

科學展覽會作品說明書

科 別：地球與行星科學科

作品名稱：花蓮的難「堤」-南濱海岸離岸堤養灘效果之探討

關鍵詞：花蓮南濱海岸、突堤效應、離岸堤

編號：

摘要

受到花蓮港東堤所帶來的突堤效應，南北濱海岸的侵蝕現象十分明顯。為此，第九河川局增設了許多維持灘線的設施。我們分析了花蓮北濱與南濱沉積物粒徑，了解兩地沉積環境的差異。我們於實驗中發現因為花蓮港東堤使波浪產生繞射現象，南濱海岸，使南濱侵蝕營力大於北濱海岸。本研究主要在探討南濱海岸的離岸堤對於減緩南濱海岸侵蝕的效果。在我們的模擬實驗中，我們發現將離岸堤擺放置至現今距離的 3 倍(離岸 210 公尺)並和南濱海岸灘線垂直的離岸堤有具有最佳的養灘效果。

壹、研究動機

花蓮港東堤擴建後，對花蓮港南岸的海岸造成的侵蝕現象日益加劇，甚至可能導致危害濱海居民之生命財產安全。花蓮高中在校園內即可見到遼闊的太平洋與繁忙的花蓮港，北濱與南濱更是我們下課後常去遊玩的地點。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，堤前的砂灘幾乎消失殆盡，是侵蝕最嚴重的位置。」

「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砂源。」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。

南濱海岸離岸堤的設置對南濱海岸的養灘效果與灘線的影響成效有多少、是否有更好的離岸堤設置方式？為了試著找出較好的養灘方法，我們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灘之間的交互影響。

貳、研究目的

- 一、分析南北濱沉積物粒徑，探討花蓮港東堤影響突堤效應發展。
- 二、模擬南濱離岸堤擺設，改變堤與海岸距離，找出對於養灘最有效的距離。
- 三、模擬南濱離岸堤擺設，改變堤與海岸交角，找出對於養灘最有效的交角。

參、研究設備與器材

一、研究使用軟體：Microsoft Excel、Google Earth、Visual Basic、Image J

二、觀測資料：氣象局資料開放平台、交通部運輸研究所

三、實驗器材：

北濱、南濱沉積物	電子秤	分析粒徑篩網
		
積木	紙黏土	水槽
		
木板支架	工業電扇	手機紀錄
		

▲ 表一、實驗器材

肆、研究過程與方法

一、研究區域背景探討

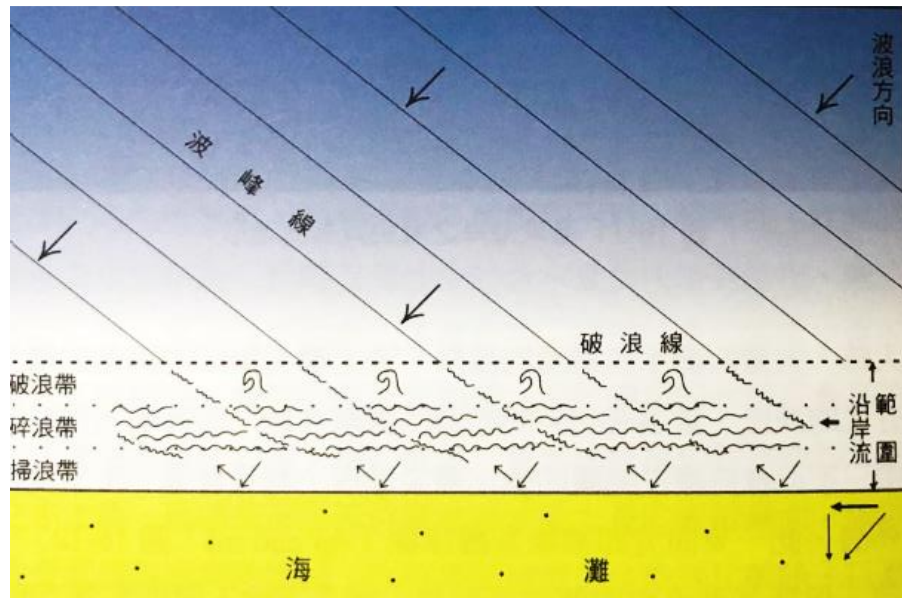
花蓮北濱海岸全長約 940 公尺，其北方與美崙溪相鄰，花蓮港西堤建於美崙溪出海口北方。花蓮南濱與北濱以自由街排水口為界，自由街排水口以南至吉安溪為南濱的範圍，全長亦約 940 公尺(圖一)。



▲ 圖一、研究區域

受美崙溪和南濱以南的吉安溪的影響，此處原是花東少有的天然砂岸(林俊全，2016)，此處以往亦是附近居民的遊憩場所。北濱以及南濱皆屬於侵蝕型海岸，北濱的海岸因花蓮港擴建後的突堤效應，侵蝕情況逐漸減輕。

突堤效應主要與沿岸流有關，當波浪受到地形深度、障礙物影響及海岸線並非完全平直時，導致波浪以某個角度入射。在靠近岸處，會形成一個和海岸線平行的分量沿著海岸流動，此流動即為沿岸流(圖二)。



▲ 圖二、沿岸流生成示意圖(擷取自: 劉聰桂等人, 2018)。

沿岸流會帶著從前濱侵蝕來的沿岸漂砂移動，當帶著沿岸漂砂的沿岸流受到障礙物阻擋，會使得沿岸漂砂在障礙物前堆積，而障礙物後因為砂源的供給較少，而易產生侵蝕的現象，此現象即為「突堤效應」。造成海岸線變遷的原因亦有許多種，造成海岸沉積物堆積的方式大致上可分為五種方式：(1)河川疏砂、(2)沿岸漂砂、(3)外海砂源、(4)飛砂、(5)人工填補；而造成砂量損失的原因大致有六種方式：(1)風吹砂、(2)人工開挖、(3)暴雨時沉積於後灘、(4)沉澱於潟湖、(5)波浪侵蝕、(6)坡腳侵蝕(邱筱嵐，2004)。

根據第九河川局的觀測，自 2013 年至 2018 年為止，因花蓮港東堤的突堤效應北濱海岸侵蝕情形明顯減緩，灘線於五年之間增加 6 至 14 公尺。但自由街排水口以南的南濱海岸，灘線明顯後退，是侵蝕較嚴重的區域。初步探究是因為南濱海岸遭受花蓮港東堤海流正面衝擊，為此，第九河川局設置多處離岸堤，以減緩海岸侵蝕(顏嚴光，2018)。花蓮港自建造後，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)。

自民國 76 年起，此區海岸灘線呈現明顯退縮，為了防止侵蝕現象持續發生以致危害濱海居民之生命財產安全，並有效阻止灘線之退縮，因此於 88 年至 90 在距海堤前方約 135 公尺處設置離岸堤，以保護本區段灘線不再退縮。但離岸堤因受歷年颱風、長期浪襲，以及砂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情形，為改善及加強保護，於民國 107 年進行改善工程(表三)，此改善工程亦為此研究的主要主題。

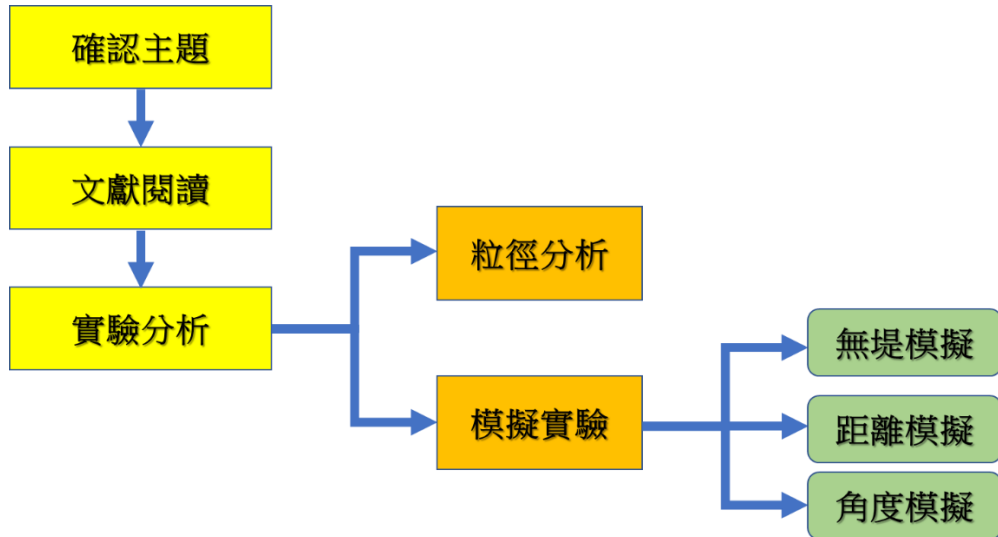
年度(民國)	內容	備註
43	南濱海堤興建	舊堤
74	北濱海堤養修	北濱灘線迅速外移，南濱尚穩定
77	新南濱海堤興建	舊堤廢止
79-80	南濱離岸堤共 6 座	
80-81	北濱離岸堤共 5 座	
81	美崙溪導流堤	
85-88	南濱離岸潛堤共 7 座	
92	北濱離岸潛堤共 1 座	
97	美崙溪導流堤	
101	美崙溪導流堤延長 60 公尺	
102	北濱海岸新設三座 40 公尺突堤	
103	美崙溪導流堤再延長 61 公尺	
103	北濱第三支短突堤延伸 15 公尺	
107	南濱及化仁潛堤加強改善工程	本研究主要探討工程

▲ 表二、花蓮港歷年海岸防治工程。

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 4 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: 經濟部水利署 第九河川局, 2019)。

二、實驗方法與過程



▲ 圖三、實驗流程圖

(一)、粒徑分析

我們實地至南濱與北濱的砂灘，於南濱與北濱各分為北、中、南三段區域進行隨機採樣取砂，並將北濱的北中南段由北到南依序編號北 1、北 2、北 3，南濱由北至南標示為南 1、南 2、南 3(圖四)。



▲ 圖四、沉積物取樣地點

將海濱沉積物帶回實驗室分析粒徑，每個採樣點進行三次重複過篩，每次取 100 公克的沉積物過篩，計算出各不同粒徑標準的比例，試著探討不同地點所對應不同粒徑背後的沉積環境(圖五、表四)。



▲ 圖五、實驗過篩裝置

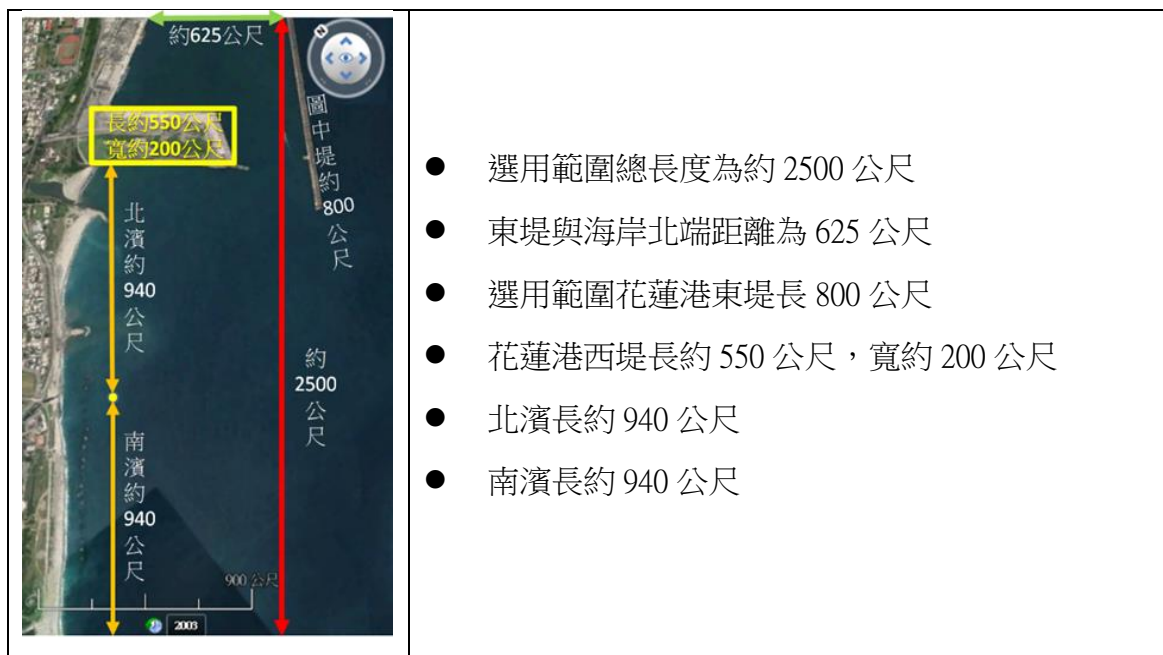
≥ 3.5mesh	≥ 6.5mm
≥ 10mesh	≥ 1.7mm
≥ 18mesh	≥ 0.88mm
≥ 50mesh	≥ 0.27mm
≥ 100mesh	≥ 0.15mm
≥ 150mesh	≥ 0.106mm
≥ 230mesh	≥ 0.062mm
<230mesh	<0.062mm

▲ 表四、採用的篩網孔徑表

(二)、實驗模擬-無離岸堤模擬

我們模擬了於花蓮南濱於未架設離岸堤時的海岸侵蝕情形，我們所建的模型都與現今的真實情形做比較(圖六)，使我們的模擬實驗可以增加可信度，以接續往後的實驗。

1. 實驗模擬範圍：



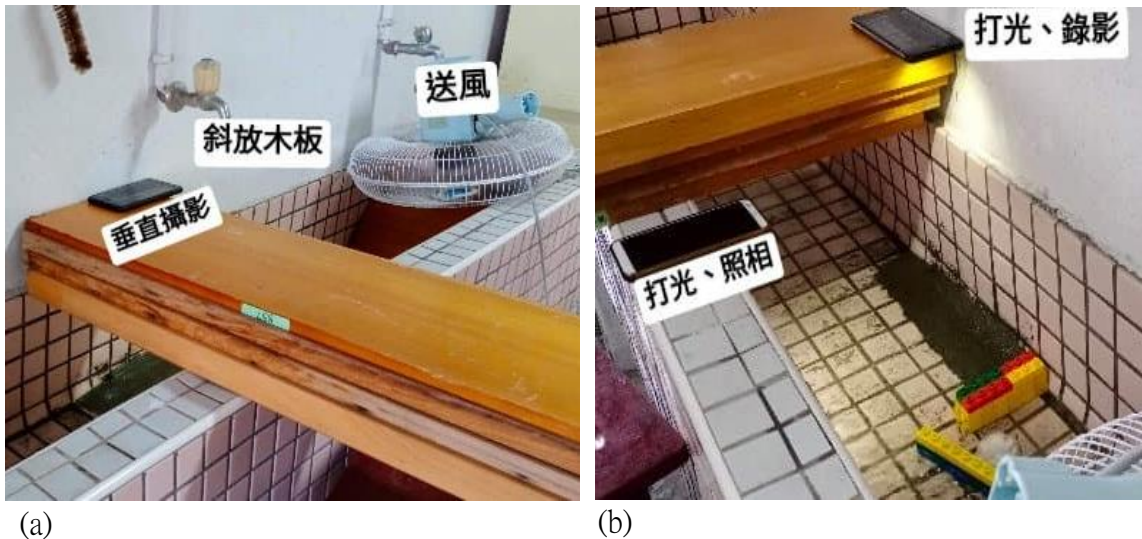
▲ 圖六、實驗模擬範圍

2. 模型縮小比例：

花蓮外海的海浪波長為 50~200 公尺，但根據波浪的特性，自遠洋進入淺海後，其波長會因波速變慢而變短。所以我們推測離岸近處的海浪波長皆會接近 50 公尺，而我們模型的風場造成的水波波長約為 5 公分。另外，南濱及北濱大部分的沉積物粒徑約為 1/4 毫米，因實驗模型風場營力不足，因此改用粒徑約為 1/8 毫米的沉積物。由於沉積物的質量與沉積物的體積成正比關係，沉積物體積又與粒徑的三次方，綜合上述推論，因波長縮小 1000 倍，沉積物質量縮小 8 倍，總共縮小 8000 倍，因此我們將模型的縮放比例定為 1：8000。

3. 實驗模型裝置：

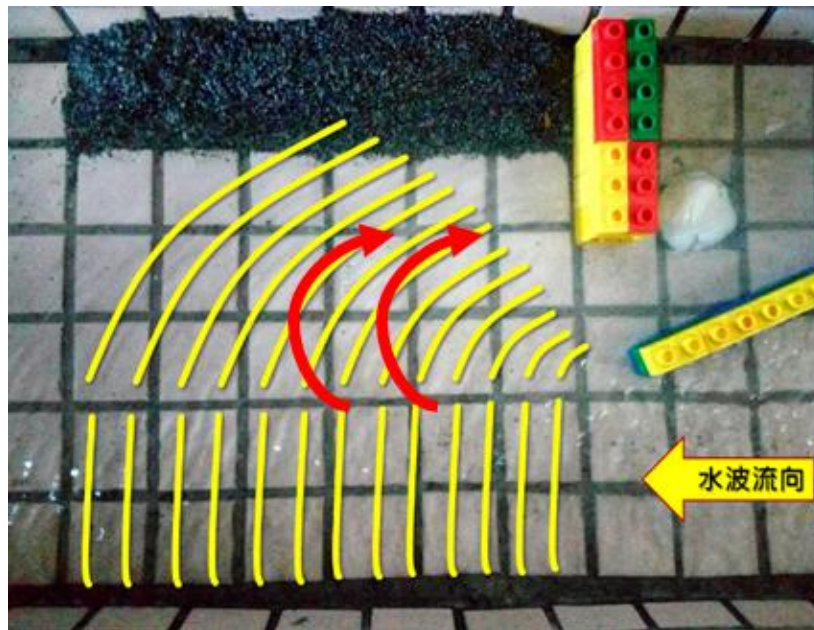
我們將工業電風扇架至水槽之上，模擬海外風場造浪，自中央氣象局資料庫查詢，發現示性波向從東北來的比例最多，故我們設定風場為東北。將電風扇垂直往下吹，為了模擬水平風場，我們在電扇下方設置了一個斜放的木板(圖七 a)。另外，利用手機的攝影功能進行照明與紀錄(圖七)，水槽內利用積木製造花蓮港的東堤與西堤模型(圖七 b)。



▲ 圖七、實驗模型裝置

4. 實驗示意圖：

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，進而拍打海岸線，造成海岸被侵蝕(圖八)



▲ 圖八、實驗示意圖

(三)、實驗模擬-改變離岸堤離岸距離，找出對於養灘最有效的距離。

改變離岸堤與海岸的距離，我們選用了三種不同的離岸堤距離，分別為：現今距離(70公尺)、現今距離的2倍(140公尺)與現今距離的3倍(210公尺)。此研究只增加距離不縮小距離的原因是因為經縮放後的距離，於模型模擬中與灘線只有不到1公分。如果再縮小將不夠準確，缺少參考價值，於是只選擇增加離岸堤與海岸的距離。而此研究不再模擬將離岸堤移至現今距離的4倍(280公尺)的原是距離海岸280公尺的地方非常接近南濱的大陸斜坡，由於大陸斜坡坡度陡峭，不易進行工程建設，因此此研究不將離岸堤擺設至與現今距離的4倍處。

(四)、實驗模擬-改變離岸堤離岸距離，找出對於養灘最有效的交角。

改變離岸堤與陸地交角，我們的離岸堤與陸地交角是指每一座離岸堤的延伸線與灘線於北方所夾的角度，離岸堤依舊為一字形排列。本研究每 45° 為單位來做實驗，分別實驗離岸堤與灘線夾角 0° 、 45° 、 90° 、 135° 。交角改變的模擬選用的距離為現況離岸堤距離海岸70公尺去做縮小模擬。

伍、研究結果

一、南北濱粒徑分析

(一)、北濱沉積物粒徑分析

將北濱帶回來的沉積物經過篩網分析，每一個採樣點的沉積物取 100 公克，並將不同粒徑的沉積物稱重紀錄。每個採樣點重複三次，最後將同一粒徑三次的總重量加總，並記錄(單位為：公克)。北濱北段(北 1)用藍色網底表示、北濱中段(北 2)以綠色表示、北濱南段(北 3)則以橙色標示(表四)。

次數 粒徑	北 1(北濱北端)				北 2(北濱中段)				北 3(北濱南端)			
	1	2	3	總	1	2	3	總	1	2	3	總
≥3.5mesh (6.5mm)	4.78	2.48	2.53	9.79	0.36	0	1.15	1.51	0	0	0	0
≥10mesh (1.7mm)	6.47	9.08	5.57	21.12	3.56	3.92	3.68	11.16	6.01	3.99	3.33	13.33
≥18mesh (0.88mm)	11.41	11.96	11.98	35.35	19.14	22.49	18.15	59.78	37.95	32.07	37.44	107.46
≥50mesh (0.27mm)	46.26	44.91	47.57	138.74	71.09	67.41	72.55	211.05	54.85	61.22	57.4	173.47
≥100mesh (0.15mm)	30.06	30.46	31.41	91.93	4.88	5.09	3.91	13.88	1.11	2.67	1.73	5.51
≥150mesh (0.106mm)	0.79	0.84	0.7	2.33	0.4	0.42	0.17	0.99	0.04	0.02	0.05	0.11
≥230mesh (0.062mm)	0.12	0.15	0.12	0.39	0.3	0.26	0.12	0.68	0.01	0.01	0.02	0.04
<230mesh (0.062mm)	0.09	0.09	0.09	0.27	0.24	0.39	0.25	0.88	0.01	0.01	0.01	0.03

▲ 表四、北濱沉積物粒徑分析，表中數字的單位為公克。

(二)、南濱沉積物粒徑分析

將南濱帶回來的沉積物經過篩網分析，與前述北濱沉積物處理方式相同，每一個採樣點的沉積物取 100 公克，並將不同粒徑的沉積物秤重紀錄。每個採樣點重複三次，最後將同一粒徑三次的總重量加總(單位為：公克)。南濱北段(南 1)用藍色網底表示、南濱中段(南 2)以綠色表示、南濱南段(南 3)則以橙色標示(表五)。

次數 粒徑	南 1(南濱北端)				南 2(南濱中段)				南 3(南濱南端)			
	1	2	3	總	1	2	3	總	1	2	3	總
≥ 3.5mesh (6.5mm)	0.36	0	0	0.36	5.23	4.46	1.96	11.65	0	0	0.94	0.94
≥ 10mesh (1.7mm)	19.02	20.59	13.92	53.53	13.75	14.12	12.08	39.95	0.38	0.12	0.4	0.9
≥ 18mesh (0.88mm)	66.69	68.63	68.27	203.59	69.12	72.16	69.01	210.29	2.09	1.79	2.04	5.92
≥ 50mesh (0.27mm)	13.74	10.72	17.71	42.17	11.76	9.18	16.79	37.73	91.22	90.97	90.75	272.94
≥ 100mesh (0.15mm)	0.16	0.03	0.07	0.26	0.08	0.03	0.1	0.21	6.11	6.98	5.74	18.83
≥ 150mesh (0.106mm)	0	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08	0.06	0.05	0.19
≥ 230mesh (0.062mm)	0	0.01	0	0.01	0	0	0.01	0.01	0.06	0.04	0.03	0.13
<230mesh (0.062mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.02	0.03	0.09

▲ 表五、南濱沉積物粒徑分析，表中數字的單位為公克。

二、無離岸堤模擬實驗

於模擬實驗中，我們再將北濱與南濱各均分為北、中、南三段分區做討論，其分別為：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)。我們將侵蝕前的濱線畫上紅色、侵蝕後的濱線畫作黃色，計算各個區塊相對於實驗劃定總區域侵蝕面積的百分比，並將北濱的侵蝕區域利用黃色標示、南濱的侵蝕區域用藍色標示，此實驗共執行三次(圖九)。



▲ 圖九、無離岸堤模擬實驗侵蝕面積結果。(a、b、c 各為三次實驗結果)

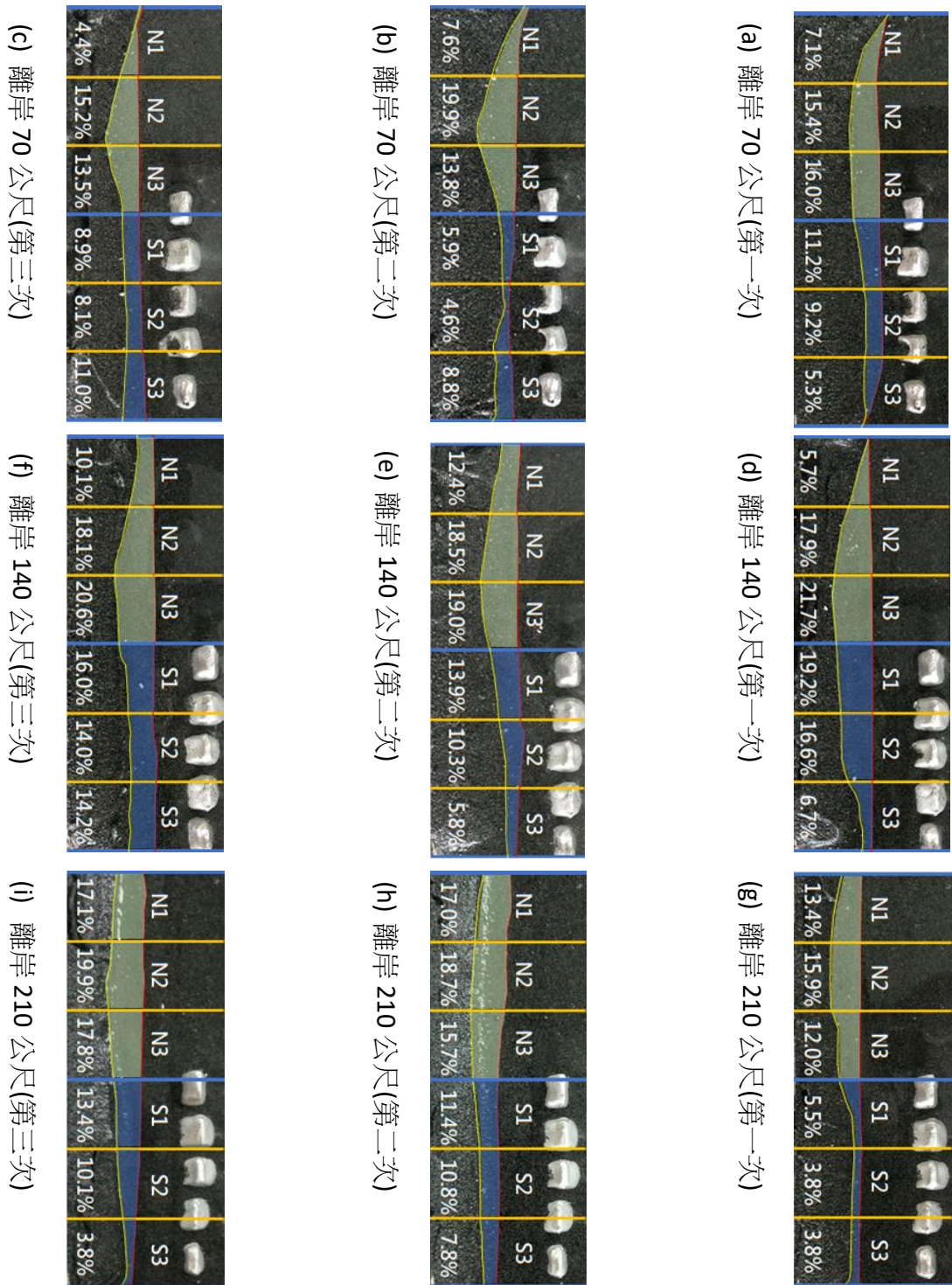
將北濱段(黃色)與南濱段(藍色)的侵蝕量，分別與總侵蝕量做比較。並依照侵蝕的百分比做比較，將侵蝕最多的以深色表示、侵蝕最少的以淺色表示(表六)。

位置 區塊	第一次(圖九 a)			第二次(圖九 b)			第三次(圖九 c)		
	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)
N1	7.6	六	46.7	13.2	六	50.7	12.6	六	47.2
N2	19.1	三		17.8	二		14.0	四	
N3	20.0	二		19.7	一		20.6	一	
S1	20.1	一	53.2	17.4	三	49.1	20.2	二	52.9
S2	17.5	四		16.7	四		19.6	三	
S3	15.6	五		15.0	五		13.1	五	

▲ 表六、無離岸堤模擬實驗占總侵蝕面積數據

三、離岸距離模擬實驗

與無離岸堤模擬實驗相同將北濱與南濱分為：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)。此研究離岸堤設置於南濱外海，分別對相對於真實情況的相同距離、2 倍距離與 3 倍距離進行模擬實驗。我們將侵蝕前的濱線畫上紅色、侵蝕後的濱線畫作黃色，計算各個區塊相對於實驗劃定總區域侵蝕面積的百分比，並將北濱的侵蝕區域利用黃色標示、南濱的侵蝕區域用藍色標示，每次實驗共執行三次(圖十)。



▲ 圖十、離岸距離模擬實驗侵蝕面積結果。

將北濱段(黃色)與南濱段(藍色)的侵蝕量，分別與總侵蝕量做比較，如同無離岸堤的實驗，依照侵蝕的百分比做比較，將侵蝕最多的以深色表示、侵蝕最少的以淺色表示(表七、表八、表九)。

位置 區塊	第一次(圖十 a)			第二次(圖十 b)			第三次(圖十 c)			平均
	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	
N1	11.1	五	59.9	12.5	四	68.2	7.2	六	54.2	60.8
N2	23.9	二		32.9	一		24.9	一		
N3	24.9	一		22.8	二		22.1	二		
S1	17.5	三	40.1	9.7	五	31.8	14.6	四	45.8	39.2
S2	14.3	四		7.5	六		13.2	五		
S3	8.3	六		14.6	三		18.0	三		

▲ 表七、離岸 70 公尺模擬實驗占總侵蝕面積數據

位置 區塊	第一次(圖十 d)			第二次(圖十 e)			第三次(圖十 f)			平均
	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	
N1	6.5	六	51.6	15.5	四	62.4	10.9	六	52.5	55.5
N2	20.4	三		23.1	二		19.5	二		
N3	24.7	一		23.7	一		22.1	一		
S1	21.8	二	48.4	17.4	三	37.6	17.2	三	47.5	44.5
S2	18.9	四		12.9	五		15.0	五		
S3	7.6	五		7.3	六		15.3	四		

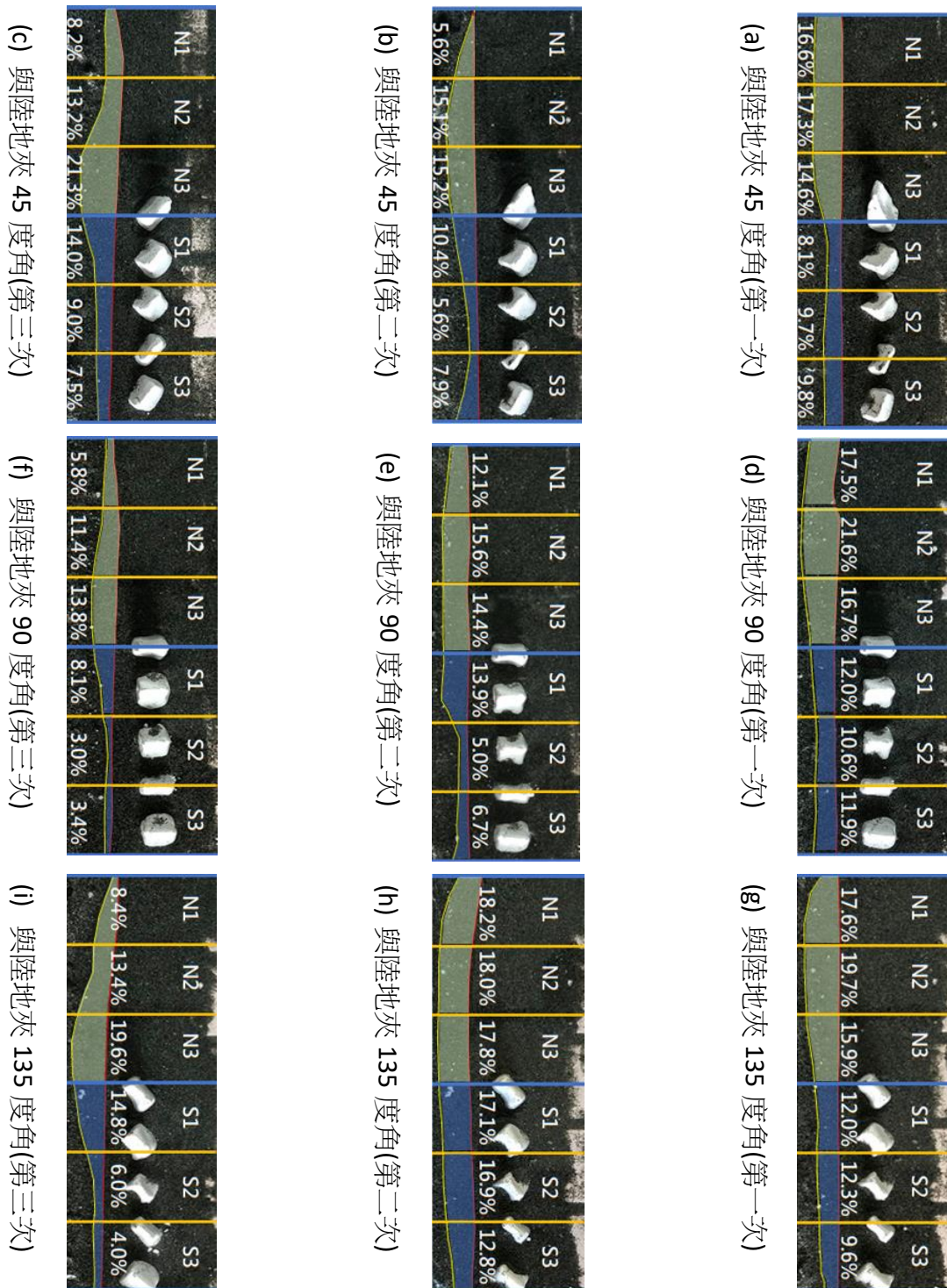
▲ 表八、離岸 140 公尺模擬實驗占總侵蝕面積數據

位置 區塊	第一次(圖十 g)			第二次(圖十 h)			第三次(圖十 i)			平均
	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	
N1	24.6	二	75.8	20.9	二	63.2	20.9	三	66.7	68.6
N2	29.2	一		23.0	一		24.3	一		
N3	22.0	三		19.3	三		21.5	二		
S1	10.1	四	24.1	14.7	四	37.6	16.4	四	33.4	31.7
S2	7.0	五		13.3	五		12.4	五		
S3	7.0	六		9.6	六		4.6	六		

▲ 表九、離岸 210 公尺模擬實驗占總侵蝕面積數據

四、離岸堤與陸地夾角模擬實驗

與無前述實驗相同將區域分為：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)。此研究離岸堤設置於南濱外海，分別對相對於擺設與陸地的夾角進行模擬實驗(45°、90°、135°)。我們將侵蝕前的濱線畫上紅色、侵蝕後的濱線畫作黃色，計算各個區塊相對於實驗劃定總區域侵蝕面積的百分比，並將北濱的侵蝕區域利用黃色標示、南濱的侵蝕區域用藍色標示，每次實驗共執行三次(圖十一)。



▲ 圖十一、離岸堤與陸地夾角模擬實驗侵蝕面積結果。

將北濱段(黃色)與南濱段(藍色)的侵蝕量，分別與總侵蝕量做比較，如同前述實驗，依照侵蝕的百分比做比較，將侵蝕最多的以深色表示、侵蝕最少的以淺色表示(表十、表十一、表十二)。

位置 區塊	第一次(圖十一 a)			第二次(圖十一 b)			第三次(圖十一 c)			平均
	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	
N1	21.8	二	62.7	9.4	五	60.1	11.2	五	58.3	60.4
N2	22.7	一		25.3	二		18.0	三		
N3	19.2	三		25.4	一		29.1	一		
S1	10.6	六	36.3	17.3	三	39.9	19.2	二	41.7	39.3
S2	12.7	五		9.3	六		12.3	四		
S3	12.9	四		13.3	四		10.2	六		

▲ 表十、與陸地夾 45 度角模擬實驗占總侵蝕面積數據

位置 區塊	第一次(圖十一 d)			第二次(圖十一 e)			第三次(圖十一 f)			平均
	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	
N1	19.6	二	61.8	17.9	四	62.2	12.6	四	68.0	64.0
N2	24.0	一		23.1	一		25.1	二		
N3	18.5	三		21.2	二		30.2	一		
S1	13.3	四	38.2	20.6	三	37.8	17.9	三	32.1	36.0
S2	11.8	六		7.4	六		6.6	六		
S3	13.1	五		9.9	五		7.6	五		

▲ 表十一、與陸地夾 90 度角模擬實驗占總侵蝕面積數據

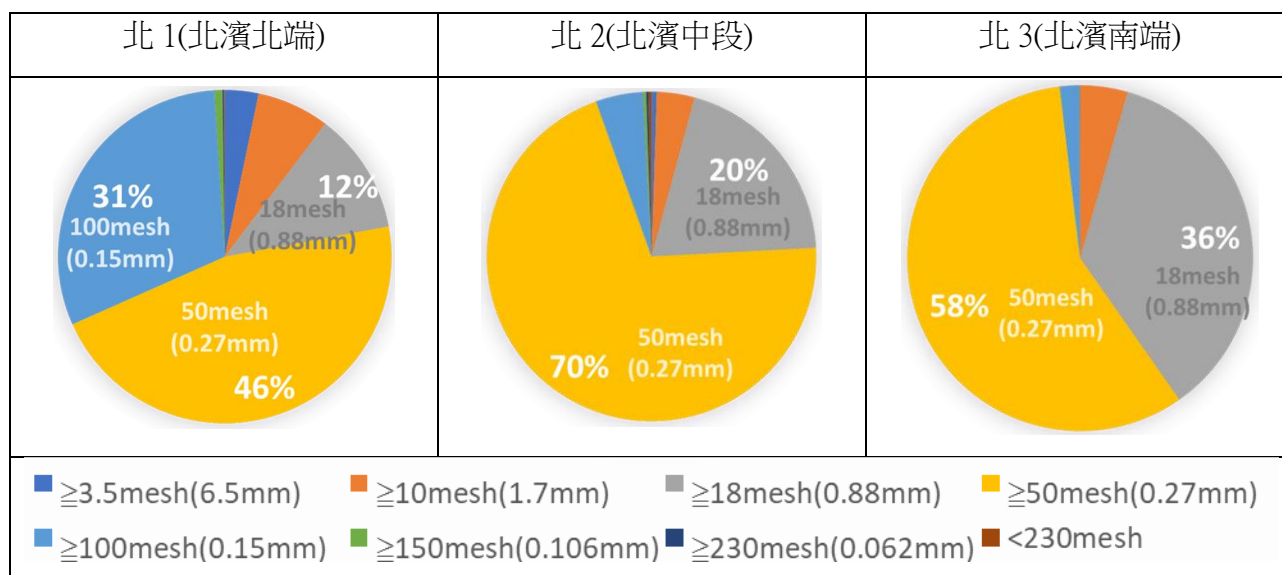
位置 區塊	第一次(圖十一 g)			第二次(圖十一 h)			第三次(圖十一 i)			平均
	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	占比(%)	侵蝕 排名	加總(%)	
N1	20.2	二	61.1	18.0	一	53.6	12.8	四	62.5	59.1
N2	22.7	一		17.9	二		20.2	三		
N3	18.3	三		17.7	三		29.6	一		
S1	13.8	五	38.9	17.0	四	46.4	22.4	二	37.5	40.9
S2	14.1	四		16.7	五		9.0	五		
S3	11.1	六		12.7	六		6.1	六		

▲ 表十二、與陸地夾 130 度角模擬實驗占總侵蝕面積數據

陸、討論

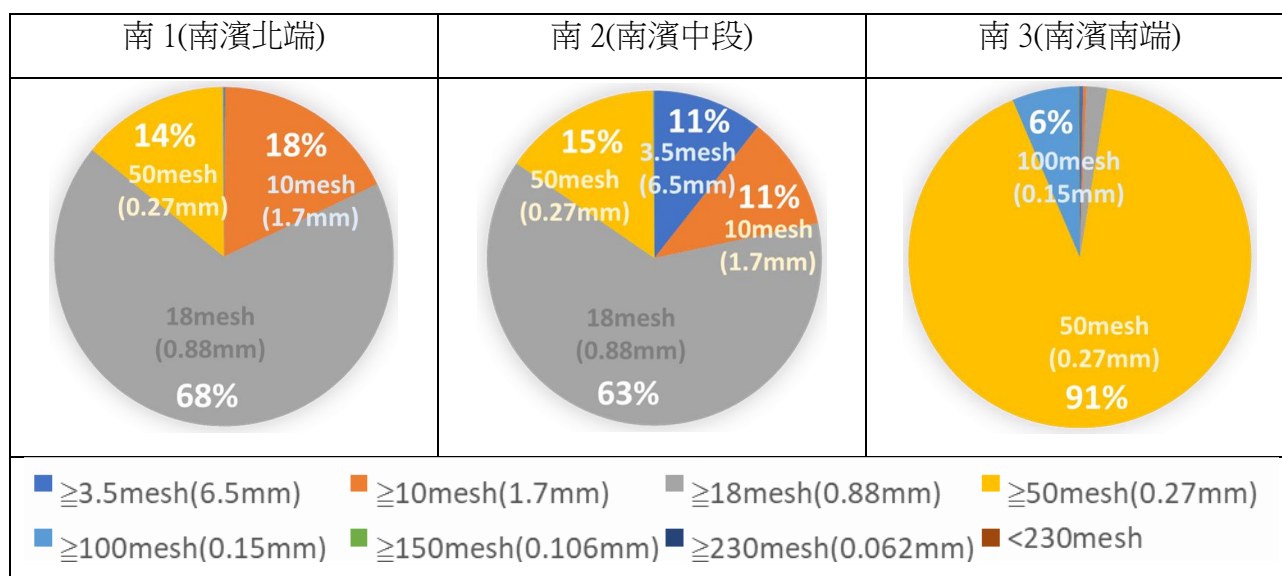
一、南北濱粒徑分析

將北濱沉積物過篩後，發現每一個採樣點三次過篩結果皆相差不大(表四)，因此我們將三個採樣點依照沉積物不同粒徑做圓餅圖分析。發現北濱北端(北 1)的沉積物若根據巫登-溫特瓦分級來區分，則大多屬於細砂。而北濱中段(北 2)及北濱南端(北 3)的沉積物則以中砂為主(表十三)。



▲ 表十三、北濱採樣點粒徑分析圓餅圖。

同樣，將南濱沉積物過篩後，亦可發現每一個採樣點三次過篩結果皆相差不大(表五)，因此我們將三個採樣點依照沉積物不同粒徑做圓餅圖分析。發現南濱北端(南 1)的沉積物若根據巫登-溫特瓦分級來區分，則大多屬於極粗砂，南濱中段(南 2)的沉積物粒徑介於粗砂至極粗砂之間，而南濱南端(南 3)的沉積物則大多以中砂為主(表十四)。



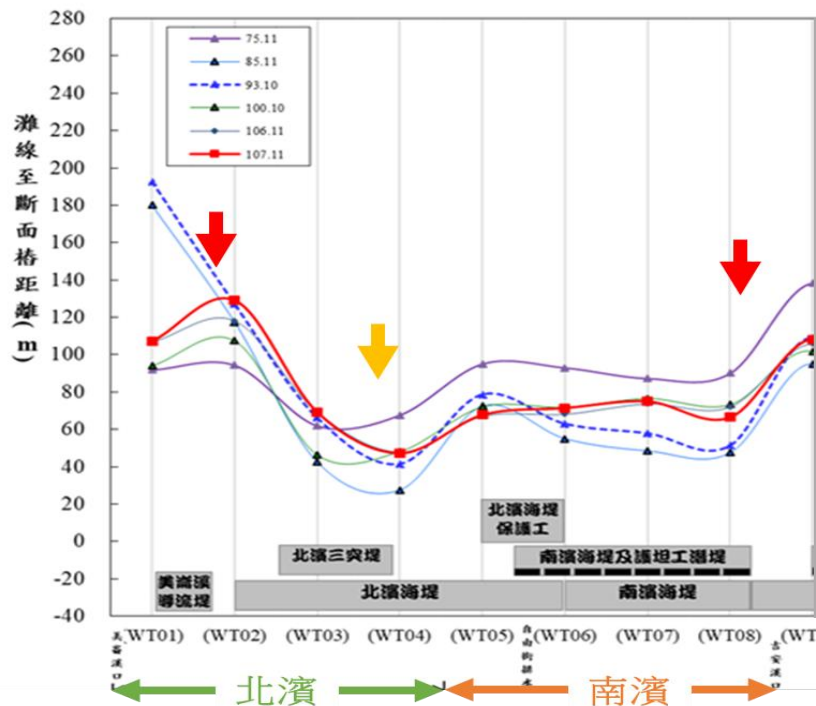
▲ 表十四、南濱採樣點粒徑分析圓餅圖。

由北濱與南濱的粒徑圓餅圖觀察，我們可以發現北濱的砂粒粒徑明顯比南濱的還要小，北濱主要沉積物為細砂至中砂之間，而南濱除了南端主要沉積物為中砂以外，大部分沉積物都介於粗砂至極粗砂之間(表十三、表十四)，我們推測此結果與花蓮港東堤帶來的營力大小差異有關係。受到花蓮港東堤阻擋，北濱段的侵蝕速率緩慢，營力小，較能支配細小的砂粒。而南濱段受波浪正面衝擊，侵蝕速率快速、營力大，使得南濱段的砂粒粒徑大於北濱段的砂粒粒徑。

而南濱南端(南 3)的沉積物粒徑較南濱其他採樣點皆小了许多(表十四)，推測是因為此處非常靠近吉安溪出海口，河川堆積所造成的影響較突堤效應來的大，使得細小的顆粒被搬運到南濱南端並堆積，故呈現此結果。

二、無堤模擬實驗

由無堤的模擬實驗結果發現，侵蝕的主要區域大約是在北濱南段(N3)與南濱北段(S1)的部分(圖九)，其單一區塊侵蝕面積可達將近總侵蝕面積的 20%，我們亦發現北濱北端(N1)與南濱南端(S3)其侵蝕為北濱及南濱整體而言最少的區塊。此結果與水利署九河局所做的灘線變化有相同的趨勢(圖十二)，北濱南端與南濱北端的灘線退縮嚴重，如圖十二橙色箭頭所指之處。而北濱北端與南濱南端其灘線退縮較不嚴重，如圖十二紅色箭頭所指。



▲ 圖十二、北濱及南濱灘線相對於斷面樁距離變化。(修改自：水利署九河局，2018)

我們推測是受到花蓮港東堤對於波浪所造成的繞射現象正面衝擊所致，如圖八紅色箭頭所指示。受到花蓮港東堤影響，部份波浪會向西繞射，直接衝擊北濱南端與南濱北端，造成此處海岸受海浪侵蝕最嚴重。因波浪向西繞射，在北濱形成一個順時針的迴流(邱筱嵐，2004)，又因花蓮港的阻擋造成北濱北端侵蝕速率較小。

將北濱與南濱各段侵蝕總和相加，再以南北濱互相比較，可以發現北濱段侵蝕量佔南北濱總侵蝕量的約 48%；而南濱段則約為 52%，兩段受到的侵蝕量相近。我們所做的無堤模擬實驗，主要是當作架設離岸堤後的實驗對照組，進而探討離岸堤架設對於海岸變化的影響。

三、離岸距離模擬實驗

根據我們以現今離岸堤的擺設距離 70 公尺的模擬實驗(圖十 a、b、c)結果可以發現侵蝕比例前兩名的區段變成了北濱的中段與南段，可以明顯看出南濱段的侵蝕量因受到離岸堤的保護，皆有緩和的趨勢。將北濱與南濱各段侵蝕總和相加，再以南北濱互相比較，可以發現北濱段侵蝕量佔南北濱總侵蝕量的約 61%，而南濱段則約為 39%。由離岸堤離岸約 140 公尺的模擬實驗結果(圖十 d、e、f)發現，北濱段侵蝕量佔南北濱總侵蝕量的約 55%，而南濱段則約為 45%。離岸 210 公尺的模擬實驗結果(圖十 g、h、i)則發現北濱段侵蝕量佔南北濱總侵蝕量的約 68%，而南濱段則約為 32%。由上述的結果與無堤的模擬實驗結果相比有顯著落差，南濱海岸相對於北濱海岸不論將離岸堤架設至多遠距離，南濱的侵蝕比例皆有大幅的下降，證實於南濱建設離岸堤對南濱的侵蝕有趨緩的功效。

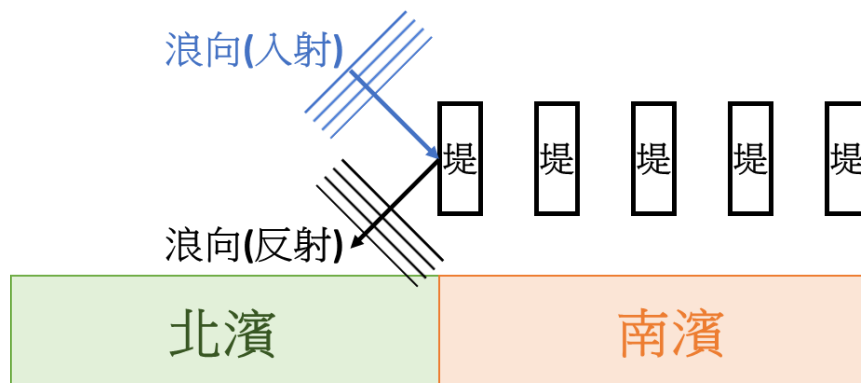
由將離岸堤擺設至離岸 140 公尺的實驗結果與另外兩者做比較(離岸 70 公尺與離岸 210 公尺)，其對於南濱海岸侵蝕的趨緩效果較差。我們推測此結果與實驗的擺放誤差有著較大的關係，因為我們控制離岸距離時，將離岸堤固定，改變陸地的高度，使灘線和離岸堤距離固定，並非是將離岸堤向外延伸，造成從北濱過來的因繞射產生波浪直接侵蝕海灘坡腳。我們在實驗中發現當坡腳的沉積物被帶離時產生了小型的崩塌現象，因此於我們實驗中離岸 140 公尺的離岸堤對海岸防護的效用是三種中防護效果較差的。

由堤離岸 210 公尺的模擬實驗結果相較於其他兩種距離，此處的南北濱差異最為顯著，因此我們推測，210 公尺具有最佳的養灘效果。因擺放位置較遠離岸邊，波浪可能較早受到阻擋而破碎導致能量較早損失，可以降低波浪正面衝擊海岸的能量。達到較佳的養灘效果。

四、離岸堤與陸地夾角模擬實驗

由先前的距離 70 公尺、與岸夾 0 度角(與海岸線北方夾角)的模擬實驗結果可得知，北濱段侵蝕量佔南北濱總侵蝕量的約 61%，而南濱段則約為 39%。雖離岸堤有發揮功效使南濱段侵蝕情況減緩，但可能非最好的結果。我們亦從單個離岸堤與岸成 45 度角與 135 度角的模擬實驗結果發現，北濱段侵蝕量佔南北濱總侵蝕量的約 61%與 60%；而南濱段則約為 39%與 40%，兩者的實驗結果與 0 度角的實驗結果十分相近。離岸堤與岸夾 90 度角的模擬實驗結果發現北濱段侵蝕量佔南北濱總侵蝕量的約 64%，而南濱段則約為 36%。

相較於其他的角度，我們將單個離岸堤與岸夾 90 度角擺設時，其減緩南濱侵蝕能力略為高一點。因此我們推測，由於與海岸垂直的堤與受到東堤繞射現象的波浪呈現約 45 度角的撞擊，這些波浪即反射到北濱段一帶，造成北濱侵蝕情況加劇(圖十三)。若只考慮南濱段的養灘的話，此角度將為最佳選擇。



▲ 圖十三、離岸堤與岸成 90 度角擺設示意圖。

柒、結論

- 一、南北濱粒徑分析：營力大小的差異造成南北濱的砂粒粒徑差異，營力較小的北濱砂粒粒徑(中砂)小於南濱(粗砂)。南濱南段的砂礫較細的原因可能是由於吉安溪出海口所致。
- 二、無堤模擬實驗：北濱與南濱受到的侵蝕量相近。此外，受到花蓮港東堤對於波浪所產生的繞射現象，侵蝕的主要區域大約是在北濱南段與南濱北段。
- 三、離岸距離模擬實驗：將離岸堤放置於距離岸邊 210 公尺處養灘效果最佳，原因是可以使海浪較早破碎。而實驗中將離岸堤放置於離岸 140 公尺處養灘效果最差，可能是因為模型的地形誤差所致。
- 四、離岸堤與陸地夾角模擬實驗：當離岸堤與海岸垂直時，養灘的效果較佳。推測是由於受東堤影響波浪呈現約 45 度角入射，遇到垂直海岸的離岸堤時被反射到北濱段一帶，造成該處侵蝕情況加劇，若只考慮南濱段的養灘的話，此擺設角度(90 度)為最佳選擇。
- 五、未來應模擬海底地形並以模具固定海底地形，減少實驗誤差及波浪至近岸時受到地形的影響，增加實驗精確度。
- 六、此研究目前離岸堤的設計皆為一字堤，未來希望能改變離岸堤的擺設方式。將離岸堤擺設成 \cap 型 \cup 型 \wedge 型 \vee 型分別進行模擬與比較，找出養灘效果最佳的離岸堤擺設方式。

捌、參考資料

1. 林俊全(2016)。 *臺灣的地理議題*。臺北市：遠足。
2. 劉聰桂(2018)。 *普通地質學*。臺北市：臺大出版中心。
3. 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*。國立中山大學，高雄市。
4. 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。 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=232EA7FABDBE5AF6。
5. 第九河川局(2018，7月5日)。南濱及化仁潛堤加強改善工程。
水利署。 <https://www.wra.gov.tw/6950/7169/7295/123177/123198/171668/>
6. 張育鴻 (2011)。 *花蓮南濱海域近岸流場受地形水深影響之研究*。國立中山大學，高雄市。
7. 林宗儀、翁健三 (2003)。 *臺灣海岸濱線變遷分析*。取自 <https://reurl.cc/rlzpb>
8. 許榮中 (2013)。 *海岸地帶的奇特現象：岬灣的驗證規劃及創造*。
取自 <https://reurl.cc/gvg9xV>
9. 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。 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=4EA37EDE31CB54C6。
10. 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。 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=67DB5679989BEAC8。
11. 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。 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=63434DF21CAB7BCD。
12. 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。 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=DD57D43A4D507AE6。
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。 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=64EBC643F5E53969。
14. 第九河川局(2016，2月19日)。水岸守護者-九河局 親水海岸復育顯成果。
水利署電子報。 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=27521AE20F754B99。
15. 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。 <https://news.ltn.com.tw/news/local/paper/561687>。
16. 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。