94-22-7128 MOTC-IOT-93-H2EB018

高雄港港池淤沙調查研究 - 底泥流動特性研究



交 通 部 運 輸 研 究 所 國 立 台 灣 海 洋 大 學 合 作 辦 理

中華民國九十四年三月

94-22-7128 MOTC-IOT-93-H2EB018

高雄港港池淤沙調查研究 - 底泥流動特性研究

著者:林柏青、臧效義、周憲德、羅耀財、何良勝

交通部運輸研究所 國立台灣海洋大學 合作辦理

中華民國九十四年三月

局雄港港池淤沙調查研究





GPN:1009400802 定價 300 元 國家圖書館出版品預行編目資料

高雄港港地淤沙調查研究: 底泥流動特性研究 / 林柏青等著. - 初版. - 臺北市: 交通 部運研所, 民 94 面; 公分 參考書目:面 ISBN 986-00-0711-X(平裝) 1. 濬港 557.543 94004885

高雄港港池淤沙調查研究 一底泥流動特性研究
 著 者:林柏青、臧效義、周憲德、羅耀財、何良勝 出版機關:交通部運輸研究所 地 址:台北市敦化北路 240號 網 址:www.ihmt.gov.tw (中文版/中心出版品) 電 話:(02)23496789 出版年月:中華民國九十四年三月 印 刷 者:普林特印刷有限公司 版(刷)次冊數:初版一刷 110 冊 本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定 價: 300 元 展售處:
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話:(02)23496880 三民書局重南店:台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話:(02)23617511 三民書局復北店:台北市復興北路 386 號 4 樓•電話:(02)25006600 國家書坊台視總店:台北市八德路三段 10 號 B1•電話:(02)25787542 五南文化廣場:台中市中山路 6 號•電話:(04)22260330 新進圖書廣場:彰化市中正路二段 5 號•電話:(04)7252792
青年書局:高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話: (07)3324910

GPN: 1009400802

ISBN:986-00-0711-X(平裝)

六语如海龄研究的合作研究社事中的口语声主
父世即理制研九川口作研九計重山似吅拘女衣

出版品名稱:高雄港港池淤沙調查研究 - 底泥流動特性研究				
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 986-00-0711-X	1009400802	94-22-7128	93-H2EB018	
(平裝)				
本所主辦單位:港研中心	合作研究單位:國立台	}灣海洋大學河海工程系	研究期間	
主管:邱永芳	計畫主持人: 臧效義		自93年4月	
計畫主持人:林柏青	研究人員:周憲德、羅	羅耀財里		
研究人員:何良勝	地址:基隆市中正區均	北寧路二號	至93年12月	
聯絡電話:04-26587190	聯絡電話:02-246221	92-6145		
傳真號碼:04-26560661			 	

摘要:

鑑於本研究計畫以現場資料整理分析、實驗室試驗及數值模擬分析等方式 ,分別針對高雄港港池底泥流動特性執行五個工作項目:1.港池淤泥來源及底 質調查,2.港池流況分析,3.港池淤泥流動及沉降分析,4.港池淤泥傳輸分析 及5.港池淤泥之防治對策評估。研究結果指出港池淤泥主要以粉土及黏土顆粒 組成,且港池中間段之顆粒一般靠近港口處者為細。整體港池之水深變化顯示 夏季期間 4月至10月 呈侵蝕而冬季期間 10月至翌年4月 呈淤積,其原因 乃是浚挖作業集中在夏季期間,尤其是近幾年均較集中於靠近二港口航道附近 之貨櫃碼頭船席。從港池淤泥傳輸之數值模擬結果指出第四貨櫃碼頭船席底泥 之部份漂砂來源應是從第二港口輸入之海岸漂砂,因而防治策略中應減少海岸 輸入漂砂,以期能有效降低船席浚泥之作業。

	-				
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式		
94年3月	132	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品,公營、公 益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱;私人及私營機關團 體可按定價價購。		
機密等級:					
限閱 機密 極機密 絕對機密					
(解密【限】條件: 年 月 日解密, 公布後解密, 附件抽存後解密,					
工作完成或會議終了時解密, 另行檢討後辦理解密)					
普通					
備註:本研究	備註:本研究之結論與建議不代表交通部之意見。				

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS INSTITUTE OF TRANSPORTATION MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Investigation on Sediment Deposition in Basins of Kaohsiung Harbor					
Flow Characteristics of Bed Mud					
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJ ECT	NUMBER	
ISBN 986-00-0711-X	1009400802	94-22-7128	93-H2E	B018	
(pbk.)					
DIVISION: Harbor &	Marine Technology Center		PROJ ECT	PERIOD	
DIVISION DIRECTC	R: Chiu, Yung-fang				
PRINCIPAL INVEST	IGATOR: Lin, Po-ching		FROM Apr	ril 2004	
PROJ ECT STAFF: H	lo, Liang-sheng		TO Decemb	per 2004	
PHONE: (04) 265871	90				
FAX: (04) 26560661					
RESEARCH AGENC	Y: National Taiwan Ocean University		•		
PRINCIPAL INVEST	IGATOR: Z ang, Xiao-yi				
PROJ ECT STAFFZ hou, Xian-de, Luo, Yao-cai					
ADDRESS: 2, Pening Rd., Keelung, Taiwan (R.O.C.)					
PHONE: (02) 246221	92 ext. 6145				
KEY WORDS:					
Kaohsiung Harbor ; Bed Mud ; Flow Characteristics					

ABSTRACT:

The proj ect has adopted analysis shemes of field measurements, lab experiments and numerical simulation to carry out studies on the flow characteristics of the bed mud in harbor basins of Kaohsiung Harbor. It consists of five task items : 1. Investigation on soil properties and sources of harbor mud, 2. Analysis on flow patterns in harbor basin, 3. Analysis on mud flow and deposition in harbor basin, 4. Analysis on mud transport behavior in harbor basin, and 5. Evaluation on countermeasure strategy. The results have shown that bed mud in harbor basin is composed of silt and clay and much finer sediment found in the middle section of harbor basin than at both harbor entrances. From the hydrograph charts it is found that generally the harbor basin is in erosion in summer periods and in accretion in winter periods, especially at berths of the Container Terminal nearby the 2nd Harbor Entrance. Numerical simulations were conducted and the results indicated that sediment deposited at berths of the Container Terminal #4 is transported into the harbor basin from coastal current through the 2nd Harbor Entrance. Therefore, the most urgent countermeasures should be aimed at reducing the input of coastal sediment from the outside of the port so as to lessen the dredging work inside the harbor basin.

			CLASSIFICATION	
DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	SECRET	
March 2005	132	300	CONFIDENTIAL	
			☑UNCLASSIFIED	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.				

中文摘要	I
英文摘要	II
圖目錄	V
表目錄	VIII
第一章 計畫緣起	1-1
1.1 目的	1-1
1.2 重要性	1-1
1.3 港區範圍	1-2
1.4 工作項目內容	1-3
第二章 文章回顧	2-1
2.1 凝聚性沉降傳輸	2-1
2.2 數值模式	2-2
第三章港池淤泥來源及底質調查與流況分析	3-1
3.1 港池淤泥來源及底質調查	3-1
3.1.1 前言	
3.1.2 全區水深侵淤變化	
3.1.3 船席浚挖量分析	
3.1.4 船席侵淤量分析	
3.1.5 分析方法	3-19
3.2 流況分析	
3.2.1 風力	
3.1.2 浪	
3.2.3 潮汐	
第四章 港池淤泥之流動及沈降分析與傳輸分析	4-1
4.1 港池淤泥之流動及沈降分析	4-1

4.1.1 前言	4-1
4.1.2 研究方法與步驟	4-1
4.1.3 結果與討論	
4.2 淤泥之污染源傳輸分析	4-24
4.3 模式結果	4-27
第五章 防治對策評估與建議	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 防制對策評估	5-1
5.3 建議	5-4
參考文獻	A-1
附錄	B-1
簡報內容	C-1
審查意見	D-1

圖目錄

圖 1.1 高雄港港區平面位置	1-2
圖 2.1 垂直方向σ座標系統之示意圖	2-6
圖 3.1 水深侵淤變化分析工作流程圖	3-2
圖 3.2 港區分區圖	3
圖 3.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(1/3)	3-6
圖 3.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(2/3)	3-7
圖 3.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(3/3)	3-8
圖 3.4 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域一	9
圖 3.5 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域二	3-10
圖 3.6 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域三	3-11
圖 3.7 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域四	3-12
圖 3.8 船席位置圖	3-14
圖 3.9 不同年份各船席年浚挖量分析	3-15
圖 3.10 不同年份月浚挖分析比較(1/3)	3-16
圖 3.10 不同年份月浚挖分析比較(2/3)	3-17
圖 3.10 不同年份月浚挖分析比較(3/3)	3-18
圖 3.11 89-92 年每半年部份船席區侵淤結果	3-21
圖 3.12 A 不同代表船席侵淤結果及 B 相對應之水深	資料3-22
圖 3.13 高雄地區全年風玫瑰圖(1984.1 2001.12)	3-23
圖 3.14 高雄地區各月風玫瑰圖(1984.1 2001.12)	3-24
圖 3.15 高雄港 2001 年海流玫瑰分布	3-30
圖 3.16 四季合成流分布(1/2)	3-31
圖 4.1 樣本採樣點區位圖	4-2
圖 4.2 淤泥沈降曲線圖(七天)	4-3
圖 4.3 淤泥沈降曲線圖 (一天)	4-4

啚] 4.4.B 一船渠口與新碼頭交會處	4-5
啚] 4.5.B 第一船渠口與新碼頭交會處沈降實驗界面變化	4-5
圕] 4.6.C 愛河口	4-6
圕] 4.7.C 愛河口沈降實驗界面變化	4-6
圕] 4.8.D 第五號船渠口	4-7
圕] 4.9.D 第五號船渠口沈降實驗界面變化	4-7
圕] 4.10.E 新舊港交會處	4-8
圕]4.11.E 新舊港交會處沈降實驗界面變化	4-8
圕] 4.12.F 前鎮河口	4-9
圕]4.13.F前鎮河口沈降實驗界面變化	4-9
圕] 4.14.G 前鎮漁港口	4-10
圕] 4.15.G 前鎮漁港口沈降實驗界面變化	4-10
圕] 4.16.H 二港口出外港處	4-11
圕] 4.17.H 二港口出外港處	4-11
圕]4.18.I 大林發電廠與中船前交會航道	4-12
圕]4.19.I 大林發電廠與中船前交會航道沈降實驗界面變化	4-12
圕] 4.20.K 中鋼河道口	4-13
圕] 4.21.K 中鋼河道口沈降實驗界面變化	4-13
圕] 4.22 中鋼排水溝上游	4-14
啚] 4.23 中鋼排水溝上游沈降實驗界面變化	4-14
圕] 4.24 前鎮河上游	4-15
圕] 4.25 前鎮河上游沈降實驗界面變化	4-15
啚] 4. 26 各淤泥樣本之粒徑分佈	4-22
圕] 4.27 高雄港區地理位置之示意圖	4-24
圕] 4.28 C-MAP 資料庫實測地形水深點的分佈	4-25
圕] 4.29 模式 150×50 水平網格點的區域分佈圖	4-25
圕] 4.30 模式區域的地形水深圖	4-25

圖 4.	.31	大範圍潮汐模式水位驗證	4-28
圖 4.	.32	模式二十天時的潮流與潮位分布圖	4-28
圖 4.	.33	第一港口高解析模式潮流流場在第四小時之分布圖	4-29
圖 4.	.34	第一港口高解析模式潮流流場在第八小時之分布圖	4-30
圖 4.	.35	第一港口高解析模式潮流流場在第十二小時之分布圖	4-31
圖 4.	.36	第一港口高解析模式潮流流場在第十六小時之分布圖	4-32
圖 4.	.37	第一港口高解析模式潮流流場在第二十小時之分布圖	4-33
圖 4.	.38	第一港口高解析模式潮流流場在第二十四小時之分布圖。	4-34
圖 4.	.39	模式模擬十天後第一港口區域底層潮流流場及淤泥沉積的厚度	勺 4-35
圖 4.	.40	模式模擬十天後第二港口區域底層潮流流場及淤泥沉積的厚度	勺 4-35
圖 4.	.41	第二港口高解析模式潮流流場在第十二小時之分布圖4	4-38
圖 4.	.42	第二港口高解析模式潮流流場在第十六小時之分布圖4	4-39
圖 4.	.43	第二港口高解析模式潮流流場在第二十小時之分布圖4	4-40
圖 4.	.44	第二港口高解析模式潮流流場在第二十四小時之分布圖。	4-41
圖 4.	.45	模式模擬十天後第一港口區域底層潮流流場及淤泥沉積的厚度	勺 4-42
圖 4.	.46	模式模擬十天後第二港口區域底層潮流流場及淤泥沉積的厚度	勺 4-42
圖 4.	.47	模式模擬十天後第一港口區域底層潮流加上 5 MS-1 均匀 北風風場的流場及淤泥沉積的厚度	4-43
圖 4.	.48	模式模擬十天後第二港口區域底層潮流加上 5 MS-1 均匀 北風風場的流場及淤泥沉積的厚度	4-43
圖 5.	.1 尨	[津浸淤圖	.5-3
圖 5.	.2 _	二港口迴船池的水深圖	.5-5

表目錄

表	3.1	全區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)	3-4
表	3.2	局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域一	3-4
表	3.3	局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域二	3-4
表	3.4	局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域三	3-5
表	3.5	局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域四	3-5
表	3.6	3,4,5,6 船席侵淤量(單位:M3/半年)	3-20
表	3.7	13,14 船席侵淤量表(單位:M3/半年)	3-20
表	3.8	67,68 船席侵淤量表(單位:M3/半年)	3-20
表	3.9	115,116 船席侵淤量表(單位:M3/半年)	3-21
表	3.10)波浪資料綜合比較表	3-26
表	3.11	高雄港外海各方向各迴歸期設計波高分析表	3-27
表	3.12	2 第二港口驗潮站各種潮汐統計表	3-29
表	3.13	3 第 10 號碼頭驗潮站各種潮汐統計表(單位:公尺)	3-29
表	3.14	1 高雄地區潮汐調合分析成果表	3-29

第一章 計畫緣起

1.1 目的

本計畫將以現場資料整理分析、實驗室試驗研究及數值模式 模擬分析等方式,分別執行高雄港池內各區淤泥來源及底質調 查、港池流況分析(海氣象及海潮流)、港池淤泥之流動及沉降分 析、港池淤泥傳輸分析、港池淤泥之防治對策評估等五項工作, 做為碼頭船席淤積浚挖及抛泥之處理依據,以減少營運成本及提 高服務航商之滿意度。

1.2 重要性

本計畫將以現場資料整理分析、實驗室試驗研究及數值模式 模擬分析等方式,分別執行高雄港池內各區淤泥來源及底質調 查、港池流況分析(海氣象及海潮流)、港池淤泥之流動及沉降分 析、港池淤泥傳輸分析、港池淤泥之防治對策評估等五項工作, 做為碼頭船席淤積浚挖及抛泥之處理依據,以減少營運成本及提 高服務航商之滿意度。

台灣四周環海,是一個海洋國家,也屬於典型的海島型經濟型態,故長久以來進、出口和轉口之間的貿易,一直是台灣所賴以生存與經濟發展的重要憑藉;因對外貿易九成五以上均需仰賴海運來完成,所以海運事業可說是我國生存和經貿發展的命脈所在。

高雄港位於臺灣西南海岸, 扼台灣海峽與巴士海峽交匯之要 衝, 又居亞太地區的中心關鍵位置, 南接東南亞與北連東北亞而 西臨經濟高速發展的中國大陸沿海, 加以港域遼闊, 腹地廣大, 氣候溫和, 臨海有狹長沙洲, 實為港灣的天然防波堤, 地理條件 優良, 港灣形勢天成, 為一天然良港。

高雄港每年之維護浚挖量在航道部分約 45 萬立方公尺,船 席方面 15 萬立方公尺,鑑於每年浚挖量不少,且為符合海洋污 染防治法之規定,浚挖之沙必須分類處理,故對於沙之來源有必 要確實知道,以利浚挖之分類。目前航商對於水深之要求日漸嚴 苛,稍許之淤積,即要求浚挖以符合契約水深之需求,增加甚多 維護成本。故如能探討來源並對來源予以處理可減少浚挖量並提 高航商之滿意度。 政府已通過並公佈了「自由貿易港區設置及管理條例」,「自 由貿易港區」是政府為了要突破目前的作業限制,提高國際競爭 力而規劃並積極推動的,高雄港是一個得天獨厚的港口,也是被 視為自由貿易港區設置地點之一。為配合國家經濟發展政策,並 因應高雄港未來發展需要、有效利用現有港埠資源,積極推動高 雄港整體規劃,並以突破創新的理念、國際化的經營、自由化的 服務、現代化的設備及企業化的管理,營造具競爭力的經營環 境,以爭取高雄港成為世界主要樞紐港,再創營運佳績,達成政 府「發展高雄港為亞太海運中心」及「全球運籌管理中心」之政 策目標。



1.3 港區範圍



高雄港位於台灣的西南海岸,北依半屏山,東臨屏東平 原,西扼台灣海峽南口,臨海有狹長沙洲,可為港灣的天然 防波堤,高雄港是一個天然的狹長海灣,港口向西北開敞,其 第一港口入口處有效寬100米,而寬大的港域則達17678公頃。 高雄港現有陸域面積1442公頃,水域面積16236公頃,目前進 出港航道有第一港口及第二港口,現有航道全長約18公里,碼 頭118座,全長26595公尺,現為台灣第一大港。

1.4 工作項目內容

本計畫規劃「高雄港港池淤沙調查研究 - 底泥流動特性研究」 之主要工作內如下:

一、 港池淤泥來源及底質調查

針對港池內航道與主要船席進行採樣,並分析相關土壤特性,再從歷年水深檔案之侵淤分析,以作為判斷底泥來源及 分類之依據。

二、 港池流況(海氣象及海潮流)分析

海氣象條件與海潮流條件都是傳輸底泥重要驅動力來 源,其中波浪與潮汐更是重要的傳輸因子。由於本區以往已 有幾次的實測調查分析工作,因此將收集相關資料先行綜合 整理,再配合水動力數值模式據以深入分析相關代表性條件。

三、 港池淤泥之流動及沈降分析

由於淤泥之流動及沈降特性直接影響其在水動力影響 下之行為,並進而產生不同之傳輸行為與分佈結果,故研究 方式將以實驗室試驗分析方式,探討相關行為特性,作為傳 輸數值模擬之依據。

四、 淤泥之污染源傳輸分析

淤泥不僅受港池中廢水污染,其傳輸後之分佈行為也會對 港池的航行安全造成影響。因此,傳輸分析將針對港內之水 動力條件與底泥傳輸行為進行探討,並指出易堆積之區域作 為浚泥工程之依據。

五、 港池淤泥防治對策評估

根據前面之試驗分析可瞭解港池內淤泥之特性以及其傳 輸行為,針對分析結果將進一步研擬防制對策,並進行評估, 評估結果可提供港務局進行相關因應措施擬定。

第二章 文章回顧

2.1 凝聚性沉降傳輸

按 Wang et al.(1985)關於圓柱沉降的實驗與數值分析結果 得知,污水中的沈澱物與稀釋過的海水混和,則凝結與沈降將 會同時發生,此外,舊有的方法對非凝聚性的顆粒可以作有效 的分析,但要分析具有凝聚性質的顆粒時,例如污泥等,沈降 與凝結的相關性就會發生混淆,原因是當顆粒凝結時沈降速度 也會隨之改變,若繪出濃度與時間的關係圖,僅考慮凝結過一 次,則可繪出其為一直線,但也可斷定如果時間很短(100分 鐘)或很長時間(10000分鐘)則圓柱沈降實驗則不太能符合 線性關係,其原因有二:

a.實驗用的圓管比前人使用的高。

b.沈降實驗,是在靜止的環境中,而在前人的實驗中有一剪力 在影響。

至於凝聚性沈滓傳輸機制之模擬與分析,按陳(1999)之研 究結果顯示,凝聚性沈滓落淤和流速、臨界沈積剪應力、入流 濃度、及沈降速度有關,其中沈降速度應該考慮濃度的影響, 而粒徑因素可以忽略,完整的沖刷機制應該考慮表層沖刷、塊 狀剝蝕及底床壓密,其中壓密更是凝聚性沈滓與非凝聚性沈滓 最大的差異在一般文獻均以 60 µm 作為凝聚性沈滓(cohesive sediment)與非凝聚性沈滓(non-cohesive sediment)之分界,同 時,沈滓本身之重力以及受到的浮力為其物理力,分子與分子 間的凡得瓦力鍵以及離子鍵為其作用之化學力,凝聚作用後, 粒子與粒子間結合成剪力強度較大的絮狀(flocs)或是團狀物 (aggregate),他又指出 Krone(1962)的實驗結果,定義出一臨界 沈積剪力,當底床剪應力小於這臨界沈積剪應力時,則懸浮的 沈滓最後都會落淤下來,當底床剪應力大於臨界沈積剪應力 時,則懸浮的沈滓只有極少數部分會落淤,懸浮物濃度會達到 平衡濃度,懸浮質落淤到底床一段時間後,底床與這些落淤的 懸浮質開始緊緊結合,產生較緊密的底床,底床密度變大,孔 隙率變小,剪力強度增加,再過一段長時間,底床上有新的沈 積,而先前的沈積則因這些新沈積物以及水的重量壓迫下,變 為更為堅固的底床,此即為凝聚性沈滓的壓密。在入海口附近 落淤之凝具性沈滓其比重大,亦可以表示在沈滓落淤過程中其 沈降速度比較大。凝聚性沈滓的沈積與沈滓的沈降速度有很大 的關係,當凝聚性沈滓膠結以後,其沈降速度會比原來單顆粒 粒子還大許多,通常沈降速度並不是一常數,他會隨著沈積行 為發生而慢慢變小。

Erik & Berlamont(1993)關於凝聚性漂砂沉降與壓密的數學 模擬與試驗研究指出,因真實土壤是由多種成分構成,故實驗 中分成具有凝聚力的黏土與粗操無凝聚力的土,另在圓管沉澱 實驗中,粗操的顆粒先沉澱並形成底層,具有凝聚力的顆粒沉 澱在上方,當具有凝聚力的顆粒壓密後,形成不可穿透的情形。 此時乾密度會到達一 peak 值。但土壤在進入過度階段時沉降率 會變低,至壓密時沉降率會漸漸趨於穩定。若在圓柱沉降實驗 把泥土的總量分五份,每禮拜倒一份,可觀察到後來傾倒的泥 土沉澱在已壓密的底層上,且沈澱是成層的覆蓋在已壓密的底 層上。

2.2 數值模式

2.2.1 簡介

計畫選取由美國 HydroQual, Inc.所發展的三維非線性海洋模 式 ECOMSED (HydroQual, 2002), 做為高解析度海流與淤泥輸送 模擬計算的工具。此模式是美國普林斯頓大學地球物理流體力學 實驗室所發展的水理模式 Princeton Ocean Model (簡稱 POM) 為 基礎,再加入海洋沉積物輸送的計算模組組合而成。POM 模式 是一個以基本方程式(primitive equations)為基礎所架構而成的三 維海洋數值模式,已經廣泛地使用於不同海域的研究,例如,從 小尺度的河川、渠道之三維水理運動,到大尺度海洋的海流流場 變化之模擬。

此模式係由 Blumberg and Mellor (1987)所發展,是一個以有 限差分格式為架構的數值模式。對於空間與時間上的微分項皆以 中央差分的型式做分解演算,對於流速場、密度場及水深在格點 上的排列方式,則使用質量守恆與動量守恆的 Arakawa C-grid (Arakawa and Lamb, 1977)做為基本架構。除此之外,結合垂直 方向的 sigma (σ)座標系統與水平方向的曲線座標系統,因此更提 高了模式對於模擬實際海底地形以及不規則形狀海岸線的代表 性。而且,此模式具有自由水面的邊界條件,因此可以模擬潮流 以及表面重力波的傳動情況。

此模式與其他模式的最大差異在於,模式運算中所使用的垂

直方向的黏滯擴散係數,乃依據 Mellor and Yamada (1974, 1982) 所提出的 2.5 階紊流封閉模式 (2.5-level turbulence closure model) 計算求得。至於水平方向的混合係數,則是根據 Smagorinsky (1963)的公式求得。利用這二種方法所求得之混合係數,實際上 並非固定常數,而是隨著時間與空間的變化而改變。一般而言, 混合係數值的大小分別取決於紊流運動能量以及流速梯度大小 而定。除此之外,本研究計畫所使用的 POM 模式版本,包含 Multidimensional Positive Definite Advection Transport Algorithm (MPDATA) (Smolarkiewicz and Grabowski, 1990)的數值計算方 法,用來模擬溫、鹽之輸送混合狀況。此數值計算方法的目的, 在於保證密度場在水團混合與輸送的過程中,維持其絕對正值的 自然性質。結合上述的三種數值計算方法,對於海洋混合層、密 度鋒面結構及水團間混合、擴散過程的數值模擬,有更進一步的 改進。

2.2.2 方法

2.2.2.1 基本理論

POM 模式使用靜力平衡 (hydrostatic assumption)及 Boussinesq 近似兩個假設來簡化控制方程式,但是運動方程式依 然遵守質量守恆及動量守恆的法則,在卡式座標系統下其連續方 程式可表示為:

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \tag{2.1}$$

運動方程式為:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla U + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_X$$
(2.2)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla V + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_Y$$
(2.3)

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \tag{2.4}$$

上式中 U、 V 及 W 分別為東西、南北及垂直方向的流速分量, ρ_{\circ} 為參考密度, ρ 為現場密度, g 為重力加速度, P 為壓力, K_M 為 垂直渦漩混合係數, f 為科氏力參數。由(2.4)式從深度 z 積分至表 面水位高度n可得:

$$P(x, y, z, t) = P_{\text{atm}} + \rho_0 g \eta + g \int_z^0 \rho(x, y, z', t) dz'$$
(2.5)

此設定大氣壓力 Patm 為常數。

溫度、鹽度守恆方程式可表示為:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \theta + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta$$
(2.6)

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla S + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S$$
(2.7)

上式中*6*為位溫, *S*為鹽度, *K_H*為溫度及鹽度的垂直渦漩擴散係 數。密度則根據 Fofonoff (1962)的靜態方程式求得:

$$\rho = \rho(\theta, S) \tag{2.8}$$

此外,控制方程式中 F_X 、 F_Y 、 F_θ 及 F_S 分別表示為:

$$F_{X} = \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_{M} \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_{M} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right]$$
(2.9)

$$F_{Y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[2A_{M} \frac{\partial V}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_{M} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right]$$
(2.10)

$$F_{\theta,S} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial(\theta,S)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial(\theta,S)}{\partial y} \right]$$
(2.11)

式中 A_M 為水平渦漩混合係數, A_H 為水平溫度、鹽度渦漩擴散係 數。係數 A_M 及 A_H 乃根據 Smagorinsky (1963)的公式求得:

$$A_{M} = C\Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^{2} + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^{2} \right]^{1/2}$$
(2.12)

式中 C 是常數,其值通常介於 0.1 0.2 之間。

2.2.2.2 2.5 階紊流封閉模式

模式利用 Mellor and Yamada (1974, 1982)所發展的紊流模式 求得垂直方向的紊流渦漩混合及擴散係數, K_M 及 K_H 。根據紊流 動能($q^2/2$)及紊流尺度 l表示:

$$\frac{\partial q^{2}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q^{2} + W \frac{\partial q^{2}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{q} \frac{\partial q^{2}}{\partial z} \right) + 2K_{M} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^{2} + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^{2} \right] + \frac{2g}{\rho_{0}} K_{H} \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^{3}}{B_{1}l} + F_{q}$$
(2.13)

$$\frac{\partial q^{2}l}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla (q^{2}l) + W \frac{\partial q^{2}l}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{q} \frac{\partial}{\partial z} (q^{2}l) \right] + l E_{1} K_{M} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^{2} + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^{2} \right] + \frac{l E_{1} g}{\rho_{0}} K_{H} \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^{3}}{B_{1}} \widetilde{W} + F_{l}$$

$$(2.14)$$

其中

$$\widetilde{W} \equiv 1 + E_2 \left(\frac{l}{\kappa L}\right)^2 \tag{2.15}$$

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1}$$
(2.16)

簡單而言,為了讓紊流方程式封閉,假設紊流熱能的產生與 消散達到平衡而得到所有的經驗常數。因此,垂直方向的渦漩黏 滯係數定義為:

$$K_M = qlS_M, \ K_H = qlS_H, \ K_q = qlS_q \tag{2.17}$$

式中 S_M 、 S_H 及 S_q 則取決於區域的 Richarson 數:

$$Ri = -\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]$$
(2.18)

Ri的臨界值為 0.19。當 Ri大於此值時, 紊流與混合則停止發生。

2.2.2.3 σ座標系統

POM 模式將上述之方程式轉換為σ座標系統(Philip, 1957), 其座標系統可表示為:

$$x^* = x, \quad y^* = y, \; \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, \; t^* = t$$
 (2.19)

式中 $D=H+\eta$, H(x, y)為水深, $\eta(x, y, t)$ 表面水位高度。因此將垂 直座標由 $z = \eta \Xi z = -H$ 轉換成在 σ 座標系統中, σ 的值介於 0 -1 之間(圖 2.1)。



圖 2.1 垂直方向σ座標系統之示意圖

經過座標轉換後,控制方程式可改寫為: $\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UD}{\partial x} + \frac{\partial VD}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0$ (2.20)

$$\frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D}\frac{\partial U}{\partial \sigma}\right) - \frac{gD^2}{\rho_0}\frac{\partial}{\partial x}\int_{\sigma}^{0}\rho \,d\sigma + \frac{gD}{\rho_0}\frac{\partial D}{\partial x}\int_{\sigma}^{0}\sigma\frac{\partial\rho}{\partial \sigma}d\sigma + DF_x$$
(2.21)

$$\frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD\frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D}\frac{\partial V}{\partial \sigma}\right) - \frac{gD^2}{\rho_0}\frac{\partial}{\partial y}\int_{\sigma}^{0}\rho \,d\sigma + \frac{gD}{\rho_0}\frac{\partial D}{\partial y}\int_{\sigma}^{0}\sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma}d\sigma + DF_y$$
(2.22)

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta U D}{\partial x} + \frac{\partial \theta V D}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right) + DF_{\theta}$$
(2.23)

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) + DF_s$$
(2.24)

$$\frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial U q^2 D}{\partial x} + \frac{\partial V q^2 D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right) + \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{2Dq^3}{\Lambda_1} + DF_q$$
(2.25)

$$\frac{\partial q^{2}lD}{\partial t} + \frac{\partial Uq^{2}lD}{\partial x} + \frac{\partial Vq^{2}lD}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^{2}}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_{q}}{D} \frac{\partial q^{2}l}{\partial \sigma} \right) + E_{1}l \left\{ \frac{K_{M}}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^{2} + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^{2} \right] + \frac{qE_{3}}{\rho_{0}} K_{H} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right\} - \frac{Dq^{3}}{B_{1}} \widetilde{W} + DF_{1}$$

$$(2.26)$$

新的垂直流速分量定義為:

$$\omega = \left(\eta + H\right) \left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla\right) \left(\frac{z - \eta}{\eta + H}\right)$$

或者表示為:

$$\omega = W - U\left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x}\right) - V\left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y}\right) - \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t}\right)$$
(2.27)

表面水位高度可由(1.18)-(1.20)垂直積分平均之二維方程式求 得:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \overline{U}D}{\partial x} + \frac{\partial \overline{V}D}{\partial y} = 0$$
(2.28)

$$\frac{\partial \overline{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \overline{U}^{2}D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} - f\overline{V}D + gD\frac{\partial \eta}{\partial x} - D\overline{F}_{x} = -\overline{wu}(0) + \overline{wu}(-1)$$

$$-\frac{\partial \overline{DU'^{2}}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{DU'V'}}{\partial y} - \frac{gD^{2}}{\rho_{0}}\frac{\partial}{\partial x}\int_{-1\sigma}^{0} \rho \, d\sigma' d\sigma + \frac{gD}{\rho_{0}}\frac{\partial D}{\partial x}\int_{-1\sigma}^{0} \sigma' \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma' d\sigma$$
(2.29)

$$\frac{\partial \overline{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \overline{U}VD}{\partial x} + \frac{\partial \overline{V}^{2}D}{\partial y} + f\overline{U}D + gD\frac{\partial \eta}{\partial y} - D\overline{F}_{y} = -\overline{wv}(0) + \overline{wv}(-1)$$

$$-\frac{\partial \overline{DU'V'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{DV'^{2}}}{\partial y} - \frac{gD^{2}}{\rho_{0}}\frac{\partial}{\partial y}\int_{-1\sigma}^{0}\rho d\sigma' d\sigma + \frac{gD}{\rho_{0}}\frac{\partial D}{\partial y}\int_{-1\sigma}^{0}\sigma' \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma' d\sigma$$
(2.30)

其中

$$(\overline{U},\overline{V}) \equiv \int_{-1}^{0} (U,V) d\sigma$$
 (2.31)

 $-\overline{wu}(0)$ 、 $-\overline{wv}(0)$ 為*x*、*y*方向分量的風應力, $\overline{wu}(-1)$ 、 $\overline{wv}(-1)$ 為*x*、*y*方向分量的海底摩擦力。

2.2.2.4 垂直方向邊界條件

在 σ座標系統,新的垂直流速分量的邊界條件轉換為: ω(x, y, 0, t) = ω(x, y, -1, t) = 0 (2.32)

表面風應力的作用可表示為:

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = -\left(\overline{wu}(0), \overline{wv}(0) \right), \quad \sigma \to 0$$
(2.33)

海底摩擦力使用對數定理(logarithmic law of the wall)求得:

$$\frac{K_{M}}{D}\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma}\right) = C_{z}\left[U^{2} + V^{2}\right]^{1/2}(U, V), \ \sigma \to -1$$
(2.34)

其中

$$C_{z} = \text{MAX}\left[\frac{\kappa^{2}}{\left[\ln\{(1 + \sigma_{kb-1})H / z_{0}\}\right]^{2}}, 0.0025\right]$$
(2.35)

式中 von Karman 常數 K=0.4, z₀ 為海底粗糙參數。

2.2.2.5 細泥運送模式

本計劃以三維數值模式,計算高雄港區底泥流動之特性。我 們採用美國 HydroQual Inc.發展的沉積物輸送模式(sediment transport module),考慮凝聚性沉積物(cohesive sediment)的顆粒再 懸浮、沉降與凝結的物理動力性質(Lick et al., 1994),控制方程式 如下:

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} + \frac{\partial UC_s}{\partial x} + \frac{\partial VC_s}{\partial y} + \frac{\partial (W - W_s)C_s}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial C_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_H \frac{\partial C_s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial C_s}{\partial z} \right)$$
(2.36)

(i) 邊界條件:

(a) z (海面), $K_H \frac{\partial C_s}{\partial z} = 0$

(b) z - H (海底),
$$K_H \frac{\partial C_s}{\partial z} = E - D$$

其中 C_s 為懸浮顆粒的濃度, W_s 為懸浮顆粒的沉降速度, E_x D分別為顆粒再懸浮、沉降的流量(flux)。

(ii) 海底剪應力:

海底底床的剪應力以下列方程式求得:

$$\tau = \rho \, u_*^2 \tag{2.37}$$

式中 ρ 為懸浮物質的密度。 u_* 為剪速度(shear velocity),以下列方 程式求得:

$$u_* = \frac{\kappa u}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (u \, \text{為接近海底底層的流速場}) \tag{2.38}$$

(iii) 凝聚性沉積物的再懸浮:

模式利用 Gailani et al. (1991)所發展的理論計算細顆粒沉積 物再由凝聚性沉積物覆蓋的底床再懸浮的比率:

$$\varepsilon = \frac{a_0}{T_d^m} \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c}\right)^n \tag{2.39}$$

其中 ε 為再懸浮潛在力(resuspension potential, mg cm⁻²), a_0 為與底 床性質有關的常數, T_d 為沉降後的時間(days), τ_b 為底床剪應力 (dynes cm⁻²), τ_c 為侵蝕的臨界剪應力(dynes cm⁻²), m、n為與沉 積環境相關的常數。根據實驗得知, 沉積物大約需要一個小時才 會全部再懸浮(Tsai and Lick, 1987)。因此, 沉積物之再懸浮率可 表示為:

$$E_{\rm tot} = \frac{\varepsilon}{3600 \,\rm seconds} \tag{2.40}$$

(iv) 凝聚性沉積物的沉降

模式利用 Krone (1962)所發展的公式計算顆粒的沉降流量, 表示為:

$$D = -W_s C_s P \tag{2.41}$$

式中 D 為沉降流量(g cm⁻² s⁻¹), W_s 為顆粒的沉降速度(cm s⁻¹), C_s 為懸浮沉積物的濃度(g cm⁻³), P 為沉降機率。

Burban et al. (1990)根據實驗分析結果推得,沉降速度與沉積物濃度及水柱內部的剪應力(internal shear stress, *G*)的關係式如下:

$$W_s = \alpha (C_s G)^{\beta} \tag{2.42}$$

$$G = \rho K_{M} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^{2} + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^{2} \right]^{1/2}$$
(2.43)

實驗結果顯示,對於海水α,β的值分別為 2.42 及 0.22 (Burban et al., 1990)。

沉降機率的計算則根據 Partheniades (1992)所發展的經驗公式如下:

$$P = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y} e^{-\frac{\omega^{2}}{2}} d\omega$$
 (2.44)

$$Y = 2.04 \log \left[0.25 \left(\frac{\tau_b}{\tau_{b,\min}} - 1 \right) e^{1.27 \tau_{b,\min}} \right]$$
(2.45)

式中 $\tau_{b,\min}$ 為最小海底剪應九 (1.44)式可精確地簡化為(0 Y<):

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Y^2}{2}} \left(0.436z - 0.1202z^2 + 0.9373z^3 \right)$$
(2.46)

其中

$$z = (1 + 0.3237Y)^{-1} \tag{2.47}$$

當 Y < 0時 , $P(-Y) = 1 - P(Y)_{\circ}$

第三章 港池淤泥來源及底質調查與流況分析

3.1. 港池淤泥來源及底質調查

3.1.1. 前言

港池淤泥來源及底質調查的工作,利用高雄港務局工務組測量 隊所提供的資料,配合套裝軟體進行數值分析,將資料分為三個項 目進行處理,以下將描述分析方法及展示結果。由於水深測量工作 是每半年進行一次,分別於4月及10月進行,本計畫主要是針對 89年4月至91年10月之水深資料進行分析討論。

3.1.2. 全區水深侵淤變化

3.1.2.1. 分析方法簡介

1.1 等水深線數位化

將原始的水深圖紙(如附錄 A 所示)掃描成電子化圖檔 (*.tif), 在 Auto CAD 的環境下,利用圖的處理,如移動、旋轉、放大等動 作,與應用程式的載入,來作等深線的描繪,並將所繪製之等深線 轉出,成為一具有 x.y.z 之*.dat 檔.。

1.2 全區域邊界框之選定

從這些水深資料中,選出一個其測量範圍最小的做為邊界框, 主要是避免在較大的邊界框在套入較小的範圍時,使用的軟體會自 行模擬出不真實的水深情況。工作環境亦於 Auto CAD 下完成,存 成 Surfer 可判讀之邊界檔。

1.3 侵淤量之計算

在 Surfer 的環境下,讀入前面所作的水深資料檔,將其格點化 (Grid),再套入全區域邊界檔(Blank),得到研究範圍內的格點化 資料。關於侵淤量之計算,利用任兩相隔半年的水深格點化資料作 相減(Math),即可得到這兩相隔半年間的水深侵淤變化。局部區 域侵淤量計算,則由歷年港區浚挖量,分析得知較為重要的區域分 別作邊界檔;再利用前面所作的水深資料檔,套疊邊界檔(Blank)、 相減(Math),即可得到局部區域兩相隔半年之間的水深侵淤變化。 另外,Surfer 可以檢視任一格點化後的水深分布圖。可自行設定水 深變化以彩色漸層的方式呈現,亦可載入已設定好的彩現檔,

3-1

(*.lvl), 來表現出整個研究範圍內的侵淤狀況。而較詳細的流程, 請參閱圖 3.1。



圖 3.1 水深侵淤變化分析工作流程圖

3.1.2.2. 結果

展示內容分為全區域與局部區域的侵淤分析,利用表格展示侵 淤量和漸層圖展示地形侵淤變化,其中局部區域的選取是由全區域 侵淤圖中判別侵蝕或淤積較為明顯之區域,來作小範圍之探討。因 而將之歸類為四個區域,如圖 3.2 所示



圖 3.2 港區分區圖

表 3.1 全區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-1106710					
90.04	265630	1372340				
90.10	-1368510	-261800	-1634140			
91.04	-460794	645916	-726424	907716		
91.10	-4331105	-3224395	-4596735	-2962595	-3870311	

表 3.2 局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域一

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-85917					
90.04	57790	143707				
90.10	-149950	-64033	-207740			
91.04	-107146	-21229	-164936	42804		
91.10	-218917	-133000	-276707	-68967	-111771	

表 3.3 局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域二

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-378133					
90.04	-210799	167334				
90.10	-289424	88709	-78625			
91.04	-239798	138335	-28999	49626		
91.10	-719734	-341601	-508935	-430310	-479936	

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-101296					
90.04	-7437	93859				
90.10	23621	124917	31058			
91.04	82026	183322	89463	58405		
91.10	-151668	-50372	-144231	-175289	-233694	

表 3.4 局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域三

表 3.5 局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域四

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-458627					
90.04	-532318	-73691				
90.10	-364927	93700	167391			
91.04	-295456	163171	236862	69471		
91.10	-1888329	-1429702	-1356011	-1523402	-1592873	

從 89 年 04 月至 91 年 10 月三年水深資料得知全區侵淤,變化 最明顯的是 91 年 04 月至 10 月這半年,其變化基本上是侵蝕結果, 量可達 3.87 百萬立方。另外,89 年 10 月至 90 年 04 及 90 年 10 至 91 年 04 月其變化是淤積,且以 89 年 10 月至 90 年 04 月淤積量最大, 可達 1.37 百萬立方。此外,結果清楚顯示整體變化是夏季期間(4 月至 10 月)呈侵蝕,而冬季期間(10 月至翌年 4 月)呈淤積。

從各分區之分佈結果得知,區域一與區域二之變化趨勢與全區 趨勢吻合,而區域三則在 90 年 04 月至 90 年 10 月期間之淤積變化 與全區變化相反,區域四則在 89 年 10 月至 90 年 04 月及 90 年 04 月至 90 年 10 月兩期間與全區變化相反。此意謂在 90 年 04 月至 90 年 10 月期間區域一侵蝕極為嚴重,而區域三及四卻有明顯之淤積。 同樣的,區域四在 89 年 10 月至 90 年 04 月則很奇特的獨自發生侵 蝕,也是在 91 年 4 月至 91 年 10 月較之其他三個區域,有最大的侵 蝕量產生。



172000 173000 174000 175000 176000 177000 178000 179000 180000 181000 182000 183000 x coordinate

單位:公尺



單位:公尺

圖 3.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(1/3)



172000 173000 174000 175000 176000 177000 178000 179000 180000 181000 182000 183000 x coordinate

單位:公尺



單位:公尺

圖 3.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(2/3)





圖 3.4 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域一



圖 3.5 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域二

0 -0.2 -0.4 -0.6 -0.8

-1 -1.2 -1.4 -1.6 -1.8

-2 -2.2

2500000

2499000

174000 175000 176000 177000 178000 179000



圖 3.6 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域三


圖 3.7 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域四

3.1.3. 船席浚挖量分析

高雄港船席的分佈如圖 3.8 所示。由於浚挖工作之紀錄於最近 幾年方有完整之資料庫建立,因此從高雄港務局港工處浚港課所提 供之浚挖資料,按月浚挖量分佈,從民國 90 年至 93 年分別先整理 成工作表如附錄 B 所示。綜合各船席每一年的浚挖量,其結果如圖 3.9 所示。

從年浚挖量統計結果得知 90 年度與 91 年度,較多浚挖工作集 中在 10 號與 40 號,65 號與 68 號,75 號至 78 號及 115 號至 122 號碼頭,而在 92 年及 93 年度則集中在 65 至 78 號,115 至 122 號 碼頭附近,並從針對各船席在四年度之月浚挖量分佈情形,可見浚 挖工作集中在夏季,即(4 月至 10 月),除了船席 22 號與 119 號有 明顯的在 90 年之 11 月及 12 月有超過 3000 立方之浚挖量。

針對較明顯浚挖量的船席分佈分析其不同年份之月浚挖量分佈 變化,首先整理成圖 3.9 所視,從圖中可再次清楚得知編號小於 41 號之碼頭船席主要的浚挖工作均在 90 年及 91 年進行,同時也集中 在 3 月至 10 月之間。編號 65 號以上之碼頭船席,則往往呈相反的 趨勢,即以 92 年及 93 年的浚挖量較明顯,而且浚挖工作也是集中 在 3 月至 10 月之間。較特殊之處是編號 65 號以上有較大浚挖量的 碼頭,基本上都屬貨櫃碼頭,也集中在二港口進港航道附近,且各 月份的浚挖量不僅各年且甚至各月份之浚挖量均往往相對地平均。



圖 3.8 船席位置圖



圖 3.9 不同年份各船席年浚挖量分析



圖 3.10 不同年份月浚挖分析比較(1/3)









圖 3.10 不同年份月浚挖分析比較圖(3/3)

3.1.4. 船席侵淤量分析

同樣的從港務局工務組測量課所得之各船席附近之水深資料,也是每半年進行一次測量工作。本計畫擬就 89 年 4 月至 92 年 10 月之資料進行分析與討論工作。

3.1.4. 分析方法

- 1. 由歷年船席水深測量結果得知水深資料(如附錄 C 所示)。
- 2.利用 Excel 排列水深資料,存成*.dat 檔,使之成為 Sufer 可讀取之資料格式。
- 3.由 Sufer 作歷年各船席之水深格點化(Grid),由此結果可劃 出船席水深平面圖 (如圖 3.12 b),其各碼頭的邊界,我們將 有停船的地方省略不記(以零表示)。
- 4.利用 Surfer 內建功能可以做兩個相異 Grid 檔的相減動作 (Math,矩陣大小必須相符),由此可以做出任兩張圖的侵淤結 果圖(如圖 3.12 a),並讀取侵淤量(埰用後半年水深資料減前 半年水深資料,所得結果正號代表淤積,負號代表侵蝕)。

3.1.4.2. 結果

針對四個不同區域的船席侵淤量分析結果,分別整理在表 3.6 至表 3.9。從#3 至#6 船席 表 3.6 及#13~#14 船席資料 表 3.7 可看出,89 年 10 月至 90 年 4 月均是淤積最明顯之時段,尤其#3 至#6 在最近一年中淤積量似乎穩定在 9000M³/半年。另一方面, #67 至#68 船席資料 表 3.8 及#115~#116 表 3.9 顯示此兩區 域之侵淤變化量均相對較大,且均以 90 年 10 月至 91 年 4 月之侵 蝕量最大,同時又以#115~#116 船席附近水深變化相對最大。其 次,再將各船席區位的歷時變化以折線圖呈現,如圖 3.11 所示。 從此圖可得知#67 至#68 碼頭船席與#115 至#116 碼頭船席之侵淤結 果變化最大,夏季的浚挖作業對#115 至#116 碼頭船席之侵淤結 案 90 年 10 月之後逐漸減少,但反觀#67 至#68 碼頭船席則受浚挖 作業較明顯。

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10	92.04
89.04							
89.10	-4926						
90.04	5932	10858					
90.10	1682	6608	-4250				
91.04	3851	8777	-2081	2169			
91.10	1412	6338	-4520	-270	-2439		
92.04	10430	15356	4498	8748	6579	9018	
92.10	6837	11763	905	5155	2986	5425	-3593

表 3.63,4,5,6 船席侵淤量(單位: M³/半年)

表 3.7 13,14 船席侵淤量表(單位: M³/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10	92.04
89.04							
89.10	13066						
90.04	9907	-3159					
90.10	-626	-13692	-10533				
91.04	5938	-7128	-3969	6564			
91.10	11455	-1611	1548	12081	5517		
92.04	14949	1883	5042	15575	9011	3494	
92.10	10235	-2831	328	10861	4297	-1220	-4714

表 3.8 67,68 船席侵淤量表(單位: M³/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10	92.04
89.04							
89.10	8574						
90.04	13208	4634					
90.10	29816	21242	16608				
91.04	13349	4775	141	-16467			
91.10	28877	20303	15669	-939	15528		
92.04	67211	58637	54003	37365	53862	38334	
92.10	62911	54337	49703	33095	49562	34034	-4300

表 3.9 115,116 船席侵淤量表(單位: M³/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10	92.04
89.04							
89.10	-11862						
90.04	-1445	10417					
90.10	26569	38431	28014				
91.04	-4794	7068	-3349	-31363			
91.10	10734	22596	12179	-15835	15528		
92.04	-217	11645	1228	-26786	4577	-10951	
92.10	-7143	4719	-5698	-33712	-2349	-17877	-6926

另外我們分別取4個表中最上層對角線的數值,做每半年期 間船侵淤圖,藉以說明個別碼頭區域的侵淤情形。



圖 3.11 89-92 年每半年部份船席區侵淤結果

我們由圖 3.11 89-92 年每半年部份船席區侵淤結果可明確得 知,第 67,68,115,116 碼頭的淤積結果最重,因為第 67,68,115,116 碼頭,地形起伏變化很大。由 67,68 碼頭線看來,其中 90 年 10 月 時為低地形,到 91 年 10 月有大量的淤積狀況。由 115,116 碼頭線 看來,其中 90 年 10 月時為低地形,到 91 年 04 月有大量的淤積狀 況。



圖 3.12 a 不同代表船席侵淤結果及 b 相對應之水深資料

3.2. 流況分析

3.2.1 風力(高苑技術學院-「高雄市海岸生態復育規劃」, 2004)

依據高雄測候站民國 73 年 90 年之逐時氣象資料, 經分析 得高雄地區之全年及每月風玫瑰圖如圖 3.13 及圖 3.14 所示, 由 圖可知高雄地區冬季之東北季風期約自每年 10 月至翌年 4 月, 風向以 NNE WNW 方向為主, 5 月及 6 月處於季風轉型期, 風向以 NW WNW 方向與 S SE 向所佔比例較高, 7 月 9 月 為夏季季風期, 風向以 WNW、S、SSE、ENE 居多。全年而言, 風向以 N 向出現頻率最高, WNW 向次之。



資料來源:中央氣象局高雄測候站(1984 2001)

圖 3.13 高雄地區全年風玫瑰圖(1984.1 2001.12)



資料來源:中央氣象局高雄測候站(1984 2001) **圖 3.14 高雄地區各月風玫瑰圖(1984.1 2001.12)**

3.1.2. 浪 (高苑技術學院-「高雄市海岸生態復育規劃」, 2004)

1. 季風波浪

經整理得計畫區附近波浪之資料來源有四,一為高雄港務 局自民國 55 年 66 年間屬較長期性之觀測結果,二為台南水 工所於民國 81 年 82 年間,在高雄港第二港口外側海域進行 之測量成果,三為高雄市政府環保局自民國 85 年 8 月起,於高 雄港二港口南側大林蒲填海計畫外側海域海上觀測樁之波浪觀 測資料(觀測至民國 87 年 2 月,因觀測樁傾斜而中止),四為交 通部運輸研究所港灣技術研究中心由民國 79 年 11 月至 82 年 3 月間,於臨近高雄港之大鵬灣地區觀測之資料。將上述觀測成 果,綜合彙整詳表 3.10 所示,茲依表 3.10 之分析結果,概述高 雄地區之冬、夏季季風波浪特性於后:

2. 冬季季風波浪

冬季季風時台灣海峽盛行吹 NNE 向強風,然至新浮崙汕後,因地形呈喇叭狀而風力受分散之影響,風向變為N或NNE 及 NNW,風速亦減低。故冬季季風期,侵襲高雄地區之波浪, 主要係由台灣海峽出口處分散而來。高雄地區冬季波高確實較小,波高小於 1.0m 約佔 95.3% 97.8%,週期小於 9.0 秒者約 佔 89.4% 98.0%。綜合言之,高雄地區於冬季時因地理區位關 係,東北季風所致波浪影響不若其它地區嚴重。

3-25

測量	單位	高雄港務局	國立成功大學台南水工所	高雄市政府環保局	港灣技術研究中心
測量	時間	民國55年 66年	民國81年3月 82年6月	民國85年8月 87年2月	民國79年11月 82年03月
測量位置 高雄港外海		高雄港外海	高雄港第二港口外側海域	高雄港第二港口南 側大林蒲外海	高雄港大鵬灣
	全年	無波向	S WNW(81.05%)	NW S(67.2%)	無波向
波向	夏季	無波向 -		S、SSW、SW、W	無波向
(70)	冬季 無波向		-	NW、WNW、W	無波向
<u></u>	全年	1m , 87.5%	波高 1m, 94.5%	1m , 87.3%	1.25m , 83.68%
波高 (%)	夏季	1m , 79.2%	-	1m , 67.6%	1.25m , 69.10%
(/0)	冬季	1m , 95.3%	-	1m , 97.8%	1.25m , 92.43%
调邯	全年	9sec , 89.3%	8.0 10sec , 67.9% 10sec , 83.9%	10sec , 98%	9.5sec, 97.92%
(%)	夏季	9sec , 89.3%	-	10sec , 95.9%	9.5sec, 94.65%
	冬季	9sec , 89.4%	-	10sec , 97.2%	9.5sec, 99.72%
備	註	未測波向	無分季資料		未測波向

表 3.10 波浪資料綜合比較表

3 夏季季風波浪

夏季季風時,波浪為風浪與遠處傳來之湧浪所組成,當熱 帶移動性低氣壓接近或引進西南氣流時,可能帶來1 2 公尺之 波浪,而當颱風來襲時,更可能帶來 6 公尺(實測紀錄)以上之波 浪。高雄港夏季波浪因受颱風波浪影響,導致波高小於 1.0 公 尺約佔 67.6% 79.2%,週期小於 9.0 秒者約佔 89.3% 95.9%; 故颱風對高雄地區之影響,已超過一般東北季風主導之型態。

由上述資料分析可知,高雄地區冬季主要受東北季風作 用,且受喇叭狀地形影響,當波浪傳至本區域時,波高均大為 衰減,屬湧浪性質;而夏季雖受西南季風直接作用,惟其間夾 帶有颱風之侵襲,致夏季波浪分佈反而較冬季為大。故夏季時 西太平洋海面所發生之颱風,對沿岸結構物安全將產生較大之 威脅。

4. 颱風波浪推算

高港港位於台灣西南海岸,平均每年約有 1.50 個颱風侵襲附 近海域,故附近港工結構物之設計皆須以颱風波浪為基準。因此, 颱風資料之完整蒐集及颱風波浪之準確推算,將直接影響海上工 程之安全及結構物之安定;本報告將依井島武士及湯麟武博士之 理論發展出 TYPH 電腦程式,用以模擬推算颱風波浪,茲選定 1940

2003 年之 104 個對高雄地區影響較大之颱風進行颱風波浪推 算,再以極端值分佈法推算各復現期之波高,如表 3.11 所示。由 表 3.11 可知,侵襲高雄地區之颱風波浪以 SSE 向波浪最大,而後 向 N 向逐漸減弱,惟可能影響高雄港之波向為 NNW 至 SSE 等 9 個方向。以港工結構物設計之 50 年迴歸期而言,SSE 方向之颱風 波浪高達 11.2 公尺,S 方向 10.3 公尺,而 SW 方向(約與海岸垂直) 為 7.1 公尺。

迴歸期(年)	25	50	20	00	10	00	5	0	2	5	2	0	1	0
波向	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts								
NNW	5.5	11.5	5.3	11.4	4.9	11.0	4.5	10.5	4.1	10.0	3.9	9.8	3.4	9.2
NW	5.6	10.1	5.4	10.0	5.1	9.8	4.7	9.5	4.2	9.1	4.1	9.0	3.6	8.5
WNW	6.1	9.5	5.9	9.4	5.5	9.3	5.1	9.1	4.6	8.9	4.5	8.8	3.9	8.6
W	6.6	10.0	6.5	9.9	6.0	9.7	5.6	9.6	5.0	9.4	4.8	9.3	4.2	9.0
WSW	8.8	10.7	8.5	10.6	7.6	10.4	6.8	10.2	5.9	9.9	5.6	9.8	4.7	9.5
SW	8.7	12.1	8.5	12.0	7.8	11.8	7.1	11.5	6.3	11.2	6.0	11.0	5.1	10.6
SSW	11.1	12.9	10.8	12.9	9.9	12.6	8.9	12.3	7.8	12.0	7.4	11.9	6.2	11.4
S	12.9	15.1	12.5	15.0	11.4	14.6	10.3	14.2	9.0	13.7	8.6	13.5	7.1	12.9
SSE	13.9	17.2	13.5	17.0	12.4	16.6	11.2	16.0	10.0	15.3	9.5	15.1	8.1	14.3

表 3.11 高雄港外海各方向各迴歸期設計波高分析表

註:1.依據1940 2003年間之颱風資料推算

2.推算目標區為120.22°E, 22.57°N 3.目標區水深為-62.5m 4.Hs單位為m, Ts單位為sec NNW Ts = 5.20^{*} Hs^{0.469}, SD = 2.015, r = 0.646 5 Weibull (k=2.0) NW Ts = 5.27^{*} Hs^{0.381}, SD = 1.423, r = 0.647 5 Weibull (k=2.0) WNW Ts = 6.16^{*} Hs^{0.240}, SD = 1.153, r = 0.530 5 Weibull (k=2.0) W Ts = 6.56^{*} Hs^{0.220}, SD = 1.913, r = 0.428 5 Weibull (k=2.0) WSW Ts = 7.15^{*} Hs^{0.186}, SD = 2.058, r = 0.367 1 FT-I SW Ts = 7.01^{*} Hs^{0.253}, SD = 2.295, r = 0.516 5 Weibull (k=2.0)

SSW	$Ts = 7.73 * Hs^{0.214}$, $SD = 1.891$, $r = 0.583$	5	Weibull (k=2.0)
S	$Ts = 7.64 * Hs^{0.267}$, $SD = 1.469$, $r = 0.785$	5	Weibull (k=2.0)
SSE	Ts = 6.89 *Hs ^{0.348} , SD = 1.872 , r = 0.723	5	Weibull (k=2.0)

根據上述之資料做出的結論,高雄港區在冬季時因受地 形影響不受東北季風影響,當波浪傳達到此區海域時,波高變大為 衰減,一般為湧浪性質;而夏季雖受西南季風影響,又帶有颱風 的侵襲,故夏季較冬季波浪分佈為大;颱風的影響,一般都持續 一至二天甚至六至七天波高為一至兩公尺的影響。

3.2.3 潮汐(中華顧問工程司-「高雄市旗津區海岸線治理規劃」, 2000)

高雄港區有兩處觀測站,其一置於蓬萊商港區#10 碼頭(民國 55 年~民國 85 年),另設於第二港口內(民國 81 年~民國 85 年)。由 #10 碼頭潮位記錄(表 3.12 及表 3.13)統計分析顯示,最高潮位發生 在夏季朔望日附近,潮位為 2.6 公尺,最低潮位大都發生在冬季朔 望日附近,水位幾近於 0,平均潮位約為 0.75 公尺,平均潮差則 為 0.7 公尺,經整理分析可得高雄地區各種潮位水位(潮位基準為 高雄港潮位系統)

H.H.W.L	+2.60M
H.W.L	+1.23M
M.H.W.L	+1.13M
M.W.L	+0.75M
M.L.W.L	+0.43M
L.W.L	+0.38M
L.L.W.L	-0.04M
水準零點高程	EL: -0.47M

另外為了解高雄地區各分潮之振幅及相位角,特將高雄港 #10 碼頭由民國 65 年 1 月 1 日 0 時至民國 85 年 12 月 31 日 22 時 之潮位觀測資料進行調合分析其結果如表 3.14 所示,並以此計算 高雄地區之溯位情形如下:

天文潮最高潮位 H.H.W.L	+1.52M
平均高潮位 M.H.W.L	+0.966M
平均潮位 M.W.L	+0.744M
平均低潮位 M.L.W.L	+0.522M
天文潮最低潮位 L.L.W.L	+0.094M

表 3.14 中明顯可看出,高雄地區主要分潮為 M2、K1、O1 及 SA,其相對振幅分別為 0.180、0.153、0.133 及 0.121。

表 3.12 第二港口驗潮站各種潮汐統計表

				. 15	(H 1/)	1			單位 0 Total	: (M)
	0~4	0	0	0	0	0 2.5	0	0	0	0 1041	0
	4~6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
通	6~8	363	20	0	2	0	0	0	.0	385	16.07
期	8~10	1318	205	70	2.8	4	1	0	0	1626	67.86
(+)	10~12	218	79	10	4	10	2	0	0	323	13.48
	12 以上	55	7	0	0	0	0	0	0	62	2.59
	Total	1954	311	80	34	14	3	0	0	2396	100
	96	81.55	12.98	3.34	1.42	0.58	0.13	0	0	100	

表 3.13 第 10 號碼頭驗潮站各種潮汐統計表(單位:公尺)

Sec.	2.4	4.4.		# 14	1.0.00	MX4 +	何至日平	ATMT	T.L.W.4	A	+	10.00	1111
all	10112	40.04	A.m.14	10,0010	10115	1.2.							
1000	1.000	11/10/2	1.04	0.77	1.40	aen.	14.17	1100	and the second	1.00	1.00		
1947	1	0.04	1.14	0.0		4.99	0.00	0.00	0.44	0.44	2.22	2.22	140.4
1000	1.10	6.00	1.1	10.00		1.00	0.00		0.40		1.44		
1000	1.44	0.00	1.11	0.00	1.11	1.00	10.00	0.00		0.00	0.30	0.70	1.0.0
1000	1.00	0.00	1.11	10.00	1.2.2	1.00	1.11	1.00		0.00	0.35	1.11	
1000	1.00	0.00	1.11	0.44	2.22	1.00	1.00	1.00	0.47		1.2.2	2.22	in a se
1000	1.22	0.00	1.10	0.45	2.44			1.00	0.47			4.70	141.14
1000	1.00		1.0	0.40	1.11	1.22		1.00	0.41		0.04	0.76	
10004	1.00	0.10	1.1	0.00		1.11		1.00	0.40	1.44	0.30	11.75	
1000	1.000	0.10		10.00	12.22	1.41		1.00		11.94	0.00	0.00	144.4
1072	1.44	0.76	1.10	0.00		1.24		1.00	10.01	1.0.0	0.82	0.00	
1000	1.50	0.15	1.00	0.01		1.11	3.31	1.00	1.40	10.82	0.32	0.07	lara.
	1.00	0.14	1.12	0.00	1.00	1.00		1.00	5.00	1.2.2	0.31	0.00	
	1.00	0.08	1.10	0.45	0.04	1.40		1.00	0.44		1.00	0.01	1.4.4.4.
	1.39	0.12	1.11	1.44		1.44		1.00			0.00	0.08	144.4
	1.000	0.00	1.11	0.40	1.11	1.20	8.42	1.04	0.50	0.82	0.54	0.08	1
	1.22			0.01		1.44		1.00	1.00	1.00	2.22	0.80	
1000	1.44	0.00	1.00	0.0	8.59	1.00		1.00	0.45	1.04		0.78	14.14
	1.45	0.02	1.00	0.00		1.10	0.35	1.00	0.40		5.60	0.13	
	1.000		1.14	1.41	1222	1.24		1.04	8.40	0.07	1.24	0.73	No. 10. M
1996	1.00	-0.04	1.10	0.00	0.71	1.00	0.45	1.00	8.45	0.88	0.00	0.04	
	1.02	-0.00	1.00	1.00		1.34	0.31	1.00	0.44	0.08		0.13	in the
	1.00	0.00	1.1	0.20	2.2	1.11		1.00	8.40	0.92	0.00	0.76	10.00
199.64	1.00	0.04	1.11	0.41		1.00	0.37	1.08	8.40	0.98	8.60	0.75	
1944	1.62	0.00	1.11	1.11	0.00	1.00	9.34	1.000	8.47	0.85	1.00	0.04	13/012
1000	1.82	0.14	-1.10	10.04	8.77	1.30	0.38	1.00	4.40	0.45	0.00	0.13	MAR
1000	1.55	0.00	1.24	0.52	0.04	1.12	0.00	1.07	8.89	0.88	8.58	0.12	
1990	1.64	0.01	1.14	0.44	0.05	1.85	.0.36	1.04	8.49	0.85	0.55	0.39	2.25
1963	1.04	0.04	1.14	0.46	8.37	1.34	9.29	1.07	4.03	0.84	9,94	0.68	MIA
	1.39	0.11	1.10	0.49	+.79	1.21	10.43	1.00	4.34	10.83	10.01	0.67	
1999	1.48	0.10	1.18	0.41	8.75	1.10	8.85	3.08	9.48	0.85	9.52	0.64	10.0 1
1005	1.99	0.06	1.11	0.45	0.75	1.21	0.40	1.04	8.51	0.98	0.50	0.86	
10.00	3.80	-0.04	1.34	0.39	0.94	1.12	8,81	1.17	1.41	10.02	-0.08	0.70	
17.8%	1.83	0.08	4.13	11.40	8.73	1.2.9	9.38	1.01	4.48	0.89	13.34	6.70	

表 3.14 高雄地區潮汐調合分析成果表

****	編稿(金代)	物纳用(用)	注潮名稱	御暢(後天)	御礼為(北)
MI	0.180463	107.541883	MPI	8.862139	87.840899
KI	0.153288	286.064897	N84	8.082067	343.345448
01	8.132963	267.197428	568	0.082046	225,641132
SA .	8.121308	140.621587	82	8.062024	189,100108
87	8.068178	261.417379	MK3	0.001970	305.748328
- 11	0.019752	114.544781	THITAL	0.009903	11.669977
N2	0.048696	137.542362	XI	D,000842	250.485996
01	0.027138	227.393939	MI	0.005436	331.893223
55A	0.025265	20.682156	IMSE	0.0003997	0.816807
K2	0.013836	234,518328	903	0.001343	102.4260.53
NUL12	0.007937	113.003071	MN52	0.001331	335.920113
MU2	0.001413	74.016361	MEN#	0.001245	176,681838
	0.006497	234.628203	MSN2	0.001225	311.361999
51	0.006135	214.689530	EAG	0.001813	7.210518
2N3	0.006814	109.134567	LUMDAJ	0.000985	277.141699
1981	0.001313	260.018642	25656	0.000662	178.683891
72	0.001262	242.494172	25M2	0.000831	9.785992
85401	0.901049	233.983314	001	0.000729	141.065834
NESE	0.004965	108.561565	K/2	0.090122	9.362340
MM	0.004051	355.612294	MP	0.000645	308.787975
M	0.003123	317.476433	200	8.890547	21,743497
OPT	0.003425	305.972790	MK4	8.000531	225.585099
301	0.003422	327.731363	MESNA	8,000517	788.811586
SIGMAL	0.602968	211.152127	8K3	0.000403	\$1.150159
146	0.002947	296.987639	884	0.000326	276.797051
501	0.082838	250.081762	54	0.000311	142.073034
MOS	0.002788	320.207165	25M6	8.000195	271,645173
MK82	0.862705	183.464775	2546.6	0.000133	310,284954
PII	0.002566	283.977139	SIC4	0.000106	302,591658
12	0.002298	268.638253	54560	0.000034	\$4 932069

3.2.4 海流(交通部運輸研究所-2001 年港灣海氣象觀測資料年報 (海流部份))

高雄港海流的流速、流向有週期性往復運動,運動方向主要 集中在沿岸平行方向,即北北西-南南東為主,其流向與漲退潮無 明顯的關係。由其水位可知主要以全日潮流為主,其次為半日潮 流, 並有複合潮產生。在高雄一港口與二港口間的波高波向與剖 面海流即時傳送監測系統指出流向以北北西-南南東為主,冬季流 速較強, 南南東向大於 40cm/約佔 30%, 夏季流速最弱, 流向轉偏 南北向。



2001年冬季高雄港测站1海流玫瑰圖





2001年春季高雄港測站1海流玫瑰

Current in Kao-Hsiung HARBOR of ST-1 at 2001/09/01.00:05-2001/10/09.10:00 Total data no. 752



2001年秋季高雄港測站1海流玫瑰

2001年夏季高雄港測站1海流玫瑰圖 1 - 20cm/s 40 - 60cm/s 60 - 80cm/s 20 - 40cm/s > 80cm/s

圖 3.15 高雄港 2001 年海流玫瑰分布

由四季合成流 (Composite current) 如圖 3.16, 即濾除潮流成 份後每季平均流速, 在春夏秋三季, 高雄港附近的合成流均為向 東南的海流, 僅冬季向西北, 惟冬季資料量非常少(因為1,2月 船歲修, 加上春節、天候又不好,僅 12 月有些航次), 可信度較 低。春夏秋三季合成流向東南是因為高雄港附近是黑潮入侵海峽 後的迴流所致,這與港研中心的海流玫瑰分佈圖若合符節, 不過 港研中心的資料, 冬季也是偏南。



Composite Current Velocity Vectors at 020 m Summer (Jun. - Aug.)



圖 3.16 四季合成流分布(1/2)





Composite Current Velocity Vectors at 020 m Winter (Dec. - Feb.)



圖 3.16 四季合成流分布(2/2) (國家海洋科學研究中心-海洋資料庫)

整體而言:

高雄港海流的流速、流向有週期性往復運動,運動方向主要 集中在沿岸平行方向,即北北西-南南東為主,其冬季流速較強, 南南東向大於 40 cm/sec 約佔 30%,夏季流速最弱,流向轉偏南 北向。

3.2.5 海象分析資料之結論

從以上海氣象資料整理成果中,可得知高雄港海洋地區之吹 風仍以冬天之 NNE 至 WWW 風向比例最高,但吹風速度均在 5m/s 以下。波浪方面則以冬天小於 1m 之湧浪及夏天偶有大於 6m 之颱 風波浪為主。潮汐資料顯示本港之平均潮差約 0.7m 屬偏半日潮之 混合潮型。海流則因受黑潮支流回流影響,受季節風之影響遠大 於潮汐漲落影響,因而流向呈沿岸做往複運動,而流速以冬季較 強,可達 40cm/s 以上。

第四章 港池淤泥之流動及沈降分析與傳輸分析

4.1 港池淤泥之流動及沈降分析

4.1.1 前言

高雄縣市大都為海岸風積沙、海岸沙、潟湖淤泥及河道沖積物所 構成,高雄市以南林園鄉內,除鳳鼻頭以北是砂頁岩新沖積土,以南 為高屏溪的沖積地,二仁溪至高屏溪口之高雄平原是一個海相沉積, 地下地層以泥岩為主,海底淺而遠,沿海沙州發達。高屏溪流域主要 的礦物組成為緣泥石,所反應的源區是中央山脈西翼地質區的變質岩 質。由粒徑分析指出,二仁溪下游(河川裡)的沉積物,其顆粒遠小於 高屏溪下游(也是河川里)沉積物,而海灘上的沉積物,其粒徑分佈特 性與高屏溪的較接近,又由礦物成份分析之結果,可知高屏溪河川上 游的河床沉積物,其成份緣泥石含量較其他河川高,而整個高雄海域 內沙灘上之沉積物,其成析結果和此大致符合。因此由於此現象,高 雄海域的沉積物,很有可能就是來自高屏溪,故驅動漂沙之作用力據 此而言,應該是由南向北。

在高雄港內據前人調查,旗津海水浴場及中州污水處理廠邊,沉 積的底質皆為砂粒,沒有淤泥厚度;而愛河口,前鎮河口,第五船渠 口則有累積很高的淤泥厚度,前鎮漁港也有較高的淤泥厚度,而二港 口出海處則較低的淤泥厚度。據此看來,愛河口,前鎮河口,第五船 渠口,皆為河川之出海口,因此易有較多的細粒沉積,故有較厚之淤 泥沉積。

由於淤泥的沈降特性直接影響其在水動力影響下之行為,並進而 產生不同之傳輸行為與分佈結果,故研究方式將以實驗室之試驗分析 方式,探討相關行為特性,作為傳輸數值模擬之依據。

4.1.2 研究方法與步驟

4.1.2.1 實驗樣本採樣點

如圖 4.1 所示共在高雄港內外取十一個樣本,分別為(B)第一船渠 口與新碼頭交會處 (C)愛河口、(D)第五號船渠口、(E)新舊港交會處、 (F)前鎮河口、(G)前鎮漁港口、(H)二港口出外港處、(I)大林發電廠與 中船前交會航道、(K)中鋼河道口、中鋼排水溝上游、前鎮河游。



圖 4.1 樣本採樣點區位圖

4.1.2.2 實驗項目

實驗項目包括沈降速度、含水量、固體重量分率(濃度)、粒徑分 析等。

4.1.2.3 實驗方法與步驟

各項實驗方法如下述:

各項實驗方法如下述:

一、 沈降速度

以 1000c.c.(直徑為 6.5 cm; 高度 27.5cm)玻璃量筒為容器,將 淤泥樣本倒入其中,試驗測定前,先用手將筒口蓋住,將筒連淤 泥上下倒置二十回,然後將量筒靜置於水平桌面上,觀察沈降面 隨時間之變化。

二、 含水量

將各個樣本瓶中淤泥與水取出秤重後置於 105 °C 之烘箱 內,烘 24 小時後秤重,計算烘乾前、後之重量差值與原始淤泥 重量的比值。重量濃度為烘乾後淤泥固體重與原始淤泥重的比 值。

三、 粒徑分析(比重計分析法)

先確定通過 200 號篩土樣的百分比後,秤得通過 200 號篩的 乾土 50 克,添加擴散劑(六偏磷酸鈉)攪拌均勻浸泡 16 小時以上, 再將攪拌液倒入 1000c.c.量筒,並添加蒸餾水至 1000c.c.。將量筒 正倒翻轉一分鐘,使溶液與水均勻混和,再將混和後之溶液量筒 放置桌上,在需讀數的時間量測比重計讀數,並量測水溫。

4.1.3 結果與討論



一、沈降

圖 4.2 淤泥沈降曲線圖(七天)

沉降試驗進行七天後(如圖 4.2 所示),所有樣本高度趨於穩定。 其中 E.新舊港交會處和前鎮河上游之淤泥大約要經過五天才趨於穩 定。C.愛河口、I.大林發電廠與中船前交會航道、F.前鎮河口、D.第 五號船渠口大約需三天完成沈降。其餘 B.第一號船渠口與新碼頭交 會處、G.前鎮漁港口、H.二港口出外港處、K.中鋼河道口、中鋼排水 溝上游均大約一天的時間即趨於穩定。



圖 4.3 淤泥沈降曲線圖 (一天)

第一天的沈降過程變化最大,如圖 4.3 所示。在 C.愛河口、E.新 舊港交會處、前鎮河上游等的沈降曲線大致呈線性的情形,緩慢沉 降。B.第一船渠口與新碼頭交會處、G.前鎮漁港口、K.中鋼河道口等 的曲線呈現出一開始沈降速度較快,接著曲線趨緩,表示沈降趨於穩 定。D.第五號船渠口、F.前鎮河口、H.二港口出外港處、I.大林發電 廠與中船前交會航道等皆為起始沈降以較緩的速度慢慢增加,接著沈 降速度明顯增加,然後再趨於穩定。而中鋼排水溝上游則呈現一水平 線,表示其泥水交界面在第一天沒有變化。



圖 4.4. B.第一船渠口與新碼頭交會處

由於 B.第一船渠口與新碼頭交會處的樣本的濃度很高(重量濃度 58.3%), 淤泥呈污黑色且相當黏稠, 所以在上下倒置二十回再將量筒 靜置於水平桌面上時, 淤泥會附著在管壁上, 之後水面以上的淤泥隨 著水分減少而產生龜裂。水面以下的部分, 隨時間增加, 泥水交界面 下降的情形越明顯, 前 50 分鐘下降速度較快, 接著 100 分鐘左右速 度相對較慢, 之後更為緩慢, 然後 400 分鐘後趨於穩定。



圖 4.5. B.第一船渠口與新碼頭交會處沈降實驗界面變化



圖 4.6.C.愛河口

外觀上呈現污黑混濁,C.愛河口的起始泥水交界面較混濁,沈降 面較不明顯,開始後 60 分鐘,沈降速度呈現一定值,之後 700 分鐘 沈速較緩,但沈降到約4天左右才穩定,在沈降過後,水呈現墨綠色。



圖 4.7. C.愛河口沈降實驗界面變化 (左圖:起始界面高度、右圖:結束界面高度)



圖 4.8.D.第五號船渠口

外觀上呈現污黑色,但較稀,在前40分鐘沈降速度漸增,直到 80分鐘左右,速度明顯變緩,之後趨於穩定。由於含水量高(86.2%), 所以沈降的幅度相當大,沈降過後水色呈現墨綠色。



圖 4.9. D.第五號船渠口沈降實驗界面變化 (左圖:起始界面高度、右圖:結束界面高度)



圖 4.10.E.新舊港交會處

外觀呈污黑色,攪拌時可發現濃度較低,沈降速度的變化情形近 似線性,起始時水面相當混濁,前25分鐘無法觀察其泥水交界面。 而沈降面緩慢下降,約四天後始趨於穩定,沈降後水呈現淡綠色。



圖 4.11. E.新舊港交會處沈降實驗界面變化 (左圖:起始界面高度、右圖:結束界面高度)



圖 4.12.F.前鎮河口

淤泥的顏色接近暗灰色,且上下倒置之後較不混濁。沈降過程 中,沈降速度漸增,到100分鐘時速度變緩,之後漸漸趨於穩定,水 體較為清澈。



圖 4.13. F.前鎮河口沈降實驗界面變化 (左圖:起始界面高度、右圖:結束界面高度)



圖 4.14.G.前鎮漁港口

由於 G.前鎮漁港口樣本充滿貝殼,所以在沈降實驗前,先過濾 掉貝殼,之後再做沈降實驗、含水量等分析。在沈降速度上,前 30 分鐘下降速度相當快,之後速度變緩,經過 3 小時之後趨於穩定。



圖 4.15. G.前鎮漁港口沈降實驗界面變化 (左圖:起始界面高度、右圖:結束界面高度)



圖 4.16.H.二港口出外港處

淤泥外觀上成污黑混濁,且水表面上似乎有浮油存在。沈降速度 在起始之後快速增加,約 60 分鐘後開始減緩,之後趨於穩定。



圖 4.17. H.二港口出外港處 (左圖:起始界面高度、右圖:結束界面高度)



圖 4.18.I.大林發電廠與中船前交會航道

淤泥呈稍微混濁的情形,攪拌起來較不稠密。沈降起始時,泥水交界 面不明顯,前20分鐘沈降快速,之後到80分鐘之間沈降速度又再更 快,之後變緩,然後趨於穩定。



圖 4.19. I.大林發電廠與中船前交會航道沈降實驗界面變化 (左圖:實驗起始界面高度、右圖:實驗結束界面高度)



圖 4.20.K.中鋼河道口

實驗樣本外觀呈現污黑混濁,且水面有浮油、飄浮物存在。淤泥 沈降的情形為,在前 35 分鐘沈降速度相當快,之後速度漸緩,然後 趨於穩定。



圖 4.21. K.中鋼河道口沈降實驗界面變化 (左圖:實驗起始界面高度、右圖:實驗結束界面高度)



圖 4.22.中鋼排水溝上游

由外觀上來看,中鋼排水溝上游的顆粒粒徑都相當粗。所以除了 起始高度是在最高處,接著在上下倒置後放於桌上的那一刻,所有顆 粒同時下降,之後的高度就不會再改變了也由於顆粒粒徑大,所以含 水量少。



圖 4.23. 中鋼排水溝上游沈降實驗界面變化 (左圖:實驗起始界面高度、右圖:實驗結束界面高度)


圖 4.24.前鎮河上游

淤泥外觀污黑混濁,攪拌起來相當黏稠,在沈降實驗開始後約15 20分鐘才有較明顯的泥水交界面。而沈降情形幾乎呈現線性的型態,且大約4天左右才沈降完成。



圖 4.25. 前鎮河上游沈降實驗界面變化 (左圖:實驗起始界面高度、右圖:實驗結束界面高度)

二、含水量

本研究 11 處淤泥樣本之含水量分析如表 4.1 所示。 淤泥樣本之 固體重量濃度以 B.第一船渠與新舊港交會處(58.3%)及中鋼排水溝上 游(75.7%)最高。中鋼排水溝上游的顆粒屬於非凝聚顆粒,沉降速度 快,孔隙水容易排出,所以含水量少而固體重量濃度高。然因其顆粒 較粗,會沉降在進入港池之渠道內,對於港池淤泥之組成影響很小。 B.第一船渠口與新碼頭交會處的樣本,淤泥呈污黑色且相當黏稠,顯 示淤泥之黏土成份高且含有沉積重油,並因靠近港口鹽度大故膠凝作 用明顯。從表 3.1 之含水量分析可知在河流入港處之淤泥其固體重量 濃度較低,如 C.愛河口、D.第五號船渠口、F.前鎮河口等,其原因可 能為此處之水深較淺,水流較快,淤泥不易沉積,再者鹽度較低,淤 泥之膠凝作用較弱。反之,在港口處之淤泥樣本(B,H)之固體重量濃

項目	含水量	固體重量分率(濃度)
地點	(Ww(%)	(Ws(%))
B.第一船渠與新	41.62	58.38
舊港交會處		
C.愛河口	81.79	18.21
D.第五號船渠口	86.25	13.85
E.新舊港交會處	73.72	26.28
F.前鎮河口	77.99	22.01
G.前鎮漁港口	79.77	20.23
H.二港口出外港	64.77	35.23
處		
I.大林發電廠與中	78.05	21.95
船前交會航道		
K.中鋼河道口	66.67	33.33
中鋼排水溝上游	24.21	75.79
前鎮河上游	67.74	32.26

表 4.1 淤泥樣本之含水量分析

二、 粒徑分析

本研究 11 處淤泥樣本之粒徑分析如表 4.2 所示。由表可知淤泥之 黏土來源以 C.愛河口及 D.第五號船渠口最高。除中鋼排水溝上游之 淤泥樣本為細沙(>62µm)外,其餘淤泥之組成中,非凝聚性成份之坋 土約佔 60-70%,而黏土成份約佔 30-40%。其中以靠一港口之淤泥樣 本如,B.第一船渠與新舊港交會處、C.愛河口及 D.第五號船渠口等 處,黏土成份較高(約 40%);相較之下,前鎮河及二港口處淤泥之黏 土成份較低(約 33%)。亦即高雄港港池中靠一港口附近之淤泥應來自 於愛河、第五號船渠處運河及部份前鎮河之供應;反之,二港口附近 之淤泥則主要源於前鎮河及中鋼河道口。而因一港池之潮流速度較 大,故以靠一港口附近之淤泥受潮流傳輸之影響較大。

項目	B.第一船	C.愛河口	D.第五號	E.新舊港	F.前鎮河口
	渠與新舊		船渠口	交會處	
	港交會處				
砂(sand)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
(> 62µm)					
坋土(Silt)	60.18	57.07	57.36	77.09	66.38
(4~62µm)					
黏土(Clay)	39.81	42.92	42.63	22.90	33.61
(< 4µm)					

表 4.2 11 處淤泥樣本之粒徑分析

項目	G.前鎮	H.二港口	I.大林發	K.中鋼	前鎮河	中鋼排水
	漁港口	出外港處	電廠與中	河道口	上游	溝上游
			船前交會			
			航道			
砂(sand)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	99.96
(> 62µm)						
坋土(Silt)		67.00	66.29	65.18	66.92	< 0.03
(4~62µm)						
黏土(Clay)		32.99	33.70	34.81	33.01	< 0.01
(< 4µm)						























結論

- 1.由沈降試驗結果顯示,淤泥界面之沈降以 B.第一船渠與新舊港交會 處、G.前鎮漁港口、K.中鋼河道口、中鋼排水溝上游最快,約 120 400分;最久的是 C.愛河口、E.新舊港交會處、前鎮河上游,約 3 4天;而其他的 D.第五號船渠口、F.前鎮河口、H.二港口出外港 處、I.大林發電廠與中船前交會航道等約1 2天左右沈降結束。
- 2.含水量方面以中鋼排水溝上游的 24.2%最低,B.第一船渠與新舊港 交會處為 41.6%,H.二港口出外港處、K.中鋼河道口、前鎮河上游 為 64.8 67.7%,E.新舊港交會處、F.前鎮河口、G.前鎮漁港口、I. 大林發電廠與中船前交會航道等為 73.7 79.7%,C.愛河口、D.第 五號船渠口為 81.7%和 86.7%。
- 3.除了中鋼排水溝上游的粒徑較大之外,其餘樣本通過200號篩的重量百分率均在99%以上,坋土(silt,粒徑在0.062mm以下)含量約佔57%到77%,黏土(clay,粒徑在0.004mm以下)含量約佔23%到43%。中鋼排水溝上游的粒徑較大,因此進行機械篩法(篩分析),發現細粒砂土(Fine Sand)含量佔約82.2%。而G.前鎮漁港口,由於將貝殼過濾掉,導致剩下的土樣不到50g,所以無法進行比重計分析,但由外觀來看包含坋土以下所佔百分比超過99%。
- 4.靠一港口之淤泥樣本如,B.第一船渠與新舊港交會處、C.愛河口及 D.第五號船渠口等處,黏土成份較高(約 40%);相較之下,前鎮河 及二港口處淤泥之黏土成份較低(約 33%)。亦即高雄港港池中靠一 港口附近之淤泥應來自於愛河、第五號船渠處運河及部份前鎮河之 供應;反之,二港口附近之淤泥則主要源於前鎮河及中鋼河道口。 而因一港池之潮流速度較大,故以靠一港口附近之淤泥受潮流傳輸 之影響較大。

4.2 淤泥之污染源傳輸分析

本計劃建立三個不同模式區域:大範圍的高雄港區及附近海域, 以及小範圍的第一港口區與第二港口區,以前鎮河為劃分基準點(圖 4.27)。模式採用的地形水深來自 C-Map 資料,此資料庫為實際測量 點的水深,其分佈區域參見圖 4.28。



圖 4.29 表示計算大範圍區域的水平網格點。模式總共包含了 150×50 格點,其格網間距平均大約為 130 公尺。經過內插程式之計算,模式 之數位水深則如圖 4.30 所示。

本計劃主要考慮高雄港區及港區附近海域的潮汐作用。潮汐引發 週期性的海水面垂直升降現象,同時造成水平方向的潮流運動,因而 潮汐運動不僅會加強海水垂直方向混合現象,也會加強海水水平方向 的擴散過程。模式以潮汐所引發之海水表面高度變化造成海水流動的 主要驅動力,潮汐資料則採用來自 NAO99b (Matsumoto et al., 2000) 的模式結果,此資料是以 TOPEX/POSEIDON 衛星的高度計資料加入 潮汐模式中計算而得,東北亞區域模式為五弧分的解析度,潮汐資料 包括 M2、S2、K1、O1、N2、P1、K2、Q1、M1、J1、OO1、2N2、 Mu2、Nu2、L2、T2等短週期分潮,與 Mtm、Mf、MSf、Mm、MSm、 Ssa、Sa 等長週期分潮。



圖 4.28 C-Map 資料庫實測地形水深點的分佈



圖 4.29 模式 150×50 水平網格點的區域分佈 圖。紅色星形符號代表潮汐觀測站的位 置。藍色點符號表示模式輸出結果做為 小範圍模式的邊界條件。



圖 4.30 模式區域的地形水深圖。

對於海水表面高度的邊界條件,模式採用 Blumberg and Kantha (1985)所發展的部份輻射邊界條件方法,可表示為:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + C_e \frac{\partial \eta}{\partial n} = -\left(\frac{\eta - \eta_K}{T_f}\right)$$
(4.1)

式中 $C_e = \sqrt{gh}$ 為表面重力波的相位速度, η_K 為已知表面水位高度的邊界值, T_f 為模式在此時間尺度將邊界條件推向已知的邊界值,在此研究採用 $T_f = 1$ 小時。在模式中所使用的分潮共有 M2、S2、N2、K1、O1、P1等六個主要短週期分潮。

對於垂直積分平均的二維速度場的開邊界值,模式採用隱式重力 波輻射邊界法求得(Chapman, 1985),由波浪方程式解得,可表示為:

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} - C_e \frac{\partial\phi}{\partial n} = 0 \tag{4.2}$$

式中 ϕ 可代表為 \overline{U} 、 \overline{V} 。所以(1.49)可表示為:

$$\phi_b^{n+1} = \frac{\left(\phi_b^n + \mu_e \phi_{b+1}^{n+1}\right)}{\left(1 + \mu_e\right)} \tag{4.3}$$

式中 $\mu_e = C_e \Delta t_e / \Delta x$, Δt_e 為二維的計算時距。

至於開口邊界的三維速度場及溫度、鹽度則利用隱式的 Orlanski (1976)輻射邊界條件法求得:

$$C_{L} = \frac{\phi_{b+1}^{n-1} - \phi_{b+1}^{n+1}}{\phi_{b+1}^{n+1} + \phi_{b+1}^{n-1} - 2\phi_{b+2}^{n}}$$
(4.4)

$$\mu_{i} = \begin{cases} 1, & \text{if } C_{L} \ge 1 \\ C_{L}, & \text{if } 0 < C_{L} \le 1 \\ 0, & \text{if } C_{L} \le 0 \end{cases}$$
(4.5)

式中 $\mu_i = C_i \Delta t_i / \Delta x$, Δt_i 為三維的計算時距, C_i 為內重力波相位速度。因此,邊界條件可表示為:

$$\phi_b^{n+1} = \frac{\left[\phi_b^{n-1}(1-\mu_i) + 2\mu_i\phi_{b+1}^n\right]}{(1+\mu_i)}$$
(4.6)

此外,模式在靠近開口邊界處,增加海底摩擦力以防止能量從邊界處 反射回來,而影響模式的內部數值解。

4.3 模式結果

模式考慮潮汐的分潮,包括主要的六個短週期分潮(M2、S2、 N2、K1、O1及P1),可以表示為:

$$\eta_K = \sum_{i=1}^6 A_i \cos\left(\frac{2\pi t}{T_i} + \Phi_i\right)$$
(4.7)

式中*A_i、T_i、*Φ_i分別為各個分潮的振幅、週期及相位角。圖 4.31 表示 中央氣象局高雄港潮位觀測站 1997 年 1 月 1 日零時起始的水位資料 (測站位置參見圖 4.29),位於南方開口邊界的潮汐水位值,利用 NAO99b 模式所預測潮位資料,與高雄港區潮位站之資料大致上相當 符合。高雄港區的潮汐屬於為全日潮區,NAO99b 的資料也包涵了 14.77 日的大小潮週期。

大範圍的潮汐模式採用二維模式,主要目的是將模式結果輸 出,當作小範圍模式的邊界條件。圖 4.31 表示大範圍潮汐模式結果 與高雄港區潮位觀測資料的比較,由圖中之潮位比較可知,模式預測 之潮位是合理的。計算模式結果、NAO99b資料與高雄港潮汐觀測資 料間的平均平方根誤差值分別為:(1)觀測與 NAO99b - 0.1116 m (2) 觀測與模式 - 0.1196 m (3)模式與 NAO99b - 0.0769 m。因此我們得 知,模式的誤差主要來自於五弧分×五弧分 NAO99b資料的邊界潮位 輸入值。圖 4.32 表示在模式二十天時潮流與潮位的分布圖。

高解析的小範圍模式分為高雄港第一港口區域及第二港口區 域。網格間距大約為 30 公尺,以三維模式模擬港區內潮流與潮位時 間與空間上的分布情形,垂直方向總共有等距的 11 個o層。為了觀察 港區內潮流隨著時間的變化情形,選擇以第一、二港口為例。圖 4.33 至圖 4.38 表示第一港口區域、圖 4.39 至圖 4.44 表示第二港口區域模 式表層與底層的潮流流場,在模式十天後每隔四小時的分布情形。從 模式結果得知,高雄港區內的潮位大約是同相位,航道上的流速相對 的較為湍急,最大潮流約為 30cm s⁻¹,碼頭內的潮流都較為平緩。在 第四小時的時候為漲潮時段,在表層有一明顯的順時鐘轉渦漩存在於 第一港口的入港後較為寬廣的區域處(迴轉區),底層流亦然。此外, 模式顯示在第四小時與第十六小時的漲潮時段,表層有一明顯逆順時 鐘轉渦漩形成於第二港口的迴轉區域,但是在第十二小時與第二十四 小時的退潮時段,在此區域則存在一順時鐘轉渦漩,底層流流場亦有 同樣的趨勢。靠近中鋼、中船附近港區的潮流相對的較為平緩。

為了模擬計算港區內細泥的運送與沉降,我們假設細泥的來源

是來自仁愛河與前鎮河。模式只考慮河流的流量,不考慮河流注入近 海所產生的溫鹽流。對於仁愛河與前鎮河的流通量,因為無實際觀測 資料,故參考經濟部水資源局公佈東港溪平均流量,所以模式分別採 用 200 及 40 m³s⁻¹,河川含細泥的濃度皆假設為 500 mg/l。圖 4.45 表 示模式十天後第一港區底層流流場與底泥沉積厚度的分布圖。由模式 結果得知,淤泥沉積的厚度與底層流速場息息相關。在航道上與第一 港口後的渦流區域,都有明顯的淤泥沉積,模式模擬十天後,淤泥厚 度達到大約 15 公厘。

至於第二港口區域模式,我們假設北方開口邊界為細泥的來 源,濃度為 200 mg/l。圖 4.46 表示模式十天後第二港區底層流流場與 底泥沉積厚度的分布圖。由模式結果得知,第四貨櫃中心有相對較厚 的淤泥沉積,第二港口南方的中船、中鋼區域的淤泥較少。

考慮風應力對於底泥沉積的影響,根據高雄港地區的風力分析, 冬季季風期風向以 NNE 至 WNW 間為主,風速介於 0.1 5 m/s 之間 (參考章節 3.2.1)。因此模式加入均勻風場,風速為 5 m/s 與風向為 北風。圖 4.47 與圖 4.48 分別表示模式考慮潮汐與風應力作用十天後 第一港區與第二港區底層流流場與底泥沉積厚度的分布圖。模式結果 與前潮流作用案例的結果相仿,但仍有些微的差異。因受風力影響, 在第一港區的底泥沉積範圍變為較為狹窄,第二港口、中船、中鋼區 域的淤泥則有增加的趨勢。

數值模式模擬結果雖有假設因素所產生的量化誤差,然從二港口 的模擬結果卻可看出其與先前從實測水深所得之侵淤結果以及船席 浚挖量分析在定性上有相似之處。例如,屬於第四貨櫃中心的 115 號 至 122 號碼頭在冬季有明顯淤積(圖 3.2),但在夏季則有較大量之浚挖 作業,顯示該區的確是海岸漂砂進入二港口後明顯沉降淤積之處,此 也與數值模擬之趨勢相符。



圖 4.31 大範圍潮汐模式水位驗證。上圖表示邊界上一處從 NAO99b 的預 測潮位資料與高雄港潮位觀測站潮位之比較。下圖為模式結果與潮位站潮 位資料之比較。黑色直線代表潮位站資料,紅色虛線代表模式結果。





圖 4.33 第一港口高解析模式潮流流場在第四小時之分布圖。上圖為表面流場,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.34 第一港口高解析模式潮流流場在第八小時之分布圖。上圖為表面 流,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度水位高度。



圖 4.35 第一港口高解析模式潮流流場在第十二小時之分布圖。上圖 為表面流,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.36 第一港口高解析模式潮流流場在第十六小時之分布圖。上 圖為表面流,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.37 第一港口高解析模式潮流流場在第二十小時之分布圖。上 圖為表面流,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.38 第一港口高解析模式潮流流場在第二十四小時之分布圖。 上圖為表面流,下圖為底層流場,小方格表示當時的表面水位高度。





Near-bottom velocity (Hour 04)



圖 4.39 第二港口高解析模式潮流流場在第四小時之分布圖。上圖為表面流場,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.40 第二港口高解析模式潮流流場在第八小時之分布圖。上圖為表面流 場,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。





圖 4.41 第二港口高解析模式潮流流場在第十二小時之分布圖。上圖為表面 流場,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.42 第二港口高解析模式潮流流場在第十六小時之分布圖。上圖為表面 流場,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.43 第二港口高解析模式潮流流場在第二十小時之分布圖。上圖為表面 流場,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.44 第二港口高解析模式潮流流場在第二十四小時之分布圖。上圖為表 面流場,下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。



圖 4.45 模式模擬十天後第一港口區域底層潮流流場及淤泥 沉積的厚度,單位為公厘。



圖 4.46 模式模擬十天後第二港口區域底層潮流流場及淤泥沉 積的厚度,單位為公厘。



圖 4.47 模式模擬十天後第一港口區域底層潮流加上 5 ms⁻¹均匀北 風風場的流場及淤泥沉積的厚度,單位為公厘。



圖 4.48 模式模擬十天後第二港口區域底層潮流加上 5 ms⁻¹均匀北 風風場的流場及淤泥沉積的厚度,單位為公厘。

符號總表

符號	代表意義	模式應用數值
U, V , W	東西、南北、垂直方向的流速分量	
f	柯氏力參數	
Р	壓力	
K_M	垂直渦漩混合係數	
K _H	溫度、鹽度的垂直渦漩擴散係數	
g	重力加速度	9.8 ms^{-2}
x, y, z	東西、南北、垂直方向的距離	
ρ_{0} , ρ	參考密度、現場密度	
<i>θ</i> , S	位溫、鹽度	30°C、35 psu
A_M	水平渦漩混合係數	
A_H	水平溫度、鹽度渦漩混合係數	
С	Smagorinsky 公式的背景常數	0.1
q^2	紊流動能	
l	紊流尺度	
K_q	紊流垂直渦漩混合係數	
η , H , D	水面高度、水深、總和水深	
σ	sigma 座標系統	
ω	σ座標系統中的垂直流速分量	
Z0	海底粗糙參數	0.003 m
C_s	懸浮顆粒的濃度	仁愛河、前鎮河的 C _s 假設
		為 500 mg/l
Ws	懸浮顆粒的沉降速度	
Δt_e	二維的計算時距	大範圍 1.50 秒
		第一港口 1.00 秒
		第二港口 0.80 秒
$\Delta t_{\rm i}$	三維的計算時距	$\Delta t_i = 20 \Delta t_e$

第五章 防治對策評估與建議

5.1. 結論

針對以上文章中四個工作項目所得成果,可綜合結論如下: A. 港池內淤泥來源及底質調查

全區水深變化顯示港池底質在夏季呈侵蝕變化,在冬季則呈淤 積變化,變化量較大的區域主要在區域四,即靠近二港口航道的港 池水域。由於船席在3月至10月間,尤其夏季期間,有較多之浚挖 工作,因而易造成此期間之侵淤變化。此外,近幾年的浚挖工作也 都集中在二港口附近的貨櫃中心碼頭之船席。

B. 港池流況分析(海氣象及海潮流)

高雄港海洋地區之吹風仍以冬天之 NNE 至 WWW 風向比例最高,但吹風速度均在 5m/s 以下。波浪方面則以冬天小於 1m 之湧浪 及夏天偶有大於 6m 之颱風波浪為主。潮汐資料顯示本港之平均潮 差約 0.7m 屬偏半日潮之混合潮型。海流則因受黑潮支流回流影響, 受季節風之影響遠大於潮汐漲落影響,因而流向呈沿岸做往複運動,而流速以冬季較強,可達 40cm/s 以上。

C. 港池淤泥之流動及沉降分析

針對港池 11 處不同地點所得之沉泥採樣所進行的沉降及土壤 性質分析得知,大部份港池底泥之組成,粉土平均約佔 67%,黏土 約佔 33%,此外,靠近一港口之底泥樣本顯示黏土成份成份較平均 值為高,前鎮河口及二港口出港處則黏土成份較平均值為低,據此, 一港口附近底泥受愛河、運河及前鎮河影響較多,二港口處之淤泥 則以海洋漂砂經由二港口輸入為主要來源。

D. 港池淤泥傳輸分析

數值模擬港池受潮流用時淤泥之傳輸及沉降結果顯示,在六個 主要短週期成份潮(M2,S2,N2,K1,O1,P1)合成潮汐作用下

5.2. 防制對策評估

由於浚挖之工作從過去四年(90,91,92,93 年度)之資料顯示, 大都集中在四月至十月之夏季區間,因而港池淤泥之分佈只可從十 月至四月之冬季區間得片面的認識。從第三章冬季區間淤泥分佈結 果得知(分別是 89.10 至 90.04 及 90.10 至 91.04),淤積較明顯的區 域集中在一港口迴船區、愛河河口、前鎮河口、第二貨櫃中心、第 四貨櫃中心之碼頭船席及第二港口迴船池。若考量數值模擬結果在 一港口與二港口附近的淤積影響,以及浚挖量分析顯示之第二、三 與四貨櫃中心碼頭船席之經常濬挖作業,可得知淤泥之沉積問題似 乎已從過去以第一港口為主,逐漸轉移至第二港口區為主。由於第 二港口區域並無主要的河川輸沙,因而其底泥來源應是從港外海岸 漂砂經由港口輸入,此外,位於二港口迴船池附近的第三與第四貨 櫃中心碼頭船席,因受迴船池水域變大影響,易使從港口進入的海 岸輸砂在附近船席區域沈降,甚至更細顆粒更易傳輸至碼頭中段。

針對淤泥流動特性,主要可分為海岸漂砂進入港區之過程,以 及在港區內傳輸分佈特性,故防治對策也應從此兩大方向著手,首 先欲減少海岸漂砂進入港內,應從港外之海岸漂砂著手,按中華顧 問工程司之「高雄市旗津區海岸線治理規劃」報告指出,因二港口 外廓防波堤之突堤效應,目前旗津海岸略呈侵蝕狀態,而二港口南 側海岸之漂砂有集中在二港口南防波堤堤頭附近。如圖 5.1 所示, 由波浪引致之優勢近岸流場易將海岸漂砂由南向北輸送,然堆積在 堤頭附近水深較大處之淤砂易再受南北向往復流之傳輸而越過堤 頭,若在冬季受到湧浪的合成流場作用將易淤砂輸入港內,在現況 尚無進一步擴港之情形,二港口南防波堤頭之定期濬挖應可有效減 少港內船席之浚挖作業,尤其二港口北側旗津海岸有明顯之侵蝕現 象,故堤頭外海側浚挖之土方也可做為該海岸之人工養灘之砂源, 而在人工養灘之可行性研究中,可進一步針對環境影響進行深入評 估。

此外,港區內傳輸分佈特性宜就波浪與潮流之合成作用,以及 底泥懸浮及再沉積等過程進行深入探討,方能擬定合理防治對策, 然因本計畫執行時間長度未能在此評估上獲致滿意結果,從目前的 潮流流場分佈以及針對愛河、前鎮河及二港口之初步漂砂分佈趨 勢,可初略得知流場在一、二港口迴船區域之漩渦結構以及水體擴 大之流速減緩效應。海岸漂入之砂源易在此堆積,同時因潮流在港 內之往復輸送,更細顆粒之漂砂易往港池中央運移及堆積。然對此 運移之過程進行防治工作一般有較大困難度,也不若針對海岸漂砂 防治所可達的有效性。



圖 5.1 旗津浸淤圖

5.3. 建議

針對港池底泥流動特性所擬的防治對策,實際上困難度相當 高,因為港池的底泥與海岸漂砂有關,防治方法必須配合港外的 海岸整治工作方能成事,其次是浚泥作業的技術與方法也會影響 相關對策之規畫,因此建議高雄港港務局應就海岸漂砂的整治以 及可能之側向輸砂從堤頭堆積堆積處至旗津海岸等與相關單位合 作解決,使港池的浚挖量減少,底泥淤積減少,藉以提高航商滿 意度,亦提高高雄港之競爭力。另一方面,由於貨櫃船的大型化, 其吃水深變大,且配備的推動螺槳也相對大型化。其結果,在碼 頭船席的運移以及在迴船池的運移均會對底床產生攪動並產生大 量懸浮漂砂,若受潮流的傳輸運移,又會將更多的底泥輸送至港 池中間段,加大港池淤泥範圍,也加深淤泥厚度,減低水深,圖 5.2 顯示二港口迴船池有清楚的淘刷坑存在。此部份也建議港務能 深入研究,再配合浚挖作業改善以擬定更具體之防治對策。



參考文獻

- 1.中華顧問工程司, "高雄市旗津區海岸線治理規劃報告書", 民國 89 年7月。
- 2.交通部運輸研究所, "2001年港灣海氣象觀測資料年報", 民國 91 年 10月。
- 3.高苑技術學院,"高雄市海岸生態復育計畫期中報告書",民國 93 年 10 月。
- 4.陳鴻霞、顏清連、周憲德,"石門水庫淤泥之流動特性",國立台灣 大學土木工程學研究所碩士論文,民國73年6月。
- 5.楊錦釧、陳弘翰, "凝聚性沈滓傳輸機制之模擬與分析", 國立交通 大學土木工程研究所碩士論文, 民國 88 年 6 月。
- 6.Arakawa, A., and V.R. Lamb, 1977: Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. Methods in Computational Physics, 17, 174-265.
- 7.Blumberg, A.F., and L.H. Kantha, 1985: Open boundary condition for circulation models. J . Hydraulic Engineering, 111, 237-255.
- 8.Blumberg, A.F., and G.L. Mellor, 1987: A description of a threedimensional coastal ocean circulation model. In: Three-Dimensional Coastal Ocean Models, edited by N.S. Heaps, Amer. Geophys. Union , Washington DC, pp. 1-16.
- 9.Burban, P.Y., Y. Xu, J. McNeil, and W. Lick, 1990: Settling speeds of flocs in fresh and sea waters. J. Geophys. Res., 95, 18213-18220.
- 10.Chapman, D.C., 1985: Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model. J . Phys. Oceanogr., 15, 1060-1075.
- 11.D.J .Lee & G.W.Chen & Y.C.Liao & C.C.Hsieh, "On the Free-Settling Test For Estimating Activated Sludge Floc Density", Wat. Res., Vol.30 No.3, pp.541~550.
- 12.Erik A. Toorman & J ean E. Berlamont, "Mathermatical Modeling of Cohesive Sediment Settling and Consolidation", Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport, pp.167~183.
- 13.Gailani, J., C.K. Ziegler, and W. Lick, 1991: The transport of sediments in the Fox River. J. Great Lakes Res., 17, 479-494.
- 14.HydroQual, 2002: A primer for ECOMSED. Users Manual, HydroQual, Inc. Mahwah, N.J., pp. 188.
- 15.Krone, R.B., 1962: Flume studies of the transport of sediment in estuarial processes. Final report, Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley.
- 16.Lick, W., J. Lick, and C.K. Ziegler, 1994: The resuspension and
transport of fine-grained sediments in Lake Erie. J . Great Lakes Res., 20, 599-612.

- 17.Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, 2000: Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around J apan. J . Oceanogr., 56, 567-581.
- 18.Mellor, G.L., and T. Yamada, 1974: A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. J . Atmos. Sci., 31, 1791-1806.
- 19.Mellor, G.L., and T. Yamada, 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851-875.
- 20.Nicholas V. M. Odd & Mark A. Bentley & Colin B. Waters, "Observations and Analysis of the Movement of Fluid Mud in an Estuary", Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport, pp.430~446.
- 21.Orlanski, I., 1976: A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. J . Comput. Phys., 21, 251-269.
- 22.Partheniades, E., 1992: Estuarine sediment dynamics and shoaling processes. In Handbook of Coastal and Ocean Engineering, vol. 3, J. Herbick, Ed., pp. 985-1071.
- 23.Phillips, N.A., 1957: A ccordinate system having some special advantages for numerical forecasting. J. Meteorol., 14, 184-185.
- 24.Smagorinsky, J., 1963: General circulation experiments with the primitive equations. Mon. Wea. Rev., 91, 99-164.
- 25.Smolarkiewicz, P.K., and W.W. Grabowski, 1990: The multidimensional positive definite advection transport algorithm: Nonoscillatory opinion. J. Comp. Phys., 86, 355-375.
- 26.Theresa R. Wang & Robert C.Y. Koh & Norman H. Brooks, "Interpretation of Settling Column Measurements of Sludge", Enviromental Quality Laboratory California Institute of Technology Pasadene,California, pp.204~236_o



附錄 A 全區電子水深圖(示意圖)

附錄 B 各船席年度月浚挖量

				高加	推港務局港	巷工處90年	度航道及	碼頭船席海	发挖量統計	·表				
	航道	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年浚挖量
監測點	碼頭船席	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年浚按量
3	#002	/ 4	/ 4	-/4	/ 4	- / 4	-/4	./4	-/-	. / .		/4	400	400
3	#004				720									720
3	#010		880		,20	880			800		480		960	4000
1	#011		000			000			000		100		1200	1200
4	#014	1080	2240	3280	1360	1840	4240	2640	640		720		1200	18040
4	#015	1000	2210	5200	1500	960	1440	1600	880	880	2960			8720
	#016					2240	800	1760	3040	1040	1520	480		10880
5	#022		880	880	640	2240	000	1700	50+0	10+0	1520	5840	720	8960
6	#025	640	000	2400	880	640			060		1680	720	120	7020
6	#025	040	<u> </u>	720	2240	720			900		1000	720		5440
6	#029	000	800	120	2240	720								800
6	#02)	1520	800					5840						7360
6	#034	1520	640					5040						640
5	#034		040					400						400
5	#035	560	<u> </u>	1680				400						2120
2	#037	200	000	2240										2120
2	#040	480		2240										120
2	#040	1000		000					800	2000			190	400
	#041	1080		000				000	800	2600			460	0040
0	#045	1260						000						2100
0	#050	460	000											460
9	#051		880									400		880
10	#054							000	000			480		480
10	#064			100		15.00		800	880	000	(10)			1680
11	#065			480		1540		1280	000	880	640			4820
10	#066			700	720			000	880	800		720	1.000	1680
12	#068		1100	720	/20	000		880	720			720	1680	5440
13	#069	000	1120		880	880			640			720		4240
14	#0/4	880	100	1.000		100			1500	000		720	0.00	880
14	#075		480	1600	000	480			1520	880		720	960	6640
14	#0/6				800				6.10			100		800
15	#0//	000	560		720	880		000	640	700	700	480	/20	4000
16	#078	800						880	560	720	720		640	4320
16	#079	1440	0000											1440
17	#080		880							000				880
17	#081	10.0								800				800
13	#115	480											0.01	480
13	#116	1120										0.50	880	2000
12	#117			1100								960		960
12	#118			1120	720									1840
12	#119		800	480		0.7-7		0.5 -					3360	4640
12	#120		0.0-			880		880						1760
11	#121		880	1520	720	10					0.000			3130
11	#122		880		3600	20.50					3680			8160
2	#143	10.00	10.00	10055	1.105-	2960		150.15	100.00	0.05-	10.15-		100	2960
	口波把量	13600	13680	18000	14000	14910	6480	17840	12960	8800	12400	11120	12000	155700

				盲	品雄港務局	港工處91	年度航道》	及碼頭船席	常浚挖量紡	計表				
	航道	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年浚挖量
監測點	碼頭船席	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年浚挖量
3	#002					480								480
3	#004						480							480
3	#005	480												480
3	#009								240				1680	1920
3	#010	720			720	1200	720	720	960	1680				6720
4	#011		3360	2640		1200	1440							8640
4	#015				720									720
4	#016				3120	2400				480				6000
5	#017								960			480		1440
5	#018							480						480
5	#019								720				720	1440
5	#021										7200	10080	1680	18960
6	#031								480	3600				4080
5	#036							480					480	960
5	#037		720				480							1200
3	#039											720		720
3	#040						720	1200		960				2880
3	#041						1200							1200
7	#045						150			240				390
8	#047							3360						3360
10	#065	1440												1440
11	#066									2160	960			3120
14	#074						480							480
14	#075					480								480
15	#077	720									480		720	1920
16	#078		720							720	1200			2640
16	#079									960				960
13	#115	720			3840									4560
13	#116			1680	2880	1200								5760
12	#117						720							720
13	#119	960												960
11	#122		150				3360							3510
	淺三								5520					5520
10	#58基地				240	2880	2880	720	3120	480			240	10560
	前鎭漁港	9120	6480	11880	4080	720								32280
	月浚挖量	14160	11430	16200	15600	10560	12630	6960	12000	11280	9840	11280	5520	137460

				高加	雄港務局港	售工處92年	E度航道及	碼頭船席	浚挖量統訂	†表				
	航道	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年浚挖量
監測點	碼頭船席	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年浚挖量
4	#015	720(450)												720
5	#017	720(450)	720(450)											1440
5	#018		1440(900)											1440
5	#019	720(450)												720
5	#020	480(300)	1680(1050))										2160
5	#036	720(450)												720
5	#038	1440(900)												1440
7	#045	1200(750)												1200
10	#058	480(300)	240(150)						1680(1050	750(450)				3150
12	#068								1680(1050	750(450)				2430
13	#069							680(425)	2640(1650	750(450)				4070
14	#071	720(450)	1440(900)	2160(1350)			1200(750)		2750(1650))			8270
14	#072							720(450)	480(300)					1200
14	#074	480(300)								2250(1350)			2730
14	#075	720(450)			480(300)	1200(750)		480(300)	480(300)	500(300)				3860
15	#077	720(450)	1680(450)	720(450)				1440(900)	480(300)	1500(900)				6540
16	#078		720(1050)				480(300)	1200(750)	720(450)	1500(900)				4620
16	#079							720(450)	720(450)					1440
17	#081									750(450)				750
13	#116								720(450)					720
12	#117								720(450)	750(450)				1470
12	#118								720(450)					720
12	#119							1440(900)						1440
12	#120									2250(1350)			2250
11	#121							520(325)	1440(450)					1960
11	#122		480(300)					960(600)		500(300)				1940
	月浚按量	9120	8400	2880	480	1200	480	9360	12480	15000	0	0	0	59400

				高雄港彩	8局港工處9	2年度航道及	医頭船席诊	· 按量統計	表				
航道	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年浚挖量
	44300	35200	5000	2400	46700	9500	20200	39900	37000	33600	41600	27000	342400
碼頭船席	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年浚挖量
#007			750(450)										750
#010						1080(648)							1080
#018								500(300)					500
#020			750(450)										750
#033				750(450)									750
#035					750(450)								750
#036					750(450)								750
#058			250(150)	500(300)	250(150)			250(150)	250(150)				1500
#063		1500(900)							500(300)				2000
#065	3530(2118)	1000(600)	3000(1800)	750(450)	500(300)	2000(1200)		500(300)					11280
#066		4500(2700)	3250(1950)	2750(1650)	750(450)	750(450)	2166(1300)						14166
#067				750(450)									750
#068		750(450)	500(300)	1500(900)		670(402)							3420
#069		750(450)		750(450)	500(300)	750(450)		500(300)					3250
#070			750(450)					500(300)					1250
#071		500(300)	2750(1650)	2250(1350)	1250(750)				500(300)				7250
#072				750(450)									750
#074					750(450)	750(450)		750(450)					2250
#075		500(300)		750(450)	1500(900)	1250(750)	1250(750)	1000(600)	1500(900)				7750
#076	750(450)						500(300)	750(450)					2000
#077		2250(1350)	2000(1200)	1500(900)	1500(900)	1250(750)	1500(900)	1250(750)					11250
#078	500(300)			1500(900)	1250(750)		500(300)	750(450)	500(300)				5000
#118		750(450)											750
#119				500(300)	750(450)	750(450)							2000
#120			750(450)		750(450)	500(300)	500(300)		750(450)				3250
#121					1000(600)	750(450)		750(450)					2500
#122					750(450)	500(300)	1250(750)	250(150)					2750
#58基地						500(300)	334(200)						834
月浚挖量	4780	12500	14750	15000	13000	11500	8000	7750	4000	0	0	0	91280

附錄 C(船席水深圖-以 89 年 4 月為例)



3,4,5,6 碼頭船席水深圖



11,12 碼頭船席水深圖



67,68 碼頭船席水深圖



115,116 碼頭船席水深圖

















































交通部運輸研究所合作研究計畫

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱:高雄港港池淤沙調查研究---底泥流動特性研究

執行單位:國立台灣海洋大學

參與審查人員	合作研究單位	本所計畫承辦單位
及其所提之意見	處理情形	審查意見
一、邱永芳委員:		符合
1.防治對策應再詳述,如何	1. 已增加說明於第五章之	
防治其對策影響程度應	内容。	
有探討,否則對防治後會		
有何成果無法預先評估。	2. 照辦如第五章第三節所	
2.建議部份請具體化。	示。	
3.圖表之說明請圖示清楚。	3. 已照辨。	
二、莊甲子教授		符合
1.各項資料內容及提供單	1. 已照辨並已補充敘明	
位應加敍明(例:P.3-1 淤		
泥底質或地形, P.3-16 地	2. 已照辨,加上流程圖 3.1	
形, P.3-23 潮汐)。	補充說明。	
2.圖表分析結果的分析過		
程應加說明(例:表 3-1	3. 風浪流的部份已用較新	
~表 3-5,圖 3.2~3.6,	的資料更換,如章節	
圖 3.7~3.8 等)。	3.2.1、3.2.2 及 3.2.4	
3.部份引用資料嫌較老舊	所示。	
(例:P.3-20 波浪資料)。	4. 已將全區水深圖放在附	
4.侵淤分析結果所依據的	錄 A(但因此圖是由大型	
原始地形資料宜以附錄	的圖紙掃描所得,無法	
形式附於報告後以達報	在文件檔呈現原貌,因	
告的完整性。	此放示意圖,原檔則放	
5.第五章名稱建議改為結	至於隨報告繳交的光碟	
論與建議,並將本研究各	片中)。	
項次的分析結果加以摘	5. 第五章章名並未更動,但	
述之,最後再作防治對策	内容已將各項次的分析	
的評估。	結果先做結論性之描	
	述,才再做防治對策評	
	估。	

三、許泰文委員	 1.已照辨,如1-4節所示。 	符合
1.第一章計畫緣起,建議能	2.(1)已增加表格說明參數	
增加五項主要工作項	與率定。	
目,以便瞭解本計畫所要	(2) 邊界條件之設定與輸	
處理的問題。	入條件於第四章第二	
2.第二章文獻回顧應改為	節說明。	
POM數值模擬簡介,參	3. 港池浚挖作業主要是考	
數介紹和率定以及邊界	量冬季歲修之時程,故	
條件如何設定和輸入條	冬季淤積區域與冬季漂	
件應增加篇輻詳加說明。	砂活动之关联尚需更多	
3.報告指出,港池浚挖主要	研究方能確認。	
在夏季,是否表示冬季淤	4. 已用較新的資料更換,如	
積,冬季流場較強,將外	章節 3.2.1、3.2.2 及 3.2.4	
海懸浮載帶往港池,並沉	所示。	
積港區。	5.(1)模式考慮六個主要短	
4.第三章波潮流調查資料	週期分潮(M2、S2、	
整理分析,建議能找到更	N2、K1、O1、P1),以	
新 data,因大環境變遷波	高雄港觀測潮位的調	
潮流已有很大變化。	和分析結果顯示,振幅	
5.第四章4.3 模式結果使用	分别為(0.1805、	
六個分潮,基本上高雄海	0.0685 • 0.0407 •	
域比較接近混合潮,故是	0.1533 \cdot 0.1330 \cdot 0.0558	
否以四個分潮計算較能	公尺)(請參考表	
掌握潮流現象。潮汐模式	3.14),主要分潮為	
驗證建議增加流速和流	M2、K1及O1,因此,	
向比對,並增加風力計	高雄港區為混合潮	
算,參數如何選擇應有明	區。模式結果得知,模	
確交待。	擬的水位高程與實際	
	觀測結果相當的合	
	理,至於流速與流向,	
	因為無現場觀測的海	
	流資料,所以無法做比	
	對。	
	(2) 增加風力計算,模式結	
	果在第四章第三節補充	
	說明。	
	(3) 已照辨補充說明參數	
	的選定。	

四、何良勝委員		符合
1.請增列中、英文摘要。	 1.已照辨,如1-2頁所示。 	
2.文內應修正或補充說明	2.	
之處:		
◎第二章之參考文獻,建議	●已照辨。	
放在全文最後。		
◎圖 3.3~圖 3.6 與圖 3.2(全	◎已照辨,如圖 3.4 至圖	
區域)有重複之嫌,建議	3.7之放大結果。	
作修正。		
◎請增列船席位置說明圖。	◎已照辨,如圖 3.8所示。	
●圖 4.13~圖 4.18 補充說明	●已照辨。	
圖說內容。		
3.請加強說明第二章與第	3. 第二章第二部份為第四	
四章計算模式之關連性。	章所應用的計算模式之	
4.加強說明模式計算結果	介紹,以利提供讀者較清	
與現場地形侵淤之對應	楚的背景。	
關係。	4.已加強說明於第四章 4.3	
5.建議於文內相關章節,加	節。	
強說明第五章所得之結	5.已照辨,在第五章中所得	
論 °	之結論已在文內各章節	
論 o	之結論已在文內各章節 加強說明。	
論。 五、詹森委員	之結論已在文內各章節 加強說明。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
 論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模 	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
 論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模擬結果的信賴。 	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辨,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模 擬結果的信賴。 2.除模擬水位的驗證外,更	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
 論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模擬結果的信賴。 2.除模擬水位的驗證外,更應加入海流的驗證,大模 	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
 論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模擬結果的信賴。 2.除模擬水位的驗證外,更 應加入海流的驗證,大模 式可採用港研中心、成大 	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模 擬結果的信賴。 2.除模擬水位的驗證外,更 應加入海流的驗證,大模 式可採用港研中心、成大 水工所、臺大海研所,以	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辨,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模 擬結果的信賴。 2.除模擬水位的驗證外,更 應加入海流的驗證,大模 式可採用港研中心、成大 水工所、臺大海研所,以 往在一、二港口附近的海	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模 擬結果的信賴。 2.除模擬水位的驗證外,更 應加入海流的驗證,大模 式可採用港研中心、成大 水工所、臺大海研所,以 往在一、二港口附近的海 流觀測成果為依據,驗證	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辦,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模 擬結果的信賴。 2.除模擬水位的驗證外,更 應加入海流的驗證,大模 式可採用港研中心、成大 水工所、臺大海研所,以 往在一、二港口附近的海 流觀測成果為依據,驗證 潮流橢圓的差距、模擬潮	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辨,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合
論。 五、詹森委員 1.圖 4.10(P.4-13)水位驗證 可再計算 NA099b 與驗 潮站和 POM 結果與驗潮 站水位差的均方根差 (root-mean-squareel error),以增進讀者對模 擬結果的信賴。 2.除模擬水位的驗證外,更 應加入海流的驗證,大模 式可採用港研中心、成大 水工所、臺大海研所,以 往在一、二港口附近的海 流觀測成果為依據,驗證 潮流橢圓的差距、模擬潮 流的均方根誤差等。以此	之結論已在文內各章節 加強說明。 1. 已照辨,於第四章第三 節補充說明。 2. 無現場觀測的海流資 料,所以無法做比對。	符合

令淤泥擴散,傳輸模擬的		
結果更具說服力。		
3.第五章建議之 b.(P.5-1),	3.謝謝指正。因該項建議是	
人工養灘的過程是否應	針對防治對策提出的原	
提防懸浮淤泥對海域造	則性建議,至於人工養灘	
成的污染?如果是,则提	的工程實施,理當會對懸	
出此項建議應特別審慎	浮湮砂進行環境影響評	
小心。	けホウシー、、北方山市	
六、王玉懷委員		符合
1.page 2-1: 參改文獻 Wang	1. 增列在參考文獻中。	
et al.(1985)、陳(1999)未		
附。		
2.page 2-1 : Cohesive	2.已統一使用名詞,分別	
sediment之中譯?與	為"凝聚性"及"非凝	
page2-2"有粘著力"之	聚性"沉滓。	
區別?		
3.page 2-8:式(2.38)中 Ukb-1		
之說明。	3. 公式(2.38)中的 <i>U_{kb-1} 應</i>	
4.page 2-8~:細泥運送模	改為 u, u 為接近海底底	
式之公式,邊界條件	層的流速場	
(E,D)及(2.42)沉降速度		
Ws= α (CsG) ^{β} , α =2.42, β	4. 細泥的沉降速度以	
=0.22 等,是否有用在模	$(\alpha, \alpha)^{\beta}$	
式中?為何選用這些公	$W_s = \alpha(C_sG)'$ 經驗公式	
式?能否提出其可靠性	求得,係數α、β的率定	
或計算結果之驗證?	是依據 Burban et al.	
5.P3-1:章節 3.1.2.1 分析方	(1990) 量測各種凝聚性	
法簡介請重寫, 電腦檔之	沉積物所求得。此外,	
流程可作為例子說明。	HydroQul Inc.也針對此	
6.P3-1: 增加計算: 假若未	經驗公式進行模式比	
浚挖,則浸淤量為何?	對,模式結果與實驗結果	
7.P3-1: 增加計算: 以歷年	相當合理。	
水深資料,計算各船席之	5.已增加圖 3.1 之流程圖	
浸淤量,並以柱狀疊加圖	示補充說明。	
(Stacked Bar)呈現。	6.因是實測水深之分析,故	
8.P3-30:加一章節:氣海象	無法分析此假設結果。	

資料分析之結論。	7.已將船席計算結果(表		
9.P4-1:節 4.1.1 沉積物在沿	3.6~3.9)以折線圖 3.11		
岸之分布與氣海象分析	表示;由於侵淤量有正、	•	
結果是否有關聯?	負號,故無法以柱狀疊加	1	
10.page4-11:4.3 模式結果	圖表示。		
以潮流模式計算仁愛河	8.已照辨,如3.2.5節所		
及前鎮河之淤泥沉積。	示。		
此結果可作為將來進一	9. 有關連,已針對季風影響	2	
步研究之基礎,且其計	進一步做分析。		
算結果與高雄港區之浸	10.謝謝指正。		
淤狀況無關。	11.已就何良勝委員意見5.		
主要缺失是現場狀況與	合併處理。		
模擬情況不同:			
↓浸淤狀況受沿岸流之密度			
流及潮流之控制前雨者			
可能對淤積之長期壘積			
更重要。			
2港區沙源不限於兩河而			
己。			
③港區之沉降速度及再懸浮			
過程不易模擬。可能非本			
模式所能負擔。			
11.P5-1:加強引用現場資料			
整理分析之結果。			