112-022-7D39
MOTC-IOT-111-H3CA001c

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

交通部運輸研究所
中華民國 112 年 3 月

112-022-7D39
MOTC-IOT-111-H3CA001c

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

著 者：莊文傑

交通部運輸研究所
中華民國 112 年 3 月

111

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

交通部運輸研究所

GPN：1011200148

定價　500 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策 / 莊文傑著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 112.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-476-7(平裝)

1.CST: 海岸工程 2.CST: 環境監測 3.CST: 影像分析

443.3 112001061

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

著　　者：莊文傑
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號
網　　址：www.iot.gov.tw (中文版＞數位典藏＞本所出版品)
電　　話：(04)2658-7200
出版年月：中華民國 112 年 3 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 65 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價：500 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6880
國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02) 2518-0207
五南文化廣場：400002 臺中市中區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011200148　　ISBN：978-986-531-476-7(平裝)
著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：**岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策**

國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN 978-986-531-476-7(平裝)	1011200148	112-022-7D39	111-H3DA001c

主辦單位：港灣技術研究中心
主管：蔡立宏
計劃主持人：莊文傑
研究人員：莊文傑
參與人員：蔡世璿
聯絡電話：(04)26587185
傳真號碼：(04)26564415

研究期間
自 111 年 01 月
至 111 年 12 月

關鍵詞：**碎波、沖刷流、潮間帶、突堤效應、離岸堤效應、岬頭效應、港口淤塞、海岸防護**

報告內容重點摘要：

本研究所稱之「近岸港口」，係通指港口之外廓防波堤或航道出口，係座落於低潮期間之碎波帶內，或位於內灘者；而「岬灣海灘」，係指位在天然或人造岬頭後，因「岬頭效應」影響所形塑的灣月形海灘；至於「岬頭效應」，係針對自然或人造岬頭後，面對具時、空變動性之近岸波浪侵襲，以致在岬頭遮蔽下，會使岬頭後方海灘沖刷帶(swash zone)上的波高，自然產生高、低差異，並使通過岬頭之波浪，會因繞射效應而在岬頭後繞射區造成波高大小不均、波向變化、碎波位置不一、伴隨碎波所衍生上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)之沖刷流(swashing currents)流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)強弱產生差異，進而在岬頭後形成迎向波浪之近岸沖刷環流(swashing circulations)，並促使漂沙由沖刷流速較強區輸運至較弱之岬頭後方，終致造成岬頭後輸沙特性改變，灘線發生沖淤變遷，並衍生沙舌(salient)或繫岸沙洲(tombolo)形態之灣月形海灘重塑(reshaping)。

波浪的衝擊，是海岸輸沙與海灘變遷之主要原動力。近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕，是潮汐、波浪、漂沙與港口外廓配置的交互影響課題。本研究延續近年相關研究之經驗與成果(莊，2020、2021)，綜合臺灣東、西部漁港港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之特性，研判造成近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之主要影響因素，應含括(1)具時、空變動性暴潮巨浪(約大於 1.5 m)在海灘沖刷帶上之強勁衝擊作用；(2)具不定常且非均勻性海灘坡度與碎波型態之改變；以及(3)港口外廓配置形態與規模及相關海岸防護設施之持續整建與擴展等三項。其中，在高、低潮位間之近岸淺灘上，具較大波高之季風及颱風波浪碎波之直接衝擊，並於港口屏蔽區因「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」複合發展所造成強勁碎波沖刷環流之輸沙作用，係為造成近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤的主要動力與關鍵機制。

臺灣環島的近岸港口，大多為規模不大、航道水深較淺的漁港，為防禦季風波浪與颱風波浪之直接衝擊，提昇港域泊地的靜穩度，經常會在平行及垂直海岸方向，構築防波堤之外廓防浪設施，但是在過於著重防浪功能、急切擴增港域面積及講究泊地靜穩度情況下，外廓防波堤之配置或擴建，因而普遍具有突堤或離岸堤之型式，更因離岸堤與突堤之堤頭，

實際係為人造岬頭，以致用以防禦波浪侵襲之外廓防波堤，常會伴隨產生「岬頭效應」，並在港口造成波向變異、波高大小不均的波浪衝擊，衍生碎波沖刷環流，改變輸沙特性，進而因不平衡的漂沙沈積而導致海灘重塑，最終，因岬灣海灘在近岸港口航道發展而經常發生淤塞。

面對臺灣環島近岸港口航道經常淤塞與毗鄰海灘沖蝕之課題，於充分瞭解區域性潮汐、波浪與外廓配置之交互作用影響，掌握碎波沖刷流衍生之輸沙動力，以及確認「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」的複合發展是造成毗鄰港口海灘重塑之關鍵機制後，對於位處在潮間帶內之近岸港口，由於碎波沖刷流造成強勁的輸沙作用，現況港口產生嚴重淤塞勢必無法避免，因此，為保持港口航道暢通，只能採「零方案」，持續進行港口及潮溝之清淤；而若既有港口整體位處在潮間帶之海側近傍，則主要之改善構想，建議除了依循傳統，在港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤規劃配置上，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主外；在港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤規劃配置上，則應著重梳流、導沙、截淤效能之提昇。具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有具雙突堤形態之 ***I*** 型外防波堤，皆調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以禦防偏正向卓越入射波浪之直接衝擊，並導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘。至於具離岸堤形態之近岸港口，具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，依舊包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有具 ***I*** 型突堤形態之內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以導引外防波堤後之沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘，進而達成近岸港口複合禦防波、流、輸沙衝擊之目標。但是對於類如外傘頂沙洲之大尺度「突堤效應」與「岬頭效應」複合發展所造成嘉義東石漁港、布袋第三漁港及布袋港的港口航道淤塞防治，由於其造成的原因與機制，密切與外傘頂沙洲的變遷、嘉義東石與布袋海岸的淤積以及嘉義好美寮至臺南雙春等下游毗鄰海灘的沖蝕相互關聯，任何小規模之改善構想或局部性之調適對策，勢必將牽一髮而動全身，極易顧此年彼，所以，本研究謹建議：研訂防治大尺度移動的國土_外傘頂沙洲的變遷策略與措施，應對毗鄰海灘可能引發的沖淤變遷效應與衝擊，詳加週全考量並審慎評估。

綜合而論，對於臺灣環島近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖蝕，建議可採行之通用對策與措施包括：(1)無論是在規劃、設計、擴建、維護及清淤疏浚階段，皆應著重於「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」之評估，藉以確實避免其實質的干擾或有效降低其負面影響；(2)對於前灘地形水深、潮差與海灘坡度對波浪繞射與碎波形態的時、空變動性，應配合現場調查並採用數值模擬技術，廣泛詳實進行研究，特別是掌握近岸海灘卓越波浪之衝擊作用力及碎波沖刷流對漂沙的輸運作用；(3)近岸港口外廓防波堤配置，應盡量採用可有效減緩波浪衝擊、疏導碎波沖刷流及順應漂沙輸運之圓弧形態，特別是港口之內防波堤，應著重於應用「岬頭效應」，轉移原存在於外防波堤堤頭(人工岬頭)之波浪繞射點，並充分配合離岸堤設計之經驗準則，抑制「離岸堤效應」與港口沖刷環流之發展，藉以限縮港口外防波堤後繫岸沙洲或沙舌海灘之重塑規模；(4)面對具有寬幅潮間帶的臺灣西部近

岸港口，於進行漁港港口淤塞特性分析與造成機制研判時，應專注確定低潮位期間之卓越波向與碎波沖刷流之作用；於檢視海灘的侵淤特性時，宜高、低潮位並重；而於從事海岸保護工程之規劃與設計，則應特別講究高潮位期間卓越波浪碎波之直接沖擊。

研究成果之效益：

(1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 1 篇，出版研究報告 1 冊。結合海岸專業知識，溫故知新，學以致用。針對臺灣環島海岸，分析檢討毗鄰港口海灘之沖淤現象與變遷形態，於一般之「突堤效應」外，再提出「離岸堤效應」與「岬頭效應」之海灘重塑機制，並確認碎波引致之強勁碎波沖刷流與沖刷環流，是造成近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵影響因素，進而研提藉「岬頭效應」之重建與轉移，作為改善與防治近岸港口淤塞之因應對策，並以避免及抑制港口航道外之沖刷環流、截斷繫岸沙洲、重塑岬灣海灘，達成近岸港口複合禦防波、流、輸沙衝擊之目標；

(2) 技術創新(科技整合創新)方面：結合網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，提昇近岸港口沖淤課題探討之高度、廣度與深度，因應氣候變遷，擴展分析觀點，精進海岸經理評估策略，降低生態環境衝擊，推動「海岸防護」與「海岸保護」措施，促成國家海岸資源之永續利用；

(3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：保育生態棲地，降低生態環境衝擊，配合政府推展「海岸管理法」之永續發展目標，維護自然海岸環境，防治海岸災害，樽節經常性防沖減淤之減災與救災成本，大量減少長期性港口淤沙疏浚之維運費用；

(4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：配合「整體海岸管理計畫」，綜整海岸管理之課題與對策、導引海岸地區之有效維護措施，推展海岸利用方向，健全海岸之永續管理，改善近岸港口之經常性淤塞，消弭漁民對出海作業不便之怨言；

(5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：維繫自然平衡之海灘系統，確保自然海岸零損失，因應氣候變遷，防治海岸災害與環境破壞，保護與復育海岸資源。

可供本所或其他政府機關後續應用情形：

本研究結合網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，歸納臺灣環島近岸港口外廓配置形態，研判其對毗鄰海灘之沖淤影響與範圍，具體建議對於近岸港口之防沖減淤對策，無論是在規劃、設計、擴建或維護階段，皆應著重於避免或降低「離岸堤效應」及「岬頭效應」，特別是調整港口內防波堤之既有配置形態，藉以限縮港口

沖刷環流之發展與抑制外防波堤後沙舌或繫岸沙洲之衍生，進而可大量減少長期性港口淤沙疏浚之人力與物力投注。相關港口淤塞防治與毗鄰海灘沖淤之改善構想，建議除了依循傳統，在港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤規劃配置上，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主外；在港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤規劃配置上，則應著重梳流、導沙、截淤效能之提昇。現況本於因勢利導、順勢而為之準則，可採行之防治對策與措施，包括：應用「岬頭效應」，並藉「岬頭效應」之重建與轉移，將港口既有具雙突堤形態之 ***I*** 型外防波堤，皆調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以禦防偏正向卓越入射波浪之直接衝擊，並導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘，進而達成近岸港口複合禦防波、流、輸沙衝擊之目標，減少長期性港口淤沙疏浚人力與物力之大量投注。相關成果可提供行政院農委會漁業署、交通部、各港務分公司、內政部、經濟部水利署、各工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。推動並落實總體性之海岸保育與防災策略，樽節年度防沖減淤經費之投注。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
112 年 3 月	430	500	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級：

□密□機密 □極機密 □絕對機密

（解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，

□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）

■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Mechanism Analysis and Adjustment Countermeasures of Inshore Harbor Silting Caused by Headland-Bay Beach.

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-531-476-7(pbk)	1011200148	112-022-7D39	111-H3DA001c

DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER
DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai
PROJECT ADVISOR: Wen-Jye Juang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Jye Juang
PROJECT STAFF: Tsai Shih-Hsuan
PHONE: 04-26587185
FAX: 04-26564415

PROJECT PERIOD
FROM January 2022
TO December 2022

KEY WORDS: Wave Breaking, Swashing Currents on Surf Zone, Tidal Zone, Groin Effects, Detached Breakwater Effects, Headland Effects, Port Entrance Siltation, Coast Protection.

ABSTRACT:

The "inshore harbor" referred to in this study refers to the fishing port of which the outer breakwaters, navigation channel or entrance is located on the nearshore surf zone. The "headland-bay beach" refers to a crescent beach or a coastal embayment that formed behind natural or artificial headlands and affected by the "headland effects". As for the "headland effects", it refers to the nearshore beach behind natural or artificial headlands that is washed by the shoaling diffraction waves with swashing velocity $u_b \approx \sqrt{gH_b}$,where g is the gravitational acceleration and H_b is the spatial and time varying breaking wave heights, and is shaped into salient or tombolo formation.

Most of the inshore harbors around Taiwan are small-scale fishing ports with shallow waterways. In order to defend against the direct impact of monsoon waves and typhoon waves and improve the basin stability in the port, the outer breakwaters are often built in the direction parallel and perpendicular to the coast. Therefore, the layout of the port commonly presented in form of a groin or detached breakwater. Furthermore, due to the offshore part of a groin or detached breakwater is actually an man-made headlands, so that not only the headland effects coupled with a headland-bay beach can be often developed under the impacts of diffraction waves of which wave heights and wave directions appearing temporal and spatial variability, but also the entrance silts up in salient or tombolo formation that induced by swashing circulations which frequently occurs on the lee of outer breakwater.

The inshore harbor siltation and adjacent beach scour are issues of interaction among tides, waves, sand drift, and the outer layout of the harbor. This study aims at investigating the decisive causes of inshore harbor siltation and proposing the relevant control countermeasures. By extensively inspecting the historical images of Google Earth and by extending the years research experience associated with integrating the characteristics related to the inshore harbor siltation and adjacent beach erosion that frequently presented both on the eastern and western coasts of Taiwan, we derive that the main influencing factors that cause the entrance siltation of fishing ports and the erosion of adjacent beaches should include: (1) the inconsistent impacts of storm tides and large waves with temporal and spatial variability on the beach swash zone, (2) the non-uniform flexible beach slopes and nonstationary wave breaking so as to the breaker types, and (3) the layout and scale of the port configuration as well as shore protection facilities through years renovation and expansion. Among those critical causes, the most importance driving force and key mechanism is the direct impact of monsoon and typhoon waves with

significant wave height larger than 1.5 m on nearshore such that the sediment transport could be significantly activated by the swashing currents and circulations that are induced and generated associated with the groin effects, the detached breakwater effects, as well as the headland effects in the shielding zone of fishing ports.

For the sediment transport caused by wave breaking driven swashing currents usually occurs on the lee of inshore harbor, so siltation around the port entrance is generally inevitable. Therefore, the main adjustment countermeasures to keep the navigation channel unimpeded is to improve the traditional plan of configuring the port layout such that the outer breakwater is equipped with excellent abilities to defense the wave impacts and lead the drift sands by passing, and the inner breakwater should be deployed to improve the effectiveness of combing and screening the swashing circulation, shielding the drift sands deposition, and intercepting as well as preventing the siltation.

Basing on the port entrance siltation trend and taking advantage of the swashing circulation situation, the practical prevention strategy is applying the headland effects to avoid the detached breakwater effects. The related control countermeasures are reserving the outer breakwater to defend against the direct wave impact, and transforming or adjusting the inner breakwater of ***I*** type into ***Γ***-shaped to guide the swashing circulation such that the drift sands deposition can be leaded to silt away from the port entrance and the beach reshaped process of creating headland-bay beach in salient or tombolo formation can be depressed.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
March 2023	430	500	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

目　錄

中文摘要 I

英文摘要 V

目　錄 VII

圖目錄 X

表目錄 XXX

第一章 緒論 1-1

1.1 研究緣起 1-1

1.2 文獻回顧 1-4

1.3 工作項目 1-13

1.4 研究成果之效益與應用 1-14

1.4.1 研究成果效益 1-14

1.4.2 在業務施政上的應用 1-15

第二章 臺灣海域的地象與海氣象環境 2-1

2.1 地形水深 2-1

2.2 風與波浪 2-1

2.2.1 風 2-1

2.2.2 波浪 2-8

2.3 潮汐與潮流 2-28

2.3.1 潮汐 2-28

2.3.2 潮流 2-36
2.4 海流.....2-42
2.5 河川 2-49
2.6 水下沙體與輸沙潛勢.....2-52
2.6.1 水下沙體 2-52
2.6.2 輸沙潛勢 2-56
第三章 臺灣環島海岸與近岸港口.....3-1
3.1 臺灣環島海岸概況 3-1
3.1.1 海岸自然度 3-1
3.1.2 海岸型態 3-4
3.1.3 海岸沖淤概況 3-5
3.1.4 海岸侵淤原因 3-30
3.1.5 既有海岸防護設施 3-35
3.2 臺灣環島之近岸港口 3-48
3.2.1 近岸港口之現況配置 3-53
3.2.2 近岸港口之沖淤調查 3-73
第四章 近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策.....4-1
4.1 近岸港口之沖淤系統與淤塞機制分析 4-1
4.1.1 時空變動性之暴潮巨浪作用 4-2
4.1.2 海灘坡度與碎波型態的改變 4-4
4.1.3 海岸防護設施及近岸港口外廓配置形態之影響.....4-10
4.2 近岸港口外廓配置與毗鄰海灘沖淤之基本型態 4-22

4.2.1 突堤與「突堤效應」.....4-22
4.2.2 離岸堤與「離岸堤效應」.....4-27
4.2.3 岬灣海灘與「岬頭效應」.....4-46
4.3 臺灣東部近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策.....4-55
4.3.1 宜蘭南澳漁港.....4-67
4.3.2 花蓮鹽寮漁港.....4-73
4.3.3 臺東長濱漁港.....4-79
4.3.4 臺東金樽漁港.....4-92
4.3.5 臺東大武漁港.....4-103
4.3.6 臺灣東部近岸港口航道淤塞之調適與防治對策.....4-126
4.4 臺灣西部近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策.....4-132
4.4.1 近岸港口外廓配置形態之共通性.....4-133
4.4.2 近岸碎波衝擊與毗鄰港口海灘之沖淤特性.....4-134
4.4.3 潮位高低對海灘沖淤之影響.....4-139
4.4.4 臺灣西部近岸港口航道淤塞之調適與防治對策.....4-140
第五章 結論與建議.....5-1
5.1 結論與建議.....5-2
5.2 研究成果之效益.....5-4
5.3 可供本所或其他政府機關後續應用情形.....5-5
參考文獻.....參-1
附錄 1 期末報告審查簡報資料.....附 1-1
附錄 2 期末報告審查會議紀錄及委員意見處理表.....附 2-1

圖目錄

圖 1-1 近岸灘區之波浪碎波帶示意圖 1-1

圖 1-2 一般海灘斷面示意圖 1-1

圖 1-3 颱風時期大浪衝擊臺東富岡海堤之景象 1-5

圖 1-4 南迴公路沿岸人工養灘的海岸不斷受波浪衝擊而侵蝕流失...1-5

圖 1-5 臺灣東部侵蝕嚴重並用大量消波塊保護的海岸公路 1-7

圖 1-6 臺東海岸用大量消波塊保護的人工海岸線 1-8

圖 1-7 高雄旗津海岸線近十多年來退縮約廿公尺，是全臺灣海岸侵蝕甚嚴重的海岸之一.....1-11

圖 1-8 近岸港口因「離岸堤效應」造成的港口淤塞與海灘沖淤變遷.... 1-12

圖 1-9 臺東海岸長濱漁港(上，2017/07)及大武漁港(下，2018/12)因「離岸堤效應」造成繫岸沙洲形態的港口淤塞與毗鄰海灘之沖蝕.....1-12

圖 2-1 臺灣環島近岸海域的水深地形 2-2

圖 2-2 臺灣海域冬季 2017/10/30 02:00 之東北季風天氣系統(左)與地面風場(右) 2-3

圖 2-2(續) 臺灣海域夏季 2017/06/20 08:00 之西南季風天氣系統(左)與地面風場(右) 2-3

圖 2-2(續) 臺灣海域秋季 2017/10/20 08:00 蘭恩颱風之颱風天氣系統(左)與地面風場(右) 2-3

圖 2-3 基隆(左)及臺中(右)港域概約自 2000 年起至 2016 年止歷年冬(上)、夏(中)季及全年(下)之風玫瑰圖.....2-7

圖 2-4 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2015 年 7 月夏季颱風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)逐時變化歷程之對照比較.....2-9

圖 2-5 基隆港(藍)與臺中港(紅)在 2015 年 12 月冬季季風期監測波浪

之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)逐時變化歷程之對照比較.....2-9

圖 2-6 冬季季風期間臺灣西部海岸臺中港(紅)及北部海岸基隆港(藍)之季風波浪示性波高與臺中港風速二次方之關聯圖.....2-12

圖 2-7 冬季季風期間臺灣西部海岸臺中港(紅)及北部海岸基隆港(藍)之季風波浪尖峰週期與臺中港風速之關聯圖.....2-12

圖 2-8 冬季季風期間臺灣東部海岸蘇澳港(紅)及花蓮港(藍)之季風波浪示性波高與臺中港風速二次方之關聯圖.....2-14

圖 2-9 冬季季風期間臺灣東部海岸蘇澳港(紅)及花蓮港(藍)之季風波浪尖峰週期與臺中港風速之關聯圖.....2-14

圖 2-10 冬季季風(色階及箭尺)對臺灣東部及中西部海域長浪波高(等值線)所具有總體上之影響性 2-15

圖 2-11 蘇澳港與花蓮港自 2013 年至 2015 年 7 月與 8 月夏季颱風期監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(下左)及二階譜週期(下右)之關聯性.....2-15

圖 2-12 臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)及臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測夏季波浪玫瑰圖.....2-22

圖 2-13 臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)及臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測冬季波浪玫瑰圖.....2-23

圖 2-14 臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)及臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測全年波浪玫瑰圖.....2-24

圖 2-15 臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測夏季波浪玫瑰圖.....2-25

圖 2-16 臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測冬季波浪玫瑰圖.....2-26

圖 2-17 臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)海域概約自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測全年波浪玫瑰圖.....2-27

圖 2-18 臺灣海域月大潮期間擬真潮波之同潮圖(黑虛線：同振幅線；紅實線：同潮時線) 2-30

圖 2-19 中國近海沿岸之潮波振盪型態(上)及水深地形剖面(下).....2-31

圖 2-20 臺灣環島近海沿岸之潮波振盪型態(上)及東亞陸架之水深地形剖面(下) 2-32

圖 2-21 臺灣環島沿岸各主要河川河口與各重要工商港口位置之月大、小潮及月平均潮差分布 2-35

圖 2-22 臺灣離島各海岸之月大、小潮及月平均潮差分布 2-35

圖 2-23 臺灣七大商港港口外廓海域 2009 年至 2010 年實測海流(黑)與天文潮流(紅)之近岸流速散佈圖比較 2-37

圖 2-24 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港乾潮後漲潮，2002/11/21 08:00) 2-38

圖 2-24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港漲潮期近滿潮，2002/11/21 10:00) 2-39

圖 2-24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港滿潮後退潮，2002/11/21 14:00) 2-40

圖 2-24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港退潮期近乾潮，2002/11/21 16:00) 2-41

圖 2-25 臺灣環島海域實測之年平均表層海流形態 2-43

圖 2-26 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 15:00) 2-44

圖 2-26(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港退潮期計算潮位 2009/07/11 21:00) 2-45

圖 2-27 臺灣海域自綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場中扣除潮流效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 15:00).2-46

圖 2-27(續) 臺灣海域自綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場中扣除潮流效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/11 21:00).... 2-47

圖 2-28 臺灣之主要河川與水資源分區圖 2-50
圖 2-29 中央管河川及跨省市河川流域位置圖 2-51
圖 2-30 存在於臺灣環島近岸海域之大尺度水下大型沈積沙體 2-53
圖 2-31 臺灣鄰近海域於含括月大小潮期間連續 15 日逐時潮流作用下綜合以輸沙潛勢(色階)及輸沙運移方向(箭矢)所表示之潮殘餘流流場 2-57
圖 2-32 臺灣海域海表層春(上左)、夏(上右)、秋(下左)、冬(下右)四季之季平均海流(箭矢)與輸沙潛勢(色階) 2-61
圖 3-1 臺灣海岸地區範圍示意圖 3-2
圖 3-2 臺灣海岸自然度分布概況 3-3
圖 3-3 臺灣海岸型態分布概況 3-4
圖 3-4 臺灣海岸發生較顯著侵淤之地區示意圖 3-20
圖 3-5 近岸波浪的衝擊是海岸輸沙與海灘變遷之主要原動力 3-31
圖 3-6 近岸波浪碎波衍生強勁沖刷流速而在海灘上造成上沖、下刷及越洗之輸沙作用 3-31
圖 3-7 波浪由深海傳播進入近岸淺灘受地形水深淺化影響所造成之折射變形 3-32
圖 3-8 臺灣東北部宜蘭海岸蘇澳內埤之自然岬灣海灘 3-36
圖 3-8(續) 臺灣東北部宜蘭頭城海岸之突堤群防護設施.....3-37
圖 3-8(續) 臺灣東部花蓮南濱海岸之離岸堤群與海堤護坡.....3-38
圖 3-8(續) 臺灣東部花蓮北濱海岸之人工岬頭與岬灣海灘.....3-38
圖 3-8(續) 臺灣中西部海岸臺中港北灘區防風沙之岬灣海灘 3-39
圖 3-8(續) 臺灣西南部臺南海岸青山港汕之單突堤與將軍漁港防波堤防護設施 3-39
圖 3-8(續) 臺灣西南部臺南海岸安平漁光島外之人工岬頭與岬灣 ..3-40
圖 3-8(續) 臺灣西南部屏東東港大鵬灣海岸 2019 現況之潮口突堤、離

岸堤群及魚尾突堤岬灣等海岸防護設施.....3-41
圖 3-8(續) 臺灣西南部屏東東港大鵬灣海岸 2019 現況潮口南側之離岸堤與魚尾突堤岬灣之海岸防護設施.....3-41
圖 3-8(續) 臺灣西南部高雄茄萣海岸之離岸堤群防護設施.....3-42
圖 3-8(續) 臺灣西南部高雄西子灣海岸之人工岬頭與岬灣海灘 3-43
圖 3-8(續) 臺灣西南部高雄旗津海岸之離岸堤與潛堤及岬灣海灘 ..3-44
圖 3-8(續) 臺灣西南部屏東佳冬塭豐海岸之離岸堤群防護設施 3-45
圖 3-9 臺灣海岸海岸一般性海堤防護設施之分布圖 3-46
圖 3-9(續) 臺灣海岸一般性海堤之分布概況與權轄單位及範圍 3-47
圖 3-10 臺灣本島之漁港分佈圖 3-52
圖 3-11 臺灣北部基隆海岸大武崙漁港毗鄰海岸及港口配置概況 ...3-54
圖 3-12 臺灣北部海岸草里漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-54
圖 3-13 臺灣北部海岸磺港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-55
圖 3-14 臺灣北部海岸和美漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-55
圖 3-15 臺灣西北部桃園海岸竹園漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-56
圖 3-16 臺灣西北部桃園海岸永安漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-56
圖 3-17 臺灣西北部新竹海岸新竹漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-57
圖 3-18 臺灣西北部新竹海岸坡頭漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-57
圖 3-19 臺灣中西部苗栗海岸龍鳳漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-58
圖 3-20 臺灣中西部苗栗海岸外埔漁港之毗鄰海岸及港口配置概況 3-58
圖 3-21 臺灣中西部苗栗海岸白沙屯漁港之毗鄰海岸及港口配置概況

.....3-59
圖 3-22 臺灣中西部苗栗海岸通霄漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-59
圖 3-23 臺灣中西部臺中海岸松柏漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-60
圖 3-24 臺灣中西部彰化海岸王功漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-60
圖 3-25 臺灣中西部雲林海岸箔子寮漁港之毗鄰海岸及港口配置概況
.....3-61
圖 3-26 臺灣西南部嘉義海岸布袋漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-61
圖 3-27 臺灣西南部臺南海岸安平漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-62
圖 3-28 臺灣西南部臺南海岸將軍漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-62
圖 3-29 臺灣西南部高雄海岸蚵子寮漁港之毗鄰海岸及港口配置概況
.....3-63
圖 3-30 臺灣西南部高雄海岸興達漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-63
圖 3-31 臺灣西南部高雄海岸中芸漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-64
圖 3-32 臺灣西南部屏東海岸東港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-64
圖 3-33 臺灣南部屏東海岸枋寮漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-65
圖 3-34 臺灣南部屏東海岸楓港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-65
圖 3-35 臺灣南部屏東海岸後壁湖漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-66
圖 3-36 臺灣東北部宜蘭海岸大溪漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....
.....3-66

圖 3-37 臺灣東北部宜蘭海岸烏石漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....3-67
圖 3-38 臺灣東北部宜蘭海岸梗枋漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....3-67
圖 3-39 臺灣東北部宜蘭海岸南澳漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....3-68
圖 3-40 臺灣東部花蓮海岸鹽寮漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-68
圖 3-41 臺灣東部花蓮海岸石梯漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-69
圖 3-42 臺灣東部臺東海岸長濱漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-69
圖 3-43 臺灣東部臺東海岸小港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-70
圖 3-44 臺灣東部臺東海岸新港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-70
圖 3-45 臺灣東部臺東海岸金樽漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-71
圖 3-46 臺灣東部臺東海岸大武漁港之毗鄰海岸及港口配置概況...3-71
圖 3-47 臺灣東南部屏東海岸旭海漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....3-72
圖 3-48 澎湖海岸島嶼漁港之毗鄰海岸及港口配置概況.....3-72
圖 3-49 民國 98 至 101 年港口航道應辦理疏浚之 84 處漁港位置圖.....3-74
圖 4-1 臺灣西部與東部海岸位於碎波帶內之近岸港口_松柏漁港(左)與大武漁港(右).....4-2
圖 4-2 臺東大武漁港淤塞於港口灘面(左)及港嘴(右)之大粒徑卵石..4-7
圖 4-3 近岸波浪、海灘坡度、底床質及平衡海灘斷面型態分類.....4-8
圖 4-4 受時空變動性海灘坡度影響及波浪衝擊交互作用下的自然海灘.....4-9
圖 4-5 臺灣環島海岸通常構建具突堤與離岸堤形態之人工防護設施.....4-10
圖 4-6 臺灣東北部宜蘭海岸梗枋漁港(上)及烏石漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置.....4-11

圖 4-7 臺灣東北部宜蘭海岸南澳漁港(上)及東部花蓮海岸鹽寮漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置.....4-12

圖 4-8 臺灣東部花蓮海岸石梯漁港(上)及臺東海岸長濱漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置.....4-13

圖 4-9 臺灣東部臺東海岸金樽漁港(上)及大武漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置.....4-14

圖 4-10 臺灣西北部桃園海岸竹圍漁港(上)及永安漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置.....4-15

圖 4-11 臺灣西北部新竹海岸新竹漁港(上)及苗栗海岸外埔漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置.....4-16

圖 4-12 臺灣西北部苗栗海岸白沙屯漁港(上)及新埔漁港(下)具單突堤形態之外廓防波堤配置.....4-17

圖 4-13 臺灣中西部臺中海岸松柏漁港(上)及雲林海岸箔子寮漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置.....4-18

圖 4-14 臺灣西南部嘉義海岸布袋漁港(上)及臺南海岸將軍漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置.....4-19

圖 4-15 臺灣西南部臺南海岸安平漁港(上)及高雄海岸蚵子寮漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置.....4-20

圖 4-16 臺灣西南部屏東海岸枋寮漁港(上)及楓港漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置.....4-21

圖 4-17 突堤的平面型式(a)I 型、(b)T 型、(c)倒 L 型、(d)側 Z 型 ..4-22

圖 4-18 灘線及突堤配置與主要波向之相關性 4-23

圖 4-19 在近岸海灘設置突堤後因折、繞射波浪碎波衝擊所衍生之「突堤效應」與對應之沖刷流與沖刷環流流場.....4-24

圖 4-20 在近岸海灘設置突堤後因受波浪碎波之沖刷流與沖刷環流作用所衍生迎向波浪上游側漂沙淤積而下游側沖蝕之「突堤效應」與對應之地形灘線變遷.....4-24

圖 4-21 在近岸海灘設置突堤後因「突堤效應」造成堤前迎向波浪上游側之漂沙淤積與堤後下游側遮蔽區內之沖蝕.....4-25

圖 4-22 在近岸海灘設置突堤群後因「突堤效應」造成堤前迎向波浪上游側之漂沙淤積與堤後下游側遮蔽區內之沖蝕.....4-25

圖 4-23 在近岸海灘設置突堤後應用「突堤效應」回朔與反饋近岸波浪入射之卓越波向並研判堤後遮蔽區內之沖刷環流與優勢輸沙方向.....4-26

圖 4-24 英國 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上之透水式單離岸堤配置 4-27

圖 4-25 近岸海灘設置離岸堤之配置定義及於堤後因波浪直接沖刷作用所造成海灘之沖淤重塑形態.....4-28

圖 4-26 均勻坡度海灘上之離岸堤受波浪正向入射之初始(上)及海灘變化達穩定狀態後(下)之波場.....4-29

圖 4-27 均勻坡度海灘上之離岸堤受波浪正向入射之初始海灘變化(上左)、初期(上右)、中期(下左)及達穩定後(下右)之流場與灘線.....4-30

圖 4-28 在近岸海灘設置離岸堤後因受正向(上)及斜向(下)入射之折、繞射波浪碎波衝擊所衍生之碎波沖刷流與沖刷環流流場 4-31

圖 4-29 離岸堤後因正向入射波浪碎波之直接沖刷環流作用所造成初始(左)及穩定(右)狀態下之輸沙潛勢與形態 4-32

圖 4-30 均勻坡度海灘上受波浪斜向入射之短(上)、長(下)離岸堤鄰近之近岸流場.....4-32

圖 4-31 近岸海灘設置離岸堤群之配置定義及於堤後因波浪直接沖刷作用所造成海灘之沖淤重塑形態.....4-33

圖 4-32 近岸海灘設置離岸堤群後因波浪直接沖刷作用而於堤後海灘造成繫岸沙洲與沙舌之沖淤重塑形態.....4-34

圖 4-32(續) 英國東部 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑.....4-35

圖 4-32(續) 英國東部 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑.....4-36

圖 4-32(續) 英國東南部 Essex 郡 Jaywick 海灘(上)及東部 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重

塑 4-37

圖 4-33 臺灣西南部屏東佳冬海岸堪豐離岸堤群之實際配置與堤後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑 4-38

圖 4-33(續) 臺灣西南部屏東青洲遊憩區海岸環境營造整體規劃建置離岸堤與魚尾型突堤及人工岬灣等海岸防護設施後於堤後經海灘重塑之沙舌與繫岸沙洲 4-39

圖 4-34 英國環境署研提離岸堤群之空間幾何配置與堤後灘線對應之發展演化形態 4-40

圖 4-35 近岸海灘設置離岸堤並因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用而在堤後造成繫岸沙洲(左)或沙舌(右)形態之海灘沖淤重塑 4-42

圖 4-35(續) 近岸海灘設置離岸堤群並因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用而在堤後造成繫岸沙洲及沙舌形態之海灘沖淤重塑 4-42

圖 4-35(續) 近岸海灘設置 T 型突堤後因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用(上)而在堤後造成繫岸沙洲形態(下)之海灘沖淤重塑 4-43

圖 4-35(續) 具離岸堤形態之近岸港口外防波堤(上)及離岸礁岩(下)後因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用(上)而在堤後造成繫岸沙洲形態之海灘沖淤重塑 4-44

圖 4-36 日本茨城縣鹿島灘離岸堤後因折、繞射波浪碎波所衍生具離岸流特性之碎波沖刷環流(上)與相關碎波沖刷環流之危險警示(下) 4-45

圖 4-37 存在於各類型天然岬頭以及由突堤、離岸堤等海岸防護設施及港口外廓防波堤所構成人造岬頭後之岬灣海灘 4-46

圖 4-38 岬灣海灘的灘線形狀與構建相關的控制參數定義 4-47

圖 4-39 從輸沙不平衡會造成灘線侵淤之觀點探討靜態及動態岬灣海灘之穩定性 4-48

圖 4-40 岬頭後因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用所造成之「岬頭效應」與繫岸沙洲形態之岬灣海灘重塑 4-50

圖 4-41 自然(上)及人造(下)岬頭後應用岬灣海灘擬合回朔重建營造岬灣海灘之卓越波向、波浪繞射點及安定海灘位置.....4-51

圖 4-42 臺北淡水河口及八里海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判臺北港建置前(粉紅)、後(綠)期之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢.....4-52

圖 4-43 臺北林口海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判林口電廠整建前(粉紅)、後(綠)期之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢.....4-52

圖 4-44 桃園觀音海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判施行中油三接外廓配置後初期(粉紅)及中(綠)期之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢.....4-53

圖 4-45 臺中港北淤沙區海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判高(紅)、低(綠)潮位影響下之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢.....4-53

圖 4-46 高雄西子灣海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判施行人工養灘前(粉紅)以及初(黃)、後(綠)期之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢.....4-54

圖 4-47 高雄旗津海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判施行系列離岸潛堤及人工養灘前(粉紅)、後(綠)期之岬頭變動與對應之海灘地形侵淤變遷趨勢.....4-54

圖 4-48 臺東長濱漁港配置(上)與港口航道淤塞景況之媒體報導(下).....
.....4-57

圖 4-49 臺東金樽漁港配置(上)與港口航道淤塞景況之媒體報導(下).....
.....4-58

圖 4-50 臺東大武漁港配置(左上)與港口航道淤塞景況之媒體報導(下)
.....4-59

圖 4-50(續) 臺東大武漁港淤塞與清淤疏浚景況(左)及淤塞於港口航道上之大粒徑表面沉積砂石(右).....4-60

圖 4-51 臺灣東部座落在宜蘭海岸之南澳漁港(右上)及座落在花蓮海岸之鹽寮漁港(右下)以及其港口防護設施與毗鄰之海岸環境...4-61

圖 4-52 臺灣東部座落在臺東海岸之長濱(右上)、金樽(右中)及大武(右下)漁港及與港口毗鄰之海岸環境 4-62

圖 4-52(續) 臺東海岸面對冬、夏季主要波浪入射方向之長濱(右上)、金樽(右中)及大武(右下)漁港既有複合離岸堤及突堤形態之港口配置及與港口毗鄰海岸之防護設施.....4-63

圖 4-53 臺灣東部蘇澳海域概約自 2000 年起至 2016 年止冬季(上)、夏季(中)及全年(下)之觀測波浪玫瑰圖 4-64

圖 4-54 臺灣東部花蓮海域概約自 2000 年起至 2016 年止冬季(上)、夏季(中)及全年(下)之觀測波浪玫瑰圖 4-65

圖 4-55 臺灣東部臺東海域概約自 2000 年起至 2016 年止冬季(上)、夏季(中)及全年(下)之觀測波浪玫瑰圖 4-66

圖 4-56 宜蘭南澳漁港 2019 年之港口外廓防波堤配置與毗鄰之海岸環境(上)及歷年之整建歷程(下) 4-69

圖 4-57 宜蘭南澳漁港 2013 年 11 月(上)、2015 年 07 月(中)及 2019 年 11 月(下)港口外廓防波堤之離岸堤形態配置及衍生港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖淤.....4-70

圖 4-58 宜蘭南澳漁港 2015 年 07 月(上)及 2019 年 11 月(下)港口外廓防波堤之離岸堤形態配置及衍生港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖淤.....4-71

圖 4-59 宜蘭南澳漁港因離岸堤外廓配置形態衍生「岬頭效應」所形塑之岬灣海灘(上綠、黃)及應用岬灣海灘擬合評估港口整建初期(下粉紅)及整建後(下綠)之近岸卓越波向與繞射點以及岬灣海灘造成港嘴航道與毗鄰海灘之沖淤.....4-72

圖 4-60 花蓮鹽寮漁港 2015 年之海岸環境(上)與 2019 年之港口外廓防波堤配置與港口淤塞及毗鄰海岸沖淤(下).....4-75

圖 4-61 花蓮鹽寮漁港 2004 年 06 月(上)、2013 年 04 月(中)及 2019 年 12 月(下)港口外廓防波堤之突堤形態配置及衍生港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖淤.....4-76

圖 4-62 花蓮鹽寮漁港 2004 年 06 月(上)、2013 年 11 月(中)及 2021 年 05 月(下)港口外廓防波堤之突堤形態配置及衍生港口航道淤塞

與毗鄰海灘之沖淤.....4-77

圖 4-63 花蓮鹽寮漁港因突堤外廓配置形態衍生「岬頭效應」所形塑之岬灣海灘(上綠、粉紅)及應用岬灣海灘擬合評估港口整建初期(下黃)及整建後(下綠、粉紅)之近岸卓越波向與繞射點以及岬灣海灘造成港嘴航道與毗鄰海灘之沖淤.....4-78

圖 4-64 臺東長濱漁港 2010 年 10 月(上)及 2012 年 1 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-82

圖 4-64(續) 臺東長濱漁港 2013 年 6 月(上)及 2013 年 7 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-83

圖 4-64(續) 臺東長濱漁港 2013 年 8 月(上)及 2015 年 6 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-84

圖 4-65 臺東長濱漁港 2013 年 6 月及 2017 年 11 月之外廓防波堤配置以及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕狀況之對照比較 .4-85

圖 4-66 臺東長濱漁港 2010 年 1 月(上)及 2012 年 1 月(下)具「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-86

圖 4-66(續) 臺東長濱漁港 2013 年 6 月(上)及 2015 年 6 月(下)具「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-87

圖 4-66(續) 臺東長濱漁港 2015 年 6 月(上)及 2017 年 11 月(下)具「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-88

圖 4-67 臺東長濱漁港 2012 年 1 月、2013 年 6 月及 2017 年 7 月之外廓防波堤配置因複合「離岸堤效應」、「岬頭效應」與「突堤效應」所衍生堤後繫岸沙洲形態之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之對照比較.....4-89

圖 4-68 具離岸堤外廓配置形態之長濱漁港隨整建歷程應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-90

圖 4-68(續) 具離岸堤外廓配置形態之長濱漁港原始海岸岬頭(綠)、港

口整建初期(黃)及現況外廓配置(粉紅)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-91

圖 4-69 臺東金樽漁港 2013 年 8 月(上)及 2014 年 7 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-95

圖 4-69(續) 臺東金樽漁港 2017 年 6 月(上)及 2018 年 10 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-96

圖 4-70 臺東金樽漁港 2013 年 8 月(上)及 2014 年 7 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-97

圖 4-70(續) 臺東金樽漁港 2017 年 6 月(上)及 2018 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-98

圖 4-71 臺東金樽漁港 2013 年 8 月(上)及 2018 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較.....4-99

圖 4-72 具離岸堤外廓配置形態之金樽漁港應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-100

圖 4-73 具離岸堤形態之金樽漁港與陸連島應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-101

圖 4-73(續) 具離岸堤形態之金樽漁港整建初期(粉紅)及現況港口外廓防波堤與陸連島(綠)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-102

圖 4-74 臺東大武漁港 2011 年 10 月(上)及 2012 年 9 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-107

圖 4-74(續) 臺東大武漁港 2012 年 10 月(上)及 2013 年 2 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-108

圖 4-74(續) 臺東大武漁港 2013 年 3 月(上)及 2013 年 6 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-109

圖 4-74(續) 臺東大武漁港 2013 年 7 月(上)及 2014 年 1 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-110

圖 4-74(續) 臺東大武漁港 2014 年 7 月(上)及 2017 年 10 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-111

圖 4-75 臺東大武漁港 2000 年 12 月(上)及 2005 年 6 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較.....4-112

圖 4-75(續) 臺東大武漁港 2012 年 10 月(上)及 2019 年 3 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較.....4-113

圖 4-76 臺東大武漁港 2012 年 9 月(上)及 2012 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-114

圖 4-76(續) 臺東大武漁港 2013 年 2 月(上)及 2013 年 3 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-115

圖 4-76(續) 臺東大武漁港 2013 年 6 月(上)及 2013 年 7 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-116

圖 4-76(續) 臺東大武漁港 2013 年 10 月(上)及 2014 年 1 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-117

圖 4-76(續) 臺東大武漁港 2014 年 7 月(上)及 2017 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕.....4-118

圖 4-77 臺東大武漁港 2012 年 10 月(上)及 2013 年 7 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較.....4-119

圖 4-77(續) 臺東大武漁港 2014 年 7 月(上)及 2017 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較.....4-120

圖 4-78 臺東大武漁港外廓防波堤配置因複合「離岸堤效應」與「突堤效應」所衍生堤後繫岸沙洲形態之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較.....4-121

圖 4-79 具離岸堤形態之大武漁港隨不同的港口整建歷程、外防波堤後淤積位置範圍應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-122

圖 4-79(續) 具離岸堤形態之大武漁港隨不同的港口整建歷程、外防波堤後淤積位置範圍應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-123

圖 4-79(續) 具離岸堤形態之大武漁港隨不同的港口整建歷程、外防波堤後淤積位置範圍及不同的港口岬頭影響距離(下游控制點)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-124

圖 4-80 具離岸堤外廓配置形態之大武漁港於北攔沙堤構建前(黃)、後(綠)及在港口南側構建人工養灘設施後(粉紅)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤.....4-125

圖 4-81 為防治港嘴航道淤塞及輕減毗鄰海灘沖蝕而以避免「離岸堤效應」在外防波堤後營造繫岸沙洲或沙舌海灘為重點所採行圓弧形態之港口外廓配置.....4-130

圖 4-82 臺東長濱漁港為防治港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」，將 I 型內防波堤調整為 Γ 型(綠實線)之整治對策與改善措施示意圖.....4-130

圖 4-83 臺東金樽漁港為防治港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」，將 I 型內防波堤調整為 Γ 型(綠實線)之整治對策與改善

措施示意圖.....4-131

圖 4-84 臺東大武漁港為防治港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」，將 I 型內防波堤調整為 Γ 型(綠實線)之整治對策與改善措施示意圖.....4-131

圖 4-85 臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)及臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測全年波浪玫瑰圖.....4-144

圖 4-86 臺灣海域月大潮期間擬真潮波之同潮圖(上，黑虛線：同振幅線；紅實線：同潮時線)以及臺灣環島沿岸各主要河川河口與各重要工商港口位置之月大、小潮及月平均潮差分布(下).....4-145

圖 4-87 臺灣西北部桃園觀塘工業港至新屋永安漁港(上)以及苗栗苑裡漁港至臺中松柏漁港(下)海岸段低潮期間之寬幅潮間帶淺灘.....4-146

圖 4-87(續) 臺灣中西部苗栗苑港漁港至臺中松柏漁港海岸段高潮位期間的海岸線(上)與低潮期間之寬幅潮間帶淺灘(下).....4-147

圖 4-88 臺灣西北部桃園竹圍漁港(上)與永安漁港(下)之港口外廓配置及毗鄰海灘之沖淤形態.....4-148

圖 4-88(續) 臺灣西北部新竹漁港(上)與苗栗白沙屯漁港(下)之港口外廓配置及毗鄰海灘之沖淤形態.....4-149

圖 4-88(續) 臺灣西北部苗栗新埔漁港(上)與苑裡漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態.....4-150

圖 4-88(續) 臺灣中西部臺中松柏漁港(上)與西南部臺南將軍漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態.....4-151

圖 4-88(續) 臺灣西南部雲嘉海岸之外傘頂洲(上)與嘉義東石漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態.....4-152

圖 4-88(續) 臺灣西南部雲嘉海岸之外傘頂洲(上)與嘉義布袋第三漁港與布袋港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態.....4-153

圖 4-88(續) 臺灣西南部臺南安平漁港(上)與高雄中芸漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態.....4-154

圖 4-88(續) 臺灣南部屏東枋寮漁港(上)與楓港漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態.....4-155

圖 4-89 應用岬灣海灘之灘線擬合(綠色)檢視桃園永安漁港(上)及新竹漁港(下)毗鄰海灘形成沙舌形態淤積之卓越入射波向(白色箭矢)與波浪繞射點(白色圓點)及因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生之近岸沖刷環流(黃色箭矢).....4-156

圖 4-90 應用岬灣海灘之灘線擬合(綠色)檢視苗栗苑裡漁港(上)及臺中松柏漁港(下)毗鄰海灘形成沙舌形態淤積之卓越入射波向(白色箭矢)與波浪繞射點(白色圓點)及因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生之近岸沖刷環流(黃色箭矢).....4-157

圖 4-91 應用岬灣海灘之灘線擬合(粉紅線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港毗鄰海灘受 1932 年外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響形成之岬灣海灘形態淤積與近岸之卓越入射波向(藍箭矢)與波浪繞射點(粉紅圓點)及近岸沖刷環流(黃褐箭矢).....4-158

圖 4-91(續) 應用岬灣海灘之灘線擬合(粉紅線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港毗鄰海灘受 1982 年外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響形成之岬灣海灘形態淤積與近岸之卓越入射波向(藍箭矢)與波浪繞射點(粉紅圓點)及近岸沖刷環流(黃箭矢).....4-159

圖 4-91(續) 應用岬灣海灘之灘線擬合(粉紅、綠線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港毗鄰海灘受 1997 年外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」及潮位影響形成之岬灣海灘形態淤積與近岸之卓越入射波向(黃箭矢)與波浪繞射點(粉紅、綠圓點)及近岸沖刷環流(黃褐箭矢).....4-160

圖 4-92 應用岬灣海灘之灘線擬合(緣、粉紅線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港受 2007 年外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響形成之岬灣海灘形態淤積與對應之卓越入射波向(白箭矢)與波浪繞射點(粉紅、綠圓點)及近岸沖刷環流(黃箭矢).....4-161

圖 4-93 對應於「突堤效應」的碎波沖刷流、沖刷環流與毗鄰海灘的沖淤形態(上)以及外傘頂沙洲因「軟性突堤效應」或「軟性岬

頭效應」影響伴隨衍生可類比「突堤效應」的碎波沖刷流、沖刷環流與退潮流之綜合流場(下).....4-162

圖 4-94 應用岬灣海灘之灘線擬合(緣線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港毗鄰海灘受 1988 年(上)及 2022 年(下)外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響形成之岬灣海灘形態淤積與近岸之卓越入射波向(白箭矢)與波浪繞射點(黃圓點)及衍生之近岸沖刷流(紅箭矢)與沖刷環流(黃箭矢).....4-163

圖 4-95 應用岬灣海灘之灘線擬合(粉紅色)檢視屏東枋寮漁港(上)及楓港漁港(下)毗鄰海灘形成繫岸沙洲形態淤積之卓越入射波向(白色箭矢)與波浪繞射點(白色圓點)及因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生之近岸沖刷環流(黃色箭矢).....4-164

圖 4-96 桃園永安漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因港口潛沒「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成沙舌形態之淺灘淤積.....4-165

圖 4-97 新竹漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因港口潛沒「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成沙舌形態之淺灘淤積.....4-166

圖 4-98 苗栗白沙屯漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因潮間帶內偏正向入射波浪碎波衍生沖刷流(紅)作用所造成平直形態之淺灘淤積.....4-167

圖 4-99 苗栗新埔漁港高潮位(上)、中潮位(中)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因潮間帶內偏正向入射波浪碎波衍生沖刷流(紅)作用所造成平直形態之淺灘淤積.....4-168

圖 4-100 苗栗苑裡漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因潮間帶內偏正向入射波浪碎波衍生沖刷流(紅)作用所造成平直形態之淺灘淤積.....4-169

圖 4-101 臺中松柏漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因港口潛沒「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成沙舌形態之淺灘淤積.....4-170

圖 4-102 屏東枋寮漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與

沖刷環流(黃)作用所造成繫岸沙洲形態之淺灘淤積.....4-171

圖 4-103 屏東楓港漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成繫岸沙洲形態之淺灘淤積.....4-172

圖 4-104 高雄左營港(上)及花蓮和平工業專用港(下)為防治港嘴航道淤塞及輕減毗鄰海灘沖蝕而以應用「岬頭效應」及避免「離岸堤效應」在外防波堤後營造繫岸沙洲或沙舌海灘為重點所採行圓弧形態之港口外廓配置.....4-173

圖 4-105 臺灣西北部海岸桃園永安漁港(上)與苗栗苑裡漁港(下)為防治近岸港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」之整治對策與改善措施(綠色實線).....4-174

圖 4-106 臺灣西南部海岸屏東枋寮漁港(上)與楓港漁港(下)為防治近岸港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」之整治對策與改善措施(綠色實線).....4-175

表目錄

表 2-1 基隆港海域 2016 年及歷年(概約自 2000 起至 2016 止)分月與分季之實測風力統計表.....2-5

表 2-2 臺中港海域 2016 年及歷年(概約自 2000 起至 2016 止)分月與分季之實測風力統計表.....2-6

表 2-3 基隆港與臺中港 2013 至 2016 年冬季季風期分月監測波浪示性波高(H_s)、尖峰週期(T_p)及二階譜週期(T_{m02})之相關係數.....2-10

表 2-4 蘇澳港與花蓮港 2013 至 2015 年夏季颱風期分月監測波浪示性波高(H_s)、尖峰週期(T_p)及二階譜週期(T_{m02})之相關係數.....2-16

表 2-5 臺灣海峽南段海域東沙島、七美、小琉球資料浮標於 2017 年 5 月 8 日至 7 月 28 日期間實測波高、週期、風速之統計分析 2-17

表 2-6 臺灣環島海岸之季風波浪型態 2-19

表 2-7 歷年冬季臺灣 12 個港域主要測站示性波高、週期及波向統計.....2-19

表 2-8 臺灣環島海域國內 7 大商港 10 年重現期之建議設計波高範圍.....2-20

表 2-9 臺灣環島 12 個主要港域測站概約自 2000 年起至 2016 年止歷年夏季示性波高週期及波向統計表.....2-20

表 2-10 臺灣環島 12 個主要港域測站概約自 2000 年起至 2016 年止歷年冬季示性波高週期及波向統計表.....2-21

表 2-11 臺灣環島 12 個主要港域測站概約自 2000 年起至 2016 年止歷年全年示性波高週期及波向統計表.....2-21

表 2-12 臺灣環島沿岸各主要河川河口與各重要工商港口位置之月大、小潮及月平均潮差.....2-34

表 2-13 臺灣各離島海岸之月大、小潮及月平均潮差 2-34

表 3-1 臺灣各縣市 108 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表 ..3-6

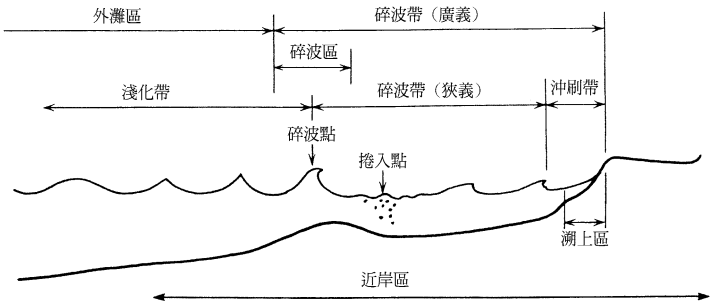
表 3-1(續) 臺灣各縣市 105 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表

.....3-7
表 3-1(續) 臺灣各縣市 100 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表 3-8
表 3-2 臺灣環島各縣市的海岸線長度 3-9
表 3-3 海岸地區特性現況彙整表 3-10
表 3-3(續) 臺灣海岸地區特性現況彙整表.....3-11
表 3-3(續) 臺灣海岸地區特性現況彙整表.....3-12
表 3-4 臺灣海岸自然度分類準則 3-12
表 3-5 臺灣海岸型態分類原則 3-13
表 3-6 臺灣本島海岸環境概況一覽表 3-13
表 3-7 臺灣海岸之侵淤概況 3-17
表 3-8 臺灣海岸之侵淤熱點與其附近之重大設施與起迄點參考坐標 3-18
表 3-9 臺灣海岸侵淤熱點及主要人工構造物與其目的事業主管機關 3-19
表 3-10 臺灣海岸既有防護設施分析表 3-48
表 3-11 臺灣地區各直轄市、縣(市)漁港類別及名稱一覽表.....3-50
表 4-1 碎波型態之判別.....4-6
表 4-2 臺灣東部近岸港口外廓防波堤配置因「離岸堤效應」或「岬頭效應」造成堤後繫岸沙洲或岬灣海灘形態淤積之離岸堤長/距比值.....4-127
表 4-3 臺灣西部海岸近岸港口外防波堤堤頭之離岸距離(長度) 4-134
表 4-4 臺灣南部屏東海岸近岸港口外廓防波堤配置因「離岸堤效應」造成堤後繫岸沙洲淤積之離岸堤長/距比值檢測 4-135

第一章 緒論

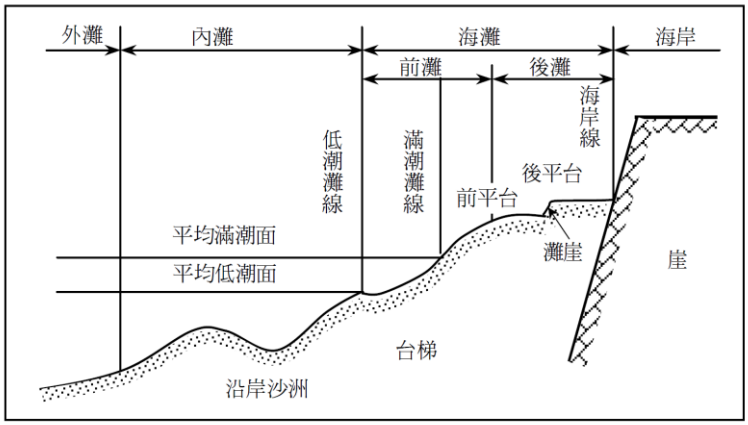
1.1 研究緣起

波浪受近岸區地形水深變化之影響，其在一般海灘斷面上之波浪特性變化示意圖，分別可參見圖 1-1 與圖 1-2，其中之碎波帶(surf zone)，係通指波浪碎波後形成近岸流或碎波沖刷流(swashing currents)之區域，由於近岸流流況多屬紊流，故漂沙活動甚為活躍，為海岸漂沙運移之最激烈區域。本研究所稱之「近岸港口」，係通指港口水深不及 6 米，或外廓防波堤或航道出口係座落於低潮期間之碎波帶內，或位於內灘者。



資料來源：「海岸工程學」，郭一羽，2001。

圖 1-1 近岸灘區之波浪碎波帶示意圖



資料來源：「海岸工程學」，郭一羽，2001。

圖 1-2 一般海灘斷面示意圖

基於潮汐、波浪、近岸流與人工構造物的交互作用影響，世界上大小港口的外廓配置形態，皆會對港口毗鄰海域的波況、流況及地形水深造成干擾與改變，以致與港口毗鄰之海灘，不僅通常會發生程度輕重不一的沖蝕，在港口尚會發生淤積情況，淤積嚴重的港口，甚至會造成航道水深減小，船舶航行受到妨礙，因此，港口毗鄰海域的漂沙，常是港灣建設與海岸災防的關鍵課題。

臺灣環島之近岸港口，大多為規模不大、航道水深較淺的漁港，為防制颱風與季風波浪之侵襲，保持港域之靜穩，經常會在平行或垂直海岸方向，構築防波堤之外廓防浪設施，而在此種過於強調防浪功能之考量下，外廓防波堤之配置，因而普遍具有混合突堤與離岸堤所構成之Γ或側倒 L 形式，以致防波堤，除了原始規劃設計之防浪功能外，尚會附帶衍生具有改變近岸灘區輸沙平衡之效應，最終，若此些防波堤座落在漂沙最活躍之碎波帶內，則勢必將因近岸灘區不均勻的波浪作用與失衡之輸沙沈積，進而導致毗鄰海灘的沖蝕，甚至造成港口與航道之嚴重淤塞。

面對臺灣環島近岸港口之淤塞，依據行政院農委會漁業署(2009)「海岸新生之漁港疏濬及多功能漁港開發規劃」報告，民國 94～97 年度所執行國內漁港疏浚政策，均係以「整建、疏浚」為主要策略，且長年來，臺灣地區漁港如有面臨港口泊地或航道淤積問題時，皆以辦理疏浚與清淤工程方式進行改善，藉以維持漁港之正常運作。對於漁港之疏浚經費，統計民國 94～97 年間，共計 4 億 4,528 萬元，大多由漁業署以年度預算補助或自行辦理，地方政府雖有部分自籌經費或由其他單位補助辦理漁港疏浚，但所占比例有限。僅管政府自 97 年度起曾辦理擴大內需，加強辦理漁港泊地或航道淤沙之疏浚與清淤工程，但漁港之淤積、疏浚與毗鄰海灘之沖蝕，迄今仍是近岸灘區開發利用最常遭遇且亟待克服的課題。

在近岸海域，季風波浪、颱風波浪及湧浪，以及因波浪淺化碎波衍生流速u ≈ $\sqrt{gH_b}$ (H_b為碎波波高；g 為重力加速度)的強勁沖刷流(swashing currents)，實際是造成各型海岸災害之最關鍵與最重要水動力

因素。因此，全面檢討近岸灘區之波浪特性，探討碎波帶內各型海岸防護結構物對波浪及漂沙阻滯所造成沖淤之影響，不僅是目前海岸環境保全與防護之重點工作，更是進行防災不可或缺之資訊。特別是近岸灘區，其係為生態環境敏感地區，政府相關權責機關雖曾有研擬各項管理計畫或開發利用方案，但由於缺乏整合性之規劃與有效之管理，致仍發生海岸土地競用、超限利用、不當利用等情事，使海岸多功能利用、海灘資源維護、生態棲地保存、生物多樣性維護、國土保安等均面臨重大威脅(「修正全國區域計畫」，內政部，2017)。

面對臺灣環島近岸港口、航道淤塞及毗鄰海灘之沖蝕課題，本研究延續臺灣東、西部近岸港口外廓配置對毗鄰海灘沖淤之影響評估成果(莊，2020；2021)，主要研究目的，在結合現今進步且多元的網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，調查臺灣環島既有近岸港口外廓防浪設施之配置，綜整分析臺灣環島近岸港口之外廓配置形態，檢視毗鄰海灘之沖淤特性，並以「突堤效應」、「離岸堤效應」以及「岬頭效應」(莊，2017；2020)作基礎，針對港口外廓防波堤端所具有的人工岬頭(headland)效能，從近岸潮汐、波浪、海流與人工構造物的交互影響層面著手，尤其著重近岸波浪碎波之直接衝擊以及碎波在沖刷帶內衍生強勁沖刷流(swashing currents)之上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)與越洗(overwash)作用(莊，2020；2021)，據以評估近岸港口外廓防浪設施，因堤端所具有的人工「岬頭效應」對港口航道淤塞與對毗鄰海灘沖淤之影響，準確掌握造成港口淤塞之關鍵控制因素，進而研提相關之調適、因應對策與防治建議。主要之研究目標，在提升近岸港口沖淤課題探討之高度、廣度與深度，達成因應氣候變遷，維護自然海岸環境，防治海岸災害，精進海岸經理策略，保育生態棲地，降低生態環境衝擊，配合『海岸管理法』之施行，落實「整體海岸管理計畫」，推動「海岸防護」與「海岸保護」措施，促成國家海岸資源之永續利用。

1.2 文獻回顧

臺灣四面環海，環島及各離島，不僅海氣象特性多變、海岸環境景觀多元，生態資源亦甚豐富多樣，因此，從事海岸相關的開發利用，常需面對各項繁複的評估規劃與經營管理課題。依據內政部 2017 年 5 月 16 日以臺內營字第 1060806764 號公告之「修正全國區域計畫」即指出，臺灣現況海岸及海域之主要經理課題包括：(1)「臺灣沿海地區自然環境保護計畫」缺乏管理機制；(2)海岸土地不當利用；(3)海岸線嚴重人工化；(4)海岸地區遭受氣候變遷衝擊；(5)海域區使用管理權責重疊或競合。

臺灣環島海岸線全長約 1,338.359 公里(不含全長約 370.640 公里的澎湖海岸線及總長約 279.078 公里的金門、連江及東沙等離島海岸線)，有著豐富海岸景觀，但自然海岸線，僅有 591.89 公里，約僅佔 44.2%，其餘高達 55.8%皆為具有港灣、航道、海岸圍墾區或海岸防護設施等人工構造之人工海岸，其中，特別是近岸港口或漁港。

近年，內政部(2017)為達成維繫自然系統、確保自然海岸零損失、因應氣候變遷、防治海岸災害與環境破壞、保護與復育海岸資源等目標，已依據『海岸管理法』(經總統府 104 年 2 月 4 日總統華總一義字第 10400012591 號令公布)第 8 條及第 44 條規定，研訂「整體海岸管理計畫」,藉以綜整海岸管理之課題與對策、落實海岸地區之規劃管理原則、協調相關目的事業主管機關之分工，指導相關計畫修正或變更，以有效指導海岸土地之利用方向，健全海岸之永續管理。現階段之工作重點，包括「落實海岸保護與防護管理機制」、「劃設特定區位與規範適當利用原則，以促進海岸地區之永續利用」、「確保自然海岸零損失」、以及「保障公共通行與親水權益」。

自民國 61 年開始，經濟部水利署及其前身，即持續執行臺灣地區海堤的規劃、建設及維護，迄今已歷經四十餘年。臺灣的海岸防護設施，一向以建造防潮禦浪的陡坡海堤為主體，由早期的土堤及漿砌塊石海堤，逐漸演變為現在的緩坡海堤並配合消波塊拋放，以減輕波浪溢淹災

害，復因海岸侵蝕日益嚴重，再搭配突堤及離岸堤，藉以遏止國土流失。惟臺灣海岸，因受颱風暴潮巨浪及種種人為開發利用因素的負面影響，海岸侵蝕仍舊普遍發生，參見圖 1-3 及圖 1-4。而自民國 89 年以後，經濟部水利署倡議未來臺灣的海岸防災重點，仍以侵蝕防治為主軸，同時將採用柔性工法並兼顧海岸生態與親水，恢復自然的海岸景觀、維護海岸生態及營造海岸親水遊憩空間(經濟部，2008；2014)。



資料來源：水利署中文版全球資訊網
https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=3253&s=19362#lg=1&slide=6

圖 1-3 颱風時期大浪衝擊臺東富岡海堤之景象



資料來源：台東縣議員蔡玉玲，2021-11-08 18:49 聯合報，https://udn.com/news/story/7328/587574

圖 1-4 南迴公路沿岸人工養灘的海岸不斷受波浪衝擊而侵蝕流失

另外，在民國 98 至 103 年間，經濟部水利署曾編列 80 億元辦理「海岸環境營造計畫」，並於執行海堤興(整)建過程，研擬相關設計規範，且以人工岬灣，配合養灘之近自然工法，藉期能回復海岸自然風貌，改善臺灣本島海岸仍布滿消波塊、堤防和各種人工化海岸之問題，如圖 1-5 及圖 1-6 所示。隨後，行政院於 103 年 7 月 7 日以院臺經字第 1030038866 號函核定「海岸環境營造計畫（104～109 年）」，該計畫目標為「強化海岸防護能力，降低災害損失」、「加速海岸環境復育，營造優質海岸」與「落實海岸防護工法研發應用，維護海堤設施功能」。並於該計畫目標指導下，規劃「因應氣候變遷衝擊，規劃推動海岸防護適應策略」、「加強工法研發，提升海岸防護技術能力」、「善用海岸自然特性，展現特色海岸風華」、「維護海堤設施，確保應有防護功能」及「活化海堤空間利用，改善海岸棲地環境」等 5 大執行策略，且推動辦理海岸防護基本資料調查、環境改善工程規劃、環境營造工程及環境改善成效檢討等事項(經濟部，2014)。

為落實行政院國家永續發展委員會「天然海岸比例不再減少」之政策目標，內政部國土測繪中心自民國 94 年度起，曾參考交通部中央氣象局之年度潮汐表，以各潮位站量測之水位資料，蒐集並彙整相對日高潮位之高解析融合衛星影像，辦理海岸線變遷偵測及數化作業，並將自然海岸線與人工海岸線套疊衛星影像，藉以統計掌握自然海岸線與人工海岸線的變化情形(內政部，2017c)。

依據行政院農業委員會 109 年 5 月 12 日農授漁字第 1091314889A 號公告，以及內政部(2017)與審計部(2017)等政府公開文獻之最新資料，至民國 109 年底止，農委會漁業署依「漁港法」公告之漁港，第一類有 9 處，第二類有 211 處，總數共計有 220 處之多(農委會，2020)，扣除位處在國際商港或其輔助港內，以及位於河道或潟湖內者，實際位處臺灣環島全長約 1,338.359 公里海岸線上之漁港有 106 處，所占海岸線長度共計雖僅有約 46.95 公里，但平均卻約 12.6 公里即有一處漁港。而為因應部分漁港漁業利用機能偏低現象，行政院農業委員會漁業署在民國 94 年曾開展「漁港防波堤減量工法可行性研究」(農委會，2005)；

直到民國 98 年後，漁業署曾再辦理「海岸新生之漁港疏濬及多功能漁港開發規劃」，並曾詳細探討全國漁港之淤塞原因及檢討相關之疏浚需求(農委會，2009)。另外，許 (2001)；吳(2005)；農委會(2005)；吳 等(2005；2006)；許 等(2006)亦皆曾從漁港使用功能與海岸空間之再利用觀點，檢討防波堤使用功能不彰的港別及內容，評估漁港防波堤減量工法，並研提具體可行的實施對策，藉期能達成漁港防波堤構造物減量之政策要求。



圖資來源：待確認

圖 1-5 臺灣東部侵蝕嚴重並用大量消波塊保護的海岸公路

洪(2003)曾針對臺灣本島現有 150 處漁港之淤沙問題進行分析，從而發現其中計有 77 處漁港面臨有港口淤沙問題，扣除位居河道及位在

商港或淺灘沙洲內的 35 處漁港，則位處海岸線上有淤沙問題之漁港則有 42 處；另外，就港口防波堤之配置型式分析，大致可歸納分成垂直海岸型防波堤有 26 處、突出海岸型防波堤有 7 處、複合型防波堤及防砂堤有 5 處、及屬狹長型防波堤有 3 處；檢討造成港口淤沙的原因，主要包括上游沿岸輸沙、灣澳海岸環流、波浪直接輸沙及河川輸沙等四種。另外，農委會(2005)曾綜整說明臺灣漁港之港口與航道水深淤積之主要原因，包括：(1)漁港規模普遍偏小，港口大部份位於碎波帶附近或以內；(2)冬季東北季節風浪作用期長且波浪強勁，沿岸海域漂沙活躍；(3)夏季颱風頻繁且河川輸沙入海，提供沿岸漂沙沙源，影響水深維持。



圖資擷取自：Island Flying/島嶼飛行_全台最新最美休息站 2022 年 9 月 23 日試營運、10 月 20 日正式營運｜大武之心南迴驛｜最新網美景點｜1314 號的藍｜台東大武美麗沿岸｜尚武漁港｜ https://www.youtube.com/watch?v=XRLXojvDhSw

圖 1-6 臺東海岸用大量消波塊保護的人工海岸線

郭(1997)曾對臺灣海岸往昔施行之各項防護策略與措施進行檢討並指出：「海灘為天然消波體...，倘無充份之海灘，就無法防止波浪災害及侵蝕。颱風期之侵蝕乃自然循環之過程一部份.....；如欲以人工防止，也以盡量少改變原貌，維持足以消能之寬敞海灘為宜。海岸侵蝕治本之道在保持砂源平衡，如有充份之砂源供應，即使暴浪侵蝕之海灘在暴風後也會漸漸恢復，否則無論如何保護都難奏效。由過去經驗，我們已認識到消能優於反射，柔性勝於硬性，破壞自然不如尊重自然，高度開發必帶來自然反撲。」此外，郭(2004)曾針對臺灣海岸防護狀況進行調查並指出，至民國 95 年 12 月止，臺灣曾有海岸防護設施如下：(1)海堤 524 公里(包括防潮堤)；(2)護岸 12 公里(苗栗縣、台東縣、台北縣)；(3)消波工 60 公里(台東縣、花蓮縣)；(4)潛堤 11 座(花蓮縣)；(5)離岸堤 222 座(屏東縣、高雄縣)；(6)突堤 205 座(高雄縣、宜蘭縣)；(7)潛堤 26 座。

近年來，我國政府與民間在海岸保育之趨勢策略中，常見採行「近自然工法」(郭金棟，2004)之呼籲，而所謂「近自然工法」，其最主要的重點與特性，即在順應「自然環境」，讓「自然景觀」及「自然生態」，保有或維持其「大尺度」之「永續」(長期)性，減少並避免人為局部性及短期性之介入及干擾。因此，對海岸之自然環境、自然景觀及自然生態而言，從順應長期性大範圍之自然波浪沖刷與海流輸運作用之水動力著手，詳實考量波浪沖刷流(swashing currents)之特性，將可大幅度、有效地減少對自然海灘沖淤變遷過程之局部性及短期性之人為(非自然及小尺度)因素介入或非適切的干擾，亦即在「大尺度」之「永續」性上，充分掌握區域性之卓越波浪、瞭解近岸流之主控流態、確認優勢輸沙方向與漂沙沉積趨勢，應更可提供長期性大尺度自然海灘沖淤變遷趨勢之評估資訊(莊，2009；莊、廖，2011；莊，2020、2021)，落實「近自然工法」策略之推展與實行。

至於相關海岸侵蝕變遷課題及相關之保育與防護對策，從時空範圍與規模差異，可區分為大、中、小尺度三類。在大尺度類別上，近年

來，中國大陸學者林琿 等(2000)曾針對「東中國海陸架水下沙體與潮流作用」進行研究探討；而為海岸國土之永續經營利用，近岸海域環境之保育與防護，莊、江(2002a、b)；莊 等(2013)曾進行臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估研究，並依據大比例尺海圖，首先介紹臺灣環島近岸海域的地形水深及存在於水深 50 米以內的大尺度水下沉積沙體，並從水下沙體的沉積形態與發展規模，篩檢對應的主要大尺度海流輸運動力，最後，以定性方式，闡釋臺灣環島沿岸海域的長期漂沙沉積趨勢與海岸的自然沖淤趨勢，從而探討臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響。另外，莊(2008)；廖 等(2011、2012、2013)亦曾針對臺灣環島近岸海域之大尺度海流，應用三維水動力數值模式_POM，綜合洋流與潮流效應，進行海流輸運特性模擬，隨後，再結合臺灣主要河川之輸沙，透過輸沙模式的應用，掌握臺灣環島近岸海域之優勢海流特性與其所衍生之優勢輸沙潛勢。

在臺灣環島中、小尺度之海岸侵蝕變遷課題及與港口或海岸防護設施毗鄰海岸之相關防護、重建、保育與新生對策上，國內曾著力研究之學者專家甚多，如：郭(1990)；許 等(1994、1996)；簡 等(1996)；許、溫(1997)；張、黃(1997)；郭 (1999)；林 等(2001)；歐 等(2001)；郭、簡(2001)；林 等(2007)；莊(2009)；廖 等(2012)；許(2013)；簡 等(2015)；林、陳(2015)；莊 (2020)。其間，在 1989 年，國內學者許榮中教授曾發表「靜態岬灣經驗式」(Hsu & Evans, 1989)，藉以針對具有岬頭形態之海岸或在近岸海灘構建適當人工構造物，有效評估海岸長期性的沖淤潛勢，並達成保育與穩定海岸之目的(許，2002；邱，2004；余 等，2006；許 等，2010；許，2011；余，2011；郭 等，2013、2016；莊 2020)。另外，在 2017 年 5 月 29 日，聯合報記者蔡孟妤等在「看見臺灣消失的海岸線　各地爭取前瞻搶救」之專題中曾報導：「全台海岸線都在退縮。」國土消失日益嚴重，高雄茄萣，曾被內政部列為一級海岸防護區，海岸線 10 多年來遭嚴重侵蝕，崎漏原本大片沙灘已退縮約上百公尺；旗津海岸線也不斷退縮約 20 公尺，部分沙灘並已完全消失，參見圖 1-7；台南市黃金海岸也後退上百公尺；曾文溪北岸頂頭額汕南端 20 年

來退縮約一公里；嘉義縣布袋鎮好美里海灘，近 20 年來海岸線至少後退 60 公尺，位於布袋鎮與東石鄉交界處的白水湖壽島，原本海巡車輛可通行無阻，現在漲潮時，壽島就「半沉」海中。為搶救流失的海岸線，高雄市政府打算向中央爭取前瞻計畫「水環境建設」逾十二億元預算，希望興建月牙型人工灣澳，加強保護旗津沙灘；茄萣擬以人工養灘和興建離岸堤方式，重現部分沙灘。

針對近岸港口之沖淤課題，莊 (2017；2020；2021)曾應用 Google Earth 之歷史圖像，配合波浪與海流之海象長年調查統計特性(莊、曾，2015；2016；2017)，檢視並綜整臺灣環島近岸港口之外廓配置形態，並歸納出臺灣環島近岸港口，普遍具有突堤與離岸堤之複合形態，且對造成港口之淤積機制進行分析，進而在眾所週知、耳熟能詳的「突堤效應」外，提出「離岸堤效應」與「岬頭效應」，並判定伴隨「離岸堤效應」與「岬頭效應」而在港口衍生的碎波沖刷環流(swashing circulations)，是造成近岸港口淤塞之最主要、也是最關鍵因素(莊，2020、2021)，如圖 1-8 與圖 1-9 所示。據此建議對於近岸港口之防沖減淤對策，無論是在規劃、設計、擴建或維護階段，皆應著重於「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」之避免或降低。



資料來源：聯合報，記者劉學聖攝影。

圖 1-7 高雄旗津海岸線近十多年來退縮約廿公尺，是全臺灣海岸侵蝕甚嚴重的海岸之一



圖 1-8 近岸港口因「離岸堤效應」造成的港口淤塞與海灘沖淤變遷



圖 1-9 臺東海岸長濱漁港(上，2017/07)及大武漁港(下，2018/12)因「離岸堤效應」造成繫岸沙洲形態的港口淤塞與毗鄰海灘之沖蝕

1.3 工作項目

近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕，是潮汐、波浪、漂沙與港口外廓配置交互作用造成的因—果循環課題。本研究_「岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策」為一年期程之研究計畫，主要之研究目的，在延續臺灣東、西部近岸港口外廓配置對毗鄰海灘沖淤之影響評估之研究經驗與成果(莊，2020；2021)，結合現今進步且多元的網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，調查既有近岸港口外廓防浪設施之配置，綜整分析港口之外廓配置形態，檢視毗鄰海灘之沖淤特性，再再以「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」(莊，2017~2022)作基礎，從近岸波浪、潮汐與人工構造物的交互影響層面著手，尤其著重近岸波浪碎波而在沖刷帶內衍生強勁沖刷流(swashing currents)(流速u ≈ $\sqrt{gH_b}$ ；H_b為碎波波高；g 為重力加速度)之直接上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)與越洗(overwash)作用，據以評估近岸港口外廓防浪設施對毗鄰海灘沖淤之影響，掌握造成港口淤塞之關鍵控制因素，進而研提相關之防治對策與建議。主要之年度研究重點工作項目如下：

(1) 綜整臺灣環島近岸海域之波、潮、流、風力及地形水深等海、氣象及地象特性

颱風與強列季風波浪之侵襲，是近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵作用力；而潮位、近岸流、風力及地形水深，則是影響輸沙的最重要因素。

(2) 探討自然及人工岬頭衍生之「岬頭效應」

岬頭，是突出海岸的天然或人造礁岩地形。在潮汐影響及波浪衝擊作用下，受岬頭屏蔽而在岬頭後形成的海灘，稱為岬灣海灘。「岬頭效應」常存在於各類型天然岬頭以及由突堤、離岸堤等海岸防護設施及港口外廓防波堤之堤頭所構成之人造岬頭後，通常會因近岸折、繞射波浪之直接沖刷作用，而在岬頭後受屏蔽之近岸淺灘區造成岬灣或繫岸沙洲形態之漂沙淤積與海灘重塑現象。

(3) 分析、掌握形塑岬灣海灘之控制因素

港口外廓配置形態，普遍具有離岸堤或突堤形式，各形式之配置，皆會改變波浪特性，影響近岸灘區輸沙平衡，並導致港口淤塞及與港口毗鄰海灘之沖淤。因此，可應用碎波沖刷流(流速u ≈ $\sqrt{gH_b}$ ；H_b為碎波波高；g 為重力加速度)之海岸水動力及其對輸沙之作用(莊，2020；2021)，闡釋港口外廓配置對形塑岬灣海灘沖淤之控制因素。

(4) 應用岬灣海灘之擬合，回朔、反饋並辨識造成港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵機制

延續 109 及 110 年度分別對臺灣東、西部近岸港口外廓配置對毗鄰海灘沖淤之影響評估經驗，應用岬灣灘線擬合(fitting) (莊，2020；2021)，回朔構建岬灣海灘之三個控制參數，再藉以回朔、反饋並辨識造成港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵機制。

(5) 研提調適、因應對策，建議改善措施

掌握碎波沖刷流特性及其對輸沙之作用，針對港口外廓配置形態之影響，研提調適、因應對策，建議改善措施。

(6) 研究成果發表及期末報告撰整提交

公開陳現年度研究成果，提交書面研究報告及電子文件，供國內產、官、學、研各界備查、參採與應用。

1.4 研究成果之效益與應用

1.4.1 研究成果效益

本研究成果主要在藉碎波沖刷流(swashing currents)之海岸水動力及其對漂沙之輸送作用，透過「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」，辨識造成臺灣環島近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵影響因素，進而針對「岬頭效應」所造成港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵影響因素，研提調適、因應對策。主要研究效益，綜整條列如下：

(1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 1 篇，出版研究報告 1 冊。結合海岸專業知識，溫故知新，學以致用。針對臺灣

環島海岸，分析檢討毗鄰港口海灘之沖淤現象與變遷形態，於一般之「突堤效應」外，再提出「離岸堤效應」與「岬頭效應」之海灘重塑機制，並確認碎波所引致流速u ≈ $\sqrt{gH_b}$ (H_b為碎波波高；g 為重力加速度)之強勁碎波沖刷流(swashing currents)與沖刷環流(swashing circulations)，是造成近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵影響因素，進而研提藉「岬頭效應」之重建與轉移，作為改善與防治近岸港口淤塞之因應對策，並以避免及抑制港口航道外之沖刷環流、截斷繫岸沙洲、重塑岬灣海灘，達成近岸港口複合禦防波、流、輸沙衝擊之目標；

(2) 技術創新(科技整合創新)方面：結合網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，提昇近岸港口沖淤課題探討之高度、廣度與深度，因應氣候變遷，擴展分析觀點，精進海岸經理評估策略，降低生態環境衝擊，推動「海岸防護」與「海岸保護」措施，促成國家海岸資源之永續利用；

(3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：保育生態棲地，降低生態環境衝擊，配合政府推展「海岸管理法」之永續發展目標，維護自然海岸環境，防治海岸災害，樽節經常性防沖減淤之減災與救災成本，大量減少長期性港口淤沙疏浚之維運費用；

(4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：配合「整體海岸管理計畫」，綜整海岸管理之課題與對策、導引海岸地區之有效維護措施，推展海岸利用方向，健全海岸之永續管理，改善近岸港口之經常性淤塞，消弭漁民對出海作業不便之怨言；

(5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：維繫自然平衡之海灘系統，確保自然海岸零損失，因應氣候變遷，防治海岸災害與環境破壞，保護與復育海岸資源。

1.4.2 在業務施政上的應用

本研究結合網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，歸納臺

灣環島近岸港口外廓配置形態，研判其對毗鄰海灘之沖淤影響與範圍，具體建議對於近岸港口之防沖減淤對策，無論是在規劃、設計、擴建或維護階段，皆應著重於避免或降低「離岸堤效應」及「岬頭效應」，特別是調整港口內防波堤之既有配置形態，藉以限縮港口沖刷環流之發展與抑制外防波堤後沙舌或繫岸沙洲之衍生，進而可大量減少長期性港口淤沙疏浚之人力與物力投注。相關港口淤塞防治與毗鄰海灘沖淤之改善構想，建議除了依循傳統，在港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤規劃配置上，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主外；在港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤規劃配置上，則應著重梳流、導沙、截淤效能之提昇。現況本於因勢利導、順勢而為之準則，可採行之防治對策與措施，包括：面對「岬頭效應」，並藉「岬頭效應」之重建與轉移，將港口既有具雙突堤形態之 ***I*** 型外防波堤，皆調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以禦防偏正向卓越入射波浪之直接衝擊，並導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘，進而達成近岸港口複合禦防波、流、輸沙衝擊之目標，減少長期性港口淤沙疏浚人力與物力之大量投注。相關成果可提供行政院農委會漁業署、交通部、各港務分公司、內政部、經濟部水利署、各工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。推動並落實總體性之海岸保育與防災策略，樽節年度防沖減淤經費之投注。

第二章 臺灣海域的地象與海氣象環境

2.1 地形水深

臺灣位於東亞大陸棚架上，東部海岸面對深邃的太平洋，西部海岸緊鄰臺灣海峽，北部及南部海岸分別由東海及南海所環繞。近岸海域之地形水深，如圖 2-1 所示。由圖上色階或水深等值線變化可看出，在臺灣環島近岸海域存在有海峽、海脊、海槽、海谷、深溝、凹陷、隆起等複雜的地形構造。其間，在臺灣海峽之中北部，明顯可見兩個呈東北－西南走向的凹陷，在桃園外海的凹陷稱為「觀音凹陷」，最深處水深超過 80 米；鄰近烏坵海域南側的凹陷稱為「烏坵凹陷」，水深較淺；在海峽中間，由彰化、雲林海岸向西北延伸約達臺灣海峽中線附近且呈東西走向的水下隆起沙體地形稱為「雲彰隆起」，水深約在 50 米以內；在臺灣海峽的南部海域，於澎湖群島與嘉義海岸間存在有俗稱黑水溝的「澎湖水道」，此海溝水道北由「雲彰隆起」南側起，向南呈喇叭狀開口，水深由北端 60 米起往南驟增，水道開口端水深可約達 1000 米；於澎湖水道以西及臺灣海峽西南端海域尚有一片淺灘地形，俗稱「臺灣灘」，淺灘上水深僅約 20 米左右(詹，2002；劉，2002；莊、江，2005)。

2.2 風與波浪

2.2.1 風

風，是空氣自氣壓較高處向氣壓較低處流動的氣動力現象。基於地理位置及海域環境因素，臺灣四季的風，明顯會受大陸及海洋氣候形態所影響。在冬季，有來自西伯利亞的大陸冷高壓，以東北季風為主；在夏季，則有來自太平洋的海洋性高氣壓，以西南季風為主，部分期間，尚由於熱帶海洋上會發生低氣壓的漩渦或熱帶氣旋，當其近海面最大

風速到達或超過每小時 62 公里(17.2 m/s)時，即為「颱風」(氣象局，2017)。冬、夏季季風及颱風之相關天氣圖及風場，參見圖 2-2。

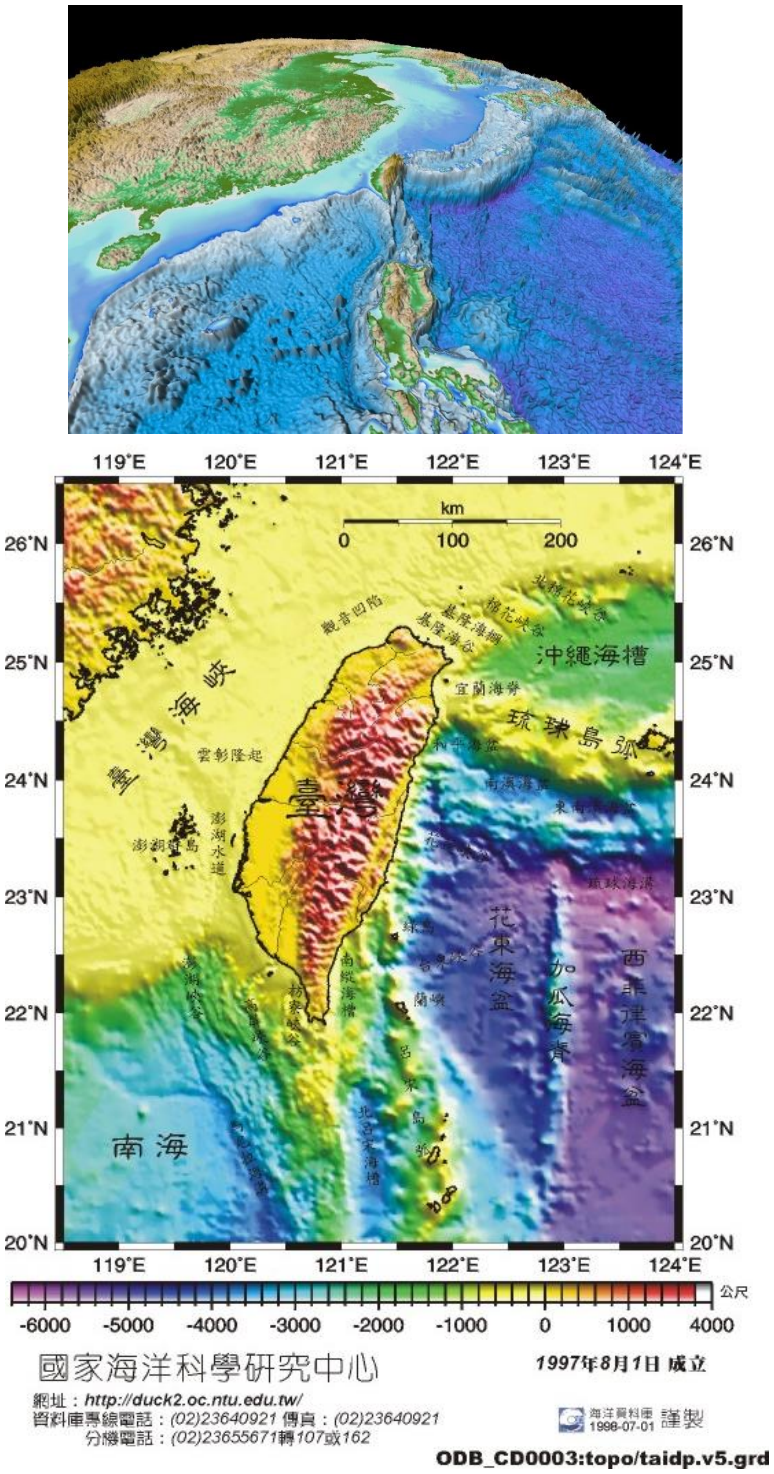
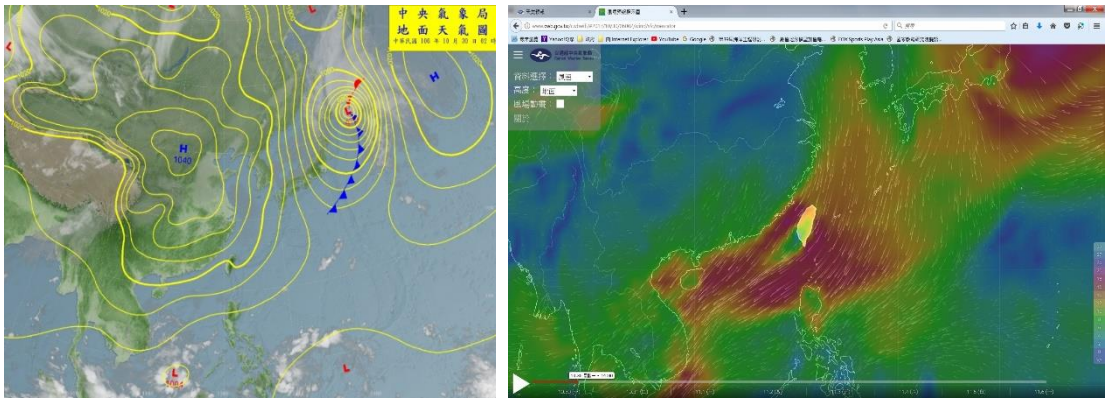
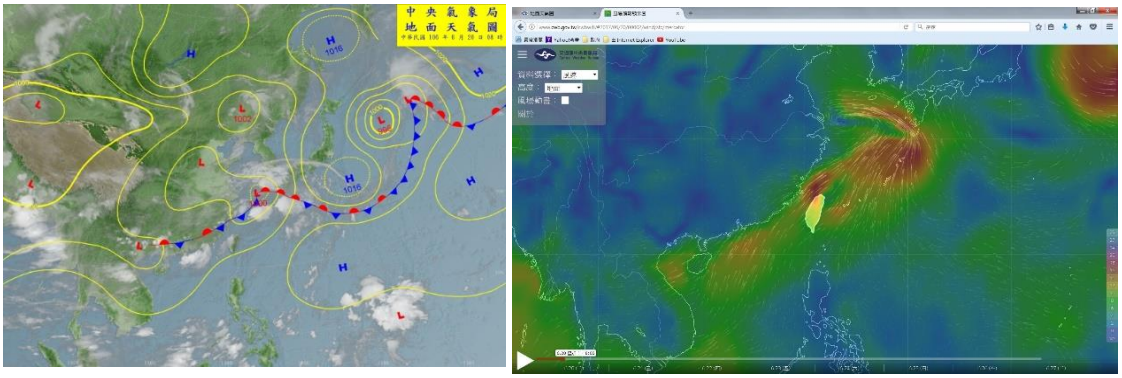


圖 2-1 臺灣環島近岸海域的水深地形



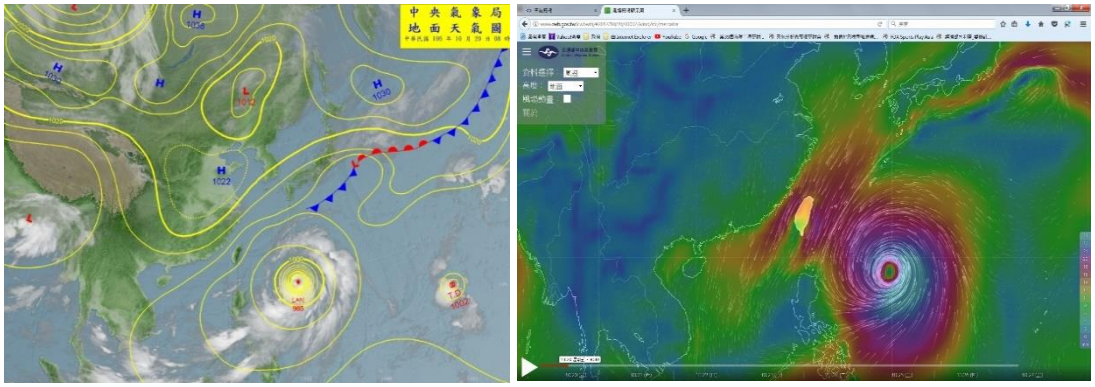
資料來源：中央氣象局 http://www.cwb.gov.tw/

圖 2-2 臺灣海域冬季 2017/10/30 02:00 之東北季風天氣系統(左)與地面風場(右)



資料來源：中央氣象局 http://www.cwb.gov.tw/

圖 2-2(續) 臺灣海域夏季 2017/06/20 08:00 之西南季風天氣系統(左)與地面風場(右)



資料來源：中央氣象局 http://www.cwb.gov.tw/

圖 2-2(續) 臺灣海域秋季 2017/10/20 08:00 蘭恩颱風之颱風天氣系統(左)與地面風場(右)

季風，主要係因海洋與陸地間季節性溫差所導致之大尺度空氣環流，並以亞洲的南部和東部最為顯著(氣象局，2017)。

臺灣位處東亞大陸與西太平洋間，概略自每年 12 月至次年 1、2 月之冬季期間，由於陸上通常較海洋寒冷，以致陸上空氣的密度較大，氣壓較高，大量寒冷而乾燥的空氣，於是因氣壓差而起風，並自陸上吹向海洋，外加科氏力(Coriolis force)之影響，因此，在東亞北緯 30 度以南地區，經常必需面對盛行的東北季風。相關冷高壓天氣系統圖，如圖 2-2 所示，經多年由圖觀察之心得發現，受大陸冷高壓天氣系統之總體影響，當 1020 百帕等高壓線逐漸伸展至臺灣海峽北側，則臺灣海域之東北季風將逐漸盛行，風速(實測 10 分鐘平均)同時也將由弱轉趨強盛，一般風速可大於 5 級或 8.0~10.7 m/s (莊、曾，2016)。特別是在基隆港、臺中港近海，僅管其地理區位不同，但季風風速之強弱起伏變動卻具有甚相近似之變動趨勢；惟風速之大小，受臺灣海峽地形及所造成「狹管效應」(氣象局，2017)的影響，皆以臺中港較強勁，一般可大於 5 級或 8.0~10.7 m/s，較強勁之風速，約可達 10 級或 24.5~28.4 m/s，且約為基隆港之三倍。這實際現象說明，區域性之地形，對風力特性影響極大，故若欲藉風速以充分反映東北季風影響臺灣海域之程度，則臺中港實際上優於基隆港，也因此，臺灣海域冬季受大陸冷高壓天氣系統影響之程度，似乎可以臺中港作代表，並可以其風速之強弱，作為季風盛行程度之簡易判別指標(莊、曾，2019)。

在夏季，概略自每年 5 月至 8 月期間，由於亞洲南部陸地溫度通常較印度洋高，風因而會從氣壓較高之海洋吹向氣壓較低之陸地，外加科氏力之偏轉效應，所以，在臺灣海峽南段海域，海氣象狀況，總體上經常皆會受梅雨鋒面、西南季風天氣系統，甚至颱風所影響。相關具體的天氣系統與對應之地面風場，參見圖 2-2 所示。西南季風之風速大小，因其主要源生於海陸間之溫差，故明確具有海陸風特性，以致平均風速普遍偏弱，通常不及 8.0 m/s，季風盛行期間，風速約可達 5 級或 8.0~10.7 m/s，但較強勁風速，鮮少會超越 10.8~13.8 m/s 或 6 級。

在基港港及臺中港近海，2016 年當年分月、分季及歷年(概約自 2000 起至 2016 止)相關季風及颱風實測風力之統計表，自運研所(2017)出版之 2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報節錄，可得如表 2-1 及表 2-2 所示；至於基隆及臺中港域，其歷年冬、夏季及全年之風玫瑰圖，經節錄整理，則可得如圖 2-3 所示。

表 2-1 基隆港海域 2016 年及歷年(概約自 2000 起至 2016 止)分月與分季之實測風力統計表

風向 年、月	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	靜風 (%)
2015/12	17.9	28.8	14.7	8.5	3.2	1.5	5.1	1.9	2.2	2.8	2.7	1.1	1.1	.7	2.3	5.8	.0
2016/01	20.6	17.2	12.2	5.2	2.3	1.9	3.1	2.2	4.7	6.0	2.0	2.8	.7	1.9	6.9	10.3	.0
2016/02	20.5	16.7	10.6	7.2	3.2	3.6	3.4	3.9	5.6	9.1	2.9	.9	.1	1.3	5.2	5.9	.0
2016/03	20.2	12.9	4.7	6.0	2.7	3.1	2.8	2.6	7.9	9.7	2.7	.9	1.2	1.7	7.0	13.8	.0
2016/04	6.4	10.8	14.9	10.1	2.4	4.3	4.3	3.2	7.2	13.3	7.1	1.3	.8	.8	4.4	8.6	.0
2016/05	6.7	12.0	17.3	8.9	6.9	5.0	4.4	2.8	11.0	8.3	3.6	1.9	1.2	1.1	3.9	4.8	.1
2016/06	7.5	6.9	7.4	5.4	3.1	2.4	3.3	6.0	16.3	20.4	8.6	3.5	1.5	1.0	2.6	4.2	.0
2016/07	5.0	4.4	8.7	6.3	8.7	5.8	9.1	5.4	14.4	14.8	7.7	1.9	.4	1.1	3.0	3.4	.0
2016/08	6.9	10.9	6.9	2.8	3.8	8.1	15.9	4.2	7.3	9.4	7.1	3.9	.7	.7	1.9	9.8	.0
2016/09	7.2	11.0	14.3	13.6	6.0	4.9	7.1	6.8	4.4	6.8	3.3	1.9	1.3	2.4	4.6	4.4	.0
2016/10	3.8	22.4	13.3	5.5	14.5	7.7	9.9	4.3	2.4	3.0	1.6	.5	.1	.5	4.2	6.2	.0
2016/11	7.9	23.9	15.4	8.5	6.4	4.3	6.0	3.9	5.0	6.9	3.9	.4	.1	.3	2.9	4.2	.0
2016/冬	19.6	21.0	12.5	7.0	2.9	2.3	3.9	2.6	4.1	5.9	2.5	1.6	.6	1.3	4.8	7.4	.0
2016/春	11.1	11.9	12.3	8.3	4.0	4.1	3.8	2.9	8.7	10.4	4.4	1.4	1.1	1.2	5.1	9.1	.0
2016/夏	6.4	7.4	7.7	4.8	5.2	5.4	9.5	5.2	12.6	14.8	7.8	3.1	.9	.9	2.5	5.8	.0
2016/秋	6.3	19.1	14.3	9.2	9.0	5.6	7.7	5.0	3.9	5.5	2.9	1.0	.5	1.1	3.9	4.9	.0
2016/年	10.9	14.8	11.7	7.3	5.3	4.4	6.2	3.9	7.4	9.2	4.4	1.8	.8	1.1	4.1	6.8	.0
歷年/12	13.2	19.1	18.9	12.4	7.7	3.6	3.2	2.5	3.3	3.9	3.4	1.6	.9	.7	1.5	3.1	.9
歷年/01	15.8	20.6	18.4	12.6	4.0	2.3	2.2	1.8	3.9	5.5	3.1	1.4	.8	.8	2.1	4.0	.7
歷年/02	15.7	16.5	14.1	11.1	3.9	2.7	2.3	2.7	4.8	5.7	4.9	2.3	1.0	1.2	4.2	5.9	.9
歷年/03	14.5	18.7	13.2	8.6	3.7	2.8	2.8	2.8	6.0	7.2	4.5	2.0	1.3	1.1	4.0	5.6	1.3
歷年/04	10.9	13.5	13.4	9.3	4.4	4.5	4.8	4.5	7.4	8.8	6.2	2.3	1.5	.9	2.7	4.3	.8
歷年/05	9.4	11.2	13.6	8.8	5.4	4.6	4.3	4.8	8.0	9.2	6.7	3.4	1.7	1.0	2.7	4.4	.9
歷年/06	10.1	9.6	11.4	6.5	3.8	2.7	3.4	4.7	8.7	12.8	10.3	4.3	2.0	1.3	3.0	4.4	1.0
歷年/07	7.7	7.4	8.3	4.8	4.3	3.9	8.3	7.0	10.1	13.0	10.9	4.0	1.8	1.1	2.9	3.9	.6
歷年/08	7.6	7.7	8.4	5.0	5.8	6.9	7.2	7.1	8.2	10.6	9.9	4.7	2.2	1.0	2.7	4.5	.4
歷年/09	9.2	10.2	15.3	10.6	8.7	7.3	6.8	6.6	4.7	5.4	4.4	2.7	1.3	.8	2.3	3.2	.4
歷年/10	13.7	20.9	21.9	12.4	6.9	5.0	4.1	2.0	2.7	3.1	1.6	.6	.3	.3	1.3	2.8	.4
歷年/11	10.7	17.4	20.8	15.9	6.8	4.9	4.3	2.8	3.0	3.9	2.6	1.2	.6	.4	1.4	2.4	.8
歷年/冬	14.9	18.8	17.3	12.1	5.2	2.9	2.6	2.3	3.9	5.0	3.8	1.7	.9	.9	2.6	4.3	.9
歷年/春	11.6	14.5	13.4	8.9	4.5	3.9	4.0	4.0	7.1	8.4	5.8	2.6	1.5	1.0	3.1	4.7	1.0
歷年/夏	8.5	8.2	9.3	5.4	4.6	4.6	6.3	6.3	9.0	12.1	10.4	4.3	2.0	1.1	2.8	4.3	.7
歷年/秋	11.2	16.2	19.4	13.0	7.4	5.7	5.1	3.8	3.5	4.1	2.8	1.5	.7	.5	1.7	2.8	.5
歷年/年	11.5	14.4	14.8	9.8	5.4	4.3	4.5	4.1	5.9	7.4	5.7	2.5	1.3	.9	2.6	4.0	.8

DISW5ZD.BAT 港灣技術研究中心

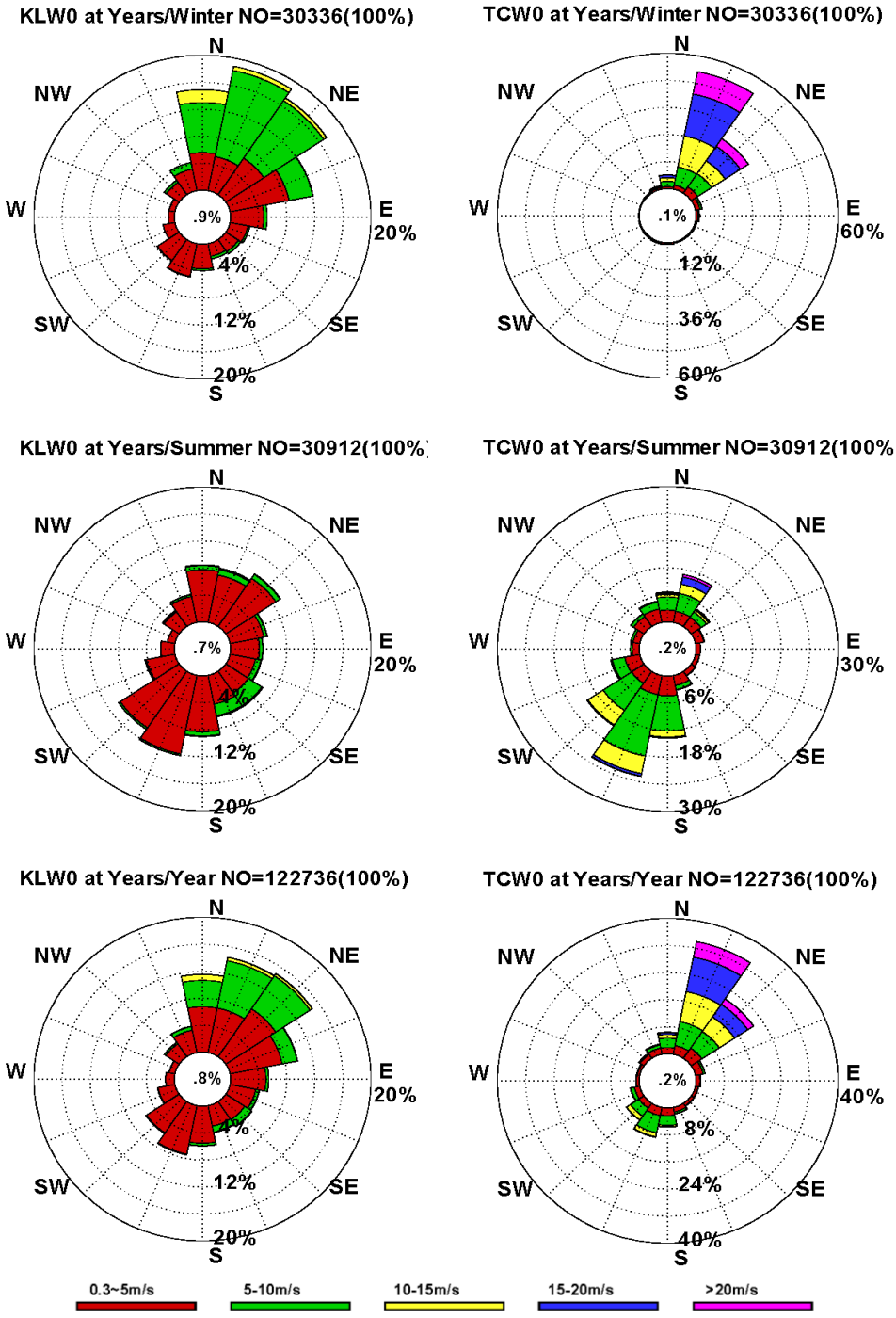
資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

表 2-2 臺中港海域 2016 年及歷年(概約自 2000 起至 2016 止)分月與分季之實測風力統計表

風向 年、月	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	靜風 (%)
2015/12	4.8	66.4	22.0	1.7	.4	.4	.3	.3	.5	.3	.1	.0	.0	.1	.4	2.2	.0
2016/01	6.0	64.5	27.8	.7	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.5	.0
2016/02	4.5	59.9	24.1	.7	.6	.4	1.3	.4	2.2	2.4	.9	.7	.3	.3	.4	.9	.0
2016/03	5.6	46.8	32.7	2.0	.5	.5	.4	1.2	1.6	2.0	1.1	1.2	.0	.3	1.6	2.2	.3
2016/04	11.1	25.0	11.0	1.5	1.0	.7	.8	1.8	6.3	17.2	10.8	4.2	.8	.7	2.4	4.0	.7
2016/05	5.0	18.5	16.9	2.8	1.3	.7	.9	2.4	6.6	17.6	16.1	3.6	1.1	.9	1.6	3.1	.7
2016/06	3.2	2.1	2.4	3.1	1.9	1.1	.8	4.3	16.9	28.8	20.3	5.6	1.4	1.0	3.3	3.3	.6
2016/07	2.7	8.5	1.5	2.0	.5	.9	1.1	4.7	12.0	33.1	17.3	5.5	1.7	2.7	1.7	3.9	.1
2016/08	9.4	18.8	11.6	3.8	2.8	2.2	2.0	3.6	6.5	8.6	6.6	5.6	3.8	2.4	4.3	6.9	1.2
2016/09	5.1	32.8	18.3	3.3	.7	.7	1.1	4.2	11.7	13.3	4.4	.7	1.1	.7	.8	1.0	.0
2016/10	6.6	43.0	17.9	3.8	1.9	1.1	.8	1.3	3.0	5.0	5.5	1.6	1.6	.7	1.5	4.0	.8
2016/11	5.6	50.1	26.8	2.2	1.4	.3	.7	1.5	1.7	1.9	1.4	1.1	.3	.3	1.1	2.2	1.4
2016/冬	5.1	63.7	24.7	1.1	.4	.3	.5	.2	.9	.9	.3	.2	.1	.1	.3	1.2	.0
2016/春	7.2	30.2	20.3	2.1	1.0	.6	.7	1.8	4.8	12.2	9.3	3.0	.6	.6	1.9	3.1	.5
2016/夏	5.1	9.9	5.2	2.9	1.8	1.4	1.3	4.2	11.7	23.4	14.7	5.6	2.3	2.0	3.1	4.7	.6
2016/秋	5.8	42.0	21.0	3.1	1.3	.7	.9	2.3	5.4	6.7	3.8	1.1	1.0	.5	1.1	2.4	.7
2016/年	5.8	36.3	17.7	2.3	1.1	.8	.9	2.2	5.7	10.8	7.1	2.5	1.0	.8	1.6	2.9	.5
歷年/12	4.1	51.5	35.1	3.3	1.4	.6	.5	.4	.3	.4	.3	.2	.1	.1	.5	1.0	.0
歷年/01	6.4	58.9	26.6	2.6	1.1	.5	.3	.3	.3	.2	.1	.2	.1	.2	.5	1.6	.0
歷年/02	8.0	48.4	25.2	3.0	2.0	1.1	.7	.8	1.8	2.1	1.6	1.0	.5	.5	1.0	2.5	.1
歷年/03	7.6	36.7	30.0	3.0	2.0	.9	.9	1.4	2.1	4.0	2.7	1.9	.8	.7	1.6	3.5	.3
歷年/04	6.7	28.4	22.2	3.4	2.3	1.5	2.1	3.9	5.0	8.7	5.8	2.9	1.1	.8	1.7	3.5	.1
歷年/05	7.0	21.7	16.1	2.6	.9	1.1	1.0	2.3	7.6	15.0	11.6	4.0	1.3	1.4	2.3	3.8	.2
歷年/06	4.7	12.7	6.5	1.8	.7	.4	.9	2.4	14.5	26.3	17.3	4.5	1.2	1.3	2.0	2.9	.2
歷年/07	6.9	10.1	2.8	1.6	.7	1.0	1.0	3.1	12.3	24.4	15.4	7.4	1.9	2.2	3.7	5.4	.2
歷年/08	8.2	9.8	4.9	2.5	1.5	1.3	1.7	4.4	14.6	17.8	10.8	6.7	2.5	2.3	4.5	6.2	.2
歷年/09	8.2	31.6	19.5	3.9	1.9	1.5	2.0	3.6	6.7	6.3	3.7	2.6	1.3	.8	1.9	3.5	1.1
歷年/10	3.5	51.6	31.9	2.6	1.1	.7	.4	.7	1.3	1.8	1.3	.6	.3	.2	.5	1.4	.2
歷年/11	5.7	46.3	32.8	3.3	1.3	.8	.7	.7	1.6	1.7	.8	.7	.4	.4	.8	1.9	.2
歷年/冬	6.1	53.1	29.1	2.9	1.5	.7	.5	.5	.8	.9	.6	.4	.2	.3	.6	1.7	.1
歷年/春	7.1	28.9	22.8	3.0	1.7	1.2	1.3	2.5	4.9	9.3	6.7	2.9	1.1	1.0	1.8	3.6	.2
歷年/夏	6.6	10.8	4.7	2.0	1.0	.9	1.2	3.3	13.8	22.8	14.5	6.2	1.9	1.9	3.4	4.8	.2
歷年/秋	5.8	43.2	28.1	3.3	1.4	1.0	1.0	1.6	3.2	3.2	1.9	1.3	.7	.5	1.1	2.2	.5
歷年/年	6.4	33.9	21.1	2.8	1.4	.9	1.0	2.0	5.7	9.1	6.0	2.7	1.0	.9	1.7	3.1	.2

DISW5ZD.BAT 港灣技術研究中心

資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）



資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

圖 2-3 基隆(左)及臺中(右)港域概約自 2000 年起至 2016 年止歷年冬(上)、夏(中)季及全年(下)之風玫瑰圖

2.2.2 波浪

波浪，通常係因風而興起，因此，有「風生水起」、「無風不起浪」之俗諺。在海洋學之領域中，此種因移動風暴、颱風、或強盛季風等風力作用所衍生之波動，統稱為風浪(wind waves)。風浪之大小或所挾帶能量之高低，主要取決於風速之強弱、風域之範圍、及風力之持續吹襲時間。主要週期大多小於 30 秒，而且，週期約在 8~10 秒間之風浪，相對性地具有最大之波動能量(Munk, 1951)。

湧浪(swells)，學理上係專指離開風域或失去原生風力影響之風浪，故與颱風或強盛季風之存在息息相關，又因其通常具有較規則之波動或較長之週期，所以，通俗上亦稱為“長浪”，且常與“瘋狗浪”產生關聯(莊、曾，2015；2016；2017；2019)。

在夏季有颱風，冬季有東北季風情況下，臺灣近岸灘區及港口因而必須經年面對不同特性波浪之侵襲。其中，特別是颱風長浪，因其波動傳播速度，於颱風生成時，估計約可達 33 公里/時，或 800 公里/天(莊、曾，2015；2017；2019)，普遍較風域之移動速度快，所挾帶之能量較大，可傳播之距離甚遠，在近岸更會因波動本質之非線性群聚演化及阻塞作用而擁積及推疊，以致波高大幅放大，甚至引發突如其來的巨浪，或衍生瘋狗浪，進而對自然海灘環境及民眾之生命財產造成危害，因此，相關其生成、發展、傳播、演化及衝擊影響等課題(莊 等，2016；莊、曾，2017；2019)，長久以來，即普遍受到關注與重視。

至於臺灣海域夏季颱風與冬季季風波浪之近岸觀測特性，在綜合考量風域與區域地形水深對波浪生成與傳播之綜合影響效應下，莊、曾(2015、2016、2019)曾應用交通部運輸研究所港灣技術研究中心在國內五大商港海域所建置之海氣象(風、浪、潮、流)即時監測與傳輸顯示系統(曾 等，2015)，針對 2013 年 7 月至 2016 年 2 月期間，分月檢視海氣象測站間之觀測時序紀錄，其中，部分夏季颱風與冬季季風波浪之分月逐時觀測紀錄，分別如圖 2-4 及圖 2-5 所示。

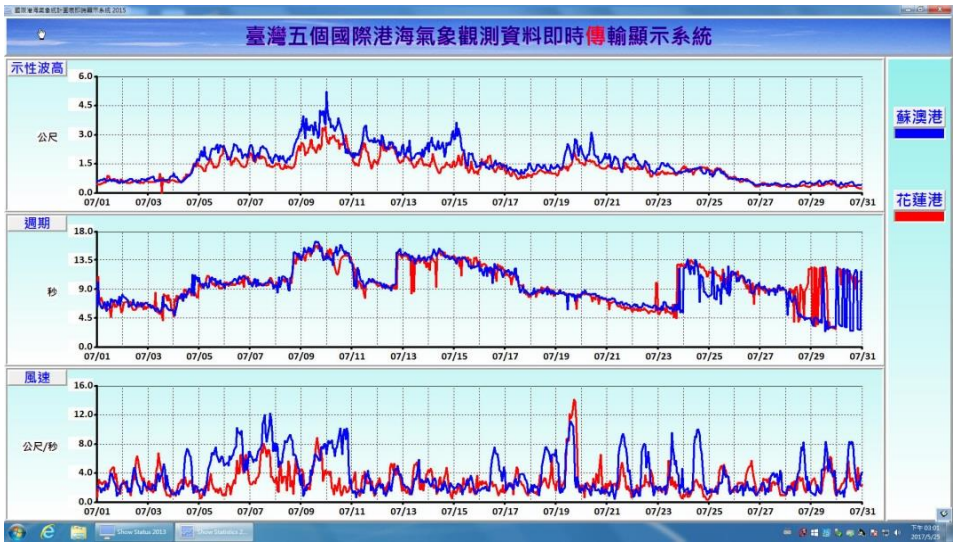


圖 2-4　蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2015 年 7 月夏季颱風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)逐時變化歷程之對照比較

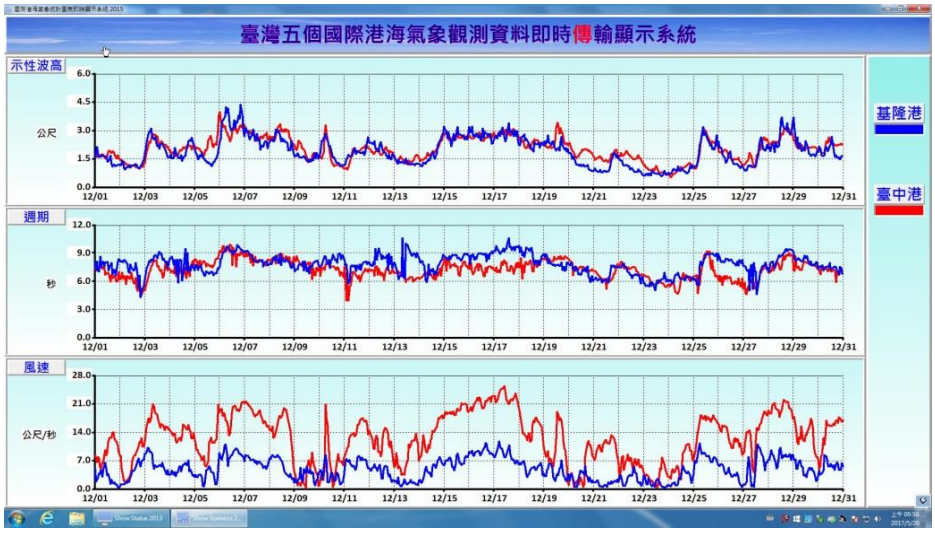


圖 2-5 基隆港(藍)與臺中港(紅)在 2015 年 12 月冬季季風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)逐時變化歷程之對照比較

隨後，綜合圖 2-2 至圖 2-5 觀察冬季季風波浪可見，基於臺灣海域係受相同鋒面或季風系統所影響，位處臺灣北部之基隆港與位處中西部之臺中港，僅管兩港距離遙遠(沿海約 200 公里)，但季風波浪所衍生之示性波高(H_s)及尖峰週期(T_p)，仍皆具有極相近似之逐時變化歷程，特別是在臺中港，因在季風期中，該港明確比國內其他各大商港具有較強風速，因此，該港之風速，不僅可用以作為推衍冬季季風波浪之代表風速，尚可據以作為冬季季風強盛性之研判指標(莊、曾，2016)。其中，特別值得注意的是，在東北季風盛行期，臺灣環島海域之季風波浪，較大之示性波高，大多發生在基隆港，且較大之波高，可超過 3.0 公尺，最大甚至可達 6.0 公尺；而其尖峰週期，普遍約介在 5~10 秒間，最長之尖峰週期，即使在高達 10 級或 24.5~28.4 m/s 之強烈季風作用下，仍普遍均低於 12 秒，且不會陳現像颱風波浪週期所特殊具有之突昇變動現象(莊、曾，2015)。此外，在冬季季風期間，基隆港與臺中港之示性波高，相關性甚良好，相關係數約介在 0.900~0.728 間；惟尖峰週期與二階譜週期(T_{m02})，由於週期值較集中，長短差異低，一般不及 12 秒，以致在部分月份，相關性普遍偏低，相關係數最高分別僅達 0.482 與 0.735，參見表 2-3。僅管如此，單純依據波高相關性，依舊可判定基隆港的季風波浪，仍與臺中港彼此充分關聯，有所差別的，僅是基隆港觀測的波高與週期，皆略大於臺中港而已(莊、曾，2017)。

表 2-3 基隆港與臺中港 2013 至 2016 年冬季季風期分月監測波浪示性波高(H_s)、尖峰週期(T_p)及二階譜週期(T_{m02})之相關係數

項目 / 年/月	H_s	T_p	T_{m02}
	相關係數	相關係數	相關係數
2013/12	0.734	0.135	0.241
2014/01	0.836	0.362	0.288
2014/02	0.766	-0.015	0.162
2014/12	0.813	0.007	-0.066
2015/01	0.801	0.101	-0.337
2015/02	0.728	-0.198	-0.455
2015/12	0.826	0.476	0.648
2016/01	0.843	0.399	0.735
2016/02	0.900	0.482	0.573

另外，在遼闊海洋中，若風域具有無限吹送距離與無限延時，則發展成熟之波浪，依據 SMB (Sverdrup-Munk-Bretschneider, 1952)風浪推算、預報公式，可得尖峰週期(T_p)及示性波高(H_s)分別與海面上 10m 處風速U_{10}之一次與二次方關係為：

$$T_p = 0.8265U_{10} \quad \text{.....(2-1)}$$

$$H_s = 0.0245U_{10}^2 \quad \text{.....(2-2)}$$

據此，首先針對臺中港與基隆港之監測波高：H_{TC}與H_{KL}，整理其與臺中港季風風速V_{TC}二次方之關聯圖，因而可得如圖 2-6 所示，計算其對應之相關係數分別可達 0.869 及 0.770，而進行迴歸分析，並依據式(2-2)之型式計算，可得

$$H_{TC} = 1.18 + 0.004V_{TC}^2 \quad \text{.....(2-3)}$$

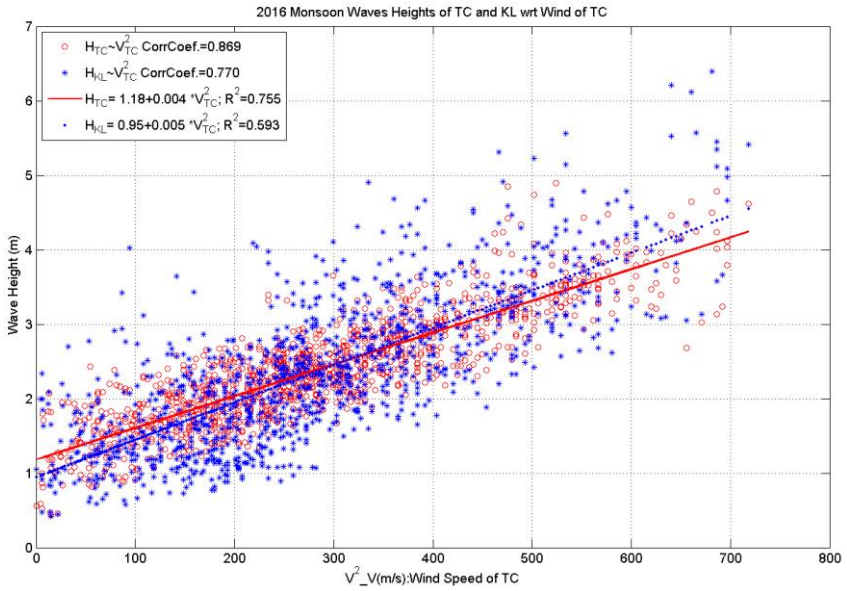
$$H_{KL} = 0.95 + 0.005V_{TC}^2 \quad \text{.....(2-4)}$$

其推定係數(R^2)分別亦可達 0.755 及 0.593。值得一提的是，式(2-3)及式(2-4)中，波高與風速平方間之換算係數 0.004 或 0.005，實際與一般水動力模擬風剪力之風摩擦係數(friction coefficient) 0.0026 甚近似。這意謂冬季季風對臺灣北部及中西部海域之季風波浪具有總體影響性，且風速可以臺中港作為示性代表。又針對臺中港與基隆港季風波浪之監測週期T_{TC}與T_{KL}，整理其與臺中港季風風速一次方之關聯圖，因而可得如圖 2-7 所示，計算其對應之相關係數分別為 0.543 及 0.614，而進行迴歸分析，並依據式(2-1)之型式計算，可得

$$T_{TC} = 5.28 + 0.134\,V_{TC} \quad \text{.....(2-5)}$$

$$T_{KL} = 5.91 + 0.167\,V_{TC} \quad \text{.....(2-6)}$$

其推定係數分別僅約為 0.295 及 0.377。這意謂臺灣北部及中西部海域之季風波浪，其週期長短僅約略與風速之強弱相關，但不會隨風速而陳現明顯變化。



Monsoon Wave Height of SA and HL wrt Wind of TC 2016.emf

圖 2-6 冬季季風期間臺灣西部海岸臺中港(紅)及北部海岸基隆港(藍)之季風波浪示性波高與臺中港風速二次方之關聯圖

Monsoon Wave Periods and Wind Speed of TC 2016.emf

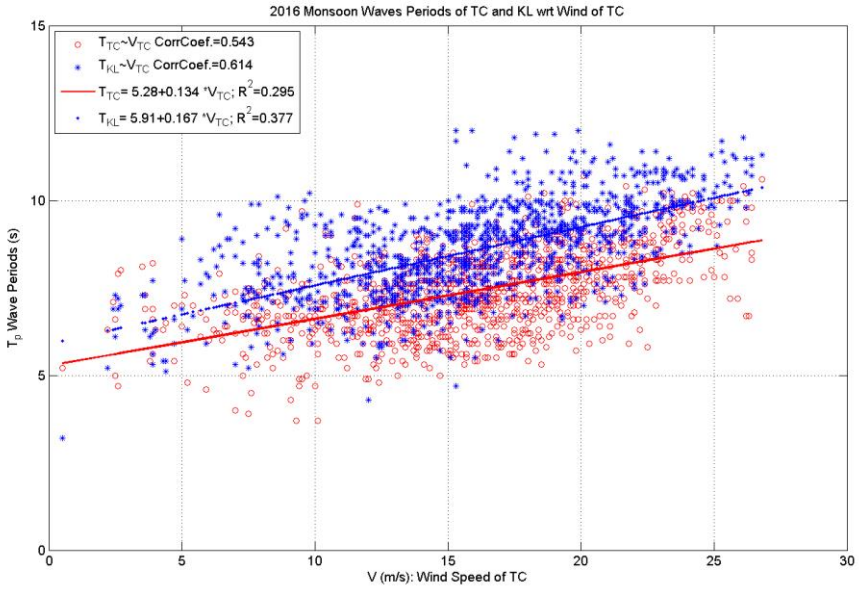


圖 2-7 冬季季風期間臺灣西部海岸臺中港(紅)及北部海岸基隆港(藍)之季風波浪尖峰週期與臺中港風速之關聯圖

其次，針對蘇澳港與花蓮港季風期之監測波高：H_{SA}與H_{HL}，整理其與臺中港季風風速V_{TC}二次方之關聯圖，因而可得如圖 2-8 所示，計算其對應之相關係數分別可達 0.598 及 0.617，而進行迴歸分析，並依據式(2-2)之型式計算，可得

$$H_{SA} = 1.24 + 0.0014 V_{TC}^2 \quad \text{.....(2-7)}$$

$$H_{HL} = 1.13 + 0.0019 V_{TC}^2 \quad \text{.....(2-8)}$$

其推定係數分別可達 0.358 及 0.381，且式(2-7)及式(2-8)中，波高與風速平方間之換算係數 0.0014 或 0.0019，實際與一般水動力模擬風剪力之風摩擦係數(friction coefficient) 0.0026 亦甚近似。

接著，針對蘇澳港與花蓮港之季風波浪週期：T_{SA}與T_{HL}，整理其與臺中港季風風速一次方之關聯圖，因而可得如圖 2-9 所示，計算其對應之相關係數，分別為 0.434 及 0.378，而進行迴歸分析，並依據式(2-1)之型式計算，可得

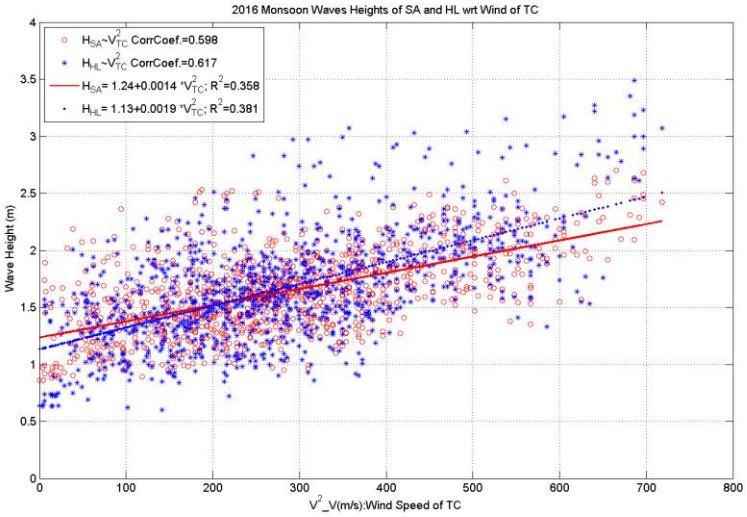
$$T_{SA} = 7.33 + 0.115\, V_{TC} \quad \text{.....(2-9)}$$

$$T_{HL} = 7.73 + 0.090\, V_{TC} \quad \text{.....(2-10)}$$

計算其推定係數，分別僅約為 0.188 及 0.143。這說明冬季季風對臺灣東部及中西部海域之波高，總體上同樣具有影響性，如圖 2-10 所示，且風速可以臺中港作為示性代表；惟臺灣東部海域季風波浪之週期長短，僅概約與季風風速強弱相關，且不會隨風速而陳現明顯變化。

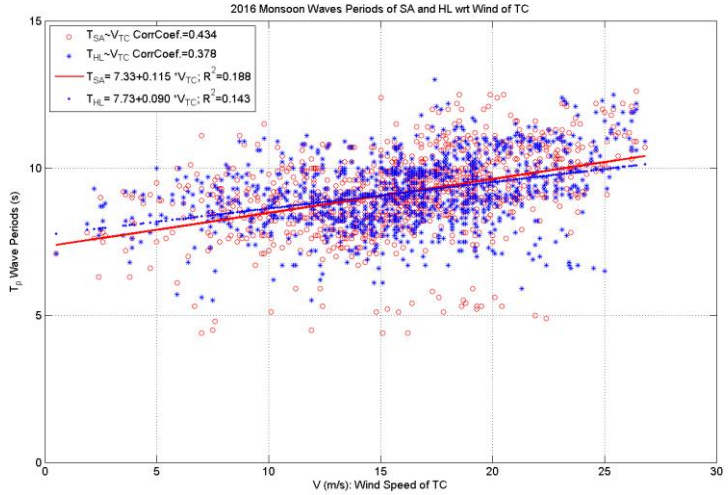
最後，針對夏季期間之颱風波浪，在臺灣東部海域，由於其直接面對深邃的西太平洋，加以近岸海灘坡度陡峭，海域地形水深環境甚相類似，故而自原生海域傳達近海之颱風波浪，受海岸及陸地岬頭地形遮蔽影響所衍生之淺海效應甚為有限，以致同處在東部海域之蘇澳港及花蓮港，無論颱風行進路徑、強度變化之影響，颱風波浪之波高與週期，均約略具有近似相同之逐時演化特性(莊、曾，2015；2017；2019)。廣泛綜整蘇澳港與花蓮港在 2013 年 8 月、2014 年與 2015 年 7 月、8 月

之波浪與風速分月逐時變化歷程，再檢視夏季颱風影響期間蘇澳港與花蓮港波浪之關聯性，進一步可將蘇澳港與花蓮港各分月逐時之示性波高、尖峰週期與二階譜週期分別綜整，如圖 2-11 所示，而對應之相關係數，則可統整如表 2-4 所示。



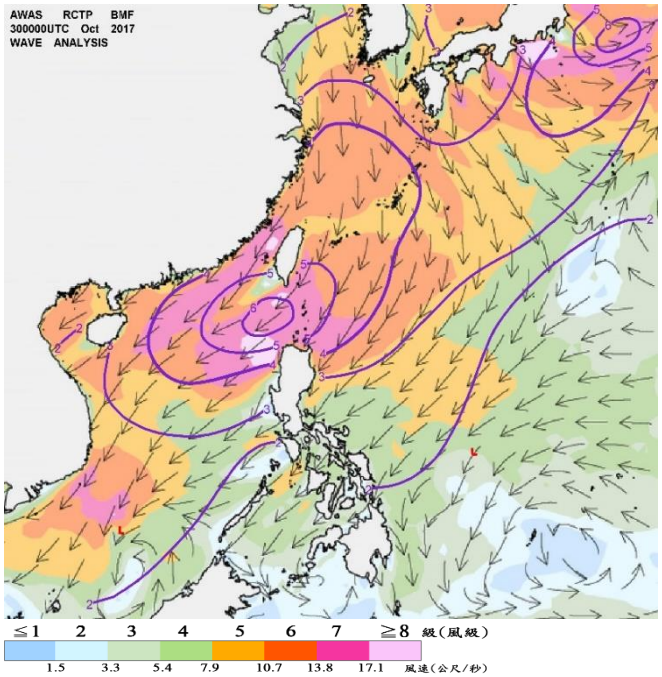
Monsoon Wave Height of SA and HL wrt Wind of TC 2016.emf

圖 2-8 冬季季風期間臺灣東部海岸蘇澳港(紅)及花蓮港(藍)之季風波浪示性波高與臺中港風速二次方之關聯圖



Monsoon Wave Periods of SA and HL wrt Wind of TC 2016.emf

圖 2-9 冬季季風期間臺灣東部海岸蘇澳港(紅)及花蓮港(藍)之季風波浪尖峰週期與臺中港風速之關聯圖



資料來源：中央氣象局，2017_1030_0000UTC_FI12_波浪分析圖.jpg

圖 2-10 冬季季風(色階及箭尺)對臺灣東部及中西部海域長浪波高(等值線)所具有總體上之影響性

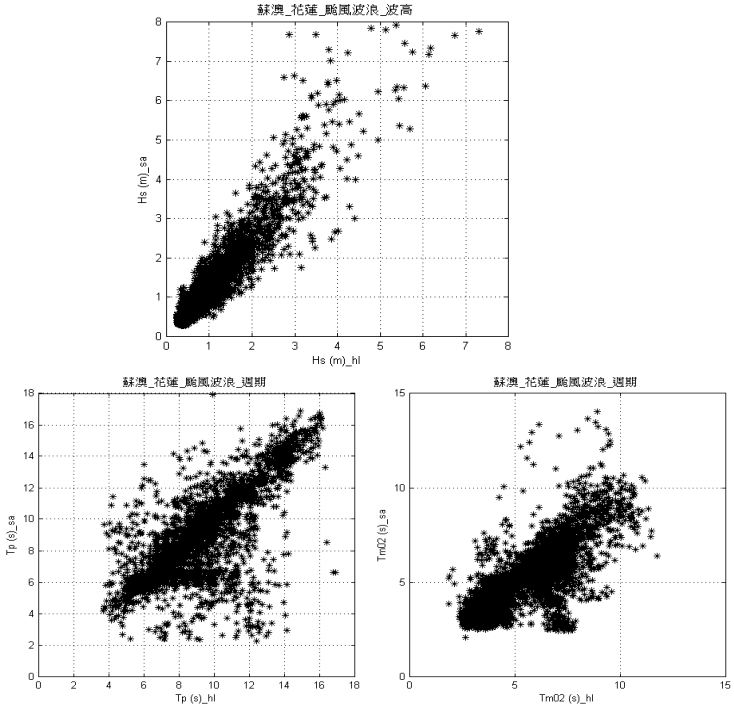


圖 2-11 蘇澳港與花蓮港自 2013 年至 2015 年 7 月與 8 月夏季颱風期監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(下左)及二階譜週期(下右)之關聯性

表 2-4 蘇澳港與花蓮港 2013 至 2015 年夏季颱風期分月監測波浪示性波高(H_s)、尖峰週期(T_p)及二階譜週期(T_{m02})之相關係數

項目 / 年/月	H_s	T_p	T_{m02}
	相關係數	相關係數	相關係數
2013/07	0.872	0.802	0.759
2013/08	0.926	0.483	0.647
2014/07	0.962	0.758	0.901
2014/08	0.928	0.838	0.881
2015/07	0.891	0.618	0.670
2015/08	0.963	0.681	0.768

綜合觀察圖 2-11 及表 2-4 可見，在夏季颱風影響期間，蘇澳港與花蓮港之波浪，示性波高的相關係數普遍均甚高，約介在 0.872~0.963 間；尖峰週期與二階譜週期的相關係數亦甚良好，最高分別可達 0.838 與 0.901，最低仍有 0.483 與 0.647。因此可據以確認，蘇澳港與花蓮港之波浪，彼此確實皆具有極高之關聯性，且可進一步應用以作為不同海象測站間颱風波浪監測紀錄之品管，特別是作為交互檢校及補遺之參考依據。有所差別的，僅是蘇澳港觀測的示性波高，一般略大於花蓮港而已。

至於西南季風波浪之觀測特性，莊、曾(2017)曾就臺灣海峽南段海域，自中央氣象局之即時海況資訊網，檢選具有區域代表特性之東沙島、七美、小琉球等三處資料浮標，再擷取並彙整其自 2017 年 5 月 8 日 11 時至 7 月 28 日 0 時共計約 80 日無颱風影響期間之實測逐時監測紀錄，經統計分析，可得示性波高(H_s)、二階譜週期(T_{m02})或稱平均週期、平均風速大小之詳細區間分布，如表 2-5 所示。由表綜合觀察可見，在夏季季風天氣系統之總體影響下，臺灣海峽南段海域，無論季風是否強盛，波浪與風速一般皆甚和緩，示性波高普遍低於 2 公尺，較大者亦不過 3 公尺；二階譜週期大多在 8 秒以下，且通常小於 6 秒；另外，再將三處資料浮標間之海氣象透過相關性分析可發現，東沙島與七美二資料浮標，不僅實際風速強弱之逐時變化歷程均甚相近似，波高大小亦概略會隨同風速強弱逐時變化而消長，彼此間風速及波高之相關係數分別可

達 0.614 與 0.782，因此，可互為代表並據以直接陳現區域性之海氣象特性，惟總體代表性，仍以東沙島較佳。

表 2-5 臺灣海峽南段海域東沙島、七美、小琉球資料浮標於 2017 年 5 月 8 日至 7 月 28 日期間實測波高、週期、風速之統計分析

測站	示性波高 (m)		
	< 1.0 (%)	< 2.0 (%)	< 3.0 (%)
東沙島	48.32	91.59	99.84
七美	45.48	95.33	99.69
小琉球	74.35	98.69	100.00
測站	二階譜週期 (s)		
	< 6.0 (%)	< 8.0 (%)	< 10.0 (%)
東沙島	90.95	100.00	100.00
七美	97.77	100.00	100.00
小琉球	90.33	99.95	100.00
測站	平均風速 (m/s)		
	< 7.9 (4 級) (%)	< 10.7 (5 級) (%)	< 13.8 (6 級) (%)
東沙島	89.41	99.41	100.00
七美	90.98	99.13	99.89
小琉球	90.55	99.19	99.95

位處在臺灣環島之近岸灘區及港口，在夏季颱風及冬季東北季風盛行情況下，因而經年必須面對颱風與季風波浪之侵襲。相關臺灣環島之季風波浪型態，經摘錄內政部 2017 年經核定之「整體海岸管理計畫」內文說明，可參見表 2-6 所示；而歷年冬季臺灣 12 個港域主要測站實測示性波高、週期及波向之統計結果，經摘錄交通部運輸研究所港出版之「2014 年港灣海氣象觀測資料統計年報」，可參見表 2-7 所示。

此外，張 等(2016)為分析臺灣環島海域波浪之長期變遷趨勢，曾採用 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，推算七大主要商港港口 10 年重現期之設計波高，結果經摘錄如表 2-8 所示，由表觀察可見，臺灣東部海岸之蘇澳港與花蓮港，較嚴峻之海況，波高將可達 8.6 公尺以上；而在臺灣西部海岸之臺北港、臺中港、安平港及高雄港，較嚴峻海況，波高仍可達 5.81 公尺以上。

在臺灣環島 12 個主要港域測站，概約自 2000 年起至 2016 年止，歷年夏季、冬季及年際示性波高、週期及波向統計表，經摘錄交通部運

輸研究所(2017)出版之「2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報」，分別可得如表 2-9 至表 2-11 所示；相關臺灣西部基隆、臺北、臺中、布袋、安平、高雄海域歷年(2000~2016)觀測波浪之夏季、冬季與年際統計玫瑰圖，分別如圖 2-12、圖 2-13 與圖 2-14 所示；而臺灣東部蘇澳、花蓮與臺東海域歷年(2000~2016)觀測波浪之夏季、冬季與年際統計玫瑰圖，則分別如圖 2-15、圖 2-16 與圖 2-17 所示。

針對臺灣西部海域的波浪，配合表 2-9 至表 2-11，再綜合觀察圖 2-12 至圖 2-14，經比較夏季、冬季與年際的波浪統計特性可見，臺灣西部海域的波浪，波高大小隨不同海域而有變化，惟就主要波向之變異而論，實際可以臺中海域為界，將其劃分為南、北二大區域，其中，臺灣西北部含括基隆、臺北至臺中海域；而臺灣西南部則含括布袋、安平至高雄海域。因此，在夏季西南季風及颱風波浪影響下，臺灣西北部海域的主要波向，除了基隆受地形限制而仍陳現東北向外，其他海域皆因波浪折射效應而偏轉至西北西至西向；而臺灣西南部海域的主要波向，則與季風波浪一致，仍維持在西南至西南西向間。對於冬季東北季風波浪之影響期間，臺灣西北部海域的主要波向，僅管仍保持在東北至北向間，但在臺灣西南部海域的主要波向，則明顯因波浪折射影響，而轉變為西北西至西向。相關年際的波浪統計特性，在臺灣西北部海域，較大波高可達 2~5 公尺，主要波向集中於東北至北向之間，而在臺灣西南部海域，波高大多小於 2 公尺，主要波向較分散，介在西南至西北西向間。

另外，針對包含蘇澳、花蓮及臺東之臺灣東部海域，由圖 2-15 至圖 2-17 綜合觀察可見，基於類同之地理區域條件，以致近海波浪特性彼此亦相近似。在夏季西南季風及颱風影響期間，蘇澳、花蓮及臺東海域的波浪，示性波高偏小，大多介在 0.5~1.5 公尺間，但較大波高，受颱風波浪影響，仍可達 2~5 公尺，主要波向，則集中於東南東至南南東間；關於冬季東北季風影響期間之波浪，示性波高較大，以 1~2 公尺為主，但在強勁東北季風期間，較大波高仍可達 2~5 公尺，主要波向，則受波浪折射效應影響，大多集中在東北東至東南東間。

表 2-6 臺灣環島海岸之季風波浪型態

區段	冬季波浪	夏季波浪
北海岸 （富貴角至三貂角）	波高約2～3 公尺，週期8～10 秒，主要波向為北-北北東向。	波高多小於 1.0 公尺，週期約 6～7 秒。主要波向多為東北向。
西北海岸 （富貴角至白砂岬）	波高約 1.5～2.5 公尺，週期 8～10 秒，主要波向為北-北北東向。	波高平均約 0.5～1.0 公尺，週期約 5～6 秒。
西海岸北部 （白砂岬至烏溪）	波高約 1～2 公尺，週期 6～8 秒，主要波向北-北北東向。	波高 0.5～1.0 公尺，週期約 6 秒。
西海岸中部 （烏溪至外傘頂洲）	波高約 0.8 公尺，週期約 7 秒，波浪性質同上，但較複雜，波浪在外海由北北東經外傘頂洲折射繞射後在近岸改為北北西向。	夏季波浪甚小，週期約 5～6 秒主要波向為西南向。
西海岸南部 （新港至曾文溪）	受外傘頂洲屏障，冬季波浪不大，波高約 1～2 公尺，週期 5～6 秒，主要波向北-西北向。	波高多小 1.0 公尺，週期約 4～6 秒，主要波向為西南向。
西南海岸 （曾文溪至貓鼻頭）	波高約小於 0.5 公尺，對應週期 6 秒，主要波向為北-西北向，但海峽中心風浪仍可影響岸邊。	波高約 0.5～1.0 公尺，週期 6～8 秒，主要波向以西南-西南西向為主。
東部海岸 （鵝鑾鼻至三貂角）	面臨太平洋，波浪不受水深影響，季風波高約 3～4 公尺，對應週期 9～10 秒，主要波向為東北-北北東向，但最大波高可達 8～9 公尺。	波高約為 1.0～2.0 公尺之間，週期多介於 6～8 秒，主要波向多為東-東南向。

資料來源：「海岸領域行動方案(102-106 年)」，內政部，103 年 5 月；摘錄自「整體海岸管理計畫」，內政部，2017。

表 2-7 歷年冬季臺灣 12 個港域主要測站示性波高、週期及波向統計

港區名稱	波高/週期/波向最大值	示性波高 (Hs)				波向				尖峰週期(Tp)			
		<0.5m (%)	0.5~1m (%)	1~5m (%)	>5 m (%)	N~E (%)	E~S (%)	S~W (%)	W~N (%)	< 6s (%)	6~8s (%)	8~10s (%)	>10s (%)
蘇澳港域	6.22/11.9/NE	.0	10.1	89.8	.0	52.0	47.2	.7	.0	5.4	35.0	49.0	10.6
花蓮港域	4.38/9.6/SE	.0	9.3	90.7	.0	23.4	75.2	1.2	.3	6.4	36.0	47.9	9.7
臺東港域	**4.60/8.8/E**	**.0**	**6.3**	**93.7**	**.0**	**28.6**	**71.2**	**.1**	**.0**	**15.1**	**82.8**	**2.0**	**.1**
基隆港域	8.14/10.1/WSW	4.6	21.2	73.8	.3	93.4	1.8	1.4	3.5	13.4	46.4	36.5	3.7
臺北港域	5.47/10.9/N	12.2	23.5	64.2	.0	68.2	2.4	2.9	26.5	26.4	53.0	19.6	1.0
臺中港域	8.44/11.1/N	3.2	8.6	87.8	.5	88.4	.2	.4	11.0	22.5	57.2	19.8	.4
布袋港域	1.72/10.2/WNW	68.2	27.7	4.1	.0	6.8	28.8	10.4	54.0	29.7	29.3	34.4	3.8
安平港域	3.52/12.6/SSW	49.0	49.0	2.0	.0	7.5	9.1	33.9	49.5	70.6	22.5	6.2	.7
高雄港域	4.06/11.8/SSW	13.5	79.2	7.3	.0	2.0	7.1	37.5	53.3	48.0	34.7	13.4	3.8
馬祖港域	6.26/8.5/NE	.3	10.5	88.6	.6	61.7	26.4	9.9	2.0	62.3	29.1	8.0	.5
金門港域	3.73/6.9/	7.9	28.4	63.7	.0	29.9	67.7	2.2	.2	91.9	8.1	.0	.0
澎湖港域	5.96/7.8/NE	8.5	12.9	78.4	.3	89.7	2.5	.8	7.0	74.2	25.6	.2	.0

資料來源：「2014 年港灣海氣象觀測資料統計年報」，交通部運輸研究所，2017。

表 2-8 臺灣環島海域國內 7 大商港 10 年重現期之建議設計波高範圍

商港	極值波高 (m)	標準偏差 (m)	建議設計波高範圍 (m)
蘇澳港	8.72	0.54	7.95~9.75
花蓮港	8.60	0.59	7.56~9.50
基隆港	7.73	0.7	6.58~8.89
臺北港	5.94	0.54	5.28~7.08
臺中港	7.25	0.44	6.52~7.98
安平港	5.81	0.41	5.25~6.59
高雄港	6.33	0.41	5.76~7.10

資料來源：「臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(4/4)」，張 等，2016。

表 2-9 臺灣環島 12 個主要港域測站概約自 2000 年起至 2016 年止歷年夏季示性波高週期及波向統計表

港區名稱	觀測點數	H_s 平均值 (m)	T_p 平均值 (s)	H_s最大值 (波高/週期/波向) (m/s/來向)	H_s < 0.5m (%)	H_s 0.5~1m (%)	H_s 1~5m (%)	H_s >5 m (%)	波向 N ~E (%)	波向 E ~S (%)	波向 S ~W (%)	波向 W ~N (%)	T_p < 6s (%)	T_p 6~8s (%)	T_p 8~10s (%)	T_p >10s (%)
臺北港域	33999(84%)	.61	5.8	6.94/ 8.7/NNE	52.5	32.7	14.7	.1	23.8	5.4	24.5	46.3	62.5	27.8	7.7	2.0
基隆港域	31563(93%)	.58	7.1	7.41/ 7.3/NNE	61.4	26.5	12.0	.2	87.7	4.0	4.4	3.9	32.4	40.6	17.5	9.6
蘇澳港域	31199(90%)	1.08	7.8	16.02/ 14.6/ESE	12.7	50.1	36.4	.8	12.7	64.7	22.3	.3	20.4	38.7	24.8	16.2
花蓮港域	31894(92%)	.98	7.9	9.26/ 11.9/NNE	17.3	50.7	31.6	.3	5.5	94.1	.2	.2	18.4	38.8	27.4	15.4
臺東港域	12464(94%)	.97	5.9	12.08/ 9.7/SSE	23.7	42.3	33.6	.4	13.4	74.8	11.8	.1	61.1	31.4	5.6	1.9
布袋港域	9832(70%)	.61	7.0	5.09/ 4.2/WSW	49.1	37.9	13.0	.0	8.1	3.2	75.6	13.1	23.4	42.5	28.7	4.9
高雄港域	27500(87%)	1.05	7.0	7.95/ 7.8/WSW	19.4	39.7	40.6	.2	3.4	5.4	85.7	5.5	28.0	46.3	21.4	4.3
安平港域	31975(87%)	.97	6.3	7.66/ 12.0/SW	25.7	39.6	34.4	.3	.6	5.2	89.0	5.1	43.4	41.6	13.2	1.7
臺中港域	29451(93%)	.87	5.7	10.95/ 9.9/SSW	21.2	53.3	25.3	.2	24.7	2.8	19.3	53.2	54.6	37.4	6.6	1.2
澎湖港域	20158(91%)	.53	4.6	6.49/ 8.3/NNW	62.0	28.1	9.9	.0	24.6	26.4	28.7	20.4	97.2	2.8	.0	.0
金門港域	32747(91%)	.86	4.8	5.33/ 7.6/ESE	18.9	51.9	29.2	.0	6.2	43.2	50.3	.3	89.0	10.8	.1	.0
馬祖港域	13932(100%)	1.27	5.2	12.84/ 10.1/SE	6.8	39.0	53.6	.6	26.1	34.2	37.6	2.1	78.7	15.6	4.5	1.2

DISV4Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

表 2-10 臺灣環島 12 個主要港域測站概約自 2000 年起至 2016 年止歷年冬季示性波高週期及波向統計表

港區名稱	觀測點數	H_s 平均值 (m)	T_p 平均值 (s)	H_s最大值 (波高/週期/波向) (m/s/來向)	H_s < 0.5m (%)	H_s 0.5~1m (%)	H_s 1~5m (%)	H_s >5 m (%)	波向 N ~E (%)	波向 E ~S (%)	波向 S ~W (%)	波向 W ~N (%)	T_p < 6s (%)	T_p 6~8s (%)	T_p 8~10s (%)	T_p >10s (%)
臺北港域	30109(77%)	1.43	6.9	6.98/ 10.2/NNW	11.7	22.6	65.6	.1	68.3	2.6	3.0	26.1	25.2	52.1	21.5	1.1
基隆港域	27378(90%)	1.75	7.6	8.14/ 10.1/WSW	4.4	20.6	74.6	.3	94.1	1.5	1.2	3.3	12.5	45.6	38.1	3.8
蘇澳港域	29039(86%)	1.47	8.3	6.22/ 11.9/NE	.0	9.9	90.0	.0	50.4	48.8	.8	.0	5.0	34.0	50.2	10.8
花蓮港域	32537(96%)	1.52	8.2	4.38/ 9.6/SE	.0	9.8	90.2	.0	24.3	74.4	1.0	.2	5.7	34.8	49.4	10.0
臺東港域	11694(90%)	1.62	6.5	4.60/ 8.8/E	.0	8.1	91.9	.0	31.5	68.3	.2	.0	18.9	79.2	1.8	.1
布袋港域	7095(76%)	.45	6.8	1.72/ 10.2/WNW	65.4	30.3	4.4	.0	6.4	26.9	9.7	57.0	28.5	29.2	36.2	3.6
高雄港域	24962(91%)	.70	6.4	4.06/ 11.8/SSW	13.1	79.9	7.0	.0	1.7	5.9	41.7	50.7	46.6	35.3	14.2	3.9
安平港域	30015(87%)	.53	5.8	3.52/ 12.6/SSW	47.8	50.3	1.9	.0	6.5	7.8	33.9	51.8	65.3	26.1	7.9	.7
臺中港域	22734(85%)	2.15	6.9	8.44/ 11.1/N	3.0	9.3	87.4	.4	83.5	.4	6.4	9.7	22.0	57.4	20.1	.4
澎湖港域	19881(92%)	1.79	5.3	5.96/ 7.8/NE	9.1	13.7	76.9	.2	84.9	2.0	1.0	12.1	78.0	21.9	.1	.0
金門港域	31843(92%)	1.22	5.2	4.21/ 8.5/WSW	8.2	28.7	63.0	.0	28.8	68.4	2.5	.2	91.2	8.8	.0	.0
馬祖港域	10678(92%)	2.12	5.8	6.26/ 8.5/NE	.6	11.4	87.6	.4	56.2	32.0	9.5	2.3	68.6	24.8	6.2	.4

DISV4Z.BAT 港灣技術研究中心

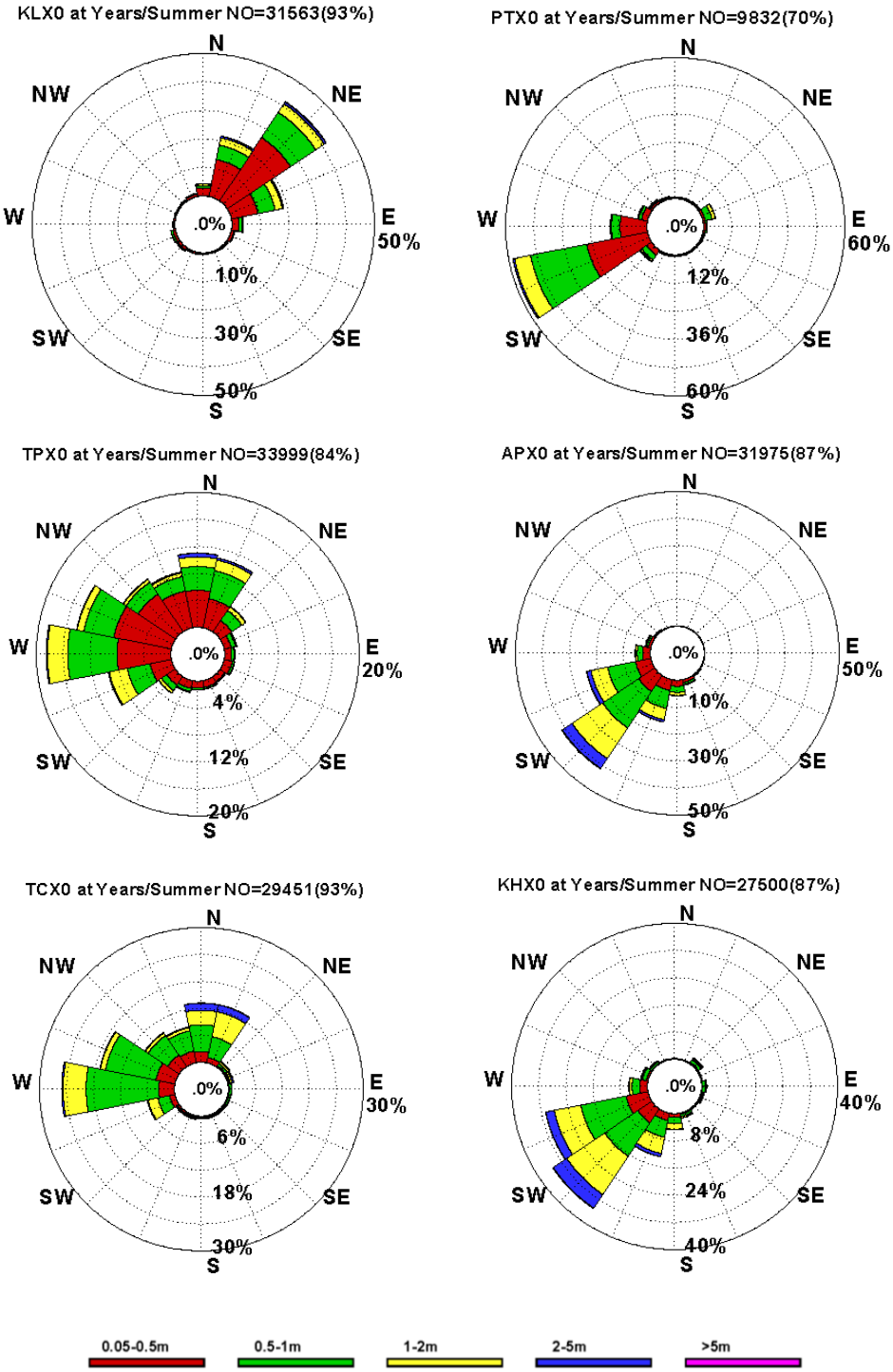
資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

表 2-11 臺灣環島 12 個主要港域測站概約自 2000 年起至 2016 年止歷年全年示性波高週期及波向統計表

港區名稱	觀測點數	H_s 平均值 (m)	T_p 平均值 (s)	H_s最大值 (波高/週期/波向) (m/s/來向)	H_s < 0.5m (%)	H_s 0.5~1m (%)	H_s 1~5m (%)	H_s >5 m (%)	波向 N ~E (%)	波向 E ~S (%)	波向 S ~W (%)	波向 W ~N (%)	T_p < 6s (%)	T_p 6~8s (%)	T_p 8~10s (%)	T_p >10s (%)
臺北港域	129288(81%)	.99	6.4	8.75/ 10.3/	30.5	30.7	38.7	.1	52.2	4.1	10.6	33.1	43.6	40.2	14.3	1.9
基隆港域	121643(93%)	1.20	7.4	11.35/ 5.5/N	24.6	28.9	46.3	.2	93.0	1.9	2.7	2.4	20.8	46.1	26.5	6.6
蘇澳港域	119374(89%)	1.29	8.1	17.51/ 15.4/SE	4.8	30.4	64.4	.4	35.9	55.1	8.2	.8	11.0	38.5	36.0	14.5
花蓮港域	130457(94%)	1.25	8.1	12.50/ 7.3/SW	6.1	32.6	61.2	.1	16.3	83.1	.4	.1	9.8	38.6	38.0	13.6
臺東港域	50366(92%)	1.29	6.2	15.87/ 12.4/ESE	8.7	30.4	60.6	.4	27.4	67.9	4.6	.0	42.3	52.7	4.1	.9
布袋港域	38385(80%)	.50	6.7	5.09/ 4.2/WSW	61.3	31.9	6.8	.0	6.2	11.4	37.2	45.2	29.8	37.7	27.1	4.1
高雄港域	109412(88%)	.78	6.4	7.95/ 7.8/WSW	24.1	58.5	17.3	.1	3.1	5.9	60.2	30.8	46.1	37.0	13.1	3.8
安平港域	120257(84%)	.65	5.8	7.93/ 8.6/SW	45.9	41.4	12.6	.1	3.7	6.7	59.5	30.1	62.1	29.2	7.6	1.2
臺中港域	101776(88%)	1.47	6.3	10.95/ 9.9/SSW	12.7	28.8	58.3	.2	62.1	1.8	9.9	26.2	37.3	50.4	11.3	.9
澎湖港域	82106(91%)	1.21	5.0	6.84/ 8.4/NE	30.6	21.2	48.1	.2	64.0	9.6	10.5	15.8	88.1	11.8	.1	.0
金門港域	128484(91%)	1.03	5.0	11.86/ 9.4/SE	15.9	38.5	45.6	.0	20.9	59.7	19.1	.3	91.0	8.9	.1	.0
馬祖港域	51171(97%)	1.67	5.6	12.84/ 10.1/SE	3.1	25.4	70.8	.7	45.6	35.4	16.6	2.4	72.7	21.3	4.7	1.3

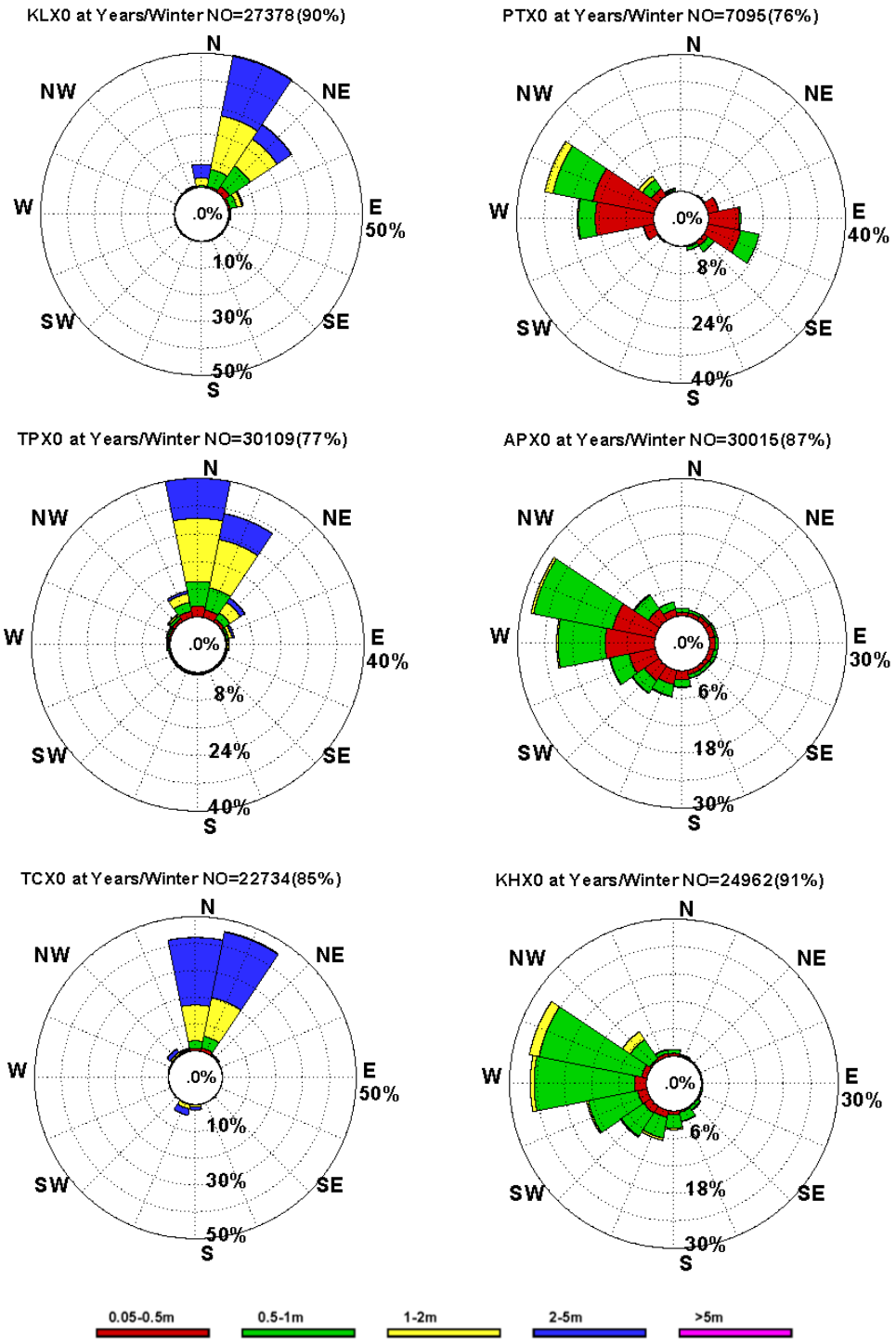
DISV4Z.BAT 港灣技術研究中心

資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）



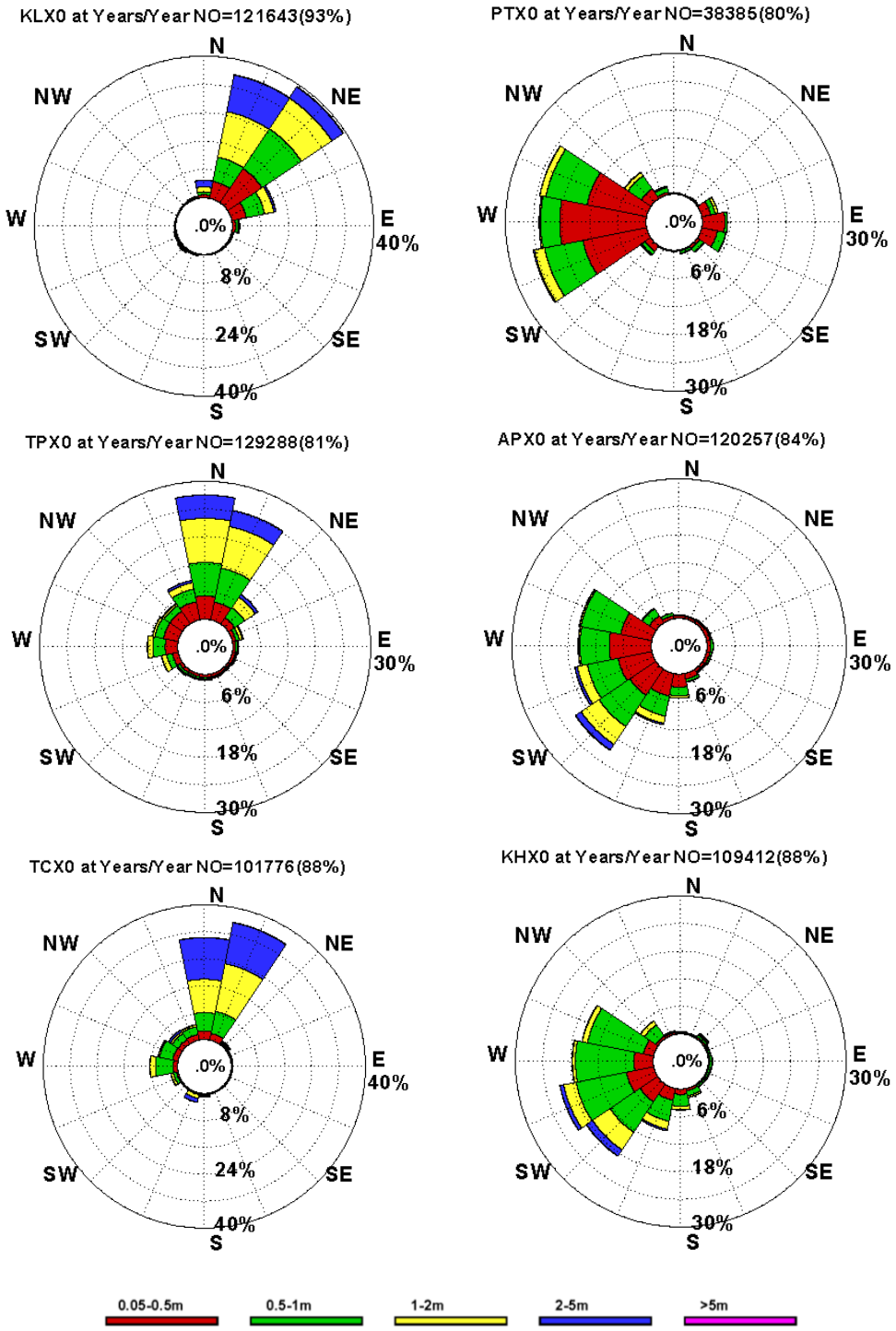
資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

圖 2-12 臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)及臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測夏季波浪玫瑰圖



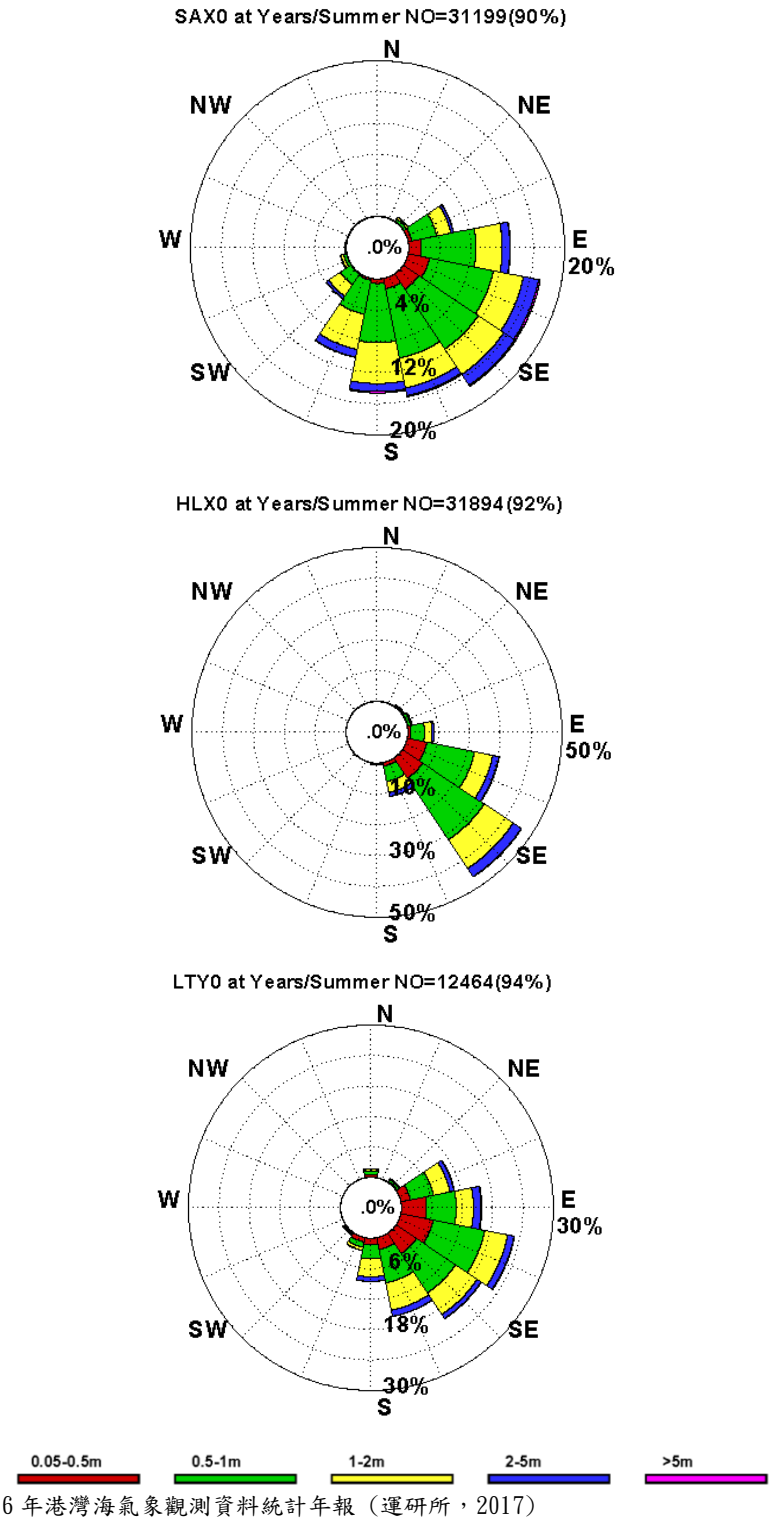
資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

圖 2-13 臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)及臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測冬季波浪玫瑰圖



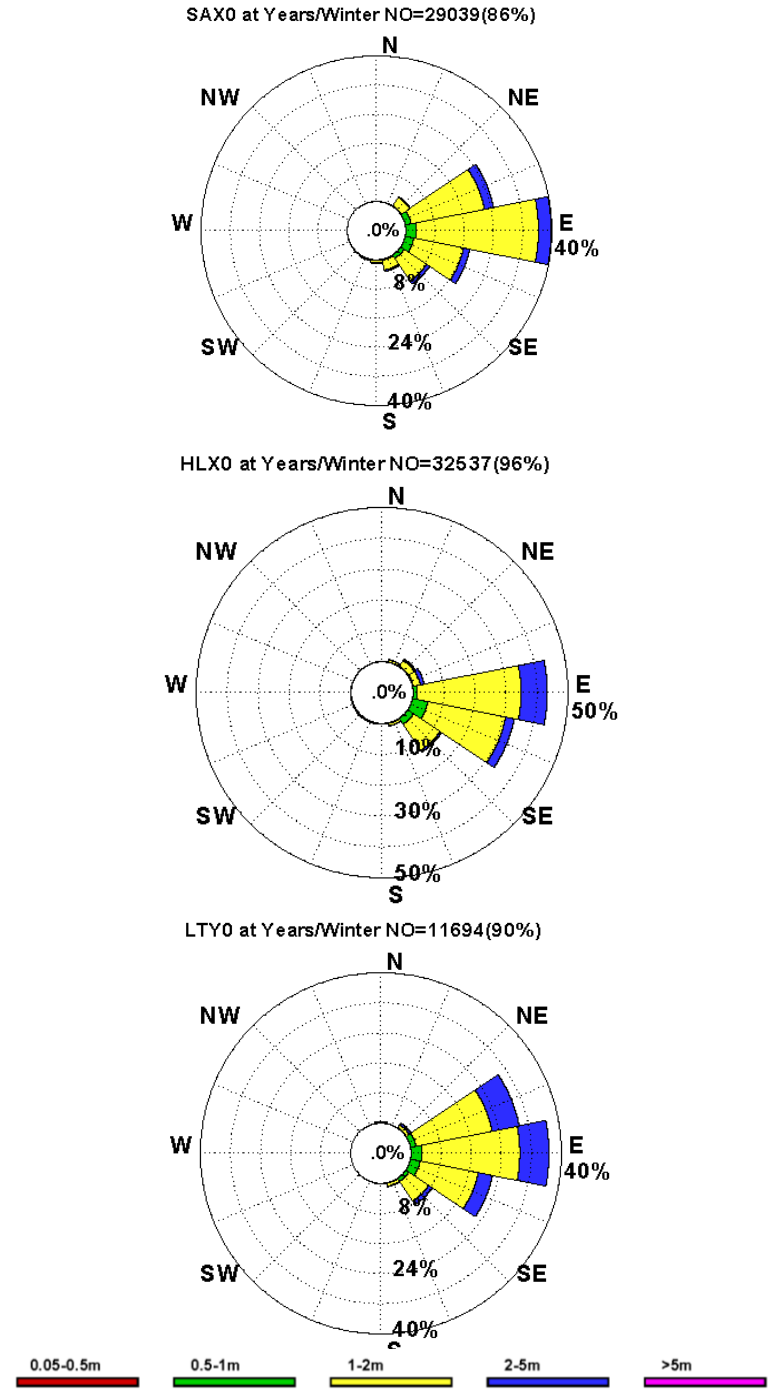
資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

圖 2-14 臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)及臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測全年波浪玫瑰圖



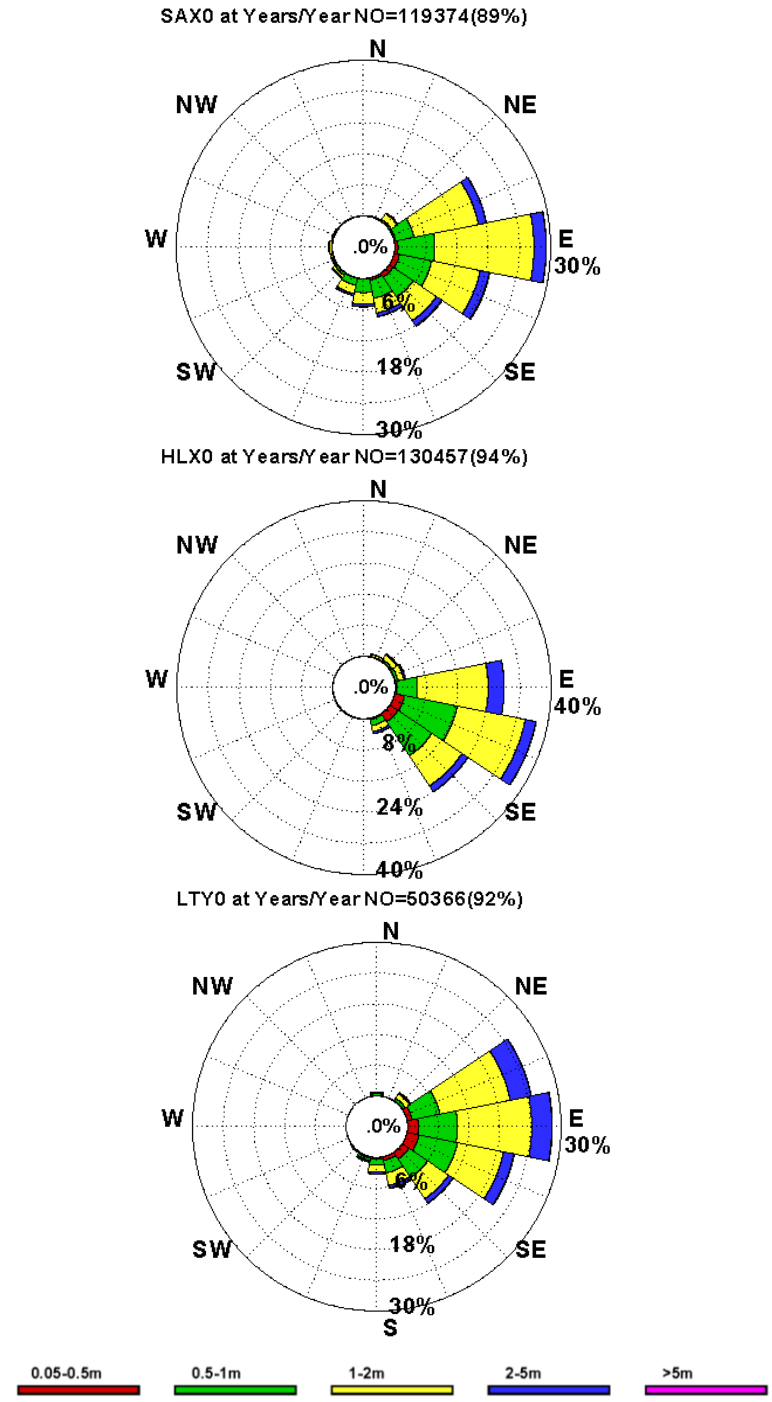
資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

圖 2-15 臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測夏季波浪玫瑰圖



資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

圖 2-16 臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測冬季波浪玫瑰圖



資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

圖 2-17 臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)海域概約自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測全年波浪玫瑰圖

2.3 潮汐與潮流

2.3.1 潮汐

對於實際海域的潮波系統及其運動特徵，包括潮位的空間變化及潮波隨時間變化的傳播過程，一般可用同潮圖(cotidal chart)來充分加以描述。同潮圖主要係由兩種不同的等值線所組成：其中之一是潮位的等振幅線(co-amplitude lines)，其係在某一特定海域空間之特定期間內(針對單一頻率之分潮，則為其週期)，聯結具有相同滿潮位的不同地點連線所組成，又因振幅(單一頻率分潮之滿潮位)的兩倍通常相當於潮差，故有時也用等潮差線(co-range lines)來代替等振幅線；另一等值線則是同潮時線(co-phase lines)，其係在某一特定海域空間之特定期間內，由聯結同時發生滿潮位的不同地點連線所組成。在某些特定之海域，當同潮時線具有會合點時，由於在會合點處，滿潮與乾潮的發生時間是不確定的，也就是說不存在滿潮和乾潮，或潮波振幅是近似於零，故而一般稱同潮時線的會合點為無潮點(amphidromic point)。

在臺灣鄰近海域，基於海峽、海脊、海槽及東亞大陸棚架等水深地形之影響與面對深邃太平洋之環境因素，因此，潮波系統實際上具有極豐富的變化性與特殊性(Lin et al., 2001；Juang et al., 2001；Jan et al., 2002、2004；莊、江，2005)。又基於真實潮波實際上應係由多個分潮潮波所複合組成，莊、江(2005、2006)因而即針對臺灣四周海域，結合 Matsumoto et al. (2000)研發綜合包括共 16 個主要分潮之 NAO (National Astronomical Observatory)潮汐預報模式，應用水動力數值模式，據以建構真實旋轉潮波系統在月大潮期間之同潮圖，如圖 2-18 所示。圖中，紅色實線表示同潮時線，潮時以圖左上標示之計算起始時間為參考基準；而黑點線表示同振幅線，振幅並以公尺為單位。

檢視圖 2-18 所示之同潮圖(莊、江，2006)，首先，由同潮時線觀察可知，潮波自太平洋海域入射後，會先抵達臺灣東部海岸，然後受地形影響，潮波分別會旋轉而繞行臺灣北部及南部海岸，其中，繞行臺灣北部海岸的潮波，主要旋轉方向為逆時鐘方向，並在宜蘭頭城至淡水麟山

鼻間的海岸，展現密集的同潮時線變化，而後即順沿臺灣海峽由北往西南行進；而繞行臺灣南部海岸的潮波，主要旋轉方向則為順時鐘方向，並在高雄至雲林東石間的西南部海岸，同樣亦展現密集的同潮時線變化，不過，其在繞行臺灣南部海岸後，總體上並未順沿臺灣海峽由南往北運行，反而在臺灣海峽的南端，即約在臺灣淺灘南側之東亞陸架陡變陸架坡上，即與先前繞行臺灣北部海岸而後向南行進的潮波相匯合，且在匯合海域的右側，即在澎湖與雲林東石以南至高雄之臺灣西南沿海，潮波的主要旋轉方向，與繞行臺灣北部海岸的潮波相同，依舊保持為逆時鐘方向(莊 等，2014)。除此之外，真實潮波在臺灣南、北端海岸所具有的快速潮時變化的特性，亦可明確經由同潮時線而充分予以重現。其次，配合同潮時線，檢視同振幅線可知，在臺灣北部的基隆近海及在臺灣海峽南端的臺灣淺灘南側海域，明顯可見潮波振幅甚小的兩個近似無潮點。另外，在南、北兩無潮點連線之臺灣海峽縱剖面上，潮波振幅的分布不僅明顯具有駐波的特質，其振幅尚且呈現潮波系統主要由北往南行進的凱文波(Kelvin wave)特性，亦即順沿行進方向右側(海峽左側)的潮波振幅，將普遍大於左側(海峽右側)(莊、江，2005、2006)。

有關臺灣海峽海域內具體之潮波振盪型態，依據莊、江(2003；2005；2006)之研究論證，無論從單頻潮波之協振盪理論分析或依據全平面性之潮波逐時振盪模擬計算結果中，皆清楚一致地指出，其具體振盪型態應為部分重複駐波，只是在臺灣海峽之東、西側沿岸海域，部分重複駐波之尺度、規模略有差異而已。

為更清楚具體地呈現臺灣海峽東西側沿岸海域，潮波形成部分重複駐波之尺度、規模、型態及其與陸架地形之關係，因此，莊、江(2003)依據東亞海域潮波之長期逐時計算結果，在中國沿岸，南約自香港海域起，北至長江口海域選取一近岸地形縱剖面，並萃取其上二日期間(2002年7月21日至23日)內每二小時間隔的逐時計算潮位，經匯總整理後，可得中國沿岸水深地形剖面上的具體潮波振盪型態，如圖 2-19 所示。

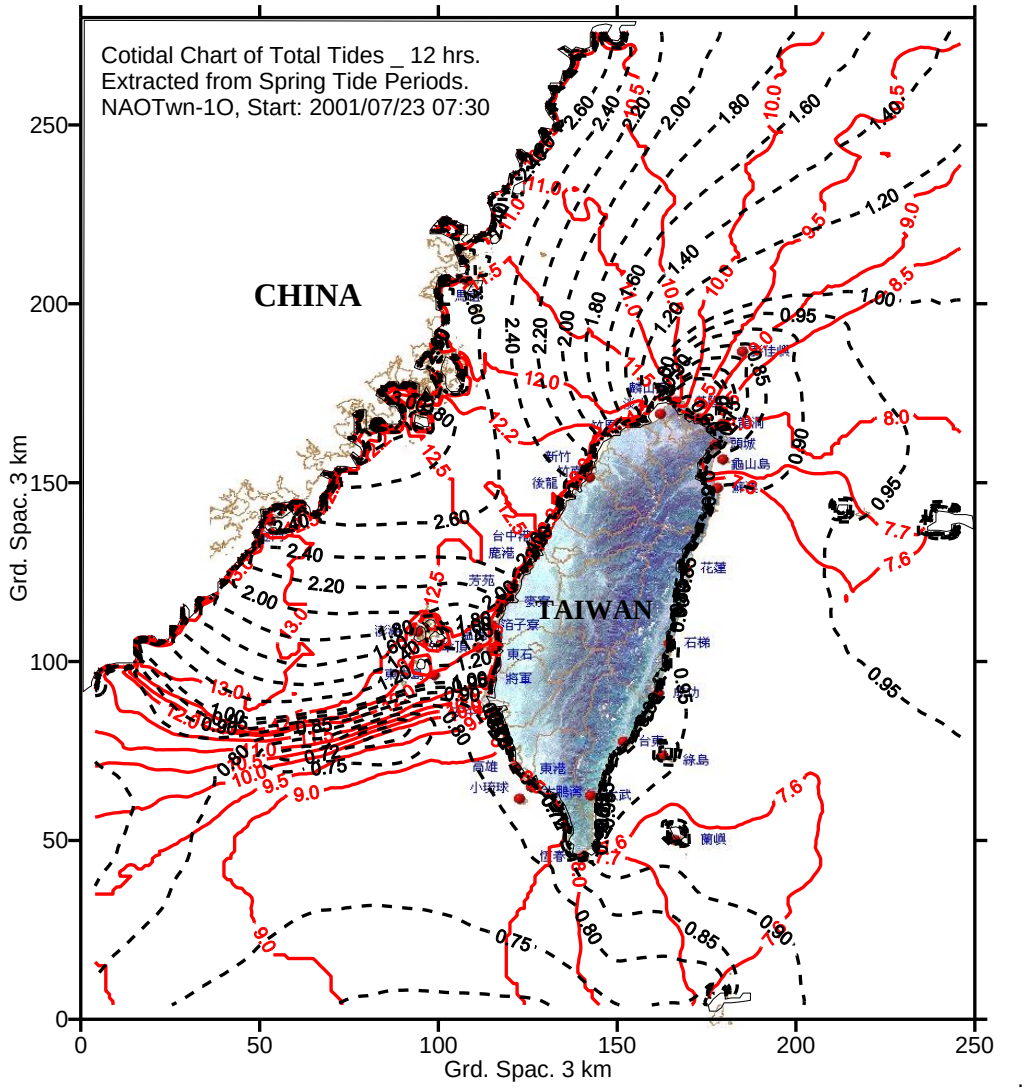


圖 2-18 臺灣海域月大潮期間擬真潮波之同潮圖(黑虛線：同振幅線；紅實線：同潮時線)

對照圖 2-19 中之近岸地形縱剖面，觀察其上之潮波振盪型態可知，潮波在中國沿岸的具體振盪型態，可確認為具部分重複駐波之系統，且該部分重複駐波系統的波節點，分別約位在汕頭、錫揚島及鄰近長江口之鎮海海域，而波腹點則分別約座落在馬祖島、三都澳、及佘山海域。其中，部分重複駐波以位在臺灣海峽內(汕頭、馬祖島、及錫揚島間)之振盪型態最明顯。此外，順沿中國海岸，在錫揚島至長江口鎮海間之海

域，尚可觀察到大振幅波動的全日潮波或凱文波(Kelvin Wave)由北往南行進，並在汕頭附近海域被大陸棚架緣之陡峭水深地形反射，因此，在汕頭附近海域存在有明顯的部分重複駐波之波節點。綜合而言，依據協振盪理論及部分重複駐波系統之具體振盪型態可確知，中國沿岸的潮波振盪型態，主要係由行進與反射的全日潮波或凱文波，外加半日型潮波所形成之重複駐波所合成，而重複駐波之形成，主要係因緣於半日型潮波受陸架及臺灣海峽地形影響所導致之共振效應(Lin et al., 2000；2001)。

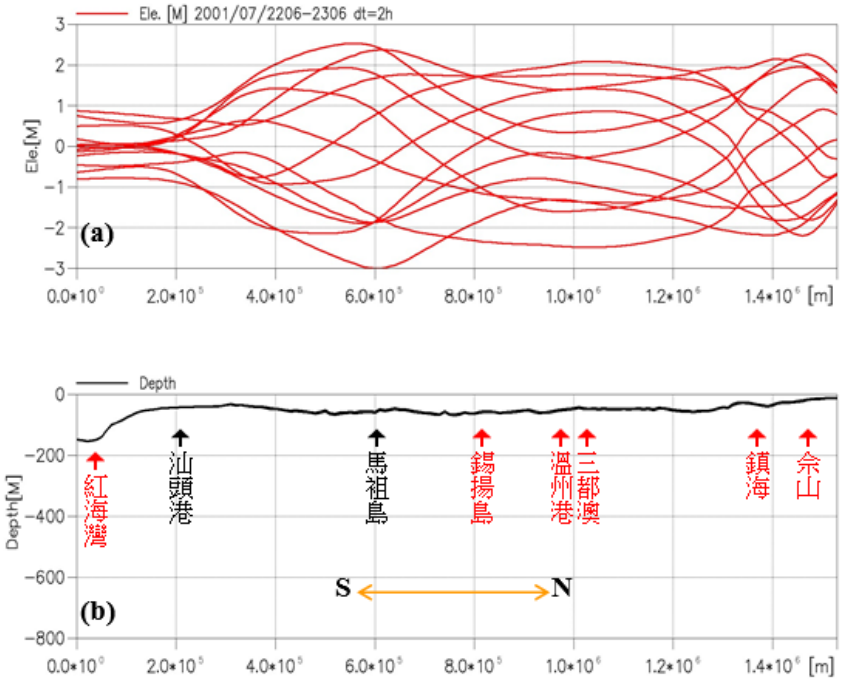


圖 2-19 中國近海沿岸之潮波振盪型態(上)及水深地形剖面(下)

至於在臺灣海峽東側之臺灣環島近岸海域，再依據東亞或臺灣環島海域潮波之長期逐時計算結果，自臺灣東部的花蓮海域起，以順時鐘方向選取一近岸地形縱剖面，並萃取其上二日期間(2002 年 7 月 21 日至 23 日)內每二小時間隔的逐時計算潮位，經匯總整理後，可得臺灣環島近岸地形縱剖面及其上對應之具體的潮波振盪型態，如圖 2-20 所示。

對照圖 2-20 所示之近岸地形縱剖面，由圖觀察潮波振盪型態可知，潮波在臺灣環島近岸海域的振盪型態，很清楚地可確認為部分重複駐

波，且該部分重複駐波的波腹點明顯約呈現在臺灣西部沿岸的台中港附近海域，而兩個波結點則分別呈現在臺灣海峽的南、北兩端海域，其中，南端的波結點明顯約呈現在臺灣西南部的安平至將軍海域，而北端的波結點明顯約呈現在北部沿岸的基隆至鼻頭角海域，且南端波結點的型態並較北端明顯。將以上波節點與波腹點之存在位置，與存在臺灣海峽內之陸架地形縱剖面相對照尚可發現，波節點皆明顯約分別座落在鄰近陸架地形之邊緣處，而波腹點則約座落在陸架地形之中段海域。再與單頻潮波之協振盪理論配合對照可見，半日型潮波受陸架及臺灣海峽地形影響所導致之共振效應，確實在臺灣西部沿岸海域特別的顯著，至於在中國沿岸所觀察到之由北往南行進的全日型潮波或凱文波，在臺灣環島近岸海域之影響並不明顯。

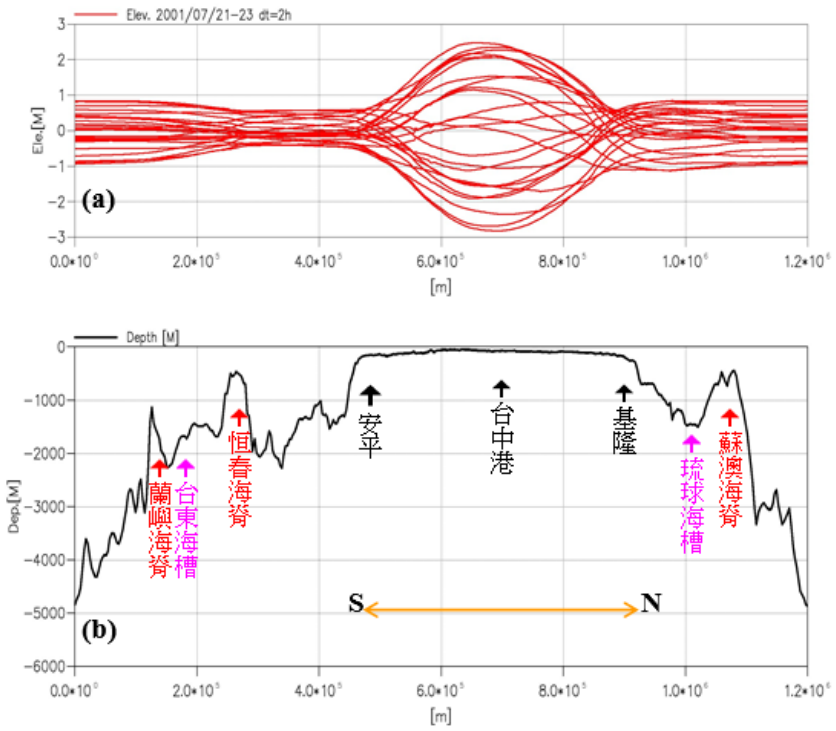


圖 2-20 臺灣環島近海沿岸之潮波振盪型態(上)及東亞陸架之水深地形剖面(下)

另一方面，對照比較圖 2-20 及圖 2-19 所示之潮波振盪型態可知，東亞大陸棚架地形，確實對臺灣海峽海域之總體潮波振盪型態具有決定性之影響，不過，因地球自轉所衍生之科氏力，對臺灣海峽狹長型海

域東、西側沿岸邊界之作用效應有所不同(Pedlosky, 1982)，故在臺灣海峽東、西側沿岸之潮波振盪型態，雖皆為部分重複駐波，但其組成則略有差異。其主要之差異在於：潮波在臺灣海峽東側沿岸之部分重複駐波振盪型態，係由半日型分潮因協振盪所形成之重複駐波，再疊加由北往南行進的全日型潮波或凱文波所組成；而在臺灣海峽西側沿岸之潮波振盪型態，主要係由半日型分潮因協振盪所形成之重複駐波所支配。

此外，基於同潮圖對潮波系統、潮波傳播過程之時空變動特性與運動特徵的充分詳實描述。莊(2010)進一步以全潮擬真潮波月大、小潮期間之同潮圖為基礎，再參考臺灣環島 24 條主要河川之河口與國內各重要工商港口位置，直接自月大、小潮期間之同潮圖中，就河口與港口及離島海岸之對應位置，萃取同振幅值，並假設同振幅值的兩倍即為潮差，因此，可得月大潮潮差及月小潮潮差，分別如表 2-12 表 2-13 所示，表中，月平均潮差，係為月大、小潮潮差之算術平均。以圖示重整表 2-12 及表 2-13，則臺灣離島及環島沿岸之月大潮潮差、月小潮潮差與月平均潮差之分布，分別如圖 2-21 及圖 2-22 所示。

配合表 2-12，觀察圖 2-21 可知，從花蓮秀姑巒溪口分界，以順時針方向環繞臺灣環島沿岸，總體而言，可見潮差分布之型態，約陳現為寬緣之鐘型，且具較大潮差變化之鐘型本體，約分別位在鹽水溪口以北、淡水河口以南之臺灣西南與西北部海岸；而具最大潮差之鐘頂，則約位在烏溪至大甲溪口間之台中港，其月大潮潮差約可達 5.12 公尺。特別值得注意的是，在四重溪口至鹽水溪口間的臺灣西南部海岸，月大潮潮差約 1.7 公尺，潮差普遍比月大潮潮差約 1.9 公尺的東部海岸略小；而位在淡水河口至蘭陽溪口間之基隆港，月大潮潮差更小，僅約 1.0 公尺，其為國內具有最小月大潮潮差的海岸。至於臺灣各大、小離島的潮差分布，配合表 2-13，觀察圖 2-22 可知，從台東蘭嶼起以順時針方向聯結離島再繞回台東綠島，亦可見離島的潮差，似乎仍具有鐘型之分布型態，其中，位在臺灣海峽西北側的馬祖烏坵，其月大潮潮差可高達約 6.03 公尺，為國內具有最大月大潮潮差之海岸。

表 2-12 臺灣環島沿岸各主要河川河口與各重要工商港口位置之月大、小潮及月平均潮差

月大潮潮差(公尺)	月小潮潮差(公尺)	月平均潮差(公尺)	河口及港口參考位置	月大潮潮差(公尺)	月小潮潮差(公尺)	月平均潮差(公尺)	河口及港口參考位置
1.9182	0.7990	1.3586	秀姑巒溪口	4.5572	2.9874	3.7723	濁水溪口
1.9202	0.7988	1.3595	**成功**	5.0960	3.3882	4.2421	烏溪口
1.9542	0.7922	1.3732	卑南溪口	5.1226	3.4148	4.2687	**台中港**
1.9850	0.8042	1.3946	**富岡**	5.1242	3.4306	4.2774	大甲溪口
1.7526	0.5156	1.1341	四重溪口	5.1018	3.4172	4.2595	大安溪口
1.7072	0.5034	1.1053	東港溪口	4.9182	3.3350	4.1266	後龍溪口
1.7112	0.5164	1.1138	高屏溪口	4.8448	3.2958	4.0703	中港溪口
1.7124	0.5320	1.1222	**高雄港**	4.5740	3.1358	3.8549	頭前溪口
1.7332	0.5858	1.1595	阿公店溪口	4.5294	3.1058	3.8176	**新竹南寮**
1.7970	0.7118	1.2544	二仁溪口	4.4694	3.0564	3.7629	鳳山溪口
1.8330	0.7894	1.3112	**安平港**	3.4596	2.4566	2.9581	桃園竹圍
1.8458	0.8220	1.3339	鹽水溪口	3.0278	2.1448	2.5863	**台北港**
2.0558	1.2556	1.6557	曾文溪口	2.9496	2.0876	2.5186	淡水河口
2.6416	1.6706	2.1561	急水溪口	1.0562	0.6574	0.8568	**基隆港**
2.8644	1.8120	2.3382	**東石**	1.8190	0.7468	1.2829	蘭陽溪口
3.1200	1.9946	2.5573	八掌溪口	1.8522	0.7644	1.3083	**蘇澳港**
3.3788	2.1752	2.7770	**布袋港**	1.8994	0.7938	1.3466	和平溪口
3.8038	2.4644	3.1341	朴子溪口	1.9058	0.7962	1.3510	**花蓮港**
3.9336	2.5578	3.2457	箔子寮	1.9032	0.7946	1.3489	花蓮溪口
4.2122	2.7378	3.4750	北港溪口	1.9182	0.7990	1.3586	秀姑巒溪口
4.5018	2.9434	3.7226	**麥寮港**				

表 2-13 臺灣各離島海岸之月大、小潮及月平均潮差

月大潮潮差(公尺)	月小潮潮差(公尺)	月平均潮差(公尺)	離岸島嶼參考位置
1.8454	0.7018	1.2736	蘭嶼
2.8632	1.8444	2.3538	**澎湖**
5.0398	3.4242	4.2320	金門
6.0278	4.0508	5.0393	烏坵
5.7704	3.7330	4.7517	馬祖
5.4748	3.4844	4.4796	東引
1.9132	0.7712	1.3422	綠島

僅管應用同潮圖已可充分詳實的描述臺灣離島及環島沿岸各主要河川河口及各工商漁港港口之月大、小潮及月平均潮差分布特性，但因依據同振幅線所建購之潮差係為純天文潮之潮差，並未將特定年期之氣象潮效應含括考量，故月大潮潮差普遍會略低於實際觀測統計分析所得之最大潮差(莊　等，2007)。

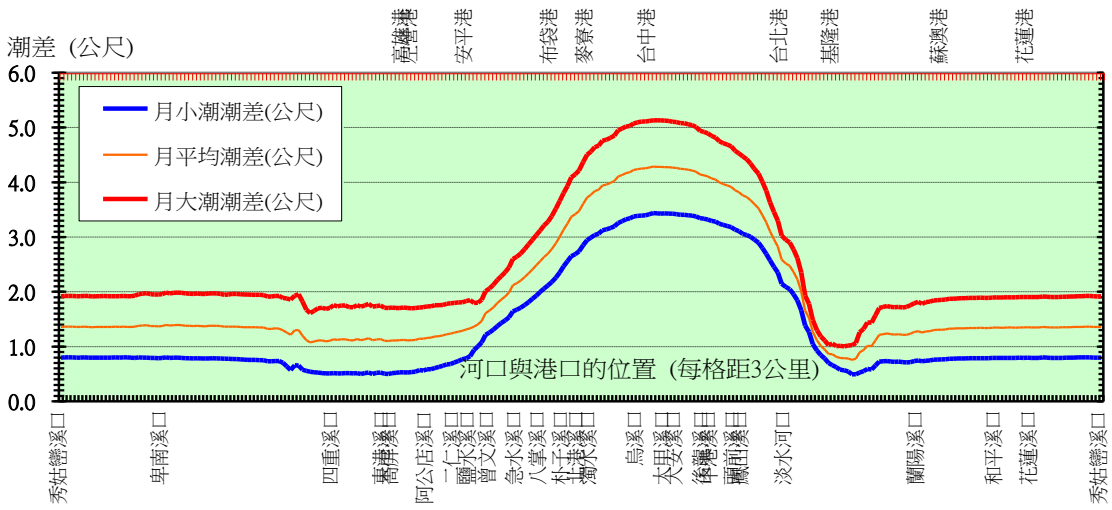


圖 2-21 臺灣環島沿岸各主要河川河口與各重要工商港口位置之月大、小潮及月平均潮差分布

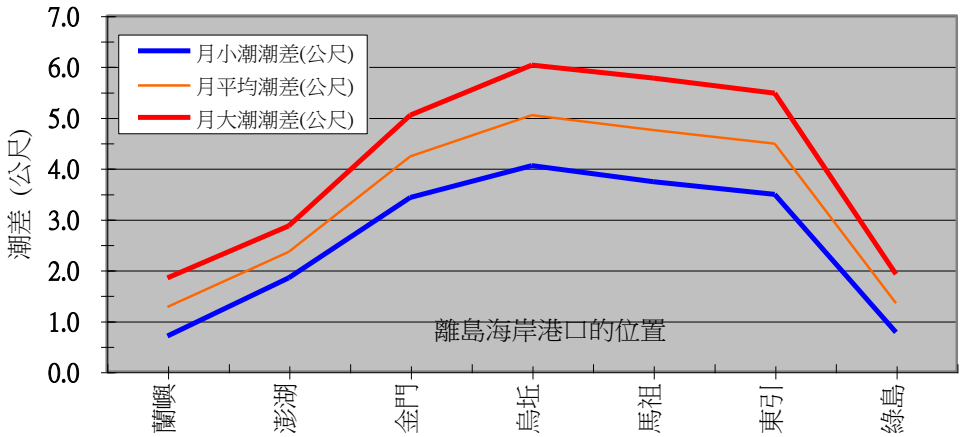


圖 2-22 臺灣離島各海岸之月大、小潮及月平均潮差分布

2.3.2 潮流

基於不同的海氣象物理因素與動力機制所造成的海水流動泛稱為海流。經實測所得的海流，一般可區分為非潮流及潮流二類，前者包括洋流、地形餘流、排放流、風趨流及碎波衍生之近岸流或沖刷流等；後者則單純指因海面潮位昇降所伴生具有往復週期特性的天文潮流。潮流與潮汐，由於其原生之動力本質均來自於天體間相互引力與地球之自轉，所以，二者皆具有旋轉波動特性(Lin et al., 2000；莊、江, 2006)，有所不同的是，潮汐係為時變一維純量，而潮流則為時變二維向量。

在臺灣七大商港海域，自 2009 至 2010 年之二年期間，實測海流與天文潮流強弱與主要流向之相互關聯性，可藉散佈圖(scatter plot)展現並比較如圖 2-23 所示(莊 等，2014)。配合圖 2-23 觀察可知，臺灣商港港口海域的海流，普遍具有潮流型態，主流向大多近乎平行於海岸線，流速偏弱，除臺中港因漲退潮流受北防波堤大幅延伸之束縮影響，致使流速約可達 1.5 m/s 外，在臺灣西部海岸之臺北港、安平港、高雄港，流速皆小於 1.0 m/s；而在北部及東部海岸之基隆港、蘇澳港、花蓮港，流速更弱，通常不及 0.75 m/s。

另外，再由圖 2-23 觀察可見，臺灣東、西部海岸七個主要商港之海流，尚普遍存在有恆向海流成分(莊 等，2014)，其中，臺北港有約 3.22 cm/s 的西北向恆流、臺中港亦有約為 22.05 cm/s 的西北向恆流、安平港有約為 2.66 cm/s 的南南東向恆流；高雄港有約 7.50 cm/s 的南南西向恆流、花蓮港與蘇澳港，分別有約西南向 2.13 cm/s 及北北西向 2.22 cm/s 之恆流，基隆港則有約 4.81 cm/s 之東南東向恆流。較強勁之恆流，與 Sa 分潮流相似，均分別展現在台中港與高雄港。

潮流係指單純由潮波運動所引致的水體流動。針對臺灣海域，相對於圖 2-18 所示之同潮圖，莊、江(2006)應用水動力數值模式，經模擬計算所得隨潮位變化之潮流流場，如圖 2-24 所示。圖中，潮位高低係以臺中港驗潮站之逐時潮位為參考基準；流場內之流速大小及流向，係以

箭矢長短及指向表示；而海面水位變化，則以參考色階之深淺陳現。

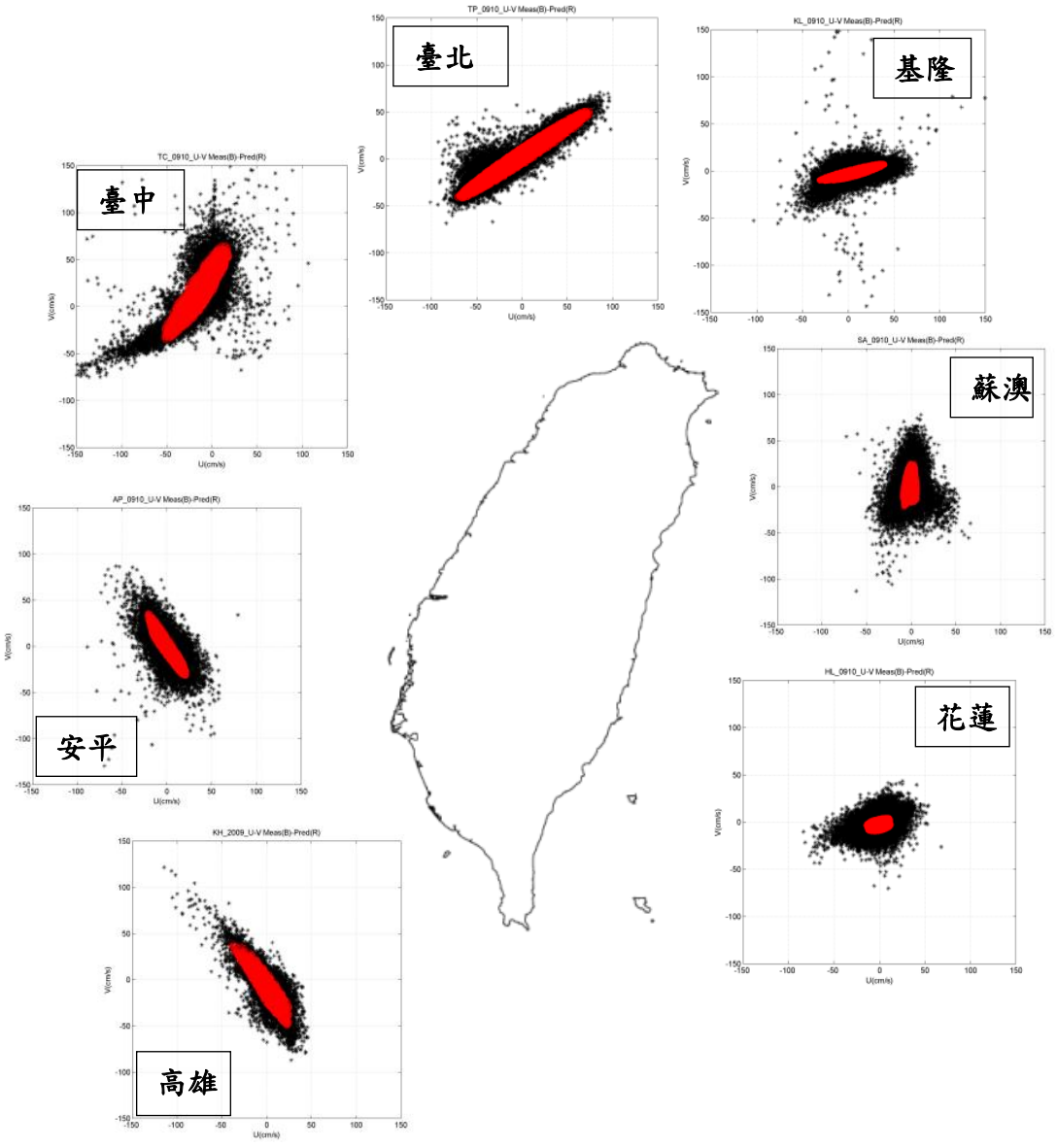


圖 2-23 臺灣七大商港港口外廓海域 2009 年至 2010 年實測海流(黑)與天文潮流(紅)之近岸流速散佈圖比較

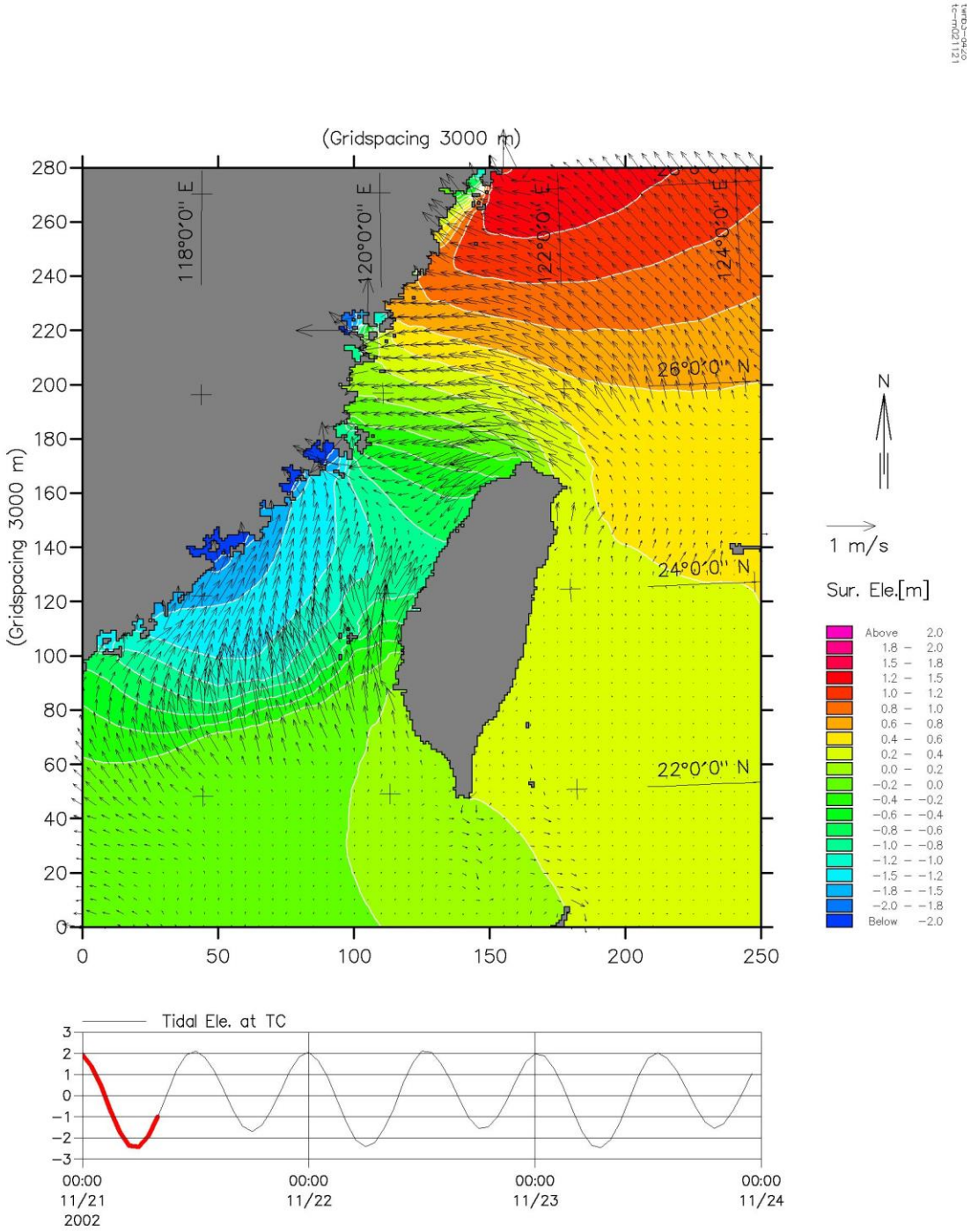


圖 2-24 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位: 台中港乾潮後漲潮，2002/11/21 08:00)

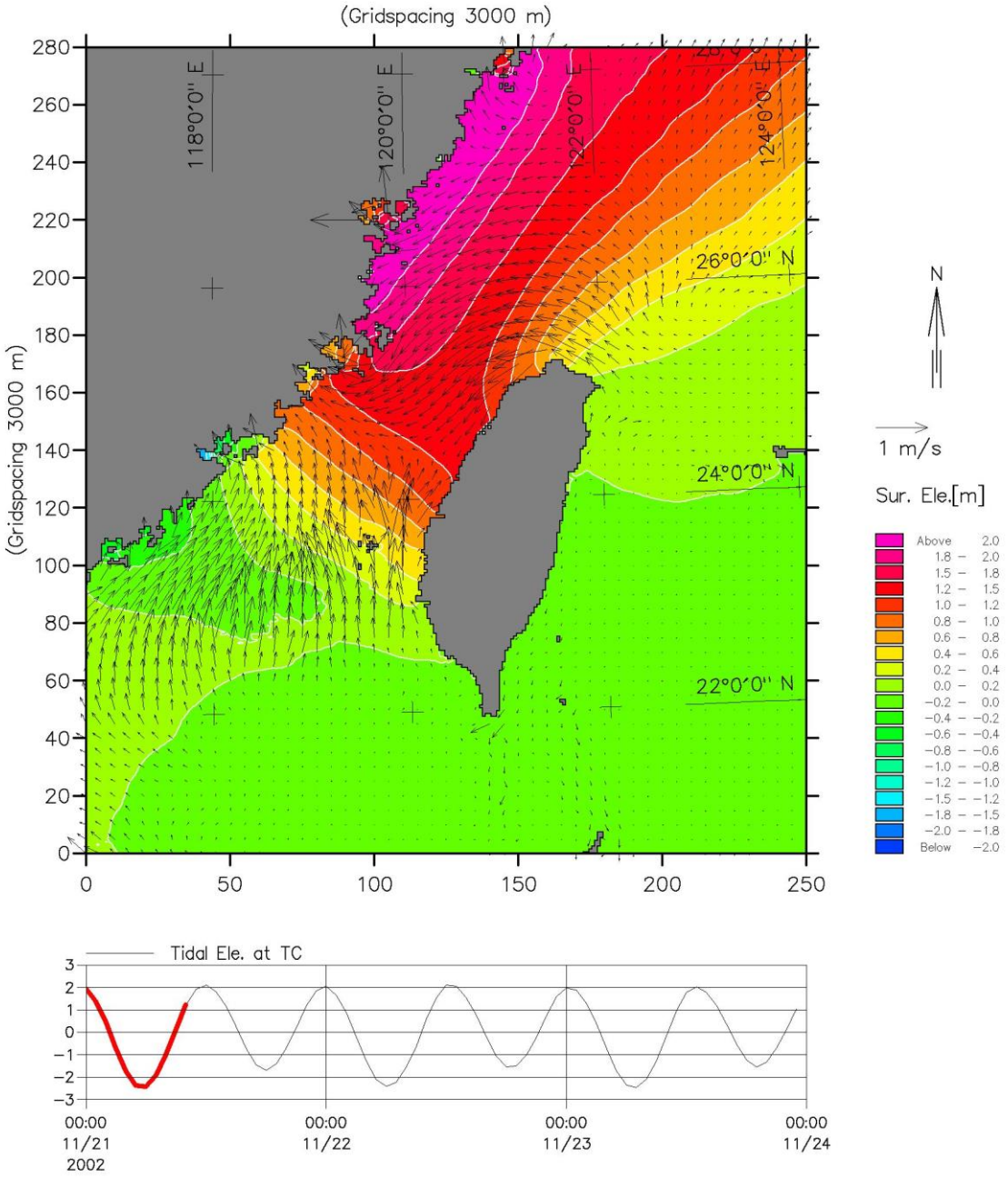


圖 2-24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港漲潮期近滿潮，2002/11/21 10:00)

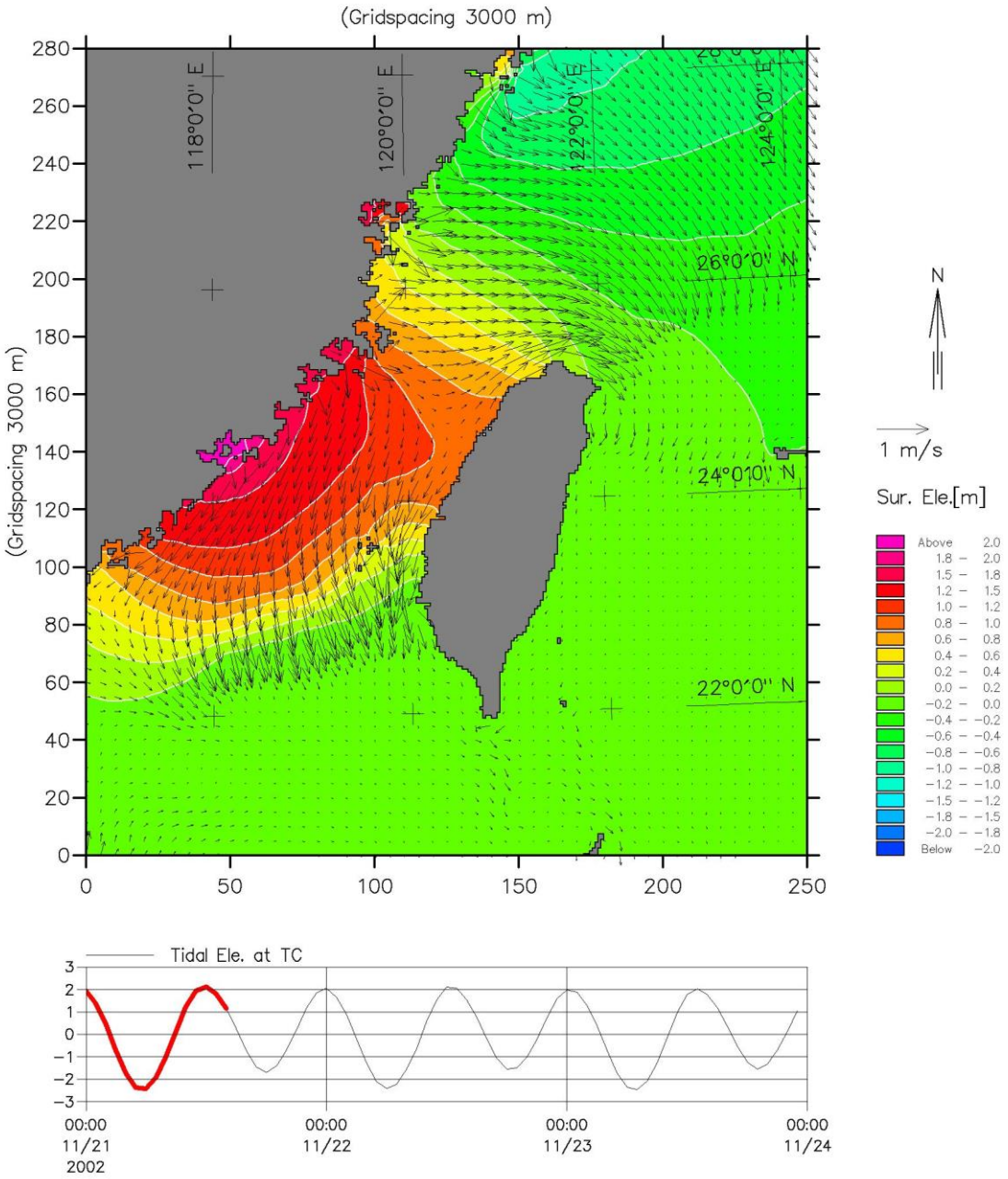


圖 2-24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港滿潮後退潮，2002/11/21 14:00)

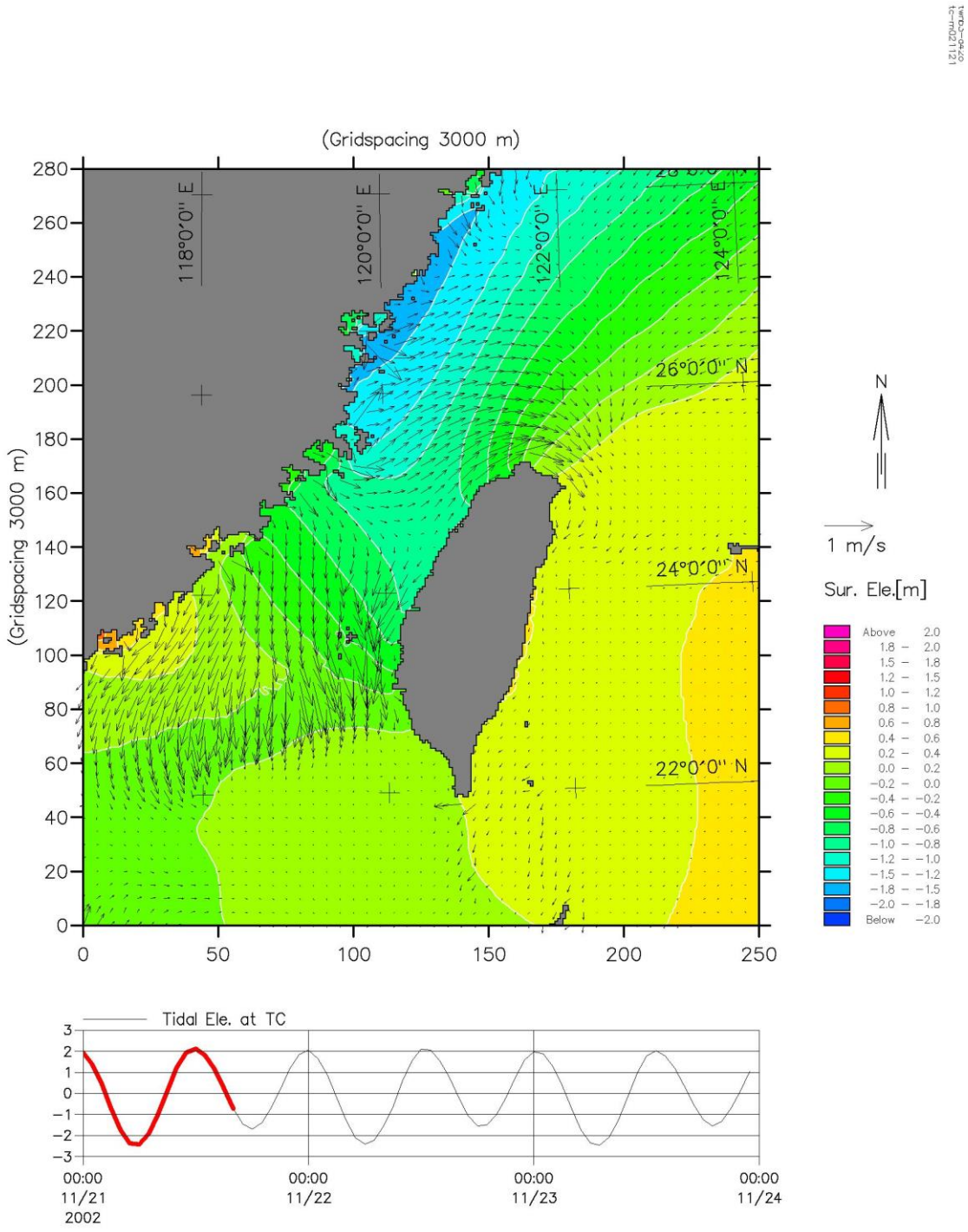


圖 2-24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場(參考潮位:台中港退潮期近乾潮，2002/11/21 16:00)

隨潮位之時序變化，觀察圖 2-24 可知，臺灣海域內之潮流，由於潮波整體之波動，在臺灣海峽南、北兩端海域，分別陳現近似部分重複駐波節點(node)；而在中段海域，陳現近似部分重複駐波腹點(anti-node)之振盪波形(莊、江，2003；2005；2006)，故而當臺中港驗潮站在漲潮期間，分別於臺灣東北部與西南部近海，潮流皆會陳現向臺灣海峽中段海域匯聚集中之較強流速；而當臺中港驗潮站在退潮期間，潮流相對亦會展現自臺灣海峽中段海域分別向臺灣東北部與西南部近海輻散流出之較強流速。漲、退潮期間之近岸較強潮流流速，最大僅約 0.5 m/s，而流向明顯皆有順沿臺灣環島海岸作往復流動之特性。此外，在臺灣海峽之中段海域內，不論臺中港驗潮站之潮位高、低或在任何漲、退潮期間，臺中港近海之潮流，其流速一般均甚微弱，流向順沿海岸作往復流動之特性不明顯，不過，當潮位在近滿潮之前、後期間，在臺灣海峽中段海域內的潮流，流向將會陳現均一向南之較大流速。

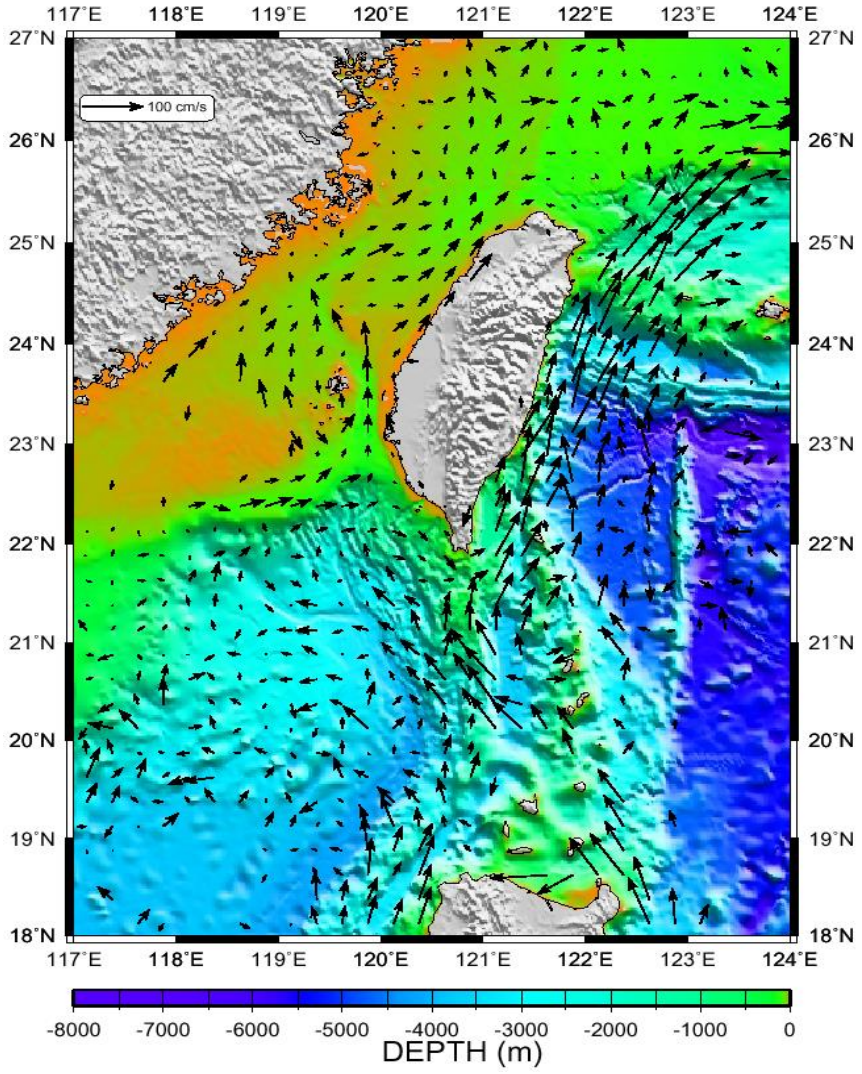
2.4 海流

海流是海洋的動脈，海洋中各種自然營養鹽、理化性質、天然泥沙質、或人為污染質等主要皆靠其循環交換及輸運傳播。因此，其不僅與海洋環境及海洋生態息息相關，甚且尚與海洋之各類型災害救濟關聯密切。

海流是具有時空變化特性的向量，主要含括隨季節海氣象特性變動的洋流、隨日-月潮波特性變化之潮流、隨區域性有效延時風力作用產生之風趨流、由局部區域波浪碎波效應引致之近岸流、由地形與結構物影響造成之地形餘流、及河川或管溝之排放流等分別具有長、短週期性之流速成分(Nagata et al., 1971)。

臺灣，位處北緯 21 度至 26 度間，為一海島，東臨太平洋，西隔臺灣海峽與中國大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里。有關臺灣環島海域之年平均表層海流形態，經摘錄「國科會海洋學門海洋資料庫」彙整實測之成果，可得如圖 2-25 所示；莊、廖(2011)及廖 等

(2011、2012)為探討臺灣鄰近海域洋流對近岸海流之影響，曾建置 POM 海洋數值模式，並應用巢狀格網之計算海域架構，模擬綜合洋流與潮流效應之擬真海流，經摘錄部分模擬結果，可得如圖 2-26 所示。此外，莊 等(2013)為掌握臺灣海域長期性之海流輸沙特性，曾自圖 2-26 所示之擬真海流流場中，將具往復流動效應之潮流扣除，因而可得恆常海流流場，如圖 2-27 所示。由圖 2-25、圖 2-26 及圖 2-27 綜合觀察可見，臺灣海域之海流特性，較重要的，當屬黑潮主流及其支流。



（國家海洋科學研究中心資料庫）

圖 2-25 臺灣環島海域實測之年平均表層海流形態

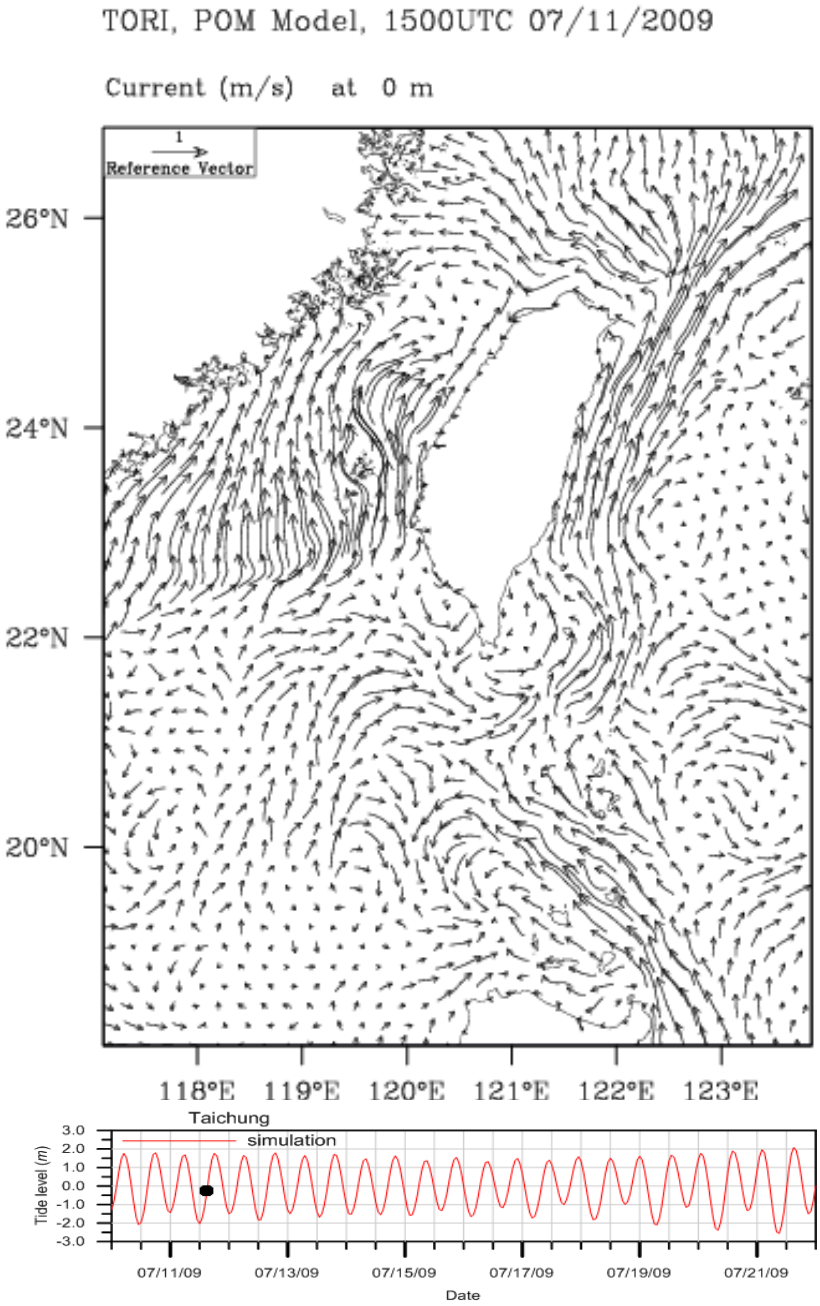


圖 2-26 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港漲潮期計算潮位 2009/07/11 15:00)

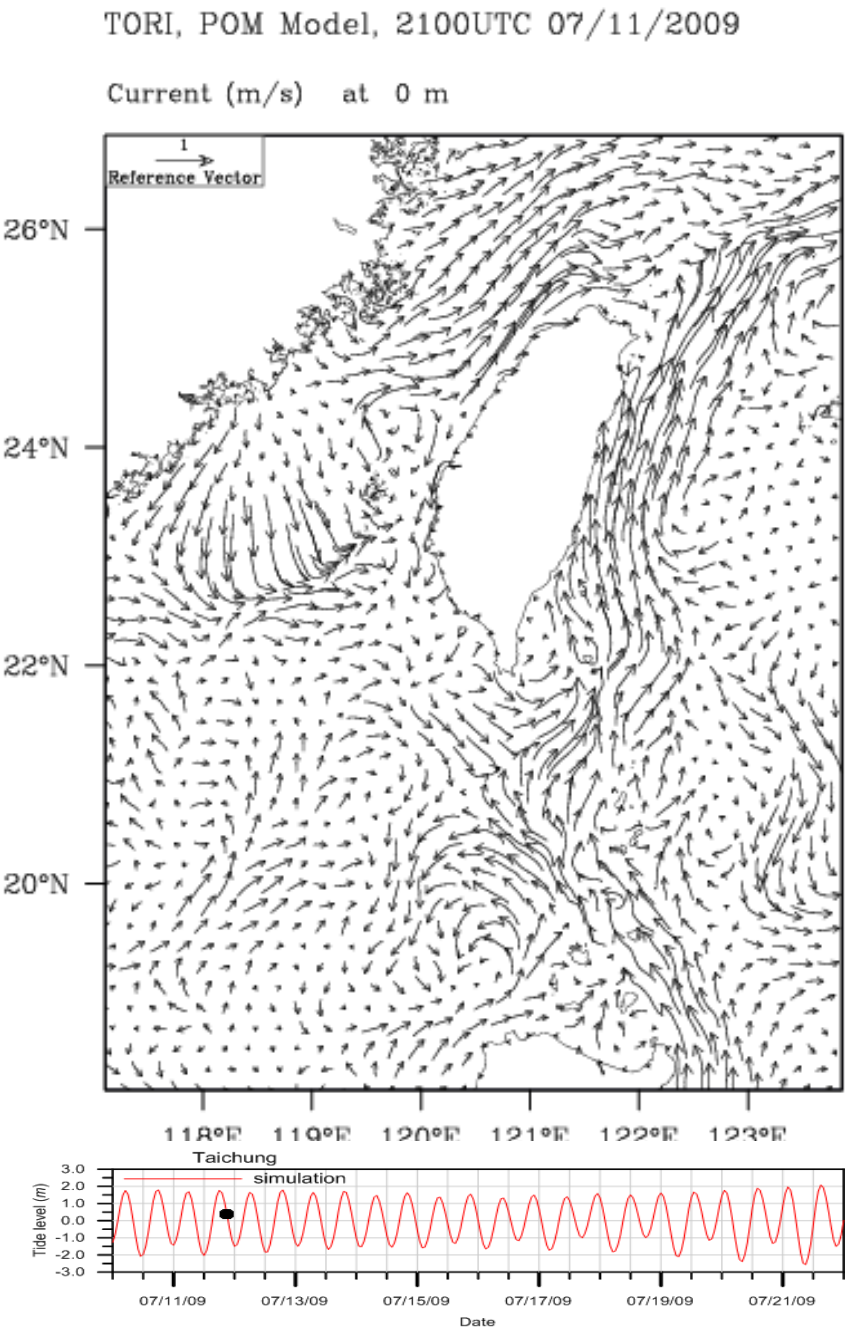


圖 2-26(續) 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場(參考台中港退潮期計算潮位 2009/07/11 21:00)

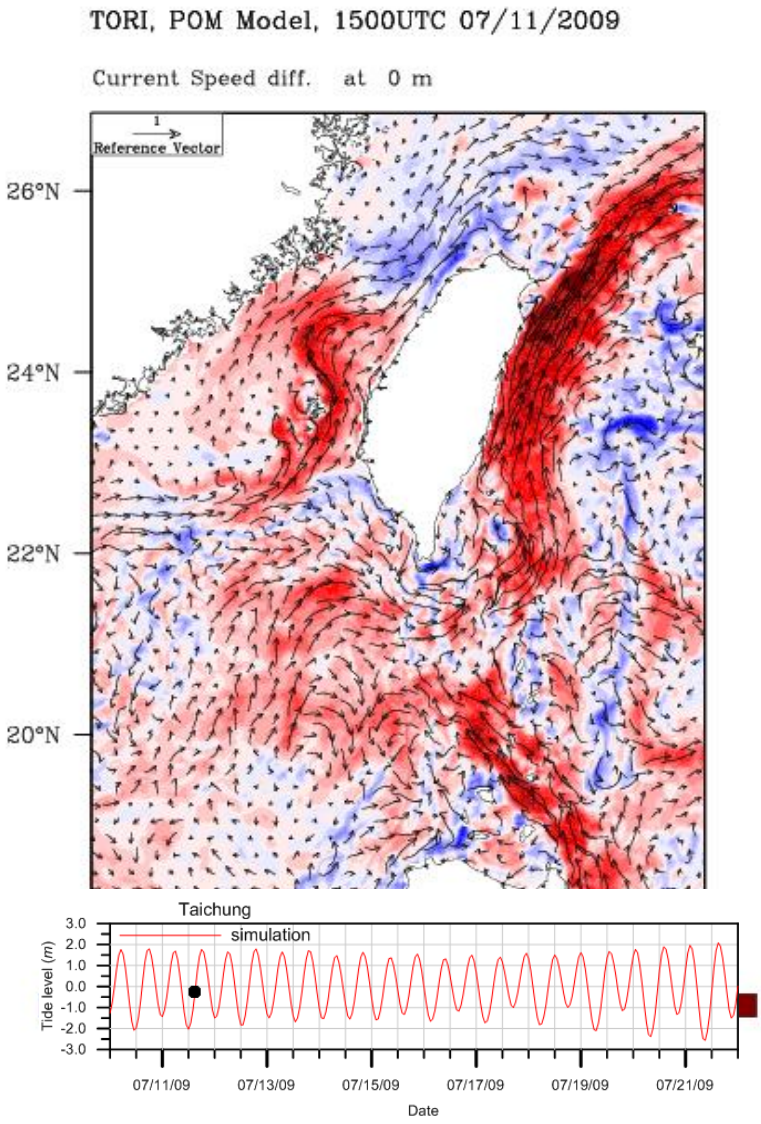


圖 2-27 臺灣海域自綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場中扣除潮流效應所得之恆常海流流場(台中港漲潮期 2009/07/11 15:00)

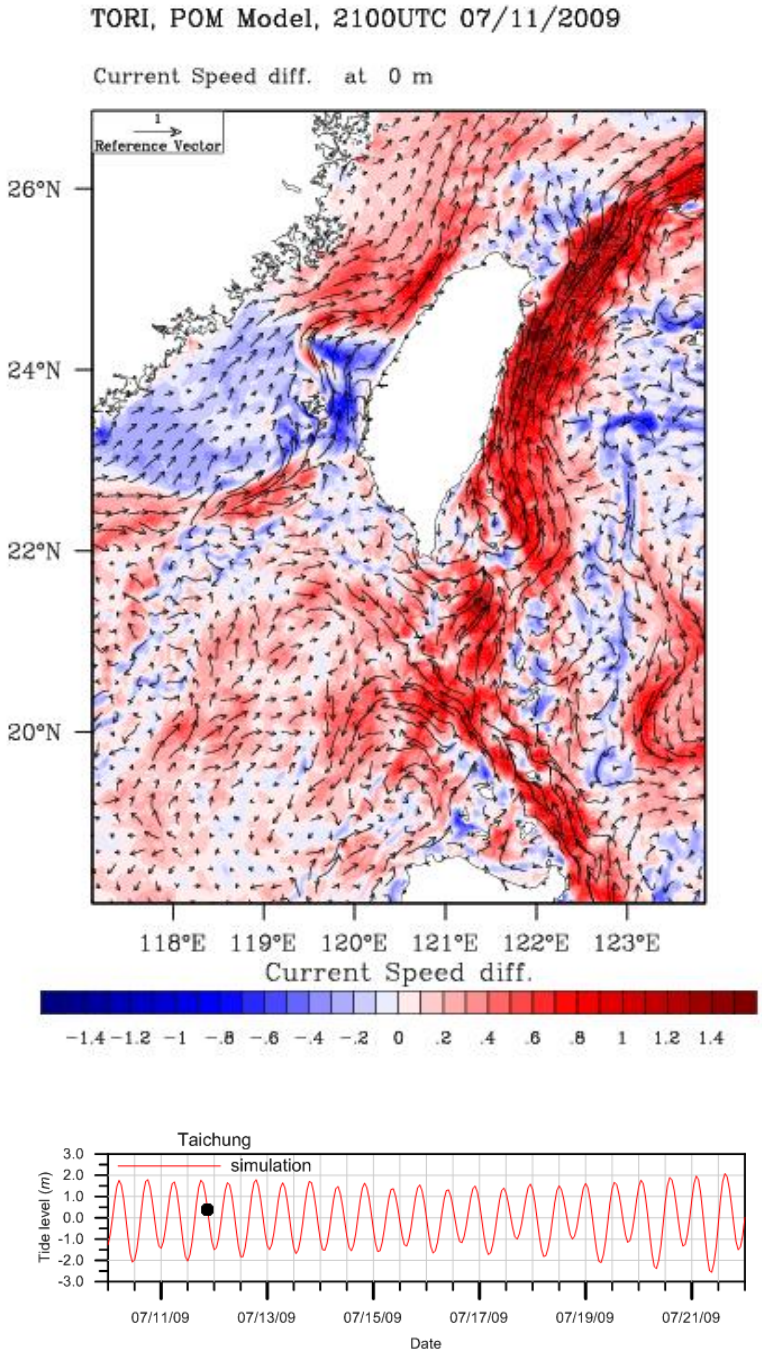


圖 2-27(續) 臺灣海域自綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場中扣除潮流效應所得之恆常海流流場(台中港退潮期 2009/07/11 21:00)

黑潮(Kuroshio)又名臺灣海流，其係為來自赤道附近的暖流，亦是北太平洋中流速最強的海流。夏季表層水溫達 30℃；冬季水溫不低於 20℃。當其由赤道向北流至菲律賓之呂宋島海域後，受廣擴之巴士海峽海域及恒春海脊與海槽地形水深影響，主流將一分為二，其中之西側主流，將在臺灣西南部海域，形成套流(loop currents)流態，且當其轉進南海海域後，一部分會沿著澎湖水道，穿過臺灣海峽，往北流動，此即為黑潮支流(Kuroshio branch)；另一部分則會在臺灣西南海域，藉套流所形成之順時針環流，繞過臺灣南部海岸，並於墾丁附近海域，與東側主流會合，而後，受東亞大陸棚架地形水深之影響，主流將沿臺灣東部海岸北上，接著，受蘇澳海脊阻隔，於流經彭佳嶼後，再彎曲而順東海之陸架緣，並朝位在東北向的日本海域流去。

在臺灣東部海域，黑潮主流之寬度約為 100~150 公里，主流中軸線距臺灣東岸約 50~150 公里，主流流速隨區域與季節而有所不同，主要介在 0.6~1.0 m/sec 之間，夏季流速並較冬季為快，最強之流速出現在接近臺灣東部海岸處，表面流速較大可達 1.0 m/sec，有時可高達 2.0 m/sec，惟流速會向東緩慢降低，於主流右側，甚且會有一反時針方向旋轉之向南大型渦流存在，平均流量約為 32.7 ± 4.4 S_V ($Sv=10^6\ m^3/s$)；另外，黑潮主流由海面可向下伸延至 600 米深，在此深度之流速仍約可達 0.1~0.2 m/sec；在臺灣東部近海，黑潮海流可延展深至 200 米，流速則仍約可達 0.3 m/sec。值得一提的是，黑潮流經臺灣海域時，由於受到東亞大陸棚架地形的影響，在臺灣東南部近海及東北部外海海域，會引起湧昇流現象(Hsin et al., 2008；王，2002；劉，2002；詹，2002；莊、廖，2011；廖 等，2011、2012)。

黑潮支流(Kuroshio branch)為流經臺灣海峽海域的黑潮洋流，部分學者主張其為西南風吹送流，其流動特性因受季風之影響，一般可按季節不同而區分為兩種形態：自春末至秋初，由於西南季風盛行，位於臺灣南方之南海洋流與黑潮支流等兩股暖流，皆會流經整個臺灣海峽海域；而在冬季時，因東北季風盛行，因此，由東北風吹起的冷流會流入臺灣海峽北部，並與來自海峽南部的溫暖黑潮支流相遇於澎湖群島附

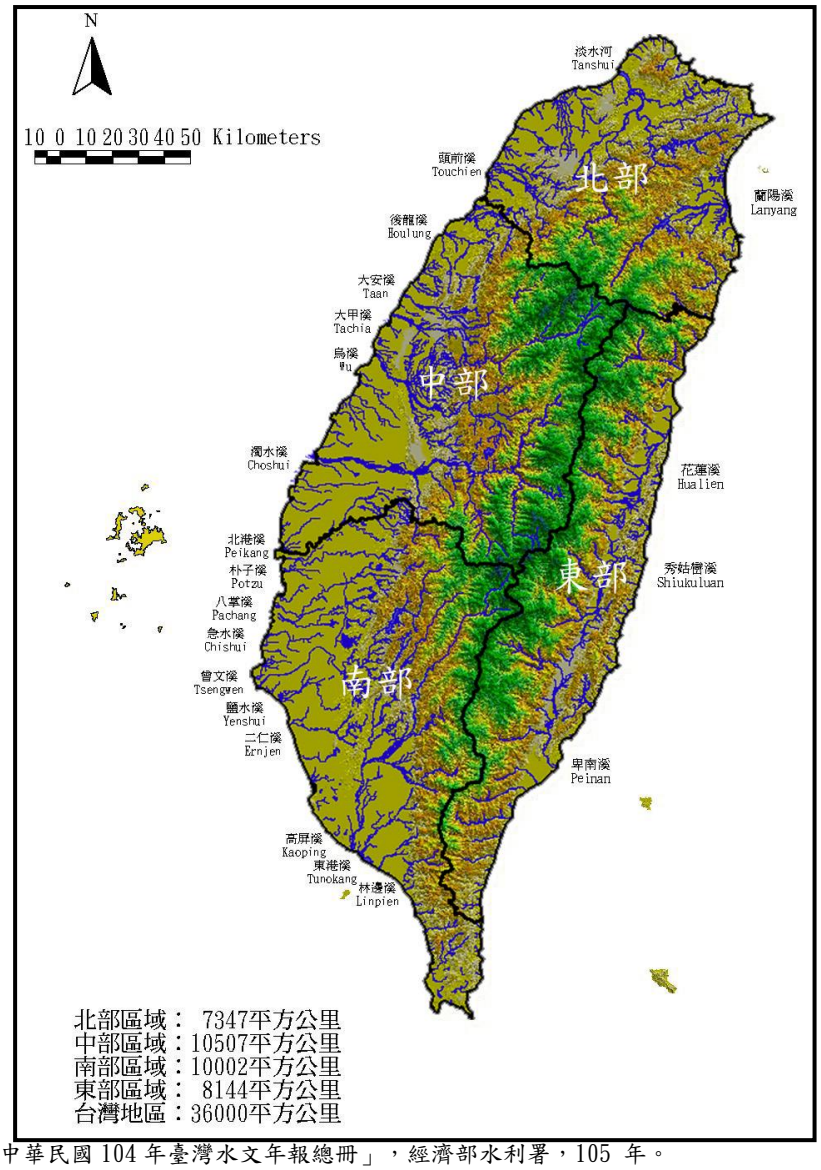
近海域，然後再一起匯流進入中國南海。Wu et al. (2007)曾配合高解析度水深地形及風場與海面溫度資料，應用 POM 模式模擬臺灣海峽之海流變化，從而發現：夏季黑潮支流或西南風吹送流會直接越過彰雲隆起由南往北流動，而在冬季，由於東北季風及中國沿岸流的阻擋影響，海峽內原本由南向北流動的黑潮支流或西南風吹送流，於彰雲隆起北側，將形成一逆時針方向的渦環流。台大海洋研究所唐存勇教授等曾測量黑潮洋流，並彙整分析得到臺灣環島海域冬、夏季之年平均海流流場(劉，2002)，由該平均流場圖綜合觀察可看出，除黑潮洋流以甚強的流速順著臺灣東部海域由南往北流外，臺灣海峽的年平均海流也確實是由南往北流動，流速在臺灣這一側明顯比靠大陸側強，在澎湖水道中，較強流速可達 40 cm/s，海流北上通過雲彰隆起處，會受淺灘阻擋而偏流，之後又貼回臺灣西北部海岸。又由平均流及水深計算，可得臺灣海峽全年的平均流量約為 1.8 Sv，其中約有一半是流經寬約 30 公里的澎湖水道，另一半則流經寬度超過 130 公里的臺灣淺灘，因此，前者水流湍急，而後者水流則較為和緩(王，2002)。

在臺灣鄰近海域，另一重要的洋流為親潮(Oyashio)，親潮又名中國沿岸流或千島寒流，其為起源於渤海與黃海北部之冷流。在冬季，因東北季風之吹拂，其會順沿中國大陸海岸南下，流入臺灣海峽後，將與黑潮支流相會於澎湖群島附近，而後會合流入南海；夏季時，因西南季風影響，黑潮支流較強勁，因此，親潮一般無法流向臺灣海峽海域。此外，流經臺灣海域的洋流尚有南海洋流。此洋流的特性，在冬季時，由於強盛東北季風之阻攔，無法流入臺灣海峽；但在夏季時，由於西南季風之吹送，促使其北上並與臺灣海峽的黑潮支流匯合同流。因此，南海洋流又稱為西南季風吹送流。

2.5 河川

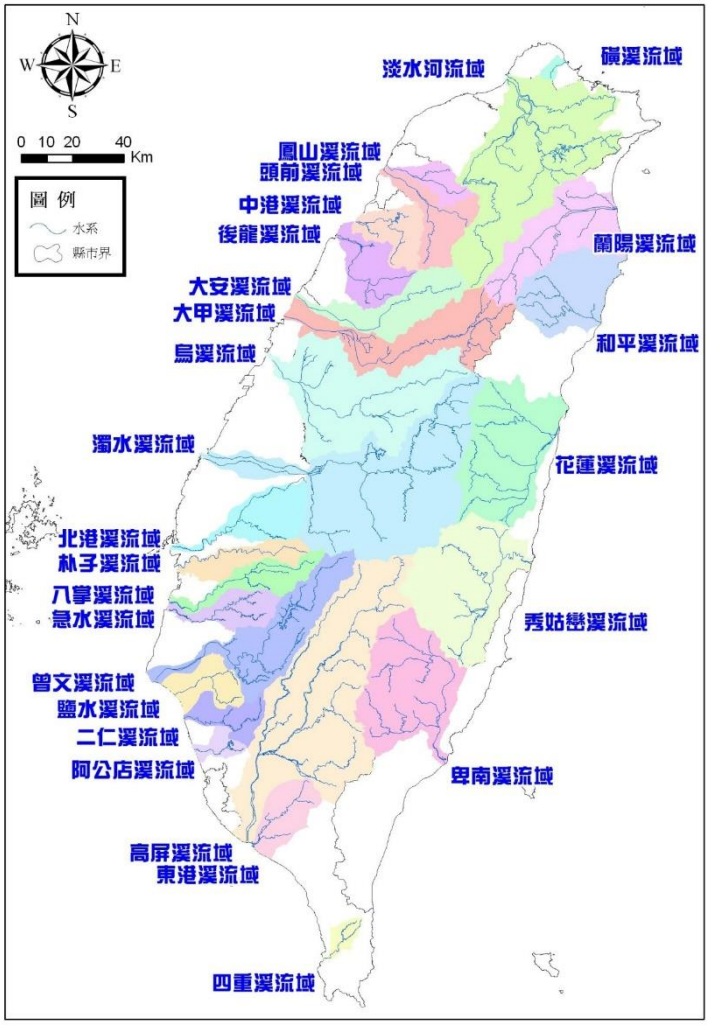
臺灣地形狹長，河川係由中央山脈或其他山區發源，河流大多為東西走向，向東流入太平洋或向西注入臺灣海峽。主要河川與水資源分區，

如圖 2-28 及圖 2-29 所示，其中，中央管河川共有 24 個水系、跨省市河川有 2 個水系、縣（市）管河川則有 92 個水系（中華民國 104 年臺灣水文年報總冊，經濟部水利署，2016），並區分淡水河、大甲溪、濁水溪、高屏溪、曾文溪為 5 大流域。各河流均短且陡，河川坡降約在 1/8 至 1/500 間，洪枯流量非常懸殊。



資料來源：「中華民國 104 年臺灣水文年報總冊」，經濟部水利署，105 年。

圖 2-28 臺灣之主要河川與水資源分區圖



資料來源： 經濟部水利署水利規劃試驗所，https://www.wrap.gov.tw/pro12.aspx?type=0201000000

圖 2-29 中央管河川及跨省市河川流域位置圖

臺灣各河川，夏季颱洪期間，流量常隨降雨迅速起落，集流時間甚短，洪峰量大，流速快，湍急水流不僅常導致集水區發生嚴重沖蝕現象，所挾帶之大量泥沙，更使河流輸砂量甚高，估計單位面積年平均輸砂量以南部區域 88 百萬公噸/平方公里最大；北部區域 22 百萬公噸/平方公里最小。主要河川之輸砂量，則以濁水溪及高屏溪為最大(經濟部水利署水利規劃試驗所，https://www.wrap.gov.tw/Advanced_Search.aspx?q=主要河川之輸砂量)。

臺灣最長且輸沙量最大的河川是濁水溪，因其溪水常帶大量泥沙而得名，平均流量為 130 CMS，年輸沙量為全臺之冠，可達 25 百萬立方公尺以上。據研究指出，濁水溪河口懸浮沉積物，受海流移運作用，

可輸送至離岸 3 公里遠海域；暴雨時，水流湍急，自上游所攜運之大量泥沙，是臺灣中部海域漂沙之主要來源。

2.6 水下沙體與輸沙潛勢

依據實際調查及測量資料統計分析顯示，臺灣環島海岸，除部分礁岩海岸外，其餘大部分皆因颱洪期間河川輸沙減少或因近岸波浪作用而陳現沖蝕趨勢(張、黃，1997；歐 等，2001；郭、簡，2001)。惟從近岸海域之輸沙平衡觀點出發，卻難以發現具有淤積趨勢之海岸及海灘，或明顯陳現堆淤的近岸地形水深！因此，在以海流作為近岸海域漂沙之主要輸運動力認知下，究竟在各種組成海流之成份中，主要的輸運動力是什麼？它對漂沙的主要輸運路徑為何？近岸受沖蝕的大量海灘沙質或漂沙，究竟將會沉積至何處？這些關鍵課題，皆有待從臺灣環島海域較長、大時空尺度之海灘地形沖淤變遷趨勢來著手探究。

2.6.1 水下沙體

為探討臺灣環島近岸海域的沖淤趨勢，配合臺灣環島近岸海域實測的平均流與模擬計算的潮流特性，參見圖 2-24、圖 2-25、圖 2-26 及圖 2-27，莊、江(2002)曾依據 1998 年我國聯合勤務總司令部測量署製繪五十萬分之一比例尺之「臺灣省全圖」，參見圖 2-30，從圖中由南而北以順時針方向圍繞臺灣環島近岸海域，分區觀察圖中由白色階所代表之 50 米內等深線水下地形型態可發現：

(a) 在臺灣南部恆春南灣海域，存在有一朝西之魚尾型水下沙體，此魚尾型之水下沙體，由於其存在之水深深達 50 米，於參酌臺灣海域之風、浪、潮及海流等海氣象環境特性後，推論其可能係受鵝鑾鼻地形遮蔽而由颱風波浪長期繞射衝擊或由臺灣南端海域因潮流衍生地形殘餘流之恒常運移作用所造成。



資料來源：聯合勤務總司令部測量，1978。

圖 2-30 存在於臺灣環島近岸海域之大尺度水下大型沈積沙體

(b) 在臺灣南部高屏溪及東港溪河口，於聯結高雄港一港口、枋寮、及小琉球島之三角形海域內，存在有一寬敞之弧形水下沙體，由於本區海域潮流流速甚弱，故推測此弧形水下沙體應與高屏溪及東港溪河流之輸沙沉積直接相關，只是受高屏溪口外之高屏峽谷影響，致使陳現弧形之水下沙體，因此於小琉球島北側顯現一海溝形態之缺口，此外，沿著澎湖水道北上，自高雄港第一港口至嘉義濁水溪口間，水下沙體之寬度普遍甚大，且有由南向北遞增之趨勢，因此，可研判本區段海域，經常性之西南季風波浪沖刷，應是漂沙移運的主要動力，而自台南七股海岸以北海域，影響水下沙體沉積形態之主要因素，應轉變為黑潮支流、西南風吹送流與潮流，且因黑潮支流或西南風吹送流與潮流衍生地形殘餘流之優勢運移方向，應是由南而北。

(c) 在臺灣中西部海域，於彰化、台中海岸外，非常清晰地可見到一陳現三角形或沙舌形狀的大型水下沙體，此即為「雲彰隆起」。就其地理位置而言，依據臺灣環島半日型潮波之共振理論(Lin et al., 2000)及共振潮波顯現之部分重複駐潮形態(莊、江，2000；Juang et al., 2001)可知，雲彰隆起恰約位在部分重複駐潮之腹點(anti-node)海域，雖然本海域冬季風浪較大，但因季風與波浪所共同引起之近岸流與風趨流，勢皆甚難以影響水深及於 50 米之水下沙體沉積，因此，在臺灣海峽中段海域內，由駐潮腹點潮流應具弱流速且應充分展現輻散聚合之特性，研判「雲彰隆起」水下沙體之形成，應係河川(濁水溪)輸沙受波浪沖刷，再受黑潮支流或西南風吹送流及駐潮腹點潮流之恒常輻散匯聚運移作用所直接造成，此外，「雲彰隆起」水下沙體之存在規模與其變化，應可作為臺灣西部海岸發生沖淤，而究竟「沙從那裡來」、「沙往那裡去」等相關海岸沖淤平衡疑問之闡釋輔助。

(d) 在臺灣西北部淡水河口海域，甚至南達桃園以至新竹海域，50 米等深線以內之水下沙體，其寬度普遍較臺灣西南部海域狹窄，尤其是在颱洪期間具有高河川輸沙量的淡水河口海域外，原應

有發達之沙舌型(salient)水下沙體存在，不過，在本海域內卻未明顯陳現，海流對漂沙輸運之最主要的殘存遺蹟，僅可見於「觀音凹陷」與桃園之北部海域間。因此，可據以研判臺灣西北部海域之黑潮支流或西南風吹送流與潮流所共生之強勁海流，應為影響本區段海域水下沙體沉積及存在形態之重要因素，且該強勁海流之優勢運移方向，與臺灣西南部海域相同，也應是由南往北。

(e) 在礁岩型之臺灣北部海域，50 米等深線以內之水下沙體，與臺灣東部海域類似，皆不發達，僅管如此，在鼻頭角北部海域，於 200 米等深線內，仍清楚可見大規模之沙舌型水下沙體沉積。綜合臺灣環島近岸海域經實測分析所得的平均海流流場特性，並將其與基隆海域恰約位處臺灣海峽北區段之部分重複駐潮近似結點或無潮點特性(莊、江，2005；2006)相對照，依據部分重複駐潮結點海域潮流所具有之強盛輻散流速之移運作用，外加黑潮洋流之牽引，因此可推測臺灣北部基隆海域外 200 米等深線之沙舌型水下沙體，應係臺灣西北部及北部海域近岸海灘漂沙，受黑潮洋流及潮流衍生地形殘餘流之優勢輸運作用所形成之總沉積，且該海域海流之優勢運移方向，與臺灣南部海域恰相反，主要應為由西向東。

(f) 在臺灣東北部之宜蘭海域，雖然本海域經常受季風與颱風波浪之衝擊，但於正對蘭陽溪口外，即使從 200 米等深線觀察，仍明顯可見一形態發展完整之沙舌型水下沙體，可見本海域之黑潮洋流及潮流所衍生之地形殘餘流，其流速普遍應甚弱，對水下沙體之沉積形態影響勢必甚為有限，故而可研判漂沙之優勢運移方向，因此主要取決於蘭陽溪在颱洪期間之河口洪流作用。

(g) 在臺灣東部的花蓮及東南部的臺東與綠島海域，僅管本海域經常面對東北季風與颱風波浪之衝擊下，但因潮流及其衍生之地形殘餘流影響皆甚微弱，故其 50 米~100 米等深線所陳現之水下沙體沉積形態，並無明顯之優勢方向特徵；惟若仔細觀察 200

米~2000 米等深線之形態變化，仍隱約可見有偏南向之沙舌型水下沙體發展，這意謂本海域雖然與主流由南往北之黑潮洋流毗鄰，但水下沙體之沉積形態，實際受黑潮流之影響甚為有限，故而可研判漂沙之優勢運移方向，主要應取決於東北季風與颱風及其衍生波浪之運移作用。

俗諺云：“凡人走過必留下足跡”。對海流與輸沙間的自然因果關係，同理應是：”凡水流過必留下沙痕”。所以，在臺灣環島近岸海域所陳現的大型淺灘或水下沙體，應皆是漂沙受近岸波浪沖刷，再長年被海流及潮流運移後，經長期性的沉積所遺留下來的自然痕跡。

2.6.2 輸沙潛勢

本文所指稱之「輸沙潛勢」，係針對大尺度海流對漂沙輸運與沉積之潛在趨勢(potential trend)。主要內涵包括具恆常性之海流對漂沙的傳輸擴散能力、輸運方向、底床漂沙沉積量及沉積範圍與形態等趨勢。輸沙潛勢的分析，可透過數值模式，應用經由模擬計算所得之大尺度擬真海流(綜合洋流與潮流效應)，參見圖 2-26 與圖 2-27，配合來自於河川輸沙之沙源，再藉海域漂沙傳輸擴散之濃度高低變化分布與漂沙沉積趨勢，據以評估其對海岸所可能造成長期性之沖淤影響。

在臺灣環島海域，由近岸漂沙長年沉積所形成的大規模水下沙體，因其存在的水深係在 50 米等深線的範圍，部分甚至深達 200 米，所以，在近岸海域各種足以影響近岸輸沙的可能因素中，除了因颱風巨浪沖蝕海岸所引起短期性的近岸流輸送外，潮殘餘流不僅應是近岸漂沙甚為重要的輸運動力，潮殘餘流的大小及方向，更可用以研判海岸長期的變遷趨勢與輸沙運移的優勢方向。

為確認臺灣環島海域潮殘餘流對近岸輸沙的長期性影響，莊(2008)曾應用含括月大、小潮期間之潮流逐時計算流場，參見圖 2-26，配合 MIKE21_ST 輸沙模式，使用 Engelund & Hansen(1976)之總輸沙(total load)公式，經模擬計算後，可得臺灣環島近岸海域半月平均的長期輸沙

潛勢(sediment transport capacity)，如圖 2-31 所示。圖中，輸沙潛勢的強弱大小，以色階深淡值表示，其單位為每公尺距離內每年以立方公尺計算的輸沙量(m^3/yr/m)；箭矢長短與指向分別表示長期平均的優勢輸沙量之大小與方向。故而，在局部海域內，若有深藍色階的高輸沙潛勢呈現，將意謂該海域的潮殘餘流運移作用較強勁，並且具有沖蝕(erosion)趨勢；反之，若呈現淺藍色階的低輸沙潛勢，則意謂該海域潮殘餘流的運移作用較微弱，並且具有淤積(deposition)的趨勢。

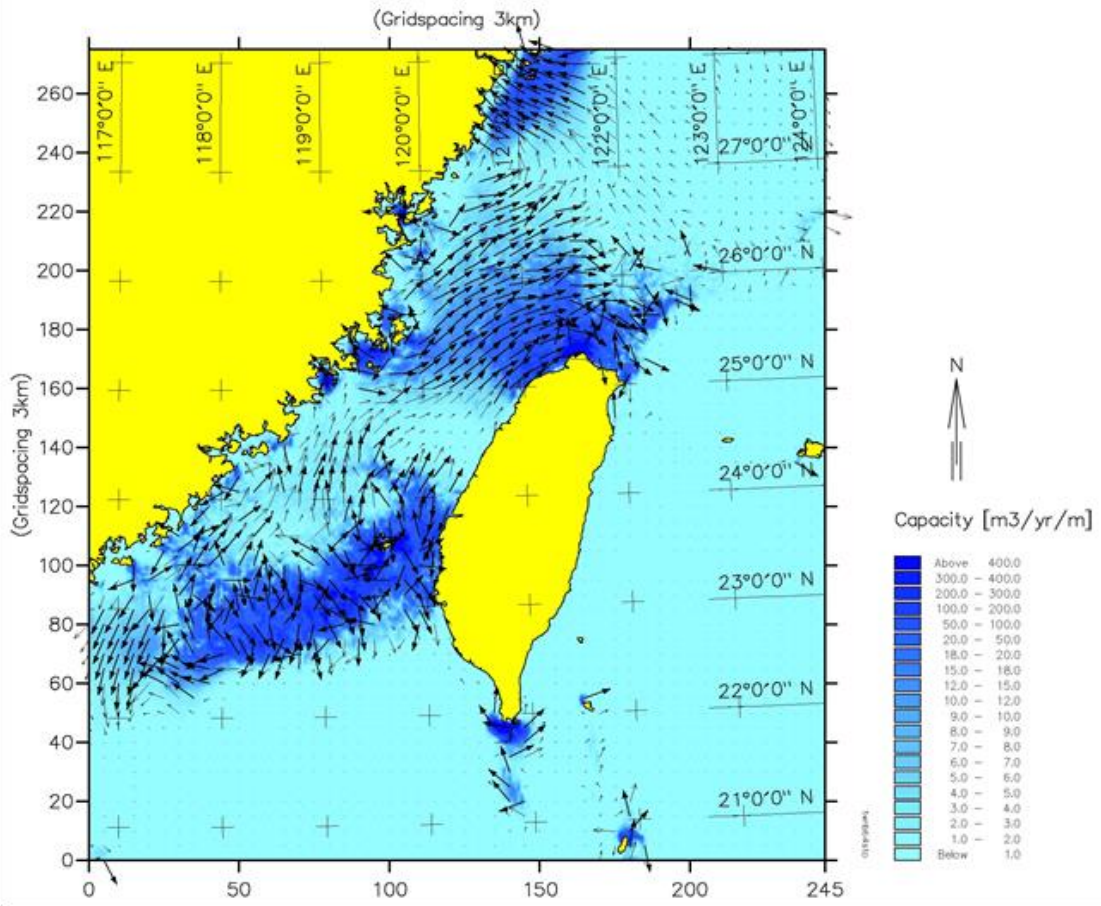


圖 2-31 臺灣鄰近海域於含括月大小潮期間連續 15 日逐時潮流作用下綜合以輸沙潛勢(色階)及輸沙運移方向(箭矢)所表示之潮殘餘流流場

依據輸沙潛勢與潮殘餘流的相關性，從圖 2-31 中，首先觀察臺灣環島近岸海域總體輸沙潛勢強弱的分布變化可知：在臺灣東部、中西部及西南部近岸海域，輸沙潛勢普遍甚小，可見潮殘餘流在該三部分海域的流速甚微弱，故漂沙皆應具有近岸淤積的趨勢，不過，在臺灣東部及西南部近岸海域，由於該二部分海域的水深甚深，故漂沙的沉積不易展現，但在水深較淺的中西部海域，由於近岸漂沙大量的沉積，因此，形成「雲彰隆起」海域的水下沙體；另外，在臺灣西北部及臺灣海峽南端陸架緣海域，輸沙潛勢一般甚大，潮殘餘流在該二部分海域的流速也甚強勁，故皆應具有海域沖蝕的趨勢，因此，在臺灣西北部海域有「觀音凹陷」及「烏坵凹陷」的形成，而在臺灣海峽南端陸架緣端海域，從地形水深南北縱剖面亦可見陸架緣端附近明顯存在的沖蝕斜坡。將以上臺灣環島近岸海域總體輸沙潛勢所顯示的海域沖淤特性，與臺灣環島近岸海域地形水深相對照，參見圖 2-1，可見彼此具有近似趨勢，且可預判潮殘餘流在其間確實扮演甚為重要的角色。

其次，在臺灣海峽海域，因潮殘餘流長期固定大小與方向的持續輸沙作用，導致臺灣海峽長期平均的輸沙優勢方向明顯地為由南往北，此輸沙優勢方向的導出，不僅與臺灣海峽的海流經年是由南往北流的特性一致，以輸沙潛勢大小及方向展現的潮殘餘流，更與實測平均海流的分布型態密切地吻合，參見圖 2-25。因此，推測在臺灣海峽的實測平均海流，實際上可能也包含潮殘餘流的展現。

最後，就局部沿岸海域觀察圖 2-31 中的輸沙潛勢變化可得：(a)在臺灣南部的恆春南灣沿岸海域，可見輸沙潛勢甚大，潮殘餘流之沖蝕作用甚強，因此，該局部海域應具有海岸長期的侵蝕趨勢，且其輸沙的優勢方向主要為由東向西，再與圖 2-30 中所示存在於恆春南灣海域的魚尾型水下沙體對照，可確認具由東向西優勢作用方向的強潮殘餘流，應是恆春南灣海域魚尾型水下沙體形成的主要動力；(b)在臺灣西南部的屏東、高雄及安平港沿岸海域，輸沙潛勢甚小，潮殘餘流之沖蝕作用極弱，所以，該海域局部海岸的侵蝕趨勢，主要應取決於當地短期的波浪作用，不過，仔細觀察圖 2-31，在屏東小琉球島海域仍可見潮殘餘流

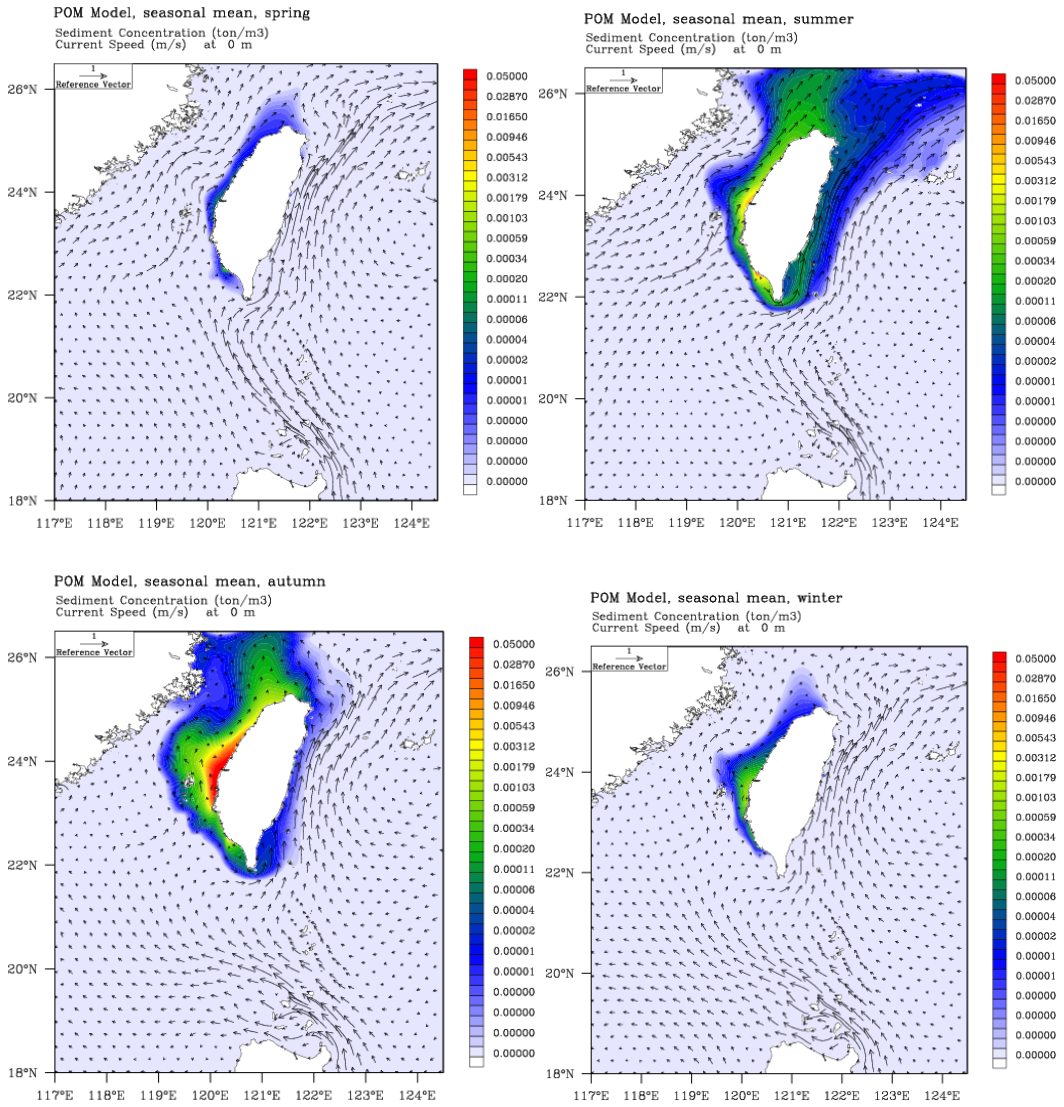
的方向為由南往北，而在安平港近岸海域，潮殘餘流的方向則轉為由北往南；(c)在澎湖南側及澎湖水道海域，相對於臺灣西南部具微小輸沙潛勢的其他海域，本海域普遍具有極高的輸沙潛勢，潮殘餘流之沖蝕作用也極強，最明顯的沖蝕海域大多位於鄰近臺灣海峽南端的大陸棚架緣，只是，在大陸棚架緣南側，潮殘餘流之優勢沖蝕作用方向主要為南向，而在大陸棚架緣北側，潮殘餘流之優勢沖蝕作用方向反轉為北向，因此，澎湖海域主要的輸沙優勢方向為由南往北，至於「臺灣灘」的形成，可能係因為潮殘餘流北向輸沙潛勢降低，因而導致漂沙的自然沉積；(d)在澎湖水道海域東側的台南與嘉義一帶近岸海域，仔細觀察圖 2-31 可得，近岸海域的輸沙潛勢有由北往南遞減的趨勢，可見，本段沿岸海域的輸沙優勢方向與澎湖水道西部海域正好相反，在強潮殘餘流的作用下，本段海岸除應具有長期自然的侵蝕特性外，尚可看出沿岸海域輸沙優勢方向主要為由北往南；(e)在臺灣中西部的彰化、台中及苗栗一帶近岸海域，由圖 2-31 明顯可見，本段海岸的輸沙潛勢甚微小，潮殘餘流的沖蝕作用也極微弱，所以，本段海岸原應具有自然的漂沙淤積趨勢，因此，可能造就「雲彰隆起」的形成，僅管如此，再仔細觀察「雲彰隆起」海域細部輸沙潛勢的變化可得，臺灣中西部海域因潮殘餘流作用所衍生的輸沙優勢方向，總體而言，仍為由南向北，故本段海岸局部發生的侵蝕，主要應係當地短期波浪的作用所導致；(f)在桃園觀音、淡水至基隆一帶的臺灣西北部及北部近岸海域，觀察圖 2-31 可得，本海域的輸沙潛勢與臺灣西南部的台南至嘉義海域類似，普遍皆具有極高的輸沙潛勢，潮殘餘流之沖蝕作用也最強勁，因潮殘餘流所造成的整體輸沙優勢方向很明顯地為順臺灣北部海岸由南而北再向東，故本段海岸除具有長期的自然侵蝕趨勢外，「觀音凹陷」及「烏坵凹陷」可能也因強勁潮殘餘流的輸沙移運作用而在本海域內發展；(g)在臺灣北部海岸，從圖 2-31 所示的輸沙潛勢強弱變化觀察可發現，本段海岸的沖蝕以富貴角海域最明顯，不過，在鼻頭角及三貂角附近海域，漂沙仍具有局部淤積的趨勢，因此可能促成圖 2-30 中位在鼻頭角及三貂角北部，水深 200 米海域，沙舌型水下沉積沙體的形成；(h)在宜蘭沿岸海域，輸沙潛勢甚小，潮殘餘流對輸沙的影響明顯降低，但仔細觀察圖 2-31，

在頭城附近的海岸仍應具自然的淤積趨勢；(i)在臺灣東部的海岸，由圖 2-31 可明顯地看出，本段海岸整體的輸沙潛勢甚微小，潮殘餘流的運移作用應微不足道，故臺灣東部海岸的侵蝕與輸沙優勢方向，主要將取決於當地短期型態的波浪作用。

綜合而論，從近岸海域輸沙潛勢圖與水下沙體的存在型態觀點出發，不僅可準確地掌握臺灣環島海岸長期沖淤變遷的自然趨勢，透過輸沙潛勢運移方向的展現，更可充分提供近岸海域潮殘餘流的優勢輸沙方向資訊。

此外，為探討臺灣海域海流與河口颱洪流對近岸漂沙移運沉積型態特性，莊 等(2013)曾應用臺灣海域之恆常海流流場，參見圖 2-27，結合考量全臺 20 條河川之月平均流量與輸沙量，分季評估輸沙潛勢與漂沙沉積趨勢，結果如圖 2-32 所示。圖中，海流流速大小與流向以箭矢表示；漂沙濃度高低與底床漂沙沉積量多寡，則以藍紅色階表示，紅色色階越深，表示漂沙濃度與底床漂沙沉積量越高；藍色色階越淺，表示漂沙濃度與底床漂沙沉積量越低。

綜合觀察圖 2-32，首先，檢視分季之海流特性可見，臺灣海域之海流，其流速隨季節雖有強、弱之變化，但在臺灣海域，無論是東部的西太洋海域或西部之臺灣海峽海域，總體季平均之流向，四季皆陳現為由南而北。因此可研判臺灣近岸或河口海域之大尺度海流，其流向明顯具有由南而北的優勢恆常特性。其次，檢視分季漂沙濃度累積分布可知，臺彎東、西部之近岸，受河川輸沙之影響，四季均有相對較高的漂沙濃度分布，而在臺灣西部海域，於夏、秋季之河川豐水期，具有高漂沙濃度之海域，甚至可擴及至臺灣海峽之中、北段整體海域。其中，從臺中至嘉義海域，尤其是在濁水溪河口，四季之漂沙濃度均較其他海域高；而在新竹至桃園海域，亦陳現有較高之漂沙濃度。因此可推測，臺灣總體海域，在流向由南而北的優勢恆常海流作用下，輸沙潛勢，亦應為由南往北。



註：春季：3~5 月；夏季：6~8 月；秋季：9~11 月；冬季：12 月~次年 2 月。

圖 2-32 臺灣海域海表層春(上左)、夏(上右)、秋(下左)、冬(下右)四季之季平均海流(箭矢)與輸沙潛勢(色階)

第三章 臺灣環島海岸與近岸港口

3.1 臺灣環島海岸概況

臺灣，位於東經 120°至 122°、北緯 22°至 25°之間，東臨太平洋，西隔臺灣海峽與大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里，四面環海，除本島外，另有 85 個離島(水利署，2021)。

臺灣的海岸地區範圍，依據內政部(2018)公告，係指海域與陸域交接之帶狀區域，依海岸管理法第 2 條規定，海岸地區以「平均高潮線」區分為「濱海陸地」及「近岸海域」2 區塊。其中，「濱海陸地」是以平均高潮線至第一條省道、濱海道路或山脊線之陸域為界；另「近岸海域」是以平均高潮線往海洋延伸至 30 公尺等深線，或平均高潮線向海 3 浬涵蓋之海域，取其距離較長者為界，海岸地區範圍，如圖 3-1 所示。臺灣環島，由於地質構造差異，臺灣東部及西部之海岸型態差異極大；東部海岸，面對太平洋，地形陡峭，海床與海溝深邃，離岸 6 浬，海深即達 3,000 公尺，近海坡度約達 3/10，沿岸多礫灘、岩礁、灣澳及海崖；西部海岸，面對平均深度約 60 公尺的臺灣海峽，為大陸棚地形，有豐富的沙灘、沙丘、潟湖、河口、紅樹林和寬廣的潮間帶(內政部，2017)。

3.1.1 海岸自然度

臺灣環島海岸線全長約 1,338.359 公里(不含全長約 370.640 公里的澎湖海岸線及總長約 279.078 公里的金門、連江及東沙等離島海岸線)，各縣市之海岸線長度，如表 3-1(內政部，2021)或參見表 3-2(水利署，2021)所示。若依人為使用狀況，約略可以分成(1)自然海岸；(2)半自然海岸；(3)人工海岸等 3 類。其中，第一類之自然海岸，係指無人工構造物或人工構造物對潮間帶水文環境無顯著影響，亦或興建於低潮位線外的離岸潛堤，其堤頂高度小於平均低潮位線者；第二類之半自然海岸，係指存在有海岸道路、高地護岸等人工構造物的海岸，潮間帶仍保持自然狀態，其水文環境受人工構造物影響輕微，亦或興建於低潮位線

外的離岸堤，其堤頂高度低於平均潮位面，漲潮期間會被淹沒者；第三類之人工海岸，係指潮間帶內存在有港灣、航道、海岸圍墾區，與海岸防護設施等人工構造物，且對潮間帶水文環境有顯著影響者。

臺灣環島海岸自然度分布概況，如圖 3-2 所示(經濟部水利署，2021)。各縣市所屬海岸線長度及其自然與人工海岸線之比例，如表 3-1 所示，由表觀察可見，臺灣環島的自然海岸線，約僅佔 44.2%，其餘高達 55.8%皆為具有港灣、航道、海岸圍墾區或海岸防護設施等人工構造之人工海岸。詳細相關的臺灣海岸地區特性，如表 3-3 所示(內政部，2017)。整體海岸各類型自然度分類準則說明，則詳如表 3-4 所示。



資料來源：「海岸地區範圍」，內政部，111 年 4 月 8 日台內營字第 1110804425 號令。

圖 3-1 臺灣海岸地區範圍示意圖



資料來源：[海岸概況_經濟部水利署水利規劃試驗所]

圖 3-2 臺灣海岸自然度分布概況

3.1.2 海岸型態

引用經濟部水利署水利規劃試驗所網站資訊，臺灣海岸型態，若依據地質與底質粒徑進行區分，大致可以分成：(1)泥灘海岸(muddy beach)、(2)砂質海岸(sandy beach)、(3)礫石海岸(gravelly coast)、(4)岩石海岸(rocky coast)、(5)生物海岸(biological coast，主要包含珊瑚礁與藻礁)等5種類別，分類原則如表3-5；海岸環境概況，如表3-6所示；各類海岸型態整體分布，如圖3-3所示。



資料來源：[海岸概況_經濟部水利署水利規劃試驗所]

圖 3-3 臺灣海岸型態分布概況

觀察圖 3-3 可知，臺灣北部由新北市金山、野柳開始向東北，繞至宜蘭縣頭城以北，均為岩石海岸；再至宜蘭縣以蘭陽溪口三角洲，則屬於砂質海岸；自蘇澳往南的東部海岸，大部分為岩石海岸，其間，在花蓮溪、卑南溪、太麻里溪、利嘉溪、知本溪等河口，雖然具有較大面積之河口三角洲，但是海灘底質皆以大小礫石為主，致為礫石海岸。

在臺灣西部，自淡水河口以南至屏東枋山以北之海岸，大多為砂質海岸；其間，臺中至雲林海岸，是臺灣西部海岸潮差最大且潮間帶相對較寬廣之海岸段，其底質成分以細沙至粗砂為主，特別是在彰化海岸，因有利細顆粒泥質沉降堆積，以致形成寬廣的泥灘海岸；而自枋屏東山以南，則為岩石海岸；又在恆春半島，係屬珊瑚礁海岸。

3.1.3 海岸沖淤概況

海岸為陸地與海洋的銜接地區，環境景觀具多元性，生物生態具多樣性。惟受自然海洋波浪、潮汐、風力、河川輸沙等海灘營造力及海岸開發、利用、防護等人工設施建置之影響，海岸因而會產生規模不等、尺度大小不一的淤積或侵蝕動態變化。

依據內政部(2017)公告之「整體海岸管理計畫」整理，往昔臺灣海岸的侵淤概況，經摘錄如表 3-7 所示，由表觀察可見，環島海岸及海灘，大多皆存在侵蝕現象。行政院 103 年 12 月 15 日召開國土保育專案小組第 9 次會議，討論「永續海岸整體發展辦理情形」案之決議，內政部營建署當時曾以經濟部水利署提供之海岸侵淤資料為基礎，總計彙整了 13 組侵淤熱點，且標註了其附近關聯侵淤之重大設施，經摘錄如表 3-8 所示，或參見 2019 年 1 月 3 日經濟部海岸侵蝕防護權責分工協調指定原則中所彙整之 13 處侵淤熱點，如表 3-9 所示，由表觀察可見，造成侵淤之主要設施，大多為大型海岸開發、商港或近岸港口。

至於臺灣海岸往昔發生侵淤之較顯著地區，依據監察院(2000)之「國土保全總體檢」調查報告，可綜整如圖 3-4 所示，詳細的侵淤概況，經摘錄整理可分述如后。

表 3-1 臺灣各縣市 108 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表

資料來源：內政部營建署全球資訊網，2021。

項目	108 年度第 2 期				108年第1期自然海岸線長度(m)	97年第1期(基準年)自然海岸線長度(m)	自然海岸線變化(m)	損失比率(%)
縣市名稱	總海岸線長度(m) (A)+(B)	自然海岸線長度(m) (A)	人工海岸線長度(m) (B)	自然海岸占海岸長度比例(%) (A)/(A)+(B)	(C)	(D)	(A)-(C)	(A)-(C)/(D)
基隆市	18,641	2,593	16,048	13.91%	2,593	2,593	0	0
臺北市	0	0	0	0	0	0	0	0
新北市	144,959	54,803	90,156	37.81%	54,803	56,849	0	0
桃園市	46,285	20,976	25,309	45.32%	20,976	20,840	0	0
新竹市	23,304	1,077	22,227	4.62%	1,077	1,283	0	0
新竹縣	12,450	1,169	11,281	9.39%	1,169	1,170	0	0
苗栗縣	52,033	12,628	39,405	24.27%	12,628	13,107	0	0
臺中市	50,003	6,194	43,809	12.39%	6,194	3,986	0	0
彰化縣	76,050	3,864	72186	5.08%	3,864	3,862	0	0
南投縣	0	0	0	0	0	0	0	0
雲林縣	64,799	3,302	61497	5.10%	3,302	3,304	0	0
嘉義市	0	0	0	0	0	0	0	0
嘉義縣	41,563	2,176	39387	5.24%	2,176	2,176	0	0
臺南市	67,582	29,737	37845	44.00%	29,737	25,158	0	0
高雄市	95,370	11,830	83540	12.40%	11,830	13,186	0	0
屏東縣	171,922	126,792	45130	73.75%	126,792	126,611	0	0
宜蘭縣	111,007	67,989	43018	61.25%	67,989	67,981	0	0
花蓮縣	118,852	77,870	40,982	65.52%	77,870	78,013	0	0
臺東縣	243,539	168,891	74,648	69.35%	168,891	168,699	0	0
小計(1)	1,338,359	591,891	746,468	44.23%	591,891	588,818	0	0
澎湖縣	370,640	269,674	100,966	72.76%	269,674	268,422	0	0
小計(2)	1,708,999	861,565	847,434	50.41%	861,565	857,240	0	0
金門	134,202	114,373	19,829	85.22%	114,373	115,514	0	0
連江	137,668	122,365	15,303	88.88%	123,311	123,567	-946	-0.77%
東沙	7,208	6,284	924	87.18%	6,284	6,405	0	0
總計	1,988,077	1,104,587	883,490	55.56%	1,105,533	1,102,726	-946	-0.09%

註： 1.由於數化影像品質不同、潮汐變化影響及海岸線重新數化，海岸線數化資料結果有些許的誤差，但誤差應在 2% 範圍內。

2.本表數據小數點後之數值皆採四捨五入計算。

表 3-1(續) 臺灣各縣市 105 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表

資料來源：「整體海岸管理計畫」，內政部營建署，2017。

項目 / 縣市名稱	105年度第2期				105年第1期自然海岸線長度(m)	97年第1期(基準年)自然海岸線長度(m)	自然海岸線變化(m)	損失比率(%)
	總海岸線長度(m)	自然海岸線長度(m)	人工海岸線長度(m)	自然海岸占海岸長度比例(%)				
	(A)+(B)	(A)	(B)	(A)/[(A)+(B)]	(C)	(D)	(A)-(C)	[(A)-(C)]/(D)
基隆市	18,641	2,593	16,048	13.91%	2,593	2,593		0
臺北市	0	0	0	0%	0	0	0	0
新北市	145,091	54,461	90,630	37.54%	54,461	56,849	0	0
桃園市	46,292	21,089	25,203	45.56%	21,089	20,840	0	0
新竹市	24,307	1,297	23,010	5.34%	1,297	1,283	0	0
新竹縣	12,449	1,169	11,280	9.39%	1,169	1,170	0	0
苗栗縣	51,997	12,727	39,270	24.48%	12,727	13,107	0	0
臺中市	49,383	3,986	45,397	8.07%	3,986	3,986	0	0
彰化縣	75,860	3,863	71,997	5.09%	3,863	3,862	0	0
南投縣	0	0	0	0%	0	0	0	0
雲林縣	64,309	3,302	61,007	5.13%	3,302	3,304	0	0
嘉義市	0	0	0	0%	0	0	0	0
嘉義縣	41,563	2,176	39,387	5.24%	2,176	2,176	0	0
臺南市	69,264	25,158	44,106	36.32%	25,158	25,158	0	0
高雄市	94,732	11,830	82,902	12.49%	11,830	13,186	0	0
屏東縣	171,086	126,712	44,374	74.06%	126,712	126,611	0	0
宜蘭縣	111,007	67,981	43,026	61.24%	67,981	67,981	0	0
花蓮縣	119,539	78,013	41,526	65.26%	78,013	78,013	0	0
臺東縣	242,997	168,698	74,299	69.42%	168,698	168,699	0	0
小計(1)	1,338,517	585,055	753,462	43.71%	585,055	588,818	0	0
澎湖縣	368,757	267,958	100,799	72.67%	267,958	268,422	0	0
小計(2)	1,707,274	853,013	854,261	49.96%	853,013	857,240	0	0
金門	133,789	114,632	19,157	85.68%	114,632	115,514	0	0
連江	137,052	123,567	13,485	90.16%	123,567	123,567	0	0
東沙	7,200	6,405	795	88.96%	6,405	6,405	0	0
總計	1,985,315	1,097,617	887,698	55.29%	1,097,617	1,102,726	0	0

註：1.由於數化影像品質不同、潮汐變化影響及數化方式的修正，海岸線數化資料結果有些許的誤差，但誤差應在2%範圍內。

2.本表數據小數點後之數值皆採四捨五入計算。

表 3-1(續) 臺灣各縣市 100 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表

資料來源：「永續海岸整體發展方案(第二期)」，內政部營建署，2013。

	總海岸線長度(m)	自然海岸線長度(m)	人工海岸線長度(m)	自然海岸占海岸長度比例(%)	人工海岸占海岸長度比例(%)	97年第1期(基準年)自然海岸線長度(m)
	(A)+(B)	(A)	(B)	(A)/[(A)+(B)]	(B)/[(A)+(B)]	(D)
基隆市	18,638	2,593	16,045	13.91%	86.09%	2,593
臺北市	0	0	0	0%	0%	0
新北市	140,092	54,820	85,272	39.13%	60.87%	56,849
桃園市	46,419	20,840	25,579	44.90%	55.10%	20,840
新竹市	24,246	1,283	22,963	5.29%	94.71%	1,283
新竹縣	12,451	1,170	11,281	9.40%	90.64%	1,170
苗栗縣	51,287	13,107	38,180	25.56%	74.44%	13,107
臺中市	47,961	3,986	43,975	8.31%	91.69%	3,986
彰化縣	76,081	3,862	72,219	5.08%	94.92%	3,862
南投縣	0	0	0	0%	0%	0
雲林縣	64,347	3,304	61,043	5.13%	94.87%	3,304
嘉義市	0	0	0	0%	0%	0
嘉義縣	41,519	2,176	39,343	5.24%	94.76%	2,176
臺南市	69,264	25,158	44,106	36.32%	63.68%	25,158
高雄市	81,368	11,829	69,539	14.54%	85.46%	13,186
屏東縣	169,588	126,611	42,977	74.66%	25.34%	126,611
宜蘭縣	111,007	67,981	43,026	61.24%	38.76%	67,981
花蓮縣	118,475	78,013	40,462	65.85%	34.15%	78,013
臺東縣	242,727	168,698	74,028	69.50%	30.50%	168,699
小計(1)	1,315,470	585,432	730,038	44.50%	55.50%	588,818
澎湖縣	368,559	268,271	100,288	72.79%	27.21%	268,422
小計(2)	1,684,029	853,703	830,326	50.69%	49.341%	857,240
金門	130,306	115,285	15,021	88.47%	11.53%	115,514
連江	136,936	123,567	13,369	90.24%	9.76%	123,567
東沙	7,200	6,405	795	88.96%	11.04%	6,405
總計	1,958,471	1,098,960	859,511	56.11%	43.89%	1,102,726

註 1：由於數化影像品質不同及潮汐變化之影響，以及數化方式部份的修正，海岸線數化資料結果有些許的誤差，但誤差應在高低潮位所造成誤差的範圍內，數化各年度在不同潮高之海岸線長度，其長度變化受潮汐影響在 2%。

註 2：海岸線數化原則：

1.以福衛 2 號及 SPOT-5　2.5 公尺解析度衛星影像為底圖進行海岸線數化。

2.海岸線數化分成自然與人工海岸線二類。

(1)人工海岸：已施設人工設施者，如堤防、港口、消坡塊、海埔地、排水道等

(2)自然海岸：扣除人工海岸部分

3.螢幕比例尺定為 1:5000。

4.河口與海港以從海上看陸地為原則。

5.缺口處以直線接合。

註 3：「永續海岸整體發展方案」係於 96 年核定，俟後本部營建署每年辦理「國土利用監測計畫」之海岸線監測工作，皆以 97 年（第 1 期）為基準年，統計分析自然海岸線長度變化。

資料來源：本署 100 年度委託中央大學太空及遙測中心辦理「國土利用監測計畫」研究案

表 3-2 臺灣環島各縣市的海岸線長度

資料來源：「臺灣海岸詳介」，經濟部水利署，2021。
https://www.wra.gov.tw/News.aspx?n=3253&sms=9088

海岸別	縣市別	海岸長度(公里)	境內重要河川水系
宜蘭海岸	宜蘭縣	106	蘭陽溪、和平溪
臺北海岸	基隆市、新北市	基隆市：18、新北市：122	淡水河
桃園海岸	桃園市	39	淡水河
新竹海岸	新竹縣、新竹市	新竹縣：12、新竹市：17	新竹縣：鳳山溪、頭前溪 新竹市：頭前溪
苗栗海岸	苗栗縣	50	中港溪、後龍溪、大安溪
臺中海岸	臺中市	41	大安溪、大甲溪、烏溪
彰化海岸	彰化縣	61	烏溪、濁水溪
雲林海岸	雲林縣	55	濁水溪、北港溪
嘉義海岸	嘉義縣	41	北港溪、朴子溪、八掌溪
臺南海岸	臺南市	77	八掌溪、急水溪、曾文溪、鹽水溪、二仁溪
高雄海岸	高雄市	63	二仁溪、阿公店溪、高屏溪
屏東海岸	屏東縣	152	高屏溪、東港溪、四重溪
臺東海岸	臺東縣	172	卑南溪、秀姑巒溪
花蓮海岸	花蓮縣	175	秀姑巒溪、花蓮溪、和平溪
澎湖海岸	澎湖縣	320	—
金門海岸	金門縣		
馬祖海岸	連江縣		

表 3-3 海岸地區特性現況彙整表

資料來源：「修正全國區域計畫」，內政部，2017。

地區		特性與現況
北部海岸	1.宜蘭海岸地區	1.線長度約 106 公里。除外澳至蘇澳間為沙質的海岸外，多屬岩石海岸。部分地區呈現侵蝕現象。 2.蘭陽溪口為河口三角洲，多為農漁使用。
	2.基隆新北海岸地區	1.海岸線長度約 140 公里。其中石城至南雅為東北角國家風景區，萬里至三芝屬北觀國家風景區，以保育及觀光遊憩發展為主。 2.基隆港至八斗子、深澳灣一帶，岬灣地形豐富，沿岸有基隆港、八斗子漁港、海洋科技博物館、深澳輸油站、深澳電廠、協和電廠等重要經建設施設施。金山、萬里及貢寮則有核1廠、核 2 廠及核4廠等。 3.淡水河以南在西濱與八里新店線快速道路之通車、臺北港闢建完成後，結合八里污水處理廠、廢棄物掩埋及林口電廠等重要經建設施，已成為臺北都會區對外聯繫的重要門戶。
	3.桃園海岸地區	1.海岸線長度約 39 公里，沙質海岸。白玉、下埔一帶有連續性沙丘與茂密之防風林，不易為浪潮侵襲。觀音以北侵淤現象大致平衡；觀音以南除下埔附近為侵蝕外，大致呈淤積形。 2.沿岸地區以都市發展及工業發展為主；交通部及桃園市政府並極力推動桃園航空城計畫。 3.桃園觀音海岸具有全臺面積最大藻礁地形，引發各界重視。
	4.新竹海岸地區	1.海岸線長度約 28 公里，有廣大的潮間帶，香山地區擁有北部較大的海岸濕地。 2.除漁港建設外，直轄市、縣(市)政府近年來推動紅樹林保育、養殖專區、野生動物保護區及海岸自行車道建設等，並規劃垃圾掩埋場及污水處理廠，使用漸趨多元。
中部海岸	1.苗栗海岸地區	1.海岸線長度約 50 公里，鹽港溪及大安溪之間，輸砂來源豐富，通霄、苑裡飛沙形成低沙丘，植有防風林定沙，但有侵蝕現象。中港溪口有紅樹林，溪北有林相完整之海岸林，是 紫斑蝶棲息地。 2.除沙丘及丘陵外，農田較多，次為林地。有多處漁港，另有竹南工業區、通霄精鹽場、通霄火力發電廠；中油在後龍、通霄有石油礦、天然氣礦區；中港溪口有焚化爐。
	2.臺中海岸地區	1.海岸線長度約 41 公里。北段為大安溪與大甲溪河口的沖積平原，潮差大、海埔地發達，南段為烏溪河口，已公告劃設大肚溪口野生動物保護區及高美野生動物重要棲息環境。 2.因地形的影響，本地區潮差最大，同時因沿岸漂沙活動，以致海岸建港航道維持困難。 3.除臺中港特定區外，以農業區面積最大，林地主要為海岸防風林，工業用地主要是臺中港關連工業區，臺中港以南有火力發電廠。
	3.彰化海岸地區	1.海岸線長度約 61 公里。受烏溪、濁水溪的漂沙影響，形成沖積平原。退潮時泥溼灘地寬達 5 公里。漂沙移動僅使灘地增高，未再向外海延伸，有內侵情形。彰化海岸素以鷗科水鳥及蠔蛤蝦等濱海生物聞名。 2.區內有彰濱工業區填海造地計畫，還有電廠、漁港、西濱快速道路等。大城、芳苑鄉地層下陷嚴重，濁水溪口之開發利用與白海豚棲地保育議題，引發各界重視。
	4.雲林海岸地區	1.海岸線長度約55公里。濁水溪口以南灘地呈現侵蝕，近80年間已退後約100公尺。離岸沙洲島漸消退，愈往南後退量愈大。 2.離島基礎工業區係填海造地方式開闢，包括麥寮、臺西鄉西側海岸。工業區內包括臺塑六輕、麥寮港、發電廠等。 3.養殖漁業發達，但嚴重地層下陷面積甚大，除沿海之麥寮、臺西、四湖、口湖等 4 鄉鎮外，近年來已逐漸往內陸延伸。

表 3-3(續) 臺灣海岸地區特性現況彙整表

資料來源：「修正全國區域計畫」，內政部，2017。

南部海岸	1.嘉義海岸地區	1.海岸線長度約41 公里，位於北港溪及八掌溪之間，多為沙洲，其中以外傘頂洲最具代表性，為嘉義沿海最重要之自然防護。沿岸均屬雲嘉南濱海國家風景區。 2.東石、布袋一帶地層下陷問題嚴重。 3.早期為西南部重要鹽場，近年來，則有布袋商港與遊艇港之開發。 4.鰲鼓濕地森林園區除為西南沿海候鳥遷移及棲息的重要地點，其規劃兼顧海岸、濕地、草澤、農田、森林等景觀。
	2.臺南海岸地區	1.海岸線長度約 77 公里。沿海積地形明顯，外海沙洲發達，有廣大潟湖與海埔地。沿岸均屬雲嘉南濱海國家風景區，七股區與安南區並已納入台江國家公園範圍。 2.北門、將軍、七股及安南一帶海岸多開發為鹽田及魚塭，目前鹽田部分已不再從事生產，並配合轉型為觀光遊憩發展。安平港及臺南工業區附近則屬開發密度較高之地區。
	3.高雄海岸地區	1.為全省沿海地區侵蝕最嚴重海岸之一，如茄萣、永安、彌陀等，部分地區居民鄰海岸而居，浪潮對民眾生命財產造成嚴重威脅。 2.工業發展興盛，如與達火力發電廠、興達遠洋漁港、永安天然氣接收站、左營海軍基地、高雄港及林園石化工業區等。壽山附近則納入國家自然公園範圍。
	4.屏東海岸地區	1.楓港以北海岸線平直單調，以南則屬珊瑚礁海岸。 2.海岸地區養殖漁業發達，但長期超抽地下水致使地層下陷，且使內陸高程低於海平面，如東港鎮、林邊鄉、佳冬鄉、枋 寮鄉等。 3.大鵬灣及小琉球屬大鵬灣國家風景區範圍，車城以南海岸大部分規劃為墾丁國家公園，海洋生物博物館及核三廠為區內重要設施。
東部海岸	1.臺東海岸地區	1.海岸線長度約 170 公里，海岸臨太平洋。卑南溪口以北極富海階地形及海蝕平臺，海岸山脈逼近海岸，屬東海岸國家風 景區範圍。 2.卑南溪口以南，臺東市為主要核心，愈往南山陵漸逼近海岸。近年來因國民旅遊興起，太麻里、金崙等地觀光發展活絡。再往南位處臺灣最東南隅，交通聯絡困難，但也保持海岸原始風貌。
	2.花蓮海岸地區	1.多為峭壁，海岸線呈現全面性後退。美崙溪口及花蓮溪口之砂礫質海岸，地形有巨大變化。南濱、化仁一帶海岸侵蝕嚴重。 2.蘇澳至太魯閣口沿線因清水斷崖地形限制，沿線有零星聚落。和平水泥專業工業區為最大開發案，另有民間業者開發海洋深層水。花蓮溪口以南，屬東海岸國家風景區範圍，最大開發為花蓮海洋公園，帶動觀光發展及沿線私有土地開發。

表 3-3(續) 臺灣海岸地區特性現況彙整表

資料來源：「修正全國區域計畫」，內政部，2017。

離島地區	1.金門海岸地區	1.海岸曲折，以砂礫、沙丘為重要海岸景觀。除坑道之開發外，部分海岸尚未完成排雷，因而保留自然海岸原貌。 2.金門及烈嶼之海岸地區，多已納入金門國家公園範圍。
	2.馬祖海岸地區	1.屬丘陵地形，以花崗岩岸為主。因過去戰地政務之限制，得以保留自然風貌，目前已納入馬祖國家風景區範圍。 2.近年因解除戰地政務，南竿、北竿有較多聚落與開發。
	3.澎湖海岸地區	1.澎湖群島地勢平坦，但海岸線曲折，漁港及船澳等共 60 餘處，為全臺之冠。 2.除部分沙質海岸，其他大部分為哆咕石、沉泥及玄武岩所組成。 3.漁業及觀光產業發達，目前已納入澎湖國家風景區範圍。
	4.蘭嶼、綠島、小琉球、龜山島等離島	1.蘭嶼海岸線地形多樣、珊瑚礁發達，為火山島，尚保留達悟族文化。蘭嶼島有核廢料儲存場。 2.綠島為火山島，海岸景觀多變化。生態資源豐富為國際知名潛水點，屬東海岸國家風景區範圍。 3.小琉球為人口密度最高的離島，以漁業及觀光為主要產業。 4.龜山島為火山島，屬東北角國家風景區範圍，除駐軍外島上無居民。

表 3-4 臺灣海岸自然度分類準則

資料來源：海岸概況_經濟部水利署水利規劃試驗所，https://www.wrap.gov.tw/prol2.aspx?type=0301000000

類型名稱	分類準則說明說明
自然海岸	無人工構造物，或人工構造物對潮間帶水文環境(主要指潮汐與波浪可到達範圍)無顯著影響，興建於低潮位線外的離岸潛堤，其堤頂高度小於平均低潮位線即屬於此類型。
半自然海岸	海岸道路、高地護岸等人工構造物的海岸，潮間帶仍保持自然狀態，其水文環境受人工構造物影響輕微，此類型海岸屬於半自然海岸。此外，興建於低潮位線外的離岸堤，其堤頂高度低於平均潮位面，漲潮期間會被淹沒者，亦屬於半自然海岸。
人工海岸	港灣、航道、海岸圍墾區，與海岸防護設施等人工構造物位於潮間帶內，對潮間帶水文環境有顯著影響者即屬於人工海岸。

表 3-5 臺灣海岸型態分類原則

資料來源：**海岸概況_經濟部水利署水利規劃試驗所**；https://www.wrap.gov.tw/pro12.aspx?type=0301000000

類型		辨識準則與環境描述
代碼	名稱	
M	泥灘海岸	地表所覆蓋底質粒徑小於 62.5 μm 之淤泥狀沉積物，以潮汐作用為主動力之海岸類型
S	砂質海岸	由砂灘組成，地表覆蓋鬆散之砂狀沉積物，底質粒徑介於 62.5 μm ~ 2 mm 之間，以波浪作用為主動力之海岸類型。
G	礫石海岸	海灘表面覆蓋底質粒徑介於 2mm ~ 256 mm 的礫石沉積物之海岸類型。
R	岩石海岸	山地或丘陵地與海岸平行或相鄰，堅硬的岩層出露在海平面之海岸類型，最常見到的岩岸地形是海崖與海蝕平台。底質粒徑大於 256 mm 亦屬之。
B	生物海岸	指珊瑚礁與藻礁海岸。

表 3-6 臺灣本島海岸環境概況一覽表

資料來源：**海岸概況_經濟部水利署水利規劃試驗所**

段	河川局	海岸環境概況				海岸防護設施概況	
		海岸型態		自然度		一般性海堤	
		類型	長度	類型	長度	處	長度
宜蘭海岸	第一河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	60,153	14	7,722
		砂質海岸	29,465	河口	6,953		
		礫石海岸	15,881	半自然	6,209		
		岩石海岸	36,160	人工	15,144		
		生物海岸	0	其他	10,368		
		其他	17,320	小計	98,827		
		小計	98,827				
桃園海岸	第二河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	23,440	11	12,125
		砂質海岸	31,841	河口	4,611		

		礫石海岸	0	半自然	1,092		
		岩石海岸	0	人工	10,833		
		生物海岸	3,524	其他	1,017		
		其他	5,628	小計	40,993		
		小計	40,993				
新竹海岸	第二河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	0	10	15,590
		砂質海岸	24,897	河口	1799		
		礫石海岸	0	半自然	15,089		
		岩石海岸	0	人工	9,808		
		生物海岸	0	其他	2,072		
		其他	3,871	小計	28,768		
		小計	28,768				
苗栗海岸	第二河川局	泥灘海岸	1,369	自然海岸	12,330	11	16,270
		砂質海岸	35,120	河口	7,348		
		礫石海岸	0	半自然	0		
		岩石海岸	0	人工	24,158		
		生物海岸	0	其他	1,097		
		其他	8,445	小計	44,933		
		小計	44,933				
台中海岸	第三河川局	泥灘海岸	7,727	自然海岸	7,385	25	18,825
		砂質海岸	3,403	河口	6,076		
		礫石海岸	0	半自然	2,222		
		岩石海岸	0	人工	1,523		
		生物海岸	0	其他	13,204		
		其他	19,280	小計	30,410		
		小計	30,410				
彰化海岸	第三河川局/第四河川局	泥灘海岸	51,984	自然海岸	1,597	22	62,355
		砂質海岸	0	河口	4,932		
		礫石海岸	0	半自然	6,194		
		岩石海岸	0	人工	44,193		
		生物海岸	0	其他	10,572		
		其他	15,505	小計	67,488		
		小計	67,488				
雲林海岸	第五河川局	泥灘海岸	26,118	自然海岸	0	13	36,680
		砂質海岸	0	河口	2,457		

		礫石海岸	0	半自然	0		
		岩石海岸	0	人工	26,118		
		生物海岸	0	其他	4,508		
		其他	6,965	小計	33,083		
		小計	33,083				
嘉義海岸	第五河川局	泥灘海岸	30,916	自然海岸	1,283	10	17,454
		砂質海岸	0	河口	1,010		
		礫石海岸	0	半自然	0		
		岩石海岸	0	人工	29,633		
		生物海岸	0	其他	6,044		
		其他	7,053	小計	37,969		
		小計	37,969				
台南海岸	第五河川局/第六河川局	泥灘海岸	30,925	自然海岸	14,501	15	45,005
		砂質海岸	19,249	河口	7,664		
		礫石海岸	0	半自然	0		
		岩石海岸	0	人工	35,672		
		生物海岸	0	其他	3,896		
		其他	11,560	小計	61,734		
		小計	61,734				
高雄海岸	第六河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	5,628	15	21,677
		砂質海岸	36,789	河口	2,222		
		礫石海岸	0	半自然	6,736		
		岩石海岸	0	人工	27,853		
		生物海岸	3,427	其他	15,673		
		其他	17,895	小計	58,111		
		小計	58,111				
屏東海岸	第七河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	112233	19	23,463
		砂質海岸	20,576	河口	15419		
		礫石海岸	26,384	半自然	0		
		岩石海岸	4,463	人工	18,687		
		生物海岸	79,497	其他	6,993		
		其他	22,411	小計	153,331		
		小計	153,331				
台東海岸	第八河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	107,908	8	4,075
		砂質海岸	9,726	河口	19,872		

		礫石海岸	117,960	半自然	12,380		
		岩石海岸	12,313	人工	25,078		
		生物海岸	5,367	其他	5,996		
		其他	25,868	小計	171,234		
		小計	171,234				
花蓮海岸	第九河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	71,812	10	6,090
		砂質海岸	9,369	河口	11,805		
		礫石海岸	37,617	半自然	5,486		
		岩石海岸	44,596	人工	14,285		
		生物海岸	0	其他	5,167		
		其他	16,971	小計	108,553		
		小計	108,553				
新北海岸	第十河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	71,628	18	6,305
		砂質海岸	20,484	河口	17,387		
		礫石海岸	5,136	半自然	2,992		
		岩石海岸	45,347	人工	10,255		
		生物海岸	13,909	其他	15,989		
		其他	33,377	小計	118,252		
		小計	118,252				
基隆海岸	第十河川局	泥灘海岸	0	自然海岸	6,426	2	1,025
		砂質海岸	0	河口	0		
		礫石海岸	0	半自然	0		
		岩石海岸	10,710	人工	4,284		
		生物海岸	0	其他	4,328		
		其他	4,328	小計	15,038		
		小計	15,038				
合計			1,068,725			203	294,661

資料來源：**海岸概況_經濟部水利署水利規劃試驗所**；https://www.wrap.gov.tw/pro12.aspx?type=0301000000

表 3-7 臺灣海岸之侵淤概況

資料來源：「整體海岸管理計畫」，內政部，2017。

海岸別	直轄市、縣(市)	海岸長度（公里）	海岸類型	侵淤情況
宜蘭海岸	宜蘭縣	106	石城以北：岩岸 石城以南至蘇澳：沙岸 蘇澳以南：岩岸	侵淤互現
臺北海岸	基隆市	18	淡水河口以東：岩岸 淡水河口以南：沙岸	變化不明顯
	新北市	122		略侵蝕
桃園海岸	桃園市	39	沙岸	侵淤互現
新竹海岸	新竹縣	12	沙岸	侵淤互現
	新竹市	17		
苗栗海岸	苗栗縣	50	沙岸	侵淤互現
臺中海岸	臺中市	41	沙岸	淤積
彰化海岸	彰化縣	61	沙岸	大部分淤積，小部分地盤下陷
雲林海岸	雲林縣	55	沙岸	由淤積轉為侵蝕
嘉義海岸	嘉義縣	41	沙岸	由淤積轉為侵蝕
臺南海岸	臺南市	77	沙岸	略侵蝕
高雄海岸	高雄市	63	沙岸	侵蝕
屏東海岸	屏東縣	152	鵝鑾鼻段：珊瑚礁 其餘各段：沙岸	枋山以南：變化不明顯； 其餘各段：侵蝕
臺東海岸	臺東縣	172	成功以北：岩岸 成功以南：沙岸	侵蝕
花蓮海岸	花蓮縣	175	新城至花蓮溪口：沙岸 其餘各段：岩岸	侵蝕

資料依據：經濟部水利署網站（http://www.wra.gov.tw/）；內政部（2017）。

註：臺灣海岸長度總計 1,201 公里。

表 3-8 臺灣海岸之侵淤熱點與其附近之重大設施與起迄點參考坐標

資料來源：「整體海岸管理計畫」，內政部，2017。

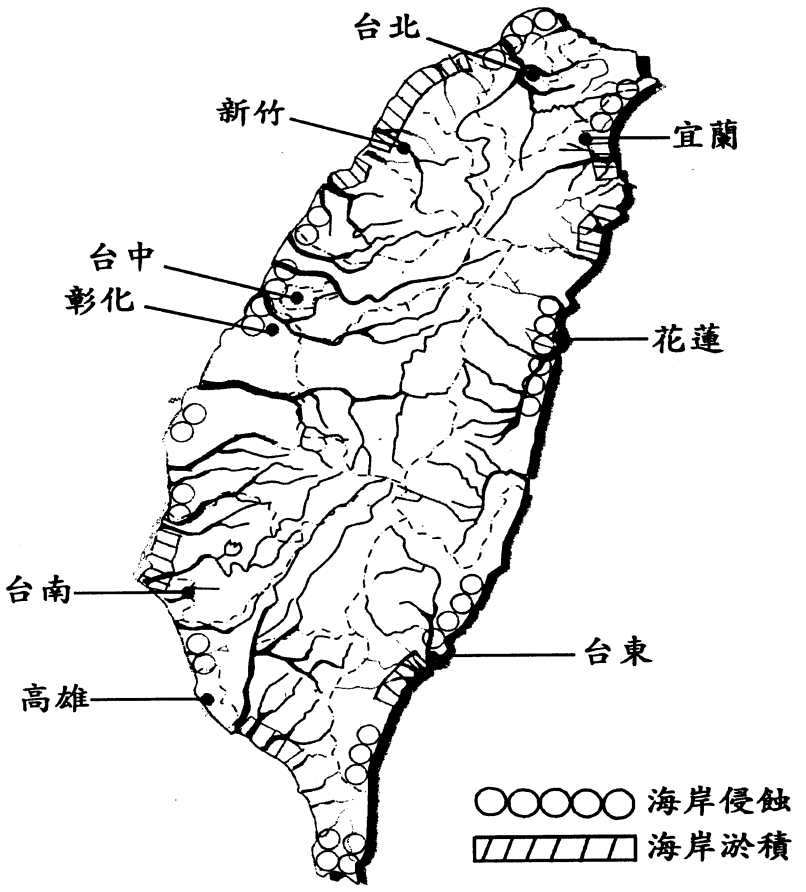
編號	海岸段 侵淤熱點	主要人工構造物 （目的事業主管機關）	起點參考座標 （TWD97）	迄點參考座標 （TWD97）
1	烏石港周邊海岸段	烏石港(農委會漁業署)	外澳海岸 335500, 2753000	得子口溪 333700, 2748500
2	臺北港周邊海岸段	臺北港(交通部) 林口電廠(經濟部國營會)	淡水河口 292000, 2784800	瑞樹溪口 284300,2780000 林口區界 278600, 2778800
3	桃園觀音、新屋周邊海岸段	觀塘工業港(經濟部工業局) 大潭電廠(經濟部國營會) 永安漁港(桃園市政府)	大堀溪口 259700, 2772500	大坡溪口 251400, 2762750
4	新竹新豐及頭前溪周邊海岸段	新竹漁港(農委會漁業署)	竹北海岸 245060, 2752650	港南海岸 240500, 2745650
5	臺中港及彰濱周邊海岸段	臺中港(交通部) 彰濱工業區(經濟部工業局) 永興海埔地(彰化縣政府)	大甲溪口 204000, 2692000	永興海埔地 180600, 2648000 181900, 2654000
6	濁水溪口周邊海岸段	雲林離島式基礎工業區(經濟部工業局)	濁水溪口 173000, 2637000	雲林縣口湖鄉台子村海堤段 162000, 2606800 外傘頂洲 149000, 2593400
7	嘉義布袋周邊海岸段	布袋商港(交通部) 布袋遊艇港(嘉義縣政府)	朴子溪口 163570, 2594050	八掌溪口 159675, 2580670
8	臺南七股周邊海岸段	將軍漁港(臺南市政府)	將軍溪口 156500, 2571000	曾文溪口 153000, 2550500
9	臺南黃金海岸段	安平商港(交通部)	鹽水溪口 161600, 2544100	二仁溪口 165500, 2534900
10	高雄興達港周邊海岸段	興達港(高雄市政府) 永安液化天然氣廠(經濟部國營會)	二仁溪口 165500, 2534900	彌陀南寮漁港 171200, 2518200
11	高雄左營及旗津海岸段	蚵子寮漁港(高雄市政府) 左營軍港(國防部) 高雄港(交通部) 南星計畫(高雄市政府)	彌陀南寮漁港 171200, 2518200	林園區中芸漁港 187900, 2487000
12	臺東縣南迴公路海岸段	大武漁港(臺東縣政府)	大武溪口 240600, 2473300	南興溪口 238800, 2467550
13	花蓮溪口周邊海岸段	花蓮港(交通部)	花蓮港 315830, 2656000	花蓮溪口 312160, 2648200

表 3-9 臺灣海岸侵淤熱點及主要人工構造物與其目的事業主管機關

資料來源：經濟部海岸侵蝕防護權責分工協調指定原則，中華民國 108 年 1 月 3 日。

海岸侵淤熱點、起迄點及主要人工構造物與其目的事業主管機關綜理表

編號	海岸段 侵淤熱點	起迄點		主要人工構造物 （目的事業主管機關）
		起點	迄點	
1	烏石港周邊海岸段	外澳海岸	得子口溪	烏石港（農委會漁業署）
2	臺北港周邊海岸段	淡水河口	瑞樹溪口 林口區界	臺北港（交通部） 林口電廠（經濟部國營會）
3	桃園觀音、新屋周邊海岸段	大堀溪口	大坡溪口	觀塘工業港(經濟部工業局) 大潭電廠（經濟部國營會） 永安漁港(桃園市政府)
4	新竹新豐及頭前溪周邊海岸段	竹北海岸	港南海岸	新竹漁港（農委會漁業署）
5	臺中港及彰濱周邊海岸段	大甲溪口	永興海埔地	臺中港（交通部） 彰濱工業區（經濟部工業局） 永興海埔地（彰化縣政府）
6	濁水溪口周邊海岸段	濁水溪口	雲林縣口湖鄉台子村海堤段外傘頂洲	雲林離島式基礎工業區（經濟部工業局）
7	嘉義布袋周邊海岸段	朴子溪口	八掌溪口	布袋商港（交通部） 布袋遊艇港（嘉義縣政府）
8	臺南七股周邊海岸段	將軍溪口	曾文溪口	將軍漁港（臺南市政府）
9	臺南黃金海岸段	鹽水溪口	二仁溪口	安平商港（交通部）
10	高雄興達港周邊海岸段	二仁溪口	彌陀南寮漁港	興達港（高雄市政府） 永安液化天然氣廠（經濟部國營會）
11	高雄左營及旗津海岸段	彌陀南寮漁港	林園區中芸漁港	蚵子寮漁港(高雄市政府) 左營軍港（國防部） 高雄港（交通部） 南星計畫（高雄市政府）
12	臺東縣南迴公段海岸段	大武溪口	南興溪口	大武漁港（臺東縣政府）
13	花蓮溪口周邊海岸段	花蓮港	花蓮溪口	花蓮港（交通部）



資料來源：「國土保全總體檢」調查報告，監察院，2000。

圖 3-4 臺灣海岸發生較顯著侵淤之地區示意圖

（一）東北部海岸及北部海岸

1. 台北縣及基隆市海岸：起自臺灣西北側下寮經臺灣最北端之富貴角至東北角三貂角，其中除下寮至淡水河南岸間屬於沙質海岸外，大部份屬於岩石海岸，包括一般所稱之東北角海岸及北部海岸。此段岩石海岸有突出之岬角，如三貂角、鼻頭角、野柳、富貴角等，也有深入之小灣，如卯澳、澳底、龍洞、深澳等。海岸有珊瑚礁散佈，亦存在海蝕洞，惟因公路開闢或拓寬，部分已遭破壞，而在岬角間零星散佈一些小型沙灘海灣，即所謂袋形海灘(pocket beach)，如淺水灣、白沙灣、金沙灣、翡翠

灣及福隆等，這些小灣多因溪流注入之輸沙堆積所形成，例如：此段海岸中最大之二處沙灘海灣，即員潭溪之金沙灣及雙溪川之福隆海灘；另外，尚有若干小型袋形海灘，則屬於崩潰之岩石風化堆積而成。在磺港漁港及雙溪川口之沙灘，因有兩側岬角阻擋，大致安定而無侵蝕現象，惟因河川輸沙而有淤塞問題。本段海岸雖有海堤之建設，但多興建於海水浴場或漁港之鄰近地點，多用為防潮浪，而非防侵蝕。全段海岸，雖地勢較高，但颱風浪潮洶湧時有越波，且多依賴消波混凝塊以為保護。沙崙北側目前正闢建淡海新市鎮並興建圍堤中。三芝淡水間海岸段丘向海緩傾而平直單調，礁與狹窄沙灘交互出現，海岸尚稱安定。淡水河左岸至桃園縣境交界處之林口鄉下寮以東屬於沙質海岸。淡水河右岸因有沙崙突出於北岸河口，阻擋河川輸沙向北擴散，再加冬季北浪能較夏季能量強勁約四倍，故淡水河之輸沙均偏南堆積，等深線在南岸較北岸寬鬆，河口北岸坡度約在 1/50，而河口南側則為 1/200 至 1/100。1904 年至 1919 年間海岸線雖有前進，但 1958 年起即陸續後退，至 1993 年嚴重處已後退 200 至 300 公尺，海岸後退以至需建防沙突堤保護海岸，於石門水庫及翡翠水庫完成後即逐漸明顯，而在 1986 年淡水河口經大量採沙時，尤其嚴重，即使在八里污水處理場興建時，八里海水浴場以北仍然侵蝕不止，迫使撤遷戶再向內陸遷移。往西離淡水河愈遠，海岸線後退量逐漸減緩，寶斗溪附近已趨平衡。台北縣海岸於 1994 年在淡水鎮北方開發淡海新市鎮特定區計畫，填海造地工程正在施工中，於南岸則有八里污水處理廠、八仙遊樂區、林口電廠等海岸開發利用工程，目前淡水港第一期工程(1993 至 1997)已完成施工，由於北防波堤之興建，其北側之海岸侵蝕已減緩，但港址南側之海岸勢必引起局部侵蝕。自民國 82 年 5 月淡水商港開始興建，到民國 85 年 5 月之 3 年期間，若以-20 m 水深計算，則淡水、八里海域沖淤積量分別為+244.7 萬方以及-823.3 萬方等，惟第三年侵蝕量含淡水工程處在北防波堤南側在第三標區域浚挖數量約

160 萬立方公尺，故實際平均每年侵蝕量約為 150 萬立方公尺。

2. 桃園縣海岸：包括蘆竹鄉、大園鄉、觀音鄉及新屋鄉等四鄉，約有 40 公里長之海岸線，大致由東西向漸轉西南西向，海岸坡度約 1/100，平均潮差 240 公分，有南崁溪、埔心溪、新街溪、老街溪、大崛溪及社子溪等次要河川及普通河川流注於海。日據時期沿岸沙丘植有防風林以定沙並保護海岸，而海灘亦有寬近百米之沙灘消浪，故海岸尚稱安定。由於本縣所有溪口均向西南向偏，顯示漂沙方向係由東北向西南向，除永安港南側因防波堤阻擋而有局部性侵蝕，以及白玉附近海灘呈現侵蝕，露出部分礫石外，桃園縣海岸尚稱穩定。竹圍漁港及永安漁港曾因漂沙而淤塞，經擴建延長防波堤而克服。此段海岸有觀音海水浴場及竹圍海水浴場，其中竹圍海水浴場因漁港擴建而納入漁港南堤內，漁港西側海灘則經大量採沙。

3. 新竹縣市海岸：北起於新豐鄉羊寮溪口南至鹽水港間的 30 公里海岸，海岸線走向大約為東北-西南，平均潮差有 3.25 公尺。由於鳳山溪及頭前溪年約 260 萬立方公尺之豐富沙源及大潮差，乃形成極為平緩之海灘，漲退潮露出水面之海埔地(潮間帶)有 1.5 公里遠，往南海埔地寬度漸減。於 1904 至 1957 年間此一帶海灘約生長 0.7 公里。1959 年行政院退輔會於客雅溪北側至新竹市北側 6 公里間開發海埔新生地 314 公頃，此後海岸尚稱穩定，但於 1970 年，頭前溪口南岸經興建新竹漁港後，由於防波堤伸長達 1.6 公里(含港區)，阻擋沿岸漂沙，以致新竹垃圾掩埋場附近之海堤日漸侵蝕，需以消波塊保護堤腳。其南濱海水浴場前方之沙灘亦逐漸後退，唯香山一帶海岸尚稱穩定。1985 年臺灣省政府提出香山區海埔造地開發計畫，擬沿-1.0 至±0.0m 築堤 9.6 公里，開發 990 公頃海埔地分三期施工。

4. 苗栗縣海岸：包括竹南鎮、後龍鎮、通霄鎮及苑裡鎮等，介於鹽水港至房裡溪之海岸，共約 50 公里長。海岸線走向約成北

北東至西南向，計有中港溪、西湖溪、通霄溪、南勢溪、苑裡溪等。其中中港溪屬於次要河川，提供年約 200 萬立方公尺之沙源外，餘均屬集水面積甚小之普通河川，所提供之沙源有限。除崎頂及海尾至出口間有若干侵蝕現象外，其餘海岸相當安定。依地形圖，通霄一帶海岸線雖於 1926 至 1983 年間有相當之淤積，但至 1994 年已陳現後退。通霄電廠取水管曾因颱風來襲被全部破壞而重新修建，可知暴風期此地海底地形變化之激烈。賀伯颱風通過時，秋茂園至通霄精鹽廠間之海堤曾被波浪嚴重損毀或越波，造成相當之災害。

（二）中部海岸

1. 台中縣海岸：北起自房裡溪口南至烏溪口間，包括大甲鎮、大安鄉、清水鎮、梧棲鎮及龍井鄉等五鄉鎮之海岸，海岸線長 41 公里。由於得自大安溪、大甲溪及烏溪之豐富輸沙沖積，以及平均 3.7 公尺大潮差，產生水平方向之潮流與強烈之波浪作用，乃形成寬大之海埔地。台中港未經興建之前，梧棲海岸之海埔地亦如鹿港一帶遠達 2.3 公里之遙。大甲溪口以北，沙灘混有卵石；而以南則屬沙灘；在 1958 年以前，平均海岸線以每年 3.8 公尺速度成長，此後大甲溪開發計畫實施，完成水庫興建，輸沙量大為減少，至 1994 年海岸增長遲緩，高美一帶反需建堤保護。而台中港完成後，北防波堤阻斷沿岸漂沙，其北側形成明顯之堆積；而南防波堤以南之南海堤原建在±0m 者，因失去南下沙源之補充，以及烏溪流出向北之輸沙被台中火力電廠切斷而無法補充，竟被沖刷至-5m，幸賴堅固之海堤保護，得予遏止。

2. 彰化縣海岸：北起烏溪南迄濁水溪，涵蓋伸港鄉、線西鄉、鹿港鎮、福興鄉、芳苑鄉及大城鄉，海岸線長 61 公里，平均潮差 3.21 公尺。在濁水溪未整治前，舊濁水溪自鹿港南側排入海中，此一支流及現濁水溪之西螺溪以及烏溪等三大河川沖積成

今日之平原與海岸。全縣海灘坡度約 1/1500，極為平緩，再加潮差大，海埔地廣達四公里，底質屬於粉土與黏土極細顆粒之成份，除於潮溝略有小變動外，海灘平坦，極為安定，彰化縣海岸原屬於豐富沙源區，17 世紀之地形圖即顯示有寬闊之海灘，海岸成長迅速，昔日海灘已成陸地。未開發海埔地之前，海岸約以每年 40~50 公尺速度成長，年淤積量約為 600 萬立方公尺。但據最近幾年之水深測量，淤積速度已大為減緩，以致寓埔區外海出現明顯之侵蝕現象，而漢寶、芳苑間外海亦有輕微侵蝕發生。

3. 雲林縣海岸：自濁水溪口至北港溪口，涵蓋麥寮鄉、台西鄉、四湖鄉及口湖鄉之海岸線，長約 58 公里。由於濁水溪未經整治前，分歧之西螺溪、虎尾溪及北港溪等支流供應豐富之輸沙源，其沖積乃形成平緩之海灘。海岸線曲折，富於變化，許多河口形成之潮溝分隔沙灘，並有離岸沙洲露出或潛沒，斷斷續續分佈於離岸約 3~4 公里處。最北之離岸沙洲為海豐島，自新虎尾溪口外 4 公里處，南西南向延伸約 8 公里長，漲潮時島寬約 500 公尺，退潮時則約 1,000 公尺。海豐島於 1970 年代成為潛沒沙洲並逐漸東移，最近又成沙嘴(spit)復現於海面上，與陸地相連，但規模已大為縮小。另外自 1926 年起，下崙外海亦有潛沒沙洲向西南延伸，然後發展成統汕洲、外傘頂洲之離岸沙洲群，全長約 15 公里。雲林縣海岸除麥寮區及台西區海埔地分別由縣政府等機關圍堤開發外，其餘海岸線亦經水利局整建拉直，但部份海堤仍屬簡陋，以致賀伯颱風來襲損毀，海灘亦因地層下陷而降低內移，碉堡陷於水中。沙州內之潮溝或內海亦遭刷深，而統汕洲、箔子寮洲及外傘頂洲之萎縮，將使此一天然屏障失去功能，所幸該海岸已全被規劃為雲林離島工業區，一旦開發完成，則海岸線外移，內陸將無直接被波浪侵蝕之慮，但如規劃不當則侵蝕將所難免。雲林縣之海岸保護重點應不在海岸線，而應在如何確保沙洲及沙嘴不再萎縮。相關

單位於民國 79 年至 82 年間，曾在外傘頂洲連續監測海岸線變化，根據連續四年觀測分析結果顯示，該區海岸灘線向陸側內移 300 公尺，即平均每年向陸側侵蝕大約 100 公尺。

（三）南部海岸

1. 嘉義縣海岸：北起自北港溪口南至八掌溪口間，長**約 40 公里**，涵蓋東石鄉、布袋鄉及義竹鄉之海岸。因北港溪、朴子溪及八掌溪豐富之輸沙沖積，又外海有外傘頂洲遮擋波浪，使得本縣海岸線曲折迂迴，沙洲斷續散佈於兩溪口間。嘉義縣沿海本屬低窪地區，被人為開發利用為鹽地或養殖池。目前因超量抽取地下水，致地層下陷頗為嚴重，溢淹潛能加重。所幸因外傘頂洲南移遮蔽北來波浪，形成穩定之水域而無漂沙能力，但好美寮已不在外傘頂洲遮蔽區內，故波浪仍可直襲該處海岸，以致沙洲及海灘流失，防風林及海堤受損。為遏止海灘侵蝕，於該處海岸建有八座離岸堤以保護之。外傘頂洲為嘉義縣最重要之海岸防災屏障，但該沙洲目前不僅面積逐漸萎縮，高程亦降低，沙洲上防風林已不復見，大潮來時波浪已可刷過沙洲頂，如何確保該沙洲乃嘉義縣海岸保護之關鍵。

2. 台南縣海岸：北起自八掌溪口南至曾文溪口，包括北門鄉、將軍鄉及七股鄉海岸，全長約 56 公里。本島外緣有王爺洲、青山洲、網子寮洲、頂頭額洲及新浮崙洲等形成屏障，其內側則為數百至數公里寬之潟湖。青山洲自開發鹽場時建築海堤保護新生地後，即逐漸發生侵蝕現象，於 1994 年中心漁港興建後侵蝕加速，目前南防波堤以南約 2 公里間之沙灘已不復見，而需以突堤群保護。自開闢北門海埔地後，航道即趨穩定，而突堤南側則飛沙淤積，青山洲北端外穩定，南端網子寮沙洲及頂頭額沙洲漸受侵蝕，沙洲幅度不斷萎縮並向內陸移動。自曾文溪上游經興建曾文水庫後，河川供應之輸沙量已幾被切斷，因此溪口附近之濕地稍有擴大外，海岸有漸被侵蝕之勢。七股海

岸近年侵蝕嚴重，海岸線最大後退距離為 200 公尺，原有海堤已被掏空，海水已達路面，水利處目前以拋擲消波塊搶救。

3. 台南市海岸：北起曾文溪口南至二仁溪口海岸，全長約 22 公里。依 17 世紀之地圖觀之，荷蘭人佔領時代，臺灣內海，南起自二仁溪口，北至北門，而東側陸地則在今日鹽行、西港、佳里一帶，海岸外側則有北線尾汕及今日安平之鯤鯓至今日喜樹之七鯤鯓等沙洲群。近年來喜樹海岸之沙灘已逐漸萎縮，寬度僅剩約 50 公尺。安平新港防波堤北南兩側淤積量有限，海岸線僅伸長約 150~200 公尺，南側較北側者長，可見由南向北之沿岸漂沙稍多於由北向南者。因曾文溪口起海岸走向轉向東南，與夏季之西南向波浪約成垂直方向，故夏季漂沙以向離岸方向為主，而冬季則因波浪方向擴散而波高不大，約與夏季相同。

4. 高雄縣市海岸：北起自二仁溪口南迄高屏溪口海岸，長約 65 公里，涵蓋高雄縣茄萣鄉、永安鄉、彌陀鄉、梓官鄉及高雄市之援中、左營、旗津、中洲及高雄縣林園鄉等。以往曾因二仁溪、阿公店溪及高屏溪之豐富河川輸沙而形成新打、左營及高雄等潟湖。本段海岸因係由二仁溪及阿公店溪上游泥岩流下之輸沙堆積而成，故粒徑極細，屬於細沙及粉土，再加波浪與海岸略成垂直，大浪來襲時，易將土沙移向外海。自 1940 年代起，蚵子寮海岸始頻傳海岸侵蝕，1947 年始經築堤保護。蚵子寮昔日百餘公尺海灘已消失，及經興建直立式海堤，惟屢建屢毀，迨以拋置消波塊始不再受損，但堤趾沖刷日深。之後赤崁海岸亦逐漸被侵蝕，並逐漸擴大到蚵子寮以南之海岸，援中港沙灘亦已盡失。又原來彌陀以北至茄萣間亦即新打潟湖外之沙洲，相當發達，且有防風林植生其上，然自 1980 年代興建興達電廠、永安 LNG 接收站及濫墾漁塭後，乃逐漸消失；同時海岸侵蝕亦由蚵子寮向北逐漸擴大至南寮、新港、螺底以南，致使該等海岸幾乎已無沙灘，而完全依賴海堤及離岸堤以為保

護。自興建興達漁港導流堤以後，先則崎漏海岸發生侵蝕，而在 1992 年後茄萣海岸亦漸難維持，侵蝕由南向北擴大至喜樹海岸。1996 年賀伯颱風來襲時，茄定沙灘流失，波浪直襲涼亭岸壁。

5. 高雄市海岸：紅毛港(高雄港二港口)附近之海岸在 1950 年代即有侵蝕現象，乃經興建簡陋之海堤保護之。鳳鼻頭北側亦於 1970 年代發生侵蝕，這些侵蝕現象於中鋼興建及中船疏浚高雄港南側港地時，將大量土沙排放於海岸後，即因此停止。而中洲一帶亦由高雄市政府興建突堤群以為保護，林園-中芸海岸於 1970 年代即需以突堤防治侵蝕，而汕尾海灘亦有減少之勢，中芸以北海灘亦然，1995 年曾因西南氣流之暴浪而潰堤。高雄西子灣沿海，海床略以水深 7m 為界，近岸海床坡度較陡，而離岸坡度較緩，西子灣沿海之沙灘，早期因高雄二港口的闢建及因中山大學設址所進行的填海造陸工程，致使部分天然海岸逐漸消失，目前西子灣之海灘長度，較中山大學建校前減少了約 500m，亟需進行復育計畫(吳 等，2006)。

6. 屏東縣海岸：包括東、西向海岸，其中，西向海岸起自高屏溪口至鵝鑾鼻；而東向海岸則起自觀音鼻至鵝鑾鼻，海岸線全長約 152 公里，為唯一同時面臨臺灣海峽、巴士海峽與太平洋，且包含沙灘、卵石灘、岩石及珊瑚礁等四種性質特性迥異之海岸。主要河川有高屏溪、東港溪、林邊溪，次要河川有草山溪、南勢湖溪、枋山溪、楓港溪、四重溪、保力溪、石牛溪及東岸之港口溪、旭海溪等。高屏溪雖流長而輸沙量多，但因河口有海溝，輸沙大部分流入海溝中，以至無法補充兩岸，故無發達之三角洲。東港海岸尚維持平衡狀態，而大鵬潟湖外之沙洲昔日尚有相當寬度，但目前已大為萎縮，往南水利村附近海岸已嚴重退縮，需賴離岸堤保護。林邊溪以南，佳冬鄉海岸因地層下陷，使沙灘日漸減少，亦賴離岸堤保護。枋寮海岸由沙質轉變為卵石，民立廣播電台一帶曾發生嚴重侵蝕，漁港北側亦然，

該處於民國 60 年代曾賴反波式護岸保護，但因侵蝕依然進行而加拋菱型塊消波，猶難遏止，然在漁港興建後趨於安定。楓港海岸因侵蝕，碉堡乃陷入海中，目前亦賴護岸保護。南灣、八瑤灣等袋形海灘大致保持平衡，變化甚小。

（四） 東部海岸

1. 台東縣海岸：北起於長濱鄉大峰，南迄於達仁鄉南田，涵蓋大武鄉、太麻里鄉、台東市、卑南鄉、東河鄉、成功鎮及長濱鄉，海岸計約 175 公里長，面臨太平洋，接受強勁之風浪，除卑南溪形成之台東三角洲，太麻里溪堆積形成之太麻里三角洲，及大武溪堆積形成之小型大武三角洲外，幾乎或多或少發生侵蝕，唯大武、台東間之斷層崖海岸平直，因岩層堅硬並於崖下有數十公尺沙混礫石灘可消減部分波能，故後退速度轉慢，但金崙至大武間之沿海公路每於颱風來襲時，坡崁即被破壞，交通受阻，碉堡滾落海灘。大港口至台東間除於加路蘭附近有珊瑚礁外，其餘屬於東部海岸山脈東麓之海岸沙岩段丘，地質較鬆軟，於颱風暴浪作用下，侵蝕速度相當快，尤以新港至都蘭間為甚，沿海公路亦因海岸侵蝕影響路基而向西遷移，亟待加強保護。位於台東海岸南端的大武漁港，因漁港擴建之配置形態不良，每年東北季風和颱風季節，港嘴就陷入嚴重淤沙，船隻無法正常出海捕魚，漁民生計大受影響；歷經漁民歷年多次抗爭，以及台東縣政府之持續努力爭取，終於 2012 年獲漁業署核准 4 千萬元漁港整建經費(含港口淤沙疏浚工程)及交通部公路總局核准 3 千萬元的北攔砂堤延伸 70 公尺的工程經費，但「治標不治本」，長期飽受淤沙之苦的大武鄉大武漁港，縣府迄今每年仍需編列約 800 萬元預算進行清淤工程，不僅使得縣庫如流水般不斷支出，淤沙改善也未見成效，引發漁民怨聲載道(尤聰光，2012/10/16 聯合報台東報導 http://udn.com/NEWS/DOMESTIC/DOM7/7432204.shtml#ixzz29RU2Qq00)。在南迴公路臺東臨海 3 公里的南興路段海岸線，受自然波浪衝擊與近岸港口建置之影響，路基

逐漸被掏空，曾經辦理一次性防護工程就耗資 9.2 億元，平均每公里的代價是 3.06 億元，堪稱是人工的「黃金海岸」(彭杏珠，2017/3/31 遠見雜誌)。

2. 花蓮縣海岸：北起和平溪溪口南至靜浦，涵蓋秀林鄉、新城鄉、花蓮市、壽豐鄉及豐濱鄉海岸，海岸線長約 175 公里，約成北北東走向，平直陡急，屬於蘇花大斷層崖之一部分，清水斷崖直逼海岸，幾無海灘，花蓮溪口至靜浦間亦因海岸山脈逼近海岸，此段海岸線間雖有和平溪、立霧溪及花蓮溪輸出大量土沙，但因受地形阻隔及海岸坡度陡急之限制，僅於河口形成三角洲，無法提供附近海岸沙源。大部分海岸，不是沒有沙灘，就是沙灘寬度狹窄，以致台 11 號公路沿海路段，飽受颱風波浪侵蝕之威脅。花蓮溪口至水漣之海灘僅 1~20 公尺，大浪來襲，直撲海岸公路，坡崁常被摧毀。花蓮市南濱海岸，因闢建公園，將護岸外移致沙灘減小，並因花蓮港擴建東防波堤，波浪因而繞射而發生極為嚴重之侵蝕。

3. 宜蘭縣海岸：起自東北角海岸石刀鼻至東海岸和平溪(大濁水溪)口，包括頭城鎮、壯圍鄉、五結鄉、蘇澳鎮及南澳鄉，海岸全長約 105 公里。萊萊鼻至外澳海岸屬於礁溪海涯海岸，長約 22 公里。海岸呈北東、南西向，略成小弧形灣，沿海海蝕台發達，沙岩、頁岩、黏板岩等呈緩傾斜，海蝕順岩石節理、斷層面之裂縫進行，被削成岩灘，並由於隆起而形成海蝕段丘(wave cut；terrace)，殊少沙灘存在，僅於梗枋及大溪附近溪流排出土沙，形成局部沙灘。外澳以南至蘇澳北方為蘭陽溪排出之土沙所形成之宜蘭三角洲，長約 40 公里，稍向西凹入，約成北南走向，沿岸沙丘發達約有 14~19 公里，成為防護鹽害之天然屏障。沙丘內原為濕地，今都已經開發為養殖魚塭。海岸北南兩端有三貂角及北方澳岬角突出，於此二岬角間形成安定之弧灣弓形海岸，弓形海岸中間之蘭陽溪(舊稱濁水溪)口形成向東凸出之尖三角洲(cuspate delta)。冬山河口形成向北延伸之沙嘴，

顯示蘭陽溪豐富之輸沙構成宜蘭海岸地形，海灘寬度約有 100 公尺，足可抵浪，但頭城金面溪以北海岸因無沙源供給而有侵蝕現象，港口附近海岸亦可能因北方澳岬使東南向波浪產生之繞射而有局部侵蝕。其他部分之海岸於 1985 年以前均有堆積現象，然最近數年來，河口以南沙灘逐漸消失，沙丘部分後退，顯然因過量之河床採沙致沙源短少使然。蘭陽溪正式核定之採沙量為每年 600 萬立方公尺，但實際採沙量恐遠超過於此。蘇澳以南屬於蘇花斷層崖海涯聳立之海岸，除於南埤漁港外有局部沙灘，東澳、南澳、漢本等處因東澳溪、南澳溪及和平溪輸沙堆積之三角洲以外，幾無沙灘可言。

3.1.4 海岸侵淤原因

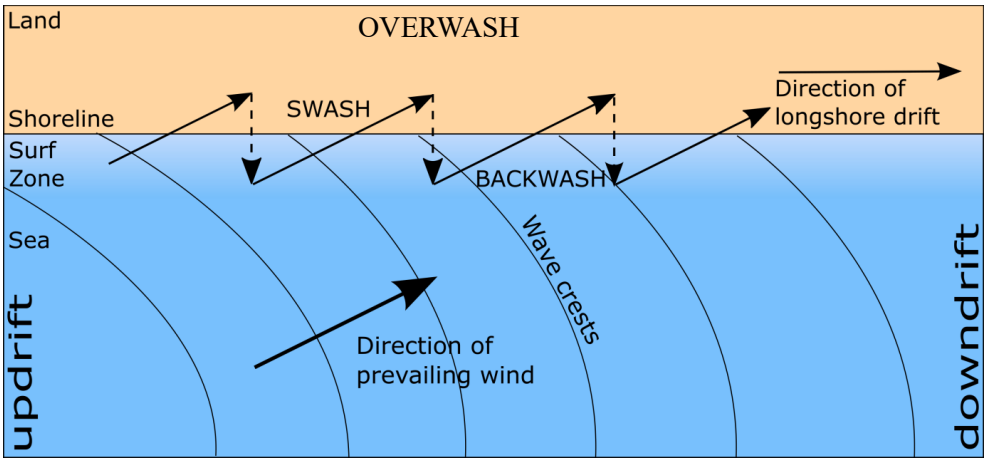
臺灣為一海島，海岸的維護及永續利用，與國計民生關係密切。惟其常因自然的暴潮、巨浪侵襲以及不當的人為開發利用，致使海灘輸沙失去均衡，進而衍生海岸侵淤。導致海灘輸沙失去均衡的原因，一般可綜合歸類並說明如后(監察院，2000；郭，1988；郭，2001)。

(一) **暴潮與波浪之時空變異性侵襲：**波浪的衝擊，如圖 3-5 所示，是海岸輸沙與海灘變遷之主要原動力。特別是近岸海灘，受具時、空變動性之強大波浪衝擊，再伴隨潮汐與風暴潮之影響，致使近岸波浪碎波，並在沖刷帶上衍生沖刷流速u ≈ $\sqrt{gH_b}$ (H_b為碎波波高、g 為重力加速度)之強勁上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)與越洗(overwash)作用，導致海灘輸沙失衡、沖淤不均，進而促使地形水深變化，海灘發生侵淤變遷，如圖 3-6 所示。例如：高雄縣梓官鄉的赤崁海岸，其海崖高度約 6~10 公尺，未構築離岸堤保護海岸前，本段海岸由於波浪、潮汐之侵襲而有明顯的侵蝕現象；在宜蘭清水海岸，沙丘遭受一次暴潮巨浪之侵襲，即造成沙灘崩落 3 公尺高，斷面侵蝕幅度約為 40 公尺，海岸侵蝕長度約達 200 公尺。此外，暴潮與波浪的綜合作用，甚且會改變突堤、離岸堤及防沙堤

等人造海岸防護設施之出水高度，甚且會將海岸防護設施，由原來之出水型式轉變為潛沒型態，進而影響波浪衝擊力，並導致輸沙特性之改變(莊，2020；2021)。



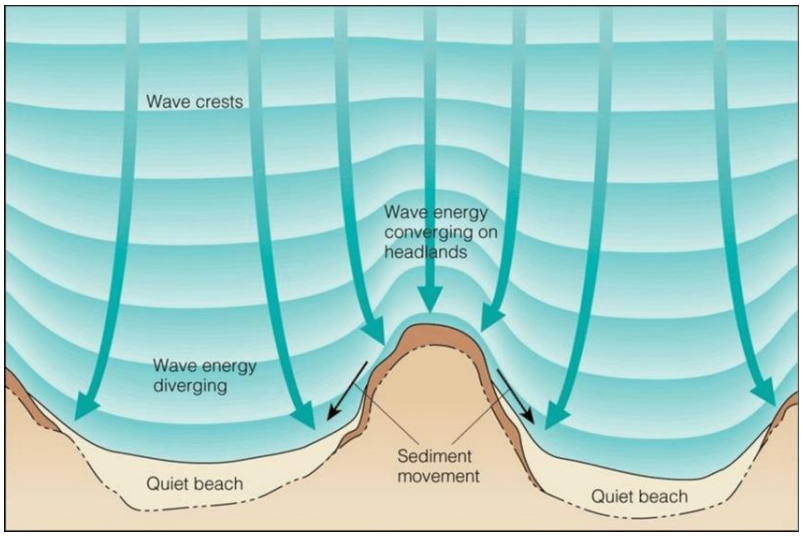
圖 3-5 近岸波浪的衝擊是海岸輸沙與海灘變遷之主要原動力



圖資來源：Van Zyl, F.W.(2018) Geological mapping of the inner shelf off Cape Town's Atlantic Seaboard, South Africa.

圖 3-6 近岸波浪碎波衍生強勁沖刷流速而在海灘上造成上沖、下刷及越洗之輸沙作用

(二) **海灘坡度與碎波型態改變**：在海洋中因不同規模與尺度之風暴作用所生成的暴潮巨浪，通常具有時、空變動之無常性。當波浪由深海傳播進入淺海及近岸海灘，其淺化、折射、繞射特性以及波浪尖銳度與碎波型態的轉變，皆與海灘坡度的緩陡程度息息相關，如圖 3-7 所示。特別是當波浪行進至近岸，會因波峯面之水粒子速度超越波能傳播速度，而於海灘上產生不同類型之碎波，同時，伴隨衍生強弱不一之波降(setdown)與波揚(setup)，並於沖刷帶(swash zone)上促使波浪沿海灘形成上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)與越洗(overwash)之強勁沖刷流(swashing currents)，進而帶動海床質之懸浮運移及海灘沙質之漂流沉積。當波浪尖銳度較大或前灘坡度較陡，則波浪下刷流速會隨之增加，因而容易促使海灘發生侵蝕，稱為暴風海灘(storm beach)或冬季海灘(winter beach)；反之，即當波浪尖銳度較小或前灘坡度較和緩，則下刷回流速度減緩而使海灘容易發生淤積，稱為正常海灘(normal beach)或夏季海灘(summer beach)。例如：在臺灣東、西部海岸，僅管海灘坡度緩陡不一，但由於長年皆必須面對具時、空變動性之強勁季風及颱風波浪侵襲，致使近岸碎波型態變異，因此，海岸及海灘甚難穩定，經常發生侵淤變遷。



圖資來源：Garrison, T. (2005) Oceanography: an invitation to marine science.

圖 3-7 波浪由深海傳播進入近岸淺灘受地形水深淺化影響所造成之折射變形

(三) **河川輸沙減少**：就大部分海岸而言，河川輸沙為海岸漂沙之自然來源之一。颱洪期間，河川自上游山岳地帶匯集大量土石流，隨滾滾洪水攜帶到河口，再因水流速度及輸沙能力急速降低而沉積於河口，接著，因碎波沖刷流及近岸海流之輸運，最後，形成海岸漂沙。通常，若河川供應之輸沙甚為充沛，輸沙量遠勝過波浪作用之輸沙量，則於出海口將會形成河口三角洲並形成堆積海岸。近年來，由於(1)經濟成長穩定，從早期拓荒步入穩定之生產期，平原農地均已成熟，土壤流失較少；(2)工程建設成長迅速，大量採取河川沙石，致挾帶至下游的泥沙減少；(3)水庫與攔沙壩興建，攔截沙石、山坡地水土保持，減少土石流失；(4)河川整治，減少河岸沖刷等因素，致使河川輸沙量逐年降低，河口沙源大量減少，波浪侵蝕作用超越河川堆積作用，最終導致發生海岸侵蝕。例如：位於淡水河口的台北縣八里海岸，民國 47 年以後至民國 76 年間，由於淡水河抽沙及水庫興建等因素影響，呈現迅速侵蝕；民國 76 年以後，淡水河管制抽沙，隨即減緩八里海岸之侵蝕速度。在宜蘭海岸，其原為蘭陽溪沙源供給所形成之獨立弧形海岸，過去因河口排沙豐富，故造成沙丘堆積海岸，但近年來，由於蘭陽溪沙石超採，河口排沙減少，海岸沙灘在風力和浪潮作用下，灘線於是不斷向內陸退縮，明顯的侵蝕區域，包括澳仔角、港邊里、利澤、過嶺、大福、竹安河口南側等海灘。在雲林縣口湖鄉近海的外傘頂沙洲，其原長約 20 公里，寬度在 1~3 公里間，呈東北-西南走向，北有統仙洲和箔仔寮汕，西北方向有海豐島，沙洲係由往昔濁水溪未束縮整治前的主要河道_北港溪出海時所帶出的大量泥沙推積所形成，濁水溪整治計畫實施後，北港溪輸沙量減少，而濁水溪南移漂沙僅達箔仔寮漁港，致使沙洲及毗鄰海灘，皆因沙源短缺及波浪的持續衝擊而大幅內移縮減(莊，1984；2022)。

(四) **海岸防護設施之影響**：港口外廓防波堤以及突堤、離岸堤及防沙堤等人造之海岸防護設施，不僅會阻擋、干擾波浪之傳播特性，造成近岸海灘坡度與波浪碎波型態改變，更會影響波浪在海灘沖刷帶

上衍生碎波沖刷流之作用強度，以致在防波堤及離岸堤受波浪衝擊之反射區內，波浪變大，漂沙之懸浮運移增強；在繞射區，由於波向被迫向堤後遮蔽區彎曲，因而會於堤後沖刷帶上，改變上沖、下刷沖刷流之流向與流速，進而形成堤後之塑灣環流，並導致漂沙沈降堆積；不過在遮蔽區外之灘岸，仍會因入射波浪之強烈衝擊與堤後強勁環流之作用而導致沖蝕。所以，突堤及離岸堤等海岸防護設施，均會因改變近岸波浪沖刷流作用及漂沙運移型態，從而促使結構物毗鄰海灘陳現沖蝕或淤積，特別是面對波浪主要衝擊方向之上、下游海灘之沖淤影響(莊，2020；2021)。例如：在花蓮海岸，由於花蓮港東防波堤於民國 75 年延長，其南濱海岸地形因而飽受侵蝕困擾；在臺灣東北角位於三貂角北側小灣內之台北縣和美漁港，海岸線呈南北走向，小灣長約 700 公尺，南北均為突出之礁盤，和美漁港即位於小灣北邊礁盤南側之凹地，而小灣南方為金沙灣，小灣海岸中段部份為向海稍微突出之淺礁區，在漁港興建前，小灣內沿岸均有金黃色沙灘，而以南邊金沙灣之沙灘較為寬廣，因此被規劃為海水浴場預定地，漁港完工後，於民國 79 年發現位於其南側金沙灣之海沙大量流失，而海岸中段淺礁之露出更為明顯，而新建之漁港，則因大量漂沙流入港內泊地而使漁港淤塞；另外，早期臺灣海堤之興建，主要係為防潮、禦浪，但由於堤線太近外灘區，致颱風期間衝擊之大浪，不僅無法有效消散波能，反而促使波浪反射，衝擊力纍加，進而引致海灘破壞及海岸侵蝕。例如：在高雄縣蚵子寮海岸，早期有一片寬廣美麗之沙灘，民國 53 年海岸略遭侵蝕，水利局乃興建拋物線斷面之陡坡海堤，藉期阻擋浪潮侵襲，但因反射波能量之重疊，加速波浪沖蝕之能力，日久後，海灘即消失，海堤亦被侵蝕而倒塌；在台南市之黃金海岸，原有約為 150 公尺寬廣之黃色沙灘，觀海樓興建時所設計之觀海台階為直立斷面，大潮大浪造成波浪於堤前反射，致使海灘迅速消失。

(五) **地盤下陷：**結構物重量之沈壓、土壤性質之變化及地下水位之降低等均會造成地盤之下陷，其中又以地下水位降低影響最為嚴重。依

經濟部水資源局實測資料分析結果顯示，臺灣地區約有 1,057 平方公里之土地受地盤下陷之影響。地盤下陷，非但會造成地下水鹽化、感潮河段延長、海水倒灌及越波等災害，更會因為地盤下陷而使海岸地帶之水深變大，波浪入侵之深入度增加，碎波帶內移，沖刷流之淘蝕能力增強，進而加劇岸灘之沖蝕。例如：在屏東縣的塭豐海岸，自民國 60 年後，因養殖業發達而超抽地下水，繼而引起嚴重之地盤下陷，以致衍生區域性甚大規模之海岸侵蝕。

(六) **地形阻隔：**海底深谷常延伸至淺水區河口附近，致使河川帶來之泥沙流入海溝而無法輸送至鄰近海岸。此種地形阻隔將使河口輸沙被沿岸流帶往下游海岸之機會變小，因沿岸漂沙量減少而導致海岸侵蝕。例如：高屏溪雖流長而輸沙量大，但因河口有海溝，大部分輸沙流入海溝中，以至無法補注海岸。

(七) **海平面上升：**由於氣候變遷、全球暖化之影響，平均海平面因而會有長年異常性之升降變動。當平均海平面上升時，相對地即迫使海岸線位置向內陸逼進，並激化暴潮巨浪對海岸之衝擊作用，因此，平均海平面上升，不僅會類似地盤下陷產生之衝擊影響，迫使離岸沙洲或平緩海灘被淹沒，更會降低海岸保護設施之機能，並導致海岸之嚴重沖蝕(黃 等，2010；莊 等，2014；郭 等，2017)。

3.1.5 既有海岸防護設施

面對海岸之沖蝕，一般之保護工法，總體上可區分成剛性工法及柔性工法二大類。主要的防護設施(郭，1988；郭，2001)，包括：(1)海堤或護岸(seawall, revetment)；(2)突堤或防沙突堤(groins)；(3)離岸堤(detached breakwater)；(4)人工潛礁(artificial reef)；(5)魚尾型防波堤(fishtailed breakwater)；(6)岬頭控制(headland control)及(7)人工養灘(artificial beach nourishment)等。在臺灣環島近岸，部分既有自然以及剛性與柔性人工海岸防護設施之配置狀況，參見圖 3-8 所示。

海岸防護設施的選用及配置，在實際施設前，應詳實調查並掌握造

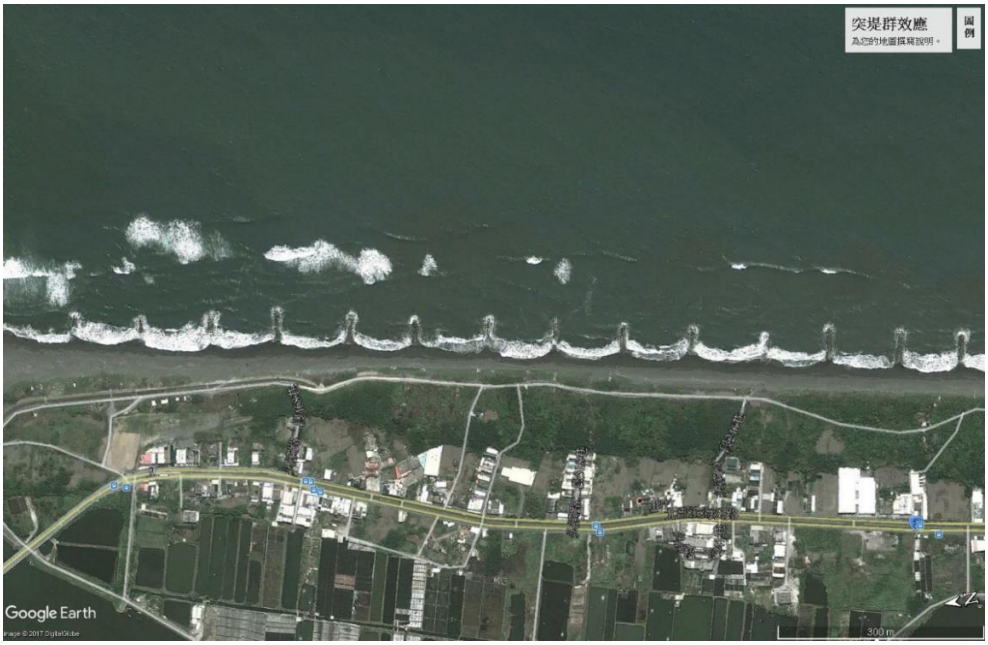
成海岸侵蝕之原因；規劃設計中，更應審慎考量其單一或混和應用之功能性、安全性、耐久性、經濟性、施工性，並慎重評估其對環境景觀與生態所可能帶來的短、長期性衝擊與影響；施設後，特別應再就其防護效能作定期之檢視，俾能調適海域暴潮巨浪環境的變遷(郭，1988)。

在臺灣環島海岸，為有效降低暴潮巨浪致災之風險，目前經濟部水利署管轄的一般性海堤約有 203 處，長度約 295 公里(不含防潮堤、護岸及保護工等防護設施)，海堤分布概況如圖 3-9 所示(水利署、水規所，2017)，各縣市海岸既有保護工、突堤、海堤及護岸等防護設施之長度，如表 3-10 所示。而為降低人工海岸線在海岸總長度之佔比，藉以確保自然海岸線之零損失，近年來，海堤除確有緊要防護區段外，水利署原則上均已不再新建，且對既有海岸防護設施，以維持現有海岸防護功能性及安全性為主，間或輔以柔性工法或生態工法，降低硬式結構物量體，當面對超過往昔防護標準或氣候變遷引致之相關威脅狀況，則以非工程措施予以因應(水利署，2017)。



蘇澳_內埤海岸_20190131. jpg

圖 3-8 臺灣東北部宜蘭海岸蘇澳內埤之自然岬灣海灘



頭城海岸突堤群_google 地圖_碎波帶內突堤群 20110901 大平

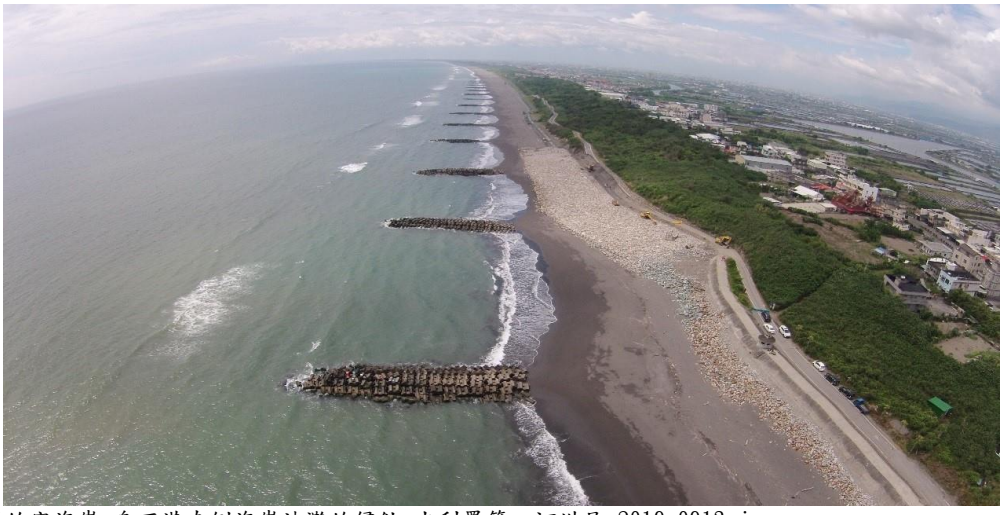

宜蘭竹安海岸_烏石港南側海岸沙灘的侵蝕_水利署第一河川局_2019_0913. jpg

圖 3-8(續) 臺灣東北部宜蘭頭城海岸之突堤群防護設施



花蓮_南濱海堤改善完工增設緩坡草皮_中央社_圖片_16. jpg

圖 3-8(續) 臺灣東部花蓮南濱海岸之離岸堤群與海堤護坡



花蓮_北濱海岸環境改善工程_水利署電子報_圖片_8. jpg

圖 3-8(續) 臺灣東部花蓮北濱海岸之人工岬頭與岬灣海灘



台中港_北淤沙區_20170920.jpg

圖 3-8(續) 臺灣中西部海岸臺中港北灘區防風沙之岬灣海灘

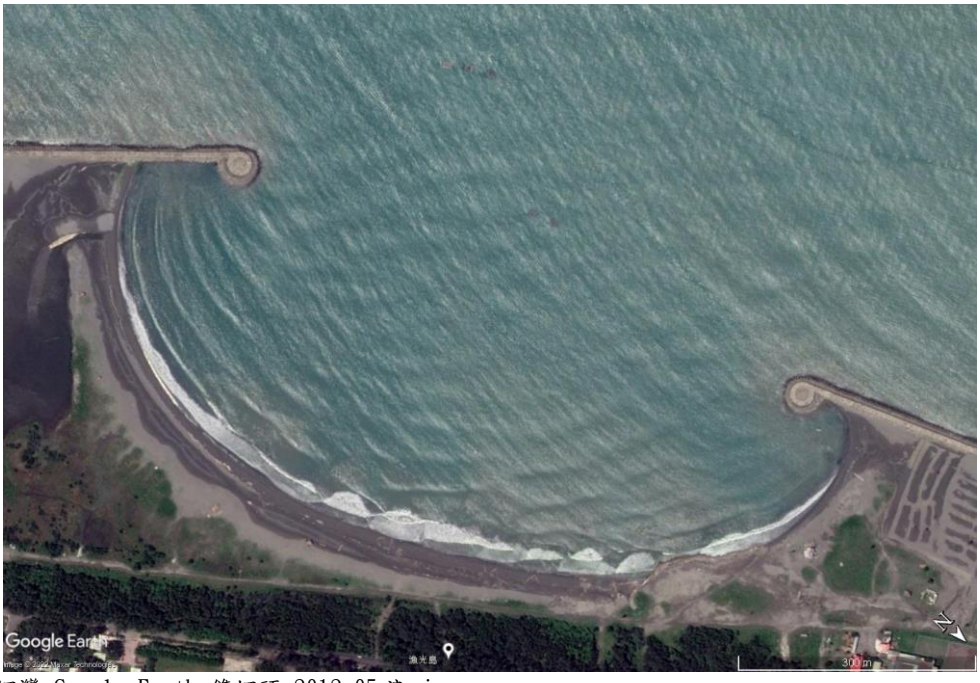


青山港汕_google 地圖 2016_突堤效應

圖 3-8(續) 臺灣西南部臺南海岸青山港汕之單突堤與將軍漁港防波堤防護設施



安平漁港_google 地圖 2014_人工岬灣. jpg



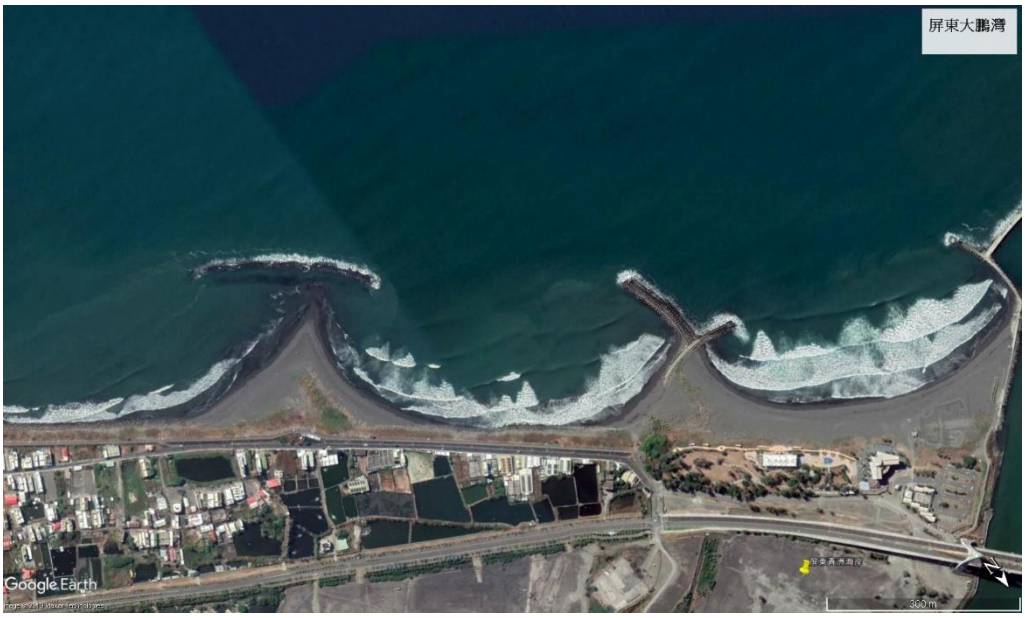
安平岬灣_Google Earth_雙岬頭_2012_05 浪. jpg

圖 3-8(續) 臺灣西南部臺南海岸安平漁光島外之人工岬頭與岬灣



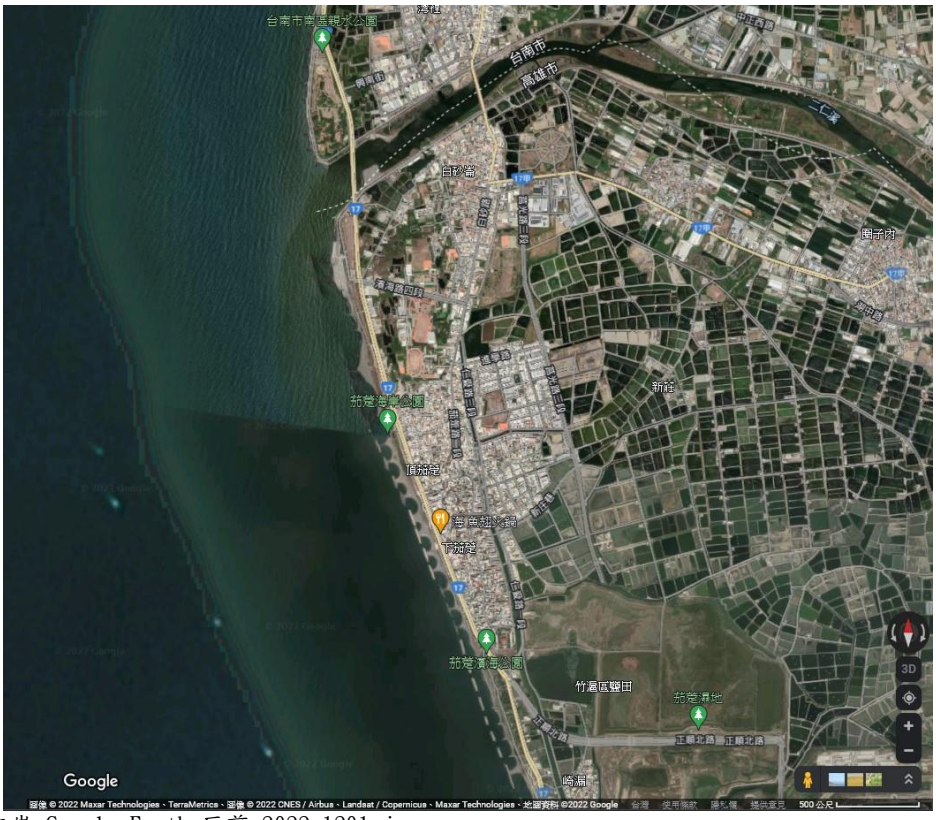
屏東大鵬灣海岸_google 中平_20190105.jpg

圖 3-8(續) 臺灣西南部屏東東港大鵬灣海岸 2019 現況之潮口突堤、離岸堤群及魚尾突堤岬灣等海岸防護設施



屏東大鵬灣海岸_google 細平_20190105.jpg

圖 3-8(續) 臺灣西南部屏東東港大鵬灣海岸 2019 現況潮口南側之離岸堤與魚尾突堤岬灣之海岸防護設施

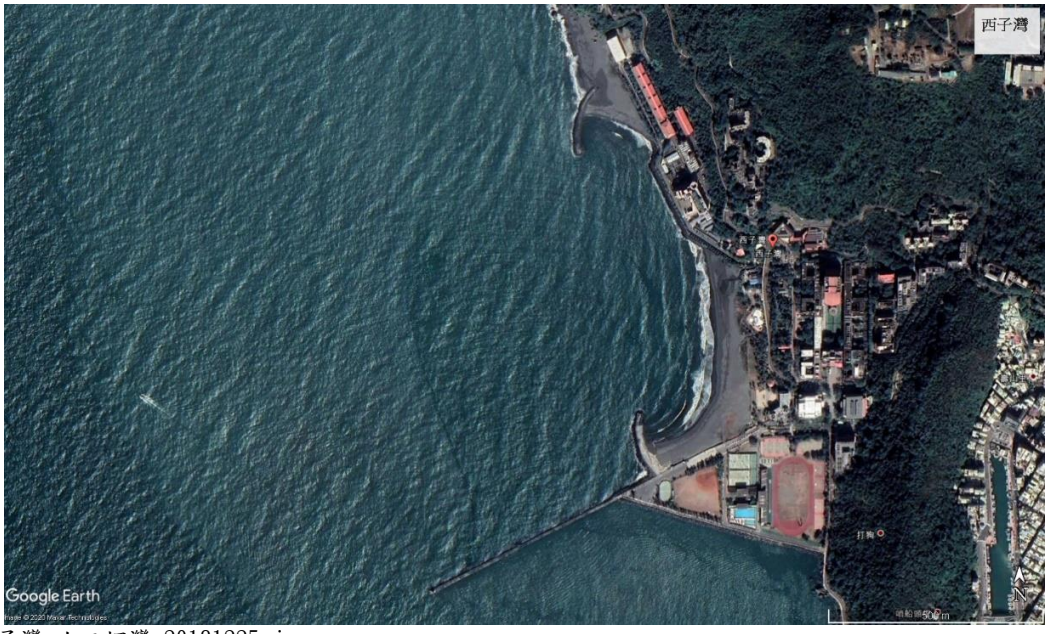


茄萣海岸_Google Earth_區剪_2022_1201.jpg

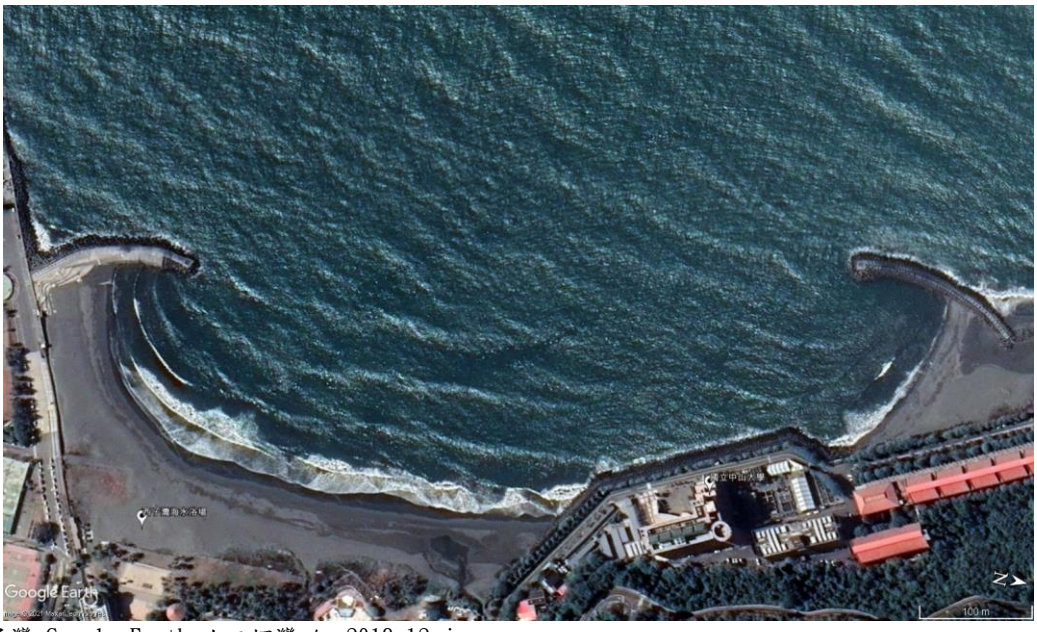


茄萣海岸_GoogleEarth_2018_1103_無經緯_離岸堤群_平細.jpg

圖 3-8(續) 臺灣西南部高雄茄萣海岸之離岸堤群防護設施



西子灣_人工岬灣_20181225.jpg

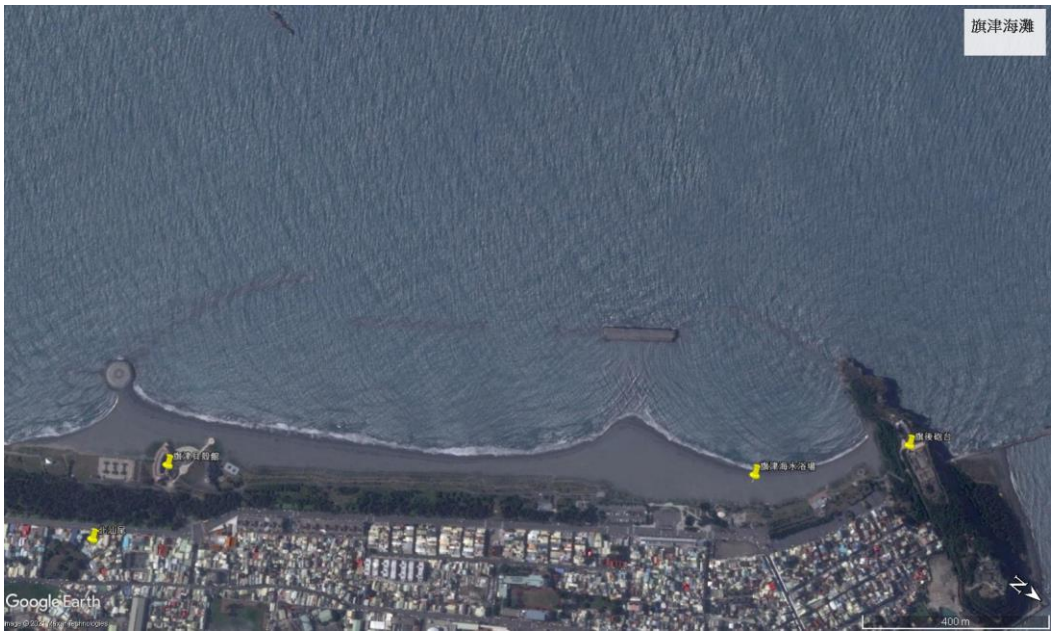


西子灣_Google Earth_人工岬灣_細_2018_12.jpg

圖 3-8(續) 臺灣西南部高雄西子灣海岸之人工岬頭與岬灣海灘

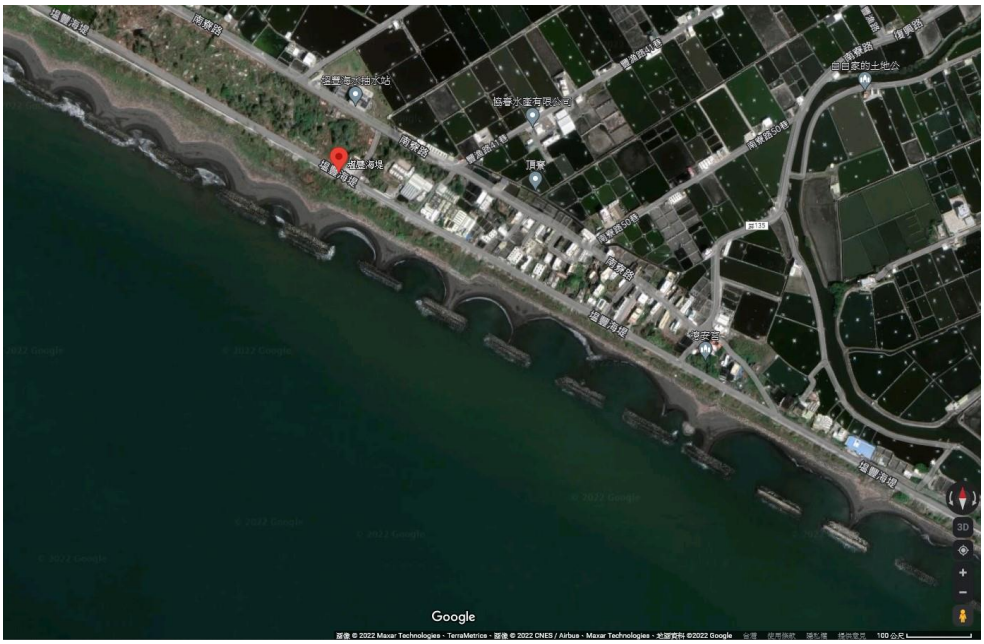


圖資來源：高雄市政府新聞局-2002-2014 高雄畫刊
旗津區海岸線保護工程_2013_0906_5.jpg



旗津海灘_Google Earth_中平_2016_02 優.jpg

圖 3-8(續) 臺灣西南部高雄旗津海岸之離岸堤與潛堤及岬灣海灘

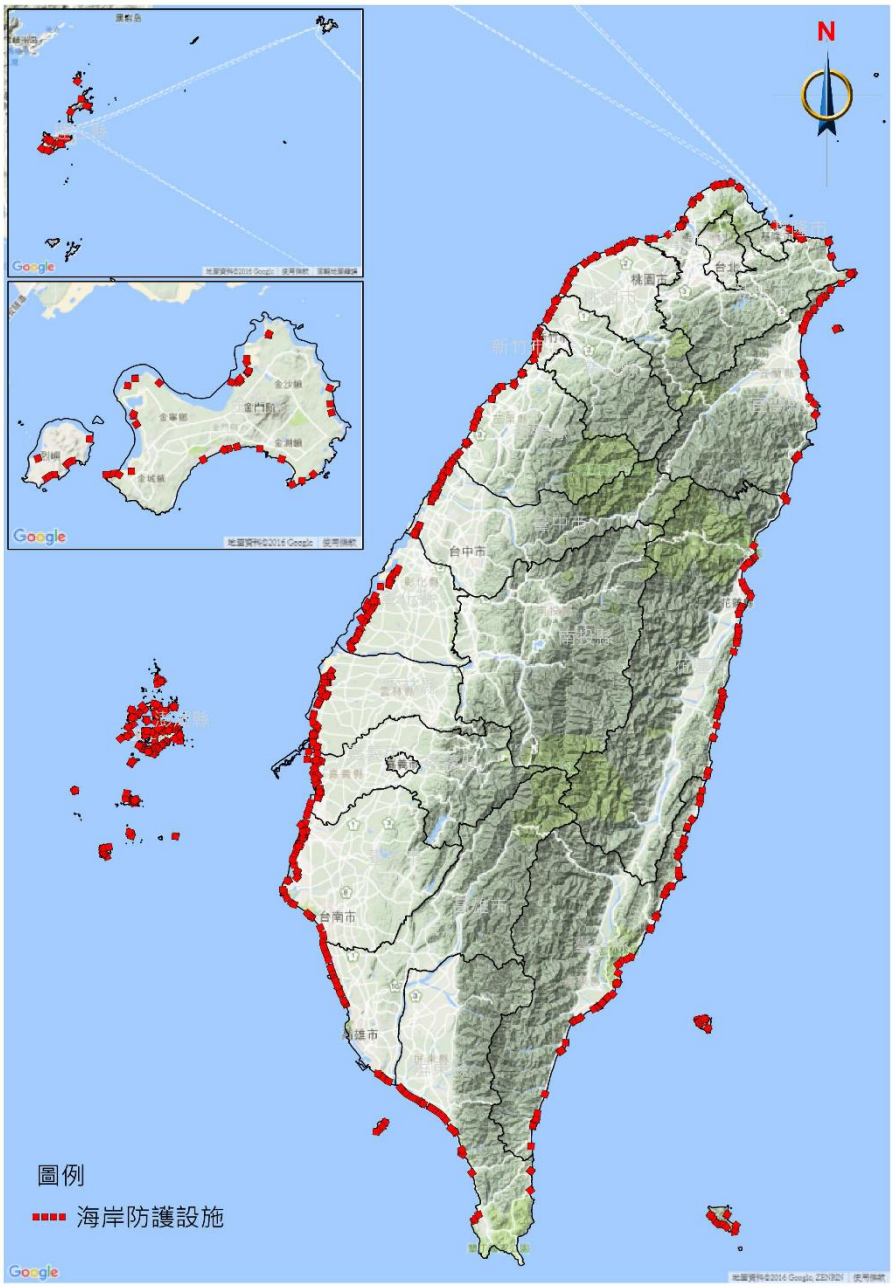


塭豐海堤_Google Earth_大_剪_2022_1201.jpg



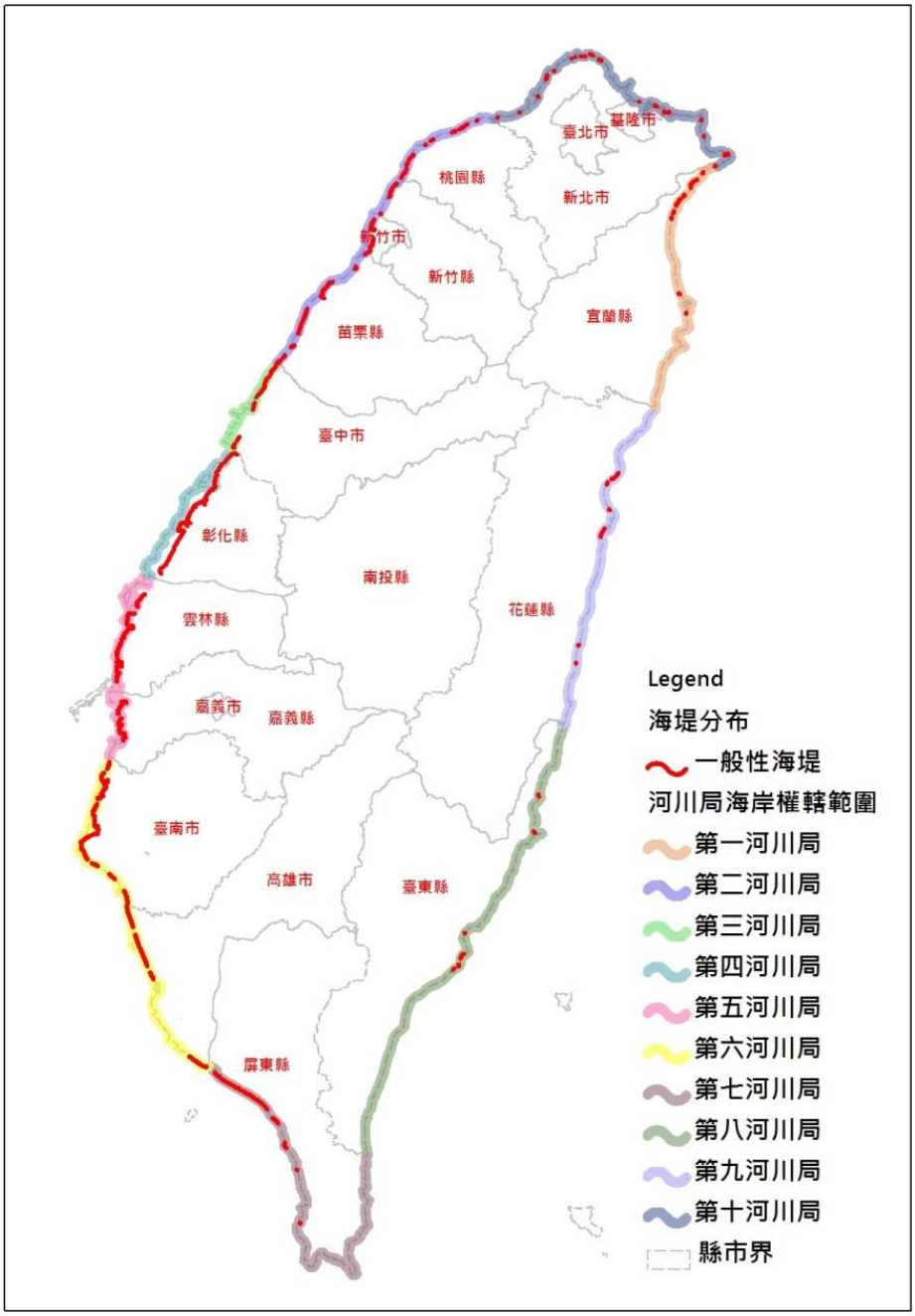
塭豐海堤_google 地圖離岸堤群 2015 平.jpg

圖 3-8(續) 臺灣西南部屏東佳冬塭豐海岸之離岸堤群防護設施



資料來源：「整體海岸管理計畫」，經濟部水利署地理資訊倉儲中心(http://gic.wra.gov.tw/)，105 年。

圖 3-9 臺灣海岸海岸一般性海堤防護設施之分布圖



資料來源：海岸概況_經濟部水利署水利規劃試驗所，https://www.wrap.gov.tw/ pro12.aspx?type=0301000000

圖 3-9(續) 臺灣海岸一般性海堤之分布概況與權轄單位及範圍

表 3-10 臺灣海岸既有防護設施分析表

資料來源：「整體海岸管理計畫」，內政部(2017)。

地區	地區直轄市、縣（市）	保護工長度（m）	突堤長度（m）	海堤長度（m）	護岸長度（m）
臺灣本島	基隆市	408.60	-	708.40	-
	新北市	1,356.10	-	6,874.80	-
	桃園市	-	-	11,227.50	-
	新竹市	-	-	11,094.00	-
	新竹縣	2,554.80	-	3,254.50	-
	苗栗縣	-	-	19,032.50	-
	臺中市	-	-	23,844.50	-
	彰化縣	-	-	30,775.90	-
	雲林縣	-	-	28,976.50	-
	嘉義縣	-	-	13,831.50	-
	臺南市	-	-	42,040.50	-
	高雄市	-	-	20,284.20	-
	屏東縣	777.40	31.00	22,865.70	-
	宜蘭縣	-	-	8,904.20	-
	花蓮縣	6,383.60	-	9,601.60	-
	臺東縣	19,460.30	-	3,423.70	-
離島	金門縣	9,391.00	58.00	5,945.00	448.00
	連江縣	1,992.00	29.00	845.00	1,872.00
	澎湖縣	20,748.00	1,437.00	33,563.00	707.00

3.2 臺灣環島之近岸港口

臺灣環島現有之港口或港埠設施類型，包含商港、工業專用港、遊艇港、漁港及軍港等 5 類。其中，國際商港共計有 7 個，分別是：基隆港、高雄港、花蓮港、臺中港、蘇澳港、安平港、臺北港。於民國 101 年起，7 個國際商港整合交由臺灣港務股份有限公司負責營運(http://www.motc.gov.tw)。國內商港共有 4 處，分別是由臺灣港務公司

高雄港務分公司經營之布袋港與澎湖港(包含馬公及龍門尖山)及地方政府經營之金門港(包含水頭、料羅及九宮）與馬祖港（包含福澳、白沙、青帆、猛澳及中柱)；工業專用港目前有 4 座，分別為由台塑公司所設立之麥寮工業港、由臺灣水泥公司興建營運之和平工業港及由臺灣中油公司經營之深澳港與永安液化天然氣接收港（能源專用港)；遊艇專用港則有龍洞、大鵬灣、後壁湖及布袋等 4 處。

至於近岸之漁港，政府為照顧漁民生活，發展遠洋與沿近海漁業，自民國 69 年度起，由前臺灣省政府農林廳漁業局辦理各市縣之漁港建設，並訂定計畫執行漁港建設方案，歷經「第一期臺灣地區漁港建設方案」(69 至 76 年度)、「第二期臺灣地區漁港建設方案」(77 至 85 年度)、「第三期臺灣地區漁港建設方案」(86 至 89 年度)；至民國 88 年精省後，行政院農業委員會承繼前省漁業局執行漁業建設方案，且自 88 至 97 年度賡續執行「第一期四年中長程公共建設-漁港建設計畫」(90 至 93 年度)、「第二期四年漁業多元化經營建設計畫」(94 至 97 年度)等多年建設。其間，為提升漁港整體環境品質，促進港區土地開發利用及維護設施正常機能等目標，據漁業署統計，截至 97 年底止，歷年投入各市縣漁港建設經費總計 608 億 5,958 萬餘元。又至 98 年底止，農委會漁業署依『漁港法』公告之漁港分為二類，第一類漁港計有烏石、南方澳、八斗子、正濱、新竹、梧棲、安平、前鎮及東港鹽埔等 9 處，第二類漁港計有 211 處，合計有漁港共 220 處，如表 3-11 所示，分布於臺灣本島的有 145 處，如圖 3-10 所示，而分布於澎湖及金馬等離島地區有 75 處，且以澎湖 67 處漁港最多。

依據臺灣環島海岸線全長約 1,338.359 公里估算，臺灣本島平均約每 9.23 公里即有一處漁港。惟並非所有位處臺灣本島之 145 處漁港皆係直接在海岸上建港，其中，實際有 13 處漁港係位處在國際商港及其輔助港內，另有 20 處漁港，則位於河道或潟湖內，故實際位處臺灣環島海岸線上之漁港，應僅有 112 處，即平均約 11.95 公里有一處漁港。又基於漁港運轉功能之維護，因而在與漁港毗鄰之海岸，無可避免地必須設置防波堤及防沙堤等人工設施，以致擴大臺灣人工海岸線之佔比

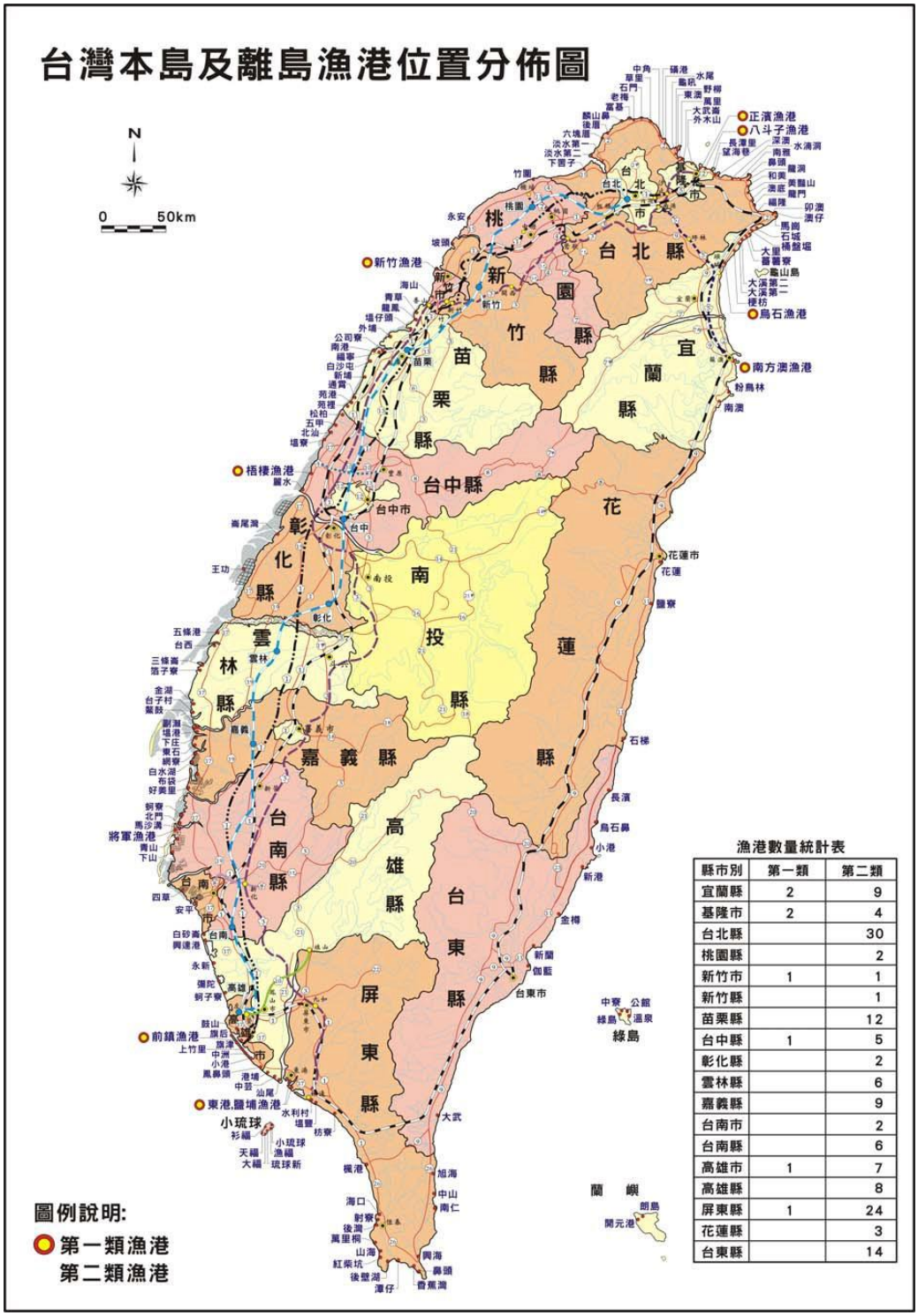
約達環島海岸線總長之 55.8%。在『海岸管理法』立法完成之前，內政部為推動海岸地區各項經理及管理計畫，曾於民國 96 年 7 月 30 日奉行政院核定「永續海岸整體發展方案」，且揭示未來海岸地區之利用管理，應以「減量、復育」為原則。自此而後，對於漁港外廓設施即儘量予以減量，解決漁港淤沙之對策，也以疏浚取代擴建，且融入多功能漁港規劃，更配合漁港多元化利用，引用生態工法佈設消波設施，降低防波堤高度以改善景觀，回復海岸風貌(農委會，2009)。

表 3-11 臺灣地區各直轄市、縣(市)漁港類別及名稱一覽表

資料來源：行政院農業委員會，農授漁字第 1091314889A 號，民國 109 年 5 月 12 日公告。

直轄市、縣(市)別	漁港類別、名稱、主管機關與所屬漁會					
	第一類漁港			第二類漁港		
	漁港名稱	主管機關	所屬漁會	漁港名稱	主管機關	所屬漁會
宜蘭縣(10 處)	**烏石**	行政院農業委員會	頭城區漁會	石城、桶盤堀、大里、蕃薯寮、**大溪**、**梗枋**	宜蘭縣政府	頭城區漁會
	南方澳		蘇澳區漁會	粉鳥林、**南澳**		蘇澳區漁會
基隆市(6 處)	八斗子、正濱	行政院農業委員會	基隆區漁會	**大武崙**、外木山、長潭里、望海巷	基隆市政府	基隆區漁會
新北市(28 處)				下罟子、淡水第一、淡水第二、六塊厝、後厝	新北市政府	淡水區漁會
				、麟山鼻、富基、石門、**草里**、**磺港**、水尾		金山區漁會
				野柳、東澳、龜吼、萬里		萬里區漁會
				深澳、水湳洞、南雅、鼻頭		瑞芳區漁會
				龍洞、**和美**、美豔山、澳底、澳仔、龍門、福隆、卯澳、馬崗		貢寮區漁會
桃園縣(2 處)				**竹圍**	桃園縣政府	桃園區漁會
				永安		中壢區漁會
新竹縣（1處）				**坡頭**	新竹縣政府	新竹區漁會
新竹市（2處）	**新竹**	行政院農業委員會	新竹區漁會	海山	新竹市政府	新竹區漁會
苗栗縣				**龍鳳**、塭仔頭、**外埔**、公司寮、福寧、南港	苗栗縣	南龍區漁會

(11處)				**白沙屯**、新埔、**通霄**、苑港、苑裡	政府	通苑區漁會
臺中市(6處)	梧棲	行政院農業委員會	臺中區漁會	**松柏**、五甲、北汕、塭寮、麗水	臺中市政府	臺中區漁會
彰化縣(2處)				崙尾灣、**王功**	彰化縣政府	彰化區漁會
雲林縣(6處)				五條港、台西、三條崙、**箔子寮**、金湖、台子村	雲林縣政府	雲林區漁會
嘉義縣(9處)				鰲鼓、副瀨、塭港、下庄、東石、網寮、白水湖、**布袋**、好美里	嘉義縣政府	嘉義區漁會
臺南市(7處)	**安平**	行政院農業委員會	南市區漁會	四草	臺南市政府	南市區漁會
				蚵寮、北門、青山、下山、**將軍**		南縣區漁會
高雄市(16處)	前鎮	行政院農業委員會	高雄區漁會	鼓山、旗后、旗津、上竹里、中洲	高雄市政府	高雄區漁會
				小港臨海新村、鳳鼻頭		小港區漁會
				白砂崙、**興達**		興達港區漁會
				永新		永安區漁會
				彌陀		彌陀區漁會
				蚵子寮		梓官區漁會
				港埔、**中芸**、汕尾		林園區漁會
屏東縣(22處)	**東港** **鹽埔**	行政院農業委員會	東港區漁會	水利村、塭豐	屏東縣政府	林邊區漁會
				枋寮、**楓港**		枋寮區漁會
				海口、後灣、山海、紅柴坑、**後壁湖**、潭仔、香蕉灣、鼻頭、興海、南仁、中山、**旭海**		恆春區漁會
				小琉球、漁福、琉球新、天福、杉福		琉球區漁會
花蓮縣(3處)				花蓮、**鹽寮**、**石梯**	花蓮縣政府	花蓮區漁會
臺東縣(14處)				**長濱**、烏石鼻、**小港**、**新港**、**金樽**、新蘭、開元、朗島	臺東縣政府	新港區漁會
				伽藍、**大武**		臺東區漁會
				綠島、溫泉、公館、中寮		綠島區漁會
澎湖縣(67處)				安宅、西衛、重光、馬公、案山、前寮、石泉、菜園、鐵線、五德、井垵、時裡、風櫃東、風櫃西、山水、鎖港、烏崁、桶盤、虎井、尖山、龍門、菓葉、南北寮、白坑、青螺、紅羅、西溪、成功、沙港東、沙港中、沙港西、中西、講美、鎮海、港子、岐頭、赤崁、後寮、通樑、瓦硐、城前、大倉、員貝、**鳥嶼**、吉貝、合界、小門、大池、池西、內垵北、外垵、內垵南、赤馬、大菓葉、二崁、竹灣、橫礁、潭門、水垵、中社、將軍南、將軍北、花嶼、東嶼坪、東吉、七美、潭子	澎湖縣政府	澎湖區漁會
金門縣(3)				新湖、羅厝、復國墩	金門縣政府	金門區漁會
連江縣(5)				福澳、白沙、青蓄、猛澳、中柱	連江縣政府	馬祖區漁會
合　計	9處			211處		
總計	220處					



縣市別	第一類	第二類
宜蘭縣	2	9
基隆市	2	4
台北縣		30
桃園縣		2
新竹市	1	1
新竹縣		1
苗栗縣		12
台中縣	1	5
彰化縣		2
雲林縣		6
嘉義縣		9
台南市		2
台南縣		6
高雄市	1	7
高雄縣		8
屏東縣	1	24
花蓮縣		3
台東縣		14

資料來源：「海岸新生之漁港疏浚及多功能漁港開發規劃」，行政院農業委員會漁業署，2009。

圖 3-10 臺灣本島之漁港分佈圖

3.2.1 近岸港口之現況配置

依據『漁港法』(1992)，臺灣的漁港分成二類：第一類漁港係指使用目的屬於全國性或配合漁業發展特殊需要者，主管機關為行政院農業委員會，其配置設施應符合《漁港法施行細則》規定后列各款條件：(1)港內泊地面積達十萬平方公尺以上，可停泊一百噸級漁船一百艘以上者；(2)陸上有魚市場、起卸碼頭，且漁船補給(加油、加水、加冰)、魚貨加工、冷凍、船機修理、保養設備齊全，交通方便，魚貨運輸銷售便利者；(3)漁港全年作業漁產量合計達二萬公噸以上者；(4)本籍五十噸以上之漁船數達一百艘以上者。其他不符合第一類漁港條件之漁港，則歸於第二類漁港，主管機關為當地縣、市政府。

臺灣的漁港，第一類漁港合計有 9 處，第二類漁港有 211 處，共計有 220 處，參見圖 3-10 及表 3-11 所示。其中，不論分類，僅就臺灣各直轄市、縣(市)之近岸港口，各檢擇一、二處作代表(參見表 3-11 中以粗黑體標註者)，再應用 Google Earth 之歷史圖像，檢視港口現況配置及毗鄰之海岸概況，可得如圖 3-11 至圖 3-48 所示。其中，位在臺灣北部的漁港，如圖 3-11 至圖 3-14 所示；在西北部的，如圖 3-15 至圖 3-18 所示；在中西部的，如圖 3-19 至圖 3-25 所示；在西南部的，如圖 3-26 至圖 3-32 所示；在南部的，如圖 3-33 至圖 3-35 所示；而在臺灣東北部的漁港，如圖 3-36 至圖 3-39 所示；在東部的，如圖 3-40 至圖 3-46 所示；在東南部的，如圖 3-47 所示；至於澎湖海岸，則如圖 3-48 所示。

綜合觀察圖 3-10 至圖 3-48 可見，臺灣環島之近岸港口(漁港)，受限於經濟規模，以致港口航道水深均淺，且普遍位於碎波帶內，又為增強港域泊地的靜穩度，防護東北季風、西南季風及颱風波浪之侵襲，在西北部、中西部及西南部海岸之港口，外廓防波堤配置，大多具有雙突堤(川、リ、ソ)形態，如圖 3-15 至圖 3-32 所示；而在南部、北部、東北部、東部及東南部海岸之港口，外廓防波堤配置則大多具有側 L 形(⊢、⊣、匚、コ)之突堤及離岸堤複合形態，如圖 3-33 至圖 3-48 所示。



大武崙漁港_google 地圖 2016 小. jpg

圖 3-11 臺灣北部基隆海岸大武崙漁港毗鄰海岸及港口配置概況



草里漁港_google 地圖 2016 中. jpg

圖 3-12 臺灣北部海岸草里漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



磺港漁港_Google Earth_中_2018_10 優浪.jpg

圖 3-13 臺灣北部海岸磺港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



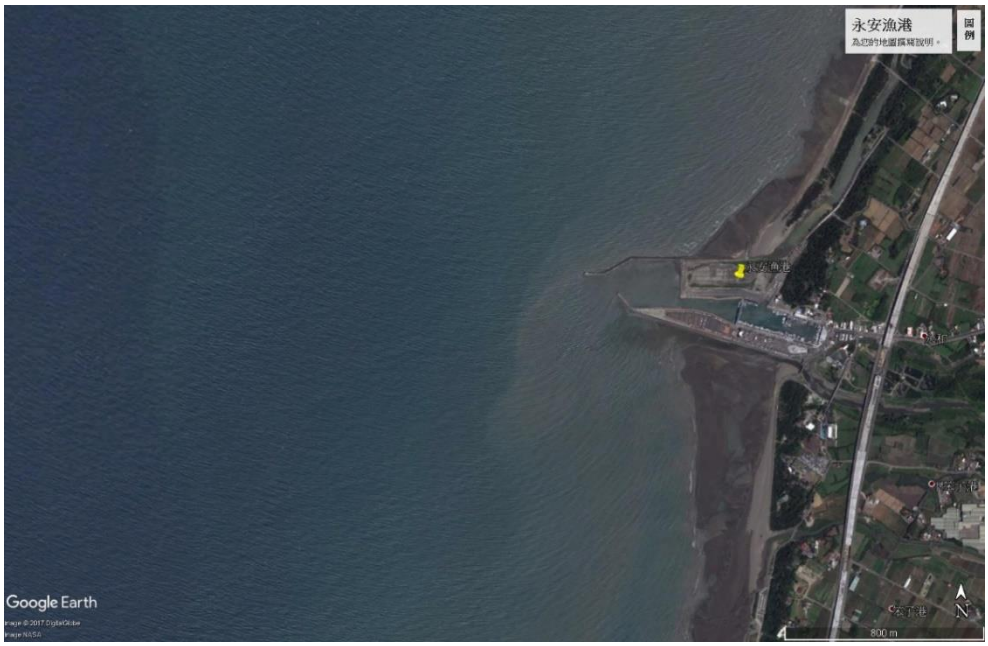
和美漁港_Google Earth_中_2016_11 佳.jpg

圖 3-14 臺灣北部海岸和美漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



竹圍漁港_google 地圖大. jpg

圖 3-15 臺灣西北部桃園海岸竹園漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



永安漁港_google2017_地圖中. jpg

圖 3-16 臺灣西北部桃園海岸永安漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



新竹漁港_google 地圖中. jpg

圖 3-17 臺灣西北部新竹海岸新竹漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



坡頭漁港_google2016_地圖中. jpg

圖 3-18 臺灣西北部新竹海岸坡頭漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



龍鳳漁港_GoogleEarth_小_2017_12.jpg

圖 3-19 臺灣中西部苗栗海岸龍鳳漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



外埔漁港_GoogleEarth_中_2017_12 優.jpg

圖 3-20 臺灣中西部苗栗海岸外埔漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



白沙屯漁港_Google Earth_細_2018_11 優乾.jpg

圖 3-21 臺灣中西部苗栗海岸白沙屯漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



通宵漁港_GoogleEarth_小_201811_優.jpg

圖 3-22 臺灣中西部苗栗海岸通霄漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



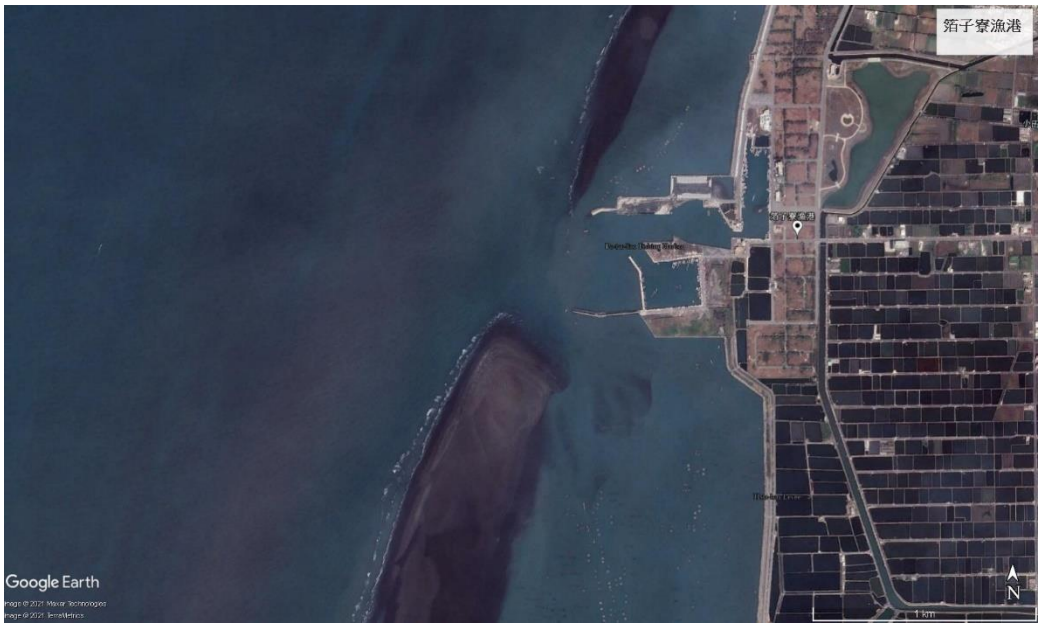
松柏漁港_GoogleEarth_小_2018_11 優.jpg

圖 3-23 臺灣中西部臺中海岸松柏漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



王功漁港_GoogleEarth_小_2013_11 優.jpg

圖 3-24 臺灣中西部彰化海岸王功漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



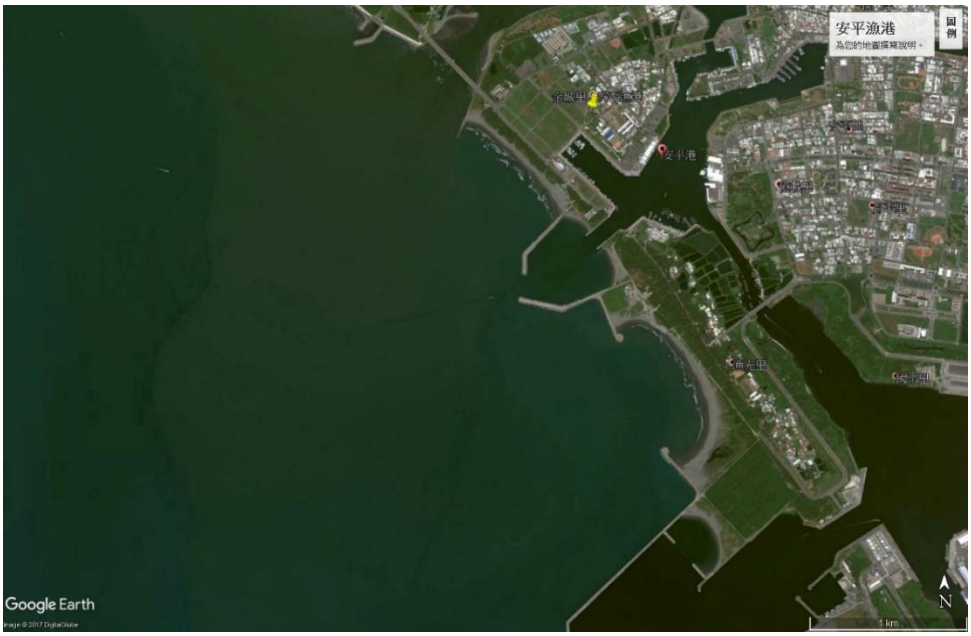
箔子寮漁港_GoogleEarth_小_2015_12 優.jpg

圖 3-25 臺灣中西部雲林海岸箔子寮漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



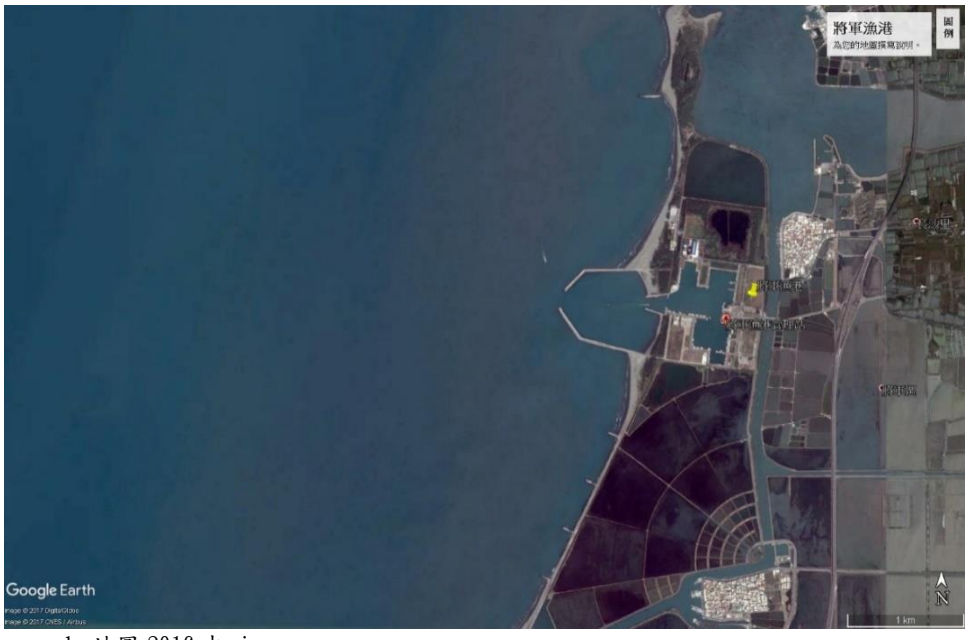
布袋漁港_GoogleEarth_小_2018_09 優.jpg

圖 3-26 臺灣西南部嘉義海岸布袋漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



安平漁港_google 地圖 2016 小. jpg

圖 3-27 臺灣西南部臺南海岸安平漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



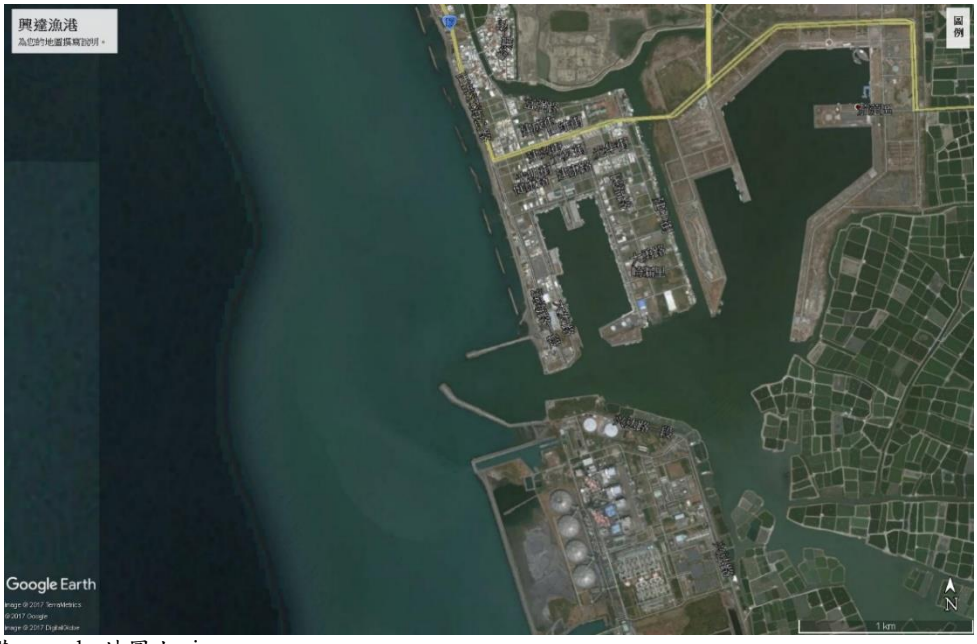
將軍漁港_google 地圖 2016 中. jpg

圖 3-28 臺灣西南部臺南海岸將軍漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



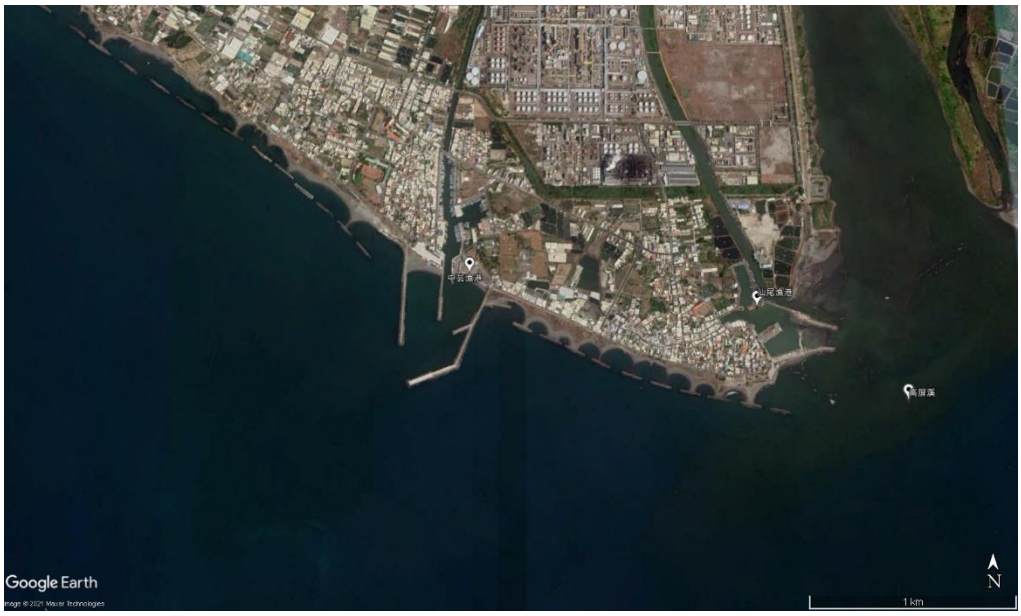
蚵子寮漁港_google 地圖 201602 大. jpg

圖 3-29 臺灣西南部高雄海岸蚵子寮漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



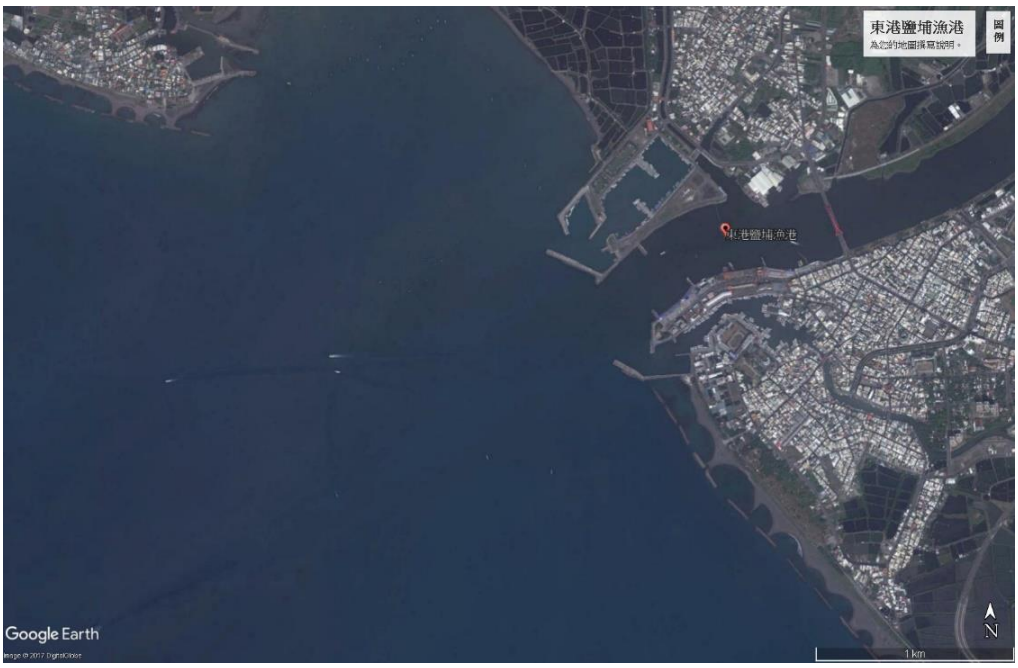
興達漁港_google 地圖小. jpg

圖 3-30 臺灣西南部高雄海岸興達漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



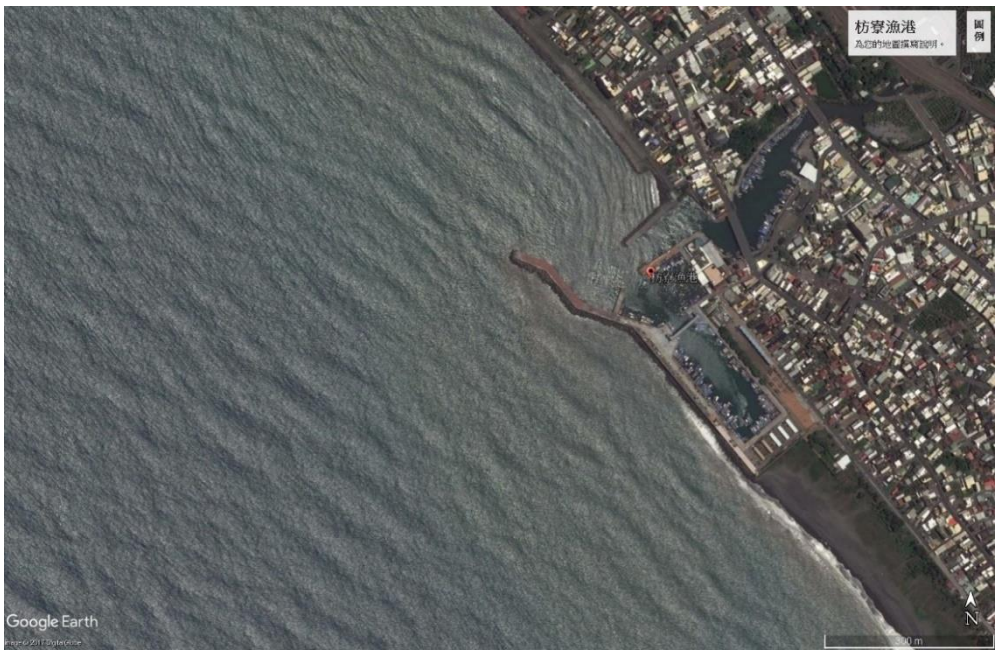
中芸漁港_Google Earth_大_2020_03.jpg

圖 3-31 臺灣西南部高雄海岸中芸漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



東港鹽埔漁港_google 地圖 201512 中.jpg

圖 3-32 臺灣西南部屏東海岸東港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



枋寮漁港_google 地圖 201407 小. jpg

圖 3-33 臺灣南部屏東海岸枋寮漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



楓港漁港_google 地圖 201702 小_弧形防波堤. jpg

圖 3-34 臺灣南部屏東海岸楓港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



後壁湖漁港_google 地圖小. jpg

圖 3-35 臺灣南部屏東海岸後壁湖漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



大溪漁港_google 地圖 20160208 中. jpg

圖 3-36 臺灣東北部宜蘭海岸大溪漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



宜蘭烏石漁港 20140107_中.jpg

圖 3-37 臺灣東北部宜蘭海岸烏石漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



梗枋漁港_google 地圖 20160208 中.jpg

圖 3-38 臺灣東北部宜蘭海岸梗枋漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



南澳漁港_google 地圖 20150714 中. jpg

圖 3-39 臺灣東北部宜蘭海岸南澳漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



鹽寮漁港_google 地圖 201602 小. jpg

圖 3-40 臺灣東部花蓮海岸鹽寮漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



石梯漁港_google 地圖 201012 小. jpg

圖 3-41 臺灣東部花蓮海岸石梯漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



長濱漁港_google2017_地圖大. jpg

圖 3-42 臺灣東部臺東海岸長濱漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



小港漁港_google2017_地圖中.jpg

圖 3-43 臺灣東部臺東海岸小港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



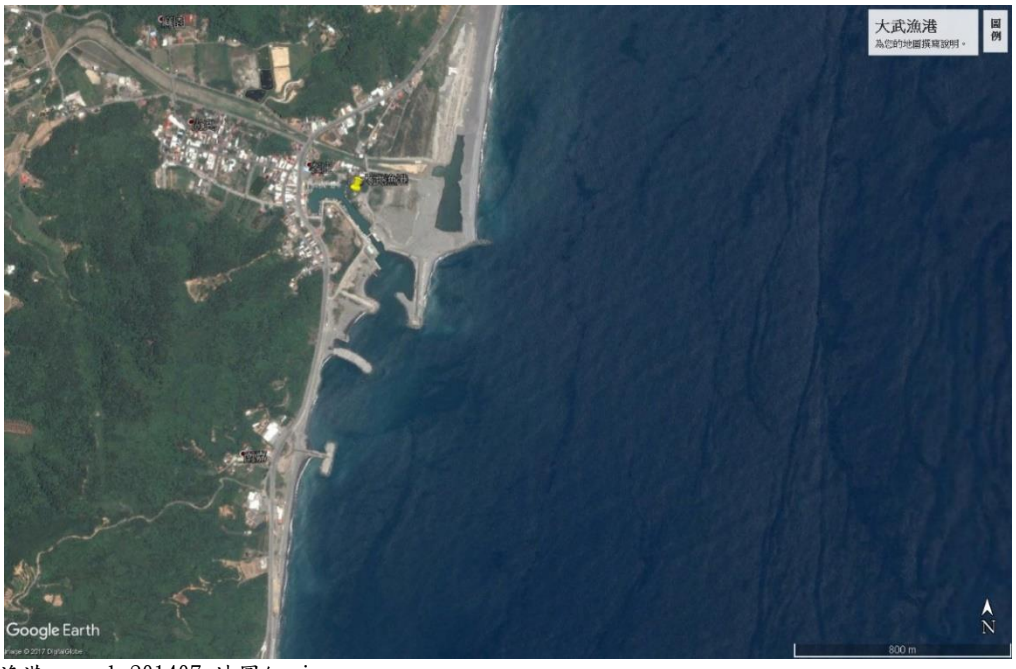
新港漁港_google2014_地圖中.jpg

圖 3-44 臺灣東部臺東海岸新港漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



金樽漁港_google20130819_地圖中.jpg

圖 3-45 臺灣東部臺東海岸金樽漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



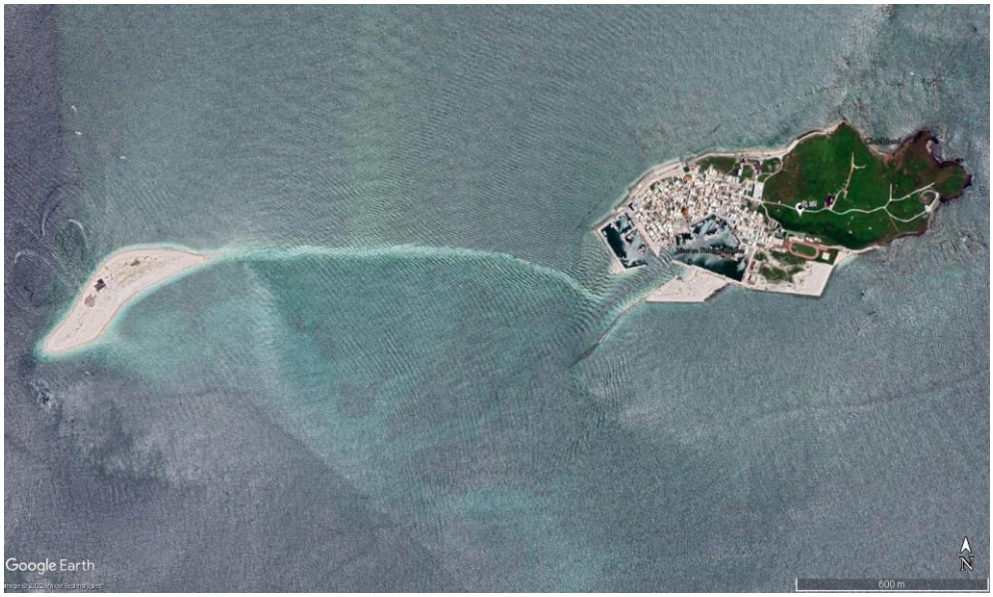
大武漁港_google201407_地圖細.jpg

圖 3-46 臺灣東部臺東海岸大武漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



旭海漁港_google 地圖 201401 小. jpg

圖 3-47 臺灣東南部屏東海岸旭海漁港之毗鄰海岸及港口配置概況



鳥嶼漁港_GoogleEarth_中_2018_10a. jpg

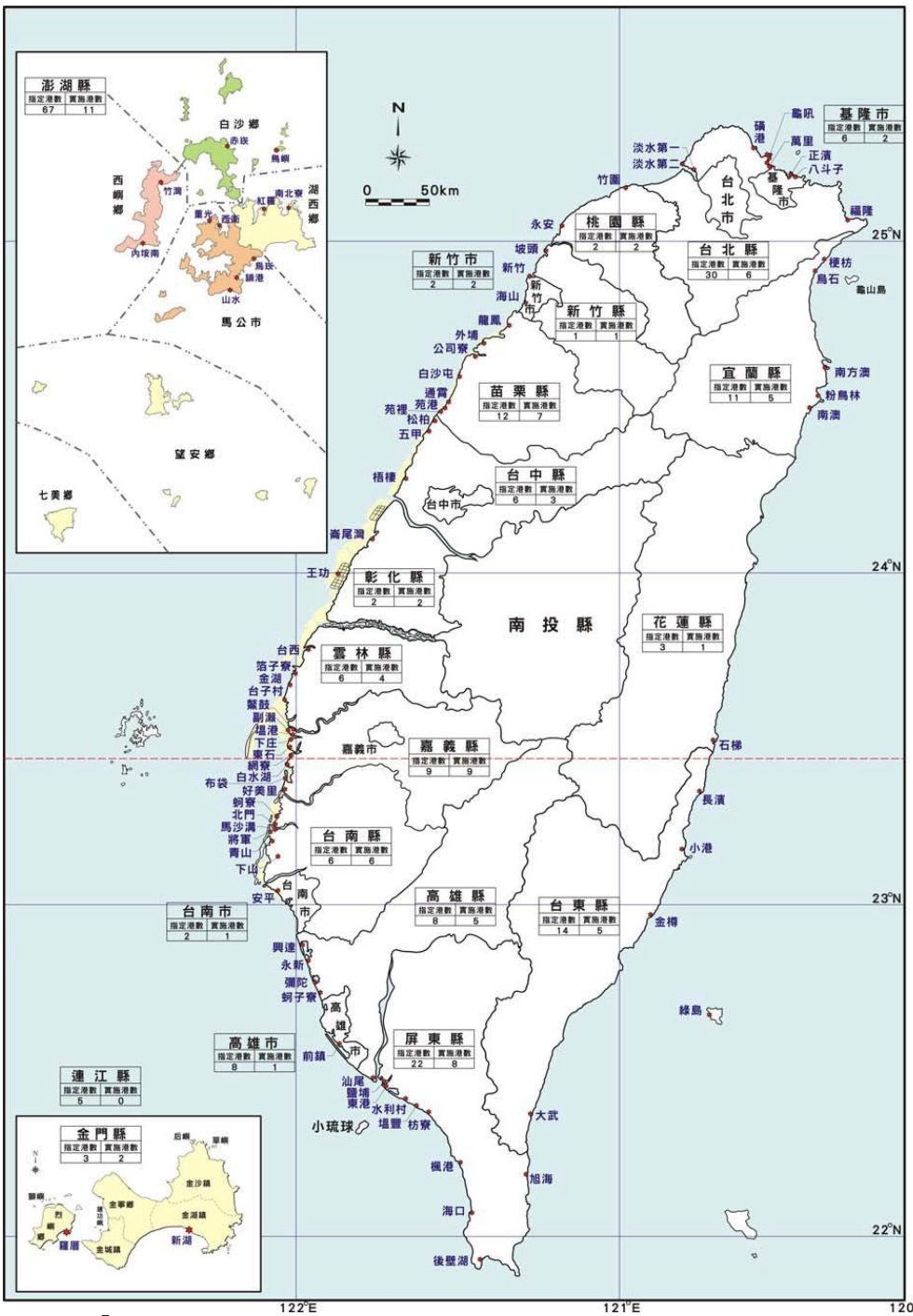
圖 3-48 澎湖海岸島嶼漁港之毗鄰海岸及港口配置概況

3.2.2 近岸港口之沖淤調查

近岸港口(漁港)，其港口與航道之淤塞及毗鄰海灘之沖蝕，常與港址條件、港域規模、港口外廓配置形態、當地海氣象環境等息息相關。臺灣環島的近岸港口(漁港)，自1980年起歷經各期漁港建設計畫，迄今相關之港口外廓配置與海岸防護設施(含防波堤、離岸堤、防沙堤、導流堤、防潮堤、護岸、海堤等)、碼頭設施(含碼頭、棧橋、浮橋、繫船柱等)及水域設施(含航道、泊地、浮標、繫船浮筒等)均有所改善與提昇。惟因近岸港口規模普遍偏小，約有80%之漁港，外廓防波堤最大水深在EL. -6公尺以內，亦即大部分皆位於碎波帶內，故極易受潮汐、季風與颱風波浪及河川輸沙影響而造成港口與航道之淤塞。所以近年來，為整體落實國土保育理念，維持漁港正常作業及功能，漁業署乃逐年編列經費，加強辦理漁港清淤工程，藉以替代整建或避免採行延建防波堤之因應措施(農委會，2009)。

臺灣漁港航道及港口泊地之淤塞情況，隨港址條件、港域規模、港口外廓配置形態及區域海氣象環境不同而互有差異，淤塞輕微者，2~3年需辦理疏浚工程一次；而淤塞情況較為嚴重者，例如：臺灣東部臺東海岸之長濱漁港、金樽漁港與大武漁港及臺灣西北部新竹海岸之新竹漁港與西南部高雄海岸之汕尾漁港等，由於會嚴重影響漁船筏漁汛期之作業及操船安全，因此，甚至一年需疏浚 2~3 次。依據漁業署之統計資料，在民國 94～97 年間，曾辦理疏浚之漁港共 69 處，清淤共計 97 次，總疏浚經費為 4 億 4,528 萬元，平均每年約 1 億 1,132 萬元。

另外，漁業署亦曾於民國 97 年 4 月特別函請各縣市政府調查各漁港疏浚之需求，當時，經各縣市政府提報共有 76 處漁港，約占全國漁港數之 33.3%，個別漁港之需求經費，概約在 99 萬元～2 億 2,500 萬元間，疏浚經費龐大，估計共需 9 億 1,326.5 萬元。另外，統計民國 98～101 年應辦理疏浚之漁港，共計 84 處，如圖 3-49 所示。其中需每年疏浚漁港包括汕尾、大武及長濱等漁港，而四年中累計需疏浚二次之漁港共有南澳、烏石、竹圍、永安、新竹...等 25 處。



資料來源：「海岸新生之漁港疏浚及多功能漁港開發規劃」，行政院農業委員會漁業署，2009。

圖 3-49 民國 98 至 101 年港口航道應辦理疏浚之 84 處漁港位置圖

第四章 近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

4.1 近岸港口之沖淤系統與淤塞機制分析

造成海岸及港口沖淤變遷的主要機制，皆係長、短期間內因波浪作用，並受潮汐、港口外廓配置及海岸防護設施交互干擾影響，而使近岸海域之漂沙運移沉積不平衡所導致。

海岸及港口沖淤變遷，依據時空尺度大小之差異，一般可區分為三類：(1)大尺度變遷，如全球氣候暖化導致平均海水面上昇、地下水超抽導致地層下陷、以及潮餘流長期攜運等所引起之長期性大規模海岸與近岸海域地形變化；(二)中尺度變遷，如海岸或海埔地過度開發或過當保護、港灣超限擴建利用、港灣大規模防波堤等結構物興建與整建、河川流域經理與砂石開採盜挖導致河流輸沙量供給增減變動等，以致區域性近岸海域漂沙之輸送平衡被阻隔破壞，進而造成近岸海域地形水深產生變化；(三)小尺度變遷，如海岸受強烈季風及颱風所引起暴潮巨浪之侵襲，以致短期內由於碎波之直接沖刷或因波浪通過結構物之折、繞射效應衍生堤後沖刷環流之作用，進而造成港口淤塞與毗鄰港口海灘沖蝕，甚或是海岸前灘之局部侵淤(歐 等，2001；莊，2020)。

臺灣環島近岸港口航道淤塞及毗鄰港口海灘之沖淤變遷，依據波、潮、流及海岸防護與港口設施交互影響的因—果循環關係，並從控制體積與輸沙系統的觀點出發，粗略可研判其應屬中、小尺度混合之輸沙的課題，且經檢討臺灣環島近岸海域之地象及海、氣象環境條件(參見第 2 章)及近岸港口配置(參見第 3 章)後，可綜合歸納出，導致海灘沖淤變遷的關鍵機制，應包括后列三項：(1)具時空變動性之暴潮巨浪作用，含高、低潮位影響及季風與颱風波浪之經常衝擊；(2)海灘坡度與碎波型態的改變，含碎波、碎波帶、平衡海灘斷面之時、空變動；(3)海岸防護設施及港口外廓配置形態之影響，含突堤、離岸堤、防沙堤及人工岬頭等之整建。各別機制之相關說明與評估，分述如后。

4.1.1 時空變動性之暴潮巨浪作用

波浪的衝擊，如圖 3-5 所示，是海岸輸沙與海灘變遷之主要原動力。特別是近岸海灘，受具時、空變動性之強大波浪衝擊，再伴隨潮汐與風暴潮之影響，致使近岸波浪碎波，並在沖刷帶上衍生沖刷流速$u \approx \sqrt{gH_b}$ (H_b為碎波波高、g 為重力加速度)之強勁上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)與越洗(overwash)作用，如圖 3-6 所示，導致海灘輸沙失衡、沖淤不均，進而促使地形水深變化，海灘發生侵淤變遷。此外，臺灣之近岸港口，規模普遍偏小，約有 80%漁港之外廓防波堤最大水深在 -6 公尺以內，外加每日潮汐漲落及颱風期間暴潮位之影響，所以，在強裂季風及颱風波浪之高大波高侵襲下，大部分之近岸港口，皆位於碎波帶內，如圖 4-1 所示，致使具有時間非定常性及空間不均勻性之強裂季風與颱風波浪之衝擊，實際為造成港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤變遷的主因。



松柏漁港_GoogleEarth_細_2018_11_短浪. jpg　　大武漁港_google201210_地圖細. jpg

圖 4-1 臺灣西部與東部海岸位於碎波帶內之近岸港口_松柏漁港(左)與大武漁港(右)

臺灣環島近岸海域，地形水深之地象及波、潮、流與風力等海氣象環境，詳參第 2 章。而僅就波浪而論，由表 2-6 至表 2-11 以及圖 2-12 至圖 2-17 觀察可見，臺灣環島海域之季風波浪以冬季風浪較強勁，且隨著氣象條件的變異，其尖峰週期，普遍約介在 5~10 秒間，且即使在高達 10 級或 24.5~28.4 m/s 之強烈季風作用下，最長仍不及 12 秒；而較大之示性波高，在臺灣北部及中西部海岸，可超過 3.0 公尺，在基隆

港，最高甚至可達 6.0 公尺(參見圖 2-6)；在臺灣東部海岸，較大之示性波高，約介在 2.5~3.5 公尺間，且在花蓮海岸略大於蘇澳海岸(參見圖 2-8)，另外，由圖 2-12 至圖 2-17 綜合觀察可見，在冬季東北季風影響期間，由於臺灣東部之蘇澳、花蓮及臺東海域，地理條件類同，以致近海波浪特性彼此亦相近似，以臺東海域為例，冬季示性波高以 1~2 公尺為主，較大波高可達 2~5 公尺，主要波向集中在東北東(ENE)至東南東(ESE)間；而在夏季西南季風影響期間，臺灣東部花蓮與臺東海域的波浪，仍約略具有與冬季波浪相近似之波高特性，示性波高仍以 1~2 公尺為主，較大波高亦可達 2~5 公尺，惟主要波向集中於東(E)至南南東(SSE)間。

針對臺灣西部海域夏季、冬季與年際的波浪統計特性，配合表 2-6 至表 2-11，綜合觀察圖 2-12 至圖 2-17 可見，臺灣西部海域的波浪，波高大小隨不同海域而有變化，惟就主要波向之變異而論，實際可以臺中海域為界，並可將其劃分為南、北二大區域，其中，臺灣西北部含括基隆、臺北及臺中海域；而臺灣西南部則含括布袋、安平及高雄海域。因此，在夏季西南季風及颱風波浪影響下，臺灣西北部海域的主要波向，除了基隆受地形限制而仍陳現北(N)至東北(NE)向外，其他海域皆因波浪折射效應而偏轉至西北西(WNW)至西(W)向；而臺灣西南部海域的主要波向，則與季風波浪一致，仍維持在西南(SW)至西南西(WSW)向間。對於冬季東北季風波浪之影響期間，臺灣西北部海域的主要波向，僅管與夏季西南季風相似，仍保持在東北(NE)至北(N)向間，但在臺灣西南部海域的主要波向，則明顯因波浪折射影響，而轉變為西北西(WNW)至西(W)向。相關年際的波浪統計特性，在臺灣西北部海域，較大波高可達 2~5 公尺，主要波向集中於東北(NE)至北(N)向之間，而在臺灣西南部海域，波高大多小於 2 公尺，主要波向較分散，介在西南(SW)至西北西(WNW)向間。

至於颱風波浪，若以 10 年重現期訂為較經常遭遇之嚴峻海況，則在臺灣東部海岸，經常嚴峻之海況，示性波高將可達 8.6 公尺以上；在北部及中西部海岸，示性波高可達 7.25 公尺以上；在西南部海岸，則

示性波高可達 5.81 公尺以上，而對應之尖峰週期，在波高較大時，皆約介在 12~16 秒間。此外，包含潮流與洋流之近岸海流，流速偏弱，參見圖 2-3，一般不及 1.0 m/s。

4.1.2 海灘坡度與碎波型態的改變

波浪本質包含有各種高低不同的頻率成分，自海洋生成後，即具有頻散(dispersion)特性，並會向海岸傳播行進，當其抵達近岸海域後，更會受地形水深影響而逐漸發生淺化(shoaling effects)與折射(refraction)現象，致使波向不僅會逐漸偏轉而以接近正向入射海灘，如圖 3-7 所示，波高更會逐漸增大，若波高(H)相對於波長(L)或水深(h)達到某一極限時，波浪會因水粒子速度 u 超越波浪能量傳播速度C_g($\approx \sqrt{gh}$，g為重力加速度)而發生碎波(wave breaking)現象。波浪開始碎波的位置，稱為碎波點(breaking point)，碎波點的水深，稱為碎波水深(breaker depth，h_b)，碎波時的波高，稱為碎波波高(breaker height，H_b)；而不同波高、週期波浪之碎波點至海岸灘線的綜合區域，稱為碎波帶(surf zone)，相關近岸灘區之海灘斷面與波浪變形示意圖，參見圖 1-1 及圖 1-2 所示。

在水深h_b處之近岸海域，當波浪因淺化而使水粒子速度(u_b)超越波浪能量傳播速度($\sqrt{gH_b}$)而發生碎波後，即會逸出大量能量，致使當下波動之沖刷速度$u_b \approx \sqrt{gH_b}$，這意謂碎波沖刷速度u_b，將隨碎波波高H_b大小而變化，且若碎波波高甚高，則碎波衝擊力將極強。在一般之海灘上，若以碎波水深≒碎波波高=1.5 公尺估計，則碎波之衝擊速度，約可達 3.83 m/s，這遠非近海最強勁之海流或近岸流流速所可比擬，另外，以如此高速的碎波衝擊流速，其不僅會激烈擾動近岸海床，對漂沙輸運造成極大的影響，亦會促使海灘地形水深，產生極大的變化，因此，在漂沙最活躍的碎波帶內，波浪碎波及因而衍生之強勁衝擊速度，應即是促使近岸港口與航道淤塞及造成毗鄰海灘變遷的關鍵機制，也因此，在臺灣東、西部之近岸港口，由於冬、夏季較強盛的季風波浪均可達 1.5

公尺以上，參見圖 2-12 至圖 2-17，所以，在季風波浪及颱風波浪經常衝擊下，近岸輸沙特別活躍，漂沙常會導致港口與航道發生淤塞，進而需頻繁進行清淤疏浚。

近岸波浪是否發生碎波，一般可應用碎波指標(breaking criteria)加以判別，而碎波指標通常有兩種表示方式，其一為以碎波水深(h_b)、波高(H_b)及波長(L_b)為參數的表示式；其二為以深海波高(H_o)、波長(L_o)為參數的表示式。其中，對於不考慮底床坡度狀況之碎波指標，以 Miche (1944)及 McCowan (1894)所提之碎波極限公式最為常用，分別為

$$\frac{H_b}{L_b} = 0.142 \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b} \quad \text{.....(4-1)}$$

$$\frac{H_b}{h_b} = 0.78 \quad \text{.....(4-2)}$$

但許多研究證實，碎波指標與海灘底床坡度($\tan\beta$)密切關聯，引用 Goda (1975)提出之碎波指標式為

$$\frac{H_b}{L_0} = 0.17\left\{1 - \exp\left[-1.5\frac{\pi h_b}{L_0}\left(1 + 15(\tan\beta)^{4/3}\right)\right]\right\} \quad \text{.....(4-3)}$$

另外，關於碎波型態，其亦會因深海波高、週期及底床坡度不同而有所差異，通常可分成三種型態(Wiegel, 1964; Iversen, 1952)：

(1) 溢出型碎波 (spilling breaker)：當底床坡度相當平緩，而入射波浪之尖銳度較大時，碎波之型態為溢出型。溢出型碎波係因波峰較為尖銳，水分子自波峰溢出而沿波前表面滾落；其波形幾乎仍維持如永久型波浪之對稱性。

(2) 捲浪型碎波 (plunging breaker)：此型態之碎波發生於較陡之底床，而入射波浪之尖銳度較小時。在將要碎波時，波峰之前緣先成直立面，波峰隨即向前呈捲舌狀，最後沒入波谷。捲浪型碎波，由於捲入大量空氣，捲舌過程中形成氣袋，作用於結構物時因而形成衝擊

波，產生極大之作用力；此型態之碎波會產生顯著的迴流(return flow)現象，故在捲入點處之底床容易形成沙洲(sand bar)。

(3) 洶湧型碎波 (surging breaker)：此型態之碎波發生於入射波浪之尖銳度較小，且底床很陡時。洶湧型碎波在接近海岸線時才會發生，與捲浪型碎波類似，在將要碎波時，波峰之前緣先成直立面，但碎波是自直立面之跟部崩潰而起。

除了上述三種型態外，Galvin (1968)尚另外提出第四種碎波型態，稱為崩潰型碎波(collapsing breaker)，其波峰前緣較低之部分呈捲曲狀，但波峰來不及呈捲舌狀即行崩潰，此型態介於捲浪型及洶湧型之間。

至於，碎波型態之判別，Battjes (1974)曾提出以深海波高(H_o)或碎波波高(H_b)及海灘底床坡度($\tan\beta$)定義之碎波相似參數ξ_o與ξ_b (surf similarity parameter)：

$$\xi_o = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_o/L_o}} \quad \text{.....(4-4)}$$

$$\xi_b = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_b/L_o}} \quad \text{.....(4-5)}$$

碎波型態與碎波相似參數之關聯，如表 4-1 所示。

表 4-1 碎波型態之判別

資料來源：「海岸工程學」，郭一羽，2001。

碎波型態	碎波相似參數 ξ_o	碎波相似參數 ξ_b
溢出型碎波	$\xi_o < 0.46$	$\xi_b < 0.4$
捲浪型碎波	$0.46 < \xi_o < 3.3$	$0.4 < \xi_b < 2.0$
洶湧型碎波	$\xi_o > 3.3$	$\xi_b > 2.0$

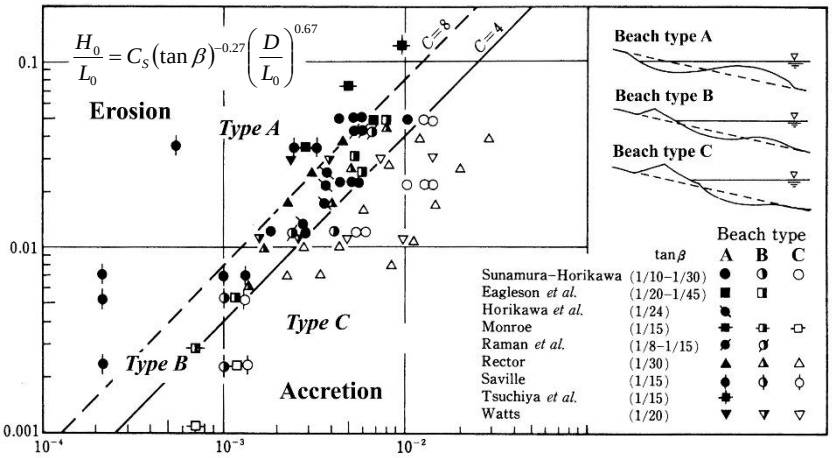
為綜合評估碎波型態及碎波帶內碎波之強勁沖刷流速與衝擊力，以臺灣東部海岸冬、夏季較強勁季風期間之深海示性波高H_o=3.0 公尺；尖峰週期T_o=10 秒為例，若海灘坡度$\tan\beta = 1/10$；則估算碎波相似參數ξ_o=0.721，碎波型態歸屬為捲浪型，可推動沿斜坡海灘移動之圓卵石

(比重γ_s=2.65 ton/m^3；面積$A_s = 4\pi R^2$)，依據衝擊流速之拖曳力(drag force)公式：$F_D = C_D A_S \rho V^2$，取C_D=0.0016，$V \approx \sqrt{gH_b}$ 進行估算，因而可得圓卵石直徑($D = \frac{C_D \times 6 \times H_b}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \times \tan\beta}$)約可達 17.4 公分，重量約 7.1 公斤，這與造成臺東大武漁港及長濱漁港港口淤塞之大粒徑床質，甚相符合，如圖 4-2 所示。再以海灘坡度$\tan\beta = 1/40$為例，若仍採用深海示性波高H_o=3.0 公尺；尖峰週期T_o=10 秒之波浪條件，則估算碎波相似參數ξ_o=0.180，碎波型態歸屬為溢出型，僅管如此，波浪可推動沿海灘底床移動之圓卵石，最大直徑約可達 69.8 公分，重量約 472 公斤。



圖 4-2 臺東大武漁港淤塞於港口灘面(左)及港嘴(右)之大粒徑卵石

另外，倘若特定海域之深海波浪具有定常性，則海灘斷面在波浪衝擊下，將呈現平衡之狀態，稱為平衡海灘斷面(equilibrium beach profile)。Sunamura & Horikawa (1974)根據試驗結果將一般平衡海灘斷面形狀，依其性質分為三種型式：型一或 type A 為暴風海灘(storm beach)或冬季海灘(winter beach)；型二或 type B 為中間型海灘；型三或 type C 為正常海灘(normal beach)或夏季海灘 (summer beach)，如圖 4-3 所示。其中，正常海灘之漂沙以向岸為優勢方向，沙粒被推移至前灘成平台；而暴風海灘則呈現侵蝕狀，灘線向內陸退縮，而漂沙向海側移動，且於遠灘區形成沿岸沙洲。



資料依據：Sunamura & Horikawa, 1974；「海岸工程學」，郭一羽，2001。

圖 4-3 近岸波浪、海灘坡度、底床質及平衡海灘斷面型態分類

有關平衡海灘斷面幾何形狀之研究，Sunamura (1984)曾提出如下應用前灘坡度預測之經驗模式：

$$\tan\beta_f = 0.12\left(\frac{gT^2}{H_b}\frac{D}{H_b}\right)^{1/4} \quad \text{.....(4-6)}$$

式中，$\tan\beta_f$ 為前灘坡度，g 為動力加速度，T 為波浪週期，H_b 為碎波波高，D 則為底質之粒徑，一般以中值粒徑(D_{50})為代表。

觀察式(4-6)可知，前灘坡度與底質粒徑成正比，亦即底質粒徑愈粗，則海灘之前灘坡度愈陡；反之則海灘坡度較緩。據此可充分說明，由於東部海岸前灘坡度一般較西部陡，所以，臺灣東部海灘底質之粒徑，實際上較西部海岸為粗。再依據美國東西部海岸之實測平衡海灘斷面數據可見，海灘坡度與中值粒徑(median diameter)亦具有如下之正比關係：

$$\left.\begin{aligned}
&\text{型一：} \quad \frac{H_0}{L_0} \geq 8(\tan\beta)^{-0.27}\left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.27} \\
&\text{型二：} \quad 4(\tan\beta)^{-0.27}\left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.67} \leq \frac{H_0}{L_0} \leq 8(\tan\beta)^{-0.27}\left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.67} \\
&\text{型三：} \quad \frac{H_0}{L_0} \leq 4(\tan\beta)^{-0.27}\left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.67}
\end{aligned}\right\} \text{.....(4-7)}$$

綜合觀察式(4-1)至式(4-7)之碎波指標、式(4-4)與式(4-5)之碎波型態判別式、以及式(4-6)與式(4-7)之平衡海灘斷面類型判別式可知，近岸海域之地形水深及近岸港口之沖淤變化，實際上，不只與碎波帶內之碎波特性息息相關，更與碎波衍生強勁沖刷流(swashing currents)之輸沙作用關聯密切，尤其會受非定常性且非均勻性波浪及海灘坡度之交互作用影響而變動，如圖 4-4 所示。只是在探討臺灣環島近岸港口與毗鄰海灘之沖淤機制與特性以及從事近岸港口配置規劃、整建及進行防護措施改善時，具時、空變動性的海灘坡度及碎波資訊，由於調查、掌握不易，以致經常被忽略。



內埤岬灣_Google Earth_細平_2018_10 優乾. jpg

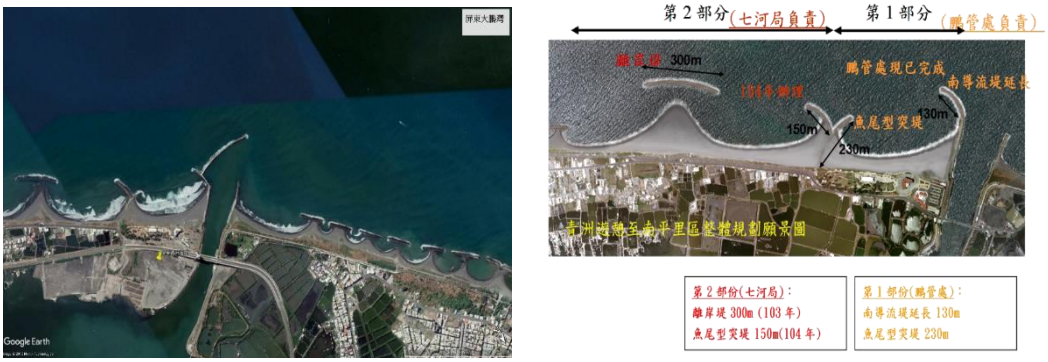
圖 4-4 受時空變動性海灘坡度影響及波浪衝擊交互作用下的自然海灘

海灘地形變遷及海灘坡度的變化，與近岸波浪碎波及伴隨衍生強勁衝擊流(近岸流)對漂沙礫石之輸送移運息息相關(Environment Agency, 2010；郭，1988)。而因波浪碎波所伴隨衍生沖刷流(swashing currents)之強弱，不僅與碎波時波峯水粒子所直接造成之強大衝擊速度相關，尚與碎波在近岸海灘上保持波動持續前進之剩餘動量(excess moment flux)或輻射應力(radiation stress)具有密切的關聯(Longuet-Higgins & Stewart, 1964；Longuet-Higgins, 1970)。惟因近岸碎波帶內具有最險峻的波況與最複雜的流況，欲準確量測或藉助水動力數值模擬計算以掌握波、流特性，極具困難度，因此，在漂沙最活躍的近岸灘區，通常皆缺少強勁波浪沖刷流_近岸流之精準資訊。

現況，臺灣近岸海域的實測海流，由於量測點位大多位在碎波帶外，故實測近岸流速，參見圖 2-21，與因碎波衍生之強勁波浪沖刷流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)相比較，普遍偏弱，一般不及 1.0 m/s，最強不過 1.5 m/s。因此，探討臺灣近岸港口航道之淤塞機制與毗鄰海灘之沖淤特性，最主要的趨動力，仍應著重於具時、空非定常性與不均勻性之強季風與颱風波浪的直接衝擊，特別是外海波高大於 1.5m 之海況(參見圖 2-12 至圖 2-17)。

4.1.3 海岸防護設施及近岸港口外廓配置形態之影響

海岸的人工防護設施，通常包括有防波堤、突堤、離岸堤、防沙堤、導流堤、防潮堤、海堤、護岸及人工岬灣等設施，如圖 4-5 所示。而座落在臺灣環島海岸之近岸港口(漁港)，基於經濟規模，港口航道之水深皆甚淺，80%外廓防波堤之最大水深不及-6 公尺，港口普遍居處在漂沙最活躍的碎波帶內，又為防護冬、夏季季風及颱風波浪之侵襲，增進港域泊地的靜穩度，近岸港口之外廓防波堤配置形態，在臺灣東部海岸，普遍皆具有側 L 形(↱、↰、匚、コ)之離岸堤及突堤複合形態，其對與港口毗鄰海灘之沖淤影響，如圖 4-6 至圖 4-9 所示；在臺灣西部海岸，則大多具有單突堤或雙突堤(丨、リ、ソ)形態，對與港口毗鄰海灘之沖淤影響，如圖 4-10 至圖 4-16 所示。綜合觀察圖 4-6 至圖 4-16 可見，與港口毗鄰海灘之沖淤，明顯會因區域性之波浪衝擊與港口外廓防波堤配置及人工防護設施之交互干擾作用而陳現差異。具體的差異特性，詳參本研究後續章節內文之分析、說明與評估。



屏東大鵬灣海岸_20190105(左)；第七河川局（2011），「大鵬灣至南平里海堤人工養灘及環境營造」(右)

圖 4-5 臺灣環島海岸通常構建具突堤與離岸堤形態之人工防護設施



梗枋漁港_GoogleEarth_小_2018_10 優.jpg

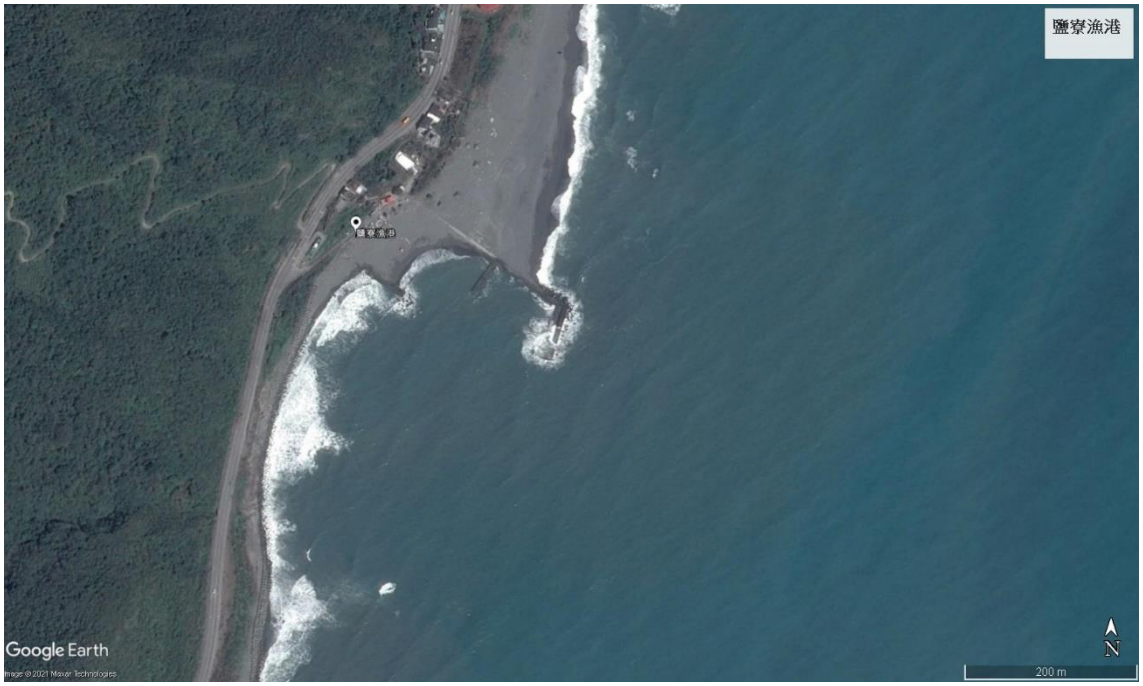


宜蘭烏石漁港 20140107_中.jpg

圖 4-6 臺灣東北部宜蘭海岸梗枋漁港(上)及烏石漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置



南澳漁港_長浪 google 地圖 20150714 中. jpg



鹽寮漁港_GoogleEarth_小_2016_02 優. jpg

圖 4-7 臺灣東北部宜蘭海岸南澳漁港(上)及東部花蓮海岸鹽寮漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置

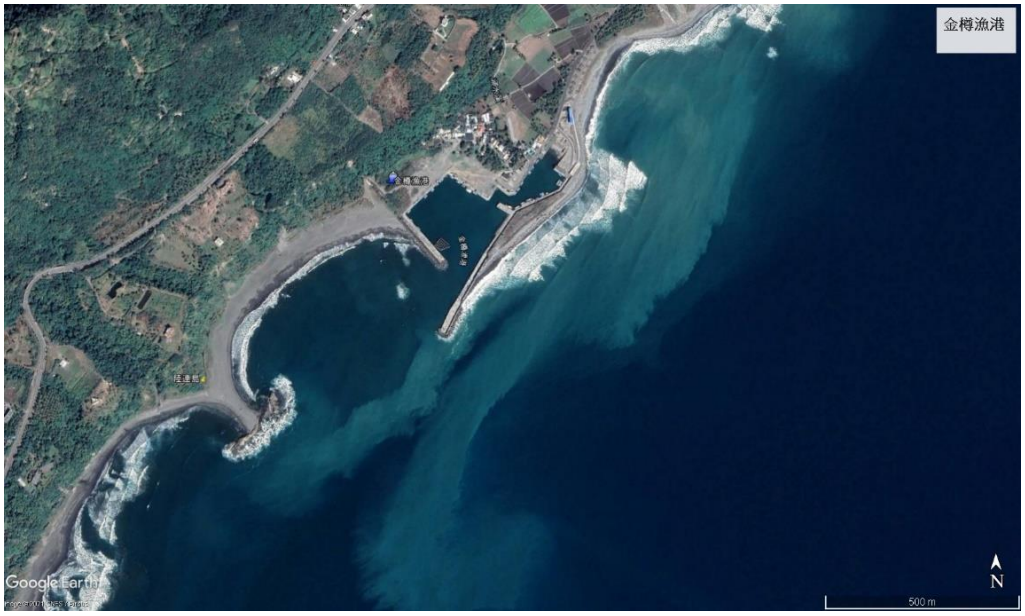


石梯漁港_GoogleEarth_小_2015_11 優浪. jpg



長濱漁港_港口海岸_細 a_20170706. jpg

圖 4-8 臺灣東部花蓮海岸石梯漁港(上)及臺東海岸長濱漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置



金樽漁港_GoogleEarth_小_2018_01 優浪. jpg



大武漁港_GoogleEarth_小_2018_06 浪. jpg

圖 4-9 臺灣東部臺東海岸金樽漁港(上)及大武漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置



竹圍漁港_GoogleEarth_小_2017_09 優浪.jpg



永安海岸_Google Earth_小_2015_12.jpg

圖 4-10 臺灣西北部桃園海岸竹圍漁港(上)及永安漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置

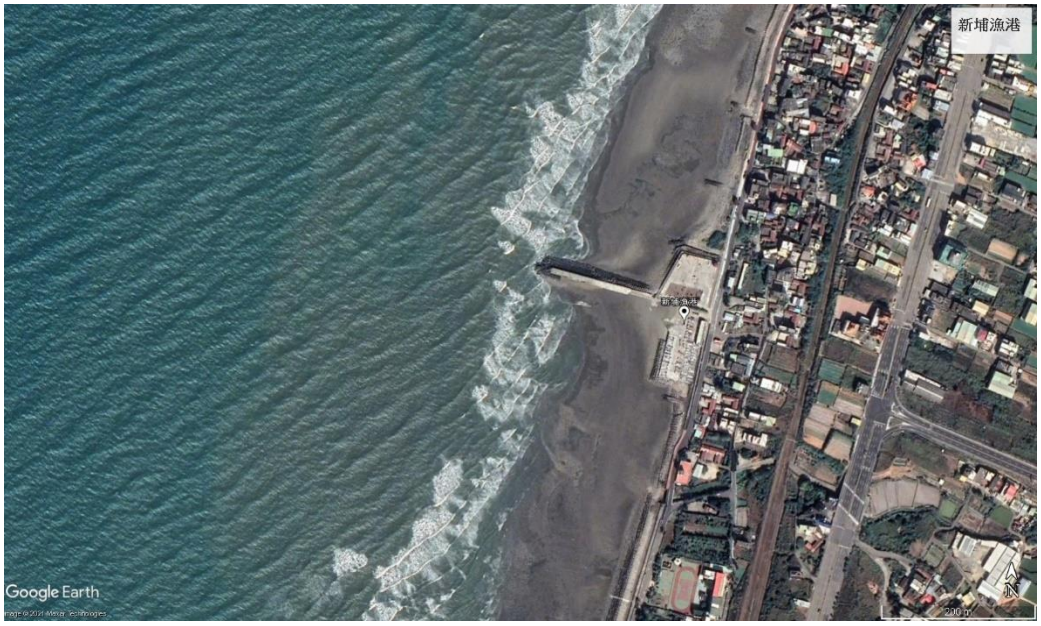


新竹漁港_GoogleEarth_小_2018_04.jpg



外埔漁港_GoogleEarth_小_2021_01 優.jpg

圖 4-11 臺灣西北部新竹海岸新竹漁港(上)及苗栗海岸外埔漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置



白沙屯漁港_Google Earth_細_2017_12 優中.jpg

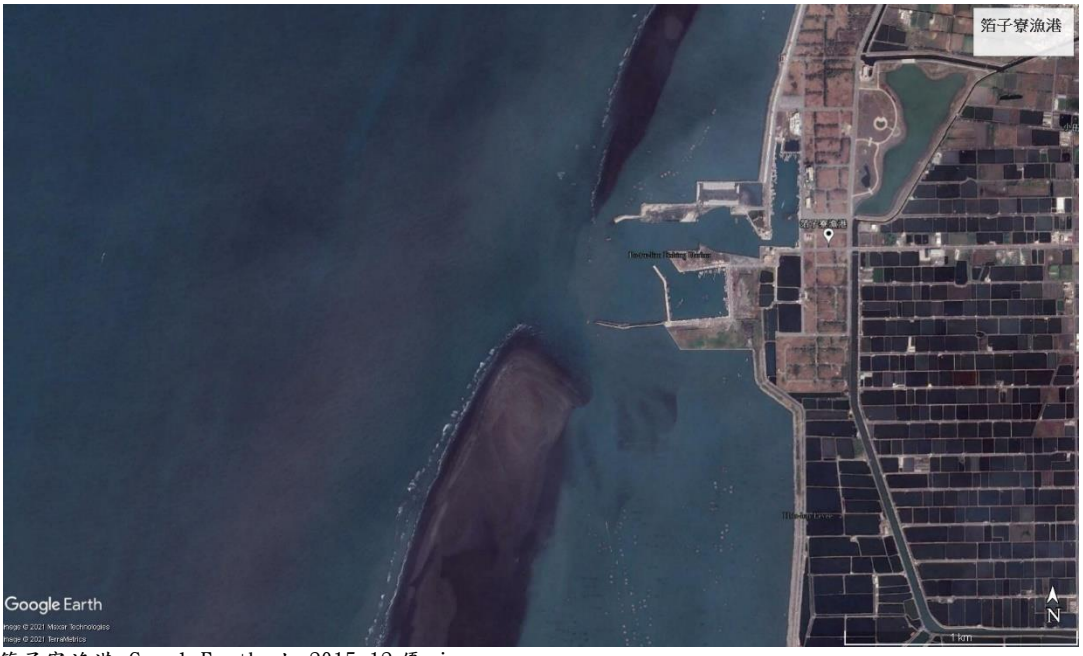


新埔漁港_Google Earth_小_2018_11 優浪.jpg

圖 4-12 臺灣西北部苗栗海岸白沙屯漁港(上)及新埔漁港(下)具單突堤形態之外廓防波堤配置



松柏漁港_GoogleEarth_小_2018_11 優.jpg



箔子寮漁港_GoogleEarth_小_2015_12 優.jpg

圖 4-13 臺灣中西部臺中海岸松柏漁港(上)及雲林海岸箔子寮漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置

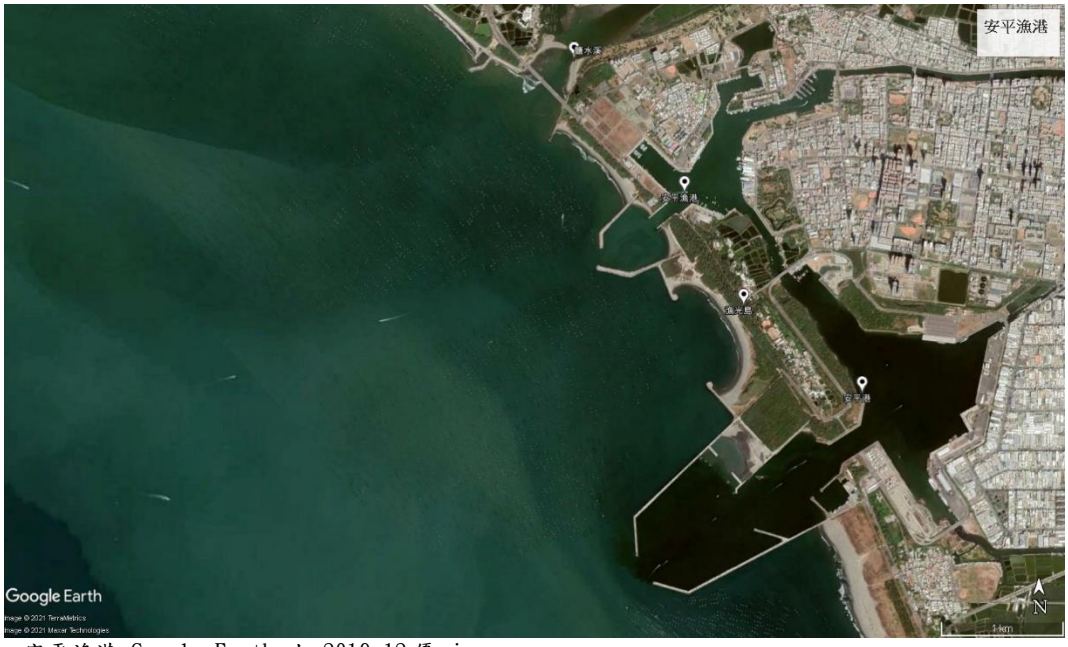


布袋漁港_GoogleEarth_小_2018_09 優.jpg

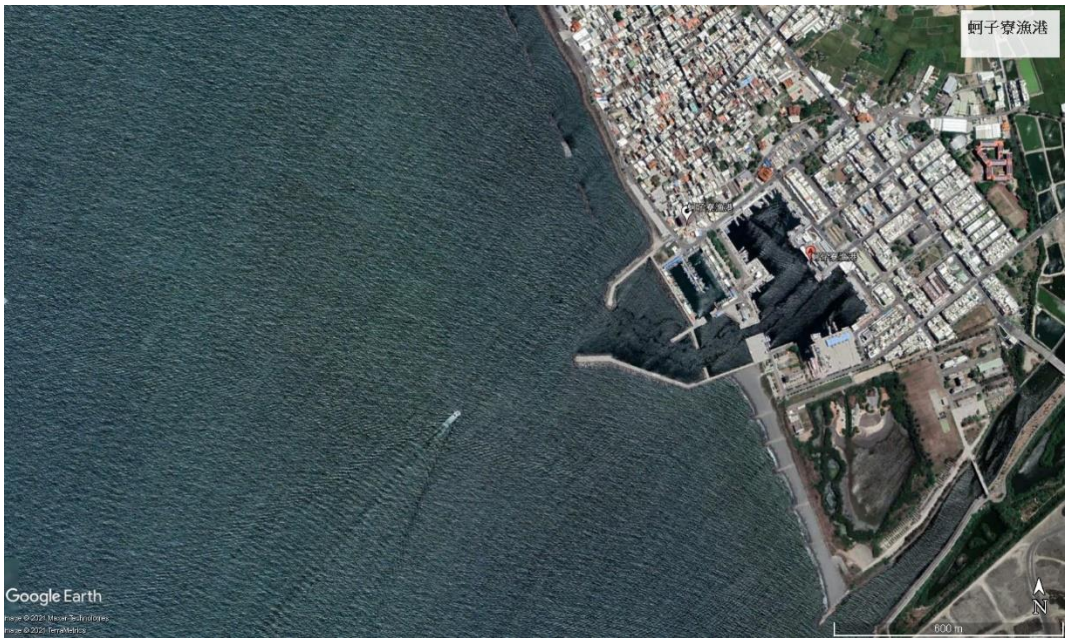


將軍漁港_Google Earth_小_2012_03 優.jpg

圖 4-14 臺灣西南部嘉義海岸布袋漁港(上)及臺南海岸將軍漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置



安平漁港_Google Earth_小_2019_12 優.jpg



蚵子寮漁港_Google Earth_小_2021_05a 優.jpg

圖 4-15 臺灣西南部臺南海岸安平漁港(上)及高雄海岸蚵子寮漁港(下)具雙突堤形態之外廓防波堤配置



枋寮漁港_Google Earth_小_2021_12.jpg



楓港漁港_Google Earth_小_2021_1202.jpg

圖 4-16 臺灣西南部屏東海岸枋寮漁港(上)及楓港漁港(下)具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置

4.2 近岸港口外廓配置與毗鄰海灘沖淤之基本型態

為防範冬季東北季風、夏季西南季風及颱風波浪之侵襲，增進港域泊地的靜穩度，臺灣環島近岸港口之外廓配置與布建之人工防護設施，由圖 4-5 至圖 4-16 綜合觀察、分析可見，基本型態，主要包括突堤、離岸堤及人工岬灣等三種，各型態相關的功能與對毗鄰海灘之沖淤效應與影響，分別闡釋如后。

4.2.1 突堤與「突堤效應」

突堤(groins)，常被建置於碎波帶內，係為突出海岸灘線之結構物，主要功能在消減波浪對海灘之直接衝擊，穩定沿岸漂沙運移，進而藉防浪與定沙功能之發揮而安定海灘，常應用於海灘侵蝕防護及海岸地形變遷控制。依其機能之不同，一般可分為(1)透水堤與不透水堤；(2)出水堤(高堤)與潛沒堤(低堤)；及(3)固定式與調節式等三類。主要的結構型式為出水式之透水堤，惟若其出水高度低，則在較大風暴潮期間，甚且會由出水型，變換為潛沒型，進而在近岸波浪侵襲下，會因堤前與堤後波浪反射、繞射及碎波特性的改變而減弱其效能。使用的材料，一般包括有拋石、消波塊、板樁等。

突堤的平面型式包括：I 型、T 型、倒 L 型與側 Z 型等，如圖 4-17 所示，圖中，T 型突堤為在 I 型突堤之前端加一橫堤，因而可藉橫堤的作用，更加發揮消浪與定沙效果；倒 L 型與側 Z 型突堤之橫堤作用，則與 T 型突堤相同。

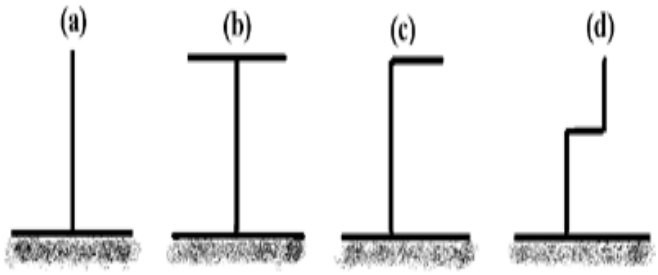
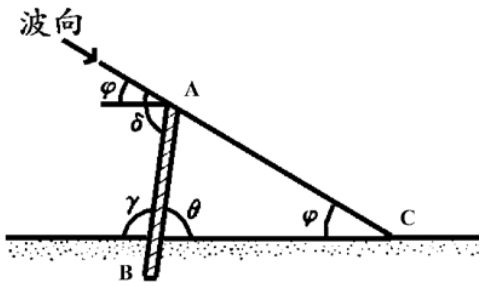


圖 4-17 突堤的平面型式(a)I 型、(b)T 型、(c)倒 L 型、(d)側 Z 型

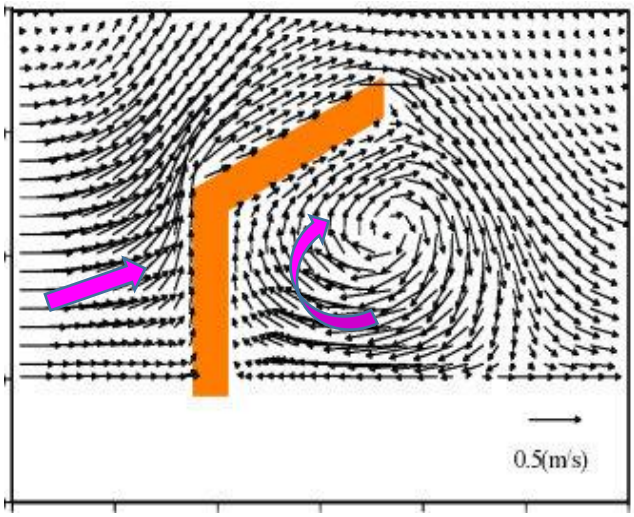
突堤配置一般與灘線垂直，但若主要(卓越)波向固定，則應依波向選擇具最佳防浪與定沙效果之方向。據永井(1955)之試驗，為減小突堤受波浪之直接衝擊力，並降低突堤對下游側海灘沖蝕之影響範圍，入射波向與防沙堤之交角δ，參見圖 4-18，以100°~110°狀態較適當；120°以上則不佳。以在臺灣環島海岸設置突堤為例，若東北季風波浪，經近岸地形水深折、繞射後，與灘線之交角φ，最小可達 30°，則突堤與灘線之交角θ，最大約為 80°度，即不應與灘線相互垂直。至於突堤之長度，係以其水中之長度作衡量，並以灘線至碎波點距離之 40%~60%為最佳，主要目的，在促成沿岸輸沙可適度跨越(bypass)突堤之攔阻，藉以有效降低突堤對下游側海灘沖蝕之影響範圍。至於由多突堤組成之突堤群，其適當之長度與間隔，則必須視預期蓄沙量而調整配合，一般倒 L 型與側 T 型突堤之間隔，約為堤長之 2.5~3.5 倍(郭，1988；郭，2001)。



資料來源：「海岸工程學」，郭一羽，2001。

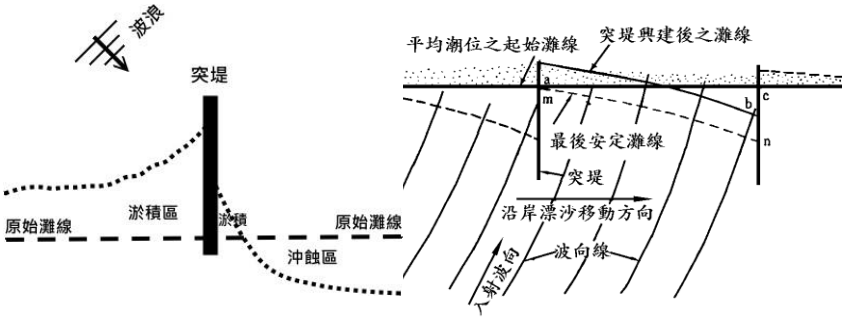
圖 4-18 灘線及突堤配置與主要波向之相關性

「突堤效應」係指在近岸海灘設置突堤後，由於其防浪定沙效能之發揮，因此，在近岸入、反射波浪之直接衝擊作用下，會於突堤迎向波浪之上游側，伴隨碎波衍生強勁沿岸沖刷流之作用，自然產生漂沙淤積，並促使灘線外移；而在堤後之遮蔽區或下游側，則會因近岸波浪之折、繞射效應而造成碎波波高大小不均、波向變化與碎波位置不一，致使伴隨碎波所衍生之強勁沖刷流，流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)強弱存在差異，進而在堤後形成逆波向之沖刷環流(swashing circulation)，並導致堤後灘線的沖蝕與內縮，詳細的流場(Kuroiwa et al., 2010)與相關地形灘線的變遷，分別如圖 4-19 及圖 4-20 所示。



圖資來源：Kuroiwa et al. (2010) Predictive model for wave-induced currents and 3D beach evolution based on FAVOR Method.

圖 4-19 在近岸海灘設置突堤後因折、繞射波浪碎波衝擊所衍生之「突堤效應」與對應之沖刷流與沖刷環流流場



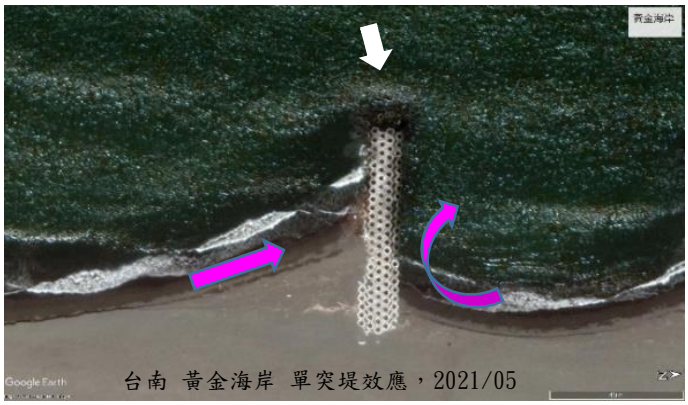
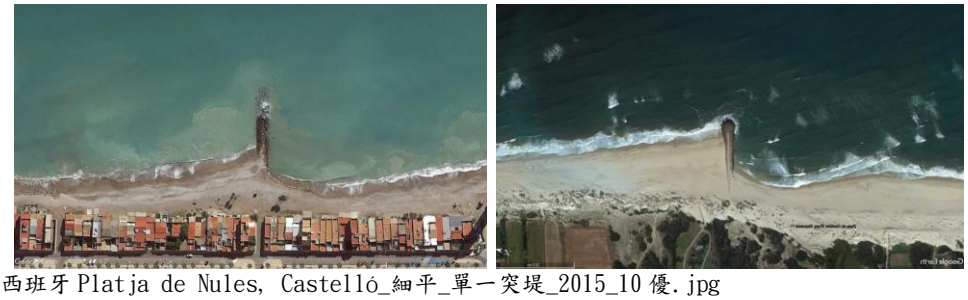


圖 4-20 在近岸海灘設置突堤後因受波浪碎波之沖刷流與沖刷環流作用所衍生迎向波浪上游側漂沙淤積而下游側沖蝕之「突堤效應」與對應之地形灘線變遷

在一般的海岸，實際單突堤與突堤群的配置，如圖 4-21 及圖 4-22 所示。而在臺灣西部海岸之近岸港口(漁港)中，諸多港口之外廓防波堤配置，實際皆具有單突堤或雙突堤之形態，參見圖 4-10 至圖 4-15 所示，因此，在具時、空變動性之卓越波浪衝擊作用下，近岸港口「突堤效應」之擴展，特別是堤後遮蔽區內沖刷環流之沖刷作用，通常會導致港口航道之淤塞，並造成毗鄰海灘之侵蝕。

此外，在近岸海灘佈建突堤或突堤群後，憑藉波浪沖刷與海灘沖淤變遷之因—果關係，應用「突堤效應」，依據突堤迎向波浪上游側淤積，而下游側沖蝕之海灘沖淤變遷現象，因而不僅可有效回朔與反饋近岸波浪侵襲之卓越波向，尚可準確研判堤後遮蔽區內顯著存在之沖刷環流與優勢輸沙方向，甚至可評估潮間帶寬度、海灘坡度與突堤規模，如圖 4-23 所示，圖中，白色箭矢表示近岸之卓越入射波向；黃色箭矢表示碎波沖刷流與沖刷環流，以及伴隨之優勢輸沙方向。



左_西班牙 Platja de Nules, Castelló_細平_單一突堤_2015_10 優.jpg
右_葡萄牙_Praia da Costinha_細平_單突堤_2013_06 優_翻轉.jpg

圖 4-21 在近岸海灘設置突堤後因「突堤效應」造成堤前迎向波浪上游側之漂沙淤積與堤後下游側遮蔽區內之沖蝕



左_宜蘭頭城海岸突堤群_google 地圖_碎波帶內突堤群 20020818 平.jpg
右_臺南黃金海岸_GoogleEarth_細平_突堤群效應_2021_08 優參.jpg

圖 4-22 在近岸海灘設置突堤群後因「突堤效應」造成堤前迎向波浪上游側之漂沙淤積與堤後下游側遮蔽區內之沖蝕



日本 Oritsu Beach_中平_單 T 突堤_2017_01 碎波帶.jpg



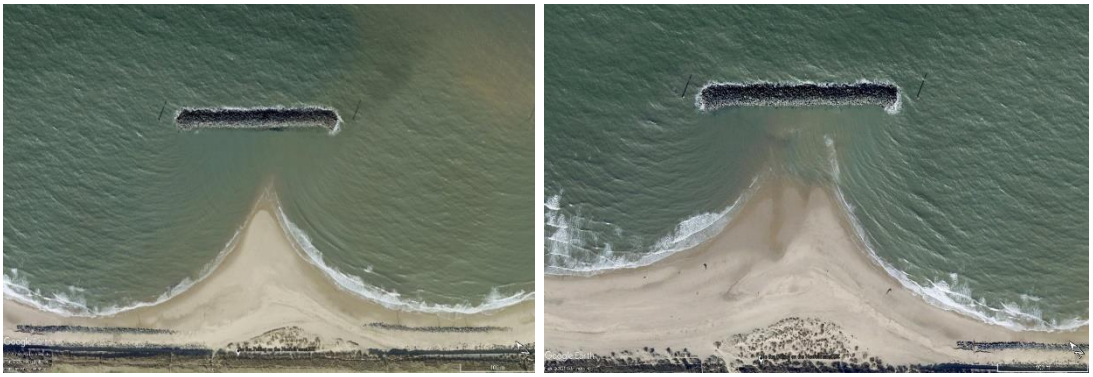
鹽寮漁港_GoogleEarth_細平_突堤效應_2013_04 優.jpg

圖 4-23 在近岸海灘設置突堤後應用「突堤效應」回朔與反饋近岸波浪入射之卓越波向並研判堤後遮蔽區內之沖刷環流與優勢輸沙方向

4.2.2 離岸堤與「離岸堤效應」

離岸堤(detached breakwater)，係為座落在內灘中或碎波帶內，與海岸約平行的離岸防波堤，如圖 4-24 所示。主要功能在消減波浪對海灘之直接衝擊與沖刷，穩定沿岸漂沙運移，促使漂沙在堤後堆積，進而藉防浪與定沙功能之發揮而安定海灘，常應用於海灘侵蝕防護及海岸地形變遷控制。主要結構型式，依其機能之不同，一般可分為(1)透水堤與不透水堤、(2)出水堤(高堤)與潛沒堤(低堤)、及(3)固定式與調節式等三類。國內現況之建置，普遍採用固定式、透水之出水堤，但若出水高度太低，則在暴風浪侵襲期間，常會由出水型，變換為潛沒型，進而在近岸波浪侵襲下，會因堤前與堤後波浪反射、繞射及碎波特性的改變而降低其效能；設置水深，一般在 -5 m 以內，惟為海岸開發利用及景觀環境之維護，亦多有設置於水深介在-8 至-20 m 的案例。使用材料有拋石、消波塊、板樁、鋼筋混凝土及橡皮等。

波浪的傳播，受地形水深影響，在近岸海域自然會因本質所具有之淺化與折射效應而促使波向偏轉，並以近正向入射海灘，參見圖 3-7。因此，在近岸灘區，建置離岸堤後，堤後的海灘，受折、繞射波浪之直接沖刷作用，常可形成沙舌(salient)或繫岸沙洲(tombolo)之海灘沖淤重塑(reshaping)形態，如圖 4-24 所示。



the Sea Palling on the Norfolk coast_GoogleEArth_單離岸堤_細平_2009_07 沙舌_繫岸沙洲.jpg

圖 4-24 英國 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上之透水式單離岸堤配置

在近岸海灘設置離岸堤，主要的配置定義，如圖 4-25 所示。對於離岸堤後經波浪重塑後之沙舌或繫岸沙洲灘線形狀，Hsu & Silvester (1990)曾應用拋物線型岬灣經驗式(Hsu & Evans, 1989)進行預測；McCormick (1993)曾提出經驗式加以推估，且說明其與碎波相似參數(ξ_o)，參見式(4-4)與式(4-5)，以及與離岸堤距(X)及堤長(B)之比值 *B/X*，具密切關聯性；郭(2001)則提示其可利用人工岬灣原理或以橢圓函數予以描述。

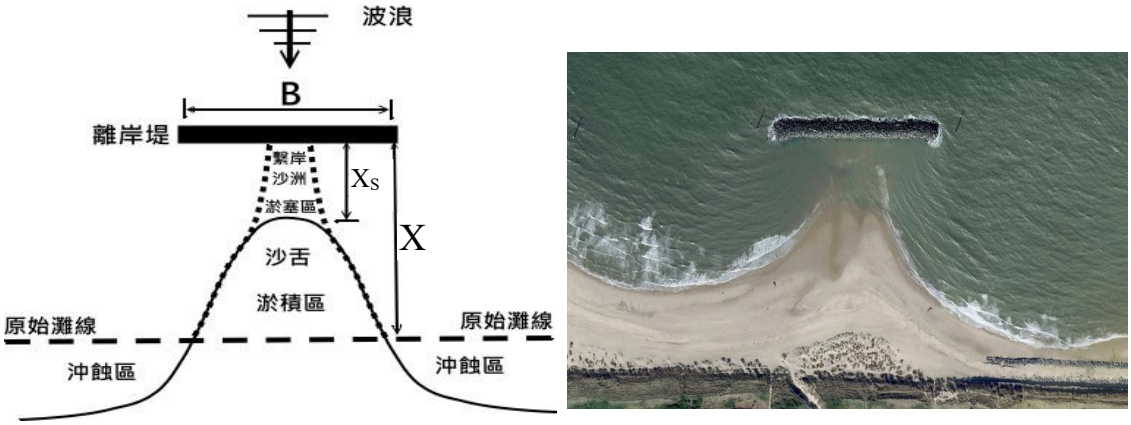
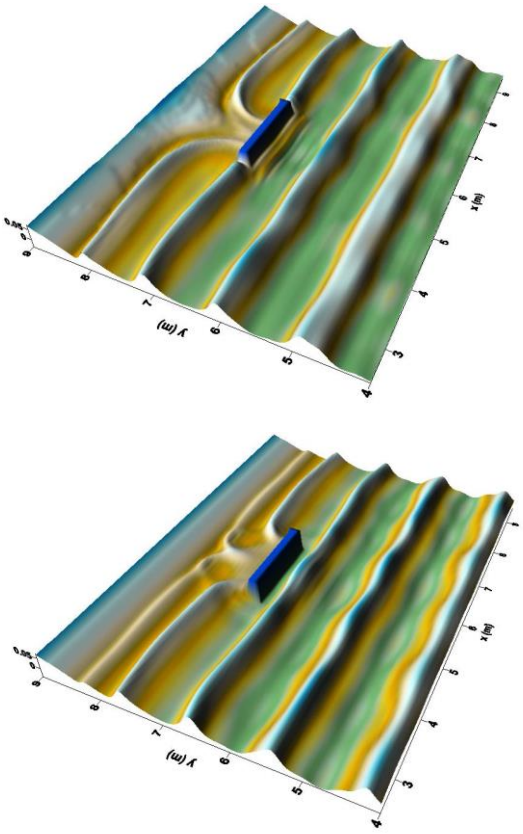


圖 4-25 近岸海灘設置離岸堤之配置定義及於堤後因波浪直接沖刷作用所造成海灘之沖淤重塑形態

關於離岸堤受近岸入射波浪作用後之波場、流場、輸沙與堤後灘線重塑之時空演化，Karambas (2012)曾針對近岸灘區之非線性波浪特性，應用自行研發之海灘變遷數值模式詳細作模擬計算，茲摘錄其部分之模擬計算結果，可得均勻坡度海灘上之離岸堤，受波浪正向入射之初始及海灘變化達穩定狀態後之波場，如圖 4-26 所示；相關初始海灘及海灘變化初期、中期與達穩定狀況後之流場與灘線變化，摘錄 Karambas (2012)及 Kuroiwa et al. (2010)之研究成果，分別可得如圖 4-27 及圖 4-28 所示，圖中，箭矢表示沖刷流速大小與方向；虛點線為海灘等深線。而離岸堤後因正向入射波浪碎波之直接沖刷環流作用所造成初始及穩定狀態下之輸沙潛勢與形態，摘錄 Bosl et al. (1996)之研究成果，可得如圖 4-29 所示。至於離岸堤後最終灘線演化形態之判別，Karambas (2012)依據其研究結果提出建議：當 B/X >1.2-1.3 為繫岸沙洲(Tombolo

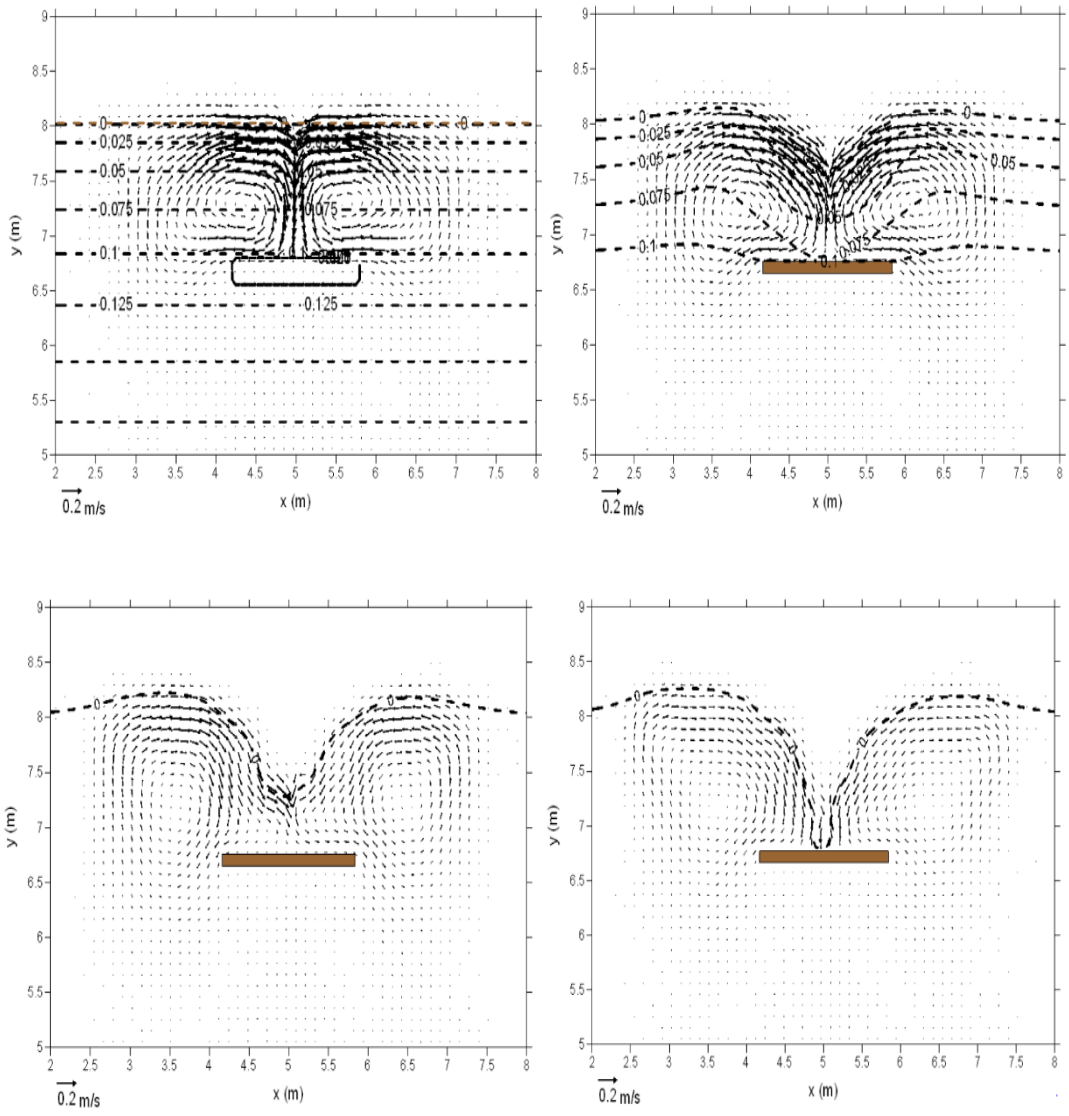
formation)；0.2~0.3< B/X <1.2~1.3 為沙舌(Salient formation)；而當 B/X <0.2~0.3，則因離岸堤長太短或離岸距太遠，對波浪之遮蔽效果有限，僅使灘線變化陳現微小衝擊(Minimal impact)。

此外，在均勻坡度海灘上，當波浪斜向入射離岸堤及灘線時，DHI (2017)曾透過水動力模擬，結合波浪碎波後之輻射應力(Longuet-Higgins & Stewart, 1964；Longuet-Higgins, 1970)，計算評估離岸堤長分別為 0.6 及 1.3 倍離岸距情況下之近岸流場。茲自其出版之海岸經理指引(*Shoreline management guideline*)摘錄，可得長短離岸堤鄰近之近岸流場，如圖 4-30 所示。



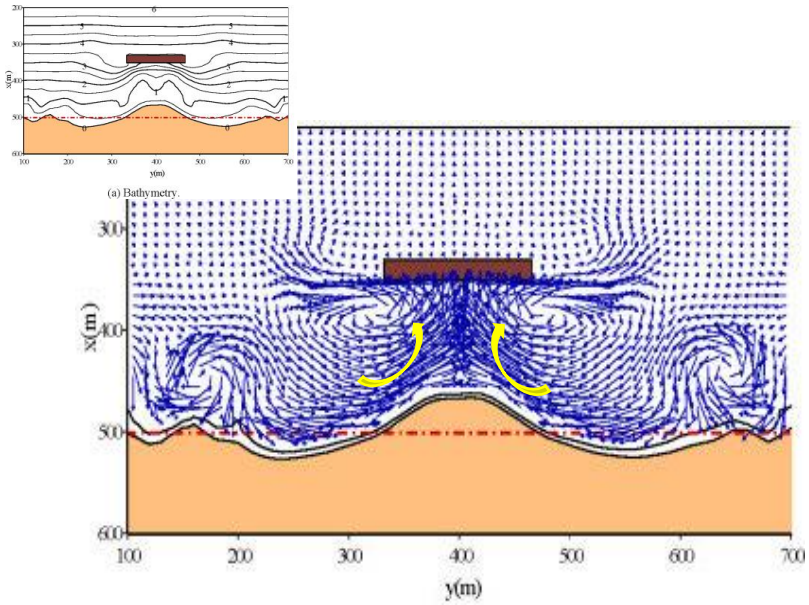
資料摘錄自：Karambas, Th. V. (2012) Design of detached breakwaters for coastal protection: Develpopment and application of an advanced numerical model, *Coastal Engineering*.

圖 4-26 均勻坡度海灘上之離岸堤受波浪正向入射之初始(上)及海灘變化達穩定狀態後(下)之波場

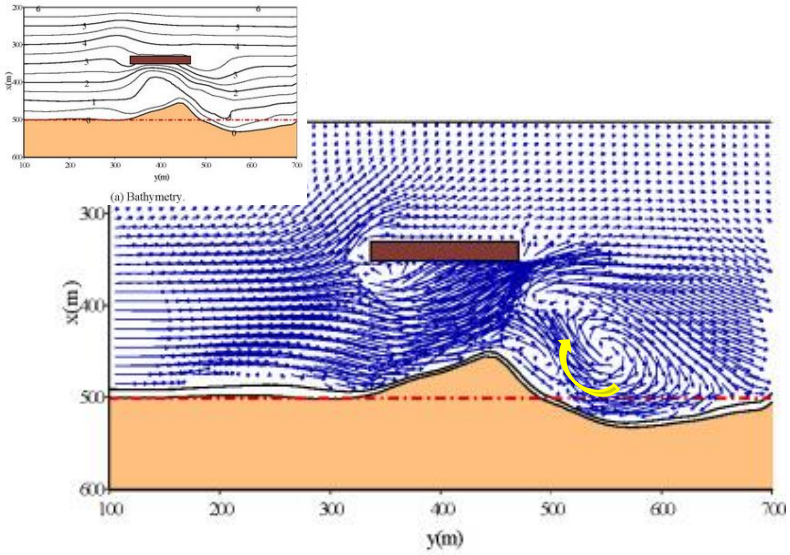


資料摘錄自：Karambas, Th. V. (2012) Design of detached breakwaters for coastal protection: Develpopment and application of an advanced numerical model, *Coastal Engineering*.

圖 4-27 均勻坡度海灘上之離岸堤受波浪正向入射之初始海灘變化(上左)、初期(上右)、中期(下左)及達穩定後(下右)之流場與灘線
(箭矢為流速；虛點線為海灘等深線)



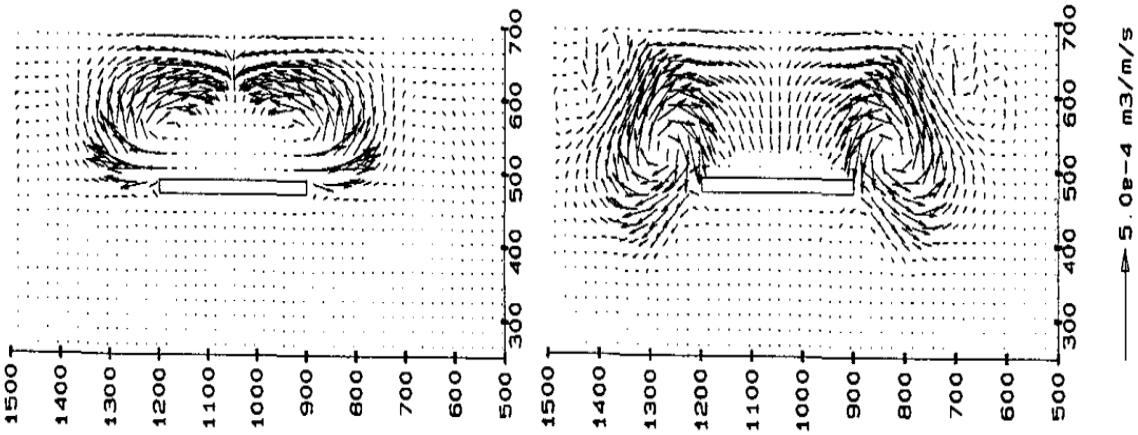
近岸流場_單離岸堤_正向.jpg



近岸流場_離岸堤_斜向.jpg

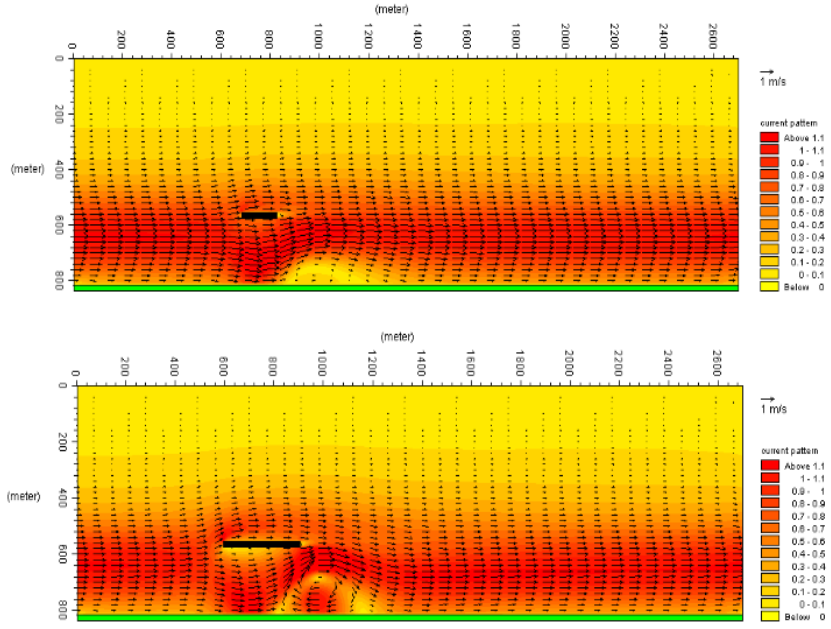
圖資來源：Kuroiwa et al. (2010) Predictive model for wave-induced currents and 3D beach evolution based on FAVOR Method.

圖 4-28 在近岸海灘設置離岸堤後因受正向(上)及斜向(下)入射之折、繞射波浪碎波衝擊所衍生之碎波沖刷流與沖刷環流流場



資料摘錄自：Bosl et al., 1996. Modelling the impact of detached breakwaters on the coast.

圖 4-29 離岸堤後因正向入射波浪碎波之直接沖刷環流作用所造成初始(左)及穩定(右)狀態下之輸沙潛勢與形態

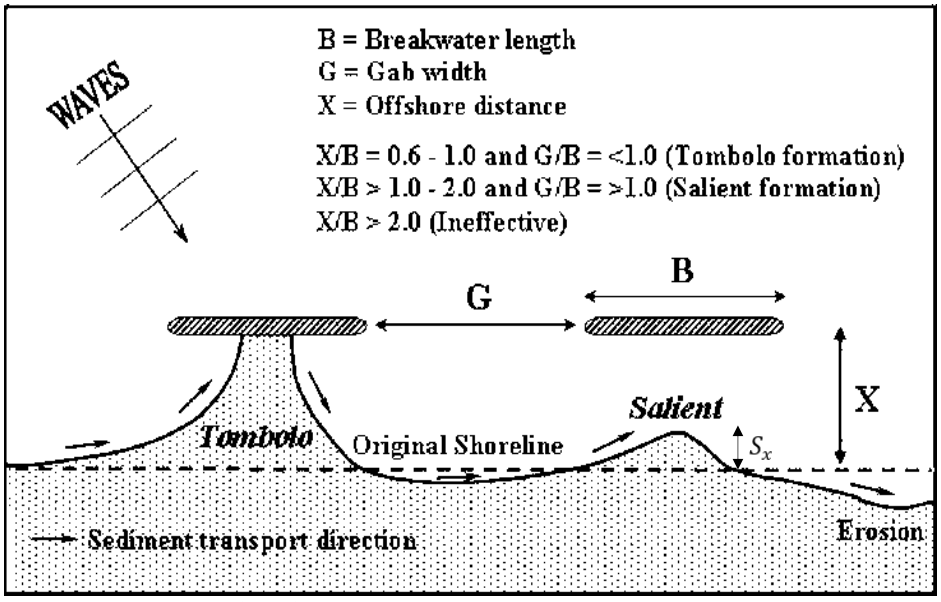


資料摘錄自：DHI (2017) Shoreline management guideline.

圖 4-30 均勻坡度海灘上受波浪斜向入射之短(上)、長(下)離岸堤鄰近之近岸流場

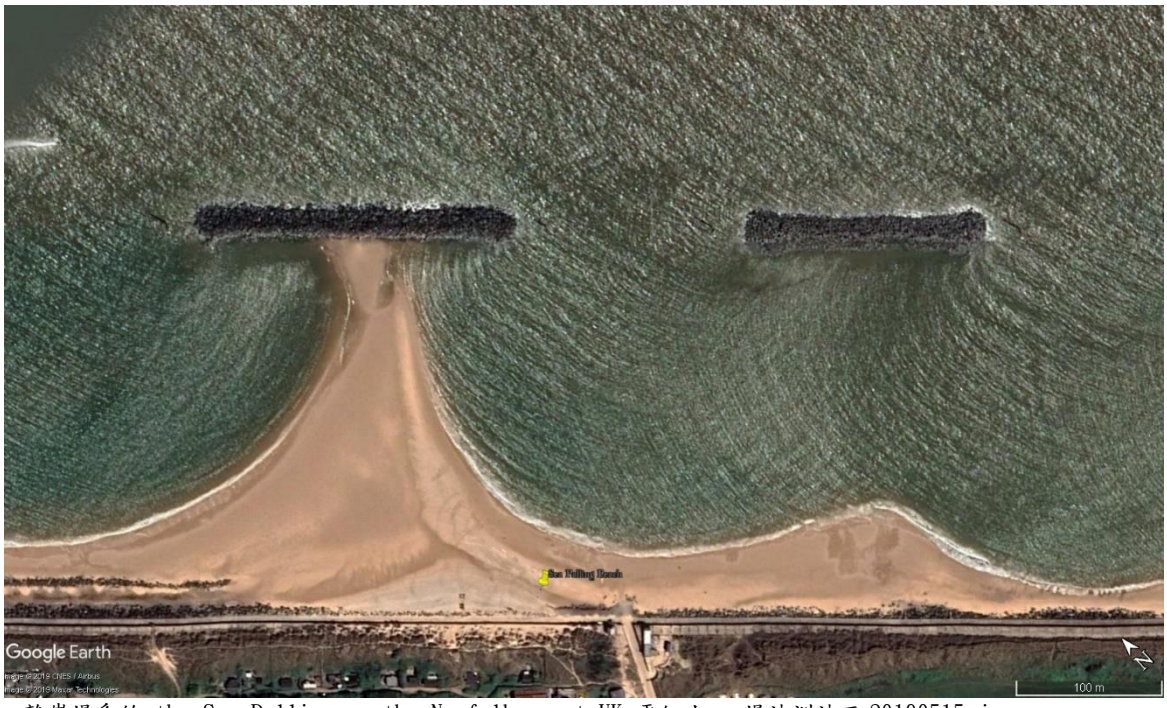
對於離岸堤群，相關堤長(B)、堤間距(G)、離岸距(X)、沙舌長度(S_x)等幾何尺寸，定義如圖 4-31 所示，部分國外及國內實際建置案例之配置，分別如圖 4-32 及圖 4-33 所示。由圖觀察可見，對於相同海岸地區之離岸堤群，僅管配置情況與面對之海氣象條件相近似，但可能因堤前局部地形水深與海灘坡度等地象條件之差異，以及各別堤體出水高度之不同，因此，堤後灘線重塑形態發展亦各不相同。可見影響堤後灘線演變之因素多且複雜。目前，可依循之規劃設計準則，尚普遍缺乏，惟透過現場實際建置案例之調查分析，由經驗方法可掌握，控制離岸堤群背後灘線形態發展及海灘地形演變之影響因素，主要包括：深海波浪尖銳度(H_o/L_o)、卓越波浪入射方向(φ)、海灘坡度($\tan\beta$)、碎波相似參數(ξ_o)、碎波帶寬度(X_b)、海灘底質之中值粒徑(D_{50})、堤長(B)、離岸距離(X)、堤間開口寬度或堤間距(G)、碎波衝擊引致之沖刷流速($\sqrt{gH_b}$)、潮差(R_{tide})、潮流速(U_{tide})及堤體之孔隙率γ等，其通用關係可表示為

$$S_x/X = f\left(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots\right) \quad \text{.....(4-8)}$$



資料摘錄自：Frihy et al. (2003) Environmental impacts of Baltim and Ras El Bar shore-parallel breakwater systems on the Nile delta littoral zone, Egypt.

圖 4-31 近岸海灘設置離岸堤群之配置定義及於堤後因波浪直接沖刷作用所造成海灘之沖淤重塑形態

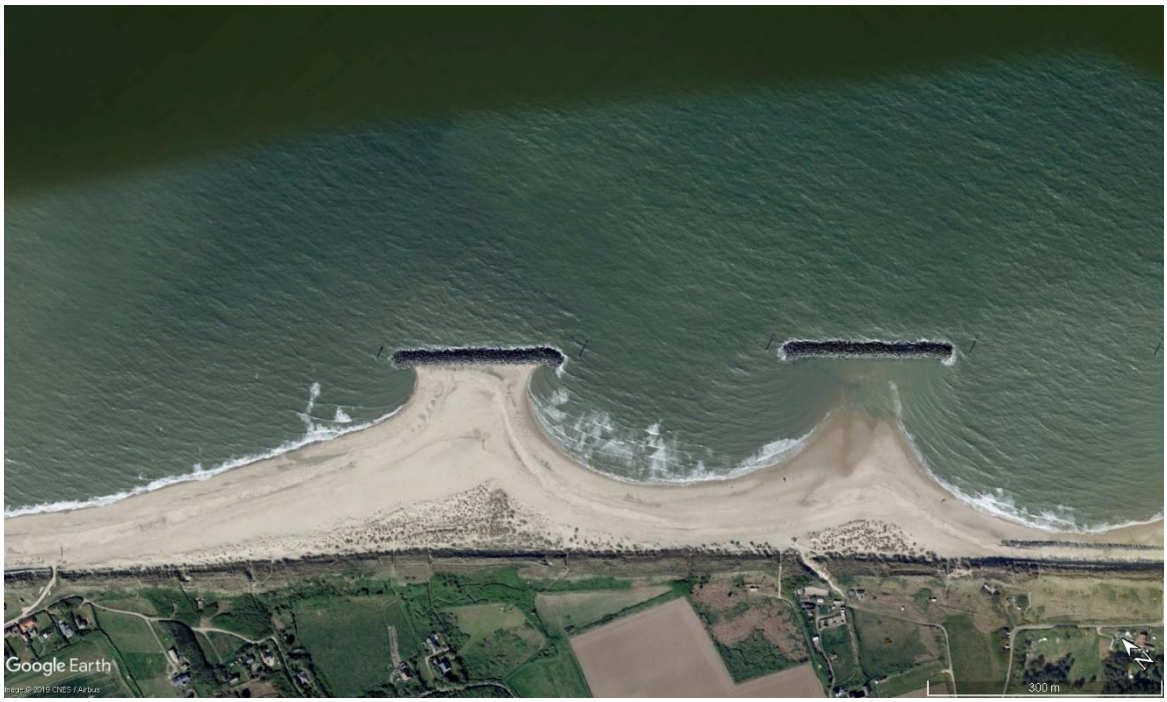


離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小_二堤沙洲沙舌 20190515.jpg

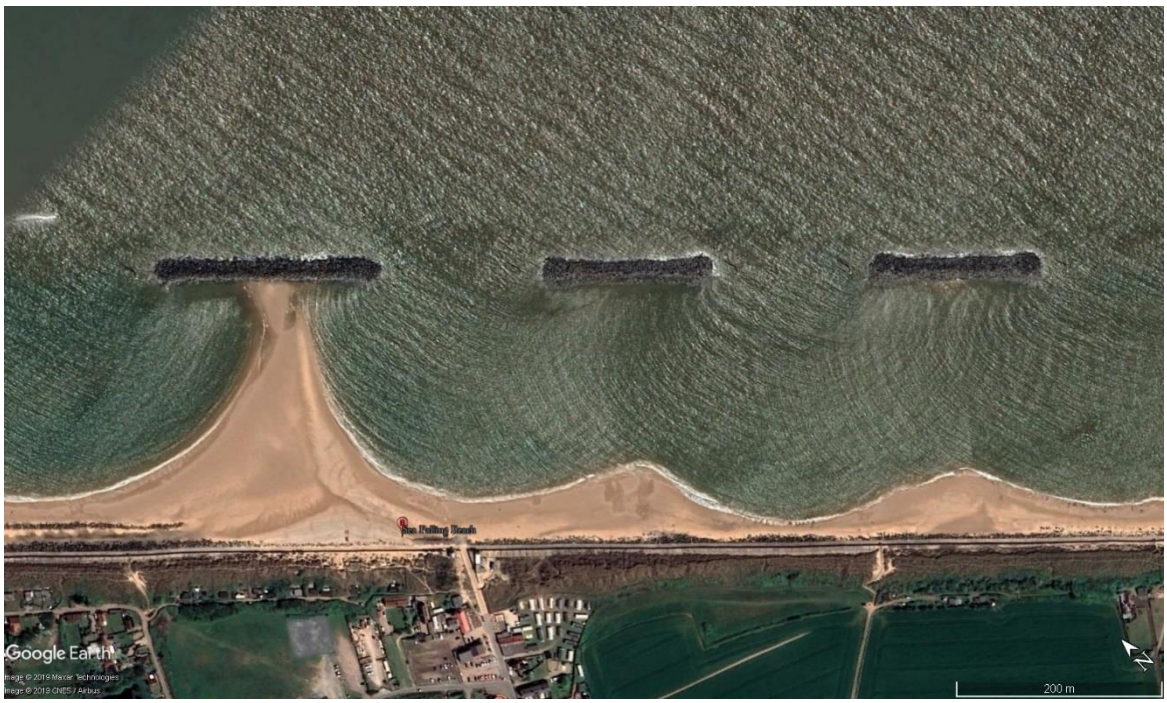


離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小_雙沙舌 20190725.jpg

圖 4-32 近岸海灘設置離岸堤群後因波浪直接沖刷作用而於堤後海灘造成繫岸沙洲與沙舌之沖淤重塑形態

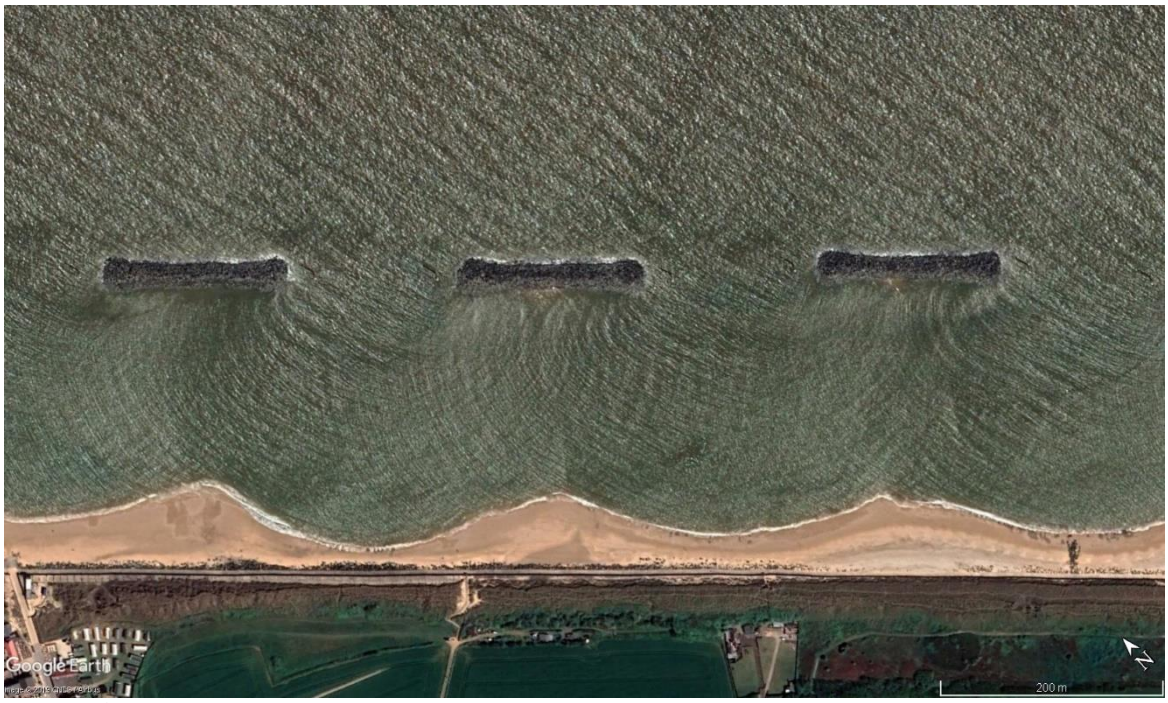


離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小_雙沙舌 20090702.jpg



離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小 20190515.jpg

圖 4-32(續) 英國東部 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

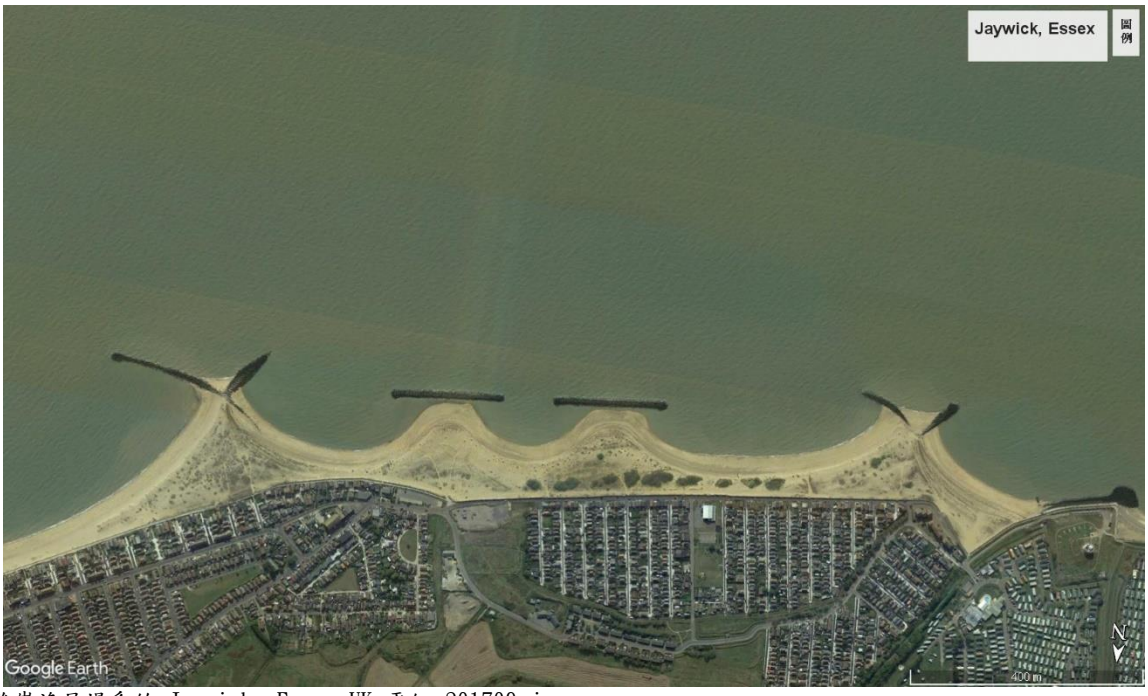


離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小_三堤_沙舌 20190515.jpg



離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小 20190725.jpg

圖 4-32(續) 英國東部 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑



離岸漁尾堤系統_Jaywick, Essex,UK_平細_201709.jpg



離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平遠大.jpg

圖 4-32(續) 英國東南部 Essex 郡 Jaywick 海灘(上)及東部 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

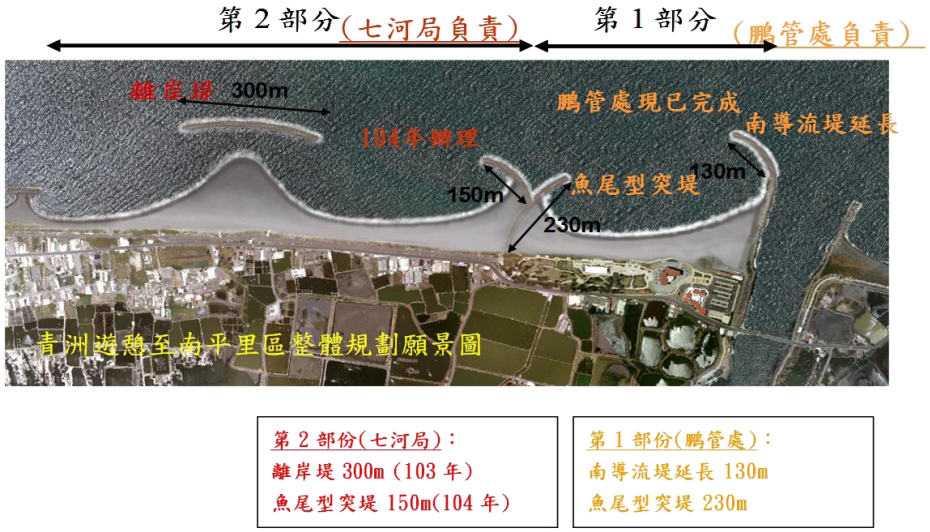


塭豐海堤_google 地圖離岸堤群 2015 平. jpg



塭豐海堤_google 地圖離岸堤群 2015 平小. jpg

圖 4-33 臺灣西南部屏東佳冬海岸塭豐離岸堤群之實際配置與堤後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑



資料摘錄自：「大鵬灣至南平里海堤人工養灘及環境營造」，第七河川局，2010.

圖 4-33(續) 臺灣西南部屏東青洲遊憩區海岸環境營造整體規劃建置離岸堤與魚尾型突堤及人工岬灣等海岸防護設施後於堤後經海灘重塑之沙舌與繫岸沙洲

對於圖 4-31 所示離岸堤後沙舌與繫岸沙洲灘線重塑形態之預判，一般而言，若僅就離岸距離(X)而論，當離岸堤設置位置離岸太近或太遠，均不易形成沙舌或繫岸沙洲，惟若將離岸堤設置於碎波帶附近，則最能使離岸堤之抗浪淤沙效能發揮。經由日本水工模型試驗結果發現，當離岸堤之離岸距離介在 40~150 公尺間，堤後通常會有寬且廣的繫岸沙洲形成，且即使在較不嚴峻的海象條件下，堤後也能形成沙舌。

另外，若僅就離岸堤之堤長(B)而論，由於堤長愈短，對波浪之遮蔽效果愈不佳，以致堤後淤沙的可能性亦相對降低。日本離岸堤之實置經驗認為：若離岸堤長在 50 公尺以下時，將難以形成沙舌或繫岸沙洲；而若堤長介於 50~200 公尺間，則能獲得較佳之淤沙效果(田中，1983)。

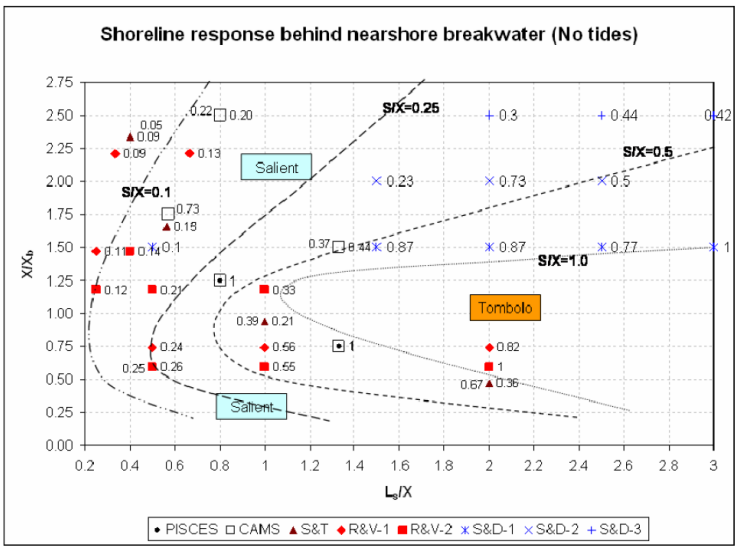
再就堤間開口寬度或堤間距(G)而論，目前尚無可據以應用在堤後達成最大攔沙量之設計準則。惟歐、許(1986)曾進行試驗研究，並提出：G/B 約介在 0.4~0.5 時，堤後可獲較佳之堆沙效果；而日本離岸堤之經驗則認為：若 $G/B=0.12\sim0.5$，離岸堤背後亦有甚良好之堆沙效果(田中，1983)。

對於離岸堤之堤長(B)與離岸距離(X)之綜合影響效應，在特定的深海波浪條件作用下，依據相關研究結果可知，當B/X＞1.9，隨著離岸距離愈縮減，繫岸沙洲愈能形成；而當B/X＜1.9時，離岸距離愈遠，離岸堤背後所形成之沙舌規模愈小；當B/X＜0.5時，即在離岸距離大於堤長2倍的情況，則沙舌不易形成。

再針對離岸堤群背後灘線重塑形態發展及海灘地形演變受碎波帶寬度(X_b)之影響而論，英國環境署(Environment Agency, UK)曾透過委託研究，要求結合現場調查、實驗分析、文獻資料整理及數值模擬計算，進行與離岸堤群毗鄰海灘地形變遷之綜合評估，並將離岸堤群背後灘線發展形態與對應配置之研究結果(Environment Agency, 2010)，匯整如圖4-34所示，且提出當離岸堤群之空間幾何配置滿足下列條件情況下，離岸堤群背後灘線將可發展為繫岸沙洲形態：

$$B/X > 2.8 - 1.6\ (X/X_b) \qquad X/X_b \le 1.25 \text{ ---------- (4-9)}$$

$$B/X > -10.2 + 8.8\ (X/X_b) \qquad 1.25 < X/X_b \le 2.0 \text{ ---------- (4-10)}$$



S&T:Shinohara & Tsubaki(1966); R&V:Rosen & Vajda(1982); S&D:Suh & Dalrymple(1987)
資料摘錄自：Environment Agency, UK.（2010）

圖 4-34 英國環境署研提離岸堤群之空間幾何配置與堤後灘線對應之發展演化形態

「離岸堤效應」係指面對具時、空變動性之近岸波浪侵襲而在內灘區建置離岸堤後，由於近岸波浪，受地形水深影響，本質會因淺化、折射效應而自然促使波向偏轉，並以近正向入射海灘，致使偏正向入射離岸堤之波浪，在堤體遮蔽下，會使堤端兩側外與堤後沖刷帶(swash zone)上的波高，具有高、低差異，參見圖 4-26，特別是在堤後遮蔽區(下游區)，波浪會因繞射效應而使繞射區之碎波波高大小不均、波向變化、碎波位置不一，伴隨碎波所衍生碎波沖刷流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)強弱產生差異，進而在堤後形成旋轉方向相互對應之近岸碎波沖刷環流，參見圖 4-27 及圖 4-28，並促使漂沙由沖刷流速較強區往較弱之堤後區集中堆積，終致造成堤後輸沙特性改變，灘線發生沖淤變遷，並衍生沙舌(salient)，甚或是繫岸沙洲(tombolo)形態之海灘重塑，參見圖 4-24、圖 4-32 及圖 4-33 所示。

在近岸折、繞射波浪衝擊作用下，離岸堤與突堤之堤後(下游側)遮蔽區內，實際上皆存在有相同的波浪沖刷環流特性與海灘重塑機制，特別是當離岸堤後之繫岸沙洲形成後，離岸堤與繫岸沙洲整體更將轉變形態而兼具有 T 型突堤之效能。鑑此，當在近岸海灘配置離岸堤或離岸堤群後，憑藉著波浪沖刷與海灘沖淤變遷之因—果關係，彷照「突堤效應」，應用「離岸堤效應」，依據堤後繫岸沙洲或沙舌之海灘沖淤重塑形態，因而不僅可有效回朔與反饋近岸波浪之卓越入射波向，尚可準確研判堤後遮蔽區內顯著存在之碎波沖刷環流與優勢輸沙方向，甚至亦可評估潮間帶寬度、海灘坡度以及離岸堤配置規模與堤體出水高度之適切性，如圖 4-35 所示，圖中，白色箭矢表示近岸之卓越入射波向；黃色箭矢表示碎波沖刷流與沖刷環流，以及伴隨之優勢輸沙方向。

此外，特別值得一提的是，在離岸堤後之波浪衝擊遮蔽區內，因折、繞射波浪碎波所衍生之碎波沖刷環流，實際具有離岸流特性，因此，在外海之海象較惡劣情況下，即使離岸堤後沙舌或繫岸沙洲淺灘上之碎波波高較小，但強勁之碎波沖刷環流_離岸流，仍常會導致海灘休憩活動的危險，因而必須作相關之危險警示，如圖 4-36 所示。



the Sea Palling on the Norfolk coast_GoogleEArth_200907(左)、201907(右)

圖 4-35 近岸海灘設置離岸堤並因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用而在堤後造成繫岸沙洲(左)或沙舌(右)形態之海灘沖淤重塑

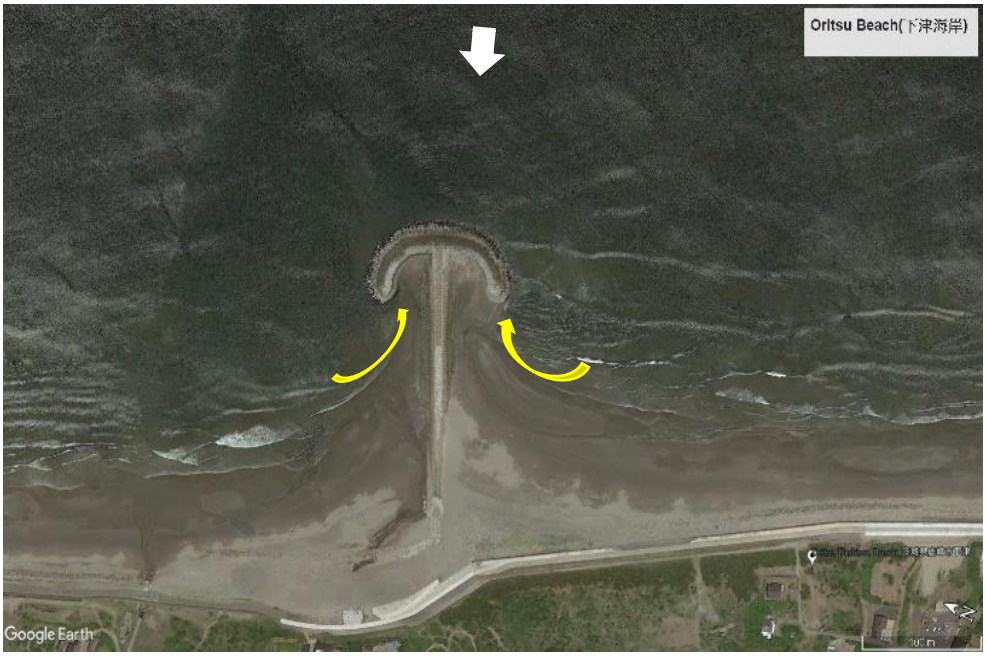


the Sea Palling on the Norfolk coast_GoogleEArth_細平_雙離岸堤_2019_05.jpg

圖 4-35(續) 近岸海灘設置離岸堤群並因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用而在堤後造成繫岸沙洲及沙舌形態之海灘沖淤重塑



日本 Oritsu Beach_2015_10 浪優.jpg



日本 Oritsu Beach_2018_05 繫岸沙洲.jpg

圖 4-35(續) 近岸海灘設置 T 型突堤後因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用(上)而在堤後造成繫岸沙洲形態(下)之海灘沖淤重塑



臺灣東部海岸_大武漁港_半離岸堤效應_繫岸沙洲岬灣_200012(左)及 201209(右)

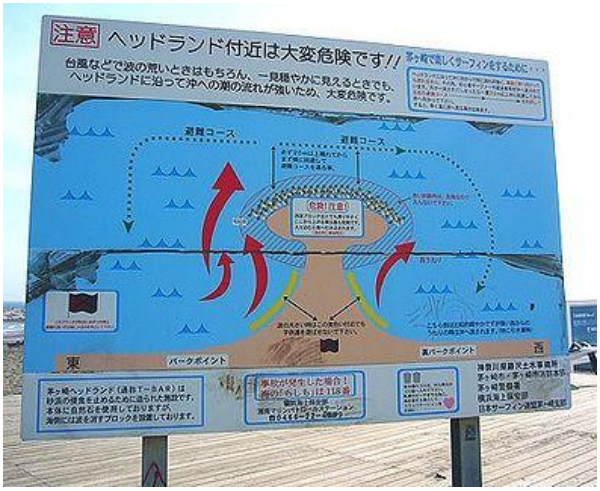


臺灣東部海岸_ 金樽漁港_陸連島_20180115

圖 4-35(續) 具離岸堤形態之近岸港口外防波堤(上)及離岸礁岩(下)後因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用(上)而在堤後造成繫岸沙洲形態之海灘沖淤重塑



離岸流_茨城縣鹿島灘人工岬頭_頁面_1. jpg





離岸流警示看板_ヘッドランドってアカンやろ_ SEE YOU ON THE OCEAN. jpg
離岸流警示看板_鹿島灘人工岬_ヘッドランド付近 水難事故相次ぐ_毎日新聞. jpg

圖 4-36 日本茨城縣鹿島灘離岸堤後因折、繞射波浪碎波所衍生具離岸流特性之碎波沖刷環流(上)與相關碎波沖刷環流之危險警示(下)

4.2.3 岬灣海灘與「岬頭效應」

岬頭(headland, cape, promontory)是突出海岸的天然或人造礁岩地形。在潮汐影響及波浪的直接衝擊作用下，受岬頭屏蔽而在岬頭後形成的灣形海灘，稱為岬灣海灘(headland-bay beach)，如圖 4-37 所示。相對於平直海灘，岬灣海灘通常是較為安定的自然海灘，並常存在於各類型天然岬頭以及由突堤、離岸堤等海岸防護設施及港口外廓防波堤所構成之人造岬頭後，普遍具有繫岸沙洲形態，參見圖 4-31 至圖 4-33 所示。



內埤岬灣_Google Earth_細平_2019_10 優乾.jpg



西班牙 Playas del Palo_岬灣_2021



葡萄牙_Baleal_岬灣_2015_04 優.jpg



西班牙 Playas del Palo_岬灣_2021_0824.jpg

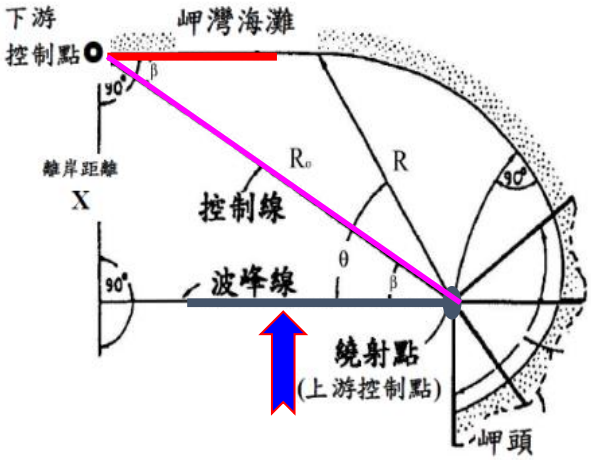
圖 4-37 存在於各類型天然岬頭以及由突堤、離岸堤等海岸防護設施及港口外廓防波堤所構成人造岬頭後之岬灣海灘

存在於各類型天然岬頭以及由突堤、離岸堤等海岸防護設施及港口外廓防波堤所構成人造岬頭後之岬灣海灘，通常具有如圖 4-38 所示的灘線形狀與形態特徵。Hsu and Evans (1989)曾改進最早由 Yasso (1965)提出之對數螺旋(logarithmic spiral)形態，依據 27 個混合現場與模型試驗海灣灘線數據，再經由統計迴歸分析而提出提出以二階多項式表現

之拋物線型岬灣(Parabolic bay shape)經驗式：

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2 \text{ ---------- (4-11)}$$

式中，R_0為岬灣下游控制點與上游控制點(岬頭繞射點)連線的控制線長度，β為卓越波浪波峰線(wave front)相對於控制線之入射波向角，R為岬頭繞射點至海灣灘線上任意點連線的線段長，而θ為其相對於卓越入射波浪波峰線之夾角，C_0、C_1及C_2皆為與β相關的經驗迴歸係數(Silvester and Hsu, 1993, 1997)。



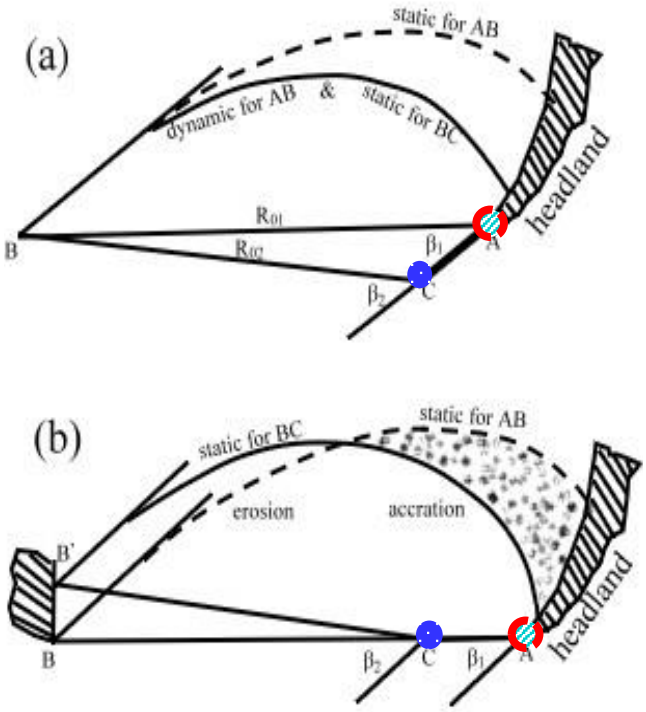
圖形來源：郭一羽，「海岸工程學」，2001

圖 4-38 岬灣海灘的灘線形狀與構建相關的控制參數定義

構建式(4-11)所示之經驗化岬灣海灘，可針對特定時期之海灘區域，再搭配 Google Earth 歷史圖像，然後，應用 Klein et al. (2003)所開發之 MepBay (Model for Equilibrium Planform of Bay beaches)軟體，進行岬灣海灘之陳繪。只是構建及陳繪前，必須依經驗先行檢選造成岬灣海灘之卓越波浪繞射點或上游控制點(upcoast control point)，亦須預判波峰線(wave front)或繞射波向(β)以及海灘下游控制點(downcoast control point)或不受岬頭影響之平直、安定海灘起始位置。

針對圖 4-37、圖 4-38 所示以波浪衝擊作用為主要動力所造成的岬灣海灘，Hsu et al. (2008)再從輸沙不平衡會造成灘線侵淤之觀點，探討岬灣海灘之穩定性(beach stability)，並建議依據經驗化灘線與實際灘線

位置之變異性，如圖 4-39 所示，可將岬灣海灘分類如下：



圖資來源：Hsu et al.（2008）

圖 4-39 從輸沙不平衡會造成灘線侵淤之觀點探討靜態及動態岬灣海灘之穩定性

(1)靜態平衡(static equilibrium)：若岬灣海灘的輪廓(peripherality)可以應用經驗化拋物線型公式描述，則該海灘即可被認為是處於靜態平衡狀態，且海灘的平直段，經驗上會與入射波浪之波峰線平行。而在此狀態下，可假定在波浪經常性的作用下，岬灣內之波浪會同時碎波，且沿岸輸沙或近岸流將幾乎消失，以致海灣內將無額外的漂沙輸入補注或沖蝕移出。

(2)動態平衡(dynamic equilibrium)：若預測的岬灣灘線偏向於長時期皆保持穩定灘線的陸側，則此類岬灣海灘可以說是動態平衡海灘，因為當沙源供應減少或海象波況(入射波向)改變下，海灘線會退縮。

(3)自然海灘重塑(Natural beach reshaping)：本類型海灘大多是因為增設突堤、離岸堤等海岸防護設施及配置港口外廓防波堤，致使波浪衝

擊受人造岬頭之屏蔽而造成海灘重塑。這類曲線形海灘，在海灘重塑過程中，波浪會促使結構物下游側產生侵蝕，且經侵蝕的漂沙，會藉近岸流輸運，然後在結構物後方伴隨產生淤積。

基於海岸環境美學與穩定海灘之優點，經驗化拋物線型岬灣海灘，曾在人工養灘、海岸保護、人工岬灣及海岸環境營造等工程規劃、設計與施行上多所應用(余 等，2004；吳 等，2006；朱、陳，2006；陳 等，2006；郭 等，2009；廖 等，2011；許，2012、2013；郭 等，2016)。而在實際之岬頭控制(Headland Control)影響下，岬灣海灘的形成，本質上，主要仍是因近岸折、繞射波浪碎波衍生強勁沖刷流速(莊，2020)之衝擊作用而造成近岸輸沙型態改變與海灘地形沖淤變遷的結果，因—果關係甚明確，只是在現實的近岸海域環境中，不僅肩負原始啟動作用力之波浪特性，太過多變而難以掌握，造成海灘地形變遷的近岸輸沙狀況，更是複雜而難以捉摸，特別是與河川及港口毗鄰之岬灣海灘，明顯會受河川輸沙、潮位改變與港口外廓配置整建而影響，所以，對於特定時、空之岬灣海灘，欲依經驗預先判定關聯波浪及海灘地形侵淤變遷之上、下游控制點以及通過繞射點之卓越代表波向(β)等三個控制參數，進而藉單一之岬灣海灘以辨識其達成靜態平衡(static equilibrium)之安定性，實際應尚有諸多不確定性課題待克服(朱、陳，2006；莊，2020)。

「岬頭效應」係指在自然或人造岬頭後，面對具時、空變動性之近岸波浪侵襲，以致在岬頭遮蔽下，會使岬頭後海灘沖刷帶(swash zone)上的波高，自然產生高、低差異，並使通過岬頭之波浪，會因繞射效應而在岬頭後繞射區造成波高大小不均、波向變化、碎波位置不一，進而促使伴隨碎波所衍生上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)之沖刷流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)強弱產生差異，進而在岬頭後形成迎向波浪之近岸沖刷環流，參見圖 4-27 及圖 4-28，並促使漂沙由沖刷流速較強區往較弱之岬頭後輸運，終致與「突堤效應」及「離岸堤效應」類同，造成岬頭後輸沙特性改變，灘線發生沖淤變遷，並衍生繫岸沙洲(tombolo)形態之岬灣海灘重塑，如圖 4-40 所示。

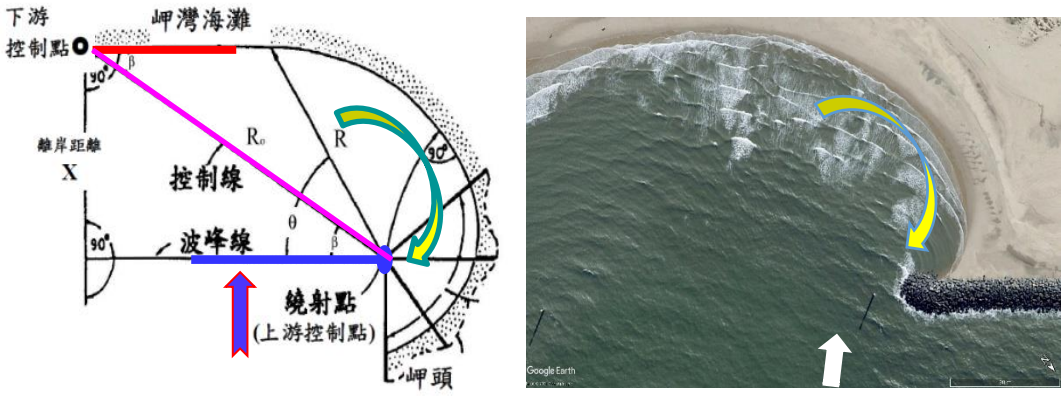
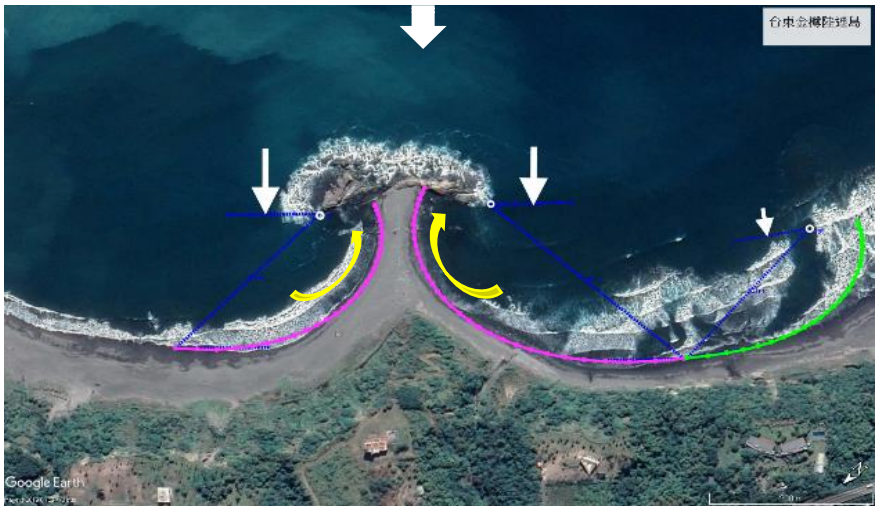


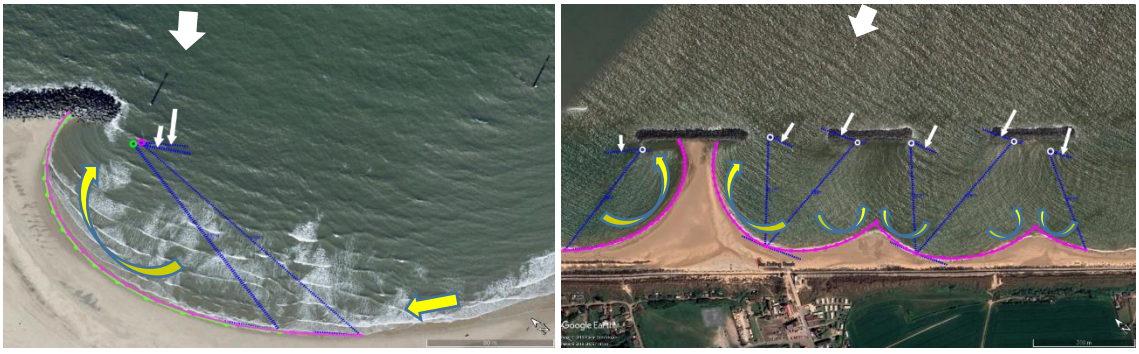
圖 4-40 岬頭後因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用所造成之「岬頭效應」與繫岸沙洲形態之岬灣海灘重塑

岬灣海灘的營造力，主要係來自於近岸灘區折、繞射波浪碎波衍生強勁沖刷環流之衝擊作用，因—果關係甚明確。以往的應用，一般係在經選定特定時期之岬灣海灘影像上，預先判定關聯波浪及海灘地形侵淤變遷之上、下游控制點以及通過繞射點之卓越波向等三個控制參數，再應用 MepBay (Klein et al.,2003)軟體，陳繪靜態岬灣海灘之灘線，藉以從事人工養灘、海岸保護、人工岬灣及海岸環境營造等工程之規劃與設計，並評估、辨識海灘之安定性(Hsu et al., 2008)。只是在現實的近岸海灘環境中，具時、空變異之波浪特性，原即已甚難掌握，加以海岸防護結構物增設、港口外廓配置整建、河川輸沙供給不均、潮位高低變化及輸沙運移之複合影響，致使海灘地形變遷，更具動態性而難以預測。鑑此，當近岸灘外存在天然岬頭或配置人工岬頭後，憑藉著波浪沖刷與海灘沖淤變遷之因—果關係，彷照「突堤效應」與「離岸堤效應」之應用，針對「岬頭效應」，依據莊 (2020)之研究建議，對於與自然或人造岬頭毗鄰之岬灣海灘，無論其屬靜態或動態安定，應皆以岬灣海灘擬合(fitting)為重點(莊，2020；2021)，再藉岬頭後繫岸沙洲或沙舌之海灘沖淤重塑形態以及三個構建岬灣海灘控制參數之重建，據以回朔(backtracking)營造岬灣海灘之卓越入射波向，反推岬頭後波浪開始繞射

變形之繞射點以及海灘下游不受岬頭影響之平直、安定海灘位置，並確認岬頭遮蔽區內因碎波沖刷流速差異而顯著存在之沖刷環流與伴隨之近岸優勢輸沙方向，如圖 4-41 所示，圖中，白色箭矢表示近岸之卓越入射波向；黃色箭矢表示碎波沖刷流與沖刷環流，以及伴隨之優勢輸沙方向。此外，透過不同時期岬灣海灘控制參數之重建，尚可藉其變動歷程之相互對照比對，研判潛沒淺灘地形之沖淤變遷趨勢，如圖 4-42 至圖 4-47 所示。

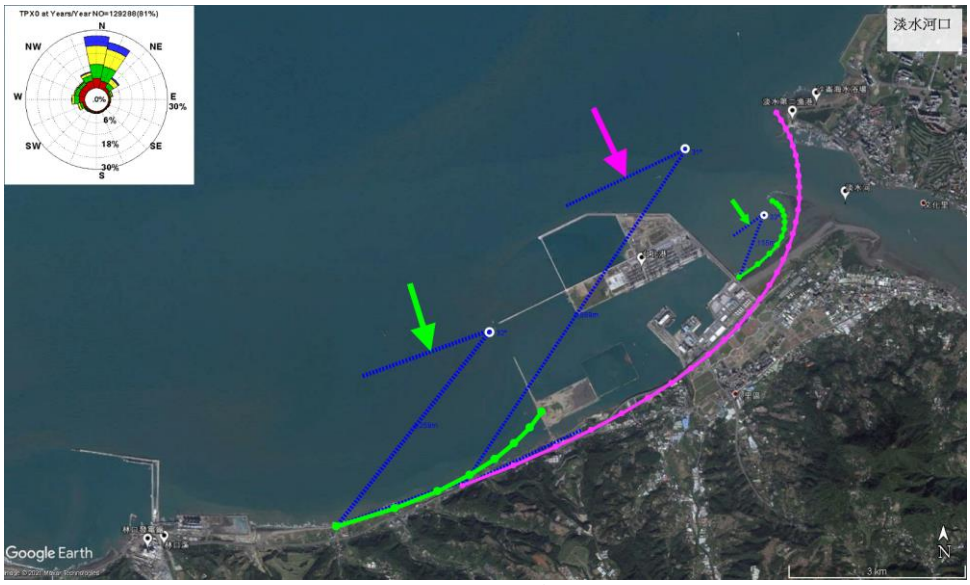


金樽漁港_陸連島與岬灣 20180115.tif



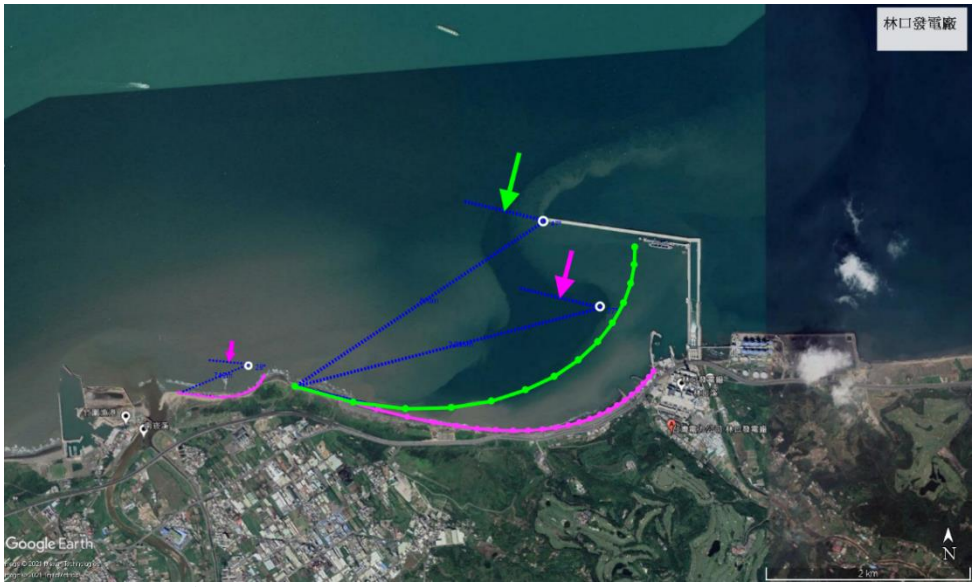
英國 the Sea Pal ling on the Norfolk coast,UK_20190515.tiff

圖 4-41 自然(上)及人造(下)岬頭後應用岬灣海灘擬合回朔重建營造岬灣海灘之卓越波向、波浪繞射點及安定海灘位置



淡水河口_GoogleEarth_區_台北港擴建_岬灣灘線_新雙_卓越波向與繞射點_玫瑰圖_2017_01.tiff

圖 4-42 臺北淡水河口及八里海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判臺北港建置前(粉紅)、後(綠)期之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢



林口發電廠_岬灣海灘_卓越波向與繞射點 2020_03

圖 4-43 臺北林口海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判林口電廠整建前(粉紅)、後(綠)期之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢



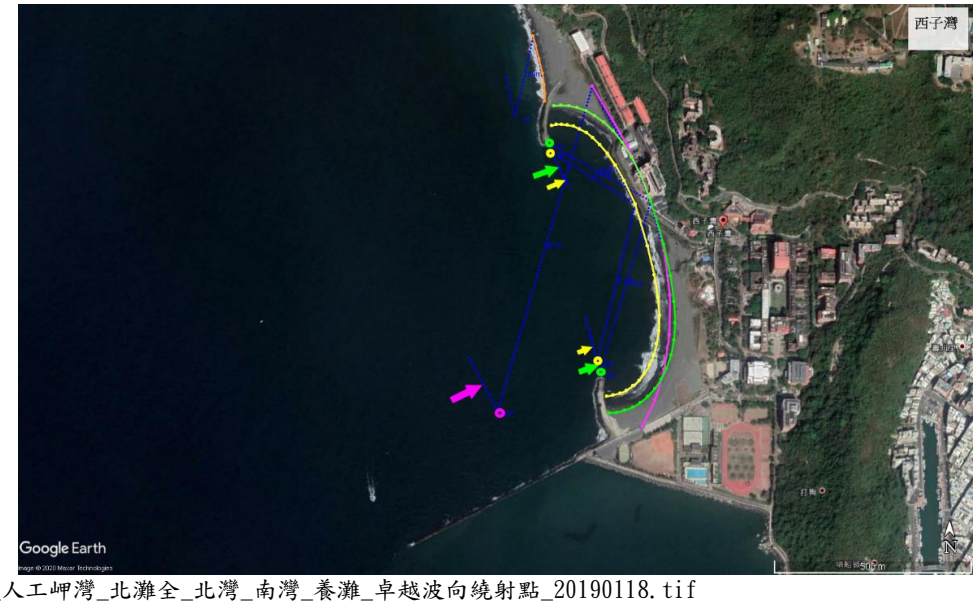
2021_0906_藻礁_三接的外廓配置與工程規模_中_岬灣灘線_變遷_2015_12.tiff

圖 4-44 桃園觀音海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判施行中油三接外廓配置後初期(粉紅)及中(綠)期之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢



台中港_北淤沙區_新建攔沙堤_新淺灘_靜態岬灣_卓越波向與繞射點_2020_03.tiff

圖 4-45 臺中港北淤沙區海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判高(紅)、低(綠)潮位影響下之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢



西子灣_人工岬灣_北灘全_北灣_南灣_養灘_卓越波向繞射點_20190118.tif

圖 4-46 高雄西子灣海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判施行人工養灘前(粉紅)以及初(黃)、後(綠)期之岬頭變動與對應之岬灣海灘地形侵淤變遷趨勢



旗津海灘_Google Earth_大_原_岬灣海灘_卓越波向繞射點_玫瑰圖_2020_05.jpg

圖 4-47 高雄旗津海岸應用岬灣灘線擬合與控制參數重建研判施行系列離岸潛堤及人工養灘前(粉紅)、後(綠)期之岬頭變動與對應之海灘地形侵淤變遷趨勢

4.3 臺灣東部近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

本研究專題，全面性考量臺灣東部近岸港口航道之淤塞機制，藉期能嚴謹地研擬調適對策。

面對臺灣東部近岸港口之嚴重淤塞與毗鄰海灘之沖蝕，國內相關港口建置與維運單位，對於造成淤塞之複雜機制，迄今尚未能明確掌握，導致毗鄰海灘沖蝕的關鍵因素，亦有待釐清，因此，對於近岸港口之淤塞，目前大多僅能採取治標不治本的清淤疏浚對策，對於毗鄰海灘之沖蝕，亦只能不斷地以整建外廓配置，強化海岸防護設施，或持續地施行人工養灘對應。

臺灣東部近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之概況，經整理相關研究報告(公路總局，2010、2012；吳 等，2020；許，2011；林 等，2021)，並廣泛檢視媒體報導，如圖 4-48、圖 4-49 及圖 4-50 所示，由圖綜合觀察瞭解可見，評估臺灣東部近岸港口長年實際發生嚴重港口淤塞及毗鄰海灘沖蝕之原因，可檢選座落在宜蘭海岸之南澳漁港、花蓮海岸之鹽寮漁港以及座落在臺東海岸北端之長濱漁港、中段之金樽漁港及南端之大武漁港為代表，各港口在東部海岸之地理位置座落及海岸環境，分別如圖 4-51 及圖 4-52 所示。

綜合檢視圖 4-48 至圖 4-52 可知，臺灣東部近岸港口的港口航道淤塞，除了宜蘭之南澳漁港、花蓮之鹽寮漁港外，以座落在臺東海岸之長濱漁港及大武漁港最為嚴重，每年皆須頻繁辦理清淤疏浚，且主要的淤塞位置，皆位在東外防波堤內側及港嘴航道上，最特別的是在港嘴航道淤沙區，更有大粒料砂石，甚至是大卵石之表面沈積。因此，經近岸港口之沖淤系統評估與淤塞機制分析，參見第 4.1 節內文，可初步判定，在近岸港口之既有外廓配置下，造成港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之主要機制，應可排除流速通常甚微弱的沿岸流(Longuet-Higgins & Stewart, 1964；Longuet-Higgins, 1970)，參見第 2.3 節內文，而集中於較大波浪在碎波帶內因碎波衝擊所衍生強勁沖刷流速(u ≈ $\sqrt{gH_b}$)的上沖(runup

swash)、下刷(rundown backwash)與越洗(overwash)作用。

關於臺灣東部海域冬、夏季及全年相對應之觀測波浪統計特性，參照圖 2-15、圖 2-16 及圖 2-17，或可針對蘇澳(宜蘭)、花蓮、臺東海域，分別將其綜整如圖 4-53 至圖 4-55 所示。由圖觀察可見，無論冬季或夏季，在臺灣東部海域，經年會面對之卓越波向集中於東北東(ENE)至東南東(ESE)向間，示性波高以 1~2 公尺為主，較大波高可達 2~5 公尺，因此，為防範冬、夏季季風及颱風波浪之侵襲，增進港內停泊水域之靜穩度，港口之開口大多偏西南向，且為擴大港口規模，外廓防波堤之配置，普遍順沿海灘線，並具有側 L 形(↱、↰)之離岸堤形態，如圖 4-51 及圖 4-52 所示。此外，在季風及颱風波浪之侵襲下，若碎波波高(H_b)可達 1 公尺，則估計碎波沖刷流之衝擊流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)約可達 3.13 m/s，再依據沖刷流之拖曳力公式($F_D = C_D A_S \rho V^2$)，取C_D=0.0016 估算，若海灘坡度$\tan\beta$=1/20，則可推動沿斜坡海灘移動之卵石(比重γ_s=2.65 ton/m^3；面積$A_s = 4\pi R^2$)，直徑($D = \frac{C_D \times 6 \times H_b}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \times \tan\beta}$)約可達 11.6 公分，重量約 2.2 公斤，這與臺灣東部近岸港口港嘴淤塞區大多存在有大粒徑卵石沈積之現象甚相符合。據此，更可判定並確認，即使近岸波浪因折射、淺化效應而使卓越波向近乎以正向入射海灘，致使海灘上因碎波衍生之輻射應力(radiation stress)梯度小，近岸流速(Longuet-Higgins & Stewart, 1964；Longuet-Higgins, 1970)微弱，但因經常性之較大波浪，碎波波高普遍可達 1 公尺以上，波向又集中於 ENE~ESE 間，以致碎波所伴隨產生強勁沖刷流之直接衝擊作用，仍應是造成臺灣東部近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之主要機制。

自維基百科(https://zh.wikipedia.org/wiki/)節錄臺灣近岸港口之相關記述資訊，並自 Google Earth 擷取歷史圖像，參見圖 4-51 及圖 4-52，因而可針對臺灣東部各近岸港口之詳細外廓防波堤與海岸防護設施配置以及港口與毗鄰海灘之沖淤情況，綜整分析、評估如后。

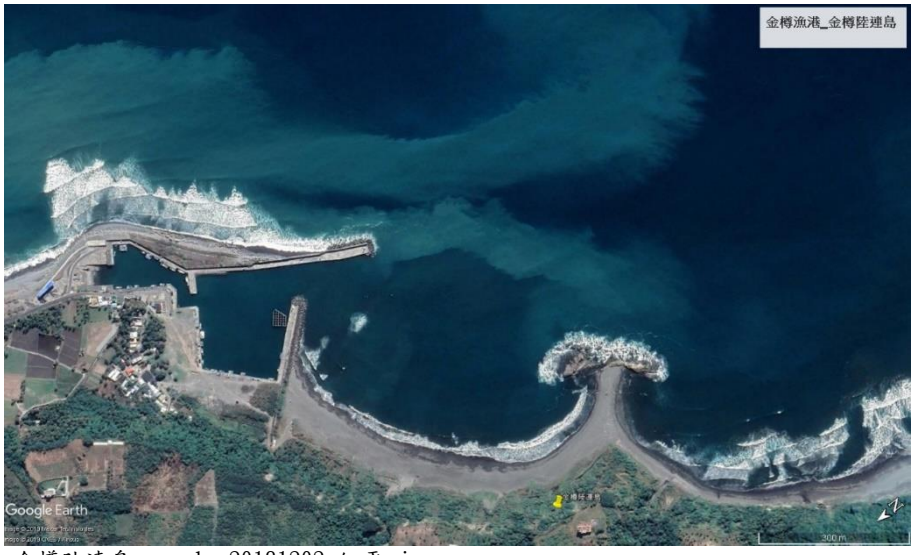




資料來源：長濱漁港_漁技社



圖 4-48 臺東長濱漁港配置(上)與港口航道淤塞景況之媒體報導(下)



金樽漁港_金樽陸連島_google_20181202_細平.jpg



金樽漁港_颱風毀堤防_港口堤後淤積－民視新聞 20181007.PNG

圖 4-49 臺東金樽漁港配置(上)與港口航道淤塞景況之媒體報導(下)

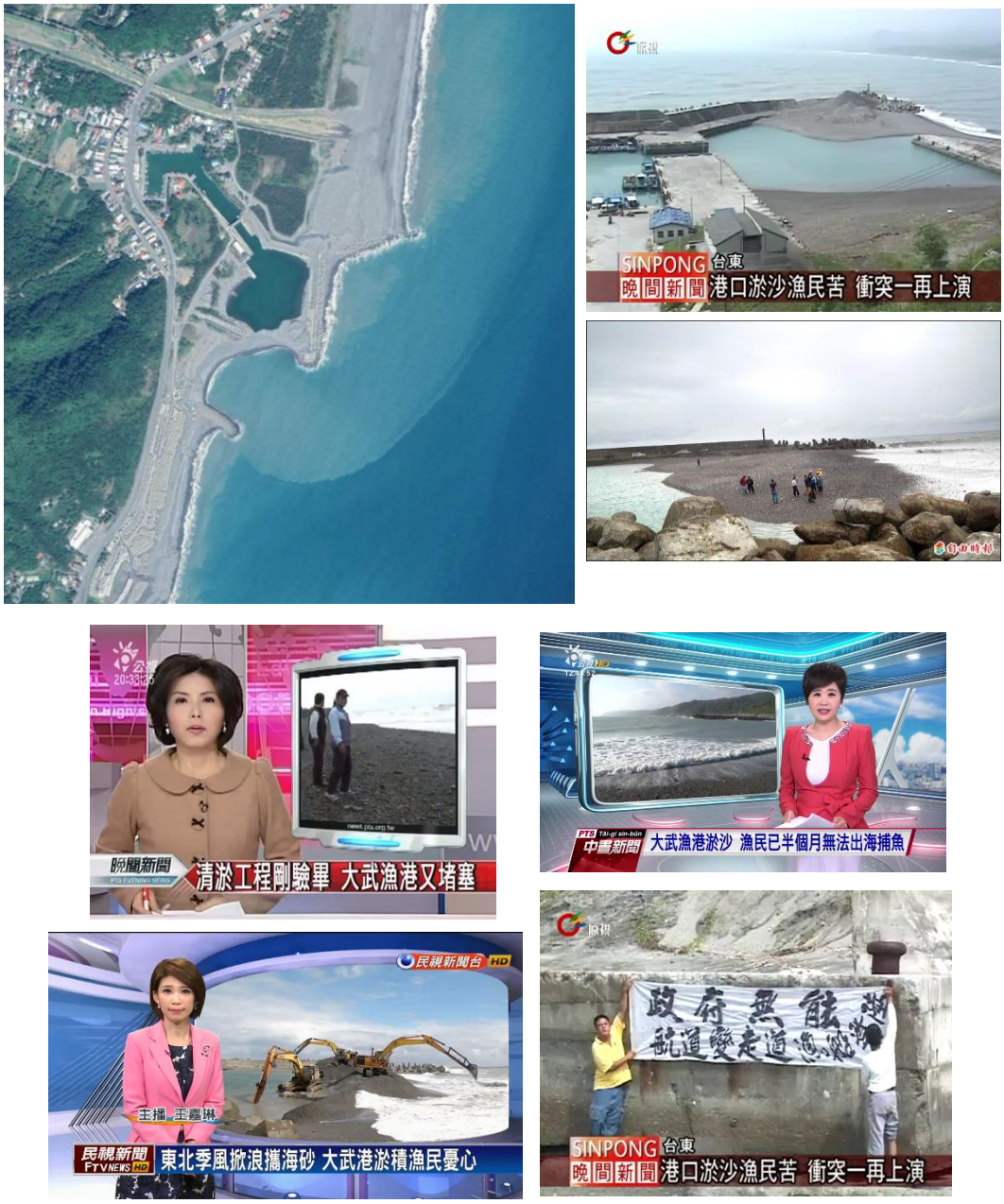


圖 4-50 臺東大武漁港配置(左上)與港口航道淤塞景況之媒體報導(下)

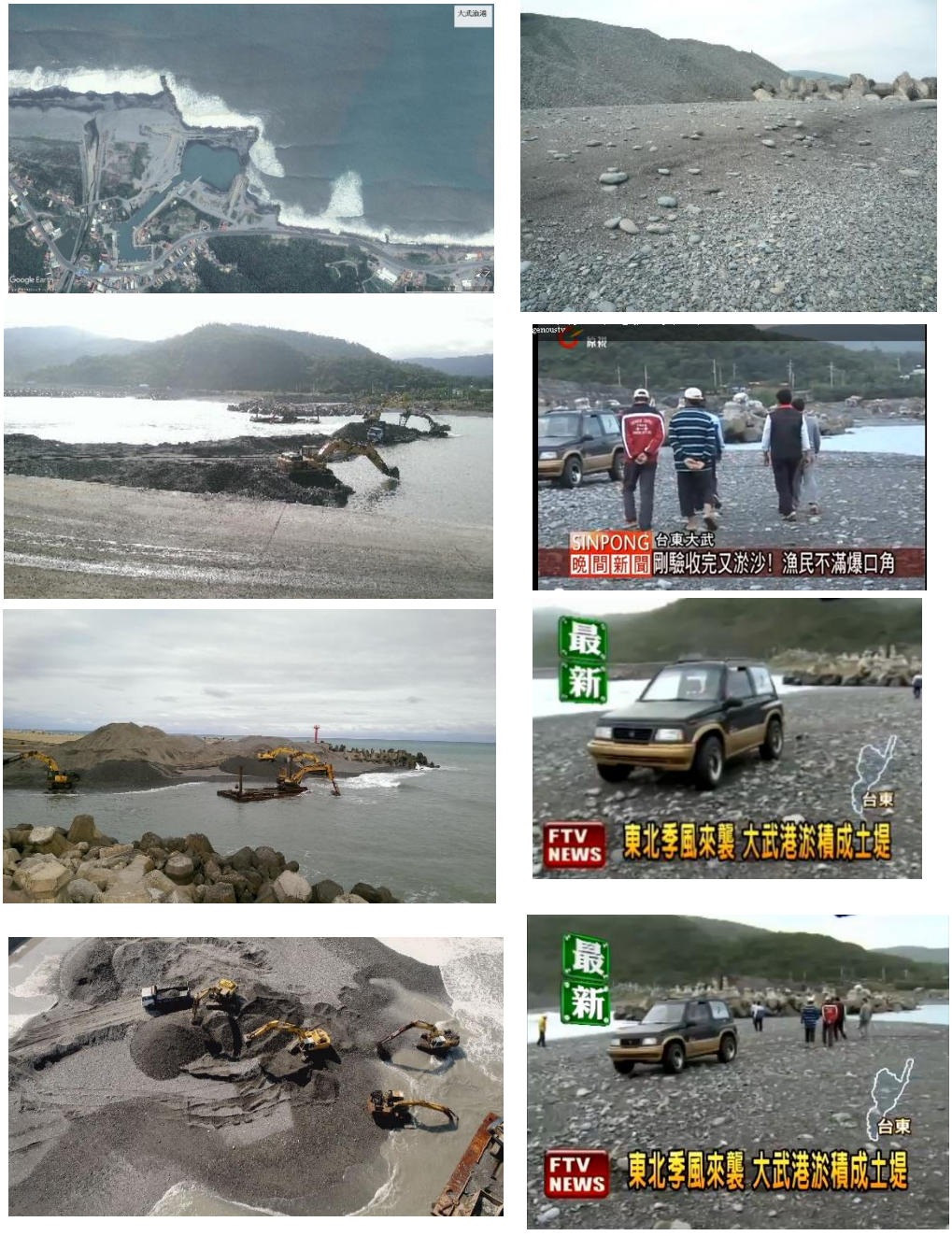


圖 4-50(續) 臺東大武漁港淤塞與清淤疏浚景況(左)及淤塞於港口航道上之大粒徑表面沉積砂石(右)



圖 4-51 臺灣東部座落在宜蘭海岸之南澳漁港(右上)及座落在花蓮海岸之鹽寮漁港(右下)以及其港口防護設施與毗鄰之海岸環境

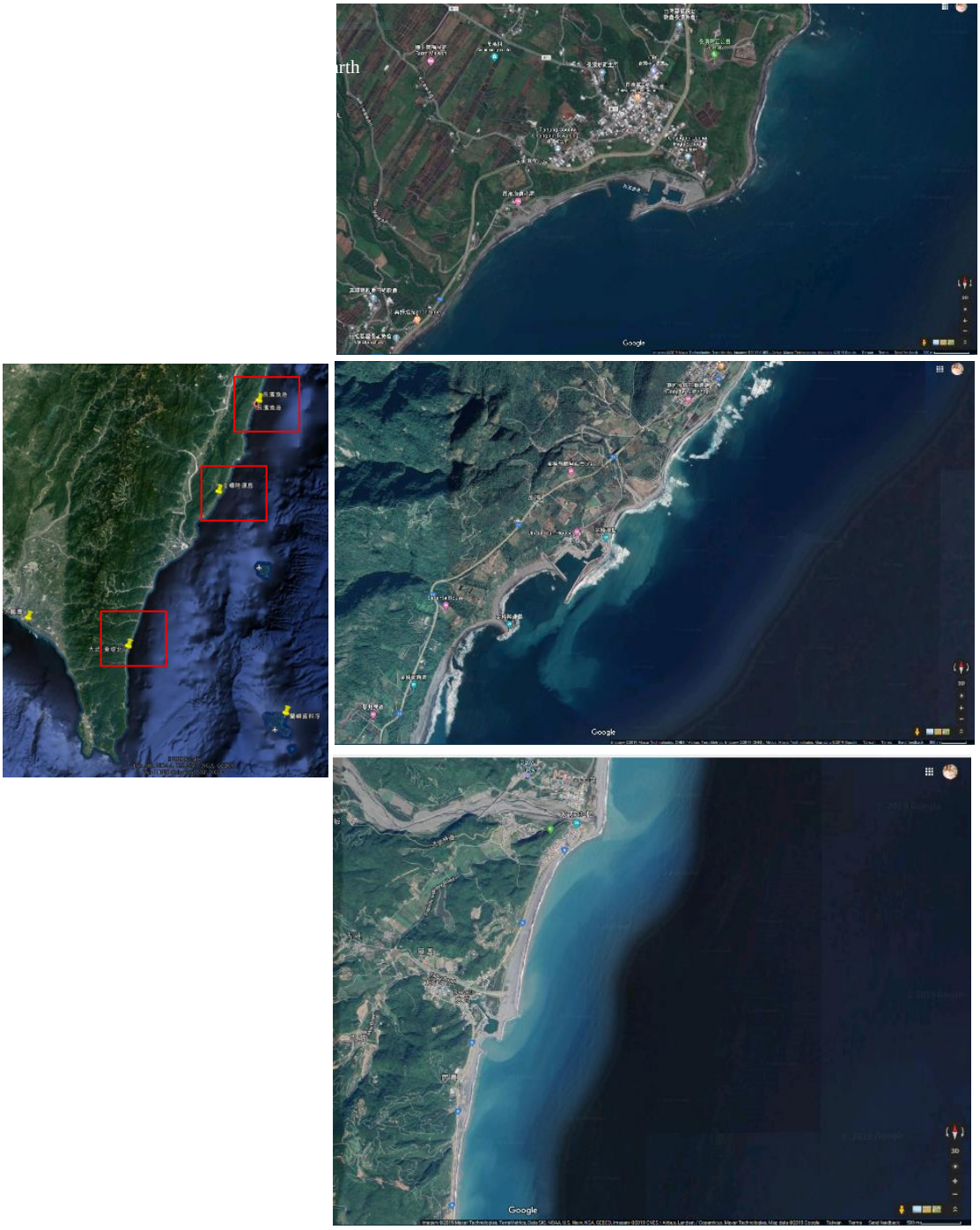


圖 4-52 臺灣東部座落在臺東海岸之長濱(右上)、金樽(右中)及大武(右下)漁港及與港口毗鄰之海岸環境

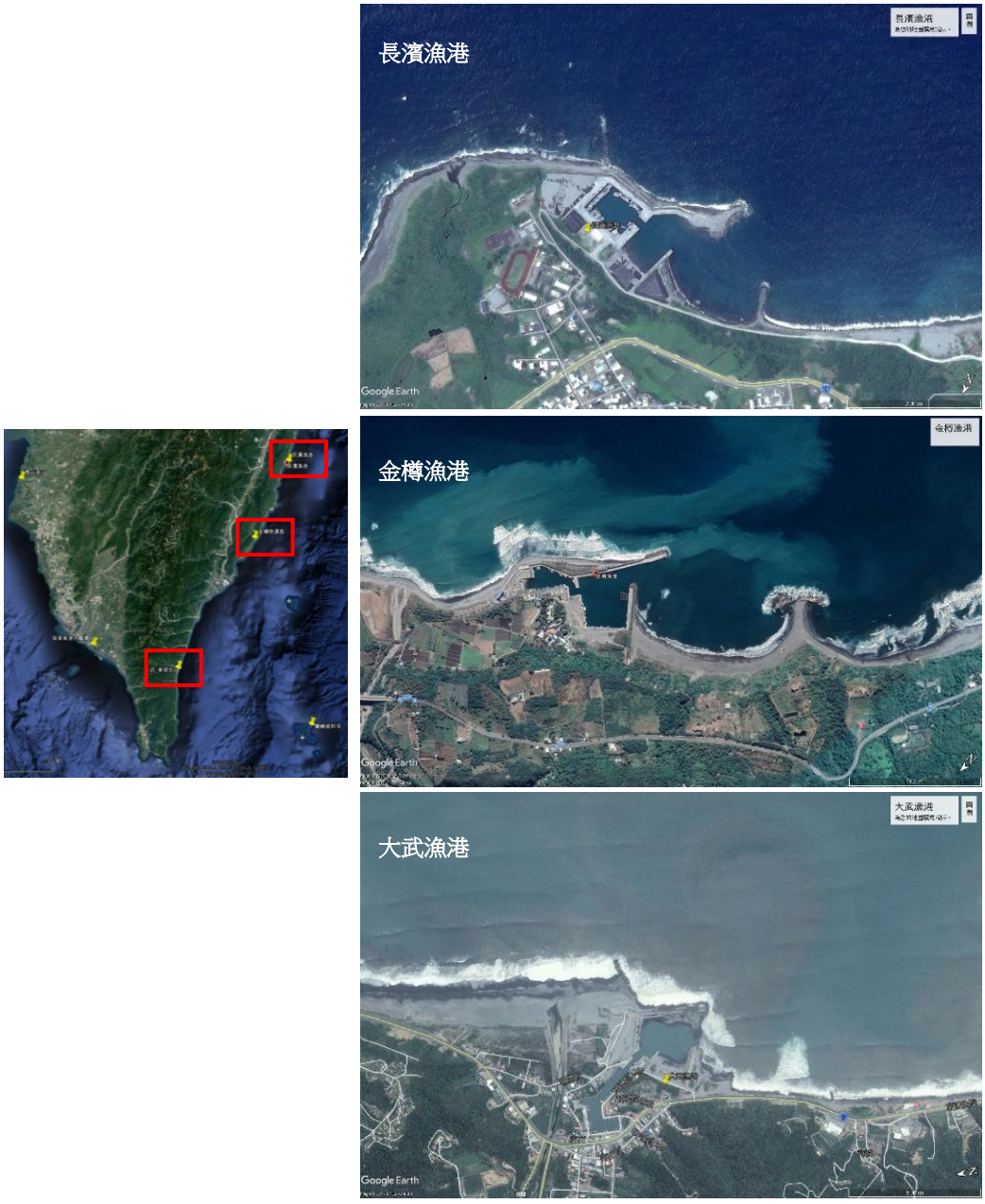
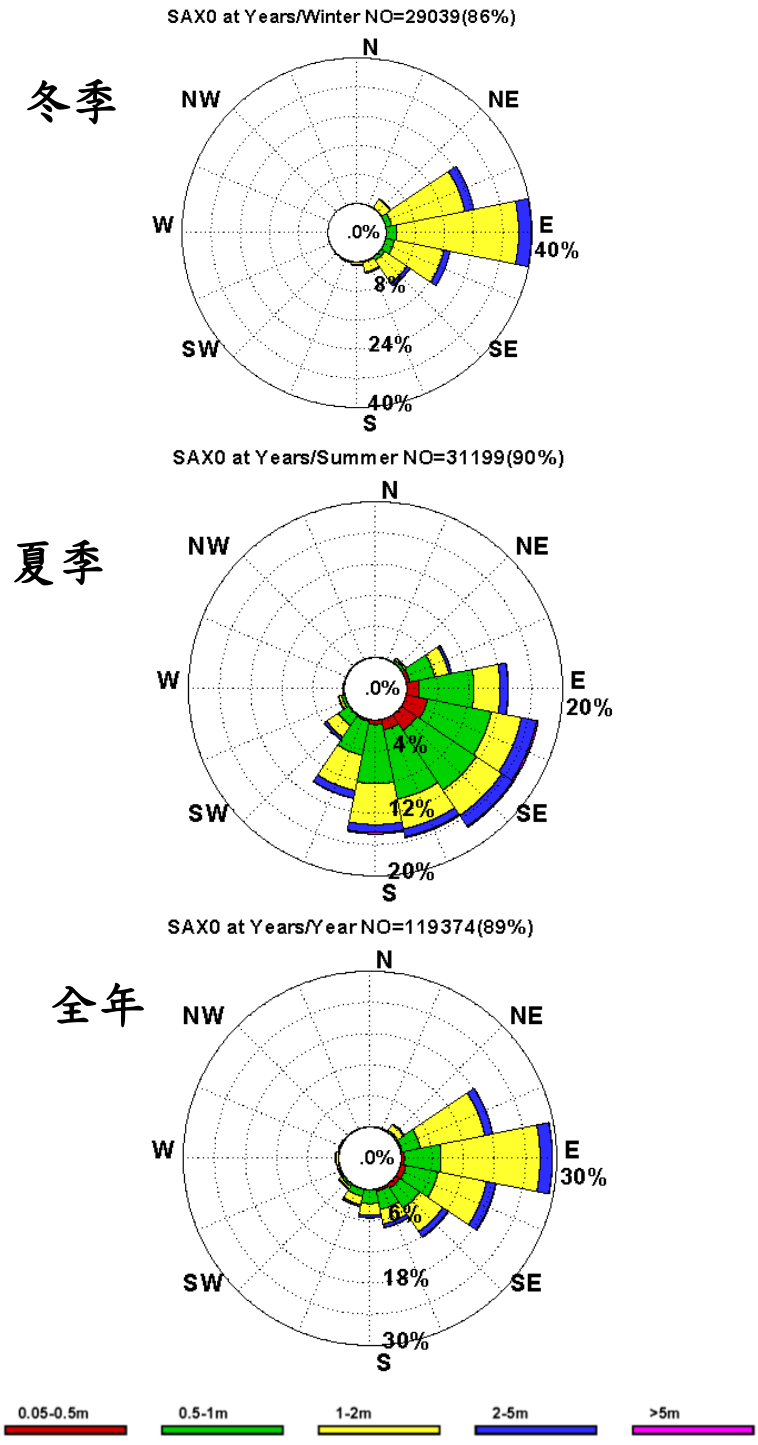
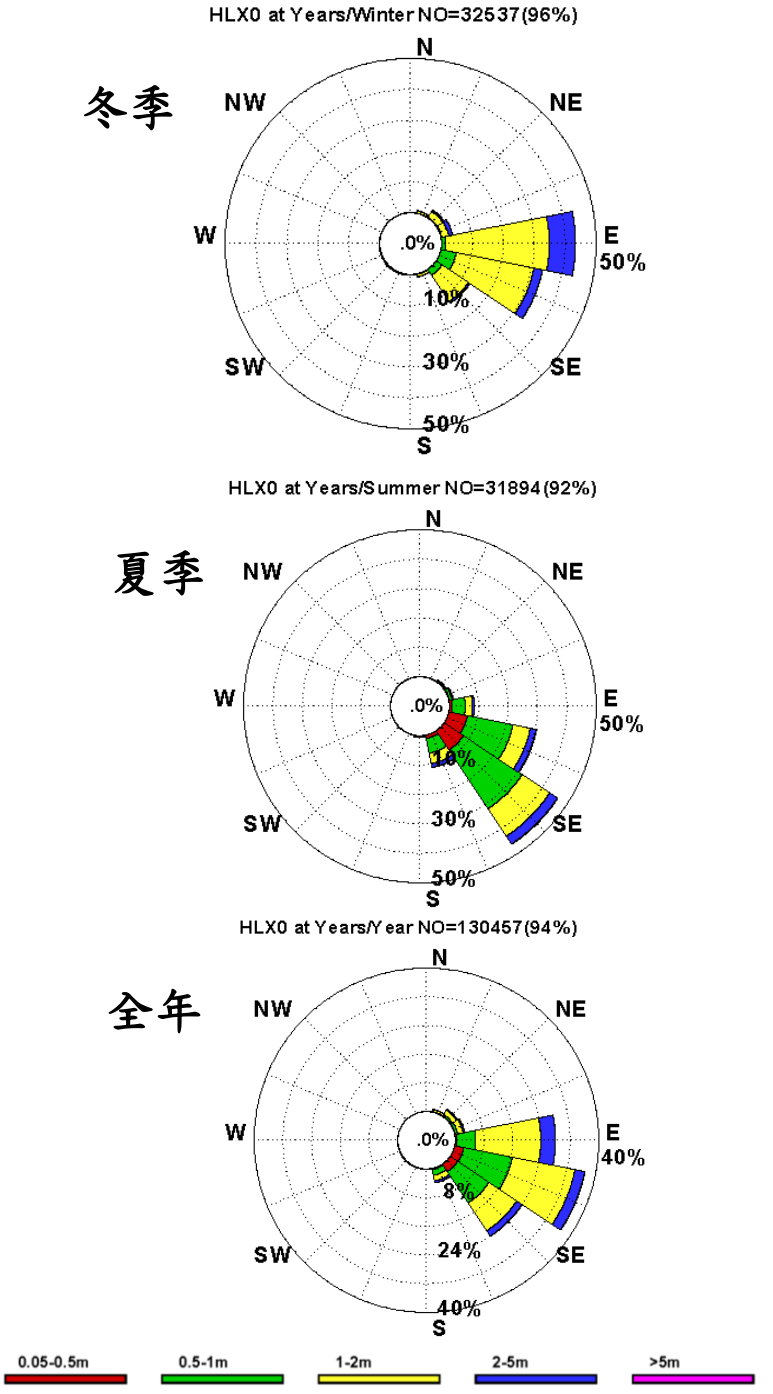


圖 4-52(續) 臺東海岸面對冬、夏季主要波浪入射方向之長濱(右上)、金樽(右中)及大武(右下)漁港既有複合離岸堤及突堤形態之港口配置及與港口毗鄰海岸之防護設施



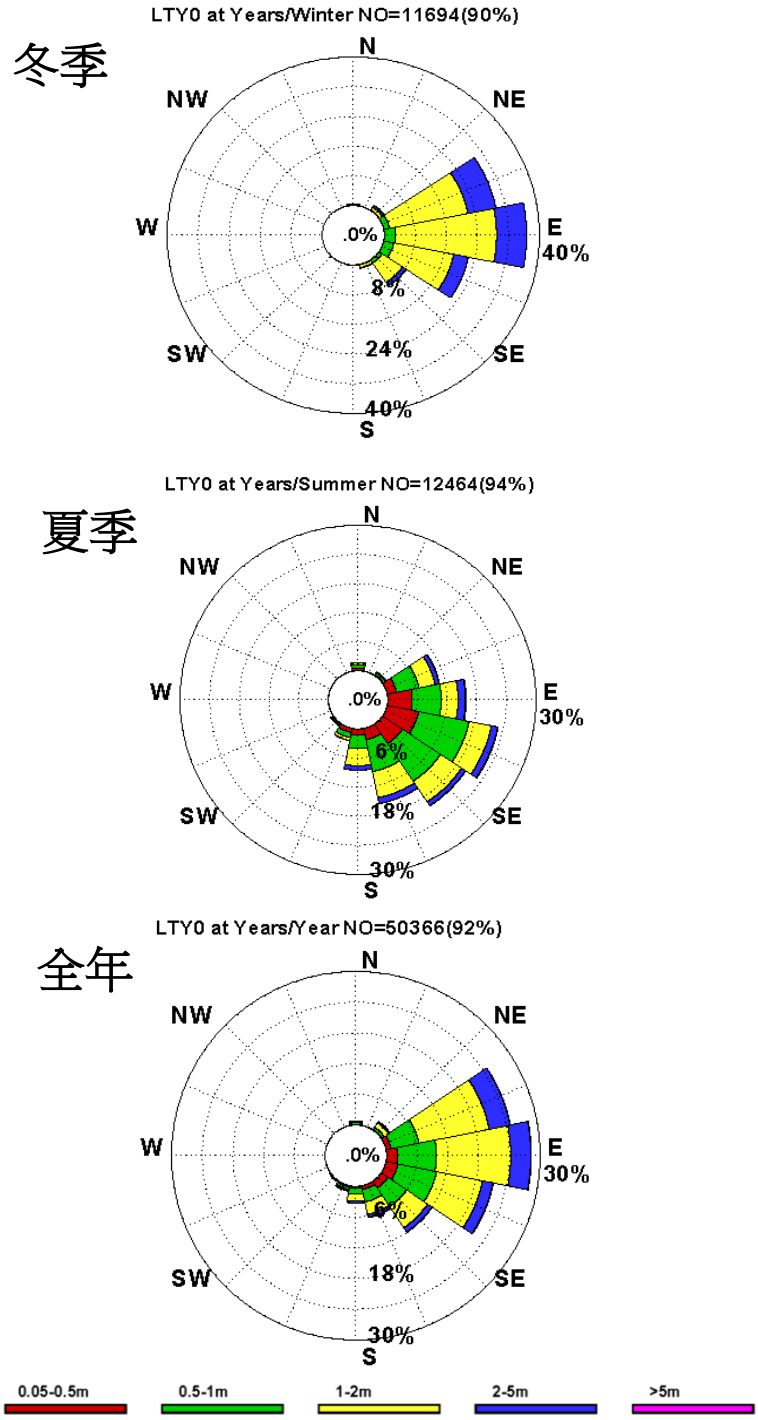
資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

圖 4-53 臺灣東部蘇澳海域概約自 2000 年起至 2016 年止冬季(上)、夏季(中)及全年(下)之觀測波浪玫瑰圖



資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

圖 4-54 臺灣東部花蓮海域概約自 2000 年起至 2016 年止冬季(上)、夏季(中)及全年(下)之觀測波浪玫瑰圖



資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

圖 4-55 臺灣東部臺東海域概約自 2000 年起至 2016 年止冬季(上)、夏季(中)及全年(下)之觀測波浪玫瑰圖

4.3.1 宜蘭南澳漁港

南澳漁港，亦稱為南澳朝陽漁港，位於宜蘭南澳海岸，烏石鼻南側，參見圖 4-51，附近海域為北部優良的漁場，漁業資源豐富。過去，由於本區沒有漁港，漁船筏避風及加油補給，皆須經過烏石鼻海域之危險急流而駛往南方澳漁港避風，影響漁業發展至鉅。政府為解決船筏停泊問題，曾於民國 67 及 78 年分別由前臺灣省漁業局及宜蘭縣政府進行南澳漁港建港的可行性評估，惟因工程經費龐大，建港計畫未能付諸實施。然由於南澳地區之船筏於烏石鼻附近多次發生船難，經當地漁民再三反應，呼籲興建泊靠設施，故由宜蘭縣政府進行「宜蘭縣南澳漁港興建計畫可行性評估」至 84 年 9 月完成，經相關主管機關、專家學者及地方漁民團體多次檢討終至定案，並納入「第三期台灣地區漁港建設方案」中。南澳漁港之建港工程，自民國 87 年展開先期消波塊及方塊製作，88 年完成南防波堤 275 公尺、南內堤 20 公尺及燈塔等工程；89 年起第三期工程進行北防波堤兼碼頭 1799 公尺、南北突堤 65 公尺、內堤 15 公尺、碼頭 260.5 公尺、南防波堤 40 公尺、防沙堤 75 公尺、曳船道、護岸及泊地浚挖等工程，全部工程於 91 年完成，並於 91 年 9 月啟用，漁港主要外廓設施，計有東防波堤 374 公尺、北防波堤 180 公尺，後續，為增加穩靜避風泊地，民國 100 年 12 月起曾再進行內泊地擴建工程，港內泊地擴建完成後，計有碼頭 720 公尺、泊地約 1.79 公頃(上列內文摘錄自：宜蘭縣海洋及漁業發展所_南澳漁港簡介，https://fisheries.e-land.gov.tw/cp.aspx?n=093C8731BF2BDD9A)，整體港口毗鄰之海岸環境、外廓防波堤配置與歷年之整建歷程，如圖 4-56 所示。

南澳漁港，現為宜蘭縣政府主管之第二類漁港，自 2002 年建港完成、啟用後，近 20 年期間，由於經常受較大季風和颱風波浪之衝擊，港口航道漂沙淤積嚴重，且須定期清淤疏浚(林 等，2021)，相關港口外廓防波堤配置以及毗鄰海灘之沖淤，經擷取 Google Earth 影像，可得如圖 4-57 所示，由圖綜合觀察可見，南澳漁港之港口，開口約朝東北向；港口外廓配置，除了距港口北側約 265 公尺處建置有一道長約 75 公尺的透水防沙堤外，主要由約與海灘線平行之東外防波堤，以及約與

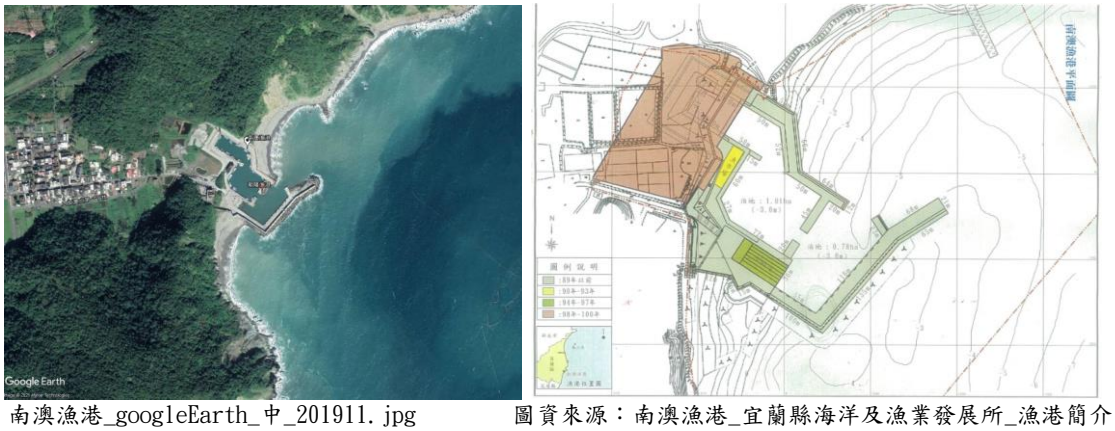
海灘線垂直之北外防波堤構成，港口寬度約 35 公尺，東外防波堤之堤長，自北順沿堤線至南外防波堤南端，總長度約 374 公尺；南外防波堤之堤長，離岸約 170 公尺。此外，在北外防波堤與港口北側之防沙堤間，以及在南外防波堤南側，明顯皆可見有岬灣海灘生成。

再概約以港口外廓之外防波堤法線為參考方向，即針對近岸波浪之卓越入射方向，因而可將圖 4-57 所示之港口配置、港嘴淤塞區位、岬灣海灘形態及毗鄰海灘沖蝕之變化歷程，陳現如圖 4-58 所示。由圖詳細觀察港口外廓配置可見，宜蘭南澳漁港，經過歷年之整建，外防波堤之配置，明顯順沿海灘線，而具有側 L 形(↦、↤)之離岸堤形態，因此，在面對臺灣東部海域卓越波向集中於 ENE 至 ESE 間、示性波高以 1~2 公尺為主、較大波高可達 2~5 公尺之經年波浪衝擊作用下，由於港口外廓防波堤配置所類比之離岸堤長(B)約 374 公尺、離岸距(X)約 170 公尺，致使離岸堤之長/距比(B/X)約達 2.2，總體外廓配置因過往僅著重泊地靜穩度之港域擴建規劃而自然地具有離岸堤之形態與功用，參見圖 4-24 至圖 4-28 及圖 4-31，所以，在東外防波堤後之海灘沖刷帶上，因波浪碎波衍生強大沖刷環流之衝擊作用，可促使「離岸堤效應」或「岬頭效應」有效發揮，並於港嘴及北外防波堤北側，促成繫岸沙洲且導致岬灣海灘形態之經常性淤積，同時，港口碎波沖刷環流之強大輸沙作用，更將導致毗鄰港口北側之海灘發生沖蝕。特別值得一提的是，僅管南澳漁港開口約朝東北向，且近海之卓越波向集中於 ENE 至 ESE 間，但觀察港口北側具有突堤形態防沙堤左右兩側海灘之沖淤狀況，尚可粗略研判，宜蘭南澳海岸之漂沙優勢方向，僅稍具由北往南趨勢，「突堤效應」並不顯著，這意謂衝擊港口海域之季風及颱風波浪，會受近岸地形水深及港口外廓配置之影響，而明顯發生折射、淺化及繞射現象，並具有正向_偏東向入射海岸之卓越波向。

針對圖 4-57 及圖 4-58 所示南澳漁港所具有離岸堤形態之港口外廓配置，配合圖 4-40 所示之「岬頭效應」與圖 4-53 所示蘇澳海域冬季、夏季及全年之波浪統計玫瑰圖，應用 MepBay 岬灣海灘陳繪軟體(Klein et al., 2003)，透過岬灣灘線的擬合(fitting) (莊，2020；2021)，因而即可

隨著港口之擴展歷程，在東外防波堤堤頭後，檢選一卓越波浪繞射點(上游控制點)，然後，採用岬灣海灘上、下游控制點間之影響距離應約小於 2 倍離岸距離之準則(莊，2020)，再於岬灣海灘之安定(平直)段上，設定下游控制點，接著，依據不同時期港口歷史圖像(參見圖 4-57)所陳示之實際岬灣海灘形態，調整上游控制點及其上之卓越繞射波向，再透過對照比對，最後，可得受「離岸堤效應」或「岬頭效應」控制影響下之經驗化岬灣海灘，如圖 4-59 所示。由圖觀察可見，南澳漁港近岸海域入射波浪之卓越波向，概約為偏東南東向，而且在「離岸堤效應」影響下，由於離岸堤之長_距比足夠大，因此，港口將明確會有繫岸沙洲形成，另外，受「岬頭效應」之控制影響，近岸海灘上的漂沙，將會因長年碎波沖刷環流由北而南之輸沙作用而在港口形塑岬灣海灘，進而導致港口航道之淤塞。

綜合而論，透過南澳漁港港口航道淤塞及毗鄰海灘沖淤形態之分析與評估，再配合「岬頭效應」與岬灣海灘之擬合，可判定並確認，宜蘭南澳漁港港口外廓配置影響及碎波衍生強大沖刷環流之衝擊作用，伴隨「離岸堤效應」與「岬頭效應」所導致繫岸沙洲或岬灣海灘形態之穩定性淤積，應是造成港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤變遷之主要原因。



南澳漁港_googleEarth_中_201911.jpg　　圖資來源：南澳漁港_宜蘭縣海洋及漁業發展所_漁港簡介

圖 4-56 宜蘭南澳漁港 2019 年之港口外廓防波堤配置與毗鄰之海岸環境(上)及歷年之整建歷程(下)



南澳漁港_GoogleEarth_細_2013_11 港口配置_優.jpg



南澳漁港_GoogleEarth_細_2015_07a 港口配置_優.jpg



南澳漁港_GoogleEarth_細_2019_11 港口配置_優.jpg

圖 4-57 宜蘭南澳漁港 2013 年 11 月(上)、2015 年 07 月(中)及 2019 年 11 月(下)港口外廓防波堤之離岸堤形態配置及衍生港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖淤

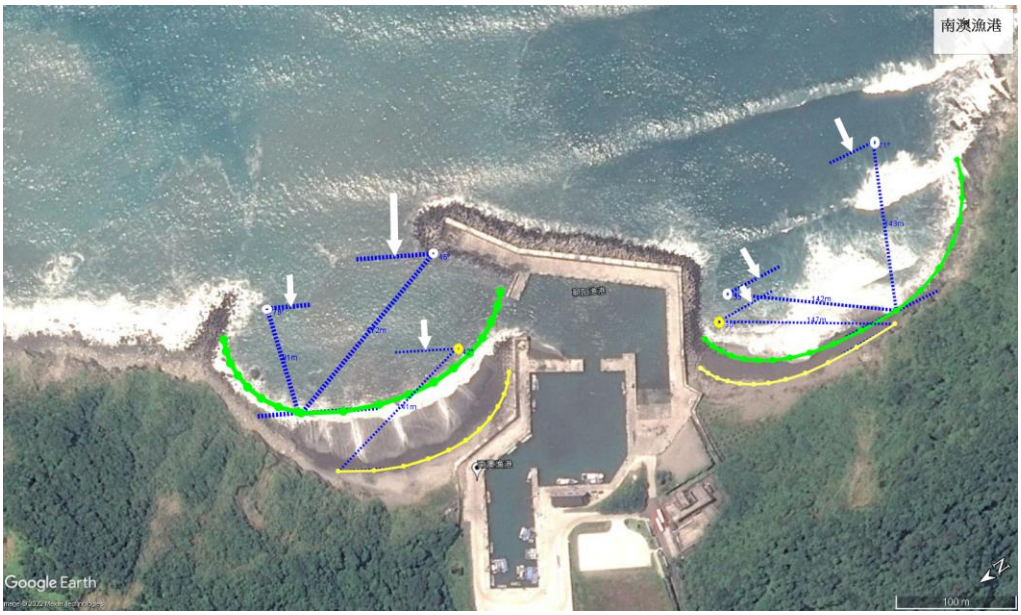


南澳漁港_GoogleEarth_小平_2015_07 優長浪. jpg



南澳漁港_GoogleEarth_小平_2019_11 佳. jpg

圖 4-58 宜蘭南澳漁港 2015 年 07 月(上)及 2019 年 11 月(下)港口外廓防波堤之離岸堤形態配置及衍生港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖淤



南澳漁港_GoogleEarth_小平_南多岬灣海灘_卓越波浪繞射點 2015_07 優.tiff



南澳漁港_googleEarth_中_今昔岬灣海灘_卓越波浪繞射點_玫瑰圖_201507 長浪. jpg

圖 4-59 宜蘭南澳漁港因離岸堤外廓配置形態衍生「岬頭效應」所形塑之岬灣海灘(上綠、黃)及應用岬灣海灘擬合評估港口整建初期(下粉紅)及整建後(下綠)之近岸卓越波向與繞射點以及岬灣海灘造成港嘴航道與毗鄰海灘之沖淤

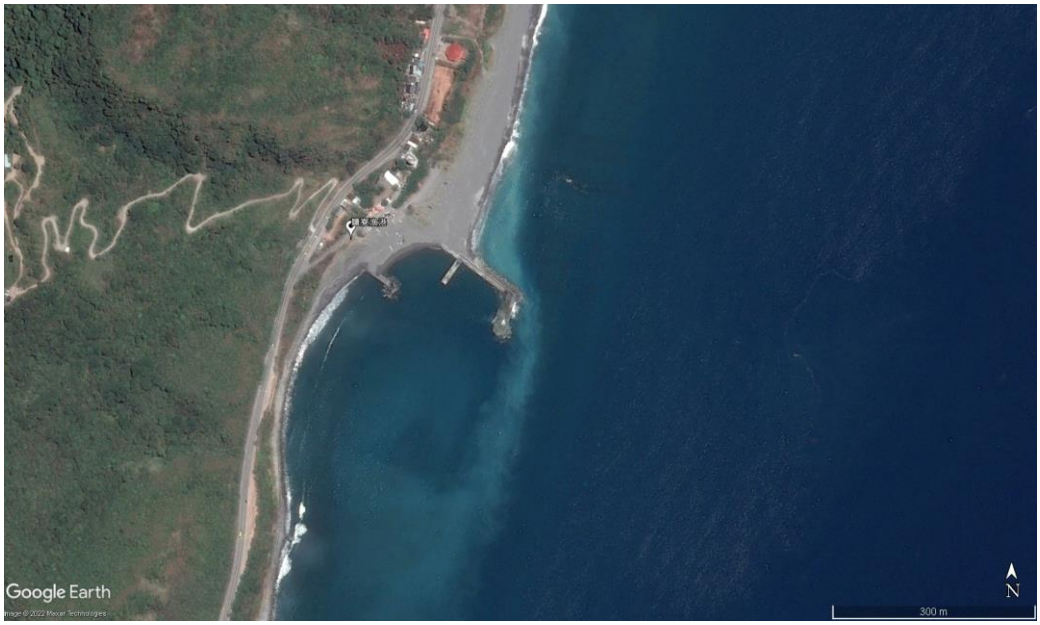
4.3.2 花蓮鹽寮漁港

鹽寮漁港，又稱橄仔樹腳港，位於花蓮縣壽豐鄉，參見圖 4-51，往北距花蓮漁港約 20 公里，海岸呈小弧海灣之狀態，北側有淺礁散布，當地民眾早期即曾興建簡易的船澳。鹽寮漁港的整建，於 1991 年第一期工程完成北防波堤 250 公尺、隔年進行第二期東堤 100 公尺修築，工程經費新台幣 1 億多元，1994 年鹽寮漁港正式完工，以容納 20 噸以下漁船 150 艘以及 20-50 噸漁船 40 艘為目標，港澳北方有海濱公園，供遊客休憩用。惟在漁港完工啟用後，卻因長年受東北季風與颱風之侵襲，港口及北側海岸，常有漂沙淤積，而南側海岸，則受到嚴重沖蝕，海岸線每年以 2 至 5 公尺退縮。另外，由於港口航道正對浪頭，每於海象較惡劣期間，常導致港澳內風浪太大而不適合停靠，現況，僅有三艘漁筏設籍，且大部分漁民使用膠筏並停泊於高灘處，因此，自 2018 年起，鹽寮漁港即被漁業署列為低度使用漁港，不再予補助經費以修繕港內設施(上列內文摘錄自：https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/鹽寮漁港)。鹽寮漁港毗鄰之海岸環境與港口外廓防波堤配置以及港口淤塞與毗鄰海岸沖淤狀況，如圖 4-60 所示。

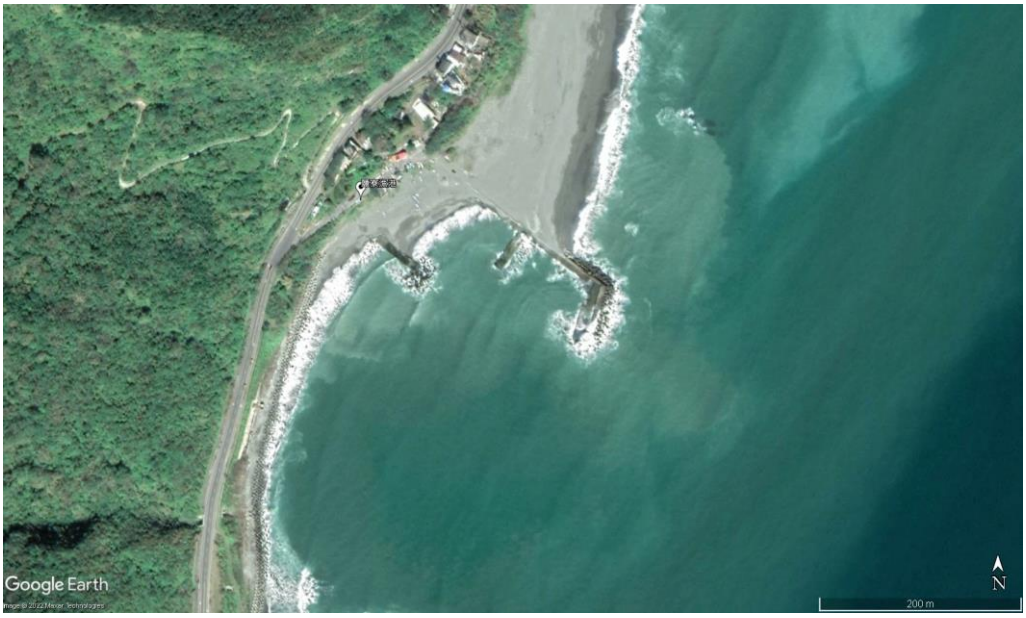
鹽寮漁港，現為花蓮縣政府主管之第二類漁港，相關港口外廓防波堤配置以及毗鄰海灘之沖淤，經擷取 Google Earth 影像，可得如圖 4-61 所示，由圖綜合觀察可見，鹽寮漁港之港口，港口寬度約 65 公尺，開口約朝東南向；港口外廓配置，明確具有 Γ 形之突堤形態，主要由與海灘線垂直、長約 200 公尺之北外防波堤以及自北外防波堤堤頭南折、長約 60 公尺之東外防波堤構成。自 1994 年建港完成、啟用後，近 30 年期間，由於經常受較大季風和颱風波浪之衝擊，不僅港口南、北兩側海岸分別陳現明顯之侵淤，港口航道亦有嚴重之漂沙淤塞(吳 等，2020；自由時報，2010_ https://news.ltn.com.tw/news/local/paper/366747；中央社，2019_ https://tw.news.yahoo.com/花蓮鹽寮漁港淤砂嚴重-1-圖-093524543.html)，其中，特別值得注意的是，在港口南側受侵蝕的海岸及受漂沙淤塞之港內，皆可見有岬灣海灘生成。

再概約以港口外廓之外防波堤法線為參考方向，即針對近岸波浪之卓越入射方向，因而可將圖 4-61 所示之港口配置、港內淤塞區位及毗鄰海灘沖淤之變化歷程，陳現如圖 4-62 所示。由圖詳細觀察港口外廓配置可見，花蓮鹽寮漁港，經過歷年各期之整建，外防波堤之配置，明顯垂直海灘線，並具有Γ形之突堤形態，因此，在面對臺灣東部海域卓越波向集中於 ENE 至 ESE 間、示性波高以 1~2 公尺為主、較大波高可達 2~5 公尺之經年波浪衝擊作用下，由於港口外廓防波堤配置過往僅著重港口泊地之靜穩度，致使座落在海灘碎波沖刷帶內的北外防波堤，在波浪碎波衍生強大沖刷流與沖刷環流之衝擊作用下，參見圖 4-19 及圖 4-20，可促使「突堤效應」或「岬頭效應」有效發揮，進而在港口北側，造成海灘嚴重淤積；而在港口南側，導致岬灣海灘形態之經常性沖蝕，並在港內，促成繫岸沙洲形態之淤積。

針對圖 4-61 及圖 4-62 所示鹽寮漁港所具有Γ形突堤形態之外廓配置，配合圖 4-40 所示之「岬頭效應」與圖 4-54 所示花蓮海域冬季、夏季及全年之波浪統計玫瑰圖，應用 MepBay 岬灣海灘陳繪軟體(Klein et al., 2003)，透過岬灣灘線的擬合(fitting) (莊，2020；2021)，因而即可隨著港口之擴展歷程，掌握近岸入射波浪之繞射點(上游控制點)、平直安定海灘之下游控制點及卓越波向，並可得受「突堤效應」或「岬頭效應」控制影響下之經驗化岬灣海灘，如圖 4-63 所示。由圖觀察可見，鹽寮漁港近岸入射波浪之卓越波向，概約為東向，而且在「突堤效應」控制影響下，港口航道及港內，明確皆會因碎波沖刷環流由南而北之輸沙作用而有繫岸沙洲之淤塞情況發生，另外，受「岬頭效應」之控制影響，港口南側海灘上的漂沙，亦將會因長年碎波沖刷環流由南而北之輸沙作用而形塑岬灣海灘，進而導致海灘之沖蝕。綜合而論，透過鹽寮漁港港口航道淤塞及毗鄰海灘沖淤形態之分析與評估，再配合「岬頭效應」與岬灣海灘之擬合，可判定並確認，近岸港口外廓配置影響及碎波衍生強大沖刷流與沖刷環流之衝擊作用，伴隨「突堤效應」與「岬頭效應」所導致繫岸沙洲或岬灣海灘形態之穩定性淤積，應是造成花蓮鹽寮漁港港口航道淤塞與其南北側毗鄰海灘沖淤變遷之主要原因。



鹽寮漁港_Google Earth_中_配置_2015_08.jpg

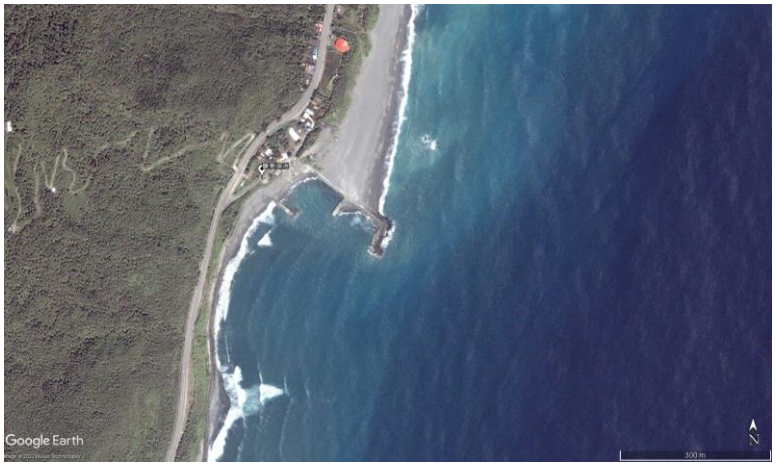


鹽寮漁港_Google Earth_細_配置_2019_12.jpg

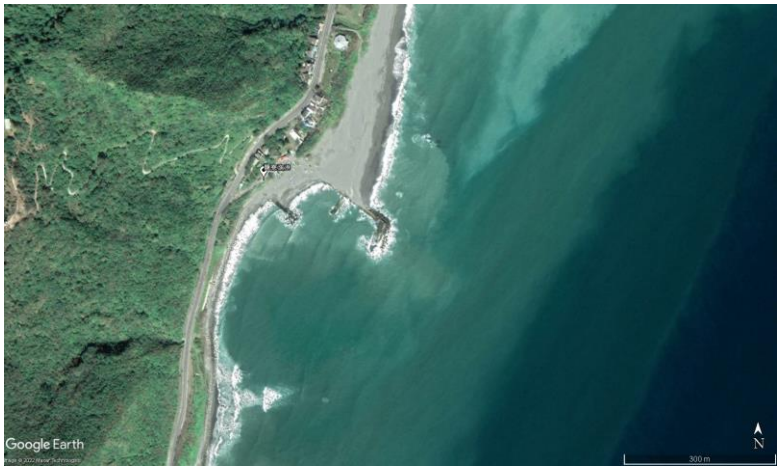
圖 4-60 花蓮鹽寮漁港 2015 年之海岸環境(上)與 2019 年之港口外廓防波堤配置與港口淤塞及毗鄰海岸沖淤(下)



鹽寮漁港_Google Earth_中_配置_2004_06.jpg



鹽寮漁港_Google Earth_中_配置_2013_04.jpg



鹽寮漁港_Google Earth_中_配置_2019_12.jpg

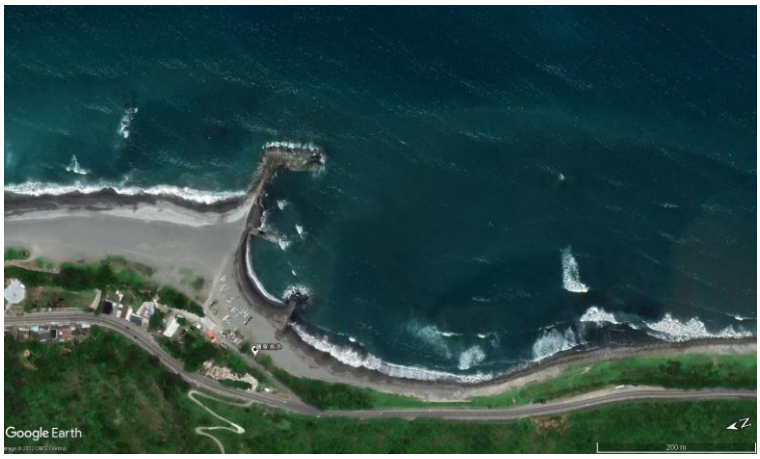
圖 4-61 花蓮鹽寮漁港 2004 年 06 月(上)、2013 年 04 月(中)及 2019 年 12 月(下)港口外廓防波堤之突堤形態配置及衍生港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖淤



鹽寮漁港_Google Earth_細平_配置_2004_06.jpg



鹽寮漁港_Google Earth_細平_配置_2013_11.jpg

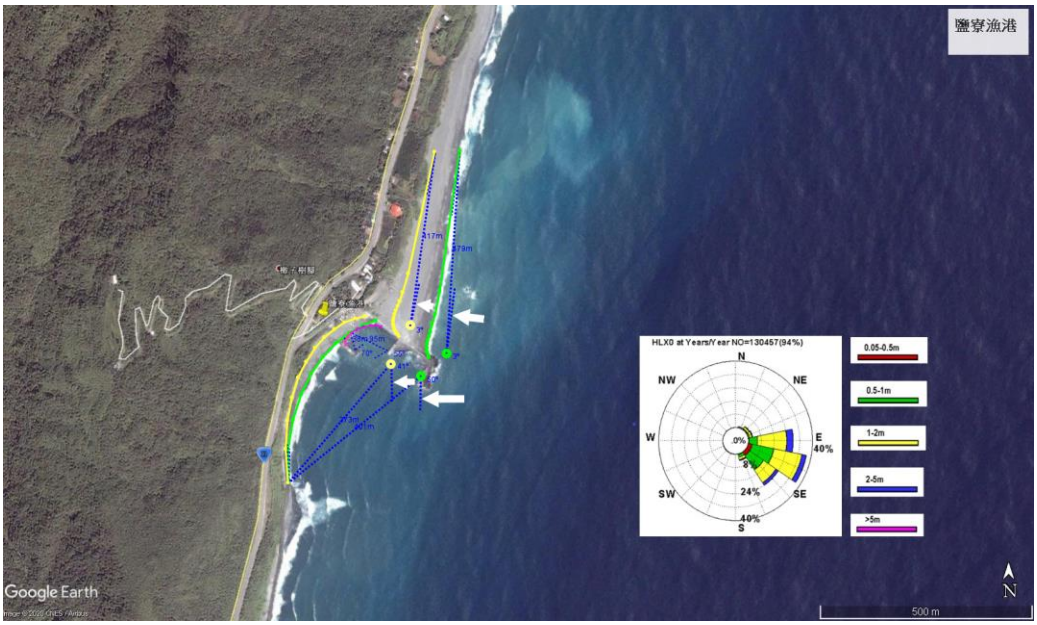


鹽寮漁港_Google Earth_細平_配置_2021_05.jpg

圖 4-62 花蓮鹽寮漁港 2004 年 06 月(上)、2013 年 11 月(中)及 2021 年 05 月(下)港口外廓防波堤之突堤形態配置及衍生港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖淤



鹽寮漁港_GoogleEarth_細平_突堤效應_岬灣海灘_卓越波向繞射點_2013_04 優參.tiff



鹽寮漁港_海岸_港口擴建前後_北灘_內灣_岬灣灘線_卓越波向繞射點_花蓮波浪玫瑰圖_20130423.tiff

圖 4-63 花蓮鹽寮漁港因突堤外廓配置形態衍生「岬頭效應」所形塑之岬灣海灘(上綠、粉紅)及應用岬灣海灘擬合評估港口整建初期(下黃)及整建後(下綠、粉紅)之近岸卓越波向與繞射點以及岬灣海灘造成港嘴航道與毗鄰海灘之沖淤

4.3.3 臺東長濱漁港

長濱漁港座落在臺東縣長濱鄉，約位於台 11 線省道 85.9K 旁，距離南方的成功漁港約 54 公里，是目前臺東縣境內最北端的漁港，鄰近並無較大之溪河出口。漁港以漁筏使用率居多。長濱漁港興建於 1982 年，當時漁港工程僅建有防波堤兼碼頭 90 公尺，而自 1988 年起，政府再針對碼頭不足及漂沙導致港口堵塞問題進行防波堤延長，直至 1996 年止，已延建防波堤兼碼頭共 148 公尺，並新建西防波堤 98 公尺；目前，在漁港之第三期擴建方案中，計畫再延長防波堤 60 公尺，並利用漁港東側灘地闢建避風泊地與碼頭;對於港口之漂沙淤塞問題，臺東縣政府長久以來皆採行清淤疏浚對策，並秉持「以砂養港」、「以港養港」原則，將疏浚砂石標售，藉以擴展建設港口相關之基礎設施。

臺東長濱漁港，概約自 2010 年 10 月起至 2015 年 6 月止，其外廓防波堤之配置以及經常性受較大波浪衝擊所衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕影像，如圖 4-64 所示。其間，2013 年 6 月及 2017 年 11 月之外廓防波堤配置與港口航道淤塞及毗鄰海灘沖蝕狀況之對照比較，如圖 4-65 所示。綜合觀察圖 4-64 及圖 4-65 可見，長濱漁港之港口，約為西南西向開口；港口外廓配置，除了距港口東側約 300 公尺處建置有一道長約 120 公尺的防沙堤外，主要由約與海灘線平行之外防波堤，以及約與海灘線垂直之內防波堤構成，港口寬度約 80 公尺，外防波堤之堤長，由港口順沿外防波堤線至內港端之總長度約 377 公尺，內防波堤之堤長約 122 公尺；此外，在外防波堤之堤頭，尚連結有一約向南延伸之碎波堤，長約 100 公尺；而在距內防波堤以南約 270 公尺之港外平直海灘上,尚有長約 88 公尺之突堤一座;突堤與內防波堤間，並有明顯的岬灣海灘生成。

再概約以港口外廓之外防波堤法線為參考方向，即針對近岸波浪之卓越入射方向，因而可將圖 4-64 及圖 4-65 所示之港口配置、港嘴淤塞區位、岬灣海灘形態及毗鄰海灘沖蝕之變化歷程，陳現如圖 4-66 及圖 4-67 所示。由圖詳細觀察港口外廓配置可見，臺東長濱漁港，經過

歷年之擴建，外防波堤之配置，明顯順沿海灘線，而具有側 L 形(↱、↰)之離岸堤形態，因此，在面對臺東海域卓越波向集中於 ENE 至 ESE 間、示性波高以 1~2 公尺為主、較大波高可達 2~5 公尺之經年波浪衝擊作用下，由於港口外廓防波堤配置所類比之離岸堤長(B)約 377 公尺、離岸距(X)約 200 公尺，致使離岸堤之長/距比(B/X)約達 1.885，總體外廓配置因過往僅著重泊地靜穩度之港域擴建規劃而自然地具有離岸堤之形態與功用，參見圖 4-25 至圖 4-31 及圖 4-35，所以，在外防波堤後之海灘沖刷帶上，因波浪碎波衍生強大沖刷流與沖刷環流之衝擊作用，可促使「離岸堤效應」或「岬頭效應」有效發揮，並於港嘴及內防波堤外側，促成繫岸沙洲或岬灣海灘形態之經常性淤積，同時，亦因港口沖刷環流之強大輸沙作用而導致與港口毗鄰海灘發生沖蝕。特別值得一提的是，僅管長濱漁港約向西南西開口，且近海之卓越波向集中於 ENE 至 ESE 間，但觀察內防波堤右(西)側及港外突堤左右兩側海灘之明顯沖淤狀況，尚可依據「突堤效應」，研判長濱漁港港口之漂沙優勢方向，係為由西往東，這意謂衝擊港口海域之波浪，會受近岸地形水深及港口外廓配置之影響，而明顯發生折射、淺化及繞射現象，並造成夏季較強烈之西南季風波浪以及偏東南向之颱風波浪，具有偏正向入射海岸之卓越波向。

針對長濱漁港所具有離岸堤形態之港口外廓配置，參見圖 4-67 所示，配合圖 4-40 所示之「岬頭效應」與圖 4-55 所示臺東海域冬季、夏季及全年之波浪統計玫瑰圖，應用 MepBay 岬灣海灘陳繪軟體(Klein et al., 2003)，透過岬灣灘線的擬合(fitting) (莊，2020；2021)，因而即可隨著港口之擴展歷程，在外防波堤堤頭後，檢選一卓越波浪繞射點(上游控制點)，然後，採用岬灣海灘上、下游控制點間之影響距離應約小於 2 倍離岸距離之準則(莊，2020)，再於岬灣海灘之安定(平直)段上，設定下游控制點，接著，依據不同時期港口歷史圖像(參見圖 4-64)所陳示之實際岬灣海灘形態，調整上游控制點及其上之卓越繞射波向，再透過對照比對，最後，可得受離岸堤效應控制影響下之經驗化岬灣海灘，如圖 4-68 所示。由圖觀察可見，在純粹的離岸堤效應控制影響下，若離

岸堤之長_距比足夠大，則靜態岬灣海灘可應用以預判堤後繫岸沙洲之淤積位置以及其對港嘴與航道淤塞之影響。

另外，依據不同的港口擴展歷程，假設沿岸輸沙量微小，以致與上游控制點毗鄰的地形水深經年不變，亦即可檢選相同的波浪繞射點，則隨著上、下游控制點間之影響距離縮減，通過繞射點之卓越入射波向，亦必須配合岬灣海灘內之繞射波行進特性而略為調整。特別是在港口外廓配置影響範圍內(內防波堤與港外海灘上之突堤間)的小型岬灣中，因其通常會在岬灣入口兩側各具有繞射點，當於小型岬灣底部之平直(安定)海灘段上選定下游控制點後，則通過岬灣入口兩側繞射點之卓越入射波向，更應配合岬灣入口處之繞射波特性，調整兩個上游控制點上之卓越入射波向。至於座落在港外平直海灘上之突堤，若其毗鄰海灘會受突堤效應控制影響，則通過突堤繞射點之卓越入射波向，亦必須參照並符合通過外防波堤堤頭繞射點之波向。總而言之，透過既有實際與經驗化岬灣海灘之相互對照比較，不僅可研判堤後繫岸沙洲之淤積位置以及對港嘴與航道淤塞之影響，尚可據以推測近岸海域通過外防堤繞射點(上游控制點)之卓越入射波向，甚且可透過不同時期岬灣海灘控制參數之重建，特別是藉繞射點與卓越波向變動歷程之相互對照比對，研判潛沒淺灘地形之沖淤變遷趨勢。

綜合上列長濱漁港港口淤塞及毗鄰海灘沖淤形態之陳現及分析，再經由實際與經驗化岬灣海灘之擬合與對照比較，參見圖 4-68，可判定並確認，複合近岸港口外廓配置影響及碎波衍生強大沖刷環流之衝擊作用，參見圖 4-40 及圖 4-41，伴隨「離岸堤效應」與「岬頭效應」所導致繫岸沙洲或岬灣海灘形態之穩定性淤積，應是造成長濱漁港港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之主要原因。



長濱漁港_google2010_地圖中



長濱漁港_google2012_地圖中

圖 4-64 臺東長濱漁港 2010 年 10 月(上)及 2012 年 1 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



長濱漁港_google2013_地圖中



長濱漁港_google201307_地圖中

圖 4-64(續) 臺東長濱漁港 2013 年 6 月(上)及 2013 年 7 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



長濱漁港_goog1e201308_地圖中



長濱漁港_goog1e201506_地圖中

圖 4-64(續) 臺東長濱漁港 2013 年 8 月(上)及 2015 年 6 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



長濱漁港_google20130627_細



長濱漁港_google20171128_細

圖 4-65 臺東長濱漁港 2013 年 6 月及 2017 年 11 月之外廓防波堤配置以及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕狀況之對照比較



長濱漁港_google20101121 細平



長濱漁港_google20120108 細平

圖 4-66 臺東長濱漁港 2010 年 1 月(上)及 2012 年 1 月(下)具「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



長濱漁港_google20130627 細平



長濱漁港_google20150618 細平

圖 4-66(續) 臺東長濱漁港 2013 年 6 月(上)及 2015 年 6 月(下)具「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕

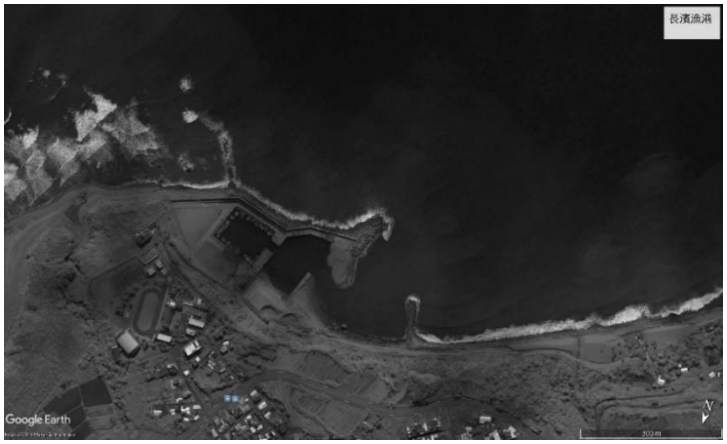


臺東長濱漁港_離岸堤效應 google 地圖 20150618 平小. jpg



長濱漁港_google20171114 細平

圖 4-66(續) 臺東長濱漁港 2015 年 6 月(上)及 2017 年 11 月(下)具「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



長濱漁港_ 離岸堤效應_細平 20120108. jpg

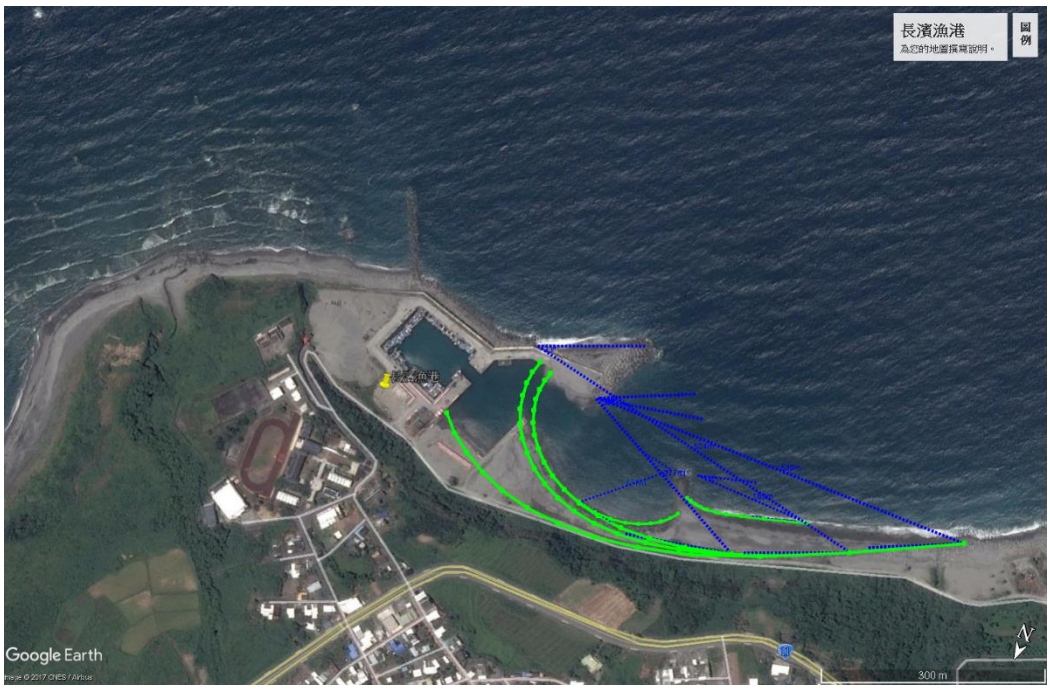


長濱漁港_ 離岸堤效應_港口細平 20130627. jpg

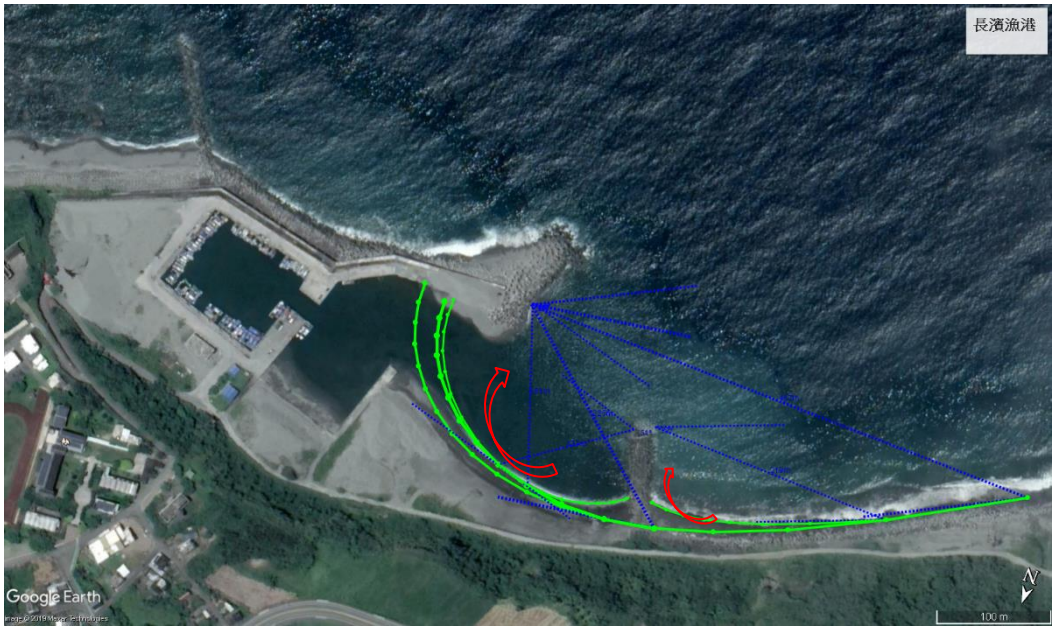


長濱漁港_ 離岸堤效應_港口細平 20170706. jpg

圖 4-67 臺東長濱漁港 2012 年 1 月、2013 年 6 月及 2017 年 7 月之外廓防波堤配置因複合「離岸堤效應」、「岬頭效應」與「突堤效應」所衍生堤後繫岸沙洲形態之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之對照比較

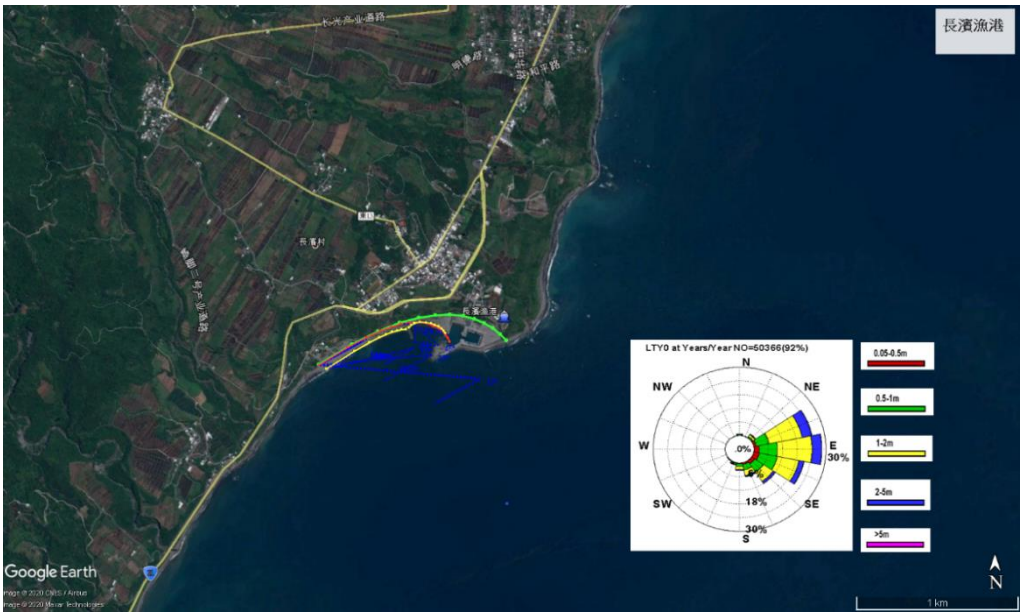


長濱漁港_20150618 離岸堤_突堤效應_靜態岬灣擴堤_1-2Xa.tif

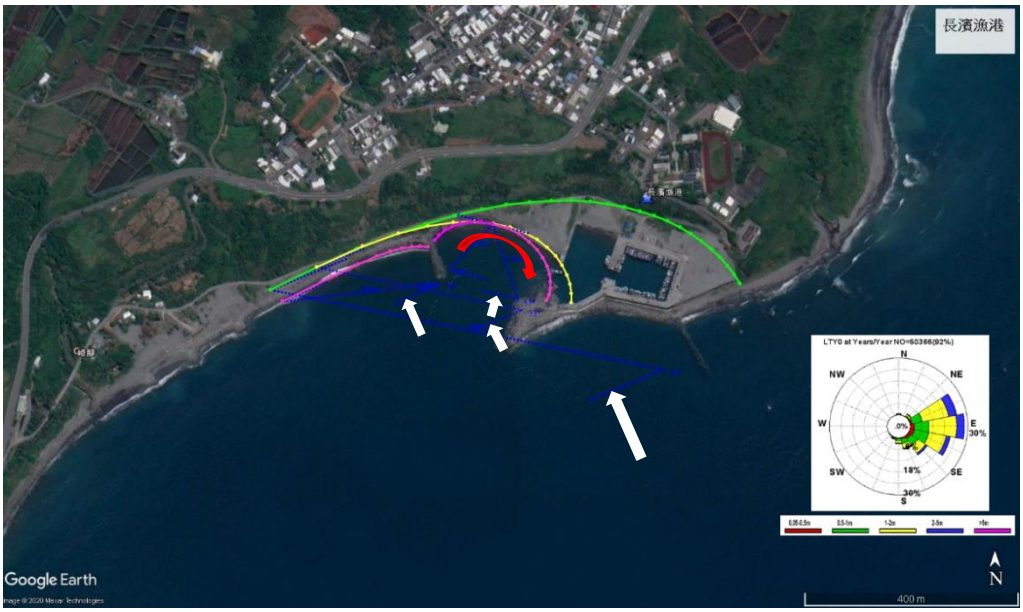


長濱漁港_20170706_離岸堤_突堤效應_靜態岬灣_1-2Xb.tif

圖 4-68 具離岸堤外廓配置形態之長濱漁港隨整建歷程應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤



長濱漁港_海岸_岬灣海灘_現況_波浪玫瑰圖_20190328.tiff



長濱漁港_港口海岸_細 a_大岬灣_擴建_現況_玫瑰圖 20170825.tif

圖 4-68(續) 具離岸堤外廓配置形態之長濱漁港原始海岸岬頭(綠)、港口整建初期(黃)及現況外廓配置(粉紅)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤

4.3.4 臺東金樽漁港

金樽漁港座落在臺東縣東河鄉東河村，約位於台 11 線省道 136.5K 旁，港口距離南邊的臺東市區約 40 公里，北側緊鄰有湧水溪，更北側有較大河川_馬武溪出口，緊鄰港口南側有一陸連島，係自然形成於海灘與離岸礁石間之繫岸沙洲，再南側為金樽遊憩區，有沙灘綿延 3 公里長。在冬天的東北季風期間，由於衝浪條件優異，目前為國際衝浪之新聖地。在漁港興建前，港區為一天然灣澳，漁港初期之興建工程自 1984 年開始，至 1987 年完工，總計完成水深 2.5 公尺的內泊地，面積為 1.1 公頃、內泊地碼頭總長 450 公尺、外泊地碼頭總長 285 公尺，可靠泊約 40 艘漁船；於 1988 年後，開始第二期漁港建設方案，並將東防波堤再延長 92 公尺、西防波堤延長 290 公尺、碼頭增加 215 公尺、泊地面積增加 2.5 公頃，其後即無大型擴建工程。近年來，受到季風影響，港口因淤沙量增加而致港嘴水深不足，甚至堵塞港口，造成漁民出海不便，因此，臺東縣政府於 2013 年 10 月曾向中央爭取新台幣 320 萬元經費進行港疏浚工程，並將疏浚的沙石運輸至鄰近的金樽陸連島附近，進行養灘及海岸防護作業。

臺東金樽漁港，概約自 2013 年 8 月起至 2018 年 10 月止，其外廓防波堤之配置以及受經常性較大波浪衝擊所衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕影像，如圖 4-69 所示。綜合觀察圖 4-69 可見，長濱漁港之港口，約向西南開口；港口外廓配置，主要由約與海灘線平行之外防波堤，以及約與海灘線垂直之內防波堤構成，港口寬度約 75 公尺，外防波堤之堤長，由港口順沿外防波堤線至內港端之總長度約 570 公尺，內防波堤之堤長約 270 公尺；此外，在港外距內防波堤以南約 650 公尺之海灘上，尚有一自然形成於海灘與離岸礁石間之陸連島，離岸礁石長約 255 公尺、寬約 40~80 公尺、離岸距約 160 公尺；介在內防波堤至陸連島間，亦有岬灣形態之海灘生成。

再概約以港口外廓防波堤法線為參考方向，即針對近岸波浪之卓越入射方向，因而可將圖 4-69 所示之港口配置、港嘴淤塞區位、岬灣

海灘形態及毗鄰灘沖蝕之變化歷程，陳現如圖 4-70 及圖 4-71 所示。由圖詳細觀察可見，臺東金樽漁港，經過歷年之擴建，外廓防波堤之配置，明顯亦順沿海灘線，並具有側 L 形(↱、↰)之離岸堤形態，因此，在面對臺東海域卓越波向集中於 ENE 至 ESE 間、示性波高以 1~2 公尺為主、較大波高可達 2~5 公尺之經年波浪衝擊作用下，由於港口外廓防波堤配置所類比之離岸堤長(B)約 570 公尺、離岸距(X)約 340 公尺，致使離岸堤之長/距比(B/X)約達 1.676，總體外廓配置亦因過往僅著重泊地靜穩度之港域擴充規劃而具有離岸堤之形態與功用，參見圖 4-25 至圖 4-31 及圖 4-35，所以，在外防波堤後之海灘沖刷帶上，因波浪碎波衍生強大沖刷環流之衝擊作用，可促使「離岸堤效應」及「岬頭效應」有效發揮，並於港嘴及內防波堤外側，促成繫岸沙洲或岬灣海灘形態之經常性淤積，同時導致毗鄰港口之海灘發生沖蝕。惟因金樽漁港原係天然灣澳，又屬礁岩地質，漂沙源較少，故港口之淤塞情況，與長濱漁港比較，相對較輕微。另外，金樽漁港雖然約向西南開口，但受近岸水深及港口外廓配置之影響，原來集中於 ENE 至 ESE 間之近海波浪，卓越波向於港口應已明顯因淺化、折射及繞射現象而略作改變，並調整至約略與外廓防波堤垂直，致使外廓防波堤後海灘之波浪衝擊方向，概略會由西南往東北，即直接迎向港口；而在內防波堤外之岬灣海灘以及陸連島屏蔽區，由於「離岸堤效應」、「岬頭效應」及「突堤效應」之複合作用，因此，海灘之沖淤，皆約陳現對稱之繫岸沙洲形態，又觀察內防波堤外側海灘之沖淤狀況，尚可依據「突堤效應」及「岬頭效應」，研判金樽漁港港口之漂沙優勢方向，係為由西往東，參見圖 4-40 及圖 4-41。這意謂衝擊港口海域之波浪，會受近岸地形水深及港口外廓配置之影響，而明顯發生折射、淺化及繞射現象，並造成夏季較強烈之西南季風波浪以及偏東南向之颱風波浪，皆具有偏正向入射海岸之卓越波向。

此外，金樽陸連島後的海灘，由於離岸礁岩所類比之離岸堤長(B)約 255 公尺、離岸距(X)約 160 公尺，致使離岸堤之長/距比(B/X)約達 1.594，所以，金樽陸連島自然地具有離岸堤之形態與功用，以致堤後之海灘，實際為繫岸沙洲形態之漂沙淤積。只是，因金樽陸連島，因礁

岩出水高度甚低，若逢暴潮巨浪侵襲，波浪將甚容易透過，致使繫岸沙洲會因波浪之時、空變動性衝擊作用而陳現變形或沖蝕。

對於外廓配置具離岸堤形態之金樽漁港及金樽陸運島，參見圖 4-71 所示，為以「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤，因此，配合圖 4-40 所示之「岬頭效應」與圖 4-55 所示臺東海域冬季、夏季及全年之波浪統計玫瑰圖，應用 MepBay 岬灣海灘陳繪軟體(Klein et al., 2003)，透過岬灣灘線的擬合(fitting) (莊，2020；2021)，因而即可隨著港口之擴展歷程，在外防波堤堤頭後，檢選一卓越波浪繞射點(上游控制點)，然後，採用岬灣海灘上、下游控制點間之影響距離應約小於 2 倍離岸距離之準則(莊，2020)，再於岬灣海灘之安定(平直)段上，設定下游控制點，接著，依據不同時期港口歷史圖像所陳示之實際岬灣海灘形態，調整上游控制點及其上之卓越繞射波向，再透過對照比對，最後，可得受「離岸堤效應」及「岬頭效應」控制影響下之經驗化岬灣海灘，如圖 4-72 及圖 4-73 所示。圖中，在陳繪岬灣海灘之過程中，必須特別注意的是，位在港口外廓配置影響範圍內，且在內防波堤與陸連島間的小型岬灣中，由於岬灣入口兩側通常會各具有繞射點，因此，當於小型岬灣底部之平直(安定)海灘段上選定下游控制點後，則通過岬灣入口兩側繞射點之卓越入射波向，更應配合岬灣入口處之繞射波特性，調整兩個上游控制點上之卓越入射波向。

至於座落在港外平直海灘上之陸連島，由於島後繫岸沙洲形態約略具對稱性，以致其明確係受正向波浪衝擊之「離岸堤效應」所控制影響，因此，建構陸連島後之經驗化岬灣海灘，透過岬灣灘線擬合，可得如圖 4-73 所示，由圖觀察可見，在通過陸連島兩側繞射點之卓越入射波向，基於近岸波浪的一致性，應約略具正向性，且應參照通過岬頭繞射點之波向，據以調整、設定下游控制點。基於上列實際與經驗化岬灣海灘之擬合結果，可綜合說明，造成近岸港口毗鄰海灘之沖淤或營造岬灣海灘之主要衝擊作用力，明確係因源於波浪，而且是受可類比岬頭之離岸堤外廓配置影響而逐漸改變入射波向之繞射波以及因而在堤後碎

波衍生約略對稱之沖刷環流，如圖 4-40 及圖 4-41 所示。此外，透過既有實際與經驗化岬灣海灘之相互對照比較，不僅可用以評估港口外廓配置在波浪繞射點之地形水深變異性、研判外廓配置對下游海灘之最大影響距離外，最主要的功用，尚可應用以預判堤後繫岸沙洲之淤積位置、對港嘴與航道淤塞之影響，並據以判定岬頭繞射點(上游控制點)、海灘受波浪衝擊之最大影響距離(下游控制點)、及通過岬頭繞射點之卓越入射波向，甚且可透過不同時期岬灣海灘控制參數之重建，特別是藉繞射點與卓越波向變動歷程之相互對照比對，研判潛沒淺灘地形之沖淤變遷趨勢。綜合圖 4-69 至圖 4-73 所陳現金樽漁港港口淤塞與毗鄰海灘沖淤形態之分析結果，可判定並確認，複合近岸港口外廓配置影響及碎波衍生強大沖刷環流之衝擊作用，伴隨「離岸堤效應」、「岬頭效應」與「突堤效應」所導致繫岸沙洲或岬灣海灘形態之穩定性淤積，亦應是造成金樽漁港港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之主要原因。



金樽漁港_陸連島_google_20130819_中. jpg



金樽漁港_陸連島_google_20140707_中. jpg

圖 4-69 臺東金樽漁港 2013 年 8 月(上)及 2014 年 7 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕

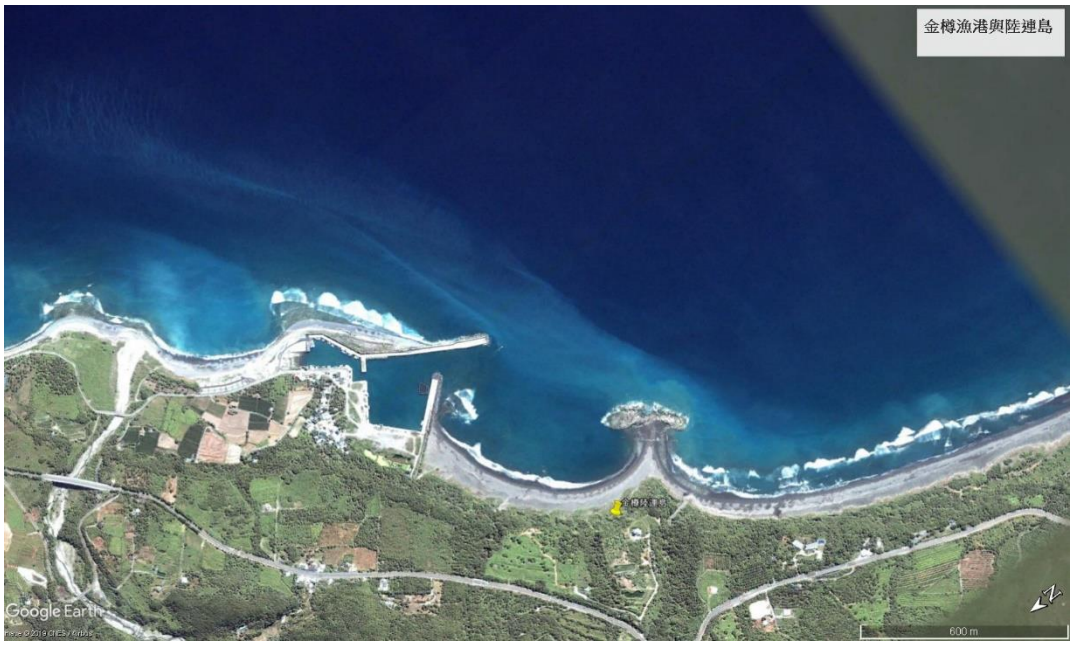


金樽漁港_陸連島_google_20170625_中.jpg



金樽漁港_陸連島_google_20181006_中.jpg

圖 4-69(續) 臺東金樽漁港 2017 年 6 月(上)及 2018 年 10 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



金樽漁港_陸連島_google_20130819_細平. jpg



金樽漁港_陸連島_google_20140707_細平. jpg

圖 4-70 臺東金樽漁港 2013 年 8 月(上)及 2014 年 7 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕

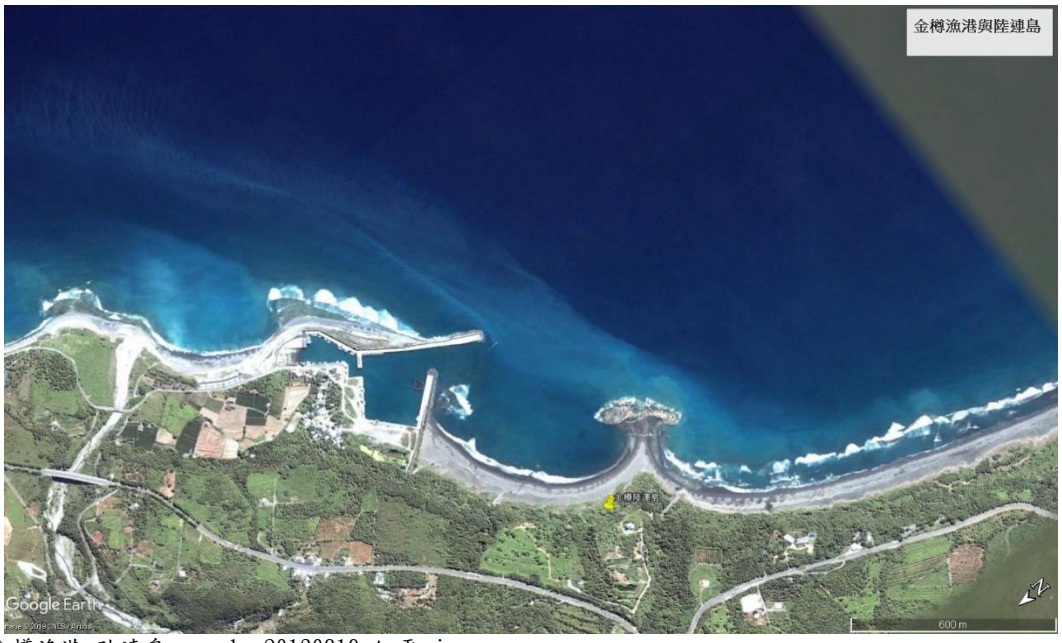


金樽漁港_陸連島_google_20170625_細平. jpg



金樽漁港_陸連島_google_20181006_細平. jpg

圖 4-70(續) 臺東金樽漁港 2017 年 6 月(上)及 2018 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



金樽漁港_陸連島_google_20130819_細平. jpg



金樽漁港_陸連島_google_20181006_細平. jpg

圖 4-71 臺東金樽漁港 2013 年 8 月(上)及 2018 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較

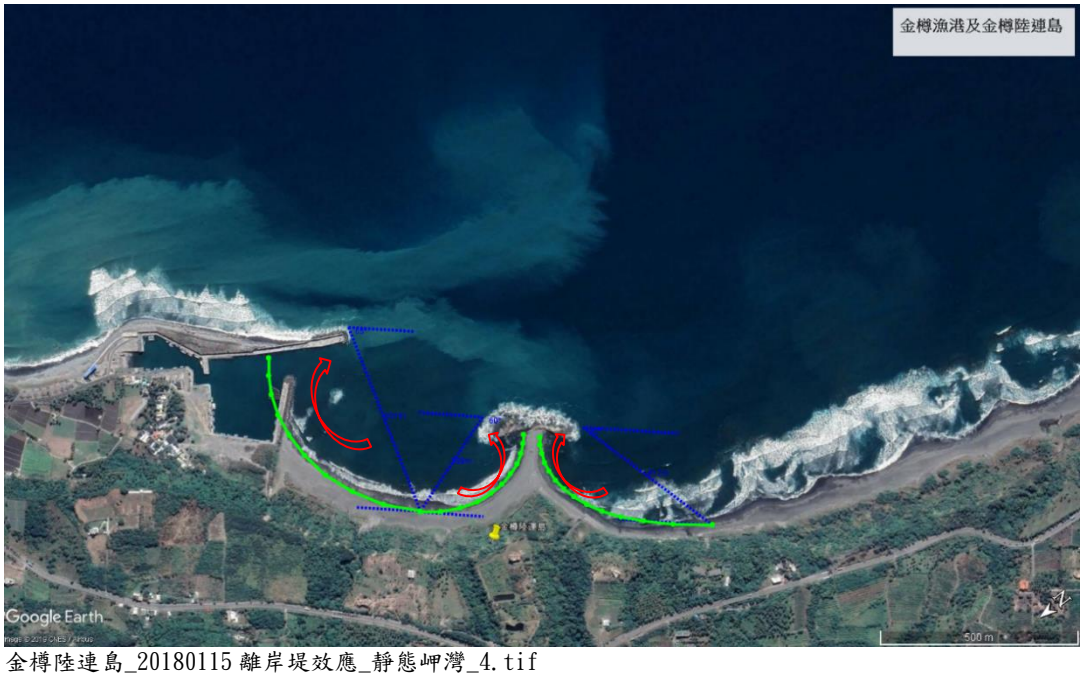


金樽漁港_20130819_離岸堤效應_陸連島_靜態岬灣_2X.tif



金樽漁港_20180115 離岸堤效應_陸連島_靜態岬灣_1-2X.tif

圖 4-72 具離岸堤外廓配置形態之金樽漁港應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤

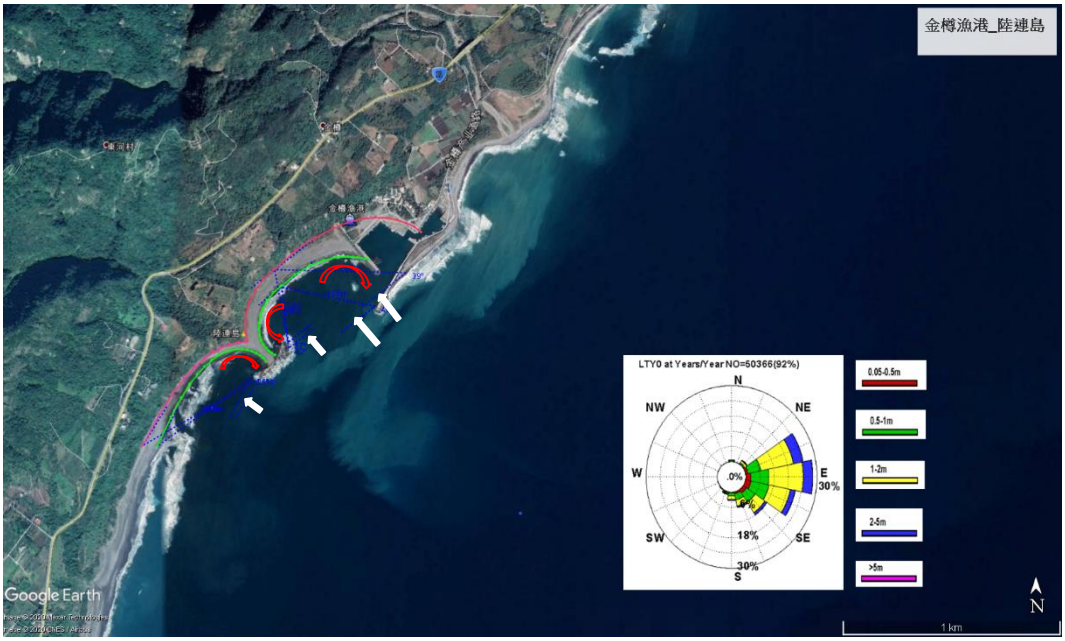


金樽陸連島_20180115 離岸堤效應_靜態岬灣_4.tif



金樽漁港_20180115 離岸堤效應_細平_陸連島靜態岬灣_1X.tif

圖 4-73 具離岸堤形態之金樽漁港與陸連島應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤



金樽漁港_陸連島_岬頭灘線_港口擴建後現況_波浪玫瑰圖_20190302_1.jpg



金樽漁港_20180115_細平_陸連島與岬灣_卓越波向與繞射點 1X_1.tif

圖 4-73(續) 具離岸堤形態之金樽漁港整建初期(粉紅)及現況港口外廓防波堤與陸連島(綠)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤

4.3.5 臺東大武漁港

大武漁港座落在臺東縣大武鄉尚武村，約位於台 9 線 421K 省道旁，北鄰朝庸溪，更北側有較大河川_大武溪出口。大武漁港始建於 1953 年，但已完成之防波堤於 1956 年毀於颱風；1960 年起，將出海口位於漁港內的朝庸溪改道至漁港北方，並興建堤防；1961 年至 1967 年間，大武漁港共進行六次增建與改善工程，並先後完成南、北防波堤及碼頭泊地等建設，工程總經費約新台幣 3,000 萬元，只是港口興建完成後，每年受季風與颱風波浪作用，港口航道經常發生淤塞，且須長年進行疏浚；1968 年及 1978 年雖曾前後兩次委託國內學研單位進行港口淤塞改善評估與規劃，惟因整建經費太高而暫緩；在 1979 年後，政府應當地人士之持續陳請，乃設立專案，並核撥新台幣 4,200 萬元，再辦理港口航道淤塞改善工程，同時配備挖土機及運土卡車，交大武鄉公所作應急之清淤應用，從此歷經 12 年，港口航道之淤塞情況依舊，清淤成效亦甚有限；直到 1991 年，政府再重新辦理港口改善研究規劃，並於 1992 年至 1995 年間編列預算實施改善工程，主要項目包括：興建北防波堤 234 公尺、南防波堤 132 公尺、北防沙堤 2 座共 140 公尺；迄今，大武漁港正規劃第三期漁港建設方案中，只不過港口航道之嚴重淤塞情況並未有效改善，且為維持港口航道之正常機能，每年不分季節仍須持續進行清淤疏浚。

臺東大武漁港，概約自 2011 年 10 月起至 2017 年 10 月止，其外廓防波堤之配置及受經常性較大波浪衝擊所衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕影像，如圖 4-74 所示；其間，2000 年 12 月及 2005 年 6 月以及 2012 年 10 月及 2019 年 3 月之外廓防波堤配置與港口航道淤塞及毗鄰海灘沖蝕之對照比較，如圖 4-75 所示。綜合觀察圖 4-74 及圖 4-75 可見，大武漁港之港口，約為正南向開口；港口外廓配置，除了距港口北側約 265 公尺處建置有一道長約 260 公尺的防沙堤外，主要由約與海灘線平行之外防波堤，以及約與海灘線垂直之內防波堤構成，港口寬度約 150 公尺，外防波堤之堤長，約 265 公尺，而由港口順沿外防波堤線至內港端之總長度約 500 公尺，內防波堤之堤長約 150 公尺；緊

鄰內防波堤南側，有明顯的岬灣海灘生成；另外，在距內防波堤以南約145 公尺之港外海灘上，有長約 55 公尺之舊拋石突堤一座；近年，公路總局(2010~2019)為防治省道台 9 線旁海灘之嚴重沖蝕，曾採行人工養灘措施，並於緊鄰舊拋石突堤南側，距內防波堤以南約 180 公尺之海灘上，佈建長約 150 公尺之新拋石突堤一座，且於距新拋石突堤以南約 315 公尺，再新建長約 110 公尺之拋石離岸堤。

再概約以港口外廓之外防波堤法線為參考方向，即針對近岸波浪之卓越入射方向，因而可將圖 4-74 及圖 4-75 所示之港口配置、港嘴淤塞區位、岬灣海灘形態及毗鄰海灘沖蝕之變化歷程，分別陳現如圖 4-76、圖 4-77 及圖 4-78 所示。由圖詳細對照觀察可見，臺東大武漁港，經過歷年之擴建，外廓防波堤之配置，明顯亦順沿海灘線，且亦具有側 L 形(↱、↰)之離岸堤形態，因此，在面對臺東海域卓越波向集中於 ENE 至 ESE 間，示性波高以 1~2 公尺為主，較大波高可達 2~5 公尺之經年波浪衝擊作用下，由於港口外廓防波堤配置所類比之離岸堤長(B)約500 公尺、離岸距(X)約 230 公尺，致使離岸堤之長/距比(B/X)約達 2.174，總體外廓配置，由於過往僅以防治由北而南之沿岸漂沙為重點，且僅著重泊地靜穩度之港域擴建規劃，因而亦持續、自然地也具有離岸堤之形態與功用，參見圖 4-25 至圖 4-31 及圖 4-35，所以，在外防波堤後之海灘沖刷帶上，因波浪碎波衍生強大沖刷環流之衝擊作用，「離岸堤效應」及「岬頭效應」必然地皆能有效發展，並於港嘴及內防波堤外側，促成繫岸沙洲或岬灣海灘形態之經常性淤積，且淤塞港嘴之灘面，經常可發現大粒徑卵石之沈積，同時導致毗鄰港口之海灘發生沖蝕。

另外，由於大武近海之卓越波向，集中於 ENE 至 ESE 間，港口之開口約是正南向，因此，觀察港口北端防沙堤北側所陳現大規模之淤積形態，可依據「突堤效應」，確認大武漁港之漂沙優勢方向，確實係由北往南，且應是由冬季季風及偏北向颱風波浪之衝擊作用所造成；只是同樣依據「突堤效應」，再觀察內防波堤外側及港外舊拋石突堤左右兩側海灘之明顯沖淤狀況，卻可研判大武漁港港口南側海灘之漂沙優勢方向，係為由南往北，並與港口北側海灘之漂沙優勢方向完全相反。

至於港嘴外側，受東外防波堤之屏蔽，外加由東外防波堤堤頭所複合營造之「離岸堤效應」、「岬頭效應」及「突堤效應」作用，因此，毗鄰港口之海灘，仍明顯可見繫岸沙洲及岬灣海灘形態之沖淤，參見圖 4-40、圖 4-41 及圖 4-76 至圖 4-78。這現象意謂大武漁港近岸海域之卓越波浪，雖然主要係由冬季季風及偏北向颱風波浪所主控，但受近岸地形水深及港口外廓配置之影響，衝擊港口及毗鄰海灘之波浪，明顯會因淺化、折射及繞射現象而改變碎波沖刷流之作用方向，以致在與港口毗鄰之南側海灘，漂沙受碎波衍生強勁沖刷環流之輸運，進而促使漂沙優勢方向，轉變為由南往北。

對於具離岸堤外廓配置形態之大武漁港，如圖 4-74 至圖 4-78 所示，為以「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤，因此，配合圖 4-55 所示臺東海域冬季、夏季及全年之波浪統計玫瑰圖，應用 MepBay 岬灣海灘陳繪軟體(Klein et al., 2003)，再透過岬灣灘線的擬合(fitting) (莊，2020；2021)，因而即可隨著港口之擴展歷程，在外防波堤堤頭後，檢選一卓越波浪繞射點(上游控制點)，然後，採用岬灣海灘上、下游控制點間之影響距離應約小於 2 倍離岸距離之準則(莊，2020)，再於岬灣海灘之安定(平直)段上，設定下游控制點，接著，依據不同時期港口歷史圖像所陳示之實際岬灣海灘形態，調整上游控制點及其上之卓越繞射波向，再透過對照比對，最後，可得自 2000 年 12 月至 2018 年 12 月期間，不同擴展歷程之港口外廓配置，受「岬頭效應」或「離岸堤效應」控制影響下之經驗化岬灣海灘，如圖 4-79 及圖 4-80 所示。

在圖 4-79 中，觀察並比對圖中繞射點之時、空變動可見，在不同整建時期之港口外廓配置，由於外防波堤堤頭近傍的地形水深，受經年由北而南之沿岸輸沙沉積影響而有淤淺變化趨勢，所以，欲將實際與經驗化岬灣海灘作對照比較，原來應檢選鄰近堤頭位置之上游控制點或波浪繞射點，因而必須稍向堤頭外側移動；另外，隨著上、下游控制點間之影響距離縮減，通過繞射點之卓越入射波向，亦必需配合岬灣海灘內之繞射波行進特性而略為調整。特別是在港口外廓配置影響範圍內，

介在內防波堤與港外海灘上之新建突堤間的小型岬灣中，因其在岬灣入口兩側明顯各具有繞射點，當於小型岬灣底部之平直(安定)海灘段上選定下游控制點後，則通過岬灣入口兩側繞射點之卓越入射波向，亦應配合岬灣入口處之繞射波特性，調整兩個上游控制點上之卓越入射波向。至於座落在港外平直海灘上之新建突堤，由於堤後岬灣海灘明確係受突堤效應控制影響，因此，新建突堤後之經驗化岬灣海灘，參見圖 4-79 所示，通過突堤堤頭繞射點之卓越入射波向，基於近岸波浪的一致性，亦應參照通過外防波堤堤頭繞射點之波向。

另外，在圖 4-80 中，先行觀察大武溪河口以南之灘線變遷並對照比較攔沙堤構建(概約是 2001 年)前、後之岬灣灘線可見，受不同時期之波浪、河川輸沙及攔沙堤構建規模影響，毗鄰河口南側之岬灣海灘，明確具有動態變動性，尤其是毗鄰攔沙堤北側之岬灣海灘，明顯會因優勢方向由北往南之沿岸輸沙被攔阻而變遷。特別值得注意的是，依據攔沙堤頭繞射點(上游控制點)的離岸變動性尚可判定，由於跨越北攔沙堤之沿岸輸沙甚活躍、可觀，以致攔沙堤至港口海域之近岸水深，明確會因滿溢及跨越攔沙堤之漂沙沉積而有淤淺情況發生。

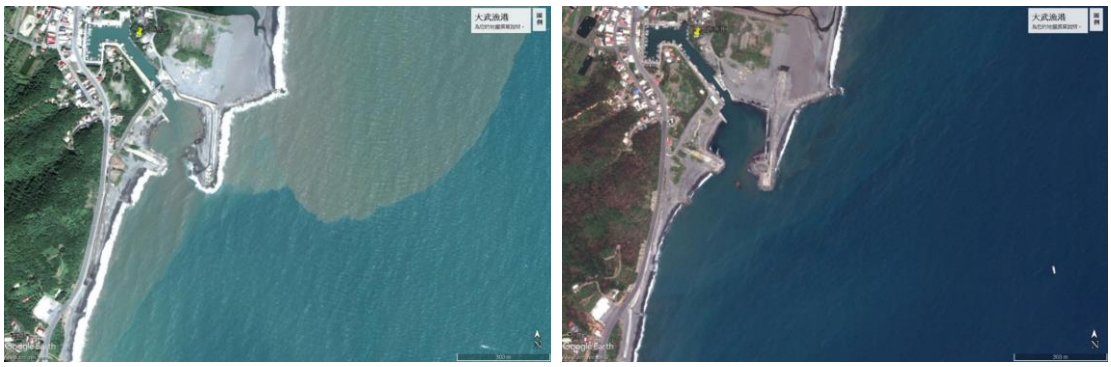
至於毗鄰港口之海灘，再由圖 4-80 中觀察可見，在港口南側海岸構建人工養灘設施後，受港口外廓防波堤與人工養灘突堤所共同構成之成對岬頭控制影響，更在外廓防波堤配置複合「離岸堤效應」與「岬頭效應」之共同影響下，港口外由滿溢及跨越攔沙堤之沿岸漂沙沉積所形成之潛沒淺灘，再受外防波堤後近岸波浪碎波衍生強勁沖刷流速之直接衝擊，港口將持續會有動態的岬灣海灘形成，進而在港口不斷地造成繫岸沙洲形態之淤塞(莊，2020)。

基於上列受「離岸堤效應」、「岬頭效應」與「突堤效應」共同控制影響所造成實際與經驗化岬灣海灘之對照比較結果，可綜合說明，造成近岸港口毗鄰海灘之沖淤或營造岬灣海灘之主要衝擊作用力，明確係因源於波浪，特別是受到具有可類比岬頭之離岸堤或突堤外廓配置影響而逐漸改變入射波向之繞射波，也因此，在堤後或岬頭後之波浪遮蔽

區內，面對具時、空變異性的近岸繞射波浪衝擊，並隨著近岸港口的擴展歷程與因沿岸輸沙沈積影響造成港口地形水深之變化，毗鄰港口之岬灣海灘，實際無法維持靜態，反而應皆是動態，而且是持續變動的。

僅管如此，透過圖 4-80 所示既有實際與經驗化岬灣海灘之相互對照比較，仍可有效評估外防波堤近傍潛沒淺灘地形水深的變化，研判堤後繫岸沙洲淤積位置與範圍之變動以及外廓配置對下游海灘之最大影響距離，特別是可據以推測近岸海域通過外防波堤繞射點(上游控制點)之卓越入射波向，並透過不同時期岬灣海灘控制參數之重建，憑藉繞射點與卓越波向之變動性，研判港口外潛沒淺灘地形之沖淤變遷趨勢。

綜合而論，透過圖 4-74 至圖 4-80 所示大武漁港港口淤塞及毗鄰海灘沖淤形態之陳現及分析，再經由實際與經驗化岬灣海灘之對照比較，可判定並確認，複合近岸港口外廓配置所造成「離岸堤效應」、「岬頭效應」與「突堤效應」之影響，而由外防波堤後潛沒淺灘上繞射波浪碎波所衍生強大沖刷流與沖刷環流之衝擊作用，進而導致含大粒徑床質漂沙形成繫岸沙洲或岬灣海灘形態之穩定性淤積，應是造成大武漁港港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之主要原因。



大武漁港_google20111020_細　　大武漁港_google20120910_細

圖 4-74 臺東大武漁港 2011 年 10 月(上)及 2012 年 9 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



大武漁港_google20121014_細

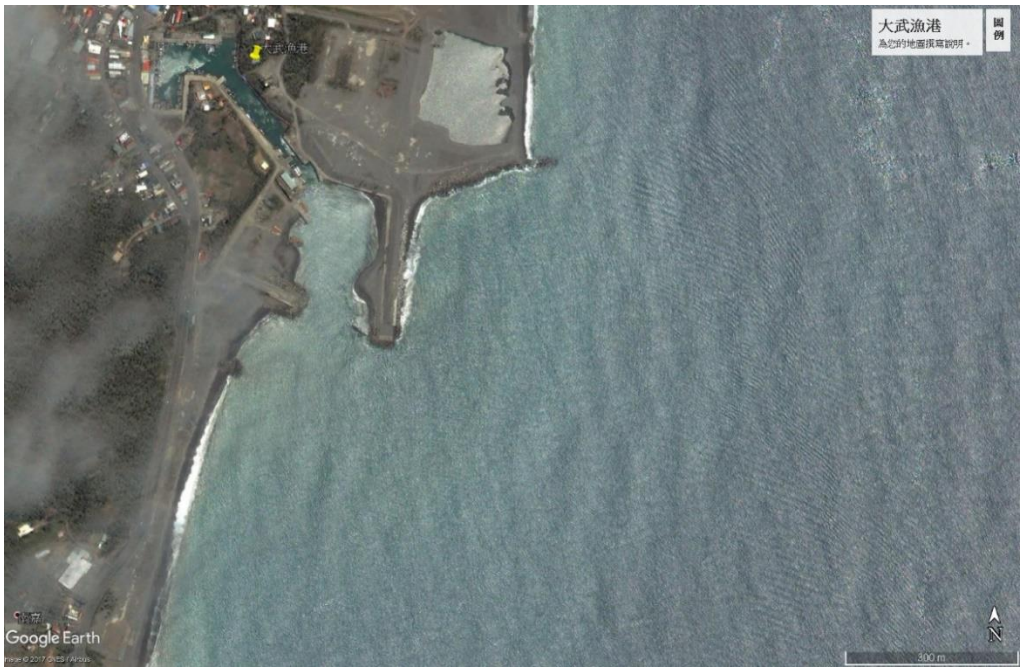


大武漁港_google20130205_細

圖 4-74(續) 臺東大武漁港 2012 年 10 月(上)及 2013 年 2 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



大武漁港_google20130324_細



大武漁港_google20130609_細

圖 4-74(續) 臺東大武漁港 2013 年 3 月(上)及 2013 年 6 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕

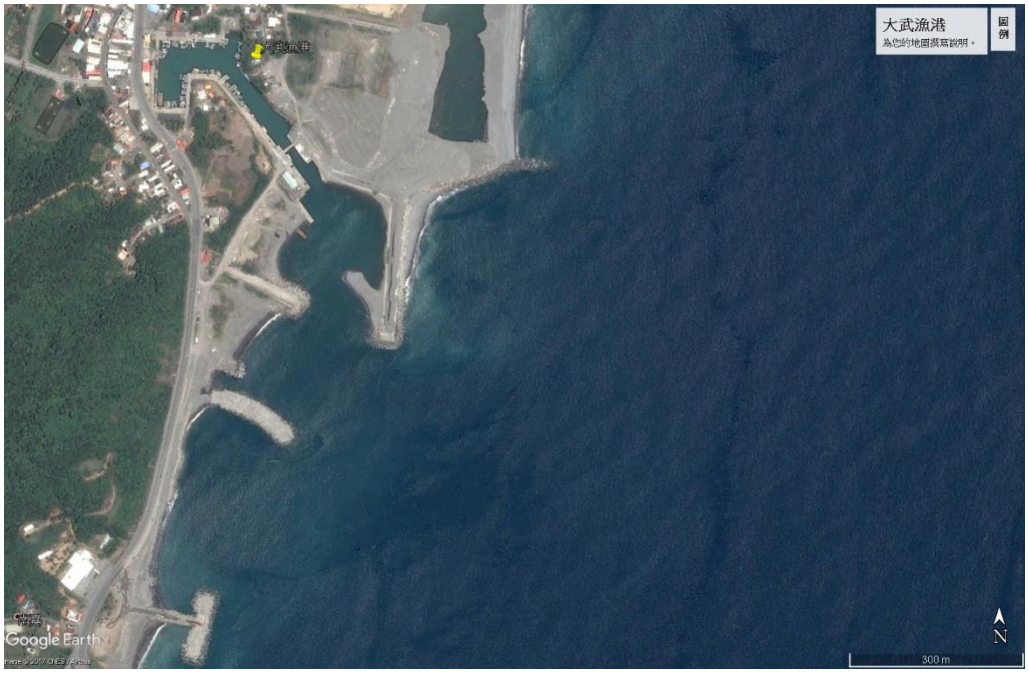


大武漁港_google20130731_細

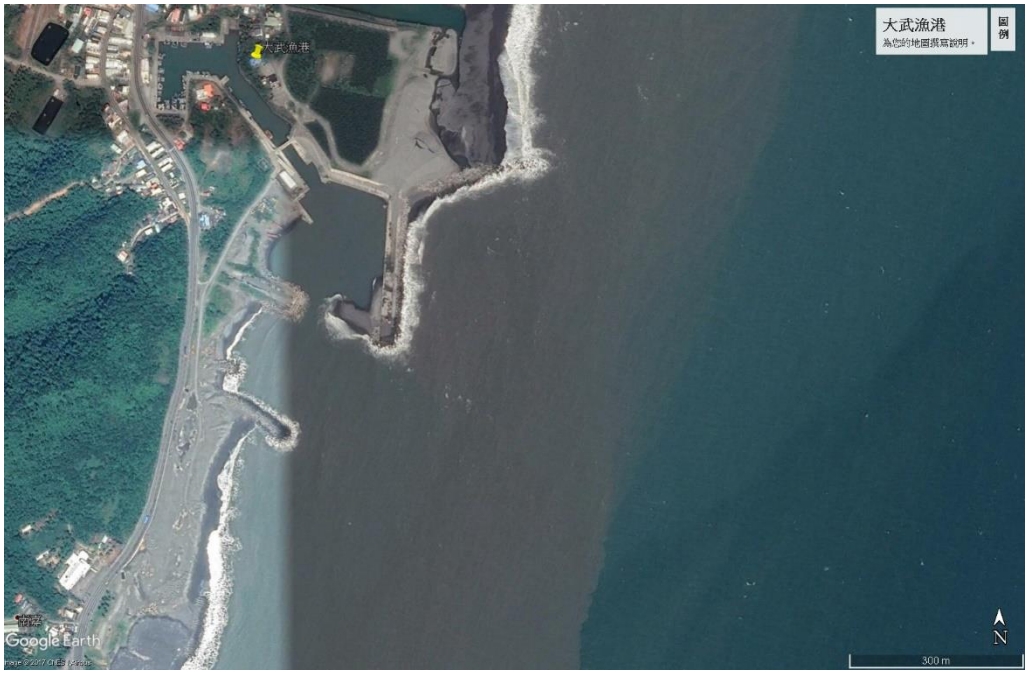


大武漁港_google20140130_細

圖 4-74(續) 臺東大武漁港 2013 年 7 月(上)及 2014 年 1 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



大武漁港_google20140702_細



大武漁港_google20171024_細

圖 4-74(續) 臺東大武漁港 2014 年 7 月(上)及 2017 年 10 月(下)之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕

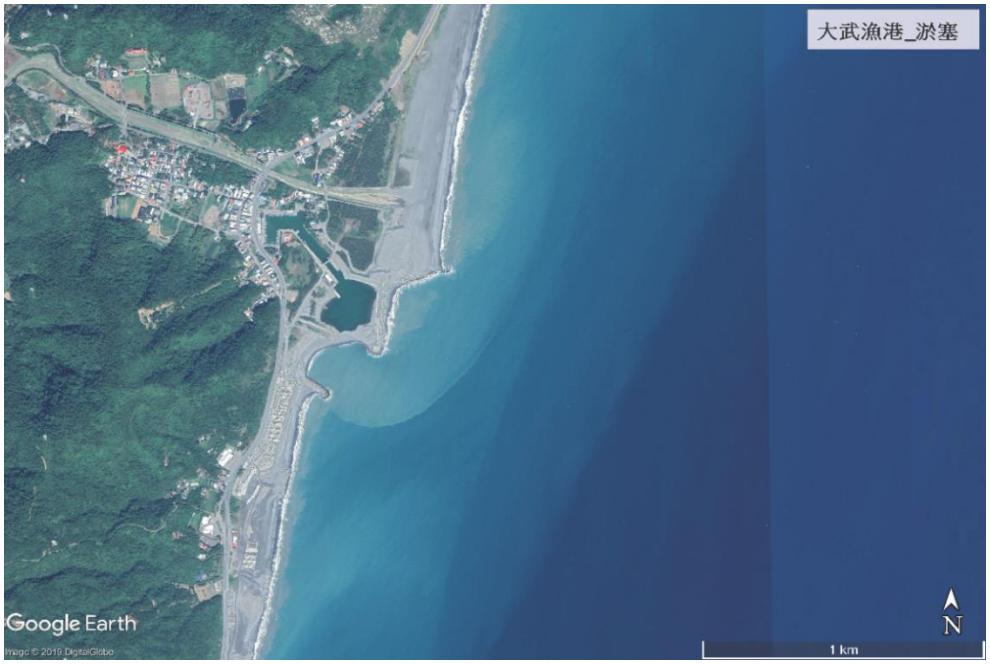


(左)離岸堤效應_mod_大武漁港北側防沙突堤施工前後灘線變遷空照圖_2000 年 12 月_台東海岸(尚武段)監測調查計畫 2010；(右)大武漁港北側防沙突堤施工前後灘線變遷空照圖_2005 年 6 月_台東海岸(尚武段)監測調查計畫 2010

圖 4-75 臺東大武漁港 2000 年 12 月(上)及 2005 年 6 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較



大武漁港_google201210_地圖中



大武漁港_淤塞_Google earth_20190321_現況

圖 4-75(續) 臺東大武漁港 2012 年 10 月(上)及 2019 年 3 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20120910 平小



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20121014 平小

圖 4-76 臺東大武漁港 2012 年 9 月(上)及 2012 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20130205 平小



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20130318 平小

圖 4-76(續) 臺東大武漁港 2013 年 2 月(上)及 2013 年 3 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20130609 平小



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20130731 平小

圖 4-76(續) 臺東大武漁港 2013 年 6 月(上)及 2013 年 7 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20131027 平小



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20140130 平小

圖 4-76(續) 臺東大武漁港 2013 年 10 月(上)及 2014 年 1 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



大武漁港_突堤_離岸堤效應 google 地圖 20140702 平小



大武漁港_google20171024 細平

圖 4-76(續) 臺東大武漁港 2014 年 7 月(上)及 2017 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕



大武漁港_典型港口淤塞 google 地圖 20121014 平細



大武漁港_港口淤塞 google 地圖 20130731 平細

圖 4-77 臺東大武漁港 2012 年 10 月(上)及 2013 年 7 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較



大武漁港_港口淤塞 google 地圖 20140702 平細



大武漁港_google20171024 細平

圖 4-77(續) 臺東大武漁港 2014 年 7 月(上)及 2017 年 10 月(下)兼具「突堤效應」與「離岸堤效應」之外廓防波堤配置及衍生之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較



大武漁港_離岸堤效應_細平 20111020. jpg



大武漁港_離岸堤效應_港口細平 20121014. jpg

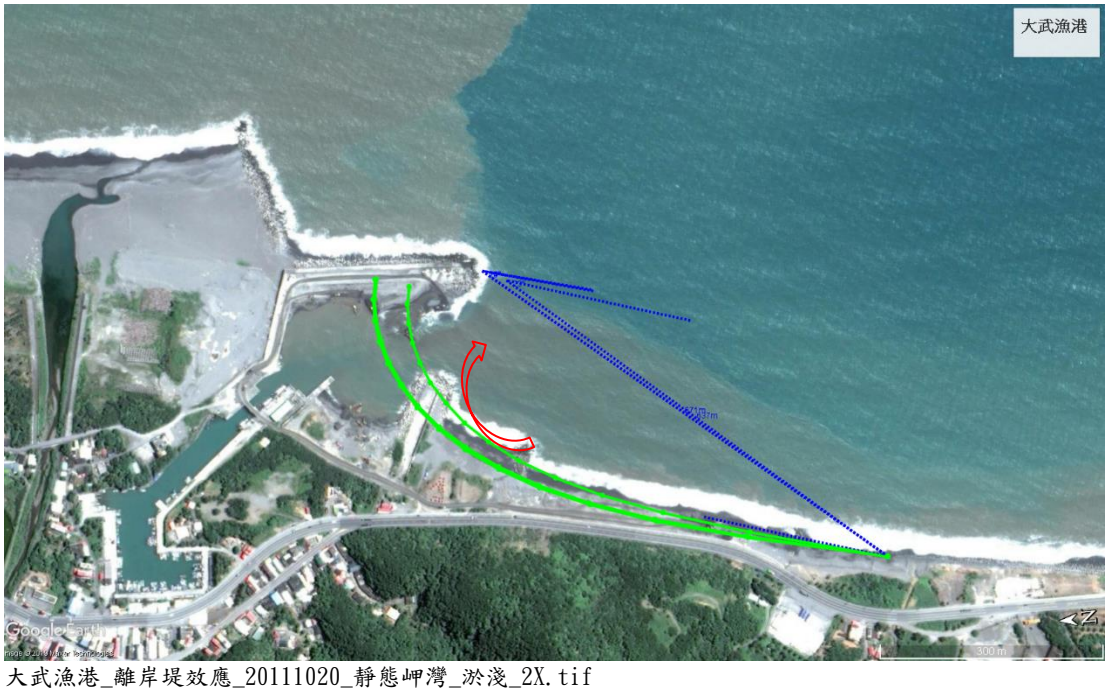


大武漁港_離岸堤效應_港口細平 20181202. jpg

圖 4-78 臺東大武漁港外廓防波堤配置因複合「離岸堤效應」與「突堤效應」所衍生堤後繫岸沙洲形態之港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕對照比較

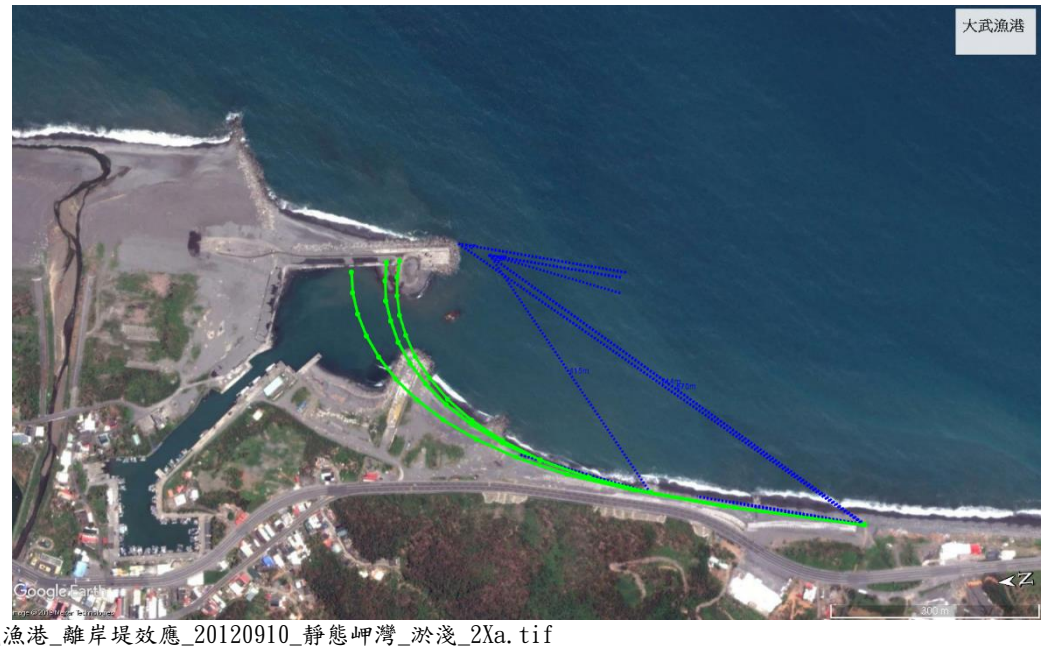


大武漁港_離岸堤效應_200012_靜態岬灣_淤淺_2Xa.tif

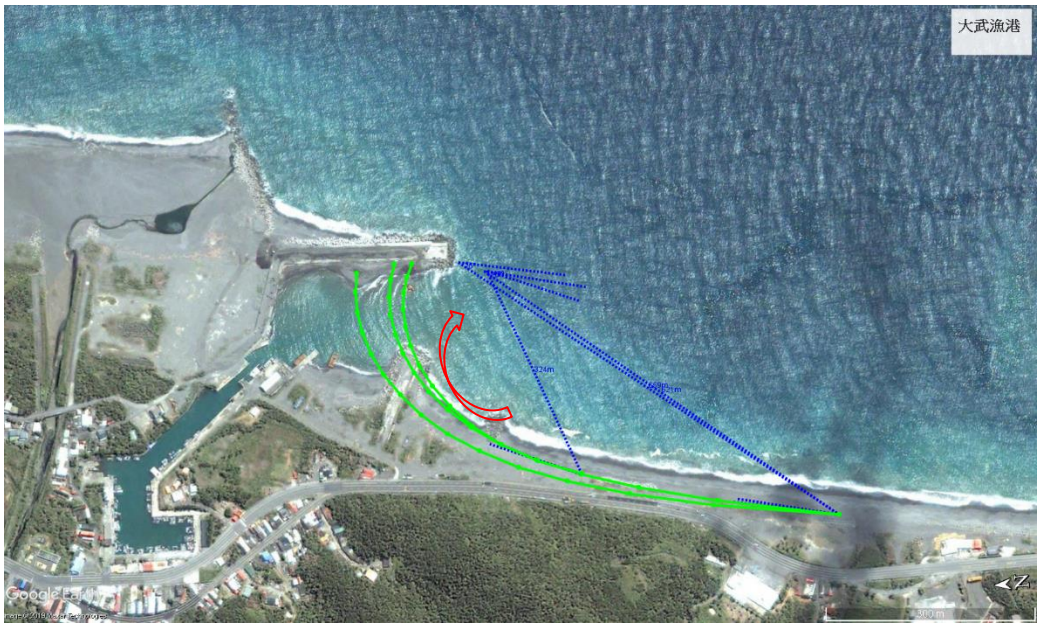


大武漁港_離岸堤效應_20111020_靜態岬灣_淤淺_2X.tif

圖 4-79 具離岸堤形態之大武漁港隨不同的港口整建歷程、外防波堤後淤積位置範圍應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤



大武漁港_離岸堤效應_20120910_靜態岬灣_淤淺_2Xa.tif

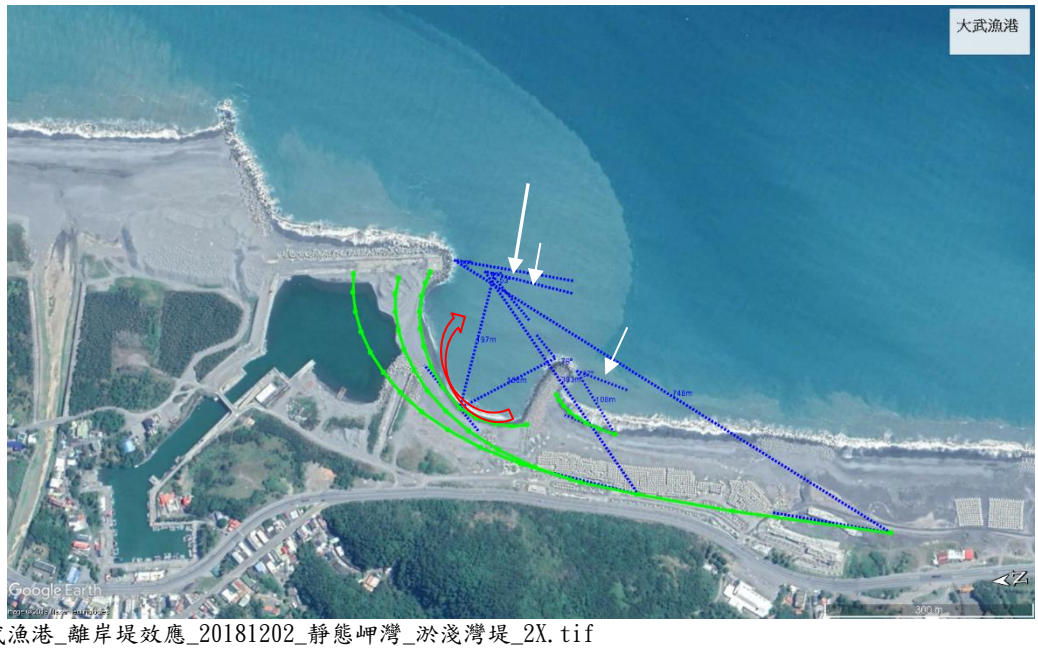


大武漁港_離岸堤效應_20130731_靜態岬灣_淤淺_2X.tif

圖 4-79(續) 具離岸堤形態之大武漁港隨不同的港口整建歷程、外防波堤後淤積位置範圍應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤

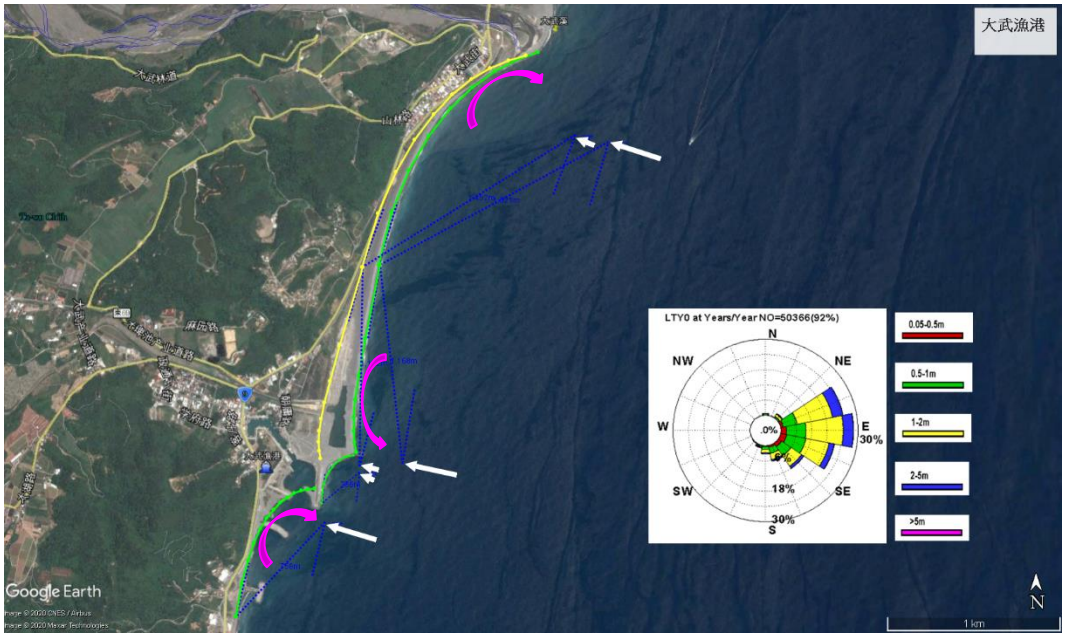


大武漁港_離岸堤效應_20140702_靜態岬灣_淤淺_2X.tif

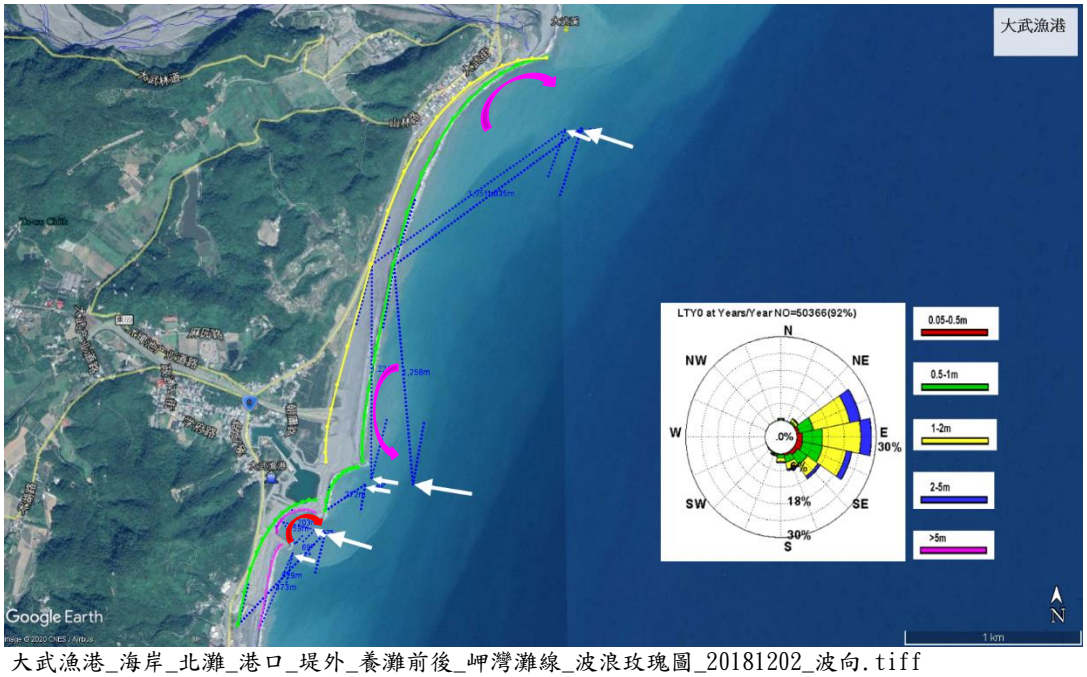


大武漁港_離岸堤效應_20181202_靜態岬灣_淤淺灣堤_2X.tif

圖 4-79(續) 具離岸堤形態之大武漁港隨不同的港口整建歷程、外防波堤後淤積位置範圍及不同的港口岬頭影響距離(下游控制點)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤



大武漁港_海岸_北灘_港口_堤外_岬灣灘線_波浪玫瑰圖 a_20140702 波向.tiff



大武漁港_海岸_北灘_港口_堤外_養灘前後_岬灣灘線_波浪玫瑰圖_20181202_波向.tiff

圖 4-80 具離岸堤外廓配置形態之大武漁港於北攔沙堤構建前(黃)、後(綠)及在港口南側構建人工養灘設施後(粉紅)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤

4.3.6 臺灣東部近岸港口航道淤塞之調適與防治對策

由於區域海、地、氣象條件不同，準確掌握不易，加以波浪與結構物及漂沙間的交互影響性複雜，施行相關防護措施與對策，成效常難以預期，尤其是位處碎波帶內之近岸淺灘，不僅碎波衝擊作用激烈，沖刷流強勁，更是生態環境的敏感區，不週詳的輸沙機制研判，冒然擬訂整治對策與施行改善措施，反而極易導致海灘侵蝕、棲地變遷消失、甚至是海岸環境景觀破壞等副作用。

解決近岸港口之淤沙問題，長年以來，國內普遍採行之防治對策，一般皆以持續整建港口外廓防波堤、增設防沙堤、建置人工岬頭與施行人工養灘等海岸防護設施作為改善因應。另外，由於漁港規模普遍偏小，淤塞土方量通常不大，辦理疏浚經費又遠較增建防沙堤或防波堤儉省，因此，近年來近岸港口之淤塞防治，僅管治標不治本，仍然普遍採行以緊急疏浚工程因應(農委會，2009)。

評估近岸港口外廓配置所造成之港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖蝕，通常必需考量潮汐、卓越波浪、碎波帶寬度、海灘坡度、河川輸沙、港口外廓配置以及毗鄰港口之海岸防護設施等影響因素，其中，具較大波高之季風及颱風波浪在近岸碎波之直接衝擊，並於港口屏蔽區因「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」發展所造成強勁沖刷環流之輸沙作用，將可有效地替代由輻射應力梯度所衍生之微弱近岸流，而成為促使近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤之關鍵角色(莊，2020)。

臺灣東部近岸港口，為防範以東向為主之風浪侵襲，增進港內靜穩度，外廓防波堤配置因而普遍具有離岸堤形態，因此，若以外廓防波堤自港口堤頭起至港池端之距離為離岸堤長，並以外防波堤頭與海岸之距離為離岸堤距，則宜蘭南澳漁港及臺東長濱、金樽、大武漁港由外廓防波堤類比離岸堤之長/距比值，可分別估算如表 4-2 所示。

依據英國環境署(Environment Agency, 2010)所提出離岸堤群背後灘線發展形態判別式，參見式(4-9)與式(4-10)，可明確研判臺灣東部近岸港口，若將外廓防波堤類比為離岸堤，則應用「離岸堤效應」與「岬

頭效應」，可確認在外防波堤屏蔽區內，由於近岸較大波浪碎波之衝擊與碎波造成強勁沖刷環流之輸沙作用，因此，不僅港口外會形成穩定繫岸沙洲形態之淤塞，參見圖 4-59、圖 4-63、圖 4-68、圖 4-73 及圖 4-79，更會使港嘴淤塞床質存在有較大粒徑卵石的表面沉積，參見圖 4-48 至圖 4-50，甚且會促使輸沙通過港口而於外防波堤之堤後淤積，參見圖 4-64 及圖 4-74。

表 4-2 臺灣東部近岸港口外廓防波堤配置因「離岸堤效應」或「岬頭效應」造成堤後繫岸沙洲或岬灣海灘形態淤積之離岸堤長/距比值

臺灣東部近岸港口	離岸堤長 B (公尺)	離岸堤距 X (公尺)	堤長_距比 (B/X)	離岸堤後淤沙形態
南澳漁港	374	170	2.200	繫岸沙洲
長濱漁港	377	200	1.885	繫岸沙洲
金樽漁港	570	340	1.676	繫岸沙洲
金樽陸連島	255	160	1.594	繫岸沙洲
大武漁港 (東防波堤長)	500 (265)	230	2.174 (1.152)	繫岸沙洲

Note:
1. 離岸堤長係指自港口沿外防波堤至內港端之總距離長度。
2. tombolo formation index:
   $B/X > 2.8\text{-}1.6\ (X/X_b)$, $X / X_b \leq 1.25$ (Environment Agency, UK, 2010)
   $B/X > 1.2\text{-}1.3$ (Karambas, 2012)

針對臺灣東部近岸港口外廓防波堤配置普遍具有之離岸堤形態，以及因「離岸堤效應」與「岬頭效應」而導致港口形成繫岸沙洲或岬灣海灘之經常性淤塞課題，參考國內毗鄰花蓮和平溪口之和平工業區專用港以及具有防浪、導流效能之高雄左營軍港之外廓配置，如圖 4-81 所示，研提相關整治對策與改善措施如后。

首先，以長濱漁港為例，參見圖 4-73，為充分衡量港口受較大波高之東北季風及颱風波浪衝擊影響，在長濱近岸，經折射之卓越波浪，普遍會偏正向入射海岸，致使近岸淺灘，在碎波沖刷流作用下，明顯具有由東而西之沿岸優勢輸沙方向，加以海灘坡度陡峭，若照慣例僅建置小規模之防沙堤以攔阻沿岸輸沙，效果必然有限；又針對港口外廓防波堤

所具有之離岸堤形態以及因而導致之「離岸堤效應」或「岬頭效應」，若按往例僅採行延長整建外防波堤，則在港口之波浪屏蔽區內，勢必亦難防制現況因繞射波浪碎波所衍生強勁沖刷環流之輸沙作用。鑑此，對於長濱漁港港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之改善、調適構想，本研究建議：港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主；而港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤，則應以梳流、導沙、截淤之效能為主。具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有 ***I*** 型內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘。初步的改善整建規劃配置，示意如圖 4-82 所示，圖中，在不大幅調整港口規模下，已將既有外防波堤作約 80 公尺之適度減量縮短，並於保持既有港口寬度及航道方向狀況下，將折除之堤體與部分護基消波塊，移置並銜接於內防波堤外，藉以將港口既有 ***I*** 型內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，並達成港口內防波堤新「岬頭」之創建。

其次，以金樽漁港為例，參見圖 4-68，為充分衡量港口受較大波高之東北季風及颱風波浪衝擊影響，在金樽漁港近岸，經折射之卓越波浪，普遍會偏正向入射海岸，致使近岸淺灘，在碎波沖刷流作用下，明顯具有由東北而西南之沿岸優勢輸沙方向，加以海灘坡度陡峭，若照慣例僅建置小規模之防沙堤以攔阻沿岸輸沙，效果必然有限；又針對港口外廓防波堤所具有之離岸堤形態以及因而導致之「離岸堤效應」或「岬頭效應」，若按往例僅採行延長整建外防波堤，則在港口之波浪屏蔽區內，勢必亦難防制現況因繞射波浪碎波所衍生強勁沖刷環流之輸沙作用。鑑此，對於金樽漁港港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之改善、調適構想，本研究導循抑制港口「離岸堤效應」之重點，再建議：港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主；而港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤，則應以梳流、導沙、截淤之效能為主。具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有 ***I*** 型

內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘。初步的改善整建規劃配置，示意如圖 4-83 所示，圖中，已將既有外防波堤作約 90 公尺之適度減量縮短，並於保持既有港口寬度及航道方向狀況下，將折除之堤體與部分護基消波塊，移置並銜接於內防波堤外，藉以將港口既有 ***I*** 型內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，並達成港口內防波堤新「岬頭」之創建。

最後，以大武漁港為例，參見圖 4-80，為充分衡量港口受較大波高之東北季風及颱風波浪衝擊影響，在大武漁港近岸，經折射之卓越波浪，普遍會偏正向入射海岸，致使大武溪之河川輸沙及近岸淺灘，在碎波沖刷流作用下，明顯具有由北而南之沿岸優勢輸沙方向，加以海灘坡度陡峭，若照慣例僅建置小規模之防沙堤以攔阻沿岸輸沙，效果必然有限；又針對港口外廓防波堤所具有之離岸堤形態以及因而導致之「離岸堤效應」或「岬頭效應」，若按往例僅採行延長整建外防波堤，則在港口之波浪屏蔽區內，勢必亦難防制現況因繞射波浪碎波所衍生強勁沖刷環流之輸沙作用。鑑此，對於大武漁港港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之改善、調適構想，本研究仍本抑制港口「離岸堤效應」之重點，慎重建議：港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主；而港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤，則應以梳流、導沙、截淤之效能為主。具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，依舊包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有 ***I*** 型內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘。初步的改善整建規劃配置，示意如圖 4-84 所示，圖中，在考量整建之經濟規模及保持既有港口寬度及航道方向狀況下，已直接將港口南側已完成階段性養灘任務、長約 135 公尺、由消波塊構成之養灘突堤拆除，再將其移置並銜接於內防波堤外，藉以將港口既有 ***I*** 型內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，並達成港口內防波堤新「岬頭」之創建，完成港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之防治目標。



和平工業專用港_20160615



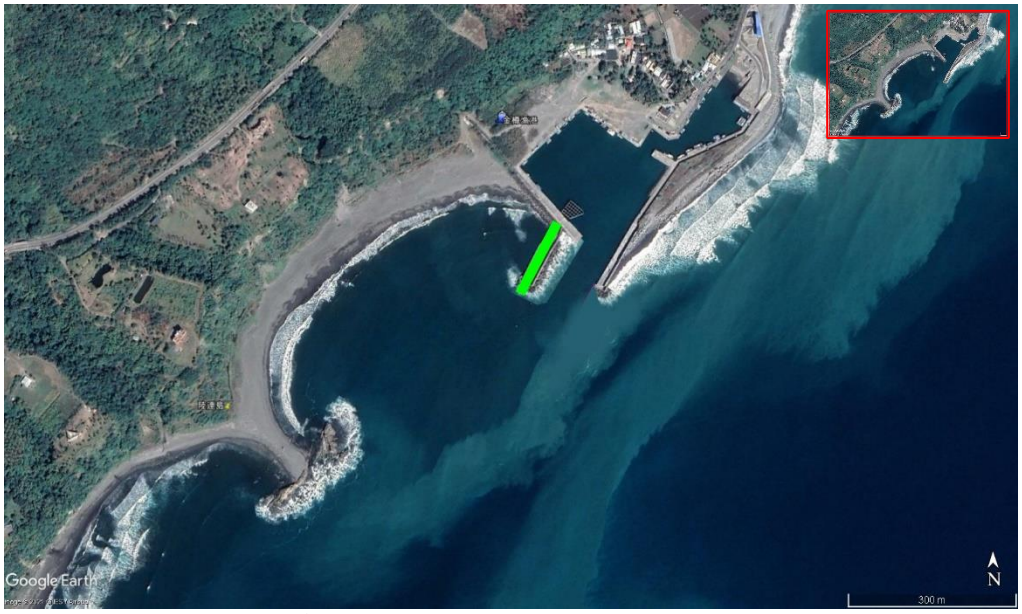
左營港_2021_12

圖 4-81 為防治港嘴航道淤塞及輕減毗鄰海灘沖蝕而以避免「離岸堤效應」在外防波堤後營造繫岸沙洲或沙舌海灘為重點所採行圓弧形態之港口外廓配置



長濱漁港_GoogleEarth_細_改善配置_2021_02.jpg

圖 4-82 臺東長濱漁港為防治港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」，將 I 型內防波堤調整為Γ型(綠實線)之整治對策與改善措施示意圖



金樽漁港_GoogleEarth_細_改善配置_2018_01.jpg

圖 4-83 臺東金樽漁港為防治港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」，將 I 型內防波堤調整為Γ型(綠實線)之整治對策與改善措施示意圖



大武漁港_GoogleEarth_細_改善配置_2018_12.jpg

圖 4-84 臺東大武漁港為防治港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」，將 I 型內防波堤調整為Γ型(綠實線)之整治對策與改善措施示意圖

4.4 臺灣西部近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

臺灣西部海岸，北自桃園，南至臺南七股，直線長度約 300 公里，海岸線約呈東北—西南走向；西南部海岸，北自臺南曾文溪口，南至屏東恒春貓鼻頭海岸，直線長度約 150 公里，海岸線約呈西北—東南走向。近海的波浪，參見圖 2-12 至圖 2-14，係以冬季季風波浪為主，示性波高一般小於 2 公尺，但較大的波浪，波高可達 3~5 公尺；主要入射波向，集中於北北西至北北東之間，自 2000 年起至 2016 年止，統整臺灣西北部基隆、臺北、臺中及臺灣西南部布袋、安平、高雄海域歷年觀測全年波浪玫瑰圖，可得如圖 4-85 所示。沿岸淺灘，受中央山脈天然地勢導引，有多條主要及次要河川匯入，以往在河川上游施行整治前，每於颱洪期間常有豐沛地河川輸沙補注，海灘坡度平緩，一般介在 1/60~1/100 間(莊，2022)。

臺灣西部近海的潮汐，由於臺灣海峽陸架地形對半日型潮波產生「協振盪」共振效應(莊、江，2005；2006)，以致大潮期間，西部海岸，北自淡水河口，南至八掌溪口，潮差皆可達 3 公尺以上；而在西南部海岸，北自曾文溪口，南至四重溪口，潮差較小，但仍約可達 2 公尺左右，如圖 4-86 所示(莊，2010)，因此，臺灣西部海岸，高低潮期間之灘線距離，較窄者約 100 公尺，而較寬者可長達約 500 公尺以上，潮間帶甚寬廣，如圖 4-87 所示。由圖順沿海岸線觀察潮間帶的寬度變化可見，總體潮間帶寬度，實際甚平整，這意謂近岸淺灘之海灘坡度，不僅平緩，而且均勻；再由圖以大尺度、總體性地觀察、檢視海灘沖淤特性可見，臺灣西部海岸與近岸港口毗鄰海灘之沖淤，實際僅具有局部性。

在臺灣西部海岸線上，由於鄰海社區民生經濟發展所需，長久以來，歷經鄉鎮平衡建設，漁港密佈，平均每 8.9 公里，即有一處港口水深小於 5 米之小型港口(農委會，2009)，惟在總體建設經費限制下，面對漲、退潮超過 3 公尺之偏大潮差，港口航道之配置，遂經常處於近岸漂沙最活躍的碎波帶內，以致現況的港口航道，大多存在有淤塞問題(農委會，2009；洪 等，2003；莊，2022)；又為防範近海波高普遍大於 1~2

公尺、波向集中於北向至北北西向之颱風與季風波浪侵襲，強化港域靜穩度，近岸港口之外廓防波堤配置，通常具有阻隔近岸輸沙平衡移運之雙突堤型式，參見圖 4-10 至圖 4-16，因而「突堤效應」常被歸咎是造成毗鄰港口海灘侵蝕之主要原因，且長久以來，近岸港口的存在，皆背負著製造「突堤效應」的原罪。

延續先前章節對臺灣東部近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕原因評估與分析經驗，可確認近岸波浪因折、繞射及淺化效應造成碎波對海灘之直接衝擊，係為近岸輸沙的主要動力，而在港口外廓防波堤屏蔽區內，伴隨碎波所衍生強勁沖刷環流(swashing circulations)之輸沙作用，更是影響近岸淺灘沖淤的關鍵因素。鑑此，針對海灘坡度平緩、潮差偏大、冬季季風波浪強盛之臺灣西部海岸，後續的港口航道淤塞機制評估與分析重點，將著重要在考量潮位的高、低變化，透過 Google 地圖，檢視寬幅潮間帶內之淺灘變動特性，再綜合與漁港毗鄰海灘的沖淤形態，應用「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」，探討近岸波浪碎波對海灘之直接衝擊，再藉岬灣海灘(Hsu and Evans，1989)的灘線擬合(fitting) (莊，2020；2021)，重建並確認港口外廓防波堤屏蔽區內，伴隨碎波所衍生強勁沖刷環流之輸沙作用，釐清小規模漁港所造成「突堤效應」的顯著性，並評估說明高、低潮位以及港口外廓配置伴隨「離岸堤效應」與「岬頭效應」對毗鄰海灘沖淤之影響，進而研提防制措施及調適、改善對策。

4.4.1 近岸港口外廓配置形態之共通性

臺灣西部之近岸港口，為禦防季風波浪與颱風波浪之直接衝擊，提昇港域泊地的靜穩度，外廓防波堤的配置，通常具有突堤形態，惟部分位在臺灣西南端的近岸港口，港口配置仍具有離岸堤與突堤複合形態，如圖 4-88 所示。圖中之各近岸港口，在總體鄰海民生經濟發展建設經費限制下，整建規模普遍偏小，港口或外防波堤堤頭之離岸距離，通常亦偏短，如表 4-3 所示，致使在海灘坡度平緩、潮差偏大的寬幅潮間帶上，港口大多位處於漂沙最活躍的碎波帶內，因而在潮位高低變化、波

浪衝擊以及碎波沖刷流之輸沙作用下，經常導致港口航道淤塞及毗鄰海灘發生沖蝕。

表 4-3 臺灣西部海岸近岸港口外防波堤堤頭之離岸距離(長度)

縣市	漁港	港口離岸距離(公尺)
桃園	竹圍	880
桃園	永安	843
新竹	新竹	1592
苗栗	白沙屯	242
苗栗	新埔	220
苗栗	苑裡	518
臺中	松柏	647
嘉義	東石	外傘頂洲後側 8,700
臺南	將軍	905
臺南	安平	633
高雄	中芸	584
屏東	枋寮	281
屏東	楓港	170

4.4.2 近岸碎波衝擊與毗鄰港口海灘之沖淤特性

臺灣西部海岸，由於近岸港口規模皆小，毗鄰近岸港口之海灘，實際受浪、潮的侵襲影響所產生之沖淤，大多僅具有局部性，如圖 4-87 所示，與港口毗鄰海灘之侵淤形態，自圖 4-88 綜合觀察可見，除了偏北部的桃園永安漁港與新竹漁港兩側，由於外廓防波堤長度大於潮間帶寬度，港口離岸距離較遠，致使與港口毗鄰之海灘，於低潮位期間，皆約略陳現對稱的沙舌形態淤積外，其他在苗栗以南的近岸港口，包括：苗栗海岸的白沙屯、新埔與苑裡漁港、臺中海岸的松柏漁港、臺南海岸的將軍、安平漁港、高雄海岸的中芸漁港等，港口兩側之毗鄰海灘侵淤，皆約陳現平直形態，而位在臺灣南部海岸之屏東枋寮漁港與楓港漁港，由於外廓防波堤配置具離岸堤形態，且其離岸堤之長/距比值皆大，如表 4-4 所示，故而毗鄰海灘陳現具有繫岸沙洲形態之淤積。這現象說明，臺灣西部海岸毗鄰近岸港口海灘之沖淤，僅管港口外廓防波堤配置

普遍具有突堤形態，但因港口規模小、潮間帶寬廣，外廓防波堤大多位在碎波帶內，故而伴隨產生的「突堤效應」，實際甚不顯著。惟特別值得一提的是，位在臺灣西南部嘉義海岸之布袋港、東石漁港與布袋第三漁港，由於其港口位置係座落在具「軟性突堤」特性之外傘頂沙洲屏蔽潮間帶淺灘內，故由外傘頂沙洲伴隨產生的「突堤效應」，對港口航道淤塞，實際應具有顯著的影響(莊、張，2022)。僅管如此，造成港口航道淤塞的主要影響因素與機制，仍皆與港口外廓配置形態、波浪侵襲、潮位與海灘坡度影響及河川輸沙補注等密切相關聯，其中，無論近岸港口之外廓配置形態係屬突堤或離岸堤，在堤頭伴隨衍生的「岬頭效應」影響下，最為關鍵的，仍是在港口航道，由碎波沖刷流與沖刷環流所產生之強勁輸沙作用。

表 4-4 臺灣南部屏東海岸近岸港口外廓防波堤配置因「離岸堤效應」造成堤後繫岸沙洲淤積之離岸堤長/距比值檢測

臺灣南部近岸港口	離岸堤長 B (公尺)	離岸堤距 X (公尺)	堤長_距比 (B/X)	離岸堤後淤沙形態
枋寮漁港	572	281	2.035	繫岸沙洲
楓港漁港	229	170	1.347	繫岸沙洲

Note:
1. 離岸堤長係指自港口沿外防波堤至內港端之總距離長度。
2. tombolo formation index:
   $B/X > 2.8\text{-}1.6\,(X/X_b)$, $X/X_b \le 1.25$ (Environment Agency, UK, 2010)
   $B/X > 1.2\text{-}1.3$ (Karambas, 2012)

依循先前進行臺灣東部近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕原因評估之研究方法與經驗，應用 MepBay 岬灣海灘陳繪軟體(Klein et al., 2003)，再透過岬灣灘線擬合(莊，2020)，檢視港口具突堤形態之桃園永安漁港與新竹漁港以及苗栗苑裡漁港與臺中松柏漁港毗鄰海灘形成沙舌形態淤積之卓越入射波向、波浪繞射點及因「突堤效應」、「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生之近岸沖刷環流，分別如圖 4-89 及圖 4-90 所示；檢視嘉義東石漁港、布袋第三漁港與布袋港受外傘頂沙洲之「軟性突堤效應」與「軟性岬頭效應」影響所衍生之岬灣海灘形態淤積與相關

之近岸卓越入射波向、波浪繞射點及沖刷環流(莊、張，2022)，分別如圖 4-91 至圖 4-94 所示；而檢視港口具離岸堤形態之屏東枋寮漁港與楓港漁港毗鄰海灘形成繫岸沙洲形態淤積之卓越入射波向、波浪繞射點及因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生之近岸沖刷環流，則如圖 4-95 所示。

首先，由圖 4-89 觀察可見，位處臺灣西北部海岸之桃園永安漁港及新竹漁港，其近岸淺灘上之波浪，由於波浪淺化與折射效應影響，卓越波向大多已自北向轉換為西北，並以偏正向入射海灘，以致碎波帶約略平行於海岸線，進而促使季風波浪可造成優勢方向由北而南之沿岸輸沙；在接近港口海域，於低潮位期間，受碎波沖刷流之直接沖擊作用下，沿岸輸沙可不受港口外防波堤之阻隔，並可平順跨越港口而沿岸運移，所以，即使港口外廓防波堤具有突堤形態，但造成之「突堤效應」並不顯著；又透過毗鄰港口淺灘之岬灣灘線擬合，可回朔並反饋出接近港口處具有成對的波浪繞射點，這意謂在離岸距較大之桃園永安漁港與新竹漁港港口外側，由於潮間帶內之沿岸輸沙可平順跨越港口，進而可於港口外淤積並形成平直或類如河口三角洲之潛沒淺灘，因此，具有突堤形態的漁港，反而會因潛沒淺灘之影響而衍生「離岸堤效應」或「岬頭效應」，致使存在於港口外廓防波堤外之漂沙及淺灘床質，再受碎波衍生強勁沖刷環流之輸沙作用，而於毗鄰港口兩側，形成沙舌或繫岸沙洲形態之淺灘淤積。特別值得注意的是，存在於近岸港口兩側之岬灣海灘，因其會隨近岸之波浪大小及潮位高低而變化，故其實際無法維持靜態與安定，反而應皆是動態，而且是持續變動地。

其次，由圖 4-90 觀察可見，位處臺灣中西部海岸之苗栗苑裡漁港及臺中松柏漁港，其近岸淺灘上之波浪，由於波浪淺化與折射效應影響，卓越波向亦大多已自北向轉換為西北，並以偏正向入射海灘，以致碎波帶約略平行於海岸線，進而促使季風波浪可造成優勢方向由北而南之沿岸輸沙；在接近港口海域，於低潮位期間，受碎波沖刷流之直接沖擊作用下，規模偏小之港口，沿岸輸沙可不受外防波堤阻隔，並可平順跨越港口而沿岸運移，所以，即使港口外廓防波堤具有突堤形態，但造成

之「突堤效應」依舊仍不顯著；又透過毗鄰港口淺灘之岬灣灘線擬合，可回朔並反饋出接近港口處具有成對的波浪繞射點，這意謂在離岸距較小之苗栗苑裡漁港及臺中松柏漁港外側，由於潮間帶內之沿岸輸沙可平順跨越港口，進而可於港口外淤積並形成平直或類如河口三角洲之潛沒淺灘，因此，具有突堤形態的漁港，反而會因潛沒淺灘之影響而衍生「離岸堤效應」或「岬頭效應」，致使存在於港口外廓防波堤外之漂沙及淺灘床質，再受碎波衍生強勁沖刷環流之輸沙作用，而於毗鄰港口兩側，形成沙舌或繫岸沙洲形態之淺灘淤積。仍值得注意的是，存在於近岸港口兩側之岬灣海灘，因其會隨近岸之波浪大小及潮位高低而變化，故其實際無法維持靜態與安定，反而皆具有是動態之持續變動性。

接著，配合圖 4-88 所示之港口配置與海岸環境狀況，由圖 4-91 至圖 4-94 所示之海圖(莊，1984；林、莊，1985)及 Google Earth 影像觀察可見，位處臺灣西南部海岸之嘉義東石漁港、布袋第三漁港與布袋港，由於港口外廓配置皆完全座落在外傘頂沙洲屏蔽之潮間帶淺灘內，因此，港口波浪小、沖刷流速弱、近岸漂沙不活躍，僅管如此，由於港口外側之外傘頂沙洲，因其自 1905 年於北港溪口生成後，在隨後之不同時期，即皆具有「軟性突堤」與「軟性岬頭」特性(莊、張，2022)，致使在外傘頂沙洲衍生之「突堤效應」與「岬頭效應」影響下，透過海圖及 Google Earth 影像所陳現外傘頂沙洲屏蔽潮間帶淺灘之岬灣灘線擬合(莊 2020)，可回朔並反饋出接近外傘頂沙洲南端陸側之淺灘海域，在 1932 年、1982 年及 1997 年之不同年代，明確皆存在有波浪繞射點，且近岸波浪之卓越入射波向，在 1932 年外傘頂沙洲生成後之早期，係為西南西向；而在 1982 年後之近期，近岸卓越入射波向，則隨外傘頂沙洲之變遷而轉變為西北西向，進而因為近岸潮間帶淺灘上伴隨逆時針方向碎波沖刷環流之發展所衍生優勢方向由南而北的強勁輸沙作用，不僅造成外傘頂沙洲屏蔽潮間帶淺灘隨沙洲之逐年南移變遷而發展擴大，更自布袋港北側之白水湖壽島起，形成系列的弧形淺灘沙洲或潛沒之岬灣海灘，也因此導致東石漁港與布袋第三漁港，甚至是布袋港的港口淤塞。值得特別注意的是，在外傘頂沙洲北(上游)側，經折、繞射之

近岸波浪，卓越波向約是以西北向通過繞射點，致使原生在新、舊虎尾溪口間之水下岬頭，參見圖 4-91，不僅會因潛沒岬頭效應及伴隨衍生的碎波沖刷環流作用，而在三條崙與箔子寮沿岸，造成規模持續變動的岬灣海灘與沙嘴，更會因由北而南之碎波沖刷流與退潮流之複合作用，參見圖 4-93 及圖 2-22，導致水下岬頭，逐步向岸側退縮與南移，同時，造成外傘頂洲海側灘線及沙洲南端，持續沖蝕南移及向陸側後退(旋轉)變遷(國家海洋研究院，2019、2021；張 等，2017；陳 等，2021；莊、張，2022)；另外，在外傘頂沙洲南(下游)側，受逐年南移後退之沙洲(軟性)「突堤效應」與「岬頭效應」共同影響，入射近岸淺灘的折、繞射波浪，通過繞射點之卓越波向，概約會轉換為西北西向，參見圖 4-92 及圖 4-94，並會伴隨碎波沖刷環流之作用而衍生規模持續變動的岬灣海灘，致使沖蝕沙洲與潮間帶淺灘之漂沙，不斷會因碎波沖刷環流由南而北之優勢輸沙作用而在沙洲後側沉積，更會在可預期的未來，將促使東石漁港、布袋第三漁港及布袋港的港口淤塞情況更加嚴重。此外，受外傘頂沙洲逐年南移、後退之「岬頭效應」影響，特別是伴隨岬頭效應所衍生由南而北之碎波沖刷環流與由北而南之碎波沖刷流共同輸沙作用，參見圖 4-93 及圖 4-94，致使位在外傘頂沙洲下游(南)側的好美寮至雙春間之海灘，近年亦因而發生嚴重之沖蝕。

最後，由圖 4-95 觀察可見，位處臺灣南部海岸之屏東枋寮漁港及楓港漁港，其近岸淺灘上之波浪，受較陡峭之海灘坡度以及波浪淺化與折射效應影響，卓越波向大多維持為西南向，並以偏正向入射海灘，以致碎波帶約略平行於海岸線，進而促使沿岸輸沙，受碎波沖刷流之直接沖擊作用下，而造成優勢輸沙方向為由南而北；在鄰近港口海域，規模偏小之港口，沿岸輸沙可順沿港口外防波堤運移，並可平順跨越港口，所以，在港口外廓防波堤具有離岸堤形態下，自然會造成「離岸堤效應」與「岬頭效應」；又透過毗鄰港口淺灘之岬灣灘線擬合，可回朔並反饋出波浪繞射點位在外防波堤遮蔽區內，且在接近港口處，這意謂在屏東枋寮漁港及楓港漁港港口，除了近岸折繞射波浪可能受較陡峭之海灘坡度影響而改變碎波帶特性外，在較大暴潮大浪侵襲期間，外廓防波堤

亦可能會因出水高度不足而由出水式轉變為潛沒式，進而衍生潛沒「岬頭效應」，致使原沉積於港口之漂沙及毗鄰港口之海灘，受碎波衍生強勁沖刷環流之輸沙作用，而於港口形成繫岸沙洲形態之淺灘淤積。仍值得注意的是，存在於近岸港口兩側之岬灣海灘，因其會隨近岸之波浪大小、潮位高低及外廓防波堤之出水高度不同而變化，故其實際亦無法維持靜態與安定，且仍然具有動態之變動性。

4.4.3 潮位高低對海灘沖淤之影響

臺灣西部的海灘，受近海波浪、潮汐及海灘坡度的影響，參見圖 4-85 與圖 4-86，在高、低潮期間，與漁港毗鄰海灘的沖淤形態，以桃園永安漁港、新竹漁港、苗栗白沙屯漁港、苗栗新埔漁港、苗栗苑裡漁港、臺中松柏漁港、屏東枋寮漁港及楓港漁港為例，分別可綜整如圖 4-96 至圖 4-103 所示。

綜合觀察圖 4-96 至圖 4-103 可見，各近岸港口毗鄰海灘的沖淤形態，在高、低潮期間，明顯具有差異。其中，在高潮位期間，近岸淺灘大多會完全潛沒，而且面對偏正向卓越入射波浪之衝擊與碎波沖刷環流之沖刷作用，終致促成裸露且平直的海岸；而在中、低潮位期間，受突堤形態或離岸堤形態之港口外廓防波堤配置影響，原先在高潮位期間沉積在港口近傍之淺灘床質與漂沙，再次會因潮間帶內碎波沖刷流之直接沖擊作用，而促使近岸漂沙可不受港口阻隔並平順跨越港口沿岸運移，進而可於港口外沉積並形成平直或類如河口三角洲之潛沒淺灘，因此，具有突堤形態的近岸港口，反而會因潛沒淺灘之影響而衍生潛沒「離岸堤效應」或潛沒「岬頭效應」，致使存在於港口外廓防波堤外之漂沙及淺灘床質，再受碎波衍生強勁沖刷環流之輸沙作用，而於毗鄰港口兩側，形成沙舌或繫岸沙洲形態之淺灘淤積；而具有離岸堤形態的漁港，當然更會因「離岸堤效應」或「岬頭效應」，促使原沉積於港口外之漂沙及毗鄰港口之海灘，仍受碎波衍生強勁沖刷環流之輸沙作用，而於毗鄰港口兩側，形成沙舌或繫岸沙洲形態之淺灘淤積。

至於，臺灣西部海岸具突堤形態之小型漁港所可能造成上游淤積、

下游侵蝕之「突堤效應」，由於近岸波浪大多會因折、繞射效應而偏正向入射海灘，且近岸港口離岸距離偏小，又受寬幅潮間帶與碎波帶內漂沙沿岸平衡輸運影響，因此，不論在高、低潮位期間，「突堤效應」均不顯著，鑑此，對於漁港建置通常會導致毗鄰海灘侵蝕之固執印象，應隨港口規模大小、潮差高低及因港口淤沙衍生潛沒「離岸堤效應」或潛沒「岬頭效應」所伴隨碎波沖刷環流之作用而有所修正。此外，受非定常波浪之衝擊、潮位高低之變動、近岸輸沙造成潛沒淺灘地形水深與海灘坡度之變化、港口外廓配置形態與整建歷程及海岸防護設施出水高度影響，自然或人造岬頭後的岬灣海灘，實際上應會持續保持其動態變動性，因此，安定、靜態的岬灣海灘，在自然之近岸淺灘環境中，應甚罕見且難得。

4.4.4 臺灣西部近岸港口航道淤塞之調適與防治對策

由於區域海、地、氣象條件不同，準確掌握不易，加以波浪與結構物及漂沙間的交互影響性複雜，施行相關防護措施與對策，成效常難以預期，尤其是隨著潮汐漲退、潮位高低變動，位處寬幅潮間帶與碎波帶內之近岸淺灘，不僅碎波衝擊作用激烈，沖刷流強勁，更是生態環境的敏感區，粗略的近岸流特性分析與不週詳的輸沙機制研判，冒然擬訂整治對策與施行改善措施，對於近岸港口之淤塞與毗鄰海灘之沖淤，不但經常難以達成預期效能，反而極易導致海灘侵蝕、棲地變遷消失、甚至是海岸環境景觀破壞等副作用。

解決近岸港口航道之淤沙問題，長年以來，國內普遍採行之防治對策，一般皆以持續整建港口外廓防波堤、增設防沙堤、建置人工岬頭、施行人工養灘與加強海岸防護設施等作為，進行調適及改善。惟因漁港規模普遍偏小，辦理港口航道清淤、疏浚之經費，又遠較整建港口外廓防波堤及加強海岸防護設施儉省，因此，近年來近岸港口航道之淤塞防治，僅管治標不治本，仍然普遍採行以緊急清淤、疏浚工程因應(農委會，2009)。

評估近岸港口外廓配置所造成之港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖蝕，

通常必需考量潮汐、卓越波浪、碎波帶寬度、海灘坡度、河川輸沙、港口外廓配置以及毗鄰港口之海岸防護設施等影響因素，其中，具較大波高之季風及颱風波浪在近岸碎波之直接衝擊，並於港口屏蔽區因「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」複合發展所造成強勁沖刷環流之輸沙作用，將可有效地替代由輻射應力梯度所衍生之微弱近岸流，而成為促使近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤之關鍵角色(莊，2020~2022)。

面對臺灣西部海岸海灘坡度平緩、潮差大、潮間帶與碎波帶寬廣之先天海、地、氣象條件，外加近岸港口外廓防波堤配置後天普遍具有之突堤與離岸堤形態，港口航道因而常會受「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生碎波沖刷流與沖刷環流之強勁沖刷與輸沙作用影響，致使港口經常必需面對沙舌、繫岸沙洲或岬灣海灘形態之淤塞課題。相關整治、調適對策與改善措施，再參考國內毗鄰花蓮和平溪口之和平工業區專用港以及具有防浪、導流效能之高雄左營軍港之外廓配置，如圖 4-104 所示，接續應用先前研擬臺灣東部近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之調適建議與防治構想，參見圖 4-82 至圖 4-84，檢選位處臺灣西北部海岸之桃園永安漁港與苗栗苑裡漁港以及位處臺灣南部海岸之屏東枋寮漁港與楓港漁港為範例，具體說明如后。

為充分衡量季風與颱風波浪因折射及淺化效應所導致卓越波浪偏正向入射海岸之衝擊作用，掌握寬幅潮間帶與碎波帶內因季風與颱風波浪在臺灣西北部造成優勢方向由北而南；而在西南部海岸造成由南而北之沿岸輸沙，面對「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」在港口外因較大波浪碎波所造成強勁沖刷環流之輸沙作用，若照慣例僅建置小規模之防沙堤以攔阻沿岸輸沙，效果必然有限；又針對港口外因沿岸漂沙沉積造成潛沒淺灘所導致之「離岸堤效應」，若按往例僅採行延長整建外防波堤，則不僅會促使既有港口規模大幅擴大，在港口毗鄰之潛沒淺灘區內，勢必亦難防制現況因繞射波浪碎波所衍生強勁沖刷環流之輸沙作用。

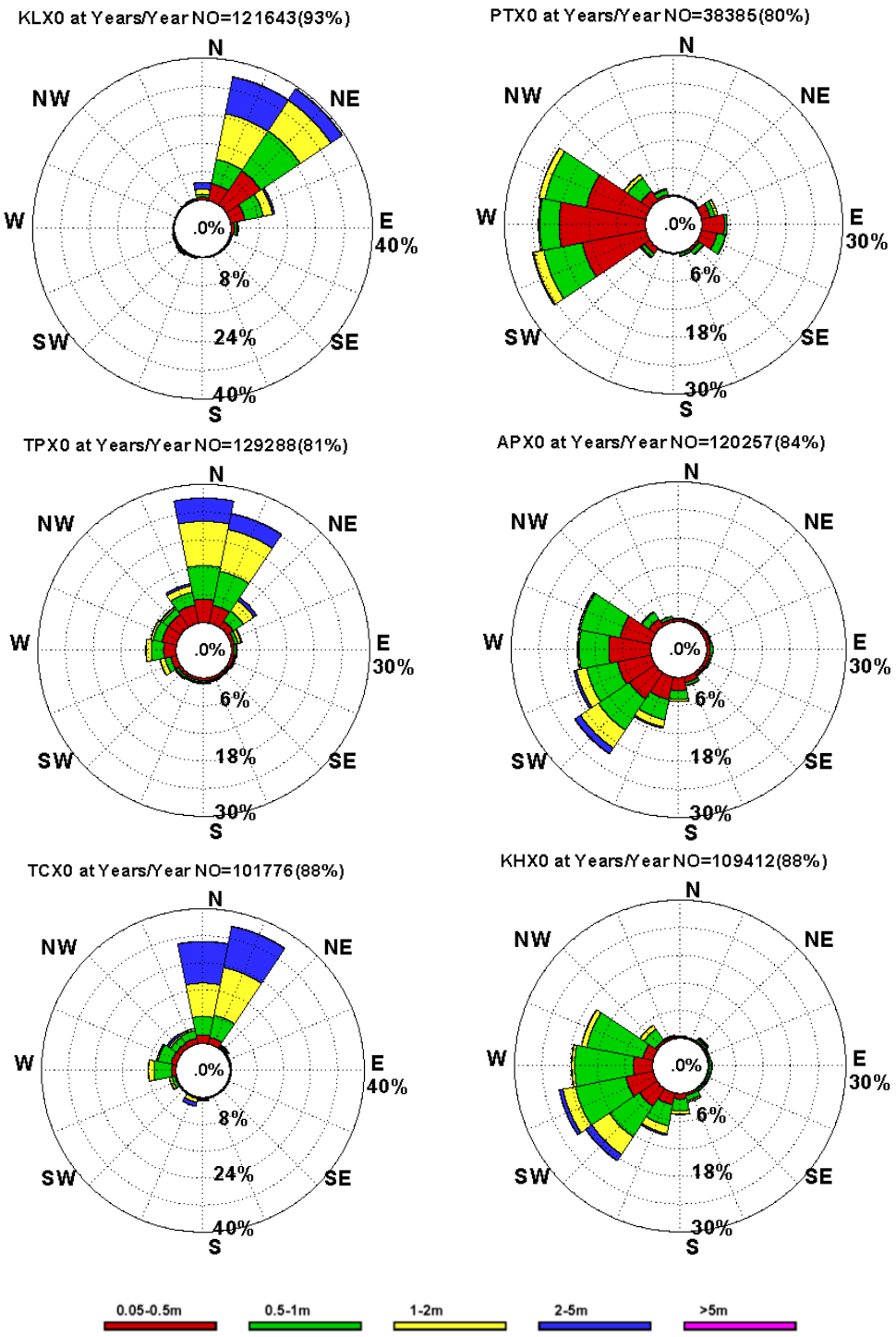
鑑此，對於桃園永安漁港與苗栗苑裡漁港港口淤塞防治與毗鄰海

灘沖淤之改善、調適構想，本研究建議：港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主；而港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤，則應以提昇梳流、導沙、截淤之效能為主。具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有具雙突堤形態之 ***I*** 型外防波堤，皆調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以禦防偏正向卓越入射波浪之直接衝擊，並導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘。初步的調適規劃與改善整建配置，示意如圖 4-105 所示，圖中，在不大幅調整港口規模下，為維持既有港口寬度以及考量進出港順暢操航狀況，已將既有之 ***I*** 型外防波堤，皆向南作適度延伸，藉以將其調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，並應用內防波堤之堤頭，達成港口新「岬頭」之創建以及禦防波、流、輸沙衝擊之目標。

另外，對於位處臺灣南部海岸之屏東枋寮漁港與楓港漁港港口淤塞防治與毗鄰海灘沖淤之改善、調適構想，本研究建議：港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主；而港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤，則應以提昇梳流、導沙、截淤之效能為主。具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，依舊包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有具 ***I*** 型突堤形態之內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘。初步的調適規劃與改善整建配置，示意如圖 4-106 所示，圖中，在不大幅調整港口規模下，為維持既有港口寬度以及考量進出港順暢操航狀況，已將枋寮漁港與楓港漁港既有具離岸堤形態之外防波堤，分別作約 150 公尺與 80 公尺之適度減量縮短，並將折除之堤體與部分護基消波塊，移置並銜接於內防波堤外，藉以將具 ***I*** 型突堤形態之內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，並應用內防波堤之堤頭，達成港口新「岬頭」之創建以及禦防波、流、輸沙衝擊之目標。

至於位處臺灣西南部海岸之嘉義東石漁港、布袋第三漁港及布袋港的港口航道淤塞防治，由於其造成的原因與機制，密切與外傘頂沙洲

的變遷、嘉義東石與布袋海岸的淤積以及嘉義好美寮至臺南雙春等下游毗鄰海灘的沖蝕相互關聯，任何小規模之改善構想或局部性之調適對策，勢必將牽一髮而動全身，極易顧此年彼，所以，本研究謹建議：研訂防治大尺度移動的國土_外傘頂沙洲的變遷策略與措施，應對毗鄰海灘可能引發的沖淤變遷效應與衝擊，詳加週全考量並審慎評估。



資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報（運研所，2017）

圖 4-85 臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)及臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)海域自 2000 年起至 2016 年止歷年觀測全年波浪玫瑰圖

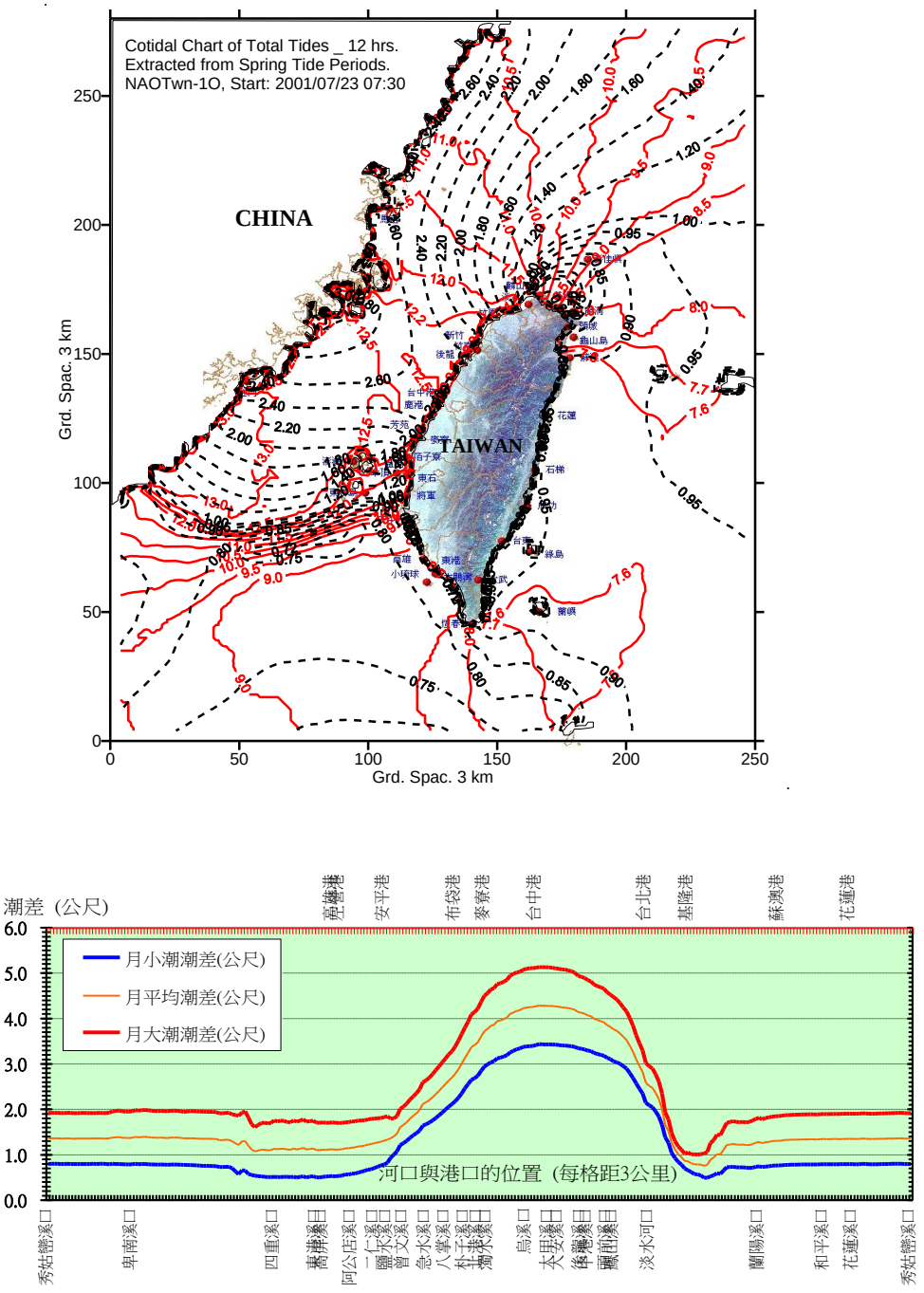


圖 4-86 臺灣海域月大潮期間擬真潮波之同潮圖(上，黑虛線：同振幅線；紅實線：同潮時線)以及臺灣環島沿岸各主要河川河口與各重要工商港口位置之月大、小潮及月平均潮差分布(下)



大潭_永安海岸_Google Earth_中_2015_12 優乾.jpg



苑裡漁港_松柏漁港_GoogleEarth_大_2018_11 優.jpg

圖 4-87 臺灣西北部桃園觀塘工業港至新屋永安漁港(上)以及苗栗苑裡漁港至臺中松柏漁港(下)海岸段低潮期間之寬幅潮間帶淺灘





圖 4-87(續) 臺灣中西部苗栗苑港漁港至臺中松柏漁港海岸段高潮位期間的海岸線(上)與低潮期間之寬幅潮間帶淺灘(下)



竹圍漁港_GoogleEarth_小_2017_09 優浪.jpg



永安漁港_GoogleEarth_大灣_2015_12 優乾.jpg

圖 4-88 臺灣西北部桃園竹圍漁港(上)與永安漁港(下)之港口外廓配置及毗鄰海灘之沖淤形態

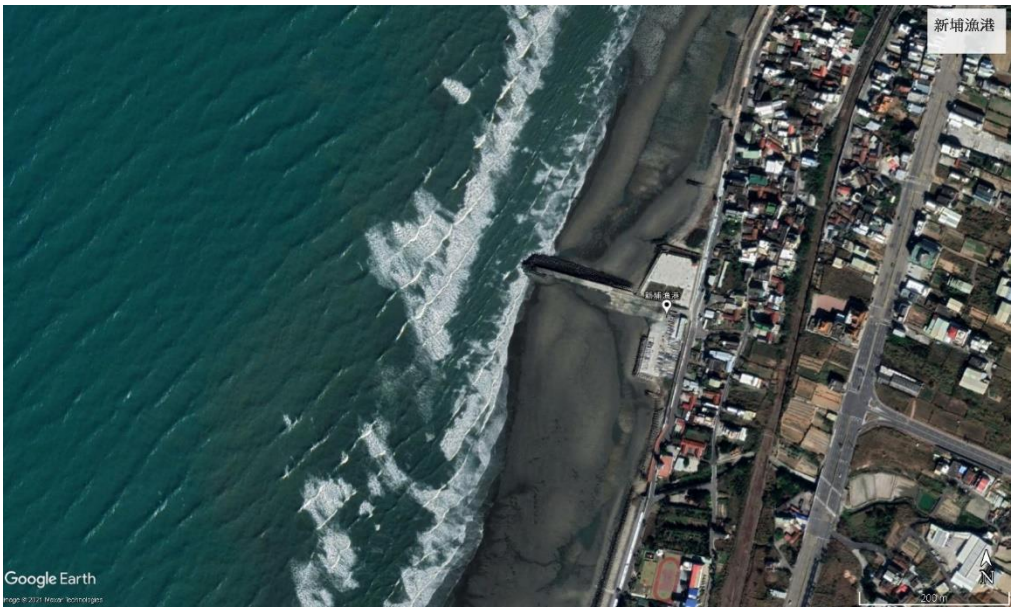


新竹南寮漁港_GoogleEarth_小_2018_1018.jpg



白沙屯漁港_Google Earth_細_2021_02 優乾.jpg

圖 4-88(續) 臺灣西北部新竹漁港(上)與苗栗白沙屯漁港(下)之港口外廓配置及毗鄰海灘之沖淤形態



新埔漁港_Google Earth_小_2021_01 優浪.jpg



苑裡漁港_Google Earth_細_2018_11 優.jpg

圖 4-88(續) 臺灣西北部苗栗新埔漁港(上)與苑裡漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態



松柏漁港_GoogleEarth_細_2018_11_短浪.jpg

將軍漁港_Google Earth_小_2019_12 優.jpg

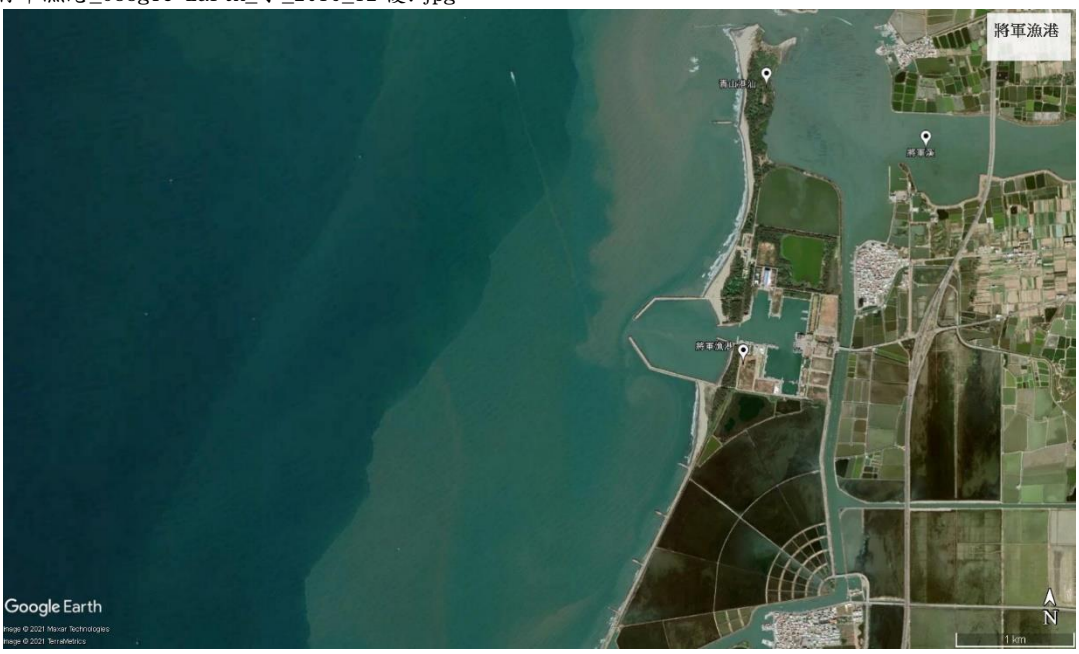
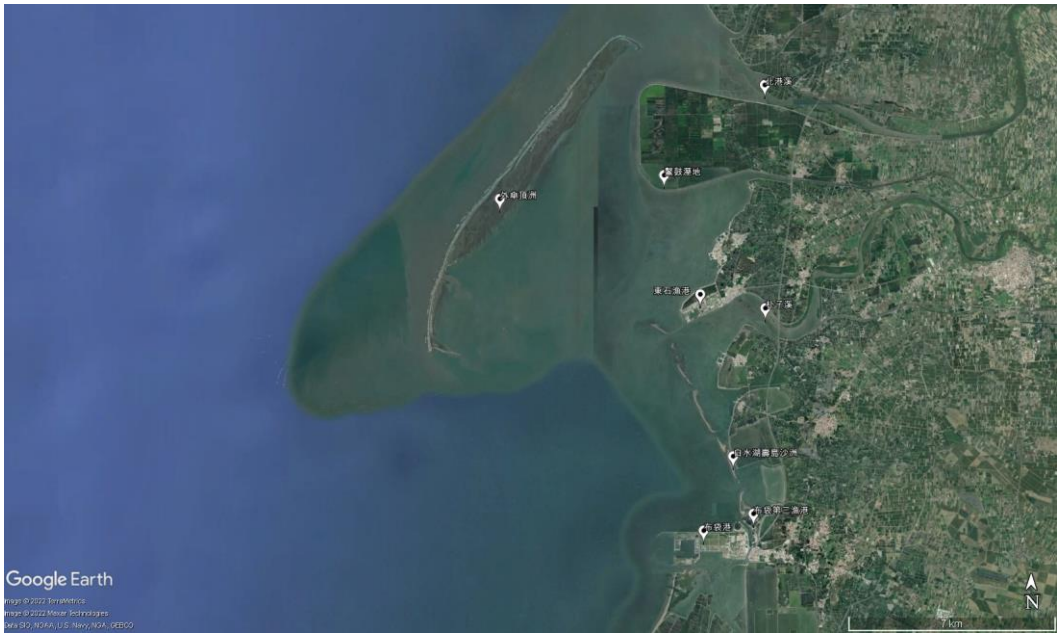


圖 4-88(續) 臺灣中西部臺中松柏漁港(上)與西南部臺南將軍漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態

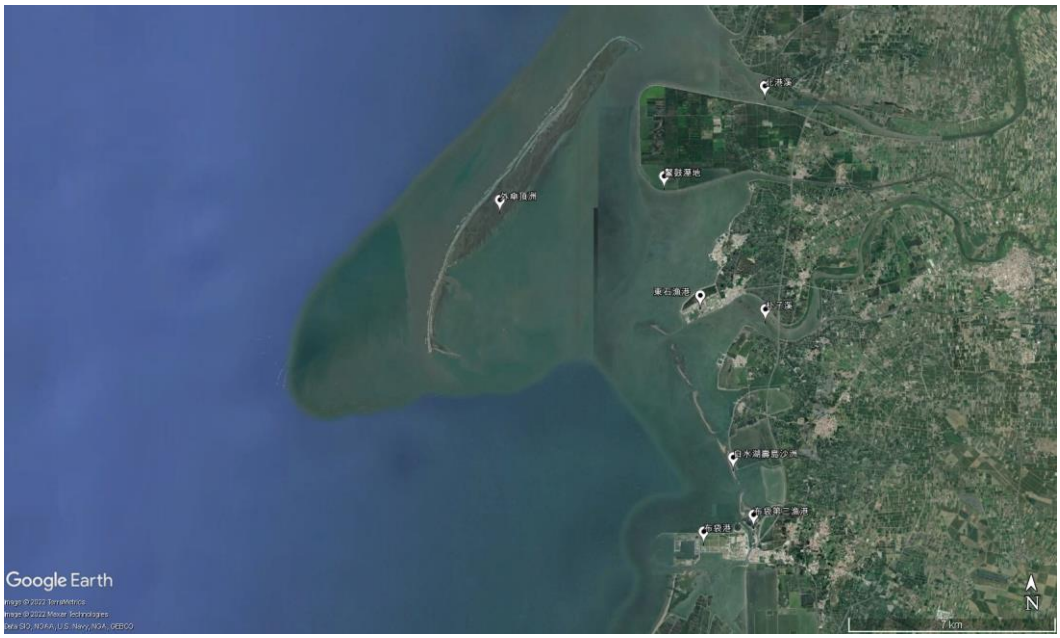


東石港_布袋港_外傘頂洲_Google Earth_區_2022_12b.jpg

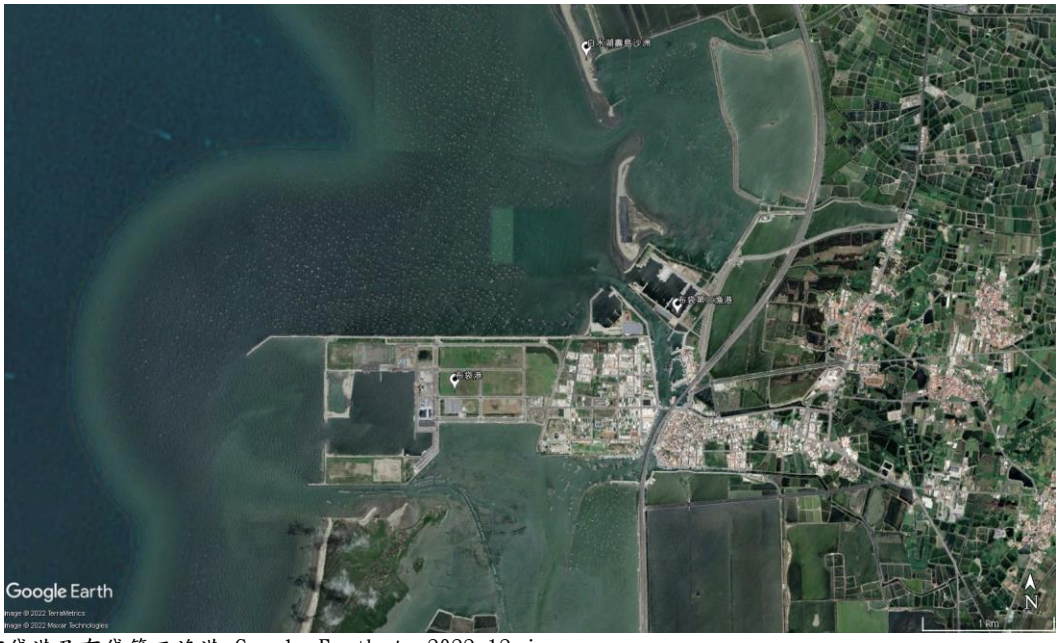


東石港_Google Earth_細_2022_12.jpg

圖 4-88(續) 臺灣西南部雲嘉海岸之外傘頂洲(上)與嘉義東石漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態



東石港_布袋港_外傘頂洲_Google Earth_區_2022_12b.jpg



布袋港及布袋第三漁港_Google Earth_細_2022_12.jpg

圖 4-88(續) 臺灣西南部雲嘉海岸之外傘頂洲(上)與嘉義布袋第三漁港與布袋港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態

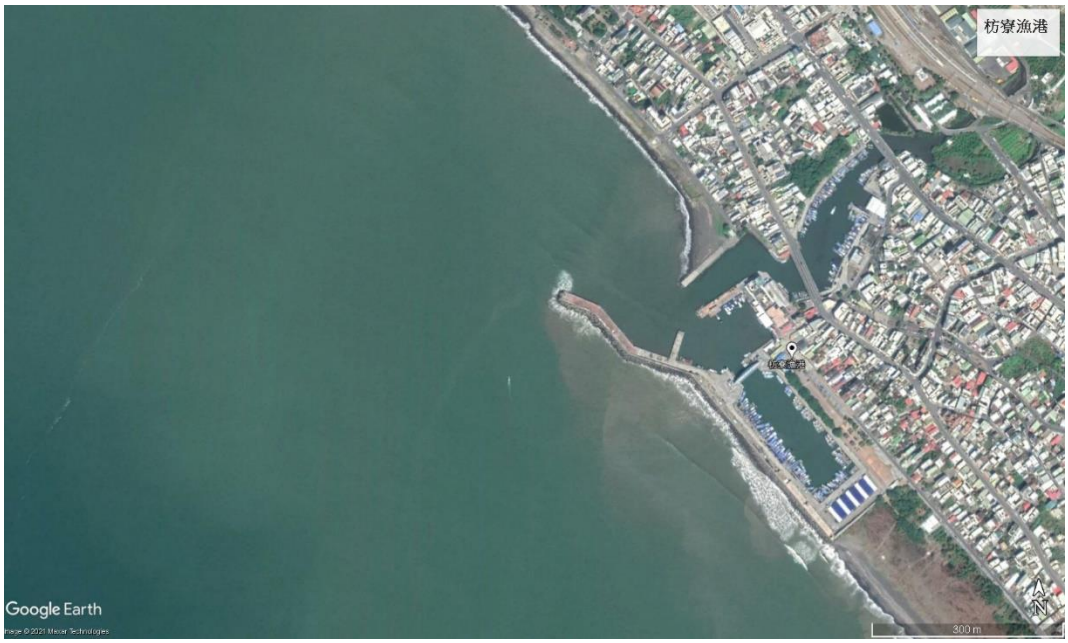


安平漁港_GoogleEarth_小_2019_12 優.jpg



中芸漁港_Google Earth_細_2019_01a 優.jpg

圖 4-88(續) 臺灣西南部臺南安平漁港(上)與高雄中芸漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態

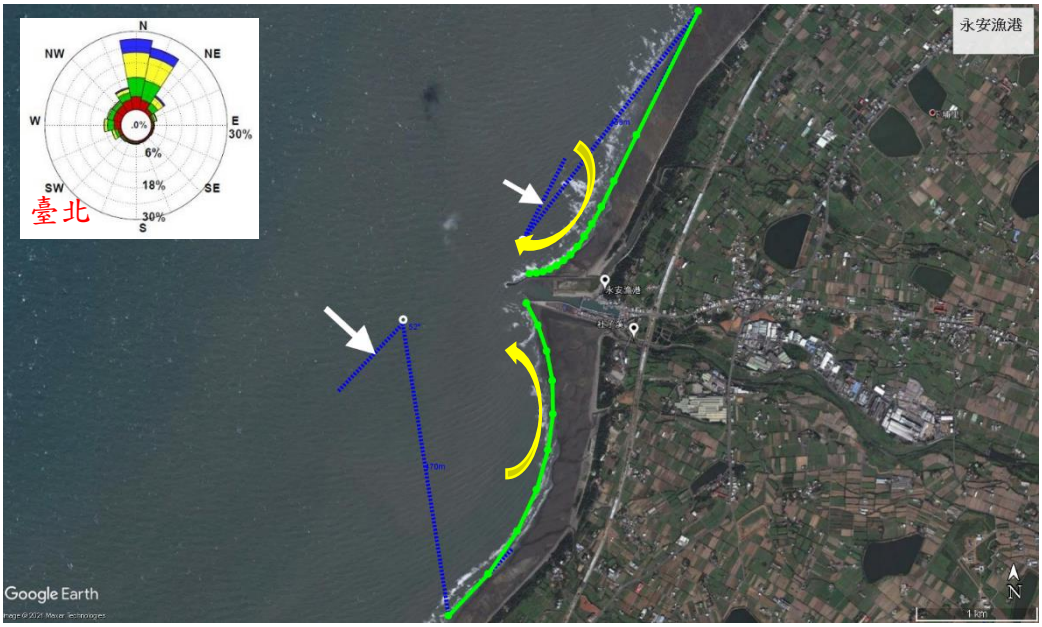


枋寮漁港_Google Earth_細_2019_11 優浪.jpg

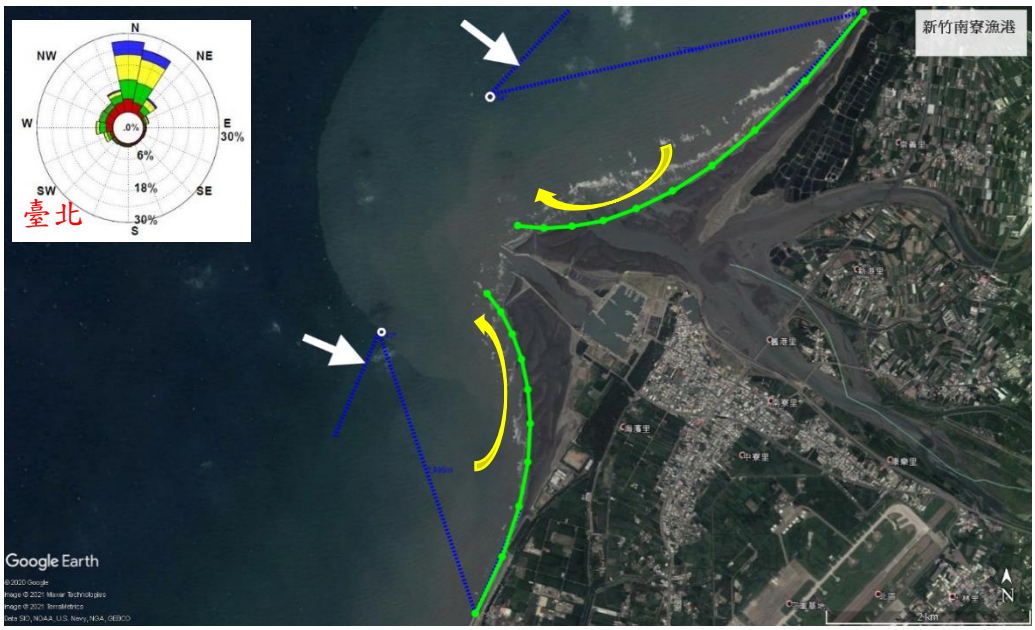


楓港漁港_Google Earth_小_2019_03 優環流.jpg

圖 4-88(續) 臺灣南部屏東枋寮漁港(上)與楓港漁港(下)之港口配置及毗鄰海灘之沖淤形態



永安漁港_GoogleEarth_大灣_岬灣灘線_綠_卓越波向與繞射點 2015_12 優乾. jpg



新竹南寮漁港_GoogleEarth_小_港口岬灣海灘_卓越波向與繞射點_2018_1018. tiff

圖 4-89 應用岬灣海灘之灘線擬合(綠色)檢視桃園永安漁港(上)及新竹漁港(下)毗鄰海灘形成沙舌形態淤積之卓越入射波向(白色箭矢)與波浪繞射點(白色圓點)及因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生之近岸沖刷環流(黃色箭矢)

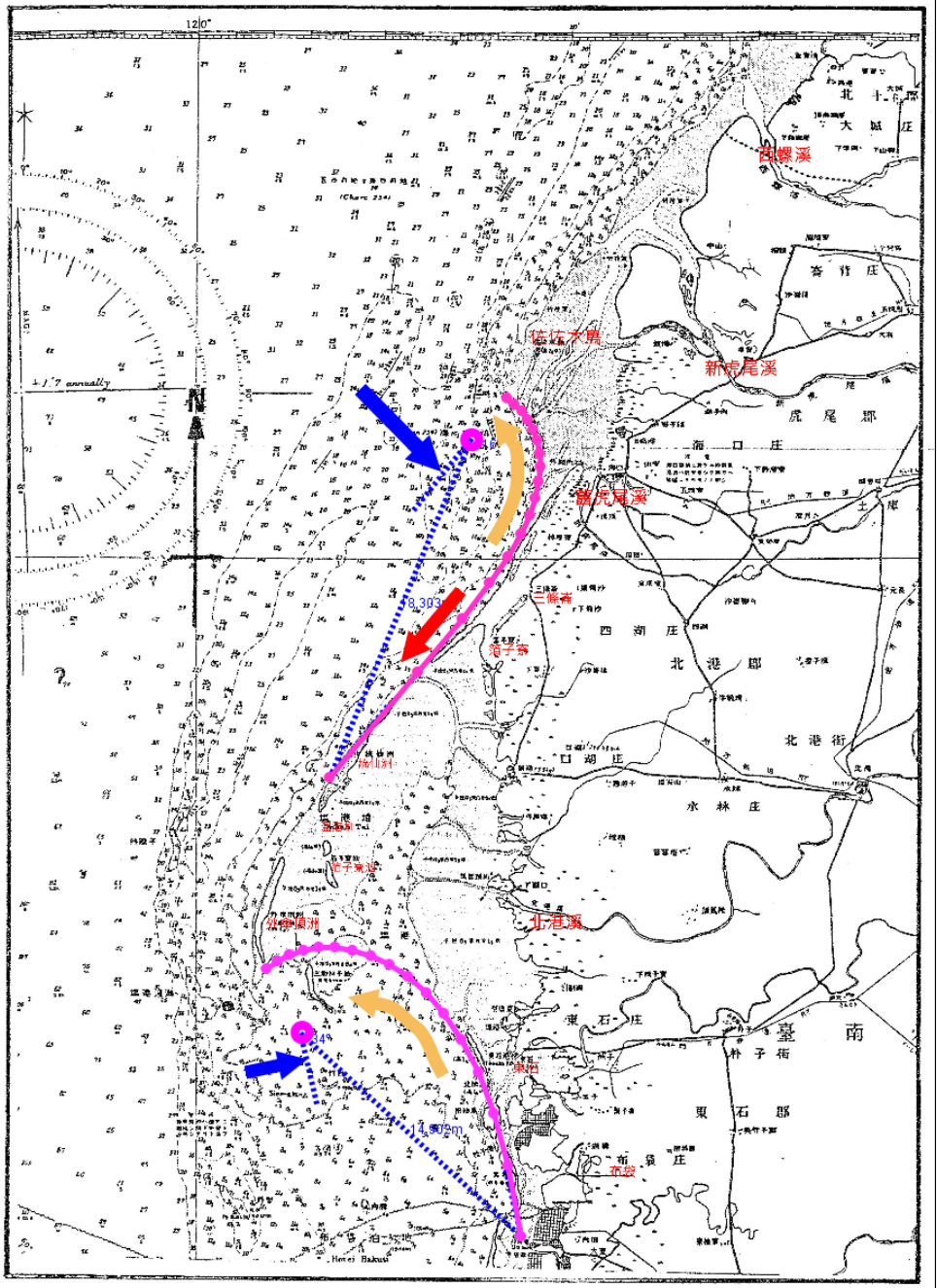


苑裡漁港_Google Earth_細_岬灣海灘_卓越波向繞射點_2018_11.tiff



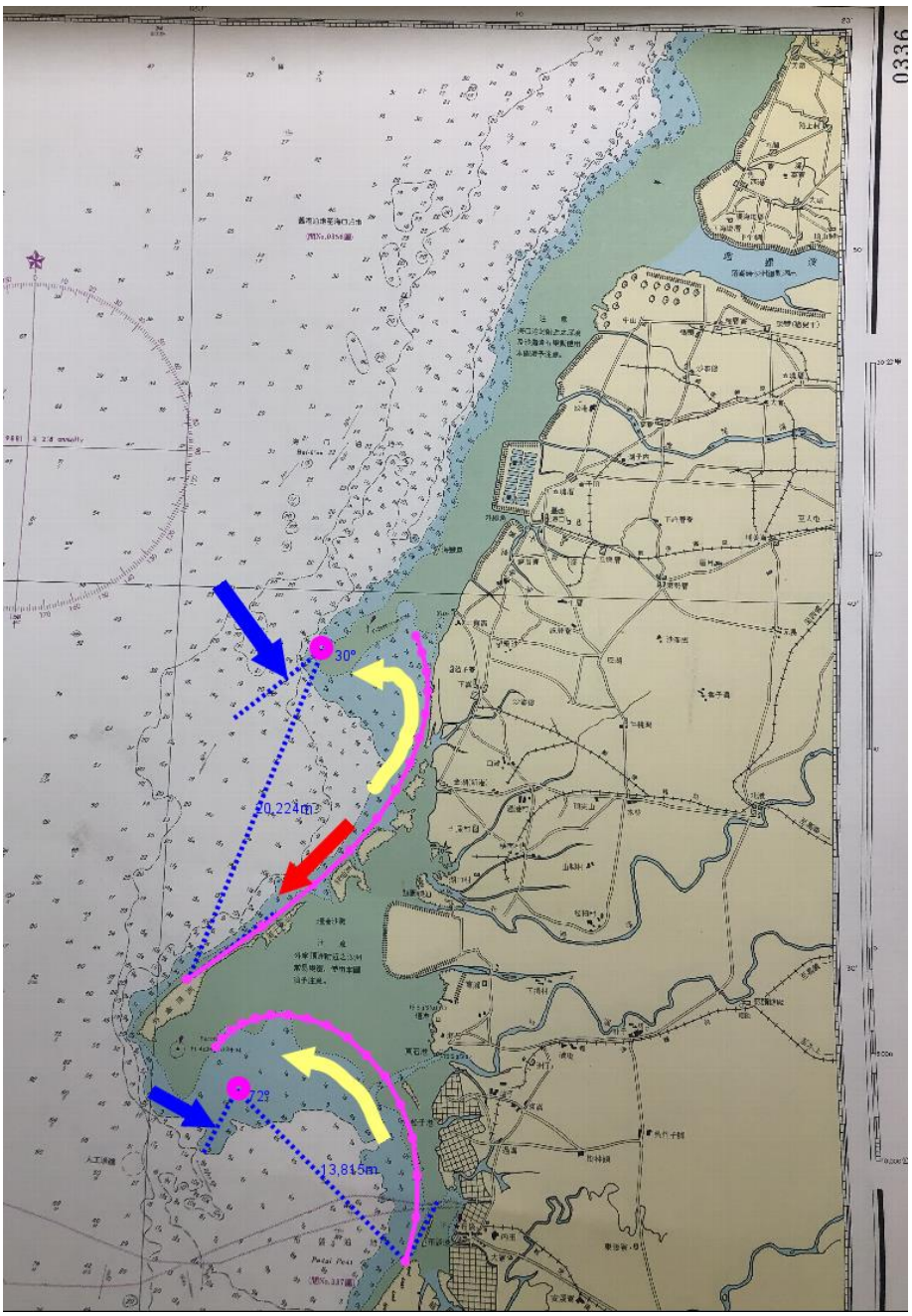
松柏漁港_GoogleEarth_小_岬灣海灘_卓越波向繞射點_2021_02.tiff

圖 4-90 應用岬灣海灘之灘線擬合(綠色)檢視苗栗苑裡漁港(上)及臺中松柏漁港(下)毗鄰海灘形成沙舌形態淤積之卓越入射波向(白色箭矢)與波浪繞射點(白色圓點)及因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生之近岸沖刷環流(黃色箭矢)



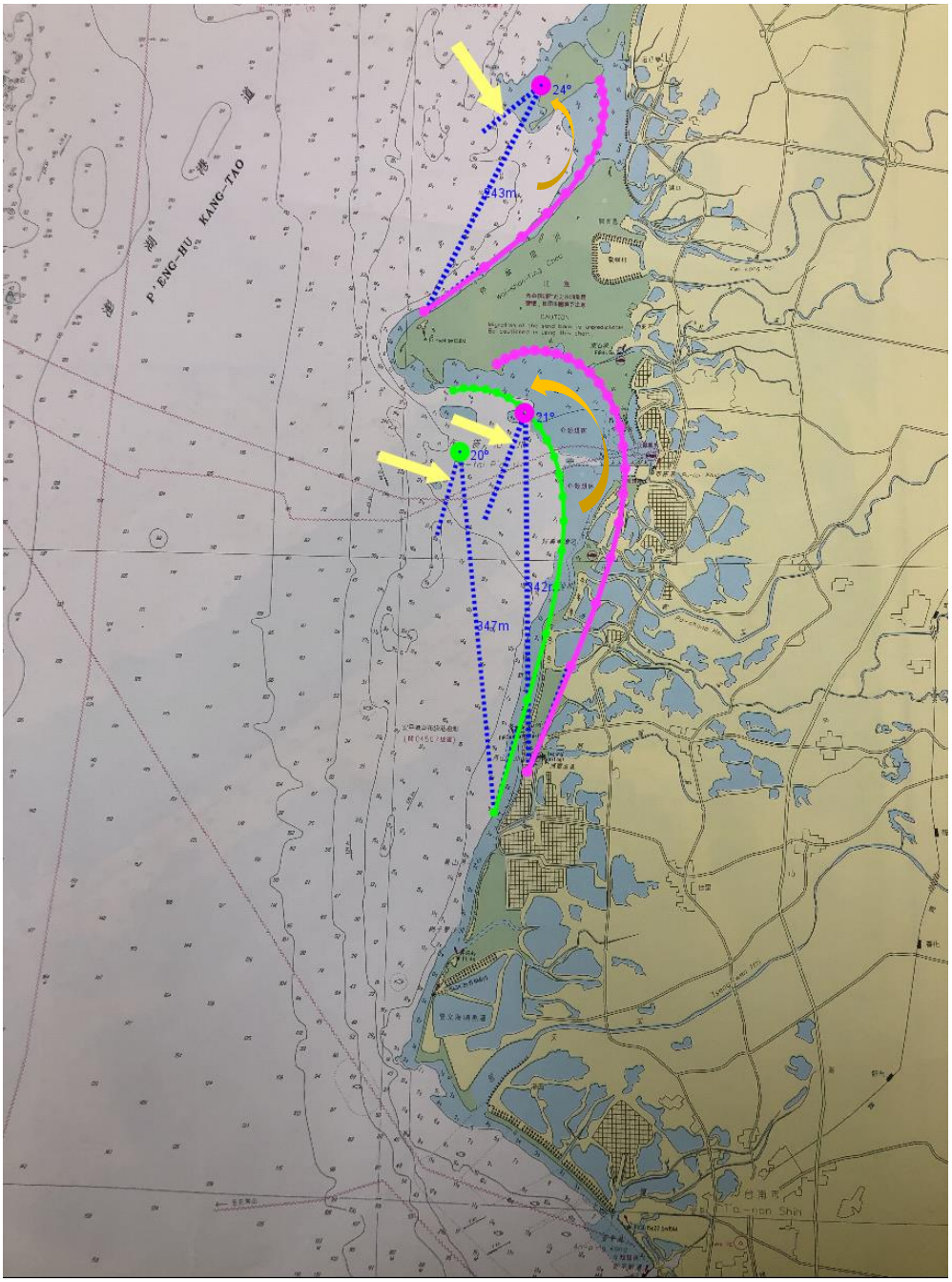
外傘頂沙洲_1932_海圖_溪河_岬灣海灘_雙_ 卓越波向繞射點_沖刷流_頁面擷取自-外傘頂洲地形變遷之研究_河海研究第 23 號_林銘崇_莊文傑_1984_報告海圖 2A.tif

圖 4-91 應用岬灣海灘之灘線擬合(粉紅線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港毗鄰海灘受 1932 年外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響形成之岬灣海灘形態淤積與近岸之卓越入射波向(藍箭矢)與波浪繞射點(粉紅圓點)及近岸沖刷環流(黃褐箭矢)



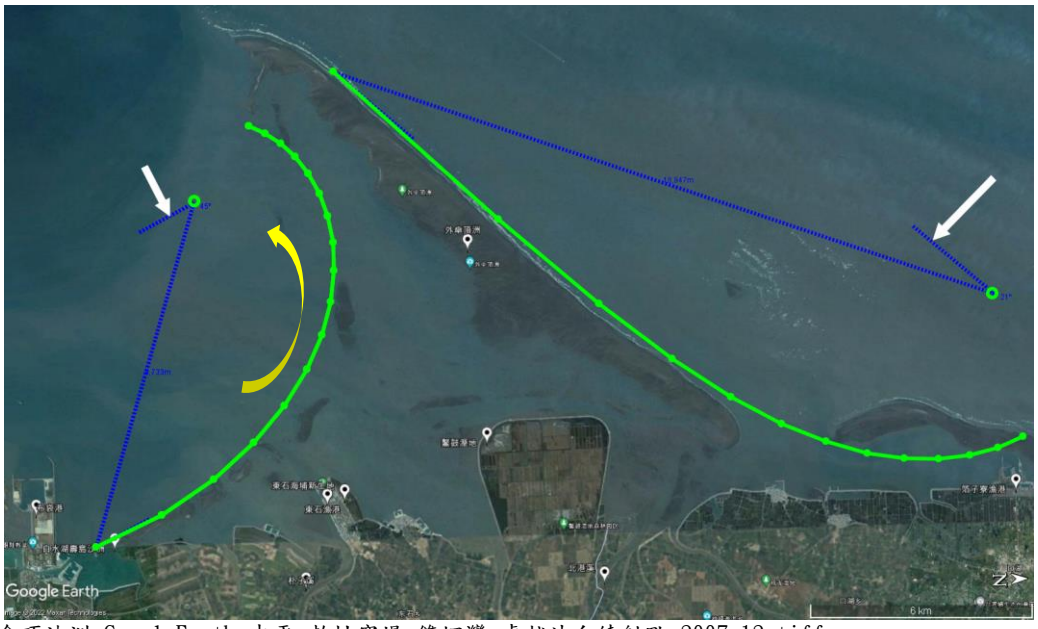
澎湖港道 _1966-1980_0336_ 剪裁_岬灣海灘_雙__卓越波向繞射點_沖刷流_海軍海洋測量局_1982_6-30 出版_4.tiff

圖 4-91(續) 應用岬灣海灘之灘線擬合(粉紅線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港毗鄰海灘受 1982 年外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響形成之岬灣海灘形態淤積與近岸之卓越入射波向(藍箭矢)與波浪繞射點(粉紅圓點)及近岸沖刷環流(黃箭矢)

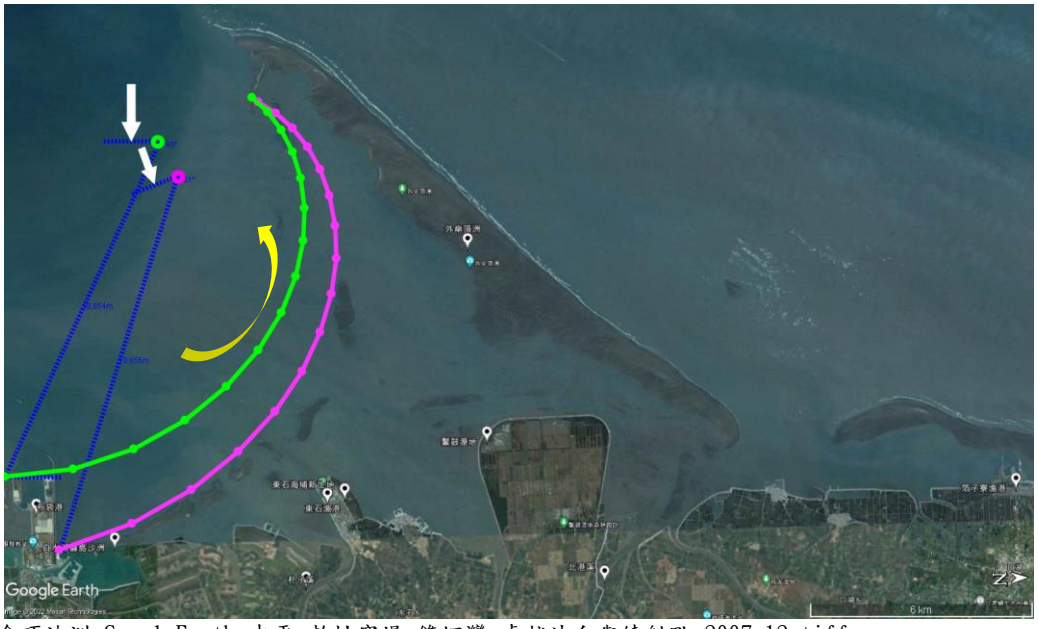


澎湖港道 _1995_0336_岬灣海灘_雙_卓越波向繞射點_海軍海洋測量局_1997_6-30 出版_1.tiff

圖 4-91(續) 應用岬灣海灘之灘線擬合(粉紅、綠線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港毗鄰海灘受 1997 年外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」及潮位影響形成之岬灣海灘形態淤積與近岸之卓越入射波向(黃箭矢)與波浪繞射點(粉紅、綠圓點)及近岸沖刷環流(黃褐箭矢)

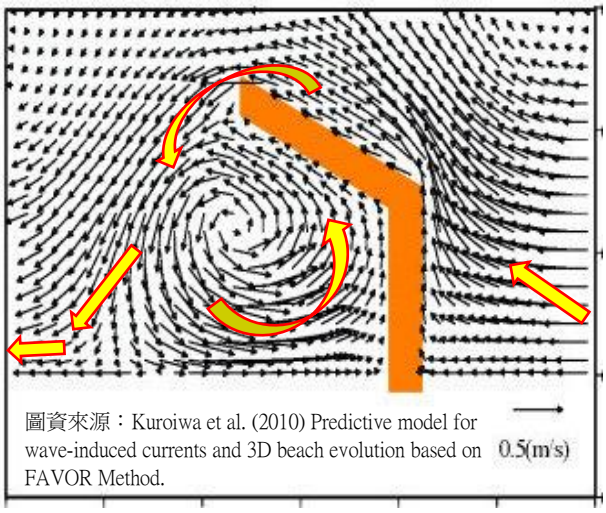


外傘頂沙洲_GoogleEarth_中平_軟性突堤_雙岬灣_卓越波向繞射點_2007_12.tiff



外傘頂沙洲_GoogleEarth_中平_軟性突堤_雙岬灣_卓越波向與繞射點_2007_12.tiff

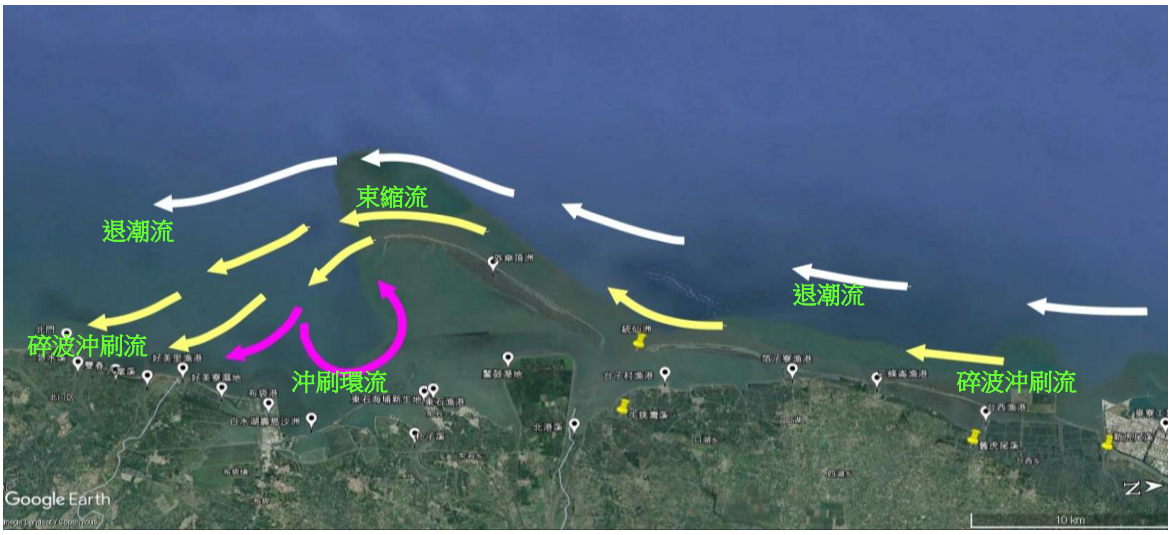
圖 4-92 應用岬灣海灘之灘線擬合(綠、粉紅線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港受 2007 年外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響形成之岬灣海灘形態淤積與對應之卓越入射波向(白箭矢)與波浪繞射點(粉紅、綠圓點)及近岸沖刷環流(黃箭矢)



圖資來源：Kuroiwa et al. (2010) Predictive model for wave-induced currents and 3D beach evolution based on FAVOR Method.

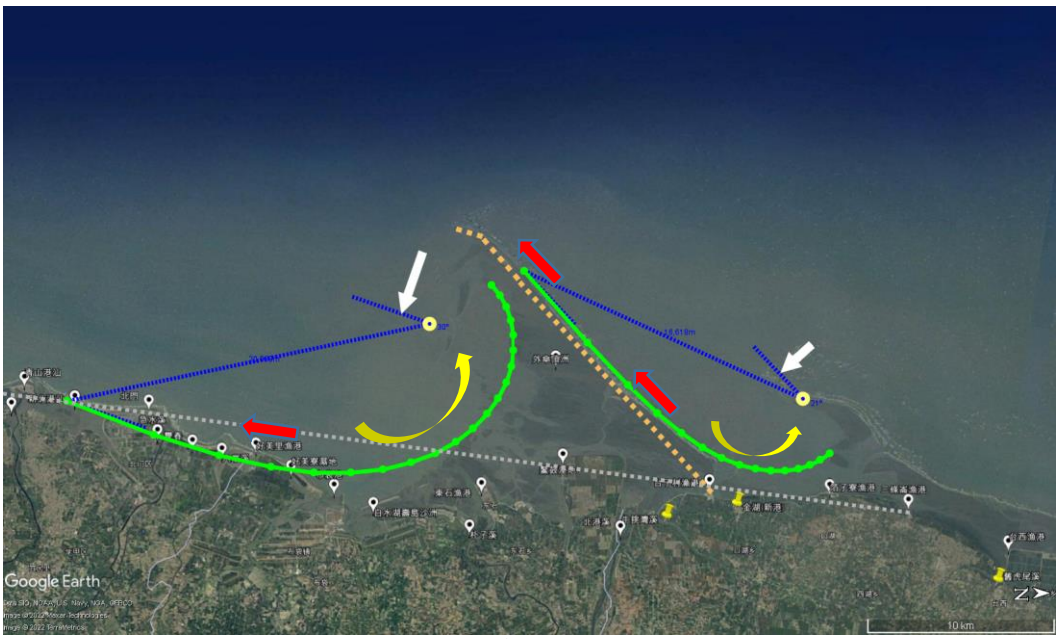


圖資來源：Google Earth_西班牙 Platja de Nules, Castelló_2015/10

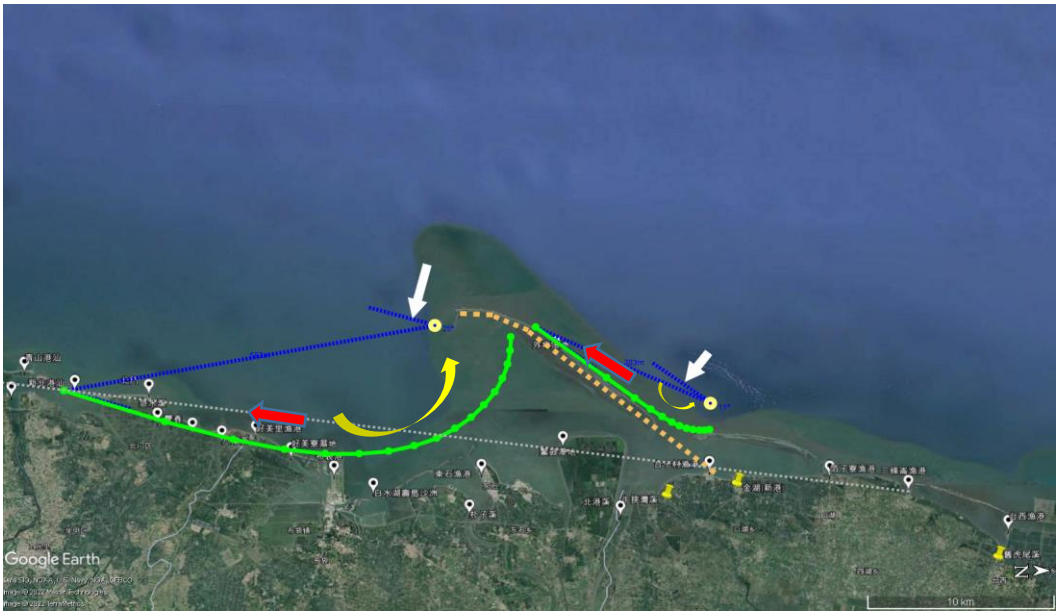


資料來源：外傘頂沙洲_GoogleEarth_區平_突堤_潮流與沖刷環流_2022_0714

圖 4-93 對應於「突堤效應」的碎波沖刷流、沖刷環流與毗鄰海灘的沖淤形態(上)以及外傘頂沙洲因「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響伴隨衍生可類比「突堤效應」的碎波沖刷流、沖刷環流與退潮流之綜合流場(下)



外傘頂沙洲_Google Earth_大區平_突堤_岬灣海灘_卓越波向繞射點_虛線突堤_1988_12 優.tiff

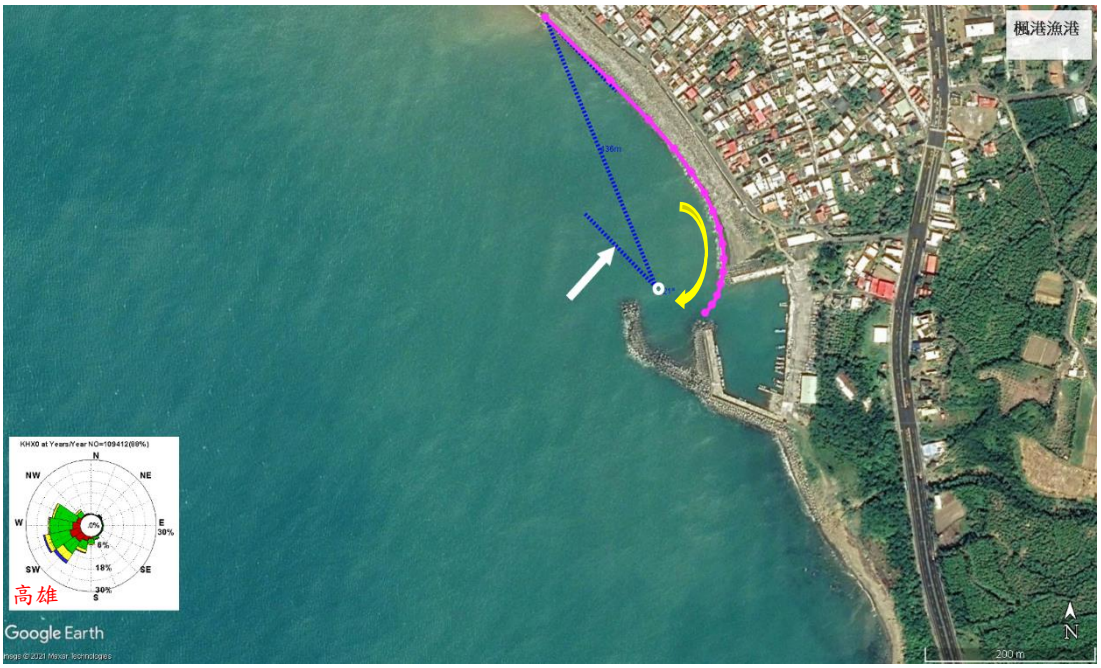


外傘頂沙洲_Google Earth_大區平_突堤_岬灣海灘_卓越波向繞射點_虛線突堤_2022_09 優.tiff

圖 4-94 應用岬灣海灘之灘線擬合(緣線)檢視嘉義東石漁港與布袋第三漁港及布袋港毗鄰海灘受 1988 年(上)及 2022 年(下)外傘頂沙洲「軟性突堤效應」或「軟性岬頭效應」影響形成之岬灣海灘形態淤積與近岸之卓越入射波向(白箭矢)與波浪繞射點(黃圓點)及衍生之近岸沖刷流(紅箭矢)與沖刷環流(黃箭矢)



枋寮漁港_Google Earth_小_2019_10 優_岬灣海灘_玫瑰圖_卓越波向繞射點.tiff



楓港漁港_Google Earth_細平_半離岸堤_繫岸沙洲岬灣_2021_11b.tiff

圖 4-95 應用岬灣海灘之灘線擬合(粉紅色)檢視屏東枋寮漁港(上)及楓港漁港(下)毗鄰海灘形成繫岸沙洲形態淤積之卓越入射波向(白色箭矢)與波浪繞射點(白色圓點)及因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生之近岸沖刷環流(黃色箭矢)



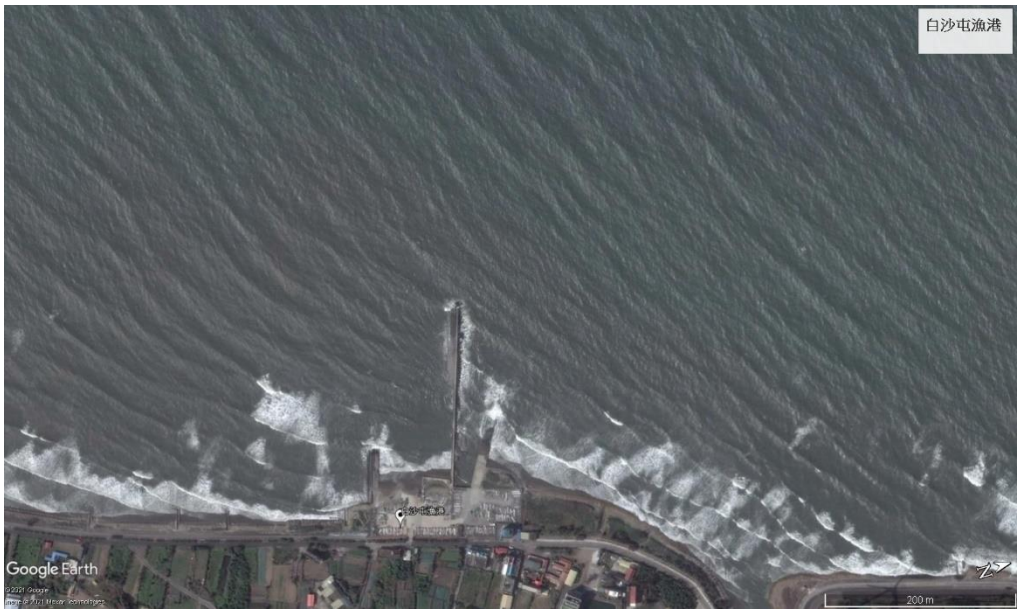
圖資來源：Google Earth，2014/01(上)；2015/12(下)

圖 4-96 桃園永安漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因港口潛沒「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成沙舌形態之淺灘淤積



圖資來源：Google Earth，2018/07(上)；2018/04(下)

圖 4-97 新竹漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因港口潛沒「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成沙舌形態之淺灘淤積

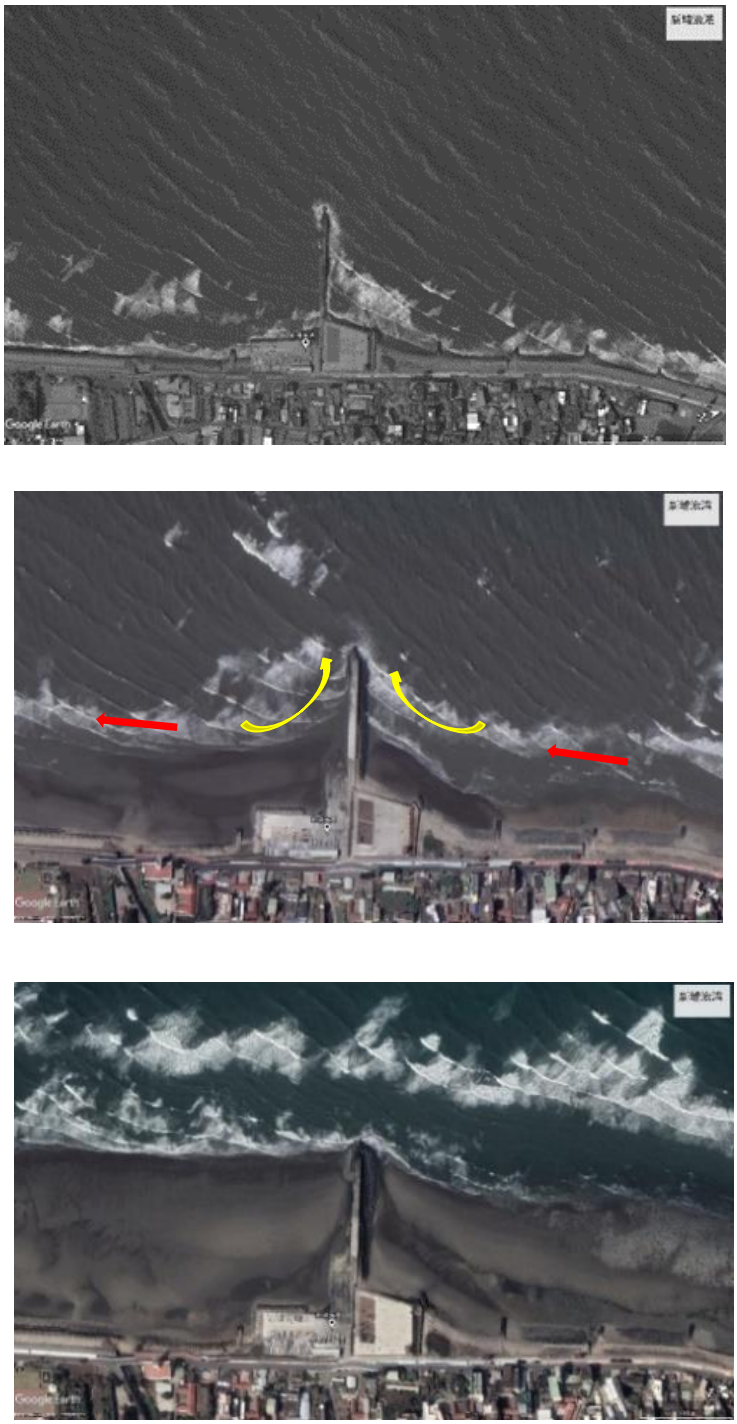


白沙屯漁港_Google Earth_細平_2016_11 優滿.jpg



白沙屯漁港_Google Earth_細平_2018_11 乾.jpg

圖 4-98 苗栗白沙屯漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因潮間帶內偏正向入射波浪碎波衍生沖刷流(紅)作用所造成平直形態之淺灘淤積



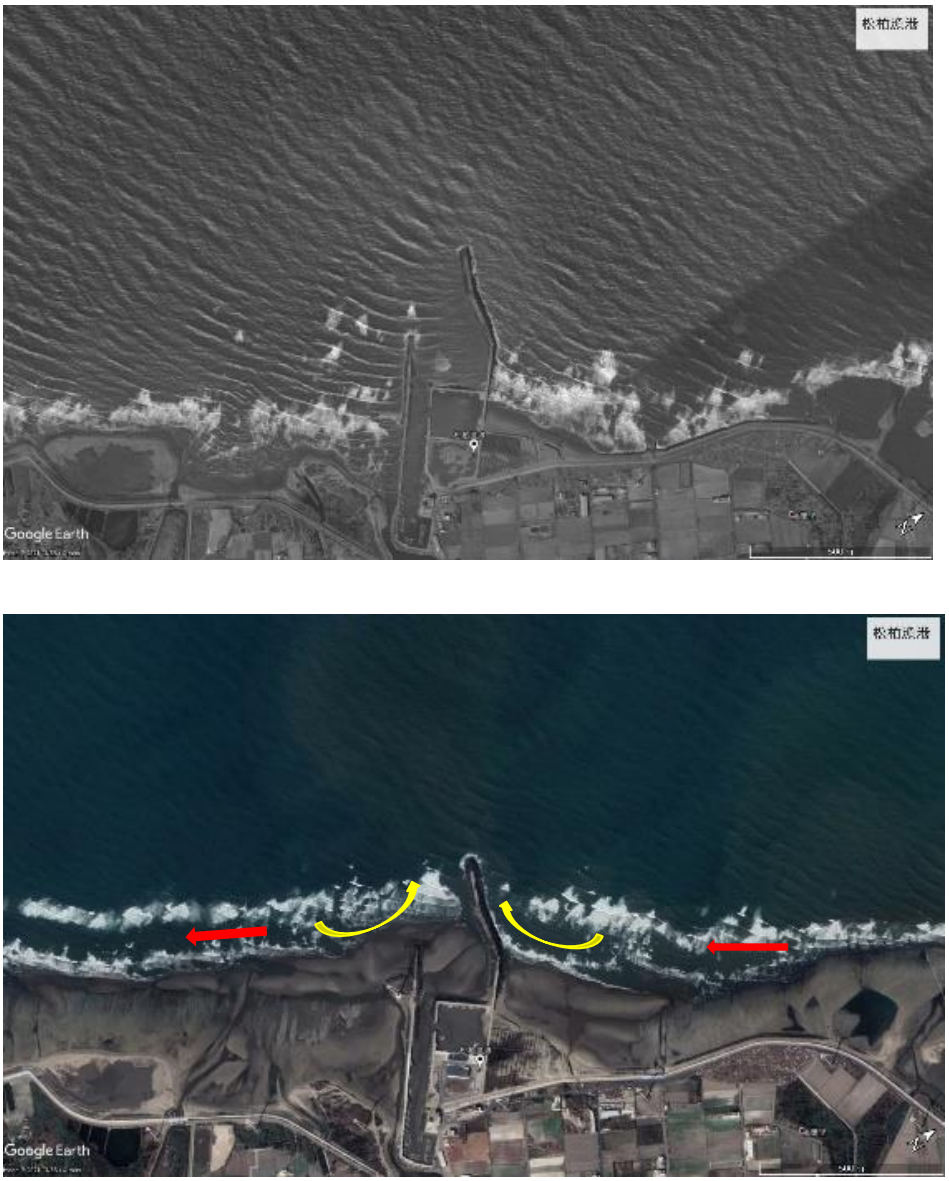
圖資來源：Google Earth，2015/02(上)；2018/01(中)；2021/02(下)

圖 4-99 苗栗新埔漁港高潮位(上)、中潮位(中)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因潮間帶內偏正向入射波浪碎波衍生沖刷流(紅)作用所造成平直形態之淺灘淤積



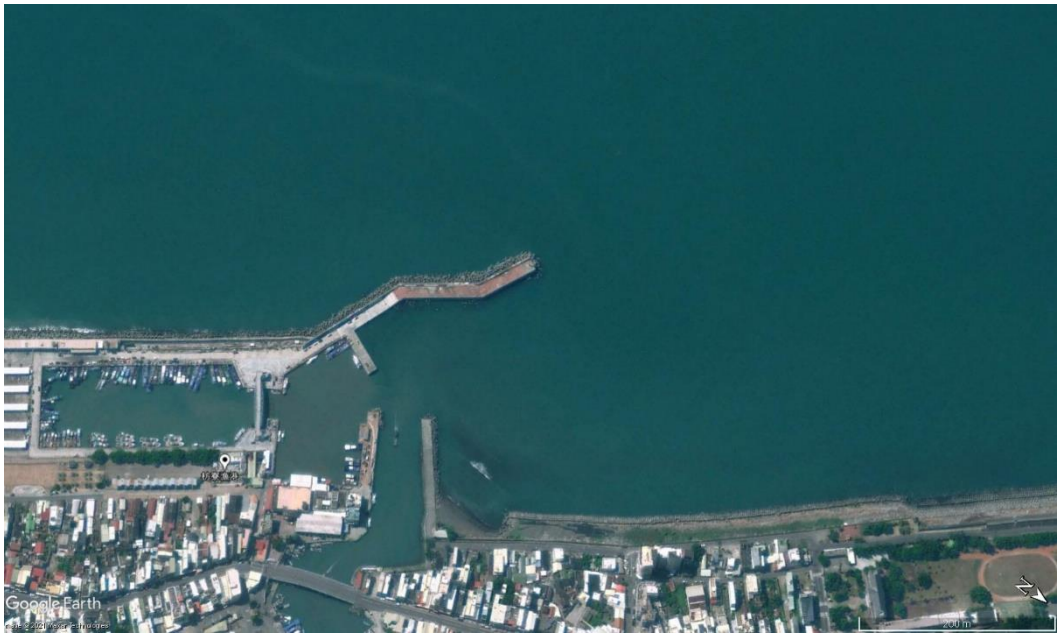
圖資來源：Google Earth，2016/09(上)；2018/11(下)

圖 4-100 苗栗苑裡漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因潮間帶內偏正向入射波浪碎波衍生沖刷流(紅)作用所造成平直形態之淺灘淤積



圖資來源：Google Earth，2015/02(上)；2021/02(下)

圖 4-101 臺中松柏漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因港口潛沒「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成沙舌形態之淺灘淤積

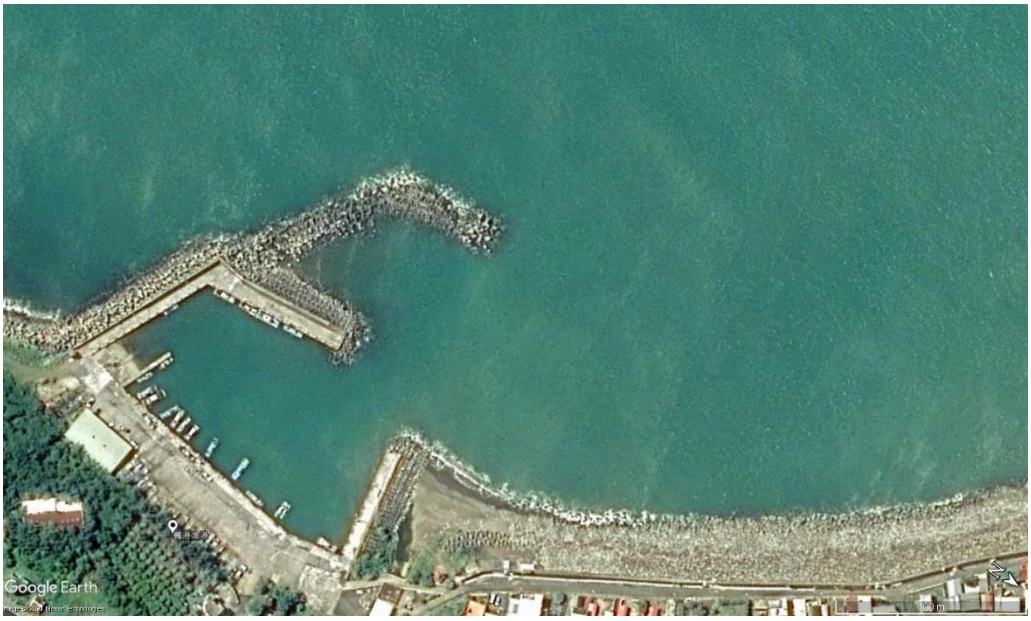


枋寮漁港_Google Earth_細平_半離岸堤_繫岸沙洲_2017_11a 配置. jpg

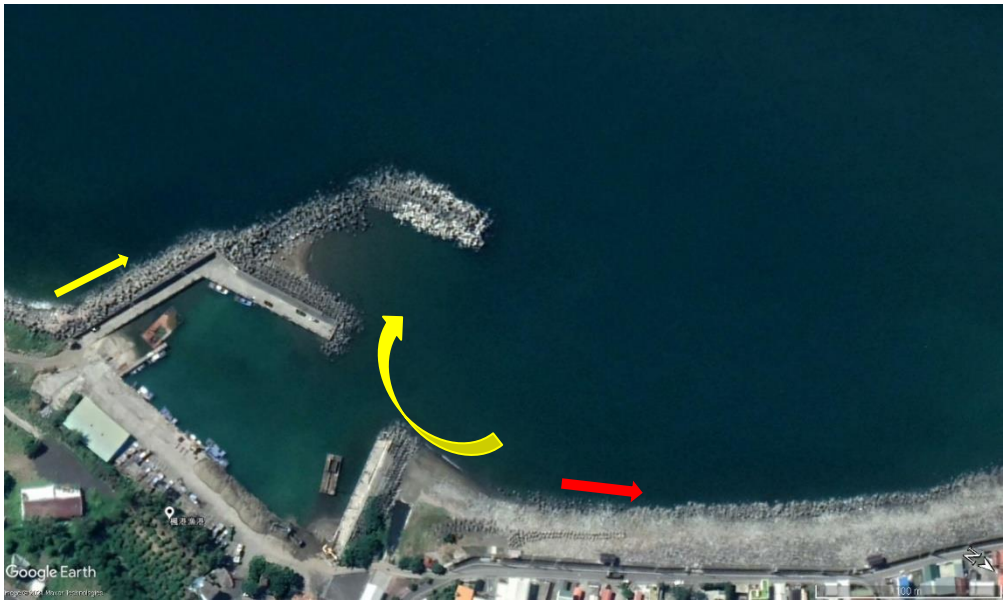


枋寮漁港_Google Earth_細平_半離岸堤_繫岸沙洲_2019_11 優浪. jpg

圖 4-102 屏東枋寮漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成繫岸沙洲形態之淺灘淤積



楓港漁港_Google Earth_細平_半離岸堤_繫岸沙洲_2017_10.jpg



楓港漁港_Google Earth_細平_半離岸堤_繫岸沙洲_2021_11 優.jpg

圖 4-103 屏東楓港漁港高潮位(上)及低潮位(下)期間港口外廓防波堤兩側因「離岸堤效應」或「岬頭效應」衍生碎波沖刷流(紅)與沖刷環流(黃)作用所造成繫岸沙洲形態之淺灘淤積

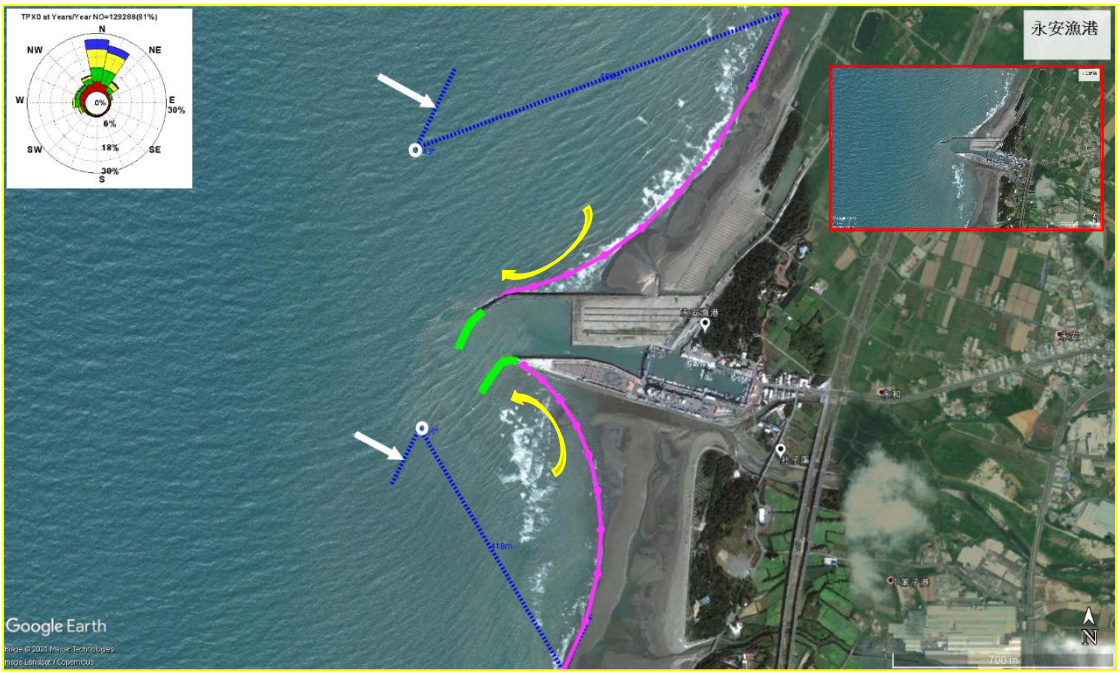


左營港_GoogleEarth_小平_2021_12a.jpg

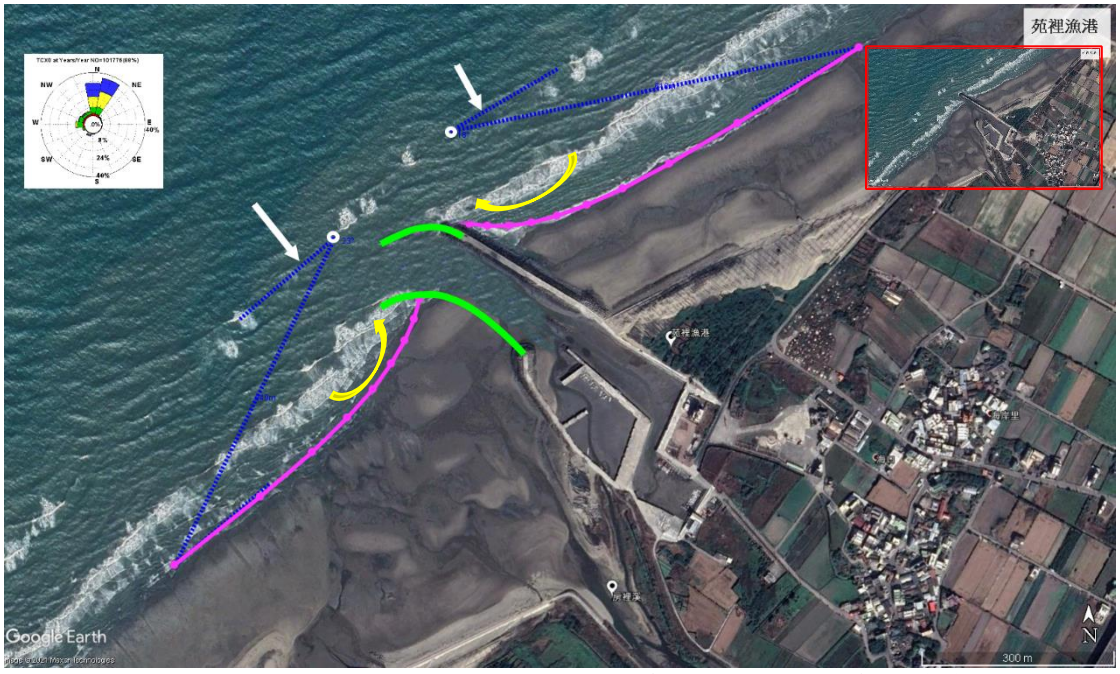


和平工業專用港_GoogleEarth 地圖 20160615 大平.jpg

圖 4-104 高雄左營港(上)及花蓮和平工業專用港(下)為防治港嘴航道淤塞及輕減毗鄰海灘沖蝕而以應用「岬頭效應」及避免「離岸堤效應」在外防波堤後營造繫岸沙洲或沙舌海灘為重點所採行圓弧形態之港口外廓配置



永安漁港_GoogleEarth_中_2010_12 優_岬灣海灘_卓越波向繞射點_改善配置(定).tiff



苑裡漁港_Google Earth_細_2018_11 優_岬灣海灘_玫瑰圖_卓越波向繞射點_改善配置(定).tiff

圖 4-105 臺灣西北部海岸桃園永安漁港(上)與苗栗苑裡漁港(下)為防治近岸港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」之整治對策與改善措施(綠色實線)



枋寮漁港_Google Earth_小_2019_10 優_岬灣海灘_玫瑰圖_卓越波向繞射點_改善配置.jpg



楓港漁港_Google Earth_小_2017_10 優_岬灣海灘_玫瑰圖_卓越波向繞射點_改善配置.jpg

圖 4-106 臺灣西南部海岸屏東枋寮漁港(上)與楓港漁港(下)為防治近岸港口嚴重淤塞及毗鄰海灘沖蝕，建議就既有港口配置規模採行應用「岬頭效應」、避免「離岸堤效應」之整治對策與改善措施(綠色實線)

第五章 結論與建議

本研究所稱之「近岸港口」,係通指港口之外廓防波堤或航道出口，係座落於低潮期間之碎波帶內，或位於內灘者。

「岬頭效應」係指在自然或人造岬頭遮蔽後之海灘，受具時、空變動性之強大波浪衝擊，再伴隨潮汐與風暴潮之影響，致使通過岬頭地形之折、繞射波浪，因水深淺化而發生碎波，並在岬頭後之海灘沖刷帶(swash zone)上，產生波高大小不均、波向變化、碎波位置不一且伴隨碎波之上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)沖刷流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)，強弱產生差異，進而在岬頭後形成迎向波浪之近岸沖刷環流，並促使漂沙由沖刷流速較強區往較弱之岬頭後輸運，終致造成岬頭後輸沙特性改變，灘線發生沖淤變遷，並衍生繫岸沙洲(tombolo)形態之岬灣海灘重塑(reshaping)。

本研究針對臺灣環島近岸港口航道淤塞及毗鄰海灘沖蝕之相關課題，依據既有監測與模擬之海、地、氣象特性，結合現今多元的網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，調查既有近岸港口外廓防浪設施之配置，綜整分析港口之外廓配置形態，檢視與港口毗鄰海灘之沖淤特性，再應用「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」(莊，2017；2020~2022)，從近岸波浪傳播之折、繞射變形、碎波對海灘之直接衝擊以及其與港口外廓配置及海岸防護設施的交互干擾與影響層面著手，藉莊(2020)提出沖刷帶上碎波沖刷環流(流速$u \approx \sqrt{gH_b}$)之衝擊作用，據以評估近岸港口外廓防浪設施對毗鄰海灘沖淤之影響，掌握造成港口淤塞之關鍵控制因素，進而研提相關之防治對策與調適建議。藉期透過本研究，可提升面對近岸港口沖淤課題之廣度與深度，精進海岸經理策略，降低生態環境衝擊，促成國家海岸資源之永續利用。

5.1 結論與建議

波浪的衝擊，是海岸輸沙與海灘變遷之主要原動力。近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕，是潮汐、波浪、漂沙與港口外廓配置的交互影響課題。本研究綜合臺灣東、西部漁港港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之特性，研判造成近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之主要影響因素，應含括(1)具時、空變動性暴潮巨浪(約大於 1.5 m)在海灘沖刷帶上之強勁衝擊作用；(2)具不定常且非均勻性海灘坡度與碎波型態之改變；以及(3)港口外廓配置形態與規模及相關海岸防護設施之持續整建與擴展等三項。其中，在高、低潮位間之近岸淺灘上，具較大波高之季風及颱風波浪碎波之直接衝擊，並於港口屏蔽區因「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」複合發展所造成強勁碎波沖刷環流之輸沙作用，係為造成近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤的主要動力與關鍵機制。

臺灣環島的近岸港口，大多為規模不大、航道水深較淺的漁港，為防禦季風波浪與颱風波浪之直接衝擊，提昇港域泊地的靜穩度，經常會在平行及垂直海岸方向，構築防波堤之外廓防浪設施，但是在過於著重防浪功能、急切擴增港域面積及講究泊地靜穩度情況下，外廓防波堤之配置或擴建，因而普遍具有突堤或離岸堤之型式，更因離岸堤與突堤之堤頭，實際係為人造岬頭，以致用以防禦波浪侵襲之外廓防波堤，常會伴隨產生「岬頭效應」，並在港口造成波向變異、波高大小不均的波浪衝擊，衍生碎波沖刷環流，改變輸沙特性，進而因不平衡的漂沙沈積而導致海灘重塑，最終，因岬灣海灘在近岸港口航道發展而經常發生淤塞。

面對臺灣環島近岸港口航道經常淤塞與毗鄰海灘沖蝕之課題，於充分瞭解區域性潮汐、波浪與外廓配置之交互作用影響，掌握碎波沖刷流衍生之輸沙動力，以及確認「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」的複合發展是造成毗鄰港口海灘重塑之關鍵機制後，對於位處在潮間帶內之近岸港口，由於碎波沖刷流造成強勁的輸沙作用，現況港口產生嚴重淤塞勢必無法避免，因此，為保持港口航道暢通，只能採「零方案」，持續進行港口及潮溝之清淤；而若既有港口整體位處在潮間帶之

海側近傍，則主要之改善構想，建議除了依循傳統，在港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤規劃配置上，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主外；在港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤規劃配置上，則應著重梳流、導沙、截淤效能之提昇。具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有具雙突堤形態之 ***I*** 型外防波堤，皆調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以禦防偏正向卓越入射波浪之直接衝擊，並導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘。至於具離岸堤形態之近岸港口，具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，依舊包括：應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，將港口既有具 ***I*** 型突堤形態之內防波堤，調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以導引外防波堤後之沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘，進而達成近岸港口複合禦防波、流、輸沙衝擊之目標。但是對於類如外傘頂沙洲之大尺度「突堤效應」與「岬頭效應」複合發展所造成嘉義東石漁港、布袋第三漁港及布袋港的港口航道淤塞防治，由於其造成的原因與機制，密切與外傘頂沙洲的變遷、嘉義東石與布袋海岸的淤積以及嘉義好美寮至臺南雙春等下游毗鄰海灘的沖蝕相互關聯，任何小規模之改善構想或局部性之調適對策，勢必將牽一髮而動全身，極易顧此年彼，所以，本研究謹建議：研訂防治大尺度移動的國土_外傘頂沙洲的變遷策略與措施，應對毗鄰海灘可能引發的沖淤變遷效應與衝擊，詳加週全考量並審慎評估。

綜合而論，對於臺灣環島近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘之沖蝕，建議可採行之通用對策與措施包括：(1)無論是在規劃、設計、擴建、維護及清淤疏浚階段，皆應著重於「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」之評估，藉以確實避免其實質的干擾或有效降低其負面影響；(2)對於前灘地形水深、潮差與海灘坡度對波浪繞射與碎波形態的時、空變動性，應配合現場調查並採用數值模擬技術，廣泛詳實進行研究，特別是掌握近岸海灘卓越波浪之衝擊作用力及碎波沖刷流對漂沙的輸運作用；(3)近岸港口外廓防波堤配置，應盡量採用可有效減緩波浪衝擊、

疏導碎波沖刷流及順應漂沙輸運之圓弧形態，特別是港口之內防波堤，應著重於應用「岬頭效應」，轉移原存在於外防波堤堤頭(人工岬頭)之波浪繞射點，並充分配合離岸堤設計之經驗準則，抑制「離岸堤效應」與港口沖刷環流之發展，藉以限縮港口外防波堤後繫岸沙洲或沙舌海灘之重塑規模；(4)面對具有寬幅潮間帶的臺灣西部近岸港口，於進行漁港港口淤塞特性分析與造成機制研判時，應專注確定低潮位期間之卓越波向與碎波沖刷流之作用；於檢視海灘的侵淤特性時，宜高、低潮位並重；而於從事海岸保護工程之規劃與設計，則應特別講究高潮位期間卓越波浪碎波之直接沖擊。

5.2 研究成果之效益

本研究成果主要在藉碎波沖刷流之海岸水動力及其對漂沙之輸送作用，透過「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」，辨識造成臺灣環島近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵影響因素，進而針對「岬頭效應」所造成港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵影響因素，研提調適、因應對策。主要研究效益，綜整條列如下：

(1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 1 篇，出版研究報告 1 冊。結合海岸專業知識，溫故知新，學以致用。針對臺灣環島海岸，分析檢討毗鄰港口海灘之沖淤現象與變遷型態，於一般之「突堤效應」外，再提出「離岸堤效應」與「岬頭效應」之海灘重塑機制，並確認碎波引致之強勁碎波沖刷流與沖刷環流，是造成近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵影響因素，進而研提藉「岬頭效應」之重建與轉移，作為改善與防治近岸港口淤塞之因應對策，並以避免及抑制港口航道外之沖刷環流、截斷繫岸沙洲、重塑岬灣海灘，達成近岸港口複合禦防波、流、輸沙衝擊之目標。

(2) 技術創新(科技整合創新)方面：結合網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，提升掌握科研課題之廣度與深度，擴展分析

觀點，精進海岸經理評估策略，降低生態環境衝擊，促成國家海岸資源之永續利用；

(3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：配合政府推展「海岸管理法」之永續發展目標，因應海岸防災效能，樽節經常性防沖減淤之減災與救災成本，大量減少長期性港口淤沙疏浚之維運費用；

(4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：配合「整體海岸管理計畫」，綜整海岸管理之課題與對策、導引海岸地區之有效維護措施，推展海岸利用方向，健全海岸之永續管理，改善近岸港口之經常性淤塞，消弭漁民對出海作業不便之怨言；

(5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：維繫自然平衡之海灘系統，確保自然海岸零損失，因應氣候變遷，防治海岸災害與環境破壞，保護與復育海岸資。

5.3 可供本所或其他政府機關後續應用情形

本研究結合網際網路資源，應用 Google Earth 之歷史圖像，歸納臺灣環島近岸港口外廓配置形態，研判其對毗鄰海灘之沖淤影響與範圍，具體建議對於近岸港口之防沖減淤對策，無論是在規劃、設計、擴建或維護階段，皆應著重於避免或降低「離岸堤效應」及「岬頭效應」，特別是調整港口內防波堤之既有配置形態，藉以限縮港口沖刷環流之發展與抑制外防波堤後沙舌或繫岸沙洲之衍生，進而可大量減少長期性港口淤沙疏浚之人力與物力投注。相關港口淤塞防治與毗鄰海灘沖淤之改善構想，建議除了依循傳統，在港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤規劃配置上，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主外；在港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤規劃配置上，則應著重梳流、導沙、截淤效能之提昇。現況本於因勢利導、順勢而為之準則，可採行之防治對策與措施，包括：應用「岬頭效應」，並藉「岬頭效應」之重建與轉移，將港口既有具雙突堤形態之 ***I*** 型外防波堤，皆調整為 r 或 ***Γ*** 型突堤，藉以禦防偏正向卓越入射波浪之直

接衝擊，並導引堤後沖刷環流、截斷繫岸沙洲、創建新「岬頭」、重塑岬灣海灘，進而達成近岸港口複合禦防波、流、輸沙衝擊之目標，減少長期性港口淤沙疏浚人力與物力之大量投注。相關成果可提供行政院農委會漁業署、交通部、各港務分公司、內政部、經濟部水利署、各工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。推動並落實總體性之海岸保育與防災策略，樽節年度防沖減淤經費之投注。

參考文獻

1. Antonio Henrique da Fontoura Klein, Ariel Vargas, Andre Luıs Alice Raabe and John R.C. Hsu, (2003). Visual assessment of bayed beach stability with computer software. *Computers & Geosciences*, 29, pp.1249-1257.

2. Bos, K.J., Roelvink J.A. and M.W. Dingemans, (1996). Modelling the impact of detached breakwaters on the coast, *Coastal Engineering*, pp.2022-2035.

3. DHI (2017). *Shoreline management guideline*, DHI , Hørsholm, Denmark. Author(s): Karsten Mangor, Nils K. Drønen, Kasper H. Kærgaard and Sten E. Kristensen, pp.462.

4. Donnelly, C., Kraus, N.C. and Larson M. (2004). *Coastal Overwash: Part1, Overview of Processes*, *Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-XIV-13*. Vicksburg, MS: US Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory, pp.18.

5. Environment Agency (2010). *Modelling the effect of nearshore detached breakwaters on sandy macro-tidal coasts*, Environment Agency, SC0600026/R2, Bristol, UK. Author(s): Hakeem Johnson, Jort Wilkens, Andy Parsons and Tim Chesher. pp.161.

6. Frihy, O.E., El Banna M.M. and A.I. El Kolfat (2004). Environmental impacts of Baltim and Ras El Bar shore-parallel breakwater systems on the Nile delta littoral zone, Egypt. Environmental Geology, 45, pp.381-390. DOI 10.1007/s00254-003-0886-y.

7. Garrison, T. (2005). *Oceanography: an invitation to marine science*, 5th ed. ed. Thomson Brooks/Cole, Belmont, CA.

8. Hsin, Y.C., C.R. Wu and P.T. Shaw (2008). Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan, 1982-2005: A numerical study. J. Geophys. Res., 113, C04002.

9. Hsu, J.R.C., R. Silvester and Y.M. Xia (1989). Applications of

headland control, *Journal of Waterways, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 3, pp. 299-310.

10. Hsu, J.R.C. and C. Evans, (1989). Parabolic bay shapes and applications. *Proceedings, Institution of Civil Engineers*, Part 2, London: Thomas Telford, Vol. 87, pp. 557-570.

11. Hsu, J.R.C. and R. Silvester, (1990). Accretion behind single offshore breakwater. *J. Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 116 (3)，pp. 362-379.

12. Hsu, J.R.C., J.C. Chu, S.R. Liaw and C.Y. Lee, (2006). Methodology of shore protection in Taiwan at the crossroads. *Proc. 30th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, v. 4, pp. 3762-3774.

13. Hsu, J.R.C., Benedet, L., Klein, A.H.F., Raabe, A.L.A., Tsai, C.P. and Hsu, T.W. (2008) Appreciation of Static Bay Beach Concept for Coastal Management and Protection, Journal of Coastal Research, 24 (1), 198–215.

14. Karambas Th. V. and C. Koutitas, (2002). Surf and swash zone morphology evolution induced by nonlinear waves, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 128, no 3, pp. 102-113.

15. Karambas Th. V. (2002) Nonlinear Wave Modeling and Sediment Transport in the Surf and Swash Zone, *ADVANCES in COASTAL MODELING*, Elsevier Science Publishers.

16. Karambas Th. V. and E.K. Karathanassi, (2004). Boussinesq modeling of Longshore currents and sediment transport, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 130, no 6, pp. 277-286.

17. Karambas Th. V. (2006). Prediction of sediment transport in the swash zone by using a nonlinear wave model, *Continental Shelf Research*, 26, pp. 599-609.

18. Karambas, Th. V. (2012). Design of detached breakwaters for coastal

protection: Develpopment and application of an advanced numerical model, *Coastal Engineering*, pp. 1249−1257.

19. Klein, A.H.F., A. Vargas, A.L.A. Raabe and J.R.C. Hsu, (2003). Visual assessment of bayed beach stability with computer software, *Computers and Geosciences*, Vol. 29, pp. 1249-1257.

20. Kuroiwa, M., Abualtayef, M., Takada, T., Seif, A.K. and Matsubara, Y. (2010). Predictive model for wave-induced currents and 3D beach evolution based on FAVOR Method, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 2, Issue 2, pp. 68-74.

21. Lin, M.C., W.J. Juang and T.K. Tsay, (2001). Anomalous Amplification of Semidiurnal Tides along the Western Coast of Taiwan. *Ocean Engineering*, Vol. 28, No. 9, pp. 1171-1198.

22. Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart, (1964). Radiation stress in water wave - A physical discussion with applications. *Deep-Sea Res.*, Vol. 11, No. 4, pp. 529-562.

23. Longuet-Higgins, M.S., (1970). Longshore currents generated by obliquely incident sea waves. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 75, pp. 6778-6789.

24. Matsumoto K., Takanezawa T. and M. Ooe, (2000). Ocean Tide Model Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimetry Data into Hydrodynamical Model: A Global and a Regional Model around Japan. *Journal of Oceanography*, 56, pp. 567-581.

25. Ming D. and Y-M. Chiew, (2000). Shoreline changes behind detached breakwater, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 126, No. 2, 63-70.

26. Rosati J.D. (1990). *Functional design of breakwaters for shore protection: empirical methods Technical Report*, CERC-90-15, US Army Corps of Engineers, Washington DC.

27. Silvester, R. and J.R.C. Hsu, (1997). *Coastal Stabilization*, Singapore, World Scientific, 578 pp.

28. Sørensen O.R., Schäffer H.A. and P.A Madsen, (1998). Surf zone

dynamics simulated by a Boussinesq type model. Part III. Wave-induced horizontal nearshore circulations. *Coastal Engineering*, 33, pp 155-176.

29. Sunamura, T. and K. Horikawa, (1974). Two-dimensional beach transformation due to waves. *Proceedings of the 14th Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 920-938.

30. Tucker, M.J. (1991). *Waves in Ocean engineering : Measurement, Analysis, Interpretation*, Ellis Horwood Series in Marine Science, E. Horwood, New York, , 431p.

31. Van Zyl, F.W. (2018). Geological mapping of the inner shelf off Cape Town's Atlantic Seaboard, South Africa. Department of Geological Sciences, University of Cape Town, 175p.

32. Wu, C.R., S.Y. Chao and C. Hsu, (2007). Transient, seasonal and interannual variability of the Taiwan strait current. *J. Oceanogr.*, 63, pp.821-833.

33. 田中則男(1983),「日本沿岸の漂砂特性と沿岸構造物築造に伴う地形變化に關する研究」,港灣技研資料,No. 453,第 148 頁。

34. 台南水工試驗所 (1970)"大武漁港模型試驗及漂沙研究報告",成功大學台南水工試驗所,研究報告第十二號。

35. 聯勤 (1978),「臺灣省全圖-五十萬分之一比例尺」,中華民國聯合勤務總司令部測量署。

36. 莊文傑 (1984),"外傘頂沙洲地形變遷之數值模擬",碩士學位論文(紙本),國立臺灣海洋學院河海工程研究所,共 123 頁。

37. 林銘崇、莊文傑 (1985),「外傘頂洲地形變遷之研究」,*土木水利季刊*,第 12 卷,第 3 期,第 23-39 頁。

38. 郭金棟 (1988),"海岸工程",中國土木水利工程學會,共 442 頁。

39. 郭金棟 (1990),"臺灣海岸地形變化及其未來之開發利用",行政院科技顧問組委託研究報告,CKHOTR-90-012,國立成功大學水

利及海洋工程研究所，共 219 頁。

40. 許泰文、歐善惠、張憲國 (1994)，「花蓮海岸侵蝕防護對策之研究」，第 16 屆海洋工程研討會論文集，第 D186-206 頁。

41. 許泰文、徐立政、張憲國 (1996)，「單一離岸堤背後海岸線變遷之研究」，中國土木水利工程學刊，第九卷，第三期，第 473-482 頁。

42. 溫志中、許泰文 (1996)，「動態人工岬灣應用之研究」，第 18 屆海洋工程研討會論文集，第 675-682 頁。

43. 簡仲和、許泰文、黃建維、邱耀達 (1996)，“和美漁港現場調查與地形變遷初步研究（Ⅱ）”，國立成功大學水利及海洋工程學系。

44. 郭金棟 (1997)，「臺灣海岸災害防治之展望」，第 19 屆海洋工程研討會專題演講，中國土木水利工程學會，共 8 頁。

45. 許泰文、溫志中 (1997)，「河川與海岸穩定對策之研究-宜蘭海岸侵蝕對策之研究(III)」，國立成功大學水利及海洋工程研究所，CKHOTR-97-005，共 65 頁。

46. 張金機、黃清和 (1997)，「臺灣四周海岸侵蝕現況分析」，86 年度海岸工程研討會討會-臺灣四周海岸沖蝕防治技術，港灣技術研究所，第 1-26 頁。

47. 郭金棟、蔡丁貴、簡仲和、陳文俊 (1997)，“氣候變遷對臺灣海平面上升及海岸地形之影響”，*環保署計畫報告*，EPA-86-FA41- 09-79。

48. 郭金棟、陳文俊 (1999)，「臺灣西部海平面變動分析」，*第 21 屆海洋工程研討會論文集*，第 403-410 頁。

49. 郭金棟 (1999)，“大武漁港漂沙防治研究”，國立成功大學水利及海洋工程學系研究報告，編號：87 科技-1.4-漁-07，序號：9。

50. 林琿、閻國年、宋志堯 (2000)，“東中國海潮波系統與海岸演變模擬研究”，科學出版社，中國，共 266 頁。

51. 監察院 (2000)，「國土保全總體檢」，委員自動調查報告，89 年 1 月 14 日(89)院台業壹字第 890700305 號函。

52. 林銘崇、蕭松山、張國強 (2001)，「海岸線變遷模式發展」，2001 海洋數值模式研討會論文集，第 13.1-8 頁。

53. 郭一羽 (2001)，“海岸工程學”，文山書局。

54. 郭金棟、簡仲和 (2001)，“臺灣地區既有海堤功能檢討”，國立成功大學水利及海洋工程研究所，共 173 頁。

55. 歐善惠、許泰文、張憲國 (2001)，“永續的鑽石海岸-臺灣海岸災害防救與永續利用規劃”，經濟部水資源局，共 150 頁。

56. 許榮中 (2001)，“漂沙淤塞漁港之防治方案研究”，國立中山大學海洋環境及工程學系，90 科技-1.4.5-漁-F4（2）。

57. 王玉懷 (2002)，「臺灣海峽流量知多少」，科學月刊，第三十三卷第二期，pp.132-136。

58. 詹森 (2002)，「全方位探索臺灣海峽」，科學月刊，第三十三卷第二期，pp.127-131。

59. 劉康克 (2002)，「認識臺灣附近的海洋環境」，科學月刊，第三十三卷第二期，pp.102-111。

60. 許榮中 （2002），「海岸新工法－人工岬灣與養灘綜合工法」，海下技術月刊，第 13 卷第 2 期，第 35-48 頁。

61. 許榮中 (2002)，“人工岬灣與養灘綜合工法”，海岸新工法與海洋再生研討會，中國土木水利工程學會、中華民國水下技術協會，第 86-112 頁。

62. 莊文傑、江中權 (2002)，「潮流與臺灣環島沿岸之水下沙體」，第 24 屆海洋工程研討會論文集，臺灣海洋工程學會，梧棲，pp.579-586。

63. 莊文傑、江中權 (2002)，「臺灣環島海域潮流引致之輸沙潛勢」，

第 7 屆海峽兩岸水利科技交流研討會，美華水利學會 等，台南，pp.621-628。

64. 莊文傑、江中權 (2003)，「台灣海峽海域潮波振盪型態之確認」，第 25 屆海洋工程研討會論文集，臺灣海洋工程學會，基隆，pp.31~38。

65. 洪開燁、蕭松山、林永德 (2003)，「臺灣漁港淤沙問題之研究」，第 25 屆海洋工程研討會論文集，國立臺灣海洋大學，第 743-748 頁。

66. 林宏仁、許泰文、曾以帆 (2003)，「外傘頂洲海岸變遷機制之研究」，*第 25 屆海洋工程研討會論文集*，第 735-742 頁。

67. 郭金棟 (2004)，“海岸保護－海岸環境創造序論”，ISBN：9576553814，科技圖書，共 439 頁。

68. 彭馨慧、林宗儀 (2004)，「離岸堤對海岸地形之影響-以嘉義好美寮為例」，第 26 屆海洋工程研討會論文集，臺灣海洋工程學會。

69. 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”，國立中山大學海洋環境及工程學系碩士論文，共 108 頁。

70. 吳政忠 (2005)，“離岸堤背後灘線長期變遷之數值模擬”，國立中山大學海洋物理研究所碩士論文，共 159 頁。

71. 張憲國、陳蔚瑋 (2005)，「以衛星影像探討外傘頂洲的海灘變遷」，*第 27 屆海洋工程研討會論文集*，第 823-830 頁。

72. 農委會 (2005)，“漁港防波堤減量工法可行性研究”，行政院農業委員會漁業署。

73. 水利署 (2005)，“新竹港南海岸環境保護及營造計畫規劃”，經濟部水利署第二河川局，共 244 頁。

74. 吳憲昌、蕭松山、岳景雲、許永誠、張君名 (2005)，「漁港防波堤減量工法可行性研究」，第 27 屆海洋工程研討會論文集，臺灣海洋工程學會，台中。

75. 莊文傑、江中權 (2005)，“臺灣海峽的水深地形對潮波振盪之影響研究”，MOTC-IOT-93-H3DA004 基本研究報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 438 頁。

76. 莊文傑、江中權 (2005)，「臺灣四周海域的潮波系統」，第 27 屆海洋工程研討會論文集，臺灣海洋工程學會，台中，pp.154~161。

77. 莊文傑、江中權 (2006)，「臺灣四周海域旋轉潮波系統之同潮圖」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，國立中山大學，臺灣海洋工程學會，pp.325-330。

78. 朱志誠、陳建中(2006)「人工岬灣應用－離岸堤群後側平衡灘線分析」，港灣報導，交通處港灣技術研究所，第 74 期，第 41-50 頁。

79. 吳南靖、朱志誠、張欽森 (2006)，「西子灣海岸環境營造計畫」，專題報導，中華技術，中華顧問工程司，第 34-49 頁。

80. 吳憲昌、陳陽益、許永誠 (2006)，「和美漁港防波堤減量工程特性之探討」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，國立中山大學，臺灣海洋工程學會，第 895-900 頁。

81. 許永誠、林達三、易敬君 (2006)，「新竹漁港航道迂迴供砂人工養灘工程實務探討」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，國立中山大學，臺灣海洋工程學會，第 663-667 頁。

82. 余孟娟、許榮中、朱志誠、陳建中、謝謂君、郭進慶 (2006)，「西班牙全國通用海岸模擬系統 SMC 在臺灣的應用」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，國立中山大學，臺灣海洋工程學會，第 557-562 頁。

83. 莊文傑、曾相茂、江中權 (2006)，「潮汐資料之補遺及其在暴潮位萃取之應用」，*第 28 屆海洋工程研討會論文集*，國立中山大學，臺灣海洋工程學會，第 277-282 頁。

84. 莊文傑、林立青、張永欣 (2007)，「氣象潮位的萃取及其在暴潮預報的應用」，*第 29 屆海洋工程研討會論文集*，國立成功大學，臺

灣海洋工程學會，第 207-212 頁。

85. 林宗儀、羅毓芳、洪敬媛 (2007)，「台灣西南部海岸沙洲島地形變遷」，*第 29 屆海洋工程研討會論文集*，國立成功大學，臺灣海洋工程學會，第 433-438 頁。

86. 經濟部 (2008)，“海岸環境營造計畫(98~103 年)”，行政院 97 年 7 月 24 日院臺經字第 0970031448 號函核定，經濟部水利署，共 95 頁。

87. 莊文傑 (2008)，“潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(1/2)－臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置”，MOTC-IOT-96-H3DA002 基本研究報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 200 頁。

88. 農委會 (2009)，“海岸新生之漁港疏濬及多功能漁港開發規劃”，行政院農業委員會漁業署，浩海工程顧問股份有限公司，共 227 頁。

89. 公路總局 (2010)，“台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫環境影響說明書”，交通部公路總局第三區養護工程處。

90. 公路總局 (2010)，“台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫環境影響說明書_附件 A21 (養灘計畫書)”，交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處。

91. 水利署 (2010)，“台東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)”，財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會執行報告，經濟部水利署第八河川局，共 440 頁。

92. 莊文傑 (2009)，“潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)－臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬”，MOTC-IOT-97-H3DA002 基本研究報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 140 頁。

93. 莊文傑 (2010)，「臺灣環島海岸各主要河口與港口之潮差」，第 19 屆水利工程研討會論文集，第 K 1-7 頁。

94. 許泰文、許榮中、藍元志 (2010)，「動態人工岬灣應用於台南高雄海岸之研究」，MOEAWRA0990225，水利署 99 年度委辦計畫成果發表會，第 1-12 頁。

95. 黃清哲、許泰文、吳立中 (2010)，“運用潮位與衛星資料推估海平面變遷量技術之研發(2/2)”，MOEAWRA0990248，*經濟部水利署*，共 302 頁。

96. 許榮中 (2011)，「臺灣海岸環境營造的回顧與展望」，通識專題講座:生態環境與人文關懷，共 12 頁。

97. 余孟娟 (2011)，“臺灣海岸防護與規劃系統的建置”，國立中山大學海洋環境及工程學系博士論文，共 184 頁。

98. 莊文傑、廖建明 (2011)，“臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(2/4)－臺灣鄰近海域洋流之模擬驗證與水動力特性探討”，MOTC-IOT-99-H3DA004 基本研究報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 210 頁。

99. 廖建明、莊文傑、許泰文、楊文昌、陳聖詒 (2011)，「臺灣海域綜合潮流與洋流效應之海流數值模擬」，第 33 屆海洋工程研討會論文集，國立高雄海洋科技大學，臺灣海洋工程學會，pp.531-536。

100. 廖建明、莊文傑、許泰文、楊文昌 (2012)，“臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬”，MOTC-IOT-100-H3DB004a 基本研究報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 409 頁。

101. 廖建明、莊文傑、許朝敏、陳思樺、高家俊 (2012)，「臺灣海域由海流引致之漂沙傳輸現象探討」，第 34 屆海洋工程研討會論文集，國立成功大學，臺灣海洋工程學會，pp.535-540。

102. 公路總局 (2012)，“台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫_台東海岸養灘規劃評估”，艾奕康工程顧問股份有限公司總結報告，交通部公路總局第三區養護工程處。

103. 許榮中 (2012)，“斜向波浪作用於人工岬灣配合養灘之灘線與地形變化模擬”，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告(精簡版)，pp.17。

104. 廖建明、許朝敏、莊文傑 (2013)，“臺灣環島近岸海域大尺度海流引致之輸沙潛勢評估”，MOTC-IOT-101-H3DB004a 基本研究報告，交通部運輸研究所，共 268 頁。

105. 莊文傑、廖建明、李俊穎 (2013)，“臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估(4/4)－臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響”，MOTC-IOT-101-H3DA004b 基本研究報告，交通部運輸研究所，共 197 頁。

106. 張憲國、莊文傑、曾相茂 (2013)，「臺灣商港的主要天文潮汐與潮流的特性比較」，海洋工程學刊，第十三卷，第四期，第 393-410 頁。

107. 許泰文 (2013)，「海岸變遷的工程作為」，地質季刊，第 32 卷，第 4 期，第 48-51 頁。

108. 郭少谷、賴彥廷、朱志誠、廖學瑞、吳宏謀 (2013)，「潛堤配合人工養灘之定沙成效探討－以旗津海岸為例」，第 35 屆海洋工程研討會論文集，第 341-346 頁。

109. 內政部 (2013)，“永續海岸整體發展方案(第二期)”，行政院 102 年 2 月 8 日院臺建揆字第 1020002682 號函核定，內政部營建署，共 52 頁。

110. 經濟部 (2014)，“海岸環境營造計畫(104~109 年)”，行政院 103 年 7 月 7 日院臺經字第 1030038866 號函核定，經濟部水利署，共 131 頁。

111. 公路總局 (2014)，“台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫-安朔至草埔段養灘計畫場址之環境監測工作_施工階段第一季監測報告”，交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處。

112. 莊文傑、張憲國、曾相茂 (2014)，「臺灣七大商港海域之潮流橢圓特性」，*海洋工程學刊*，第十四卷，第三期，第 177-200 頁。

113. 莊文傑、曾相茂、張憲國 (2014)，「基隆港與高雄港潮汐對稱性的分析探討」，*中國土木水利工程學刊*，第二十六卷，第四期，第 335-341 頁。

114. 莊文傑、李俊穎、藍文浩 (2014)，“全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(1/4)—臺灣近岸潮位紀錄應用於平均海水位變動率之分析”，*MOTC-IOT-102-H3DA004b 合作研究報告*，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 105 頁。

115. 林宗儀、陳柏旭 (2015)，「離岸沙洲變遷與漁港航道規劃：以箔子寮漁港為例」，第 37 屆海洋工程研討會論文集，第 307-312 頁。

116. 曾相茂、何良勝、曾俊傑 (2015)，“*103 年臺灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(2/4)*”，交通部運輸研究所，MOTC-IOT-103- H2DA001a 基本研究報告，共 373 頁。

117. 簡仲和、郭晉安、黃建維、呂珍謀、呂學修、楊連洲 (2015)，「離岸潛沒突堤應用於海岸防護之理念與成效探討」，第 37 屆海洋工程研討會論文集，第 289-294 頁。

118. 張憲國、張高瑋、衛紀淮、何良勝 (2015)，「考慮風向分區與波浪分類下風速與波浪的迴歸分析」，第 37 屆海洋工程研討會論文集，第 581-586 頁。

119. 莊文傑、曾相茂 (2015)，「臺灣東海岸颱風長浪演化歷程之共通特性」，第 37 屆海洋工程研討會論文集，第 83-88 頁。

120. 莊文傑、曾相茂 (2016)，「東北季風期基隆港與臺中港長浪之關聯性」，第 38 屆海洋工程研討會，第 5-10 頁。

121. 莊文傑、曾相茂、張憲國 (2016)，「颱風長浪演化與瘋狗浪之預警」，海洋及水下科技季刊，第 26 卷，第 4 期，第 22-31 頁。

122. 張憲國、劉勁成、陳蔚瑋 (2016)，“臺灣主要港口附近海域混合

波浪統計特性及推算模式建置研究(4/4)”，*MOTC-IOT-105-H2DB001f 合作研究報告*，交通部運輸研究所，共 163 頁。

123. 經濟部水利署第五河川局 (2016)，“外傘頂洲變遷對嘉義海岸防護之影響分析研究(總報告)”，計畫編號 MOEAWRA1040241，共 294 頁。

124. 郭少谷、賴彥廷、林螢俞、朱志誠、吳宏謀 (2016)，「海岸環境營造趨勢_以高雄市旗津海岸為例」，專題報導，中華技術，第 109 期，第 114-133 頁。

125. 張憲國、賴羿齊、陳蔚瑋(2017)「應用衛星影像的水線辨識於外傘頂洲的灘線變遷」，*航測及遙測學刊*，第 22 卷，第 4 期，第 243-262 頁。

126. 運研所 (2017)，“2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報”，*MOTC-IOT-105- H2DA001e*，交通部運輸研究所，作者：蘇青和、李俊穎、蔡立宏、廖慶堂、蔣敏玲、衛紀淮、羅冠顯、林受勳、傅怡釧、陳鈞彥，共 218 頁。

127. 莊文傑、曾相茂 (2017)，「臺灣海域夏季颱風與冬季季風波浪之近岸觀測特性」，2017 天氣分析與預報研討會論文集，中央氣象局，第 5.7_1-5 頁。

128. 莊文傑、曾相茂 (2017)，「臺灣海峽南段西南季風波浪之觀測特性」，第 39 屆海洋工程研討會，第 89-94 頁。

129. 郭重言、林立青、藍文浩、莊文傑、李俊穎 (2017)，“臺灣海域海平面上升之加速特性研究”，*MOTC-IOT-105-H3DB003a 合作研究報告*，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 210 頁。

130. 審計部 (2017)，“行政院農業委員會漁港建設方案與計畫執行情形”，審計部專案審計報告，共 47 頁。

131. 內政部 (2017a)，“整體海岸管理計畫”，行政院 106 年 2 月 3 日院臺建字第 1060002429 號函核定，內政部營建署，共 195 頁。

132. 內政部 (2017b)，“修正全國區域計畫”，內政部 106 年 5 月 16 日臺內營字第 1060806764 號公告，共 274 頁。

133. 內政部 (2017c)，「國土利用監測」，https://www.nlsc.gov.tw/Home/MakePage/448?level=448。

134. 水利署 (2021)，「臺灣海岸」，經濟部水利署，https://www.wra.gov.tw/News.aspx?n=3253&sms=9088 。

135. 水規所 (2017)，「海岸概況」，經濟部水利署水利規劃試驗所，https://www.wrap.gov.tw/pro12.aspx?type=0301000000。

136. 氣象局 (2017)，「氣象百科」，交通部中央氣象局，http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/me000.htm。

137. 莊文傑 (2017)，“近岸港口之淤積機制分析與防治對策研究”，*MOTC-IOT-106-H3DA002b 自辦研究報告*，交通部運輸研究所，共 220 頁。

138. 運研所(2017) 2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報，MOTC-IOT-105- H2DA001e，交通部運輸研究所，共 218 頁。

139. 氣象局 (2018)，“中華民國 105 年資料浮標觀測年報”，年刊，第 18 期，ISSN: 1607-288X，交通部中央氣象局，共 1820 頁。

140. 莊文傑、曾相茂 (2019)，“颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用”，*MOTC-IOT-107-H3DA001c 自辦研究報告*，交通部運輸研究所，共 187 頁。

141. 國家海洋研究院 (2019)，“*雲嘉海岸(外傘頂洲)侵退防治先期規劃研究*”，計畫編號 NAMR108011，共 201 頁

142. 公路總局 (2019)，“台 9 線南迴公路改善後續計畫-網路資訊平台”，交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處，https://pweb.ceci.com.tw/vision/intro.aspx。

143. 吳紀樺、陳茂維、江宗翰、林鼎傑、蕭松山 (2020)，「應用 MepBay 於花蓮鹽寮海岸侵蝕防護對策之初探」，第 42 屆海洋工程研討會

論文集，第 342-348 頁。

144. 莊文傑(2020)「岬灣海灘在研判海岸地形侵淤變遷之應用」，第 42 屆海洋工程研討會論文集，第 165-170 頁。

145. 莊文傑(2020)「離岸堤效應導致臺東近岸港口航道之淤塞」，第 42 屆海洋工程研討會論文集，第 171-176 頁。

146. 莊文傑(2020) 臺灣東部近岸港口外廓配置對毗鄰海灘沖淤之影響評估，MOTC-IOT-108-H3DA001c 研究報告，交通部運輸研究所，共 321 頁。

147. 農委會 (2020) 「漁港類別及名稱一覽表」，農授漁字第 1091314889A 號，行政院農業委員會 109 年 5 月 12 日公告。

148. 內政部 (2020)，「108 年度第 2 期自然及人工海岸線」，內政部營建署，內政部營建署全球資訊網，最後更新日期：2020-08-26。

149. 國家海洋研究院 (2021)，“外傘頂洲侵退防治技術開發與策略建構計畫-地形變遷 AI 偵測技術研發”，計畫編號 NAMR110004，共 181 頁。

150. 國家海洋研究院 (2021)，“外傘頂洲侵退防治技術開發與策略建構計畫-海岸防護工法下地形變遷與水理特性之探討”，計畫編號 NAMR110006，共 246 頁。

151. 林于凱、李基毓、石瑞祥、翁文凱、張友力 (2021)，「以 Telemac-Mascaret 數值模式模擬南澳漁港漂砂問題改善研究」，第 43 屆海洋工程研討會論文集，第 166-171 頁。

152. 陳盈圻、盧韋勳、江文山、楊文昌、卓訓杰 (2021)，「雲嘉海域長期海岸變遷趨勢探討」，第 43 屆海洋工程研討會論文集，第 201-206 頁。

153. 盧韋勳、江文山、蕭士俊、卓訓杰、陳盈圻、楊文昌 (2021)，「外傘頂洲長期變遷趨勢模擬之水動力影響機制分析」，第 43 屆海洋工程研討會論文集，第 207-212 頁。

154. 莊文傑 (2021)，「寬幅潮間帶內與港口毗鄰海灘之沖淤」，第 43 屆海洋工程研討會論文集，第 189-194 頁。

155. 莊文傑 (2022)，“臺灣西部近岸港口外廓配置對毗鄰海灘沖淤之影響評估”，MOTC-IOT- 110-H3DA001c 研究報告，交通部運輸研究所，共 389 頁。

156. 莊文傑、張君名 (2022)，「外傘頂沙洲變遷與軟性突堤效應之關聯」，第 44 屆海洋工程研討會論文集，第 73-78 頁。

附錄 1 期末報告審查簡報資料

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策
期末報告審查

2022/12/29

類別	姓名/職稱	主要工作內容
主持人	莊文傑/研究員	綜理、主辦及執行全程研究事務。
參與人員	蔡世璿/助理研究員	協辦研究計畫相關之行政庶務與辦理報告出版事宜

經費：新台幣 5 萬元
來源：本所業務費

項 目	說 明	小 計
業務費	專家學者審查出席費、書面審查費、訪談費及交通費等	40
其他	研究諮詢、討論；現場考察及參加/出席研討會議之報名費、差旅費及膳雜費等。	10
合　計(新臺幣千元)		50

1

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

研究緣起與目的(WHY)

- ✓ 因應氣候變遷，防治海岸災害，維護自然海岸環境，配合『海岸管理法』之施行，落實「整體海岸管理計畫」，推動「海岸防護」與「海岸保護」措施，確保自然海岸零損失之目標。
- ✓ 著重近岸波浪碎波之直接衝擊作用，應用「岬頭效應」，掌握形塑岬灣海灘之控制因素，再針對造成近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之機制，研提調適、因應對策，建議可採行之改善措施。

研究範圍(WHERE)

- ✓ 針對臺灣環島之近岸港口以及與港口毗鄰之海灘。

研究項目與內容(WHAT)

- ✓ 探討自然及人工岬頭衍生之「岬頭效應」
- ✓ 分析、掌握形塑岬灣海灘之控制因素
- ✓ 應用岬灣海灘之擬合，回朔、反饋並辨識造成港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之關鍵機制
- ✓ 研提調適、因應對策，建議改善措施
- ✓ 研究成果發表及期末報告撰整提交

2

岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策

辦理方式（HOW）

- ✓ 延續本所歷年之自辦研究經驗，擴展自行研究成果。
- ✓ 透過Google地圖，總體性掌握港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之狀態，並綜整其共通性。
- ✓ 應用簡易近岸波浪碎波直接衝擊之海岸水動力概念，論述說明港口外廓配置對毗鄰海灘沖淤之影響。
- ✓ 與相關學者專家進行港口現場會勘並意見交流。

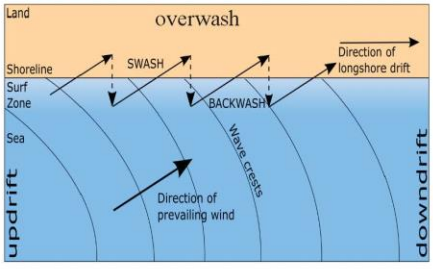
預期成果、效益及應用

- ✓ 預期成果(效益)
  - 著重近岸波浪碎波衍生沖刷流之輸沙作用，藉「岬頭效應」與「離岸堤效應」，辨識造成港口淤塞及毗鄰海灘沖蝕之關鍵影響因素。
  - 研提港口淤塞及毗鄰海灘沖蝕之調適、因應對策，建議改善措施。
- ✓ 應用
  - 本研究掌握科研課題之廣度與深度，擴展分析觀點，具體推動行政院之「向海致敬」政策，並落實總體性之海岸保育與防災策略，俾利撙節政府經常性防沖減淤經費之投注。
  - 可提供本所執行「港灣環境資訊整合及防災應用」政策之後續運用；更可作為港務公司、內政部、水利署、漁業署、工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參據。

3

港口淤塞與海灘地形變遷的趨動力
_波浪衝擊與碎波沖刷

- ■ 波浪三要素
  - ◆ 波高、週期、波向
- ➢ 近岸地形(出水_潛沒)與水深影響
  - ➢ 波浪折射，由深向淺偏折
  - ➢ 近岸波向偏正向入射海灘
  - ➢ 碎波、碎波帶/沖刷帶
- ➢ 港口外廓配置與防浪設施之交互干擾
  - ➢ 波浪繞射，碎波波高、波向變化!!
  - ➢ 碎波沖刷流與環流；流速 $u \approx \sqrt{gH_b}$



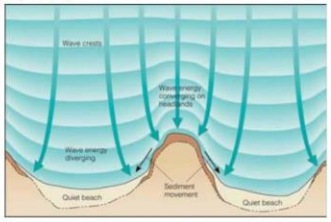
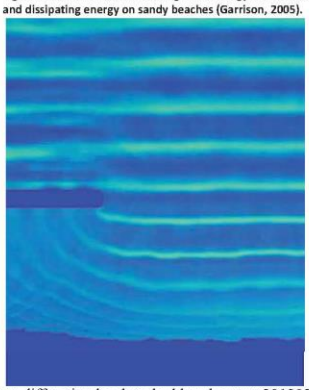


Figure 6: Wave refraction focusing wave energy on the headlands and dissipating energy on sandy beaches (Garrison, 2005).



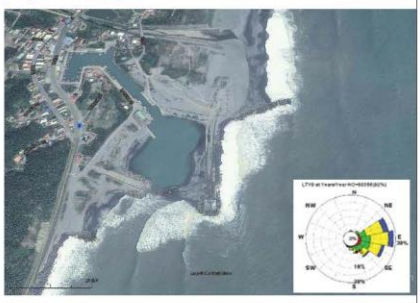
Wave diffraction by detached breakwater_20120317.mp4

4

碎波沖刷流之特性與效能

- 伴隨波浪之折、繞射
  - ⇨臺灣環島近岸海域， 季風及颱風期間，碎波波高(H_b)可經常大於 **1m**；
  - ⇨碎波沖刷速度甚強勁， $u \approx \sqrt{gH_b}$ ：
    $H_b \approx 1$ m, $u \approx 3.13$ m/s
- 隨碎波波高、波向之時、空變動性，改變流速大小(強度)與流向
  - ⇨ 沖刷速度(強度)不均 ⇨⇨ 沖刷環流
- 碎波衍生之沖刷環流，拖曳力大
  - ⇨ 可移運大粒徑床質，造成表面沉積

    當H_b= 1.0 m；T_p=10 s；tanβ= 1/20；可得ξ_b=0.62，碎波型態為捲浪型，再依據沖刷流之拖曳力($F_D = C_D A_S \rho V^2$)估算，取$C_D = 0.0016$，則可推動底床上之卵石重量，約可達2.2公斤，換算為圓卵石之直徑約11.6公分!!!
  - ⇨ 港口經常性淤塞
  - ⇨ 港內、堤後漂沙淤積





5

臺灣東部近岸港口配置共通性

- **基本型態**
  - 防範季風及颱風波浪侵襲，
    - 離岸堤、突堤；
    - 港口向東北或東南。





6

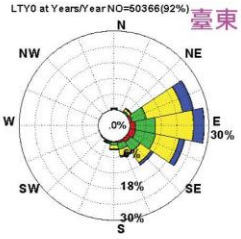
臺灣東部近岸港口配置共通性

- **基本型態**
  - 防範季風及颱風波浪侵襲，
    - 離岸堤；
    - 港口向西南





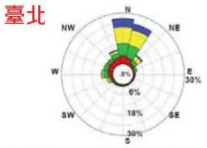


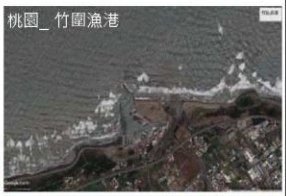


7

臺灣西北部近岸港口配置共通性

- **基本型態**
  - 防範季風及颱風波浪侵襲，
    - 突堤
    - 港口向西北開口

















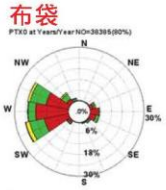
8

臺灣西南部近岸港口配置共通性

基本型態

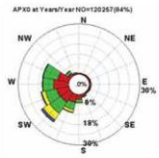
- 防範季風及颱風波浪侵襲，
  - 離岸沙洲_突堤
  - 突堤；港口向西南
  - 離岸堤；港口向西北

布袋





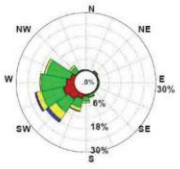
安平







高雄







離岸沙洲屏蔽的近岸港口

- 東石港、布袋第三漁港、布袋港
- 外傘頂沙洲_約以40°突出海岸，長約12公里、寬約1公里≈ 大型突堤







10

外傘頂沙洲之突堤地貌特徵

- **沙洲突堤～軟性突堤** (莊、張，2022)
- **跡象、特徵：**
  - 沙洲北側：三條崙、箔子寮 之系列沙洲
  - 沙洲端的彎折；沙洲後側的淤淺
  - 白水湖壽島的弧形淺灘
- **位處北港溪口，沙洲的變遷，不必然受濁水溪沙源影響**



資料來源：外傘頂沙洲_GoogleEarth_中平_軟性突堤_1988_12



資料來源：外傘頂沙洲_GoogleEarth_中平_軟性突堤_2007_12

港口航道之淤塞機制研判

- **波浪與防浪設施之交互作用效應**
  - 「突堤效應」
  - 「離岸堤效應」
  - 「岬頭效應」

◆效應：效用＋反應 (副作用)！

- **構建 經驗法則/辨識模式**
  - 廣泛對照，完整分析
  - 迅速確實，重點評估
  - 化繁為簡，掌握關鍵機制
  - 具體有效，釐訂防治對策



大武漁港_GoogleEarth_細平_2012_10颱波前.jpg

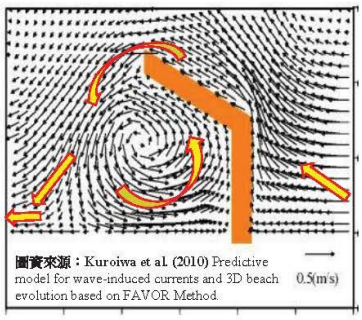




大武漁港_GoogleEarth_細平_2014_07.jpg

「突堤效應」的營造/形成機制

- 「突堤效應」：單純因近岸折、繞射波浪之直接沖刷作用而在突堤迎浪(上游)側與受屏蔽(下游)側之近岸淺灘區，分別造成深沙淤積與沖蝕之海灘重塑現象。
- 關鍵機制：海灘沖淤變遷之因—果分析
  - 主要的輸沙水動力：碎波衍生的強勁沖刷流， 沖刷速度 $u \approx \sqrt{gH_b}$
  - 因近岸水深淺化效應及折、繞射波浪之衝擊，促使堤後遮蔽區(下游側)波向變化、波高大小不均、碎波位置不一、沖刷速度(強度)不均 ⇨⇨ 沖刷流 與 沖刷環流
- 上游側之卓越波浪入射區，碎波沖刷流；
- 下游側之堤後屏蔽(繞射)區，碎波沖刷環流；
- 下游側之開放區，碎波沖刷流；突堤端，束縮沖刷流



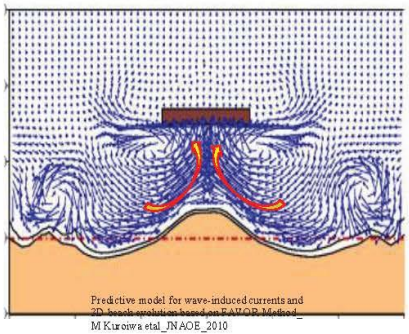
圖資來源：Kuroiwa et al. (2010) Predictive model for wave-induced currents and 3D beach evolution based on FAVOR Method.



圖資來源：Google Earth_西班牙Platja de Nules, Castelló_2015/10

「離岸堤效應」的營造/形成機制

- 「離岸堤效應」：單純因近岸折、繞射波浪之直接沖刷作用而在離岸堤後受屏蔽之近岸淺灘區造成繫岸沙洲或沙舌型態之深沙淤積與海灘沖淤重塑現象。
- 關鍵機制：海灘沖淤變遷之因—果分析
  - 主要的輸沙水動力：碎波衍生的強勁 碎波沖刷流 與 沖刷環流 ， 沖刷流速度 $u \approx \sqrt{gH_b}$
  - 因近岸折、繞射波浪衝擊，促使堤後遮蔽區波向變化、波高大小不均、碎波位置不一、沖刷速度(強度)不均 ⇨⇨ 沖刷環流
  - 偏正向入射之卓越波向
  - 優勢輸沙方向 ≈ 沖刷環流
  - 離岸堤規模、型式 與 出水高度
  - 潮間帶、海灘坡度







「岬頭效應」的營造/形成機制

■岬頭 與 岬灣海灘

➢岬頭：是突出海岸的天然或人造礁岩地形。

➢岬灣海灘：

- 在潮汐影響及波浪衝擊作用下，受岬頭屏蔽而在岬頭後形成的海灘，稱為岬灣海灘，常存在於各類型天然岬頭，以及由突堤、離岸堤等海岸防護設施及港口外廓防波堤之堤頭所構成之人造岬頭後，具有繫岸沙洲之沖淤型態。
- 基於海岸環境美學與海灘穩定性之優點，岬灣海灘曾在人工養灘、海岸保護、海岸環境營造等工程規劃、設計與施行上多所應用！



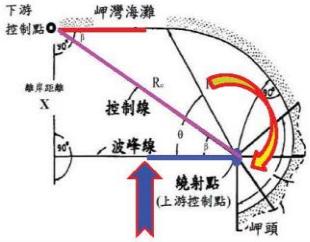


■ 「岬頭效應」：單純因近岸折、繞射波浪之直接沖刷作用而在岬頭後受屏蔽之近岸淺灘區造成岬灣或繫岸沙洲型態之漂沙淤積與海灘重塑現象。

■ 關鍵機制：海灘沖淤變遷之因—果分析

➢ 主要的輸沙水動力：碎波衍生的強勁 碎波沖刷流 與 沖刷環流 ，沖刷速度$u \approx \sqrt{gH_b}$

➢ 因近岸水深淺化效應及折、繞射波浪之衝擊，促使岬頭後遮蔽區(下游側)波向變化、波高大小不均、碎波位置不一、沖刷速度(強度)不均 ⇨⇨ 沖刷流 與 沖刷環流



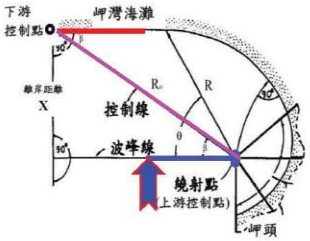
岬頭效應 在海灘沖淤評估的實務應用

■ 岬灣海灘：Hsu and Evans (1989) 綜合實地與實驗之岬灣型態，提出 岬灣海灘 之拋物線型經驗式

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$

■ 三個經驗化控制參數

- 上游控制點_卓越波浪起始折、繞射點
- 下游控制點_不受岬頭影響之安定海灘位置
- 卓越波向_入射波浪之波峰線(β)

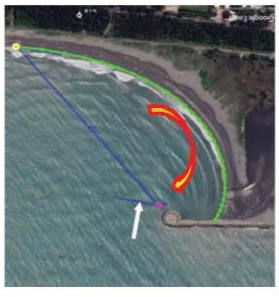


■ 岬灣海灘構建與評估

➢ 自官網下載、安裝 MepBay (Klein et al., 2003)
http://siaiacad17.univali.br/mepbay/?pagina=home/

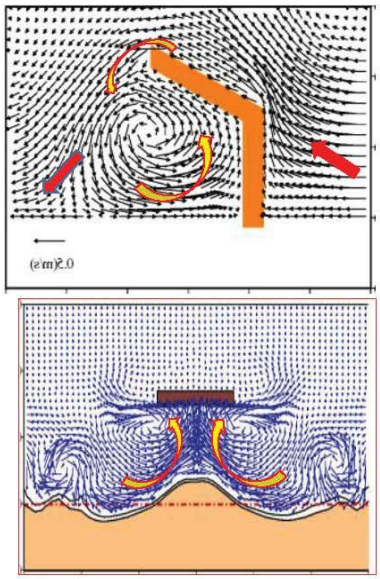
➢ 通常，皆依 經驗 預判 岬灣海灘之三個控制參數(近岸卓越波向、繞射點、穩定海灘位置)，再應用 MepBay 軟體陳繪灘線，具不確定性！

➢ 莊 (2020) 應用岬灣海灘之擬合(fitting)，回朔、反饋並辨識 營造岬灣海灘之三個控制參數，以及確認 碎波沖刷環流 與 優勢輸沙方向!!



「岬頭效應」衍生的碎波沖刷環流

- 伴隨「岬頭效應」之**碎波沖刷環流**、**離岸流**及**優勢輸沙方向**之確認！

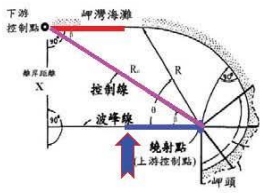


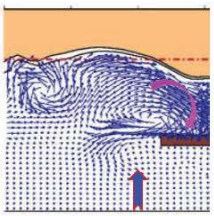


離岸流_茨城縣鹿島灘人工岬頭

實際岬灣海灘的動態變動性與擬合

- 陸連島(離岸堤)後**緊岸沙洲**之**岬灣海灘**
- **岬灣海灘之擬合(fitting)** (莊，2020)
  - ➢回朔、反饋並辨識 營造岬灣海灘之三個控制參數_近岸卓越波向 !!
  - ➢確認 碎波沖刷環流≈主要輸沙水動力≈優勢輸沙方向 !!





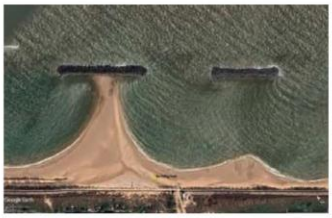




岬灣海灘造成的港口淤塞特性分析

- 自然岬頭 ≈人工堤頭
  - ➢ 「岬頭效應」 ≈ 「離岸堤效應」!!
- 岬灣海灘 ≈ 沙舌 或 ≈繫岸沙洲







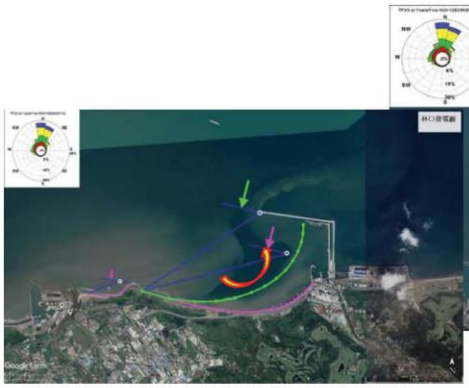


19

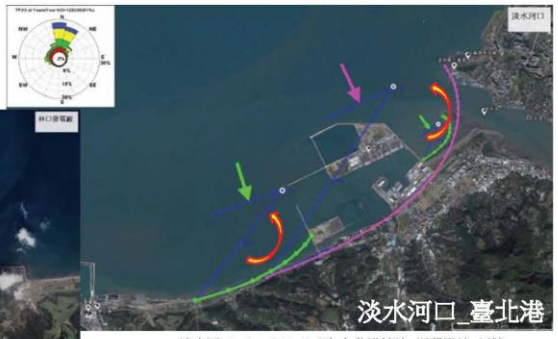
岬頭效應與毗鄰港口海灘之沖淤機制分析(1/5)

_淡水河口、臺北港、林口發電廠

- 「岬頭效應」無所不在!!
  - ➢ 應用於區域性近岸卓越波向之確認!
  - ➢ 港口擴建造成岬灣海灘的動態變動
  - ➢ 灘線浸淤變遷趨勢分析、評估與預測



林口發電廠_GoogleEarth_中_岬灣海灘_預判_卓越波向與繞射點_玫瑰圖_2020_03.tiff



淡水河口_GoogleEarth_區_台北港擴建_岬灣灘線_新雙_卓越波向與繞射點_玫瑰圖_2017_01.tiff

20

岬頭效應與毗鄰港口海灘之沖淤機制分析(2/5)

_桃園大潭三接工程

- 「岬頭效應」無所不在!!
  - 應用於區域性近岸卓越波向 與 優勢輸沙方向之確認!
  - 港口擴建造成岬灣海灘的動態變動
  - 灘線浸淤變遷趨勢評估、分析與預測



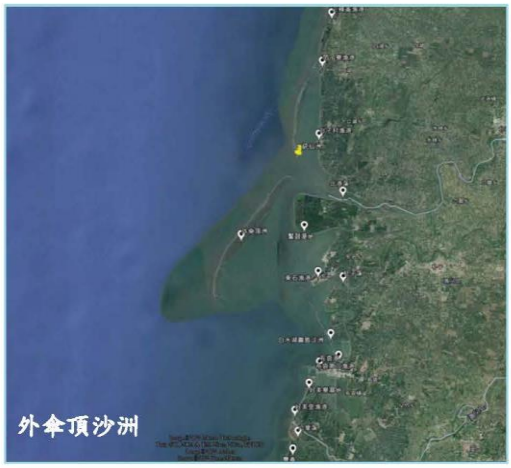


2021_0906_落確_三接的外廓配置與工程規模_中_岬灣灘線_雙_卓越波向與繞射點_2015_12.tiff

離岸沙洲與毗鄰港口海灘之沖淤機制分析(3/5)

_外傘頂沙洲

- 大尺度、大規模 突堤型態之離岸沙洲
- 「岬頭效應」造成東石、布袋港 淤塞!!
- 「岬頭效應」造成沙洲、雙春海岸沖刷變遷 !!





外傘頂沙洲_岬灣海灘_卓越波向繞射點_虛線突堤_2022_09優.tiff

岬頭效應與毗鄰港口海灘之沖淤機制分析(4/5)

_ 臺南安平海岸

- 「岬頭效應」無所不在!!
  - 二仁溪河口 存在 潛沒河口三角洲，並造成岬頭效應!
  - 應用岬灣海灘 確認 區域性 近岸卓越波向 與 優勢輸沙方向!
  - 二仁溪口的潛沒河口三角洲變遷，衍生黃金海岸的灘線沖蝕!



安平港_海岸_曾文溪_二仁溪_岬灣灘線_雙_卓越波向繞射點_玫瑰圖_2021_0515.tiff

岬頭效應與毗鄰港口海灘之沖淤機制分析(5/5)

_高雄旗津海岸防護及西子灣人工岬灣

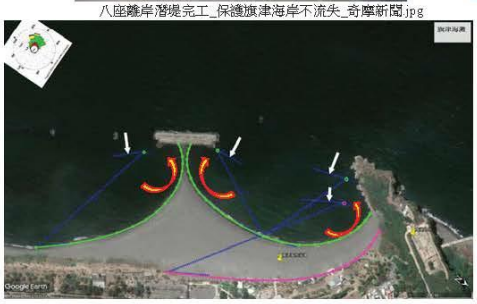
- 「岬頭效應」無所不在!
- 決策支援應用_潛隱離岸流之危險海域研判!



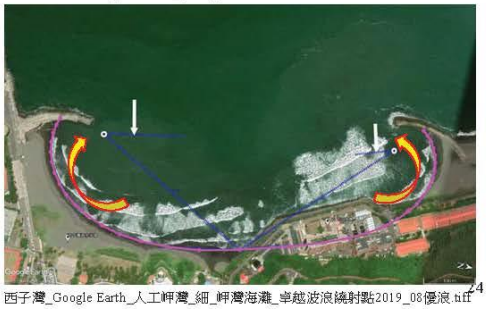
八座離岸潛堤完工_保護旗津海岸不流失_奇摩新聞.jpg



高雄旗津_摩西分海_截圖2_20200711.PNG



旗津海灘_Google Earth_小平_岬灣海灘_卓越波向繞射點_玫瑰圖_2020_05.tiff

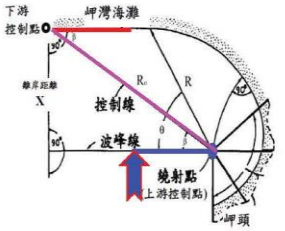


西子灣_Google Earth_人工岬灣_細_岬灣海灘_卓越波浪繞射點2019_08優浪.tiff

岬頭效應 在港口航道淤塞評估的實務應用

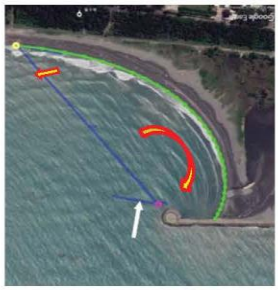
- **岬灣海灘：Hsu and Evans (1989)** 綜合實地與實驗之岬灣型態，提出 岬灣海灘 之**拋物線型經驗式**

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$



- **三個經驗化控制參數**
  - 上游控制點_卓越波浪起始折、繞射點
  - 下游控制點_不受岬頭影響之安定海灘位置
  - 卓越波向_入射波浪之波峰線(β)

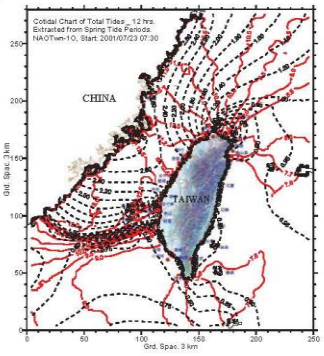
- **岬灣海灘構建與評估**
  - 自官網下載、安裝 **MepBay (Klein et al., 2003)**
    ttp://siaiacad17.univali.br/mepbay/?pagina=home/
  - 通常，皆依 經驗 預判 岬灣海灘之三個控制參數(近岸卓越波向、繞射點、穩定海灘位置)，再應用 **MepBay** 軟體陳繪灘線，具不確定性！
  - 莊 (2020) 應用岬灣海灘之擬合(fitting)，回朔、反饋並辨識 營造岬灣海灘之三個控制參數，以及確認 碎波沖刷環流!!

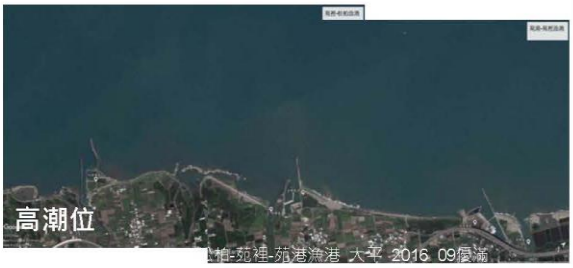


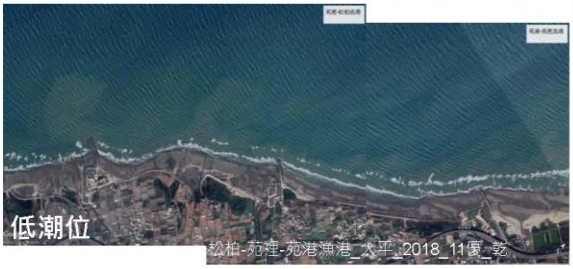
25

臺灣西部海岸 寬幅潮間帶 特性

- 大尺度、總體性 觀察海灘沖淤特性
- 潮間帶寬廣、平整
  - 潮差約4公尺
- 地形水深 及 海灘坡度 均勻
  - 海灘坡度平緩，約 1/60~1/100
- 西部海灘潮間帶約60~400公尺。
- 潮差1米，潮間帶寬約60公尺以上。
- 與港口毗鄰海灘之 局部性 沖淤

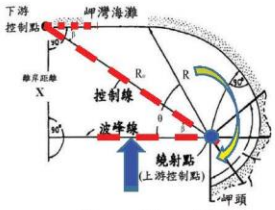






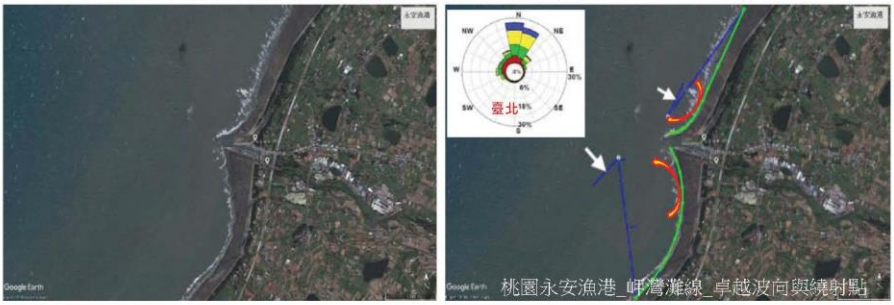
港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(1/11)

_桃園永安漁港



Hsu and Evans (1989)

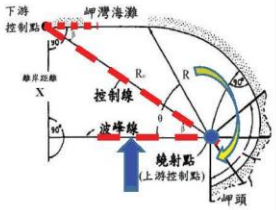
- 岬灣灘線擬合(fitting)應用 (莊，2020)
  - 港口外之卓越波向，確認自北轉偏正向入射海灘
  - 港口外存在平直或類似河口三角洲之潛沒淺灘
  - 優勢方向由北往南之沿岸輸沙可平順跨越港口
  - 港口兩側潮間帶內海灘，受成對沖刷環流之輸沙與塑灣作用
  - 「突堤效應」不顯著
  - 「離岸堤效應」造成港口外沙舌或繫岸沙洲型態之海灘沖淤!
  - 岬灣海灘，隨潮位高低變化，非靜態、安定的單一存在!



桃園永安漁港_岬灣灘線_卓越波向與繞射點

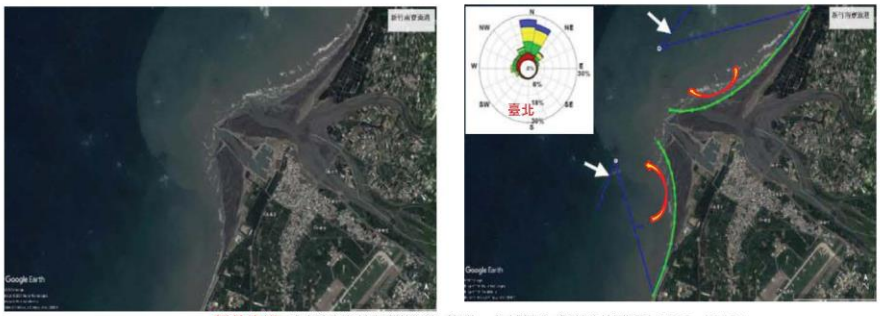
港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(2/11)

_新竹漁港



Hsu and Evans (1989)

- 岬灣灘線擬合(fitting)應用 (莊，2020)
  - 港口外之卓越波向，確認自北轉偏正向入射海灘
  - 港口外存在類似河口三角洲之潛沒淺灘
  - 優勢方向由北往南之沿岸輸沙可平順跨越港口
  - 港口兩側潮間帶內海灘，受成對沖刷環流之輸沙與塑灣作用
  - 「突堤效應」不顯著!
  - 「離岸堤效應」造成港口外沙舌或繫岸沙洲型態之海灘沖淤!



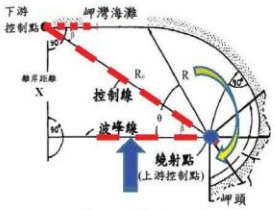
新竹漁港_突堤近傍的岬灣灘線_潮位_卓越波向與繞射控制點2018_1018.jpg

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(3/11)

_苗栗苑裡漁港

■ 岬灣灘線擬合(fitting)應用 (莊，2020)

- 港口外之卓越波向，確認自北轉偏正向入射海灘
- 港口外存在平直或類似河口三角洲之潛沒淺灘
- 優勢方向由北往南之沿岸輸沙可平順跨越港口
- 港口兩側潮間帶內海灘，受成對沖刷環流之輸沙與塑灣作用
- 「突堤效應」不顯著
- 「離岸堤效應」造成港口外沙舌或繫岸沙洲型態之海灘沖淤!
- 岬灣海灘，隨潮位高低變化，非靜態、安定的單一存在!



Hsu and Evans (1989)



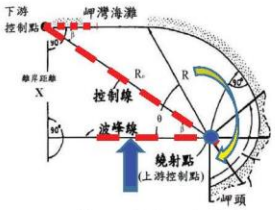
苑裡漁港_Google Earth_細_2018_11優_岬灣海灘_玫瑰圖_卓越波向繞射點.tiff

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(4/11)

_屏東枋寮漁港

■ 岬灣灘線擬合(fitting)應用 (莊，2020)

- 確認港外之卓越波向，自西南向入射海灘
- 辨識港口外廓防波堤之堤頭，明確具人工岬頭效能
- 岬頭效應造成港口外存在塑灣之碎波沖刷環流
- 港口外之優勢輸沙方向順沿海岸，由北往南
- 「離岸堤效應」與「岬頭效應」造成港口繫岸沙洲型態之海灘沖淤!



Hsu and Evans (1989)

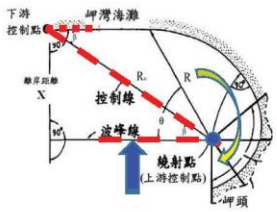


枋寮漁港_Google Earth_小_2019_10優.jpg

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(5/11)

_屏東楓港漁港

- 岬灣灘線擬合(fitting)應用 (莊，2020)
  - 港口外之卓越波向，確認自西南向入射海灘
  - 港口外廊防波堤之堤頭，明確具人工岬頭效能
  - 港口外存在塑灣之碎波沖刷環流
  - 港口外，優勢輸沙方向順沿海岸，由北往南
  - 「離岸堤效應」與「岬頭效應」造成港口繫岸沙洲型態之海灘沖淤!



Hsu and Evans (1989)



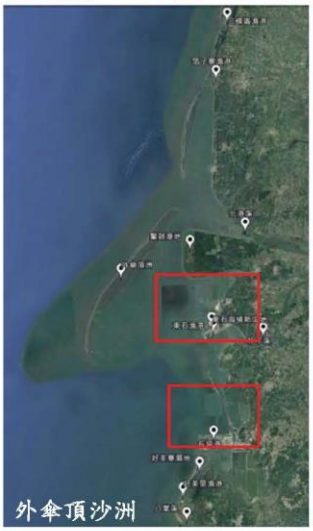
枋寮漁港_Google Earth_小_2019_10優.jpg

31

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(6/11)

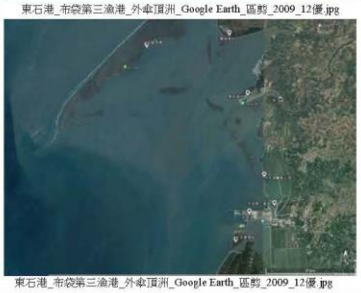
_東石、布袋港

- 大尺度、大規模 離岸沙洲
- 外傘頂沙洲 ≈「軟性岬頭」
- 「岬頭效應」造成沙洲、雙春海岸沖刷變遷及東石、布袋港淤塞!!





東石港_布袋第三漁港_外傘頂洲_Google Earth_區剪_2009_12優.jpg



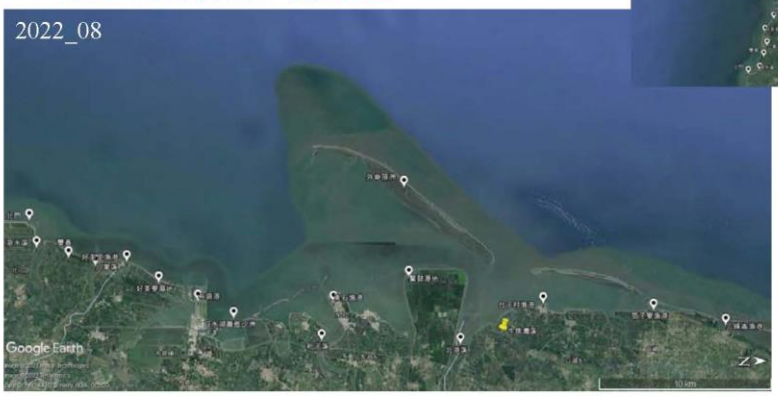
東石港_布袋第三漁港_外傘頂洲_Google Earth_區剪_2009_12優.jpg

32

現今外傘頂沙洲之突堤地貌特徵

- 地形、地貌特徵
  - 沙洲傾斜、突出岸線，約 40度夾角 !!
  - 沙洲北側：三條崙、箔子寮 之系列沙洲
  - 沙洲南端：彎折、沖蝕速度較快
  - 沙洲後(陸)側，低浪、弱流， 為何/如何 淤淺 ??
  - 白水湖壽島的弧形淺灘；東石港、布袋港的淤塞
- 類比：外傘頂沙洲～軟性突堤

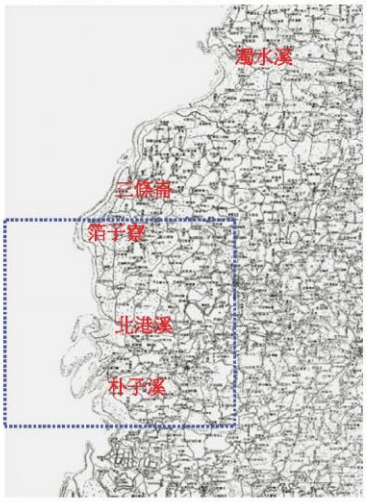




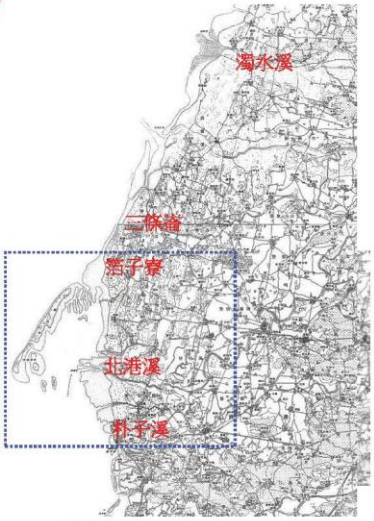
資料來源：外傘頂沙洲_GoogleEarth 區大平_軟性突堤及海岸_2022_0824.jpg

古地圖中初始生成的外傘頂沙洲

- 1897年，約125年前 ，北港溪口的潮間帶淺灘 (1898，草嶺潭崩潭)
- 1905年，約117年前 ，北港溪口初始生成的外傘頂沙洲(1910，濁水溪河道束縮整治)
- 沙洲灘線，與海岸約陳 40度 夾角 !?



外傘頂沙洲_1897_資料來源：臺灣百年歷史地圖_日治臺灣假製二十萬分一圖_中央研究院人文社會科學研究中心_地理資訊科學研究專題中心_3/4.jpg

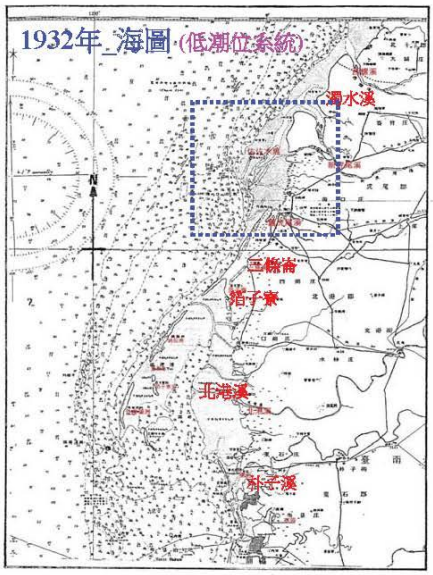


外傘頂沙洲_1905_資料來源：臺灣百年歷史地圖_日治十萬分一臺灣圖_中央研究院人文社會科學研究中心_地理資訊科學研究專題中心_5_7.jpg

34

舊海圖中的岬頭淺灘與外傘頂沙洲

- 潮間帶岬頭淺灘與外傘頂沙洲之變遷



外傘頂沙洲_1932_海圖_溪河_資料來源：-外傘頂洲地形變遷之研究_河海研究第23號_林銘崇_莊文傑_1984



資料來源：澎湖港道 _1966-1980_0336_海軍海洋測量局_1982_6-30出版

岬頭淺灘與外傘頂沙洲之變遷歷程

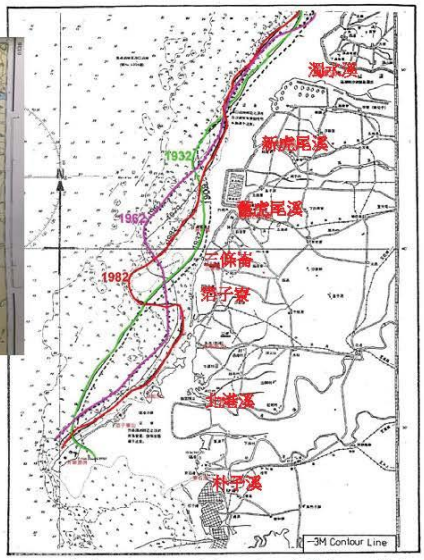
- 古地圖：1905~2022，北港溪口的外傘頂沙洲變遷速率約 ~70 m/y
- 舊海圖：1909~1982，考量高、低潮位之變動，檢視-3米灘線之變遷
- 現今濁水溪尚具有河川輸沙影響 ??



外傘頂沙洲_1905_資料來源：臺灣百年歷史地圖_日治十萬分一臺灣圖(18mm-2km)_中央研究院人文社會科學研究中心_地理資訊科學研究專題中心_3_修.jpg



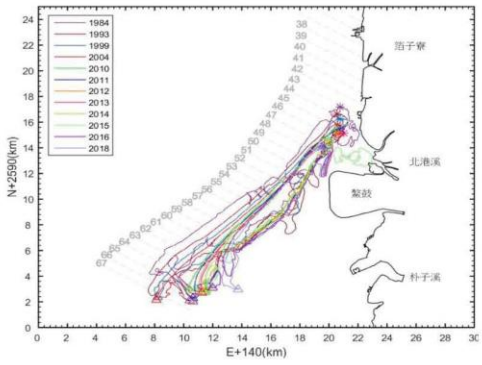
1932年海圖_低潮位系統



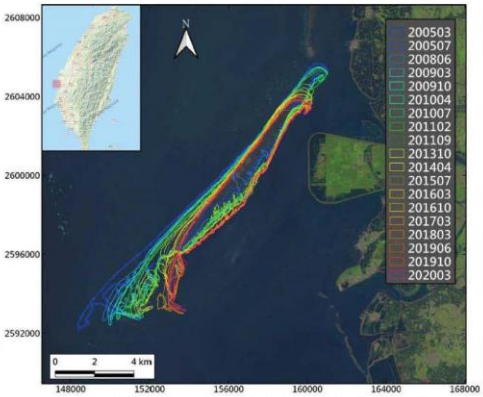
外傘頂沙洲_1909-1982_歷年變化圖_彩_河溪_資料來源：外傘頂洲地形變遷之研究_河海研究第23號_林銘崇_莊文傑_1984_報告海圖2A.jpg

近30年間之外傘頂沙洲灘線變遷歷程

- 灘線變遷
  - 沙洲之面積、高程，不斷減小、降低
  - 沙洲灘前、灘後之”灘線”具有 南移、逆時針旋轉 變遷特性
  - 為什麼 沙洲北端，南移速度較慢；沙洲南端，沖蝕速度較快 ??



外傘頂沙洲_1984-2018期間變化_**資料來源：國家海洋研究院(2019)_雲嘉海岸(外傘頂洲)侵退防治先期規劃研究_圖4-5_資料來源_雲林離島式基礎工業區整體開發規劃委託技術服務(2018)**.jpg



外傘頂洲灘線辨識結果_2005-2020_**資料來源：外傘頂洲灘線季節及長期變化特性探討_陳蔚瑋_張憲國_劉勁成_楊文昌_卓訓杰_李孟學_42thCOE_2020C083**.jpg

往昔外傘頂沙洲之突堤地貌特徵

- 沙洲突堤～軟性突堤
- 跡象、特徵：
  - 沙洲北側：三條崙、箔子寮 之系列沙洲
  - 沙洲端的彎折；沙洲後側的淤淺
  - 白水湖壽島的弧形淺灘
- 位處北港溪口，沙洲的變遷，不必然受濁水溪沙源影響！



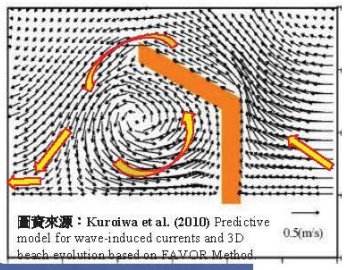
資料來源：外傘頂沙洲_GoogleEarth_中平_軟性突堤_1988_12



資料來源：外傘頂沙洲_GoogleEarth_中平_軟性突堤_2007_12

外傘頂沙洲變遷的輸沙水動力

- 類比伴隨「突堤效應」的流場_輸沙水動力
  - 沙洲上游側之卓越波浪入射區，
    退潮流與碎波沖刷流 ($u \approx \sqrt{gH_b}$)；
  - 沙洲南端，退潮流+碎波沖刷流 構成的 強勁束縮流；
  - 沙洲後側屏蔽(繞射)區，碎波沖刷環流；
  - 沙洲下游側開放區，退潮流與碎波沖刷流；



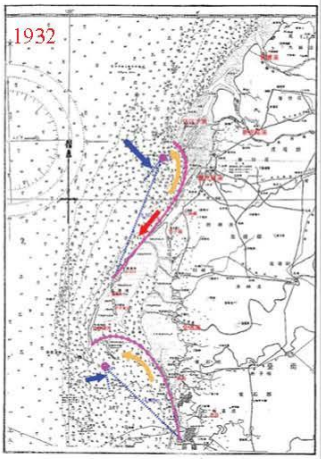
圖資來源：Kuroiwa et al. (2010) Predictive model for wave-induced currents and 3D beach evolution based on FAVOR Method



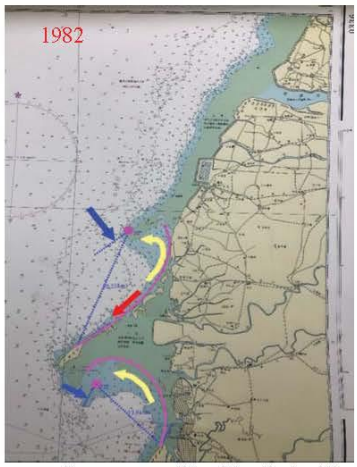
資料來源：外傘頂沙洲_GoogleEarth_區平_突堤_潮流與沖刷環流_2022_0714

岬頭淺灘與沙洲之岬頭效應

- 岬灣灘線擬合(fitting)應用 (莊，2020)
  - 沙洲之南、北側皆存在岬灣海灘，北側岬頭_箔子寮沙嘴；南側岬頭_沙洲南端
  - 卓越波向約為西北向
  - 優勢輸沙方向：碎波沖刷流，由北而南；碎波沖刷環流，由南而北
  - 岬灣海灘，隨潮位高低變化，非靜態！



外傘頂沙洲_1932_海圖_溪河_岬灣海灘_變_卓越波向繞射點_沖刷流_頁面擷取自 外傘頂洲地形變遷之研究_河海研究第23號_林銘崇_莊文傑_1984_報告海圖2A.tif

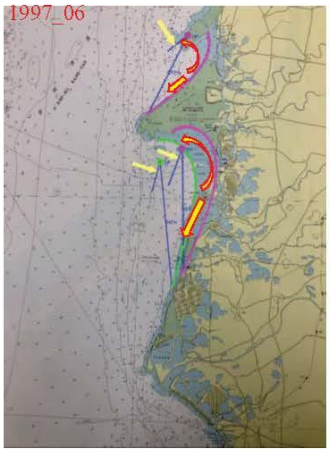


澎湖港道 _1966-1980_0336_ 剪裁_岬灣海灘_變__卓越波向繞射點_沖刷流_海軍海洋測量局_1982_6-30出版_4.tiff

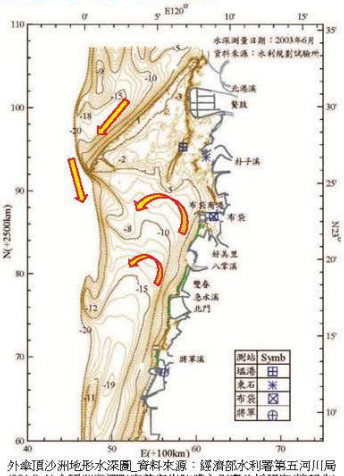
岬頭淺灘與沙洲之「岬頭效應」

■ **岬灣灘線擬合(fitting)應用 (莊，2020)**

- 沙洲之南、北側皆存在**岬灣海灘**；**卓越波向**約為西北向，而沙洲南側，約為西北西向!
- **優勢輸沙方向**：碎波沖刷流，由北而南；碎波沖刷環流，由南而北
- 沙洲具有**「軟性突堤效應」**；**退潮流與碎波沖刷流**，造成沙洲上游側之侵蝕與南移
- **強勁束縮流**，造成沙洲南端的大幅沖蝕與退縮
- **碎波沖刷環流**，造成沙洲後側屏蔽區之淤淺 以及 **沙洲尾端之水下沙舌地形**



澎湖港道_1995_0336_岬灣海灘_雙_卓越波向繞射點_海軍海洋測量局_1997_6-30出版_1.tiff



外傘頂沙洲地形水深圖_資料來源：經濟部水利署第五河川局(2016)外傘頂洲變遷對嘉義海岸防護之影響分析研究(總報告)，計畫編號MOEAWRA1040241

外傘頂沙洲_軟性突堤之「岬頭效應」

- **外傘頂沙洲 (2007年) 之岬頭效應**
- 岬灣灘線，隨**潮位高、低**而變動
- **卓越波向**：因沙洲岬頭地形水深影響，**偏折為西向**
- **優勢輸沙方向**：由岬頭後之**碎波沖刷環流主控**，**由南而北**



外傘頂沙洲後白水湖嘉島沙洲_**GoogleEarth**_細_擷取_2007_12.jpg



外傘頂沙洲_**GoogleEarth**_中平_軟性突堤_雙岬灣_卓越波向與繞射點_2007_12.tiff

外傘頂沙洲之「突堤效應」與「岬頭效應」

- 沙洲變遷機制：潮位與潮流影響 以及 碎波之上沖、下刷 及 越洗
- 沙洲之「突堤效應」與「岬頭效應」，可闡釋：
  - 近岸波浪之卓越波向及沙洲灘前、灘後的優勢輸沙方向
  - 三條崙、箔子寮 系列沙洲之形朔型態
  - 退潮流與碎波沖刷流，造成沙洲海側之持續沖蝕
  - 強勁束縮流，造成沙洲南端的大幅、快速沖蝕
  - 碎波沖刷環流，造成沙洲後側淤淺 及 沙洲尾端之水下沙舌地形
  - 沙洲變遷，造成 東石港 與 布袋港 淤塞
  - 沙洲變遷，造成 好美寮及雙春海岸的侵蝕



外傘頂沙洲_Google Earth_大區平_突堤_岬灣海灘_卓越波向繞射點_虛線突堤_1988_12優.jpg

外傘頂沙洲_Google Earth_大區平_突堤_岬灣海灘_卓越波向繞射點_虛線突堤_2022_09優.tiff

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(7/11)

_宜蘭南澳漁港

- 卓越波浪偏正向_東南東向入射海灘
- 北攔沙堤上、下游側無明顯淤沙
  - 優勢輸沙方向不明顯
- 港口東防波堤具離岸堤型態
- 「離岸堤效應」與「岬頭效應」發展
  - 港口陳現繫岸沙洲型態之岬灣海灘



南澳漁港_GoogleEarth_細_2015_07a港口配置.jpg



南澳漁港_googleEarth_中_今昔岬灣海灘_卓越波浪繞射點_玫瑰圖_201507長浪.jpg

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(8/11)
_花蓮鹽寮漁港

- 卓越波向_以東北東向入射海灘
- 港口防波堤具突堤型態
- 「突堤效應」與「岬頭效應」發展
  - 北防波堤上游淤積；下游沖蝕
  - 港口陳現岬灣海灘型態之沖蝕
  - 碎波沖刷環流造成港口淤塞
  - 港口優勢輸沙方向，由北而南





鹽寮漁港_GoogleEarth_細平_突堤效應_岬灣海灘_卓越波向繞射點_2013_04優參.tiff

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(9/11)
_臺東長濱漁港

- 港口外廓防波堤配置，具離岸堤型態
- 卓越波向，經近岸折射效應，以東南向入射海灘
- 港南之防沙堤，西側無明顯淤沙， 港口漂沙與淤塞具局部性
- 「離岸堤效應」及「岬頭效應」在港口發展
- 港口強勁碎波沖刷環流，衍生優勢輸沙方向，由南往北，進而在港嘴及航道，導致緊岸沙洲或岬灣海灘之經常性淤塞!!
- 隨港口整建影響，岬灣海灘具動態之時、空變異性

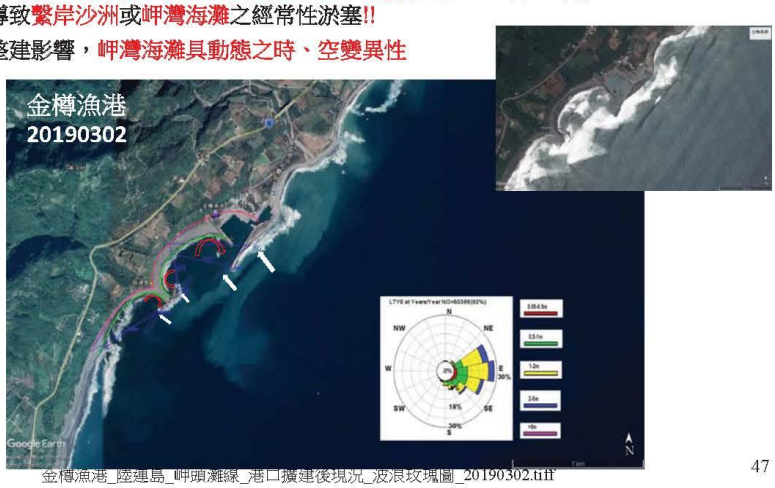




長濱漁港_港口海岸_細a_大岬灣_擴建_現況_玫瑰圖20170825.tif

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(10/11)
_臺東金樽漁港

- 港口外廓防波堤配置，具離岸堤型態
- 港南之陸連島後側，存在繫岸沙洲型態淤沙
- 卓越波向，經近岸折射效應，以東南向入射海灘
- 「離岸堤效應」及「岬頭效應」在港口發展；港口漂沙與淤塞具局部性
- 港口強勁碎波沖刷環流，衍生優勢輸沙方向，由南往北，進而在港嘴及航道，導致繫岸沙洲或岬灣海灘之經常性淤塞!!
- 隨港口整建影響，岬灣海灘具動態之時、空變異性



金樽漁港_陸連島_岬頭灘線_港口擴建後現況_波浪玫瑰圖_20190302.tiff

港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析(11/11)
_臺東大武漁港

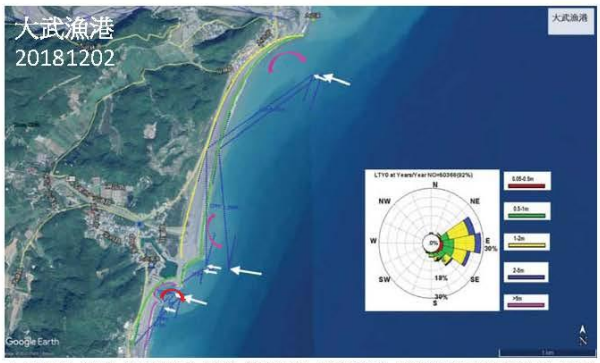
- 港口外廓防波堤配置，具離岸堤型態
- 經岬灣灘線擬合，可回朔、反饋出卓越波向，以東南東向入射海灘
- 「離岸堤效應」及「岬頭效應」在港口發展；港口漂沙與淤塞具局部性
- 港口強勁碎波沖刷環流，衍生優勢輸沙方向，由南往北，進而在港嘴及航道，導致繫岸沙洲或岬灣海灘之經常性淤塞!!
- 隨港口整建影響，岬灣海灘具動態之時、空變異性



港口淤塞與毗鄰海灘沖淤之機制分析_臺東大武漁港

- 港口外廓防波堤配置，具離岸堤型態
- 卓越波向_東南東向入射海灘
- 大武溪口存在規模持續增大之潛沒河口三角洲
- 大武溪河川輸沙，跨越東防沙堤，由北往南運移
- 「離岸堤效應」及「岬頭效應」在港口發展
- 港口衍生強勁碎波沖刷環流，進而在港嘴及航道，導致緊岸沙洲或岬灣海灘之經常性淤塞!!
- 港口優勢輸沙方向，由南往北





大武漁港_海岸_北灘_港口_堤外_養灘前後_岬灣灘線_波浪玫瑰圖_20181202_波向

岬頭效應衍生港口航道淤塞之改善對策評估分析

- 望__觀察、
- 聞__分析、
- 問__研判、
- 切__辨識。

➢ 對症下藥 _ 治療

~ 研提措施與對策_改善與防治







調適對策評估與改善措施研擬

- **局_勢_術**

  大小局、強弱勢、防治術。



  - 局
    - 規模
    - 範圍
    - 尺度
  - 勢
    - 卓越
    - 優勢
    - 趨向
  - 術
    - 利害得失、衡局度勢；
    - 人定順天、順勢而為；
    - 提綱挈領、掌握關鍵；
    - 去蕪存菁、具體有效...

港口淤塞調適對策與改善配置參照

- 掌握關鍵機制；
- 因勢利導；
- 順勢而為！



和平工業區專用港_Google Earth_中平_2013_11優.jpg



左營港_GoogleEarth_小平_2021_12a.jpg

52

面對「岬頭效應」之港口淤塞改善對策研擬(1/8)

_宜蘭南澳漁港

- 面對港口「岬頭效應」衍生之沖刷環流及伴隨之優勢輸沙!
- 港口東側外廓防波堤_防浪；西側外廓防波堤_梳流、導沙、截淤!
- I型外廓防波堤調整為r或Γ型突堤，應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」之繫岸沙洲型態淤塞!
  - ➢小規模、小尺度漁港
  - ➢因勢利導；順勢而為!
  - ➢導引堤後沖刷環流
  - ➢截斷繫岸沙洲
  - ➢創建新「岬頭」
  - ➢重塑岬灣海灘

※改善對策仍需詳細評估、規劃及設計



南澳漁港_岬灣海灘_卓越波浪繞射點_玫瑰圖2015_07.tiff



南澳漁港_抑制岬灣海灘造成港口淤塞之調適佈置示意圖.jpg

53

面對「岬頭效應」之港口淤塞改善對策研擬(2/8)

_臺東大武漁港

- 河川之沿岸輸沙優勢方向，由北而南，勢不可擋；
- 面對港口「岬頭效應」衍生之沖刷環流及伴隨之優勢輸沙!
- 港口東側外廓防波堤_防浪、順導沿岸輸沙跨越(by passing)；西側外廓防波堤_梳流、導沙、截淤!
- I型外廓防波堤調整為r或Γ型突堤，應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」
  - ➢因勢利導；順勢而為!
  - ➢導引堤後沖刷環流
  - ➢截斷繫岸沙洲
  - ➢創建新「岬頭」
  - ➢重塑岬灣海灘

※改善對策仍需詳細評估、規劃及設計





大武漁港_GoogleEarth_細_改善配置_2018_12.jpg

54

面對「岬頭效應」之港口淤塞改善對策研擬(3/8)

_臺東長濱漁港

- 面對港口「岬頭效應」衍生之沖刷環流及伴隨之優勢輸沙!
- 港口南側外廓防波堤_防浪、順導沿岸輸沙跨越(by passing)；北側外廓防波堤_梳流、導沙、截淤!
- I型外廓防波堤調整為r或Γ型突堤，應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」
  - ➢因勢利導；順勢而為!
  - ➢導引堤後沖刷環流
  - ➢截斷繫岸沙洲
  - ➢創建新「岬頭」
  - ➢重塑岬灣海灘

※改善對策仍需詳細評估、規劃及設計



長濱漁港_GoogleEarth_細_岬灣海灘_2021_02.tiff



長濱漁港_GoogleEarth_細_改善配置_2021_02.jpg

55

面對「岬頭效應」之港口淤塞改善對策研擬(4/8)

_臺東金樽漁港

- 面對港口「岬頭效應」衍生之沖刷環流及伴隨之優勢輸沙!
- 港口東南側外廓防波堤_防浪、順導沿岸輸沙跨越(by passing)；北側外廓防波堤_梳流、導沙、截淤!
- I型外廓防波堤調整為r或Γ型突堤，應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」
  - ➢因勢利導；順勢而為!
  - ➢導引堤後沖刷環流
  - ➢截斷繫岸沙洲
  - ➢創建新「岬頭」
  - ➢重塑岬灣海灘

※改善對策仍需詳細評估、規劃及設計



金樽漁港_GoogleEarth_細_岬灣海灘_雙_2018_12.jpg



金樽漁港_GoogleEarth_細_改善配置_2018_01.jpg

56

面對潛沒「岬頭效應」之港口淤塞改善對策研擬(5/8)

_桃園永安漁港、苗栗苑裡漁港

- 面對港口潛沒「岬頭效應」衍生之沖刷環流及伴隨之優勢輸沙!
- 港口北側外廓防波堤_防浪、順導沿岸輸沙跨越(by passing)；南側外廓防波堤_梳流、導沙、截淤!
- I型外廓防波堤調整為r或Γ型突堤，應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」
  - ➢因勢利導；順勢而為!
  - ➢導引堤後沖刷環流
  - ➢截斷繫岸沙洲
  - ➢創建新「岬頭」
  - ➢重塑岬灣海灘

※改善對策仍需詳細評估、規劃及設計



永安漁港_GoogleEarth_中_2010_12優_岬灣海灘_卓越波向線射線_改善配置(定).tif



苑裡漁港_Google Earth_頭_2018_11優_岬灣海灘_玫瑰園_卓越波向線射線_改善配置(定).tiff

面對潛沒「岬頭效應」之港口淤塞改善對策研擬(6/8)

_屏東枋寮漁港

- 面對港口潛沒「岬頭效應」衍生之沖刷環流及伴隨之優勢輸沙!
- 港口南側外廓防波堤_防浪、順導沿岸輸沙跨越(by passing)；北側外廓防波堤_梳流、導沙、截淤!
- I型外廓防波堤調整為r或Γ型突堤，應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」
  - ➢小規模、小尺度漁港
  - ➢因勢利導；順勢而為!
  - ➢導引堤後沖刷環流
  - ➢截斷繫岸沙洲
  - ➢創建新「岬頭」
  - ➢重塑岬灣海灘

※改善對策仍需詳細評估、規劃及設計



枋寮漁港_Google Earth_小_2019_10優_岬灣海灘_玫瑰園.tiff



面對潛沒「岬頭效應」之港口淤塞改善對策研擬(7/8)

_屏東楓港漁港

- 面對港口潛沒「岬頭效應」衍生之沖刷環流及伴隨之優勢輸沙!
- 港口南側外廓防波堤_防浪、順導沿岸輸沙跨越(by passing)；北側外廓防波堤_梳流、導沙、截淤!
- I型外廓防波堤調整為r或Γ型突堤，應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」之繫岸沙洲型態淤塞!
  - ➢小規模、小尺度漁港
  - ➢因勢利導；順勢而為!
  - ➢導引堤後沖刷環流
  - ➢截斷繫岸沙洲
  - ➢創建新「岬頭」
  - ➢重塑岬灣海灘

※改善對策仍需詳細評估、規劃及設計



楓港漁港_Google Earth_小_2017_10優_岬灣海灘_玫瑰圖_卓越波向繞射點.tiff



楓港漁港_Google Earth_小_2017_10優_岬灣海灘_玫瑰圖_卓越波向繞射點_改善配置.jpg

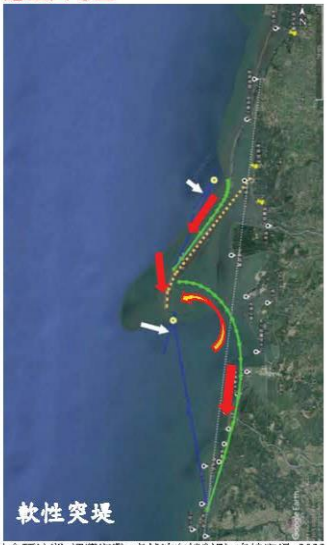
面對大尺度「岬頭效應」之港口淤塞改善對策研擬(8/8)

_東石漁港、布袋港

- 外傘頂沙洲、雙春海岸之沖刷變遷及東石、布袋港之淤塞!!
- 外傘頂沙洲的變遷，關聯嘉義、台南海岸的沖淤及穩定性，因此，擬定防治外傘頂沙洲變遷之策略與措施，應全面考量、審慎評估。
- 大尺度、大規模離岸沙洲
- 利害得失；顧此失彼!!
- 人定順天；順其自然!!



東石港_布袋第三漁港_外傘頂洲_Google Earth_區剪_2009_12優.jpg



外傘頂沙洲_岬灣海灘_卓越波向繞射點_虛線突堤_2022_09優.tiff

結　論

- **多是波浪闖的禍!!**
  - 近岸波浪碎波之衝擊，是造成海灘侵淤變遷與港口航道淤塞的主要動力。
  - 波浪與近岸地形、水深及港口配置交互作用，通常會因實際或潛隱之「岬頭效應」而衍生碎波沖刷環流 及 優勢輸沙作用。
- **依據「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」，可迅速確實、具體有效地進行海灘地形沖淤變遷分析。**
- **「突堤效應」與「離岸堤效應」皆能伴隨人工岬頭而衍生「岬頭效應」。**
- **「岬頭效應」因碎波沖刷環流重塑而成的岬灣海灘，可與「離岸堤效應」在堤後造成的繫岸沙洲淤積相互類比。**

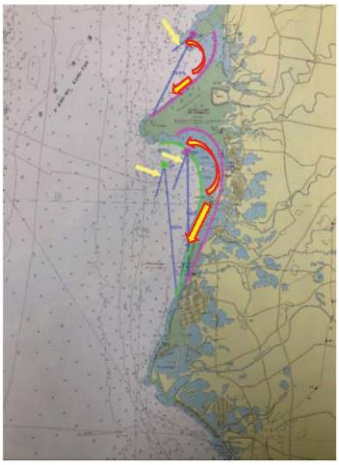




結　論

- 波浪侵襲，特別是碎波沖刷流的作用，是造成海灘侵淤變遷的主要動力；而近岸地形水深與海灘坡度之時、空變化、潮汐漲退影響、河川輸沙補注、以及港口外廓防波堤配置型態與規模等，皆是關鍵影響因素。
- 在「岬頭效應」及「離岸堤效應」影響下，港口通常會因強勁沖刷環流之輸沙作用，而促成沙舌或繫岸沙洲型態之海灘重塑，進而導致港口、航道之經常性淤塞以及毗鄰海灘的沖蝕。
- 河口或港口外之淺灘淤積，常會導致潛隱之「岬頭效應」或「離岸堤效應」。
- 臺灣環島的近岸港口，規模小，大多位在碎波帶內，近岸輸沙，在低潮位期間，受碎波沖刷流之強勁輸沙作用，普遍均可跨越具突堤型態之港口外廓防波堤或防沙堤之阻隔而沿岸平衡運移，甚且會在港口外形成平直或類似河口三角洲之潛沒岬頭淺灘淤積，以致「突堤效應」並不顯著；替代陳現的是「岬頭效應」。





建　議

- 面對「岬頭效應」衍生港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之調適、改善對策，應衡局度勢、審酌利害得失、提綱挈領；遵循人定順天、順勢而為!!
- 近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之改善對策，對於面對卓越波浪衝擊上游側之外廓防波堤配置，應以 防浪 及 順導沿岸輸沙跨越(by passing)為主；而在波浪衝擊下遊側之外廓防波堤配置，則應著重 梳流、導沙、截淤為主!
- 建議具體措施，可將*I*型外廓防波堤，調整為r或*T*型突堤，俾能充分應用「岬頭效應」，避免「離岸堤效應」，藉以因勢利導，順勢而為，有效導引堤後沖刷環流，截斷繫岸沙洲，創建新「岬頭」，重塑岬灣海灘。
- 潮位高低及海岸防護構造物出水高度的考量：
  - 進行漁港港口淤塞特性分析與造成機制研判，應專注確定低潮位期間之卓越波向與碎波沖刷作用；
  - 檢視海灘的侵淤特性，宜高、低潮位並重；
  - 從事海岸保護工程之規劃與設計，則應特別講究高潮位期間卓越波浪碎波之直接沖擊。
  - 檢視海岸防護構造物的效能，尤其應著重其出水高度的變化及影響!



63

附錄 2 期末報告審查會議紀錄及委員意見處理表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CA001c 岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策」自辦研究計畫期末報告審查會議

貳、時間：111 年 12 月 29 日(星期四)下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯　　紀錄：蔡世璿

伍、出席單位及人員：

單位	姓名	簽名
經濟部水利署	郭純伶委員	視訊參加
嘉義縣政府農業處	張建成委員	張建成
行政院海洋委員會	機關代表	書面意見
行政院農業委員會漁業署	機關代表	書面意見
臺東縣政府農業處	機關代表 (陳文泰科長)	視訊參加
本所港灣技術研究中心 第一科	賴瑞應科長	賴瑞應
本所港灣技術研究中心 第二科	李俊穎科長	李俊穎
本所港灣技術研究中心 計畫主持人	莊文傑研究員	莊文傑
本所港灣技術研究中心	助理研究員蔡世璿	蔡世璿

陸、計畫主持人簡報：參見附錄一；

柒、審查委員意見：參見後附委員意見處理表。

捌、主席結論：

一、 審查會議各委員之口頭及書面意見，請研究人員依「審查意見處理情形表」逐項說明回應辦理情形，並充分納入報告之修正。

二、 本計畫經徵詢審查委員意見，期末報告初稿審查原則通過，請研究人員後續依本所出版品印刷相關規定撰寫報告。

玖、散會(下午 4 時)

審查委員評審意見與建議	處理情形
一、郭純伶 委員 (評分：89)	感謝**郭**委員以視訊方式參與審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 外傘頂洲的消退，根據本報告分析，應與濁水溪沙源較無關聯，可否再多做說明，因為與外界沙源減少導致沙洲消退之想法不同。。	1. 感謝提示與指教。有關外傘頂洲的生成及其變遷歷程，可參見本報告附錄 1 所列期末審查簡報第 32 至 43 頁之簡要圖文說明，或參閱本報告參考文獻第 156 項次之相關研究成果發表。外傘頂洲，1897 年，約 125 年前，仍是北港溪口的潮間帶淺灘(1898 年，草嶺潭崩潭)，及至 1905 年，約 117 年前，乃於北港溪口初始生成具有突堤形態之外傘頂沙洲，而後，歷經 1910 年之濁水溪河道束縮整治，以及長年受潮流與碎波沖刷流之持續輸沙作用，近百年來，乃以約 70 m/y 速率，逐年向南移動變遷，參見簡報第 34 至 36 頁。國內學研界依據簡報第 37 頁所示外傘頂洲近 20 年來的南移、退縮變遷，普遍認為其係因現今濁水溪沙源減少所導致，但本研究應用不同年代的海圖，參見圖 4-91 及簡報第 36 頁，依據地形水深分析，認為濁水溪沙源減少，主要影響範圍，始終不及外傘頂洲，並可以位在新、舊虎尾溪口至箔子寮海岸外的潮間帶寬度及岬頭淺灘地形作研判指標，特別是由台塑麥寮港南側，自台西漁港至三條崙漁港間之沿岸潮間帶，仍可見有繫岸淺灘沙洲存在，鑑此，應可據以說明，外傘頂洲之消退，應與近 20 年來的濁水溪沙源減少，較無關聯。
2. 本計畫研究成果對於氣候變遷之因應是否有考量，如海平面上升、波、潮、流變化。	2. 本研究緣起，參見本報告附錄 1 所列期末審查簡報第 2 頁之說明，係為因應氣候變遷，防治海岸災害，維護自然海岸環境，落實「整體海岸管理計畫」，推動「海岸防護」與「海岸保護」措施，藉以達成自然海岸零損失之目標。特別是對於氣候變遷所造成近岸波高頻繁增大之因應，呼籲集中關注伴隨近岸碎波沖刷流與沖刷環流所

	衍生之海岸嚴重沖蝕及港口淤塞之相關課題。
3. 本計畫談及許多港口淤塞之成因，並提出解決建議，是否有應用此套理論的成功案例可供參考。	3. 本研究結合網際網路資源，歸納臺灣環島近岸港口外廓配置共通形態，針對造成近岸港口與毗鄰海灘沖淤之關鍵機制，具體研提防沖減淤對策，並特別建議，無論是在規劃、設計、擴建或維護階段，皆應著重於避免或降低「離岸堤效應」及「岬頭效應」，特別是調整港口內防波堤之既有配置形態，藉以限縮港口沖刷環流之發展與抑制外防波堤後沙舌或繫岸沙洲之衍生，進而可大量減少長期性港口淤沙疏浚之人力與物力投注。只是多年來，僅管透過研究報告及研究成果發表(莊，2020~2022)持續呼籲，但國內相關權責機構與管理單位，尚僅止於"酌參"，並未詳細評估，進而付諸實證。鑑此，本研究期待國內與海岸防護及近岸港口維運相關之權責機構與管理單位，透過官-學-研合作，能擇選一、二既有淤塞嚴重之近岸港口，例如：花蓮鹽寮漁港、臺東大武漁港或屏東枋寮漁港，進行建議調適對策之實驗，藉以創建世界先驅之成功案例。
4. 綜合評論：本研究對於港口及外傘頂洲沖淤的成因探討具參考性，由水動力、沖刷流、沖刷環流解釋漂砂移動，有新穎的創見。	4. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。
5. 後續修訂建議：若要提供決策單位參考，可再有系統的整理出簡要手冊，從觀察、分析到提出解方。	5. 感謝提示與指教。針對造成近岸港口與毗鄰海灘沖淤之特性觀察與機理分析，以及具體防沖減淤調適對策之研提，可參見本研究第 4 章內文之論述，而本報告附錄 1 所列之期末審查簡報，應可作為簡要手冊。

二、**張建成** 委員 (評分：90)	感謝**張**委員的出席審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 本計畫結合相關資源，針對臺灣各港口侵淤情形提出分析，並提供防沖減淤對策，可以做為各政府部門的執行參據，給予肯定及感謝。	1. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。
2. 針對外傘頂洲的大尺度變遷，對嘉義沿岸港口的淤積及美好寮的侵蝕影響極大，作者提出人定順天，順其自然，必須謹慎調適對策，避免顧此失彼，可否建議可行之對策供參。	2. 外傘頂洲，位在北港溪口之寬幅潮間帶外緣，為一狹長型之離岸沙洲，全長約 12.3 公里，最寬處約 1.0 公里，以西南方向突出於雲林口湖鄉台子村外，並與海岸約呈 40 度夾角，狀似一由沙洲構成之突堤。造成沙洲變遷之關鍵機理，除了潮位與潮流影響外，最關鍵的作用力，是長年受卓越波向偏西北向的波浪衝擊以及伴隨碎波之上沖、下刷及越洗，特別是碎波沖刷流與沖刷環流所造成優勢輸沙方向分別由北而南及由南而北的近岸輸沙作用。此外，基於外傘頂洲自生成後即持續具有的“軟性突堤”形態與特性，因此，外傘頂洲的變遷，實際與「突堤效應」及「岬頭效應」具有密切關聯性，詳參本報告附錄 1 所列期末審查簡報第 32 至 43 頁之簡要圖文說明，其中，特別值得關注的是，退潮流與碎波沖刷流，將造成沙洲前灘之持續沖蝕；而強勁束縮流，將造成沙洲南端的大幅、快速沖蝕與後退；至於碎波沖刷環流，將造成沙洲後側淤淺及沙洲尾端之水下沙舌地形成長，同時，造成東石港與布袋港淤塞以及導致嘉義好美寮及臺南雙春海岸的侵蝕。所以，研訂防治移動的國土_外傘頂沙洲的變遷策略與措施，應對毗鄰海灘可能引發的沖淤效應與衝擊，詳

	加週全考量、審慎評估。鑑此，面對上述外傘頂洲變遷所具有之時、空大尺度影響特性，現階段的防治、調適對策，為避免顧此失彼，建議仍應本於“人定順天”準則，採行“順其自然”、“無為而治”的措施較為適宜。若必需有人為防治措施的強制性介入，建議應以有效控制「岬頭效應」為著眼，以分散沙洲南端前灘的波浪集中及降低既有強勁束縮流之沖刷為目標，藉以減緩沙洲南端大幅度且快速地沖蝕與後退。
3. 目前各單位亦在進行外傘頂洲的沙灘流失整體防治計畫，有單位建議可以取外傘頂洲內側(牡蠣養殖區)淤沙，作為外傘頂洲外側或本體之補充沙源(即抽內側沙至外側或沙洲上方)，不知是否具可行性。	3. 如前項審查意見之回復說明所述，外傘頂洲的變遷，實際與「突堤效應」及「岬頭效應」具有密切關聯性，詳參本報告附錄 1 所列期末審查簡報第 32 至 43 頁之簡要圖文說明，其中，特別值得關注的是，退潮流與優勢輸沙方向由北而南之碎波沖刷流，將會沖蝕沙洲前灘，並造成漂沙持續向南運移；而強勁由北而南之束縮流，將造成沙洲南端的大幅、快速沖蝕與後退；至於優勢輸沙方向由南而北之碎波沖刷環流，將會捲動通過沙洲南端之漂沙而造成沙洲後側潮間帶淺灘淤淺及沙洲尾端之水下沙舌地形成長、發展，同時，造成東石港與布袋港淤塞以及導致嘉義好美寮及臺南雙春海岸的侵蝕。所以，在外傘頂洲的沙灘流失整體防治計畫中，若取外傘頂洲內側(牡蠣養殖區)淤沙，作為外傘頂洲外側或本體之補充沙源(即抽內側沙至外側或沙洲上方)，則其必將會受沙洲前灘退潮流與優勢輸沙方向由北而南之碎波沖刷流沖蝕，以及沙洲後側漲潮流與優勢輸沙方向由南而北之碎波沖刷環流之輸沙作用，而使補充沙源，回歸沉淤於沙洲後側之潮間帶淺灘，進而促成沙洲尾端之水下沙舌地形持續發展，同時，

	造成東石港與布袋港淤塞。因此，相關之防治、調適措施之可行性，實值得再審慎評估與商榷。
4. 報告書有部分錯別字，請修正： (1) 第 3-11 頁表 3-3，1. 嘉義海岸地區，3. 早期為「要」，要字應為多餘，建議刪除。 (2) 第 4-11 頁至第 4-21 頁，圖 4-6 至圖 4-16 說明，「漁」港應修正為「漁」。 (3) 第 5-4 頁，5.2 研究成果之效益，第 2 行「辯」識，應修正為「辨」。 (4) 第 5-5 頁，倒數第 4 行「梳」流，是否為「疏」。	4. 感謝提示與指教。第(1)至(3)項之指正，均已作修訂，而第(4)項，「梳」字主要用以強調將 I 型外廓防波堤，調整為Γ型，藉以達成碎波沖刷環流的梳理，所以，未作「梳」字之修訂。
5. 綜合評論：(1)本計畫結合網路資源，應用 Google Earth 歷史圖像，針對台灣各港口，就外廓配置，研判其海灘侵淤情形，並提出防沖減淤對策，可供各政府部門參據，貢獻良多；(2)另就嘉義東石、布袋港口淤積，好美寮及台南雙春則沖蝕，具體分析係受外傘頂洲大尺度移動影響，如何確保該沙洲是嘉義海岸保護之關鍵，調適對策仍須謹慎，避免顧此失彼，極具建設性。	5. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。
三、**陳文泰** 委員 (評分：85) 1. 岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析解說甚詳，尤其國內甚少文獻探討，本案成果可供各港灣單位參考，擬定防淤對策。 2. 海岸供沙路徑並非常年一致，更因颱風、短期季風等因素改變輸砂機制，因此，各港口應逐案以各案模擬方式，逐案探討防淤對策。	感謝**陳**委員以視訊方式參與審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后： 1. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。 2. 波浪的衝擊，是海岸輸沙與海灘地形變遷之主要原動力。近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕，是潮汐、波浪、漂沙與港口外廓配置的交互影響課題，參見第四章第 4.1 節的論述。本研究綜合臺灣東、西部漁港港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之特性，配合港口外廓

	配置形態與規模，研判造成近岸港口淤塞與毗鄰海灘沖蝕之主要影響因素，確認在高、低潮位間之近岸淺灘上，具較大波高之季風及颱風波浪碎波之直接衝擊，並於港口屏蔽區因「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」複合發展所造成強勁碎波沖刷環流之輸沙作用，係為造成近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤的主要動力與關鍵的共通機制，因此，可以通案方式，研擬各近岸港口之防沖減淤調適對策。詳細的方析與評估，請參見第四章內文之論述與說明。
3. 海岸人工結構物興建造價高，尤其接近港嘴處易產生本案所述岬灣海灘效應，改變流場，建議本案可作成具體建議，供海岸管轄單位參考。	3. 面對臺灣環島近岸港口航道經常淤塞與毗鄰海灘沖蝕之課題，於充分瞭解區域性潮汐、波浪與外廓配置之交互作用影響，掌握碎波沖刷流衍生之輸沙動力，以及確認「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」的複合發展是造成毗鄰港口海灘重塑之關鍵機制後，對於各近岸港口所應採行的調適、改善構想，建議除了依循傳統，在港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤規劃配置上，應著重以達成防浪及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主外；在港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤規劃配置上，則應著重梳流、導沙、截淤效能之提昇。具體因勢利導、順勢而為之防治對策與措施，可參見第五章之結論與建議。
4. 綜合評論：淤塞機制分析、說明詳細，對於本縣大武、長濱及金樽漁港後續防淤建議中肯。	4. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。
5. 後續修訂建議：有關淤沙防治建議，可另以他案委況專業團隊採數模擬或水工方式驗證。	5. 臺灣環島近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之防治課題，密切關聯區域性潮汐、波浪與外廓配置之交互作用影響，特別是應掌握近岸淺灘的坡度、地形水深、碎波形態、碎波帶寬度與

	碎波沖刷流衍生之輸沙動力等複合因素，因此，就現今海洋工程研究可應用科技評估，應仍難以採行數模擬計算或水工模型試驗方式進行驗證。鑑此，本研究期待國內與海岸防護及近岸港口維運相關之權責機構與管理單位，透過官-學-研合作，能擇選一、二既有淤塞嚴重之近岸港口，例如：花蓮鹽寮漁港、臺東大武漁港或屏東枋寮漁港，進行調適對策之實驗，藉以創建通過實證之成功案例。
四、**行政院海洋委員會(書面意見)** (評分：無)	感謝**行政院海洋委員會**的書面審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 報告並未檢附：附錄 1 及附錄 2。	1. 感謝提示。本研究報告之附錄 1 及附錄 2，已於報告定稿中增補。
2. 2.2.2 節風與波浪資料，建議更新統計至最新資料。	2. 感謝提示與建議。本研究第二章內文，主要重點在介紹臺灣環島海域的地象與海、氣象環境，特別是風力、波浪、潮汐、潮流、海流與輸沙特性，其皆為本研究彙整之長年統計資訊與研究心得，更皆是探討近岸漂沙及海灘地形變遷課題的相關必備知識。因此，僅著重於時、空之長期性與總體性，並不講究新近資料的納入與更新。
3. 4.1.1 內容僅為颱風波浪特性之說明並未針對暴潮與本案研究內容有無直接關聯性之論述。	3. 感謝提示與指教。本研究第四章第 4.1 節內文，主要重點在論述臺灣環島近岸港口漂沙之水動力沖淤系統與進行淤塞機制分析。有關暴潮與本案研究內容之直接關聯性，請參見第 4.1.1 節第 1 段內文之論述說明與第 4.4.4 節_潮位高低對海灘沖淤之影響探討。至於暴潮的分析與應用，請參見參考文獻第 83 及第 84 項次之相關研究成果。
4. 4-4 頁超越波浪能量傳播速度($\sqrt{gH_b}$)是否為$\sqrt{gh_b}$，似有混淆，宜就相關公式定義表示清楚。	4. 在近岸水深h之淺灘上，前進波浪會因淺化效應，致使水粒子速度 u 超越波浪能量傳播速度C_g($\approx \sqrt{gh}$；g 為地面之重力加速度)，進而發生碎

	波現象。若再定義碎波水深為h_b，碎波波高為H_b，則再應用式(4-2)所示之碎波波高與碎波水深之經驗關聯公式，因此，即可估算碎波沖刷流之速度$u_b \approx \sqrt{gH_b}$，相關定義，參見第 4.1.2 節內文之論述與說明。
5. 部分圖檔解析度不佳，如圖 4-28，建議調整。	5. 感謝提示。部分解析度不佳之圖檔，已作檢視及改善與調整。
6. 第四章利用大量衛星影像進行港口侵淤討論，但 Google Earth 衛星影像僅提供拍攝日期，並未針對說明衛星拍攝時間(含小時)，無法進行潮位比對，另本研究亦無針對目標港口地形坡度調查，因此，衛星影像可能僅是呈現潮汐高低之地形變化，並無海岸侵淤變化。	6. 感謝提示及指教。本研究應用 Google Earth 不同時期之歷史圖像，主要在綜整近岸港口在不同整建歷程或高低潮位下的港口外廓配置形態以及港口淤塞與毗鄰港口海灘的沖淤狀態，重點不在於藉不同時期的灘線位置比較以評估灘線變遷或海岸侵淤變化，而在透過特定時期、特定潮位下之岬灣海灘擬合，回朔、反饋構成岬灣海灘的三個控制參數，再藉控制參數之時、空變動性之對照比較，以研判潛沒淺灘的侵淤範圍與變遷特性，詳參第 4.2.3 節內文之論述與說明。因此，Google Earth 不同時期之歷史圖像，並不必要進行目標港口之地形坡度調查與潮位修正。
7. 無中、英文摘要。	7. 感謝提示。本研究報告之中、英文摘要，已於報告定稿中增補。
8. 是否蒐整幾次颱風侵襲前後之港口鄰近相關地形變化資料，俾研析作用力產生影響及調適策略。	8. 感謝提示及指教。本研究應用 Google Earth 不同時期之歷史圖像，主要即在綜合檢視分析臺灣環島各近岸港口，在不同時期，歷經長期潮位、波浪及港口外廓配置形態改變等影響所造成之港口淤塞與毗鄰港口海灘的沖淤狀態，更配合「突堤效應」、「離岸堤效應」與「岬頭效應」，應用強勁碎波沖刷流與沖刷環流之輸沙作用，詳實研析造成近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤的主要動力與關鍵共通機制，進而研提調適策略，總體研究案例與成果，應已具客觀性與代表性。

五、行政院農業委員會漁業署(書面意見) (評分：無)	感謝**行政院農業委員會漁業署**的書面審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 第 1-6 頁，「依據行政院農業委員會 109 年 5 月 12 日農授漁字第 1091314889A 號公告，…，至民國 98 年底止」，建議修正為「至民國 109 年止」，以符前開公告時間。	1. 感謝提示。所指正事項，已於報告定稿中修訂。
2. 第 3-2 頁，查內政部 111 年 4 月 8 日台內營字第 1110804425 號令修正公告「海岸地區範圍」，建議圖 3-1 更新為修正後之海岸地圖範圍圖。	2. 感謝提示。圖 3-1 已於報告定稿中依據建議事項，完成更新及修訂。
3. 本研究計畫成果後續請惠予提供本署及各直轄市、縣(市)政府漁港主管機關，以作為漁港(港口)航道淤塞之防沖減淤對策參考，至紉公誼。	3. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。待本研究報告出版，再以專函檢送貴署及各直轄市、縣(市)政府漁港主管機關參採。
六、 賴瑞應 委員 (評分：89)	感謝**賴**委員的出席審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 本計畫針對臺灣東岸及西岸近岸港口航道淤塞進行相關資料蒐集，應用「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」，探討造成港口淤塞之關鍵因素，並研提相關防治對策建議，研究成果具實務應用價值，研究成果值得肯定。	1. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。
2. 本計畫針對各港之防淤對策，對於各港之永續發展有很重要的貢獻，為求慎重，建議相關防淤對策，後續能進行數值模擬或水工模型試驗來驗證其成效，以利後續提供相關單位施政的參考。	2. 感謝提示與指教。本研究對近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤課題所研提之防沖減淤對策，密切關聯區域性潮汐、波浪與外廓配置之交互作用影響，特別是應掌握近岸淺灘的坡度、地形水深、碎波形態、碎波帶寬度與碎波沖刷流衍生之輸沙動力等複合因素，因此，就現今海洋工程研究可應用科技評估，應仍難以採行數模擬計算或水工模型試驗方式進行驗證。後續待推展之替代可行方案，本研究期待國內與海岸防護及近岸港口維運相關之權責機構與管理單位，透過

	官-學-研合作，能擇選一、二既有淤塞嚴重之近岸港口，例如：花蓮鹽寮漁港、臺東大武漁港或屏東枋寮漁港，進行調適對策之實驗，藉以創建通過實證之成功案例。
七、 李俊穎 委員 (評分：85)	感謝**李**委員的出席審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 研究成果對東西部近岸港口整體地形趨勢變化有深入分析，值得肯定。。	1. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。
2. 簡報對研究成果論述更清楚，建議可考量在文章內補述。	2. 本研究報告全文，共分 5 章，藉以詳細論述、分析臺灣環島近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕之防治課題，並以通案方式研提各近岸港口之防沖減淤調適對策。期末報告審查會議之簡報，共 63 頁，全係為研究報告全文之重點摘錄。有所增列的簡報資訊，大多與嘉義外傘頂洲的變遷探討相關聯，若想進一步瞭解該部分之研究成果，可另案辦理專題研討，或詳參本報告附錄 1 所列期末審查簡報第 32 至 43 頁之簡要圖文說明。
3. 西部海岸潮位高低對海灘沖淤較少研討，建議後續計畫可再著墨。	3. 感謝提示與指教。本研究報告第 2 章第 2.3 節及第 4 章，特別是第 4.4 節，已將臺灣西部海岸之潮位高低變化及影響，充分納入於臺灣西部近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策研提中。相關詳細、深入之研究專題，尚請自行依各權管機關或單位之職掌，辦理後續研究事宜。
八、 林雅雯_審查會議主持人 (評分：86)	感謝**林**科長主持審查會議。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 第 4-145 頁，左營港及和平工業專用港的成效為何？建議日後可會勘加以了解。	1. 面對臺灣環島近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖蝕課題，本研究研提的調適、改善對策，建議除了依循傳統，在港口面對卓越入射波浪衝擊之外防波堤規劃配置上，應著重達成防浪

	及順導沿岸輸沙跨越(by passing)效能為主外；在港口位處卓越入射波浪衝擊下游側之內防波堤規劃配置上，則應著重梳流、導沙、截淤效能之提昇。具體因勢利導、順勢而為之防治案例，可參見成效甚佳之和平工業專用港及左營軍港之港口外廓防波堤配置，詳如圖 4-81 所示，取其已明確具有雙***Γ***型圓弧外堤形態，藉以能有效避免「離岸堤效應」、應用「岬頭效應」，達成防浪、減淤之效能。至於日後施行可赴實地會勘、了解的建議，謹請自行依行政權責核處。
2. 本研究參考很多國內、外文獻，是否可提出後續相關計畫（數值模擬、試驗）之建議。	2. 近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤所研提之防沖減淤對策，密切關聯區域性潮汐、波浪與外廓配置之交互作用影響，特別是應掌握近岸淺灘的波浪上沖、下刷與越洗特性，以及碎波形態、碎波帶寬度變動與碎波沖刷流之輸沙動力重現等複合因素。因此，就個人對現今海洋工程研究可應用科技及評估工具之瞭解，認為採行數模擬計算或水工模型試驗方式進行近岸港口航道淤塞與毗鄰海灘沖淤之防沖減淤對策驗證，仍有諸多難題待克服、亦有諸多限制待突破。後續待推展之相關研究，建議可單純僅進行「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」之數值模擬或水工試驗。
3. 如有漁港地形水深圖或空拍圖提供研究，是否更佳。	3. 如有漁港地形水深圖或空拍圖可作研判參據，必然對本研究甚有助益，只可惜該兩項圖資，在國內尚不夠開放，均不易蒐集，且難以取得。