113-027-7D66
MOTC-IOT-112-H3DA001c

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 113 年 3 月

113-027-7D66
MOTC-IOT-112-H3DA001c

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

著者：莊文傑

交通部運輸研究所
中華民國 113 年 3 月

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

交通部運輸研究所

GPN：1011300200

定價 500 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估/莊文傑著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 113.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-574-0(平裝)

1.CST: 海岸工程 2.CST: 環境監測 3.CST: 影像分析

443.3 113001491

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估
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 113 年 3 月
印 刷 者：綠凌興業社
版(刷)次冊數：初版一刷 47 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)2349-6789
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：1011300200　　ISBN：978-986-531-574-0(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

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-574-0(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011300200</td><td>運輸研究所出版品編號
113-027-7D66</td><td>計畫編號
112-H3DA001c</td></tr>
<tr><td colspan="3">本所主辦單位：運輸技術研究中心
主管：蔡立宏
計畫主持人：莊文傑
研究人員：莊文傑
參與人員：蔡世璿、林有騰
聯絡電話：(04)2658-7200
傳真號碼：(04)2657-1329</td><td>研究期間
自 112 年 01 月

至 112 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：碎波、沖刷流、離岸堤效應、淤沙效能、沙舌、繫岸沙洲、海岸環境營造</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：
波浪的衝擊，是海岸輸沙與海灘地形變遷之主要原動力。本研究結合網際網路資源，應用 Google Earth 歷史圖像，蒐集、綜整臺灣西南部海岸現實離岸堤群布建之類型與狀態，再透過現場考察以及向規劃、設計與建管部門之諮詢，掌握堤體初始設計之斷面尺寸與高程配置，進而以「離岸堤效應」為基礎，再引介高雄旗津海岸施行人工潛堤灣澳保護工程之成效作對比案例，並以該實務案例所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，針對離岸堤初始與現況出水高度變化之控制因素，透過實務案例之對照比較，據以檢視、分析並評估離岸堤出水高度對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能與造成地貌變遷之影響，並確認離岸堤的出水高度與不透水性高低，是控制堤後淤沙效能的關鍵機制，而離岸堤後之繞射波強弱與碎波所引致流速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)，則是影響海灘重塑之重要因素。主要研究結論及增進堤後淤沙效能之調適、因應對策，列述如后。
(1)近岸波浪碎波之衝擊及碎波衍生的強勁沖刷作用，是造成離岸堤後海灘沖淤變遷的主要動力。
(2)透過波浪與近岸地形、水深及離岸堤群設施之交互作用，實際或潛隱之「離岸堤效應」或「岬頭效應」，通常會伴隨碎波沖刷環流並衍生優勢輸沙作用，而「離岸堤效應」或「岬頭效應」之發揮，關鍵取決在於離岸堤後或岬頭後繞射波造灣作用之強弱。
(3)在沙質海灘，離岸堤出水高度與不透水性之高、低，主控「離岸堤效應」或「繞射波造灣效應」之強、弱，並具體影響堤後淤沙效能之差異。
(4)海岸屬礫石或長久受侵蝕之海灘，若建置離岸堤，僅管出水高度與不透水性夠高、繞射效應夠強，但在無沙源供給、補注下，堤後仍難以形成沙舌或繫岸沙洲。</td></tr>
</table>

(5)「離岸堤效應」具有 3-D 空間+時間變動特性，特別是出水高度及繞射波高愈大，堤後淤沙高程與沙舌或繫岸沙洲形態之海灘重塑現象越明顯。

(6)面對惡劣的海氣象環境，一般之出水式離岸堤，受較大波浪與暴潮作用以及堤體沉陷、坍塌之共同影響，必將因出水高度或堤頂高不足而轉化為潛堤，以致原受堤體屏蔽而在堤後生成的繞射波，將完全轉變為透射波，進而直接沖刷堤後原生的沙舌或繫岸沙洲，甚至造成海灘的侵蝕!

(7)在同一局部海岸區段，毗鄰離岸堤因堤體沉陷、崩塌、整建變動而使出水高度不足，將伴隨造成堤寬窄縮、堤體透水性增大，進而迫使堤後繞射波之造灣效應減弱、透射波之沖刷作用增強，終致因堤後波浪沖刷特性之轉變而使淤沙效能及海灘沖淤變遷形態呈現差異。

(8)為增進離岸堤後之淤沙效能，促進堤後沙舌或繫岸沙洲的灘線重塑，相關之調適、因應對策，在布建、整建及改善工程規劃、設計上，應著重從加大堤體寬度、提昇堤體高度、強化堤體不透水性及輔以人工沙源補注或施行養灘等層面著手，藉以充分降低堤後之透射波強度，增進繞射波與伴生沖刷環流之造灣效應，達成離岸堤後淤沙與海岸防護效能之堤昇目標。

研究成果之效益：

本研究針對臺灣西南部海岸，檢選密集布建在高雄與屏東海岸的離岸堤群，分析、檢討毗鄰離岸堤群海灘之沖淤現象與變遷形態，再引介高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工程所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，透過該實務案例之對照比較，據以評估離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響，並確認控制堤後淤沙效能的關鍵機制，進而研提調適、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 2 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。針對臺灣西南部之高雄與屏東海岸，分析檢討毗鄰離岸堤群海灘之沖淤現象與變遷形態，應用「離岸堤效應」，確認離岸堤近傍的波浪碎波所引致流速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)，是影響海灘重塑之重要因素，而離岸堤的出水高度、不透水性與繞射波強弱，則是控制堤後淤沙效能的關鍵機制；

(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，提昇探討「離岸堤效應」之高度、廣度與深度；因應氣候變遷，擴展分析觀點，研提增進離岸堤後淤沙效能，促進繫岸沙洲灘線重塑之調適、因應對策，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，降低海灘重

塑與海岸防沖減淤成本，樽節海岸環境營造之維運費用；

(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，健全海岸永續管理策略，確保海岸環境營造效能；

(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 歷史圖像，透過現場考察，並諮詢規劃、設計與建管單位，蒐集、綜整臺灣西南部海岸離岸堤群布建之類型與狀態，掌握堤體初始設計之斷面尺寸與高程配置，進而以「離岸堤效應」為基礎，再引介高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工程所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，針對離岸堤初始與現況出水高度變化之控制因素，透過實務案例之對照比較，據以檢視、分析並評估離岸堤出水高度對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能與造成地貌變遷之影響，並確認離岸堤的出水高度、不透水性與繞射波強弱，是控制堤後淤沙效能的關鍵機制，碎波所引致流速u $\approx \sqrt{gH_b}$ (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)，則是影響海灘重塑之重要因素。此外，為改善離岸堤出水高度不足所導致堤後淤沙效能不彰之現象，對於可促進離岸堤後重塑繫岸沙洲灘線之調適、因應對策，建議在布建、整建及改善工程規劃、設計上，應著重從加大堤體寬度、提昇堤頂高度、強化堤體不透水性及輔以養灘或施行人工沙源補注等層面著手，藉以充分消減堤後之透射波強度，增進繞射波之造灣效應，達成離岸堤後淤沙與海岸防護效能。

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，維護自然海岸環境，防治海岸災害，降低海灘重塑與海岸防沖減淤成本，樽節海岸環境營造之維運費用。相關成果可提供本所執行「港灣環境資訊整合及防災應用」政策之後續運用；更可做為港務公司、內政部、水利署、漁業署、工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸環境營造、海岸防護設施規劃、設計、整建及維護的應用參據。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
113 年 3 月	296	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。

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: The Impact Assessment of Detached Breakwater Crest Level on Sediment Siltation Efficiency behind the Breakwaters.

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-531-574-0(pbk)	1011300200	113-027-7D66	112-H3DA001c

DIVISION: Transportation Technology Research Center
DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai
PROJECT ADVISOR: Wen-Jye Juang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Jye Juang
PROJECT STAFF: Shih-Hsuan Tsai, You-Teng Lin
PHONE: (04)2658-7200
FAX: (04)2657-1329

PROJECT PERIOD
FROM January 2023
TO December 2023

KEY WORDS: Wave Breaking, Swashing Currents on Surf Zone, Detached Breakwater Effects, Sediment Siltation Efficiency, Salient, Tombolo, Coast Environment Improvement and Development.

ABSTRACT:

The impact of waves is the primary driving force behind coastal sediment transport and changes in beach morphology. This study assesses the influence of the detached breakwater crest elevation on the effectiveness of sedimentation behind the breakwater. Combining internet resources and utilizing historical images from Google Earth, along with on-site inspections and consultation with planning, design, and construction management authorities, the study collects and synthesizes data on the types and conditions of existing detached breakwater layouts along the southwestern coast of Taiwan. This involves understanding the initial design cross-sectional dimensions and elevation configurations of these breakwaters.

Building on the concept of "detached breakwater effects", the study introduces the beach morphological changes behind artificially submerged headland-bay, which physically composites of 4 detached breakwaters with one of it appearing in high crest form, implemented as part of the Qijin Coastal Protection Project in Kaohsiung. These serve as recognition models to examine the factors controlling changes in the initial and current crest elevations of detached breakwaters. Through practical case comparisons, the study aims to inspect, analyze, and evaluate the effects of offshore breakwater crest elevations on sedimentation behind the breakwater and the resulting changes in the coastal landscape.

The study confirms that the detached breakwater's crest elevation and impermeability are critical mechanisms controlling sedimentation behind the breakwater. Additionally, it identifies the strong swashing currents and swashing circulations induced by diffracted waves and broken waves, with flow velocity $u \approx \sqrt{gH_b}$ (where H_b is the significant wave height and g is the acceleration due to gravity) as significant factors influencing beach reshaping. The main conclusions of the study and the adaptation strategies for enhancing sedimentation efficiency presented behind detached breakwaters are outlined as following.

1.The impact and strong scouring action derived from the breaking of nearshore waves are the main drivers of changes in sedimentation behind detached breakwaters.

2.The effectiveness of the " detached breakwater effect" or "headland-bay effect" usually accompanies strong swash circulations and dominant sand transport, influenced by the diffracted wave action behind the nearshore detached breakwater or headland. The effectiveness depends on the strength of wave diffraction behind the detached breakwater or headland.

3.On sandy beaches, the crest elevation and impermeability of detached breakwaters control the strength of the " detached breakwater effect" or "diffraction-induced embayment effect", affecting sedimentation efficiency behind the breakwater.

4.For gravel or eroded beaches, even with high crest elevation and impermeability, detached breakwaters may fail to form sand spits or attached sandbars without a proper supply of sand.

5.The " detached breakwater effect" has 3-D spatial and temporal variation characteristics, especially when the crest elevation and diffracted wave height are high. The phenomenon of reshaping the beach profile and forming sand spits or attached sandbars behind the breakwater becomes more apparent.

6.In adverse marine weather conditions, detached breakwaters, especially those with insufficient crest elevation or top height, may transform into submerged breakwaters due to the combined effects of large waves, storm surges, and settlement or collapse of the breakwater structure. This transformation leads to the conversion of diffracted waves, which were originally shielded by the breakwater, into transmitted waves. This, in turn, directly erodes the naturally formed sand spits or attached sandbars behind the breakwater, potentially causing beach erosion.

7.In the same coastal section, neighboring detached breakwaters with inadequate crest elevation due to subsidence, collapse, or reconstruction will cause narrowing of the breakwater, increased permeability, and a subsequent weakening of the embayment effect of diffracted waves. This leads to enhanced scouring by transmitted waves, resulting in differences in sedimentation efficiency and coastal changes due to the altered characteristics of wave erosion behind the breakwater.

8.To enhance sedimentation efficiency behind detached breakwaters and promote the reshaping of sand spits or attached sandbars, adjustments and coping strategies should focus on increasing the width and height of the breakwater, strengthening its impermeability, and complementing with artificial sand sources or beach nourishment. This approach effectively reduces the intensity of transmitted waves behind the breakwater, enhances the embayment effect of diffracted waves, and achieves the goal of improving sedimentation and coastal protection efficiency behind the offshore breakwater.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
March 2024	296	500

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

目　錄

中文摘要.....I
英文摘要.....V
目　錄.....VI
圖目錄.....VIII
表目錄.....XIX
第一章 緒論.....1-1
1.1 研究緣起.....1-1
1.2 文獻回顧.....1-5
1.3 工作項目.....1-16
1.4 研究成果之效益與應用.....1-18
1.4.1 研究成果效益.....1-18
1.4.2 在業務施政上的應用.....1-19
第二章 臺灣環島近岸海域的海氣地象環境.....2-1
2.1 地形水深.....2-1
2.2 風力.....2-1
2.3 波浪.....2-6
2.4 潮汐.....2-24
2.5 潮流.....2-31
2.6 海流.....2-38
2.7 河川.....2-42
2.8 水下沙體.....2-44
2.9 輸沙潛勢.....2-48
第三章 海岸之沖淤變遷與防護.....3-1
3.1 臺灣環島海岸概況.....3-1
3.2 海岸灘線之沖淤變遷.....3-5
3.2.1 暴潮與波浪之時空變異性侵襲.....3-6
3.2.2 海灘坡度與碎波型態的改變.....3-8
3.2.3 海岸防護設施及近岸港口布建之影響.....3-15

3.2.4 河川沙源供給變動.....3-29
3.2.5 基礎地盤沉陷.....3-31
3.2.6 海平面上升.....3-33
3.3 海岸防護設施形態與效應.....3-33
3.3.1 突堤與「突堤效應」.....3-34
3.3.2 離岸堤與「離岸堤效應」.....3-39
3.3.3 岬灣海灘與「岬頭效應」.....3-63
第四章 離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響.....4-1
4.1 布建在臺灣西南部海岸的離岸堤群概況.....4-1
4.1.1 高雄海岸的離岸堤群配置與堤後之淤沙效能.....4-2
4.1.2 屏東海岸的離岸堤群配置與堤後之淤沙效能.....4-21
4.2 離岸堤後淤沙效能影響因素檢討.....4-46
4.3 離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估.....4-47
4.3.1 實際對比案例.....4-49
4.3.2 造成離岸堤後淤沙效能差異之關鍵影響機制.....4-58
4.4 提昇離岸堤後淤沙效能之調適因應對策.....4-59
第五章 結論與建議.....5-1
5.1 研究結論與建議.....5-1
5.2 研究成果之效益.....5-2
5.3 可供本所或其他政府機關後續應用情形.....5-4
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 座落在內灘中或碎波帶內，與海岸約呈平行的離岸堤群.....1-2
圖 1.4 國內外海岸布建離岸堤群後沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能差異1-3
圖 1.5 颱風時期大浪衝擊臺東富岡海堤之景象.....1-8
圖 1.6 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...1-8
圖 1.7 臺灣東部侵蝕嚴重並用大量消波塊保護的海岸公路.....1-9
圖 1.8 臺東海岸用大量消波塊保護的人工海岸線.....1-10
圖 1.9 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.....1-13
圖 1.10 因「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」造成的港口淤塞與毗鄰海灘之沖淤變遷.....1-14
圖 1.11 因「離岸堤效應」及「岬頭效應」在港口造成繫岸沙洲形態之淤塞與毗鄰海灘之沖蝕.....1-15
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.....2-5
圖 2.4 蘇澳港與花蓮港夏季颱風期監測波浪逐時變化歷程之對照比較.....2-7
圖 2.5 基隆港與臺中港冬季季風期監測波浪逐時變化歷程之對照比較.....2-7
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.....2-10
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.....2-10

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.....2-12
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.....2-12
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.....2-13
圖 2.11 蘇澳港與花蓮港夏季颱風期監測波浪之關聯性.....2-13
圖 2.12 臺灣西北部及西南部海域歷年觀測夏季波浪玫瑰圖.....2-18
圖 2.13 臺灣西北部及臺灣西南部海域歷年觀測冬季波浪玫瑰圖...2-19
圖 2.14 臺灣西北部及西南部海域歷年觀測全年波浪玫瑰圖.....2-20
圖 2.15 臺灣東部海域歷年觀測夏季波浪玫瑰圖.....2-21
圖 2.16 臺灣東部海域歷年觀測冬季波浪玫瑰圖.....2-22
圖 2.17 臺灣東部海域歷年觀測全年波浪玫瑰圖.....2-23
圖 2.18 臺灣海域月大潮期間擬真潮波之同潮圖.....2-26
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).....2-27
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).....2-28
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.....2-30
圖 2.22 臺灣離島各海岸之月大、小潮及月平均潮差分布.....2-30
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.....2-32
圖 2.24 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場.....2-34
圖 2.24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場.....2-35
圖 2.24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場.....2-36
圖 2.24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場.....2-37
圖 2.25 臺灣環島海域實測之年平均表層海流形態.....2-38
圖 2.26 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場.....2-39
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.....2-40

圖 2.28 臺灣之主要河川與水資源分區圖.....2-43
圖 2.29 中央管河川及跨省市河川流域位置圖.....2-44
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 2-45
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.....2-49
圖 2.32 臺灣海域海表層四季之季平均海流(箭矢)與輸沙潛勢(色階) 2-53
圖 3.1 臺灣海岸地區範圍示意圖.....3-1
圖 3.2 近岸波浪的衝擊是海岸輸沙與海灘變遷之主要原動力.....3-7
圖 3.3 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.....3-7
圖 3.4 臺灣西部與東部海岸位於碎波帶內之近岸港口.....3-8
圖 3.5 波浪由深海傳播進入近岸淺灘受岬頭與海灣地形水深影響所造成岬頭波浪集中、海灣波浪分散之波浪淺化折射變形 3-9
圖 3.6 臺東大武漁港淤塞港口航道(左)及港嘴(右)之大粒徑卵石 3-12
圖 3.7 近岸波浪、海灘坡度、底床質及平衡海灘斷面型態分類 3-13
圖 3.8 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 3-14
圖 3.9 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施.....3-16
圖 3.9(續) 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施.....3-17
圖 3.9(續) 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施.....3-18
圖 3.9(續) 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施.....3-19
圖 3.9(續) 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施.....3-20
圖 3.10 臺灣海岸具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置 3-21
圖 3.11 臺灣東部海岸具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置3-22

圖 3.12 臺灣西北部桃園海岸具雙突堤形態之外廓防波堤配置 3-23
圖 3.13 臺灣西北部海岸具雙突堤形態之外廓防波堤配置.....3-24
圖 3.14 臺灣西北部苗栗海岸具單突堤形態之外廓防波堤配置 3-25
圖 3.15 臺灣中西部海岸具雙突堤形態之外廓防波堤配置.....3-26
圖 3.16 臺灣西南部海岸具雙突堤形態之外廓防波堤配置.....3-27
圖 3.17 臺灣西南部海岸具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置 3-28
圖 3.18 臺灣西部雲嘉海岸北港溪河川輸沙與波浪沖刷作用造成外傘頂沙洲之沖淤變遷(左：1897；右：1905).....3-29
圖 3.19 臺灣西南部高屏海岸河川輸沙與波浪沖刷作用造成與河口毗鄰海灘之沖淤變遷.....3-30
圖 3.20 海岸防護設施沉陷、崩坍與損壞導致防護效能減弱與岸灘之沖蝕加劇.....3-31
圖 3.20(續) 海岸防護設施沉陷、崩坍與損壞導致防護效能減弱與岸灘之沖蝕加劇.....3-32
圖 3.21 屏東墘豐海岸海岸因地下水超抽引起地盤下陷所衍生區域性之海岸沖蝕.....3-32
圖 3.22 突堤的平面型式(a)I 型、(b)T 型、(c)倒 L 型、(d)側 Z 型.....34
圖 3.23 灘線及突堤配置與主要波向之相關性.....3-35
圖 3.24 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.....3-36
圖 3.25 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.....3-36
圖 3.26 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.....3-37
圖 3.27 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.....3-37
圖 3.28 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.....3-38

圖 3.29 英國 Norfolk 郡 Sea Palling 海灘上之透水式單離岸堤配置.3-39
圖 3.30 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.....3-40
圖 3.31 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.....3-41
圖 3.32 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.....3-42
圖 3.33 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.....3-43
圖 3.34 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.....3-44
圖 4.35 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.....3-44
圖 3.36 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.....3-45
圖 3.37 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.....3-46
圖 3.37(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.....3-47
圖 3.37(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.....3-48
圖 3.37(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.....3-49
圖 3.38 英國東南部 Essex 郡 Jaywick 海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑.....3-50
圖 3.39 日本鳥取縣皆生海灘(Kaike Onsen Beach)之透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑.....3-51
圖 3.39(續) 日本島根縣益田(ますだ Masuda)海岸之透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑.....3-52
圖 3.40 高雄林園海岸汕尾海堤外之透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙

洲之海灘重塑.....3-53
圖 3.41 屏東林邊海岸崎峰海堤外之透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑.....3-54
圖 3.42 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.....3-56
圖 3.43 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.....3-57
圖 3.44 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 3-58
圖 3.45 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而在堤後造成繫岸沙洲形態之海灘沖淤重塑.....3-59
圖 3.46 具離岸堤形態之近岸港口外防波堤後因折、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形態之海灘沖淤重塑.....3-60
圖 3.47 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而在堤後造成繫岸沙洲形態之海灘沖淤重塑.....3-61
圖 3.48 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) 3-62
圖 3.49 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.....3-63
圖 3.50 岬灣海灘的灘線形狀與構建相關的控制參數定義.....3-64
圖 3.51 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.....3-65
圖 3.52 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.....3-67
圖 3.53 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.....3-68
圖 3.54 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.....3-69
圖 3.55 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.....3-69
圖 3.56 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.....3-70
圖 3.57 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.....3-70
圖 3.58 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.....3-71
圖 3.59 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.....3-71
圖 3.60 具離岸堤外廓配置及人工岬頭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.....3-72
圖 3.61 具離岸堤外廓配置及人工岬頭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.....3-73
圖 3.62 具離岸堤外廓配置及人工岬頭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.....3-74
圖 3.63 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).....3-75
圖 3.63(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).....3-76
圖 3.63(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).....3-77
圖 4.1 自二仁溪口南岸起至興達港北防波堤止全長約 5.5 公里之高雄茄萣與崎漏海岸段.....4-4
圖 4.2 高雄海岸段茄萣海堤及崎漏海堤外的離岸堤群配置與編號 ...4-5
圖 4.3 高雄海岸段茄萣海堤及崎漏海堤外的離岸堤群布建年序 4-6
圖 4.4 高雄海岸段彌陀浮標統計 2012~2020 年夏、冬季之波浪玫瑰圖 4-7
圖 4.5 高雄茄萣海岸夏、冬季波浪作用後之海灘地形沖淤變遷 4-7
圖 4.6 高雄茄萣(左)與崎漏(右)海岸段之離岸堤斷面改善配置圖 4-9
圖 4.7 高雄茄萣海岸段離岸堤群之出水高度變化與差異.....4-9
圖 4.8 高雄茄萣海岸離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷 .4-10
圖 4.9 高雄崎漏海岸離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷 .4-11
圖 4.10 自鳳鼻頭漁港南側至高屏溪口北側全長約 7 公里之高雄林園海岸 4-13
圖 4.11 高雄林園海岸段中門、港埔、港嘴、西溪、中芸與東、西汕海堤外的離岸堤群配置與編號.....4-14
圖 4.12 高雄林園海岸自鳳鼻頭漁港至高屏溪口的離岸堤群的離岸堤群布建年序.....4-14
圖 4.13 高雄林園海岸段小琉球資料浮標統計 2003~2014 年(上)及高雄港海域波浪監測統計 2000~2016 年(下)夏、冬季之波浪玫瑰圖

.....4-15
圖 4.14 高雄林園海岸 2019 年夏季(上)與冬季(下)波浪作用後之海灘地形沖淤變遷.....4-16
圖 4.15 高雄林園海岸段之離岸堤斷面改善配置圖.....4-18
圖 4.16 高雄林園海岸中門、港埔、港嘴、西溪、中芸與東、西汕海堤外離岸堤群之出水高度變化與差異.....4-18
圖 4.17 高雄林園海岸中芸海堤外離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷.....4-19
圖 4.18 高雄林園海岸東、西汕海堤外離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷.....4-20
圖 4.19 自東港溪口南岸至枋寮漁港北側全長約 19.2 公里之屏東東港、林邊、佳冬、枋寮海岸段.....4-25
圖 4.20 屏東海岸東港-林邊段南平海堤、塗家厝海堤、崎峰海堤與水利村海堤外之離岸堤群配置.....4-26
圖 4.20(續) 屏東海岸佳冬-枋寮段塭豐海堤、葫蘆尾、大庄與番子崙海堤外之離岸堤群配置.....4-27
圖 4.21 屏東海岸段大鵬灣資料浮標統計 2002~2012 年夏、冬季之波浪玫瑰圖.....4-28
圖 4.22 屏東海岸段東港至塭豐海域及塭豐至枋寮海域的地形水深
.....4-28
圖 4.23 屏東林邊溪口北岸(上)及南岸(下)的離岸堤群布建配置與編號
.....4-29
圖 4.24 屏東縣塭豐海岸海堤(上)與離岸堤群(下)之斷面配置.....4-30
圖 4.25 屏東縣大庄海岸海堤(上)與離岸堤群(下)之斷面配置.....4-31
圖 4.26 屏東縣番子崙海岸海堤(上)與離岸堤群(下)之斷面配置.....4-32
圖 4.27 屏東林邊溪口北側海岸由北而南 4 個跨離岸堤檢選斷面之海灘地形水深變化.....4-33
圖 4.28 屏東林邊溪口南側海岸由北而南 4 個跨離岸堤檢選斷面之海灘地形水深變化.....4-34
圖 4.29 屏東林邊溪口北岸的離岸堤群配置編號與南平里、塗家厝、崎峰與水利村海堤外離岸堤群之出水高度變化與差異.....4-35

圖 4.30 屏東林邊溪口南岸的離岸堤群配置編號與塭豐、頂寮、下寮、大庄、番子崙海堤外離岸堤群之出水高度變化與差異 4-36
圖 4.31 屏東東港海岸塗家厝海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷.....4-40
圖 4.32 屏東林邊海岸崎峰海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷.....4-41
圖 4.33 屏東林邊海岸崎峰水利村海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷.....4-42
圖 4.34 屏東佳冬海岸塭豐頂寮海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷.....4-43
圖 4.35 屏東枋寮海岸下寮海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷.....4-44
圖 4.36 屏東枋寮海岸番子崙海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷.....4-45
圖 4.37 離岸堤後以淤沙造灣效應為主的繞射波特性與形態 4-47
圖 4.38 離岸堤出水高度不足伴隨衍生堤後的透射波形態與沖刷作用 4-48
圖 4.39 高雄旗津海岸未布建人工岬灣及系列離岸潛堤工程前嚴重之海灘沖蝕變遷.....4-51
圖 4.40 高雄旗津人工岬灣及系列離岸潛堤海岸保護工程規劃配置圖 4-52
圖 4.41 高雄旗津人工岬灣各離岸潛堤與出水離岸堤之斷面高程配置圖 4-52
圖 4.42 高雄旗津人工岬灣北人工灣澳堤頭標準斷面圖.....4-53
圖 4.43 高雄旗津人工岬灣北離岸潛堤與出水離岸堤堤頭標準斷面圖 4-53
圖 4.44 高雄旗津人工岬灣南離岸潛堤堤頭標準斷面圖.....4-54
圖 4.45 高雄旗津人工岬灣南人工灣澳堤頭與圓島式出水離岸堤堤頭標準斷面圖 4-54
圖 4.46 高雄旗津人工岬灣自 2011 年 10 開工至 2013 年 8 月峻工後之海灘空拍影像.....4-55

圖 4.47 高雄旗津海岸布建人工岬灣工程後出水離岸堤及系列離岸潛堤堤後之淤沙效能與海灘地形變遷.....4-57
圖 4.48 離岸堤出水高度與透水性對轉變波浪特性與沖刷作用之影響.....4-58

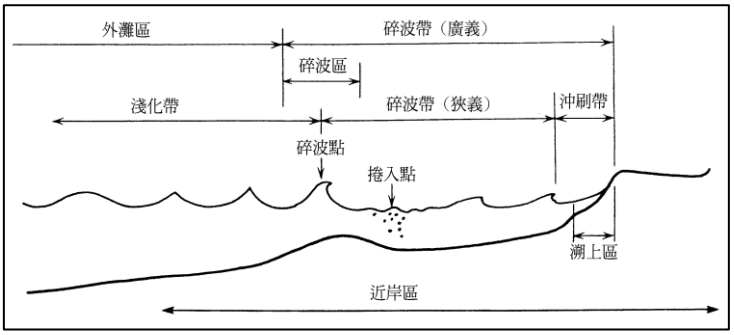
表目錄

表 2.1 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(Hs)、尖峰週期(Tp)及二階譜週期(Tm02)之相關係數.....2-8
表 2.2 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(Hs)、尖峰週期(Tp)及二階譜週期(Tm02)之相關係數...2-14
表 2.3 臺灣環島海岸之季風波浪型態.....2-15
表 2.4 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.....2-16
表 2.5 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.....2-16
表 2.6 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.....2-29
表 2.7 臺灣各離島海岸之月大、小潮及月平均潮差.....2-30
表 3.1 臺灣海岸自然度分類準則.....3-2
表 3.2 臺灣各縣市 108 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表 ..3-3
表 3.3 臺灣海岸之侵淤概況.....3-4
表 3.4 碎波型態之判別.....3-11
表 4.1 高雄茄萣至崎漏海岸段之離岸堤群配置尺寸與堤後淤沙狀況.....4-8
表 4.2 高雄林園海岸段之離岸堤群配置尺寸與堤後淤沙狀況.....4-17
表 4.3 林邊溪以北離岸堤現況規模列表 (單位：m).....4-37
表 4.4 林邊溪以南離岸堤現況規模列表 (單位：m).....4-38
表 4.5 高雄旗津人工岬灣及潛堤工程於完工 8 年後分段檢測堤體斷面高程變化.....4-56

第一章 緒論

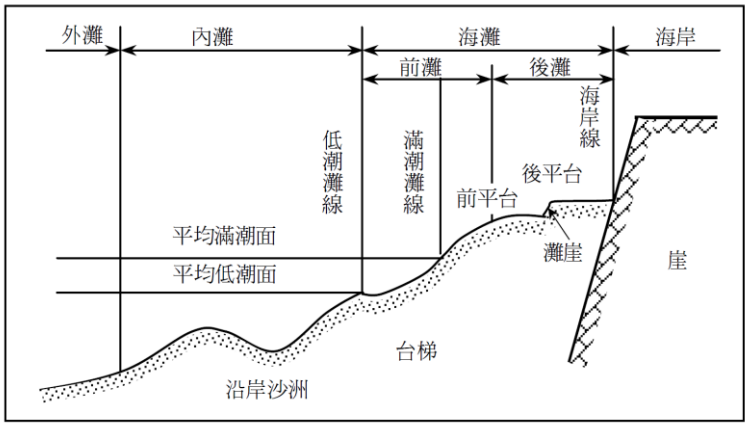
1.1 研究緣起

海灘地形水深變遷，實際是潮汐、波浪、碎波沖刷流(swashing currents)及輸沙的綜合作用與影響，而波浪的衝擊，則是最主要地原動力。在一般海灘斷面上，地形水深與波浪特性之變化，分別可示意如圖 1.1 與圖 1.2 所示，其中之碎波帶(surf zone)，係通指波浪碎波後形成碎波沖刷流或近岸流之區域。由於碎波沖刷流之流況，多屬紊流，故在碎波帶內，漂沙活躍，輸沙激烈，為海灘地形水深變遷最顯著之區域。



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

臺灣四面環海，依據內政部營建署全球資訊網(2021)公告之「臺灣各縣市 108 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表」可見，臺灣本島海岸線全長約 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。不過，為保護近海社區民生安全、防護海岸環境，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、海岸圍墾區或建置有突堤、離岸堤、攔沙堤、海堤及人工岬頭等海岸防護設施之人工海岸。

在海灘上建置各種不同尺寸、規模、類型之海岸防護設施，通常會對近岸波況、流況及地形水深造成輕重程度不一地人為介入干擾，以致與海岸防護設施毗鄰之海灘，在潮汐、波浪、近岸流、輸沙與人工構造物的交互作用影響下，不僅會因沖刷水動力的空間不均勻性與時間非穩態性改變而衍生海灘沖淤變遷，更會因輸沙特性的改變而導致局部性的海灘地形重塑(reshaping)，因此，如何適切地規劃、設計及建置各種不同尺寸、規模、類型之海岸防護設施，藉以有效達成海岸防護目標，遂經常成為海岸災防與海岸環境營造的關鍵課題。

離岸堤(detached breakwater)，如圖 1.3 所示，係為座落在內灘中或碎波帶內，與海岸約呈平行的離岸防波堤。設置水深，一般在-5m 以內。為常用、重要的海岸防護設施之一。主要功能在消減波浪對海灘之直接沖刷，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。

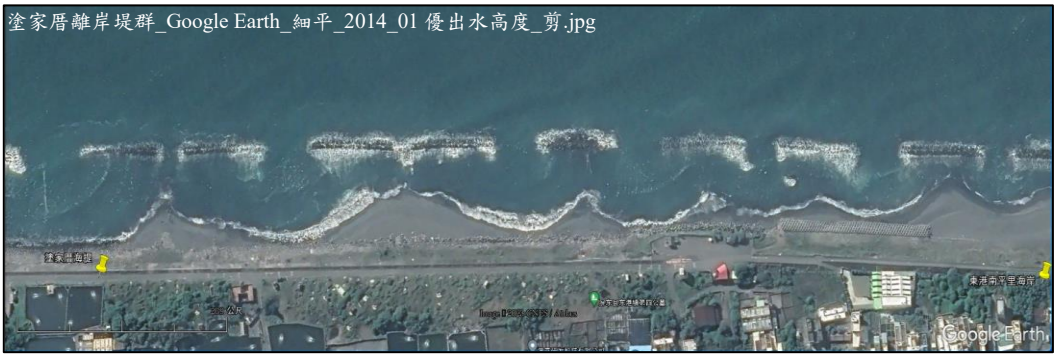


圖1.3 座落在內灘中或碎波帶內，與海岸約呈平行的離岸堤群

一般而言，在內灘建置離岸堤，必須完整考量區域性的海、氣象及地象環境條件，並作妥適的工程評估、分析及規劃、設計。因為建置離岸堤後，由於堤後的海灘，將由原先之開放海域狀態，轉變為位處在波浪侵襲之屏蔽區內，因此，在後續折、繞射波浪之直接沖刷與碎波沖刷流(莊，2020~2022)之輸沙作用下，通常可經「離岸堤效應」(莊，2020)之發展而將與離岸堤毗鄰的海灘，透過海灘重塑過程而造成沙舌(salient)或繫岸沙洲(tombolo)形態的地貌。所以，依據經驗法則，在沙質海灘上布建離岸堤群，通常可預期在離岸堤後會伴隨產生沙舌或繫岸沙洲形態的海灘。只是在國內、外實際離岸堤群布建案例中，經常可觀察到，即使位處同一局部海岸區段內，堤後的淤沙效能，常不如預期；海灘重塑形態，即使在毗鄰的離岸堤間，亦多有差異，如圖 1.4 所示。

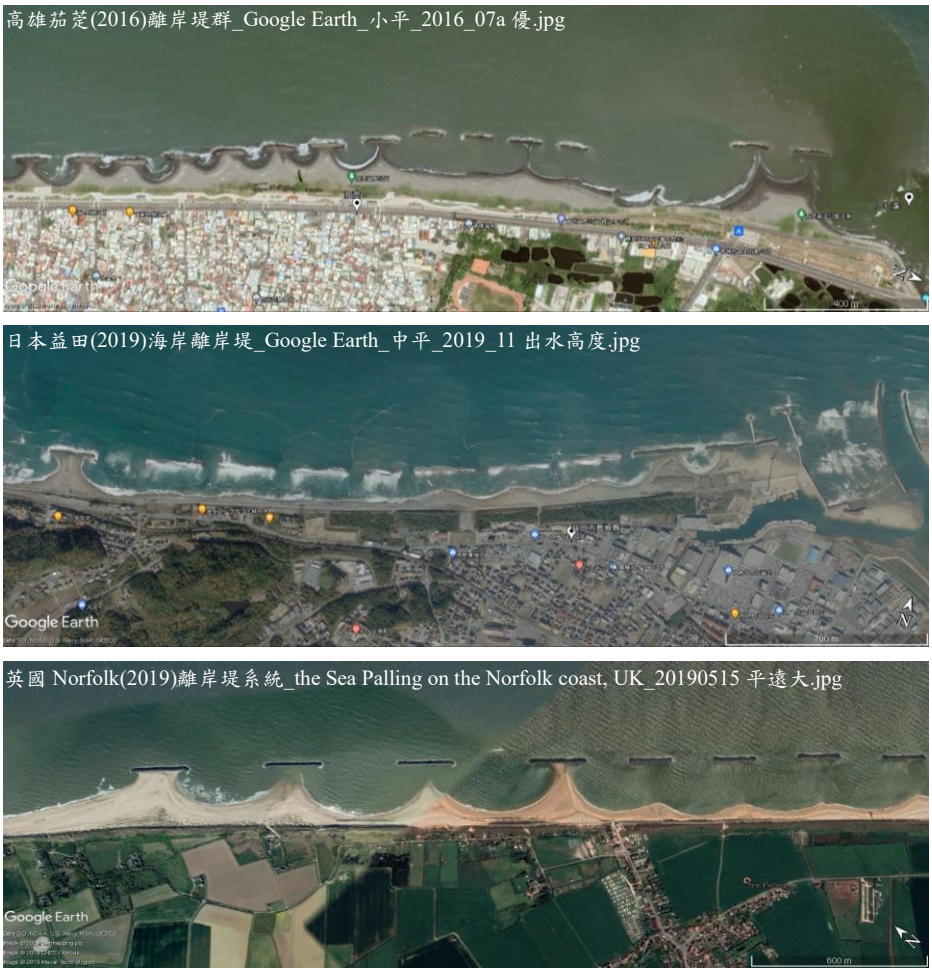


圖1.4 國內外海岸布建離岸堤群後沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能差異

離岸堤的主要結構型式，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。國內現況應用於海岸防護所建置之離岸堤群，普遍採用固定、透水且出水型式。僅管目前，對於離岸堤群後灘線之重塑型態，大多僅依循離岸堤長與離岸距比值(B/X)作建置規劃、設計之準則，但若原始建置之出水高度不足，或建置後未妥善持續進行維護，則在滿潮位伴隨暴風浪侵襲期間，常會因出水高度太低而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原始規劃、設計之效能，影響波浪沖刷流之輸沙作用，進而改變堤後之淤沙型態，並促使海岸防護效能降減。

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，多且複雜。國內的離岸堤群布建，著重於防潮禦浪功能及海岸景觀考量，堤體出水高度一般較低。另外，往昔對於離岸堤群防潮禦浪與淤沙效能的檢討，普偏著重於離岸堤長與離岸距及堤間距之配置核驗，對於堤體出水高度的影響，則常輕忽。因此，若原始布建配置之出水高度不足，或建置後未妥善持續進行維護，則在滿潮位伴隨暴風浪侵襲期間，必然會因出水高度太低而由出水型變換為潛沒型，進而會改變堤前與堤後侵襲波浪之反射、繞射、透射及碎波特性，干擾波浪沖刷流與沖刷環流之輸沙作用，影響堤後之淤沙型態與海岸防護效能。

為因應氣候變遷，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，達成海岸環境營造目標。本研究主要研究目的，著重於應用 Google Earth 歷史圖像，綜合檢視臺灣西南部高雄及屏東海岸布建離岸堤群之堤後海灘淤沙類型與狀態，並以近岸波浪碎波沖刷流對離岸堤後海灘衝擊作用所伴隨衍生之「離岸堤效應」為基礎，再引介高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工程所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，藉以透過實務案例之對照比較，分析、評估離岸堤後影響沙舌或繫岸沙洲淤沙效能之重要控制因素，探討、確認離岸堤後造成沙舌或繫岸沙洲地貌變遷

之關鍵機制，進而建議增進離岸堤後淤沙效能之改善措施、研提促進離岸堤後繫岸沙洲灘線重塑之調適、因應對策。

1.2 文獻回顧

交通部為勵行「安全」、「效率」、「品質」及「綠色」之四大施政主軸，在 2020 年發佈之新版運輸政策白皮書內，曾於運輸調適與防災政策上，特別納入(1)因應大規模、複合性災害機率增高，應強化風險管理機制；(2)因應氣候變遷影響，應評估與調整災前整備內容；(3)針對複合型災害發生機率增加，應強化跨單位調適及聯防能力；(4)為提升防災預警系統及監測能力，應強化科技應用並精進防災資訊傳遞；(5)極端氣候災害強度提升，應利用科技更新及強化設備及技術；(6)為加強防救災人員因應氣候變遷能力，有待強化培育防救災及調適人才並傳承經驗；及(7)為提升國內抗災能力，應強化與國外調適及災防技術與資訊交流等議題。此外，行政院(2014)曾核定「海岸環境營造計畫(104~109 年)」，並訂定計畫目標為「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」。行政院(2020)更核定「2020 國家海洋政策白皮書」擬定「向海致敬」政策，行政院長並於序文中揭示，應以「開放」、「透明」、「服務」、「教育」、「責任」五大原則，從法規調適、佈置友善環境、建構友善措施，鼓勵國人「知海」、「近海」、「進海」、「淨海」，以最謙卑的心，面向海洋，向海學習。

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或辦理海岸環境營造工程，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。

近年來，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」。

為沿海社區民生經濟之發展，臺灣環島海岸，密佈有各大、小型漁港。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)。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。針對漁港港口與航道之水深淤積，農委會(2005)曾綜整說明其主要原因包括：(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。

面對臺灣環島漁港港口之淤塞，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。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。

為推動「海岸防護」與「海岸保護」措施，經濟部水利署及其前身，自民國 61 年開始，即持續執行臺灣地區海堤的規劃、建設及維護，迄今已歷經 50 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(經濟部，2014)。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，海岸侵蝕狀況，仍舊普遍發生，參見圖 1.5 及圖 1.6 所示。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)。

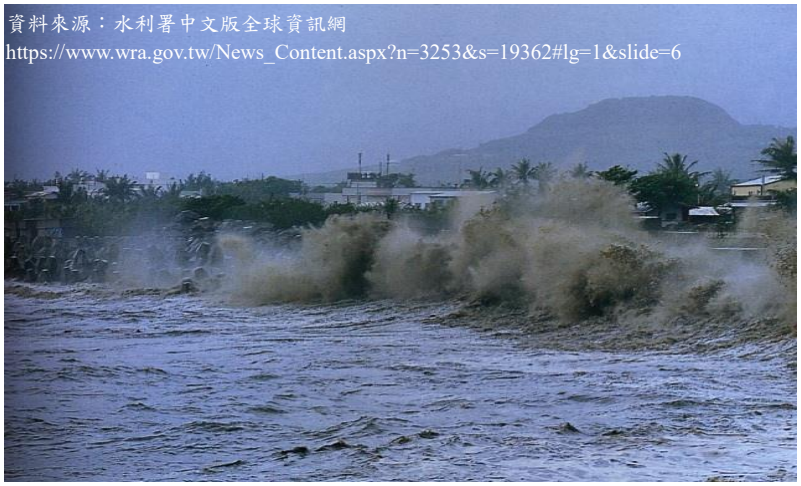


圖1.5 颱風時期大浪衝擊臺東富岡海堤之景象

圖1.6 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 1.7 及圖 1.8 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)。

圖資來源：台 9 線 438k+850~438k+950、439k+680~440k+080、440k+800~440k+900 路段豪雨災害修復工程，交通部公路總局第三區養護工程處委辦，台灣世曦工程顧問股份有限公司，2015

圖1.7 臺灣東部侵蝕嚴重並用大量消波塊保護的海岸公路

圖資來源：Island Flying/島嶼飛行_全台最美無敵海景的休息站，台東大武之心，20220902
https://www.youtube.com/watch?v=XRLXojvDhSw

圖1.8 臺東海岸用大量消波塊保護的人工海岸線

為達成防治海岸災害與促進海岸地區之永續發展，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、臺東縣、臺北縣)；(3)消波工 60 公里(臺東縣、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。在 2007~2008 年間，經濟部水利署水利規劃分署曾辦理「海岸環境營造計畫總檢討及改善策略研究」；於 2015 年，高雄市政府水利局曾推展「高雄市茄萣區海岸養灘及海岸灘線環境營造規劃」；而依循 2015 年 2 月 4 日公佈施行之「海岸管理法」及該法第 18 條「海岸防護計畫經公告實施後，擬訂機關應視海岸情況，每五年通盤檢討一次，並作必要之變更。」之規定，經濟部水利署第七河川分署於 2014~2015 年曾辦理「屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫」、2016 年曾辦理「屏東縣塭豐海岸離岸堤群改善研究」；第六河川分署於 2016 年曾辦理「高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析」；於 2020 年曾辦理「高雄海岸防護基本資料調查(高屏溪至鳳鼻頭段)」；2021 年曾辦理「高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)」，藉以透過每 5 年持續性的海岸地區基本資料調查與分析，適時評估海岸實況，確保海岸防災、減災之基本功能，兼顧海岸防護安全，落實海岸永續利用之目標。

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「看見臺灣消失的海岸線　各地爭取前瞻搶救」之報載專題中曾報導：「全臺海岸線都在退縮。」(2017 年 5 月 29 日，聯合報)，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 1.9；臺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。

莊(2020~2022)檢視臺灣環島漁港港口、航道之淤沙形態與淤積特性，發現遍布在臺灣東、西部海岸之漁港，大多為水深較淺、規模偏小之港口，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，構築外廓防波堤之防浪設施，只是在過於強調防浪功能下，外廓防波堤之配置，因而普遍具有複合突堤與離岸堤之形式，致使外廓防波堤，除了原始規劃設計之防浪功能外，尚會受外廓防波堤配置形態影響而附帶衍生輸沙平衡之改變，最終，若此些防波堤座落在漂沙最活躍之碎波帶內，則勢必將因碎波沖刷流與沖刷環流之不均勻作用以及失衡之輸沙運移，進而導致與港口毗鄰海灘的沖蝕，甚至造成港口與航道之嚴重淤塞(莊，2023)。

圖1.9 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

針對漁港配置造成港口淤塞與毗鄰海灘之沖淤課題，如圖 1.10 與圖 1.11 所示，莊(2017；2020~2023)曾應用 Google Earth 之歷史圖像，檢視並綜整臺灣環島漁港之外廓配置形態，再針對港口外廓防波堤配置所普遍具有之突堤與離岸堤複合形態，配合波浪碎波沖刷流之作用，進行淤沙機制分析，進而在眾所週知的「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)，是造成港口淤塞之最主要、也是最關鍵因素。據此，對於近岸港口之防沖減淤對策，或面對與港口毗鄰海灘之沖淤課題，建議無論是在規劃、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。

圖1.10 因「突堤效應」、「離岸堤效應」及「岬頭效應」造成的港口淤塞與毗鄰海灘之沖淤變遷

圖1.11 因「離岸堤效應」及「岬頭效應」在港口造成繫岸沙洲形態之淤塞與毗鄰海灘之沖蝕

1.3 工作項目

與海岸防護設施毗鄰海灘之沖淤變遷，是潮汐、波浪、漂沙與海岸防護設施交互作用造成的因—果循環課題。本研究「離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估」為一年期程之研究計畫，主要之研究重點，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(莊，2020~2022)以及岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策(莊，2023)之研究經驗與成果。再次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，針對臺灣西南部海岸，檢選密集布建在高雄與屏東海岸的離岸堤群，分析、檢討毗鄰離岸堤群海灘之沖淤現象與變遷形態，再引介高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工程所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，透過該實務案例之對照比較，據以評估離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響，並確認控制堤後淤沙效能的關鍵機制，進而研提調適、因應對策。主要之年度研究重點工作項目如下：

(1) 蒐集、綜整臺灣環島近岸離岸堤之初始與現況配置型態

應用 Google Earth 之歷史圖像，檢視臺灣環島近岸配置有離岸堤群之區位，再藉 Youtube 之海岸空拍串流影片之瀏覽與擷取，以及透過現場考察，並至各海岸段離岸堤群之規劃、設計與建管單位諮詢，蒐集、綜整臺灣環島近岸離岸堤之初始與現況配置型態，特別是原始設計之斷面尺寸與高程配置。

(2) 探討、驗證建置離岸堤所衍生之「離岸堤效應」

「離岸堤效應」係指在內灘區建置離岸堤後，面對具時、空變動性之近岸波浪侵襲以及地形水深影響，致使近岸波浪，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，而後，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，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 ≈ $\sqrt{gH_b}$)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(washing circulation)，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(beach reshaping)。

實際上，受到近岸折、繞射波浪之衝擊作用，在離岸堤後(下游側)的遮蔽區內，皆會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型態而兼具有 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，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型態，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。

(3) 分析、掌握離岸堤後形塑沙舌或繫岸沙洲海灘之控制因素

控制離岸堤群背後灘線型態發展及海灘地形演變之影響因素，多且複雜，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。以往臺灣環島海岸離岸堤群配置的設計準則，普偏著重於離岸堤長與離岸距比值(B/X)之講究，對於出水高度的影響，則常輕忽。。

(4) 檢視離岸堤初始與現況出水高度之變化，評估其對堤後淤沙效能與造成地貌變遷之影響

本研究將配合「離岸堤效應」，再針對離岸堤初始與現況出水

高度變化之控制因素，應用 Google Earth 歷史圖像及 Youtube 之海岸空拍串流影片，檢視離岸堤出水高度對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能，並評估其對造成地貌變遷之影響。。

(5) 研提強化海岸防護效能之調適、因應對策，建議改善措施

面對具時、空變動性之近岸波浪侵襲，本研究於檢視離岸堤出水高度對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能並評估其對造成地貌變遷之影響後，將針對離岸堤出水高度變動之控制因素，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

公開發表年度研究成果，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

本研究針對臺灣西南部海岸，檢選密集布建在高雄茄萣、林園海岸以及屏東林邊、佳冬、枋寮海岸的離岸堤群，分析、檢討毗鄰離岸堤群海灘之沖淤現象與變遷形態，再引介高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工程所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，透過該實務案例之對照比較，據以評估離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響，並確認離岸堤的出水高度、不透水性與繞射波強弱，係為控制堤後淤沙效能的關鍵機制，進而針對離岸堤出水高度，研提增進堤後淤沙效能之調適、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 2 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。針對臺灣西南部之高雄與屏東海岸，分析檢討毗鄰離岸堤群海灘之沖淤現

象與變遷形態，應用「離岸堤效應」，確認離岸堤近傍的波浪碎波所引致流速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)，是影響海灘重塑之重要因素，而離岸堤的出水高度、不透水性與繞射波強弱，則是控制堤後淤沙效能的關鍵機制；

(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，提昇探討「離岸堤效應」之高度、廣度與深度；因應氣候變遷，擴展分析觀點，研提增進離岸堤後淤沙效能，促進繫岸沙洲灘線重塑之調適、因應對策，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，降低海灘重塑與海岸防沖減淤成本，樽節海岸環境營造之維運費用；

(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，健全海岸永續管理策略，確保海岸環境營造效能；

(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 歷史圖像，透過現場考察，並諮詢規劃、設計與建管單位，蒐集、綜整臺灣西南部海岸離岸堤群布建之類型與狀態，掌握堤體初始設計之斷面尺寸與高程配置，進而以「離岸堤效應」為基礎，再引介高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工

程所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，針對離岸堤初始與現況出水高度變化之控制因素，透過實務案例之對照比較，據以檢視、分析並評估離岸堤出水高度對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能與造成地貌變遷之影響，並確認離岸堤的出水高度、不透水性與繞射波強弱，是控制堤後淤沙效能的關鍵機制，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)，則是影響海灘重塑之重要因素。此外，為改善離岸堤出水高度不足所導致堤後淤沙效能不彰之現象，對於可促進離岸堤後重塑繫岸沙洲灘線之調適、因應對策，建議在布建、整建及改善工程規劃、設計上，應著重從加大堤體寬度、提昇堤頂高度、強化堤體不透水性及輔以養灘或施行人工沙源補注等層面著手，藉以充分消減堤後之透射波強度，增進繞射波之造灣效應，達成離岸堤後淤沙與海岸防護效能。

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，維護自然海岸環境，防治海岸災害，降低海灘重塑與海岸防沖減淤成本，樽節海岸環境營造之維運費用。相關成果可提供本所執行「港灣環境資訊整合及防災應用」政策之後續運用；更可做為港務公司、內政部、水利署、漁業署、工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸環境營造、海岸防護設施規劃、設計、整建及維護的應用參據。

第二章 臺灣環島近岸海域的海氣地象環境

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 風力

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。

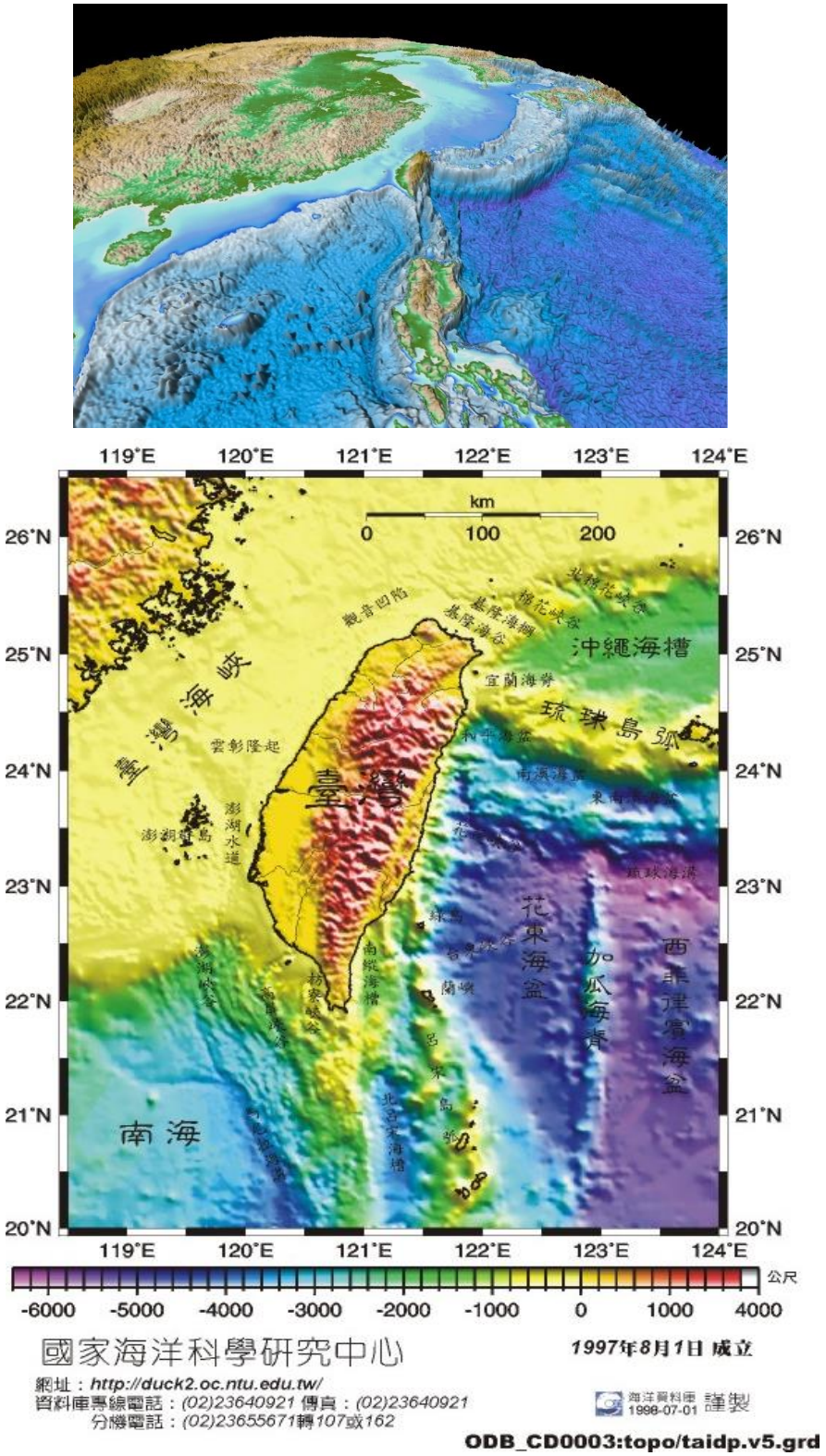


圖2.1 臺灣環島近岸海域的水深地形

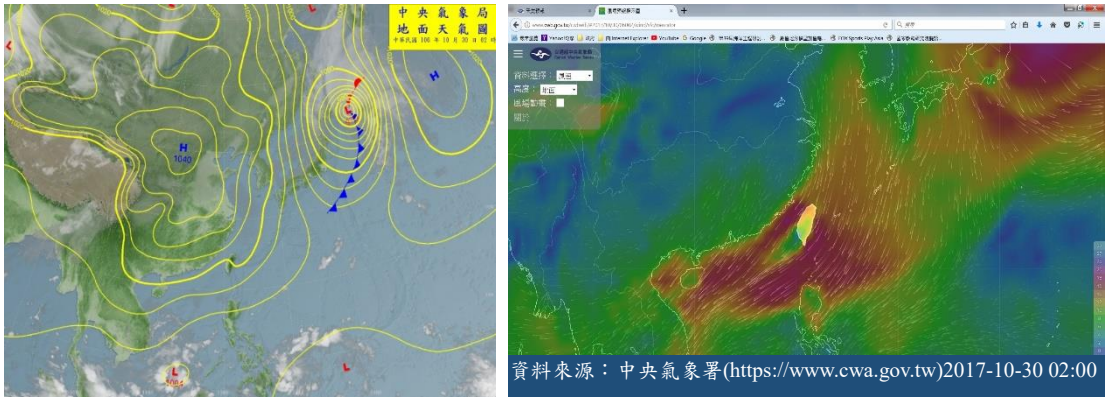


圖2.2 臺灣海域冬季之東北季風天氣系統(左)與地面風場(右)

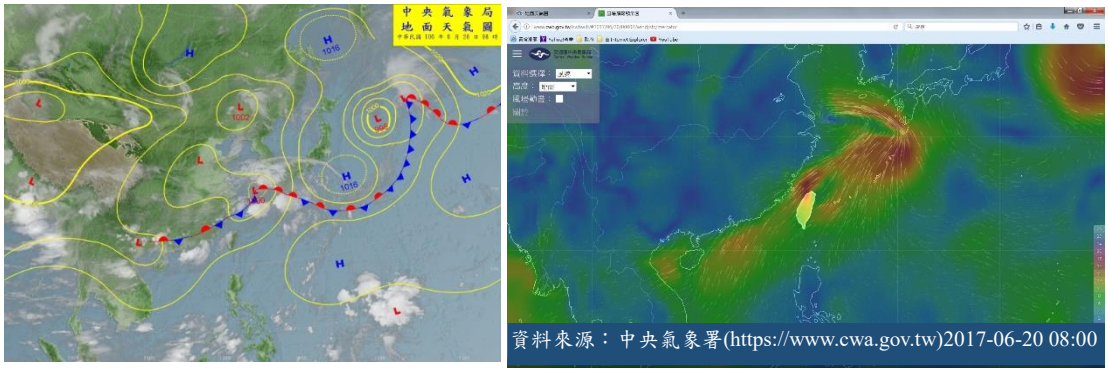


圖2.2(續) 臺灣海域夏季之西南季風天氣系統(左)與地面風場(右)

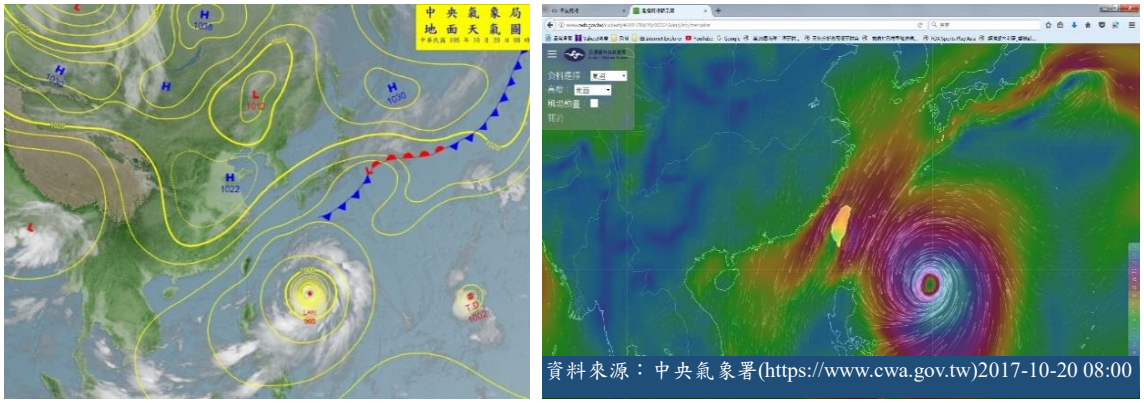


圖2.2(續) 臺灣海域秋季蘭恩颱風之颱風天氣系統(左)與地面風場(右)

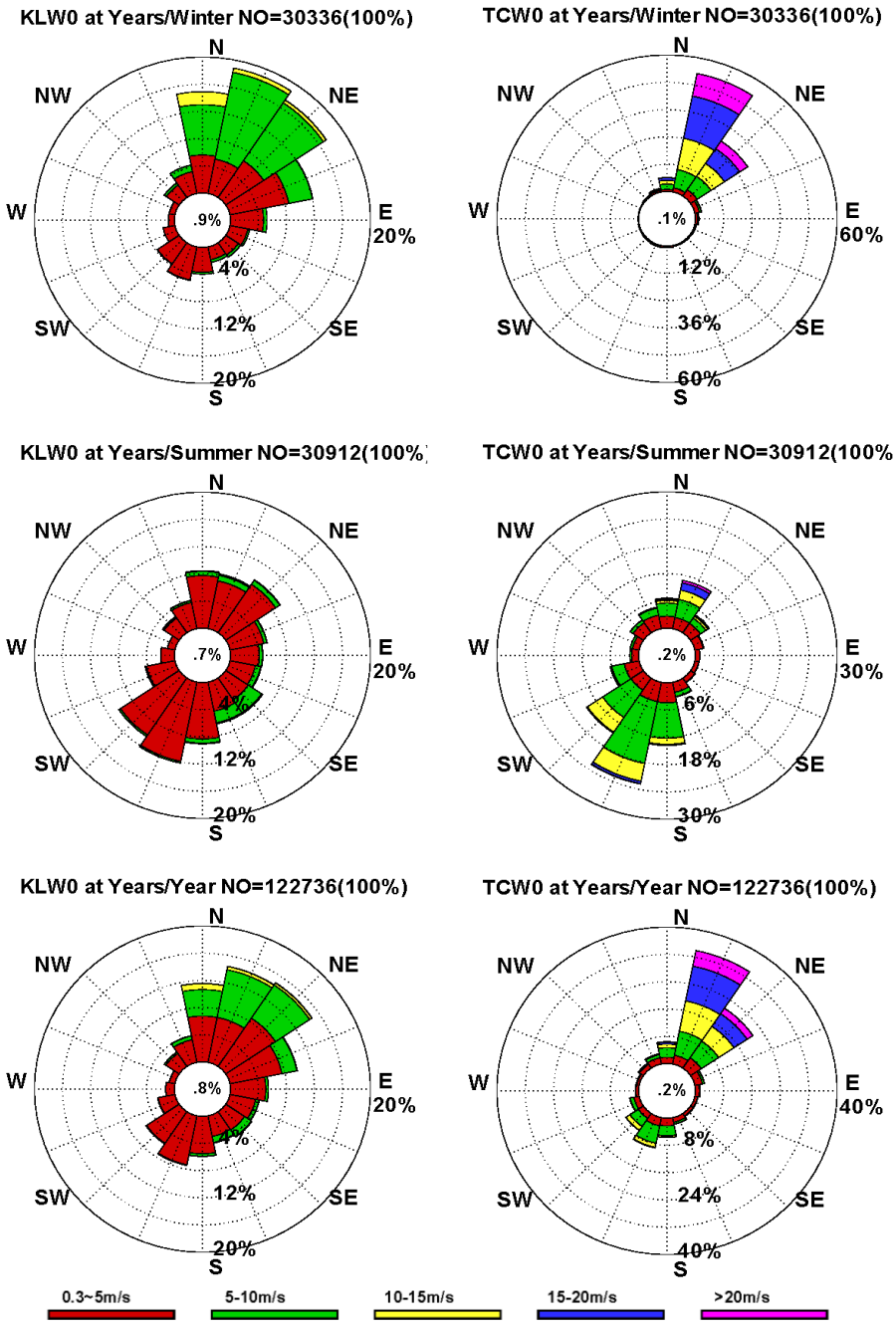
季風，主要係因海洋與陸地間季節性溫差所導致之大尺度空氣環流，並以亞洲的南部和東部最為顯著(氣象局，2017)。

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，參見圖 2.2 所示。莊、曾(2016)配合天氣系統圖，經多年的觀察與歸納發現，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，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；惟受臺灣海峽地形及相關「狹管效應」(氣象局，2017)的影響，風速之大小，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，其歷年冬、夏季及全年之風玫瑰圖，經自運研所(2017)出版之 2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報節錄整理，可得如圖 2.3 所示。



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

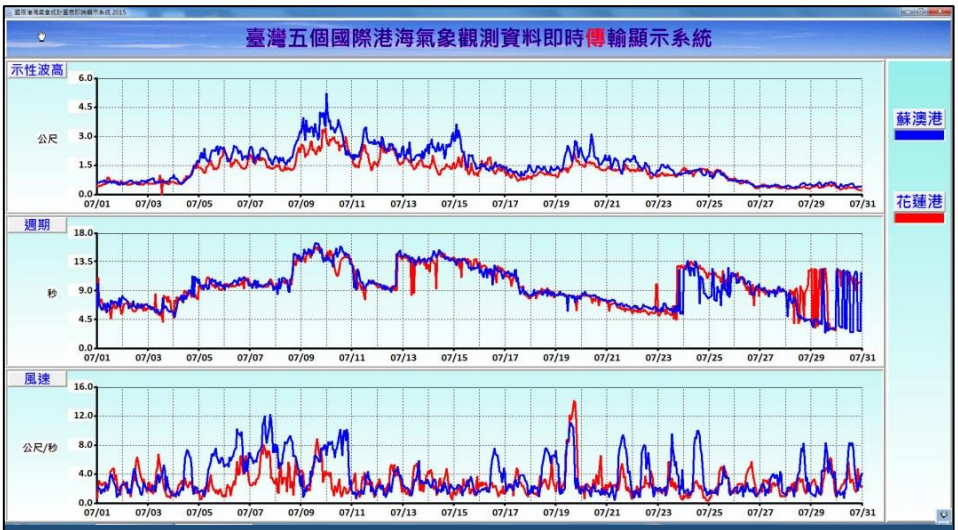
2.3 波浪

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)。

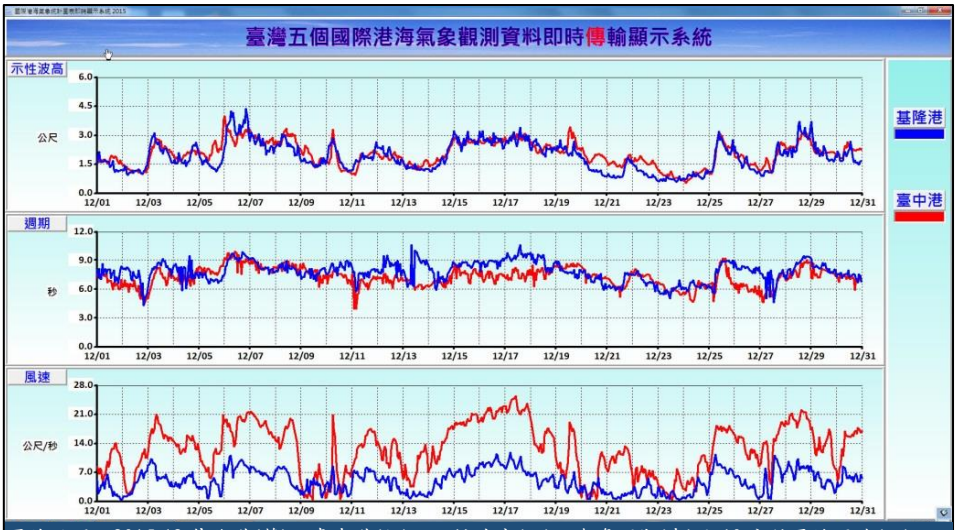
在夏季有颱風，冬季有東北季風情況下，臺灣近岸灘區及港口因而必須經年面對不同特性波浪之侵襲。其中，特別是颱風長浪，因其波動傳播速度，於颱風生成時，估計約可達 33 公里/時，或 800 公里/天(莊、曾，2015；2017；2019)，普遍較風域之移動速度快，所挾帶之能量較大，可傳播之距離甚遠，在近岸更會因波動本質之非線性群聚演化及阻塞作用而擁積及推疊，以致波高大幅放大，甚至引發突如其來的巨浪，或衍生瘋狗浪，進而對自然海灘環境及民眾之生命財產造成危害，因此，相關其生成、發展、傳播、演化及衝擊影響等課題(莊 等，2016；莊、曾，2017；2019)，長久以來，即普遍受到關注與重視。

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。



圖片說明：2015-07 蘇澳港(藍)、花蓮港(紅)；示性波高(上)、尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)

圖2.4 蘇澳港與花蓮港夏季颱風期監測波浪逐時變化歷程之對照比較



圖片說明：2015-12 基隆港(藍)、臺中港(紅)；示性波高(上)、尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)

圖2.5 基隆港與臺中港冬季季風期監測波浪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 2.1。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 2.1 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

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

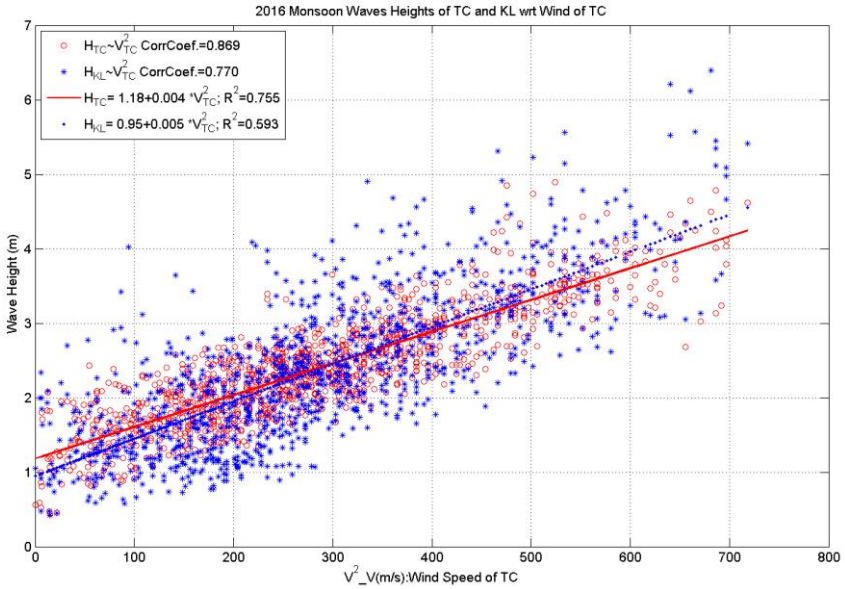
$$H_{KL} = 0.95 + 0.005V_{TC}^2 \quad \text{.....(2-4)}$$

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

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

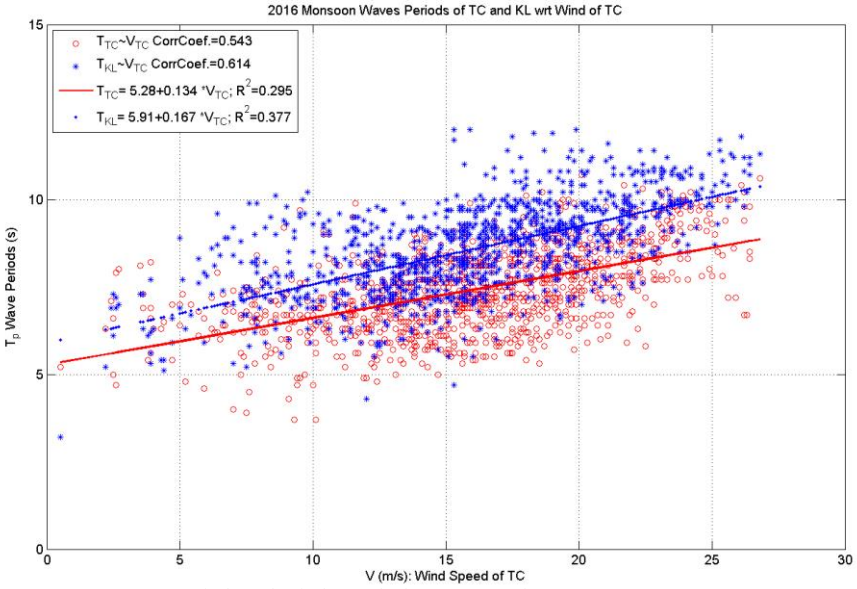
$$T_{KL} = 5.91 + 0.167\,V_{TC} \quad \text{.....(2-6)}$$

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二次方之關聯圖

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

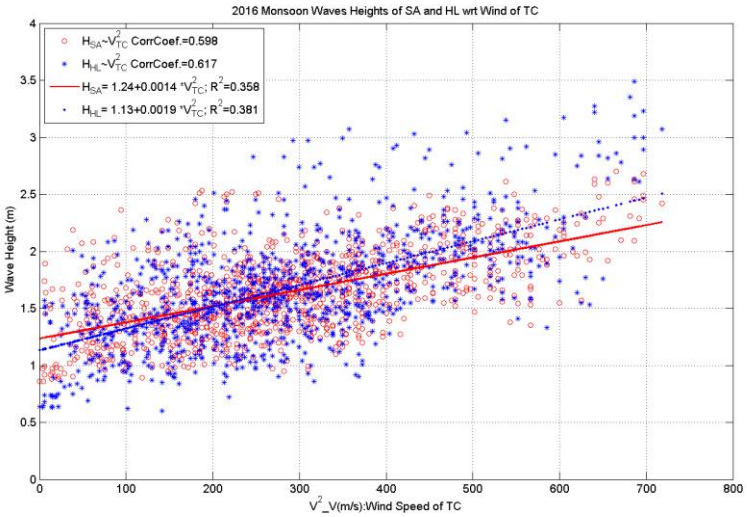
$$T_{SA} = 7.33 + 0.115\, V_{TC} \quad \text{.....(2-9)}$$

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

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。

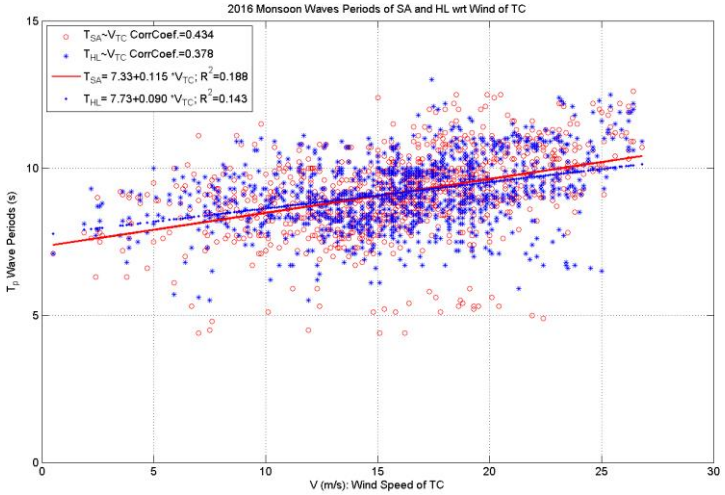
最後，針對夏季期間之颱風波浪，在臺灣東部海域，由於其直接面對深邃的西太平洋，加以近岸海灘坡度陡峭，海域地形水深環境甚相類似，故而自原生海域傳達近海之颱風波浪，受海岸及陸地岬頭地形遮蔽影響所衍生之淺海效應甚為有限，以致同處在東部海域之蘇澳港及花蓮港，無論颱風行進路徑、強度變化之影響，颱風波浪之波高與週期，均約略具有近似相同之逐時演化特性(莊、曾，2015；2017；2019)。廣泛綜整蘇澳港與花蓮港在 2013 年 8 月、2014 年與 2015 年 7 月、8 月

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 2.2 所示。



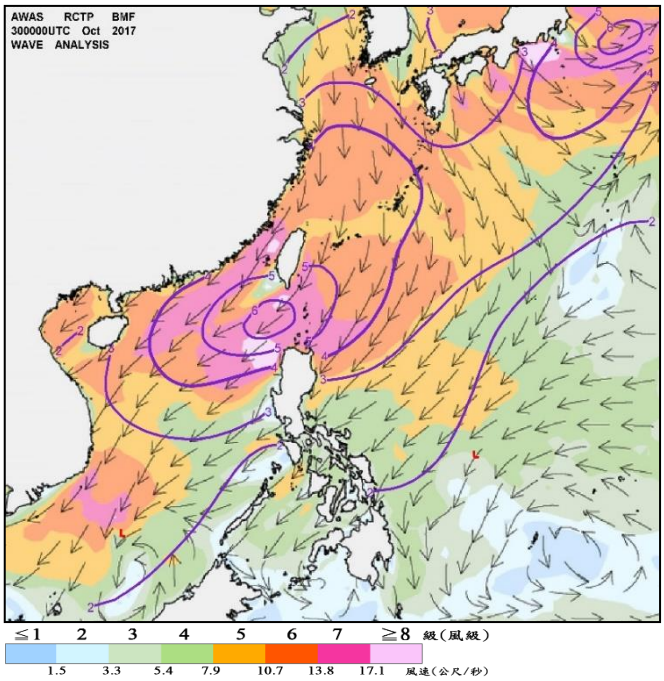
Monsoon Wave Height of SA and HL wrt Wind of TC 2016.emf

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



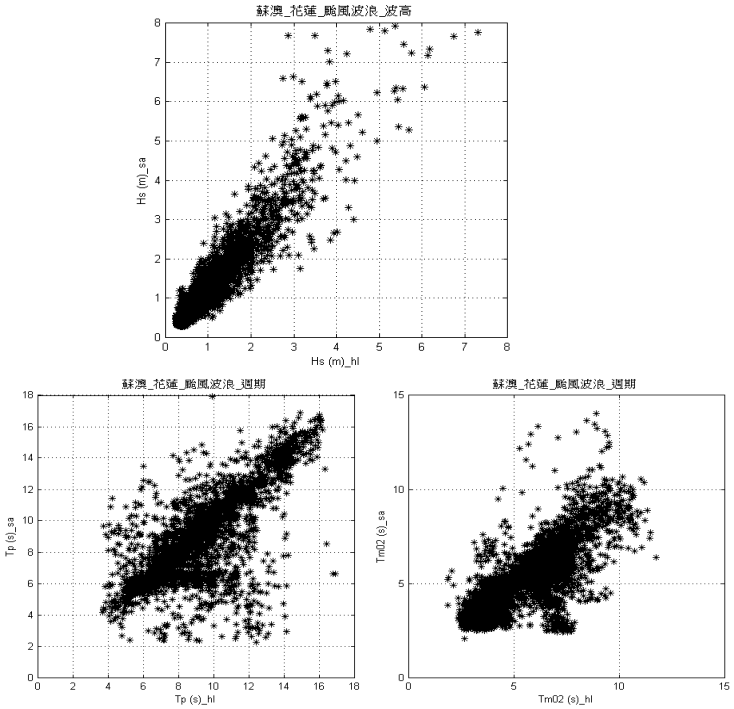
Monsoon Wave Periods of SA and HL wrt Wind of TC 2016.emf

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



2013~2015(7、8 月)示性波高(上)、尖峰週期(下左)、二階波譜週期(下右)

圖2.11 蘇澳港與花蓮港夏季颱風期監測波浪之關聯性

表 2.2 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 2.2 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。

至於臺灣環島之海灘區及港口，因經年必須面對颱風與季風波浪之侵襲，在夏季颱風及冬季東北季風盛行情況下，相關臺灣環島海岸之季風波浪型態，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 2.3 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 2.4 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 2.5 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。

表 2.3 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 2.4 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 (%)	>5m (%)	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 2.5 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

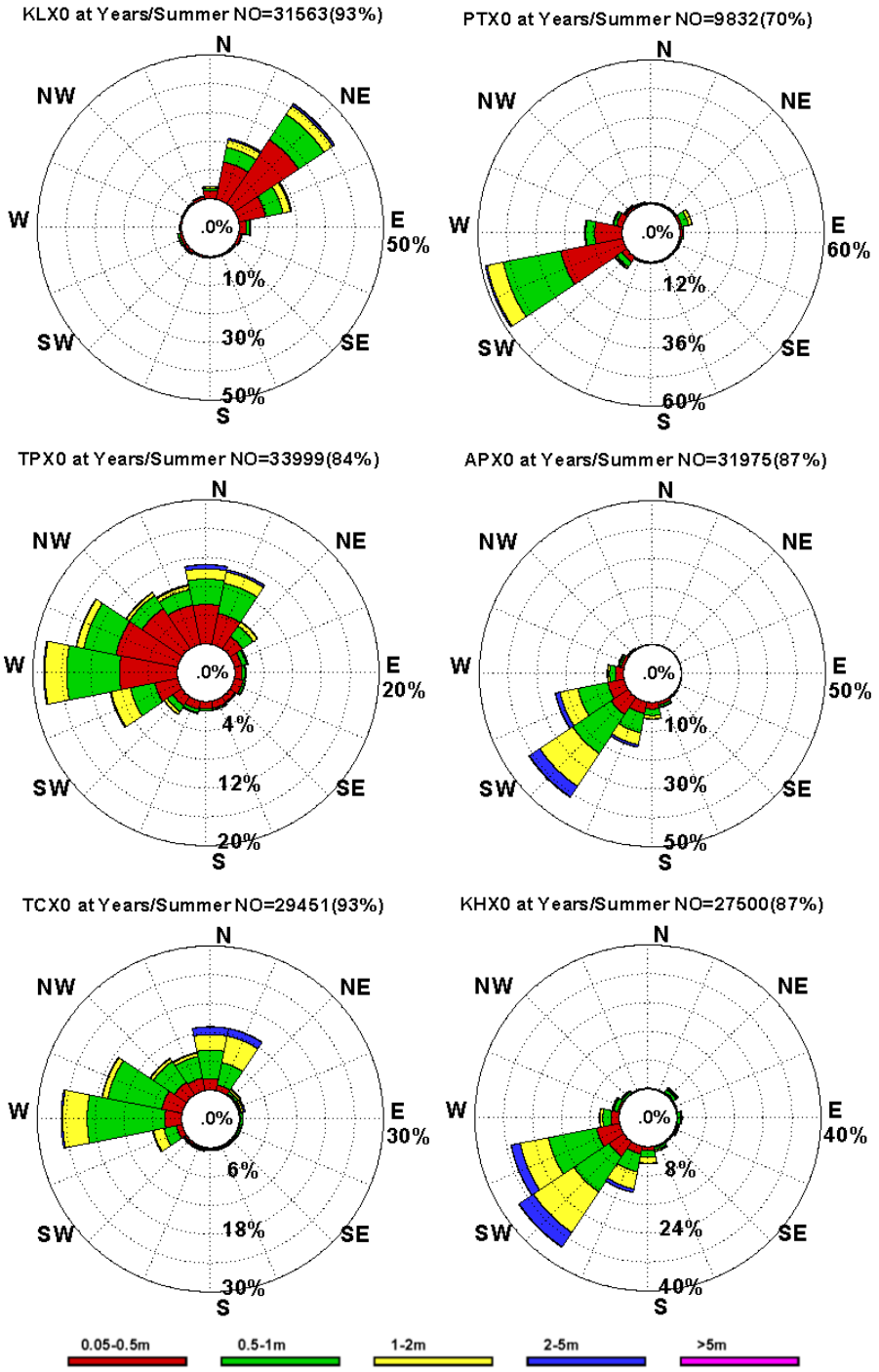
商港	極值波高 (m)	標準偏差 (m)	建議設計波高範圍 (m)
蘇澳港	8.72	0.54	7.95~9.75
花蓮港	8.60	0.59	7.56~9.50
基隆港	7.73	0.7	6.58~8.89
臺北港	5.94	0.54	5.28~7.08
臺中港	7.25	0.44	6.52~7.98
安平港	5.81	0.41	5.25~6.59
高雄港	6.33	0.41	5.76~7.10

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。

在臺灣西部之基隆、臺北、臺中、布袋、安平、高雄等 6 個主要港域，概約自 2000 年起至 2016 年止，相關夏季、冬季與年際觀測波浪示性波高與波向之統計玫瑰圖，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」，分別可整理如圖 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，則分別可得如圖 2.15、圖 2.16 與圖 2.17 所示。

針對臺灣西部海域的波浪，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，其他近岸海域，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。至於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。

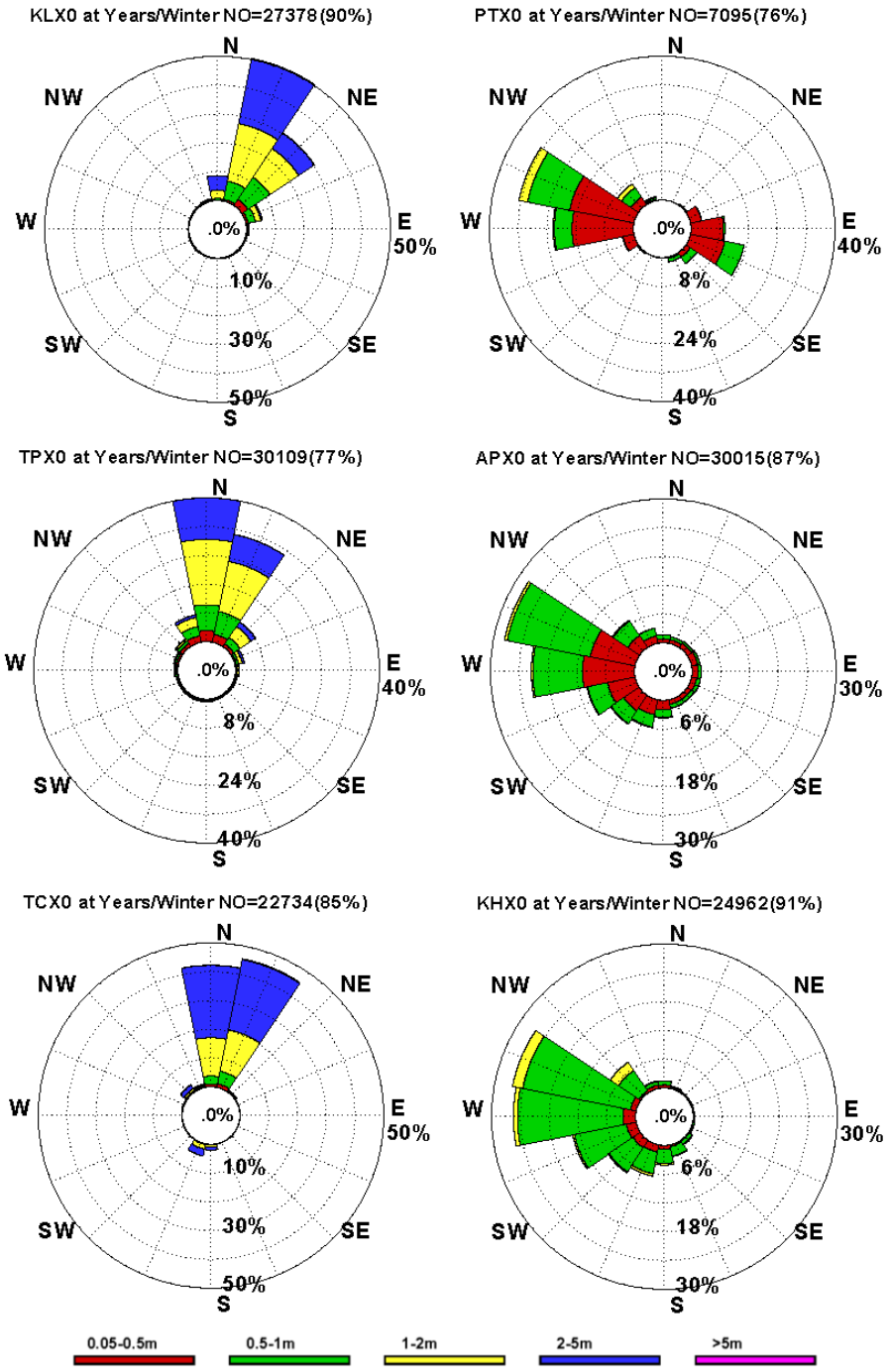
另外，針對包含蘇澳、花蓮及臺東之臺灣東部海域，由圖 2.15 至圖 2.17 綜合觀察可見，基於類同之地理區域條件，以致近海波浪特性彼此亦相近似。在夏季西南季風及颱風影響期間，蘇澳、花蓮及臺東海域的波浪，示性波高偏小，大多介在 0.5~1.5 公尺間，但較大波高，受颱風波浪影響，仍可達 2~5 公尺，主要波向，則集中於東南東至南南東間；關於冬季東北季風影響期間之波浪，示性波高較大，以 1~2 公尺為主，但在強勁東北季風期間，較大波高仍可達 2~5 公尺，主要波向，則受波浪折射效應影響，大多集中在東北東至東南東間。



圖片說明：臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)與臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)，時間自 2000 年至 2016 年

資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

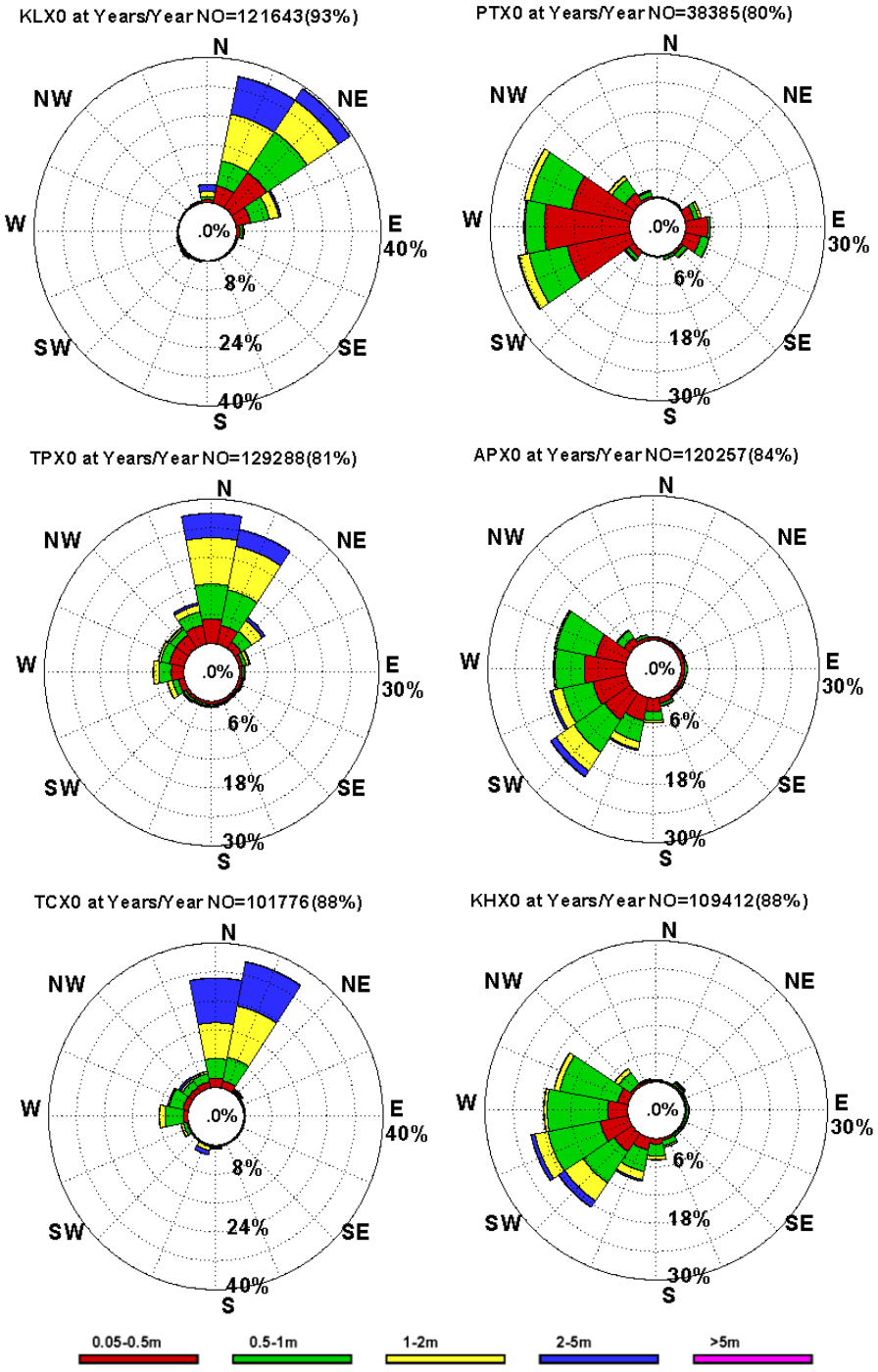
圖2.12 臺灣西北部及西南部海域歷年觀測夏季波浪玫瑰圖



圖片說明：臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)與臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)，時間自 2000 年至 2016 年

資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

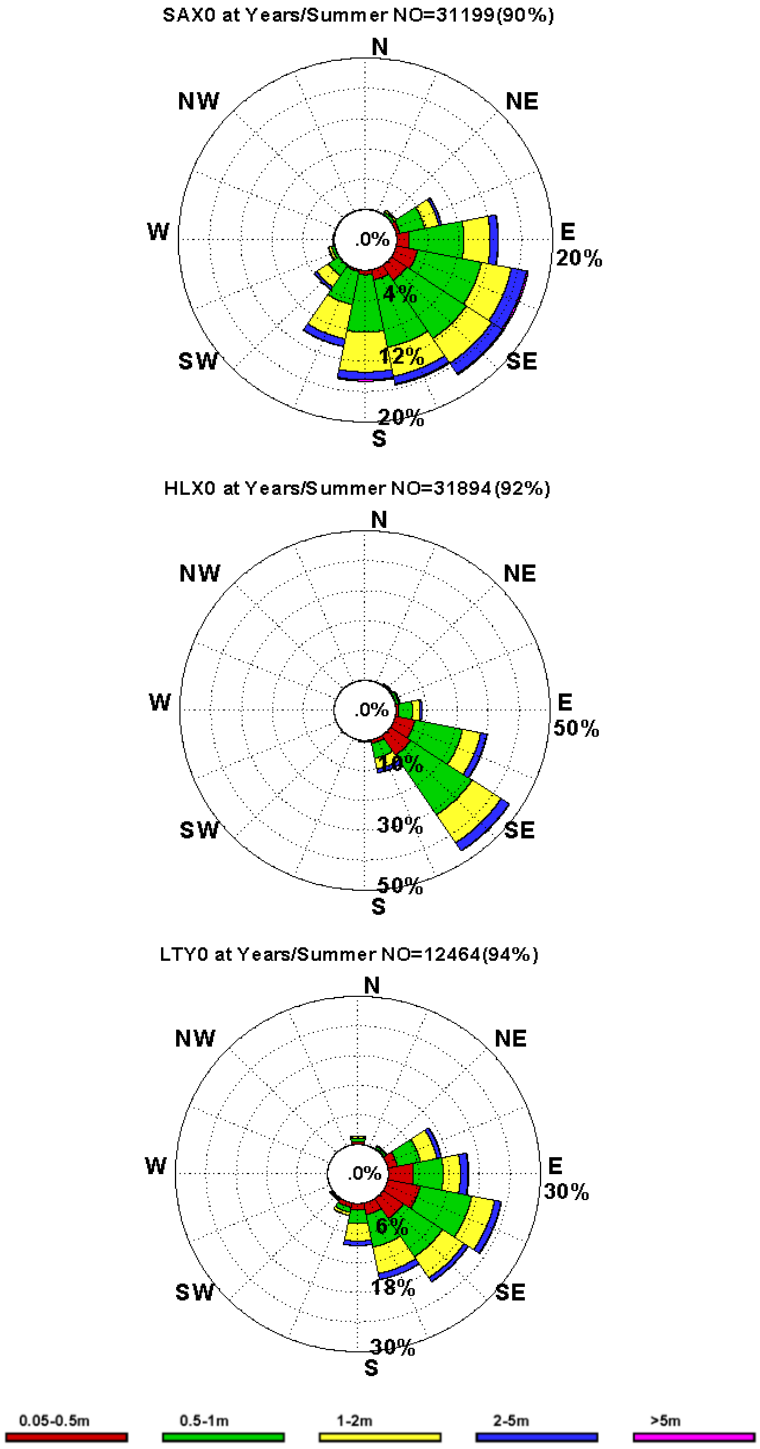
圖2.13 臺灣西北部及臺灣西南部海域歷年觀測冬季波浪玫瑰圖



圖片說明：臺灣西北部基隆(左上)、臺北(左中)、臺中(左下)與臺灣西南部布袋(右上)、安平(右中)、高雄(右下)，時間自 2000 年至 2016 年

資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

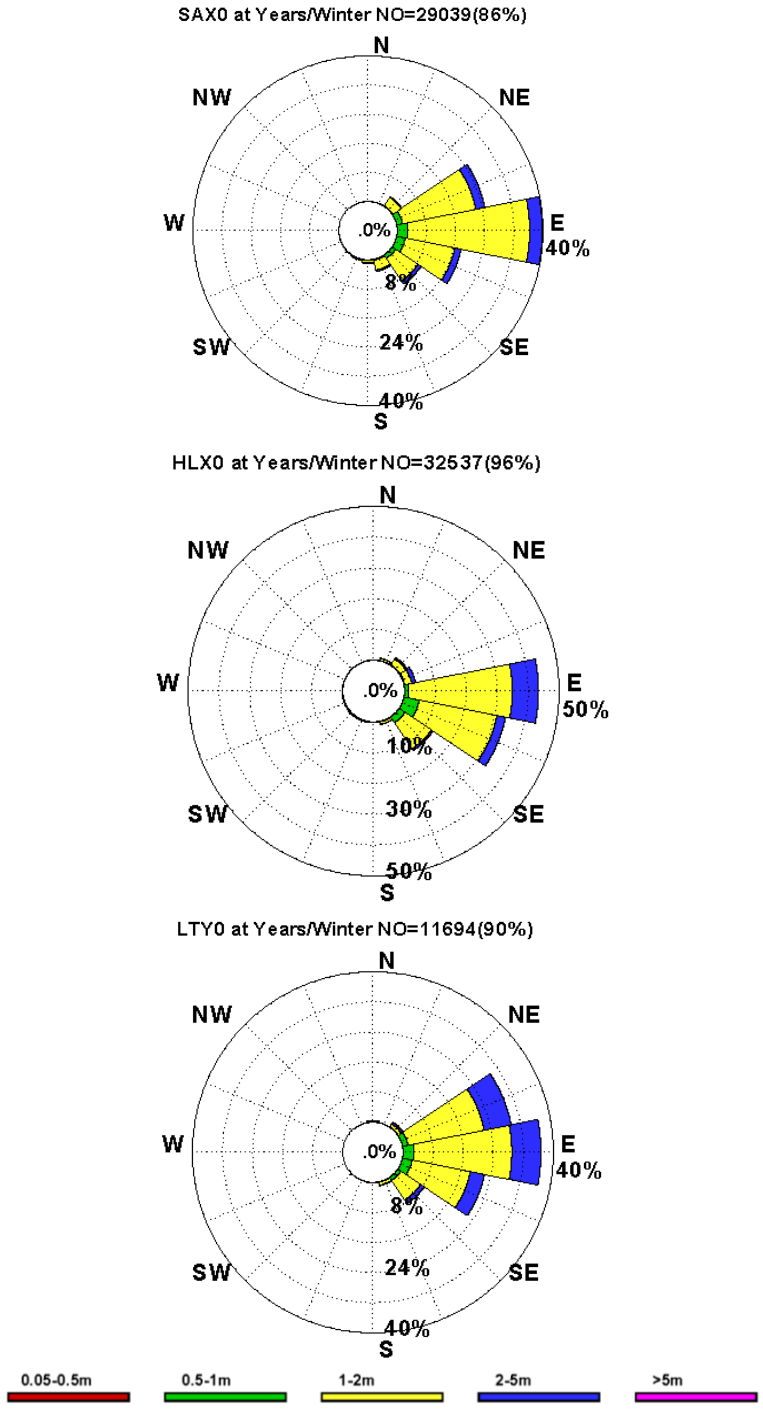
圖2.14 臺灣西北部及西南部海域歷年觀測全年波浪玫瑰圖



圖片說明：臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)，時間自 2000 年至 2016 年

資料來源：2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報 (運研所，2017)

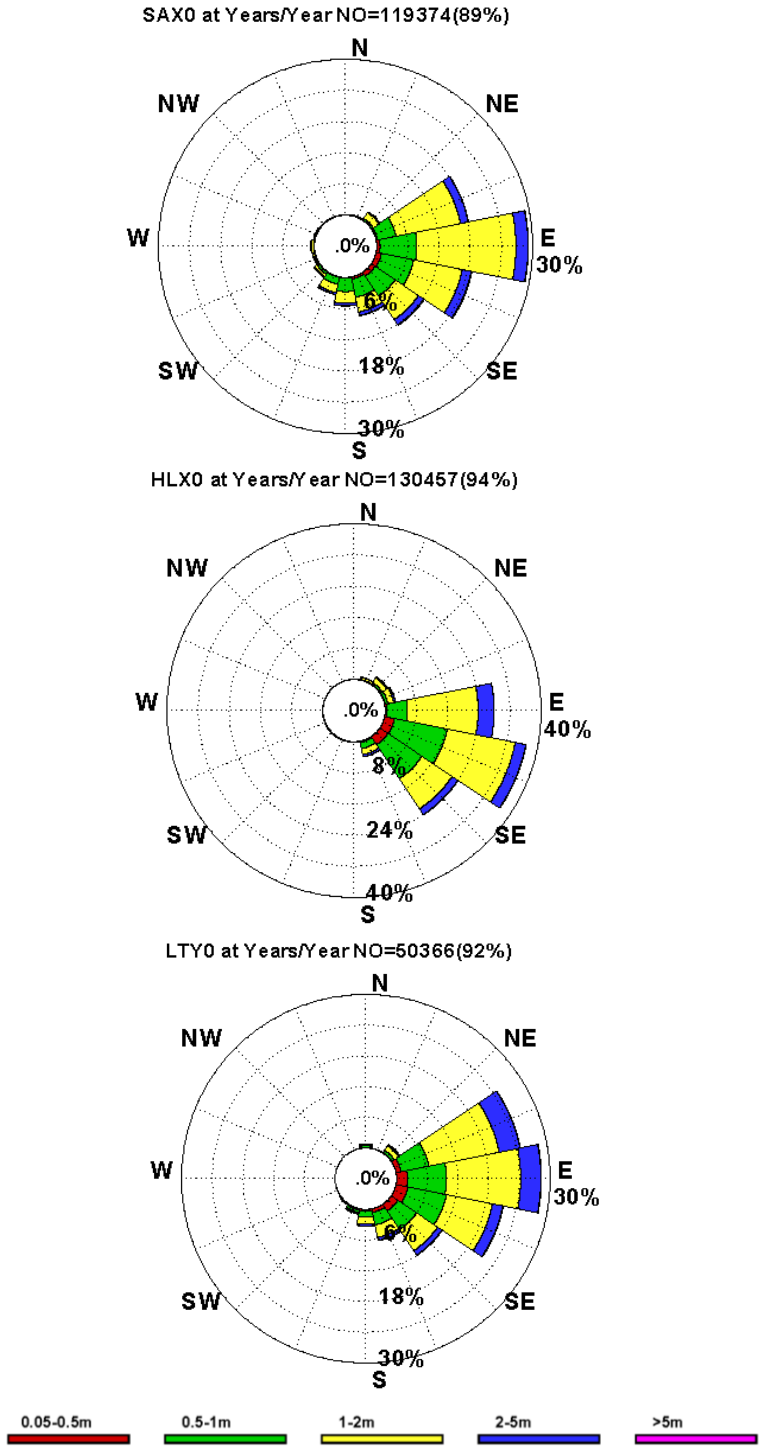
圖2.15 臺灣東部海域歷年觀測夏季波浪玫瑰圖



圖片說明：臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)，時間自 2000 年至 2016 年

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 臺灣東部海域歷年觀測冬季波浪玫瑰圖



圖片說明：臺灣東部蘇澳(上)、花蓮(中)、臺東(下)，時間自 2000 年至 2016 年

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 臺灣東部海域歷年觀測全年波浪玫瑰圖

2.4 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(co-tidal 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)。

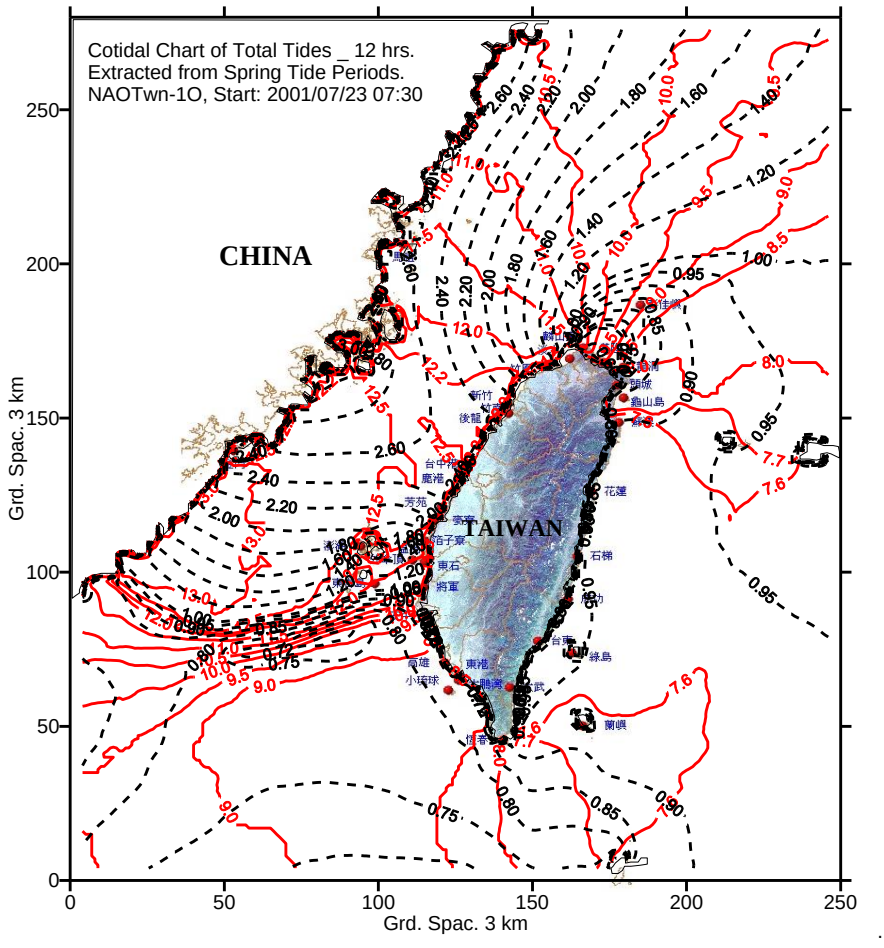
在臺灣鄰近海域，基於海峽、海脊、海槽及東亞大陸棚架等水深地形之影響與面對深邃太平洋之環境因素，因此，潮波系統實際上具有極豐富的變化性與特殊性(Lin et al., 2001；Juang et al., 2001；Jan et al., 2002、2004；莊、江，2005)。又基於真實潮波實際上應係由多個分潮潮波所複合組成，莊、江(2005、2006)因而即針對臺灣四周海域，結合 Matsumoto et al. (2000)研發綜合包括共 16 個主要分潮之 NAO (National Astronomical Observatory)潮汐預報模式，應用水動力數值模式，據以建構真實旋轉潮波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。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)。



圖片說明：同振幅線(黑虛線)、同潮時線(紅實線)

圖2.18 臺灣海域月大潮期間擬真潮波之同潮圖

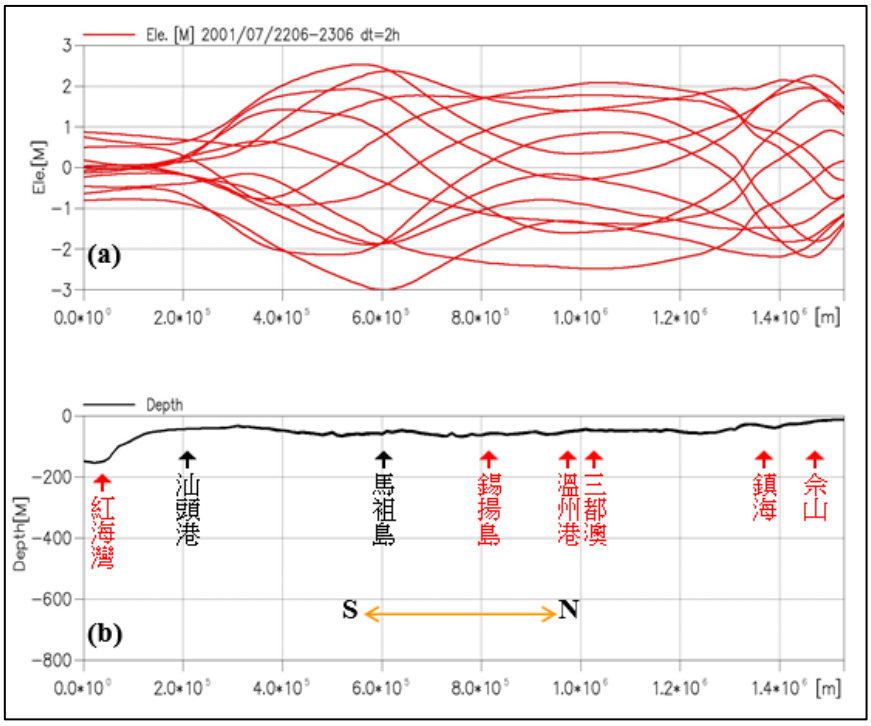


圖2.19 中國近海沿岸之潮波振盪型態(上)及水深地形剖面(下)

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。

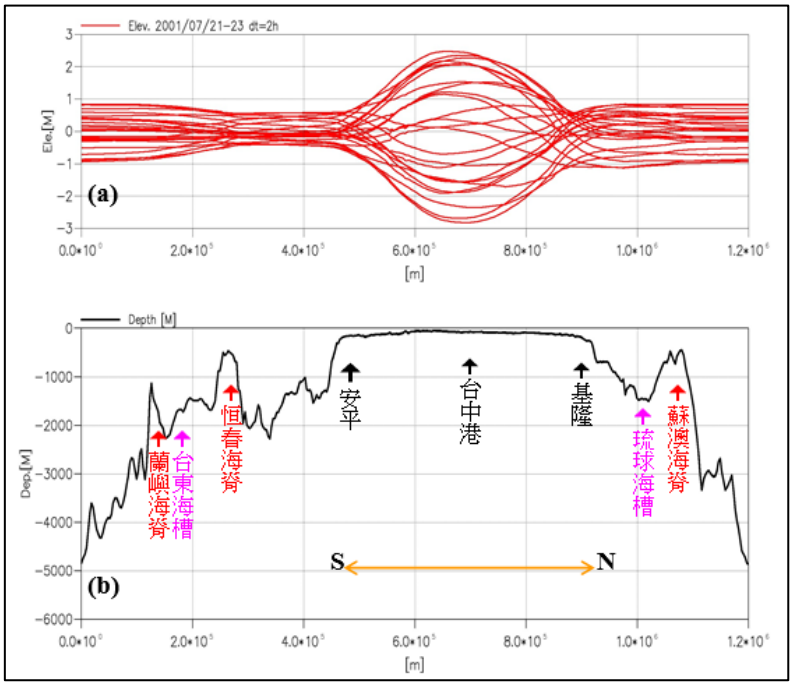


圖2.20 臺灣環島近海沿岸之潮波振盪型態(上)及東亞陸架之水深地形剖面(下)

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 2.6 及表 2.7 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 2.6 及表 2.7，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。

表 2.6 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 2.7 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

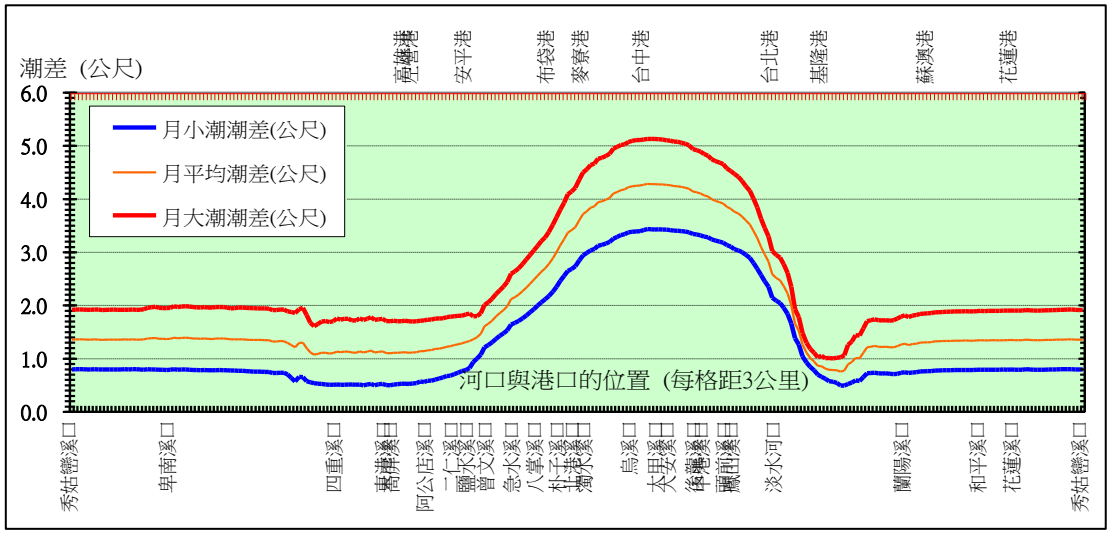


圖2.21 臺灣環島沿岸各主要河川河口與各重要工商港口位置之月大、小潮及月平均潮差分布

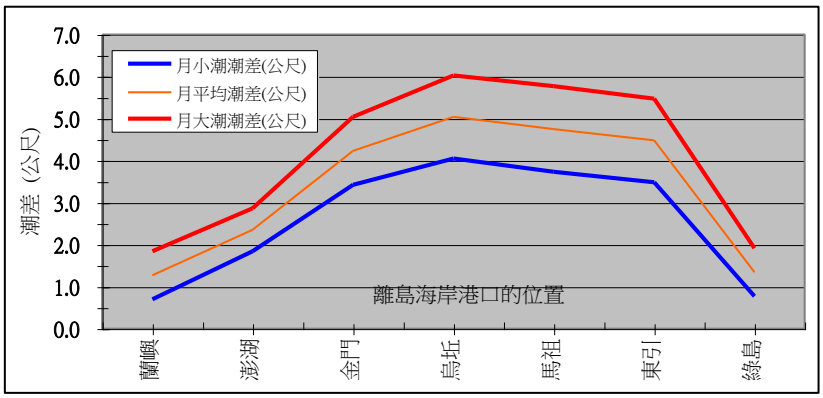


圖2.22 臺灣離島各海岸之月大、小潮及月平均潮差分布

配合表 2.6，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 2.7，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。

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)。

2.5 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)。

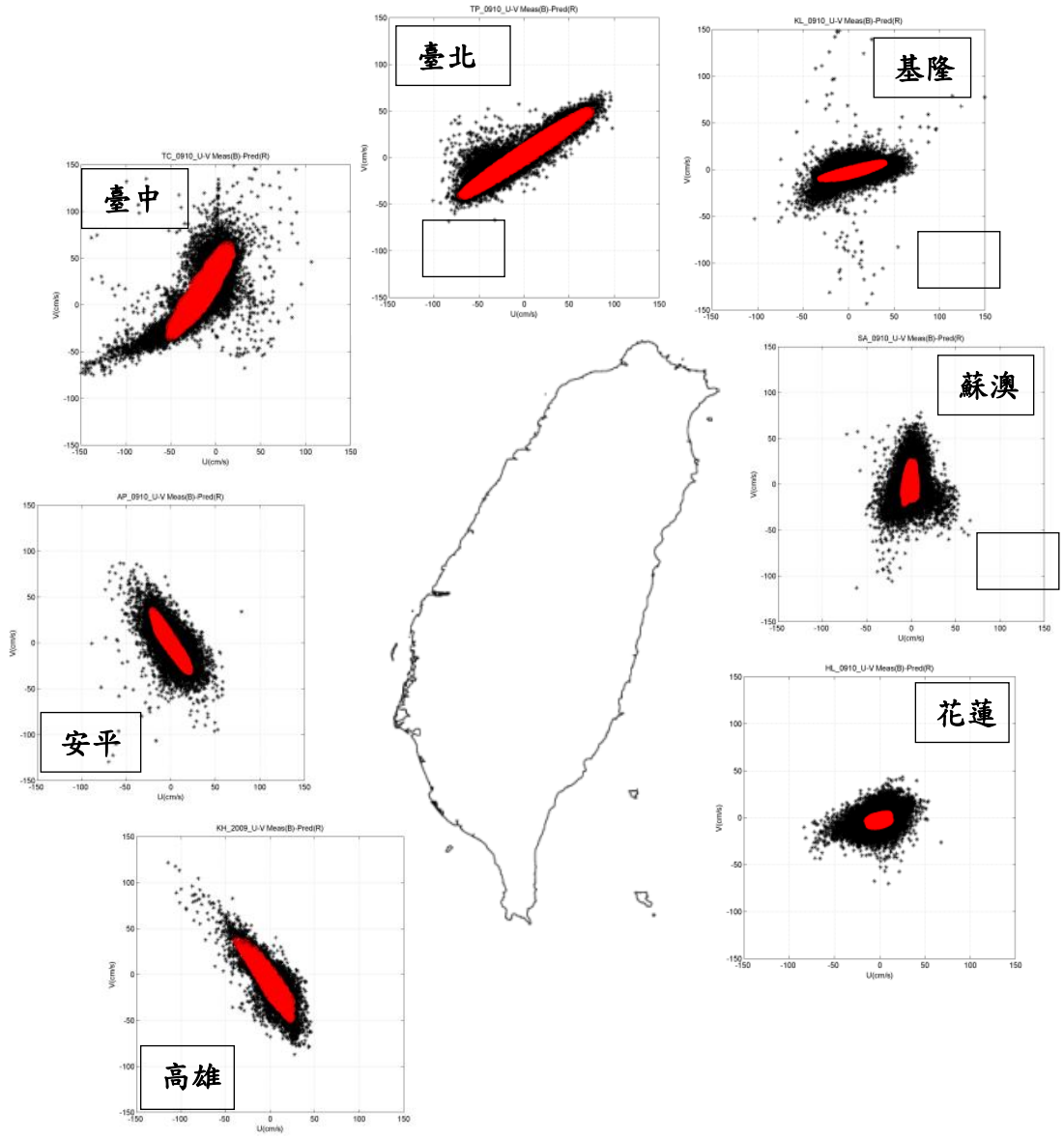


圖2.23 臺灣七大商港港口外廓海域2009年至2010年實測海流(黑)與天文潮流(紅)之近岸流速散佈圖比較

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。

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。

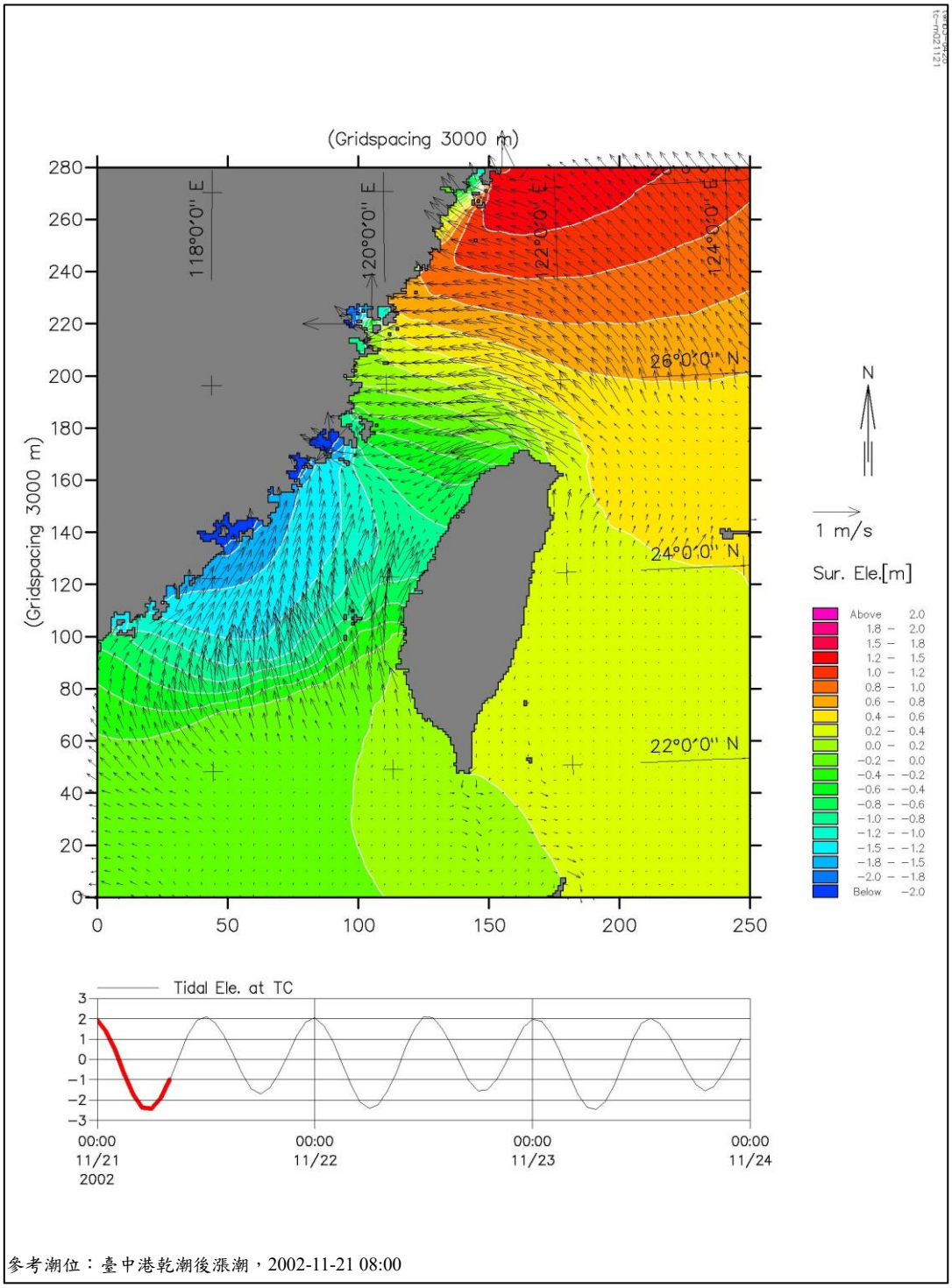


圖2.24 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場

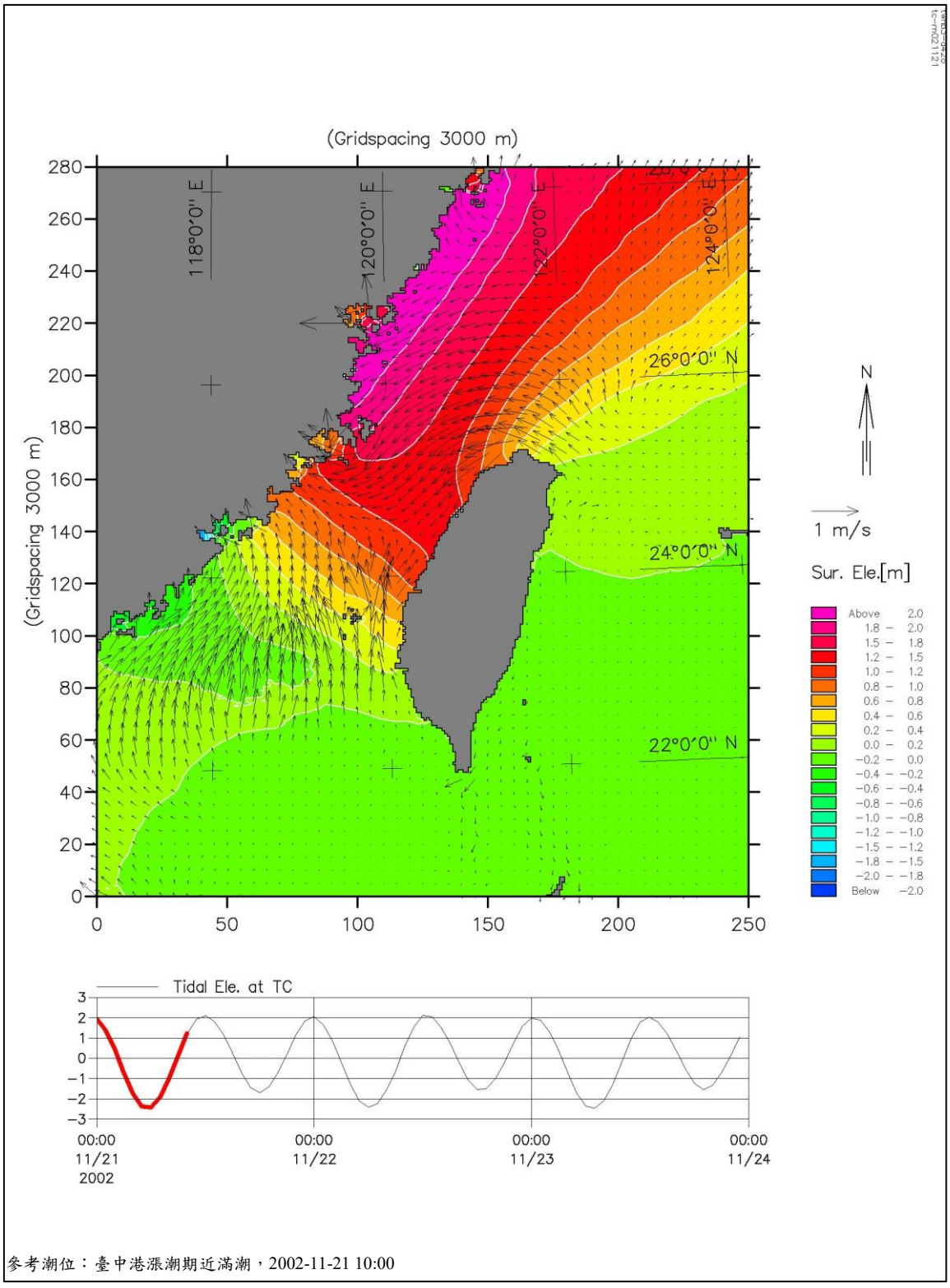


圖2.24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場

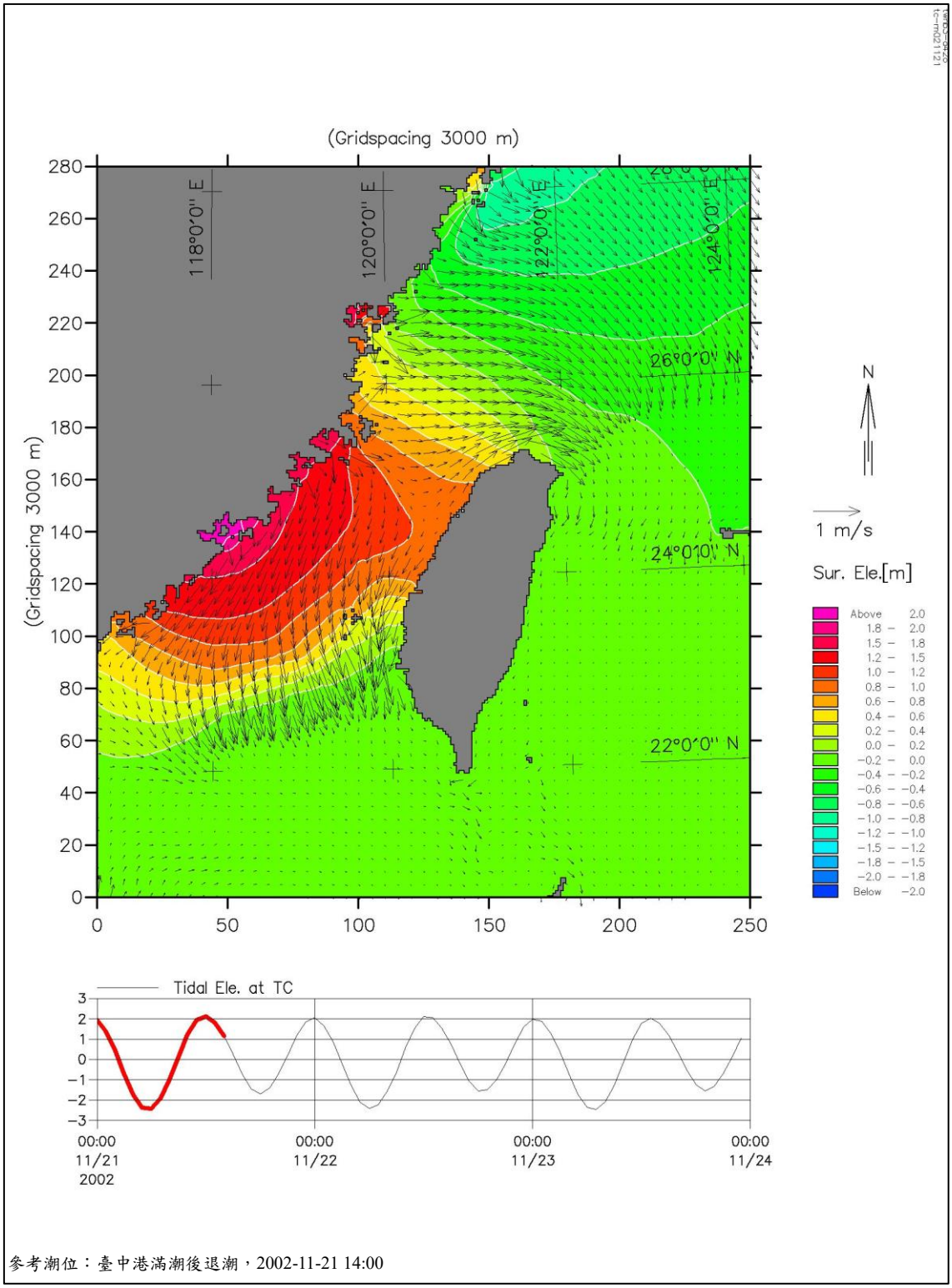
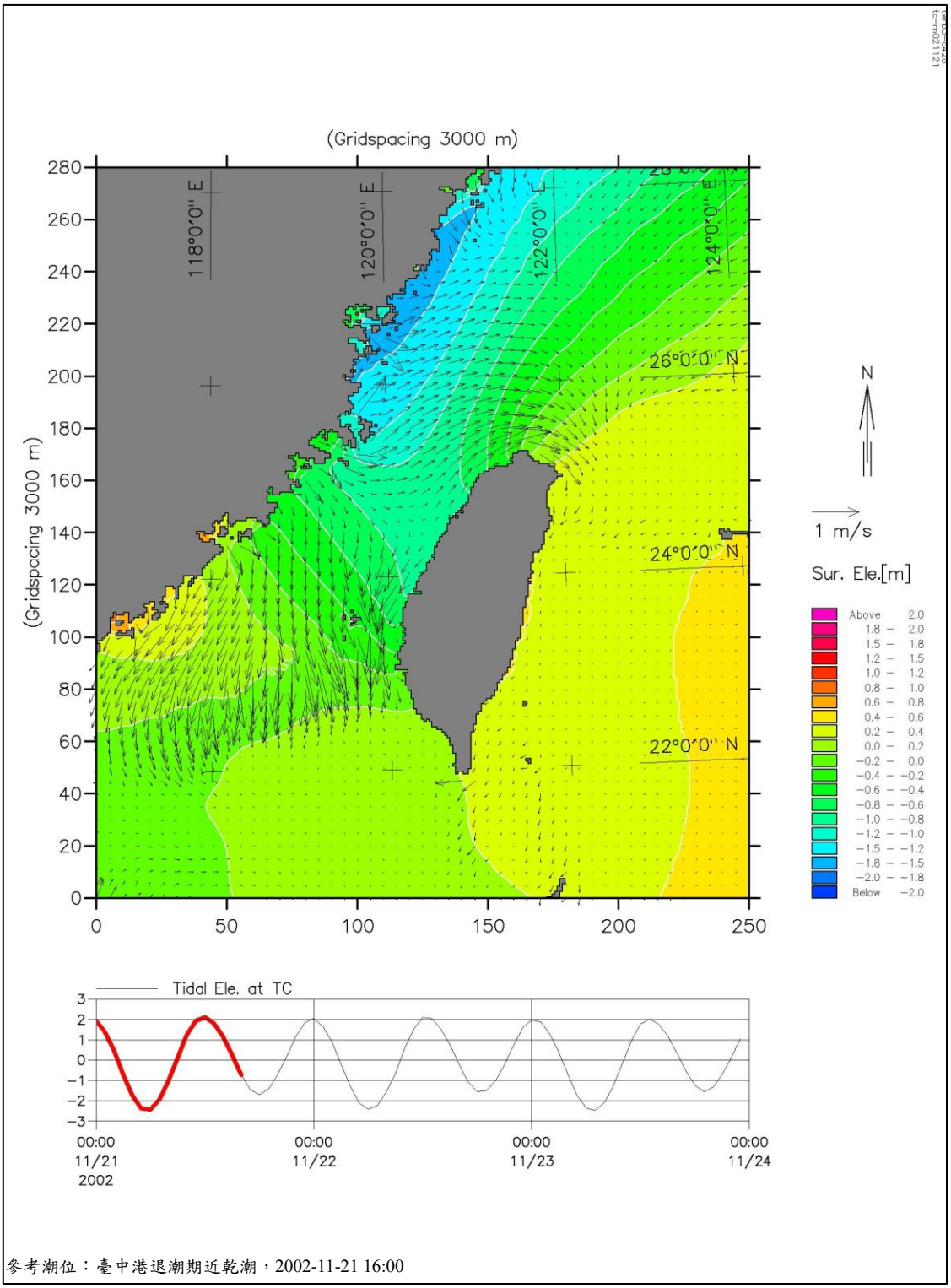


圖2.24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場



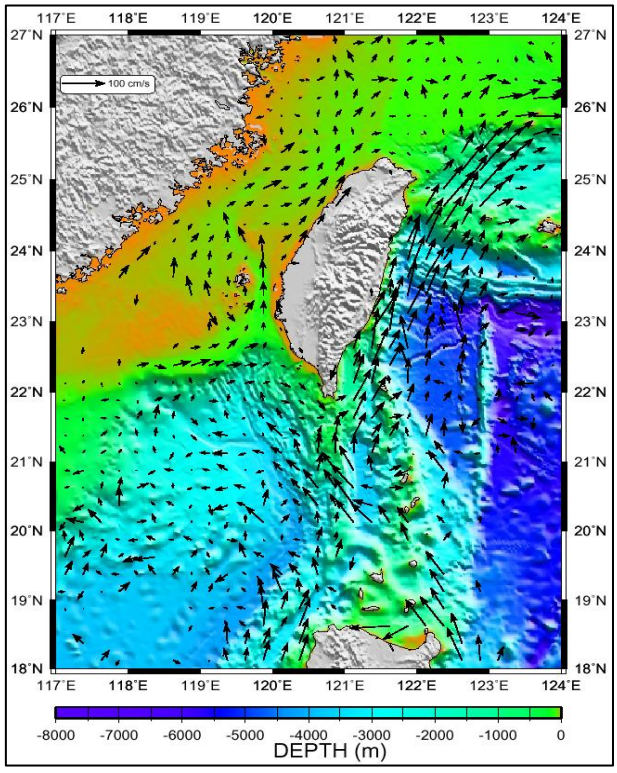
參考潮位：臺中港退潮期近乾潮，2002-11-21 16:00

圖2.24(續) 臺灣海域之計算等潮位線(色階)與潮流(箭矢)流場

2.6 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。此外，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)。

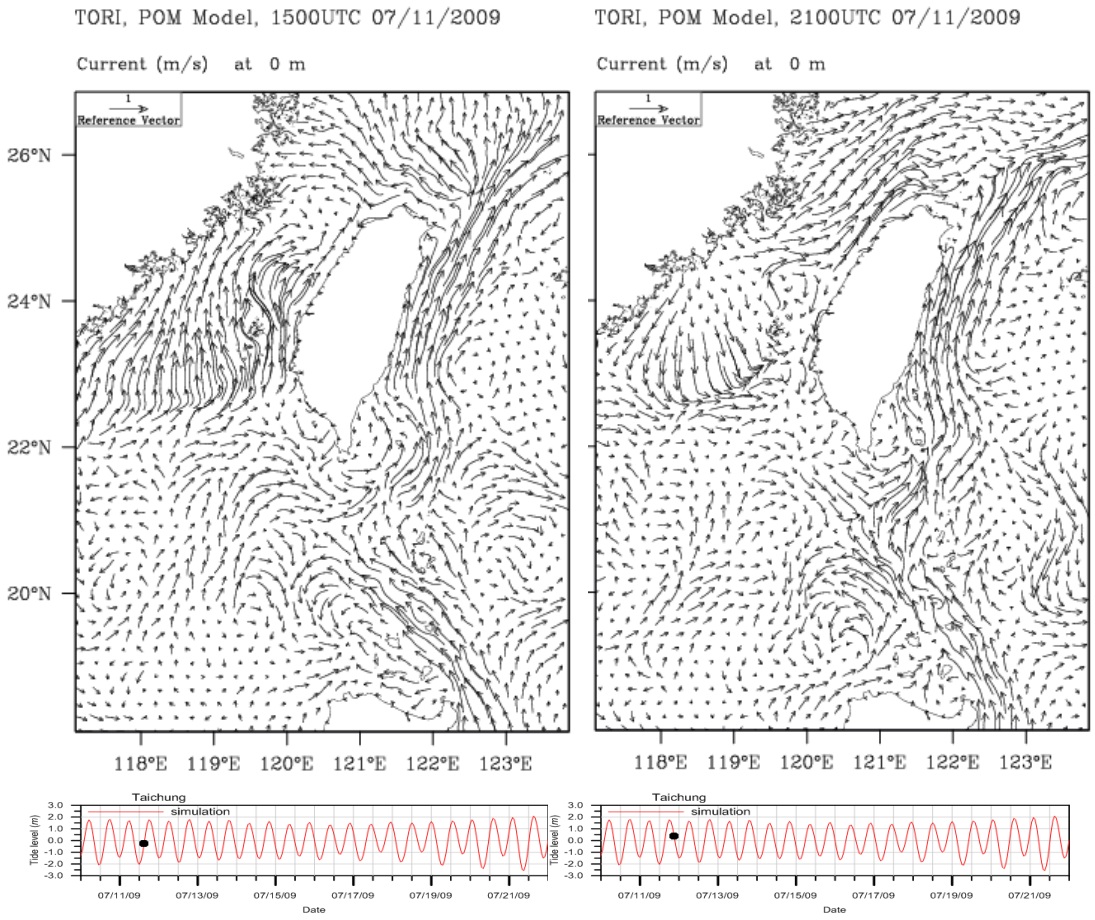
臺灣，位處北緯 21 度至 26 度間，為一海島，東臨太平洋，西隔臺灣海峽與中國大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里。有關臺灣環島海域之年平均表層海流形態，經摘錄「國科會海洋學門海洋資料庫」彙整實測之成果，可得如圖 2.25 所示。



（國家海洋科學研究中心資料庫）

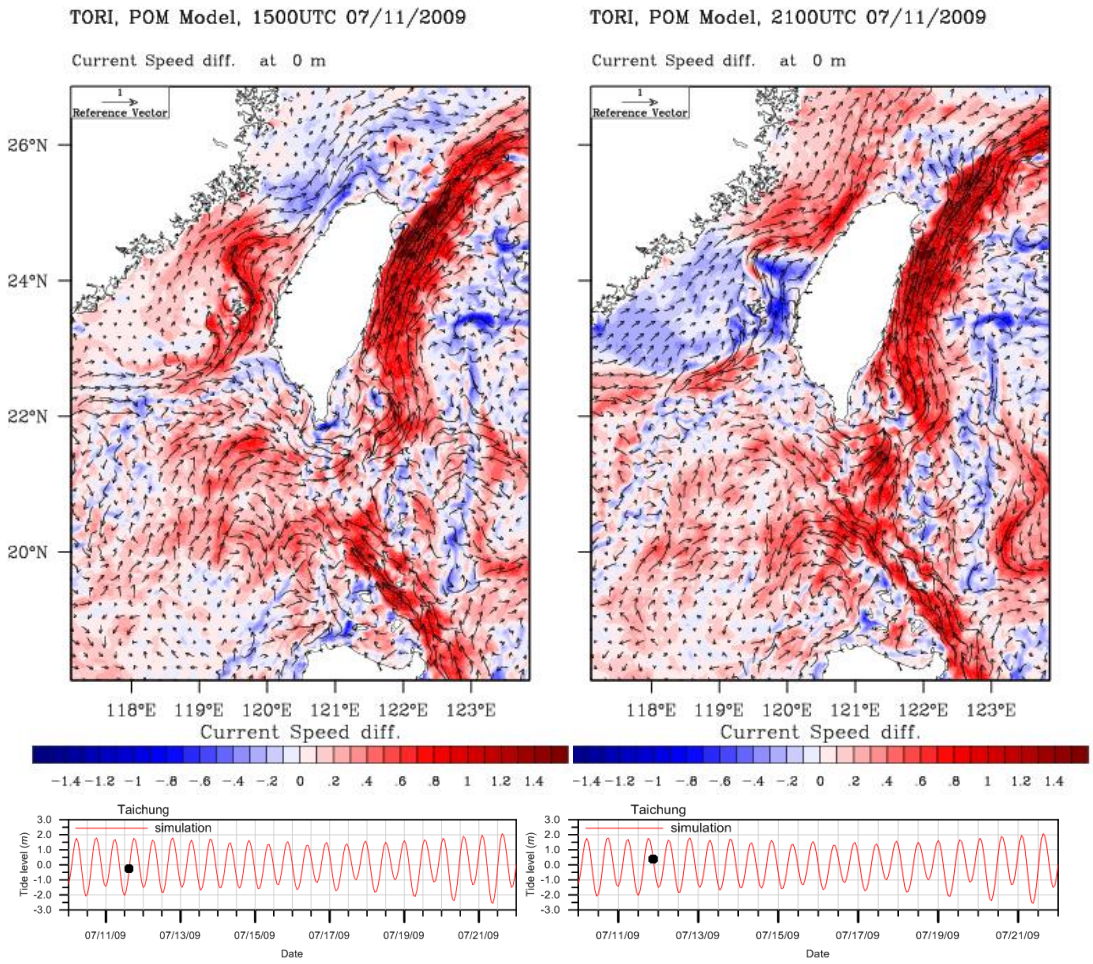
圖2.25 臺灣環島海域實測之年平均表層海流形態

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。



參考臺中港計算潮位。左(2009-07-11 15:00 漲潮期)、右(2009-07-11 21:00 退潮期)

圖2.26 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之擬真海流流場



參考臺中港計算潮位。左(2009-07-11 15:00 漲潮期)、右(2009-07-11 21:00 退潮期)

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

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。

2.7 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，分別如圖 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。

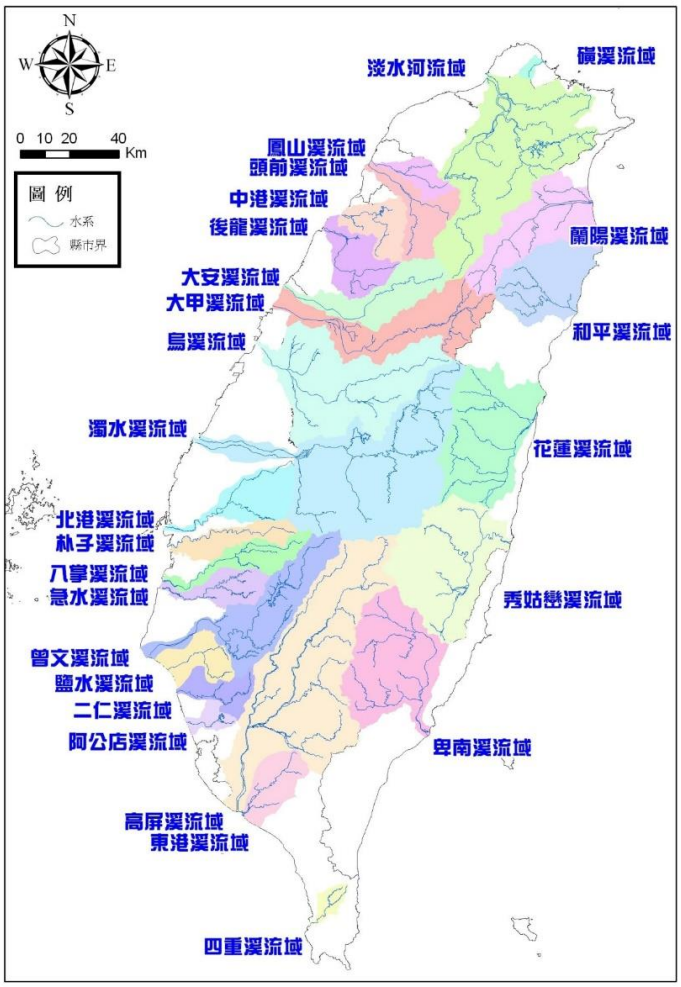
臺灣各河川，夏季颱洪期間，流量常隨降雨迅速起落，集流時間甚短，洪峰量大，流速快，湍急水流不僅常導致集水區發生嚴重沖蝕現象，

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。

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

2.8 水下沙體

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。

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」，可查見臺灣環島近岸海域之水下沙體分布與沉積形態，如圖 2.30 所示。

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

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 2.30

中由白色階所代表之 50 米內等深線水下地形形態可發現：

(a) 在臺灣南部恆丁南灣海域，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。

(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。

2.9 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。

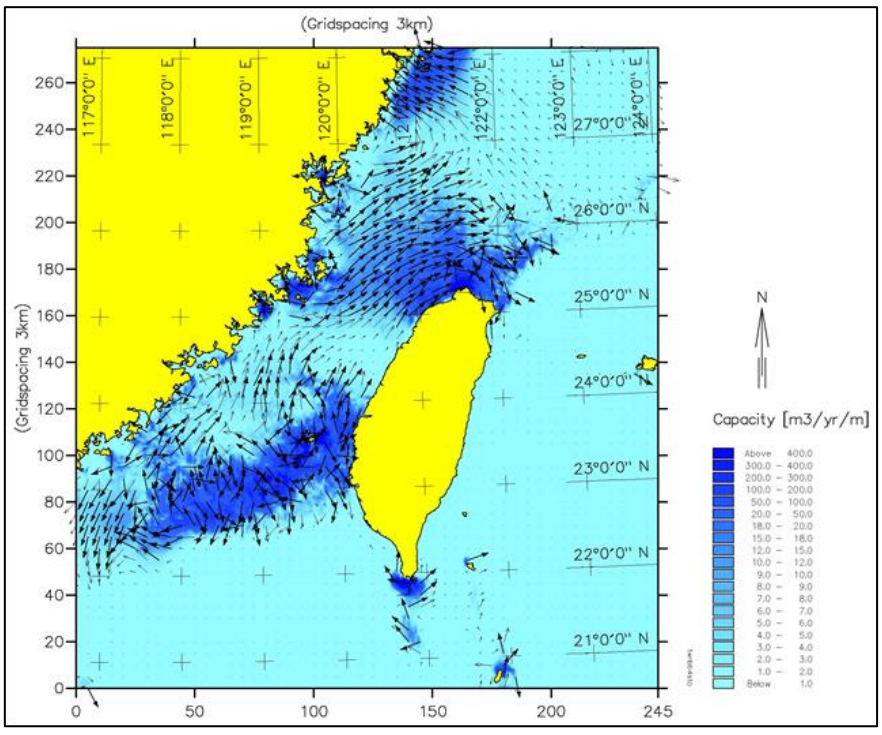


圖2.31 臺灣鄰近海域於含括月大小潮期間連續15日逐時潮流作用下綜合以輸沙潛勢(色階)及輸沙運移方向(箭矢)所表示之潮殘餘流流場

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

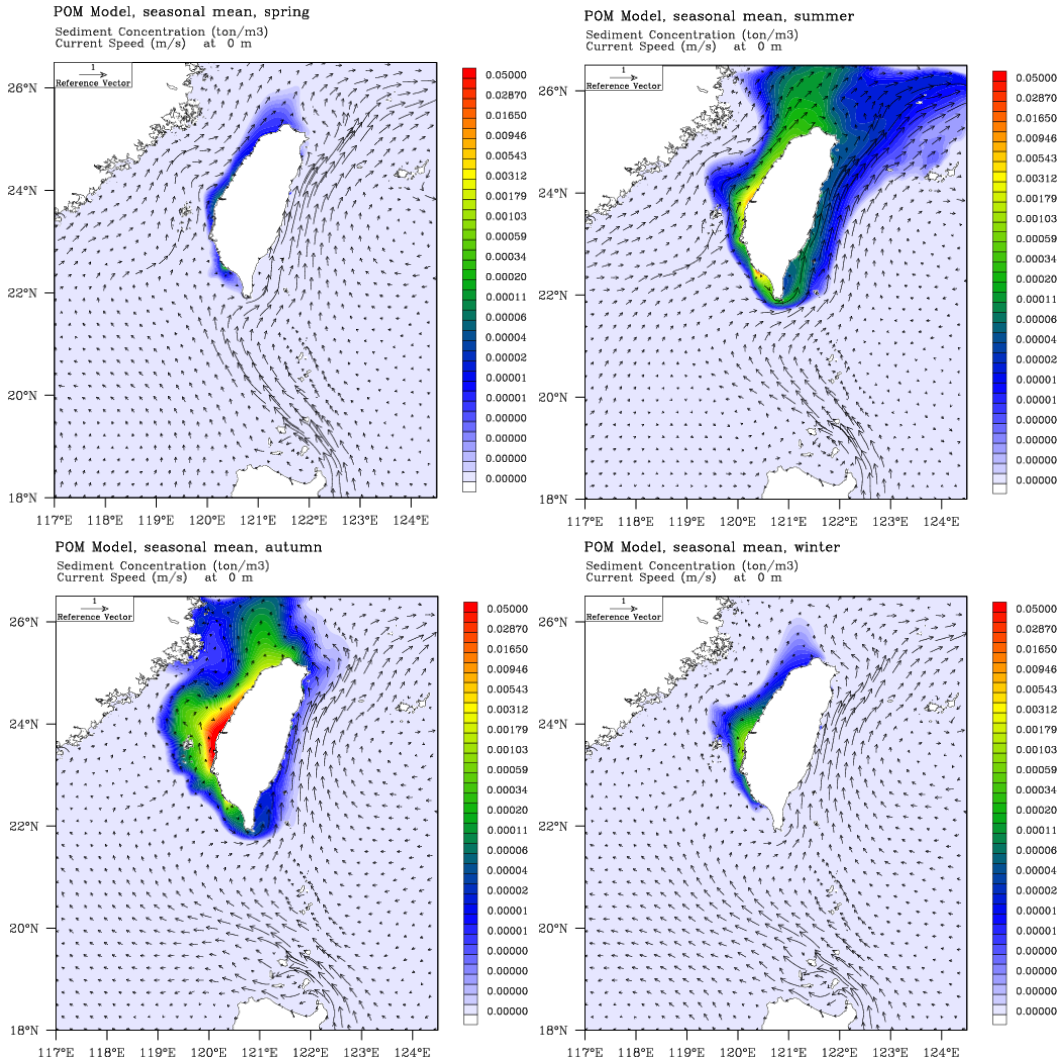
方向為由南往北，而在安平港近岸海域，潮殘餘流的方向則轉為由北往南；(c)在澎湖南側及澎湖水道海域，相對於臺灣西南部具微小輸沙潛勢的其他海域，本海域普遍具有極高的輸沙潛勢，潮殘餘流之沖蝕作用也極強，最明顯的沖蝕海域大多位於鄰近臺灣海峽南端的大陸棚架緣，只是，在大陸棚架緣南側，潮殘餘流之優勢沖蝕作用方向主要為南向，而在大陸棚架緣北側，潮殘餘流之優勢沖蝕作用方向反轉為北向，因此，澎湖海域主要的輸沙優勢方向為由南往北，至於「臺灣灘」的形成，可能係因為潮殘餘流北向輸沙潛勢降低，因而導致漂沙的自然沉積；(d)在澎湖水道海域東側的台南與嘉義一帶近岸海域，仔細觀察圖 2.31 可得，近岸海域的輸沙潛勢有由北往南遞減的趨勢，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，上左)、夏季(6-8 月，上右)、秋季(9-11 月，下左)、冬季(12 月-次年 2 月，下右)

圖2.32 臺灣海域海表層四季之季平均海流(箭矢)與輸沙潛勢(色階)

第三章 海岸之沖淤變遷與防護

3.1 臺灣環島海岸概況

臺灣，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)。海岸地區之範圍，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。

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

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)(內政部營建署全球資訊網，2021)。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)。

臺灣環島海岸，若依人為使用狀況分類，則約略可以分成(1)自然海岸；(2)半自然海岸；(3)人工海岸等 3 類。分類準則說明，如表 3.1 所示(經濟部水利署水利規劃分署，2023)；至於，臺灣各縣市所屬海岸線長度及其自然與人工海岸線之比例，摘錄內政部營建署全球資訊網(2021)之公告資訊，可得如表 3.2 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。

表 3.1 臺灣海岸自然度分類準則

類型名稱	分類準則說明
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。

資料來源：海岸概況_經濟部水利署水利規劃分署，https://www.wrap.gov.tw/cp.aspx?n=26274

表 3.2 臺灣各縣市 108 年度第 2 期自然及人工海岸線比例一覽表

項目 / 縣市	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(%)
	總海岸線長度(m)	自然海岸線長度(m)	人工海岸線長度(m)	自然海岸站海岸長度比例(%)				
	(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	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%

資料來源：內政部營建署全球資訊網，2021

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。

海岸為陸地與海洋的銜接地區，受波浪、潮汐、風力、河川輸沙等海灘營造力及海岸開發、利用、防護等影響，臺灣海岸之侵淤概況，摘錄「整體海岸管理計畫」(內政部，2017)綜整之調查統計資料，可得如表 3.3 所示，由表觀察可見，環島海岸及海灘，大多皆存在侵蝕現象。

表 3.3 臺灣海岸之侵淤概況

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

資料來源：經濟部水利署網站（http://www.wra.gov.tw/）；內政部(2017)，「整體海岸管理計畫」。
註：臺灣海岸長度總計 1,201 公里。

海岸為陸地與海洋的銜接地區，受波浪、潮汐、風力、河川輸沙等海灘營造力及海岸開發、利用、防護等影響，海岸因而會產生規模不等、尺度大小不一的沖淤動態變化。為維繫自然系統、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等，內政部營建署已於 104 年 2 月 4 日公告施行「海岸管理法」，據以推動海岸整合管理，促進海岸地區之永續發展。而為防治海岸災害，預防海水倒灌、國土流失，保護民眾生命財產安全之目的，海岸管理法第 14 條已將「海岸侵蝕」、「洪氾溢淹」、「暴潮溢淹」以及「地層下陷」列為海岸災害 (經濟部水利署水利規劃分署，2023，https://www.wrap.gov.tw/cp.aspx?n=26223)。此外，延續「整體海岸管理計畫」(內政部，2017)，內政部自 2020 年起，再以海岸資源保護、海岸災害防護、永續利用管理等三面向為主軸，推動整體海岸管理計畫通盤檢討作業。

3.2 海岸灘線之沖淤變遷

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。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(監察院，2000；郭，1988；郭，2001)。

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)。

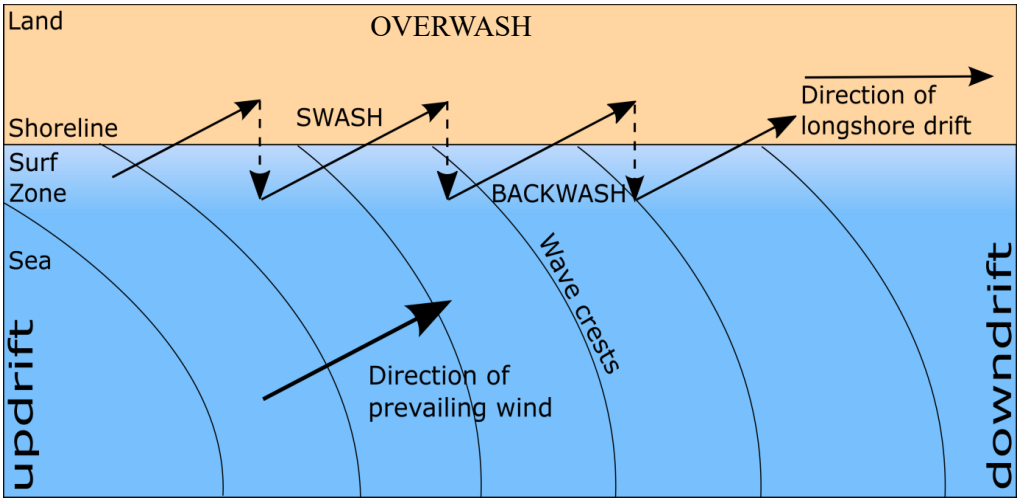
臺灣環島近岸港口航道淤塞及毗鄰港口海灘之沖淤變遷，依據波、潮、流及海岸防護與港口設施交互影響的因—果循環關係，並從控制體積與輸沙系統的觀點出發，粗略可研判其應屬中、小尺度混合之輸沙的課題，且經檢討臺灣環島近岸海域之海、氣、地象環境條件(參見第 2 章)後，可綜合歸納出，導致海灘沖淤變遷的關鍵機制，應包括后列三項：(1)具時空變動性之暴潮巨浪作用，含高、低潮位影響及季風與颱風波浪之經常衝擊；(2)海灘坡度與碎波型態的改變，含碎波、碎波帶、平衡海灘斷面之時、空變動；(3)海岸防護設施及港口外廓配置形態之影響，含突堤、離岸堤、防沙堤及人工岬頭等之整建。各別機制之相關說明與評估，分述如后。

3.2.1 暴潮與波浪之時空變異性侵襲

波浪的衝擊，伴隨暴潮位影響，如圖 3.2 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(swash zone)上衍生流速u ≈ $\sqrt{gH_b}$ (H_b為碎波波高、g為重力加速度)之強勁沖刷流(swashing currents)，造成上沖(runup swash)、下刷(rundown backwash)與越洗(overwash)作用，帶動海床質之懸浮運移及海灘沙質之漂流沉積，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 3.3 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)。此外，在強裂季風及颱風波

浪之高大波高與暴潮位複合侵襲下，大部分港口水深普偏在 -6 公尺以內之小規模漁港，由於港口大都皆位於碎波帶內，外加外廓防波堤配置影響，致使具有時間非定常性及空間不均勻性之強烈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，如圖 3.4 所示。

圖3.2 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.

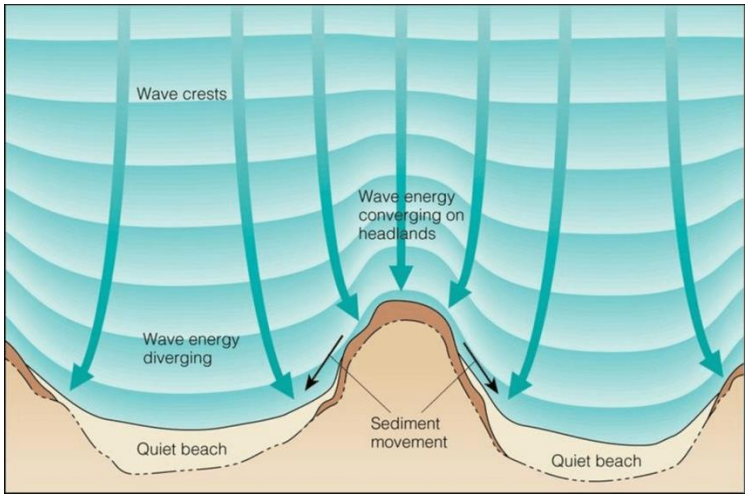
圖3.3 近岸波浪碎波衍生強勁沖刷流速而在海灘上造成上沖、下刷及越洗之輸沙作用

圖3.4 臺灣西部與東部海岸位於碎波帶內之近岸港口

3.2.2 海灘坡度與碎波型態的改變

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 3.5 及參見圖 3.2 所示。

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，如圖 3.5 及參見圖 3.2 所示，致使波向不僅會逐漸偏轉而以接近正向入射海灘，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(≈$\sqrt{gh}$，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。



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

圖3.5 波浪由深海傳播進入近岸淺灘受岬頭與海灣地形水深影響所造成岬頭波浪集中、海灣波浪分散之波浪淺化折射變形

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，由於經驗上，$H_b/h_b \approx 0.78$，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

$$\frac{H_b}{L_b} = 0.142 \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b} \quad \text{.....(3-1)}$$

$$\frac{H_b}{h_b} = 0.78 \quad \text{.....(3-2)}$$

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

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

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)：

$$\xi_o = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_o/L_o}} \quad \text{.....(3-4)}$$

$$\xi_b = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_b/L_o}} \quad \text{.....(3-5)}$$

碎波型態與碎波相似參數之關聯，如表 3.4 所示。

表 3.4 碎波型態之判別

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	$\xi_o > 3.3$	$\xi_b > 2.0$

資料來源：「海岸工程學」，郭一羽，2001。

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$\tan\beta = 1/10$；則依據式(3-4)估算碎波相似參數，可得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；而若海灘坡度$\tan\beta = 1/20$，強勁季風波浪侵襲之碎波波高H_b=1.0 公尺，則估計碎波沖刷流之衝擊流速($V \approx \sqrt{gH_b}$)約可達 3.13 m/s，可推動沿斜坡海灘移動之卵石，直徑約可達 11.6 公分，重量約 2.2 公斤，這與臺灣東部大武漁港及長濱漁港港嘴淤塞區大多存在有大粒徑卵石床質沈積之現象，甚相符合，如圖 3.6 所示。

圖3.6 臺東大武漁港淤塞港口航道(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 3.7 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。

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：

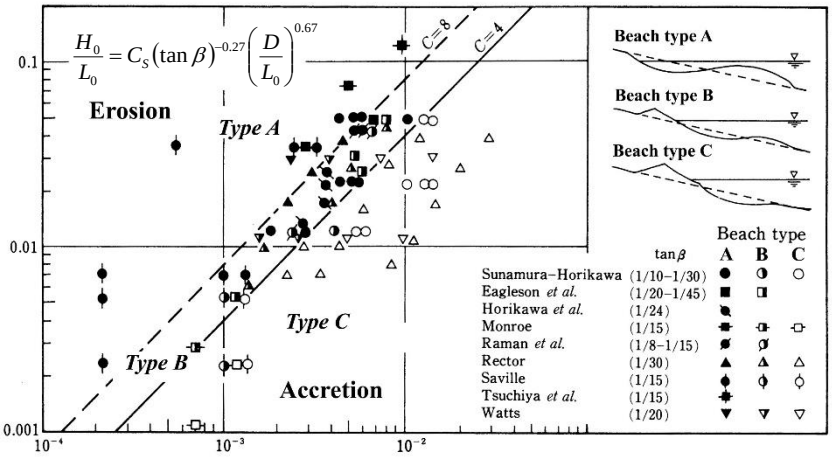
$$\tan\beta_f = 0.12\left(\frac{gT^2}{H_b}\frac{D}{H_b}\right)^{1/4} \quad \text{.....(3-6)}$$

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(3-6)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：

$$\left.\begin{aligned}
&\text{型一：}\quad \frac{H_0}{L_0} \geq 8(\tan\beta)^{-0.27}\left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.27} \\
&\text{型二：}\quad 4(\tan\beta)^{-0.27}\left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.67} \leq \frac{H_0}{L_0} \leq 8(\tan\beta)^{-0.27}\left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.67} \\
&\text{型三：}\quad \frac{H_0}{L_0} \leq 4(\tan\beta)^{-0.27}\left(\frac{D}{L_0}\right)^{0.67}
\end{aligned}\right\} \quad \text{.....(3-7)}$$



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

圖3.7 近岸波浪、海灘坡度、底床質及平衡海灘斷面型態分類

綜合觀察式(3-1)至式(3-7)之碎波指標、式(3-4)與式(3-5)之碎波型態判別式、以及式(3-6)與式(3-7)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 3.8 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。

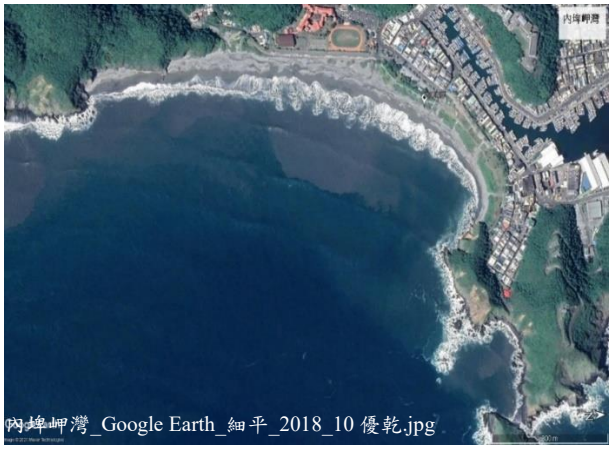


圖3.8 受時空變動性海灘坡度影響及波浪衝擊交互作用下的自然海灘

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，臺灣近岸海域的海流，由於量測點位大多位在碎波帶外，故實測近岸流速大小，參見圖 2.23，一般不及 1.0 m/s，最強不過 1.5 m/s，與因碎波衍生之強勁沖刷流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)相比較，普遍偏弱。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)。

3.2.3 海岸防護設施及近岸港口布建之影響

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 3.9 所示。

另外，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，在臺灣東部海岸，普遍亦皆具有側 L 形(↱、↰)之離岸堤及突堤複合形態，相關與港口毗鄰海灘之沖淤影響，如圖 3.10 及圖 3.11 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，相關與港口毗鄰海灘之沖淤影響，則如圖 3.12 至圖 3.17 所示。

綜合觀察圖 3.9 至圖 3.17 可見，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布建，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，近岸港口外廓防波堤配置與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)。

圖3.9 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施

圖3.9(續) 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施

圖3.9(續) 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施

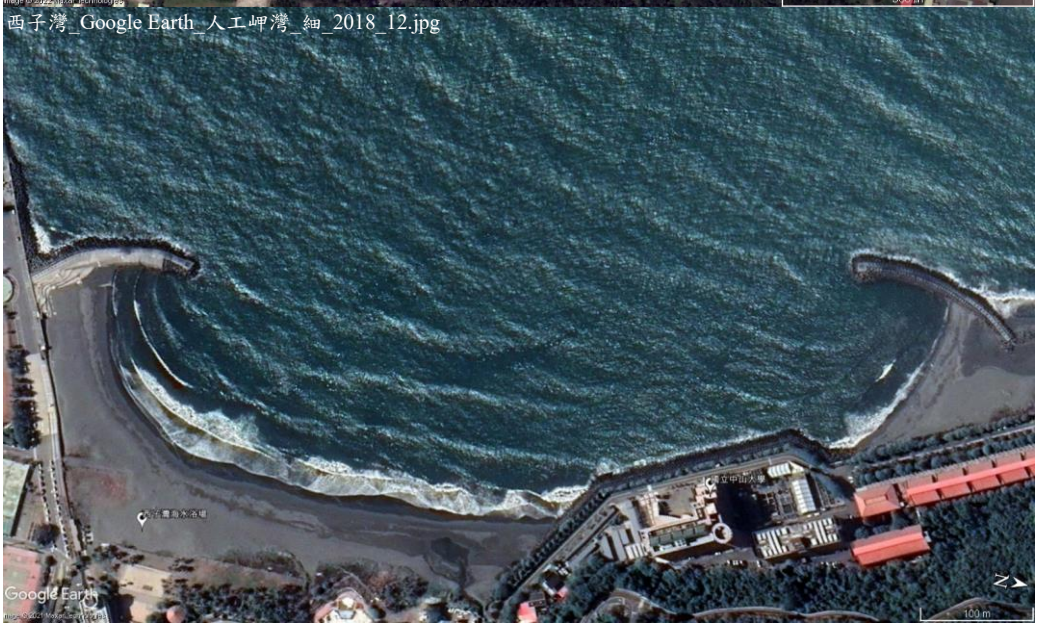


圖3.9(續) 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施

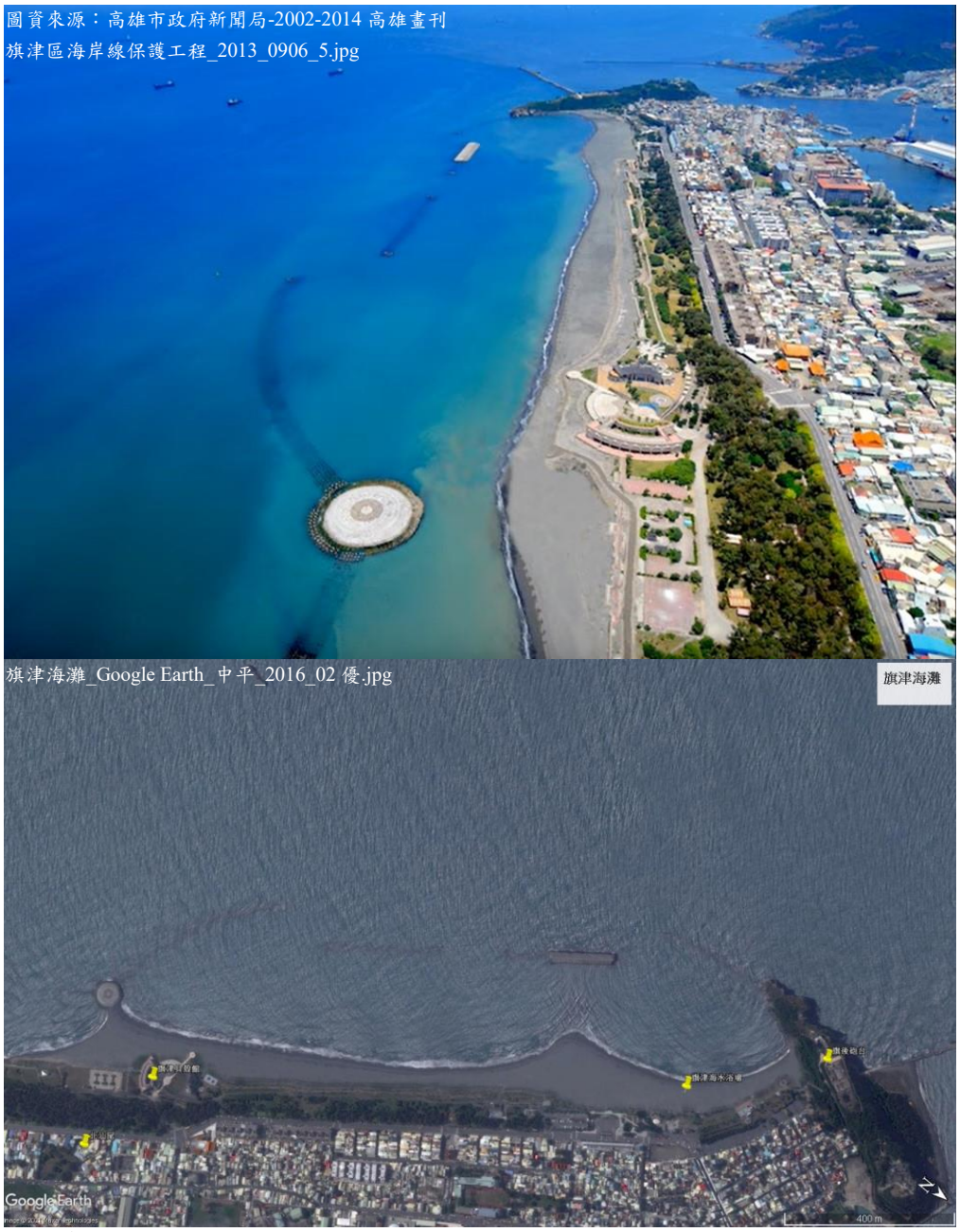


圖3.9(續) 臺灣環島海岸構建具突堤、離岸堤、海堤、護岸及人工岬灣形態之海岸防護設施

圖3.10 臺灣海岸具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置

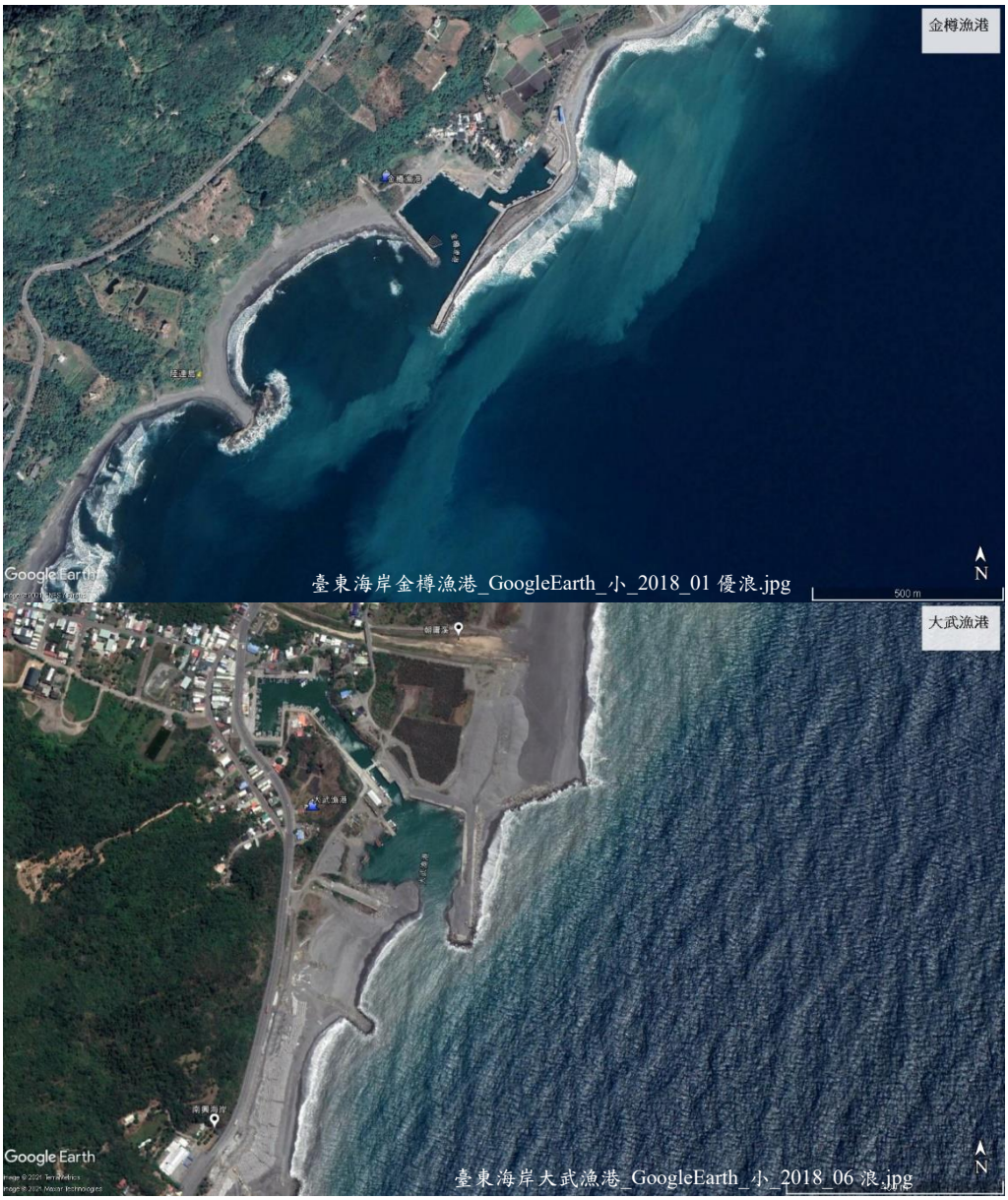


圖3.11 臺灣東部海岸具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置

圖3.12 臺灣西北部桃園海岸具雙突堤形態之外廓防波堤配置

圖3.13 臺灣西北部海岸具雙突堤形態之外廓防波堤配置

圖3.14 臺灣西北部苗栗海岸具單突堤形態之外廓防波堤配置

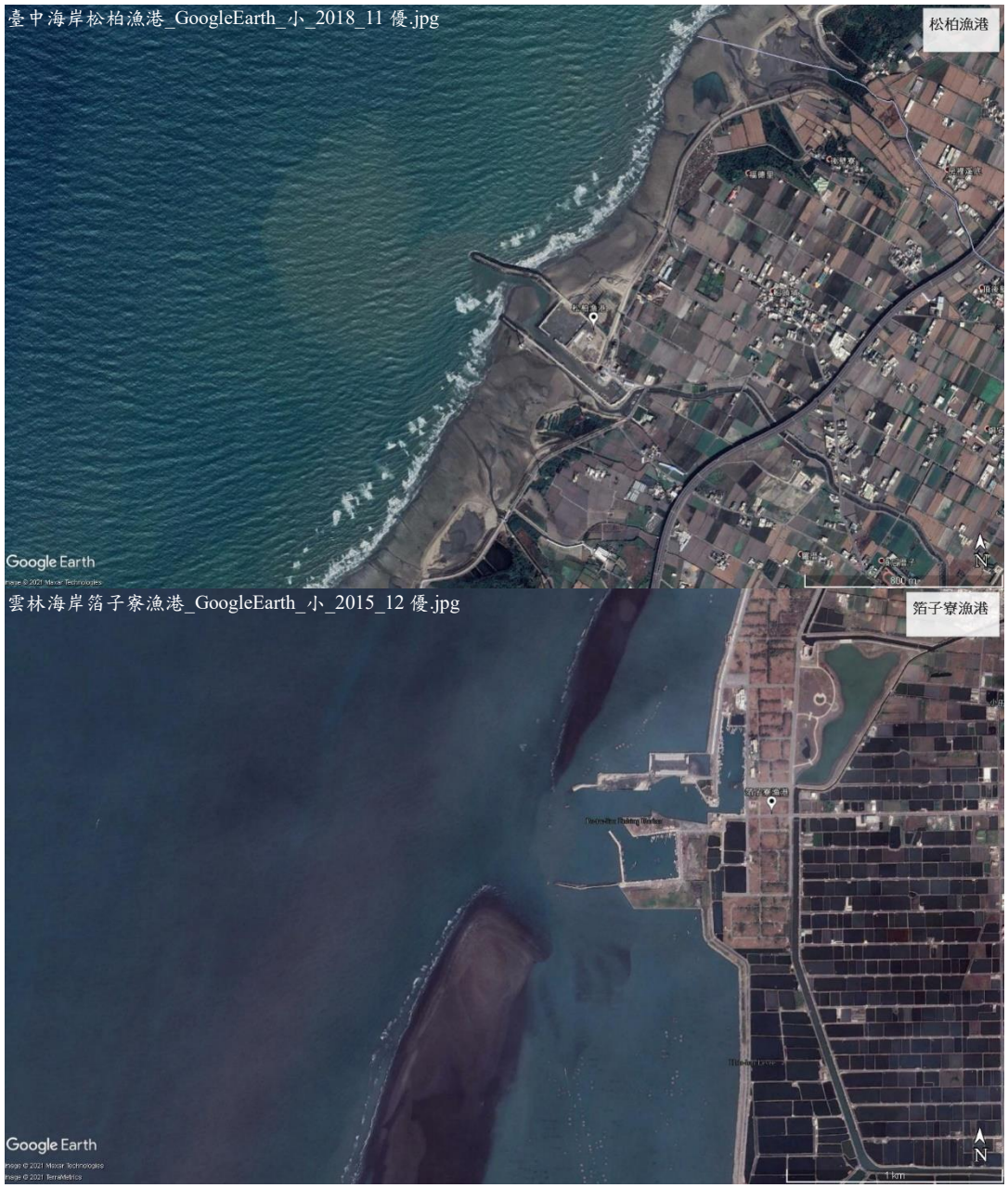


圖3.15 臺灣中西部海岸具雙突堤形態之外廓防波堤配置

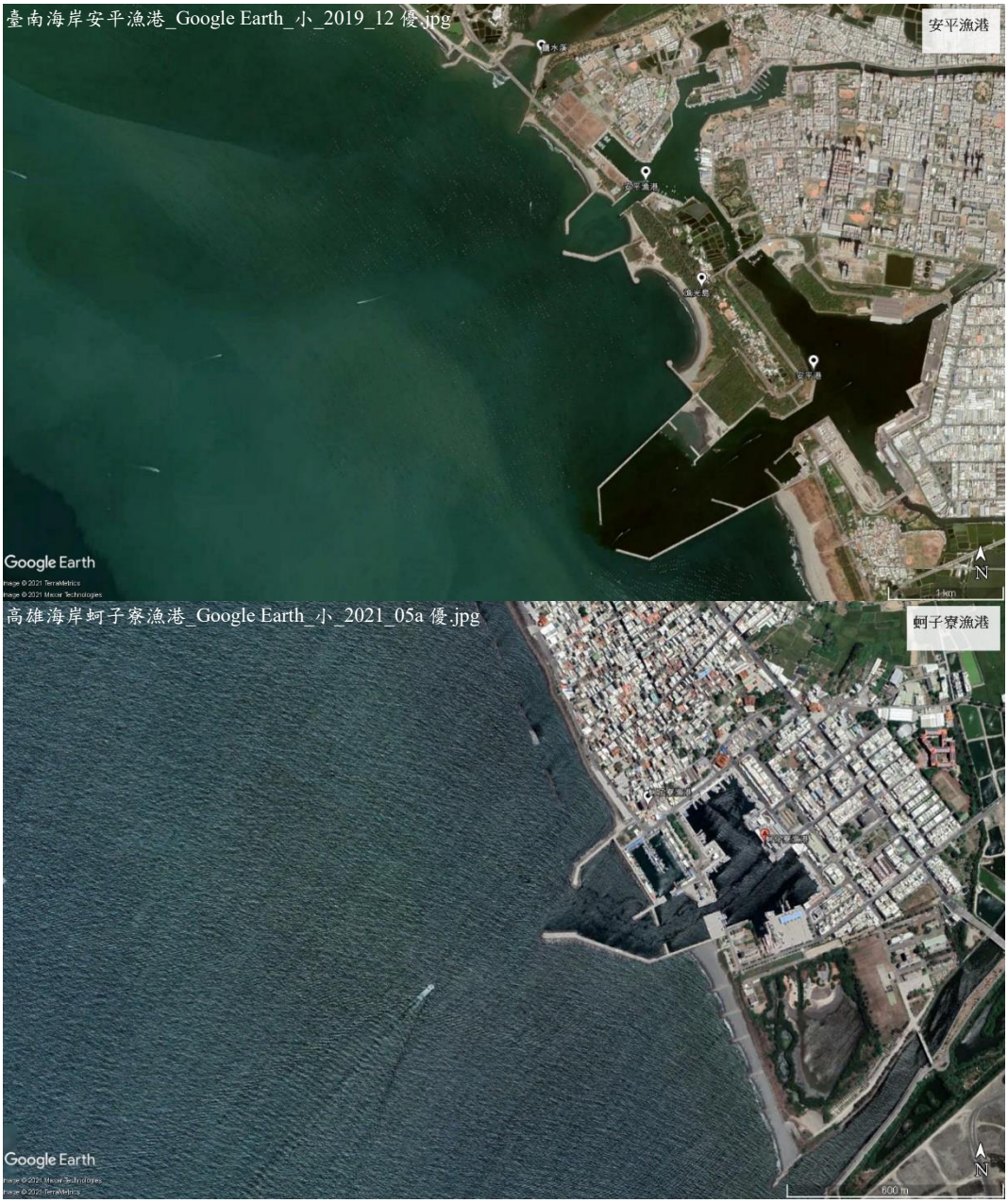
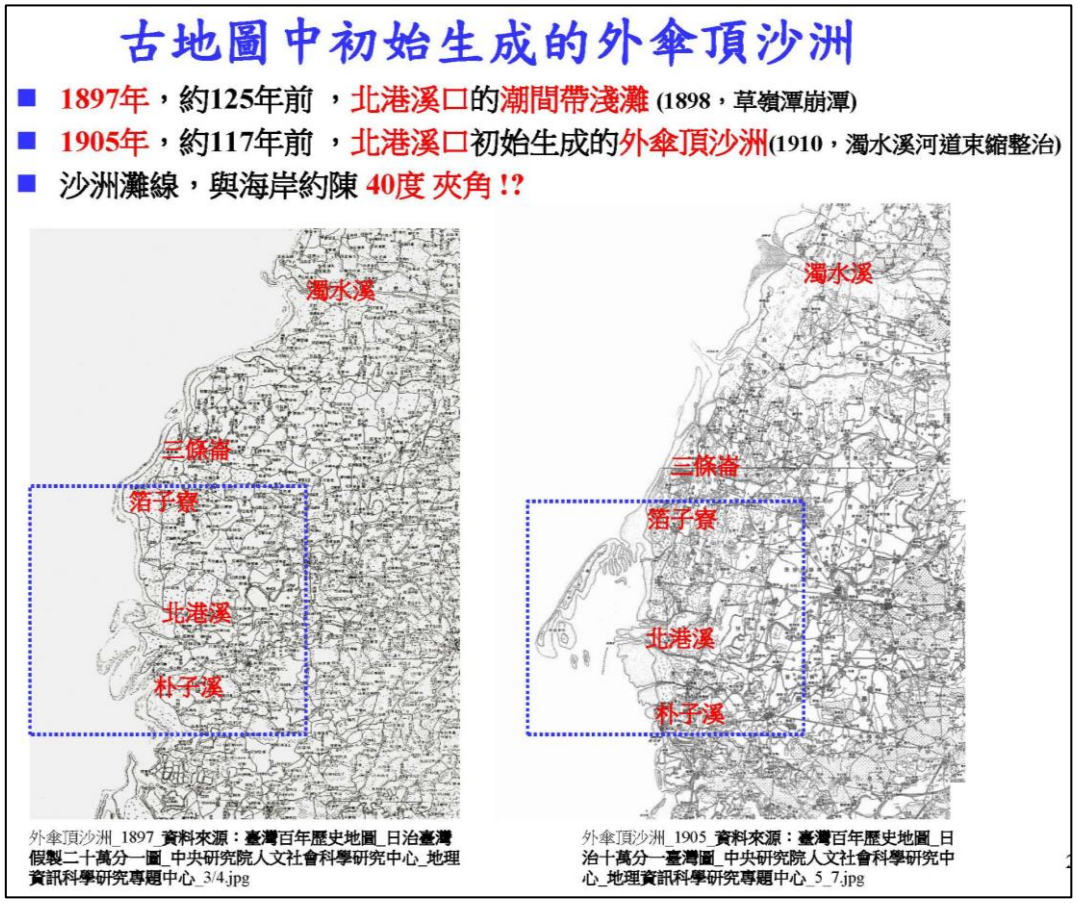


圖3.16 臺灣西南部海岸具雙突堤形態之外廓防波堤配置

圖3.17 臺灣西南部海岸具複合離岸堤與突堤形態之外廓防波堤配置

3.2.4 河川沙源供給變動

就大部分海岸而言，河川輸沙供給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或潛沒岬頭，並形成堆積海岸；惟若河川輸沙因上游水庫興建、山坡地水土保持與河川整治等因素，致使河川輸沙量減少，河口沙源供給降低，則毗鄰河口的海灘地形，將因卓越波浪之持續衝擊，優勢輸沙作用超越河川供沙之沉積，終至形成沖蝕海岸，如圖 3.18 及圖 3.19 所示。



資料來源：研討會簡報_外傘頂沙洲變遷與軟性突堤效應之關聯(莊、張，2022)；外傘頂沙洲_1897-1905_河川沙源供給與波浪沖刷. jpg

圖3.18 臺灣西部雲嘉海岸北港溪河川輸沙與波浪沖刷作用造成外傘頂沙洲之沖淤變遷(左：1897；右：1905)

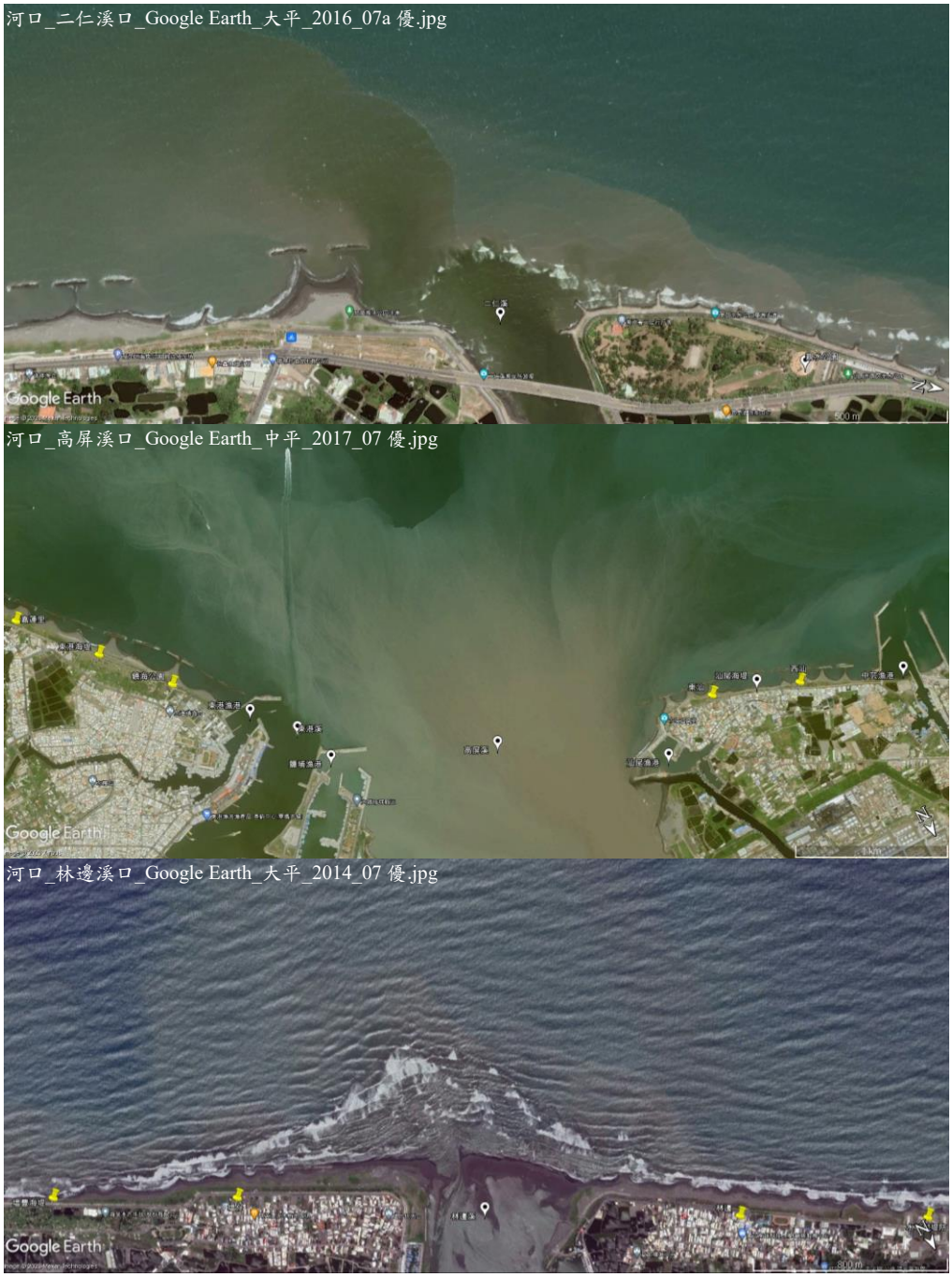


圖3.19 臺灣西南部高屏海岸河川輸沙與波浪沖刷作用造成與河口毗鄰海灘之沖淤變遷

3.2.5 基礎地盤沉陷

受暴潮巨浪的持續衝擊，海岸防護結構物之重量壓載、土壤液化、地下水超抽以及結構物損壞與崩坍，均會造成海灘地形與海岸防護設施高程之降低，並伴隨衍生碎波帶內移，碎波沖刷作用增強，波浪溯升(run-up)高度與越波(overtopping)現象提昇，海岸防護效能減弱，進而導致岸灘沖蝕加劇，如圖 3.20 所示，相關具體案例，可以位在臺灣西南部的屏東林邊及塭豐海岸為例，該區段海岸，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，終致衍生區域性甚大規模之海岸侵蝕，如圖 3.21 所示。

圖3.20 海岸防護設施沉陷、崩坍與損壞導致防護效能減弱與岸灘之沖蝕加劇

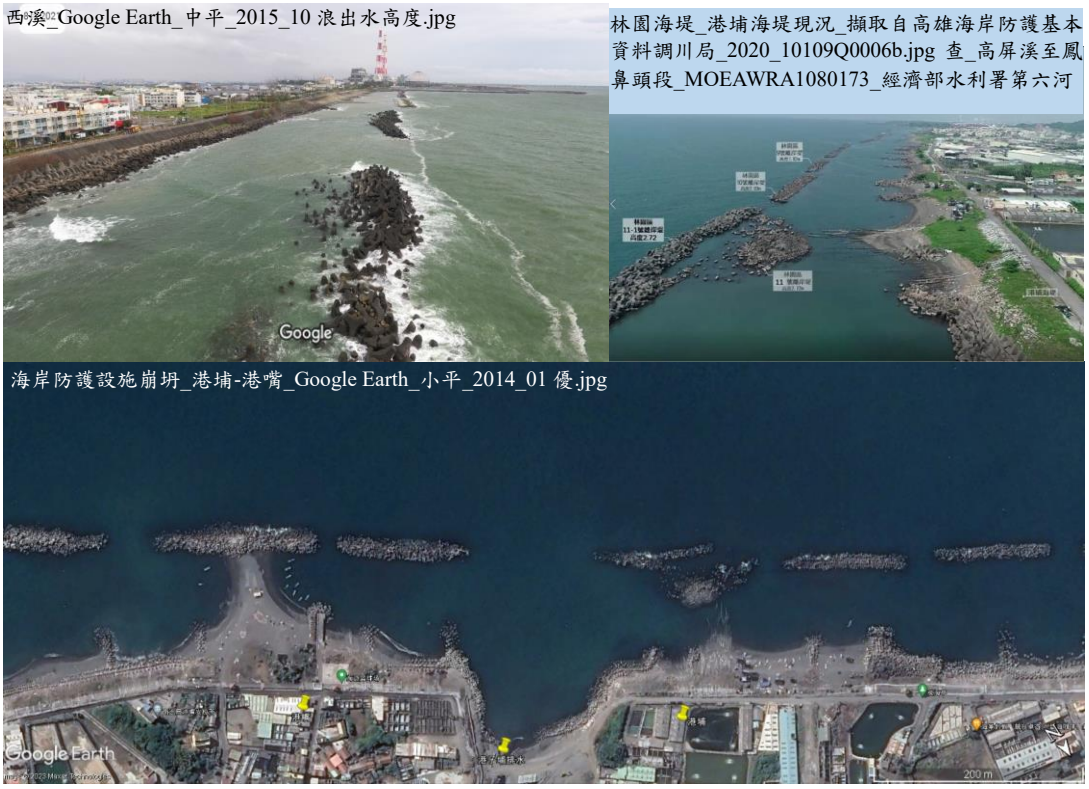


圖3.20(續) 海岸防護設施沉陷、崩坍與損壞導致防護效能減弱與岸灘之沖蝕加劇

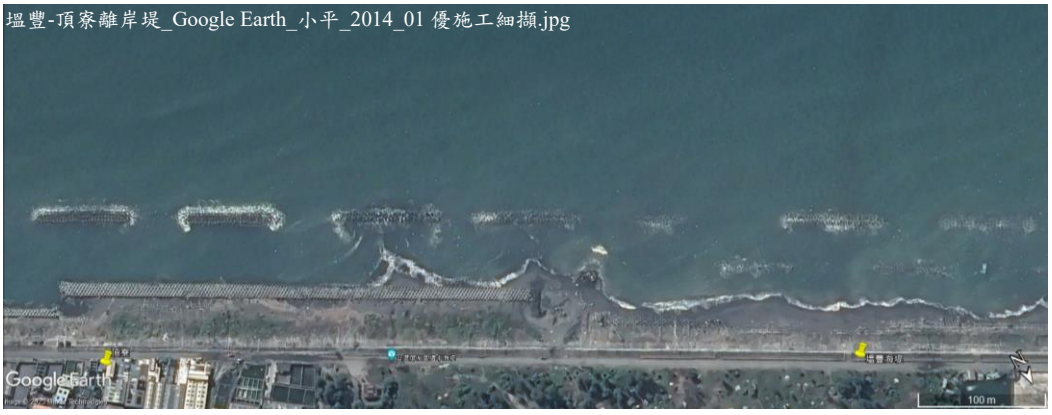


圖3.21 屏東塭豐海岸海岸因地下水超抽引起地盤下陷所衍生區域性之海岸沖蝕

3.2.6 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(黃 等，2010；莊 等，2014；郭 等，2017)。當平均海平面上升時，相對地，會促使海岸線位置向內陸退縮、遷移，並強化暴潮巨浪對離岸沙洲與岸灘之衝擊作用。因此，平均海平面上升，與地盤下陷產生之衝擊影響類似，亦將會導致岸灘之沖蝕變遷。

3.3 海岸防護設施形態與效應

海岸防護設施的布建配置，不僅會阻擋、干擾波浪之傳播特性，更會造成碎波型態改變，影響碎波沖刷流在海灘沖刷帶上之作用強度，改變岸灘的地形水深，因此，海岸防護設施的布建與配置，在實際施設前，應詳實調查並掌握造成岸灘沖蝕之原因；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，俾能調適暴潮巨浪衝擊環境的變遷(郭，1988；莊，2020~2022)。

面對暴潮巨浪的持續衝擊，一般岸灘沖蝕之防護工法，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)等等。

在臺灣環島海岸，普遍可見的海岸防護設施布建與配置狀況，參見圖 3.9 至圖 3.17 所示，由圖綜合觀察、分析、歸納可見，海岸防護設施之基本形態，主要可區分為突堤、離岸堤及人工岬灣等三種，各形態相關的功能與對毗鄰海灘之沖淤效應與影響，分別列述並闡釋如后。

3.3.1 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 3.22 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。

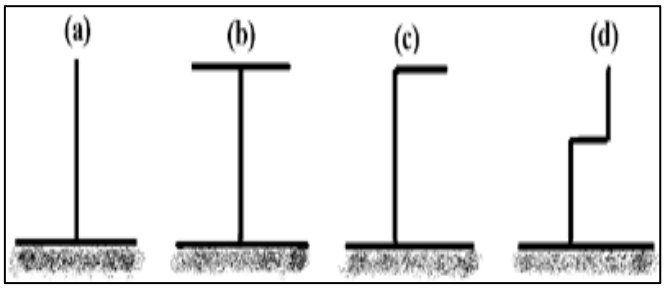
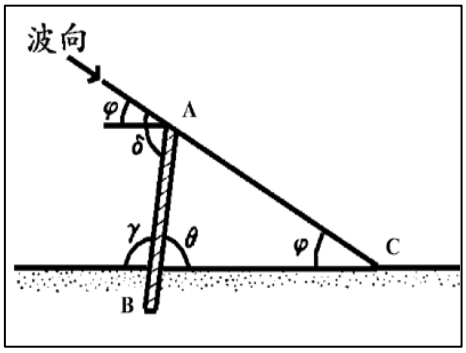


圖3.22 突堤的平面型式(a)I型、(b)T型、(c)倒L型、(d)側Z型

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 3.23，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，其係以水中長度作衡量，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。而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作調整配合，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)。



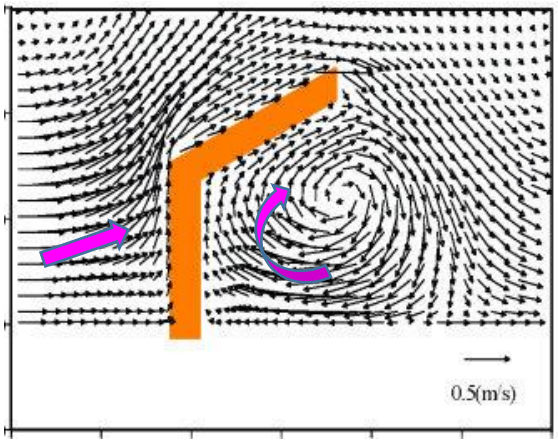
資料來源：「海岸工程學」，郭一羽，2001。

圖3.23 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流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)之強勁沖刷流(莊，2020~2022)，流速強弱存在差異，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，詳細與突堤毗鄰水域的流場與相關地形灘線的變遷(Kuroiwa et al., 2010)，分別如圖 3.24 及圖 3.25 所示。

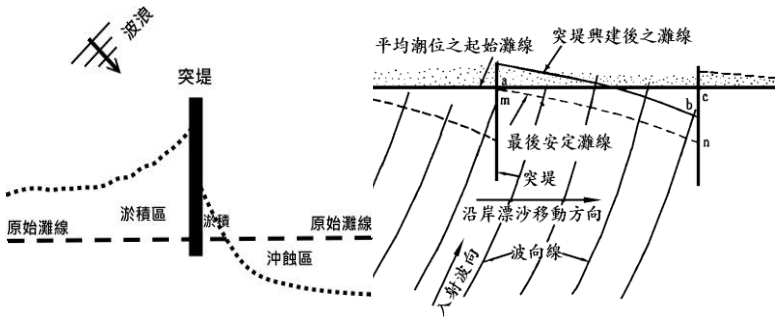
在一般的海岸，實際單突堤與突堤群的配置，如圖 3.26 及圖 3.27 所示。特別值得一提的是，在臺灣西部海岸之近岸港口(漁港)中，諸多港口之外廓防波堤配置，為防範季風與颱風波浪的衝擊，實際皆具有單突堤或雙突堤之形態，參見圖 3.12 至圖 3.16 所示，因此，在具時、空變動性之卓越波浪衝擊作用下，近岸港口「突堤效應」之擴展，特別是

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。



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

圖3.24 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



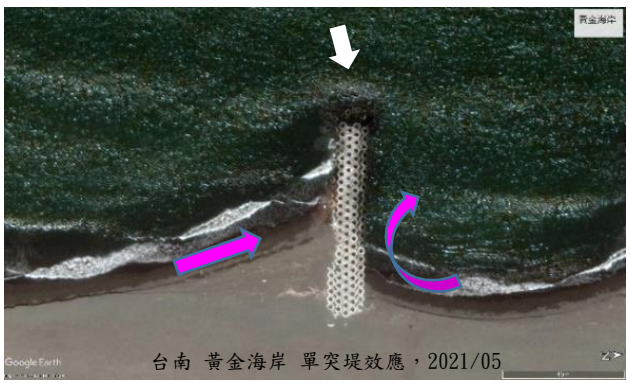


圖3.25 在近岸海灘設置突堤後因受波浪碎波之沖刷流與沖刷環流作用所衍生迎向波浪上游側漂沙淤積而下游側沖蝕之「突堤效應」與對應之地形灘線變遷

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 3.28 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。

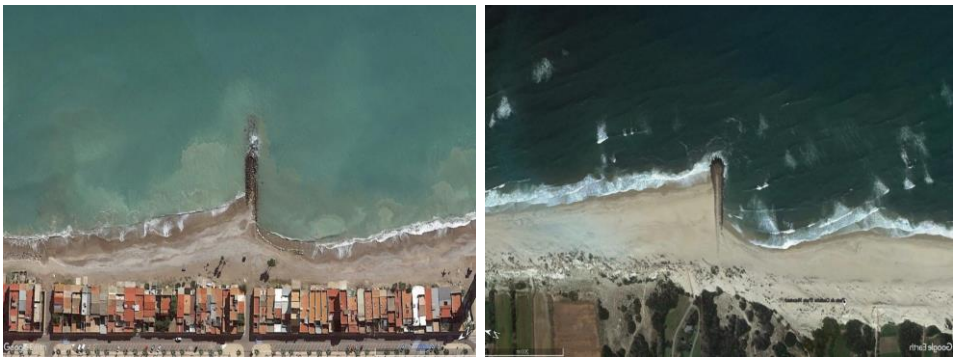


圖3.26 在近岸海灘設置突堤後因「突堤效應」造成堤前迎向波浪上游側之漂沙淤積與堤後下游側遮蔽區內之沖蝕

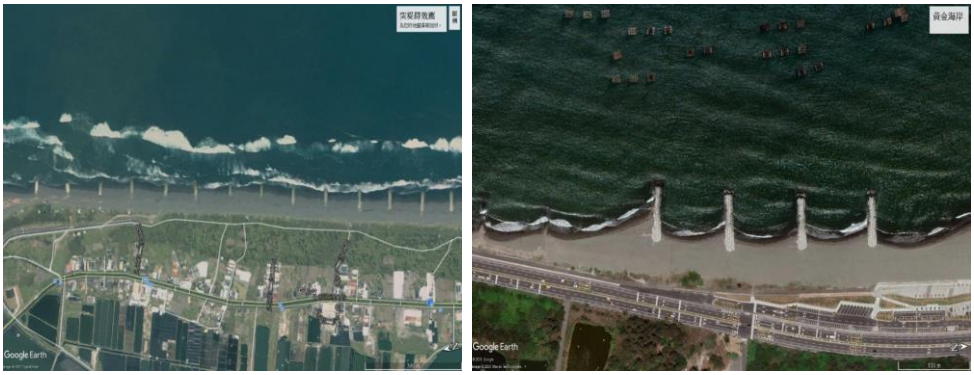


圖3.27 在近岸海灘設置突堤群後因「突堤效應」造成堤前迎向波浪上游側之漂沙淤積與堤後下游側遮蔽區內之沖蝕

圖3.28 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

3.3.2 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 3.29 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 3.5，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 3.29 所示。

圖3.29 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 3.30 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(3-4)與式(3-5)，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。

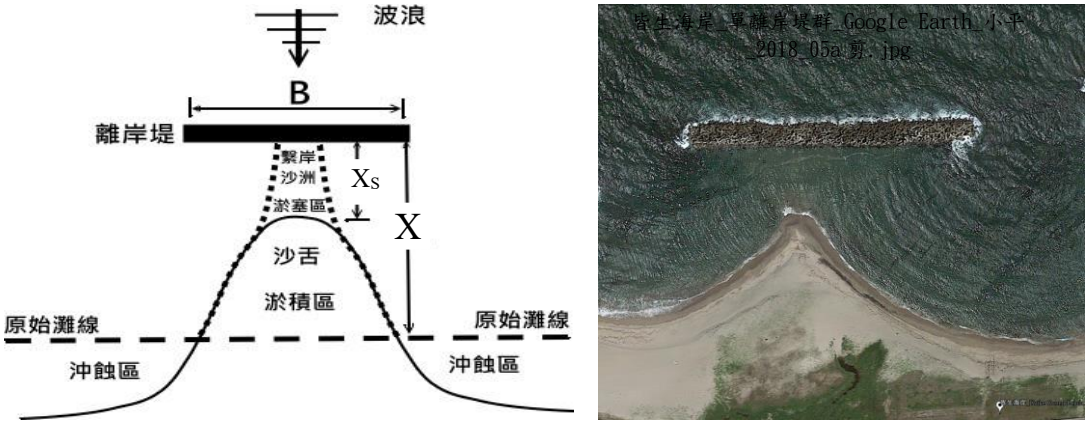


圖3.30 近岸海灘設置離岸堤之配置定義及於堤後因波浪直接沖刷作用所造成海灘之沖淤重塑形態

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，其初始及海灘變化達穩定狀態後之波場，如圖 3.31 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 3.32 及圖 3.33 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 3.34 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 3.35 所示。

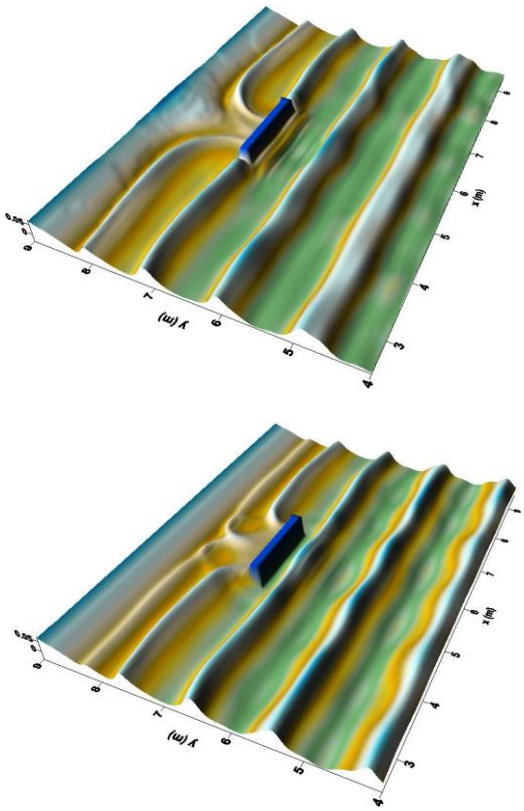
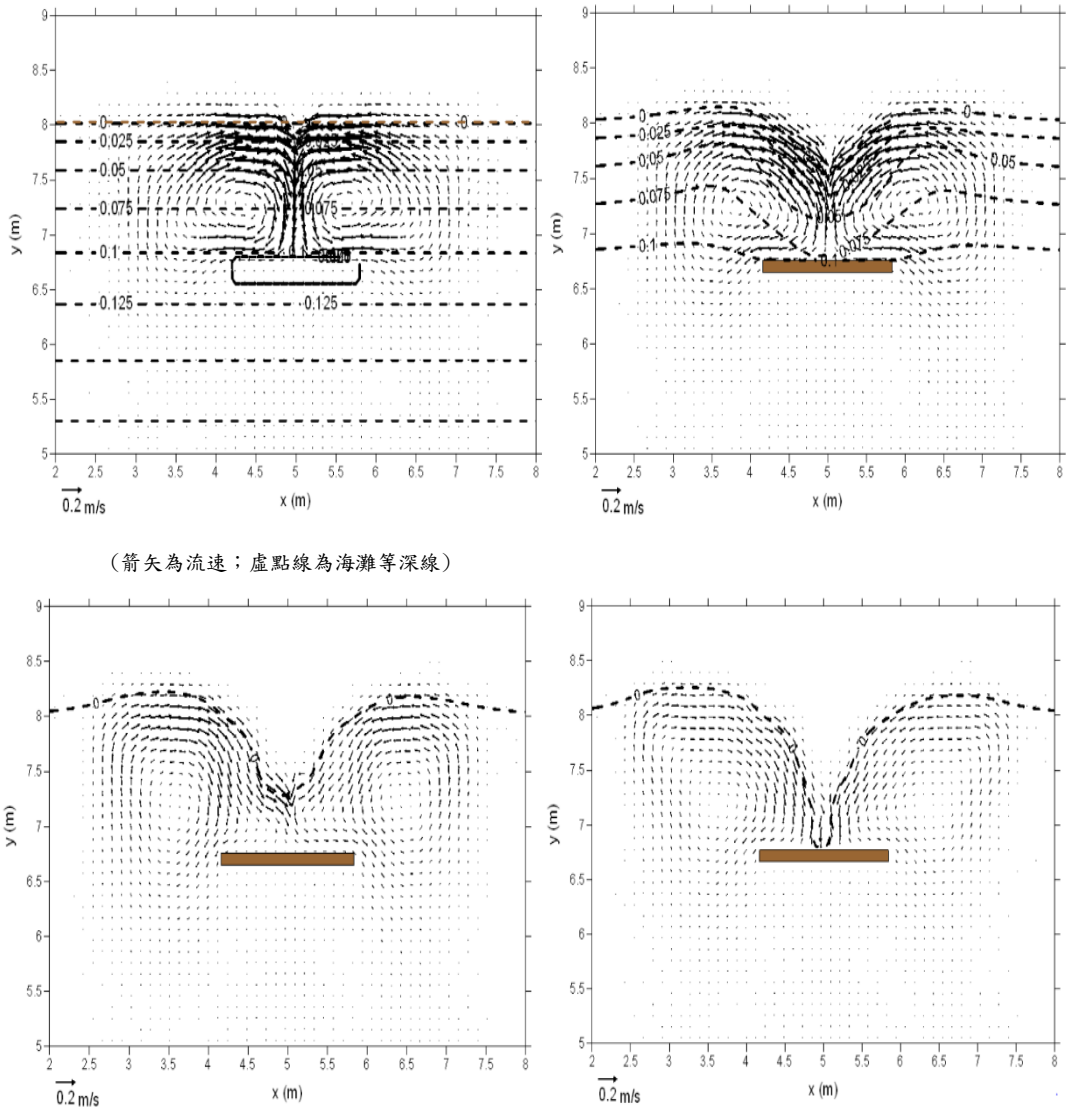
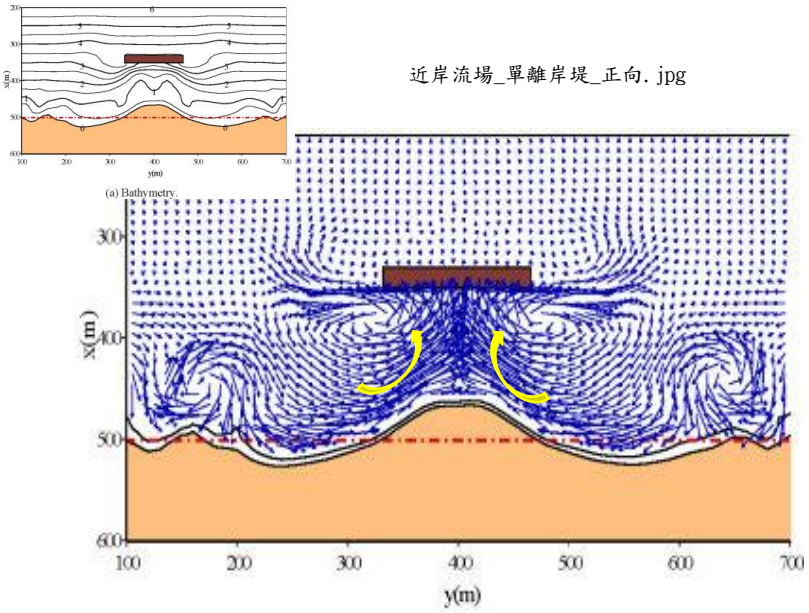


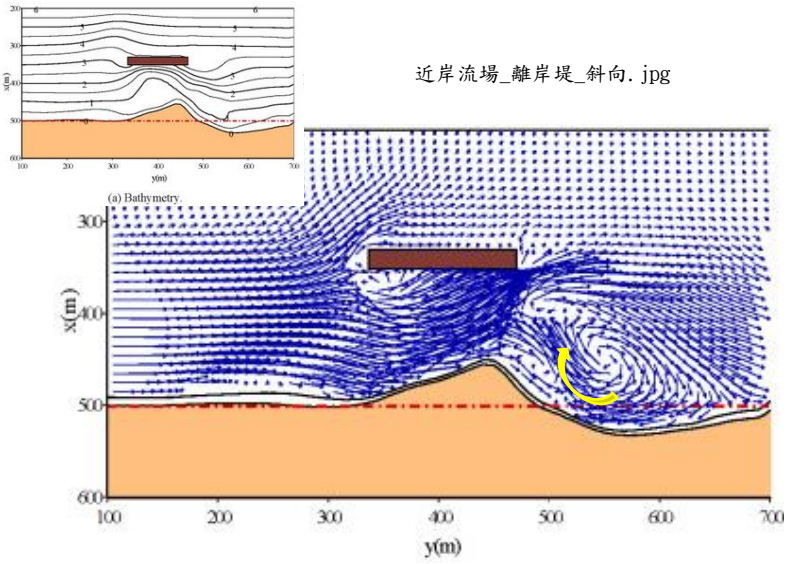
圖3.31 均勻坡度海灘上之離岸堤受波浪正向入射之初始(上)及海灘變化達穩定狀態後(下)之波場



（箭矢為流速；虛點線為海灘等深線）

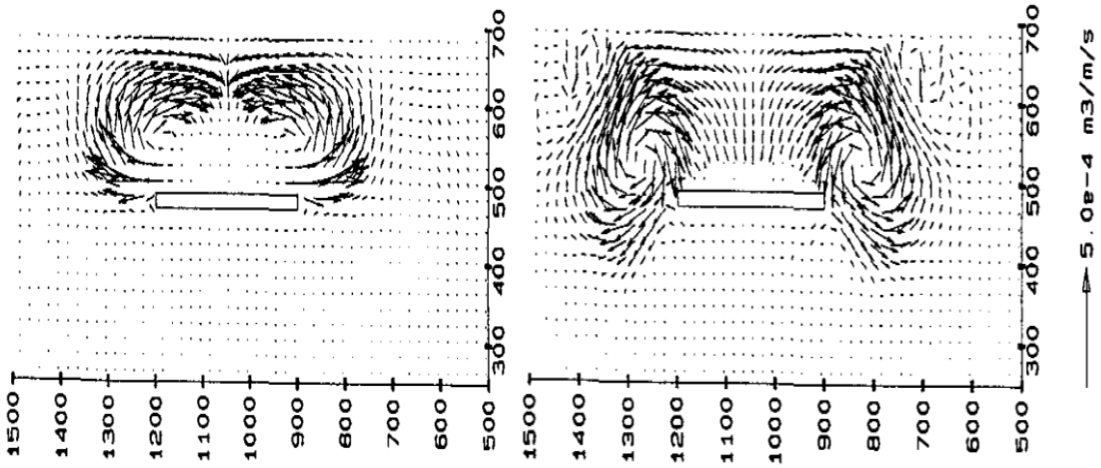
圖3.32 均勻坡度海灘上之離岸堤受波浪正向入射之初始海灘變化(上左)、初期(上右)、中期(下左)及達穩定後(下右)之流場與灘線





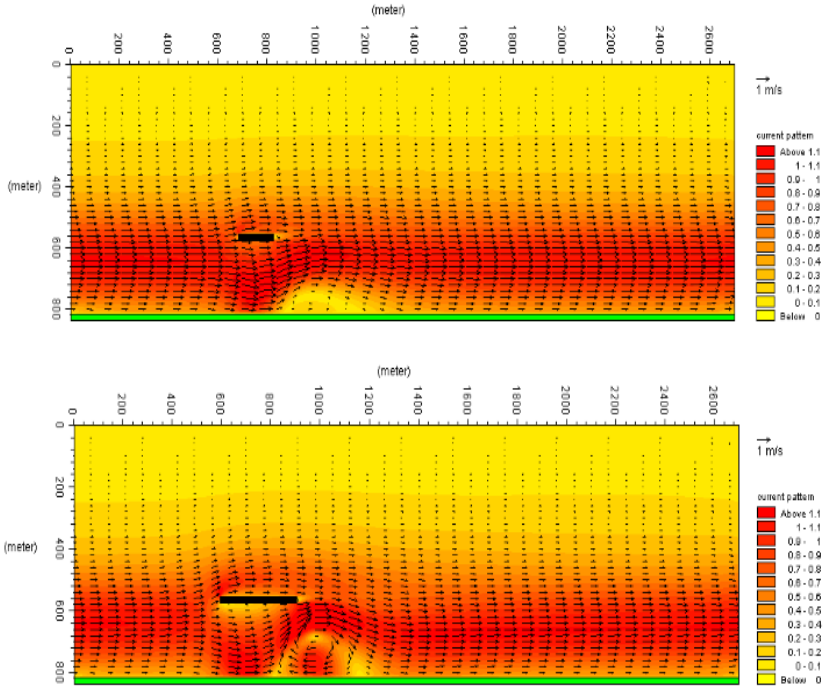
圖資來源：Kuroiwa et al. (2010) Predictive model for wave-induced currents and 3D beach evolution based on FAVOR Method.

圖3.33 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3.34 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

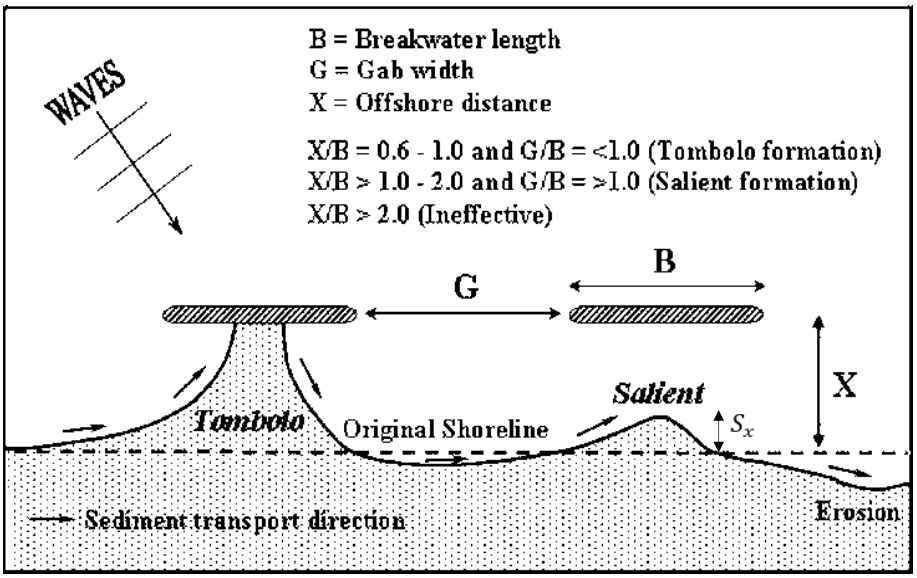


資料摘錄自：DHI (2017) Shoreline management guideline.

圖3.35 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

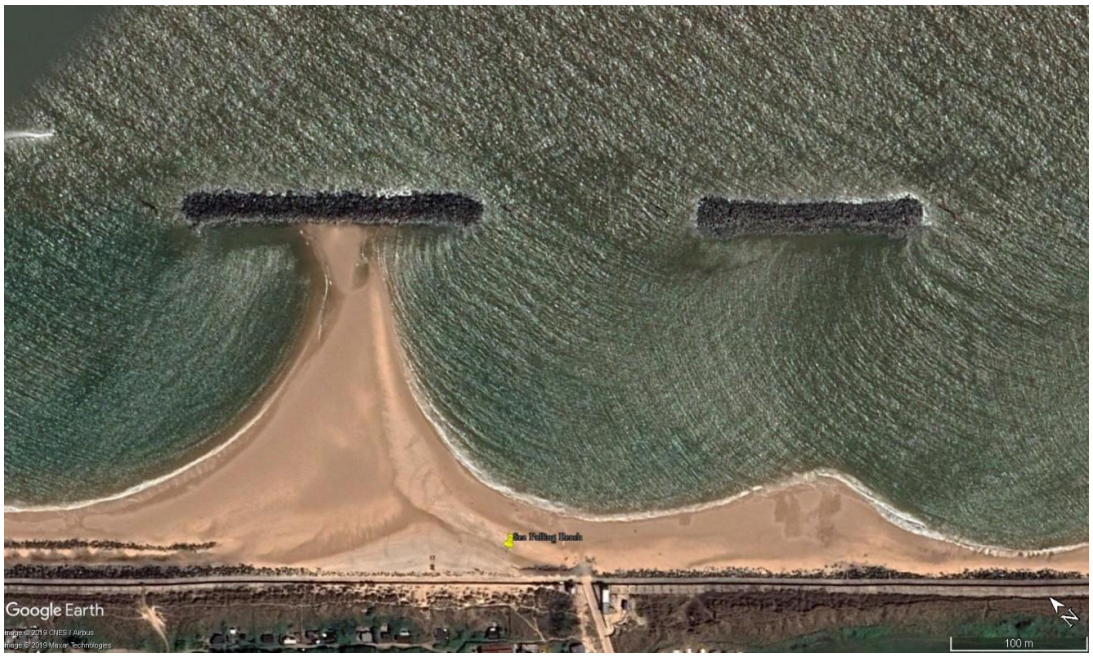
對於離岸堤群，相關堤長(B)、堤間距(G)、離岸距(X)、沙舌長度(S_x)等幾何尺寸，定義如圖 3.36 所示，部分國外及國內實際建置案例之配置，分別如圖 3.37 至圖 3.41 所示。由圖觀察可見，對於相同海岸地區之離岸堤群，僅管配置情況與面對之海氣象條件相近似，但可能因堤前局部地形水深與海灘坡度等地象條件差異，以及各別堤體透水性與出水高度之不同，因此，堤後灘線重塑形態之發展，亦各不相同，這現象說明，影響堤後灘線演變之因素，多且複雜，致使現今可依循以準確預測堤後灘線重塑形態之規劃設計準則，尚普遍缺乏，惟透過現場實際建置案例之調查分析，由經驗方法可掌握，控制離岸堤群背後灘線形態發展及海灘地形演變之影響因素，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

$$S_x/X = f\left(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots\right) \quad \text{.....(3-8)}$$

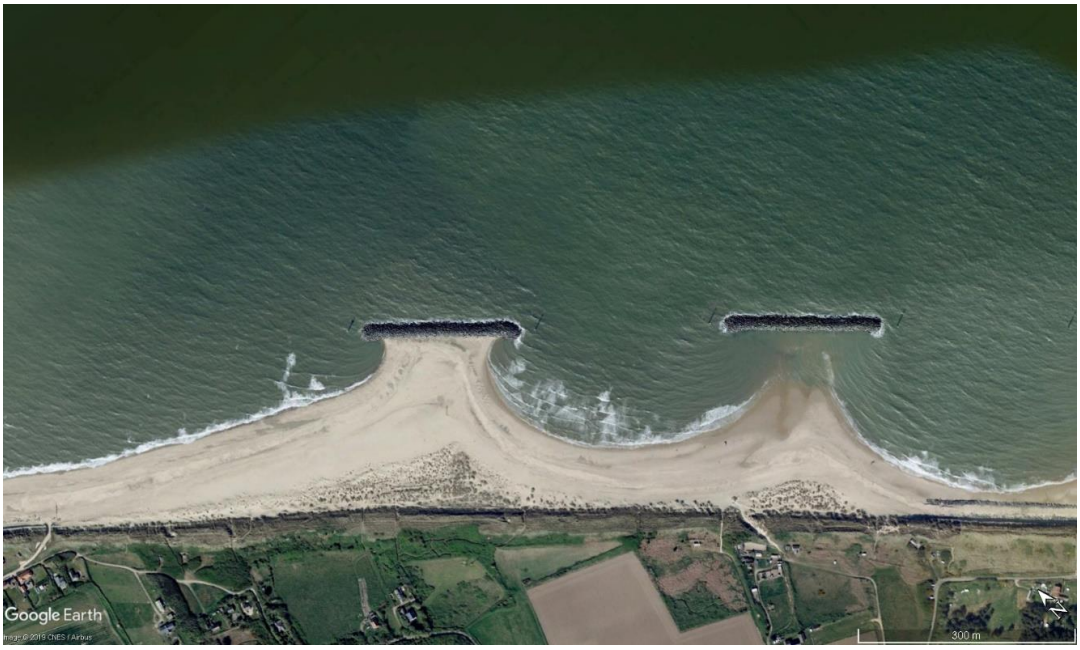


資料摘錄自：Frihy et al. (2003) Environmental impacts of Baltim and Ras El Bar shore-parallel breakwater systems on the Nile delta littoral zone, Egypt.

圖3.36 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

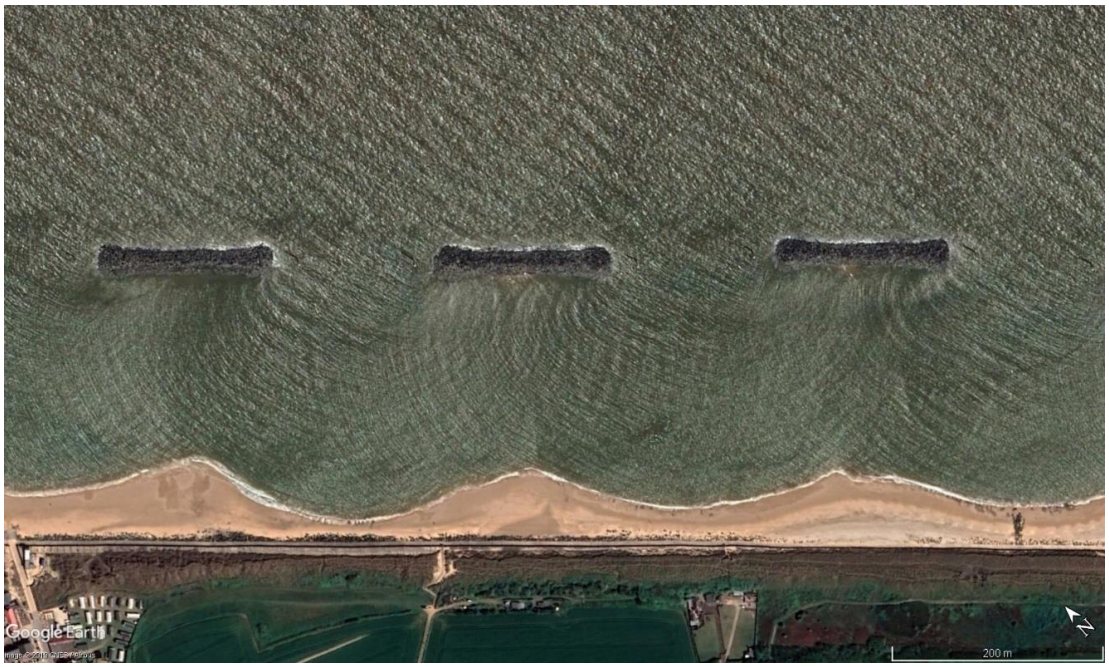


離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小_二堤沙洲沙舌 20190515.jpg

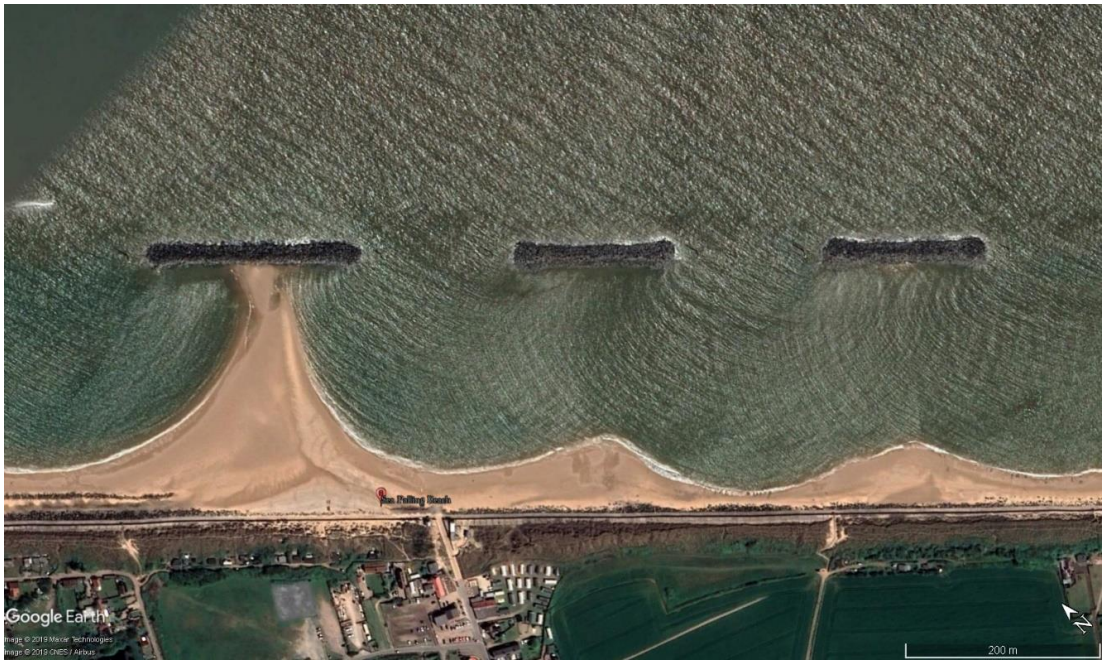


離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小_雙沙舌 20090702.jpg

圖3.37 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

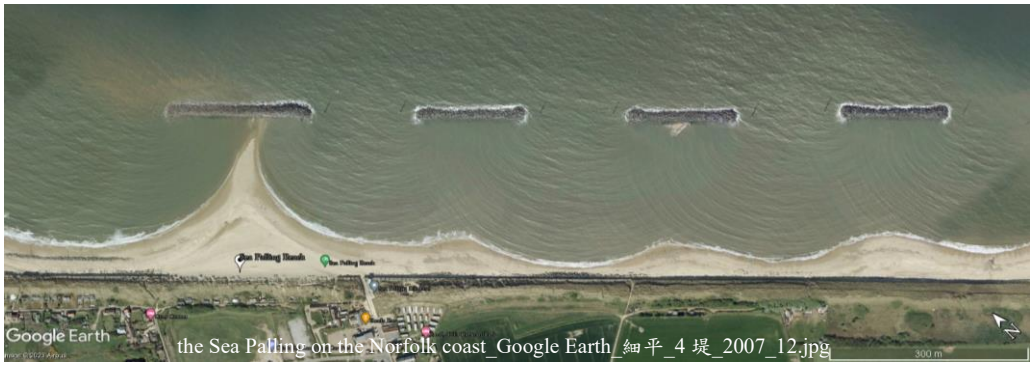


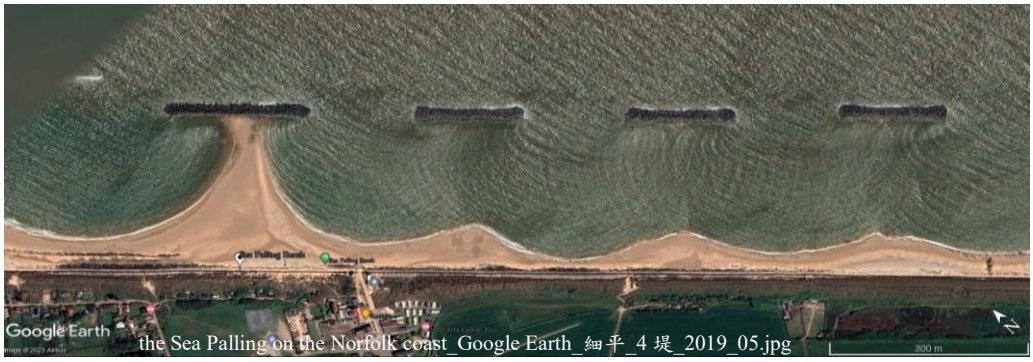
離岸堤系統_the Sea Palling on the Norfolk coast,UK_平細小_三堤_沙舌 20190515.jpg



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

圖3.37(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





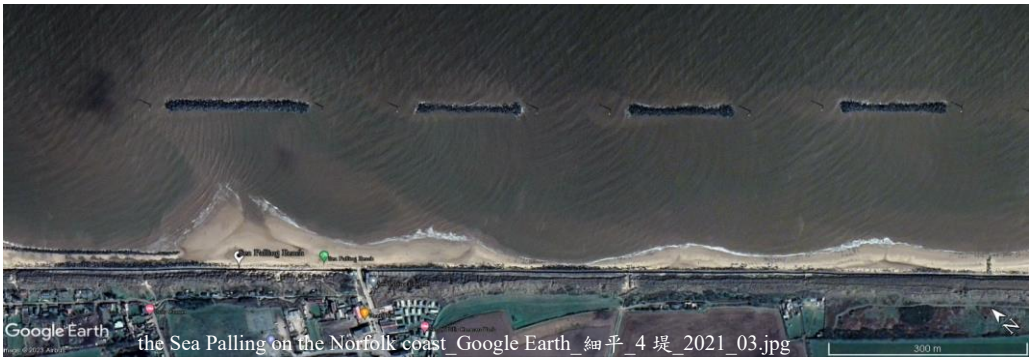


圖3.37(續) 英國東部Norfolk郡Sea Palling海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

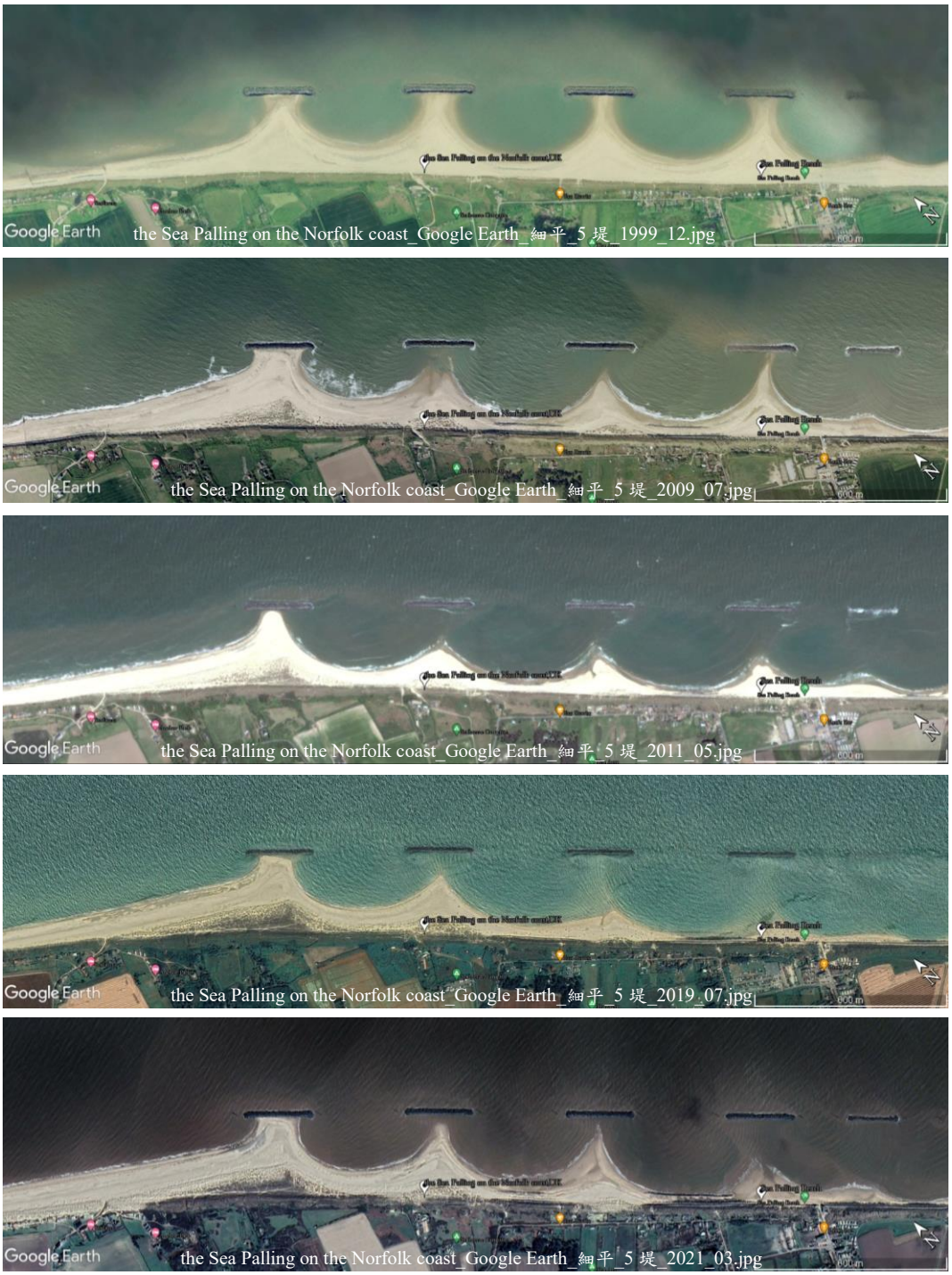


圖3.37(續) 英國東部Norfolk郡Sea Palling海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

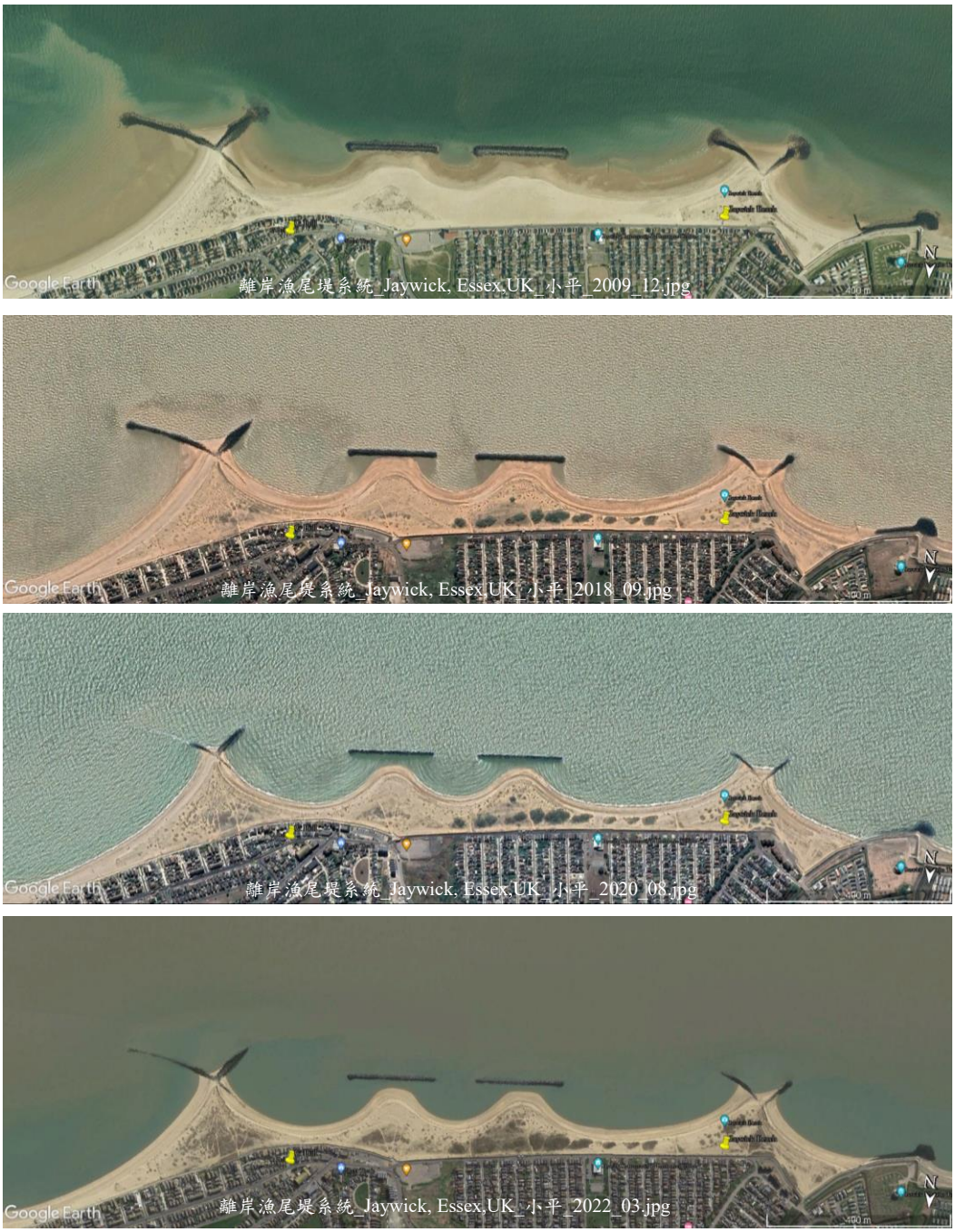
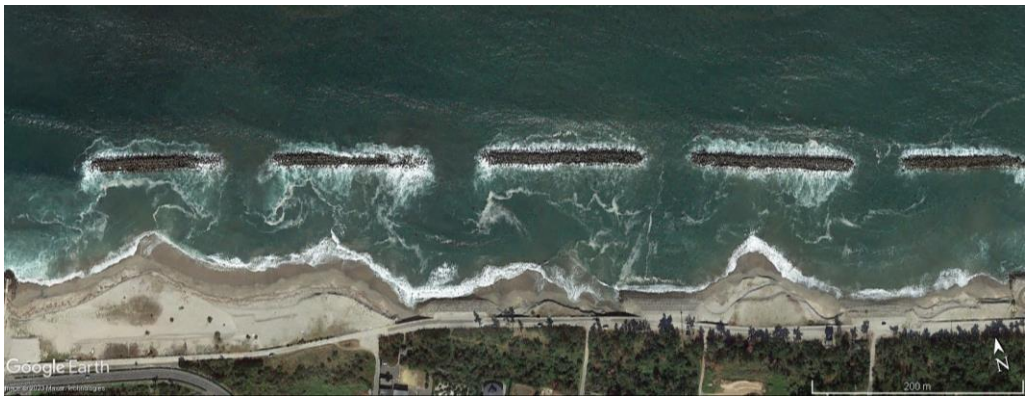


圖3.38 英國東南部Essex郡Jaywick海灘上透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

日本皆生海岸_北側_Google Earth_小平_2005_04 浪繞射波.jpg

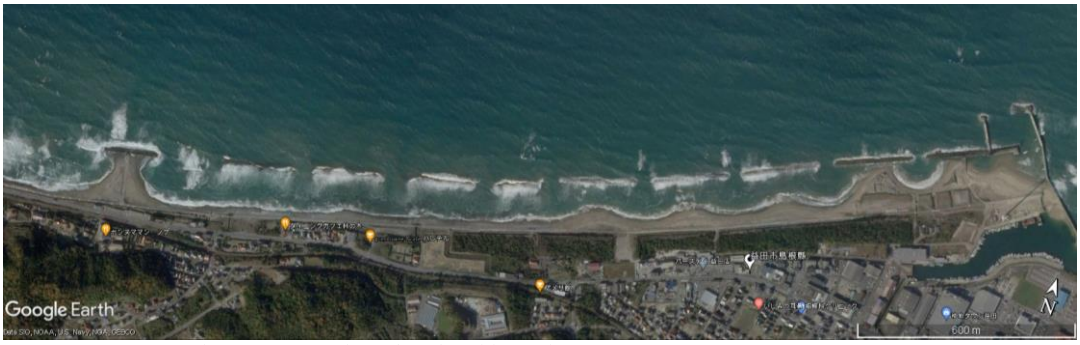


日本皆生海岸_北側_Google Earth_小平_2014_10 浪透射波.jpg

日本皆生海岸_北側_Google Earth_小平_2018_05 繞射波.jpg

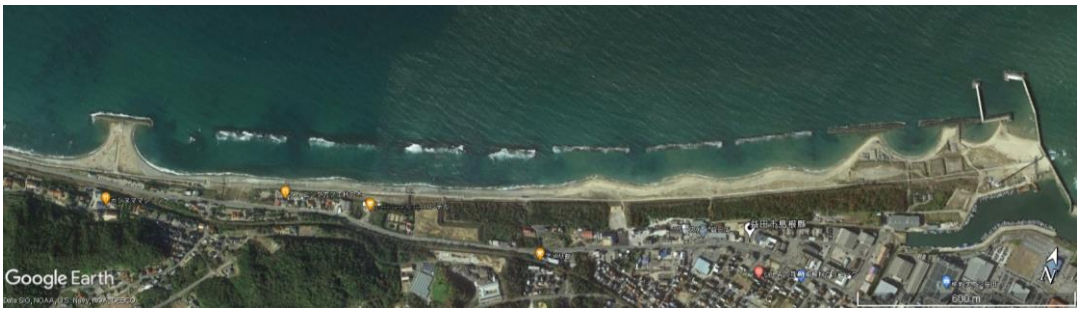
圖3.39 日本鳥取縣皆生海灘(Kaike Onsen Beach)之透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

益田(ますだ Masuda) 海岸離岸堤(島根縣)_Google Earth_大平_2017_05 優.jpg



益田(ますだ Masuda) 海岸離岸堤(島根縣)_Google Earth_大平_2018_06 優浪.jpg

益田(ますだ Masuda) 海岸離岸堤(島根縣)_Google Earth_大平_2019_11a 優浪.jpg



益田(ますだ Masuda) 海岸離岸堤(島根縣)_Google Earth_大平_2023_09.jpg

圖3.39(續) 日本島根縣益田(ますだ Masuda)海岸之透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

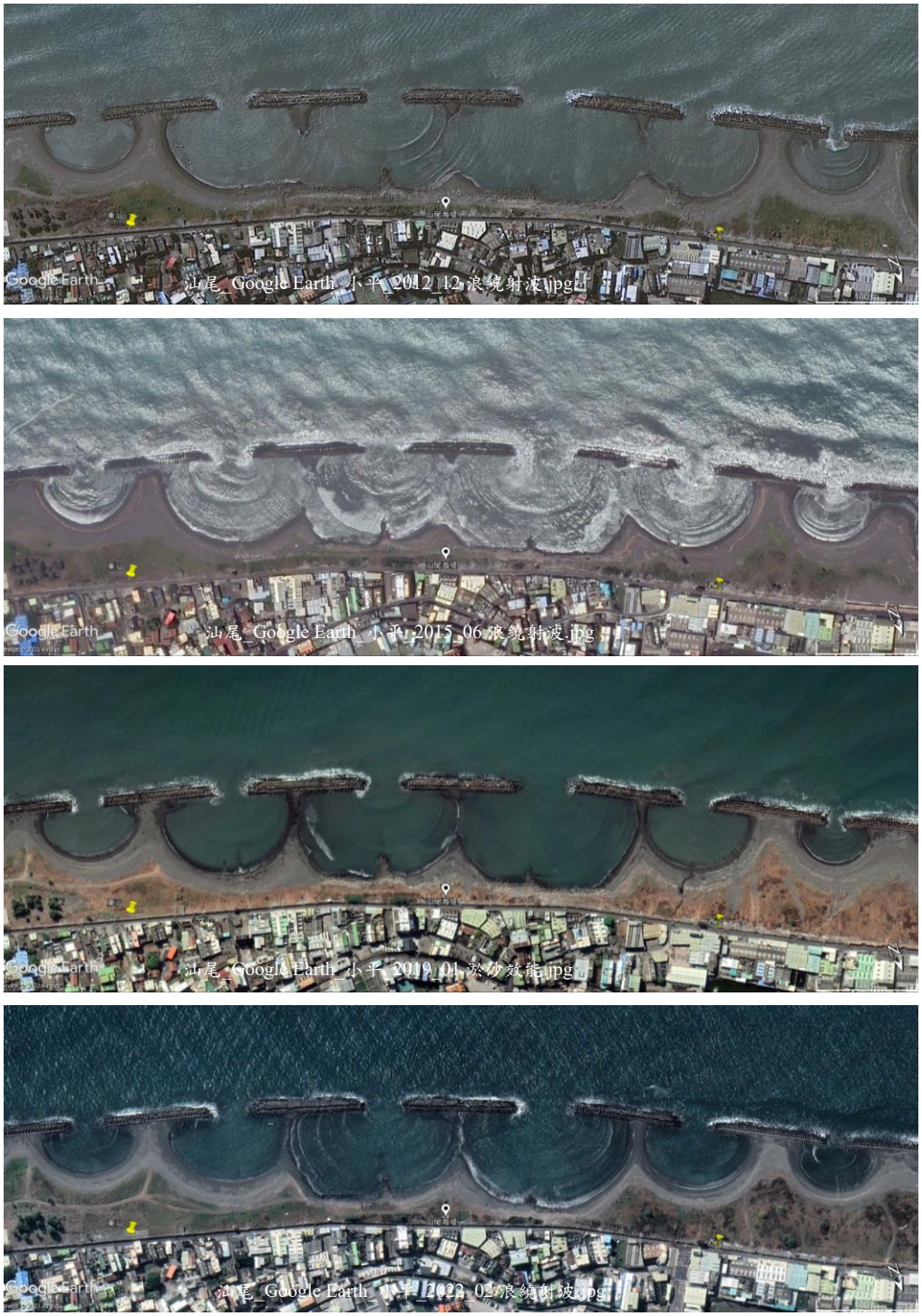
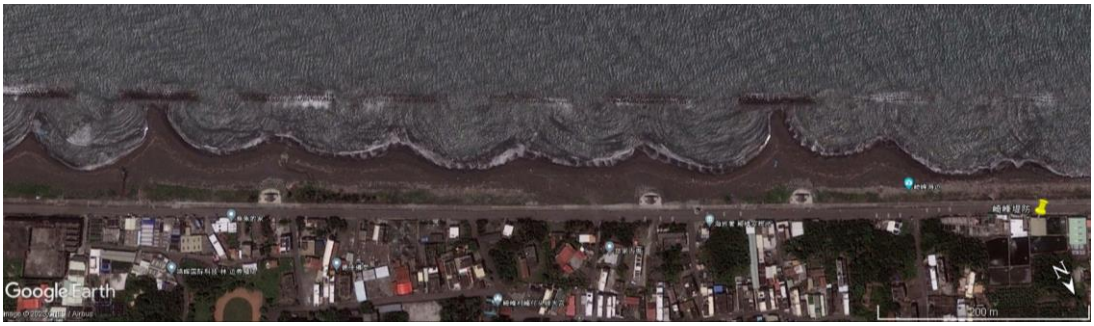
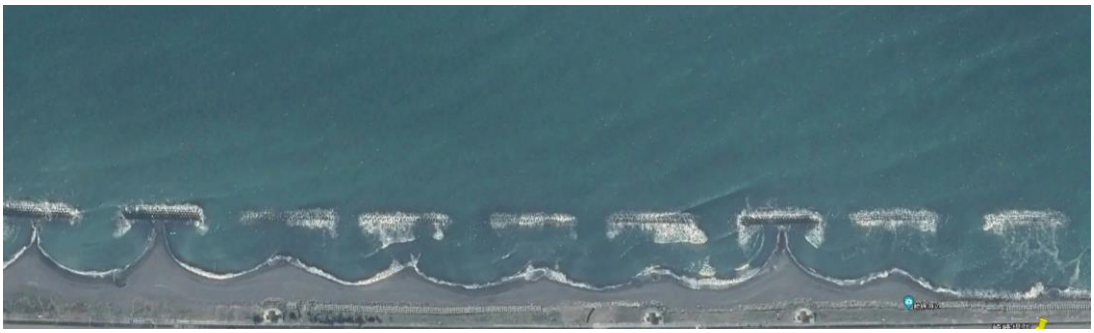


圖3.40 高雄林園海岸汕尾海堤外之透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

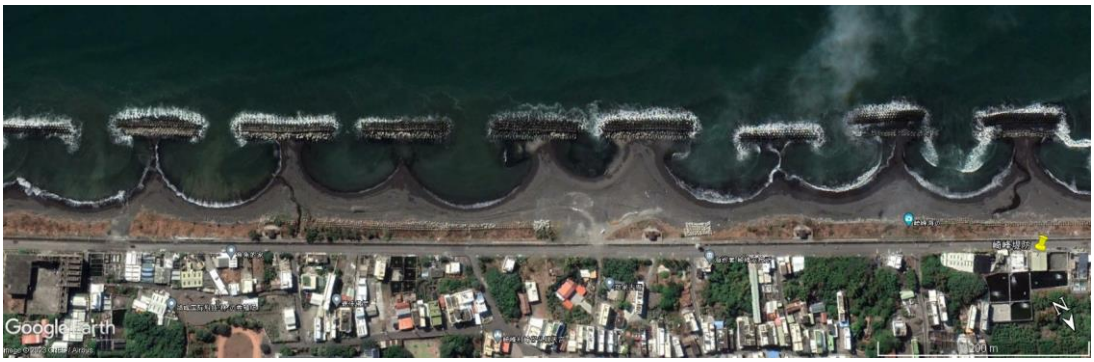
崎峰離岸堤群_Google Earth_細平_2005_02 優出水高度.jpg



崎峰離岸堤群_Google Earth_細平_2010_06 優出水高度.jpg



崎峰離岸堤群_Google Earth_細平_2014_01 優出水高度.jpg



崎峰離岸堤群_Google Earth_細平_2019_01 優出水高度.jpg

圖3.41 屏東林邊海岸崎峰海堤外之透水式離岸堤群後沙舌及繫岸沙洲之海灘重塑

參見圖 3.36 所示，依循現今普遍據以布建離岸堤群並促使堤後自然形成沙舌與繫岸沙洲灘線之經驗配置準則可知，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)。

再就離岸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經驗配置準則。惟歐、許(1986)曾進行水工試驗研究，並提出：G/B約介在 0.4~0.5 時，堤後可獲較佳之堆沙效果；而日本離岸堤之布建經驗則認為：若G/B約介在 0.12~0.5 間，則離岸堤背後亦有甚良好之堆沙與灘線重塑效果(田中，1983)。

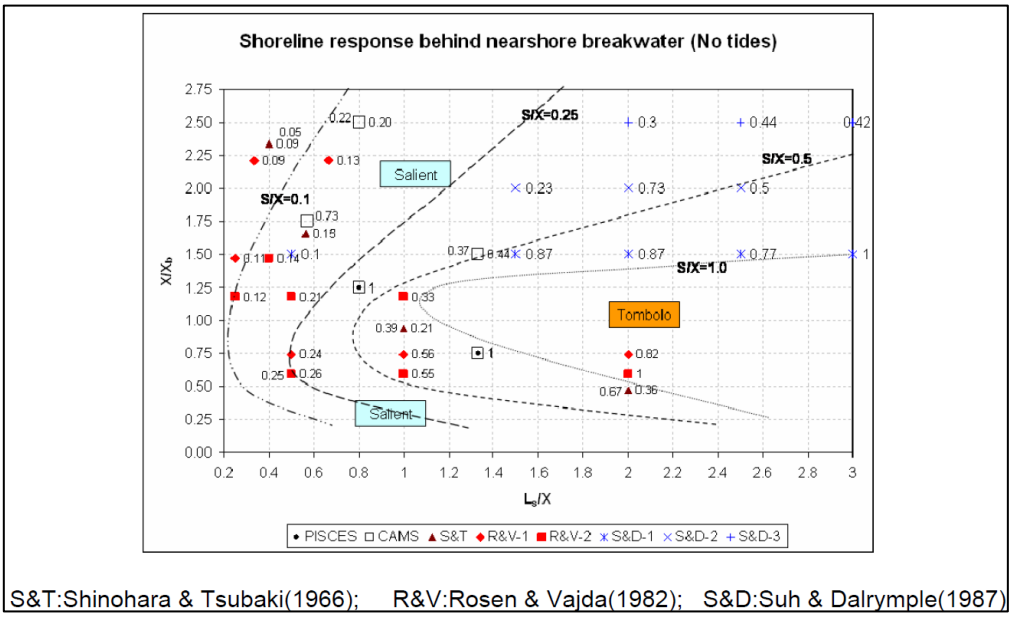
對於離岸堤之堤長(B)與離岸距離(X)之綜合影響效應，在特定的深海波浪條件作用下，依據相關試驗與數值模擬研究結果可知，當$B/X > 1.9$，隨著離岸距離愈縮減，繫岸沙洲愈能形成；而當$B/X < 1.9$時，離岸距離愈遠，離岸堤背後所形成之沙舌規模愈小；當$B/X < 0.5$時，即在離岸距離大於堤長 2 倍的情況，則沙舌不易形成。

再就碎波帶寬度(X_b)對離岸堤群背後灘線重塑形態發展及海灘地形演變之影響而論，英國環境署(Environment Agency, UK)曾透過委託研究計劃，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 3.42 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：

$$B/X > 2.8 - 1.6\ (X/X_b) \qquad X / X_b \le 1.25 \text{ ---------- (3-9)}$$

$$B/X > -10.2 + 8.8\ (X/X_b) \qquad 1.25 < X / X_b \le 2.0 \text{ ------ (3-10)}$$



資料摘錄自：Environment Agency, UK. (2010)

圖3.42 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 3.31，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，伴隨碎波所衍生之碎波沖刷流速($u \approx \sqrt{gH_b}$)，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 3.32 及圖 3.33，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 3.29 與圖 3.37 至圖 3.41 所示。

在近岸折、繞射波浪衝擊作用下，離岸堤與突堤甚至是部分漁港外廓防波堤之堤後(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 3.43 至圖 3.47 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(rip currents)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 3.48 所示。

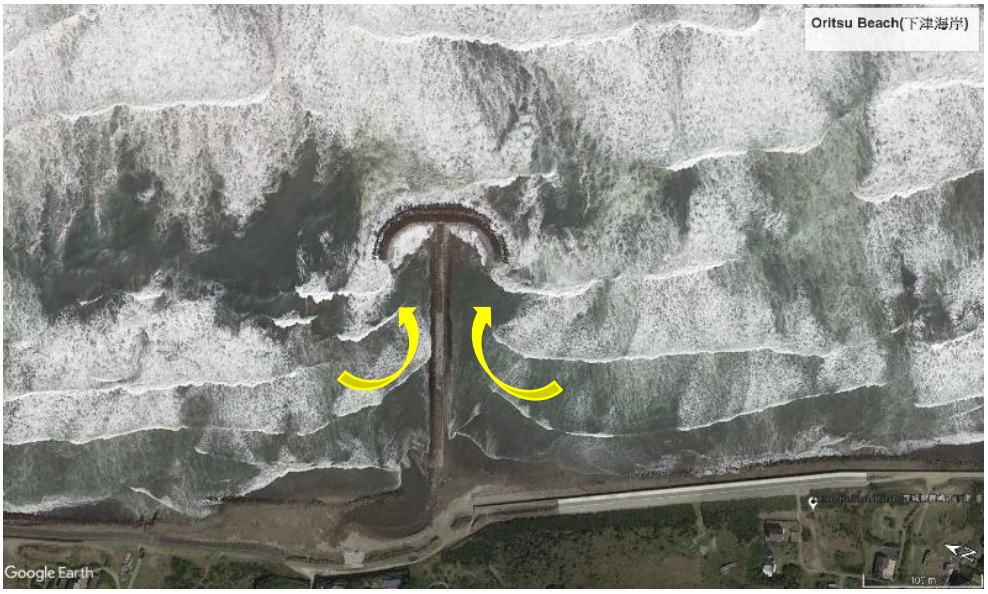
the Sea Palling on the Norfolk coast_GoogleEArth_200907(左)、201907(右)

圖3.43 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

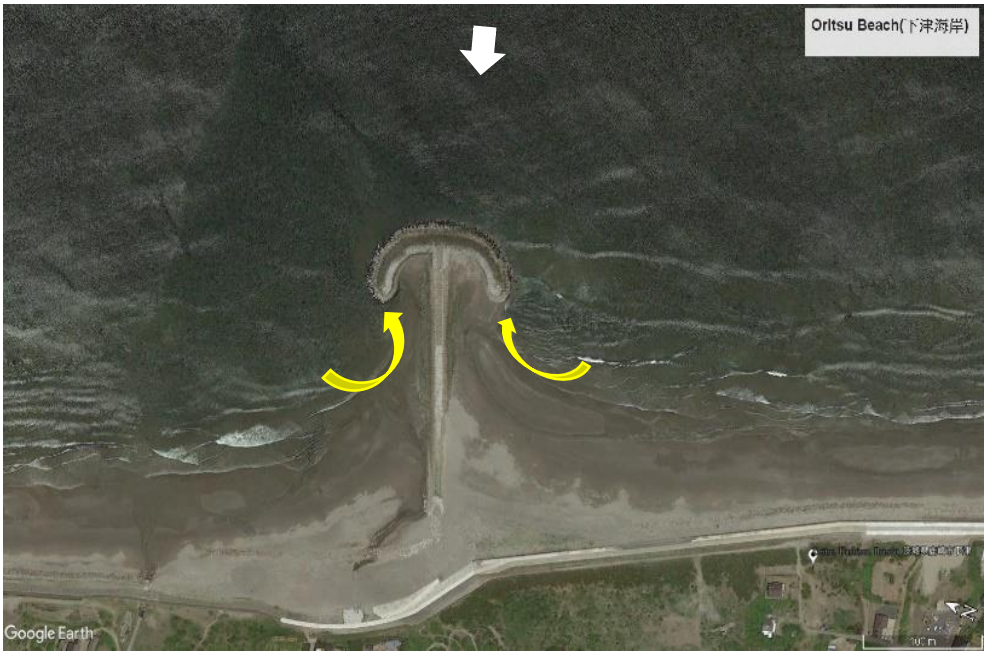
the Sea Palling on the Norfolk coast_GoogleEArth_細平_雙離岸堤_2019_05.jpg

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

圖3.44 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

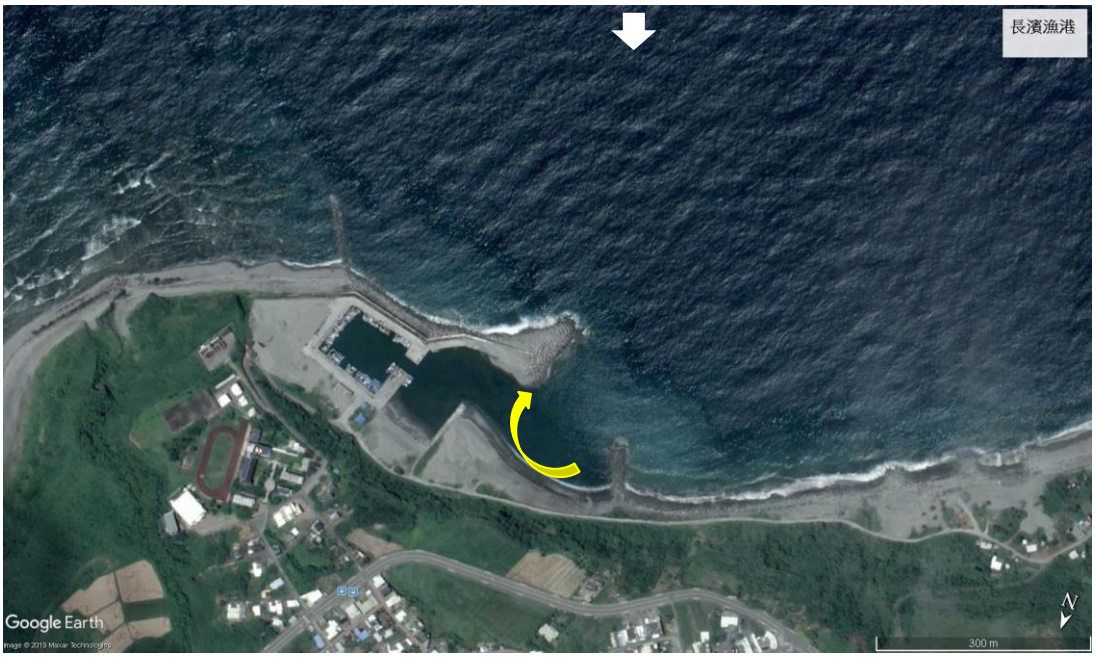


日本 Oritsu Beach_2015_10 浪優.jpg



日本 Oritsu Beach_2018_05 繫岸沙洲.jpg

圖3.45 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而在堤後造成繫岸沙洲形態之海灘沖淤重塑

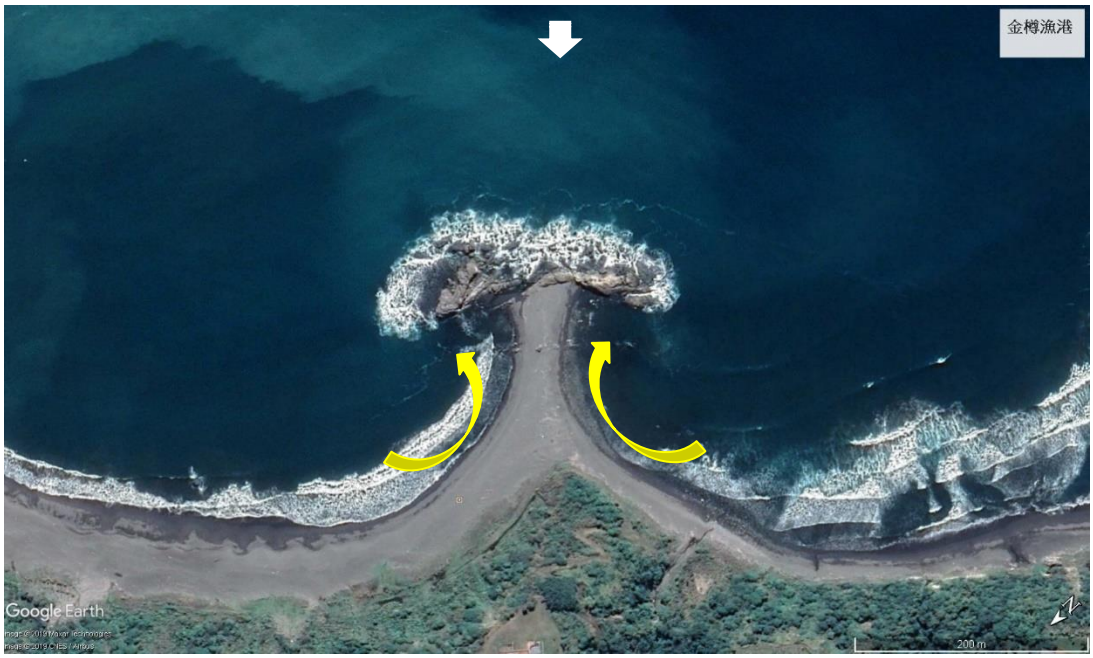


長濱漁港_ 離岸堤效應_細平 20170706. jpg

大武漁港_GoogleEarth_大平_2018_12. jpg

圖3.46 具離岸堤形態之近岸港口外防波堤後因折、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形態之海灘沖淤重塑

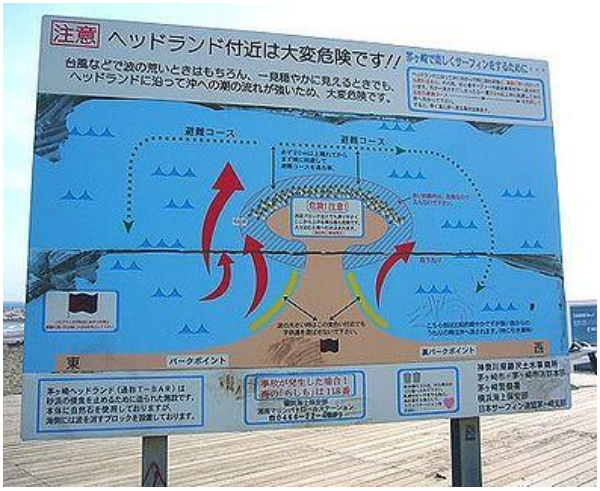
金樽漁港_陸連島_google_20181202_細平. jpg



臺灣東部海岸_ 金樽漁港_陸連島_20180115

圖3.47 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3.48 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)

3.3.3 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 3.49 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 3.37 至圖 3.48 所示。

宜蘭內埤岬灣_Google Earth_細平_2019_10 優乾. jpg　　西班牙 Playas del Palo_岬灣_2021

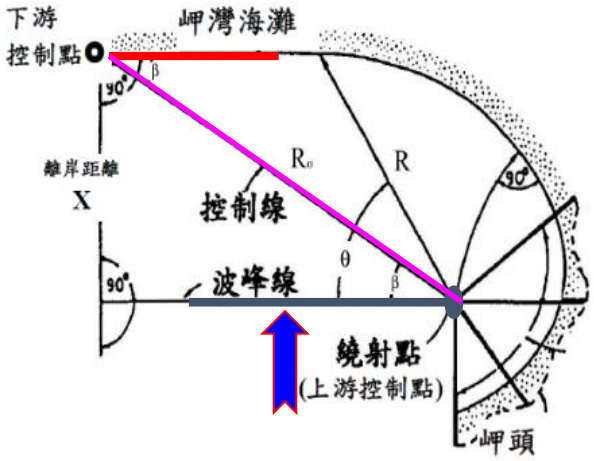
葡萄牙_Baleal_岬灣_2015_04 優. jpg　　臺南安平人工岬灣_Google Earth_細平_2023_07b 優. jpg

圖3.49 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，灘線通常具有半形沙舌或繫岸沙洲形態之曲線特徵，如圖 3.50 所示。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：

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2 \text{ ---------- (3-11)}$$

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)。

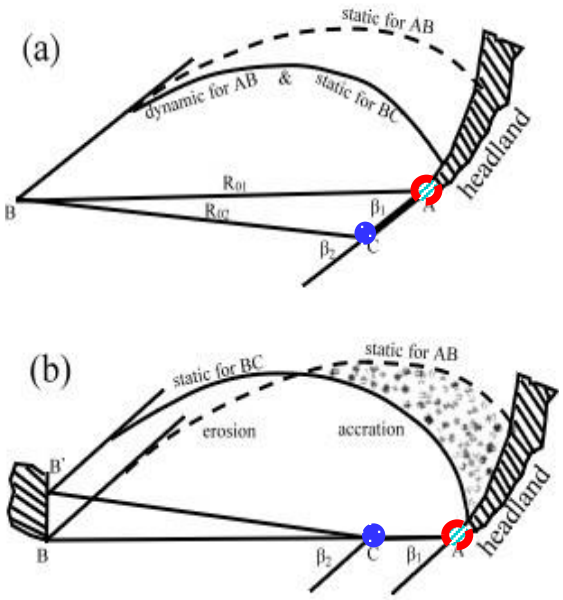


圖片來源：郭一羽，「海岸工程學」，2001

圖3.50 岬灣海灘的灘線形狀與構建相關的控制參數定義

構建式(3-11)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。

參見圖 3.49，針對圖 3.50 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 3.51 所示，可將岬灣海灘分類如下：



圖資來源：Hsu et al.（2008）

圖3.51 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，致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且具離岸流特性之近岸沖刷環流(swashing circulations)，參見圖 3.32、圖 3.33 及圖 3.43 至圖 3.48，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，並衍生沙舌(salient)或繫岸沙洲(tombolo)形態之岬灣海灘重塑(reshaping)，如圖 3.52 所示。

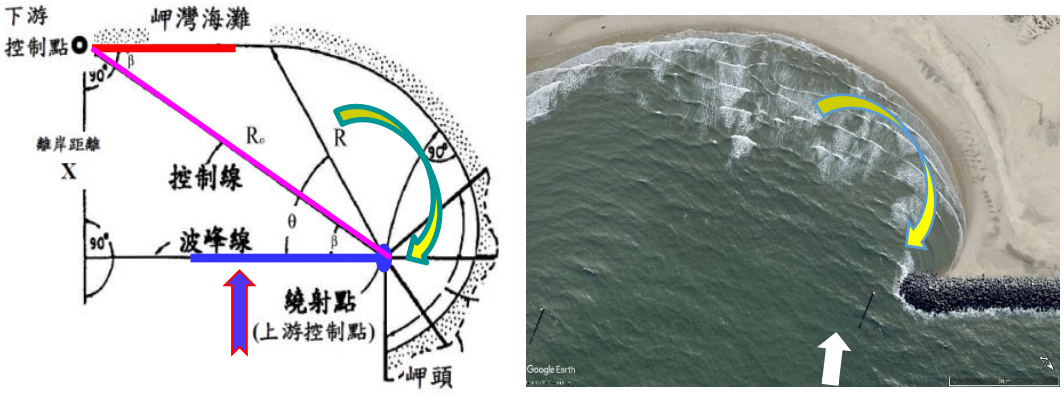


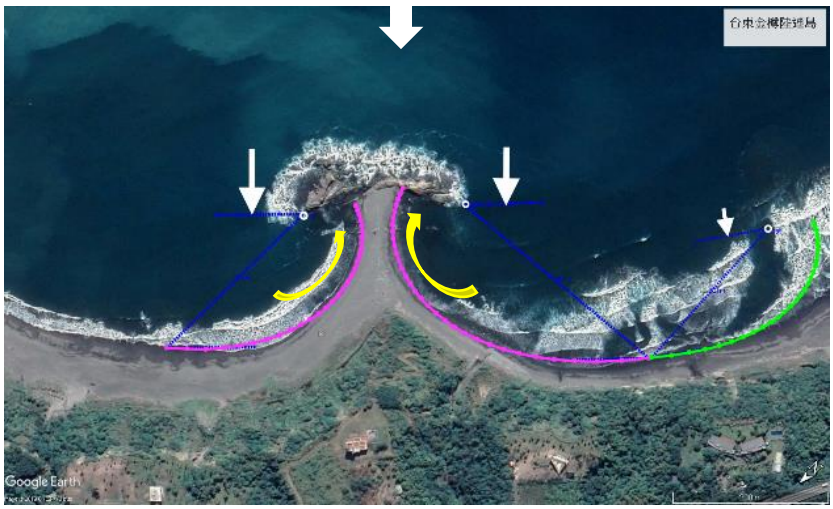
圖3.52 岬頭後因折、繞射波浪碎波之直接沖刷環流作用所造成之「岬頭效應」與繫岸沙洲形態之岬灣海灘重塑

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(莊，2020~2023)。

以往對於岬灣海灘的應用，一般係在已存在或預擬布建之人工岬頭後，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 (2020~2023)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，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

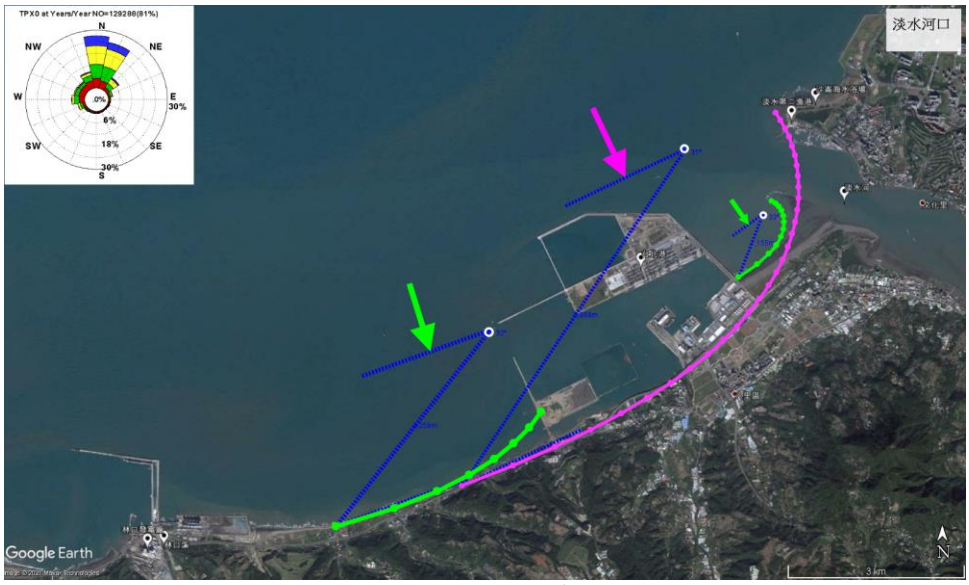
以及海灘下游不受岬頭影響之平直、安定海灘位置，並確認岬頭遮蔽區內因碎波沖刷流速差異而顯著存在之沖刷環流與伴隨之近岸優勢輸沙方向，如圖 3.53 所示，圖中，白色箭矢表示近岸之卓越入射波向；黃色箭矢表示碎波沖刷流與沖刷環流，以及伴隨之優勢輸沙方向。此外，透過不同時期岬灣海灘控制參數之重建，尚可藉岬頭繞射點變動歷程之對照比對，研判岬頭後潛沒淺灘地形或離岸沙洲之沖淤變遷趨勢，評估毗鄰岬頭海域之卓越波向，以及確認伴隨繫岸沙洲形態之岬灣海灘發展所造成港口航道之淤塞機理，如圖 3.54 至圖 3.63 所示。



金樽漁港_陸連島與岬灣 20180115.tif

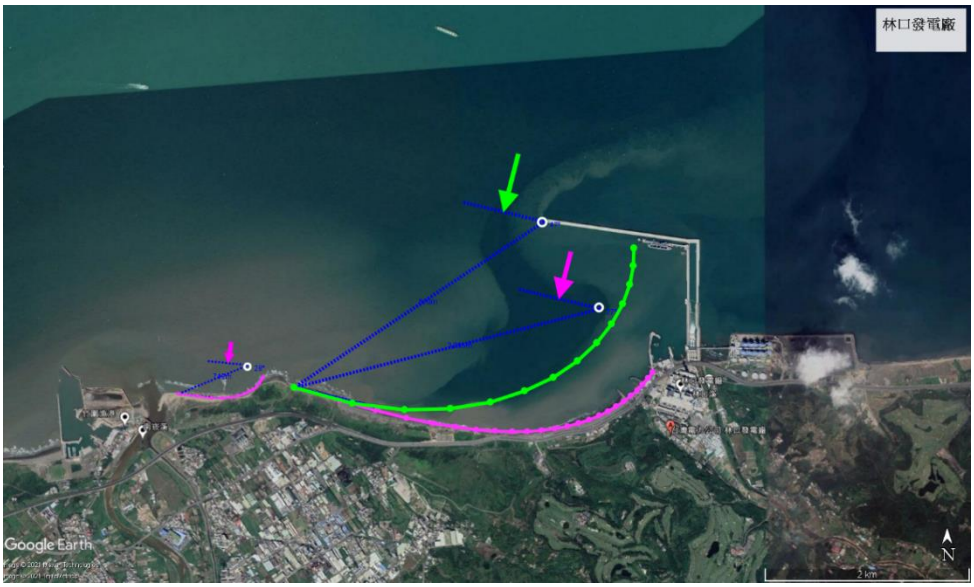
英國 the Sea Pal　ling on the Norfolk coast,UK_20190515.tiff

圖3.53 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3.54 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

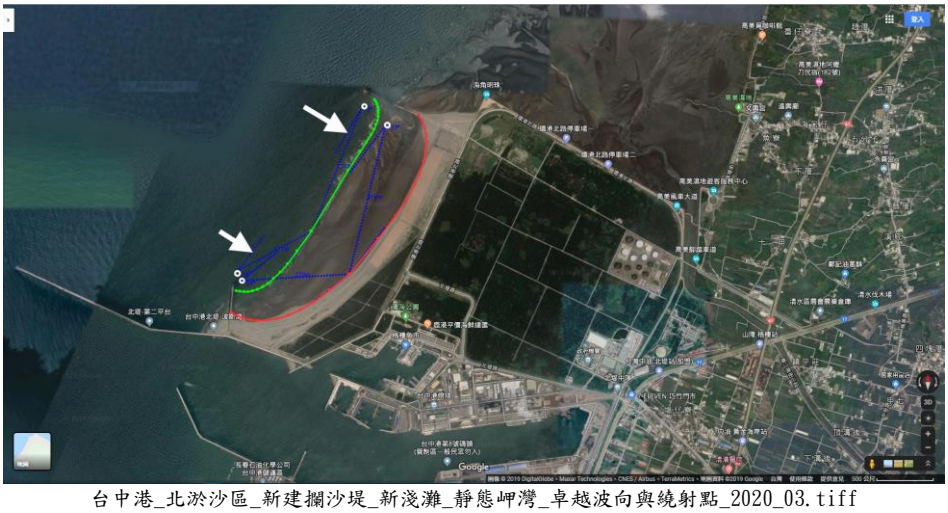


林口發電廠_岬灣海灘_卓越波向與繞射點 2020_03

圖3.55 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3.56 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3.57 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

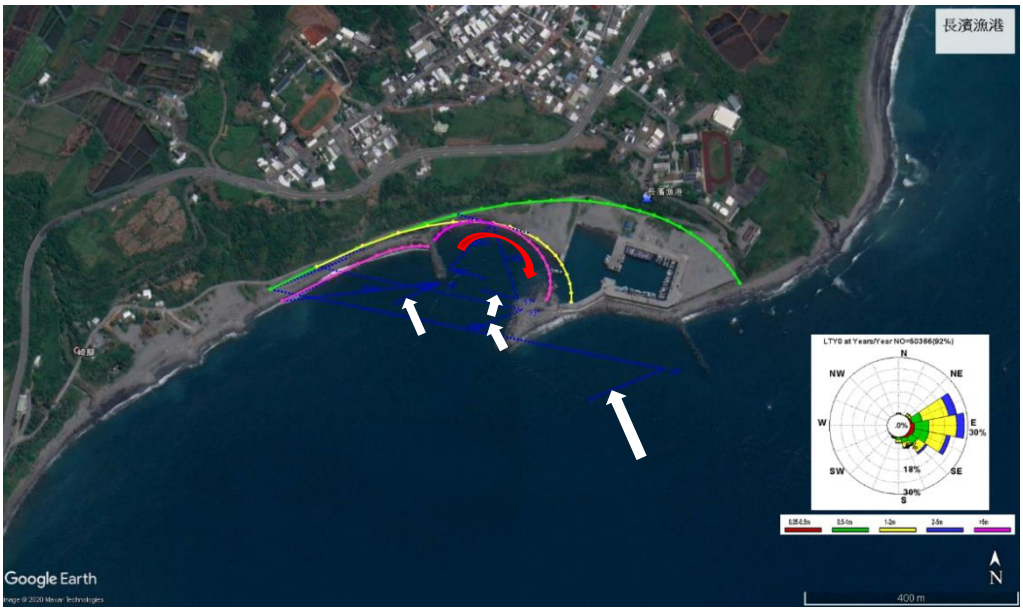
西子灣_人工岬灣_北灘全_北灣_南灣_養灘_卓越波向繞射點_20190118.tif

圖3.58 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3.59 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

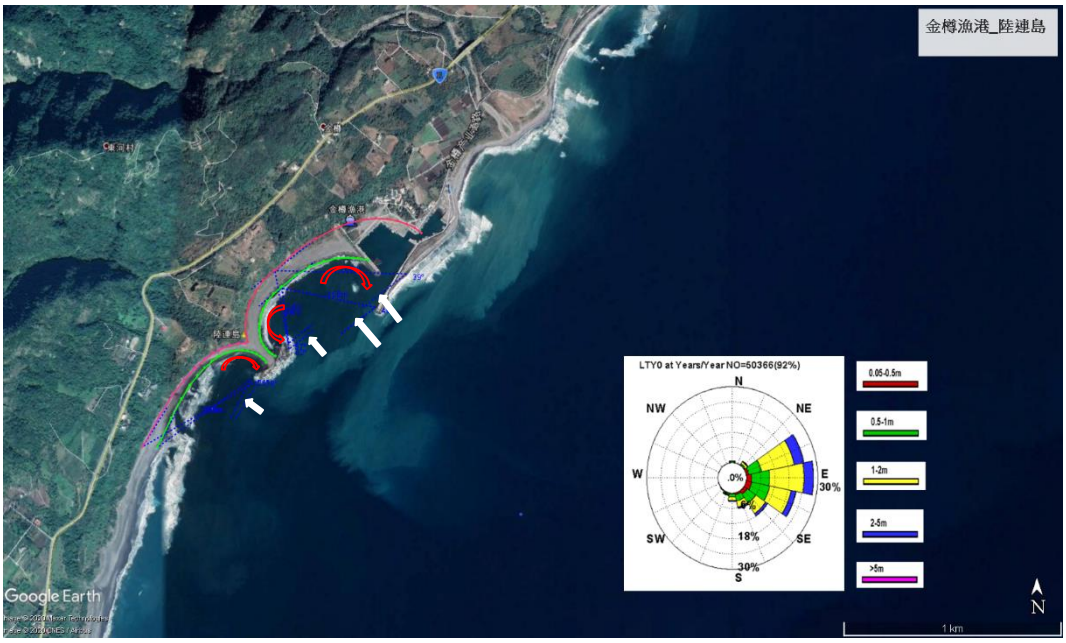
長濱漁港_google201506_地圖中



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

圖3.60 具離岸堤外廓配置及人工岬頭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

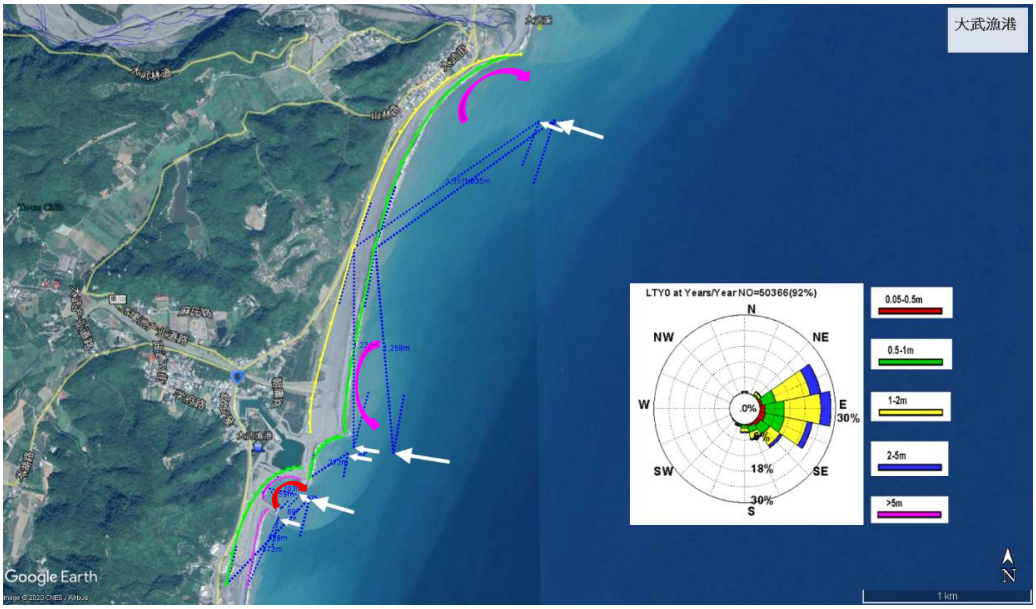
金樽漁港_陸連島_google_20181006_中.jpg



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

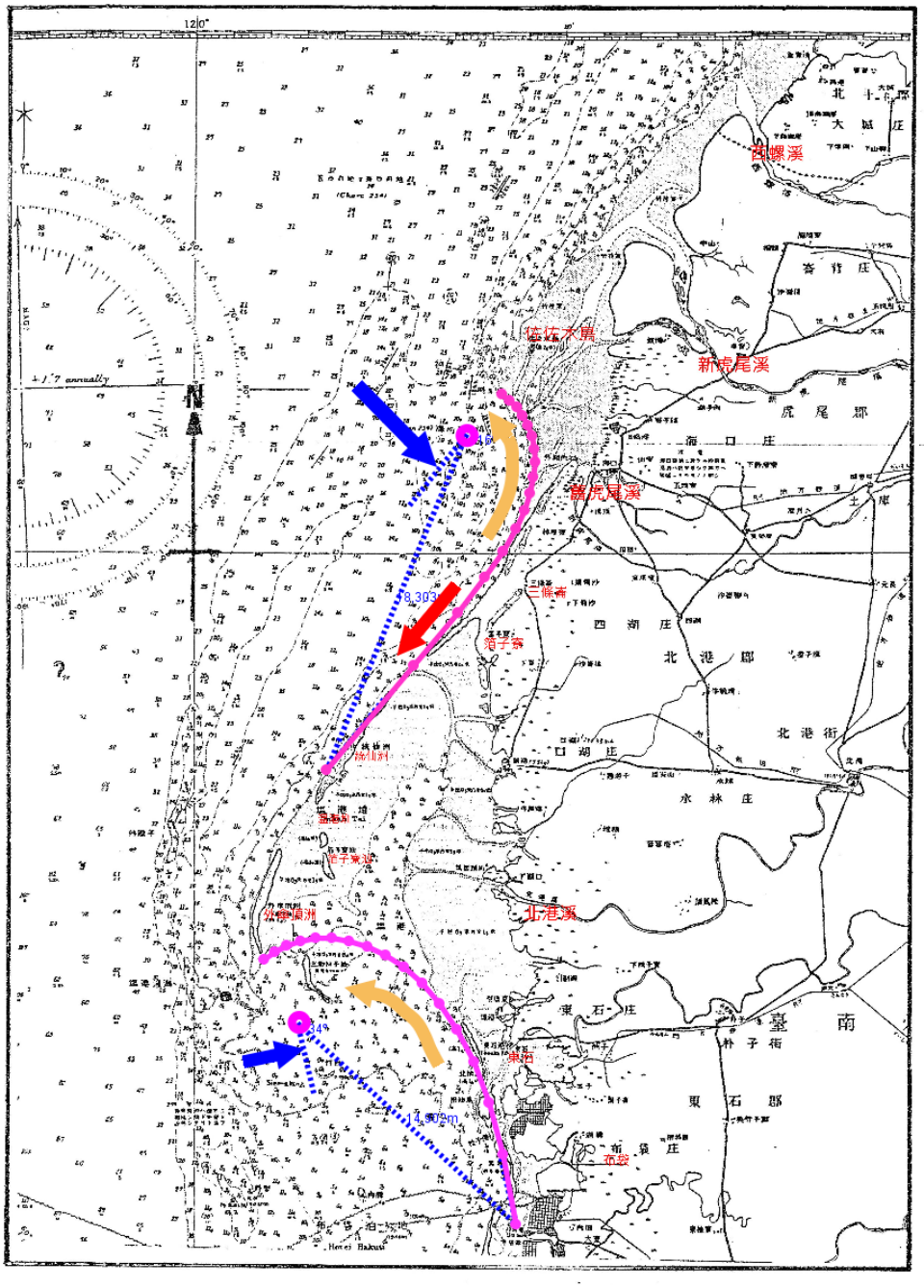
圖3.61 具離岸堤外廓配置及人工岬頭形態之金樽漁港整建初期(粉紅)及現況港口外廓防波堤與陸連島(綠)應用「岬頭效應」評估近岸卓越波向與繞射點以及港嘴航道與毗鄰海灘伴隨繫岸沙洲與岬灣海灘所造成之沖淤

大武漁港_Google earth_區_2018_12.jpg



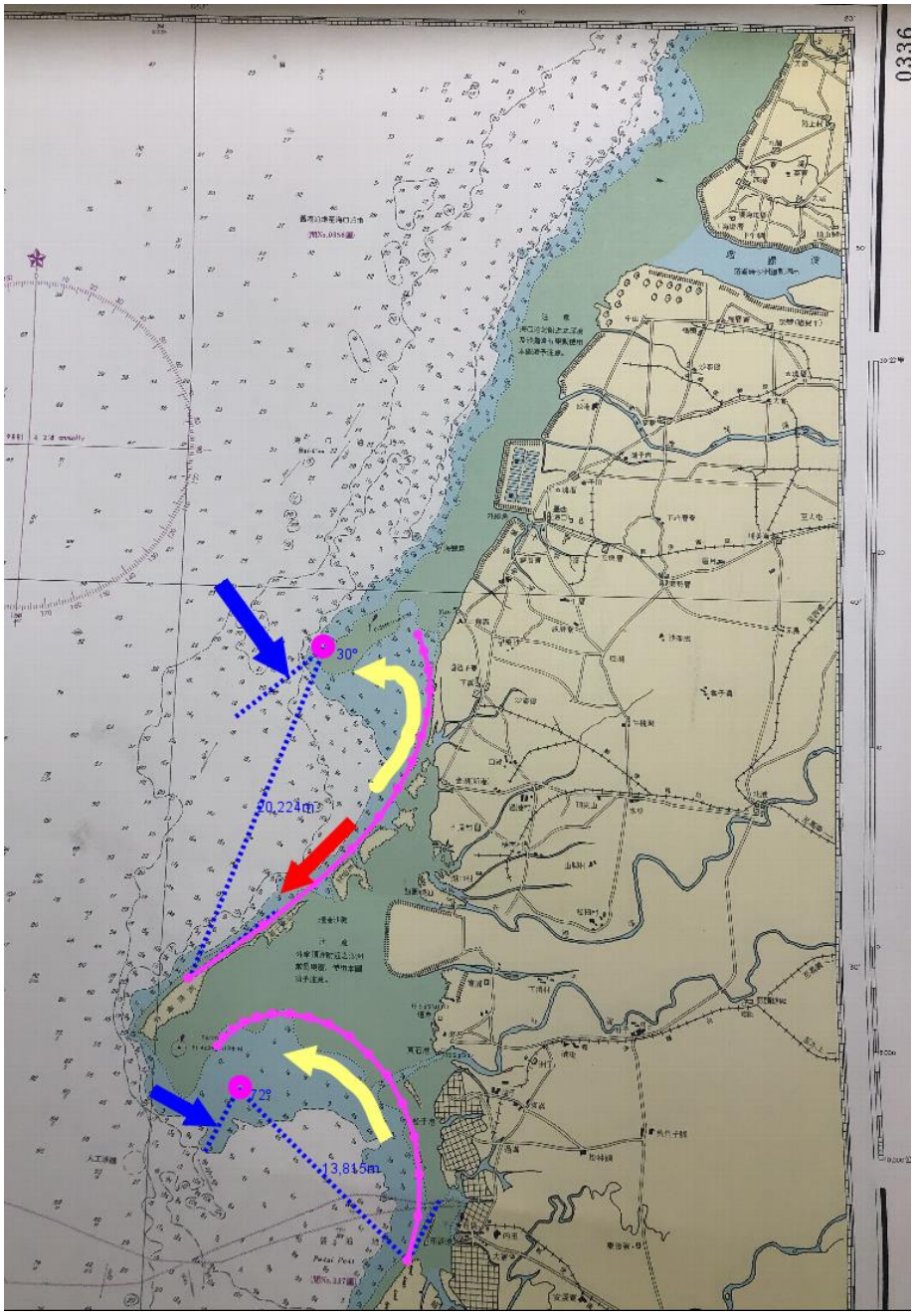
大武漁港_海岸_北灘_港口_堤外_養灘前後_岬灣灘線_波浪玫瑰圖_20181202_波向.tiff

圖3.62 具離岸堤外廓配置及人工岬頭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



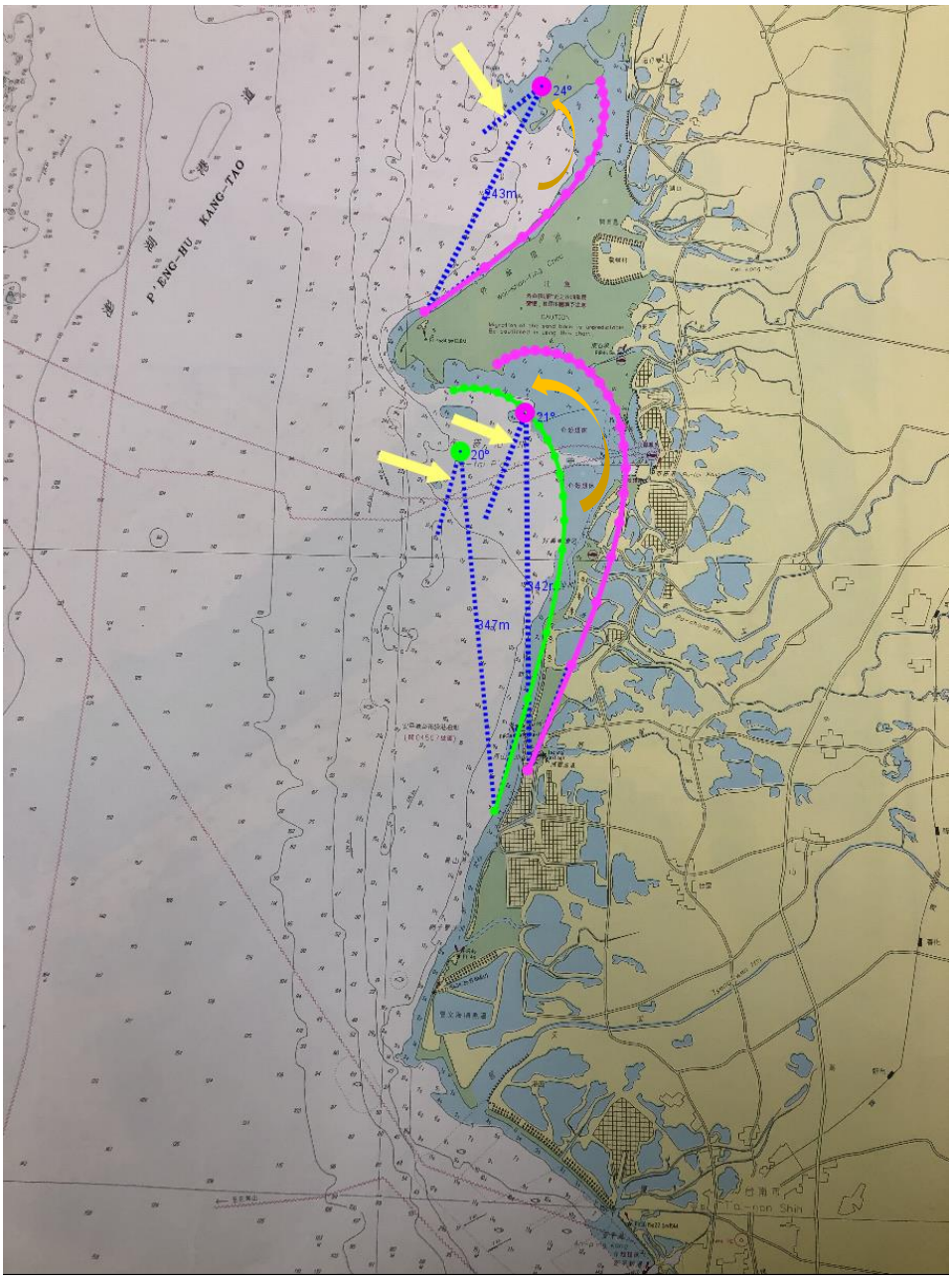
外傘頂沙洲_1932_海圖_溪河_岬灣海灘_雙_ 卓越波向繞射點_沖刷流_頁面擷取自-外傘頂洲地形變遷之研究_河海研究第23號_林銘崇_莊文傑_1984_報告海圖 2A.tif

圖3.63 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3.63(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3.63(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)

第四章 離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響

4.1 布建在臺灣西南部海岸的離岸堤群概況

為防治海岸災害、促進海岸地區之永續發展，台灣省政府水利處，自民國 61 年開始，即起動推展臺灣地區海堤的規劃與建設，後續並由現今之經濟部水利署接手，持續推動「海岸防護」與「海岸保護」措施，辦理海堤整建及維護，迄今已歷經 50 餘年。

臺灣的海岸防護設施，一向以建造防潮禦浪的海堤為主體。海堤的配置，由早期的土堤及漿砌塊石構成的陡坡海堤，逐漸演變為現在的緩坡海堤，並配合消波塊拋放，以減輕波浪沖刷、溯升、越洗與溢淹災害；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，海岸侵蝕狀況，仍舊普遍發生。因此，概約自 1987 年起，為減小波浪溯升高度，防範波浪越洗與溢淹，確保海堤安全，防治海岸災害，改善海岸環境，最早即在屏東墒豐海岸開始布建離岸堤，藉以強化「海岸防護」與「海岸保護」功能；而自 2000 年以後，經濟部水利署倡議，未來臺灣的海岸防災重點，雖仍以海岸侵蝕防治為主軸，但將採用兼顧海岸生態與親水的柔性工法，藉以保障沿海居民生命財產安全、改善海岸環境、營造海岸親水遊憩空間、恢復自然海岸景觀、遏止國土繼續流失，維護海岸生態及營造海岸親水遊憩空間(經濟部，2008；2014)。

臺灣環島布建有離岸堤群的海岸，大多集中在臺灣西南部的高雄與屏東海岸。因此，經濟部水利署水利規劃分署於 2007~2008 年曾辦理「海岸環境營造計畫總檢討及改善策略研究」；而依循 2015 年 2 月 4 日公佈施行之「海岸管理法」規定，經濟部水利署第七河川分署於 2014~2015 年即曾著手辦理「屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫」與「屏東塗家厝至林邊溪口以北段海岸變遷監測調查計畫」、2016 年曾辦理「屏東縣墒豐海岸離岸堤群改善研究」、2021 年曾辦理「110 年度屏東縣一般性海堤風險評估」；第六河川分署於 2016 年亦曾著手辦理

「高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析」；於 2020 年曾辦理「高雄海岸防護基本資料調查(高屏溪至鳳鼻頭段)」；2021 年曾辦理「高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)」，藉以透過每 5 年持續性的海岸地區基本資料調查與分析，適時評估海岸實況，確保海岸防災、減災之基本功能，兼顧海岸防護安全，落實海岸永續利用之目標。相關高雄與屏東海岸布建的離岸堤群配置概況及其堤後之淤沙效能差異，經參照前述研究報告，摘錄部分研究成果，可綜整分述如后。

4.1.1 高雄海岸的離岸堤群配置與堤後之淤沙效能

高雄海岸，北起二仁溪口南岸，南迄高屏溪口北岸，海岸線總長約 95 公里，海岸線約略呈現西北-東南走向。海岸防護設施，包括茄萣、崎漏海堤等 15 處(不含改制前原高雄市轄區)，海堤長度共 21,677m，突堤 27 座、離岸堤 81 座、導流堤 8 座與碎波堤 18 處。其中，位在二仁溪口南側至興達港北側的茄萣、崎漏海岸段，全長約 5.5 公里，如圖 4.1 所示。

在茄萣至崎漏海岸段內，自 1993 年起迄今，歷年來布建在茄萣海堤及崎漏海堤外的離岸堤，共計有 33 座，其配置狀況與編號，如圖 4.2 所示；各別離岸堤的布建年序先後，參見圖 4.3 所示。在本海岸段之波浪特性，依據經濟部水利署彌陀資料浮標 2012 至 2020 年的觀測資料統計，可得夏、冬季之波浪玫瑰圖，如圖 4.4 所示。主要的海象資訊，50 年重現期的潮位，高程是 EL.+1.40 公尺；夏季季風波浪，$H_{1/3}$=0.89 公尺、T_p=6.50 秒、波向 SW；冬季季風波浪$H_{1/3}$=0.76 公尺、T_p=6.07 秒、波向 NW；50 年重現期之颱風波浪，$H_{1/3}$=11.60 公尺、T_p=14.98 秒、主要波向包括 W、SW、S。

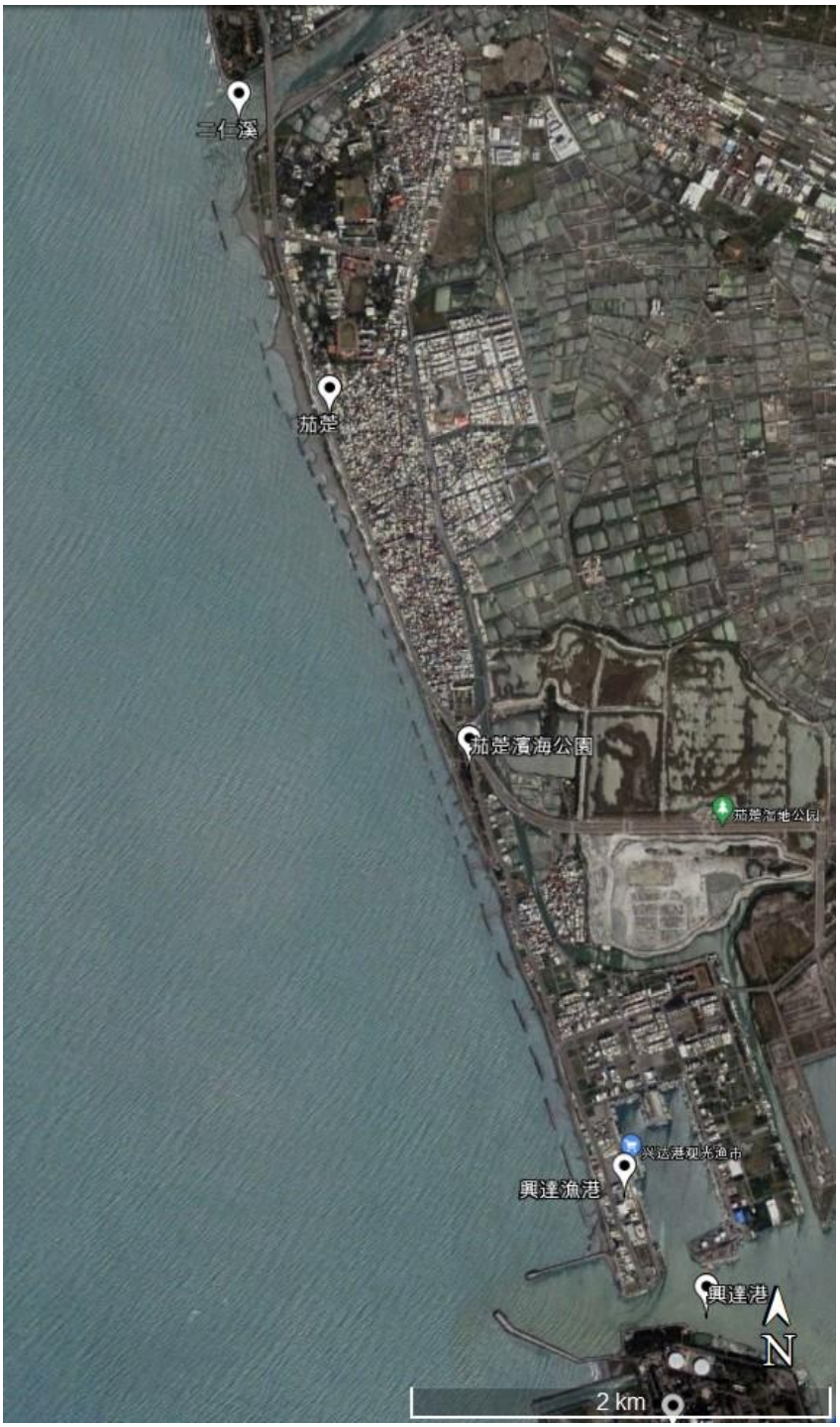
關於茄萣、崎漏海岸段區段之海灘地形變遷歷程，參考經濟部水利署網頁之臺灣海岸詳介(https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=3253&s=19360)可知，於 1904 年左右，二仁溪河道出海口，約呈北北

東-南南西方向，而崎漏海堤區段，則為繫岸沙洲及潟湖地形；到 1925 年時，受長年波浪之沖刷作用，二仁溪河口南岸區段，海岸線往海側方向淤積，平均成長約 80~90m，而崎漏海堤區段，則往陸側沖蝕，平均退縮約 70m；惟在 1983~2008 年期間，二仁溪口南側海岸，呈現嚴重沖蝕後退現象，至 2002 年 10 月以後，河口海灘幾乎已完全消失；而茄萣段海岸區段，於 1983~1992 年期間，海岸線已有消退情況，因而自 1997 年起，開始興建離岸堤群，辦理海岸保護；崎漏段海岸，則於 1983~1992 年期間，海岸線距離海堤約維持在 40m 左右，惟至 2008 年 10 月，海岸線亦面臨沖蝕，並已後退至鄰近海堤堤趾處。相關本海岸段夏、冬季波浪作用後之海灘地形沖淤變遷，如圖 4.5 所示。

至於高雄茄萣至崎漏海岸段之離岸堤群配置尺寸，如表 4.1 所示，由表觀察可見，在茄萣海岸段，離岸堤長度大多是 80~110 公尺，離岸距離大多是 60~170 公尺，離岸堤間距，概約是 20~40 公尺；在崎漏海岸段，離岸堤長度大多是 160~170 公尺，離岸距離大多是 60~90 公尺，離岸堤間距，概約是 40~100 公尺。在本海岸段，離岸堤之建置工法，多以拋塊石作基礎，堤頂及堤面，再依不同位置，分別搭配排放 10T 或 5T 之混凝土塊；而補強離岸堤之工法，大多係以混凝土塊，亂拋於需補強面，補強改善後，離岸堤高度約為 2 公尺，典型的離岸堤斷面改善配置圖，如圖 4.6 所示。

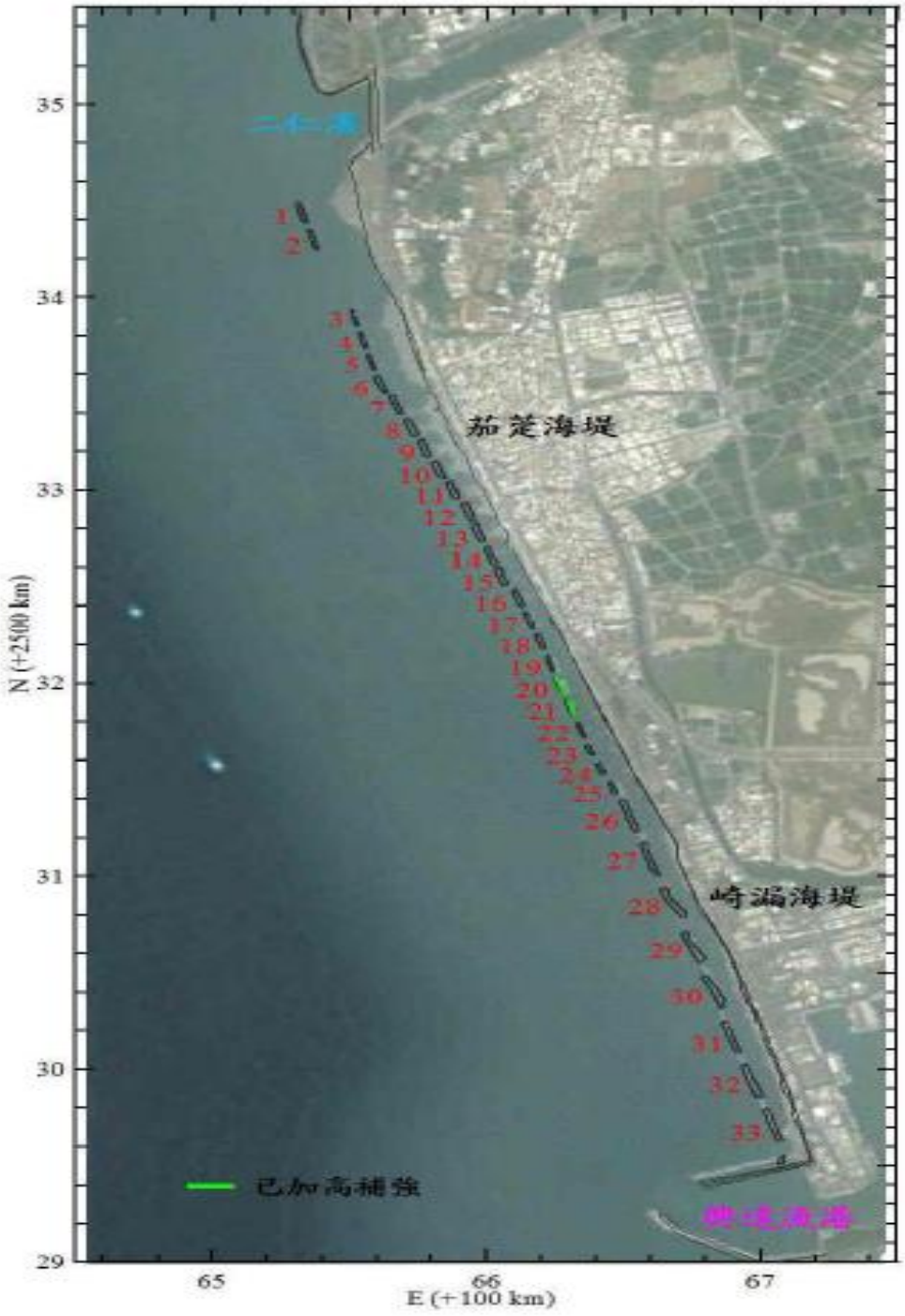
歷經長年暴潮大浪的衝擊，本海岸段之離岸堤群，在 2016 年 6 月與 2020 年 4 月間，經以空載光達檢測，並依據掃描各座離岸堤頂坐標與高程之點雲資訊，可分析得本海岸段各座離岸堤，其平均堤頂高程或出水高度，如圖 4.7 所示。相關茄萣與崎漏海岸離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷狀況，依據 Google Earth 之歷史圖像，可分別整理如圖 4.8 及圖 4.9 所示。由圖綜合觀察可見，本海岸段的離岸堤群，僅管同一局部海岸區段內，波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、堤體配置形式、河口沙源供給、河川浚沙補注情況相近似，離岸堤長與離岸距比值以及離岸堤間距，亦多數符合本報告第 3.3.2 節所述之經驗配置

準則，但在毗鄰離岸堤之堤後，仍普遍可見淤沙效能存在明顯差異，海灘更有不同形態的地形變遷。



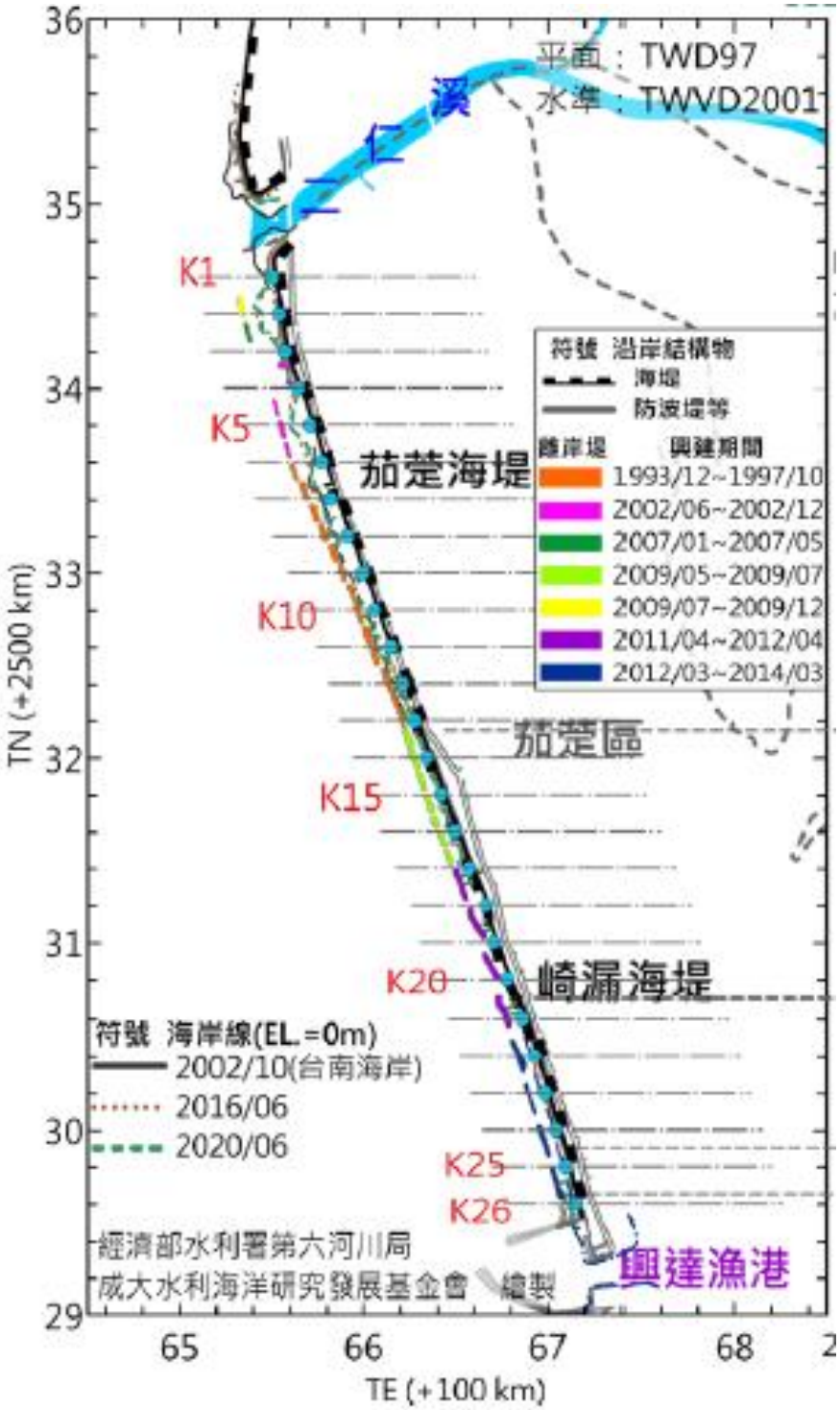
茄萣離岸堤群__二仁溪-興達港_Google Earth_區_2016_02_煎.jpg

圖4.1 自二仁溪口南岸起至興達港北防波堤止全長約5.5公里之高雄茄萣與崎漏海岸段



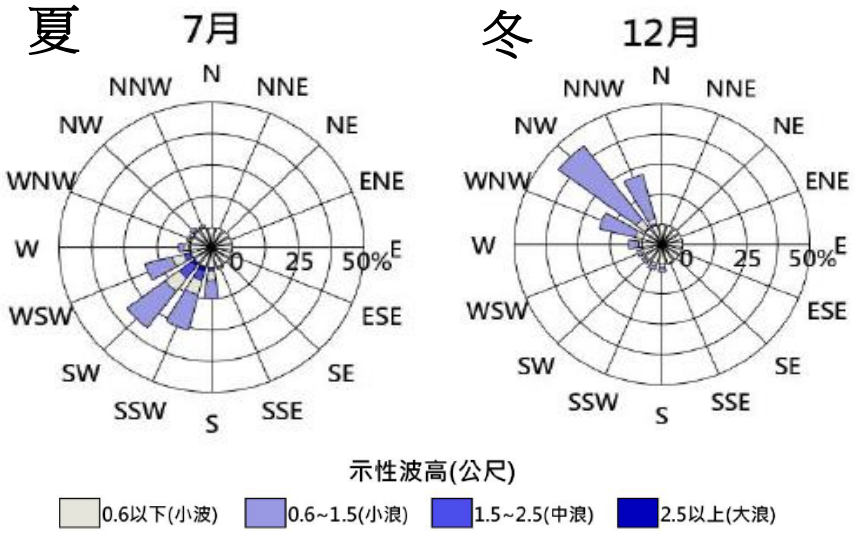
資料來源：高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析_總報告_經濟部水利署第六河川局_2016

圖4.2 高雄海岸段茄萣海堤及崎漏海堤外的離岸堤群配置與編號



資料來源：茄萣海堤_海岸線變遷分析圖(二仁溪至興達漁港)_擷取自高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_ 經濟部水利署第六河川局_2021. jpg

圖4.3 高雄海岸段茄萣海堤及崎漏海堤外的離岸堤群布建年序



資料來源：彌陀浮標長期波高統計表(2012~2020 年)_擷取自高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_ 經濟部水利署第六河川局_2021. jpg

圖4.4 高雄海岸段彌陀浮標統計2012~2020年夏、冬季之波浪玫瑰圖

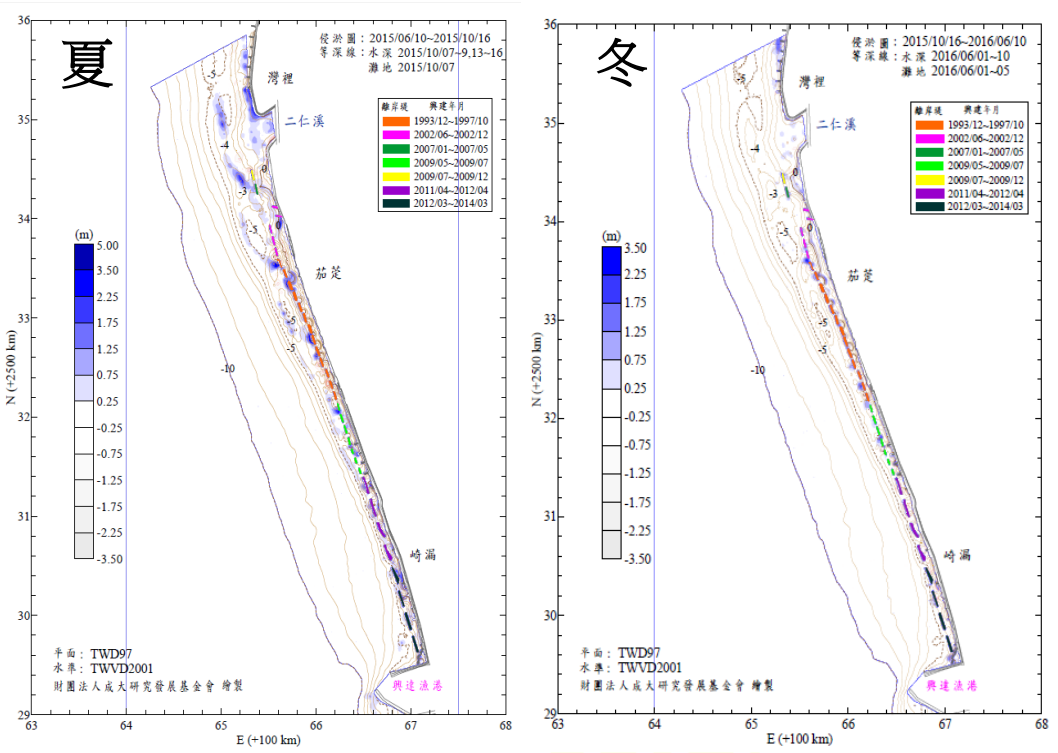


圖5-17 2015年6~10月夏季波浪作用後二仁溪至興達漁港海岸段地形水深侵淤圖

圖5-18 2015年10月~2016年6月冬季波浪作用後二仁溪至興達漁港海岸段地形水深侵淤圖

資料來源：茄萣離岸堤_2015 年 6~10 月夏季及 2015 年 10 月~2016 年 6 月冬季波浪作用後二仁溪至興達漁港海岸段地形_擷取自_高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析(總報告)_2016. jpg

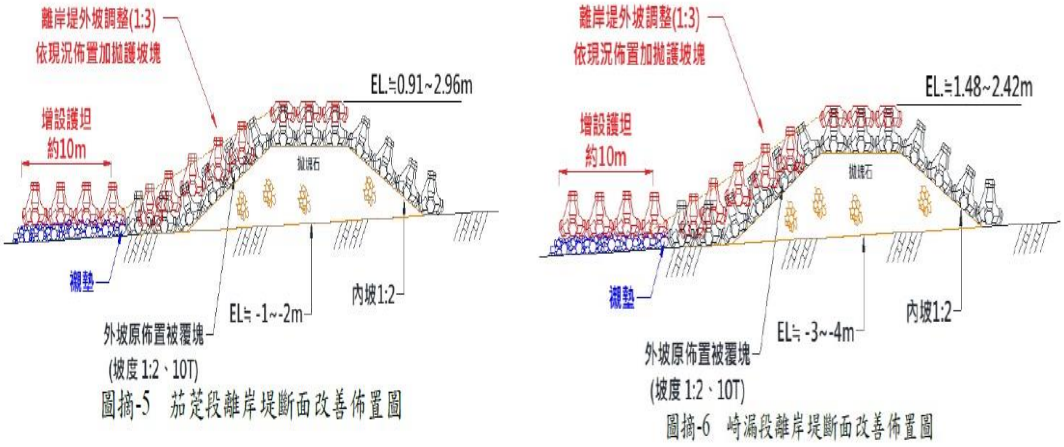
圖4.5 高雄茄萣海岸夏、冬季波浪作用後之海灘地形沖淤變遷

表 4.1 高雄茄萣至崎漏海岸段之離岸堤群配置尺寸與堤後淤沙狀況

表 5-4-4 離岸堤及堤後現況淤沙類型表

海堤	編號	堤長 (L_B)	開口寬 (G)	離岸距離(Y)	堤前現況水深高程(h)	堤後沙灘寬 (X_S)	沙舌類型	堤後現況淤沙情形
茄萣海堤	1	101.2	46.9	172.1	-3.2	107.2	B	沙舌
	2	101.0	*	164.0	-3.3	94.9	B	沙舌
	3	80.9	40.0	73.9	-3.5	0.0	-	-
	4	85.4	32.1	89.1	-3.4	42.7	B	沙舌
	5	81.3	37.5	90.7	-2.1	0.0	-	-
	6	93.7	27.6	94.0	-2.0	0.0	-	-
	7	92.0	36.3	78.9	-2.0	22.8	C	沙舌
	8	95.4	23.3	59.2	-2.0	21.8	C	沙舌
	9	92.8	32.8	57.1	-2.0	57.1	B	繫岸沙洲
	10	90.8	24.7	40.1	-2.0	40.1	B	繫岸沙洲
	11	24.7	23.0	26.7	-2.0	26.7	B	繫岸沙洲
	12	110.4	7.7	63.8	-2.2	63.8	B	繫岸沙洲
	13	101.0	21.9*	74.1	-2.2	74.1	B	繫岸沙洲
	14	98.0	13.6	66.8	-2.2	66.8	C	繫岸沙洲
	15	102.8	37.0	75.8	-2.5	75.8	C	繫岸沙洲
	16	102.0	8.9	59.4	-3.2	59.4	C	繫岸沙洲
	17	110.5	8.0	62.5	-3.2	62.5	C	繫岸沙洲
	18	106.2	18.0	69.2	-3.5	69.2	C	繫岸沙洲
	19	99.1	21.1	61.6	-3.7	23.8	A	沙舌
	20	99.0	25.4	67.2	-3.8	25.7	A	沙舌
	21	93.2	31.3	72.3	-4.0	24.5	A	沙舌
	22	92.5	33.1	77.0	-4.1	23.2	A	沙舌
	23	60.2	33.3	80.4	-4.6	17.6	A	沙舌
	24	76.0	30.9	79.4	-4.4	21.9	A	沙舌
	25	73.2	40.3	78.7	-4.6	19.6	A	沙舌
崎漏海堤	26	171.2	62.6	79.3	-4.5	79.3	C	繫岸沙洲
	27	161.3	93.0	56.4	-4.3	56.4	C	繫岸沙洲
	28	151.9	100.1	59.6	-4.5	0.0	-	-
	29	166.6	75.0	81.8	-4.5	81.8	C	繫岸沙洲
	30	176.2	71.2	80.1	-4.6	0.0	-	-
	31	167.0	69.0	81.1	-4.8	14.4	A	沙舌
	32	173.7	69.9	89.1	-4.5	0.0	-	-
	33	169.1	*	69.3	-4.8	69.3	C	繫岸沙洲

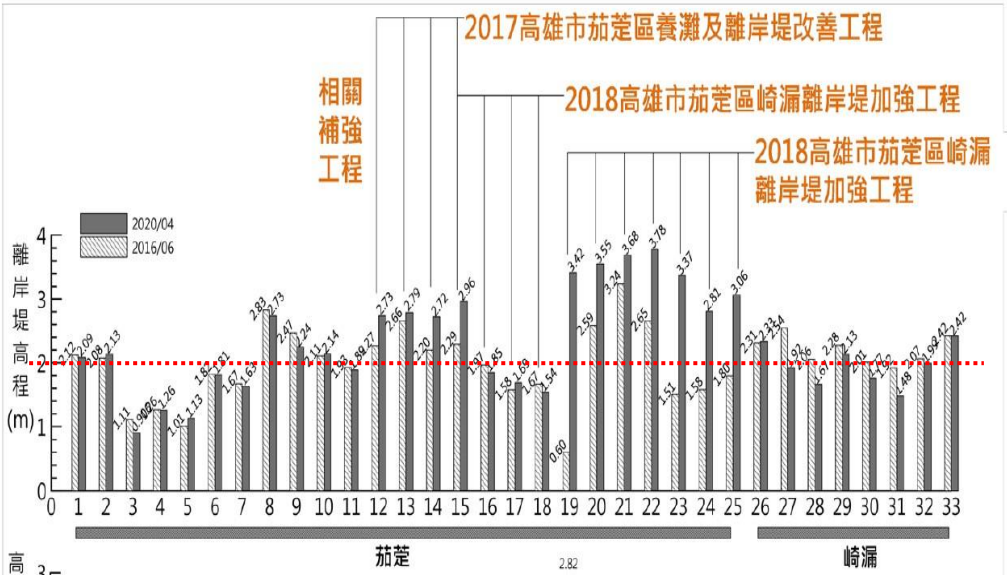
備註：1.取各海堤岸段離岸堤前底床高程作為輸入條件。
2.單位(公尺)。
3.「*」表示其間距過大，取前一開孔寬做淤沙理論分析，以符合現況淤沙情形。
資料來源：高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_經濟部水利署第六河川局，2021。



圖摘-5 茄萣段離岸堤斷面改善佈置圖　　圖摘-6 崎漏段離岸堤斷面改善佈置圖

資料來源：茄萣海堤_茄萣段(左)、崎漏段(右)離岸堤斷面改善佈置圖_高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_經濟部水利署第六河川局_2021. jpg

圖4.6 高雄茄萣(左)與崎漏(右)海岸段之離岸堤斷面改善配置圖



資料來源：高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_經濟部水利署第六河川局，2021。

圖4.7 高雄茄萣海岸段離岸堤群之出水高度變化與差異

圖4.8 高雄茄萣海岸離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷

圖4.9 高雄崎漏海岸離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷

另外，位在鳳鼻頭漁港南側至高屏溪口北側的林園海岸段，全長約 7 公里，如圖 4.10 所示。在高雄林園海岸段內，由北而南，包含有中門、港埔、港嘴、西溪、中芸與東、西汕等海堤，自 1997 年起迄今，歷年來布建在本海岸段的離岸堤，共計有 35 座，其配置狀況與編號，如圖 4.11 所示；各別離岸堤的布建年序先後，參見圖 4.12 所示。在本

海岸段之波浪特性，依據中央氣象局小琉球資料浮標 2003 至 2014 年的觀測資料統計，以及參考高雄港域 2000 年至 2016 年海氣象觀測統計資料(運研所，2017)，可綜合整理夏、冬季之波浪玫瑰圖，如圖 4.13 所示，由圖觀察可見，主要波高，概約在 1.2m 以下；主要之波向，集中於 NW~SW 間。

本海岸區段相關之海灘地形變遷歷程，參考經濟部水利署臺灣海岸詳介之屏東海岸 (https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=3253&s=19360)可知，於 1904 至 1925 年期間，位在鳳鼻頭漁港至中芸漁港間，海灘寬度成長約 10~60m；於 1925 至 1943 年期間；除中門海堤段海灘略增約 20m 左右外，其餘則後退約 20~80m；港埔海堤段，於 1989 年至 2004 年間，海灘寬度由 0m 約成長至 40m 左右，直至目前大致維持此一寬度；港嘴海堤與西溪海堤區段之海灘寬度，自 1898 年以來，均為消長互見情形；中芸海堤段之海灘寬度，於 1992~1996 年曾達 65m，往後海灘線雖有消長，但迄今仍略能維持有 30m 寬度；東、西汕海堤段，於 1989 年至 1997 年間，海灘寬度大約維持在 35m 左右，**1997 年建置離岸堤後**，海灘寬度明顯成長，且於 2004 年後，海灘寬度約維持在 110m 左右。相關本海岸段在 2019 年夏、冬季波浪作用後之海灘地形沖淤變遷，如圖 4.14 所示。

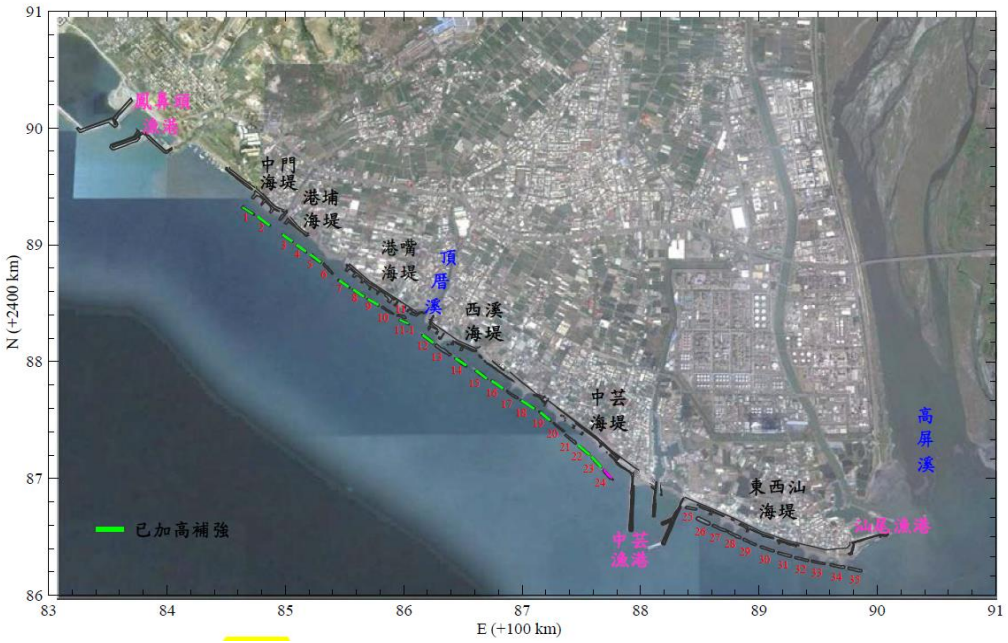
至於林園海岸段之離岸堤群配置尺寸，如表 4.2 所示，由表觀察可見，本海岸段的離岸堤，長度大多介在 100~125 公尺間，離岸距離普遍可達 75~110 公尺，離岸堤間距，概約是 20~40 公尺。離岸堤之建置工法，亦多以拋塊石作基礎，堤頂及堤面，再依不同位置，分別搭配排放 10T 或 5T 之混凝土塊；而補強離岸堤之工法，大多係以混凝土塊，亂拋於需補強面，補強改善後，離岸堤高度約為 2 公尺，典型的離岸堤斷面改善配置圖，如圖 4.15 所示。

歷經長年暴潮大浪的衝擊，本海岸段位在中門、港埔、港嘴、西溪、中芸與東、西汕海堤外之離岸堤群，在 2016 年 6 月與 2020 年 4 月間，經以空載光達檢測，並依據掃描各座離岸堤頂坐標與高程之點雲資訊，

可分析得各座離岸堤，其平均堤頂高程或出水高度，如圖 4.16 所示。相關中芸海堤及東、西汕海堤外之離岸堤群，歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷狀況，檢視 Google Earth 之歷史圖像，可分別整理如圖 4.17 及圖 4.18 所示。由圖綜合觀察可見，本海岸段的離岸堤群，僅管同一局部海岸區段內，波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、堤體配置形式、河口沙源供給、河川浚沙補注以及漁港外廓防波堤干擾情況相近似，離岸堤長與離岸距比值以及離岸堤間距，亦多數符合本報告第 3.3.2 節所述之經驗配置準則，但在毗鄰離岸堤之堤後，仍普遍可見淤沙效能存在明顯差異，海灘更有不同形態的地形變遷。

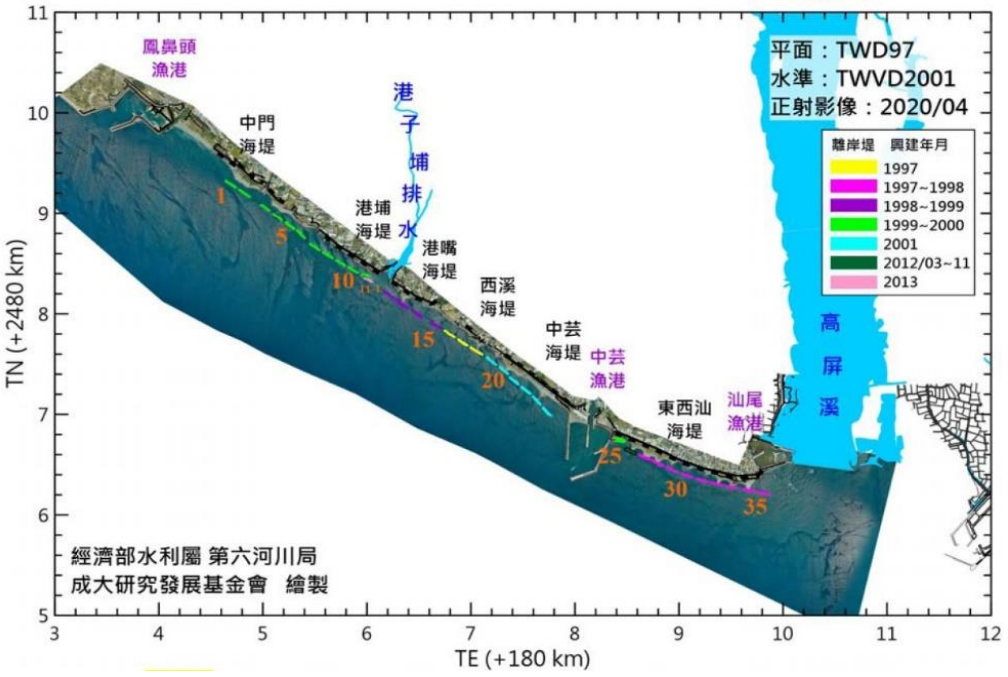
林園離岸堤群__鳳鼻頭漁港-高屏溪口_Google Earth_區_2022_03.jpg

圖4.10 自鳳鼻頭漁港南側至高屏溪口北側全長約7公里高雄林園海岸



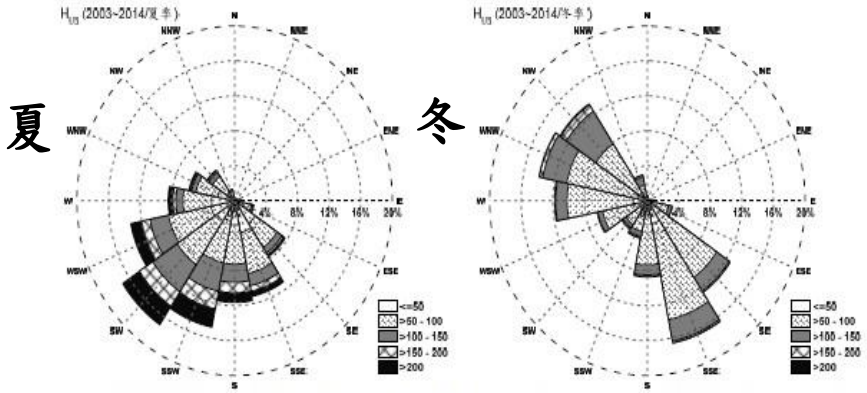
資料來源：高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析(總報告)_經濟部水利署第六河川局_2016

圖4.11 高雄林園海岸段中門、港埔、港嘴、西溪、中芸與東、西汕海堤外的離岸堤群配置與編號



資料來源：高雄海岸防護基本資料調查_高屏溪至鳳鼻頭段_經濟部水利署第六河川局_2020

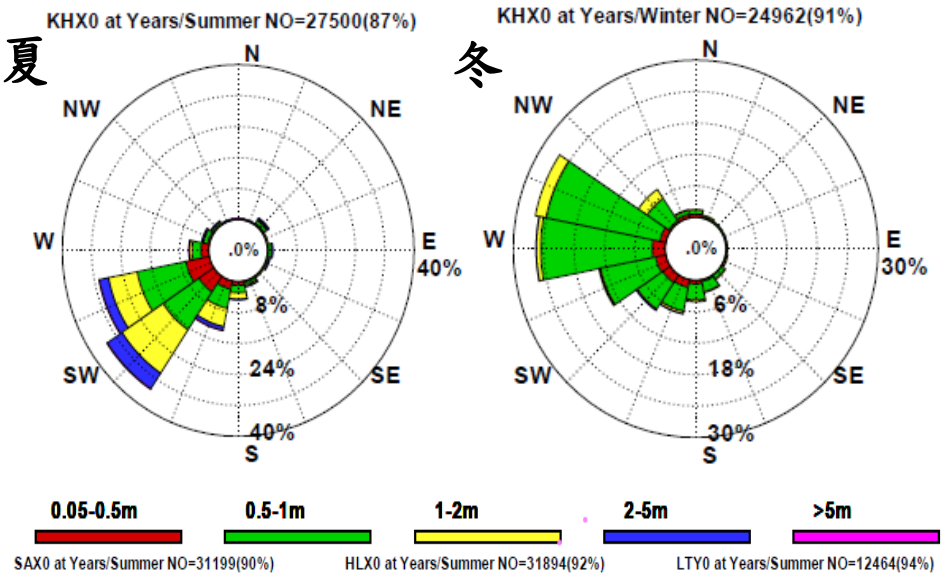
圖4.12 高雄林園海岸自鳳鼻頭漁港至高屏溪口的離岸堤群的離岸堤群布建年序



資料來源：水利署，本計畫統計繪製；單位：波高(cm)；統計期間：2003~2014 年。

圖 2-16 小琉球資料浮標夏季與冬季波高波向玫瑰圖 (2003～2014 年)

資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(1-2)_小琉球資料浮標夏季與冬季波高波向玫瑰圖(2003～2014年). jpg



資料來源：交通部運輸研究所，2016 年港灣海氣象觀測資料年報

圖4.13 高雄林園海岸段小琉球資料浮標統計2003~2014年(上)及高雄港海域波浪監測統計2000~2016年(下)夏、冬季之波浪玫瑰圖

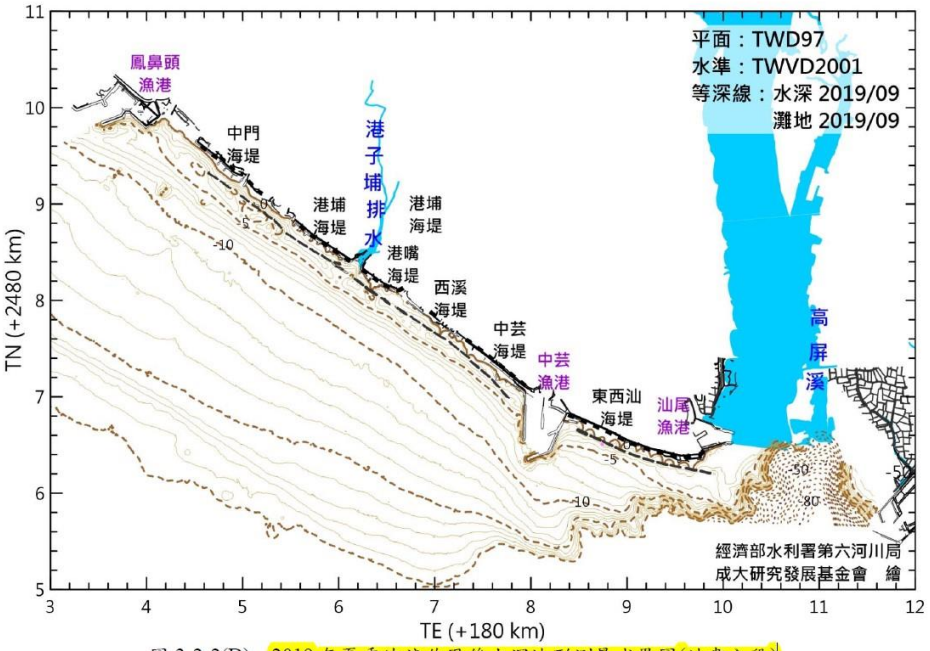


圖 3-2-2(D)　2019 年夏季波浪作用後水深地形測量成果圖(計畫全段)

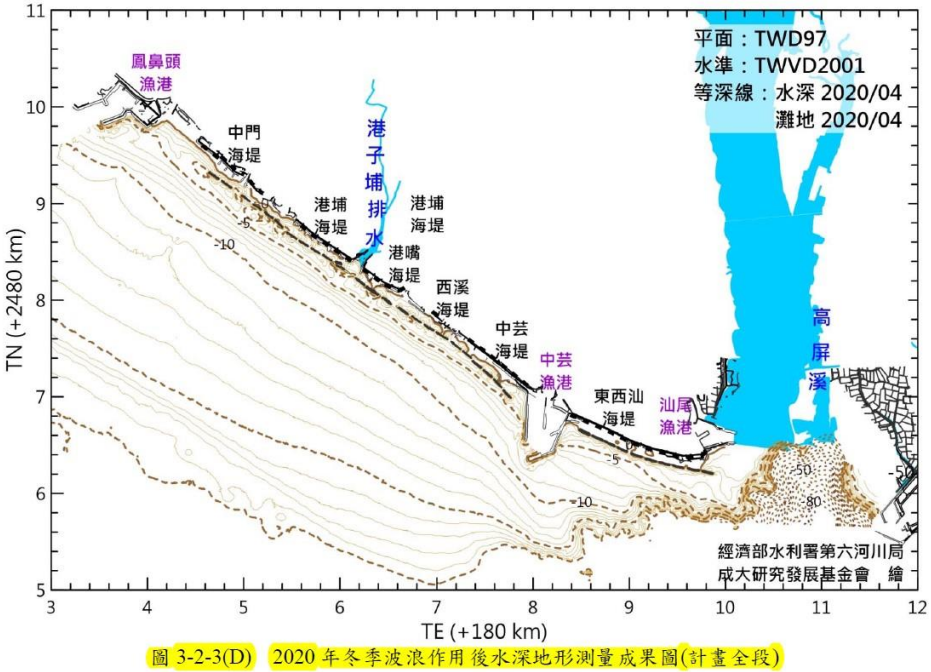


圖 3-2-3(D)　2020 年冬季波浪作用後水深地形測量成果圖(計畫全段)

資料來源：高雄海岸防護基本資料調查_高屏溪至鳳鼻頭段_經濟部水利署第六河川局_2020

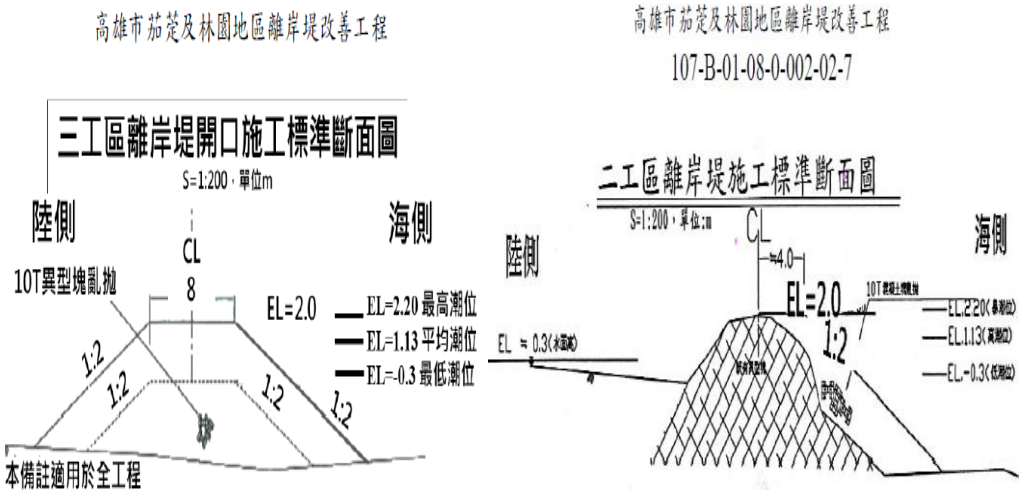
圖4.14 高雄林園海岸2019年夏季(上)與冬季(下)波浪作用後之海灘地形沖淤變遷

表 4.2 高雄林園海岸段之離岸堤群配置尺寸與堤後淤沙狀況

海堤堤段	離岸堤編號	堤長(m)	開口寬(m)	離岸距離(m)	堤前水深(m)	堤後沙灘寬(m)
中門海堤	1	125.2	30.2	110.3	5.5	55.6
	2	133.5	30.0	95.8	2.3	39.8
	3	117.4	25.2	104.2	6.0	55.2
	4	120.0	33.9	100.6	5.8	53.2
	5	117.1	26.6	101.7	7.6	44.0
	6	113.2	26.6	99.8	5.6	37.6
港埔海堤	7	122.9	24.2	120.2	2.9	0.0
	8	121.3	28.9	97.8	4.1	0.0
	9	110.6	25.8	90.9	3.4	0.0
	10	113.2	21.8	81.8	3.9	0.0
	11-1	204.9	21.8	85.1	5.0	0.0
港嘴海堤	12	127.2	19.0	86.8	3.2	0.0
	13	137.0	20.0	95.3	5.4	95.3
	14	123.9	44.0	98.3	4.0	0.0
西溪海堤	15	164.9	36.1	107.3	2.5	0.0
	16	125.7	35.0	84.8	4.1	0.0
	17	114.5	20.6	82.9	3.0	16.8
	18	132.6	51.9	76.4	2.8	76.4
	19	134.1	26.0	75.3	2.7	20.4
	20	118.2	25.9	75.3	2.6	75.3
	21	123.4	21.8	82.4	3.3	34.2
中芸海堤	22	121.3	27.5	104.4	4.0	18.2
	23	117.8	31.8	96.0	4.0	96.0
	24	111.5	31.8	112.6	4.2	0.0
東西汕海堤	25	114.0	76.1	-	-	-
	26	112.5	34.1	92.8	2.7	92.8
	27	127.3	23.2	88.7	3.0	88.7
海堤堤段	離岸堤編號	堤長(m)	開口寬(m)	離岸距離(m)	堤前水深(m)	堤後沙灘寬(m)
	28	103.7	36.0	83.9	2.9	83.9
	29	105.8	35.0	88.2	4.5	88.2
	30	108.9	38.8	86.0	4.0	33.5
	31	117.3	33.3	81.7	4.6	38.3
	32	110.2	35.0	93.2	3.3	93.2
	33	112.6	47.5	87.5	3.3	87.5
	34	117.5	43.7	81.9	3.3	81.9
	35	99.9	-	224.2	2.6	0.0

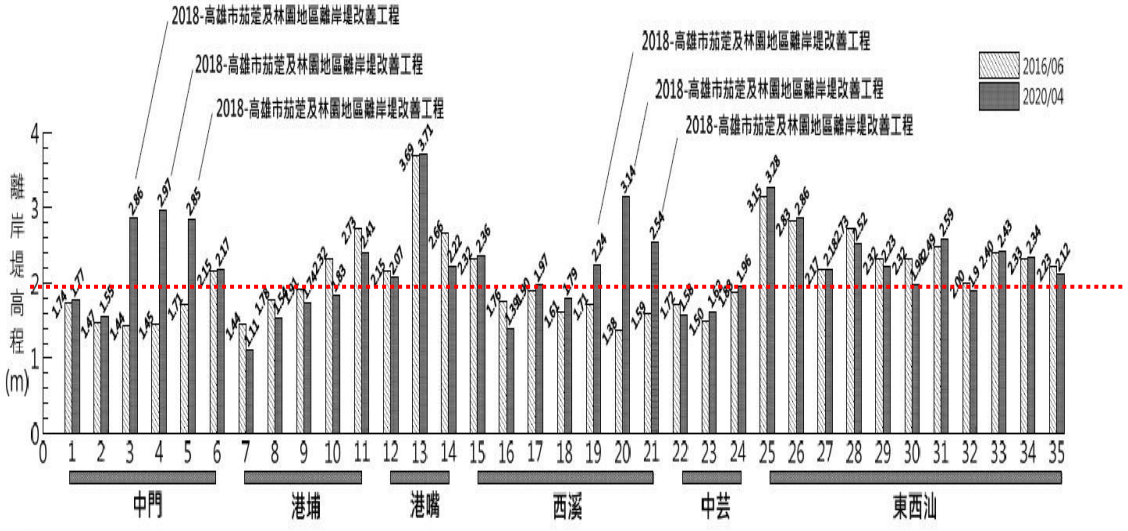
註：倘未來因離岸堤沈陷，維護/維持離岸堤長及開口寬建議值。

資料來源：高雄海岸防護基本資料調查_高屏溪至鳳鼻頭段_經濟部水利署第六河川局_2020.



資料來源：高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_經濟部水利署第六河川局_2021；高雄海岸防護基本資料調查_高屏溪至鳳鼻頭段_經濟部水利署第六河川局_2020

圖4.15 高雄林園海岸段之離岸堤斷面改善配置圖



資料來源：高雄海岸防護基本資料調查_高屏溪至鳳鼻頭段_經濟部水利署第六河川局_2020

圖4.16 高雄林園海岸中門、港埔、港嘴、西溪、中芸與東、西汕海堤外離岸堤群之出水高度變化與差異

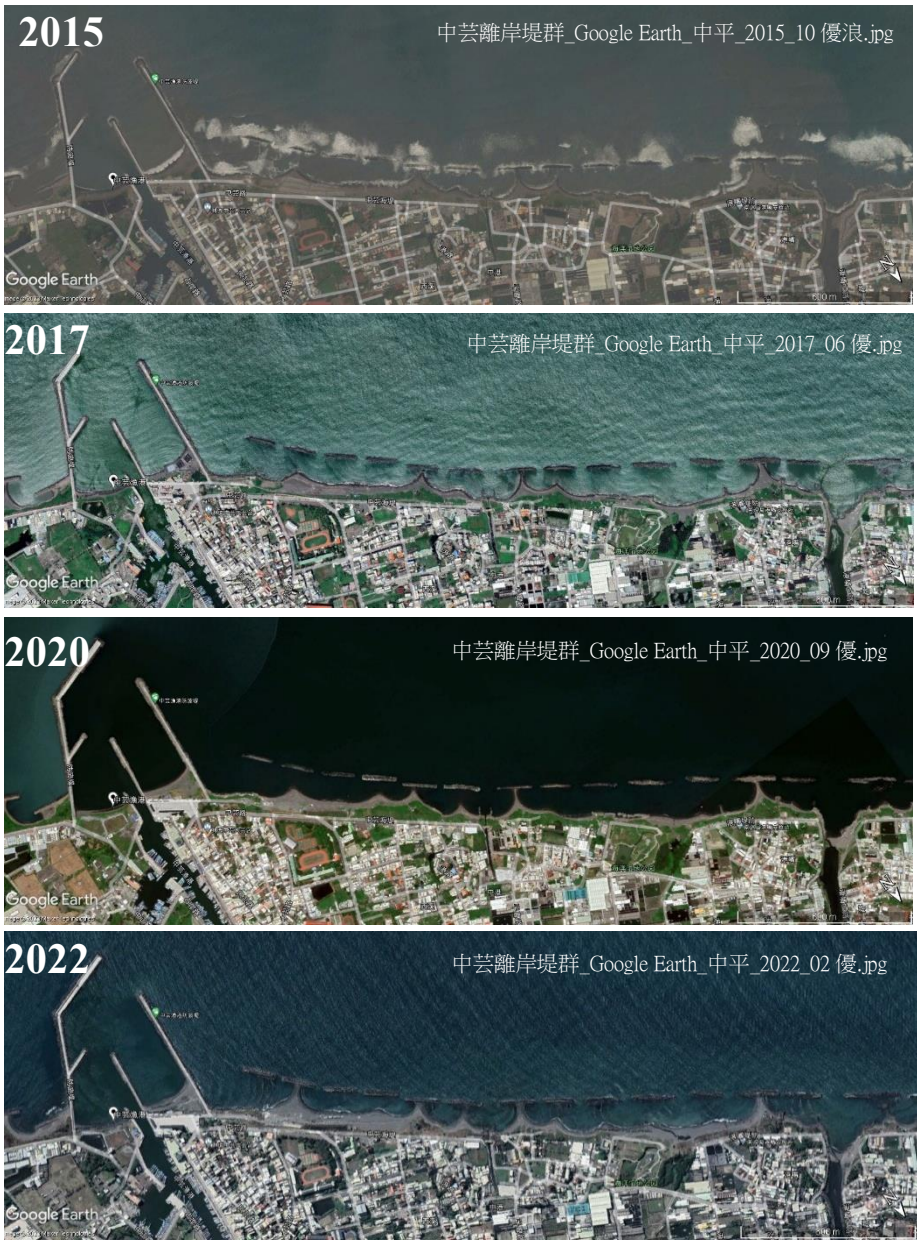


圖4.17 高雄林園海岸中芸海堤外離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷

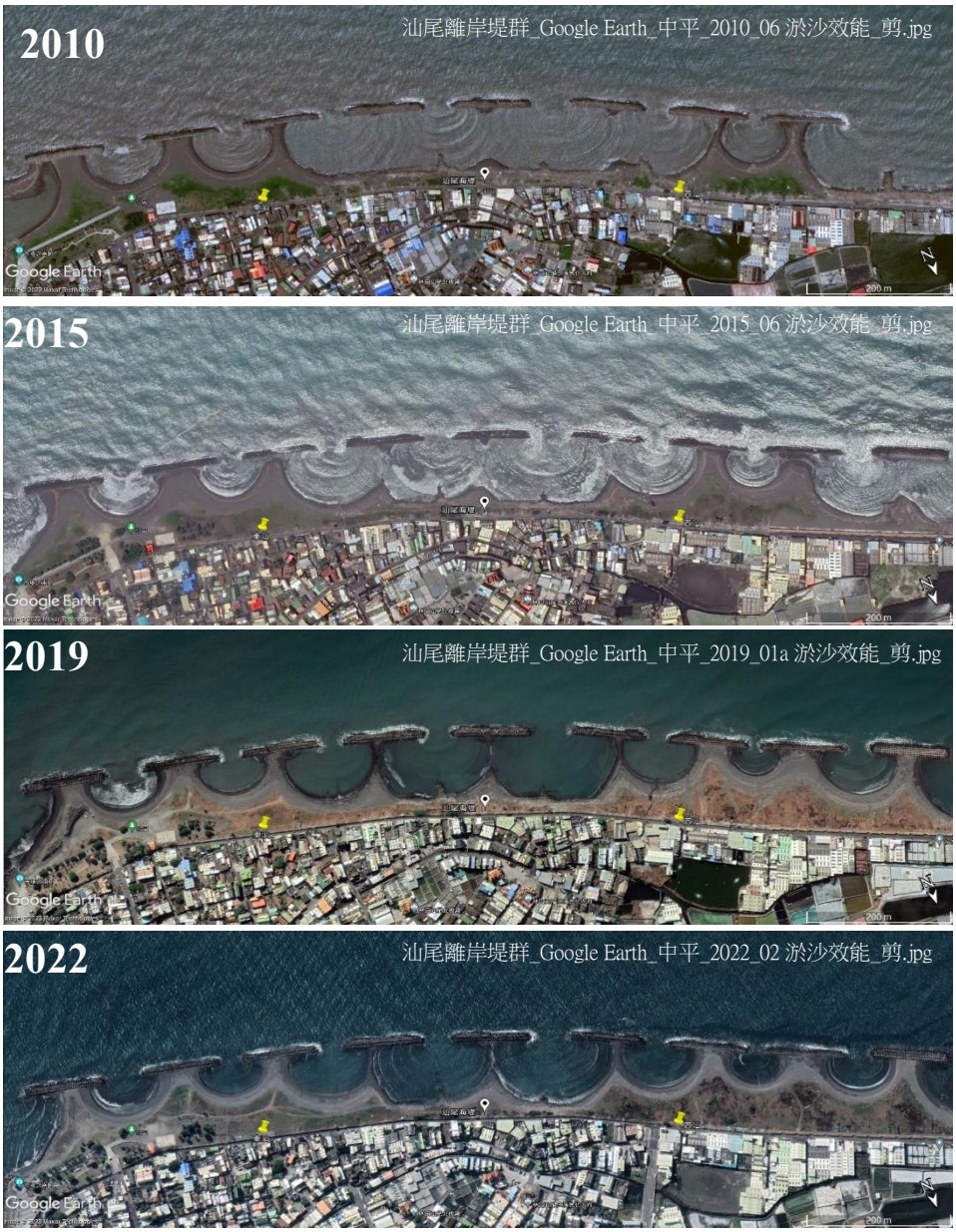


圖4.18 高雄林園海岸東、西汕海堤外離岸堤群歷年堤後淤沙效能與海灘地形變遷

4.1.2 屏東海岸的離岸堤群配置與堤後之淤沙效能

屏東東港至枋寮海岸，為重要社經發展地區。自東港溪口南岸至枋寮漁港北側之屏東東港、林邊、佳冬、枋寮海岸段，沿岸長度約 19.2 公里，其中，自東港溪口南岸至大鵬灣北堤間之東港海堤段，沿岸長度約 2.5km；大鵬灣南堤至林邊溪口北岸，包括南平海堤、塗家厝海堤、崎峰海堤與水利村海堤之林邊海岸段，沿岸長度約 7.2km；林邊溪口南岸至枋寮漁港北側，包括塭豐海堤與番子崙海堤之佳冬-枋寮海岸段，沿岸長度約 9.5km，全海岸段範圍，如圖 4.19 所示。

在本海岸段內，早年原是一片沙地連綿的海灘，概約自民國 60 年起，國內水利單位(台灣省政府水利處)為防潮禦浪，最先在林邊與佳冬海岸段，進行海堤興建，並於 70 年代初期，完成沿岸海堤佈設。然而，自民國 63 年開始，由於沿海養殖業興起且擴張迅速，並大量抽取地下水，致使地盤嚴重沉陷，海岸侵蝕退縮，迫使海堤完成後，需再持續進行加高補強，並得加強堤前保護工之施作，歷經多年整建，大部份海堤已從重力式、階梯式或雍壁式鋼筋混凝土形式，改為複式斷面形式，又為消減波浪對海堤的沖刷作用，於民國 76 年起，開始在塭豐海岸，施作離岸堤群工程，從此，海岸災害的防護，因而得以從往昔單純採用海堤之線保護方式，提昇為含括離岸堤群之面保護型態，只是各海岸區段之離岸堤群，由於布建年序有先後，建構密度、長度及設置間隔常不一致，部分區段，更有新舊離岸堤層層交疊、疏密交錯情況，這不僅在同一區段海岸形成特殊的海岸保護景觀，尚造成固沙效果，呈現差異性。僅管如此，基於離岸堤本質之顯著消浪減沖效能，加以在地方民眾的長年生活經驗中，深深認知離岸堤群的布建，可以有效保護家園，因此，離岸堤群工程，遂在地方民眾與民意代表之要求下，陸續於本海岸段之塗家厝、崎峰、水利村、塭豐至下寮等海堤外增建。截至 2021 年止，依據水利署七河局(2021)「110 年度屏東縣一般性海堤風險評估」成果報告書所記載，屏東東港至枋寮海岸段，共完成各型海岸保護工 6,014 公尺、海堤 23,953 公尺、突堤 7 座、防潮堤 4 座、離岸堤共 134 座(含

潛堤 3 座)，長度合計約 15,184 公尺(水利署七河局，2015；2016；2021)。其中，位在林邊海岸段南平海堤、塗家厝海堤、崎峰海堤與水利村海堤外之離岸堤群配置，以及位在佳冬-枋寮海岸段塭豐海堤、葫蘆尾、大庄與番子崙海堤外之離岸堤群配置狀況，如圖 4.20 所示。

在本海岸段之波浪特性，依據中央氣象局大鵬灣資料浮標 2002 至 2012 年的觀測資料統計，可得夏、冬季之波浪玫瑰圖，如圖 4.21 所示。主要的海象資訊，50 年重現期的設計暴潮水位為 1.55 公尺、設計波高與週期分別為 11.42 公尺與 17.4 秒；夏季季風波浪，波高 1.55 公尺、週期 6.84 秒、波向 SW；冬季季風波浪，波高 0.86 公尺、週期 6.21 秒、波向 W；50 年重現期之颱風波浪，波高 7.6 公尺、週期 11.0 秒、波向 SW(水利署七河局，2015；2016；2021)。

受波浪長年的沖刷作用，在東港至塭豐以及塭豐至枋寮海岸段，近岸海域的地形水深與海灘沖淤變遷情況，如圖 4.22 所示。離岸堤群布建配置與編號，如圖 4.23 所示。離岸堤之建置工法，多以拋塊石作基礎，堤頂及堤面，再依不同位置，分別搭配排放 10T 或 5T 之混凝土塊；而補強離岸堤之工法，大多係以混凝土塊，亂拋於需補強面，補強改善後，離岸堤高度約為 2 公尺。在塭豐海岸、大庄海岸及番子崙海岸，從海堤至離岸堤外的代表性海灘斷面，分別如圖 4.24 至圖 4.26 所示。

在林邊溪口北岸，由北而南檢選 4 個跨離岸堤斷面，可得各別斷面上之海灘地形水深變化，如圖 4.27 所示，其中，位於塗家厝海堤北端之斷面，起點為海堤頂之道路水泥平台，海堤前有塊石與消波工佈置，海堤的堤頂高程約 5.85 公尺，斷面穿越之離岸堤，高程約 2.11 公尺，灘面坡降平緩，高潮時水位接近消波工堤趾處，目前消波塊有沉陷或掩埋之情形；位於塗家厝海堤南端之斷面，起點為海堤後道路，堤前有塊石與消波工佈置，海堤的堤頂高程約 5.54 公尺，斷面穿越之離岸堤，高程約 0.94m 公尺，沙灘寬度約 30 公尺，高潮時水位接近消波工堤趾處，目前消波塊有沉陷或掩埋之情形；位於崎峰海堤中段之斷面，起點為堤後道路，堤前有消波工佈置，海堤的堤頂高程約 5.05 公尺，斷面

穿越之離岸堤，高程約 1.45 公尺，沙灘灘面略寬，目前消波塊亦有沉陷或掩埋之情形；位於水利村海堤北端之斷面，起點為堤後道路，堤前無消波工佈置，曾以林邊溪疏濬河沙作養灘，堡因波浪掏刷作用，灘前已近乎形成垂直灘崖，海堤的堤頂高程約 5.18 公尺，斷面穿越之離岸堤，高程約 2.02 公尺，退潮時，離岸堤後可見繫岸沙洲，沙灘灘面較寬，惟可能受颱風波浪影響，離岸堤堤趾處，受波浪掏刷情形明顯，掏出之底質有帶往近岸海域之情形。

在林邊溪口南岸，由北而南檢選 4 個跨離岸堤斷面，可得各別斷面上之海灘地形水深變化，如圖 4.28 所示，其中，位於塭豐海堤中間處之斷面，海灘地形高程由 2.24 公尺降至 0.84 公尺，海堤外有雙層離岸堤佈置，外離岸堤距離海堤堤腳處約 95m，離岸堤之堤身高程，最高為 1.24 公尺；位於頂寮附近塭豐海堤南端之斷面，海堤最大高程約 5.67 公尺，海堤外有消波塊石，海灘地形高程由 3.61 公尺陡降至-2.07 公尺，坡降約 18.9/100，海堤外有單層離岸堤，高程約 0.93 公尺；位於葫蘆尾海堤南側約 1 公里處之下寮海堤斷面，海堤最大高程約 5.99 公尺，堤外有佈置單層離岸堤，離岸堤後已有繫岸沙洲形成，海灘地形高程，由 1.72 公尺降至 1.43 公尺，坡降約 0.9/100，離岸堤之堤身高程，最高為 1.12 公尺；位於下寮海堤北側約 1 公里處之斷面，海堤最大高程約 5.77 公尺，海岸地形高程由 2.06 公尺降至 0.48 公尺，坡降約 2.4/100，堤外有佈置單層離岸堤，離岸堤之堤身高程，最高為 2.35 公尺。另外，依據水利署七河局(2014)執行「屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(1-2)」，辦理離岸堤初步效益評估結果可知，在 1975~2010 年期間，林邊溪口南岸外層第 1~18 座離岸堤間，沙灘呈現明顯侵蝕現象，最大侵蝕幅度可達 120 公尺，幾乎退到塭豐海堤位置，其原因與地層下陷有關；外層第 19 座離岸堤至葫蘆尾排水口間，沙灘亦呈現小幅侵蝕情形。另外，塭豐海堤之外層離岸堤，係在 1987~1988 年興建，內層 10 座離岸堤，則在 2011 年時完成，此期間，本海岸段在 2009 年 8 月，曾經歷過莫拉克颱風引發之颱洪災害，以及在 2011 年，曾以林邊溪河道疏濬河沙進行塭豐與水利村海岸之養灘工程，致使內層第 1~10 座離岸堤後，

至今沙灘仍維持良好，初步已達固沙效果；葫蘆尾海堤區段，海灘呈現侵淤互現情形；下寮至大庄海堤區段，在離岸堤後，大多有沙舌或繫陸沙洲形成，海岸線變化不大，但在無離岸堤保護處，則呈現侵蝕情形；番子崙海堤區段，在離岸堤興建前，海岸線幾乎退至現況海堤位置附近，離岸堤興建後海岸線則維持穩定，不再侵蝕(水利署七河局，2014)。

歷經長年暴潮大浪的衝擊，相關包含南平里、塗家厝、崎峰與水利村海堤之林邊溪口北岸段，以及包含塭豐、頂寮、下寮、大庄、番子崙海堤之林邊溪口南岸段，其配置離岸堤之出水高度差異，經以空載光達檢測，並依據掃描各座離岸堤頂坐標與高程之點雲資料分析，分別可得如圖 4.29 及圖 4.30 所示，由圖觀察可見，基於離岸堤之布建，多以拋塊石作基礎，堤頂及堤面，再依不同位置，分別搭配排放 10T 或 5T 之混凝土塊，且補強離岸堤之工法，大多係以混凝土塊，亂拋於需補強面，致使補強改善後之離岸堤，堤頂高度或出水高度，概約皆在 2 公尺左右。相關林邊溪口北岸及南岸段離岸堤群各別之詳細配置尺寸，分別如表 4.3 及表 4.4 所示。由表觀察可見，在林邊溪口北岸段，離岸堤長度大多是 70~90 公尺，堤寬約 8~17 公尺，離岸距離約 85~97 公尺，離岸堤間距，概約是 30~60 公尺；在林邊溪口南岸段，離岸堤長度大多亦是 70~90 公尺，堤寬約 8~33 公尺，離岸距離約 85~97 公尺，離岸堤間距，概約是 20~60 公尺。

依據 Google Earth 之歷史圖像，相關東港海岸塗家厝海堤外、林邊海岸崎峰海堤外、林邊海岸崎峰水利村海堤外、佳冬海岸塭豐頂寮海堤外、枋寮海岸下寮海堤外及枋寮海岸番子崙海堤外之離岸堤群，其毗鄰離岸堤後歷年之淤沙效能與海灘地形變遷狀況，可分別整理如圖 4.31 及圖 4.36 所示。由圖綜合觀察可見，在林邊溪口北岸及南岸段的離岸堤群，僅管同一局部海岸區段內，波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、堤體配置形式、河口沙源供給、河川浚沙補注情況相近似，離岸堤長與離岸距比值以及離岸堤間距，亦多數符合本報告第 3.3.2 節所述之經驗配置準則，但與高雄海岸段相似，在毗鄰離岸堤之堤後，仍然普

遍可見淤沙效能明顯呈現差異，海灘更有不同形態的地形變遷。

屏東海岸__東港溪口-枋寮漁港_Google Earth_區_2022_02 優.jpg

林邊溪口南北兩側的離岸堤群_Google Earth_區_2019_12 優.jpg

圖4.19 自東港溪口南岸至枋寮漁港北側全長約19.2公里之屏東東港、林邊、佳冬、枋寮海岸段

屏東縣離岸堤_2022_02_ 南平里離岸堤 6 座. jpg

屏東縣離岸堤_2022_02_塗家厝離岸堤 19 座. jpg

屏東縣離岸堤_2005_02_崎峰離岸堤 12 座. jpg

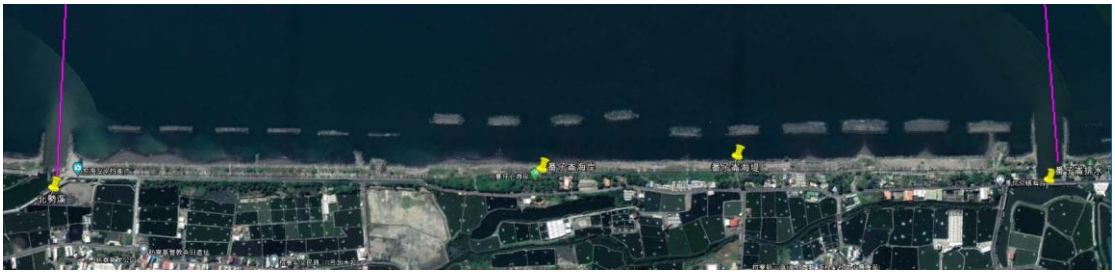
屏東縣離岸堤_2005_02_水利村離岸堤 15 座. jpg

圖4.20 屏東海岸東港-林邊段南平海堤、塗家厝海堤、崎峰海堤與水利村海堤外之離岸堤群配置

屏東縣離岸堤_2005_02_塭豐離岸堤 26 座. jpg

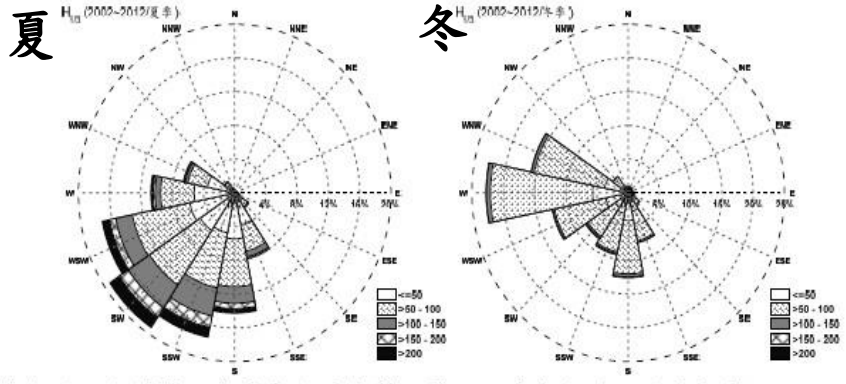
屏東縣離岸堤_2005_02_葫蘆尾離岸堤 3 座及下寮離岸堤 11 座. jpg

屏東縣離岸堤_2022_12_大庄離岸堤 10 座潛堤 1 座. jpg



屏東縣離岸堤_2022_02_番仔崙離岸堤 16 座. jpg

圖4.20(續) 屏東海岸佳冬-枋寮段塭豐海堤、葫蘆尾、大庄與番子崙海堤外之離岸堤群配置

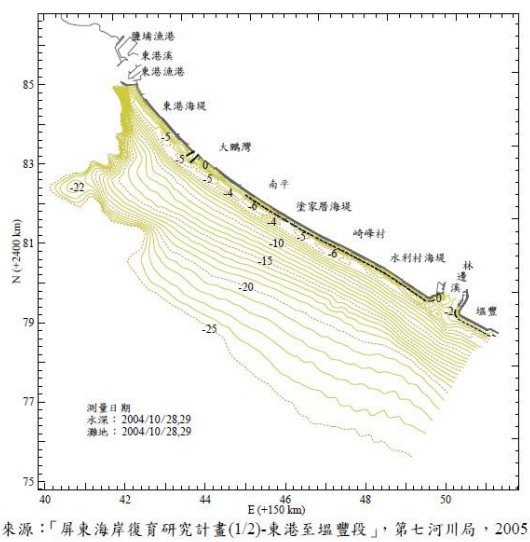


資料來源：水利署，本計畫統計繪製；單位：波高(cm)；統計期間：2002~2012 年。

圖 2-18 大鵬灣資料浮標夏季與冬季波高波向玫瑰圖 (2002～2012 年)

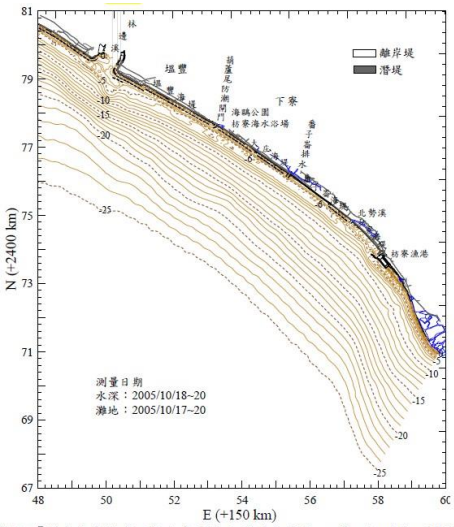
資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(1-2)_經濟部水利署第七河川局_2014

圖4.21 屏東海岸段大鵬灣資料浮標統計2002~2012年夏、冬季之波浪玫瑰圖



資料來源：「屏東海岸復育研究計畫(1/2)-東港至塭豐段」，第七河川局，2005

圖 2-14 東港至塭豐海域等深線圖



資料來源：「屏東海岸復育研究計畫(2/2)-塭豐至枋寮段」，第七河川局，2006 年。

圖 2-15 塭豐至枋寮海域等深線圖

資料來源：屏東縣塭豐海岸離岸堤群改善研究_經濟部水利署第七河川局_2016

圖4.22 屏東海岸段東港至塭豐海域及塭豐至枋寮海域的地形水深

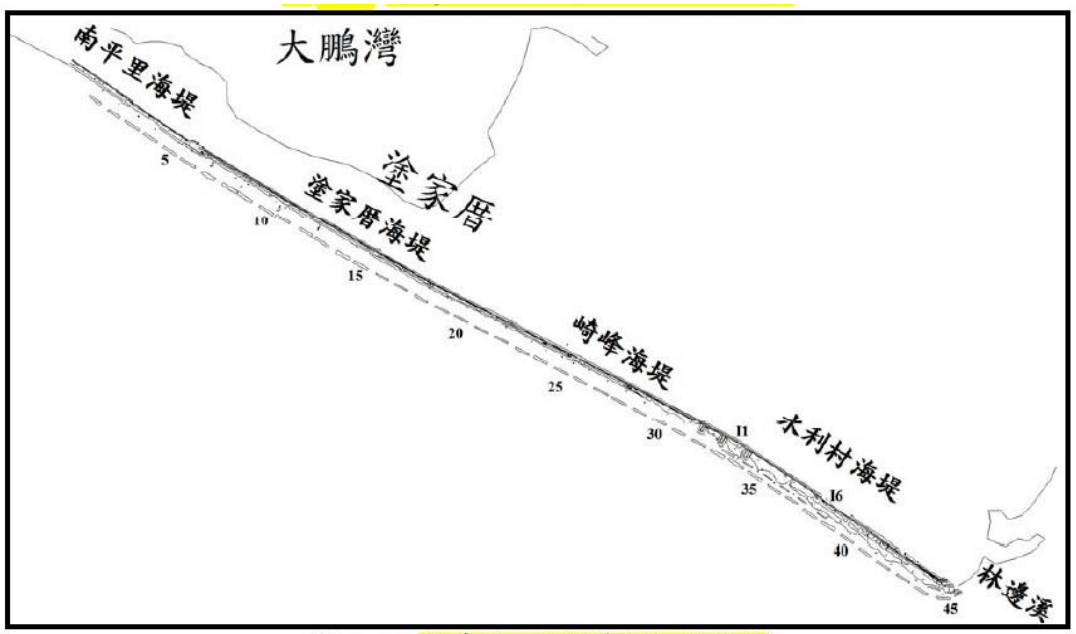


圖 3-21 林邊溪以北離岸堤位置編號

屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_圖 3-21 林邊溪以北離岸堤位置編號.jpg

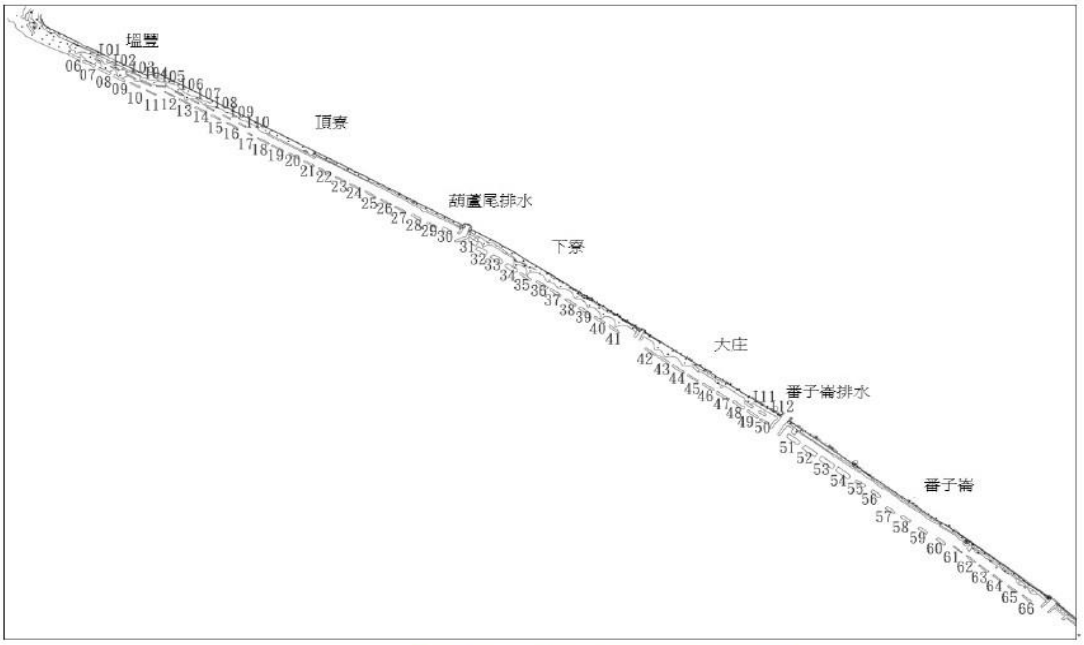
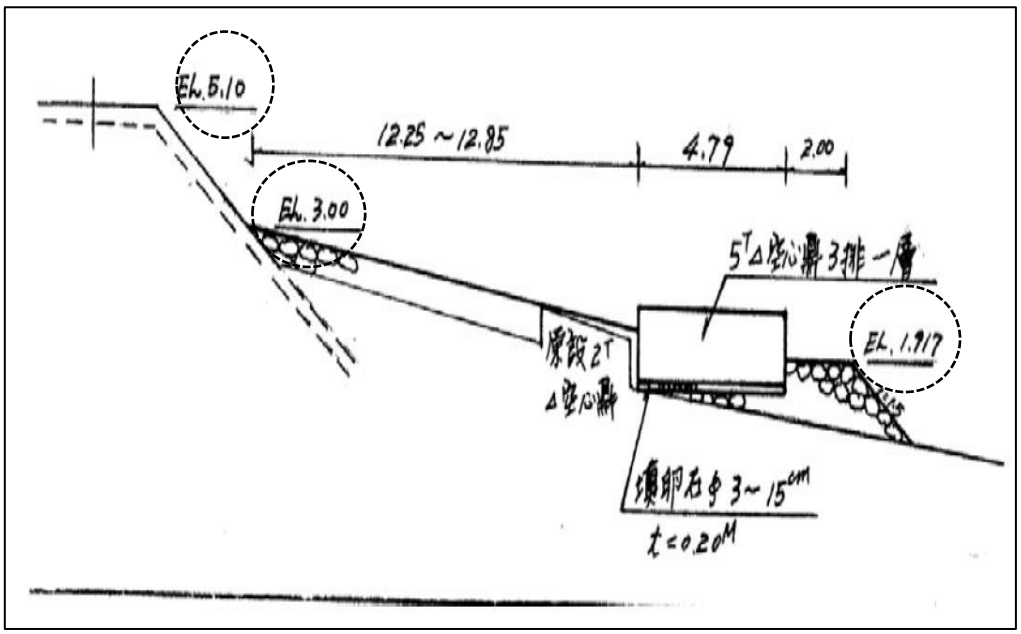


圖 3-34 林邊溪以南離岸堤位置編號

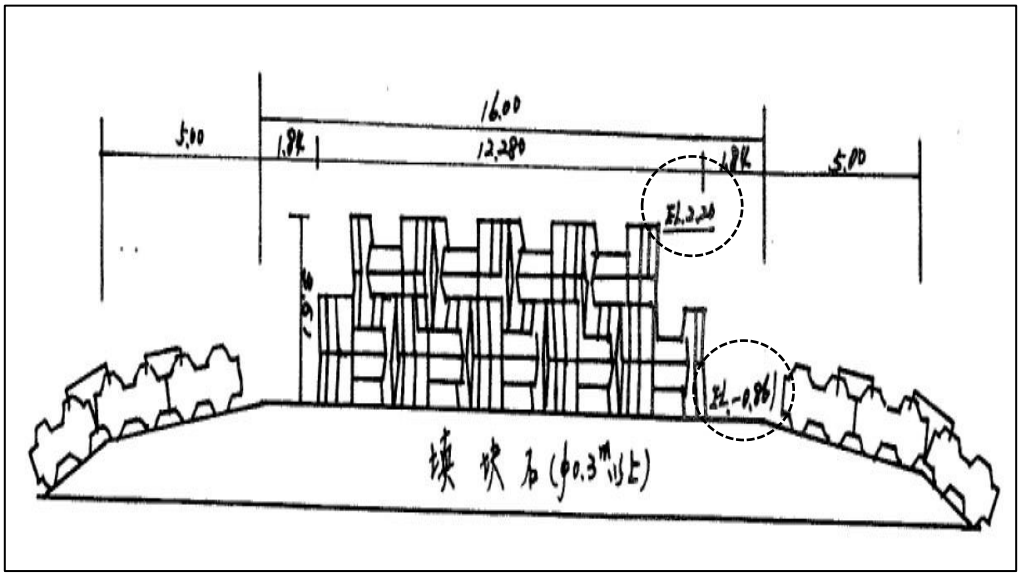
屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_圖 3-34 林邊溪以南離岸堤位置編號.jpg

資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_經濟部水利署第七河川局_2015

圖4.23 屏東林邊溪口北岸(上)及南岸(下)的離岸堤群布建配置與編號



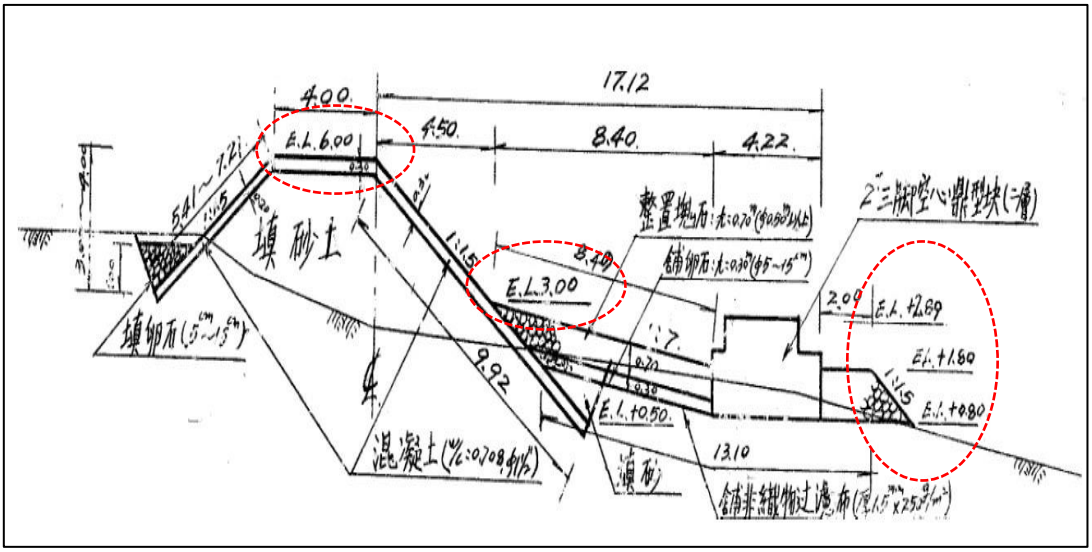
塭豐海堤設計斷面（No.15）尺寸單位 CM



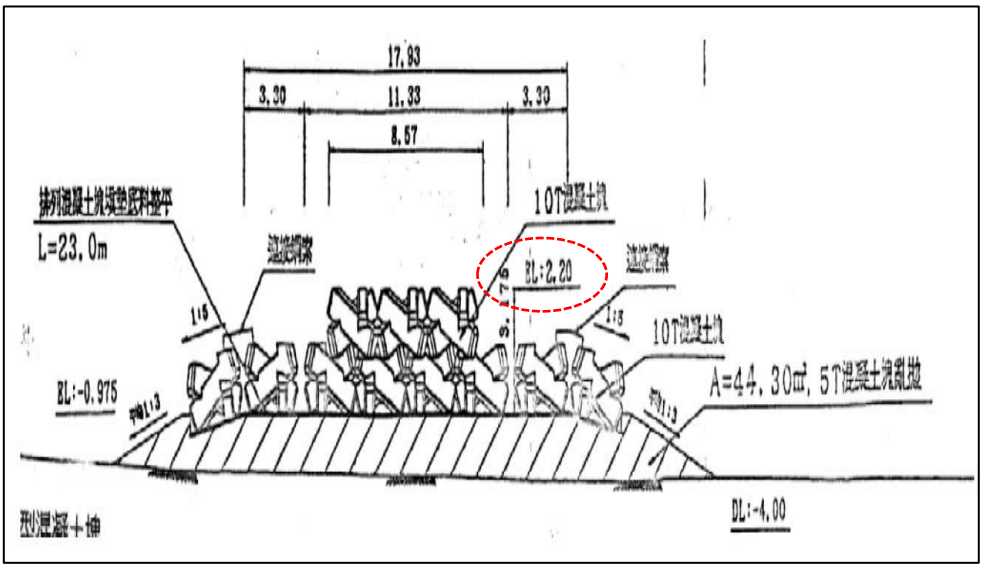
塭豐外層離岸堤設計斷面（No.15）尺寸單位 CM

資料來源：屏東縣塭豐海岸離岸堤群改善研究，經濟部水利署第七河川局，2016。

圖4.24 屏東縣塭豐海岸海堤(上)與離岸堤群(下)之斷面配置



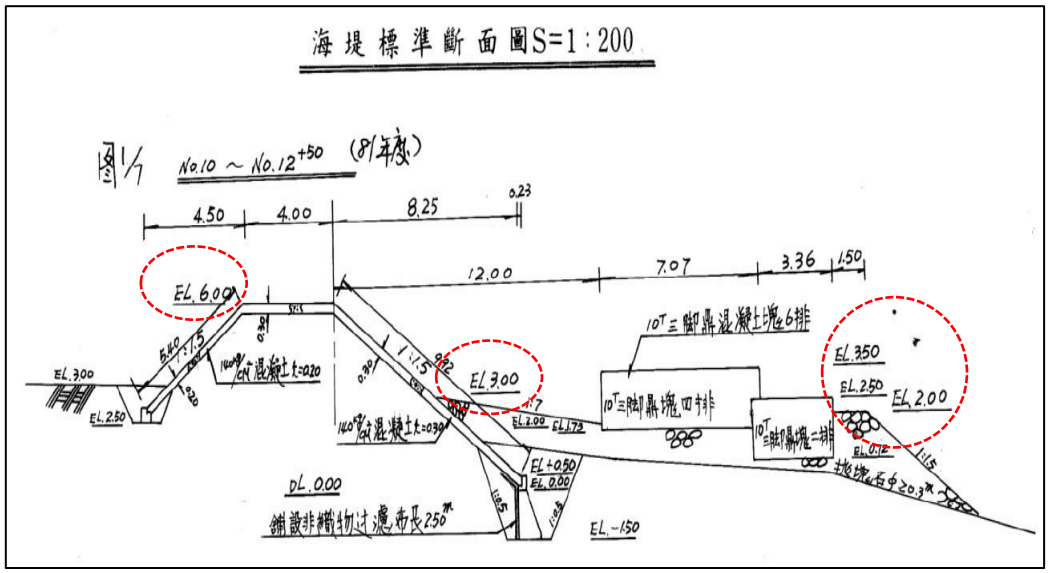
大庄海堤設計斷面（No.48）尺寸單位 CM



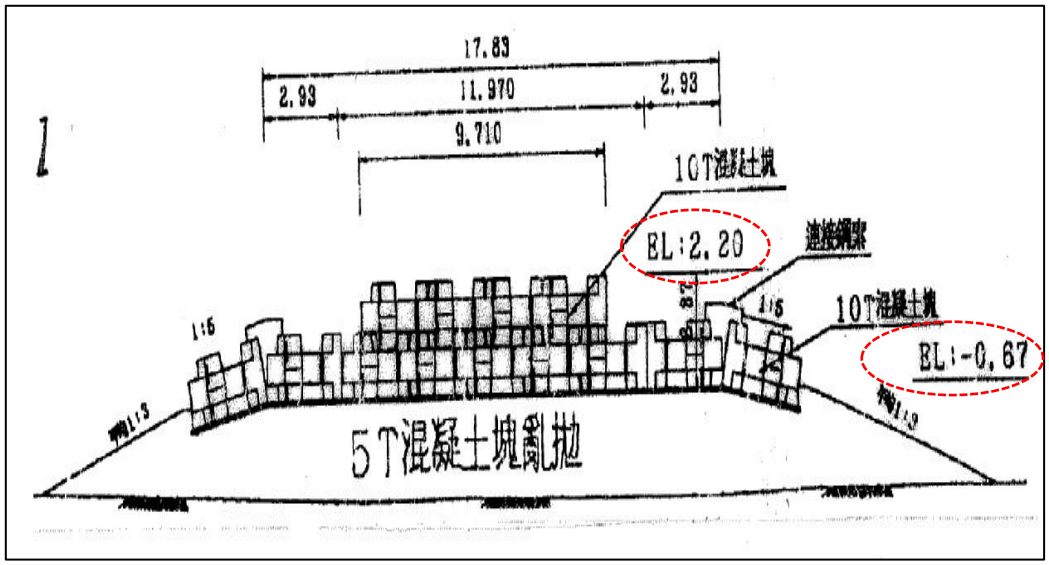
大庄內外層離岸堤設計斷面（No.48）尺寸單位 CM

資料來源：屏東縣瑯豐海岸離岸堤群改善研究，經濟部水利署第七河川局，2016。

圖4.25 屏東縣大庄海岸海堤(上)與離岸堤群(下)之斷面配置



番子崙海堤設計斷面（No.52）尺寸單位 CM



番子崙離岸堤設計斷面（No.52）尺寸單位 CM

資料來源：屏東縣塭豐海岸離岸堤群改善研究，經濟部水利署第七河川局，2016。

圖4.26 屏東縣番子崙海岸海堤(上)與離岸堤群(下)之斷面配置

林邊溪口北側_海堤-離岸堤地形水深斷面 3-5-7-9 位置. jpg

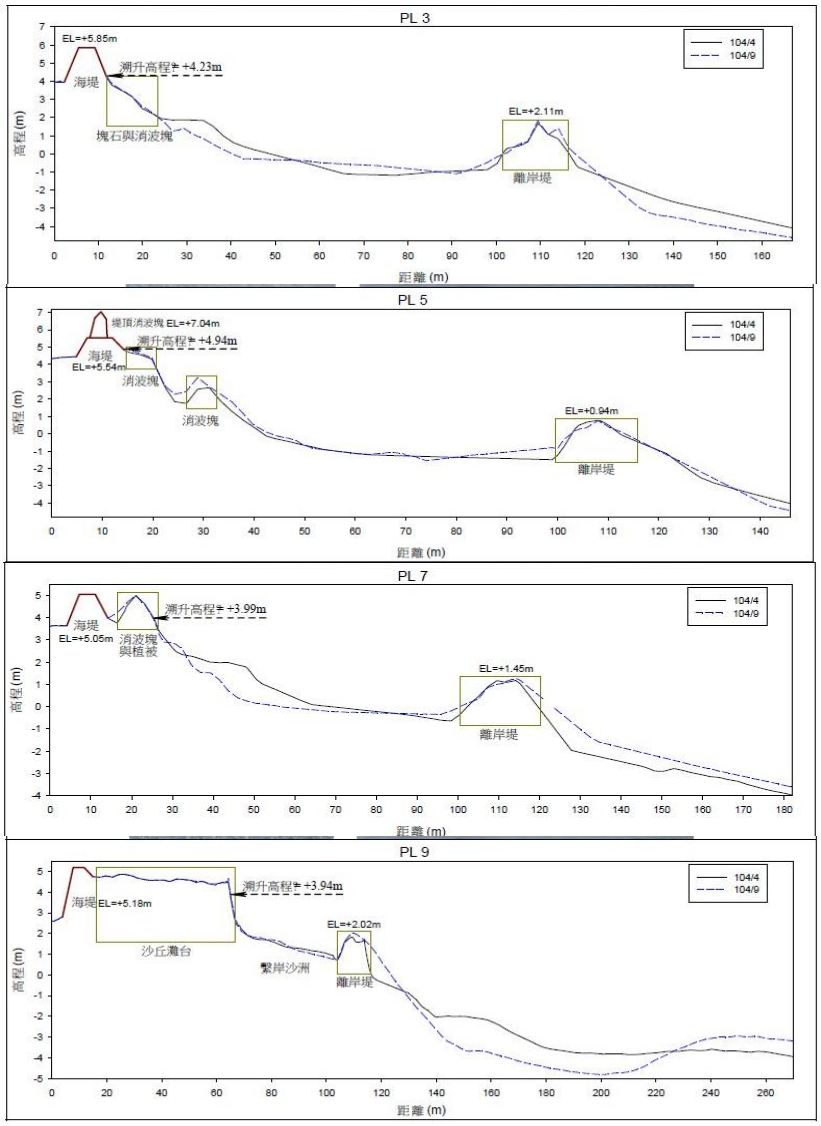
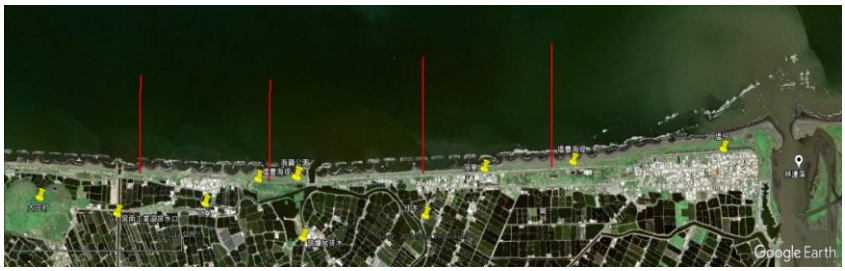


圖 3-16　PL9 分區現況特性與斷面位置圖

資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_經濟部水利署第七河川局_2015

圖4.27 屏東林邊溪口北側海岸由北而南4個跨離岸堤檢選斷面之海灘地形水深變化



林邊溪口南側_海堤-離岸堤地形水深斷面 2-3-4-5 位置. jpg

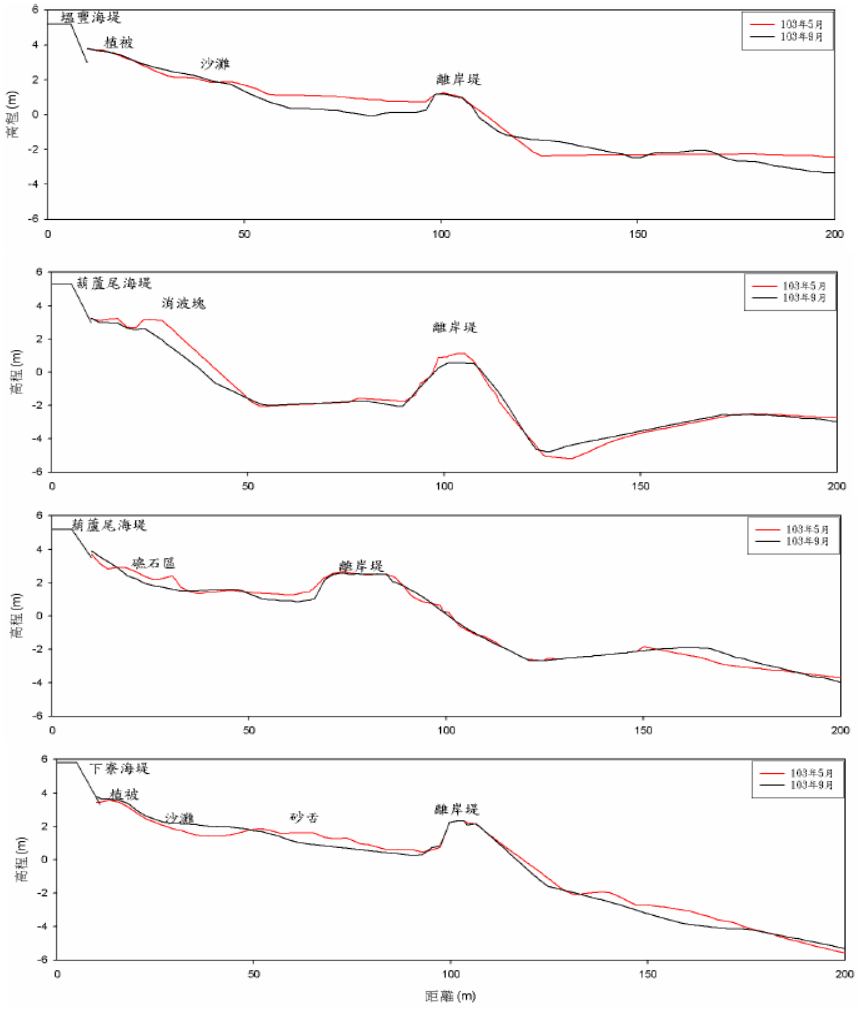


圖3-43 (b) 林邊溪至枋寮海岸地形斷面五剖面變化圖(近岸放大)

資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(1-2)_經濟部水利署第七河川局_2014

圖4.28 屏東林邊溪口南側海岸由北而南4個跨離岸堤檢選斷面之海灘地形水深變化

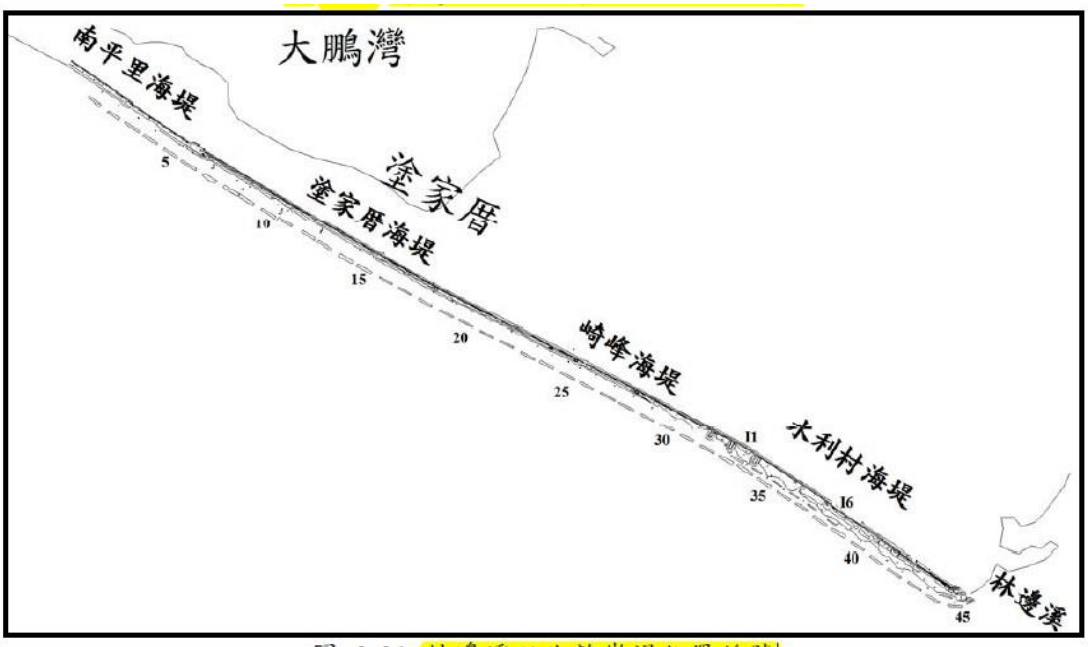


圖 3-21 林邊溪以北離岸堤位置編號

屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_圖 3-21 林邊溪以北離岸堤位置編號.jpg

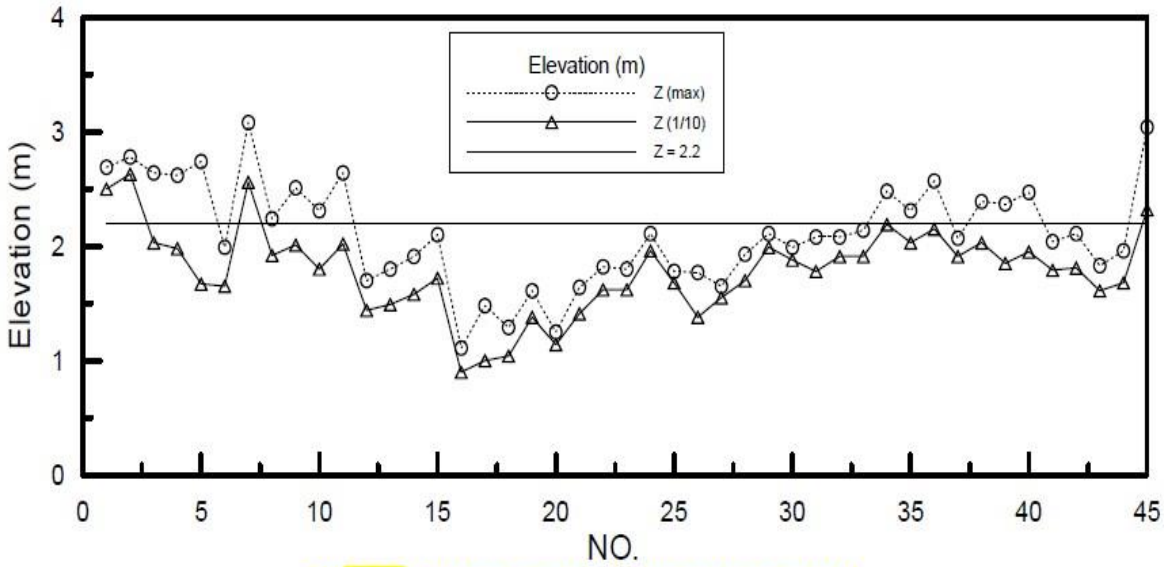


圖 3-20 林邊溪以北離岸堤現況高程比較

屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_圖 3.20 林邊溪以北離岸堤現況高程比較.jpg

資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_經濟部水利署第七河川局_2015

圖4.29 屏東林邊溪口北岸的離岸堤群配置編號與南平里、塗家厝、崎峰與水利村海堤外離岸堤群之出水高度變化與差異

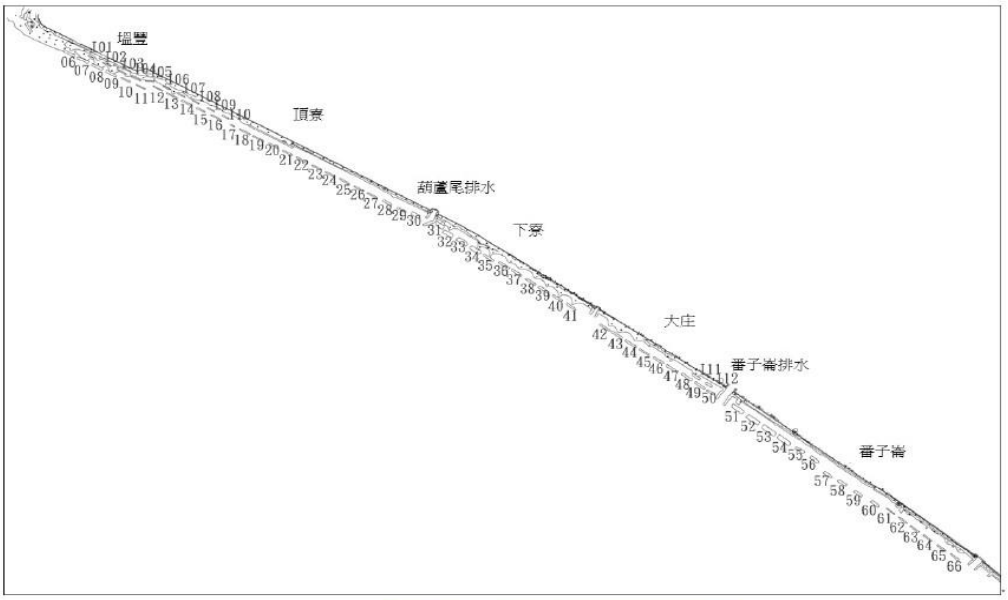


圖 3-34 林邊溪以南離岸堤位置編號

屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_圖 3-34 林邊溪以南離岸堤位置編號.jpg

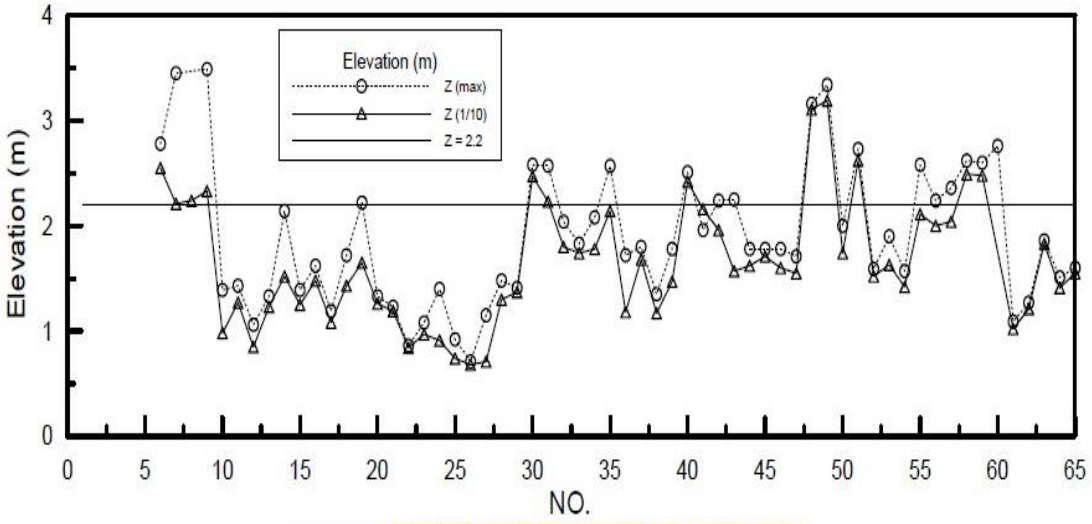


圖 3-33 林邊溪以南離岸堤現況高程比較

屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_圖 3.33 林邊溪以南離岸堤現況高程比較.jpg
資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_經濟部水利署第七河川局_2015

圖4.30 屏東林邊溪口南岸的離岸堤群配置編號與塭豐、頂寮、下寮、大庄、番子崙海堤外離岸堤群之出水高度變化與差異

表 4.3　林邊溪以北離岸堤現況規模列表(單位：m)

編號	長度	寬度	原始設計長度	原始設計寬度	原始設計高度	間距(與前者比較)	離岸距離	離岸堤出水高程值			
								Z(Max)	Z(1/10)	Z(1/3)	Z(Average)
1	72.9	12.3				--	97.1	2.69	2.50	2.23	1.67
2	72.6	12.7	80	12.24	2.20	53.2	96.9	2.78	2.63	2.45	1.74
3	92.7	12.2	80	12.24	2.20	35.8	95.5	2.64	2.03	1.73	1.15
4	85.4	14.7	80		2.20	25.3	92.3	2.62	1.98	1.69	1.11
5	85.4	10	80		2.20	42.4	91.5	2.74	1.67	1.39	0.92
6	94.9	12.3	80		2.20	26.4	94.7	1.99	1.65	1.44	0.97
7	78.7	17	80		2.20	42.2	92.7	3.08	2.56	2.08	1.29
8	90.5	15.7	80	11.69	2.20	45.2	92	2.24	1.92	1.57	0.96
9	91.7	17.3	80	11.69	2.20	4.4	91.3	2.51	2.01	1.62	0.99
10	89	15.2	80	11.69	2.20	45.8	93	2.31	1.80	1.46	0.93
11	86.2	17.6	80	11.69	2.20	12.3	95.7	2.64	2.02	1.55	0.97
12	82	13.1	80	11.69	2.20	62.1	92.6	1.7	1.44	1.20	0.85
13	81.9	11.5	80	11.75	2.20	16.2	94.9	1.8	1.49	1.21	0.86
14	84.8	15.2	80	11.75	2.20	50.6	97	1.91	1.58	1.33	0.85
15	89.5	13.9	80	11.69	2.20	23.5	97.5	2.1	1.72	1.45	0.89
16	77.8	8.8	80	11.69	2.20	47.6	97.8	1.11	0.90	0.72	0.49
17	78.9	8.5	80	11.75	2.20	35	94.8	1.48	1.00	0.77	0.51
18	77.7	10.3	80	11.75	2.20	46.4	91.6	1.29	1.04	0.86	0.59
19	82.4	9.8	80	11.75	2.20	46.7	91.7	1.61	1.38	1.12	0.78
20	82.1	8.9	80	11.75	2.20	32.3	90.3	1.25	1.14	0.95	0.69
21	77.6	7	80	12.05	2.20	42	92.3	1.64	1.41	1.13	0.81
22	79.5	8.4	80	12.05	2.20	39.1	90.9	1.82	1.62	1.32	0.90
23	81.6	9.6	80	12.05	2.20	45.7	93.1	1.8	1.62	1.36	0.95
24	81	11.9	80	14	2.20	28.6	90.1	2.11	1.96	1.85	1.40
25	84.2	10.4	80	11.69	2.20	43.2	93.9	1.78	1.68	1.51	1.07
26	81.1	9.3	80	11.69	2.20	30	94	1.77	1.38	1.21	0.89
27	86.8	10	80	11.69	2.20	41.5	93.8	1.65	1.55	1.42	1.04
28	93.7	9.8	80	11.69	2.20	20.1	97.7	1.93	1.70	1.50	1.08
29	78.9	10.2	80	14	2.20	38.8	94	2.11	1.99	1.89	1.49
30	79.7	12	80	14	2.20	39.8	93	1.99	1.88	1.72	1.24
31	78.3	11.9	80	14	2.20	39.9	94.3	2.08	1.78	1.64	1.17
32	82.7	8.7	80	11.69	2.20	43	96.2	2.08	1.91	1.64	1.06
33	85.5	16.1	80	12.04	2.20	30	92.5	2.14	1.91	1.62	0.99
34	94.9	14.5	80	11.69	2.20	23.3	89.9	2.48	2.19	2.11	1.28
35	85.3	13.9	80	12.03	2.20	28.9	94	2.31	2.03	1.90	1.34
36	83.5	12.3	80	12.28	2.20	42.3	95.6	2.57	2.15	2.02	1.41
37	79.9	9.8	80	12.04	2.20	30.6	91.7	2.07	1.91	1.72	1.18
38	86.7	12.5	80	11.69	2.20	37.7	90.1	2.39	2.03	1.92	1.58
39	82.4	14.7	80	11.69	2.20	29.8	87	2.37	1.85	1.59	0.90
40	78.1	10	80	12.28	*3.41	44.5	93.1	2.47	1.95	1.73	1.26
41	80.6	10.4	80	12.04	2.20	39.6	91.7	2.04	1.79	1.66	1.20
42	83.6	10.4	80	11.69	2.20	36.1	94.6	2.11	1.81	1.75	1.39
43	81.5	10.4	80	11.69	*3.41	44.3	94	1.83	1.61	1.34	0.82
44	82.4	9.7	80	11.69	2.20	32.7	95.6	1.96	1.68	1.51	1.17
45	80.1	9.9	80		2.20	45.9	89.8	3.04	2.32	2.01	1.45

資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_經濟部水利署第七河川局_2015

註 1：離岸堤現況規模數據，是根據 104/04 LiDAR 地形測量所估算；高程基準為基隆平均海水面。

註 2：原始設計長度、寬度、高度資料來源，第七河川局—海堤及防潮堤工程記載表；高程基準為基隆平均海水面。

表 4.4 林邊溪以南離岸堤現況規模列表 (單位：m)

編號	長度	寬度	原始設計長度	原始設計寬度	原始設計高度	間距(與前者比較)	離岸距離	離岸堤出水高程值			
								Z (Max)	Z (1/10)	Z (1/3)	Z (Average)
6	90.4	18.7	80m	40m	堆疊	--	96.7	2.78	2.55	2.00	0.73
7	90.9	21.6	80m	40m	堆疊	26.2	97	3.45	2.21	1.97	0.68
8	89.8	19	80m	40m	堆疊	30.4	95.8	4.35	2.24	1.90	0.57
9	87.8	17.2	80m	40m	堆疊	28	95.3	3.49	2.33	1.79	0.61
10	75.9	9.6	80m	40m	堆疊	32	95.1	1.39	0.98	1.71	0.52
11	75	12.6	80m	40m	堆疊	46.2	144	1.43	1.27	1.72	0.46
12	77.9	7.3	80m	10m	3m	61.1	96	1.06	0.85	1.74	0.41
13	76.7	9.4	80m	10m	2.6m	37.9	96.2	1.33	1.23	1.78	0.37
14	79.5	11.9	80m	10m	3.61m	38.3	93.7	2.14	1.52	1.80	0.54
15	75	13.1	80m	10m	3.22m	45.2	93	1.39	1.25	1.78	0.65
16	83	9.6	80m	10m		43.4	95.2	1.62	1.48	1.81	1.33
17	36.9	8	80m	10m		80	94.3	1.19	1.08	1.82	1.35
18	91.1	12.5	80m	10m		41.6	92.2	1.72	1.43	1.87	0.88
19	90.2	9.8	80m	10m		22	94.1	2.22	1.65	1.88	0.84
20	83	13.2				38.7	90.4	1.33	1.26	1.14	0.73
21	81.7	14.9				36.3	91.5	1.23	1.19	0.98	0.68
22	81.2	9.9				32.9	95.8	0.86	0.84	0.73	0.57
23	77.7	11.8				55.7	94.3	1.08	0.97	0.82	0.61
24	81.7	11.9				30.2	93.6	1.40	0.91	0.70	0.52
25	82.4	11.1				38.5	93.1	0.92	0.74	0.63	0.46
26	77.1	10.8				42.3	95.1	0.71	0.68	0.56	0.41
27	85.5	12.7				35	93.9	1.15	0.71	0.53	0.37
28	78.1	15.8				41	89.3	1.48	1.30	1.08	0.54
29	71.9	12.2				47	91.4	1.41	1.37	1.16	0.65
30	71.2	29				39.6	70.5	2.58	2.47	2.33	1.33
31	70.1	32.8			2.20m	131.6	58.2	2.57	2.23	2.03	1.35
32	81.8	28.5			2.20m	15.5	88.1	2.04	1.80	1.61	0.88
33	88.9	31.9			2.20m	37	81.7	1.83	1.74	1.60	0.84
34	92.3	33.8			2.20m	29.4	95.3	2.08	1.78	1.53	0.83
35	91.6	15.9				21.9	99.2	2.57	2.14	1.75	1.02
36	91.1	18.2				36.1	88	1.72	1.18	0.88	0.51
37	88.5	17.1				19.1	85.4	1.80	1.68	1.18	0.68
38	86.6	15.9				38	88.71	1.35	1.17	1.02	0.79
39	86.7	17.7				26.1	86.1	1.78	1.47	1.11	0.89
40	83.9	14.5				39.8	89.4	2.51	2.42	2.27	1.30
41	84.7	14.9				37.9	89.6	1.96	2.16	1.96	1.20
42	91.4	14.3				212.9	96.3	2.24	1.96	1.49	1.03
43	96	14.8				12.3	90.9	2.25	1.57	1.96	1.04
44	95	15.9				28.3	92.9	1.78	1.62	1.28	0.91
45	86	10.8				29.8	94	1.78	1.71	1.57	1.13
46	88.5	15				38.5	88.2	1.78	1.60	1.30	0.80
47	84.4	19.7				28	87.5	1.71	1.55	1.34	0.81
48	91.4	21.6				45.2	82.4	3.16	3.11	2.79	1.35
49	91.7	16.7				28.1	85.5	3.34	3.19	2.51	1.30
50	67	14.2				16.3	91.3	2.00	1.74	1.24	0.68
51	103.4	31.3				156	77.7	2.73	2.62	2.40	1.62

52	108.7	34.1				36.7	80	1.59	1.52	1.30	0.95
53	117.5	35.7				32.7	77.2	1.90	1.63	1.38	1.02
54	112.8	36.3				21.1	75.7	1.57	1.42	1.19	0.88
55	72.7	21.9				46.6	76.7	2.58	2.11	1.88	1.27
56	73.5	27				56.7	71.7	2.24	2.00	1.77	1.18
57	71.4	21				83.6	113.3	2.36	2.04	1.77	1.20
58	72.1	21.1				50.3	105.4	2.62	2.49	2.01	1.31
59	70.7	19.4				75.6	105.9	2.60	2.48	2.18	1.52
60	71.4	21.2				78.5	106.7	2.76	2..63	2.39	1.57
61	75.9	7.4				55.8	94.9	1.09	1.02	0.89	0.71
62	77.3	12.1				43	95.7	1.27	1.21	0.96	0.79
63	77.9	11.3				35.9	99	1.86	1.83	1.68	1.07
64	77.6	10.8				43	98.8	1.51	1.41	1.17	0.58
65	78.5	14.5				49.6	97.8	1.60	1.55	1.38	0.71
66	77	12.1				42.3	94.7	1.67	1.44	0.86	0.36
I1	43.6	10.1	80m	10m		--	51	3.25	2.93	1.85	2.05
I2	28.1	8.6	80m	10m		81.3	49.8	2.18	2.07	1.72	1.82
I3	21.9	7.5	80m	10m		18.3	49.3	2.30	2.18	1.66	1.99
I4	73.5	9.2	80m	10m		51.1	49.9	2.03	1.85	1.58	1.57
I5	79.5	8.8	80m	10m		38.9	50.5	1.79	1.68	1.52	1.25
I6	62.2	9.4	100m	10m		32.4	58.3	1.87	1.68	1.47	1.15
I7	60.8	7.3	60m	10m		74.5	60.4	1.46	1.35	1.39	0.88
I8	60.1	9.9	60m	10m		65.9	58.4	1.43	1.31	1.38	0.90
I9	58.5	9.5	60m	10m		57.9	56.8	1.36	1.23	1.36	0.87
I10	60.6	9.1	60m	10m		69.6	58	1.37	1.27	1.36	0.91
I11	59.2	9.5	60m	10m		63	58.6	1.36	1.20	1.36	0.85
I12	56.3	17.4	60m	10m		50.1	41.7	1.40	1.00	0.79	0.56

資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_經濟部水利署第七河川局_2015

註 1：離岸堤現況規模數據，是根據 104/04 LiDAR 地形測量所估算；高程基準為基隆平均海水面。

註 2：原始設計長度、寬度、高度資料來源，第七河川局—海堤及防潮堤工程記載表；高程基準為基隆平均海水面；表格空白處表資料尚未收集完整。

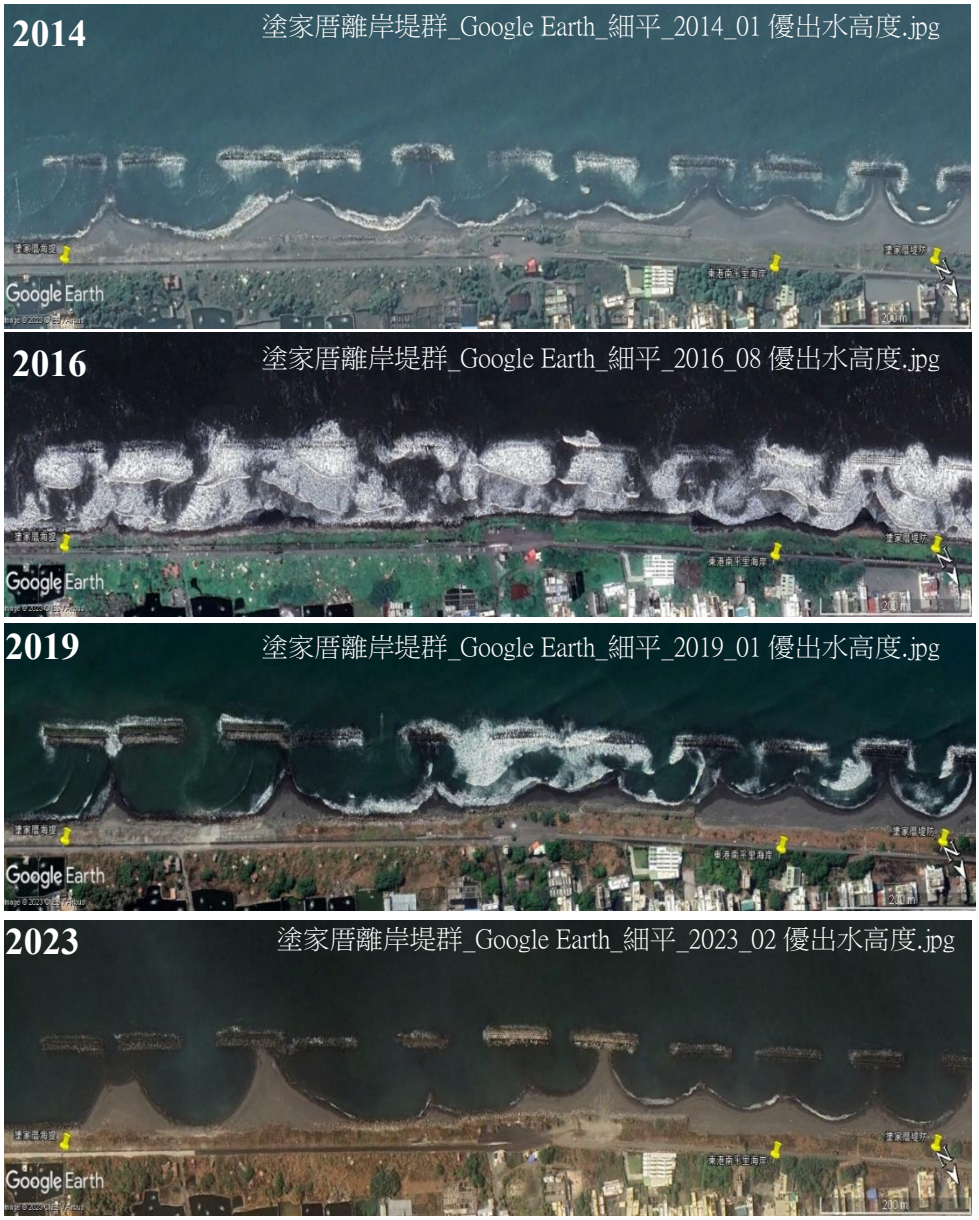


圖4.31 屏東東港海岸塗家厝海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷

圖4.32 屏東林邊海岸崎峰海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷

圖4.33 屏東林邊海岸崎峰水利村海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷

圖4.34 屏東佳冬海岸塭豐頂寮海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷

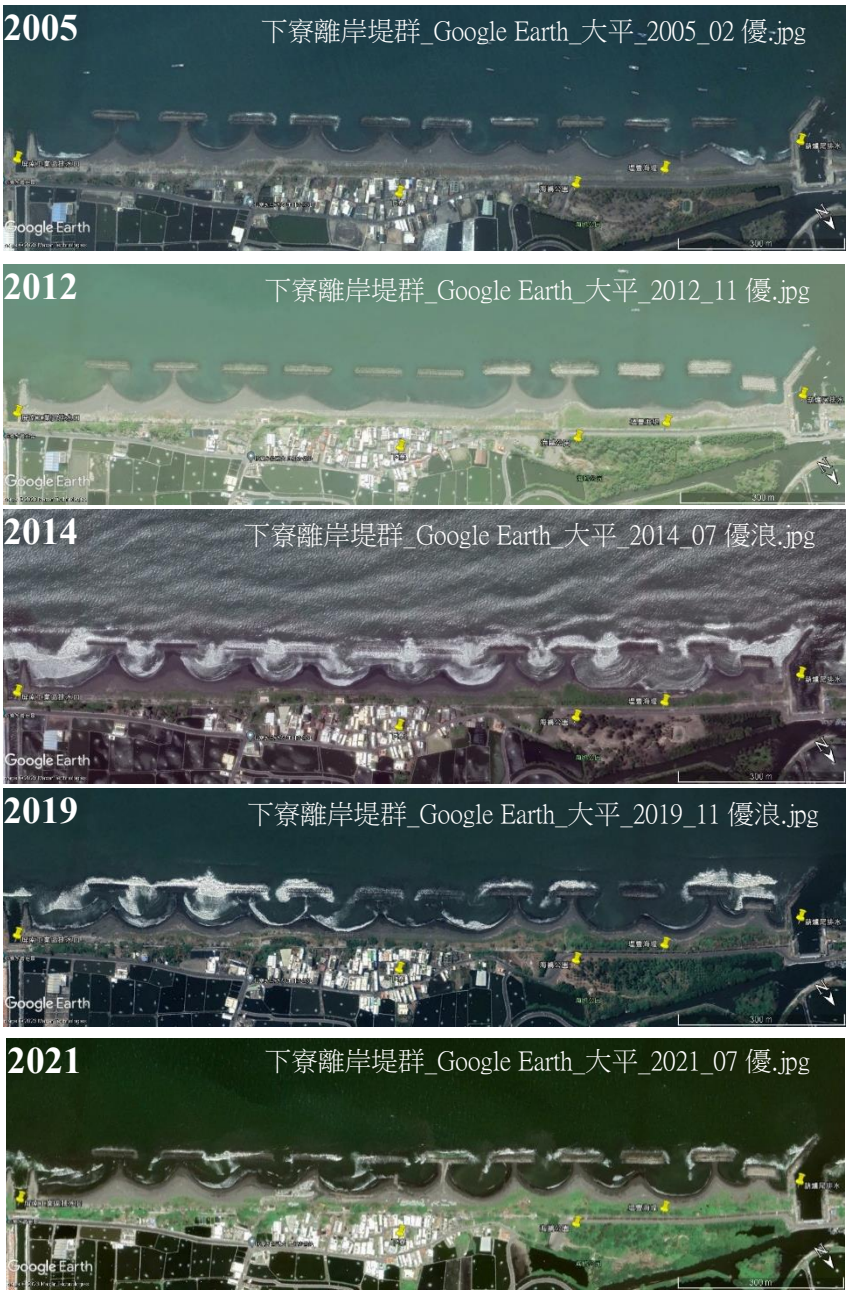


圖4.35 屏東枋寮海岸下寮海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷

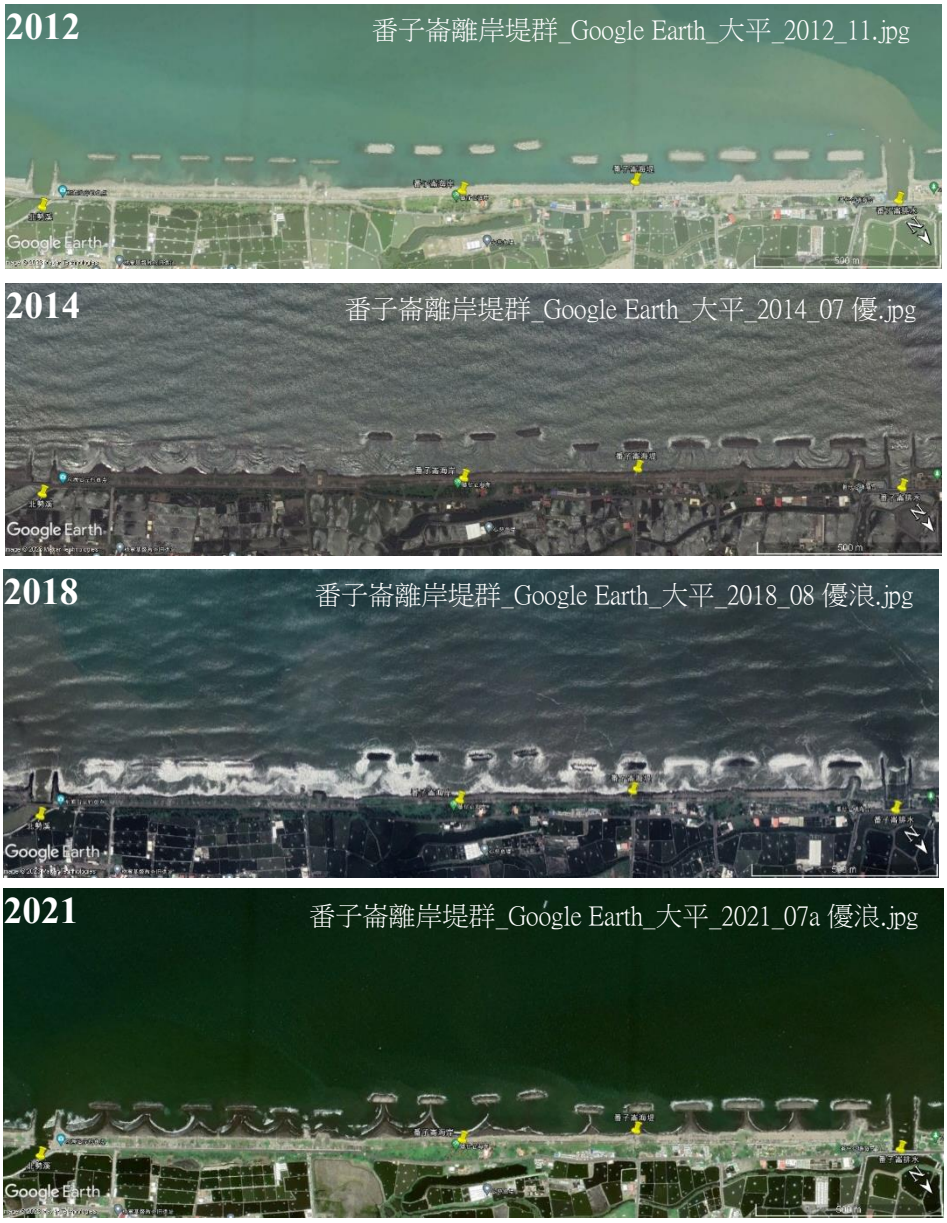


圖4.36 屏東枋寮海岸番子崙海堤外離岸堤群歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷

4.2 離岸堤後淤沙效能影響因素檢討

在沙質海灘上布建離岸堤群，依據經驗法則，在「離岸堤效應」影響下，一般可預期：堤後通常會伴隨產生沙舌或繫岸沙洲形態的海灘。但是透過 Google Earth 之歷史圖像，綜覽國內、外各海岸的實際離岸堤群布建案例，參見圖 3.37~圖 3.41、圖 4.8 與圖 4.9、圖 4.17 與圖 4.18、圖 4.31~圖 4.36，仍普遍可見，即使在同一局部海岸區段內布建離岸堤群，堤後海灘的淤沙效能，常不如預期；海灘重塑形態，即使在毗鄰的離岸堤間亦多有差異。

探討離岸堤後的淤沙效能與灘線變遷，實際關聯離岸堤與波浪的交互作用課題，特別是離岸堤與波浪，兩者皆具有長-寬-高之三維空間及時間的變動特性，因此，僅管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，多且複雜，掌握不易，但是在特定之海岸區段內，主要的影響因素，應包括：波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、河口沙源供給、河川浚沙補注、人工養灘、離岸堤群之配置形式、堤體構造、布建與整建年序以及堤體的沉陷、崩塌與破壞等。

針對上述控制離岸堤群背後灘線形態發展及海灘地形演變之主要影響因素，參見圖 4.1~圖 4.36，綜合檢視高雄茄萣與林園海岸以及屏東東港、林邊、佳冬、枋寮海岸的長年波浪特性、潮位、海灘地形水深、離岸堤群布建與整建年序、堤體構造與配置斷面高程以及歷年堤後的海灘地形變遷狀況可發現，在特定海岸區段內，國內的離岸堤群布建，由於著重於防潮禦浪功能及海岸景觀考量，堤體之堤頂高_出水高度一般較低，加以往昔對於離岸堤群防浪與淤沙效能的檢討，普偏著重於離岸堤長與離岸距及堤間距之配置形式核驗與補強，對於堤體的沉陷、崩塌、甚至破壞所造成堤體出水高度的變動影響，則常輕忽。因此，思量「離岸堤效應」的因═果，為強固離岸堤群之防浪與淤沙效能，可以著重或針對離岸堤之堤頂高_出水高度，以其作為探究造成離岸堤後淤沙效能差異的主要影響因素。

4.3 離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

波浪與離岸堤體，實際皆具有長-寬-高之三維空間與時間的變動性。在同一局部海岸區段內，受具時變性之暴潮、巨浪作用，當離岸堤之堤頂高_出水高度，因原始配置或因堤體沉陷、崩塌、破壞而使出水高度不足時，將會伴隨衍生堤寬窄縮，堤體的透水性增大，甚至迫使原來的出水離岸堤，轉化為潛沒離岸堤，同時，並促使波浪的衝擊特性，由淤沙造灣為主的繞射波，轉變為以沖刷作用為主的透射波，進而導致通過堤體的透射波，直接沖刷堤後原先經繞射波造灣作用所形塑生成的沙舌或繫岸沙洲，終致造成離岸堤後淤沙效能差異，甚至導致堤後海灘的沖蝕。在實際的海岸區段，當波浪通過堤頂高_出水高度不足之離岸堤後，實際的波浪特性與波動形態的轉變，如圖 4.37 與圖 4.38 所示。具體的對比、辨識與驗證實例，則可參見后列高雄旗津海岸人工岬灣保護工程所布建出水離岸堤及系列潛堤後的海灘變遷形態。

圖4.37 離岸堤後以淤沙造灣效應為主的繞射波特性與形態

圖4.38 離岸堤出水高度不足伴隨衍生堤後的透射波形態與沖刷作用

4.3.1 實際對比案例

受氣候變遷及海岸開發影響，概約自2000年後，旗津海岸線及全區-10m以內的灘線，皆陳現嚴重之侵蝕現象，如圖4.39所示。為保護美麗的沙灘，高雄市政府遂自2009年起，著手辦理「旗津區海岸線保護工程」計畫，據稱該工程為國內首例採用複合系列離岸潛堤與離岸堤以組構人工灣澳並外加人工養灘工法之海岸保護與環境營造工程(郭 等，2013)。總體工程由南、北2個區段組成，主要之規劃配置，如圖4.40所示，其中，在海岸公園觀景台至海水浴場之北側區段：興築潛堤工程共計1,400m，包括北人工灣澳300m、北離岸潛堤300m(北段離海水浴場岸邊約300m，含出水離岸堤長180m)、南離岸潛堤300m、南人工灣澳500m以及離貝殼館岸邊約150m、直徑100m之出水圓形島，相關離岸潛堤、離岸堤及圓形島的斷面配置與高程，如圖4.41至圖4.45所示，主要堤體斷面之初擬考量因素，摘錄高雄市政府工務局(2011)「旗津區海岸線保護工程(潛堤)—海岸公園觀景台至海水浴場段」之初步設計報告書資訊可得：本區段之設計水位為EL.+2.13m，堤址水深約在-3.0m～-9.0m，離岸堤堤身之堤頂高程，設定在朔望平均高潮位EL.+0.83m以上，而離岸潛堤堤身之堤頂高程設定約在朔望平均低潮位EL.-0.17m，故取-0.5m～+0.5m之間，若考量潮位高低之變化，則堤頂水深約在+1.63m～+2.63m之間，就碎波波高/水深比值約0.78之碎波指標而言，當堤前波高達2.0m以上，即可於堤頂發生碎波，因此，在颱風波浪來襲時，潛堤可有效消減波浪之能量，且堤頭藉由長時間出水面而達到航行安全警示效果，則堤頭之堤頂高度至少需在朔望平均高潮位EL.+0.83m以上，故採用三層消波塊排列，使其堤頂高度介於EL.+0.83m～EL.+5.00m間，又考量最大堤址設計波高為6.46m之條件，水深在EL.-6.0m內之消波塊重量，皆採用15噸，另外，為加速海灘環境之營造，本區段工程尚施行人工養灘64萬立方公尺(沿岸補養的沙灘約向外延伸約20～50m，增加約8萬3千平方公尺的沙灘地)。

至於在海岸公園觀景台至風車公園之南側區段：單純興築潛堤工

程共計990m，包括6座長度150m及1座約90m之離岸潛堤，堤址水深約在-5.0m水深以內，考量最大堤址設計波高為4.92m，故堤頂高程以EL.+0.5m至EL-1.5m間設計，若考量潮位高低之變化，則堤頂水深約在+1.63m～+3.63m之間，而堤頂高程在EL.+0.5m至EL-1.5m間(堤頂水深+1.63m～+3.63m，設計水位為+2.13)；堤頂之寬度，包含8T或10T消波塊雙層排列，至少20m，又為達到航行安全警示效果，則堤頭之堤頂高度至少需在朔望平均高潮位EL.+0.83m以上，故採用三層消波塊排列，使其堤頂高度介於EL.+0.91m～EL.+1.91m間；堤體材料，採用高孔隙之消波塊或塊石及襯墊為主，另外，為總體海岸環境之營造，本區段工程亦於圓形島南側海岸，施行人工養灘48萬立方公尺。

高雄市旗津區海岸線保護工程，全部工程於民國2011年9月23日開工，並已於2013年7月3日完工(郭 等，2013；2016)，相關峻工後之海灘空拍影像，如圖4.46所示；至於潛堤與人工岬灣工程之高程變化，經比對完工初期與完工8年後之分段高程檢測資訊，可得如表4.5所示；特別針對自海岸公園觀景台至海水浴場之北側區段海灘，從其海岸線保護工程完工後，自Google Earth截取相關出水離岸堤及系列離岸潛堤堤後之淤沙狀況與海灘地形變遷形態之歷史圖像，經綜整可得如圖4.47所示。由圖依年序觀察並作對照比較可見，在總長度近乎1.8公里的潛堤人工灣澳保護區段內，很明顯地，不論潮位的高低變化，僅有在長180m、標高5.0公尺的出水離岸堤後與直徑100m、標高亦達5.0公尺之出水圓形島後，明顯可見有沙舌或繫岸沙洲形態的淤積灘線形成外，其他位在潛沒離岸堤後的灘線，大抵皆仍維持平直形態。分析造成離岸潛堤後淤沙效能差異的原因，可判定其明確應與波浪遭遇並通過堤體的傳播型態密切相關聯，亦即是若波浪遭遇之堤體較高且不透水，則其將以透射波型態通過堤體並在堤後由碎波沖刷環流造成沙舌或繫岸沙洲型態的灘線變遷；而若波浪遭遇之堤體高度較低或具較高之透水性，則波浪將以透射波型態通過堤體，並伴隨透射波高的大小，直接造成堤後輕重程度不等的沖蝕。總體而論，透過高雄旗津海岸施行潛沒人工灣澳保護工程之現地動床實驗可具體說明並確認，離岸堤的出水高度與透水性，不僅

會改變離岸堤後的波浪沖刷作用型態，更會控制影響堤後灘線的形塑。

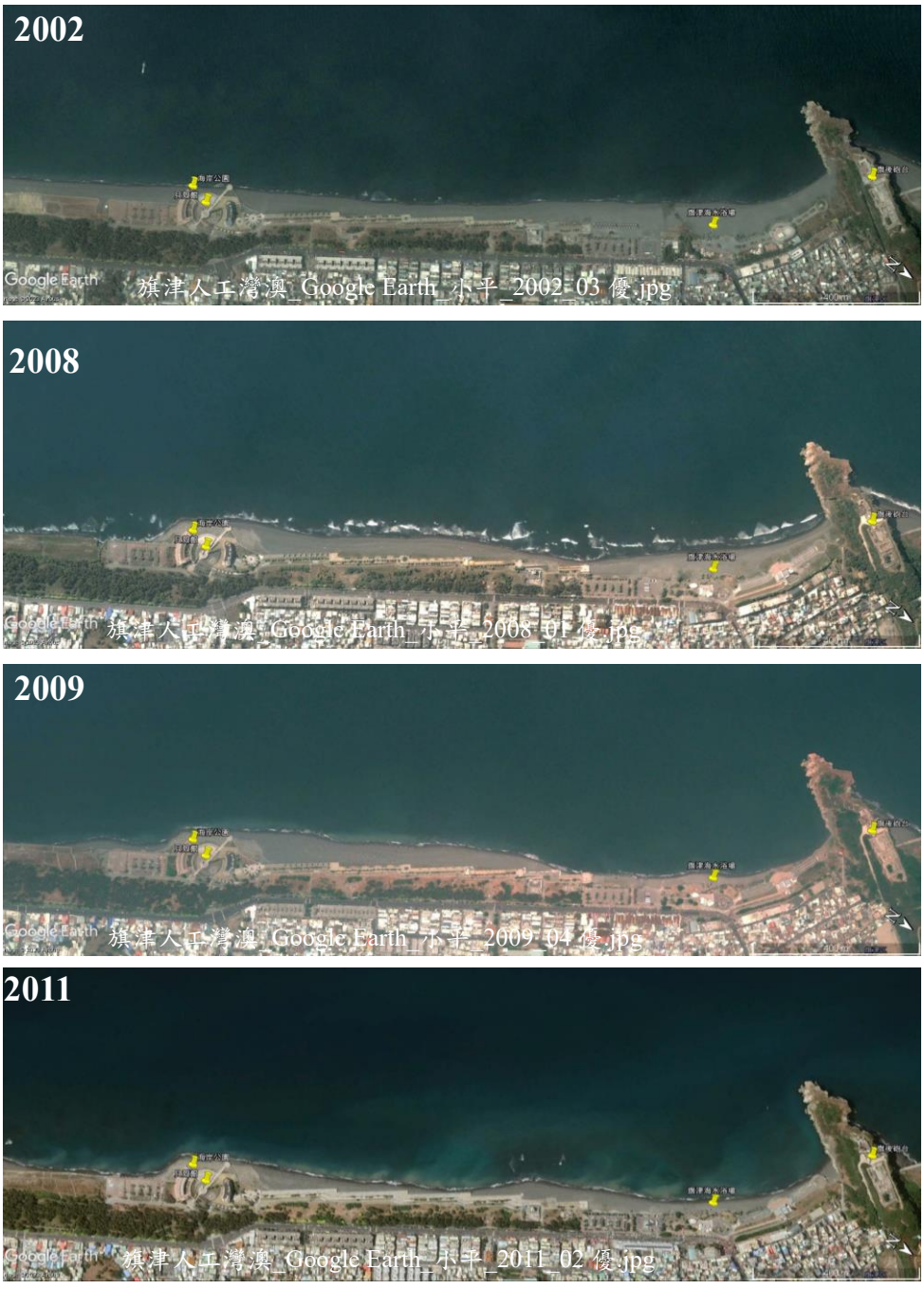
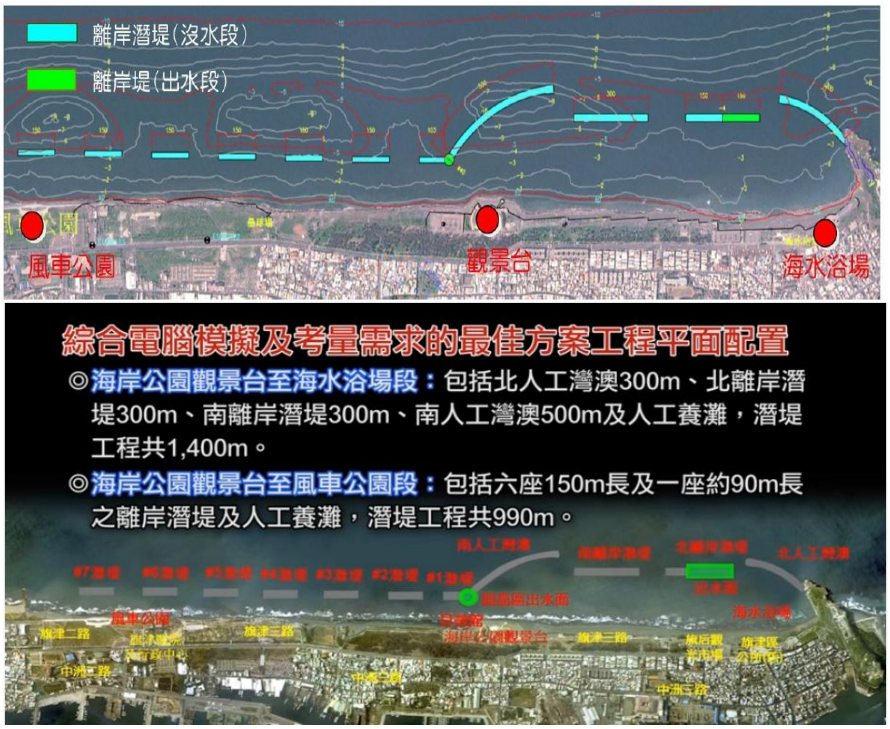
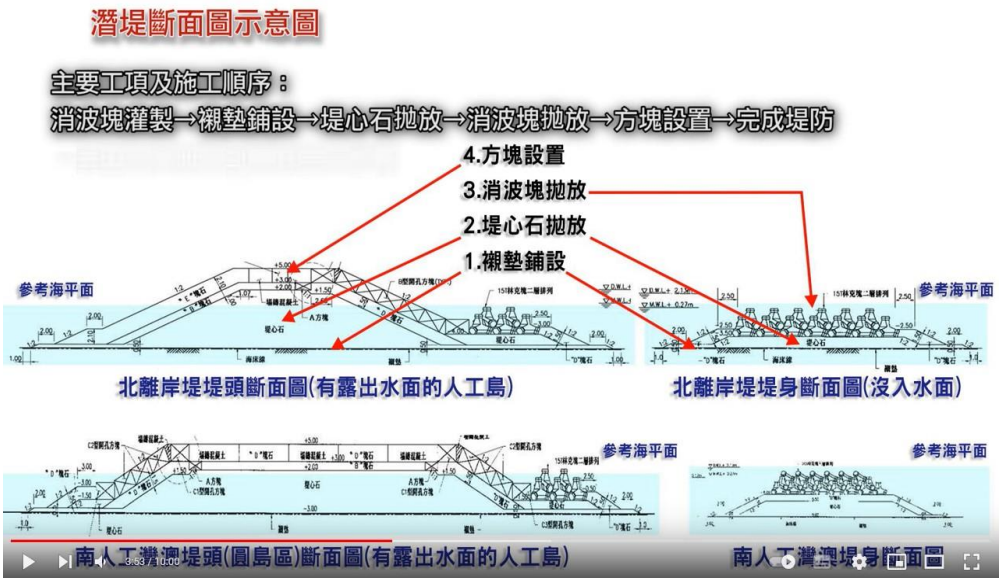


圖4.39 高雄旗津海岸未布建人工岬灣及系列離岸潛堤工程前嚴重之海灘沖蝕變遷



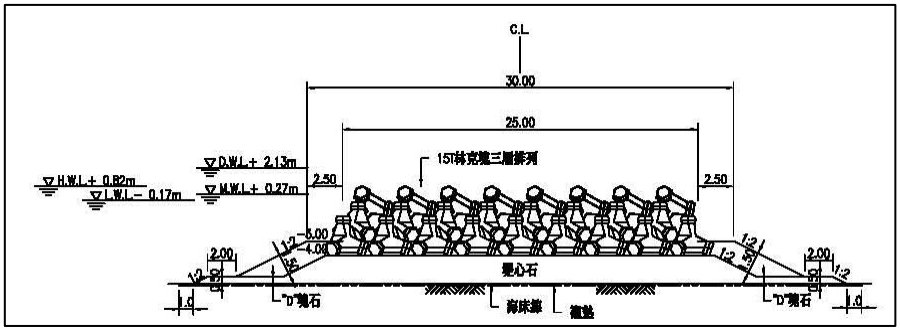
資料來源：旗津海岸治理計畫，中華技術，專題報導，郭少谷等，2013。

圖4.40 高雄旗津人工岬灣及系列離岸潛堤海岸保護工程規劃配置圖



高雄市政府旗津區海岸線保護計畫人工灣澳內的出水式離岸堤與潛堤之堤後灘線_出水式離岸堤與潛堤斷面配置圖_2013_08(2011 年 10 月開工，2013 年 8 月竣工). jpg

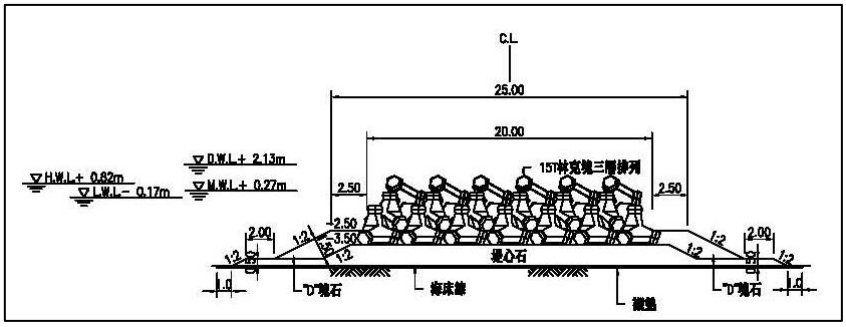
圖4.41 高雄旗津人工岬灣各離岸潛堤與出水離岸堤之斷面高程配置圖



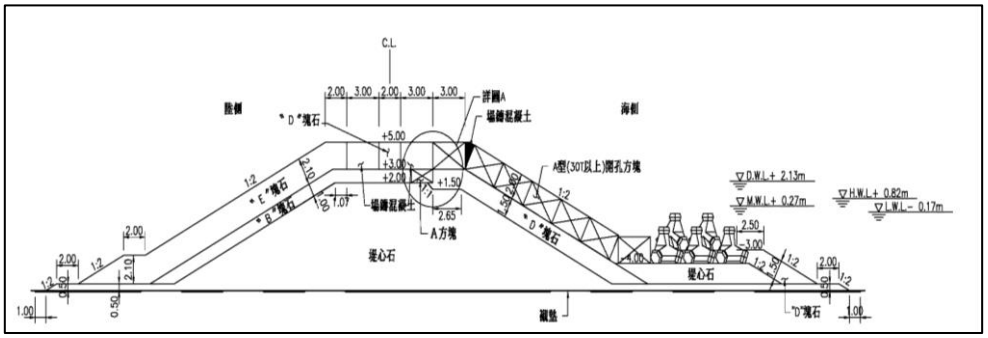
北人工灣澳堤頭標準斷面圖(EL.-5.00～-6.00m)

資料來源：「旗津區海岸線保護工程(潛堤)—海岸公園觀景台至海水浴場段」，初步設計報告書，高雄市政府工務局，2011。

圖4.42 高雄旗津人工岬灣北人工灣澳堤頭標準斷面圖



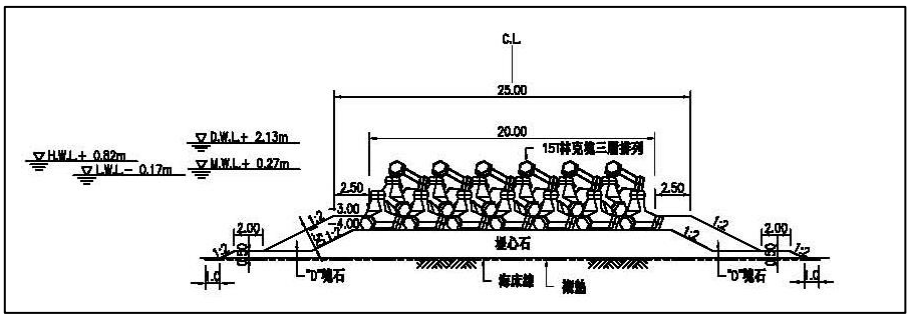
北離岸潛堤堤頭標準斷面圖 B(EL.-4.00～-5.00m)



北離岸潛堤出水堤頭標準斷面圖 A(EL.-5.00～-6.00m)

資料來源：「旗津區海岸線保護工程(潛堤)—海岸公園觀景台至海水浴場段」，初步設計報告書，高雄市政府工務局，2011。

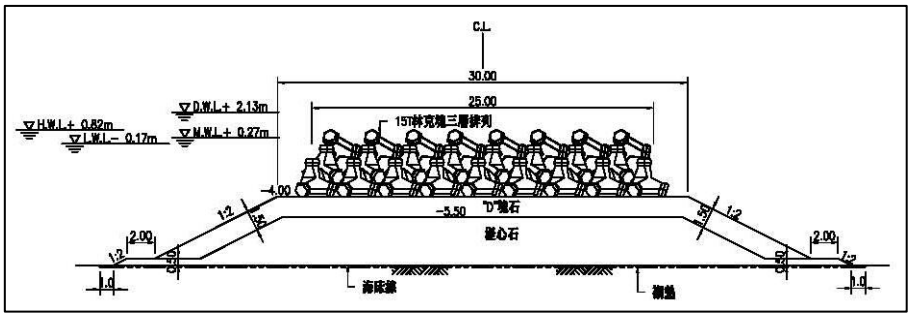
圖4.43 高雄旗津人工岬灣北離岸潛堤與出水離岸堤堤頭標準斷面圖



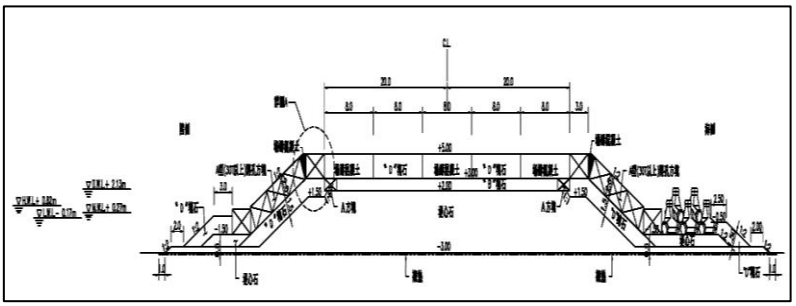
南離岸潛堤堤頭標準斷面圖 B(EL.-5.00～-6.00m)

資料來源：「旗津區海岸線保護工程(潛堤)—海岸公園觀景台至海水浴場段」，初步設計報告書，高雄市政府工務局，2011。

圖4.44 高雄旗津人工岬灣南離岸潛堤堤頭標準斷面圖



南人工灣澳堤頭標準斷面圖 B(EL.-8.00～-9.00m)



南人工灣澳堤頭標準斷面圖 A(EL.-2.00～-3.00m)

資料來源：「旗津區海岸線保護工程(潛堤)—海岸公園觀景台至海水浴場段」，初步設計報告書，高雄市政府工務局，2011。

圖4.45 高雄旗津人工岬灣南人工灣澳堤頭與圓島式出水離岸堤堤頭標準斷面圖

高雄市政府啟動旗津區海岸線保護計畫設置離岸堤與 01-24. jpg

資料來源：高雄市政府，「104 年工程美化暨環境景觀獎」參賽資料

圖4.46 高雄旗津人工岬灣自2011年10開工至2013年8月峻工後之海灘空拍影像

表 4.5 高雄旗津人工岬灣及潛堤工程於完工 8 年後分段檢測堤體斷面高程變化

潛堤位置 (由北往南)		103/04 高程(m)	111/10 高程(m)	103/04~111/10 高差(m)
北人工灣澳	前	-0.74	--	--
	中	-1.18	--	--
	後	-1.48	--	--
北離岸潛堤	出水段	4.80	4.27	-0.53
	前	-1.56	--	--
	中	-1.55	-1.82	-0.27
	後	-1.65	-1.83	-0.18
南離岸潛堤	前	-1.06	--	--
	中	-1.73	-1.82	-0.09
	後	-1.65	-2.19	-0.54
南人工灣澳	前	-1.32	-1.65	-0.33
	中	-1.69	-1.70	-0.01
	後	-1.38	--	--
#1 號潛堤	前	-1.26	-1.58	-0.32
	中	-2.56	-3.12	-0.56
	後	-2.14	-2.88	-0.74
#2 號潛堤	前	-1.44	-2.23	-0.78
	中	-1.07	-2.60	-1.53
	後	-1.79	-2.10	-0.31
#3 號潛堤	前	-1.82	-1.87	-0.05
	中	-1.64	-1.89	-0.26
	後	-0.96	-1.41	-0.45
#4 號潛堤	前	-1.42	-1.83	-0.41
	中	-1.43	-1.65	-0.22
	後	-2.36	-2.23	0.13
#5 號潛堤	前	-1.08	--	--
	中	-0.70	--	--
	後	-1.12	--	--
#6 號潛堤	前	-1.27	-1.94	-0.67
	中	-1.60	-2.04	-0.44
	後	-1.07	-1.71	-0.64
#7 號潛堤	前	-2.51	-2.64	-0.13
	中	-0.43	--	--
	後	-1.03	-1.46	-0.43

註：1. 除#2 號潛堤(前、中段)潛堤較 103/04 有下陷情形外，其餘結構物頂部高程大多無明顯變化

資料來源：「旗津海岸線保護工程」養灘後海域地形及潛堤區地下結構物監測委託技術服務案(109~112)，詮華國土測繪有限公司，2023

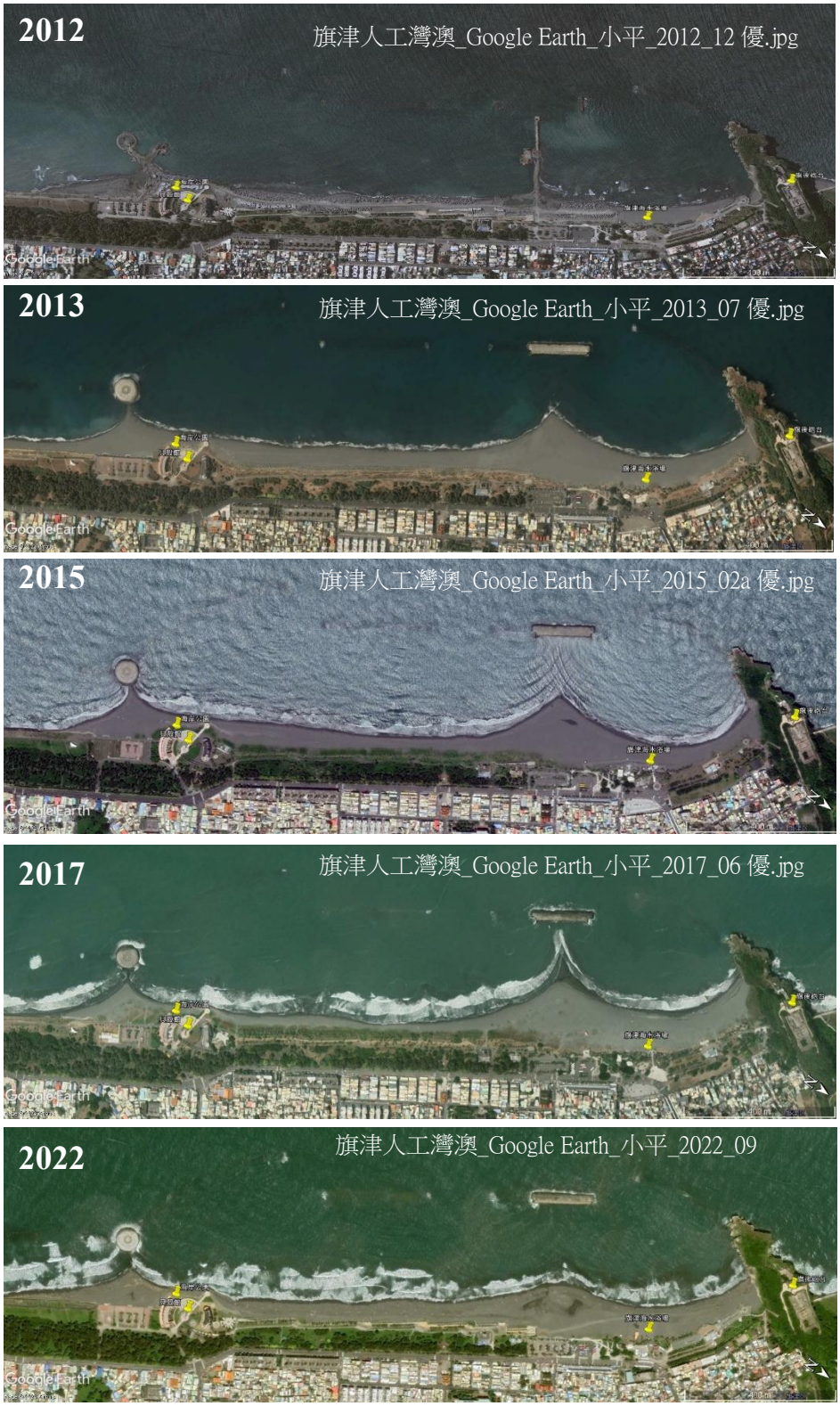


圖4.47 高雄旗津海岸布建人工岬灣工程後出水離岸堤及系列離岸潛堤堤後之淤沙效能與海灘地形變遷

4.3.2 造成離岸堤後淤沙效能差異之關鍵影響機制

波浪與離岸堤體，實際皆具有長-寬-高之三維空間與時間的變動性。詳細因離岸堤體高度與透水性配置特性改變而導致波浪特性轉化的關聯影響過程，參考圖 4.47 所示高雄旗津海岸施行潛沒人工灣澳保護工程之現地動床實驗成效，可簡要統整如圖 4.48 所示。由圖觀察可充分認知到，在同一局部海岸區段內，面對惡劣的海氣象環境，一般之出水式離岸堤，受較大波浪與暴潮作用以及堤體沉陷、坍塌、破壞之共同影響，必將會因原配置或整建之出水高度或堤頂高不足而轉化為潛堤，以致原受堤體屏蔽而在堤後生成的繞射波，將完全轉變為透射波，進而促使通過堤體的透射波，直接沖刷堤後原先經繞射波造灣作用所形塑生成的沙舌或繫岸沙洲，並在同一局部海岸區段內，造成毗鄰離岸堤後淤沙效能差異以及海灘的沖蝕。因此，可確認，造成妥善規劃離岸堤群後淤沙效能差異之關鍵機制，應係離岸堤原配置或整建之出水高度不足，致使在暴潮、大浪衝擊作用下，伴隨衍生堤寬窄縮、堤體透水性增大，進而迫使堤後繞射波之造灣效應減弱、透射波之沖刷作用增強，終致因堤後波浪沖刷特性之轉變而使淤沙效能及海灘沖淤變遷型態呈現差異。

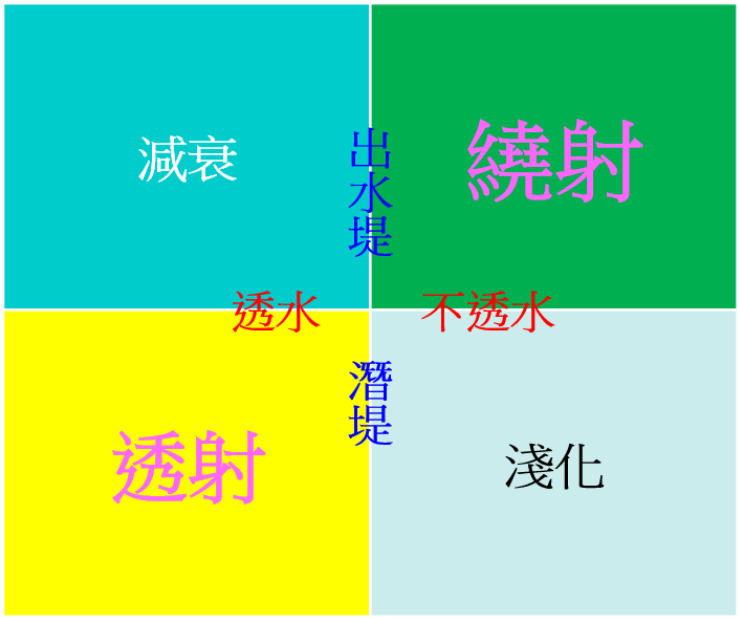


圖4.48 離岸堤出水高度與透水性對轉變波浪特性與沖刷作用之影響

4.4 提昇離岸堤後淤沙效能之調適因應對策

離岸堤群(detached breakwaters)，係為座落在內灘中或碎波帶內，與海岸約呈平行的系列離岸防波堤，設置水深，一般在-5m 以內，為常用的海岸防護設施之一。通常之結構型式，大多為透水式之出水堤(高堤)與潛沒堤(低堤)。主要功能，在消減波浪對海灘之直接衝擊與沖刷，穩定近岸漂沙運移，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，並降低海堤之波浪溯昇與越波災害，有效達成海灘侵蝕防護與地形變遷控制及海岸環境營造。

面對惡劣的海氣象環境，一般之出水式離岸堤，受較大波浪與暴潮作用以及堤體沉陷、坍塌之共同影響，必將因出水高度或堤頂高不足而轉化為潛堤，以致原受堤體屏蔽而在堤後生成的繞射波，將完全轉變為透射波，進而直接沖刷堤後原先經繞射波造灣作用所形塑生成的沙舌或繫岸沙洲，甚至造成海灘的侵蝕。相關離岸堤出水高度與透水性變動對轉變波浪特性與沖刷作用之影響，參見圖 4.48 所示。

思量「離岸堤效應」的因═果，瞭解並掌握波浪與離岸堤體的交互作用與對堤後地形變遷的影響，因此，為強固離岸堤群原始具有的消浪功用，增進離岸堤後之淤沙效能，相關促進堤後灘線重塑之調適、因應對策，建議在布建、整建及改善工程規劃、設計上，應著重從加大堤體寬度、提昇堤頂高度_出水高度、強化堤體不透水性等層面著手，當然更可配合區域海岸開發計畫，輔以堤後養灘或施行人工沙源補注，藉以充分消減堤後透射波之沖蝕強度，增進繞射波以及伴生沖刷環流之造灣效應，確實達成離岸堤後淤沙與海岸防護效能。

第五章 結論與建議

5.1 研究結論與建議

波浪的衝擊，是海岸輸沙與海灘地形變遷之主要原動力。本研究結合網際網路資源，應用 Google Earth 歷史圖像，蒐集、綜整臺灣西南部海岸現實離岸堤群布建之類型與狀態，再透過現場考察以及向規劃、設計與建管部門之諮詢，掌握堤體初始設計之斷面尺寸與高程配置，進而以「離岸堤效應」為基礎，再引介高雄旗津海岸施行人工潛堤灣澳保護工程之成效作對比案例，並以該實務案例所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，針對離岸堤初始與現況出水高度變化之控制因素，透過實務案例之對照比較，據以檢視、分析並評估離岸堤出水高度對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能與造成地貌變遷之影響，並確認離岸堤的出水高度與不透水性高低，是控制堤後淤沙效能的關鍵機制，而離岸堤後之繞射波強弱與碎波所引致流速 $u\approx\sqrt{gH_b}$ (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)，則是影響海灘重塑之重要因素。主要研究結論及增進堤後淤沙效能之調適、因應對策，列述如后。

(1) 近岸波浪碎波之衝擊及碎波衍生的強勁沖刷作用，是造成離岸堤後海灘沖淤變遷的主要動力。

(2) 透過波浪與近岸地形、水深及離岸堤群設施之交互作用，實際或潛隱之「離岸堤效應」或「岬頭效應」，通常會伴隨碎波沖刷環流並衍生優勢輸沙作用，而「離岸堤效應」或「岬頭效應」之發揮，關鍵取決在於離岸堤後或岬頭後繞射波造灣作用之強弱。

(3) 在沙質海灘，離岸堤出水高度與不透水性之高、低，主控「離岸堤效應」或「繞射波造灣效應」之強、弱，並具體影響堤後淤沙效能之差異。

(4) 海岸屬礫石或長久受侵蝕之海灘，若建置離岸堤，僅管出水高度

與不透水性夠高、繞射效應夠強，但在無沙源供給、補注下，堤後仍難以形成沙舌或繫岸沙洲。

(5)「離岸堤效應」具有 3-D 空間+時間變動特性，特別是出水高度及繞射波高愈大，堤後淤沙高程與沙舌或繫岸沙洲形態之海灘重塑現象越明顯。

(6)面對惡劣的海氣象環境，一般之出水式離岸堤，受較大波浪與暴潮作用以及堤體沉陷、坍塌之共同影響，必將因出水高度或堤頂高不足而轉化為潛堤，以致原受堤體屏蔽而在堤後生成的繞射波，將完全轉變為透射波，進而直接沖刷堤後原生的沙舌或繫岸沙洲，甚至造成海灘的侵蝕!

(7)在同一局部海岸區段，毗鄰離岸堤因堤體沉陷、崩塌、整建變動而使出水高度不足，將伴隨造成堤寬窄縮、堤體透水性增大，進而迫使堤後繞射波之造灣效應減弱、透射波之沖刷作用增強，終致因堤後波浪沖刷特性之轉變而使淤沙效能及海灘沖淤變遷形態呈現差異。

(8)為增進離岸堤後之淤沙效能，促進堤後沙舌或繫岸沙洲的灘線重塑，相關之調適、因應對策，在布建、整建及改善工程規劃、設計上，應著重從加大堤體寬度、提昇堤體高度、強化堤體不透水性及輔以人工沙源補注或施行養灘等層面著手，藉以充分降低堤後之透射波強度，增進繞射波與伴生沖刷環流之造灣效應，達成離岸堤後淤沙與海岸防護效能之堤昇目標。

5.2 研究成果之效益

本研究針對臺灣西南部海岸，檢選密集布建在高雄茄萣、林園海岸以及屏東林邊、佳冬、枋寮海岸的離岸堤群，分析、檢討毗鄰離岸堤群海灘之沖淤現象與變遷形態，再引介高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工程所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨

識模式，透過該實務案例之對照比較，據以評估離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響，並確認離岸堤的出水高度、不透水性與繞射波強弱，係為控制堤後淤沙效能的關鍵機制，進而針對離岸堤出水高度，研提增進堤後淤沙效能之調適、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 2 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。針對臺灣西南部之高雄與屏東海岸，分析檢討毗鄰離岸堤群海灘之沖淤現象與變遷形態，應用「離岸堤效應」，確認離岸堤近傍的波浪碎波所引致流速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)，是影響海灘重塑之重要因素，而離岸堤的出水高度、不透水性與繞射波強弱，則是控制堤後淤沙效能的關鍵機制；

(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，提昇探討「離岸堤效應」之高度、廣度與深度；因應氣候變遷，擴展分析觀點，研提增進離岸堤後淤沙效能，促進繫岸沙洲灘線重塑之調適、因應對策，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，降低海灘重塑與海岸防沖減淤成本，樽節海岸環境營造之維運費用；

(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，健全海岸永續管理策略，確保海岸環境營造效能；

(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。

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 歷史圖像，透過現場考察，並諮詢規劃、設計與建管單位，蒐集、綜整臺灣西南部海岸離岸堤群布建之類型與狀態，掌握堤體初始設計之斷面尺寸與高程配置，進而以「離岸堤效應」為基礎，再引介高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工程所布建出水離岸堤及系列離岸潛堤後的對應海灘變遷形態作為辨識模式，針對離岸堤初始與現況出水高度變化之控制因素，透過實務案例之對照比較，據以檢視、分析並評估離岸堤出水高度對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能與造成地貌變遷之影響，並確認離岸堤的出水高度、不透水性與繞射波強弱，是控制堤後淤沙效能的關鍵機制，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)，則是影響海灘重塑之重要因素。此外，為改善離岸堤出水高度不足所導致堤後淤沙效能不彰之現象，對於可促進離岸堤後重塑繫岸沙洲灘線之調適、因應對策，建議在布建、整建及改善工程規劃、設計上，應著重從加大堤體寬度、提昇堤頂高度、強化堤體不透水性及輔以養灘或施行人工沙源補注等層面著手，藉以充分消減堤後之透射波強度，增進繞射波之造灣效應，達成離岸堤後淤沙與海岸防護效能。

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，維護自然海岸環境，防治海岸災害，降低海灘重塑與海岸防沖減淤成本，樽節海岸環境營造之維運費用。相關成果可提供本所執行「港灣環境資訊整合及防災應用」政策之後續運用；更可做為港務公司、內政部、水利署、漁業署、工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸環境營造、海岸防護設施規劃、設計、整建及維護的應用參據。

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. 陳文俊、郭金棟、謝文凱 (1995)，「離岸堤後堆砂效益之研究」，*第 17 屆海洋工程研討會論文集*，第 1311-1326 頁。

42. 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。

43. 郭金棟、陳文俊、王植煇(1996)，「不同堤距對離岸潛堤堤後堆砂效益影響之研究」，第 18 屆海洋工程研討會論文集，第 712-720 頁。

44. 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。

45. 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。

46. 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。

47. 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。

48. 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。

49. 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。

50. 許泰文、簡仲和、溫志中、謝祥生 (1998)，「離岸堤背後灘線變化與堆沙效果之研究」，*第 20 屆海洋工程研討會論文集*，國立臺灣海洋大學，第 403-410 頁。

51. 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。

52. 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。

53. 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。

54. 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。

55. 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。

56. 郭一羽 (2001)，“海岸工程學”，文山書局。

57. 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。

58. 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。

59. 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）。

60. 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。

61. 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。

62. 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。

63. 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。

64. 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。

65. 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。

66. 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。

67. 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。

68. 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。

69. 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。

70. 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。

71. 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。

72. 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。

73. 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。

74. 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。

75. 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。

76. 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。

77. 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。

78. 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。

79. 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。

80. 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。

81. 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。

82. 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。

83. 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。

84. 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。

85. 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。

86. 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。

87. 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。

88. 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。

89. 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。

90. 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。

91. 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。

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. 簡仲和、陳嘉君、郭晉安、王坤林、吳筱芸 (2009),「安平商港至興達漁港段海岸線變遷研究」，第 31 屆海洋工程研討會論文集，國立中興大學，臺灣海洋工程學會，第 501-506 頁。

94. 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。

95. 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。

96. 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。

97. 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。

98. 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。

99. 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。

100. 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。

101. 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。

102. 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。

103. 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。

104. 高市府工務局 (2011)，“旗津區海岸線保護工程(潛堤)—海岸公園觀景台至海水浴場段初步設計報告書”，高雄市政府工務局，2011。

105. 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。

106. 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。

107. 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。

108. 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。

109. 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。

110. 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。

111. 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。

112. 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。

113. 郭少谷、賴彥廷、郭禮安、朱志誠、吳宏謀 (2013)，「旗津海岸治理計畫」，專題報導，中華技術，第 100 期，第 58-73 頁

114. 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。

115. 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。

116. 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。

117. 水利署七河局(2014)，“屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(1-2)”，經濟部水利署第七河川局，MOEAWRA1030102，共 331 頁。

118. 水利署七河局(2014)，“屏東塗家厝至林邊溪口以北段海岸變遷監測調查計畫(1/2)”，經濟部水利署第七河川局，MOEAWRA 1030443，共 423 頁。

119. 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。

120. 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。

121. 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。

122. 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。

123. 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。

124. 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，國立中興大學，第 289-294 頁。

125. 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。

126. 吳宏謀 (2015)，“海岸環境營造規劃案例研究-以高雄旗津海岸為例”，博士論文，etd-0425115-143624，國立中山大學海洋環境及

工程學系，共 211 頁。

127. 郭晉安、蔡宗利、簡仲和(2015)，「水深測量方法對海岸侵淤分析之影響探討」，第 37 屆海洋工程研討會論文集，第 575-580 頁。

128. 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。

129. 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。

130. 水利署七河局(2015)，“屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)”，經濟部水利署第七河川局，MOEAWRA1040233，共 281 頁。

131. 水利署七河局(2015)，“屏東塗家厝至林邊溪口以北段海岸變遷監測調查計畫(2/2)”，經濟部水利署第七河川局，MOEAWRA1040234，共 291 頁。

132. 水利署七河局(2016)，“屏東縣塭豐海岸離岸堤群改善研究”，經濟部水利署第七河川局，MOEAWRA1050382，共 415 頁。

133. 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。

134. 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。

135. 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。

136. 水利署五河局 (2016)，“外傘頂洲變遷對嘉義海岸防護之影響分析研究”，經濟部水利署第五河川局， MOEAWRA1040241，

共 294 頁。

137. 水利署六河局 (2016)，“高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析”，經濟部水利署第五河川局， MOEAWRA1050128，共 485 頁。

138. 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。

139. 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。

140. 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。

141. 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。

142. 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。

143. 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。

144. 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。

145. 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。

146. 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。

147. 內政部 (2017c)，「國土利用監測」，https://www.nlsc.gov.tw/Home/MakePage/448?level=448。

148. 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 。

149. 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。

150. 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。

151. 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。

152. 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。

153. 水利署 (2018)，“屏東海岸防護整合規劃”，共 694 頁。

154. 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。

155. 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。

156. 高市府 (2019)，“*茄萣海岸復育及景觀改善工程*”，高雄市政府水利局 104052602，共 17 頁

157. 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

158. 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。

159. 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。

160. 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。

161. 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。

162. 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。

163. 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。

164. 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。

165. 水利署六河局(2020)，“高雄海岸防護基本資料調查(高屏溪口至鳳鼻頭段)”，經濟部水利署第六河川局，MOEAWRA1080173，共 564 頁。

166. 水利署六河局(2021)，“高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)”，經濟部水利署第六河川局，MOEAWRA1100179，共 287 頁。

167. 水利署七河局(2021)，“110 年度屏東縣一般性海堤風險評估”，經濟部水利署第七河川局，MOEAWRA1100144，共 609 頁。

168. 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。

169. 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。

170. 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。

171. 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。

172. 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。

173. 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。

174. 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。

175. 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。

176. 莊文傑 (2023)，“岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策”，MOTC-IOT-111-H3CA001c 研究報告，交通部運輸研究所，共 429 頁。

177. 莊文傑、林穎志 (2023)，「毗鄰離岸堤後淤沙效能差異機制探討」，第 45 屆海洋工程研討會論文摘要集，國立臺灣海洋大學，第 A234-235 頁。

178. 莊文傑、韓坤平、張桂汀 (2023)，「離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響探討」，第 45 屆海洋工程研討會論文摘要集，第 A247-248 頁。

附錄 1 期末報告審查簡報資料

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

自行研究期末報告審查會議
2023/12/27（星期三）

研究人員：莊文傑
交通部運輸研究所運輸技術研究中心副研究員

簡報內容

- 研究緣起與目的
- 研究方法
- 研究成果與討論
- 結論與建議

崎峰離岸堤_Google Earth_2016_08；2019_01

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

自行研究期末報告審查會議
2023/12/27（星期三）

類別	姓名/職稱	主要工作內容
主持人	莊文傑/副研究員	綜理、主辦及執行全程研究事務。
參與人員	林有騰/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	至各海岸段離岸堤群之規劃、設計與建管單位**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

經費: 50千元
來源: 本所業務費

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

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「離岸堤效應」，針對臺灣環島近岸離岸堤群初始與現況出水高度變化之控制因素，檢視其對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能，並評估其對造成地貌變遷之影響，進而研提現況離岸堤群配置之調適、因應對策，建議可採行之改善措施。

研究範圍與應用單位 (WHO)

- ✓ 針對臺灣環島近岸既有配置離岸堤群之海灘。
- ✓ 提供港務公司、內政部、水利署、漁業署、工程顧問公司等相關單位，從事海岸開發、提昇海岸防護及海岸保護效能的調適、因應參據。

研究項目與內容 (WHAT)

- ✓ 蒐集、綜整臺灣環島近岸離岸堤之初始與現況配置型態
- ✓ 探討、驗證建置離岸堤所衍生之「離岸堤效應」
- ✓ 分析、掌握離岸堤後形塑沙舌或繫岸沙洲海灘之控制因素
- ✓ 檢視離岸堤初始與現況出水高度之變化，評估其對堤後淤沙效能與造成地貌變遷之影響
- ✓ 研提強化海岸防護效能之調適、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

3

離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

辦理方式 (HOW)

- ✓ 延續本所歷年之研究經驗，擴展研究成果。
- ✓ 本研究採自辦方式辦理，由具專業之資深研究員1人，統籌、綜理及執行全程研究事務。
- ✓ 應用Google地圖，藉Youtube之海岸空拍串流影片，透過現場考察，並諮詢規劃、設計與建管單位，蒐集、綜整臺灣環島近岸離岸堤之初始與現況配置型態，特別是掌握原始設計之斷面尺寸與高程配置。

預期成果、效益及應用

- ✓ 預期成果(效益)
  - 配合「離岸堤效應」針對離岸堤初始與現況出水高度變化之控制因素，應用Google Earth歷史圖像及Youtube之海岸空拍串流影片，檢視、分析及確認離岸堤出水高度對堤後形塑沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能，並評估其對造成地貌變遷之影響。
  - 研提調適、因應對策，建議改善措施，具體推動並落實總體性之海岸保育與防災策略，撙節政府經常性投注海岸保護之防沖減淤經費。
- ✓ 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；更可做為港務公司、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。

4

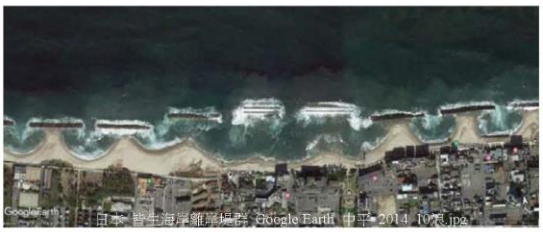
研究心得

■邏輯思考與創造力

- ➢ QBQ_ The Question Behind The Question
  - ◘ 抽絲剝繭；
  - ◘ 追根究柢。
- ● 望__觀察
- ● 聞__分析、研判
- ● 問__評估、辨識
- ● 切__確認。

➢對症下藥 _ 治療

~ 研提措施與對策
_ 改善與防治



波浪衝擊與碎波沖刷_海灘沖淤變遷的趨動力

■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

➢波浪 與 防浪設施 之交互干擾

- ➢波浪繞射、碎波波高、波向變化!!
- ➢碎波沖刷流與沖刷環流；沖刷流速 $u \approx \sqrt{gH_b}$

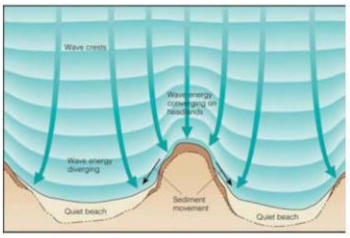
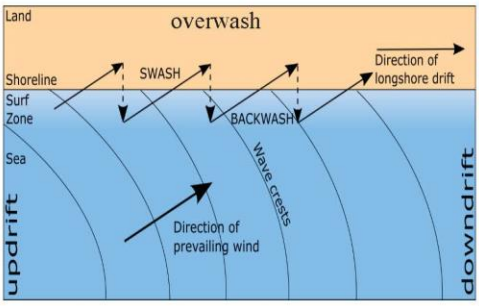
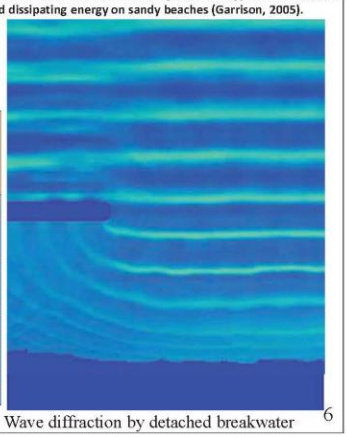


Figure 6: Wave refraction focusing wave energy on the headlands and dissipating energy on sandy beaches (Garrison, 2005).

Oxnard State Beach Park_Google Earth_細_近岸波浪_2014_08a.jpg





Wave diffraction by detached breakwater

6

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， $u \approx \sqrt{gH_b}$ ；
    $H_b \approx 1\ \mathrm{m},\ u \approx 3.13\ \mathrm{m/s}$
- 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

大武漁港_瑪娃颱風後港嘴淤塞_成大水利海洋研究發展基金會空拍_郭晉安_2023_0603_05.jpg

7

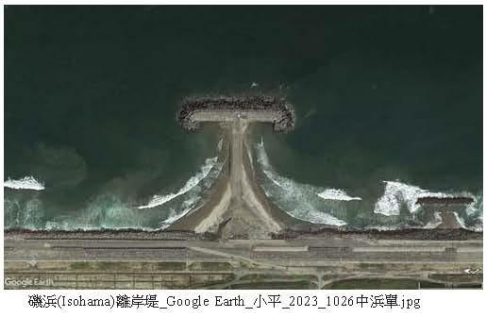
波浪沖刷環流在離岸堤後造成之淤沙形態

- Google Earth 歷史圖像，屏東塗家厝海堤外的離岸堤
- 離岸堤後之沙舌或繫岸沙洲，與 堤中心線 約呈 對稱性！
- → 輸沙動力具對稱性 _ 繞射波沖刷環流 !!

塗家厝海灘_單離岸堤_Google Earth_小平_2014_12優.jpg

塗家厝單離岸堤_Google Earth_細平_2015_03優沙舌.jpg

塗家厝海灘_單離岸堤_Google Earth_小平_2016_08優.jpg



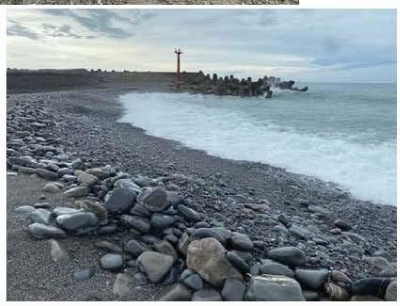
磯浜(Isohama)離岸堤_Google Earth_小平_2023_1026中浜單.jpg

大浜海岸_福島縣相馬市_離岸堤群北2_Google Earth_小平_2020_11優緊岸沙洲.jpg

8

離岸堤後繞射波沖刷環流之強勁沖刷效能

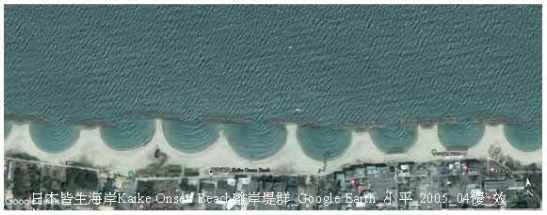
- 屏東崎峰海堤外的離岸堤
  - 卵礫石灘之緊岸沙洲
  - 繞射波的強勁沖刷動力
  - 床質粒徑 不是問題 !!



9

離岸堤群在海岸防護之應用

- **離岸堤群**，離岸的系列**潰浪堤**，大多平行海灘、座落在內灘區或碎波帶內，**主要功能**在**消減波浪對海灘之直接沖刷**，並藉**繞射波的沖刷作用**，促使漂沙在堤後堆積，發揮安定海灘功能，常應用於**海灘侵蝕防護**及**海岸地形變遷控制**。
- 建置水深：**普遍不及 6 m**
- 型式：**不透水_透水**；**出水_潛沒**
- 使用材料：大多為拋石 或 消波塊。



離岸堤群布建的經驗準則

- **考量要素：**
  - $S_x/X = f(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots)$
  - 波浪特性、潮差、堤尺寸配置(平面)、海灘坡度(地形水深)、…
    - $(x,y,z;t)$ 之 3-D 空間＋時間變動課題
    - 沙源 補注的 不必要性! (通常 未列入為考量要素!)
- **預期效能：**
  - 消減近岸波能、降低海堤之波浪衝擊、防護海岸及民生
  - 堤後產生沙舌或繫岸沙洲之海灘重塑 與 海岸環境營造!
- **規劃、設計之經驗準則：**
  - Karambas (2012)， $X/X_b \leq 1$

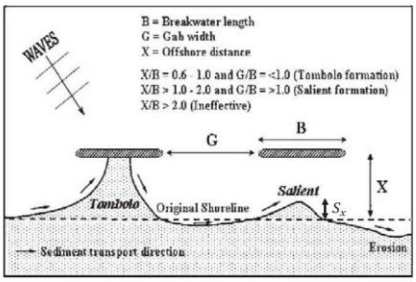
    繫岸沙洲： B / X ＞1.2~1.3；

    沙舌　　：0.2~0.3 < B / X < 1.2~1.3
  - 英國 Environment Agency （2010）

    繫岸沙洲：

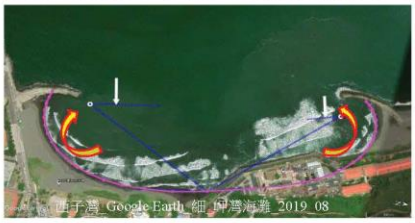
    $B/X > 2.8 - 1.6\,(X/X_b)$　$X/X_b \leq 1.25$

    $B/X > -10.2 + 8.8\,(X/X_b)$　$1.25 \leq X/X_b \leq 2.0$
  - 歐、許 (1986)： G / B ≈ 0.4 ~ 0.5
  - 田中 (1983)： G / B ≈ 0.12 ~ 0.5



海灘沖淤變遷的辨識模式與對應機制

- **波浪與防浪設施之交互作用效應**
  - ➢突堤 ⇨「突堤效應」
  - ➢離岸堤 ⇨「離岸堤效應」
  - ➢岬頭 ⇨「岬頭效應」
  - ◆效應：效用＋反應 (副作用)！
- ◆ **構建 經驗法則/辨識模式 (*AI*)**
  - ◆ 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

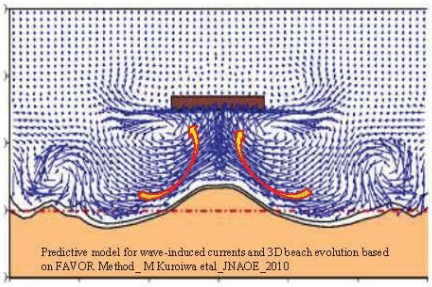


12

「離岸堤效應」的營造與機制

- 「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漂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
  - 波浪與結構物的交互作用
  - 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 $u \approx \sqrt{gH_b}$
  - 離岸堤後，因繞射波之沖刷作用，促使堤後波向變化、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 與 堤後之繞射波
    - 優勢輸沙方向 ≈ 沖刷環流
    - 沙舌或繫岸沙洲，約略與堤中心線呈對稱!
      - 離岸堤規模、型式 與 出水高度
      - 潮間帶、海灘坡度
      - 沙源供給與補注



13

國內離岸堤群後淤沙效能差異實況

- 具差別性的「離岸堤效應」!!
- 高雄茄萣、林園海岸

茄萣離岸堤24_空拍系列_茄萣海岸公園 _ 二仁溪、二仁溪橋 _SamChu のLife_2023_0409.jpg

茄萣離岸堤04_碧海藍天高雄市茄萣海岸_輕鬆簡單過Yun Kai Lee.jpg

茄萣離岸堤10_碧海藍天高雄市茄萣海岸_輕鬆簡單過Yun Kai Lee.jpg

海洋濕地公園離岸堤群_Google Earth_細平_全_2022_02出水高度.jpg

汕尾離岸堤群_Google Earth_細平_全_2012_01出水高度.jpg

汕尾離岸堤群_Google Earth_細平_全_2022_02出水高度.jpg

14

國外離岸堤群後淤沙效能差異實況

- 具差別性的「離岸堤效應」!!
- 日本鳥取縣皆生海岸Kaike Onsen Beach
- 離岸堤後的繞射波

15

國外離岸堤群後淤沙效能差異實況

- 具差別性的「離岸堤效應」!!
- 日本島根縣益田(ますだ Masuda) 海岸
- 離岸堤後的透射波

國外離岸堤群後淤沙效能差異實況

- 具差別性的「離岸堤效應」!!
- 英國海岸_Elmer, Bognor Regis, UK
- 英國海岸_ the Sea Palling on the Norfolk coast, Norwich, UK

17

研究緣起與目的

- 依據**經驗法則**，在沙質海灘上布建離岸堤群，一般**可預期**：在**「離岸堤效應」**影響下，堤後**通常**會伴隨產生**沙舌或繫岸沙洲形態**的海灘。
- 在**國內、外**的實際離岸堤群布建案例中，即使位處**同一局部海岸區段內**，堤後海灘的**淤沙效能**，**常不如預期**；海灘重塑形態，即使在**毗鄰的離岸堤間亦多有差異**。
  - ➢ 為什麼?
  - ➢ 影響要素 與 控制機制 是什麼?
  - ➢ 如何改善、提昇堤後淤沙效能?

高雄茄萣(上，2016)、日本益田(中，2019)及英國Norfolk(下，2019)等國內外海岸布建離岸堤群後沙舌或繫岸沙洲之淤沙效能差異

18

研究方法

- 課題分析與重點掌握
  - 波浪、離岸堤及堤後淤沙效能與灘線變遷，皆具有$(x, y, z; t)$之 3-D 空間＋時間變動特性。
  - 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，多且複雜。
  - 國內的離岸堤群布建，著重於防潮禦浪功能及海岸景觀考量，堤體出水高度一般較低。
  - 往昔對於離岸堤群防浪與淤沙效能的檢討，普偏著重於離岸堤長與離岸距及堤間距之核驗，對於堤體出水高度的影響，則常輕忽。
- 研究方法
  - 思量「離岸堤效應」的 因-果；
  - 藉Google Earth歷史圖像，以布建在高雄茄萣、林園海岸及屏東林邊溪口南、北兩側之離岸堤群為探討案例；
  - 檢選高雄旗津海岸人工灣澳保護工程所布建之 出水離岸堤 及 系列潛堤 後的海灘變遷形態作對比、辨識案例，針對離岸堤出水高度(堤高)，探討其對堤後灘線變遷與淤沙效能之影響。

19

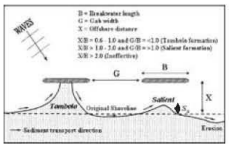
影響堤後淤沙效能的控制因素研判

- $S_x/X = f\left(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots\right)$
  - 關聯 波浪特性、潮差、堤體尺寸配置(平面)、海灘坡度(地形水深)、…
  - 沙源 補注的不必要性!（例如：水工動床實驗）
- γ：堤體之孔隙率
  - 堤體特性，甚少被關注與討論!
  - 堤體 之 3-D 空間＋時間變動特性
    - 離岸堤規模、型式
    - 堤寬：不透水→透水;
    - 堤高：出水堤→潛堤;
- 國內的離岸堤群布建，著重於防潮禦浪功能及海岸景觀考量，堤體出水高度一般較低。
- 以往對於離岸堤群防浪與淤沙效能的檢討，普偏著重於離岸堤長與離岸距比值及堤間距之核驗，對於堤高_出水高度的影響，則常輕忽。
  - 針對 堤高_出水高度 的因素！

20

堤頂高對離岸堤後波浪沖刷特性的影響

- $S_x/X = f(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots)$
  - 關聯 波浪特性、堤體尺寸配置(平面)、海灘坡度(地形水深)、…
  - 沙源 補注的不必要性! (例 如：水工動床實驗 、數值模擬…)

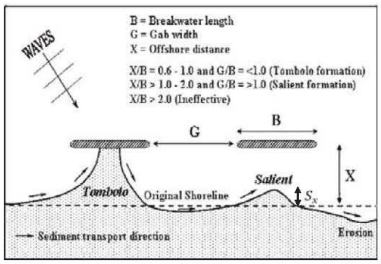


- γ：堤體之孔隙率
  - 堤體特性，甚少被關注與討論!
  - 堤體 3-D 空間 + 時間變動特性
    - 堤寬：不透水→透水;
    - 堤高：出水堤→潛堤;
- 波浪沖刷作用之轉變
  - 繞射 → 透射

21

離岸堤後淤沙效能的關鍵影響因素

- $S_x/X = f(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots)$
  - 關聯 波浪特性、潮差、堤體尺寸配置(平面)、海灘坡度(地形水深)、…
  - 沙源 補注的不必要性! (例 如：水工動床實驗 、數值模擬…)



- γ：堤體之孔隙率
  - 堤體特性，甚少被關注與討論!
  - 堤體 $(x,y,z;t)$ 之 3-D 空間 + 時間變動特性
    - 離岸堤規模、型式
    - 堤寬：不透水→透水;
    - 堤高：出水堤→潛堤;
- 堤體規模、型式變化之原因：
  - 堤體布建年序及 堤體整建、改善先後
  - 施工便道構築與拆除
  - 堤體沉陷、崩塌、破壞

日本曾生海岸_Google Earth_水平_2014_01淤沙效能.jpg

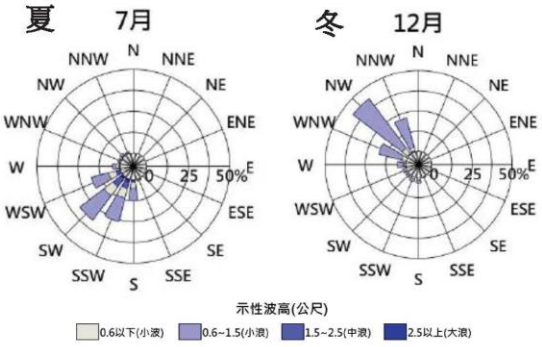
日本曾生海岸_Google Earth_水平_2014_10退出水高

- 「離岸堤效應」的 因-果
- 面對惡劣的海氣象環境，受較大波浪與暴潮作用，及堤體沉陷、坍塌之共同影響，出水式離岸堤，必將因出水高度 或 堤頂高不足，而轉化為潛堤。
- 關鍵控制機制： 出水高度_堤頂高！

22

高雄茄萣海岸離岸堤群與近海卓越波浪

- Google Earth_高雄茄萣海岸，自二仁溪至興達港，共33座。
- 經濟部水利署，彌陀浮標，2012~2020年，觀測波浪資料。



彌陀浮標夏、冬季波浪玫瑰圖(2012~2020 年)

彌陀浮標長期波高統計表(2012~2020 年)_擷取自高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_ 經濟部水利署第六河川局_2021.jpg

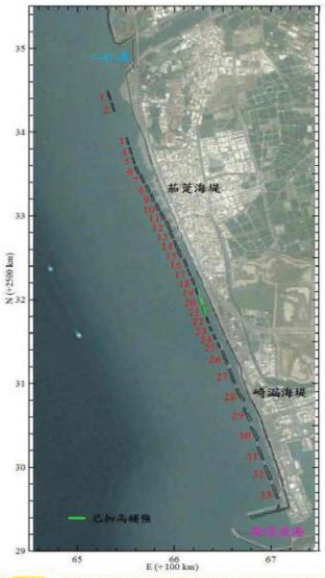
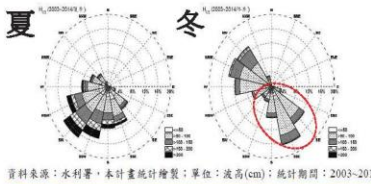


圖2-11 茄萣與崎漏海堤段離岸堤編號與位置圖

高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析_總報告_MOEAWRA1050128_經濟部水利署第六河川局_2016。

高雄林園海岸離岸堤群與近海卓越波浪

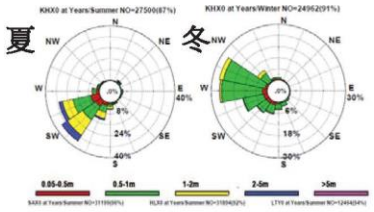
- Google Earth_高雄林園海岸，鳳鼻頭漁港至高屏溪口，共35 座。
- 中央氣象局，小琉球資料浮標，2003～2014年，夏季與冬季波高波向玫瑰圖.
- 交通部運輸研究所，高雄港，2000~2016，海氣象觀測資料.



資料來源：水利署，本計畫統計繪製；單位：波高(cm)；統計期間：2003~2014 年。

圖 2-16 小琉球資料浮標夏季與冬季波高波向玫瑰圖 (2003～2014 年)

屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(1-2)_小琉球資料浮標夏季與冬季波高波向玫瑰圖(2003～2014 年).jpg



交通部運輸研究所，2016年港灣海氣象觀測資料年報

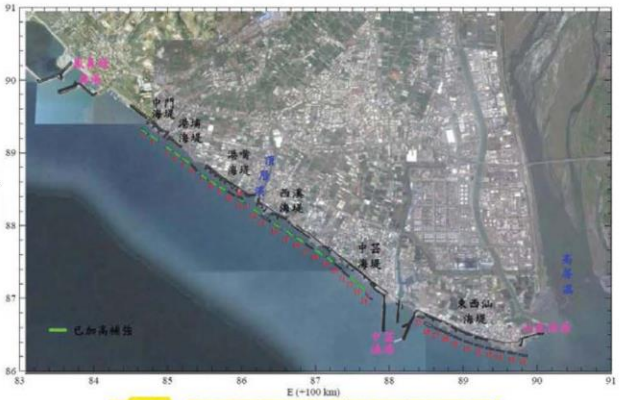


圖2-15 林園區海堤段離岸堤編號與位置圖

高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析(總報告)_MOEAWRA1050128_經濟部水利署第六河川局_2016

高雄茄萣海岸之離岸堤群

表 2-6-7 計畫範圍內漁港及商港結構物完工日期綜整表

漁港及商港	結構物	完工日期
興達漁港	興達漁港光防波堤	1977
	興達漁港南防波堤	1977
永新漁港	永新漁港光防波堤	1988
	永新漁港南防波堤	1988
興達火力發電廠卸煤碼頭	棧橋碼頭	2008
永安液化天然氣廠LNG港	北防波堤	2005
	南防波堤延長工程	2005
彌陀漁港	彌陀漁港整體工程	1983
蚵仔寮漁港	蚵仔寮漁港防波堤	1985

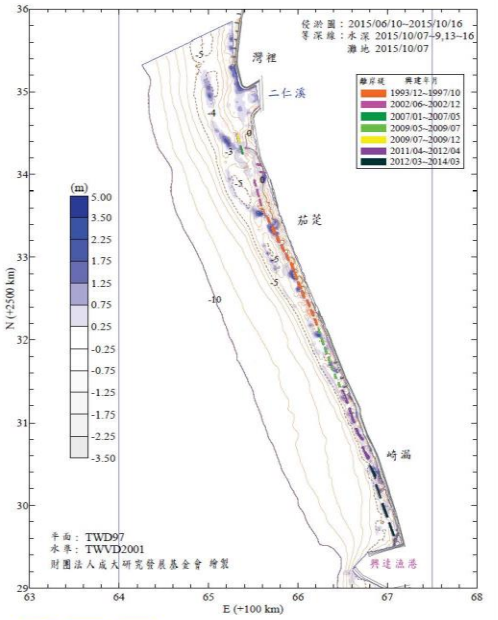
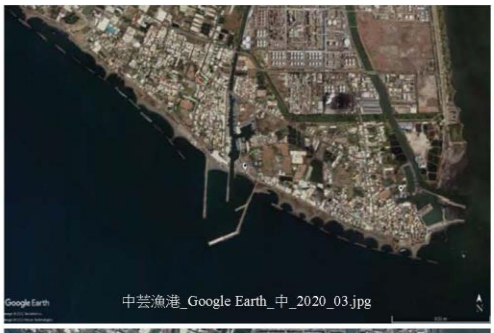


圖5-17 2015年6~10月夏季波浪作用後二仁溪至興達漁港海岸段地形水深侵淤圖

擷取自_高雄海岸監測調查及離岸堤沉陷原因分析(總報告)_ MOEAWRA1050128_經濟部水利署第六河川局_2016_1010502667b.pdf

高雄林園海岸之離岸堤群

■ **Google Earth_高雄林園海岸，自鳳鼻頭漁港至高屏溪口，共35座。**



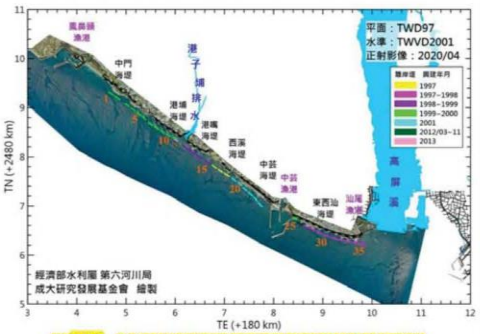
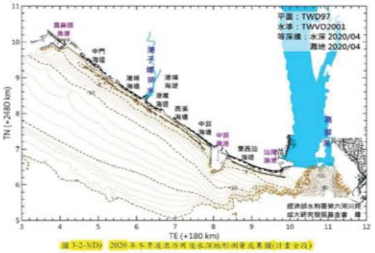


圖 2-7-1 鳳鼻頭漁港至高屏溪海岸段海堤與離岸堤位置圖

林園海堤_中門-港埔-港嘴-西溪-中芸-東西汕_鳳鼻頭漁港至高屏溪海岸段海堤與離岸堤位置圖



林園海堤_2020 年冬季波浪作用後水深地形測量成果圖(計畫全段)
擷取自高雄海岸防護基本資料調查_高屏溪至鳳鼻頭段_MOEAWRA1080173 _ 經濟部水利署第六河川局_2020

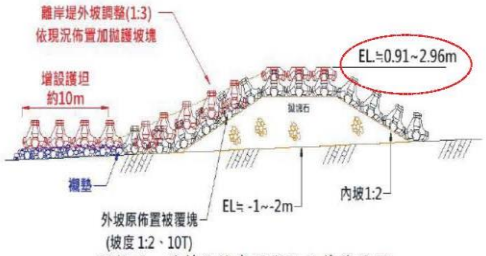
高雄茄萣海岸之海象與堤體斷面配置

■ **茄萣海岸的海象**

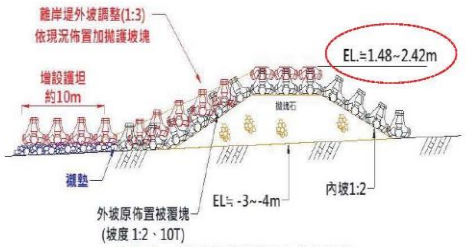
- 潮位：**50年重現期潮位， EL.+1.40 公尺。**
- 波浪： **參考彌陀浮標，2012~2019 波浪統計資料，**
  - **季風：**
    - 夏季 H1/3=0.89公尺、TP=6.50秒、波向**SW**；
    - 冬季 H1/3=0.76公尺、TP=6.07秒、 波向**NW** 。
  - **颱風：50年重現期波浪**
    - $H_{1/3}$=11.60公尺、T_P=14.98秒、波向：W、SW、S

■**離岸堤群整建的斷面配置**

➢本區**施作離岸堤之工法，多以拋塊石作基礎，堤頂及堤面，再依不同位置分別搭配排放10T 或5T 之混凝土塊，其離岸堤補強工法，為混凝土塊，亂拋於需補強面，補強後，離岸堤高度約2 公尺。**



圖摘-5 茄萣段離岸堤斷面改善佈置圖



圖摘-6 崎漏段離岸堤斷面改善佈置圖

茄萣海堤_茄萣段(左)、崎漏段(右)離岸堤斷面改善佈置圖
_高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_ 經濟部水利署第六河川局_2021.jpg

27

高雄茄萣離岸堤群之出水高度(堤頂高)差異

■ **Google Earth_高雄茄萣海岸，自二仁溪至興達港，共33座。**

■ **離岸堤群之出水高度變化與差異。**

圖 2-6-2A 離岸堤高程高度與高程變化量圖(茄萣區堤段)

茄萣海堤_離岸堤高程高度與高程變化量圖(茄萣區堤段)_擷取自高雄一般性海堤區域及重要聚落海岸變遷監測調查計畫(二仁溪口至典寶溪口段)_總報告_ 經濟部水利署第六河川局_2021.jpg

28

高雄林園離岸堤群之出水高度(堤頂高)差異

- Google Earth_高雄林園海岸，自鳳鼻頭漁港至高屏溪口，共35座。
- 毗鄰離岸堤後 衍生「離岸堤效應」之差異。

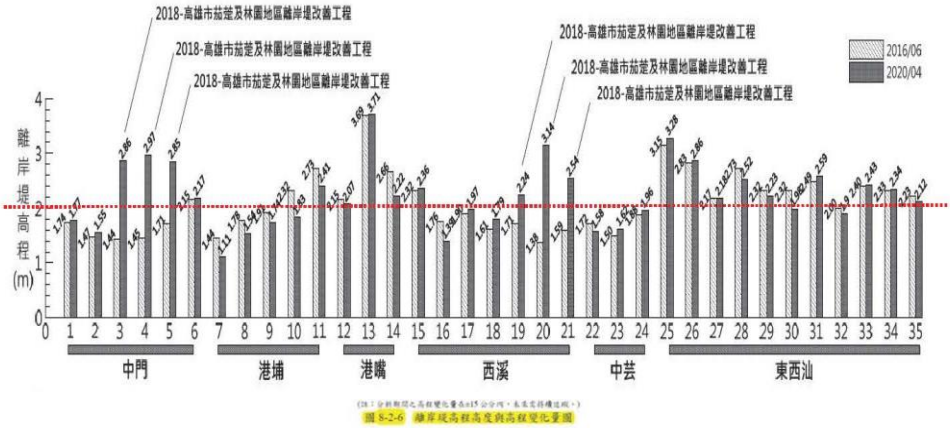


圖 8-2-6 離岸堤高程高度與高程變化量圖

林園海堤_中門-港埔-港嘴-西溪-中芸-東西汕_離岸堤高程高度與高程變化量圖_擷取自高雄海岸防護基本資料調查_高屏溪至鳳鼻頭段_MOEAWRA1080173_經濟部水利署第六河川局_2020_10109Q0006b.jpg

歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響

- 高雄茄萣海岸之離岸堤群
  - ➢同質性：外力、平面特性
    - 同一局部海岸區段
    - 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
    - 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
  - ➢異質性：時間、高度特性
    - 堤體布建年序
    - 堤體整建、改善先後
    - 施工便道構築與拆除
    - 堤體沉陷、崩塌
    - 二仁溪河口沙源供給、河川浚沙補注、...
- 影響堤後淤沙效能差異之要因
  - ➢「離岸堤效應」的 因-果
  - ➢ $S_x/X = f(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots)$
  - ➢研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!

高雄茄萣海岸之離岸堤群布建配置與歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響(上_2013、中上_2016、中下_2019、下_2020)

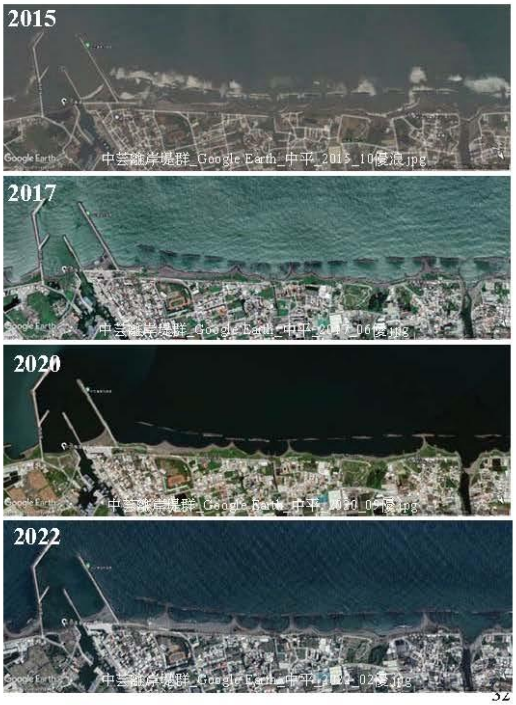
歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響

- 高雄崎漏海岸之離岸堤群
  - 同質性：外力、平面特性
    - 同一局部海岸區段
    - 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
    - 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
  - 異質性：時間、高度特性
    - 堤體布建年序
    - 堤體整建、改善先後
    - 施工便道構築與拆除
    - 堤體沉陷、崩塌
    - 興達港整建
- 影響堤後淤沙效能差異之要因
  - 「離岸堤效應」的 因-果
  - $S_x/X = f\left(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots\right)$
  - 研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!

31

歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響

- 高雄林園中芸海岸之離岸堤群
  - 同質性：外力、平面特性
    - 同一局部海岸區段
    - 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
    - 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
  - 異質性：時間、高度特性
    - 堤體布建年序
    - 堤體整建、改善先後
    - 施工便道構築與拆除
    - 堤體沉陷、崩塌
    - 高雄港二港口、鳳鼻頭漁港、中芸漁港整建
- 影響堤後淤沙效能差異之要因
  - 「離岸堤效應」的 因-果
  - $S_x/X = f\left(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots\right)$
  - 研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!



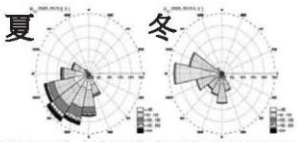
32

屏東林邊、佳冬、枋寮海岸之離岸堤群

- 屏東海岸，截至2021年止，共完成海堤23,953公尺、突堤7座、防潮堤4座、離岸堤134座(含潛堤3座)，合計15,184公尺、保護工6,014公尺等海岸保護工程。

資料來源：「110年度屏東縣一般性海堤風險評估」成果報告書

林邊溪口北側離岸堤群__Google Earth_區_2020_04.jpg



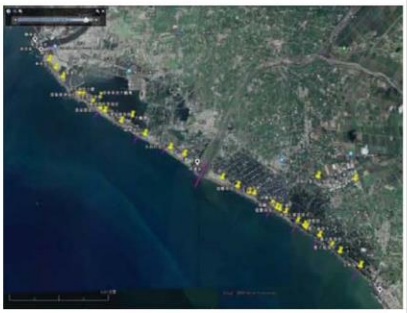
資料來源：水利署，本計畫統計繪製；單位：波高(cm)；統計期間：2002~2012 年。

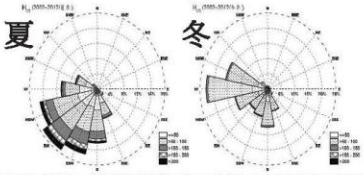
圖 2-18 大鵬灣資料浮標夏季與冬季波高波向玫瑰圖 (2002～2012 年)

林邊溪口南側離岸堤群__Google Earth_區_2021_07a.jpg

屏東海岸的離岸堤群與海象統計資訊

- Google Earth_塗家厝~林邊溪北，共46座；林邊溪南~北勢溪北，共66座。
- 最大潮差1.481m。
- 大鵬灣之主要波高均小於2.5m、週期小於10sec；
- 大鵬灣之主要波向為W、WSW 與WNW；
- 50年重現期之颱風波浪，
  - 波高為9.6m、週期13.0sec。
  - 50年重現期颱風波浪作用下，最大溯升高程為+5.08m。





資料來源：水利署，本計畫統計繪製；單位：波高(cm)；統計期間：2002~2012 年。

圖 2-18 大鵬灣資料浮標夏季與冬季波高波向玫瑰圖 (2002～2012 年)

屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(1-2)_大鵬灣資料浮標夏季與冬季波高波向玫瑰圖(2002～2012 年).jpg

南平里離岸堤6座
塗家厝離岸堤19座
崎峰離岸堤12座，崎峰潛堤2座
水利村離岸堤15座
林邊溪
塭豐離岸堤26座
葫蘆尾離岸堤3座
葫蘆排水
下寮離岸堤11座
屏南工業區排水
大庄離岸堤10座，潛堤1座(番子崙排水口北側)
番仔崙排水
番仔崙離岸堤16座
北勢溪

屏東海岸之海象設計條件與海灘斷面特性

- 至民國105年10月止，屏東海岸共完成海堤23,180公尺、突堤7座、防潮堤4座、離岸（潛）堤126座（含潛堤3座）、保護工3,200公尺等海岸保護工程。
- 屏東一級海岸防護區岸段，50 年颱風重現期距設計暴潮水位為1.55 公尺。
- 屏東海岸段，50年重現期距之設計波高 11.42 公尺；設計週期 17.4 秒。
- 潮位：
  - 大潮平均高潮位 +0.55 m
- 波浪條件：
  - 夏季：波高1.55 m、週期6.84 sec、波向SW；
  - 冬季：波高0.86 m、週期6.21 sec、波向W。
  - 颱風：大鵬灣外海50年重現期之颱風波浪，波高7.6 m、週期11.0 sec、波向SW；

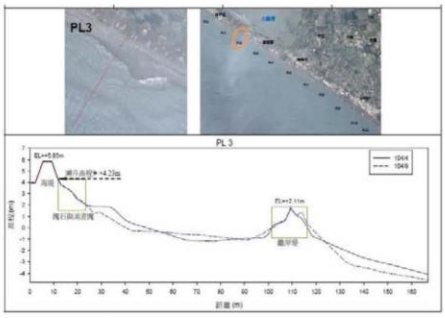


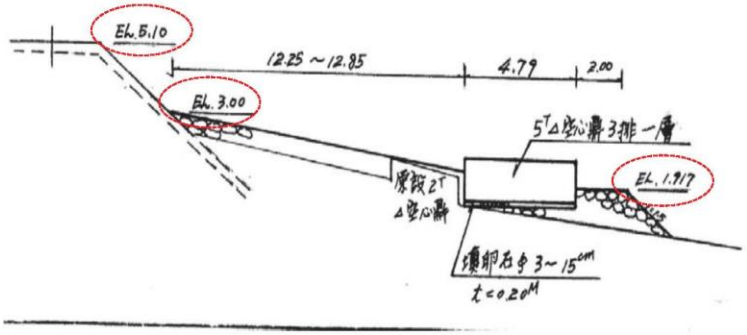
圖 3-10　PL3 分區現況特性與斷面位置圖

塗家厝海堤北端，堤頂高程約 5.85m，斷面穿越之離岸堤高程約2.11m

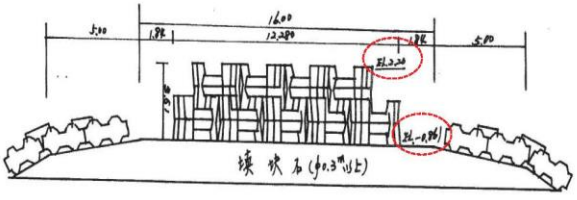
屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)_圖3-10 PL3 分區現況特性與斷面位置圖.jpg

37

屏東塭豐海堤與離岸堤之原始設計斷面圖



塭豐海堤設計斷面 (No.15) 尺寸單位CM

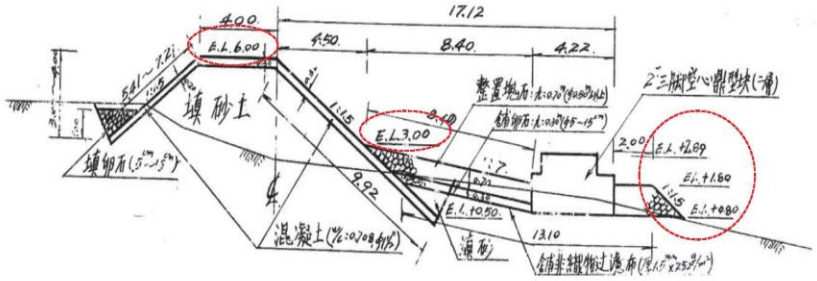


塭豐外層離岸堤設計斷面 (No.15) 尺寸單位CM

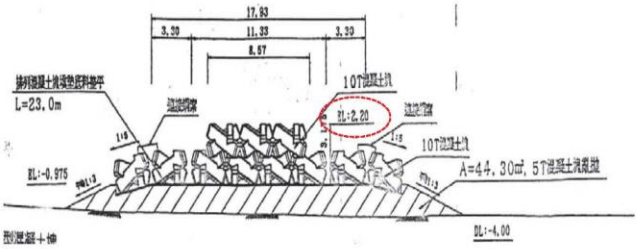
屏東縣塭豐海岸離岸堤群改善研究，MOEAWRA1050382，2016_圖7-26 塭豐海堤設計斷面 (No.15)_尺寸單位CM.jpg

38

屏東大庄海堤與離岸堤之原始設計斷面圖



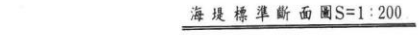
大庄海堤設計斷面 (No.48) 尺寸單位CM



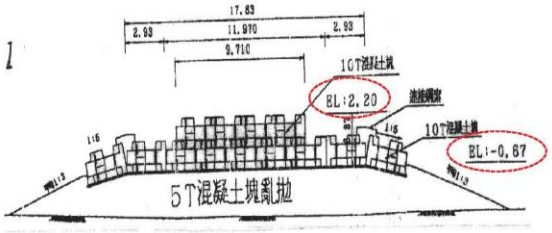
大庄內外層離岸堤設計斷面 (No.48) 尺寸單位CM

屏東縣堤豐海岸離岸堤群改善研究，MOEAWRA1050382，2016_圖7-29 大庄海堤設計斷面 (No.48)_尺寸單位CM.jpg

屏東番子崙海堤與離岸堤之原始設計斷面圖



番子崙海堤設計斷面 (No.52) 尺寸單位CM



番子崙**離岸堤**設計斷面 (No.52) 尺寸單位CM

屏東縣堤豐海岸離岸堤群改善研究，MOEAWRA1050382，2016_圖7-31 番子崙海堤設計斷面 (No.52)_尺寸單位CM.jpg

屏東海岸離岸堤群之出水高度(堤頂高)差異

- 屏東海岸，截至2021年止，共完成海堤23,953公尺、突堤7座、防潮堤4座、離岸堤134座(含潛堤3座)，合計15,184公尺、保護工6,014公尺等海岸保護工程。

資料來源：「110年度屏東縣一般性海堤風險評估」成果報告書

- 離岸堤群之出水高度變化與差異。

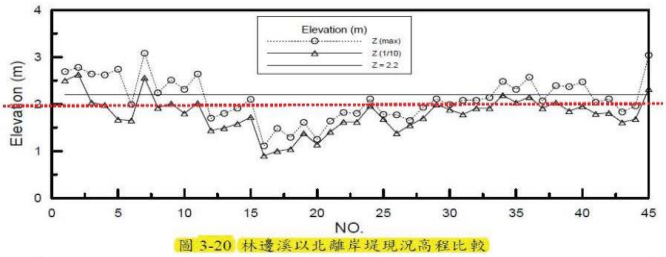


圖 3-20 林邊溪以北離岸堤現況高程比較

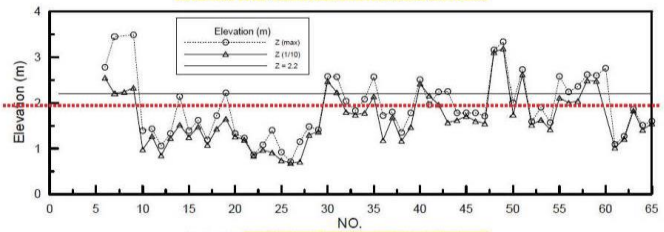


圖 3-33 林邊溪以南離岸堤現況高程比較

資料來源：屏東縣離岸堤及離岸潛堤效益評估計畫(2-2)，MOEAWRA1040233，經濟部水利署第七河川局，2015

41

屏東離岸堤群之出水高度(堤頂高)差異

- 林邊溪以北

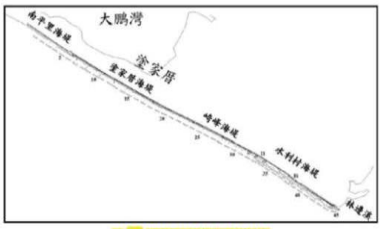


圖 5-5 林邊溪以北離岸堤位置編號

屏東縣墾豐海岸離岸堤群改善研究，MOEAWRA1050382，2016_圖 5-5 林邊溪以北離岸堤位置編號.jpg

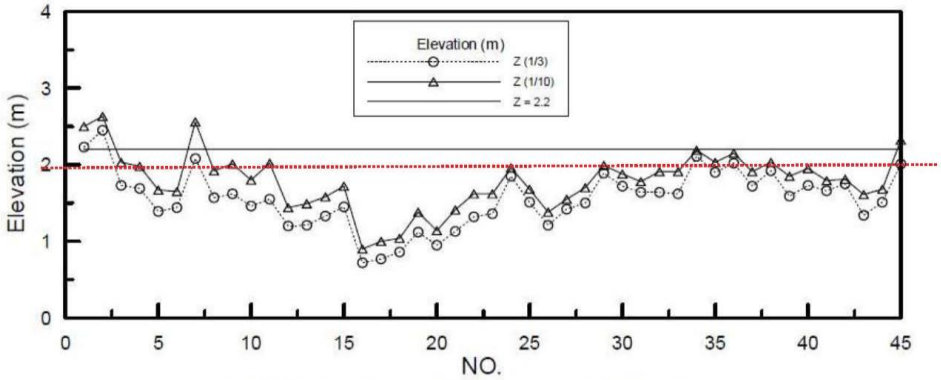


圖 5-4 林邊溪以北離岸堤現況出水高程比較

42

屏東離岸堤群之出水高度(堤頂高)差異

■ 林邊溪以南

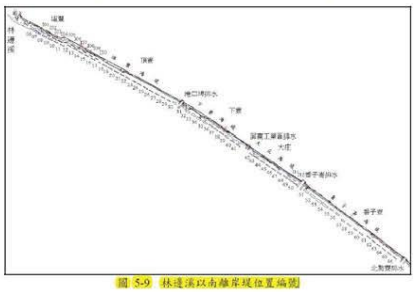


圖 5-9 林邊溪以南離岸堤位置編號

屏東縣墾丁海岸離岸堤群改善研究，MOEAWRA1050382，2016_圖 5-5 林邊溪以北離岸堤位置編號.jpg

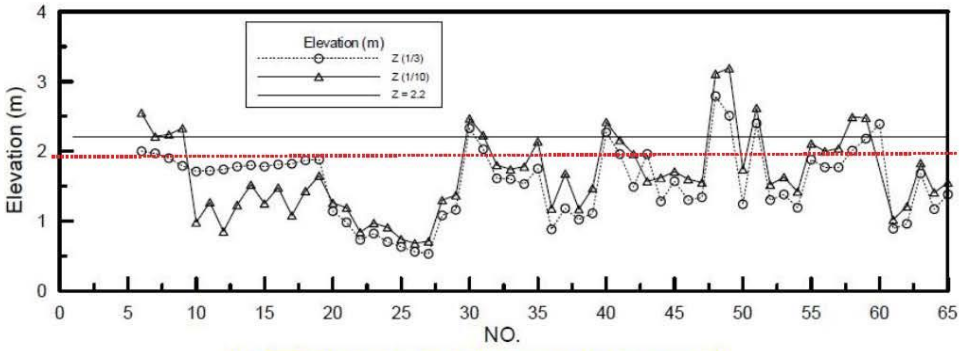


圖 5-8 林邊溪以南離岸堤現況出水高程比較

4

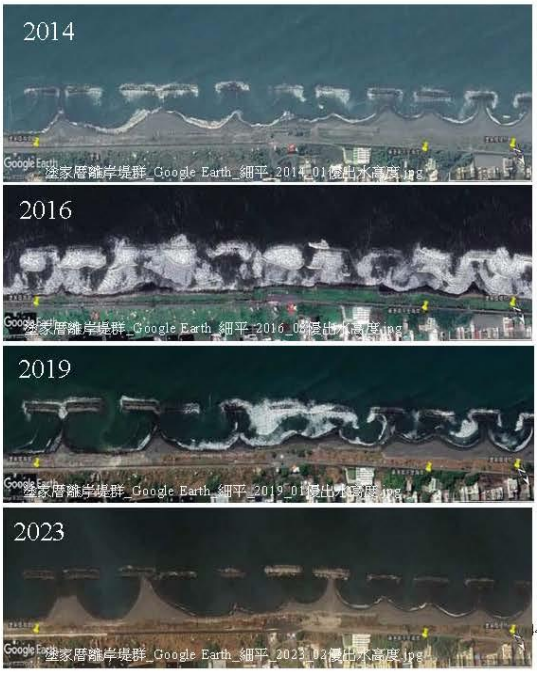
屏東離岸堤群之出水高度(堤頂高)差異

■ 屏東東港海岸塗家厝海堤外之離岸堤群

- ➢ 同質性：外力、平面特性
  - ● 同一局部海岸區段
  - ● 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
  - ● 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
- ➢ 異質性：時間、高度特性
  - ● 堤體布建年序
  - ● 堤體整建、改善先後
  - ● 施工便道構築與拆除
  - ● 堤體沉陷、崩塌
  - ● 東港溪河口沙源供給、...

■ 影響堤後淤沙效能差異之要因

- ➢ 「離岸堤效應」的 因-果
- ➢ $S_x/X = f\left(H_o/L_o, B/X, X/X_b, tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, ...\right)$
- ➢ 研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!



14

歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響

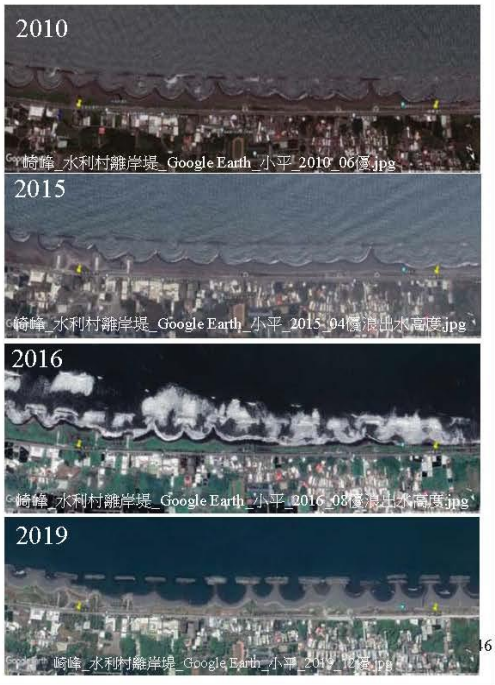
- 屏東林邊海岸崎峰海堤外之離岸堤群
  - 同質性：外力、平面特性
    - 同一局部海岸區段
    - 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
    - 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
  - 異質性：時間、高度特性
    - 堤體布建年序
    - 堤體整建、改善先後
    - 施工便道構築與拆除
    - 堤體沉陷、崩塌
    - 林邊溪河口沙源供給、河川浚沙補注、...
- 影響堤後淤沙效能差異之要因
  - 「離岸堤效應」的 因-果
  - $S_x/X = f(H_0/L_0, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots)$
  - 研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!

屏東林邊崎峰海堤外之離岸堤群布建配置與歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響(上_2005；中上_2014；中下_2016；下_2019)

45

歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響

- 屏東林邊崎峰_水利村海堤外之離岸堤群
  - 同質性：外力、平面特性
    - 同一局部海岸區段
    - 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
    - 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
    - 河口沙源供給、河川浚沙補注、養灘、...
  - 異質性：時間、高度特性
    - 堤體布建年序
    - 堤體整建、改善先後
    - 施工便道構築與拆除
    - 堤體沉陷、崩塌
- 影響堤後淤沙效能差異之要因
  - 「離岸堤效應」的 因-果
  - $S_x/X = f(H_0/L_0, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots)$
  - 研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!



16

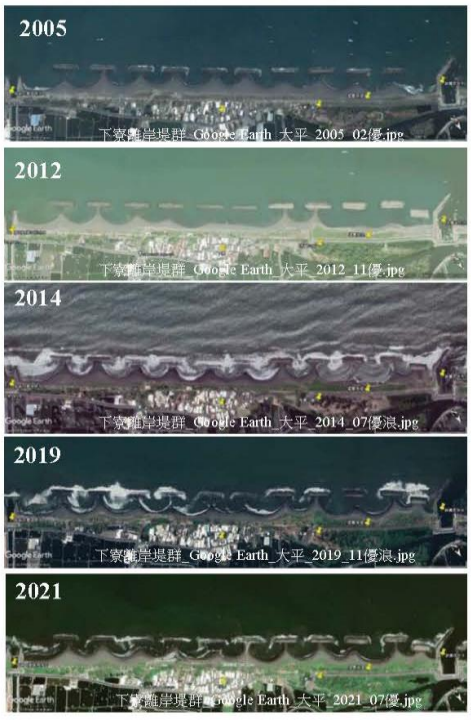
歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響

- 屏東佳冬海岸塭豐頂寮海堤外之離岸堤群
  - 同質性：外力、平面特性
    - 同一局部海岸區段
    - 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
    - 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
  - 異質性：時間、高度特性
    - 堤體布建年序
    - 堤體整建、改善先後
    - 施工便道構築與拆除
    - 堤體沉陷、崩塌
    - 林邊溪河口沙源供給、河川浚沙補注、...
- 影響堤後淤沙效能差異之要因
  - 「離岸堤效應」的 因-果
  - $S_x/X = f(H_o/L_o, B/X, X/X_b, tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, ...)$
  - 研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!

屏東佳冬海岸塭豐頂寮海堤外之離岸堤群布建配置與歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響(2005；2014；2018；2020)

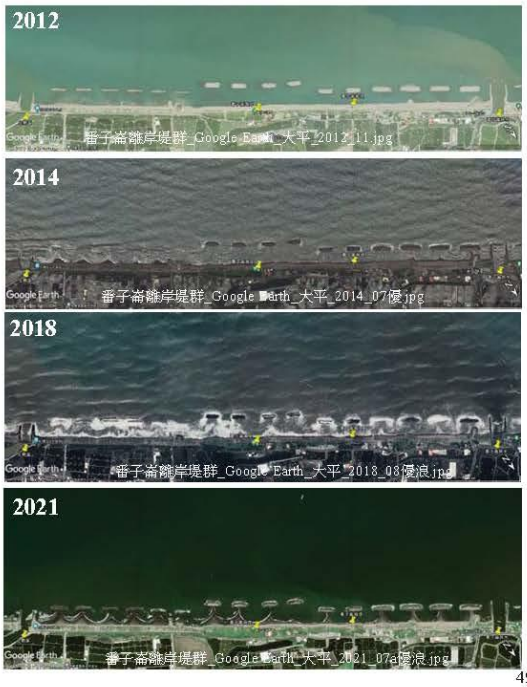
歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響

- 屏東枋寮海岸下寮海堤外之離岸堤群
  - 同質性：外力、平面特性
    - 同一局部海岸區段
    - 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
    - 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
  - 異質性：時間、高度特性
    - 堤體布建年序
    - 堤體整建、改善先後
    - 施工便道構築與拆除
    - 堤體沉陷、崩塌
- 影響堤後淤沙效能差異之要因
  - 「離岸堤效應」的 因-果
  - $S_x/X = f(H_o/L_o, B/X, X/X_b, tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, ...)$
  - 研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!



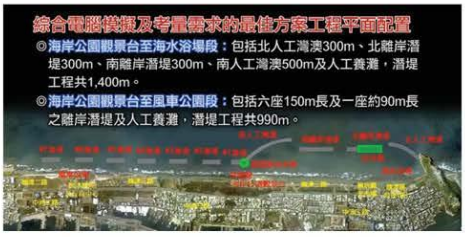
歷年出水高度變化對堤後淤沙效能之影響

- 屏東枋寮海岸番子崙海堤外之離岸堤群
  - 同質性：外力、平面特性
    - 同一局部海岸區段
    - 波浪特性、潮差、海灘坡度(地形水深)、...
    - 堤體布建平面尺寸與配置形式、...
  - 異質性：時間、高度特性
    - 堤體布建年序
    - 堤體整建、改善先後
    - 施工便道構築與拆除
    - 堤體沉陷、崩塌
- 影響堤後淤沙效能差異之要因
  - 「離岸堤效應」的 因-果
  - $S_x/X = f\left(H_o/L_o, B/X, X/X_b, \tan\beta, G/X, \sqrt{gH_b}/U_{tide}, \gamma, \ldots\right)$
  - 研判在大浪暴潮之惡劣海況下，應是 堤高_出水高度 變動 與 不足!



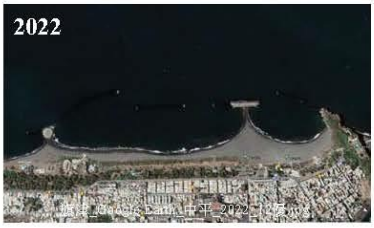
評估堤體出水高度影響之對比案例

- 藉高雄旗津海岸施行人工灣澳保護工程 (2011/10開工，2013/8竣工)所布建出水離岸堤 及 系列潛堤 後的對應海灘變遷形態
  - 透過 現地動床實驗，對照比較；
  - 作為 辨識模式 ；
  - 據以評估同一局部海岸區段內，造成毗鄰離岸堤後淤沙效能差異之要因 、機制；
  - 確認 堤體出水高度 影響 !!



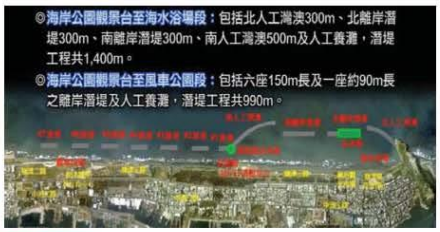
高雄市政府啟動旗津區海岸線保護計畫設置離岸堤與01-24.jpg

資料來源：高雄市政府，「104年工程美化暨環境景觀獎」參賽資料



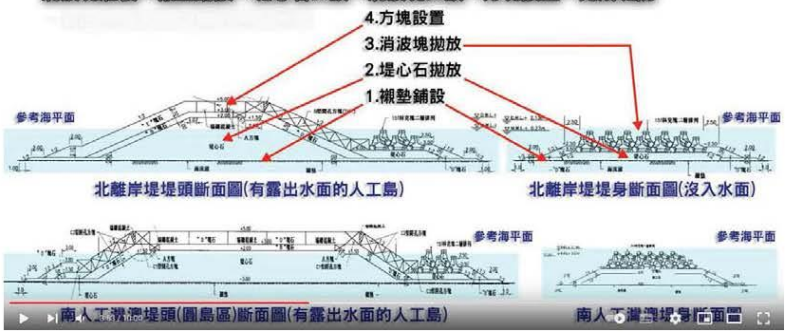
離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

■ 離岸堤及潛堤群堤後淤沙效能之對照比較_辨識



潛堤斷面圖示意圖

主要工項及施工順序：
消波塊灌製→襯墊鋪設→堤心石拋放→消波塊拋放→方塊設置→完成堤防



5
1

高雄旗津離岸堤與潛堤群後之淤沙效能差異

■ 旗津人工灣澳，毗鄰 離岸堤 與 潛堤 群後，「離岸堤效應」之差異 _ 現地動床實驗。

➢ 只有 出水離岸堤 後生成 沙舌 或 繫岸沙洲 !!

● 2013 年完工，高雄市政府在北人工灣澳養灘64萬方；圓形島南側海岸，養灘48 萬方。

52

出水高度對堤後淤沙效能的控制影響

■堤體出水高度不足

- 波浪沖刷作用轉變
  - 繞射 → 透射
- 原受堤體屏蔽而在堤後生成的繞射波，將完全轉變為透射波，進而直接沖刷堤後原生的沙舌或繫岸沙洲，甚至造成海灘的侵蝕!

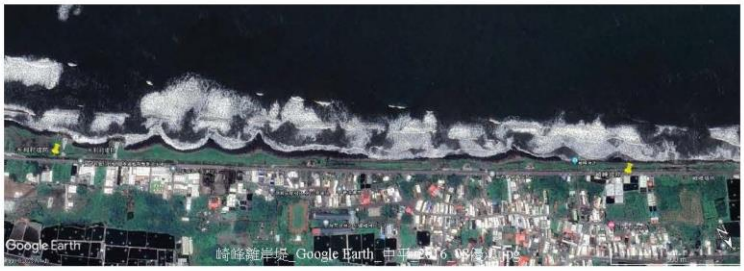
東港南平里海岸_Google Earth_小_2010_06優.jpg

東港南平里海岸_Google Earth_小_2016_08出水高度.jpg

53

出水高度影響堤後淤沙效能差異之評估

■ 離岸堤出水高度不足，伴隨造成堤寬窄縮、堤體透水性增大，進而迫使堤後繞射波之造灣效應減弱、透射波之沖刷作用增強，終致因堤後波浪沖刷特性之轉變而使淤沙效能及海灘沖淤變遷形態陳現差異。



崎峰離岸堤_Google Earth_中平_2016_08優.jpg

崎峰離岸堤_Google Earth_中平_2019_01優.jpg

崎峰離岸堤_Google Earth_2016_08；2019_01

54

影響堤後淤沙效能的控制機制確認

- 面對惡劣的海氣象環境，一般之出水式離岸堤，受較大波浪與暴潮作用以及堤體沉陷、坍塌之共同影響，必將因出水高度或堤頂高不足而轉化為潛堤，以致原受堤體屏蔽而在堤後生成的繞射波，將完全轉變為透射波，進而直接沖刷堤後原生的沙舌或繫岸沙洲，甚至造成海灘的侵蝕!
- 在同一局部海岸區段內，造成毗鄰離岸堤後淤沙效能差異之主要原因，應係離岸堤配置之堤頂高，因堤體沉陷、崩塌、整建變動而使出水高度不足所致!
- 主要控制機制，則係出水高度不足，伴隨造成堤寬窄縮、堤體透水性增大，進而迫使堤後繞射波之造灣效應減弱、透射波之沖刷作用增強，終致因堤後波浪沖刷特性之轉變而使淤沙效能及海灘沖淤變遷形態陳現差異。
- 調適、因應對策建議： 為增進離岸堤後之淤沙效能，促進繫岸沙洲的灘線重塑，在布建、整建及改善工程規劃、設計上，應著重提昇堤體之出水高度(堤頂高)、堤寬 與 不透水性!!

55

結論與建議(1/3)

- 波浪碎波衍生的強勁沖刷作用!!
  - 近岸波浪碎波之衝擊，是造成離岸堤後海灘沖淤變遷的主要動力。
  - 波浪與近岸地形、水深及防浪設施之交互作用，通常會因實際或潛隱之「離岸堤效應」或「岬頭效應」而衍生碎波沖刷環流 及 優勢輸沙作用。
  - 「離岸堤效應」或「岬頭效應」之發揮，關鍵在於繞射波造灣作用的強弱 與伴隨衍生 沖刷環流 對輸沙之沖刷移運。
- 在沙質海灘，離岸堤出水高度與不透水性之高、低，主控「離岸堤效應」或「繞射波造灣效應」之強、弱，並具體影響堤後淤沙效能之發揮。
- 海岸屬礫石或長久受侵蝕之海灘，若建置離岸堤，儘管出水高度與不透水性夠高、繞射效應夠強，但在無沙源供給、補注下，堤後仍難以形成沙舌或繫岸沙洲。
- 「離岸堤效應」具有 3-D空間 + 時間變動特性，特別是出水高度及繞射波高愈大，堤後淤沙高程與沙舌或繫岸沙洲形態之海灘重塑越明顯。

56

結論與建議(2/3)

- 面對惡劣的海氣象環境，一般之出水式離岸堤，受較大波浪與暴潮作用以及堤體沉陷、坍塌之共同影響，必將因出水高度或堤頂高不足而轉化為潛堤，以致原受堤體屏蔽而在堤後生成的繞射波，將完全轉變為透射波，進而直接沖刷堤後原生的沙舌或繫岸沙洲，甚至造成海灘的侵蝕!
- 在同一局部海岸區段，毗鄰離岸堤因堤體沉陷、崩塌、整建變動而使出水高度不足，將伴隨造成堤寬窄縮、堤體透水性增大，進而迫使堤後繞射波之造灣效應減弱、透射波之沖刷作用增強，終致因堤後波浪沖刷特性之轉變而使淤沙效能及海灘沖淤變遷形態陳現差異。

東港南平區海岸_Gogle Earth_小_2010_06優.jpg

57

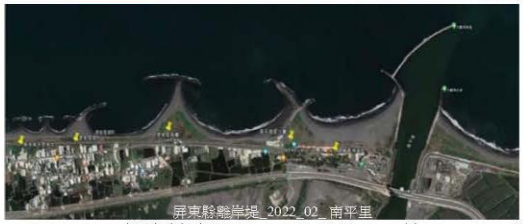
結論與建議(3/3)

- 調適、因應對策建議：
  - 若為增進離岸堤後之淤沙效能，促進繫岸沙洲的灘線重塑，在布建、整建及改善工程規劃、設計上，應著重從下列各層面著手，
    - 加大堤體寬度、
    - 提昇高度、
    - 強化堤體不透水性及
    - 輔以養灘 或 施行人工沙源補注

  藉以充分降低堤後之透射波強度，增進繞射波之造灣效應，達成離岸堤後淤沙與海岸防護效能。

高雄市政府啟動旗津區海岸線保護計畫設置離岸堤與01-24.jpg

屏東縣離岸堤及離岸堤_DJI MAVIC 4K 空拍 _20170708_21選.jpg


屏東縣離岸堤_2022_02_南平里
青洲海岸離岸堤_Google Earth_小平_2022_02優.jpg

58

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-112-H3CA001c 離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估」自行研究計畫期末報告審查會議

貳、時間：112 年 12 月 27 日(星期三)上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心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
台灣世曦工程顧問股份有限公司	郭少谷委員	郭少谷
國立成功大學水工試驗所	江文山委員	
經濟部水利署水源經營組	郭純伶委員	書面審查
經濟部水利署河川海岸組第一科	陳春伸委員	陳春伸
成大水利海洋文教基金會	郭晉安委員	郭晉安
本所運輸技術研究中心第一科	賴瑞應科長	賴瑞應
本所運輸技術研究中心第二科	李俊穎副研究員	書面審查
本所運輸技術研究中心計畫主持人	莊文傑副研究員	莊文傑
本所運輸技術研究中心		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(上午 12 時 30 分)。

審查委員評審意見與建議	處理情形
一、**郭少谷** 委員 (評分：90)	感謝**郭**委員出席審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 本研究蒐集現有實例相當多，且皆有提出相關分析論述，相當紮實且具參考價值。	1. 感謝出席指教。
2. 本研究所使用的研究方法簡單易懂，最重要是皆使用現有公開資料，如 Google Earth、YouTube 及現有研究報告圖資等，相比一般海岸地形變遷計畫經費，少則 100 萬，多則 400~500 萬，就本研究成果，經費比上述研究計畫儉省之情形下，本研究效益算是 CP 值相當高。	2. 感謝詳細審閱研究報告及肯定研究成果。
3. 針對出水高與海灘斷面影響關係，以旗津保護工程後續監測結果來看，潛堤確實可將原先的暴風海灘斷面改善為正常型海灘斷面，這部分是灘線看不出來的，故建議可將前述出水高與海灘斷面關係納入後續研究方向。	3. 感謝提示與指教。所提建議將於後續研究參照辦理。
4. 第 1-9 頁，「圖資來源：待確認」經查為本公司設計案，案名為「台 9 線 438k+850 ~ 438k+950、439k+680 ~ 440k+080、440k+800 ~ 440k+900 路段豪雨災害工程」，業主為「交通部公路總局第三區養護工程處」。	4. 感謝提供圖資來源資訊，已依提示檢查修訂。
5. 第 4-3、4-13、4-24 頁，蒐集南部海岸離岸堤之堤後普遍可見，毗鄰堤體有差異之淤沙效果，其原因雖未仔細探討，但有提出水高度(透射波)乃為影響堤後淤沙之重要因素，實可供後人研究之重要方向，予以肯定。	5. 感謝指正與肯定。本研究對於分布在高雄與屏東海岸離岸堤群後的淤沙效能，已配合第 3.3.2 節所述影響離岸堤效應之因素，針對一般著重的毗鄰離岸堤之堤長、離岸距及堤間距等平面配置控制因素作綜合檢視，詳參表 4.1~表 4.4，進而研判，離岸堤之出水高度與透水性，應為國內現況影響

	離岸堤群後淤沙效能之重要因素。
6. 第 4-59 頁，建議應著重加大堤寬、堤頂高及不透水養灘之差異分析，以達到海岸防災之效能，但若離岸堤設計功能完整，應較不會發生轉變為潛堤之現象。	6. 感謝提示與指正。國內現況布建在高雄及屏東海岸的離岸堤群，堤體上層大多由消波塊體構成，不論是新建或維護，堤頂高一般在 EL.+2.0m 上下，這在颱風暴潮、大浪期間，堤體將會因出水高不足與透水性增大，而自然地由出水式轉變為類潛沒式，以屏東海岸為例，在大風浪情況下，現場的典型變化，參見圖 4.31~圖 4.35 所示。
7. 若以南部海岸為例，一般設計水位約為+2.0m，而朔望平均高潮位約在+1.0m，故一般離岸堤設計堤頂高程皆會設定在+2.0m 以上，但若因景觀需求而要達到長時間沒水目標時，則設計堤頂高程會在+1.0m 以下，實務上，設計時皆未考慮堤體因沉陷、自然地形變所造成之堤頂高度降低情形，故若以前述原因所形成之堤頂高度不足問題，應以恢復原設計功能補拋消波塊等材料，作為優先處置措施。	7. 感謝提示與指正。國內現況布建在高雄及屏東海岸的離岸堤群，其布建的目標，大多係著重在防潮、禦浪功能，以致原設計或維護之堤頂高，一般即分布在 EL.+2.0m 上下，詳參表 4.1~表 4.4，只是這高程，若為有效促成堤後沙舌或繫岸沙洲形態之淤積、防止海岸沖蝕、進一步形塑海灘、達成海岸環境營造目標，確實可參考 4.3.1 節內文所引介高雄旗津海岸保護工程之案例，考慮酌量提高堤體的高度與不透水性。
8. 報告中蒐集相當多國、內外離岸堤與離岸潛堤案例，以及歷年灘線變化分析，雖未仔細量化分析，但以特性分析方式，提出出水高度乃為堤後淤沙之重要因素，實可供後人研究之重要方向，予以肯定。	8. 感謝指正與肯定。
9. 整體報告雖僅為定性說明而無量化分析以供設計參考，但仍提供後人研究之重要方向。	
10. 結論得出堤後淤沙乃為 3D 水動力驅動概念，可作為後續研究之方向，如探討離岸堤出水高與堤後穩定灘線關係，或者離岸潛堤堤後淘刷深度現象等，皆為本研究之後續重要發想。	9. 感謝指正與肯定。
11. 海岸地形變遷乃為海岸穩定之過程，若離岸堤後之地形已趨於穩定，則可探討離岸堤出水高與堤後穩定灘線	10. 感謝提示與建議。

之關係。	
12. 以吾實際參與旗津海岸保護工程為例，離岸潛堤不比離岸堤之消波效果，故離岸潛堤後無法形成沙舌應為既成事實，且會造成堤後刷深現象，其淘刷深度應可作為後續量化研究之項目之一，對實際工程設計將有助益。	11. 感謝提示與建議。受離岸堤群出水高度、透水性與暴潮及波浪之時變動態性作用，離岸堤與堤後之地形，實際甚不易趨於穩定，詳參圖 4.8~圖 4.9、圖 4.17~圖 4.18、圖 4.31~圖 4.36 所示高雄及屏東海岸離岸堤歷年堤後之淤沙效能與海灘地形變遷實況。 12. 感謝提示與指正。
二、江文山 委員 (評分：90)	感謝**江**委員出席審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 報告內容文字洗練，敘述條理分明，邏輯清晰，值得肯定。	1. 感謝詳細審閱研究報告及肯定研究成果。
2. 報告內容從大尺度海洋科學現象到小尺度海岸工程措施，縱貫連結說明，對於研究者了解問題全貌，助益良多。	2. 感謝詳細審閱研究報告及肯定。
3. 建議摘要中針對報告內容中重要的成果增加說明。	3. 感謝指正，已遵照審查意見辦理。
4. 報告中多次使用「陳現差異」，請確認是否為呈現差異的文字誤植。	4. 感謝指正，已依照審查意見勘誤。
5. Date of publication March 2023 年度誤植。	5. 感謝提示，已依照提示意見勘誤。
6. 報告中關於波浪有卓越入射方向，另敘述優勢入射方向，請考量。	6. 感謝提示。經查本研究內容，“卓越”專用於聯結波浪特性，而“優勢”則

	專用於描述海流與輸沙特性。
7. 第 2-33 頁所述的恆流，係基於一定時間的量測後所得到，若量測分析時間更久或變動，該特性或是數據是否改變？	7. 感謝指正。關於臺灣各商港海域的恆流，其係依據特定商港海流監測站位之實測海流玫瑰圖判定。主要在突顯其與一般具往復變動特性之潮流的差異。
8. 計畫針對主要議題離岸堤的設計到實務功能等多方面進行討論與分析，主要提到時間效應、設計的多個尺度參數、透水性、波況的變化等，另關於鄰近沙源的豐富度與設置位置鄰近的水深亦可能對離岸堤是否具有聚沙效果有影響。	8. 感謝提示與指正。本研究經應用 Google Earth 之歷史圖像，針對高雄及屏東海岸的離岸堤群後的淤沙效能作綜合檢視，可確認鄰近二仁溪、高屏溪、及林邊溪等河口之離岸堤群，其堤後的淤沙效能並未必與毗鄰河口之距離遠近以及自然河川沙源補注之有無具關聯性，主要影響淤沙效能的因素，經通案檢討，除了平面配置狀況之影響外，仍應著重在堤高與透水性的主控因素。
9. 從埋論到實務，針對離岸堤的各項參數，提出精要的說明與解釋，對於了解海岸的實際變化，助益良多。	9. 感謝指正與鼓勵。
10. 本報告結合學理與實務案例，具有高度參考價值，建議考量略為增修，整理成專書型式。	10. 感謝肯定與鼓勵。個人將於本研究報告完稿後退休，粗淺的研究拙見，純為關懷本土海岸保護與海岸環境營造課題作拋磚引玉，謹期盼對本研究課題關心且有興趣者，能接續精進，作更完善、深入之探討。
三、**郭純伶** 委員 (評分：87)	感謝**郭**委員的書面審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 運用 Google Earth 蒐集國內外案例，也蒐集相關單位案例資料，資料豐富	1. 感謝撥冗審閱報告及肯定研究成果。

值得肯定。	
2. 運用相關案例，提出離岸堤出水高對淤沙效能影響之因果關係，本計畫研究成果獲認可，也可作為離岸堤相關管理單位滾動檢討與補強之參考。	2. 感謝詳細審閱研究報告以及對研究成果的肯定。
3. 台灣人工海岸達 55.8%，郭金棟教授近年提倡近自然工法，各機關現階段主流也是除了防禦減災外，要順應自然兼顧景觀與生態，因此要保護海岸、重塑沙灘，除加大堤寬、維持出水高、強化不透水性的離岸堤讓沙自然留住外，也可以補足大量砂源來養灘，以複合式措施保護。在荷蘭有 Sand Motor，在 1 年內以 1000 萬立方公尺沙的規模養灘，若再輔以離岸堤加固，也可達到很好效果。	3. 感謝提示及對相關課題的補充。
4. 未來氣候變遷，海平面上升，出水高會自然減少，加上颱風暴潮的量值也會增加，對於離岸堤的損壞影響也會增加，可以補充說明氣候變遷情境下，可能的影響。	4. 感謝提示與指正。氣候變遷、全球暖化，將導致海平面上升，颱風期更會引致異常性的暴潮、巨浪，進而造成既有離岸堤的出水高更不足、透水性增大、堤體產生超額地沉陷與崩坍，這不僅會促使離岸堤原具有之消波、減浪效能降低，更會危及海堤的安定，甚或造成嚴重的海岸沖蝕與沿岸城鎮的溢淹，影響層面深且廣，確實值得國內各級海岸防護相關權管單位重視。
5. 現階段主流也是除了防禦減災外，要順應自然兼顧景觀與生態，因此，要保護海岸，重塑沙灘，除離岸堤讓沙自然留住外，也可以補足大量砂源來養灘，以複合式措施保護。	5. 感謝提示與指正。關於人工養灘，由於其關聯養灘沙源取得之時、空配合與限制問題，在大範圍的海岸防護課題上以及在既有的離岸堤出水高與透水性配置下，現階段仍以小規模施行為宜，參見本報告第 4.3.1 節所介紹之高雄旗津海岸保護工程案例，若大

	規模施行，整體效益應仍有待評估。
6. 本計畫針對出水高因子與堤後淤沙的理論論述，較少對實質影響量的論述，後續或可針對相關案例，提出出水高建議。	6. 感謝提示與指正。在高、屏海岸，基於海氣象的近似性，有關離岸堤出水高、透水性之配置以及堤後的淤沙效能展現，建議可參照本報告第 4.3.1 節所引介高雄旗津海岸保護工程之實務案例，在該案例中，堤高應規劃、維持在 5 米上下。
7. 海岸相關設施的施作，都需要長時間的演替才能確認是否有效或是否穩定，因此後續的維護管理也是重點，本計畫研究成果獲認可，也可作為離岸堤相關管理單位滾動檢討與補強之參考。	7. 感謝指正與肯定。期盼本研究的粗淺研究成果，能提供離岸堤相關管理單位作實際運維之參考。
四、**陳春伸** 委員 (評分：86)	感謝**陳**委員出席審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 本研究報告蒐集國內外資料並進行探討，內容豐富，具參考價值。	1. 感謝詳細審閱研究報告及肯定研究成果。
2. 第 1-12 頁文獻回顧有納入新聞報導意見，考量其相關數據的出處及正確性，建議可以有嚴謹科學數據的文獻為主軸。	2. 感謝提示與指正。已依審查意見作文意修訂。
3. 海氣地象環境特性除目前綜整全臺資料外，建議也可再補充本計畫探討案例處的資料，以利與後面高雄、屏東周遭環境特性能相呼應。	3. 感謝提示與指正。本研究第二章關於臺灣環島近岸海域的海氣地象環境特性介紹，主要在從較寬廣的視野範疇，先行掌握區域性的海氣象特性；至於與研究主題、地點直接關聯之近岸波浪特性，在高雄茄萣與林園海岸，可分別參見圖 4.4 所示隘陀資料浮標與圖 4.13 所示小琉球資料浮標

	之統計資訊；至於屏東海岸，則可參見圖 4.21 所示大鵬灣資料浮標之統計資訊。
4. 在利用 Google Earth 歷史圖像辨識離岸堤後淤沙效能，是否有將時潮位因素予以考量？建議可以補充說明。	4. 感謝提示與指正。本研究目的在利用 Google Earth 歷史圖像，以定性對比方式，探討高雄與屏東海岸離岸堤群不同出水高度對堤後淤沙效能之影響。僅管特定地點、特定時間圖像內的潮位，本研究並未精準掌握，但從不同時間影像所顯示堤後沙灘之乾、濕變動趨勢與範圍，仍可概略研判影像當時對應之潮位高低、堤前與堤後之波浪強弱及堤後淤沙範圍大小之變異狀況，參見圖 4.8、圖 4.17、圖 4.18 圖 4.31~圖 4.36 及圖 4.48 所示。
	5. 感謝提示與提供後續之研究方向。
5. 目前國內、外針對面臨不會挑戰已逐漸朝 NBS(以自然為本的解決方案)方式解，本計畫如後續有延伸研究，建議可以納入構思。	
6. 單一離岸堤與系列離岸堤佈置時間與輸沙方向如何考量。	6. 國內、外既有布建之離岸堤或堤群，大多與岸線呈平行配置，而影響離岸堤後淤沙特性的關鍵外力因素是波浪的衝擊作用，這包括波高大小與波向的變異，只是透過近岸地形的折射與淺化效應，衝擊作用在堤體的淺水波浪，波向一般會以近乎正向入射堤體，另外，為建置費用之考量，離岸堤群之各別堤體，均存在有適當間距，以致堤群的作用，實際與單一堤體相近似，所以若堤高與不透水性皆足夠，則堤後的輸沙方向，將完全取決於波浪的繞射特性，並不與堤群布建的時間先後具關聯性，這可由現場布建單一離岸堤或堤群後，堤後若能形成沙舌或繫岸沙洲之淤積地形，則其必會與堤體中心線概略呈對稱性加以證實。

五、**郭晉安** 委員 (評分：87)	感謝**郭**委員出席審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 報告提及出水式離岸堤之堤頂出水高不足，乃因較大波浪與暴潮作用以及堤體沉陷、坍塌之共同影響，建議補充堤體沉陷、坍塌之原因及因應辦法。	1. 感謝詳細審閱研究報告及討論。個人認為堤體沉陷、坍塌之原因，應與波浪之沖擊作用力、堤體配置尺寸與構造、基礎地質特性與處理等三項因素具密切關聯性，相關因應之道，排除頭一項之衝擊波浪的天然變異性，只能從堤體強化與基礎加固等後二項因素著手改善、因應。
2. 本報告已蒐集高雄、屏東離岸堤資訊，針對各區離岸堤效應因果關係進行詳細探討，並建議著重提升離岸堤出水高度、寬度與不透水性，以增進離岸後之淤沙效能，則離岸堤出水高度與寬度應提升至何程度，是否有建議值或參數。	2. 感謝詳細審閱研究報告及討論。國內現實在高、屏海岸建置的離岸堤群，主要的功能在消波、減浪，提升鄰海居民安全的生活保障。若欲進一步提昇海岸保護效能、達成海岸環境營造目標，對於離岸堤的出水高度、寬度與結構形式，在營建經費許可下，建議可參照高雄旗津海岸保護工程之出水離岸堤案例型式與尺寸辦理。
3. 目前離岸堤多以拋石（堤心）及消波塊（表層披覆）組成，整建與改善時如何增加不透水性。	3. 感謝實務案例改善之交流及討論。對於既有離岸堤之配置型式，單純針對增加堤體之不透水性而言，個人拙見認為，應可從加大堤寬及改善表層消波塊之披覆密度與交錯型式著手。
4. 離岸堤出水高度提升或可降低堤後透射、波高，惟離岸堤突出水面過高，常為人詬病，影響海岸環境與視野，在工程設計或整建改善應如何因應。	4. 感謝實務課題之交流及討論。個人認為在規劃建置離岸堤或堤群前，應確立其功能性，若要求其功能主要著重在消波、減浪，則既有離岸堤的配置型式，應已可達成要求；而若進一步以海岸環境營造及民眾親水為目標，則在整建與維護經費許可下，建議可參照高雄旗津海岸保護工程之出水離岸堤或圓島案例辦理。
5. 調適、因應對策建議，說明若為增進	5. 感謝實務課題之交流及討論。針對提昇離岸堤後淤沙效能課題，本研究檢視及衡酌現況配置情況後，所研擬的

離岸堤後之淤沙效能，可由加大堤體寬度、提升高度、強化堤體不透水性及輔以養灘或施行人工沙源補注等層面著手。建議區分（1）新建，(2)整建與改善，並分別說明各層面應考慮或加強事項。	調適、因應對策，不論新建或整建，主張均應從加大堤體寬度、提升高度、強化堤體不透水性及輔以養灘或施行人工沙源補注等層面著手，所應嚴肅考慮的事項，初步評估應包括工程規模範圍、預算經費、堤體穩定、養灘或人工沙源補注之物料來源與養護、...等等層面。
六、**賴瑞應** 委員 (評分：89)	感謝**賴**委員出席審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：
1. 本計畫由學理配合現場案例，說明碎波沖刷流之沖刷速度與拖曳力，並蒐集文獻彙整出離岸堤之長度與岸距之最佳比例，可供實務應用參考。	1. 感謝詳細審閱研究報告及肯定。
2. 蒐集不同時期不同海岸線離岸堤之變化情形，探討離岸堤高度影響堤後沙洲或沙舌與灘線的變化，研究成果值得肯定。	2. 感謝詳細審閱研究報告及肯定。
3. 以設計維護離岸堤的角度，建議後續能提出離岸堤出水高度的建議值，供工程界參考。	3. 感謝審閱研究報告及提供建議事項。國內現實布建在高、屏海岸的離岸堤群，一般出水高度分布在 EL.+2.0m 上下，詳參表 4.1~表 4.4 所示，主要的功能在消波、減浪，兼顧海岸環境景觀，提升鄰海居民安全的生活保障；只是這高程，若為有效促成堤後沙舌或繫岸沙洲形態之淤積、防止海岸沖蝕、進一步形塑海灘、達成海岸環境營造目標，則其出水高略有不足，本研究認為較適當的出水高程，可參照 4.3.1 節內文所引介高雄旗津海岸保護工程之案例，應概約達 EL.+5.0m 左右為佳。
七、**李俊穎** 委員 (評分：85)	感謝**李**委員的書面審查。所賜教指正之意見，回復並處理如后：

1. 本計畫透過實務案例之對照，評估離岸堤出水高度對堤後淤沙效能與地貌變遷之影響，成果可供實務應用參考。	1. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。
八、 林雅雯 審查會議主持人 (評分：89) 1. 本研究研析高雄海岸(茄萣、林園、旗津)、屏東海岸(塭豐、大庄、番子崙)離岸堤效應，並提出關鍵影響機制、調適因應對策，內容豐富，值得肯定。 2. 第 4-54 頁，圖 4.39~圖 4.48 僅有圖標題，建議檢視修改。	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. 感謝審閱研究報告及肯定研究成果。 2. 感謝詳細審閱研究報告。所建議事項，已依提示作檢視修改。