110-015-7C37 MOTC-IOT-109-H2CA003

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討 (4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

110

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)

	交通部運
	制研
GPN: 101100180	第九
定價 400 元	<i>F /</i>

定價 400 元

110-015-7C37 MOTC-IOT-109-H2CA003

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討 (4/4)

著 者:蘇青和、洪維屏、陳鈞彦

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討.(4/4)/蘇 青和,洪維屏,陳鈞彥著.--初版.--臺北 市:交通部運輸研究所,民110.02 面; 公分 ISBN 978-986-531-231-2(平裝)
1.海岸
443 110000795

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)
 著 者:蘇青和、洪維屛、陳鈞彥
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: <u>www.ihmt.gov.tw</u> (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 110年2月
印刷者:
版(刷)-次冊數:初版一刷 60 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定 價: 400 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:1011000180 ISBN:978-986-531-231-2(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份內容者,須徵求交通部 運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱:離岸風電區鄰近海	岸漂沙機制探討(4/4)		
國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN 978-986-531-231-2(平裝)	1011000180	110-015-7C37	MOTC-IOT-
			109-H2CA003
主辦單位:港灣技術研究中心			研究期間
主管:蔡立宏			自 109 年 01
計劃主持人:蘇青和			月
研究人員:洪維屏、陳鈞彦			至109年12
聯絡電話:(04)2658-7126			月
傳真號碼:(04)2656-0661			/1

關鍵詞:水工模型試驗、數值模擬、地形侵淤變化、衛星遙測影像

摘要:

離岸風電為臺灣近年發展之綠能產業,其距離離岸風電區最近的國際商港-臺中港,因定 位為提供風機組裝碼頭及工作船靠泊母港,故扮演不可或缺的角色。本計畫針對臺中港進行 海氣地象資料蒐集分析,且將歷年臺中港水深測量資料進行長時間水深變化分析。因考量離 岸風機和臺中港之距離,受限於試驗水槽尺寸及造波條件,若同時將其建置於水槽內,恐造 成模型過小影響試驗準確度,故本研究將以多時段衛星遙測影像,探討苗栗離岸風機建置前 後於龍鳳漁港至臺中港間岸線變化情形。

本計畫依據臺灣港務公司第四期北側淤沙區整治計畫可能之方案中,挑選兩個具代表性 之案例,進行漂沙試驗及數值模擬,探討未來整治計畫之成效;配合綠能政策,未來欲於臺 中港外興建 LNG 碼頭,為維護港外靜穩水域則需搭配外廓堤之建置,本研究亦以水工模型試 驗及數值模擬未來近程外廓堤興建後臺中港鄰近海域地形之變化。

本研究之成果可提供交通部航港局、臺灣港務股份有限公司等單位,做為規劃、設計、 施工維護、航行安全等之參考。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式	
110年2月	268	400	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:本計畫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: A Study of the Mechanism of Sand Drifting Near the Coast of the Offshore Wind Farm (4/4)					
ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER		
978-986-531-231-2 (pbk)	1011000180	110-015-7C37	MOTC-IOT-		
			109-H2CA003		
DIVISION: HARBOR & MAR	PROJECT PERIOD				
DIVISION, INARDOR & MARINE TECHNOLOGT CENTER DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Qing-Huo Su PROJECT STAFF: Wei-Ping Hung,Chun-Yen Chen PHONE: 04-26587126 FAX: 04-26560661			FROM January 2020 TO December 2020		
KEY WORDS: hydraulic model test, Numerical Simulation, terrain changes, Satellite telemetry image					

ABSTRACT:

Offshore wind power is a green energy industry developed in Taiwan in recent years. The Taichung Harbor, the nearest international commercial port to the offshore wind farm, plays an indispensable role because it is positioned to be the wind turbine assembly wharf and home port for workboats berthing. In this project, the data of meteo-oceanography and land phenomenon in the Taichung Harbor was collected and analyzed, and the long-term changes of water depth in the past years were analyzed. Considering the distance between the offshore wind turbine and the Taichung Harbor and the restriction of the size of the test tank and the wave making conditions, if the offshore wind turbine model is built in the tank at the same time, it may affect the accuracy of the test as the model is too small. Therefore, multi-period satellite telemetry images are used in this study to explore the shoreline changes between the Longfeng Fishing Port and the Taichung Harbor before and after the construction of the offshore wind turbine in Miaoli.

According to the possible schemes of the Phase IV North Silting Area Regulation Plan of the Taiwan International Ports Corporation, two representative cases are selected to carry out sand drift test and numerical simulation to explore the effectiveness of the future regulation plan. In line with the green energy policy, the LNG terminal outside the Taichung Harbor is to be built in the future. In order to maintain the static and stable waters outside the harbor, the contour dike should be built. The hydraulic model test and numerical simulation are also used in this study to simulate the terrain changes of the sea area adjacent to the Taichung Harbor after the construction of short-range outer embankment in the future.

The results of this study can be used as a reference for the planning, design, construction and maintenance, and navigation safety by the Maritime and Port Bureau of the Ministry of Transportation and Communications and units such as the Taiwan International Ports Corporation.

DATE OF PUBLICATION February 2021 NUMBER OF PAGES 268

PRICE

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

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)

目 錄

中文摘要I
英文摘要II
目錄III
圖 目 錄 VIII
表目錄XVII
第一章 前言1-1
1.1 研究動機及目的1-1
1.2 研究範圍及對象1-2
1.3 本年度研究內容及工作項目1-3
第二章 臺中港海氣象及鄰近河川資料蒐集分析2-1
2.1 氣象條件
2.1.1 氣候2-1
2.1.2 風力2-1
2.1.3 颱風2-6
2.2 海象條件
2.2.1 潮汐2-8
2.2.2 波浪
2.2.3 海流2-16
2.3 地象及水文條件2-19
2.3.1 地形
2.3.2 地質2-19
2.3.3 河川及輸砂2-20

2.3.4 底質粒徑	2-22
第三章 臺中港鄰近海岸地形變遷分析	
3.1 臺中港鄰近海岸現況與特性	
3.2 漂沙特性分析	
3.2.1 漂沙代表波浪特性	
3.2.2 碎波水深之決定	
3.2.3 漂沙移動界限水深之計算	
3.2.4 沿岸流漂沙之界限水深(Closure Depth)	
3.2.5 漂沙特性指標綜合整理	
3.3 歷年臺中港鄰近海岸變化趨勢分析	
3.3.1 相關研究回顧	
3.3.2 歷年平面水深變化分析	
3.3.3 分區侵淤量分析	
3.3.4 沿岸漂沙量分析	
3.4 離岸風機建置前、後臺中港鄰近海岸變化趨勢分析	
3.4.1 歷年水深測量資料及離岸風機建置時程	
3.4.2 歷年平面水深變化分析	
3.4.3 分區侵淤量分析	
3.4.4 沿岸漂沙量分析	
第四章 遙測影像進行岸線變遷分析	4-1
4.1 遙測技術背景分析	4-2
4.1.1 遙測影像應用於海岸地形變遷之研究	4-2
4.1.2 UAV應用於地形地貌變遷之研究	
4.2 以多時段衛星遙測影像分析周邊岸線之變遷	4-4
4.2.1 資料來源	4-4

4.2.2	遥测影像評估	4-5
4.2.3	影像處理與灘線分析方法	4-8
4.2.4	分析結果	4-15
4.3 以	無人飛行載具(UAV)調查周邊海岸	4-23
4.3.1	選用無人機的類型及功能比較	4-23
4.3.2	航拍任務規劃及參數設定	4-27
4.3.3	地面解析度	4-35
4.3.4	正射影像產製	4-36
第五章 漠	票沙水工模型試驗	5-1
5.1 水	工模型試驗	5-1
5.1.1	試驗設備	5-1
5.1.2	試驗條件	5-2
5.1.3	試驗比尺	5-4
5.1.4	試驗步驟	5-6
5.2 預	備試驗	5-9
5.2.1	試驗條件	5-9
5.2.2	試驗原則	5-10
5.2.3	試驗配置	5-11
5.2.4	試驗結果分析	5-12
5.3 未	來臺中港近岸水深地形模擬	5-25
5.3.1	試驗條件與佈置	5-25
5.3.2	未來1年及3年之試驗模擬結果	5-26
5.4 臺	中港北淤沙區配置方案試驗	5-27
5.4.1	試驗條件與佈置	5-27
5.4.2	A、B配置方案之試驗模擬結果	5-28

5.5	5 臺	中港近程外廓堤增建模擬試驗	.5-36
	5.5.1	試驗條件與佈置	.5-36
	5.5.2	近程外廓堤增建之試驗模擬結果	.5-37
5.6	5 三	維雷射掃描儀應用於試驗地形量測	.5-39
	5.6.1	作業方法及步驟	.5-39
	5.6.2	試驗地形現況量測作業程序	.5-43
	5.6.3	精度檢核	.5-52
第六	章數	的值模式分析與探討	6-1
6.1	l 西	北太平洋風浪及水動力數值模式	6-1
	6.1.1	水深地形資料	6-1
	6.1.2	數值模式範圍	6-2
	6.1.3	模式風、氣壓場資料	6-4
6.2	2 西	北太平洋風浪數值模式	6-8
	6.2.1	西北太平洋風浪模式參數設定	6-8
	6.2.2	西北太平洋風浪模式模擬結果	6-9
6.3	3 西	北太平洋水動力數值模式	.6-12
	6.3.1	西北太平洋水動力模式參數設定	.6-12
	6.3.2	西北太平洋水動力模式模擬結果	.6-13
6.4	1 臺	中港及鄰近海域地形變遷數值模式	.6-16
	6.4.1	臺中港鄰近海域地形變遷模型範圍及水深地形資料	.6-17
	6.4.2	臺中港鄰近海域地形變遷模式各模組參數設定	.6-18
6.5	5 臺	中港及鄰近海域地形變遷現況模擬結果	.6-24
6.6	5 臺	中港及鄰近海域地形變遷其他方案模擬結果	.6-32
	6.6.1	A配置方案之數值模擬結果	.6-34
	6.6.2	B配置方案之數值模擬結果	.6-41

6.6	5.3 近程外廓堤增建之數值模擬結果	6-48
第七章	結論與建議	7-1
7.1	結論	7-1
7.2	建議	7-4
7.3	成果效益與後續應用情形	7-4
參考文	獻	參-1
附錄一	模式理論介紹	附 1-1
附錄二	期末審查意見處理情形表	附 2-1
附錄三	期末審查簡報資料	
附錄四	工作會議暨專家學者座談會議紀錄	附 4-1

圖目錄

啚	1.1	研究範圍	1-2
圖	2.1	臺中港各風力觀測站位置示意圖	2-2
圖	2.2	北防波堤燈塔頂測站處(W 測站)風玫瑰圖	.2-3
圖	2.3	北防波堤燈塔頂測站處(W 測站)風玫瑰圖(續)	2-4
圖	2.4	侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(民國前 14 年~108 年)	2-7
圖	2.5	臺中港月平均潮位變動趨勢	2-9
圖	2.6	臺中港歷年冬、夏季及各月波浪玫瑰圖	2-12
圖	2.7	臺中港歷年冬、夏季及各月波浪玫瑰圖(續)	2-13
圖	2.8	臺中港歷年四季海流流速及流向分布圖	2-17
圖	2.9	臺中港歷年四季海流流速及流向分布圖(續)	2-18
圖	2.10	0臺中港及附近海域水深圖	2-20
圖	2.1	1臺中港鄰近河川位置圖	2-21
圖	2.12	2臺中港鄰近河川流量及輸砂量之率定曲線分布圖	2-22
圖	2.13	3臺中港鄰近海域之中值粒徑分布圖	2-23
圖	3.1	臺中港鄰近海域位置圖	3-2
圖	3.2	大安溪口鄰近海岸淤沙現況	3-3
圖	3.3	大甲溪口鄰近海岸淤沙現況	3-3
圖	3.4	臺中港北側鄰近海岸淤沙現況	3-3
圖	3.5	臺中港港區淤沙現況	3-4
圖	3.6	烏溪口鄰近海岸淤沙現況	3-4
圖	3.7	臺中港 91~95、101~103 年間海域地形侵淤變化圖	3-11
圖	3.8	103~107年實測地形侵淤圖(左圖)數模地形侵淤圖(右	
		圖)	3-12

圖 3.9 歷年地形侵淤分布之分區示意圖	3-13
圖 3.10 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 92~96 年)	3-14
圖 3.11 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 96~101 年)	3-15
圖 3.12 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 101~105 年)	. 3-15
圖 3.13 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 92~96 年)	3-16
圖 3.14 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 92~101 年)	3-17
圖 3.15 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 92~105 年)	3-17
圖 3.16 臺中港周圍近年分區年淨侵淤量統計圖	3-18
圖 3.17 臺中港周圍近年分區年淨侵淤厚度統計圖	3-19
圖 3.18 海岸輸沙量特性圖	3-21
圖 3.19 臺中港相對位置圖	3-24
圖 3.20 臺中港歷年地形侵淤分布圖	3-25
圖 3.21 歷年地形侵淤分布之分區示意圖	3-27
圖 3.22 海岸輸沙量特性圖	3-29
圖 4.1 灘線分析範圍	4-1
圖 4.2 計畫區鄰近測站潮高資料	4-6
圖 4.3 遙測影像與相對應潮位分析	4-7
圖 4.4 不同時間與不同感測器所拍攝的多頻譜影像資料	4-9
圖 4.5 選取地面控制點進行衛星影像之空間投影校正	4-10
圖 4.6 IHS 融合前後之比較	4-11
圖 4.7 影像強化中所使用的基本映射函數	4-12

圖 4.8 影像強化前後之衛星影像	4-12
圖 4.9 斷開前後之差異圖	4-13
圖 4.10 區域填補差異圖	4-13
圖 4.11 水線擷取範例圖	4-14
圖 4.12 近岸地形分析與坡度分析	4-15
圖 4.13 灘線分析範圍與分區	4-15
圖 4.14 第一區段(龍鳳漁港南堤至後龍溪口)灘線分析	4-17
圖 4.15 第二區段(後龍溪口至通霄漁港北堤)灘線分析	4-20
圖 4.16 第三區段(通霄漁港至大安溪口)灘線分析	4-21
圖 4.17 第四區段(大安溪口至臺中港北堤)灘線分析	4-22
圖 4.18 美國民用 UAV 之三大任務及相關應用單位	4-24
圖 4.19 Mavic 2 Pro 多軸旋翼型 UAV	4-25
圖 4.20 採用機種 Mavic 2 Pro 多軸旋翼型 UAV	4-26
圖 4.21 MOI 潮位模式估算潮位-2.5m 以下之時段	4-28
圖 4.22 天氣概況查詢示意圖	
圖 4.23 Windguru 風速預測網站查詢示意圖	4-29
圖 4.24 蒲福氏風級表與空拍機合適風速範圍	4-30
圖 4.25 龍鳳漁南側海灘 Google Earth 108 年 5 月之影像	4-31
圖 4.26 龍鳳漁南側海灘新設立之陸上風機及緊急救難演	买習4-31
圖 4.27 前後重疊率與左右重疊率之示意圖	4-32
圖 4.28 民航局遙控無人機管理資訊系統圖查詢結果	4-34
圖 4.29 航拍規劃軟體 DJI GS PRO 之航拍規劃畫面	4-35
圖 4.30 計算地面解析度的示意圖	4-36
圖 4.31 Agisoft metashape 流程圖	4-37
圖 4.32 SfM 演算法之特徵點運算原理示意圖(楊, 2014).	4-37

圖 4.33 空拍後產出之正射影像4-38
圖 4.34 105 年 10 月 19 日電纜埋設工程照片
圖 4.35 電纜上岸處現勘照片4-39
圖 4.36 正射影像中海纜上岸處4-39
圖 5.1 臺中港試驗範圍配置圖5-1
圖 5.2 模型施作之場地丈量5-7
圖 5.3 模型施作之地形铺設5-7
圖 5.4 完成試驗之現場地形舖設5-8
圖 5.5 造波 5 分鐘讓地形勻稱5-8
圖 5.6 以水準儀量測初期地形5-9
圖 5.7 預備試驗地形舖設範圍示意圖
圖 5.8 99 年 12 月至 100 年 5 月之現場地形變化圖
圖 5.9 試驗配置 A,試驗 4 小時後地形變化比較圖5-17
圖 5.10 試驗配置 A,試驗 6小時後地形變化比較圖5-18
圖 5.11 試驗配置 A,試驗 8小時後地形變化比較圖5-18
圖 5.12 試驗配置 A,試驗 10 小時後地形變化比較圖5-19
圖 5.13 99 年 11 月至 100 年 8 月之現場地形變化圖
圖 5.14 試驗配置 B,冬季季風 8小時及颱風 10 分鐘後地形變化 比較圖5-20
圖 5.15 試驗配置 B,冬季季風 8小時及颱風 20 分鐘後地形變化 比較圖5-20
圖 5.16 試驗配置 B,冬季季風 8小時及颱風 30 分鐘後地形變化 比較圖5-21
圖 5.17 試驗配置 B,冬季季風 8 小時及颱風 40 分鐘後地形變化 比較圖5-21
圖 5.18 107 年 5 月 至 107 年 8 月 之 現 場 地 形 變 化 圖 5-22

圖 5.19 試驗配置 C,試驗 3 小時後地形變化比較圖.......5-22 圖 5.20 試驗配置 C,試驗 6 小時後地形變化比較圖......5-23 圖 5.21 100 年 8 月至 101 年 9 月之現場地形變化圖......5-23 圖 5.22 試驗配置 D,冬季波浪作用後地形變化比較圖......5-24 圖 5.23 試驗配置 D,冬、夏季波浪作用後地形變化比較圖....5-24 圖 5.26 方案 A、B 改善佈置圖......5-28 圖 5.28 A 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較圖......5-30 圖 5.29 A 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較圖......5-30 圖 5.30 A 配置模擬 1 年及 3 年之地形變化侵淤比較圖5-31 圖 5.31 B 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較圖......5-32 圖 5.32 B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較圖......5-33 圖 5.33 B 配置模擬 1 年及 3 年之地形變化侵淤比較圖......5-33 圖 5.35 A、B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較圖......5-35 圖 5.36 近程外廓堤增建配置示意圖......5-37 圖 5.37 近程外廓堤增建-波浪作用 1 年地形侵淤變化圖.......5-38 圖 5.38 近程外廓堤增建-波浪作用 3 年地形侵淤變化圖......5-38 圖 5.39 計算飛行時間法......5-41 圖 5.40 地面 3D 雷射掃瞄外業工作流程圖......5-42 圖 5.41 3D 雷射掃瞄資料處理流程圖......5-43 圖 5.42 水工模型控制點測量情形......5-44 圖 5.43 水工模型控制點高程及座標成果......5-45

圖 5.44 現場水工模型控制點5-4.
圖 5.45 3D 雷射掃瞄作業情況5-47
圖 5.46 利用覘標結合法將不同掃描站加以結合並控制結合精度優於 5mm5-4
圖 5.47 掃描站結合影像5-48
圖 5.48 點雲資料過濾分析5-48
圖 5.49 三維雷射掃瞄彩色點雲成果5-49
圖 5.50 座標輸入計算軟體進行系統轉換5-50
圖 5.51 成果輸出文字檔示意圖 5-50
圖 5.52 現場控制點展點並套繪固定結構物5-5
圖 5.53 展繪實測高程點5-5
圖 5.54 依實測高程點組成不規則三角網格並繪製等高線5-5
圖 5.55 數值地形圖成果展示5-52
圖 6.1 西北太平洋模型網格示意圖6-3
圖 6.2 臺中、彰化外海加密網格示意圖6-3
圖 6.3 中央氣象局 WRF 成員 M00 各層水平巢狀網格數值模擬範 圍圖
圖 6.4 TaiCOMS 輸出中央氣象局 WRF(WA01)風場範圍示意圖.6-6
圖 6.5 使用 WA01 風場資料製作之 Mike 212 維平面風場 u 方向 風速示意圖6-(
圖 6.6 使用 WA01 風場資料製作之 Mike 212 維平面風場 v 方向 風速示意圖6-7
圖 6.7 使用 WA01 風場資料製作之 Mike 212 維平面氣壓場示意圖
圖 6.8 臺灣中部海域海象觀測站位置示意圖
圖 6.9 冬季臺灣中部海域示性波高比對

圖	6.10	冬季臺灣中部海域示性週期比對	6-10
圖	6.11	冬季臺灣中部海域波向比對	6-11
圖	6.12	夏季臺灣中部海域示性波高比對	6-11
圖	6.13	夏季臺灣中部海域示性週期比對	6-11
圖	6.14	夏季臺灣中部海域波向比對	6-11
圖	6.15	邊界條件潮位示意圖	6-12
圖	6.16	冬季臺灣中部海域潮位比對(與X2站比對)	6-14
圖	6.17	冬季臺灣中部海域潮位比對(與 T0 站比對)	.6-14
圖	6.18	冬季臺灣中部海域流速比對	6-14
圖	6.19	冬季臺灣中部海域流向比對	6-15
圖	6.20	夏季臺灣中部海域潮位比對(與X2站比對)	6-15
圖	6.21	夏季臺灣中部海域潮位比對(與TO站比對)	6-15
圖	6.22	夏季臺灣中部海域流速比對	6-15
圖	6.23	夏季臺灣中部海域流向比對	6-16
圖	6.24	海域地形變遷模式計算架構流程圖	6-17
圖	6.25	臺中港鄰近海域地形變遷模型網格示意圖	6-18
圖	6.26	執行漂沙模組前,製作輸沙率表(Q3D)畫面示意圖	.6-24
圖	6.27	臺中港及鄰近海域現況冬季模擬波場	6-25
圖	6.28	臺中港及鄰近海域現況夏季模擬波場	6-26
圖	6.29	臺中港及鄰近海域現況 NNE 向颱風波浪模擬波場	6-26
圖	6.30	臺中港及鄰近海域現況冬季模擬流場(漲潮)	6-27
圖	6.31	臺中港及鄰近海域現況冬季模擬流場(退潮)	6-27
圖	6.32	臺中港及鄰近海域現況夏季模擬流場(漲潮)	6-28
圖	6.33	臺中港及鄰近海域現況夏季模擬流場(退潮)	6-28
圖	6.34	臺中港及鄰近海域現況颱風條件模擬流場(漲潮)	6-29

圖	6.35 臺中港及鄰近海域現況颱風條件模擬流場(退潮)	5-29
圖	6.36 臺中港及鄰近海域實測地形侵淤圖(年平均)	5-30
圖	6.37 臺中港及鄰近海域地形侵淤模擬結果(1年)	5-31
圖	6.38 臺中港及鄰近海域地形侵淤模擬結果(3年)	5-31
圖	6.39 A 配置數值模式示意圖	6-32
圖	6.40 B 配置數值模式示意圖	5-33
圖	6.41 近程外廓堤增建之數值模式示意圖	6-33
圖	6.42 A 配置冬季模擬波場	6-35
圖	6.43 A 配置夏季模擬波場	6-35
圖	6.44 A 配置颱風條件模擬波場	6-36
圖	6.45 A 配置冬季模擬流場(漲潮)	5-36
圖	6.46 A 配置冬季模擬流場(退潮)	5-37
圖	6.47 A 配置夏季模擬流場(漲潮)	5-37
圖	6.48 A 配置夏季模擬流場(退潮)	5-38
圖	6.49 A 配置颱風條件模擬流場(漲潮)	5-38
圖	6.50 A 配置下 NNE 向颱風波浪模擬流場(退潮)	6-39
圖	6.51 A 配置地形侵淤模擬結果(1年)	5-40
圖	6.52 A 配置地形侵淤模擬結果(3 年)	5-40
圖	6.53 B 配置冬季模擬波場	6-42
圖	6.54 B 配置夏季模擬波場	5-42
圖	6.55 B 配置下 NNE 向颱風波浪模擬波場	6-43
圖	6.56 B 配置冬季模擬流場(漲潮)	5-43
圖	6.57 B 配置冬季模擬流場(退潮)	5-44
圖	6.58 B 配置夏季模擬流場(漲潮)	5-44
圖	6.59 B 配置夏季模擬流場(退潮)	5-45

圖	6.60	B 配置颱風模擬流場(漲潮)6-45
圖	6.61	B 配置颱風模擬流場(退潮)
圖	6.62	B 配置地形侵淤模擬結果(1年)6-47
圖	6.63	B 配置地形侵淤模擬結果(3 年)6-47
圖	6.64	外廓堤冬季模擬波場6-49
圖	6.65	外廓堤夏季模擬波場6-49
圖	6.66	外廓堤於 NNE 向颱風波浪模擬波場6-50
圖	6.67	外廓堤增建冬季模擬流場(漲潮)6-50
圖	6.68	外廓堤增建冬季模擬流場(退潮)6-51
圖	6.69	外廓堤增建夏季模擬流場(漲潮)6-51
圖	6.70	外廓堤增建夏季模擬流場(退潮)6-52
圖	6.71	外廓堤增建颱風條件模擬流場(漲潮)6-52
圖	6.72	外廓堤增建下5年迴歸期 NNE 向颱風波浪模擬流場(退
		潮)
圖	6.73	外廓堤增建地形侵淤模擬結果(1年)6-53
圖	6.74	外廓堤增建地形侵淤模擬結果(3年)6-54

表目錄

表	2-1	臺中港氣候特性表	2-1
表	2-2	臺中港歷年四季風速及風向統計表(W 測站)	2-4
表	2-3	臺中港歷年風速風向聯合機率分布表(W 測站)	2-5
表	2-4	歷年來各月侵臺颱風之次數及頻率統計表	2-6
表	2-5	臺中港潮位測站基本資訊	2-8
表	2-6	臺中港歷年潮位統計表	2-10
表	2-7	臺中港歷年四季波高及波向統計表	2-13
表	2-8	臺中港冬季波高、週期及波高、波向聯合機率表	2-14
表	2-9	臺中港夏季波高、週期及波高、波向聯合機率表	2-15
表	2-10	臺中港歷年四季海流流速及流向統計表	2-18
表	2-11	臺中港鄰近河川特性統計表	2-21
表	2-12	臺中港鄰近河川特性分季彙整表	2-22
表	3-1	臺中港鄰近海岸漂沙特性一覽表	3-9
表	3-2	數值模擬條件表	3-12
表	3-3	臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2016)	3-21
表	3-4	臺中港歷年地形水深監測時間彙整表	3-23
表	2 5		
	3-5	歷年海岸分區之侵淤量統計表	3-26
表	3-5 3-6	歷年海岸分區之侵淤量統計表 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2019)	3-26 3-28
表表	3-5 3-6 4-1	歷年海岸分區之侵淤量統計表 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2019) 衛星遙測影像資料的基本特性	3-26 3-28 4-5
表表表	 3-5 3-6 4-1 4-2 	歷年海岸分區之侵淤量統計表 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2019) 衛星遙測影像資料的基本特性 本計畫選用衛星影像	3-26 3-28 4-5 4-8
表表表表表	3-5 3-6 4-1 4-2 4-3	歷年海岸分區之侵淤量統計表 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2019) 衛星遙測影像資料的基本特性 本計畫選用衛星影像 DJI MAVIC 2 PRO 相機規格表	3-26 3-28 4-5 4-8 4-26
表表表表表表表	3-5 3-6 4-1 4-2 4-3 1 4-4	歷年海岸分區之侵淤量統計表 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2019) 衛星遙測影像資料的基本特性 本計畫選用衛星影像 DJI MAVIC 2 PRO 相機規格表 多旋翼型 DJI MAVIC 2 PRO 規格表	3-26 3-28 4-5 4-8 4-26 4-27
表表表表表表表	3-5 3-6 4-1 4-2 4-3 4-3 4-4 4-5	歷年海岸分區之侵淤量統計表 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2019) 衛星遙測影像資料的基本特性 本計畫選用衛星影像 DJI MAVIC 2 PRO 相機規格表 多旋翼型 DJI MAVIC 2 PRO 規格表 本年度研究區域可進行空拍調查的時間段	3-26 3-28 4-5 4-8 4-26 4-27 4-28
表表表表表表表表表	3-5 3-6 4-1 4-2 4-3 4-4 4-5 5-1	歷年海岸分區之侵淤量統計表 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2019) 衛星遙測影像資料的基本特性 本計畫選用衛星影像 DJI MAVIC 2 PRO 相機規格表 多旋翼型 DJI MAVIC 2 PRO 規格表 本年度研究區域可進行空拍調查的時間段 臺中港外海颱風波浪迴歸分析統計表	3-26 3-28 4-5 4-8 4-26 4-27 4-28 5-4

表 5-4 預備試驗配置順序表5-12 表 5-11 B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較表......5-34 表 5-12 B 配置模擬 1 年及 3 年之地形變化侵淤比較表......5-34 表 5-13 A、B 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較表.......5-36 表 5-14 A、B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較表......5-36 表 5-15 近程外廓堤增建-波浪作用 1 年土方量侵淤變化表........5-39 表 5-16 近程外廓堤增建-波浪作用 3 年土方量侵淤變化表.......5-39 表 5-17 地面光達掃描儀 RIEGL VZ2000i 儀器規格表......5-42 表 6-1 模式使用地形水深資料表6-2 表 6-5 模式參數設定......6-13 表 6-6 臺中港鄰近海域地形變遷模式之波浪模組參數設定表 6-20 表 6-7 臺中港鄰近海域地形變遷模式之波浪初始條件設定表 6-20 表 6-8 107 年度大安溪、大甲溪河川流量及輸砂量實測紀錄6-21 表 6-9 107 年度烏溪、濁水溪河川流量及輸砂量實測紀錄6-22 表 6-10 臺中港鄰近海域地形變遷模式之水動力模組參數設定表

輸模組參數設定表	臺中港鄰近海域地形變遷模式之沙	表 6-11
件表6-23	臺中港鄰近海域地形變遷模式模擬	表 6-12

第一章 前言

1.1 研究動機及目的

臺中港為距離離岸風電最近的一個國際商港,十大建設的重要項 目之一,距離北部基隆港和南部高雄港各約 110 海里。港區總面積為 4,438 公頃,水域面積 958 公頃,陸地面積 3,480 公頃,由於臺中港距 離離岸風場最近,其未來定位為提供風機組裝碼頭及工作船靠舶母港, 因此,必須了解臺中港之地形侵淤變化趨勢,以因應未來之所需。

本所港灣技術研究中心主要任務為研究發展港灣工程技術,培育 訓練有關人才,並協助解決我國港灣建設與海岸開發所遭遇的問題, 且有全國數一數二之水工模型試驗場地,根據不同條件之海氣象、地 象條件,模擬臺中港未來之侵淤趨勢。

配合綠能政策,台灣電力股份有限公司與台灣中油公司均積極推 動臺中港 LNG 接收站建置與擴建作業,若欲於港外興建 LNG 碼頭, 則需搭配外廓堤,方可提供港外靜穩水域,惟外廓堤建置後對臺中港 區外地形侵淤變化影響值得評估,其中遠期外廓堤非短期可完成,而 近程外廓堤為近年推動之目標。目前臺灣港務股份有限公司委託臺灣 世曦工程顧問股份有限公司,針對近程外廓堤提出配置方案,並已以 數值模式模擬不同配置之地形侵淤變化,但未進行水工模型試驗加以 模擬,故本計畫將以水工模型試驗模擬近程外廓堤建置後引起的漂沙 影響,以及重要母港鄰近海域的漂沙變化,並探討離岸風機建置後對 鄰近岸線之影響。

在進行後續規劃港型及研擬防制對策方案試驗前,如何尋求最佳 的試驗重現時間,此為水工模型預備試驗之重點,預備試驗主要係利 用現場水深地形資料製作水工模型,以尋求模型與現場地形變化的重 現時間,決定漂沙變化之時間比尺,並依據此成果模擬臺中港北淤沙

1-1

區改善配置後之未來地形侵淤變化,本年度將以水工模型漂沙試驗進 行臺中港未來興建近程外廓堤後之地形侵淤變化模擬。

1.2 研究範圍及對象

本研究範圍如圖 1.1 所示,主要針對臺中港區域進行模擬分析,但 在蒐集資料部分,包括北起大甲溪口,南至大肚溪口之水深地形、河 川輸沙資料,一併進行分析探討。



圖1.1 研究範圍

1.3 本年度研究內容及工作項目

- 臺中港風、波、潮流海氣象及鄰近河川資料蒐集分析,提供作為後續規劃港型試驗條件之依據。
- 2. 藉由離岸風機建置前後周遭海岸的遙測影像資料,探討風機建置對 鄰近岸線變化之影響;進行龍鳳漁港海纜上岸埋設處 UAV 實地拍攝, 觀察其周遭海灘之現況。
- 因應未來臺中港於港外興建LNG碼頭將設置近程外廓堤及防止北方 沙源向南漂移佈置改善方案,而進行後續規劃港型水工模型試驗, 模擬未來規劃方案建置後引起鄰近海域之漂沙活動。
- 4. 彙整臺中港區及鄰近海域地形測量資料、漂沙現場調查、及近年海 象觀測數據,以波、流、及漂沙數值模式探討臺中港區及鄰近海岸 於季風颱風條件下之波、流場及漂沙特性。
- 5. 以分析完成之波、流場及漂沙特性,模擬臺中港未來規劃方案建置 後之鄰近海岸地形變遷趨勢。

第二章 臺中港海氣象及鄰近河川資料蒐集分析

基本資料蒐集與分析主要係提供水工模型試驗及數值模擬參考應 用,項目包括氣象、地象及水文資訊,資料來源除本所港研中心、臺灣 港務股份有限公司及經濟部水利署外,另亦蒐集本海域往昔之相關計 畫成果資訊。

2.1 氣象條件

2.1.1 氣候

茲蒐集中央氣象局之統計資料(1981~2010年),彙整臺中港之氣候 特性,如表2-1所示。依據中央氣象局臺中測站資料,臺中港區之年降 雨日數約113.6日,年雨量約1,773mm;氣溫以6~9月最高(最高溫達 33.0°C),12~2月最低(最低溫僅12.9°C)。

表 2-1 臺中港氣候特性表

75 13	月						份					好什用山(亚山	
項日	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10 月	11 月	12 月	樫徂/糸計/十圴
氣溫(℃)	16.6	17.3	19.6	23.1	26.0	27.6	28.6	28.3	27.4	25.2	21.9	18.1	23.3
最高氣溫(℃)	22.0	22.4	24.6	27.6	30.2	31.9	33.0	32.6	31.8	30.1	27.0	23.6	28.1
最低氣溫(℃)	12.9	13.9	16.0	19.6	22.6	24.4	25.2	25.1	24.1	21.8	18.2	14.2	19.8
降水量(mm)	30.3	89.8	103.0	145.4	231.5	331.2	307.9	302.0	164.5	23.2	18.3	25.9	1,773
降水日數	6.6	9.2	11.2	11.8	11.1	14.6	12.8	15.4	9.2	2.6	3.7	4.3	113.6

資料來源:中央氣象局民國 1981~2010 年之統計資料(月平均資料為 30 年平均值,每10 年更新一次)、本計畫彙整。

2.1.2 風力

臺中港先後由本所港研中心及中央氣象局設有3個風力測站,各風

力觀測站位置詳圖2.1所示,位於海港大樓頂端之E測站即為中央氣象局 梧棲測站;防風林中消防隊觀測塔頂之W0(B)測站係由本所港研中心於 2001年6月架設,儀器高度約10m,2009年9月更新為Gill二維超音波式 風速計;北防波堤燈塔頂之W1(W)測站係由本所港研中心於2005年9月 安裝風速儀,並在2009年9月更新為Gill二維超音波式風速計。

茲蒐集未受陸地影響,由本所港研中心在北防波堤燈塔頂測站(W 測站)施測之風速資料,作為後續分析之依據,資料範圍涵蓋2001年月 ~2019年間之風力觀測資料,可供臺中港區風力統計分析使用。



資料來源:港研中心,2013 年港灣海氣象觀測資料年報(臺中港);本計畫繪製。

圖2.1 臺中港各風力觀測站位置示意圖

根據本所港研中心2001~2019年之風力資料,統計歷年各月及歷 年四季風速、風向如圖2.2、圖2.3、表2-2、表2-3所示。由該統計結果可 知,臺中港秋、冬、春季風向皆以NNE向出現頻率最高,發生機率約在 31%~55%之間,而四季中以冬季風速最大,平均風速約為8.1m/sec, 夏季平均風速最低,約5.0m/sec。歷年最大風速則集中在NNE向,最大 可達42.5m/sec(風向S),發生於8月。



資料來源:2001~2019本所港研中心風力資料;本計畫彙整。

圖2.2 北防波堤燈塔頂測站處(W測站)風玫瑰圖



資料來源: 2001~2019本所港研中心風力資料;本計畫彙整。

圖2.3 北防波堤燈塔頂測站處(W測站)風玫瑰圖(續)

表 2-2 臺中港歷年四季風速及風向統計表(W 测站)

季節	平均風速(m/s)	主要風向(%)	最大風速(風向)
夏	5.0	SSW(17.4%)	42.5(S)
冬	8.4	NNE(39.6%)	32.6(NNE)

註:夏季:6~8月;冬季:9月~5月。

資料來源: 2001~2019本所港研中心風力資料;本計畫彙整。

					風	速	(m/s)			總	筆數:1	58,998
風向	<2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	≥11	小計
Ν	0.5%	0.6%	0.7%	0.7%	0.7%	0.5%	0.4%	0.3%	0.2%	0.2%	1.2%	5.9%
NNE	0.8%	0.8%	1.2%	1.5%	1.7%	1.9%	2.0%	2.1%	2.2%	2.1%	15.9%	32.2%
NE	1.5%	2.0%	1.9%	1.7%	1.5%	1.3%	1.2%	1.2%	1.0%	0.8%	3.5%	17.7%
ENE	1.4%	0.7%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.9%
Е	1.1%	0.3%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%
ESE	0.9%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.0%	0.0%	1.2%
SE	0.9%	0.3%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%
SSE	1.2%	0.6%	0.4%	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.9%
S	1.4%	1.6%	1.0%	0.6%	0.6%	0.5%	0.3%	0.3%	0.2%	0.1%	0.2%	6.8%
SSW	0.9%	1.0%	1.0%	0.9%	0.8%	0.8%	0.8%	0.7%	0.6%	0.4%	2.7%	10.4%
SW	0.8%	0.7%	0.8%	0.8%	0.7%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%	0.3%	1.2%	7.0%
WSW	0.7%	0.5%	0.4%	0.4%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	2.6%
W	0.7%	0.3%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%
WNW	0.7%	0.3%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%
NW	0.8%	0.5%	0.3%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.8%
NNW	0.5%	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.4%	2.7%
TOTAL	14.8%	10.8%	9.3%	7.7%	6.9%	6.0%	5.5%	5.2%	4.7%	4.1%	25.1%	100.0%
累計	14.8%	25.6%	34.9%	42.6%	49.5%	55.4%	60.9%	66.1%	70.8%	74.9%	100.0%	-

表 2-3 臺中港歷年風速風向聯合機率分布表(W 测站)

註:統計自 2001-2019 本所港研中心提供風力資料,本計畫彙整。

依上述各風力測站觀測資料分析結果,將臺中港風力特性整理如 下:

(1)由各月風速、風向統計知,每年僅6~8月為西南風盛行期(風 カ以SSW為主),其餘月份則以東北季風為主(NNE向),且平 均風速較夏季大,約為1.7倍。 (2) 冬季 20%以上之風速大於 10m/s(約為強風),夏季影響不大。

2.1.3 颱風

颱風為威脅臺灣地區最嚴重之自然災害,歷年來因颱風而損失之 生命及財產實不可勝數,尤其當颱風直接襲擊時,不僅影響海上船隻作 業安全,更對海岸結構物造成極大之衝擊。根據中央氣象局發佈颱風警 報之資料統計,各月侵臺颱風總次數及頻率詳表2-4。由表可知民國前 14年~108年之124年間,侵臺颱風總數為425次,其中以8月份佔129次 為最高,約佔總數之30.4%。

依據中央氣象局所劃分之九類侵襲臺灣颱風路徑,統計分類詳如 圖2.4所示,由圖可知,因本計畫區位於臺灣西海岸之中北部,以第二 類、第三類、第七類路徑之颱風對於鄰近海域影響較大,每年侵臺颱風 中約有32.8%機率可能直接影響本計畫區海域,即平均每年約有1.1個颱 風會直接影響本計畫區海域。

月份	侵臺次數	佔總數百分比	年平均次數
1	0	0.00%	0
2	0	0.00%	0
3	0	0.00%	0
4	2	0.47%	0.02
5	15	3.53%	0.12
6	30	7.06%	0.24
7	103	24.24%	0.84
8	129	30.35%	1.05
9	99	23.29%	0.81
10	37	8.71%	0.3
11	9	2.12%	0.07
12	1	0.24%	0.01
合計	425	100.00%	3.46

表 2-4 歷年來各月侵臺颱風之次數及頻率統計表

註:民國前14~108年;民國46年前颱風路徑資料,採中央氣象局統計侵臺颱風綱要表;民國47年後採用中央氣象局TDB防災颱風資料庫。


註:1.民國 46 年前颱風路徑資料,採中央氣象局圖書館歷年颱風調查報告,民國前 14 年~46 年侵臺颱風綱要表之9類路徑分類 (<u>http://photino.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/clm/tyname.htm</u>); 民國 47 年後採用中央氣象局 TDB 防災颱風資料庫 (<u>http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php</u>)。 2.颱風編號-191610、191710、194700、197426、199603 無颱風路徑資料故不列入統計分 類。

圖2.4 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(民國前14年~108年)

2.2 海象條件

2.2.1 潮汐

臺中港務局(臺中港務分公司前身)於南內堤堤頭設置潮位測站,並 於民國60年3月開始進行潮位監測作業,然至民國70年2月港灣技術研 究所(本所港灣技術研究中心前身,簡稱港研中心)成立後,係將潮位監 測作業轉交由本所港研中心負責。本所港研中心係於民國80年1月起在 臺中港4號碼頭與貯水池棧橋間增設一自動潮汐站,接續觀測臺中港潮 位變化。民國88年921集集大地震發生後,臺中港務局為整修1~4號碼 頭,係於民國88年10月18日將潮位站拆除,至民國90年3月31日碼頭整 修完成後,再將潮位計重新安裝後進行監測,迄今資料傳輸正常。其臺 中港潮位測站基本資訊詳表2-5所示。

測站名稱 置 觀測期間 管理單位 逐時資料定義 位 整點前6分鐘平均 本所港研 N24°27'23" 南內堤堤頭 60.03~79.12 中心 水位 E120°30'13" 整點前 6 分鐘平均 本所港研 N24°17'22" 4號碼頭 80.01~迄今 水位,取樣頻率 1 中心 E120°31'30.5" Hz

表 2-5 臺中港潮位測站基本資訊

資料來源:「臺中港外港區圍堤造地工程細部規劃暨水陸域設施(備)通盤檢討及規 劃」期末報告第一冊-外港區圍堤造地工程細部規劃報告,105年10 月。

考量近年全球各地海平面上升幅度因海洋環流及海水密度變化而 有局部差異,為瞭解臺中港歷年水位變化情形,茲蒐整民國60~108年 潮位逐時觀測資料,分析各月平均水位變化,並以12個月為基礎進行移 動平均分析,藉以觀察潮位變動之趨勢,其臺中港歷年潮位統計詳表2-6、另潮位變動分析結果詳圖2.5所示。初步依據潮位站異動時間分析平 均水位變動趨勢,臺中港在民國60~79年間,平均水位約2.66m,月平 均水位呈下降趨勢,平均每月約下降0.2mm,相當每年約下降2.4mm; 民國80~88年間,平均水位約2.64m,月平均水位略呈上升趨勢,平均 每月約上升3.2mm,相當每年約上升38.4mm;民國90年~108年間,平 均水位約2.77m,月平均水位呈下降趨勢,平均每月約下降0.5mm,相 當每年約下降6mm。而綜觀民國60~108年間,平均水位約2.70m,月平 均水位呈上升趨勢,平均每月約上升0.006mm,相當每年約上升 0.072mm。

由於臺中港潮位站曾經多次異動,異動後之潮位基準可能造成統 計上的誤差。整體而言,因民國60~79年的潮位觀測時間達20年,且每 年水位上升趨勢僅約-2.4mm/yr,平均潮位變動穩定,推估臺中港受到 全球氣候變遷造成海水面上升之影響程度應不大,故就潮位統計特性 上較具參考價值;而民國80~108年之平均潮位變動較大,引用上較有 疑慮。







(b) 民國 60~108 年

資料來源:本所港研中心,民國 60 年 3 月~108 年 12 月。

圖2.5臺中港月平均潮位變動趨勢(民國60年3月~民國108年12月)

表 2-6 臺中港歷年潮位統計表

$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	左八	最高高潮位	朔望平均	平均	平均	平均	朔望平均	最低低潮位	平均
$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	中历	(m)	高潮位(m)	高潮位(m)	潮位(m)	低潮位(m)	低潮位(m)	(m)	潮差(m)
$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	1971	5.86	5.07	4.51	2.76	1.00	0.20	0.00	3.51
$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	1972	5.40	5.07	4.53	2.73	0.94	0.19	0.00	3.59
$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	1973	5.66	5.06	4.56	2.75	0.94	0.20	0.00	3.62
$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	1974	5.60	5.05	4.52	2.71	0.89	0.16	-0.05	3.63
$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	1975	5.58	5.08	4.54	2.69	0.87	0.18	0.00	3.67
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	1976	5.18	4.90	4.48	2.62	0.78	0.09	0.00	3.70
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	1977	5.40	5.12	4.56	2.73	0.89	0.18	-0.30	3.67
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	1978	5.32	4.94	4.48	2.67	0.86	0.17	-0.39	3.62
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1979	5.38	4.91	4.42	2.60	0.77	0.08	-0.25	3.65
$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	1980	5.57	4.92	4.44	2.59	0.75	-0.05	-0.50	3.69
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	1981	5.23	4.87	4.41	2.59	0.79	0.05	-0.50	3.62
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	1982	5.23	4.89	4.42	2.61	0.80	0.02	-0.56	3.62
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	1983	5.43	5.02	4.49	2.71	0.93	0.16	-0.30	3.56
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	1984	5.30	4.82	4.30	2.54	0.77	0.06	-0.40	3.53
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1985	5.43	4.89	4.42	2.64	0.85	0.02	-0.37	3.57
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1986	5.45	4.98	4.48	2.67	0.87	0.01	-0.42	3.61
19885.554.984.462.640.83 -0.05 -1.05 3.6319895.505.004.502.690.87 -0.05 -0.50 3.6319905.655.164.642.810.980.13 -0.50 3.3619915.204.664.022.440.860.08 -0.45 3.1619925.404.794.222.530.840.01 -0.50 3.3819935.314.874.362.590.810.07 -0.29 3.5519945.164.634.112.440.780.08 -0.46 3.3319955.214.884.462.680.920.19 -0.32 3.5419965.455.014.582.740.900.22 -0.26 3.6819975.765.004.582.720.860.19 -0.37 3.7219985.465.024.592.750.900.19 -0.36 3.6919995.515.154.722.840.940.24 -0.22 3.7820015.805.274.802.961.130.380.003.6720025.655.054.622.770.920.18 -0.40 3.7020035.344.944.492.640.790.00 -0.47 3.7020045.455.384.933.101.190.41	1987	5.93	5.02	4.42	2.64	0.86	0.02	-0.50	3.56
19895.505.004.502.69 0.87 -0.05 -0.50 3.63 19905.655.164.642.81 0.98 0.13 -0.50 3.66 19915.204.664.022.44 0.86 0.08 -0.45 3.16 19925.40 4.79 4.22 2.53 0.84 0.10 -0.50 3.38 19935.31 4.87 4.36 2.59 0.81 0.07 -0.29 3.55 19945.16 4.63 4.11 2.44 0.78 0.08 -0.46 3.33 19955.21 4.88 4.46 2.68 0.92 0.19 -0.32 3.54 19965.455.01 4.58 2.74 0.90 0.22 -0.26 3.68 19975.765.00 4.58 2.72 0.86 0.19 -0.37 3.72 19985.465.02 4.59 2.75 0.90 0.19 -0.36 3.69 19995.515.15 4.72 2.84 0.94 0.24 -0.22 3.78 2001 5.80 5.27 4.80 2.96 1.13 0.38 0.00 3.67 2002 5.65 5.55 4.62 2.77 0.92 0.18 -0.40 3.70 2003 5.34 4.94 4.53 2.71 0.89 0.09 -0.37 3.64 2005 5.59 5.22 4.80 3.01 1.19 </td <td>1988</td> <td>5.55</td> <td>4.98</td> <td>4.46</td> <td>2.64</td> <td>0.83</td> <td>-0.05</td> <td>-1.05</td> <td>3.63</td>	1988	5.55	4.98	4.46	2.64	0.83	-0.05	-1.05	3.63
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1989	5.50	5.00	4.50	2.69	0.87	-0.05	-0.50	3.63
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1990	5.65	5.16	4.64	2.81	0.98	0.13	-0.50	3.66
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1991	5.20	4.66	4.02	2.44	0.86	0.08	-0.45	3.16
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1992	5.40	4.79	4.22	2.53	0.84	0.10	-0.50	3.38
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1993	5.31	4.87	4.36	2.59	0.81	0.07	-0.29	3.55
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	1994	5.16	4.63	4.11	2.44	0.78	0.08	-0.46	3.33
1996 5.45 5.01 4.58 2.74 0.90 0.22 -0.26 3.68 1997 5.76 5.00 4.58 2.72 0.86 0.19 -0.37 3.72 1998 5.46 5.02 4.59 2.75 0.90 0.19 -0.36 3.69 1999 5.51 5.15 4.72 2.84 0.94 0.24 -0.22 3.78 2001 5.80 5.27 4.80 2.96 1.13 0.38 0.00 3.67 2002 5.65 5.05 4.62 2.77 0.92 0.18 -0.40 3.70 2003 5.34 4.94 4.49 2.64 0.79 0.00 -0.47 3.70 2004 5.45 4.94 4.53 2.71 0.89 0.09 -0.35 3.64 2005 5.59 5.22 4.80 3.01 1.19 0.41 -0.08 3.61 2006 6.00 5.46 4.98 3.13 1.27 0.48 0.02 3.70 2007 5.81 5.38 4.93 3.10 1.27 0.46 0.07 3.70 2008 5.76 5.40 4.97 3.12 1.27 0.46 0.07 3.79 2010 5.62 5.08 4.60 2.72 0.83 0.05 -0.47 3.77 2011 5.74 5.10 4.64 2.71 0.78 0.02 -0.47 3.86 2012 5.28 $4.$	1995	5.21	4.88	4.46	2.68	0.92	0.19	-0.32	3.54
1997 5.76 5.00 4.58 2.72 0.86 0.19 -0.37 3.72 1998 5.46 5.02 4.59 2.75 0.90 0.19 -0.36 3.69 1999 5.51 5.15 4.72 2.84 0.94 0.24 -0.22 3.78 2001 5.80 5.27 4.80 2.96 1.13 0.38 0.00 3.67 2002 5.65 5.05 4.62 2.77 0.92 0.18 -0.40 3.70 2003 5.34 4.94 4.49 2.64 0.79 0.00 -0.47 3.70 2004 5.45 4.94 4.53 2.71 0.89 0.09 -0.35 3.64 2005 5.59 5.22 4.80 3.01 1.19 0.41 -0.08 3.61 2006 6.00 5.46 4.98 3.13 1.27 0.48 0.02 3.70 2007 5.81 5.38 4.93 3.10 1.27 0.46 0.07 3.70 2008 5.76 5.40 4.97 3.12 1.27 0.46 0.07 3.70 2010 5.62 5.08 4.60 2.72 0.83 0.05 -0.47 3.77 2011 5.74 5.10 4.64 2.71 0.78 0.02 -0.47 3.86 2012 5.28 4.88 4.41 2.47 0.53 -0.14 3.88 2013 5.36 4.89 $4.$	1996	5.45	5.01	4.58	2.74	0.90	0.22	-0.26	3.68
1998 5.46 5.02 4.59 2.75 0.90 0.19 -0.36 3.69 1999 5.51 5.15 4.72 2.84 0.94 0.24 -0.22 3.78 2001 5.80 5.27 4.80 2.96 1.13 0.38 0.00 3.67 2002 5.65 5.05 4.62 2.77 0.92 0.18 -0.40 3.70 2003 5.34 4.94 4.49 2.64 0.79 0.00 -0.47 3.70 2004 5.45 4.94 4.53 2.71 0.89 0.09 -0.35 3.64 2005 5.59 5.22 4.80 3.01 1.19 0.41 -0.08 3.61 2006 6.00 5.46 4.98 3.13 1.28 0.45 0.02 3.70 2007 5.81 5.38 4.93 3.10 1.27 0.48 0.02 3.66 2008 5.76 5.40 4.97 3.12 1.27 0.46 0.07 3.70 2009 5.61 5.29 4.81 2.91 1.02 0.20 -0.39 3.79 2010 5.62 5.08 4.60 2.72 0.83 0.05 -0.47 3.86 2012 5.28 4.88 4.41 2.47 0.53 -0.19 -0.67 3.88 2013 5.36 4.89 4.41 2.47 0.53 -0.19 -0.67 3.88 2014 5.22	1997	5.76	5.00	4.58	2.72	0.86	0.19	-0.37	3.72
1999 5.51 5.15 4.72 2.84 0.94 0.24 -0.22 3.78 2001 5.80 5.27 4.80 2.96 1.13 0.38 0.00 3.67 2002 5.65 5.05 4.62 2.77 0.92 0.18 -0.40 3.70 2003 5.34 4.94 4.49 2.64 0.79 0.00 -0.47 3.70 2004 5.45 4.94 4.53 2.71 0.89 0.09 -0.35 3.64 2005 5.59 5.22 4.80 3.01 1.19 0.41 -0.08 3.61 2006 6.00 5.46 4.98 3.13 1.28 0.45 0.02 3.70 2007 5.81 5.38 4.93 3.10 1.27 0.48 0.02 3.66 2008 5.76 5.40 4.97 3.12 1.27 0.46 0.07 3.70 2009 5.61 5.29 4.81 2.91 1.02 0.20 -0.39 3.79 2010 5.62 5.08 4.60 2.72 0.83 0.05 -0.47 3.77 2011 5.74 5.10 4.64 2.71 0.78 0.02 -0.47 3.86 2012 5.28 4.88 4.41 2.47 0.53 -0.25 -0.64 3.88 2013 5.76 4.89 4.41 2.47 0.53 -0.19 -0.67 3.88	1998	5.46	5.02	4.59	2.75	0.90	0.19	-0.36	3.69
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1999	5.51	5.15	4.72	2.84	0.94	0.24	-0.22	3.78
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2001	5.80	5.27	4.80	2.96	1.13	0.38	0.00	3.67
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	2002	5.65	5.05	4.62	2.77	0.92	0.18	-0.40	3.70
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	2003	5.34	4.94	4.49	2.64	0.79	0.00	-0.47	3.70
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	2004	5.45	4.94	4.53	2.71	0.89	0.09	-0.35	3.64
2006 6.00 5.46 4.98 3.13 1.28 0.45 0.02 3.70 2007 5.81 5.38 4.93 3.10 1.27 0.48 0.02 3.66 2008 5.76 5.40 4.97 3.12 1.27 0.46 0.07 3.70 2009 5.61 5.29 4.81 2.91 1.02 0.20 -0.39 3.79 2010 5.62 5.08 4.60 2.72 0.83 0.05 -0.47 3.77 2011 5.74 5.10 4.64 2.71 0.78 0.02 -0.47 3.86 2012 5.28 4.88 4.41 2.47 0.53 -0.25 -0.64 3.88 2013 5.36 4.89 4.41 2.47 0.53 -0.19 -0.67 3.88 2014 5.22 4.86 4.41 2.45 0.50 -0.21 -0.59 3.91 2015 6.07 5.11 4.56 2.66 0.77 0.19 -1.11 3.79 2016 5.78 5.29 4.80 2.84 0.88 0.24 -0.26 3.92 2017 5.75 5.13 4.72 2.70 0.55 0.13 -0.33 3.91 2018 5.93 5.12 4.71 2.69 0.51 0.11 -0.41 3.69 $1971\sim1990$ 5.93 4.99 4.48 2.67 0.86 0.09 -1.05 3.54 <t< td=""><td>2005</td><td>5.59</td><td>5.22</td><td>4.80</td><td>3.01</td><td>1.19</td><td>0.41</td><td>-0.08</td><td>3.61</td></t<>	2005	5.59	5.22	4.80	3.01	1.19	0.41	-0.08	3.61
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2006	6.00	5.46	4.98	3.13	1.28	0.45	0.02	3.70
2008 5.76 5.40 4.97 3.12 1.27 0.46 0.07 3.70 2009 5.61 5.29 4.81 2.91 1.02 0.20 -0.39 3.79 2010 5.62 5.08 4.60 2.72 0.83 0.05 -0.47 3.77 2011 5.74 5.10 4.64 2.71 0.78 0.02 -0.47 3.86 2012 5.28 4.88 4.41 2.47 0.53 -0.25 -0.64 3.88 2013 5.36 4.89 4.41 2.47 0.53 -0.19 -0.67 3.88 2014 5.22 4.86 4.41 2.45 0.50 -0.21 -0.59 3.91 2015 6.07 5.11 4.56 2.66 0.77 0.19 -1.11 3.79 2016 5.78 5.29 4.80 2.84 0.88 0.24 -0.26 3.92 2017 5.75 5.13 4.72 2.70 0.55 0.13 -0.33 3.91 2018 5.93 5.12 4.71 2.69 0.51 0.11 -0.41 3.29 2019 5.93 4.99 4.48 2.67 0.86 0.09 -1.05 3.62 $1971\sim1990$ 5.93 4.99 4.48 2.67 0.86 0.09 -1.05 3.54 $2001\sim2019$ 6.07 5.14 4.74 2.78 0.62 0.14 -1.11 3.69	2007	5.81	5.38	4.93	3.10	1.27	0.48	0.02	3.66
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2008	5.76	5.40	4.97	3.12	1.27	0.46	0.07	3.70
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	2009	5.61	5.29	4.81	2.91	1.02	0.20	-0.39	3.79
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2010	5.62	5.08	4.60	2.72	0.83	0.05	-0.47	3.77
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2011	5.74	5.10	4.64	2.71	0.78	0.02	-0.47	3.86
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2012	5.26	4.00	4.41	2.47	0.55	-0.23	-0.64	3.00
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2013	5.36	4.09	4.41	2.47	0.55	-0.19	-0.67	3.00 2.01
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2014	5.22	4.00 E 11	4.41	2.43	0.30	-0.21	-0.39	3.91
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2013	5.07	5.11	4.00	2.00	0.77	0.19	-1.11	3.19
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2010	5.76	5.27	4.00	2.04	0.00	0.24	-0.20	2.01
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2017	5.75	5.15	4.72	2.70	0.55	0.13	-0.55	3.91
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2010	5.93	5.12	+./1 / 71	2.09	0.51	0.11	-0.41	3.60
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1971~1990	5.93	4 99	4.71	2.70	0.55	0.12	-1.05	3.62
2001~2019 6.07 5.14 4.74 2.78 0.62 0.13 -0.50 5.04 1971~2019 6.07 5.00 4.61 2.71 0.60 0.13 -1.11 3.69	1991~1999	5.76	4.89	4 40	2.64	0.87	0.05	-0.50	3 54
1971~2019 6.07 5.00 4.61 2.71 0.60 0.13 -1.11 3.69	2001~2019	6.07	5.14	4 74	2.04	0.67	0.13	-1 11	3 79
	1971~2019	6.07	5.00	4.61	2.71	0.60	0.13	-1.11	3.69

資料來源:本所港研中心,監測期間民國 60 年 3 月~108 年 12 月。

2.2.2 波浪

依據本所港研中心2003~2019年觀測資料(含圖2.1中X0、X1兩測 站資料)統計臺中港之波高及波向各月分布如圖2.6、表2-7所示。由分布 圖可知,臺中港冬季(9~5月)波向以N及NNE向為主,約佔40~50%; 夏季(6~8月)則以W向為主,約佔24%。另由統計表可知,全年平均波 高在0.8m~1.9m間,平均週期約5.6sec~6.8sec,其中以冬季平均波高 1.6m較高,夏季平均波高則約0.82m。

冬、夏季波高、週期及波高、波向聯合機率分布如表2-8~表2-9所 示,考量累積機率95%以上之波高為港口規劃之評估上限,由上述觀測 結果,可推算冬季累積機率達95%之波高Hs與週期Ts分別為3.34m與 8.88s;夏季累積機率達95%之波高Hs與週期Ts則分別為1.92m與8.63s。



圖2.6臺中港歷年冬、夏季及各月波浪玫瑰圖



註:夏季:6~8月;冬季:9月~5月。 資料來源:2003~2019本所港研中心波浪資料;本計畫彙整。

圖2.7 臺中港歷年冬、夏季及各月波浪玫瑰圖(續)

表 2-7 臺中港歷年四季波高及波向統計表

季節	平均波高(m)	主要波向(%)	平均週期(sec)	最大波高
J 21				(波向,週期)
冬	1.61	NNE(50.2%)	6.5	8.4(NW, 11.1)
夏	0.82	W(24.2%)	5.6	7.0(N, 8.9)

週期\波高	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-	TOTAL
0-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-2	0.0%	0.1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1%
2-3	0.4%	0.5%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	-	-	-	0.9%
3-4	1.0%	2.4%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.0%	-	-	0.0%	3.6%
4-5	1.3%	3.5%	1.4%	0.4%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	6.7%
5-6	3.4%	6.5%	4.9%	2.4%	1.1%	0.8%	0.4%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	19.9%
6-7	3.4%	5.4%	8.0%	7.5%	3.6%	1.1%	0.5%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	29.9%
7-8	1.2%	1.8%	2.4%	6.1%	7.3%	4.1%	1.3%	0.4%	0.2%	0.1%	0.0%	24.8%
8-9	0.2%	0.4%	0.4%	0.9%	2.5%	3.1%	1.9%	0.6%	0.2%	0.1%	0.0%	10.3%
9-10	0.0%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.5%	0.9%	0.6%	0.2%	0.1%	0.1%	2.9%
10-11	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.6%
>11	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%
TOTAL	11.0%	20.6%	17.6%	17.8%	14.9%	9.7%	5.0%	2.1%	0.9%	0.3%	0.2%	100.0%
累計	11.0%	31.6%	49.2%	67.0%	81.9%	91.6%	96.6%	98.6%	99.5%	99.8%	100.0%	-
波向\波高	0-0.5	0.5-1.0) 1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	5 3.5-4.0) 4.0-4.5	5 4.5-5.0	5.0-	TOTAL
N	3.7%	6.6%	6.8%	7.4%	6.3%	4.3%	2.3%	1.1%	0.5%	0.2%	0.1%	39.1%
NNE	3.6%	9.1%	9.8%	10.0%	8.4%	5.3%	2.7%	0.9%	0.4%	0.1%	0.1%	50.2%
NE	0.3%	0.6%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%
ENE	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	_	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%
Е	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.1%
ESE	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	_	-	0.2%
SE	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	_	_	-	0.1%
SSE	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	-	0.0%	-	0.0%	-	0.1%
S	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	-	-	0.1%
SSW	0.1%	0.1%	0.0%	_	_	_	_	-	_	_	-	0.1%
SW	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	_	0.0%	0.0%	0.0%	_	_	-	0.2%
WSW	0.2%	0.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.0%	0.9%
W	0.4%	0.9%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	1.5%
WNW	0.5%	0.8%	0.1%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	-	-	1.4%
NW	0.7%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%			-	0.0%	1.4%
NNW	1.2%	1.2%	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	2.9%
TOTAL	11.0	20.6%	17.6%	17.8%	14.9%	9.7%	5.0%	2.1%	0.9%	0.3%	0.2%	100.0%
累計	11.0	31.6%	49.2%	67.0%	81.9%	91.6%	96.6%	98.6%	99.5%	99.8%	100.0%	-

表 2-8 臺中港冬季波高、週期及波高、波向聯合機率表

註:2003~2019本所港研中心波浪資料;本計畫彙整。

週期\波高	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-	TOTAL
0-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-2	0.1%	0.3%	0.0%	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4%
2-3	1.3%	3.0%	0.1%	-	0.0%	-	-	-	-	-	-	4.5%
3-4	3.5%	11.0%	0.8%	0.0%	-	-	-	-	-	-	-	15.3%
4-5	2.7%	10.5%	2.5%	0.1%	-	-	-	-	-	-	-	15.9%
5-6	4.7%	10.2%	3.3%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	-	18.9%
6-7	6.0%	10.7%	3.7%	1.5%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	22.6%
7-8	2.7%	6.7%	1.8%	1.4%	1.1%	0.4%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	14.3%
8-9	0.7%	2.3%	0.5%	0.4%	0.5%	0.3%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	5.1%
9-10	0.2%	1.0%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%
10-11	0.1%	0.5%	0.1%	0.1%	-	0.0%	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.7%
>11	0.1%	0.4%	0.1%	0.0%	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	0.0%	0.7%
TOTAL	22.0%	56.5%	13.1%	4.0%	2.4%	1.0%	0.5%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	100.0%
累計	22.0%	78.5%	91.6%	95.7%	98.1%	99.1%	99.6%	99.8%	99.9%	99.9%	100.0%	-
波向\波高	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	5 1.5-2.0	0 2.0-2.5	5 2.5-3.0	3.0-3.5	5 3.5-4.0	4.0-4.5	5 4.5-5.0	5.0-	TOTAL
N	3.1%	6.9%	2.3%	0.9%	0.8%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	14.6%
NNE	1.5%	5.5%	3.7%	1.9%	1.0%	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	14.2%
NE	0.3%	0.5%	0.2%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	1.2%
ENE	0.2%	0.3%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	-	_	-	1.1%
Е	0.2%	1.0%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	-	-	-	1.2%
ESE	0.3%	0.7%	0.0%	-	0.0%	-	-	-	-	-	-	1.0%
SE	0.2%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	_	-	0.8%
SSE	0.3%	0.6%	-	-	-	-	-	0.0%	0.0%	-	-	0.9%
S	0.2%	0.4%	0.0%	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.0%	0.0%	0.7%
SSW	0.1%	0.4%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	-	-	_	-	1.0%
SW	0.2%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	-	0.6%
WSW	1.2%	3.9%	1.6%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	_	-	7.1%
W	4.0%	16.2%	3.5%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.0%	-	24.2%
WNW	4.5%	10.6%	0.7%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	15.9%
NW	3.0%	4.7%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%			-	8.2%
NNW	2.6%	4.2%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	7.4%
TOTAL	22.0	56.5%	13.1%	4.0%	2.4%	1.0%	0.5%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	100.0%
累計	22.0	78.5%	91.6%	95.7%	98.1%	99.1%	99.6%	99.8%	99.9%	99.9%	100.0%	_

表 2-9 臺中港夏季波高、週期及波高、波向聯合機率表

註:2003~2019本所港研中心波浪資料;本計畫彙整。

2.2.3 海流

海流觀測方面,本所港研中心於1999年10月安置挪威NORTEK公司表面波浪監測系統於測站X0處(圖2.1),而2000年因臺中港北防波堤延長工程開始展開整平拋石工作影響到儀器安全,故於8月18日暫時停止量測並將設備收回。2003年5月於北防波堤延長工程完成後,隨即在2003年7月5日完成波高波向與剖面海流即時傳送監測系統之安裝,位於臺中港北防波堤堤頭150公尺外、水深25公尺處(稱測站X1,圖2.1)。

茲蒐集港研中心於上述觀測點量測資料,統計臺中港歷年四季海 流流速及流向分布如圖2.8、表2-10所示。由分布圖可知,臺中港歷年由 4月至8月,主要流向為N向與NNW向,其他月份流向則以WSW及W向 為主。另由統計表可知,全年平均流速約在0.34m/sec~0.48m/sec之間, 其中以冬季平均流速最大、春季最小。歷年最大流速發生在夏季,流速 約2.6m/sec。



圖2.8 臺中港歷年四季海流流速及流向分布圖



資料來源: 2003~2019 年港研中心海流資料;本計畫彙整。

S

圖2.9 臺中港歷年四季海流流速及流向分布圖(續)

表 2-10 臺中港歷年四季海流流速及流向統計表

季節	平均流速(m/s)	主要流向(%)	最大流速(m/s) (流向)
冬	0.4	WSW(20.8%)	2.48(W)
夏	0.39	N(28.6%)	2.6(SW)

註:夏季:6~8月;冬季:9月~5月。

資料來源: 2003~2019 年本所港研中心海流資料;本計畫彙整。

2.3 地象及水文條件

2.3.1 地形

臺中港位於臺中市西側,港區附近地形為平坦之濱海沖積平原,屬 幼年期海岸平原,地勢低平,沿岸平原屬全新世現代沖積層,其來源為 鄰近地區各河川所帶下之沙石,以及海岸漂沙之淤積所造成。

依據臺中港務分公司於民國108年8月所完成之臺中港區海域地形 測量結果(圖2.10)得知,港外地形在-5m~-20m水深間之平均坡度約為 1/50~1/300之間;-5m等深線以內之平均坡度約為1/100~1/200之間;-20m等深線距海堤約2~6km。

2.3.2 地質

臺中港區原為大甲溪與大肚溪沖積形成之西部海岸平原,地表地 層為由河川沖積及海洋沖積雙重作用所形成之巨厚現代沖積層所覆蓋, 主要為沉泥質砂、砂質沉泥、黏土質沉泥及沉泥質黏土等互相交雜而成。 有關於沉積土層之厚度,依據臺中港務分公司於臺中港區內所進行之 鑽探資料顯示,鑽探深度至60m時仍為沉積砂土層,而本所港研中心於 中突堤之地質調查資料顯示,鑽探深度於200m時,僅於54m~72m及 90m~110m間,偶含礫石,於182m~189m處有7m厚卵石礫石層,礫石 粒徑則於6cm以下,故現代沖積層為厚層砂土層,其詳細厚度未知,惟 依據鑽探資料可確定沖積層厚度應在200m以上。

2-19



資料來源:臺中港務分公司108年度臺中港港區測量工作,本計畫繪製。

圖2.10 臺中港及附近海域水深圖

由歷年來臺中港區所進行之地質鑽探資料顯示,臺中港區自地表 至高程-10m之間以灰色細中砂為主,尤其靠近地表處大多屬不良級配 中細砂,屬疏鬆至中等緊密程度,設計時應考慮地震時飽和砂土層之液 化潛能。高程-10m以下土層以沉泥質細砂層為主,惟細砂層間含黏土 質沉泥或沉泥質黏土薄層或厚層,但常不延續而間斷出現,頗為複雜, 薄層厚度不等約在幾公分至2m以上,隨地區不同而異,不論砂土層之 緊密度或薄層黏質土之稠度隨深度及地點不同變化極大;由鑽探資料 顯示臺中港區土層標準貫入試驗N值於同一深度中分布甚為散亂,可見 本區土層的確有交錯沉積之現象。一般而言,大致在高程-25m以下N值 大都高於20,屬中等緊密以上程度,而高程-80m以下土層N值大都高於 100,屬極緊密堅硬之層次。

2.3.3 河川及輸砂

由於臺中港北臨大安溪、大甲溪,南臨烏溪(詳圖2.11),為考量鄰 近河川輸砂對於鄰近海域地形變遷之影響,茲蒐集經濟部水利署臺灣 水文年報,彙整得臺中港鄰近河川流量及輸砂量之特性統計詳表2-11及 表2-12所示,其中輸砂量係依各河川流量及輸砂量之率定曲線(詳圖 2.12)推估。



資料來源:臺灣水文年報,經濟部水利署

圖2.11 臺中港鄰近河川位置圖

表 2-11 臺中港鄰近河川特性統計表

河川		月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
烏 溪	流	量(CMS)	106	49	60	77	129	255	184	217	138	70	57	56
	輸の	少量(噸/日)	2401	827	1085	1542	3159	8146	5175	6509	3470	1351	1015	991
1 17 14	流	量(CMS)	13	14	14	11	42	62	50	24	77	10	8	8
入于漢	輸砂	少量(噸/日)	127	139	135	100	455	709	561	249	896	92	77	76
大安溪	流	量(CMS)	5.0	11.5	19.9	26.4	42.4	80.7	42.8	59.7	39.3	14.4	6.1	5.1
	翰可	少量(噸/日)	71	199	388	546	976	2,138	987	1,478	889	261	92	73

資料來源:經濟部水利署臺灣水文年報,2018年。烏溪採大肚橋測站;大甲溪採 龍安橋測站,並依100年迴歸期洪峰流量推估為河口流量;大安溪採義里測站, 並依100年迴歸期洪峰流量推估為河口流量。



資料來源:經濟部水利署臺灣水文年報。烏溪統計年期:2000~2018;大甲溪統計年期:2013~2018;大安溪統計年期:2000~2018。

圖2.12 臺中港鄰近河川流量及輸砂量之率定曲線分布圖

表 2-12 臺中港鄰近河川特性分季彙整表

	烏	溪	大臣	甲 溪	大安溪			
河川	流量	輸砂量	流量	輸砂量	流量	輸砂量		
	(CMS)	(噸/日)	(CMS)	(噸/日)	(CMS)	(噸/日)		
冬季期間	82.4	1,596	21.9	168	18.9	352		
夏季期間	218.7	6,961	45.6	432	61.1	1,506		

註:冬季採9月至翌年5月之平均流量;夏季採6月~8月之平均流量。

2.3.4 底質粒徑

參考臺中港鄰近海域之底質調查結果,彙整中值粒徑(d₅₀)分布詳圖 2.13所示,中值粒徑擬採平均值0.14mm。



資料來源:臺中港海洋棄置許可申請、「臺中港南堤路海側堤基保護暨北泊渠底端水域欄柵拆除及浚挖工程」委託設計及監造技術服務,本計畫繪製。

圖2.13 臺中港鄰近海域之中值粒徑分布圖

第三章 臺中港鄰近海岸地形變遷分析

臺中港為中部之國際商港,其距離離岸風電區最近且定位為提供 風機組裝碼頭及工作船靠舶之母港,因此瞭解臺中港近岸地形侵淤變 化趨勢尤為重要。

3.1 臺中港鄰近海岸現況與特性

本計畫針對臺中港進行探勘,進一步了解並分析臺中港與鄰近海 岸現況特性,現勘地點詳圖3.1。大安溪口、大甲溪口、臺中港範圍、 烏溪口之淤沙現況詳述如下。

- 大安溪口:初步看出大安溪口南側沙洲較北側廣闊,且至大甲溪口北 側產生大量淤積,初判長期沿岸漂沙優勢方向應為由北往 南,詳圖 3.2。
- 大甲溪口:初步看出大甲溪口南側沙洲較北側廣闊,初判長期沿岸漂 沙優勢方向應為由北往南,詳圖 3.3。
- 臺中港北堤北側:初步看出有長期淤積沙洲,且由第一章之海氣象條 件可知,冬季季風波浪作用時間較長下,故可初判此區段 應屬漂沙路徑之上游段,詳圖 3.4。
- 臺中港南堤路北側及南側:相較於北堤北側明顯淤積沙洲,此區段除 部分海岸有小部分沙灘外,其餘沿岸皆無沙灘生成,顯示 此區段應屬漂沙路徑下游段,且受臺中港外廓設施阻隔影 響下,沙灘難以生成,詳圖 3.5。
- 烏溪口:烏溪口南側沙灘明顯較寬,除因北側屬臺中港人工海堤固定 不變外,明顯可看沙灘越往南越寬,除與先前北段漂沙優勢





圖3.1 臺中港鄰近海域位置圖



圖3.2 大安溪口鄰近海岸淤沙現況



圖3.3 大甲溪口鄰近海岸淤沙現況



圖3.4 臺中港北側鄰近海岸淤沙現況



圖3.5 臺中港港區淤沙現況



圖3.6 烏溪口鄰近海岸淤沙現況

3.2 漂沙特性分析

臺中港附近海域漂沙特性之分析,主要係依附近海域底質特性及 波浪觀測資料,分析與漂沙相關之各項指標,如向、離岸斷面型態分 類之判定係數(Cs)、碎波水深(Db)、漂沙移動限界水深(Ds、Dg:表層 與集體移動限界水深)及沿岸流輸砂範圍之限界水深(Dc)等,由上述指 標可約略判定臺中港附近海岸漂沙之活動範圍及海岸特性。

3.2.1 漂沙代表波浪特性

1. 外海入射波波向之決定

計畫區季風波浪之入射波向參考本所於臺中港北防波堤堤頭外之 波浪觀測資料統計結果,冬季波浪以N、NNE向為主,夏季波浪則以W 向為主,考量冬季期間之NNE向入射角度較大,其波浪受地形影響的 偏折及衰減幅度較大,故擬分別以N向、W向作為冬、夏季季風代表波 向。

2. 外海入射波高(Hs)與週期(Ts)之選定

波高、週期之選定乃採用椹木亨(1982)之建議(參閱椹木亨著「漂沙と海岸侵蝕」),以下列計算式求得。

 $\sum (Ti \times Pi) = Ts \times \sum Pi \qquad ({\bf \vec{x}} \ 3-1)$

$$\sum (Hi^2 \times Cgi \times Pi) = Hs^2 \times Cgs \times \sum Pi$$
 (£ 3-2)

式中 Cg:代表群波波速

Pi: 單一型式波浪 i 所佔之比例

Hi 與Ti:單一型式波浪之波高與週期(註:下標為i者為單一波 浪之特性;下標s者為代表波浪特性)

參考本所2003~2019年之波浪觀測統計結果,並將其波高、週期 聯合機率分佈資料代入上述分析過程,求得冬季之代表性波浪波高為 2.1m、週期為6.6sec;夏季之代表性波浪波高為1.1m、週期為5.7sec。 碎波帶之大小影響漂沙現象極為顯著,而碎波帶之決定一般以碎 波水深表示之。波浪於碎波時約有60%之能量逸出,對海岸地形之變化 及沿岸漂沙之影響頗鉅,故不得不加以討論。而影響碎波之因素至為 複雜,如入射波波形尖銳度、底床坡度及波高水深比等,因此發展出 不少理論及經驗性公式,於本文中選取Le Mèhautè(1967)提出有關碎波 波高經驗式,配合Goda(1970)對不規則波所提之碎波指標公式,可求得 所需之碎波水深,其完整之計算公式列示如下:

$$\frac{H_{b}}{H_{o}} = 0.76 S^{1/7} (H_{o}/L_{o})^{-1/4}$$
(式 3-3)

$$\frac{H_{b}}{L_{o}} = A\{1 - \exp[-1.5\pi(\frac{h_{b}}{L_{o}})(1 + 15S^{4/3})]\}$$
(式 3-4)

式中H_o、L_o:外海入射波波高與波長

A:為經驗係數,於描述規則波時採 A=0.17

將冬、夏二季代表波浪特性代入式(4-3)及式(4-4),可求得冬季 碎波波高為2.0m、碎波水深為2.6m;夏季碎波波高則為1.2m,碎波水 深為1.5m。

3.2.3 漂沙移動界限水深之計算

砂粒欲活動必先克服砂粒間之摩擦力。若波浪或流之推曳力小於 此等摩擦力,則沙粒將不致漂移。此推曳力之大小決定於波浪條件、 底質粒徑及海底坡降等因素。有關漂沙活動範圍之探討,於港灣工程 規劃之漂沙問題分析中,以表層移動界限水深與集體移動界限水深較 顯重要。所謂表層移動界限水深(ds)即海底表面砂粒能隨波浪進行方向 或沿岸流方向移動之水深界限,可視為漂沙能有效移動之水深界限; 所謂集體移動界限水深(dg)即某種深度以上之砂粒全部脫離其原來位 置,沙粒移動十分顯著,是為含有明顯水深變化之臨界條件。

有關此兩項漂沙移動界限水深之計算,本計畫採佐藤昭二等人 (1962)按實地觀測及放射性砂作模型試驗結果所提之公式運用之,其公 式列示如下:

$$\frac{\mathrm{H}_{\circ}}{\mathrm{L}_{\circ}} = \mathrm{A}(\frac{\mathrm{D}_{\mathrm{m}}}{\mathrm{L}_{\circ}})^{1/3} [\sinh(\frac{2\pi \mathrm{d}}{\mathrm{L}})](\frac{\mathrm{H}_{\circ}}{\mathrm{H}})$$
(式 3-5)

式中H_o:深海波波高(m)

L_o:深海波波長(m)

D_m: 平均粒徑或用中值粒徑 d₅₀ (m)

- D:漂沙之臨界移動水深(m);視A係數之採用值不同而可得 ds(表層移動界限水深)及dg(集體移動界限水深)
- H、L:於水深d處之波高與波長
- A:為定值之經驗係數(當欲求表層移動界限水深時,採A=1.35; 當欲求集體移動界限水深時,採A=2.40)

依據上述之代表性波浪資料,配合微小振幅波與 Snell's law,可求

得冬季時表層移動界限水深為 11.8m,集體移動界限水深為 6.3m;夏季時此二值各為 5.5m、2.8m。

3.2.4 沿岸流漂沙之界限水深(Closure Depth)

Hallermeier(1981, 1983)將海岸剖面定義為三區塊,分別為沿岸區 (littoral zone)、緩衝區(shoal or buffer zone)及離岸區(offshore zone),沿 岸區內的漂沙界限水深係受到超越機率 99.863%波浪作用之沿岸流輸 砂影響,Hallermeier(1981)提出之公式如下:

$$D_1 = 2.28H_s - 68.5(\frac{H_s^2}{gT^2})$$
 (式 3-6)

式中Hs:超越機率99.863%之波高

T:對應超越機率 99.863%波高之週期,採 $^{4.2\sqrt{H_s}}$

而緩衝區內的漂沙界限水深係受到中值波浪作用之沿岸流輸砂影響, Hallermeier(1983)提出之公式如下:

$$D_{i} = 0.018H_{m}T_{m}\sqrt{\frac{g}{D_{50}(s-1)}}$$
(式 3-7)

式中Hm:中值波高,即超越機率50%之波高

 T_m : 對應超越機率 50% 波高之週期, $\Re^{4.2\sqrt{H_m}}$

D₅₀:底床中值粒徑

S:底質比重,採2.65

依相關波浪資料代入上式,其中冬季 99.863%及 50%之波高分別為 4.83m 及 1.27m 而對應週期為 9.23sec 及 4.74sec,夏季 99.863%及

50%之波高分別為 4.07m 及 0.5m 而對應週期為 8.47sec 及 2.96sec,最後可得冬季時之 D1 及 Di值分別為 8.8m 及 15.6m;夏季時則分別為 7.8m 及 9.9m。

3.2.5 漂沙特性指標綜合整理

依據上述各項指標分析結果,約略判定臺中港鄰近海岸漂沙之活 動範圍及海岸特性,詳如表3-1所示,其中海底地形底床坡度設定為 1/100;另漂沙粒徑依鄰近底質調查結果,中值粒徑採平均值0.14mm。 由表可知,計畫區在季風波浪作用下,一般沿岸流漂沙界限水深約7.8 ~8.8m,若考量底質粒徑之特性,沿岸流漂沙影響範圍約可達9.9~ 15.6m。

項目 入射 波向	代表波浪 高波 週期		碎波	碎波 水深	漂沙 界限	移動 水深	沿岸流 漂沙界限水深 (Hallermeier, 1981, 1983)		
	波向	(m)	(sec)	(m)	(m)	(m)		(m)	(m)
		Ho	To	H _b	h _b	ds	dg	Dl	Di
冬季	N	2.1	6.6	2.0	2.6	11.8	6.3	8.8	15.6
夏季	W	1.1	5.7	1.1	1.5	5.5	2.8	7.8	9.9

表 3-1 臺中港鄰近海岸漂沙特性一覽表

註:1.海床坡度採用1:100、底床粒徑採0.14mm。

2.颱風波向以與海岸線夾角約 45°的沿岸流對地形影響較大,故採 NNW 及 WSW。

3.ds 表層移動界限水深、dg 集體移動界限水深

4.沿岸流漂沙界限水深,DI為沿岸區(littoral zone)內之漂沙界限水深,Di為緩衝區內(shoal or buffer zone)內之漂沙界限水深。10年迴歸期颱風波浪無超越機率99.863%及中值波浪之統 計,故無沿岸流漂沙界限水深。

3.3 歷年臺中港鄰近海岸變化趨勢分析

3.3.1 相關研究回顧

目前蒐集之重要文獻包括(1)中興工程顧問公司-107年臺中港外

港區擴建計畫(第一期)環境影響說明書(2)本所-108 年離岸風電區鄰 近海岸漂沙機制探討(3) 宇泰工程顧問有限公司-108 年臺中港北側淤 沙區漂飛沙整治第四期工程規劃可行性研究,惟因 107 環評報告與本 所港研中心報告文獻回顧摘錄皆出自宇泰之報告內容,故本節就宇泰 工程顧問公司之報告進行詳述。

1. 計畫內容摘要

該計畫針對各階段海域地形侵淤變化分析結果顯示,臺中港建港 迄今海域地形基本上受到港口防波堤突出海岸距離,波浪碎波造成沿 岸流所帶動海岸漂沙,以及河川輸沙對海域之補充等因素影響極大。

另進一步在颱洪對臺中海域侵淤影響分析部分,臺灣地區在民國 88 年發生 921 地震後,西部地區大安溪、大甲溪、烏溪及濁水溪上游 山坡地受創嚴重。各流域處於地質不穩定狀態,每逢颱風過後,崩塌 面積就會大增。復於民國 90 年桃芝颱風,93 年敏督利颱風及艾莉颱風 (大甲溪洪峰流量分別超過 200 年及 20 年迴歸期),94 年海棠、馬莎、 泰利等連續多個颱風侵襲中部地區並造成 612 水災。接續在民國 95 年 69 水災,民國 97 年辛樂克颱風、民國 102 年蘇力颱風帶來豪雨,再將 前期崩積料一併隨洪水夾帶下移,排出河口後再淤積河口附近海域。 為瞭解颱洪對海域地形侵淤影響,彙整民國 91~95 年及民國 101~103 年間,逐年海域侵淤變化如圖 3.7 所示。圖中部份區域呈現侵淤不連續 現象,其原因主要為本港每年海域水深測量現場作業時間長達 3~4 個 月,以致當年颱風來襲前已完成測量區域,颱洪過後所造成淤積現象 俟次年測量成果方可呈現。

承上,由圖 3.7 (c)可知,民國 93 年敏督利颱風侵襲後,在大甲溪 及烏溪口造成極大土沙淤積,大甲溪口淤沙經東北季風波浪所產生沿 岸流推送,部份繞過北防波堤堤頭,淤積在港口下游側海域;而烏溪 口淤沙,在夏季西南向波浪推送亦有向北淤積港口現象。另由圖 3.7(f) 可知,民國 102 年蘇力颱風雖造成港域大範圍淤積,但在溪口淤積不 若敏督利颱風嚴重,研判 921 地震後河川輸沙大幅增加之現象,似已逐漸減緩中。



圖3.7 臺中港91~95、101~103 年間海域地形侵淤變化圖

綜上所述,針對不同颱風事件之洪水量與當年度地形變遷影響分 析,大甲溪應為臺中港主要之輸沙源,來自大甲溪之輸沙,將先淤積 於大甲溪出海口及防風林區北側,後因沿岸流及潮流作用形成沿岸漂 沙而淤積於本計畫區,部分漂沙甚至繞過北防波堤堤頭至港外航道及 其南側海域沉降。

最後,在漂沙機制探討部分,漂沙現象已說明北堤堤頭雖已超過 一般季風漂沙移動界線水深-10m,但由北往南輸沙量仍可受沿岸流作 用而到南堤段,主要是海域漂沙顆粒含有大量懸浮質所致。數值模擬 之條件詳如表3-2,其驗證流場及地形變遷之結果如圖3.8。

期程條件	民國 103 年-民國 107 年											
地形水深		民國 103 年、民國 107 年										
邊界潮位	時間序列潮位變動值											
		冬季	夏季	風台	虱 W 5.40							
入社、中、泊	波向 N		SW	NNW	W							
八别波派	波高(m)	2.09	1.04	6.53	5.49							
	週期(s)	6.8	6.0	9.6	8.9							
河川邊界	季節風浪:,	季節風浪:烏溪平均流量、大甲溪平均流量										
流量輸沙	颱洪期間: 周	跑洪時流量(1	02~107 年)									

表 3-2 數值模擬條件表



圖3.8 103~107年實測地形侵淤圖(左圖)、數模地形侵淤圖(右圖)

2. 與本計畫相關性

受臺中港北防波堤延建影響,侵淤變化大致呈北淤積、南侵蝕之 特性,該計畫結果已註明臺中港地形變遷之主要沙源應為河川輸沙, 有助於分析計畫區之漂沙優勢方向,雖於報告論述中提及漂沙傳輸之 水動力機制,惟該結果僅能表示波潮流綜合作用下之侵淤變化,雖可 間接釐清漂沙機制,但仍無法直接顯示漂沙之主控因子。

3.3.2 歷年平面水深變化分析

考量臺中港北防波堤於民國92年延建480m後,迄今已逾十餘年,因此,該計畫將92~105年間劃分為三階段,並以每4~5年為期距,藉以分析北防波堤最近一次延建工程對於海岸地形變化的影響。



圖3.9 歷年地形侵淤分布之分區示意圖

該計畫進一步探討臺中港鄰近海域海岸漂沙活動特性及趨勢,擬 依臺中港海岸結構物分布特性進行分區,另外,考量臺中外海水深-30m 外為一陡坡地形分布,因此,分區之離岸距離以-30m等深線為界,其 地形侵淤分析之分區示意圖詳圖3.9所示。

在歷年侵淤趨勢分析部分,92~96年間呈現大量淤積趨勢,其中臺 中港北側淤積趨勢大於南側,顯示北防波堤完工初期,確實明顯阻隔 由北往南之漂沙優勢方向,96~101年間淤積趨勢明顯趨緩,但仍維持 臺中港北側淤積大於南側現象,顯示北防波堤阻隔漂沙效果已趨緩, 最後 101~105年間已呈現侵淤趨勢互現現象,顯示臺中港鄰近地形變 遷於101年後已趨於穩定,故本計畫後續將以民國101年之地形水深資 料為基期,以探討離岸風機建置後對計畫區之影響。臺中港鄰近海域 之近年92~96、96~101及101~105年間海岸地形侵淤分布圖詳圖3.10 ~圖3.12所示。



圖3.10 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國92~96年)



圖3.11 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國96~101年)



圖3.12 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國101~105年)

進一步皆以92年為基期,分析歷年侵淤變化部分,海岸地形淤積 分布除了集中在分區六(北淤沙區)及分區七(大甲溪口)外,分區一(烏溪 口)及分區二(南填方區)亦有大量淤積分布,由於該期間曾發生94年之 海棠、泰利及龍王,96年之聖帕及柯羅莎等強烈颱風侵襲,且除了柯 羅莎颱風為第二類路徑外,其他均屬穿越台灣中部的第三類路徑,故 推測該期間可能受到颱風影響而海岸地形呈大量淤積趨勢。且92年以 後受臺中港北防波堤延建影響,侵淤變化大致呈北側淤積大於南側之 特性,且南側遠岸淤積區域有明顯增大現象,最後,南側近岸(-10m水 深內)如南堤路南段,在正向直接波浪作用且北側沙源供給不足下,易 發生短期局部侵蝕現象。臺中港周圍之近年92~96、92~101及92~105 年間海岸地形侵淤分布圖詳圖3.13~圖3.15所示。



圖3.13 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國92~96年)



圖3.14 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國92~101年)



圖3.15 臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國92~105年)

3.3.3 分區侵淤量分析

臺中港周圍近年分區之年淨侵淤量及年淨侵淤厚度統計詳圖3.16 ~圖3.17所示。由近年之海岸地形侵淤狀況可知,92~96年間之年淨侵 淤量約2,478萬方,年淨侵淤厚度約0.16~0.41m,96~101年間之年淨 侵淤量約657萬方,年淨侵淤厚度約-0.03~0.17m,其中分區一(烏溪口) 呈侵蝕現象,其餘分區則呈淤積現象;101~105年間之年淨侵淤量約 74萬方,年淨侵淤厚度約-0.14~0.13m,分區一(烏溪口)~分區三(南堤 路南段)呈侵蝕現象,而分區四(南堤路中段)以北則呈淤積現象。96~ 105年間雖曾發生97年之辛樂克及薔蜜、100年之桑達及南瑪都、101年 之杰拉華、102年之蘇力及天兔、104年之紅霞、天鵝及杜鵑、105年之 尼伯特及莫蘭蒂等計12場強烈颱風侵襲,惟該等強烈颱風均非屬穿越 台灣中部的第三類路徑,故101~105年應可視為臺中港非受極端颱風 影響下之海岸地形變化特性。整體而言, 101~105年間之海岸地形變 化已呈現趨於平衡穩定狀態。



資料來源:臺中港40年期主計畫,民國108年2月

圖3.16 臺中港周圍近年分區年淨侵淤量統計圖


圖3.17 臺中港周圍近年分區年淨侵淤厚度統計圖

3.3.4 沿岸漂沙量分析

1. 海岸侵淤機制

自然海岸淤積乃因沙源供給量大於沿岸輸沙能量,以致海岸供沙 量無法全數移動至下游端,造成沙源供應出口處(河口區)之淤積。反 之,若沙源供給量小於沿岸輸沙能量,則海岸呈現侵蝕。以臺灣西部 海岸而言,由於水庫興建及河川整治,造成輸往海岸之沙量大量減少, 以致自然海岸多呈現侵蝕現象。

人為構造物亦為造成自然海岸侵淤變化之因素,如港口防波堤之 興建,阻擋自然海岸沙源之供需平衡,故而形成防波堤之上游淤積、 下游侵蝕之現象,直到海岸侵淤平衡後,才到到穩定。

2. 沿岸輸沙量與臺中海域侵淤關係

沿岸輸沙量與沿岸輸沙能量正相關,沿岸輸沙能量,則與波高及 波向角有關,其公式如下:

沿岸輸沙量
$$\left[\frac{m^3}{day}\right]$$
Q = K P_l^n (K = 0.217, n = 1.0)

沿岸輸沙能量 $P_l = \frac{\rho g}{8} H^2 C_g \cos \alpha \sin \alpha$

故沿岸輸沙能量之評估,需有實際波浪觀測數據與計畫區之海岸 方向加以判定。

因此,本計畫利用本所港研中心2003~2016年觀測資料,經統計 分析可知,全年平均波高在0.8m~1.9m間,平均週期約5.6sec~6.8sec, 其中以冬季平均波高1.6m較高,夏季平均波高則約0.82m。冬季累積機 率達95%之示性波高為3.37m,尖峰週期為8.84s,主要波向為N及NNE; 夏季累積機率達95%之示性波高H_{1/3}為1.93m,尖峰週期T_p為8.61s,主 要波向為W。

臺中港附近之海岸法線方向約為293°~329°,其夏季期間波向與海岸夾角約-23°~-59°,夾角小於0°,海岸漂沙方向則由南往北;冬季期間波向與海岸夾角約+33°~+45°,波向與海岸法線夾角大於0°,其海岸 漂沙方向皆由北往南,整年漂沙趨勢為北向南。

為進一步依據波浪統計資料,探討研究區域沿岸輸沙能量之數字 比例關係,特將逐筆資料對海岸輸砂能量加以計算,臺中港沿岸漂沙 輸沙量估計表如表3-3所示,由表中可得知,臺中港北側向南輸沙最大 約3.92萬方/年,臺中港港區向南輸沙量最大約4.55萬方/年,臺中港南 側向南輸沙量最大約2.54萬方/年,而現況海岸經調查後呈現港區淤 積。在冬季期間,海岸受季風影響,漂沙整體趨勢皆為北向南優勢, 將沙量由北向南帶於臺中港北堤前淤積,並滿溢至港區,此外,堤後

3-20

遮蔽區因地形影響,形成回流場,因而造成港區持續淤積;臺中港南 側海岸則因上游沙源受阻而減少,造成淤積減少,故整體而言,全年 漂沙特性,臺中港鄰近海岸呈現淤積情況,此與現況海岸侵淤現象一 致,各海岸區域之輸沙量比較如圖3.18所示。

	輸沙能量	由北往南輸沙量	由南往北輸沙量	淨輸沙量
海岸法線角度		(萬方/年)	(萬方/年)	(萬方/年)
臺中港北側 —	- 323°	+2.91	-1.37	1.55
臺中港北側 —	- 329°	+2.46	-1.45	1.01
臺中港北側 —	- 307°	+3.92	-1.05	2.87
臺中港港區 —	293°	+4.55	-0.77	3.78
臺中港港區 -	295°	+4.47	-0.79	3.69
臺中港南側 —	- 328°	+2.54	-1.43	1.10

表 3-3 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2016)

註:淨輸沙量正值表示由北往南,負值則表示由南往北

全年

NN





由歷年平面侵淤趨勢變化分析可知,92年北防波堤完成後,92~96 年間完工初期明顯阻隔由北往南之漂沙,造成臺中港北側淤積趨勢明 顯大於南側,惟96~101年整體淤積趨勢減緩,101年以後則逐漸趨於穩 定狀態,基此,可初步將101年作為不受北防波堤結構物興建後之穩定 地形,並作為後續分析離岸風機建置前後之基準地形。

另由沿岸漂沙量分析可知,藉由歷年波高逐時資料,經沿岸輸沙 量公式計算,可得到各段海岸之南北沿岸漂沙量,由結果顯示,由北 往南之輸沙量皆大於由南往北,顯示臺中港鄰近沿岸漂沙優勢方向為 由北往南。

最後,由歷年平面及分區侵淤分析可知,臺中港侵淤變化呈現北 側淤積,南側遠岸淤積區有明顯增大現象,顯示92年北防波堤完成後, 初步研判北堤堤頭雖已超過一般季風漂沙移動界線水深-10m,故初期 可部分阻隔由北往南之漂沙,惟受北側近岸淤積範圍逐漸擴大,且冬 季季風作用下及漂沙中含有之懸浮質含量較高所致,由北往南輸沙量 仍可受沿岸流作用而到南堤段,逐漸沉降在約15m水深以內,此應為南 側遠岸海床坡度較緩之主要原因,另南側近岸(-10m水深內)如南堤路南 段,在正向直接波浪作用且北側沙源供給不足下,易發生短期局部侵 蝕現象。

3.4 離岸風機建置前、後臺中港鄰近海岸變化趨勢分析

3.4.1 歷年水深測量資料及離岸風機建置時程

為順應全球氣候變遷與節能減碳趨勢,政府於2011年11月3日公布 「確保核安、穩定漸減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」 之能源發展願景,全力推廣再生能源。而因臺灣西部海域被國際工程 顧問公司4C Offshore評定為全世界最優良海上風場,為追求更穩定的 再生能源來源,「離岸式風力發電」遂成為積極開發之重點。

然因離岸風電開發初期具技術難度高及造價昂貴等特點,再加上 國內過往並無離岸風電開發案例,亦缺乏相關海事工程經驗,因此經 濟部參酌國際離岸風力發電推動經驗,擬定「先示範後區塊」之推動 策略原則,並於2012年7月公告「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」, 2013年1月公布由「海洋風力發電股份有限公司籌備處」、「福海風力發 電股份有限公司籌備處」及台灣電力股份有限公司等三單位取得「示 範風場」受獎勵人資格,其選定之示範風場位置分別位於苗栗縣外海(海 洋)及彰化縣外海(福海、台電),正式展開我國離岸風場之建設,並賡 續辦理後續之「場址申請、遴選」及「區塊開發」等作業。

截至109年2月底止,我國已建置完工之離岸風機(含測風塔)包括: 彰化福海測風塔及苗栗海洋測風塔(104年完工)、苗栗海洋示範機組(第 一階段,2座)與彰化台電測風塔(105年完工)、苗栗海洋示範風場(第二 階段,20座)(108年完工)等,上述構造物與臺中港之相對位置如圖3.19。 故為分析臺中港歷年水深侵淤特性,茲蒐集得臺中港歷年(民國101~ 108年)之水深測量資料,歷年地形水深監測時間彙整詳表3-4所示。

項次	民國	測量日期	備註		
1	101	9/1~9/12	-		
2	102	-	-		
3	103	-	-		
4	104	-	 彰化福海測風塔於104年7月完工 苗栗海洋測風塔於104年8月完工 		
5	105	7/20~8/10	彰化氣象觀測塔(台電)於105年1月完工		
6	106	8~9月	海洋示範機組(2座)於106年4月完工		
7	107	7~8月	-		
8	108	5~8月	海洋示範風場(20座)於108年12月完工		
次州市江·吉山洪功八八司 六江前六江左侧 上山县岛前					

表 3-4 臺中港歷年地形水深監測時間彙整表

資料來源:臺中港務分公司、交通部交通年鑑、本計畫彙整



圖3.19 臺中港相對位置圖

3.4.2 歷年平面水深變化分析

由於我國離岸風電相關建設於104年後陸續建置完成,故為瞭解離 岸風機建置前後對臺中港鄰近海岸地形之影響,本計畫初步蒐集101、 105~108年共五筆水深資料,並綜合前述小節分析臺中港北防波堤於 101年後對鄰近地形變遷影響趨於平緩下,以101年為基期繪製臺中港 海岸地形侵淤分布圖如圖3.20所示,由101至105~108年(a)~(d)比較, 臺中港北側淤積仍大於南側,且北側遠岸淤積範圍有逐漸往南側遠岸 擴散趨勢,顯示整體漂沙優勢方向仍維持由北往南趨勢。另近年(105 年以後)南側近岸(-10m)如南堤路南段海岸淤積明顯增加,可能與遠岸 (-10m以外)累積淤積逐漸擴散至近岸有關,係屬自然地形變遷現象,應 與鄰近彰化離岸風機建置影響無關。



圖3.20 臺中港歷年地形侵淤分布圖

3.4.3 分區侵淤量分析

茲依據前節所蒐集得歷年(民國101、105~108年)之水深測量資

料,為比較離岸風機對臺中港漂沙所帶來之影響,茲參考前節之分區 方式(圖3.9),分析得歷年海岸分區地形侵淤統計詳圖3.21及表3-5所 示。另參考前節之研究成果,分區一(烏溪口)及分區七(大甲溪口)之地 形侵淤分布可能受到河川輸砂之影響,各年度間之年淨侵淤量變化較 大。因此,本節暫不列入該二分區進行侵淤特性評估。

年	度	烏溪口	南填方區	南堤路南段	南堤路中段	南堤路北段	北淤沙區	大甲溪口	合 計
101-105	淤積量	2,248,973	1,075,737	2,354,750	2,851,619	4,876,753	7,024,628	6,853,949	27,286,410
	侵蝕量	7,649,009	5,605,827	1,773,421	900,012	1,321,971	656,685	2,710,676	20,617,602
	侵淤量	- 5,400,036	- 4,530,090	581,329	1,951,607	3,554,781	6,367,944	4,143,273	6,668,808
	淤積量	3,960,410	1,455,914	2,497,812	2,664,768	4,668,025	7,357,032	6,710,395	29,314,357
101-106	侵蝕量	5,225,803	2,638,485	1,221,820	1,022,100	2,014,381	1,119,061	2,721,227	15,962,877
	侵淤量	- 1,265,393	- 1,182,571	1,275,992	1,642,668	2,653,645	6,237,972	3,989,168	13,351,480
101-107	淤積量	2,653,060	304,730	2,243,448	2,843,259	6,520,536	9,479,974	6,863,524	30,908,531
	侵蝕量	8,947,731	5,625,203	2,375,060	1,499,816	1,502,053	865,060	4,489,820	25,304,744
	侵淤量	- 6,294,672	- 5,320,473	-131,613	1,343,442	5,018,483	8,614,914	2,373,705	5,603,787
101-108	淤積量	2,372,208	564,668	3,078,084	3,490,583	8,385,954	11,828,05 5	8,486,411	38,205,963
	侵蝕量	8,454,800	4,967,181	1,854,790	1,294,324	1,140,775	540,478	3,485,639	21,737,987
	侵淤量	- 6,082,592	- 4,402,512	1,223,294	2,196,258	7,245,179	11,287,57 8	5,000,772	16,467,976

表 3-5 歷年海岸分區之侵淤量統計表

資料來源:本計畫彙整

圖3.21為參考表3-5之歷年侵淤量所繪製,其中臺中港北防波堤以 南,除分區二(南填方區)因離臺中港北防波堤較遠且受烏溪口輸沙變化 影響較大,導致整體仍呈現侵蝕現象外;北防波堤以北之分區三(南堤 路南段)至分區六(北淤沙區),海岸地形為淤積現象,且淤積逐漸增加; 分區七(大甲溪口)呈淤積現象,但每年之侵淤量並無明顯趨勢。整體而 言,第一階段離岸風機機組建置完成後,逐漸呈淤積現象,海岸地形 之侵蝕則較為趨緩,此結果與風機建置前之自然地形變遷趨勢大致相 同。

3-26



資料來源:本計畫繪製

圖3.21 歷年地形侵淤分布之分區示意圖

3.4.4 沿岸漂沙量分析

本計畫利用本所港研中心2003~2019年觀測資料,經統計分析可知,全年平均波高在0.8m~1.9m間,平均週期約5.6sec~6.8sec,其中以冬季平均波高1.6m較高,夏季平均波高則約0.82m。冬季累積機率達95%之示性波高為3.34m,尖峰週期為8.88s,主要波向為N及NNE;夏季累積機率達95%之示性波高H_{1/3}為1.92 m,尖峰週期T_p為8.63s,主要波向為W。

臺中港附近之海岸法線方向約為293°~329°,其夏季期間波向與海岸夾角約-23°~-59°,夾角小於0°,海岸漂沙方向則由南往北;冬季期間波向與海岸夾角約+33°~+45°,波向與海岸法線夾角大於0°,其海岸 漂沙方向皆由北往南,整年漂沙趨勢為北向南。 為進一步依據波浪統計資料,探討研究區域沿岸輸沙能量之數字 比例關係,特將逐筆資料對海岸輸砂能量加以計算,臺中港沿岸漂沙 輸沙量估計表如表3-6所示,由表中可得知,臺中港北側向南輸沙最大 約3.94萬方/年,臺中港港區向南輸沙量最大約4.59萬方/年,臺中港南 側向南輸沙量最大約2.53萬方/年。另相對於風機建置前臺中港現況之 沿岸漂沙量分析而言,整體沿岸漂沙優勢仍維持由北往南,且北側及 南側淨輸沙量僅微幅變化(-0.03萬方/年~+0.05萬方/年),應屬自然變動 現象而與離岸風機建置無關,各海岸區域之輸沙量比較圖3.22所示。

輸沙能量	由北往南輸沙量	由南往北輸沙量	淨輸沙量
海岸法線角度	(萬方/年)	(萬方/年)	(萬方/年)
臺中港北側 — 323°	+2.91	-1.38	1.53(-0.02)
臺中港北側 — 329°	+2.45	-1.47	0.98(-0.03)
臺中港北側 — 307°	+3.94	-1.05	2.89(+0.02)
臺中港港區 — 293°	+4.59	-0.76	3.83(+0.05)
臺中港港區 — 295°	+4.51	-0.79	3.72(+0.03)
臺中港南側 — 328°	+2.53	-1.45	1.08(-0.02)

表 3-6 臺中港海岸地區輸沙量估計表(2003~2019)

註1:淨輸沙量正值表示由北往南,負值則表示由南往北

註 2: 淨輸沙量()內表示與 2.3.4 小節 2003~2016 年資料比對,+: 增加,-: 減少



圖3.22 海岸輸沙量特性圖

本計畫將101年與105年後離岸風機建置完成之地形水深資料進行 分析,藉以研判離岸風機對臺中港之海岸地形變化之影響。由分析結 果可知,105年彰化及苗栗離岸風機陸續完成後,地形變遷整體趨勢不 變,仍舊呈現漂沙優勢方向為由北往南,且北側淤積大於南側現象, 另近年(105年以後)南側近岸(-10m)如南堤路南段海岸淤積明顯增加, 可能與遠岸(-10m以外)累積淤積逐漸擴散至近岸有關,係屬自然地形變 遷現象,應與鄰近彰化離岸風機建置影響無關。基此,離岸風機苗栗 風場大規模建置主要在108年年中,目前108年侵淤特性尚無法顯現, 惟考量該風場區位距臺中港甚遠(100km)以上,對臺中港地形變遷影響 應屬甚微。

第四章 遥测影像進行岸線變遷分析

本計畫因應能源政策與產業政策的離岸風電發展,為考量臺灣西海岸在離岸風電設施發開後對臺中港周邊海域漂沙與地形變遷之影響,採用衛星影像與無人飛行載具(UAV)等遙測技術分析離岸風電設施設置可能對岸線地形變遷造成的影響,研究範圍苗栗縣龍鳳漁港至臺中港北防波堤如圖4.1。



圖4.1 灘線分析範圍

4.1 遥测技術背景分析

4.1.1 遙測影像應用於海岸地形變遷之研究

近年遙測技術的發展使研究人員能夠快速取得大範圍的地表資訊,如Kurosawa等人(2001)、Ryu等人(2008)及Gilvear等人(2004),其研究結果皆顯示高空間解析度的衛星影像在地理資訊學及河口與海岸調查上有所幫助,並具有很大的發展性。

在灘線擷取的部份,Gardel與Gratiot (2005)利用SPOT與Landsat衛 星影像發展出一套監測含泥沙洲變遷的方法。Ryu等人(2002)指出利用 多頻譜影像中的熱紅外光(Thermal-Infrared Rays)、近紅外光 (Near-Infrared Rays)及短波紅外光(Short-Wave Infrared Rays)的組合可 以在退潮時提升衛星影像擷取灘線的成效,可降低近紅外光在混濁的 水分中會被吸收而無法感測的情況。呂(2004)以SPOT衛星影像利用區 域成長趨近法進行澎湖及東沙島地區的海岸線與面積的遙測分析,在 忽略潮位影響後的遙感偵測結果其平均誤差達10%以下。何與陳(2003) 選用較接近平均潮位時刻所拍攝的衛星影像來偵測外傘頂洲的乾沙洲 面積,但品質較好的衛星影像很難正好在平均潮位時刻擷取,故往昔 所定位之海岸線容易受到影像拍攝時潮位不同所造成的影響。由於水 位會隨著潮汐或波浪影響,灘線的位置會隨時間不同而有變化,若直 接採用瞬時擷取出來的灘線位置來做分析並非適當的。若要以不同時 間的衛星影像做比較與分析時,需考慮取得影像拍攝時的潮位及其平 均潮位處的底床坡度(Gardel與Gratiot, 2005)。Chen與Chang(2009)提出 考慮潮位與波浪造成水位差異的灘線修正法,將衛星影像中擷取的水 線修正至同一基準進行後續分析。

遙測影像中擷取灘線的方式可分類為幾種:1.門檻值法;2.影像分類法;3.邊界偵測法等。門檻值法較具代表性的為Jishuang與Chao(2002)

4-2

提出了一種多閾值的形態學方法,利用區域閾值將影像劃分為陸地、 海域和沿海的隔離區域,然後使用形態算子來處理沿海的區域。影像 分類法近年來隨著機械學習的突破則有較多的研究,基於像素值的分 類法如張等人(2012)利用多頻譜衛星影像經由色彩融合提升空間解析 度後轉換為常態化差異水體指數NDWI並採用監督式分類法定位水線 位置。Dewi等人(2016)提出了模糊C-means分類來確定水和非水區塊。 考慮頻譜、空間與紋理進行分類的方法則有(Ghoneim等人, 2015; Bayram等人, 2015)。邊界偵測法部分則有(Chen與Chang,2009; Toure等 人, 2018)。除上述分類外也有將各種方法合併使用的情況,Fuse等人 (2018)針對SAR影像開發了一種海岸線提取方法,利用空間圖案的學習 過程將圖像分解成其紋理和輪廓成分,再使用非局部均值濾波器對輪 廓圖像進行平滑處理,然後使用圖形切割技術將圖像分割為海洋和陸 地區域。

4.1.2 UAV 應用於地形地貌變遷之研究

無人飛機(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)技術發展漸趨成熟,因 體積小、造價低及機動性高等優點,近年成為相當熱門的研究,並廣 泛應用於工程及監測等。相關的研究如鄒(2009)以非量測型數位相機獲 取之目標物影像得三維空間資訊進行近景攝影測量。Remondino 等人 (2011)說明目前UAV的3D模型技術,如數值地形模型和數值高程模 型,以及影像自動化處理的精確度問題。王與蕭(2013)應用無人載具航 拍及非常規攝影量測進行土石流三維地形重構,以非常規攝影量測組 件三維地形,使工程師能進一步掌握潛勢區域上游的實際狀況。國土 測繪中心於2011年建立無人飛行載具航拍技術作業,在後續計畫發展 UAS標準作業流程、UAS航拍及影像處理作業等(見國土測繪中心報 告,2014)。蔡(2015)以小金門(烈嶼)為例,比對無人飛行載具在航高 450m所拍攝的影像與衛星影像的精度,使用的影像拼接、校正軟體為 Pix4D mapper,結果顯示空拍影像的解析度高於衛星影像的解析度,約 有10倍的差距。顏等人(2015)利用無人載具空拍影產製高解析鑲嵌影像 及數值地表模型,可清楚辨視河道內植生變化情形,以瞭解拔仔溪土 石流潛勢溪石流經歷整治後,集水區內河道穩定趨勢。白等人(2015) 評估高空4K動態攝影在旗山溪防災時建構正射影像、立體視圖及地形 DSM等資料的空間解析度。Xue等人(2015)評估UAV空拍山區照片的平 面及高程解析度。Klemas (2015)評估以各種無人飛機及其他如小型飛 船(blimp)、氣球(ballon)等空拍技術當為海岸及環境監測的應用。Bonte and Levoy (2015)以錄影方式探討斜波入射及暴風浪下灘崖(beach scarp) 侵蝕現象及其對沙灘輸沙的影響。Casella等人(2016)使用手動八軸UAV 觀測義大利西北方利古里亞沿岸500公尺暴風及工程對海岸變遷造成 的影響。陳等人(2016)以綠島為例,無人機於三維地形量測與正射影像 精度使用 5個地面控制點坐標進行影像糾正及空中三角計算,以產製 高精度正射影像與 DSM立體資料。

4.2 以多時段衛星遙測影像分析周邊岸線之變遷

4.2.1 資料來源

遙測技術可避免往昔使用人力的傳統灘線測量方法,改善費時、 費力,而且測量經費亦高的問題。除可快速量測大區域的灘線,亦能 避免在測量期間內可能因波流或異常氣候所造成的地形變化。目前商 用光學衛星影像逐漸提高空間解析度,從1972年有80公尺空間解析度 的Landsat-1 MSS,直到1999年15公尺空間解析度的Landsat-7 ETM+。 1986年起法國SPOT-1衛星有20公尺空間解析度,直到2003年SPOT-5衛 星提升至2.5公尺空間解析度。而後有福爾摩沙衛星二號(FORMOSAT-2) 可提供至2016年的影像資料,SPOT-6及SPOT-7、Pléiades-1A及 Pléiades-1B、Terrasar-X(雷達影像)則為目前主要持續提供影像服務的衛 星。 為探討研究基地灘線變遷的影響,較高空間解析度的影像資料必 然能獲得較精確的結果。相較於SPOT系列的其他衛星,SPOT-5、SPOT-6 及SPOT-7不但在多光譜影像資料上有較好的表現,在全色態的空間解 析度可達5m。SPOT-5號衛星除了跟SPOT-1至SPOT-3一樣擁有單色態光 學感測器、多光譜光學感測器(紅光、綠光、近紅外光)之外,還有SPOT-4 所搭載的短波紅外光感測器(SWIR),使得多光譜影像資料中包含四個 波段的影像資料。並可提供空間解析度2.5公尺融合影像。SPOT-6與 SPOT-7則可提供1.5m解析度與16位元灰度的影像。Pléiades-1A及 Pléiades-1B則可提供空間解析度達0.5公尺/2公尺(全色態/多頻譜)。上述 衛星遙測影像資料的基本特性彙整如表4-1所示。本研究將考量計畫目 標盡可能蒐集優於2.5m高解析度影像進行分析。

衛星代號	光譜模式	空間解析度	
SPOT-1~3	單色態(PAN)	10m	
	多光譜態(XS)	20m	
SPOT-4	單色態(M)	10m	
	多光譜態(XI)	20m	
SPOT-5	單色態(HM)	5m	
	超解像模式(THR)	2.5m	
	多光譜態(HI)	10m	
SPOT-6&7	單色態(HM)	1.5m	
	多光譜態(HI)	6m	
FORMOSAT-2	全色態(PAN)	2m	
	多光譜態(XS)	8m	
Pléiades-1A/1B	全色態(PAN)	0.5m	
	多光譜態(XS)	2m	

表 4-1 衛星遙測影像資料的基本特性

4.2.2 遥测影像評估

本計畫選用4個年份進行灘線分析,考量離岸風機設備的興建時間 與影像可用情況選取苗栗海洋測風塔(104年8月興建完成)、第一期風機 (105年10月完工)與第二期風機(108年年底完工)設置前後時間點來進行 評估。在選用衛星影像資料時同時考量兩個原則,一為影像中灘線的 可辨識程度,另一為影像拍攝的時間點。影像中灘線的可辨識程度可 由拍攝當時的雲量來進行評估,視當時雲量及分布是否會影響到灘線 位置的定位;另外影像拍攝的時間點由於海岸潮汐與波浪變化的影 響,會使得灘線位置有所不同,圖4.2為計畫區鄰近潮位站的實測潮高 時序圖,圖中粗藍線為計劃區北側的新竹潮位站,綠色點為外埔潮位 站而紅色細線為臺中潮位站,由圖中可發現由於計畫區南北範圍間潮 型接近,惟潮差有北往南遞增的現象。顯示計畫區潮差偏大且有些微 空間變化,若在分析水線時沒有考量潮位的估算,就可能會造成的誤 差(張與陳,2005)。故在影像申購前即應評估其海況來進行申購,若無 法直接挑選到平均潮位的影像,就應該考慮調用多幅影像進行水線修 正。



圖4.2 計畫區鄰近測站潮高資料

除現有中央氣象局與本所港研中心的長期的潮位資料外,面對無潮位站或資料缺漏的問題,工作團隊將採用衛星測高資料或潮位模式 來推算潮汐,如Cartwright與Ray(1990)的正交潮法,Matsumoto等人 (1995; 2000)的NAO99b 模式。工作團隊往昔研究中提出潮位資料溶合 法(data blending)來改善上述潮位模式在西海岸雲嘉一帶的誤差(陳與 張, 2008)。此外後續還有許多研究發展潮位推算模式,如美國奧瑞岡州 立大學Oregon State University, OSU)所開發之全球與區域潮位模型 TPXO 8-atlas、丹麥科技大學(Technical University of Denmark, DTU)於 2010年發表之經驗海洋潮位模型DTU10與日本國家天文台(National Astronomical Observatory in Japan, NAOJ)所開發之全球潮位模型 (NAO99b)與區域潮位模型(NAO99Jb)等(蕭, 2017)。另外內政部107年度 辦理「潮位模式精進工作案」中應用現有水深資料及潮位站資料進行 潮位模式資料同化,以精進臺灣周邊海域巢狀網格潮位模式 (ATW-DA)。本研究將採用合適模式推估相對應潮位,以提供最精確的 海況條件確保後續分析結果的正確性。

在遙測影像的選擇上,本研究透過潮位估算挑選接近平均潮位之 影像資料進行分析,利用數據爬梳分析(Data Parsing)配合潮位模式統計 可用的遙測影像如圖4.3所示。可快速分析可用遙測影像資料所對應的 潮位,再判讀可用影像中的雲量是否遮蔽目標區域,即可快速進行篩 分,降低許多資料搜尋與人工判別的時間。



圖4.3 遥测影像與相對應潮位分析

圖4.3中橫軸為時間,縱軸為各幅影像遙測影像拍攝時所對應的潮 位,紅色虛線區間為所設定的目標潮位差範圍,其中再排除資訊不完 整與受雲層影響的影像,即可快速歸納出可用的影像,在資料量充足 的情況下本技術可配合推算與實測潮位資料來快速找到近似海況條件 與目標季節的影像來進行分析,可大幅降低不同海況條件或季節因素 所造成的誤差。本計畫經過海況與影像可用性的評估後選用四個時間 點的衛星影像進行灘線變遷分析,這些時間點在計畫區所受雲量影響 最小,且影像拍攝時的海況最接近平均潮位。考量後續長期灘線變化 的比較,需確保各時間點的灘線不受季節性變化的影響,工作團隊評 估此條件,選取介於冬季季風作用以後且於該年度颱風季之前,所選 用影像如表4-2所示。

衛星影像	時間	空間解析度 (m)	相對應潮位 (cm)
SPOT-5	2011/07/27 02:52:26	2.5	-3.9
SPOT-5	2013/06/03 02:12:44	2.5	-19.8
SPOT-6	2019/04/09 02:09:17	1.5	-12
SPOT-7	2020/07/24 02:28:50	1.5	17.7

表 4-2 本計畫選用衛星影像

4.2.3 影像處理與灘線分析方法

由於每張衛星影像圖因拍攝時的地表天候、海況或天體相關位置 不同而會有不同的拍攝條件,每張衛星影像由於拍攝時光線、氣候與 其感測器的不同,在各種波段的影像亮度與對比上會有明顯的差異(見 圖4.4)。另外,除了衛星拍攝時對地表的角度可能會造成影像的變形 外,拍攝時海況條件也會使得影像中水線位置有所不同,需視其差異 程度經多種調整來進行標準化,包括相對輻射校正、空間校正及灘線 位置修正等方式,才能在後續分析中截取出具代表性的灘線位置,後 續針對上述處理說明影像分析部分。



圖4.4 不同時間與不同感測器所拍攝的多頻譜影像資料

1. 影像校正

在不同時期所拍攝的衛星影像圖在各光譜中的表現會因大氣狀況 與日照角度的影響而有不同的表現,故多時影像間若要進行比較需進 行輻射校正,輻射校正的方式一般需於衛星影像拍攝時監測地面照度 來進行修正,在缺乏相關資料的情況下近年來在海岸濕地及灘地的遙 測技術有許多文獻提出採用常態化差異水體指數(NDWI)來進行分析 能提供良好的效果(Kavyashree and Ramesh, 2016;張等人, 2017; Chang et al., 2018),此混合光譜指數需要原始光譜中的綠光與近紅外光來進行 運算,下式中Green代表綠光,NIR代表近紅外光。

$NDWI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$

衛星影像拍攝時,衛星與目標點間的傾角對於影像的品質有很大的影響,當傾角大時其拍攝投影之地表面積涵蓋較廣,以致較多的影像資訊被侷限在單位像素中而造成影像的失真,且傾角對越大影像中的投影變形也越嚴重。



圖4.5 選取地面控制點進行衛星影像之空間投影校正

為確保各幅影像能在同一投影面上做灘線的趨勢分析,選用傾角 投影修正(profective)與非均勻線性修正(piecewise linear)兩種方式進行 空間投影校正。選取兩幅影像間皆可明顯定位的相對應陸地控制點, 如結構物與道路的交點等不易隨時間變化的特徵點,進行空間投影校 正,如圖4.5所示。此法可針對拍攝傾角與影像拼接時造成的非均勻扭 曲有良好的修正結果。若申購影像已經進行DEM的控制點修正,亦可 透過本方式進行檢測,選取做為基準之影像分別對其他影像進行評估。

2. 影像強化與修補

一般而言,全色態影像擁有較高的空間解析度,而多頻譜影像則 擁有不同波段的反射資訊,為能合併兩種優點採用高解析度的多頻譜 資料進行NDWI的計算,需透過影像融合的方式進行處理來提升多頻譜 影像的解析度,相關方法包括:HSI、Wavelet、PCA等方法,融合前後 比較如圖4.6所示。



(a) IHS 融合前

(b) IHS 融合後

圖4.6 IHS融合前後之比較

相較於一般具有明顯水陸交界線的灘線來說,濕地環境周遭的淺 水與濕沙地間的光學差異度不大,故即便以人工透過視覺來測繪其範 圍也相當不容易找到合適的邊界,本研究採用影像強化來解決剩餘此 問題。影像強化主要是利用一個轉換函數將原始影像中的某段強度值 轉換到新的輸出值域上,不同於直方圖等化,此方法必須針對不同影 像給予不同的強度輸入範圍、強度輸出範圍及轉換函數曲率,如圖4.7 所示,假設要將影像a中的強度值映射到b中的新數值,使得從low_in 和high_in間的數值映射到low_out與high_out之間的數值。在low_in以下 和high_in以上的強度值將被忽略不處理直接映射到low_out以下與 high_out以上。亦可藉由gamma值的調整來對應不同的狀況。此方法若 配合直方圖調整即可忽略掉影像中非重點的亮度差異處,而強調出影 像中重點差異處,本計畫影像處理流程中影像強化結果如圖4.8。



圖4.7 影像強化中所使用的基本映射函數



(a)影像強化前 (b)影像強化後

圖4.8 影像強化前後之衛星影像

形態學(morphology)是以形態為基礎來分析圖像特性行的數學方法。透過不同結構元素的選擇,進行膨脹(dilation)或侵蝕(erosion)的組合運算,進行影像的分割、雜訊濾除及孔洞填補。侵蝕(erosion)為利用結構元素來消除雜訊,使目標影像內物件縮小、物件中之孔洞放大或切斷物件中連接處薄弱之區域。膨脹(dilation)的功能與侵蝕相反,主要連接兩個不相連的物件或使物件中之孔洞縮小,而造成雜訊擴大及物件膨脹。透過以上方式可以進行斷開與膨脹,斷開效果可使物體輪廓更平滑且消除較小之影像雜訊(如水花)等。圖4.9為本計畫影像處理流程中斷開前後的比較,途中綠色點即為與目標區域無關之水花雜訊,可透過斷開進行消除。圖4.10為區域填補前後實例圖,圖中可見紫紅色

區塊,即為區域填補的目標,原始影像中白色陸地所包圍的黑色小洞, 經區域填補後完全可以被更新成陸地,以簡化後續邊界偵測所需要的 人工調整。



圖4.9 斷開前後之差異圖



圖4.10 區域填補差異圖

遙測影像中擷取灘線的方式可分類為幾種:1.門檻值法;2.影像分 類法;3.邊界偵測法等。本計畫選用Canny邊界偵測法進行分析,分析 結果如圖4.11所示,圖中綠色點即為灘線位置點,然而仍有少數結構物 的邊界需要手動處理去除,較大範圍的碎波白沫若無法在前述形態學 過程中處理,在邊界細線化(Skeletonization)過程中可透過設定適當的 搜尋條件來排除。邊界細線化是將Canny邊界偵測法所判斷出來的許多 邊界點,沿著灘線沿岸方向等間距地取灘線代表位置。



圖4.11 水線擷取範例圖

3. 灘線修正技術

往昔的遙測影像在不同時間會對應不同的海況條件,在這種情況 下無法在同一基準上分析多時影像的灘線位置。本計畫所選用的遙測 影像資料已在申購前進行詳細的評估,故其相對應的潮位皆已接近平 均潮位,然而為更精準的定位出0m線位置,本研究收集往昔地形實測 資料,並進行底床坡度分析獲得各段灘線的代表坡度,將各期灘線修 正至平均水位的位置,近岸地形分析與坡度分析如圖4.12。



圖4.12 近岸地形分析舆坡度分析

4.2.4 分析結果

本計畫衛星灘線分析範圍較大,涵蓋台灣中部海岸直線距離約 58km,故以突出海岸線的結構物或輸砂來源的主要河川作為分界由北 至南分為四個區域進行分析,第一區為龍鳳漁港至後龍溪口,第二區 為後龍溪口至通霄漁港,第三區為通霄漁港至大安溪口,第四區為大 安溪口至臺中港北堤,分區部分如圖4.13所示。



圖4.13 灘線分析範圍與分區

第一灘線區段北起龍鳳漁港南堤至後龍溪口,本段海岸較為曲 折,其中還有中港溪補注沙源與新埔漁港與兩座突堤等海岸構造物, 由灘線地貌來看新埔漁港以北的區域沙源充足,南側則因為新埔漁港 的阻擋而較灘線後方較有受侵蝕的現象。多時期衛星影像的灘線分析 結果如圖4.14所示。在2011年至2013年間,本區段大致呈現淤積的情 況,僅後龍溪口北側、外埔漁港南側及中港溪口北側有小範圍的侵蝕 情況,整段海岸在兩年間平均往海側移動9.70m。在2013年至2019年間 僅龍鳳漁港與中港溪口間(X=12000m處)有些微侵蝕,其餘皆呈現淤積 的情況,尤以後龍溪口北側與外埔漁港北側較為明顯,整段海岸在六 年內平均往海側移動13.21m,呈現明顯淤積的情況。在近期的2019年 至2020年間則較為不同,以中港溪為分界,北側至龍鳳漁港間呈現淤 積的情況,南側則大多呈現小幅度的侵蝕。整段海岸在一年內平均後 退1.07m。在灘線長期變遷部分,2011年至2020年九年間龍鳳漁港至後 龍溪口間整體呈現淤積的情況,全段海岸平均往海側前進20.17m。



圖4.14 第一區段(龍鳳漁港南堤至後龍溪口)灘線分析

第二區段為後龍溪口至通霄漁港,本區段海岸平直,除海堤外有 南港漁港、白沙屯漁港與新埔漁港三座構造物。多時期衛星影像的灘 線分析結果如圖4.15所示。在2011年至2013年間本區段呈現全面淤積的 情況,全段海岸平均往海側前進24.11m。在2013年至2019年間則相反, 全段海岸除了通霄漁港北堤處有小範圍的淤積外,全段海岸後退 9.03m,呈現全面侵蝕的現象。在2019年至2020年間則全面呈現小幅度 的淤積,整段海岸平均往海側移動8.51m。而長期灘線變遷就2011年至 2020年九年間來看,整體呈現淤積的情況,整段海岸平均往海側移動 23.59m。

第三區段為通實漁港南側至大安溪口,本段海岸內有苑港漁港、 苑裡漁港與松柏漁港,多時期衛星影像的灘線分析結果如圖4.16所示。 在2011年至2013年間除通實漁港南側小區域侵蝕外,本區段呈現全面 淤積的情況,全段海岸平均往海側前進21.69m。在2013年至2019年間 則除了通實漁港南側與苑港漁港北側間有部分淤積外,全段海岸後退 7.02m,呈現全面侵蝕的現象。在2019年至2020年間除苑港漁港北側與 松柏漁港南側與幾處排水口部分區域呈現侵蝕,其餘則全面呈現小幅 度的淤積,整段海岸平均往海側移動6.53m。而長期灘線變遷就2011年 至2020年九年間來看,整體呈現淤積的情況,整段海岸平均往海側移 動21.19m。

第四區段為大安溪口至臺中港北堤,本段海岸內海岸結構物包含 五甲漁港,重要輸砂河口有溫寮溪及大甲溪,另有高美濕地,其中高 美濕地與河口部分由於難以定義灘線代表位置,故不以一維方向分析 其變遷情況。多時期衛星影像的灘線分析結果如圖4.17所示。在2011 年至2013年間除兩處出海口有小幅度淤積外,本區段呈現全面侵蝕的 情況,全段海岸平均後退28.24m。在2013年至2019年間北段以溫寮溪

4-18

出海口為分界呈現北淤南侵的現象,臺中港北堤北側則呈現淤積的情況,全段海岸平均往海側前進55.41m,大部分呈現淤積的現象。在2019 年至2020年間則大部分呈現淤積,整段海岸平均往海側移動28.57m。 而長期灘線變遷就2011年至2020年九年間來看,臺中港北堤北側呈現 淤積的情況,北段則以溫寮溪為界呈現北淤南侵的情況,整段海岸平 均往海側移動55.74m。



圖4.15 第二區段(後龍溪口至通霄漁港北堤)灘線分析



圖4.16 第三區段(通霄漁港至大安溪口)灘線分析



圖4.17 第四區段(大安溪口至臺中港北堤)灘線分析

綜整上述灘線分析結果,在2011年至2013年間未有任何離岸風機 設施興建前,龍鳳漁港至大安溪間的灘線變化大多呈現淤積的情況, 大安溪至臺中港間則有小幅度侵蝕,全段海岸平均往海側前進6.82m。 2013年至2019年間則僅於後龍溪至大安溪間有小幅度侵蝕,全段海岸 平均往海側前進13.14m。2019年至2020年第二期風機設施興建前後, 整段海岸往海側前進10.64m。不同時間段的分析結果顯示龍鳳漁港至 臺中港間在離岸風機設備興建前後皆呈現淤積的情況,在接近龍鳳漁 港離岸風機設施的海岸段無明顯侵蝕,期間內區域性的小幅度侵蝕, 其發生位置與離岸風機設施也無明顯關係。

4.3 以無人飛行載具(UAV)調查周邊海岸

4.3.1 選用無人機的類型及功能比較

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV),俗稱無人機,廣義 上為不需搭載飛行員於機上操控,藉由地面手動遙控,半自動或全自 動控制的飛行方式,而執行特定任務的飛行器。而無人飛行載具一詞 最早出現於1917年由斯佩瑞(Sperry)與寇蒂斯(Curtiss)合作研發的N9無 人機,初期UAV之研發及應用範圍主要為軍事用途。自2004年開始, 美國航空暨太空總署(NASA)所屬Dryden飛行研究中心(Dryden Flight Research Center, DFRC)開始積極發展民用UAV之核心技術,以降低 UAV研製成本並提升UAV安全性。NASA區分民用UAVS的相關應用為 地球科學(earth science)、土地管理(land management)及國土安全 (homeland security)等三大任務,示如圖4.18。三個主要任務下的可能應 用包括:地球科學任務的地形製圖(Topographic Mapping)、航空攝影測量 (Aerial Photogrammetry)、土地管理任務的災害監測(如野火偵測、環保 監測)及國土安全任務的防衛(如海岸緝私巡邏)。

一般UAV的形式大致可分為定翼型(Fixed-Wing)與旋翼型

(Rotary-wing)兩大類。定翼型UAV為常見的航空機型,優點為抗風能力 強且耗能小且擁有數公斤的酬載能力,可因應不同任務需求搭載全片 幅相機,同時可達兩個小時以上的飛行時間、達幾千公尺的最大飛行 高度,及可達約15公里的數位通訊資料及類比影像傳輸距離。但是需 較大場地的跑道來起降,並無法滯空停留拍攝是此機型的缺點。因此, 只適用於大範圍及長距離的越野拍攝。



資料來源:Cox 等人(2006)

圖4.18 美國民用UAV 之三大任務及相關應用單位

旋翼型UAV又分為單軸(Single Rotor Dones)及多軸(Multi Rotor Dones)UAV。單軸旋翼型以直升機為代表型,其優點為造價相較於定 翼型UAV便宜、可垂直上升及下降、不需要起降跑道並可定點停留拍 攝,但是操控不易且複雜的機械結構,所以不易保養及維修是其缺點。

圖4.19為多軸旋翼型UAV的代表機型。多軸旋翼型克服單軸旋翼型 之缺點所發展而成的機型,是現行主流的空拍機型。多軸旋翼型有多
重優點,全機除了馬達及螺旋槳外無任何可動機械元件,因此維護較為容易,可搭配地面控制系統及GPS及GLONASS雙衛星定位系統進行自動巡航、定點定高懸停及一鍵返航等功能,大幅降低操作難度並可提升定位精度。操作高度可達數百公尺,單次飛航作業時間可達15-30分鐘,可搭載全片幅相機或全景攝影模組,具有效拍攝小範圍區域之高畫質影像或360度全景照片。



資料來源:引自大疆創新官網

圖4.19 Mavic 2 Pro多軸旋翼型UAV

本工作項目主要目的為於苗栗縣竹南鎮龍鳳漁港南側海纜上岸 處,拍攝影像製成正射圖,本海岸區空曠且海風強勁,因此無人飛行 載具需具備高抗風性及高穩定度,避免於近岸區域執行空拍任務時, 受到瞬間強勁側風的干擾,使無人飛行載具定位精確並維持在相同高 度下進行拍照,同時拍照攝影設備需具備高畫質影像與廣角拍攝。

目前工作團隊採用DJI 大疆創新科技有限公司2018年發表之 MAVIC 2 PRO,外觀示如圖4.20所示,其規格如表4-3及表4-4所示。此 款為四軸旋翼型無人飛行載具DJI MAVIC 2 PRO,軸距354mm,衛星 定位模組採用GPS及GLONASS雙系統,有快速搜尋和定位,可實現穩 定的高定點懸停及自動起降,垂直懸停精度為±0.5m,水平為±1.5m, 飛控系統最大通信距離7km可遠端搖控器操控機體移動,調整相機模組 之拍照參數及拍攝方向、角度。飛行續航力單顆電池飛行時間可達31 分鐘、最長懸停時間為29分鐘,最大可承受五級風。搭載穩定雲台及 內建相機模組最大解析度約2000萬畫素及視角77度,具有自動曝光及 拍照錄影等功能。



圖4.20 採用機種Mavic 2 Pro多軸旋翼型UAV

影像感測器	CMOS 感光元件				
(Image Sensor)	尺寸約1英吋				
最大解析度	5472*3648				
(Maximum Resolution)	約 2000 萬畫素				
13.16.14.七十上	Micro SDXC 記憶卡				
彩像储仔力式	最大支援 128GB 容量				
	視角:77°				
鏡頭	等效焦距:28 mm				
	光圈:f/2.8 - f/11				
	對焦點:1m 至無窮遠(帶自動對焦)				

表 4-3 DJI MAVIC 2 PRO 相機規格表

結構	外型尺寸(mm)	233*242*84	對角線距離 (mm)	354
	智慧飛行電池 數量	1 顆	重量(含電池)	907 g
性能	最大下降速度	3 m/s	最大可承受風 速	5級風
	最大上升速度	5 m/s	最大水平飛行 速度	72 km/hr
	懸停精度	垂直:±0.5 m 水平:±1.5 m	飛行/懸停時間	31 min/29min
	穩定系統	 3 軸機械雲台 (俯仰、横 滾、平移) 	衛星定位模組	GPS 及 GLONASS 定位
遙控器	最大通信距離	7km	視訊輸出介面	HDMI、 SDI 、USB

表 4-4 多旋翼型 DJI MAVIC 2 PRO 規格表

4.3.2 航拍任務規劃及參數設定

航拍任務規劃考量的因素眾多,從無人機飛行參數設定、飛行時 的氣候條件及地理環境、搭載相機的影像解析度,航拍範圍的劃定、 設定飛航高度及速度、起飛及降落點的路線設置及地面解析度等。本 計畫之航拍任務規劃透過高精度之MOI潮位模式估算潮位、氣候條件 及風速預報、飛行高度、影像重疊率、無人機電池使用量與起降點位 置及民航法遙控無人機專章之相關規定作為航拍規劃之參考依據。

1. 高精度之 MOI 潮位模式估算潮位

本工作團隊為評估離岸風電機組海纜上岸處的地形變遷狀況,工 作團隊以高精度之MOI潮位模式估算潮位-2.5m以下並考量日照時間及 初估可作業之時長,並確保空拍任務執行過程中潮位變化差異小及能 有充分的作業時間,已初步規劃本年度研究區域可進行空拍調查的時 段如圖4.21所示,並綜整如表4-5所示。



圖4.21 MOI潮位模式估算潮位-2.5m以下之時段

作業起始時間	作業結束時間	作業時長(min)
04/08(Wed)16:50	04/08(Wed)17:50	60
05/06(Wed)16:00	05/06(Wed)16:40	40
05/07(Thu)16:10	05/07(Thu)17:50	100
05/08(Fri)16:50	05/08(Fri)17:50	60
06/04(Thu)15:30	06/04(Thu)16:20	50
06/05(Fri)15:50	06/05(Fri)17:30	100
06/06(Sat)16:30	06/06(Sat)17:50	80
07/04(Sat)16:00	07/04(Sat)17:00	60
07/05(Sun)16:40	07/05(Sun)17:50	70
07/21(Tue)17:10	07/21(Tue)17:50	40
08/19(Wed)16:40	08/19(Wed)17:50	70
09/17(Thu)16:20	09/17(Thu)17:40	80
09/18(Fri)17:00	09/18(Fri)17:50	50

表 4-5 本年度研究區域可進行空拍調查的時間段

目前市面上大多數的空拍機尚無具備防水功能,故空拍機之使用 時機仍受限於氣候條件,當發生降雨時則無法執行空拍任務;海岸區 執行空拍作業時,風速為重要之參考標標,本工作團隊空拍日期為109 年7月5日下午16時30分至17時50分,前3天會密切關注龍鳳漁港之天氣 概況及風速預測,並參考中央氣象局網站及Windguru風速預測網站如 圖4.22及圖4.23。



圖4.22 天氣概況查詢示意圖(來源:中央氣象局網站)



圖4.23 Windguru風速預測網站查詢示意圖(來源:Windguru網站)

另為考量飛行安全及空拍建模精度,若當天風速大於蒲福風級數5 級以上則不建議飛行,蒲福風級如圖4.24所示。若風速過強出現瞬間陣 風時會導致無人機水平與垂直方向出現大幅度之偏移擺盪,當空拍機 為修正回到原訂航線上時會增加耗電量,使航拍規劃出現異常現象, 另外強勁側風會使相機雲台載重增加,相機晃動過大亦會造成無法對 焦,使航拍影像模糊,降低後續建模時的解算精度。

	E	國際標準(由WMO公布)						風浪對照											
級數	a 名新	名新	名新		風	風速		名風速		名		最大	陸地情形; 海面情形						
		m/s	km/h	knot	mph	- 44	km/h	-	m		m		m		m		m		
0	無風 Calm	0 - 0.2	<1	<1	<1	無風	<2	-	-	-	靜,煙直上; 海面如鏡。								
1	軟風 Light air	0.3 - 1.5	1 - 5	1-3	1 - 3	輕	2 - 6	譈	0.1	0.1	炊煙可表示風向,風標不動; 海面有鱗狀波紋,波峰無泡沫。	44. 100							
2	4至例 Light breeze	1.6 - 3.3	6 - 11	4-6	4.7	徴	7 - 12	波	0.2	0.3	周拂面,樹誠有聲,普通風標轉動; 微波明顯,波峰光滑未破裂。	*							
3	微風 Gentle breeze	3.4 - 5.4	12 - 19	7 - 10	§ - 12	FO	13 - 19	小波	0.6	1.0	樹雞及小枝搖動, 旋旋招展; 小波,波峰開始破裂,泡沫如味,波峰偶泛 白沫。	I II							
4	和風 Moderate breeze	5.5 - 7.9	20 - 28	11 - 16	13 - 18	纀	20 - 30	小浪	1.0	1.5	應沙飛揚,紙片飛舞,小樹幹搖動; 小波漸高,波峰白沫漸多。	140							
5	清風 Fresh breeze	8.0 - 10.7	29 - 38	17 - 21	19 - 24	清勁	31 - 40	中浪	2.0	2.5	有難之小樹搖擺,內陸水面有小波; 中浪漸高,波峰泛白沫,碼起浪花。								
6	强度 Strong breeze	10.8 - 13.8	39 - 49	22 - 27	25 - 31	張	41 - 51	*	3.0	4.0	大樹枝搖動,電線呼呼有聲,舉拿困難; 大浪形成,白沫範圍增大,漸起浪花。								
7	疾風 Near gale	13.9 - 17.1	50 - 61	28 - 33	32 - 38	風	52 - 62	浪	4.0	5.5	全樹搖動,迎風步行有阻力; 海面湧突,浪花白沫沿風成條吹起。								

圖4.24 蒲福氏風級表與空拍機合適風速範圍

3. 飛行高度

飛行高度與每張照片所能拍攝到的範圍與影像之解析度有密切關 係,在相同環境下,無人機搭載相同相機進行拍照及攝影時,無人機 飛行高度與拍攝目標越接近時,所能拍攝到的實際範圍越小,其影像 解析度則較高;反之無人機的飛行高度與拍攝目標越遠時,所能拍攝 到的實際範圍則越大,但其影像之解析度則較低,故能根據現地的環 境及地景地貌且符合解析度之要求下,並遵守民航法遙控無人機專章 之相關規定,以決定最佳之飛行航高。先前服務建議書中提及航拍高度設定為120m,經查龍鳳漁港南側海灘Google Earth 108年5月之影像該處尚無增設陸上風機,如圖4.25,因龍鳳漁港南側近期於海堤邊新設立一處高度約為130米之陸上風機,另空拍任務執行當日,新竹縣政府消防局及海巡署於龍鳳漁港海灘辦理緊急救難演習,如圖4.26所示。為顧及陸上風機運作及空拍任務執行上之安全,本工作將航拍高度下修至高度60m,以提升空拍任務之安全。



圖4.25 龍鳳漁南側海灘Google Earth 108年5月之影像



圖4.26 龍鳳漁南側海灘新設立之陸上風機及緊急救難演習

4. 影像重疊率

設定飛行高度後,無人機之飛行速度與影像拍攝頻率可以計算出 影像重疊率,以確保可以得到足夠之影像以解算出較精確之建模。影 像重疊率指的是相鄰之兩張影像中拍攝到相同範圍之比例,其中又分 為前後重疊率(overlap;forward overlap)及左右重疊率(sidelap;side overlap)兩種,分別為機體飛行方向上依時序拍攝之前後兩張航拍影像 範圍之重疊比例;左右重疊率意指航拍範圍內會有多組航線,一航帶 所拍攝之航空影像範圍與其相鄰平行之航帶所拍攝之航拍影像範圍的 重疊比例,前後重疊率與左右重疊率之示意圖,如圖4.27所示。依 Gómez-Gutiérrez(2014)之建議,使用於三維影像重建之航空影像之重疊 率至少需達到66%以上,本次拍攝場址為海岸線上,沙灘及防風林佔大 部分的面積為提高解算精度,拍照重疊率設定前後重疊率(overlap ratio) 為80%,左右重疊率為70%。



圖4.27 前後重疊率與左右重疊率之示意圖(何維信,2006)

5. 無人機電池使用量及起降點位置

選定起飛及降落點之重要性在於可以根據經驗判斷現地環境的風 速及無人機飛行速度,初估電池使用量,用以評估兩顆電池進行替換 時間點,因海岸線範圍較廣,UAV需於空拍任務進行中需降落更換電 池才可以完成任務,適時地設置暫停點,使UAV來回折返更換電池所 需之距離得以大幅降低,避免消耗過多電力,提升航拍效率。

6. 人工方式補拍

拼接正射影像可能遭遇水線變化較大而有不連續的問題,已於現 場視情況調整路徑或沿水線新增拍攝路徑,以手動操控機體進行拍攝 之方式進行。

7. 民航法遥控無人機專章之相關規定

因應遙控無人機活動漸增,為明確相關管理方式,交通部及民用 航空局借鑒美國、歐盟、日本等國家立法經驗與國際民航組織規範, 考量國內環境與利害關係人意見後,融合公共安全、社會秩序、飛航 安全並兼顧產業發展,推動於「民用航空法」中增訂遙控無人機專章 及相關授權法規命令修法工作。遙控無人機專章修正草案已於107年4 月3日經立法院三讀通過、107年4月25日經總統公布。行政院已於108 年6月10日核定「民用航空法」第99條之9至第99條之19及第118條之1 至第118條之3,自109年3月31日施行。

遙控無人機管理規則之操作限制需於白天飛行且在是具範圍內進 行操作,飛行高度需低於400英呎並需隨時注意遙控無人機之飛航及其 周遭狀況,且必須遵守管理規則之操作限制;於遙控無人機飛航時不 可裝載危險物品及投擲物品,不可於人群聚集或室外集會遊行上空活 動,並不可同一操作人同一時間控制二架以上遙控無人機。本工作範 圍位於苗栗縣竹南鎮龍鳳漁港南側,經民航局遙控無人機管理資系統 系統之活動區域範圍查詢GIS,可知本工作範圍屬黃色區域,限制飛行 高度為60m內,查詢結果如圖4.28。



圖4.28 民航局遥控無人機管理資訊系統圖查詢結果

圖4.29所示為本次工作計畫中,基於以上七點之航線規劃原則,於 DJI 提供之專用航拍規劃軟體DJI GS PRO上圈繪拍攝範圍之航拍規 劃,因本研究基地維沙灘地形,為增加地面特徵點,以利航拍影像於 拼接時提升建模精度,於本基地範圍之右側及右上方將海堤之範圍納 入,亦可做為地面控制點之用途。



圖4.29 航拍規劃軟體DJI GS PRO 之航拍規劃畫面

4.3.3 地面解析度

地面解析度(Grand Sample Distance, GSD)指影像單一像元涵蓋地 面上的真實大小,即可代表空拍影像的解像能力,其單位通常為公分/ 像素(pixel)。地面解析度大者,能拍攝到地面細部情況的程度較佳,相 對來說單一影像所能涵蓋的面積範圍則較小。

地面解析度的計算乃以相似三角形對應邊長比例獲得,如圖 4.30 所示計算公式如下:

$$\frac{rp}{f} = \frac{GSD}{H}$$

其中 rp 為感光元件的最大解析度,即像元解析度(resolution pixel),f 為焦距(focal length),H 代表航高。將相機的最大解析度為 5472*3648 畫素代入,計算可得空拍機於 60 公尺下的 GSD 值為 1.4 cm/pixel。



圖4.30 計算地面解析度的示意圖

4.3.4 正射影像產製

本計畫之地形測量輔助軟體採用 Agisoft metashape,此軟體為俄羅 斯公司 Agisoft 所開發的一款自動生成高質量三維模型軟體。Agisoft metashape 可將平面影像進行重建,經自動化的工作流程建立精確之三 維模型,利用全自動空中三角計算(Automatic Aerial Triangulation)和點 雲內插處理任何無人飛行載具相機所拍攝的影像,以多張影像透過 SFM (Structure from Motion)技術來建置三維模型,並可輸出數值地 表模型(Digital Surface Model, DSM)及精確正射影像。

將UAV 拍攝的航拍影像匯入 Agisoft metashape 並建置正射影像為 例,處理過程共分4個步驟,如圖 4.31:(1)匯入空拍影像資料(包含影 像與相關姿態記錄)(2)初始階段:計算照片張數及座標位置,進行影像 數據間的特徵點匹配,建構稀疏點雲圖(3)點雲加密:點雲內插計算(4) 輸出影像:產生正射影像。



圖4.31 Agisoft metashape 流程圖

Agisoft metashape 能迅速分辨空拍影像、處理鏡頭畸變的現象及匹配特徵點,產出正射影像及地形建模,其中點雲產製過程中,對 UAV 航拍影像進行三維重建技術 SfM (Structure from Motion),藉由輸入之 空拍影像,自動判斷大量特徵點並與其他影像中的特徵點作連結與檢 核,可解算出相機拍攝位置與目標物的空間相對關係並可求得相機內 外方位參數,並推算出稀疏點雲,如圖 4.32 所示。



圖4.32 SfM 演算法之特徵點運算原理示意圖(楊, 2014)

本次工作任務拍攝高度為 60 公尺,拍攝獲取照片共計 770 張,所 產出的正射影像如圖 4.33,影像地面解析度為 1.87cm/pix。拍攝範圍涵 蓋龍鳳漁港南堤以南 1km 以上的灘線與灘地。



圖4.33 空拍後產出之正射影像

本研究收集往昔離岸風機電纜埋設之歷史照片如圖 4.34,並於本 年度於現場進行現勘(如圖 4.35),確認海纜埋設位置。在現況照片的比 較中可發現在離岸堤前的灘地並無明顯埋設痕跡,為能評估該處近岸 地形是否受到海底纜線埋設的影響,將本計畫產出的低潮位正射影像 放大如圖 4.36,圖中以紅色虛線標明 105 年海纜埋設工程的施作位置, 圖中顯示在低潮位的正射影像中灘地與灘線並未受海底纜線埋設造成 影響。



圖4.34 105年10月19日電纜埋設工程照片



圖4.35 電纜上岸處現勘照片



圖4.36 正射影像中海纜上岸處

第五章 漂沙水工模型試驗

依據離岸風電計畫辦理漂沙水工模型試驗,探討臺中港北淤沙區 改善配置後之近岸漂沙趨勢與侵淤變化情況,並模擬近程外廓堤建置 後引起的漂沙影響。

5.1 水工模型試驗

本計畫之漂沙水工模型試驗於本所港研中心之第二試驗場棚進 行,試驗項目包含預備試驗、規劃港型試驗及防治對策試驗等項,試 驗設備、試驗條件及過程,詳述如下。



圖5.1 臺中港試驗範圍配置圖

5.1.1 試驗設備

本試驗於港灣技術研究中心第二試驗場棚進行,相關設備與量測

儀器說明如下:

- 1. 試驗水池:長62m、寬57m、深1m,池內有潮汐控制系統。
- 2. 不規則造波機:本造波機係英國 HR Wallingford 公司出品之機械推移式不規則造波機及加拿大 DAVIS 公司出品之油壓推移式不規則造波機,各由四個獨立造波模組組成。利用電腦傳送數位訊號至控制器,再傳送至各造波機模組,可模擬規則波及多種波譜型態之不規則波。
- 容量型波高計及資料擷取處理系統:波高計用於量測水位變化。透過資料擷取處理系統,波高計感應之波浪條件,經 PC 分析後,選 擇及修正需要的試驗波浪。
- 4. 水準儀:用以量測模型底床高程變化。

5.1.2 試驗條件

依據本所港研中心之現場觀測資料, 擷取試驗所需部分進行分 析,相關試驗條件包含試驗水位與試驗波浪等說明如下。

1. 試驗水位

臺中港附近海域之潮位統計資料如下:

- 最高潮位(H.H.W.L.) +6.00m
- 平均高潮位(M.H.W.L.) +4.61m
- 平均潮位(M.W.L.) +2.76m
- 平均低潮位(M.L.W.L.) +0.89m

考慮現場地形之長時間性變化,及季節風波浪與颱風波浪之不同 情況,因此,試驗時,以M.H.W.L.~M.L.W.L.(即+4.61m~+0.89m)作為 季節風波浪作用時之變化水位;而以H.H.W.L.~M.W.L.(+6.00m~+2.76m) 作為颱風波浪作用之變化水位。

2. 試驗波浪

本計畫漂沙試驗過程分為預備試驗與北淤沙區改善布置方案、預 定規劃港型之後續試驗等兩大部分,預備試驗為比較往昔已有之現場 與模型試驗之地形變遷趨勢,用以尋求最佳的試驗重現時間。因此, 試驗波浪即須配合現場地形資料的選取時間;而後續試驗則為模擬未 來可能發生之情況,其試驗波浪則須以較長期之統計值作為參考資料。

(1) 預備試驗

考慮預備試驗使用之現場地形資料時間為99年~107年,而波 浪條件擬參考本所港研中心辦理之現場觀測資料。本所港研中心 於臺中港外海之波浪觀測屬長期性之資料,大至上可區分為冬季 季風期間(每年10月至翌年3月)與夏季季風期間(每年4月至翌年 9月),其中,亦於100年5月27日量測到桑達颱風及101年7月 蘇拉颱風之颱風波浪資料。以冬季季風波浪而言,波高以2.24m 以下居多,較大者達2.61m,週期則為7.1~7.5秒,波向為NNE 向。而夏季季風波浪,波高以1m以下居多,週期則為6.1~6.3秒, 波向主要為W向。另外,100年5月份之桑達颱風的波浪量測資 料:波高為2.78m、週期8.4秒、波向NNE向;101年7月份之蘇 拉颱風的波浪量測資料:波高為2.54m、週期7.2秒、波向亦為 NNE向。

綜合上述分析說明,本預備試驗擬採用之試驗波浪條件為:(1)
冬季季風波浪,波高 2.24~2.61m 搭配週期為 7.1~7.5 秒,波向為
NNE 向。(2) 夏季季風波浪,波高 0.7~1.04m 搭配週期為 6.1~6.3

秒,波向為W向。(3)颱風波浪取100年5月份桑達颱風之波高為 2.78m、週期8.4秒、波向為NNE向;101年7月份蘇拉颱風之波 高為2.54m、週期7.2秒、波向為NNE向。

(2) 後續試驗

後續試驗工作項目包含模擬未來臺中港北淤沙區改善布置方 案及興建外廓防波堤後之地形侵淤變化等,屬於未來可能發生之事 項,因此試驗波浪條件採用本所長期統計資料(參考本所港灣海氣 象觀測資料統計年報),擬定為(1)冬季季風波浪,波高 2.15m,週 期 7.5 秒,波向為 NNE 向。(2)夏季季風波浪,波高 0.87m,週期 6.5 秒,波向為 W 向。(3)颱風波浪,依表 5-1,考量模型試驗之累 積誤差,僅選 5 年重現期之颱風波浪資料(依兩種計算方式之平均 值),波向選取 NNE 向,波高為 4.19m,週期 8.54 秒。

迴歸期	5	年	10	年	25	25 年		50 年) 年
油白	波高	週期								
双内	(m)	(sec)								
NNE	4.19	8.54	4.75	9.09	5.46	9.59	5.98	10.19	6.49	10.62
Ν	4.85	9.19	5.50	9.78	6.32	11.16	6.92	10.97	7.52	11.43
NNW	5.15	9.46	5.84	10.08	6.70	11.50	7.34	11.30	7.97	11.77
NW	4.85	9.19	5.50	9.78	6.32	11.16	6.92	10.97	7.52	11.43
WNW	4.48	8.83	5.09	9.41	5.84	10.73	6.40	10.55	6.95	10.99
W	4.26	8.61	4.84	9.17	5.55	10.47	6.08	10.28	6.61	10.72
WSW	4.63	8.97	5.25	9.56	6.03	10.91	6.61	10.72	7.18	11.17
SW	5.07	9.39	5.75	10.00	6.61	11.41	7.23	11.22	7.86	11.69

表 5-1 臺中港外海颱風波浪迴歸分析統計表

摘自臺灣港務股份有限公司「台中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期工程規劃可行性研究」

5.1.3 試驗比尺

漂沙動床試驗中,試驗波浪比例尺的選擇適當與否,影響試驗結 果的正確性甚巨。由於現場漂沙運移機制影響因素甚多,因此,往昔 學者專家的研究成果亦莫衷一是,此情況如下表5-2所示。

作者	推導法則	N _T	N_H
Goddet 等人(1960)	浪與流交互作用下底 質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Valembois(1960)	懸浮質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	$\mu^{4/5}$
Yalin(1963)	因次分析	$\mu^{1/2}$	μ
Fan 等人(1969)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Noda(1972)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Kamphuis(1972)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Dalrymple and Thompson(1976)	考慮參數 Ho/ωoT 之相 似性	$\mu^{1/2}$	μ
椹木(1982)	考慮參數 u*/@0之相似 性	$\mu^{1/2}$	μ
許泰文等人(1985)	碎波帶內漂沙現象及 地形變化性質相似	$N_r^{1/2} \cdot N_{D50}^{1/6}$ • $\mu^{1/5} \cdot \lambda^{2/15}$	N_T^2

表 5-2 漂沙動床模型相似律之比較(摘自歐、許論文)

依據上述學者之結果及本所港研中心往昔從事漂沙試驗之經驗, 當從事台灣西部海岸地形變遷之水工模型試驗者,應用許泰文等人之 模式可獲致較佳之試驗結果;若屬於台灣東部地形者,則引用其他人 之結果較為妥適。因此,本試驗之波浪比尺係採用許等人之模式比尺 為

> 波高比尺, $N_H = \mu^{2/5} \lambda^{4/15} N_r N_{D50}^{1/3}$ 週期比尺, $N_T = \mu^{1/5} \lambda^{2/15} N_r^{1/2} N_{D50}^{1/6} = N_H^{1/2}$ 潮汐比尺, $N_t = \lambda / (\mu)^{1/2}$

式中 N_T :波浪週期比尺, N_H :波高比尺, μ :垂直比尺, λ :水平 比尺,r:底質比重, D_{50} :底沙之中值粒徑。

從模型相似性觀之,應儘可能採用等比模型試驗,然而面臨包含 廣大海域之海岸動床漂沙模型試驗,其水平方向與垂直方向一般無法 採用同一比尺,否則在垂直比尺方面將因比尺太小,導致模型水深太 淺與波高太小,因此必需採用平面方向與垂直方向比尺不同之歪比模 型。另外,為考量預定應用之現場範圍、試驗水池大小,及考慮應用 上列公式與造波機造波能力,本試驗之水平與垂直比尺採用如下:

水平比尺: *x*=1/300

垂直比尺: μ=1/75

5.1.4 試驗步驟

有關預備試驗及後續試驗之規劃港型、防治對策試驗等皆依循下 列之試驗步驟進行:

- 於預備試驗之模型舖設前,先行檢驗試驗波高、週期。由於各項試驗配置之造波時間長,波浪經地形反射結果,入射波高可能受影響 而改變,因此於試驗中每隔30分鐘取其2分鐘造波資料分析,以H 及T調整修正入射波高與週期。
- 4. 舖設各種試驗配置相對應之現場地形,作為模型試驗之初期地形, 如圖 5.2~5.4。
- 於模型舖設完畢後,先行造波5分鐘讓地形勻稱,再以水準儀量測
 地形變化視為造波前之初期地形(詳圖5.5~5.6),爾後再依試驗條件
 造波,並於各時段中量測地形變化情況,量測時則將試驗水池水放
 掉,避免標桿之沉陷以減低量測之誤差。
- 依各種試驗配置需求,於適當時間量測一次地形變化,予與現場地 形作一比較。



圖5.2 模型施作之場地丈量



圖5.3 模型施作之地形铺設



圖5.4 完成試驗之現場地形舖設



圖5.5 造波5分鐘讓地形勻稱



圖5.6 以水準儀量測初期地形

5.2 預備試驗

預備試驗主要係利用現場水深地形資料製作水工模型,以尋求模型與現場地形變化的重現時間,決定漂沙變化之時間比尺,提供作為後續之規劃港型、防治對策試驗時間之依據。為符合現場地形受波浪等海象條件之影響情況,試驗中應分別以冬、夏季季節風波浪與颱風波浪等試驗條件搭配方式,模擬現場波浪的作用時序,有關擬定之試驗條件、試驗原則與試驗過程,分述如下。

5.2.1 試驗條件

依據前5.1節之試驗條件與試驗比尺說明,有關預備試驗之現場與 試驗模型之各項物理量換算,如表5-3所示。

物理量	比尺	類別		現場	試驗	
水平比尺	1/300					
1 + 1 - 1	1/75	潮	季風	+4.61 ~ +0.89 m	+6.15 ~ +1.19 cm	
至且几八		位	颱風	+6.00 ~ +2.76 m	+8.00 ~ +3.68 cm	
波高	1/25.74	冬季波浪		2.24 ~ 2.61 m	8.70 ~ 10.14 cm	
		夏季波浪		0.70 ~ 1.04 m	2.72 ~ 4.04 cm	
		颱風波浪		2.54 ~ 2.78 m	9.87 ~ 10.8 cm	
		冬季波浪		7.1~7.5 秒	1.4~1.48 秒	
週期	1/5.07	夏季波浪		6.1~6.3 秒	1.2~1.24 秒	
		颱風波浪		7.2~8.4 秒	1.42~1.66 秒	
潮汐比尺	1/34.6	半日潮		12hr	20.8min	

表 5-3 預備試驗條件說明表

5.2.2 試驗原則

臺灣氣候本有四季之分,但因現場地形測量時間大多依颱風季節 前後施作,及為試驗資料比對方便,本試驗將受波浪作用而產生之地 形變化時間區隔為冬季期間(每年10月至翌年3月)與夏季期間(每年4月 至9月)。冬季期間之地形變化主要受冬季季節風波浪影響,而夏季期間 之地形則受夏季季節風波浪與可能發生之颱風波浪影響。於夏季期 間,雖然夏季季風波浪作用時間較長,而颱風波浪僅作用數日而已, 然颱風波浪對地形變化之影響卻遠大於季風波浪,因此,試驗中有必 要分別探討颱風與季風波浪對夏季期間地形變化之影響。據此,本預 備試驗之試驗步驟處理原則如下:

- 以季節風波浪(分別為夏季與冬季)試驗,比較相對之現場與模型地形 的變化情況。
- 2. 原應僅以實際發生之颱風波浪條件試驗,比較相對之夏季期間地形變化情況,惟107年蒐集之地形資料無夏季季風前後之測量資料,故先以99年11月至100年8月之地形資料,配合本所該區間之冬季季風及颱風波浪觀測資料進行試驗,比較相對期間之地形變化情況。
- 夏季季風波浪配合颱風波浪試驗,比較夏季期間地形變化情況,惟 107年無颱風影響臺中港,故單純以夏季季風波浪試驗比較夏季期間 地形變化情況。
- 4. 依據上述冬、夏季季風波浪與颱風波浪作用說明,分析比較整年地 形變化之試驗重現時間。

5.2.3 試驗配置

配合本所近年於臺中港海域之現場觀測時間,有關 107~108 年度 預備試驗蒐集之現場水深地形測量資料計有:(1)臺中港務分公司提供 之 99 年 11 月、100 年 8 月等 2 次測量資料;(2)經濟部水利署第三河 川局提供之 99 年 12 月、100 年 5 月等 2 次測量資料;(3)本所 107 年 5 月及臺中港務分公司提供之 107 年 8 月等 2 次測量資料;(4)臺中港務 分公司提供之 100 年 8 月、101 年 9 月等 2 次測量資料。有關試驗地形 範圍示意如圖 5.7 所示。

依前述預備試驗之試驗原則說明,同時配合現場量測地形與波浪 觀測資料,有關預備試驗擬定之試驗配置及順序如表 5-4 所示。

試驗配置	試驗條件	現場地形時間	備註
А	冬季季風波浪	99.12~100.05	
В	冬季季風波浪+夏 季颱風波浪	99.11~100.08	桑達颱風
С	夏季季風波浪	107.05~107.08	
D	冬、夏波浪+颱風波 浪	100.08~101.09	蘇拉颱風

表 5-4 預備試驗配置順序表

如前所述,試驗中係以每年10月至翌年3月作為冬季季風波浪之 作用期間,另以每年4月至9月為夏季季風作用期間,其間亦包含颱 風波浪作用。依據前試驗原則說明,本計畫預備試驗先分別尋求冬季 期間及颱風期間之模型試驗的重現時間。如表4.4 說明,由於現場地形 測量資料剛好為冬季季風作用之前後期間且無主要颱風侵襲,故先以 99年12月~100年5月地形資料測試冬季波浪重現間之試驗,如表中 試驗配置 A 者。

由於夏季期間之颱風作用為影響地形變化之較主要因素,因此, 夏季期間之地形重現時間試驗,先進行颱風波浪作用之試驗測試,惟 蒐集之地形資料無夏季期間前後之資料,故以99年11月~100年8月 地形資料測試冬季期間及颱風重現時間,後續再搭配夏季季風波浪試 驗,用以尋求較符合現場情況之試驗,如表中試驗配置B、C者。

依據冬、夏季之試驗重現時間結果,最後以整年之現場地形變化 情況,作為模型試驗之整年重現時間的校驗,如表中試驗配置 D。

5.2.4 試驗結果分析

依據前試驗配置說明依序進行各次之預備試驗,其中各項試驗配

置之分析結果,如下分述。

1.試驗配置A之結果

圖5.8為99年12月~100年5月間臺中港港外附近之現場地形各等深線的變化情形,圖中實線為99年12月之地形,虛線則為100年5月者。

圖5.9~圖5.12為試驗配置A於冬季季風波浪作用下,分別於試驗累 積時間4小時、6小時、8小時及10小時後之各等深線的變化比較,各圖 中實線為依99年12月現場地形舖設之試驗初期地形,虛線則是各試驗 累積時間後之地形。

本預備試驗之重現時間的獲取,主要係以試驗成果之各等深線的 變化趨勢是否符合現場地形變化,作為研判依據。其中,或許有部份 等深線無法完全符合,此實為漂沙試驗和現場實物之差異存在,故仍 以整體性之變化趨勢作為考量依據。

由圖5.9~圖5.12之試驗結果與圖5.8之現場變化比較,其中,由圖 5.11之試驗結果顯示,除-5m等深線之變化差異較大外,其餘各等深線 的變化趨勢尚能符合現場地形的變化情況。因此,由試驗配置A得知, 累積試驗時間8小時可重現冬季期間之現場地形變化。

2.試驗配置 B 之結果

由於夏季期間常有颱風侵襲臺灣地區,而較大波高與較長時間週 期之颱風波浪為臺灣海岸地形變遷的主要影響因素,因此,先辦理純 由颱風波浪作用之試驗,用以觀察颱風波浪之影響性。惟當初蒐集之 地形資料無夏季期間前後之資料,故以99年11月~100年8月地形資料測 試冬季期間及夏季颱風之重現時間,圖5.13為99年11月~100年8月之現 場冬季期間及夏季颱風地形變化圖,圖5.14~圖5.17則為試驗配置B之冬 季季風作用8小時後,颱風波浪作用10、20、30、40分鐘後之試驗結果, 各圖中之虛、實線表示與前者相同。

比較圖5.14~圖5.17之試驗結果與圖5.13現場地形變化情況,圖5.16 之累積颱風波浪30分鐘後之試驗結果的整體性變化趨勢較其他試驗時 間者為佳。圖5.16中,雖然+2、0、-2、-5等深線較能符合現場地形變 化情況,而-10與-15等深線的差異仍大,但整體侵淤趨勢多和圖5.13符 合。

雖然颱風波浪對地形影響較大,但其影響時間僅幾日而已,因此, 仍有必要考量夏季季風波浪的作用時間。

3.試驗配置C之結果

圖5.18為107年5月~107年8月間臺中港港外附近之現場地形各等深線的變化情形,圖中實線為107年5月之地形,虛線則為107年8月者。

圖5.19~圖5.20為試驗配置A於夏季季風波浪作用下,分別於試驗累 積時間3小時、6小時後之各等深線的變化比較,各圖中實線為依107年 5月現場地形铺設之試驗初期地形,虛線則是各試驗累積時間後之地 形。

本預備試驗之重現時間的獲取,主要係以試驗成果之各等深線的 變化趨勢是否符合現場地形變化,作為研判依據。其中,或許有部份 等深線無法完全符合,此實為漂沙試驗和現場實物之差異存在,故仍 以整體性之變化趨勢作為考量依據。

由圖5.19~圖5.20之試驗結果與圖5.18之現場變化比較,其中,由圖 5.20之試驗結果顯示,除0m等深線之部分位置變化趨勢不同外,其餘 各等深線的變化趨勢尚能符合現場地形的變化情況。因此,由試驗配

置A得知,累積試驗時間6小時可重現夏季期間之現場地形變化。

4.試驗配置 D 之結果

應用求出之冬、夏季期間之現場地形重現時間的試驗結果,下列 擬進行有關整年期間地形變化的試驗校驗工作。圖5.21為試驗配置B之 臺中港港外100年8月至101年9月一年的地形變化情況,配合現場初期 地形情況,試驗先以冬季季風波浪作用,後再以夏季季風波浪作用, 完成一年之試驗地形檢核工作,相關試驗結果如圖5.22與圖5.23所示。 由圖5.23之最後結果顯示,除-10m等深線有少許差異外,就整體等深線 變化趨勢而言,尚能符合現場一年的地形變化情況。

綜合上述試驗配置A~D之試驗結果,本預備試驗以冬季季風波浪 作用8小時,再以夏季季風波浪3小時、颱風波浪30分鐘、夏季季風波 浪3小時的夏季波浪作用情況,其試驗結果可重現現場一年時間的地形 變化。



圖5.7 預備試驗地形舖設範圍示意圖



圖5.8 99年12月至100年5月之現場地形變化圖



圖5.9 試驗配置A,試驗4小時後地形變化比較圖



圖5.10 試驗配置A,試驗6小時後地形變化比較圖



圖5.11 試驗配置A,試驗8小時後地形變化比較圖



圖5.12 試驗配置A,試驗10小時後地形變化比較圖



圖5.13 99年11月至100年8月之現場地形變化圖



圖5.14試驗配置B,冬季季風8小時及颱風10分鐘後地形變化比較圖



圖5.15試驗配置B,冬季季風8小時及颱風20分鐘後地形變化比較圖


圖5.16試驗配置B,冬季季風8小時及颱風30分鐘後地形變化比較圖



圖5.17試驗配置B,冬季季風8小時及颱風40分鐘後地形變化比較圖



圖5.18 107年5月至107年8月之現場地形變化圖



圖5.19 試驗配置C,試驗3小時後地形變化比較圖



圖5.20 試驗配置C,試驗6小時後地形變化比較圖



圖5.21 100年8月至101年9月之現場地形變化圖



圖5.22 試驗配置D,冬季波浪作用後地形變化比較圖



圖5.23 試驗配置D,冬、夏季波浪作用後地形變化比較圖

5.3 未來臺中港近岸水深地形模擬

應用預備試驗所獲得冬、夏季期間之地形重現時間的試驗結果, 依上述試驗條件,辦理模擬未來1年及3年之地形變化比較。由於現場 初期地形資料為108年5月,因此,試驗波浪即以夏季波浪作為開始, 後再以冬季波浪作用後,量測試驗地形的變化情況,作為試驗1年的比 較資料。為避免試驗地形之累積誤差,本項試驗僅進行相當現場地形 變化3年之試驗時間。本次試驗後之地形採以雷射掃瞄方式施測,並將 測量結果進行地形侵淤分析。

5.3.1 試驗條件與佈置

本次試驗目的為預定未來發生之情況,故試驗地形參照108年5月 臺中港港外水深地形測量資料進行鋪設;試驗波浪則須以較長期之統 計值作為參考資料,其中水位和前預備試驗相同,冬季及夏季季風波 浪為參考本所出版之港灣海氣象觀測資料統計年報(臺中港域觀測海氣 象資料),另颱風波浪資料則參考表5-5臺中港外海颱風波浪5年迴歸分 析統計表,取最常發生之波向NNE之值,有關本次試驗之現場與試驗 模型之各項物理量換算,如表5-6所示。

迴歸期	5	年	10	年	25	年	50	年	100)年
波向	波高 (m)	週期 (sec)								
NNE	4.19	8.54	4.75	9.09	5.46	9.59	5.98	10.19	6.49	10.62
N	4.85	9.19	5.50	9.78	6.32	11.16	6.92	10.97	7.52	11.43
NNW	5.15	9.46	5.84	10.08	6.70	11.50	7.34	11.30	7.97	11.77
NW	4.85	9.19	5.50	9.78	6.32	11.16	6.92	10.97	7.52	11.43
WNW	4.48	8.83	5.09	9.41	5.84	10.73	6.40	10.55	6.95	10.99
W	4.26	8.61	4.84	9.17	5.55	10.47	6.08	10.28	6.61	10.72
WSW	4.63	8.97	5.25	9.56	6.03	10.91	6.61	10.72	7.18	11.17
SW	5.07	9.39	5.75	10.00	6.61	11.41	7.23	11.22	7.86	11.69

表 5-5 臺中港外海颱風波浪 5 年迴歸分析統計表

⁵⁻²⁵

物理量	比尺	類別		現場	試驗
水平比尺	1/300				
赤古山口	1/75	潮	季風	+4.61 ~ +0.89 m	+6.15 ~ +1.19 cm
並且に八	1//3	位	颱風	+6.00 ~ +2.76 m	+8.00 ~ +3.68 cm
		冬季	波浪	2.15 m	8.35 cm
波高	1/25.74	夏季波浪		0.87 m	3.38 cm
		颱風波浪		4.19 m	16.28 cm
		冬季	波浪	7.5 秒	1.48 秒
週期	1/5.07	夏季波浪		6.5 秒	1.28 秒
		颱風波浪		8.5 秒	1.68 秒
潮汐比尺	1/34.6	半日	日潮	12hr	20.8min

表 5-6 臺中港近岸水深地形模擬試驗條件說明表

5.3.2 未來1年及3年之試驗模擬結果

本文繪製模擬1年及3年後之地形變化侵淤比較圖,如圖5.24~圖 5.25所示,數值網格大小採用0.1m進行繪製,其中藍色為淤積(正值), 紅色為侵蝕(負值)。



圖5.24 模擬1年後之地形變化侵淤比較圖



圖5.25 模擬3年後之地形變化侵淤比較圖

由圖5.24~圖5.25可知模擬結果整區皆呈現侵淤互現,於臺中港北防波堤以北至北防沙堤北側,高程-0.23m以淺的近岸地形變化皆較大,而北防波堤以南至石化專區北側,高程-0.24m以淺的近岸地形變化皆較小。

5.4 臺中港北淤沙區配置方案試驗

本項試驗為阻擋臺中港由北向南漂移之沙源,參考臺灣港務股份 有限公司臺中港務分公司108年度「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四 期規劃可行性研究」所提之2種改善佈置方案以辦理模型試驗,並分析 研判未來臺中港鄰近海域可能漂沙趨勢,作為後續防治對策方案的參 考依據,相關試驗條件、試驗原則與試驗過程,分述如下。

5.4.1 試驗條件與佈置

本小節模擬之北淤沙區改善配置方案為未來可能實施之工作,因此,相關試驗條件依據前5.3.1節之試驗條件說明進行,臺中港北淤沙區相關改善配置方案如圖5.26所示。



圖5.26 方案A、B改善佈置圖

5.4.2 A、B 配置方案之試驗模擬結果

應用預備試驗所獲得冬、夏季期間之地形重現時間的試驗結果, 依表 5-6 未來臺中港近岸水深地形模擬之試驗條件,辦理臺中港北淤沙 區各改善配置方案之試驗地形變化比較。本次試驗依據 108 年 5 月之 臺中港水深地形測量資料鋪設初始地形,以夏季波浪作為開始,接續 以冬季波浪作用後,量測A、B 配置試驗地形的變化情況,作為A、B 配置方案試驗一年後之資料,後續持續進行波浪作用三年,再量測試驗地形的變化。

為瞭解臺中港近岸海域地形試驗模擬情形,故將試驗範圍區分三 個區塊以利後續土方量計算,相關分區如圖 5.27 所示。圖 5.28 及圖 5.29 為A 配置模擬一年、三年後之地形侵淤變化比較圖,由表 5-7~5-8 土 方量分區計算顯示臺中港北淤沙區延伸既有之突堤,雖可阻擋部分沙 源,但仍有沙源繞過北防波堤向南漂移造成淤積現象;圖 5.31 及圖 5.32 為 B 配置模擬一年、三年後之地形侵淤變化比較圖,由圖顯示北防波 堤以北多為淤積情形,以南則侵淤互現情況,表 5-10~5-11 土方量分 區計算顯示,B 配置於北淤沙區新建置之突堤可阻擋多數沙源防止其 向南漂移。



圖5.27 水工模型試驗地形侵淤變化計算範圍



圖5.28 A配置模擬1年後之地形變化侵淤比較圖



圖5.29 A配置模擬3年後之地形變化侵淤比較圖



圖5.30 A配置模擬1年及3年之地形變化侵淤比較圖

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	159.21	-114.57	44.64
2	189.63	-186.66	2.97
3	182.25	-171.54	10.71

表 5-7 A 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較表

表 5-8 A 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	327.24	-104.67	222.57
2	377.37	-227.16	150.21
3	280.53	-209.88	70.65

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	346.23	-174.87	171.36
2	346.50	-203.67	142.83
3	212.49	-162.36	50.13

表 5-9 A 配置模擬 1 年及 3 年之地形變化侵淤比較表



圖5.31 B配置模擬1年後之地形變化侵淤比較圖



圖5.32 B配置模擬3年後之地形變化侵淤比較圖



圖5.33 B配置模擬1年及3年之地形變化侵淤比較圖

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	171.63	-141.93	29.70
2	119.07	-344.43	-225.36
3	118.71	-290.70	-171.99

表 5-10 B 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較表

表 5-11 B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	526.14	-195.30	330.84
2	222.84	-309.78	-86.94
3	234.18	-280.98	-46.80

表 5-12 B 配置模擬 1 年及 3 年之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	444.33	-159.84	284.49
2	282.78	-150.03	132.75
3	243.27	-121.59	121.68

將A、B兩配置模擬結果進行比較,由圖 5.34 及圖 5.35 顯示多數 沙受 B 方案新建突堤阻擋淤積於此處,而北防波堤以南部分區域呈現 侵淤互現情形,且土方量計算表 5-13~5-14 除第一區呈現淤積外,其 餘兩區多為侵蝕情形,由此可推估 B 方案相較 A 方案可阻擋多數沙防 止其向南漂移。



圖5.34 A、B配置模擬1年後之地形變化侵淤比較圖



圖5.35 A、B配置模擬3年後之地形變化侵淤比較圖

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	310.14	-270.72	39.42
2	287.64	-362.97	-75.33
3	132.84	-284.94	-152.10

表 5-13 A、B 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較表

表 5-14 A、B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	307.53	-268.65	38.88
2	259.56	-348.57	-89.01
3	171.36	-264.33	-92.97

5.5 臺中港近程外廓堤增建模擬試驗

配合綠能政策,台灣電力股份有限公司與台灣中油公司均積極推 動臺中港LNG接收站建置與擴建作業,若欲於港外興建LNG碼頭,則 需搭配外廓堤,方可提供港外靜穩水域,惟外廓堤建置後對臺中港區 外地形侵淤變化影響值得評估,其中遠期外廓堤非短期可完成,而近 程外廓堤為近年推動之目標。本計畫將針對近程外廓堤增建進行水工 模型試驗,模擬臺中港鄰近海域的漂沙變化。

5.5.1 試驗條件與佈置

近程外廓堤增建為未來可能實施之工作,因此,相關試驗條件依 據前5.3.1節之試驗條件說明進行,近程外廓堤增建配置如圖5.36所示。



圖5.36 近程外廓堤增建配置示意圖

5.5.2 近程外廓堤增建之試驗模擬結果

本試驗仍依據108年5月之臺中港水深地形測量資料鋪設初始地 形,搭配近程外廓堤增建配置,同樣以夏季波浪作為開始,接續以冬 季波浪作用後,量測波浪作用一年及三年之地形變化情況。

圖5.37為模擬近程外廓堤增建後,波浪作用1年之臺中港近岸海域 地形變化情形,由圖可知北防波堤以北堤頭及以南航道附近呈現淤積 情形,而南防坡堤以南則為侵淤互現情況;圖5.38則為波浪作用3年之 地形變化情形,於北方波堤以南航道結構物附近呈現淤積情形,其餘 區域則為侵淤互現情況。另波浪作用1年及3年後之地形變化中,新迴 船池航道多呈現淤積情形,僅部分區域小幅度侵蝕情況。



圖5.37 近程外廓堤增建-波浪作用1年地形侵淤變化圖



圖5.38 近程外廓堤增建-波浪作用3年地形侵淤變化圖

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	226.89	-86.22	140.67
2	334.53	-210.06	124.47
3	171.81	-126.36	45.45

表 5-15 近程外廓堤增建-波浪作用 1 年土方量侵淤變化表

表 5-16 近程外廓堤增建-波浪作用 3 年土方量侵淤變化表

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	349.38	-112.05	237.33
2	407.88	-345.51	62.37
3	141.39	-190.44	-49.05

5.6 三維雷射掃描儀應用於試驗地形量測

以往試驗地形測量皆採水準測量,測量過程耗時且耗人力,本計 畫嘗試以三維雷射掃描儀應用於試驗地形量測,並將測量資料和水準 測量結果進行比對,相關作業方法、精度分述如下。

5.6.1 作業方法及步驟

 地面三維雷射掃描儀又稱地面光達(terrestrial lidar),或稱三維影像 掃描儀(3D image scanner)由於可藉由細緻掃描將現場實體物精密紀 錄三維數據,依獲取之高密度數據數據便可還原現場實景可稱為逆 向工程儀,掃描儀是由伺服馬達驅儀器本體作水平與垂直旋轉,設 定參數控制雷射光掃描方向,由儀器本體或透過 Wi-Fi 技術同步傳 輸至電腦記錄水平及垂直掃描數據,相當是一部自動高密度觀測之 全測站式電子經緯儀。

- 2. 地面光達掃瞄儀,可迅速測得現地即時的 3D 環場資料,宛若一部 立體的彩色影印機一樣,可以快速而完整地將建築物現場以雷射點 雲的方式數位保存在電腦中,保留所有物件的尺寸、位置、坐標、 方向等幾何關係,並可產生 CAD 圖檔或進行物件模型化。
- 作業方式為使用地面光達掃瞄儀進行結構物掃瞄作業,取得結構物
 三維點雲資料,經過內業處理套疊、清除雜訊後,可以獲得相關之
 三維點雲數位模型,並由模型上量得精確之相關尺寸,以製作三維
 建物模型。
- 4. 本計畫採用 RIEGL VZ2000i 多波段三維雷射掃描儀(儀器規格詳表 4.16),本機水平轉動角度為360度,垂直轉動角度為100度,測距 可達2,500m,掃描頻率最高可達120萬點/秒,具有自動拼接功能, 三維雷射掃描儀可將整個測區進行高密度掃描;並在測站與測站之 間自動計算形成共軛面,將不同測站所收集到的點雲資料加以套 合、分析,並將不同角度之掃描結果連接,以便獲得更詳盡之地貌 狀況。
- 在掃瞄工作完成後,配合專用的後續處理軟體,利用中值(Median)
 法來濾除雜訊以達到平滑化,過濾植被並清除地上物後,參考控制點的坐標進行坐標轉換,即可得到地物的絕對坐標值。
- 6. 雷射掃瞄儀的掃瞄原理為計算飛行時間法(Time-of-flight),即利用計算雷射撞擊待測點反射回感應器之往返飛行時間求得掃瞄頭至待測點之距離觀測量,據此計算待測點之坐標位置,此法與傳統的測量儀器之測距儀有相同之原理。



圖5.39 計算飛行時間法

- 7. 掃瞄成果提供真實色彩、灰階及反射訊號強度三種點雲資料成果。
- 8.3D 雷射掃瞄作業步驟說明如下:
 - (一)規劃掃瞄測站位置,以達到最大通視及最大掃瞄範圍為主,減 少設站數目,並方便後續測量之擺站位置。若於車輛可到達之 處,則以行動掃瞄測量車以油壓桿將掃瞄儀昇高,以獲得最佳 視角及通視情況。
 - (二)各站之間放置三個以上的共軛掃瞄 Targe,擺設以前後左右上 下均勻分布,且須前後站均能看到為原則。掃瞄 Target 擺設位 置須至少一次。
 - (三)儀器架設需定心、定平,掃瞄完場景及 Target 後,轉站並重複上述步驟至掃瞄完畢。
 - (四)三維掃瞄獲得點雲資料後,經過內業處理套疊、清除雜訊後, 可以獲得相關之三維點雲數位模型、相關尺寸的獲取及數位模 型資料。



表 5-17 地面光達掃描儀 RIEGL VZ2000i 儀器規格表

圖 5.40 地面 3D 雷射掃瞄外業工作流程圖



圖5.41 3D雷射掃瞄資料處理流程圖

5.6.2 試驗地形現況量測作業程序

地面三維雷射掃描儀進行地形量測作業必須經由下依程序獲取掃 描成果:

- 控制測量:控制測量的目的是提供測區高精度之地理坐標資料,供 地面雷射掃描儀測量反射覘標轉換空間坐標。
 - (一)傳統平面控制法(本計畫使用方法):本法適用於建築群或隧道 等處,通常是於對空良好空曠處,先以GPS靜態測量測定二 組可通視之點對共四點,作為控制基準,再以全測站式電子 經緯儀以導線法進行由起始點對開始測量,閉合於終點點 對,控制測量成果供地面雷射掃描儀架設反射覘標用以轉換 空間座標。
 - (二) 掃描儀軸心定位法:本法適用於野外空曠處,是於掃描儀頂端安裝菱鏡或衛星定位儀,再利用經緯儀或衛星定位儀以 RTK 定位方式求取掃描站坐標,作為多站結合後轉換依據。
 - (三) 全測站經緯儀臨時控制點及 UAV 輔助標測量計算:本計畫控制點座標成果是以全測站經緯儀配合光線法計算座標搭配電子水準儀獲取高程成果。



圖5.42 水工模型控制點測量情形

11月1日	I ft	碼 角	度導	線觀	則手簿 計算	設定 🚮 🤉	系統設定 文	(字編輯	視窗						
4 4		4 1	× 測	量日期	期 2019/5/22	檔名	2019/5/22下	午 03:2	2:3 操作者		儀器代號	Trimble(Geodimeter)		
4 4		4		×	┍ 尺度比	1.000000	0 尺度	比重算	L						
後視	A				縦坐標		9,999.6	45	橫坐標	4,	983.346	高程	0.	.441	
测版片	В				縱坐禮		m	構业標	5		高程	0.084			
(44)114		0	mm		省古社角	268.46-4	14 反省	91192	16.658	,. □肖曲	mitte	法期宣	1	495	
192,176)	H3			D.		200140 4	1 <u>1</u> X#		10.000		2014 D	目为有有「可」			
		1 4		×	C EEE	éNot:	TRAK +V		本/向 / 47年		BRAD	æ	122 12 12	古和	ますとし
沢川県	54 	4兒作茶	水平	"用	生旦円	料理	平距でん	,	里品来们飞如岛	土炭地粮	部に生まれ	₩	有空谷茶	尚怪	非急水中
A	-	1.310	222		89.2425	16.659	10.058	1			9,9	99.645	4,983.346	0.441	
Al A	2	0.001	333.	1447	90.2700	9 075	7.820				9,9	02.201	4,900.551	2 047	
A.	2	0.001	124	2259	97 3444	32 091	7,958				9,9	95.524	5,004.551	2.947	
A.	1	0.001	02	3638	07.0444	58 479	58 478				10,0	58 461	5,017.555	1 200	
C		1.310	110	2741	89.4529	51 304	51.304				10,0	45 197	5 024 275	0486	
Bl	4	1.310	124	3000	90,3039	21.281	21,280				10,0	17.790	5 011 677	0.079	
BI	3	1.310	127	2143	90.3816	17.393	17.392				100	14.045	5.010.257	0.075	
BI	2	1.310	120.	2324	90.4240	15.624	15.623				10.0	13.642	5.007.614	0.075	
B1	1	1.310	125.	4215	90.4305	15.202	15.201				10,0	12.530	5,008.606	0.079	P
Bl	0	1.310	129	.01 <i>6</i> 0	90.5332	12.311	12.310				10,0	09.725	5,007.547	0.077	
BO	9	1.310	125.	3759	90.5817	11.084	11.082				10,0	09.143	5,006.263	0.081	
BO	8	1.310	133.	5549	92.5715	9.018	9.006				10,0	06.618	5,006.109	-0.196	
BO	6	1.310	136.	2306	91.4202	6.332	6.329				10,0	04.463	5,004.488	0.081	
B0.	5	1.310	148.	1933	92.1929	4.559	4.555				10,0	02.474	5,003.825	0.084	\square
BO	4	1.310	142.	2215	93.1823	3.209	3.204				10,0	02.010	5,002.495	0.084	
BO	2	1.310	99	5521	96.0040	1.822	1.812				10,0	01.791	5,000.274	0.078	\square
BO	1	1.310	327.	1319	97.3432	1.439	1.426				9,9	99.202	4,998.817	0.079	\checkmark
B0	3	1.310	238.	5914	95.0543	2.051	2.043				9,9	98.272	5,001.090	0.087	\square
B1	8	1.310	121.	2838	90.2331	27.162	27.161				10,0	23.461	5,013.686	0.083	\square
BO	7	1.310	115.	.0947	90.5829	10.604	10.602				10,0	09.690	5,004.303	0.089	\checkmark
B1.	5	1.310	113.	4558	90.2652	23.690	23.689				10,0	21.879	5,009.083	0.084	\leq
B1	7	1.310	114.	4027	90.2450	27.075	27.074				10,0	24.838	5,010.775	0.073	\checkmark
Bl	6	1.310	101.	.0428	90.2429	25.597	25.596				10,0	25.219	5,004.380	0.087	\checkmark
B2	0	1.310	83.	.0652	89.5552	27.916	27.916				10,0	27.637	4,996.063	0.303	\leq
B1	9	1.310	116	.5547	90.1745	33.969	33.969				10,0	60.606	5,014.735	0.094	
B2	1	0.115	20.	4058	94.3927	14.406	14.358				10.0	04.784	4,986.462	0.294	~

圖5.43 水工模型控制點高程及座標成果





點名	縱坐標	横坐標	高程
А	9999.645	4983.346	0.441
В	10000.000	5000.000	0.084
С	10045.197	5024.275	0.486
A1	9982.351	4966.551	1.281
A2	9993.324	5004.331	2.947
A3	10026.832	5017.533	2.933
A4	10058.461	5001.418	1.290
B01	9999.202	4998.817	0.079
B02	10001.791	5000.274	0.078
B03	9998.272	5001.090	0.087
B04	10002.010	5002.495	0.084
B05	10002.474	5003.825	0.084
B06	10004.463	5004.488	0.081
B07	10009.690	5004.303	0.089
B08	10006.618	5006.109	-0.196
B09	10009.143	5006.263	0.081
B10	10009.725	5007.547	0.077
B11	10012.530	5008.606	0.079
B12	10013.642	5007.614	0.075
B13	10014.045	5010.257	0.075
B14	10017.790	5011.677	0.079
B15	10021.879	5009.083	0.084
B16	10025.219	5004.380	0.087
B17	10024.838	5010.775	0.073
B18	10023.461	5013.686	0.083
B19	10030.606	5014.735	0.094
B20	10027.637	4996.063	0.303
B21	10004.784	4986.462	0.294

表 5-18 水工模型控制點坐標成果表

- 地面掃描與多站結合:於測區架設三維雷射掃描儀將整個測區進行 高密度掃描,掃描站之架設以能盡量目視測區無阻礙遮蔽之地理位 置為佳,並採多站掃描方式避免同向方位陰影過多,掃描站各站結 合方式採覘標結合法與地物特徵(共軛三角)結合法。
 - (一) 覘標結合法(本計畫使用方法):掃描同時於相鄰兩站架設4組以上控制覘標,並於相鄰站對此覘標進行細緻掃描,利用相鄰 控制覘標之幾何對應關係進行結合。

(二) 地物特徵結合法:掃描完成後將各測站所收集到的點雲資料 加以計算求出可利用之共軛三角中心,再將相鄰站資料加以比 對向量關係進行匹配完成多站結合。



圖5.45 3D 雷射掃瞄作業情況



圖5.46 利用覘標結合法將不同掃描站加以結合並控制結合精度 優於5mm



圖5.47 掃描站結合影像

3. 點雲資料過濾分析:掃瞄外業完成後將不同測站所收集到的點雲資料結合完成後,利用多重回波(Full Waveform)的特性,過濾地表植被及隆起物體求取原地面高程點,以便獲得更詳盡之地貌狀況,特別是野外陡峭山壁利用此項技術省去砍伐林木及除草作業,兼具環保安全及便利性。



圖5.48 點雲資料過濾分析









圖5.49 三維雷射掃瞄彩色點雲成果

 轉出 DEM 成果:當過濾地表程序完成求取原地面點成果後,輸入 各覘標之地理坐標值藉由此坐標值轉換矩陣,完成坐標對位與轉換 工作轉出 DEM 成果繪製地形圖。 (一)系統轉換:輸入現場水工模型控制點座標,將成果資料附合並藉由已知固定座標轉換成果。

🚯 RISCAN PRO 64 bit v2.5			1.0.11.1				-			-							- <u>a</u> ×
nopect calt view heppindist hep	2 Cont View trepoints	Activate tiepoints To	ol Registratio	n window i	ieip r							📲 🦛					- 🦪
Project manager Readout (GLCS)	TPL GLCS						TPL PRCS								83	Object inspector	
Project1		TAR XX	6 0	27 E		Conditional Proceedings Proceedings	2 3 mi		x (6x - A -	27 E	Contract of Contract of Contract				Active view: <none></none>		
COLLECTIONS COLLECTIONS SCANS VIEWS	A Name ⊘A ⊘A1	Ref RefiType	Size 0.00 498 0.00 496	X Y 3	Z 0.441 1.281	Height 0.075 0.000	Corresponding tiep Standard deviatio	oints: n (m): 0.0	7 Avg. radial deviati Avg. theta deviati Avg. phi deviation	ion [m]: ion [m]: i [m]:	-0.0003					Project coordinate system	
20190631-10cm 0605 20190613 0613 1080920	 ☑ A3 ☑ A4 ☑ B ☑ B10 	1 1 1 0	0.00 500 0.00 500 0.00 500 0.00 500	4 3333 7 1002. 1 1005. 0 1000. 4 1002.	2.947 2.933 1.290 0.084 0.087	0.000 0.000 0.000 0.200 • Find corresponding points	A Al	A A1	Ref Reflype 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0.00 0.00 0.00 0.00	x -2.530 -26.278 4.030 39.163	-1.078 3.098 -21.993 -14.081	-1.628 -0.873 0.795 0.801	Height 0.000 0.000 0.000 0.000			
- DEJECTS - TPL (PRCS) - TPL (PRCS) - POP - TPL (GLCS) - R TPL (GLCS)	Ø817 Ø819 ØC	0 0 1	0.00 501	0 1002. 4 1003. 4 1004.	0.073 0.094 0.486	Settinga Results STATUS State of calculation:	Running		1 1 1 1	0.00 0.00 0.00 0.00	56.274 -4.790 7.123 58.146	17.017 -1.461 -14.653 -9.342	-0.822 -1.694 -1.867 -1.558	0.000 0.000 0.000 0.000	r r r		
						Standard deviation of reside M A TR 1X SOF: 0.561872092 0-827224 0.022724129 0-368272 0.00000000 0-000000 0-00000000 0-000000 Cancel Previous solution	0.0025 0.000119999408 122 0.000119999408 129 0.0006414510002 0.09999788 2 00 0.00000000 1	連接 306-75650 144257299 00000000 kutore: 1 of 1	精度的	憂方	冬 5	im	m			Properties:	-14
//// • ♥ • # • ≡1 ≡! ≣																	
Preview 😨						Ok	Cancel	Help									
	Units: (deg) [m]	10 tiepaints, 0 selected.	Global coordin	ate system			Units: [deg] (m) 8 ti	epoints, 0 selecto	ed. Project coordinat	e system					•	Units: (m] [deg]	
Message lat - Thread lat - Info																	
 GeoSysManager: Failed to open [5276] Calculate StdDev of 8 tiepo [5276] Calculate StdDev of 8 tiepo [5276] Calculate StdDev of 8 tiepo [2328] Find corresponding points 	database file for read oint(s) - Started oint(s) - Finished! - Started	ling.				 (5276) Calculate StdDe (2328) Pind correspond * 	r of 8 tepoint(s) ng points: running			10	10	tie pointe					
📀 ⋵ 🗎 O	O	328) Find corresponding (me: 2019-10-23 16:28:22	ooints - Started														下午 04:28 2019/10/23

圖5.50 座標輸入計算軟體進行系統轉換

(二) 坐標輸出:將轉換完成之點雲資料輸出成原始光達點雲資料、2cm 間距之 DEM 成果。

	地現(13) [2	2-3-4809			# 58 (Y 19 85) 99 #	171 31 1111	121 3月1日11日1日1日1日	₩ 建八叉子值(L3V)			
測區名稱	^	節	示	點谎	6	能坐標		橫坐標	高程	連線編碼	地類碼
20190521-10cm	1	•	2	0		9,99	6.396	5,003.844	0.098		
20190530-10cm	2			1		9,99	6.450	5,003.866	0.086		
20190605-10cm	3		~	2		9,99	6.441	5,003.769	0.084		
20190613-10cm	4		2	3		9,99	6.468	5,003.710	0.086		
20190617-10cm	5		~	4		9,99	6.522	5,003.626	0.085		
20190617堤防底地形	6		2	5		9,99	6.485	5,003.841	0.080		
模型堤防線	7		2	6		9,99	6.569	5,003.751	0.079		
	8		2	7		9,99	6.546	5,003.908	0.081		
	9		2	8		9,99	6.644	5,003.817	0.063		
	10		Z	9		9,99	6.570	5,003.660	0.071		
	11		2	10		9,99	6.685	5,003.258	0.159		
	12		7	11		9,99	6.734	5,003.173	0.173		
	13		~	12		9,99	6.715	5,003.258	0.163		
	14		2	13		9,99	6.757	5,003.207	0.166		
	15		~	14		9,99	7.302	5,002.859	-0.159		
	16		2	15		9,99	7.331	5,002.795	-0.162		
	17		2	16		9,99	7.369	5,002.677	-0.169		
	18		2	17		9,99	6.876	5,002.810	0.145		
	19		2	18		9,99	6.917	5,002.733	0.133		
	20		2	19		9,99	6.931	5,002.721	0.153		
	21		2	20		9,99	6.965	5,002.644	0.125		
	22		2	21		9,99	6.997	5,002.576	0.116		
	23		7	22		9,99	7.028	5,002.478	0.109		
	24		7	23		9,99	6.780	5,003.081	0.163		
	25		7	24		9,99	6.819	5,003.021	0.147		
	26		2	25		9,99	6.818	5,003.016	0.162		
	27		2	26		9,99	6.822	5,003.143	0.158		
	28		2	27		9,99	6.873	5,003.044	0.156		
	29		2	28		9,99	6.888	5,002.904	0.147		
	30		Z	29		9,99	6.864	5,002.926	0.163		
	31		2	30		9,99	6.913	5,002.856	0.140		
	32		2	31		9,99	6.868	5,002.865	0.158		
	- 33		2	32		9,99	6.946	5,002.982	0.144		
	34		~	33		9,99	6.914	5,002.978	0.157		
	35		2	34		9,99	6.986	5,002.903	0.125		
	36		2	35		9,99	7.068	5,003.165	0.111		
	v 37		2	36		9,99	7.007	5,003.008	0.130		

圖5.51 成果輸出文字檔示意圖

(三)地形圖轉換:將測量成果轉換成圖面 AutoCAD 並及繪製 2cm 等高線間距之地形圖。



圖5.52 現場控制點展點並套繪固定結構物



圖5.53 展繪實測高程點



圖5.54 依實測高程點組成不規則三角網格並繪製等高線

(四)完成數值地形圖:結合上述高程點、等高線、結構物及控制點後, 即可產製本次測量成果地形圖。



圖 5.55 數值地形圖成果展示

5. 傳統地形測量僅以單調的線繪製平面地形圖,測量成果利用者對其施工區域土地與結構物之空間位置關係較難連結。藉由 3D 雷射掃描技術測量可獲得高密度及高精度三維空間資訊,使傳統平面圖立體化,達到多功能使用之目的。

5.6.3 精度檢核

本年度水工模型試驗地形測量採用地面光達掃描方式時,同時將 其成果與經緯儀施測方式進行比對,其高程差異結果皆符合 5mm 之精 度差異規範,可證明地面光達方式可取代傳統施測方式,且可取得更 高解析度及整體完整資訊之地形資料。

第六章 數值模式分析與探討

為探討臺中港現況、北側淤沙區設置方案及臺中港外廓防波堤設 置後之地形變遷,本研究採用丹麥水力研究所(Danish Hydraulic Institute,DHI)發展之 MIKE21 數值模擬軟體之 SW (Spectral Wave Model)、HD(Hydrodynamic Module)及 ST(Sand TransportModule)模組, 先初步建立大範圍之西北太平洋風浪及水動力數值模式,模擬結果以 臺中港觀測資料率定參數及驗證結果後,建立臺中港鄰近海域之小尺 度風浪、水動力及地形變遷模式,模擬評估各方案對臺中港之影響。

6.1 西北太平洋風浪及水動力數值模式

6.1.1 水深地形資料

模式使用之地形水深資料由遠域到近域除蒐集美國國家海洋暨大 氣總署(NOAA)之ETOPO1 及ETOPO5之水深資料、台灣海洋科技研究 中心彙編之臺灣周圍附近200 公尺海域水深地形資料、海軍大氣海洋 局刊行之海軍水道圖(臺中港)資料外,對於臺中、彰化近岸海域及臺中 港域等區域蒐集經濟部水利署第三河川局及第四河川局近岸海域測深 資料、臺中港務公司108 年臺中港域測深資料等,並予以數化為數值水 深資料,模式使用地形水深資料彙整表如表6-1所示。

項次	海域範圍	水深資料	資料來源
1	梧棲漁港	92 年刊行之海軍水道圖 (臺中港)	海軍 大氣海洋局
2	臺中港域	108 年港域測深資料	臺中港務公司
3	臺中沿岸	103 年 10 月 海域測深資料	經濟部水利署 第三河川局
4	彰化王功沿岸	103 年 10 月 海域測深資料	經濟部水利署 第四河川局
5	臺灣周圍海域	21-26°N, 119-123°E 200m 網格水深資料	台灣海洋科技 研究中心
6	臺灣外海海域	ETOPO1	美國國家海洋暨 大氣總署
7	上述地區以外 之模式範圍	ETOPO5	美國國家海洋暨 大氣總署

表 6-1 模式使用地形水深資料表

6.1.2 數值模式範圍

西北太平洋模式係以表6-1地形水深資料建置之西太平洋區域非結 構性網格模型,計算範圍由東經105°至150°、北緯5°至40°,共計6,111 個節點及10,533個三角形元素,模型邊界網格大小約1°,於臺中、彰化 外海海域以局部區域、網格加密方式處理,局部區域網格大小約0.03°, 局部區域範圍、網格及數值水深如圖6.2所示,此模式用以進行風浪及 水動力模擬計算。



圖6.1 西北太平洋模型網格示意圖



圖6.2 臺中、彰化外海加密網格示意圖

6.1.3 模式風、氣壓場資料

本研究之西北太平洋模式之風、氣壓場輸入資料使用中央氣象局 第四代數值天氣預報系統之區域模式WRF(Weather Research and Forecasting)M00每日提供四次(UTC0、6、12及18時)數值預報資料,資 料依範圍大小及解析度分成WA01、WA02、WA03等三層,各層預報範 圍及網格資訊如表6-2、圖6.3所示,風、氣壓場資料處理情形說明如後。

本所港研中心建構之臺灣近岸海象預報系統(Taiwan CoastalOperational Modeling System, TaiCOMS)將中央氣象局WRF風場 下載,以自動作業化方式執行解碼、重組及內插後再將WA01、WA02、 WA03預報資料各自輸出其作業化模式需要之範圍,WA01、WA02、 WA03風場資料經由TaiCOMS處理後再輸出範圍如圖6.4所示。

本研究西北太平洋模式使用之風、氣壓場資料,即利用前述 TaiCOMS處理再輸出之中央氣象局WA01預報資料,將每筆預報資料擷 取前6小時風、氣壓場,拼接組合成模擬時間所需之二維風、氣壓場資 料,資料範圍為西太平洋北緯5°至40°、東經105°至150°,網格解析度為 45°×45°,資料內容分別代表海面10公尺高度之u、v方向風速資料及海 面氣壓場資料(p),據以建置Mike 21風、氣壓場檔案格式(.dfs2),作為 西北太平洋模型於風浪及水動力模組之模式驅動力,如圖6.5至圖6.7所 示。

6-4
DMS FLAP	座標系統	Dimension	Relocation	格點位置
WA01	Lambert conformal mapping	221×127	45KM	Center(120E), true(10N,40N) 座標(114,71)位置位於(30N,120E) 底圖左下點(-5.34068N,77.91867E) 右上點(42.92812N,180.2034E)
WA02	Lambert conformal mapping	181×193	15KM	Center(120E), true(10N,40N) 座標(76,148)位置位於(30N,120E) 底圖左下點(9.28194N,109.7727E) 右上點(35.26665N,137.7342E) 座標(1,1)對應至 45KM MESH 之(89,22)座標位置
WA03	Lambert conformal mapping	148×178	5KM	Center(120E), true(10N,40N) 座標(55,214)位置位於(30N,120E) 底圖左下點(20.07030 N, 117.3342 E) 右上點(28.24893°N, 124.9106°E) 座標(1,1)對應至15KM MESH 之(59,78)座標位置

表 6-2 中央氣象局 WRF 成員 MOO 水平巢狀網格資訊表



圖6.3 中央氣象局WRF成員M00各層水平巢狀網格數值模擬範 圍圖



圖6.4 TaiCOMS輸出中央氣象局WRF(WA01)風場範圍示意圖



圖6.5 使用WA01風場資料製作之Mike 21 2維平面風場u方向風

速示意圖



圖6.6 使用WA01風場資料製作之Mike 21 2維平面風場v方向風

速示意圖



圖6.7 使用WA01風場資料製作之Mike 21 2維平面氣壓場示意圖

6.2 西北太平洋風浪數值模式

使用西北太平洋模型導入Mike 21第三代波浪模式(Spectral Wave, SW),風及氣壓場部分則選用TaiCOMS處理再輸出之中央氣象局WRF-M00_WA01預報資料,再將每筆預報資料擷取前6小時風、氣壓場,拼接組合成模擬時間所需之風、氣壓場資料(參考圖6.5~圖6.7)作為模式驅動力。

6.2.1 西北太平洋風浪模式參數設定

西北太平洋之波浪模式公式選用全譜方程式求解,在波浪頻率方面,最小頻率採0.055Hz,並以1.1倍參數的指數型式分割成25個頻率帶; 在角度領域方面,以22.5°為1個角度單位,共分割成16個方向角。風浪 能量消散機制則考量4個波-波非線性交互作用、碎波效應、底床摩擦、 白帽耗散等物理機制,各項參數設定如表6-3所示。

波浪初始條件由JONSWAP經驗譜公式給定,參數如表6-4所示,邊 界條件共分成2種邊界形式,一為陸域邊界,其不考慮入射波浪的能量 通量;另一為海域邊界,海域邊界均設定為封閉邊界,即外部無波浪能 量進入模式內,內部波浪能量向外擴至邊界時則完全被邊界吸收。

參數	設定值				
	頻率譜的離散:採用對數分布				
頻率譜	$f_1 = f_0 C^n$,n=1,2,3其中 f_0 為最小頻率,預設 0.055Hz				
角度領域	0° ~360° 、 $\Delta \theta$ =22.5°				
碎波指標	$\gamma = 0.8$				
底床摩擦	kN=0.04m				
白帽耗散	$Cds=4.5 \cdot \delta ds=0.5$				

表 6-3 西北太平洋風浪模式參數設定表

波浪條件		JONSWAP 參數		
Maximun fetch length	10000m	Shape parameter, sigma a	0.07	
Maximun fetch length	0.4Hz	Shape parameter,sigma b	0.09	
Maximun fetch length	0.0081	Peak parameter	3.3	

表 6-4 波浪初始條件及 JONSWAP 譜參數表

6.2.2 西北太平洋風浪模式模擬結果

考量臺中鄰近海域波浪觀測站海象資料蒐集完整性,及臺中港鄰 近海域之水深地形差異不大,本計畫選取2015年冬季、夏季及蘇迪勒颱 風期間作為模式模擬冬季、夏季季風及颱風期間之波浪運動情形,並將 模擬結果與本中心設置於臺中港北防波堤波流觀測站(TC)作驗證,以 下統稱臺灣中部海域波浪觀測站,位置如圖6.8所示(X2為波浪觀測位置、 T0為潮位觀測位置)。西北太平洋風浪數值模式於冬季、夏季及颱風期 間之波浪驗證結果如後。

模擬2015年1月份之冬季季風下波浪運動情形,模擬結果與本所港 研中心於臺中港之觀測資料比對,其示性波高、週期、波向比對結果如 圖6.9至6.11所示。由圖6.9可看出冬季期間臺中港之示性波高模擬結果 雖均小於示性波高觀測值,但波高模擬值變化趨勢與觀測值之變化趨 勢大致相符,圖6.10、圖6.11週期及波向之模擬值亦和觀測值之變化趨 勢大致相符。

模擬2015年7月份之夏季季風下波浪運動情形,模擬結果與本所港 研中心於臺中港之觀測資料比對,其示性波高、週期、波向比對結果如 圖6.12至6.14所示。由圖6.12可看出7月1日至7月10日間之示性波高模擬 結果均小於示性波高觀測值,7月10日後之示性波高模擬值皆符合觀測 值,但波高模擬值變化趨勢與觀測值之變化趨勢大致相符,由圖6.13可 看出示性週期模擬值大致相符,圖6.14 中波向之模擬值與觀測值有約 30°之誤差,但整體變化趨勢與觀測值大致相符。

6-9



圖6.8 臺灣中部海域海象觀測站位置示意圖



圖6.9 冬季臺灣中部海域示性波高比對



圖6.10 冬季臺灣中部海域示性週期比對



圖6.11 冬季臺灣中部海域波向比對



圖6.12 夏季臺灣中部海域示性波高比對









6.3 西北太平洋水動力數值模式

本研究使用西北太平洋模型導入Mike 21 第三代水動力模式 (Hydrodynamic Module, Flow Model),以包含全臺灣之西太平洋地區為 模擬範圍,使用之地形水深網格與風、氣壓場資料與本章6.2節所用水 深地形相同做為驅動力進行冬季、夏季及蘇迪勒颱風期間之模式率定。

6.3.1 西北太平洋水動力模式參數設定

本模式模擬範圍之邊界條件採用Mike21提供之全球潮汐模式資料 庫(解析度為0.125°),於模擬範圍邊界上取出對應所需之模擬時間內差 出潮汐水位之時間序列,作為邊界之輸入條件(如圖6.15),由於邊界條 件之水位資料已包含分潮效應,故本模式於分潮引力不再另行設定,模 式之參數設定如表6-5。



圖6.15 邊界條件潮位示意圖(東經150°,北緯5°至40°為例)

相關參數	設定值		
紊流渦度係數	0.028		
底床磨擦係數	43.5 $m^{1/3}/s$		
風摩擦係數 f	當風速 7m/s, f=0.001255 當風速 25m/s,f=0.002425		
風及邊界軟啟動時間	4 days		

表 6-5 模式參數設定

6.3.2 西北太平洋水動力模式模擬結果

同本章6.2.2,考量臺中鄰近海域潮位、海流觀測站海象資料蒐集完整性,本計畫選取2015年冬季、夏季及蘇迪勒颱風期間作為模式模擬潮 位與海流變化情況,並將模擬結果與本所港研中心設置於臺中港北防 波堤外底定式潮波流儀(圖6.8之X2站)及臺中港內潮位計(圖6.8之T0站) 之觀測資料進行驗證比對,西北太平洋水動力數值模式於冬季、夏季及 颱風期間現況潮流驗證結果如後。

模擬2015年1月份之冬季季風下潮汐及海流運動情形,模擬結果與 本所港研中心於臺中港之觀測資料比對,其潮位、流速、流向比對結果 如圖6.16至6.19所示。由圖6.16、圖6.17可看出冬季之潮位模擬結果與觀 測資料之趨勢變化相符,由圖6.18、圖6.19可看出海流流速及流向之模 擬值亦大致與觀測值之趨勢變化相符。

模擬2015年7月份之夏季季風下潮汐及海流運動情形,其潮位、流 速、流向之模擬結果與觀測值比對結果如圖6.20至6.23所示,由圖6.20、 圖6.21可看出夏季之潮位模擬結果與觀測資料之趨勢變化相符,由圖 6.22、圖6.23可看出海流流速及流向之模擬值大致上與觀測值之趨勢變 化亦相符。



圖6.16 冬季臺灣中部海域潮位比對(與X2站比對)



圖6.17 冬季臺灣中部海域潮位比對(與TO站比對)



圖6.18 冬季臺灣中部海域流速比對



圖6.19 冬季臺灣中部海域流向比對





圖6.20 夏季臺灣中部海域潮位比對(與X2站比對)









圖6.23 夏季臺灣中部海域流向比對

6.4 臺中港及鄰近海域地形變遷數值模式

為探討臺中港及鄰近海域漂沙情形,創建離岸風電海域地形變遷 模式,俾利後續探討臺中港北側淤沙區第四期整治配置及工業港配置 方案對鄰近海域之影響特性。

臺中港鄰近海域地形變遷數值模式在波浪(SW)、水動力(HD)及漂 沙(ST)各模組間進行耦合計算,計算架構流程如圖6.24所示。波浪模式 (SW)進行風浪計算時,可將水動力模式(HD)計算水位、流場資訊透過 計算模組進行內部傳輸,而水動力模組計算時亦可將SW 模式所計算 之波浪輻射應力進行內部傳輸,最後將二者所計算之波浪、流場進行內 部傳輸給漂沙模式(ST)作輸沙率計算,再更新模式輸入之水深地形資訊, 即在新的時間階當中所計算的底床高程是依據上一個時間階所計算的 侵淤量進行更新之資料,至於各模組理論請參閱(附錄一)。



圖6.24 海域地形變遷模式計算架構流程圖

6.4.1 臺中港鄰近海域地形變遷模型範圍及水深地形資料

臺中港鄰近海域地形變遷模型係針對臺中、彰化沿岸以表6-1建置 非結構性網格模型,模擬範圍約45公里×22公里,北起大安溪,南至烏 溪出海口,包含大安溪、大甲溪及烏溪主要河川,於外海(水深-30m以 下)網格大小長約2至3公里,近岸區域網格大小約400至600公尺,於臺 中港碼頭區及北淤沙區進行局部加密至網格大小約150至250公尺,共 計8483個節點及12529 個三角形元素,模型範圍、網格分布及數值水深 圖如圖6.25所示。



圖6.25 臺中港鄰近海域地形變遷模型網格示意圖

6.4.2 臺中港鄰近海域地形變遷模式各模組參數設定

由圖6.22可知,離岸風電海域地形變遷模式包含波浪、水動力、漂 沙等模組,經各模組交互數值運算下,更新各時刻底床資料並作為下一 時刻模擬初始值以推估地形變遷情形,各模組參數設定分述如後。

臺中港鄰近海域地形變遷模式之波浪模組,數值計算方式選用全 譜方程式求解,在波浪頻率方面,最小頻率採0.055Hz,並以1.1倍參數 的指數型式分割成25 個頻率帶,在角度領域方面,以22.5°為1個角度 單位,共計分割成16個方向角,風浪能量消散機制則考量4個波波非線 性交互作用、碎波效應、底床摩擦、白帽耗散等物理機制,各項參數設定如表6-6所示。波浪初始條件由JONSWAP經驗譜公式給定,參數如表 6-7所示,各個時間潮位、流場資料則由執行臺中港鄰近海域地形變遷 模式之水動力模組計算結果提供,至於邊界條件共分成二種邊界形式, 一為陸域邊界,其不考慮入射波浪的能量通量,另一為海域邊界,海域 邊界和第五章水工試驗相同,採用臺中港冬、夏季代表性波浪及表5-1 中5年迴歸期之NNE向颱風波浪作為模式之邊界條件。

臺中港鄰近海域地形變遷模式之水動力模組,考慮河川入流至臺 中、彰化海域提供海域漂沙來源,海域底床亦隨河川輸沙量而產生變化, 爰引用經濟部水利署107年出版水文年報調查之大安溪、大甲溪、烏溪 及濁水溪河川流量及輸砂量之資料(表6-8、表6-9),取各河川年平均入 流量及年平均輸砂量作為水動力模組模擬河川提供漂沙運動之沙源, 至於各時刻波浪輻射應力,由離岸風電海域地形變遷模式之波浪模組 各時刻計算值給定,邊界條件則輸入西北太平洋水動力模式模擬產生 之水位資料作其邊界條件,其他各參數設定如表6-10 所示。

臺中港鄰近海域地形變遷模式之沙傳輸模組,其模擬型式可以區 分為單純水流作用下之漂沙或波流交互作用下之漂沙計算等2種,前 者一般屬於計算河道輸沙,後者則以計算海岸漂沙為主。本研究考慮海 岸漂沙故選擇波流交互作用之計算方式。在進行計算之前必須先將可 能發生之水動力、波浪條件先製作輸沙率表(Q3D),即先提供流速、波 高、週期、波向及計畫區域的中值粒徑,製作出在此特性範圍內對應之 輸沙率表如圖6.26所示,使得沙傳輸模組計算時可迅速查詢在任何水動 力、波浪條件之下所對應之輸沙率以節省計算輸沙率時間,模組中沙質 中值粒徑採用0.2mm,由臺中港鄰近海域地形變遷模式之波浪模組計算 結果、擷取對應位置之時序列波浪條件參數,作為臺中港鄰近海域地形 變遷模式沙傳輸模組之作用力,另為模擬河川流量帶入之輸砂量,除了 提供海岸漂沙之沙源亦有影響底床變動之效應,藉由經濟部水利署107 年出版水文年報調查之大安溪、大甲溪、烏溪及濁水溪河川流量及輸砂

6-19

量之資料,於模式內大安溪、大甲溪、烏溪及位置處估算其3條河川引 起之底床變動率,其沙傳輸模組設定參數如表6-11所列。

完成波浪、水動力、沙傳輸模組之基本參數設定後,本研究之模擬 條件採用冬季、夏季、5年迴歸期NNE向波浪作為代表性波高、週期, 並考慮每年1次颱風事件,模擬條件如表6-12所列。

模式參數	設定值				
頻率譜	頻率譜的離散採用對數分布 f ₁ =f ₀ C ⁿ , n=1,2,3 其中 f ₀ 為最小頻率,預設 0.055Hz				
角度領域	$0^{\circ} \sim 360^{\circ} \cdot \Delta \theta = 22.5^{\circ}$				
碎波指標	$\gamma = 0.8$				
底床摩擦	kN=0.04m				
白帽耗散	Cds= $4.5 \cdot \delta$ ds= 0.5				
水位、流場	由離岸風電海域地形變遷模式之水動 力模組提供				
波浪模組邊界條件	由西北太平洋風浪模式提供波浪示性 波高、譜峰周期、波向、DSD 指數				

表 6-6 臺中港鄰近海域地形變遷模式之波浪模組參數設定表

表 6-7 臺口	> 港鄰近海域地用	彡變 遷模式之	こ波浪初始係	条件設定表
----------	---------------------	---------	--------	-------

波浪條件		JONSWAP 參數			
Maximun fetch length	10000m	Shape parameter, sigma a	0.07		
Maximun fetch length	0.4 <i>Hz</i>	Shape parameter,sigma b	0.09		
Maximun fetch length	0.0081	Peak parameter	3.3		

河川/測站	大安溪/義里			河川/测站		大甲溪/龍安橋		
面積(km2)		758		面積(km2)		1,	236	
月	日	流量(C.M.S)	輸砂量(公噸/日)	月	日	流量(C.M.S)	輸砂量(公噸/日)	
1	11	29.8	1,356.91	1	10	19.29	621.73	
1	23	0.34	7.69	1	24	2.76	80.35	
2	12	0.17	1.64	2	8	3.41	62.47	
2	27	0.34	12.96	2	26	5.89	230.17	
3	7	4.24	177.21	3	6	4.51	122.08	
3	22	0.34	14	3	20	4.22	175.13	
4	9	0.36	15.21	4	13	5.57	174.18	
4	23	0.17	2.76	4	24	4.92	79.14	
5	8	1.79	208.48	5	7	4.78	185.33	
5	15	0.34	17.19	5	14	5.21	193.62	
5	25	0.34	14.77	5	22	4.81	144.03	
6	1	0.51	19.96	6	8	5.61	91.07	
6	6	0.34	13.22	6	20	8.07	329.62	
6	22	26.79	1,013.06	6	27	7.49	285.98	
6	27	21.88	869.7	7	11	218.22	27,433.38	
7	4	59.59	2,424.90	7	17	8.14	64.71	
7	19	17.63	545.44	7	24	8.04	318.99	
7	31	26.71	1,596.76	8	7	4.38	175.22	
8	8	11.04	595.38	8	14	4.95	91.93	
8	15	15.48	398.56	8	27	9.96	427.59	
8	29	50.64	1,185.67	9	7	4.07	151.2	
9	10	5.34	203.56	9	18	3.5	7	
9	19	2.7	145.58	9	27	1.54	35.6	
9	27	3.54	79.14	10	8	2.74	108.52	
10	9	1.91	87.52	10	17	3.02	27.65	
10	18	1.77	82.77	10	23	1.29	67.39	
10	29	0.31	14	11	6	1.42	67.82	
11	8	1.16	65.06	11	21	1.64	9.33	
11	22	0.43	22.9	12	5	1.45	71.63	
12	12	0.43	13.22	12	20	1.71	84.84	
12	26	0.31	16.42					
平均		9.25	361.99	平均		12.09	1,063.92	
年平均輸砂	^{>} 量(m/d)		4.10E-07	年平均	年平均輸砂量(m/d)		7.33E-07	

表 6-8 107 年度大安溪、大甲溪河川流量及輸砂量實測紀錄

*資料來源:1.「中華民國 107 年臺灣水文年報」,經濟部水利署,2019。

2.本計畫整理

河川/測站	鳥溪/大肚橋			河川/測站	濁水溪/溪州大橋		
面積(km2)		2,02	26	面積(km2)		3,157	
月	日	流量(C.M.S)	輸砂量(公噸/日)	月	日	流量(C.M.S)	輸砂量(公噸/日)
1	8	61.98	1895.7	1	3	21.08	1966.81
1	22	53.31	1418.52	1	16	29.07	2838.24
2	2	47.6	1315.96	1	30	7.56	234.4
2	23	85.37	3193.6	2	12	68.05	5497.11
3	9	54.69	1176.51	3	2	9.71	83.89
3	19	41.87	1913.76	3	13	14.24	134.18
4	10	27.04	1217.2	3	28	5.98	55.81
4	20	43.8	2501.19	4	11	4.4	64.2
5	3	22.33	717.72	4	24	17.81	218.59
5	17	42.07	781.4	5	10	30.6	1438.13
5	24	27.81	588.64	5	23	3.06	27.99
6	5	27.95	871.6	6	7	13.8	912.3
6	14	55.6	2651.79	6	20	526.09	198179.05
7	3	278.85	5444.84	7	6	184.9	6342.28
7	10	141.78	5879.69	7	19	123.56	8028.2
7	16	107.76	4729.71	8	6	90.24	4217.88
7	27	95.5	1741.05	8	15	206.88	17534.53
8	8	101.47	3857.41	9	10	159.7	7230.12
8	17	105.75	5070.9	10	1	78.08	13553.65
8	23	153.72	6667.4	10	12	36.38	2238.02
9	6	121.93	5225.3	11	7	11.63	56.25
9	17	97.7	3992.63	12	6	25.29	845.68
9	25	55.57	2554.33	12	20	9.15	162.78
10	5	48.14	2183.76				
10	16	47.68	2496.27				
10	25	50.26	2561.76				
11	7	46.84	1934.41				
11	20	45.71	2799.96				
12	11	38.91	1240.53				
12	25	29.55	1501.46				
平均	71.95		2,670.83	平均		72.92	11,820
年平	均輸砂	量(m/d)	1.26E-06	年平	平均翰砂量(m/d) 3.70E-06		3.70E-06

表 6-9 107 年度烏溪、濁水溪河川流量及輸砂量實測紀錄

*資料來源:1.「中華民國 107 年臺灣水文年報」,經濟部水利署,2019。

表 6-10 臺中港鄰近海域地形變遷模式之水動力模組參數設定表

模式參數	設定值
紊流渦度係數	0.028
底床磨擦係數	$36 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
風摩擦係數	0.001255 (if 7m/s 以下),0.002425 (if 25m/s 以上)
風與邊界軟啟動時間	2hr
波浪輻射應力	由離岸風電海域地形變遷模式之波浪模組提供
	大安溪: 9.25(C.M.S)
河川年平均流量	大甲溪: 12.09(C.M.S)
	烏溪: 71.95(C.M.S)
	由西北太平洋水動力模式
水動力模組邊界條件	提供邊界水位資料

模式參數	設定值				
模式形式	波流交互作用				
作用力:波浪場	由離岸風電海域地形變遷模式之波浪模 組提供各時刻的波浪示性波高、譜峰周 期、波向				
中值粒徑 D50	0. 2mm				
底床變動源:	大安溪:4.1×10 ⁻⁷ (m/day)				
河川年平均輸沙量引起	大甲溪: 7.3×10 ⁻⁷ (m/day)				
的底床變動率	烏溪: 1.2×10 ⁻⁶ (m/day)				
邊界條件	All zero Sediment flux gradient				

表 6-11 臺中港鄰近海域地形變遷模式之沙傳輸模組參數設定表

期程條件	107-108(現況模擬)、108-111(各方案模擬)							
邊界潮位	西北太平洋水動力模式輸出時間序列							
		冬季	夏季	颱風(5年迴歸期)				
	波向	NNE	W	NNE				
入射波浪	波高(m)	2.15	0.87	4.19				
	週期(s)	7.5	6.5	8.5				
河川邊界	一百逆一日逆一百逆之左五比十日							
流量輸沙	大安溪、大甲溪、烏溪之年平均流量							

表 6-12 臺中港鄰近海域地形變遷模式模擬條件表

Sediment Transport Tables Axes

Define the Sediment Transport Table

On this page you specify the first value, spacing and the number of points for each axis of the table. The table includes wave height, wave period, wave height/water depth, current speed, angle between current and waves, grain size, grading and bed slope.

Sedimenttable

	First value	Spacing	No of points
Current speed	0.05	0.1	5
Wave height	0.1	0.2	8
Wave period	5	1	3
/Vave height/water depth	0.01	0.1	10
Angle current/waves	0	30	12
Grain Size	0.150	2.000	3
Sediment grading	1.1	0.15	3
ed slope, curr. direction	-0.01	0.01	3
ed slope, normal to curr.	-0.02	0.02	3
Centrifugal acceleration	10	0.001	1

圖6.26 執行漂沙模組前,製作輸沙率表(Q3D)畫面示意圖

6.5 臺中港及鄰近海域地形變遷現況模擬結果

1. 波場及流場分析

圖6.27至圖6.29分別為臺中港及鄰近海域受冬季NNE向波浪、夏季 SW向波浪、颱風條件NNE向波浪作用下之波場分布圖,由圖6.27可知, 冬季期間波浪由北北東入射,臺中港及鄰近海域之近岸波高約0.6m以 下,由圖6.28可知,夏季期間波浪以西向入射,近岸波高約0.36m,圖 6.29可知,颱風條件下波浪由北北東入射臺中港及鄰近海域之近岸波高 約在2m以下。

圖6.30至圖6.35分別為臺中港及鄰近海域受冬季波浪、夏季波浪及 颱風波浪作用下之漲、退潮流場分布圖,圖6.30、圖6.31可看出冬季期 間於外海主要受潮流影響,漲潮時約略以臺中港為分界,南北之海流於 此匯集朝西向外海流動,近岸區則則受沿岸流及東北季風影響,皆呈現 東北向西南流動,退潮時外海與近岸皆呈現東北向西南流動。圖6.32、 圖6.33可看出夏季期間流場主要受潮流作用影響,漲潮時外海與近岸區 皆呈現西南向東北流動,退潮時則相反,外海與近岸區皆呈現東北向西 南流動。圖6.34、圖6.35可看出颱風條件下流場近岸區於漲退潮時段受 颱風波浪影響之沿岸流作用為大,於北防波堤及外廓堤末端皆形成局 部環流。



圖6.27 臺中港及鄰近海域現況冬季模擬波場



圖6.28 臺中港及鄰近海域現況夏季模擬波場



圖6.29 臺中港及鄰近海域現況NNE向颱風波浪模擬波場



圖6.30 臺中港及鄰近海域現況冬季模擬流場(漲潮)



圖6.30 臺中港及鄰近海域現況冬季模擬流場(退潮)



圖6.32 臺中港及鄰近海域現況夏季模擬流場(漲潮)



圖6.33 臺中港及鄰近海域現況夏季模擬流場(退潮)



圖6.34 臺中港及鄰近海域現況颱風條件模擬流場(漲潮)



圖6.35 臺中港及鄰近海域現況颱風條件模擬流場(退潮)

2. 地形變遷侵淤分析

圖6.36為「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期工程規劃可行性研 究」整理103至107年實測地形之年平均侵淤圖,圖6.37為本研究臺中港 及鄰近海域現況條件之107至108年侵淤模擬結果,於北淤沙區內呈現 近岸處侵蝕、離岸處淤積之現象,模擬結果與實測圖相比有較為明顯之 侵蝕區域,模擬結果與實測圖顯示侵蝕趨勢位置皆在北攔沙堤頭處呈 現帶狀分布;於北防波堤北側近岸處與南側接有漂沙淤積現象,於烏溪 出海口處侵域互現,以侵蝕區域佔多數。整體而言,地形侵淤模擬結果 與實際趨勢大致相符,故本數值模式尚具合理性。

以相同條件根據現況模擬臺中港及鄰近海域108至111年之地形侵 淤趨勢,模擬結果如圖6.38所示,可看出於北淤沙區內近岸處侵蝕、離 岸處淤積之量體皆增加,烏溪出海口亦呈現侵淤互現,侵淤之量體亦明 顯增加,於西碼頭外海水深-15m至-25m區域,淤積範圍較1 年模擬成 果有增加,港內部分則呈現侵淤互現,但侵淤變化極小(小於±0.3m)。



圖6.36 臺中港及鄰近海域實測地形侵淤圖(年平均)

*資料來源:「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期工程規劃可行性研究」,臺灣港務股份有限公司,中華民國108年。





圖6.37 臺中港及鄰近海域地形侵淤模擬結果(1年)

圖6.38 臺中港及鄰近海域地形侵淤模擬結果(3年)

6.6 臺中港及鄰近海域地形變遷其他方案模擬結果

為探討臺中港及鄰近海域其他方案於未來之地形變遷趨勢,對臺 中港2種改善佈置方案(前章之A、B配置)及近程外廓堤增建,建立數值 模式,以表6.6至表6.10之條件模擬各方案海域地形3年後(108年至111年) 侵淤成果,A、B配置及近程外廓堤增建之數值模式如圖6.39至圖6.41所 示,其中配置A共計8464個節點及12500個三角形元素;共計8483個節 點及12529個三角形元素,近程外廓堤增建模式共計8670個節點及 12772個三角形元素。



圖6.39 A配置數值模式示意圖









6.6.1 A 配置方案之數值模擬結果

1. 波場及流場分析

圖6.42至圖6.44分別為A配置方案下臺中港及鄰近海域受冬季NNE 向波浪、夏季SW向波浪及颱風條件NNE向波浪作用下之波場分布圖, 各波浪條件下之波場分布皆與6.5節之現況配置下模擬結果相似,如圖 6.42,冬季期間波浪由北北東入射,臺中港及鄰近海域之近岸波高約在 1.35m以下,如圖6.43,夏季期間波浪以西向入射,近岸波高約在0.78m 以下,如圖6.44,颱風條件波浪從北北東入射條件下,近岸波高約在2m 以下。

圖6.45至圖6.50分別為A配置方案下臺中港及鄰近海域受冬季、夏 季及颱風波浪作用下之漲、退潮流場分布圖,由圖6.45、圖6.46可看出 A配置方案下於冬季期間於外海主要受潮流影響,漲潮時約略以臺中港 為分界,南北之海流於此匯集朝西向外海流動,近岸區則則受沿岸流影 響,皆呈現東北向西南流動,退潮時外海與近岸皆呈現東北向西南流動; 由圖6.47、圖6.48可看出夏季期間流場主要受潮流作用影響,漲潮時外 海與近岸區皆呈現西南向東北流動,退潮時則相反,外海與近岸區皆呈 現東北向西南流動;5年迴歸期颱風波浪條件下外海主要受漲退潮影響, 近岸受潮流及颱風波浪影響之沿岸流作用,圖6.49可看出漲潮階段外海 約略以北淤沙區外海分界,南北之海流於此匯集朝西向外海流動,近岸 區於北防波堤北側之北淤沙區與北防沙堤北側之大甲溪口處各形成一 局部環流,圖6.50可看出退潮階段外海大致呈現東北向西南流動,並於 臺中港外海處朝西向外海流動,近岸區大致由東北向西南流動。



圖6.42 A配置冬季模擬波場



圖6.43 A配置夏季模擬波場







圖6.45 A配置冬季模擬流場(漲潮)







圖6.47 A配置夏季模擬流場(漲潮)











圖6.50 A配置下NNE向颱風波浪模擬流場(退潮)

2. 地形變遷侵淤分析

圖6.51為本研究臺中港及鄰近海域A配置方案條件之1年侵淤模擬結果,於大甲溪出海口至北淤沙區內,除北防沙堤頭南側有侵蝕現象外, 大多呈現近岸處侵蝕、離岸處淤積之現象,北防波堤延伸之定沙突堤處 呈現堤頭淤積、下游(西側)侵蝕現象;北防波堤南側有淤積區域外,西 碼頭近岸處大多呈現侵蝕趨勢,烏溪出海口處則侵域互現,以侵蝕區域 佔多數;北防波堤堤頭處及南側呈現淤積趨勢之模擬結果與前章A配置 水工試驗結果相似。

進一步模擬108至111年之地形侵淤趨勢,模擬結果如圖6.52所示, 可看出於北淤沙區內近岸處侵蝕、離岸處淤積之量體皆增加,北防波堤 之延伸定沙突堤兩側有侵蝕趨勢,堤頭處則有淤積區,烏溪出海口亦呈 現侵淤互現,侵淤之量體亦明顯增加,於西碼頭外海水深-15m至-25m 區域,淤積範圍較1年模擬成果有增加,港內部分則呈現侵淤互現,但 侵淤變化極小(小於±0.3m);北防波堤南側形成淤積區與水工試驗結果 相似。



圖6.51 A配置地形侵淤模擬結果(1年)



圖6.52 A配置地形侵淤模擬結果(3年)
6.6.2 B 配置方案之數值模擬結果

1. 波場及流場分析

圖6.53至圖6.55分別為B配置方案下臺中港及鄰近海域受冬季NNE 向波浪、夏季SW向波浪及颱風條件NNE向波浪作用下之波場分布圖, 如圖6.53,冬季期間波浪由北北東入射,臺中港及鄰近海域之波高分布 情形與A配置相似,近岸波高約在1.35m以下,由圖6.54可知,夏季期間 波浪以西向入射,近岸波高約在0.78m以下,由圖6.55可知,5年迴歸期 颱風條件波浪從北北東入射條件下,近岸波高約在2m以下。

圖6.56至圖6.61分別為B配置方案下臺中港及鄰近海域受冬季、夏 季及颱風波浪作用下之漲、退潮流場分布圖,由圖6.56、圖6.57可看出 B配置方案下於冬季期間於外海主要受潮流影響,漲潮時約略以臺中港 為分界,南北之海流於此匯集朝西向外海流動,近岸區則則受沿岸流影 響,皆呈現東北向西南流動,退潮時外海與近岸皆呈現東北向西南流動; 由圖6.58、圖6.59可看出夏季期間流場主要受潮流作用影響,漲潮時外 海與近岸區皆呈現西南向東北流動,退潮時則相反,外海與近岸區皆呈 現東北向西南流動;5年迴歸期颱風波浪條件下外海主要受漲退潮影響, 近岸受潮流及颱風波浪影響之沿岸流作用,圖6.60可看出漲潮階段外海 約略以北淤沙區外海分界,南北之海流於此匯集朝西向外海流動,近岸 區於北防波堤北側之北淤沙區與北防沙堤北側之北淤沙區形成局部環 流,圖6.61可看出退潮階段外海大致呈現東北向西南流動,並於臺中港 外海處朝西向外海流動,近岸區大致由東北向西南流動。

6-41







圖6.54 B配置夏季模擬波場







圖6.56 B配置冬季模擬流場(漲潮)



















圖6.61 B配置颱風模擬流場(退潮)

2. 地形變遷侵淤分析

圖6.62為B配置方案下1年之地形侵淤模擬結果,於大甲溪出海口 南側至北淤沙區內侵淤情形與現況配置及A配置之模擬結果相似,亦呈 現,大多呈現近岸處侵蝕、離岸處淤積之現象,原北防波堤之定沙突堤 處呈現堤侵蝕現象,北防波堤轉折處呈現淤積,增設之定沙突堤處呈現 侵蝕,北防波堤南側有淤積區域外,西碼頭近岸處大多呈現侵蝕趨勢, 烏溪出海口處則侵域互現,以侵蝕區域佔多數;兩定沙突堤間侵淤互現 與前章B配置水工試驗結果相似。

進一步模擬108至111年之地形侵淤趨勢,模擬結果如圖6.63所示, 可看出於北淤沙區近岸處侵蝕、離岸處淤積之量體皆增加,增設之定沙 突堤處堤頭有侵蝕現象,其下游至北防波堤頭為淤積趨勢,烏溪出海口 亦呈現侵淤互現,侵淤之量體亦明顯增加,於西碼頭外海水深-15m至-25m區域則與現況配置及A配置之模擬結果相似,淤積範圍較1年模擬 成果有增加,港內部分則呈現侵淤互現,但侵淤變化極小(小於±0.3m); 北防波堤南側形成淤積區與水工試驗結果相似。







圖6.63 B配置地形侵淤模擬結果(3年)

6.6.3 近程外廓堤增建之數值模擬結果

1. 波場及流場分析

圖6.64至圖6.66分別為近程外廓堤增建下臺中港及鄰近海域受冬季NNE向波浪、夏季SW向波浪及5年迴歸期颱風NNE向波浪作用下之 波場分布圖,由模擬結果可知,冬季期間波浪由北北東入射,臺中港及 鄰近海域之近岸波高約在1.35m以下,於外廓堤內因遮蔽效應,波高約 在0.45m以下,夏季期間波浪以西向入射,近岸波高約在0.78m以下,於 外廓堤內因遮蔽效應,波高皆低於0.06m,5年迴歸期颱風波浪從北北東 入射條件下,近岸波高約在2.25m以下,外廓堤遮蔽區內波高約在0.75m 以下。

圖6.67至圖6.72分別為近程外廓堤增建下臺中港及鄰近海域受冬 季、夏季及颱風波浪作用下之漲、退潮流場分布圖,由模擬結果可看出 流場分布與現況、A配置、B配置相似,如圖6.67及圖6.68,冬季期間於 外海主要受潮流影響,漲潮時約略以臺中港為分界,南北之海流於此匯 集朝西向外海流動,近岸區則則受沿岸流及東北季風影響,皆呈現東北 向西南流動,退潮時外海與近岸皆呈現東北向西南流動;如圖6.69及圖 6.70,夏季期間流場主要受潮流作用影響,漲潮時外海與近岸區皆呈現 西南向東北流動,退潮時則相反,外海與近岸區皆呈現東北向西南流動; 5年迴歸期之NNE向颱風波浪條件下近岸區於漲退潮時段受颱風波浪 影響之沿岸流作用為大,如圖6.71,漲潮時於北淤沙區、大甲溪口南側 及外廓堤末端皆形成局部環流,圖6.72可看出退潮階段外海大致呈現東 北向西南流動,並於臺中港外海處朝西向外海流動,近岸區大致由東北 向西南流動。















圖6.67 外廓堤增建冬季模擬流場(漲潮)



















圖6.72 外廓堤增建下5年迴歸期NNE向颱風波浪模擬流場(退潮) 2. 地形變遷侵淤分析

圖6.73為外廓堤增建下1年之地形侵淤模擬結果,於大甲溪出海口 南側至北淤沙區內,大多呈現近岸處侵蝕、離岸處淤積之現象,北防波 堤轉折處呈現淤積,北防波堤之堤頭以北處與北防波堤南側有淤積區 域,外廓堤內呈現侵淤互現,南外廓堤外多以侵蝕趨勢為主,西側與南 側有少部分淤積區域,烏溪出海口處則侵域互現,以侵蝕區域佔多數; 北防波堤堤頭處、南側呈現淤積、外廓堤內侵淤互現趨勢之模擬結果與 前章水工試驗結果相似。

進一步模擬108至111年之地形侵淤趨勢,模擬結果如圖6.74所示, 可看出於北淤沙區內近岸處侵蝕、離岸處淤積之量體皆增加,北防波堤 轉折處至堤頭為淤積趨勢,烏溪出海口亦呈現侵淤互現,侵淤之量體亦 明顯增加,港內部分則呈現侵淤互現,但侵淤變化極小(小於±0.3m); 北防波堤堤頭處、南側呈現淤積、外廓堤內侵淤互現趨勢之模擬結果與



圖6.73 外廓堤增建地形侵淤模擬結果(1年)





第七章 結論與建議

離岸風電為臺灣近年發展之綠能產業,其距離離岸風電區最近的 國際商港-臺中港,因定位為提供風機組裝碼頭及工作船靠泊母港,故 扮演不可或缺的角色。離岸風電相關建設於 104 年後陸續建置,惟 104~105 年僅於彰化沿海完成 2 座測風塔,而 108 年 12 月於苗栗海洋 示範風場已建置 23 座離岸風機,因目前建置之離岸風機與臺中港距離 遙遠,無法以水工模型試驗進行模擬風機建置後對臺中港沿岸海域漂 沙之影響,本研究將以衛星遙測影像探討風機建置前後對龍鳳漁港至 臺中港區間岸線之變化,另以水工模型試驗及數值模擬未來臺中港於 港外興建 LNG 碼頭將設置近程外廓堤及防止北方沙源向南漂移佈置改 善方案之海域漂沙活動。

7.1 結論

- 依據臺中港歷年地形實測資料侵淤趨勢分析部分,92~96年間呈現大量淤積趨勢,其中臺中港北側淤積趨勢大於南側,顯示北防波堤完工初期,確實明顯阻隔由北往南之漂沙優勢方向,96~101年間淤積趨勢明顯趨緩,但仍維持臺中港北側淤積大於南側現象,顯示北防波堤阻隔漂沙效果已趨緩,最後101~105年間已呈現侵淤趨勢互現現象,顯示臺中港鄰近地形變遷於101年後已趨於穩定。
- 2. 以衛星遙測影像分析岸線變遷結果顯示,在 2011 年至 2013 年間未 有任何離岸風機設施興建前,龍鳳漁港至大安溪間的灘線變化大多 呈現淤積的情況,大安溪至臺中港間則有小幅度侵蝕,全段海岸平 均往海側前進 6.82m。2013 年至 2019 年間則僅於後龍溪至大安溪間 有小幅度侵蝕,全段海岸平均往海側前進 13.14m。2019 年至 2020 年第二期風機設施興建前後,整段海岸往海側前進 10.64m。不同時 間段的分析結果顯示龍鳳漁港至臺中港間在離岸風機設備興建前後 皆呈現淤積的情況,在接近龍鳳漁港離岸風機設施的海岸段無明顯

侵蝕,期間內區域性的小幅度侵蝕,其發生位置與離岸風機設施也 無明顯關係。

- 由臺中港漂沙水工模型預備試驗結果得知,以冬季季風波浪作用 8 小時,再以夏季季風波浪3小時、颱風波浪30分鐘、夏季季風波浪 3小時的夏季波浪作用情況,其試驗結果可重現現場一年時間的地形 變化。
- 4. 為阻擋臺中港由北向南漂移之沙源,本研究參考臺灣港務股份有限 公司臺中港務分公司 108 年度「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四 期規劃可行性研究」所提之 2 種改善佈置方案辦理水工模型試驗, 試驗結果顯示北淤沙區靠近北防波堤位置多呈現淤積情形,而南防 波堤以南則為侵淤互現情況,另將 2 方案進行比較,比較結果可推 估B方案相較A方案可阻擋多數沙防止其向南漂移。
- 5. 配合綠能政策,未來欲於臺中港外興建LNG碼頭,為維護港外靜穩 水域則需搭配外廓堤之興建,惟外廓堤建置後對臺中港區外地形侵 淤變化影響值得評估,本研究針對近程外廓堤增建進行水工模型試 驗,模擬臺中港鄰近海域1年、3年的漂沙變化。模擬1年後之地形 變化顯示,北防波堤以北堤頭呈現淤積情形,以南呈現侵淤互現情 形;波浪作用3年之地形變化情形,於北方波堤以南航道結構物附 近呈現淤積情形,其餘區域則為侵淤互現情況。
- 6.本研究水工模型試驗地形測量嘗試採用地面光達掃描方式施測,其 成果與水準儀施測方式進行比對,並利用不同測次之地面光達成果 資料,於岸上不受試驗影響之固定物附近進行高程比對,其高程平 均差值皆小於 5mm 之精度差異值,由此可證明地面光達方式可取代 試驗地形以水準儀施測方式,日後漂沙試驗地形以光達施測可節省 時間及人力。

- 7.本研究數值模式之地形水深資料採用美國國家海洋暨大氣總署 (NOAA)之ETOPO5及ETOPO1、台灣海洋科技研究中心彙編之臺灣 周圍附近網格解析度200公尺之海域水深地形資料、海軍大氣海洋 局刊行之海軍水道圖(臺中港)資料外,對於臺中、彰化沿岸海岸及臺 中港域等海域近岸部分則蒐集經濟部水利署第三河川局及第四河川 局近岸海域測深資料、臺中港務公司108年臺中港域測深資料等, 並整合成模式數位化水深資料。
- 完成建置之西北太平洋風浪與水動力模式,可反映台中、彰化海域現況波浪與流場之物理變化,進行冬季、夏季及颱風時期之模擬驗證,波浪、潮位、流速等模擬結果與趨勢變化與觀測資料相符。
- 9. 完成臺中港及鄰近海域現況、北防波堤 A、B 兩種配置方案及外廓 堤增建情況下之風浪、水動力及沙傳輸模組,並進行冬季、夏季及5 年迴歸期颱風波浪之波浪場、流場模擬,依波浪、流場模擬結果進 而耦合模擬1年與3年之地形變遷趨勢。
- 10. 地形變遷趨勢之模擬結果,北淤沙區皆呈現近岸侵蝕,離岸淤積現象,北防波堤北側、堤頭至南側有淤積區,西碼頭外整體已侵蝕趨勢為主,烏溪出海口為侵淤互現,港內侵淤互現但侵淤變化極小。 A、B 配置方案及外廓堤增建與現況差異分述如下:
 - (1) A 配置方案下,定沙突堤延伸後於下游測(西側)侵蝕區域較現況 配置下增加,其餘部分差異不大。
 - (2) B 配置方案下,增設之定沙突堤堤頭處有侵蝕現象,兩定沙突堤 間淤積區域較現況配置下增加,其餘部分差異不大。
 - (3)外廓堤增建情況下,外廓堤內呈現侵淤互現,南外廓堤外多以侵 蝕趨勢為主,西側與南側有少部分淤積區域,烏溪出海口處則侵 域互現,以侵蝕區域佔多數,其餘部分差異不大。

7.2 建議

本研究完成漂沙預備試驗,瞭解冬、夏季期間之模型試驗的重現 時間,並針對未來臺中港於港外興建近程外廓堤及防止北方沙源向南 漂移改善方案,模擬未來1年及3年臺中港港外地形漂沙侵淤情形。由 於水工模型試驗之模型縮尺受限於試驗水槽尺寸及造波條件,考量離 岸風機和臺中港之距離,若同時將其建置於水槽內,恐造成模型過小 影響試驗準確度,故本試驗僅將臺中港以1/300縮尺建置於水槽內,無 法以此模擬風機建置對臺中港鄰近海域漂沙之影響。未來若彰化沿海 離岸風機建置完成,可以數值模擬方式進行模擬,另可藉由水深地形 實測資料,進行分析比較臺中港地形侵淤變化情形。

7.3 成果效益與後續應用情形

本研究已以水工模型試驗及數值模擬,針對未來臺中港於港外興 建近程外廓堤及防止北方沙源向南漂移改善方案,模擬未來1年及3年 臺中港港外地形侵淤情形;另以多時段衛星遙測影像探討苗栗離岸風 機建置前後於龍鳳漁港至臺中港間岸線變化情形。

期望藉由本研究的探討與方案模擬之說明,提供港公司於未來規 劃港區配置之參考,並提供未來風電海域工程施作及船舶航行等應用 參據,另外,藉由本研究的分析過程,能提供相關港灣工程、漂沙研 究等之從業人員了解離岸風電區基地母港-臺中港海域之漂沙機制,做 進一步或相關性之研究應用。

7-4

参考文獻

- 佐藤昭二,田中則男(1962),「水平床における波による砂移動について」,海岸工學講演會講演集,第9回,日本土木學會,第95~100頁。
- 3. 湯麟武(1970),「淺灘海岸上波浪推算方法之研究」,成功大學土 木水利學術彙刊第一期,第105~164頁。
- 3. 椹木亨(1982),「漂沙と海岸侵蝕」。
- 歐善惠、許泰文(1985),「傾斜海灘上之海岸動床模型相似律」, 港灣技術第一期。
- 張富東、廖慶堂(1995),「布袋港客貨碼頭擴建水工模型試驗研究」 報告,專刊 102 號,交通部運輸研究所研究報告。
- 成功大學水工試驗所(1997b),「將軍(中心)漁港鄰近海岸監測及穩 定對策調查研究」,成功大學水工試驗所研究試驗報告,第204號。
- 7. 成功大學水工試驗所(2000),「台灣西南部海岸海灘斷面調查與沉積物特性研究」,成功大學水工試驗所研究試驗報告。
- 何育廷,陳文福(2002),「外傘頂洲乾砂洲面積變化影響因子之探討」,第十二屆水利工程研討會,D190-D195。
- 工業技術研究院能源與資源研究所(2002),「台灣地區地層下陷之 監測、調查及分析(2/4)」,經濟部水利署,計畫編號 MOEA/WRB/ ST-910026V2。
- 10.簡仲和、黃建維、吳宏輝、郭晉安、蔡宗利、陳嘉君(2002a),「嘉 義鰲鼓至曾文溪口潮波流及輸砂調查研究(1/4)」,財團法人成大水 利海洋研究發展文教基金會。

- 11. 簡仲和、黃建維、吳宏輝、郭晉安、蔡宗利、陳嘉君(2002b),「嘉 義鰲鼓至曾文溪口潮波流及輸砂調查研究(2/4)」,財團法人成大水 利海洋研究發展文教基金會。
- 12. 呂黎光(2004),「海岸線與面積之遙感測繪應用研究」,海洋工程 學刊,第四卷,第一期,71-88。
- 13. 簡仲和、黃建維、郭晉安、郭瑞成、蔡宗利、陳嘉君、曾鈺蘋(2004), 「嘉義鰲鼓至曾文溪口潮波流及輸砂調查研究(3/4)」,財團法人成 大水利海洋研究發展文教基金會。
- 14. 張憲國、陳蔚瑋(2005)「以衛星影像探討外傘頂洲的海灘變遷」,第二十七屆海洋工程研討會論文集,臺中,823-830。
- 許泰文等(2005),「海岸開發後對地形變遷影響機制分析研究」, 經濟部水利署水利規劃試驗所。
- 16. 水利署水利規劃試驗所(2005),「海岸水文氣象年報(91 年度)」。
- 17. 何維信(2006),「航空攝影測量學」,134-143 頁,大中國圖書出版,臺北市。
- 18. 陳蔚瑋、張憲國(2008)「台灣沿岸潮位推算之資料溶合法」,第三 十屆海洋工程研討會論文集,新竹,325-330。
- 19. 廖慶堂、藍元志、葉旭璽、何良勝(2008),「布袋港港口附近海域 漂砂互制與地形變遷之研究」,交通部運輸研究所。
- 20. 交通部運輸研究所(2008),「布袋港水深地形監測及地形變遷調查 分析與漂流浮標流況調查」。
- 鄒芳諭(2009)「以非量測型數位相機進行近景攝影測量探討」,國 立交通大學土木工程學系碩士論文。

- 22. 何良勝、蔡金吉、林受勳、江玟德等(2009),「布袋港港型規劃與 漂沙互制現象研究」,交通部運輸研究所。
- 23. 張憲國、吳政杰、陳蔚瑋(2012)「應用多頻譜衛星影像於灘線辨識 與灘線變遷分析」,第三十四屆海洋工程研討會論文集,臺南, 661-666。
- 24. 王天佑、蕭振洋(2013)「應用無人載具航拍及非常規攝影量測進 行土石流三為地形重建」,中興工程,第120期,2013年7月, 3-12。
- 25. 經濟部水利署第四河川局(2013),「彰化海岸防護基本資料調查 (1/2)」報告。
- 26. 內政部國土測繪中心 (2014) 100~103 年度「發展無人飛行載具航 拍技術作業」, 202 頁。
- 27. 經濟部水利署第四河川局(2014),「彰化海岸防護基本資料調查(2/2)」報告。
- 28. 經濟部水利署第三河川局(2014),「臺中海岸基本資料調查(1/2)」
 報告。
- 29. 內政部國土測繪中心 (2015),內政部國土測繪中心 104 年發展無 人飛行載具系統測繪作業工作總報告。
- 30. 顏志憲、陳昆廷、李心平、劉政儒、吳宗諭、詹勳全 (2015)「以 無人載具航拍進行河道穩定性監測之可行性」,中華水土保持學 報,第47卷,第3期,142-149。
- 31. 白絜成、劉益誠、 蕭宇伸、連惠邦、林秉賢 (2015) 「無人飛行 載具掛載消費型攝影機應用於防災可行性研究」,中華水土保持學 報,第46卷,第3期,1407-1416。

- 32. 蔡秉宏 (2015)「無人飛行載具大面積航測精度評估—以小金門(烈 嶼)為例」,國立臺北科技大學土木及防災研究所碩士論文。
- 33. 經濟部水利署第三河川局(2015),「臺中海岸基本資料調查(2/2)」報告。
- 34. 楊明德、陳韋廷、黃凱翔(2016),「應用 UAV 影像建置現地堰 塞壩三維模型」,中華水土保持學報,46(2),88-95。
- 35. 陳靜茹、盧韋勲、李孟學、江文山、吳永基 (2016)「應用無人機 於三維地形量測與正射影像精度 之探討-以綠島為例」,第 38 屆 海洋工程研討會 暨科技部計畫成果發表會,503-508。
- 36. 羅雅尹(2016),「民國 104 年颱風調查報告-第 13 號蘇迪勒(Soudelor)
 颱風(1513)」,氣象學報第 53 卷第一期,第 61-84 頁。
- 37. 許弘莒、蔡立宏、楊炳達、郭平巧、李孟學(2016),「臺中港鄰近 海域之波流場模擬」,港灣技術季刊,第1卷,第103期,第42-63 頁。
- 38. 蕭力榮(2017)「臺灣本島與離島潮位分析及深度基準探討」,國立 交通大學土木工程學系碩士論文。
- 39. 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,第二十二卷,第四期,243-262。
- 40. 黎俊逸 (2017) 「無人飛行載具於大規模崩塌地調查之應用研究」,國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
- 41. 楊明德、蔡慧萍 (2018)「無人飛行載具發展現況與未來」,土木 水利,第四十五卷,第三期,23-29。
- 42. 內政部(2018),「潮位模式精進工作案」。

- 43. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司、台灣電力股份有限公司(2018),「臺中港外港區擴建計畫(第一期)環境影響說明書」。
- 44. 臺灣港務股份有限公司(2018),「臺中港 40 年期主計畫」。
- 45. 交通部運輸研究所(2018),「離岸風電區鄰近海域波流及地形變遷 數值分析(1/3)-臺中鄰近海域波浪及海流數值分析」。
- 46. 台灣電力股份有限公司(2018),「離岸風力發電第二期計畫可行性 研究」。
- 47. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司(2019),「臺中港北側淤沙 區漂飛沙整治第四期工程規劃可行性研究」。
- 48. 台灣電力公司(2019),「臺中港外港區擴建計畫(第一期)環境影響評估」。
- 49. 交通部運輸研究所(2019),「離岸風電區鄰近海域波流及地形變遷 數值分析(2/3)-臺中鄰近海域漂沙特性數值分析」。
- 50. Bonte, Y. and Levoy, F., (2015) Field experiments of beach scarp erosion during oblique wave, Geomorphology 236, 132–147.
- Bayram, B., Janpaule, I., Av, sar, Ö., O'gurlu, M., Bozkurt, S., Reis, H.C., Seker, D.Z. (2015) Shoreline Extraction and Change Detection using 1:5000 Scale Orthophoto Maps: A Case Study of Latvia-Riga. Int. J. Environ. Geoinform, 2, 1-6.
- 52. Cartwright, D.E. and Ray, R.D. (1990) Oceanic Tides Form Geosat Altimetry, Journal of Geophysical Research, 95(C3), 3069-3090.
- 53. Casella, E., Rovere, A., Pedroncini, A., Stark, C. P., Casella, M., Ferrari, M., & Firpo, M. (2016) Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). Geo-Marine Letters, 36(2), 151-163.

- 54. Chang, Hsien-Kuo, Wei-Wei Chen, Feng-Chun Tsai, Jin-Cheng Liou and Shao-Gu Kuo (2018) Annual and seasonal shoreline evolution of Tainan Gold Coast using multiband satellite images, International Journal of Engineering and Technology, 10 (1), 52-58.
- 55. Chen, W. W. and Chang, H. K. (2009) Estimation of shoreline position and change from satellite images considering tidal variation, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 84, 54-60.
- 56. Cox, T. H., Somers, I. and Fratello, D. J. (2006) Earth observations and the role of UAVS: A capabilities assessment version 1.1, Civil UAV Assessment Team, NASA, Hanover, MD.
- 57. Danish Hydraulic Institute (2012) Spectral Wave Module Scientific Documentation.
- 58. Danish Hydraulic Institute (2012) Hydrodynamic and Transport Module Scientific Documentation.
- 59. Danish Hydraulic Institute (2012) Sand Transport Module Scientific Documentation.
- 60. Dewi, R.S., Bijker, W., Stein, A. (2016) Marfai, M.A. Fuzzy Classification for Shoreline Change Monitoring in a Part of the Northern Coastal Area of Java, Indonesia. Remote Sens., 8, 190.
- Fuse, T. and Ohkura, T. (2018). Development of shoreline extraction method based on spatial pattern analysis of Satellite SAR images. Remote Sensing, 10(9), 1361.
- Gardel, A. and Gratiot, N. (2005) A satellite image-based method for estimating rates of mud banks migration, Journal of Coastal Research 21, 720-728.

- 63. Ghoneim, E., Mashaly, J., Gamble, D., Halls, J., Abubakr, M. (2015) Nile Delta exhibited a spatial reversal in the rates of shoreline retreat on the Rosetta promontory comparing pre- and post-beach protection, Geomorphology, 228, 1-14.
- Gilvear, D., Andrew, T. and Corine, D. (2004) Detection of estuarine and tidal river hydromorphology using hyper-spectral and LiDAR data: Forth estuary, Scotland, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 61, 379-392.
- 65. Gómez-Gutiérrez, Á., Schnabel, S., Berenguer-Sempere, F., Lavado-Contador, F., & Rubio-Delgado, J. (2014). Using 3D photo-reconstruction methods to estimate gully headcut erosion. Catena, 120, 91-101.
- 66. Jishuang, Q., Chao, W., & Zhengzhi, W. (2002). A multi-threshold based morphological approach for extracting coastal line feature in remote sensed images. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences, 34(1), 184-188.
- 67. Kavyashree, M., Ramesh, H. (2016) Wetland mapping and change detection using remote sensing and GIS. Int. J. Eng. Sci. 6 (8), 2356.
- Klemas, V. V., (2015) Coastal and environmental remote sensing from unmanned aerial vehicles: An overview, Journal of Coastal Research 31(5), 1260-1267.
- Kurosawa, T. and Tanaka, H. (2001) A study of detection of shoreline position with aerial photographs, Proceedings of Coastal Engineering, JSCE, 48, 586-590.
- 70. Matsumoto, K., M. Ooe and T. Sato (1995) Ocean Tide Model Obtained from TOPEX/POSEIDON Altimetry Data, Journal of

參-7

Geophysical Research, 100(C12), 25319-25330.

- 71. Matsumoto, K., T. Takanezawa, 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, 567-581.
- 72. Noah S., Steven, M. S. and Richard, S. (2007). Modeling the world frominternet photo collections, International Journal of Computer Vision,80(2), 189-210.
- Okutomi, M. and Kanade, T. (1993). A multiple-baseline stereo system.IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15(4),pp. 353-363.
- 74. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaion, M. and Sarazzi, D. (2011) UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling-Current status and future perspectives. The international archives of the photogrammetry, 25-31.
- 75. Ryu, J. H., Won, J. S. and Min, K. D. (2002) Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flatA case study in Gomso Bay, Korea," Remote Sensing of Environment, 83, 442-456.
- Ryu, J. H., Kim, C. H., Lee, Y.K., Won, J.S., Chun, S.S. and Lee, S. (2008) Detecting the intertidal morphologic change using satellite data, Estuarin, Coastal and Shelf Science, 78, 623-632.
- 77. Toure, S., Diop, O., Kpalma, K., Maiga, A.S. (2018) Coastline detection using fusion of over segmentation and distance regularization level set evolution. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., XLII-3/W4, 513-518.
- 78. Xue, T. Y., Tian, X. C. and J. Wang (2015) Application of unmanned

aerial vehicle remote sensing image to large-scale surveying and mapping of the hilly area in Qinghai Tibet Plateau, Advanced Science and Technology Letters 80, 30-34.

附錄一

模式理論介紹

模式理論介紹

丹麥水利研究所(Danish Hydraulic Institute,DHI)發展之 MIKE 21 FM 模組,係以有限體積法求取各網格數值解,在計算流體力學上除 了具備自動滿足連續性之優點,較傳統使用有限差分矩形網格求解方 式相比,其網格三角形設計方式對於不規則邊界有較佳的適應性,爰 本計畫採用其中第三代波浪數值模組(Spectral Wave,SW)、水動力數 值模組(HydroDynamic,HD)、沙傳輸數值模組(Sediment Transport,ST))、 地貌演變數值模組(Morphology Module)等4個計算模組,爰簡述各模 組理論。

一、波浪數值模組

本計畫使用 MIKE21 SW(MIKE21 Spectral Wave)第三代波譜模型, 用於模擬近海及海岸地區風生浪和涌浪的生長、衰退及變形,如風生 浪過程、波-波非線性交互作用、波浪折、繞射、反射和淺化及底摩擦 效應等物理現象,其包含兩個不同公式:

(一)、全譜公式(Fully spectral formulation, FS)

全譜公式基於 Komen 等人(1994)和 Young (1999)的波動守恆方程,該模式係模擬波浪在各種外力作用下之波能變化,其求解之方程式為波浪守恆方程式(Wave action conservation equation),此方程式為二維時變域之偏微分方程式,表示如下:

其中, $N(\bar{x},\sigma,\theta,t)$ 為波浪作用密度函數(wave action density function)、 $E(\sigma,\theta)$ 為波能頻譜密度函數(wave energy density function), 關係為 $N=E/\sigma$; $\bar{x} = (x, y)$ 為卡氏坐標; t為時間; σ 為角頻率; $\pi \theta$ 則為波向角。

 $\bar{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ 為一個4維空間的向量, $(c_x, c_y) = d\bar{x}/dt = \bar{c}_g + \bar{U}$, 代表群波在空間上的傳遞速度,其中 \bar{c}_g 為群波速度,而 \bar{U} 則為海流之 流速,模式可考量波浪在海流流動狀況下之傳遞情形。 $c_\sigma = d\sigma/dt$, 代表角頻率 σ 之變化速度。 $c_\theta = d\theta/dt$,代表波向角 θ 之變化速度。

 $abla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial \sigma, \partial/\partial \theta)$ 為一個4維空間的向量運算子,S則 為源項(Source term),代表波浪傳遞過程時可能發生之波浪能量成長、 消散及非線性交互作用等物理現象,表示如下:

 $S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf}$ (2)

其中 S_{in} 為風浪之成長項, S_{nl} 為波與波非線性交互作用項, S_{ds} 為 白沫消散項, S_{bot} 為底床摩擦項, 而 S_{surf} 則為碎波消耗項。

(二)、方向參數化解耦公式

方向參數化解耦公式基於波動守恆方程的參數化形式,按照 Holthuijsen (1989)理論,參數化在頻率空間內進行,引入波譜的零階 和一階矩作為決定變量,可用於以波浪碎波後而產生之沿岸流的泥沙 傳輸計算。參數化的方程式表示如下:

$$\frac{\partial(\mathbf{m}_{0})}{\partial t} + \frac{\partial(\mathbf{C}_{gx}\mathbf{m}_{0})}{\partial x} + \frac{\partial(\mathbf{C}_{gy}\mathbf{m}_{0})}{\partial y} + \frac{\partial(\mathbf{C}_{\theta}\mathbf{m}_{0})}{\partial \theta} = \mathbf{T}_{0} \dots (3)$$

$$\frac{\partial(\mathbf{m}_{1})}{\partial t} + \frac{\partial(\mathbf{C}_{gx}\mathbf{m}_{1})}{\partial x} + \frac{\partial(\mathbf{C}_{gy}\mathbf{m}_{1})}{\partial y} + \frac{\partial(\mathbf{C}_{\theta}\mathbf{m}_{1})}{\partial \theta} = \mathbf{T}_{1} \dots (4)$$

其中 $m_0(x,y,\theta)$ 為波譜 $N(x,y,\omega,\theta)$ 的零次矩, $m_1(x,y,\theta)$ 為波譜 $N(x,y,\omega,\theta)$ 的一次矩, $C_{gx} \not\in C_{gy}$ 分別為群波速度 $x \cdot y$ 方向之分量, C_{θ} 為 θ 方向的波浪行進速度, ω 為角頻率, T_0 和 T_1 為 Source Terms, 包含 風、底床摩擦、碎波等因素。n 次矩 $m_n(\theta)$ 定義為

$$m_{n}(x, y, \theta) = \int_{0}^{\infty} \omega^{n} N(x, y, \omega, \theta) d\omega \dots (5)$$

二、水動力數值模組

本計畫使用之水動力模式(MIKE21 Hydrodynamic Module, Flow Model),可同時考慮底床摩擦、科氏力、風、大氣壓力、潮汐水位變化、輻射應力等因素,以模擬潮位變化與流場流況。模式之控制方程式由 Boussinesq 假設之不可壓縮流之 Reynolds averaged Navier-Stoke 方程式,以連續方程式(式3.6)、動量方程式為基礎(式3.7、3.8)。

η+d為總水深,u、v、w分別為 x、y、z方向上之速度,g為重力加速度,f為科氏力參數,ρ為海水密度,pa為大氣壓力,S_{xx}、S_{xy}、S_{yx}、 S_{yy}為輻射應力張量,S為點源的排出量。將上列各式沿水深方向(z方向)積分,可得到二維淺水長波方程組:

 $\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\overline{u}}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = hS \quad$ (9)

其中 τ_{sx} 、 τ_{sy} 為表面風應力, τ_{bx} 、 τ_{bx} 為底部應力, \overline{u} 、 \overline{v} 為水深平均速度。模式之底床摩擦力參數可以 Chezy Number 或 Manning

Number 設定,本研究採用 Manning Number 如下(k_s 為底床粗糙高度)。

 $M = \frac{25.4}{k_s^{1/3}} m^{1/3} / s \qquad (12)$ 模式之風摩擦力可以下式(3.12)表示

$$c_{d} = \begin{cases} c_{a} & w_{10} < w_{a} \\ c + \frac{c_{b} - c_{a}}{w_{b} - w_{a}} (w_{10} - w_{a}) \\ c_{b} & & w_{10} \le w_{b} \\ & w_{10} > w_{b} \end{cases}$$
(14)

其中
$$c_a$$
=1.255×10⁻³, c_b =2.425×10⁻³, w_a =7m/s, w_b =25m/s。

三、沙傳輸數值模組

MIKE 21之沙傳輸 ST 模組(Sand Transport Module),即依據前述 水動力模擬結果,計算出每一瞬時計算域中各位置之流場,再加上水 中沉積物質特性與波浪運動之影響,計算對應之輸沙率。其理論係屬 於擬三維之計算方式,根據該計算範圍之水流、波浪、水深與底床坡 度計算得輸沙率,將不同計算條件下之輸沙率預先儲存在一輸沙表中, 待模式開始計算後,再根據當時之水動力場及波浪場,於輸沙表中內 插求取相對應條件下之輸沙率,最後將每一點沿水深方向上積分即可 得斷面輸沙率。輸沙率為輸沙量在一波浪周期內之平均值,底質傳輸 之總輸沙載 q,為:

 $q_t = q_b + q_s \tag{15}$

其中, q_b為底床載, q_s為懸浮載。每單位時間單位寬度之底床載 q_b係參考 Engelund 與 Fredsøe (1976),根據一個波週期內之瞬時剪應 力可得相關之無因次化底床載及無因次化 Shields 參數

$$\Phi = \frac{q_b}{\sqrt{(s-1)gd^3}} \quad \theta = \frac{\tau_0}{(s-1)\rho gd} = \frac{U_f^2}{(s-1)gd}$$
(16)

其中, s為底質相對密度、d 為底質粒徑、 τ_0 為底床剪應力、 U_f 為摩擦速度 $(U_f = \sqrt{\tau_0 / \rho})$ 。懸浮載 q_s 係參考 Fredsøe 等人(1985),根據 一個波週期內之瞬時速度(u)和濃度(c)分布積分而得:

 $\frac{dc}{dt} = \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} w \left(\epsilon_s \frac{\partial c}{\partial z} \right).$ (17)

式中 t 為時間、z 為水深方向座標軸、w泥沙沉降速度、 ϵ_s 擴散 係數(視同水渦流黏性度 ϵ):

$$\epsilon = kU_f z \left(1 - \frac{y}{D}\right)$$
, k \equiv 0.4=the von Karman constant,D 為水深

$$q_{s} = \frac{1}{T} \int_{0}^{T} \int_{2d}^{D} (uc) dz dt$$
(19)

此外,底質之沉降速度與溫度、粒徑大小有關,當沉降速度小 於最大之摩擦速度時,底質將自底床被擾動而懸浮於水中。參考 Rubey's formula (1933)之沉降速度w如下:

其中,v為動力黏滯係數,T為水溫($^{\circ C}$):

四、地貌演變模組

如果想探討水動力影響下之地貌演變情形,可使用 MIKE 21之地 貌演變模組(Morphology Module),尤其在淺水區域考量其疏濬或填方 泥沙對地貌之影響是必要的。其地貌演變係藉由更新每一時刻底床以 確保水動力模擬穩定平衡底床。

 $Z^{n+1} = Z^n + \Delta Z^n.$ (22)

其中,Zⁿ為當時刻之測深(m)、ΔZ為當時刻的淨沉降量。

地貌演變模組亦提供加速因子(Speed up factor),針對底床影響、加速更新地貌之方式:

 $Z^{n+1} = Z^n + \Delta Z^n \times Speed \ up.....(23)$
附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所自辨計畫

□期中☑期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱:離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)

	參與審查人員及其所提之意見	本所處理情形
朱志	光委員:	
1.	圖 3.17 對於南堤路北段,近年之淤	感謝委員建議,有關圖 3.17 為針對現
	積高度之均量來說呈現之數字較	場實測資料進行侵淤厚度統計,相較
	小,但對於局部區域如航道部分,依	於分區示意圖,南堤路北段涵蓋之區
	最近水深圖了解,其局部淤積量可	域相較於局部航道區寬廣許多,雖航
	能較平均量大得多,因此對於局部	道區局部淤積量多,惟分析結果南堤
	航道區等,建議未來對於其顯示作	路北段涵蓋之區域淤積增量較平緩,
	進一步之說明,需提有些區位因使	日後可針對航道區可能淤積原因及淤
	用功能不同,會有局部異於平均值	積期間是否受到疏浚、施工影響進行
	之變化。依圖 3.21 看來淤積發生較	探討。
	大之期間時段與近期之港區現況有	
	類同,此部分之結果可能與疏浚產	
	生影響、施工期間是否有影響, 可增	
	加說明。	
2.	表 3.3 之中如 3.78 萬方/年建請多說	感謝委員建議,表3.3 中之淨疏沙量係
	明究指停留在該區或通過該區的漂	指懸浮載受波浪作用下之沿岸流往南
	沙量,另與 3.16 圖之相關性可以多	帶與往北帶的淨漂沙量,此表為採經
	解一下。由烏溪、北淤沙區、南堤路	驗公式計算出之值,而圖 3.16(含烏溪、
	北段量之關聯性作說明。	北淤沙區、南堤路北段)為現場實測資
		料進行比對之侵淤量統計圖。
3.	3-24 貝,建議對歷年變化水深圖 3.20	感謝委員建議,圖 3.20 為分析量中港
	部分可對於防坡堤北側谷沙重可能	近岸海域貫測地形侵於分布圖,目的
	已達飽和卜之後續影響多作一些說	為瞭解臺中港北防坡堤於 101 年後對
	明及描述。另 p3-28 貝翰砂重之估	<i>鄰近地形變遷影響題於半緩下,以其</i>
	計,用海岸法線角度万式,可 1	為基期採討離岸風機設施建直後地形
	原由。	變化情况,本計畫尚未針對防坡堤北
		側谷沙重可能已達飽和之後續影響作
		旅 討, 惟日後右人刀、時间允許, 可將
		具納入研究,沿斥輸沙重和沿岸輸沙
		能重止相關,而沿岸輸沙能重則與波

附 2-1

		高、波向角有關,故計算輸沙量時將海
		岸法線角度列入考慮。
4.	P5-16 至 5-24 圖示印在書面上的,	感謝委員建議, 有關 P5-16 至 5-24 之
	呈現在視覺上的結果,不是很清楚,	圖示不清楚部分已進行調整;圖 5.26
	建議予以調整較清晰明確圖。另請	為 A 配置波浪作用 1 年後之地形侵淤
	說明 A 配置之圖 5.26、5.27 與 5.28	比較圖,圖 5.27 為波浪作用 3 年後之
	不同之處,是否有何意義可多詳述	地形侵淤比較圖,而圖 5.28 為將波浪
	供進一步了解,另 B 配置案之圖亦	作用1年及3年後之地形進行侵淤比
	請一併說明?建議對於未來不設新	較所得之結果,B配置亦同。未來若人
	設施時,試著評估與A、B 兩方案未	力、時間允許可針對原配置與 A、B 兩
	來漂沙越過北防波堤堤頭量是否有	配置之差異進行探討。
	相異之處。	
5.	圖 5.35、5.36 對於近程未來外廓堤增	感謝委員建議,圖 5.35、5.36 有關北
	建後水工模型試驗波浪作用後之侵	防波堤南側靠航道附近淤積情形已於
	淤變化,在北防波堤南側靠航道附	報告中敘述,相關原因及防治方案可
	近產生約 3-5m 淤積高度,研判這未	納入未來研究探討。
	來對航道使用功能可能會有些影	
	響,此部分建議請予以論述詳細些,	
	有何影響原因?有何方法對治之建	
	議或設置相關設施予以減輕、迴	
	避?另這與現有防波堤身已採開口	
	消波式减少波反射及波能有無考量	
	納入相關研究?	
6.	7-2頁,結論中第3點對於預備試驗	感謝委員建議,結論中第3點對於預
	結果可重現一年時間的地形,是指	備試驗結果可重現一年時間的地形,
	任一年或有區間性或單指特定那一	為可重現該年試驗初期地形鋪設後未
	年,於5-15頁中有論述,建議可加	來一年之地形,無特別指定哪一年。
	入年度作明確說明。	
7.	7-3 頁第 10. 中" 馬"應為"	感謝委員建議,誤植文字已更正。
	碼"的誤植。	
陳冠	:宇委員:	
1.	本研究主要的貢獻是以水工模型試	感謝委員肯定。
	驗與數值模擬探討臺中港附近的漂	
	沙運動,其成果然,值得肯定。尤其	
	預備試驗之比對與現況相符,相當	
	不易。遙測分析也很深入。	
2.	作為漂沙水工試驗結果的呈現,臺	感謝委員建議,有關漂沙水工預備試
	中港的堤岸太過模糊,建議以不同	驗成果圖之臺中港堤岸線條已以不同

	顏色呈現。	顏色呈現。
3.	第三章、第四章的許多參考文獻並	感謝委員建議,有關第三、四章參考文
	未列入。	獻已增列。
4.	歷年地形侵淤分析(圖 3.21、表 3.5)	感謝委員建議,歷年地形侵淤分析(圖
	應多加說明。	3.21、表 3.5)已於報告增加敘述。
李俊	穎委員:	
1.	第4章在圖4.14~4.17 建議在遙測影	感謝委員建議,圖 4.14~4.17 已於遙測
	像增加岸線位置,並加註縱橫軸單	影像套入 0m 線位置並加註縱橫軸單
	位。	位。
2.	水工試驗成果除分 3 區討論外建議	感謝委員建議,報告中水工試驗成果
	可再針對新迴船池及航道等分析討	已針對新迴船池部分增加敘述,惟航
	論。	道範圍非試驗主要範圍,日後可加以
		探討。
3.	請再補充表 5.9 及表 5.16 計算說明。	感謝委員建議,表 5.9 為將 A 配置以
		波浪作用 3 年後之地形實測資料和波
		浪作用 1 年後之地形實測資料進行土
		方量相比較所得;表 5.16 為增建近程
		外廓堤後以波浪作用 3 年之地形實測
		資料和初期地形進行土方量相比較所
		得。
4.	數值模擬在北淤沙區有明顯侵淤區	感謝委員建議,已增加比對分析敘述
	域建議可與實測地形進行比對分	於 6.5 節 中。
	析。	
林雅	· 雯委員:	
1.	報告內容包括海象、氣象、地象及水	感謝委員肯定。
	文條件蒐集分析、分區侵淤量分析、	
	衛星影像灘線分析、UAV 調查、漂	
	沙水工模型試驗、數值模擬,內容豐	
	富,值得肯定。	
2.	第2-1頁表頭錯誤。	感謝委員建議,第 2-1 頁表名稱已更
		正。
3.	第 3-6~3-8 頁列出公式及計算結果,	感謝委員建議,計算引用數值已於報
	計算過程及引用數值建議補充。	告 3.2.4 節補充。
4.	第 3-20 頁公式不完整。	感謝委員建議,第3-20頁公式不完整
		部分已修正。
5.	第 4-23 頁 UAV 調查周邊海岸,目前	感謝委員建議,第4-23頁工作內容僅

	確定海底纜線埋設未造成侵淤影	以 UAV 針對 2016 年海底纜線埋設位
	響,建議補充未來功用 (取代航照	置進行特定區域拍攝觀察此處沙灘是
	等)。	否受其影響,另龍鳳漁港至臺中港間
		岸線分析部分則以不同年份遙測影像
		進行探討。
6.	水工模型試驗建議圖 5-9~5-23 將要	感謝委員意見,圖 5-9~5-23 為將波浪
	比對的實測地形繪出。	作用後之等深線以虛線描繪,初期地
		形等深線以實線描繪,觀察其變動趨
		勢,此部分皆為試驗地形量測結果故
		無法將實測地形繪製一起。
7.	定沙突堤及近程外廓堤之興建順序	感謝委員意見,目前臺中港北淤沙區
	規劃為何?水工模型試驗及數值模擬	定沙突堤改善配置及未來建置 LNG
	皆分開對此2者影響模擬。	碼頭之近程外廓堤興建為分開進行規
		劃,目前尚無確定興建順序。
8.	第5-49頁 AUTOCAD 圖底圖可選白	感謝委員意見,第5-49頁之圖為本次
	色,較能看出內容。	試驗地形光達測量成果進行轉換處理
		之過程,未來成果處理將以較鮮明顏
		色進行以利明顯呈現。
9.	數值模擬與水工模型試驗結果比對	感謝委員意見,數值模擬結果及水工
	探討,建議補充。另兩者分析結果浸	模型試驗結果比對探討已分別補充於
	淤代表顏色相反。	6.6.1 至 6.6.3 小節中,另數值模擬分析
		之侵淤趨勢圖顏色分布已比照水工試
		驗侵淤趨勢圖調整。
10.	臺中港波流觀測站及潮位觀測站各	感謝委員意見,臺中港 2 波流觀測站
	有2站,數值模擬各選1站進行驗	觀測時間無重疊,仍採1站比對驗證,
	證,是否有考慮2站皆驗證,以得到	關於潮位驗證已依委員意見,採用 X2
	更佳模擬?	站及 TO 站作為水動力模式驗證, 補充
		於 6.3.2 節。
蘇青	和委員:	
1.	報告 P5-11"5.2.3 試驗配置"宜改	感謝委員意見,若將 P5-11"5.2.3 試驗
	為"5.2.3 試驗條件"P5-11~P5-24 也作	配置"改為"5.2.3 試驗條件"將和 5.2.1
	更正。	試驗條件重複,而 5.2.3 內容為進行預
		備試驗之不同配置。
2.	研究配置計有4種,可分"現況"配置	感謝委員意見,因北淤沙區改善配置
	A、配置 B 及配置 C。	及興建近程外廓堤之目的不同,故將
		其分為2小節敘述。
3.	現況配置試驗成果納入年度報告,	感謝委員意見,已將現況配置成果納
	一併比較。	入本年度報告。

4.	侵淤分析不同配置比較,建議製表	感謝委員意見,本研究選用之 MIKE21
	或,區段僅分三區,建議增加。重點	數值模擬軟體漂沙模組,模擬結果輸
	區域比對為重點,試驗與數模也應	出選項並無侵淤體積量,因此模擬結
	一併比對。	果針對各配置方案之未來1年、3年侵
		淤趨勢進行分析敘述;另試驗與數模
		比對已於報告敘述。
5.	數值模擬未來可延長模擬年限。	感謝委員意見,如未來有相關計畫,將
		意見納入辦理。

附錄三

期末審查簡報資料



計畫前言與目的

前言與目的 - 臺中港為距離離岸風電最近的一個國際商港,其未來定位為提供風機組裝碼 頭及工作船靠舶母港,因此必須了解臺中港鄰近海域漂沙活動趨勢,以因應 未來之所需。 - 臺中港海氣地象資料蒐集分析及漂沙特性探討,提供作為後續研究之參考。 - 藉由分析岸線遙測影像資料,並進行離岸風區實地UAV拍攝,探討風機建 置對鄰近岸線變化之影響。 - 因應未來臺中港於港外興建LNG碼頭將設置近程外廓堤及防止北方沙源向 南漂移之佈置改善方案,而進行水工模型試驗及數值模擬,模擬未來規劃方 案建置後引起鄰近海域之漂沙活動。





臺中港海氣象及鄰近河川資料蒐集分析 氣象條件-潮汐 董集民國60~108年潮位逐時觀測資料,分析各月平均水位變化,並以12 個月為基礎進行移動平均分析,藉以觀察潮位變動之趨勢。 ◆ 依據潮位站異動時間分析平均水位變動趨勢,臺中港在民國60~79年間 平均水位約2.66m,月平均水位呈下降趨勢,每年約下降2.4mm;民國80 ~88年間,平均水位約2.64m,月平均水位略呈上升趨勢,每年約上升 38.4mm;民國90年~108年間,平均水位約2.77m,月平均水位呈下降趨 勢,每年約下降6mm。而綜觀民國60~108年間,平均水位約2.70m,月 平均水位呈上升趨勢,平均每月約上升0.006mm,相當每年約上升 0.072mm • · 유 후:(1971-2) · 사 원후(1971-2) 900 3.0 1000 101 2.5 ANN N-AAP (b)民國60~108年 (a)民國60~79年、80~88年、90~108年 圖2臺中港月平均潮位變動趨勢(民國60年3月~民國108年12月) A DECEMBER OF

臺中港海氣象及鄰近河川資料蒐集分析

氣象條件-波浪 分析本所港研中心2003~2019年波浪 觀測資料,其中臺中港冬季(9~5月) 波向以N及NNE向為主,約佔40~ 50%;夏季(6~8月)則以W向為主, 約佔24%。 - 05-10 m - 10-15 m ◆ 全年平均波高在0.8m~1.9m間,平均 週期約5.6sec~6.8sec,其中以冬季平 均波高1.6m較高,夏季平均波高則約 0.82m • 表2臺中港歷年波高及波向統計表 > 0.3-10 m > 10-15 m > 1.5-20 m 最大波高 節 平均波高(m) 主要波向(%) 平均週期(sec) 盉 (波向,週期) 8.4(NW, 11.1) 1.61 NNE(50.2%) 6.5 圖3臺中港歷年冬、夏季及各月波浪玫瑰圖 0.82 W(24.2%) 5.6 7.0(N, 8.9) 通訊運輸研究所港灣技術研究中心 A GREAT COMPANY



臺中港海氣象及鄰近河川資料蒐集分析

域臺流	溪 地灣北灣	考量業	近河川 》響整得 等性約	輸經達 臺 中 港 半	计於鄰近河	海月署	大甲族 圭中港
			الطبالية محاكم	此公委备封	は書		and a straight of the second
	表4	臺中港鄰: 溪	近河川特1	甲溪	大 4	É 溪	All and a second
লি মা	表4 鳥 流量 (CMS)	臺中港鄰: 溪 輸砂量 (頓/日)	近河川特4 大「 流量 (CMS)	甲溪 輸砂量 (頓/日)	▲ 大子 流量 (CMS)	安 漢 輸砂量 (頓/日)	AND
可 川 季期間	表4 鳥 流量 (CMS) 82.4	臺中港鄰: 溪 輸砂量 (頓/日) 1,596	近河川特4 大 流量 (CMS) 21.9	 単 溪 輸砂量 (頓/日) 168 	大子 流量 (CMS) 18.9	安溪 輸砂量 (頓/日) 352	



遙測影像進行岸線變遷分析

以	多時段衛星	遙測影像分析	F周邊岸線之 變	送遷
٠	灘線分析結果關	雨,2011年(民國100 14-1-8日間以休休時	年)至2013年(民國102	年)間,龍鳳漁港至大
	女溪间的灘緑愛 年(民國102年)3	2019年(民國108年)間	沉,至投海戶十均任	海側前進0.02111。2015
	全段海岸平均往	海側前進13.14m。20	19年(民國108年)至20	20年(民國109年)第二
	期風機設施興建	前後,整段海岸往海	側前進10.64m。	
٠	不同時間段的分	↑析結果顯示龍鳳漁港	至臺中港間在離岸風	1機設備興建前後皆呈
	现淤積的情况,	在接近龍鳳漁港輝,	手風機設施的海岸段#	些明額 (全) 就 前 內 區 (條)。
-	风日的小阳及区	" 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一		
12	- Contra			
	10 100 100 100 100 100	10 20 Mg 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	30.300 and and and and and and a	9 206 800 800 100 100 100 100 100 1000
1	mystures if any signed]] in and a second part of the second	- warder war and for a	an when when the party
1.11	No. and and the same the law.	10	000 200 and and and and 2000 ten 201	
- <u>. 88</u> ,	and the filler	"	- Bar and gran have	
-	305-507	303-317 H		at 100-300
11	the second states and the se		and the same and and the line into the	
- B.u.	moundanced demokal	1 marshall	Incare Incare	
-	and and the same line take	W 1 (1) 100 100 100 100 100		a las en en en las las las

遙測影像進行岸線變遷分析



試	驗設備及範圍	
•	<mark>試驗水池</mark> :長62m、寬57m、深 1m,池內有潮汐控制系統。	- £11.94
•	不規則造波機:本造波機係英國HR Wallingford公司出品之機 械推移式不規則造波機,其由 四個獨立造波模組組成,可模 擬規則波及多種波譜型態之不 規則波。	ARRAY
۲	容量型波高計及資料擷取處理 系統:波高計用於量測水位變 化,且透過資料擷取處理系統 經PC分析後,選擇及修正需要 的試驗波浪。	
•	N→N→M / M / M / M / M / M / M / M / M / M /	圖11臺中港試驗範圍配置圖



頁備試驗條件	表6預備試驗條件說明表							
	物理量	比尺	ġ	填冽	現場	試驗		
本次試驗分別以冬	水平比尺	1/300						
季季節風波浪與夏	垂首比		湖	季風	+4.61 ~+0.89 m	+6.15 ~+1.19 cm		
子子即風波很 · 配 風波浪等試驗條件	R	1/75	位	颱風	+6.00 ~ +2.76 m	+8.00 ~+3.68 cm		
搭配方式,模擬現			冬季波浪		2.24 ~ 2.61 m	8.70 ~ 10.14 cm		
初夜花的作用小小	波高	1/25.74	夏季波浪		0.70 ~ 1.04 m	2.72 ~ 4.04 cm		
			颱風波浪		2.54 ~ 2.78 m	9.87 ~ 10.8 cm		
			冬日	季波浪	7.1~7.5秒	1.4~1.48秒		
	週期	1/5.07	夏季波浪		6.1~6.3秒	1.2~1.24秒		
			颱	風波浪	7.2~8.4秒 1.42~	1.42~1.66秒		
	潮汐比	1/34.6	*	日湖	12hr	20.8min		











~	依法	· 古 據予 試風	日 頃備 合 重	11.1	》 》 驗戶	₩ 不求	出以	冬往	東	季淤		表8臺中	港近	岸水浪	業地形模擬試驗條	条件說明表
	沙	區西	こ置い	方得去	案言	式驗	及	後的	責興	建	物理	比尺	频	闭	現場	試驗
	*	臣川	計画	日日	人物政	4. 35	17	+ 1	2 33	4	水平	1/300				
×.	平之	人了	L,	故言	計	初月(地)	龙形多	不照	108	3年	垂直		潮	季風	+4.61 ~ +0.89 m	+6.15 ~ +1.19 cm
	5月	臺	中法	き港	外	水深	地	形》	則量	資	比尺	1//5	位	颱風	+6.00 ~ +2.76 m	+8.00 ~ +3.68 cm
	料:	進个	丁鋪	設	, 1	式驗	波	浪見	リ須	以以			冬季	波浪	2.15 m	8.35 cm
	較	長其	月之	統	計位	直作	為	參考	計資	料	波高	1/25.74	夏季波浪		0.87 m	3.38 cm
					- 32						0000000	No. See Summin	颱風	波浪	4.19 m	16.28 cm
表	13 豪	中港	近岸	水深	地形	模擬	試驗	條件	說明		-		冬季	波浪	7.5乘》	1.48*
迎歸期	5	年	10	年	25	车	50	年	10	0年	调算	1/5 07	T d	波浪	6.5≉⊎	1 28 秉少
皮向	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)		100000000	颱風	波浪	8.5秒	1.68秒
NNE	4.19	8.54	4.75	9.09	5.46	9.59	5.98	10.19	6.49	10.62	湖汐					
J	4.85	9.19	5.50	9.78	6.32	11.16	6.92	10.97	7.52	11.43	HR	1/34.6	#	日潮	12hr	20.8min
	5.15	9.46	5.84	10.08	6.70	11.50	7.34	11.30	7.97	11.77	LINC		-			
NW	4.85	9.19	5.50	9.78	6.32	11.16	6.92	10.97	7.52	11.43		-				
NW W	4.40	8.83	5.09	9.41	5.84	10.73	6.40	10.55	6.95	10.99		100				
NNW NW WNW	4.48	9.61			1 2,23	10.4/	0.08	10.28	0.01	10.72	di	22			L.	
NNW NW WNW W	4.48 4.26 4.63	8.61 8.97	4.84	9.56	6.03	10.91	6.61	10.72	7.18	111.17	And A		_	Concession of the local division of the loca		A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR O



臺中港北淤沙區配置力	方案試驗-A配置	Ċ.	- E/J	7
圖21及22為A配置模打 地形侵淤變化比較圖 量分區計算顯示臺中 既有之突堤,雖可阻 仍有沙源繞過北防波 淤積現象。	疑1年、3年後之 ,由表9~10土方 港北淤沙區延伸 擋部分沙源,但 堤向南漂移造成			
	表	回23 地形 9A配置模擬14	年後之地形變	- 郫園
		いなしたま	아프 테니 슈프	ALLTE
		※積土力重	沖刷土力重	谷町土力重
	校	(禹亚方公尺)	(禹亚万公尺)	(禹亚万公尺)
		159.21	-114.57	44.64
		189.63	-186.66	2.97
		182.25	-171.54	10.71
	the state of the s	10A配置模擬3	年後之地形變	化侵淤比較表
		淤穑土方量	沖刷土方量	合計土方量
		(萬立方公尺)	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)
		327.24	-104.67	222.57
		377.37	-227.16	150.21
		280.53	-209.88	70.65
图 71 A 配 要 描 解 1 年 後 之 h 形 繕 图 77 A	和罢城县3在绝之地形线	Contraction of the local division of the loc		and the second sec

臺中港北淤沙區配置方案試驗-B配置

圖24及圖25為B配置模擬一年、三年後之地形侵淤變化比較圖,由圖 顯示北防波堤以北多為淤積情形,以南則侵淤互現情況,表11~12土 方量分區計算顯示,B配置於北淤沙區新建置之突堤可阻擋多數沙源 防止其向南漂移。



漂沙水工模型試驗

臺中港北淤沙區配置方案試驗-A、B配置比較

將A、B兩配置模擬結果進行比較,由圖26及圖27顯示多數沙受B方案 新建突堤阻擋淤積於此處,而北防波堤以南部分區域呈現侵淤互現情 形,且土方量計算表13~14除第一區呈現淤積外,其餘兩區多為侵蝕 情形,由此可推估B方案相較A方案可阻擋多數沙防止其向南漂移。



13	A、B配置模	擬1年後之地形	變化侵淤比較
E	淤積土方量	沖刷土方量	合計土方量
段	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)
1	310.14	-270.72	39.42
2	287.64	-362.97	-75.33
3	132.84	-284.94	-152.10

表14 A、B配置模擬3年後之地形變化侵淤比較表

	그리스//포	沖刷土方量	淤積土方量	區
.)	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)	殺
	38.88	-268.65	307.53	1
	-89.01	-348.57	259.56	2
4	-92.97	-264.33	171.36	3
	-89.01 -92.97	-348.57 -264.33	259.56 171.36	2 3



漂	沙水	工模	型	試驗
---	----	----	---	----

臺中港近程外廓堤增建模擬試驗

圖29為模擬近程外廓堤增建後,波浪作用1年之臺中港近岸海域地形變 化情形,由圖可知北防波堤以北堤頭呈現淤積情形,以南呈現侵淤互 現情形;圖30則為波浪作用3年之地形變化情形,於北方波堤以南航道 結構物附近呈現淤積情形,其餘區域則為侵淤互現情況。



長15 A、B配置模擬1年後之地形變化侵淤比率					
[[4]	淤積土方量	沖刷土方量	合計土方量		
段	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)		
1	226.89	-86.22	140.67		
2	334.53	-210.06	124.47		
3	171.81	-126.36	45.45		

表16 A、B配置模擬3年後之地形變化侵淤比較表

100	淤積土方量	沖刷土方量	合計土方量
段	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)	(萬立方公尺)
1	349.38	-112.05	237.33
2	407.88	-345.51	62.37
3	141 39	-190.44	-49.05















□模型.	模型範圍、網格			-	No. 111 IN case of Tax.	編合模式			
模擬範	模擬範圍 約 45km × 22km					風平面時序列 資列 	→ SW風波模式		
網格邊長		外海約2~3km 近岸約400~600m 臺中港區及北淤沙區150~250m		水深地形		→ HD水動力模式	編射應力 式 粒徑,波浪,水油 地形,水園		
Nodes	8	8483				水位選界條件	ST漂沙模式	030	,
Elemen	Elements 12529 期程條件 107-108(現況模擬)、108-111(各方案模擬)				M.	更新地形			
期程條件					Ermin Frank Frank				
邊界潮位	西北方	太平洋水	動力模式	代輸出時間序列	2730000 2730000 2730000				
		冬季	夏季	颱風(5年迴歸期)	2754000 2755000				
x 41.34.34	波向	NNE	W	NNE	=				
入射波波	波高(m)	2.15	0.87	4.19	Ξ				
	週期(s)	7.5	6.5	8.5			T		
河川邊界 流量輪沙	大安》	奚、大甲	溪、鳥淳	美之年平均流量	2000 2000 2000 2000		5	and a second	
	0.2mm				Strime Jeans				









結論與建議







附錄四

工作會議暨專家學者座談會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱:「MOTC-IOT-109-H2CA003 離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探

討(4/4)」自行研究案第1次工作會議

- 二、時間:109年5月21日(星期四)下午3時30分
- 三、地點:本所港研中心3樓會議室
- 四、主持人:蔡立宏主任

紀錄:洪維屏

五、出(列)席人員:如後附簽到表

六、討論議題:

(一)工作進度說明:

1.臺中港風、波、潮流觀測資料分析說明。

2.臺中港鄰近海域漂沙水工模型試驗說明。

3.臺中港港區及鄰近海岸數值模擬說明。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論:

1.臺中港鄰近海氣象及河川資料蒐集分析。

2.臺中港北淤沙區改善配置模擬試驗進行。

3.臺中港港區及鄰近海岸水深地形網格建立。
 七、結論:

(一)持續針對海氣象觀測及河川資料進行檢核分析。

(二)臺中港北淤沙區改善配置模擬試驗,預訂於7月31日前完成。

(三)臺中港港區及鄰近海岸水深地形網格已建立完成。

八、散會:下午4時00分。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱:本所「離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)」工作會議 二、時 間:109年5月21日(星期四)下午3時30分 三、地 點:港灣技術研究中心3樓會議室 紀錄:茨維片 四、主 席:蔡主任立宏

五、出席單位:

單位 簽名 柯正龍 第一科 粮 御梦 En of 、波維廣 截处的 第二科 众级許我宏 偷知你 春水 输入运 第三科 陳創充 其他
交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱:「MOTC-IOT-109-H2CA003 離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探

討(4/4)」自辦研究案8月份工作會議

- 二、時間:109年8月28日(星期五)下午3時30分
- 三、地點:本所港研中心3樓會議室
- 四、主持人:蔡立宏主任

紀錄:洪維屏

五、出(列)席人員:如後附簽到表

六、討論議題:

(一)工作進度說明:

1.臺中港鄰近海氣象及河川資料已完成分析。

- 2.7月31日完成臺中港北淤沙區改善配置漂沙試驗;8月24日完成臺 中港近程外廓堤水工模型建置。
- 3.多時段衛星遙測影像暫擬定以4個不同年份資料進行後續岸線變遷 分析;離岸風機海纜上岸埋設處,已以空拍機進行拍攝觀察其週遭 海岸現況。
- 4.8月21日完成臺中港數值模擬之冬季水動力模式驗證。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論:

- 1.有關臺中港鄰近海域漂沙數值模擬成果未來將和水工模型試驗成果
 進行比對驗證,相關成果以提供航港局、港公司參考。
- 七、結論:
 - (一)持續進行臺中港近程外廓堤建置後之漂沙試驗,模擬建置前、後鄰近 海域地形變化情況。
 - (二)進行數值模擬夏季水動力模式驗證,並針對臺中港現況、北淤沙區改善配置方案及外廓堤建置進行漂沙趨勢模擬。

八、散會:下午4時00分。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄 一、會議名稱:本所「離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)」工作會議 二、時 間:109年8月28日(星期五)下午3時30分 三、地 點:港灣技術研究中心3樓會議室 四、主 席:蔡主任立宏 英 之 紀錄: 茨 維氏 五、出席單位:

簽名 單位 朝海南 第一科 第二科 第三科 陳到養 藏教之言 其他

1

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

- 一、會議名稱:109年度自行研究計畫專家學者座談會議
- 二、時間:109年6月29日(星期一)上午9時30分
- 三、地點:本所港研中心2樓簡報室
- 四、主持人:蔡立宏主任

紀錄:李政達

五、出(列)席人員:如後附簽到表

六、主席致詞:略。

- 七、研究單位簡報:略。
- 八、與會專家學者評論:
- (一) 議題一:主要商港海象觀測作業、資料檢核與特性分析
 - 1.臺灣港務股份有限公司王錦榮助理副總經理
 - (1) 簡報 P.5~6「109 年臺灣中南港域海象觀測與特性分析」計畫及「風 波潮流觀測」,建議增加澎湖港(龍門、尖山與馬公港)。
 - (2) 簡報 P.7 海流觀測部分,建議建置水平式 H-ADCP(可量測方 向、大小變化的)海流儀,另外港公司未來在各國際商港均陸續會建置水平式海流儀,希望系統間可相互介接。
 - (3) 簡報 P.25 臺中港海氣象觀測及特性分析與簡報 P.5-6 計畫之關聯 性為何? 是否重覆?
 - (4)港區空汙的監測與分析研究,建議納入未來持續辦理的計畫。
 - 2.交通部航港局陳賓權副局長
 - (1)相關港域、商港及港灣海象觀測及特性分析應持續進行,惟建議後續 可設計專題研究,如前陣子臺灣海灘線之位移及氣候變遷的觀測、離 岸風電等相關議題。
 - (2)針對所蒐集海象觀測資訊呈現於港灣環境資訊網上,建議可以新增個 人化的設定。
 - (3)配合藍色公路 10 年計畫政策,建議納入臺中澎湖航線、甚至未來郵

輪跳島航線;另為便於推廣遊艇活動,也可將環島沿海之海象觀測資 訊整合提供遊艇玩家使用。

- 3.國立成功大學近海水文中心黄清哲主任
- (1)港研中心長久以來一直專注於臺灣主要商港之海氣象觀測作業、船舶 監控、港灣振盪及海岸漂沙;本次所報告之計畫內容 基本上是延續上 述議題,對港研中心皆是重要的課題,研究成果對國家航港之發展, 應有很大的實用價值。海氣象觀測與氣象局海象測報中心有互補效果。
- (2)波、潮、流觀測及無線傳輸資料成功率如何?有無後續系統改進之計 書構想?
- (3)後續資料品管方法可與國家海洋研究院及成大近海水文中心討論,達 到一致性的標準。
- 4.交通部中央氣象局海象測報中心滕春慈主任
- (1)觀測系統有無規劃物聯網(智慧化)與即時警示或可以整合由其他應用 系統直接使用。
- (2)資料初期分析,是否可以提供趨勢變遷,以因應氣候變遷造成各種海 氣象資料的變化趨勢。
- (3) 資訊網站有無規劃表格式顯示資訊及個人化網站設計。
- 5.國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系林銘崇前教授
- (1) 簡報內容含蓋彙整全國觀測資料是否確實可行?
- 6.本所港研中心簡仲璟前簡任研究員兼科長
 - (1)港研中心歷年來在臺灣各港口鄰近海域進行長期的海氣象觀測調查, 此不僅提升港埠營運效能及船舶航行安全,也提供港灣建設及海洋防 護於規劃、設計與施工計畫擬定時所需之環境資料。此外,在許多環 境影響評估報告書中,也經常引用港研中心之海氣象統計年報資料。 因此港研中心所執行的長期海氣象觀測非常具有應用價值。
 - (2)海象觀測建議後續可加強之工作重點包括 1.資料檢核(例如:資料的合理性、相關性及連續性)2.儀器穩定運作(例如:儀器穩 定、資料傳輸...
 等)3.資料保存(設置原始資料保管專人)4.加強 對外合作(例如:技術

交流,資料共享,資源互補...等)5.加強特 定對象之預警能力。

- (二) 議題二:海象及船舶監控預警系統研發及應用
 - 1.臺灣港務股份有限公司王錦榮助理副總經理
 - (1)目前的趨勢,港灣朝智慧化、物聯網的演進,建議系統應智慧化、自動化、平臺化整合。
 - (2) 簡報 P.23~24 商港強風及陣風特性分析計畫,建議未來可增加 高雄 港第四貨櫃中心、洲際二期的監測與分析。
 - 2.交通部航港局陳賓權副局長
 - (1)航港局透過智慧航安計畫將購置衛星 AIS 資訊,未來可與港研中心進 一步合作深化船舶監控預警系統,也建議未來可針對不 同商船種類進 行 AIS 軌跡分析。
 - (2)針對臺中港強風及陣風特性分析,考量近來臺中港區空氣污染 議題經常發生爭議,建議針對風向對港區空污的影響能加以分析,以提供政策論述參考。
 - 3.國立成功大學近海水文中心黄清哲主任

(無意見)

4.交通部中央氣象局海象測報中心滕春慈主任

5.國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系林銘崇前教授

(1)簡報內容所稱海象,實為限於風力,不過風力因素確具高度重要性。
6.本所港研中心簡仲環前簡任研究員兼科長

- (1)強風與陣風的定義宜有說明;且觀測方法是否有配合,除季節及颱風 個案差異外,建議也考量晝夜的比較。
- (三) 議題三: 離岸風電區臺中基地母港海象及漂沙特性探討
 - 1. 臺灣港務股份有限公司王錦榮助理副總經理
 - (1) 簡報 P.41 離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討計畫,建議應考慮臺中港 LNG 外廓堤興建後對漂沙變化的影響與探討。
 - (2)因應海岸管理法對海岸變遷(侵淤)要有因應對策,建置未來納入布袋港。

⁽無意見)

- 2. 交通部航港局陳賓權副局長
- (1)建議將 LNG 外廓堤納入水工模型試驗,並思考擴大進行高雄港洲際 二期及臺北港的觀測研究。
- 3. 國立成功大學近海水文中心黄清哲主任
- (1)海岸漂沙數值模擬所用模式為何?結果與水工模型試驗結果比較下, 誤差如何?
- (2) 簡報 P.44, 如何利用雷達觀測求出一階及二階海洋表面波。
- 4. 交通部中央氣象局海象測報中心滕春慈主任
- (1)臺中港因應離岸風機新增觀測設施,有無規劃推廣至其他國際港。另外,有無針對臺中港開發海氣象預報作業。
- 5. 國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系林銘崇前教授
- (1)各議題之研究子題及工作內容大致符合執行單位之任務導向。
- 6. 本所港研中心簡仲璟前簡任研究員兼科長
- (1)建議在風電場設廠時建置離岸觀測樁,進行海氣象觀測,以利風電廠 維護保養工作。
- (2)離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)之計畫目標宜再明確。
- (四) 議題四:港灣振盪與防災預警系統應用
 - 1. 臺灣港務股份有限公司王錦榮助理副總經理
 - (無意見)
 - 2. 交通部航港局陳賓權副局長
 - (1)建議除了蘇澳、花蓮等國際商港外,配合藍色公路對東部臺東、綠島、 蘭嶼三角航線的規劃,未來是否也可將臺東富岡港納入評估,以分析 長浪群波對港內客貨船的影響。
 - 3. 國立成功大學近海水文中心黄清哲主任
 - (1)花蓮港長浪預報模式為何? 準確度如何?
 - 4. 交通部中央氣象局海象測報中心滕春慈主任
 - (1)因應港口作業發展可加值新增應用如:陣風、漂沙、港灣振盪對外展示、警示的規劃。

- 5. 國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系林銘崇前教授
- (1)各子計畫之辦理方式及預期成果說明具體。
- (2)建議針對年度總計畫整體性加以說明。
- (3)離岸風電基地港需要規劃處理之課題不少,港內靜穩度亦可能是需要 考量的項目之一。
- (4)有關長浪引致港灣振盪係多年來普受重視之課題,研究過程中建議強 化理論與資料之佐證。
- 6. 本所港研中心簡仲璟前簡任研究員兼科長
- (1)港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(3/4)。花蓮港內穩靜觀測系統除
 17 號及 9 號碼頭外,建議在外港區增加 1 站。觀測方法建議每小時
 觀測 1 次,每次 40 分鐘。(原規劃每小時 3 次,每次 20 分鐘)。
- (2)海岸公路浪襲路段水深測量的範圍及次數如何?僅編列 50 萬預算是 否充足。
- 九、主席裁示:專家學者所提意見,請研究單位列入計畫之研究方向及內 容修訂辦理。

十、散會:中午 12 時 30 分。

會議簽到表

會議名稱:本所港研中心109年自行研究計畫專家學者座談會議 時間:109年6月29日(星期二)上午9時30分

地點:港灣技術研究中心2樓簡報室 主持人: 2 2 2

小爱之光	紀錄:大水
單位	簽名
臺灣港務股份有限公司 王錦榮助理副總經理	王婉荣
交通部航港局陳賓權副局長	、厚黄环
國立成功大學近海水文中心 黃清哲主任	The the
交通部中央氣象局海象測報中心 滕春慈主任	滕春蓉
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系 林銘崇前教授	林純賞
港研中心 簡仲璟前簡任研究員兼科長	節小時
本所港研中心第二科蘇科長青和	STE J
本所港研中心第三科李科長俊穎	李浩觀
本所港研中心	黄氏后 语子子连
	表 252 · ▲ 版 AM

衛知院 7783 菜也诸 神秘 怒武殿 新使品 · 新语下分 鹅缸之 本所港研中心 法 離 屏 \$26.32 \$7/2 B 剧场教 于的雪刷耀州