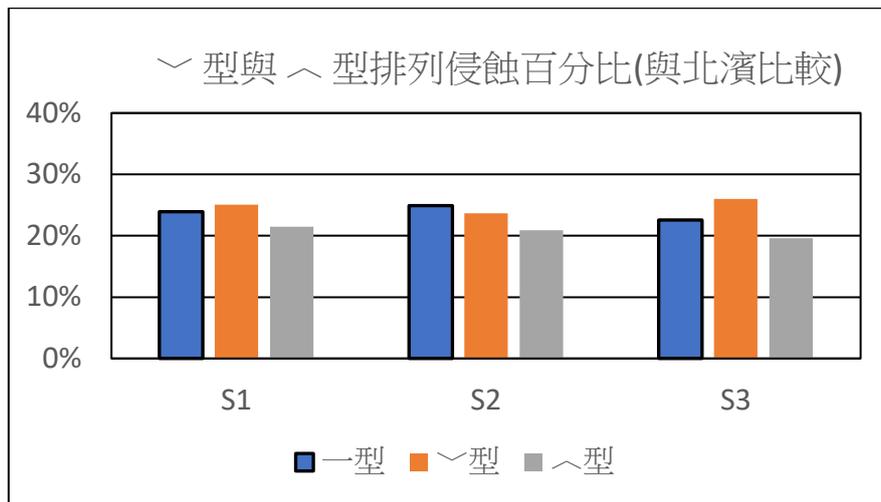


▲圖二十七、波浪近岸入射示意圖。(a)離岸堤與岸夾 45° 、(b)離岸堤與岸夾 135° 。

四、離岸堤排列形狀實驗：

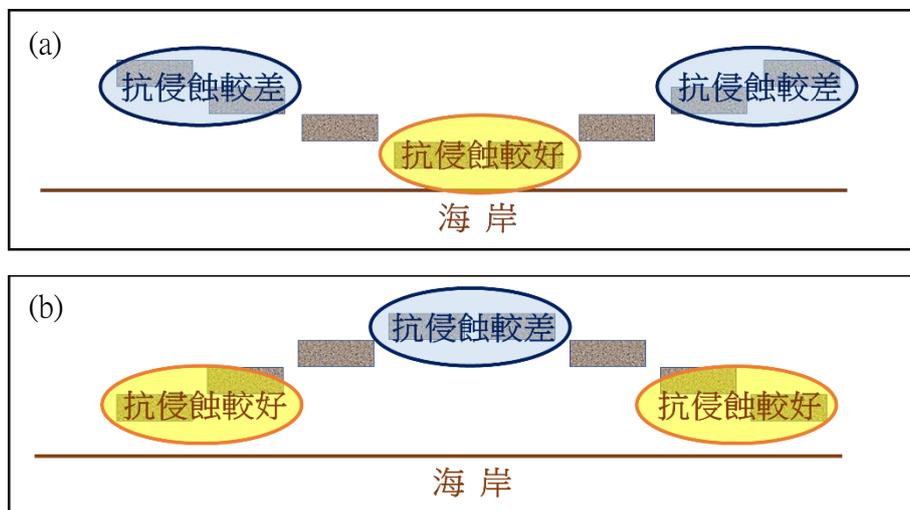
(一)、 \sim 型與 \wedge 型排列

由圖二十八可發現，若將離岸堤排列方式改為 \sim 型時，南濱的侵蝕量約為北濱侵蝕量的 75%，且可以發現在 S2 的侵蝕情況較一字型排列時趨緩，但在 S1 及 S3 的侵蝕情形較一字型排列時略微增加。當將離岸堤排列形狀改為 \wedge 型時，南北濱的侵蝕量差異十分顯著，南濱侵蝕量僅為北濱侵蝕量的 62%，且在 S1、S2 與 S3 的侵蝕量皆小於現今離岸堤的擺設，說明其抗侵蝕的效果顯著。



▲圖二十八、∩型與∪型排列實驗南濱各段侵蝕百分比圖。

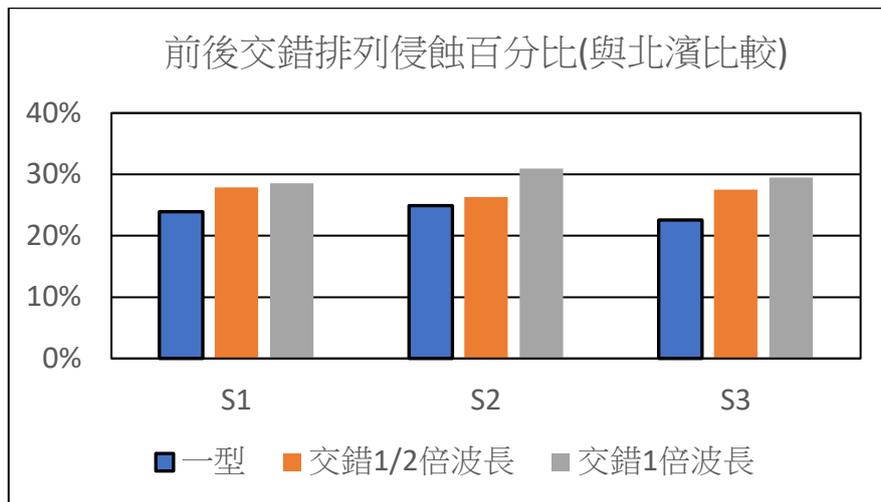
當離岸堤排列成∩型或∪型時，兩者的抗侵蝕的效果都相當不錯，其中又以∪型的效果最為顯著。當離岸堤排列形狀為∩型時在S2的離岸堤最接近海岸，於本研究距離實驗中，越接近岸的抗侵蝕能力較佳，因此S2的抗侵蝕效果為此種排列方式最佳的，與我們的距離實驗結果相符。而∪型排列的兩端因較接近海岸，能有效減少被離岸堤包覆的範圍內入射的波浪能量，進而減緩侵蝕情況。又∪型的排列正好將南濱整個包覆住，保護了整個南濱，進而造成南濱侵蝕狀況較弱，具有較好的養灘效果(圖二十九)。



▲圖二十九、∩型與∪型排列侵蝕示意圖。(a)∩型排列、(b)∪型排列。

(二)、前後交錯排列

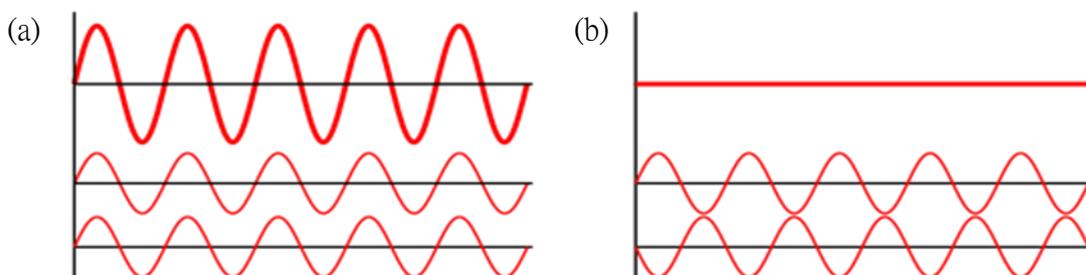
當兩堤交錯排列且前後間距為1/2倍波長時，南濱侵蝕量約為北濱侵蝕量的82%。若兩堤前後間距為一倍波長時，南濱侵蝕量約為北濱侵蝕量的89%，兩者較一字排列(71%)皆有較差的養灘能力(圖三十)。



▲圖三十、離岸堤前後交錯排列實驗南濱侵蝕百分比圖。

我們推測造成上述結果的原因有兩個：

- (1).離岸堤排列緊密度：當離岸堤為一字排列時，兩堤的間距會比交錯排列時來的小，使波浪進入岸邊的能量較少。我們又可以從間距一半與一倍波長的實驗結果中發現類似的結果，可以應證我們的推論。
- (2).波浪的干涉：當兩個波的波峰與波谷重合時，兩者發生抵銷，產生破壞性干涉，以致於能量減弱。而當兩個波的波峰與波峰、波谷與波谷重合時，會有加成的效果，產生建設性干涉，造成能量增強(圖三十一)，我們認為於間距一半波長與間距一倍波長時可能有部分建設性干涉，因此侵蝕量較一字排列多。因花蓮港外海波浪頻率不一致，紊亂的波並沒有辦法有效且完整的造成破壞性干涉或是建設性干涉。在我們分析實驗結果時，有觀察到交錯排列的實驗中，灘線的變化較不穩定，並沒有一致性，故推測可能與干涉所造成的結果有關。



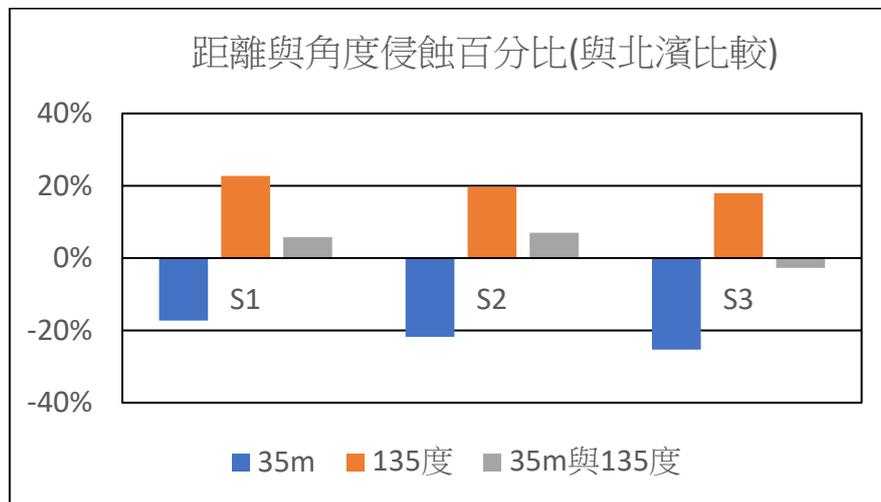
▲圖三十一、干涉示意圖。(a)建設性干涉、(b)破壞性干涉。

(圖片來源：<https://reurl.cc/9EGz1v>)。

五、複合型實驗：

(一)、距離與角度(35 公尺與 135°)：

我們將距離實驗與角度實驗結果較佳的兩種變因做合併，觀察其侵蝕結果的變化(圖三十二)。我們可以看到，於此情形南濱侵蝕量約為北濱侵蝕量的 10%，在 S3 甚至有堆積情形發生。



▲圖三十二、複合型離岸堤(距離與角度)實驗南濱侵蝕百分比圖。

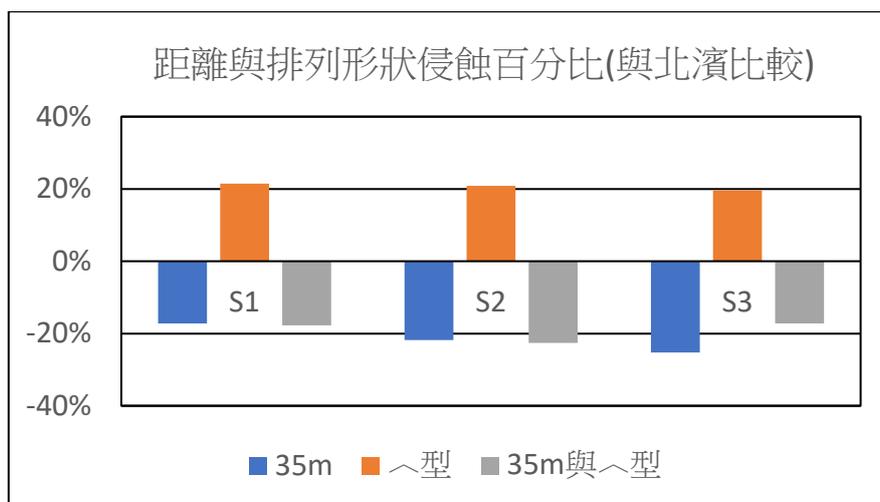
雖然於實驗結果中並無嚴重的淤沙現象，且有著十分良好的養灘效果，不過考慮到真實情況下會有沙源的供應，無法保證不會有淤沙的現象產生，一旦沙源迅速堆積，離岸堤裸露，將不符合永續發展的理念。而且此種擺設方法會使得離岸堤的前端架設於濱線之上，受到波浪拍打後，可能會造成離岸堤的地基掏空而有倒塌危險，並不推薦使用，故我們在距離與角度的合併實驗裡，推薦是使用 70 公尺與 135 度的組合，此組合一樣有良好的養灘效果，其減緩侵蝕的能力比現今離岸堤擺設佳。

(二)、距離與排列形狀(35 公尺與 \wedge 型)：

我們將距離模擬與排列模擬結果較佳的兩種情形做合併，觀察其侵蝕結果的變化(圖三十三)。我們從圖中可以看到，其實驗結果與距離實驗中的的 35 公尺實驗結果相似，皆於南濱一帶呈現堆積的情形。

雖然此排列形狀有十分良好的養灘效果，但於前面距離實驗相同，距離太近的離岸堤並不符合永續發展的理念，而且此種排列方法會使得最近岸的離岸堤架設於濱線之上，受到波浪拍打後，亦有可能會造成離岸堤的地基掏空而有倒塌危險，並不推薦使用，故我們在距離

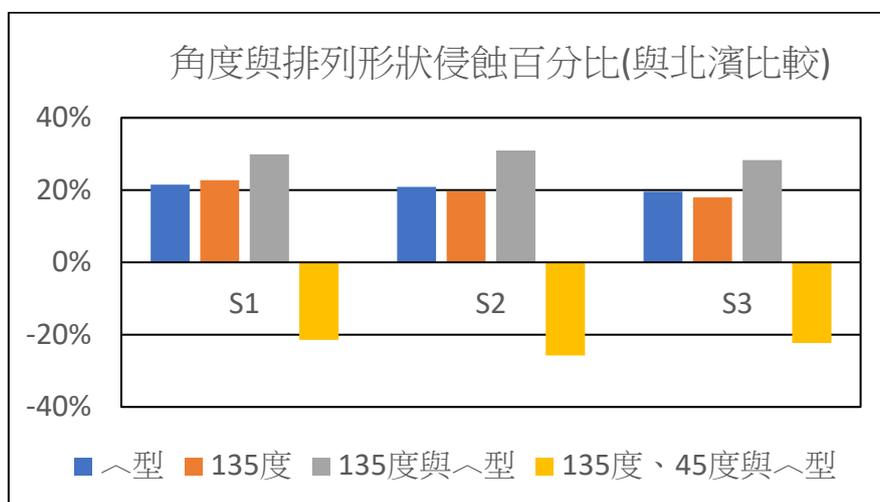
與排列的合併實驗裡，推薦是使用 70 公尺與 \wedge 型排列的組合，此組合一樣有良好的養灘效果，其減緩侵蝕的程度比現今離岸堤的擺設佳。



▲圖三十三、複合型離岸堤(距離與排列形狀)實驗南濱侵蝕百分比圖。

(三)、角度與排列形狀(135°與 \wedge 型和 135°、45°與 \wedge 型)：

我們將排列實驗與角度實驗結果較佳的兩種變因做合併，觀察其侵蝕結果的變化(圖三十四)。而我們從圖中可以看到，南濱侵蝕量約為北濱侵蝕量的 89%，相對於排列形狀為 \wedge 型及角度為 135° 時的養灘效果差，甚至不及現況的擺設方式。



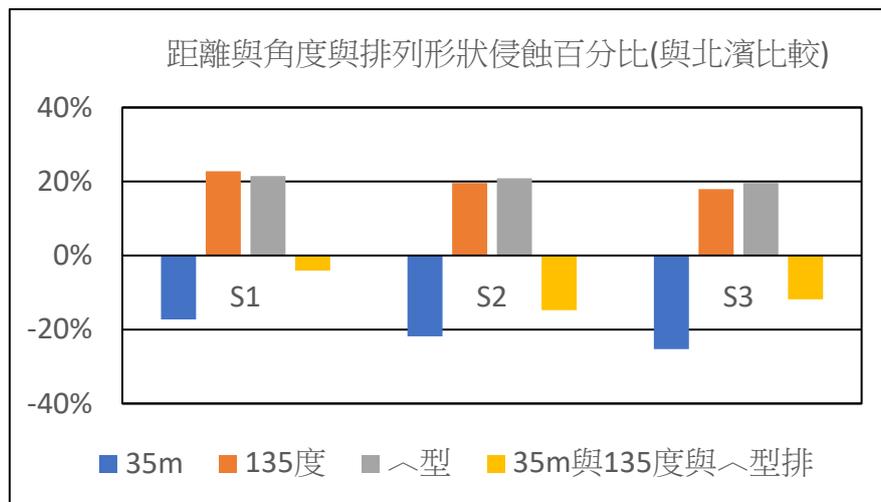
▲圖三十四、複合型離岸堤(角度與排列形狀)實驗南濱侵蝕百分比圖。

我們推測因為 S2 與 S3 的排列因角度關係，緊密程度低，讓波浪的能量能較輕易的進入南濱區域，使得養灘效果較差。為排除上述波浪容易進入南濱區域的現象，我們將離岸堤的擺設做了改良，控制左半邊的離岸堤為 135 度而改變右半邊的堤改為與岸夾 45 度。如此一來，右半邊的開口變小，離岸堤整體的排列緊密程度提升，波浪無法輕易進入離岸堤所包覆

的區域，使得南濱各段皆有明顯的堆積情形。但淤沙會衍生出許多後續問題，一樣並不推薦使用，因此我們在排列與角度的合併實驗裡，推薦是使用一字型與 135 度的組合，此組合一樣有良好的養灘效果，其減緩侵蝕的程度比現今離岸堤的擺設好。

(四)、距離與角度與排列形狀(距離 35 公尺與角度 135°與 ㄟ型排列)：

我們將距離模擬、排列模擬實驗與角度模擬結果較佳的三種做合併，觀察其侵蝕結果的變化(圖三十五)，而我們從圖中可以看到，在南濱有堆積的現象產生，但其堆積情形不如離岸 35 公尺一般嚴重。



▲圖三十五、複合型離岸堤(距離與角度與排列形狀)實驗南濱侵蝕百分比圖。

此擺設方式雖然養灘效果良好，但這種擺設的方法牽涉到兩種問題：

- (1).因淤沙而生成的繫陸沙洲，可能造成另外的突堤效應，影響另一地的海岸線，而迅速的淤沙可能覆蓋原有海洋，使得藻類死亡，造成生態浩劫。
- (2).此種擺設方法會使得最近岸的離岸堤架設於濱線之上，受到波浪拍打後，可能會造成離岸堤的地基掏空而有倒塌危險。

由於上述兩種衍生問題，我們不推薦使用。故我們在距離、排列與角度的合併實驗裡，一樣是推薦是使用 70 公尺、一字型與 135 度的組合，此組合一樣有著良好的養灘效果，其減緩侵蝕的程度比現今離岸堤的擺設好。

若考慮永續發展，受到淤沙堆積影響與地基掏空等衍生問題，上述交叉合併擺設方法皆無法作為施作的參考，故本研究推薦離岸堤擺設方法為將現今單一離岸堤的角度轉為與岸夾 135 度，或是將以現今離岸堤位置定為中線將離岸堤擺設為 ㄟ型，可以有效減少南濱一帶的海岸受到的侵蝕狀況，保護當地的海岸線。

柒、 結論

- 一、 受花蓮港東堤影響，波浪繞射後的浪向大約是往北濱南段與南濱傳遞，使得南濱一帶的侵蝕狀況明顯。
- 二、 當離岸堤架設至離岸距離越近，其養灘效果越好，但須考量經濟效益及潮汐影響是否符合永續發展的理念。
- 三、 將離岸堤排列成 \sphericalangle 型時，能有效減少波浪傳遞至海岸的能量，進而減緩侵蝕的情況，保護整個南濱的海灘，我們推薦將來於南濱海岸進行離岸堤工程時，可以參考此種擺設方式。
- 四、 當單一離岸堤與海岸線向北夾 135 度時，可以反射掉部分入射的波浪，進而減緩侵蝕，具有最佳的養灘效果，我們推薦將來於南濱海岸進行離岸堤工程時，可以參考此種擺設方式。
- 五、 離岸堤的距離、角度與排列實驗中結果最好的擺設做交叉合併，其養灘效果多有加成的效果，但考量到永續發展，並不推薦使用。

捌、 未來展望

- 一、 花蓮南濱海岸易受到颱風的侵襲，若要於南濱海岸架設離岸堤，不僅需要考慮花蓮港的突堤效應，亦要考慮颱風所造成的長浪的影響，因此未來將考慮颱風事件對海岸的影響。
- 二、 由於本研究的實驗裝置裡沒有沙源供應，與真實情況有些出入，未來希望能在美崙溪與吉安溪提供穩定的沙源，以增加實驗仿真性與準確性。

玖、參考資料

1. 何春蓀(2012)。普通地質學。臺北市：五南。
2. 吳一平(2010)。潛堤消波特性之實驗研究(碩士論文)。
取自 <https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
3. 吳政忠(2005)。離岸堤背後灘線長期變遷之數值模擬(碩士論文)。
取自 <https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
4. 吳俊達(2006)。由氣象浮標資料岸探台灣附近海域的風場特性與風應力(碩士論文)。
取自 <https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
5. 林俊全(2016)。臺灣的地理議題。臺北市：遠足。
6. 邱筱嵐(2004)。以人工岬灣與養灘綜合工法應用於花蓮南、北濱海岸(碩士論文)。
取自 <https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
7. 林宗儀、翁健三(2013)。臺灣海岸濱線變遷分析。第 35 屆海洋工程研討會論文集，377-382。
8. 張育鴻(2011)。花蓮南濱海域近岸流場受地形水深影響之研究(碩士論文)。
取自 <https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
9. 許榮中(2013)。岬灣的驗證規劃及創造。科學發展，488，28-33。
10. 陳隆政(2007)。再造海岸珊瑚生態~喜見南濱離岸堤生態成效。土木計師公會技師報，564 期。
11. 第九河川局(2014，3 月 7 日)。侵蝕海岸之北濱海岸環境營造。
水利署電子報。取自 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=DD57D43A4D507AE6。
12. 第九河川局(2014，10 月 17 日)。為確保大花蓮市區民眾生命財產安全施作海岸屏障。
水利署電子報。取自 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=67DB5679989BEAC8。
13. 第九河川局(2015，12 月 4 日)。為海岸永續經營與保護 持續辦理花蓮海岸斷面監測。
水利署電子報。取自 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=64EBC643F5E53969。
14. 第九河川局(2017，12 月 1 日)。離岸堤保住國土 意外發現珊瑚礁群聚。
水利署電子報。取自 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=63434DF21CAB7BCD。
15. 第九河川局(2018，9 月 28 日)。保衛花蓮海岸 第九河川局海事工程整備。
水利署電子報。取自 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=232EA7FABDBE5AF6。
16. 第九河川局(2019，5 月 17 日)。北濱海岸侵蝕減緩 灘線增加 6 至 14 公尺。
水利署電子報。取自 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=4EA37EDE31CB54C6。

17. 游太郎(2012, 2月18日)。花蓮突堤養灘 再造南北濱海岸美景。
自由時報。取自 <https://news.ltn.com.tw/news/local/paper/561687>。
18. 楊天璋(2003)。以 GENESIS 模擬長期海岸線變遷之應用(碩士論文)。
取自 <https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
19. 劉聰桂(2018)。普通地質學。臺北市：臺大出版中心。
20. 戴義欽(2013)。詭譎多變的近岸水流。科學發展，488，22-27。
21. Bakker, W.T., (1968). The dynamics of a coast with a groin system. *Proc. 11th, International Conf. on Coastal Eng.*, ASCE, 507-528.
22. Bruun, P., (1954). Coast Erosion and the Development of Beach Profiles. Technical Memorandum No. 44, *Beach Erosion Board, US Army Corps of Engineers*, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA.
23. Dalrymple, R. A., & Lozano, C. J. (1978). Wave-current interaction models for rip currents. *Journal of Geophysical Research*, 83(C12), 6063.
24. Ranasinghe, R., & Turner, I. L. (2006). Shoreline response to submerged structures: A review. *Coastal Engineering*, 53(1), 65 - 79.
25. Tai-Wen Hsu, Shan-Hwei Ou, & Shiaw-Yih Tzang.(2000) .Evaluations on Coastal Topographical Changes at Hualien Coast, Taiwan. *Coastal Education & Research Foundation*,16(3),790-799.

【評語】 051911

本作品設計實驗，模擬離岸堤對花蓮港南方，美崙溪至吉安溪間海岸線侵蝕與沉積之影響。實驗設計考量浪高、地形及風向，以等比例建構實驗模型，並模擬數種離岸堤建置地點與方位對海岸線侵蝕與沉積之影響。現況基本資料說明詳盡、實驗設計嚴謹、變數考量週全、實驗結果具實用價值又可提供政策參考，是一優良作品。建議對實驗中，沉積物之用量與初始分佈具體說明；此外，亦對侵蝕與沉積同時於不同區段海岸發生時，侵蝕百分比與沉積百分比之計算加以說明。對實驗數據相關之敘述與討論宜納入誤差考量；例如：14%與18%之侵蝕百分比能否視為有意義之差異。有些數據具極大之標準差（圖二十三），要先釐清造成大誤差之原因及這些具大誤差之數據是否具實質意義；若有，應如何解讀。之後，定能引伸出更有意義之討論。

摘要

受花蓮港東堤擴建後的突堤效應影響，花蓮北濱及南濱海岸的侵蝕現象十分顯著。為此，第九河川局增設了許多維持灘線的設施。本研究以等比例縮小仿造花蓮港鄰近區域進行實驗，發現花蓮港外海的波浪受到花蓮港東堤影響產生繞射現象，使南濱海岸受侵蝕的情形大於北濱海岸。因此，本研究主要針對南濱海岸離岸堤的建造對減緩南濱海岸侵蝕效果進行實驗。在我們的實驗中，我們發現離岸堤對於減緩海岸侵蝕情形有相當大的幫助。本研究另外改變離岸堤的擺設方式，試圖找出離岸堤對於減緩海岸侵蝕最佳的方法。我們的初步實驗結果顯示，當離岸堤與海岸向北夾135度以及排成一型時，具有良好的抗侵蝕效果。

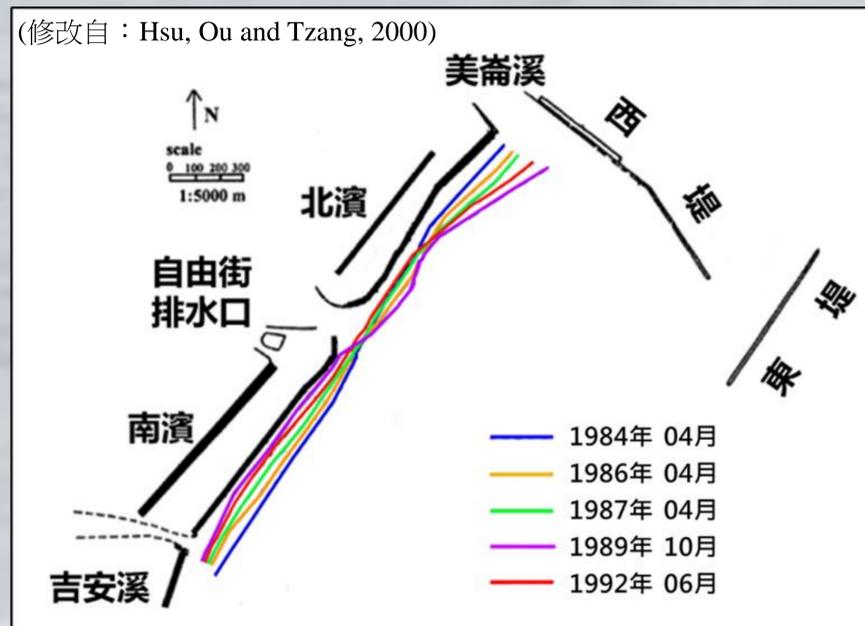
研究動機

在我們的校園內即可見到遼闊的太平洋與繁忙的花蓮港，花蓮縣北濱與南濱海灘更是花蓮學生們下課後常去遊玩的地點。

花蓮港東堤擴建後，對花蓮港南岸的海岸造成的侵蝕現象加劇，甚至可能危害濱海居民之生命財產安全。第九河川局指出：「北濱海岸因花蓮港擴建後產生的『突堤效應』，侵蝕情況逐漸減輕，但自由街排水口以南的南濱海岸，灘線明顯後退，堤前的沙灘幾乎消失殆盡，是侵蝕最嚴重的位置。」

我們於新聞報導中看到花蓮外海進行的離岸堤加強與改善工程：「緊鄰花蓮市的南、北濱屬於侵蝕海岸，50年來退縮近200公尺，為第九河川局海岸防護重點區域，30年前陸續辦理相關防護工程，設置16座離岸堤減緩侵蝕及穩定沙源。」(自由時報，2012)

我們好奇南濱海岸離岸堤的設置對養灘效果與灘線的影響有多少、是否有更好的離岸堤設置方式？為了找出較好的養灘方法，本研究試著深入探討南濱海岸離岸堤的設置與花蓮港南方因突堤效應受到侵蝕的南濱海岸之間的交互影響。



研究目的與流程

- 一、模擬花蓮港東堤的突堤效應對花蓮北濱與南濱海岸的影響。
- 二、改變離岸堤的擺設方式，探討其對養灘效果的影響。

主題選定	文獻探討	實驗設計	數據分析	討論與結論
1.生活環境 2.自身感受 3.經驗啟發	1.區域背景 2.突堤效應 3.灘線變遷 4.水利工程	1.無堤實驗 2.距離實驗 3.角度實驗 4.排列實驗 5.複合實驗	1.灘線繪製 2.侵蝕比例 3.與北濱比	1.現象討論 2.未來展望

▲ 圖二、實驗流程圖

研究設備與器材

程式軟體：Microsoft Excel、Google Earth、Visual Basic、Image J、Quantum GIS。

觀測資料：中央氣象局資料開放平台、交通部港灣環境資訊網、內政部海域資訊整合平臺。

實驗器材：水箱、工業電扇、塑膠瓦楞板、積木、防水膠帶、海綿、鋼絲絨、紙黏土、鉛塊、防水漆、電子秤。

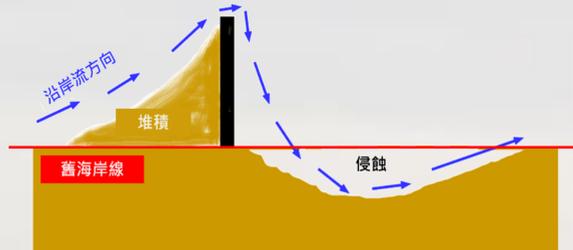
研究區域與背景

一、區域背景



二、沿岸流與突堤效應

當波浪以非垂直海岸的方向入射時，會在破浪帶內形成和海岸平行的沿岸流。沿岸流會帶著從前濱侵蝕的沿岸漂沙移動。當沿岸流受障礙物阻擋，會使沿岸漂沙在障礙物前堆積，而障礙物後因沙源的供給較少，易產生侵蝕的現象，即為突堤效應。



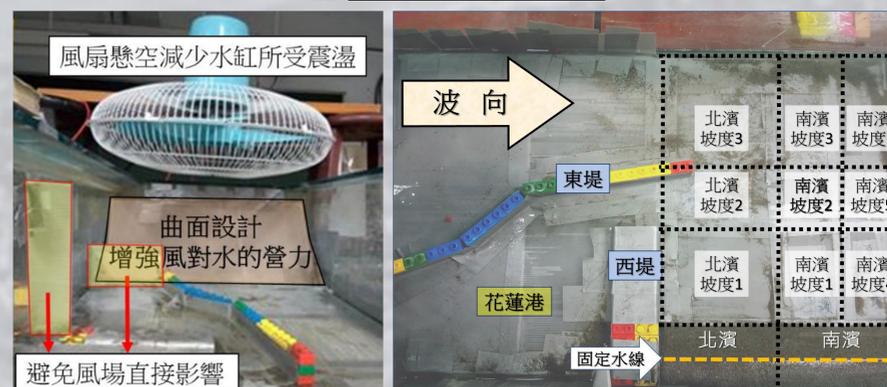
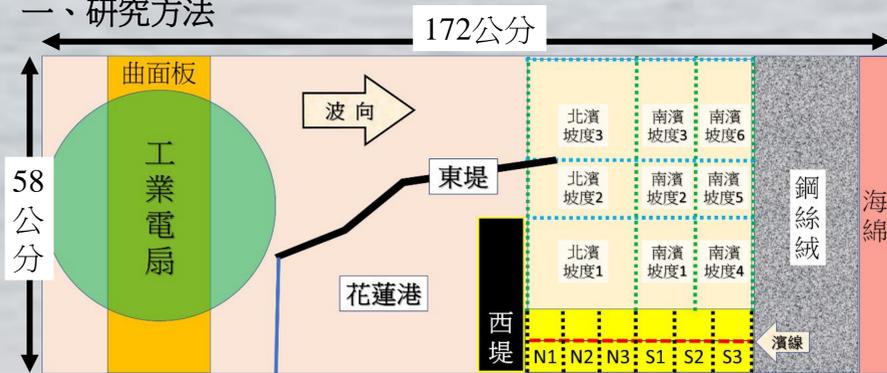
▲ 圖四、突堤效應示意圖

三、水利工程與灘線變遷

花蓮北濱及南濱受到花蓮港突堤效應影響，灘線退縮，為保護灘線不再退縮，經濟部水利署第九河川局(九河局)於民國80年代設立離岸堤，並開始一系列整治工程。其中南濱海岸離岸堤於民國107年進行改善工程，為本研究主要的主题。

研究方法與過程

一、研究方法



▲ 圖六、實驗側視圖

▲ 圖七、實驗俯視圖

- 1.模型比例選定：縮小5500倍。
- 2.風場：持續20分鐘，東北風。
- 3.海底地形：因波浪於淺水環境時，水深會影響波速，使波速逐漸變慢，造成不同地區波浪入射角度不同，因此本實驗製作海底地形，為模擬真實情形。

$$\text{淺水波波速：} v = \sqrt{gd} = f\lambda$$

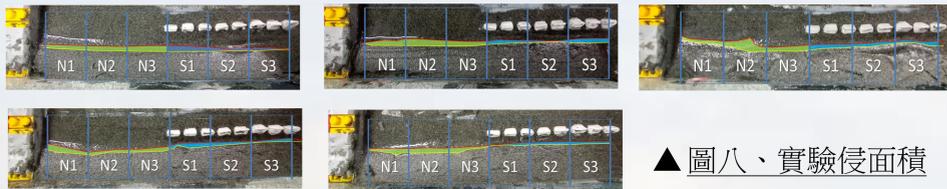
- 4.離岸堤模擬：使用紙黏土模擬南濱外海的離岸堤，並使用鈞魚用小鉛塊增加重量，最後上防水膠避免被破壞。

二、研究過程

- 1.模擬花蓮港東堤的突堤效應對花蓮北濱與南濱海岸的影響。
- 2.改變離岸堤排列的距離，討論離岸堤對南濱養灘效果。
- 3.改變單一離岸堤角度，討論其對南濱海岸的影響。
- 4.改變離岸堤排列形狀，討論離岸堤對南濱海岸的影響。
- 5.將各最好結果進行複合型實驗，綜合討論其對南濱養灘效果。

研究結果

1. 將北濱與南濱均分為六個區域(N1、N2、N3、S1、S2、S3)，並分別計算每個區域的侵蝕所占比例，每項實驗進行5次重複。

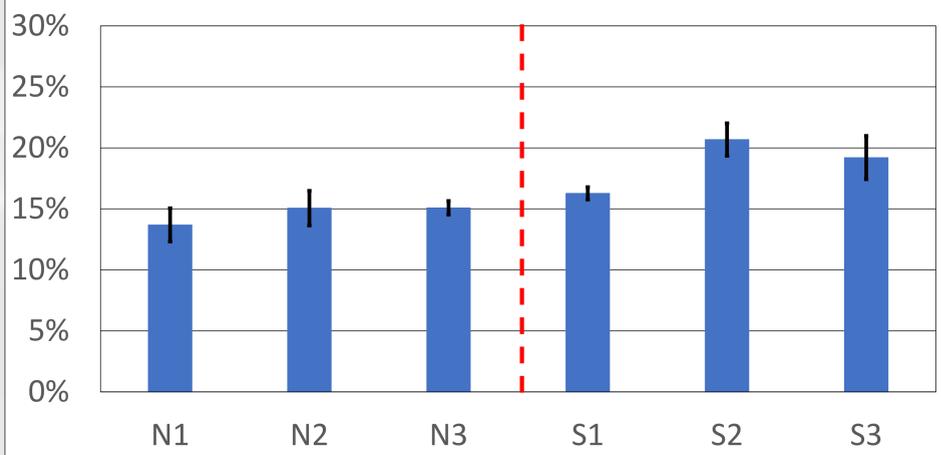


▲圖八、實驗侵面積

2. 為排除實驗系統性的誤差，計算各段侵蝕量的比例。
3. 比較五次實驗結果，將差異過大的數據去除，至多去除兩組數據，剔除極端數據組後取平均值。

一、前置實驗(無架設離岸堤)

前置實驗侵蝕百分比

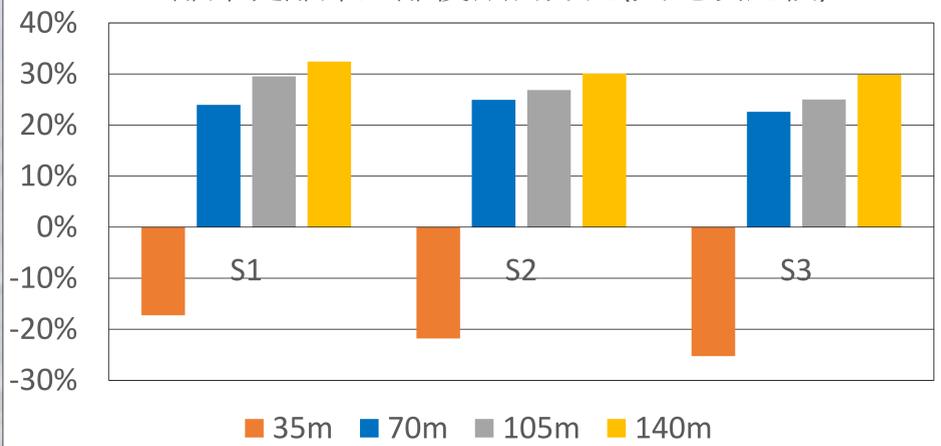


▲圖九、前置實驗侵蝕百分比

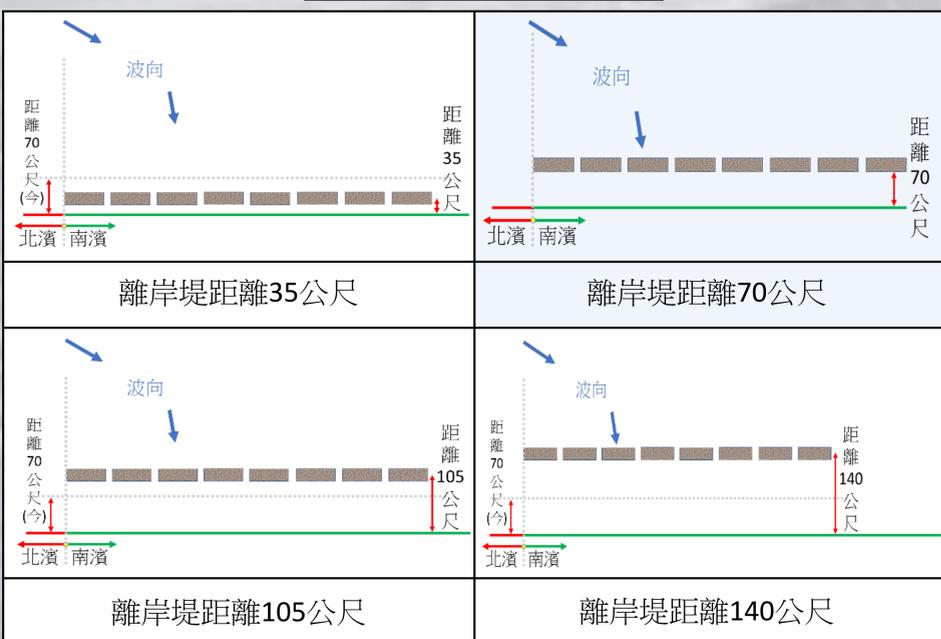
二、離岸堤距離實驗

現今南濱離岸堤為離岸70公尺、一字排列，我們將此實驗結果作為對照組。因北濱未架設離岸堤，因此本研究將北濱侵蝕量定為1，計算南濱各段相較於北濱的侵蝕量，探討南濱侵蝕情況。

離岸堤離岸距離侵蝕百分比(與北濱比較)



▲圖十、距離實驗侵蝕比例

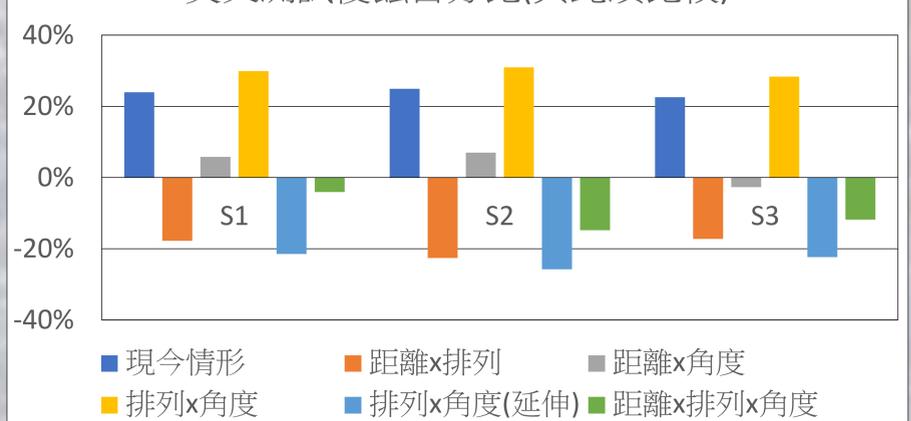


▲表一、距離實驗示意圖

五、复合型離岸堤實驗

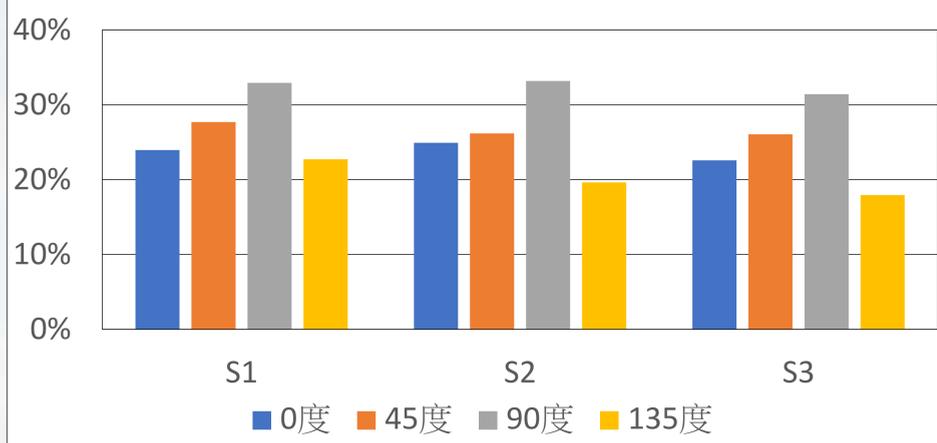
圖十三、复合型實驗侵蝕比例

交叉測試侵蝕百分比(與北濱比較)

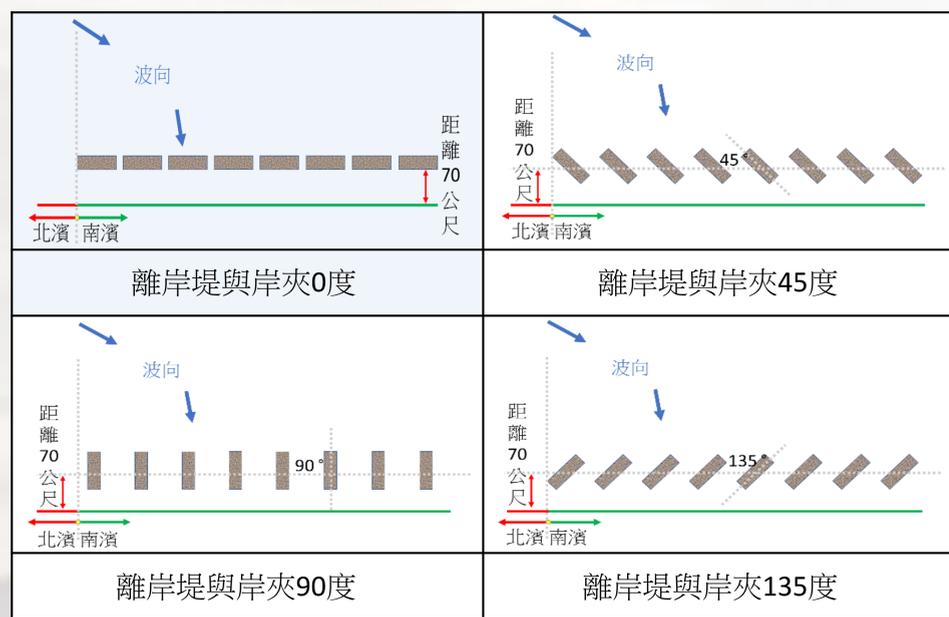


三、離岸堤角度實驗

離岸堤角度侵蝕百分比(與北濱比較)



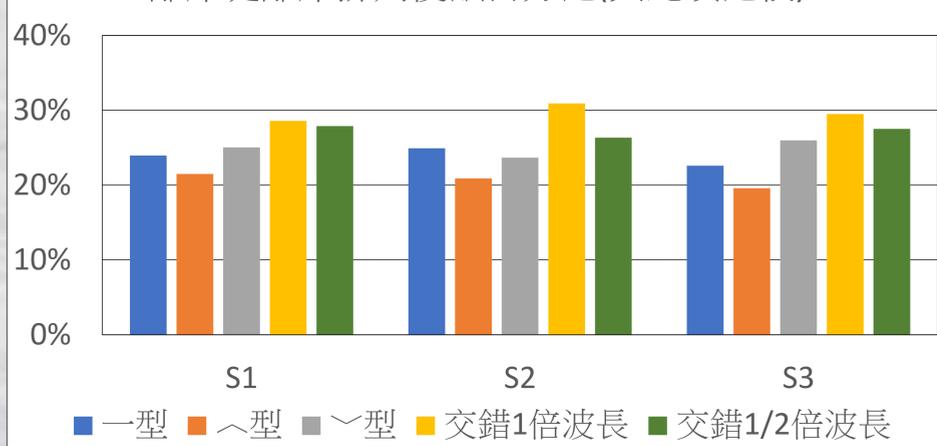
▲圖十一、角度實驗侵蝕比例



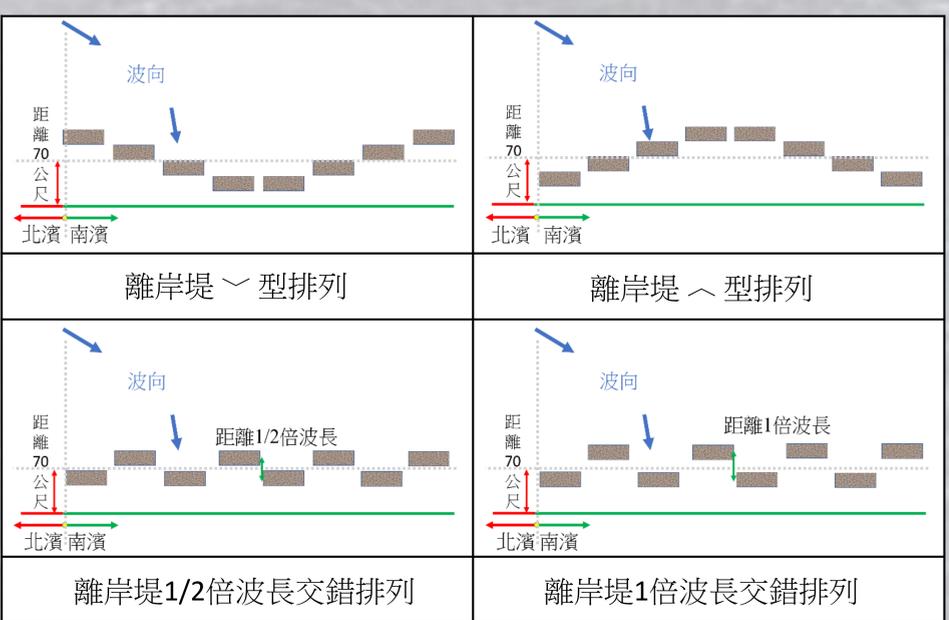
▲表二、角度實驗示意圖

四、離岸堤排列實驗

離岸堤離岸排列侵蝕百分比(與北濱比較)

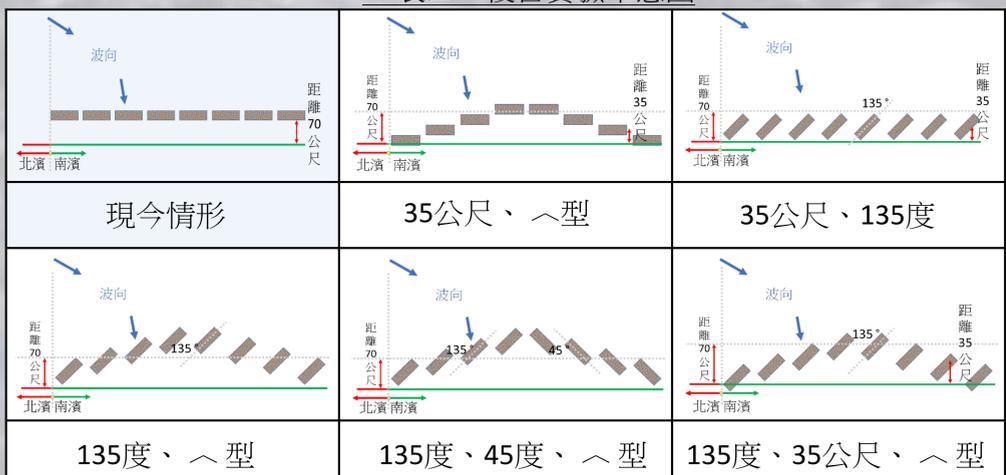


▲圖十二、排列實驗侵蝕比例



▲表三、排列實驗示意圖

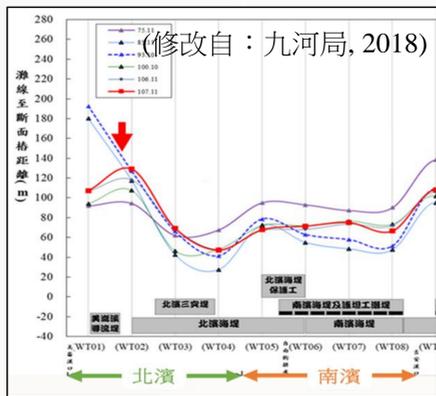
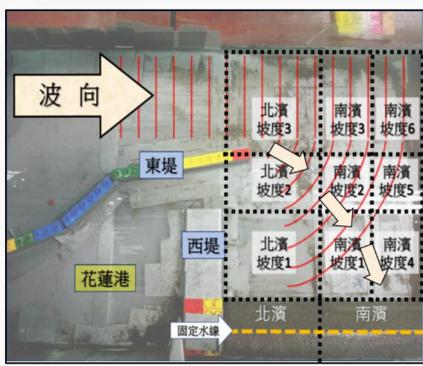
表四、複合實驗示意圖



討論

一、前置實驗(無架設離岸堤)

若沒有於南濱海岸架設離岸堤，南濱侵蝕量較北濱大。推測造成此種結果的原因為北濱受到花蓮港西堤與東堤的保護，造成營力較小。而南濱侵蝕情況較嚴重的原因可能是波浪受到花蓮港東堤影響，波浪自花蓮港外海傳遞至花蓮港東堤後會產生繞射現象，繞射後的波浪主要能量朝南濱傳遞，因此南濱海岸的侵蝕情況嚴重。

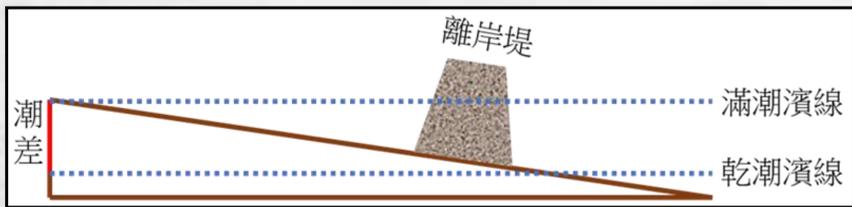


▲ 圖十四、波浪受東堤影響繞射 ▲ 圖十五、南北濱灘線變遷

二、離岸堤離岸距離實驗

當我們將離岸堤架設於南濱外海時，均使南濱海灘的侵蝕能力趨緩。若將離岸堤架設在現今距離的1.5倍(離岸105公尺)，與現今距離的2倍(離岸140公尺)，其養灘效果皆較現況(離岸70公尺)差。我們亦發現，當離岸堤的擺設越近岸，其養灘的效果越佳。我們推測可能的原因為，當離岸堤放置在較外海時較無法阻擋回流將沉積物帶離海岸所致。

現今的離岸堤架設於離岸70公尺處，而非養灘效果較佳的35公尺，推測原因為：(1).經濟效益(2).生態影響(3).潮汐影響。

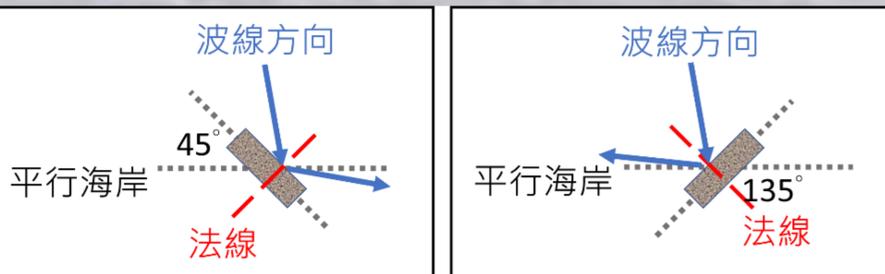


▲ 圖十六、離岸堤與潮差示意圖

三、離岸堤角度實驗

我們發現當離岸堤與岸夾角為 90° 時，比現今與岸夾 0° 時的養灘效果較差。我們推測可能是因為與岸夾 90° 時，因截面積較小的面正對入射的波浪，因此無法抵擋大多數波浪的能量所致。

另外，我們發現將離岸堤擺設方式與岸夾 135° 時，能有較好的養灘效果。我們推測將離岸堤擺設方式與海岸夾 135° 時，由於入射的波浪受到離岸堤影響後，部分能量往外海與北濱方向反射，因此造成南濱的侵蝕量較少，且越往南方侵蝕量越少。相對的，將離岸堤以與岸夾 45° 設置時，由於入射的波浪受到離岸堤影響後，部分能量往南濱方向反射，因此造成南濱侵蝕量相較與岸夾 0° 時略為增加。

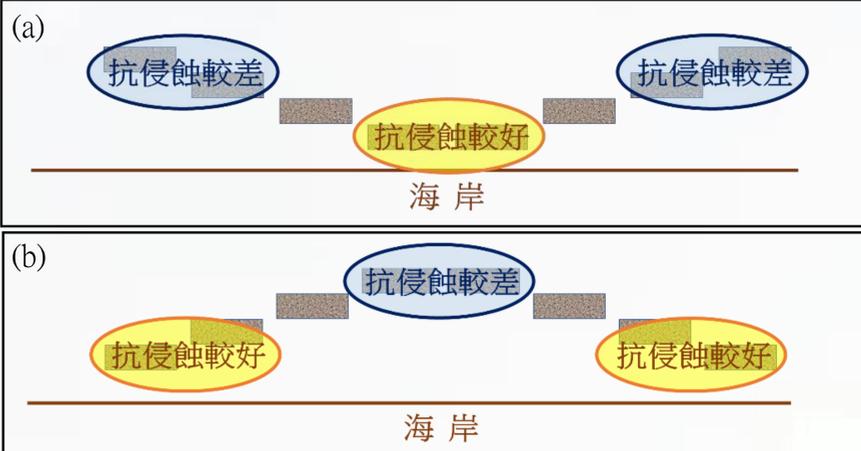


▲ 圖十七、波浪近岸入射示意圖

四、離岸堤排列形狀實驗

(一)、V型與Λ型排列

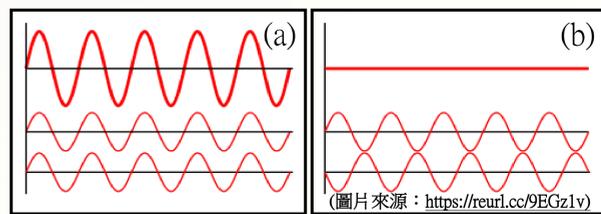
當離岸堤排列成V型或Λ型時，兩者的抗侵蝕的效果都相當不錯，其中又以Λ型的效果最為顯著。Λ型排列的兩端因較接近海岸，能有效減少被離岸堤包覆的範圍內入射的波浪能量，進而減緩侵蝕情況。又V型的排列正好將南濱整個包覆住，保護了整個南濱，進而造成南濱侵蝕狀況較弱，具有較好的養灘效果。



▲ 圖十八、排列方式示意圖。(a) V型排列，(b) Λ型排列

(二)、前後交錯排列

當兩堤交錯排列且前後間距為 $1/2$ 倍波長時及兩堤前後間距為 1 倍波長時，兩者皆較一字排列皆有較差的養灘能力。推測其原因為：(1).離岸堤排列緊密(2).波浪的干涉。



▲ 圖十九、干涉示意圖。(a)建設性干涉，(b)波壞性干涉

五、複合型實驗

我們於複合型的實驗發現，大多數都有堆積的現象，可能有較好的養灘效果。但若考慮永續發展，受到淤沙堆積影響與地基掏空等衍生問題，上述複合型擺設方法皆無法作為施作的參考。

結論

- 1.受花蓮港東堤影響，波浪繞射後的浪向大約是往北濱南段與南濱傳遞，使得南濱一帶的侵蝕狀況明顯。
- 2.當離岸堤架設至離岸距離越近，其養灘效果越好，但須考量經濟效益及潮汐影響是否符合永續發展的理念。
- 3.當單一離岸堤與海岸線向北夾 135° 度時，可以反射掉部分入射的波浪，進而減緩侵蝕，具有最佳的養灘效果，我們推薦將來於南濱海岸進行離岸堤工程時，可以參考此種擺設。
- 4.將離岸堤排列成V型時，能有效減少波浪傳遞至海岸的能量，進而減緩侵蝕的情況，保護整個南濱的海灘，我們推薦將來於南濱海岸進行離岸堤工程時，亦可參考此種擺設。
- 5.離岸堤的距離、角度與排列實驗中結果最好的擺設做交叉合併，其養灘效果多有加成的效果，但考量到永續發展，並不適合使用。

未來展望

- 1.花蓮南濱海岸易受到颱風的侵襲，若要於南濱海岸架設離岸堤，不僅需要考慮花蓮港的突堤效應，亦要考慮颱風所造成的長浪的影響，因此未來將考慮颱風事件對海岸的影響。
- 2.由於本研究的實驗裝置裡沒有沙源供應，與真實情況有些出入，未來希望能在美崙溪與吉安溪提供穩定的沙源，以增加實驗仿真性與準確性。

參考資料

- 1.吳俊達(2006)。由氣象浮標資料探台灣附近海域的風場特性與風應力(碩士論文)。取自<https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
- 2.邱筱嵐(2004)。以人工岬灣與養灘綜合工法應用於花蓮南、北濱海岸(碩士論文)。取自<https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
- 3.張育鴻(2011)。花蓮南濱海域近岸流場受地形水深影響之研究(碩士論文)。取自<https://etd.lis.nsysu.edu.tw/eThesys/index.php>。
- 4.游太郎(2012, 2月18日)。花蓮突堤養灘 再造南北濱海岸美景。自由時報。取自<https://news.ltn.com.tw/news/local/paper/561687>。
- 5.劉聰桂(2018)。普通地質學。臺北市：臺大出版中心。
- 6.Tai-Wen Hsu, Shan-Hwei Ou, & Shiao-Yih Tzang.(2000). Evaluations on Coastal Topographical Changes at Hualien Coast, Taiwan. Coastal Education & Research Foundation,16(3),790-799.