

101-68-7639

MOTC-IOT-100-H2DB004

# 臺灣近岸港域地形變遷與環境 調查研究 (3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101-68-7639

MOTC-IOT-100-H2DB004

# 臺灣近岸港域地形變遷與環境 調查研究 (3/4)

著者：蔡立宏、徐如娟、林受勛、劉大綱、溫志中、許弘萇

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (3/4)  
/蔡立宏等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，  
民 101.04 面；公分  
ISBN 978-986-03-2031-2 (平裝)

1. 海岸 2. 流沙 3. 數值分析 4. 生態模擬

443.3

101004439

臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (3/4)

著 者：蔡立宏、徐如娟、林受勛、劉大綱、溫志中、許弘莒  
出版機關：交通部運輸研究所  
地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號  
網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)  
電 話：(04)26587176  
出版年月：中華民國 101 年 4 月  
印 刷 者：  
版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊  
本書同時登載於交通部運輸研究所臺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  
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25781515  
五南文化廣場：44042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010100711 ISBN：978-986-03-2031-2 (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。

101

臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究  
(3/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1010100711

定價 300 元

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (3/4)			
國際標準書號 ISBN978-986-03-2031-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1010100711	運輸研究所出版品編號 101-68-7639	計畫編號 100-H2DB004
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：蔡立宏 研究人員：徐如娟、林受勳、何良勝、張惠華、陳以螢 光碟製作：單誠基、馬維倫 聯絡電話：04-26587177 傳真號碼：04-26571329		合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會、弘光科技大學 計畫主持人：劉大綱、溫志中 研究人員：許弘茗、劉景毅、陳平、黃瓊珠、郭平巧、蔡欣潔、周偉龍、王俊欽、徐稚昫 地址：臺南市東區大學路1號、臺中市沙鹿區中棲路34號 聯絡電話：06-2757575、04-26318652	
研究期間 自 100 年 01 月至 100 年 12 月			
關鍵詞：漂沙；海岸地形變遷；水質；港灣環境；港灣工程；風飛沙			
<p>摘要：</p> <p>本研究目的為運用海洋數值模式，模擬漂沙運動之機制，藉以瞭解特定港區海岸變遷與影響因素間之水動力機制，並提出適當的解決方案以及進行評估分析，解決特定港灣及海岸侵蝕以及漂沙等地形變遷的問題。此外，在特定海域作水質環境調查監測，探討水質環境各參數間之相關性以及與海氣象條件間之關連性，並根據分析結果提出改善對策。為達到港口正常營運及永續利用的目標，本研究探討港區附近地形變遷機制及水質環境，並提出改善建議方案，俾提供施政以及工程單位之參酌。本研究為四年期(98~101年)之計畫，研究工作項目包括：1.漂飛沙基本資料收集分析。2.水質及生態基本資料收集分析。3.建立鄰港水理數值模式。4.調查鄰港水質生態環境。5.分析鄰港漂飛沙特性。6.提出漂飛沙整治方案。7.分析鄰港水質環境特性。8.新式海岸保護工法研發。本年度(100)研究為第三年，以臺中港及鄰近地區為研究目標區。</p> <p>本研究分別以文獻資料整理分析、現場調查、理論解析以及數值模擬計算方式，分析目標港灣(臺中港)附近水動力以及漂飛沙機制，探討港灣結構物、海氣象以及地形條件互制所產生特殊的波潮流變化、飛沙機制以及侵蝕淤積的原因與現象，提出改善方案，研究成果可提供主管港務相關單位作為未來改善港灣漂飛沙問題之參考；本研究對臺中港港池及附近作水質及生態調查分析，作為港池水質環境管理單位未來水質控管參考。此外，蒐集壓艙水導入外來物種對環境造成損害之案例，並蒐集造訪臺中港船舶之來源港域鄰近之可能侵襲物種，以建立可能藉壓艙水導入臺中港之侵襲物種資料庫，並建立高風險船舶管理之優先順序。成果可提供主管港灣設計營運及水質生態單位改善及監控之參考。本研究結果亦可提供研究及設計單位如顧問公司以及學術研究等單位，對於港灣漂沙及水質環境問題改善、水動力數值模擬、漂沙地形變遷數值模擬與水質數值模擬之參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101年4月	350	300元	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密          (解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，  <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
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 of the Coastal Topography and Environments near Harbors (3/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-03-2031-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100711	IOT SERIAL NUMBER 101-68-7639	PROJECT NUMBER 100-H2DB004
DIVISION: Harbor and Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-hung PROJECT STAFF: Hsu Ju-chuan, Lin Shou-shiun, Ho, Lian-sheng, Chang Hei-hwa, Chen Yi-ying PHONE: +886-4-26587177 FAX: +886-4-26560661			PROJECT PERIOD FROM January 2011 TO December 2011
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation, Hung Kuang University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ta-Kang Liu, Chih-Chung Wen PROJECT STAFF: Hung-Chu Hsu, Jiing-yih Liou, Ping Chen, Chiung-Chu Huang, Ping-Chiao Kuo, Hsin-Chieh Tsai, Wei-Lung Chou, Chun-Chin Wang, Chih-Yun Hsu ADDRESS: No.1, University Road, Tainan, ROC. No. 34, Chung-Chie Road., Sahlu, Taichung, ROC PHONE: +886-6-2757575, +886-4-26328652			
KEY WORDS: sand drift, coastal topography change, water quality, harbor engineering, wind blown sand			
<b>ABSTRACT:</b>			
<p>The purpose of this study is to investigate the harbor environments and near-shore topography change due to the natural climate, harbor structures and human behavior. Site survey, theoretical analysis, numerical calculations, and experiments are respectively carried out in this project (a four-year project, 2009~2012). The topics included in the present research are as follows: 1. Reviewing related literatures and documents. 2. Setting up numerical models nearby the harbor. 3. Investigating and analyzing the water quality and ecology in a harbor. 4. Studying the mechanisms and characteristics of near- shore sediments. 5. Proposing the improving strategies regarding the problems of sediment transport and wind blown sand. 6. Looking into the characteristics of new coastal protection structures. This study increases our understanding of the present and future impacts to the harbor and coastal zone, as well as providing improving strategies. The study would also provide critical information for harbor and coast managers in charge of the harbor and coastal areas. This year is the third year of the project; the target harbor is Taichung Harbor and the nearby areas.</p> <p>This study can both uphold and preserve the harbor and coastal environment. It has considered not only the safety level of the coast and harbor, but also its effect on walkway and ecology. The results provide the government institutes and private sectors, including the Ministry of Transportation and Communications, Water Resource Agency, Environmental Protection Administration, Harbor Bureaus, consultant incorporations with references to improve the problems of sediment transport and water pollution and to design coastal engineering to protect the coastal environments.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2012	NUMBER OF PAGES 350	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究(3/4)

## 目 錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	II
目 錄 .....	III
圖目錄 .....	IX
表目錄 .....	XXI
照片目錄.....	XVII
第一章 緒論 .....	1-1
1.1 前言 .....	1-1
1.2 研究動機及目的 .....	1-2
1.3 研究項目與方法 .....	1-3
1.4 本研究組織 .....	1-5
第二章 基本資料蒐集與分析.....	2-1
2.1 臺中港區概論 .....	2-1
2.2 氣象資料之統計分析 .....	2-3
2.3 海象資料之統計分析 .....	2-9
2.3.1 風 .....	2-9
2.3.2 海流 .....	2-11
2.3.3 波浪 .....	2-13
2.3.4 潮位 .....	2-16
2.4 颱風資料 .....	2-18

2.5 海域水質 .....	2-27
2.5.1 臺中港外海水質 .....	2-27
2.5.2 臺中港港內水質 .....	2-33
2.5.3 臺中港海域底質 .....	2-36
2.6 陸域水質 .....	2-36
2.7 海域生態 .....	2-41
2.7.1 浮游植物 .....	2-43
2.7.2 浮游動物 .....	2-43
2.7.3 底棲生物 .....	2-43
2.7.4 魚類 .....	2-44
2.7.5 生態指數變化 .....	2-44
2.8 船舶壓艙水議題 .....	2-46
2.8.1 壓艙水引進外來種之影響 .....	2-46
2.8.2 壓艙水相關法規訂定 .....	2-47
第三章 海氣地象調查及分析 .....	3.1
3.1 潮波流調查 .....	3-1
3.1.1 作業內容 .....	3-1
3.1.2 作業方式 .....	3-2
3.1.3 潮波流結果分析 .....	3-2
3.2 浮標追蹤調查 .....	3-16
3.2.1 觀測區範圍及內容 .....	3-16
3.2.2 觀測設備及方法 .....	3-18
3.2.3 大甲溪河口海域觀測結果 .....	3-23

3.2.4	烏溪河口海域觀測結果 .....	3-35
3.2.5	綜合結論 .....	3-46
3.3	北淤沙區地形測量 .....	3-50
3.3.1	測量範圍 .....	3-50
3.3.2	測量過程及方法 .....	3-50
3.3.3	測量結果與分析 .....	3-51
3.3.4	漂飛沙量推估 .....	3-58
第四章	水理模式建立與相關機制探討 .....	4-1
4.1	二維水動力控制方程式 .....	4-1
4.2	三維模式之理論與建立 .....	4-3
4.2.1	基本方程式 .....	4-3
4.2.2	三維水層平均模式 .....	4-4
4.3	水理模式之率定驗證 .....	4-9
4.3.1	模式模擬區域之選取 .....	4-9
4.3.2	水理模式之率定 .....	4-13
第五章	港域水質與底質調查及分析 .....	5-1
5.1	測站規劃 .....	5-1
5.1.1	測站設置原則 .....	5-1
5.1.2	測站選定 .....	5-2
5.2	海域水質調查方法 .....	5-4
5.2.1	採樣方法 .....	5-4
5.2.2	採樣頻率 .....	5-4
5.2.3	分析項目與檢測方法 .....	5-4

5.3 海域水質調查結果 .....	5-5
5.4 海域底質調查方法 .....	5-19
5.4.1 採樣方法 .....	5-19
5.4.2 採樣頻率 .....	5-19
5.4.3 分析項目 .....	5-20
5.5 海域底質調查結果 .....	5-20
5.6 水質變化趨勢與底質重金屬之相關性分析 .....	5-28
5.6.1 重金屬污染程度評估指標 .....	5-29
5.6.2 海域水質與底質相關性分析 .....	5-37
第六章 壓艙水案例分析與風險分析 .....	6-1
6.1 外來種案例蒐集 .....	6-1
6.1.1 斑馬貽貝( <i>Dreissena polymorpha</i> ) .....	6-2
6.1.2 霍亂弧菌 ( <i>Vibrio cholera</i> ) .....	6-5
6.1.3 中華絨螯蟹 ( <i>Eriocheir sinensis</i> ) .....	6-5
6.1.4 新口黑蝦虎魚 ( <i>Neogobius melanostomus</i> ) .....	6-7
6.1.5 支腳目水蚤 ( <i>Cercopagis pengoi</i> ) .....	6-9
6.1.6 亞洲昆布 ( <i>Undaria pinnatifida</i> ) .....	6-11
6.1.7 藻類 ( <i>Algae</i> ) .....	6-13
6.2 初步建置可能侵襲臺中港物種資料庫 .....	6-19
6.3 資料庫建置 .....	6-22
6.4 船舶風險分析與建立港口國管制程序 .....	6-29
6.4.1 溫鹽資料蒐集與研究方法 .....	6-29
6.4.2 群集分析 .....	6-32

6.4.3 建立港口國管制程序 .....	6-42
第七章 飛沙調查分析 .....	7-1
7.1 觀測地點 .....	7-1
7.2 觀測器材 .....	7-1
7.3 觀測過程 .....	7-3
7.3.1 風速量測 .....	7-4
7.3.2 飛沙高程量測 .....	7-4
7.3.3 含水率量測 .....	7-5
7.3.4 飛沙水平及飛沙垂直量測 .....	7-8
7.4 垂直剖面風速特性 .....	7-10
7.1.1 垂直風速分析 .....	7-10
7.1.2 風速 $U_{0.2}$ 與摩擦風速 $U_*$ 之影響 .....	7-11
7.1.3 風速 $U_{0.2}$ 與粗糙長度 $Z_0$ 之影響 .....	7-12
7.5 飛沙移動特性 .....	7-18
7.2.1 $Q$ 與 $U_{0.2}$ 之關係(BSNE 垂直捕沙器) .....	7-18
7.2.2 $Q$ 與 $U_{0.2}$ 之關係(H-2 水平捕沙器) .....	7-18
7.6 垂直高程與飛沙量之影響 .....	7-19
第八章 飛沙防治對策研擬與評估 .....	8-1
8.1 飛沙防治工法 .....	8-1
8.1.1 定工沙管 .....	8-1
8.1.2 編籬定沙 .....	8-1
8.1.3 植裁定沙 .....	8-2
8.1.4 圍堤造地工程 .....	8-2

8.2 第二期工程成效與防治效果分析 .....	8-3
8.3 第三期整治方案預期成效 .....	8-9
8.4 第三期整治方案效益與適用性評估 .....	8-10
8.5 防治對策研擬 .....	8-13
第九章 系列潛堤保護工法特性探討 .....	9-1
9.1 理論模式 .....	9-2
9.2 數值模式 .....	9-6
9.3 結果及討論 .....	9-7
第十章 結論與建議 .....	10-1
10.1 結論 .....	10-1
10.2 建議 .....	10-3
10.3 成果效益與後續應用情形 .....	10-4
參考文獻 .....	參-1

## 圖目錄

圖 2-1	臺中港附近海域海氣象資料之觀測站位置圖 .....	2-2
圖 2-2	臺中氣象站 1999 年至 2010 年平均氣溫、最高氣溫及最低氣溫之月統計圖 .....	2-5
圖 2-3	臺中氣象站 1999 年至 2010 年平均風速、最多風向及瞬間最大風速之月統計圖 .....	2-5
圖 2-4	臺中氣象站 1999 年至 2010 年平均相對濕度及最小相對濕度之月統計圖 .....	2-5
圖 2-5	臺中氣象站 1999 年至 2010 年平均氣壓之月統計圖 .....	2-6
圖 2-6	臺中氣象站 1999 年至 2010 年降水量及降水時數之月統計圖 .....	2-6
圖 2-7	臺中氣象站 1999 年至 2010 年降水日數及日照時數之月統計圖 .....	2-6
圖 2-8	梧棲氣象站 1999 年至 2010 年平均氣溫、最高氣溫及最低氣溫之月統計圖 .....	2-7
圖 2-9	梧棲氣象站 1999 年至 2010 年平均風速、最多風向及瞬間最大風速之月統計圖 .....	2-7
圖 2-10	梧棲氣象站 1999 年至 2010 年平均相對濕度及最小相對濕度之月統計圖 .....	2-7
圖 2-11	梧棲氣象站 1999 年至 2010 年平均氣壓之月統計圖 .....	2-8
圖 2-12	梧棲氣象站 1999 年至 2010 年降水量及降水時數之月統計圖 .....	2-8
圖 2-13	梧棲氣象站 1999 年至 2010 年降水日數及日照時數之月統計圖 .....	2-8
圖 2-14	臺中港 2001 年至 2010 年風速及風向之月統計圖 .....	2-10

圖 2-15	臺中港 2001 年至 2010 年風速及風向之月統計分布圖 .....	2-10
圖 2-16	臺中港 2003 年至 2010 年海流流速、流向及最大流速之月統計 .....	2-12
圖 2-17	臺中港 2003 年至 2010 年海流流速、流向及最大流速之月統計分布圖 .....	2-12
圖 2-18	臺中港 2003 年至 2010 年平均示性波高、平均週期及最大示性波高之月統計 .....	2-15
圖 2-19	臺中港 2003 年至 2010 年平均示性波高、平均週期及波向之月統計分布圖 .....	2-15
圖 2-20	臺中港 1999 年至 2010 年最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計圖 .....	2-16
圖 2-21	颱風路徑分類圖 .....	2-21
圖 2-22	2010 年萊羅克颱風之路徑圖 .....	2-22
圖 2-23	2010 年南修颱風之路徑圖 .....	2-23
圖 2-24	2010 年莫蘭蒂颱風之路徑圖 .....	2-24
圖 2-25	2010 年凡那比颱風之路徑圖 .....	2-25
圖 2-26	2010 年梅姬颱風之路徑圖 .....	2-26
圖 2-27	臺灣沿海海域水體分類圖 .....	2-28
圖 2-28	2011 年臺中港沿海環保署測站水質矽酸鹽與正磷酸鹽對鹽度分布圖 .....	2-31
圖 2-29	臺中港港內海域水質監測點位圖 .....	2-33
圖 2-30	臺中港港內歷年氨氮監測值 .....	2-34
圖 2-31	臺中港港內歷年總磷監測值 .....	2-35
圖 2-32	陸域水質監測點位圖 .....	2-37

圖 2-33	上游陸域水質之歷年溶氧量監測值 .....	2-38
圖 2-34	上游陸域水質之歷年氨氮監測值 .....	2-39
圖 2-35	上游陸域水質之歷年總磷監測值 .....	2-40
圖 2-36	臺中港西一號碼頭後線第三儲槽及附屬設施興建工程環境 影響說明書海域生態監測站位置分布圖 .....	2-42
圖 2-37	臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態歧異 度變化時間趨勢.....	2-45
圖 2-38	臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態歧異 度變化濾除季節變動成份之趨勢.....	2-45
圖 3-1	臺中海域電磁式海流儀施放點位示意圖 .....	3-1
圖 3-2	臺中 WU 測站，2011 年 4/29~8/2 實測水位變化圖.....	3-3
圖 3-3	臺中 DK 測站，2011 年 4/29~6/19 實測水位變化圖.....	3-4
圖 3-4	臺中 WU 測站，2011 年 4/29~8/2 流速與流向變化圖 .....	3-5
圖 3-5	臺中 DK 測站，2011 年 4/9~6/19 流速與流向變化圖 .....	3-5
圖 3-6	臺中測站之海流玫瑰圖 .....	3-8
圖 3-7	臺中 WU 測站 U、V 分量海流無因次化能譜圖.....	3-10
圖 3-8	臺中 WU 測站 U、V 分量之潮流、風驅流時序列圖.....	3-10
圖 3-9	臺中 DK 測站 U、V 分量海流因次化能譜圖.....	3-11
圖 3-10	臺中 DK 測站 U、V 分量之潮流、風驅流時序列圖.....	3-11
圖 3-11	臺中測站之波浪玫瑰圖 .....	3-12
圖 3-12	臺中 WU 測站波高、週期統計直方圖.....	3-14
圖 3-13	臺中 DK 測站波高、週期統計直方圖.....	3-14
圖 3-14	臺中 WU 測站波高、週期時序列圖.....	3-15
圖 3-15	臺中 DK 測站波高、週期時序列圖.....	3-15

圖 3-16 儀器佈放位置示意圖 .....	3-16
圖 3-17 臺中港北側大甲溪河口海域觀測範圍示意圖 .....	3-17
圖 3-18 臺中港南側烏溪河口海域觀測範圍示意圖 .....	3-17
圖 3-19 海域平面流況量測系統架構圖 .....	3-20
圖 3-20 民國 100 年 6 月 4 日潮汐水位變化時序列紀錄圖 .....	3-26
圖 3-21 臺中港北側大甲溪河口海域附近平均風速觀測歷時圖 .....	3-27
圖 3-22 臺中港北側大甲溪河口海域附近最大風速觀測歷時圖 .....	3-27
圖 3-23 臺中港北側大甲溪河口海域附近平均風向觀測歷時圖 .....	3-27
圖 3-24 臺中港北側大甲溪河口海域附近漲潮時段風速風向玫瑰圖 .....	3-28
圖 3-25 臺中港北側大甲溪河口海域附近退潮時段風速風向玫瑰圖 .....	3-28
圖 3-26 臺中港北側大甲溪河口海域漲潮時段水下定點流速流向玫瑰圖 .....	3-31
圖 3-27 臺中港北側大甲溪河口海域退潮時段水下定點流速流向玫瑰圖 .....	3-31
圖 3-28 臺中港北側大甲溪河口海域漲潮時段漂浮球運動軌跡圖 .....	3-34
圖 3-29 臺中港北側大甲溪河口海域退潮時段漂浮球運動軌跡圖 .....	3-34
圖 3-30 民國 100 年 6 月 5 日潮汐水位變化時序列紀錄圖 .....	3-38
圖 3-31 臺中港南側烏溪河口海域附近平均風速觀測歷時圖 .....	3-38
圖 3-32 臺中港南側烏溪河口海域附近最大陣風觀測歷時圖 .....	3-39
圖 3-33 臺中港南側烏溪河口海域附近平均風向觀測歷時圖 .....	3-39
圖 3-34 臺中港南側烏溪河口海域附近漲潮時段陸域風速風向玫瑰	

圖 .....	3-40
圖 3-35 臺中港南側烏溪河口海域附近退潮時段陸域風速風向玫瑰圖 .....	3-40
圖 3-36 臺中港南側烏溪河口海域漲潮時段海域流速流向玫瑰圖 .....	3-43
圖 3-37 臺中港南側烏溪河口海域退潮時段海域流速流向玫瑰圖 .....	3-43
圖 3-38 臺中港南側烏溪河口海域漲潮時段漂浮球運動軌跡圖 .....	3-45
圖 3-39 臺中港南側烏溪河口海域退潮時段漂浮球運動軌跡圖 .....	3-46
圖 3-40 測量範圍示意圖 .....	3-50
圖 3-41 臺中港北淤沙區區域劃分圖 .....	3-52
圖 3-42 全區域侵淤圖: 2010/09 至 2010/10 .....	3-52
圖 3-43 全區域侵淤圖: 2010/10 至 2010/11 .....	3-53
圖 3-44 全區域侵淤圖: 2010/11 至 2011/05 .....	3-53
圖 3-45 全區域侵淤圖: 2010/09 至 2011/05 .....	3-54
圖 3-46 全區域侵淤總體積圖 .....	3-56
圖 3-47 區域 I 侵淤總體積圖 .....	3-56
圖 3-48 區域 II 侵淤總體積圖 .....	3-57
圖 3-49 區域 III 侵淤總體積圖 .....	3-58
圖 3-50 漂飛沙量估算地形示意圖 .....	3-59
圖 4-1 水理模式之控制體 .....	4-9
圖 4-2 臺中港位置示意圖及測站位置圖 .....	4-11
圖 4-3 研究範圍 .....	4-11
圖 4-4 海潮流模式與模擬範圍及地形水深分佈圖 .....	4-12

圖 4-5	模式預測與實測流速比較圖 .....	4-14
圖 4-6	烏溪海流測站實測流速與模式預測比較圖 .....	4-15
圖 4-7	臺中港附近海域於漲潮時之流場分佈圖 .....	4-15
圖 4-8	臺中港附近海域於退潮時之流場分佈圖 .....	4-16
圖 4-9	模式模擬在風向為 NNE，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖 .....	4-16
圖 4-10	模式模擬在風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖 .....	4-17
圖 4-11	模式模擬在風速為 6m/sec，NNE 與 SSW 風向之海潮流流 速大小與方向成果圖 .....	4-17
圖 4-12	模式模擬在風速為 8m/sec，NNE 與 SSW 風向之海潮流流 速大小與方向成果圖 .....	4-18
圖 4-13	模式模擬在風速為 10m/sec，NNE 與 SSW 風向之海潮流流 速大小與方向成果圖 .....	4-18
圖 4-14	在第一水層下，風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖 .....	4-19
圖 4-15	在第二水層下，風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖 .....	4-19
圖 4-16	在第三水層下，風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖 .....	4-20
圖 4-17	在第四水層下，風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖 .....	4-20
圖 5-1	100 年度臺中港鄰港海域水質與生態測站位置 .....	5-3
圖 5-2	臺中港鄰近沿海海域之歷年酸鹼度變化 .....	5-18
圖 5-3	臺中港鄰近沿海海域之歷年溶氧量變化 .....	5-19

圖 5-4	臺中港鄰近沿海海域之歷年度重金屬銅變化 .....	5-19
圖 5-5	臺中港鄰港海域底質 100 年 4 月枯水期粒徑累積曲線分佈 圖 .....	5-22
圖 5-6	安斯河(Ems River)沉積物中金屬濃度與顆粒粒徑關係 .....	5-38
圖 6-1	斑馬貽貝 .....	6-3
圖 6-2	霍亂弧菌 .....	6-5
圖 6-3	中華絨螯蟹 .....	6-6
圖 6-4	中華絨螯蟹原生地與入侵地點 .....	6-6
圖 6-5	新口黑蝦虎魚 .....	6-8
圖 6-6	新口黑蝦虎魚分部區域 .....	6-8
圖 6-7	新口黑蝦虎魚入侵 Gdansk 灣 .....	6-8
圖 6-8	支腳目水蚤 .....	6-9
圖 6-9	支腳目水蚤纏繞漁網 .....	6-11
圖 6-10	亞洲昆布 .....	6-11
圖 6-11	亞歷山大藻 .....	6-14
圖 6-12	杉葉蕨藻 .....	6-15
圖 6-13	鈎沙菜 .....	6-16
圖 6-14	裙帶菜 .....	6-17
圖 6-15	大葉藻 .....	6-17
圖 6-16	鏈狀裸甲藻 .....	6-18
圖 6-17	大紅海藻 .....	6-19
圖 6-18	可能入侵澳洲之外來物種(Hayes et al.2003) .....	6-21
圖 6-19	初步建置資料庫流程 .....	6-21

圖 6-20 有毒渦鞭毛藻在日本與韓國分佈情形 .....	6-27
圖 6-21 1987 年至 1995 年排放的壓艙水中含有毒渦鞭毛藻之港口 .....	6-28
圖 6-22 有毒渦鞭毛藻已繁殖之港口 .....	6-28
圖 6-23 臺中港與香港鹽度 .....	6-30
圖 6-24 臺中港與香港溫度 .....	6-31
圖 6-25 因素分析之陡坡圖 .....	6-37
圖 6-26 群集分析之樹狀圖 .....	6-41
圖 6-27 上一港高風險港口分佈圖 .....	6-42
圖 6-28 各權宜船旗國船舶的入港艘次 .....	6-48
圖 6-29 臺中港船旗國百分比 .....	6-48
圖 6-30 船舶種類與壓艙水排放量百分比 .....	6-52
圖 6-31 臺中港 94-98 年度船舶進港艘次 .....	6-54
圖 6-32 臺中港 94-98 年度各船型進港艘次 .....	6-55
圖 6-33 98 年各項分析結果 .....	6-60
圖 7-1 臺中港北防波堤北側附近現地試驗地形圖 .....	7-1
圖 7-2 時序列風速風向計 .....	7-2
圖 7-3 木竿量測標尺 .....	7-2
圖 7-4 土壤含水率計 .....	7-3
圖 7-5 H-2 型水平集沙器 .....	7-3
圖 7-6 垂直式沙粒收集器 .....	7-3
圖 7-7 標尺設置位置圖 .....	7-5
圖 7-8 含水率試驗地點圖 .....	7-6

圖 7-9	A 點含水率試驗地點圖 .....	7-6
圖 7-10	B 點含水率試驗地點圖 .....	7-7
圖 7-11	C 點含水率試驗地點圖 .....	7-7
圖 7-12	D 點含水率試驗地點圖 .....	7-7
圖 7-13	E 點含水率試驗地點圖 .....	7-8
圖 7-14	F 點含水率試驗地點圖 .....	7-8
圖 7-15	H-2 及垂直式補沙器試驗地點圖 .....	7-9
圖 7-16	區域 I 沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.28\text{mm}$ ).....	7-9
圖 7-17	區域 II 沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.253\text{mm}$ ).....	7-10
圖 7-18	區域 III 沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.212\text{mm}$ ).....	7-10
圖 7-19	觀測點 1 垂直剖面風速圖.....	7-15
圖 7-20	觀測點 2 垂直剖面風速圖.....	7-15
圖 7-21	觀測點 3 垂直剖面風速圖.....	7-15
圖 7-22	觀測點 4 垂直剖面風速圖.....	7-16
圖 7-23	觀測點 5 垂直剖面風速圖.....	7-16
圖 7-24	觀測點 6 垂直剖面風速圖.....	7-16
圖 7-25	觀測點 7 垂直剖面風速圖.....	7-17
圖 7-26	觀測點 8 垂直剖面風速圖.....	7-17
圖 7-27	$U_*$ 與 $U_{0.2}$ 關係圖 .....	7-17
圖 7-28	$Z_o$ 與 $U_{0.2}$ 關係圖 .....	7-18
圖 7-29	$Q$ 與 $U_{0.2}$ 關係圖 (BSNE 垂直式補沙器).....	7-20
圖 7-30	$Q$ 與 $U_{0.2}$ 關係圖 (H-2 水平式補沙器).....	7-20

圖 7-31 $Q$ 與 $Z$ 關係圖 (BSNE 垂直式補沙器).....	7-20
圖 8-1 定工沙管示意圖 .....	8-1
圖 8-2 編籬定沙示意圖 .....	8-1
圖 8-3 植裁定沙示意圖 .....	8-2
圖 8-4 台塑圍堤造地工程 .....	8-2
圖 8-5 海岸結構物與風場作用示意圖 .....	8-8
圖 8-6 第三期工程海岸結構物與風場作用示意圖 .....	8-11
圖 8-7 方案 1 防治對策示意圖 .....	8-14
圖 8-8 方案 2 防治對策示意圖 .....	8-14
圖 9-1 複合式潛堤佈置參數示意圖 .....	9-3
圖 9-2 不同形狀潛堤之反射率分佈圖.....	9-9
圖 9-3 不同波浪入射角度( $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 和 $45^\circ$ )反射率分佈圖.....	9-10
圖 9-4 不同波浪入射角度( $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 和 $75^\circ$ )反射率分佈圖 .....	9-11
圖 9-5a 不同波浪入射角度 ( $0^\circ \sim 75^\circ$ ) 反射率分佈圖 .....	9-11
圖 9-5b 不同波浪入射角度 ( $0^\circ \sim 75^\circ$ ) 反射率分佈圖.....	9-12
圖 9-6 函數 $\alpha$ 以及 $\sin(k_x W)$ 與反射率在不同 $2S_1/L$ 分佈圖( $\theta=75^\circ$ ) .....	9-13
圖 9-7 不同函數與反射率在不同 $2S_1/L$ 分佈圖 ( $\theta=75^\circ$ ) .....	9-14
圖 9-8 不同函數與反射率在不同 $2S_1/L$ 分佈圖 ( $\theta=0^\circ$ ) .....	9-14
圖 9-9a 不同函數與反射率在不同 $2S_1/L$ 分佈圖( $\theta=75^\circ$ ).....	9-15
圖 9-9b 不同函數與反射率在不同 $2S_1/L$ 分佈圖( $\theta=75^\circ$ ) .....	9-15
圖 9-10 不同潛堤群組數之反射率分佈圖 .....	9-16

圖 9-11 不同潛堤群間距之反射率分佈圖 .....	9-17
圖 9-12 不同潛堤高度之反射率分佈圖 .....	9-18
圖 9-13 不同潛堤寬度之反射率分佈圖 .....	9-19
圖 9-14 不同潛堤間距之反射率分佈圖 .....	9-21
圖 9-15 不同計算方式反射率分佈比較圖(Case (g)) .....	9-22
圖 9-16 不同潛堤間距之反射率分佈圖(Case (e)) .....	9-22

## 表目錄

表 2-1	臺中港附近海域海氣象資料蒐集概況表 .....	2-2
表 2-2	臺中氣象站 1999-2010 年之氣象觀測資料統計表 .....	2-4
表 2-3	梧棲氣象站 1999-2010 年之氣象觀測資料統計表 .....	2-4
表 2-4	臺中港 2001 年至 2010 年風之風速及風向統計表 .....	2-9
表 2-5	臺中港 2003 年至 2010 年海流之流速及流向統計表 .....	2-11
表 2-6	臺中港 2003 年至 2010 年示性波高、週期及波向資料統計表 .....	2-14
表 2-7	臺中港 1999-2010 年潮位資料統計 .....	2-17
表 2-8	1999 年至 2010 年侵臺颱風基本資訊一覽表 .....	2-19
表 2-8(續)	1999 年至 2010 年侵臺颱風基本資訊一覽表 .....	2-20
表 2-9	1999 年至 2010 年期間颱風路徑分類統計表 .....	2-21
表 2-10	地面水體分類及水質標準 .....	2-29
表 2-11	臺灣北、中、南部海域水質調查統計表 .....	2-30
表 2-12	臺中沿海 2011 年海域水質檢測結果(環保署水體品質資料庫) .....	2-32
表 3-1	臺中 WU 測站海流流速、流向統計表 .....	3-9
表 3-2	臺中 DK 測站海流流速、流向統計表 .....	3-9
表 3-3	臺中 WU 測站海流波高、波向統計表 .....	3-13
表 3-4	臺中 DK 測站海流波高、波向統計表 .....	3-13
表 3-5	臺中港潮汐預報表 .....	3-26
表 3-6	臺中港北側大甲溪河口海域附近漲潮時段風速風向觀測紀錄 .....	3-29

表 3-7	臺中港北側大甲溪河口海域附近退潮時段風速風向觀測紀錄	3-30
表 3-8	臺中港北側大甲溪河口海域漲潮時段水下定點流觀測紀錄	3-32
表 3-9	臺中港北側大甲溪河口海域退潮時段水下定點流觀測紀錄	3-33
表 3-10	臺中港南側烏溪河口海域附近漲潮時段風速風向觀測紀錄	3-41
表 3-11	臺中港南側烏溪河口海域附近退潮時段風速風向觀測紀錄..	3-42
表 3-12	臺中港南側烏溪河口海域漲潮時段水下定點流觀測紀錄	3-44
表 3-13	臺中港南側烏溪河口海域退潮時段水下定點流觀測紀錄	3-45
表 3-14	臺中港北側大甲溪河口海域平面流況各觀測資料統計表.....	3-48
表 3-15	臺中港南側烏溪河口海域平面流況各觀測資料統計表.....	3-49
表 3-16	臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/09~2010/10)	3-55
表 3-17	臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/10~2010/11)	3-55
表 3-18	臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/11~2011/05)	3-55
表 3-19	臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/09~2011/05)	3-55
表 4-1	大區域海潮流模式之格網及計算條件.....	4-10
表 5-1	民國 100 年臺中港鄰港海域水質測站座標	5-2
表 5-2	水質檢測項目之方法與偵測品質極限等品質目標	5-6
表 5-3	臺中港鄰港海域水質 100 年度 2 次採樣調查結果	5-7

表 5-4	98 年至 100 年臺中港鄰港海域水質調查結果.....	5-9
表 5-4(續 1)	98 年至 100 年臺中港鄰港海域水質調查結果.....	5-10
表 5-5	臺中港鄰港海域底質 100 年 4 月枯水期採樣調查結果.....	5-21
表 5-6	臺中港鄰港海域底質 100 年(4 月枯水期)粒徑分析結果 ....	5-22
表 5-7	底質粒徑大小等級分類 Udden-Wentworth 分類.....	5-23
表 5-8	臺灣主要河口、港灣及沿海沉積物中重金屬平均含量.....	5-25
表 5-9	國外底質規範快速篩選參考表(SQuiRT：Screening Quick Reference Tables).....	5-27
表 5-10	美國華盛頓州底質標準與清除基準.....	5-27
表 5-11	100 年 4 月臺中港底質重金屬調查與富集因子(地殼鋁濃度 平均值).....	5-32
表 5-12	100 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度(地殼鋁濃度平均 值).....	5-32
表 5-13	地質累積指數與污染程度分級.....	5-33
表 5-14	100 年 4 月臺中港底質重金屬地質累積指數與污染程度 .....	5-33
表 5-15	100 年 4 月臺中港底質重金屬富集因子(大甲溪外海鋁濃度) .....	5-34
表 5-16	100 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度(大甲溪外海鋁濃度) .....	5-34
表 5-17	100 年 4 月枯水期臺中港海域水質與底質相關性分析.....	5-39
表 6-1	IUCN 所列十大海洋入侵物種.....	6-2
表 6-2	斑馬貽貝繁衍地與入侵地點.....	6-4
表 6-3	斑馬貽貝的衝擊.....	6-4

表 6-4	中華絨螯蟹繁衍地與入侵地點 .....	6-7
表 6-5	新口黑蝦虎魚繁衍地與入侵地點 .....	6-9
表 6-6	支腳目水蚤繁衍地與入侵地點 .....	6-10
表 6-7	亞洲昆布分佈區 .....	6-12
表 6-8	可能入侵台灣之外來物種 .....	6-22
表 6-9	已存在於台灣之物種 .....	6-25
表 6-10	可能入侵台灣之物種 .....	6-26
表 6-11	港口經緯度.....	6-30
表 6-12	臺中港各國港口風險區分 .....	6-33
表 6-13	高風險區港口.....	6-34
表 6-14	溫鹽分析篩選後艘次與艘數 .....	6-35
表 6-15	進一步溫鹽分析之敘述統計表 .....	6-36
表 6-16	因素分析之 KMO 與 Barlitt 檢定 .....	6-36
表 6-17	各因素的解說總變異量 .....	6-38
表 6-18	群集分析總表.....	6-40
表 6-19	群集分析篩選後艘次與艘數 .....	6-42
表 6-20	風險評估要素.....	6-44
表 6-21	五項分析因素積分表 .....	6-44
表 6-22	各洲距臺中港航程 .....	6-45
表 6-23	航程篩選後之艘次與艘數 .....	6-46
表 6-24	全國權宜船旗之國家(ITF, 2010) .....	6-47
表 6-25	分析臺中港各船旗國艘次.....	6-47
表 6-26	權宜船旗與船型 .....	6-49

表 6-27 船旗國篩選後之艘次與艘數 .....	6-50
表 6-28 臺中港歷年壓艙水排放量估算 .....	6-51
表 6-29 壓艙水量篩選後之艘次與艘數 .....	6-52
表 6-30 各年度船舶進港次數 .....	6-53
表 6-31 臺中港進港船舶的上一港與造訪次數 .....	6-55
表 6-32 入港次數積分表 .....	6-56
表 6-33 東北亞藻華發生地與影響(Landsberg, 2007).....	6-57
表 6-34 藻華區篩選後之艘次與艘數 .....	6-58
表 6-35 各項分析之艘次與艘數 .....	6-60
表 7-1 測量項目 .....	7-4
表 7-2 飛沙高程量測試驗座標.....	7-5
表 7-3 含水率試驗座標.....	7-6
表 7-4 H-2 及垂直式試驗座標.....	7-9
表 7-5 風速觀測分析.....	7-13
表 7-6 BNSE 垂直集沙器實驗資料 .....	7-21
表 7-7 水平式集沙器實驗資料.....	7-22
表 7-8 臺中港北淤沙區飛沙量推估.....	7-23
表 8-1 第二期飛沙防治工程效果分析.....	8-3
表 8-2 飛沙防治對策方案.....	8-14
表 8-3 整治方案優缺點比較表.....	8-15
表 9-1 計算條件表.....	9-8

## 照片目錄

照片 3-1	臺中港港口附近風速風向觀測作業 .....	3-21
照片 3-2	臺中港港內潮汐水位站設置情形 .....	3-21
照片 3-3	臺中港北側大甲溪河口海域流況觀測漂流浮標佈放作業 .....	3-22
照片 3-4	臺中港南側烏溪河口海域平面流況觀測作業 .....	3-22
照片 3-5	Lidar 地形測量情形 .....	3-51
照片 8-1	第 I 區沙灘(2011/10) .....	8-5
照片 8-2	第 I 區擋風牆附近處淤沙區(2011/10) .....	8-5
照片 8-3	第 II 區海堤前方(2011/10) .....	8-5
照片 8-4	第 II 區海堤後方 (向海) (2011/10) .....	8-6
照片 8-5	第 II 區海堤後方 (向岸) (2011/10) .....	8-6
照片 8-6	第 II 區海堤後方遮蔽區(2011/10) .....	8-6
照片 8-7	第 III 區編籬定沙區前方(2011/10) .....	8-7
照片 8-8	第 III 區編籬定沙區(2011/10) .....	8-7
照片 8-9	第 III 區北防波堤堤址處(2011/10) .....	8-7
照片 8-10	第 III 區擋風牆積沙區(2011/10) .....	8-8
照片 8-11	第 III 區擋風牆牆角淤沙區(2011/10) .....	8-8
照片 8-12	第三期工程編籬定沙區 (2011/10) .....	8-9
照片 8-13	第三期工程於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄(2011/10) .....	8-10
照片 8-14	第三期工程沙灘區現況(向海)(2011/10) .....	8-11

照片 8-15	第三期工程北防波堤現況 (2011/10) .....	8-12
照片 8-16	第三期工程北防波堤現況 (向岸) (2011/10) .....	8-12
照片 8-17	第三期工程北防波堤與海堤交界處 (2011/10) .....	8-13
照片 8-18	第三期工程北防波堤堤址處淤沙 (2011/10) .....	8-13

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

臺灣四周環海海岸經濟、文化、景觀、生態及遊憩等資源十分豐富，昔日因應工商農漁業發展需要，於海岸積極進行各項海岸工程以及港灣工程開發建設，原有自然海岸漂沙平衡機制因海岸港灣結構物而遭破壞，常造成鄰港附近地形變遷，再加上近年異常的海氣象發生頻率增加，以及鄰近河川持續的排放輸沙，故常發生海岸侵蝕及淤積的現象，進而影響港務正常營運、船隻航行安全以及威脅人民的生命財產。此外，由於鄰近港灣的河川沿岸的農、牧、畜、工業、家庭與遊憩活動等之排放污水，而天然降雨、港灣附近工業污染以及加上船隻排放污水油污等，許多因未經過處理或處理未完善而進入海洋中影響海域水質，進而影響生態環境。海域水質環境攸關整個海域生態的健全，品質佳的水質環境，提供海域動、植物生存必備條件，海域生物包括魚、蝦及貝類與藻類等生物，在穩定的生存環境條件下，能維持健全生物鏈平衡的狀態。好的水質環境海域，亦提供民眾從事海岸或海洋休閒親水活動良好的休閒環境品質，亦能提升我國在國際的形象。

由於過去設計建造的技術以及考量層面較小，近年來更由於海岸過度開發、河川輸沙減少以及全球氣候的異常，且隨著環保意識的高漲與海洋環境問題之愈受重視，目前的海岸港灣建設有許多已不合時宜。綜觀目前的海岸問題，如：海岸的侵蝕淤積、海岸結構物損壞、沿海地層下陷、海水污染與生態景觀破壞等，海岸災害發生的頻率增加，昔日自然美麗的海景已不復存在。2009年11月內政部核定「永續海岸整體發展方案」中，以回復自然海岸為主要之政策綱領，並提到海岸地區屬環境敏感地區，重要資源應優先保護，海岸永續發展應兼顧災害防護與合理利用之管理，以及親水、教育、研究等多方面功能，將港灣、海岸公路、海堤、觀光遊憩、海埔地以及海岸規畫等六大重

點列為優先實施項目。在2010年5月行政院國家永續發展委員會研擬「海岸復育及保育方案(草案)」中，亦秉持「尊崇自然、多元價值、綜合治理、再造利基」的原則，以落實「藍色革命、海洋興國」的海洋政策、愛台十二項建設之「海岸新生」政策，目標為正視海岸破壞及劣化現象，回復海岸生機，防治港灣污染改善港灣環境。故在港灣及海岸永續發展的前提下，對於鄰近港灣的環境有必要作更深一層的探討研究，以作為未來港灣環境改善或經營管理的參考，期使臺灣海岸生態回復生機並增益多元利用和提升國民福祉。

## 1.2 研究動機及目的

港灣結構物造成原有鄰港水理機制改變，而導致鄰港地區發生侵蝕或淤積現象，如臺北港北鄰淡水河，其北側在未建港前因淡水河輸沙減少，海岸線發生退後現象，而在臺北港建港後，因阻斷沿岸漂沙南移，導致臺北港北側近年發生淤積現象，於2004年5~10月間因淡水河輸沙暴增而導致該區淤積量激增（交通部運輸研究所，2005）；臺中港北鄰大甲溪以及大安溪，南鄰大肚溪，建港前雖已經預期在臺中港北側會有發生淤積現象，臺中港為因應淤積以及航行安全，而延伸北防波堤，2002年以來受到河川輸沙暴增的因素，於2002~2005年之年平均淤沙量為1994~2002年4.9倍之多，由於漂沙已有部分繞過北防波堤堤頭進到航道，未來勢必影響船隻航行安全，臺中港務局正進行北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程（臺中港務局，2007），增設定沙突堤及北防沙堤延長等防治設施，並輔以竹梢圍籬及植草或覆蓋稻草蓆等柔性定沙工法防止飛沙；而花蓮港南濱海岸，因花蓮港結構物導致花蓮港南側近岸的水理機制改變，而導致南濱海岸沙灘消失的侵蝕現象；其他如布袋港、和美漁港和鹽寮漁港等亦因建港水理機制改變導致航道淤積以及港池淤積。此外，往昔在許多港灣沿海雖有水質調查檢測，惟其方法以傳統定期四季方式調查，且未就其水質環境影響參數間之關係性作探討。

本研究目的乃在運用各式水理數值模式，模擬漂沙運動之機制，

藉以瞭解海岸變遷與影響因素間之水動力機制，提出適當的解決方案並進行評估分析，以解決特定港灣及海岸侵蝕以及漂沙等地形變遷的問題。此外，在此特定海域作水質及生態環境調查監測，探討水質環境各參數間之相關性以及與海氣象條件間或人為污染之關連性，並根據分析結果提出改善對策。本研究成果可提供學術、施政、設計及施工相關單位之參酌，並期本研究成果提昇國內港灣海岸和生態環境保護之研究技術水準，促進海岸及港灣工程建設與自然環境之共生共榮。

### 1.3 研究項目與方法

本研究分別藉由資料蒐集、現場調查、水工模型試驗、理論解析以及數值模式得方式進行分析以及探討，目標港區以臺中港以及鄰近地區為研究區域。本研究總期程為四年期之研究，各年度主要研究工作項目如下：1.漂飛沙基本資料收集分析（98-101 年）。2.水質及生態基本資料收集分析（98-101 年）。3.建立鄰港水理數值模式（98-100 年）。4.調查鄰港水質生態環境（98-101 年）。5.分析鄰港漂沙特性（99-100 年）。6.提出漂飛沙整治方案（99-101 年）。7.分析鄰港水質環境特性（98-101 年）。8.新式海岸保護工法研發。（98-101 年），本研究包含「近岸漂沙機制與防治研究」與「鄰港水質調查研究」兩子題，分別與國內大學共同合作研究，茲將今年度（100 年）研究內容簡述如下：

#### 1. 海、氣與地象相關資料收集與分析

收集歷年臺中港區之近岸水深地形、結構物設施以及海氣象等資料，整理並分析探討本區域漂沙之特性以及與海氣象條件之關係。

#### 2. 海氣象以及地形現場調查與分析

於臺中港區南北遠離結構物處進行海氣象調查（包括風、波、流），並以浮標追蹤方式進行表面流調查，此外，於北淤沙區進行地形測量以分析漂飛沙特性。

3. 水質與生態相關資料收集分析  
收集歷年港灣及鄰近河川水質資料，整理並分析探討水質分佈之特性，並分析與海氣象條件及河川排放水間之關係性。
4. 調查鄰港水質及底質環境  
選定港池及鄰近地區適當地點，進行水質（2次）及底質（1次）包括重金屬調查分析。
5. 飛沙現地調查分析  
進行風速、沙灘含水率、飛沙水平與垂直斷面測量以及地形量測等，依據調查資料分析，探討飛沙特性並建立飛沙模式。
6. 飛沙防治對策研擬  
針對臺中港北淤沙區漂飛沙特性以及飛沙防治工法過去成效，研擬飛沙防治對策。
7. 分析鄰港水質與生態環境特性  
依據文獻研究成果以及本研究調查結果，分析探討鄰港各地點不同時間港域水質、陸域水質、浮游植物與浮游動物之監測資料，解析水質整體變化趨勢與浮游動植物豐度間之關係。
8. 壓艙水案例分析與船舶風險評估  
根據蒐集外來種案例蒐集分析，初步建置可能侵襲港口物種資料庫，進行船舶風險評估並建立港口國管制程序。
9. 新式海岸保護工法特性探討  
針對具有防災、生態以及親水功能之系列潛堤軟式工法，分別以理論推導分析以及模式模擬計算，進行複合式系列潛堤特殊機制之探討。

## 1.4 本研究組織

本研究共分為十章，第一章為緒論，說明本研究研究背景、動機、目的及方法；第二章為自然環境基本資料蒐集與分析，包括海、氣、地象條件以及水質與生態分析；第三章海氣地象調查分析，包括風波流以及地形量測；第四章為水理模式建立與相關機制探討，建立二維以及三維水動力模式。第五章為港域水質與底質調查分析，分析水質整體變化與底質之相關性；第六章為壓艙水案例分析與風險評估，建置侵襲物種資料庫並建立港口國管制程序；第七章為飛沙調查分析，依據調查分析結果建立飛沙模式；第八章為飛沙防治對策研擬與評估，研擬飛沙防護對策並評估效果；第九章為系列潛堤保護工法特性探討；第十章為結論與建議，並說明成果效益及後續應用情形。

## 第二章 基本資料蒐集與分析

### 2.1 臺中港區概況

臺中港位於臺中市梧棲區，港區範圍北起大甲溪南岸，南至大肚溪北岸，東以臨港路為界，西臨台灣海峽，南北長 12.5 公里，東西寬 2.5 至 4.5 公里，總面積約 3,793 公頃，其中陸域面積佔 2,820 公頃，水域面積佔 973 公頃，包括商港、工業港及漁港三部份。

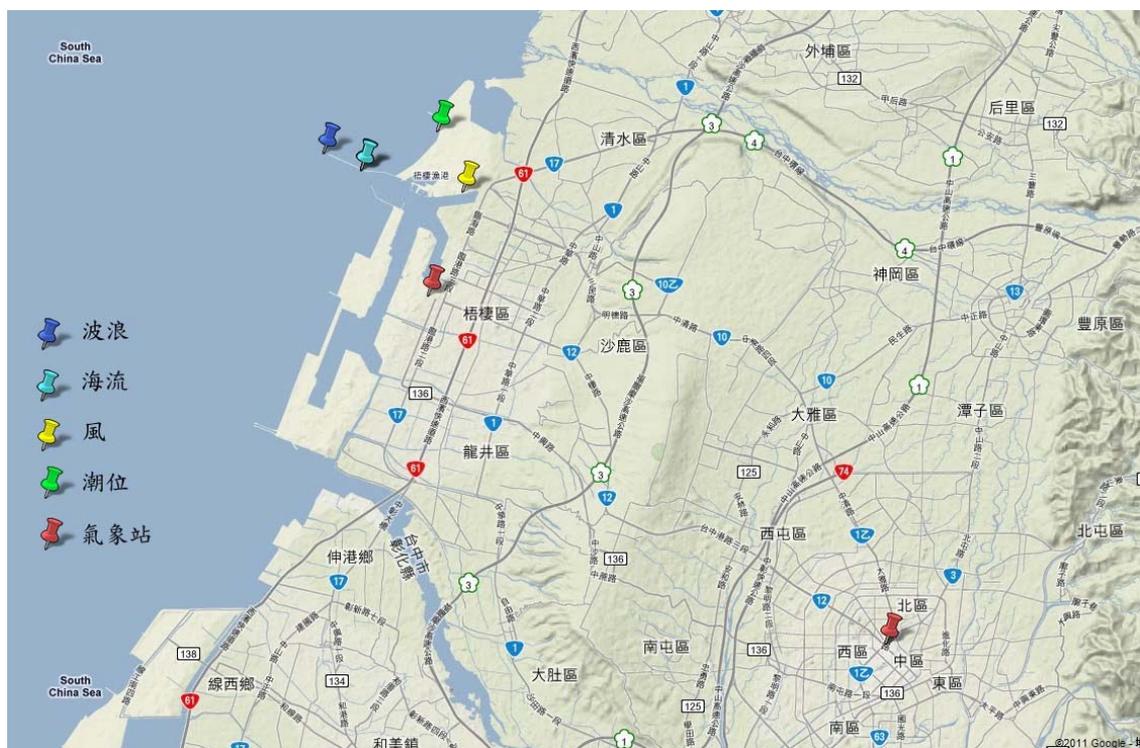
臺中港發展至今已興建之營運碼頭共 49 座，總長度 11,936 公尺，貨櫃 8 座、客運 1 座、穀類 2 座、煤炭 4 座、管道 8 座、水泥 3 座、散雜貨 21 座、LNG 1 座及廢鐵 1 座。碼頭後線儲轉區之倉棧設施有雜貨通棧 13 座，水泥筒倉 22 座，堆貨場 8 處，貨櫃場 3 處，液體貨儲槽 255 座，可提供業者良好的投資環境，棧埠裝卸及倉儲業務多開放民間投資經營，全港擁有許多自動化的裝卸倉儲設備，作業效率高。其地處於臺灣南北交通的中心，有快速道路連接清泉崗國際機場，有利海空聯運；更位於上海到香港航運的中點，與大陸東南沿海各港呈輻射狀等距展開，距離最近，在未來兩岸直航具有最佳優勢。

本研究收集自 1999 年至 2010 年臺中港港區附近之海氣象觀測資料，觀測站計有中央氣象局之臺中及梧棲氣象站；港灣技術研究中心之臺中港海象資料，觀測項目包括：風、氣溫、氣壓、溼度、降雨、日照、波浪、海流及潮位等項目，詳細內容請參考表 2-1，各觀測站位置請參考圖 2-1。

表 2-1 臺中港附近海域海氣象資料蒐集概況表

資料類別	測站	經度 / 緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
波浪	臺中港	24°18'00"N 120°29'10"E	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP
波浪	臺中港	24°18'09.4"N 120°28'38.4"E	2003/08-2010/12	港研中心	AWCP
海流	臺中港	24°18'10"N 120°28'40"E	2003/08-2010/12	港研中心	AWCP
風	臺中港	24°18'24"N 120°31'23"E	2001/07-2010/11	港研中心	Young Brand 風速計
潮位	臺中港	24°17'22.3"N 120°31'28"E	1999/10-1999/10 2001/04-2010/12	港研中心	Water Log
潮位	臺中港	24°18'10"N 120°28'30"E	2003/08-2010/12	港研中心	AWCP
潮位	臺中港	24°17'16"N 120°31'59"E	1999/01-1999/10 2002/01-2010/12	內政部	Aquatrak 音波式
氣象	臺中	24°08' 51"N 120°40'33"E	1999/01-2010/12	中央氣象局	
氣象	梧棲	24°15' 31"N 120°30'54"E	1999/01-2010/12	中央氣象局	

資料來源：港灣技術研究中心



資料來源：Google Map、港灣技術研究中心

圖 2-1 臺中港附近海域海氣象資料之觀測站位置圖

## 2.2 氣象資料之統計分析

臺中港區附近之氣象觀測站有兩站，分別為中央氣象局臺中氣象站及梧棲氣象站，本研究分析氣象觀測資料之期間為 1999 年至 2010 年。臺中氣象站之氣象觀測資料年統計值如表 2-2 所示，各觀測項目之統計分析如下：

1. 年平均氣溫在 23.3°C 至 24.1°C 之間，最高氣溫為 39.9°C，發生在 2004 年 7 月 1 日，最低氣溫為 4.7°C，發生在 1999 年 12 月 23 日。
2. 年平均風速在 1.5 m/sec 至 1.7 m/sec 之間，最多風向為 NNW 至 N 向之間，最大瞬間風速為 34 m/sec，發生在 2005 年 7 月 18 日於海棠颱風期間。
3. 年平均相對溼度在 72% 至 77% 之間，最小相對溼度為 23%，發生在 2002 年 1 月 5 日。
4. 年平均氣壓介於 1001.5 hPa 至 1003.0 hPa 之間。
5. 年降雨量以 2003 年的 930.6 mm 為最少，其降雨時數為 321.4 小時，2005 年的 2574.5 mm 為最多，其降雨時數為 660.3 小時。

各觀測項目之月統計圖如圖 2-2 至圖 2-7 所示。

梧棲氣象站之氣象觀測資料年統計如表 2-3 所示，各觀測項目之統計分析如下：

1. 年平均氣溫在 22.8°C 至 23.7°C 之間，最高氣溫為 36.9°C，發生在 2004 年 7 月 1 日，最低氣溫為 6.8°C，發生在 1999 年 12 月 22 日。
2. 年平均風速在 4.6 m/sec 至 5.3 m/sec 之間，最多風向為 N 向，最大瞬間風速為 48.6 m/sec，發生在 2005 年 9 月 1 日於泰利颱風期間。
3. 年平均相對溼度在 75% 至 79% 之間，最小相對溼度為 19%，發生在 2001 年 3 月 12 日。
4. 年平均氣壓介於 1008.7 hPa 至 1010.1 hPa 之間。
5. 年降雨量以 2003 年的 513 mm 為最少，其降雨時數為 279.6 小時；以 2007 年的 2203.7 mm 為最多，其降雨時數為 522.7 小時。

梧棲氣象站之各觀測項目之月統計圖如圖 2-8 至圖 2-13 所示。

表 2-2 臺中氣象站 1999-2010 年之氣象觀測資料統計表

年份	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	最高溫度日期	最低溫度 (°C)	最低溫度日期	平均風速 (m/sec)	最多風向 (°)	最大瞬間風速 (m/sec)	最大瞬間風向 (°)	最大瞬間風速日期	平均相對溼度 (%)	最小相對溼度 (%)	氣壓 (hPa)	雨量 (mm)	降水時數 (小時)	降水日數 (日)	日照時數 (小時)
1999	23.7	35.9	1999/8/22	4.7	1999/12/23	1.6	N	15.4		1999/11/15	74.9	29	1001.9	1390.4	536.2	119	1941.7
2000	23.7	35.5	2000/7/7	9.7	2000/1/27	1.6	20	27.8	70	2000/11/1	77.1	26	1001.5	1797.0	614.2	110	2113.9
2001	23.6	36.1	2001/7/4	6.7	2001/12/25	1.5	350	18.8	260	2001/7/30	74.5	24	1001.7	1981.2	570.2	121	2169.0
2002	24.1	35.1	2002/6/23	7.7	2002/1/3	1.6	320	16.9	260	2002/8/5	72.5	23	1002.8	1315.6	361.9	101	2254.7
2003	23.9	36.4	2003/7/22	8.3	2003/1/6	1.6	330	14.1	240	2003/6/27	72.4	26	1003.0	930.6	321.4	74	2345.8
2004	23.4	39.9	2004/7/1	6.5	2004/1/25	1.7	320	19.6	210	2004/7/3	72.5	27	1002.6	2260.7	501.5	94	2250.3
2005	23.3	35.4	2005/7/8	5.0	2005/3/6	1.7	350	34.0	350	2005/7/18	77.1	26	1002.8	2574.5	660.3	127	1804.9
2006	23.8	37.0	2006/8/2	8.7	2006/1/7	1.6	350	19.0	10	2006/7/13	76.9	25	1002.6	2171.9	673.6	132	1892.1
2007	23.8	35.6	2007/7/5	6.2	2007/1/29	1.7	330	27.7	340	2007/10/6	73.6	26	1002.4	2432.9	650.9	128	1963.4
2008	23.5	35.4	2008/9/22	8.7	2008/2/10	1.7	330	29.7	0	2008/9/28	74.9	22	1002.7	2477.8	569.9	126	1952.8
2009	23.8	36.1	2009/8/2	5.4	2009/1/14	1.6	330	26.9	310	2009/8/7	72.3	29	1002.3	1978.7	425.1	86	2094.0
2010	23.7	35.9	2010/7/18	6.8	2010/1/13	1.4	10	25.5	10	2010/9/19	74.7	22	1003.1	2054.4	554.6	131	1886.1

資料來源：中央氣象局

表 2-3 梧棲氣象站 1999-2010 年之氣象觀測資料統計表

年份	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	最高溫度日期	最低溫度 (°C)	最低溫度日期	平均風速 (m/sec)	最多風向 (°)	最大瞬間風速 (m/sec)	最大瞬間風向 (°)	最大瞬間風速日期	平均相對溼度 (%)	最小相對溼度 (%)	氣壓 (hPa)	雨量 (mm)	降水時數 (小時)	降水日數 (日)	日照時數 (小時)
1999	23.1	33.9	1999/5/18	6.8	1999/12/22	5.2	N	31.4	0	1999/12/19	75.3	30	1009.3	973.0	429.8	86	1906.4
2000	22.8	35.4	2000/7/6	9.1	2000/1/29	5.3	360	43.3	60	2000/11/1	78.8	39	1008.7	1244.7	598.5	81	2194.1
2001	23.1	34.8	2001/8/28	7.9	2001/12/30	4.7	30	30.4	70	2001/2/24	78.3	19	1008.9	1949.1	549.6	83	2241.7
2002	23.7	35.1	2002/6/27	7.8	2002/1/6	4.7	20	29.5	70	2002/12/26	75.8	28	1010.0	1080.0	311.3	72	2345.8
2003	23.4	35.3	2003/9/1	8.8	2003/1/6	5.0	10	27.6	20	2003/12/19	77.9	27	1010.1	513.0	279.6	52	2396.5
2004	23.0	36.9	2004/7/1	7.4	2004/1/24	4.9	360	28.6	220	2004/7/3	77.1	37	1009.7	1325.1	424.8	79	2426.4
2005	22.8	33.2	2005/9/14	7.0	2005/12/23	4.8	350	48.6	320	2005/9/1	76.5	29	1009.9	1784.4	542.1	91	2125.4
2006	23.3	33.8	2006/7/31	9.2	2006/1/7	4.6	350	30.5	10	2006/3/12	77.1	26	1009.7	1372.6	501.7	91	2126.7
2007	23.2	34.7	2007/9/30	8.5	2007/1/29	4.6	350	46.4	320	2007/10/6	78.9	26	1009.4	2203.7	522.7	93	2263.8
2008	22.9	34.3	2008/8/22	8.9	2008/2/13	4.8	350	46.1	0	2008/9/28	77.9	29	1009.7	1613.5	451.4	90	2173.2
2009	23.4	35.4	2009/8/2	7.5	2009/1/11	4.6	10	41.3	360	2009/8/7	74.7	36	1009.3	997.3	308.4	79	2261.8
2010	23.0	34.2	2010/9/8	7.6	2010/1/14	4.5	10	37.5	360	2010/9/19	76.6	29	1010.1	1182.4	434.2	105	2055.6

資料來源：中央氣象局

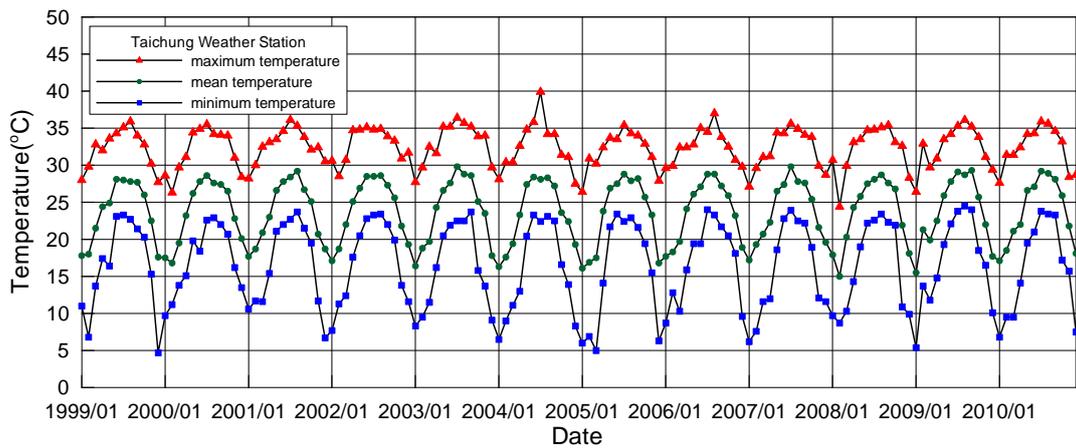


圖 2-2 臺中氣象站 1999 年至 2010 年平均氣溫、最高氣溫及最低氣溫之月統計圖

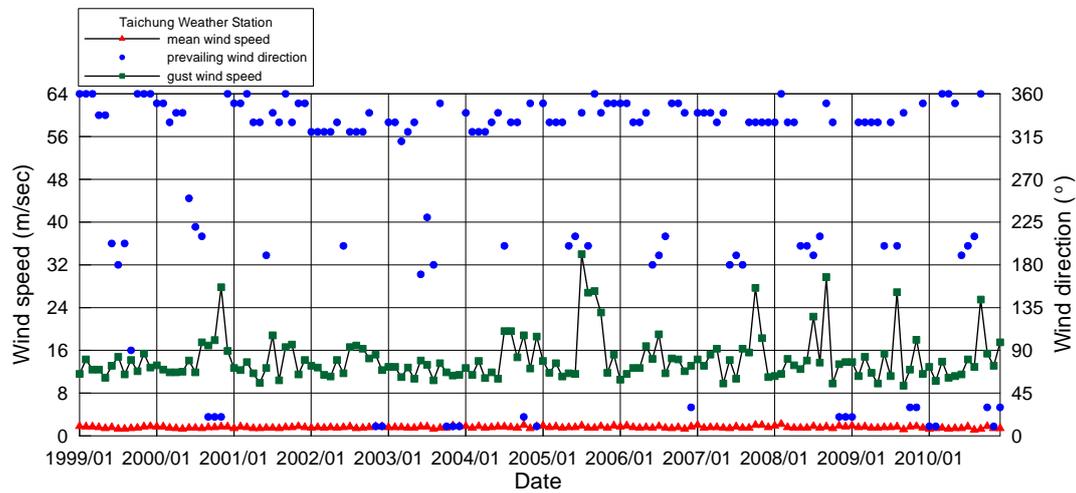


圖 2-3 臺中氣象站 1999 年至 2010 年平均風速、最多風向及瞬間最大風速之月統計圖

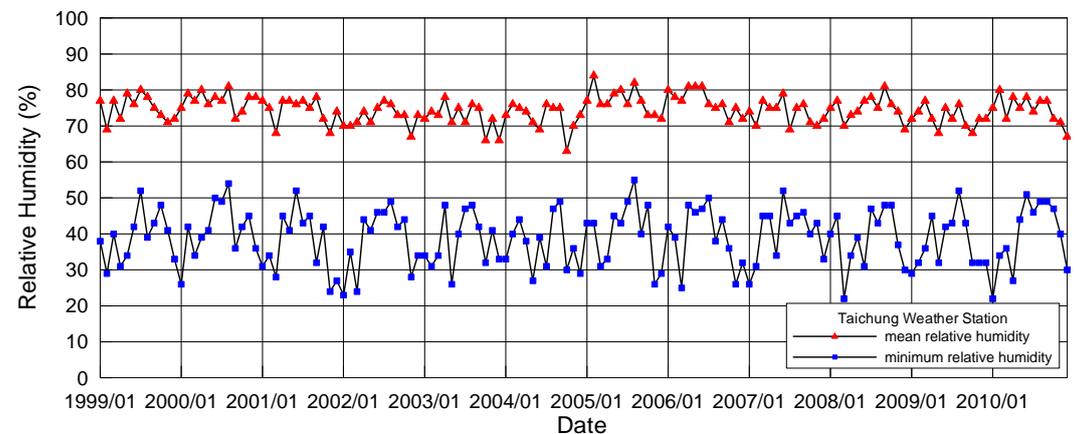


圖 2-4 臺中氣象站 1999 年至 2010 年平均相對濕度及最小相對濕度之月統計圖

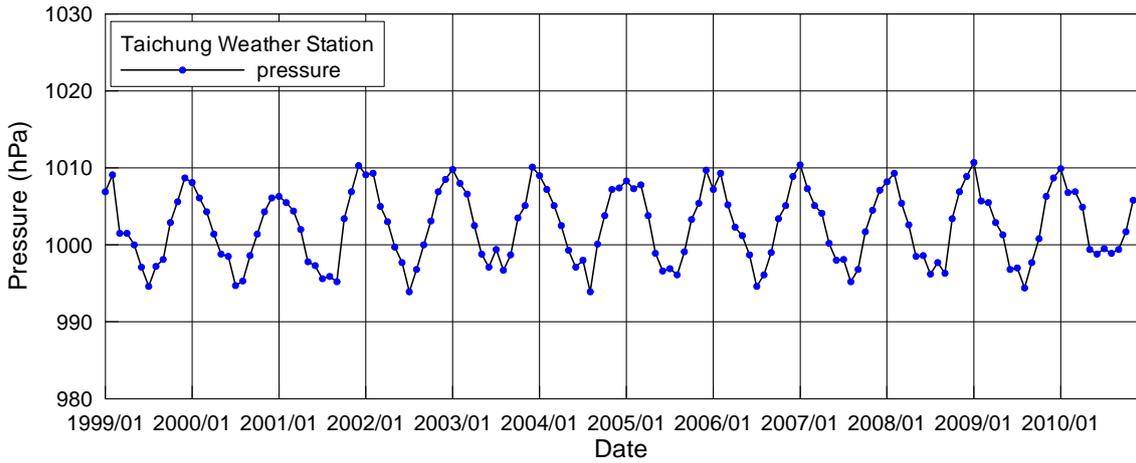


圖 2-5 臺中氣象站 1999 年至 2010 年平均氣壓之月統計圖

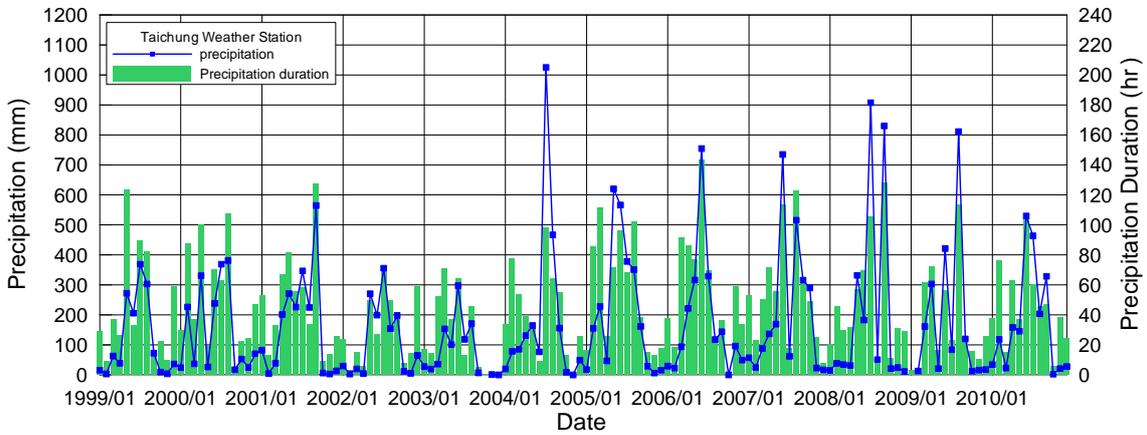


圖 2-6 臺中氣象站 1999 年至 2010 年降水量及降水時數之月統計圖

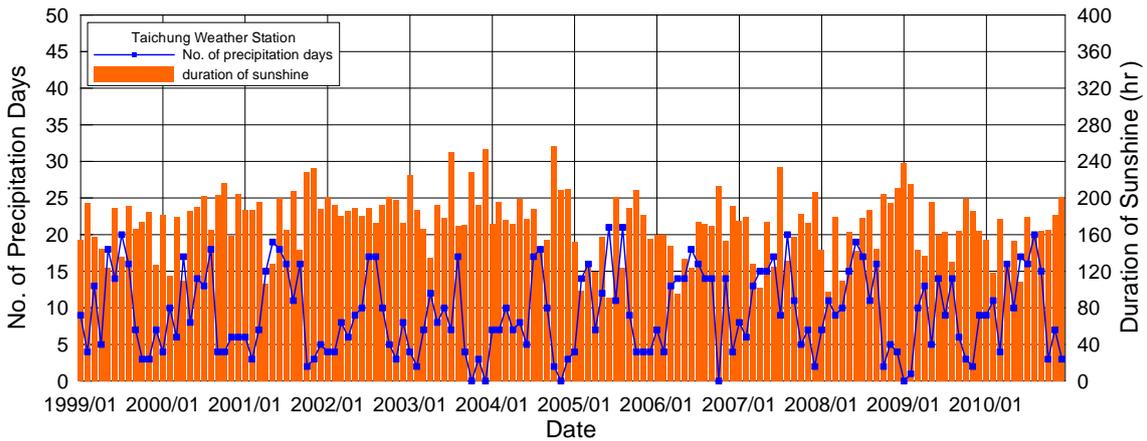


圖 2-7 臺中氣象站 1999 年至 2010 年降水日數及日照時數之月統計圖

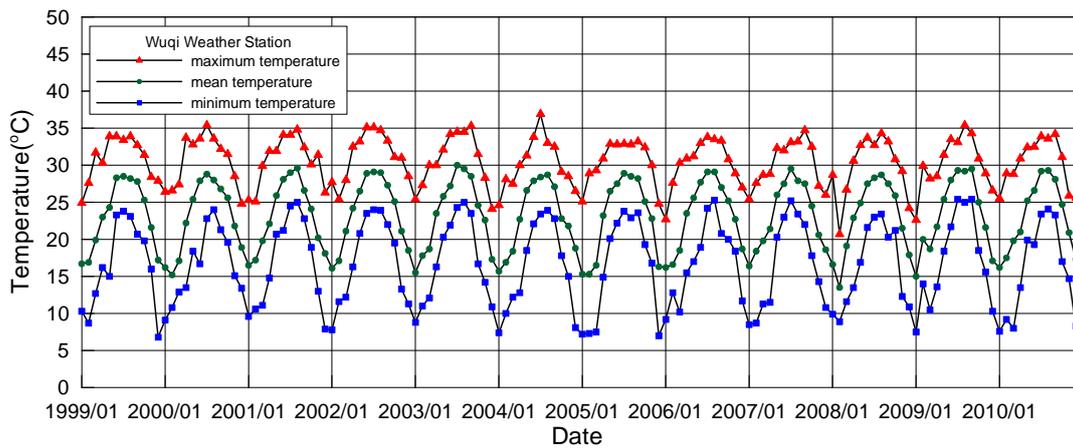


圖 2-8 梧棲氣象站 1999 年至 2010 年平均氣溫、最高氣溫及最低氣溫之月統計圖

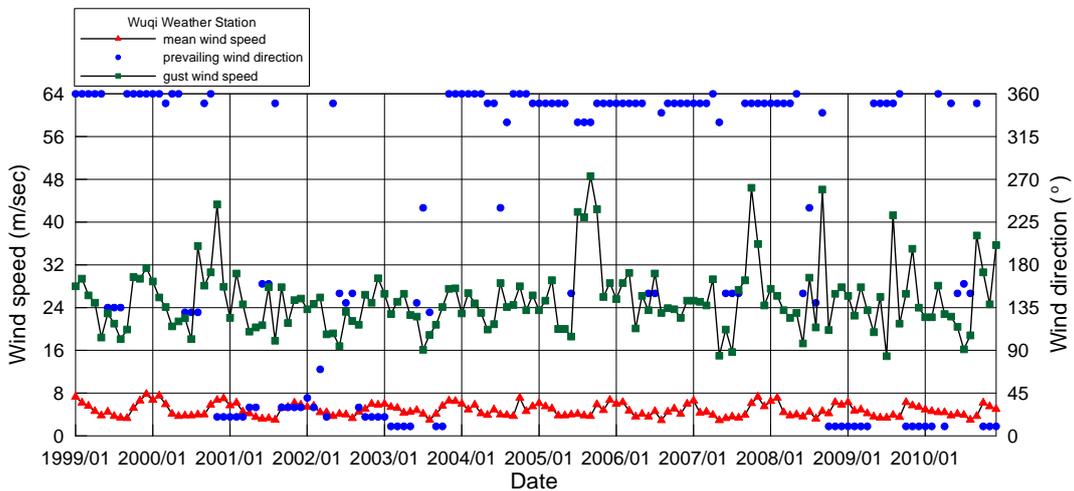


圖 2-9 梧棲氣象站 1999 年至 2010 年平均風速、最多風向及瞬間最大風速之月統計圖

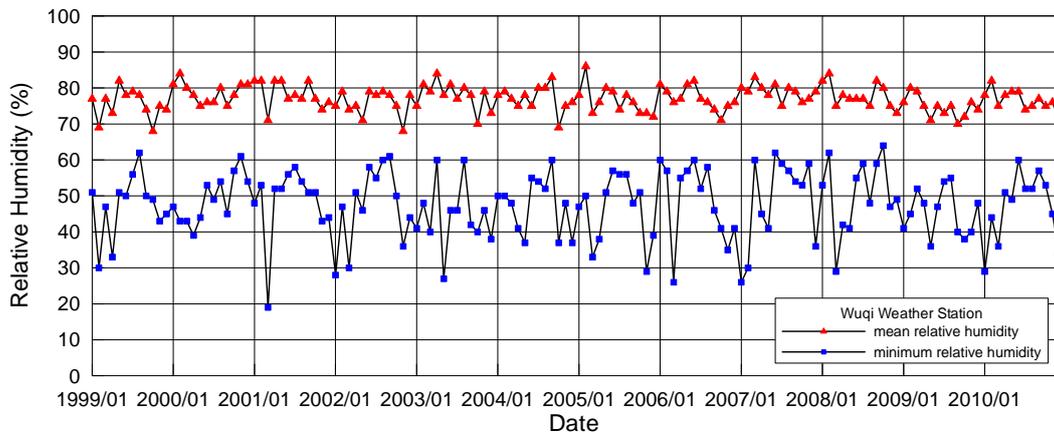


圖 2-10 梧棲氣象站 1999 年至 2010 年平均相對濕度及最小相對濕度之月統計圖

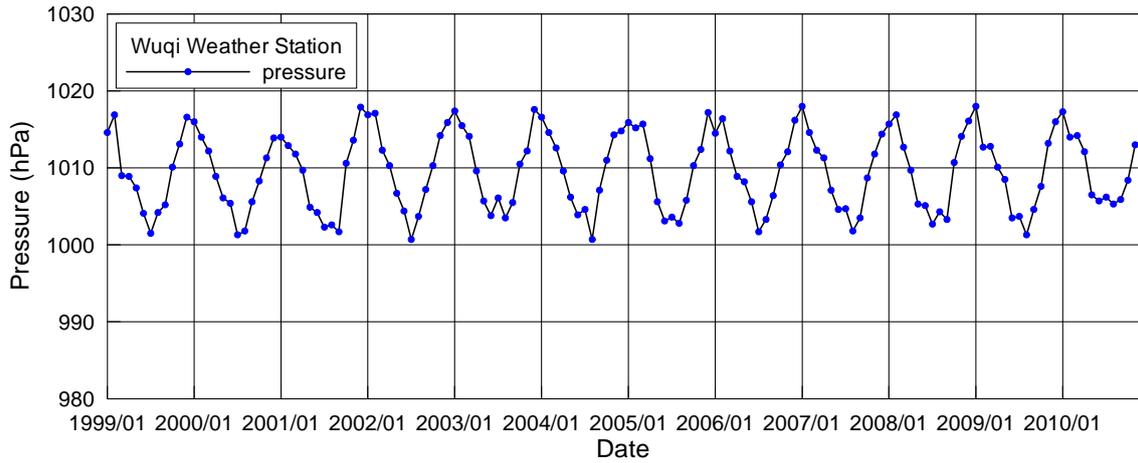


圖 2-11 梧棲氣象站 1999 年至 2010 年平均氣壓之月統計圖

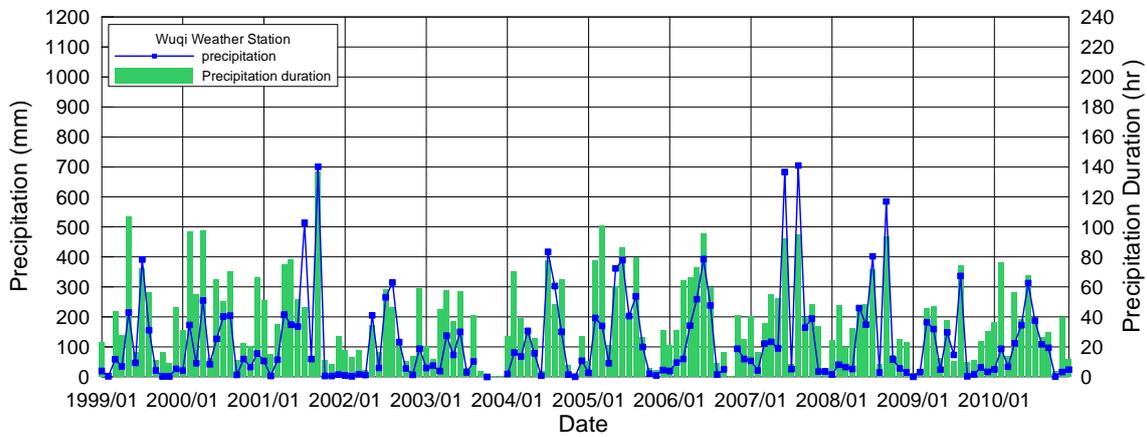


圖 2-12 梧棲氣象站 1999 年至 2010 年降水量及降水時數之月統計圖

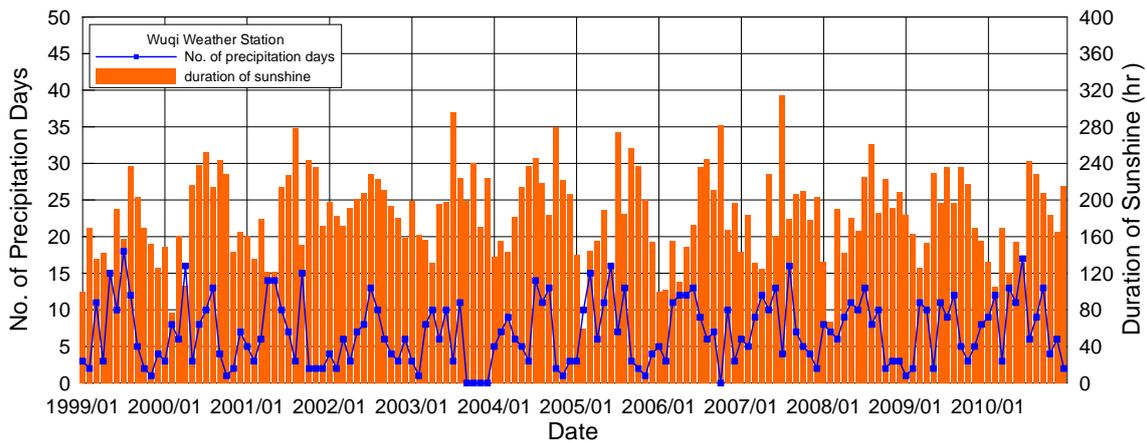


圖 2-13 梧棲氣象站 1999 年至 2010 年降水日數及日照時數之月統計圖

## 2.3 海象資料之統計分析

在海象方面，港灣技術研究中心在臺中港附近海域設有觀測站，觀測項目有：潮位、海流、風及波浪，以下就各觀測項目之統計結果分別說明。

### 2.3.1 風

本研究收集港灣技術研究中心自 2001 年 7 月至 2010 年 12 月期間的風觀測資料，歷年風速及風向之統計結果如表 2-4 所示。由表 2-4 可知，港區附近主要風向為北至東向，約佔歷年觀測的 62.4%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的 19.1%。風速小於 5 m/sec 以下者，約佔歷年觀測的 52.9%；風速介於 5-10 m/sec 之間者，約佔歷年觀測的 27.5%；風速介於 10-15 m/sec 之間者，約佔歷年觀測的 13.5%；風速大於 15 m/sec 以上者，約佔歷年觀測的 6.1%。歷年之平均風速為 6.2 m/sec；歷年最大風速為 37.5 m/sec，其風向為北北西向。

表 2-4 臺中港 2001 年至 2010 年風之風速及風向統計表

年份	平均風速 m/sec	風速		風速 <5m/sec (%)	風速 5~10m/sec (%)	風速 10~15m/sec (%)	風速 >15m/sec (%)	風向 N~E (%)	風向 E~S (%)	風向 S~W (%)	風向 W~N (%)	靜風 <0.3m/sec (%)
		最大值 m/sec	風向									
2001	5.8	21.3	NNE	53.6	27.5	16.6	2.4	66.2	10.8	13.4	9.5	0.2
2002	5.6	26.5	NNE	59.2	26.0	8.9	5.9	59.3	12.6	18.8	9.2	0.1
2003	5.1	17.8	NNE	60.0	26.7	12.5	0.8	62.6	10.0	18.7	8.7	0.1
2004	5.2	17.9	NNE	57.7	29.6	12.3	0.4	65.2	9.4	15.8	9.6	0.0
2005	5.3	27.3	NNE	60.2	25.2	13.2	1.4	62.1	9.4	19.6	8.9	0.0
2006	5.3	18.7	NNE	57.5	28.8	12.0	1.8	64.3	9.2	19.6	6.9	0.1
2007	5.3	23.3	NNE	59.6	26.2	12.5	1.7	60.6	12.2	19.3	7.7	0.2
2008	9.1	37.5	NNE	32.2	32.9	15.3	19.7	55.8	4.6	28.9	10.7	0.0
2009	5.6	26.2	NNE	60.6	21.2	11.6	6.4	65.2	7.6	14.3	13.0	0.2
2010	9.3	30.3	NNE	28.7	30.6	20.4	20.3	62.8	6.7	22.8	7.7	0.0
統計值	6.2	37.5	NNE	52.9	27.5	13.5	6.1	62.4	9.2	19.1	9.2	0.1

資料來源：港灣技術研究中心

在月統計部分，圖 2-14 為歷年逐月之風速及風向統計圖，由圖 2-14 可知，歷年之月平均風速介於 2.5 m/sec 至 7 m/sec 之間，月平均風速大於 10 m/sec 以上者皆發生在冬季，盛行風向多集中在北至東北向。圖 2-15 為臺中港歷年逐月之風速及風向統計分布圖，由圖 2-15 顯示，在夏季時風速小於 5 m/sec，風向介於南至西向所佔的比例較大；在冬季時風速大於 5 m/sec，風向介於北至東向所佔的比例較大。

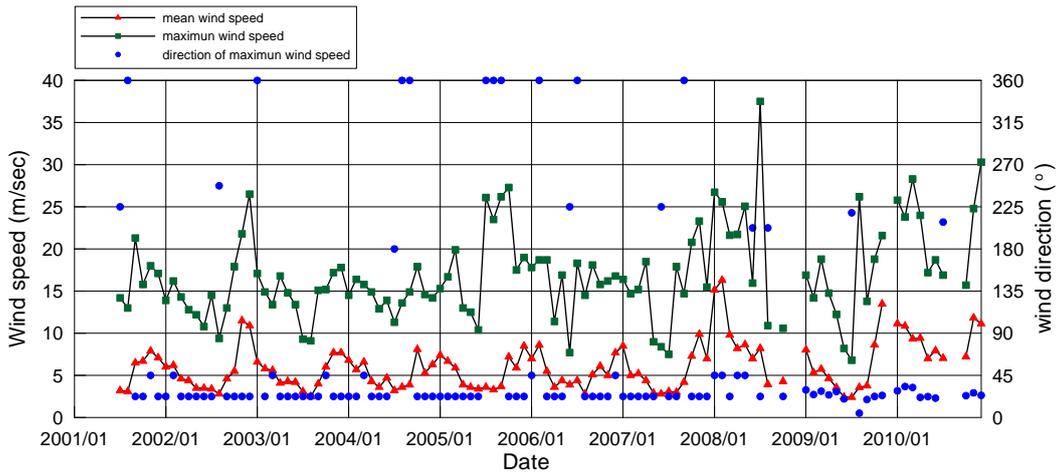


圖 2-14 臺中港 2001 年至 2010 年風速及風向之月統計圖

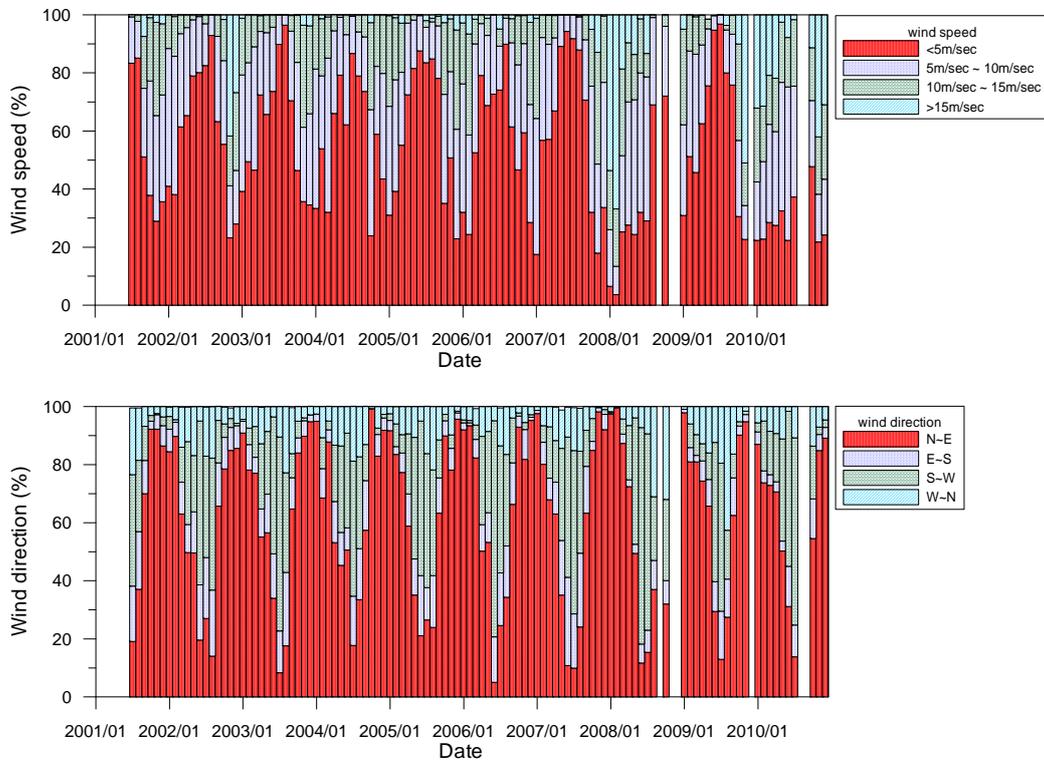


圖 2-15 臺中港 2001 年至 2010 年風速及風向之月統計分布圖

### 2.3.2 海流

臺中港海岸流況主要由沿岸流、風驅流、潮流及黑潮所組成，本研究收集港灣技術研究中心自 2003 年 8 月至 2010 年 12 月期間的海流觀測資料，歷年海流之流速及流向的統計結果如表 2-5 所示。由表 2-5 可知，港區附近主要流向為西至北向，約佔歷年觀測的 54.1%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的 23.1%。流速小於 25 cm/sec 以下者，約佔歷年觀測的 26%；流速介於 25-50 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 37.4%；流速介於 50-100 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 32.1%；流速大於 100 cm/sec 以上者，約佔歷年觀測的 4.5%。歷年之平均流速為 45.1 cm/sec；最大流速為 248.3 cm/sec，其流向為西向。

表 2-5 臺中港 2003 年至 2010 年海流之流速及流向統計表

年份	平均流速 (cm/sec)	最大流速		流速 <25cm/sec (%)	流速 25~50cm/sec (%)	流速 50~100cm/sec (%)	流速 >100cm/sec (%)	流向 N~E (%)	流向 E~S (%)	流向 S~W (%)	流向 W~N (%)
		流速 (cm/sec)	流向 (°)								
2003	40.8	153.8	W	34.6	34.9	26.3	4.3	23.7	7.2	18.8	50.3
2004	45.3	173.0	W	27.0	34.3	34.7	4.0	10.2	7.6	19.1	63.1
2005	49.2	248.3	W	19.9	36.9	37.7	5.5	9.3	1.4	16.2	73.2
2006	45.9	171.9	W	26.1	35.4	32.8	5.7	5.4	0.7	26.8	67.1
2007	43.5	193.9	WSW	24.7	38.8	34.2	2.3	10.8	2.1	22.1	64.9
2008	51.3	240.2	WNW	23.0	33.8	35.0	8.1	17.5	19.4	26.1	37.0
2009	45.5	189.0	WNW	24.9	39.4	31.5	4.2	28.1	0.9	30.1	41.0
2010	39.1	168.8	WSW	27.9	45.7	24.5	1.8	36.8	1.6	25.4	36.2
統計值	45.1	248.3	W	26.0	37.4	32.1	4.5	17.7	5.1	23.1	54.1

資料來源：港灣技術研究中心

在月統計部分，圖 2-16 為歷年逐月之流速及流向統計圖，由圖 2-16 可知，歷年之月平均流速介於 30 cm/sec 至 70 cm/sec 之間，最多流向多集中在西至北向。圖 2-17 為臺中港海流歷年逐月之流速及流向統計分布圖，由圖 2-17 顯示，流速在個組距上的比例分布互有消長，流向介於西至北向所佔的比例較大。

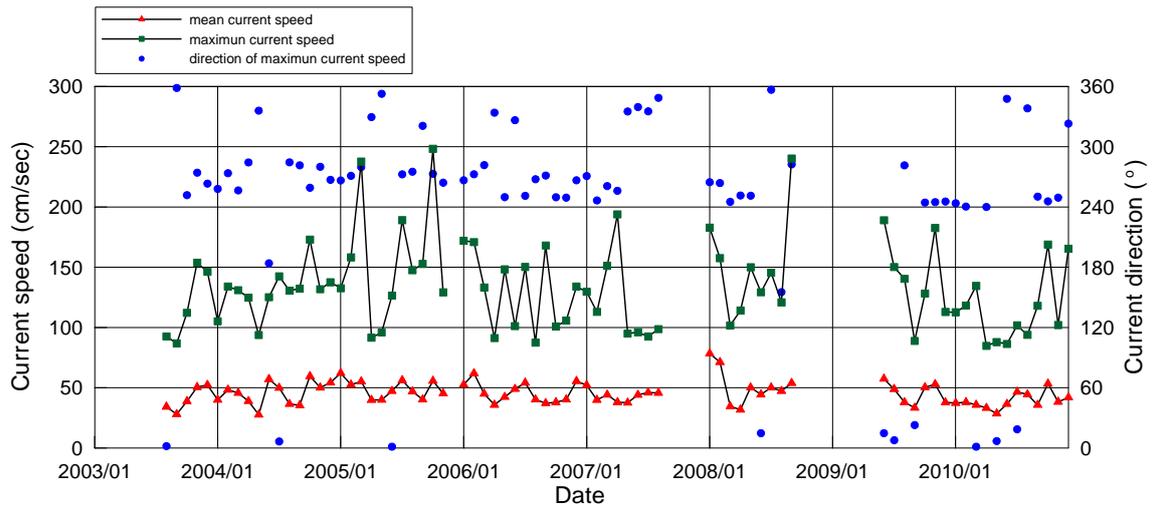


圖 2-16 臺中港 2003 年至 2010 年海流流速、流向及最大流速之月統計

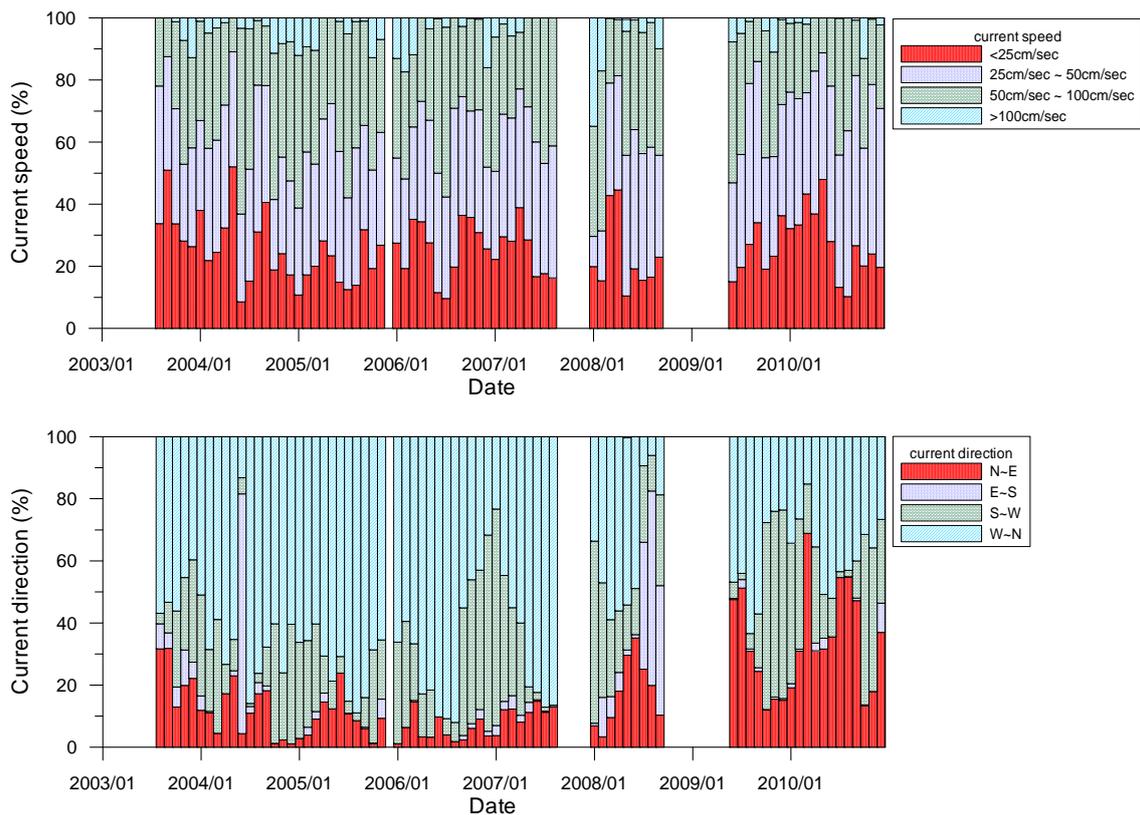


圖 2-17 臺中港 2003 年至 2010 年海流流速、流向及最大流速之月統計分布圖

### 2.3.3 波浪

本研究收集港灣技術研究中心自 2003 年 8 月至 2010 年 12 月期間的波浪觀測資料，歷年之波高、週期及波向的統計結果如表 2-6 所示。由表 2-6 可知，港區附近主要波向為北至東向，約佔歷年觀測的 65.2%；其次為西至北向，約佔歷年觀測的 25.7%。 $H_{1/3}$  波高小於 0.5 m 以下者，約佔歷年觀測的 12.3%； $H_{1/3}$  波高介於 0.5 m 至 1 m 之間者，約佔歷年觀測的 27.1%； $H_{1/3}$  波高介於 1 m 至 5 m 之間者，約佔歷年觀測的 60.3%； $H_{1/3}$  波高大於 5 m 以上者，約佔歷年觀測的 0.3%。 $T_{1/3}$  週期集中在 8 秒以內，小於 6 sec 以下者，約佔歷年觀測的 41.6%；介於 6 sec 至 8 sec 之間者，約佔歷年觀測的 48.4%。歷年之平均  $H_{1/3}$  波高為 1.56 m；平均  $T_{1/3}$  週期為 6.4 sec；歷年最大  $H_{1/3}$  波高為 8.44 m，其週期為 11.1 sec，發生於 2010 年 12 月 16 日。

在月統計部分，圖 2-18 為歷年逐月之  $H_{1/3}$  及  $T_{1/3}$  統計圖，由圖 2-18 可知，歷年之月平均  $H_{1/3}$  小於 3 m 以下，月平均  $T_{1/3}$  介於 4.9 sec 至 7.8 sec 之間，其中 2005 年 7 月及 8 月之  $T_{1/3}$  大於 11 sec。圖 2-19 為臺中港歷年逐月之波高、週期及波向統計分布圖，由圖 2-19 顯示，在夏季時波向介於西至北向所佔的比例較大；在冬季平均時波向介於北至東向所佔的比例較大。

表 2-6 臺中港 2003 年至 2010 年示性波高、週期及波向資料統計表

年份	H <sub>1/3</sub> 平均值 (m)	T <sub>1/3</sub> 平均值 (sec)	H <sub>1/3</sub>			H <sub>1/3</sub> <0.5m (%)	H <sub>1/3</sub> 0.5~1m (%)	H <sub>1/3</sub> 1~5m (%)	H <sub>1/3</sub> >5m (%)	波向 N~E (%)	波向 E~S (%)	波向 S~W (%)	波向 W~N (%)	T <sub>1/3</sub> <6sec (%)	T <sub>1/3</sub> 6~8sec (%)	T <sub>1/3</sub> 8~10sec (%)	T <sub>1/3</sub> >10sec (%)
			最大值 (m)	週期 (sec)	波向												
2003	1.61	5.5	5.92	5.6	NNE	16.7	23.4	59.9	0.0	79.0	0.5	3.3	17.2	83.0	17.0	0.0	0.0
2004	1.53	6.1	7.50	6.2	WSW	17.7	21.8	60.4	0.1	71.7	0.3	4.6	23.4	56.1	35.3	7.6	1.0
2005	1.50	7.6	6.96	8.9	N	12.8	25.8	60.8	0.5	63.3	0.2	8.1	28.5	29.6	60.9	7.6	0.5
2006	1.54	6.5	4.93	12.1	N	7.7	26.8	65.6	0.0	67.9	0.1	4.8	27.0	32.0	54.3	12.9	0.9
2007	1.35	6.1	6.74	9.8	-	16.4	32.8	50.3	0.6	42.5	1.5	5.1	30.8	35.7	57.9	6.1	0.0
2008	1.79	6.4	7.29	10.8	N	11.7	30.4	57.3	0.6	57.0	0.9	12.1	30.0	31.8	55.8	11.8	0.5
2009	1.48	6.6	7.78	8.7	-	13.8	27.0	58.8	0.4	68.3	0.0	3.6	28.2	28.1	56.8	13.7	1.4
2010	1.65	6.4	8.44	11.1	5.4	1.2	28.9	69.6	0.2	72.2	0.1	7.6	20.2	36.7	49.1	13.6	0.6
統計值	1.56	6.4	8.44	11.1	5.40	12.3	27.1	60.3	0.3	65.2	0.4	6.1	25.7	41.6	48.4	9.2	0.6

資料來源：港灣技術研究中心

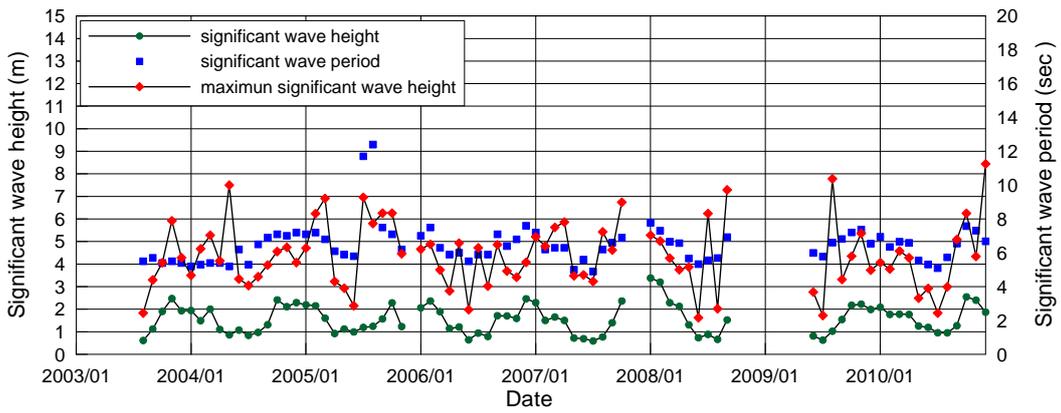


圖 2-18 臺中港 2003 年至 2010 年平均示性波高、平均週期及最大示性波高之月統計

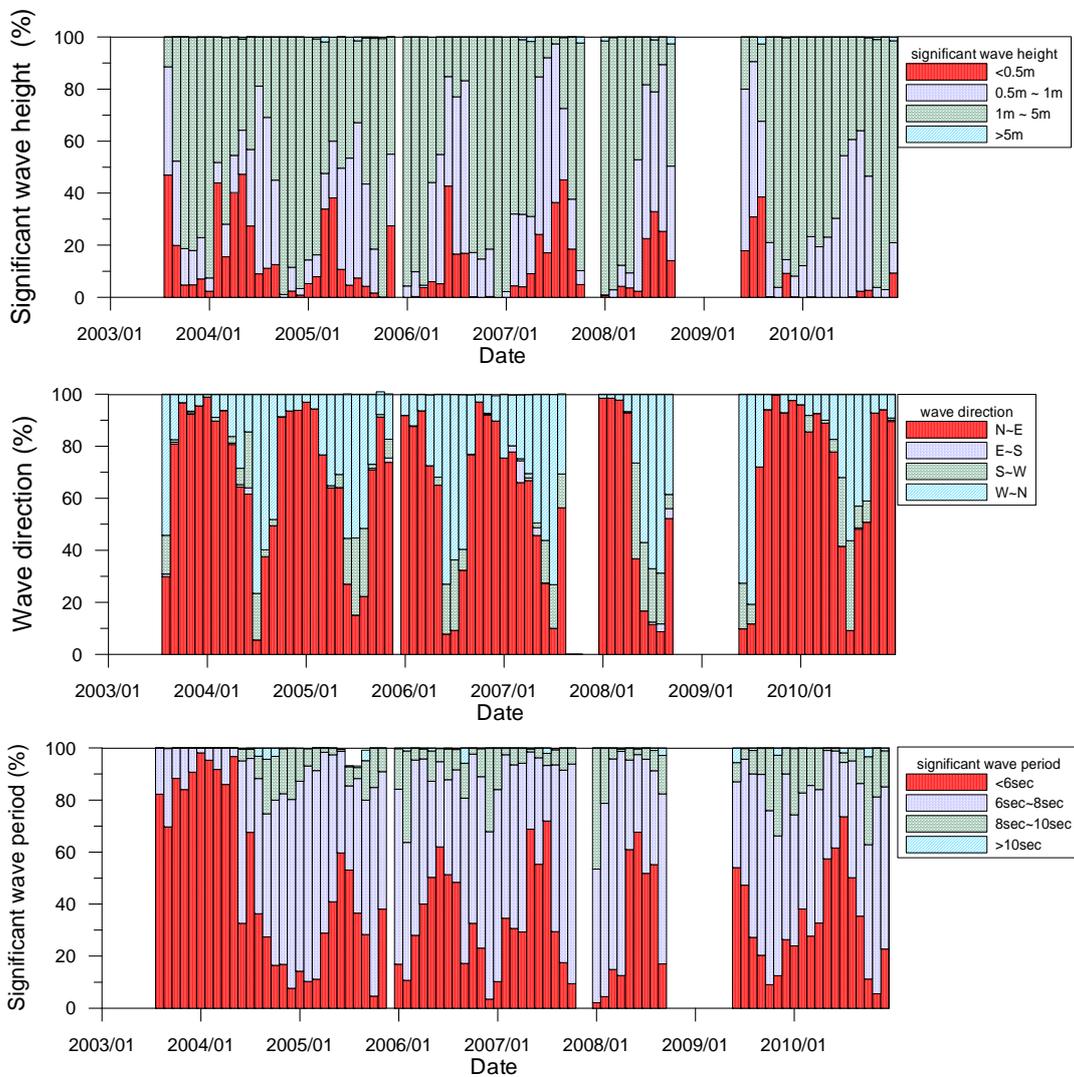


圖 2-19 臺中港 2003 年至 2010 年平均示性波高、平均週期及波向之月統計分布圖

### 2.3.4 潮位

臺中港之潮汐每日漲落 2 次，本研究收集中央氣象局自 1999 年 1 月至 2010 年 12 月期間的潮位觀測資料，其中 1999 年 11 月至 2002 年 12 月因碼頭改建暫停潮位觀測，故缺潮位觀測資料，歷年潮位資料之統計結果如表 2-7 所示。由表 2-7 之統計結果可知，自 1999 年至 2010 年期間，其平均潮差為 375 公分，大潮平均潮差為 463 公分，最大潮差為 619 公分。最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計圖請參考圖 2-20。

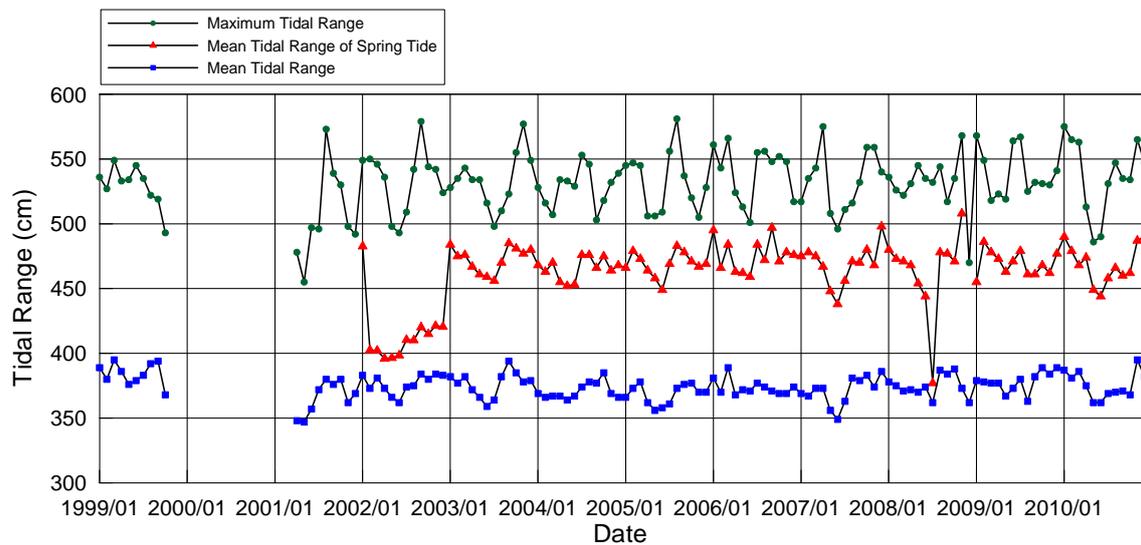


圖 2-20 臺中港 1999 年至 2010 年最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計圖

表 2-7 臺中港 1999-2010 年潮位資料統計

年份	平均潮位 MWL	平均高潮位 MHWL	平均低潮位 MLWL	大潮平均高潮位 HWOST	大潮平均低潮位 LWOST	最高高潮位 HHWL		最低低潮位 LLWL		平均潮差 MR	大潮平均潮差 STR	最大潮差 MTR
						發生時間	潮高	發生時間	潮高			
1999	284	475	91	—	—	3月20日	557	1月3日	-26	384	—	583
2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2002	297	484	108	492	77	9月7日	588	1月30日	-25	376	415	613
2003	299	486	109	519	46	9月27日	573	12月24日	-13	377	473	586
2004	305	490	119	521	55	8月30日	580	1月23日	-10	371	466	590
2005	13	197	-172	232	-237	8月21日	291	1月12日	-305	369	469	596
2006	15	201	-172	237	-239	7月14日	298	1月2日	-297	373	476	595
2007	5	189	-182	223	-246	4月17日	274	12月26日	-302	371	469	576
2008	8	193	-181	225	-239	9月1日	276	1月23日	-299	374	464	575
2009	13	201	-177	232	-237	9月19日	300	1月13日	-319	378	469	619
2010	18.9	205	-171	240	-229	9月9日	305	1月2日	-307	376	469	612
統計值	—	—	—	—	—	—	—	—	—	375	463	619

潮高單位：公分

基準面：1999年：+707.7cm 水準點標高(基隆 MSL)+621.8cm。

2002年：+618.75cm 水準點標高(基隆 MSL)+351.25cm。

2003年：+719.37cm 水準點標高(基隆 MSL)+351.25cm。

2004年：基準面相對 KP：-268.12cm。

2005年~2010年：基準面相對 KP：0cm。

資料來源：中央氣象局。

## 2.4 颱風資料

臺灣處於熱帶與亞熱帶的之間，由過去長期的觀測顯示平均每年約有 3.5 次颱風侵襲臺灣海域。近年來，隨著全球暖化效應及海洋氣候變遷的影響，颱風侵襲臺灣之次數也相對增加，自 1999 年至 2010 年期間共有 76 個颱風侵襲臺灣海域，平均每年約有 6.3 次颱風侵襲臺灣海域。因此颱風資料的收集與分析對海域水質環境、海岸防災預警、及海岸管理極為重要。

本研究根據過去 12 年中央氣象局曾發布颱風警報的颱風資訊，彙整 76 個颱風資料，彙整項目包括颱風名稱、颱風警報發佈期、颱風路徑與強度、近中心最大風速、中心最低氣壓等等相關資訊，詳請參閱表 2-8。本研究所彙整的 71 個颱風案例中，如按圖 2-21 之颱風路徑分類，可得知各颱風路徑的發生次數統計，如表 2-9 所示。該表顯示，在侵臺的九類颱風路徑中，其他特殊路徑發生的次數最多，共發生 32 次佔 42.1%；其次為第三類的颱風，佔 13.2%；其他各類的颱風路徑之發生次數及所佔的百分比，詳請參閱表 2-9。

以 2010 年的颱風資料為例，2010 年中央氣象局共發佈 5 次颱風警報，分別為萊羅克(LIONROCK)、南修(NAMTHEUN)、莫蘭蒂(MERANTI)、凡那比(FANAPI)及梅姬(MEGI)，侵襲臺灣的時間集中在 8 月底至 10 月之間，以侵臺颱風路徑分類：萊羅克、梅姬颱風為第九類路徑；凡那比颱風為第四類路徑，各颱風之詳細資料請參考本節後面敘述。

表 2-8 1999 年至 2010 年侵臺颱風基本資訊一覽表

颱風編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	侵臺颱風路徑(九類)	近中心最低氣壓(hPa)	近中心最大風速(m/sec)	七級風暴風半徑	十級風暴風半徑
199906	瑪姬	MAGGIE	06/04~06/06	中度	5	965	38	250	100
199911	山姆	SAM	08/19~08/21	中度	--	970	33	200	50
199920	丹恩	DAN	10/04~10/09	中度	7	968	38	250	80
200004	啟德	KAI-TAK	07/06~07/10	中度	6	965	35	150	--
200010	碧利斯	BILIS	08/21~08/23	強烈	3	930	53	300	--
200012	巴比倫	PRAPIROON	08/27~08/30	中度	6	965	33	250	--
200015	寶發	BOPHA	09/08~09/10	輕度	特殊路徑	990	23	180	--
200019	雅吉	YAGI	10/23~10/26	中度	--	970	33	180	--
200020	象神	XANGSANE	10/30~11/01	中度	6	960	38	250	--
200021	貝碧佳	BEBINCA	11/06~11/07	中度	--	970	33	200	--
200101	西馬隆	CIMARON	05/11~05/13	輕度	8	990	23	150	--
200102	奇比	CHEBI	06/22~06/24	中度	7	965	35	200	--
200104	尤特	UTOR	07/03~07/05	中度	5	960	38	350	--
200105	潭美	TRAMI	07/10~07/11	輕度	4	995	20	80	--
200107	玉兔	YUTU	07/23~07/24	中度	--	962	38	180	--
200108	桃芝	TORAJI	07/28~07/31	中度	3	962	38	250	--
200116	納莉	NARI	09/13~09/19	中度	特殊路徑	960	40	150	--
200116	納莉	NARI	09/08~09/10	中度	特殊路徑	960	40	150	--
200119	利奇馬	LEKIMA	09/23~09/28	中度	4	965	35	180	--
200121	海燕	HAIYAN	10/15~10/16	中度	--	965	35	250	--
200205	雷馬遜	RAMMASUN	07/02~07/04	中度	--	950	45	300	--
200208	娜克莉	NAKRI	07/09~07/10	輕度	9	987	20	80	--
200216	辛樂克	SINLAKU	09/04~09/08	中度	1	950	43	300	--
200302	柯吉拉	KUJIRA	04/21~04/24	強烈	--	925	51	300	120
200305	南卡	NANGKA	06/01~06/03	輕度	--	990	23	100	--
200306	蘇迪勒	SOUDELOR	06/16~06/18	中度	--	960	40	200	50
200307	尹布都	IMBUDO	07/21~07/23	中度	--	935	48	300	120
200309	莫拉克	MORAKOT	08/02~08/04	輕度	4	990	23	100	--
200311	梵高	VAMCO	08/19~08/20	輕度	--	998	18	100	--
200312	柯羅旺	KROVANH	08/22~08/23	中度	--	970	33	250	100
200313	杜鵑	DUJUAN	08/31~09/02	中度	5	950	43	250	100
200319	米勒	MELOR	11/02~11/03	輕度	8	975	30	180	--
200404	康森	CONSON	06/07~06/09	中度	--	970	33	150	--
200407	敏督利	MINDULLE	06/28~07/03	中度	6	942	45	250	100
200409	康柏斯	KOMPASU	07/14~07/15	輕度	--	995	20	100	--
200413	蘭寧	RANANIM	08/10~08/13	中度	--	955	40	250	100
200417	艾利	AERE	08/23~08/26	中度	1	960	48	200	50
200420	海馬	HAIMA	09/11~09/13	輕度	6	998	18	100	--
200421	米雷	MEARI	09/26~09/27	中度	--	940	45	200	80

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

表 2-8(續) 1999 年至 2010 年侵臺颱風基本資訊一覽表

颱風編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	侵臺颱風路徑(九類)	近中心最低氣壓(hPa)	近中心最大風速(m/sec)	七級風暴風半徑	十級風暴風半徑
200424	納坦	NOCK-TEN	10/23~10/26	中度	6	945	43	250	100
200427	南瑪都	NANMADOL	12/03~12/04	中度	9	940	45	250	100
200505	海棠	HAITANG	07/16~07/20	強烈	3	912	55	280	120
200509	馬莎	MATSA	08/03~08/06	中度	1	955	40	250	80
200510	珊瑚	SANVU	08/11~08/13	輕度	--	985	25	200	--
200513	泰利	TALIM	08/30~09/01	強烈	3	920	53	250	100
200515	卡努	KHANUN	09/09~09/11	中度	--	950	43	200	80
200518	丹瑞	DAMREY	09/21~09/23	中度	--	955	40	200	50
200519	龍王	LONGWANG	09/30~10/03	強烈	3	925	51	200	80
200601	珍珠	CHANCHU	05/16~05/18	中度	9	943	45	300	100
200603	艾維尼	EWINIAR	07/07~07/09	中度	--	925	51	300	100
200604	碧利斯	BILIS	07/12~07/15	輕度	2	978	25	300	--
200605	凱米	KAEMI	07/23~07/26	中度	3	960	38	200	50
200608	桑美	SAOMAI	08/09~08/10	中度	--	935	48	180	80
200609	寶發	BOPHA	08/07~08/09	輕度	4	985	25	120	--
200613	珊珊	SHANSHAN	09/14~09/16	中度	--	945	43	200	80
200706	帕布	PABUK	08/06~08/08	輕度	4	980	28	150	--
200707	梧提	WUTIP	08/08~08/09	輕度	3	992	18	100	--
200708	聖帕	SEPAT	08/16~08/19	強烈	3	920	53	250	100
200712	韋帕	WIPHA	09/17~09/19	中度	1	935	48	200	80
200715	柯羅莎	KROSA	10/04~10/07	強烈	2	925	51	300	120
200723	米塔	MITAG	11/26~11/27	中度	--	955	40	200	80
200807	卡玫基	KALMAEGI	07/16~07/18	中度	2	--	33	120	50
200808	鳳凰	FUNG-WONG	07/26~07/29	中度	3	--	43	220	80
200812	如麗	NURI	08/19~08/21	中度	--	--	40	220	80
200813	辛樂克	SINLAKU	09/11~09/16	強烈	2	--	51	250	100
200814	哈格比	HAGUPIT	09/21~09/23	中度	--	--	45	280	100
200815	薔蜜	JANGMI	09/26~09/29	強烈	2	--	53	280	100
200903	蓮花	LINFA	06/19~06/22	輕度	9	--	28	150	--
200906	莫拉菲	MOLAVE	07/16~07/18	輕度	--	--	28	100	--
200908	莫拉克	MORAKOT	08/05~08/10	中度	3	--	40	250	100
200917	芭瑪	PARMA	10/03~10/06	中度	特殊路徑	--	43	250	80
201006	萊羅克	LIONROCK	08/31~09/02	輕度	9	990	23	100	--
201008	南修	NAMTHEUN	08/30~08/31	輕度	--	995	18	80	--
201010	莫蘭蒂	MERANTI	09/09~09/10	輕度	--	990	23	100	--
201011	凡那比	FANAPI	09/17~09/20	中度	4	940	45	200	80
201013	梅姬	MEGI	10/21~10/23	中度	9	935	48	250	100

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

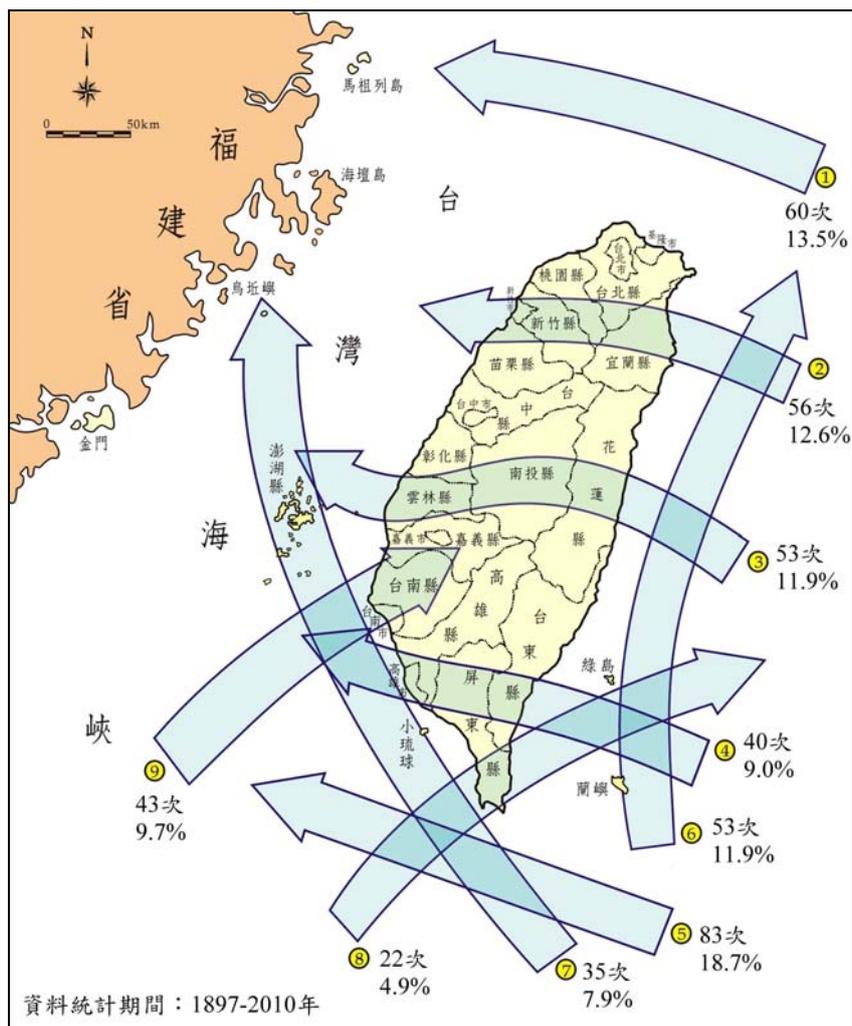


圖 2-21 颱風路徑分類圖

表 2-9 1999 年至 2010 年期間颱風路徑分類統計表

颱風路徑分類	發生次數	發生百分比
1	4	5.3 %
2	5	6.6 %
3	10	13.2 %
4	6	7.9 %
5	3	3.9 %
6	6	7.9 %
7	2	2.6 %
8	2	2.6 %
9	6	7.9 %
其他	32	42.1 %
合計	76	100.0 %

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

## 1. 萊羅克颱風

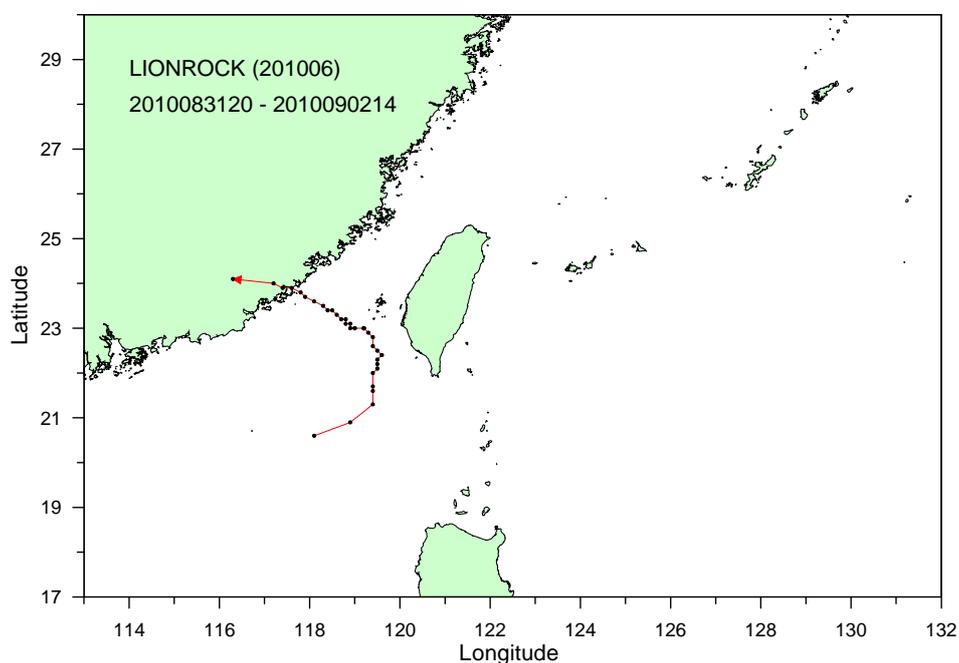


圖 2-22 2010 年萊羅克颱風之路徑圖

### 中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：萊羅克(LIONROCK)  
颱風編號：1006  
生成地點：東沙島海面  
侵(近)臺日期：2010年9月1日  
發布時間：海上：8月31日20時30分，陸上：9月1日2時30分  
解除時間：海上：9月2日14時30分，陸上：9月2日8時30分  
發布報數：15  
最大強度：輕度  
近中心最大風速：23.0公尺/秒  
侵臺路徑分類：9  
登陸地段：—  
動    態：生成後先向西北轉偏北方向移動，後因受到8號颱風南修影響，移動速度緩慢，31日20時後速度加快並向東北轉北移動，9月1日暴風圈接觸臺灣南部陸地後轉向偏西北移動，2日7時左右由金門西南方進入福建。  
災    情：南部及東南部地區有輕微災情。  
資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

## 2. 南修颱風

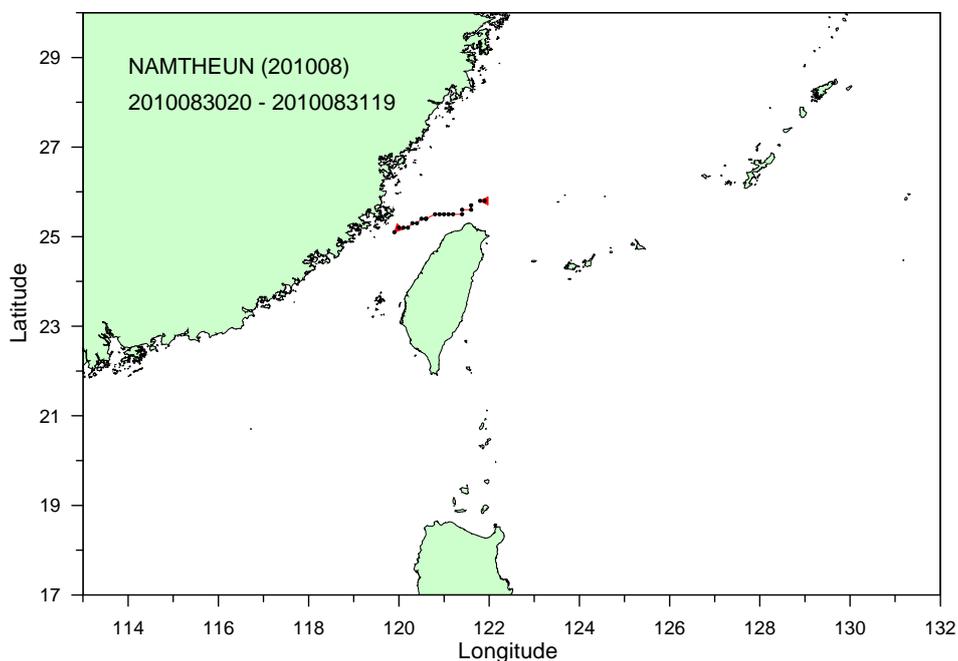


圖 2-23 2010 年南修颱風之路徑圖

### 中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：南修(NAMTHEUN)  
颱風編號：1008  
生成地點：台灣北部海面  
侵(近)臺日期：2010年8月31日  
發布時間：海上：8月30日22時30分，陸上：8月30日22時30分  
解除時間：海上：8月31日20時30分，陸上：8月31日20時30分  
發布報數：9  
最大強度：輕度  
近中心最大風速：18.0公尺/秒  
侵臺路徑分類：—  
登陸地段：—  
動    態：生成後向西緩慢移動，後因受到6號颱風萊羅克影響，逐漸轉向西南西移動，進入臺灣海峽後減弱為熱帶性低氣壓。  
災    情：未有重大災情發生。  
資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

### 3. 莫蘭蒂颱風

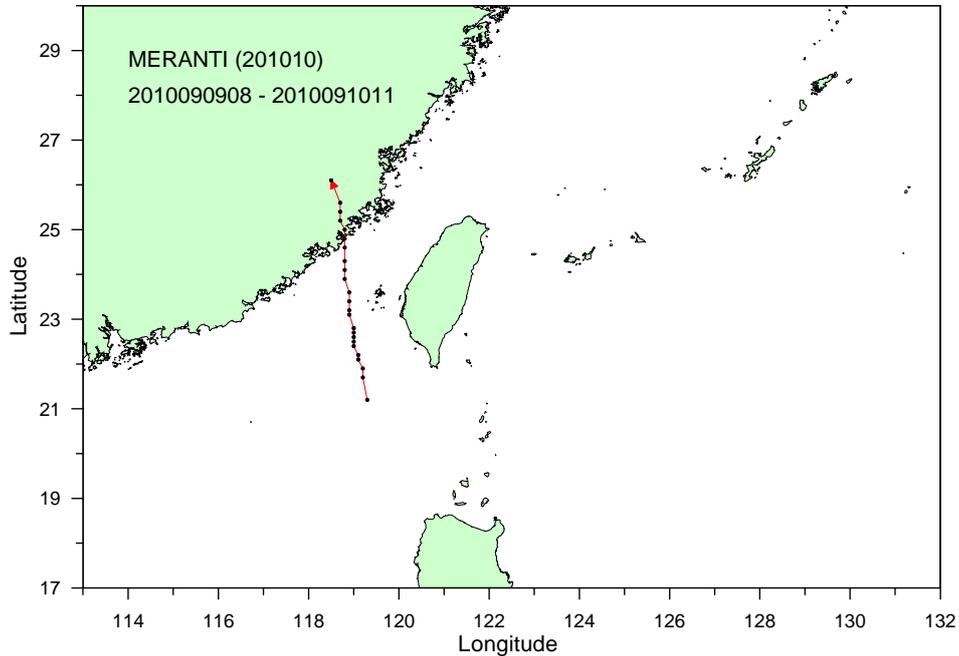


圖 2-24 2010 年莫蘭蒂颱風之路徑圖

#### 中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：莫蘭蒂(MERANTI)  
颱風編號：1010  
生成地點：巴士海峽  
侵(近)臺日期：2010年9月9日  
發布時間：海上：9月9日10時0分，陸上：9月9日11時30分  
解除時間：海上：9月10日11時30分，陸上：9月10日8時30分  
發布報數：10  
最大強度：輕度  
近中心最大風速：23.0公尺/秒  
侵臺路徑分類：—  
登陸地段：—  
動態：生成後偏北移動，10日4時左右由福建進入大陸。  
災情：未有重大災情發生。  
資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

#### 4. 凡那比颱風

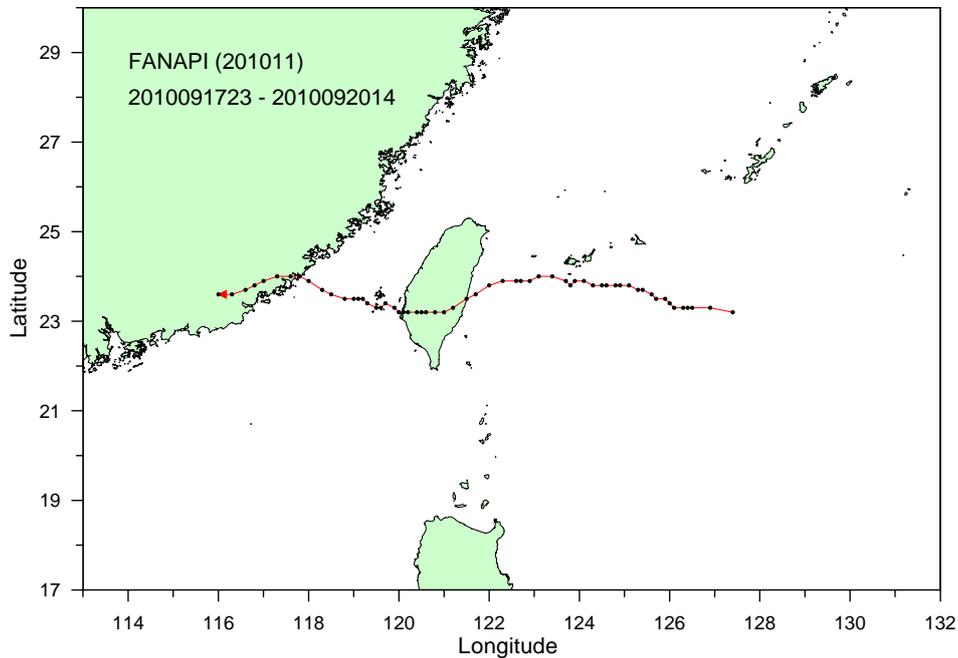


圖 2-25 2010 年凡那比颱風之路徑圖

#### 中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：凡那比(FANAPI)  
颱風編號：1011  
生成地點：琉球南方海面  
侵(近)臺日期：2010年9月19日  
發布時間：海上：9月17日23時30分，陸上：9月18日5時30分  
解除時間：海上：9月20日14時30分，陸上：9月20日14時30分  
發布報數：22  
最大強度：中度  
近中心最大風速：45.0公尺/秒  
侵臺路徑分類：4  
登陸地段：花蓮豐濱  
動    態：生成後向東北緩慢移動，增強為中度颱風後緩慢向北轉北北西移動，之後轉為偏西移動，暴風圈接觸台灣陸地後逐漸轉向西南西至西南方向移動，19日8時40分在花蓮縣豐濱鄉附近登陸，18時左右由臺南附近進入臺灣海峽，20日7時左右由福建進入大陸。  
災    情：受颱風影響，南部、東部地區降下豪雨，造成臺南、高雄及屏東等地區淹水，部分地區鐵、公路交通受阻。

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

## 5. 梅姬颱風

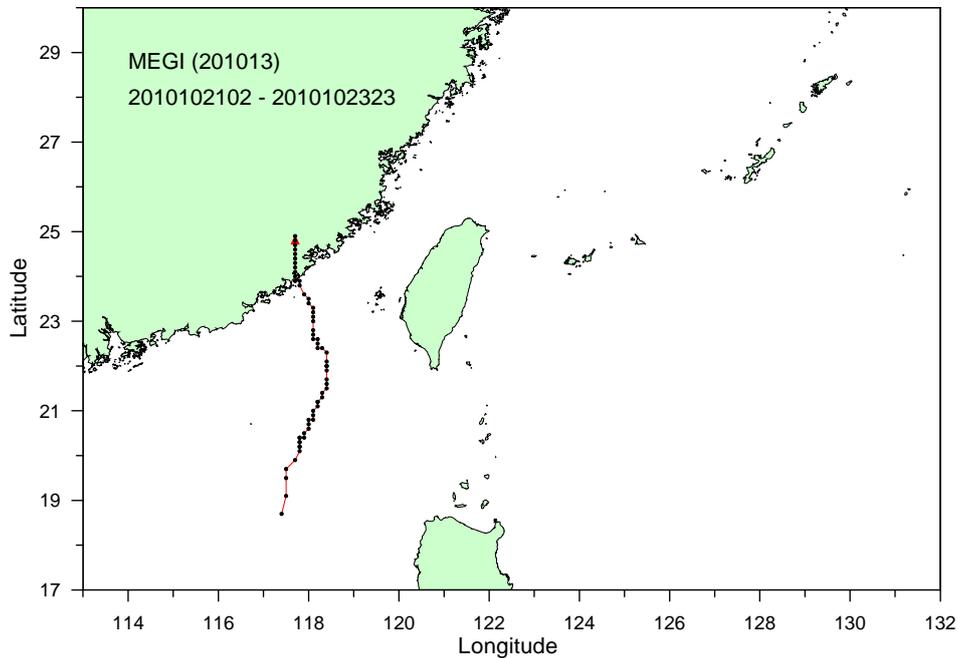


圖 2-26 2010 年梅姬颱風之路徑圖

### 中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：梅姬(MEGI)  
颱風編號：1013  
生成地點：關島西南西方海面  
侵(近)臺日期：2010 年 10 月 22 日  
發布時間：海上：10 月 21 日 2 時 30 分，陸上：10 月 21 日 17 時 30 分  
解除時間：海上：10 月 23 日 23 時 30 分，陸上：10 月 23 日 23 時 30 分  
發布報數：24  
最大強度：中度  
近中心最大風速：48.0 公尺/秒  
侵臺路徑分類：9  
登陸地段：—  
動    態：生成後先向西北轉西北西方向移動，強度逐漸增為強烈颱風之後由西轉西南西方向，穿過呂宋島後減弱為中度颱風並逐漸由西北西轉向偏北移動，進入臺灣海峽後轉向北北西移動，23 日 13 時 10 分左右由福建進入大陸。  
災    情：受東北季風及颱風影響，北臺灣降下豪雨，造成宜蘭地區淹水、土石流及蘇花公路多處坍方等嚴重災情。

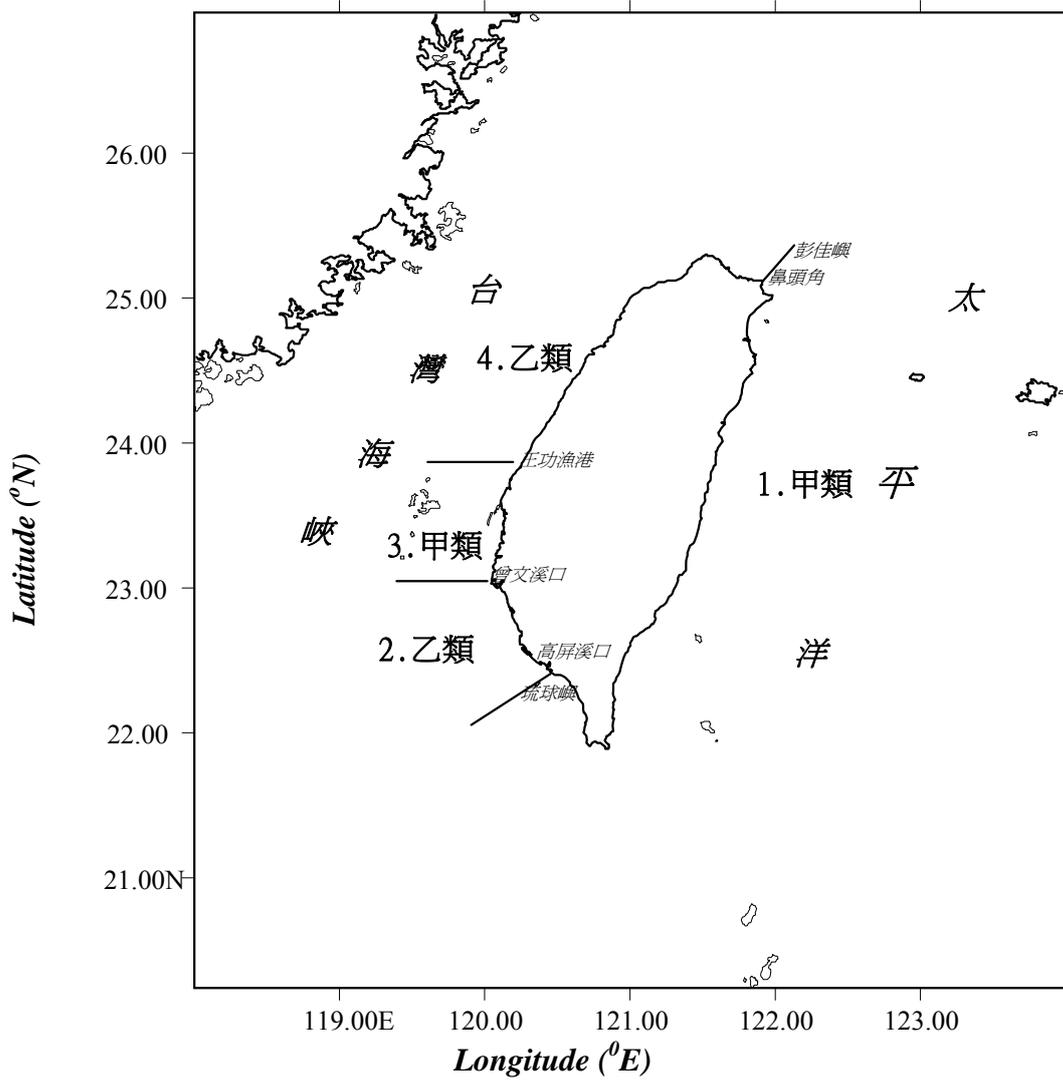
資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

## 2.5 海域水質

臺中港海域水質調查參考資料，包括民國 78 年臺中港工業區開發時的環境調查、民國 79 年環保署港灣污染整治規劃之調查、台電公司「臺中發電廠環境監測報告」(2002)、行政院環保署於 1995~2010 年辦理之「臺灣北部、中部、南部海域水質監測現況」、以及港務局進行「臺中港港口第二期擴建工程計畫環境監測」(1999)、「南填方區(I)圍堤及航道浚深拓寬工程環境監測」(1999)、「臺中港區環境調查監測分析」(1996~2009)以及中興公司「海渡火力發電廠開發計畫環境影響評估」(1999)，茲將調查成果摘要說明如下：

### 2.5.1 臺中港外海水質

由圖 2-27 臺灣地區沿海水域水體分類圖可知，臺中海域屬於王功漁港向西延伸至鼻頭角向澎佳嶼延伸線間之乙類海域。依民國 90 年 12 月 26 日修正發布之「海域環境分類及海洋環境品質標準」，乙類海域水體水質標準詳如表 2-10 所示。根據行政院環保署於 1995~2000 年辦理之「臺灣北部、中部、南部海域水質監測現況」水質調查結果統計(表 2-11)顯示，中部海域大多符合乙類海域水質標準。整體而言，此海域水體環境品質尚佳，除水溫呈季節性變化外，其餘各項目平均值變化均不大，亦無季節性變化。



海 域 範 圍	水 體 分 類
鼻頭角向彭佳嶼延伸至高屏溪口向琉球嶼延伸線間海域	甲
高屏溪口向琉球嶼延伸至曾文溪口向西延伸線間海域	乙
曾文溪口向西延伸線至王功漁港向西延伸線間海域	甲
王功漁港向西延伸線至鼻頭角向彭佳嶼延伸線間海域	乙
澎湖島海域	甲
備註：在右列之一海域水體內之河川、區域排水出海口或廢水管線排放口出口半徑二公里之範圍內之水體得列為次一級之水體。	

(中華民國九十年十二月二十六日(九〇)環署水字第〇〇八一七五〇號公告)

圖 2-27 臺灣沿海海域水體分類圖

表 2-10 地面水體分類及水質標準

地面水體分類及水質標準：行政院環境保護署 87.01.21，環署水字第 02599 號(87.6.24 增修訂)  
 海域環境分類及海洋環境品質標準：行政院環境保護署 90.12.26，環署水字第 0081750 號

水體分類基準值 <sup>(1)</sup> 水質項目		甲 類		乙 類		丙 類		丁類	戊類
		河川 湖泊	海域	河川 湖泊	海域	河川 湖泊	海域	河川 湖泊	河川 湖泊
保護生活環境相關環境基準									
pH 值		6.5-8.5	7.5-8.5	6.0-9.0	7.5-8.5	6.0-9.0	7.0-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0
溶氧		≥6.5	≥5.0	≥5.5	≥5.0	≥4.5	≥2.0	≥3.0	≥2.0
大腸桿菌群		≤50	≤1,000	≤5,000	--	≤10,000	--	--	--
生化需氧量		≤1.0	≤2.0	≤2.0	≤3.0	≤4.0	≤6.0	--	--
懸浮固體		≤25	--	≤25	--	≤40	--	≤100	無飄浮物 且無油脂
氨氮		≤0.1	≤0.3	≤0.3	--	≤0.3	--	--	--
總磷		≤0.02	≤0.05	≤0.05	--	--	--	--	--
氰化物		--	≤0.01	--	≤0.01	--	≤0.02	--	--
酚類		--	≤0.01	--	≤0.01	--	≤0.01	--	--
礦物性油脂		--	≤2.0	--	≤2.0	--	--	--	--
保護人體健康相關環境基準									
水 質 項 目									
重 金 屬	鎘	≤0.01							
	鉛	≤0.1							
	鉻(六價)	≤0.05							
	砷	≤0.05							
	汞	≤0.002							
	硒	≤0.05							
	銅	≤0.03							
	鋅	≤0.5							
	錳	≤0.05							
農 藥	有機磷劑+氨基甲酸鹽 <sup>(2)</sup>	≤0.1							
	安特靈	≤0.0002							
	靈丹	≤0.004							
	毒殺芬	≤0.005							
	安殺番	≤0.003							
	飛佈達及其衍生物 (Heptachlor, Heptachlor epoxide)	≤0.001							
	滴滴涕及其衍生物 (DDT, DDD, DDE)	≤0.001							
	阿特靈、地特靈	≤0.003							
	五氯酚及其鹽類	≤0.005							
	除草劑 <sup>(3)</sup>	≤0.1							

備註：整理自地面水體分類及水質標準(87.06.24.修正)與海域環境分類及海洋環境品質標準(90.12.26.訂定)

1. 保護人體健康相關環境基準值係以對人體具有累積性危害之物質，具體標示其基準值。
2. 基準值以最大容許值表示。
3. 全部公共水域一律適用。
4. 其他有害水質之農藥，其容許量由中央主管機關增訂公告之。

附註：(1)各水質項目之單位：pH 值無單位，大腸桿菌群 CFU/100 mL，其餘均為 mg/L。

(2)有機磷質係指巴拉松、大利松、達馬松、亞素靈、一品松，氨基甲酸鹽係指滅必蟲、加保扶、納乃得。

(3)除草劑係指丁基拉草、巴拉刈、2,4-地。

表 2-11 臺灣北、中、南部海域水質調查統計表

海域 調查項目	北部(含宜蘭海域) 宜蘭(87年3月~89年3月) 北部(87年12月~88年11月)		中部 中部沿海海域 (84年8月~89年3月)		南部 南部沿海海域 (86年9月~89年5月)		全部 (84年8月~89年5月)	
	測值範圍	合格/樣品數	測值範圍	合格/樣品數	測值範圍	合格/樣品數	測值範圍	合格/樣品數
酸鹼值	7.34~9.0	256/260 (98.5%)	7.85~8.40	492/492 (100%)	7.3~8.56	350/352 (99.4%)	7.3~9.0	1098/1104 (99.5%)
溶氧 (mg/L)	3.63~	162/164 (98.8%)	2.56~9.46	489/492 (99.4%)	0~12.9	329/352 (93.5%)	0~12.9	980/1008 (97.2%)
BOD (mg/L)	ND~3.2	47/48 (97.9%)	ND~5.8	455/492 (92.5%)	ND~14.5	302/352 (85.8%)	ND~14.5	804/892 (90.1%)
大腸桿菌 (CFU/100mL)	0~	113/116 (97.4%)	0~24000	483/492 (98.2%)	0~200000	350/352 (99.4%)	0~200000	946/960 (98.5%)
銅 ( $\mu$ g/L)	ND~26	80/80 (100%)	<0.5~12.6	378/378 (100%)	ND~1614.3	316~352 (89.8%)	ND~1614.3	774/810 (95.6%)
鋅 ( $\mu$ g/L)	ND	77/80 (98.8%)	ND~60.7	376/378 (99.5%)	ND~95.1	344/352 (97.7%)	ND~126.2	797/810 (95.6%)
鉛 ( $\mu$ g/L)	ND~44.4	80/80 (100%)	ND~55	360/360 (100%)	ND~55	352/352 (100%)	ND~55	792/792 (100%)
鎘 ( $\mu$ g/L)	ND~26.3	79/80 (98.8%)	ND~2.3	360/360 (100%)	ND~26.3	352/352 (100%)	ND~26.3	791/792 (99.9%)
鉻 ( $\mu$ g/L)	—	48/48 (100%)	ND~1.6	360/360 (100%)	ND~10.3	352/352 (100%)	ND~10.3	760/760 (100%)
汞 ( $\mu$ g/L)	ND~2.08	79/80 (98.8%)	ND~19.0	350/360 (97.2%)	ND~19.0	310/352 (88.1%)	ND~19.0	739/793 (93.3%)
砷 ( $\mu$ g/L)	ND~4.4	80/80 (100%)	<0.5~8.0	360/360 (100%)	ND~9.0	352/352 (100%)	ND~9.0	792/792 (100%)
硒 ( $\mu$ g/L)	—	—	—	—	ND~3.6	102/102 (100%)	ND~3.6	102/102 (100%)
全部	1101/1116 (98.7%)		4463/4524 (98.7%)		3811/3974 (95.9%)		9375/9614 (97.5%)	

註：1.雖宜蘭沿海海域監測期與北部沿海海域不同，為了瞭解整個北部海域的海水現況，將其併入北部中討論。

2.—：表未檢測

3.ND表低於其檢測極限

由環保署於臺中港沿海設置之 5 處海域水質測站，歷次之水質監測結果顯示(民國 86 年 7 月至 99 年 12 月)，其 pH 均能符合其所屬之乙類海域水質標準，溶氧量亦可符合標準。而早期(86 年 7 月至 90 年 9 月)總磷於臺中港沿海一與沿海二測站曾高於參考之甲類海域標準(乙類無標準)，氨氮(94 年 3 月至 99 年 12 月)則均能符合參考之甲類標準。重金

屬方面臺中港沿海二曾出現 1 次銅略高於海域標準外，其餘均能符合標準。此外，歷年曾多次出現正磷酸鹽偏高且高於總磷標準之情形。

而環保署於 100 年度 3 月及 5 月與 8 月之臺中港沿海 5 測站監測結果(表 2-12)於一般水文方面(水溫、鹽度、酸鹼度與溶氧量)均無異常，酸鹼度變化不大，介於 8.1~8.2 之間，溶氧量則介於 6.2~8.8 mg/L，均可符合乙類海域水質標準。懸浮固體物濃度亦無異常，介於<2.0~7.9 mg/L 之間；營養鹽方面其氮介於<0.01~0.19 mg/L，無異常且可符合參考之甲類海水標準(乙類海域無標準)，磷方面正磷酸鹽於 3 月採樣時，其大肚溪口外 4 海浬處(測值 0.104 mg/L)有略微偏高且超出參考之甲類海水標準(乙類海域無標準)之情形，由該處鹽度略微偏低且矽酸鹽濃度相對其他測站為最高顯示，採樣當時該處表層海水可能受到來自大肚溪河水的影響，導致正磷酸鹽略微升高(圖 2-28)，8 月於大安溪口亦出現正磷酸鹽略高。重金屬方面於銅、鎘、鉛、鋅、鉻與汞方面皆無異常且均能符合海域水質標準。

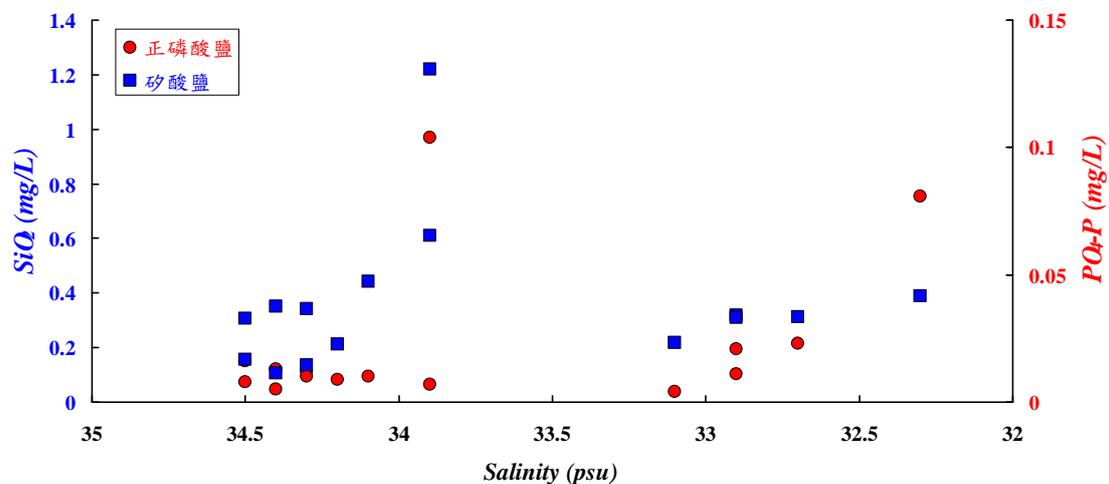


圖 2-28 2011 年臺中港沿海環保署測站水質矽酸鹽與正磷酸鹽對鹽度分布圖(資料來源：環保署水體資料庫)

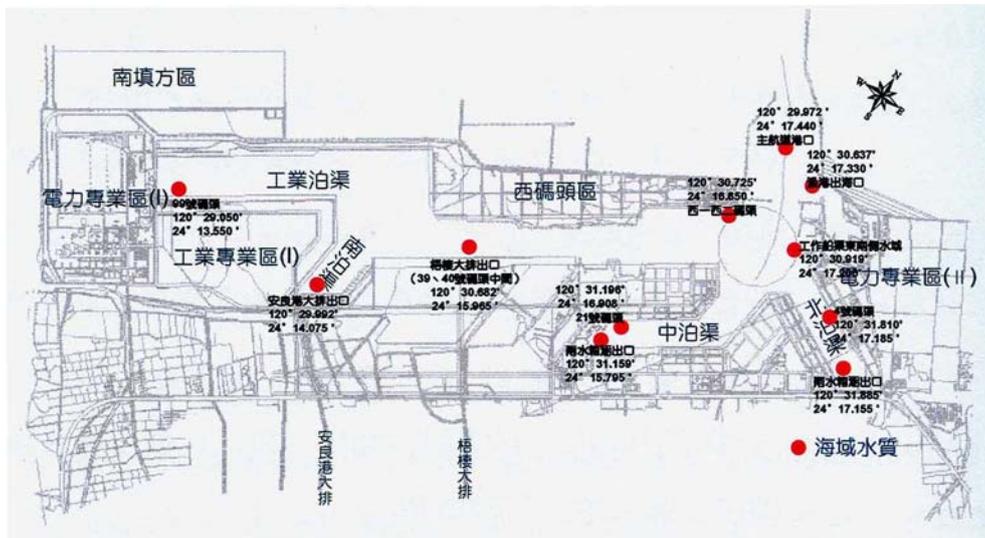
資料來源：行政院環保署「臺灣北部、中部、南部海域水質監測現況」

表 2-12 臺中沿海 2011 年海域水質檢測結果(環保署水體品質資料庫)

測站名稱	採樣日期	時間 時:分	採樣 深度 (m)	氣溫 (°C)	水溫 (°C)	鹽度 (psu)	酸鹼值	溶氧 (電極法) (mg/L)	懸浮 固體 (mg/L)	葉綠素 a (µg/L)	硝酸鹽 氮 (mg/L)	亞硝酸鹽 氮 (mg/L)	正磷酸鹽 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	矽酸鹽 (mg/L)	鎘 (mg/L)	鉻 (mg/L)	銅 (mg/L)	鉛 (mg/L)	鋅 (mg/L)	汞 (mg/L)
大安溪口	2011/3/14	12:48	1	21.0	24.2	34.4	8.2	7.1	<2.0	0.6	0.01	0.002	0.013	0.01	0.350	0.00002	<0.001	0.0007	0.0001	0.0025	<0.0003
臺中港沿海一		12:07	1	20.2	24.6	34.3	8.2	7.0	<2.0	0.6	<0.01	0.002	0.010	<0.01	0.342	0.00002	<0.001	0.0011	0.0001	0.0023	<0.0003
臺中港沿海二		11:48	1	19.6	23.4	34.1	8.2	7.2	<2.0	1.1	0.02	0.005	0.010	0.01	0.442	0.00001	<0.001	0.0004	0.0001	0.0016	<0.0003
大肚溪口		11:19	1	19.2	23.2	33.9	8.2	7.3	<2.0	1.0	0.05	0.010	0.007	0.04	0.610	0.00001	<0.001	0.0004	0.0001	0.0019	<0.0003
大肚溪口外 4 海裡		11:00	1	19	23.2	33.9	8.2	7.2	2.0	1.2	0.16	0.031	<b>0.104</b>	0.19	1.22	0.00003	<0.001	0.0005	0.0003	0.0027	<0.0003
大安溪口	2011/5/17	08:10	1	25.9	25.2	34.5	8.1	8.0	2.3	3.3	<0.001	<0.001	0.016	0.12	0.156	0.00001	<0.001	0.0003	0.0001	0.001	<0.0003
臺中港沿海一		07:19	1	25.4	25.9	34.2	8.1	8.8	<2.0	4.5	0.05	0.002	0.009	0.01	0.212	0.00002	<0.001	0.0003	<0.0001	0.0015	<0.0003
臺中港沿海二		07:03	1	25.2	25.5	34.4	8.1	8.7	<2.0	4.1	0.02	0.001	0.005	0.02	0.105	0.00002	<0.001	0.0002	0.0001	0.0015	<0.0003
大肚溪口		10:37	1	24.1	25.8	34.3	8.2	8.1	7.5	7.7	0.04	0.002	0.012	0.03	0.136	0.00002	<0.001	0.0003	0.0001	0.0016	<0.0003
大肚溪口外 4 海裡		10:19	1	24.1	25.1	34.5	8.2	8.0	5.0	4.7	0.01	<0.001	0.008	0.02	0.306	0.00002	<0.001	0.0002	0.0001	0.0013	<0.0003
大安溪口	2011/8/16	09:00	1	25.9	30.5	32.3	8.1	6.2	5.1	3.8	0.04	0.003	<b>0.081</b>	0.03	0.388	0.00002	<0.001	0.0003	0.0001	0.0016	<0.0003
臺中港沿海一		08:14	1	25.4	30.1	32.9	8.1	6.2	2.9	3.1	0.03	0.003	0.011	0.03	0.318	0.00003	<0.001	0.0003	0.0001	0.0016	<0.0003
臺中港沿海二		07:59	1	25.2	30.1	33.1	8.1	6.3	2.3	1.3	0.01	0.002	0.004	0.02	0.218	0.00002	<0.001	0.0002	0.0001	0.001	<0.0003
大肚溪口		11:20	1	24.1	30.4	32.9	8.1	6.2	6.4	2.2	0.02	0.003	0.021	0.04	0.310	0.00002	<0.001	0.0004	0.0005	0.0017	<0.0003
大肚溪口外 4 海裡		10:56	1	24.1	30.3	32.7	8.1	6.4	3.6	1.5	0.02	0.003	0.023	0.04	0.311	0.00002	<0.001	0.0004	0.0007	0.0057	<0.0003

## 2.5.2 臺中港港內水質

臺中港務局自民國 85 年起即委託檢測公司按季進行港區、以及上游各大、中排水路持續進行水質監測，依據「臺中港區環境調查監測分析」歷年報告(民國 85 年至民國 99 年)，各測站相關之監測位置如圖 2-29 所示。其中以來自生活、畜牧廢污水產生之營養鹽類如氮氮與總磷常有不符地面水水質之上限，分別說明如下。



資料來源：臺中港務局「97 年度臺中港區環境調查監測分析」

圖 2-29 臺中港港內海域水質監測點位圖

## 1. 氨氮

各測站氨氮濃度(圖 2-30)以梧棲大排出口為最高，安良港大排出口次之，梧棲大排出口歷年漲退潮氨氮濃度約在 0.05~20.26 mg/L 間；安良港大排出口漲退潮氨氮濃度約在 0.05~5.3 mg/L 間，遠高於其他測站，此二水域氨氮濃度偏高易消耗水中溶氧而使水體呈厭氧狀態，水質環境變差，但自 97 年起梧棲大排出口與安良港大排出口氨氮濃度呈現逐漸下降並趨於穩定，水質漸趨改善。

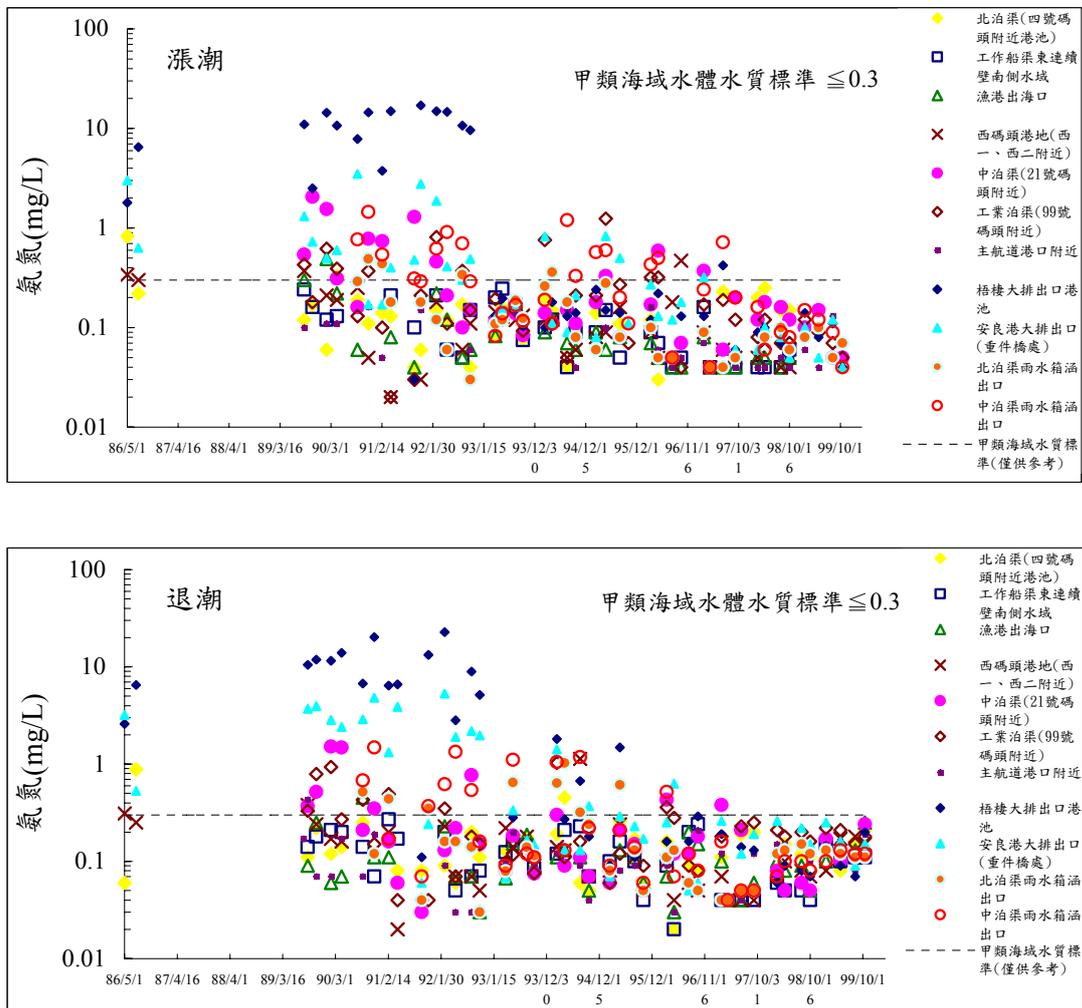


圖 2-30 臺中港港內歷年氨氮監測值

## 2. 總磷

顯示各測站總磷歷年監測成果。歷年各測站總磷測值(圖 2-31)介於  $<0.02 \sim 1.54 \text{ mg/L}$  之間，尤以梧棲大排出口與安良港大排出口處漲退潮總磷遠高於其他測站，由於水體藻類之生成量與磷之負荷有密切關聯，需注意總磷濃度過高易造成藻類繁生，衍生水域優養化問題。

整體而言，自 97 年底起各測點水質狀況漸趨穩定，且多符合乙類海域水體水質標準，而過去位居梧棲大排出口處與安良港大排出口處部分港域水質測項濃度偏高且超標之情形已獲改善，水質漸趨良好。

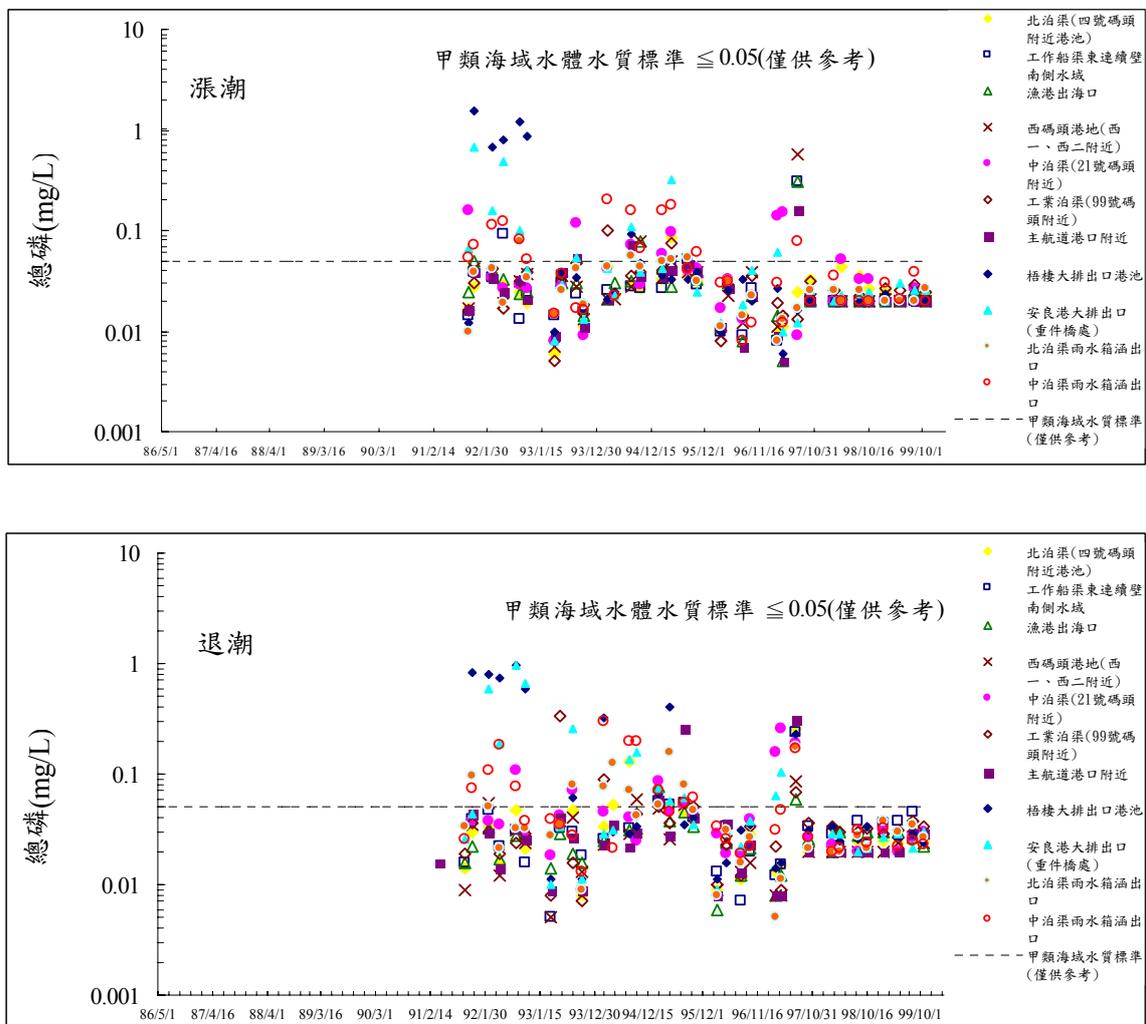


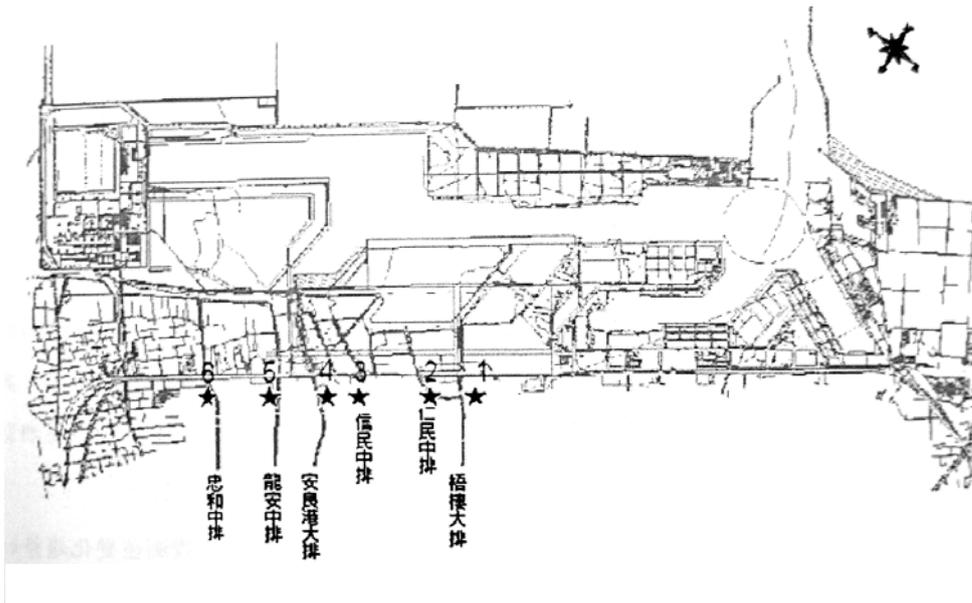
圖 2-31 臺中港港內歷年總磷監測值

### 2.5.3 臺中港海域底質

由臺中港務局全球資訊網之臺中港區環境品質監測狀況顯示，其底泥污染調查項目包含總有機物與重金屬(銅、鎘、鉛、鋅、鉻、鐵、鋁、錳及砷、汞)，調查資料自民國 96 至 99 年間(，其中 98 年度底泥監測結果，於有機物及重金屬濃度方面均較 97 年為明顯下降，推估可能為新沉積之泥砂吸附之污染物較少，導致新沉降之表層底泥重金屬濃度相對偏低。而 99 年度底泥監測結果無明顯異常現象，各測站間差異不顯著。各測點總有機物測值介於 0.155~0.532%，砷測值介於 5.50~9.62mg/kg，汞測值介於 N.D.~0.141 mg/kg，鉛測值介於 14.1~28.3 mg/kg，鋅測值介於 68.1~128 mg/kg，銅測值介於 13.5~36.8 mg/kg，鎘測值介於 <0.50 mg/kg，鉻測值介於 19.0~66.9 mg/kg，鐵測值介於 13600~39200 mg/kg，鋁測值介於 18400~22000 mg/kg，錳測值介於 200~460 mg/kg。

## 2.6 陸域水質

臺中港區港池呈狹長型，長約 7~8 km，水域寬度則僅約 0.5 km，水質由於受到上游排水路家庭及工業廢水排入港內，加以港內潮汐漲退之影響，致港內水質變化較大。依據臺中港務局「臺中港區環境調查監測分析」歷年調查結果(監測位置如圖 2-32 所示)。整體而言，陸域水質狀況不佳，各中、大排水路除了生活、畜牧污水排入外，又因緊鄰工業區，亦可能受工業廢水影響。在溶氧、生化需氧量、懸浮固體、大腸桿菌群、氨氮及總磷等項目多無法符合「陸域水體水質標準」，且因水體富含有機營養物，導致溶氧時常出現偏低(圖 2-33)；而氨氮(圖 2-34)及總磷(圖 2-35)常遠高標準值，顯示上游排水路受到來自生活、畜牧污水嚴重污染。



資料來源：臺中港務局「97年度臺中港區環境調查監測分析」

圖 2-32 陸域水質監測點位圖

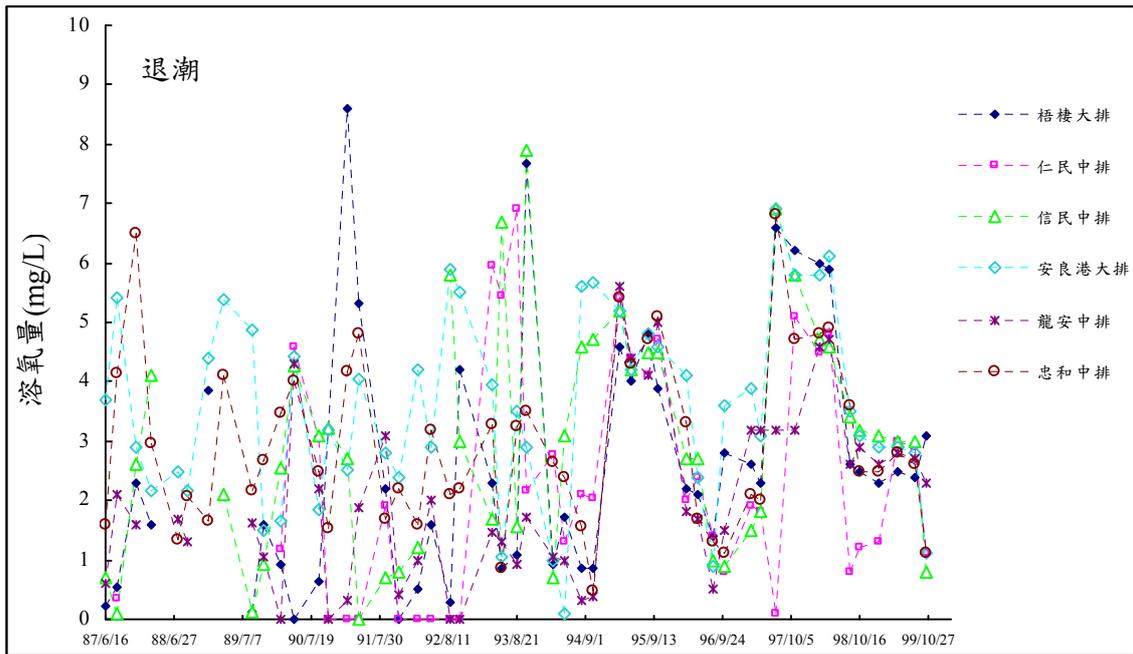
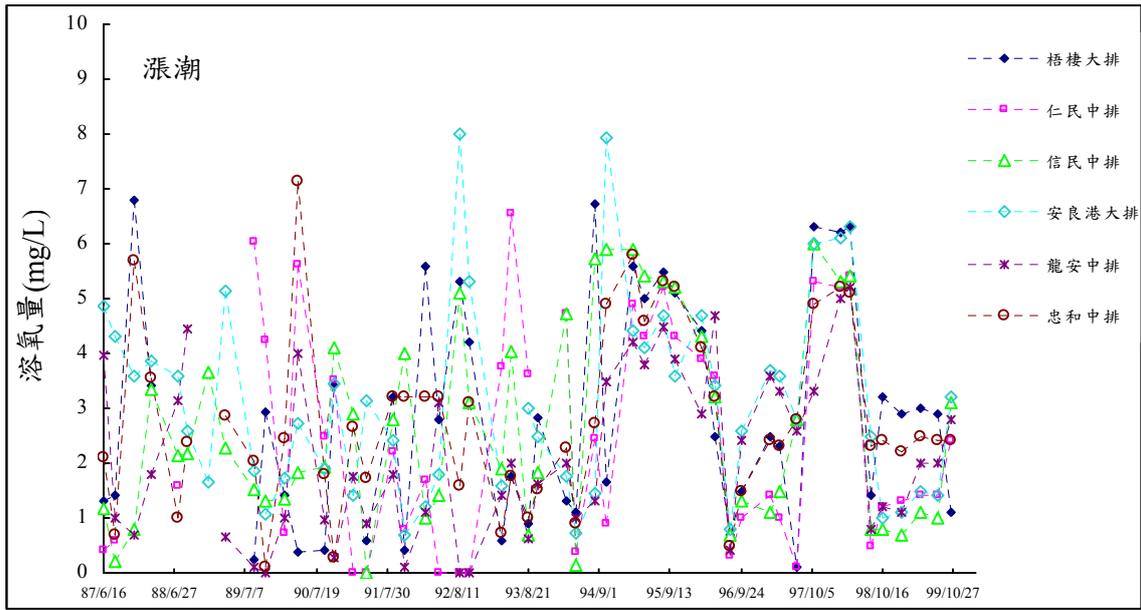


圖 2-33 上游陸域水質之歷年溶氧量監測值

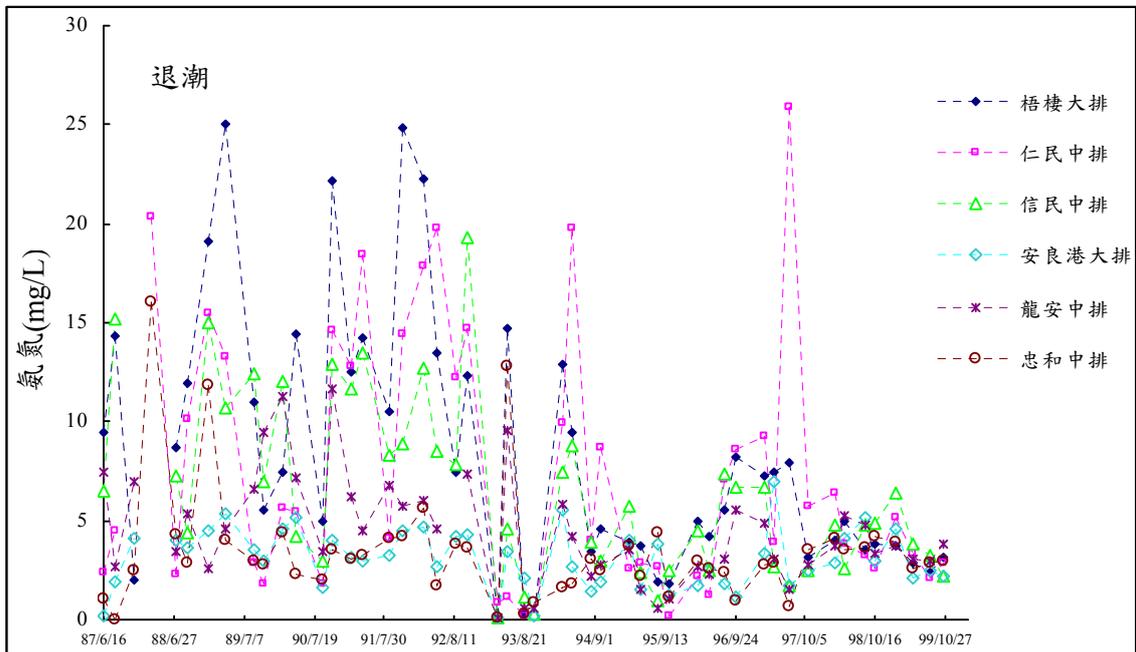
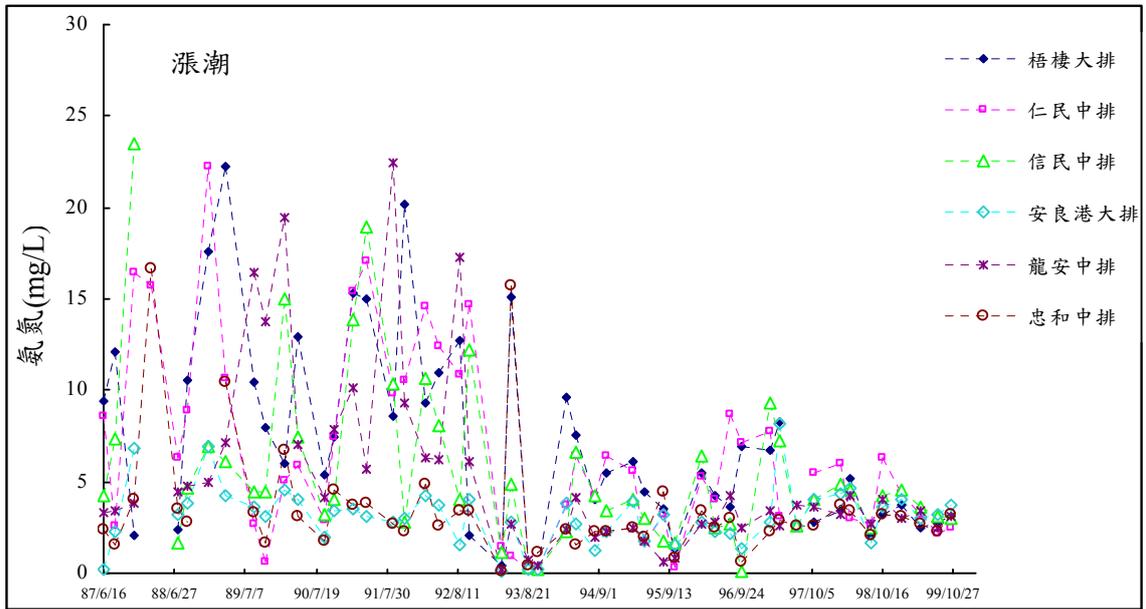


圖 2-34 上游陸域水質之歷年氨氮監測值

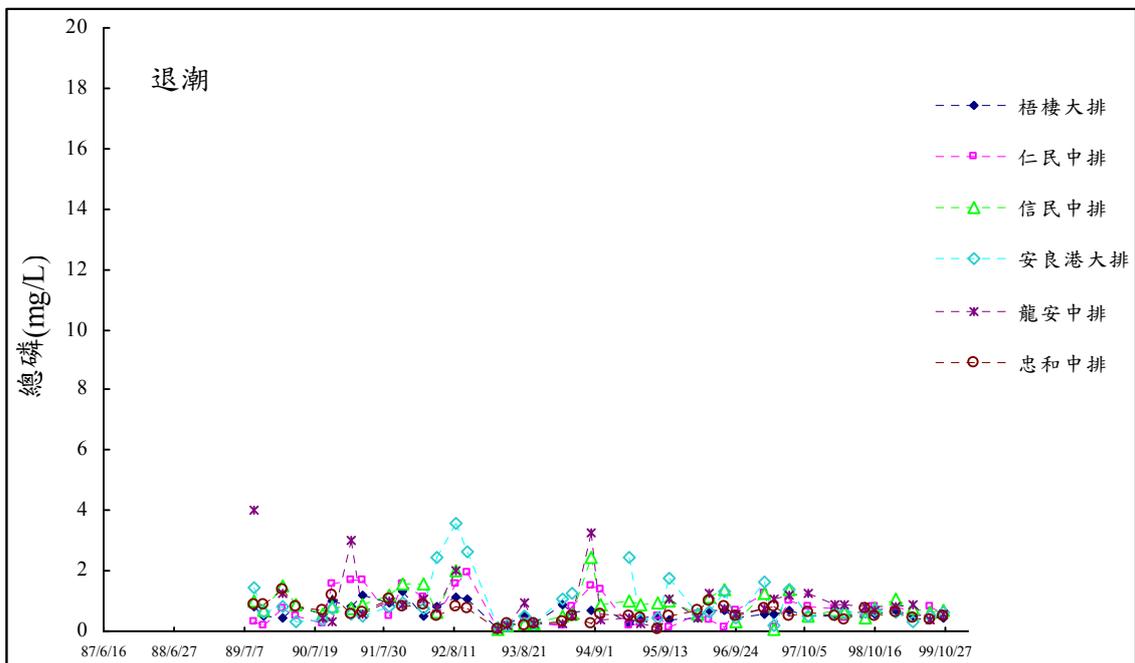
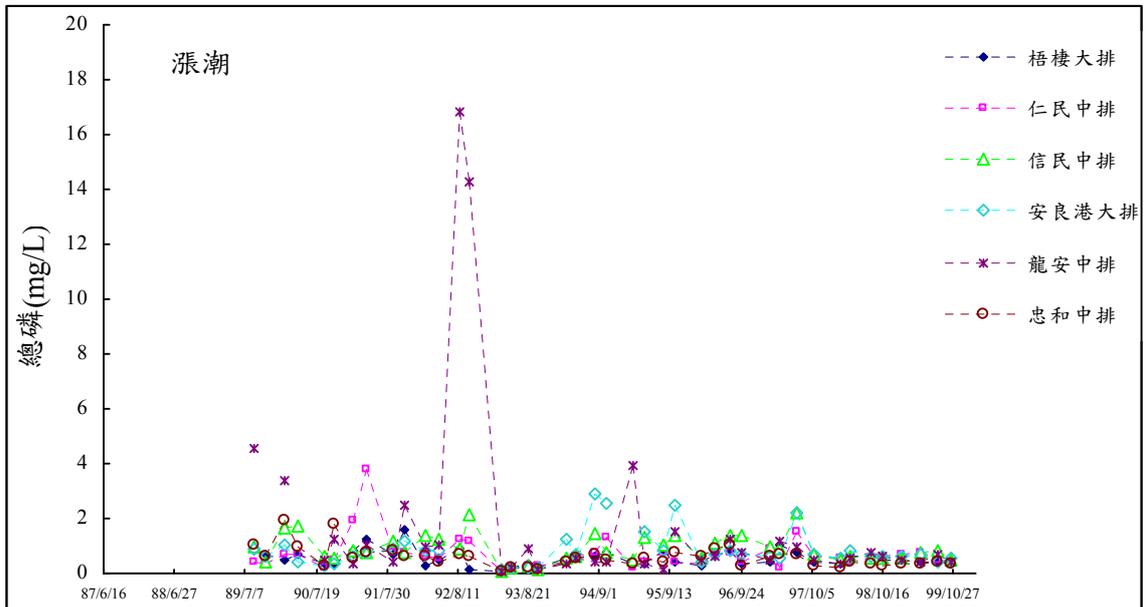


圖 2-35 上游陸域水質之歷年總磷監測值

## 2.7 海域生態

依據臺中港務局 98 年度環境調查結果顯示 (<http://www.tchb.gov.tw/Data/default.htm>)，浮游植物的群聚結構穩定而不易受環境影響，浮游植物的物種豐富且無明顯優勢種類的出現。浮游動物的群聚結構雖會受到環境的影響而改變，但衝擊較小，其優勢種為哲水蚤。全年皆可捕獲環節、軟體及節肢動物，相較與港區外，港區內的底棲生物比較容易受環境影響而改變。魚類方面全年皆可捕獲仰口鰻及日本帶魚，底棲魚類群聚穩定不易受環境影響。

另由 99 年度海域生態調查結果顯示，臺中港附近海域浮游植物的物種豐富，個體數年平均值皆在 104 cell/L。本海域 4 個季節皆可採集到魚卵，顯示為魚類的產卵場；浮游動物物種的第 1、2 季的均勻度指數平均為 0.75 及 0.77，顯示種間個體數分布均勻，第 3、4 季所捕獲的浮游動物，因受哲水蚤數量偏高而使其浮游動物的分布較不均勻。由聚類分析圖分析的結果顯示，臺中港附近海域之底棲生物的群聚結構整體而言可區分港區內與港區外，港外區域尚有地緣關係，港內測站的群聚結構分區不顯著，因此環境改變對港區內的影響較港區外為大；底棲生物就採獲量最高的種類來看，第 1 季為明亮櫻蛤最高，第 2 季是明亮櫻蛤、海膽最高，第 3 與第 4 季則是以虎斑烏賊為優勢種類，物種的均勻度受某一種類的大量出現而導致其分布不均。臺中港附近海域底棲魚類的群聚結構，港區外的 3 個測站具有地緣關係，因此群聚結構穩定不易受到環境影響而改變。各測站優勢種生物重金屬含量大致符合國內外所訂定之水產重金屬含量最大限量標準。

此外，依據「臺中港西一號碼頭後線第三儲槽及附屬設施興建工程環境影響說明書(95 年度)」中顯示，當時曾於 93 年 4 月 2 日(第 1 季)、5 月 23 日(第 2 季)、8 月 20 日(第 3 季)及 10 月 10 日(第 4 季)，共進行 4 季次海域生態調查(測站如圖 2-36)進行調查，其結果摘述如下：

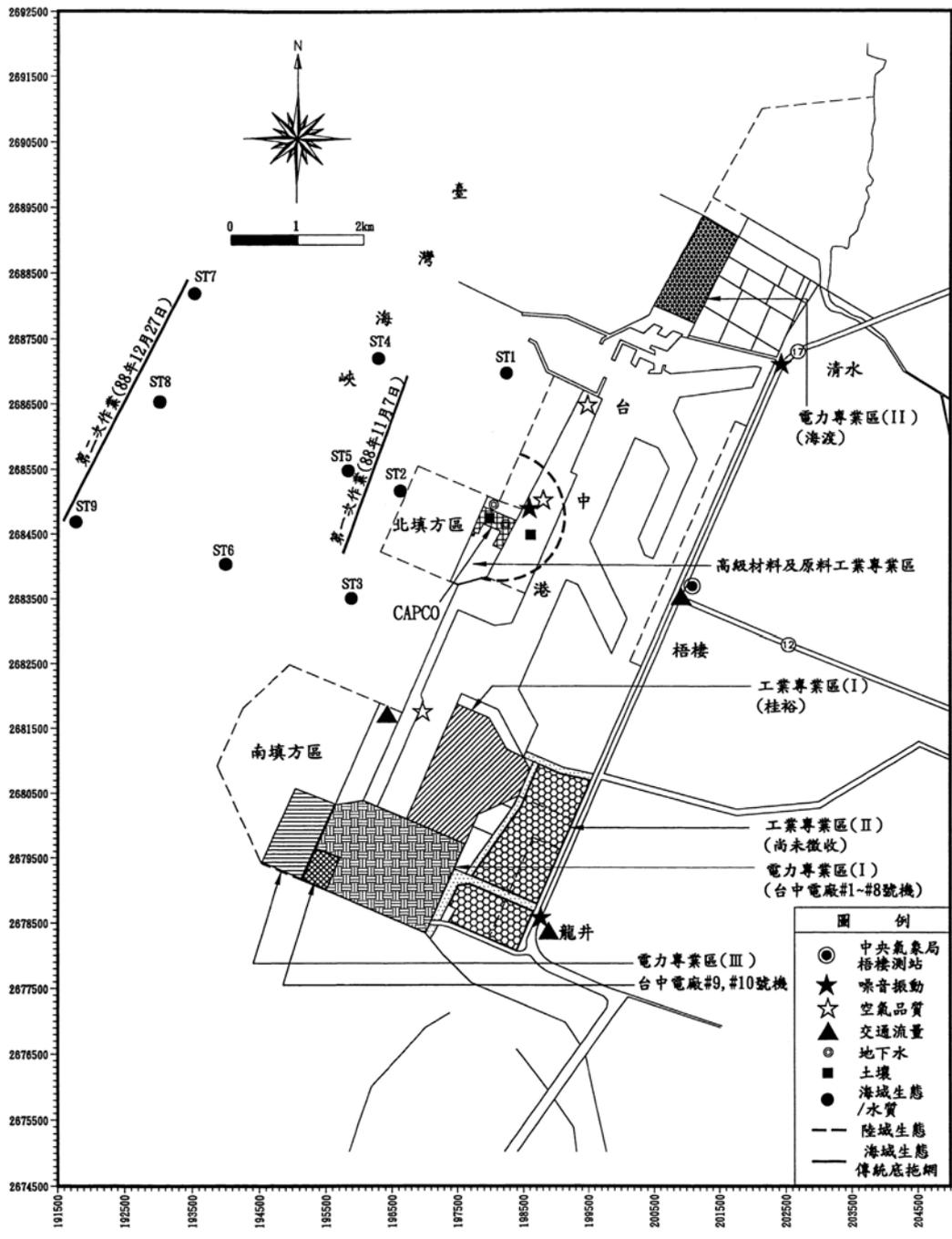


圖 2-36 臺中港西一號碼頭後線第三儲槽及附屬設施興建工程環境影響說明書海域生態監測站位置分布圖

### 2.7.1 浮游植物

第 1 季採樣時總計採得 50 屬 126 種浮游植物，其中以金黃藻門(CHRYSOPHYTA)矽藻綱(Bacillariophyceae)之藻類為主；在較靠近港池之測站中採得矽藻 42 屬 85 種，離岸測站採得矽藻 40 屬 94 種。第 2 季採樣時總計採得 41 屬 99 種浮游植物，其中以金黃藻門矽藻綱之藻類為主；較靠近港池之測站採得矽藻 34 屬 84 種，離岸測站採得矽藻 27 屬 59 種。第 3 季採樣時總計採得 36 屬 77 種浮游植物，其中以金黃藻門矽藻綱之藻類為主；較靠近港池之測站採得矽藻 31 屬 64 種，離岸測站採得矽藻 27 屬 49 種。第 4 季採樣時總計採得 36 屬 76 種浮游植物，其中以金黃藻門矽藻綱之藻類為主；較靠近港池之測站採得矽藻 32 屬 57 種，離岸測站採得矽藻 29 屬 57 種。

### 2.7.2 浮游動物

全年浮游動物調查結果總計採得 7 大類 17 種浮游動物，依百分比為序分別為節肢動物門(ARTHROPODA)甲殼綱(Crustacea) 83.23%、腔腸動物門(COELENTERATA) 6.21%、毛顎動物門(CHAETOGNATHA) 3.91%、被囊亞門(TUNICATA) 2.39%、軟體動物門(MOLLUSCA) 1.79%及環節動物門(ANNELIDA)多毛類綱(Polychaeta) 0.71%。最優勢浮游動物為節肢動物門甲殼綱的哲水蚤(*Calanus fimmachicus*)、其次為太平洋紡錘金蚤(*Acartia pacifica*)、再其次為對蝦科(Penaeidae)幼生及螢蝦科(Luciferidae)生物。以浮游動物數量而言，水溫較高之季節，生物量也較高。

### 2.7.3 底棲生物

底棲生物調查期間共計採獲腔腸動物門(COELENTERATA)、環節動物門(ANNELIDA)、節肢動物門(ARTHROPODA)甲殼綱(Crustacea)、軟體動物門(MOLLUSCA)、棘皮動物門

(ECHINODERMATA)及脊索動物門(CHORDATA)魚上綱(Pisces)等六大類計 26 種底棲生物。其中以甲殼綱生物被採集到的種類最多，共計採得 10 種；其次為軟體動物門生物，共計採得 9 種。甲殼綱生物中，以槍蝦(*Alpheus lobidens*)、角突仿對蝦(*Parapenaeopsis cornuta*)及中型毛蝦(*Acartes intermedius*)等 3 種為最多。若按採樣區位劃分：臨近臺中港之測站中，係以軟體動物門之櫻蛤幼貝(*Moerella* sp.)為最優勢種，約佔 25.22%；其次為環節動物門的強鱗蟲(*Sthenolepis* sp.)，約佔 19.35%；再其次為軟體動物之白豆厚唇螺(*Ringicula doliaria*)，約佔 15.54%。離岸之測站則以甲殼類之長角仿對蝦(*Parapenaeopsis haradwickii*)為最優勢種，約佔 40.83%；其次為斷脊似口蝦蛄(*Oratosquilla interrupta*)，約佔 15%。

#### 2.7.4 魚類

魚類調查係以流刺網在表、中水層進行採樣，另外再以底拖採集底層魚類標本。表層共採得 1 目 2 科 2 種之魚類標本，中層共採得 5 目 15 科 18 種之魚類標本，底層共採得 4 目 4 科 4 種之魚類標本，合計全水層共採得 5 目 15 科 18 種之魚類。最優勢之魚種為粗紋鰻(*Leiognathus lineolatus*)，共採得 5498 尾；其次為杜氏綾鯷(*Thryssa dussumien*)，共採得 104 尾；再其次為丁氏叫姑魚(*Johnius distinctus*)，共採得 58 尾；排名為第四優勢種的魚類為大頭花桿狗母(*Trachinocephalus myops*)數量為 41 尾。

#### 2.7.5 生態指數變化

歷年臺中港域生態指數變動以時間序列統計解析後顯示，浮游動、植物與底棲生物整體多樣性指數-歧異度變化顯示有很明顯之季節性變動，季節性變動多呈現每年第 2 季(4~6 月)最低，第 4 季(10~12 月)最高之趨勢(圖 2-37)。濾除季節性變動後，長期趨勢呈現高低起伏不一且維持在一定變動範圍內，無特別明顯之升高或降低趨勢(圖 2-38)。經濾除季節性變動成份後，整體生態指數變動長期趨勢呈現高低起伏不

一旦維持在一定變動範圍內，無特別明顯之升高或降低趨勢。由生物指標之時間序列分析結果顯示，本海域生態之長期變動，主要係受季節性之影響。

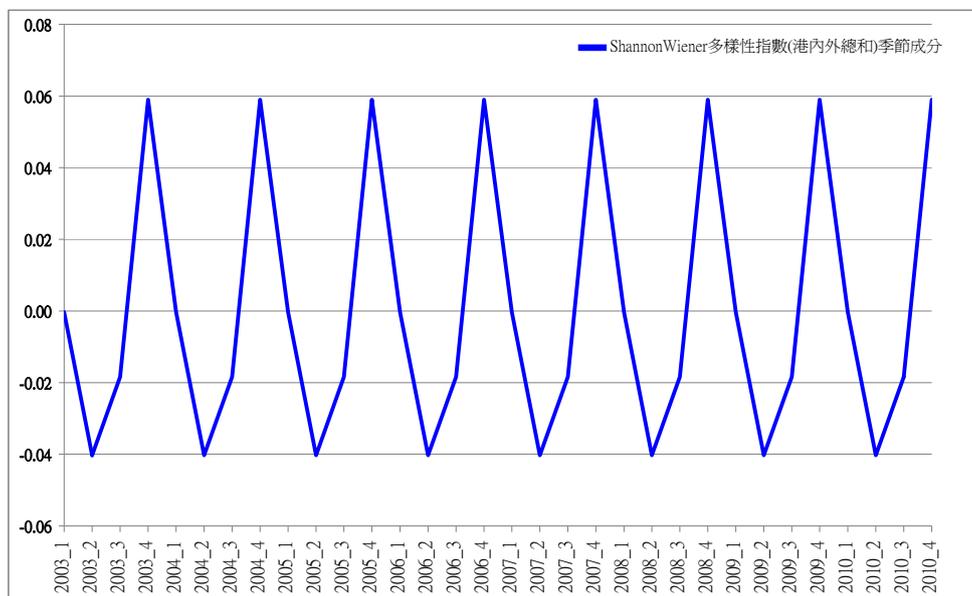


圖 2-37 臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態歧異度變化時間趨勢

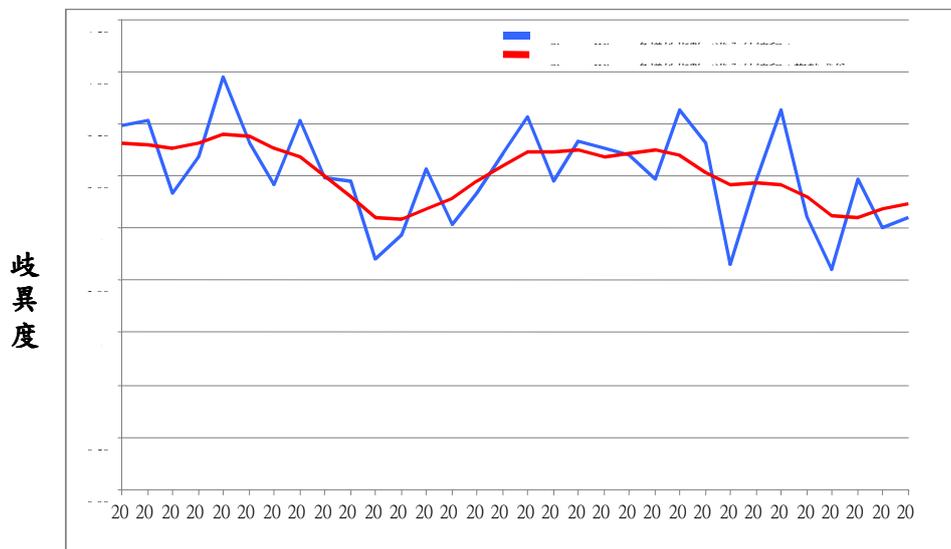


圖 2-38 臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態歧異度變化濾除季節變動成份之趨勢

## 2.8 船舶壓艙水議題

近年來，外來種侵襲事件頻傳，大多歸因於國際貿易的發展人為活動增加，因而加快物種散播至其他區域(Mack and Lonsdale, 2001)。全球 80%~90%的貿易是經由海洋所運送，海運為全球經濟流通的主要關鍵，在船舶運輸的同時，每年也運送大約 30-50 億噸的壓艙水(IMO, 2008)。由此可知，航運運輸量的變化與全球壓艙水運送量彼此相互影響，而世界各地的海洋環境也因航運運輸量的成長使得受生物侵襲威脅可能性增加。以美國海洋與海岸環境為例，Ruiz et al. (2000)便指出航運是導致該國家海域受到生物侵襲的主要原因，對海岸生態而言，船舶進出某區域的次數，代表物種透過船舶壓艙水或船殼傳遞的機會多寡(Verling et al., 2005)，而透過壓艙水所釋放之物種則是最常見外來種生物傳播方法之一(Ruiz et al., 1997)。

### 2.8.1 壓艙水引進外來種之影響

在 1900 年以前，船舶所使用的固體壓艙物一般為石塊、砂子和泥土，並在目的地裝貨時將壓艙物卸下(Mills et al., 1993)，由於固體壓艙物可能含有植物種子或樹幹，使得此時期之侵襲物種大多是植物。在 20 世紀後，開始廣泛地使用壓艙水做為船舶壓艙之物，特別是五大湖航道開通後，大量的外來種、浮游動植物移入五大湖流域(Ricciardi A. 2006)，壓艙水成為外來物種導入的原因之一。因壓艙水含有許多散佈在各區域中的多種生物(Harvey et al., 1999)，許多生物具有浮游體的生命週期以至於能透過壓艙水而傳遞(McGee et al., 2006)，其中因船舶運輸而意外導入的水生物種(Aquatic nuisance species, ANS)或外來種(Non-indigenous species, NIS)，如：舊金山灣的亞洲蛤(Asian Clam, *Potamocorbula amurensis*)、美國聖勞倫斯五大湖的斑馬貽貝(Zebra mussels, *Dreissena polymorpha*)以及黑海的櫛水母(Comb jelly, *Mnemiopsis leidyi*)都是相當有名的例子(Carlton and Geller, 1993)。目前更有研究指出壓艙水能運送珊瑚病原體(Aguirre-Macado et al., 2008)。此外，壓艙水櫃還能運送浮游植物囊胞體(Cyst-forming Phytoplankton)

(Hallegraeff et al., 1991; Hallegraeff et al., 1992; Hamer et al., 2001; Macdonald and Davidson, 1998; McCollin et al., 2000)，致使壓艙水成為有害藻華增生的原因之一(Smayda, 2007)，例如 Bolch and Salas(2007)便以分子技術驗證 *G. Catenatum* 是從日本瀨戶內海經由船舶壓艙水導入紐西蘭和澳洲東南方海域，證實壓艙水具有裝載運送動植物的能力。而伴隨著航運發展與壓艙水的使用，促使國際間因船舶壓艙水導入外來種之情形日漸嚴重，亦使得外來種所造成之生態或經濟衝擊更為廣泛。

## 2.8.2 壓艙水相關法規訂定

水生物透過壓艙水入侵到新環境、陸源污染、水生物資源過度開發、海洋棲息地物理性改變及破壞等，為當前海洋面臨的四大威脅。1980 年代以來，聯合國及國際海事組織開始重視海洋環境保護問題，制定了一系列公約、大會決議案和指導性文件，加強船舶壓艙水控制和管理，例如：1982 年《聯合國海洋法公約》(United Nations Convention of the Law Of the Sea, UNCLOS); 1992 年《生物多樣性公約》(Convention on Biological Diversity, CBD)，聯合國環境與發展大會要求國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)考慮制訂有關壓艙水排放規則；1993 年 IMO A .774(18)號決議，將解決有害水生物和病原體傳播置於重要地位；1997 年，國際海事組織制定《關於控制和管理船舶壓艙水，減少有害水生物和病原體傳播的指導方針》；2004 年，於英國倫敦召開國際海事組織大會，通過《國際船舶壓艙水和底質控管公約》(The International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water & Sediments , BWM Convention)，為壓艙水及其底泥的管理和控制提供了具有法律約束力的規定。

### 1. 聯合國海洋法公約

聯合國海洋法公約中有許多規範是為了避免各國「傳播有害生物體」及「透過船舶壓艙水操作成為傳輸途徑」這些行為的「權利」與

「責任」而制定，當各個沿海國有了聯合國海洋法公約所賦予的權利之後，便可以進行相關國內法律的制定，進一步對於權責範圍內的區域進行壓艙水管理。聯合國海洋法公約第 192 條中提及：「各國皆有保護及維護海洋環境的義務」，並於第 194 條第一項及第五項明確說明，各國必須採取一些必要措施，用來防止、減少和控制海洋環境污染的來源，並且保護稀有及脆弱的海洋生態系統、防止海洋生物族群減少或受到威脅、甚至是有滅絕危機的海洋生物之棲息地。於第 196 條第一項中提及：「各國應採取一切必要措施以防止、減少和控制由於在其管轄或控制下使用技術而造成的海洋環境污染，或由於故意或偶然在海洋環境某一特定部分引進外來的或新的物種，致使海洋環境可能發生重大和有害的變化」，其重點在於「採取措施」，港口國有權利對於防止壓艙水污染採取必要的管理措施，透過制定國內法或是港口國管制標準，皆能有效達到管理之效。故各國就已注意到應對於保護海洋環境做出規範，並在之後的《生物多樣性公約》中做出相關保護的目標，其中通過船舶壓艙水轉移的有害水生物和病原體、外來物種對於生物多樣性的威脅等議題在 1998 年《生物多樣性公約締約國大會 (COP4)VI/5》做出決議，並且於 2002 年《生物多樣性公約締約國大會 (COP6)VI/23》決議，內容針對關於海洋和海岸生態系統的保護及永續性利用、外來物種對生態系統、棲息地和本土物種的威脅等。

## 2. 生物多樣性公約

《生物多樣性公約》確保生物多樣性的保育與永續利用，透過適當的資金，公平合理分配基因資源使用所獲得的利益，包括基因資源取得的管道及相關科技的移轉。各締約國應配合其特殊國情與能力，整合相關部門的策略、計畫及方案以達生物多樣性保育及永續利用。恢復與重建瀕臨絕滅的物種，採行措施以保護區域內的多樣性生物資源。

「生物多樣性」是泛指了所有形形色色的生物體，這些來源包括陸地、海洋和其他水生生態系統以及多樣區域所構成的生態綜合體；

範圍包括物種本身群體、與其他物種之間的互動、以及和生態系統交互的各式多樣性，而其中「生態系統」是指植物、動物和微生物群落再加上無生命環境綜合起來，形成一個生態互相交互作用而形成的一個動態複合體。因此，海洋即是一個充滿生物多樣性的大型生態系統，裡面包含各式各樣動物、植物、微生物，形成複雜的動態生態系，因為範圍太過廣大，又可再大致區分成大洋生態區、沿岸生態區...等等。而海洋生態環境也在 1995 年時通過了《雅加達宣言保育及永續利用海洋和海岸生物多樣性》，特別針對海洋對於《生物多樣性公約》實際執行面上作出整合的全球性方案。

各個沿海國在執行《生物多樣性公約》時，其最終目標仍以不牴觸《聯合國海洋法公約》為原則，並確保在任何形式和目的下所建立的目標及執行方式，都將仍以《聯合國海洋法公約》的架構下進行，因此《生物多樣性公約》對於壓艙水的管理架構也會與《聯合國海洋法公約》類似。

不同於《聯合國海洋法公約》的給予各國立法及管理的權利，《生物多樣性公約》特別在意的是「外來物種」的影響，因此在第 8 條就有對保護原生物種做出明確的規範：「防止引進、控制或消除那些威脅到生態系統、棲地或物種的外來物種」於是，當交換壓艙水時有可能將外來物種引進原生環境時，《生物多樣性公約》所約束的效力就產生了，便可以依據此條法規訂定管理政策。

除了管理政策，管轄範圍也是相當重要的一環，相較於《聯合國海洋法公約》對於範圍管轄的限制，《生物多樣性公約》對於管轄區的分界較為寬鬆，可以從第 4 條中看到：「以不妨礙其他國家權利為限，除非本公約另有明文規定，本公約規定應按下列情形對每一個締約國適用：在該國管轄或控制下開展的過程和活動，不論其影響發生在何處，此種過程和活動可位於該國管轄區內也可在國家管轄區外。」也就是說在不妨礙他國利益的情形下，各國皆可以盡其所能實行生物多樣性公約的精神，並訂出管理辦法來保護生物多樣性，就因如此，便

可以應用在管理進港船舶的壓艙水交換上，在沒有違反他國利益前提之下，盡可能對於壓艙水採取管理及監測，用以達到防止外來物種入侵及維護本國生物多樣性的雙重目標。

### 3. 國際船舶壓艙水及底質控管公約

制訂國際船舶壓艙水和底質控管公約從 1992 年「聯合國環境與發展大會」(United Nation Conference on Environment and Development, UNCED)要求國際海事組織考慮通過適當的壓艙水排放規定；並公布《里約環境與發展宣言》，其中第 15 條規定：「為了保護環境，各國應根據他們的能力廣泛採取預防性措施。凡有可能造成嚴重的或不可挽回的損害的地方，不能把缺乏充分的科學肯定性作為理由，推遲採取防止環境惡化的措施」；國際海事組織也於 1993 年通過 A.774(18)決議；之後在 1995 年海洋環境保護委員會(Maritime Environment Protection Committee, MEPC)通過《MEPC.67》第 37 號決議；1997 年國際海事組織 A.868(20)大會決議，要求各國政府採取行動，展現解決有害水生物和病原體轉移的決心；2002 年《世界高峰會永續發展行動計畫》(World Summit on Sustainable Development – Plan of Implementation, WSSD)，促使各國加快制訂法源來解決壓艙水引入外來生物的問題，並在 2004 年訂定《國際船舶壓艙水和底質控管公約》。

國際船舶壓艙水和底質控管公約正文共 22 條，除調解爭端、簽署、批准、接受、核准和加入、生效、修正、退出、保存等常規條款，以及定義、適用範圍、技術幫助、合作及區域合作、訊息交流、文字等一般性法律條款外，還包括一般責任，控制有害水生物和病原體通過船舶壓艙水及沉澱物轉移，沉澱物的收受設施，科學技術研究和監測，檢驗與發證，違規，船舶檢查，違規的探查和船舶控制，控制行動的通知，對船舶的不當延誤等技術性條款。

本公約自 2004 年 6 月 1 日起至 2005 年 5 月 31 日在國際海事組織總部開放供各國簽署，之後繼續開放供各國加入，且將在世界商船總

噸位 35%以上且至少 30 個國家簽署、批准、接受、核准後，即可於 12 個月後正式生效，截至目前為止(2010 年 12 月)已有 27 個國家簽署，總噸位占 25.32%。這當中，如果一國中由兩個或多個實行不同法律體系的行政區組成(像是所屬群島等)，則在加入公約時，該國可以聲明本公約適用的行政區範圍，並且可以在任何時間進行修改，但任何此類聲明都應以書面形式通知國際海事組織，並申明本公約適用的行政區或區域。

有關於名詞定義，舉凡像是「壓艙水」、「壓艙水管理」、「有害水生物及病原體」、「底泥」、「船舶」等專有名詞，當中皆有明確規範，以供後續公約中遇有相關名詞時使用，避免產生模糊地帶而有紛爭。一般船舶共同遵守的義務中包含了公約的共同目標：「防止、最大限度地減少，最終消除有害水生物和病原體的轉移」各個公約國應當承諾全面性的實施本公約規定，而公約附則也包含在其中，這代表著當公約正式生效後，其中的附則(Annex)及指導方針(Guidelines)也一併適用。此外亦鼓勵各國的船舶盡可能避免裝載到含有有害水生物和病原體的壓艙水及底質，並且要求各國合作，達到跨國、跨區域管轄許可權的管理，以解決敏感、脆弱或是受到威脅的海洋生態系統及生物多樣性。

對於船旗國船舶的部分，除非有另外指明特殊的例外，否則公約將一體適用於「有懸掛會員國國旗的船舶」以及「無懸掛會員國國旗，但是在該會員國權力下經營營運的船舶」，若是船舶本身設計建造就已經無壓載艙也無攜帶壓艙水，或是會員國船舶在該國國家管轄水域內操作壓艙水，便不適用本公約；軍艦、軍用輔助船或是一會員國所擁有、營運的非商業性質船舶，也可以免除於本公約的範圍，但仍應在可行的狀況下積極配合；此外若裝載於壓載艙的壓艙水永久不排放，屬於永久性壓艙水，也是在本公約適用範圍之外。

## 第三章 海氣地象調查及分析

波浪、海流以及近岸地形為影響近岸波流特性與結構物互制的主要因素，因此，其波浪以及海流資料分析可更加瞭解近岸波流特性，而近岸地形資料則有助於瞭解地形變遷以及漂飛沙機制，並可作為影響海域現象與環境之評估依據，亦可提供相關之工程規劃設計、海洋水理模式及水工模型試驗等之所需。臺中港域雖有長期觀測樁海象資料，但由於較靠近北防波堤堤頭，故易受結構物影響，而無法代表臺中港海象特性。有鑑於此，本研究於臺中港上下游（南北）遠離港灣結構物處，進行相關海氣象調查，包括潮、波、流、風速及地形監測等。

### 3.1 潮波流調查

#### 3.1.1 作業內容

調查作業於臺中港的南北端，近於大甲溪與烏溪出海口處各有一測定點，分別標號 DK (座標 TWD97 E 120°31'8.1"，N 24°19'57.8")與 WU (座標 TWD97 E 120°25'30.3"，N 24°13'6.8")，監測點的相對位置標示如圖 3-1 所示。在水深 15~18 公尺處，放置海流儀，儀器含有額外增設的水壓力感測器，可同時觀測海流、潮位、波浪與波向。WU 測點觀測日期自 100 年 04 月 29 日至 08 月 02 日止共 96 天。DK 測點觀測日期自 100 年 04 月 29 日至 06 月 19 日止共 45 天。



圖 3-1 臺中海域電磁式海流儀施放點位示意圖

### 3.1.2 作業方式

精確之定位可提供自計式潮波流儀所拋放位置之正確坐標，本計畫以差分定位方式 (Beacon DGPS) 進行，可得到海上精確之儀器定位坐標，其定位精度在  $\pm 1$  公尺以內。

臺中海域的潮波流觀測儀器為美國 Inter-Ocean 公司生產之 S4ADW 電磁式海流儀，藉由計量流體移動時的電磁場變化，轉換為海流速度與流向，波浪與水位資料則由水壓力感測計取得。儀器取樣頻率 2Hz，每小時紀錄前 9 分鐘。流速解析度為 0.3~3.5mm/s，準確度為讀數值之 2%±10mm/s。水位資料的解析度為 4mm，精度可達 0.1%。

### 3.1.3 潮波流結果分析

實測結果依照潮汐、海流與波浪紀錄，進行數據分析如下：

#### (1) 潮汐

潮汐資料是由壓力式感應器轉換水位變化，而相對於儀器架設深度的水深起伏即為潮位變化。臺中港測點的儀器，WU、DK 測點分別安置於水深 15m 與 18m 處。WU 測站的水位時序變化分月繪圖如圖 3-2 所示。施測 96 日期間的平均水深為 16.65m，5 月 28 日 8 時，記錄最大水深 18.96m，5 月 17 日 17 時記錄最小水深 13.85m，最大潮差 5.11m。調合分析顯示，主要分潮為 M2，振幅為 1.74m，次要分潮 S2 振幅 0.37m，以美國 (Dietrich, 1980) 潮型因子 (form factor,  $F = (a_{K1} + a_{O1}) / (a_{M2} + a_{S2})$ ) 分析， $F$  值為 0.24，屬於半日潮型。WU 測站的水位時序變化分月繪圖如圖 3-3 所示。DK 測站共施測 52 天，平均水深為 13.74m，記錄最大水深 16.83m 發生於 5 月 28 日 7 時，最小水深 10.68m 發生於 5 月 17 日 16 時，最大潮差 6.15m。調合分析顯示，主要分潮為 M2，振幅為 1.85m，次要分潮 S2 振幅 0.39m，潮型因子  $F$  值 0.24 屬於半日潮型。

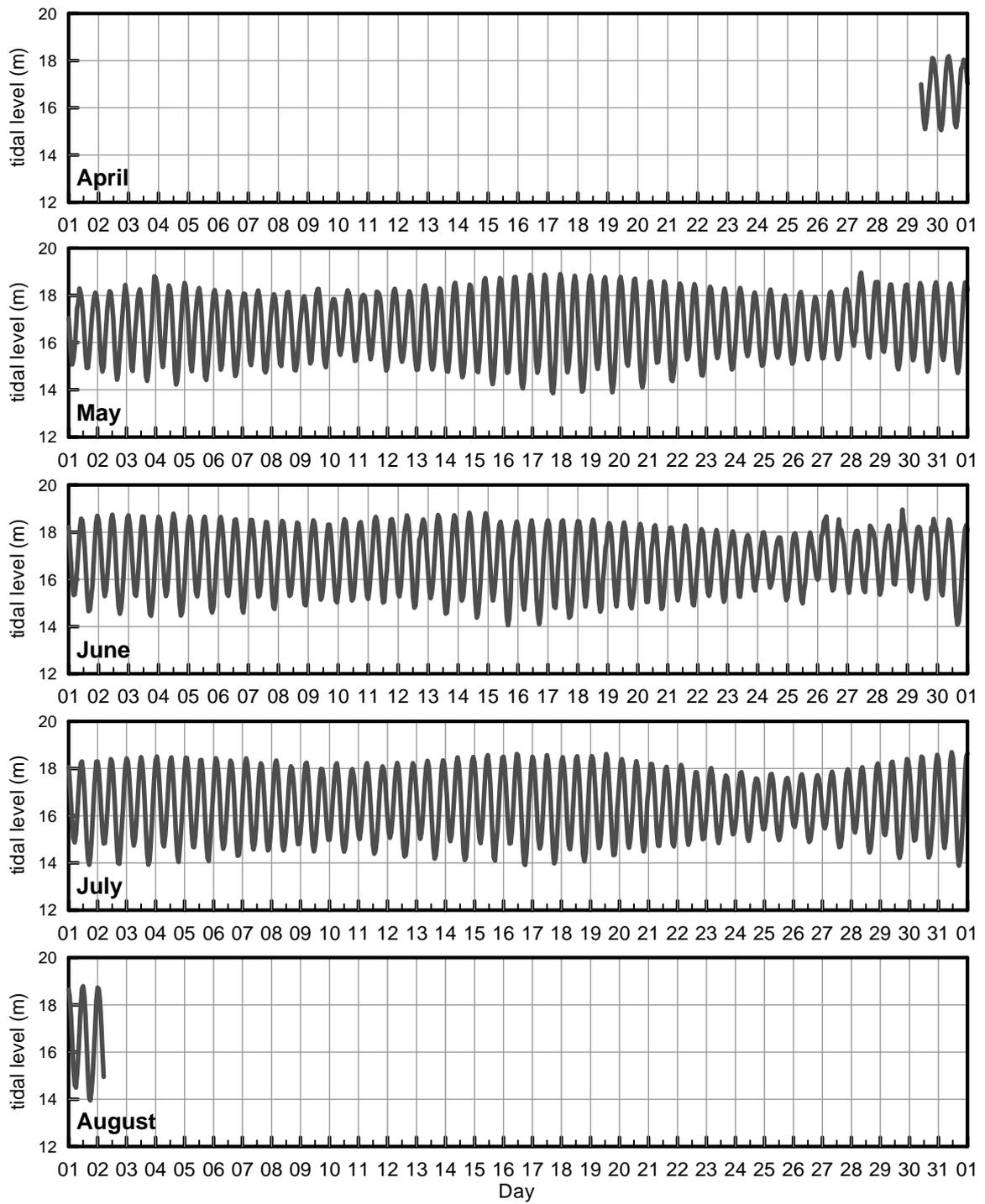


圖 3-2 臺中 WU 測站，2011 年 4/29~8/2 實測水位變化圖

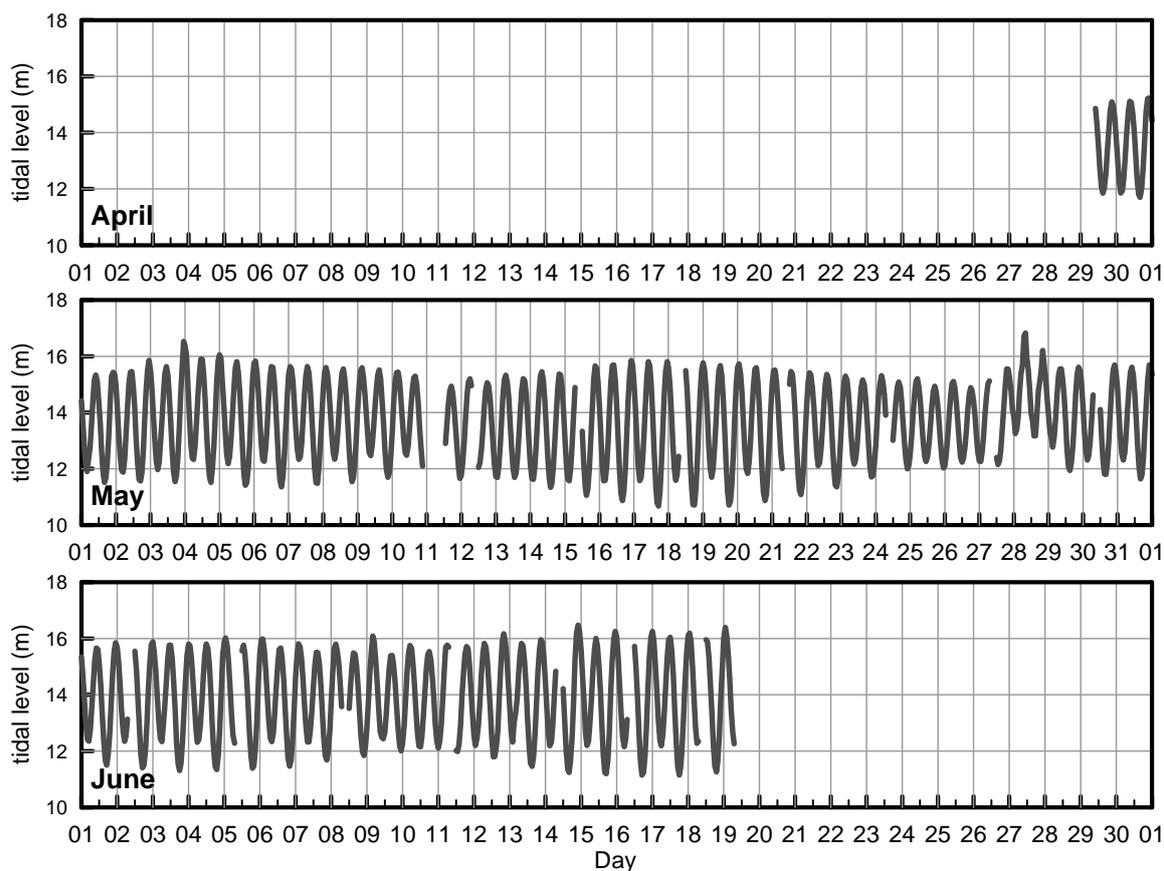


圖 3-3 臺中 DK 測站，2011 年 4/29~6/19 實測水位變化圖

## (2) 海流

電磁式海流儀會量測通過儀器周圍的水流狀態，臺中 WU、DK 觀測點設定每小時記錄前 9 分鐘，記錄頻率為 2Hz，分析程序以 9 分鐘資料平均值做為該小時之海流資料，所取得實測海流流速與流向時序列資料如圖 3-4 與圖 3-5 所示。

根據海流實測數據資料，臺中 WU 測站主要流向為 NE，最大平均流速為 60.25cm/s，流向亦是 NE 方向，發生於 7 月 4 日 20 時。臺中 DK 測站最大平均流速為 49.62cm/s，流向為 SW，發生於 5 月 28 日 8 時。主要流向 S 方位內，測得最大平均流速為 5 月 01 日 21 時的 27.90cm/s。

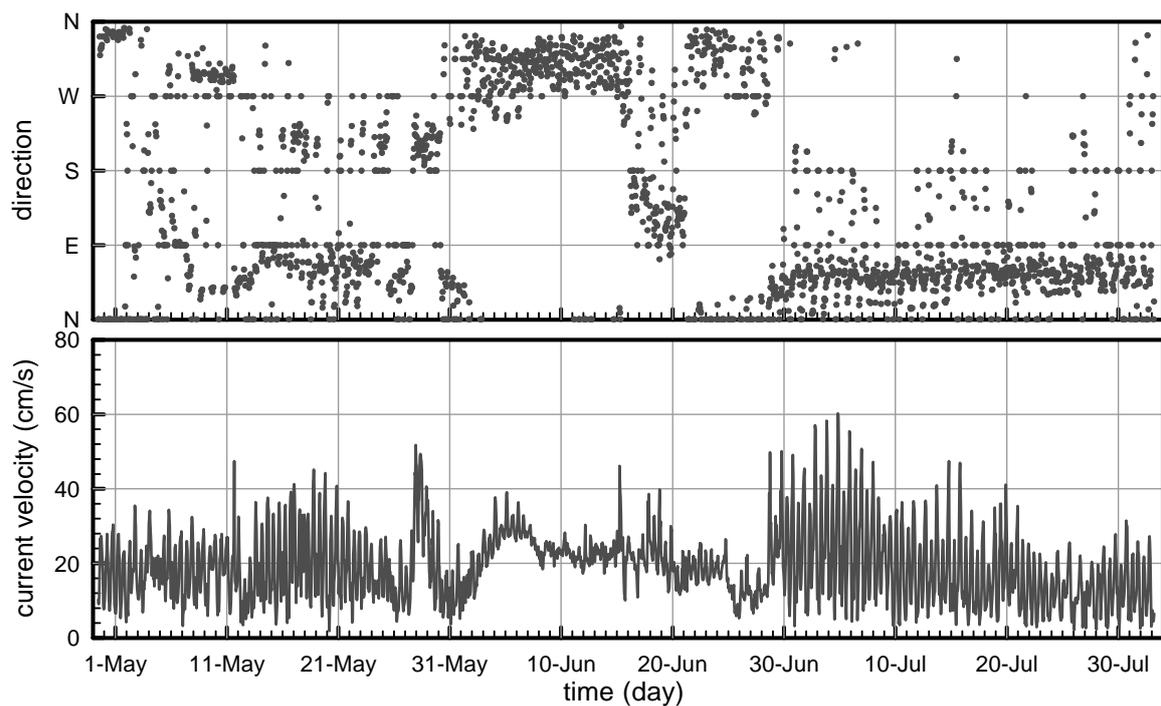


圖 3-4 臺中 WU 測站，2011 年 4/29~8/2 流速與流向變化圖

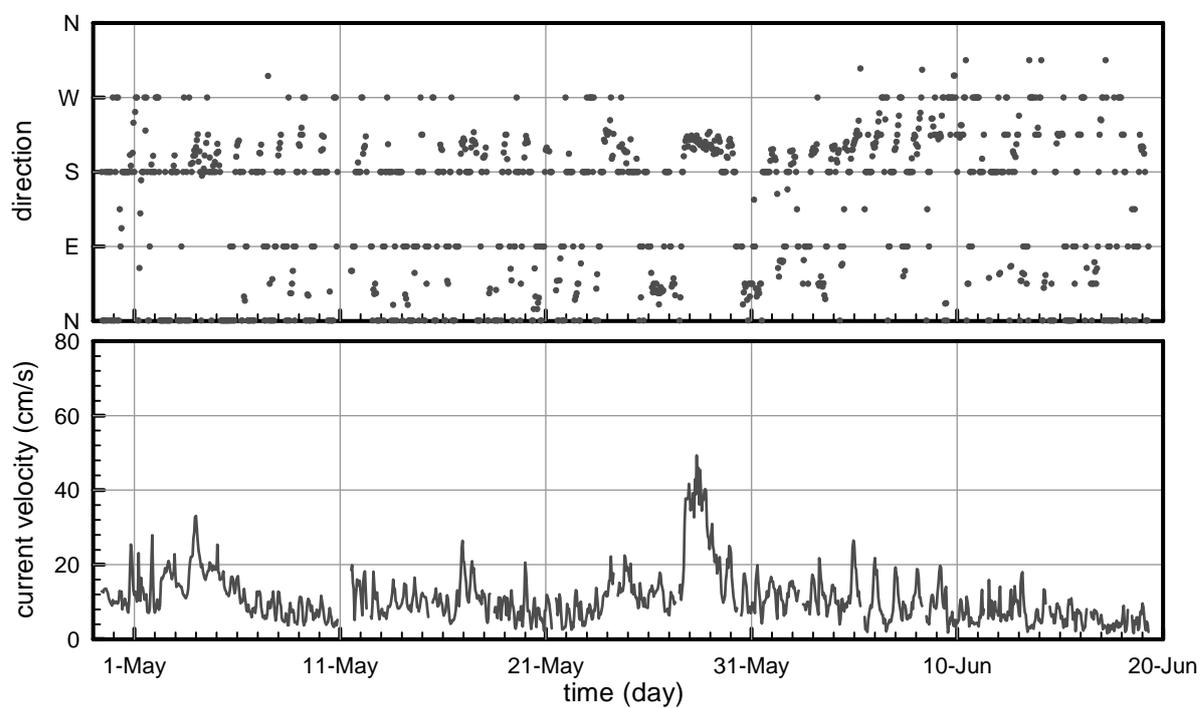


圖 3-5 臺中 DK 測站，2011 年 4/9~6/19 流速與流向變化圖

海流點位實測資料之統計資料如表 3-1 至表 3-2，而統計資料玫瑰圖如圖 3-6 所示。臺中 WU 觀測點的流向分佈集中於 NE 至 ENE 方位，由圖 3-4 亦可觀察到流向大多數介於 N 至 E 方向，但在 6 月份則呈現大多數流像介於 W 至 N 方向，說明流向受漲、退潮影響不明顯。臺中 WU 觀測點流向呈現南北分佈，漲潮時主要流向為 N，退潮時則為 S 方向。南北方向的流速皆小於 25cm/s，可視為潮流驅動機制的流速。雲林 ML 觀測點的表、底層實測資料顯示，此地區流向大多為 N 及 S 方向，其中底層以 N 及 S 方向為主，而表層亦以 N 及 S 方向為主，由統計表顯示，流速大小之發生機率乃由下層向表層遞增，即越接近海平面其流速可能越大。觀察其海潮流流向與潮汐水位變化關係，漲潮段時其流向主要為 N 方向。而於退潮段時流向主要為 S 方向。

若近岸區域的海底地形平緩、海岸線平直，海流主要驅動機制多為潮汐、鄰域大尺度海流及海面風切應力。在各種驅動機制間交互作用而衍生的流況改變量是微小的假設下，觀測到的海流可視為成份驅動機制的線性疊加(Csanady, 1973)，即

$$u = \bar{u} + u_T + u_w + u' \quad (3-1)$$

其中  $\bar{u}$  表示為平均流， $u_T$  表示為潮流， $u_w$  表示為風驅流， $u'$  代表高頻的流速擾動、紊流項及觀測過程的雜訊或誤差。要將  $u'$  從中分離，有相當的難度，因此分析方法將式(3-1)改寫為

$$u = \bar{u} + u_T + u'_w, \text{ where } u'_w = u_w + u' \quad (3-2)$$

即將高頻的成份納入風驅流之中，再依詹等人(1997)所建議的方法，分解式(3-2)中的海流驅動機制成份。

平均流的原定義為每月流速記錄的時間平均，但受限於資料長度不均等，某些月份的資料筆數過少，因此使用資料時間長度的平均值做為平均流，即

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n \quad (3-3)$$

$N$  表示單一測點的資料總長度， $u_n$  表示對應的流速紀錄。臺中 WU 觀測位置的平均流速為 19.21cm/s，平均流向 143°，DK 觀測位置的平均流速 10.99cm/s，平均流向 140°。雲林 ML 底層平均流速 39.38cm/s，平均流向 125°，表層流速 46.35cm/s，平均流向 109°。臺中兩處觀測點的平均流速差異達 8.22cm/s，但是平均流向相近，而雲林觀測點則顯示平均流向在不同深度的差異。

詹等人(1997)使用快速傅立葉轉換作為數值濾波器，剔除海流頻率小於 1/36 cph (cycle per hour)及大於 1/3 cph 的傅立葉常數項，再藉由反快速傅立葉轉換，將數值濾波後的頻域資料轉換回時間序列，視此結果為潮流的成份。進而計算剩餘的海流成份，並將其歸類為風驅流。將海流依其流速和流向拆成直角座標系統的分量，即

$$U = u \cdot \cos \theta \quad (3-4)$$

$$V = u \cdot \sin \theta \quad (3-5)$$

式(3-4)與式(3-5)中  $\theta$  代表海流流向。以 FFT 方法計算  $U$ 、 $V$  分量各頻率的傅立葉常數，並以最大能量無因次化繪製海流能譜，臺中 WU 測站如圖 3-7 所示。圖中各分量主要峰值在頻率 0.08 cph 處，此處為半日週期頻率，而  $V$  分量在 0.04 cph 處亦有明顯的次峰值，代表了全日週期。較為特殊的是在高頻 0.92 cph 處存在等同於頻率 0.08 cph 的能量分量，表示此觀測點的潮流與風驅流的數量級大小相當。 $U$ 、 $V$  分量濾除小於 1/36 cph 及大於 1/3 cph 的反快速傅立葉轉換如圖 3-8 所示，圖中含有觀測海流、潮流與風驅流等成份。臺中 WU 處的潮流振幅為 10~39cm/s，而風驅流振幅平均約 18cm/s，最大達 44cm/s，發生於 5 月 28 日，推測為強 2011 年烈颱風桑達(SONGDA)的影響。

臺中 DK 測站的海流能譜繪製如圖 3-9 所示， $U$ 、 $V$  分量主要峰值在頻率 0.04 cph 處，次要峰值頻率皆在 0.08 cph 處。此觀測點亦有有

能量高頻(0.95 cph)成份存在。反傅立葉的  $U$ 、 $V$  分量時間序列如圖 3-10 所示。潮流成份  $U$  分量的平均振幅為 19cm/s， $V$  分量的平均振幅則為 14cm/s，風驅流成份  $U$  分量平均振幅 12cm/s， $V$  分量平均振幅 5cm/s。與 WU 觀測點一樣，DK 測站在 5/28 日亦記錄了 35cm/s 的風驅流振幅最大值。

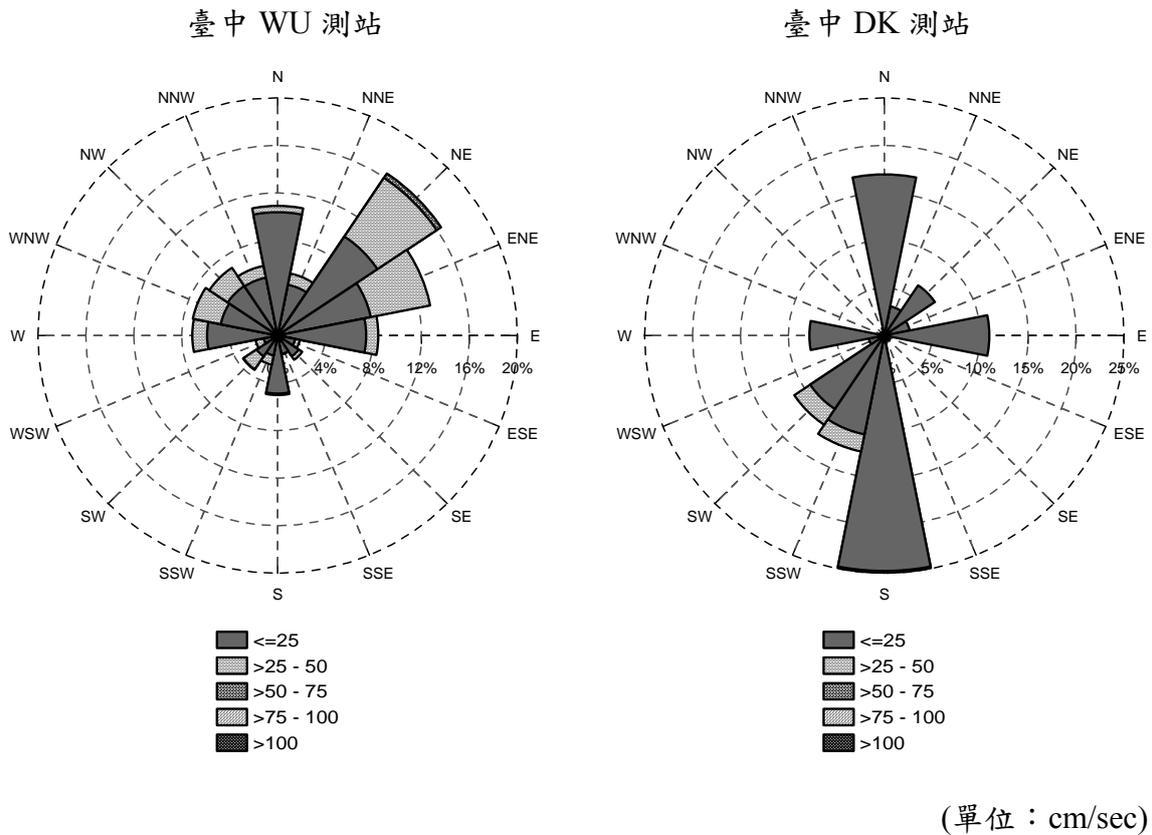


圖 3-6 臺中測站之海流玫瑰圖

表 3-1 臺中 WU 測站海流流速、流向統計表

流 向	流 速 (cm/s)					合 計
	0-25	25-50	50-75	75-100	>100	
N	10.37%	0.53%	0.00%	0.00%	0.00%	10.90%
NNE	4.35%	0.97%	0.00%	0.00%	0.00%	5.32%
NE	10.02%	5.93%	0.44%	0.00%	0.00%	16.39%
ENE	7.91%	5.05%	0.00%	0.00%	0.00%	12.96%
E	7.38%	1.01%	0.00%	0.00%	0.00%	8.39%
ESE	1.49%	0.40%	0.00%	0.00%	0.00%	1.89%
SE	2.11%	0.35%	0.00%	0.00%	0.00%	2.46%
SSE	1.58%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	1.62%
S	4.88%	0.13%	0.00%	0.00%	0.00%	5.01%
SSW	1.71%	0.79%	0.00%	0.00%	0.00%	2.50%
SW	2.11%	1.32%	0.04%	0.00%	0.00%	3.47%
WSW	1.19%	0.70%	0.00%	0.00%	0.00%	1.89%
W	5.89%	1.23%	0.00%	0.00%	0.00%	7.12%
WNW	4.84%	2.37%	0.00%	0.00%	0.00%	7.21%
NW	5.01%	1.85%	0.00%	0.00%	0.00%	6.86%
NNW	4.97%	1.01%	0.00%	0.00%	0.00%	5.98%
合計	75.81%	23.68%	0.48%	0.00%	0.00%	100.00%

表 3-2 臺中 DK 測站海流流速、流向統計表

流 向	流 速 (cm/s)					合 計
	0-25	25-50	50-75	75-100	>100	
N	17.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	17.27%
NNE	2.95%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.95%
NE	5.97%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.97%
ENE	2.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.54%
E	10.31%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10.31%
ESE	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%
SE	0.65%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.65%
SSE	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.25%
S	24.32%	0.16%	0.00%	0.00%	0.00%	24.48%
SSW	10.98%	1.72%	0.00%	0.00%	0.00%	12.70%
SW	9.96%	1.88%	0.00%	0.00%	0.00%	11.84%
WSW	2.85%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.85%
W	7.36%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	7.36%
WNW	0.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.33%
NW	0.41%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.41%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
合計	96.23%	3.76%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

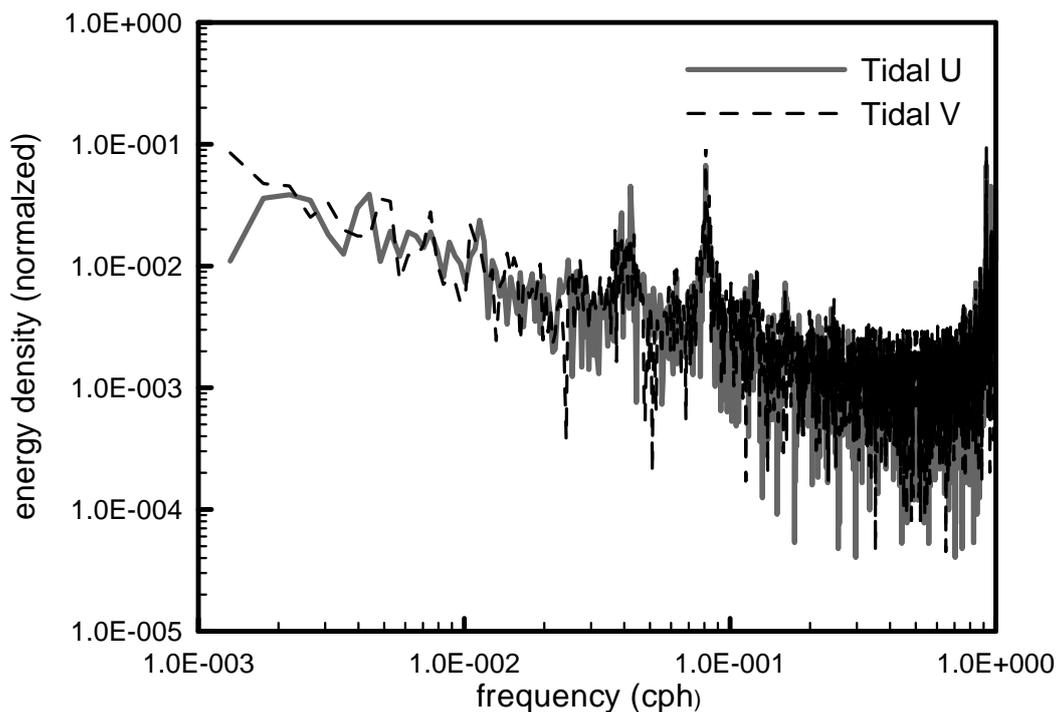


圖 3-7 臺中 WU 測站 U、V 分量海流無因次化能譜圖

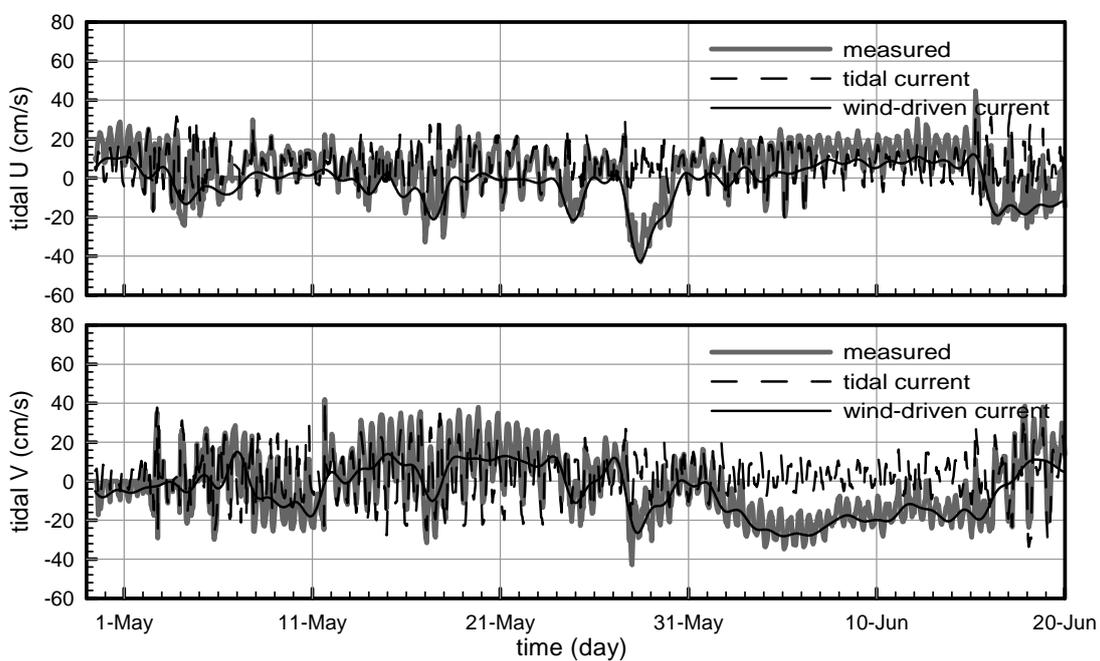


圖 3-8 臺中 WU 測站 U、V 分量之潮流、風驅流時序列圖

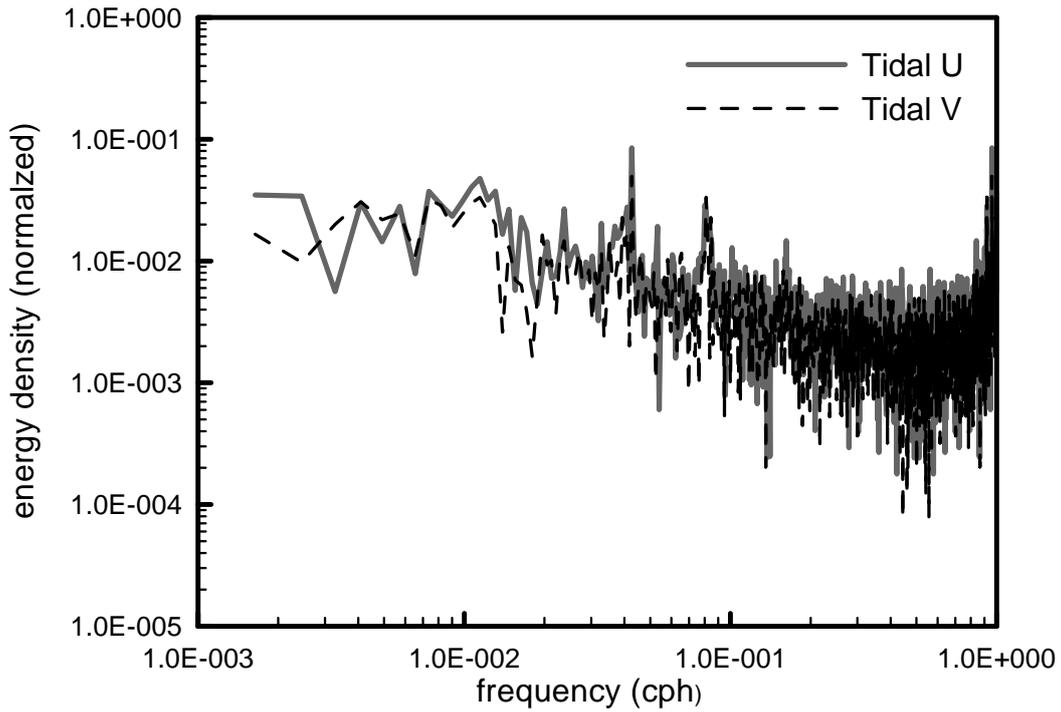


圖 3-9 臺中 DK 測站 U、V 分量海流因次化能譜圖

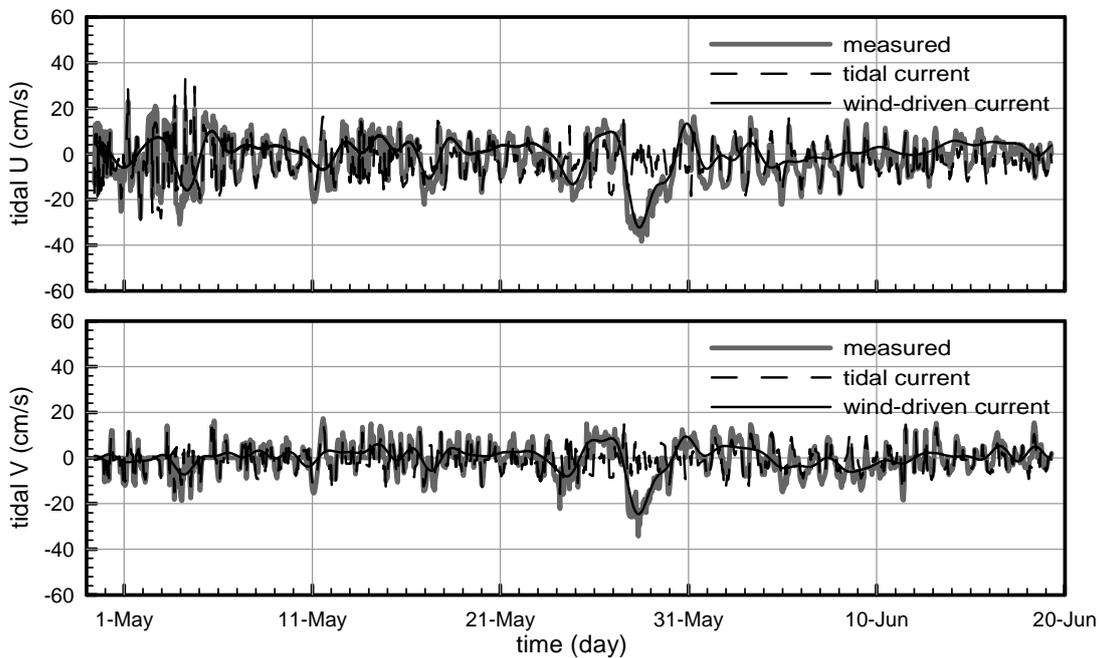


圖 3-10 臺中 DK 測站 U、V 分量之潮流、風驅流時序列圖

### (3) 波浪

根據臺中海域的波浪實測資料分析結果，各測站的波浪波高與波向分佈統計如表 3-3 與表 3-4，依統計資料繪製的波浪玫瑰圖如圖 3-11 所示。波高及週期分佈直方圖如圖 3-12 與圖 3-13 所示，波高及週期時序圖如圖 3-14 至圖 3-15 所示。

臺中 WU 觀測點主要波向 ESE 到 SE 之間，示性波高( $H_{1/3}$ )小於 25cm 者佔約全體的 86%，對應的示性週期( $T_{1/3}$ )集中於 7sec 至 9sec 區間，平均波高( $H_{mean}$ )16.4cm，平均週期( $T_{mean}$ )8.15s，最大波高( $H_{max}$ )2.18m，週期( $T_{max}$ )8.69sec，對應波向 SW，記錄時間為 4 月 29 日 10 時。

臺中 DK 觀測點主要波向 WSW，， $H_{1/3}$  小於 25cm 者占約全體的 75%， $T_{1/3}$  集中於 6sec 至 8sec 間。 $H_{mean}=20.0\text{cm}$ ， $T_{mean}=7.20\text{s}$ ， $H_{max}=1.98\text{m}$ ， $T_{max}=8.75\text{s}$ ，對應波向 SSE，記錄時間為 4 月 29 日 10 時。

雲林 ML 觀測點主要波向 SES， $H_{1/3}$  介於 25cm 至 75cm 之間者占約全體的 53%， $T_{1/3}$  集中於 3s 至 6s 間。 $H_{mean}=54.1\text{cm}$ ， $T_{mean}=4.53\text{sec}$ ， $H_{max}=1.82\text{m}$ ， $T_{max}=7.20\text{sec}$ ，對應波向 WSW，記錄時間為 6 月 11 日 12 時。

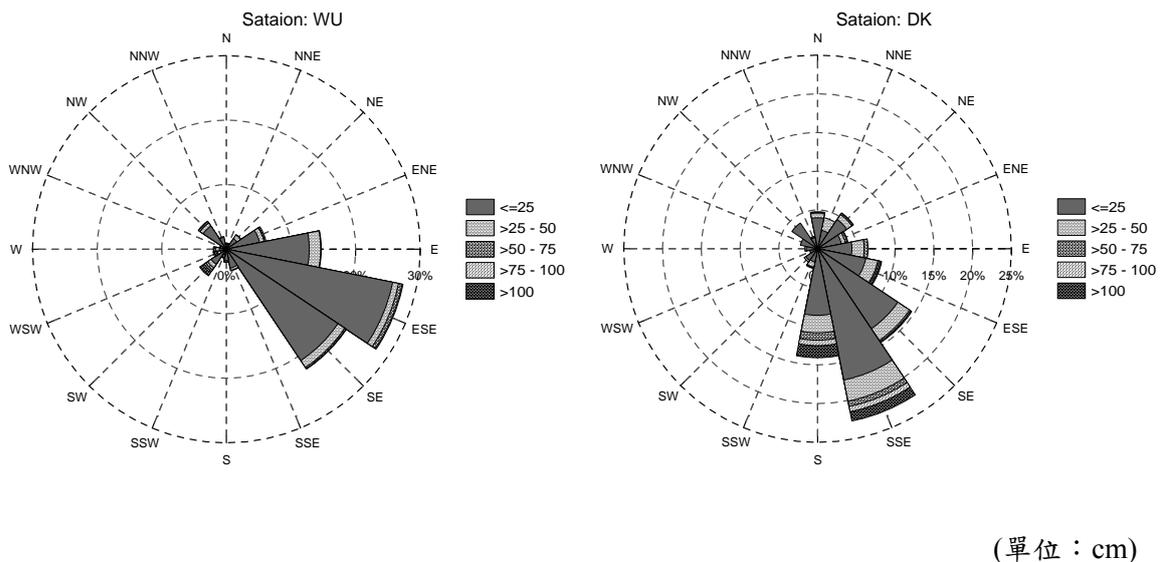


圖 3-11 臺中測站之波浪玫瑰圖

表 3-3 臺中 WU 測站海流波高、波向統計表

波 向	波 高 ( $H_{1/3}$ , cm)					合 計
	0-25	25-50	50-75	75-100	>100	
N	0.35%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.40%
NNE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ENE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
E	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
ESE	5.49%	0.22%	0.00%	0.00%	0.00%	5.71%
SE	25.98%	3.52%	0.31%	0.00%	0.00%	29.80%
SSE	28.97%	3.16%	0.97%	0.40%	0.22%	33.71%
S	15.74%	1.10%	0.88%	0.84%	1.23%	19.78%
SSW	4.62%	0.26%	0.04%	0.00%	0.04%	4.97%
SW	2.24%	0.22%	0.04%	0.04%	0.00%	2.55%
WSW	0.66%	0.13%	0.04%	0.00%	0.00%	0.84%
W	0.53%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.53%
WNW	0.62%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.62%
NW	0.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.26%
NNW	0.79%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.79%
合計	86.29%	8.66%	2.29%	1.27%	1.49%	100.00%

表 3-4 臺中 DK 測站海流波高、波向統計表

波 向	波 高 ( $H_{1/3}$ , cm)					合 計
	0-25	25-50	50-75	75-100	>100	
N	1.23%	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	1.31%
NNE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ENE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
E	1.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.06%
ESE	17.11%	3.18%	0.00%	0.00%	0.00%	20.29%
SE	34.90%	9.90%	0.41%	0.00%	0.00%	45.21%
SSE	16.78%	3.32%	2.13%	1.06%	0.82%	24.11%
S	3.60%	0.33%	0.25%	0.82%	2.05%	7.04%
SSW	0.49%	0.00%	0.00%	0.08%	0.16%	0.74%
SW	0.16%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.16%
WSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
W	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%
WNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
合計	75.41%	16.81%	2.78%	1.96%	3.03%	100.00%

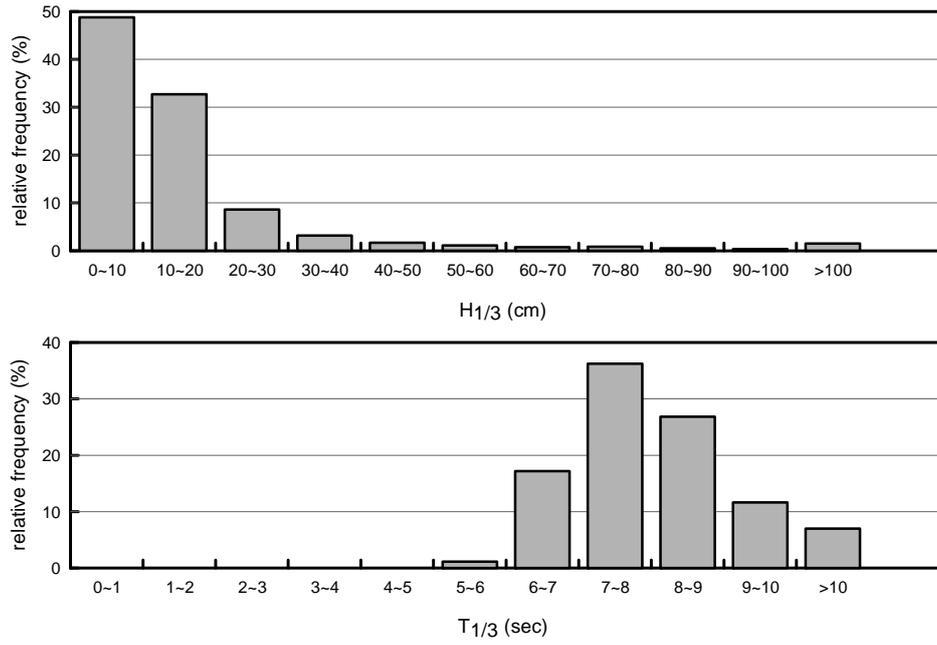


圖 3-12 臺中 WU 測站波高、週期統計直方圖

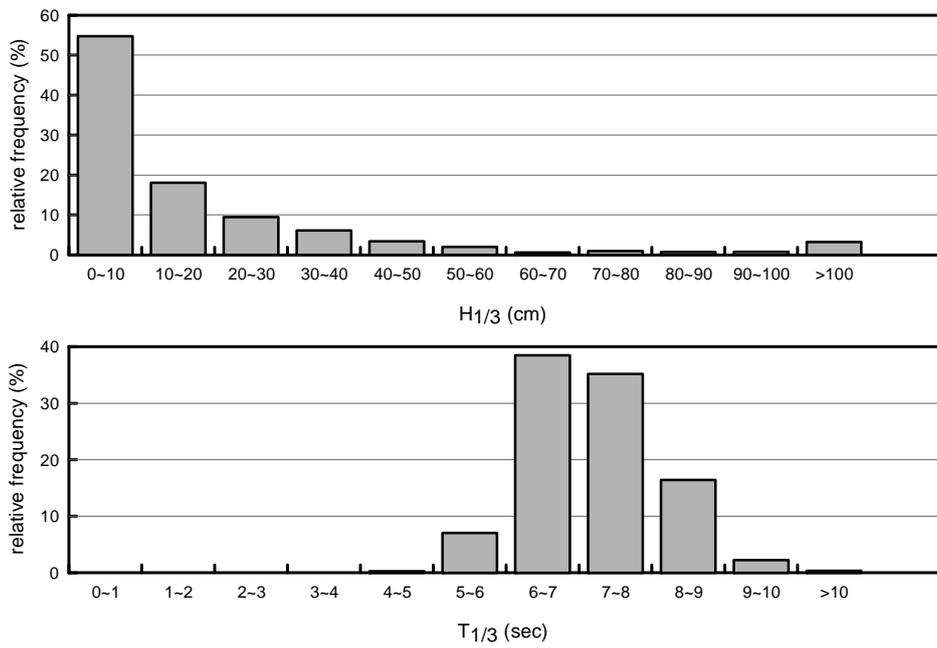


圖 3-13 臺中 DK 測站波高、週期統計直方圖

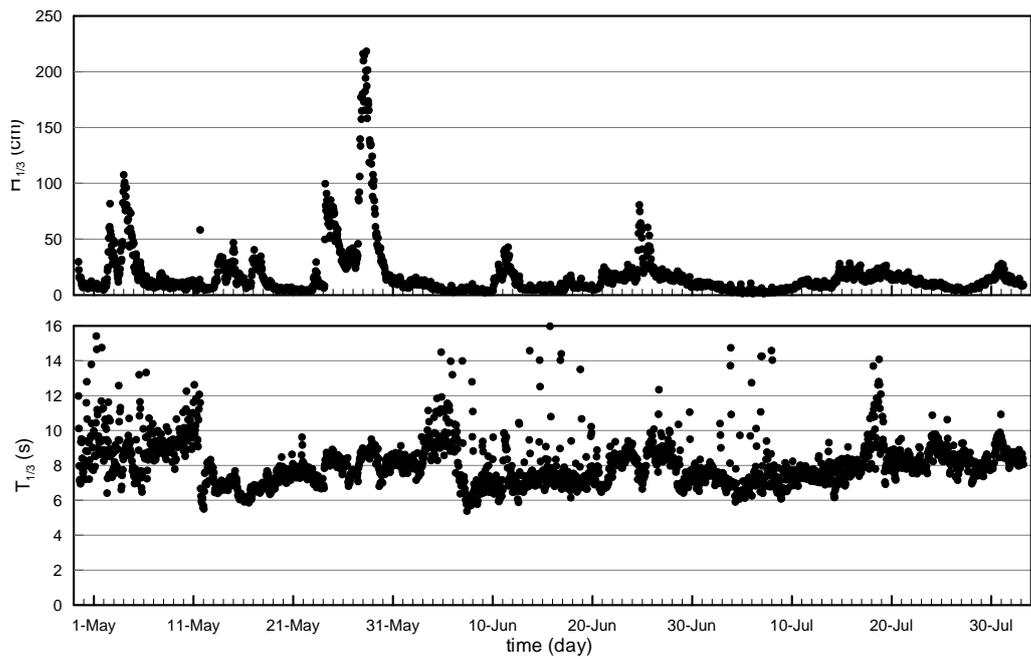


圖 3-14 臺中 WU 測站波高、週期時序列圖

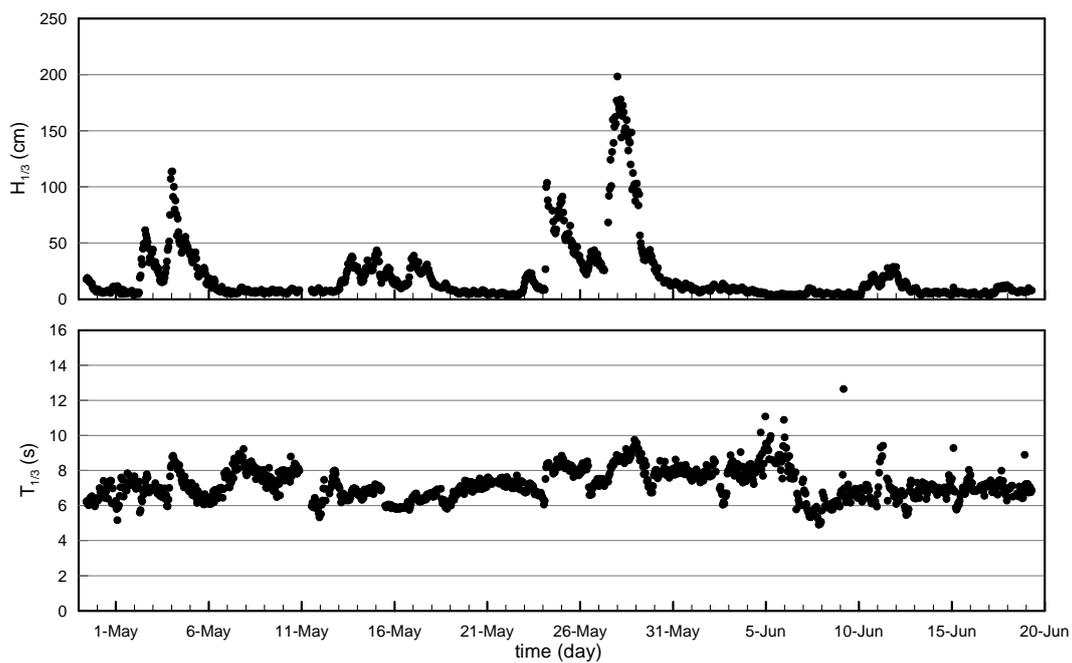


圖 3-15 臺中 DK 測站波高、週期時序列圖

## 3.2 浮標追蹤調查

### 3.2.1 觀測區範圍及內容

觀測區海域分別位於臺中港南北側之大甲溪出海口及烏溪出海口附近，觀測區地點如圖 3-16 所示，儀器佈放位置分別為：大甲溪河口海域： $N24^{\circ}20'31.6''$ ， $E120^{\circ}30'26.1''$ ；烏溪河口海域： $N24^{\circ}13'11.7''$ ， $E120^{\circ}25'26.5''$ ，東西方向各延伸 500 公尺，並於南北平行岸線方向各延伸 1 公里。本海域漂流浮標流況調查作業係以海上漂流浮標追蹤法進行觀測，配合表面流況觀測時程，同步進行水下定點流況觀測，並於臺中港內相對靜穩水域及陸域空曠處進行潮汐水位及風速風向觀測，可供作為平面流況觀測結果分析背景資料。臺中港北側大甲溪出海口及南側烏溪出海口附近測區範圍及定點流測站位置分如圖 3-17 及圖 3-18 所示。本研究進行兩測次之觀測作業，業已於民國 100 年 6 月 4 日及民國 100 年 6 月 5 日完成。

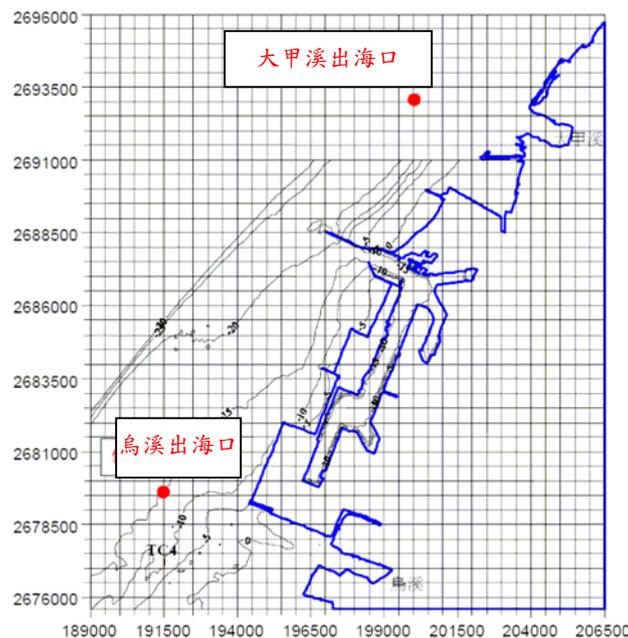


圖 3-16 儀器佈放位置示意圖

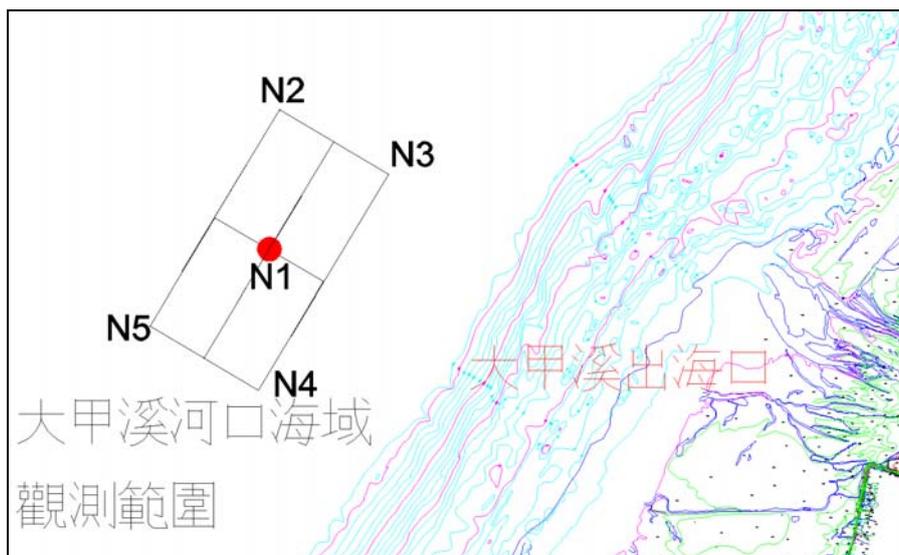


圖 3-17 臺中港北側大甲溪河口海域觀測範圍示意圖

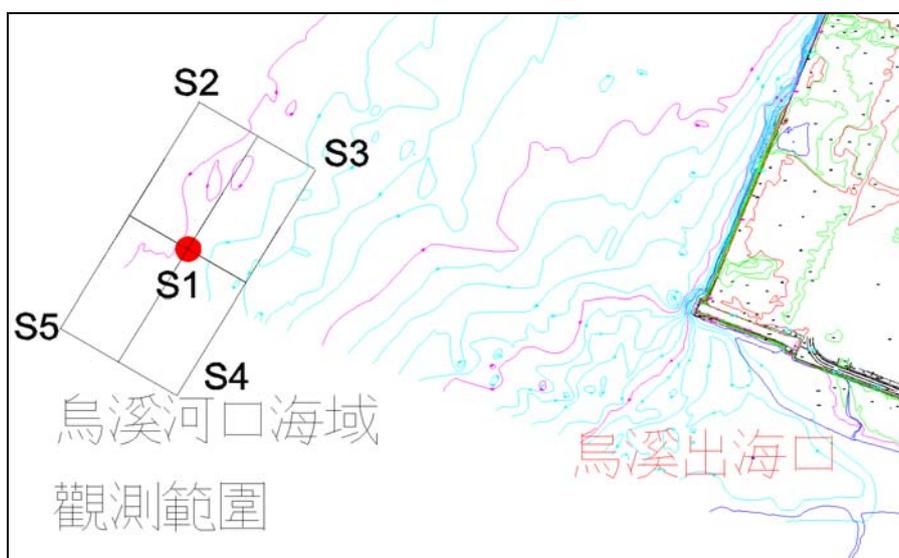


圖 3-18 臺中港南側烏溪河口海域觀測範圍示意圖

### 3.2.2 觀測設備及方法

本漂流浮標流況調查以漂流浮標追蹤法進行海域平面流況觀測，其觀測原理係將裝置有差分式全球定位系統（Differential Global Positioning System, DGPS）的漂浮球佈放於預先規劃測區海域，任其隨潮汐漲退水流運動，漂浮球內部空間座標定位系統以 1/3 Hz 的取樣頻率，記錄漂浮球的時間及空間座標資料，據以分析觀測海域表面水流在時間及空間上的分佈特性。

本觀測海域漂流浮標流況調查工作之前置作業規劃，首先根據中央氣象局網載之潮汐預報資料，考量預定觀測海域的海況及海象條件來決定流況觀測時程，以能涵蓋測區海域潮汐漲退潮時，觀測結果可據以分析測區海域潮汐漲退水流運動的時空分佈特性。藉由架構於漂浮球的 DGPS 定位接收裝置及浮球內部的資料儲存系統(IPC)，自動記錄漂浮球的時間及空間座標資料外。圖 3-19 為海域表面流況觀測系統架構示意圖，整體觀測使用的儀器設備包括：

1. DGPS 天線：主要功用係接收定位衛星的訊號，DGPS 定位所得座標位置，即為 DGPS 天線所在位置。
2. DGPS 定位系統訊號接收機：Leica 公司製造 GS5+ Data Collection System，可接收的 Channel 數為 12 Channel，輸出之資料符合海事無線電委員會（Radio Technical Commission for Maritime Services, RTCM）之特別 104 號會議（Special Committee No.104，SC-104，或簡稱 RTCM-104）之要求，精度為 0.5~1.5 M。
3. DGPS 定位資料儲存傳輸系統：為 SST-2450 Wireless Modem，可同時追蹤多達 99 個漂流浮標，內建 8 MB 記憶體，可連續自我記錄 16 小時。

4. 個人手提電腦：主要作為觀測系統之操作平臺，藉由流場觀測 DGPS 系統作業程式，將觀測進程中的監測資料擷取，並儲存於電腦硬碟機。同時，透過觀測系統作業程式，亦可即時監控海上移動站的運動情況，可避免移動站移動超出計畫觀測範圍。
5. 漂浮球：漂浮球主體為不鏽鋼材質製作，球體內部底部固定電池，以供給移動站內儀器所需之電源。移動站儀器單元中，DGPS 接收儀及無線電收發機則裝置於固定白鐵架上，垂直置入浮球球體內部。浮球上置鋼套管放置 DGPS 與無線電天線和警示燈。浮球下部結構則焊接阻流板，可漂浮球能隨水體流動運移。

配合海域平面流況觀測時程，進行的海域潮汐、定點流及陸域風速風向觀測作業，相關觀測情形如照片 3-1 至照片 3-4。

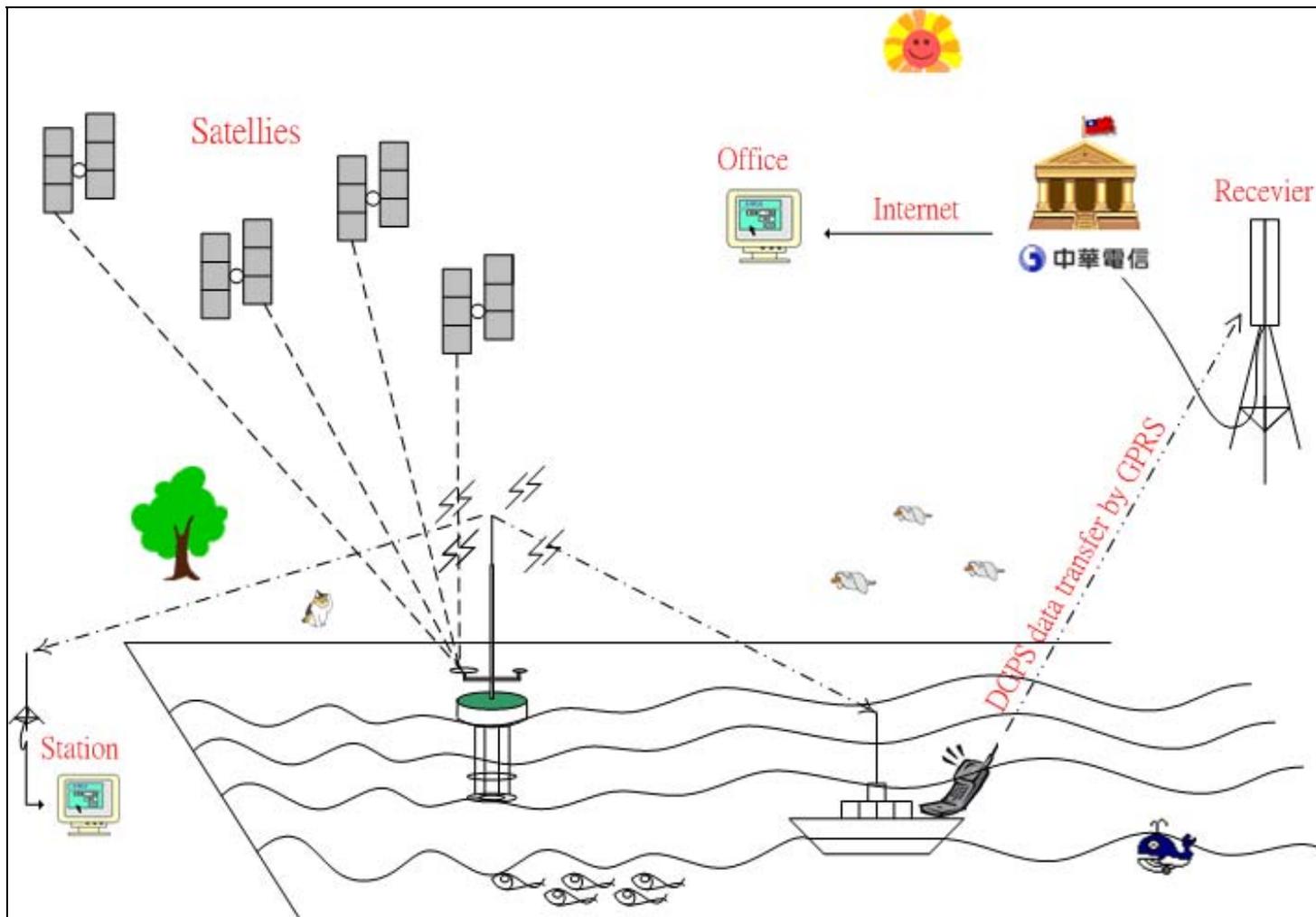


圖 3-19 海域平面流況量測系統架構圖



照片 3-1 臺中港港口附近風速風向觀測作業



照片 3-2 臺中港港內潮汐水位站設置情形



照片 3-3 臺中港北側大甲溪河口海域流況觀測漂流浮標佈放作業



照片 3-4 臺中港南側烏溪河口海域平面流況觀測作業

### 3.2.3 大甲溪河口海域觀測結果

臺中港北側大甲溪河口附近海域觀測時間為民國 100 年 6 月 4 日。同前觀測作業規劃，配合平面流況觀測時程，亦同步進行臺中港陸域風速風向及海域定點水下流況觀測，相關風速風向、潮汐水位水下定點流況及平面流況觀測結果分如下述。

#### 1. 風速風向及水下定點流況分佈

臺中港北側大甲溪河口附近海域漂流浮標流況調查作業規劃，依中央氣象局之潮汐預報資料如表 3-5 所示，於民國 100 年 6 月 4 日 09:00~16:00 完成觀測，該觀測時段已包含漲退潮潮時。此外，基於後續漲退潮時海域流況及陸域風速風向觀測結果比對分析之需，於梧棲漁港港內相對穩靜水域設置潮汐水位測站（N24°17'33.8"，E120°31'03.9"）記錄平面流況觀測時段潮汐水位時序列資料，觀測結果如圖 3-20 所示。

臺中港北側大甲溪河口附近陸域風速風向觀測作業，配合海域平面流況調查時程，將風速風向觀測站設置於臺中港港口附近空曠處（N24°17'33.6"，E120°31'15.6"），觀測結果如圖 3-21 至圖 3-25 及表 3-6 與表 3-7 所示。根據風速風向觀測紀錄顯示：漲潮時段最大陣風可達 7.84 m/s，平均風速約為 5.12 m/s，主風向為西向；退潮時段最大陣風可達 9.80 m/s，平均風速可達 6.27 m/s，主風向與漲潮時段風向同為西向。

水下定點流況觀測，配合平面流況觀測作業時程，依既定觀測作業規劃，於漂浮球通過路徑海域附近設置水下定點流測站，觀測資料可供作為後續平面流況分析比對之用。本測次水下定點流測站設置於（N24°31.6"，E120°30'26.1"）附近，並以水下 3 m 繫留流速儀方式進行定點水流觀測。水下定點流況觀測結果：漲潮時段定點水流最大及最小流速分別為 0.55 及 0.38 m/s，平均流速則約為 0.45 m/s，主流向為東北東向；退潮時段定點水流最大及最小流速分別為 0.68 及 0.33 m/s，平均流速則約為 0.51

m/s，流向大抵介於東北~東北東向間；觀測結果如圖 3-26 與圖 3-27 及表 3-8 與表 3-9 所示。

## 2. 海域平面流況

臺中港北側大甲溪河口附近海域漂流浮標流況調查作業，於民國 100 年 6 月 4 日 09:00~16:00 執行完成，觀測結果如圖 3-28 與 3-29 所示，其中圖 3-28 為觀測海域漲潮時段的流況觀測結果。A-1 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/4 09:21~10:04 時段的觀測結果測繪，觀測時段內漂流球最大及最小流速分別約為 1.13 及 0.20 m/s，平均流速則約為 0.84 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。A-2 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/4 10:34~11:29 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂流球最大及最小流速分別約為 1.05 及 0.18 m/s，平均流速則約為 0.73 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。A-3 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/4 11:53~12:47 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂流球最大及最小流速分別約為 1.39 及 0.20 m/s，平均流速則約為 0.74 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。B-1 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/4 11:54~12:50 時段的觀測結果，觀測時段內漂流球最大及最小流速分別約為 1.30 及 0.25 m/s，平均流速則約為 0.73 m/s，漂流球運動軌跡大抵與 A-3 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。

圖 3-29 為觀測海域退潮時段的流況觀測結果。圖中 A-4 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/4 13:38~14:02 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂流球最大及最小流速分別約為 1.34 及 0.23 m/s，平均流速則約為 0.77 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。A-5 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/4 14:30~15:02 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂流球最大及最小流速分別約為 1.32 及 0.23 m/s，平均流速則約為 0.60 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。A-6 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/4 15:22~15:49 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂流球最大及最小流速分別約為 1.18

及 0.18 m/s，平均流速則約為 0.61 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。圖中，B-2 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/4 13:36~14:06 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球之最大及最小流速分別約為 1.29 及 0.24 m/s，平均流速則約為 0.76 m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-4 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。B-3 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/4 14:32~14:59 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球之最大及最小流速分別約為 1.46 及 0.16 m/s，平均流速則約為 0.64 m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-5 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。B-4 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/4 15:23~15:46 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球之最大及最小流速分別約為 1.11 及 0.18 m/s，平均流速則約為 0.65m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-6 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。

### 3. 區域風場對表面流的影響

民國 100 年 6 月 4 日臺中港北側大甲溪河口海域表面流漲潮流向大抵為西南西往東北東方向運動，退潮時段表面流多與漲潮時段相符，多呈西南西往東北東方向運動。進一步比對測區水下定點水流觀測結果，漲潮時段水下定點流平均流速約為 0.45 m/s 及定點流向分佈大抵為東北東向，水下定點流向與表面流向相符。此外，此觀測時段區域風向分佈大抵為西向，漲潮時段內平均風速為 5.12 m/s，主風向為西向。表面流向多呈西南西往東北向向移動，表面平均流速約為 0.76 m/s；退潮時段水下定點流流速約為 0.68 m/s，流向分佈大抵介於東北~東北東向間，退潮時段內區域主風向大抵為西向，平均風速約為 6.27 m/s，表面流向大抵為西南西往東北東向運動，平均流速約為 0.67 m/s。以此結果判斷，局部表面流向與區域定點流運動方向及區域流向大抵同向。

表 3-5 臺中港潮汐預報表

日期	潮別	時間	潮高(m)
6/4(六) 農曆：5/3	00:41	滿潮	2.06
6/4(六) 農曆：5/3	06:41	乾潮	-1.28
6/4(六) 農曆：5/3	12:29	滿潮	2.05
6/4(六) 農曆：5/3	18:50	乾潮	-2.29
6/5(日) 農曆：5/4	01:15	滿潮	2.07
6/5(日) 農曆：5/4	07:16	乾潮	-1.3
6/5(日) 農曆：5/4	13:07	滿潮	2.07
6/5(日) 農曆：5/4	19:29	乾潮	-2.28

資料來源：中央氣象局網站

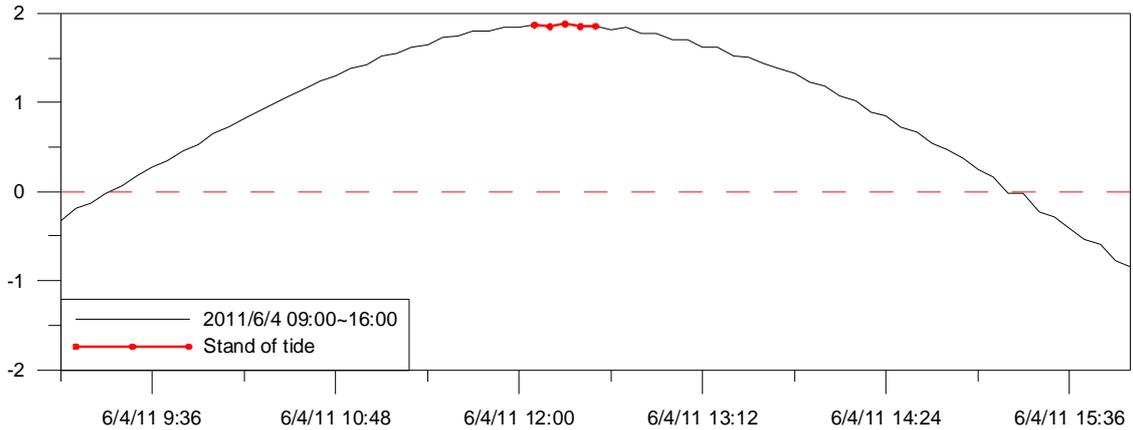


圖 3-20 民國 100 年 6 月 4 日潮汐水位變化時序列紀錄圖

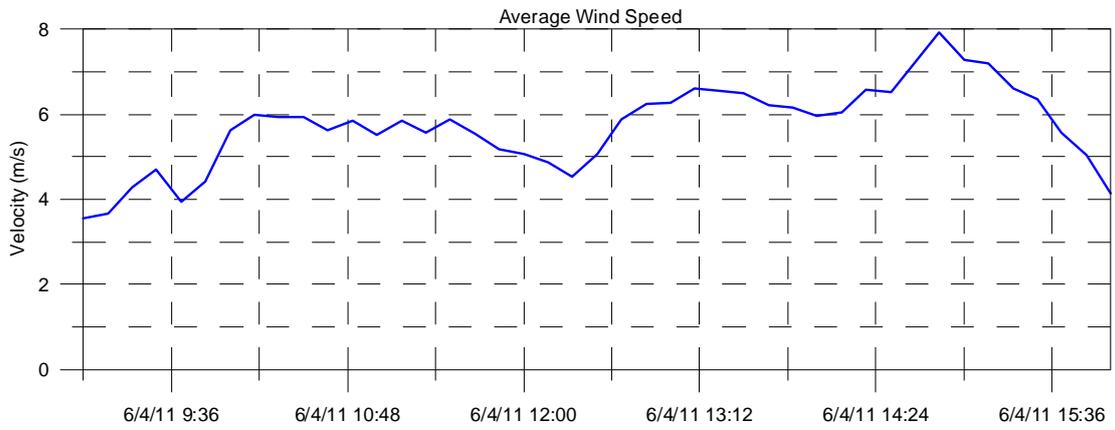


圖 3-21 臺中港北側大甲溪河口海域附近平均風速觀測歷時圖

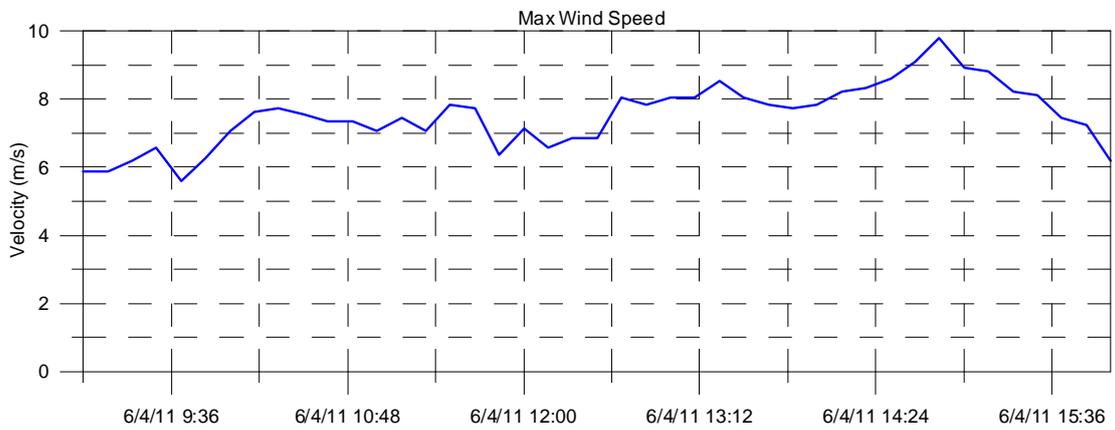


圖 3-22 臺中港北側大甲溪河口海域附近最大風速觀測歷時圖

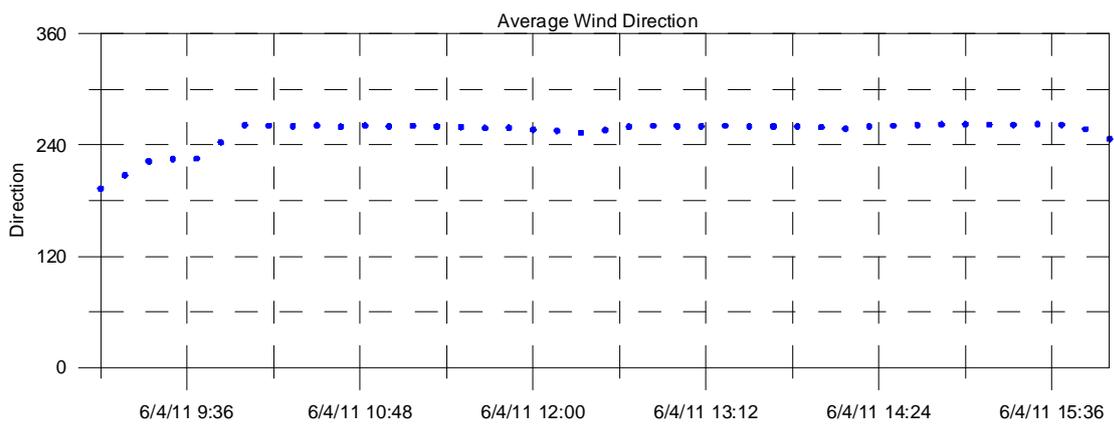


圖 3-23 臺中港北側大甲溪河口海域附近平均風向觀測歷時圖

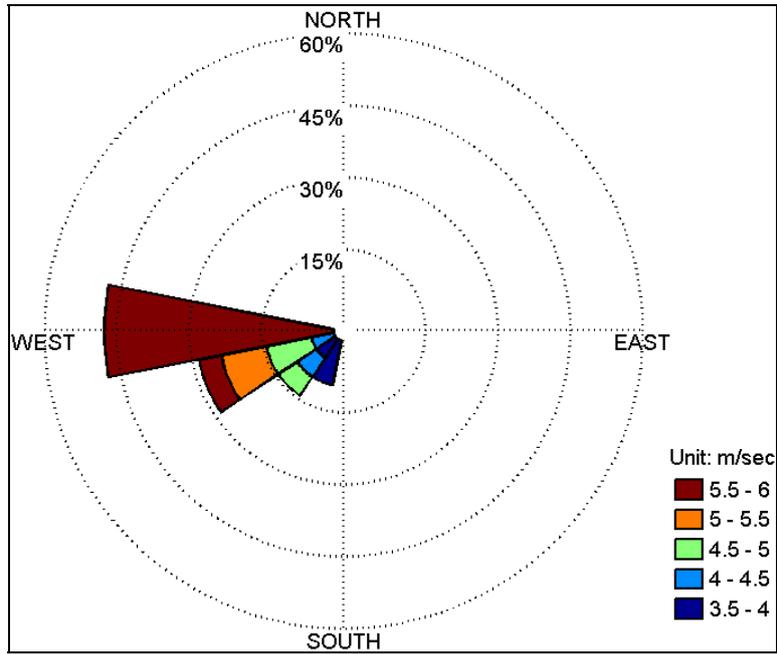


圖 3-24 臺中港北側大甲溪河口海域附近漲潮時段風速風向玫瑰圖

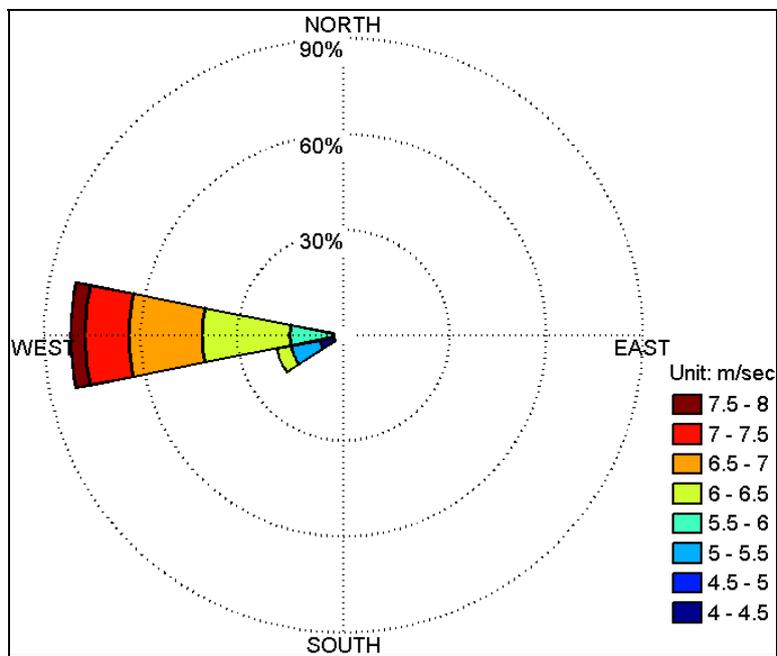


圖 3-25 臺中港北側大甲溪河口海域附近退潮時段風速風向玫瑰圖

表 3-6 臺中港北側大甲溪河口海域附近漲潮時段風速風向觀測紀錄

時間	平均風速 (m/s)	平均風向 (Dir)	最大陣風 發生時間	最大陣風 (m/s)
2011/6/4 09:00	3.57	192.8	2011/6/4 08:58	5.88
2011/6/4 09:10	3.67	207.4	2011/6/4 09:05	5.88
2011/6/4 09:20	4.27	222.3	2011/6/4 09:13	6.17
2011/6/4 09:30	4.70	224.9	2011/6/4 09:22	6.57
2011/6/4 09:40	3.94	225.2	2011/6/4 09:31	5.59
2011/6/4 09:50	4.41	242.8	2011/6/4 09:48	6.27
2011/6/4 10:00	5.63	261.4	2011/6/4 09:57	7.06
2011/6/4 10:10	5.99	260.8	2011/6/4 10:03	7.64
2011/6/4 10:20	5.92	260.4	2011/6/4 10:19	7.74
2011/6/4 10:30	5.93	261.1	2011/6/4 10:21	7.55
2011/6/4 10:40	5.61	259.8	2011/6/4 10:39	7.35
2011/6/4 10:50	5.85	260.9	2011/6/4 10:40	7.35
2011/6/4 11:00	5.50	260.1	2011/6/4 10:51	7.06
2011/6/4 11:10	5.86	260.7	2011/6/4 11:05	7.45
2011/6/4 11:20	5.56	259.9	2011/6/4 11:12	7.06
2011/6/4 11:30	5.88	259.2	2011/6/4 11:29	7.84
2011/6/4 11:40	5.54	258.3	2011/6/4 11:30	7.74
2011/6/4 11:50	5.17	258.5	2011/6/4 11:40	6.37
2011/6/4 12:00	5.05	256.6	2011/6/4 11:57	7.15
2011/6/4 12:10	4.87	255.4	2011/6/4 12:02	6.57
2011/6/4 12:20	4.54	253.2	2011/6/4 12:18	6.86

表 3-7 臺中港北側大甲溪河口海域附近退潮時段風速風向觀測紀錄

時間	平均風速 (m/s)	平均風向 (Dir)	最大陣風 發生時間	最大陣風 (m/s)
2011/6/4 12:30	5.05	256.0	2011/6/4 12:25	6.86
2011/6/4 12:40	5.89	259.8	2011/6/4 12:37	8.04
2011/6/4 12:50	6.23	260.7	2011/6/4 12:47	7.84
2011/6/4 13:00	6.27	260.4	2011/6/4 12:59	8.04
2011/6/4 13:10	6.60	260.4	2011/6/4 13:09	8.04
2011/6/4 13:20	6.54	260.7	2011/6/4 13:11	8.53
2011/6/4 13:30	6.49	260.0	2011/6/4 13:21	8.04
2011/6/4 13:40	6.23	260.1	2011/6/4 13:32	7.84
2011/6/4 13:50	6.15	260.0	2011/6/4 13:45	7.74
2011/6/4 14:00	5.95	259.3	2011/6/4 13:54	7.84
2011/6/4 14:10	6.05	257.5	2011/6/4 14:08	8.23
2011/6/4 14:20	6.59	260.2	2011/6/4 14:15	8.33
2011/6/4 14:30	6.53	260.8	2011/6/4 14:24	8.62
2011/6/4 14:40	7.24	261.5	2011/6/4 14:39	9.11
2011/6/4 14:50	7.91	262.2	2011/6/4 14:43	9.80
2011/6/4 15:00	7.28	262.3	2011/6/4 14:58	8.92
2011/6/4 15:10	7.20	261.8	2011/6/4 15:02	8.82
2011/6/4 15:20	6.59	261.7	2011/6/4 15:16	8.23
2011/6/4 15:30	6.36	262.3	2011/6/4 15:20	8.13
2011/6/4 15:40	5.56	261.6	2011/6/4 15:31	7.45
2011/6/4 15:50	5.03	257.0	2011/6/4 15:43	7.25
2011/6/4 16:00	4.14	246.6	2011/6/4 15:56	6.17

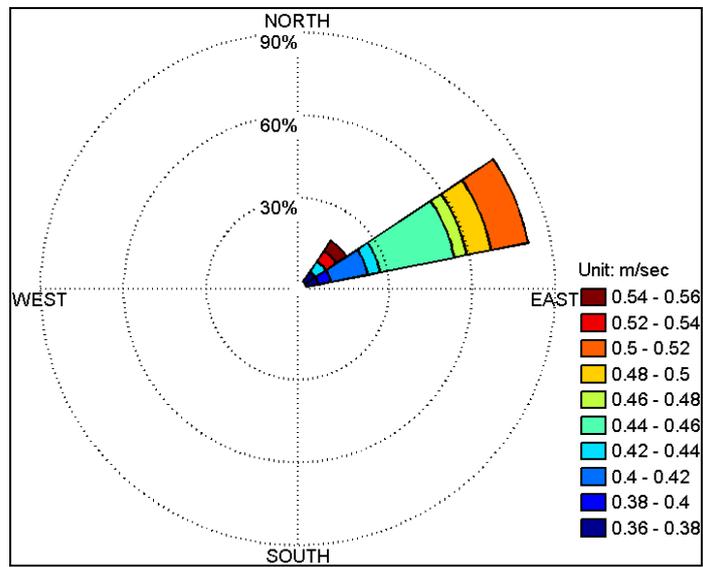


圖 3-26 臺中港北側大甲溪河口海域漲潮時段水下定點流速流向玫瑰圖

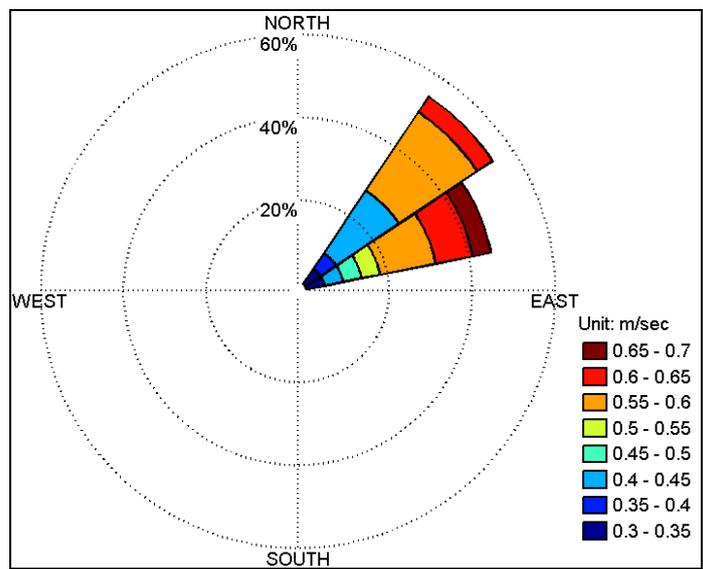


圖 3-27 臺中港北側大甲溪河口海域退潮時段水下定點流速流向玫瑰圖

表 3-8 臺中港北側大甲溪河口海域漲潮時段水下定點流觀測紀錄

時間	Temperature(deg C)	Speed(m/s)	Direction(Deg)
2011/6/4 08:50	26.8	0.6	55.2
2011/6/4 09:00	26.3	0.5	55.1
2011/6/4 09:10	26.2	0.5	61.9
2011/6/4 09:20	26.1	0.5	65.4
2011/6/4 09:30	26.1	0.5	63.6
2011/6/4 09:40	26.1	0.5	61.3
2011/6/4 09:50	26.1	0.5	68.0
2011/6/4 10:00	26.1	0.5	58.6
2011/6/4 10:10	26.2	0.5	65.3
2011/6/4 10:20	26.2	0.5	66.3
2011/6/4 10:30	26.2	0.4	64.2
2011/6/4 10:40	26.1	0.4	64.6
2011/6/4 10:50	26.1	0.5	58.7
2011/6/4 11:00	26.2	0.4	61.4
2011/6/4 11:10	26.2	0.4	62.5
2011/6/4 11:20	26.2	0.4	59.7
2011/6/4 11:30	26.2	0.5	63.5
2011/6/4 11:40	26.2	0.4	54.3
2011/6/4 11:50	26.2	0.4	51.9
2011/6/4 12:00	26.1	0.4	57.8
2011/6/4 12:10	26.1	0.5	58.6
2011/6/4 12:20	26.1	0.4	58.5

表 3-9 臺中港北側大甲溪河口海域退潮時段水下定點流觀測紀錄

時間	Temperature(deg C)	Speed(m/s)	Direction(Deg)
2011/6/4 12:30	26.1	0.4	53.1
2011/6/4 12:40	26.1	0.4	55.0
2011/6/4 12:50	26.1	0.3	48.8
2011/6/4 13:00	26.0	0.3	59.1
2011/6/4 13:10	26.0	0.4	59.2
2011/6/4 13:20	26.1	0.4	53.6
2011/6/4 13:30	26.1	0.4	55.4
2011/6/4 13:40	26.1	0.4	56.1
2011/6/4 13:50	26.2	0.5	58.3
2011/6/4 14:00	26.5	0.5	58.8
2011/6/4 14:10	26.5	0.6	59.0
2011/6/4 14:20	26.5	0.6	57.3
2011/6/4 14:30	26.5	0.6	56.0
2011/6/4 14:40	26.5	0.6	54.5
2011/6/4 14:50	26.5	0.6	53.4
2011/6/4 15:00	26.5	0.6	54.6
2011/6/4 15:10	26.6	0.6	54.1
2011/6/4 15:20	26.7	0.6	61.5
2011/6/4 15:30	26.7	0.6	60.2
2011/6/4 15:40	26.7	0.6	56.1
2011/6/4 15:50	26.7	0.7	66.1
2011/6/4 16:00	26.6	0.6	61.3

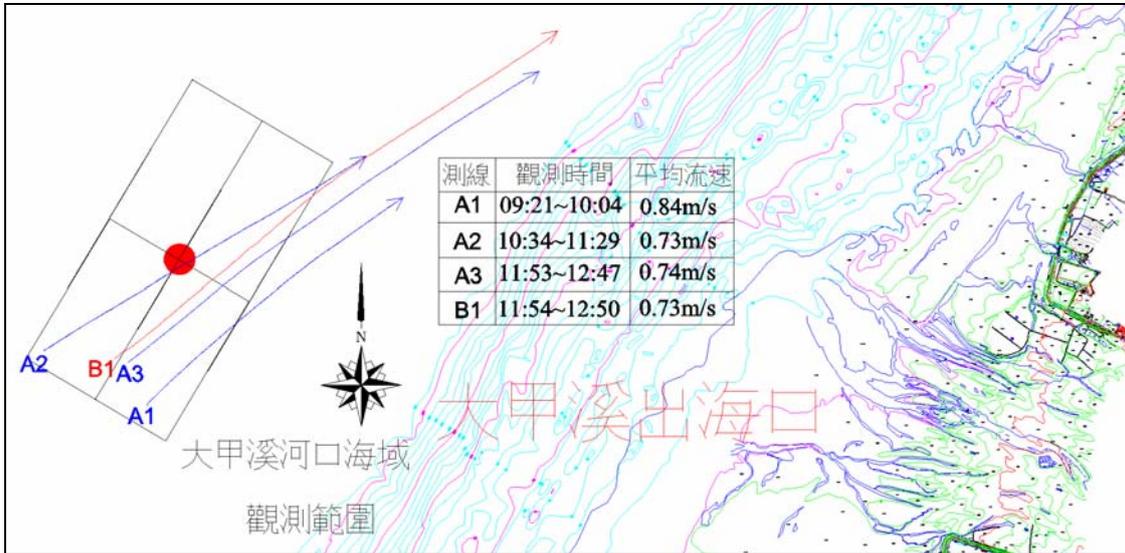


圖 3-28 臺中港北側大甲溪河口海域漲潮時段漂浮球運動軌跡圖

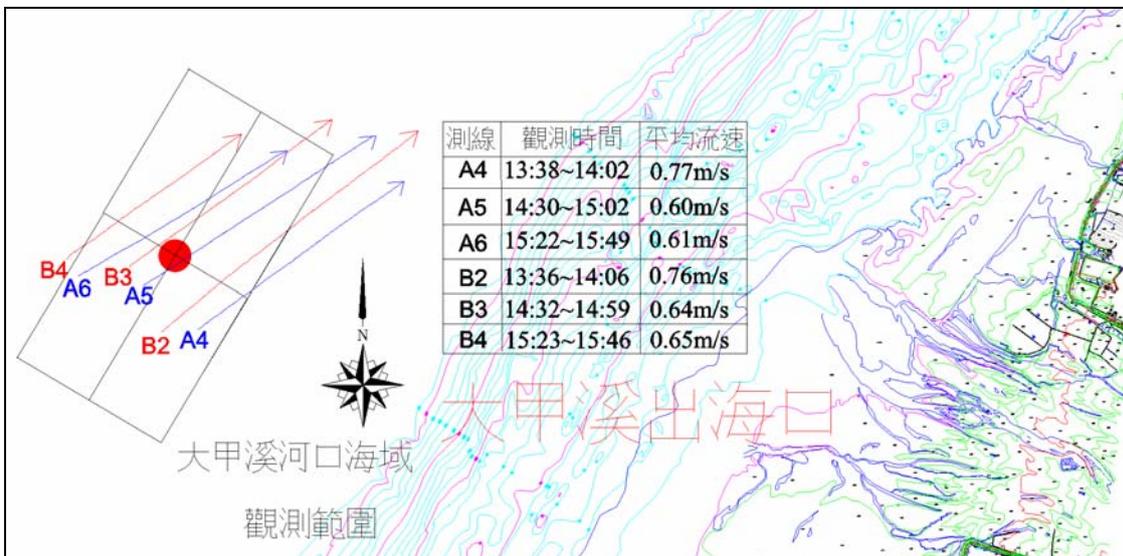


圖 3-29 臺中港北側大甲溪河口海域退潮時段漂浮球運動軌跡圖

### 3.2.4 烏溪河口海域觀測結果

臺中港南側烏溪河口附近海域於民國 100 年 6 月 5 日進行。依既有觀測規劃，配合平面流況觀測時程，同步進行潮汐水位、水下定點流況及陸域風速風向觀測，觀測結果分如下述。

#### 1. 風速風向及水下定點流況分佈

臺中港南側烏溪河口附近海域漂流浮標流況調查作業規劃，依中央氣象局之潮汐預報資料，於民國 100 年 6 月 5 日 08:30~16:00 完成觀測，該觀測時段已包含漲退潮時。潮汐水位測站設置於梧棲漁港港內相對穩靜水域 (N24°17'33.8", E120°31'03.9")，觀測結果潮汐水位時序列紀錄如圖 3-30 所示。

臺中港南側烏溪河口附近陸域風速風向觀測作業，配合海域平面流況調查時程，將風速風向觀測站設置於臺中港港口附近空曠處(N24°17'33.6", E120°31'15.6")，觀測結果如圖 3-31 至圖 3-35 及表 3-10 與表 3-11 所示。根據風速風向觀測紀錄顯示：本次漲潮時段最大陣風可達 9.11 m/s，平均風速約為 5.19 m/s，主風向為西南西向；退潮時段最大陣風可達 8.33 m/s，平均風速可達 5.25 m/s，主風向大抵介於西南西~西向間。

水下定點流況觀測以水下 3m 繫留流速儀方式進行定點水流觀測，佈設位置為(N24°13'11.7", E120°25'26.5")附近。水下定點流況觀測結果顯示：漲潮時段定點水流最大及最小流速分別約為 0.58 及 0.37 m/s，平均速度則約為 0.49 m/s，主流向為東北向；退潮時段定點水流最大及最小流速分別約為 0.40 及 0.32 m/s，平均流速則約為 0.37 m/s，主流向同漲潮時段為東北向，漲退潮定點流況如圖 3-36 至圖 3-37 及表 3-12 至表 3-13 所示。

#### 2. 海域平面流況

臺中港南側烏溪河口附近海域漂流浮標流況調查作業，於民國 100

年 6 月 5 日 08:30~16:00 進行漲潮與退潮時段平面流況調查，觀測結果如圖 3-38 與圖 3-39 所示。

圖 3-38 為觀測海域漲潮時段的平面流況觀測結果。圖中，A-1 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/5 08:59~09:42 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.90 及 0.09 m/s，平均流速則約為 0.45 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。A-2 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/5 10:03~10:57 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.86 及 0.05 m/s，平均流速則約為 0.46 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。A-3 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/5 11:20~12:17 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 1.05 及 0.03 m/s，平均流速則約為 0.41 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。A-4 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/5 12:35~13:09 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.86 及 0.04 m/s，平均流速則約為 0.34 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。圖中，B-1 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/5 09:01~09:45 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.96 及 0.06 m/s，平均流速則約為 0.50 m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-1 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。B-2 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/5 10:04~11:00 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 1.13 及 0.12 m/s，平均流速則約為 0.52 m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-2 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。B-3 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/5 11:22~12:19 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.92 及 0.05 m/s，平均流速則約為 0.43 m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-3 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。B-4 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/5 12:36~13:12 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 1.10 及 0.07 m/s，平均流速則

約為 0.43 m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-4 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。

圖 3-39 為觀測海域退潮時段的流況觀測結果。圖中，A-5 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/5 13:30~14:19 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.74 及 0.06 m/s，平均流速則約為 0.38 m/s，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。A-6 軌跡線為 A 浮球於 2011/6/5 14:38~15:32 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.90 及 0.04 m/s，平均流速則約為 0.32 m/s，漂浮球運動軌跡由西南往東北方向移動。圖 3-41 中，B-5 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/5 13:32~14:21 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.91 及 0.01 m/s，平均流速則約為 0.39 m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-5 相同，運動軌跡大抵由西南西往東北東方向移動。B-6 軌跡線為 B 浮球於 2011/6/5 14:39~15:36 時段內的觀測結果測繪，觀測時段內漂浮球最大及最小流速分別約為 0.86 及 0.07 m/s，平均流速則約為 0.38 m/s，漂浮球運動軌跡大抵與 A-6 相同，漂浮球運動軌跡由西南往東北方向移動。

### 3. 區域風場對表面流的影響

本次民國 100 年 6 月 5 日臺中港南測烏溪河口海域漲潮時段表面流向大抵由西南西往東北東方向流動，水下定點流向為東北向，水下定流平均流速約為 0.49 m/s，該時段之風向大抵為西南西向，平均風速為 5.19 m/s；退潮時段之水下定點流向大抵為東北向，平均流速約為 0.37 m/s，時段內風向大抵介於西南西~西向間，平均風速約可達 5.25 m/s。局部表面流向與區域定點流運動方向及區域流向大抵同向。

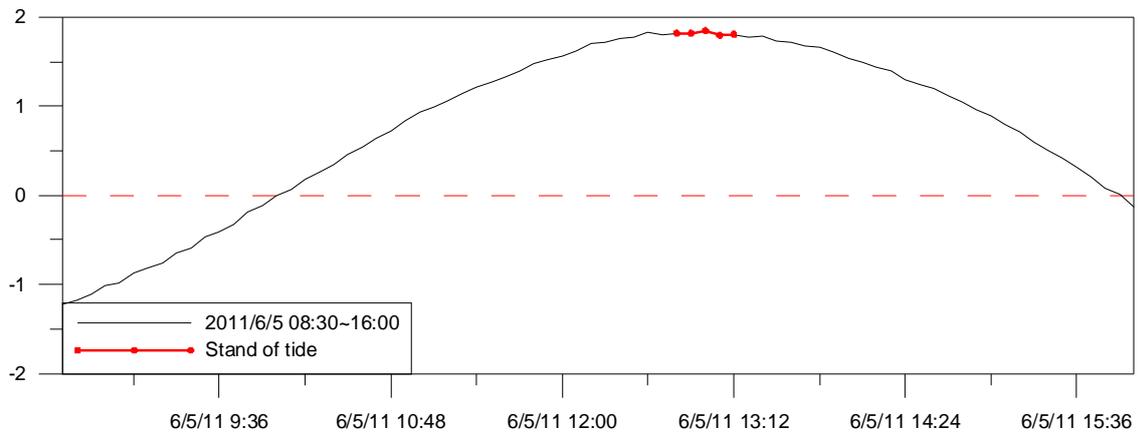


圖 3-30 民國 100 年 6 月 5 日潮汐水位變化時序列紀錄圖

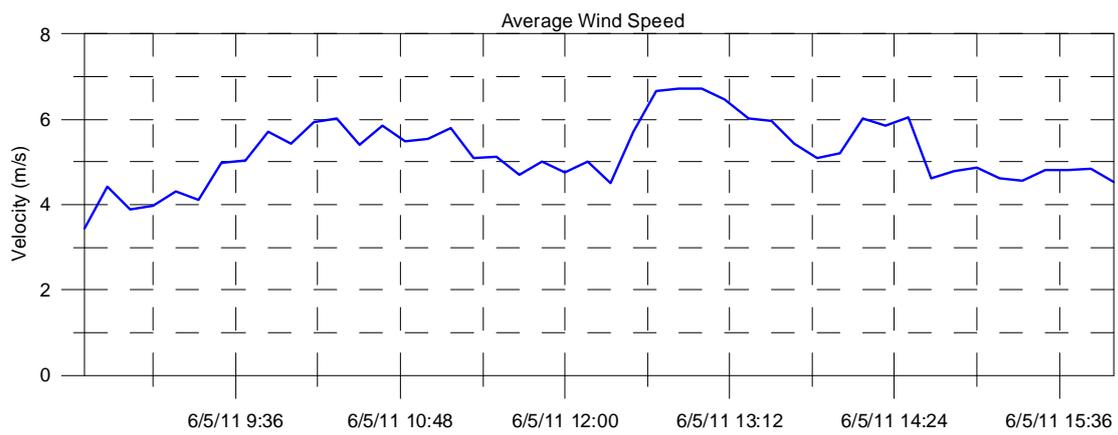


圖 3-31 臺中港南側烏溪河口海域附近平均風速觀測歷時圖

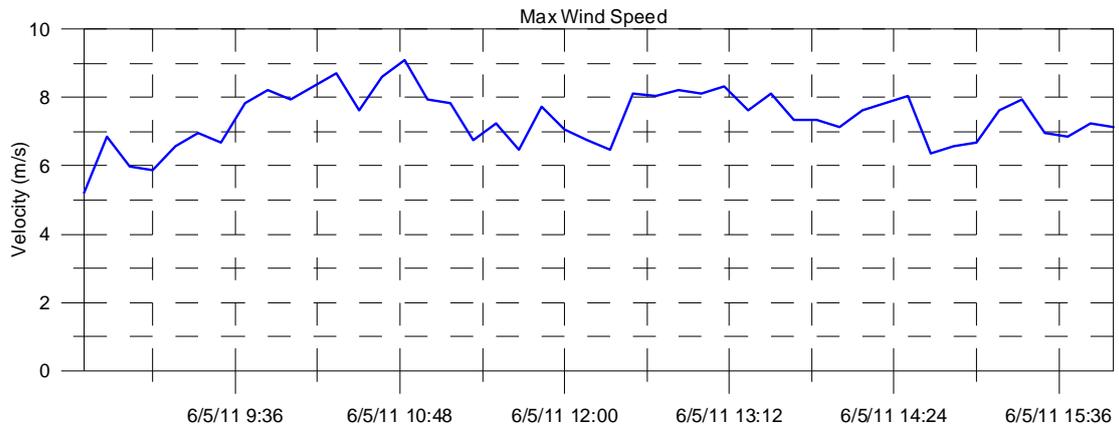


圖 3-32 臺中港南側烏溪河口海域附近最大陣風觀測歷時圖

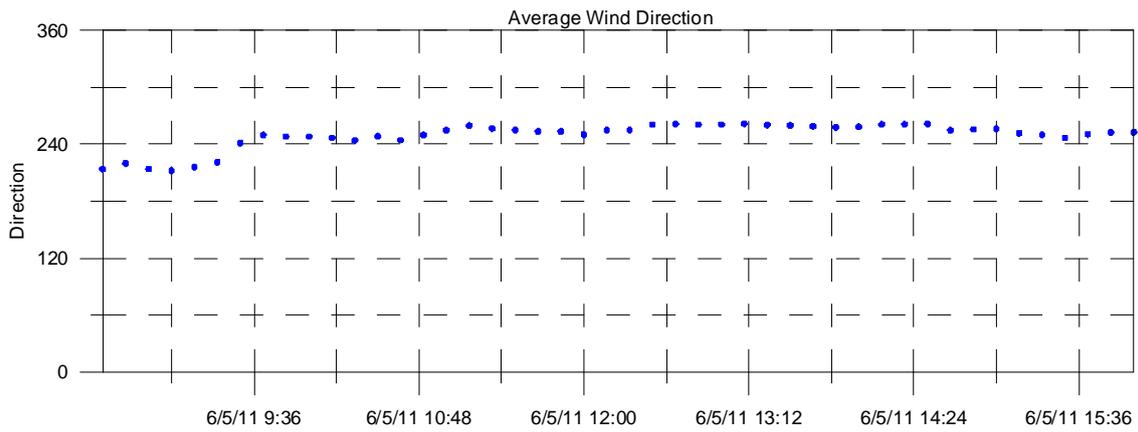


圖 3-33 臺中港南側烏溪河口海域附近平均風向觀測歷時圖

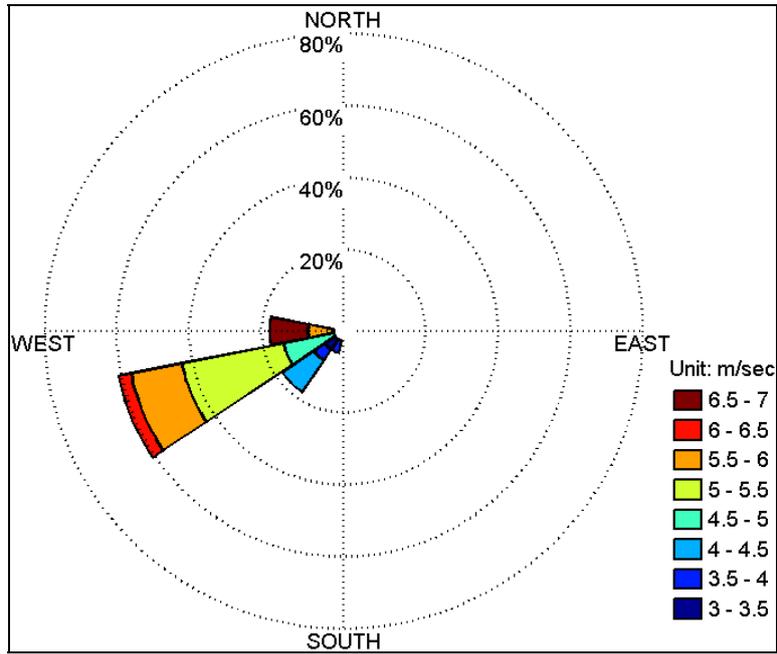


圖 3-34 臺中港南側烏溪河口海域附近漲潮時段陸域風速風向玫瑰圖

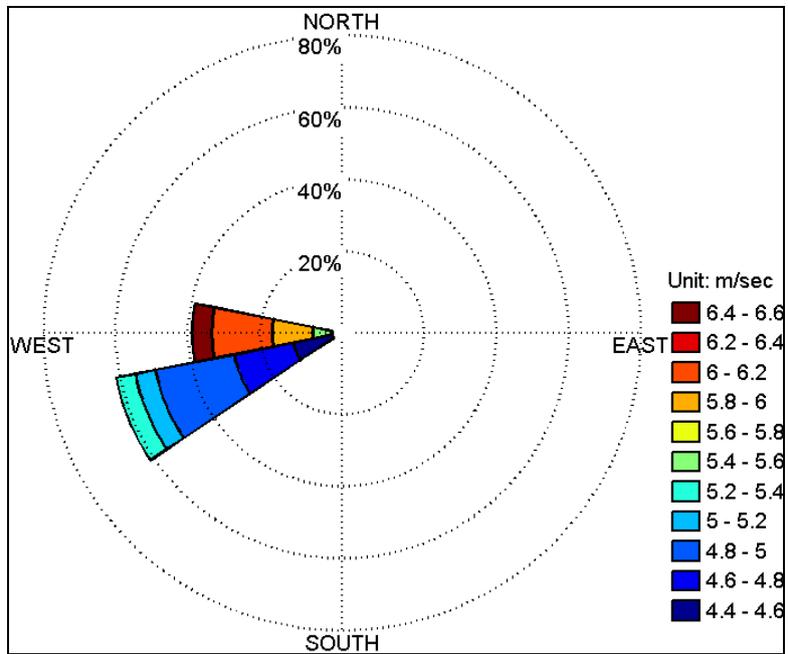


圖 3-35 臺中港南側烏溪河口海域附近退潮時段陸域風速風向玫瑰圖

表 3-10 臺中港南側烏溪河口海域附近漲潮時段風速風向觀測紀錄

時間	平均風速 (m/s)	平均風向 (Dir)	最大陣風 發生時間	最大陣風 (m/s)
2011/6/5 08:30	3.44	213.8	2011/6/5 08:25	5.19
2011/6/5 08:40	4.42	219.9	2011/6/5 08:36	6.86
2011/6/5 08:50	3.90	214.0	2011/6/5 08:42	5.98
2011/6/5 09:00	3.97	212.1	2011/6/5 08:51	5.88
2011/6/5 09:10	4.30	216.3	2011/6/5 09:03	6.57
2011/6/5 09:20	4.12	221.3	2011/6/5 09:18	6.96
2011/6/5 09:30	4.97	241.4	2011/6/5 09:22	6.66
2011/6/5 09:40	5.04	249.7	2011/6/5 09:39	7.84
2011/6/5 09:50	5.72	248.2	2011/6/5 09:43	8.23
2011/6/5 10:00	5.43	248.0	2011/6/5 09:58	7.94
2011/6/5 10:10	5.92	246.8	2011/6/5 10:05	8.33
2011/6/5 10:20	6.01	244.0	2011/6/5 10:16	8.72
2011/6/5 10:30	5.39	248.5	2011/6/5 10:23	7.64
2011/6/5 10:40	5.85	244.4	2011/6/5 10:38	8.62
2011/6/5 10:50	5.49	249.8	2011/6/5 10:44	9.11
2011/6/5 11:00	5.54	254.8	2011/6/5 10:57	7.94
2011/6/5 11:10	5.78	259.8	2011/6/5 11:03	7.84
2011/6/5 11:20	5.10	256.6	2011/6/5 11:14	6.76
2011/6/5 11:30	5.13	255.0	2011/6/5 11:25	7.25
2011/6/5 11:40	4.71	253.5	2011/6/5 11:31	6.47
2011/6/5 11:50	5.02	253.5	2011/6/5 11:45	7.74
2011/6/5 12:00	4.76	250.3	2011/6/5 11:56	7.06
2011/6/5 12:10	5.00	254.9	2011/6/5 12:05	6.76
2011/6/5 12:20	4.51	255.0	2011/6/5 12:10	6.47
2011/6/5 12:30	5.72	260.6	2011/6/5 12:29	8.13
2011/6/5 12:40	6.67	261.4	2011/6/5 12:34	8.04
2011/6/5 12:50	6.73	260.8	2011/6/5 12:42	8.23
2011/6/5 13:00	6.72	260.8	2011/6/5 12:57	8.13

表 3-11 臺中港南側烏溪河口海域附近退潮時段風速風向觀測紀錄

時間	平均風速 (m/s)	平均風向 (Dir)	最大陣風 發生時間	最大陣風 (m/s)
2011/6/5 13:10	6.47	261.7	2011/6/5 13:07	8.33
2011/6/5 13:20	6.03	260.4	2011/6/5 13:10	7.64
2011/6/5 13:30	5.96	260.0	2011/6/5 13:21	8.13
2011/6/5 13:40	5.42	259.0	2011/6/5 13:40	7.35
2011/6/5 13:50	5.08	257.8	2011/6/5 13:40	7.35
2011/6/5 14:00	5.21	258.4	2011/6/5 13:55	7.15
2011/6/5 14:10	6.02	260.9	2011/6/5 14:07	7.64
2011/6/5 14:20	5.85	260.9	2011/6/5 14:11	7.84
2011/6/5 14:30	6.06	261.5	2011/6/5 14:20	8.04
2011/6/5 14:40	4.60	254.7	2011/6/5 14:37	6.37
2011/6/5 14:50	4.78	255.7	2011/6/5 14:47	6.57
2011/6/5 15:00	4.87	256.3	2011/6/5 14:50	6.66
2011/6/5 15:10	4.61	251.6	2011/6/5 15:06	7.64
2011/6/5 15:20	4.57	249.9	2011/6/5 15:10	7.94
2011/6/5 15:30	4.81	246.9	2011/6/5 15:27	6.96
2011/6/5 15:40	4.82	250.5	2011/6/5 15:36	6.86
2011/6/5 15:50	4.85	252.5	2011/6/5 15:42	7.25
2011/6/5 16:00	4.52	252.8	2011/6/5 15:59	7.15

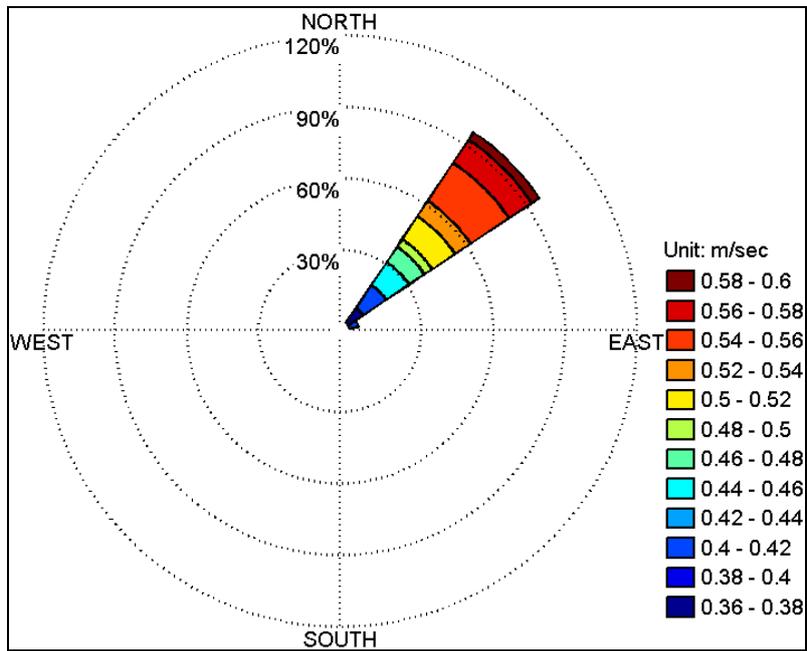


圖 3-36 臺中港南側烏溪河口海域漲潮時段海域流速流向玫瑰圖

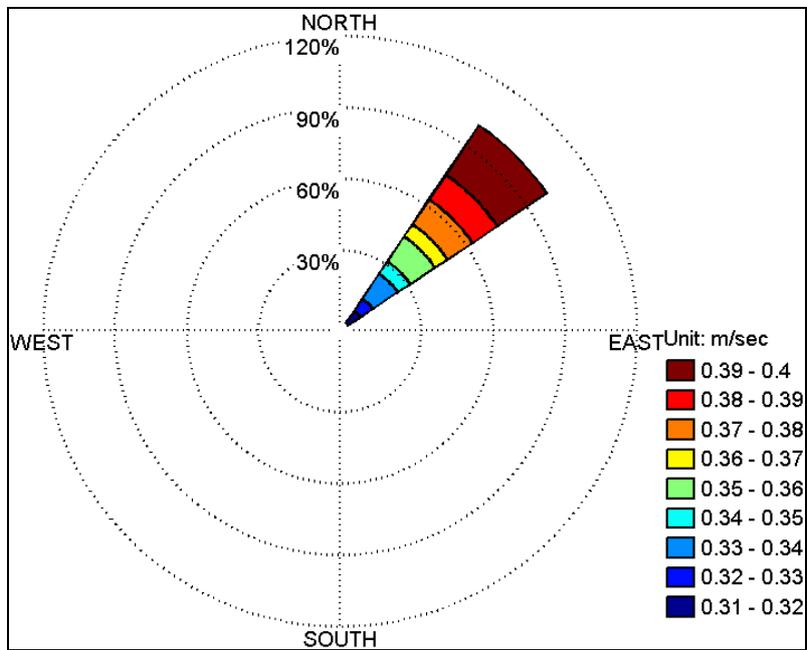


圖 3-37 臺中港南側烏溪河口海域退潮時段海域流速流向玫瑰圖

表 3-12 臺中港南側烏溪河口海域漲潮時段水下定點流觀測紀錄

時間	Temperature(deg C)	Speed(cm/s)	Direction(Deg)
2011/6/5 08:50	27.3	0.5	43.7
2011/6/5 09:00	26.9	0.5	47.0
2011/6/5 09:10	26.8	0.6	51.7
2011/6/5 09:20	26.7	0.5	50.2
2011/6/5 09:30	26.7	0.6	52.8
2011/6/5 09:40	26.7	0.5	52.5
2011/6/5 09:50	26.7	0.6	54.5
2011/6/5 10:00	26.6	0.6	52.2
2011/6/5 10:10	26.6	0.5	53.8
2011/6/5 10:20	26.6	0.6	51.9
2011/6/5 10:30	26.6	0.5	53.1
2011/6/5 10:40	26.6	0.5	55.3
2011/6/5 10:50	26.6	0.5	55.9
2011/6/5 11:00	26.7	0.5	51.2
2011/6/5 11:10	26.7	0.5	55.3
2011/6/5 11:20	26.7	0.5	52.3
2011/6/5 11:30	26.7	0.4	55.7
2011/6/5 11:40	26.7	0.4	54.4
2011/6/5 11:50	26.7	0.5	53.5
2011/6/5 12:00	26.7	0.4	56.0
2011/6/5 12:10	26.8	0.4	55.6
2011/6/5 12:20	26.8	0.4	57.1
2011/6/5 12:30	26.8	0.4	52.4
2011/6/5 12:40	26.8	0.4	50.9
2011/6/5 12:50	26.8	0.4	49.2
2011/6/5 13:00	26.8	0.4	47.6

表 3-13 臺中港南側烏溪河口海域退潮時段水下定點流觀測紀錄

時間	Temperature(deg C)	Speed(cm/s)	Direction(Deg)
2011/6/5 13:10	26.8	0.4	50.6
2011/6/5 13:20	26.8	0.4	55.2
2011/6/5 13:30	26.8	0.4	48.8
2011/6/5 13:40	26.8	0.3	50.3
2011/6/5 13:50	26.8	0.4	51.1
2011/6/5 14:00	26.8	0.4	52.0
2011/6/5 14:10	26.9	0.4	51.0
2011/6/5 14:20	26.9	0.3	50.8
2011/6/5 14:30	26.9	0.4	46.5
2011/6/5 14:40	27.0	0.4	44.7
2011/6/5 14:50	27.0	0.3	49.6
2011/6/5 15:00	27.0	0.4	50.3
2011/6/5 15:10	27.0	0.4	50.6
2011/6/5 15:20	27.0	0.4	52.9
2011/6/5 15:30	27.0	0.3	53.2
2011/6/5 15:40	27.0	0.3	54.1

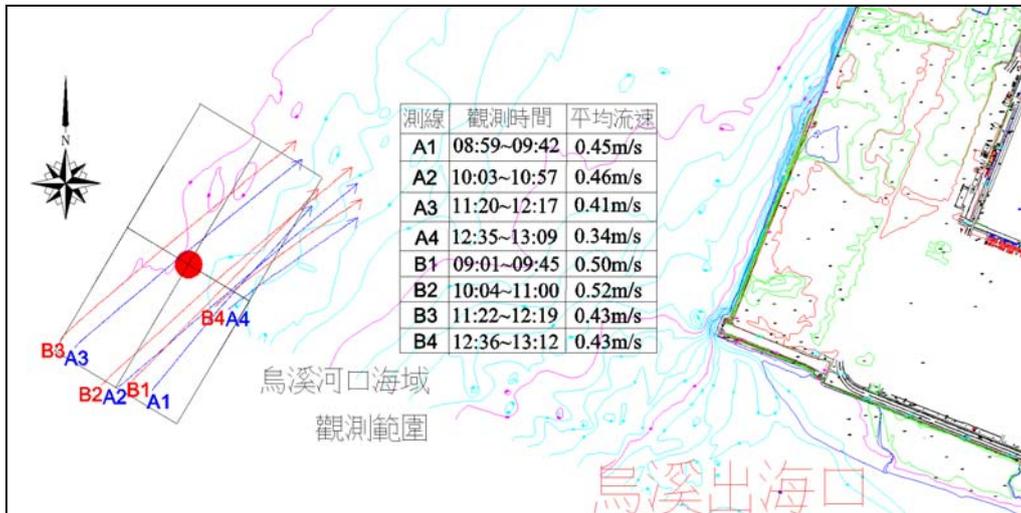


圖 3-38 臺中港南側烏溪河口海域漲潮時段漂浮球運動軌跡圖

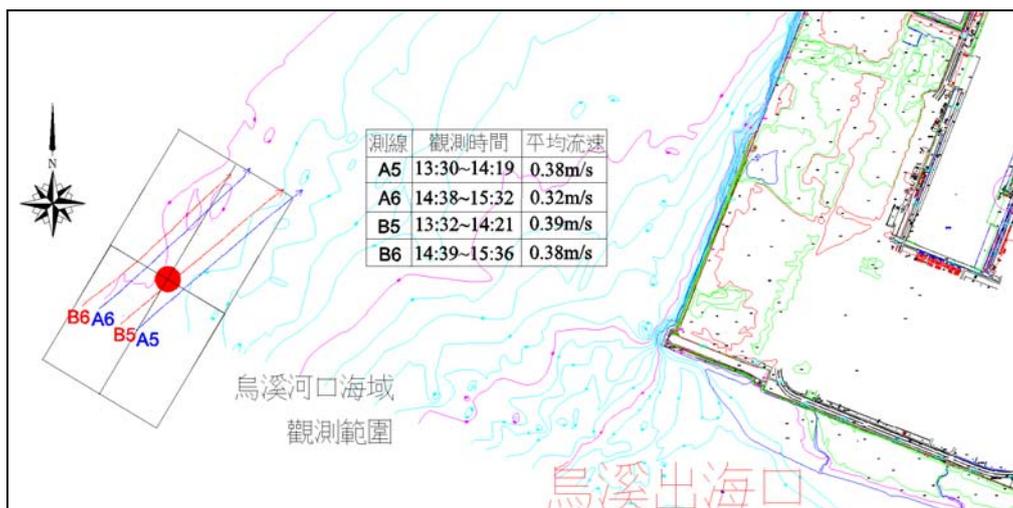


圖 3-39 臺中港南側烏溪河口海域退潮時段漂浮球運動軌跡圖

### 3.2.5 綜合結論

本平面流況觀測計畫係應用裝置於漂浮球內的差分式全球定位系統(DGPS)觀測臺中港北側大甲溪出海口與南側烏溪出海口海域流況，並同步配合進行潮汐及風速風向觀測。根據前述討論分析，可獲致以下結論：

#### 1. 風速風向

民國 100 年 6 月 4 日臺中港北側大甲溪河口海域附近風速風向觀測結果顯示：漲潮時段最大陣風可達 7.84 m/s，平均風速可達 5.12 m/s，主風向大抵為西向；退潮時段，最大陣風可達 9.80 m/s，平均風速可達 6.27 m/s，主風向大抵為西向。民國 100 年 6 月 5 日臺中港南側烏溪河口海域附近風速風向觀測結果顯示：漲潮時段最大陣風可達 9.11 m/s，平均風速可達 5.19 m/s，主風向大抵為西南西向；退潮時段，最大陣風可達 8.33 m/s，平均風速可達 5.25 m/s，風向大抵介於為西南西~西向。

#### 2. 定點流

臺中港北側大甲溪河口觀測區海域附近水下定點流況：漲潮時

段，定點水流最大及最小流速分別為 0.55 及 0.3 m/s，平均流速則約為 0.45 m/s，主流向大抵為東北東向；退潮時段，定點水流最大及最小流速分別為 0.68 及 0.33 m/s，平均流速則約為 0.51 m/s，主流向大抵為北北西向。臺中港南側烏溪河口觀測區海域附近水下定點流況：漲潮時段，定點水流最大及最小流速分別約為 0.58 及 0.37 m/s，平均速度則約為 0.49 m/s，主流向大抵為東北向；退潮時段，定點水流最大及最小流速分別約為 0.40 及 0.32 m/s，平均流速則約為 0.37 m/s，主流向大抵為東北向。

### 3. 表面流況

臺中港北側大甲溪河口觀測區海域附近漲潮時段最大及最小流速分別約為 1.22 及 0.21 m/s，平均流速則約為 0.76 m/s，主流向為西北向；退潮時段表面流最大及最小流速分別約為 1.28 及 0.20 m/s，平均流速則約為 0.67 m/s，流向大抵為西南西往東北東方向運動，結果詳如表 3-13 所示。臺中港南側烏溪河口觀測區海域附近漲潮時段表面流最大及最小流速分別約為 0.97 及 0.06 m/s，平均流速則約為 0.44 m/s，流向大抵為西南西往東北東方向運動；退潮時段最大及最小流速分別約為 0.85 及 0.05 m/s，平均流速則約為 0.37 m/s，流向分佈大抵為西南西往東北東方向運動，結果詳如表 3-14 所示。

表 3-14 臺中港北側大甲溪河口海域平面流況各觀測資料統計表

日期	潮別	浮球編號 (軌跡)	觀測延時	平面流況觀測				陸域風速風向觀測			定點流況觀測	
				最大流速 (m/s)	最小流速 (m/s)	平均流速 (m/s)	流向趨勢	平均風速 (m/s)	主風向 (Dir)	最大陣風 (m/s)	平均流速 (m/s)	主流向 (Dir)
2011/06/04	漲潮	A-1	09:21~10:04	1.13	0.20	0.84	ENE	4.82	SW	7.64	0.48	ENE
		A-2	10:34~11:29	1.05	0.18	0.73	ENE	5.74	W	7.84	0.43	ENE
		A-3	11:53~12:47	1.39	0.20	0.74	ENE	5.26	W	8.04	0.40	ENE
		B-1	11:54~12:50	1.30	0.25	0.73	ENE	5.26	W	8.04	0.40	ENE
	退潮	A-4	13:38~14:02	1.34	0.23	0.77	ENE	6.10	W	8.23	0.50	ENE
		A-5	14:30~15:02	1.32	0.23	0.60	ENE	7.24	W	9.80	0.59	NE
		A-6	15:22~15:49	1.18	0.18	0.61	ENE	5.89	W	8.23	0.61	ENE
		B-2	13:36~14:06	1.29	0.24	0.76	ENE	6.10	W	8.23	0.50	ENE
		B-3	14:32~14:59	1.46	0.16	0.64	ENE	7.24	W	9.80	0.59	NE
		B-4	15:23~15:46	1.11	0.18	0.65	ENE	5.89	W	8.23	0.61	ENE

表 3-15 臺中港南側烏溪河口海域平面流況各觀測資料統計表

日期	潮別	浮球編號 (軌跡)	觀測延時	平面流況觀測				陸域風速風向觀測			定點流況觀測	
				最大流速 (m/s)	最小流速 (m/s)	平均流速 (m/s)	流向趨勢	平均風速 (m/s)	主風向 (Dir)	最大陣風 (m/s)	平均流速 (m/s)	主流向 (Dir)
2011/06/05	漲潮	A-1	08:59~09:42	0.90	0.09	0.45	ENE	4.48	SW	7.84	0.56	NE
		A-2	10:03~10:57	0.86	0.05	0.46	ENE	5.66	WSW	9.11	0.53	NE
		A-3	11:20~12:17	1.05	0.03	0.41	ENE	4.89	WSW	7.74	0.45	NE
		A-4	12:35~13:09	0.86	0.04	0.34	ENE	6.65	W	8.33	0.39	NE
		B-1	09:01~09:45	0.96	0.06	0.50	ENE	4.48	SW	7.84	0.56	NE
		B-2	10:04~11:00	1.13	0.12	0.52	ENE	5.66	WSW	9.11	0.53	NE
		B-3	11:22~12:19	0.92	0.05	0.43	ENE	4.89	WSW	7.74	0.45	NE
		B-4	12:36~13:12	1.10	0.07	0.43	ENE	6.65	W	8.33	0.39	NE
	退潮	A-5	13:30~14:19	0.74	0.06	0.38	ENE	5.59	W	8.13	0.36	NE
		A-6	14:38~15:32	0.90	0.04	0.32	NE	4.89	WSW	8.04	0.35	NE
		B-5	13:32~14:21	0.91	0.01	0.39	ENE	5.59	W	8.13	0.36	NE
		B-6	14:39~15:36	0.86	0.07	0.38	NE	4.89	WSW	8.04	0.35	NE

### 3.3 北淤沙區地形測量

為進行北淤沙區飛沙機制探討，本研究於 99 年與 100 年在該地區共進行四次地形高程測量，並進行土方量分析以及飛沙量估算。

#### 3.3.1 測量範圍

臺中港北淤沙區地形測量範圍以臺中港北防波堤以北至北攔沙堤以南區域，其中 105 公頃為潮間帶區域，另外 30 公頃為編籬定沙區域，如圖 3-40 紅色框所示。



圖 3-40 測量範圍示意圖

#### 3.3.2 測量過程及方法

本地形測量採用 LIDAR 3D 測量(3D 雷射掃描)，共施測 4 次，於 2010.07.30 進行控制點檢測與引測，3D 雷射掃描為 2010.08.09～2010.08.10 進行第一次測量、2010.09.30～2011.10.01 進行第二次測量、2010.11.25～2010.11.26 進行第三次測量以及 2011.05.05～2011.05.11 進行第四次測量，3D 雷射掃描相關作業如照片 3-1 所示。由於部份範圍需配合潮汐進行施測，3D 雷射掃描配合最低潮進行施測，靠近岸邊區域因受海水影響容易造成 3D 雷射掃描資料上不足，不

足區域運用全測站經緯儀進行補測，使全測區資料完整。



照片 3-5 Lidar 地形測量情形

### 3.3.3 測量結果與分析

#### 1. 海岸飛沙量分析

本研究利用雷達及遙測影像分析及校正，擷取不同潮位系統下及不同季節北淤沙區之高程，探討不同潮位及不同季節時高程的變化特性。沙灘土方變化資料可作為分析海岸飛沙之依據，其結果可將海灘的整體變化趨勢作有效的預測，藉由比對兩次不同時間下之測量斷面，可得知飛沙與漂沙移動量之變化趨勢。最後依據所得到之飛沙相關參數資料與風場資料，進行飛沙模式之建立與校核。研究過程中，配合雷達量測之飛沙地形，所得之沙灘高程資料，分析各個區域之土方變化量，藉以瞭解各區域在不同海氣象條件變化下，沙灘移動量之關係。本研究針對臺中港北淤沙區劃分為三個區域，如圖 3-41 所示，針對各個區域土方變化量進行探討。依據高程量測時間，分析比較時間分別取：2010 年 9 月至 2010 年 10 月、2010 年 10 月至 2010 年 11 月、2010 年 11 月至 2011 年 5 月、2010 年 9 至 2011 年 5 月，針對不

同時段全區域侵淤圖如圖 3-42 至圖 3-45 所示。

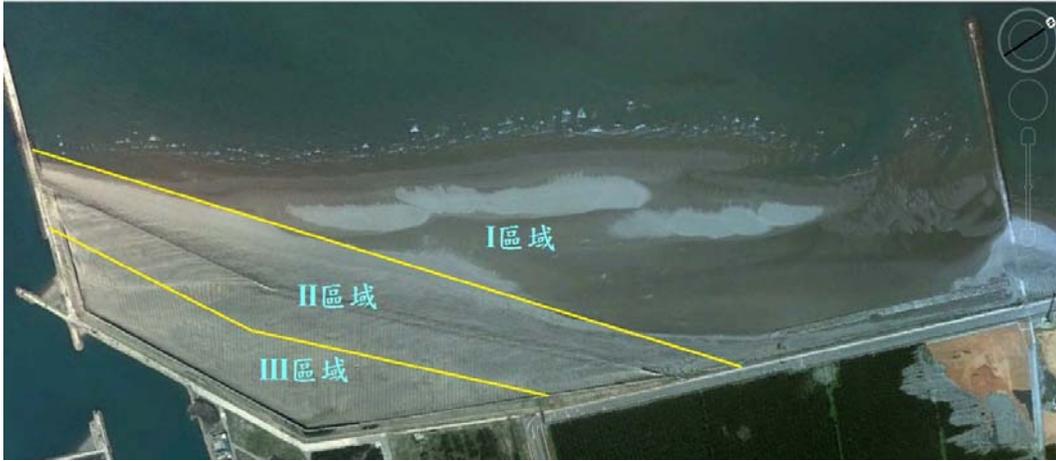


圖 3-41 臺中港北淤沙區區域劃分圖

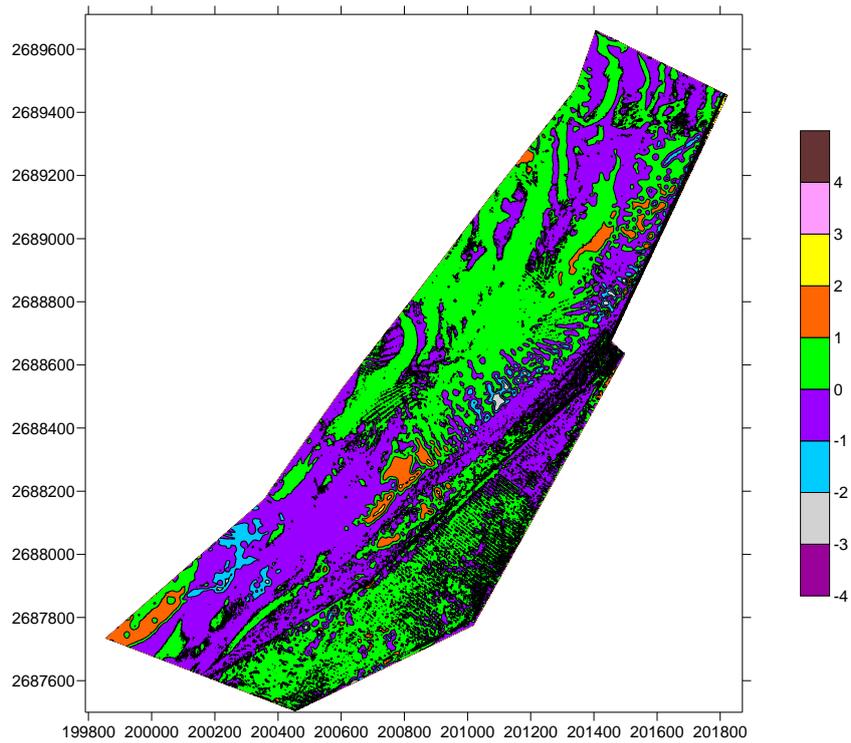


圖 3-42 全區域侵淤圖: 2010/09 至 2010/10 (單位:  $m$ )

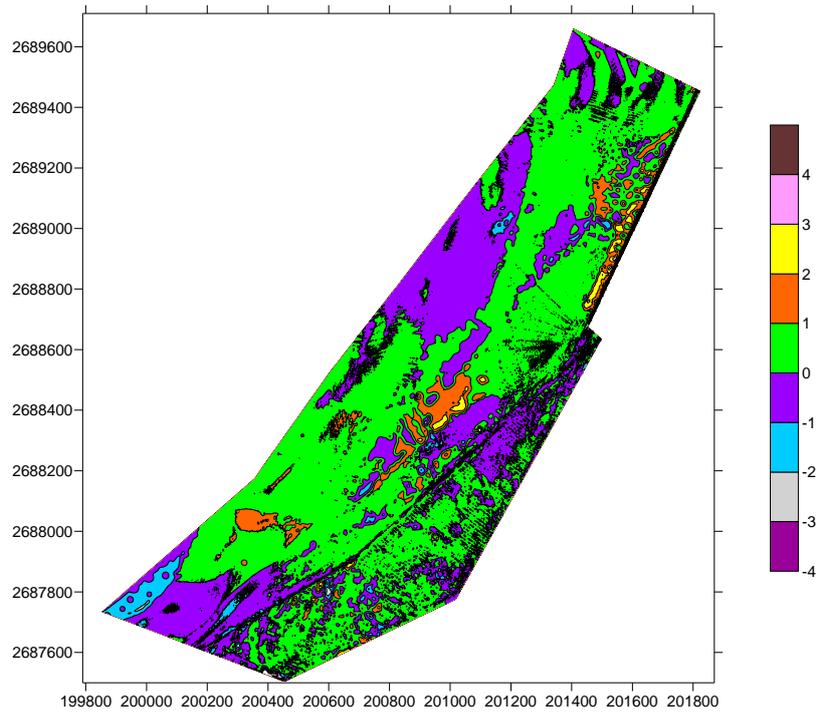


圖 3-43 全區域侵淤圖: 2010/10 至 2010/11 (單位:  $m$ )

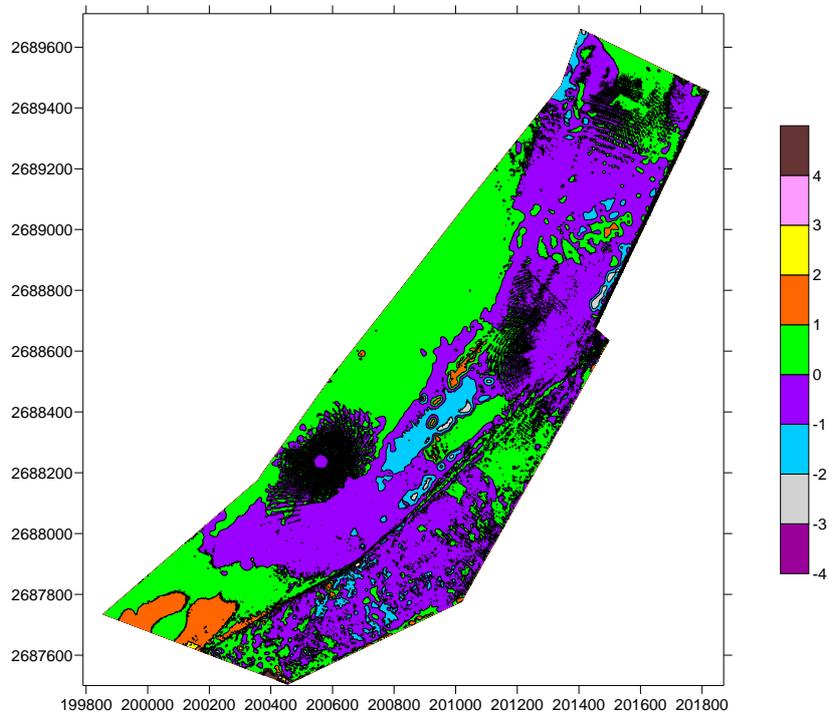


圖 3-44 全區域侵淤圖: 2010/11 至 2011/05 (單位:  $m$ )

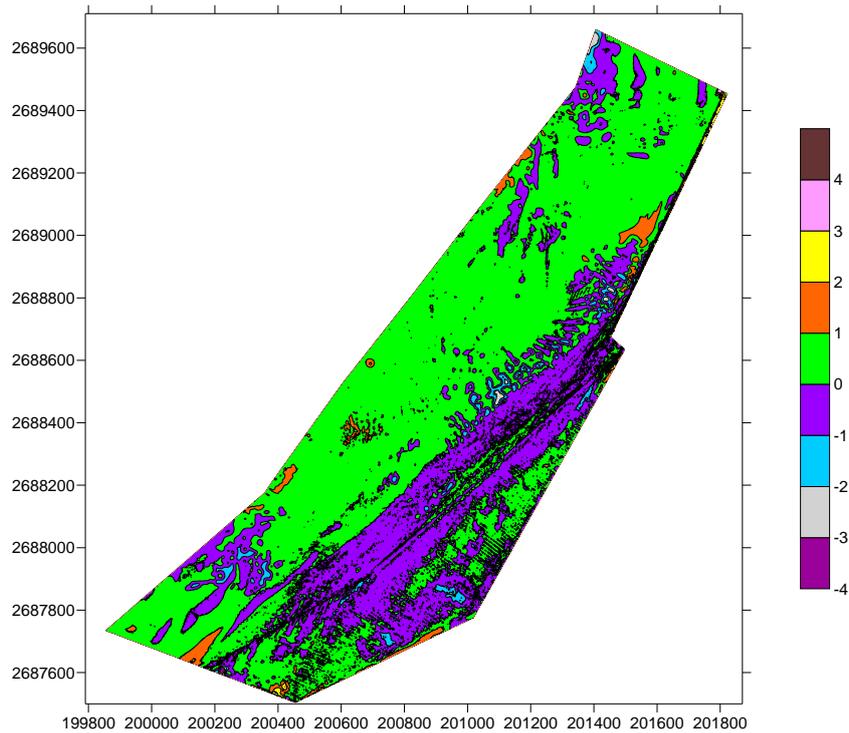


圖 3-45 全區域侵淤圖: 2010/09 至 2011/05 (單位:  $m$ )

## 2. 侵淤土方量比較

本章節針對臺中港北防波堤北側飛沙整治區之侵淤土方體積進行比較分析。各時段全區域侵淤體積分析結果，如表 3-16 至 3-19 所示。2010 年 9 月至 2010 年 10 月全區域總體積增加 5.6 萬方，2010 年 9 月至 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現正值，2010/10 至 2010/11 全區域總體積增加 26 萬方，2010/11 至 2011/05 全區域總體積減少 8.7 萬方；探討全區域中淤積及侵蝕狀況，2010/09 至 2011/05 全區域總體積為增加 23.1 萬方。圖 3-46 為各時段侵淤總體積圖，圖中顯示北淤沙區在東北季風開始作用期間沙量呈現增加趨勢。在東北季風結束季節，推算淤沙總量較東北季風盛行期間呈現減少趨勢，但區域內沙量總體積仍為正值。

表 3-16 臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/09~2010/10)

區域\體積	淤積體積( $m^3$ )	侵蝕體積( $m^3$ )	總體積( $m^3$ )
全區域	262,828	-206,185	56,642
I 區域	179,881	-146,592	33,288
II 區域	47,312	-48,528	-1,215
III 區域	35,634	-11,064	24,570

表 3-17 臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/10~2010/11)

區域\體積	淤積體積( $m^3$ )	侵蝕體積( $m^3$ )	總體積( $m^3$ )
全區域	489,342	-226,176	263,166
I 區域	349,959	-134,034	215,925
II 區域	91,493	-68,553	22,940
III 區域	47,889	-23,588	24,301

表 3-18 臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/11~2011/05)

區域\體積	淤積體積( $m^3$ )	侵蝕體積( $m^3$ )	總體積( $m^3$ )
全區域	287,268	-375,23	-87,961
I 區域	186,793	-180,154	6,638
II 區域	70424	-132467	-62,043
III 區域	30,050	-62,607	-32,557

表 3-19 臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/09~2011/05)

區域\體積	淤積體積( $m^3$ )	侵蝕體積( $m^3$ )	總體積( $m^3$ )
全區域	397,691	-165,844	231,847
I 區域	322,139	-66,287	255,852
II 區域	29,952	-70,271	-40,318
III 區域	45,599	-29,285	16,313

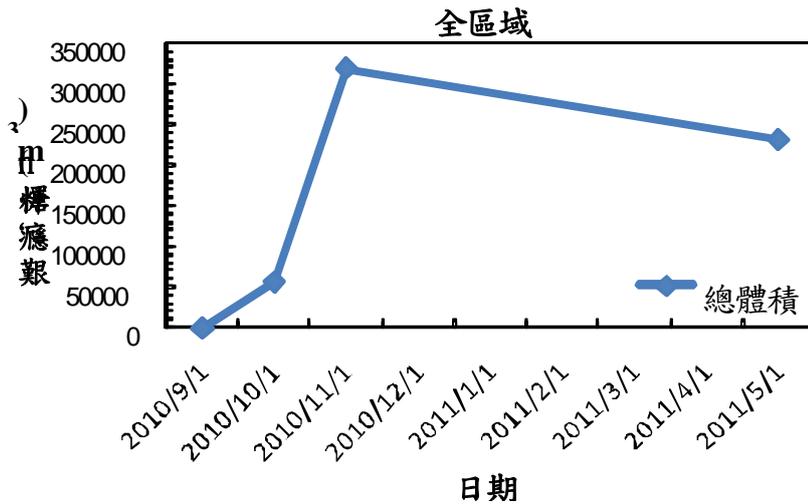


圖 3-46 全區域侵淤總體積圖

分析 I 區域侵淤體積，2010 年 9 月至 2010 年 10 月侵淤體積總量呈現淤積 3.3 萬方，2010 年 10 月至 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現淤積 21 萬方，2010 年 11 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現淤積 0.6 萬方，而 I 區域 2010 年 9 月至 2010 年 5 月侵淤體積淤積 25 萬方。分析上述結果，I 區區域內皆呈現淤積的情形，其原因為此區域受潮汐、波浪及大甲溪輸沙供給影響，此區域之沙灘呈現淤積的情形。雖然沙灘區域在退潮期間大量裸露加上季節風作用導致沙灘飛沙情形明顯，但整體仍呈現淤積的狀態，其時間累積圖如圖 3-47 所示。2010 年 10 月至 2010 年 11 月受颱風作用影響，此區域呈現大量的淤積情形，其餘時段則呈現小量的淤積狀態。

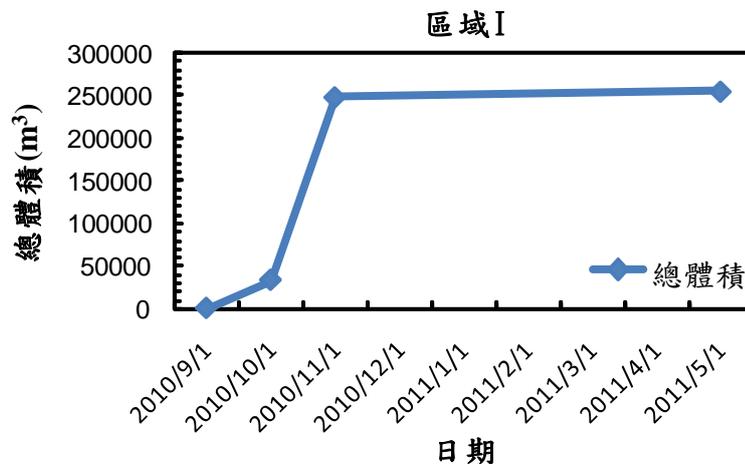


圖 3-47 區域 I 侵淤總體積圖

分析 II 區域侵淤體積，2010 年 9 月至 2010 年 10 月侵淤體積總量呈現侵蝕 0.1 萬方，2010 年 10 月至 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現淤積 2.2 萬方，2010 年 11 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現侵蝕 6.2 萬方，而 II 區域 2010 年 9 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現侵蝕 4.0 萬方。分析 2010 年 9 月至 2010 年 10 月結果，顯示侵蝕大於淤積，推估原因為此區域沙粒被帶往區域 III 的邊籬定沙區中。分析 2010 年 10 月至 2010 年 11 月結果，此處區域呈現淤積，推測此區域的沙粒受區域 I 沙源供應影響，被帶往區域 II 的海堤堤址附近處。分析 2010 年 11 月至 2011 年 5 月結果，此處區域呈現侵蝕現象，推測此區域的沙粒被帶往區域 III。於 2010 年 9 月至 2011 年 5 月間，海堤堤址附近處，呈現先淤積後侵蝕現象，此監測期間呈現侵蝕較多的現象，其時間累積圖如圖 3-48 所示。2010 年 10 月至 2010 年 11 月受颱風作用影響，此區域先呈現淤積情形，其餘時段受季風作用影響則呈現小量的侵蝕狀態。

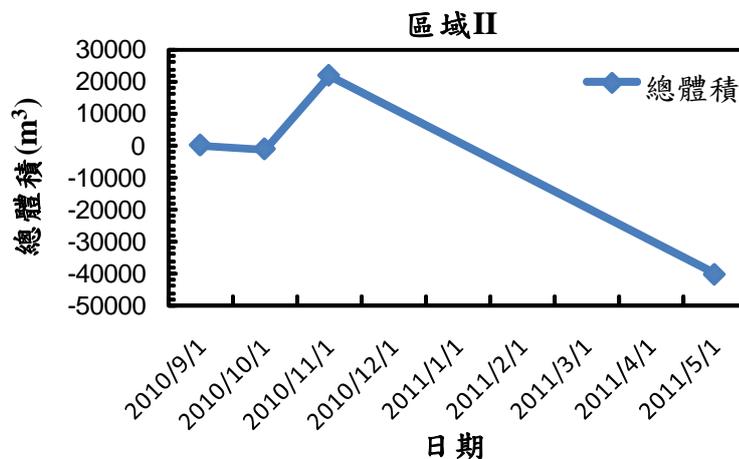


圖 3-48 區域 II 侵淤總體積圖

分析 III 區域侵淤體積，2010 年 9 月至 2010 年 10 月侵淤體積總量呈現淤積 2.4 萬方，2010 年 10 月至 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現淤積 2.4 萬方，2010 年 11 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現侵蝕 3.2 萬方，而 III 區域 2010 年 9 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現淤積 1.6 萬方。分析 III 區域中淤積及侵蝕狀況，區域 III 為編籬定沙區，此區域在 2010 年 9 月至 2010 年 10 月的沙量呈現較大的淤積表現，推估原

因在此期間開始受東北季風影響，II 區域之飛沙被帶入此區域。分析 2010 年 10 月至 2010 年 11 月結果，此區域的沙量呈現淤積表現，區域 II 與區域 III 都呈現淤積的現象，故此區域的飛沙可能來自區域 I 廣大沙灘供給。2010 年 11 月至 2010 年 5 月間，此區域沙量在經過東北季風作用後，呈現沙量減少的情形發生。經實地探勘，其沙粒部分被帶往南側越過擋風牆進入港區航道內。此區域 2010 年 9 月至 2011 年 5 月的沙量亦呈現先淤積後侵蝕現象，時間累積圖如圖 3-49 所示。推測在東北季風作用初期，飛沙運移不致被帶離此區域；但在盛行期間風速較大，部分沙粒被帶往南側越過擋風牆進入港區航道內，導致區域內的飛沙體積減少。

分析單純受飛沙影響區域、比較各時段、各區域之飛沙量及運移路徑推估 2010 年 11 月至 2011 年 5 月間約有 8.7 萬飛沙飛離北淤沙區中，部分沙粒可能越過擋風牆淤積於擋風牆外側或進入港區航道內。

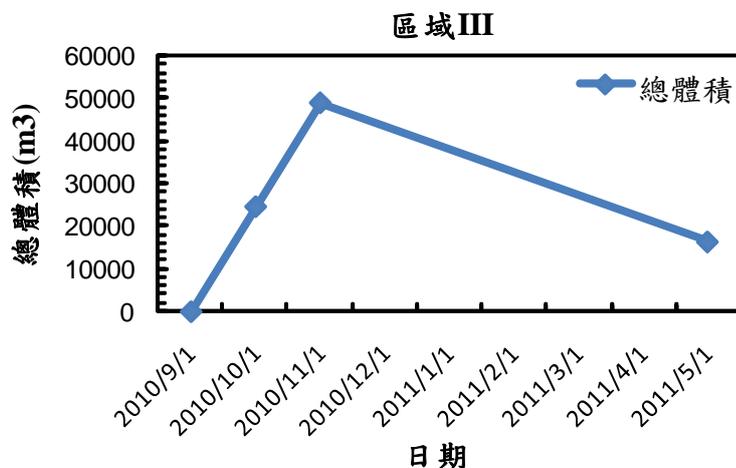


圖 3-49 區域 III 侵淤總體積圖

### 3.3.4 漂飛沙量推估

依據區域高程測量之結果進行漂、飛沙量推估，在假設漂飛、沙量守恆情況下（地形對應圖為圖 3-50），以現有觀測資料進行分析，其方程式可設為如下：

$$\alpha(\Delta V_1) + \beta(\Delta V_2) - \varepsilon = (\Delta V_3) \quad (3-6)$$

式中  $\Delta V_1$ 、 $\Delta V_2$  及  $\Delta V_3$  為各時段沙粒累積體積， $\alpha$ 、 $\beta$  及  $\varepsilon$  為所欲求得之係數。將量測資料代入式(3-1)，各時段關係式可表示為：

$$\alpha(33,288) + \beta(-1,215) - \varepsilon = 24,570 \quad (2010/09\sim 2010/10)$$

$$\alpha(215,925) + \beta(22,940) - \varepsilon = 24,301 \quad (2010/10\sim 2010/11)$$

$$6\alpha(6,638) + 6\beta(-62,043) - 6\varepsilon = -32,557 \quad (2010/09\sim 2011/05)$$

依據上式可解得

$$\alpha = -0.07, \beta = 0.54, \varepsilon = -27564 \text{ (} m^3/\text{month)}$$

初步推估區域 I 有 7% 的沙源從此去被帶往第 II 區，區域 II 有 54% 的沙源在此區域移動，每月有 27,564  $m^3$  沙粒被帶離北淤沙區中。推估 2010 年 10 月至 2011 年 5 月間有 165,276  $m^3$  的沙源被帶離此目標區。所估算的量值與臺中港務局 (2007) 「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程可行性研究」報告結果所估算北淤沙區年飛沙量至少在 30 萬方以上水準相接近 (半年約 15 萬方以上)。

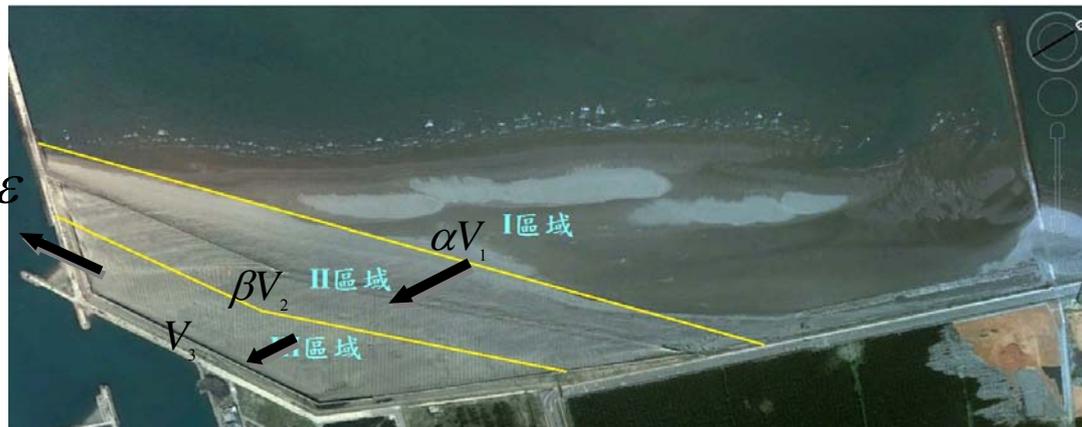


圖 3-50 漂飛沙量估算地形示意圖

## 第四章 水理模式建立與相關機制探討

污染質在臺中港區之稀釋與擴散傳輸的快慢，關係其水體水質的優劣，而臺中港區水質之擴散傳輸作用主要係由潮汐之漲落所造成之海流運動所控制。本年度將新建立三維水理之數值模式，使用本年度於臺中港南北兩側所設立之海流測站來率定與驗證去年度所建立之二維或今年度新建立之三維水動力模式，並藉由二維或三維水理模式來模擬分析臺中港區海域之水動力情形。

### 4.1 二維水動力控制方程式

將三維的運動方程式與連續方程式由海底積分至海面，同時加入底部和表面的邊界條件，則可得到下列的平面二維流場控制方程式：

#### 1. 連續方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(HU)}{\partial x} + \frac{\partial(HV)}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (4-1)$$

#### 2. x、y 方向運動方程式

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{U(U^2 + V^2)^{1/2}}{C^2 H} \dots\dots\dots (4-2)$$

$$- \frac{1}{\rho H} \tau_x^s - (E_{xx} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}) = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \frac{V(U^2 + V^2)^{1/2}}{C^2 H} \dots\dots\dots (4-3)$$

$$- \frac{1}{\rho H} \tau_y^s - (E_{yy} \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + E_{yx} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}) = 0$$

以上諸式中

$x$ 、 $y$  為右手直角座標， $x$ 、 $y$  隨邊界而定其方向

$U$ 、 $V$  為相對於  $x$ 、 $y$  方向之水深平均流速分量

$t$  為時間

$\rho$  為海水密度

$g$  為重力加速度

$E_{xx}, E_{yy}, E_{xy}, E_{yx}$  為渦動粘性係數

$f$  地球自轉之柯氏力係數

$\tau_x^s, \tau_y^s$  為表面風剪力分量

$C$  為 Chezy 係數，隨水深而變化

$$U = \frac{1}{H} \int_{-d}^{\zeta} u dz$$

$$V = \frac{1}{H} \int_{-d}^{\zeta} v dz$$

$$H = \zeta + d$$

$d$ ：水深

$\zeta$ ：自由水面的高度

$$f = 2\Omega \sin \phi$$

$\phi$  為緯度

$\Omega$  為地球自轉的角速度

$$\tau_x^s = \rho_a \theta \omega^2 \sin \phi$$

$$\tau_y^s = \rho_a \theta \omega^2 \cos \phi$$

$\theta$  為風力係數  $\approx 0.0026$

$\omega$  為風速

$\rho_a$  : 空氣密度

$\varphi$  : 為風向與  $y$  軸之夾角

上述連續與運動方程式將以 ADI 計算技巧來求解。模式中必須率定的參數主要為底床摩擦係數(Chezy 係數)與渦動粘性係數。在潮間帶乾濕地變化的處理部份，由於 ADI 計算技巧為雙掃法，其在計算過程中需要依續解  $x$  與  $y$  方向之矩陣，因此模式中假設當隔網點在  $x$  或  $y$  方向之平均水深小於 0.1 公尺時，其相對之流速分量  $u$  或  $v$  將設為零。

## 4.2 三維模式之理論與建立

### 4.2.1 基本方程式

在河口或近岸海域，海流主要在水平方向流動，此時海流在水深方向的加速度遠小於重力加速度，因此其值可被忽略，而水深方向之動量方程式將可簡化成靜水壓方程式。若再對海水之密度變化做 Boussinesq 假設，則主導近岸海域海流運動之控制方程式可以表示如下：

#### 1. 動量方程式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} - fv + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} + fu + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \dots\dots\dots (4-6)$$

2. 連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (4-7)$$

3. 狀態方程式：

$$\rho = fn(s, \mathbf{T}) \dots\dots\dots (4-8)$$

4. 鹽度與溫度之擴散傳輸方程式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial(us)}{\partial x} + \frac{\partial(vs)}{\partial y} + \frac{\partial(ws)}{\partial z} - \frac{\partial[D_x(\partial s/\partial x)]}{\partial x} \\ - \frac{\partial[D_y(\partial s/\partial y)]}{\partial y} - \frac{\partial[\kappa(\partial s/\partial z)]}{\partial z} = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (4-9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial t} + \frac{\partial(u\mathbf{T})}{\partial x} + \frac{\partial(v\mathbf{T})}{\partial y} + \frac{\partial(w\mathbf{T})}{\partial z} - \frac{\partial[D_x(\partial \mathbf{T}/\partial x)]}{\partial x} \\ - \frac{\partial[D_y(\partial \mathbf{T}/\partial y)]}{\partial y} - \frac{\partial[\kappa'(\partial \mathbf{T}/\partial z)]}{\partial z} = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (4-10)$$

以上諸式中， $x$ 、 $y$ 、 $z$ 為右手直角座標， $u$ 、 $v$ 、 $w$ 為相對於 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向之流速分量， $p$ 表壓力， $s$ 表鹽度， $\mathbf{T}$ 表溫度， $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{xz}$ 、 $\tau_{yx}$ 、 $\tau_{yy}$ 、 $\tau_{yz}$ 表紊流剪應力， $D_x$ 、 $D_y$ 、 $\kappa$ (或 $\kappa'$ )分別表鹽度或溫度在 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向之離散係數。

4.2.2 三維水層平均模式

若將海域水體劃分成圖 4-1 所示的控制體，則可對上節之控制方程式於每一水層做垂直積分，並將紊流剪應力項以交換係數及流速梯度參數化，如此可得相對於圖 4-1 所示第  $k$  水層之水層平均方程式，表示

如下：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hU)}{\partial t} + \frac{\partial(hUU)}{\partial x} + \frac{\partial(hUV)}{\partial y} + (WU)_{k-1/2} \\ & - (WU)_{k+1/2} - fhV + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \left(\frac{1}{\rho} \tau_{xz}\right)_{k-1/2} + \left(\frac{1}{\rho} \tau_{xz}\right)_{k+1/2} \dots\dots\dots(4-11) \end{aligned}$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(hA \frac{\partial U}{\partial x}\right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left(hA \frac{\partial U}{\partial y}\right) = 0$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hV)}{\partial t} + \frac{\partial(hUV)}{\partial x} + \frac{\partial(hVV)}{\partial y} + (WV)_{k-1/2} \\ & - (WV)_{k+1/2} - fhU + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \left(\frac{1}{\rho} \tau_{yz}\right)_{k-1/2} + \left(\frac{1}{\rho} \tau_{yz}\right)_{k+1/2} \dots\dots\dots(4-12) \end{aligned}$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(hA \frac{\partial V}{\partial x}\right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left(hA \frac{\partial V}{\partial y}\right) = 0$$

$$W_{k-1/2} - W_{k+1/2} = -\frac{\partial(hU)}{\partial x} - \frac{\partial(hV)}{\partial y} \dots\dots\dots(4-13)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hS)}{\partial t} + \frac{\partial(hUS)}{\partial x} + \frac{\partial(hVS)}{\partial y} + (WS)_{k-1/2} \\ & - (WS)_{k+1/2} - \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial S}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_y \frac{\partial S}{\partial y}\right) \dots\dots\dots(4-14) \end{aligned}$$

$$-\left(\kappa \frac{\partial S}{\partial z}\right)_{k-1/2} + \left(\kappa \frac{\partial S}{\partial z}\right)_{k+1/2} = 0$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hT)}{\partial t} + \frac{\partial(hUT)}{\partial x} + \frac{\partial(hVT)}{\partial y} + (WT)_{k-1/2} \\ & - (WT)_{k+1/2} - \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial T}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_y \frac{\partial T}{\partial y}\right) \dots\dots\dots(4-15) \end{aligned}$$

$$-\left(\kappa' \frac{\partial T}{\partial z}\right)_{k-1/2} + \left(\kappa' \frac{\partial T}{\partial z}\right)_{k+1/2} = 0$$

式中  $U$  和  $V$  為水層平均流速在  $x$  和  $y$  方向之分量， $W$  為水深方向之流速， $h$  為水層厚度， $S$  和  $T$  分別為水層平均鹽度與溫度， $A$  為水平動量

交換係數。在本研究模式，水平動量交換係數將以 Liu and Nelson 所建議之式(4-16)來計算：

$$A = \gamma \left| \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial y} \right| \Delta \ell^3 \dots\dots\dots (4-16)$$

式中  $\gamma$  為一常數， $\omega$  是  $z$  方向之渦度 ( $\omega = \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y}$ )， $\Delta \ell$  為控制體之水平尺度。

本研究使用之水平溫、鹽度離散係數  $D_x$  與  $D_y$  則選取與水平動量交換係數相同，而式(4-11)與式(4-12)中之垂直動量交換，本研究以式(4-17)與式(4-18)表示，

$$\begin{aligned} & -\left(\frac{1}{\rho} \tau_{xz}\right)_{k-1/2} + \left(\frac{1}{\rho} \tau_{xz}\right)_{k+1/2} \dots\dots\dots (4-17) \\ & = -\left(E \frac{\partial U}{\partial z}\right)_{k-1/2} + \left(E \frac{\partial U}{\partial z}\right)_{k+1/2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & -\left(\frac{1}{\rho} \tau_{yz}\right)_{k-1/2} + \left(\frac{1}{\rho} \tau_{yz}\right)_{k+1/2} \dots\dots\dots (4-18) \\ & = -\left(E \frac{\partial V}{\partial z}\right)_{k-1/2} + \left(E \frac{\partial V}{\partial z}\right)_{k+1/2} \end{aligned}$$

式中  $E$  為垂直動量交換係數，根據 Leendertse and Liu，其可表為：

$$E = \nu \left| \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial z} \right| \exp(-rm R_i) \dots\dots\dots (4-19)$$

式中  $\mathbf{V} = (U^2 + V^2)^{1/2}$ ， $rm$  為一常數，Mamayev 建議使用  $rm$  值為 0.4；而  $\nu = L^2$ ，本研究使用  $L$  為：

$$L = \begin{cases} K_v Z & \text{if } Z \leq Z_d \\ K_v Z_d & \text{if } Z > Z_d \end{cases} \dots\dots\dots (4-20)$$

其中  $Z$  為由底床算起之水深， $Z_d$  為 1/5 水深， $K_v$  為一常數。式(4-19)中之  $R_i$  為 Richardson 常數，其定義為：

$$R_i = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho / \partial z}{(\partial \mathbf{V} / \partial z)^2} \dots\dots\dots (4-21)$$

根據 Leendertse and Liu，本研究亦使用式(4-19)、(4-20)、(4-21)計算水深方向之溫、鹽度離散係數  $\kappa$  與  $\kappa'$ ，惟 Mamayev 建議計算溫、鹽度之離散係數應使用  $rm$  值為 0.8。

此外，在表層與底層水層連續方程式與動量方程式與式(4-11)、(4-12)、(4-13)略有不同。在表層水層，連續方程式將變成：

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \sum_{k=1}^b \left\{ \frac{\partial (hU)}{\partial x} + \frac{\partial (hV)}{\partial y} \right\}_k = 0 \dots\dots\dots (4-22)$$

式中  $\xi$  為自由水面之水位高度， $b$  為水層總數。而在表層水層，動量方程式中之  $(\frac{1}{\rho} \tau_{xz})_{k-1/2}$  與  $(\frac{1}{\rho} \tau_{yz})_{k-1/2}$  將由風剪應力代替，即：

$$(\frac{1}{\rho} \tau_{xz})_{k-1/2} = \frac{\rho_a}{\rho} C^* W_{10}^2 \sin \theta \dots\dots\dots (4-23)$$

$$(\frac{1}{\rho} \tau_{yz})_{k-1/2} = \frac{\rho_a}{\rho} C^* W_{10}^2 \cos \theta \dots\dots\dots (4-24)$$

式中  $\rho_a$  為空氣密度， $W_{10}$  為 10 公尺高度之風速， $\theta$  為風向與模式  $y$  軸之夾角， $C^*$  為風阻力係數。在底層水層，動量方程式中之  $(\frac{1}{\rho} \tau_{xz})_{k+1/2}$  與

$(\frac{1}{\rho} \tau_{yz})_{k+1/2}$  將由底床剪應力代替，即：

$$(\frac{1}{\rho} \tau_{xz})_{k+1/2} = g \frac{U(U^2 + V^2)^{1/2}}{C^2} \dots\dots\dots (4-25)$$

$$\left(\frac{1}{\rho} \tau_{yz}\right)_{k+1/2} = g \frac{V(U^2 + V^2)^{1/2}}{C^2} \dots\dots\dots(4-26)$$

其中  $C$  為底床磨擦係數，本研究使用  $C = C_0 d^{1/6}$ ，其中  $d$  為水深， $C_0$  為常數， $C_0$  需由模式率定得之。

而式(4-11)與式(4-12)中的表層壓力梯度項  $\frac{\partial p}{\partial x}$ 、 $\frac{\partial p}{\partial y}$  可表為：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p_1}{\partial x} &= g\rho_1 \frac{\partial \xi}{\partial x} + 1/2gh_1 \frac{\partial \rho_1}{\partial x} \\ \frac{\partial p_1}{\partial y} &= g\rho_1 \frac{\partial \xi}{\partial y} + 1/2gh_1 \frac{\partial \rho_1}{\partial y} \end{aligned} \right\} k=1 \dots\dots\dots(4-27,4-28)$$

式中  $\rho_1$  為表層之水層平均密度。其它水層之壓力梯度項則可表為：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p_k}{\partial x} &= \frac{\partial p_{k-1}}{\partial x} + gh_{k-1/2} \frac{\partial \rho_{k-1/2}}{\partial x} \\ \frac{\partial p_k}{\partial y} &= \frac{\partial p_{k-1}}{\partial y} + gh_{k-1/2} \frac{\partial \rho_{k-1/2}}{\partial y} \end{aligned} \right\} k=2 \dots b \dots\dots\dots(4-29,4-30)$$

式中  $\rho_{k-1/2} = (\rho_{k-1} + \rho_k) / 2$ ， $\rho_k$  為第  $k$  層之水層平均密度。

至於狀態方程式，本研究選用式(4-31)作為海水密度與溫、鹽度之關係式。

$$\begin{aligned} \rho &= (5890 + 38T - 0.375T^2 + 3S) / \\ &[(1779.5 + 11.25T - 0.0745T^2) - (3.8 + 0.01T)S] \dots\dots\dots(4-31) \\ &+ 0.698(5890 + 38T - 0.375T^2 + 3S) \end{aligned}$$

本研究模式使用圖 4-1 所示之控制體，並以顯式的蛙跳法求解。由於蛙跳法受數值擴散效應的影響較小，故準確度較高，但相對的，此法的穩定度屬於邊緣穩定，因此當應用於長時間計算時，因為捨入誤差增加，常使得此法不穩定，故蛙跳法應用於長時間計算時，需加入平滑或過濾技巧(Smoothing or Filter Technique)以增加其穩定性。

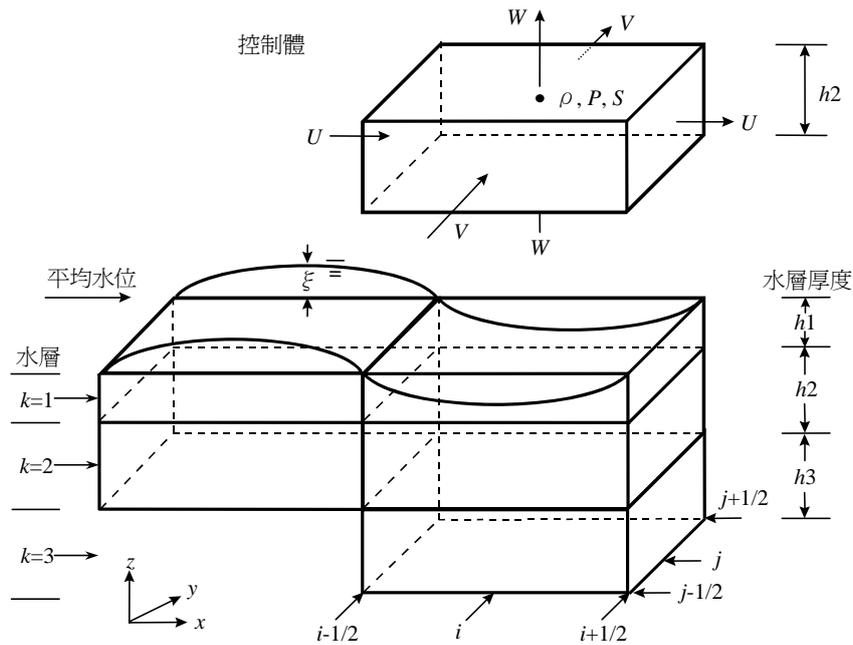


圖 4-1 水理模式之控制體

### 4.3 水理模式之率定驗證

水理數值模式之品質管制主要包括：(1)控制方程式之品管；(2)數值技巧之品管；(3)模式計算結果之品管。本研究應用成大水工所發展之水理模式來模擬臺中港海域之流場特性，由於此模式已被廣泛的應用於許多地區，其在模式控制方程式與數值技巧方面之品管均已有相當程度之公信力。因此本模式之品管重點將只在於模式參數之率定與模擬結果之驗證。

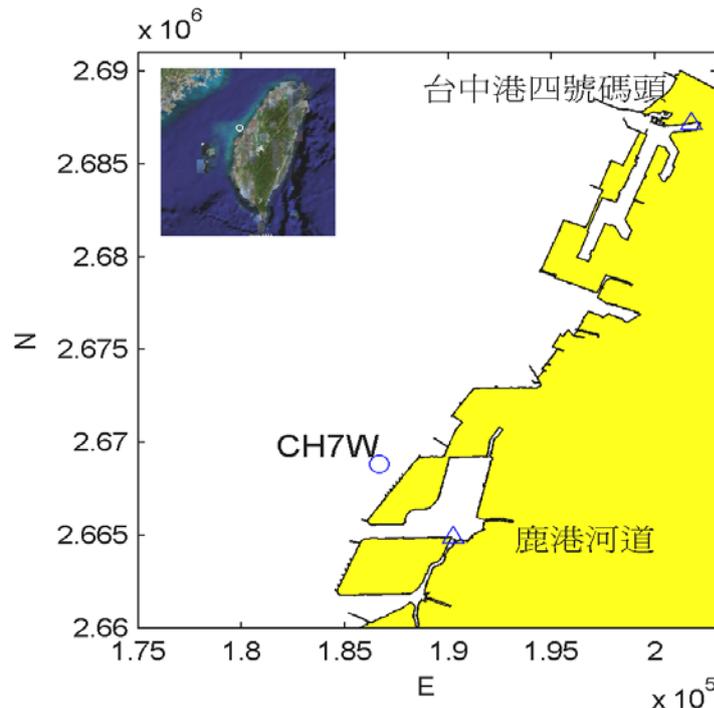
#### 4.3.1 模式模擬區域之選取

模式在計算前須先將所欲模擬之區域網格化，網格大小之選取，一方面希望愈小愈好以增加解析度，另一方面又希望愈大愈好以減小所需的電腦記憶容量以及加快電腦運算速度。此外，模式開放邊界條件的選取亦為選擇模擬區域時所必須考量的因素之一。基本上希望所選取模式領域的開放邊界有立即可用之水位或流量資料，以提供作為模式運算時所需的開放邊界條件。在此原則下，模式之開放邊界宜

選在有驗潮站之處，本研究藉由二維或三維海潮流模式來模擬臺中港域之水位與潮流變化，其模擬範圍介於交通部設置之大安溪以南與成大水工試驗所設置之鹿港潮位站之間。同時，除了利用臺中港與鹿港潮位站之水位資料作為海潮流模式之邊界條件外，本研究另使用港灣技術研究中心近海海象數值模擬與預警系統(TaiCOMS)之台灣海域水動力 1 分網格預報模式結果，該模式已成功應用於台灣海域水位預報，其結果良好，可做為模式水位邊界條件之輸入。在本年度計畫中，使用成大水工所於彰濱海域之CH7W 定點海流觀測站(如圖 4-2 所示)以及港研中心於臺中港南側所設立之海流測站作為模式率定與驗證之流場資料來源。模擬區域(如圖 4-3 方框所示)由北涵蓋臺中港海域至彰濱工業區崙尾區海域，其沿岸長度約為 41 km，向離岸範圍則延伸至水深-50 公尺處，長度約為 15 公里。圖 4-4 則為經座標轉換後之海潮流模擬範圍及地形水深分佈圖，模式領域在水平方向劃分為 411×149 個正方網格，每一網格之邊長為 100 公尺，在水深方向二維模式只有一層，而基於運算效率與模式穩定度之考量，三維模式則將分為 6 層，每層之厚度由上往下分別為 5 公尺、4 公尺、5 公尺、4 公尺、7 公尺與 8 公尺，其中海底底床所在水層之厚度將依實際水深而變，而其以下各層則視為陸地。因此為新建立之三維水理模式，故在本年度在於以建立與測試模式為主要目標。表 4-1 則詳列模式所運用之計算時間間距及地理座標之轉換參數。

**表 4-1 大區域海潮流模式之格網及計算條件**

模式面積	41.1 公里×14.9 公里
格網大小	100 公尺×100 公尺
格網數目	411×149
原點座標 (Twd 67)	E=191,800 N=2,663,500
轉角 (由正北向順時針)	62°
時間間距	1.0 秒



測站：臺中港四號碼頭與鹿港河道之驗潮站(△)；CH7W 定點海流觀測站(○)

圖 4-2 臺中港位置示意圖及測站位置圖



圖 4-3 研究範圍

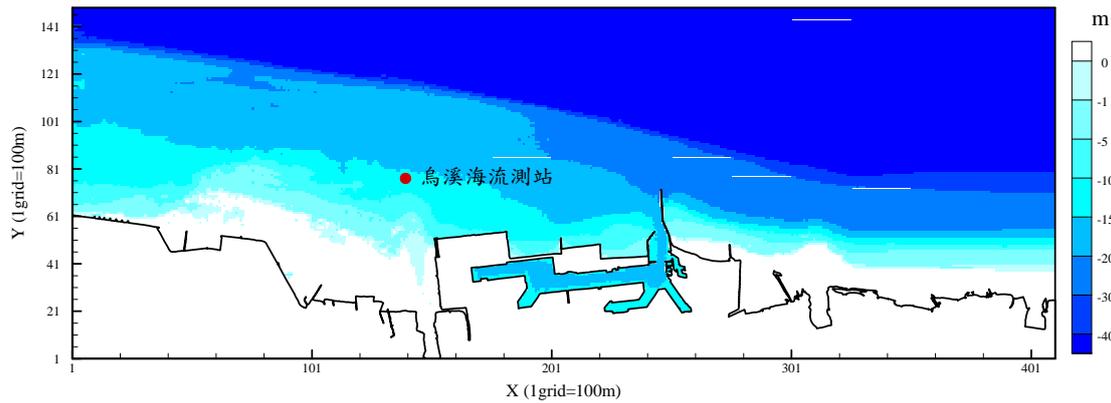


圖 4-4 海潮流模式模擬範圍及地形水深分佈圖

本研究二維模式在與海岸線方向垂直之兩側邊界係使用實測水位作為邊界條件，在與海岸線方向平行之外海開放邊界則假設垂直邊界方向之流速為零。三維模式在與海岸線方向垂直之兩側邊界的表層水層亦使用實測水位作為邊界條件，並假設垂直邊界方向之流速梯度為零。在與海岸線方向平行之外海開放邊界，三維模式亦假設垂直邊界方向之速度為零。而在外海開放邊界處之鹽度則均假設為固定值。至於陸地邊界，本研究之二、三維模式都使用不滑動邊界條件。

水動力模式之主要參數包括渦動粘性係數及底床磨擦係數，這些參數值的選取將影響模式的穩定性及計算結果的準確性。一般來說，模式使用之參數值必須經由模式之率定來決定。

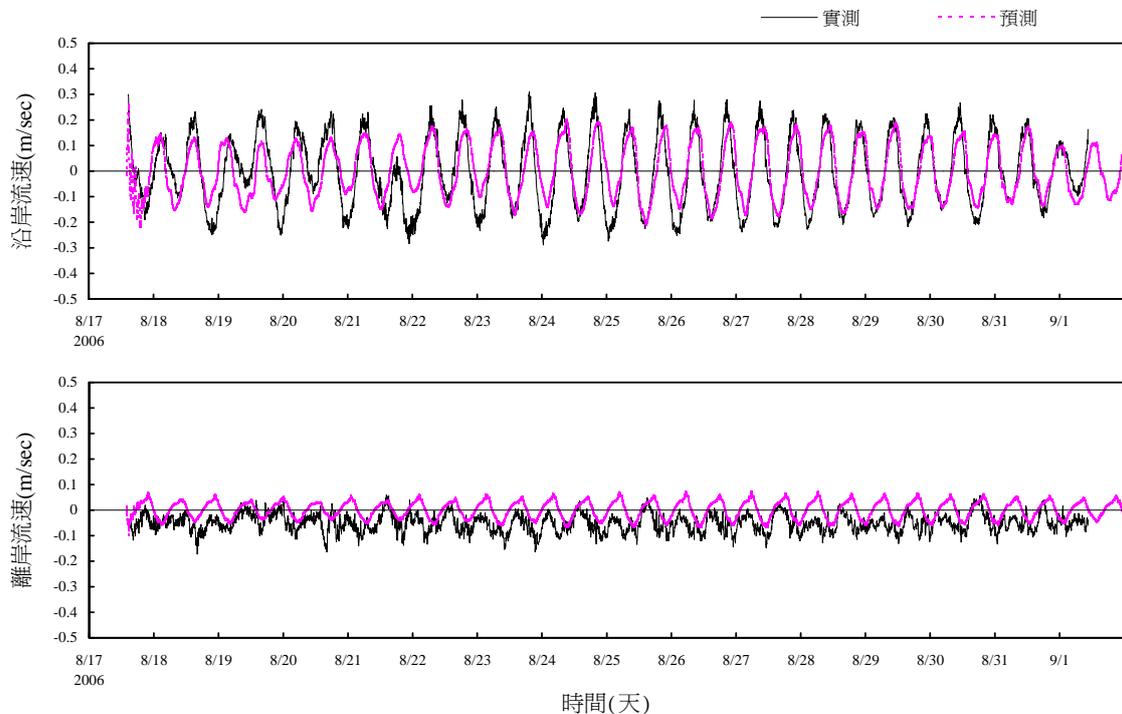
模式模擬範圍之選定與網格化為執行數值模擬之前處理工作，而模擬區域與網格大小之選取，需考慮模擬需求、電腦運算資源、開放邊界條件等因素。

### 4.3.2 水理模式之率定

本研究在流場模式之率定方面，先利用彰濱海域之 CH7W 測站實測海潮流資料以及港研中心在今年度(2011)於臺中港南側之海流測站實測海流資料來進行模式檢核與驗證。經多次測試，本研究三維模式最後選定底床摩擦係數為 25， $\gamma$ 、 $K_v$  與  $rm$  等係數之值分別為 500、0.4 與 0.4 (計算鹽度時，使用  $rm$  值為 0.8) 與渦動黏性係數為 100。而在二維模式之參數經過率定與驗證後，本研究使用渦動黏性係數  $E_{xx}$  與  $E_{yy}$  為  $300\text{m}^2/\text{sec}$ ， $E_{xy}$  與  $E_{yx}$  為  $100\text{m}^2/\text{sec}$ ，而底床摩擦係數則選擇與三維模式相同。圖 4-5 為 CH7W 定點海流測站記錄與海潮流模擬結果，圖中針對沿岸流速及離岸流速成份分別進行比較，顯示模擬結果與實測值有相同的趨勢變化。圖 4-6 為烏溪海流測站記錄與海潮流模擬結果，圖中針對沿岸流速及離岸流速成份分別進行比較，顯示模擬結果與實測值頗為吻合，由此可驗證本模式可適切模擬臺中港至彰濱海域之大區域海潮流變化。圖 4-7 與圖 4-8 為所模擬之臺中港鄰近海域於漲、退潮時之流場向量圖，由模擬結果可知，漲潮時潮流分別從臺中港南北兩端向臺中港匯集。退潮時則由臺中港附近海域向南北兩端流出，此與交通部運輸研究所“近岸漂沙機制與防治研究(1/4)”第五章之結果趨勢一致。

應用經率定與驗證後之模式，本研究將針對風場變化對於臺中港海流影響進行初步之討論。一般而言，風場對於表層流場之影響較大，對於在沿近海區域，因為水深較淺，在風速較大時，風場亦會對海流計算結果造成一定程度的影響。在本年度計畫中，先使用均勻風速為驅動，針對不同風速大小以及不同風向等條件來進行討論。圖 4-9 為模式模擬在風向為 NNE，四種不同風速(0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec)時之海潮流流速大小與方向成果圖。模擬結果顯示，在 NNE 之方向條件下，風速愈大，則造成之海流流速愈大。圖 4-10 為模式模擬在風向為 SSW，四種不同風速(0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec)時之海潮流流速大小與方向成果圖。模擬結果顯示，在 SSW 之方向條

件下，風速愈大，則造成之海流流速愈小。圖 4-11~圖 4-13 為模式模擬在相同風速下(6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec)，不同風向(NNE 與 SSW)時之海潮流流速大小與方向成果圖。模擬結果顯示，在 SSW 之方向條件下，則造成之海流流速較 NNE 風向所造成之海流流速為小。以上結果均為單一水層之模擬結果。至於在不同水層下之模擬結果則如圖 4-14~圖 4-17 所示。圖 4-14 為在第一水層下，在風向為 SSW，四種不同風速(0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec)時之海潮流流速大小與方向成果圖。模擬結果顯示，在 SSW 之方向條件下，風速愈大，則造成之海流流速愈小。圖 4-15~圖 4-17 則為在第二~第四水層下之模擬結果圖。



(CH7W 測站，實測時間：2006 年 8 月 17 日~9 月 1 日)

圖 4-5 模式預測與實測流速比較圖

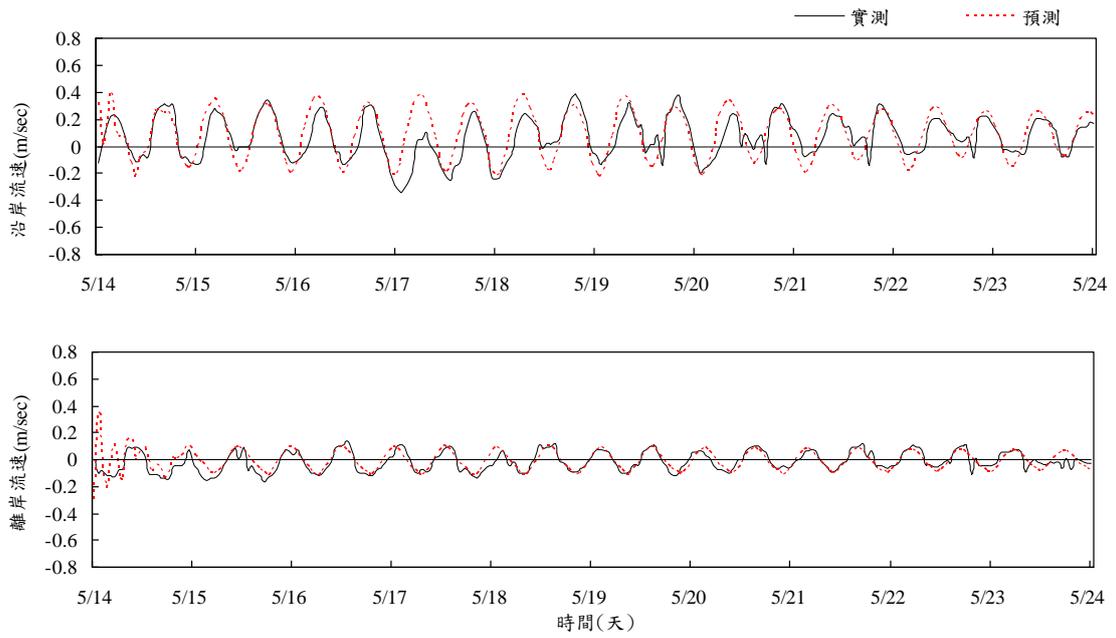


圖 4-6 烏溪海流測站實測流速與模式預測比較圖

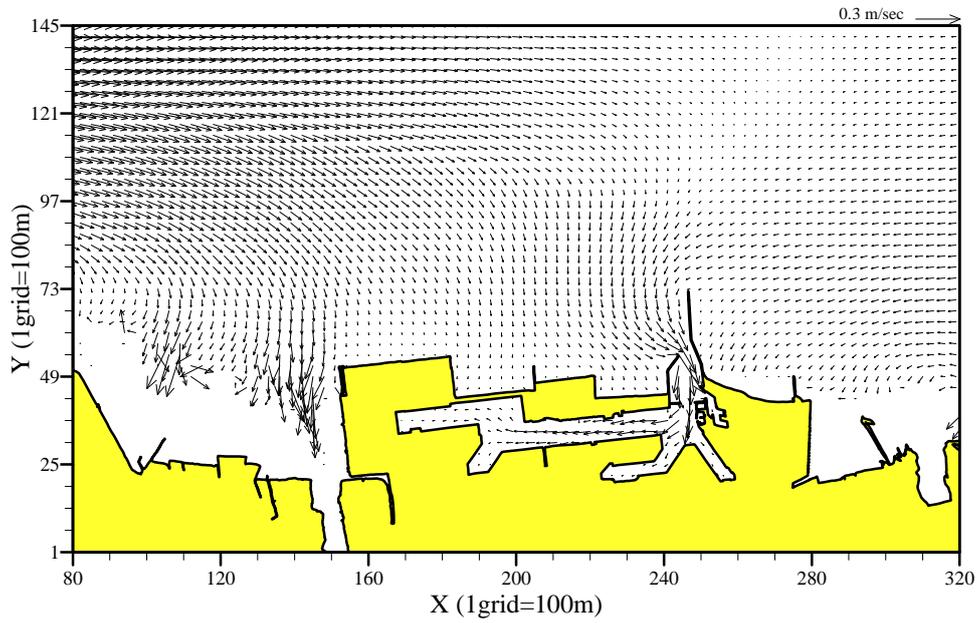


圖 4-7 臺中港附近海域於漲潮時之流場分佈圖

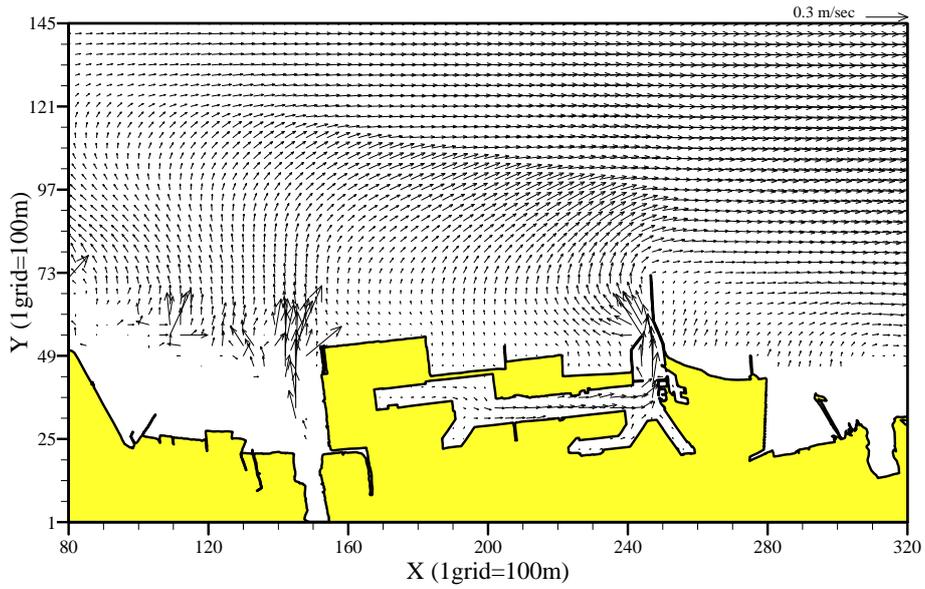


圖 4-8 臺中港附近海域於退潮時之流場分佈圖

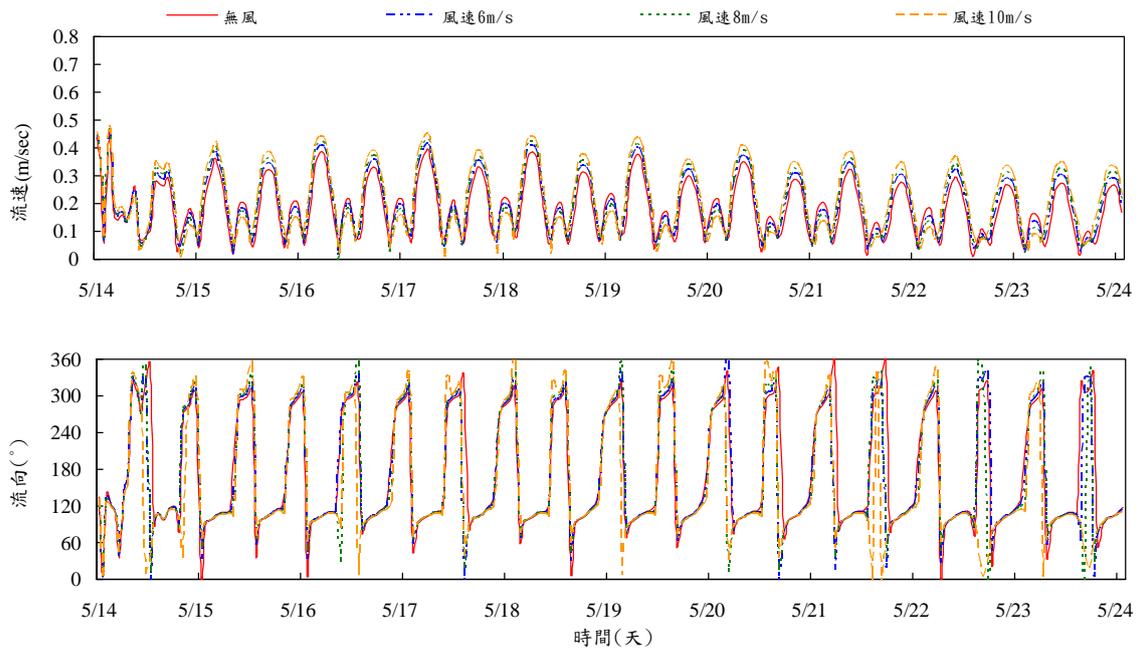


圖 4-9 模式模擬在風向為 NNE，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖

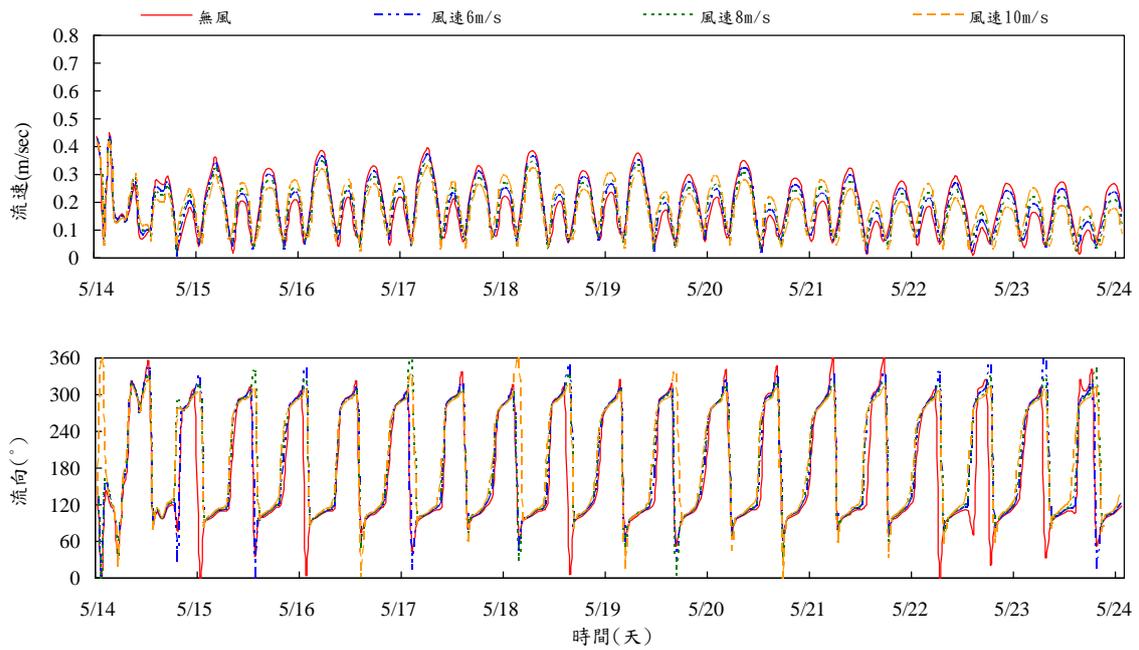


圖 4-10 模式模擬在風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖

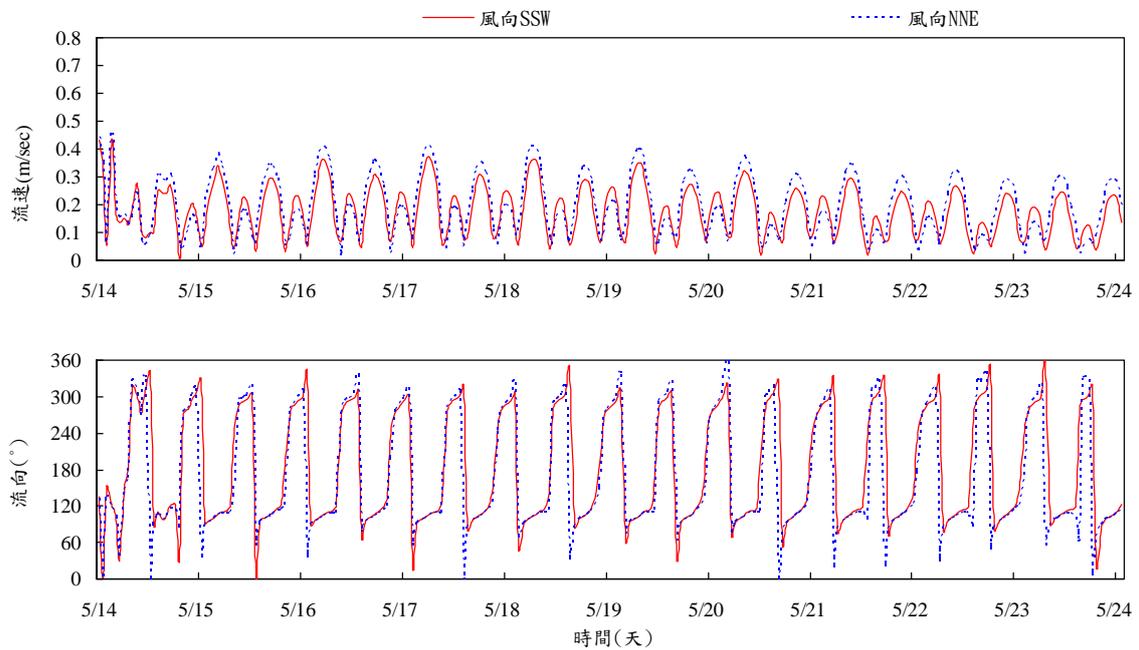


圖 4-11 模式模擬在風速為 6 m/sec，NNE 與 SSW 風向時之海潮流流速大小與方向成果圖

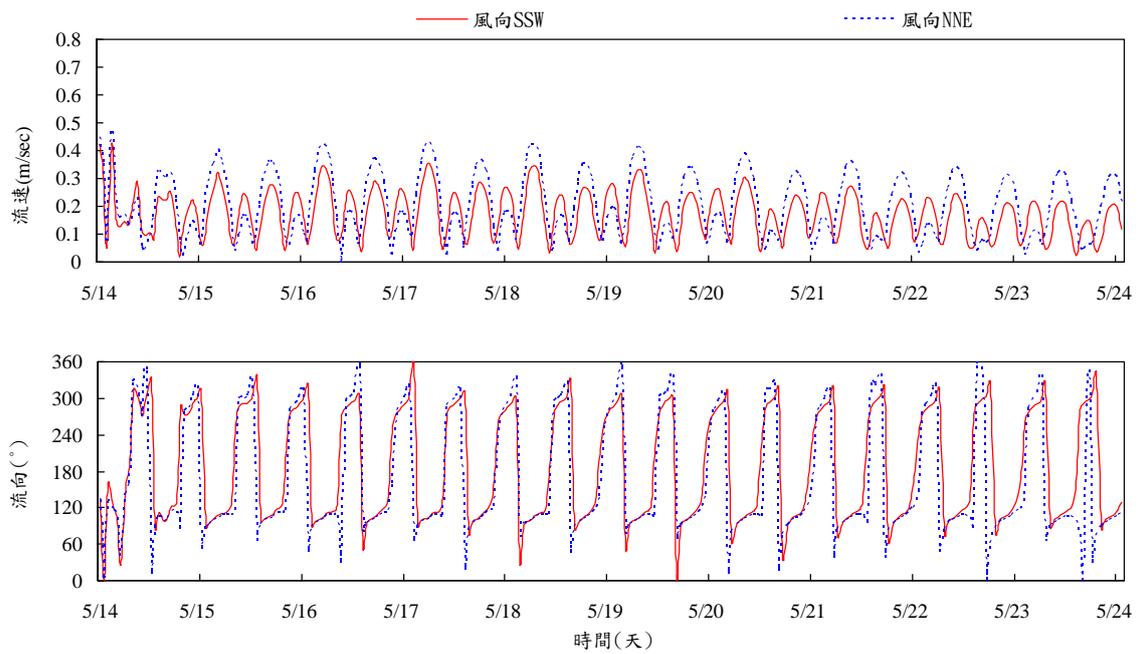


圖 4-12 模式模擬在風速為 8m/sec，NNE 與 SSW 風向時之海潮流流速大小與方向成果圖

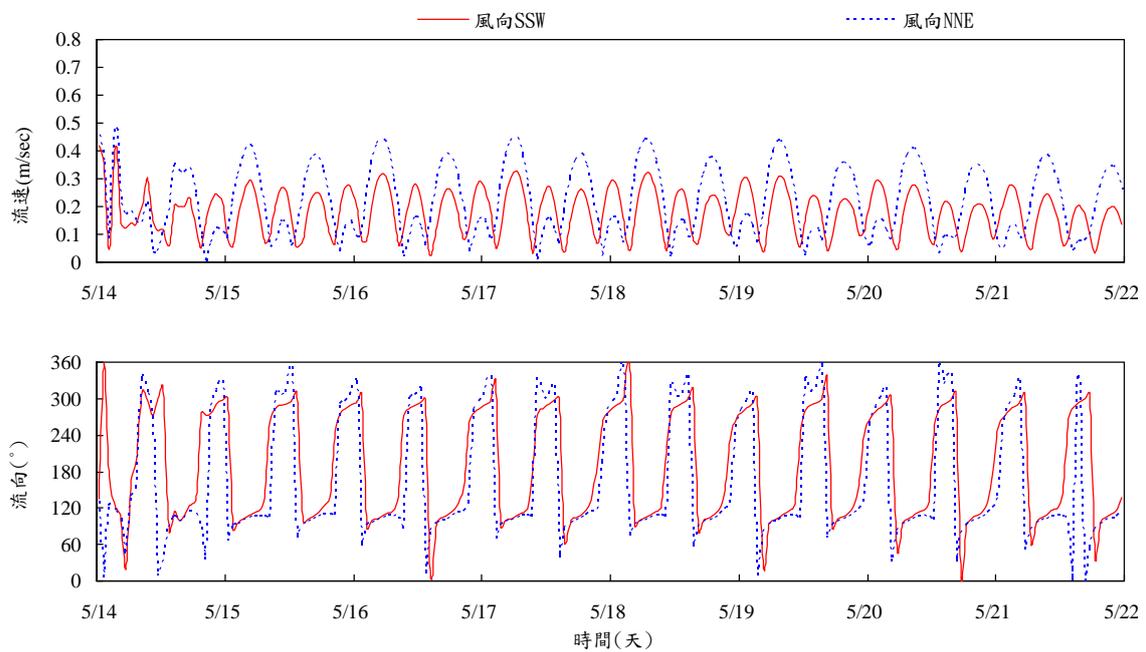


圖 4-13 模式模擬在風速為 10 m/sec，NNE 與 SSW 風向時之海潮流流速大小與方向成果圖

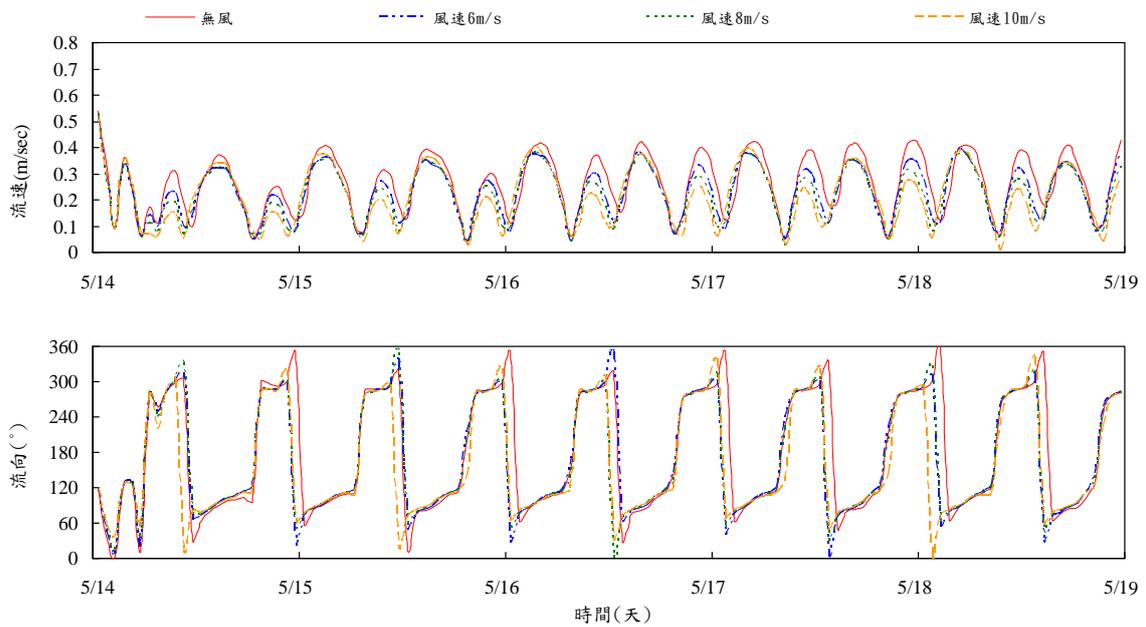


圖 4-14 在第一水層下，風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖

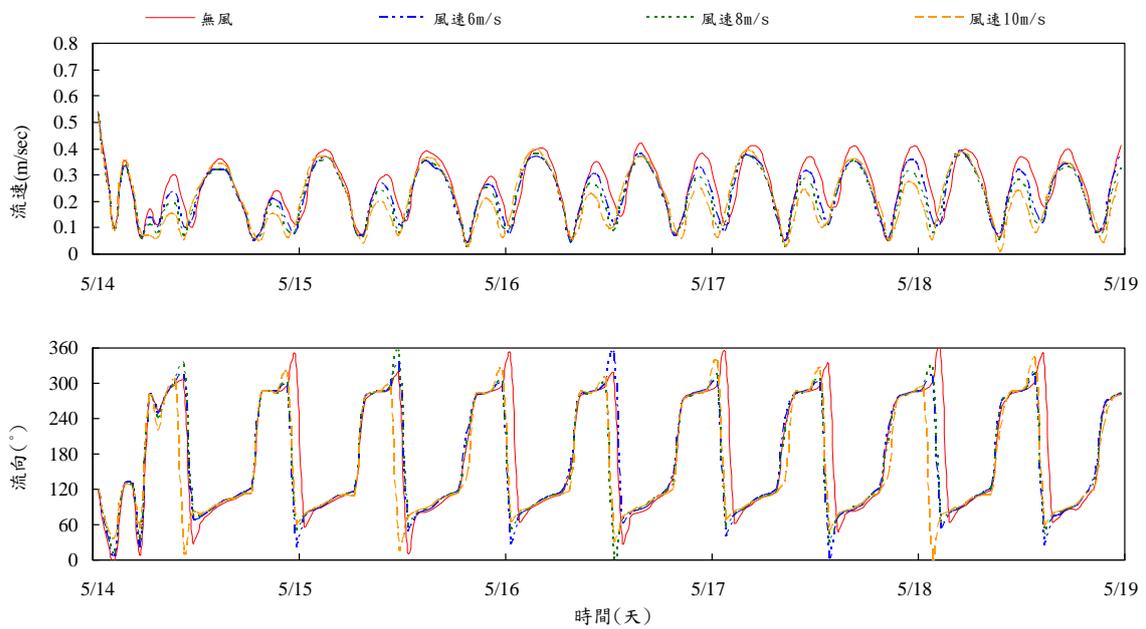


圖 4-15 在第二水層下，風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖

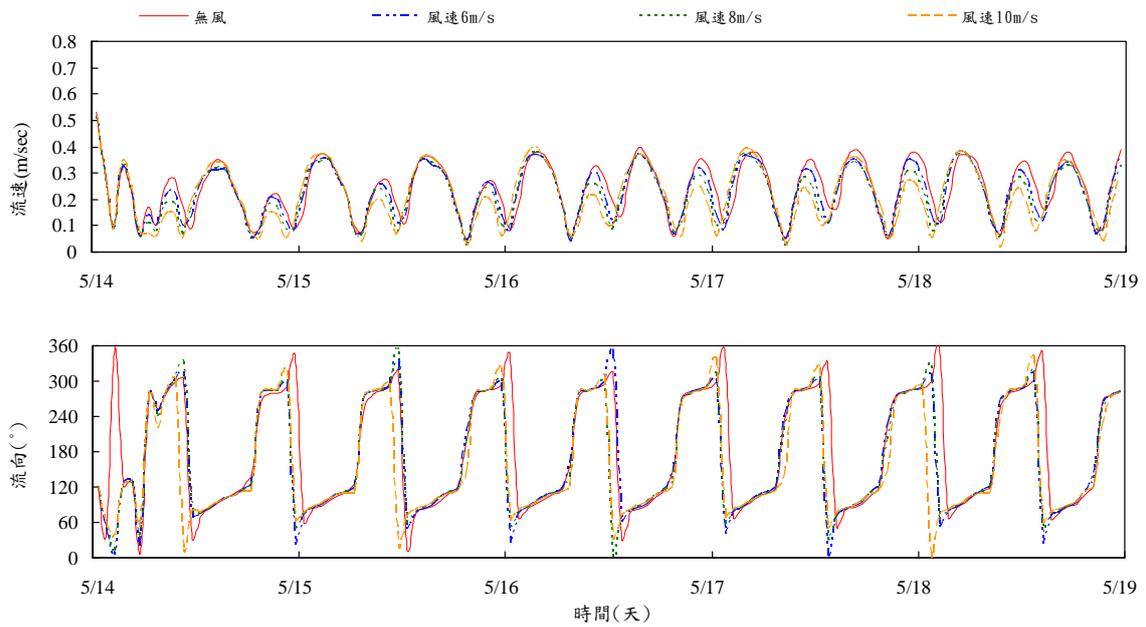


圖 4-16 在第三水層下，風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖

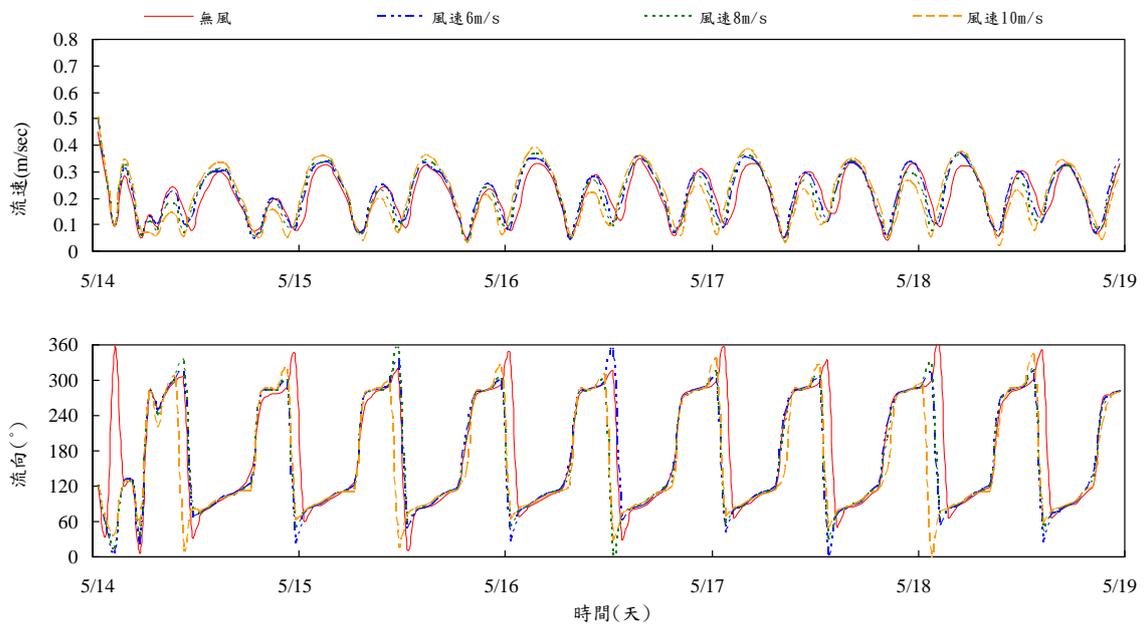


圖 4-17 在第四水層下，風向為 SSW，0m/sec、6 m/sec、8 m/sec 與 10 m/sec 四種風速時之海潮流流速大小與方向成果圖

## 第五章 港域水質與底質調查及分析

本年度計畫係第3年持續在臺中港鄰港區域進行海域水體環境品質調查，同時於第3年增加港域與近海沉積物重金屬調查。為瞭解臺中港海域環境品質之長期變化，選擇自北起大甲溪南岸，南至大肚溪口，南北縱長約15公里，西至水深約25公尺內近岸水域，延續現有測站之調查。現階段海域水質已完成6次採樣調查，第1年度(民國98年)上半年於梅雨季節前後進行各1次近岸水域採樣調查；下半年則針對匯入臺中港域之主要排水進行1次之上、下游水質之24小時連續全潮觀測；第2年度(民國99年)採樣調查延續98年之近岸水域調查，上半年於3月23日至3月24日完成枯水期採樣，下半年則於豐水期之9月7日至9月8日完成臺中港鄰近海域水質調查，依據調查結果將可提供港灣附近水質分布之特性、影響水質之因素、以評估對生態環境之影響以及與自然條件的相關性。本年度(第3年度，民國100年)則著重於臺中港與鄰近海域之重金屬變動與分布特性調查研究，其中海域水質於豐、枯水期間各進行1次採樣，海域底質則於枯水期間進行1次採樣，本年度上半年枯水期之海域水質與底質調查已於4月7日完成年度之第1次採樣；下半年豐水期調查則於10月10日完成海域水質之年度第2次採樣。

### 5.1 測站規劃

#### 5.1.1 測站設置原則

由環保署發佈之「海域環境監測及監測站設置辦法」(中華民國91年11月13日環署水字第0910077509號令)第二條明定海域環境監測站設置地點之原則為：

1. 主、次要河川入海口。
2. 重要污染源流入點。
3. 港灣、瀉湖。
4. 海洋污染防治法第十五條第一項所定之區域。
5. 一般海域水質之背景點。

6. 其他經中央主管機關指定之位置。

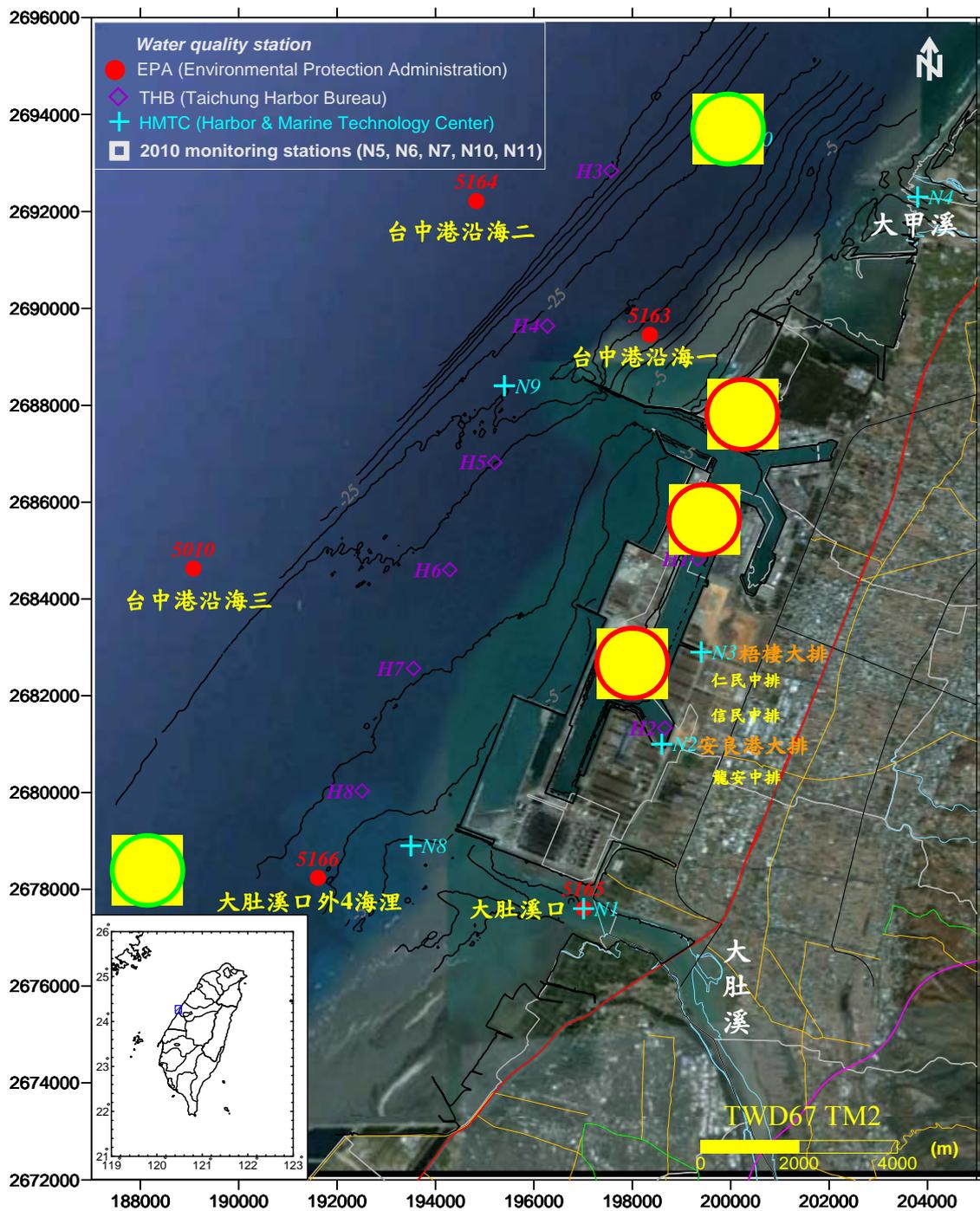
### 5.1.2 測站選定

本年度(100年度)計畫臺中港鄰港海域水質與底質測站設置主要依照上述原則所規劃，並參考本研究98與99年度之測站位置為測點選定之依據。此外，環保署(EPA)長期於臺中港外沿海海域設有5處水質測站，以及臺中港務局(THB)於此區域，亦設有港內2處與港外6處水質測站。

本研究本年度(100年)水質與底質調查，乃參考前2年度測站位置選定原則，延續臺中港鄰港現有5處測站(港內3處與港外2處)，進行表層海域水質與表層沉積物調查，點位座標如表5-1所示，位置如圖5-1所繪，圖示EPA表環保署長期於臺中港外沿海海域之水質測站，THB則代表臺中港務局於此區域所進行之海域水質及生態測站，HMTTC則為本研究第1年度(98年)之海域與港區水質測點。

表5-1 民國100年臺中港鄰港海域水質測站座標

測站	位置		二度分帶(TWD67)		緯度(TWD97)		經度(TWD97)	
			X(E)	Y(N)	度	分	度	分
N5	港域	臺中港區	197899	2682529	24	14.739	120	29.716
N6		臺中港區	199554	2685329	24	16.259	120	30.688
N7		梧棲漁港港區	200205	2687591	24	17.486	120	31.068
N10	港外	大甲溪外海	199975	2692403	24	20.092	120	30.922
N11		大肚溪外海	188250	2678235	24	12.392	120	24.026



(本研究第3年：N5, N6, N7, N10, N11)

圖5-1 100年度臺中港鄰港海域水質與生態測站位置

## 5.2 海域水質調查方法

### 5.2.1 採樣方法

參照行政院環境保護署環境檢驗所之水中浮游植物採樣方法－採水法(NIEA E505.50C，民國92年9月18日環署檢字第 0920067727A 號公告，自92年12月18日起實施)使用之採水器取水樣。採集人員搭乘船筏至規劃測站以GPS定位後，以採水器採取各測站水體之表層(海水表面下1米處)水樣，依不同的分析項目，現場取樣後立即添加保存劑處理，加冰塊冷藏後運回實驗室進行分析。



### 5.2.2 採樣頻率

本年度(100年度)海域水質監測1年共2次，豐、枯水期間各1次，於第1年(民國98年)起迄今，已於98年4月29日、98年6月25日、98年9月14～15日(僅調查港內N2與N3)、99年3月23～24日與99年9月7日～8日；以及100年4月7日(海域水質與底質)與10月10日(海域水質)計共進行7次海域水質與1次海域底質採樣調查。

### 5.2.3 分析項目與檢測方法

#### 1. 海域水質監測項目

本研究所選擇之水質監測項目包含：

**【現場測定項目】：**

溫度、鹽度(含導電度)、氫離子濃度指數(或稱酸鹼度)、溶氧量、透明度。

### 【實驗室檢測項目】

大腸桿菌群、生化需氧量、懸浮固體物、氨氮、總磷及葉綠素a。  
重金屬(100年度新增項目)銅、鉛、鋅、鉻與砷、汞

## 2. 海域水質檢測方法

採用現場測定方式，對於無法現場測定之項目，則取樣回實驗室進行分析。現場採樣作業人員均依照「國立成功大學水工試驗所水質檢驗室」之「實驗室管理手冊」中樣品採集、運送等相關規定，以及遵守水工所水質室之「採樣標準作業程序」相關規定執行。水質分析主要依環保署公告之「水質檢驗方法」辦理。其方法依據與方法偵測極限等如表5-2所示。

## 5.3 海域水質調查結果

本年度4月枯水期與10月豐水期間採樣監測結果詳如表5-3。其中原始分析數據存放水質實驗室。以臺中港水域環境而言，受人為干擾與污染程度越低的環境水體與生態，可視為越接近自然的良好環境品質，故同時整理分析環保署長期於臺中港沿海及離岸較遠之外海環境水質測站(臺中港沿海二編號5164，於臺中港西北方，離岸約9km，水深約50m)數據作為比較分析。以下報告內容將針對檢測分析之結果就各檢驗項目作說明。

表5-2 水質檢測項目之方法與偵測極限等品質目標

項次	檢驗項目	檢驗方法	參考方法編號	方法偵測極限	精密性 (重複分析)	回收率	
						查核樣品	添加標準品
1	◎ <sup>(1)</sup> pH 值	電極法	NIEA <sup>(2)</sup> W424.52A	—	±0.1	—	—
2	◎溶氧量	電極法	NIEA W455.51C	—	≤10%	—	—
3	鹽度	導電度法	NIEA W447.20C* <sup>(3)</sup>	—	≤5%	—	—
4	濁度	濁度計法	NIEA W219.52C	—	≤25%	85~115%	—
5	◎導電度	導電度計法	NIEA W203.51B	—	≤3%	—	—
6	◎水溫	溫度計法	NIEA W217.51A	—	≤3%	—	—
7	透明度	水中透明度檢測方法	NIEA E220.50C	—	—	—	—
8	◎生化需氧量	水中生化需氧量檢測方法	NIEA W510.54B	2.0 <sup>(4)</sup> mg/L	≤15%	168~228 mg/L <sup>(5)</sup>	—
9	◎大腸桿菌群	濾膜法	NIEA E202.54B	10 <sup>#</sup>	≤0.2	—	—
10	◎懸浮固體	103~105℃乾燥法	NIEA W210.57A	2.5 <sup>#</sup> mg/L	≤20% ≤10% <sup>(7)</sup>	—	—
11	葉綠素 a	丙酮萃取法/分光光度計分析法	NIEA E507.02B	—	≤25%	—	—
12	◎氨氮 <sup>(8)</sup>	靛酚法	NIEA W448.51B	0.02 mg/L	≤10%	90~110% 80~120% <sup>(9)</sup>	85~115%
13	◎總磷	分光光度計/維生素丙法	NIEA W427.53B	0.005 mg/L	≤10%	85~115%	75~125%
14	海水(萃取法) (銅、鉛、鋅)	APDC 螯合 MIBK 萃取原子吸收光譜法	NIEA W309.22A	銅 0.0010 mg/L 鉛 0.0020 mg/L 鋅 0.0016 mg/L	≤15%	80~120%	75~125%
15	汞	冷蒸氣原子吸收光譜法	NIEA W330.52A	0.0001 mg/L	≤20%	80~120%	75~125%
16	◎砷	自動化連續式原子吸收光譜法	NIEA W434.53B	0.0003 mg/L	≤10%	80~120%	75~125%
17	鉻	石墨爐式原子吸收光譜法	NIEA W303.51A	0.0004 mg/L	≤20%	80~115%	75~125%
18	底質粒徑	篩分析法	ASTM(11) D422	—	—	—	—
19	底質總有機物	高溫爐	NIEA R205.01C	—	≤20%	80~115%	75~125%
20	底質重金屬 (銅、鎘、鉛、鋅、鉻)	微波消化原子吸收光譜法	NIEA R355.00C*	銅 2.03 mg/kg 鉛 10.5 mg/kg 鋅 4.72 mg/kg 鉻 3.34 mg/kg 鎘 0.1 mg/kg	≤20%	75~125%	75~125%
21	底質砷	砷化氫原子吸收光譜法	NIEA S310.63C	0.192 mg/kg	≤11%	75~125%	75~125%
22	底質汞	冷蒸氣原子吸收光譜法	NIEA M317.02C	0.020 mg/kg	≤20%	75~125%	75~125%

註：1.◎代表本檢驗室經環境保護署審查合格之許可項目及方法。

2.代表該檢測方法係環保署公告的方法。

3."\*"代表該檢測方法係參考環保署公告的方法。

4."#"表定量極限。

5.BOD的品質目標以濃度表示為168~228mg/L。

6.油脂分析值≥2.0mg/L時，加測礦物性油脂。

7.當樣品濃度<25mg/L時，管制值≤20%。當樣品濃度≥25mg/L時，管制值≤10%。

8.氨氮檢項於9910取得環保署許可認證資格。

9.表自990601開始適用之品管範圍。

10.表中各檢項方法偵測極限值原則上每年更新一次。

11.若本所因不可抗力(如天災、儀器故障)而未能執行檢測分析，本所將通知業主，並於樣品有效期限內轉委託經環保署認證之檢測單位或學術單位執行檢測，或其他業主同意的方式處理之。轉委託後之分析品質亦須符合上表中品質目標的規定。

表5-3 臺中港鄰港海域水質100年度2次採樣調查結果

調查日期：100年4月7日、10月10日

項目	調查日期	pH	水溫	導電度	鹽度	透明度	溶氧量 飽和度		生化需氧量	懸浮固體	大腸桿菌群	總磷	氨氮	葉綠素 a	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷	
							mg/L	%													mg/L
單位	民國	-	℃	μmho/cm	psu	m	mg/L		mg/L	mg/L	CFU/100mL	mg/L	mg/L	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
方法	100年	NIEA W424.52A	NIEA W427.51A	NIEA W203.51B	NIEA W447.20C	NIEA E220.50C	NIEA W455.51C		NIEA W510.54B	NIEA W210.57A	NIEA E202.54B	NIEA W427.53B	NIEA W448.51B	NIEA E507.02B	NIEA W309.22A	NIEA W309.22A	NIEA W309.22A	NIEA W303.51A	NIEA W330.52A	NIEA W434.53B	
測站	月/日																				
N5	04/07	8.2 (8.222)	23.3	49000	31.9	4.4	7.1 (7.12)	100	<2.0 (1.1)	6.6	5.0E2	<b>0.158</b>	0.09	1.1	0.0037	ND (0)	0.0104	<0.0010 (0.0007)	ND (0.0001)	0.0016	
	10/10	8.2(8.173)	25.6	51900	34.1	4.4	5.3 (5.32)	78.8	<2.0 (1.0)	4.4	95	0.040	<0.06 (0.06)	2.0	0.0030	<0.0060 (0.0034)	0.0056	ND (0.0003)	ND (0)	0.0011	
N6	04/07	8.1 (8.119)	22.9	52600	34.5	5.5	7.1 (7.11)	99.3	<2.0 (0.3)	5.7	<10	<0.020 (0.018)	0.06	0.8	0.0041	<0.0060 (0.0034)	0.0058	ND(0)	ND (0.0001)	0.0014	
	10/10	8.2(8.191)	25.9	52000	34.3	5.4	5.5 (5.46)	81.1	<2.0 (0.7)	8.2	35	0.035	<0.06 (0.02)	1.7	0.0036	<0.0060 (0.0043)	0.0135	<0.0010 (0.0006)	ND(0)	<0.0010 (0.0010)	
N7	04/07	8.2 (8.165)	22.5	52700	34.6	4.5	7.0 (7.00)	97.2	<2.0 (0.6)	8.1	<10	0.022	0.07	0.8	<0.0030 (0.0020)	<0.0060 (0.0042)	ND (0.0001)	ND(0)	ND (0.0001)	0.0012	
	10/10	8.1(8.131)	26.5	51900	34.2	4.5	5.6 (5.57)	83.7	<2.0 (0.6)	7.6	1.4E2	0.040	<0.06 (0.04)	1.1	0.0034	<0.0060 (0.0039)	0.0057	0.0012	ND(0)	<0.0010 (0.0010)	
N10	04/07	8.2 (8.176)	22.9	52600	34.6	8.4	7.0 (7.03)	98.2	<2.0 (0.2)	5.8	<10	0.042	0.07	0.9	<0.0030 (0.0028)	<0.0060 (0.0030)	ND (0.0002)	ND(0)	ND (0.0001)	0.0013	
	10/10	8.1 (8.113)	26.5	51800	34.1	8.4	5.7 (5.73)	85.3	<2.0(1.4)	7.8	20	0.033	<0.06 (0.04)	2.2	0.0041	<0.0060 (0.0040)	0.0064	0.0015	<0.0003 (0.0002)	0.0013	
N11	04/07	8.2 (8.169)	22.9	52700	34.6	8.5	6.9 (6.93)	96.1	<2.0 (0.4)	5.6	<10	<0.020 (0.014)	0.07	0.3	<0.0030 (0.0028)	<0.0060 (0.0023)	<0.0040 (0.0020)	ND (0.0003)	0.0004	0.0012	
	10/10	8.1 (8.114)	26.4	51300	33.7	8.5	6.2 (6.25)	89.1	<2.0 (0.6)	9.9	<10	0.038	0.07	0.8	0.0037	<0.0060 (0.0040)	0.0100	0.0013	ND (0)	<0.0010 (0.0010)	
MDL	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0 <sup>#</sup>	2.5 <sup>#</sup>	10 <sup>#</sup>	0.005	0.02	-	0.0010	0.0020	0.0016	0.0004	0.0001	0.0003	
乙類 海域	7.5-8.5	無	無	無	無	無	≥5.0		≤3.0	無	無	無	無	無	≤0.03	≤0.1	≤0.5	≤0.05 (Cr <sup>6+</sup> )	≤0.002	≤0.05	
甲類 海域									≤2.0	無	≤1000	≤0.05	≤0.3								

備註：1.數據標示**粗體下底線**表超出相關海水標準。“-”表不必分析。“#”表定量極限。

2.本報告書依據環保署「檢測報告位數表示規定」出具檢測數據。部份檢項出具方式說明如下：pH及DO檢項於報告值後以括號方式備註實測平均值(pH)及實際測值(DO)。檢測數據低於方法偵測極限(MDL)時，以“ND”表示，後方加註括號內數據表依數值修整原則處理後之實際測值。如實際測值小於或等於零，則以“0”表示。

3.報告值標示為<2.0( ) (BOD)，2.0為該檢項的定量極限濃度，括號內數據表實際測值。

4.報告值標示為<0.020( ) (總磷)或<0.0030( ) (銅)或<0.0060( ) (鉛)或<0.0040( ) (鋅)或<0.0010( ) (鉻)，前方數字分別為該檢項定量極限濃度，括號內數據表由外插方式求得之測值。

100 年 4 月枯水期與 10 月豐水期調查結果顯示，港區內 N5、N6、N7 計 3 處測點之港域水質因較易受陸源性影響，如介於梧棲大排與安良港大排之間測點 N5，於 4 月枯水期間其鹽度與導電度相對最低，而總磷則出現最高之現象。此外，其生化需氧量與大腸桿菌群；以及重金屬鋅、鉻與砷相對略高。臺中港外大甲溪外海(N10)與大肚溪外海(N11)兩海域測點之水質則相對穩定且污染程度低，均可符合所屬之乙類海域水質標準，重金屬亦無異常。依據國際海事組織(IMO)於 2003 年指出，海洋污染來源主要源自於陸源排水污染，臺中港區內水體，同樣亦受到河川排水污染流入所影響，因此建請環保主管機關持續推動執行河川流域之污染削減等整治工程，同時進行工業廢水、家庭污水與畜牧廢水管制，持續巡查及取締。工廠產生之廢(污)水須依規定納入污水下水道系統處理，且其污水排水設備及排放水質、水量須經審查及查驗通過後始得排放；港口環保管理單位亦應加強宣導與查緝來自船舶可能之污染排放，以避免造成近岸水體品質不佳。

本計畫於 98 年起進行海域水質調查結果如表 5-4 所示，以下依序說明。

### 1. 酸鹼度-氫離子濃度指數(pH)

除非有很強之酸鹼性物質進入海水中，才會使海水之 pH 值改變，此外當 pH 偏低時，常伴隨高濃度之重金屬，因此量測 pH 也同時代表有無毒性無機重金屬之先驅指標。

本年度採樣調查結果如下所示，各測站之 pH 值與第 1 年(98 年度)與第 2 年(99 年度)採樣監測結果相較變動不大，皆屬於中性偏鹼範圍，4 月枯水期與 10 月豐水期採樣監測結果均能符合乙類海域水質標準(7.5~8.5)，4 月在港區內各海域測點(N5、N6、N7)之 pH 值介於 8.12~8.22 之間；10 月介於 8.13~8.19，全數符合乙類海域水質標準(7.5~8.5)；而港區外 2 海域測點(N10、N11)之 pH 值亦與環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之酸鹼度平均測值相近，水質穩定且無異常。

表 5-4 98 年至 100 年臺中港鄰港海域水質調查結果

監測日期 監測項目		本研究監測							環保署監測
		98 年			99 年		100 年		86~100 年
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	臺中港沿海二
		98/4/29	98/6/25	98/9/14~9/15	99/3/23~3/24	99/9/7~9/8	100/4/7	100/10/10	86/7/8~100/5/17
pH	範圍 (平均)	8.1~8.3 (8.3)	8.1~8.2 (8.1)	7.1~8.3 (7.8)	8.07~8.27 (8.19)	8.16~8.21 (8.19)	8.12~8.22 (8.17)	8.11~8.19 (8.14)	8.0~8.3 (8.18)
鹽度 (psu)	範圍 (平均)	10.9~33.5 (29.7)	28.2~33.0 (32.2)	1.8~33.1 (19.7)	34.3~35.5 (34.9)	32.2~33.0 (32.8)	31.9~34.6 (34.0)	33.7~34.3 (34.1)	31.4~35.7 (33.7)
水溫 (°C)	範圍 (平均)	24.6~26.4 (25.6)	29.2~31.7 (30.3)	28.8~31.7 (30.0)	23.6~24.8 (24.2)	29.8~32.1 (31.4)	22.5~23.3 (22.9)	25.6~26.5 (26.2)	17.8~31.4 (25.6)
導電度 ( $\mu$ mho/cm)	範圍 (平均)	18300~51000 (45510)	43600~50200 (48970)	3510~55200 (32459)	52300~53800 (53060)	48900~50100 (49760)	49000~52700 (52920)	51300~52000 (51780)	未提供
懸浮固體物 (mg/L)	範圍 (平均)	5.4~32.0 (11.5)	6.9~58.6 (13.3)	5.6~63.5 (20.1)	2.5~7.6 (4.4)	9.2~16.9 (13.0)	5.6~8.1 (6.4)	4.4~9.9 (7.6)	<2.0~45.0 (9.2)
透明度 (m)	範圍 (平均)	0.5~2.5 (1.8)	0.7~2.1 (1.5)	調查透視度	1.3~6.7 (3.6)	1.2~6.6 (3.5)	4.4~8.5 (6.3)	4.4~8.5 (6.2)	未監測
溶氧量 (mg/L)	範圍 (平均)	6.6~10.8 (8.3)	6.2~7.4 (6.5)	1.7~11.5 (6.2)	6.53~9.14 (7.37)	4.37~6.55 (5.14)	6.93~7.12 (7.04)	5.32~6.25 (5.7)	5.9~8.4 (6.9)
溶氧飽和度(%)	範圍 (平均)	92.7~130 (109)	97.2~117 (101)	24.3~151 (87.9)	97.5~132 (108)	70.7~98.5 (81.1)	96.1~100 (98.2)	78.8~89.1 (83.6)	未提供
生化需氧量 (mg/L)	範圍 (平均)	2.5~4.5 (3.7)	<2.0 (<2.0)	<2.0~63.6 (10.0)	<2.0 (<2.0)	<2.0 (<2.0)	<2.0(0.2~1.1) (<2.0(0.5))	<2.0(0.6~1.4) (<2.0(0.9))	0.1~1.0 (0.5)
大腸桿菌群 (CFU/100 mL)	範圍 (平均)	<10~1.4 $\times 10^4$ (1.6 $\times 10^3$ )	<10~3.9 $\times 10^3$ (4.9 $\times 10^2$ )	4.9 $\times 10^2$ ~1.2 $\times 10^8$ (1.3 $\times 10^7$ )	<10~1.8 $\times 10^4$ (3.6 $\times 10^3$ )	<10~2.5 $\times 10^2$ (73)	<10~5.0 $\times 10^2$ (1.1 $\times 10^2$ )	<10~1.4 $\times 10^2$ (60)	<10~6.2 $\times 10^3$ (5.5 $\times 10^2$ )
總磷(mg/L)	範圍 (平均)	0.022~0.144 (0.050)	0.038~0.090 (0.054)	0.048~1.87 (0.622)	<0.020~0.048 (0.031)	0.024~0.048 (0.034)	<0.020(0.014)~0.158 (0.051)	0.033~0.040 (0.037)	0.010~0.054 (0.021)
氨氮(mg/L)	範圍 (平均)	0.04~0.43 (0.11)	0.11~0.46 (0.24)	0.09~5.41 (2.16)	<0.05~0.12 (0.07)	ND(<0.02)~0.09 (0.06)	0.06~0.09 (0.07)	<0.06(0.02)~0.07 (0.05)	0.01~0.13 (0.03)
葉綠素 a( $\mu$ g/L)	範圍 (平均)	未監測	未監測	未監測	0.5~2.2 (1.3)	0.6~10.3 (3.7)	0.3~1.1 (0.8)	0.8~2.2 (1.6)	0~17.5 (1.4)

表 5-4(續 1) 98 年至 100 年臺中港鄰港海域水質調查結果

監測日期 監測項目		本研究監測							環保署監測
		98 年			99 年		100 年		86~100 年
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	臺中港沿海二
		98/4/29	98/6/25	98/9/14~9/15	99/3/23~3/24	99/9/7~9/8	100/4/7	100/10/10	86/7/8~100/5/17
銅(mg/L)	範圍 (平均)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	<0.0030(0.0020)~0.0041 (0.0031)	0.0030~0.0041 (0.0036)	0.0001~0.0335 (0.0022)
鉛(mg/L)	範圍 (平均)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	ND<0.0004(0)~<0.0060(0.0042) (0.0026)	<0.00060(0.0034)~<0.0060(0.0043) (0.0039)	0.0001~0.0090 (0.0017)
鋅(mg/L)	範圍 (平均)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	ND<0.0016(0.0001)~0.0104 (0.0037)	0.0056~0.0135 (0.0082)	<0.0005~0.0550 (0.0065)
總鉻(mg/L)	範圍 (平均)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	ND<0.0004(0)~<0.0010(0.0007) (0.0002)	ND<0.0004(0.0003)~0.0015 (0.0010)	<0.001~0.009 (0.0015)
汞(mg/L)	範圍 (平均)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	ND<0.0001(0.0001)~0.0004 (0.00016)	ND<0.0001(0)~<0.0003(0.0002) (0.00004)	<0.0003~0.0019 (0.00059)
砷(mg/L)	範圍 (平均)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	0.0012~0.0016 (0.0013)	<0.0010(0.0010)~0.0013 (0.0012)	0.0008~0.0014 (0.0010)

## 2. 導電度(Electrical conductivity, EC)

本年度採樣調查結果如下，各海域測站於 4 月枯水期採樣監測之導電度測值介於 49000~52700  $\mu\text{mho/cm}$ ；10 月豐水期介於 51300~52000  $\mu\text{mho/cm}$  間，監測結果皆處於正常海水值 45000~55000  $\mu\text{mho/cm}$  之變動範圍內，100 年 10 月豐水期以港外兩測站導電度相對港內為略低，10 月豐水期之導電度平均值亦相對低於 4 月枯水時期，100 年度整體測站導電度平均值 51850  $\mu\text{mho/cm}$ ，介於第 1 年(98 年度)與第 2 年(99 年度)變動範圍且無異常。

## 3. 鹽度(Salinity)

本年度採樣調查結果如下所示，各海域測站於 4 月枯水期採樣監測之鹽度測值介於 31.9~34.6 psu 間；10 月豐水期間介於 33.7~34.3 psu，鹽度變化之趨勢與導電度大致相似，100 年整體測站鹽度平均值 34.1 psu，較第 1 年(98 年度)3 次採樣監測結果高，而本年度 4 月枯水期與第 2 年(99 年度)2 次採樣監測結果均顯示，港區外 N10(大甲溪外海)、N11(大肚溪外海)2 測點之鹽度測值，相對於港區內易受內陸排水影響之 3 處測點(N5、N6、N7)為略高，另港外測點鹽度變化，介於環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)變動範圍內。

## 4. 水溫(Water temperature)

本年度採樣調查結果如下所示，各海域測站於 4 月枯水期採樣監測之水溫測值介於 22.5~23.3  $^{\circ}\text{C}$ ；10 月豐水期間介於 25.6~26.5  $^{\circ}\text{C}$ ，100 年整體測站平均水溫 24.5 $^{\circ}\text{C}$ ，略低於第 1 年(98 年度)3 次與第 2 年(99 年度)2 次採樣監測總平均值 28.6 $^{\circ}\text{C}$ ，本年度各測站之水溫溫差不大，介於環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)變動範圍內。臺中港鄰近海域整體水溫的變動呈現季節性的變化，以夏秋季節水溫較高、冬春季時期的水溫則相對較低，由本研究歷年調查的水溫高低差異顯示，最高水溫可達 32.1 $^{\circ}\text{C}$ (99 年 9 月)，最低水溫則為 22.5 $^{\circ}\text{C}$ (100 年 4 月)，而由環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)監測數據

顯示，則外海海域水溫最低可以達到 17.8°C(99 年 1 月)。

## 5. 透明度(Transparency, SD)、透視度(Visual transparency / Light Transmittance)、懸浮固體( Suspended solids, SS )

本年度採樣調查結果如下所示，各海域測站於 4 月枯水期採樣監測之懸浮固體物測值介於 5.6~8.1 mg/L；10 月豐水期介於 4.4~9.9 mg/L，100 年整體測站平均測值 7.0 mg/L，與環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之懸浮固體物平均測值 8.5 mg/L 為低。99 年度 9 月採樣平均測值雖較 3 月調查結果略增，但與第 1 年(98 年度)3 次採樣監測結果相比仍為低，整體透明度自 98 年起至 100 年隨之逐漸增高，以本年度 4 月與 10 月透明度達到最高。歷次港外懸浮固體最高值以南側靠近大肚溪口(N1)處相對最高(98/6:SS 58.6 mg/L)，應係較易受到來自陸源大肚溪口輸砂影響而導致懸浮固體物濃度較高；透明度則相對較低。

## 6. 溶氧與溶氧飽和度 (Dissolved Oxygen; Dissolved Oxygen Saturation)

本年度採樣調查結果，各海域測站於 4 月枯水期採樣監測之溶氧量介於 6.93~7.12 mg/L，溶氧飽和度介於 96.1~100%，平均 98.2%，接近飽和；而 10 月豐水期則相對較低，溶氧量介於 5.32~6.25 mg/L，溶氧飽和度介於 78.8~89.1%，平均 83.6%，呈現未飽和之狀態。港內外各測站測值均介於環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之監測變動範圍且無異常。99 年度於 3 月調查時，港區內外 5 處海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之溶氧值全數符合乙類海域水質標準(>5 mg/L)，惟介於梧棲大排與安良港大排間測站 N5 之溶氧飽和度達 135%，有過飽和之現象，推測是港區內營養鹽(碳、氮、磷)豐富，水中藻類光合作用旺盛而產生大量氧氣所致；在 99 年 9 月調查時，港區內 3 處測點(N5、N6、N7)溶氧值則略低於乙類海域水質標準( $\geq$ 5 mg/L)，且表面海水溶氧呈不飽和狀態，溶氧量僅約飽和時之 70.7%~73.6%，顯示港內水體易受陸源營養鹽輸入，導致溶氧變動較港外為劇烈。

## 7. 生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD<sub>5</sub>)

本年度於 4 月枯水期與 10 月豐水期採樣調查結果如下所示，港區內外 5 處海域測站(N5、N6、N7、N10、N11)於 4 月與 10 月採樣監測期間，生化需氧量測值皆 $<2.0$  mg/L，均可符合乙類海域水質標準( $\leq 3.0$  mg/L)，且與環保署外海環境水質測站(臺中港沿海二)之歷次(僅 86~87 年有調查)生化需氧量測值相近且無異常，而第 1 年(98 年度)海域部分測站偶有超過標準之情形，最高濃度可達 63.6 mg/L，此乃出現於匯入臺中港域之主要排水路上、下游水質之 24 小時連續全潮觀測時所測得，顯示匯入港域內之排水仍有受到來自內陸排水之農畜牧業廢水及/或家庭生活污水之污染。於第 2 年(99 年度)及本年度與港域及港外調查期間則呈現未有異常偏高之情形，顯示有機性污染程度於臺中港域與港外水體有逐漸改善的趨勢。

## 8. 大腸桿菌群(Coliform Group)

本年度於 4 月枯水期與 10 月豐水期採樣調查結果如下所示，因海域之大腸桿菌群並無訂立乙類標準，若以海域最高標準(甲類)作為參考比較，在本年度除港區內介於梧棲大排與安良港大排間之 N5 測值略高外，其餘均 $<10$  CFU/100 mL，且皆未超出甲類海水標準( $\leq 1000$  CFU/100 mL)。港內 N5 測站曾於 99 年度 3 月因受局部陸源污染輸入之影響，而有超出甲類海域水質標準 18 倍之情形外，其餘港區內外 4 處海域測點(N6、N7、N10、N11)之大腸桿菌群於 2 次採樣監測均低於甲類上限值，整體測站平均測值  $1.9 \times 10^3$  CFU/100 mL，雖高於環保署外海環境水質測站(臺中港沿海二)大腸桿菌群平均測值  $5.5 \times 10^2$  CFU/100 mL(86~87 年度)，但與第 98 年度大腸桿菌群年平均值  $5.9 \times 10^6$  CFU/100 mL 相比為低且有明顯下降之趨勢，本年度於 10 月豐水期平均測值呈現持續降低。

## 9. 總磷(Total Phosphorus, TP)

本年度於 4 月枯水期與 10 月豐水期採樣調查結果如下所示，4 月

在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之總磷測值介於<0.020(0.016)~0.158 mg/L，平均測值 0.051 mg/L；10 月介於 0.033~0.040 mg/L，平均測值 0.037 mg/L，因總磷無乙類海域水質標準，若以海域最高標準(甲類)作為參考比較，在本年度 4 月枯水期採樣監測中，港外 2 測站之總磷測值均低於甲類上限值( $\leq 0.05$  mg/L)，且在環保署外海環境水質測站(臺中港沿海二)之歷次總磷監測變動範圍內，港區內介於梧棲大排與安良港大排間之 N5 測值則偏高，達 0.158 mg/L，為甲類海水標準之 3 倍。介於梧棲大排與安良港大排之間測點 N5，於 4 月枯水期間其鹽度與導電度相對最低，而總磷則出現最高之現象(0.158 mg/L)，顯示採樣當時此處水體受到相對較多之淡水之影響，而由上游陸域水質之歷年總磷監測結果，其梧棲大排與安良港大排於民國 87 年至 99 年間，漲、退潮之總磷平均濃度高達 0.731 mg/L，遠高於港域可知，港域之總磷偏高之污染來源，應與匯入港區之排水中，來自生活污水含磷清潔劑，以及農畜牧業使用含磷肥料污染水質所致。

#### **10. 氨氮(Ammonia nitrogen, NH<sub>3</sub>-N)**

本年度於 4 月枯水期與 10 月豐水期採樣調查結果如下所示，4 月在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之氨氮測值介於 0.06~0.09 mg/L；10 月介於<0.06(0.02)~0.07 mg/L。因氨氮無乙類海域水質標準，若以海域最高標準(甲類)作為參考比較，各測站之氨氮測值於本年度 4 月與 10 月調查結果均低於甲類上限值( $\leq 0.3$  mg/L)，平均測值 0.07 mg/L，高於環保署外海環境水質測站(臺中港沿海二)之歷次氨氮平均測值 0.03 mg/L，但與第 1 年(98 年度)3 次採樣監測結果相比為低且有下降之趨勢。

#### **11. 葉綠素a(Chlorophyll a)**

本年度於 4 月枯水期與 10 月豐水期採樣調查顯示，4 月在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之葉綠素 a 測值介於 0.3~1.1  $\mu\text{g/L}$ ；10 月介於 0.8~2.2  $\mu\text{g/L}$ ，與環保署長期外海環境水質測站(臺中

港沿海二)歷次相比，10月之平均測值略有升高，但仍在其最大變動範圍內。本年度4月採樣監測結果與第2年(99年度)相同，皆以港區外之N11(大肚溪外海)測點為最低，而以港區內介於梧棲大排與安良港大排間之N5測點為最高；10月時則以大甲溪外海較高。以USEPA葉綠素a為基準之營養分級顯示，本年度港區內N5測站由99年9月之優養降為貧養水體外，其餘港區內外4處海域測站(N6、N7、N10、N11)仍屬於貧養水體。

## 12. 重金屬銅(Copper, Cu)

本年度於4月枯水期與10月豐水期採樣調查顯示均可符合海水標準( $\leq 0.03$ )，以港區內測站濃度相對較港外為高。4月在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之重金屬銅測值介於 $<0.0030(0.0020) \sim 0.0041$  mg/L；10月介於 $0.0030 \sim 0.0041$  mg/L，均在環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之監測變動範圍內，但平均濃度仍相對略高於其外海水質測站(臺中港沿海二)。

## 13. 重金屬鉛(Lead, Pb)

本年度於4月枯水期與10月豐水期採樣調查顯示均可符合海水標準( $\leq 0.3$ )，4月在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之重金屬鉛測值介於 $ND < 0.0004(0) \sim <0.0060(0.0042)$  mg/L；10月介於 $<0.0004(0.0034) \sim 0.0043$  mg/L，均在環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之監測變動範圍內，但平均濃度仍相對略高於其外海水質測站(臺中港沿海二)。

## 14. 重金屬鋅(Zinc, Zn)

本年度於4月枯水期與10月豐水期採樣調查顯示均可符合海水標準( $\leq 0.5$ )，以港區內測站濃度相對較港外為高。4月在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之重金屬鋅測值介於 $ND < 0.0016(0.0001) \sim 0.0104$  mg/L；10月介於 $0.0056 \sim 0.0135$  mg/L，均在環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之監測變動範圍內，但10月平均濃度仍

相對略高於其外海水質測站(臺中港沿海二)。

### 15. 重金屬鉻(Chromium, Cr)

本年度於4月枯水期與10月豐水期採樣調查顯示總鉻(三價鉻+六價鉻)均可符合海水標準( $\text{Cr}^{6+} \leq 0.05$ )。4月在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之重金屬鉻測值介於  $\text{ND} < 0.0004(0) \sim < 0.0010(0.0007)$ ；10月介於  $\text{ND} < 0.0004(0.0003) \sim 0.0015$ ，均在環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之監測變動範圍內且無異常。

### 16. 汞(Mercury, Hg)

本年度於4月枯水期與10月豐水期採樣調查顯示均可符合海水標準( $\leq 0.002$ )。4月在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之重金屬汞測值介於  $\text{ND} < 0.0001(0.0001) \sim 0.0004$ ；10月介於  $\text{ND} < 0.0001(0) \sim < 0.0003(0.0002)$ ，均在環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之監測變動範圍內且無異常。

### 17. 砷(Arsenic, As)

本年度於4月枯水期與10月豐水期採樣調查顯示均可符合海水標準( $\leq 0.05$ )。4月在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之重金屬砷測值介於  $0.0012 \sim 0.0016$ ；10月介於  $< 0.0010(0.0010) \sim 0.0013$ ，與環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之測值(86~87年)相近，但港區內外各海域測點仍相對略高於其外海水質測站(臺中港沿海二)。

臺灣地區地處亞熱帶，屬於海島型氣候，除易逢颱風或是暴雨沖刷造成水質不佳外，也易受人為干擾與污染而影響環境水體與生態，而海岸水體環境具有高度敏感性，且各海域涵容能力受地區之海象、地形、污染源之影響也不盡相同，例如高緯度地區或熱帶海域、大洋或近海環境均有所差異，因此並無一客觀特定之標準，可以明確地界定出海域水體對污染物負荷之臨界值，若以國內海域水質分類之評比

標準，主要以酸鹼度(pH)、溶氧、氨氮、總磷、大腸桿菌群與生化需氧量等化學、生物性指標劃分為甲類、乙類、丙類海域，而為讓民眾瞭解海灘水質，做為親水活動參考，現階段參考香港及美國泳灘水質監測發佈方式，主要以甲類海域之海洋環境品質標準—大腸桿菌群之菌落數在 1000 CFU/100mL 以下(以下簡稱「符合甲類」)，為判定依據，而高於此等級則列為不宜親水活動。符合甲類者，再以腸球菌群( $\leq 50$  MPN/100 mL 或  $>50$  MPN/100 mL)區分為優良或普通，作為娛樂用水水質之「優良、普通或不宜親水」之 3 分級。

總而言之，選定之水質參數在水體品質之應用上有不同程度之意義，雖可簡易地判斷污染程度，但不易即時反應水質異常之敏感度，也相形喪失了對污染源頭採取適當污染行為管制措施之先機，為確保海洋環境永續性經營，仍待相關主管單位納入污染排放量與相對水體涵容能力之管理觀點，以利反應實際海域水體污染負荷，建立實質水質管理績效指標。

臺中港水域環境之水體分類係被公告為「乙類水體水質標準」海域，歸納環保署近海海域水質自民國 86 年 7 月~100 年 5 月長期監測結果，以監測項目與海洋環境品質標準相關之 pH、溶氧量、生化需氧量、鉛、銅、鋅、鎘、鉻、汞與砷計 10 個水質項目計算合格率，臺中港沿海海域水質總合格率为 99.6%。以各監測項目分析比較，pH 值(圖 5-2)、溶氧量(圖 5-3)、生化需氧量合格率均為 100%；重金屬部分鉛、汞、鋅及鎘等項目之合格率亦皆為 100%；重金屬銅有 1 個樣品不符合水質標準(圖 5-4)，合格率为 99.6%；汞亦曾出現 1 次不符合水質標準，合格率为 99.5%。由環保署長期監測結果與本研究 98、99 年及 100 年 4 月與 10 月調查結果皆顯示，臺中港鄰近海域水質狀況普遍良好，如本研究臺中港外大甲溪外海(N10)與大肚溪外海(N11)兩海域測點之水質穩定且污染程度低，僅港區內 N5、N6、N7 等 3 處測點之海域水體因較易受陸源性污染，如梧棲大排與安良港大排等注入港域之影響，偶有生化需氧量與大腸桿菌群偏高之現象外，大部分水質檢項並無特別異常之處。此外，臺中港沿海一測站表層水，曾在 2010 年 5 月(圖 5-2)

測得其 pH 略偏低(7.6)，分析當時該處其他水質檢項如溶氧量與營養鹽類，以及重金屬均未發生異常，僅鹽度略有降低推測，可能係受到部分淡水的(pH 相對海水為較低)影響，導致 pH 值出現偏低，但仍可符合國內海域水質標準。然而礙於現有資料有限，尚無法進一步深入探究其真正原因。

99 年度於臺中縣清水鎮之大甲溪出海口—高美濕地曾發生遭致疑似不肖業者非法傾倒廢油污染案，該污染事件係 99 年 6 月 29 日晚間於清水大排出海口附近出現大片油污，經環保署與臺中縣環保局等相關單位緊急應變及油污清理後，現場油污已獲得阻絕圍堵，經初步估計廢油污染面積約 1,000 平方公尺。另經空勤總隊及海巡單位於空中及海面查察，未發現有油污擴散情形。而由環保署 99 年 8 月與本研究 99 年 9 月調查結果顯示，臺中港外海域水質並無特別異常之處。

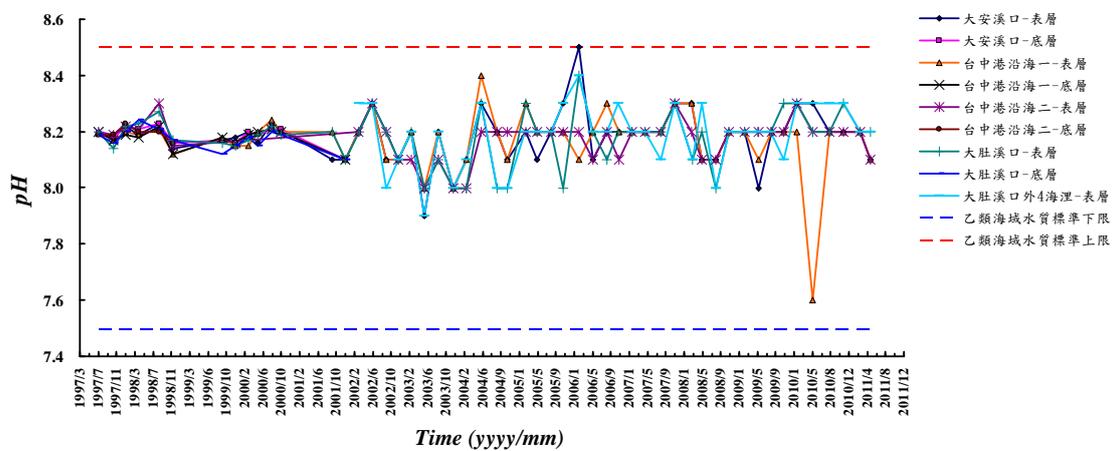


圖 5-2 臺中港鄰近沿海海域之歷年酸鹼度變化

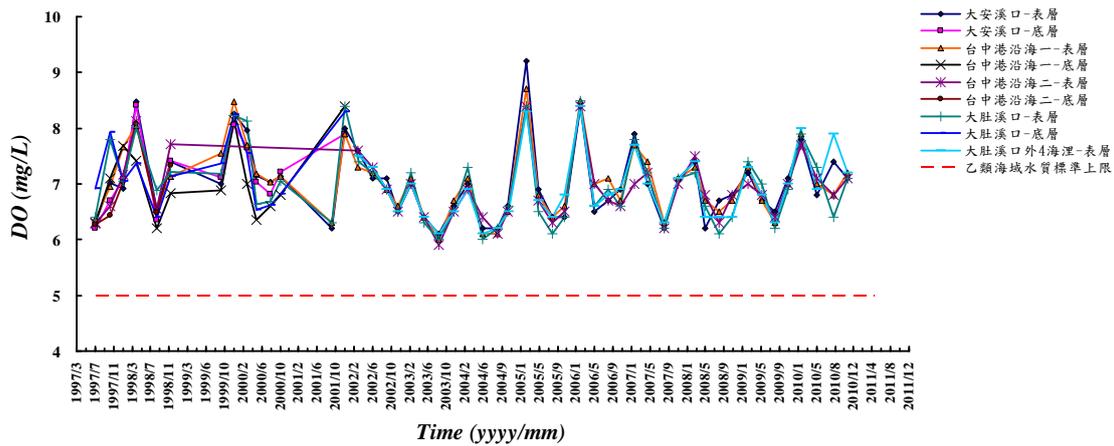


圖 5-3 臺中港鄰近沿海海域之歷年溶氧量變化

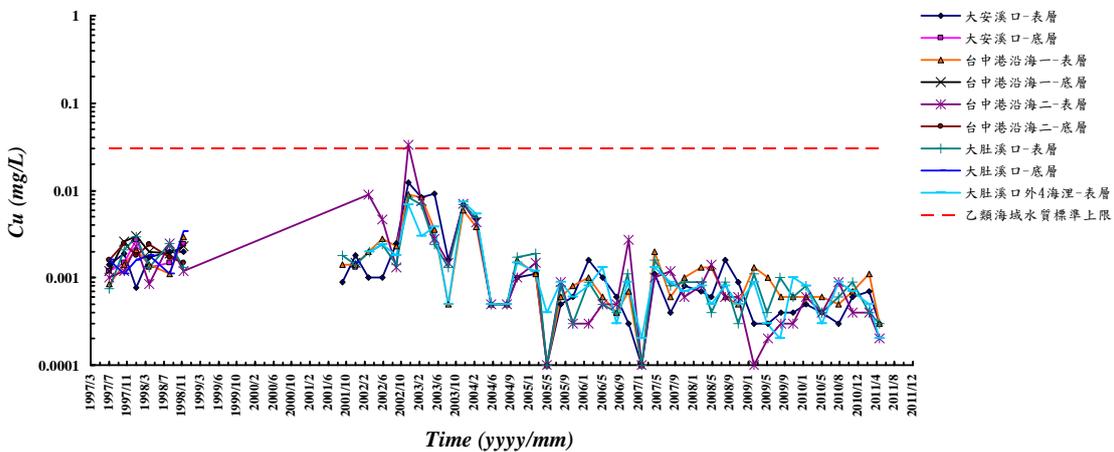


圖 5-4 臺中港鄰近沿海海域之歷年重金屬銅變化

## 5.4 海域底質調查方法

### 5.4.1 採樣方法

參照環保署環檢所之底泥採樣方法 (NIEA S104.30C)使用底質採樣器採集表層沉積物。採集人員搭乘船筏至規劃測站以 GPS 定位後，以底質採樣器採取各測站之表層沉積物樣品，以夾鏈袋裝樣後並於冰桶內加冰塊冷藏後運回實驗室進行分析。

## 5.4.2 採樣頻率

本年度(100 年度)海域底質監測僅於枯水期間進行 1 次，已於 100 年 4 月 7 日完成 1 次海域底質採樣調查。

## 5.4.3 分析項目與檢測方法

### 1. 海域底質監測項目

包含沉積物粒徑、總有機物以及重金屬銅、鉛、鋅、鉻、砷、汞與鋁。

### 2. 海域底質檢測方法

除沉積物粒徑分析採 American Society for Testing and Materials (ASTM) D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils 外，其餘主要依環保署公告之 NIEA 檢驗方法辦理。

## 5.5 海域底質調查結果

本年度 4 月枯水期間採樣監測結果詳如表 5-5，以下將針對各檢驗項目之分析結果作說明。

表 5-5 臺中港鄰港海域底質 100 年 4 月枯水期採樣調查結果

調查日期：100年4月7日

項目	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷	有機質	鋁	粒徑		gravel	sand	silt
	mg/kg	Mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	D50(mm)	Dm(mm)	(%)	(%)	(%)
方法	NIEA	NIEA	NIEA	NIEA	NIEA	NIEA	NIEA	NIEA	ASTM D422 - 63				
測站	R355.00C	R355.00C <sup>Ⓞ</sup>	R355.00C	R355.00C	M317.02C	S310.63 C	R205.01C	R355.00C					
N5	32.1	34.7	112	32.9	0.080	11.9	1.93	11500	0.066	0.081	0	43.8	56.2
N6	31.6	37.0	112	33.6	0.129	12.4	2.64	13500	0.004	0.018	0	6.25	93.8
N7	73.1	31.5	127	20.0	0.081	10.6	2.61	13200	0.006	0.022	0	7.47	92.5
N10	<10.0(8.56)	<30.0(17.7)	54.2	15.6	0.071	8.59	2.43	11700	0.045	0.052	0	18.9	81.1
N11	<10.0(6.58)	<30.0(17.6)	36.9	10.7	ND(<0.020)	15.4	1.62	9610	0.409	0.467	0	99.7	0.334
MDL	2.03	10.5	4.72	3.34	0.020	0.192	無	0.1	0.066	0.081	0	43.8	56.2
下限值	50	48	140	76	0.23	11	無	無	無				
上限值	175	161	384	233	0.87	33	無	無					
監測基準	220	1000	1000	175	10	30	無	無					
管制標準	400	2000	2000	250	20	60	無	無					
TEL	18.7	30.24	124	52.3	0.13	7.24	無	無					
PEL	108	112	271	160	0.70	41.6	無	無					
ERL	34.0	46.7	150	81.0	0.15	8.2	無	無					
ERM	270	218	410	370	0.71	70.0	無	無					

備註：1.本報告書依據環保署「檢測報告位數表示規定」出具檢測數據。檢測數據低於方法偵測極限(MDL)時，以“ND”表示。

2.報告值標示為<10.0( ) (銅)或<30.0( ) (鉛)，前方數字分別為該檢項的定量極限，括號內數據表實際測值。

3.國內尚無海域底質相關品質標準，檢測結果參考底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法本草、國內土壤污染之監測基準與管制標準；以及國外NOAA之相關海洋沉積物底質規範快速篩選參考表。

TEL: Threshold Effects Level(影響門檻值-小於此值應不會對生物造成危害) ERL: Effect Range-Low(低影響範圍)

PEL: Probable Effect Level(可能影響範圍-超過此值會經常地對生物造成危害) ERM: Effect Range-Medium(中影響範圍)

資料來源：The SQUIRT cards should cited as: “Buchman, M. F., 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages.”

## 1. 粒徑分析(Grain size distribution)

臺中海域底床質粒徑調查，係以海底底床表層拖曳採得之沉積物樣品進行粒徑分析，表 5-6 為粒徑分析結果，圖 5-5 為採樣粒徑分析後之粒徑累積曲線分布圖，其中 X 軸坐標是粒徑(mm)，Y 軸坐標係指累積重量的百分比(%)。

表 5-6 臺中港鄰港海域底質 100 年 4 月枯水期粒徑分析結果

調查日期：100 年 4 月 7 日

Station	D10 (mm)	D16 (mm)	D25 (mm)	D30 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	D75 (mm)	D84 (mm)	D90 (mm)	Dm (mm)	Cu	gravel (%)	sand (%)	silt (%)
N5	0.005	0.013	0.036	0.044	0.066	0.08	0.105	0.13	0.156	0.081	15.662	0	43.8	56.2
N6	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.006	0.01	0.017	0.035	0.018	6.860	0	6.25	93.8
N7	0.001	0.002	0.003	0.003	0.006	0.008	0.015	0.025	0.049	0.022	6.381	0	7.47	92.5
N10	0.002	0.003	0.007	0.012	0.045	0.052	0.065	0.081	0.109	0.052	33.923	0	18.9	81.1
N11	0.249	0.278	0.327	0.349	0.409	0.44	0.513	0.585	0.727	0.467	1.765	0	99.7	0.334

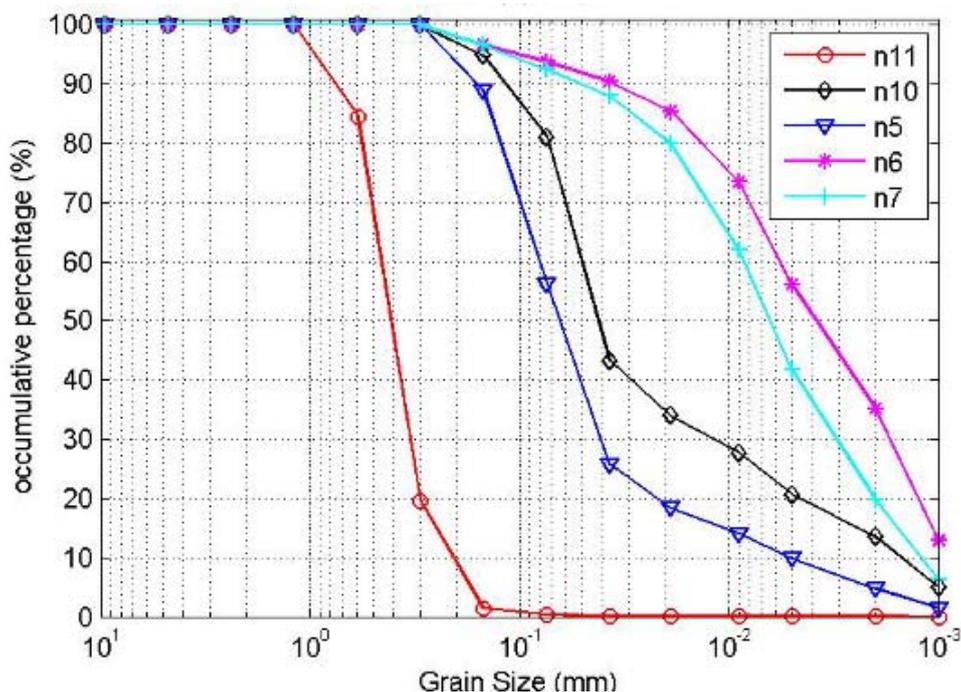


圖 5-5 臺中港鄰港海域底質 100 年 4 月枯水期粒徑累積曲線分布圖

底質沉積物採樣經烘乾後，採用美國統一土壤分類法(ASTM)進行粒徑分析，採取的砂樣進行粒徑分析後，分別求出有效粒徑( $d_{10}$ 、 $d_{25}$ 、 $d_{60}$ 、 $d_{75}$ )、中值粒徑 $d_{50}$ 、平均粒徑 $d_m$ 及均勻係數 $C_u$ ，並依粒徑分布

將砂樣顆粒予以分類，其分類標準參考如表 5-7 所示。

**表 5-7 底質粒徑大小等級分類 Udden-Wentworth 分類**

Size grade	Udden-Wentworth	Diameter in millimeters
<i>Cobbles</i>	Cobbles	> 64
<i>Pebbles</i>	Pebbles	4 ~ 64
<i>Granules</i>	Granules	2 ~ 4
<i>Sand</i>	Very coarse sand	1 ~ 2
	Coarse sand	0.5 ~ 1
	Medium sand	0.25 ~ 0.5
	Fine sand	0.0125 ~ 0.25
	Very fine sand	0.0625 ~ 0.125
<i>Silt</i>	Silt	0.0039 ~ 0.0625
<i>Clay</i>	Clay	< 0.0039

資料來源：Tanner (1969)

由表 5-6 中對照沉積物粒徑分類(Udden-Wentworth 分類法, Tanner, 1969)可知，本年度 4 月枯水期間中值粒徑(d50)介於 0.004 mm ~ 0.409 mm 之間，粒徑大小分屬於粉砂(silt: 0.0039 ~ 0.0625 mm)、極細砂(very fine sand: 0.0625 ~ 0.125 mm)、細砂(fine sand: 0.125 ~ 0.25 mm)至中砂(medium sand: 0.25 ~ 0.50 mm)等級。其中以大肚溪外海測站 N11 之中值粒徑最高，港域內之測站 N6 則較低。

## 2. 總有機物(Total organic matter)

臺中海域底床質總有機物調查結果，本年度 4 月枯水期，有機質介於 1.62~2.64%，平均 2.25%。整體以大肚溪外海測站 N11 相對較低，而港域內 N6 則最高。

## 3. 重金屬(銅、鉛、鋅、鉻)與砷、汞及鋁

本年度 4 月枯水期調查結果，底質重金屬銅含量介於<10.0(6.58)~73.1 mg/kg，平均 30.4 mg/kg；鉛含量介於<30.0(17.6)~37.0 mg/kg，平均 27.7 mg/kg；鋅含量介於 36.9~127 mg/kg，平均 88.4 mg/kg；鉻

含量介於 10.7~33.6 mg/kg，平均 22.6 mg/kg；砷含量介於 8.59~15.4 mg/kg，平均 11.8 mg/kg；汞含量介於 ND(<0.020)~0.129 mg/kg，平均 0.076 mg/kg。鋁含量則介於 9610~13500 mg/kg，平均 11902 mg/kg。除砷含量於大肚溪外海測站 N11 相對最高外，其餘項目均以港內為較高。

重金屬檢測結果與臺灣主要河口、港灣及沿海沉積物中重金屬平均含量(表 5-8)相比，銅、鉛、鋅與鉻方面，本調查與臺灣海峽(背景)與臺灣主要河口，以及沿海沉積物中重金屬平均含量差異不大，均在同一變動範圍內，並無特別異常之處。此外，另與基隆港及高雄港底質重金屬相比，臺中海域底質重金屬銅、鉛、鋅與鉻含量，於本年度 4 月枯水期間測值多低於基隆港及高雄港。

國內目前對於海域底質並未訂定相關環境標準，若以國內現有之土壤相關重金屬標準為比較參考，本次調查結果均低於土壤污染之監測基準與管制標準；此外，若與預告訂定「底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法」草案中之底泥品質指標上限值(底泥品質指標項目濃度高於上限值者，目的事業主管機關應針對該項目增加檢測頻率，並通知農業、衛生主管機關檢測生物體內污染物質)與下限值(底泥品質指標項目濃度高於下限值但低於上限值者，目的事業主管機關應針對該項目增加檢測頻率)相比，均低於其上限值。而在國外方面，加拿大安大略省曾訂定底泥品質基準值(sediment quality guidelines)，係基於一系列當地底泥及底棲生物的篩選濃度(screening level concentration)所建立出來，所謂篩選濃度係指特定污染物在底泥中，所推估出來能維持 95%底棲生物存活之最高濃度，加拿大安大略省之底泥品質基準值主要有兩個影響濃度水準：

- (1) 最低影響濃度水準：係指污染物對底棲生物開始有明顯毒性效應時之最低濃度。
- (2) 嚴重影響濃度水準：係指污染物在該濃度會明顯造成大部分底棲生物之死亡。

各底質重金屬之最低與嚴重影響濃度分別為：

單位：mg/kg	Zn	Cd	Pb	Cu	Ni	Cr	Hg	As
最低影響濃度	120	0.6	31	16	16	26	—	6
嚴重影響濃度	820	10	250	110	75	110	—	33

註：—表無標準。

表 5-8 臺灣主要河口、港灣及沿海沉積物中重金屬平均含量

地區	重金屬含量(ppm)						採樣時間	資料來源
	鋅	鎘	鉛	銅	鎳	鉻		
臺灣海峽(背景)	61	N.D.	N.D.	12	28	40	--	陳汝勤(1984)
花蓮沿海	61	0.059	16	29	32	88	1983	陳汝勤(1984)
淡水河口及沿海	173	0.042	41	69	55	81	1985	Su et al(1985)
	84	0.040	14	16	31	31	1989	2-10 TSR(1989)
中港溪沿海	56	0.033	13	12	24	44	1987	2-12 CKC(1987)
臺中港沿海	44	0.035	18	9	15	24	1989	1-15 TPC(1989)
大肚溪河口	42	0.067	17	21	11	29	1978	1-15 TTC(1978)
彰化沿海	62	0.051	19	9	13	32	1980	1-19 CHI(1980)
急水溪河口	48	0.020	3	10	33	44	1984	2-13 CSC(1984)
嘉義沿海	85.4	0.063	18.1	20.6	32.1	46.5	1975	陳汝勤(1984)
二仁溪河口及沿海	69	0.043	14	18	32	52	1986	2-11 EJC(1986)
	148	0.058	25	81	--	48	1988	Tsai et al(1988)
高雄林園沿海	79	0.078	21	37	45	67	1976	2-06 LYI(1976)
	90	0.094	21	16	12	46	1977	2-04 TLQ(1979)
	<0.07	0.13	11	9	--	--	1985	2-07 LYI(1985)
屏南沿海	107	0.052	21	21	26	61	1982	陳汝勤(1984)
左營放流管海域	71	1.18	29	4.7	43	21	1988	2-01 TYQ(1988)
	96	1.62	14	12	17	25	1989	2-02 KHQ(1989)
中洲放流管海域	124	1.710	16	14	18	31	1989	2-02 KHQ(1989)
大林蒲放流管海域	74	1.42	13	8	17	23	1989	2-02 TLQ(1989)
基隆港	152	N.D.	N.D.	90	24	47	1980	陳汝勤(1984)
	340	0.060	73	285	22	42	1989	2-19 KLH(1989)
高雄港	511	0.082	68	74	59	98	1977	陳汝勤(1984)
	477	3.0	53	160	83	87	1987	2-23 KHH(1988)

資料來源：環保署「臺灣地區海域環境品質監測站網設置規劃」報告，民國 80 年 6 月。

由 4 月調查結果顯示，臺中海域表層沉積物重金屬含量，與加拿大 安大略省之底泥品質標準相比，重金屬銅、鉛、鋅、鉻與砷之所有測值均介於最低影響濃度與嚴重影響濃度之間。

此外美國國家海洋大氣管理局(National Ocean and Atmosphere Administration, NOAA)曾對底質訂定基準。NOAA 匯集各種調查結果

組成一資料庫，將各化學物質對生物造成影響事件中，底質濃度的第 10 百分位數定為低影響範圍(Effect Range Low, ERL)，第 50 百分位數定為中影響範圍(Effect Range Medium, ERM)。此外 NOAA 有快速篩選參考表(Screening Quick Reference Table, SQiRTs)，其中訂有影響門檻值(Threshold Effect Level, TEL)及可能影響值(Probable Effect Level, PEL)。TEL 為資料庫內各化學物質對生物造成影響事件中，底質濃度的第 15 百分位數與未造成影響事件中位數之幾何平均值。

TEL 乃一下限門檻值，化學物質小於此值則應該不會對生物造成危害。PEL 為資料庫內各化學物質對生物造成影響事件中，底質濃度的第 50 百分位數與未造成影響事件中第 85 百分位數之幾何平均值。可能影響值(Probable Effect Level, PEL)則為上限門檻值，超過此值則會經常地對生物造成危害。介於 TEL 與 PEL 則偶有危害生物的情形發生。

加拿大環境部在環境品質指導方針(Canadian Environmental Quality Guidelines)也對海域底質制定基準，加拿大引用 NOAA 資料庫，設定過渡期底質基準(Intrim Sediment Quality Guideline, ISQG)與可能影響值(PEL)。其中 ISQG 與 NOAA 的 TEL 相似。利用此二值可將污染程度分類為極微(Minimal)、潛在(Potential)及顯著(Significant)。然而地域環境的變異將會影響到底質的特性，國外的底質基準乃依據該國的地理特性及生態環境所制定，在此僅可供參考。當在環境監測時，此類基準值需依當地水體的涵容能力(Assimilative capacity)及特有生物對該化學物質的敏感度等特性而作修正。上述相關底質基準制定門檻整理如表 5-9。

4 月調查結果其臺中港海域底質重金屬均遠低於可能影響值(PEL)，超過此值(PEL)會經常地對生物造成危害，顯示目前臺中港海域之底質重金屬含量，未達會造成經常性對生物有危害之程度。此外美國華盛頓州對於底質調查結果亦有制定一套相關標準，供其後續評估與是否應清除的準則如表 5-10 所示。本年度 4 月臺中港海域重金屬調查結果與該表相比，臺中港內外各測站之銅、鉛、鋅、鉻與砷及汞，

均符合美國華盛頓州之底質品質標準，皆未達到需要清除底質的程度。

**表 5-9 國外底質規範快速篩選參考表**

(SQuiRT: Screening Quick Reference Tables)

國家 單位 參數	美國國家海洋大氣管理局 (National Ocean and Atmosphere Administration, NOAA)				加拿大環境部 (Department of Environment Canada)	
	海洋沉積物 (Marine Sediment)					
底質 重金屬	TEL	ERL	PEL	ERM	ISQG	PEL
砷	7.24	8.2	41.6	70.0	7.24	41.6
鎘	0.68	1.20	4.21	9.60	0.7	4.2
鉻	52.3	81.0	160	370	52.3	160
銅	18.7	34.0	108	270	18.7	108
鉛	30.24	46.7	112	218	30.2	112
錳	—	—	—	—	—	—
汞	0.13	0.15	0.70	0.71	0.13	0.7
銀	0.73	1.00	1.77	3.70	—	—
鎳	15.9	20.9	42.8	51.6	—	—
硒	—	—	—	—	—	—
鋅	124	150	271	410	124	271

單位: mg/kg 乾重

TEL: Threshold Effects Level(影響門檻值-小於此值應不會對生物造成危害)

ERL: Effect Range-Low(低影響範圍)

PEL: Probable Effect Level(可能影響範圍-超過此值會經常地對生物造成危害)

ERM: Effect Range-Medium(中影響範圍)

ISQG: Interim Sediment Quality Guideline(過渡期底質基準)

資料來源：The SQuiRT cards should cited as: "Buchman, M. F., 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages."

**表 5-10 美國華盛頓州底質標準與清除基準**

項目	底質品質標準(mg/kg)	底質清除基準(mg/kg)
銅	390	390
鎘	5.1	6.7
鉛	450	530
鋅	410	960
鉻	260	270
汞	0.41	0.59
砷	57	93
銀	6.1	6.1
多氯聯苯	12	65

整體而言，4月臺中港海域表層沉積物重金屬調查結果，無論與國內或國外相關沉積物重金屬參考資料相比，其表層沉積物重金屬濃度未達嚴重危害之程度。

## 5.6 水質變化趨勢與底質重金屬之相關性分析

由於來自工業廢水中的重金屬，因其具有毒性及累積性，且會透過生態食物鏈之生物濃縮作用，造成水體環境及水生生態系統的破壞，甚至對於人類之健康亦具有威脅性。自然界重金屬主要來自岩石礦物風化、侵蝕與火山噴發。某些重金屬乃生物賴以維生之重要元素，如鐵可幫助血紅素輸氧，此外生物對於重金屬具有高度聚集的作用，經由食物鏈進入生物體之重金屬極易以穩定之有機金屬狀態累積在體內，當累積程度超過生物所能忍受之特定限值，將導致生物體容易產生病變，例如 Cd 污染造成 1965 年日本爆發之痛痛病(Itai-Itai disease)；60 年代的水俣症(Minamata disease)則為廢水中的甲基汞所引起之人體中樞神經中毒。而這些環境水體中的重金屬污染傳輸流佈，最終將吸附與沉降累積於沉積物中，故於本年度開始加入底質重金屬調查研究分析。針對水質與底質重金屬相關調查結果，使用統計方法加以分析，以進一步瞭解其眾多水質檢項之間的主要變化情形，並嘗試找出具有代表性之水質參數來描述其水體品質變動。統計分析方法主要為主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)，此係採用 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) for Windows 軟體進行分析，嘗試從眾多水質參數中找出具有代表性之項目。

鄰近臺中港環境水體調查，於歷年各項水質執行之監測項目最多可達 15 項以上，其中包含一般水文之水質，如溫度、鹽度、溶氧與酸鹼度，此外亦針對可反映出來自有機污染物或營養鹽物質如大腸桿菌群、生化需氧量及氮、磷類等進行調查，在毒性化學物上亦有重金屬方面之監測，此外亦針對船舶用油方面之油脂進行檢測。若由一項項水質單獨逐一討論，可能不易窺得水體品質之變化特性，因此在此使用主成分分析法，利用少數幾個主成分來代替多數解釋變數，即主要是希望用較少的變數去分析原來資料中之大部分變異，而這些主成分可用來作為資料解釋上之綜合性指標。同時可進一步由臺中港域之河川水質、海域水質、底質重金屬之監測資料，解析其環境水體與底質整體變化特性。

在本年度上半年枯水期間，於 100 年 4 月 7 日完成海域水質與底質重金屬調查，下半年則僅進行海域水質，而未進行底質重金屬調查。

### 5.6.1 重金屬污染程度評估指標

欲瞭解臺中港及其鄰近海域環境水體是否有遭受來自人為之重金屬污染？其環境水體與沉積物重金屬污染程度如何？除可參考國外相關評估之門檻值進行比較分析外，其污染與否？若僅單獨以濃度高低來判斷，事實上仍不夠嚴謹且有待進一步探討。因為沉積物中重金屬濃度高低除了取決於污染程度外，亦與其來源背景值、沉積物的組成、有機質含量及顆粒大小有關。因此必須使用可評估之指標以作為研究之工具，來進一步瞭解是否有遭受重金屬污染。

#### 1. 富集因子(enrichment factor, EF)

評估沉積物重金屬污染的方法很多，其中較常用者為利用富集因子(enrichment factor)來評論。富集因子(Enrichment factor, EF)是以指數的概念，來反應環境污染的狀況與程度(Feng et al, 2004)。其定義分為兩部份，將樣品欲評估之金屬濃度除以樣品鋁金屬濃度得到樣品數值，另為欲評估之金屬背景值除以鋁金屬之背景值得到背景數值，最後將上述之樣品數值再除以背景數值求得指數即為富集因子(Taylor, 1964)，而鋁為地殼主要元素之一，在沉積物中濃度相當高，且不易受人為的因素影響，因此可作為沉積物重金屬背景校正之依據(Kemp and Wan, 1976)。富集因子(EF)之計算公式，乃參考 Taylor (1964)所發表的結果，全球地殼鋁平均值介於 8.07~8.23%，而本報告中之前段計算係採用一般慣用之全球地殼鋁平均值 8.20% (82,000 mg/kg)。

$$\text{富集因子 } EF = (M_i / A_i) / (M_c / A_c) \dots\dots\dots (5-1)$$

$M_i$  為樣品中某一金屬濃度值

$A_i$  為樣品中鋁金屬濃度值

$M_c$  為地殼中某一金屬的平均濃度值

$A_c$  為地殼中鋁金屬的平均濃度值

其中  $M_c / A_c$  值是參考 Taylor(1964)所發表的結果計算所得。因沉積物中鋁的濃度極高，乃地殼主要元素之一，其含量較不會受人為因素影響(Kemp and Wan, 1976)，故可用來作為背景校正的依據。

使用富集因子概念時需要參考「背景值」，該背景值通常有兩種表達方式，其中一種方式為選擇測站較古老的沉積層，具有與表層沉積物相似的質地，但卻不含有因人為活動增加的金屬污染；另一種方式還可選擇附近區域或是地殼金屬含量的平均值(Cato, 1977)。根據發表的文獻中指出，若測站無法提供未受工業金屬污染數值的狀況下，還可選擇該區域資料庫內未受污染之金屬濃度值，來當作評估計算的背景值(Alexander *et al.*, 1993)。故以富集因子作為評估工具事實上還可以根據不同的背景值，更進一步比較出地殼自然變化，例如利用頁岩內金屬的平均數值、地表岩石經風化作用所造成金屬濃度增高之平均值，或者是利用地殼金屬平均含量(Mil-Homens *et al.*, 2006)。

當富集因子值等於 1 的情況下，表示樣品值與背景值相等，其代表該評估區域未受人為污染；若大於 1 表示樣品值大於背景值，其表示該評估區域受到人為污染，造成比值增大。利用富集因子來判斷人為污染可以更為明確，同時利用指數的特性可以對污染程度作分級。其重金屬富集程度等級高低如下：

EF	富集程度等級	
< 1	無富集	( no enrichment)
< 3	輕微富集	(minor enrichment)
3~5	中度富集	(moderate enrichment)
5~10	中度至嚴重富集	(moderately severe enrichment)
10~25	嚴重富集	(severe enrichment)
25~50	非常嚴重富集	(very severe enrichment)
> 50	極端嚴重富集	(extremely severe enrichment)

臺中港域(N5, N6, N7)與港外大甲溪外海(N10)及大肚溪外海(N11)於本年度之 4 月枯水期進行底質重金屬採樣檢測，與其重金屬富集程度計算結果如表 5-11，重金屬銅含量於港內介於 31.6~73.1 mg/kg，平均 45.6 mg/kg(EF: 3.5~8.3)；港外介於 6.58~8.56 mg/kg，平均 7.57 mg/kg(EF: 1.0~1.1)。鉛含量於港內介於 31.5~37.0 mg/kg，平均 34.4 mg/kg(EF: 15.7~19.8)；港外介於 17.6~17.7 mg/kg，平均 17.7 mg/kg(EF: 9.9~12.0)。鋅含量於港內介於 112~127 mg/kg，平均 117 mg/kg(EF: 9.7~11.4)；港外介於 36.9~54.2 mg/kg，平均 45.6 mg/kg(EF: 4.5~5.5)。鉻含量於港內介於 20.0~33.6 mg/kg，平均 28.8 mg/kg(EF: 1.2~2.3)；港外介於 10.7~15.6 mg/kg，平均 13.2 mg/kg(EF:0.9~1.1)。汞含量於港內介於 0.080~0.129 mg/kg，平均 0.097 mg/kg(EF: 6.3~9.8)；港外介於 0.020~0.071 mg/kg，平均 0.046 mg/kg(EF:2.1~6.2)。砷含量於港內介於 10.6~12.4 mg/kg，平均 11.6 mg/kg(EF: 36.6~47.1)；港外介於 8.59~15.4 mg/kg，平均 12.0 mg/kg(EF:33.4~73.0)。

由上述調查結果顯示，除砷以外，重金屬銅、鉛、鋅、鉻與汞濃度，整體以港域內底質相對較港外為高，而各富集因子計算結果，其富集的程度(表 5-12)。以鉻之富集程度相對最低，介於無~輕微富集；而砷富集程度相對最高，介於非常嚴重~極端嚴重富集；其餘如銅而言介於輕微~中度至嚴重富集；鉛為中度至嚴重~嚴重富集；鋅為中度~嚴重富集；汞為輕微~中度至嚴重富集。

本年度 4 月枯水期間底質重金屬調查，其臺中港域 3 處(N5、N6、

N7)與大甲溪外海(N10)與大肚溪外海(N11)計 2 處之富集程度相對偏高，介於非常嚴重～極端嚴重富集，初步可知臺中海域底質砷含量，相對於地殼平均含量而言有累積偏高之情形，且以大肚溪外海最高，同時此處之有機質與鋁含量相對最低。此外，重金屬銅、鉛、鋅、鉻與汞亦相對最低；底質粒徑方面則以此處之平均粒徑(Dm)及中值粒徑(D50)為最高，砂(sand)含量亦最高，明顯有別於其他 4 處之表層沉積物多以粉砂(silt)為主。

表 5-11 100 年 4 月臺中港底質重金屬調查與富集因子(地殼鋁濃度平均值)

		銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷	有機質	鋁
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg
港內	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Max	73.1	37.0	127	33.6	0.129	12.4	2.64	13500
	min	31.6	31.5	112	20.0	0.080	10.6	1.93	11500
	avg	45.6	34.4	117	28.8	0.097	11.6	2.39	12733
	N5	32.1	34.7	112	32.9	0.080	11.9	1.93	11500
	N6	31.6	37.0	112	33.6	0.129	12.4	2.64	13500
	N7	73.1	31.5	127	20.0	0.081	10.6	2.61	13200
港外	N	2	2	2	2	2	2	2	2
	Max	8.56	17.7	54.2	15.6	0.071	15.4	2.43	11700
	min	6.58	17.6	36.9	10.7	0.020	8.59	1.62	9610
	avg	7.57	17.7	45.6	13.2	0.046	12.0	2.03	10655
	N10	8.56	17.7	54.2	15.6	0.071	8.59	2.43	11700
	N11	6.58	17.6	36.9	10.7	0.020	15.4	1.62	9610
EF		銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷		
港內	N5	4.2	19.8	11.4	2.3	7.1	47.1		
	N6	3.5	18.0	9.7	2.0	9.8	41.8		
	N7	8.3	15.7	11.3	1.2	6.3	36.6		
港外	N10	1.1	9.9	5.4	1.1	6.2	33.4		
	N11	1.0	12.0	4.5	0.9	2.1	73.0		

表 5-12 100 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度(地殼鋁濃度平均值)

富集程度		銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷
港內	N5	中度	嚴重	嚴重	輕微	中度至嚴重	非常嚴重
	N6	中度	嚴重	中度至嚴重	輕微	中度至嚴重	非常嚴重
	N7	中度至嚴重	嚴重	嚴重	輕微	中度至嚴重	非常嚴重
港外	N10	輕微	中度至嚴重	中度至嚴重	輕微	中度至嚴重	非常嚴重
	N11	輕微	嚴重	中度	無	輕微	極端嚴重

## 2. 地質累積指數(index of geoaccumulation, Igeo)

另一種評估沉積物重金屬污染方法為地質累積指數(index of geoaccumulation)，地質累積指數(Igeo)乃德國科學家 Muller 於 1979 年所提出之一種評價環境水體中重金屬污染的定量指標。其公式為：

$$I_{geo} = \log_2(C_n/1.5B_n) \dots\dots\dots (5-2)$$

其中  $C_n$  為元素  $n$  的濃度； $B_n$  為所測元素的平均地球化學背景值，通常為全球頁岩元素之平均含量；1.5 為修正係數，用來校正由風化等效應所引起的背景值差異。地質累積指數分為 7 個等級，0~6 級表示污染程度由無污染到極嚴重污染。

表 5-13 地質累積指數與污染程度分級

Igeo 等級		污染程度	
<0	0	無	None
0~1,	1	無至中度	None to medium
1~2	2	中度	Moderate
2~3	3	中度至嚴重	Moderately to strong
3~4	4	嚴重	Strongly polluted
4~5	5	嚴重至極嚴重	Strong to very strong
>5.	6	極嚴重	Very strong

表 5-14 100 年 4 月臺中港底質重金屬地質累積指數與污染程度

Igeo	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷
N5	-1.22	0.21	-0.27	-2.19	-2.91	-0.33
N6	-1.25	0.30	-0.27	-2.16	-2.22	-0.27
N7	-0.04	0.07	-0.09	-2.91	-2.89	-0.50
N10	-3.13	-0.76	-1.32	-3.27	-3.08	-0.80
N11	-3.51	-0.77	-1.87	-3.81	-4.91	0.04
等級	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷
N5	無(0)	無至中度(1)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)
N6	無(0)	無至中度(1)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)
N7	無(0)	無至中度(1)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)
N10	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)
N11	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)	無至中度(1)

若由地質累積指數作為臺中港底質重金屬污染程度評估指標，則本年度 4 月枯水期海域底質調查結果多呈現無污染至中度污染，其中重金屬銅、鋅、鉻與汞與全球頁岩之平均含量相比，均為接近背景之無污染等級，此結果與前述指標富集因子相比，兩者存在差異性，且以富集因子分析所得到的分析所得到的重金屬污染程度等級，相對較地質累積指數來得高。

由國內學者(Fang *et al.*, 2009)所做的東海(East China Sea)表層沉積物重金屬累積與污染程度研究指出，選用其富集因子作為污染程度指標時，建議應以調查研究區域之背景底質鋁濃度來作為地球化學校正參考濃度，而不用全球地殼鋁平均值較能反映出當地之重金屬污染情況。因此本研究海域若以大甲溪外海(N10)之底質鋁濃度(11,700 mg/L)作為背景校正參考值，而非以一般慣用之全球地殼鋁平均值 8.20%(82,000 mg/kg)來計算，則修正後結果如下：

**表 5-15 100 年 4 月臺中港底質重金屬富集因子(大甲溪外海鋁濃度)**

EF	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷	
港內	N5	0.6	2.8	1.6	0.3	1.0	6.7
	N6	0.5	2.6	1.4	0.3	1.4	6.0
	N7	1.2	2.2	1.6	0.2	0.9	5.2
港外	N10	0.2	1.4	0.8	0.2	0.9	4.8
	N11	0.1	1.7	0.6	0.1	0.3	10.4

**表 5-16 100 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度(大甲溪外海鋁濃度)**

富集程度	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷	
港內	N5	無	輕微	輕微	無	輕微	中度至嚴重
	N6	無	輕微	輕微	無	輕微	中度至嚴重
	N7	輕微	輕微	輕微	無	無	中度至嚴重
港外	N10	無	輕微	無	無	無	中度
	N11	無	輕微	無	無	無	嚴重

由大甲溪外海底質鋁濃度修正後之結果，與地質累積指數評估法所得到的污染程度評估結果較為一致，顯示在運用不同工具指標來研

究重金屬污染程度評估的方法上，需要考慮不同研究對象區域之環境背景差異加以修正，否則可能會造成評估結果可能提供錯誤之訊息。

大肚溪口外 4 海浬處底質砷(15.4 mg/kg)相對偏高之原因，推測可能與台灣本身地層地質特性有關，由台灣地層沉積物之砷含量分布研究顯示，其嘉南平原之濁水溪沖積扇南端地質鑽探分析岩心樣本總砷含量結果，介於 0.45~590 mg/kg (Liu *et al.*, 2006)，大多數岩心樣本之總砷含量超過地殼中平均之總砷含量(1.8 mg/kg)。並由岩心總砷含量之分析結果可推測地質岩心之砷含量分布，可能與岩心質地及地質年代有關，而世界上嚴重砷污染地區如孟加拉與與印度西孟加拉邦(West Bengal)沉積物所含之砷濃度可高達 20~30 mg/kg (Nickson *et al.*, 2000)。若能實際進行臺中港鄰近海域與河川底質砷之調查，將有助於進一步確實瞭解其成因。

整體而言，本研究初步調查結果顯示其底質砷含量略高應與台灣地層地質特性有關，即自然環境條件所致，除砷含量於大肚溪外海測站 N11 相對最高外，其餘項目均以港內為較高。仍低於環保署所預告之「底泥品質指標(草案)」之底泥品質指標上限值，以及低於國外如 NOAA 之可能造成底棲生物威脅之 ERM 門檻值。整體而言，臺中港海域並無台灣西南地區陸上抽取地下水飲用，導致砷中毒之烏腳病問題，但大肚溪外海底質砷濃度略高之問題，建議未來可進一步規劃調查，以瞭解其變動情形。

臺中港與高雄港同樣均為國內之四座國際商港之一，其港埠功能相近，且其港域底質重金屬調查資料詳盡，故作為與臺中港底質重金屬調查結果比較之參考。以高雄港底質重金屬污染程度研究為例，依高雄港沉積物中重金屬分布與累積之研究(楊博名，2009)顯示，高雄港區四條河川(愛河、第五船渠、前鎮河與鹽水港溪)流入口之表層與岩心沉積物之物化特性分析。監測點分別於四條河川流入口區域設置 9~11 個表層沉積物取樣測站及四條河川出海口與第一港口各設置 1 個岩心取樣測站，採樣時間為 2009 年 3~5 月，分析項目包括重金屬(Cd、Cr、

Cu、Zn、Pb、Hg)、含水量、固定性固體物、揮發性固體物、總氮、總磷、總油脂、總有機碳與粒徑分析，該研究之目的乃藉由分析結果，評估其沉積物品質與河川對港區沉積物之影響範圍及影響程度。

該研究結果顯示，四條河川流入口區表層沉積物重金屬濃度分布分別為：愛河介於 0.15 mg/kg (Hg)至 962 mg/kg (Zn)之間；第五船渠介於 0.20 mg/kg (Cd)至 3,365 mg/kg (Zn)之間；前鎮河介於 0.15 mg/kg (Hg)至 627 mg/kg (Zn)之間；鹽水港溪則介於 0.24 mg/kg (Hg)至 1,820 mg/kg (Zn)之間。由四條河口區之重金屬等濃度擴散分布顯示，愛河與第五船渠主要以出海口外測站為中心點往四周散佈，而前鎮河與鹽水港溪則以出海口測站往港區擴散。沉積物岩心重金屬濃度分布情形為，第一港口介於 0.10 mg/kg (Hg)至 96.5 mg/kg (Zn)之間；愛河口介於 0.10 mg/kg (Cd)至 920 mg/kg (Zn)之間；第五船渠口介於 0.08 mg/kg (Cd)至 2,803 mg/kg (Zn)之間；前鎮河口介於 0.08 mg/kg (Cd)至 1,303 mg/kg (Cr)之間；鹽水港溪介於 0.03 mg/kg (Hg)至 2,990 mg/kg (Zn)之間。四條河川出海口沉積物岩心重金屬隨深度變化顯示，愛河口岩心沉積物重金屬濃度隨深度增加有逐漸增加之趨勢外，其餘三條河川之岩心沉積物重金屬濃度變化並無一定趨勢。利用計算各河口區表層及岩心沉積物重金屬之富集因子(Enrichment Factor, EF)顯示，愛河以 Cd、Cu、Pb、Zn 為中度嚴重(EF = 5~10)至嚴重(EF = 10~25)的等級，第五船渠以 Cd、Cu、Pb、Zn、Hg 為中度嚴重(EF = 5~10)至非常嚴重(EF = 25~50)的等級，前鎮河以 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 為中度嚴重(EF = 5~10)至嚴重(EF = 10~25)的等級，鹽水港溪以 Cu、Pb、Zn 為嚴重(EF = 10~25)的等級。依據該研究結果顯示，河川中上游沿岸之工業及城市污水的排放為重要污染源，由表層擴散發現各河川影響範圍包含整個河口區域，達到中度嚴重至非常嚴重的程度，而垂直岩心方面；愛河各金屬濃度隨深度而增加，顯示其整治工程已逐漸改善污染情形，另三條河川則仍持續累積。此與本年臺中港 4 月枯水期調查結果相比，臺中港域與港外大甲溪外海及大肚溪外海底質重金屬 Cr，明顯相對較無富集累積之現象，其餘則大致相近之富集程度。此外，因缺乏高雄港

底質 As 之數據而尚無法比較，但由國外海域底質相關環境標準相比，臺中港港內與海域 As 累積富集之影響程度，應不致於如富集因子(EF)所評估之如此嚴重，經參考前人研究以研究區域之沉積物背景鋁元素濃度取代一般常用之地殼鋁平均含量計算修正後顯示，臺中港海域海域底質調查結果多呈現無污染或輕微污染至中度污染。

### 5.6.2 海域水質與底質相關性分析

本年度 4 月已進行 1 次枯水期之海域水質與底質調查，由 4 月各項水質與底質數據經初步相關性統計分析後如表 5-7 所示。由其相關性分析結果顯示，4 月枯水期間來自海淡水混合比例之鹽度與生活畜牧污水之項目如生化需氧量、大腸桿菌群與氨氮、總磷明顯呈現高度負相關，反映出來自陸源淡水，仍為影響臺中港海域水體品質之主要因子，此外重金屬鋅、鉻與砷亦呈現高度負相關。

由臺中港務局「臺中港區環境調查監測分析」歷年調查結果顯示，流入臺中港的各大排與中排水質狀況不佳，各中、大排水路除了生活、畜牧污水排入外，又因緊鄰工業區，亦可能受工業廢水影響。在溶氧、生化需氧量、懸浮固體、大腸桿菌群、氨氮及總磷等項目多無法符合「陸域水體水質標準」，且以溶氧時常出現偏低；而生化需氧量(圖 2-40)及大腸桿菌群常遠高標準值，顯示上游排水路受到來自生活、畜牧污水嚴重污染。

而水體與沉積物同一重金屬方面，除水體中汞濃度與底質汞呈現負相關外，其餘兩兩間相關性不高，進一步檢視其相關性可發現，存在於水體中的汞與底質中的有機質含量與鋁呈現負相關，同時與底質砷、平均粒徑(與中值粒徑)及砂含量呈現高度負相關，顯示水體中汞含量高低可能與底質粗細有關；而底質汞含量則與底質中之有機質及鋁與粉砂呈現正相關；與底質中之平均粒徑(與中值粒徑)及砂含量呈現負相關，即當底質顆粒偏細時，其底質中所含的有機質及鋁與汞含量亦相對較高。底質中砷含量高低由相關性分析則顯示與底質平均粒徑(與

中值粒徑)及砂含量呈現正相關，可能代表底質砷與顆粒上的富集特性與汞相反，當底質顆粒偏粗時，相對可發現其底質砷亦較高。此微量金屬元素與其來源母岩風化後之礦物組成，以及搬運傳輸過程與環境中吸附或脫附等作用有關。其中主要以沉積物顆粒粒徑範圍與粒徑大小效應，決定控制著懸浮固體物與沉積物中所能運載微量金屬之含量。由前人的研究顯示，其沉積物粒徑粗細與微量金屬(trace metals)之間的汞關係可知，當細顆粒的含量所佔比例越高時，其沉積物中的汞含量亦相對偏高(圖 5-6)，此與本調查之結果相符。

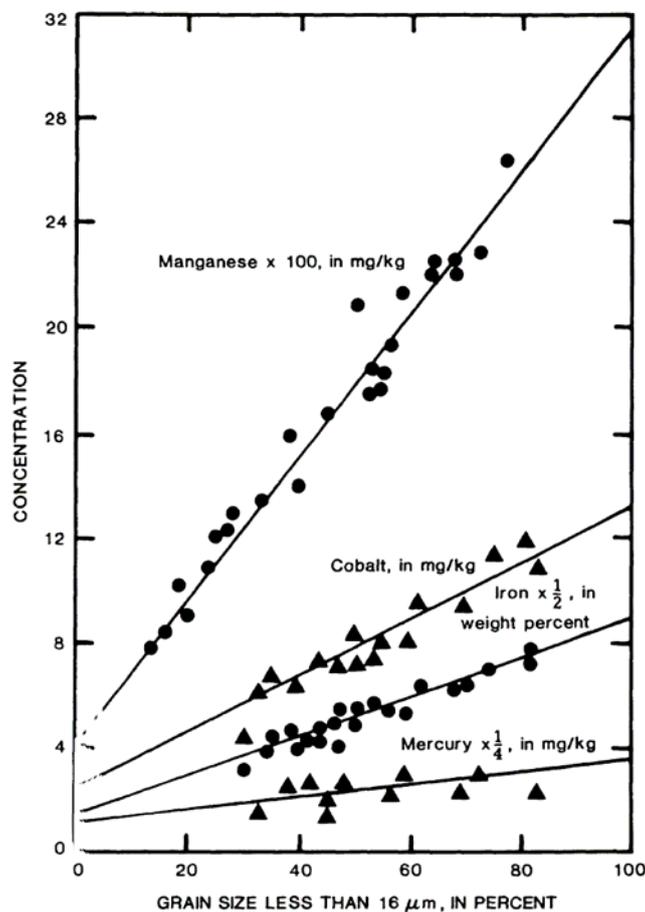


圖 5-6 安斯河(Ems River)沉積物中金屬濃度與顆粒粒徑關係  
(Data from deGroot and others, 1982)



## 第六章 壓艙水案例分析與風險分析

因船舶運輸運載壓艙水至世界各地，然而壓艙水內含生物體，藉運輸打破生物自然隔閡，使得生物存活率提高，物種互相傳播的現象更為顯著。因此藉由船舶壓艙水的排放導致外來種入侵的情形逐漸普遍。當壓艙水中含有海洋生物時便會對環境造成潛在的威脅，破壞當地的生物多樣性，據 Calton et al. (1993) 初估每日約有 3,000~4,000 種生物經由船運擴散至全球其他地區，Streftaris et al. (2005) 之估算值更高達每日 10,000 種。Fofonoff et al. (2003) 估計在北美的外來生物入侵中，約 50%~75% 是藉由船舶航運所造成。

### 6.1 外來種案例蒐集

外來種生物侵襲所引發之生態衝擊與經濟耗費相當龐大，國際間主要藉由壓艙水導入外來種名單中，多是一些壓艙水管理時所不受歡迎且必須避免之特定物種，例如霍亂弧菌、水蚤、中國與毒藻等，其所造成之衝擊現象皆相當明顯，根據世界自然保育聯盟（International Union for Conservation of Nature, IUCN）中的外來種專家群（The Invasive Species Specialist Group, ISSG）列舉的世界前百大嚴重入侵物種名單中，其中透過壓艙水造成物種入侵的海洋生物非常多，其中列舉出 10 大物種及對於環境所造成的影響如表 6-1 所示，以下介紹五種經由壓艙水引入之外來物種。

表 6-1 IUCN 所列十大海洋入侵物種

名稱	來源地	受影響地	影響
霍亂弧菌 <i>Vibrio cholerae</i>	各地	南美洲 墨西哥灣 南非	過去只發現於孟加拉，但經由壓艙水已入侵南非、墨西哥灣等地。如秘魯 1991 在三個港口同時發生感染，並擴及南非，使百萬人受感染，1994 年死亡人數逾萬。
支角目水蚤 <i>Cercopagis pengoi</i>	黑海 裏海	波羅的海	繁殖成大量的浮游動物群體造成漁網及拖網堵塞，造成經濟影響。
中華絨螯蟹 <i>Eiocheir sinensis</i>	北亞	西歐 波羅的海 北美西海岸	因繁殖而大量群體遷徙，在河堤及碼頭築巢造成底泥增加，並捕食當地原生魚類和無脊椎物動物，造成當地物種滅絕形成漁業問題。
毒藻 (赤/褐/綠潮)	各地	有許多種類 透過船舶壓 艙水傳遞	可能形成有害藻華，會因物種而有所不同，有的可能造成大量氧氣消耗始大量海中生物死亡，釋放出毒性物質或黏液，造成海灘腐臭對觀光休閒業形成影響。而有的會影響濾食性生物並漁場關閉。人類接觸到這些受污染的濾食性生物就可能生病或死亡。
新口黑蝦虎魚 <i>Neogobius melanostomus</i>	黑海 亞速海 裏海	波羅的海 北美	在新環境高度適應，繁殖及散播快速，會與當地的重要經濟魚類搶食，且捕食當地魚類的卵及幼魚。一季當中可以產卵好幾次，且水質很糟糕也不影響。
淡海櫛水母 <i>Mnemiopsis leidyi</i>	美國 東海岸	黑海 亞速海 裏海	在良好的水體中會快速繁殖（自體繁殖、雌雄同體），過度捕食浮游動物，並改變食物網及生態系統，使黑海及亞速海在 90 年代漁場快速崩解，造成重大的社會和經濟問題，類似的情況現在也發生在裏海。
北太平洋海星 <i>Asterias amurensis</i>	北亞	澳洲南部	繁殖成大量的群體，造成環境的比例失衡，也會捕食具有經濟價值的牡蠣、蛤蠣、扇貝等。
斑馬貽貝 <i>Dreissena polymorpha</i>	東歐 黑海	西、北歐 愛爾蘭 波羅的海 北美東部	大量生長在有堅硬表面的地方，且取代原生水生物種、改變棲息地、生態系統和食物網，在水管路及船舶形成嚴重的侵蝕現象，阻塞取水管線、閘門和灌溉溝渠。
亞洲昆布 <i>Undaria pinnatifida</i>	北亞	澳洲南部 紐西蘭 美國西海岸 歐洲 阿根廷	可行營養生殖或孢子繁殖，擴散十分快速，取代當地原生藻類和海洋生物相，改變棲息地、生態和食物網。可能因為空間競爭和棲地改變影響經濟貝類生態。
歐洲綠蟹 <i>Carcinus maenus</i>	歐洲 大西洋 海岸	澳洲南部 南非 美國 日本	高度侵略性和適應性，因為有堅硬的外殼，所以抵抗力強和侵略性較強，可以與當地原生螃蟹匹敵甚至取代成為優勢種，且改變岩岸潮間帶的生態系。

資料來源: IUCN/SSC/ISSG (2004) “Global Invasive Species database”

### 6.1.1 斑馬貽貝 (*Dreissena polymorpha*)

斑馬貽貝原本生長於黑海、裏海與鹹海流域中(Gollasch and Leppäkoski, 1999)，可於湖、河與微鹹的潟湖中生存，五到七月為繁殖

期，繁殖快速有利於快速散佈，喜愛在平靜的上游水庫棲息(Busch et al., 1995)，並且需要適合的基質藉以附著，大多生長於硬底質尤其是岩石表面。在 19 世紀時在黑海、裏海與亞速海發現斑馬貽貝(Stanczykowska, 1977)。斑馬貽貝經由內陸航道入德國，1826 年在波羅的海藉由木材船進入荷蘭鹿特丹(Kearnrey and Morton, 1970)。目前已入侵俄羅斯西北部、中歐、西歐、南斯堪地那維亞、英國、愛爾蘭與北美，且此物種持續東進入侵西亞。圖 6-1 為斑馬貽貝。



圖 6-1 斑馬貽貝

斑馬貽貝的入侵途徑主要透過內陸航運擴張，表 6-2 所示因波羅的海高鹽度與寒冬之因素，使得斑馬貽貝開始減少，但仍持續散佈進入較溫暖的 Liivi 灣與 Peipsi 湖，全球氣候變遷亦為導致此大規模的散佈的原因之一(Kull, 2005)。在德國 20 世紀中因水污染日益嚴重導致斑馬貽貝數量銳減，後來因水質的改善，1980 年後族群開始回復，目前密度高達每平方公尺有 40,000 隻(Böhmer et al., 2001)。

斑馬貽貝入侵對生態、社會與經濟造成嚴重的衝擊。在丹麥的 Esrom 湖，消耗約 18%的浮游生物(Hamburger et al., 1990)，影響到當地魚類生長。對人類，則可能因其鋒利的外緣傷害到游泳者(Siessegger, 1970)；在經濟與社會影響，斑馬貽貝所帶來的影響正反皆有，如表 6-3，負面的影響為阻塞汲水管、纏繞船殼、阻礙航行與養殖漁業發展(Gollasch and Leppäkoski, 1999)。當斑馬貽貝死亡，他們的腐敗會加速侵蝕，進而影響到可飲用的湖水，近來易堵塞發電廠的冷卻系統

(Bernauer et al., 1996)，另一負面影響為龐大的清理費用。如 1988 年夏季，美國密西根的門羅水力發電廠 (Monroe Power Plant, Michigan) 進水管道減少了 25% 的進水量。因其快速繁殖的特性，幾乎占據了美國 40% 的內陸水域，入侵後所造成的環境影響十分巨大，估計未來 10 年的費用約是 1,000 億台幣。

表 6-2 斑馬貽貝繁衍地與入侵地點

國家	未發現	未繁衍	很少	當地	普遍	非常普遍	未知
丹麥				✓			
愛沙尼亞					✓		
俄羅斯					✓		
芬蘭				✓			
法羅群島	✓						
德國						✓	
格陵蘭	✓						
冰島	✓						
拉脫維亞					✓		
立陶宛					✓		
挪威	✓						
波蘭					✓		
瑞士				✓			

表 6-3 斑馬貽貝的衝擊

環境的改變	工業與休閒業的改變
纏繞於堅硬底質	管路堵塞
增加水質清淨度	纏繞船舶
水中大型植物增加	航標維護
改變底棲	造成游泳者撕裂傷
減少 unionid 的族群	市政供水
改變食物網	擾亂鳥類
纏繞水生植物	纏擾水閘門系統
改變磷循環	取水

資料來源：Minchin et al., 2002

### 6.1.2 霍亂弧菌 (*Vibrio cholera*)

霍亂弧菌是革蘭氏陰性菌具有移動性，現在已知在水中的霍亂弧菌血清型超過兩百種，但只有 O1 與 O139 會造成傳染病。主要生長於河口、湖、海洋與濕地等地區。在非洲，1970 年霍亂弧菌四處散佈，致死率在 4%至 12%間，至 1996 年止共有 26 個國家回報有霍亂弧菌致死事件(World Health Organization, 1997)。在拉丁美洲，1991 年開始在秘魯沿岸流行，在 1991 至 1992 年間共有 6,500 件死亡案例，且隨著航運發達，散佈至厄瓜多爾、哥倫比亞、巴西、智利與墨西哥等地。在美國，1991 至 1992 年間，有毒的霍亂弧菌 *Vibrio cholera* O1 經由墨西哥灣的五艘貨船的壓艙水或引入水所引入，美國食品藥物管理署(Food and Drug Administration, FDA)在霍亂弧菌中分析出傳染病菌株，故要求入港船舶進入美國水域時皆須交換壓艙水(McCarthy and Khambaty, 1994)。



圖 6-2 霍亂弧菌

### 6.1.3 中華絨螯蟹 (*Eriocheir sinensis*)

方形的甲殼使其在歐洲螃蟹中容易分辨，一般甲殼寬達 5 至 7 公分，而成蟹最大可到 10 公分(Czerniejewski et al. 2003)，如圖 6-3。中華絨螯蟹原生長於海參崴與南中國間的溫帶與熱帶區，包含臺灣。其分佈地區如圖 6-4 所示，而圖中黑點部份表已入侵地點(Gollasch et al. 1999)。



圖 6-3 中華絨螯蟹



圖 6-4 中華絨螯蟹原生地與入侵地點

1950 年代亦入侵至法國的 Gironde 河，至 1953 到 1958 間擴散至鄰近的 Dordogne 與 Garonne 河，而後開始入侵西班牙 Tagus 河、挪威奧斯陸、瑞典西海岸，最北到達芬蘭的 Bothnian 灣等地，自 1990 年代起在美國舊金山灣、密西西比河、五大湖與加拿大的聖羅倫斯河發現其蹤跡，表 6-4 列出歐洲分佈區域。

因中華絨螯蟹可忍受較嚴苛的環境，其入侵對各方面造成衝擊，如在生態方面，影響淡水和河口生態系統，大量捕食當地物種如藻類、魚類與無脊椎動物等。經濟與社會方面，在德國水域因河岸受侵蝕且中華絨螯蟹大量捕食養殖魚類，德國為控制中華絨螯蟹，至 1935 年至 2004 年，花費在清理河道、漁業損失、修補河岸侵蝕等費用，估計已花費約八千五百萬歐元，其他無法以金錢量化的損失還包含對生物多樣性的影響，搶食餌料和損害漁具阻礙商業和休閒垂釣。

表 6-4 中華絨螯蟹繁衍地與入侵地點

國家	未發現	未繁衍	很少	當地	普遍	非常普遍	未知
奧地利		✓					
比利時				✓			
捷克		✓					
丹麥				✓			
愛沙尼亞			✓				
俄羅斯		✓					
法羅群島	✓						
德國						✓	
格陵蘭	✓						
冰島	✓						
愛爾蘭		✓					
拉脫維亞		✓					
立陶宛		✓					
荷蘭					✓		
挪威		✓					
波蘭				✓			
瑞典				✓			

#### 6.1.4 新口黑蝦虎魚 (*Neogobius melanostomus*)

新口黑蝦虎魚為相當小型的底棲魚類，形似大蝌蚪的外觀，如圖 6-5 所示。生活於半鹹水與淡水的環境中，常見其棲息於沙地、石底或底床沉澱物等地(Charlebois et al., 1997)。此物種的入侵。目前為止新口黑蝦虎魚已嚴重入侵 Gdańsk 灣西半部，並迅速散佈至整個流域，如圖 6-7 所示，從原本 1990 年的 4km<sup>2</sup>，至 2001 年已擴散至 400km<sup>2</sup>。新口黑蝦虎魚原生地與其他分佈地區距離甚遠，因此推判可能是藉由船舶壓艙水移動。新口黑蝦虎魚目前分佈地區如表 6-5 所示，主要在波蘭 Gdańsk 灣，但在德國、立陶宛、愛沙尼亞與芬蘭亦曾發現其蹤跡。



圖 6-5 新口黑蝦虎魚



圖 6-6 新口黑蝦虎魚分佈區域

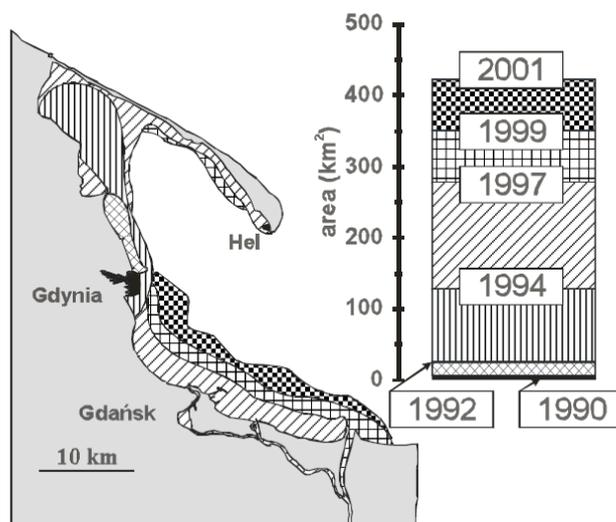


圖 6-7 新口黑蝦虎魚入侵 Gdańsk 灣

表 6-5 新口黑蝦虎魚繁衍地與入侵地點

國家	未發現	未繁衍	很少	當地	普遍	非常普遍	未知
丹麥	✓						
愛沙尼亞			✓				
俄羅斯	✓						
芬蘭			✓				
法羅群島	✓						
德國			✓				
格陵蘭	✓						
冰島	✓						
拉脫維亞		✓					
挪威	✓						
波蘭					✓		
瑞典	✓						

#### 6.1.5 支腳目水蚤 (*Cercopagis pengoi*)

支腳目水蚤有一對觸角、四對胸足(前足為後足的 3 至 4 倍長)，雌蚤體長約 1.2 至 2 公厘，雄蚤長約 1.1 至 1.4 公厘，如圖 6-8 所示。支腳目水蚤首見於 1992 年愛沙尼亞南部的芬蘭灣與東北的 Riga 灣，1993 至 1994 年間陸續在 Riga 灣四處發現此物種，之後開始擴散至波羅的海、美洲安大略湖、密西根湖與紐約的 Fingerling 湖，據研究北美的支腳目水蚤入侵可能從波羅的海來之船舶壓艙水所引入(Cristescu et al., 2001)。



圖 6-8 支腳目水蚤

支腳目水蚤入侵波羅的海後迅速蔓延，數量不斷攀升，目前已擴散至芬蘭灣、Riga 灣、Bothnian、Gdansk 灣、Baltic Proper、Väinameri、Åland 與斯德哥爾摩群島等地，如表 6-6 所列。在烏克蘭的第聶伯河上的水庫建成後支腳目水蚤開始滲透入 Kakhovka、Zaporozhsk、Kremenchug、Tsimlyansk 與 Veselovsk 水庫中，表示其有能力於淡水中繁衍。

表 6-6 支腳目水蚤繁衍地與入侵地點

國家	未發現	未繁衍	很少	當地	普遍	非常普遍	未知
丹麥	✓						
愛沙尼亞				✓			
俄羅斯				✓			
芬蘭				✓			
法羅群島	✓						
德國			✓				
格陵蘭	✓						
冰島	✓						
拉脫維亞				✓			
立陶宛				✓			
挪威	✓						
波蘭			✓				
瑞典				✓			

支腳目水蚤入侵使 Riga 灣中的 *Bosmina* 水蚤數量大幅下降，在春夏兩季 *Bosmina* 數量較少時，支腳目水蚤開始與其競爭魚類與食物，大量掠食浮游動物，打亂當地食物鏈食物競爭情況加劇(Kull 2005)。支腳目水蚤對年幼的 planktivorous 魚類而言為潛在的競爭者，兩者皆捕食浮游食草動物，並影響安大略湖、芬蘭灣與 Riga 灣的浮游動物群落(Benoit et al. 2002)，這些變化可能會導致浮游植物的攝食強度下降，使藻華增生。支腳目水蚤對人類影響，在俄羅斯有漁民在清理漁網時觸碰到支腳目水蚤而有過敏現象。在社會與經濟方面，支腳目水蚤時常附著於漁網、漁具等造成漁民經濟重大損失(Leppäkoski and Olenin 2000)，在波羅的海，如圖 6-9 所示，因支腳目水蚤大量生長而纏繞漁網與拖網，在芬蘭灣，此類生物纏繞對捕魚設備造成嚴重問題，甚至損失一座在涅瓦河北岸下游的漁場，在 1996 至 1998 年間至少損失五

萬美元，這些損失導致在 Primorsk 區的捕獲量驟減。



圖 6-9 支腳目水蚤纏繞漁網

#### 6.1.6 亞洲昆布 (*Undaria pinnatifida*)

為大型褐色海藻，分雌雄兩種型態，成熟的海藻不到一年的時間，長度可長 1.5 至 3 公尺，幾乎每天長一公分，如圖 6-10 所示，其密度每平方公尺可長 200 至 250 株，可重達 10 公斤以上。其最佳生長溫度需低於 12°C，亞洲昆布不特別偏好陽光區，只要少量光源即可生存。



圖 6-10 亞洲昆布

原本長於日本海、西北太平洋沿岸，如日本、韓國、俄羅斯東南

部與中國東部。在 1971 年被引入地中海的法國沿岸，可能為由日本進口牡蠣時一起引入，之後開始擴散至布列塔尼與大西洋沿岸。1999 年亦在比利時與荷蘭水域發現，目前已擴散至世界各地，已在美國加州、阿根廷、澳洲與紐西蘭發現其蹤跡。表 6-7 列出亞洲昆布至 2006 年止其分佈地區與管理情形。

表 6-7 亞洲昆布分佈區

海洋	地區	途徑	第一次記錄	消除/管理
西北太平洋	日本(除了北海道東部與北部)	原生地		
	韓國	原生地		
	俄羅斯東南部	原生地		
	中國東部	原生地		
	中國其他地區	養殖	1930 年代	
	臺灣	養殖	1981	
地中海北部	法國南部	附著在牡蠣上	1971	
	義大利東北部與南部	附著在牡蠣上或隨航運引入	1992	在威尼斯試著消除但失敗，但仍建議移除
東北大西洋	法國西北部	養殖	1983	
	西班牙北部	附著在牡蠣上	1990	
	英國南部	附著於休閒娛樂船上	1994	嘗試移除但失敗
	荷蘭	附著在牡蠣上或隨航運引入	1999	清除捕獲貽貝區域
	比利時	船舶	1999	
	葡萄牙		1999	
西南大西洋 Tasman 海	紐西蘭	航運(壓艙水或附著於船殼)	1987	嘗試移除但效果有限
	澳洲	航運(壓艙水)	1988	嘗試在海洋保護區移除並採收
西南大西洋	阿根廷	航運	1992	未嘗試移除，但建議移除
北太平洋	加州	航運	2000	在某些港區嘗試移除
	墨西哥		2003	

亞洲昆布對各地影響正反兩面，歐洲地區因亞洲昆布的入侵對當地物種生長造成阻礙，因其生長茂密覆蓋底棲動植物，遮蔽生長所需的陽光。在紐西蘭 Chatham Islands 使用熱處理與監測方法消除一艘沉船上附著的亞洲昆布，花費一百九十萬美金以上(Wotton et al. 2004)。但在日本與中國，亞洲昆布具有經濟價值，因含有豐富的纖維、低脂肪且富含維他命 B，故主要用於食材。在管理方面，如表 6-7 所列，義大利政府曾試圖移除在威尼斯的亞洲昆布，但因移除時進入繁殖期，兩年後又再度繁衍，故學者建議應在孢子被釋放前進行大範圍的清除(Curiel et al., 2002)；英國政府清除在漢布爾碼頭的亞洲昆布植株，但無法完全清除，亦無法預防期持續在當地擴散(Fletcher & Manfredi 1995)；在紐西蘭，曾強制清除附著在船殼上的亞洲昆布並進行監測長達三年，但效果有限(ICES, 2001)。

### 6.1.7 藻類 (*Algae*)

此節以表列方式列出可能經由船舶壓艙水引入之藻類，並列出其原生地、物種描述、入侵途徑、地理分佈、衝擊與管理方式等，介紹此種藻類之特性與入侵新環境後引發的反應。Global Invasion Species Database 列出有記錄的外來物種藻類，其中選出以壓艙水為傳播途徑之藻類。

#### 1. 亞歷山大藻 (*Alexandrium minutum*)

亞歷山大藻原生長於歐洲沿海水域，如東北大西洋、北海、波羅的海、地中海和黑海，東南亞、南澳、紐西蘭(Guiry 2006)，如圖 6-11 所示。為有毒的單細胞藻，細胞為球形綠褐色，體積小(Bravo et al., 2006)。一般在春季繁殖，因此時水體穩定，營養條件適合囊胞發芽，生長受溫度，光照和養分供應影響。出現在溫帶的沿海及河口水域，具有廣鹽性和廣溫性，是地中海最普遍的麻痺性病毒物種，也是造成東南亞麻痺性病毒病害的兩個主要致病生物體之一，但侷限於沿海營養豐富的地方，特別是港口，河口或瀉湖。野外的亞歷山大藻喜歡低鹽度和營養豐富的淡水(Vila et al., 2005)。

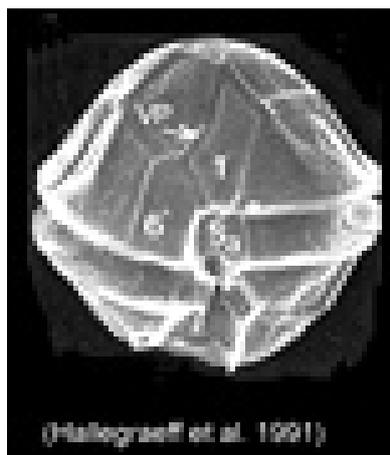


圖 6-11 亞歷山大藻

亞歷山大藻藉由塑膠漂浮物可能為潛在的傳播路徑，曾於 Catalan 海岸(西北地中海)發現藻類附著於漂浮物上，附著的藻類大部分為底棲的矽藻或小的腰鞭毛藻(<20 微米) (Maso et al., 2003)。另一傳播途徑為含有大量囊胞船舶壓載艙中的底泥或壓艙水。目前已入侵澳洲、土耳其、北美洲、英國、埃及、丹麥、馬來西亞、愛爾蘭、大洋洲、葡萄牙、臺灣、紐西蘭、大西洋、黑海、地中海、歐洲與瑞典等地，並對各方面造成衝擊，人類健康方面，產生的毒素會累積在浮游動物體內，吃了以後會導致人類和其他哺乳動物的麻痺性貝類中毒，可能會導致人體肌肉癱瘓，嚴重時會死亡(Hallegraeff, 1993; Van Dolah 2000)；經濟與社會方面的影響，由於可能爆發疾病，爆發藻華地區附近的貝類養殖場，導致經濟損失。澳洲為了解與管理此外來物種帶來的問題，利用聚合酵素鏈鎖反應法快速檢測和定量檢測所有有毒的亞歷山大屬藻類。

## 2. 杉葉蕨藻 (*Caulerpa taxifolia*)

杉葉蕨藻原產於加勒比海的海岸、幾內亞灣、紅海、東非海岸、馬爾地夫、塞錫爾群島、印度洋北部海岸、南中國海、日本、夏威夷、斐濟、新加勒多尼亞與澳洲，如圖 6-12 所示。葉直徑 6-8mm，對寒冷容忍度高。棲息於岩石、沙子與海草的底部，常於深度 3-35 公尺被發現，但在地中海中已有深至 100 公尺之記錄。



圖 6-12 杉葉蕨藻

杉葉蕨藻從摩納哥海洋博物館的廢水被引入地中海，目前已覆蓋超過 13,000 公頃的海底，亦在澳洲雪梨、南加州附近被發現。杉葉蕨藻似乎已經由吸附在船錨上傳佈到整個地中海，新疫情的發生地點大多是港口及繫泊設施(Meinesz et. al, 2001b)。目前已被引進地中海、亞得里亞海與美國西岸。發現於澳洲雪梨附近的杉葉蕨藻，不確定是原生的或引入的。在地中海生態系中，杉葉蕨藻與 *Posidonia oceanica* 和 *Cymodocea nodosa* 競爭，使其減少；對經濟與社會方面的影響，如杉葉蕨藻會糾纏網具和船舶的螺旋槳，影響捕漁效率，阻止本土海草建立族群，幾乎排擠掉所有的海洋生物，影響當地漁夫的生計。吃杉葉蕨藻的魚，如地中海鯉科魚類(*Sarpa salpa*)，會把毒素累積在肉中，不適用於人類食用(Meinesz and Hesse, 1991)。

美國為解決此外來物種採用化學方法。在加州使用塑膠防水帆布覆蓋並在下面注射液體的氯，控制費用與事後監測費用超過一百萬美金 (Anderson and Keppner, 2001； Carlton, 2001)。2004 年，在澳洲新南威爾斯在小範圍灑用  $50\text{kg}/\text{m}^2$  的粗海鹽，一周內使杉葉蕨藻減少 70-95%，雖對當地海草與 infauna 有些微傷害，但豐富度六個月後已逐漸恢復。若要試用於大範圍，最好在比較冷的月份比較容易成功，雖不可能完全清除杉葉蕨藻，但當地政府仍持續監測控制此入侵藻類的動向(Anderson, 2000)；物理方法，在克羅埃西亞用黑色塑膠覆蓋杉葉蕨藻生長的地方，處理後無零星的再生。在法國地中海，潛水員手動清除成功地消除約  $3.4\text{m}^2$  的杉葉蕨藻。

### 3. 鈎沙菜 (*Hypnea musciformis*)

鈎沙菜，為紅藻類分佈在世界各地，為矮樹叢或鬆散交織的圓柱樹枝，高 10~20 公分，直徑 0.5~1.0 公分，頂端逐漸變得更細長，如圖 6-13 所示。鈎沙菜可能是藉由附著在島嶼之間旅行的船隻擴散。最近被引入夏威夷，已經迅速成為麻煩的入侵植物。鈎沙菜被發現出現在摩洛哥，西班牙，葡萄牙，南非，剛果，加納，幾內亞，烏拉圭，巴西，巴哈馬，古巴，開曼群島，巴拿馬，墨西哥，美國，加勒比海，古巴，埃及，土耳其，希臘，意大利，印尼，緬甸，孟加拉，印度，斯里蘭卡，巴基斯坦，伊朗，南非，新加坡，菲律賓，澳洲等地(Guiry & Dhonncha, 2005)。



圖 6-13 鈎沙菜

引入鈎沙菜對生態造成的影響如下，因鈎沙菜較快的生長速度，能附生在其他藻類上，容易碎裂繁殖。漂流的碎片會黏附到其他藻類，引入夏威夷後，鈎沙菜成為瀕危物種綠蠟龜主食來源，生物學家擔心吃鈎沙菜會對綠蠟龜種群不利。在其他方面，不僅有負面衝擊，可使用硫酸銨澆析鈎沙菜可獲得少量蛋白質及豐富的凝集素，顯示它能抗真菌，可對抗紅色毛癬菌和炭疽病(Melo et al., 1997)。研究發現鈎沙菜被收割後每個月可恢復 87%，因此可供每 35 天收割一次(Faccini and Berchez, 2000)。

### 4. 裙帶菜 (*Undaria pinnatifida*)

裙帶菜原產於日本、中國與韓國，如圖 6-14 所示。裙帶菜是一種

能長到 1-3 公尺的褐色海草。在海濱水底形成高密度和生命力旺盛的群落，隨著陽光照射變化可以從低潮線分布到 15 公尺深的水域。生長在寒冷的沿岸區域，水溫低於 12°C 時長得最好。



圖 6-14 裙帶菜

裙帶菜除自然散佈外，人為散佈藉由壓艙水或纏繞船身，靠船隻的移動四處散佈。目前已偶然地被引進澳洲、紐西蘭、塔斯梅尼亞、地中海(法國、義大利)、北大西洋與布列塔尼。大量的裙帶菜屬更會阻塞海岸養殖業的機械工具，減緩貽貝生長，也會造成降低船隻的效率。

#### 5. 大葉藻 (*Codium fragile* ssp. *Tomentosoides*)

大葉藻原生於亞洲太平洋地區。為大型多分枝的物種，如圖 6-15 所示，長度可達 1 公尺，重達 3.5 公斤。此藻類有多達 10 層的二叉分枝，圓柱形或圓柱形分枝。大葉藻能容忍很大的鹽度和溫度變化，使之能夠拓殖到各種環境。此藻類也生存和生長在潮間帶海浪沖刷的潮池，亦大量生長在碼頭木樁，繩索和海灘(Trowbridge, 1999)。



圖 6-15 大葉藻

大葉藻主要由貝類水產養殖，休閒船艇，以及運輸船舶船體引進到世界各地。分佈於非洲、大洋洲、太平洋地區、歐洲、北美和南美等地(Begin and Scheibling, 2003)。大葉藻亦污染魚網，更換魚網或從貝類上清除藻類，會增加漁民收割和加工的勞力成本。藻類大量生長會污染碼頭樁，繩索和海灘與沿海地區，因而減少了市民使用。為管理此問題，Trowbridge (1999)建議使用機械清除技術，如拖網，砍筏，抽吸，可暫時減少密度，但族群會迅速回升。經由檢疫措施和公眾教育是防止大葉藻擴散唯一的途徑。

#### 6. 鏈狀裸甲藻 (*Gymnodinium catenatum*)

鏈狀裸甲藻原生於東北太平洋，加利福尼亞灣，墨西哥。主要生存於河口或溫暖海域中，如圖 6-16 所示。

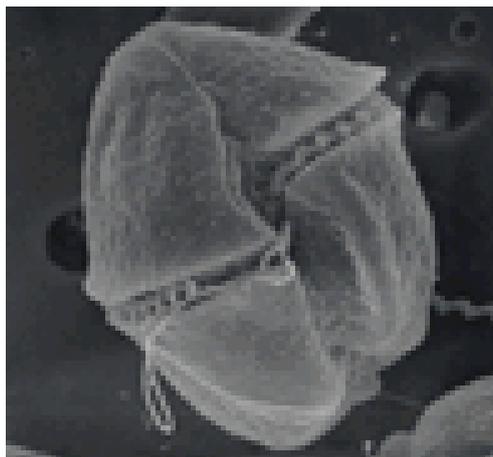


圖 6-16 鏈狀裸甲藻

鏈狀裸甲藻囊胞透過水產養殖或漁業活動入侵他地，或藉由船舶壓艙水轉移至另一新環境。已入侵澳洲、阿根廷、中國、歐洲、香港、日本、地中海、墨西哥、大西洋、西班牙、巴西、哥斯大黎加、古巴、義大利、南韓、北韓、紐西蘭、菲律賓、葡萄牙、新加坡、烏拉圭與委內瑞拉等地。對造成嚴重的死亡事件，在非洲外海與加州造成赤潮，產生麻痺性貝毒造成至少 100 起死亡事件。在馬薩特蘭，格雷羅和瓦哈卡，導致 460 人中毒，有 32 人死亡(Band-Schmidt et al., 2004)。紐西蘭已被麻痺性貝毒污染的貝類毒素嚴重毒害，有 500 人因此住院治療，至少造成 20 人死亡。在經濟與社會影響方面，在日本，此種所引起的

赤潮造成養殖魚貝類大量死亡，每年至少一億日元的損失(GEOHAB, <http://www.geohab.info>)。

## 7. 大紅海藻 (*Polysiphonia brodiei*)

大紅海藻原生於北美、歐洲和北非。為初級生產者或自營生物。經由光合作用固定碳，製造自己的食物。為暗紅褐色的大型海藻，高度一般在4至12公分，有時可達到40公分，如圖6-17所示。大紅海藻通常出現在緊鄰低潮線的亞潮間帶，也會拓殖到碼頭和塔門等木製結構物，和繩索、浮標和船隻等浮動結構物，或長在其他物種上面，如紫殼菜蛤。在澳大利亞，紐西蘭和美國加州，大多從港口環境採集到。

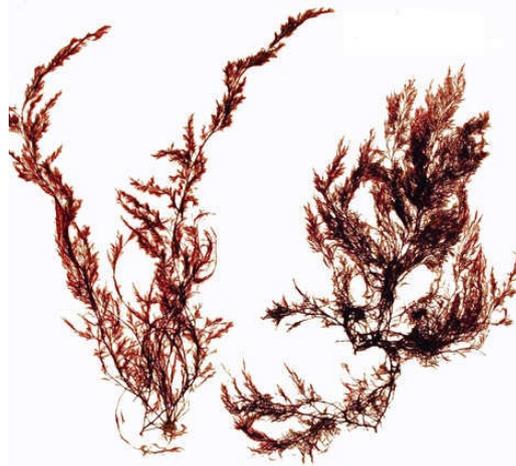


圖 6-17 大紅海藻

大紅海藻經由船舶引入到北美，澳大利亞，紐西蘭、日本和北美。在加州和紐西蘭，大紅海藻常被發現附著在速度慢的駁船等船隻的船體，也會污染繩索和浮標和港口結構。

## 6.2 初步建置可能侵襲臺中港物種資料庫

因外來種的引入所造成的損害相當龐大，不僅威脅著全球生物多樣性，更造成當地物種棲息地的消失或食物鏈的改變。Hayes et al. (2003) 建立篩選外來物種之準則，以建置可能藉由船舶入侵澳洲的外來物種資料庫，此準則依序為：(1) 須由船舶運輸此途徑傳入；(2) 此傳入途

徑仍然存在，因早期的壓艙物為固體，如石塊、木材等，但目前已不存在，故只探討仍存在之傳播路徑；(3) 此外來物種須對環境與經濟造成傷害；(4) 須為本土所沒有文獻記錄之物種(可搜尋現有資料庫，或詢問專家)。圖 6-18 為 Hayes et al. (2003)在澳洲公眾科學與工業研究機構(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO)海洋研究部門之研究結果。圖 6-18 列出可能入侵澳洲之潛在物種，並列出其可能的入侵途徑，然因每個入侵物種所牽連的途徑眾多，無法判斷哪種途徑最為重要，但在列出的 33 種可能入侵澳洲的外來物種，有 94%是由壓艙水所引入，45%是附著於船殼所引入。在圖 6-18 中，代號 S3 為藉由壓艙水此途徑所引入，共有 31 種物種由此途徑引入，其中有 7 種確定為由壓艙水所引入，24 種可能是經由壓艙水引入，而本計劃則針對由壓艙水引入之外來物種做研究。

## 1. 研究方法

因此本項目擬參考 Hayes et al. (2003)之準則，為臺中港建置可能入侵臺中港之外來物種資料庫，資料庫之建立流程如圖 6-19 所示。研究方法為文獻歸納分析法，藉由蒐集可能經壓艙水引入的外來物種相關文獻或水質生態報告，找出並瞭解此外來物種造成的環境、經濟…等損害，進一步蒐集國外文獻或生態報告，瞭解各種外來物種的情況，並著重於浮游動植物之外來物種。由圖 6-19 可知，本研究主要從國內外文獻、國內外港域水質生態報告著手，之後在篩選準則方面，先確定此外來物種由船舶運輸傳入，並了解此外來物種須對環境與經濟造成傷害，最後依據文獻了解此外來物種是否曾出現入港船舶的上一港，最後列出可能入侵臺中港區的外來物種的名稱、國家、地點與造成的衝擊等。

Potential "next pest" species identified in this study and their known (▲) or possible (●) vectors

Species	Phylum	S1	S3	F1	F2	C	IR
<i>Dinophysis norvegica</i>	Alveolates (Dinoflagellata)		▲				
<i>Hydroides dianthus</i>	Annelida	●	●		●		
<i>Marenzelleria viridis</i>	Annelida		●				
<i>Liza ramada</i>	Chordata		▲				
<i>Neogobius melanostomus</i>	Chordata		▲			▲	●
<i>Pagrus major</i>	Chordata		▲				
<i>Siganus rivulatus</i>	Chordata		▲			▲	
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	Chordata		●				
<i>Blackfordia virginica</i>	Cnidaria	●	●				
<i>Maeotias marginata</i>	Cnidaria	●	●				
<i>Ampelisca abdita</i>	Crustacea		●		●		
<i>Balanus eburneus</i>	Crustacea	▲	●				
<i>Callinectes sapidus</i>	Crustacea	●	●				●
<i>Charybdis japonica</i>	Crustacea	●	●				
<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	Crustacea	▲	●				
<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	Crustacea		●				
<i>Limulus polyphemus</i>	Crustacea	●	●				
<i>Nippoleucon hinumensis</i>	Crustacea		●				
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Crustacea		●		●		
<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	Crustacea	●	●		●		
<i>Tortanus dextrilobatus</i>	Crustacea		●				
<i>Crepidula fornicata</i>	Mollusca	●	●		▲		
<i>Ensis directus</i>	Mollusca		●				
<i>Limnoperna fortunei</i>	Mollusca		●				▲
<i>Mya arenaria</i>	Mollusca	●	●	▲	●		
<i>Perna perna</i>	Mollusca	▲	●		●		
<i>Perna viridis</i>	Mollusca	●	●				
<i>Petricolaria pholadiformis</i>	Mollusca		●		▲		
<i>Grateloupia doryphora</i>	Rhodophyta	●	●		▲		
<i>Womersleyella setacea</i>	Rhodophyta	●	●				●
<i>Chaetoceros concavicornis</i>	Stramenopiles		▲				
<i>Chaetoceros convolutus</i>	Stramenopiles		▲				
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	Stramenopiles		▲				

Vector categories: accidental with vessel fouling (S1); accidental with ballast water (S3); deliberate translocations of fish and shellfish to establish or support a new fishery (F1); accidental with deliberate translocations of fish and shellfish (F2); natural range expansion through man-made canals (C); deliberate and accidental release by individuals, such as aquarium discards (IR).

圖 6-18 可能侵襲澳洲之外來物種(Hayes et al. 2003)

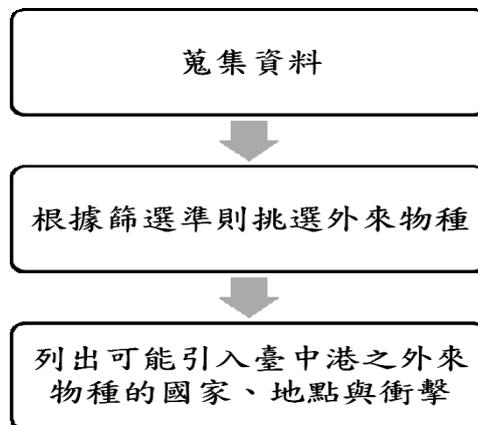


圖 6-19 初步建置資料庫流程

## 2. 研究限制

外來物種種類繁多，公約本身亦未對外來種做詳細之定義，然而公約中曾以舉例方指出藻類為易藉由壓艙水侵襲之外來種，且有害藻之入侵易造成重大環境影響，而藻類之生態資料亦相對較容易收集，故本研究主要著重於浮游動植物。

### 6.3 資料庫建置

本研究根據 Hayes et al.(2003)篩選準則，篩選出如表 6-8 可能入侵之藻類，依照國家與地點分類。本表主要著重於亞洲爆發過藻華事件之地區，如日本、韓國、中國與菲律賓。

表 6-8 可能入侵臺灣之外來物種

國家	地點	港口	物種	時間	參考文獻
日本	北浦灣、宮崎縣	宮崎港	<i>Alexandrium catenella</i>	1982	Ogata and Kodama(1986)
	播磨，瀨戶內海	佐伯港、中津、神田、門司、吳港、廣島、松山、秋津、新居濱、福山、大分港	<i>Chattonella antiqua with fibrocapsa japonica</i>	1987	Okaichi(1989)
	橫濱港	橫濱港	<i>Cochlodinium sp.</i>	1910-1911	Taylor(1964)
	宇和島灣	宇和島港	<i>Gonyaulax polygramma</i>	1994	Koizumi et al. (1996)
	鹿兒島灣	山川港、鹿兒島港	<i>Gymnodinium sp.</i>	1984	Onoue et al. (1985)
	瀨戶內海	佐伯港、中津、神田、門司、吳港、廣島、松山、秋津、新居濱、福山、大分港		1985	Okaichi(1989)
	大亞灣		<i>Gymnodinium mikimotoi</i>	1992	(Koizumi et al., 1996)
	福岡灣，福岡縣	博多、福滿、福岡	<i>Heterocapsa circularisquama</i>	1989	Yamamoto and Tanaka (1990)
	廣島灣	廣島、吳港		1995, 1998	Matsuyama et al. (1997), Matusyama(1999)
	英虞灣	鳥羽港、松阪港		2005	(Miyazaki et al., 2005)
	鹿兒島灣	山川港、鹿兒島港	<i>Heterosigma akashiwo</i>	1995	(Khan et al., 1997)
	長崎	長崎港、茂木港		2006	(Alamsjah et al., 2007)
	日本內海、西日本		<i>Karenia digitata</i>	1997	Yang et al. (2000)
	相模灣	千葉、橫濱、船橋、君津	<i>Noctiluca scintillans</i>	2004	(Miyaguchi et al., 2006)
	鹿兒島	山川港、鹿兒島港	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	1995	Khan et al. (1996)
	廣島灣	廣島、吳港	<i>Skeletonema costatum, Chaetoceros spp., Thalassiosira spp.</i>	1990-1990	(Itakura et al., 1997)
城ヶ島		<i>Skeletonema costatum, Prorocentrum minimum</i>	1994	(Kado and Kim, 1996)	

國家	地點	港口	物種	時間	參考文獻
韓國	Gamak Bay		<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Heterosigma akashiwo</i> , <i>Prorocentrum sp.</i> , <i>Chaetoceros sp.</i> , <i>Cochlodinium polykrikoides</i>	1999-2006	(Lee and Kim, 2008)
	鎮海灣	馬山、釜山新港	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Heterosigma akashiwo</i> , <i>Prorocentrum sp.</i> , <i>Cochlodinium polykrikoides</i> , <i>Gymnodinium sp.</i>	1999-2003	
			<i>Chaetoceros spp.</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Pseudonitzschia pungens</i> , <i>Alexandrium spp.</i> , <i>Chroomonas sp.</i>	2002-2003	(Kim et al., 2007)
	Miruk Island		<i>Cochlodinium</i>	2002	(Lee et al., 2008)
	鎮海灣	馬山、釜山新港	<i>Gymnodinium sp.</i>	1981	Kim(1998)
	南海			1992	Kim et al. (1995)
	丹東灣		<i>Polykrikoides</i>	1988	Kim(1998)
中國	香港南丫島	香港	<i>Dactyliosolen fragillissimus</i> , <i>Chaetoceros spp.</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Skeletonema costatum</i>	2000	(Lee et al., 2005)
	香港吉澳		<i>Gonyaulax polygramma</i>	2001	
	渤海	大連、天津、煙台、秦皇島	<i>Prorocentrum minimum</i>	1977	Tseng et al. (1993)
			<i>Ceratium furca</i>	1998	(Wei et al., 2004)
	渤海, 長江河口 珠江河口	大連、天津、煙台、秦皇島、南通、鎮江、常熟	<i>Gymnodrium sp.</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Prorocentrum triestinum</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Peridinium sp.</i> , <i>Gyrodinium sp.</i>	1999-2000	
	南中國海		<i>Phaeocystis cf. globosa</i>	2002	
	珠江河口		<i>Gymnodinium cf. catenatum</i>	1998	(Tang et al., 2003)
	中國		<i>Asterionella japonica</i> , <i>Protoperidinium quinquecorne</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i> , <i>Peridinium quinquecorn</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i>	1999-2004	(Yu et al., 2007)
<i>Rhizosolenia fragillissima</i> , <i>Chattonella marina</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i> , <i>Trichodesmium erythraeum</i>					
南麂列島		<i>Prorocentrum dentatum</i> , <i>Biddulphia aurita</i>	2002-2004	(姚等人, 2006)	

國家	地點	港口	物種	時間	參考文獻
	洞頭列島		<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Prorocentrum minimum</i> , <i>Gymnodinium mikimotoi</i>		
	福建	廈門、福州、寧德、 漳州、泉州、秀嶼	<i>Cochlodinium sp.</i>	1990	Qi et al. (1993)
	黃華	黃埔、南沙	<i>Gymnodinium sp.</i>	1989	Xu et al. (1993)
	南中國與香港	香港	<i>Gymnodinium mikimotoi</i> and <i>Gymnodinium sp.</i>	1998	Yang and Hodgkiss (1999), Dickman(2000)
	香港		<i>Gyrodinium sp.</i>	1998	(Lu and Hodgkiss1, 2008)
			<i>Karenia digitata</i>	1997	Yang et al. (2000)
			<i>Noctiluca scintillans</i>	1992	Ho and Hodgkiss(1992)
	河北省			1989- 1990	Fengqi(1990), Chen and Gu(1993), Qi et al. (1993b)
	舟山群島，浙 江	浙江、南通、張家 港、常熟	<i>Prorocentrum sp.</i>	2000	ICES(2001)
	福建與廣東省	廈門、福州、寧德、 漳州、泉州、秀嶼、 鹽田、赤灣、蛇口、 汕頭、惠州、虎門、 珠海、黃埔、廣州、 媽灣、南沙	<i>Phaeocystis globosa</i>	1997	Lu and Huang(1999)
	山東		<i>Prymnsium parvum</i>	1988- 1990	Yang et al.(1993)
	天津	天津港	<i>Prymnesium saltans</i>	1983- 1986	Wang and Wang (1992), Edvardsen and Paasch(1998)
菲律賓	呂宋島 - (Bolinao)	Bolinao 港	<i>Prorocentrum minimum</i>	2002	(Diego-McGlone et al., 2008; Azanza et al., 2005)

表 6-8 整理出曾爆發藻華之地區亦為我國入港船舶上一港常造訪之港口。根據表 6-8 之物種，整理出物種種類，表 6-9 列出上述物種已出現在由中研院生物多樣性研究中心所設立的臺灣物種名錄中之物種種類與名稱，在 38 種物種中，有 12 種物種已登記入臺灣物種名錄中，此 12 種物種中，矽藻門有兩隻，甲藻門與褐藻門各有四隻，隱藻門與藍菌門各一隻。其中甲藻門的 *Gyrodinium sp.* 會產生麻痺性貝毒對人體造成危害。

表 6-10 列出未列入臺灣物種名錄，但已在周遭國家造成危害之物

種，共有 26 種。其中，*Alexandrium catenella*、*Gymnodinium catenatum* 與 *Gymnodinium sp.* 含有麻痺性貝毒，*Prorocentrum sp.* 含有腹瀉性貝毒，這些含有毒性之藻類若進入魚類或人體體內，會造成中毒嚴重者將致死，故應對此類物種加以防範追蹤。

亞洲鄰近國家，如日本、韓國，藻華爆發事件亦頻傳，圖 6-20 顯示有毒渦鞭毛藻在日本與韓國分布情況，由圖可知，此四種有毒渦鞭毛藻遍佈日韓兩國，*Alexandrium tamarense* 主要分佈於日本北部，*A. catenella* 主要分佈日本南部，*Gymnodinium catenatum* 則位於瀨戶內海與八代海 (Fukuyo 1985, Matsuoka & Fukuyo 1994)。 *A. tamarense* 於 1986 年首見於韓國 (Park 1991)，1992 年 Hallegraeff 與 Bolch 確認 *G. catenatum* 囊胞透過壓艙水傳入韓國，1995 年 Kim 等人亦確定 *G. catenatum* 囊胞入侵鎮海灣。壓艙水夾帶有毒渦鞭毛藻在日韓海灣，有毒藻華常爆發於早春至仲夏 (3 月到 6 月) 而後秋天 (9 月至 11 月) 又再度爆發 (Ogata et al. 1986, Fukuyo 1985)，但每年藻爆發的地域廣度視水溫與降雨而定。

表 6-9 已存在於臺灣之物種

物種	門	名稱
<i>Asterionella japonica</i>	Bacillariophyta 矽藻門	日本星杆藻
<i>Biddulphia aurita</i>	Bacillariophyta 矽藻門	長耳盒形藻
<i>Ceratium furca</i>	Dinophyta 甲藻門	叉角藻
<i>Chaetoceros sp.</i>	Ochrophyta 褐藻門	
<i>Chroomonas sp.</i>	Cryptophyta 隱藻門	
<i>Gyrodinium sp.</i>	Dinophyta 甲藻門	
<i>Leptocylindrus danicus</i>	Ochrophyta 褐藻門	丹麥細柱藻
<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinophyta 甲藻門	夜光藻
<i>Prorocentrum triestinum</i>	Dinophyta 甲藻門	三葉原甲藻
<i>Skeletonema costatum</i>	Ochrophyta 褐藻門	中肋骨條藻
<i>Thalassiosira spp.</i>	Ochrophyta 褐藻門	
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Cyanobacteria 藍菌門	紅海束毛藻

表 6-10 可能入侵臺灣之物種

物種	門
<i>Alexandrium catenella</i>	Pyrrophytophyta
<i>Chattonella antiqua</i>	Ochrophyta
<i>Chattonella marina</i>	Ochrophyta
<i>Cochlodinium</i>	Myzozoa
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	Myzozoa
<i>Cochlodinium sp.</i>	Dinophyta
<i>Gonyaulax polygramma</i>	Dinophyta
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	Bacillariophyta
<i>Fibrocapsa japonica</i>	Ochrophyta
<i>Gymnodinium catenatum</i>	Myzozoa
<i>Gymnodinium mikimotoi</i>	Dinophyta
<i>Gymnodinium sp.</i>	Dinoflagellata
<i>Heterocapsa circularisquama</i>	Dinophyta
<i>Heterosigma akashiwo</i>	Ochrophyta
<i>Karenia digitata</i>	Dinophyta
<i>Peridinium sp.</i>	Dinophyta
<i>Phaeocystis globosa</i>	Haptophyta
<i>Polykrikoides</i>	Dinophyta
<i>Prorocentrum dentatum</i>	Dinophyta
<i>Prorocentrum sp.</i>	Dinophyta
<i>Protoperidinium quinquecorne</i>	Dinophyta
<i>Prymnesium saltans</i>	Haptophyta
<i>Prymnesium parvum</i>	Haptophyta
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	Bacillariophyta
<i>Rhizosolenia fragillissima</i>	Ochrophyta
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	Dinophyta

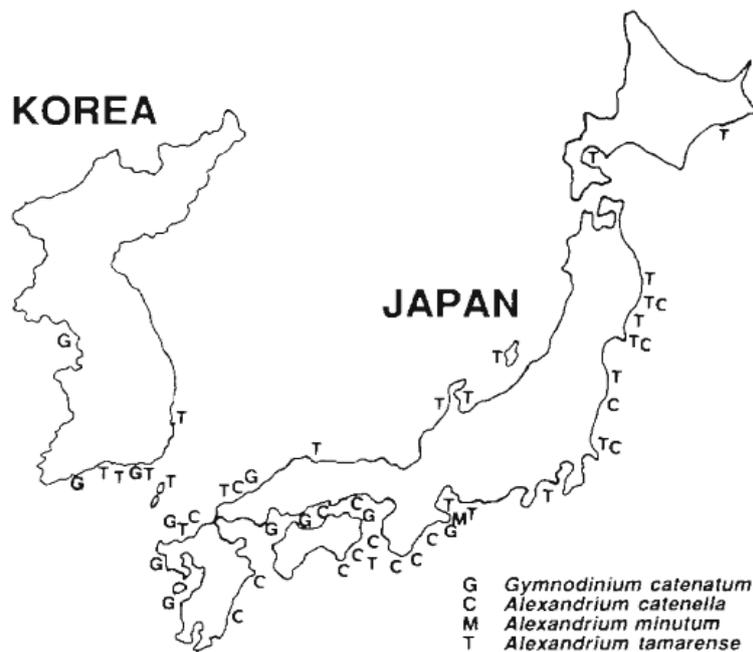


圖 6-20 有毒渦鞭毛藻在日本與韓國分佈情形

澳洲方面，Hallegraeff and Bolch 於 1992 年調查 343 艘貨輪發現，65%的船舶壓載艙攜帶沉澱物，在這些沉澱物中有 50%含有渦鞭毛藻的囊胞，5%含有有毒渦鞭毛藻囊胞。且在已知的 80 種渦鞭毛藻中，有 53 種類群在沉澱物中被偵測到，有 20 種成功的發芽成長。其中，*G. catenatum* 與 *A. catenella* 被列為可能入侵臺灣之物種，而 *A. tamarense* 早已列入臺灣物種名錄中。*A. catenella*、*A. tamarense* 與 *G. catenatum* 此三種物種已被證實出現於澳洲壓艙水中。圖 6-21 列出已被船舶壓艙水引入有毒渦鞭毛藻的澳洲港口，圖 6-22 列出有毒渦鞭毛藻已繁殖之港口。在壓載的過程中囊胞可能已被埋入沉澱物中，這些囊胞可能在 10 至 20 年後開始萌芽成長。一旦有機體產生新階段的囊胞將有可能繁衍至別的水體且無法消除。如 *G. catenatum* 在 1972 年引入 Tasmania，花八年時間才爆發藻華並拓展至新環境生存 (Hallegraeff et al. 1991)。船舶壓艙水將外來物種引入後，藉由沿岸流與國內運輸散佈，並在合適的環境下生長爆發藻華衝擊養殖漁業。

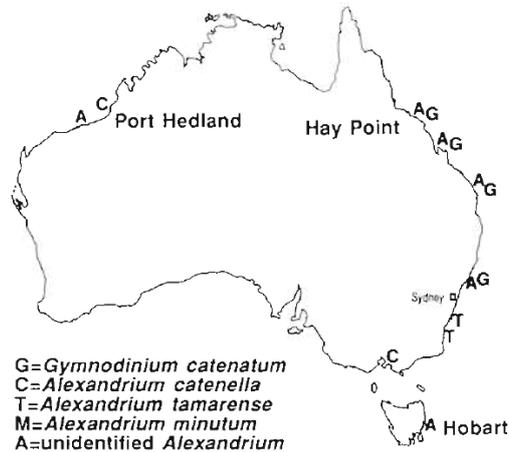


圖 6-21 1987 年至 1995 年排放的壓艙水中含有毒渦鞭毛藻之港口

在澳洲研究方面，瀏覽上百種物種，但只有 33 種物種符合挑選準則，根據研究分析，33 種物種中超過一半以上之物種造成多樣的衝擊，最主要的潛在衝擊為限制當地物種可使用的自然資源、漁獲量減少、衝擊生態、改變食物網等。

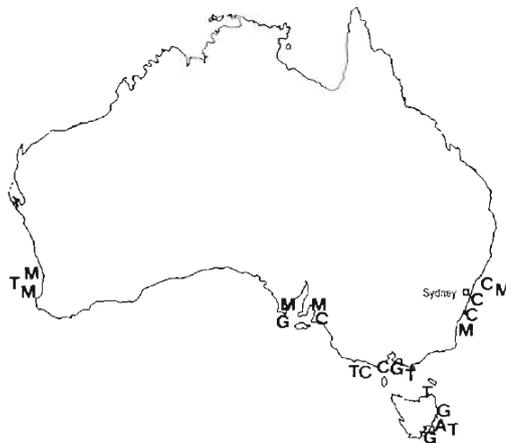


圖 6-22 有毒渦鞭毛藻已繁殖之港口

而本研究根據挑選準則所挑選出之 26 種可能入侵臺灣海域的物種，除被限制在英文文獻上外，各國對外來物種入侵的研究資料亦不齊全。表 6-10 所列出之物種雖在亞洲地區造成藻華，但若入侵臺灣是否會造成相同的衝擊或是更為嚴重，仍需時間觀察。雖然有些物種未列上名單，或在亞洲國家造成藻華，但仍有可能入侵臺灣海域。且此列表中之物種可能已有入侵臺灣之物種只是尚未被發現，或未被記錄至臺灣物種名錄中。

## 6.4 船舶風險分析與建立港口國管制程序

根據「鄰港水質環境調查研究(2/4)」(蔡等, 2011)採用環境相似度法, 比對全球各來源港口與臺中港海域內溫度與鹽度之相似程度, 以相似程度之高低區分吻合之國家海域或港口, 並加入航程分析, 藉以了解距離對外來種存活之影響, 距離越短則外來生物在壓載艙內尚未因環境條件改變而死亡之際即被排出, 若環境條件與原有地區相似則有可能存活, 故侵襲下一港之風險極高。經風險評估, 分析上一港與臺中港之間的溫度、鹽度與航程三種因素, 發現此五年間造訪臺中港的船舶中, 中國香港為極度風險區港口之首。上述分析法的溫度與鹽度採用 2009-2010 勞氏港口指南內之港口海水密度, 並經過轉換將港口分類, 在此法中資料較粗略, 且在轉換過程可能有些為誤差。本項目將採用群集分析法, 先蒐集長期觀測資料, 此資料由海上觀測站測量而得, 較港口指南精確, 利用此資料更進一步將被評為極度風險之港口做分類。

### 6.4.1 溫鹽資料蒐集與研究方法

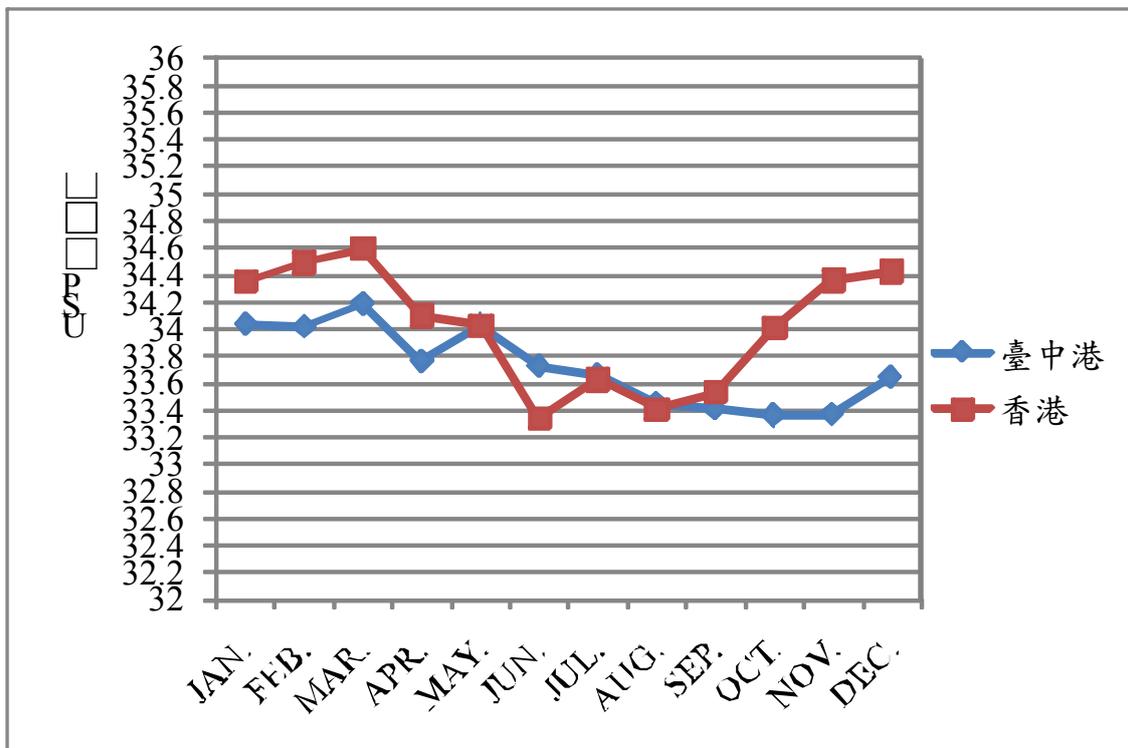
本項目擬以美國海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 中的國家海洋資料中心 (National Oceanographic Data Center, NODC), 蒐集各經緯度溫度與鹽度的長期觀測資料。資料內容包含經緯度、水深、各月份的溫度與鹽度...等, 每個月皆有 41,458 個觀測點, 依據這些觀測資料, 採群集分析法, 更可精確的分析各港口溫度、鹽度與臺中港相似的程度, 但因有些觀測點並非位於港口, 故選取較接近港口之觀測點資料以代表港口溫鹽值。群集分析依據所輸入的資料計算樣本間某些變項的距離, 再依估算出來的距離將樣本分類。本項目採用群集分析 (Cluster Analysis) 中的階層分析法 (Hierarchical Clustering Procedure), 將所輸入的樣本距離相近者集成一群, 直到所有樣本整合成相同的一群為止, 在形成群組過程中, 樣本一旦分組, 就不再脫離該組。

本計畫以臺中港與往來次數頻繁的香港為例, 列出 NOAA 採樣點

所得到之溫度與鹽度數據。表 6-11 列出臺中港與香港兩港經緯度與 NOAA 採樣點之經緯度，由表可知，實際港口位置與採樣點有些微差距，在緯度方面，NOAA 每一緯度即放一採樣點，在經度方面大致上亦為每一經度放一採樣點，但有些位置並未放置採樣點，故在經度方面距離稍遠。圖 6-23 與圖 6-24 繪出臺中港與香港鹽度與溫度變化，在鹽度方面，兩港變化不大，大多介於 33 至 34 之間，在溫度方面，我國緯度較高，故溫度較香港低 2 至 3 度左右，十月份之資料因檔案毀損故無此資料，在進行統計分析時會將此月份與以剔除。

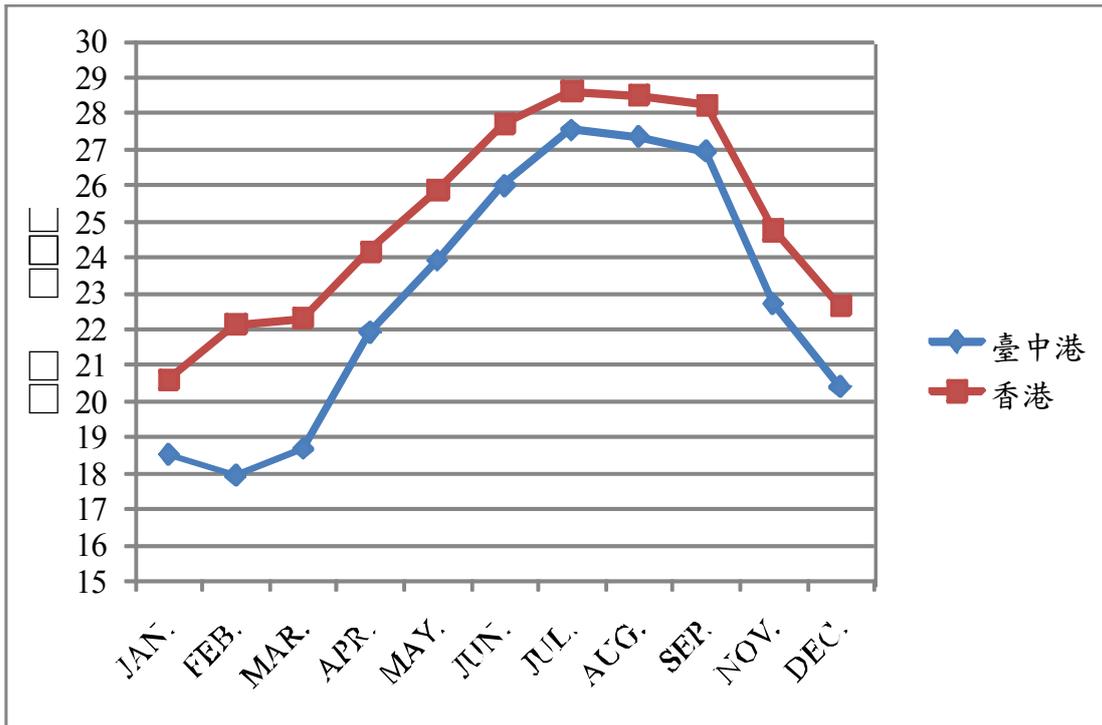
表 6-11 港口經緯度

國家	港口	緯度	經度	採樣緯度	採樣經度
台灣	TAICHUNG 臺中港	24.33N	120.57E	24.5N	119.5E
中國	HONG KONG 香港	22.3N	114.25E	22.5N	116.5E



資料來源：<http://www.nodc.noaa.gov/>

圖 6-23 臺中港與香港鹽度



資料來源：<http://www.nodc.noaa.gov/>

圖 6-24 臺中港與香港溫度

進行群集分析前，加上臺中港共有 101 個港口，溫度與鹽度資料較龐大，故先採用因素分析法尋找出一組最能解釋變數的之間的共變關係的共同因素。因素分析 (Factor Analysis) 在尋找一組最能解釋測量變數之間共變關係的共同因素，並且能夠估計每一個測量變數受到測量誤差影響的程度。因素分析所處理的是觀察變項之間的共變，亦即利用數學原理抽離一組觀察變項之間共同變異成份，然後利用此共同成分反推觀察變數與此共同部分的關係。為了解一組測量變數適不適合進行因素分析，測量變數背後是否具有潛在構念，可檢視測量變數的相關情形。利用淨相關矩陣判斷變數之間是否具有高度關聯，當測量變數的兩兩相關在控制其他觀察變數所求得的淨相關矩陣 (partial correlation)，表示各變項之間有明顯的共同因素，若淨相關矩陣有多數係數偏高，表示變數間關係不大不容易找到有意義的因素。淨相關矩陣的對角線為取樣適切性量數 (measures of sampling adequacy, MSA)，為該測量變數有關的所有相關係數與淨相關係數的比較值，該

係數越大，表示相關情形良好，各量測變數的取樣適切性量數係數平均後即為 KMO 量數 (Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy)，若 KMO 統計量 0.90 以上，表示應用因素分析為極佳，若 KMO 統計量 0.80 以上，表示良好，若 KMO 統計量 0.50 以下則表示無法接受採用因素分析法。因素個數的決定以陡坡檢定法 (scree test) 檢定，使用相對數量的比較，將每一因素依其特徵值排列，特徵質逐漸遞減，當因素的特徵值逐漸接近沒有變化時，代表特殊的因素已無法被抽離出來，當特徵值急劇增加時，代表有重要因素出現，亦即特徵值曲線變陡之時決定因素個數。

群集分析將個體分為有意義的群組，目的是依據個體間的相似性將樣本分成幾群互相沒有交集的群組，同群組內個體相似性高，不同群組的個體相似性低。本計畫使用群集分析之凝聚分層法，一開始為每一個體各為一群，最近的兩個體合成一群，依次結合使群組越來越少，最後所有個體結成一群，而分離分層法則開始時所有個體為一群，然後分為兩群、三群，直到每一個體為獨立一群為止，方向與凝聚分層法相反，此法較少使用。分群原理為群內差異小，群間差異大，因此需量化為指標即為距離，本計畫使用歐氏距離平方 (Squared Euclidean Distance) 多維空間兩點的幾何距離為依據做分析，公式如下：

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2 \dots\dots\dots (6-1)$$

#### 6.4.2 群集分析

本計畫先以溫度與鹽度篩選出極度風險之港口共 100 個，與臺中港做群集分析，如表 6-12 所示，此 100 個港口位於中國、日本、南韓、巴西、南非、美國、埃及、紐西蘭、智利與澳洲等國。表 6-13 依國家分類，列出此 100 個港口之名稱。並使用從國家海洋資料中心所蒐集溫度與鹽度之觀測資料，進一步將所有港口分組，藉此方法挑選出環境與臺中港更相似之港口，以利後續之風險管理。

經溫度與鹽度篩選，從此 100 個極度風險之港口來訪之船舶數，如表 6-14 所示，以 94 年為例，原本有 5,697 艘次 (1,419 艘數)，經篩

選後從極度風險港口來之船舶艘次為 1,706 (445 艘數)。

表 6-12 臺中港各國港口風險區分

風險等級	高風險區(6)	中度風險區(5)	低風險區(<5)
總港口數	100	125	61
國家及港口數	中國 19 日本 50 南韓 9 巴西 1 南非 5 美國 2 埃及 1 紐西蘭 1 智利 1 澳洲 11	中國 22 日本 10 南韓 5 印尼 11 俄羅斯 5 馬來西亞 8 越南 5 澳洲 9 菲律賓 13 北韓 4 巴西 2 巴基斯坦 1 以色列 2 尼加拉瓜 1 印度 4 西班牙 1 沙烏地阿拉伯 1 孟加拉 1 阿根廷 1 柬埔寨 1 美國 5 泰國 7 紐西蘭 4 伊朗 1 新加坡 1	中國 3 日本 11 南韓 1 印尼 6 俄羅斯 1 紐西蘭 1 馬來西亞 5 越南 1 澳洲 2 巴西 2 巴拿馬 2 加拿大 1 印度 1 沙烏地阿拉伯 3 阿拉伯聯合大公國 1 科威特 1 美國 10 英國 1 埃及 1 烏克蘭 1 荷蘭 1 斐濟 1 獅子山 1 德國 1 緬甸 1 巴布亞新幾內亞 1

表 6-13 高風險區港口

國家	港口	國家	港口	國家	港口
臺灣	TAICHUNG 臺中港		KUDAMATSU 下松	中國	YANTIAN 廣東鹽田
日本	CHIBA 千葉	日本	HIROSHIMA 廣島	澳洲	BUNBURY 本伯利
	CHITA 知多		NAHA 那霸		KWINANA 卡那那
	FUNABASHI 船橋		HIROHATA 喜若哈達		NEWCASTLE 紐塞
	HIGASHIHARIMA 東播島		KANOKAWA 卡漏卡瓦		PORT ADELAID 阿得雷得港
	HIBIKINADA 喜必		SHIMIZU 清水		BRISBANE 布里斯本
	ATSUMI 寇見		KAGOGAWA 加古川		GERALDTON 基拉頓
	KAINAN 開南		TOBATA 戶油		PORT KEMBLA 坎布拉港
	KANDA 神田		SAGANOSEKI 佐賀關		SHARK BAY 鯊灣
	KAWASAKI 川崎		WAKAMATSU 若松港		WHYALLA 懷亞力
	KOBE 神戶		MATSUYAMA 松山		FREMANTLE 佛利曼特
	KOKURA 小倉		AMAGASAKI 尼崎		SYDNEY 雪梨
	KURE 吳港		SENDAI 川內		BUSAN 釜山
	MOJI 門司		MISHIMA 米西瑪		JEJU 濟州
	OSAKA,大阪		NAOSHIMA 內西瑪		KWANGYANG 光陽
	NAGASAKI,長崎		HIKARI 光		YEOSU 麗水
	NAGOYA 名古屋		HONG KONG 香港		MASAN 馬山
	OITA 大分港	MACAO 澳門	ONSAN 昂三		
	SAKAI 界(阪井)	FUZHOU 福建福州	ULSAN 蔚山		
	TOYOHASHI 托約哈	GUANGZHOU 廣東廣州	WANDO 文度		
	TOKYO 東京	XIAMEN 福建廈門	SAMCHONPO 三千浦		
	TSUKUMI 津久見	CHIWAN 廣東赤灣	紐西蘭	TAURANGA 陶蘭加	
	YOKOHAMA 橫濱	SHANTOU 廣東汕頭	南非	CAPETOWN 開普敦	
	ABOSHI 阿布希	XIUYU 福建秀嶼		RICHARDS BAY 理查灣	
	NIIHAMA 新居濱港	ZHANGZHOU 福建漳州		SALDANHA BAY 沙丹亞灣	
	KIMITSU 齊米粗	ZHOUSHAN 浙江舟山		DURBAN 德班	
	MIIKE 三池港	ZHUHAI 廣東珠海	美國	EAST LONDON 東倫敦	
	MIZUSHIM 水島灘	WENZHOU 浙江溫州		LOS ANGELES 洛杉磯	
	HAKATA 博多	SHEKOU 廣東蛇口	智利	LONG BEACH 長堤	
	SAKAISENBOKU 森布庫	QZHOU 福建泉州		VALPARAISO 法耳巴拉索	
	TOKUYAMA 德山	HUANGPU 廣東黃埔	埃及	PORT SAID 塞得港	
	KAGOSHIM 鹿兒島	HUIZHOU 廣東惠州	巴西	RIO DE JANEIRO, RJ 里熱內盧約	
	FUKUYAMA 福山	NINGDE 福建寧德			
	SAKAIDE 撒給地	HUMEN 廣東虎門			

表 6-14 溫鹽分析篩選後艘次與艘數

年度	原艘次、數		溫鹽分析	
	艘次	艘數	艘次	艘數
94	5,697	1,419	1,706	445
95	5,857	1,464	1,857	490
96	6,462	1,492	2,456	586
97	6,330	1,492	2,402	571
98	6,462	1,422	2,739	587

表 6-15 為 101 個港口的敘述統計表，表中 S 代表鹽度，S 一月代表一月份的鹽度，T 代表溫度，T 一月代表一月份溫度，其於以此類推。由表可知平均鹽度介於 33.51 至 34.71 之間，溫度則介於 17.35°C 至 25.39°C 之間。標準差（Standard Deviation）為統計分佈程度（statistical dispersion）的測量，反映組內個體間的離散程度，較大的標準差，代表大部分的數值和其平均值之間差異較大；一個較小的標準差，代表這些數值較接近平均值，其中鹽度與平均值較接近離散程度較小，而溫度離散程度較大。

表 6-16 為 KMO 與 Barlett 檢定，主要用來判定此樣本是否適合進行因素分析，KMO 取樣適切性檢定為 0.803，接近 1，球型檢定卡方值為 8051.958，達顯著，此樣本適合進行因素分析。在此 101 個港口各月份溫度與鹽度的變異量被共同因素解釋的比例，共同性越高，表示該變項與其他變項可測量的共同特質越多，表示越有影響力，結果發現二月的鹽度與九月溫度最有影響力。陡坡圖是用來協助決定因素的個數，當線行趨於平緩時，表示已無特殊因素值得抽取，圖 6-25 顯示，因素 1 至 3 之間有急速上升的趨勢，表示有特殊因素的存在，故萃取三項因素則已足夠解釋變數變異量。

表 6-15 進一步溫鹽分析之敘述統計表

	平均數	標準差	分析個數
S 一月	34.64	.672	101
S 二月	34.70	.696	101
S 三月	34.71	.714	101
S 四月	34.58	.849	101
S 五月	34.52	.946	101
S 六月	34.18	1.157	101
S 七月	33.85	1.209	101
S 八月	33.51	1.405	101
S 九月	33.63	1.234	101
S 十月	34.09	.983	101
S 十一月	34.35	.884	101
S 十二月	34.52	.771	101
T 一月	17.93	3.263	101
T 二月	17.38	4.079	101
T 三月	17.35	4.222	101
T 四月	18.43	4.024	101
T 五月	20.12	3.311	101
T 六月	21.64	3.913	101
T 七月	23.96	3.397	101
T 八月	25.39	3.792	101
T 九月	24.77	3.571	101
T 十一月	21.30	2.320	101
T 十二月	19.66	2.419	101

表 6-16 因素分析之 KMO 與 Barlett 檢定

Kaiser-Meyer-Olkin 取樣適切性量數。	.803
Bartlett 球形檢定 近似卡方分配	8051.958
自由度	253
顯著性	.000

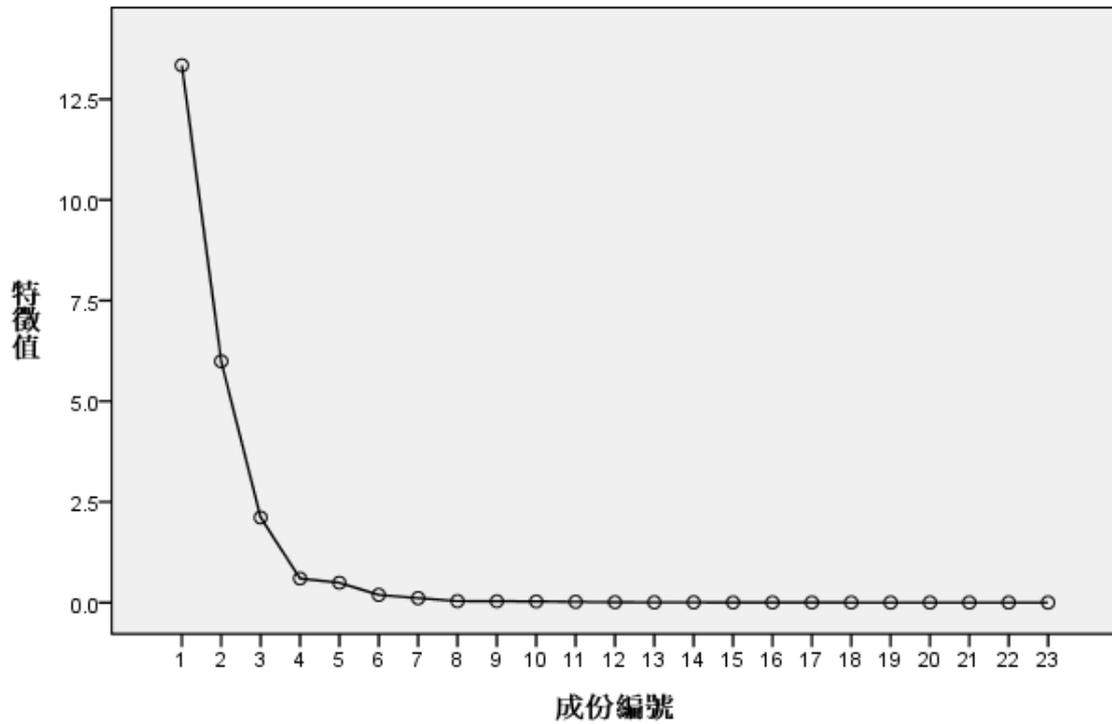


圖 6-25 因素分析之陡坡圖

表 6-17 用以說明因素分析所抽取的因素能夠解釋全體變數變異量的比例，在此次萃取中，得到四個主要因素，轉軸前，第一個因素可解釋 58.02%的變數變異量，第二個因素可解釋 26.054%的變數變異量，第三個因素可解釋 9.185%的變數變異量；轉軸後因素相對位置不變，但解釋的比重改變，第一個因素可解釋 42.865%的變數變異量，第二個因素可解釋 30.431%的變數變異量，第三個因素可解釋 19.962%的變數變異量，三個因素共可解釋 93.258%的變數變異量。

表 6-17 各因素的解說總變異量

成份	初始特徵值			平方和負荷量萃取			轉軸平方和負荷量		
	總和	變異數的 %	累積%	總和	變異數的 %	累積%	總和	變異數的 %	累積%
1	13.345	58.020	58.020	13.345	58.020	58.020	9.859	42.865	42.865
2	5.992	26.054	84.074	5.992	26.054	84.074	6.999	30.431	73.296
3	2.112	9.185	93.258	2.112	9.185	93.258	4.591	19.962	93.258
4	.599	2.603	95.862						
5	.493	2.142	98.004						
6	.191	.830	98.833						
7	.111	.481	99.314						
8	.036	.158	99.472						
9	.033	.142	99.614						
10	.028	.124	99.737						
11	.018	.077	99.814						
12	.011	.048	99.862						
13	.007	.032	99.894						
14	.007	.030	99.925						
15	.005	.020	99.945						
16	.004	.016	99.961						
17	.003	.011	99.972						
18	.002	.009	99.982						
19	.002	.007	99.989						
20	.001	.004	99.993						
21	.001	.004	99.996						
22	.001	.003	99.999						
23	.000	.001	100.000						

萃取法：主成份分析。

經由成份矩陣列出三個因素再經過轉軸後，第一項因素主要受三、四月的鹽度影響，第二項因素主要受三、四月的溫度影響，第三項因素主要受八、九月的溫度影響。之後利用此三項主要因素進行群集分析。表 6-18 為群集分析表，將 100 個港口分為十群，與臺中港同列為一群的有香港、澳門、福建省的福州、廈門、秀嶼、漳州、泉州、

寧德與廣東省的廣州、赤灣、汕頭、珠海、蛇口、黃埔、惠周、虎門和鹽田與日本的那霸港等 18 個港口；同屬第二群的港口共有 55 個港口；屬於第三群之港口有三個，位於南韓的濟州、文度與日本的川內；屬第四群的港口有三個，分屬紐西蘭的陶蘭加、南非的開普敦與沙丹亞灣，第五群之港口有 7 個為澳洲的本伯利、卡那那、紐塞、基拉頓、坎布拉港、佛利曼特與雪梨，第六群之港口有 2 個為澳洲的阿得雷得港與懷亞力，第七群之港口有 6 個為澳洲的布里斯本、鯊灣、南非的理查灣、德班與東倫敦和巴西的里約熱內盧，第八群之港口有 3 個為中國的浙江舟山、美國的洛杉磯與長堤，第九群之港口有 1 個為南太平洋上的法耳巴拉索，第十群之港口有 1 個為埃及塞得港。圖 6-26 為樹狀圖，由此圖可看出各港口群集過程，並了解港口間何者環境最相近，其中，紅線部分為界線，在距離 1.799 處分為十群，其中數字代號可由表 6-18 查得。圖 6-27 以世界地圖顯示造訪臺中港之船舶上一港位置分佈圖，黑點、橘點與紅點為所有造訪臺中港船舶之上一港，橘點與紅點為經過第一次平均溫鹽分析後所篩選之港口，紅點為經過群集分析後之高風險港口位置。

表 6-19 列出經群集分析後，與臺中港同為一群集之 18 個港口來訪之船舶數，以 94 年為例，溫鹽分析後的船舶有 1,706 艘次 (445 艘數)，進一步以群集分析篩選出的港口分析，共篩選出 802 艘次 (182 艘數)。之後，利用航運相關因素，如航程、船旗國、進港次數等因素，分別給予這些來訪船舶積分，依積分高低篩選出高風險船舶，使港口國管制官員得以針對高風船舶做檢查，以避免人力與管理資源的浪費。

表 6-18 群集分析總表

港口	群	港口	群	港口	群	港口	群
1:TAICHUNG 臺	1	10:SAMCHONPO 三	2	35:KIMITSU 齊米粗	2	9:WANDO 文度	3
47:NAHA 那霸	1	11:CHIBA 千葉	2	36:MIIKE,	2	57:SENDAI,	3
61:HONG KONG	1	12:CHITA 知多	2	37:MIZUSHIM 水島	2	91:TAURANGA	4
62:MACAO 澳門	1	13:FUNABASHI 船橋	2	38:NIHAMA 新居濱	2	92:CAPETOWN	4
63:FUZHOU 福建	1	14:HAKATA 博多	2	39:SAKAISENBOKU	2	94:SALDANHA	4
64:GUANGZHOU	1	15:HIBIKINADA 喜必	2	41:TOKUYAMA 德	2	80:BUNBURY,	5
65:XIAMEN 福建	1	16:KAGOSHIMA 鹿	2	42:ATSUMI, AICHI	2	81:KWINANA,	5
66:CHIWAN 廣東	1	17:KAINAN 開南	2	43:FUKUYAMA 福	2	82:NEWCASTLE,	5
67:SHANTOU 廣	1	18:KANDA 神田	2	44:SAKAIDE 撒給地	2	85:GERALDTON,	5
68:XIUYU 福建	1	19:KAWASAKI, 川	2	45:KUDAMATSU 下	2	86:PORT	5
69:ZHANGZHOU	1	20:KOBE, HYOGO 神	2	46:HIROSHIMA 廣	2	89:FREMANTLE,	5
71:ZHUHAI 廣東	1	21:KOKURA 小倉	2	48:HIROHATA 喜若	2	90:SYDNEY, NS	5
73:SHEKOU 廣東	1	22:KURE 吳港	2	49:KANOKAWA 卡	2	83:PORT	6
74:QZHOU 福建	1	23:MOJI 門司	2	50:SHIMIZU 清水	2	88:WHYALLA 懷	6
75:HUANGPU 廣	1	24:OSAKA,大阪	2	51:KAGOGAWA 加	2	84:BRISBANE 布	7
76:HUIZHOU 廣	1	25:NAGASAKI,長崎	2	52:TOBATA,	2	87:SHARK BAY,	7
77:NINGDE 福建	1	26:NAGOYA 名古屋	2	53:SAGANOSEKI 佐	2	93:RICHARDS	7
78:HUMEN 廣東	1	27:OITA 大分港	2	54:WAKAMATSU 若	2	95:DURBAN 德班	7
79:YANTIAN 廣	1	28:SAKAI, OSAKA 界	2	55:MATSUYAMA,	2	96:EAST	7
2:BUSAN 釜山	2	29:TOKYO 東京	2	56:AMAGASAKI,	2	101:RIO DE	7
4:KWANGYANG	2	30:TOYOHASHI 托約	2	58:MISHIMA 米西瑪	2	70:ZHOUZHAN	8
5:YEOSU 麗水	2	31:TSUKUMI, OITA	2	59:NAOSHIMA 內西	2	97:LOS	8
6:MASAN 馬山	2	32:YOKOHAMA 橫濱	2	60:HIKARI 光	2	98:LONG	8
7:ONSAN 昂三	2	33:ABOSHI 阿布希	2	72:WENZHOU 浙江	2	99:VALPARAISO	9
8:ULSAN 蔚山	2	34:HIGASHIHARIMA	2	3:JEJU 濟州	3	100:PORT SAID	10

與臺中港同集群

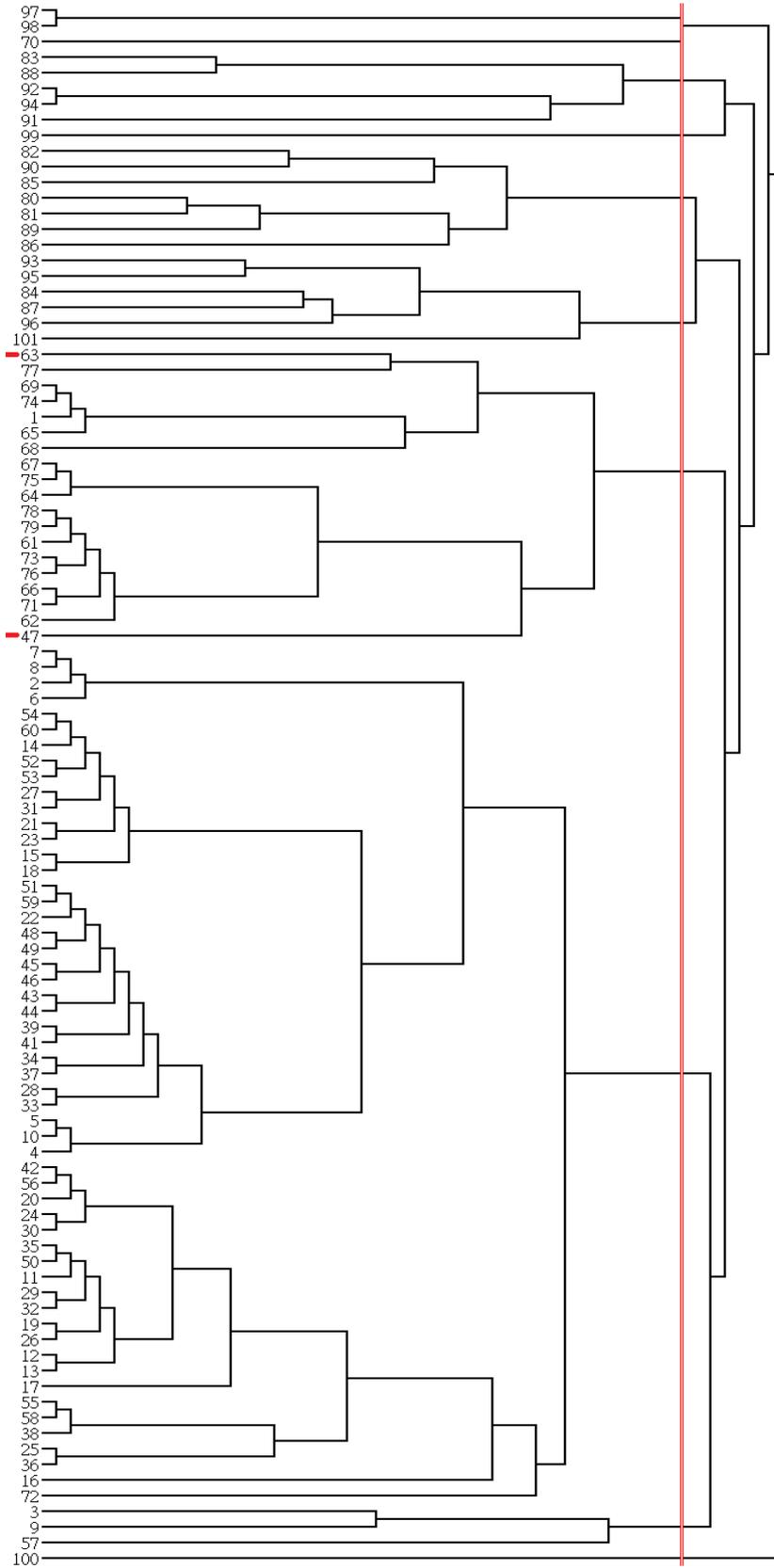


圖 6-26 群集分析之樹狀圖



圖 6-27 上一港高風險港口分佈圖

表 6-19 群集分析篩選後艘次與艘數

年度	溫鹽分析		群集分析	
	艘次	艘數	艘次	艘數
94	1,706	445	802	182
95	1,857	490	940	220
96	2,456	586	1,488	305
97	2,402	571	1,478	289
98	2,739	587	1,746	259

### 6.4.3 建立港口國管制程序

「鄰港水質環境調查研究(2/4)」(蔡等，2011)採用環境相似法，比較來源港與臺中港內溫度與鹽度相似程度，此法挑選出極度風險港

口，但因來訪船舶從極度風險港口來的艘數眾多，而港口國管制人員有限，每年只能檢查大約兩百艘船舶，故為縮減船舶檢查數量，本項目進一步採用群集分析法，分析極度風險港口與臺中港，利用此方法以更精確的數據，縮減極度風險港口數目，並考量其他相關因子，如壓艙水量的多寡、是否為權宜船籍、船舶來訪次數…等，以篩選船舶檢查之數量，建立高風險船舶管理之優先順序。

篩選標準如表 6-20 與表 6-21，列出五項因素積分進行討論，包含航程、船旗國、壓艙水量、進港次數與藻華發生地，給上述因素相同之權重。因航程長短雖會影響生物在壓載艙內消長情形，但各種生物適應環境的能力不同，故僅以距離給予積分，在 0.5 天內可抵達給予三分，0.5 天以上給予一分；船旗國方面，則因船權宜船旗之國家管理較鬆散，故以懸掛權宜船旗之船舶為高風險船舶，給予三分，非懸掛權宜船旗之船舶為低風險船舶，給予一分；壓艙水量方面，船舶壓艙水之排放量端看貨物運載量，無法確切判斷每次靠港排出多少量、排放之壓艙水中是否百分之百含有外來物種等因素，故僅以船型是否能裝載大量壓艙水為依據，藉以判斷風險，故以貨櫃輪、雜貨輪此兩種可攜帶大量壓艙水之船型為高風險船舶；進港次數則視為進港次數越多，排放壓艙水機會越多，因此以一星期靠港約一次以上之船舶為高風險船舶，給予三分，10 天至一個月靠港一次者為中度風險船舶給予兩分，一個月或以上來訪一次者視為低度風險船舶，給予一分；藻華發生地之判斷，則根據造訪船舶之上一港是否曾發生過藻華爆發事件做判斷，若曾發生過藻華事件，則此船舶之壓艙水可能受污染，故列為高風險船舶，給予三分，若未發生過藻華事件則視為低風險船舶，給予一分。總積分如(7-2)式所示，積分最高者為高風險船舶。根據上述五項相關因素分析，積分十分以上者列為高風險船舶，亦即每項因素皆呈現中度風險 (2 分)以上之船舶，港口國管制官員再根據風險針對高風險之入港船舶進行檢查，以符合現在港口國管制之能力。

$$S_{\text{總積分}} = S_{\text{航程}} + S_{\text{船旗國}} + S_{\text{壓艙水量}} + S_{\text{進港次數}} + S_{\text{藻華發生地}} \dots \dots \dots (6-2)$$

表 6-20 風險評估要素

風險	方法	原因	參考文獻
來源 風險	環境 相似	若來源港與目的港溫度與鹽度越相近，當來源港的外來物種引入目的港時，越容易生存	IMO, Gollasch (2006), Gollasch and Leppäkoski (2007)
	曾出現藻華區	壓艙水為主要傳遞外來物種途徑，若當地曾出現藻華，經船舶運送，在下一港排出易造成威脅	Carlton (1985), McGee et al. (2006), Drake et al. (2005)
船舶 風險	航程	航程時間越長，在壓載艙的物種豐富度會下降	Gollasch(2006), Gollasch et al. (2007)
	船旗國	因權宜船旗國家管制較為鬆散，使懸掛權宜船旗之船舶在處理船舶安全與污染管理較不嚴謹	ITF, 2010
	壓艙水	壓艙水量越大，可能攜帶更多的物種種類或數量	Flagella et al. (2006), Gollasch and Leppäkoski (2007)
	入港 頻率	外來物種入侵次數隨著船隻造訪次數增加而增加	Ricciardi (2001), Gollasch and Leppäkoski (2007), McGee et al. (2006)

表 6-21 五項分析因素積分表

評估 因素	航程		船旗國		壓艙水量		進港次數			藻華 發生地	
	<0.5 天	>0.5 天	是	否	>100 噸	<100 噸	>41	21-40	0-20	是	否
積分(S)	3	1	3	1	3	1	3	2	1	3	1

### 1. 其他相關因素

經群集分析後，五年間的入港船舶介於 802 至 1,746 艘次 (182-305 艘數)間，但我國港口國管制在 2003 至 2006 年間，檢查船舶數不到 1%，管制官員人數無法負荷如此繁重的入港船舶檢查工作，故利用航程、

船旗國、壓艙水量、進港次數與藻華發生地區等五項因素篩選船舶，以權重相等之積分方式，更進一步判斷這些船舶所帶來侵襲風險高低，藉以篩選出高風險船舶，以利港口國管制官員檢查。

#### A. 航程

若航程天數越短壓艙水內生物存活率較航程長者為高，提高外來物種藉由船舶壓艙水排放而進入港區的可能性 (Gollasch et al., 2000)。在船舶於海象平穩時之經濟航速 20 節，亞洲港口近則距離臺灣港口一百哩上下，如中國東南沿海港口，1 天以內即可抵達，遠則距離四、五千哩，如印度、孟加拉或伊朗等國的港口，大約需 10 天方能抵達。其他如美洲港口，近則距離五千哩以上如加拿大或美西港口，遠則如美東波特蘭距離 11,022 哩，需要約 23 天才能抵達臺灣，其他州別，如表 6-22 所示。根據群集分析篩選後的港口大多落於中國東南沿海一帶與日本那霸港，距離臺中港約 100 至 500 哩之間，大約航行半天至一天內即可抵達臺中港，半天以內可抵達者視為高風險區積分三分，一天方能抵達者為低風險區積分一分。由高風險區駛入臺中港的船舶，其航線大多為亞洲航線（東北亞航線、東南亞航線、大陸航線、東南-北亞航線、港澳航線、香港航線、高雄-廈門-福州航線、兩岸直航），少數為中東-波斯灣航線、印度洋航線、中美洲航線、北美西岸航線或環球航線。經篩選後，如表 6-23 所示，五年間航程為高風險之船舶共有 810 艘次 (54 艘數)，航程為低風險者共有 5,644 艘次 (1,201 艘數)，顯示雖然受分析之船舶大多數為亞洲航線，但程航仍需半天以上方能抵達臺中港。

**表 6-22 各洲距臺中港航程**

洲別	亞洲	美洲	歐洲	大洋洲	非洲	中東
距離(哩)	101-5,060	5,274-11,022	1,280-13,655	2,059-16,749	6,385-10,288	5,099-6,853
天數	0.2-10.5	10.0-22.9	2.7-28.4	4.3-34.9	13.3-21.4	10.6-14.3

表 6-23 航程篩選後之艘次與艘數

年份	艘次			艘數		
	總艘次	積分 3 分	積分 1 分	總艘數	積分 3 分	積分 1 分
94 年	802	87	715	182	4	178
95 年	940	65	875	220	4	216
96 年	1488	62	1426	305	4	301
97 年	1478	51	1427	289	7	282
98 年	1746	545	1201	259	35	224
總計	6,454	810	5,644	1,255	54	1,201

## B. 船旗國

船東因為經濟、政治或軍事利益而懸掛外國旗，而此類國家通常安全標準較低且管理鬆散，2010 年聯合國貿易暨發展會議年報指出前三大船旗國，第一名為巴拿馬，權宜旗船隊共有 8,100 艘，以載重噸 288.7 百萬噸，佔世界總噸位 22.63%，載重噸一年內成長 5.4%；第二為賴比瑞亞，權宜旗船隊共有 2,456 艘，以載重噸 142.1 百萬噸，佔世界總噸位 11.14%，載重噸成長 12.8%；第三為馬紹爾群島，權宜旗船隊共有 1,376 艘，以載重噸 77.8 百萬噸佔世界總噸位 6.1%，載重噸成長 13.7%，此三大船旗國亦為權宜船籍國。

國際運輸勞工聯盟 (International Transport Workers' Federation；ITF)指出 32 個權宜船籍國家如表 6-24 所列，以美洲佔最多，有 13 個國家被列為權宜船旗國，其次為歐洲有 10 個國家被列入。表 6-25 列出進入臺中港船舶船型，與篩選後為權宜船旗之艘次，由表可知 94 至 98 年度由高風險港口入港之船舶艘次，有一半懸掛權宜船旗。以 98 年為例，1,746 艘次中就有 856 艘次懸掛權宜船旗，其中以懸掛巴拿馬旗之船舶最多，由圖 6-28 可得知，懸掛巴拿馬旗之船舶逐年增加，其次為賴比瑞亞亦緩慢成長，其他船旗國變動較穩定。由圖 6-29 可知，進入臺中港船舶懸掛權宜船旗之船舶佔一半以上，佔 33%的巴拿馬最多，其次為賴比瑞亞佔 11%，第三為塞浦路斯、馬紹爾群島與貝里斯各佔 2%，其他非權宜船旗之國家共佔 42%，臺灣船旗則佔其中的 9%。

表 6-24 全球權宜船旗之國家(ITF, 2010)

洲別	國名	英文	洲別	國名	英文
美洲	宏都拉斯	Honduras	亞洲	北韓	North Korea
	巴拿馬	Panama		喬治亞	Georgia
	百慕達	Bermuda(UK)		緬甸	Myanmar (Burma)
	巴哈馬	Bahamas	大洋洲	馬紹爾群島	Marshall Islands
	巴貝多	Barbados		東加	Tonga
	貝里斯	Belize		萬納度	Vanuatu
	開曼群島	Cayman Islands(UK)	歐洲	德國國際船舶	German International Ship
	安地卡及巴布達	Antigua and Barbuda		法國國際船舶	French International Ship
	牙買加	Jamaica		直布羅陀	Gibraltar(UK)
	聖文森	St. Vincent		馬爾他	Malta
	荷屬安地列斯	Netherlands Antilles		塞浦路斯	Cyprus
	玻利維亞	Bolivia	非洲	模里西斯	Mauritius
黎巴嫩	Lebanon	赤道幾內亞		Equatorial Guinea	
柬埔寨	Cambodia	賴比瑞亞		Liberia	
蒙古	Mongolia	科摩洛		Comoros	
斯里蘭卡	Sri Lanka		聖多美普林西比	Sao Tome and Principe	

表 6-25 分析臺中港各船旗國艘次

權宜船籍國	94 年	95 年	96 年	97 年	98 年	總艘次
臺灣	92	71	142	143	100	548
巴哈馬	7	4	20	26	7	64
巴拿馬	199	279	563	522	572	2,135
北韓	6	14	8	9	6	43
安地卡及巴布達	19	10	8	2	0	39
貝里斯	14	30	82	27	0	153
柬埔寨	4	12	30	55	24	125
馬紹爾群島	3	52	38	6	40	139
馬爾他	45	47	1	10	4	107
塞浦路斯	20	17	29	52	20	138
聖文森	32	29	13	6	23	103
賴比瑞亞	63	81	193	199	152	688
蒙古	0	1	3	1	1	6
開曼群島	0	0	1	0	0	1
萬納度	0	0	1	0	0	1
喬治亞	0	0	0	5	7	12
權宜船旗總艘次(未加臺灣)	412	576	990	920	856	3,754
群集分析後艘次	802	940	1,488	1,478	1,746	6,454

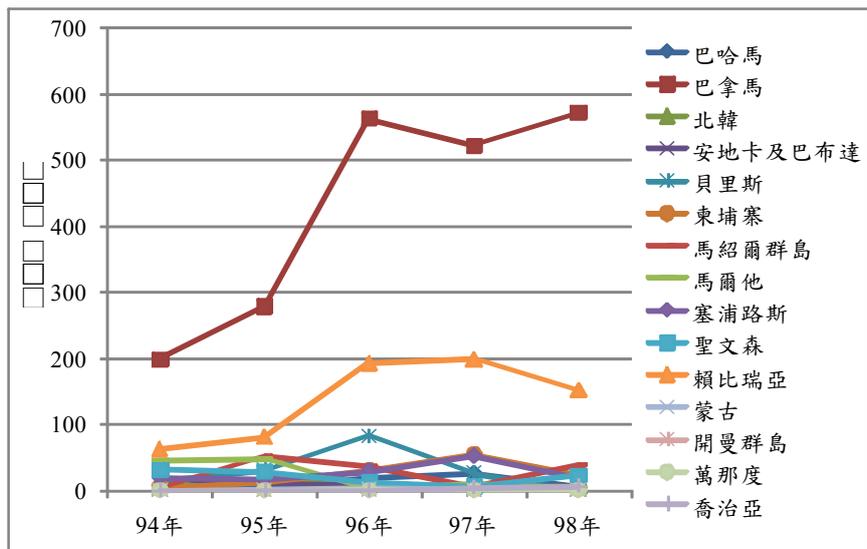


圖 6-28 各權宜船旗國船舶的入港艘次

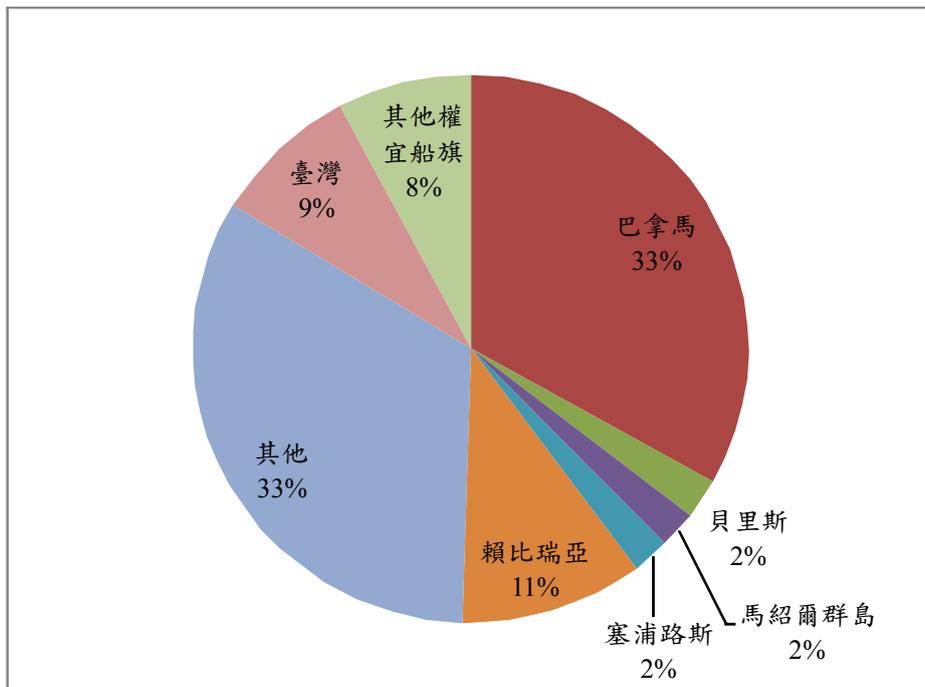


圖 6-29 臺中港船旗國百分比

表 6-26 列出進港船舶船型與船旗國之關係，由高風險港口入港的船舶所懸掛之船旗，在 32 個權宜船旗國中，共有 15 個權宜船旗國家的船舶造訪臺中港，包含美洲的巴哈馬、巴拿馬、貝里斯、開曼群島、安地卡及巴布達等，亞洲有北韓、柬埔寨、蒙古與黎巴嫩，歐洲有馬爾他、塞浦路斯等，非洲有賴比瑞亞、赤道幾內亞等，大洋洲有萬那

度、馬紹爾群島。入港船型中，以貨櫃輪懸掛權宜船旗最多，佔所有權宜船 55.8%，其次為雜貨輪佔 22.5%，第三為散裝輪佔 15.1%。在船旗方面，貨櫃輪、油輪、雜貨輪和散裝輪以巴拿馬旗最多，賴比瑞亞的貨櫃輪居次，其他船型亦以賴比瑞亞居多，此五年間入臺中港之郵輪僅有一艘懸掛巴哈馬旗幟之船舶。整體而言，一半以上的入港船舶皆懸掛巴拿馬旗幟，且有逐年增加之趨勢，入港船型多為主要船型，如貨櫃輪、散裝輪與雜貨輪等。

表 6-26 權宜船旗與船型

權宜船籍國	貨櫃輪	油輪	雜貨輪	散裝輪	郵輪	其他	總艘次
巴哈馬	41	4	10	1	1	7	64
巴拿馬	931	148	535	501	0	20	2,135
北韓	0	0	37	0	0	0	37
安地卡及巴布達	31	0	7	0	0	1	39
貝里斯	0	12	188	9	0	0	209
柬埔寨	0	0	56	19	0	0	75
馬紹爾群島	128	4	3	0	0	3	138
馬爾他	102	4	1	1	0	0	108
塞浦路斯	137	1	0	0	0	0	138
聖文森	73	0	1	29	0	0	103
賴比瑞亞	652	5	1	0	0	30	688
蒙古	0	1	0	5	0	0	6
開曼群島	0	1	0	0	0	0	1
萬那度	0	0	0	0	0	1	1
喬治亞	0	7	4	1	0		12
總艘次	2,095	187	843	566	1	62	3,754
百分比	55.8%	5%	22.5%	15.1%	0%	1.6%	100%

目前已有 27 國簽署壓艙水公約，有阿爾巴尼亞、巴西、埃及、馬紹爾群島、吐窪魯等，佔世界商船總噸位 25.32% (生效須 30 國簽署且

總噸位超過 35%)，其中包含安地卡及巴布達、巴貝多與馬紹爾群島此三個被國際運輸勞工聯盟列為權宜船旗之國家，亦有許多國家國內已擬定管理方法，如最大的權宜船旗國巴拿馬、阿根廷、加拿大、立陶宛、祕魯等 15 個國家。

表 6-27 可知，五年間懸掛權宜船旗的入港船舶共有 3,754 艘次 (788 艘數)，而未懸掛權宜船旗的船舶則有 2,700 艘次 (467 艘數)。顯示臺中港入港船舶有一半以上懸掛管制鬆散的權宜船旗，應加以注意。

**表 6-27 船旗國篩選後之艘次與艘數**

年份	艘次			艘數		
	總艘次	積分 3 分	積分 1 分	總艘數	積分 3 分	積分 1 分
94 年	802	412	390	182	115	67
95 年	940	576	364	220	150	70
96 年	1488	990	498	305	204	101
97 年	1478	920	558	289	177	112
98 年	1746	856	890	259	142	117
總計	6,454	3,754	2,700	1,255	788	467

### C. 壓艙水

本研究使用歐洲模式推估各入港船舶載有之壓艙水量，根據各年度資料計算出各船型之平均載重噸，推算各船型之最大壓艙水櫃容量，藉此推估船上壓艙水量，船舶載有越多的壓艙水，可能排放越多的壓艙水，在水中可能含有大量外來物種，據此推測船舶風險高低。

表 6-28 列出 94-98 年度所有進入臺中港之船舶船型、船舶艘次與推估之壓艙水量。以 98 年為例，入港船舶船型中，貨櫃船高達 1,252 艘次，為所有船舶中入港艘次最多之船型，船上壓艙水載有 232 千噸；其次為散裝輪，共有 260 艘次，船上載有 503 噸壓艙水；雜貨船有 113 艘次，載有 10 千噸的壓艙水。雖然油輪載有大量壓艙水，但因我國為油品輸入國，在靠港時卸下油品需打入壓艙水，而非排放壓艙水，故在我國入港船舶中，以貨櫃輪與雜貨輪為排放壓艙水之兩大船型。

表 6-28 臺中港歷年壓艙水排放量估算

年份	船型	年度進港船舶艘次		船舶載重噸 (平均)	每船最大壓艙水櫃容量 (平均)	最大壓艙水櫃容量占載噸之百分比 (平均)	年度最大壓艙水櫃容量 載重噸	船上壓艙水體積 載重噸%	船上壓艙水量 載重噸
		船舶	%						
94年	貨櫃船	617	76.9	17,771	4,940	27.8	3,048,189	3.5	107,906
	客貨船	0	0.0	353	36	10.1	0	3.5	0
	雜貨船	84	10.5	17,823	5,169	29.0	434,180	3.5	15,370
	散裝船	25	3.1	45,648	1,735	3.8	43,366	0.1	51
	油輪	50	6.2	15,181	5,010	33.0	250,487	3.9	9,754
	郵輪	0	0.0	0	0	5.9	0	1.2	0
	特殊船舶	26	3.3	20,031	1,943	9.7	50,518	1.2	596
	總計	802	100.0						133,677
95年	貨櫃船	673	71.6	18,673	5,191	27.8	3,493,606	3.4	119,481
	客貨船	0	0.0	626	63	10.1	0	3.4	0
	雜貨船	155	16.5	14,855	4,308	29.0	667,720	3.4	22,836
	散裝船	45	4.8	49,418	1,878	3.8	84,505	0.1	96
	油輪	41	4.4	14,293	4,717	33.0	193,384	3.8	7,275
	郵輪	0	0.0	318	19	5.9	0	1.1	0
	特殊船舶	26	2.7	19,275	1,870	9.7	48,611	1.1	554
	總計	940	100.0						150,242
96年	貨櫃船	946	63.6	19,649	5,462	27.8	5,167,451	3.8	196,880
	客貨船	0	0.0	353	36	10.1	0	3.8	0
	雜貨船	312	21.0	12,581	3,648	29.0	1,138,329	3.8	43,370
	散裝船	147	9.8	43,745	1,662	3.8	244,360	0.1	310
	油輪	56	3.8	15,186	5,011	33.0	280,637	4.2	11,762
	郵輪	0	0.0	375	22	5.9	0	1.3	0
	特殊船舶	27	1.8	27,195	2,638	9.7	71,224	1.3	905
	總計	1,488	100.0						253,227
97年	貨櫃船	942	63.7	19,714	5,480	27.8	5,162,623	3.5	178,111
	客貨船	0	0.0	291	29	10.1	0	3.5	0
	雜貨船	318	21.5	10,825	3,139	29.0	998,282	3.5	34,441
	散裝船	132	8.9	43,414	1,650	3.8	217,765	0.1	250
	油輪	57	3.9	16,862	5,564	33.0	317,174	3.8	12,037
	郵輪	0	0.0	308	18	5.9	0	1.2	0
	特殊船舶	29	2.0	17,070	1,656	9.7	48,018	1.2	552
	總計	1,478	100.0						225,391
98年	貨櫃船	1,252	71.7	18,576	5,164	27.8	6,465,488	3.6	232,758
	客貨船	13	0.7	261	26	10.1	343	3.6	12
	雜貨船	113	6.5	8,635	2,504	29.0	282,969	3.6	10,187
	散裝船	260	14.9	42,412	1,612	3.8	419,031	0.1	503
	油輪	94	5.4	16,325	5,387	33.0	506,402	4.0	20,053
	郵輪	1	0.1	16,298	962	5.9	962	1.2	12
	特殊船舶	13	0.7	26,169	2,538	9.7	32,999	1.2	396
	總計	1,746	100.0						263,921

以整體排放量而言，如圖 6-30 所示，貨櫃輪排放量佔總排放量 82%，其次為雜貨輪 12%，油輪佔 6%，但油輪雖為排放量為第三大之船型，但因我國貿易型態之故，為油品進口國鮮少排放壓艙水，故壓艙水排放量以貨櫃輪與雜貨輪為主要排放船型。因此，以貨櫃輪與雜貨輪為排放量大之主要船型，以此兩種船型為高風險船舶，五年間船舶艘次如表 6-29 所示，共有 5,412 艘次 (841 艘數)入港，其他船型船舶則有 1,042 艘次 (414 艘數)入港，顯示排放量大之貨櫃輪與雜貨輪佔入港船舶 84%，故應針對此兩大船型船舶進行抽檢。

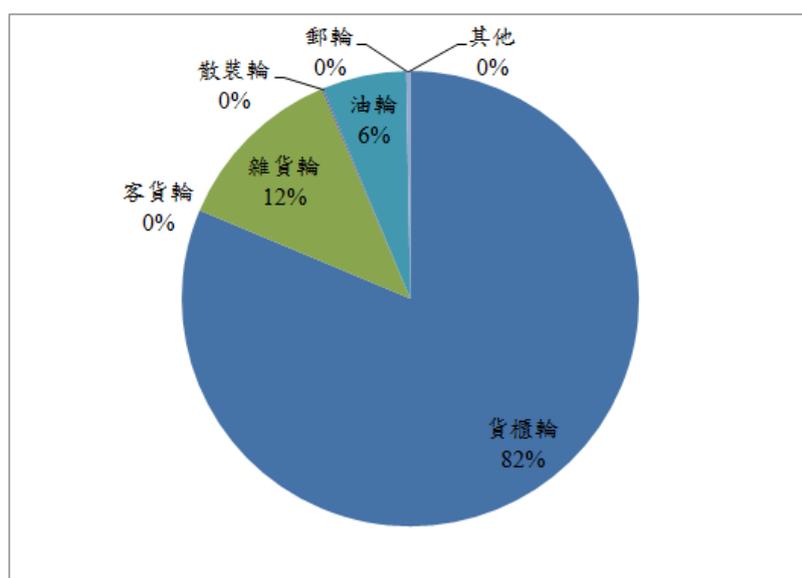


圖 6-30 船舶種類與壓艙水排放量百分比

表 6-29 壓艙水量篩選後之艘次與艘數

年份	艘次			艘數		
	總艘次	積分 3 分	積分 1 分	總艘數	積分 3 分	積分 1 分
94 年	802	701	101	182	108	74
95 年	940	828	112	220	147	73
96 年	1488	1,258	230	305	216	89
97 年	1478	1,260	218	289	197	92
98 年	1746	1,365	381	259	173	86
總計	6,454	5,412	1,042	1,255	841	414

#### D. 入港頻率

雖進港次數與壓艙水量的排放多寡無直接相關，但若入港次數頻繁，將使管理上的困難度增加，風險亦可能隨之提高。表 6-30 列出各年度船舶入港艘次，其中以入港一次的船舶居多，每年皆有一百多艘船舶入港一次，其他船舶入港次數介於 2 至 20 之間，入港次數超過 20 以上的船舶漸減，年入港次數超過 60 次以上，只在 98 年有四艘，表示這些船舶約一星期靠港一次，為近洋航線之船舶。圖 6-31 顯示，在 94 至 98 年間，船舶入港艘次大多在 10 次以內。以 98 年為例，就有 220 艘船入港次數少於 10 次以內；入港艘次介於 11 至 20 艘次的船有 16 艘；入港艘次介於 21 至 30 艘次的船則有 10 艘，隨著次數增加，入港船舶隨之遞減，入港次數介於 31 至 80 次者只剩 13 艘。

表 6-30 各年度船舶進港次數

進港次數	94 年	95 年	96 年	97 年	98 年
1	117	141	152	148	112
2	23	23	42	44	26
3	11	12	22	18	20
4	5	4	8	14	13
5	1	4	10	7	11
6	1	2	3	5	12
7	0	3	7	4	7
8	0	1	11	7	7
9	1	4	6	3	5
10	2	2	12	3	7
11-20	10	14	15	19	16
21-30	4	2	6	3	10
31-40	2	4	6	7	4
41-50	5	3	5	5	4
51-60	0	1	0	2	1
61-70	0	0	0	0	2
71-80	0	0	0	0	2
艘數	182	220	305	289	259

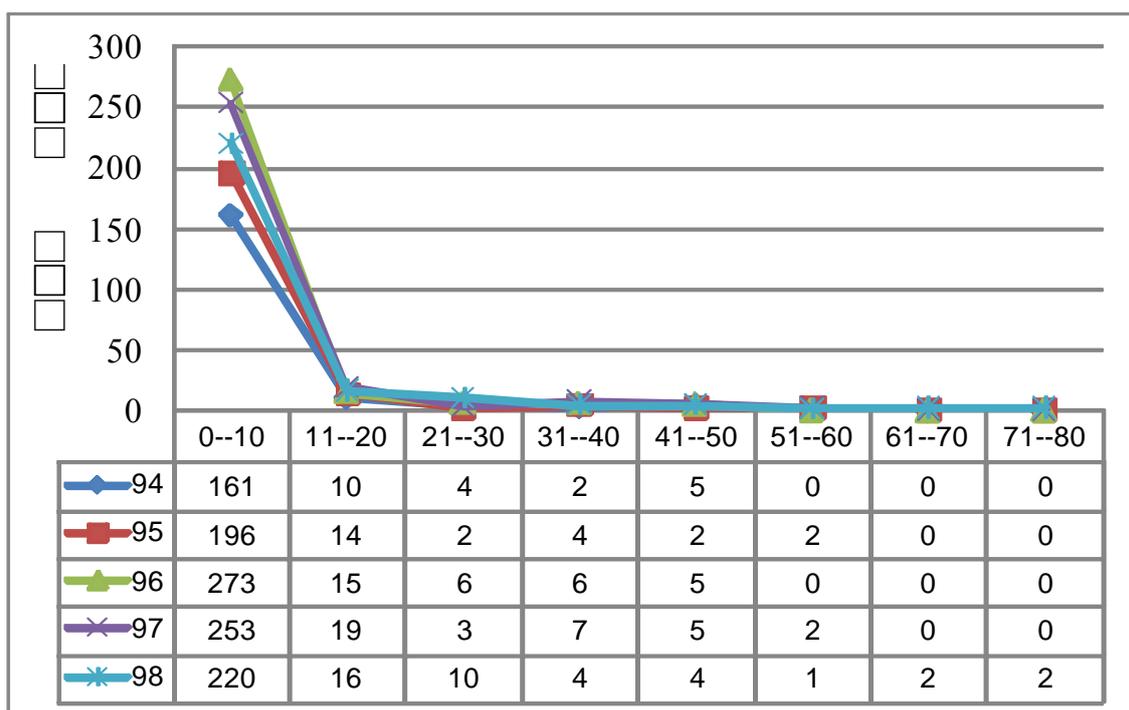


圖 6-31 臺中港 94-98 年度船舶進港艘次

在圖 6-32 顯示，所有入港船型中，以貨櫃船入港艘次居冠，從 94 年的 617 艘次攀升至 98 年的 1,252 艘次，其次為雜貨船，五年間將近 1,000 艘次入港，其後依序為散裝船入港 611 艘次，油輪為 299 艘次，其他類型船舶共為 120 艘次，而客輪與客貨輪只在 98 年有船舶從高風險港口來。表 6-31 將船型、艘次與上一港結合，了解上一港與船型之間的連結，表列港口皆為高風險港口，以船型分析，五年間共有 4,430 艘次的貨櫃輪從高風險港口來，佔 68.6%，其次為入港 987 艘次的雜貨輪，佔 15.2%；以港口而言，五年間共有 5,378 艘次的船舶上一港為香港，佔 83.3%，其次為廈門共有 398 艘次。整體而言，入港船舶以來自香港的貨櫃輪居冠，五年間共入港 3,695 艘次，佔總艘次一半以上，其次為來自香港的雜貨輪共有 942 艘次，第三為來自廈門的貨櫃輪有 359 艘次入港。

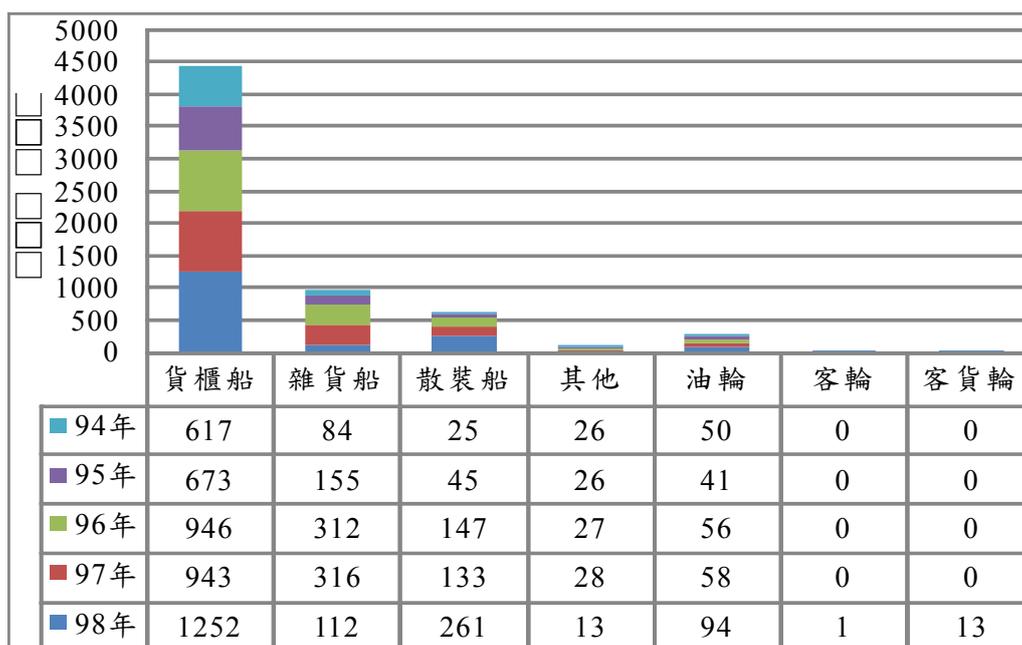


圖 6-32 臺中港 94-98 年度各船型進港艘次

表 6-31 臺中港進港船舶的上一港與造訪次數

港口	油輪	貨櫃輪	其他	散裝	雜貨輪	客貨船	客輪	總艘次
香港	272	3,695	117	351	942	0	1	5,378
澳門	0	17	0	0	0	0	0	17
廈門	0	359	1	17	9	12	0	398
福州	1	212	0	78	5	0	0	296
那霸	8	47	0	0	2	0	0	57
蛇口	1	76	0	0	2	0	0	79
黃埔	0	0	1	0	1	0	0	2
廣州	9	0	2	70	10	0	0	91
赤灣	0	7	0	0	0	0	0	7
寧德	0	0	0	43	9	0	0	52
泉州	3	0	0	0	2	0	0	5
汕頭	0	10	0	0	1	0	0	11
秀嶼	0	0	0	0	0	1	0	1
漳州	1	0	0	44	3	0	0	48
珠海	2	0	0	1	1	0	0	4
虎門	1	0	0	0	0	0	0	1
鹽田	0	7	0	0	0	0	0	7
總艘次	298	4,430	121	604	987	13	1	6,454

表 6-32 列出入港船舶進港次數積分，入港超過 41 次者，亦即約每

十天就靠港一次，有較多機會排放壓艙水，將此列為高風險船舶，五年間共有 1,479 艘次 (30 艘數)；積分兩分者為入港次數介於 21 至 40 次間，亦即十天至兩星期入港一次，五年內共有 1,422 艘次 (48 艘數)；入港次數少於 20 次者為低風險船舶，共有 3,553 艘次 (1,177 艘數)，顯示大部分船舶進港次數多在 20 次以下。

表 6-32 入港次數積分表

年份	艘次				艘數			
	總艘次	積分 3 分	積分 2 分	積分 1 分	總 艘 數	積分 3 分	積分 2 分	積分 1 分
94 年	802	221	172	409	182	5	6	171
95 年	940	194	193	553	220	4	6	210
96 年	1488	217	350	921	305	5	12	288
97 年	1478	337	319	822	289	7	10	272
98 年	1746	510	388	848	259	9	14	236
總計	6,454	1,479	1,422	3,553	1,255	30	48	1,177

#### E. 潛在入侵物種區

外來物種藉由船舶運輸如壓艙水、底泥、船殼纏繞或其他途徑入侵新環境，入侵成功與否端看外來物種對新環境的適應能力。本計畫蒐集相關文獻了解各地發生外來物種入侵情形，並與進入臺中港船舶的上一港進行比較，以環境相似程度評斷外來物種是否容易入侵臺中港區。世界各大港口外來物種入侵造成危害事件頻傳，除聯合國海事組織發佈的十大外來物種外，各地亦紛紛傳出外來物種入侵案例，如表 6-33 所示，列出東北亞近十幾年來外來物種入侵事件，以渦鞭毛藻與矽藻類之物種為主。由表可知，藻華大多發生於中國沿海、南韓與日本南部，其中 *Gymnodinium sp.* 影響遍佈東北亞，造成大量魚類死亡。臺灣 1989 年亦發生過藻華事件。臺灣沿岸生物中，如紫貝 (西施舌貝)、海星、蟹類與螺類等皆發現此種毒素存在，並造成食物中毒，而在所有中毒例都曾食用西施舌貝，且從西施舌貝內檢測出麻痺性貝毒。

表 6-33 東北亞藻華發生地與影響(Landsberg, 2007)

物種	生物致死事件	年份	地點	參考文獻
<i>Alexandrium catenella</i>	造成鰈魚與紅雕死亡	1982	北浦灣、宮崎縣，日本	Ogata and Kodama(1986)
<i>Alexandrium tamaranse</i>	養殖蝦類死亡	1989	臺灣	Su. et al. (1993)
<i>C. marina</i>	魚類	1980s	鹿兒島灣，日本	Onoue et al. (1990)
<i>chattonella antique with fibrocapsa japonica</i>	大量黃尾魚死亡	1987	播磨，瀨戶內海，日本	Okaichi(1989)
<i>Cochlodinium sp.</i>	魚類、養殖石斑等死亡	1990	福建，中國	Qi et al. (1993)
<i>Cochlodinium sp.</i>	魚類死亡	910-1911	橫濱港，日本	Taylor(1964)
<i>Conyaulax polygramma</i>	珍珠牡蠣、扇貝、日本黃花魚、比目魚死亡	1994	宇和島灣，日本	Koizumi et al. (1996)
<i>Gymnodinium sp.</i>	軟體動物	1981	鎮海灣，南韓	Kim(1998)
<i>Gymnodinium sp.</i>	野生與養殖魚類	1984	鹿兒島灣，日本	Onoue et al. (1985)
<i>Gymnodinium sp.</i>	魚類	1985	瀨戶內海，日本	Okaichi(1989)
<i>Gymnodinium sp.</i>	養殖蝦類與魚類	1989	黃華，中國	Xu et al. (1993)
<i>Gymnodinium sp.</i>	比目魚、底棲魚類死亡	1992	南韓的南海	Kim et al. (1995)
<i>Gymnodinium mikimotoi and Gymnodinium sp.</i>	大量養殖魚類、珊瑚鱒魚、石斑魚、紅雕等死亡	1998	南中國與香港	Yang and Hodgkiss (1999), Dickman(2000)
<i>Heterocapsa circularisquama</i>	大量牡蠣、貽貝、片蛤等死亡	1989	福岡灣，福岡縣，日本	Yamamoto and Tanaka (1990)
<i>Heterocapsa circularisquama</i>	36-38%大西洋牡蠣、5-36%珍珠牡蠣、10-55%的地中海貽貝死亡	1995	廣島灣，瀨戶內海，日本	Matsuyama et al. (1997)
<i>Heterocapsa circularisquama</i>	30-98%大西洋牡蠣、50-90%小頸幼貝死亡	1998	廣島灣，日本	Matusyama(1999)
<i>Karenia digitata</i>	養殖魚類紅雕、銼魚、黃尾魚與竹筴魚死亡	1997	日本內海、西日本、香港	Yang et al. (2000)
<i>Noctiluca scintillans</i>	蝦類致病或死亡	1989-1990	河北省，中國	Fengqi(1990), Chen anf Gu(1993), Qi et al. (1993)
<i>Noctiluca scintillans</i>	魚類	1992	香港	Ho and Hodgkiss(1992)
<i>Polykirkoides</i>	魚類	1988	丹東灣，南韓	Kim(1998)
<i>Prorocentrum minimum</i>	魚類	1977	渤海灣，中國	Tseng et al. (1993)
<i>Prorocentrum sp.</i>	魚類	2000	舟山群島，浙江，中國	ICES(2001)
<i>Phaeocystis globosa</i>	60,000 噸的魚類死亡	1997	福建與廣東省，中國	Lu and Huang(1999)
<i>Prymnsium parvum</i>	魚類	1988-1990	山東，中國	Yang et al.(1993)
<i>Prymnesium saltans</i>	魚類	1983-1986	天津，中國	Wang (1992), Edvardsen and Paasch(1998)
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	黃尾魚	1995	鹿兒島，日本	Khan rt al. (1996)

經群集分析篩選後的所有港口皆發生藻華事件，表 6-34 顯示所有船舶皆為高風險船舶，臺中港受藻華入侵機率極高，故針對從這些港口來的船舶優先進行檢驗。

表 6-34 藻華區篩選後之艘次與艘數

年份	艘次			艘數		
	總艘次	積分 3 分	積分 1 分	總艘數	積分 3 分	積分 1 分
94 年	802	802	0	182	182	0
95 年	940	940	0	220	220	0
96 年	1488	1488	0	305	305	0
97 年	1478	1478	0	289	289	0
98 年	1746	1746	0	259	259	0
總計	6,454	6,454	0	1,255	1,255	0

## 2. 分析結果在港口國管制之應用

港口國管制是防止未受妥善管理的船舶進入港口的最後一道防線，一般來說檢查通常是針對於船舶配有的證書及文件進行核對，查看的項目如船舶與船員的實際狀況、機艙配備與住艙設施是否有達到國際要求標準以及基本的船舶衛生條件等，如果船舶上的各項證書齊全且有效，在加上各種檢視範圍皆屬於良好狀態下，便會終止檢查。目前我國港口檢查的內容包含了以下公約協定：《66/88 船舶載重線公約及議定書》(Load Line 66/88)、《69/82 船舶噸位丈量公約》(Tonnage 66/88)、《72/77 國際海上避免碰撞公約》(COLREG 72/77)、《73/78 防止船舶污染公約》(MARPLO 73/78)、《74 海上人命安全公約及 78/88/02 議定書》(SOLAS 74 as amended 78/88/2002 ISPS Code)、《76/81/96 第 174 號商船最低標準公約》(ILO Convention No. 147 76/81/96)、《78/95 海員培訓認證公約》(STCW 78/95)，並依公約內容規劃檢查細項。

目前的管制已經從單國各自訂定擴大到區域性的管制，《東京備

忘錄》便是亞太地區最重要的共管制體系，涵蓋亞太區內 75% 以上的營運船舶總數，雖然台灣目前尚未成為備忘錄體系的一員，但台灣自 2001 年開始執行個別的港口國管制，接受檢查的船數逐年增加，說明了在台灣港口國管制官員在於實際執行檢查層面的成熟度越來越高，能夠更確實掌握船舶違反的項目並且要求進行改善。

由於壓艙水公約尚未生效，我國亦無相關管理壓艙水之國內法，然而為因應國際趨勢及保護我國海域安全，壓艙水之管理實屬必要，在現有港口國管制能量不足之情況下，依風險評估建立船舶壓艙水相關檢查之優先管理順序可達到選擇高風險船舶做重點式管理之近程目標。本研究經上述五項航運因素分析後，如表 6-35 所示，五年間原有 30,808 入港艘次 (7,289 艘數)，經過第一層環境相似度分析後，篩選出 11,160 艘次 (2,679 艘數)；再經第二層群集分析篩選，篩選出 6,454 艘 (1,255 艘數)；最後一層航運因素分析，篩選出 3,657 艘次 (603 艘數)。圖 6-33 以 98 年為例，經過層層篩選，共篩選出 9.3% 的高風險入船舶

目前臺灣港口國管制在 2003 到 2006 年間，基隆、高雄、臺中和花蓮四港，共有 96,188 艘船舶入港，港口國管制官員總共進行 898 次隨機檢查，並擴及 75 國船旗，其中有 461 艘船舶被檢查出有缺失，並有 156 艘船舶遭到扣船 (Chiu, 2008)，四年間檢查船舶數不到 1%。港口國管制官員除了進行安全檢查外，若加入本計畫提出的壓艙水管制，將使港口國管制官員檢查任務更繁重，若參照東京備忘錄所制定之目標，檢查船舶總量 75% 的船舶，在未經篩選前之前，五年間共有 30,808 艘次入港，平均一天入港 17 艘次，若為達成東京備忘錄目標每天需檢查 13 艘，依目前臺中港港口國管制官員人數只有 14 位，尚嫌不足。故根據上述研究方法在壓艙水管制方面篩選受檢船舶數，藉此篩選出高風險船舶，港口國官員將可針對此類船舶進行檢查。經本計畫風險評估流程篩選後，高風險船舶共有 3,657 艘次 (603 艘數)，亦即每年約有 121 艘次高風險船舶入港，港口國管制官員可針對此類船舶進行檢查，減少人力資源的浪費，並可更有效的管理船舶安全維護生態環境。

表 6-35 各項分析之艘次與艘數

	94 年	95 年	96 年	97 年	98 年	總共
原艘次	5,697	5,857	6,462	6,330	6,462	30,808
環境相似度 分析艘次	1,706	1,857	2,456	2,402	2,739	11,160
群集分析艘次	802	940	1,488	1,478	1,746	6,454
五項因素 分析後艘次	449	562	850	802	994	3,657
原艘數	1,419	1,464	1,492	1,492	1,422	7,289
環境相似度 分析艘數	445	490	586	571	587	2,679
群集分析艘數	182	220	305	289	259	1,255
五項因素 分析後艘數	77	110	153	131	132	603

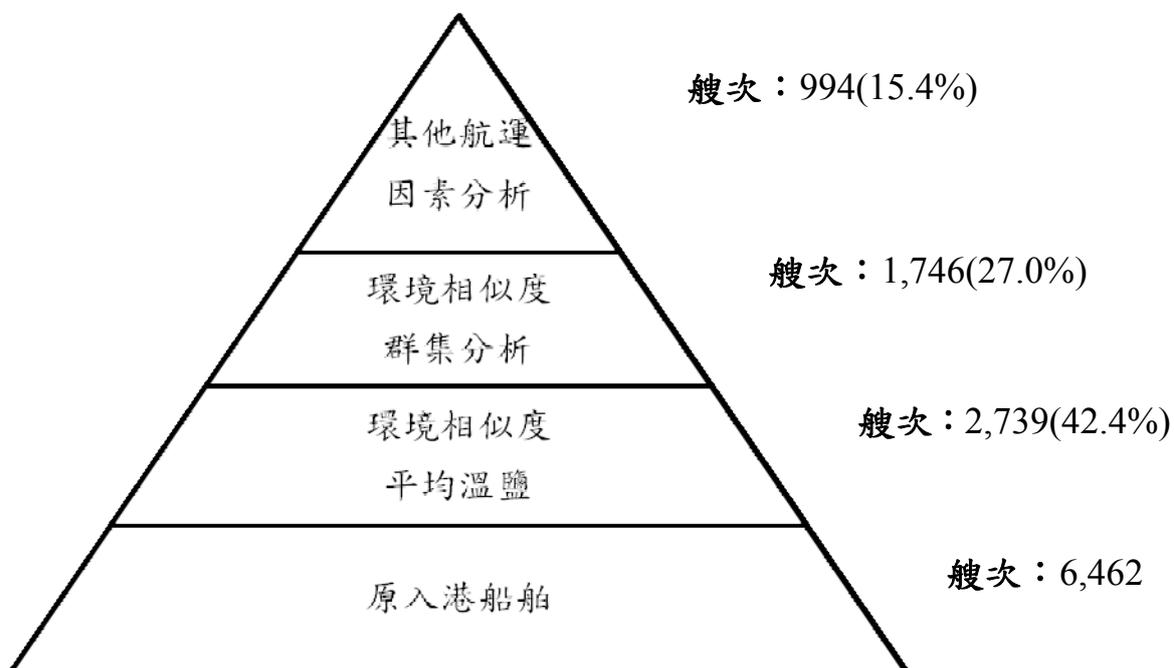


圖 6-33 98 年各項分析結果

## 第七章 飛沙調查分析

### 7.1 觀測地點

為瞭解臺中港北防波堤飛沙淤積情形，本研究將臺中港北防波堤附近海域地形圖區分五個區域，如圖 7-1 所示。區域內分別進行(1) 飛沙高程量測、(2) 含水率量測、(3) H-2 水平式捕沙器量測、(4) 垂直式捕沙器量測，用以建立飛沙移動公式計算風沙移動量。



圖 7-1 北淤沙區飛沙觀測分區圖

### 7.2 觀測器材

飛沙現地試驗所使用之主要器材為風速計、標尺、土壤含水量計、H-2 型水平式沙粒收集器及垂直式沙粒收集器。簡述如下：

#### (1) 風速計：

由於飛沙之發生主要是受到風速影響，以風速計量測風速、風向，以求得飛沙與風速間的相互關係，如圖 7-2 所示。

(2) 木竿量測標尺：

標尺材質為木質，使用量尺劃上刻度，最後噴上防鏽漆製作而成，用在飛沙躍動方面，為進一步瞭解飛沙躍動量，如圖 7-3 所示。



圖 7-2 風速風向計

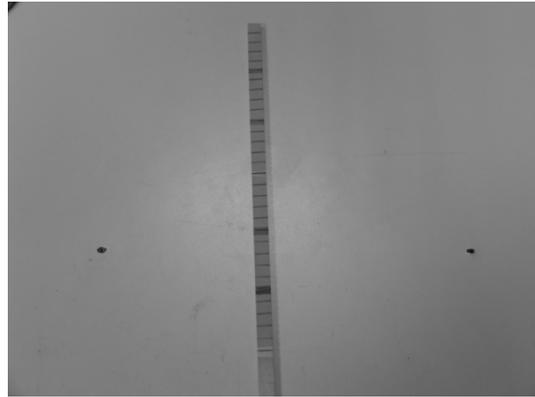


圖 7-3 木竿量測標尺

(3) 土壤含水率計：

沙粒中的含水率是影響飛沙啟動的重要因素，因此使用土壤含水量計有助於瞭解沙灘含水量與飛沙啟動之情形，如圖 7-4 所示。

(4) H-2 型水平式沙粒收集器：

在水平沙粒收集器方面，本研究參考 Horikawa 和 Shen (1960) 之 H-2 型式水平集沙器進行收集。其優點為無擾亂氣流，但是無法收集各剖面之飛沙量，如圖 7-5 所示。水平式沙粒收集器構造，長為 120cm、寬 20cm、深 30cm 之木箱，中間以合板隔成各 10cm 寬之兩格，而上部導風板使飛沙進入箱內後，而不易飛出，箱口兩側加高，以防止側邊飛沙進入，其目的為收集滾動及跳躍型態之飛沙。

(5) BSNE 垂直式沙粒收集器

本研究設計可隨風向改變蒐集飛沙之捕沙器，其目的為垂直方向高度之飛沙以提高集沙效率，施做方法參考吳 (2006) 的方法進行設置。本研究並針對捕沙器進行改良，將以電子設定方式對風速、風向觀測同步擷取現地資料，如圖 7-6 所示，開口寬度設置為寬 4cm、高 8cm，取樣高程設定分別為 0.2m、0.5m、1.0m、1.5m 及 2.0m。



圖 7-4 土壤含水率計



圖 7-5 H-2 型水平集沙器



圖 7-6 垂直式沙粒收集器

### 7.3 觀測過程

為釐清飛沙與海岸漂沙間的相互影響，本研究進行飛沙現地試驗，試驗期間為 2011 年 4 月至 2011 年 10 月，分別進行飛沙含水率試驗、飛沙高程量測試驗、飛沙蒐集試驗。將試驗區域分為五個試驗區，

如圖 7-1 所示，每個區域在向離岸方向上分別擷取 3 至 6 個試驗點進行量測，量測項目為表 7-1 所示。

表 7-1 飛沙試驗測量項目

氣象資料	海象資料	飛沙特性資料
溫度 ( $^{\circ}C$ )	外海風速 ( $m/s$ )	粒徑 ( $mm$ )
大氣濕度 (%)	波高 ( $m$ )	密度 ( $g/cm^3$ )
大氣壓力 (百帕)	週期 ( $s$ )	含水率 (%)
風速 ( $m/s$ )	潮位高程 ( $m$ )	
風向		
空氣密度 ( $g/cm^3$ )		
全天空太陽輻射量		
日照小時數 ( $hr$ )		

### 7.3.1 風速量測

風速與風向為影響飛沙量之主要影響因子，本研究於試驗區域量測點設置風速計，其各層設置位置高度分別為  $0.2m$ 、 $0.5m$ 、 $1.0m$ 、 $1.5m$  與  $2.0m$ 。在沙粒收集器之採集期間，分別記錄不同高度下各層位置之風速與風向，將所觀察之資料利用最小平方法求出迴歸式及相關係數 ( $r$ )，利用相關係數之顯著性判定其迴歸式，藉以瞭解風速垂直分布之特性，並推算各風速之摩擦速度  $U_*$  與粗糙長度  $Z_0$ 。

### 7.3.2 飛沙高程量測

在飛沙躍動的量測方面，本試驗設置六個標尺量測區，如圖 7-7 所示，座標如表 7-2 所示。試驗期間記錄量測前後的標尺高度，用以判斷飛沙累積或侵蝕高程。

表 7-2 飛沙高程量測試驗座標

試驗點	座標
(A) 標尺座標	N: 24° 17' 43.51" E: 120° 30' 59.34"
(B) 標尺座標	N: 24° 17' 46.31" E: 120° 31' 0.69"
(C) 標尺座標	N: 24° 17' 48.98" E: 120° 31' 1.92"
(D) 標尺座標	N: 24° 17' 01.45" E: 120° 31' 02.97"
(E) 標尺座標	N: 24° 17' 54.06" E: 120° 31' 04.00"
(F) 標尺座標	N: 24°17'55.95" E: 120°31'04.78"

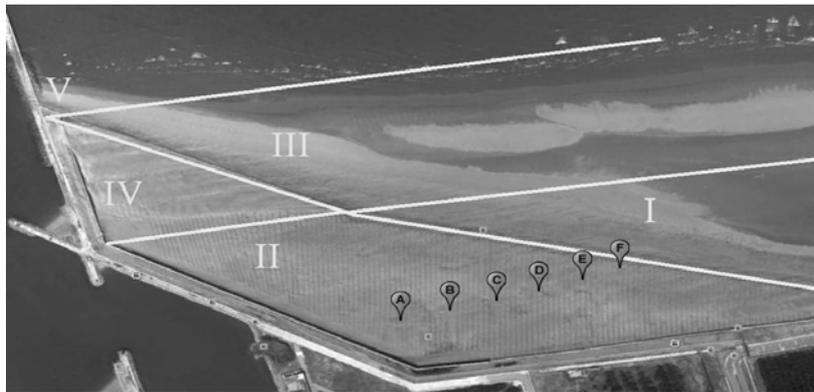


圖 7-7 標尺設置位置圖

### 7.3.3 含水率量測

在沙粒含水率量測方面，於 I 區域分別設置四個試驗點，如圖 7-8 所示，試驗座標為表 7-3 所示。試驗時間為 2011 年 4 月 19 日至 4 月 21 日上午 10:00 至下午 17:00，試驗期間溫度介於 22.8C°~29.1C°，大氣壓力介於 1010.7hpa 至 1015.9hpa，大氣濕度介於 52%~68%，日照小時數為 12 小時情況下進行試驗。試驗結果如圖 7-9 至圖 7-14 所示。由試驗量測資料得知，A 點與 B 點較易受到潮位變化影響含水率較高，然而 C 點、D 點、E 點與 F 點不易受到漲退潮之影響，有較低之含水率值

表 7-3 含水率試驗座標

試驗點	座標
(A) 標尺座標	N: 24° 18' 35.65" E: 120° 31' 27.32"
(B) 標尺座標	N: 24° 18' 21.70" E: 120° 31' 19.77"
(C) 標尺座標	N: 24° 18' 07.25" E: 120° 31' 11.42"
(D) 標尺座標	N: 24° 17' 55.14" E: 120° 31' 04.07"
(E) 標尺座標	N: 24° 17' 50.35" E: 120° 30' 45.99"
(F) 標尺座標	N: 24° 17' 42.69" E: 120° 30' 42.60"

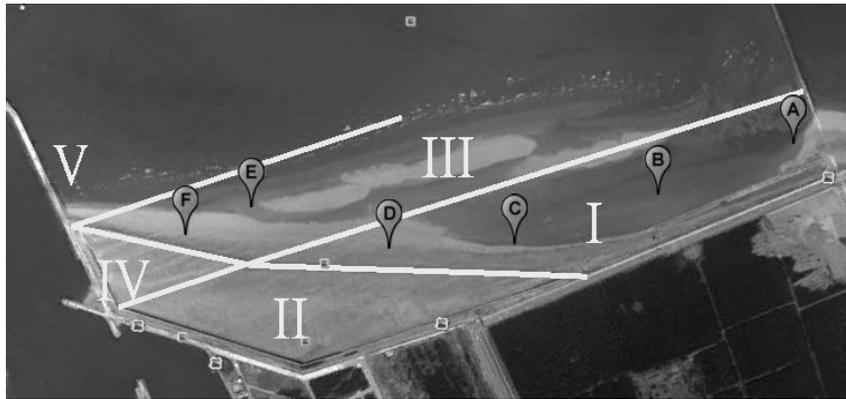


圖 7-8 含水率觀測位置圖

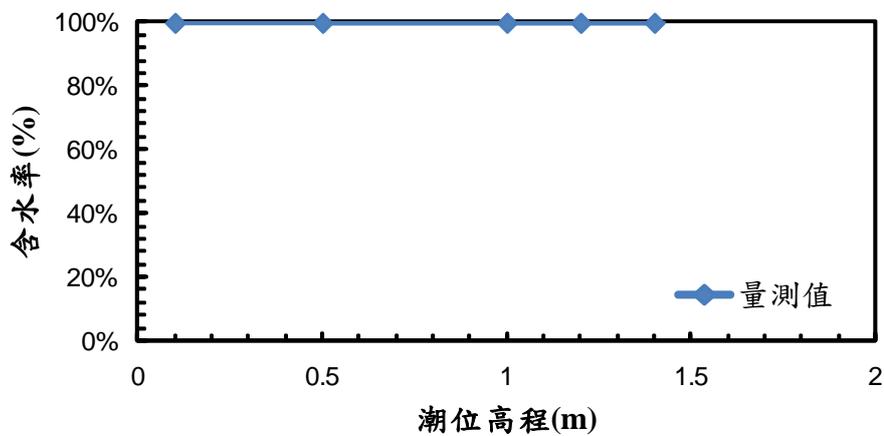


圖 7-9 A 點含水率試驗地點圖

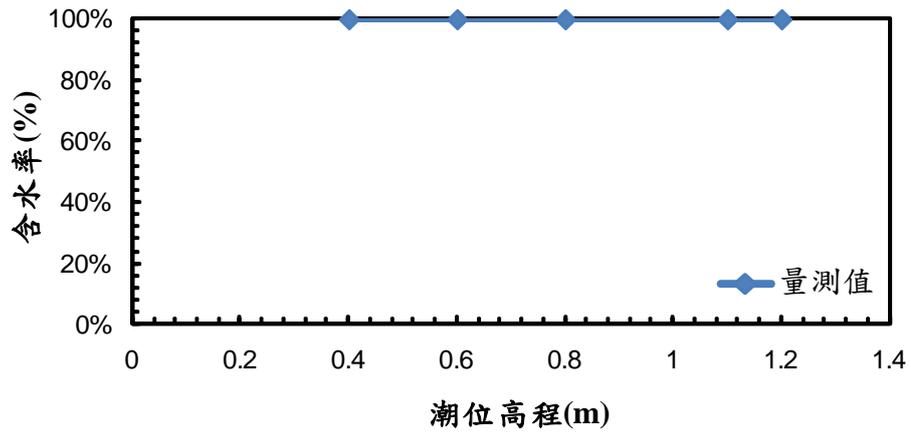


圖 7-10 B 點含水率試驗地點圖

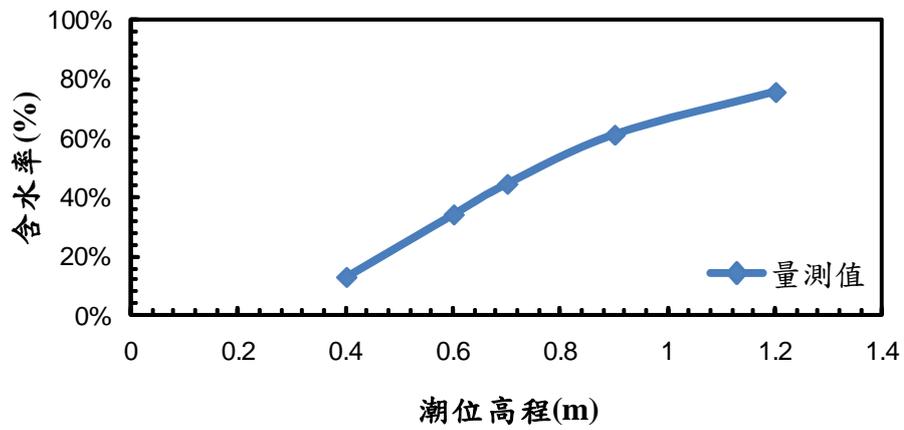


圖 7-11 C 點含水率試驗地點圖

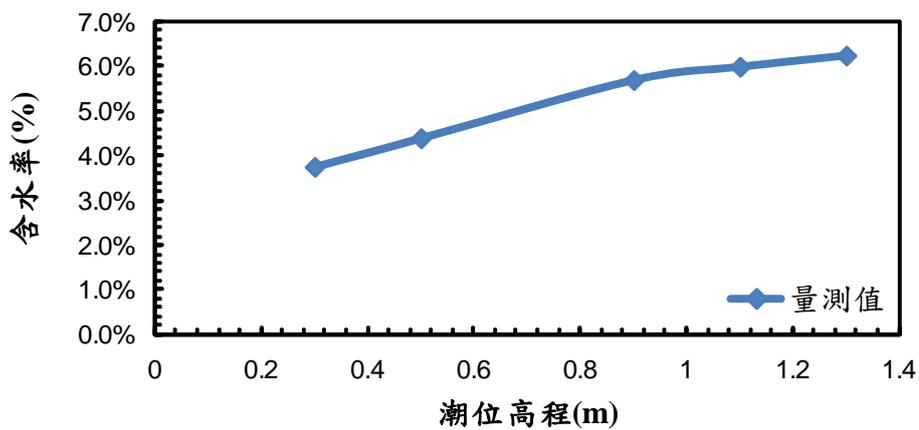


圖 7-12 D 點含水率試驗地點圖

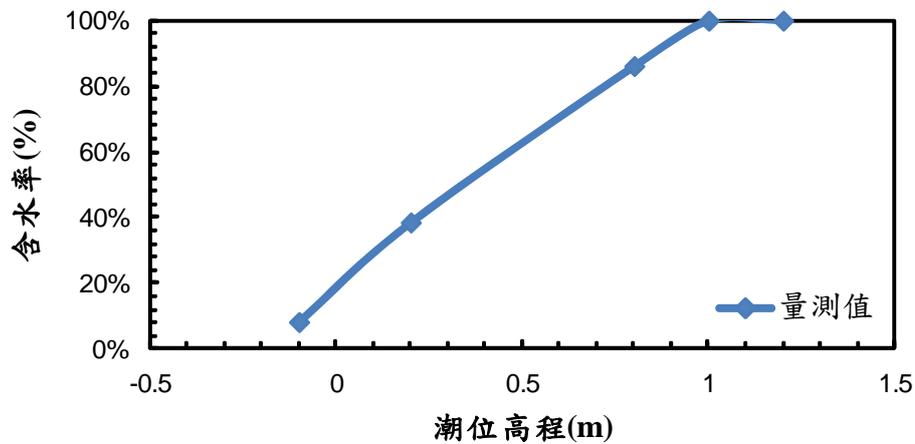


圖 7-13 E 點含水率試驗地點圖

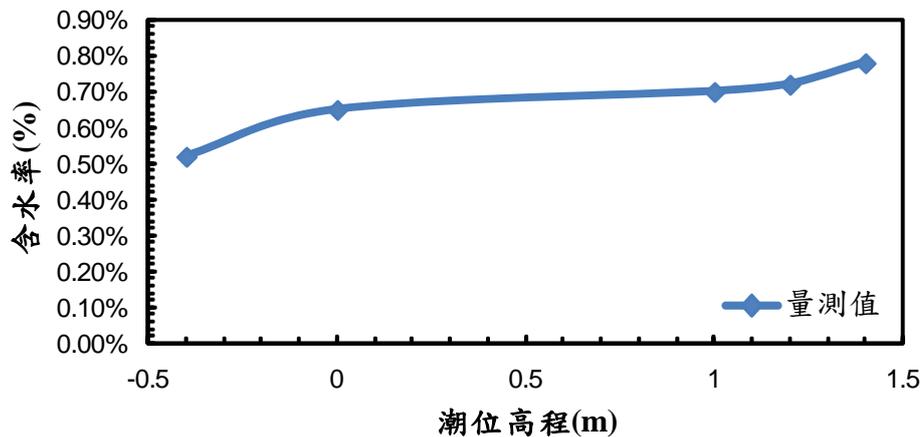


圖 7-14 F 點含水率試驗地點圖

### 7.3.4 飛沙水平及飛沙垂直量測

在飛沙懸浮及跳躍量測方面，本試驗於圖 7-15 試驗區設置垂直式與水平式沙粒收集器。量測飛沙於沙灘表面滾動、躍動與地表上懸浮的飛沙量值，以求得此區域的飛沙特性，將集沙器捕獲到的飛沙風乾後進行篩分析；篩網分別為#10、#20、#40、#60、#70、#80、#100 等篩號，於電子天秤稱重，繪製粒徑分佈曲線圖如圖 7-16~圖 7-18 所示。由試驗結果得知，I 區域沙粒粒徑  $d_{50} = 0.28mm$ ，II 區域沙粒粒徑  $d_{50} = 0.253mm$ ，III 區域沙粒粒徑  $d_{50} = 0.212mm$ 。

表 7-4 H-2 及垂直式試驗座標

試驗點	座標
(A) H-2 型及垂直式捕沙器座標	N: 24° 17' 58.68" E: 120° 30' 59.24"
(B) H-2 型及垂直式捕沙器座標	N: 24° 17' 52.99" E: 120° 30' 56.72"
(C) H-2 型及垂直式捕沙器座標	N: 24° 17' 41.49" E: 120° 30' 52.72"

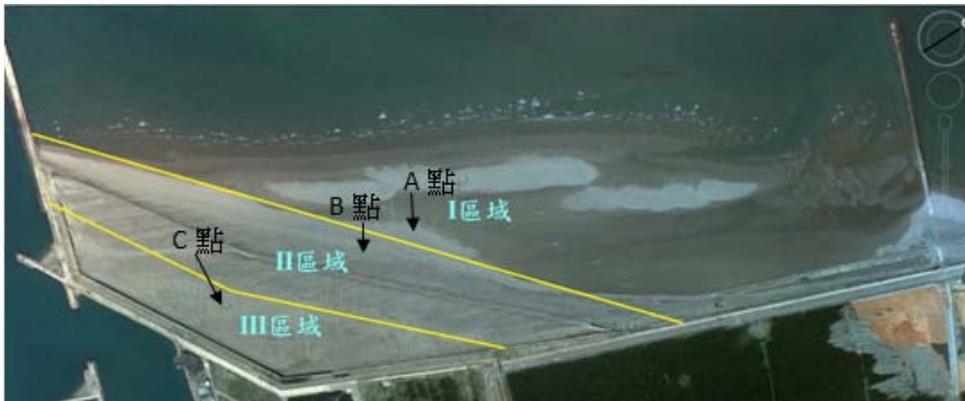


圖 7-15 H-2 及垂直式捕沙器觀測位置圖

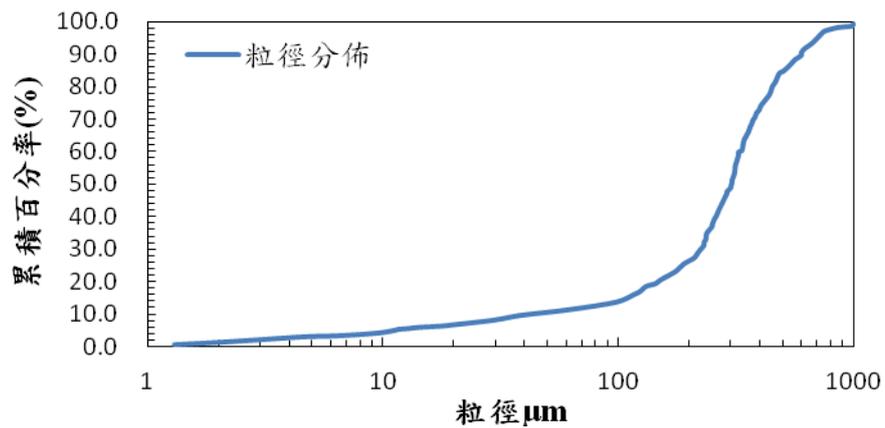


圖 7-16 I 區域沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.28mm$ )

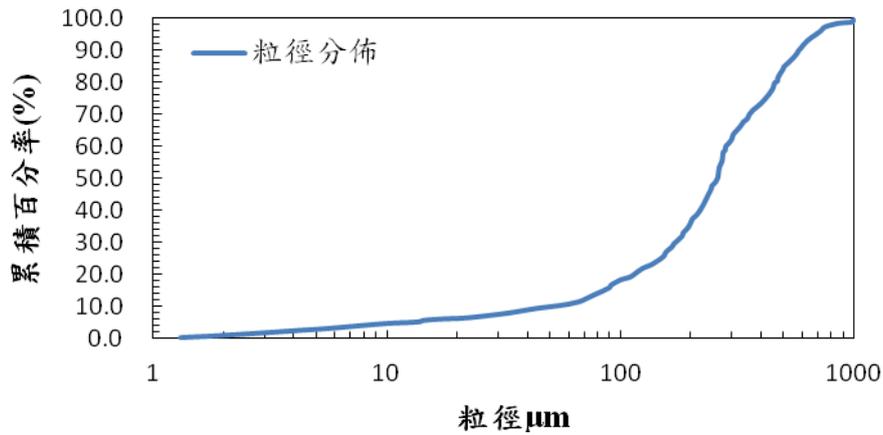


圖 7-17 II 區域沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.253\text{mm}$ )

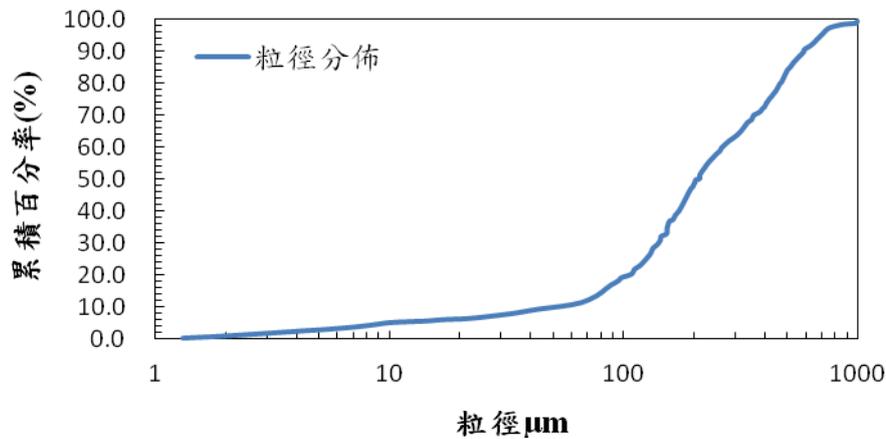


圖 7-18 III 區域沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.212\text{mm}$ )

## 7.4 垂直剖面風速特性

### 7.4.1 垂直風速分析

對於風速之垂直分佈特性，本研究以 Prandtl 之對數法為依據，在大氣中風速  $U$  與高度  $Z$  之關係式為：

$$U = 5.75 \times U_* \log \frac{Z}{Z_0} \quad (7-1)$$

式中  $U_*$  為摩擦風速， $Z_0$  為粗糙長度，然而粗糙係數與沙粒粒徑  $d$  關係

如下：

$$Z_0 = 0.081 \times \log \frac{d}{0.18} \quad (7-2)$$

本研究根據 Horickawa 與 Shen (1960) 現地觀測結果顯示，白天約有 93% 之風速垂直分佈遵循對數法則，然而夜間由於熱氣層出現，對於對數法則無法充分地表現出風速之垂直分佈；因此，本研究針對白天時段進行飛沙觀測試驗。

根據式(7-1)，在不同高度  $Z$  之風速  $U$ ，可求得摩擦風速，風速垂直分佈與高度之對數呈直線關係，如式 (7-3)：

$$U = a + b \log Z \quad (7-3)$$

經由最小平方法求式(7-3)之常數  $a$  及迴歸係數  $b$ 。在 Prandtl 之風速對數法則成立下，由式(7-1)與式(7-3)可得：

$$U_* = \frac{b}{5.75}, Z_0 = 10^{-\frac{a}{b}} \quad (7-4)$$

本研究根據 Prandtl 之對數法則，將吳 (2006) 針對臺中港區所做之試驗與本次試驗所測得之風速風向資料相互比對，並經由對數直線迴歸及相關係數分析所得直線方程式之迴歸係數  $a$ 、 $b$  及相關係數  $r$  分別列於表 7-5。表中之風向都以 N 為主，在飛沙的發生情況下，自地面至高度 2 m 範圍內之風速垂直分佈符合對數函數分布，如圖 7-19 至圖 7-26 所示，故可以此推算摩擦風速及粗糙長度。

#### 7.4.2 風速 $U_{0.2}$ 與摩擦風速 $U_*$ 之影響

往昔學者針對飛沙量之影響因子，都以摩擦風速  $U_*$  代表 (Bagnold, 1954；江和張，1978)，由於前人所做的試驗多為試驗室所的資料，對於野外所得之試驗經由吳 (2006) 研究指出，為此因子將難以表示為風速垂直變化之最好指數。本研究所推算之摩擦風速  $U_*$  與  $U_{0.2}$  風速之關係圖如圖 7-27 所示。圖中顯示，摩擦風速  $U_*$  與  $U_{0.2}$  風速之相關性極低。

因此，本研究以  $0.2m$  高之  $U_{0.2}$  風速作為影響飛沙量傳輸之主要因子。

#### 7.4.3 風速 $U_{0.2}$ 與粗糙長度 $Z_0$ 之影響

在野外地表面主要都以沙粒覆蓋為主，然而地形起伏變化不是差異很大，粗糙長度之變化範圍都在  $10^{-3} \sim 10^{-7} m$  之間，因此粗糙長度對於往後分析上並無太大的影響。本研究之現地粗糙長度，除了兩點測得結果介於  $0.001 \sim 0.0014$  之間外大多低於  $0.0004$ 。本研究對於地表之粗糙長度  $Z_0$  與  $U_{0.2}$  風速建立關係，如圖 7-28 所示。圖中顯示，粗糙長度  $Z_0$  與  $U_{0.2}$  風速並無相關性存在。

表 7-5 風速觀測分析

資料組別		Wind velocity at 5 height					A	b	r	$U_*(m/s)$	$Z_0(m)$	Wind direction
Data	No.	0.2m	0.5m	1m	1.5m	2m						
2005/12/03 (吳, 2006)	1	10.80	11.79	12.73	13.32	14.04	12.856	3.142	0.982**	0.696	8.10E-05	NNW
	2	11.58	12.57	13.30	14.01	14.72	13.551	3.008	0.973**	0.735	3.13E-05	NNW
	3	12.14	12.94	14.32	15.05	15.71	14.410	3.612	0.970**	0.700	1.02E-04	NNW
	4	12.18	13.11	14.29	14.79	15.42	14.296	3.223	0.986**	0.688	3.67E-05	NNW
	5	12.44	13.33	15.02	15.02	15.51	14.431	3.071	0.981**	0.693	2.00E-05	NNW
	6	12.09	13.38	14.14	14.68	15.39	14.261	3.132	0.988**	0.702	2.80E-05	NNW
	7	12.67	13.55	14.40	15.16	15.73	14.616	3.107	0.977**	0.712	1.98E-05	NNW
	8	12.36	13.36	14.20	15.00	15.71	14.465	3.241	0.974**	0.768	3.44E-05	NNW
	9	12.02	13.13	14.35	15.02	15.67	14.420	3.636	0.989**	0.442	1.08E-04	N
2005/12/04 (吳, 2006)	10	10.65	11.85	13.04	13.96	14.71	13.263	4.002	0.983**	0.442	4.85E-04	N
	11	11.08	12.54	13.75	14.50	15.48	13.912	4.227	0.986**	0.650	5.11E-04	N
	12	11.83	12.94	14.20	15.16	15.87	14.423	4.024	0.979**	0.546	2.60E-04	N
	13	11.37	12.93	13.80	14.71	15.46	14.074	3.958	0.987**	0.523	2.78E-04	N
	14	12.00	13.13	14.44	15.23	16.03	14.583	3.985	0.982**	0.628	2.19E-04	N
	15	11.66	12.94	14.05	15.03	15.82	14.326	4.037	0.982**	0.561	2.83E-04	N
	16	11.17	12.57	13.53	14.45	15.49	13.872	4.096	0.971**	0.534	4.10E-04	N
	17	11.32	12.56	14.20	14.71	15.87	14.193	4.418	0.975**	0.545	6.13E-04	N
	18	9.48	10.51	11.11	11.52	12.21	11.215	2.544	0.972**	0.540	3.90E-05	N
	19	9.64	10.42	11.11	11.52	12.49	13.912	2.544	0.975**	0.564	3.40E-06	NNW
	20	9.8	10.42	11.32	11.73	12.42	13.347	3.738	0.978**	0.632	2.69E-04	NNW

表 7-5 (續) 風速觀測分析

Data	No.	Wind velocity at 5 height					a	b	r	$U_*$ (m/s)	$Z_0$ (m)	Wind direction
		0.2m	0.5m	1m	1.5m	2m						
2011/04/19	1	5.63	8.36	9.22	9.37	12.22	9.536	2.394	0.938**	0.416	1.039E-04	N
	2	6.45	8.14	9.79	11.46	14.02	10.69	3.02	0.953**	0.525	2.886E-04	N
	3	5.82	6.62	9.24	13.05	13.59	10.53	3.617	0.936**	0.629	1.227E-03	N
	4	4.09	5.06	6.71	7.11	7.15	6.375	1.461	0.981**	0.254	4.331E-05	N
2011/05/11	5	3.41	3.69	5.81	6.71	8.1	6.033	2.032	0.942**	0.353	1.074E-03	N
	6	4.3	4.85	5.69	6.12	6.71	5.78	1.025	0.981**	0.178	2.296E-06	N
	7	6.2	6.6	7.55	8.44	8.74	7.784	1.157	0.965**	0.201	1.872E-07	N
	8	6.39	6.62	8.25	8.69	9.03	8.098	1.254	0.956**	0.218	3.485E-07	N

$a$ 、 $b$ ：迴歸係數； $r$ ：相關係數；\*\*： $p < 0.01$

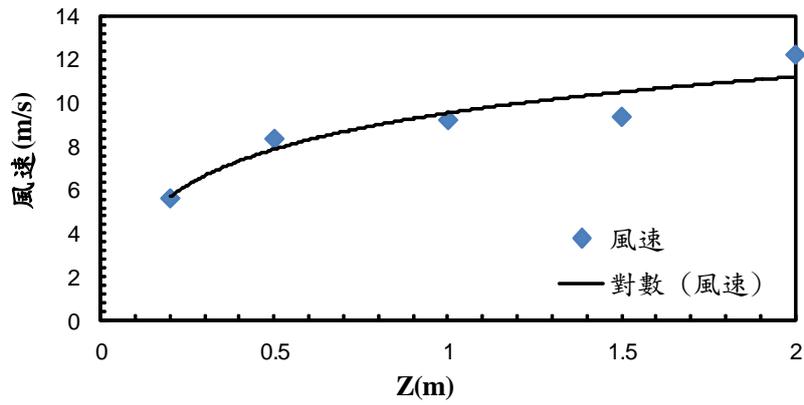


圖 7-19 觀測點 1 垂直剖面風速圖

$$(U = 2.394\log(Z) + 9.537, R^2 = 0.88)$$

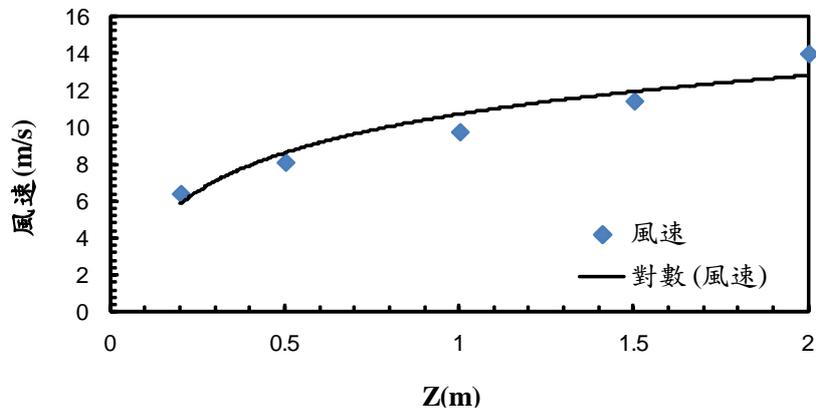


圖 7-20 觀測點 2 垂直剖面風速圖

$$(U = 3.021\log(Z) + 10.699, R^2 = 0.908)$$

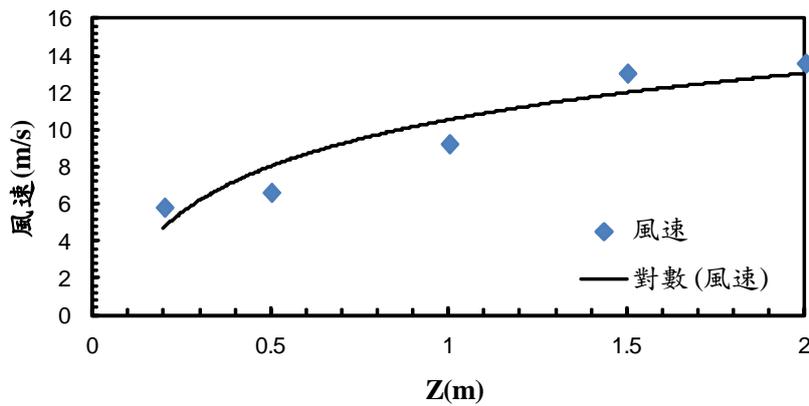


圖 7-21 觀測點 3 垂直剖面風速圖

$$(U = 3.617\log(Z) + 10.535, R^2 = 0.877)$$

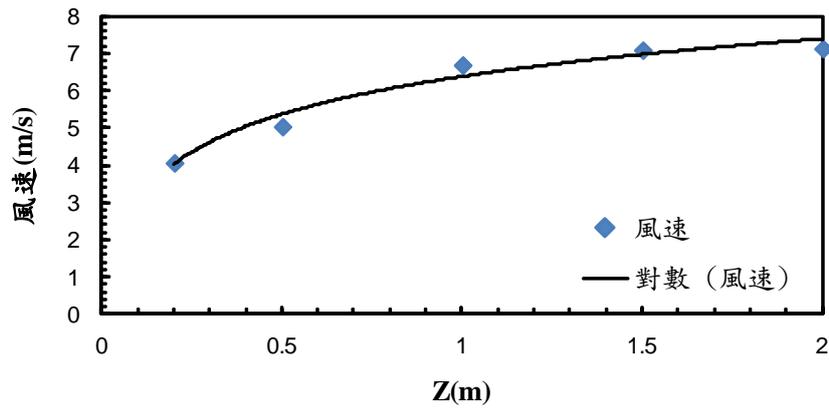


圖 7-22 觀測點 4 垂直剖面風速圖

$$(U = 1.461\log(Z) + 6.376, R^2 = 0.962)$$

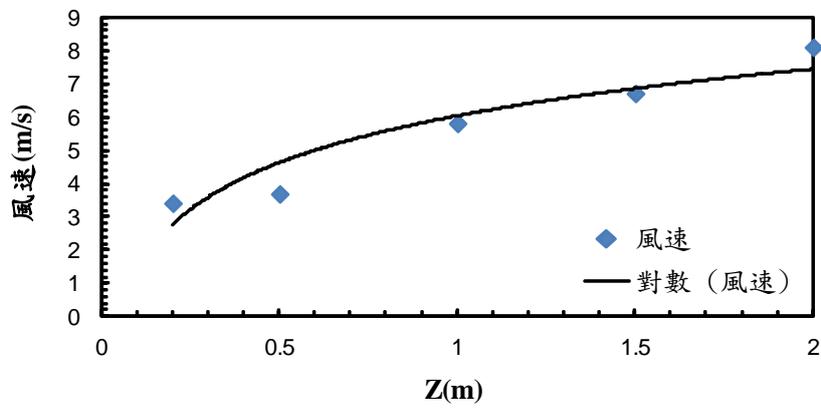


圖 7-23 觀測點 5 垂直剖面風速圖

$$(U = 2.033\log(Z) + 6.034, R^2 = 0.887)$$

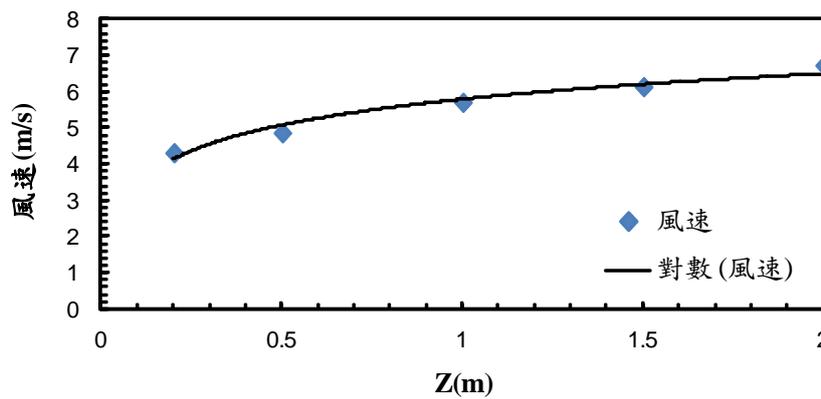


圖 7-24 觀測點 6 垂直剖面風速圖

$$(U = 1.026\log(Z) + 5.581, R^2 = 0.962)$$

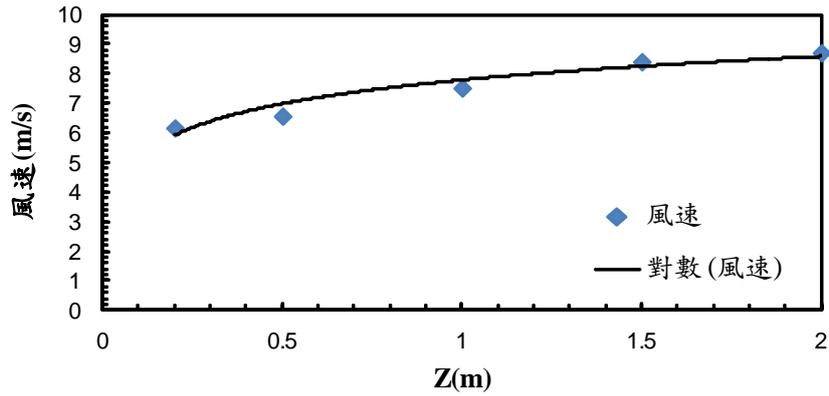


圖 7-25 觀測點 7 垂直剖面風速圖

$$(U = 1.1571\log(Z) + 7.784, R^2 = 0.931)$$

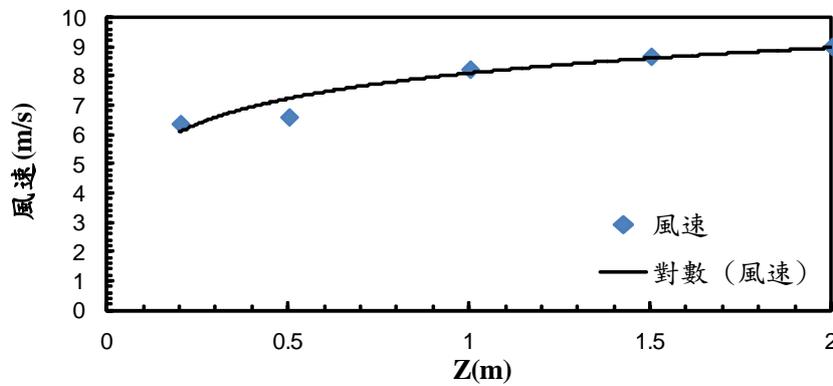


圖 7-26 觀測點 8 垂直剖面風速圖

$$(U = 1.254\log(Z) + 8.098, R^2 = 0.914)$$

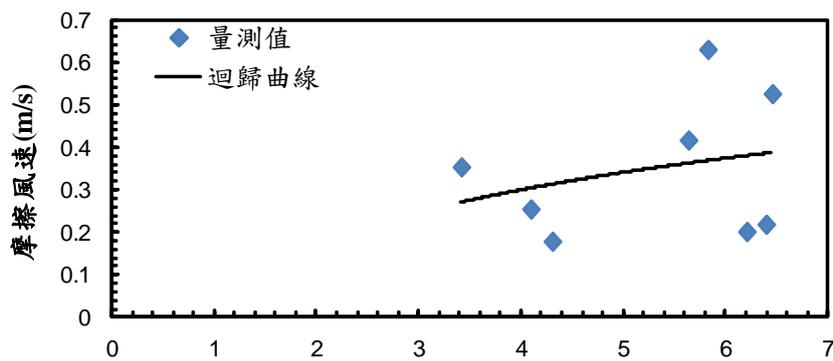


圖 7-27  $U_*$  與  $U_{0.2}$  關係圖

$$(R^2 = 0.0722)$$

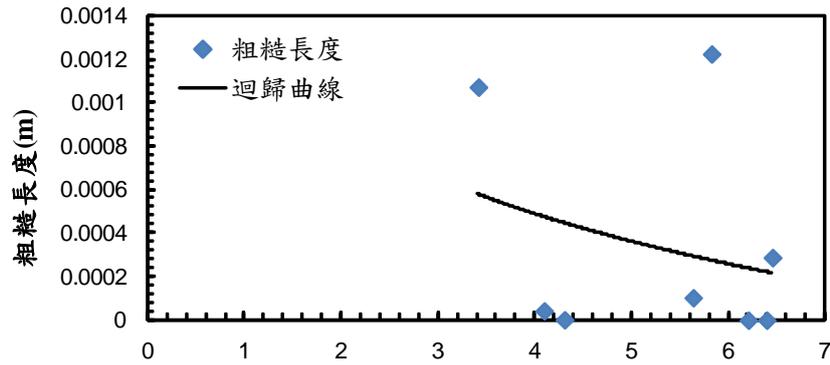


圖 7-28  $Z_0$  與  $U_{0.2}$  關係圖

( $R^2 = 0.0734$ )

## 7.5 飛沙移動特性分析

前述章節中對於摩擦風速  $U_*$ 、粗糙長度  $Z_0$  與  $U_{0.2}$  風速並無良好之對應關係。因此，本研究取  $Z = 0.2m$  高程之風速，作為探討飛沙量之依據。

### 7.5.1 $Q$ 與 $U_{0.2}$ 之關係 (BSNE 垂直捕沙器)

本研究將 BSNE 型捕沙器所收集之飛沙量與風速與前人於臺中港區飛沙試驗資料(表 7-6)總整進行迴歸分析後求得下列關係式:

$$Q = 0.4609e^{0.2398 U_{0.2}}, \quad R^2 = 0.9908 \quad (7-5)$$

式中  $Q$ : 飛沙量 ( $g/m-s$ ) ;  $U_{0.2}$ : 高程為  $0.2m$  之風速 ( $m/s$ )，其關係圖如圖 7-29 所示。圖中顯示， $0.2m$  之風速與水平捕沙器所捕得之飛沙量有良好的指數關係存在，呈現高度的相關性。對於預測滾動及躍動的飛沙具有高度的準確性。

### 7.5.2 $Q$ 與 $U_{0.2}$ 之關係 (H-2 水平捕沙器)

本研究將 H-2 型垂直捕沙器，在  $Z = 0.2m$  所收集之飛沙量與風速與前人試驗資料(表 7-7)，進行迴歸分析後求得下列關係式:

$$Q = 0.5892e^{0.2701 U_{0.2}}, \quad R^2 = 0.9385 \quad (7-6)$$

式中  $Q$ :飛沙量 ( $g/m-s$ ) ;  $U_{0.2}$ :高程為  $0.2m$  之風速 ( $m/s$ )，其關係圖如圖 7-30 所示。經分析後與地表  $0.2m$  風速皆呈現高度相關的指數關係式，對於預測表面運移的飛沙具有高度的準確性。

### 7.5.3 垂直高程與飛沙量關係

由於水平式捕沙器垂直高程剖面變化無法表現，故飛沙量與垂直高程之影響，由垂直式捕沙器作為探討。並將飛沙量與垂直高程  $2m$ 、 $1.5m$ 、 $1m$ 、 $0.5m$  及  $0.2m$  進行迴歸分析後可得以下關係式：

$$Q = 7.375e^{-1.25 \cdot Z} \quad , \quad R^2 = 0.860 \quad (7-7)$$

由上式顯示垂直高程與飛沙量呈現指數關係，且飛沙量之移動範圍在高程  $0.2m$  以下居多，高程高於  $0.2m$  以上則急遽減少。藉由前述章節所得之 2001 年至 2009 年氣象資料，帶入現場觀測飛沙量迴歸關係式，推估臺中港區北淤沙區飛沙量。研究中，考慮各風速區間下所對應之飛沙量，並考慮主要風向 N~E 方向之百分比與非降雨天數於推估關係式中，結果如表 7-8 所示。表中可得以 H-2 水平式捕沙器關係式推估，2001 年至 2009 年飛沙量約在  $29.31 \sim 54.26 \text{ m}^3/m\text{-year}$  之間，平均值為  $20.64 \text{ m}^3/m\text{-year}$ 。若以 BSNE 垂直式捕沙器關係式推估高程  $Z=0.2m$  之沙量，2001 年至 2009 年飛沙量約在  $17.98 \sim 29.65 \text{ m}^3/m\text{-year}$  之間，平均值為  $20.64 \text{ m}^3/m\text{-year}$ 。將垂直分佈曲線帶入關係式中求得垂直分佈之總飛沙量平均約為  $209.207 \text{ m}^3/m\text{-year}$ ，所得結果與吳(2006)推算臺中港北淤沙區實測飛沙估算量，2005 年 11 月至 2006 年 1 月期間堆沙量  $73.568 \text{ m}^3/m$ ，換算後每月約為  $24.52 \text{ m}^3/m\text{-month}$  較本研究換算每月平均  $17.43 \text{ m}^3/m\text{-month}$  高，若只受東風作用下，本研究之飛沙估算量結果相近。

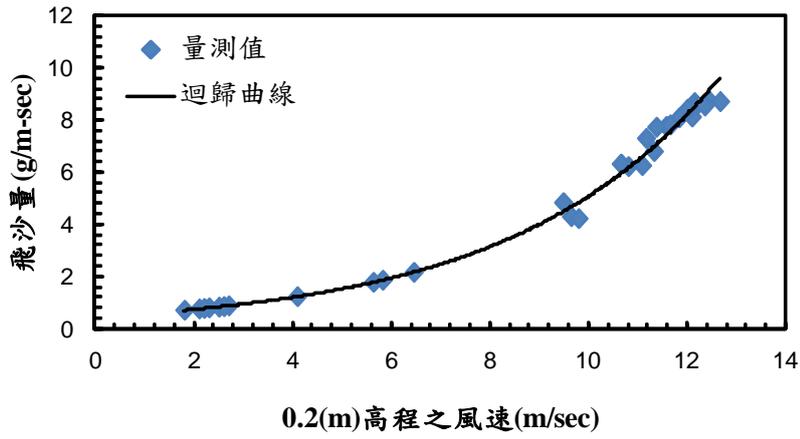


圖 7-29  $Q$  與  $U_{0.2}$  關係圖 (BSNE 垂直式捕沙器)

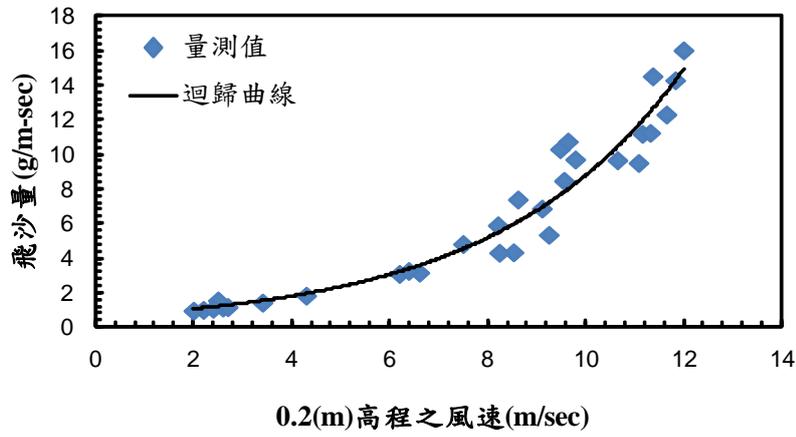


圖 7-30  $Q$  與  $U_{0.2}$  關係圖 (H-2 水平式捕沙器)

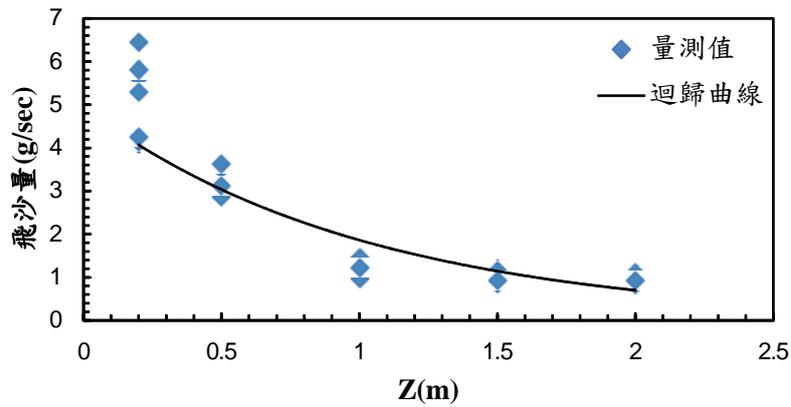


圖 7-31  $Q$  與  $Z$  關係圖 (BSNE 垂直式捕沙器)

表 7-6 BNSE 垂直集沙器實驗資料

BSNE 垂直式捕沙器實驗資料				
飛沙量 ( $g/m-s$ )	沙粒密度 ( $g/cm^3$ )	沙粒含水率 (%)	中值粒徑 ( $mm$ )	$U_{0.2}$ ( $m/s$ )
6.21	2.36	0.13	0.24	10.8
7.75	2.38	0.12	0.23	11.57
8.66	2.23	0.1	0.22	12.14
8.55	2.22	0.1	0.23	12.18
8.74	2.23	0.14	0.22	12.43
8.11	2.1	0.1	0.22	12.09
8.7	2.23	0.09	0.22	12.66
8.53	2.22	0.09	0.23	12.35
8.38	2.22	0.15	0.22	12.02
6.31	2.37	0.13	0.23	10.65
6.25	2.34	0.12	0.22	11.08
8.08	2.2	0.1	0.22	11.83
7.72	2.22	0.1	0.23	11.37
8.41	2.32	0.12	0.22	12
7.81	2.22	0.13	0.23	11.65
7.29	2.44	0.12	0.22	11.16
6.79	2.44	0.14	0.24	11.32
4.83	2.45	0.11	0.26	9.48
4.29	2.44	0.11	0.25	9.64
4.22	2.45	0.13	0.24	9.79
1.78	2.34	0.11	0.24	5.63
2.16	2.44	0.12	0.22	6.45
1.86	2.22	0.15	0.23	5.82
1.23	2.32	0.13	0.22	4.09
0.76	2.37	0.12	0.22	2.1
0.71	2.34	0.14	0.22	1.8
0.8	2.24	0.15	0.23	2.3
0.78	2.22	0.12	0.24	2.2

表 7-7 水平式集沙器實驗資料

H-2 水平式捕砂器實驗資料				
飛沙量 ( $g/m-s$ )	沙粒密度 ( $g/cm^3$ )	沙粒含水率 (%)	中值粒徑 ( $mm$ )	$U_{0.2}$ ( $m/s$ )
9.71	2.44	0.13	0.29	10.65
9.56	2.44	0.12	0.26	11.08
14.34	2.22	0.1	0.27	11.83
14.57	2.3	0.1	0.27	11.37
16.07	2.23	0.12	0.27	12.00
12.36	2.32	0.13	0.27	11.65
11.24	2.33	0.12	0.27	11.16
11.3	2.4	0.14	0.26	11.32
10.35	2.5	0.11	0.26	9.48
10.79	2.4	0.11	0.28	9.64
9.76	2.45	0.13	0.29	9.79
3.21	2.5	0.23	0.29	6.61
4.87	2.35	0.2	0.27	7.5
5.95	2.38	0.15	0.31	8.21
4.39	2.4	0.18	0.27	8.53
4.36	2.5	0.15	0.29	8.24
7.44	2.4	0.11	0.27	8.62
5.4	2.2	0.11	0.31	9.25
6.92	2.3	0.12	0.31	9.11
8.52	2.22	0.21	0.31	9.56
1.48	2.3	0.14	0.29	3.41
1.88	2.33	0.12	0.27	4.3
3.14	2.6	0.11	0.28	6.2
3.31	2.4	0.13	0.26	6.39
1.2	2.22	0.12	0.29	2.6
1.22	2.3	0.14	0.27	2.7
1.6	2.25	0.14	0.29	2.5
1.06	2.32	0.12	0.27	2.2
1.01	2.31	0.18	0.26	2
1.12	2.22	0.15	0.28	2.4

表 7-8 臺中港北淤沙區飛沙量推估

年份	風速 <5 m/s (%)	風速 5~10 m/s (%)	風速 10~15 m/s (%)	風速 >15 m/s (%)	風向 N~E (%)	飛沙量推估 H-2 Z = 0.2m m <sup>3</sup> /m-year	飛沙量推估 BSNE Z = 0.2m m <sup>3</sup> /m-year
2001	53.6	27.5	16.6	2.4	66.2	38.78	22.46
2002	59.2	26.0	8.9	5.9	59.3	32.62	18.93
2003	60.0	26.7	12.5	0.8	62.6	29.31	17.98
2004	57.7	29.6	12.3	0.4	65.2	29.9	18.68
2005	60.2	25.2	13.2	1.4	62.1	33.1	18.63
2006	57.5	28.8	12.0	1.8	64.3	32.59	19.24
2007	59.6	26.3	12.5	1.7	60.6	30.54	18.01
2008	32.2	32.9	15.3	19.7	55.8	54.26	29.65
2009	60.6	21.2	11.6	6.4	65.2	38.6	22.1
平均	55.6	27.1	12.8	4.5	62.4	35.53	20.64

## 第八章 飛沙防治對策評估與研擬

### 8.1 飛沙防治工法

#### 8.1.1 定工沙管

定工沙管為近年來被使用於海岸侵蝕的海灘工法，此工法常配合突堤、離岸堤、岬灣控制或其他工法實施，為近年海岸防護工程之趨勢，主要用途為海岸保護，塑造沙灘或維持沙灘之穩定，如圖 8-1 所示。本研究應用此工法於潮間帶明顯之海灘地形上，使其增加沙地的含水率。

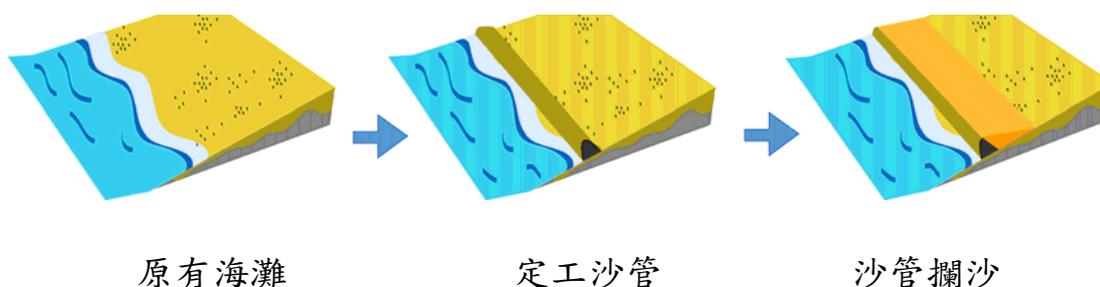


圖 8-1 定工沙管示意圖

#### 8.1.2 編籬定沙

編籬定沙一般為人工構造物定沙工，其目的在於攔截沿岸飛沙，增加沙丘的高度及寬度，如經費受限，可用細樹枝、竹片或梢料作為編籬定沙（如圖 8-2 所示），在飛沙旺盛的海岸，可形成定沙造灘。

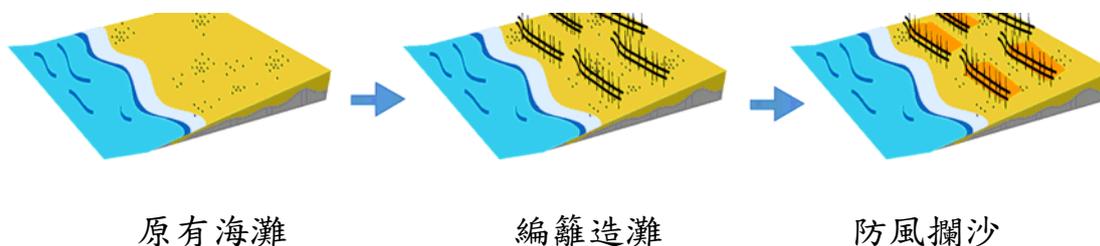


圖 8-2 編籬定沙示意圖

### 8.1.3 植栽定沙

植栽種類為海岸種植耐鹽性植物，經一段時間長成後，灘地日漸增高，形成沙丘灘岸，可作為減緩潮浪災害之防護。臺灣海岸之定沙植物常見者有林投、菅草、黃槿、馬鞍藤、狗牙根及木麻黃等，能產生有效的攔沙護岸作用，此外，海岸林是內陸之屏障，可穩定海岸線(如圖 8-3 所示)。



圖 8-3 植栽定沙示意圖

### 8.1.4 圍堤造地工程

圍堤造地工程為將原有之灘地或海域先以圍堤方式將區域圍繞，在進行圍堤區域的填補，進行灘地的造地工程。台灣沿海地區所使用的案例有：臺中港北側填方區為台灣早期之圍堤造地設計、林口灰塘、彰化濱海工業區、台塑麥寮濱海工業區等。以圍堤造地方式，將原有之灘地加高，使潮水不易影響高灘地，對灘地進行整治利用。配合植栽等相關措施，以解決飛沙問題，如圖 8-4 所示。



圖 8-4 台塑圍堤造地工程

## 8.2 第二期工程成效與防治效果分析

由於臺中港北淤沙區受到東北季風作用及潮汐所產生廣大裸露沙灘的影響，導致飛沙的運移情況明顯。本研究針對第二期工程的防治成效進行成效檢討。經由地形量測、現地飛沙量測與現地勘查對臺中港的防飛沙設施進行現況成效檢討，如表 8-1 所示：

表 8-1 第二期飛沙防治工程效果分析

防治區域\ 防治成效	飛沙防治設施	成效與防治效果分析
第 I 區	無、擋風牆	此區域沙灘自然裸露，大部分區域內無設置飛沙防治工法於沙灘區域內，導致沙源受東北季風影響，由第 I 區往第 II 區及第 III 區移動或飛離北淤沙區(照片 8-1)。於擋風牆附近處受擋風牆遮蔽影響，風場減弱飛沙於擋風牆附近處產生淤積 (照片 8-2)。
第 II 區	海堤、擋風牆	此區域受海堤高度影響，當風速較小情況下，飛沙經過此區域會淤積於此區域內(照片 8-3)。當風速較大時，飛沙將越過此區域，往第 III 區移動或飛離北淤沙區(照片 8-4 及照片 8-5)。由於風場受海堤高程影響，將致使表面風場入射角度產生些許偏折。於北淤沙區南側海堤，受海堤高程影響，於堤前風場沿著堤體往南偏折，於堤後無明顯遮蔽及堤腳風速增大影響，產生沙床裸露的結果 (照片 8-6)。

<p>第 III 區</p>	<p>編籬定沙、擋風牆</p>	<p>受飛沙防治設施的設置，此區域為北淤沙區定沙的主要區域。受編籬定沙設施的建置，飛沙於表面移動時將被阻擋於編籬定沙區域內(照片 8-7 及照片 8-8)。若風速較大時，飛沙則以躍動或懸浮方式往南移動。當編籬定沙設施所淤積的沙量到達飽合時，風場會受擋風牆影響，最後交會於南側的擋風牆附近處。此一現象將導致飛沙最後大量淤積於南側擋風牆(照片 8-9、照片 8-10 及照片 8-11)。當編籬定沙區與擋風牆淤積達飽合情況下，飛沙將繼續往南運移至航道中。</p>
<p>綜合比較</p>	<p>本研究比較第二期工程預期成效與實施結果，防飛沙設施能將大部分的海岸飛沙穩定於北淤沙區間。故可以得知所設置之防飛沙設施能有效的穩定北淤沙區的海岸飛沙於第 III 區域內。但由於第 I 區沙灘並無防飛沙設施，致使海岸飛沙將不斷的產生，而編籬定沙區將不斷的阻擋飛沙運行而最終達到飽和，導致定沙的功能大幅降低。</p> <p>此外，海岸附近的結構物設置（如：海堤與擋風牆）將導致風行進方向的改變，進而影響飛沙移動路徑。當編籬定沙區位設置於非飛沙行進路線時，其定沙效果將不顯著。因擋風牆具有導流的作用，飛沙將被導流至風場交會處（圖 8-5），導致北淤沙區南側擋風牆附近出口處有大量的淤沙情形。當擋風牆堤址處的飛沙達到飽和則飛沙越過此區往港區移動。</p>	

第 I 區照片



照片 8-1 第 I 區沙灘 (2011/10)



照片 8-2 第 I 區擋風牆附近處淤沙區 (2011/10)

第 II 區照片



照片 8-3 第 II 區海堤前方 (2011/10)



照片 8-4 第 II 區海堤後方（向海）（2011/10）



照片 8-5 第 II 區海堤後方（向岸）（2011/10）



照片 8-6 第 II 區海堤後方遮蔽區（2011/10）

第 III 區照片



照片 8-7 第 III 區編籬定沙區前方 (2011/10)



照片 8-8 第 III 區編籬定沙區 (2011/10)



照片 8-9 第 III 區北防波堤堤址處 (2011/10)



照片 8-10 第 III 區擋風牆積沙區 (2011/10)



照片 8-11 第 III 區擋風牆牆角淤沙區 (2011/10)

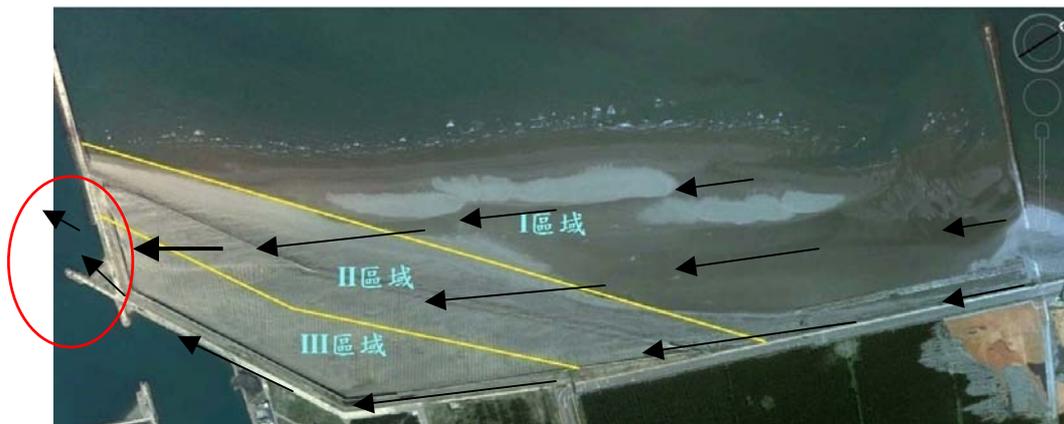


圖 8-5 海岸結構物與風場作用示意圖

### 8.3 第三期整治方案預期成效

依「臺中港整體規劃及未來發展計畫（96年至100年）」，北淤沙區第三期整治工作原預定在98年至100年間執行，臺中港務局採柔性海岸工法，配合自然漂飛沙現象進行漂飛沙整治。主要工程期程如下：

#### （一）2011年完成工程：

臺中港務局於2011年12月完成北防沙堤延長工程，循原堤體離岸方向向外海延長300m，以提高北淤沙區攔阻漂沙能力。並在現有之二期整治區辦理防風林植栽工程，採中央高、四周低的方式，地面推整完成後全區設置竹籬定沙，如照片8-12所示。



照片 8-12 第三期工程編籬定沙區 (2011/10)

完成於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄，於北防波堤堤頂處設置一道長防風柵欄，其現況如照片8-13所示。防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防堤堤後港池及二期整治區內，形成灘地竹籬設施後側之飛沙防護線。

#### （二）2012年預計完成工程：

臺中港務局預計定於2012年進行植樹工作。竹籬、植草及植林，

竹籬設置原則上採 1m 高竹籬、間距 10m 為主要配置，另再視區位特性搭配 2m 高竹籬分區交錯配置以增強定沙能力，配置走向採與風向垂直，竹籬間植草原則上採馬鞍籬、濱刺麥、蔓荊等第一線臨海防風定沙植物混種辦理，植林樹種，前線區域將優先種植木麻黃，較後線區域再搭配黃瑾、草海桐等樹種分區混種。下半年度，完成在北防波堤北側第一道轉折處，朝北向（約與該處漂沙動線垂直）設 1 座長 450m 定沙突堤，以穩定灘地地形並兼具提高北淤沙區攔阻漂沙能力。



照片 8-13 第三期工程於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄 (2011/10)

(三) 2012 年至 2013 年預計完成工程：

臺中港務局預計於 2012 年至 2013 年間完成外圍灘地正辦理灘地整地及定沙工程工作，配合高、低窪地形平順推整，地面推整後，全區再設置竹籬定沙，再於竹籬間植草強化定沙效果，整地後之灘地將高於海水面 8.0m 至 6.5m。

#### 8.4 第三期整治方案效益與適用性評估

本研究對於第三期整治方案進行效益分析與適用性評估，第三期整治方案示意如圖 8-6 所示。防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防堤堤後港池及二期整治區內。由於現階段沙灘區仍未進行任何防飛沙設施的工法，故此片廣大的沙灘將仍會帶給北淤沙區充足的飛沙

來源。如照片 8-14 所示。在設置防風柵欄後，將可有效的阻擋飛沙飛入港池，若未設置，則飛沙將因擋風牆導流作用影響，匯集於北防波堤址附近處而後飛入港內，如照片 8-14 至照 6-17 所示。

第三期工程規劃北防波堤堤頂處設置長防風柵欄，此設施將可有效的阻擋飛沙於北防波堤前，但由於此設置區域為飛沙於此區域運移的最終路徑，飛沙將於此處快速匯集，當淤積到達一定高度時（如照片 8-18 所示），飛沙將順著地形飛越擋風牆進入港池，對港池造成影響。

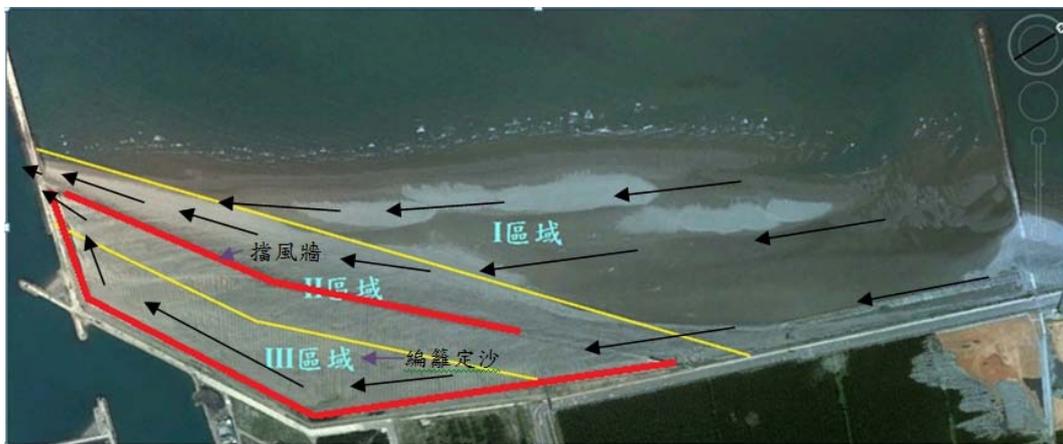


圖 8-6 第三期工程海岸結構物與風場作用示意圖



照片 8-14 第三期工程沙灘區現況 (向海) (2011/10)



照片 8-15 第三期工程北防波堤現況 (2011/10)



照片 8-16 第三期工程北防波堤現況 (向岸) (2011/10)



照片 8-17 第三期工程北防波堤與海堤交界處 (2011/10)



照片 8-18 第三期工程北防波堤堤址處淤沙 (2011/12)

## 8.5 防治對策研擬

綜合上述第二期與第三期工程的防飛沙設施與設置，本研究對上述工程提出兩種防治對策方案，並評估其防治後的效益。其防治對策如表 8-2 所示：

表 8-2 飛沙防治對策方案

方案	防治對策
零方案	第三期工程防治設施
方案 1	第三期工程灘地整地後之海域重新形成廣大沙灘後，再進行圍堤造地工程
方案 2	第三期工程灘地整地後之海域重新形成沙灘後，沙灘成長緩慢，則於高潮位設置灑水設施，低潮位設置地工沙管

所提方案中，零方案為目前第三期工程所設置之飛沙防治措施，如 8.3 節所述。方案 1 為第三期工程灘地整地後之海域重新形成廣大沙灘後，以圍堤方式將灘地墊高，進行圍堤造地，其示意如圖 8-7 所示。方案 2 為第三期工程灘地整地後之海域重新形成沙灘後，沙灘成長緩慢，高潮位位置處設置灑水設施，並於低潮位位置沿沙灘設置平行岸

線的地工沙管，增加沙灘大面積的含水率，設置如圖 8-8 所示。



圖 8-7 方案 1 防治對策示意圖

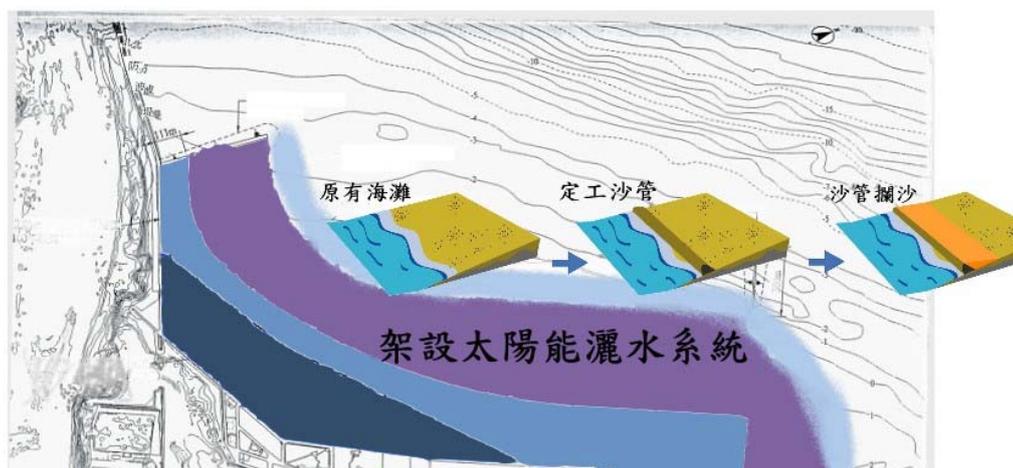


圖 8-8 方案 2 防治對策示意圖

各改善方案優缺點比較表如表 8-3 所示：

表 8-3 整治方案優缺點比較表

方案 \ 優缺點	優點	缺點
零方案	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 擋沙牆將可有效的阻擋飛沙於北防波堤前。</li> <li>2. 擋風牆間之編籬定沙區應可有效的使飛沙</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 若沙灘區在未完成防飛沙設施的工法前，廣大的沙灘將仍會帶給北淤沙區充足的飛</li> </ol>

	<p>沈積於此區域。</p> <p>3. 防風柵欄的設置可有效的使飛沙不易飛離此區域。</p> <p>4. 整地後之地形，將不受到潮汐作用影響，可有效進行植栽，達到飛沙整治效果。</p>	<p>沙來源。</p> <p>2. 北防波堤堤址為飛沙運移最終路徑，可能將導致飛沙於此處快速淤積，當淤積到達一定高度時，飛沙將順著地形飛越擋風牆進入港池，對港池航道造成影響。</p> <p>3. 受大甲溪沙源供給影響，在興建定沙突堤將使灘地整地後之海域，重新形成沙灘。</p>
方案 1	<p>1. 圍堤造地工程可將區域內的灘地獲得完整的利用，並對灘地進行植栽。</p> <p>2. 可解決目前因沙地裸露所造成的飛沙問題。</p> <p>3. 此一工法在臺中港區已使用，並植栽防風林獲得良好成效。</p>	<p>1. 圍堤造地工程對海域地形及灘線將造成影響，需進行細部評估。</p>
方案 2	<p>1. 高潮位區域設置灑水裝置可有效保持沙灘含水率。</p> <p>2. 於低潮位區域設置地工沙管可有效截流，保持沙地的含水率。</p> <p>3. 對於上游端的沙源可減少飛沙量的產生。</p>	<p>1. 由於沙灘面積大，所需成本較高。</p> <p>2. 需考慮低潮位線設置時工法時地工沙管在波浪作用下的穩定度。</p> <p>3. 灘地將持續擴增，飛沙問題仍持續發生。</p>

	4. 可保有沙灘的原貌，使沙源穩定於沙灘上。	
--	------------------------	--

綜合上述整治方案，建議在原有的零方案上基礎上進行防治對策。若第三期工程灘地整地後之海域重新形成廣大沙灘後，灘地快速增加，則以方案 1 作為飛沙防禦對策，考慮以圍堤造地方式，對沙灘區進行整治。若第三期工程灘地整地後之海域重新形成沙灘後，灘地成長速度緩慢，則以方案 2 作為飛沙防禦對策。沙地的含水率為飛沙啟動時所需的限制條件，當含水率增加時飛沙啟動不易，故可有效的將沙源固定於沙灘上。配合沙地含水率的監測，啟動灑水設施及設置地工沙管方式讓沙灘在潮水退去時海水不致快速流失，將可減緩沙地因太陽日照與風吹襲所產生的水份蒸散，將沙源穩定於沙灘上。

## 第九章 系列潛堤保護工法特性探討

近年來海岸侵蝕及淤積問題持續威脅臺灣海岸，傳統海岸保護工法如護岸、突堤、離岸堤等，設置的原理為與侵襲的波浪作直接的抵抗，其短期間雖能達到海岸保護的目的，但經過長時間與波浪互制作用後，結構物本身常易遭破壞崩塌，在海岸保護結構物海域以及鄰近地區亦常發生侵蝕或淤積的近岸地形變遷，此外，堤體多為混凝土材料組成的結構物，佈置突出於海面，影響自然的海岸景觀並妨礙民眾親水遊憩。離岸潛堤工法，為近年來臺灣保護海岸所常用之方法，其設置潛沒於海水面，利用波浪通過潛堤堤頂時，因水深變化使波浪碎波，使大部分能量消散於堤頂，以達保護海岸之效果，然波浪直接與堤體接觸，易發生堤體損害的機率。

為達海岸環境保護永續發展的目的，目前世界潮流在海岸保護工法上，均朝能符合防潮禦浪、防止近岸海岸地形變遷、民眾親水以及生態保育等目標作研究、設計以及設置，故近年來許多專家學者均致力於研發各式符合上述功能的海岸保護工法。系列潛堤為符合上述功能的新式海岸保護工法，其工法為二道以上的潛堤平行排列佈置於近岸區，利用布拉格反射(Bragg reflection)的原理，將波浪反射至外海，使透射波能量減小，達到海岸保護的目的。由傳統“線”的保護延展為“面”的保護，亦可防止近岸漂沙進入深水區而造成漂沙永遠流失的侵蝕問題。系列潛堤並非傳統潛堤利用堤頂碎波原理，其佈置位置較傳統離岸潛堤的水深的底床為深（約 8-15 米），就工程觀點而言，此海岸保護工法不與波浪作直接接觸抵抗，為軟性保護工法，且於近岸區作面的保護，有別於傳統限於線的保護，此工法造價雖較高；在環境維護觀點上，此工法潛沒於在水底，並不突出水面，不影響視覺及自然環境景觀；就生態觀點，因堤體佈置的水深、堤體本身以及孔隙，使水質交換較佳，能提供動、植物(如藻類)的生長、保護及繁殖的環境，使海域生態得到保育及復育效果，對維護海岸生態環境具正面的效果。因此於近岸設置系列潛堤，可同時達到海岸保護、自然景觀維護、親水以及生態保育的目的，因此系列潛堤工法近年來被熱切

地研發及並擬應用於海岸現場作為海岸保護結構物。

有關利用布拉格反射效應作為海岸保護的研究，在早期以基本函數地形作布拉格反射效應探討，如正弦形人工沙洲（Heathershaw (1982)、Davies & Heathershaw (1984)、陳 (1991)）、半橢圓形人工沙洲（Kirby & Anton (1990)）、複合式正弦形人工沙洲（Belzons 等人，1991、Guazzelli 等人 (1992)），近年則以較符合實際潛堤形狀之矩形系列潛堤作分析研究（Hsu 等人 (2002)、岳等人 (1997~2000)、Wen & Tsai (2008)）。其中複合式系列潛堤（Hsu 等人 (2003) 及 Tsai 等人 (2008)）改進單一堤距的布拉格反射率帶寬太小，造成應用至現場的限制，但仍侷限在二組堤距。二組以上系列潛堤則由蔡和徐 (2009) 研究發現布拉格反射會發生反射率陡降的特殊現象，以理論解析以及數值模式計算方式得到驗證，此外，蔡和徐 (2010, 2011) 進一步以水工模型試驗加以驗證之並分析其堤後消波效果，由上述研究顯示多組以上複合式系列潛堤的布拉格反射機制更為複雜。

系列潛堤佈置的各項參數改變，將影響對入侵波浪的防禦效果，本研究以簡單計算效率較高的 Miles (1981) 理論模式為基礎，推導計算各項佈置參數組合的效果，再以其中較適當的組合，以較精確的 EEMSE 模式 (Hsu 等人，2003) 計算，探討其波浪反射的效果。

## 9.1 理論模式

Miles (1981) 提出以積分形式方程式描述波浪通過圓柱潛體的反射率，其反射率方程式表示如下：

$$R = \frac{2\alpha}{ik \cos \theta} \left[ (k \cos \theta)^2 - (k \sin \theta)^2 \right] \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) e^{2ik \cos \theta x} dx \dots\dots\dots (9-1)$$

其中  $R$  為反射率， $\delta(x)$  為在  $x$  方向上底床的擾變量， $i = \sqrt{-1}$  為單位虛數， $k$  波數， $\theta$  為波浪入射角， $\alpha$  參數表示如下：

$$\alpha = \frac{k}{2kh + \sinh 2kh} \dots\dots\dots (9-2)$$

本研究系列潛堤的佈置為複合式組合，亦即以 2 組以上每組潛堤為等間距所組成，潛堤形狀為矩形，堤體為不透水，其潛堤佈置示意圖如圖 9-1 所示。系列潛堤由不同群的潛堤所組成，每群內的潛堤間距  $S_j$  相同，其中  $j=1, 2, \dots, J$ ， $J$  為群數（組數），但不同群的堤間距並不完全相同，第  $j$  群等間距潛堤個數為  $N_j$ ，若每一群個數相同則  $N_j = N/J$ ，其中  $N$  為潛堤總個數， $I$  定義為群與群之間的堤距， $I_j$  為第  $j$  群與第  $j+1$  群之組距， $W$  為堤寬， $D$  為堤高， $h$  為水深。

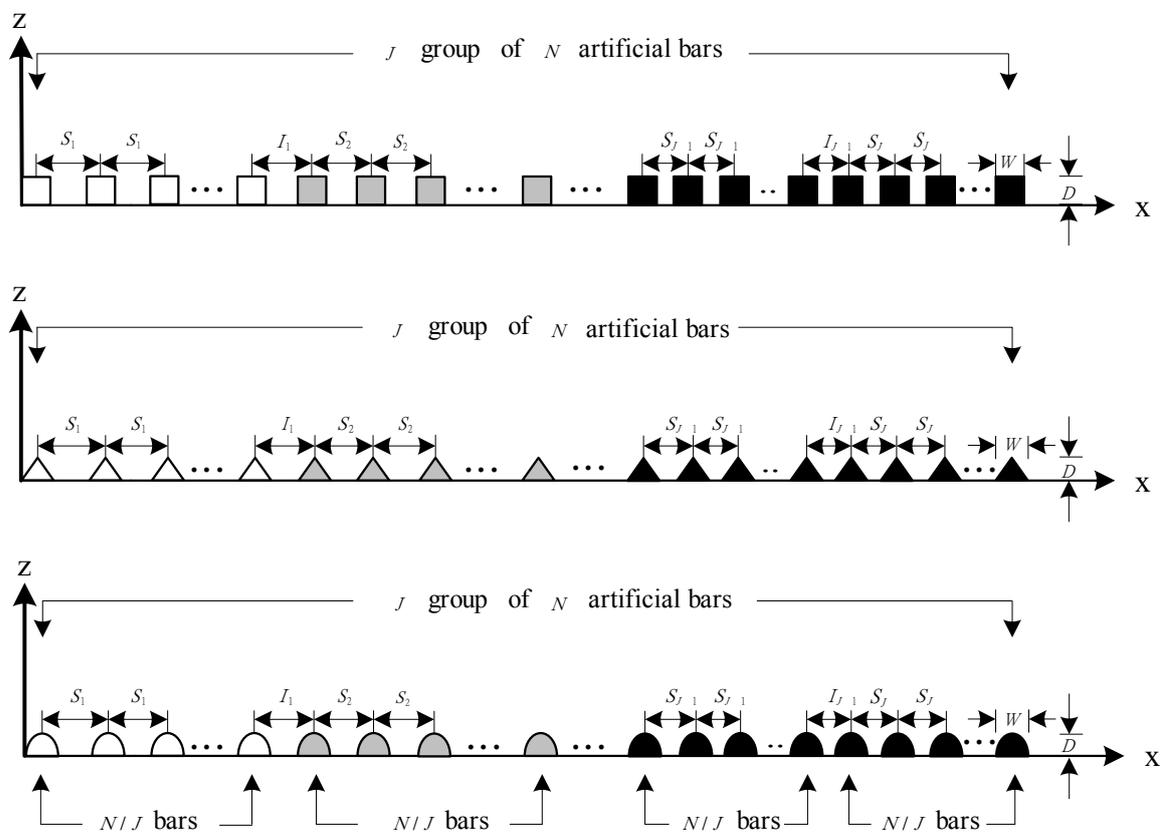


圖 9-1 複合式潛堤佈置參數示意圖

根據圖 9-1 的定義，因複合式潛堤的佈置導致底床擾變項  $\delta(x)$  表示如式(9-3)~式(9-5)：

矩形潛堤：

$$\delta(x) = \begin{cases} D, (j-1)S_1 \leq x \leq (j-1)S_1 + W & , j=1, 2, \dots, N_J \\ D, (N_J - 1)S_1 + I_1 + (j-1)S_2 \leq x \leq (N_J - 1)S_1 + I_1 + (j-1)S_2 + W \\ & , j=1, 2, \dots, N_J \\ \vdots & \vdots \\ D, \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j \leq x \\ & \leq \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j + W & , j=1, 2, \dots, N_J \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (9-3)$$

三角形潛堤：

$$\delta(x) = \begin{cases} \frac{2D}{W} [x - (j-1)S_1], (j-1)S_1 \leq x \leq (j-1)S_1 + \frac{W}{2} & , j=1, 2, \dots, N_J \\ -\frac{2D}{W} \{x - [(j-1)S_1 + W]\}, (j-1)S_1 + \frac{W}{2} \leq x \leq (j-1)S_1 + W \\ & , j=1, 2, \dots, N_J \\ \vdots & \vdots \\ \frac{2D}{W} \left\{ x - \left( \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j \right) \right\}, \\ & \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j \leq x \\ & \leq \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j + \frac{W}{2} & , j=1, 2, \dots, N_J \\ -\frac{2D}{W} \left\{ x - \left( \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j + W \right) \right\}, \\ & \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j + \frac{W}{2} \leq x \\ & \leq \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j + W & , j=1, 2, \dots, N_J \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (9-4)$$

半正弦形潛堤：

$$\delta(x) = \begin{cases} D \sin \left\{ \frac{\pi}{W} [x - (j-1)S_1] \right\}, & (j-1)S_1 \leq x \leq (j-1)S_1 + W \\ & , j=1, 2, \dots, N_J \\ D \sin \left\{ \frac{\pi}{W} [x - (N_J - 1)S_1 - I_1 - (j-1)S_2] \right\}, & (N_J - 1)S_1 + I_1 + (j-1)S_2 \\ & \leq x \leq (N_J - 1)S_1 + I_1 + (j-1)S_2 + W \\ & , j=1, 2, \dots, N_J \\ \vdots \\ D \sin \left\{ \frac{\pi}{W} \left[ x - \left( \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j \right) \right] \right\}, \\ & \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j \leq x \\ & \leq \sum_{p=1}^{j-1} [(N_J - 1)S_p + I_p] + (j-1)S_j + W \\ & , j=1, 2, \dots, N_J \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9-5)$$

將上式  $\delta(x)$  代入式 (9-1) 中積分得到不同形狀潛堤反射率  $R$  如下

矩形潛堤：

$$R = \left| \frac{2\alpha D}{k_x^2} (k_x^2 - k_y^2) \sin(k_x W) \right| \times \sqrt{\sum_{j=1}^J A_j^2 + 2 \sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})} \quad (9-6)$$

三角形潛堤：

$$R = \left| \frac{2\alpha D}{k_x^3 W} (k_x^2 - k_y^2) [1 - \cos(k_x W)] \right| \times \sqrt{\sum_{j=1}^J A_j^2 + 2 \sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})} \quad (9-7)$$

半正弦形潛堤：

$$R = \begin{cases} \left| \frac{4\alpha D W \pi (k_x^2 - k_y^2) \cos(k_x W)}{k_x (\pi^2 - 4k_x^2 W^2)} \right| \times \sqrt{\sum_{j=1}^J A_j^2 + 2 \sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})}, & k_x W \neq \frac{\pi}{2} \\ \left| \frac{\alpha D W (k_x^2 - k_y^2)}{k_x} \right| \times \sqrt{\sum_{j=1}^J A_j^2 + 2 \sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})}, & k_x W = \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (9-8)$$

其中  $k_x = k \cos \theta$ 、 $k_y = k \sin \theta$ ，參數  $A_j$ 、 $A_p$ 、 $A_q$  及  $\chi_{pq}$  則分別表示為

$$A_j = \frac{\sin(k_x N_j S_j)}{\sin(k_x S_j)}, j = 1, 2, \dots, J \dots\dots\dots (9-9)$$

$$A_p = \frac{\sin(k_x N_p S_p)}{\sin(k_x S_p)}, p = 1, 2, \dots, J - 1 \dots\dots\dots (9-10)$$

$$A_q = \frac{\sin(k_x N_q S_q)}{\sin(k_x S_q)}, q = 2, 3, \dots, J \dots\dots\dots (9-11)$$

$$\begin{aligned} \chi_{pq} &= N_1 S_p + 2 \sum_{i=p+1}^{q-1} (N_1 S_i + 2I_i) \\ &= N_1 S_p + 2 \sum_{i=p+1}^{q-1} (N_1 S_i + I_{i-1}) + N_1 S_q + 2I_{q-1}, p < q \end{aligned} \dots\dots\dots (9-12)$$

由式(9-6)~(9-12) 顯示反射率的大小乃取決於不同參數所形成的函數，函數包括： $\alpha$ 、 $\sin(k_x W)$ 、 $A_j$ 、 $A_p$ 、 $A_q$  以及  $\cos(k_x \chi_{pq})$ 。其中影響參數如堤數  $N$ 、堤寬  $W$ 、堤高  $D$ 、堤距  $S_j$ 、群與群間距  $I$ 、群數  $J$ 、水深  $h$ 、波數  $k$  及波浪入射角度  $\theta$  等。

## 9.2 數值模式

本研究另以 Hsu 等人 (2003) 所推導含有底床曲率項、底床斜率平方項及底床擾變項的 EEMSE 為基礎建置模式作理論模式結果的驗證。方程式表示如下：

$$\begin{aligned} &\left[ \frac{-2\omega i}{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta} \right] \left( \frac{\partial \phi}{\partial t} \right) \\ &= \nabla_h^2 \phi + k_c^2 \phi + \frac{g}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \left[ 2\bar{F}_1 \cdot \delta \nabla_h \frac{\phi}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \right] \dots\dots (9-13) \\ &+ \frac{\delta}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \nabla_h [g(1-\lambda^2)] \cdot \nabla_h \left[ \frac{\phi}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \right] \end{aligned}$$

式中  $\phi$  為波浪流速勢， $C$  為波速， $C_g$  為群波速度， $\lambda = \tanh kh$ ， $g$  為重力加速度

$$k_c^2 = \left[ \frac{g\bar{F}_1 \cdot \nabla_h \delta + gF_2 + k^2 CC_g}{CC_g - g(1 - \lambda^2)\delta} \right] - \frac{\nabla_h^2 \sqrt{CC_g - g(1 - \lambda^2)\delta}}{\sqrt{CC_g - g(1 - \lambda^2)\delta}} \dots\dots\dots (9-14)$$

$$\bar{F}_1 = \lambda(1 - \lambda^2)(k\nabla_h h + h\nabla_h k) \dots\dots\dots (9-15)$$

$$F_2 = \alpha_1(\nabla_h h)^2 k + \alpha_2 \nabla_h^2 h + \alpha_3 \nabla_h k \cdot \nabla_h h / k + \alpha_4 \nabla_h^2 k / k^2 + \alpha_5 (\nabla_h k)^2 / k^3 \dots\dots (9-16)$$

式 (9-11) 及式 (9-12) 中參數  $\alpha_i (i=1, \dots, 5)$  為

$$\alpha_1 = -\lambda(1 - \lambda^2)(1 - \lambda q) - 2(1 - \lambda^2)\lambda^2 k \delta \dots\dots\dots (9-17)$$

$$\alpha_2 = -\lambda q(1 - \lambda^2) / 2 + (1 - \lambda^2)\lambda k \delta \dots\dots\dots (9-18)$$

$$\alpha_3 = q(1 - \lambda^2)(2q\lambda^2 - 5\lambda / 2 - q / 2) - 2(1 - \lambda^2)(2\lambda^2 q - \lambda - q)k \delta \dots\dots\dots (9-20)$$

$$\alpha_4 = q(1 - \lambda^2)(1 - 2\lambda q) / 4 - \lambda / 4 + (1 - \lambda^2)\lambda q k \delta \dots\dots\dots (9-21)$$

$$\alpha_5 = q(1 - \lambda^2)(4\lambda^2 q^2 - 4q^2 / 3 - 2\lambda q - 1) / 4 + \lambda / 4 + (1 - \lambda^2)q^2(1 - 2\lambda^2)k \delta \dots\dots\dots (9-22)$$

式中  $q = kh$ 。在數值計算的方法上，採用交替隱式分析法 Alternating Direction Implicit (ADI) 解演進型緩坡方程式所推導的矩陣方程式。

### 9.3 結果及討論

本研究利用系列潛堤作適當組合，希望於堤前發生布拉格反射，使其反射率能提高，以達到透射率減小，入侵海岸波能減小的目的。此外，亦希望布拉格反射的帶寬也能增大，如此才能增加適用的入射波浪範圍，適用較多不同的波浪入射條件。由式(9-3)~式(9-5) 顯示反射率由許多的參數所組成。參數包括堤高( $D$ )、堤寬( $W$ )、堤數( $N$ )、堤間距( $S$ )、組間距( $I$ )、水深( $h$ )、波浪入射角度( $\theta$ )以及入射波浪波長( $L$ )，其對反射率大小影響程度，則視各參數在式(9-3)中之函數形

式以及其值之大小，如 $(\alpha、\sin(k_x W)、A_j、A_p、A_q$ 以及 $\cos(k_x \chi_{pq}))$ 。本研究利用不同的參數組合，探討各式組合條件下，所發生的布拉格反射現象，並利用反射率公式內的組合函數，探討各種現象以及趨勢的影響原因。其中為使分析更加容易以及便利，本研究在潛堤寬度固定為 $W=0.6m$ ，第一組潛堤間距為 $S_1=2.4m$ ，水深固定為 $h=0.6m$ ，入射波高為 $H_i=0.04m$ ，入射波浪週期為 $T=1.03\sim 4.03\text{sec}$ ( $2S_1/L=0.25\sim 3.0$ )，入射波浪角度為 $\theta=0^\circ\sim 75^\circ$ ，潛堤組數為 $N=2\sim 5$ ，組距( $I_j$ )為 $I_j/S_{j+1}=0.5\sim 1.0$ ，所有計算分析條件如表 9-1 所示。

表 9-1 計算條件表

Case	潛堤佈置條件														波浪條件			
	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$J$	$N$	$S_1$	$S_2$ (m)	$S_3$ (m)	$S_4$ (m)	$S_5$ (m)	$I_j/S_{j+1}$	$D/h$	$W/h$	$H_i$	$T$	$\theta$
									$S_2/S_1$	$S_3/S_1$	$S_4/S_1$	$S_5/S_1$	$I_j/S_1$			(m)	(sec)	( $^\circ$ )
(a)	4	4	4	-	-	3	12	2.4	1.8	1.6	-	-	1.0	0.4	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0~ 75
									0.75	0.667	-	-	-					
(b)	4	4	4	-	-	3	12	2.4	2.1	1.8	-	-	1.0	0.4	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.875	0.75	-	-	-					
(c)	4	4	-	-	-	2	8	2.4	1.8	-	-	-	1.0	0.4	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.75	-	-	-	-					
(d)	4	4	4	-	-	3	12	2.4	1.8	1.6	-	-	1.0	0.4	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.75	0.667	-	-	-					
(e)	4	4	4	4	4	5	20	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.0	0.4	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.917	0.833	0.75	0.667	-					
(f)	4	4	4	4	4	5	20	2.4	2.0	1.8	1.6	1.4	1.0	0.4	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.833	0.75	0.667	0.583	-					
(g)	4	4	4	4	4	5	20	2.4	2.0	1.75	1.5	1.35	1.0	0.4	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.833	0.729	0.625	0.563	-					
(h)	4	4	4	-	-	3	12	2.4	1.8	1.6	-	-	-	0.5	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.75	0.667	-	-	0.5~ 1.0					
(i)	4	4	4	-	-	3	12	2.4	1.8	1.6	-	-	1.0	0.2 ~ 0.4	1.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.75	0.667	-	-	-					
(j)	4	4	4	-	-	3	12	2.4	1.8	1.6	-	-	1.0	0.4	0.5 ~ 2.0	0.04	1.03 ~ 4.03	0
									0.75	0.667	-	-	-					

## 1. 不同潛堤形狀

圖 9-2 為不同形狀潛堤的三組不同堤距組合的反射率分布圖，潛堤布置及入射波浪條件如表 9-1 中之 Case(b)，圖形顯示三種形狀潛堤在  $2S_1/L=1.0\sim 1.5$  間會發生布拉格反射，各布拉格反射率尖峰值  $R_{max}$  分別為：矩形為 0.81、半 sine 形為 0.56 及三角形為 0.43。此外，三種形狀潛堤的反射率在  $2S_1/L$  分布震盪的高低點發生條件均相同，故其布拉格反射的帶寬亦相同，介於  $2S_1/L=1.0\sim 1.5$  間。上述現象與 Hsu 等(2002)以 EEMSE 以及試驗室試驗在等間距系列潛堤結果相同。主要原因為三種形狀主要影響的是潛堤堤頂上方水深，而矩形潛堤堤頂上方較淺水深的部分比其他半 Sine 形與三角形多，換言之，矩形形狀在水中具有較多的阻礙體積，故會發生較大的反射波。由於矩形形狀容易佈置且亦接近實際潛堤梯形形狀，所以本研究乃以矩形潛堤作其他布拉格反射特性探討。

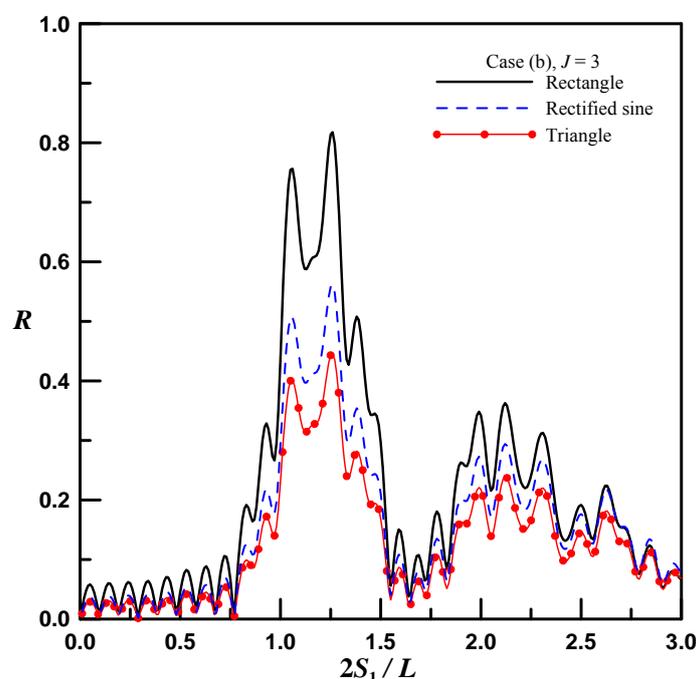


圖 9-2 不同形狀潛堤之反射率分佈圖，

## 2. 不同入射角度

Dalrymple 和 Kirby (1986)、Mei等(1988)、Liu 和 Yue(1998)以及 Cho 和 Lee(2000) 以數值模擬計算結果顯示波浪通過正弦型底床，其反射率會隨入射波角度增加而減小。本研究以三組系列潛堤探討不同波浪入射角度  $\theta = 0^\circ \sim 75^\circ$ ，其布置條件如表9-1之CASE(a)所示，計算結果如圖9-3及圖9-4所示。圖形顯示當波浪入射角度  $\theta < 45^\circ$  時，布拉格反射值隨入射角度的增加而減小，且發生布拉格反射的條件隨入射角度的增加而往高頻處平移，如圖9-3所示。當波浪入射角度  $\theta > 45^\circ$  時，反射率隨  $2S_1/L$  增加，其震盪次數減少，且其振幅增大，如圖9-4所示。以上現象可由不同波浪入射角度在不同的  $2S_1/L$  條件所發生的反射率立體分布圖更清楚看出其相對變化的關係，如圖9-5所示。值得注意的，往昔文獻結果，均認為其反射率會隨入射波角度增加而減小，與本研究當波浪入射角度  $\theta > 45^\circ$  時結果不同，探究其原因為往昔研究僅針對較小角度波浪入射作探討。

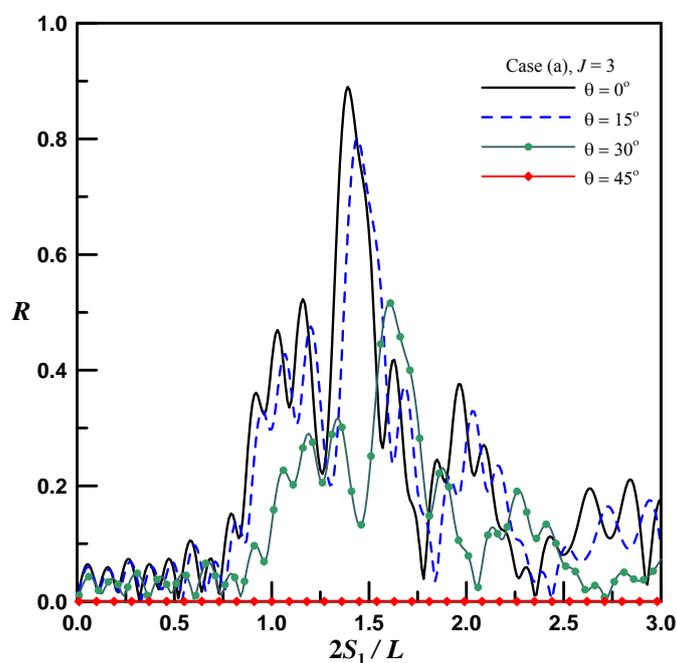


圖 9-3 不同波浪入射角度 ( $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$  和  $45^\circ$ ) 反射率分佈圖  
(case (a) :  $J = 3$ 、 $S_2/S_1 = 0.75$ 、 $S_3/S_1 = 0.667$ )

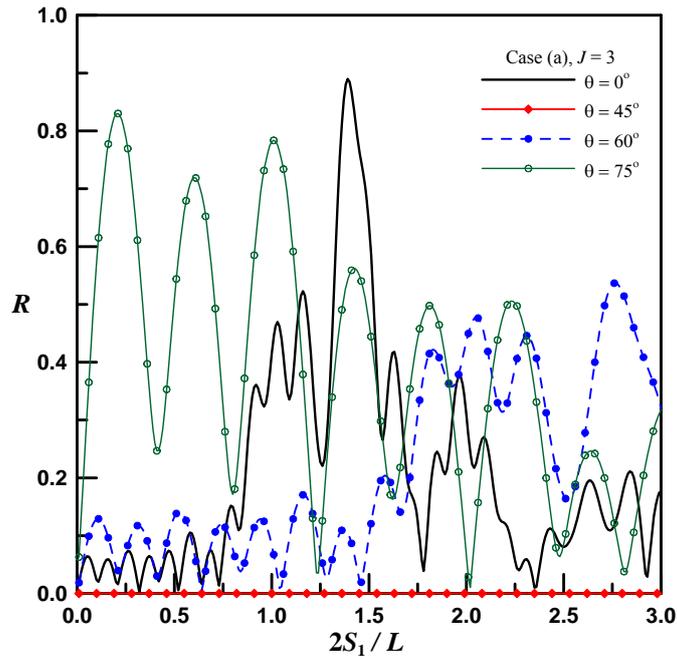


圖 9-4 不同波浪入射角度 ( $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$  和  $75^\circ$ ) 反射率分佈圖  
(case (a) :  $J = 3$ 、 $S_2/S_1 = 0.75$ 、 $S_3/S_1 = 0.667$ )

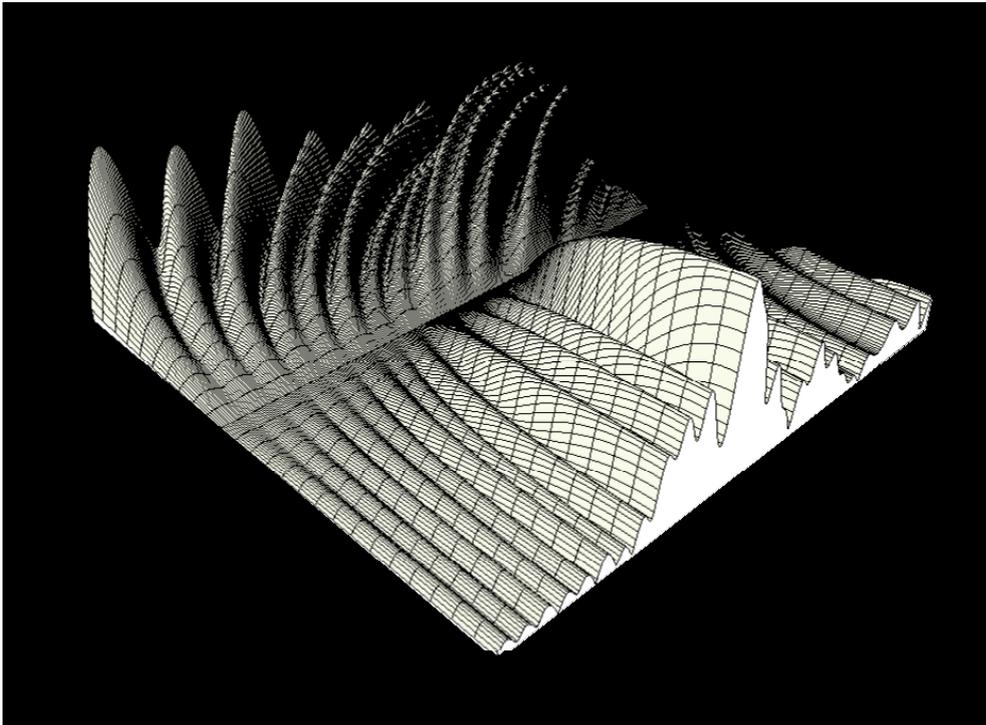


圖 9-5a 不同波浪入射角度 ( $0^\circ \sim 75^\circ$ ) 反射率分佈圖  
(case (a) :  $J = 3$ 、 $S_2/S_1 = 0.75$ 、 $S_3/S_1 = 0.667$ )

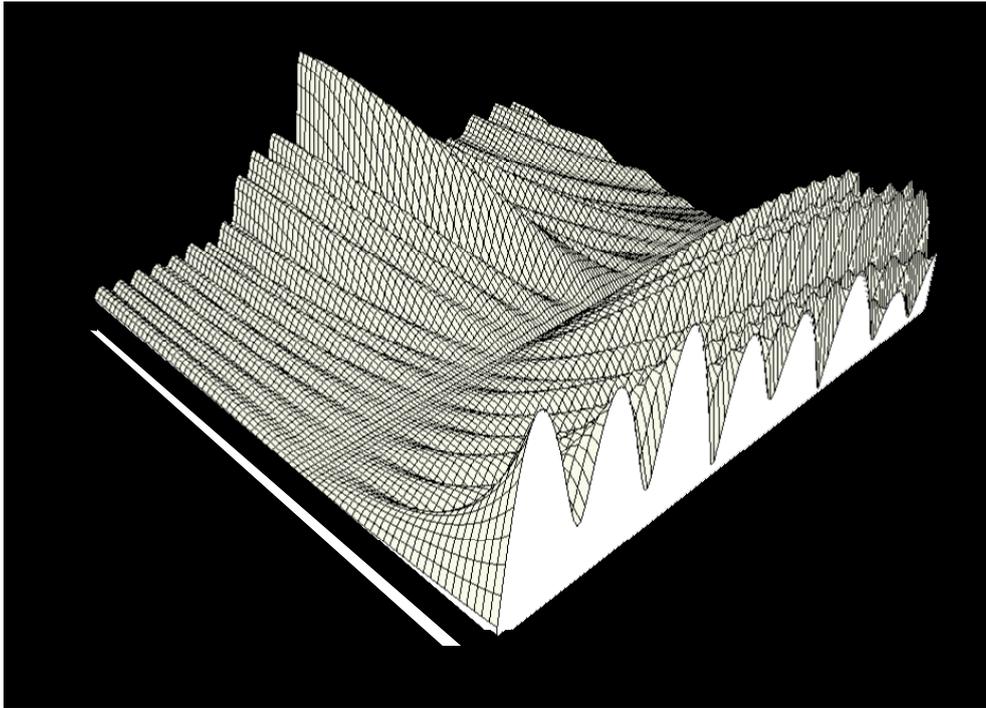


圖 9-5b 不同波浪入射角度 ( $0^\circ \sim 75^\circ$ ) 反射率分佈圖  
(case (a) :  $J = 3$ 、 $S_2/S_1 = 0.75$ 、 $S_3/S_1 = 0.667$ )

上述現象可以反射率公式(9-3)所組成的型態說明之，式(9-3)中當波浪入射角度 $\theta = 45^\circ$ 時，則 $k_x = k_y$ ，此乃造成所有條件反射率均為 $R = 0$ 的原因。由圖9-6顯示在 $\theta = 75^\circ$ 條件下，式(9-3)中的 $\alpha$ 、 $\sin(k_x W)$ 與反射率分布關係圖。圖形顯示 $\sin(k_x W)$ 函數值並非造成低頻的反射率增加的因素，因其 $\sin(k_x W)$ 值隨著 $2S_1/L$ 增加而增加；而 $\alpha$ 函數卻在愈低頻其值愈大，顯示在低頻時會增大反射率值，故 $\alpha$ 函數為影響反射率值在低頻處增加的因素之一。

此外，入射角度 $\theta$ 愈大則 $k_x$ 愈小，使得 $\cos(k_x \chi_{pq})$ 的震盪週期愈長，故可看出每一個反射率振盪的波峰發生條件，隨著 $2S_1/L$ 的增加而愈往高頻處平移。由式(9-3)顯示反射率主要由兩個函數所控制，一個為絕對值所包含之函數，另一個為根號所包含之函數。這兩函數又由許多的餘弦及正弦週期函數所組成。當波浪入射角度相關的變數 $k_x$ 洽使這些週期函數均為較大時，將使反射率函數值變大，此乃造成在入射角度 $\theta = 75^\circ$ 時，在 $2S_1/L < 1.5$ 條件，會發生較高的反射率值。

為進一步說明上述現象，本研究利用方程式(9-3)所組成函數，以 case(a)各參數條件代入，繪出各函數值分佈情形，以說明入射角度  $\theta = 75^\circ$  時，發生低頻時 ( $2S_1/L < 1.5$ ) 反射率較大的原因。圖 9-7 顯示造成低頻 ( $2S_1/L < 1.5$ ) 反射率較大，主要為根號所組成的函數所控制。若入射角度 0 度時(圖 9-8)，此函數會在  $2S_1/L = 1.5$  附近發生極端值。再由圖 9-7 反射率與根號所組成的函數值變化震盪趨勢顯示，根號所組成的函數為主要影響反射率於低頻處震盪的影響因素。因此，再以根號內組成之函數，繪製分佈曲線比較如圖 9-9 所示，圖形顯示根號內函數值的增加主要為  $\sum A_j^2$  函數控制。另外由圖 9-10 分析中顯示在低頻處 ( $2S_1/L < 1.5$ )，會產生較大的  $\sum A_j^2$  函數值，乃由個別的  $A_j^2$  值所造成。

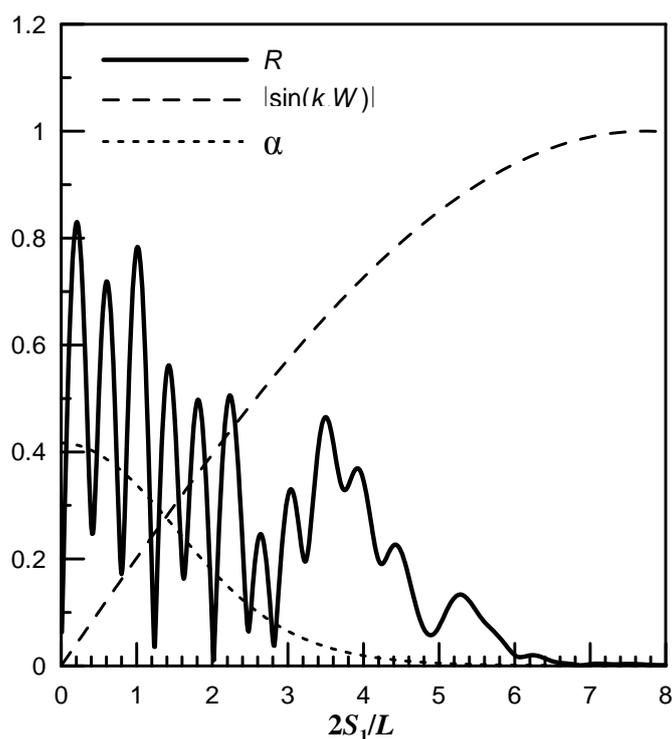


圖 9-6 函數  $\alpha$  以及  $\sin(k_x W)$  與反射率在不同  $2S_1/L$  分佈圖 ( $\theta = 75^\circ$ )

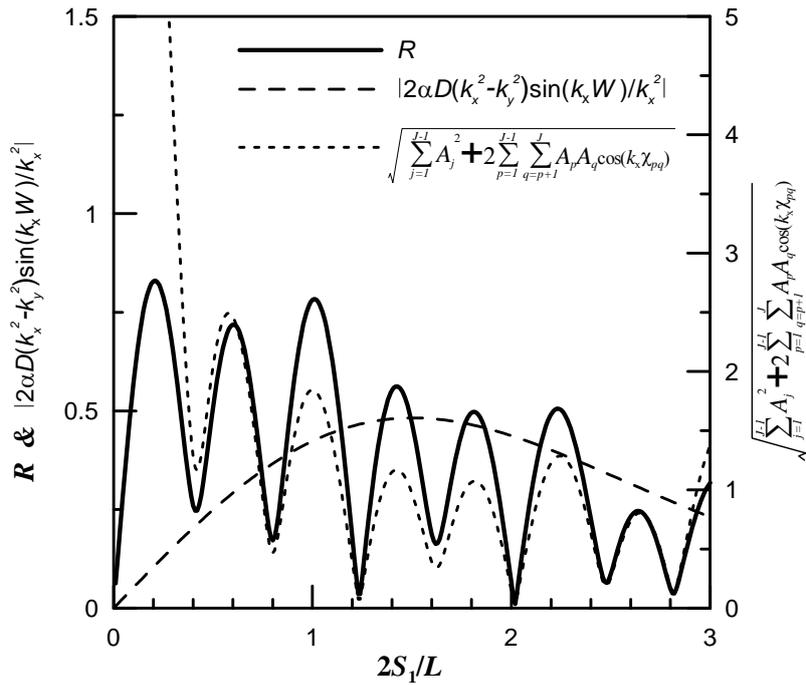


圖 9-7 不同函數與反射率在不同  $2S_1/L$  分佈圖 ( $\theta=75^\circ$ )

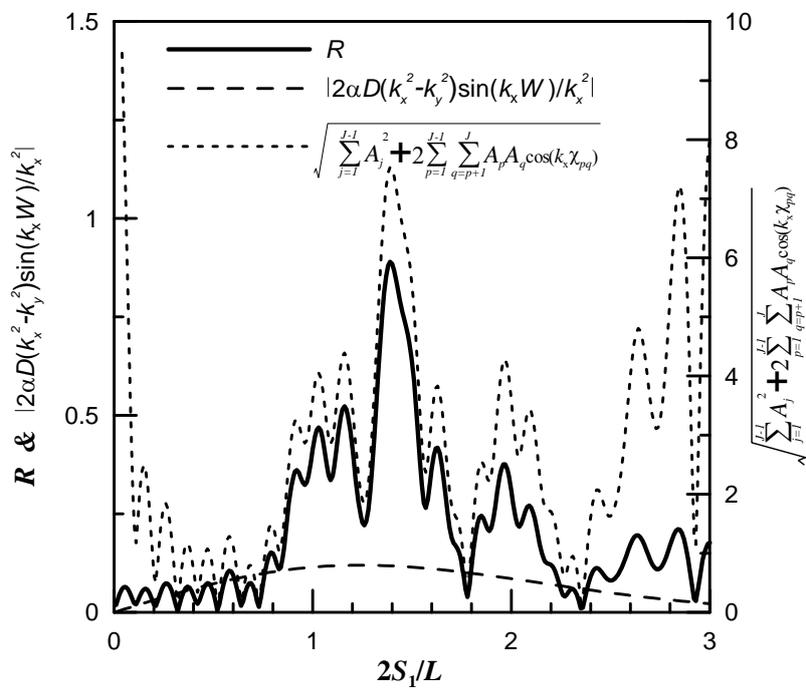


圖 9-8 不同函數與反射率在不同  $2S_1/L$  分佈圖 ( $\theta=0^\circ$ )

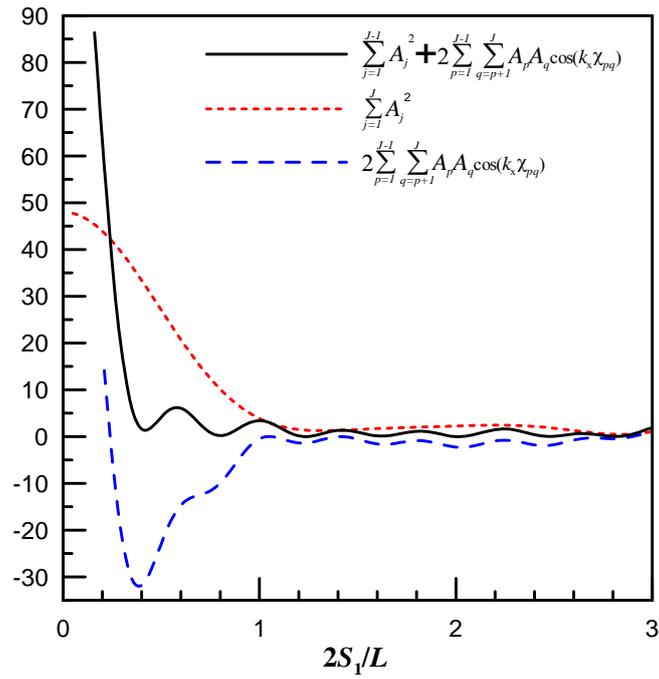


圖 9-9a 不同函數與反射率在不同  $2S_1/L$  分佈圖 ( $\theta = 75^\circ$ )

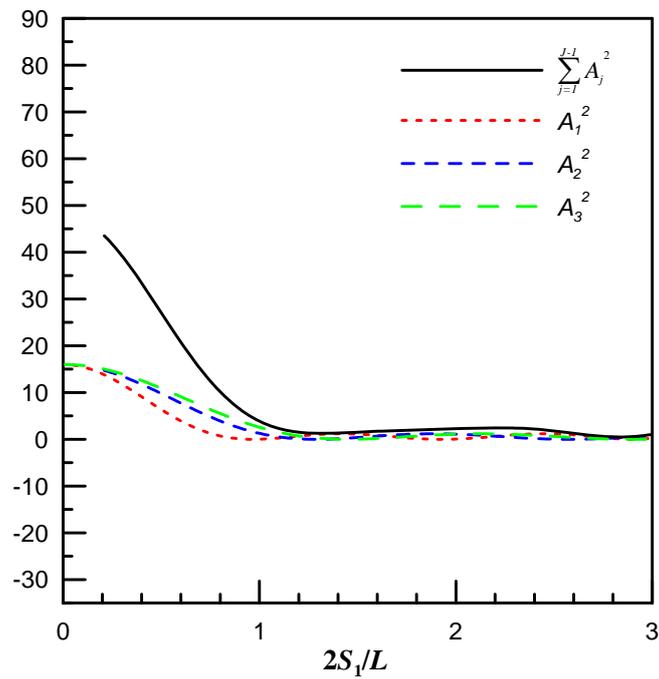


圖 9-9b 不同函數與反射率在不同  $2S_1/L$  分佈圖 ( $\theta = 75^\circ$ )

### 3. 不同潛堤群數

三種不同堤組數潛堤組合如表 9-1 之 Case (c)、Case (d) 和 Case (e)，條件各為  $N=8$  ( $J=2, N_1=N_2=4$ )、 $N=12$  ( $J=3, N_1=N_2=N_3=4$ ) 和  $N=20$  ( $J=5, N_1=N_2=N_3=N_4=N_5=4$ )，在不同  $2S_1/L$  的反射率分布比較如圖 9-10 所示。圖形顯示潛堤組數愈多其布拉格反射率值愈大。由 Case (c) 及 Case (d) 圖形比較顯示，Case (d) 增加堤數的的堤距 ( $S_3/S_1=0.667$ )，在原兩組組合 Case(c) 堤距 ( $S_2/S_1=1$  及  $S_2/S_1=0.75$ ) 範圍外，故比 Case (c) 增加了布拉格反射帶寬，由  $2S_1/L=0.8\sim 1.6$  增加為  $2S_1/L=0.8\sim 1.75$ 。由 Case (d) 及 Case (e) 圖形比較顯示，Case(e) 增加堤數的的堤距 ( $S_2/S_1=0.917$  及  $S_3/S_1=0.833$ )，在原三組組合堤距 ( $S_1/S_1=1$  及  $S_2/S_1=0.75$   $S_3/S_1=0.667$ ) 範圍內，則只會增加布拉格反射率值，但反射率帶寬 ( $2S_1/L=0.8\sim 1.75$ ) 仍不變。

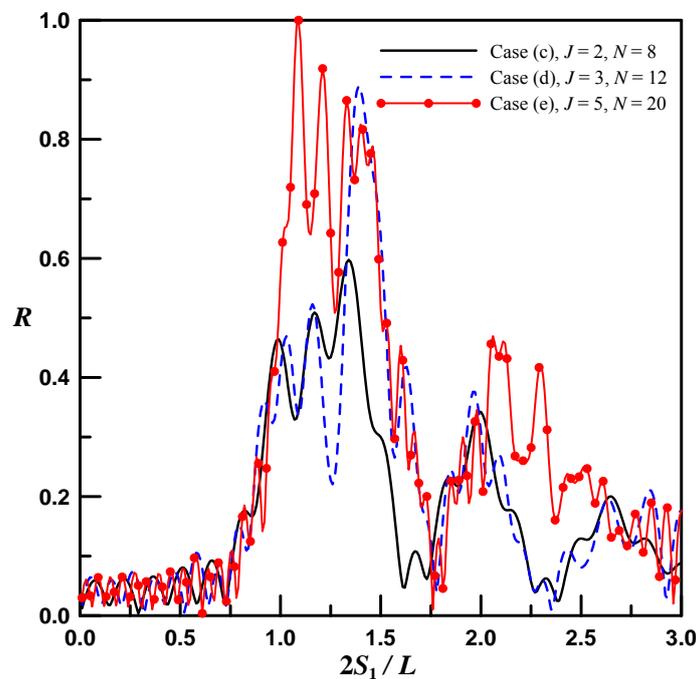


圖 9-10 不同潛堤群組數之反射率分佈圖

#### 4. 不同潛堤群間距

由許多文獻報告得知潛堤間距 $S$ 為影響反射率在 $2S_1/L$ 的分佈型態，故多組潛堤間距組成的系列潛堤，其各組潛堤群間之間距 $I_j$ 亦會影響反射率在 $2S_1/L$ 的分佈型態。故本研究以4種不同之潛堤群間距 $I_j$ 組成之系列潛堤，探討其反射率在 $2S_1/L$ 的分佈差異。Case (h)佈置條件如表 9-1 所示，其中 $I_j/S_1=0.5$ 、 $0.67$ 、 $0.75$  和  $1.0$ ，計算分析結果如圖 9-11 所示。圖形顯示當 $I_j/S_1=0.67$  和  $0.75$  佈置條件，其布拉格反射率值最大。探究其原因為此兩種潛堤群間距 ( $I_j$ ) 與第 2 組以及第 3 組潛堤間距 ( $S_j$ ) 相同，而更加強了此兩組間距潛堤群所主導發生的布拉格反射，故其反射率尖峰值愈大。由此可見，雖然 3 組不同間距潛堤群之系列潛堤，其潛堤群間距只有 2 個，但亦會明顯影響反射率在 $2S_1/L$ 的分佈型態。

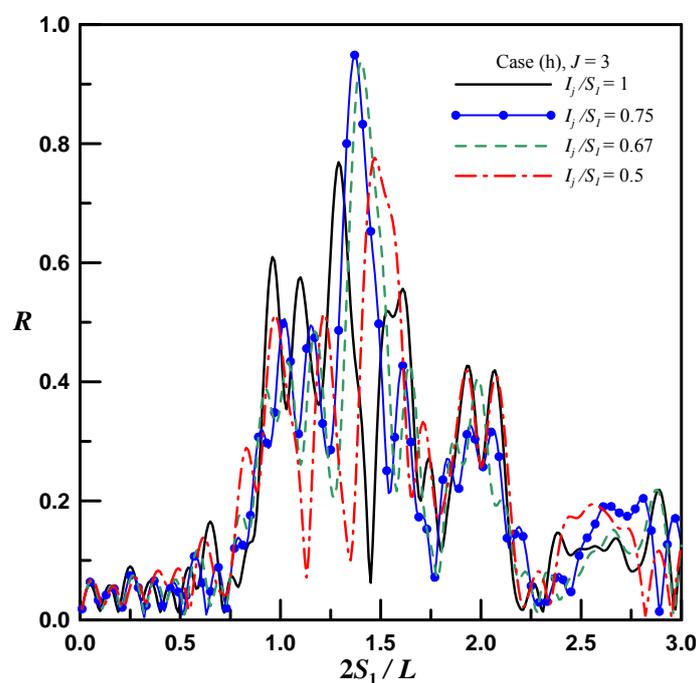


圖 9-11 不同潛堤群間距之反射率分佈圖

## 5. 不同潛堤高度

Guazzelli 等 (1992) 和 Zhang 等 (1999) 表示波浪通過較大振幅的 Sin 形底床，會產生較大的布拉格反射尖峰值。為了探討多組矩形系列潛堤，在不同的潛堤高度下布拉格反射的變化情形，本研究以堤高各為  $D/h=0.4$ 、 $D/h=0.3$  以及  $D/h=0.2$  作比較探討，詳細佈置以及波浪條件如表 9-1 之 Case(i) 所示，計算結果繪製比較如圖 9-12 所示。圖形顯示  $D/h$  增加 ( $D/h=0.2$ 、 $0.3$  及  $0.4$ )，反射率值隨  $D/h$  的放大倍率以等倍數增加 ( $R=0.45$ 、 $0.675$  及  $0.9$ )，即不同  $D$  條件比值為反射率比值。此外，布拉格反射率帶寬並沒改變 ( $2S_1/L=0.8\sim 1.75$ )。此現象可由式(9-3)的反射率公式中得知，潛堤高度  $D$  只影響反射率的放大率。這些現象亦與 Guazzelli 等 (1992)、Hsu 等 (2003)、Wang 等 (2006) 以及 Wen 和 Tsai (2008) 在兩組及三組的 Sin 形底床以及系列潛堤試驗以及數值計算結果相同。

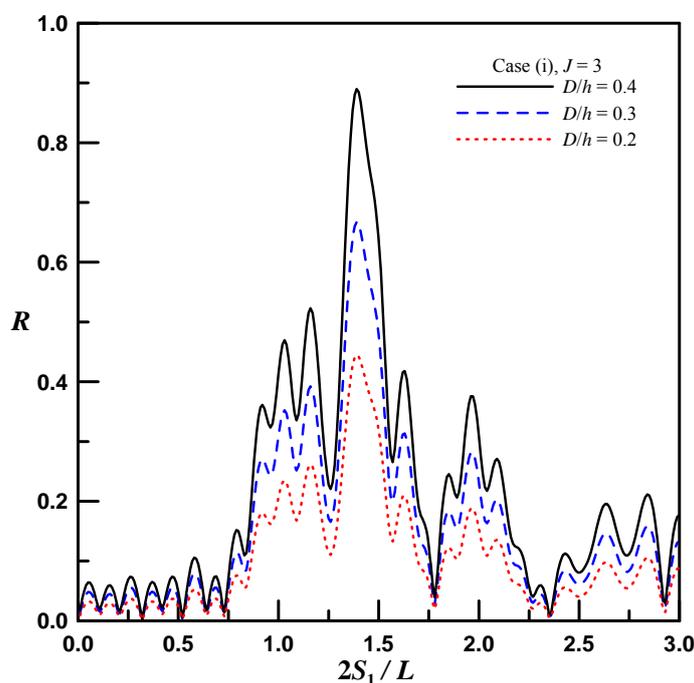


圖 9-12 不同潛堤高度之反射率分佈圖

## 6. 不同潛堤寬度

Wang 等 (2006) 研究結果顯示主布拉格主頻共振反射率值會隨堤寬的增加而增大，為探究 3 組系列潛堤堤寬變化的影響，本研究以 4 個不同的堤寬條件  $W/S_1 = 0.125$ 、 $0.25$ 、 $0.375$  及  $0.5$  ( $W/h = 0.5$ 、 $1.0$ 、 $1.5$  及  $2.0$ ) 作布拉格反射特性探討，詳細條件如表表 9-1 之 Case(j) 所示，計算結果如圖 9-13 所示。圖形顯示布拉格反射尖峰值在  $W/S_1 = 0.125 \sim 0.375$  間，會隨著堤寬增加而增大，然而在  $W/S_1 = 0.5$  條件卻比  $W/S_1$  為  $0.375$  和  $0.250$  條件小，究其原因為堤寬影響反射率值的函數為  $\sin(k_x W)$  如式 9-6，而  $\sin(k_x W)$  為週期函數，在  $W/S_1 = 0.5$  比  $W/S_1 = 0.375$  和  $0.250$  條件的  $\sin(k_x W)$  值小，故導致反射率值較小。因此潛堤寬度增加，主頻共振反射率值並不一定增加，這現象與 Wang 等 (2006) 的觀點並不同值得注意。此外，圖中亦顯示潛堤寬度的增加，對布拉格反射帶寬無影響，介於  $2S_1/L = 0.8 \sim 1.7$  間。根據以上研究結果，可藉由選擇適當的潛堤寬度，使  $\sin(k_x W)$  最大值與布拉格反射發生的條件相近，如此即能達到最佳的反射率放大效果。

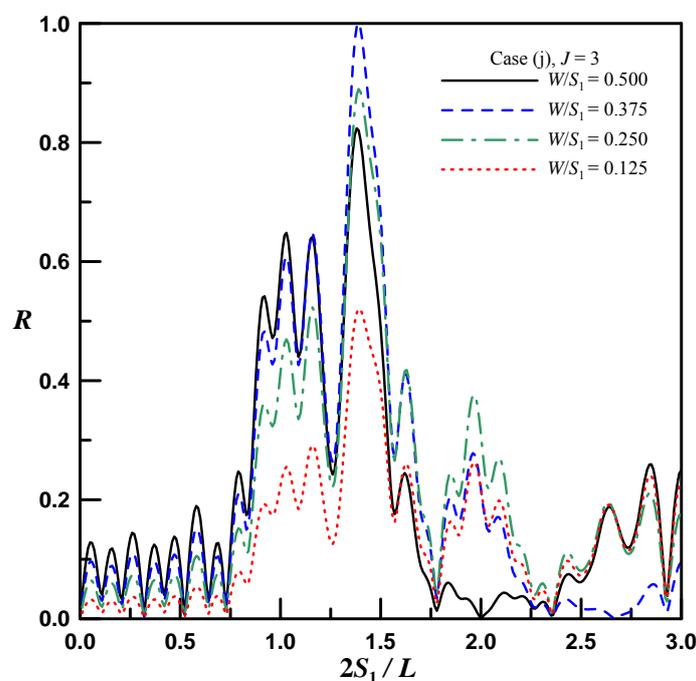


圖 9-13 不同潛堤寬度之反射率分佈圖

## 7. 不同潛堤堤距

Kirby 和 Anton (1990)、Hsu 等 (2003)、Wang 等 (2006) 以及 Wen 和 Tsai (2008) 研究結果顯示藉由堤間距為影響反射率分佈的主要因素，因此本研究之堤距( $S_j$ )以及組距( $I_j$ )主要影響布拉格反射發生的  $2S_j/L$  位置(波浪週期條件)，各組不同潛堤堤距( $S_j$ )會所造成在不同的  $2S_j/L=1$  條件發生布拉格反射極值，而在極值條件 ( $2S_j/L=1$ ) 外的反射率，則在各別的  $2S_j/L=1$  條件間會因互制作用而使反射率疊加，以上亦可由式(9-6)中之  $A_m = f(S)$  及  $\chi_{pq} = f(S, I)$  函數看出其影響程度。因此想要設計反射率帶寬較大的潛堤佈置，只需依上述布拉格反射機制，選擇適當的潛堤間距組合。

本研究為探討堤距影響布拉格反射程度，分別進行 3 個 Case 的比較，包括 Case (e)、Case (f) 以及 Case (g)，詳細佈置條件如表 9-1 所示，計算比較結果如圖 9-14 所示，其中 Case (e) 和 Case (f) 潛堤佈置條件的差異是一組潛堤堤距為  $S_2=2.2\text{m}$  變為  $S_5=1.4\text{m}$ 。圖形顯示 Case (e) 的布拉格反射尖峰值為  $R=0.99$ ，布拉格反射率帶寬範圍為  $2S_1/L=0.8\sim 1.7$ ；而 Case(f) 的布拉格反射尖峰值為  $R=0.89$ ，而布拉格反射率帶寬範圍為  $2S_1/L=0.8\sim 1.9$ ，此差異原因為 case (e) 的第二組潛堤 ( $S_2=2.2\text{m}$ ) 只有增加反射率值的功用，而 Case (f) 的第 5 組潛堤 ( $S_5=1.4\text{m}$ ) 卻具有增加布拉格反射率帶寬的功用。因此，若欲於  $2S_1/L=1.75$  增加反射率值，只需將 Case (f) 佈置條件中之第 5 組潛堤間距  $S_5/S_1=0.583$  改變為  $S_5/S_1=0.571$  ( $1/1.75=0.571$ )，讓布拉格共振發生在  $2S_1/L=1.75$  條件。因此，根據上述原理，本研究再將堤距作是當調整，使其布拉格反射帶寬能增加為  $2S_1/L=0.8\sim 2.0$ ，且其反射率值都能大於 0.42，如圖 9-14 中之 Case(g) 中。

以上研究結果顯示，因為堤距以及組距主要影響布拉格反射發生的  $2S/L$  位置(波浪週期條件)以及帶寬大小，故依據所欲防禦的當地波浪週期範圍( $T_1\sim T_k$ )，求得預計佈置水深的波長( $L_1\sim L_k$ )，再選擇堤

距( $S_j$ )及組距( $I_j$ )為在各週期可發生布拉格共振之條件( $2S_j/L_k=1$  以及  $2I_j/L_k=1$ )，使得發生布拉格共振帶寬能涵蓋所欲防禦的波浪週期。此外，因為堤高、堤寬以及堤數主要影響布拉格反射率的大小，故可依據以上參數在反射率公式(式(9-3))中所控制反射率值大小的函數，調整以上參數使其達到預期的波浪消減率。故藉由調整各參數去控制布拉格反射分布的結構(大小及帶寬)，可以達到預期的入侵波浪消減的效果。

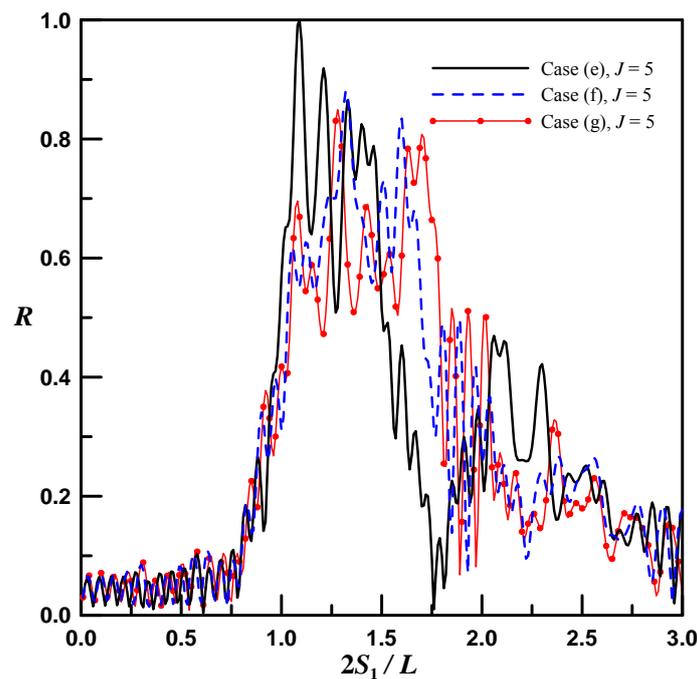


圖 9-14 不同潛堤間距之反射率分佈圖

本研究除了以 Miles (1981) 理論推導並計算各項佈置參數組合，並探討其各種特性以及現象，此外以 Case(g) 以及 Case(e) 條件，以 EEMSE 模式(Hsu 等人，2003)作模擬計算並與 Mile(1981)推導計算結果比較，其結果如圖 9-15 以及圖 9-16 所示。圖形顯示兩個 Case 在理論模式以及數值計算下，其反射率在  $2S/L$  的分佈情形大致相似，惟其布拉格反射發生條件在 EEMSE 模式計算結果略往低頻處平移，探究其原因為 EEMSE 模式的控制方程式考量了波浪因水深變化所造成的波速以及群波速度，而在 Miles (1981) 理論模式中並不考量此一變化，在 Kirby 和 Anton (1990) 以及 Hsu 等 (2003) 在布拉格反射研究中亦有相同的現象。

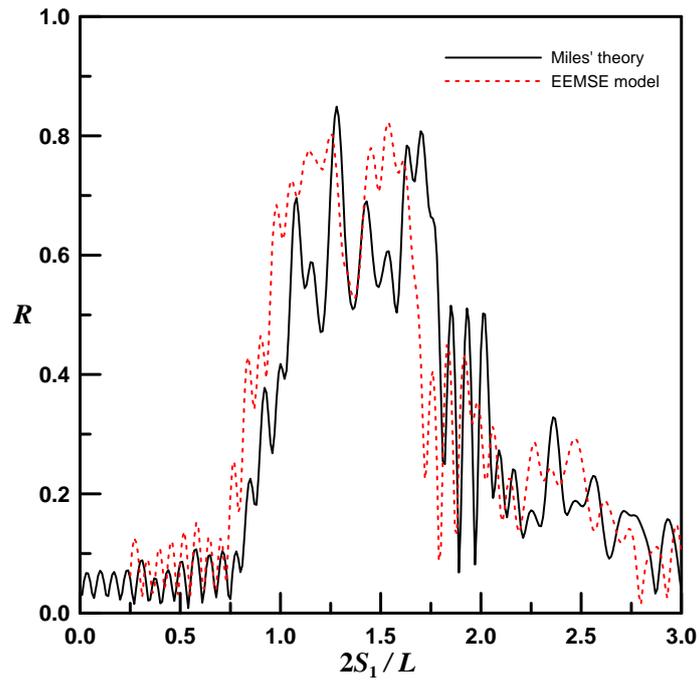


圖 9-15 不同計算方式反射率分佈比較圖 (CASE(g))

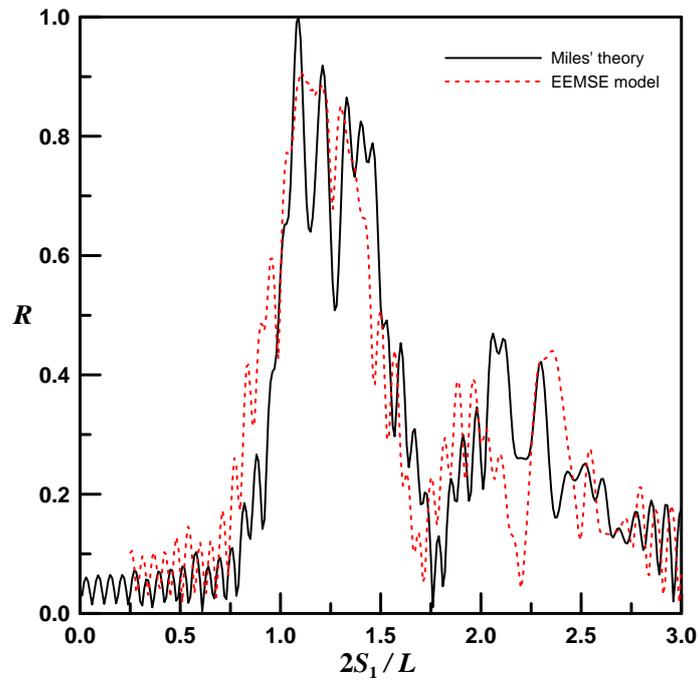


圖 9-16 不同潛堤間距之反射率分佈圖 (Case (e))

## 第十章 結論與建議

港灣結構物的設置造成鄰港地區水理機制的改變，大型港灣由於腹地廣大，常鄰近河川建造，故易受到上下游河川輸沙的影響，又因港灣結構物阻擋原有漂沙平衡機制，故常導致鄰港地區發生侵蝕或淤積現象。臺中港北鄰大甲溪以及大安溪南鄰烏溪，在臺中港建港後北側長年發生淤積現象，漂沙若繞過港灣結構物進到航道，或因風吹沙進入航道港池而造成淤積，將影響營運和船隻航行安全。此外，港域水體可能因工商業活動所產生之污染源未經處理完全而藉由河川、圳溝排入港灣附近或港池內，造成水質污染，亦可能藉由船舶排水帶來非本土之生物種類，影響本土生態平衡。海域水質環境攸關整個海域生態的健全，除提供民眾從事海岸或海洋休閒親水活動良好的環境品質，亦能提升我國在國際的形象。本研究目的乃進行現場飛沙以及地形監測調查，建立並運用水理模式以及飛沙模式，藉以瞭解海岸變遷與影響因素間之水動力以及飛沙機制，並對當前結構物佈置以及所提出之改善方案進行評估分析，以解決港灣及海岸淤積以及飛沙等地形變遷的問題。此外，亦對新型海岸保護工法進行水理特性分析探討。本研究亦進行水質與底質環境資料收集及調查監測分析，探討水質環境特性並對船舶排水所造成環境生態影響作評估。本研究為4年期研究之第3年，主要以臺中港以及附近區域為目標港域，茲將研究結論與建議分述如下：

### 10.1 結論

1. 100年4月枯水期與10月豐水期水質調查結果顯示，港區內之港域水質較易受陸源性影響，而臺中港北側大甲溪外海與南側大肚溪外海兩海域測點之水質則相對穩定且污染程度低，均可符合所屬之乙類海域水質標準，重金屬亦無異常。根據臺中港海域表層沉積物重金屬4月調查結果，整體並無異常偏高。除砷外，重金屬銅、鉛、

鋅、鉻與汞濃度，以港域內底質相對較港外為高。以地殼平均鋁濃度計算結果顯示，富集程度以鉻相對最低，介於無～輕微富集；而砷富集程度則相對最高，介於非常嚴重～極端嚴重富集。

2. 本研究建立三維水理之數值模式，經多次測試，選定底床摩擦係數為 25， $\gamma$ 、 $kv$  與  $rm$  等係數之值分別為 500、0.4 與 0.4 (計算鹽度時，使用  $rm$  值為 0.8) 與渦動黏性係數為 100。而在二維模式之參數經過率定與驗證後，本研究使用水平動量交換係數  $K_{xx}$  與  $K_{yy}$  為  $300m^2/sec$ ， $K_{xy}$  與  $K_{yx}$  為  $100m^2/sec$ ，而底床摩擦係數則選擇與三維模式相同。由模擬結果可知，漲潮時潮流分別從臺中港南北兩端向臺中港匯集。在 NNE 風向條件下，風速愈大，造成之海流流速愈大；在 SSW 風向條件下，風速愈大，則造成之海流流速愈小。
3. 本研究以壓艙水公約規範之環境相似度法為基礎，提出三層級之風險分析法，在臺中港近 5 年間有 30,808 入港艘次 (7,289 艘數)，經過第一層環境相似度分析、第二層群集分析篩選及最後一層航運因素分析，篩選出 3,657 艘次 (603 艘數)，亦即每年入港的高風險船舶有 121 艘數，約每三天有一艘高風險船舶入港。在評估出最高外來種侵襲風險之船舶後，有限的港口國管制能量可用於針對此類船舶之檢查，如此可減少港口國管制官員之負擔，並可有效的管理船舶安全維護生態環境。
4. 根據北淤沙區地形高程比較，2010 年 9 月～2011 年 5 月全區域共淤積 23.1 萬方。靠海側沙灘區(I 區)受波浪及沿岸流輸沙影響呈現淤積，受東北季風影響，風吹沙由低海堤附近區(II 區)帶往靠岸側區 (III 區)，故(II 區)呈現侵蝕而 III 區呈現淤積現象。由水平以及垂直捕沙器量測之飛沙量，求得飛沙量與地表 0.2m 風速呈指數關係。再依據 2001 年至 2009 年風速資料，求得水平飛沙量每年平均值為  $20.64m^3/m-year$ ，而每年平均垂直飛沙量為  $20.64m^3/m-year$ 。

5. 本研究對臺中港北淤沙區第三期整治工程（零方案）完成後，提出兩種改善對策方案，方案 1：再圍堤造地。方案 2：於高潮位設置灑水設施，而於低潮位設置地工沙管。上述兩方案需於零方案完成後，監測前灘沙地的淤積幅度，若海域重新形成廣大沙灘後，且灘地快速增加，則以方案 1 作飛沙防禦，以圍堤造地方式，並對沙灘區進行整治。若灘地成長速度緩慢，則以方案 2 作飛沙防禦，配合沙地含水率的監測及設置地工沙管方式，讓沙粒含水率增加，將沙粒固定於沙灘上。
6. 新式海岸保護工法—系列潛堤利用布拉格反射原理防禦波浪，影響反射率大小與分佈位置的參數相當多，本研究由 Miles 理論進一步推導波浪通過系列潛堤反射理論模式，再由理論模式計算以及模式中所組成的各函數與各影響參數，探討各參數的影響程度，以及各種佈置在不同入射波浪條件的防禦效果，不同堤距組合將影響布拉格反射分佈結構最大，包括反射率、帶寬大小以及位置。

## 10.2 建議

1. 本研究今年度已初步建立三維水理模式，模擬臺中港域的海流狀況，模擬結果與文獻資料趨勢一致。未來建議能再利用更多的實測資料進行驗證，以確認模式的準確性。
2. 由水質與沉積物重金屬調查結果顯示，其底質砷濃度有略微偏高之情形，由 NOAA（美國國家海洋大氣管理局）的底質規範快速篩選參考門檻值，與重金屬污染程度評估指標 EF(富集因子)及 Igeo(地質累積指數)皆顯示，調查區域內的底質砷含量略高，雖低於會經常對生物造成危害的等級，但仍值得後續監測與追蹤。
3. 本研究所挑選出 26 種可能入侵臺灣海域的物種，雖在其他亞洲地區曾造成藻華，但若入侵臺灣後之衝擊仍為未知數，且表列之物種可能已有入侵臺灣之物種只是尚未發現，或未被記錄至臺灣物種名錄中，因此，可藉由本研究篩選出高風險船舶進行採樣研究，是否

壓艙水中含有此類物種，並針對這些物種進行追蹤，調查是否已進入臺灣海域或了解此物種習性，以進一步防範其入侵。

4. 由於國內少有壓艙水方面之研究，且政府單位對壓艙水公約之認知較為不足，然而公約生效在即，國內卻尚未建立任何防範體系。故建議第四年研究工作，可辦理壓艙水之成果發表或論壇，廣邀權益相關人如政府交通港務及環保部門、專家學者、運輸航商、水處理業者、環境非政府組織等，探討我國未來針對因應壓艙水公約及防止外來種入侵之管理策略。
5. 臺中港北淤沙區第三期整治工程正進行中，建議持續對該區域進行水深與灘地高程以及飛沙監測，並進行擋風牆設置完成後的風場分析，以了解本項工程的效果，並能作為日後改善工程規劃之參考。
6. 本研究第二年發現海岸保護新工法-系列潛堤佈置，在布拉格反射條件下，會反射率發生遽降的現象，為進一步釐清機制，建議可由本研究所提出之函數及參數個別分析方法，探究其發生之原因。

### 10.3 成果效益及後續應用情形

本研究分別以文獻資料整理分析、現場調查、理論解析以及數值模擬計算方式，探討目標港灣（臺中港）附近飛沙以及水理機制，並研擬防治方案，此結果可提供各港務局相關單位作為未來改善港灣飛沙以及淤積問題之參考；本研究依據水質及生態調查分析結果提出影響水質之可能污染源，可作為未來進行海域水質、海域生態、系統動力學模擬以及環保與港務單位管理港灣附近排放污染源之參考依據；本研究完成外來種藉船舶壓艙水入侵之風險分析，建立高風險船舶管理之優先順序，並初步建立 26 種可能入侵臺灣海域的外來物種。後續可藉由本研究之風險分析，提供各港務局及相關單位作為未來港口國管制之參考依據，並可針對高風險船舶進行採樣研究，以瞭解外來種藉船舶壓艙水之入侵情形，或調查是否已進入臺灣海域以進一步防範其入侵。

本研究內容除提供本所及政府相關單位施政設計參考，亦可提供顧問公司以及學術研究單位進行水動力模擬、飛沙防治及水質生態保護研究參考，研究成果經節錄整理，已陸續於國內外研討會以及期刊發表。

## 參考文獻

1. 江永哲和張文詔 (1978),「海岸飛砂量估算之風洞試驗」, 中華水土保持學報, 9 (2), 55~81 頁。
2. 交通部臺中港務局 (1979),「臺中港漂沙評估報告」。
3. 交通部臺中港務局 (1985),「臺中港第一期工程完工報告」。
4. 交通部臺中港務局 (1988),「臺中港港口擴建計畫評估研究」。
5. 陳陽益 (1991),「自由表面規則前進重力波傳遞於波形底床上共振現象」, 第十五屆全國力學會議論文集, 289~296 頁。
6. 交通部臺中港務局 (1992),「臺中港北側淤沙區漂飛砂整治規劃研究」。
7. 交通部臺中港務局 (1994),「臺中港漂沙防制與新生地開發」。
8. 岳景雲、曹登皓、陳丙奇 (1997),「波浪通過系列潛堤反射係數之研究」, 第八屆全國海岸工程學術討論會暨 1997 年海峽兩岸港口及海岸開發研討會論文集 (下), 683~690 頁。
9. 岳景雲、曹登皓、陳丙奇 (1998),「波浪斜向入射正方形複列潛堤反射係數之研究」, 第二十屆海洋工程研討會論文集, 265~272 頁。
10. 岳景雲、曹登皓、江天授、李厚慶 (1999),「波浪斜向入射斜坡底床上不透水潛堤之研究」, 第二十一屆海洋工程研討會論文集, 191~197 頁。
11. 交通部臺中港務局 (1999),「臺中港港池泊渠浚及圍堤造地規劃」, 。
12. 交通部臺中港務局 (1999),「臺中港港口第二期擴建工程計畫環境監測」。
13. 交通部臺中港務局 (1999),「南填方區(I)圍堤及航道浚深拓寬工程環境監測」。

14. 海渡電力事業股份有限公司 (1999) , 「海渡火力發電廠開發計畫環境影響評估」。
15. 岳景雲、曹登皓、翁文凱 (2000) , 「波浪通過不透水雙列潛堤之研究」, 兩岸港口及海岸開發研討會論文集, 112~118 頁。
16. 交通部運輸研究所 (2000), 「近岸漂沙機制與防治研究(1/4)」。
17. 台灣電力股份有限公司 (2002), 「臺中發電廠環境監測報告」。
18. 交通部臺中港務局 (2003), 「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治暨生態保育研究」。
19. 陳順宇 (2004) , 「多變量分析」, 華泰書局, 第三版。
20. 林宗儀、許泰文和臧效義 (2006), 「臺中港飛砂整治研究」, 26 屆海洋工程研討會, 677~682 頁。
21. 吳昌翰 (2006), 「臺中港海岸飛砂量推估之研究」, 中興大學水土保持學系碩士學位論文。
22. 姚煒民、李超、郟鈞璋 (2006), 「浙南海域的赤潮生物」, 海洋通報」, 第 25 卷第 3 期, 87~91 頁。
23. 億昇倉儲企業股份有限公司 (2006), 「台中港西一號碼頭後線第三期儲槽及附屬設施興建工程環境影響說明書」。
24. 交通部臺中港務局 (2007), 「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程可行性研究」。
25. 交通部運輸研究所(2008), 「台中港觀測風力資料專刊(1994-2007 年)」。
26. 蔡立宏、徐如娟 (2009) , 「臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究 (4/4)」, 交通部運輸研究所。
27. 楊博名 (2009), 「高雄港沉積物中重金屬分佈與累積之研究」, 高雄海洋科技大學海洋環境工程系碩士論文。
28. 交通部臺中港務局 (2009), 「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第

- 三期工程計畫書」。
29. 交通部台中港務局 (2010), 「臺中港區環境調查監測分析(1996~2009)」。
  30. 交通部中央氣象局 (2010), 「氣候資料年報—地面資料, 1999 年至 2009 年」。
  31. 交通部中央氣象局 (2010), 「潮汐觀測資料年報, 1999 年至 2009 年」, 2010 年。
  32. 交通部運輸研究所 (2010), 「港灣海氣地象觀測資料年報, 2001 年至 2009 年」。
  33. 范姜明威 (2010), 「臺灣中部河口飛砂及揚塵調查與研究」, 中興大學水土保持學系碩士學位論文。
  34. 邱皓正 (2010), 「量化研究與統計分析 SPSS(PASW)資料分析範例」, 五南圖書出版公司, 第五版。
  35. 蔡立宏、徐如娟 (2010), 「臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (1/4)」, 交通部運輸研究所。
  36. 臺中港務局 (2011), 「臺中港區環境調查監測分析正式報告書, 2009 年至 2010 年」。
  37. 蔡立宏、徐如娟 (2011), 「臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (2/4)」, 交通部運輸研究所。
  38. 行政院環境保護署, 「台灣北部、中部、南部海域水質監測現況」  
<http://www.epa.gov.tw>。
  39. 中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw>。
  40. Aguirre-Maxedo, M.L., Vidal-Martinez, V.M., Herrera-Silveira, J.A., Valdes-Lozana, D.S., Herrera-Rodriguez, M., Olvera-Novoa, M.A. (2008) "Ballast water as a vector of coral pathogens in the Gulf of Mexico: The case of the Cayo Arcas coral reef", *Marine Pollution Bulletin* Vol. 56, pp. 1570-1577

41. Alamsjah, M.A., Ishibe, K., Kim, D., Yamaguchi, K., Ishibashi, F., Fujita, Y., Oda, T. (2007) "Selective toxic effects of polyunsaturated fatty acids derived from *Ulva fasciata* on red tide phytoplankter species", *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, Vol. 71(1), pp. 265-268
42. Alexander, C.R., Smith, R.G., Calder, F.D., Schropp, S.J., Windom, H.L. (1993) "The historical record of metal enrichments in two Florida estuaries," *Estuaries*, Vol. 16, pp. 62-637.
43. Anderson, L. W. J., and Keppner, S. (2001) "Caulerpa Taxifolia: Marine Algal Invader Provokes Quick Response in U.S. Waters," *ANS Digest*, Vol. 13, pp. 21-23.
44. Anderson, D.M., Hoagland, P., Kaoru, Y. (2000) "Estimated Annual Economic Impacts from HABs in the US," Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, September.
45. Azanza, R.V., Fukuyo, Y., Yap, L.G., Takayama, H. (2005) "Prorocentrum minimum bloom and its possible link to a massive fish kill in Bolinao, Pangasinan, Northern Philippines," *Harmful Algae* Vol. 4, pp.519-524.
46. Band, S. C. J., Morquecho, L., Lechuga, D. C. H. and Anderson, D. M. (2004) "Effects of Growth Medium, Temperature, Salinity and Seawater Source on the Growth of *Gymnodinium Catenatum* (Dinophyceae) from Bahía Concepción, Gulf of California, Mexico," *Journal of Plankton Research*, Vol. 26, pp. 1459-1470.
47. Bagnold, R.A. (1954) "The physics of blown sand and desert dunes," Chapman and Hall: p.86.
48. Benoit, H.P., Johannsson, O.E., Warner, D.M., Sprules, W.G., Rudstam, L.G. (2002) "Assessing the Impact of a Recent Predatory Invader: The Population Dynamics, Vertical Distribution, and Potential Prey of *Cercopagis pengoi* in Lake Ontario," *Limnology and Oceanography*, Vol. 47, pp. 626-635.
49. Bernauer, D., Kappus, B. and Jansen, W. (1996) "Neozoen in Kraftwerksproben und Begleituntersuchungen am nördlichen

- Oberrhein,” In: Gebietsfremde Tierarten, Gebhardt, H., Kinzelbach, and Schmidt-Fischer, R. S. (eds.), *Landsberg*, pp. 87-96.
50. Begin, C., and Scheibling, R. E. (2003) “Growth and Survival of the Invasive Green Alga *Codium Fragile* ssp. *tomentosoides* in Tide Pools on a Rocky Shore in Nova Scotia,” *Botanica Marina*, Vol. 46, pp. 404-412.
  51. Bially, A. and MacIsaac, H. J. (2000) “Fouling Mussels (*Dreissena* spp.) Colonize Soft Sediments in Lake Erie and Facilitate Benthic Invertebrates,” *Freshwater Biology*, Vol. 43, pp. 85-97.
  52. Böhmer, H. J., Heger, T. and Trepl, L. (2001) “Fallstudien zu gebietsfremden Arten in Deutschland - Case studies on Aliens Species in Germany,” *Texte des Umweltbundesamtes*, Vol. 13, pp. 126-136.
  53. Bolch, C.J.S., Salas, M.F.D. (2007) “A review of the molecular evidence for ballast water introduction of the toxic dinoflagellates *Gymnodinium catenatum* and the Alexandrium “tamarensis complex” to Australasia,” *Harmful Algae* Vol. 6, pp. 465-485.
  54. Bravo, I., Garcés, E., Diogène, J., Fraga, S., Sampedro, N. and Figueroa, R. I. (2006) “Resting Cysts of the Toxicogenic dinoflagellate genus *Alexandrium* in Recent Sediments from the Western Mediterranean coast, including the First Description of Cysts of *A. kutnerae* and *A. peruvianum*,” *Eur. J. Phycol.*, Vol. 41, pp. 293-302.
  55. Busch, D., Schuchardt, B., Kettler, J. and Steinweg, B. (1995) “Die Verbreitung der Muschelarten *Dreissena polymorpha* und *Congria leucocephaeata* in der Weser und ihre Eignung für ein passives Schwermetallbiomonitoring,” *Die Weser*, pp. 109-122.
  56. Carlton, J. T. (1985) “Transoceanic and Interoceanic Dispersal of Coastal Marine Organism: the Biology of Ballast Water,” *Oceanography and Marine Biology: and Annual Review*, Vol. 23, pp. 313-371.

57. Carlton, J.T., Geller, J.B. (1993) "Ecological Roulette: The global transport of nonindigenous marine organisms," *Science* Vol. 261, pp. 78-82
58. Carlton, J. T. (2001) *Introduced Species in U.S. Coastal Waters: Environmental Impacts and Management Priorities*, Pew Oceans Commission, Arlington, Virginia.
59. Cato, I. (1977) "Recent Sedimentological and Geochemical Conditions and Pollution Problems in Two Marine Areas in Soutwestern Sweden," *Journal of International Economics*, Vol. 7, pp. 1-150.
60. Charlebois, P.M., Marsden, J.E., Goettel, R.G., Wolfe, R.K., Jude, D.J. and Rudnicka, S. (1997) "The Round Goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas)," *A Review of European and North American Literature*, Illinois-Indiana Sea Grant Program and Illinois Natural History Survey, Illinois.
61. Chiu, R.H., Yuan, C.C. and Chen, K.K. (2008) "The Implementation of Port State Control in Taiwan," *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 16, No. 3, pp. 207-213.
62. Cho, Y. S. & Lee, C. [2000] "Resonant reflection of water waves over sinusoidally varying topographies," *J. Coastal Res.*, Vol. 16 (3), pp. 870-876.
63. Cristescu, M. E. A., Heber, P. D. N., Witt, J. D. S., MacIsaac, H. J. M. and Grigorovich, I. A. (2001) "An Invasion History for *Cercopagis pengoi* Based on Mitochondrial Gene Sequences," *Limnology and Oceanography*, Vol. 2, pp. 224-229.
64. Curiel, D., Guidetti, P., Bellemo, G., Scattolin, M., and Marzocchi, M. (2002) "The introduced Alga *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Alariaceae) in the Lagoon of Venice," *Hydrobiologia*, Vol. 477, pp. 209-219.
65. Czerniejewski, P., Filipiak, J. and Radziejewska, T. (2003) "Body Weight and Morphometry of the Chinese Mitten Crab in the River

- Odra/Oder Estuary (North-Western Poland),” *Acta Scientiarum Polonorum. Ser. Fisheries*, Vol. 2, pp. 29-39.
66. Davies, A.G. and Heathershaw, A.D. (1984) “Surface wave propagation over sinusoidally varying topography,” *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 144, pp. 419-443.
  67. deGroot, A., Zshuppe, K. and Salomons, W. (1982) “Standardization of methods of analysis for heavy metals in sediments,” *Hydrobiologia*, Vol. 92, pp. 689-695.
  68. Dickman, M.D. (2000) “Hong Kong’s Worst Fish Kill from a Red Tide,” In: Ninth International Conference on Harmful Algal Blooms, Hallegraeff, G., ed., Hobart, Tasmania, Australia, pp. 1-12.
  69. Diego-McGlone, M.L.S., Azanza, R.V., Villanoy, C.L., Jacinto, G.S. (2008) “Eutrophic waters, algal bloom and fish kill in fish farming areas in Bolinao, Pangasinan, Philippines,” *Marine Pollution Bulletin* Vol. 57, pp. 295-301.
  70. Drake, L.A., Jenkins, P.T. and Dobbs, F.C. (2005) “Domestic and International Arrivals of NOBOB (No Ballast on Board) Vessels to Lower Chesapeake Bay,” *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 50, pp. 560-565.
  71. Faccini, A. L. and Berchez, F. (2000) “Management of Natural Beds and Standing Stock Evaluation of *Hypnea musciformis* (Gigartinales, Rhodophyta) in South-eastern Brazil,” *Journal of Applied Phycology*, Vol. 2, pp. 101-103.
  72. Fang, T-H., Li, T-Y., Feng, H-M. And Chen, H-Y. (2009) “Distribution and contamination of trace metals in surface sediments of the East China Sea,” *Marine Environmental Research*, Vol. 68, pp. 178-187.
  73. Feng, H., Han, X., Zhang, W. and Yu, L. (2004) “A Preliminary Study of Heavy Metal Contamination in Yangtze River Intertidal Zone due to Urbanization,” *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 49, pp. 910-915.

74. Flagella, M. M., Soria, A. and Buia M.C. (2006) “Shipping Traffic and Introduction of Non-indigenous Organisms: Study Case in Two Italian Harbours,” *Ocean & Coastal Management*, Vol. 49, pp. 947-960.
75. Fletcher, R.L. and Manfredi, C. (1995) “The Occurrence of *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) on the South Coast of England,” *Botanica Marina*, Vol. 38, pp. 355-358.
76. Fofonoff, P.W., (2003) “In ships or on ships? Mechanisms of transfer and invasion for non-indigenous species to the coasts of North America,” *Invasive species: vectors and management strategies*. (Ed.) Ruiz, G.M. and Carlton J. T., Washington, DC, Island Press, 2003, pp. 152-82
77. Gollasch, S., Minchin, D., Rosenthal H., and Voigt, M. (1999) “Exotics Across the Ocean. Case Histories on Introduced Species: their General Biology,” *Distribution, Range Expansion and Impact*, Logos Verlag, Berlin.
78. Gollasch, S. and Leppäkoski, E (1999) “Initial Risk Assessment of Alien Species in Nordic Coastal Waters,” *Nordic Council of Ministers*, Copenhagen.
79. Gollasch, S. and Leppäkoski, E. (2006) “Risk Assessment of Ballast Water Mediated Species Introductions – a Baltic Sea Approach,” *Aquatic Invasion*, Vol. 2, pp. 313-340.
80. Gollasch, S. and Leppäkoski, E. (2007) “Risk Assessment and Management Scenarios for Ballast Water Mediated Species Introductions into the Baltic Sea,” *Aquatic Invasions*, Vol. 2, pp. 313-340.
81. Gollasch, S., David M., Voigt, M., Dragsund, E., Hewitt, C. and Fukuyo, Y. (2007) “Critical Review of the IMO International Convention on the Management of Ships’ Ballast Water and Sediments,” *Harmful Algae*, Vol. 6, pp. 585-600.

82. Guazzelli, E., Rey, V. and Belzons, M. (1992) “Higher-order Bragg reflection of gravity surface waves by periodic beds,” *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 245, pp. 301-317.
83. Guiry, M.D. and Nic Dhonncha, E. (2005) *Hypnea Musciformis*, National University of Ireland, Galway.
84. Guiry, M.D. (2006) Species detail *Alexandrium minutum* Halim, National University of Ireland, Galway.
85. Hallegraeff, G.M., and Bolch, C.J. (1991) “Transport of toxic dinoflagellate cysts via ships’ ballast water,” *Marine Pollution Bulletin* Vol. 22, pp. 27-30.
86. Hallegraeff, G.M., and Bolch, C.J. (1992) “Transport of diatom and dinoflagellate resting spores in ships’ ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture,” *Journal of Plankton Research* Vol. 14, pp. 1067-1084.
87. Hallegraeff, G.M. (1993) “A Review of Harmful Algal Blooms and Their Apparent Global Increase,” *Phycologia*, Vol.32, pp. 79-99.
88. Hamburger K., Dall, P. C. and Jónasson, P. M. (1990) “The Role of *Dreissena polymorpha* Pallas (Mollusca) in the Energy Budget of Lake Esrom, Denmark,” *Verh. Internat. Verein. Liolmn*, Vol. 24, pp. 621-625.
89. Hamer, J.P., Lucas, I.A.N., McCollin. T.A. (2001) “Harmful dinoflagellate resting cysts in ships’ ballast tank sediments: potential for introduction into English and Welsh waters,” *Phycologia*, Vol 40, pp. 246-255.
90. Harvey, M., Gilbert, M., Gauthier. D., Reid. D.M. (1999) “A Preliminary Assessment of Risks for the Ballast Water-Mediated Introduction of Non-indigenous Marine Organisms in the Estuary and Gulf of St. Lawrence,” *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science*, Number 2268, Ottawa, ON. 56.
91. Hayes, K.R. and Sliwa, C. (2003) “Identifying Potential Marine Pests-A Deductive Approach Applied to Australia,” *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 46, pp. 91-98.

92. Heathershaw, A.D. (1982) "Seabed-wave resonance and sand bar growth. nature," Vol. 296, pp. 343-345.
93. Hoestland, H. (1959) "Répartition Actuelle du Crabe Chinois (Eriocheir sinensis H. Milne Edwards) en France," *Bull. Franc. Piscicult*, Vol. 194, pp. 5-14.
94. Ho, K. C. and Hodgkiss, I. J. (1992) "Severe Fishkill in Hong Kong Caused by Noctiluca Scintillans," *Red Tide Newsletter*, Vol. 5, pp. 1-2.
95. Horikawa, K. and Shen, H.W. (1960) "Sand movement by wind action on the characteristics of sand traps," Beach Erosion Board Crops of Engineers, Technical Memorandum.
96. Hsu, T.W., Chang, H.K. and Tsai, L.H. (2002) "Bragg reflection of waves by different shapes of artificial bars," *China Ocean Engineering*, Vol. 16(3), pp. 21-30.
97. Hsu, T.W., Tsai, L.H. and Huang, Y.T. (2003) "Bragg scattering of water waves by multiply composite artificial bars," *Coastal Engineering Journal*, Vol. 45(2), pp. 235-253.
98. ICES Cooperative Research Report (2007) "*International Council for the Exploration of the Sea Conceil International pour l'Exploration de la Mer*," Copenhagen, Denmark.
99. ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (2001). *Report of the ICES/IOC working group on harmful algal bloom dynamics*. ICES Copenhagen, Denmark, Vol. 4, pp. 1-35.
100. Itakura, S., Imai, I., Itoh, K. (1997) "Seed bank of coastal planktonic diatoms in bottom sediments of Hiroshima Bay, Seto Inland Sea, Japan," *Marine Biology* , Vol. 128, pp. 497-508.
101. Kearney, M.P. and Morton, B.S. (1970) "The Distribution of *Dreissena polymorpha* (Pallas) in Britain," *Journal of Conchology*, Vol. 27, pp. 97-100.

102. Kemp, M.C., Wan, H. Jr. (1976) "An elementary proposition concerning the formation of customs unions," *Journal of International Economics*, Vol. 6, pp. 95-97
103. Khan, S., Arakawa, P. O. and Onoue, Y. (1996) "A Toxicological Study of the Marine Phytoflagellate, *Chattonella Antiqua* (Raphidophyceae)," *Phycologia*, Vol. 35, pp. 239-244.
104. Kirby, J.T. and Anton, J.P. (1990) "Bragg reflection of waves by artificial bars," Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering, ASCE, New York, pp. 757-768.
105. Kluser, S., Giuliani, G., Bono, A. and Peduzzi, P. (2004) *Caulerpa Taxifolia, a Growing Menace for the Temperate Marine Environment*, United Nations Environment Programme, DEWA/GRID-Europe.
106. Kull, T. (2005) *Invasiivsed võõrliigid Eestis (in estonian)*, Keskkonnaministeerium. Tallinn.
107. Leppäkoski, E., Olenin, S. (2000) "Non-native Species and Rates of Spread: Lessons from the Brackish Baltic Sea," *Biological Invasions*, Vol. 2, pp. 151-163.
108. Lee, Y.J., Choi, J.K., Kim, E.K., Youn, S.H., Yang, E.J. (2008) "Field experiments on mitigation of harmful algal blooms using a Sophorolipid-Yellow clay mixture and effects on marine plankton", *Harmful Algae*, Vol. 7, pp. 154-162.
109. Lee, M.O., Kim, J.K. (2008) "Characteristics of algal blooms in the southern coastal waters of Korea," *Marine Environmental Research*, Vol. 65, pp. 128-147.
110. Lee, Y.J., Choi, J.K., Kim, E.K., Youn, S.H., Yang, E.J. (2008) "Field experiments on mitigation of harmful algal blooms using a Sophorolipid-Yellow clay mixture and effects on marine plankton," *Harmful Algae*, Vol. 7, pp. 154-162.
111. Lee, J.H.W., Hodgkiss, I.J., Wong, K.T.M., Lam, I.H.Y. (2005) "Real time observations of coastal algal blooms by an early warning system," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 65, pp. 172-190.

112. Liu, Y. & Yue, D. K. P. (1998) "On generalized Bragg scattering of surface waves by bottom ripples," *J. Fluid Mech.*, Vol. 356, pp. 297-326.
113. Liu, C.W., Wang, S.W., Jang, C.S. and Lin, K.H. (2006) "Occurrence of Arsenic in Ground Water in the Choushui River Alluvial Fan, Taiwan," *Journal of Environmental Quality*, Vol. 35, pp. 68-75.
114. Lloyd, (2009), *Ports & Terminals Guide*, Lloyd's Register Fairplay, Redhill, UK.
115. Lu, D. and Huang, W. (1999) "Phaeocystis Bloom in Southeast China Coastal Water 1997," *Harmful Algae News*, Vol. 19, p. 9.
116. Macdonald, E.M., Davidson, R.D. (1998) "The occurrence of harmful algae in ballast discharges to Scottish ports and the effect of mid-water exchange in regional seas," In B. Reguera, J. Blanco, M. L. Fernandez, and T. Wyatt (ed.), *Harmful algae*. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Santiago de Compostela, Spain, pp. 220-223
117. Mack, R.N., Lonsdale, W.M. (2001) "Humans as global plant dispersers: getting more than we bargained for," *BioScience*, Vol. 51, pp. 95-102.
118. Matsuyama, Y., Kimura, A., Fujii, H., Takayama, H. and Uchida, T. (1997) "Occurrence of A *Heterocapsa Circularisquama* Red Tide and Subsequent Damages in Shellfish in Western Hiroshima Bay, Seto Inland Sea, Japan in 1995," *Bulletin Nansei National fish. Research Institute*, Vol. 30, pp. 189-207.
119. Matsuyama Y. (1999) "Harmful Effect of Dinoflagellate *Heterocapsa Circularisquama* on Shellfish Aquaculture in Japan," *Japan Agriculture Research Quarter*, Vol. 33, pp. 283-293.
120. Masó M., Garcés E., Pagès F. and Camp J. (2003) "Drifting Plastic Debris as a Potential Vector for Dispersing Harmful Algal Blooms (HAB) Species," *Scientia Marina*, Vol. 67, pp. 107-111.

121. McCarthy, S.A. and Khambaty, F.M. (1994) "International Dissemination of Epidemic *Vibrio cholerae* by Cargo Ship Ballast and Other Nonpotable Waters," *American Society for Microbiology*, Vol. 60, pp. 2597-2601.
122. McCollin, T.A., Hamer, J.P., Lucas I.A.N. (2000) "Transport of phytoplankton via ship's ballast into ports around England and Wales," In J. Pederson (ed.), *Marine bioinvasions: proceedings of the first national conference*. MIT, Cambridge, Mass, pp. 282-288.
123. McGee, S., Piorkowski, R. and Ruiz, G. (2006) "Analysis of Recent Vessel Arrivals and Ballast Water Discharge in Alaska: Toward Assessing Ship-mediated Invasion Risk," *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 52, pp. 1634-1635.
124. Mei, C. C., Hara, T. & Naciri, M. [1988] "Note on Bragg scattering of water waves by parallel bars on the seabed," *J. Fluid Mech.*, Vol. 186, pp. 147-162.
125. Meinesz, A. and Hesse, B. (1991) "Introduction et Invasion de l'algue Tropicale *Caulerpa Taxifolia* en Méditerranée Nord-occidentale," *Oceanologia Acta* 14, Vol. 4, pp. 415-426.
126. Meinesz, A., Belsher, T., Thibaut, T., Antolic, B., Mustapha, K. B., Boudouresque, C-F., Chiaverini, D., Cinelli, F., Cottalorda, J-M., Djellouli, A., El Abed, A., Orestano, C., Grau, A. M., Ivesa, L., Jaklin, A., Langar, H., Massuti-Pascual, E., Peirano, A., Tunesi, L., de Vaugelas, J., Zavodnik, N., Zuljevic, A. (2001) "The Introduced Green Algae *Caulerpa Taxifolia* Continues to Spread in the Mediterranean," *Biological Invasions*, Vol. 3, pp. 201-210.
127. Melo, V. M. M., Medeiros, D. A., Rios, F. J. B., Castelar, L. I. M. and Carvalho, A. D. (1997) "Antifungal Properties of Proteins (agglutinins) from the Red Alga *Hypnea Musciformis* (Wulfen) Lamouroux," *Botanica Marina*, Vol. 40, pp. 281-284.
128. Miles, J. W. (1981) "Oblique surface-wave diffraction by a cylindrical obstacle," *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, Vol. 6, pp. 121-123.

129. Mil-Homens, M., Stevensb, R.L., Abrantesa, F., Catoc, I. (2006) "Heavy Metal Assessment for Surface Sediments from Three Areas of the Portuguese Continental Shelf," *Continental Shelf Research* 26, Vol. 10, pp. 1184-1205.
130. Mills, E.L., Leach, J.H., Carlton, J.T. & Secor, C.L. (1993) "Exotic species in the Great Lakes: a history of biotic crises and anthropogenic introductions," *Journal of Great Lakes Research*. Vol. 19, pp. 1-54.
131. Mills, E. L., Rosenberg, G., Spidle, A. P., Ludyanskiy, M., Pligin, Y. and May, B. (1996) "A Review of the Biology and Ecology of the Quagga Mussel (*Dreissena bugensis*), a Second Species of Freshwater Dreissenid Introduced to North America," *Amer. Zool.*, Vol. 36, pp. 271-286.
132. Minchin, D., Lucy, F. and Sullivan, M. (2002) "Zebra Mussel: Impacts and Spread," In: Leppäkoski, E., Gollasch, S. and Olenin, S. (eds) *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 135-146.
133. Miyaguchi, H., Fujiki, T., Kikuchi, T., Kuwahara, V.S., Toda, T. (2006) "Relationship between the bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay, Japan," *Journal of Plankton Research*, Vol. 28(3), pp. 313-324.
134. Miyazaki, Y., Nakashima, T., Iwashita, T., Fujita, T., Yamaguchi, K., Oda, T. (2005) "Purification and characterization of photosensitizing hemolytic toxin from harmful red tide phytoplankton, *Heterocapsa circularisquama*," *Aquatic Toxicology* 73, pp. 382-393.
135. Muller, G. (1979) "Schwermetalle in den sediments des Rheins-Veran-derngen seitt 1971," *Umschan*, Vol. 79, pp. 778-783.
136. Nickson, R.T., McArthur, J.M., Ravenscroft, P., Burgess, W.G. and Ahmed, K.M. (2000) "Mechanism of arsenic release to groundwater, Bangladesh and West Bengal," *Applied Geochemistry*, Vol. 15(4), pp. 403-413.

137. Ogata, T. and Kodama, M. (1986) "Ichthyotoxicity Found in Cultured Media of *Protogonyaulax* spp.," *Marine Biology*, Vol. 92, pp. 31-34.
138. Okaichi, T. (1989) "Red Tide Problems in the Seto Inland Sea, Japan," In: *Red Tides, Biology, Environmental Science and Toxicology*, Okaichi, T., Anderson, D. M. and Nemoto, T. ed., New York: Elsevier, pp. 137-142.
139. Onoue, Y., Nozawa, K., Kumanda, K., Takeda, K. and Aramaki, T. (1985) "Toxicity of *Cochlodinium* '78 Yatsushiro occurring in Yatsushiro Sea," *Nippon Suisan Gakkaishi*, Vol. 51, pp. 147-151.
140. Onoue, Y., Haq, M.S. and Nozawa, K. (1990) "Separation of Neurotoxins from *Chattonella Marina*," *Nippon Suisan Gakkaishi*, Vol. 56, p. 695.
141. Qi, D., Huang, Y. and Wang, X. (1993) "Toxic Dinoflagellate Red Tide by a *Cochlodinium* sp. Along the coast of Fujian, China," In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, Smayda, T. J. and Shimizu, Y. eds., Elsevier, Amsterdam, pp. 235-238.
142. Ricciardi, A. (2001) "Facilitative Interaction among Aquatic Invaders: is an 'Invasion Meltdown' Occurring in the Great Lake?" *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, Vol. 58, pp. 2531-2525.
143. Ricciardi A. (2006) "Patterns of invasion in the Laurentian Great Lakes in relation to changes in vector activity," *Diversity and Distributions*, Vol. 12, pp. 425-433
144. Ruiz, G.M., Carlton, J.T., Grosholz, E.D., Hines, A.H. (1997) "Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences", *American Zoologist*, Vol. 37, pp. 621-632
145. Ruiz, G.M., Fofonoff, P.W., Carlton, J.T., Wonham, M.J., Hines, A.H. (2000) "Invasion of coastal marine communities in North America: apparent patterns, processes, and biases," *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 31, pp. 481-531.

146. Sack, D.A., Sack, R.B., Nair, G.B. and Siddique, A.K. (2004), "Cholera," *The Lancet*, Vol. 363, pp. 223-228.
147. Siessegger, B. (1970) "Schäden durch die Wandermuschel *Dreissena polymorpha* Pallas?" *Münchener Medizinische Wochenschrift* 112, Vol. 40, pp.1806-1807.
148. Siessegger, B. (1971) "Besteht durch die Wandermuschel *Dreissena Polymorpha* Pallas Eine Gefahr für den Bodensee und Sseine Anliegenden Wasserwerke?" *Wasser/Boden/Luft*, Vol. 7, pp. 34-40.
149. Smayda, T. J. (2007) "Reflections on the ballast water dispersal-harmful algal bloom paradigm," *Harmful Algae* 6, pp. 601-622.
150. Stanczykowska, A. (1977) "Ecology of *Dreissena Polymorpha* (Pallas)(*Bivalvia*) in Lakes," *Pol. Arch. Hydrolbiol*, Vol. 24, pp. 461-530.
151. Streftaris, N., Zenetos, A., Papathanassiou, E. (2005) "Globalizations in marine ecosystems: the story of non-indigenous marine species across European Seas," *Oceanography Marine Biology: Annual Review* 43, pp. 419-453.
152. Tang, D.L., Kester, D.R., Ni, I.H, Qi, Y.Z., Kawamura, H. (2003) "In situ and satellite observations of a harmful algal bloom and water condition at the Pearl River estuary in late autumn 1998," *Harmful Algae* 2, pp. 89-99.
153. Taylor, S. R. (1964) "Abundance of Chemical Elements in the Continental Crust: a New Table," *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 28, pp. 1273-1285.
154. Tanner, W. F. (1969) "The particle size scale," *J. Sed. Petrol.* Vol. 39, pp. 809-812.
155. Tseng, C.K., Zhou, M. J. and Zou, J. Z. (1993) "Toxic phytoplankton studies in China," In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, Smayda, T. J. and Shimizu, Y. ed., Elsevier, Amsterdam, pp. 347-352.

156. Trowbridge, C. D. (1999) "An Assessment of the Potential Spread and Options for Control of the Introduced Green Macroalga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* on Australian Shores," Center for Research on Introduced Marine Pests and CSIRO Marine Research, Australia.
157. United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS (1982) [http://www.un.org/depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/unclos\\_e.pdf](http://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf)
158. Van Dolah, F.M. (2000) "Marine Algal Toxins: Origins, Health Effects, and Their Increased Occurrence," *Environ. Health Perspect*, Vol. 108, pp. 133-141.
159. Verling, E., Ruiz, R.M., Smith, L.D., Galil B., Miller, A. W., Murphy, K. R. (2005) "Supply-side invasion ecology: characterizing propagule pressure in coastal ecosystems," *Proceedings of the Royal Society* 272, pp.1249-1257
160. Vila, M., Giacobbe, M. G., Maso, M., Gangemi, E., Penna, A., Sampedro, N., Azzaro, F., Camp, J. and Galluzzi, L. (2005). "A Comparative Study on Recurrent Blooms of *Alexandrium minutum* in Two Mediterranean Coastal Areas," *Harmful Algae*, Vol. 4, pp. 673-695.
161. Wang, S. K., Hsu, T. W., Tsai, L. H. & Chen, S. H. (2006) "An application of Miles' theory to Bragg scattering of water waves by doubly composite artificial bars," *Ocean Eng.*, Vol. 33, pp. 331-349
162. Wei, G.F., Tang, D.L., Wang, S. (2004) "Harmful algal bloom causative collected from Hong Kong waters," *Hydrobiologia* 512, pp. 231-238.
163. Wen, C.C. and Tsai L.H. (2008) "Numerical simulation of Bragg reflection based on linear waves propagating over a series of rectangle seabed," *China Ocean Engineering*," Vol. 22, pp. 71-86.
164. World Health Organization (1997) "Cholera in 1996," *Weekly Epidemiological Record*, Vol. 72, pp. 89-96.

165. Wotton, D.M. and Hewitt, C.L. (2004) “Marine Biosecurity Postborder Management: Developing Incursion Response Systems for New Zealand,” *New Zeal. J. Mar. Fresh. Res.*, Vol. 38, pp. 553-559.
166. Xu, J., Zhu, M. and Liu, B. (1993) “The Formation and Environmental Characteristics of the Largest Red Tide in North China,” In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, Smayda, T. J. and Shimizu, Y. ed., Elsevier, Amsterdam, pp. 359-36
167. Yamamoto, C. and Tanaka, Y. (1990) “Two Species of Harmful Red Tide Plankton Increased in Fukuoka Bay,” *Bulletin Fukuoka Fish Experiment Station*, Vol. 16, pp. 43-44.
168. Yang, Z.B., Takayama, H., Matsuoka, K. and Hodgkiss, I. J. (2000) “*Karenia Digitata* sp. Nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a New Harmful Algal Bloom Species from the Coastal Waters of West Japan and Hong Kong,” *Phycologia*, Vol. 39, pp. 463-470.
169. Yang, Z.B. and Hodgkiss, I. J. (1999) “Massive Fish Killing by *Gyrodinium* sp.,” *Harmful Algae News*, Vol. 18, pp. 4-5.
170. Yu, J., Tang, D.L., Oh, I.S., Yao, L.J. (2007) “Response of Harmful Algal Blooms to Environmental Changes in Daya Bay, China”, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, Vol. 18(5), pp. 1011-1027.
171. Zhang, L., Kim, M. H., Zhang, J. & Edge, B. L. (1999) “Hybrid model for Bragg scattering of water waves by steep doubly-sinusoidal bars,” *J. Coastal Res.*, Vol. 15 (2), pp. 486-495.
172. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms  
<http://www.geohab.info/>
173. Global Invasion Species Database  
<http://www.issg.org/database/welcome/>
174. International Maritime Organization,  
<http://www.imo.org/Pages/home.aspx>

175. International Maritime Organization, IMO (2010) “International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments adopted in 2004”  
[http://www5.imo.org/SharePoint/mainframe.asp?topic\\_id=548](http://www5.imo.org/SharePoint/mainframe.asp?topic_id=548)
176. International Transport Workers' Federation,  
<http://www.itfglobal.org/index.cfm>
177. International Transport Workers' Federation
178. <http://www.itfglobal.org/flags-convenience/flags-convenience-183.cfm>
179. National Introduced Marine Pest Information System  
<http://adl.brs.gov.au/marinepests/index.cfm?fa=main.about>