

102-81-7712

MOTC-IOT-101-H2DB004

臺灣近岸港域地形變遷與環境 調查研究 (4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 4 月

臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究
(4/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1010200624

定價 250 元

102-81-7712

MOTC-IOT-101-H2DB004

臺灣近岸港域地形變遷與環境 調查研究 (4/4)

著者：蔡立宏、徐如娟、曾相茂、劉大綱、溫志中、許弘莒

交通部運輸研究所

中華民國 102 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. (4/4) / 蔡立宏
等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 102.04
面 ; 公分
ISBN 978-986-03-6465-1(平裝)

1.海岸 2.流沙 3.數值分析

443.3

102005780

臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (4/4)

著者：蔡立宏、徐如娟、曾相茂、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 (中文版>中心出版品)
電話：(04)26587176
出版年月：中華民國 102 年 4 月
印刷者：承亞興企業有限公司
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：250 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)25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010200624

ISBN：978-986-03-6465-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (4/4)			
國際標準書號 ISBN978-986-03-6465-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1010200624	運輸研究所出版品編號 102-81-7712	計畫編號 101-H2DB004
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：蔡立宏 研究人員：徐如娟、曾相茂、 林受勳、 何良勝、張惠華 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：許弘莒、陳平、黃瓊珠、郭平巧、 周偉龍、王俊欽、徐稚昫、周明麗 地址：臺南市東區大學路1號、臺中市沙鹿區臺灣 大道6段1018號 聯絡電話：06-2757575、04-26318652	研究期間 自 101 年 01 月 至 101 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，以臺中港及鄰近地區為研究目標區，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。</p> <p>本年度(101)研究為第四年，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、海氣象以及飛沙量之關係，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；本研究另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，於船舶或岸上規劃壓艙水處置設施，並分析國內現有相關法令與申報制度，研擬壓艙水管理制度以及可能遭遇的法令問題。本研究成果可提供主管港灣設計營運及水質生態環保單位改善及監控之參考，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，對於港灣漂飛沙及水質環境問題改善、水動力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
102年4月	282	250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購買。
機密等級： <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) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Investigation of the Coastal Topography and Environments near Harbors (4/4)			
ISBN 978-986-03-6465-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200624	IOT SERIAL NUMBER 102-81-7712	PROJECT NUMBER 101-H2DB004
DIVISION: Harbor and Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-hung PROJECT STAFF: Hsu Ju-chuan, Tseng Hsiang-mao, Lin Shou-shiun, Ho Lian-sheng, Chang Hei-hwa PHONE: +886-4-26587177 FAX: +886-4-26560661			PROJECT PERIOD FROM January 2012 TO December 2012
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation, Hung Kuang University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liu Ta-kang, Wen Chih-chung PROJECT STAFF: Hsu Hung-chu, Chen Ping, Huang Chiung-chu, Kuo Ping-chiao, Chou Wei-lung, Wang Chun-chin, Hsu Chih-yun, Chou Ming-li ADDRESS: No.1, University Road Tainan, ROC. No. 1018, Sec. 6, Taiwan Avenue, Sahlu, Taichung 43302, ROC. PHONE: +886-6-2757575, +886-4-26318652			
KEY WORDS: sand drift, coastal topography change, water quality, ballast water, aeolian sand			
ABSTRACT: <p>The purpose of this study is to investigate the port environments and near-shore topography change due to the natural climate, port 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 properties and influence factors of the topography change and water quality distribution near the Port of Taichung can be determined according to the results of investigation and the collected data. The topics included in the present research are as follows: 1. Reviewing related literatures and documents. 2. Setting up numerical models nearby the port. 3. Investigating and analyzing the water quality and ecology in a port. 4. Studying the mechanisms and characteristics of near-shore sediments. 5. Proposing the improving strategies regarding the problems of sediment transport and aeolian sand and establishing the ballast water management procedure. 6. Looking into the characteristics of new coastal protection structures. This study increases our understanding of the present and future impacts to the port and coastal zone, as well as providing improvement strategies. The study would also provide critical information for port and coast managers in charge of the port and coastal areas. This year is the forth year of the project; the target port is Taichung Harbor and the nearby areas.</p> <p>This study can both uphold and preserve the port and coastal environment. It has considered not only the safety level of the coast and port, but also its effect on walkway and ecology. The results provide the government institutes and private sectors, including the Ministry of Transportation and Communication, Port authority, Water Resource Agency, Environmental Protection Administration, consultant incorporations et al., with the references to improve the problems of sediment transport and water pollution and to design coastal structures to protect the coast and port.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2013	NUMBER OF PAGES 282	PRICE 250	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(4/4)

目 錄

摘 要	I
目 錄	III
表目錄	VIII
圖目錄	XII
第一章 緒論	1-1
1.1 前言	1-2
1.2 研究動機及目的	1-3
1.3 研究項目與方法	1-3
1.4 本研究組織	1-4
第二章 資料蒐集與分析	2-1
2.1 臺中港區概況	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	2-15
2.3.2 海流	2-18
2.3.3 波浪	2-23
2.3.4 潮位	2-28
2.4 颱風資料	2-30
2.5 海域水質	2-44
2.5.1 臺中港外海水質	2-44

2.5.2	臺中港港內水質.....	2-51
2.5.3	臺中港海域底質.....	2-57
2.6	陸域水質.....	2-63
2.6.1	匯入臺中港域排水路水質.....	2-63
2.6.2	可能污染來源.....	2-69
2.7	海域生態.....	2-70
2.8	船舶壓艙水議題.....	2-72
2.8.1	壓艙水引進外來種之影響.....	2-72
2.8.2	壓艙水相關法規訂定.....	2-72
第三章	水理模式建置與分析.....	3-1
3.1	二維水動力控制方程式.....	3-1
3.2	水質模式控制方程式.....	3-3
3.2.1	BOD 模式.....	3-3
3.2.2	大腸菌模式.....	3-3
3.3	模式驗證.....	3-4
3.3.1	模擬區域之選定.....	3-4
3.3.2	模式之率定.....	3-8
3.4	水質擴散分析.....	3-11
3.5	水質分類與海域涵容能力.....	3-21
3.5.1	SPI 法.....	3-22
3.5.2	WQI 法.....	3-22
3.5.3	海域涵容能力.....	3-23
第四章	港域水質與底質調查分析.....	4-1
4.1	測站規劃.....	4-1

4.1.1	測站設置原則.....	4-1
4.1.2	測站選定.....	4-2
4.2	海域水質調查方法.....	4-4
4.2.1	採樣方法.....	4-4
4.2.2	採樣頻率.....	4-4
4.2.3	分析項目與檢測方法.....	4-4
4.3	海域水質調查結果.....	4-5
4.4	海域底質調查方法.....	4-18
4.4.1	採樣方法.....	4-18
4.4.2	採樣頻率.....	4-18
4.4.3	分析項目與檢測方法.....	4-18
4.5	海域底質調查結果.....	4-18
4.6	水質與底質重金屬間之相關性分析.....	4-29
4.6.1	重金屬污染程度評估指標.....	4-29
4.6.2	海域水質與底質相關性分析.....	4-38
第五章	壓艙水處置設施規劃與管理制度研擬.....	5-1
5.1	國外相關案例調查.....	5-2
5.1.1	船用壓艙水管理系統認證標準與核可現況.....	5-2
5.1.2	岸上壓艙水處置設施之技術規範與應用現況.....	5-4
5.2	國內船隻壓艙水處理設備調查.....	5-9
5.2.1	問卷調查內容與結果.....	5-9
5.2.2	個案分析-中油華運輸壓艙水處理系統.....	5-13
5.3	臺中港之岸上設施規劃.....	5-18
5.4	船舶壓艙水管理制度研擬.....	5-21

5.4.1 指定壓艙水交換區規劃.....	5-22
5.4.2 船隻申報制度.....	5-28
5.4.3 港口國官員執行能量與船舶風險分析應用之整合	5-35
5.4.4 船舶壓艙水管理之法制問題探討.....	5-38
5.4.5 總結.....	5-41
第六章 飛沙現場調查.....	6-1
6.1 調查地點.....	6-1
6.2 量測器材.....	6-1
6.3 調查方法.....	6-4
6.3.1 風速量測.....	6-5
6.3.2 沙粒含水率量測.....	6-5
6.3.3 飛沙量測.....	6-7
6.3.4 飛沙越堤量測.....	6-9
6.3.5 空氣品質監測.....	6-11
第七章 飛沙機制分析.....	7-1
7.1 垂直剖面風速特性.....	7-1
7.1.1 風速之垂直分佈.....	7-1
7.1.2 風速時序列分析.....	7-3
7.1.3 風速 $U_{0.2}$ 與摩擦風速 U_* 之影響.....	7-4
7.1.4 風速 $U_{0.2}$ 與粗糙長度 Z_0 之影響.....	7-5
7.2 飛沙移動模式建置.....	7-5
7.2.1 飛沙量 Q 與風速($U_{0.2}$ 、 U_*)和含水率 ω 之關係.....	7-5
7.2.2 飛沙量 Q 與垂直高程 Z 之關係.....	7-8
7.2.3 飛沙量 Q 與沙粒含水率 ω 之關係.....	7-8

7.2.4 飛沙量 Q 與中值粒徑 d_{50} 之關係.....	7-9
7.3 飛沙量推估.....	7-9
7.3.1 年飛沙量推估.....	7-9
7.3.2 越堤飛沙量推估.....	7-11
7.4 飛沙空氣品質相關性探討.....	7-14
7.4.1 大甲溪河口飛沙對 PM_{10} 之影響.....	7-14
7.4.2 北淤沙區飛沙對臺中港區之 PM_{10} 之影響.....	7-16
7.4.3 北淤沙區風速 U 、飛沙量 Q 對應空氣品質之關係.....	7-19
第八章 系列潛堤保護工法設計研究.....	8-1
8.1 理論模式.....	8-1
8.2 數值模式.....	8-4
8.3 潛堤保護工設計.....	8-6
第九章 結論與建議.....	9-1
9.1 結論.....	9-1
9.2 建議.....	9-3
9.3 成果效益及後續應用情形.....	9-5
參考文獻.....	參-1
附錄 「船舶壓艙水水質管理座談會」會議議程及會議紀錄.....	附-1

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 1999-2011 年之氣象觀測資料統計表	2-4
表 2-3	梧棲氣象站 1999-2011 年之氣象觀測資料統計表	2-4
表 2-4	臺中港 2001 年至 2011 年風之風速及風向統計表.....	2-15
表 2-5	臺中港 2003 年至 2011 年海流之流速及流向統計表.....	2-19
表 2-6	臺中港 2003 年至 2011 年示性波高、週期及波向資料 統計表.....	2-24
表 2-7	臺中港 1999-2011 年潮位資料統計	2-29
表 2-8	1998 年至 2012 年有發佈警報之颱風基本資訊一覽表	2-31
表 2-8(續 1)	1998 年至 2012 年有發佈警報之颱風基本資訊 一覽表	2-32
表 2-8(續 2)	1998 年至 2012 年有發佈警報之颱風基本資訊 一覽表	2-33
表 2-9	1998 年至 2012 年 9 月期間颱風路徑分類統計表.....	2-34
表 2-10	2003 年至 2011 年颱風期間臺中港海域之波浪、風及 潮流資料統計表.....	2-41
表 2-10(續)	2003 年至 2011 年颱風期間波浪、風及潮流資料 統計表.....	2-42
表 2-11	地面水體分類及水質標準.....	2-47
表 2-12	臺中沿海 2012 年海域水質檢測結果(環保署水體品質 資料庫) -2012 年前 3 季.....	2-50

表 2-13	臺中港務分公司(原臺中港務局)2007 年底泥檢測結果	.....2-58
表 2-14	臺中港務分公司(原臺中港務局)2008 年底泥檢測結果	.....2-59
表 2-15	臺中港務分公司(原臺中港務局)2009 年底泥檢測結果	.....2-60
表 2-16	臺中港務分公司(原臺中港務局)2010 年底泥檢測結果	.....2-61
表 2-17	臺中港務分公司(原臺中港務局)2011 年底泥檢測結果	.....2-62
表 3-1	大區域海潮流模式之格網及計算條件	.....3-5
表 3-2	臺中港水質模式驗證使用之污染量設定值	.....3-12
表 3-3	SPI 之積分點數表	.....3-22
表 3-4	WQI 水質參數濃度與點數間關係之計算公式一覽表	.....3-23
表 3-5	於乙類、丙類水體下臺中港總承載現況分析表	.....3-24
表 4-1	2012 年臺中港鄰港海域水質與底質測站座標	.....4-2
表 4-2	水質檢測項目之方法與偵測極限等品質目標	.....4-6
表 4-3	臺中港鄰港海域水質 2012 年採樣調查結果	.....4-7
表 4-4	2009 年至 2012 年臺中港鄰港海域水質調查結果	.....4-10
表 4-5	臺中港鄰港海域底質 2012 年 4 月枯水期採樣調查結果	...4-19
表 4-6	臺中港鄰港海域底質 2011 與 2012 年 4 月枯水期粒徑分 析結果	.....4-20
表 4-7	底質粒徑大小等級分類 Udden-Wentworth 分類	.....4-21
表 4-8	國外底質規範快速篩選參考表	.....4-27
表 4-9	2011 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度 (地殼鋁濃度平均值)	.....4-32
表 4-9 續)	2012 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度	

	(地殼鋁濃度平均值).....	4-32
表 4-10	2011 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度 (地殼鋁濃度平均值).....	4-33
表 4-10(續)	2012 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度 (地殼鋁濃度平均值).....	4-33
表 4-11	地質累積指數與污染程度分級.....	4-34
表 4-12	2011 年 4 月臺中港底質重金屬地質累積指數與污染程度	4-34
表 4-12(續)	2012 年 4 月臺中港底質重金屬地質累積指數與污染 程度.....	4-34
表 4-13	臺中港底質重金屬富集程度(大甲溪外海鋁濃度).....	4-35
表 4-14	臺中港底質重金屬富集程度(大甲溪外海鋁濃度).....	4-36
表 4-15	2011 年 4 月枯水期臺中港海域水質與底質相關性分析.....	4-40
表 4-16	2012 年 4 月枯水期臺中港海域水質與底質相關性分析.....	4-41
表 5-1	國際壓艙水公約管理技術規範.....	5-2
表 5-2	公約中船舶壓艙水管理的時程.....	5-3
表 5-3	船舶進入我國各港壓艙水處理現況.....	5-10
表 5-4	影響使用意願之原因.....	5-12
表 5-5	已備有壓艙水紀錄(簿).....	5-12
表 5-6	船用與岸上壓艙水處理設施之比較.....	5-21
表 5-7	哈得遜海峽(Hudson Strait)指定壓艙水交換區評估項目.....	5-23
表 5-8	美國壓艙水申報表格.....	5-30
表 5-9	澳洲壓艙水申報表格.....	5-32

表 5-10	港口國管制檢查目標船遴選系統中之計算要素.....	5-36
表 5-11	2003 年至 2011 年港口國管制船隻檢查結果.....	5-36
表 5-12	與壓艙水管理相關之法制討論.....	5-42
表 6-1	飛沙試驗項目.....	6-5
表 6-2	含水率試驗座標.....	6-6
表 6-3	飛沙試驗座標.....	6-8
表 6-4	北防沙堤飛沙越堤試驗座標.....	6-10
表 6-5	北防波堤飛沙越堤試驗座標.....	6-10
表 6-6	北淤沙區沿岸空氣品質監測座標.....	6-12
表 6-7	污染物濃度與污染副指標值對照表.....	6-12
表 6-8	PSI 值與健康影響.....	6-13
表 7-1	風速觀測分析.....	7-2
表 7-2	飛沙量調查與迴歸預測值比較表.....	7-7
表 7-3	臺中港北淤沙區飛沙量推估.....	7-11
表 7-4	北防波堤堤址飛沙量測各高程飛沙量百分比.....	7-12
表 7-5	北防波堤堤址飛沙量測 Q_0 、 $Q_{0.1}$ 高程飛沙量.....	7-12
表 7-6	北防沙堤堤址飛沙越堤量測 Q_0 、 $Q_{0.1}$ 高程飛沙量.....	7-13
表 7-7	大甲溪河口飛沙量 Q 與 PM_{10} 觀測值(范，2010).....	7-15
表 7-8	中突堤空氣品質監測結果.....	7-17
表 7-9	中突堤 90~100 年間空氣品質監測結果.....	7-18
表 7-10	北防波堤堤址及擋風牆外空氣品質監測結果.....	7-22

圖目錄

圖 1-1	臺中港附近海域.....	1-2
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 2011 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 2011 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 2011 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 2011 年平均氣壓之月統計圖.....	2-6
圖 2-6	臺中氣象站 1999 年至 2011 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 2011 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 2011 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 2011 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 2011 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 2011 年平均氣壓之月統計圖.....	2-8
圖 2-12	梧棲氣象站 1999 年至 2011 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 2011 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 2011 年風速及風向之月統計圖.....	2-16
圖 2-15	臺中港 2001 年至 2011 年風速及風向之月統計分布圖.....	2-16
圖 2-16	臺中港 2001 年至 2011 年之最大風速統計分布圖.....	2-17
圖 2-17	臺中港 2001 年至 2011 年之平均風速統計分布圖.....	2-18
圖 2-18	臺中港 2003 年至 2011 年海流流速、流向及最大流速之月統計圖.....	2-20
圖 2-19	臺中港 2003 年至 2011 年海流流速、流向及最大流速之月統計分布圖.....	2-20
圖 2-20	臺中港 2003 年至 2011 年之海流最大流速統計分布圖.....	2-21
圖 2-21	臺中港 2003 年至 2011 年之海流平均流速統計分布圖.....	2-22
圖 2-22	臺中港 2003 年至 2011 年平均示性波高、平均週期及最大示性波高之月統計.....	2-25
圖 2-23	臺中港 2003 年至 2011 年平均示性波高、平均週期及波向之月統計分布圖.....	2-25
圖 2-24	臺中港 2003 年至 2011 年之最大波高統計分布圖.....	2-26
圖 2-25	臺中港 2003 年至 2011 年之平均波高統計分布圖.....	2-27
圖 2-26	臺中港 1999 年至 2011 年最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計圖.....	2-28
圖 2-27	颱風路徑分類圖.....	2-34
圖 2-28	1998 年至 2012 年 9 月期間侵臺之颱風路徑圖.....	2-35
圖 2-29	1998 年至 2012 年 9 月期間第一類颱風路徑圖.....	2-36

圖 2-30	1998 年至 2012 年 9 月期間第二類颱風路徑圖.....	2-36
圖 2-31	1998 年至 2012 年 9 月期間第三類颱風路徑圖.....	2-37
圖 2-32	1998 年至 2012 年 9 月期間第四類颱風路徑圖.....	2-37
圖 2-33	1998 年至 2012 年 9 月期間第五類颱風路徑圖.....	2-38
圖 2-34	1998 年至 2012 年 9 月期間第六類颱風路徑圖.....	2-38
圖 2-35	1998 年至 2012 年 9 月期間第七類颱風路徑圖.....	2-39
圖 2-36	1998 年至 2012 年 9 月期間第八類颱風路徑圖.....	2-39
圖 2-37	1998 年至 2012 年 9 月期間第九類颱風路徑圖.....	2-40
圖 2-38	臺灣沿海海域水體分類圖.....	2-45
圖 2-39	環保署全國海域水質臺中港沿海監測站位置.....	2-46
圖 2-40	2011 年 3 月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.....	2-49
圖 2-41	臺中港港內海域水質監測點位圖.....	2-51
圖 2-42	臺中港港內歷年漲退潮期間溶氧量監測值.....	2-52
圖 2-43	臺中港港內歷年漲退潮期間生化需氧量監測值.....	2-53
圖 2-44	臺中港港內歷年漲退潮期間大腸桿菌群監測值.....	2-54
圖 2-45	臺中港港內歷年漲退潮期間氨氮監測值.....	2-55
圖 2-46	臺中港港內歷年漲退潮期間總磷監測值.....	2-56
圖 2-47	陸域水質監測點位圖.....	2-63
圖 2-48	上游陸域水質之歷年漲退潮期間溶氧量變化(>2.0 mg/L)..	2-64
圖 2-49	上游陸域水質之歷年漲退潮期間生化需氧量變化(<6.0 mg/L).....	2-65

圖 2-50	上游陸域水質之歷年漲退潮期間大腸桿菌群變化 ($<10,000$ CFU/100 mL)	2-66
圖 2-51	上游陸域水質之歷年漲退潮期間氨氮變化(<0.3 mg/L).....	2-67
圖 2-52	上游陸域水質之歷年漲退潮期間總磷變化(<0.05 mg/L)	2-68
圖 2-53	上游陸域水質之歷年漲退潮期間懸浮固體變化.....	2-71
圖 2-54	上游陸域水質之歷年漲退潮期間大腸桿菌群變化.....	2-72
圖 2-55	上游陸域水質之歷年漲退潮期間氨氮變化.....	2-73
圖 2-56	上游陸域水質之歷年漲退潮期間總磷變化.....	2-74
圖 2-57	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.....	2-82
圖 2-58	臺中港海域浮游植物生態多樣性歧異度變化趨勢.....	2-86
圖 2-59	臺中港海域浮游動物生態多樣性歧異度變化趨勢.....	2-87
圖 2-60	臺中港海域底棲動物生態多樣性歧異度變化趨勢.....	2-88
圖 2-61	臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態 歧異度多樣性變化趨勢.....	2-88
圖 2-62	臺中港海域浮游植物生態優勢度變化趨勢.....	2-89
圖 2-63	臺中港海域浮游動物生態優勢度變化趨勢.....	2-90
圖 2-64	臺中港海域底棲動物生態優勢度變化趨勢.....	2-91
圖 2-65	臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態 優勢度變化趨勢.....	2-91
圖 2-66	臺中港海域浮游植物生態均勻度變化趨勢.....	2-92
圖 2-67	臺中港海域浮游動物生態均勻度變化趨勢.....	2-93

圖 2-68	臺中港海域底棲生物生態均勻度變化趨勢.....	2-94
圖 2-69	臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態 均勻度變化趨勢.....	2-94
圖 2-70	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.....	2-95
圖 2-71	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.....	2-95
圖 3-1	研究範圍.....	3-5
圖 3-2	海潮流模式模擬範圍及地形水深分佈圖.....	3-6
圖 3-3	臺中港位置示意圖及測站位置圖.....	3-6
圖 3-4	水質測站 N5、N6 與 N7 位置圖.....	3-7
圖 3-5	水質測站 T1~T6 位置圖.....	3-7
圖 3-6	模式預測與實測流速比較圖.....	3-9
圖 3-7	烏溪海流測站實測流速與模式預測比較圖.....	3-9
圖 3-8	臺中港附近海域於漲潮時之流場分佈圖.....	3-10
圖 3-9	臺中港附近海域於退潮時之流場分佈圖.....	3-10
圖 3-11	T1、T2、T3 測站實測 BOD 濃度與模式預測比較圖.....	3-12
圖 3-12	T4、T5、T6 測站實測 BOD 濃度與模式預測比較圖.....	3-13
圖 3-13	無風驅動下污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖.....	3-13
圖 3-13(續 1)	無風驅動下污染物於臺中港之水質 BOD 影響 分佈圖.....	3-14
圖 3-13(續 2)	無風驅動下污染物於臺中港之水質 BOD 影響 分佈圖.....	3-15

圖 3-14	模式模擬風速為 7m/s、S 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖	3-16
圖 3-14(續 1)	模式模擬風速為 7m/s、S 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖	3-17
圖 3-14(續 2)	模式模擬風速為 7m/s、S 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖	3-18
圖 3-15	模式模擬風速為 7m/s、NNE 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖	3-19
圖 3-15(續 1)	模式模擬風速為 7m/s、NNE 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖	3-20
圖 3-15(續 2)	模式模擬風速為 7m/s、NNE 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖	3-21
圖 4-1	2012 年臺中港鄰港海域水質與生態測站位置.....	4-3
圖 4-2	臺中港鄰近沿海海域之歷年酸鹼度變化.....	4-17
圖 4-3	臺中港鄰近沿海海域之歷年溶氧量變化.....	4-17
圖 4-4	臺中港鄰近沿海海域之歷年重金屬銅變化.....	4-17
圖 4-5	臺中港鄰港海域底質 2012 年 4 月枯水期粒徑累積曲線分佈圖.....	4-20
圖 4-6	2011 年與 2012 年海域底質調查總有機物變化比較圖.....	4-22
圖 4-7	2011 年與 2012 年海域底質調查銅變化比較圖.....	4-23
圖 4-8	2011 年與 2012 年海域底質調查鉛變化比較圖.....	4-23
圖 4-9	2011 年與 2012 年海域底質調查鋅變化比較圖.....	4-23
圖 4-10	2011 年與 2012 年海域底質調查鉻變化比較圖.....	4-24
圖 4-11	2011 年與 2012 年海域底質調查砷變化比較圖.....	4-24

圖 4-12	2011 年與 2012 年海域底質調查汞變化比較圖.....	4-24
圖 4-13	2011 年與 2012 年海域底質調查鋁變化比較圖.....	4-25
圖 4-14	臺中港底質歷次有機物調查結果.....	4-37
圖 4-15	臺中港底質歷次重金屬銅查結果.....	4-37
圖 4-16	臺中港底質歷次砷調查結果.....	4-38
圖 5-1	船舶壓艙水從離港後可能使用的壓艙水處置方式.....	5-1
圖 5-2	船舶及壓艙水管理系統裝置率.....	5-10
圖 5-3	岸上壓艙水管理系統使用意願.....	5-12
圖 5-4	進氣系統.....	5-14
圖 5-5	臭氧系統.....	5-15
圖 5-6	中合系統.....	5-16
圖 5-7	監測與控制系統.....	5-16
圖 5-8	為臺中港港區配置圖.....	5-20
圖 5-9	船舶壓艙水管理流程示意圖.....	5-21
圖 5-10	2006 年所公布的指定壓艙水交換區.....	5-24
圖 5-11	2011 年經過評估後所公布的指定壓艙水交換區.....	5-24
圖 5-12	環保署公告之海洋棄置指定海域示意圖.....	5-25
圖 5-13	臺灣海域自 1991 年至 2008 年之平均海流圖.....	5-27
圖 5-14	2009 年臺中港入港船舶壓艙水風險評估結果.....	5-37
圖 6-1	臺中港北淤沙區飛沙調查區域示意圖.....	6-1
圖 6-2	Davis 時序列風速風向計.....	6-2

圖 6-3	RiXEN 探針式土壤含水率計	6-2
圖 6-4	沙粒含水率校正曲線	6-3
圖 6-5	垂直式沙粒收集器	6-4
圖 6-6	DustMate 激光粉塵監測儀	6-4
圖 6-7	含水率試驗地點位置圖	6-6
圖 6-8	沙灘區域潮汐水位變化	6-7
圖 6-9	沙灘區域沙粒含水率變化	6-7
圖 6-10	飛沙量測試地點圖	6-8
圖 6-11	北防沙堤南側沙粒粒徑分佈	6-8
圖 6-12	北防波堤北側沙粒粒徑分佈	6-9
圖 6-13	編籬定沙區沙粒粒徑分佈	6-9
圖 6-14	飛沙越堤試驗地點對應圖	6-11
圖 6-15	北防沙堤飛沙越堤試驗地點圖	6-11
圖 6-16	北防波堤飛沙越堤試驗地點圖	6-11
圖 6-17	北淤沙區沿岸空氣品質監測對應圖	6-12
圖 7-1	觀測點 9 垂直剖面風速圖	7-3
圖 7-2	觀測點 10 垂直剖面風速圖	7-3
圖 7-3	觀測點 11 垂直剖面風速圖	7-3
圖 7-4	觀測點 12 垂直剖面風速圖	7-3
圖 7-5	觀測點 13 垂直剖面風速圖	7-4
圖 7-6	觀測點 14 垂直剖面風速圖	7-4

圖 7-7	觀測點 15 垂直剖面風速圖	7-4
圖 7-8	觀測點 16 垂直剖面風速圖	7-4
圖 7-9	U_* 與 $U_{0.2}$ 之關係圖	7-5
圖 7-10	Z_0 與 $U_{0.2}$ 之關係圖	7-5
圖 7-11	$Q_{0.2}$ 與 $U_{0.2}$ 之關係圖	7-6
圖 7-12	不同參數迴歸比較圖	7-6
圖 7-14	$Q_{0.2}$ 與 ω 之關係圖	7-9
圖 7-15	$Q_{0\sim 0.2}$ 與 d_{50} 之關係圖	7-10
圖 7-16	外海風速 U_{10} 與沙灘區風速 $U_{0.2}$ 之關係圖	7-10
圖 7-17	大甲溪河口飛沙量 Q 與 PM_{10} 之分析結果	7-16
圖 7-18	$U_{0.2}$ 與 PM_{10} 之分析結果	7-16
圖 7-19	U 與 α 之關係圖	7-18
圖 7-20	U 與 α 之關係圖	7-18
圖 7-21	擋風牆外圍 TSP 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖	7-19
圖 7-22	擋風牆外圍 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖	7-19
圖 7-23	擋風牆外圍 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖	7-20
圖 7-24	擋風牆外圍 PM_{10} 與飛沙量 Q 相關分佈圖	7-20
圖 7-25	北防波堤堤址 TSP 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖	7-21
圖 7-26	北防波堤堤址 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖	7-21
圖 7-27	防波堤堤址 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖	7-21
圖 7-28	防波堤堤址 PM_{10} 與飛沙量 Q 相關分佈圖	7-21

圖 8-1	複合式潛堤佈置參數示意圖	8-3
圖 8-2	不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($S_1=25m$)	8-7
圖 8-3	不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($S_1=30m$)	8-7
圖 8-4	不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($S_1=25m$)	8-8
圖 8-5	不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($S_1=30m$)	8-8
圖 8-6	不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($N=6$)	8-9
圖 8-7	不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($N=4$)	8-9
圖 8-8	不同週期反射率分佈圖 (Miles, 1981)	8-10
圖 8-9	不同週期反射率分佈圖 (EEMSE, Hsu 等 (2003))	8-11

第一章 緒論

1.1 前言

臺灣四周環海，海岸及近岸之經濟、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建設開發，原有自然海岸漂沙平衡機制因人工海岸港灣結構物影響而遭破壞，在鄰港附近常造成地形變遷，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，故海岸常發生侵蝕及淤積的現象，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污泥，而天然降雨、港灣附近工業污染以及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、港灣空氣污染、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、愛臺十二項建設之「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，由於近年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，臺灣港務股份有限公司-臺中港務分公司（前身為臺中港務局）正進行北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程（臺中港務分公司，2007），增設定沙突堤及北防沙堤延長等防治設施，並輔以擋沙牆、防風柵欄、竹籬及植被等柔性定沙工法防止飛沙；而花蓮港南濱海岸，因花蓮港灣結構物改變花蓮港南側近岸的水理機制，導致南濱海岸沙灘侵蝕消；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，模擬漂飛沙運動之機

制，藉以瞭解海岸變遷與影響因素間之水動力機制，提出適當的改善構想並進行評估分析，以提供特定港灣面對海岸侵蝕以及漂沙等地形變遷問題之參考。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，並針對可能造成港池生態水質影響之壓艙水作深入探討。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等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（99-100年）。7.分析鄰港水質環境特性（98-101年）。8.探討壓艙水影響及管理規劃（98-101年）。9.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（101年）研究內容簡述如下：

1. 海氣象相關資料收集與分析

收集歷年臺中港區之海氣象等資料（包括風、波、流），以各種的統計方法整理分析，探討本區域海氣象特性。

2. 水質、底質與生態相關資料收集分析

收集歷年港灣及鄰近排水路水質資料，整理並分析探討水質分佈之特性，並提出可能污染來源。

3. 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）包括重金屬之調查。
4. 飛沙及空氣品質現地調查分析
進行風速、沙灘含水率、飛沙測量以及空氣品質量測等，依據調查資料分析，探討飛沙運移機制並推估飛沙量。
5. 分析鄰港水質與底質特性
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、陸域水質以及底質重金屬之相關性。
6. 壓艙水處置設施規劃與研擬管理制度
根據問卷調查以及文獻資料分析，於船舶或岸上規劃壓艙水處置設施。分析國內現有相關法令與申報制度，研擬壓艙水管理制度以及可能遭遇的法令問題。
7. 臺中港佈設新式海岸保護工法的效果探討
針對具有防災、生態以及親水功能之系列潛堤軟式工法，以臺中港區的海象條件作為設計依據，探討不同設計方式的防護效果，並選出最佳之設計。

1.4 本研究組織

本研究共分為九章，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；第三章水質模式建立與分析，以二維水動力模式探討水質變化情形。第四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；第五章為壓艙水處置設施規劃與管理制度研擬，規劃適合國內的處置設施並研擬管理制度；第六章為

飛沙現場調查，說明調查地點、設備以及方法；第七章為飛沙機制分析，依據調查分析結果，探討飛沙特性並推估飛沙量；第八章為系列潛堤保護工設計研究；第九章為結論與建議，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，西臨臺灣海峽，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。

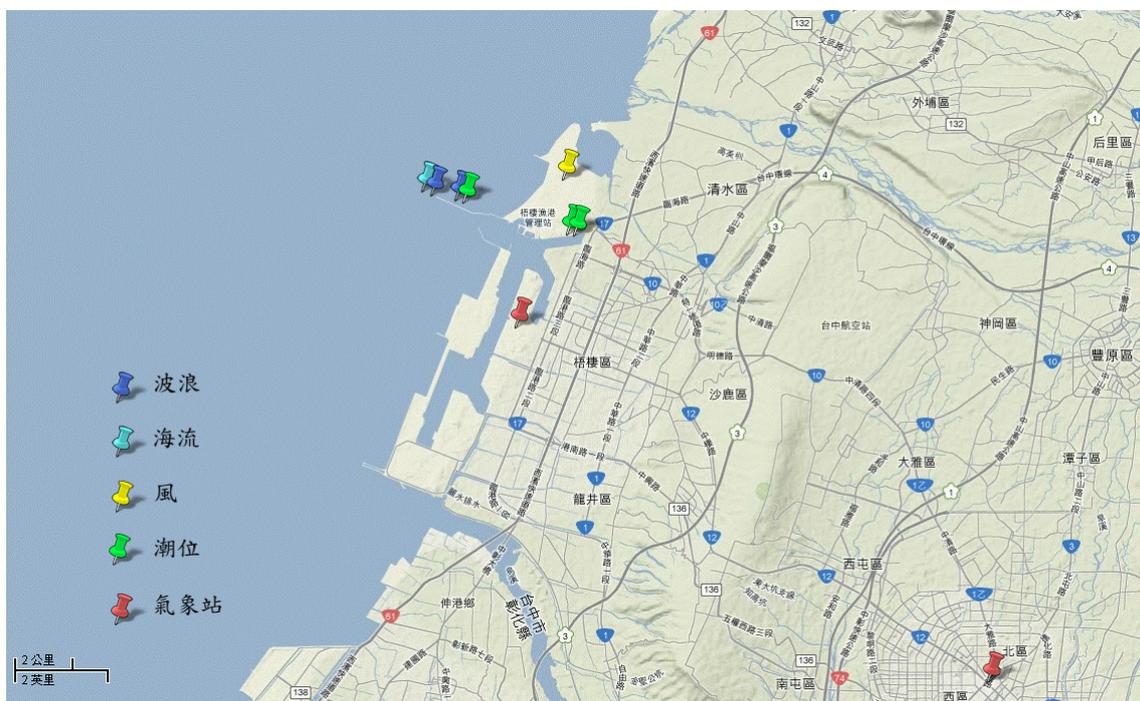
臺中港發展至今已興建之營運碼頭共 49 座，總長度 11,936 公尺，貨櫃 8 座、客運 1 座、穀類 2 座、煤炭 4 座、管道 8 座、水泥 3 座、散雜貨 21 座、LNG1 座及廢鐵 1 座。碼頭後線儲轉區之倉棧設施有雜貨通棧 13 座，水泥筒倉 22 座，堆貨場 8 處，貨櫃場 3 處，液體貨儲槽 255 座，可提供業者良好的投資環境，棧埠裝卸及倉儲業務多開放民間投資經營，全港擁有許多自動化的裝卸倉儲設備，作業效率高。其地處於臺灣南北交通的中心，有快速道路連接清泉崗國際機場，有利海空聯運；更位於上海到香港航運的中點，與大陸東南沿海各港呈輻射狀等距展開，距離最近，在未來兩岸直航具有最佳優勢。

本研究收集自 1999 年至 2011 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以及本所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°17'54"N 120°29'39"E	1999/10-2000/08	本所港研中心	AWCP
波浪	臺中港	24°18'04"N 120°28'59"E	2003/08-2011/12	本所港研中心	AWCP
海流	臺中港	24°18'04"N 120°28'59"E	2003/08-2011/12	本所港研中心	AWCP
風	臺中港	24°18'18"N 120°31'52"E	2001/07-2011/12	本所港研中心	Young Brand 風速計
潮位	臺中港	24°17'16"N 120°31'57"E	1999/10-1999/10 2001/04-2011/12	本所港研中心	Water Log
潮位	臺中港	24°17'54"N 120°29'39"E	2003/08-2011/12	本所港研中心	AWCP
潮位	臺中港	24°17'16"N 120°31'59"E	1999/01-1999/10 2002/01-2011/12	內政部	Aquatrak 音波式
氣象	臺中	24°08' 51"N 120°40'33"E	1999/01-2011/12	中央氣象局	
氣象	梧棲	24°15' 31"N 120°30'54"E	1999/01-2011/12	中央氣象局	

資料來源：本所港灣技術研究中心、中央氣象局



資料來源：本所港灣技術研究中心、Google Map

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 2011 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 22%，發生在 2010 年 1 月 13 日。
4. 年平均氣壓介於 1001.5 hPa 至 1003.1 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 4.5 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 1999-2011 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
2011	23.5	35.7	2011/06/15	7.9	2011/01/1	-	-	16.4	200.0	2011/05/23	71.7	29.0	1002.7	1204.9	-	109.0	1842.1

資料來源：中央氣象局

表 2-3 梧棲氣象站 1999-2011 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
2011	22.5	34.1	2011/08/25	7.9	2011/01/12	-	-	31.0	50	2011/12/9	77.3	39	1009.8	605.0	0.0	91	1964.7

資料來源：中央氣象局

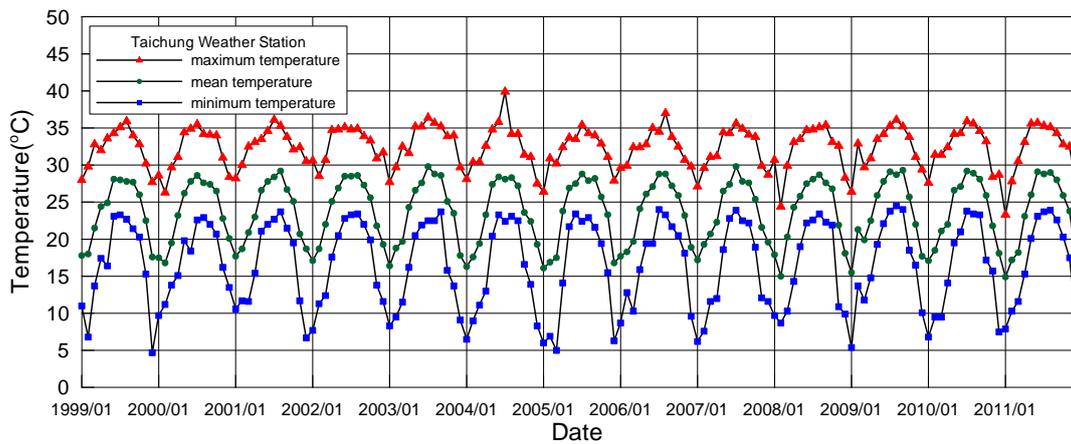


圖 2-2 臺中氣象站 1999 年至 2011 年平均氣溫、最高氣溫及最低氣溫之月統計圖

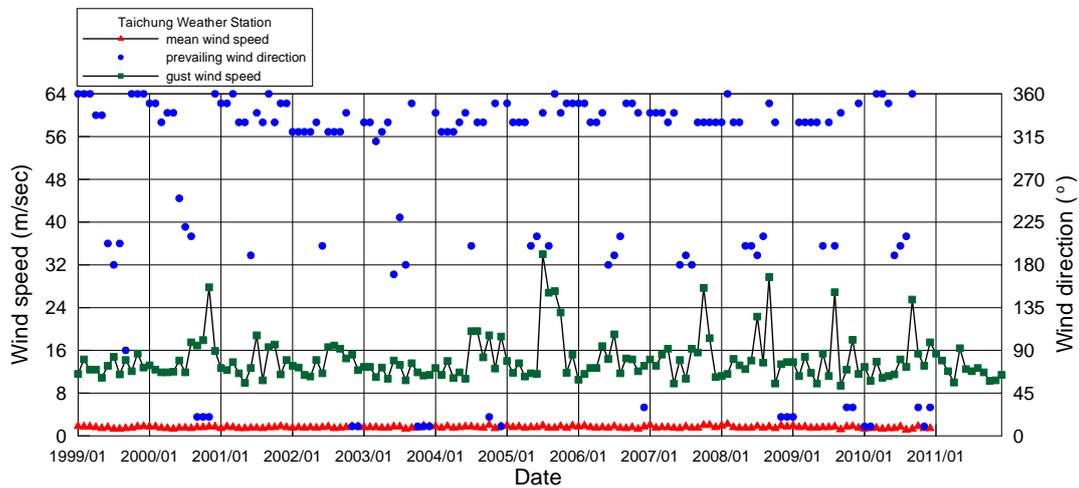


圖 2-3 臺中氣象站 1999 年至 2011 年平均風速、最多風向及瞬間最大風速之月統計圖

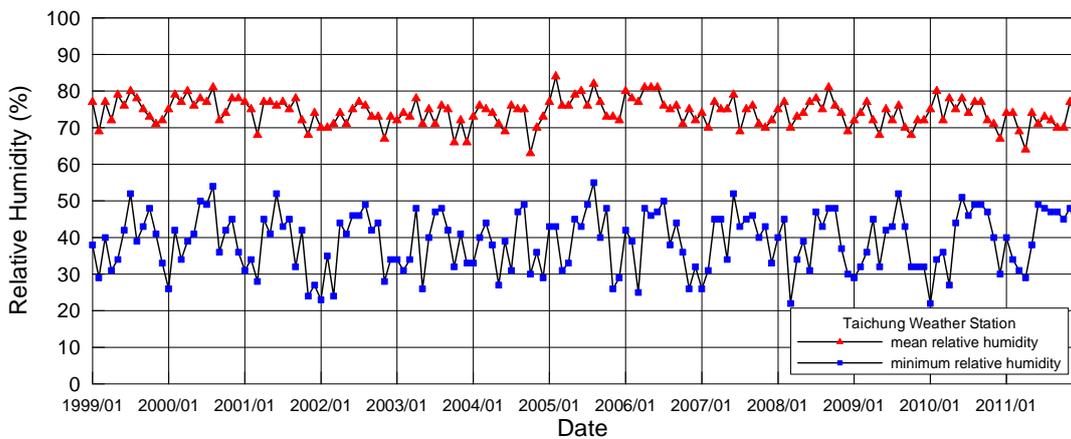


圖 2-4 臺中氣象站 1999 年至 2011 年平均相對濕度及最小相對濕度之月統計圖

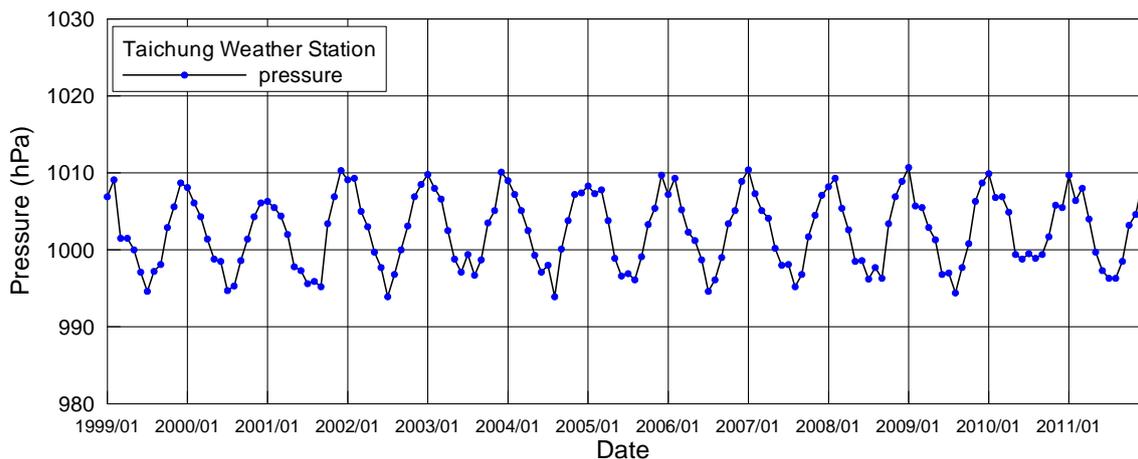


圖 2-5 臺中氣象站 1999 年至 2011 年平均氣壓之月統計圖

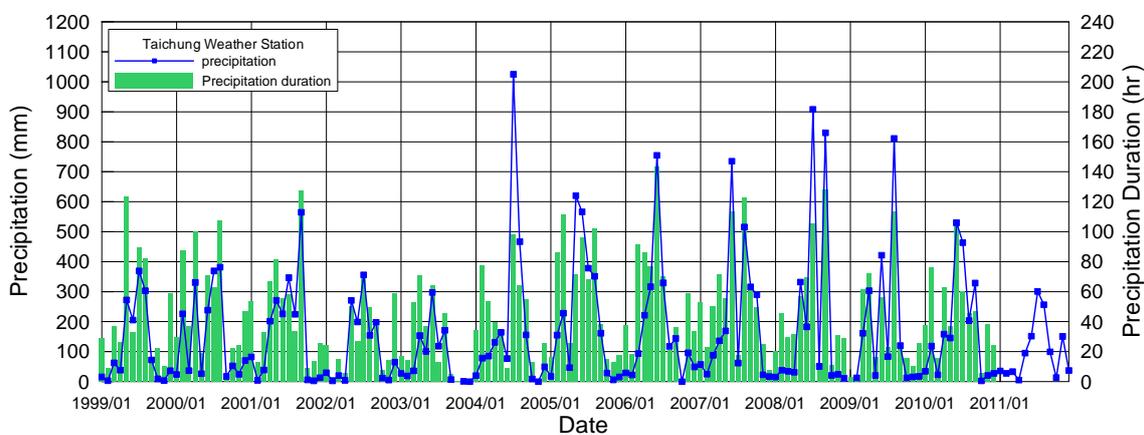


圖 2-6 臺中氣象站 1999 年至 2011 年降水量及降水時數之月統計圖

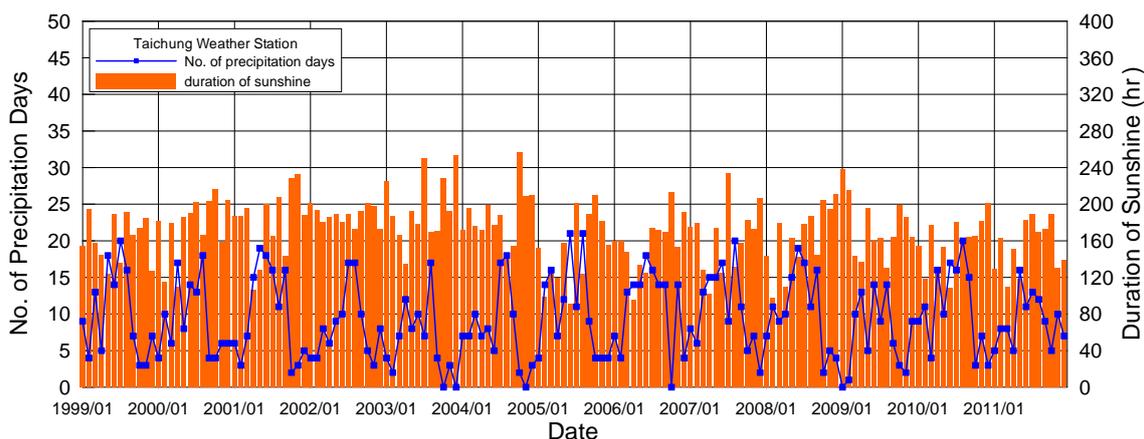


圖 2-7 臺中氣象站 1999 年至 2011 年降水日數及日照時數之月統計圖

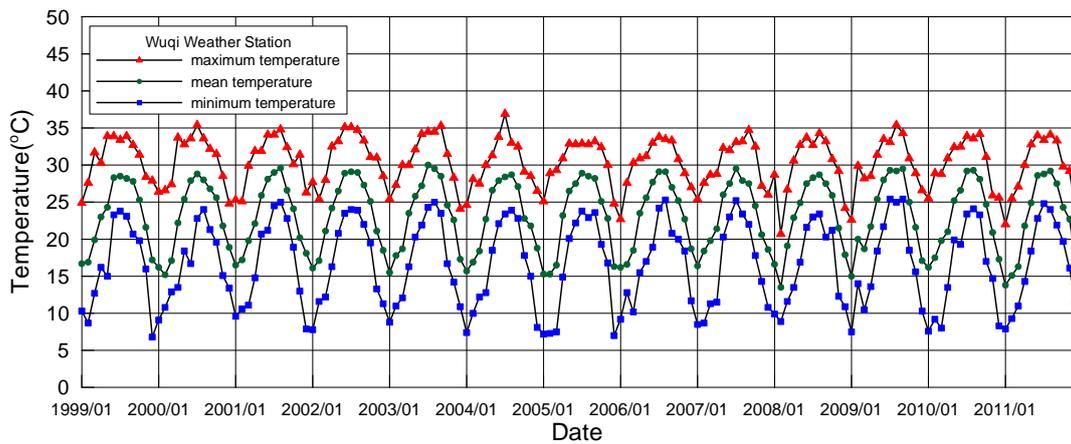


圖 2-8 梧棲氣象站 1999 年至 2011 年平均氣溫、最高氣溫及最低氣溫之月統計圖

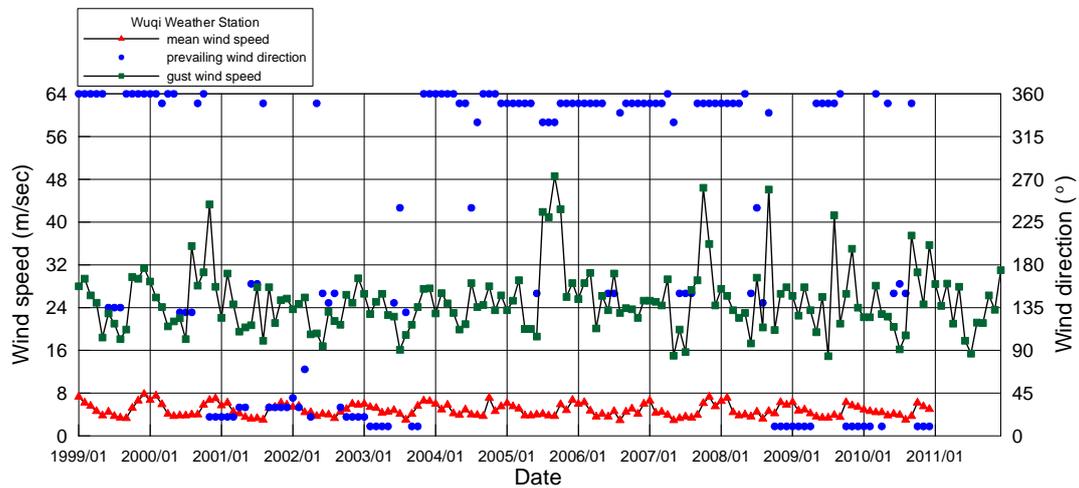


圖 2-9 梧棲氣象站 1999 年至 2011 年平均風速、最多風向及瞬間最大風速之月統計圖

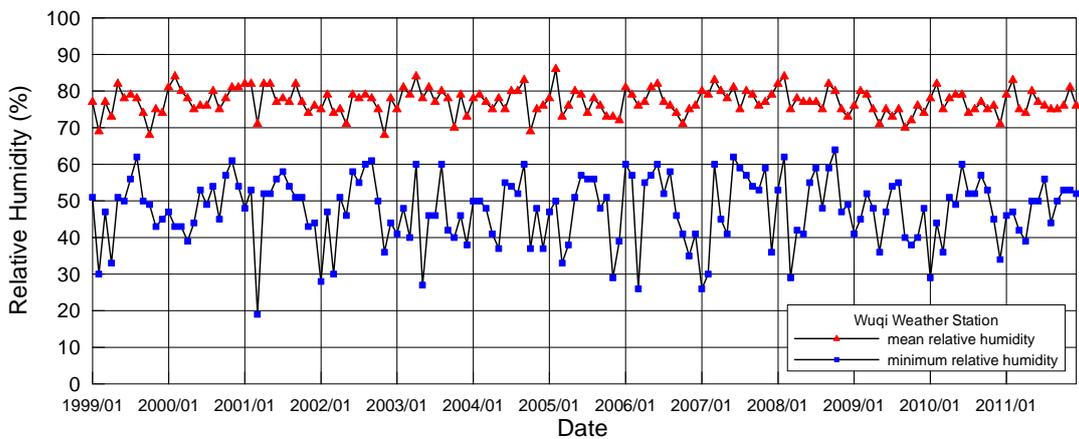


圖 2-10 梧棲氣象站 1999 年至 2011 年平均相對濕度及最小相對濕度之月統計圖

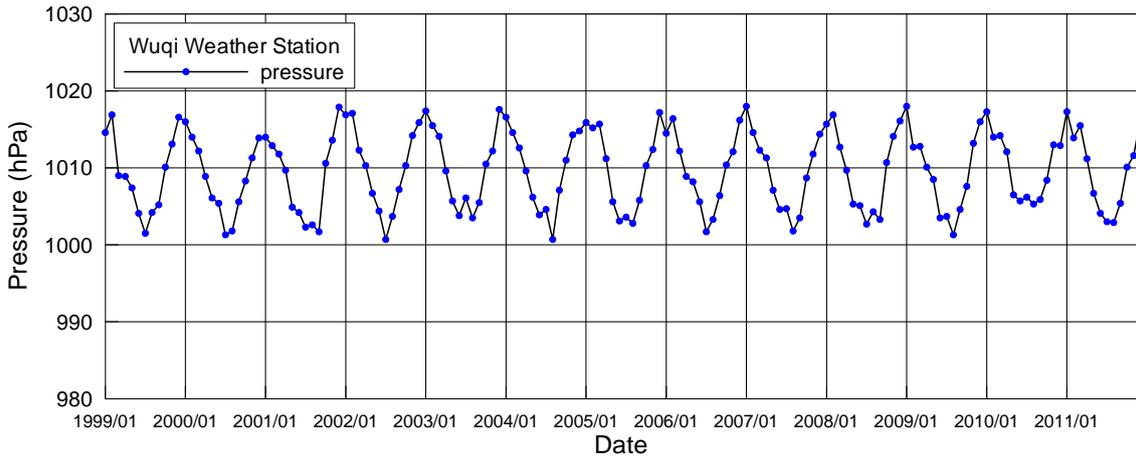


圖 2-11 梧棲氣象站 1999 年至 2011 年平均氣壓之月統計圖

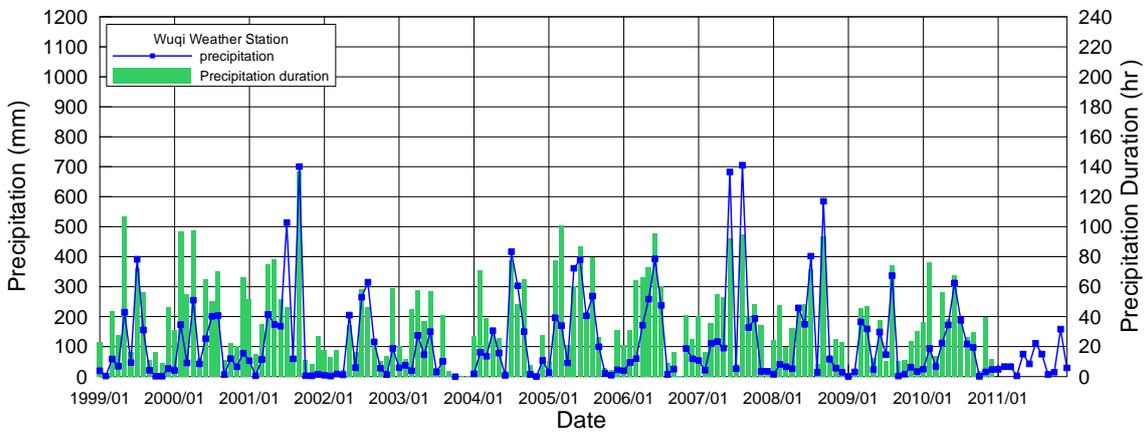


圖 2-12 梧棲氣象站 1999 年至 2011 年降水量及降水時數之月統計圖

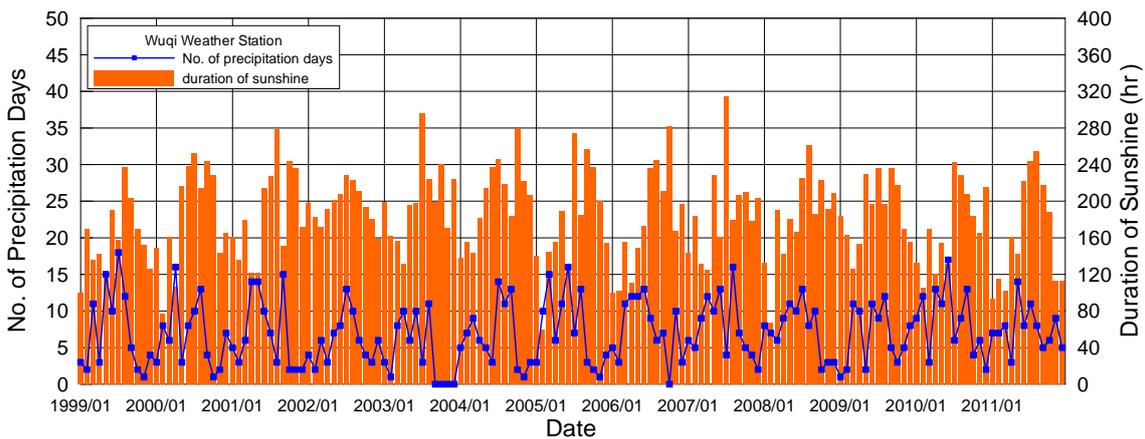


圖 2-13 梧棲氣象站 1999 年至 2011 年降水日數及日照時數之月統計圖

2.3 海象資料之統計分析

為能減少海岸災害造成的損失，有效管理臺灣海岸，有必要推導出適合於海象資料長期分布的機率密度函數，求得其統計分布特性，藉以作為後續工程設計、防災預警以及海岸管理之用。一般而言，波浪的統計特性普遍被認為是高斯過程的隨機分布，且波高統計特性符合雷禮分布，這樣的假設在深海條件或是實驗室的造波條件是可被接受的。然而近岸海域的波浪受到淺化的影響導致波浪變形，若再加上颱風的影響，波浪的統計分布不一定能符合雷禮分布的假設。

本研究選用水文分析常用的統計分布，包含有常態分布(Normal distribution)、雷禮分布(Rayleigh distribution)、韋伯分布(Weibull distribution)、Gamma 分布(Gamma distribution)等，作為探討海象資料統計分布的理論基礎(徐義人，1999)：

1. 常態分布

就應用與理論方面而言，統計學上最重要的機率分布即為常態分布，為一種連續型機率分布。自然學界所出現之諸多現象，由中心極限定理得知，學理上遵從常態分布之情況頗多，且實用上，實測資料符合此分布之情況頗多，因此，常態分布可說是機率分布模式中最常用的。常態分布之機率密度函數如下式所示：

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots (2-1)$$

(1)式中，平均值 μ 及變異數 σ^2 為各種機率分布之重要參數， μ 與 σ^2 可透過動差法 (method of moments)求得：

$$\mu = \sum_{i=1}^h x_i P(x_i) \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^h (x_i - \mu)^2 P(x_i) \dots\dots\dots (2-3)$$

$P(x_i)$ 為資料分布組體圖中，每一組 x_i 所對應的發生機率， h 為被分析資料的上限，也就是資料分布組體圖的上限(Tucker and Pitt, 2001)。

2. 雷禮分布

$$\text{PDF : } f(x) = \frac{x - \gamma}{\nu^2} \exp\left[\frac{-1}{2} \left(\frac{x - \gamma}{\nu}\right)^2\right] \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\text{CDF : } F(x) = 1 - \exp\left[\frac{-1}{2} \left(\frac{x - \gamma}{\nu}\right)^2\right] \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\text{分布範圍 : } \gamma \leq x < +\infty \dots\dots\dots (2-6)$$

上式中 ν 被稱為連續參數(continuous parameter)， γ 為連續型位置參數(continuous location parameter)，若 $\gamma = 0$ 則可簡化為單參數雷禮分布函數。

單參數雷禮分布之機率密度函數如下式所示：

$$\text{PDF : } f(x) = \frac{t}{\nu^2} \exp\left[\frac{-1}{2} \left(\frac{x}{\nu}\right)^2\right] \dots\dots\dots (2-7)$$

$$\text{CDF : } F(x) = 1 - \exp\left[\frac{-1}{2}\left(\frac{x}{\nu}\right)^2\right] \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\nu = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \mu \dots\dots\dots (2-9)$$

其平均值與變異數分別為：

$$\mu = \nu \sqrt{\frac{\pi}{2}} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\sigma^2 = \frac{4 - \pi}{2} \nu^2 \dots\dots\dots (2-11)$$

3. 韋伯分布

$$\text{PDF : } f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \dots\dots\dots (2-12)$$

$$\text{CDF : } F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\text{分布範圍 : } \gamma \leq x < +\infty \dots\dots\dots (2-14)$$

上式中， α 為連續型的形狀參數(continuous shape parameter)， β 為連續型尺度參數 (continuous location parameter)， γ 為連續型位置參數 (continuous location parameter)，若 $\gamma = 0$ 則可簡化為雙參數韋伯分布函數。

雙參數韋伯分布以指數分布為一特例，其機率密度函數如下式所

示：

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \dots\dots\dots (2-15)$$

其平均值與變異數分別為：

$$\mu = \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \dots\dots\dots (2-16)$$

$$\sigma^2 = \beta^2 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \beta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right]^2 \dots\dots\dots (2-17)$$

4. Gamma 分布

$$\text{PDF : } f(x) = \frac{(x-\gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left[-\frac{x-\gamma}{\beta}\right] \dots\dots\dots (2-18)$$

$$\text{CDF : } F(x) = \frac{\Gamma_{(x-\gamma)/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \dots\dots\dots (2-19)$$

$$\text{分布範圍 : } \gamma \leq x < +\infty \dots\dots\dots (2-20)$$

上式中 α 為連續型形狀參數(continuous shape parameter)，值需大於 0； β 為連續型尺度參數 (continuous location parameter)，值也需要大於 0； γ 為連續型位置參數(continuous location parameter)，若其值為 0 則可簡化為雙參數 Gamma 分布函數。

雙參數 Gamma 分布之機率密度函數如下式所示：

$$\text{PDF : } f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left[-\frac{x}{\beta}\right] \dots\dots\dots (2-21)$$

$$\text{CDF : } F(x) = \frac{\Gamma_{x/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \dots\dots\dots (2-22)$$

Gamma 分布之平均值與變異數分別為：

$$\mu = \alpha\beta \dots\dots\dots (2-23)$$

$$\sigma^2 = \alpha\beta^2 \dots\dots\dots (2-24)$$

上述各種統計分布之計算參數，諸如：形狀參數、尺度參數、位置參數等，可透過動差法 (method of moments)、最大概似法 (maximum likelihood estimates)、最小平方法 (least squares estimates) 及 L 動差法 (method of L-moments) 計算之，其中以動差法能適用於各種統計分布的參數計算，因此本研究統一使用動差法作為計算各種統計分布參數的工具。

適合度檢定(Goodness of Fit Test)是檢查上述統計分布是否適合套配分析資料的過程，本研究所使用的檢定方法有：Kolmogorov-Smirnov 適合度檢定、Anderson-Darling 檢定及 Chi-Squared 適合度檢定，各檢定方法之說明如下：

1. Kolmogorov-Smirnov 適合度檢定

Kolmogorov-Smirnov 適合度檢定之目的為：檢定樣本次數分配與定母群體次數分配間差異之顯著性，此檢定僅適用於母群體為連續分配。其分析方法為：將樣本的累積次數分配 $S_n(x)$ 求出，並標繪為逐級函數型態。假定母群體之累積次數分配 $F(x)$ 亦標繪於同一個圖上。此二個次數分配之最大差異定義如下：

$$D = |F - S_n| \dots\dots\dots (2-25)$$

(25)式中， D 即為檢定統計量，可由「Kolmogorov-Smirnov 單一樣本檢定之臨界值」表中查得 D_α 進行比較。如 $D > D_\alpha$ ，則拒絕樣本取自

此特定母群體之虛無假設。

2. Anderson-Darling 檢定

Anderson-Darling 檢定法是在 1952 年 T. W. Anderson 和 D. A. Darling 所發明的，對於測試分配模型是一個強而有力的統計方法。Anderson-Darling 檢定能夠檢定出數據比較符合哪一種分布。愈符合的分布，其統計量 A-D 則愈小。利用對應的 A-D 值來檢定該數據是否符合選擇的分布，Sinclair 和 Spurr(1988)提供 A-D 分布的臨界值，如果 A-D 值小於臨界值，則判斷數據不符合該分布，A-D 統計檢定值之計算式如下：

$$A-D = \sum_{k=1}^N \frac{2k-1}{N} [\ln F(Y_k) + \ln(1-F(Y_{N+1-k}))] \dots\dots\dots (2-26)$$

3. Chi-Squared 適合度檢定

Chi-Squared 適合度檢定適用於檢定一個類目變項的觀察個數與期望個數是否吻合。觀察個數指的是實際蒐集到的樣本次數分配，而期望個數則是理論上應該出現的樣本次數分配。在執行檢定之前，研究者通常會針對研究問題提出虛無假設，亦即：假設樣本實際觀察個數與期望個數的分配比例相同。要判斷兩者的次數分配是否明顯不同，Chi-Squared 檢定會參考卡方值 χ^2 的大小，卡方值之計算公式如下：

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e} \dots\dots\dots (2-27)$$

(27)式中 χ^2 代表卡方值， f_0 代表觀察個數， f_e 代表期望值個數。從這個公式的內涵研判，當觀察個數與期望個數完全一樣時，卡方值會等於 0，如果觀察個數與期望個數越接近，所得的卡方值會越小，反之則反。當卡方值大過統計設定的某個臨界值時，就可以據此推翻虛無假設，承認觀察個數與期望個數的比例分配有明顯差異。假如卡方值未

超過這個臨界值，研究者就必須接受虛無假設，承認兩者無異。本研究根據前人建議(Montgomery et al., 2007)，使用 $\alpha = 0.05$ ，也就是信賴水準=95%，作為檢定之標準。

本所港灣技術研究中心在臺中港附近海域設有海象觀測站，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

本研究收集本所港灣技術研究中心自 2001 年 7 月至 2011 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 62.7%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的 19.3%。風速小於 5 m/sec 以下者，約佔歷年觀測的 50.5%；風速介於 5-10 m/sec 之間者，約佔歷年觀測的 27.4%；風速介於 10-15 m/sec 之間者，約佔歷年觀測的 13.9%；風速大於 15 m/sec 以上者，約佔歷年觀測的 8.2%。歷年之平均風速為 6.6 m/sec；歷年最大風速為 37.5 m/sec，其風向為北北東向。

表 2-4 臺中港 2001 年至 2011 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
2011	10.5	32.4	NE	26.8	26.3	17.4	29.5	66.1	4.9	20.7	8.2	0.0
統計值	6.6	37.5	NNE	50.5	27.4	13.9	8.2	62.7	8.9	19.3	9.1	0.1

資料來源：本所港灣技術研究中心

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 2.4 m/sec 至 17.7 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，夏季風速多小於 10 m/sec，風向介於南至西向所佔的比例較大；冬季風速多大於 10 m/sec，風向介於北至東向所佔的比例較大。

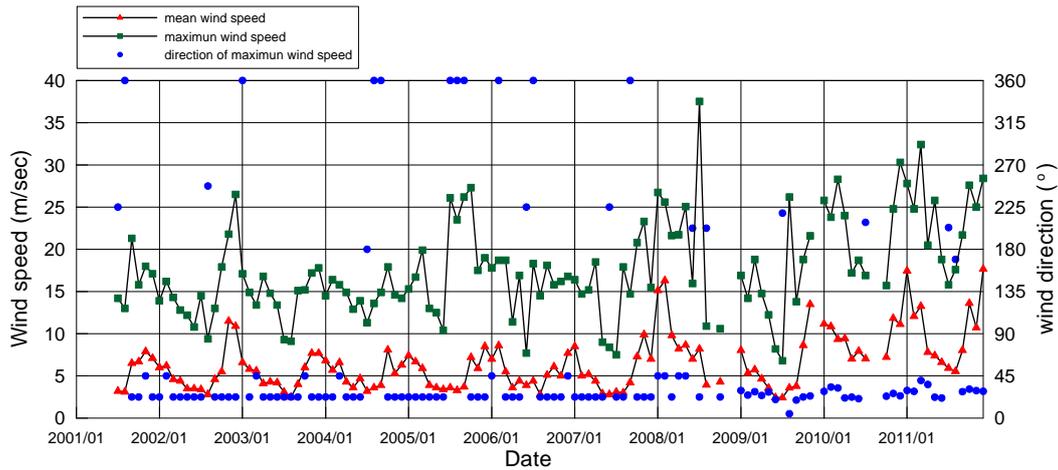


圖 2-14 臺中港 2001 年至 2011 年風速及風向之月統計圖

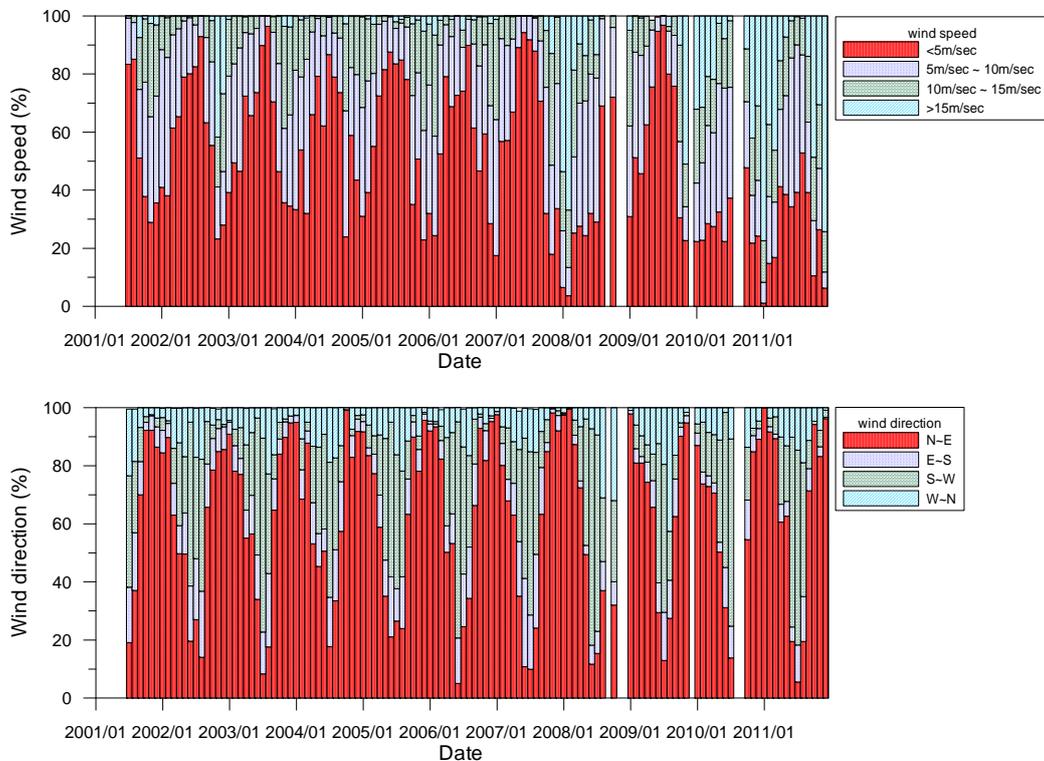
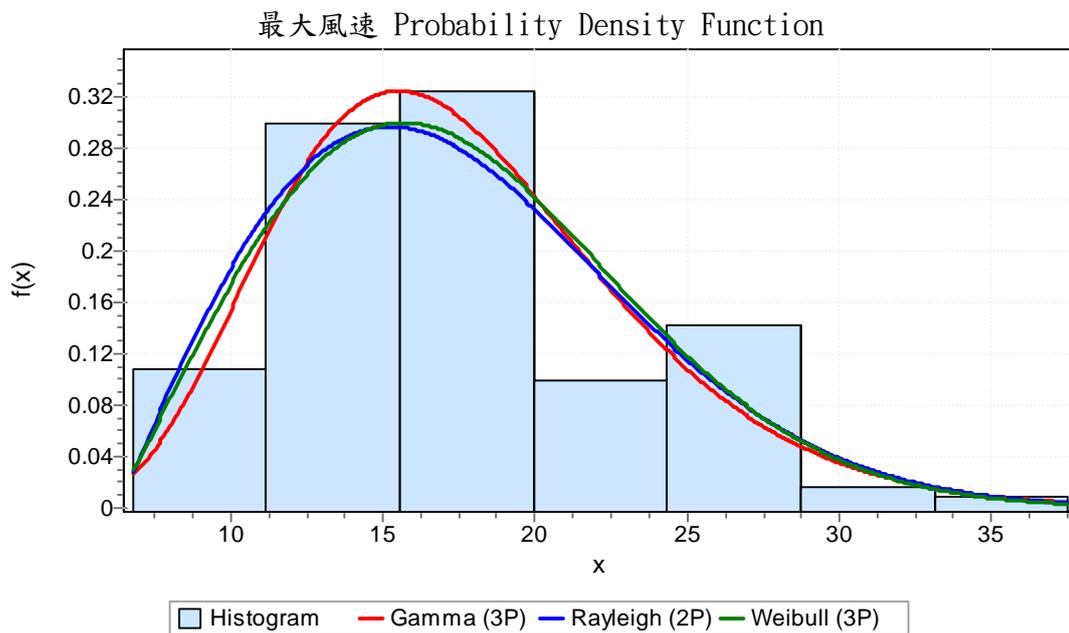


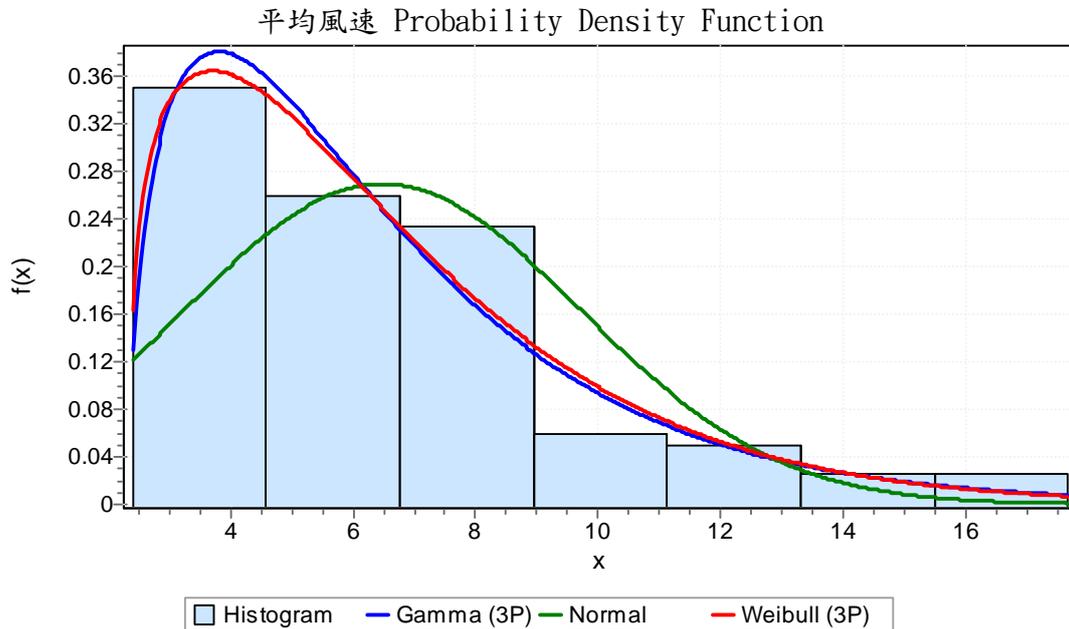
圖 2-15 臺中港 2001 年至 2011 年風速及風向之月統計分布圖

為了求解臺中港海域最大風速及平均風速的長期歷史資料的統計分布，本研究選用 Normal 分布、Rayleigh 分布、Weibull 分布、Gamma 分布等，其統計分布圖如圖 2-16 及圖 2-17 所示。利用 Kolmogorov-Smirnov、Anderson-Darling 及 Chi-Squared 等檢定方法對臺中港海域的風速資料進行統計分布的檢定，由分析結果顯示，臺中港海域的最大風速特性較符合 Gamma 分布，平均風速特性較符合 Weibull 分布。



Distribution	Parameters	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
Gamma	$\alpha=9.4353, \beta=1.865$	0.09358	2	0.84161	2	13.537	3
Gamma (3P)	$\alpha=7.6166, \beta=2.0672, \gamma=1.8517$	0.08882	1	0.80486	1	11.74	1
Normal	$\sigma=5.7287, \mu=17.597$	0.13349	6	1.8973	5	12.236	2
Rayleigh	$\sigma=14.04$	0.19003	7	7.5833	7	61.251	7
Rayleigh (2P)	$\nu=8.9518, \gamma=6.2953$	0.09361	3	1.0828	4	13.937	4
Weibull	$\alpha=3.7252, \beta=19.285$	0.11941	5	2.3094	6	17.636	6
Weibull (3P)	$\alpha=2.1179, \beta=13.029, \gamma=6.0478$	0.10128	4	1.0253	3	15.489	5

圖 2-16 臺中港 2001 年至 2011 年之最大風速統計分布圖



Distribution	Parameters	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
Gamma	$\alpha=4.0328, \beta=1.6071$	0.07129	3	0.95172	3	5.7185	3
Gamma (3P)	$\alpha=1.5541, \beta=2.669, \gamma=2.333$	0.05317	2	0.30394	2	1.6133	2
Normal	$\sigma=3.2273, \mu=6.481$	0.10388	5	3.3212	7	6.8194	5
Rayleigh	$\sigma=5.1711$	0.11136	6	2.1648	4	7.0516	6
Rayleigh (2P)	$\nu=4.3094, \gamma=1.3029$	0.12239	7	2.5575	6	10.386	7
Weibull	$\alpha=2.5684, \beta=7.1639$	0.10132	4	2.4708	5	5.8538	4
Weibull (3P)	$\alpha=1.2752, \beta=4.4164, \gamma=2.3823$	0.05056	1	0.2951	1	1.1966	1

圖 2-17 臺中港 2001 年至 2011 年之平均風速統計分布圖

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，本研究收集本所港灣技術研究中心自 2003 年 8 月至 2011 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 50.6%；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 28.4%；流速介於 25~50 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 37.5%；流速介於 50~100 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 30%；流速大於 100 cm/sec 以上者，約佔歷年觀測的 4.1%。歷年之平均流速為 43.4 cm/sec；最大流速為 248.3 cm/sec，其流向為西向。

在月統計部分，圖 2-18 為歷年逐月之流速及流向統計圖，由圖 2-18 可知，歷年之月平均流速介於 30 cm/sec 至 80 cm/sec 之間，最多流向多集中在西至北向。圖 2-19 為臺中港海流歷年逐月之流速及流向統計分布圖，由圖 2-19 顯示，流速在各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。

臺中港海域海流最大流速及平均流速的長期歷史資料的統計分布圖如圖 2-20 及圖 2-21 所示，由分析結果顯示，臺中港海域的海流最大流速特性較符合 Gamma 分布，海流平均流速特性以 Kolmogorov Smirnov 檢定較符合 Gamma 分布；以 Anderson-Darling 及 Chi-Squared 檢定較符合 Normal 分布。

表 2-5 臺中港 2003 年至 2011 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
2011	29.7	143.6	WSW	47.6	38.0	13.1	1.3	42.1	11.7	23.6	22.7
統計值	43.4	248.3	W	28.4	37.5	30.0	4.1	20.4	5.8	23.1	50.6

資料來源：本所港灣技術研究中心

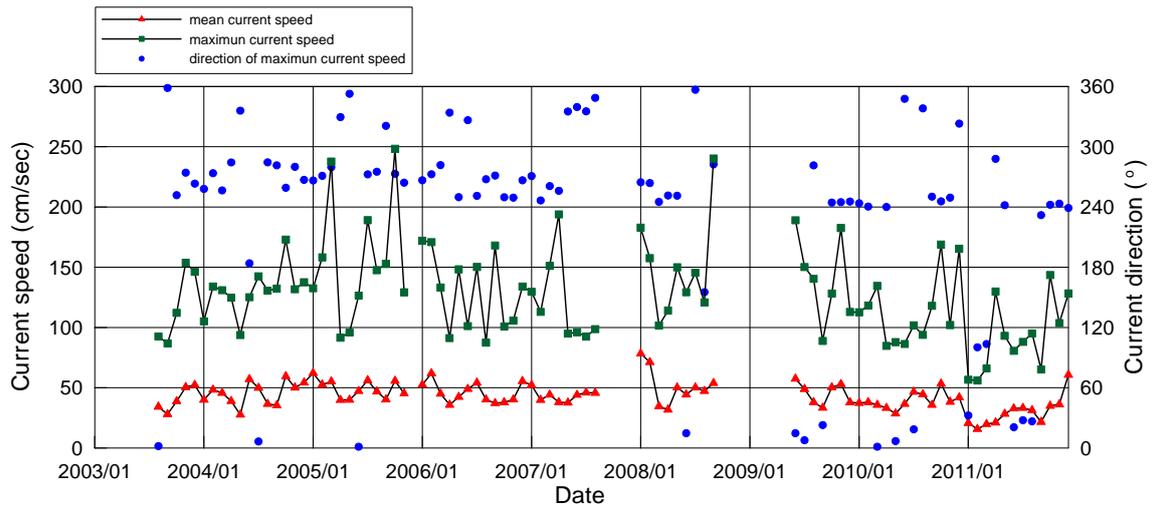


圖 2-18 臺中港 2003 年至 2011 年海流流速、流向及最大流速之月統計

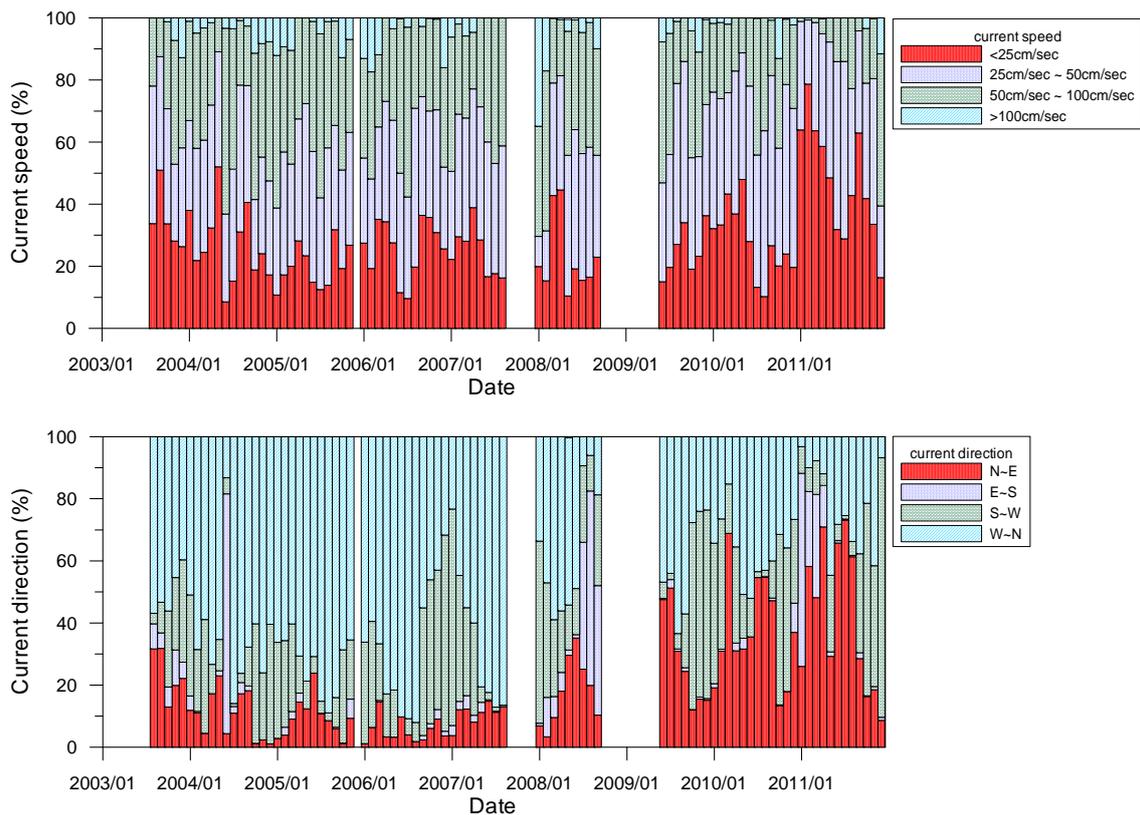
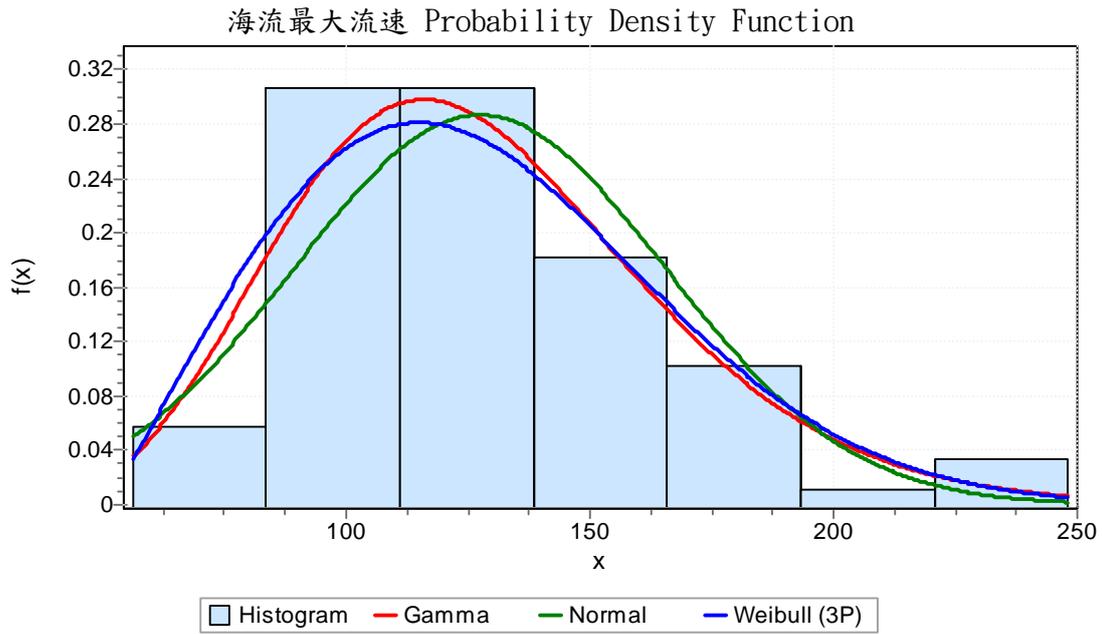
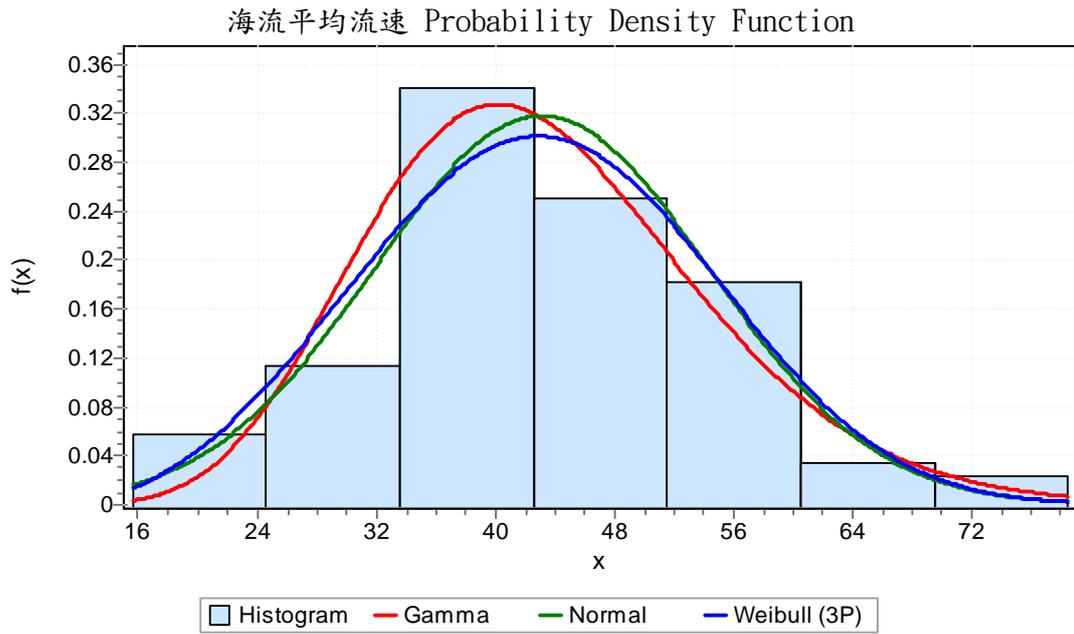


圖 2-19 臺中港 2003 年至 2011 年海流流速、流向及最大流速之月統計分布圖



Distribution	Parameters	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
Gamma	$\alpha=11.119, \beta=11.456$	0.06464	1	0.49185	2	6.3609	2
Gamma (3P)	$\alpha=7.6809, \beta=13.622, \gamma=22.748$	0.06739	2	0.46503	1	5.9659	1
Normal	$\sigma=38.201, \mu=127.38$	0.08599	5	0.99258	5	11.489	4
Rayleigh	$\sigma=101.63$	0.23708	7	6.9608	7	25.151	7
Rayleigh (2P)	$\nu=59.938, \gamma=51.602$	0.08675	6	0.717	4	7.9667	3
Weibull	$\alpha=4.079, \beta=138.72$	0.08226	4	1.2166	6	11.524	5
Weibull (3P)	$\alpha=2.1356, \beta=87.588, \gamma=49.726$	0.07593	3	0.6116	3	11.97	6

圖 2-20 臺中港 2003 年至 2011 年之海流最大流速統計分布圖



Distribution	Parameters	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
Gamma	$\alpha=14.679, \beta=2.9371$	0.05906	1	0.62776	5	9.3123	4
Gamma (3P)	$\alpha=85.464, \beta=1.217, \gamma=-60.955$	0.07566	2	0.42593	2	8.1321	3
Normal	$\sigma=11.253, \mu=43.113$	0.09083	5	0.41222	1	6.818	1
Rayleigh	$\sigma=34.399$	0.23976	7	8.7185	7	53.319	7
Rayleigh (2P)	$\nu=21.379, \gamma=15.026$	0.16787	6	3.1402	6	19.708	6
Weibull	$\alpha=4.3188, \beta=46.937$	0.0879	4	0.49477	3	7.9192	2
Weibull (3P)	$\alpha=3.2334, \beta=37.34, \gamma=9.5815$	0.07943	3	0.50822	4	9.5365	5

圖 2-21 臺中港 2003 年至 2011 年之海流平均流速統計分布圖

2.3.3 波浪

本研究收集本所港灣技術研究中心自 2003 年 8 月至 2011 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 23.9%。 $H_{1/3}$ 波高小於 0.5 m 以下者，約佔歷年觀測的 12.7%； $H_{1/3}$ 波高介於 0.5 m 至 1 m 之間者，約佔歷年觀測的 28.2%； $H_{1/3}$ 波高介於 1 m 至 5 m 之間者，約佔歷年觀測的 58.8%； $H_{1/3}$ 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 41.5%；介於 6 sec 至 8 sec 之間者，約佔歷年觀測的 48.2%。歷年之平均 $H_{1/3}$ 波高為 1.51 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 2-22 為歷年逐月之 $H_{1/3}$ 及 $T_{1/3}$ 統計圖，由圖 2-22 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 2-23 為臺中港歷年逐月之波高、週期及波向統計分布圖，由圖 2-23 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。

臺中港海域最大波高及平均波高的長期歷史資料的統計分布圖如圖 2-24 及圖 2-25 所示，由分析結果顯示，臺中港海域的最大波高特性以 Kolmogorov Smirnov 及 Anderson-Darling 檢定較符合 Gamma 分布；以 Chi-Squared 檢定較符合 Norma 分布，平均波高特性較符合 Weibull 分布。

表 2-6 臺中港 2003 年至 2011 年示性波高、週期及波向資料統計表

年份	H _{1/3} 平均值 (m)	T _{1/3} 平均值 (sec)	H _{1/3}			波向	H _{1/3} <0.5m (%)	H _{1/3} 0.5~1m (%)	H _{1/3} 1~5m (%)	H _{1/3} >5m (%)	波向 N~E (%)	波向 E~S (%)	波向 S~W (%)	波向 W~N (%)	T _{1/3} <6sec (%)	T _{1/3} 6~8sec (%)	T _{1/3} 8~10sec (%)	T _{1/3} >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	
2011	1.18	6.3	4.31	10.7	1.40	16.7	36.8	46.5	0.0	64.7	11.3	14.7	9.4	40.4	46.5	11.7	1.4	
統計值	1.51	6.4	8.44	11.1	5.40	12.7	28.2	58.8	0.3	65.2	1.6	7.1	23.9	41.5	48.2	9.4	0.7	

資料來源：本所港灣技術研究中心

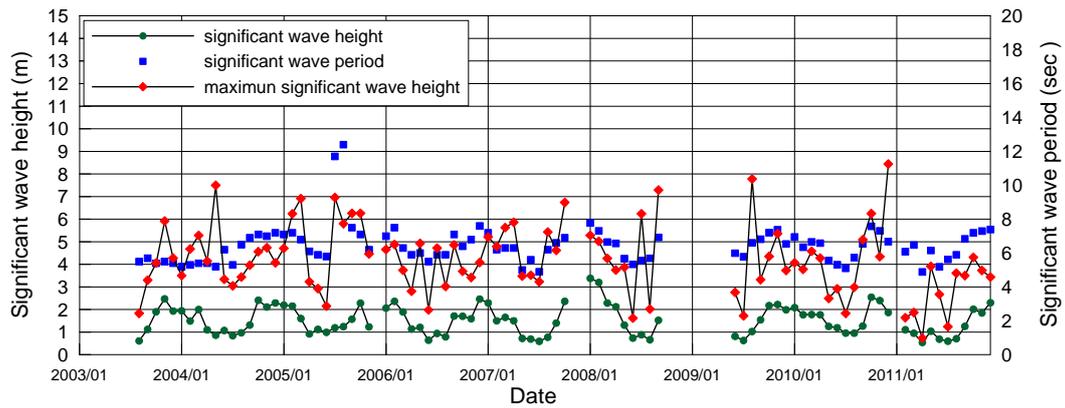


圖 2-22 臺中港 2003 年至 2011 年平均示性波高、平均週期及最大示性波高之月統計

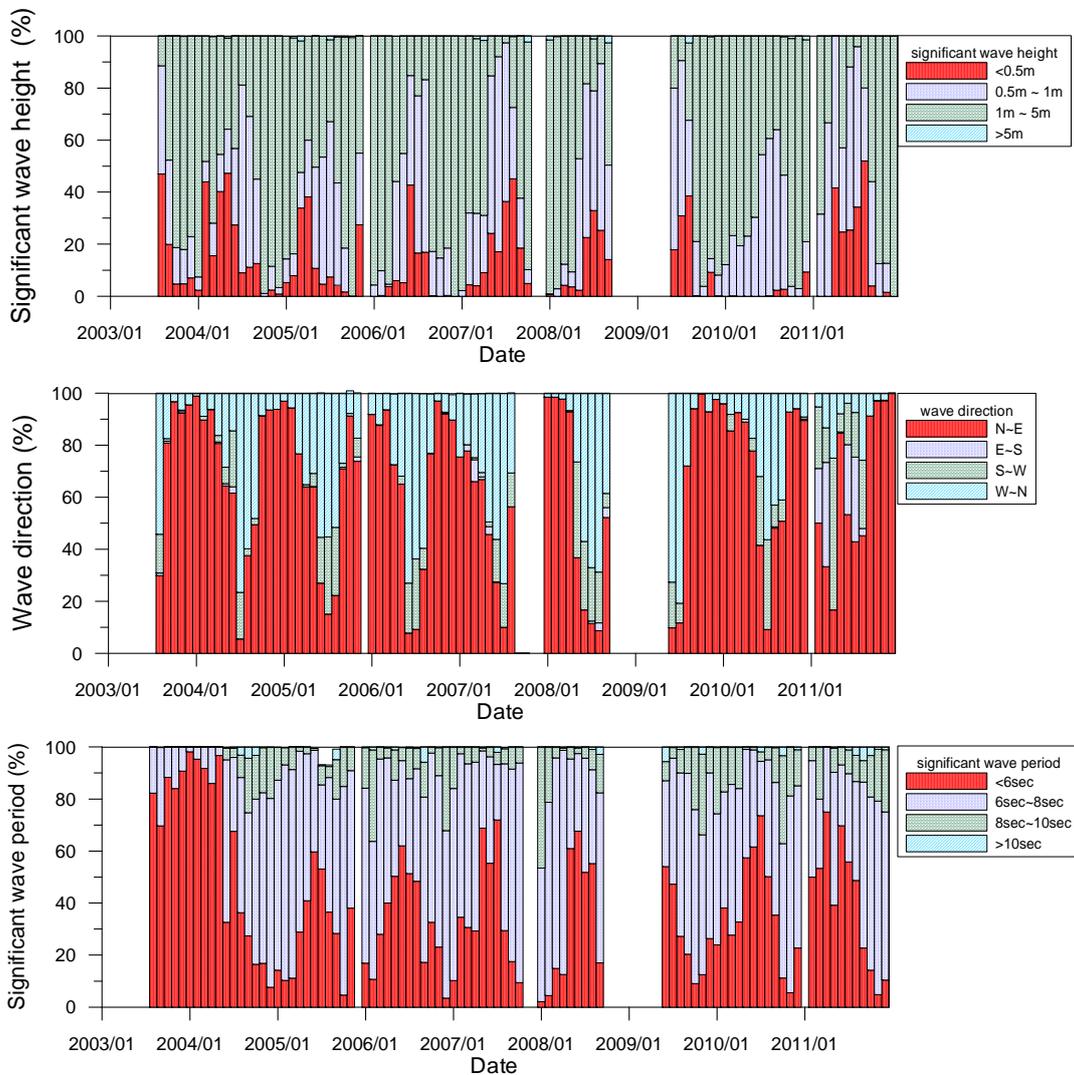
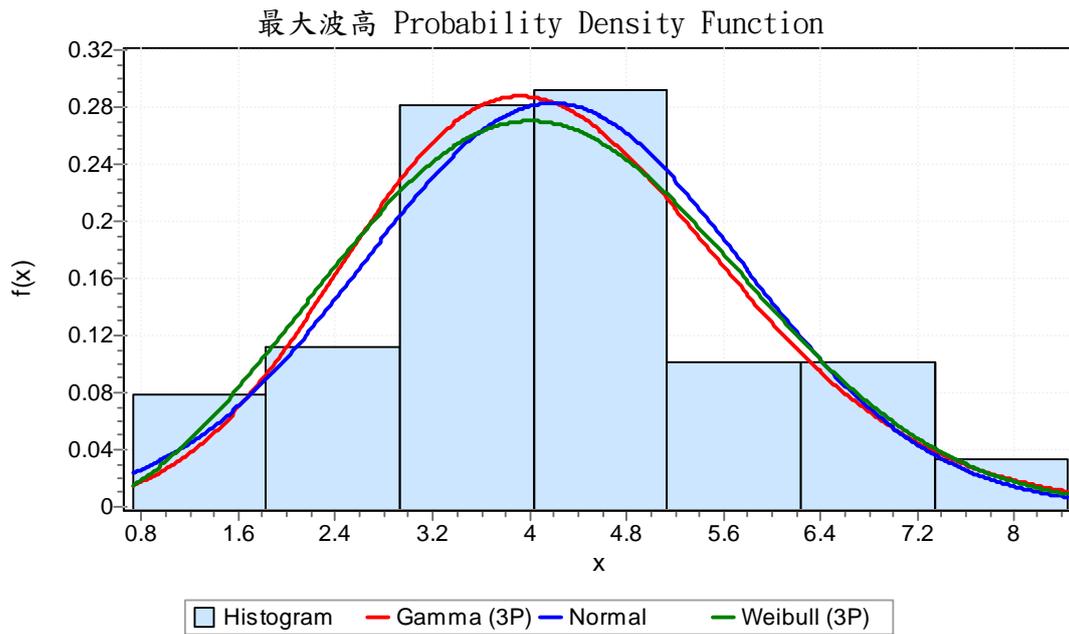
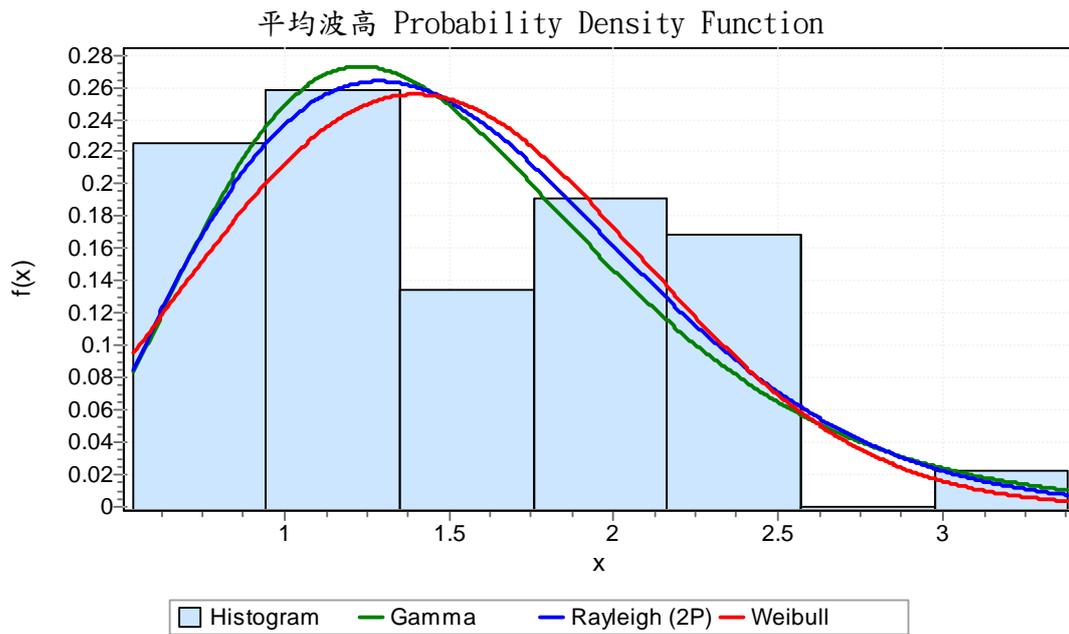


圖 2-23 臺中港 2003 年至 2011 年平均示性波高、平均週期及波向之月統計分布圖



Distribution	Parameters	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
Gamma	$\alpha=7.2688, \beta=0.57649$	0.06778	4	0.57953	5	4.0902	3
Gamma (3P)	$\alpha=34.221, \beta=0.26437, \gamma=-4.8568$	0.05393	1	0.26864	1	3.4156	2
Normal	$\sigma=1.5542, \mu=4.1903$	0.05896	2	0.39552	3	2.9753	1
Rayleigh	$\sigma=3.3434$	0.14854	7	3.1325	7	17.463	7
Rayleigh (2P)	$\nu=2.74, \gamma=0.63698$	0.13625	6	1.6208	6	9.6665	6
Weibull	$\alpha=2.8284, \beta=4.6724$	0.07198	5	0.42096	4	5.9524	4
Weibull (3P)	$\alpha=2.7579, \beta=4.4584, \gamma=0.21924$	0.06255	3	0.36104	2	6.3101	5

圖 2-24 臺中港 2003 年至 2011 年之最大波高統計分布圖



Distribution	Parameters	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
Gamma	$\alpha=5.4826, \beta=0.27501$	0.08477	3	1.038	2	6.4987	5
Gamma (3P)	$\alpha=1.9856, \beta=0.51652, \gamma=0.48217$	0.09537	5	1.08	4	4.8204	2
Normal	$\sigma=0.64392, \mu=1.5077$	0.10699	7	1.2058	6	5.0226	3
Rayleigh	$\sigma=1.203$	0.10208	6	1.4239	7	8.9665	7
Rayleigh (2P)	$\nu=0.9326, \gamma=0.35472$	0.08105	2	1.1107	5	6.6419	6
Weibull	$\alpha=2.6392, \beta=1.6743$	0.08054	1	1.0603	3	6.0648	4
Weibull (3P)	$\alpha=1.5149, \beta=1.1013, \gamma=0.51064$	0.08667	4	0.91788	1	3.3988	1

圖 2-25 臺中港 2003 年至 2011 年之平均波高統計分布圖

2.3.4 潮位

臺中港之潮汐為每日漲落 2 次之半日潮，本研究收集中央氣象局自 1999 年 1 月至 2011 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 2011 年期間，其平均潮差為 376 公分，大潮平均潮差為 465 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 2-26。

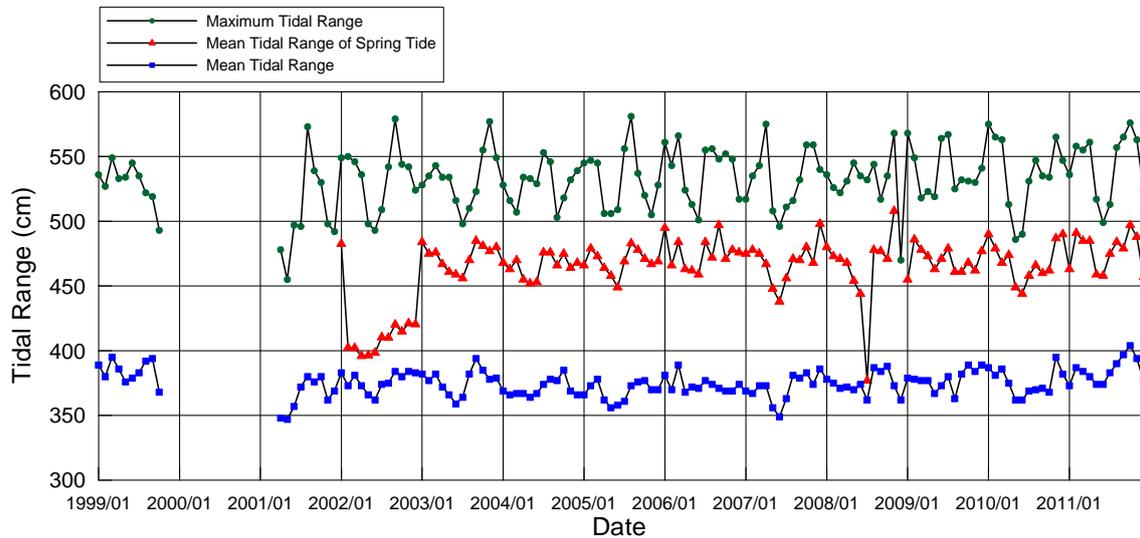


圖 2-26 臺中港 1999 年至 2011 年最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計圖

表 2-7 臺中港 1999-2011 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	77	9月7日	588	1月30日	-25	376	415	613
2003	299	486	109.519	46	46	9月27日	573	12月24日	-13	377	473	586
2004	305	490	119.521	55	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	19	205	-171	240	-229	9月9日	305	1月2日	-307	376	469	612
2011	17	208	-177	241	-236	8月30日	312	11月27日	-295	385	477	607
統計值										376	465	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~2011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，位於颱風移動路徑上，所以經常受到颱風的侵襲而造成災害，颱風造成的災害主要包括風災、水災、海水倒灌，甚至土石坍方及土石流等。當颱風在海上行進時，海岸邊常有大潮出現，稱為暴潮(Storm surge)。暴潮主要由強風及低氣壓所引起，由於颱風是一個向內輻合之低壓系統，中心附近風速較大，海浪也比較高，所以容易使岸邊出現長浪，颱風所引起的巨浪容易使海上作業的船隻顛覆沉沒，波浪逐漸侵蝕海岸，也容易淘空地基造成岸邊建物崩落的現象。如果颱風期間適逢大潮，加上河川之出海口與風向正好相反，致使河水無法順利排至大海，將導致海水倒灌，摧毀農作物，並使低窪地區淹水，造成嚴重災害。

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 1998 年至 2012 年 9 月期間共有 93 個颱風侵襲臺灣海域，平均每年約有 6.2 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 1998 至 2012 年 9 月中央氣象局有發佈颱風警報的颱風資訊，彙整 93 個颱風資料，彙整項目包括：颱風警報發佈期間、颱風路徑與強度、近中心最大風速以及中心最低氣壓等等相關資訊，詳細內容如表 2-8 所示。本研究彙整的 93 個颱風案例中，依圖 2-27 之分類法將颱風路徑分為 9 類，各類颱風路徑之發生次數統計，如表 2-9 所示。表中顯示，在侵臺的九類颱風路徑中，未侵臺及特殊路徑發生的次數最多，共發生 38 次佔全部發生次數的比例為 40.9%；其次為第三類路徑的颱風，佔 11.8%；第九類路徑的颱風，佔 9.7%；其他各類的颱風路徑之發生次數及所佔的百分比，詳如表 2-9 內容。

表 2-8 1998 年至 2012 年有發佈警報之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
9801	妮蔻兒	NICHOLE	07/09~07/10	輕度	9	998	18	100	-
9802	奧托	OTTO	08/03~08/05	輕度	3	985	30	150	-
9809	楊妮	YANNI	09/27~09/29	輕度	6	975	25	100	-
9810	瑞伯	ZEB	10/13~10/17	強烈	6	920	55	350	150
9812	芭比絲	BABS	10/25~10/27	中度	9	950	35	250	100
9906	瑪姬	MAGGIE	06/04~06/06	中度	5	965	38	250	100
9911	山姆	SAM	08/19~08/21	輕度	--	970	30	200	-
9920	丹恩	DAN	10/04~10/09	中度	7	968	38	250	80
0004	啟德	KAI-TAK	07/06~07/10	中度	6	965	35	150	50
0010	碧利斯	BILIS	08/21~08/23	強烈	3	930	53	300	120
0012	巴比倫	PRAPIROON	08/27~08/30	輕度	6	965	33	250	-
0015	寶發	BOPHA	09/08~09/10	輕度	特殊路徑	990	23	180	-
0019	雅吉	YAGI	10/23~10/26	中度	--	970	33	180	50
0020	象神	XANGSANE	10/30~11/01	中度	6	960	38	250	100
0021	貝碧佳	BEBINCA	11/06~11/07	輕度	--	970	28	200	-
0101	西馬隆	CIMARON	05/11~05/13	輕度	8	990	23	150	-
0102	奇比	CHEBI	06/22~06/24	中度	7	965	35	200	80
0104	尤特	UTOR	07/03~07/05	中度	5	960	38	350	120
0105	潭美	TRAMI	07/10~07/11	輕度	4	995	20	80	-
0107	玉兔	YUTU	07/23~07/24	輕度	--	962	30	150	-
0108	桃芝	TORAJI	07/28~07/31	中度	3	962	38	250	100
0116	納莉	NARI	09/13~09/19	中度	特殊路徑	960	40	150	50
0116	納莉	NARI	09/08~09/10	中度	特殊路徑	960	40	150	50
0119	利奇馬	LEKIMA	09/23~09/28	中度	4	965	35	180	50
0121	海燕	HAIYAN	10/15~10/16	中度	--	965	35	250	100
0205	雷馬遜	RAMMASUN	07/02~07/04	中度	--	950	45	300	100
0208	娜克莉	NAKRI	07/09~07/10	輕度	9	987	18	80	-
0216	辛樂克	SINLAKU	09/04~09/08	中度	1	950	40	300	100
0302	柯吉拉	KUJIRA	04/21~04/24	中度	--	925	43	250	100
0305	南卡	NANGKA	06/01~06/03	輕度	--	990	23	100	-
0306	蘇迪勒	SOUDELOR	06/16~06/18	中度	--	960	38	200	50
0307	尹布都	IMBUDO	07/21~07/23	中度	--	935	48	300	120

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/> (2012.09.14)

--表示該颱風未侵臺

表 2-8(續 1) 1998 年至 2012 年有發佈警報之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
0309	莫拉克	MORAKOT	08/02~08/04	輕度	4	990	23	100	-
0311	梵高	VAMCO	08/19~08/20	輕度	--	998	18	100	-
0312	柯羅旺	KROVANH	08/22~08/23	中度	--	970	33	250	100
0313	杜鵑	DUJUAN	08/31~09/02	中度	5	950	43	250	100
0319	米勒	MELOR	11/02~11/03	輕度	8	975	25	150	-
0404	康森	CONSON	06/07~06/09	中度	--	970	33	150	50
0407	敏督利	MINDULLE	06/28~07/03	中度	6	942	45	250	100
0409	康柏斯	KOMPASU	07/14~07/15	輕度	--	995	20	100	-
0413	蘭寧	RANANIM	08/10~08/13	中度	--	955	40	250	100
0417	艾利	AERE	08/23~08/26	中度	1	960	38	200	50
0420	海馬	HAIMA	09/11~09/13	輕度	6	998	18	100	-
0421	米雷	MEARI	09/26~09/27	中度	--	940	40	200	80
0424	納坦	NOCK-TEN	10/23~10/26	中度	6	945	43	250	100
0427	南瑪都	NANMADOL	12/03~12/04	中度	9	940	38	250	80
0505	海棠	HAITANG	07/16~07/20	強烈	3	912	55	280	120
0509	馬莎	MATSA	08/03~08/06	中度	1	955	40	250	80
0510	珊瑚	SANVU	08/11~08/13	輕度	--	985	25	200	-
0513	泰利	TALIM	08/30~09/01	強烈	3	920	53	250	100
0515	卡努	KHANUN	09/09~09/11	中度	--	950	43	200	80
0518	丹瑞	DAMREY	09/21~09/23	中度	--	955	25	200	-
0519	龍王	LONGWANG	09/30~10/03	強烈	3	925	51	200	80
0601	珍珠	CHANCHU	05/16~05/18	中度	9	943	45	300	100
0603	艾維尼	EWINIAR	07/07~07/09	中度	--	925	43	300	80
0604	碧利斯	BILIS	07/12~07/15	輕度	2	978	25	300	-
0605	凱米	KAEMI	07/23~07/26	中度	3	960	38	200	80
0608	桑美	SAOMAI	08/09~08/10	中度	--	935	48	180	80
0609	寶發	BOPHA	08/07~08/09	輕度	4	985	23	120	-
0613	珊珊	SHANSHAN	09/14~09/16	中度	--	945	48	200	80
0706	帕布	PABUK	08/06~08/08	輕度	4	980	28	150	-

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/> (2012.09.14)

--表示該颱風未侵臺

表 2-8(續 2) 1998 年至 2012 年有發佈警報之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
0707	梧提	WUTIP	08/08~08/09	輕度	3	992	18	100	-
0708	聖帕	SEPAT	08/16~08/19	強烈	3	920	53	250	100
0712	韋帕	WIPHA	09/17~09/19	中度	1	935	48	200	80
0715	柯羅莎	KROSA	10/04~10/07	強烈	2	925	51	300	120
0723	米塔	MITAG	11/26~11/27	中度	--	955	35	200	80
0807	卡玫基	KALMAEGI	07/16~07/18	中度	2	970	33	120	50
0808	鳳凰	FUNG-WONG	07/26~07/29	中度	3	948	43	220	80
0812	如麗	NURI	08/19~08/21	中度	--	955	40	220	80
0813	辛樂克	SINLAKU	09/11~09/16	強烈	2	925	51	250	100
0814	哈格比	HAGUPIT	09/21~09/23	中度	--	940	45	280	100
0815	薔蜜	JANGMI	09/26~09/29	強烈	2	925	53	280	100
0903	蓮花	LINFA	06/19~06/22	輕度	9	980	28	150	-
0906	莫拉菲	MOLAVE	07/16~07/18	輕度	--	980	28	100	-
0908	莫拉克	MORAKOT	08/05~08/10	中度	3	955	40	250	100
0917	芭瑪	PARMA	10/03~10/06	中度	特殊路徑	945	43	250	80
1006	萊羅克	LIONROCK	08/31~09/02	輕度	9	990	23	100	-
1008	南修	NAMTHEUN	08/30~08/31	輕度	--	995	18	80	-
1010	莫蘭蒂	MERANTI	09/09~09/10	輕度	--	990	23	100	-
1011	凡那比	FANAPI	09/17~09/20	中度	4	940	45	200	80
1013	梅姬	MEGI	10/21~10/23	中度	9	935	48	250	100
1101	艾利	AERE	05/09~05/10	輕度	--	990	23	150	-
1102	桑達	SONGDA	05/27~05/28	強烈	--	920	55	220	100
1105	米雷	MEARI	06/23~06/25	輕度	--	982	28	200	-
1109	梅花	MUIFA	08/04~08/06	中度	--	945	43	280	-
1111	南瑪都	NANMADOL	08/27~08/31	強烈	4	920	53	180	50
1205	泰利	TALIM	06/19~06/21	輕度	9	985	25	150	-
1206	杜蘇芮	DOKSURI	06/28~06/29	輕度	5	995	23	120	-
1209	蘇拉	SAOLA	07/30~08/03	中度	2	960	38	220	80
1211	海葵	HAIKUI	08/06~08/07	中度	1	960	35	180	50
1213	啟德	KAI-TAK	08/14~08/15	輕度	5	995	20	150	-
1214	天秤	TEMBIN	08/21~08/25	中度	特殊路徑	945	45	180	50
1214	天秤	TEMBIN	08/26~08/28	中度	特殊路徑	965	35	180	50

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/> (2012.09.14)

--表示該颱風未侵臺

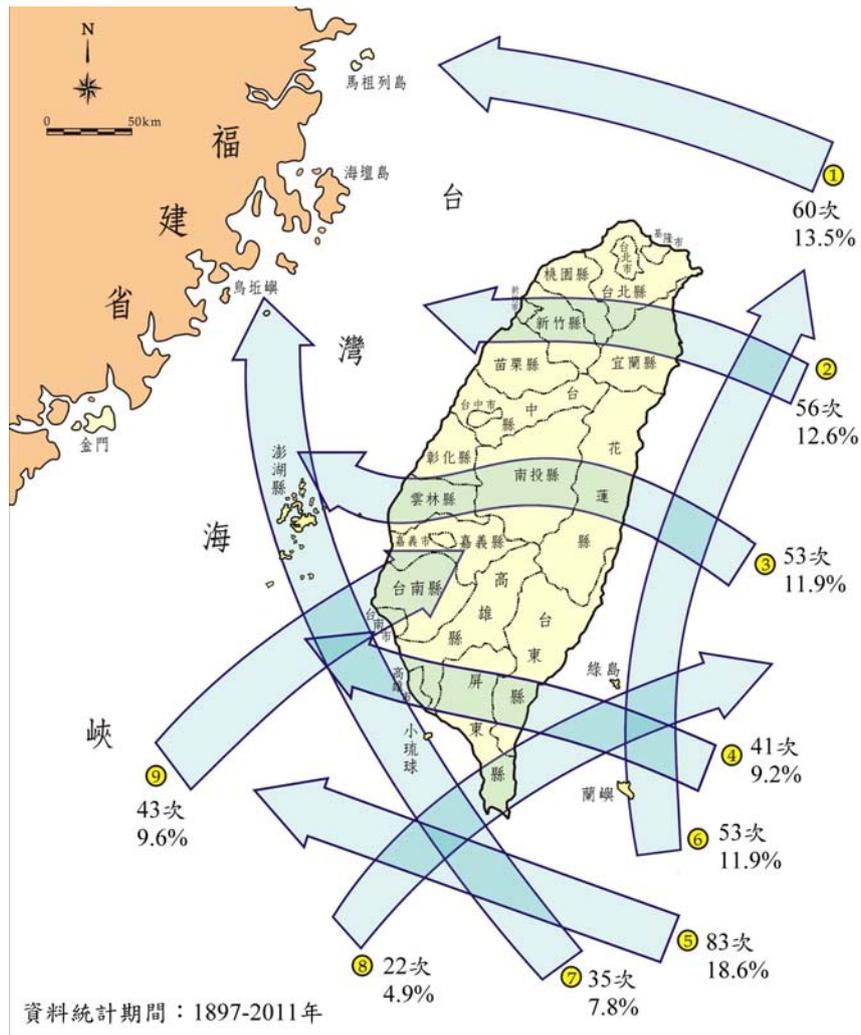


圖 2-27 颱風路徑分類圖

表 2-9 1998 年至 2012 年 9 月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	5	5.4 %
2	6	6.5 %
3	11	11.8 %
4	7	7.5 %
5	5	5.4 %
6	8	8.6 %
7	2	2.2 %
8	2	2.2 %
9	9	9.7 %
未侵臺及特殊路徑	38	40.9 %
合計	93	100.0 %

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

本研究依據中央氣象局發佈資料，繪製 1998 年至 2012 年 9 月期間侵臺之颱風路徑圖，如圖 2-28 所示。由表 2-9 颱風路徑分類統計表可知，由西太平洋西行移動之颱風路徑，包括第一類至第五類路徑，發生比率為 36.6%；北行移動之颱風路徑，包括第六類至第九類路徑，發生比率為 22.6%；未侵臺及特殊路徑發生比率為 40.9%。圖 2-29 至圖 2-37 為第一類至第九類颱風路徑圖，由圖 2-29 至圖 2-37 各類颱風路徑圖可知，影響臺中港鄰近海域安全之颱風路徑為第二類、第三類、第四類、第七類及第九類。由前述所收集之海象資料，統計各颱風期間臺中港海域波浪、風及潮流資料之極值，如表 2-10 所示。表 2-10 中各颱風的統計資料依照侵臺颱風路徑分類排序，最大示性波高大於 5 m 以上者，大多集中在第三類路徑，其次是第二類路徑，統計期間最大示性波高為 7.8 m，發生於 2009 年莫拉克颱風期間。最大風速大於 20 m/s 以上者(相當於蒲福風級 8 級以上)，大多集中在第三類路徑，其次是第二類路徑，統計期間最大風速為 37.5 m/s，發生於 2008 年鳳凰颱風期間。最大流速為 248.3 m/s，發生於 2005 年龍王颱風期間。

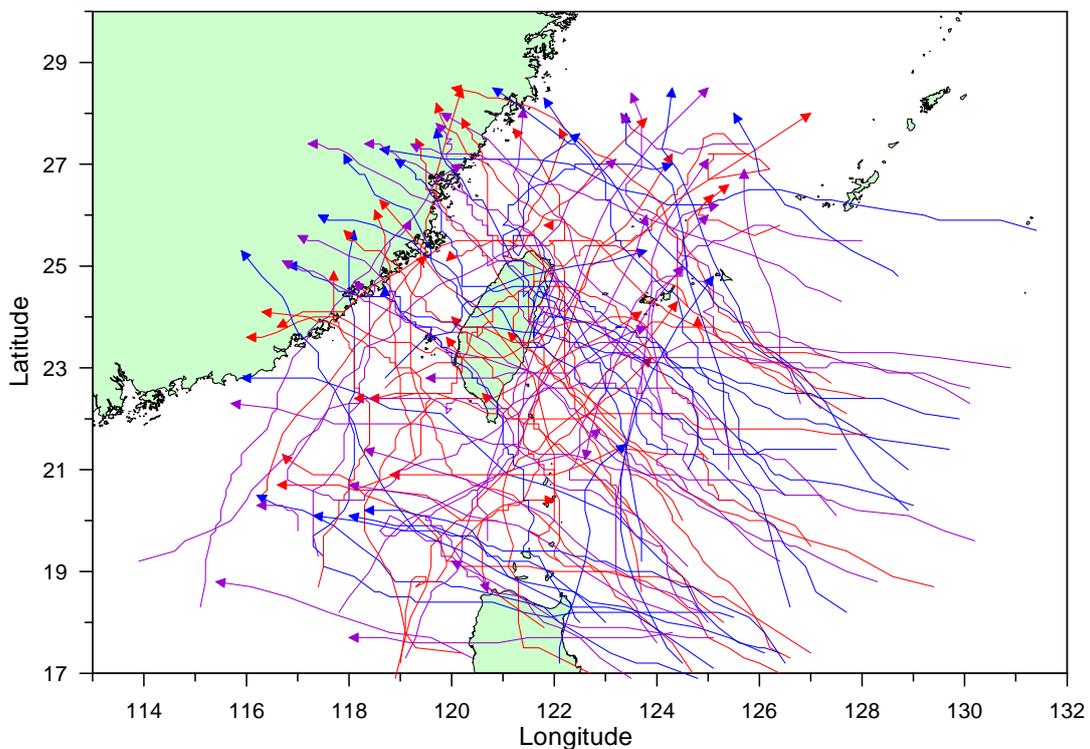


圖 2-28 1998 年至 2012 年 9 月期間侵臺之颱風路徑圖

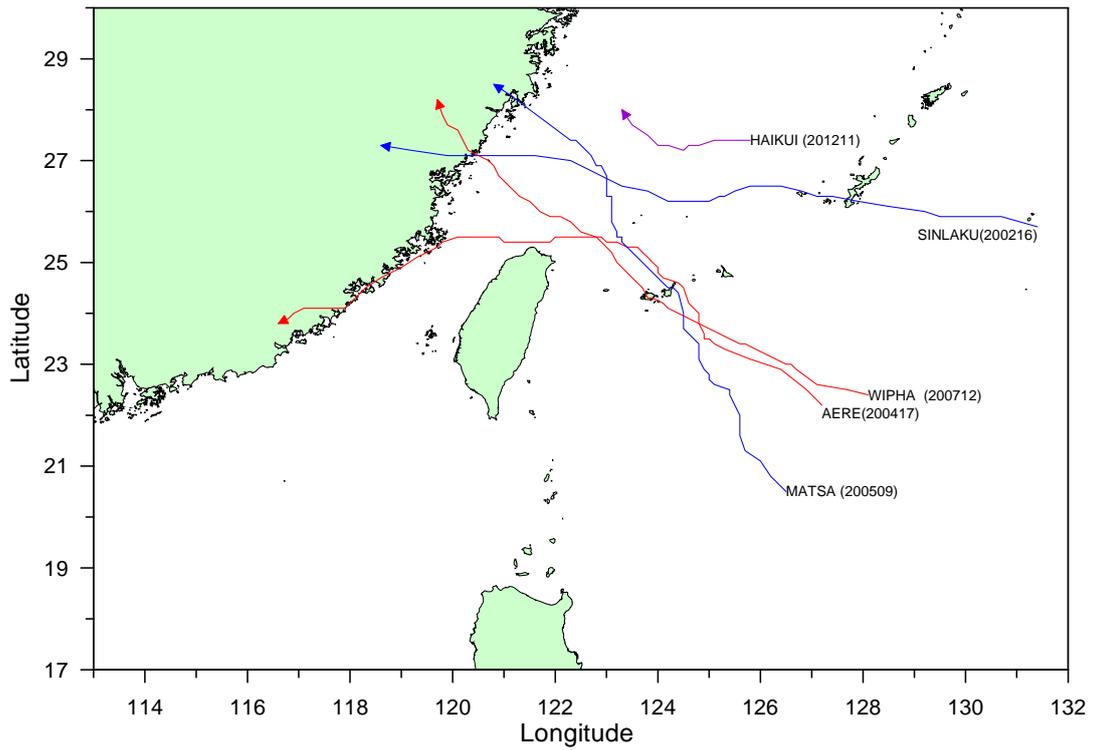


圖 2-29 1998 年至 2012 年 9 月期間第一類颱風路徑圖

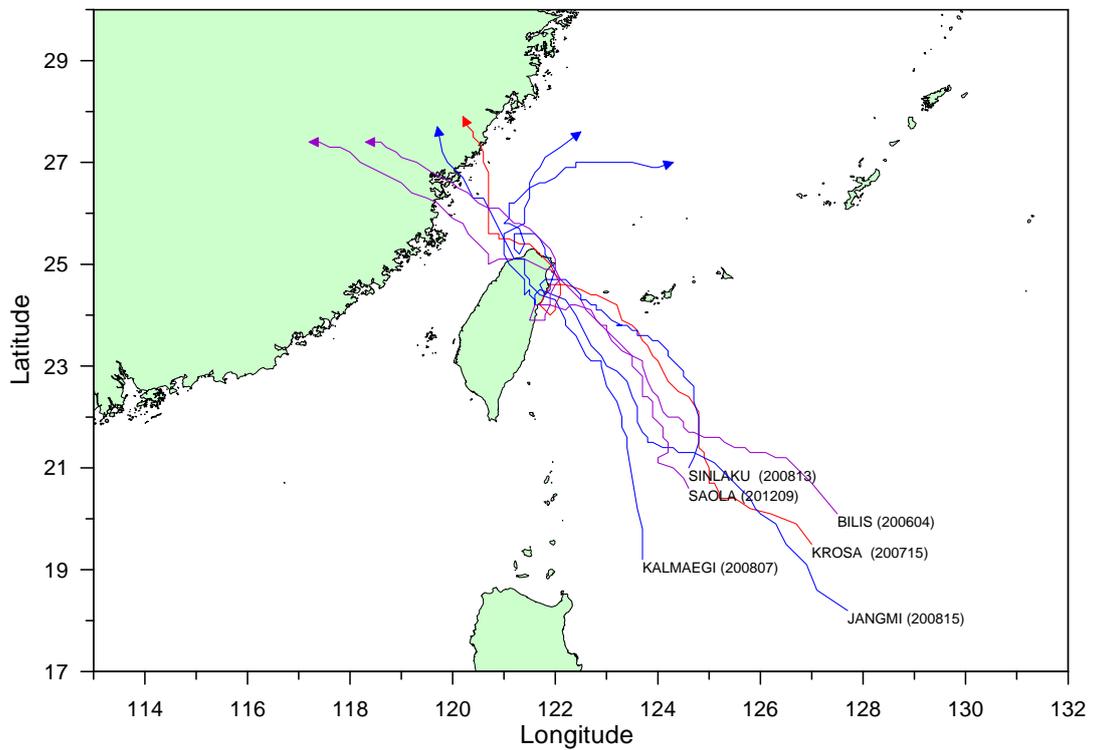


圖 2-30 1998 年至 2012 年 9 月期間第二類颱風路徑圖

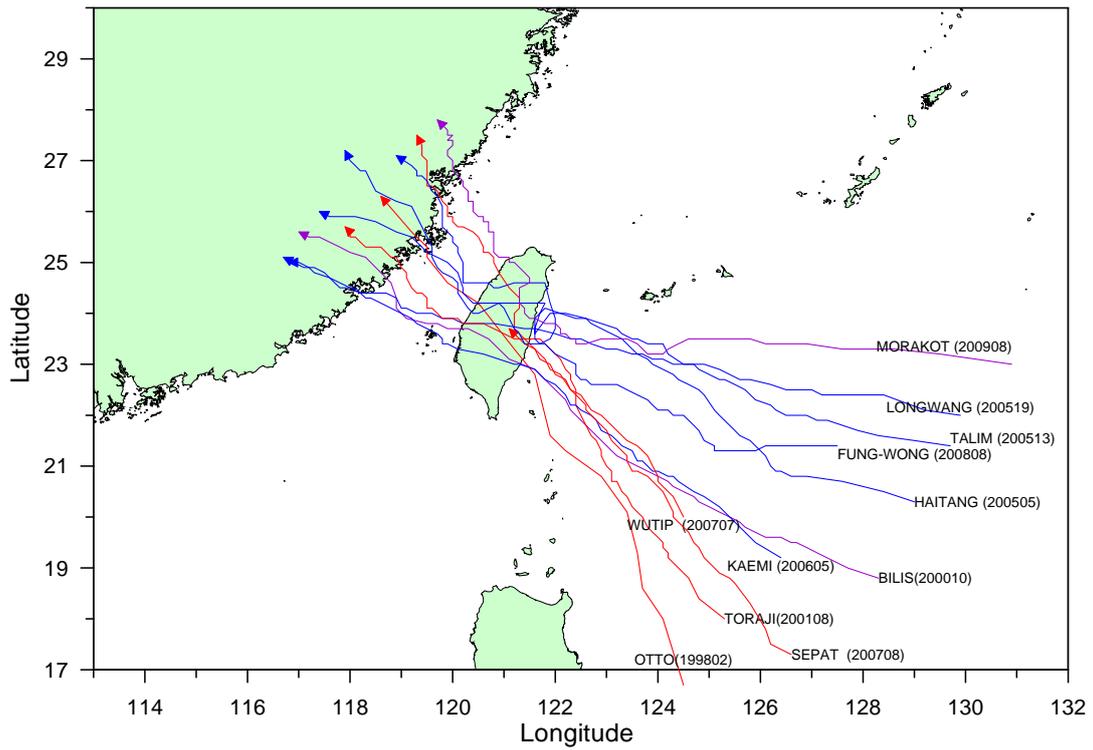


圖 2-31 1998 年至 2012 年 9 月期間第三類颱風路徑圖

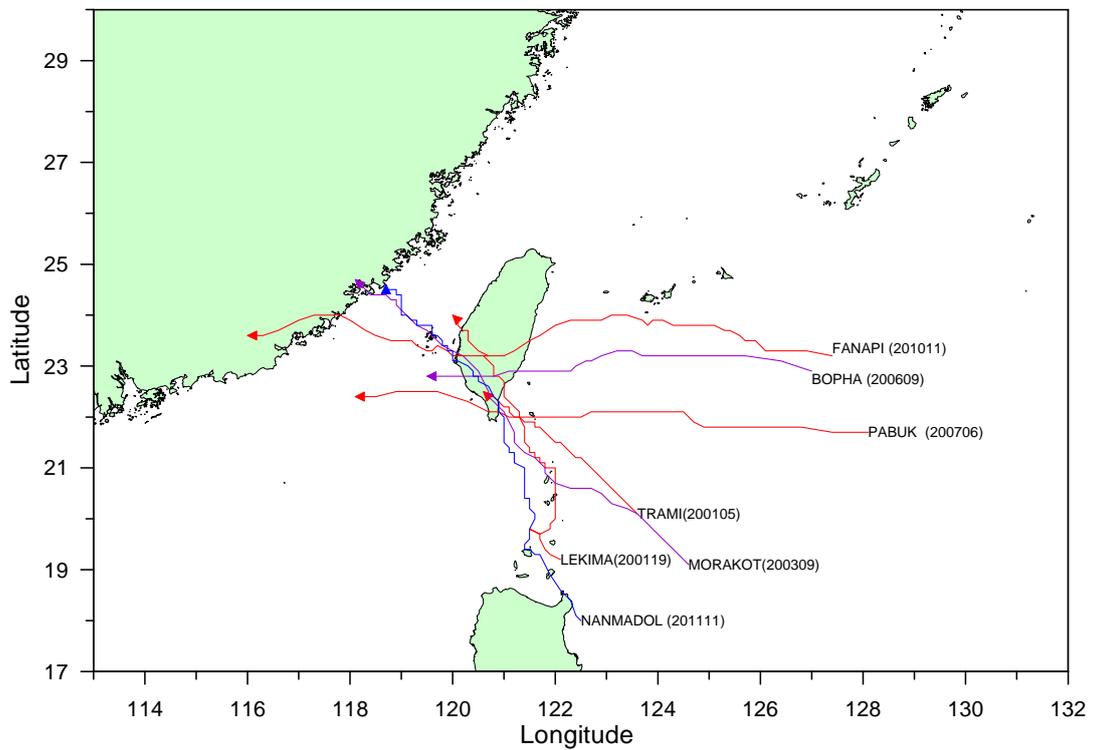


圖 2-32 1998 年至 2012 年 9 月期間第四類颱風路徑圖

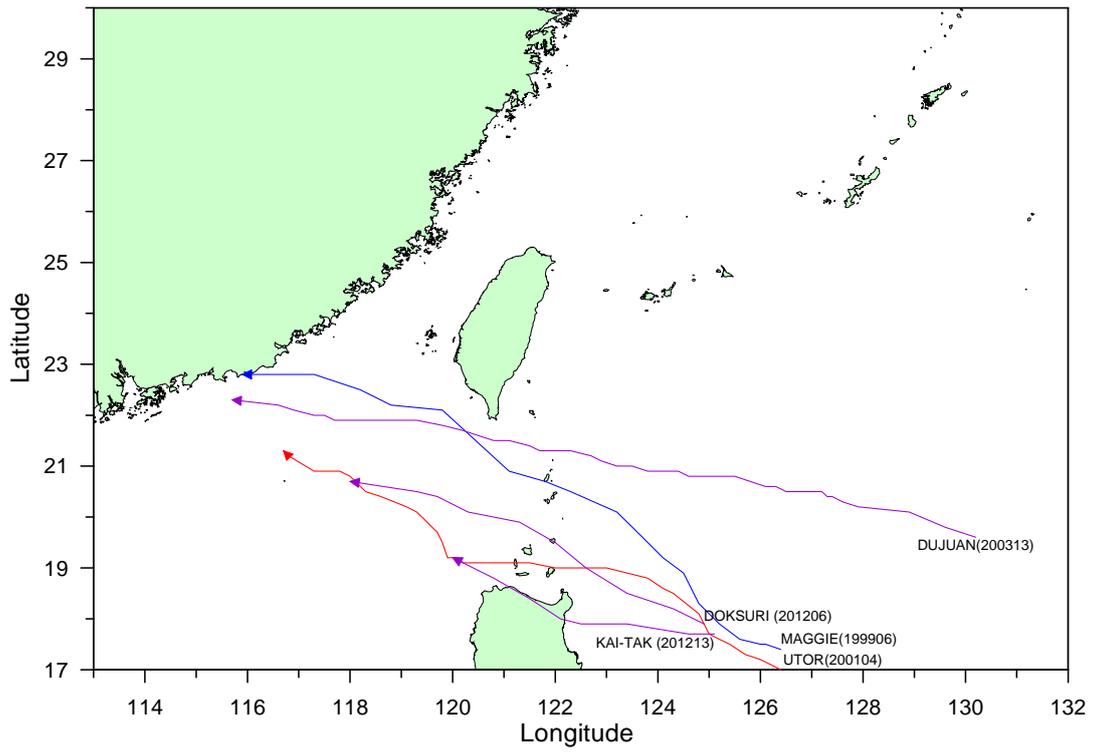
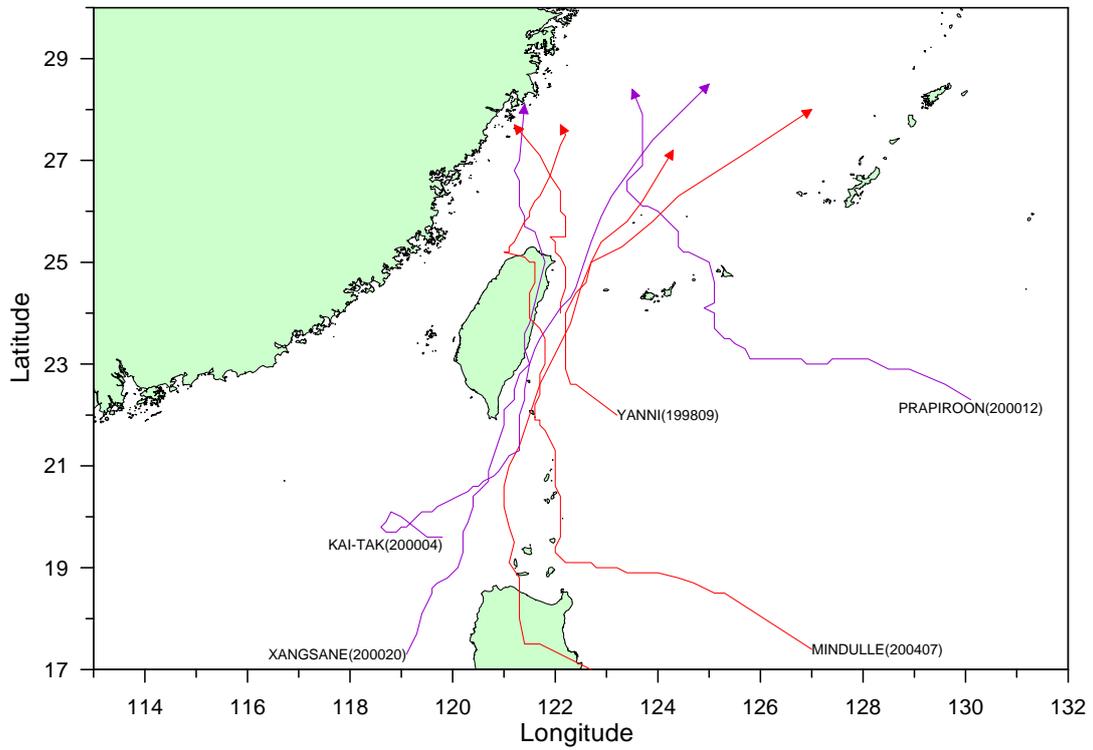


圖 2-33 1998 年至 2012 年 9 月期間第五類颱風路徑圖



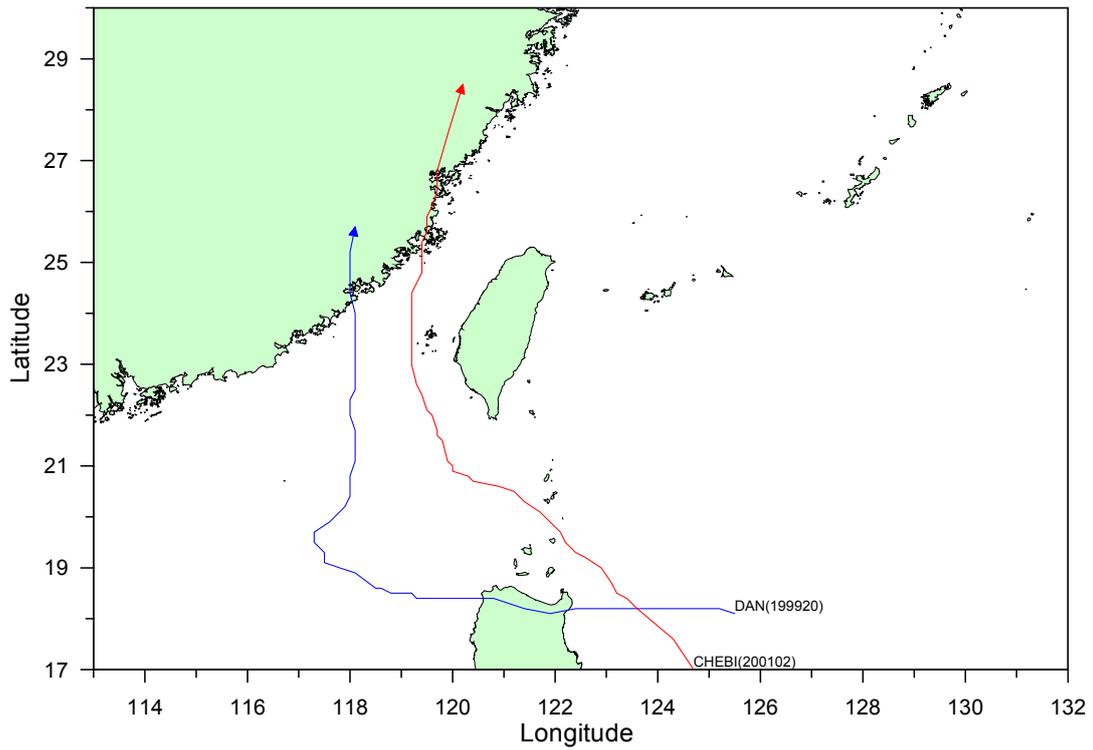


圖 2-35 1998 年至 2012 年 9 月期間第七類颱風路徑圖

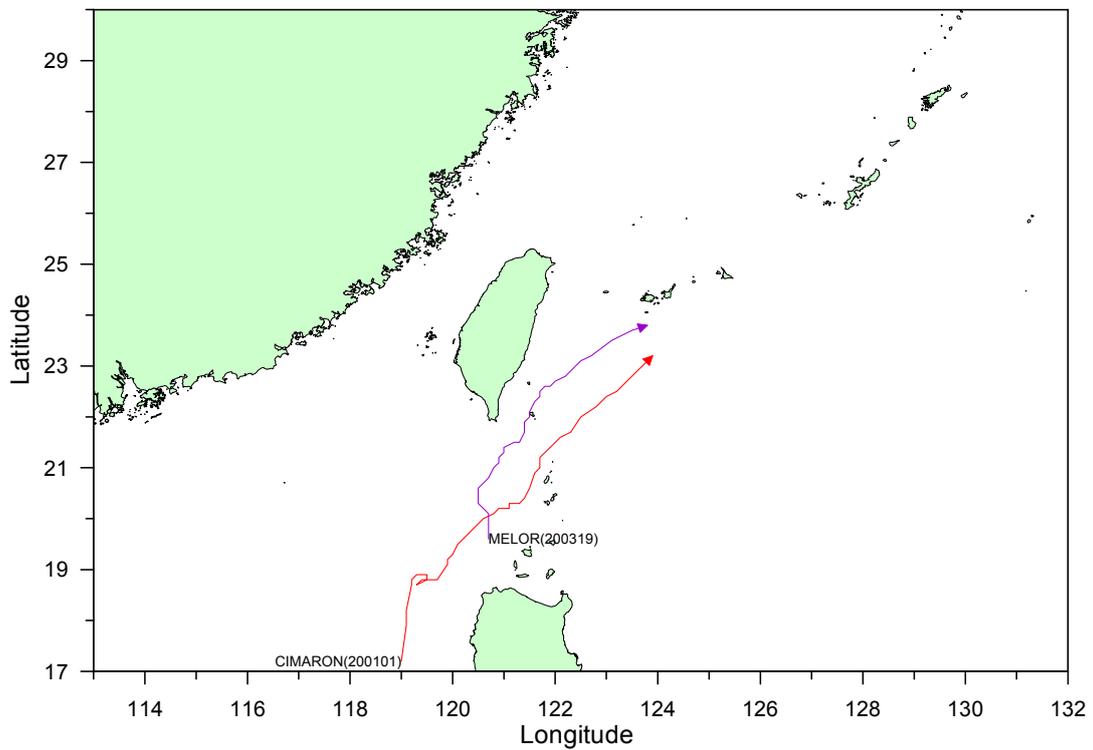


圖 2-36 1998 年至 2012 年 9 月期間第八類颱風路徑圖

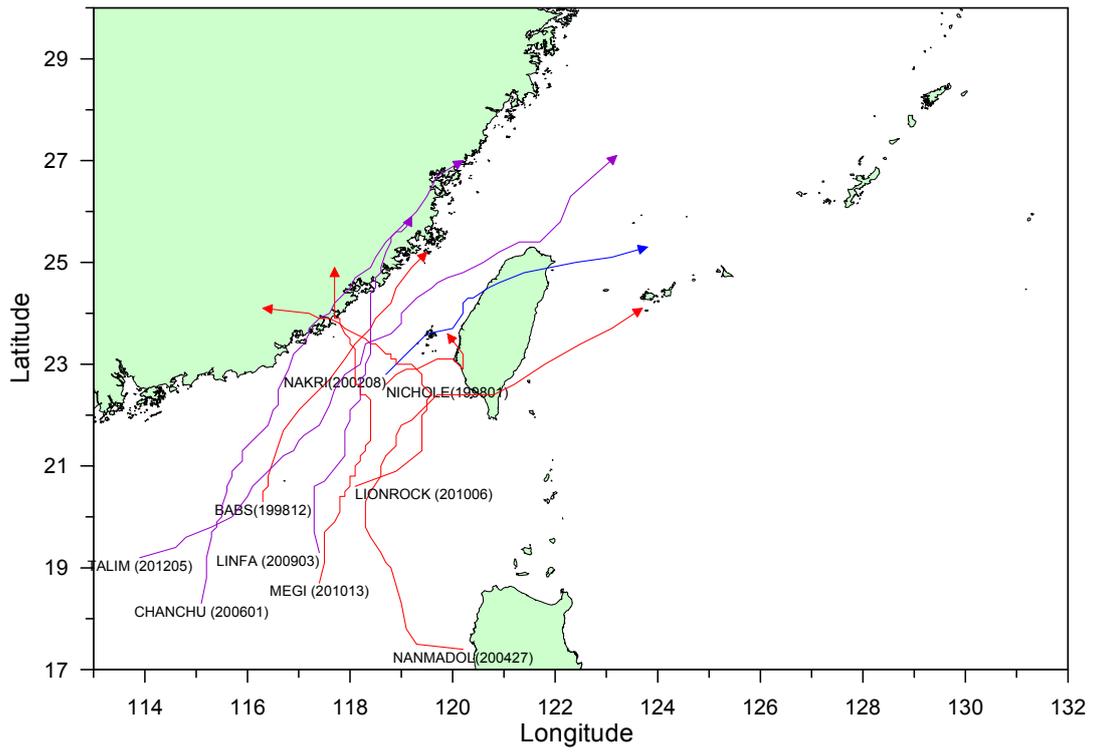


圖 2-37 1998 年至 2012 年 9 月期間第九類颱風路徑圖

表 2-10 2003 年至 2011 年颱風期間臺中港海域之波浪、風及潮流資料統計表

年份	編號	中文名稱	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/s)	七級 風 暴風 半徑 (km)	十級 風 暴風 半徑 (km)	最大 示性 波高 (m)	對應 示性 週期 (sec)	對應 波向 (來 向)	最大 風速 (m/s)	對應 風向 (來 向)	最大 流速 (m/s)	對應 流向 (去 向)
2004	0417	艾利	08/23~ 08/26	中度	1	960	38	200	50	3.4	8.6	N	13.6	SSW	130.6	WNW
2005	0509	馬莎	08/03~ 08/06	中度	1	955	40	250	80	4.3	10.0	NNW	10.0	S	128.3	NNW
2007	0712	韋帕	09/17~ 09/19	中度	1	935	48	200	80	4.6	7.0	*	14.7	N	*	*
2006	0604	碧利 斯	07/12~ 07/15	輕度	2	978	25	300	-	4.7	7.9	NW	18.3	N	150.2	WSW
2007	0715	柯羅 莎	10/04~ 10/07	強烈	2	925	51	300	120	6.7	9.8	*	20.8	NNE	*	*
2008	0807	卡玫 基	07/16~ 07/18	中度	2	970	33	120	50	3.3	5.3	W	20.8	SSW	145.4	N
2008	0813	辛樂 克	09/11~ 09/16	強烈	2	925	51	250	100	5.2	8.4	N	19.7	NNW	138.9	WNW
2008	0815	薔蜜	09/26~ 09/29	強烈	2	925	53	280	100	7.3	10.8	N	26.8	NNW	240.2	WNW
2005	0505	海棠	07/16~ 07/20	強烈	3	912	55	280	120	7.0	8.9	N	26.1	NE	189.1	W
2005	0513	泰利	08/30~ 09/01	強烈	3	920	53	250	100	6.3	9.3	N	26.2	WSW	152.7	NW
2005	0519	龍王	09/30~ 10/03	強烈	3	925	51	200	80	5.6	9.0	N	27.3	NNE	248.3	W
2006	0605	凱米	07/23~ 07/26	中度	3	960	38	200	80	3.6	7.9	N	14.1	NNE	112	W
2007	0707	梧提	08/08~ 08/09	輕度	3	992	18	100	-	1.9	7.2	NNE	6.4	NNE	88.2	N
2007	0708	聖帕	08/16~ 08/19	強烈	3	920	53	250	100	5.4	9.1	N	17.9	NNE	77.8	NNW
2008	0808	鳳凰	07/26~ 07/29	中度	3	948	43	220	80	6.2	7.7	NNE	37.5	NNE	144.5	WSW
2009	0908	莫拉 克	08/05~ 08/10	中度	3	955	40	250	100	7.8	8.7	*	26.2	N	140.4	WNW
2003	0309	莫拉 克	08/02~ 08/04	輕度	4	990	23	100	-	1.1	5.2	NNE	7.1	SSW	92.6	N
2006	0609	寶發	08/07~ 08/09	輕度	4	985	23	120	-	3.0	7.9	NNE	14.5	NNE	87.5	W
2007	0706	帕布	08/06~ 08/08	輕度	4	980	28	150	-	1.9	7.2	NNE	6.4	NNE	74.0	NNW
2010	1011	凡那 比	09/17~ 09/20	中度	4	940	45	200	80	5.1	9.4	N	32.6	N	117.9	WSW
2011	1111	南瑪 都	08/27~ 08/31	強烈	4	920	53	180	50	3.6	9.0	NNE	17.6	S	87.7	NNE
2003	0313	杜鵑	08/31~ 09/02	中度	5	950	43	250	100	3.3	6.8	N	15.1	NNE	84.9	W
2004	0407	敏督	06/28~	中	6	942	45	250	100	3.0	6.8	WSW	12.1	NNE	142.5	N

年份	編號	中文名稱	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/s)	七級 風暴 風半 徑 (km)	十級 風暴 風半 徑 (km)	最大 示性 波高 (m)	對應 示性 週期 (sec)	對應 波向 (來向)	最大 風速 (m/s)	對應 風向 (來向)	最大 流速 (m/s)	對應 流向 (去向)
		利	07/03	度												
2004	0420	海馬	09/11~ 09/13	輕度	6	998	18	100	-	4.0	9.9	N	14.9	NNE	132.3	WNW
2004	0424	納坦	10/23~ 10/26	中度	6	945	43	250	100	4.6	8.9	N	17.0	NNE	163.2	W
2003	0319	米勒	11/02~ 11/03	輕度	8	975	25	150	-	4.2	6.1	N	17.2	NNE	136.9	WNW
2004	0427	南瑪 都	12/03~ 12/04	中度	9	940	38	250	80	3.5	8.5	NNE	13.0	NE	110.3	W
2006	0601	珍珠	05/16~ 05/18	中度	9	943	45	300	100	3.9	8.6	N	16.9	NNE	137.7	WSW
2009	0903	蓮花	06/19~ 06/22	輕度	9	980	28	150	-	2.8	9.9	W	6.5	SSW	189.0	NNE
2010	1006	萊羅 克	08/31~ 09/02	輕度	9	990	23	100	-	2.1	6.9	W	11.4	SSW	54.8	N
2010	1013	梅姬	10/21~ 10/23	中度	9	935	48	250	100	4.8	10	N	*	*	142.2	WSW

資料來源：本所港灣技術研究中心。--表示該颱風未侵臺；*表示無觀測值。

表 2-10(續) 2003 年至 2011 年颱風期間波浪、風及潮流資料統計表

年份	編號	中文名稱	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/s)	七級 風暴 風半 徑 (km)	十級 風暴 風半 徑 (km)	最大 示性 波高 (m)	對應 示性 週期 (sec)	對應 波向 (來向)	最大 風速 (m/s)	對應 風向 (來向)	最大 流速 (m/s)	對應 流向 (去向)
2003	0302	柯吉 拉	04/21~ 04/24	中度	--	925	43	250	100	*	*	*	12.4	NNE	*	*
2003	0305	南卡	06/01~ 06/03	輕度	--	990	23	100	-	*	*	*	11.3	NNE	*	*
2003	0306	蘇迪 勒	06/16~ 06/18	中度	--	960	38	200	50	*	*	*	13.4	NNE	*	*
2003	0307	尹布 都	07/21~ 07/23	中度	--	935	48	300	120	*	*	*	6.7	NNE	*	*
2003	0311	梵高	08/19~ 08/20	輕度	--	998	18	100	-	1.8	5.2	NNE	9.0	NNE	64.9	NNW
2003	0312	柯羅 旺	08/22~ 08/23	中度	--	970	33	250	100	1.2	4.9	NNE	5.6	N	71.4	NNW
2004	0404	康森	06/07~ 06/09	中度	--	970	33	150	50	3.3	7.2	ENE	13.9	NNE	121.0	S
2004	0409	康柏 斯	07/14~ 07/15	輕度	--	995	20	100	-	1.8	7.0	WNW	6.2	SW	96.7	NNW
2004	0413	蘭寧	08/10~ 08/13	中度	--	955	40	250	100	2.5	7.2	N	12.4	NNE	105.6	N
2004	0421	米雷	09/26~ 09/27	中度	--	940	40	200	80	3.0	7.2	NNE	13.8	NNE	111.0	W
2005	0510	珊瑚	08/11~	輕	--	985	25	200	-	2.0	8.0	NNE	6.4	WSW	96.4	NNW

年份	編號	中文名稱	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/s)	七級 風暴 風半 徑 (km)	十級 風暴 風半 徑 (km)	最大 示性 波高 (m)	對應 示性 週期 (sec)	對應 波向 (來 向)	最大 風速 (m/s)	對應 風向 (來 向)	最大 流速 (m/s)	對應 流向 (去 向)
			08/13	度												
2005	0515	卡努	09/09~ 09/11	中度	--	950	43	200	80	3.2	6.2	N	12.6	NNE	85.1	NNW
2005	0518	丹瑞	09/21~ 09/23	中度	--	955	25	200	-	3.6	6.2	NNW	8.3	NNE	80.4	N
2006	0603	艾維 尼	07/07~ 07/09	中度	--	925	43	300	80	1.1	4.0	W	4.4	N	90.2	NNW
2006	0608	桑美	08/09~ 08/10	中度	--	935	48	180	80	3.0	7.9	NNE	6.9	NNE	87.5	W
2006	0613	珊珊	09/14~ 09/16	中度	--	945	48	200	80	3.2	8.2	N	14.8	NNE	92.5	W
2007	0723	米塔	11/26~ 11/27	中度	--	955	35	200	80	*	*	*	23.2	NNE	*	*
2008	0812	如麗	08/19~ 08/21	中度	--	955	40	220	80	1.5	4.8	WSW	9.4	S	108.9	SSE
2008	0814	哈格 比	09/21~ 09/23	中度	--	940	45	280	100	3.6	8.1	NNE	7.5	NNW	86.8	NNE
2009	0906	莫拉 菲	07/16~ 07/18	輕度	--	980	28	100	-	1.2	6.7	NNE	*	*	114.6	NE
2010	1008	南修	08/30~ 08/31	輕度	--	995	18	80	-	2.0	8.3	N	12.4	SSW	60.7	NNE
2010	1010	莫蘭 蒂	09/09~ 09/10	輕度	--	990	23	100	-	2.3	7.5	W	18.4	SSW	92.1	NNW
2011	1101	艾利	05/09~ 05/10	輕度	--	990	23	150	-	0.8	3.8	NE	7.6	N	51.6	NE
2011	1102	桑達	05/27~ 05/28	強烈	--	920	55	220	100	3.9	8.9	NNE	25.8	NNE	93.1	WSW
2011	1105	米雷	06/23~ 06/25	輕度	--	982	28	200	-	2.7	7.6	SW	18.8	NNE	45.8	NE
2011	1109	梅花	08/04~ 08/06	中度	--	945	43	280	-	1.1	5.0	NNE	13.0	NNE	40.2	N
2009	0917	芭瑪	10/03~ 10/06	中度	特殊 路徑	945	43	250	80	4.3	9.2	NNE	18.8	NNE	128.1	WSW

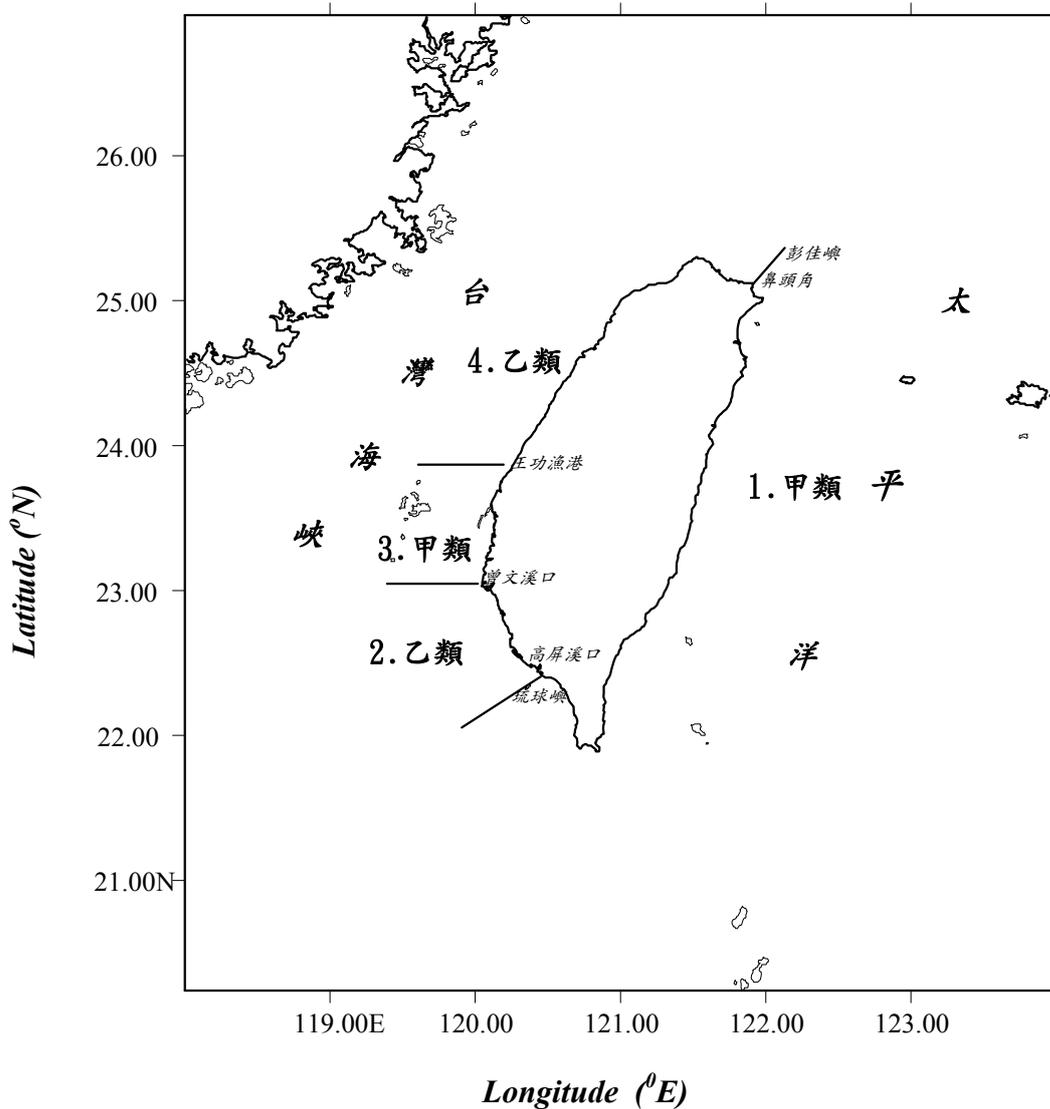
資料來源：本所港灣技術研究中心。--表示該颱風未侵臺；*表示無觀測值。

2.5 海域水質

臺中港海域水質調查參考資料，包括1991年環保署港灣污染整治規劃之調查、臺電公司「臺中發電廠環境監測報告」(2002)、行政院環保署於1995~2011年辦理之「臺灣北部、中部、南部海域水質監測現況」，與水質年報(至2011年)及全國環境水質監測資訊網；以及臺灣港務股份有限公司-臺中港務分公司(民營化前身為臺中港務局)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」(1996~2011)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2-38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2001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2-11所示。根據行政院環保署全國環境水質監測資訊網(<http://wq.epa.gov.tw/WQEPA/Code/?Languages=>)之海域水質監測結果顯示(測站位置如圖2-39所示)，2011年臺灣沿海海域水質狀況普遍良好，全年達成率與2006年~2010年相同，皆為99.9%，除二仁溪口及東港溪出海口溶氧偶有略低而不符合其所屬的水體分類水質標準外，整體海域水質狀況尚屬良好。



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 2-38 臺灣沿海海域水體分類圖

行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan)

全國環境水質監測資訊網

網站導覽 回首頁 English 意見信箱 環保署

首頁 >> 環境水質監測查詢 >> 海域

河川 水庫 海域 地下水 海澱

請選擇您關心的測站

依海域分區：
請選擇海域
選擇全部測站
GO!

水質報告

101年4月5條主要河川 淡水河、頭...<詳全文>
近3年(2009-2011) 全國30處海澱水...<詳全文>

隱私權政策 · 資訊安全政策 · 資訊安全規範 · 著作權授權聲明

聯絡地址：台北市中正區中華路一段83號 | 總機：886-2-23117722
請使用 1024*768px 螢幕解析度獲得最佳網頁瀏覽環境

無障礙 Accessibility GOV

● 監測水體：海域 ● 採樣分區：台中港沿海海域 ● 測站分布圖



(<http://wq.epa.gov.tw/WQEP/Code/Default.aspx?Water=Sea>)

圖 2-39 環保署全國海域水質臺中港沿海監測站位置

表 2-11 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 ⁽¹⁾ 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							
銀	≤0.05								
農 藥	有機磷劑+氨基甲酸鹽 ⁽²⁾	≤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 ⁽³⁾	≤0.005							
除草劑	≤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。

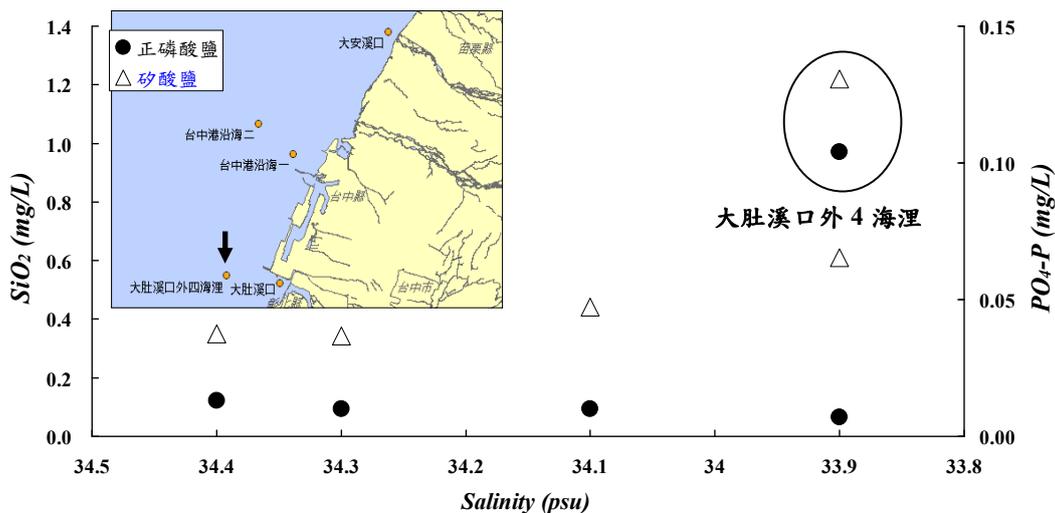
附註：(1)各水質項目之單位：pH值無單位，大腸桿菌群CFU/100 mL，其餘均為mg/L。

(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。

由環保署於臺中港沿海設置之5處海域水質測站(圖2-39)，歷次(1997年7月至2011年12月)監測結果顯示，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1997年7月至2001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(2005年3月至2010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。

環保署於2011年3月、5月、8月及10月之臺中港沿海5測站(圖2-39)之4季監測結果於一般水文方面(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<2.0~11.6 mg/L之間；營養鹽方面其氨氮介於<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)，磷方面正磷酸鹽曾多次不符合標準，2011年3月、8月與10月均有出現不符合之情形，且10月於大安溪口、大肚溪口及大肚溪口外4海湮均不合格。3月採樣時，其大肚溪口外4海湮處(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(33.9 psu)且矽酸鹽濃度(1.22 mg/L)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2-40)，8月與10月於大安溪口亦出現正磷酸鹽偏高。重金屬方面於銅、鎳、鉛、鋅、鉻與汞方面皆無異常且均能符合海域水質標準。



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」(實心圓點為正磷酸鹽)

圖 2-40 2011 年 3 月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

臺中港沿海5測站環保署於2012年前3季(3月、5月、8月，第4季尚未公布)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)同樣均無異常，酸鹼度變化不大，介於8.0~8.2之間，溶氧量則介於6.5~8.2 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2.0~15.4 mg/L之間；營養鹽方面其氨氮介於<0.01~0.06 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2012年2月出現相對多次不符合標準，5月及8月則未有出現不符合之情形(參考甲類海水標準，乙類海域無標準)。重金屬方面於銅、鎘、鉛、鋅、鉻與汞方面，與2011年同樣皆無異常且均能符合海域水質標準。

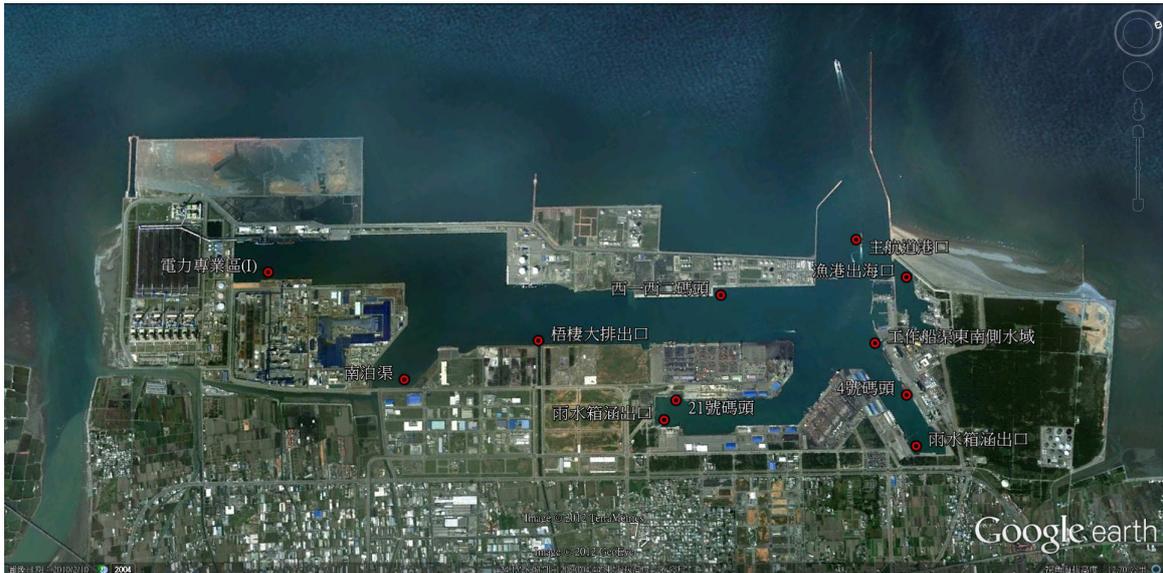
表 2-12 臺中沿海 2012 年海域水質檢測結果(環保署水體品質資料庫)-2012 年前 3 季

測站名稱	採樣日期 年/月/日	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	2012/2/22	08:00	1	16.1	14.4	33.0	8.2	7.7	5.6	0.2	0.15	0.008	0.037	0.02	0.749	0.00002	<0.001	0.0005	0.0012	0.0001	<0.0003
臺中港沿海一	2012/2/22	07:19	1	15.3	15.0	33.1	8.2	7.7	4.3	0.2	0.18	0.010	<u>0.060</u>	0.03	0.861	0.00002	<0.001	0.0006	0.0014	0.0001	<0.0003
臺中港沿海二	2012/2/22	07:05	1	14.8	14.5	33.1	8.1	7.6	7.7	0.3	0.17	0.008	<u>0.061</u>	0.03	0.774	0.00002	<0.001	0.0007	0.0017	0.0001	<0.0003
大肚溪口	2012/2/21	12:08	1	15.1	15.5	32.9	8.1	8.0	7.6	0.7	0.21	0.013	<u>0.052</u>	0.04	0.803	0.00001	<0.001	0.0007	0.0025	0.0001	<0.0003
大肚溪口外4海浬	2012/2/21	11:46	1	15.3	14.8	33.0	8.2	8.2	15.4	0.7	0.20	0.012	0.050	0.04	0.906	0.00002	<0.001	0.0007	0.0028	0.0004	<0.0003
大安溪口	2012/5/30	11:38	1	30.5	29.0	29.6	8.0	7.0	3.9	4.7	0.15	0.009	0.024	0.04	0.699	0.00001	<0.001	0.0003	0.0010	0.0001	<0.0003
臺中港沿海一	2012/5/30	10:43	1	30.4	28.5	32.8	8.2	6.9	2.0	3.0	0.04	0.001	<0.003	<0.01	0.063	<0.00001	<0.001	0.0003	0.0009	0.0001	<0.0003
臺中港沿海二	2012/5/30	10:24	1	30.1	28.1	32.3	8.1	6.7	4.7	2.3	0.05	0.004	0.012	0.01	0.254	0.00001	<0.001	0.0004	0.0012	0.0001	<0.0003
大肚溪口	2012/5/29	02:19	1	29.2	28.2	32.6	8.2	6.5	3.6	1.9	0.02	0.002	0.004	0.02	0.174	0.00001	<0.001	0.0004	0.0012	0.0001	<0.0003
大肚溪口外4海浬	2012/5/29	01:54	1	29.1	28.2	30.5	8.2	6.6	9.3	2.2	0.09	0.007	0.017	0.02	0.700	0.00001	<0.001	0.0004	0.0014	0.0001	<0.0003
大安溪口	2012/8/15	11:30	1	31.1	29.2	31.9	8.2	6.8	9.8	2.5	0.05	0.006	0.003	0.03	0.176	0.00002	<0.001	0.0001	0.0004	<0.0001	<0.0003
臺中港沿海一	2012/8/15	10:45	1	30.7	30.1	31.6	8.2	6.7	4.8	2.2	0.19	0.015	<0.003	0.02	0.266	0.00004	<0.001	0.0003	0.0005	<0.0001	<0.0003
臺中港沿海二	2012/8/15	10:35	1	30.4	29.3	32.3	8.2	6.8	6.8	0.9	0.02	0.004	<0.003	0.01	0.026	0.00003	<0.001	0.0002	0.0004	<0.0001	<0.0003
大肚溪口	2012/8/15	10:05	1	29.1	29.8	31.4	8.2	6.5	4.4	2.6	0.04	0.015	0.006	0.02	0.227	0.00001	<0.001	0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0003
大肚溪口外4海浬	2012/8/15	09:50	1	29.4	29.6	33.7	8.1	6.8	3.9	3.3	0.05	0.024	0.010	0.06	0.406	0.00003	<0.001	0.0005	0.0016	<0.0001	<0.0003

註：粗斜體劃底線數據表示不符合參考之海域水質標準。(臺中港沿海屬乙類海域)

2.5.2 臺中港港內水質

臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司(以下簡稱臺中港務分公司)自1996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(1996年至2011年)，各測站相關之監測位置如圖2-41所示，共計11處測點。分別為：1.北泊渠(四號碼頭附近港池)，2.工作船渠東連續壁南側水域。3.漁港出海口。4.西碼頭港池(西一、西二碼頭附近)。5.中泊渠(21號碼頭附近)。6.工業泊渠(99號碼頭附近)。7.主航道港口附近。8.梧棲大排出海口港池。9.安良大排出海口(南泊渠重建橋處)。10.北泊渠雨水箱涵出口。11.中泊渠雨水箱涵出口。以下分別討論在各測站量測所得溶氧、生化需氧量、大腸桿菌群、總磷、氨氮之濃度變化情形。



資料來源：臺中港務分公司「2008年(97年度)臺中港區環境調查監測分析」，影像來源：Google earth

圖 2-41 臺中港港內海域水質監測點位圖

1. 溶氧(DO)

圖2-42顯示各測站溶氧(DO)歷年監測結果。其中西碼頭港口(西一、西二)、中泊渠(21號碼頭)、工業泊渠(99號碼頭)、梧棲大排出口與安良港大排出口於1997~2004年漲退期間皆曾出現不符合乙類海域水體水質標準之情形。惟自2006年起至2011年，溶氧監測值已多能符合乙類海域水體水質標準(≥ 5.0 mg/L)，溶氧約在6.0~8.0 mg/L間。歷年漲潮平均(6.3 mg/L)略高於退潮平均(6.2 mg/L)。

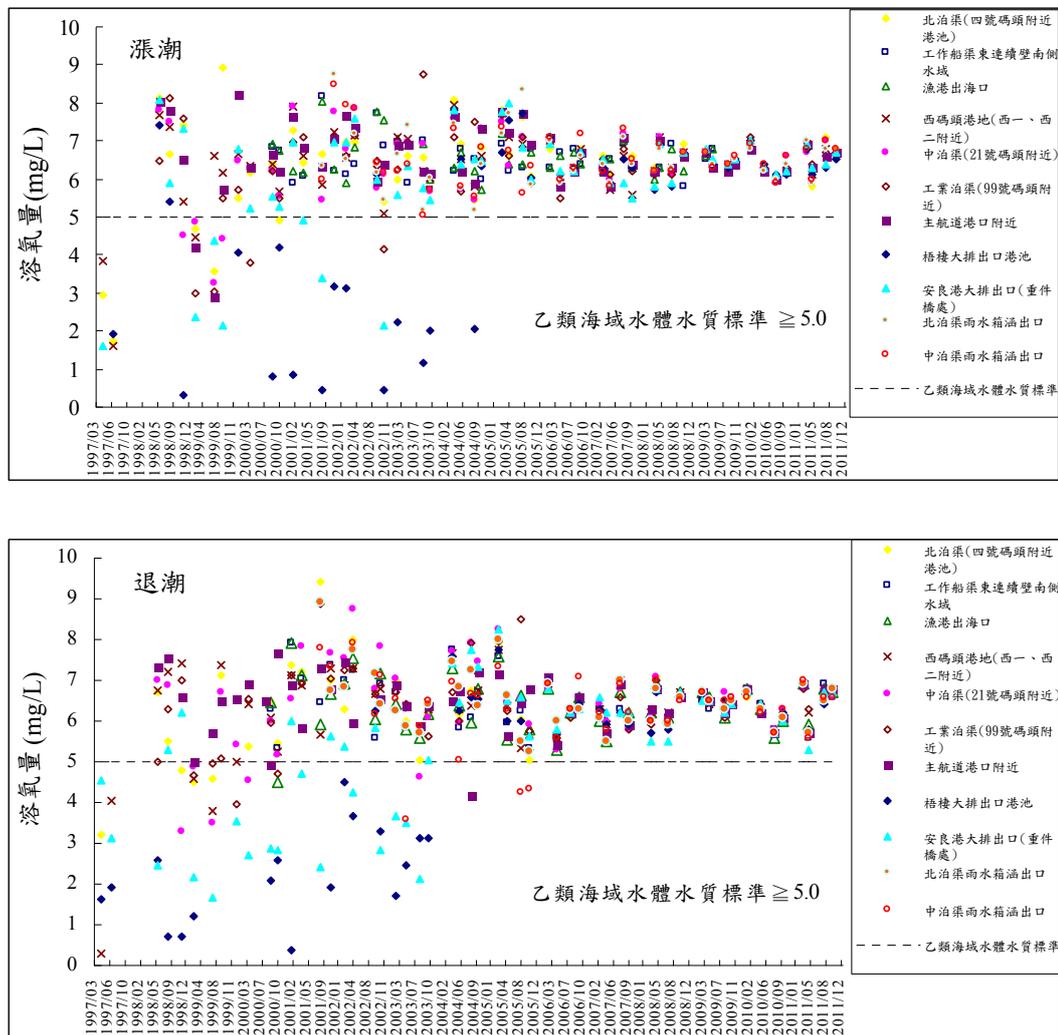


圖 2-42 臺中港港內歷年漲退潮期間溶氧量監測值

2. 生化需氧量(BOD)

圖2-43顯示各測站生化需氧量(BOD)歷年監測結果。於1997~2005年調查漲退期間，生化需氧量測值大多無法符合乙類海域水體水質標準(≤ 3.0 mg/L)，尤以安良港大排出口與梧棲大排出口此二區域之生化需氧量測值相較高於其他區域，並曾於1999年12月測得漲潮時最高值達56.3 mg/L，此測值已超出乙類海域水體上限19倍，顯示此二處水體中有機污染物濃度較高，需消化污染物之耗氧量高，水域中有機污染嚴重。自2006年起至2011年，生化需氧量超標情形已明顯改善，各測站大多能符合乙類海域水體水質標準，且測值多為小於其偵測極限值(< 2.0 mg/L)。歷年漲潮平均(3.8 mg/L)與退潮平均(3.7 mg/L)相近。

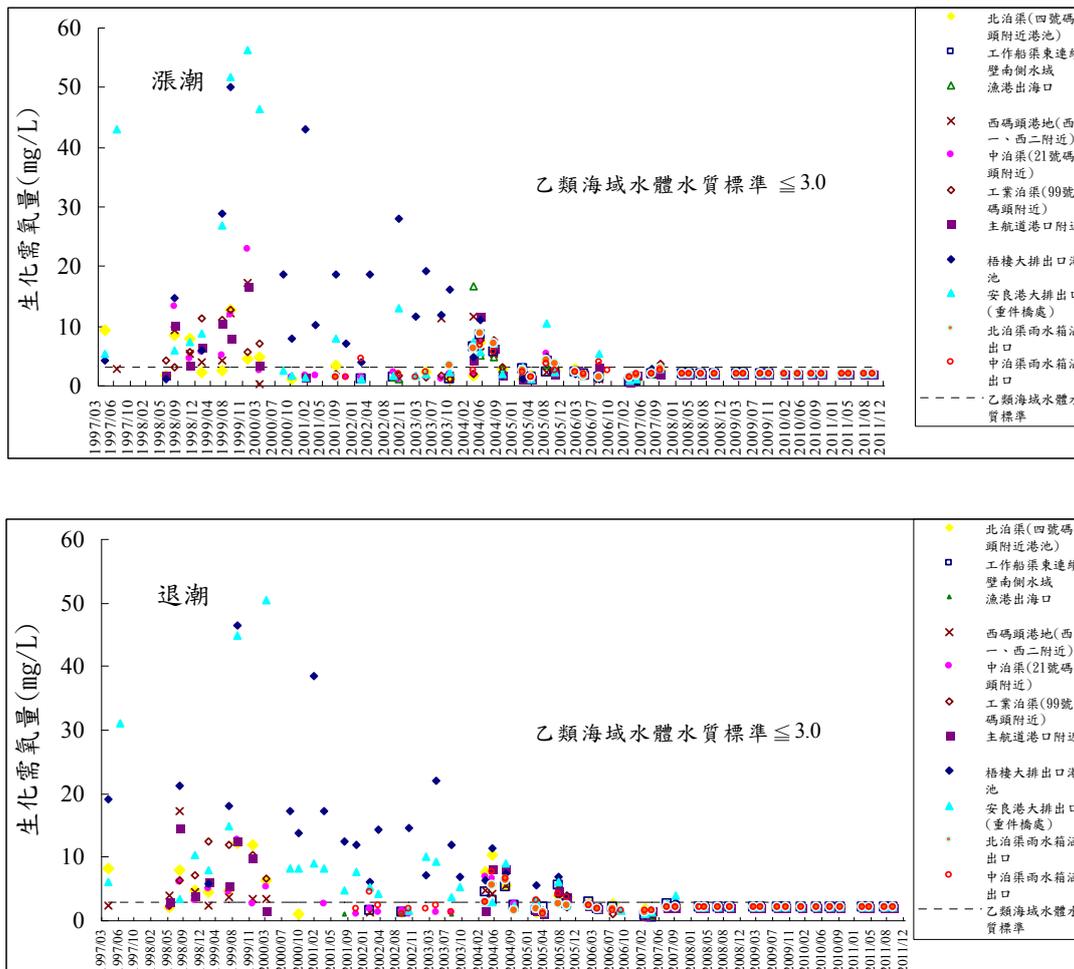


圖 2-43 臺中港港內歷年漲退潮期間生化需氧量監測值

3. 大腸桿菌群

各測站大腸桿菌群歷年漲退潮監測結果顯示(圖2-44)，以梧棲大排出口及安良港大排出口大腸桿菌群監測值明顯偏高，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)衡量，於1997~2004年梧棲大排出口及安良港大排出口，此二區域大腸桿菌群皆大幅超出甲類海域水質標準(1000 CFU/100 mL)，顯示海水大腸桿菌群多源自於陸域匯入，整體水質最差。自2008年起至2010年間，多能符合標準，而於2011年4月略有增高，之後則回復且符合標準且無異常。歷年退潮平均(5.1E+05 CFU/100mL)高於漲潮平均(1.9E+05 CFU/100mL)。

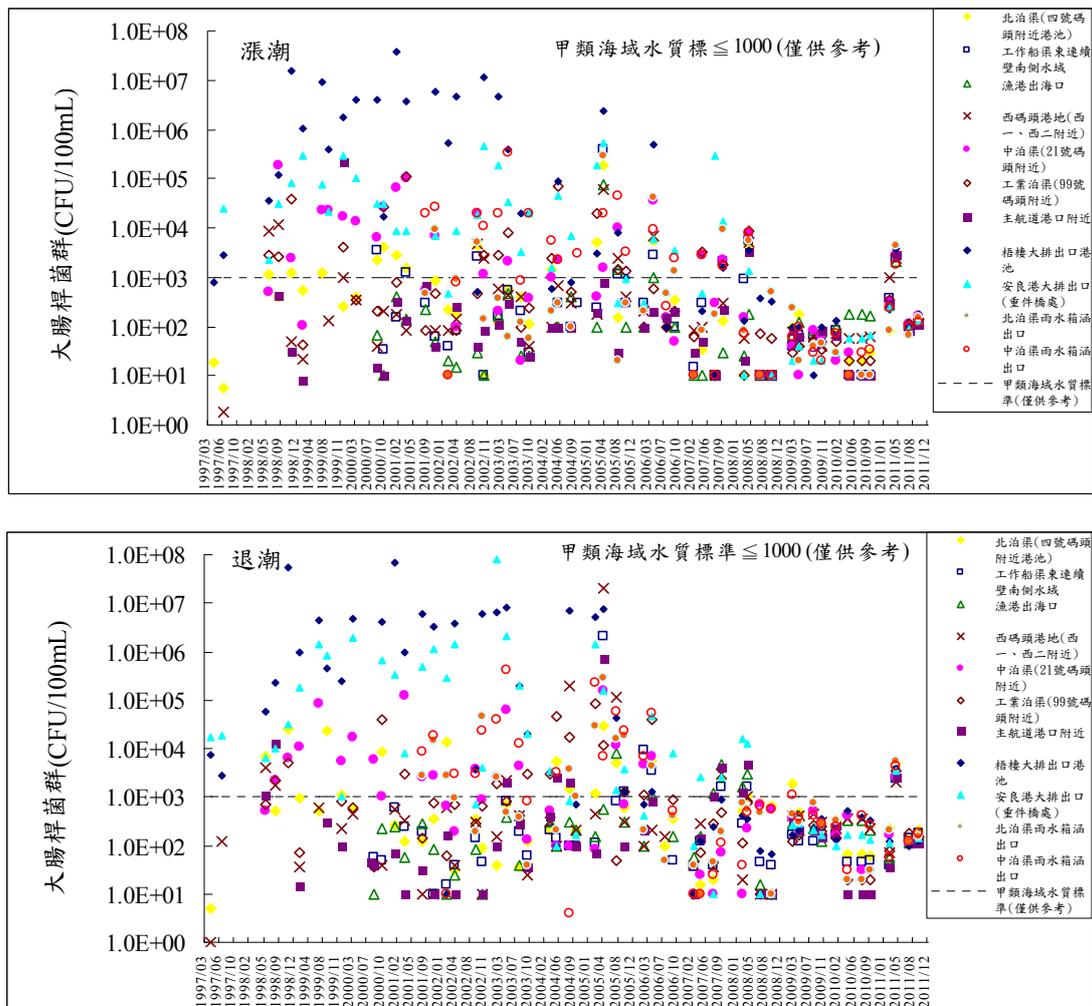


圖 2-44 臺中港港內歷年漲退潮期間大腸桿菌群監測值

4. 氨氮

圖2-45顯示各測站氨氮歷年漲退監測結果。各測站氨氮濃度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0.05~20.3 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2008年起至2011年間，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。歷年退潮平均(0.485 mg/L)高於漲潮時平均(0.539 mg/L)。

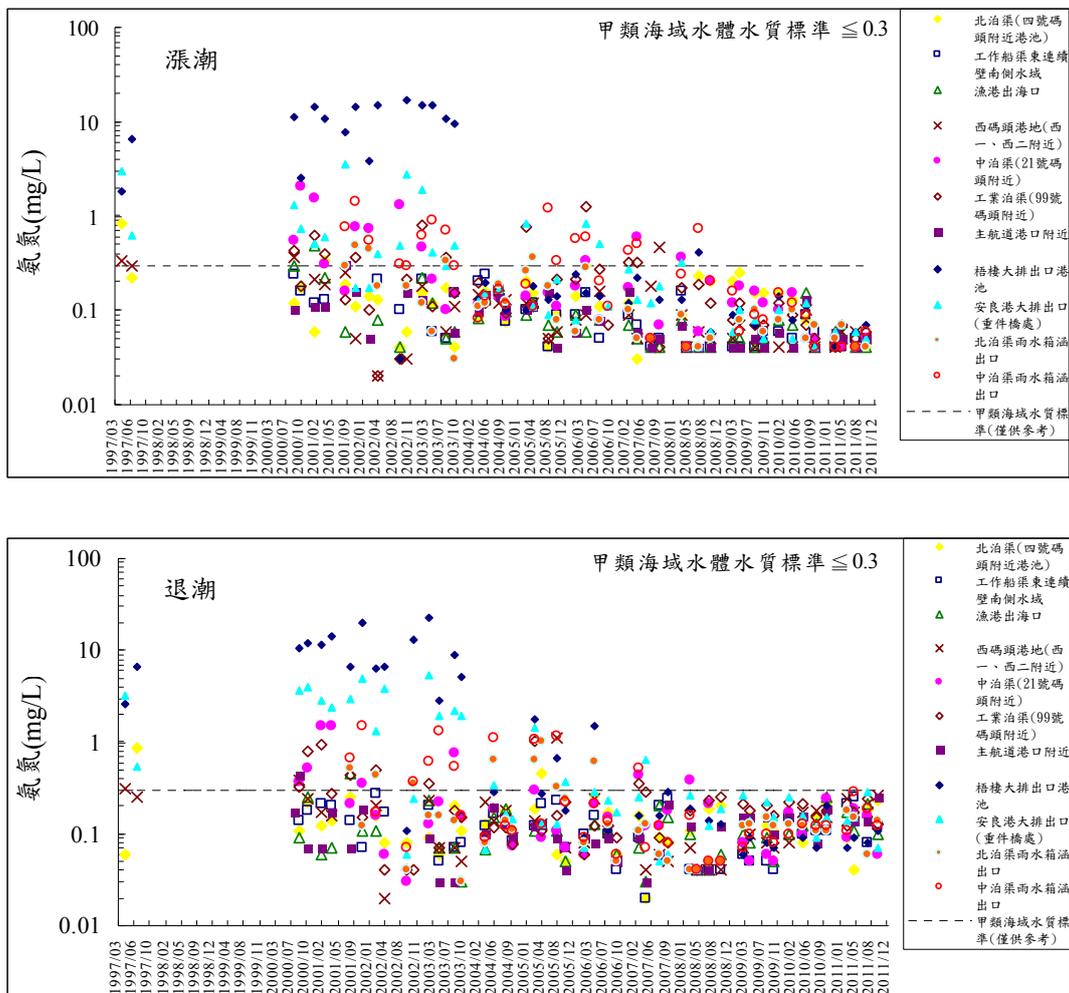


圖 2-45 臺中港港內歷年漲退潮期間氨氮監測值

5. 總磷

圖2-46顯示各測站總磷歷年漲退監測成果。歷年各測站總磷測值介於 $<0.02 \sim 1.54 \text{ mg/L}$ 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2008年10月起至2011年水質狀況漸趨穩定，且多符合乙類海域水體水質標準，而過去位於梧棲大排出口處與安良港大排出口處港域總磷濃度偏高，且超標之情形已獲改善，水質漸趨良好。歷年退潮平均(0.056 mg/L)高於漲潮時平均(0.049 mg/L)。

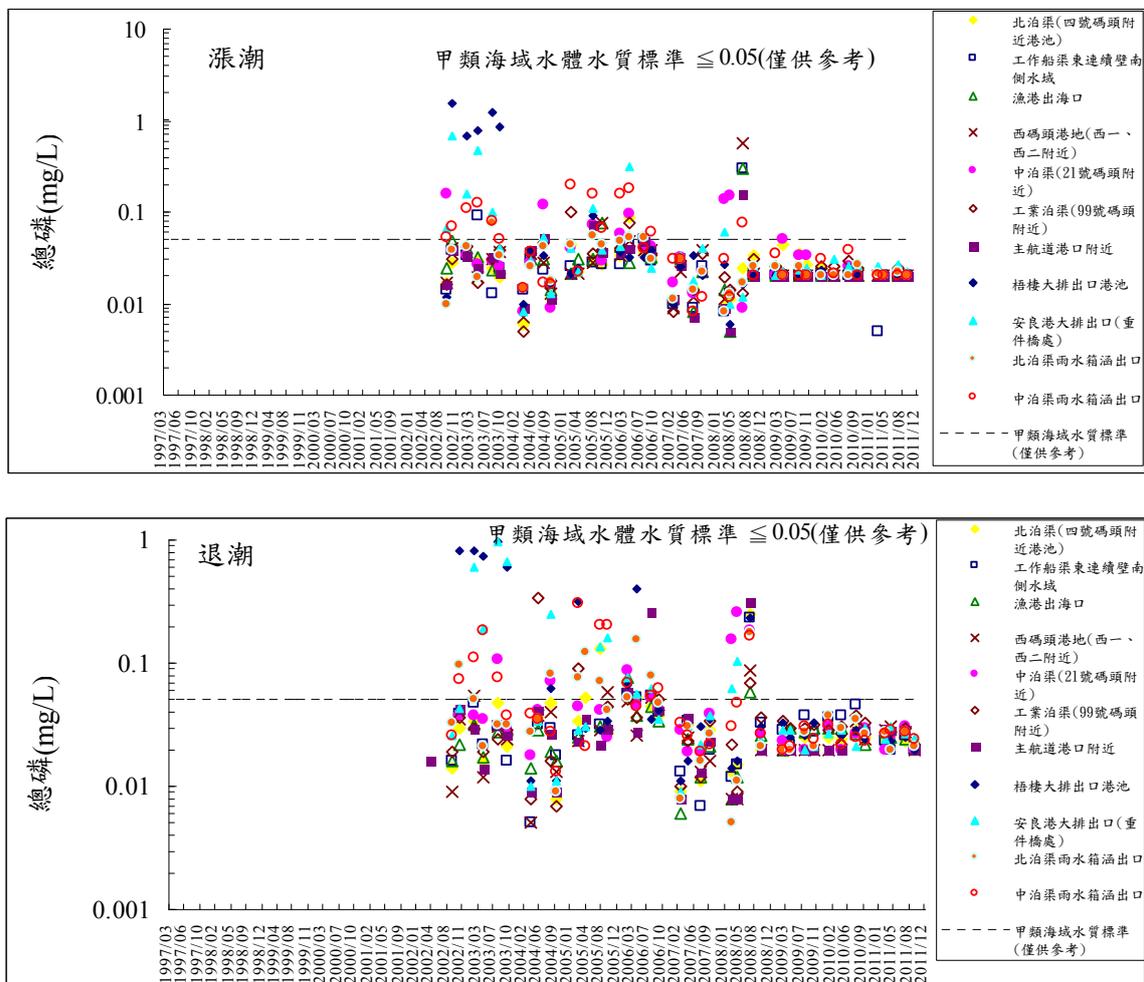


圖 2-46 臺中港港內歷年漲退潮期間總磷監測值

2.5.3 臺中港海域底質

由臺中港務分公司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2007至2011年間(表2-13至表2-17)，其中2009底泥監測結果，於有機物及重金屬濃度方面均較2008年為明顯下降，這應與此時期港池底泥清淤疏浚工程有關，移除沉降相對較久之蓄積底泥後，而後新沉積之泥砂吸附之污染物因停留時間較短，導致新沉降之表層底泥所吸附之重金屬濃度相對較低。而2010年底泥監測結果無明顯異常現象，各測站間差異不顯著。

歷年臺中港海域底質表層沉積物(底泥)重金屬之砷、汞、鉛、鋅、銅、鎘與鉻含量，與國內新頒佈之底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法(2012年1月4日行政院環境保護署環署土字第1000116349號令)中，底泥品質上限值與下限值相比，均低於其上限值，顯示臺中港海域底質未出現明顯之重金屬污染蓄積現象發生。

表 2-13 臺中港務分公司(原臺中港務局)2007 年底泥檢測結果

採樣位置	項目 單位	總有機物 %	砷 mg/kg	汞 mg/kg	鉛 mg/kg	鋅 mg/kg	銅 mg/kg	鎘 mg/kg	鉻 mg/kg	鐵 mg/kg	鋁 mg/kg	錳 mg/kg
方法偵測極限	MDL	無	0.634	0.095	2.38	6.14	1.32	0.149	2.98	無	無	無
梧棲大排出口		2.26	10.80	0.292	37.1	120	37.5	ND	40.3	39,100	24,900	525
安良港大排出口		1.48	10.50	0.185	37.9	145	51.3	ND	40.3	36,700	22,400	426
南迴轉池		1.25	11.70	0.565	51.5	198	47.0	0.18	72.7	38,300	23,800	360
102號碼頭	2007.04.27	0.55	9.98	0.520	51.2	180	44.7	0.17	68.9	38,600	24,700	375
西一西二碼頭		1.25	10.40	0.507	36.5	157	29.4	ND	51.8	36,500	22,400	441
北迴轉池		0.04	9.45	0.281	31.6	126	33.1	ND	47.1	37,400	23,400	441
6號碼頭		1.25	11.00	0.157	35.3	122	36.5	ND	43.7	39,100	24,500	525
22號碼頭		0.98	11.30	0.161	51.5	178	46.0	0.17	75.8	37,100	23,400	357
梧棲大排出口		0.78	7.85	0.270	26.7	175	32.2	ND	52.2	39,400	23,200	463
安良港大排出口		0.31	7.71	0.200	27.1	154	28.3	ND	55.8	30,900	17,900	377
南迴轉池		0.31	8.71	0.180	27.8	144	28.3	0.166	57.1	33,600	19,600	391
102號碼頭	2007.08.03	0.34	8.84	0.170	30.4	149	31.2	ND	56.5	28,300	15,600	362
西一西二碼頭		0.46	8.25	0.160	28.2	147	30.2	0.164	45.6	34,500	20,200	410
北迴轉池		1.00	9.10	0.160	29.5	148	31.2	ND	61.1	33,900	19,600	400
6號碼頭		0.74	7.39	0.170	25.2	132	37.6	ND	42.6	36,500	21,700	446
22號碼頭		0.54	8.13	0.180	27.4	142	27.4	ND	57.6	37,000	22,200	406
底泥品質指標	下限值	無標準	11.0	0.23	48.0	140	50.0	0.65	76.0	無標準	無標準	無標準
	上限值	無標準	33.0	0.87	161	384	157	2.49	233	無標準	無標準	無標準

監測期間：2007/01~2007/12

表 2-14 臺中港務分公司(原臺中港務局)2008 年底泥檢測結果

採樣位置	項目 單位	總有機物 %	砷 mg/kg	汞 mg/kg	鉛 mg/kg	鋅 mg/kg	銅 mg/kg	鎘 mg/kg	鉻 mg/kg	鐵 mg/kg	鋁 mg/kg	錳 mg/kg
方法偵測極限	MDL	無	0.634	0.095	2.38	6.14	1.32	0.149	2.98	無	無	無
梧棲大排出口		0.495	9.61	0.21	31.3	157	34.3	ND	40.7	37,800	22,900	357
安良港大排出口		0.152	8.64	0.18	26.9	136	31.1	ND	35.6	36,700	22,500	310
南迴轉池		0.571	10.0	0.16	31.6	156	35.4	ND	41.0	42,000	26,900	348
102號碼頭	2008.03.07	0.609	9.70	0.14	27.6	144	32.3	ND	40.1	37,600	23,300	380
西一西二碼頭		0.685	10.4	0.18	32.0	120	35.9	ND	41.3	33,200	20,600	293
北迴轉池		0.647	9.94	0.14	27.2	146	30.3	ND	38.6	28,100	16,200	239
6號碼頭		0.609	9.51	0.15	29.8	140	31.9	ND	38.9	31,600	18,600	292
22號碼頭		0.571	9.50	0.18	28.0	155	30.3	ND	38.5	40,900	25,200	376
梧棲大排出口		0.647	8.92	ND	32.7	159	36.1	ND	58.9	37,100	23,900	444
安良港大排出口		0.685	9.09	ND	33.1	158	36.9	ND	58.8	37,700	24,100	447
南迴轉池		1.14	8.07	ND	32.4	164	36.4	ND	69.8	36,600	23,000	467
102號碼頭	2008.07.15	0.532	8.96	ND	32.8	158	36.8	ND	62.3	37,000	23,700	442
西一西二碼頭		0.038	8.84	ND	32.3	174	36.7	ND	64.2	38,000	24,000	469
北迴轉池		0.647	9.07	ND	31.5	157	35.0	ND	60.0	33,500	22,000	477
6號碼頭		0.685	8.48	ND	30.7	147	34.5	ND	57.6	37,400	23,700	474
22號碼頭		0.609	8.44	ND	32.8	155	36.6	ND	59.0	36,000	22,700	462
底泥品質指標	下限值	無標準	11.0	0.23	48.0	140	50.0	0.65	76.0	無標準	無標準	無標準
	上限值	無標準	33.0	0.87	161	384	157	2.49	233	無標準	無標準	無標準

監測期間：2008/01~2008/12

表 2-15 臺中港務分公司(原臺中港務局)2009 年底泥底檢測結果

採樣位置	項目 單位	總有機物 %	砷 mg/kg	汞 mg/kg	鉛 mg/kg	鋅 mg/kg	銅 mg/kg	鎘 mg/kg	鉻 mg/kg	鐵 mg/kg	鋁 mg/kg	錳 mg/kg
方法偵測極限	MDL	無	0.634	0.095	2.38	6.14	1.32	0.149	2.98	無	無	無
梧棲大排出口		0.226	5.98	0.26	17.8	88.7	25.5	<0.50	19.8	21,000	13,000	182
安良港大排出口		0.151	6.61	0.514	19.2	86.5	26.3	<0.50	20.1	21,100	12,500	170
南迴轉池		0.151	6.19	0.495	16.8	78.9	18.8	<0.50	15.3	21,200	13,700	178
102號碼頭		0.075	6.12	0.585	10.5	55.6	13.0	<0.50	10.2	21,500	13,000	177
西一西二碼頭	2009.04.30	0.151	6.06	0.205	14.6	74.1	23.8	<0.50	16.6	21,700	13,200	175
北迴轉池		0.038	7.78	0.291	20.0	94.6	23.6	<0.50	20.9	21,900	13,100	169
6號碼頭		0.151	6.74	0.155	19.5	99.2	30.8	<0.50	22.2	21,100	12,800	164
22號碼頭		0.113	6.00	0.172	17.4	93.8	30.0	<0.50	21.5	20,800	12,800	171
梧棲大排出口		0.757	9.37	0.174	22.3	83.2	22.1	<0.50	23.1	26,000	19,200	127
安良港大排出口		0.606	9.32	0.197	18.1	80.6	25.0	<0.50	23.7	25,600	17,200	127
南迴轉池		0.303	9.25	0.190	18.6	85.4	21.0	<0.50	20.2	25,500	19,400	126
102號碼頭		0.379	9.51	0.226	13.3	62.8	15.5	<0.50	14.1	25,000	17,900	124
西一西二碼頭	2009.08.19	0.151	6.17	0.133	11.9	70.2	13.1	<0.50	19.6	18,500	12,500	142
北迴轉池		0.757	10.0	0.257	25.0	90.2	25.0	<0.50	23.8	24,300	17,800	119
6號碼頭		0.606	9.73	0.212	17.6	90.0	23.7	<0.50	25.3	24,000	17,300	122
22號碼頭		0.454	9.06	0.214	15.6	86.7	24.6	<0.50	23.2	24,400	17,800	118
底泥品質指標	下限值	無標準	11.0	0.23	48.0	140	50.0	0.65	76.0	無標準	無標準	無標準
	上限值	無標準	33.0	0.87	161	384	157	2.49	233	無標準	無標準	無標準

監測期間：2009/01~2009/12

表 2-16 臺中港務分公司(原臺中港務局)2010 年底泥檢測結果

採樣位置	項目 單位	總有機物 %	砷 mg/kg	汞 mg/kg	鉛 mg/kg	鋅 mg/kg	銅 mg/kg	鎘 mg/kg	鉻 mg/kg	鐵 mg/kg	鋁 mg/kg	錳 mg/kg
方法偵測極限	MDL	無	0.634	0.095	2.38	6.14	1.32	0.149	2.98	無	無	無
梧棲大排出口		0.233	5.53	0.165	16.4	98.6	21.0	<0.50	29.2	37,500	22,000	442
安良港大排出口		0.272	6.21	0.210	25.0	105	31.4	<0.50	32.8	38,500	20,700	453
南迴轉池		0.194	9.32	0.111	22.4	118	28.2	<0.50	66.9	38,800	21,500	446
102號碼頭	2010.01.29	0.466	7.03	0.246	14.1	74.6	18.1	<0.50	41.2	36,500	21,800	431
西一西二碼頭		0.310	6.35	0.125	20.6	80.1	21.8	<0.50	36.4	38,400	21,700	439
北迴轉池		0.155	9.62	0.151	28.3	128	25.6	<0.50	60.4	39,200	21,400	460
6號碼頭		0.349	8.82	0.158	26.7	120	33.2	<0.50	49.9	39,000	21,600	441
22號碼頭		0.427	7.54	0.147	18.7	90.4	36.8	<0.50	44.2	38,700	21,600	433
梧棲大排出口		0.267	5.50	ND	15.7	105	18.4	<0.50	19.0	13,600	18,600	207
安良港大排出口		0.497	5.95	0.139	14.5	68.6	13.6	<0.50	21.5	14,000	18,900	215
南迴轉池		0.304	6.12	N.D.	15.4	68.1	13.5	<0.50	42.7	14,300	19,000	211
102號碼頭	2010.08.10	0.532	5.67	0.119	15.9	77.2	14.2	<0.50	31.6	13,700	18,400	200
西一西二碼頭		0.230	5.81	0.137	19.8	114	23.4	<0.50	27.2	13,900	19,000	209
北迴轉池		0.419	6.50	0.121	19.0	95.3	17.5	<0.50	38.4	14,900	19,700	225
6號碼頭		0.382	5.84	0.141	20.7	109	21.0	<0.50	34.3	13,700	18,900	221
22號碼頭		0.343	6.72	0.109	19.2	91.3	17.7	<0.50	34.7	15,400	19,600	226
底泥品質指標	下限值	無標準	11.0	0.23	48.0	140	50.0	0.65	76.0	無標準	無標準	無標準
	上限值	無標準	33.0	0.87	161	384	157	2.49	233	無標準	無標準	無標準

監測期間：2010/01~2010/12

表 2-17 臺中港務分公司(原臺中港務局)2011 年底泥底檢測結果

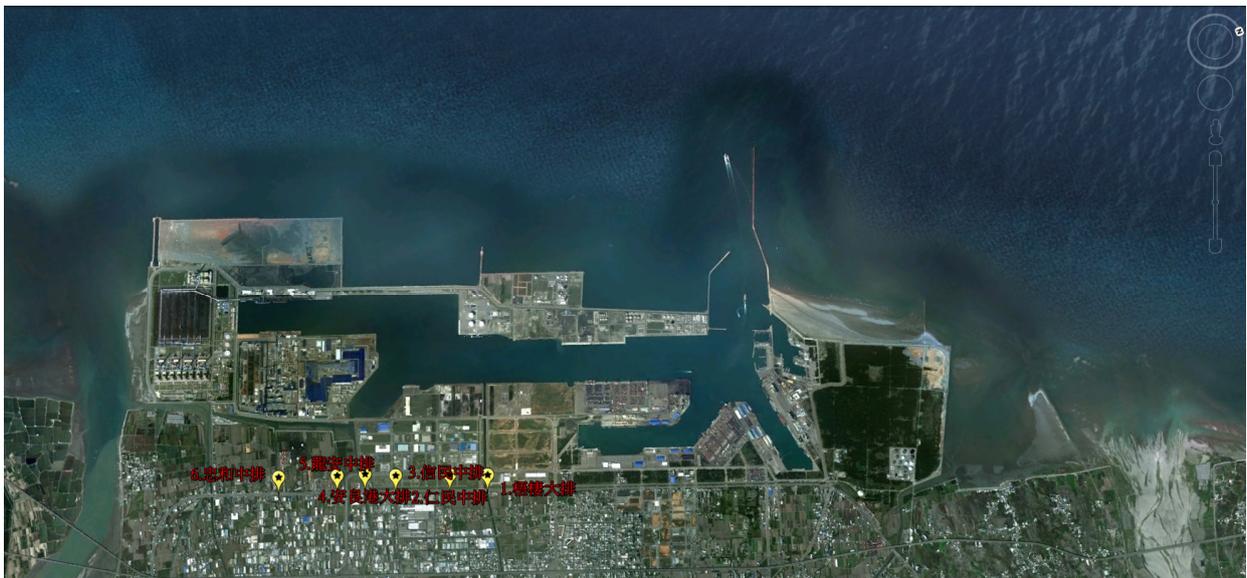
採樣位置	項目 單位	總有機物 %	砷 mg/kg	汞 mg/kg	鉛 mg/kg	鋅 mg/kg	銅 mg/kg	鎘 mg/kg	鉻 mg/kg	鐵 mg/kg	鋁 mg/kg	錳 mg/kg
方法偵測極限	MDL	無	0.634	0.095	2.38	6.14	1.32	0.149	2.98	無	無	無
梧棲大排出口		0.270	5.82	0.127	22.3	89.0	21.8	<0.50	37.3	24,2011	11,300	205
安良港大排出口		0.270	6.27	0.169	15.4	76.9	19.9	<0.50	43.2	26,500	11,400	250
南迴轉池		0.232	8.32	0.107	27.8	123	35.0	<0.50	51.2	25,900	15,400	226
102號碼頭	2011.03.11	0.390	6.90	0.210	21.2	99.0	38.1	<0.50	46.3	25,800	11,300	230
西一西二碼頭		0.309	6.31	0.128	31.0	130	26.5	<0.50	63.6	23,900	13,400	218
北迴轉池		0.350	8.19	0.140	26.0	105	28.8	<0.50	69.4	26,700	15,700	221
6號碼頭		0.350	7.30	0.160	18.4	96.0	22.5	<0.50	32.1	25,700	15,300	218
22號碼頭		0.390	7.07	0.130	26.3	105	28.5	<0.50	33.5	25,600	14,400	233
梧棲大排出口		0.310	5.85	ND	13.7	77.4	11.8	ND	15.5	35,400	24,2011	245
安良港大排出口		0.272	5.79	ND	15.4	76.4	11.4	0.34	18.8	31,200	23,800	244
南迴轉池		0.349	5.81	ND	12.4	71.0	9.81	ND	17.4	32,900	22,700	256
102號碼頭	2011.08.03	0.272	5.99	ND	13.3	99.7	11.9	ND	18.1	36,800	23,800	253
西一西二碼頭		0.272	5.99	ND	14.9	84.6	13.1	ND	18.3	32,800	20,200	250
北迴轉池		0.310	5.45	ND	13.3	80.5	10.6	ND	16.9	35,600	19,900	238
6號碼頭		0.349	5.73	ND	11.6	78.8	9.90	ND	13.3	37,200	26,400	259
22號碼頭		0.388	5.87	ND	11.9	77.7	10.2	ND	15.5	33,300	24,700	272
底泥品質指標	下限值	無標準	11.0	0.23	48.0	140	50.0	0.65	76.0	無標準	無標準	無標準
	上限值	無標準	33.0	0.87	161	384	157	2.49	233	無標準	無標準	無標準

監測期間：2011/01~2011/12

2.6 陸域水質

2.6.1 匯入臺中港域排水路水質

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，水質由於受到來自梧棲區與龍井區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。依據臺中港務分公司「臺中港區環境調查監測分析」歷年調查結果(監測位置如圖2-47所示)。整體而言(1998年至2011年)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」，且以溶氧時常出現偏低(圖2-48)；而生化需氧量(圖2-49)及大腸桿菌群(圖2-50)，營養鹽類之氨氮(圖2-51)與總磷(圖2-52)無論於漲退潮期間均常遠高標準值，顯示上游排水路受到來自生活、畜牧廢污水嚴重污染。



資料來源：臺中港務分公司「2008年(97年度)臺中港區環境調查監測分析」，影像來源：Google earth

圖 2-47 陸域水質監測點位圖

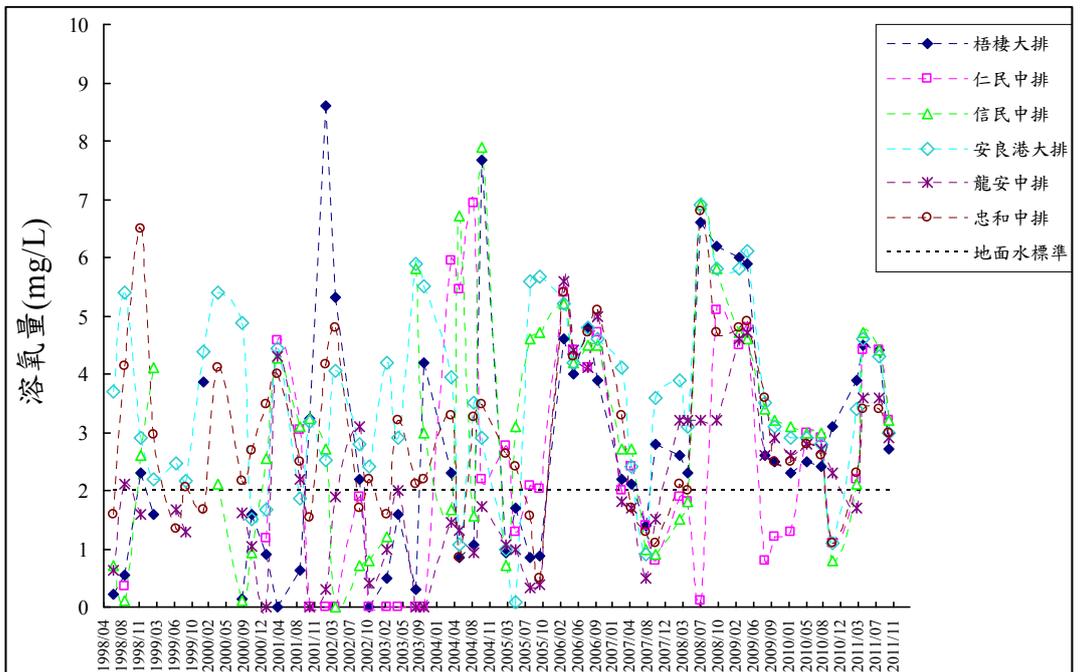
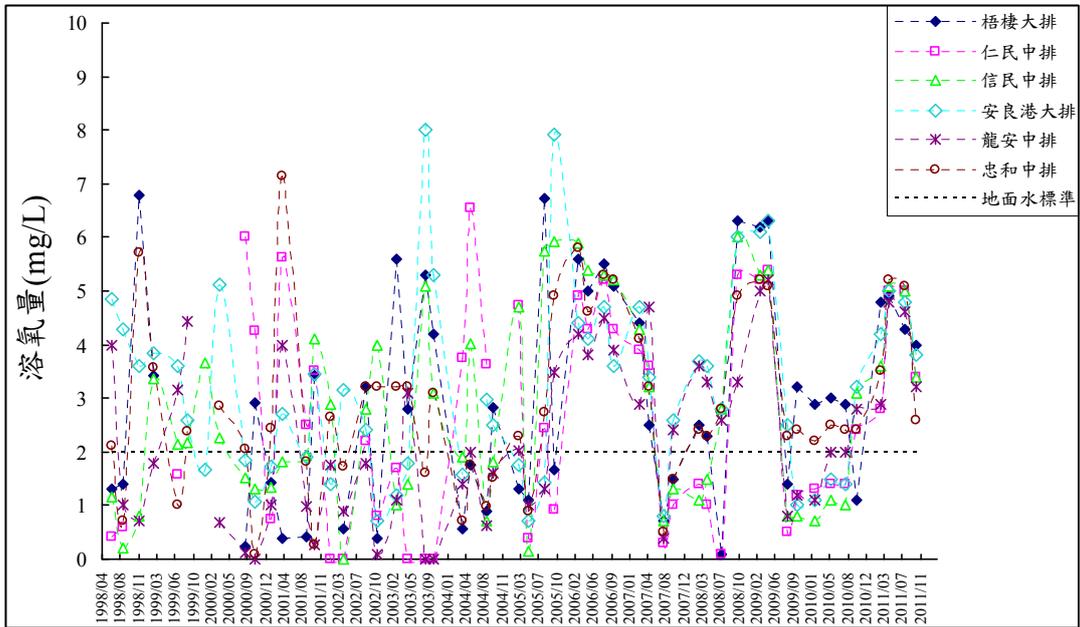


圖 2-48 上游陸域水質之歷年漲退潮期間溶氧量變化(≥ 2.0 mg/L)

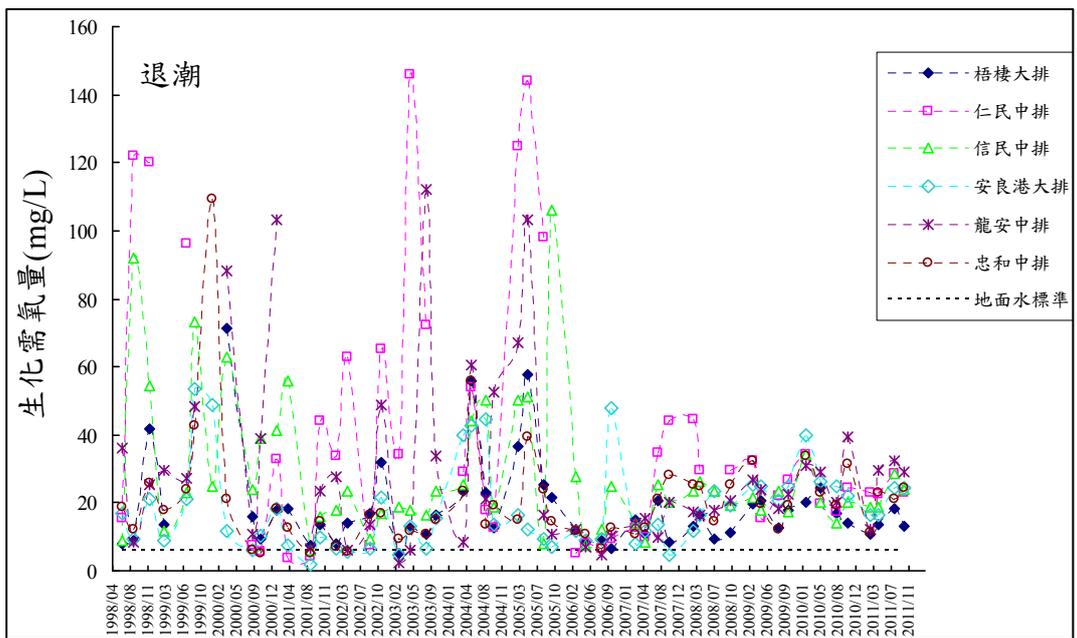
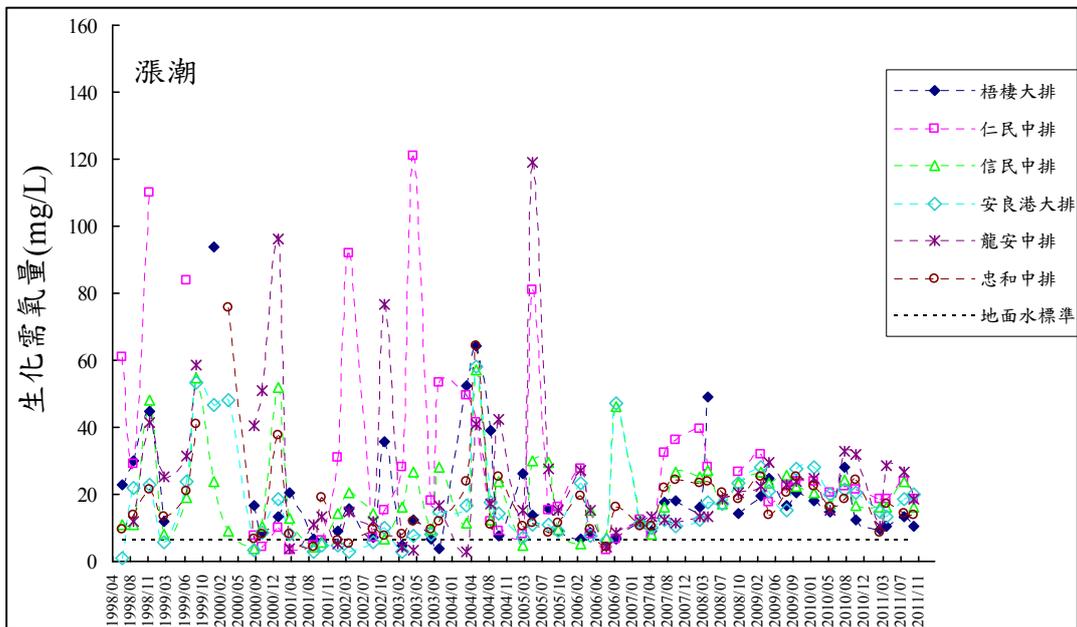


圖 2-49 上游陸域水質之歷年漲退潮期間生化需氧量變化(≤ 6.0 mg/L)

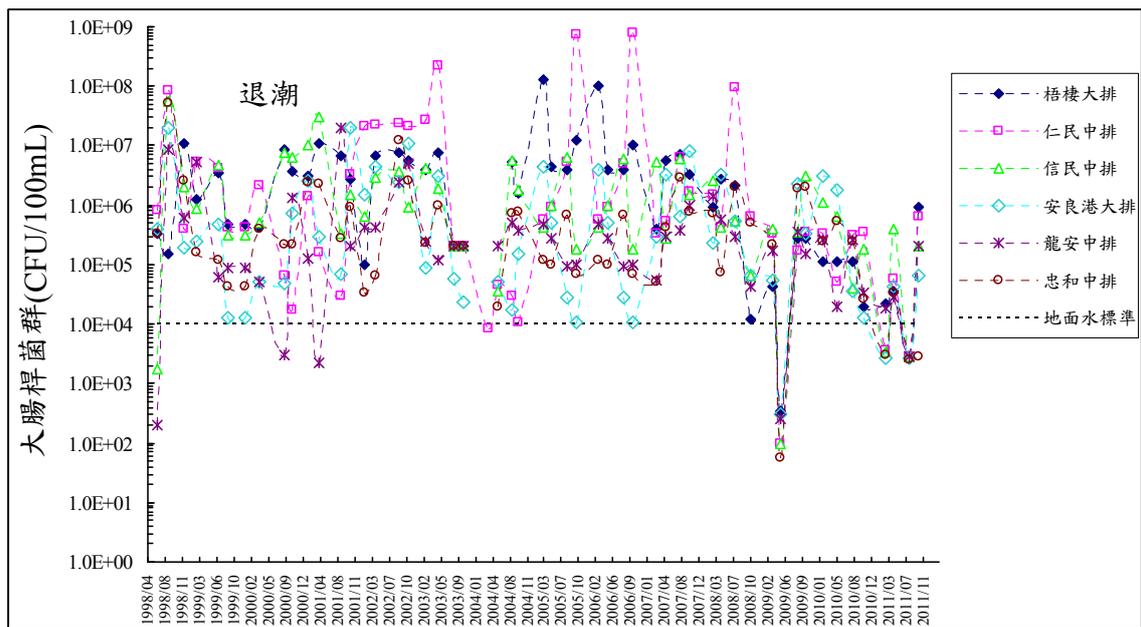
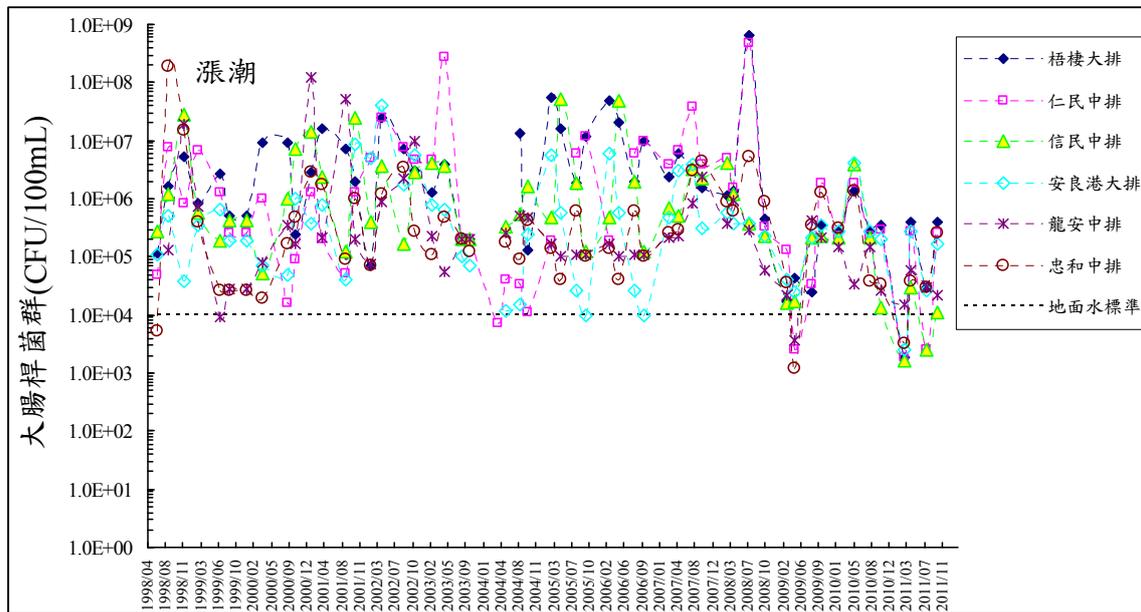


圖 2-50 上游陸域水質之歷年漲退潮期間大腸桿菌群變化 (≤10,000 CFU/100 mL)

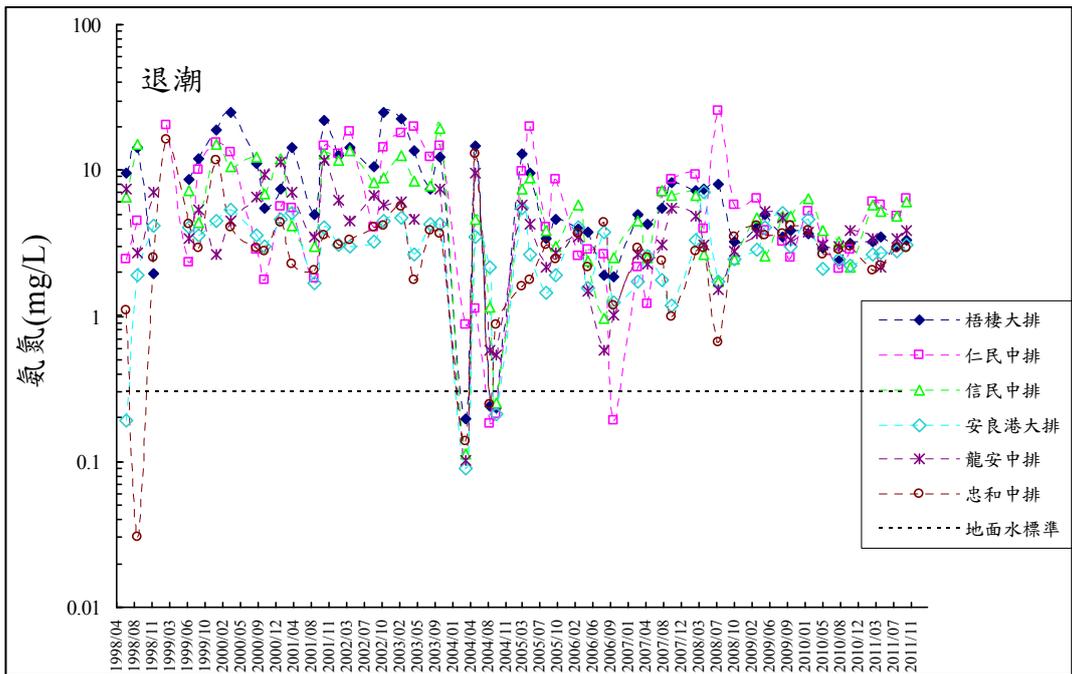
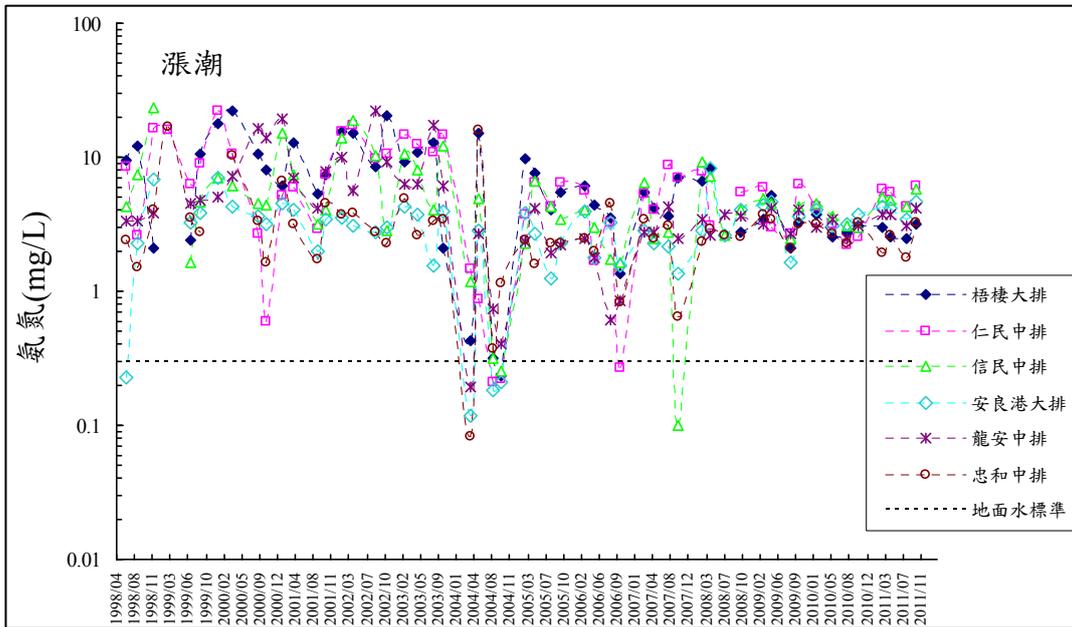


圖 2-51 上游陸域水質之歷年漲退潮期間氨氮變化(≤ 0.3 mg/L)

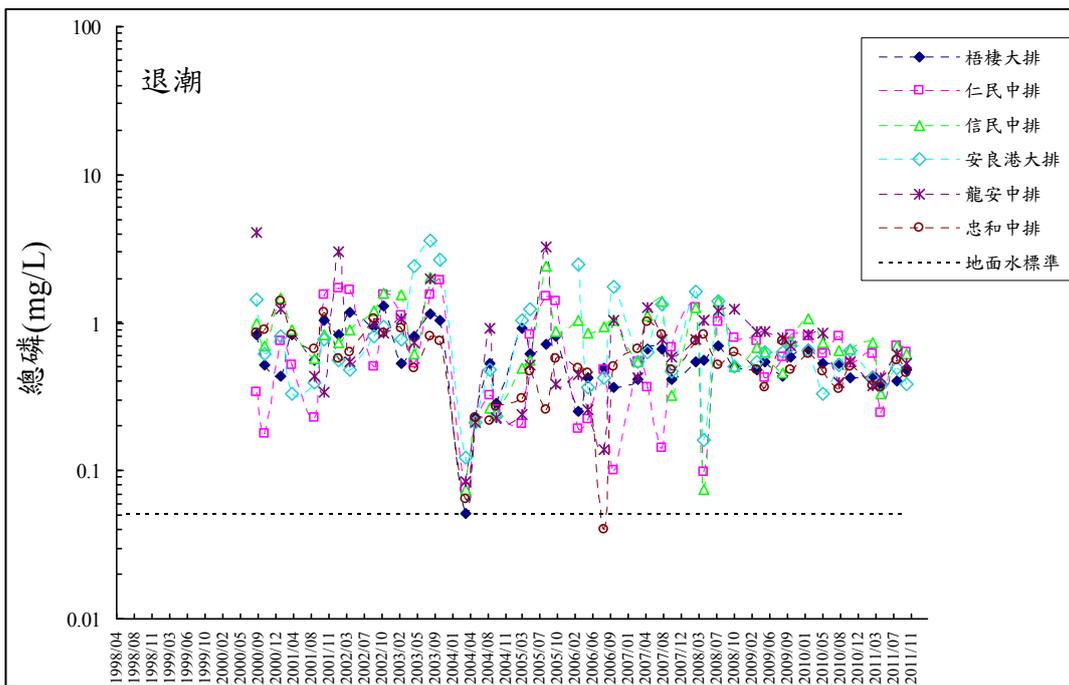
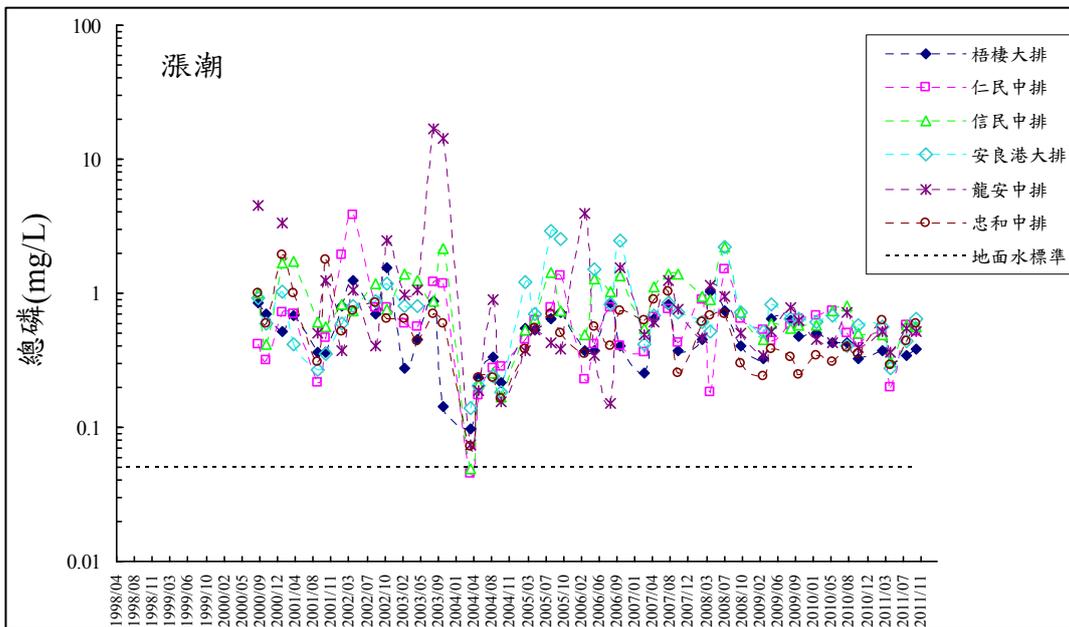


圖 2-52 上游陸域水質之歷年漲退潮期間總磷變化(≤ 0.05 mg/L)

2.6.2 可能污染來源

臺中港整體海域環境水體品質，主要受匯入港域之中、大排影響。而導致水體品質變動者，多來自畜牧與生活等有機方面耗氧之氮、磷類物質，即屬於有機性廢水，而多屬於無機性廢水之重金屬方面則未有特別異常之處。

臺中港區鄰近臺中市梧棲區與龍井區，藉由環保署水污染民眾公開查詢系統(<http://223.200.80.24/opensearch/index.asp>)之查詢收集，可以瞭解前述兩區之事業管制現況。由截至 2012 年 9 月查詢資料統計結果可知，位於梧棲區計有 92 家事業廠商，龍井區則有 55 家事業廠商。

依照其事業類別分類，梧棲區包含：土石加工業、化工業、水泥業、石油化學專業區以外之工業區、石油化學業、印染整理業(印花、梭織布染整者)、其他工業、其他中央主管機關指定之事業、金屬表面處理業、金屬基本工業、洗車場、玻璃業、食品製造業、修車廠、紡織業、貨櫃集散站經營業、造紙業(未使用廢紙為原料者)、晶圓製造及半導體製造業、電鍍業、製革業(生皮製成成品皮者)、製粉業、廢棄物焚化廠或其他廢棄物處理廠(場)、橡膠製品製造業、應回收廢棄物回收處理業、醫院、醫事機構、觀光旅館(飯店)、畜牧業、屠宰業、餐飲業、社區下水道等。其中除來自傳統之社區下水道與畜牧業、屠宰業、餐飲業及醫院、醫事機構、觀光旅館(飯店)皆可能排放有機性廢水外，來自石油化學業因廢水量大且含揮發性物質，當排放之過量營養鹽時，亦為影響近岸水體品質優氧化之可能來源之一。

而龍井區包含：土石方堆(棄)置場、化工業、水泥業、石油化學專業區以外之工業區、石油化學業、印染整理業(印花、梭織布染整者)、印染整理業(筒紗、絞紗染色、針織布及不織布染整者)、其他工業、其他指定地區或場所專用下水道、金屬表面處理業、金屬基本工業、洗車場、紡織業、造紙業(使用廢紙為原料達 60%以上者)、發電廠、貯煤場、電鍍業、食品製造業、社區下水道等。同樣本區之食品製造業與社區下水道皆為有機廢污水之來源以外，其造紙業及印染整理業者，

亦為有機廢水來源之一。

因本研究並未實際進行水域污染源現地調查，因此無法進一步明確釐清實際之污染事業廠商，但後續未來可配合蒐集分析臺中市環保局「101 年度臺中市強化海洋污染稽查緊急應變能力及港區污染熱區稽查管制計畫」中，所執行之水污染稽查管制與巡查成果，或可找出主要之污染來源與違法排放之廠商。未來欲持續保護與提升改善臺中港域水體與鄰近沿海海域水體品質，除應持續強化陸域水污染及港域船舶稽查管制與巡查，如成立河川與港域巡守志工隊外，如何主動來削減匯入港區排水污染熱區之污染量，亦為後續可納入考量與推行及努力之方向。可行之因應對策，可朝向兩方面進行：

1. 污染稽查管制與削減：配合臺灣港務股份有限公司-臺中港務分公司調查成果，將可能之污染來源通報臺中市政府環境保護局，加強定期與不定期，以及夜間污染稽查管制。由環保局與委辦單位針對商漁港依照季節與船舶活動密集度進行污染巡察(50 船次/年)，同時對於排入港區污染熱區之事業放流水進行稽查採樣(50 家次/年)，同時對於不明暗管與繞流排放管線加以鉛封及追查與依法嚴厲處分。

2. 落實海域工程施作管理：由環保局配合海巡單位，針對海域工程施工單位進行近岸與海上稽查，針對申請之開發單位進行每季至少 1 次之定期與不定期稽查，而施工活動密集期間更應加強稽查頻率。

2.7 海域生態

臺中港環境監測調查分析計畫為此區域海域生態相關資料中時間序列較完整之研究，在本研究分析臺中港海域生態變化趨勢時係以臺中港環境監測調查分析計畫之海域生態監測項目為主要之資料來源。

其中依據臺中港務分公司 2009 年環境調查結果顯示 (<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 2010 年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。本海域 4 季皆可採集到魚卵，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。

2011 年海域生態分析結果顯示，臺中港附近海域浮游植物的群聚結構穩定，皆可採集到矽藻門、金黃藻門、藍綠藻門及渦鞭毛藻門等四門的浮游植物，且以矽藻門為此海域浮游植物的主要組成。浮游動物類別大致相同，4 季所採得出現率最高的類別皆為哲水蚤。於底棲動物部分，臺中港附近海域 4 季皆可採獲刺細胞動物、軟體動物、節肢動物及棘皮動物等四門的底棲動物，第 1 季象牙貝的出現率最高，第 2 季則是以海膽的出現率最高，第 3 季是以未知種類的環節動物的出現率最高，第四季則是以明亮櫻蛤的出現率最高。於魚類部分，第 1 季頸帶鰻的出現率最高，第 2 季則是以條紋鰺的出現率最高，第 3 季及第四季則是以細紋鰻的出現率最高，且為港外魚類的優勢種類。於生物體重金屬部份，4 季調查結果顯示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。

2.8 船舶壓艙水議題

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，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。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，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。

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，在 20 世紀後，開始廣泛地使用壓艙水做為船舶壓艙之物，因壓艙水含有許多散佈在各區域中的多種生物，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。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

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「船舶壓艙水和底質控管國際公約」(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。

2. 生物多樣性公約

「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。

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。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

從 1992 年「聯合國環境與發展大會」(United Nation Conference on Environment and Development, UNCED)便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「船舶壓艙水和底質控管國際公約」。

船舶壓艙水和底質控管國際公約自 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(2012 年 11 月)已有 36 個國家簽署，總噸位占 29.07%。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。

第三章 水理模式建置與分析

污染物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。本年度將應用二維水理水質之數值模式來模擬分析臺中港區水質變化情形，並探討其與上游污染源之關聯性。

3.1 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

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(HU)}{\partial x} + \frac{\partial(HV)}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (3-1)$$

2. x、y 方向運動方程式

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

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

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

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

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

ρ 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

τ_x^s, τ_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

ζ ：自由水面的高度

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

ϕ 為緯度

Ω 為地球自轉的角速度

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

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

θ = 為風力係數 ≈ 0.0026

ω = 風速

ρ_a ：空氣密度

ϕ ：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。

3.2 水質模式控制方程式

本研究擬模擬之水質項目包括 BOD 及大腸菌，各水質模式分述如下：

3.2.1 BOD 模式

污水與海水混合後，會產生沉澱與分解兩種作用，而一般 BOD 的消長均以一階反應表示，因此 BOD 模式可以表為：

$$\frac{DL}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial L}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial L}{\partial y}) - (K_1 + K_3)L + \frac{B_a}{H} + R_{EL} \dots \dots \dots (3-4)$$

式中

K_1 = BOD 怯氧係數

K_3 = BOD 沉降係數

L = BOD 濃度

B_a = 單位面積海域底泥釋出之 BOD 量

R_{EL} = 污染源

3.2.2 大腸菌模式

大腸菌排入水中後其濃度隨時間的變化情形，一般均以一階反應來表示，故大腸菌模式可以表示如下：

$$\frac{DC_i}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C_i}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C_i}{\partial y}) - K_i C_i + R_{Ei} \dots\dots\dots (3-5)$$

其中

C_i = 大腸菌濃度

D_x 、 D_y = 延散係數

K_i = 大腸菌之衰減係數

R_{Ei} = 污染源

3.3 模式驗證

水理、水質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。本研究應用國立成功大學水利試驗所（成大水工所）發展之模式來模擬臺中港海域之流場特性及污染物之擴散傳輸，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。

3.3.1 模擬區域選定

圖 3-1 所示為臺中港之鄰近海陸域地圖，南隔烏溪緊鄰彰濱工業區，北至大安溪南側。由於數值模擬範圍需配合已知的潮位邊界及海流量測資料以進行模式建立與驗證，因此先選定一廣大區域(如圖中方框所示)由北涵蓋臺中港海域至彰濱工業區崙尾區海域，其沿岸長度為 41 km，向離岸範圍則自高潮位灘線延伸至水深-50 公尺處，長度約 15 公里。圖 3-2 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。表 3-1 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。藉由驗證後的大區域海潮流計算結果，再針對臺中港之鄰近海域進行二維水理水質之數值模擬。



圖 3-1 研究範圍

表 3-1 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

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。故先藉由海潮流模式模擬水位與潮流變化，在去年度(2011)已完成利用成大水工所於彰濱海域之 CH7W 定點海流觀測站以及本研究於臺中港南側所設立之海流測站(如圖 3-2 至圖 3-3 所示)作為二維水動力模式率定與驗證工作。

在本年度研究中，使用成大水工所於前 2009 至 2011 年於臺中港

內之水質觀測站 N5、N6 與 N7 以及本研究於臺中港所設立的海域水質測站安良港大排出口(T1)、梧棲大排出口(T2)、西一西二碼頭(T3)、漁港出海口(T4)、主航道港口(T5)以及工作船渠東南側(T6)作為模式率定與驗證之水質資料來源，如圖 3-4 至圖 3-5 所示。並將應用二維水理水質之數值模式來模擬分析臺中港區水質變化情形，並探討其與上游污染源之關聯性。

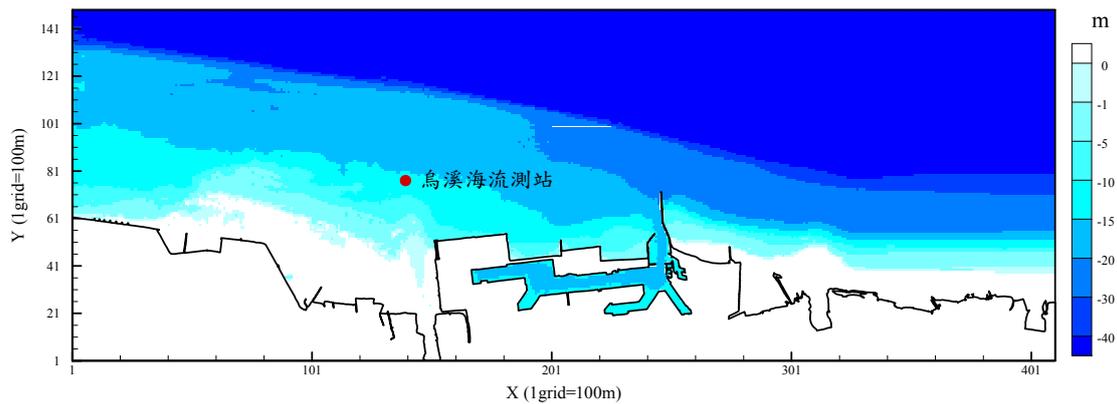
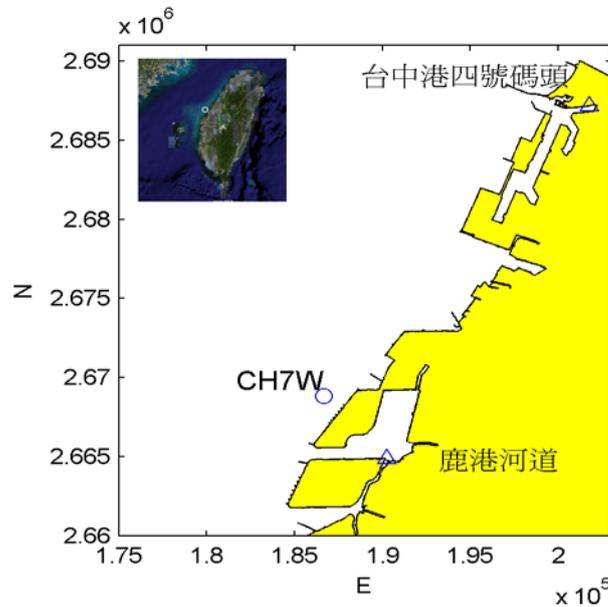


圖 3-2 海潮流模式模擬範圍及地形水深分佈圖



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 3-3 臺中港位置示意圖及測站位置圖

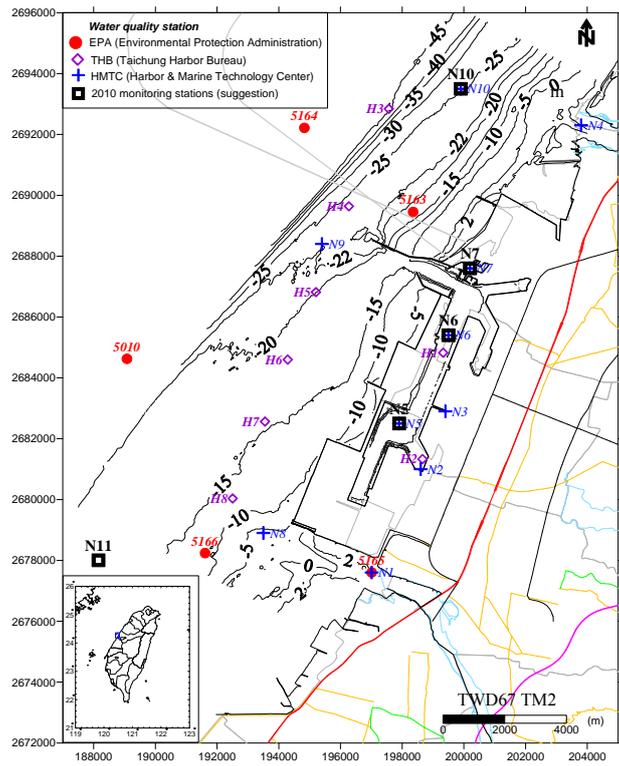


圖 3-4 水質測站 N5、N6 與 N7 位置圖

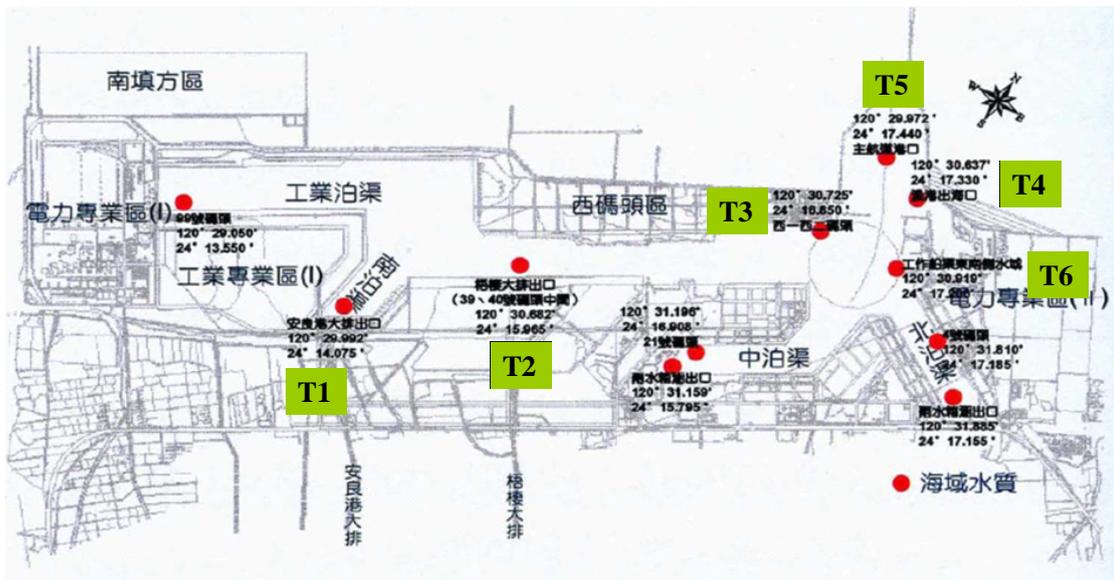
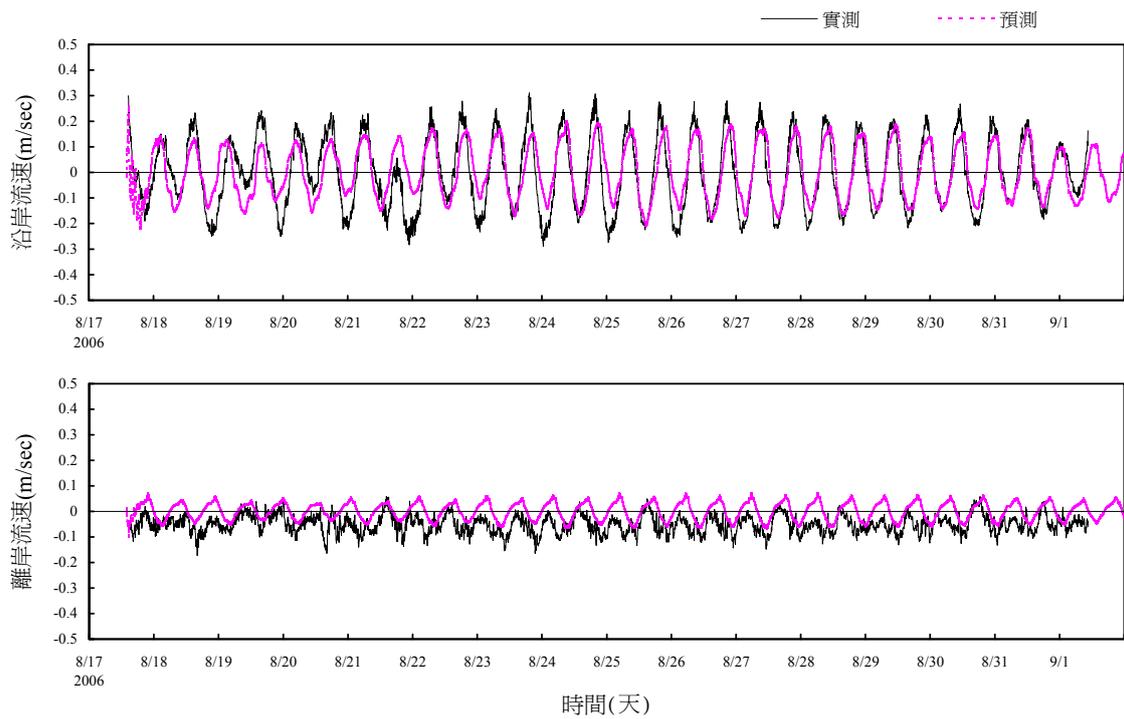


圖 3-5 水質測站 T1~T6 位置圖

3.3.2 模式之率定

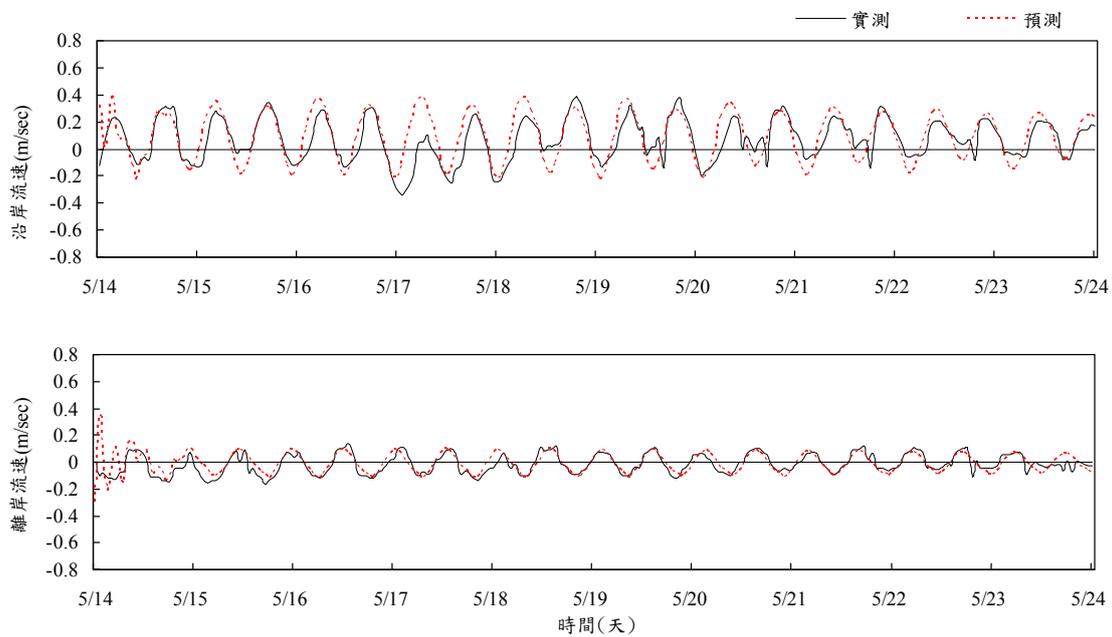
本研究在流場模式之率定方面，先利用彰濱海域之 CH7W 測站實測海潮流資料以及本研究 2011 年於臺中港南側之海流測站實測海流資料來進行模式檢核與驗證。經多次測試，本研究三維模式最後選定底床摩擦係數為 25， γ 、 K_v 與 rm 等係數之值分別為 500、0.4 與 0.4 (計算鹽度時，使用 rm 值為 0.8) 與渦動黏性係數為 100。而在二維模式之參數經過率定與驗證後，本研究使用渦動黏性係數 E_{xx} 與 E_{yy} 為 $300 m^2 / sec$ ， E_{xy} 與 E_{yx} 為 $100 m^2 / sec$ 。

圖 3-6 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 3-7 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 3-8 與圖 3-9 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，此與本所「近岸漂沙機制與防治研究(1/4)」之結果趨勢一致。



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

圖 3-6 模式預測與實測流速比較圖



(烏溪海流測站，實測時間：2011 年 5 月 14 日~5 月 24 日)

圖 3-7 烏溪海流測站實測流速與模式預測比較圖

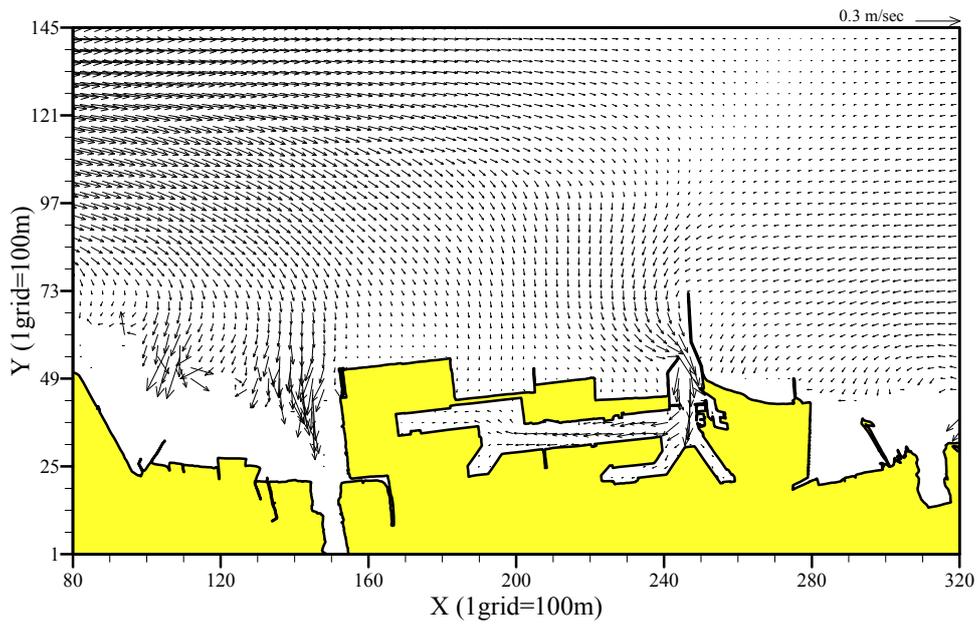


圖 3-8 臺中港附近海域於漲潮時之流場分佈圖

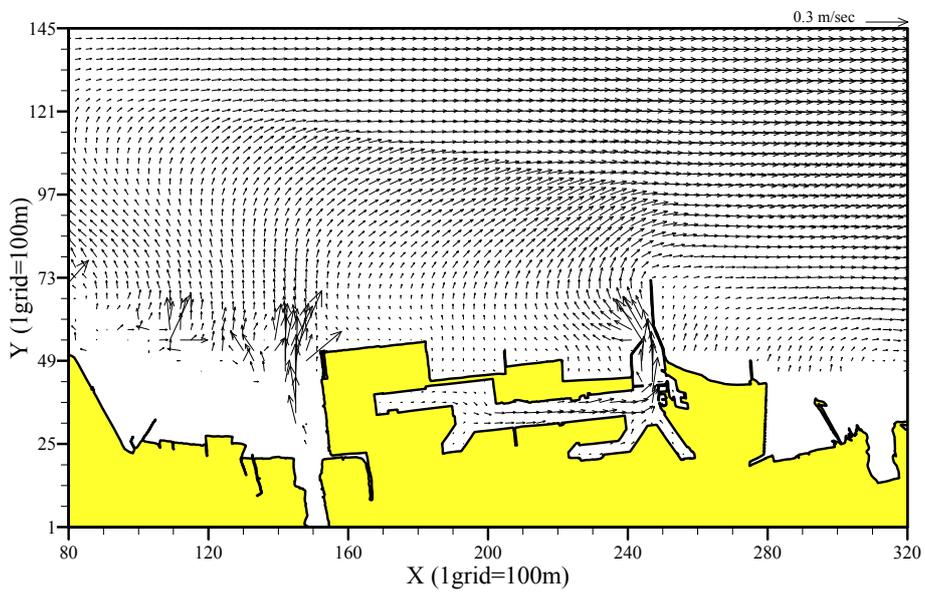


圖 3-9 臺中港附近海域於退潮時之流場分佈圖

3.4 水質擴散分析

本研究水質模式率定所用之水理條件、地形資料等與上節水理模式率定時相同，其水質環境背景濃度條件部分，BOD、大腸菌的起始值分別使用 0.5mg/l、811CFU/100ml。另外根據 2009 年本研究於臺中港 2 處排水路(安良港大排出口 N2、梧棲大排 N3)分別進行水質全潮期間之流速、水質採樣結果之平均值，並選定安良港大排、梧棲大排為臺中港主要污染源，其污染物為一每隔 3 秒連續排放，污染濃度輸出量如表 3-2 所示，經由水質模式校驗後，水質參數率定結果中 BOD 怯氧係數為 0.00432 1/day。

圖 3-10 至圖 3-12 為 N5、N6、N7 測站紀錄與臺中港海域水質檢測站 T1、T2、T3、T4、T5、T6 資料和水質 BOD 模擬結果，圖中顯示模擬預測 BOD 濃度變化範圍與實測結果大致相同，雖梧棲大排附近測站(N6、T2)之模擬平均值大於實測值，但模式預測極大小範圍略符合實測值，極大小範圍，整體顯示模擬結果與實測值頗為吻合。

圖 3-13 為無風驅動下所模擬污染源對臺中港港區水質 BOD 於漲退潮之影響分布圖，由模擬結果可知，在臺中港港區與港外其 BOD 濃度多能符合乙類海域水體水質標準(<3ppm)，除了港內地區(梧棲大排附近)BOD 濃度甚至可高於 3ppm，且於港外出海口之 BOD 濃度擴散方向往北為主。

另外，為瞭解臺中港港區與海域水質受風驅流影響下之變化關係，茲選取本所港灣技術研究中心臺中港觀測站之風觀測資料，並取其歷年平均風速(約 7.0m/s)、不同風向(冬：NNE、夏：S)進行模式模擬。圖 3-14 與圖 3-15 所示分別為在不同風向(NNE、S)情形下，平均風速為(7.0m/s)時在漲潮與退潮之 BOD 濃度分佈圖。由模擬結果顯示，當污染源排放後三天內因污染物尚未擴散至外海，其污染物擴散情形受風速的影響作用不太，當污染物擴散至外海時，受 NNE 方向風場影響下外海 BOD 濃度擴散方向往南為主，受 S 方向風場影響下外海 BOD 濃度擴散方向往北為主。

表 3-2 臺中港水質模式驗證使用之污染量設定值

項目	排水路名稱	安良港大排	梧棲大排
	估流量(CMS)		149.64	24.4
BOD(mg/l)		2.43	8.67
COLI(CFU/100ml)		1,041,108	20,100,000

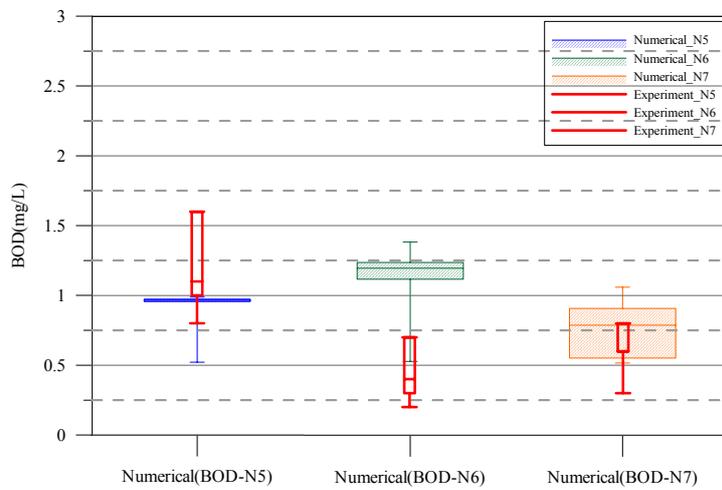


圖 3-10 N5、N6、N7 測站實測 BOD 濃度與模式預測比較圖

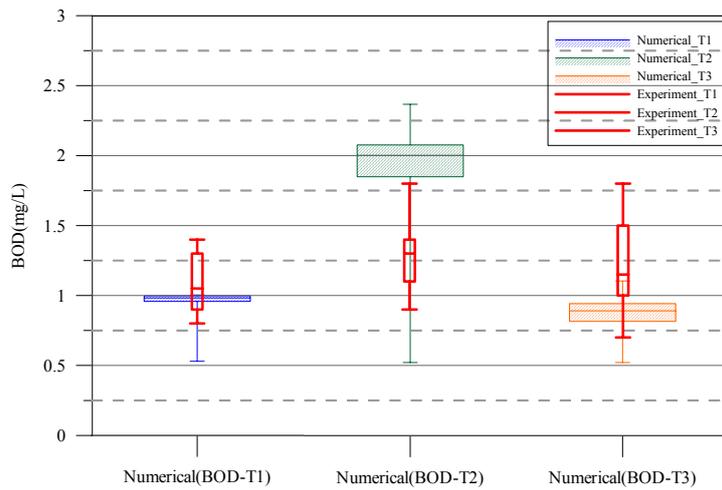


圖 3-11 T1、T2、T3 測站實測 BOD 濃度與模式預測比較圖

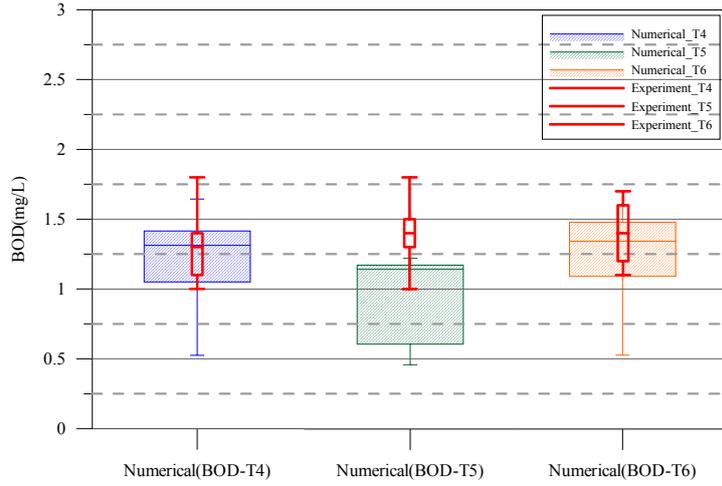
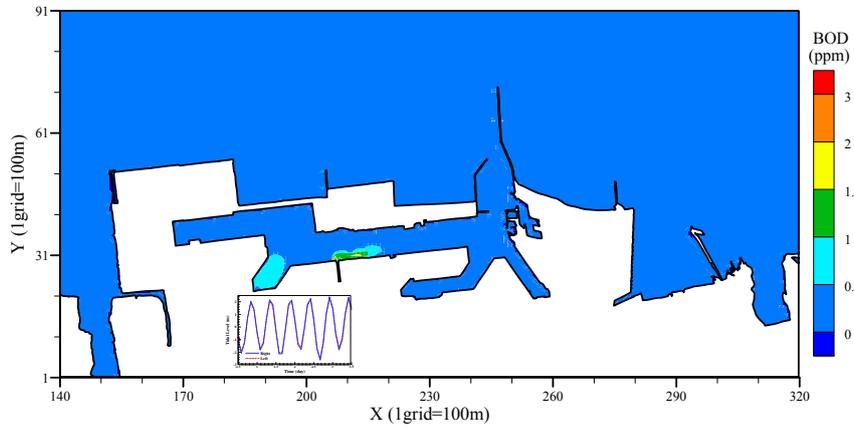
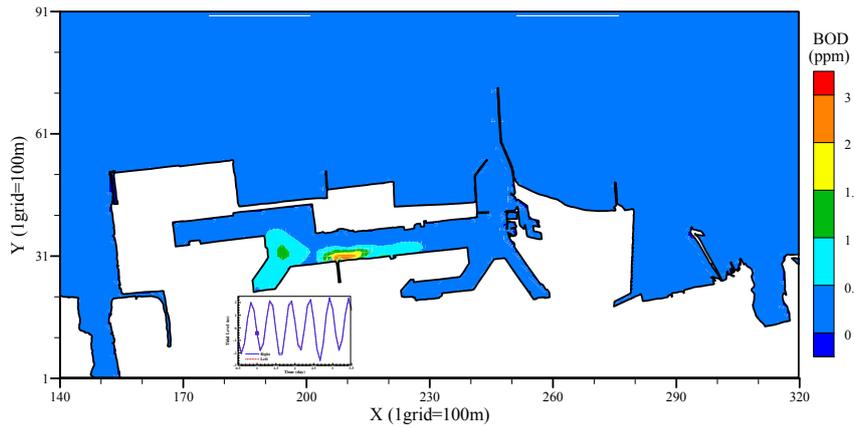


圖 3-12 T4、T5、T6 測站實測 BOD 濃度與模式預測比較圖

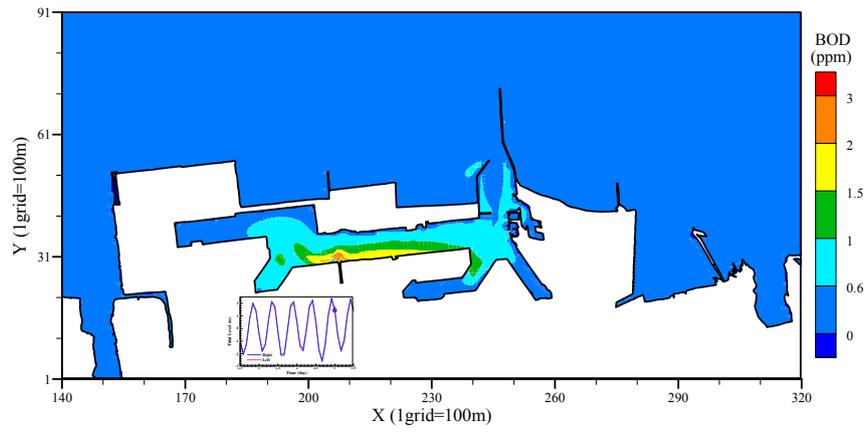


第 0 天 12 時

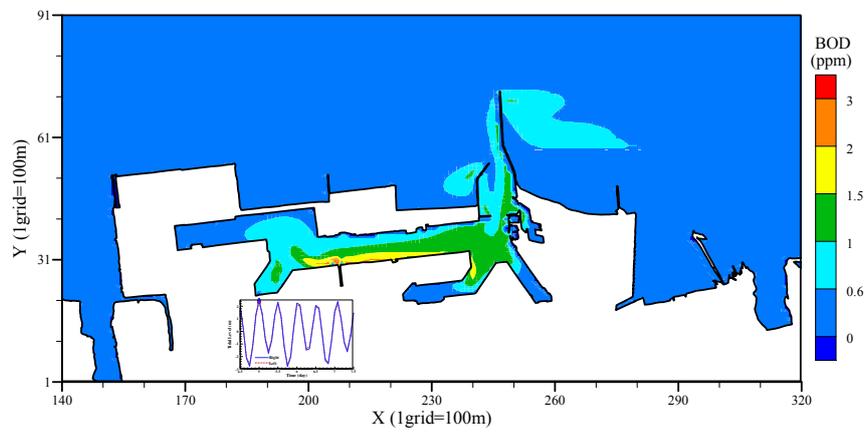


第 1 天 0 時

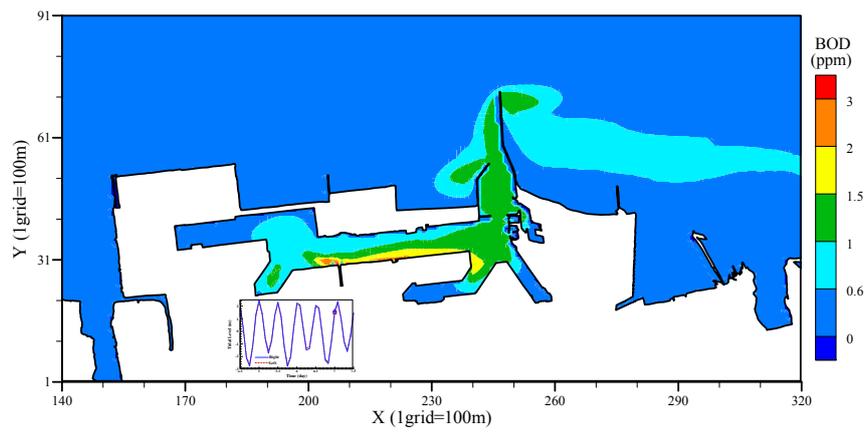
圖 3-13 無風驅動下污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖



第 3 天 0 時

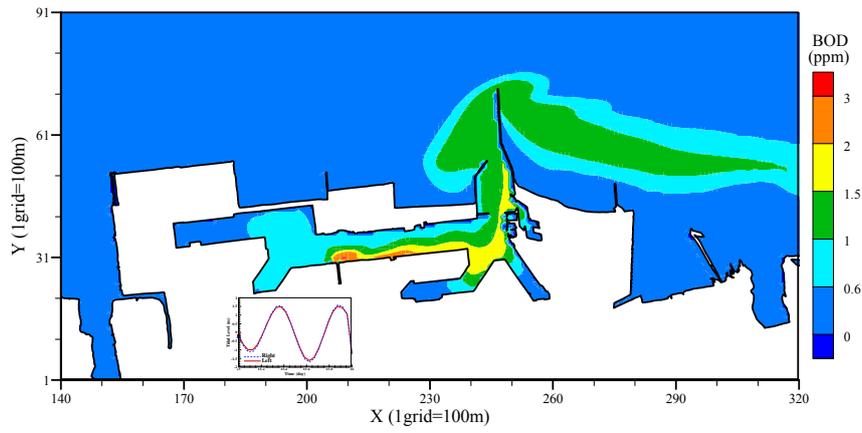


第 5 天 0 時

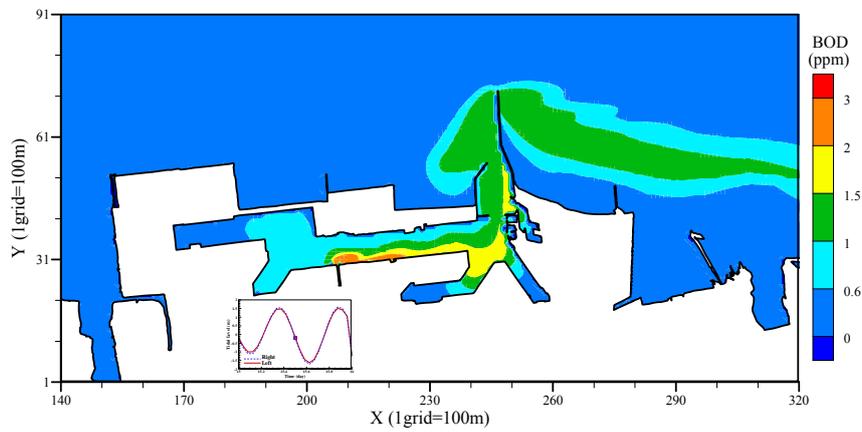


第 7 天 0 時

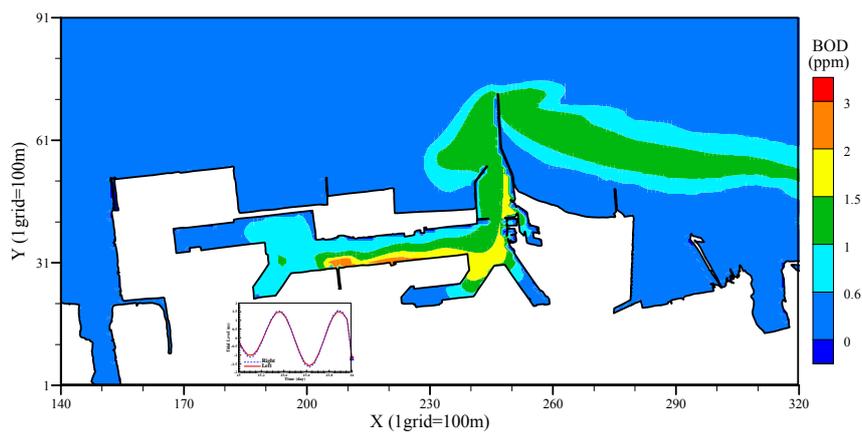
圖 3-13(續 1) 無風驅動下污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖



第 15 天 0 時

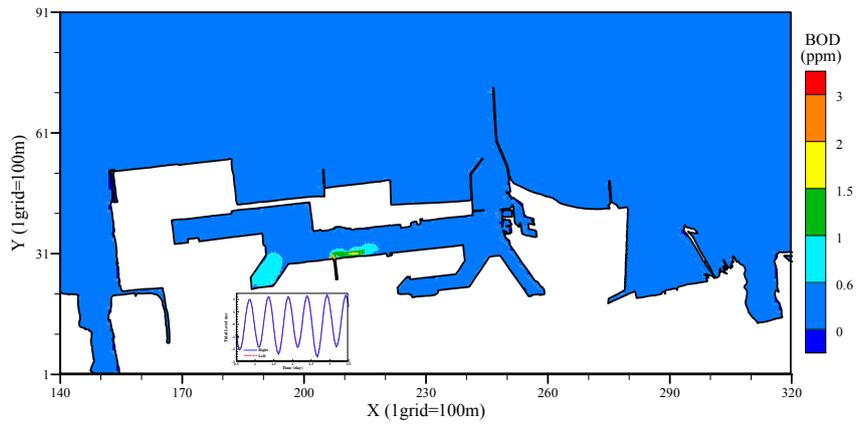


第 15 天 12 時

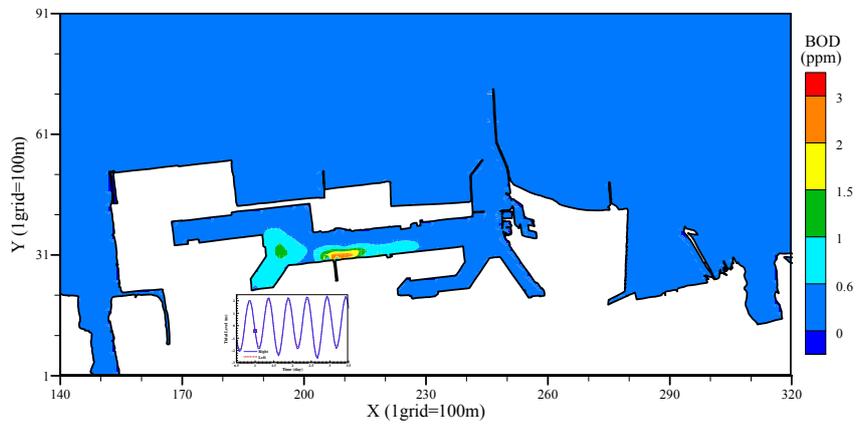


第 16 天 0 時

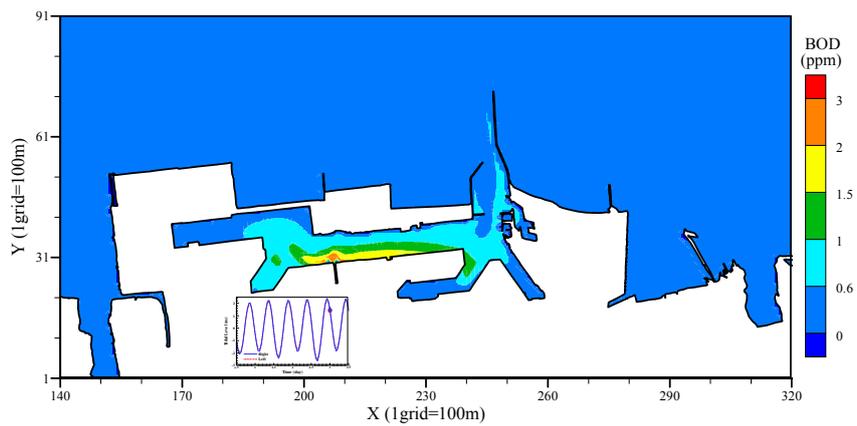
圖 3-13(續 2) 無風驅動下污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖



第 0 天 12 時

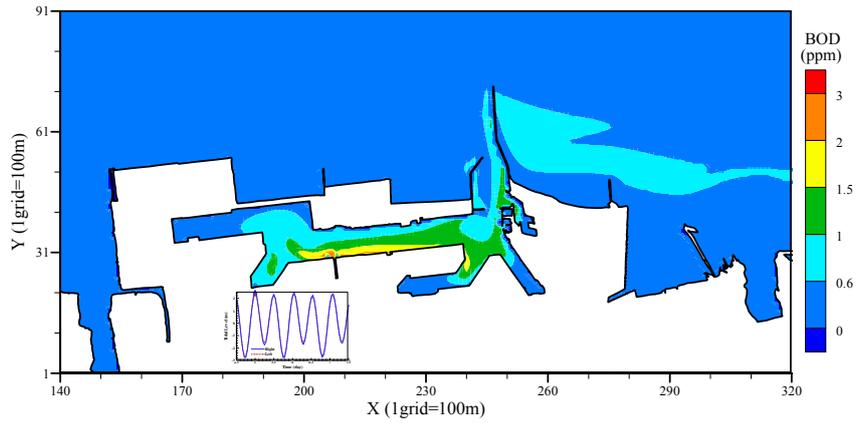


第 1 天 0 時

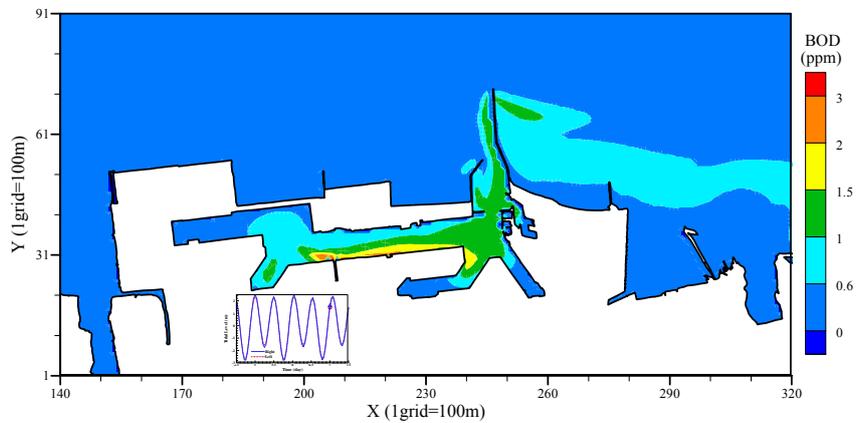


第 3 天 0 時

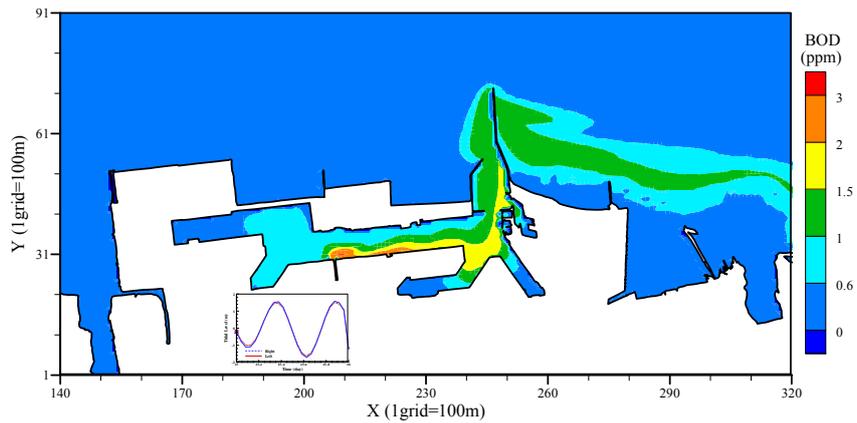
圖 3-14 模式模擬風速為 7m/s、S 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖



第 5 天 0 時

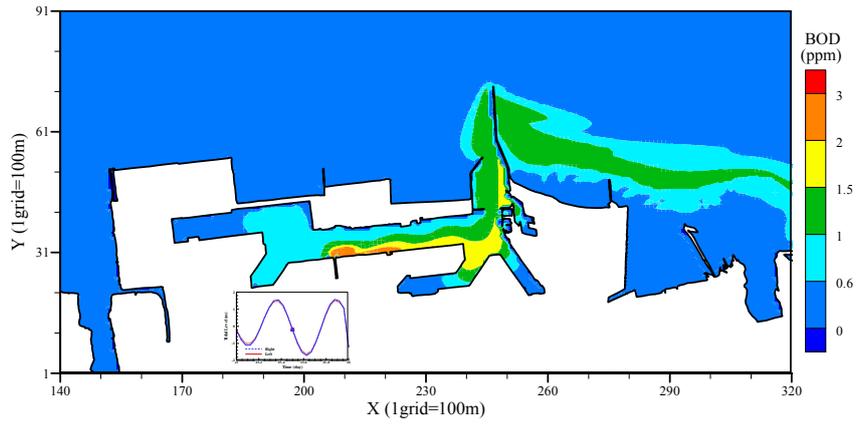


第 7 天 0 時

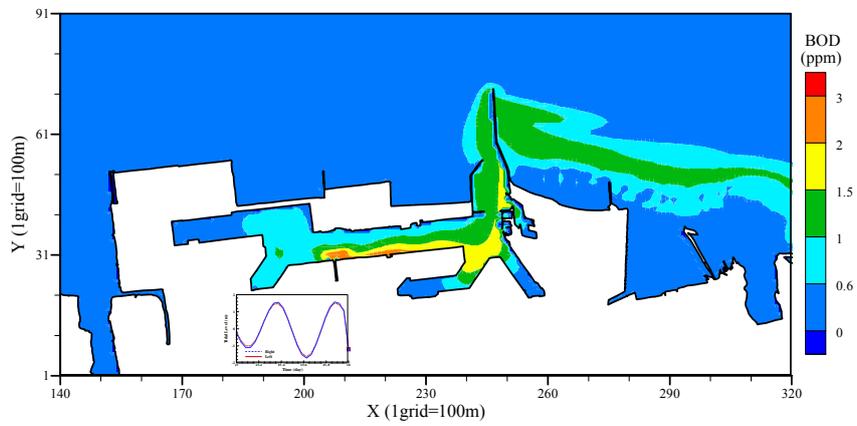


第 15 天 0 時

圖 3-14(續 1) 模式模擬風速為 7m/s、S 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖

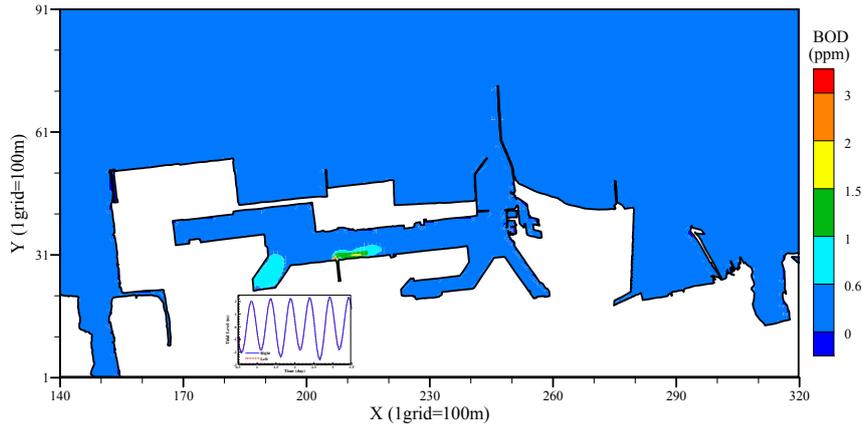


第 15 天 12 時

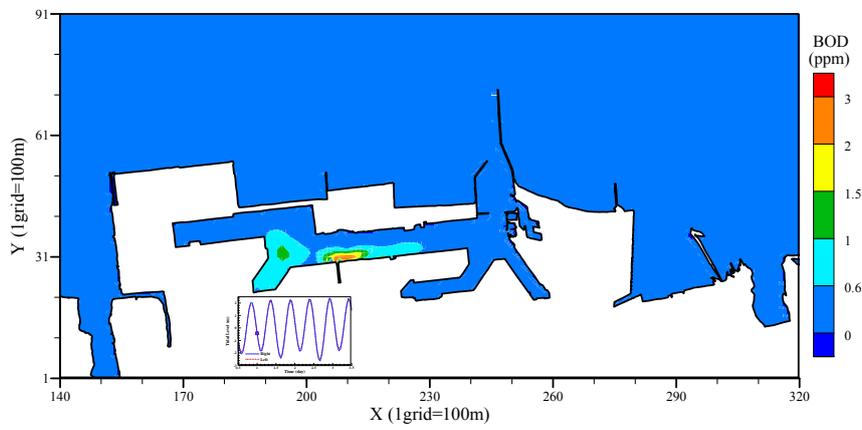


第 16 天 0 時

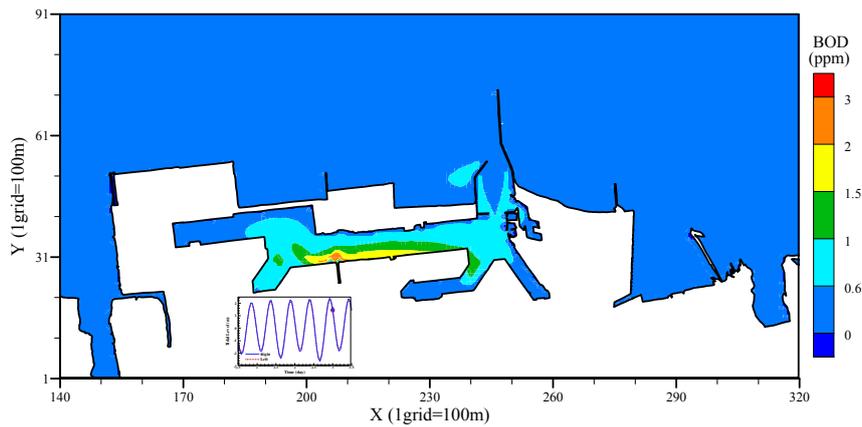
圖 3-14(續 2) 模式模擬風速為 7m/s、S 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖



第 0 天 12 時

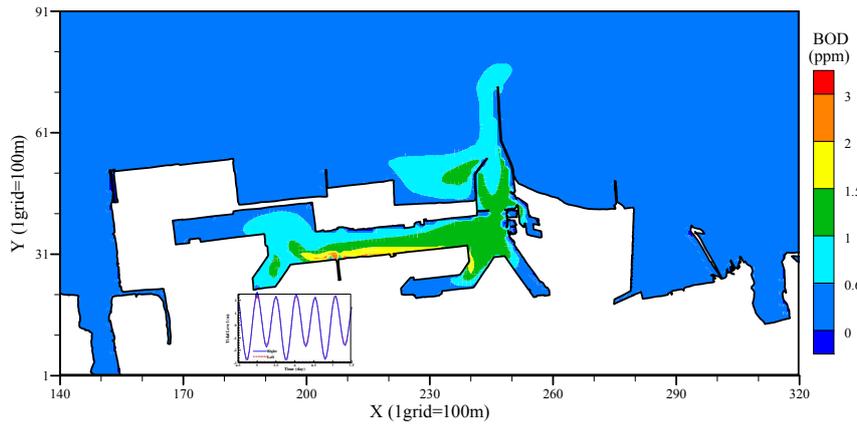


第 1 天 0 時

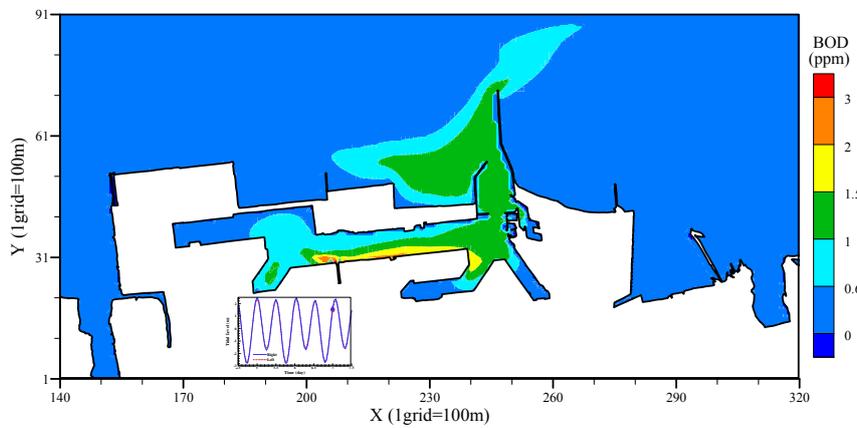


第 3 天 0 時

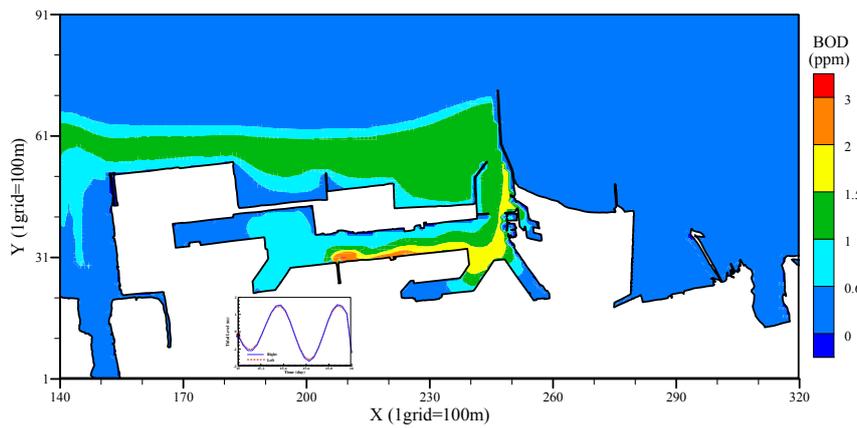
圖 3-15 模式模擬風速為 7m/s、NNE 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖



第 5 天 0 時

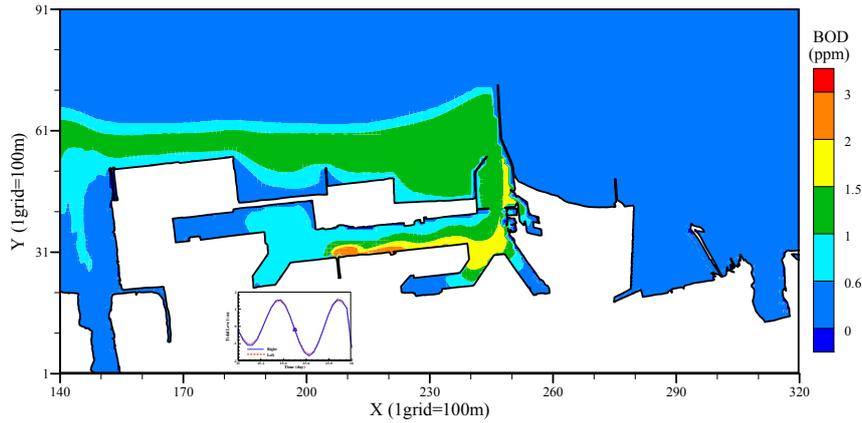


第 7 天 0 時

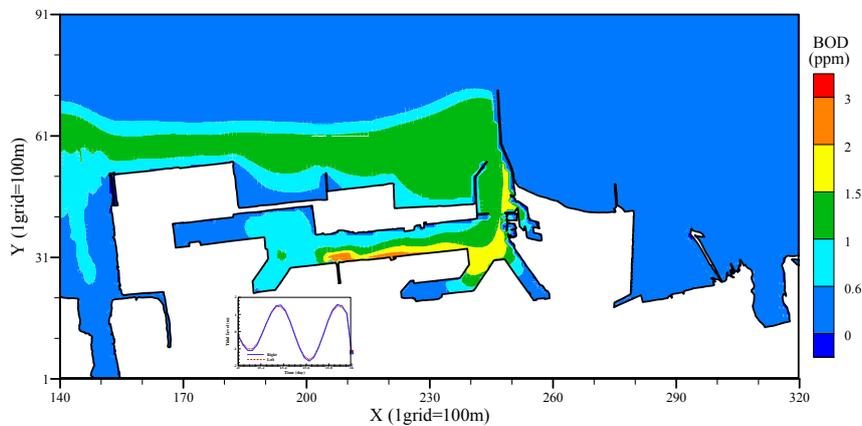


第 15 天 0 時

圖 3-15(續 1) 模式模擬風速為 7m/s、NNE 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖



第 15 天 12 時



第 16 天 0 時

圖 3-15(續 2) 模式模擬風速為 7m/s、NNE 向之條件下，污染物於臺中港之水質 BOD 影響分佈圖

3.5 水質分類與海域涵容能力

根據水污染防治法對涵容能力之定義為：在不妨害水體正常用途情況下，水體所能涵容污染物之量。為了解各污染源對臺中港海域水體污染情形，則針對臺中港港區內水體之總承載量與涵容餘裕量來計算，及水體水質指標分類標準，以計算水體之涵容能力與削減總量。而相關水質指標分類以 SPI 法 (Sea Pollution Index Method) 與 WQI (Water Quality Indices Method) 法為主。

3.5.1 SPI 法

楊(2006)參照河川水質之 RPI 法(River Pollution Indices) 架構下建立 SPI 法，SPI 法對海域水體依其不同的水質項目判斷其水質之積分範圍(如表 3-3)，再加總平均其總積分點數來評定海域水體之水質狀況，計算如下式：

$$SPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots (3-6)$$

SPI：海域污染指標

P：污染物污染積分

n：污染物數目

表 3-3 SPI 之積分點數表

	未受污染	稍受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
DO	>7	6.5~7	4.5~6.5	2.0~4.5	<2.0
BOD	<1.5	1.5~3.0	3.0~5.0	5.0~15	>1.5
NH ₃ -N	<0.3	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~3.0	>3.0
Coliform	<30	30~200	200~1000	1000~10000	>10000
點數	1	2 3 6			10
積分	<1.5	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0~6.0	>6

資料來源：楊文衡等，2006 年

3.5.2 WQI 法

WQI 法可定義在水體環境中各個水質參數對於水質總體影響的評估方法，並選定出影響水質較重要的水質項目，給予不同的權重並且依其不同的濃度範圍定出點數，依此數據來評估水質的優劣(Horton, 1965)。然溫清光等(1990)針對臺灣本土水質訂定指標，然時境遷移，環保署已多次修正水質基準，因此水質指數也有修正的必要，為符合臺灣水質現況環保署(2007)再度針對臺灣本土水質訂定權重並繪製水

質指數，如表 3-4 所示，亦同本研究參考之權重。

$$WQI = \frac{1}{10} \left(\sum_{i=1}^n W_i q_i \right)^{1.5} \dots\dots\dots (3-7)$$

WQI：水質指數

W：權重

q_i：各污染物對應水質點數

表 3-4 WQI 水質參數濃度與點數間關係之計算公式一覽表

水質參數	權重(Wi)		單位	參數範圍	限制條件	點數(q _i)
	一般權重	未測總磷之修正權重				
溶氧	0.24	0.26	飽和度(小數)	0 < X ≤ 1.4	X > 1.4, q _i =50 X > 0, q _i =0	200.5x ⁶ - 738.28x ⁵ + 1020.1x ⁴ - 811.71x ³ + 412.24x ² + 15.521x - 0.0045
生化需氧量	0.18	0.19	mg/L	0 < B ≤ 30	If B=0, q _i =100 If B>30, q _i =0	(-31.24B + 943.3)/(B + 9.337)
pH 值	0.13	0.14	—	5 ≤ pH ≤ 7.5	If pH < 5, q _i =0 If pH > 10, q _i =0	-2.6667pH ³ + 48pH ² - 255.33pH + 440
				7.5 < pH ≤ 10		-2.3333pH ³ + 60.5pH ² - 547.17pH + 1785
氮氮	0.15	0.16	mg/L (as N)	0 < N ≤ 1	If N=0, q _i =100 If N ≥ 6, q _i =0	29.665N ² - 88.871N + 99.339
				1 ≤ N < 6		0.6667N ² - 12.667N + 52
大腸桿菌群	0.12	0.13	Log(MPN/100mL)	0 ≤ X ≤ 3.7	If X > 6, q _i =0	-0.0308x ² - 5.8335x + 100
				3.7 < x ≤ 6		10.836x ² - 138.72x + 442.3
懸浮固體	0.11	0.12	mg/L	0 ≤ S ≤ 1000	If S > 1000, q _i =100	(0.01161S ² - 21.29S + 9594)/(S + 95.62)
總磷	0.07	—	mg/L (as P)	0 ≤ P ≤ 0.1	If P > 3.0, q _i =0	100 × EXP(-5.1382P)
				0.1 ≤ P ≤ 3.0		1.2939P ³ - 4.199P ² - 19.611P + 61.651

資料來源：行政院環保署，2007 年

3.5.3 海域涵容能力

涵容能力為：在不妨害水體正常用途情況下，水體所能涵容污染物之量，其中涵容能力與本研究計算總承載乃為相同含意。本研究之總承載計算基準是以假設臺中港海域水質符合環保署公告之乙類海域水質標準(BOD=3ppm)來計算。又可分成現況總承載與臨界總承載來看，其相差為涵容餘裕量，如涵容餘裕量為正值表示水體水質比臨界

值好，反之，負值表示水體比臨界值差。

本研究針對臺中港港區內水體之總承載量與涵容餘裕量來計算。因此根據臺中港海域水質狀況，背景濃度與污染源濃度皆與上節模式輸入條件相同，假設以水域臨界值為乙類海水水體之水質標準 (SPI=3.25，WQI=39.07) 與丙類海水水體之水質標準 (SPI=5.0，WQI=31.04)，推估可得 BOD 涵容餘裕量分別為 2.13E+07kg/day、5.91E+07kg/day。

表 3-5 於乙類、丙類水體(臨界值)下臺中港總承載現況分析表

水質指標	總承載(臨界值)	總承載	涵容餘裕量
乙類水體(臨界值)			
BOD	3.78E+07 kg/day	1.65E+07 kg/day	2.13E+07 kg/day
丙類水體(臨界值)			
BOD	7.57E+07 kg/day	1.65E+07 kg/day	5.91E+07 kg/day

第四章 港域水質與底質調查分析

本年度研究係第四年持續在臺中港鄰港區域進行海域水體環境品質調查，同時於第三年起增加港域與近海沉積物(底泥)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。

四年全程研究於海域水質共完成9次採樣調查，第1年度(2009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。

第二年度(2010年)採樣調查延續2009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。

第三年度(2011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，上半年枯水期之海域水質與底質調查於4月7日完成；下半年豐水期調查則於10月10日完成海域水質採樣。

第四年度(本年度，2012年)除持續重金屬調查外，進一步增加環境荷爾蒙之有機錫污染進行調查。上半年枯水期之海域水質(2次/年)與底質(1次/年)調查於4月10日完成採樣工作，下半年於豐水期間進行水質採樣，並已於9月11日完成採樣。

4.1 測站規劃

4.1.1 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」(2002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：

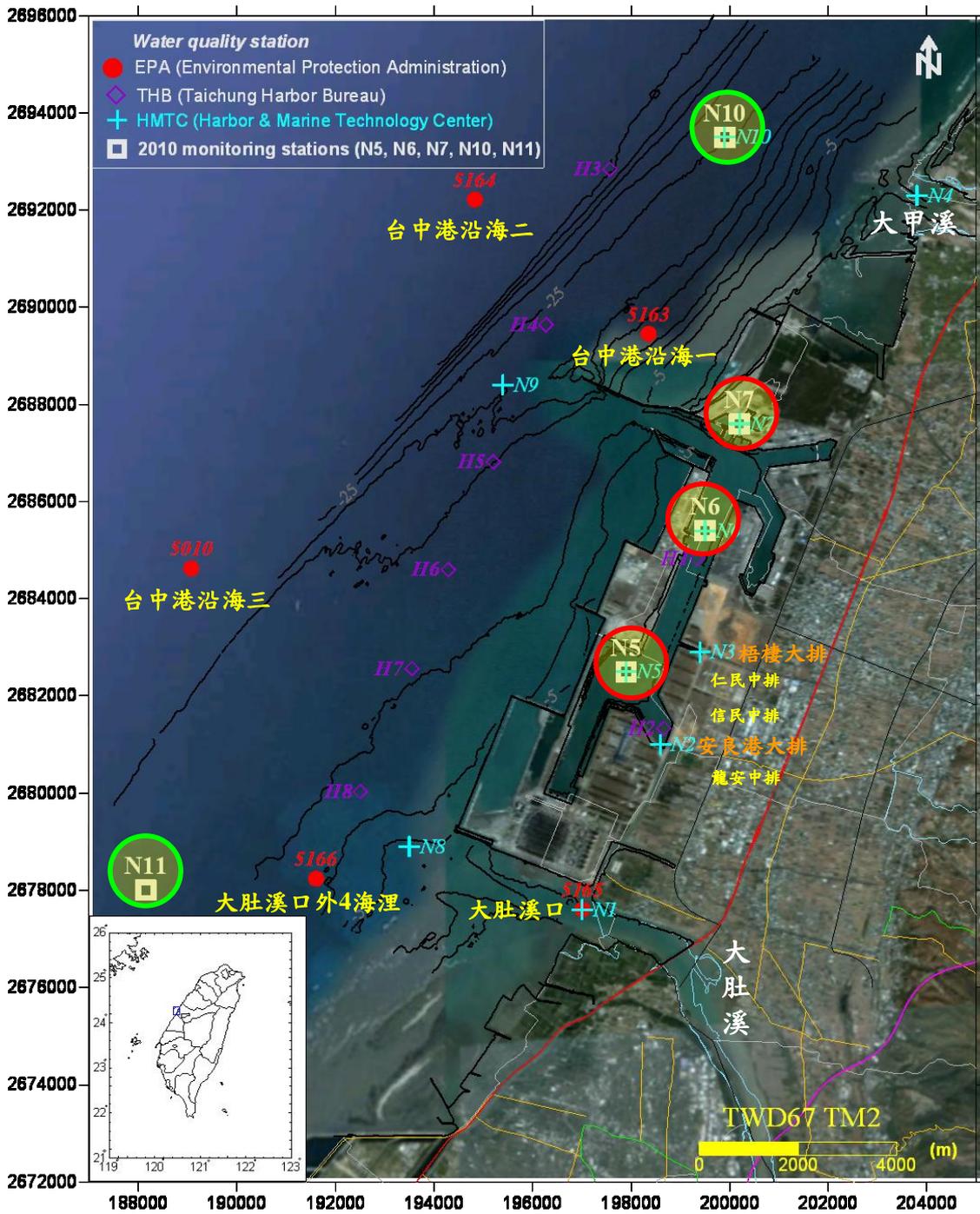
1. 主、次要河川入海口。
2. 重要污染源流入點。
3. 港灣、瀉湖。
4. 「海洋污染防治法」第十五條第一項所定之區域。
5. 一般海域水質之背景點。
6. 其他經中央主管機關指定之位置。

4.1.2 測站選定

本年度參考前二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(底泥)調查，點位座標如表4-1所示，位置如圖4-1所繪，圖中圖示EPA表環保署長期於臺中港外沿海海域之水質測站，THB則代表臺中港務分公司於此區域所進行之海域水質及生態測站，HMTC則為本研究2009年、2010年與2011年之海域與港區水質及底質測點。其中為進一步瞭解大肚溪近海底質重金屬含量與河口關係之分布，增加大肚溪河口之底質重金屬調查測站(N1)。此外，為初步瞭解來自船舶污染，用來防治生物附著於船體所塗裝之環境賀爾蒙—有機錫之含量，特別增加底質中之有機錫調查。

表 4-1 2012 年臺中港鄰港海域水質與底質測站座標

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 (梧棲與安良港大排間)	水質	197900	2682500	24	14.725	120	29.714
N6		臺中港區 (北中泊渠間)	水質	199500	2685400	24	16.299	120	30.654
N7		梧棲漁港港區	水質	200200	2687600	24	17.492	120	31.063
N10	港 外	大甲溪外海	水質	199900	2693500	24	20.688	120	30.873
N11		大肚溪外海	水質	188156	2678004	24	12.267	120	23.960
N1		大肚溪河口	底質	197010	2677603	24	12.070	120	29.191



(本研究第四年：N1, N5, N6, N7, N10, N11)

圖 4-1 2012 年臺中港鄰港海域水質與生態測站位置

4.2 海域水質調查方法

4.2.1 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，2003年9月18日環署檢字第 0920067727A 號公告，自2003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。



採樣人員操作採水器取水樣



採樣人員檢測現場水質

4.2.2 採樣頻率

本年度海域水質監測1年共2次，豐、枯水期間各1次，於第1年(2009年)起迄今，已於2009年4月29日、2009年6月25日、2009年9月14～15日(僅調查港內N2與N3)；2010年3月23～24日與2010年9月7日～8日；以及2011年4月7日(海域水質與底質)與10月10日(海域水質)與2012年4月10日(海域水質與底質)及9月11日(海域水質)止，共計已進行9次海域水質與2次海域底質採樣調查。

4.2.3 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(2011年新增項目)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4-2所示。

4.3 海域水質調查結果

本年度採樣監測結果詳如表4-3。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。

表 4-2 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	◎ ⁽¹⁾ pH 值	電極法	NIEA ⁽²⁾ W424.52A	—	±0.1	—	—
2	◎溶氧量	電極法	NIEA W455.52C	—	≤10%	—	—
3	鹽度	導電度法	NIEA W447.20C ^{*(3)}	—	≤5%	—	—
4	◎導電度	導電度計法	NIEA W203.51B	—	≤3%	—	—
5	◎水溫	溫度計法	NIEA W217.51A	—	≤3%	—	—
6	透明度	水中透明度檢測方法	NIEA E220.50C	—	—	—	—
7	◎生化需氧量	水中生化需氧量檢測方法	NIEA W510.55B	2.0 ^{#(4)} mg/L	≤15%	168~228 mg/L ⁽⁵⁾	—
8	◎大腸桿菌群	濾膜法	NIEA E202.54B	10CFU/100mL [#]	≤0.2	—	—
9	◎懸浮固體	103~105°C 乾燥法	NIEA W210.57A	2.5 [#] mg/L	≤20% ≤10% ⁽⁶⁾	—	—
10	◎氨氮	靛酚法	NIEA W448.51B	0.02 mg/L	≤15%	85~115%	85~115%
11	◎總磷	分光光度計/維生素丙法	NIEA W427.53B	0.006 mg/L	≤15%	80~120%	80~120%
12	葉綠素 a	丙酮萃取法/分光光度計分析法	NIEA E507.02B	—	≤20%	—	—
13	海水重金屬 (萃取法)(銅、鉛、鋅)	APDC 整合 MIBK 萃取原子吸收光譜法	NIEA W309.22A	銅 0.0010 mg/L 鉛 0.0020 mg/L 鋅 0.0017 mg/L	≤20%	80~120%	75~125%
14	鉻	石墨爐式原子吸收光譜法	NIEA W303.51A	0.0004 mg/L	≤20%	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	≤20%	80~120%	75~125%
17	底泥粒徑	篩分析法/雷射粒徑分析	ASTM ⁽⁷⁾ D422/LISST	—	—	—	—
18	底泥重金屬 (銅、鉛、鋅、鉻)	微波消化原子吸收光譜法	NIEA R355.00C*	銅 1.93 mg/kg 鉛 11.3 mg/kg 鋅 3.01 mg/kg 鉻 4.85 mg/kg	≤20%	75~125%	75~125%
19	底泥砷	砷化氫原子吸收光譜法	NIEA S310.63C	0.161 mg/kg	≤20%	70~130%	75~125%
20	底泥汞	冷蒸氣原子吸收光譜法	NIEA M317.02C	0.018 mg/kg	≤20%	80~120%	75~125%
21	總有機物 ^{A(8)}	焚化灰渣之灼燒減量檢測方法	NIEA R216.02C	—	≤10%	—	—
21	底泥鉛 ^A	微波消化原子吸收光譜法	NIEA R355.00C	0.1 mg/kg	≤10%	—	—
23	底泥有機錫 ^A	氣相層析法/質譜法	NIEA T504.30B/ NIEA C502.00B	0.02 [#] mg/kg	≤30%	70~130%	50~130%

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

7. Annual Book of ASTM Standards(American Society for Testing Materials), Vol.04.08 1993.

8."A"表示該檢項委託合格之廠商或學術單位分析。

9.表中各檢項方法偵測極限值原則上每年更新一次。

10.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 4-3 臺中港鄰港海域水質 2012 年採樣調查結果

調查日期：2012年4月10日與9月11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	鉍	汞	砷
單位	民國	-	°C	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
方法	101年	NIEA W424.52A	NIEA W427.51A	NIEA W203.51B	NIEA W447.20C	NIEA E220.50C	NIEA W455.52C	NIEA W455.52C	NIEA W510.55B	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 W330.52A	NIEA W434.53B
測站	月/日	W424.52A	W427.51A	W203.51B	W447.20C	E220.50C	W455.52C	W455.52C	W510.55B	W210.57A	E202.54B	W427.53B	W448.51B	E507.02B	W309.22A	W309.22A	W309.22A	W330.52A	W434.53B
N5		8.4 (8.400)	26.2	50300	33.0	2.1	7.1 (7.08)	105	<2.0 (1.9)	<2.5	8.6×10 ²	0.022	<0.06 (0.04)	3.1	<0.0030 (0.0023)	<0.0060 (0.0021)	0.0057	ND (0.0001)	<0.0010 (0.0009)
N6		8.3 (8.293)	25.9	50800	33.4	1.6	6.7 (6.70)	99.2	<2.0 (1.1)	3.6	15	<0.020 (0.011)	ND (0)	3.1	<0.0030 (0.0022)	ND(0)	<0.0050 (0.0034)	<0.0003 (0.0002)	<0.0010 (0.0009)
N7	04/10	8.3 (8.298)	25.9	50400	33.2	2.6	6.3 (6.34)	96.3	<2.0 (1.5)	5.6	10	0.021	ND (0)	4.0	0.0030 (0.0006)	ND (0.0003)	0.0063	<0.0003 (0.0002)	0.0010
N10		8.3 (8.296)	25.7	50900	33.5	2.8	6.4 (6.39)	95.7	2.9	7.0	<10	<0.020 (0.014)	ND (0)	2.6	0.0035 (0.0018)	ND (0.0003)	0.0091	<0.0003 (0.0003)	0.0011
N11		8.2 (8.236)	25.8	50500	33.3	2.3	6.0 (6.04)	91.7	2.2	5.4	<10	0.026	ND (0.02)	2.3	<0.0030 (0.0028)	<0.0060 (0.0027)	0.0097	<0.0003 (0.0002)	<0.0010 (0.0009)
N5		8.4 (8.394)	31.9	48600	32.0	1.5	7.1 (7.07)	105	<u>3.3</u>	10.1	<10	0.026	<0.06 (0.04)	8.8	<0.0030 (0.0015)	ND (0.0001)	0.0060	ND (0.0001)	<0.0010 (0.0005)
N6		8.3 (8.282)	31.8	48500	31.9	2.0	6.7 (6.71)	99.3	<u>3.3</u>	7.8	<10	0.044	<0.06 (0.04)	16.2	0.0073 (0.0037)	<0.0060 (0.0037)	0.0126	<0.0003 (0.0003)	<0.0010 (0.0006)
N7	09/11	8.3 (8.286)	30.6	49200	32.3	2.0	6.4 (6.36)	96.5	<2.0 (1.4)	9.0	<10	0.034	ND (0.01)	4.8	0.0045 (0.0017)	ND (0.0004)	0.0098	<0.0003 (0.0001)	<0.0010 (0.0007)
N10		8.3 (8.300)	30.3	49400	32.5	2.8	6.4 (6.38)	95.6	2.0	4.6	<10	<0.020 (0.014)	<0.06 (0.02)	1.4	<0.0030 (0.0020)	<0.0060 (0.0048)	0.0084	<0.0010 (0.0005)	<0.0010 (0.0006)
N11		8.3 (8.270)	30.3	48600	32.0	2.3	6.0 (6.05)	91.8	<2.0(1.1)	5.7	<10	0.030	ND (0.01)	4.0	0.0052 (0.0026)	<0.0060 (0.0026)	0.0153	<0.0003 (0.0001)	<0.0010 (0.0006)
乙類 甲類 海域 海域		7.5~8.5	無	無	無	無	≥5.0		≤3.0 ≤2.0	無	無 ≤1000	無 ≤0.05	無 ≤0.3	無	≤0.03	≤0.1	≤0.5	≤0.002 (Cr ⁶⁺)	≤0.002 ≤0.05

備註：1. 粗斜體數據表示不符合乙類海域水質標準。

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。部份檢項目方式為配合計畫需求，說明如下：pH及DO檢項於報告值後以括號方式備註實際平均值(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(X(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(X(總磷))或<0.06(X(氨氮))或<0.0030(X(銅))或<0.0060(X(鉛))或<0.0050(X(鎘))或<0.0003(X(汞))或<0.0010(X(砷))，前方數字分別為該檢項之定量極限濃度，括號內數據表由外插方式求得之測值。

2012 年 4 月枯水期調查，臺中港區內與港外水體品質整體而言良好，均能符合所屬之乙類海域水質標準。除港內鹽度略低於港外海水，以及港內大腸桿菌群含量相對略高但仍在合格範圍，其餘並無異常。而下半年 9 月豐水期調查，臺中港外水體品質整體而言同屬良好，港內則於 N5 與 N6 出現鹽度略微降低，而生化需氧量則略微升高且不符合乙類海域水質標準之情形，顯示港域內仍可能有來自有機廢污水之污染，導致水體中有機物耗氧量增加，但尚未導致溶氧量降低至不符合海域水體標準的程度。但 9 月豐水期時，臺中港內 N6 測站葉綠素 a 偏高已達優養等級；N5 亦達中養等級，顯示臺中港內仍可能受到過量營養鹽輸入，造成刺激藻類大量生長之優養化機率發生。

與 2011 年之調查結果相比，2011 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，因此環保主管機關應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。

以下依序就本年度 4 月與 9 月水質調查結果，與本研究於前三年(2009 年~2011 年)海域水質(表 4-4)作比較說明。

1. 酸鹼度-氫離子濃度指數(pH)

本年度 4 月與 9 月於港內測站 N5 之 pH 均相對略高且溶氧亦過飽和以外，其餘測站之 pH 值與第一年(2009 年)及第二年(2010 年)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 8.29~8.40 之間；9 月在港區內 pH 值介於 8.28~8.390 之間，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。

2. 導電度(Electrical conductivity, EC)

臺中港內外海域各測站於 2012 年 4 月枯水期導電度測值介於 50,300~50,800 $\mu\text{mho/cm}$ ；9 月豐水期介於 48,500~49,400 $\mu\text{mho/cm}$ ，監測結果皆處於正常海水值 45,000~55,000 $\mu\text{mho/cm}$ 之變動範圍內，2011 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，2011 年整體測站導電度平均值 51,850 $\mu\text{mho/cm}$ ，介於第 1 年(2009 年)與第 2 年(2010 年)變動範圍且無異常。

3. 鹽度(Salinity)

各海域測站於 2012 年 4 月枯水期採樣監測之鹽度測值介於 33.0~33.5 psu 間；9 月豐水期介於 31.9~32.5 psu，鹽度變化之趨勢與導電度大致相似，2011 年整體測站鹽度平均值 34.1 psu，較第一年(2009 年)3 次採樣監測結果高，而 2011 年 4 月枯水期與第二年(2010 年)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。

表 4-4 2009 年至 2012 年臺中港鄰港海域水質調查結果

監測日期 西元年月/日	本研究監測												環保署監測 1997~2012 年	
	2009 年			2010 年			2011 年			2012 年				
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	第 11 次	第 12 次		
監測項目	4/29	6/25	9/14~9/15	3/23~3/24	9/7~9/8	4/7	10/10	04/10	09/11	09/11	04/10	09/11	09/11	7/8~8/15
pH	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)	8.11~8.19 (8.14)	8.12~8.22 (8.17)	8.24~8.40 (8.30)	8.27~8.40 (8.31)	8.27~8.40 (8.31)	8.24~8.40 (8.30)	8.27~8.40 (8.31)	8.27~8.40 (8.31)	8.0~8.3 (8.17)
鹽度 (psu)	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)	33.7~34.3 (34.1)	31.9~34.6 (34.0)	33.0~33.5 (33.3)	31.9~32.5 (32.1)	31.9~32.5 (32.1)	33.0~33.5 (33.3)	31.9~32.5 (32.1)	31.9~32.5 (32.1)	31.4~35.7 (33.6)
水溫 (°C)	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)	25.6~26.5 (26.2)	22.5~23.3 (22.9)	25.7~26.2 (25.9)	30.3~31.9 (31.0)	30.3~31.9 (31.0)	25.7~26.2 (25.9)	30.3~31.9 (31.0)	30.3~31.9 (31.0)	14.5~31.4 (25.6)
導電度 (μ mho/cm)	18300~51000 (45510)	43600~50200 (48970)	3510~55200 (32459)	52300~53800 (53060)	48900~50100 (49760)	51300~52000 (51780)	49000~52700 (52920)	50300~50900 (50580)	48500~494700 (48560)	48500~494700 (48560)	50300~50900 (50580)	48500~494700 (48560)	48500~494700 (48560)	未提供
懸浮固體物 (mg/L)	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)	4.4~9.9 (7.6)	5.6~8.1 (6.4)	2.5~7.0 (4.8)	4.6~10.1 (7.4)	4.6~10.1 (7.4)	2.5~7.0 (4.8)	4.6~10.1 (7.4)	4.6~10.1 (7.4)	<2.0~45.0 (8.9)
透明度 (m)	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 (6.2)	4.4~8.5 (6.3)	1.6~2.8 (2.3)	1.5~2.8 (2.1)	1.5~2.8 (2.1)	1.6~2.8 (2.3)	1.5~2.8 (2.1)	1.5~2.8 (2.1)	未監測
溶氧量 (mg/L)	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)	5.32~6.25 (5.7)	6.93~7.12 (7.04)	6.04~7.08 (6.51)	6.05~7.07 (6.51)	6.05~7.07 (6.51)	6.04~7.08 (6.51)	6.05~7.07 (6.51)	6.05~7.07 (6.51)	5.9~8.4 (6.9)
溶氧飽和度 (%)	92.7~130 (109)	97.2~117 (101)	24.3~151 (87.9)	97.5~132 (108)	70.7~98.5 (81.1)	78.8~89.1 (83.6)	96.1~100 (98.2)	91.7~105 (97.6)	91.8~105 (97.6)	91.8~105 (97.6)	91.7~105 (97.6)	91.8~105 (97.6)	91.8~105 (97.6)	未提供
生化需氧量 (mg/L)	2.5~4.5 (3.7)	<2.0 (<2.0)	<2.0~63.6 (10.0)	<2.0 (<2.0)	<2.0 (<2.0)	<2.00(6~1.4) (<2.0(0.9))	<2.00(2~1.1) (<2.0(0.5))	<2.0~2.9 (<2.0(1.9))	<2.0~3.3 (2.2)	<2.0~3.3 (2.2)	<2.0~2.9 (<2.0(1.9))	<2.0~3.3 (2.2)	<2.0~3.3 (2.2)	0.1~1.0 (0.5)
大腸桿菌群 (CFU/100 mL)	<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)	<10~1.4 $\times 10^2$ (60)	<10~5.0 $\times 10^2$ (1.1 $\times 10^2$)	<10~8.0 $\times 10^2$ (1.7 $\times 10^2$)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10~8.0 $\times 10^2$ (1.7 $\times 10^2$)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10~6.2 $\times 10^3$ (5.5 $\times 10^2$)
總磷(mg/L)	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)	0.033~0.040 (0.037)	<0.020~0.158 (0.051)	<0.020~0.026 (0.019)	<0.020~0.044 (0.030)	<0.020~0.044 (0.030)	<0.020~0.026 (0.019)	<0.020~0.044 (0.030)	<0.020~0.044 (0.030)	0.010~0.054 (0.021)
氨氮(mg/L)	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)	<0.06~0.07 (0.05)	0.06~0.09 (0.07)	ND(<0.02)~<0.06 (0.02)	ND(<0.02)~<0.06 (0.03)	ND(<0.02)~<0.06 (0.03)	ND(<0.02)~<0.06 (0.02)	ND(<0.02)~<0.06 (0.03)	ND(<0.02)~<0.06 (0.03)	0.01~0.13 (0.03)
葉綠素 a(μ g/L)	未監測	未監測	未監測	0.5~2.2 (1.3)	0.6~10.3 (3.7)	0.8~2.2 (1.6)	0.3~1.1 (0.8)	2.3~4.0 (3.0)	1.4~16.2 (7.0)	1.4~16.2 (7.0)	2.3~4.0 (3.0)	1.4~16.2 (7.0)	1.4~16.2 (7.0)	0~17.5 (1.5)
銅(mg/L)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	<0.0030~0.0041 (0.0031)	0.0030~0.0041 (0.0036)	<0.0030~0.0035 (0.0028)	<0.0030~0.0073 (0.0030)	<0.0030~0.0073 (0.0030)	<0.0030~0.0035 (0.0028)	<0.0030~0.0073 (0.0030)	<0.0030~0.0073 (0.0030)	0.0001~0.0335 (0.0021)
鉛(mg/L)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	ND(<0.0004)~<0.0060 (0.0026)	<0.00060 (0.0039)	ND(<0.0020)~<0.0060 (0.0022)	ND(<0.0020)~<0.0060 (0.0022)	ND(<0.0020)~<0.0060 (0.0022)	ND(<0.0020)~<0.0060 (0.0022)	ND(<0.0020)~<0.0060 (0.0022)	ND(<0.0020)~<0.0060 (0.0022)	0.0001~0.0090 (0.0017)
鋅(mg/L)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	ND(<0.0016)~0.0104 (0.0037)	0.0056~0.0135 (0.0082)	<0.0050~0.0097 (0.0068)	0.0060~0.0153 (0.0104)	0.0060~0.0153 (0.0104)	<0.0050~0.0097 (0.0068)	0.0060~0.0153 (0.0104)	0.0060~0.0153 (0.0104)	<0.0005~0.0550 (0.0059)
總銻(mg/L)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	ND(<0.0004)~<0.0010 (0.0002)	ND(<0.0004)~<0.0015 (0.0010)	ND(<0.0004)~<0.0010 (<0.0010)	ND(<0.0004)~<0.0010 (0.0005)	ND(<0.0004)~<0.0010 (0.0005)	ND(<0.0004)~<0.0010 (<0.0010)	ND(<0.0004)~<0.0010 (0.0005)	ND(<0.0004)~<0.0010 (0.0005)	<0.001~0.009 (0.0014)
汞(mg/L)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	ND(<0.0001)~<0.0004 (0.00016)	ND(<0.0001)~<0.0004 (0.00004)	ND(<0.0001)~<0.0003 (0.00002)	ND(<0.0001)~<0.0003 (0.00002)	ND(<0.0001)~<0.0003 (0.00002)	ND(<0.0001)~<0.0003 (0.00002)	ND(<0.0001)~<0.0003 (0.00002)	ND(<0.0001)~<0.0003 (0.00002)	<0.0003~0.0019 (0.00055)
砷(mg/L)	未監測	未監測	未監測	未監測	未監測	0.0012~0.0016 (0.0013)	<0.001~0.0013 (0.0012)	<0.0010~0.0011 (0.0010)	<0.0010~0.0011 (0.0006)	<0.0010~0.0011 (0.0006)	<0.0010~0.0011 (0.0010)	<0.0010~0.0011 (0.0006)	<0.0010~0.0011 (0.0006)	0.0008~0.0014 (0.0010)

4. 水溫(Water temperature)

本年度各海域測站於 2012 年 4 月枯水期採樣監測之水溫測值介於 25.7~26.2 °C，略低於第一年(2009 年)3 次與第二年(2010 年)2 次採樣監測總平均值 28.6°C；2012 年 9 月豐水期水溫受季節變動影響，介於 30.3~31.9 °C。本年度各測站之水溫溫差不大，多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°C(2010 年 9 月)，最低水溫則為 22.5°C(2011 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，外海海域水溫最低則可以達到 17.8°C(2010 年 1 月)。

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

本年度各海域測站於 2012 年 4 月枯水期採樣監測之懸浮固體物測值介於<2.5~7.0 mg/L；9 月豐水期略高，介於 4.6~10.1 mg/L，而 2011 年整體測站平均測值 7.0 mg/L，較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。2010 年 9 月採樣平均測值雖較 3 月調查結果略增，但與第一年(2009 年)3 次採樣監測結果相比仍為低。

整體透明度自 2009 年起至 2011 年隨之逐漸增高，以 2011 年 4 月與 10 月透明度達到最高 8.5m，而 2012 年起則又降低。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(2009/6：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)

本年度各海域測站於 2012 年 4 月枯水期採樣監測之溶氧量介於 6.04~7.08 mg/L，溶氧飽和度介於 91.7~105%，平均 97.6%，接近飽和；9 月豐水期溶氧量介於 6.05~7.07 mg/L，溶氧飽和度介於 91.8~105%，平均 97.6%。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。2010 年於 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 2010 年 9 月調查時，港區內 3 處測點(N5、N6、N7)之溶氧值則略低於乙類海域水質標準(≥ 5 mg/L)，且其表面海水之溶氧呈不飽和狀態，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，導致其溶氧變動較港外為劇烈。

7. 生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD₅)

本年度於 4 月採樣檢測結果，港內生化需氧量測值皆 <2.0 mg/L，港外亦相對略高但均可符合乙類海域水質標準(≤ 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 1996~1998 年有調查)生化需氧量測值相近且無異常；9 月豐水期則於臺中港內 N5 與 N6 出現鹽度略微降低，而生化需氧量則略微升高且不符乙類海域標準，顯示港域內仍可能有來自有機廢污水之污染，導致水體中有機物耗氧量增加，但尚未導致溶氧量降低至不符合海域水體標準的程度。而第一年(2009 年)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。於第二年(2010 年)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 4 月枯水期採樣調查結果顯示，因海域之大腸桿菌群並無乙類標準，若以海域最高標準(甲類)作為參考比較，在本年度 4 月枯水期除港區內介於梧棲大排與安良港大排間之 N5 測值相對最高；N6 測站次高(15 CFU/100 mL)、N7 測站為 10 CFU/100 mL，其餘港外之測站均<10 CFU/100 mL，且皆未超出甲類海水標準(≤ 1000 CFU/100 mL)；9 月豐水期全部均<10 CFU/100 mL。港內 N5 測站曾於 2010 年 3 月因受局部陸源污染輸入之影響，測值達 1.8×10^4 CFU/100 mL 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 1.9×10^3 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 5.5×10^2 CFU/100 mL(1997~1998 年度)，但與第 2009 年大腸桿菌群年平均值 5.9×10^6 CFU/100 mL 相比為低且有明顯下降之趨勢。

9. 總磷(Total Phosphorus, TP)

本年度於 4 月枯水期採樣調查在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之總磷測值介於<0.020(0.011)~0.026 mg/L；9 月豐水期介於<0.020(0.014)~0.026 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，在本年度港內外 5 測站之總磷測值均低於甲類上限值(≤ 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。2011 年港區內介於梧棲大排與安良港大排間之 N5 總磷測值曾偏高，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 2011 年 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 1998 年至 2010 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, NH₃-N)

本年度於 4 月枯水期在港區內外各海域測點之氨氮測值介於 ND(<0.02)~<0.06(0.04) mg/L；9 月豐水期同樣介於 ND(<0.02)~<0.06(0.04) 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調查結果均低於甲類上限值(≤0.3 mg/L)，與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 相比亦無異常，另與第一年(2009 年)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 月枯水期在港區內外各海域測點之葉綠素 a 測值介於 2.3~4.0 μg/L；9 月豐水期介於 1.4~16.2 μg/L，以港內 N6 測站最高。此與環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)歷次相比無異常，仍在其最大變動範圍內。本年度 4 月與 2011 年 4 月採樣監測結果以及第 2 年(2010 年)相同，皆以港區外之 N11(大肚溪外海)測點為最低。以 USEPA 葉綠素 a 為基準之營養分級顯示，本年度除於 9 月豐水期時，港內 N6 測站葉綠素 a 偏高已達優養；N5 亦達中養等級外，其餘測站多屬於貧養水體(葉綠素 a<4 μg/L)。

12. 重金屬銅(Copper, Cu)

本年度於 4 月重金屬銅於枯水期調查顯示均可符合海水標準(≤0.03)且無異常。4 月在港區內外各海域測點重金屬銅測值介於 <0.0030(0.0022)~0.0035 mg/L；9 月豐水期介於 <0.0030(0.0015)~0.0073 mg/L，而歷次皆可符合標準且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。

13. 重金屬鉛(Lead, Pb)

本年度均可符合海水標準(≤0.3 mg/L)，4 月枯水期在港區內外各海

域測點重金屬鉛測值介於 ND (<0.0020) \sim $<0.0060(0.0027)$ mg/L; 9 月豐水期介於 ND (<0.0020) \sim $<0.0060(0.0048)$ mg/L, 而歷次皆可符合標準且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。

14. 重金屬鋅(Zinc, Zn)

本年度均可符合海水標準(≤ 0.5 mg/L)。4 月在港區內外各海域測點重金屬鋅測值介於 $<0.0050(0.0034)$ \sim 0.0097 mg/L; 9 月豐水期介於 0.0060 \sim 0.0153 mg/L, 而歷次皆可符合標準且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。

15. 重金屬鉻(Chromium, Cr)

本年度採樣調查顯示總鉻(三價鉻+六價鉻)均可符合海水標準($\text{Cr}^{6+} \leq 0.05$ mg/L)。4 月在港區內外各海域測點重金屬鉻測值 ND <0.0004 mg/L; 9 月豐水期介於 ND(<0.0004) \sim $<0.0010(0.0006)$ mg/L, 而歷次皆可符合標準且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)

本年度採樣調查顯示均可符合海水標準(≤ 0.002 mg/L)。4 月枯水期在港區內外各海域測點汞測值介於 ND(<0.0001) \sim <0.0003 mg/L; 9 月豐水期介於 ND(<0.0001) \sim <0.0003 mg/L, 而歷次皆可符合標準且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)

本年度均可符合海水標準(≤ 0.05 mg/L)。4 月枯水期在港區內外各海域測點砷測值介於 <0.0010 \sim 0.0011 mg/L; 9 月豐水期測值均 <0.0010 mg/L, 而歷次皆可符合標準且與環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之測值(1997 \sim 1998 年)相近。

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 1997 年 7 月～2011 年長期監測結果，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 4-2)、溶氧量(圖 4-3)、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 4-4)，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 2009 年、2012 年及 2011 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，可能係受淡水影響，導致 pH 值出現偏低，但仍可符合國內海域水質標準。

2010 年於臺中市清水區之大甲溪出海口—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 2010 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 2010 年 8 月與本研究 2010 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。

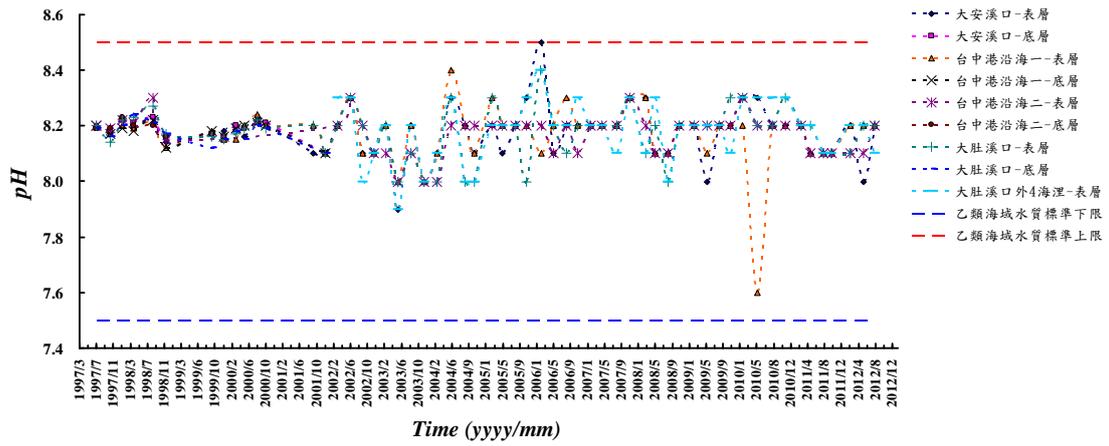


圖 4-2 臺中港鄰近沿海海域之歷年酸鹼度變化

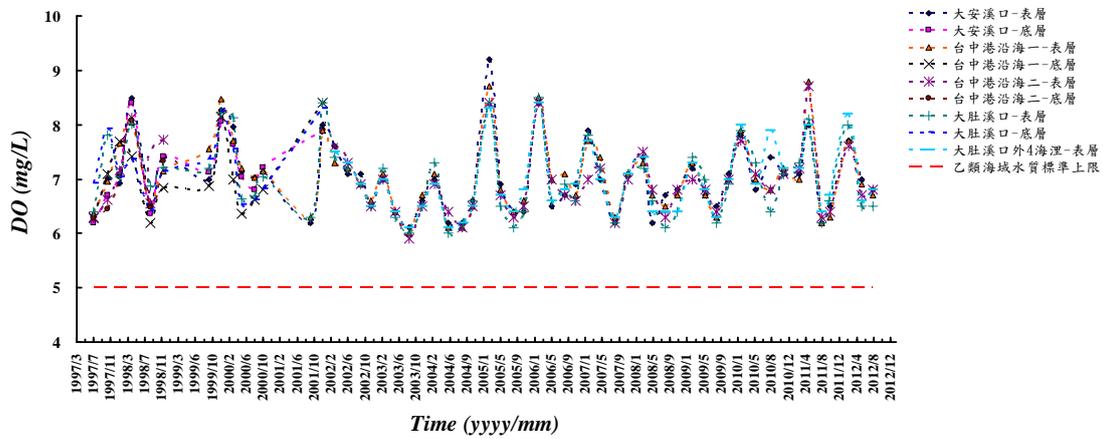


圖 4-3 臺中港鄰近沿海海域之歷年溶氧量變化

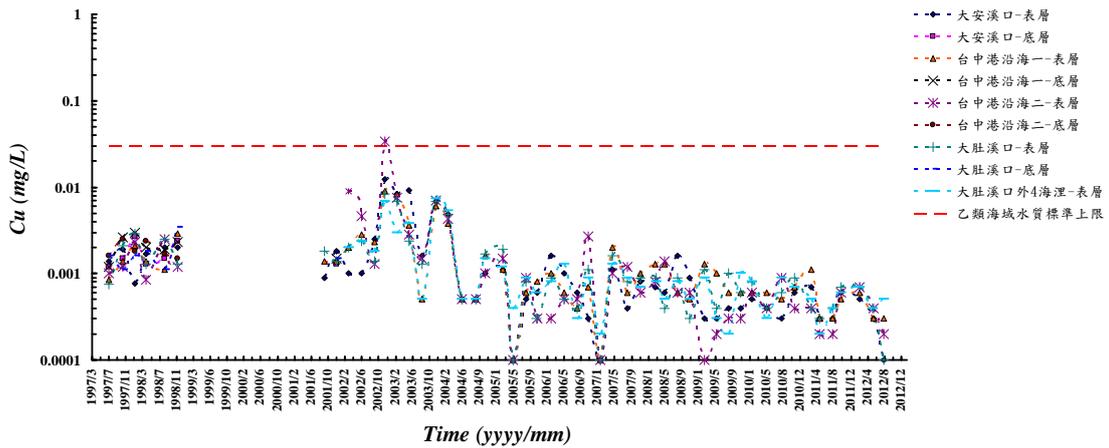


圖 4-4 臺中港鄰近沿海海域之歷年重金屬銅變化

4.4 海域底質調查方法

4.4.1 採樣方法

本研究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(底泥)。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(底泥)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。

4.4.2 採樣頻率

本年度(2012 年)於 4 月 10 日枯水期間已進行 1 次海域底質監測。

4.4.3 分析項目與檢測方法

1. 海域底質監測項目

包含沉積物(底泥)粒徑、總有機物以及重金屬銅、鉛、鋅、鉻、砷、汞與鋁，以及有機錫(2012 年新增項目)。

2. 海域底質檢測方法

除沉積物(底泥)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。

4.5 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 4-5，以下將針對各檢驗項目之分析結果作說明。

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(底泥)樣品進行粒徑分析，表 4-6 為粒徑分析結果，圖 4-5 為本年度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 4-5 臺中港鄰港海域底質 2012 年 4 月枯水期採樣調查結果

調查日期：2012年4月10日

項目	銅 mg/kg	鉛 mg/kg	鋅 mg/kg	鉻 mg/kg	汞 mg/kg	砷 mg/kg	有機質 %	鋁 mg/kg	有機錫 μg/kg	粒徑 (mm)			clay (%)	
										D50	Dm	sand (%)		
單位														
方法	NIEA R355.00C	NIEA R355.00C	NIEA R355.00C	NIEA R355.00C	NIEA M317.02C	NIEA S310.63C	NIEA R205.01C	NIEA S321.63B/ M104.01C	氣相層析 質譜儀法	ASTM D422 - 63	LISST			
測站														
N5	35.7	47.7	121	43.0	<0.050(0.044)	7.69	4.0	19500	0.523	0.011	0.032	9.13	81.8	9.10
N6	49.2	50.6	122	39.2	0.075	8.52	9.2	21700	ND	0.007	0.025	4.88	81.6	13.5
N7	55.2	46.5	128	44.7	0.065	7.45	3.1	21700	7.02	0.185	0.210	61.4	36.1	2.46
N10	27.8	45.8	109	41.1	0.056	9.62	4.1	19000	ND	0.006	0.019	3.35	79.1	17.6
N11	<10.0(7.55)	35.5	40.2	21.4	<0.050(0.034)	9.85	2.1	13300	ND	0.396	0.452	99.1	0.85	0.02
N1	<10.0(6.55)	<30.0(19.5)	56.2	19.7	<0.050(0.034)	5.38	1.9	6650	ND	0.180	0.212	93.6	6.35	0.02
MDL	1.93	11.3	3.01	4.85	0.018	0.161	-	8.3	0.33					
底泥下限值	50.0	48.0	140	76.0	0.23	11.0	無	無	無	中值粒徑(d ₅₀)介於0.006 mm ~ 0.396 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				
底泥上限值	175	161	384	233	0.87	33.0	無	無	無	級。其中仍以大肚溪外海測站 N11 之中值粒徑最高，港域內之測站 N6 則較低。				
土壤監測基準	220	1000	1000	175	10	30	無	無	無					
土壤管制標準	400	2000	2000	250	20	60	無	無	無					
TEL	18.7	30.24	124	52.3	0.13	7.24	無	無	無					
PEL	108	112	271	160	0.70	41.6	無	無	無					
ERL	34.0	46.7	150	81.0	0.15	8.2	無	無	無					
ERM	270	218	410	370	0.71	70.0	無	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.海域底質檢測結果參考底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法、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)

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)

ERL: Effect Range-Low(低影響範圍)

資料來源：The SQiRT 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 4-6 臺中港鄰港海域底質 2011 與 2012 年 4 月枯水期粒徑分析結果

Station	data	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	2011 4 月 4 日	0.005	0.013	0.036	0.044	0.066	0.080	0.105	0.130	0.156	0.081	15.7	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	6.86	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	6.38	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	33.9	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
N5	2012 4 月 10 日	0.002	0.003	0.004	0.005	0.011	0.015	0.027	0.044	0.069	0.032	7.00	9.13	81.8	9.10
N6		0.002	0.002	0.003	0.004	0.007	0.011	0.017	0.026	0.038	0.025	6.49	4.88	81.6	13.5
N7		0.006	0.010	0.017	0.025	0.185	0.225	0.294	0.364	0.447	0.210	39.4	61.4	36.1	2.46
N10		0.001	0.002	0.003	0.003	0.006	0.009	0.014	0.021	0.030	0.019	6.36	3.35	79.1	17.6
N11		0.238	0.270	0.315	0.338	0.396	0.423	0.489	0.555	0.614	0.452	1.78	99.1	0.85	0.02
N1		0.090	0.109	0.128	0.138	0.180	0.197	0.234	0.272	0.308	0.212	2.19	93.6	6.35	0.02

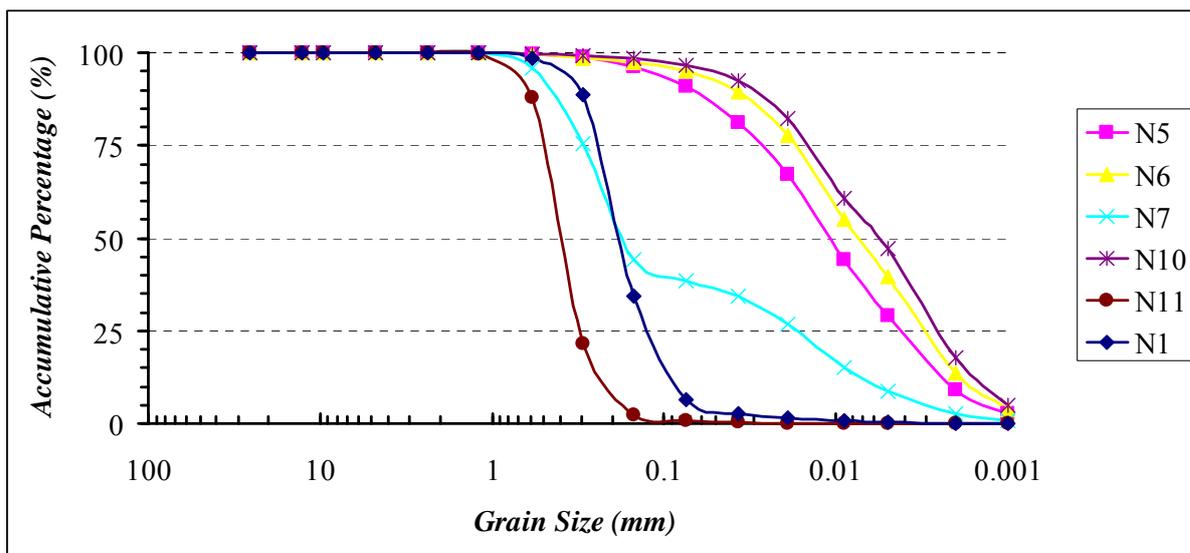


圖 4-5 臺中港鄰港海域底質 2012 年 4 月枯水期粒徑累積曲線分布圖

底質沉積物(底泥)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 4-7 所示。

表 4-7 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 4-6 中對照沉積物(底泥)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(d_{50})介於 0.006 mm ~ 0.396 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。其中仍以大肚溪外海測站 N11 之中值粒徑最高，港域內之測站 N6 則較低，此分佈趨勢與 2011 年 4 月結果相同，同樣以大肚溪外海測站 N11 之中值粒徑最高，臺中港域內之測站 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，2012 年 4 月枯水期，有機質介於 1.9~9.2%，平均 4.1%。整體以大肚溪口測站 N1 與大肚溪口外海測站 N11 相對較低，而港域內 N6 則最高。

與上一年度相比總有機物平均濃度有增高之趨勢，2011 年 4 月枯水期，有機質介於 1.62~2.64%，平均 2.25%。整體同樣以大肚溪外海測站 N11 相對較低，而港域內 N6 則最高(圖 4-6)。

3. 重金屬(銅、鉛、鋅、鉻)與砷、汞及鋁

2012 年 4 月枯水期調查結果，底質重金屬銅含量介於<10.0(6.55)~55.2 mg/kg，平均 30.3 mg/kg；鉛含量介於<30.0(19.5)~50.6 mg/kg，平均 40.9 mg/kg；鋅含量介於 40.2~128 mg/kg，平均 96.1 mg/kg；鉻含量介於 19.7~44.7 mg/kg，平均 34.8 mg/kg；砷含量介於 5.38~9.85 mg/kg，平均 8.08 mg/kg；汞含量介於<0.050(0.034)~0.075 mg/kg，平均 0.051 mg/kg。鋁含量則介於 6,650~21,700 mg/kg，平均 16,975 mg/kg。除砷含量於大甲溪外海(N10)與大肚溪外海(N11)相對最高外，其餘項目多以港內為較高。

與 2011 年相比(N1 於 2011 年未調查)總有機物平均濃度有增高之趨勢，2011 年 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(圖 4-7)；鉛含量介於<30.0(17.6)~37.0 mg/kg，平均 27.7 mg/kg(圖 4-8)；鋅含量介於 36.9~127 mg/kg，平均 88.4 mg/kg(圖 4-9)；鉻含量介於 10.7~33.6 mg/kg，平均 22.6 mg/kg(圖 4-10)；砷含量介於 8.59~15.4 mg/kg，平均 11.8 mg/kg(圖 4-11)；汞含量介於 ND(<0.020)~0.129 mg/kg，平均 0.076 mg/kg(圖 4-12)。鋁含量則介於 9,610~13,500 mg/kg，平均 11,902 mg/kg(圖 4-13)。除砷含量於大肚溪外海(N11)相對最高外，其餘項目多以港內為較高。

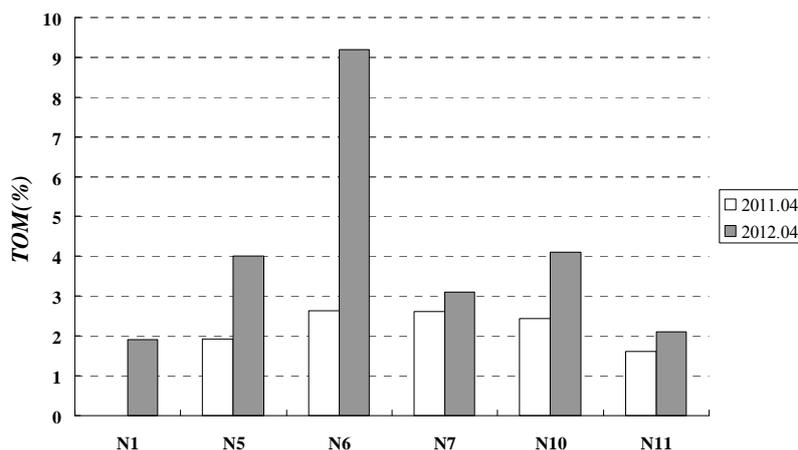


圖 4-6 2011 年與 2012 年海域底質調查總有機物變化比較圖

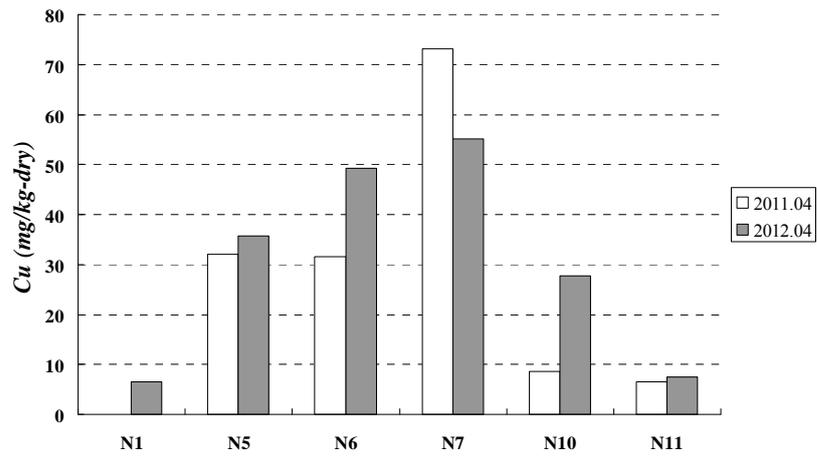


圖 4-7 2011 年與 2012 年海域底質調查銅變化比較圖

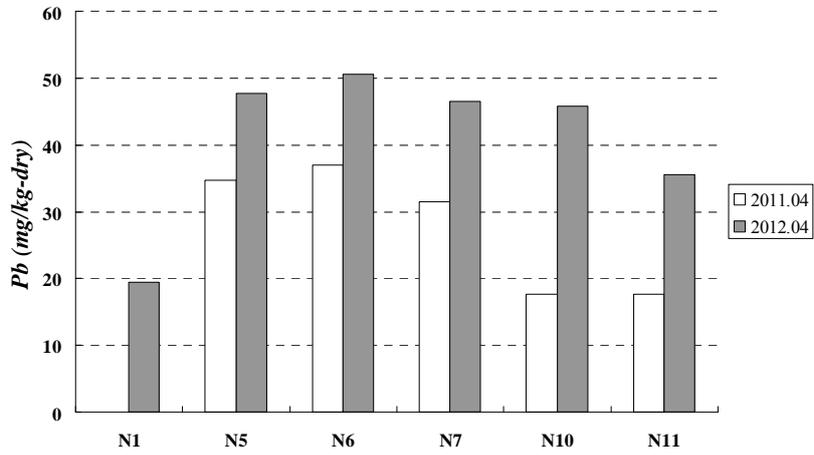


圖 4-8 2011 年與 2012 年海域底質調查鉛變化比較圖

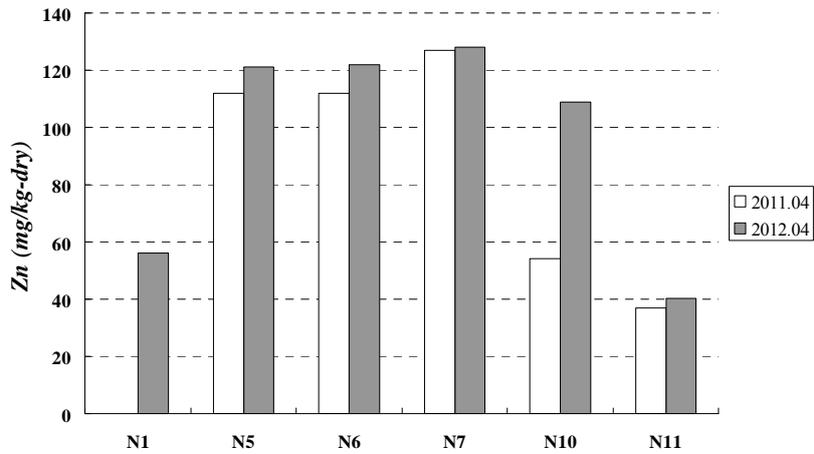


圖 4-9 2011 年與 2012 年海域底質調查鋅變化比較圖

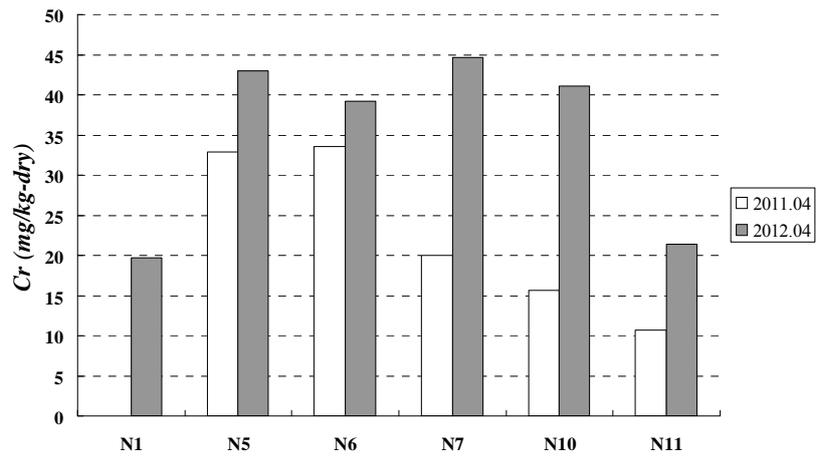


圖 4-10 2011 年與 2012 年海域底質調查鉻變化比較圖

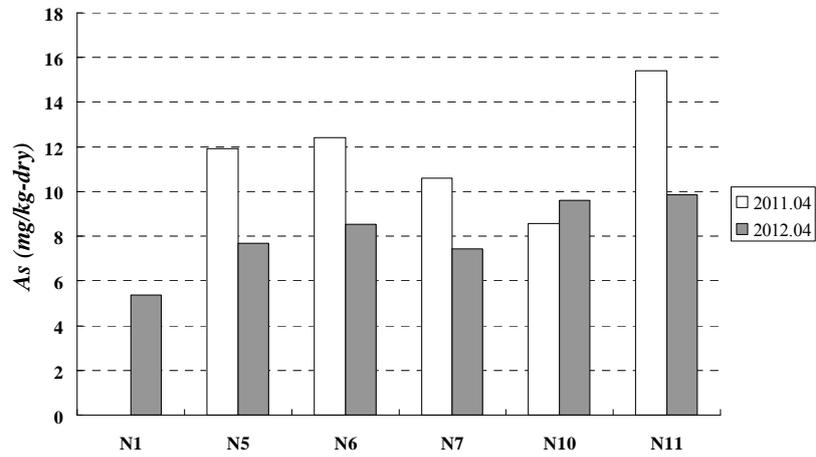


圖 4-11 2011 年與 2012 年海域底質調查砷變化比較圖

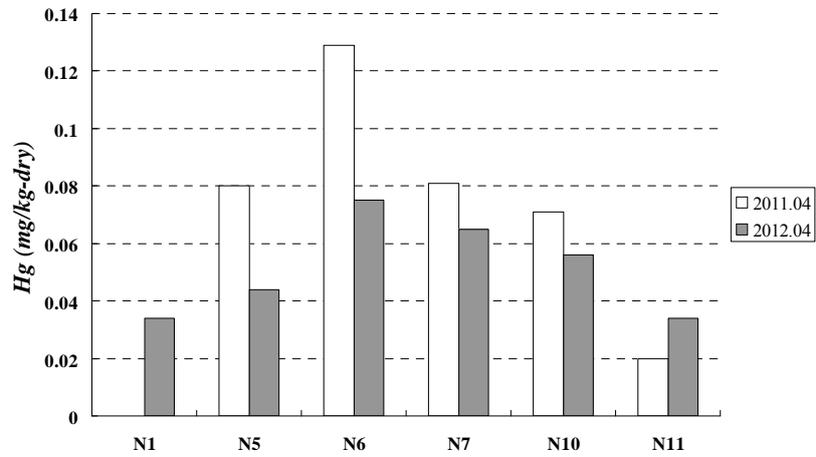


圖 4-12 2011 年與 2012 年海域底質調查汞變化比較圖

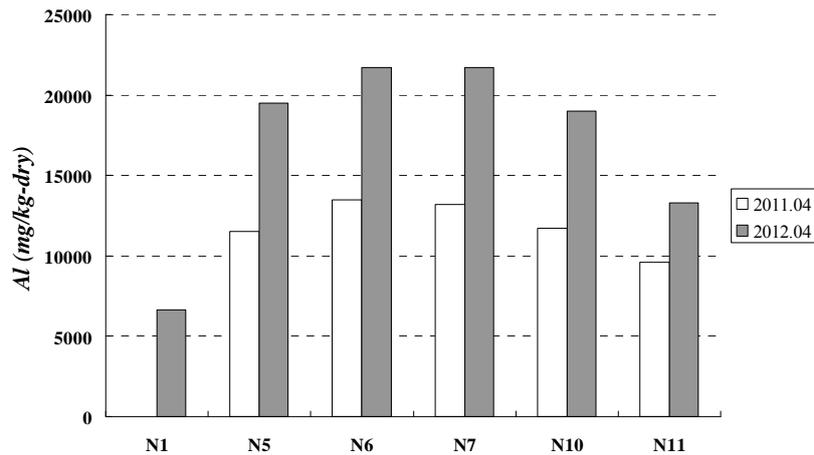


圖 4-13 2011 年與 2012 年海域底質調查鋁變化比較圖

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「底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法」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，2011 年與 2012 年 4 月枯水期間調查結果，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。

由 2012 年與 2011 年 4 月調查結果顯示，臺中海域表層沉積物(底泥)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、鉻與砷之所有測值未超出嚴重影響濃度，大部分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, SQuiRTs)，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 4-8。

**表 4-8 國外底質規範快速篩選參考表
(SQuiRT: Screening Quick Reference Tables)**

國家 單位	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)					
參數	TEL	ERL	PEL	ERM	ISQG	PEL
底質 重金屬						
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 SQiRT 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."

2012 年與 2011 年 4 月調查結果，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。

整體而言，4 月臺中港海域表層沉積物(底泥)重金屬調查結果，無論與國內或國外相關沉積物(底泥)重金屬參考資料相比，其表層沉積物

(底泥)重金屬濃度未達嚴重危害之程度。

4. 有機錫(氯化二丁基錫、氯化三丁基錫、氯化二苯基錫、氯化三苯基錫)

有機錫檢測結果顯示，臺中港區外之大甲溪外海(N10)、大肚溪外海(N11)與大肚溪河口(N1)測值低於偵測極限，均無異常。而臺中港區內於梧棲大排與安良港大排處(N5)，以及梧棲漁港港區(N7)底泥均測得有有機錫之存在，尤其是梧棲漁港港區(N7)底泥中有有機錫含量，被檢出為 $7.02 \mu\text{g/kg}$ ，其中所含之氯化三丁基錫，其三丁基錫(TBT: tributyltin)平均含量均未超過對二枚貝及端腳類之 10-d LC50(分別為 $2.6 \text{ mg/kg}=2,600 \mu\text{g/kg}$ 及 $2.1 \text{ mg/kg}=2,100 \mu\text{g/kg}$)。

2012 年 4 月 10 日	氯化二丁基錫 $\mu\text{g/kg}$	氯化三丁基錫 $\mu\text{g/kg}$	氯化二苯基錫 $\mu\text{g/kg}$	氯化三苯基錫 $\mu\text{g/kg}$	有機錫 $\mu\text{g/kg}$
N5	ND	0.523	ND	ND	0.523
N6	ND	ND	ND	ND	ND
N7	0.378	6.64	ND	ND	7.02
N10	ND	ND	ND	ND	ND
N11	ND	ND	ND	ND	ND
N1	ND	ND	ND	ND	ND
MDL	0.33	0.11	0.12	0.20	-

與 2004 年澎湖縣、金門縣及馬祖海域環境品質調查監測計畫中，臺灣外島海域沉積物(底泥)有機錫分析結果相比可知，澎湖海域沉積物(底泥)有機錫分佈介於 $\text{ND}\sim 5.5 \mu\text{g/kg}$ ；金門海域沉積物(底泥)有機錫介於 $9.6\sim 13.4 \mu\text{g/kg}$ 海域馬祖海域沉積物(底泥)有機錫介於 $\text{ND}\sim 7.4 \mu\text{g/kg}$ 。前述三海域之沉積物(底泥)有機錫，皆以三丁基錫為主，另澎湖海域亦測得二丁基錫。而本調查同樣發現，臺中港海域於梧棲漁港港區(N7)底泥中，亦發現有機錫蹤跡，且同樣以三丁基錫為主。

由張貴能於 2004 年「高雄港區有機錫分佈及其污染史」碩士論文之研究顯示，高雄港沉積物(底泥)中有有機錫之含量確實比其他大型港口(如巴塞隆納和大阪港)高出許多；而前鎮漁港有機錫之含量亦高於香港及德國之遊艇港，由當時採樣檢測分析可知，高雄港區沉積物(底泥)

中有機錫之污染算已相當嚴重，其工作船渠之 TBT 含量最高，平均含量達 25.3 mg/kg，此數據乃前鎮漁港的 4.5 倍及駁二碼頭的 5.3 倍。此外，在愛河河口與前鎮河口地區沉積物(底泥)中，三種丁基錫含量均不超過 1.2 mg/kg，因此在高雄港附近河口地區有機錫之污染並不嚴重。此與本調查結果相比，梧棲漁港區(N7)底泥中有機錫雖被檢出微量濃度，而港區外之大甲溪與大肚溪河口，則未發現有機錫之有嚴重污染之情形。梧棲漁港區底泥出現微量之有機錫，應與過去船舶防污漆之溶出有關。但目前已國際間與國內均宣導禁用，因此臺中港與梧棲漁港內底泥之有機錫含量，由本年度初步第一次調查結果研判，經有限之少量採樣結果，尚未發現有特別異常污染情勢，但後續仍可持續追蹤，針對港內如停泊整理修復之碼頭進行調查，以進一步確認其是否有受到有機錫污染或殘留之現象。

4.6 水質與底質重金屬間之相關性分析

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。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。

在2011年4月枯水期間，已完成1次海域水質與底質重金屬調查，採樣時間為2011年4月7日，本年度亦於4月10日進行1次水質與底質重金屬調查，以進一步瞭解臺中港環境底質之重金屬變化與分析其污染程度。

4.6.1 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(底泥)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(底泥)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(底泥)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(底泥)重金屬污染的方法很多，其中較常用者為利用富集因子來評論。富集因子是以指數的概念，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(底泥)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(底泥)重金屬背景校正之依據(Kemp and Wan, 1976)。富集因子之計算公式，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(底泥)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。

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)

臺中港與港外大甲溪外海、大肚溪外海及大肚溪河口於2011年與2012年底質重金屬檢測結果與其富集程度如表4-9及表4-10。

經2011年與2012年底質重金屬調查顯示，其臺中港(N5、N6、N7)與大甲溪外海(N10)與大肚溪外海(N11)之砷富集程度相對偏高，介於嚴重~極端嚴重富集，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，且兩次調查以大肚溪外海(N11)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(D_m)及中值粒徑(D_{50})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(底泥)多以粉砂(silt)為主。此外2012年4月增加於大肚溪河口(N1)調查結果，底質粒徑同樣呈現砂(sand)含量高，且重金屬銅、鉛、鋅、鉻與汞亦相對偏低；有機質與鋁含量相對亦明顯最低之特性。顯示大肚溪口與外海底質沉積條件有利於粗顆粒之沉降，使得有機質含量較少，所能吸附之金屬能力亦相對較細顆粒沉積物為低。

表 4-9 2011 年 4 月臺中港底質重金屬富集程度(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		

註：N 表數據樣品數量，Max 表最大值，min 表最小值，avg 表平均值。

表4-9(續) 2012年4月臺中港底質重金屬富集程度(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	55.2	50.6	128	44.7	0.075	8.52	9.2	21,700
	min	35.7	46.5	121	39.2	0.044	7.45	3.1	19,500
	avg	46.7	48.3	124	42.3	0.061	7.9	5.4	20,967
	N5	35.7	47.7	121	43.0	0.044	7.69	4.0	19,500
	N6	49.2	50.6	122	39.2	0.075	8.52	9.2	21,700
	N7	55.2	46.5	128	44.7	0.065	7.45	3.1	21,700
港外	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Max	27.8	45.8	109	41.1	0.056	9.85	4.1	19,000
	min	6.55	19.5	40.2	19.7	0.034	5.38	1.9	6,650
	avg	14.0	33.6	68.5	27.4	0.041	8.3	2.7	12,983
	N10	27.8	45.8	109	41.1	0.056	9.62	4.1	19,000
	N11	7.55	35.5	40.2	21.4	0.034	9.85	2.1	13,300
N1	6.55	19.5	56.2	19.7	0.034	5.38	1.9	6,650	
EF	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷			
港內	N5	2.7	16.0	7.3	1.8	2.3	18.0		
	N6	3.4	15.3	6.6	1.5	3.5	17.9		
	N7	3.8	14.1	6.9	1.7	3.1	15.6		
港外	N10	2.2	15.8	6.7	1.8	3.0	23.1		
	N11	0.8	17.5	3.5	1.3	2.6	33.7		
N1	1.5	19.2	9.9	2.4	5.2	36.9			

註：N 表數據樣品數量，Max 表最大值，min 表最小值，avg 表平均值。

表4-10 2011年4月臺中港底質重金屬富集程度(地殼鉛濃度平均值)

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

表4-10(續) 2012年4月臺中港底質重金屬富集程度(地殼鉛濃度平均值)

富集程度	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷	
港內	N5	輕微	嚴重	中度至嚴重	輕微	輕微	嚴重
	N6	中度	嚴重	中度至嚴重	輕微	中度	嚴重
	N7	中度	嚴重	中度至嚴重	輕微	中度	嚴重
港外	N10	輕微	嚴重	中度至嚴重	輕微	中度	嚴重
	N11	無	嚴重	中度	輕微	輕微	非常嚴重
	N1	輕微	嚴重	中度至嚴重	輕微	中度至嚴重	非常嚴重

2. 地質累積指數(Index of Geoaccumulation, I_{geo})

另一種評估沉積物(底泥)重金屬污染方法為地質累積指數，地質累積指數乃德國科學家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，如表4-11所示。

表4-11 地質累積指數與污染程度分級

I_{geo} 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4-12 2011年4月臺中港底質重金屬地質累積指數與污染程度

I_{geo}	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)

表4-12(續) 2012年4月臺中港底質重金屬地質累積指數與污染程度

I_{geo}	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷
N5	-1.07	0.67	-0.16	-1.80	-3.77	-0.96
N6	-0.61	0.75	-0.15	-1.94	-3.00	-0.82
N7	-0.44	0.63	-0.08	-1.75	-3.21	-1.01
N10	-1.43	0.61	-0.31	-1.87	-3.42	-0.64
N11	-3.31	0.24	-1.75	-2.81	-4.14	-0.61
N1	-3.52	-0.62	-1.26	-2.93	-4.14	-1.48
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)	無至中度(1)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)
N11	無(0)	無至中度(1)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)
N1	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)	無(0)

2011年4月臺中港底質重金屬地質累積指數與污染程度，如表4-12所示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2011年與2012年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(底泥)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，如此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，而非以一般常用之全球地殼鋁平均值 8.20%(82,000 mg/kg)作為計算之參考背景值，則其富集程度如下表 4-13 與表 4-14 所示。

表4-13 臺中港底質重金屬富集程度(大甲溪外海鋁濃度)

	EF	4月	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷
港內	N5	2011	0.6	2.8	1.6	0.3	1.0	6.7
		2012	0.4	2.3	1.0	0.3	0.3	2.6
	N6	2011	0.5	2.6	1.4	0.3	1.4	6.0
		2012	0.5	2.2	0.9	0.2	0.5	2.6
	N7	2011	1.2	2.2	1.6	0.2	0.9	5.2
		2012	0.5	2.0	1.0	0.2	0.4	2.2
港外	N10	2011	0.2	1.4	0.8	0.2	0.9	4.8
		2012	0.3	2.3	1.0	0.3	0.4	3.3
	N11	2011	0.1	1.7	0.6	0.1	0.3	10.4
		2012	0.1	2.5	0.5	0.2	0.4	4.8
	N1	2012	0.2	2.7	1.4	0.3	0.7	5.3

表4-14 臺中港底質重金屬富集程度(大甲溪外海鉛濃度)

	富集程度	4月	銅	鉛	鋅	鉻	汞	砷
港內	N5	2011	無	輕微	輕微	無	輕微	中度至嚴重
		2012	無	輕微	輕微	無	無	輕微
	N6	2011	無	輕微	輕微	無	輕微	中度至嚴重
		2012	無	輕微	無	無	無	輕微
	N7	2011	輕微	輕微	輕微	無	無	中度至嚴重
		2012	無	輕微	無	無	無	輕微
港外	N10	2011	無	輕微	無	無	無	中度
		2012	無	輕微	無	無	無	中度
	N11	2011	無	輕微	無	無	無	嚴重
		2012	無	輕微	無	無	無	中度
	N1	2012	無	輕微	輕微	無	無	中度至嚴重

參考大甲溪外海(N10)底質鉛濃度再次計算後之結果，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，運用不同指標研究重金屬污染程度評估，需考慮不同研究區域環境背景差異性。2011年4月大肚溪口外4海浬處(N11)底質砷(15.4 mg/kg)相對偏高，已高於環保署所公告之「底泥品質指標」中的下限值(11.0 mg/kg)。推測應與臺灣本身地層地質特性有關，由臺灣地層沉積物(底泥)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)。世界上嚴重砷污染地區如孟加拉與印度西孟加拉邦(West Bengal)沉積物砷濃度可高達20~30 mg/kg (Nickson *et al.*, 2000)。本年度於4月調查同以大肚溪口外4海浬處(N11)底質砷，相對較其他5處高(9.85 mg/kg)，但已有降低趨勢，而大肚溪口(N1)底質砷含量則相對最低(5.28 mg/kg)，同時鉛含量僅有6,650 mg/kg，明顯比地殼平均低一個數量級，導致大肚溪口砷的相對富集程度為最高。整體而言，調查結果顯示其底質砷含量略高應與臺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。仍低於環保署所公告之「底泥品質指標」中的上限值(33.0 mg/kg)，以及低於國外如 NOAA

之可能造成底棲生物威脅之 ERM 門檻值。臺中港海域並無臺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現象，建議可進一步規劃調查，以瞭解其變動情形。

由臺中港務分公司歷次於臺中港底質調查結果比較可知，本研究於 2011 年與 2012 年調查相比，其港域底質有機物含量變動(圖 4-14)，整體略高於臺中港務分公司檢測結果。此外，本研究調查結果其重金屬銅(圖 4-15)與砷(圖 4-16)亦相對略高，顯示臺中港域內之底質變動幅度與分布不一，需要定期採樣調查方能掌握其長期變化趨勢。

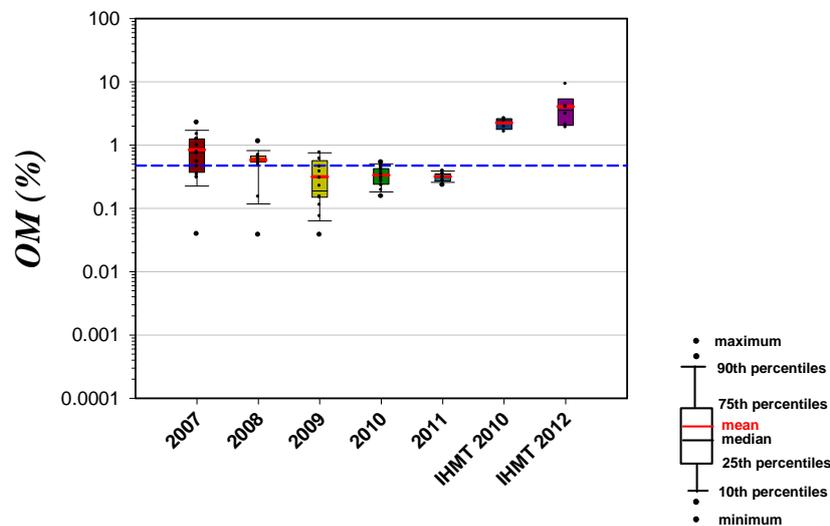


圖 4-14 臺中港底質歷次有機物調查結果

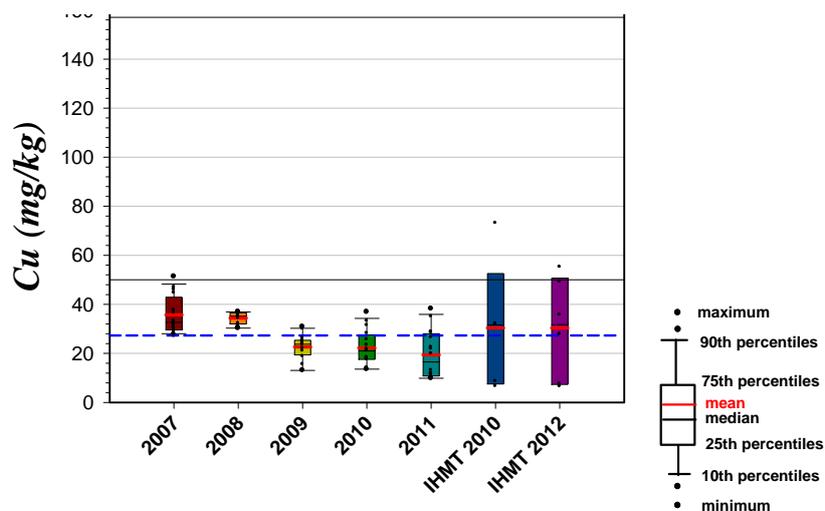


圖4-15 臺中港底質歷次重金屬銅查結果

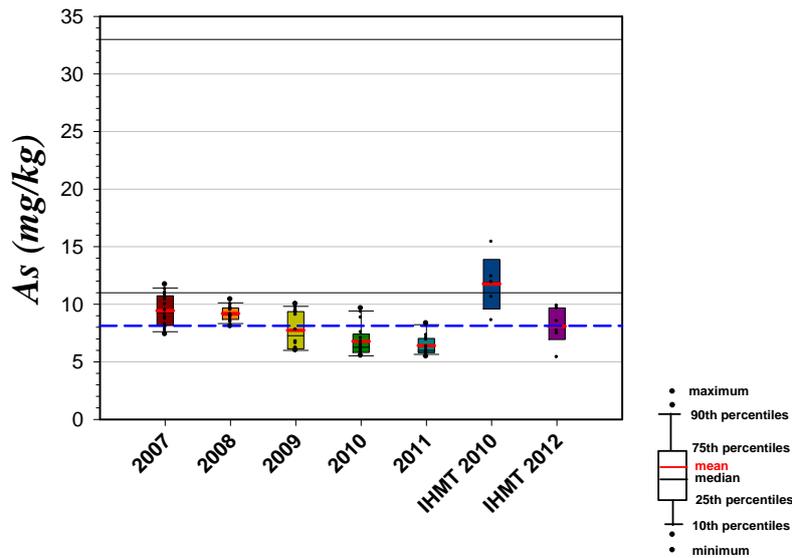


圖 4-16 臺中港底質歷次砷調查結果

4.6.2 海域水質與底質相關性分析

2011 年與 2012 年 4 月已進行各 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 4-15 與表 4-16 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 2011 年 4 月水質重金屬鋅、鉻與砷亦呈現高度負相關。

由臺中港務分公司「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。

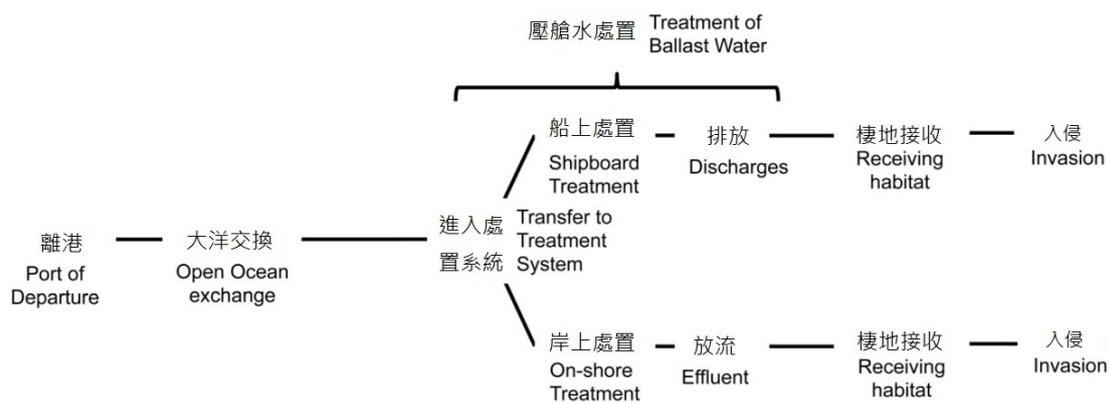
而水體與沉積物(底泥)同一重金屬方面，除水體中汞濃度與底質汞

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，同時與底質汞、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(底泥)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(底泥)中所能運載微量金屬之含量。

第五章 壓艙水處置設施規劃與管理制度研擬

國際海事組織於 2004 年 2 月 13 日通過了「船舶壓艙水和沉積物控管國際公約」(在本研究中簡稱為「壓艙水公約」)，公約除了正文外還有附則「控制和管理船舶壓艙水和底泥規則」，規定了來自船舶壓艙水和沉積物所攜帶之有害水生物和病原體轉移的相關事項。公約的生效門檻有二：簽署國需達 30 國，且總船噸位需達全球商船噸位之 35%，截至 2012 年 11 月 30 日，公約簽署國家已達到 36 個，總噸數達全球商船噸數之 29.07%，公約生效指日可待。我國雖非締約國，但為保護我國海域環境免於外來種入侵危害刻不容緩，因此本章將根據壓艙水公約之規範研擬適於臺中港之壓艙水處置方式。

為使壓艙水公約能切實可行，因此海洋環境保護委員會(MEPC)在 2005 年制訂了 14 套壓艙水管理技術規範(表 5-1)，其中壓艙水處置方式大致可分為船上處置與岸上處置。美國環保署對於壓艙水處置的研討相同思維進行討論，圖 5-1 顯示船舶壓艙水從離港後可能使用的壓艙水處置方式，若未於各步驟確實進行壓艙水管理將導致外來種入侵的結果。本章亦將逐節討論此兩種主要的壓艙水處置方式適用於臺中港的可能性。



資料來源：參 EPA(2011b)

圖 5-1 船舶壓艙水從離港後可能使用的壓艙水處置方式

表 5-1 國際壓艙水公約管理技術規範

編號	標題
G1	沉積物收受設施規範
G2	壓艙水採樣規範
G3	壓艙水管理等效符合規範
G4	壓艙水管理和壓艙水管理計畫制定規範
G5	壓艙水收受設施規範
G6	壓艙水交換規範
G7	「壓艙水公約」第 A-4 條規定內的風險評估規範
G8	壓艙水管理系統認證規範
G9	使用活性物質的壓艙水管理系統的認證流程
G10	原型壓艙水處理技術流程認證和監督規範
G11	壓艙水交換的設計和構造標準規範
G12	便於船舶沉積物控制的設計和構造規範
G13	壓艙水管理(包括緊急情況)的附加措施規範
G14	指定壓艙水交換區域規範

資料來源：Globallast partnerships。

5.1 國外相關案例調查

5.1.1 船用壓艙水管理系統認證標準與核可現況

「壓艙水管理系統」(Ballast Water Management Systems, BWMS) 這辭乃是在公約附則 D-3 條首次被提及，該條文係規定「壓艙水管理系統的認可要求」，在 G8 規範第 3.2 條定義壓艙水管理系統係指「能對壓艙水進行處理使其達到或超過公約規則 D-2 標準的系統。壓艙水管理系統包括壓艙水管理系統、所有相關的控制設備、監測設備和取樣裝置。」根據 G8 規範第 2.1 條，公約附則 D-3 條乃指「船用」壓艙水管理系統認可的要求，因此本節的討論即是對於船舶上所裝置的壓艙水管理系統進行討論。

為使壓艙水管理系統能夠達到 G8 規範第 3.2 條中所言「能對壓艙水進行處理使其達到或超過公約附則 D-2 標準的系統」，因此需有制

定認證標準的需求，以確保各國相關主管機關或其指定的機構，用以評估壓艙水管理系統是否滿足公約標準，並提供製造商和船東作為對設備將接受的評估流程和對壓艙水管理系統之要求的指南。

表 5-2 公約中船舶壓艙水管理的時程

建造年分	壓艙水容量 (立方公尺)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
<2009	1500~5000	D1 或 D2					D2			
<2009	<1500 or >5000	D1 或 D2						D2		
≥2009	<5000	D2 參考 A.1005(25)								
≥2009	≥5000	D1 或 D2						D2		
<2012										
≥2012	≥5000	N/A			D2					

資料來源：壓艙水水質管理座談會會議資料，2012。

公約附則 D-2 明確地規定壓艙水性能標準，意為經過壓艙水管理系統處置過之壓艙水中的生物量必須達到該標準，才能排放入海。D-2 標準列出如下(中國驗船中心譯文，2009)：

1. 壓艙水所含有的可存活生物，其尺寸在大於或等於 50 微米時，每立方公尺要少於 10 個，其尺寸小於 50 微米時，但大於或等於 10 微米時，每毫升要小於 10 個指標微生物。
2. 每 100 毫升要少於 1 個 CFU (colony forming unit 菌落形成單位)的有毒霍亂弧菌(*Vibrio cholera*)，或每公克要少於 1 個 CFU 的浮游生物樣品。
3. 每 100 毫升要少於 250 個 CFU 的大腸桿菌(*E. Coli*)。
4. 每 100 毫升要少於 100 個 CFU 的腸球菌(*Enterococci*)。

在公約制訂時，當時的船用壓艙水管理系統在技術上尚未能達到 D-2 標準的效能且船舶要裝置設備也將有一段過渡期，因此在「壓艙水公約」B-3 條中規定了船舶壓艙水管理的時程(表 5-2)，第一階段(D-1)

船舶規定要達到的壓艙水交換標準，然後在第二階段(D-2)才陸續對於不同壓艙水容積的船舶規定要達到壓艙水效能標準的年限。然而，壓艙水性能標準要能實施，必須有成熟的壓艙水處理技術相配合才可能實現。

為使壓艙水管理系統能有效達到公約規範，國際海事組織下的海洋環境保護委員會在其第五十三次大會(MEPC53)中便同意成立以研究和發展壓艙水管理系統的工作小組，並結合與航運界形成夥伴關係(GloBallast Partnerships)，作為全球性壓艙水管理系統在技術開發上的平臺，以協助壓艙水管理系統，包括 G8 規定之一般性的壓艙水管理系統與 G9 規定之使用活性物質的壓艙水管理系統都能達到公約的要求。

截至 2011 年 6 月為止共有 25 件認證通過，其中 24 件已上市。雖然公約中對於壓艙水的處置有多種方式，但近年來，由於船上裝置壓艙水管理系統的使用較不易受到外在條件的限制，因此成為許多航運公司傾向使用的方式，設備供應商近年來也大幅增長，從 2010 年至 2011 年便有 11 家供應商加入市場(Lloyd's Register, 2011)，提供航商更多的壓艙水管理系統的選擇性，也進一步推動了公約的實行。

5.1.2 岸上壓艙水處置設施之技術規範與應用現況

1. 岸上底泥及壓艙水收受設施之技術規範

為杜絕壓艙水所帶來之外來生物種入侵風險，「壓艙水公約」除了提出大洋交換和船上處置系統外，也提出港口國可提供岸上收受設施的建議及其規範。岸上收受設施有底泥收受設施及壓艙水收受設施，分別為公約之技術規範一「沉積物收受設施規範」(G1:Guidelines For Sediment Reception Facilities)與規範五「壓艙水收受設施規範」(G5:Guidelines For Ballast Water Reception Facilities)，這些規範並非限定港口國必須提供特定的岸上收受設施，其宗旨乃在鼓勵各國能提供這些設施和船舶之間的全球統一介面。

規範一「沉積物收受設施規範」(G1)為提供沉積物收受設施進行

指導。部分國家、地區或港口現有之船舶廢料處置的要求或規則，其中就可能已包括來自船舶壓艙水艙的沉積物，本規範並非要以任何方式取代原有任何有關船舶壓艙水沉積物的處置，而是確保所有船舶壓艙水底泥有適當處置。本規範之主要根據為「船舶壓艙水和沉積物控管國際公約」之第5條「沉積物收受設施」與附則第B-5條「船舶沉積物管理」，這同時也是規範中對收受設施的一般要求。關於「沉積物收受設施的提供」，規範中的考量相當廣泛，包含四大類別：(1)處理設備；(2)樣品監測；(3)操作流程；(4)健康安全。以上各項都需考量相關的區域、國家和地方法規。

規範五「壓艙水收受設施規範」(G5)則為岸上壓艙水收受設施提供指導。在「適用範圍」項目中明言這是不同於前述接收沉積物的設施，這是針對船舶壓艙水因其所含之有害水生物和病原體，可能對環境、人類健康、財產和資源構成危險的特性所建議之港口岸上設施。其目的是盡可能使所有希望在港內排放壓艙水的船舶使用該設備以降低危害風險。

規範五中關於「壓艙水收受設施的提供」與規範一之「沉積物收受設施的提供」在樣品監測、操作流程與安全健康上大致相同，惟處理設備上因壓艙水的處理係由管線直接引入岸上處理設備，因此要考量使用該設施的船舶類型和尺度、船舶構型、繫泊要求、壓艙水的裝卸等，船舶排放的壓艙水中所含懸浮物質，也應由壓艙水收受設施接收。在「收受設施的能力」項目中有提出收受設施提供的船對岸接頭，應與公認標準相符的要求。

規範一「沉積物收受設施規範」(G1)與規範五「壓艙水收受設施規範」(G5)除了對於處理設備的指導外，也均強調需考慮沉積物或壓艙水在處理、裝卸過程中對人體健康、環境安全所造成的可能危險，並建議港口國需對希望使用收受設施的船舶提供接收過程(設施和設備)的能力和容量限制的詳細資料。

2. 國際間岸上壓艙水處理設施的應用現況

(1) 美國

在早期美國環保署對於各種壓艙水處理方式的評估上，除了大洋交換外，岸上壓艙水收受設施被認為是最適宜的處置方式(EPA, 2001)。雖然大洋交換的估計成本在各種處理方式中是最低的，但其效能受到海象、地理與船舶安全等條件的限制，且無法完全去除壓艙水中的生物種。因此將既有的油輪壓艙水的收受設施擴大應用曾被熱烈地討論，認為在技術上只需考慮船舶與岸的管線連繫，較其他的壓艙水處理方式的成本都更低，因此被視為最可行的方式(EPA, 2001)。但最後因種種因素而尚未能廣泛的應用。

其中最著名的例子便是阿拉斯加的巴爾德斯海運站(Valdez Marine Terminal, Alaska)；由於造訪油輪通常是滿載著壓艙水，在此排出壓艙水後再裝載原油返回；壓艙水因裝載於油艙中而含有油污，為此設有專門處理油輪壓艙水，以預防壓艙水中的油進入威廉王子灣(Prince William Sound)的大型岸上收受設施，位於阿拉斯加管道系統終點南方，有兩個排水口將處理過的污水排入港區內(EPA, 2012)，總造價為 140 萬美元，占地 1000 英畝，每日處理壓艙水量可達 1600 萬加侖。經過測試研究，該設備對於防治壓艙水中的外來生物種也可發揮相當的程度。

但要將此技術擴大應用至所有港口使用，仍有技術和後勤支援上的挑戰，包括總處理量將大幅增加，以及需要在船舶與岸上廣泛地建構基礎設施，以將船舶上壓艙水直接引入岸上處理設施中；船上處理設備相對地具有較少的物理限制，因此若將從船上處理轉移到岸上收受設施，可能會使處理效能降低，再加上使用岸上設施所需擔付額外的成本問題(Pacific States Marine Fisheries Commission Portland, Oregon, 2005)，使得岸上處理設施流於技術

上可行，但能否廣泛應用仍備受爭議。因此，船上壓艙水管理系統被視為因應外來種入侵的最佳對策，海岸警衛隊(USCG)在 2009 年 8 月 28 日所提出的兩階段壓艙水排放標準，便是針對船上壓艙水管理系統的效能所制定，其第二階段水質標準甚至較國際海事組織所公布之 D-2 標準嚴格 1000 倍，由此可見決策者對於船上壓艙水管理系統寄予厚望。

然而，美國環境保護署(EPA)在對約 40,000 貨櫃船和 29,000 其他船種之壓艙水排放進行超過五年以上的研究後，在 2011 年的報告(Efficacy of Ballast Water Treatment System: A Report by the EPA Science Advisory Board)中指出船上壓艙水管理系統的技術發展未如預期，所有合格的船上壓艙水管理系統都僅能達到海岸警衛隊所公布之階段一的水質標準，而皆未能符合階段二的水質標準。為此，海岸警衛隊已於 2012 年 3 月 21 日重新公布最新的壓艙水排放標準，刪除現有技術無法達到的階段二標準，而以原階段一之排放標準，也就是國際海事組織所公布之 D-2 標準作為統一的排放標準，此案將於 2012 年 6 月 21 日生效實施，由於船上壓艙水管理系統未能預期之處理效能。

EPA 在此份報告書(EPA, 2011b)中將歷年來對於岸上壓艙水處理設施的各種研究加以整理並討論，多數對岸上設施的研究結論為「技術上可行，但成本或其他因素會限制岸上收受設施的使用」，並引用多項研究支持岸上處置設施，但也提出大多數現有的研究和估計使用過時的假設或數據，或研究僅特定地區。所以，其結論可能並不適用於美國目前的局勢，也無法解決國際航運問題，為此，EPA 的結論為「有必要藉由全面性的比較以重新評估岸上設施可行性」。

(2) 其他國家

歐洲各國對於壓艙水的處置主要為壓艙水交換與使用船用壓艙水管理系統(Matej, 2008)，對於岸上處置設施的討論較少，少數

港口如濱臨黑海的喬治亞(Georgia)巴統港(Batumi)和波緹港(Poti)有針對空油輪艙之壓艙水提供大型收受設施，但這是對於「含油壓艙水」之處置，對於清潔壓艙水中可能帶有之外來生物種並無清潔作用。

澳洲由於地理位置之便，對於攜載有非本國水域之壓艙水船舶以要求在大洋進行壓艙水交換為主，並不考慮提供岸上處置設施(DAFF, 2011)。

為了防止船舶造成的污染，早在 1973 年通過的國際船舶防污公約(MARPOL)，便已明列條文建議港口應提供岸上收受設施供進港船舶使用(Annex I regulation 38; Annex II regulation 18; Annex IV regulation 12; Annex V regulation 7; Annex VI regulation 17)，為了要促進 MARPOL 公約有效實施，自 1983 年以來國際海事組織(IMO)一直在收集和傳播有關岸上收受設施可用性的資訊，但推廣成效始終不彰。在 2006 年 3 月所舉行之第 54 屆會議針對 MARPOL 公約的執行情況提出檢討，強調港口裝置有足夠岸上收受設施的重要性，並指出要達到船舶「零污染」排放只有當有港口有足夠收受設施才能有效地強制執行。因此，委員會敦促所有 MARPOL 公約的締約方，特別是港口國要履行其條約義務，提供船舶的正常運行過程中產生的廢物的收受設施。委員會並同意制定一個港口收受設施資料庫(Port Reception Facilities Database, PRFD)作為一個 IMO 全球綜合航運資訊系統(GISIS)下的一個區塊。此資料庫於 2006 年 3 月向大眾公開，締約方可對涉嫌接收設施的不足的港口提出通報，以更有效的推動港口岸上接受設施的完備。

目前港口收受設施資料庫系統(PRFD)中所監督的岸上收受設施，主要針對的船舶污染項目以 MARPOL 公約的附錄內容為主，包括有含油污水、油性殘餘物(污泥)、油性的洗艙水(泔水)、骯髒的壓艙水、從油輪清洗的規模和污泥、油性混合物，含化學物質、化學/有毒液體物質、污水、垃圾、臭氧消耗物質與廢氣清洗殘留物等。壓艙水公約所規定之底泥與具外來生物種風險之壓艙水的

收受設施尚未包括在內。因此，就壓艙水公約要推動各國港口都能具備符合公約要求之岸上壓艙水收受設施而言，其未來的技術發展與各港收受設施的普及仍有相當長的一段路要走。

5.2 國內船隻壓艙水處理設備調查

5.2.1 問卷調查內容與結果

以電子、郵寄問卷方式向國內規模較大三家航運公司進行調查，以下用甲、乙、丙公司稱呼，問卷發放期間為 2012 年 5 月 4 日至 5 月 25 日，調查船舶數為營運中船舶數 199 艘，建造中船舶數 50 艘。

問卷問題分為三大項：(1)國內船隻壓艙水處理設備裝置率；(2)船舶進入我國各港壓艙水處理現況；(3)未來壓艙水管理的措施之適用性。以下將就各問題之調查結果進行討論。

1. 問卷結果與討論

(1) 問題一：船舶及壓艙水處理設備裝置率

問卷內容如下：

本問題分為營運中與建造中船舶兩部分，請就貴公司自 2004 年以來所建造的船舶中，已(預定)裝置有壓艙水處理設備或已預留壓艙水設備空間的船數回答之。若無，該項請以「0」註明。

問卷結果見圖 5-2，結果顯示，目前並無任何營運中船舶已裝設壓艙水處理設備，但有 22.11% 已預留了裝置壓艙水設備的空間，而建造中的船舶將裝置壓艙水處理設備高達 76%，並有 10% 建造中船隻已預留裝置壓艙水設備的空間。建造中船舶之壓艙水處理設備裝置率遠高於現有船之裝置率，影響因素可能為現有船之裝置成本與難易度較新造船為高，且公約生效日期尚未明朗，航商對現有船之裝置仍處於觀望態度。

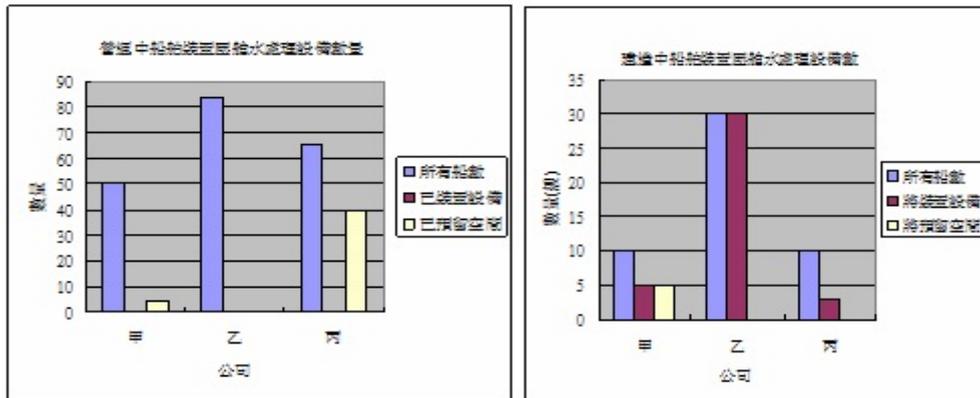


圖 5-2 船舶及壓艙水管理系統裝置率

(2) 問題二：船舶進入我國各港壓艙水處理現況

問卷內容如下：

本題為瞭解船舶目前於何處排放壓艙水，選項有五項，包括：大洋交換(離岸 50 海浬以上)、近岸交換(港區外離岸 50 海浬以下)、港內交換、使用船上壓艙水管理系統、未排放、其他。

表 5-3 船舶進入我國各港壓艙水處理現況

選 項	甲	乙	丙
1.大洋交換(離岸 50 海浬以上)	總是	經常	偶爾
2.近岸交換(港區外離岸 50 海浬以下)	不曾	偶爾	偶爾
3.港內交換	不曾	偶爾	總是
4.使用船上壓艙水處理設備	不曾	不曾	不曾
5.未排放	經常	經常	不曾
6.其他	(未填寫)	(未填寫)	(未填寫)

問卷結果如表 5-3 所示，由於國內營運中的船舶皆未裝置壓艙水管理系統，因此三家公司對於選項 4「使用船上壓艙水管理系統」都為不曾使用過，因此壓艙水交換乃是我國目前船舶主要處置壓艙水的方式。而交換地點最常是在大洋中，由於我國海域地形的限制，「大洋」定義採用「壓艙水公約」第 B-4 條第 2 項中距離最近陸地至少 50 海浬的建議，為「離岸 50 海浬以上」；其次壓

艙水交換發生於近岸，其定義為「港區外離岸 50 海浬以下」；而在港區內所有船舶很少排放壓艙水，甚至不曾排放壓艙水。

(3) 問題三：對於未來壓艙水管理的措施之適用性

問卷內容如下：

1. 岸上壓艙水處理設備：

(1) 若於港口裝置岸上壓艙水處理設備，在不耽延停港時間的前提下，貴公司之使用意願：極高度 高度 低度 極低度。

(2) 影響使用意願的原因，請以阿拉伯數字排序填寫最具影響力的因素。(1 為最具影響力，2 為其次，3,4...依序類推)

安全性 經濟效益 作業流程 船舶本身已配有壓艙水處理設備 其他：_____。

2. 壓艙水申報貴公司所有船舶目前是否已備有壓艙水紀錄(簿)? 是 否 各船隻決定 以上皆非，請說明：
_____。

問卷結果如圖 5-3 顯示問題 1 之(1)「使用岸上壓艙水管理系統之意願」，表 5-4 顯示問題 1 之(2)「影響使用意願的原因」結果，表 5-5 表示問題 2「已備有壓艙水紀錄簿」結果。

對於岸上壓艙水管理系統之使用意願，此題結果具有相當的一致性，三家航商意願都在「低度」以下，而影響使用意願的原因，結果顯示，航商最主要考量為「作業流程」、「船舶本身已配有壓艙水管理系統」，其次為「安全性」、「經濟效益」。

而壓艙水紀錄(簿)為公約第 B-2 條規定每艘船都應備有，用以將每次壓艙水管理的作業詳盡記錄下來，且每項作業完成後，應由駕駛員或有關作業的負責人簽字，且每記完一頁後由船長簽字，最後一項記錄後應至少在船上保留 2 年，此後再由公司保管至少 3 年。調查結果顯示所有航商皆已實施壓艙水記錄。

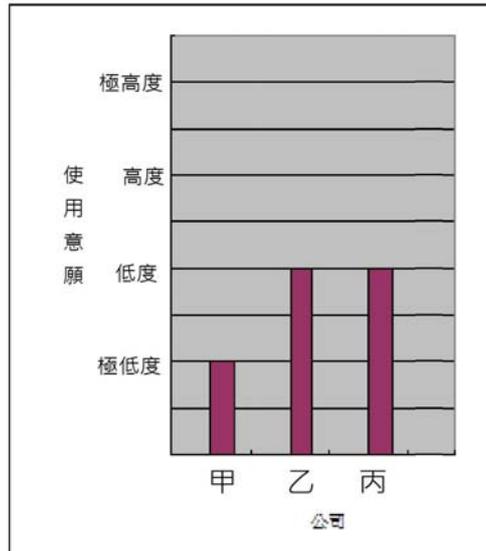


圖 5-3 岸上壓艙水管理系統使用意願

表 5-4 影響使用意願之原因

選 項	甲	乙	丙
安全性	4		2
經濟效益	3		3
作業流程	2	1	4
船舶本身已配有壓艙水處理設備	1		1
其他			

表 5-5 已備有壓艙水紀錄(簿)

選 項	甲	乙	丙
是	V	V	V
否			
各船隻決定			
以上皆非			

2. 小結

綜合以上結果與討論，發現在公約中所建議壓艙水的處置方式中，航運公司對於使用岸上處置設備的意願較低，主要考量因素是對使用該設備可能會對作業流程造成影響，而使用船上壓艙水管理系統

處置正具備了彌補這樣缺點的方便性，因而成為航運公司較傾向採用的方式。在新造船中合計已裝置壓艙水管理系統的船舶與已預留空間的船舶高達總新造船數的 86%可作為輔證，然而營運中的船舶之壓艙水管理系統的裝置率卻為零，已預留空間者也僅有 22.11%，顯示航商願意配合國際規範，但因實務面上許多的不確定性，造成現有船何時安裝設備、選擇何套設備的觀望態度。可能原因是有公約生效日期的未知性，並且將壓艙水管理系統安裝於現有船需要修改管線配置、挪出空間，因此其裝置費往往大於安裝於新造船的費用，以及在沒有前例可循的情況下選擇適用的壓艙水管理系統亦是難題，如果裝置了無法長期適用的設備，對於航運公司將是一筆額外開銷。因此問卷結果反應出航運公司對於在甚麼時間點為現有船裝置壓艙水管理系統目前都仍在觀望的情形。

5.2.2 個案分析-中油華運輸壓艙水處理系統

華運輸為臺灣中油公司環島油輪，主要任務是由高雄港運載「電廠用燃油」北上臺中港或基隆港，於 2011 年 4 月交船，係由臺灣國際造船公司自行設計，船級為中國驗船中心(CR)與法國船級社(BV)，並註冊為中華民國國輪。船體全長為 182 公尺，船寬 32.2 公尺，型深 17.3 公尺，滿載吃水 11 公尺，載重量 40,522 公噸，國際船舶總噸位(Gross Tonnage)為 28,410 公噸，液貨艙總容積 46,518 立方公尺；該輪營運航速 14.6 節，續航力約 12,000 海浬。除了低油省碳、雙層船殼、無錫底漆等環保設計，更是國內首艘具有壓艙水處理系統的新船。

本節將以華運輸壓艙水處理系統為對象進行個案分析，藉由實地參觀華運輸壓艙水處理設備運作情形以及訪問船長與輪機長實務操作上的經歷，進而討論國內船隻未來在安裝壓艙水處理系統上將面臨的情況。參訪時間為 2012 年 6 月 5 日，地點位於高雄港正在卸貨中之華運輸上。

1. 設備原理

華運輸的壓艙水處理設備為臭氧壓艙水處理系統，基本原理是運用高壓電場所提供的能量，使一個氧分子與一個氧原子結合成為一個臭氧分子($O+O_2=O_3$)，再把臭氧以大約每升 2.5 毫克的量打入壓艙水以殺菌，大部分的細菌或病毒會直接因臭氧被殺死，接著再加入中和劑以還原壓艙水的臭氧，中和劑和水中的臭氧反應會產生次溴酸($HBrO$)亦可將殘餘的細菌殺死($Br_2(l)+H_2O\rightarrow HOBr_{(aq)}+HBr_{(aq)}$)。經過中和的壓艙水如還偵測到有臭氧，就會再次將中和劑打入壓艙水，確定壓艙水無害後，再排到海中。

整套處理設備是由四個系統整合而成，分別為：(1)進氣系統(Feed gas system)；(2)臭氧系統(Ozone system)；(3)中和系統(Neutralizer system)；(4)監測與控制系統(Monitoring and control system)。

(1) 進氣系統(Feed gas system)

如圖 5-4 所示，將乾淨和壓縮的空氣交替注入兩個裝滿陶瓷顆粒的分子篩槽(Molecular Sieve)，由於氮分子較氧分子大，氮會被吸附在槽內然後被排放掉，並由電磁閥控制轉換過程，最後將氧集中輸入氧儲罐，藉此在常溫下製氧。



圖 5-4 進氣系統

(2) 臭氧系統(Ozone system)

如圖 5-5 所示，在此使高濃度的氧通過高頻電場(high frequency electrical field)以產生臭氧，並將臭氧打入壓艙水中。但因臭氧具有刺激性，若吸入會引起中毒，加壓和加溫都會增加臭氧毒性，因此本系統還有冷卻水機組(water chiller)用以降低臭氧製造器的溫度，並有臭氧破壞器(ozone destructor)，將未使用的臭氧還原成氧氣以釋放回空氣中，在壓艙水閥打開前，這項裝置亦可用測試臭氧製造是否已達良好效率。當臭氧製造達到良好效率時，就可打開壓艙水閥，使壓艙水由主導管進入側流管線(side-stream)中，臭氧就藉由單點側流注射器注入管線中以發揮殺菌功能。

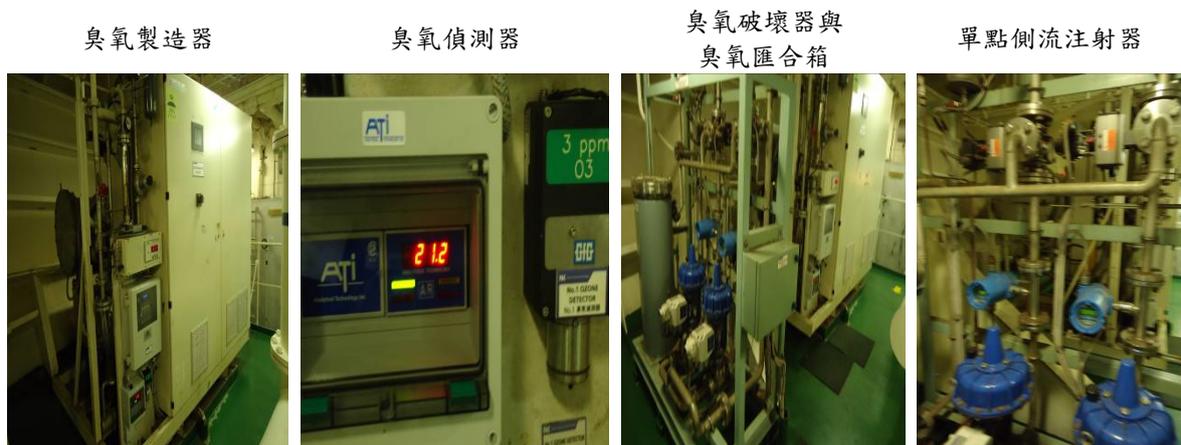


圖 5-5 臭氧系統

(3) 中和系統(Neutralizer system)

如圖 5-6 所示，本系統有兩處中和系統的偵測器，一在殺菌過的壓艙水進入壓艙之前(ballast tanks)，二在壓艙水排入海水前，測量器會偵測壓艙水中殘餘氧化劑(Total Residual Oxidant, TRO)的濃度，如果發現 TRO 濃度過高，計量泵(metering pump)就會自動將中和劑注入壓艙水管線中，並且 TRO 測量器會偵測注入中和劑後的 TRO 濃度，以確保處理過的壓艙水無害地排入海中。

TRO 偵測器



中合艙



圖 5-6 中合系統

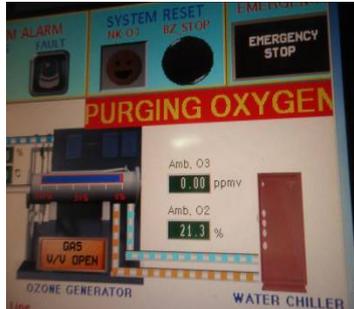
(4) 監測與控制系統(Monitoring and control system)

如圖 5-7 所示，包括各種感應器、安全警報、儀表、閥門、自動切換開關和中央控制軟體，將整套壓艙水處理系統與船上原有的壓艙水管理系統整合，在艙房、主控室、貨控室都有顯示面板，呈現整套系統的總體運作情形，以及偵測點位上的臭氧濃度，並且各種資料都可以電子資料型式保存，包括處理過程發生的經緯度位置、時間都有記錄。

機房中的監控面板主機
(目前顯示：系統圖)



機房中的監控面板主機
(目前顯示：氧氣濃度)



主控室中的監控面板



圖 5-7 監測與控制系統

2. 對國內船隻安裝壓艙水處理系統的討論與建議

華運輸因目前主要航程僅在臺灣周邊環繞，因此所攜載之壓艙水並無外來種問題，但為因應國際趨勢並預備未來航線擴展的可能性，在國內眾船隻中率先安裝壓艙水處理設備，走在國際公約的前端，其安裝與操作經驗可供國內航商在壓艙水處理設備的安裝上的參考。

(1) 設備安裝難易度

因整套處理設備包含多項系統模組，且需要配合壓艙管線位置，因此在安裝上最大的需求是空間和線路配置問題。由於華運輪為新造船，在設計時便已預留設備空間，且線路配置(包括壓艙水管道與自動化系統線路)都已事先規劃，因此在設備安裝上並不困難。但對於現有船，若要裝置壓艙水處理設備，不僅需要在擁擠的機房中再擠出空間來，且線路的調整也相對於新造船複雜許多；因此成本上現有船的安裝成本會甚至大於設備成本。

(2) 設備效能與維修

本案所調查的壓艙水處理系統於 2009 年 7 月取得 IMO 根據公約規範九(G9)的最終認證。並於 2011 年 11 月安裝後在陸上完成所有機組的性能測試，但因陸域實驗室條件與實際海域條件的差異而在安裝後進行設備改良。因此，如何鑑別一套實驗室中模擬實況所認證的設備實際在海域環境操作時是否能發揮最大效能，以及設備耗材、維修的花費，需要一段長時間才能評估出一套設備的安裝價值。

(3) 操作便利性

對於船員而言，現有的船務已繁重，因此設備在操作上是否方便也是一項重要的考量。目前各種設備都已使用自動化管理，以華運輪所裝置的壓艙水處理設備為例，操作人員只需在抵港前啟動系統，讓系統開始製造臭氧，等到船舶靠岸裝卸裝卸貨、壓艙水幫浦運作同時，因壓艙水處理設備與船舶原有的壓艙水管理系統已結合，因此設備會自動將預備好的臭氧注入壓艙水中，並自動偵測臭氧濃度，調整各步驟之進行。並且在機房、主控室、貨控室都有監測面板，面板上除了顯示整套系統的架構與運作現況外都有清楚的圖示。為避免臭氧造成危害，在安全上也配有多個偵測點位，並在監測面板上顯示有臭氧濃度，方便操作人員掌握設備運作情況。

(4) 成本估算

壓艙水設備所需的成本，除了基本的設備本身費用外、安裝費用外，還有運轉耗能費用、相關耗材費用、故障維修費用等。華運輸的船長與輪機長在受訪時表示市面上眾多的壓艙水處理設備可選擇，但目前只能以設備本身的費用作為購買時的參考依據，至於安裝後的運轉耗能費用、相關耗材費用、故障維修費用等需要數年的經驗累積計算才會知道一套設備實在的成本為何。

5.3 臺中港之岸上設施規劃

根據「海水污染管理規則」第 35 條，港區中由於船舶所造成的污染，包括有「油、有毒液體物質及其殘留物、污水、不潔壓艙水、洗艙水等」，而處置方式為「應留存船上或排入收受設備」，第 36 條對於收受裝備有進一步的說明：「商港及離岸終端站管理機關應於適當處所，處理收受船舶遺留之含油或含毒物質之殘留物及混合物之設備，其能量及容量應足供該港或離岸終端站船舶之需要。」基於上述條文並參考「海洋污染防治法」第 26 條及第 29 條，為避免商港區域遭受污染，於 2011 年新修正的商港法，增訂船舶之廢油水、廢棄物或其他污染物質，應留存船上或排洩於岸上收受設施規定。

但「壓艙水公約」中所指的壓艙水並非上述條文的「不潔壓艙水」（係指含油的壓艙水），關於在法律上的適用問題將於 5.4 節中進行討論，大型壓艙水收受設施的技術也有待進一步開發，本小節的討論以法律適用問題已獲解決為前提，針對港區收受設施的設置可行性進行討論。

要在現有的港區設施中設置岸上壓艙水收受設施有三種可能性：與現有污水處理設施合併使用；另尋場地建置專用設施；使用移動性裝置。以下將一一討論。

第一種可能是考慮將岸上壓艙水收受設施若能與現有污水處理設

施合併使用，主要是顧及港區土地有限，兩者都為水處理設備，若能在功能上結合，船舶在使用流程上也將較為流暢。上述所提及之阿拉斯加巴爾德斯海運站即是與將壓艙水處置與現有港區設施合併使用的例子，然臺中港區內目前未建有處理油輪壓艙水之大型岸上收受設施。一般為眾熟知的船舶廢(油)污水收受設施由於所能接受的處置量有限，且功能上主要是為清除油污，與壓艙水收受設施消除外來生物種的目的大為不同。若要合併使用，勢必要在這兩項功能上有所突破。

第二種可能是另尋場地建置專用設施。這是因考慮與現有設施合併使用在技術上無法克服，而需獨立建置壓艙水收受設施；為此需有適合的場地，以維持船舶靠港作業流暢為前提。圖 5-8 為臺中港港區配置圖，入港船舶由主航道進入臺中港而至各碼頭停靠，而圖中箭號標記處為臺中港現有的船塢，其長 155 公尺、寬 28 公尺、深 8 公尺，附屬設施有 6 噸絞盤機四台，地下抽水泵房二所得(各設 100KW 主泵二台，50HP 助輔泵三台及通風系統等)，100HP 空氣壓縮機一台，1,000KW 柴油引擎緊急發電機一台，塢邊電源箱十個(A/C 60Hz 440V 380V 220V 110V)，以及壓縮空氣、淡水及海水供應系統等。與其他碼頭用地與工業用地相較，是用以建置岸上壓艙水收受設施較適當的地點，不僅就船舶動線而言較為順暢，各種的配備也較齊全，並且亦可於船塢建置公約技術規範依規定之沉積物收受設施。因此，或許可考慮於在北迴船池東側近船塢處建置岸上壓艙水收受設施(圖 5-8 白色箭頭所指處)。但因可使用地仍有限，且靠近主航道，船舶往來較為頻繁，在此建置的岸上壓艙水收受設施因腹地有限；因此同一時間僅提供有限數量船舶使用，也可能造成船舶行程的耽延。

第三種可能是使用移動性裝置。移動式裝置是指在駁船上裝置有壓艙水處置設施，或稱船接式(ship-mounted)或駁船式設施(barge-mounted facilities)。這不但解決了港區土地有限的問題，且能滿足功能單一的需求。事實上，目前港區內的廢油污水往往是委託經環境保護主管機關許可之公、民營廢棄物清除處理機構為之，其作法亦可視為移動式裝置，藉使用拖船等工具以移除船上廢油污以另行處

表 5-6 船用與岸上壓艙水處理設施之比較

處置方式	優	缺	應用於我國
船用壓艙水管理系統	對航程影響最小。	1.目前仍缺少全球統一適用的檢驗流程與標準。 2.港口國核查不易。	航商使用意願高，但缺少可信設備資訊。
岸上收受設施	安全性高。最具公信力。	1.技術上有待突破。 2.岸上收受設施費用問題。 3.可能影響船舶行程。	1.航商使用意願低。 2.港區目前無大型船舶除污設施。

5.4 船舶壓艙水管理制度研擬

本節將探討船舶壓艙水在管理上的實施要點。架構上將以船舶抵港後港口國應有的管制作為主要思維，從壓艙水指定交換區的設置、抵港前船隻申報制度、到船舶抵港後港口國官員在壓艙水管理方面的執法能量與相關法制問題加以討論。圖 5-9 為船舶壓艙水管理流程示意圖，此圖也呈現本章各研究項目間的關聯。

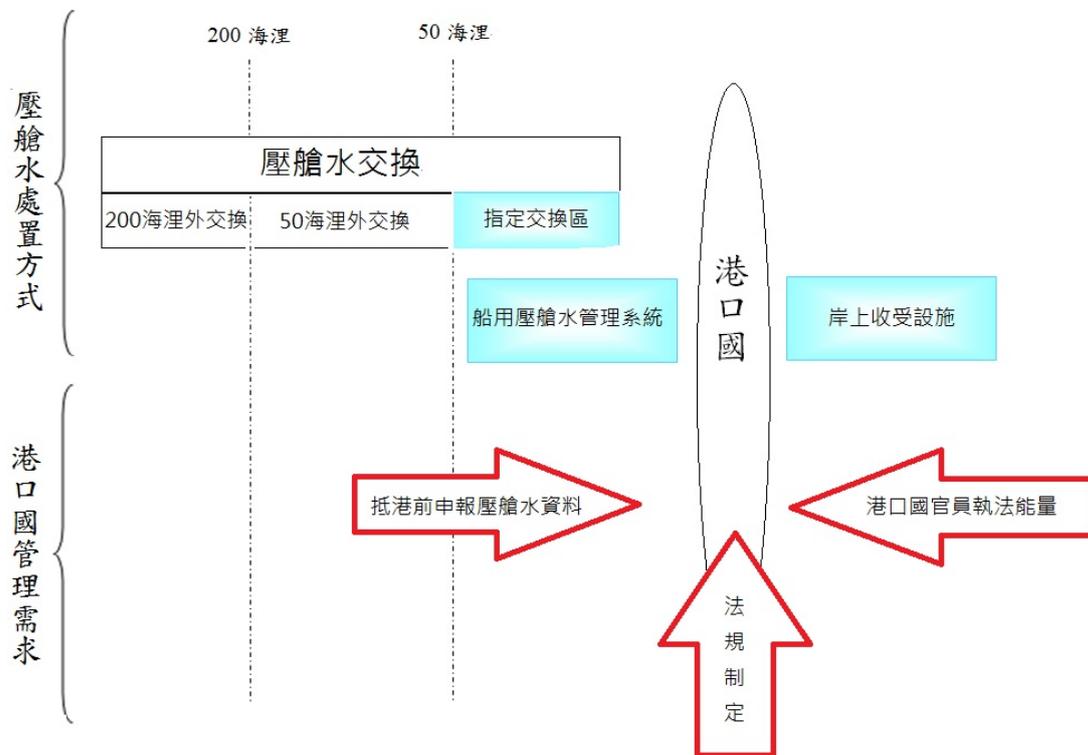


圖 5-9 船舶壓艙水管理流程示意圖

5.4.1 指定壓艙水交換區規劃

在「壓艙水公約」第 B-3 條中規定了船舶壓艙水管理的兩個時程(表 5-2)，其中 D-1 標準為壓艙水交換標準，建議船舶可在大洋中完成壓艙水交換，但壓艙水交換因受海象、天氣、船舶條件的限制，無法根除壓艙水所帶來的外來種入侵風險，因此較嚴格的 D-2 標準須藉由使用壓艙水管理系統才可達到，但在所有船舶皆裝置有符合標準的船上處理設備之前，實施強制性的大洋壓艙水交換成為過渡時期必然的手段。

壓艙水交換區的位置在公約第 B-4 條第 1 項中建議最好在距離最近陸地至少 200 海浬和水深至少 200 公尺以上的位置，如因海域、船舶條件無法達成上述建議，至少應在距離最近海岸 50 浬及水深至少 200 公尺以上之處完成交換，若無法實現上述條件，則可由港口國指定特定海域允許船舶在該處進行壓艙水交換(Alternate Ballast Water Exchange Zone, ABWEZ)。

一般而言，當海流、離岸流越強大、海底深度越深的條件下，該區域可以成為十分良好的交換區，因為水流可以將壓艙水中的生物體帶離岸邊，足夠深的地形也不適合沿岸生物的生長，同時也要避免在偏離既定航線上建立交換區，以方便來往船舶在其中進行壓艙水交換。本節將先對已劃設有壓艙水交換區的國家進行案例分析，然後將討論我國未來若要劃設壓艙水交換區，如使用環保署已劃設之海洋棄置區是否可行。

1. 國外案例分析-加拿大的壓艙水交換區

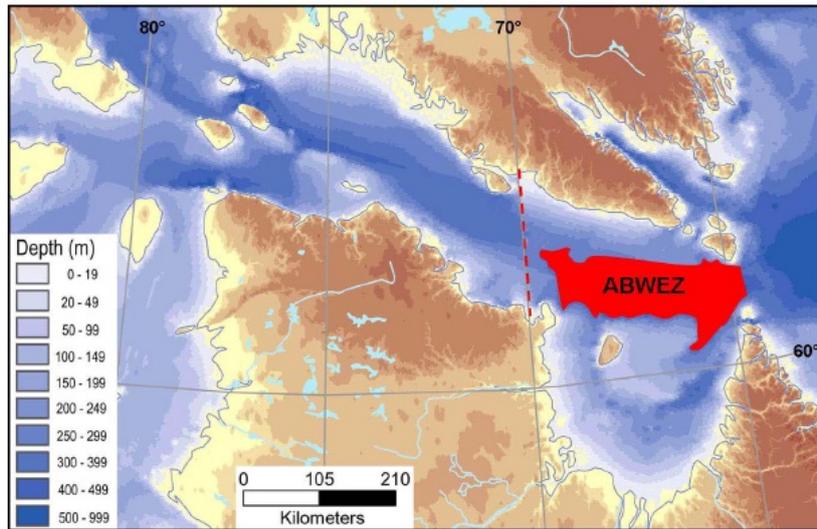
加拿大早在壓艙水公約通過前於 2003 年便與美國共同研擬斯高特大陸棚和緬因灣(Scotian Shelf and Gulf Maine)的壓艙水交換區劃設，該區位於兩國交界處、航線繁忙，各國船舶也經常在此區域交換壓艙水，使得外來物種的入侵風險增高，因此經過評估後便劃設了一個交換區。然而海洋中各種錯綜複雜的運動會隨著時間變化，因此有必要定期對於指定交換區重新評估，以確實知道該區域的條件是否仍適於壓

艙水在該處交換。以哈得遜海峽(Hudson Strait)的交換區為例，自 2006 年起，根據加拿大船舶法案(Canada Shipping Act)下的壓艙水控制與管理規則，對於無法完成大洋交換的船舶，可在哈得遜海峽(Hudson Strait)以東，西經 70°，水深至少 300 米處進行交換(圖 5-10)。到了 2009 年便對該區進行重新評估，評估項目包括海洋物理和化學、船舶航線、風險評估等三大項，各項目細節如表 5-7 所示(Canadian Science Advisory Secretariat, 2009)：

表 5-7 哈得遜海峽(Hudson Strait)指定壓艙水交換區評估項目

1.海洋物理和化學
(1)水深
(2)海岸線和海底
(3)潮汐
(4)循環和水團特徵
(5)海冰
2.船舶航線
(1)進出口
(2)海運
(3)未來展望
3.風險評估
(1)哈得遜海峽和哈德遜灣複雜的生態風險
a.植物
b.無脊椎動物
c.魚類
d.海洋哺乳類
e.鳥類
(2)生態敏感區
(3)考慮在哈得遜海峽壓艙水交換的替代區
(4)不確定性

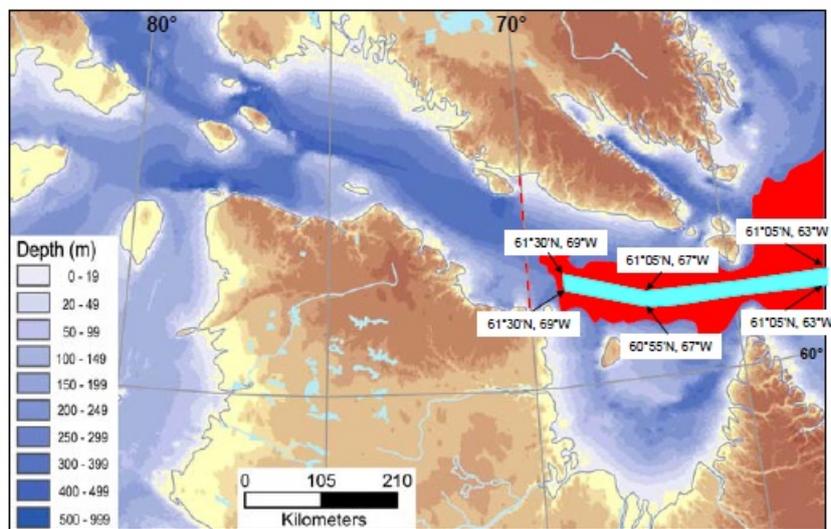
資料來源：Canadian Science Advisory Secretariat , 2009。



資料來源：Canadian Science Advisory Secretariat，2009

圖 5-10 2006 年所公布的指定壓艙水交換區

評估後建議將原有的指定交換區向東延伸，並將區域寬度縮小，以減少近岸地區受到外來物種污染的風險。最後於 2010 年正式公告 (Fisheries and Oceans Canada, 2010) 調整後的指定壓艙水交換區(圖 5-11)：



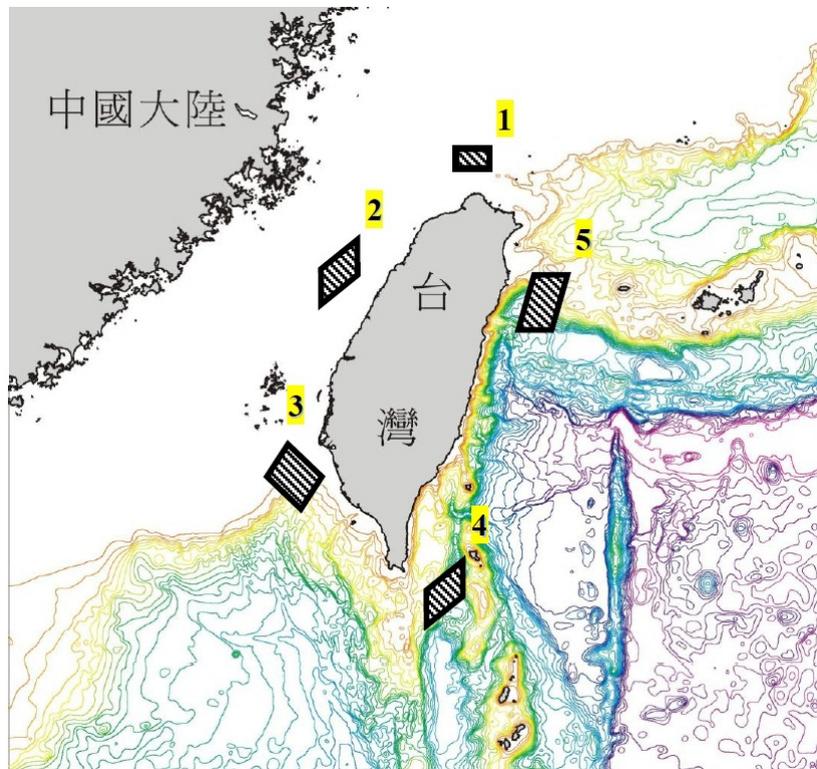
■ 超過300米深 ■ 指定壓艙水交換區位於胡德森海峽 (Hudson Strait) 內223公里處，長度約有320公里

資料來源：Fisheries and Oceans Canada，2010。

圖 5-11 2010 年經過評估後所公布的指定壓艙水交換區

2. 海洋棄置區的可用性

臺灣海峽為大陸棚地形，平均水深約 60 公尺，寬度約 200 公尺，因地理條件的限制，不易找到符合「壓艙水公約」中所建議的交換的位置，因此有需要規劃出適合的交換區域。行政院環保署根據「海洋污染防治法」第 21 條第 2 項公告了「海洋棄置指定海域」(環署水字第 0930031364B)(圖 5-12)，提供海洋實驗之投棄或利用船舶、航空器、海洋設施或其他設施，運送物質至海上傾倒、排洩或處置，亦針對需要進行海拋的物質作出明確管理辦法、申請流程、收費標準、以及物質的區分。



資料來源：張齊心，2009

圖 5-12 環保署公告之海洋棄置指定海域示意圖

海洋棄置區的海域物理、化學、生物特性必須可將棄置物藉由快速稀釋、擴散作用，而將污染物的影響減至最低，並且必須考量不影響漁業作業區域與時間；這與壓艙水交換區所需要的海域特徵相當符合。對此造成影響的因素有許多，這也就是在選址上所需要考量的項

目，包括海域洋流、水深與地形特徵等。洋流強弱、方向，造成該海域在能量傳送上的強弱不同，能量強的海域較能量低的海域更能將外來的物質在短時間內稀釋、傳送(蘇，2004)。即使一海域具有能快速稀釋外來物質的特徵，還需要整體性地考量海域空間規劃，避開其他海洋利用區域：特別是重要漁場、自然生態資源保育區，卻要不偏離主要的航線。本節針對進入臺中港之船舶進行考量，因此將就西部海域之三處海洋棄置指定區域，即圖 5-12 中之區塊 1、區塊 2、區塊 3 之海洋、海域水質、底泥性質等三方面特性是否適於壓艙水交換進行討論，以下資料來源為經濟部水資源局國立成功大學水工試驗所研究試驗報告第 295 號(2003)。

(1) 海流特性

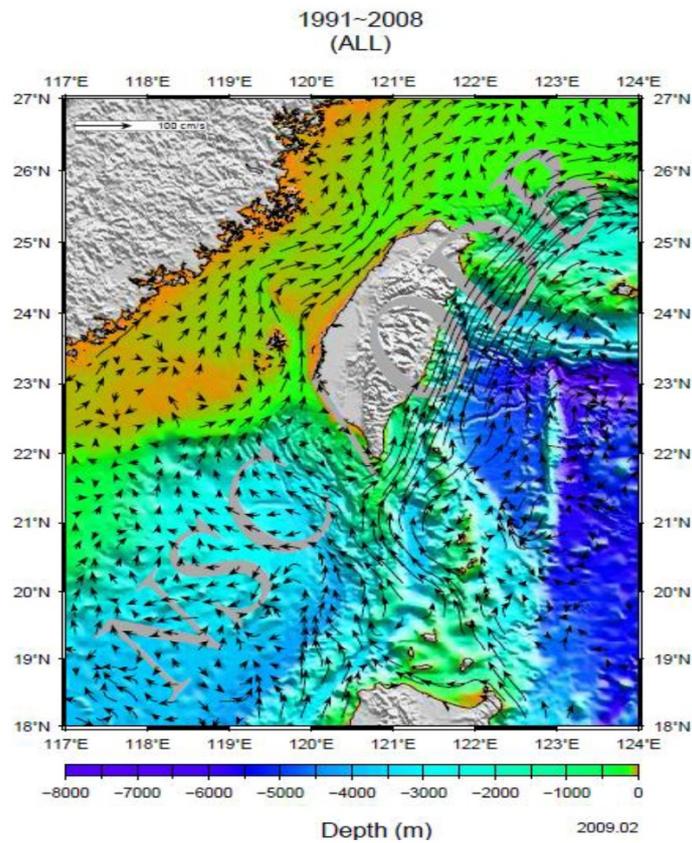
區塊 1 之潮汐型態為全日潮與半日潮之混合潮型，底層海流季節性的差異並不明顯，但在中層水深之海流，季節性之變化則相對較大，春季時其平均流向往東北，但秋季時則轉為西南向，至於其中層水深之海流季節性之變化也很明顯，呈現春季時往東北東，秋季時向南。區塊 2 在潮汐與潮流上同樣以半日潮為主，而底層海流在季節性的差異並不大，其平均流向在春季及冬季時均為東北向，判斷此海域存在一沿岸往東北之恆流。區塊 3 之潮汐型態為全日潮與半日潮之混合潮型，與區塊 1 型態相似，且底層流速在季節性的差異性並不大。

再參考自 1991 年至 2008 年之臺灣海域平均海流圖(圖 5-13)，發現區塊 1、區塊 2、區塊 3 都有北向海流通過，壓艙水如排放在區塊內將不易流至沿岸海域，海水的稀釋與流通性皆十分良好。3 號棄置因位於澎湖水道，海流快速且冬季有黑潮支流經過，更加速了水流的速度。

(2) 海域水質特性

區塊 1、區塊 2、區塊 3 中各項水質均能符合乙類海水標準，各項水質有乙類海水標準者，均能符合其標準。區塊 2 除大腸桿

菌群與總磷曾於第二季出現較高外，其餘並無異常，各測站間差異性不大。區塊 3，除總磷於第二季出現較高外，其餘並無異常，各測站間差異性不大。在水體分層方面，三個區塊都是以水溫之垂直變化較大，酸鹼度與水溫多隨測站水深之增加而降低，以下層水相對較低；鹽度與導電度多隨測站水深之增加而增加；溶氧多以上層水溶氧相對較高；濁度多以下層較高。在重金屬方面變化則較不明顯。



台灣周遭海域之海流圖（1991~2008 年）

資料來源：張齊心，2009

圖 5-13 臺灣海域自 1991 年至 2008 年之平均海流圖

(3) 底泥性質

區塊 1、區塊 2 所在的大陸棚約為 100 公尺，雖未達到公約所建議至少水深 200 公尺的要求，但其水流的特性可以彌補此缺點。區塊 3 因位於澎湖水道之內，又澎湖水道水深可達 200 公尺，其

水域的特性與沿岸水域差別時分大，故為一個十分良好的交換地點。由沉積物砂含量比例中可看出，區塊 1 之沉積物為砂，區塊 2 之沉積物主要是砂質泥，區塊 3 之沉積物主要是砂。三個區塊之化性分析都顯示其重金屬多在臺灣沿海變動範圍內，無異常偏高測值出現。

除了上述三方面海洋棄置區的特性都適於作為壓艙水交換區域外，在海洋棄置區劃設時，主管機關已避開主要漁場與生態保育區。以臺灣海域有限的空間而言，若要滿足上述條件且將海洋棄置區視為不可使用的海洋利用區，而另闢壓艙水交換區域實非易事。因此，將海洋棄置區作為壓艙水交換區，就其功能而論不失為可行的選項。

5.4.2 船隻申報制度

1. 美國船隻壓艙水申報制度

美國對於壓艙水管理在聯邦層級上主要有兩個機關，即海岸警衛隊(USCG)與環境保護署(EPA)，兩者的關係密切(The National Academies Press research council, 2011)。為瞭解美國船舶壓艙水申報制度，需要對壓艙水管理的歷史發展與目前最新的規定有所認識。

在美國自八〇年代初期開始因壓艙水排放造成的外來種的入侵事件，而於 1990 年頒布「外來有害水生物種防止和控制法」，為更有效管理外來種問題，於 1996 年頒布了「國家入侵物種法」，要求國土安全部下的美國海岸警衛建立國家自願壓艙水管理的指導方針，並為量化、研究分析由於壓艙水排放造成的外來種入侵問題，於隔年成立「國家壓艙水資訊中心」(National ballast information clearinghouse, NBIC)，負責壓艙水資料的彙整與研究分析。

為了落實強制性壓艙水管理措施，於 2004 年將相關條文公告於聯邦法規第 33 條(33 CFR 151 subparts C and D)。其內容為要求所有欲進入美國水域的船舶必須在進入專屬經濟區前完成壓艙水交換，且在抵

港前 24 小時完成壓艙水資料申報。若因特殊因素無法完成在專屬經濟海域外完成交換者，可在指定交換區完成壓艙水交換後才得進入目的港口。違反規定(33 CFR part 151)者，包括不確實執行壓艙水交換者與未確實申報者，最高可處 27500 美元罰款且可按日連續處罰，若蓄意違反本規則者，可判處 C 級刑事重罪。

美國海岸警衛隊於 2009 年 9 月公布稱為「壓艙水白皮書」的提案 (White Paper - Ballast Water Discharge Standard)(USCG, 2009)，內容包括壓艙水排放標準的建議及實施時程規劃，預計共分兩階段實施，第一階段排放標準是根據國際海事組織(IMO)之壓艙水管理公約之 D2 原則，第二階段排放標準則較國際海事組織(IMO)的標準嚴格 1000 倍。然而，由於事實上現有處理系統技術尚未能達到此一標準，因此於 2012 年 3 月 23 日海岸警衛隊公布修正過後的標準(USCG, 2012)，將 2009 年所提案的階段二標準廢除，而以階段一標準也就是 IMO 所公布標準作為基準要求，修正過的相關規定公告於聯邦法規第 33 條(33 CFR part 151)。

環保署則於 2009 年 12 月通過「船舶普通許可」(Vessel General Permit, VGP)，要求完全依照海岸警衛隊制定的壓艙水強制管理與更換標準，與海岸警衛隊密切合作共同管理船舶壓艙水問題。現行之船舶普通許可(VGP)將於 2013 年 12 月過期，環保署現已公布新的船舶普通許可草案(2013 draft VGP and Small Vessel General Permit)(EPA, 2011c)以接續之。新的辦法除了維持在 2008 年船舶普通許可中所規定的 26 種船舶排放外，並將壓艙水排放更明確的以量化規範。

表 5-8 為美國海岸警衛隊在 2004 年實施強制性壓艙水管制所公布之壓艙水申報表格，內容包括有六個部分，分別為：(1)船舶資料(2)航運資訊(3)壓艙水體積(4)壓艙水管理(5)壓艙水歷史紀錄(6)職稱及簽名。

表 5-8 美國壓艙水申報表格

壓艙水回報表格

這是一個修正過的表格嗎？ 是 否

3. 壓艙水使用與體積

1. 船舶資料

船名：	確認單位(m^2 , MT, LT, ST)	
IMO 編號：	船上總壓艙水：	
擁有人：	船上總壓艙水	
型態：	單位	總壓載艙數量
總噸位：	船上總壓艙水攜帶能力：	
無線電呼號：	單位	船上總壓艙數量
船旗國：		

2. 航運資訊

抵達港：		
抵達日期：		
代理商：		
前一港：	前一港國家：	
下一港：	下一港國家：	

4. 壓艙水管理

經過交換的壓載艙總數量：
 已經交換過的壓載艙，有多少： 經過交換： 經過替代方案管理：
 請確認所使用的替代方案，如果有使用的話：
 如果沒有壓艙水處理行為，請說明理由：
 船上有無壓艙水管理計畫：有 沒有 是否有履行管理計畫：有 沒有
 船上是否有 IMO 壓艙水處理指導方針？(res. A 868(20))？ 有 沒有

5. 壓艙水歷史紀錄：紀錄在抵達港口國時所有要交換壓艙水的壓載艙；如果沒有，跳至第六部分(如果需要可額外表格)

壓載艙/底層艙 分別列出多重來源/壓載艙	壓艙水來源				壓艙水管理實施				壓艙水排放					
	日期 日/月/西元年	港口或經 緯度	體積 (單位)	溫度 (°C)	日期 日/月/西元年	結束點 或經緯度	體積 (單位)	交換 百分比	方法(批次/ 連續/其他)	海平面高度 (m)	日期 日/月/西元年	港口或 經緯度	體積 (單位)	鹽度 (單位)
														SG
														SG
														SG
														SG
														SG
														SG

壓載艙代號：船首艙(Forepeak)=FP，船尾艙(Aftpeak)=AP，深艙(Double Bottom)=DB，翼艙(Wing)=WT，船艙(Topside)=TS，貨艙(Cargo Hold)=CH，其他(Other)=O

6. 負責人員姓名和職稱以及簽名：

2. 澳洲船隻壓艙水申報制度

澳洲於 2001 年便開始實施強制性的壓艙水管理，澳大利亞檢疫及檢查服務處(The Australian Quarantine and Inspection Service, AQIS)作為澳洲政府對於船舶壓艙水管理之主管機關，職責是確認所有想要在澳洲領海內排放壓艙水的外國船舶都已遵守澳洲壓艙水管理的相關規定；所有來自澳大利亞領海以外的港口的船舶所攜載的壓艙水，因可能將外來物種帶進澳大利亞而被視為「高風險壓艙水」，澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)絕對禁止高風險壓艙水被排放於澳洲的領海水域內。而在澳洲領海內和國內港口的壓艙水管理，則由港口所在位置的地方政府機關主管。

以維多利亞洲為例，維多利亞州政府環保署(Victorian State Government Environment Protection Authority, EPA)要求所有船舶需要繳交壓艙水申報表格以及註明船舶壓艙水來源的日誌，若沒有維多利亞州環保署的批准，即使是汲取自國內水域的壓艙水也不可在維多利亞州水域排放。然而，澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)仍保有對汲取自澳洲領海外之壓艙水的監管責任。因此，對每一個造訪澳洲的船隻，船東有責任在澳洲所有港口航行時滿足澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)的規定，並且要確定各洲政府是否有額外的壓艙水管理規定。

為使整個管理架構能發揮功效，壓艙水申報乃是關鍵的環節。所有從國際水域要進入澳洲海域的船舶都必須在進入澳洲水域前的 12-96 個小時內，向澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)提出「到達前檢疫報告」(Quarantine Pre- Arrival Report, QPAR)，見表 5-9 澳洲官方所公布之申報表格。不繳交「抵港前檢疫報告」(Quarantine Pre- Arrival Report, QPAR)的船舶，將無法取得檢疫通關以進入港口，且這將可能耽延船舶行程且船舶可能需要負擔額外的費用。

自 2010 年 7 月 1 日起澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)所執行之海港計劃(Seaports Program)為整合大於 25 米之國際線船舶所有抵港前活動而設立了「海上國家協調中心 (Maritime National Coordination

表 5-9 澳洲壓艙水申報表格

澳洲檢疫署壓艙水管理摘要

船名：	建造年分：	無線電呼號：	IMO/勞式編號：	第 頁/共 頁	日期：
-----	-------	--------	-----------	---------	-----

注意：

1)所有壓載艙都必須要有紀錄-包括空的壓載艙。

2)交換指導方針：

- 批次交換法：至少有 95%高風險水體必須再導入之前排放出去—抽空後的剩餘水量紀錄在表格。
- 連續交換法：最少要及取 300%的壓載艙總容積水量到每一個壓載艙。不相近的壓載艙不能同時沖洗，同時沖洗相近的壓載艙是可以被接受的。(例如：DB 的左舷及右舷)。
- 請在表格填入每一個壓載艙使用批次交換法或是連續沖洗法。(一個壓載艙一次只能使用一種方法)
- 進入澳洲水域零壓艙水：將剩餘水體積紀錄在表格 C。

紀錄交換壓艙水時的水深(公尺)：最小值：

最大值：

主管簽名：

(A)壓載艙或貨艙	(B)壓艙水來源				(C)交換				(D)預估在澳洲港口排放的壓艙水				
	最大容量 (m ³)	汲取壓艙水的港口或地點經緯度	汲取日期	汲取壓艙水的容量(m ³)	1 號磊		2 號磊		3 號磊		壓艙水排放港	排放日期	排放體積 (m ³)
					交換地點(經緯度)開始點(S)結束點(E)	交換日期與時間開始點(S)結束點(E)	所使用的磊(磊號)	限批次交換法殘留水體積(m ³)	限連續沖洗或稀釋法汲取水量(m ³)	交換百分比			

壓水艙代號：船首艙=FIP 船尾艙=AIP 夾底艙=DB 底側艙=BST 深艙=DT 翼艙=WT 船舷艙=TST 貨艙=CH 傾側艙=HT 壓艙水艙=WBT 左舷=P 右舷=S 中舷=C 機艙污水槽=BGT 其他=O(詳細說明)

Centre, MNCC)，作為所有抵港前資訊整合的單位以及船務代理商、營運商等向官方的聯絡單位，並依航線區域陸續將申報系統完全轉換為電子申報系統(eQPAR)。

「抵港前檢疫報告」(Quarantine Pre- Arrival Report, QPAR)中，澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)要求船東必須申報該船是否符合澳洲壓艙水強制管理規定。所有船舶在澳洲海域內要排放壓艙水必須取得澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)的許可。除了抵港前檢疫報告以外，澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)建議船舶在提出「抵港前檢疫報告」的同時，也要遞交「壓艙水管理摘要」(AQIS Ballast Water Management Summary, ABWMS)，此為船舶壓艙水管理的詳細記錄，包括在海上所進行之壓艙水管理的實況記錄、壓艙水汲取港口、大洋交換和預定在澳大利亞排放壓艙水位置等資訊；但並非強制性繳交。

一旦海上國家協調中心(Maritime National Coordination Center, MNCC)收到船舶所遞交的的壓艙水管理摘要(ABWMS)，就會由澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)官員上船進行驗證，官員將使用 QPAR、ABWMS 資料，在船甲板上、工程和壓艙水管理日誌核對該船所提供給 AQIS 的資訊是否正確，通常這需要花費 30 分鐘才能完成，並會同時進行例行性的船舶檢查。

對該船舶的壓艙水管理進行驗證，如果符合，澳大利亞檢疫及檢查服務處(AQIS)就會給予可在澳洲海域內排放壓艙水的書面許可。如果船舶未在抵港前隨同「抵港前檢疫報告」(QPAR)繳交壓艙水管理摘要(ABWMS)，就將不會被許可在澳洲海域內排放壓艙水，除非該船舶有經過登船檢驗。

3. 我國現有申報制度

我國現有的申報制度是根據商港法第 19 條第 1 項「船舶進入國際商港，應於到達港區 24 小時前，出港應於 12 小時前，由船舶所有人或其代理人據實填具船舶入港或出港預報表，送航港局查核後，交由

商港經營事業機構安排船席。」而「船舶入港或出港預報表」根據商港港務管理規則第 4 條第 1 項規定必須「載明來自何處、預定到達時間、吃水、船長、貨運種類、數量、船員與旅客人數、到達次一港及目的港。」

將我國現行的申報制度與美澳的壓艙水申報方式作比較，首先討論壓艙水資料申報格式，美澳均要求進港船舶需於抵港前 12 小時內完成壓艙水申報，且規定進港船舶使用不同於一般船舶入港申報的獨立壓艙水申報表格，如未依規定處理壓艙水者，就禁止該船舶入港，以徹底防範未守規定的船舶隨意在國家水域內排放壓艙水。我國未來可考慮在現有的申報格式內增加壓艙水資料欄位與一般入港資料合併申報，或如美澳作法，要求入港船舶填寫獨立的申報表格。前者對於船舶的進港作業較為便利，後者有利於壓艙水主管單位進行相關的資料整理分析。無論何種作法，要求入港船舶申報壓艙水資料乃是對於降低船舶壓艙水風險必要的措施。

再者，關於申報資料的後續整理與分析，美國有國家壓艙水資訊中心(NBIC)彙整各港口所得之壓艙水申報資料、進行相關的研究與分析，並提供壓艙水管理政策上良好的參考。我國一方面需要在技術上加強電子申報系統並建立可能後續研究的壓艙水資料庫。然而，對於壓艙水資訊的管理研究該由何單位主管，澳洲是由檢疫單位負責、美國的國家壓艙水資訊中心為壓艙水管理專門設置的機關，與海岸警衛隊密切合作，而依我國現有體制該由何單位主管，這是個值得探討的問題，將於下節針對壓艙水管理之法制問題進行討論。

由於船舶壓艙水管理在國內屬新興議題，產官學研界等尚無適當平臺對話溝通意見，緣此，本研究於 2012 年 6 月 1 日於本所港灣技術研究中心舉辦了「船舶壓艙水水質管理座談會」，與會人員包括政府交通港務、環保、農業防疫、海洋資源等部門；產業界航運船商、海事代理商、環保非政府組織；學術界海洋保育、生態、海事等相關專業之學者專家與會。會議以專題簡報與共同討論方式進行，研討議題含括三方面：臺中港船舶壓艙水研究成果、壓艙水管理法治問題、壓艙

水處理技術。本次會議各界熱烈參與、出席踴躍，簡報內容與議題討論均提出對壓艙水管理議題寶貴之資訊與建言，會議議程與會議紀錄詳見如附錄。

5.4.3 港口國官員執行能量與船舶風險分析應用之整合

1. 我國現行之港口國管制

壓艙水管理的執行與港口國官員的執行能量有密切關聯，在進一步探討如何將前一年（2011）研究中所建立的壓艙水風險分析與港口國能量的結合運用前，本節將先對現有的港口國管制進行瞭解。

我國航政制度自 2011 年 12 月新商港法三讀通過後，於 2012 年 3 月 1 日起，從原有的港務局分別成立航港局負責港口監理，港口營運則由港務公司負責，而港口國官員業務便歸屬於航港局管理，屬公部門，除總局外，設有東部、北部、中部、南部等四個航務中心。

我國港口國官員制度的建立始於 2001 年，當時共有 28 位具有航海與船舶查驗相關經驗背景之人員，依照聯合國海事組織之典範課程受訓。目前港口國官員主要根據商港法第 58 條，「航港局依國際海事組織或其相關機構頒布之港口國管制程序及其內容規定，對入、出商港之外國商船得實施船舶證書、安全、設備、船員配額及其他事項之檢查。」除了進行一般性的證書和文件查驗、實質的設備查驗、操作程序查驗等作業程序的檢查外，也配合國際公約進行重點式檢查，包括海上人命公約(SOLAS)、國際散裝運輸危險化學品船舶構造和設備規則(IBC Code)、國際散裝運輸液化氣體船舶構造和設備規則(IGC Code)、國際船舶載重線公約(International Convention on Load Lines)、MARPOL 公約附錄一(Annex I)、MARPOL 公約附錄二(Annex II)、船員訓練、認證和當班國際公約(STCW)等。

因每日進港船舶繁多，為了在有限的人力資源下選定登船檢驗的目標，航港單位發展出一套「港口國管制檢查目標船遴選系統」。目標船遴選計算過程包含數個要素，每個要素依其重要性配以不同的點

數，如此港口國官員可由總點數篩選要檢查的船舶。表 5-10 顯示港口國管制檢查目標船遴選系統中的計算要素。

表 5-10 港口國管制檢查目標船遴選系統中之計算要素

要素	說明
船東與航商黑名單	該船所屬船東與航商是否在黑名單上，是的話就加 5 點
船旗國被扣船率	該船所屬的船旗在我國的被扣船率是所有船旗國的平均被扣船率： 2 倍以上：加 7 點。1-2 倍：加 2 點。
船級社的被扣船率	該船所屬的船級社在我國的被扣船率 大於 2%：加 17 點。1-2%：加 5 點。0.5-1%：加 3 點。
距前次檢查時間	該船超過 12 個月未在本國檢查或從未在本國檢查就加 17 點
扣船	該船 12 個月內每被我國扣船一次就加 5 點
船種	General Cargo、RO-RO Cargo、Vehicle Cargo、Passenger 類：加 4 點。Bulk Carrier、Refrigerated Cargo 類：加 2 點。Oil or Chemical Tank 類：加 1 點。
船齡	0-4 年：加-3 點。5-9 年：加-2 點。10-14 年：加 0 點。15-19 年：加 3 點。20-24 年：加 5 點。25 年：加 7 點。
航線	直航就加 20 點
總點數	以上計算之係數總和

資料來源：交通部航港局。

表 5-11 2003 年至 2011 年港口國管制船隻檢查結果

進港船舶數		檢查船舶數	不合格船舶數	執行扣船數	檢查率	不合格率	扣船率
年度	次數(A)	(B)	(C)	(D)	(B/A)	(C/B)	(D/B)
2003	4806	140	120	9	2.91%	85.71%	6.43%
2004	5421	238	120	38	4.39%	50.42%	15.97%
2005	5288	259	112	49	4.90%	43.24%	18.92%
2006	5500	261	125	60	4.75%	47.89%	22.99%
2007	5109	327	240	78	6.40%	73.39%	23.85%
2008	4457	416	351	123	9.33%	84.38%	29.57%
2009	4071	445	373	121	10.93%	83.82%	27.19%
2010	4104	478	410	124	11.65%	85.77%	25.94%
2011	6321	546	493	106	8.64%	90.29%	19.41%

資料來源：交通部航港局，2011。

透過「港口國管制檢查目標船遴選系統」的篩選，能協助港口國官員針對較高安全風險的船舶進行檢查，表 5-11 為 2003 年至 2011 年港口國管制報告書，檢查率雖然自 2003 年以來逐漸上升，但以國際水準而言，我國船舶的檢查覆蓋率仍過低，港口國官員人力有限仍是主要的限制原因。

2. 船舶壓艙水風險評估在港口國管制中的應用

未來我國若實施壓艙水管理，對於港口國官員所增加的業務最有可能是在進行證照、文件的一般檢查時，增加「壓艙水記錄簿」的檢查，盡量減少港口國官員額外的作業量。但在目標船舶篩檢上，可參考本研究 2011 年所建立之船舶壓艙水風險評估，將壓艙水風險也列入篩檢項目之中，針對攜載有高風險壓艙水之船舶進行抽檢，以節省人力與物力的耗費。圖 5-14 為以 2007 年臺中港入港船舶為例，進港船舶艘次為 6,462 艘，艘數為 1,422 艘，經由風險評估之估算，經過三次篩選，最後得出高風險船舶艘次為 994 艘，艘數為 132 艘，將所得之高風險船舶納入表 5-10 的點數計算，藉此便可將船舶壓艙水風險加入港口國官員對於抽檢船舶的遴選項目中。

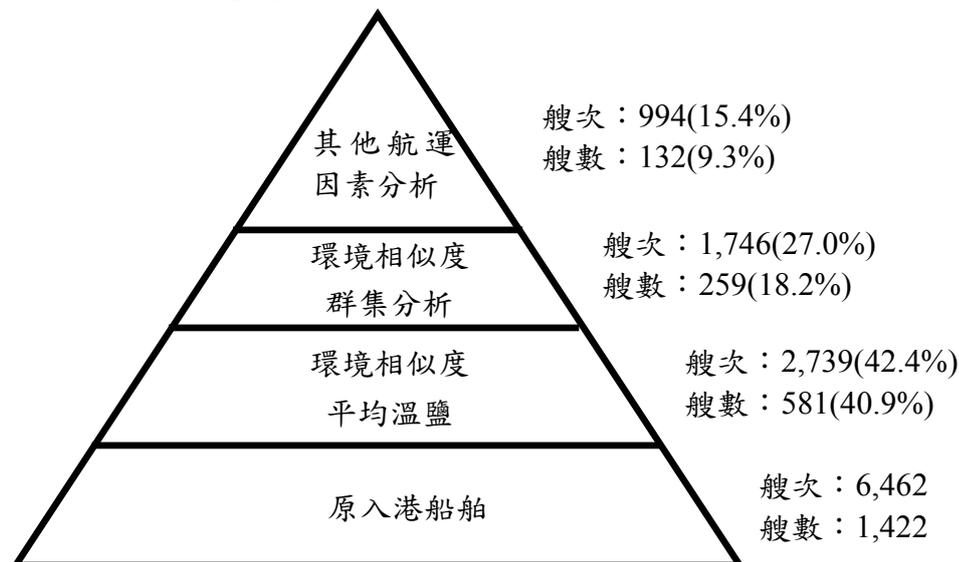


圖 5-14 2009 年臺中港入港船舶壓艙水風險評估結果

5.4.4 船舶壓艙水管理之法制問題探討

1. 與船舶壓艙水管理相關之國內法規

壓艙水管理在國內為新興議題，為瞭解我國現有規範應用於船舶壓艙水管理的可行性，以提供未來國內壓艙水管理的參考，以下將就現有法規中與船舶壓艙水相關者進行討論。

(1) 海洋污染防治法相關法制

「海洋污染防治法」中第六章「防止船舶對海洋污染」就所規範的對象而言，應是與船舶壓艙水最直接相關的條文。

第二十六條，「船舶應設置防止污染設備，並不得污染海洋。」若「污染海洋」可將壓艙水所帶來之外來種生物威脅包含在內，可基於此條文要求船舶設置船上壓艙水處理設備。但外來種生物所引發的海域生態環境改變並非一時可察，難以立即判斷一船舶所排放的壓艙水是否已對海洋造成污染，因此會有執法上的困難。

第二十七條，「船舶對海洋環境有造成污染之虞者，港口管理機關得禁止其航行或開航。」本條文使用「對海洋環境有造成污染之虞者」一詞對於壓艙水管理有正面的支持性。但公約中港口國對於載有高風險壓艙水的船舶並未賦予禁止航行或開航之權，美澳的作法是對於未符合該國壓艙水管理規定的船舶即禁止進入該國水域，並限制船舶排放壓艙水。但實施如此嚴格的管制將會影響港口的競爭力，需要在環境保護與經濟發展中有所衡量。

第二十八條第一項，「港口管理機關或執行機關於必要時，得會同中央主管機關查驗我國及外國船舶之海洋污染防治證明書或證明文件、操作手冊、油、貨紀錄簿及其他經指定之文件。」本條文可應用於船舶壓艙水資料申報之驗證，執行上可由港口國官員登船進行一般文件檢驗時，加上壓艙水紀錄簿的查驗。

第二十九條第一項，「船舶之廢、污、水、油、廢棄物或其他污染物質，除依規定得排洩於海洋者外，應留船上或排洩於岸上收受設施。」若壓艙水可包含於本條文之「其他污染物質」，則本條文對於壓艙水管理乃相當適用的規定，可應用本條文限制船舶排放高風險壓艙水，或根據公約建議要求船舶使用岸上壓艙水或底泥收受設施。但壓艙水所造成的外來生物種污染不同於其他污染物質是明顯有害、有毒而造成即刻性的後果，因此需要參考國際公約制定壓艙水水質排放標準，作為執法基準。

綜合上述，「海洋污染防治法」能否用以作為壓艙水管理之法源的關鍵點乃在於第二十九條「其他污染物質」是否可將壓艙水包括在內。倘若上述成立，如此環保署將為壓艙水管理之主管機關。源此基礎，關於船舶壓艙水之申報、登船檢查、排放限制、裝置處理設備等技術規範都以本法規範，由環保部門主管，並由港口機關配合執行。

(2) 商港法相關法制

新「商港法」於 2011 年 12 月 06 日三讀通過，並於 2012 年 3 月 1 日公佈實行，此修正案對於港口機關在海洋污染之管轄範圍的界定上有重大改變。其中對於海洋污染行為的規範有所調整，兩者間的差異在於新「商港法」第一條新增了「污染防治」項目。

在立法院的修法理由上紀錄著：「為提高商港區域污染防治業務之執行效能，將污染防治納入本法規範範圍，並酌作文字修正。」其意為過去因「污染防治」未納入本法規範範圍，因此造成一旦船舶造成有害物質「入海」而使污染海水受污染的情節，港口機關根據「海水管理規則」必須進行管制。新「商港法」將「污染防治」納入規範範圍，如此便可明確界定港口機關所需管理的船舶造成海洋污染的行為，根據新「商港法」第三十七條，港口機關只有權管轄在「商港區域內」的污染行為。而「海水污染管理規則」所根據的「商港法」第三十五條之一在新「商港法」

生效後，已不存在。「海水污染管理規則」失去立法根據，是否仍可作為執法根據有待商榷。

(3) 船舶法相關法制

「船舶法」規範範圍可見於第一條：「為確保船舶航行及人命安全，落實船舶國籍證書、檢查、丈量、載重線及設備之管理，特制定本法。」與壓艙水較為相關者應屬第五章「排水設備」，對於七種設備進行規範，但壓艙水處理設備尚未包含其中。未來若要求船舶需裝置船上壓艙水處理設備，需另立新法規範之。

第一〇一條為附則說明未盡事宜之辦理方法：「其他有關船舶技術與管理規則或辦法，主管機關得參照有關國際公約或協定及其附約所訂標準、建議、辦法或程式，予以採用，並發布施行。」因此可知僅根據「船舶法」雖可對於船舶技術與管理有所規定，但無法對於船舶造成海洋環境污染進行管制，且船舶法之適用對象亦僅限於我國籍船舶，無法要求外國籍船舶之船舶配備符合壓艙水處置相關規範。

2. 壓艙水管理之主管機關討論

壓艙水管理是為減少、防止船舶排放壓艙水所帶來的外來種所引起對海域生態危害，而「海洋污染防治法」第六章規範了「防止船舶對海洋污染」，依此壓艙水管理之主管機關應為環保單位。但依「海洋污染防治法施行細則」第十九條，關於船舶對海洋造成污染的認定與限制排放應由航政主管機關界定之。然而，航政主管機關之執法根據——「商港法」卻只賦予港口機關有權管制「在商港區域內」的污染行為，另一執法根據——「船舶法」僅對我國籍船舶設備有所規範，未來如強制船舶進行壓艙水交換，由於我國海域條件之限制，交換位置勢必位於我國專屬經濟區內。因此，造成船舶若於港區外、專屬經濟區內交換壓艙水在目前法規中無法可管的窘境。

關於行政機關的管轄權可參考行政程序法之規定來解釋。「管轄

權」相關規定是為解決特定行政事務應由哪一個行政機關掌理。根據「行政程序法」第十一條第一項，「行政機關之管轄權，依其組織法規或其他行政法規規定之。」管轄權的區分有事務管轄、個別管轄、一般管轄、總體管轄、土地管轄、層級管轄等，分別以不同的方式來界定機關的權限。因船舶壓艙水未在現有規定中有明確界定所造成的主管機關模糊問題，可以「事務管轄」，以船舶壓艙水之事務性質來界定機關的權限。壓艙水雖是由船舶排放，但所管理的事務乃為其所引起之海域生態破壞，應屬海洋污染問題，依據「海洋污染防治法」第一條，「為防治海洋污染，保護海洋環境，維護海洋生態，確保國民健康及永續利用海洋資源，特制定本法。本法未規定者，適用其他法律之規定。」因此，環保單位在壓艙水管理事務上難脫管理之責。但在實務操作上，例如壓艙水申報、登船檢查、船舶設備之核可等，僅有交通航政單位有管轄權，特別對於進入我國港域之外國船舶，基於國際習慣僅有港口國官員有登船資格，交通單位對此可依「一般管轄」，作為船舶壓艙水管理單位。

本研究僅就法規上的可行性進行討論，未來還需相關單位透過機關間的協商以界定主管機關及其權責。

3. 小結

船舶壓艙水管理規範範圍廣泛，包括壓艙水水質標準的建立與追蹤、申報制度與資料整理分析、處理設備的驗證核可等等項目，管理對象包含進入我國港口的本國籍與外國籍船舶，由於「船舶法」只能對本國籍船舶進行規範，「商港法」僅能對「商港區域內的污染行為」進行管理，因此我國若要建立船舶壓艙水之法制管理，最相近之母法應為「海洋污染防治法」。但壓艙水目前尚無法明確定義為「海洋污染防治法」中的「其他污染物質」，環保署也無法據此進行壓艙水管理。因此，為要實施船舶壓艙水管理亟需在法制上給予具有外來種入侵風險之壓艙水明確的定位，與壓艙水管理相關之法制討論整理於表 5-12。

表 5-12 與壓艙水管理相關之法制討論

	海洋污染防治法相關法制	商港法相關法制	船舶法相關法制
主管機關	環保部門	交通部門	交通部門
適用範圍	防治海洋污染，保護海洋環境	港區內之污染行為	我國籍船舶配備、技術等
爭議點	1. 壓艙水是否被認定為「污染物質」(29 條)待商榷。 2. 壓艙水不屬「海洋棄置物質」，因此壓艙水交換無法適用海洋棄置區法規。	可管制港區內船舶所造成之污染行為(37 條)，但港區外之船舶污染則無權管轄。	可對我國籍船舶設備加以規定，但無法對其他國籍規定。

5.4.5 總結

欲建立完善的壓艙水管理制度，首先需要劃設指定壓艙水交換區，提供由其他水域進入我國近岸海域船舶在裝置有船用壓艙水管理系統之前，能在適當區域完成壓艙水交換、減低外來種入侵風險。環保署所指定之海洋棄置區在功能上符合壓艙水交換的需求，但法制上的使用權限仍有待解決。

同時需要建立船舶壓艙水資料申報系統，藉由具體的資料與數據分析掌握進入我國水域之船舶的壓艙水管理現況，才能制定出合理且有效的規範。我國未來可考慮在現有的船舶入港申報格式內增加壓艙水資料欄位與一般入港資料合併申報，或如美澳作法，要求入港船舶填寫獨立的申報表格。

再者，需要將具有外來生物種侵入威脅之船舶壓艙水的定義明確化，使其在法律定位上不模糊；目前最大爭議在於船舶壓艙水是否可列入「海洋污染防治法」第二十九條第一項之「其他污染物質」。待管理法源依據明確後，還需藉由相關部會間的協調，明定出船舶壓艙水管理之主管機關，以及相關配套法規的制訂。

最後在法規制訂後，為使入港船舶切實依法管理壓艙水，需要藉

由港口國管制進行監督。由於現有港口國官員人力有限，因此若可配合本研究第三年中所建立之壓艙水風險評估，針對高風險船舶進行抽檢，以在有限人力下達到監督的目的。

第六章 飛沙現場調查

6.1 調查地點

為瞭解臺中港北淤沙區（北防波堤至北防沙堤間）飛沙狀況，本研究針對臺中港北淤沙區進行(1)飛沙現地量測、(2)沙粒含水率量測、(3)飛沙越堤量測，並利用調查結果建立飛沙移動公式以及計算風沙移動量，調查範圍如圖 6-1 所示。調查時間分別為 2011/04/19～04/22(夏季)、2011/05/11(夏季)、2011/05/20～05/23(夏季)、2011/11/24(冬季)及 2012/02/14～02/17(春季)、2012/05/10、2012/05/20～05/24(夏季)、2012/09/05(秋季)、2012/10/08(秋季)。

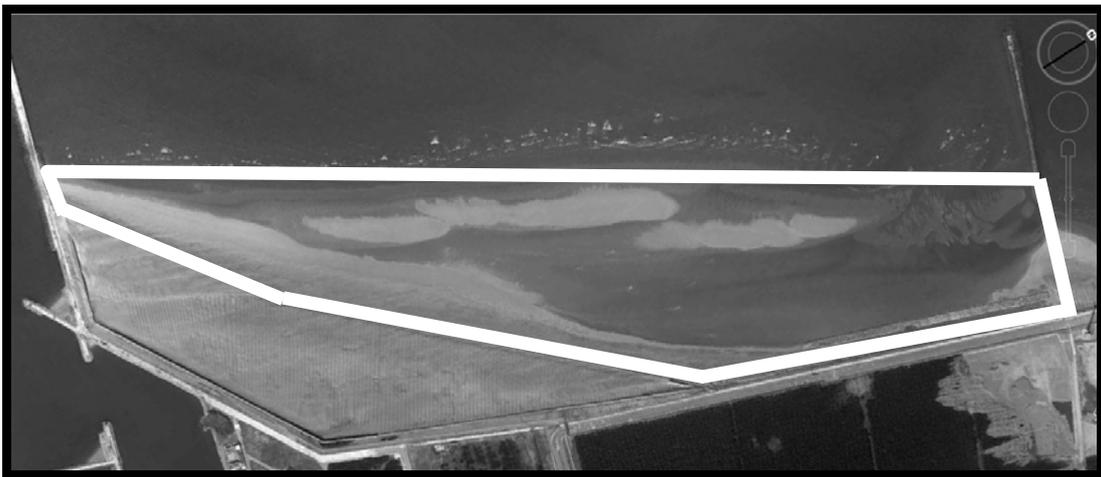


圖 6-1 臺中港北淤沙區飛沙調查區域示意圖

6.2 量測器材

飛沙現地調查所使用之器材包括風速風向計、土壤含水量計、沙粒收集器及環境揚塵監測器。茲將各器材說明如下：

1. 時序列風速計：

由於飛沙啟動主要受到風速影響，因此本研究以風速、摩擦風速和粗糙長度作為探討飛沙啟動之主要因子。本研究風速及風向量

測係利用 Davis 多功能時序列綜合氣象觀測儀量測，並求得飛沙與風速間之相互關係。量測儀器於迎風面無干擾處架設，高度分別為 0.2 m、0.5 m、1.0 m、1.5 m 及 2.0 m，如圖 6-2 所示，每 10 sec 量測一筆，量測時間為 10 min。

2. 探針式含水量計：

本研究使用探針式含水量計對沙灘沙粒含水量率進行量測，可以量測到即時之含水量率，有助於瞭解沙灘含水量與飛沙啟動之情形。由於沙粒中的含水量是影響飛沙啟動的因素之一，本研究為了瞭解飛沙量與土壤含水量之關係，首先取迎風面土壤上表層之沙樣，再以 RiXEN M-700 型探針式含水量計(如圖 6-3 所示)量測沙粒含水量率，並將沙粒密封於採樣袋中，攜回實驗室使用烘箱以 105°C 高溫進行沙粒含水量率量測，最後再對應 RiXEN M-700 型探針式含水量計所測得之數據。沙粒含水量率率定曲線如圖 6-4 所示(X 軸及 Y 軸分別為儀器值及實驗值)，可藉由沙粒含水量率校正曲線簡化調查步驟，更易瞭解沙灘含水量與飛沙啟動之情形。



圖 6-2 風速風向觀測儀圖



6.3 RiXEN 探針式土壤含水量率計

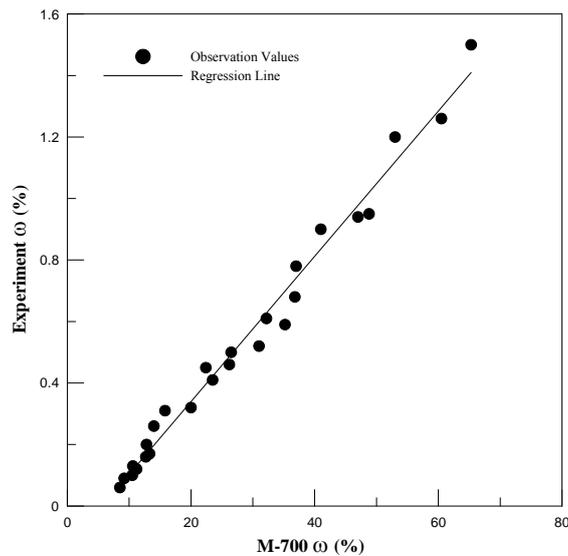


圖 6-4 沙粒含水率校正曲線

$$(Y = 0.0236X - 0.133, R^2 = 0.981)$$

3. 沙粒收集器

本研究以垂直式沙粒沙收集器量測飛沙量，其目的為探討飛沙與垂直高程之關係，針對傳統捕沙器進行改良，以電子設定方式對風速、風向觀測同步擷取現地資料。採樣器開口設置為寬度為 0.04 m、高度為 0.1 m、擴散角 4°，可降低通過之風速，使飛沙沉降，而沙粒採樣器後方出口以 #200 白鐵篩網代替，其作用係為了防止產生渦流，避免收集之沙量由開口飛散出，如圖 6-5 所示。多層垂直式捕沙器各層採樣口以下緣高度別為 0.0 m、0.1 m、0.2 m、0.3 m、0.4 m、0.5 m、0.6 m、0.7 m、0.8 m 及 0.9 m，採樣器架設方式為迎風面無干擾處設置，其目的是為了瞭解各高程飛沙量佔總飛沙量之比例。記錄區間為 10 min 配合 Davis 多功能時序列綜合氣象觀測儀同步量測風速及風向。

4. 空氣品質監測器

本研究於臺中港北淤沙區設置環境揚塵監測儀，其目的為瞭解空氣品質與風速之關係，由於揚塵主要係由氣流的擾動而懸浮於大氣中，並經由氣流帶動而運移下風處，其影響之範圍深遠。因此本

研究監測儀器的架設，於迎風面無干擾處設置，並配合 Davis 多功能時序列綜合氣象觀測儀，監測數據記錄區間為 20 min。DustMste 環境粉塵監測儀之量測範圍為 0~60 mg/m^3 ，大屏幕液晶顯示讀數，尺寸為 160x100x90 mm，重量為 1.2 kg，採樣時間為 1 秒至 4 小時，可檢測項目為 TSP(總懸浮微粒)、 PM_{10} (粒徑 10 微米以下之細微粒) 及 $PM_{2.5}$ (粒徑 2.5 微米以下之細微粒)，如圖 6-6 所示。



圖 6-5 垂直式沙粒收集器



圖 6-6 DustMate 激光粉塵監測儀

6.3 調查方法

為探討飛沙與海岸漂沙間的相互關係，本研究延續上年度計畫之調查，調查時間為 2012 年 5 月至 2012 年 10 月，分別進行飛沙含水率量測、飛沙高程量測及飛沙樣本蒐集等，於調查區域以向離岸方向分別進行飛沙量測，量測項目如表 6-1 所示。

表 6-1 飛沙調查項目

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)	含水率 (%)
大氣壓力 (百帕)	週期 (s)	
風速 (m/s)	潮位高程 (m)	
風向		
空氣密度 (g/cm^3)		
日照小時數 (hr)		

6.3.1 風速量測

風速與風向為影響飛沙量之主要影響因子，本研究於調查區域量測點設置風速計，各層設置位置高度分別為 0.2 m、0.5 m、1.0 m、1.5 m 與 2.0 m。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，並將所觀察之資料進行迴歸分析，所得之迴歸式及相關係數 (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 。調查時間分別為 2011 年 4 月 19 日 12 時至 14 時、2011 年 5 月 11 日 12 時至 15 時、2012 年 2 月 17 日 13 時至 18 時及 2012 年 5 月 10 日 13 時至 17 時。

6.3.2 沙粒含水率量測

本研究在沙粒含水率量測方面，使用探針式含水量計，量測沙粒受潮汐作用下沙粒含水率，量測間隔時間採 20 min 進行土壤含水率量測，調查沙粒取迎風面土壤表層之沙樣，進行沙粒含水率調查。並量測出潮汐變化下土壤含水率之關係，沙灘區域分別設置三個量測點，量測點以海水陸交界處進行含水率量測，量測位置如圖 6-7 所示，其量測位置座標如表 6-2 所示，量測時間分別為 2012 年 5 月 21 日 12 時至 18 時、2012 年 5 月 22 日 12 時至 18 時、2012 年 5 月 23 日 12 時至 18 時，

潮汐變化如圖 6-8 所示，量測期間溫度介於 28.6°C~29.1°C，大氣壓力介於 1006.1 hpa 至 1004.4 hpa，大氣濕度介於 63.2%~72.8%。

三次量測分析結果顯示如圖 6-9，A 點平均含水率為 22.3%，標準差為 2.1%；B 點平均含水率為 22.5%，標準差為 1.5%；C 點平均含水率為 22.1%，標準差為 1.8%。由以上結果得知沙粒受潮汐作用影響區域，沙灘含水率隨潮位高程遞減時，其含水率變化並不顯著。

表 6-2 含水率量測座標

量測點	座標
(A)含水率量測座標	N: 24°18'31.89" E: 120°31'27.73"
(B)含水率量測座標	N: 24°18'3.52" E: 120°31'4.99"
(C)含水率量測座標	N: 24°17'43.05" E: 120°30'38.05"



圖 6-7 含水率量測地點位置圖

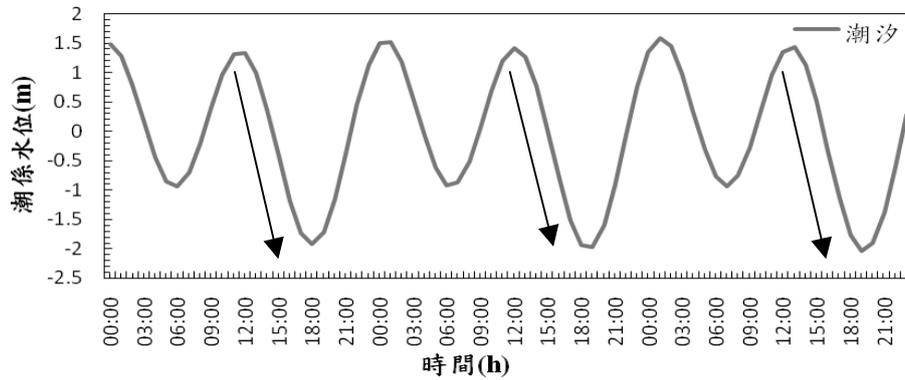


圖 6-8 沙灘區域潮汐水位變化(2012 年 5 月 21 日~5 月 23 日)

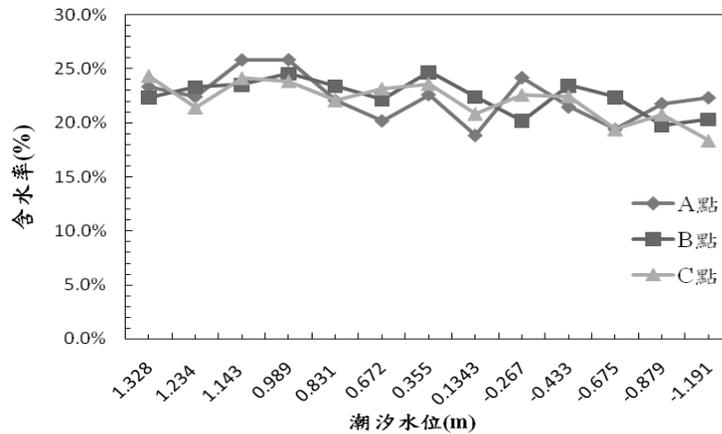


圖 6-9 沙灘區域沙粒含水率變化

6.3.3 飛沙量測

在飛沙量測方面，本研究於北防沙堤南側及北防波堤北側進行飛沙量測，位置如圖 6-10 所示，量測時間分別為 2012 年 2 月 14 日 13 時至 18 時、2012 年 2 月 15 日 12 時至 17 時、2012 年 5 月 20 日 12 時至 16 時、2012 年 5 月 24 日 12 時至 18 時。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烘乾後進行篩分析；篩網分別為#10、#20、#40、#60、#70、#80 及#100 等篩號，於電子天秤稱重，繪製粒徑分佈曲線如圖 6-11~圖 6-13 所示。分析結果顯示，北防沙堤南側沙粒粒徑 $d_{50} = 0.28 \text{ mm}$ ，

北防波堤北側沙粒粒徑 $d_{50} = 0.253\text{mm}$ ，編籬定沙區沙粒粒徑 $d_{50} = 0.212\text{mm}$ 。

表 6-3 飛沙量測座標

量測點	座標
(A)北防沙堤南側座標	N: 24°17'38.68" E: 120°30'33.50"
(B)北防波堤北側座標	N: 24°17'38.68" E: 120°30'33.50"



圖 6-10 飛沙量測量測地點圖

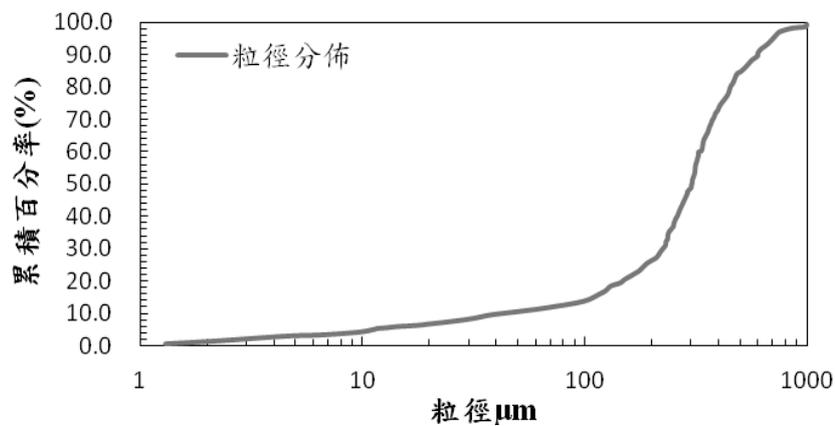


圖 6-11 北防沙堤南側沙粒粒徑分佈 ($d_{50} = 0.28\text{mm}$)

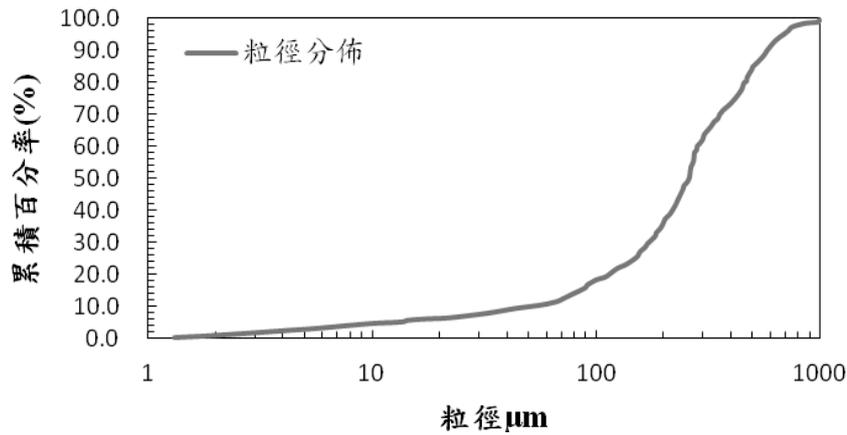


圖 6-12 北防波堤北側沙粒粒徑分佈 ($d_{50} = 0.253mm$)

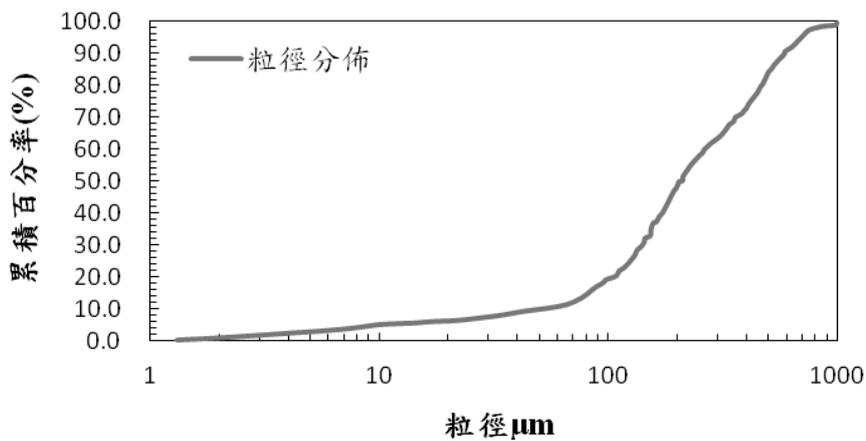


圖 6-13 編籬定沙區沙粒粒徑分佈 ($d_{50} = 0.212mm$)

6.3.4 飛沙越堤量測

為了探討臺中港北淤沙區越堤之沙量，於北防沙堤以及北防波堤分別進行飛沙量越堤量測，地點示意如圖 6-14 所示，各地點相對座標如表 6-4 及表 6-5 所示；北防沙堤採樣寬度 50 m、間隔 12.5 m、方向朝北如圖 6-15 所示，北防波堤採樣寬度 50 m、間隔 12.5 m、方向朝北如圖 6-16 所示。量測時間分別為 2012 年 2 月 16 日 13 時至 18 時、2012 年 2 月 17 日 13 時至 18 時、2012 年 5 月 20 日 12 時至 16 時、2012 年 5 月 24 日 12 時至 18 時。

表 6-4 北防沙堤飛沙越堤量測座標

量測點	座標
(A)越堤量測座標	N: 24°18'39.25" E: 120°31'28.34"
(B)越堤量測座標	N: 24°18'39.43" E: 120°31'27.96"
(C)越堤量測座標	N: 24°18'39.61" E: 120°31'27.53"
(D)越堤量測座標	N: 24°18'39.77" E: 120°31'27.11"

表 6-5 北防波堤飛沙越堤量測座標

量測點	座標
(A)越堤量測座標	N: 24°17'36.46" E: 120°30'31.40"
(B)越堤量測座標	N: 24°17'36.54" E: 120°30'31.61"
(C)越堤量測座標	N: 24°17'36.56" E: 120°30'31.10"
(D)越堤量測座標	N: 24°17'36.59" E: 120°30'30.63"
(E)越堤量測座標	N: 24°17'36.61" E: 120°30'29.96"



圖 6-14 飛沙越堤量測地點位置圖

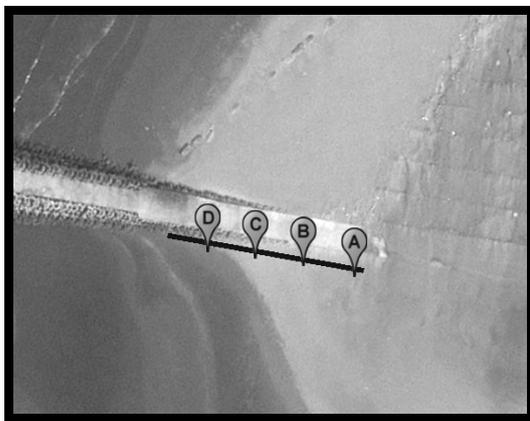


圖 6-15 北防沙堤量測地點

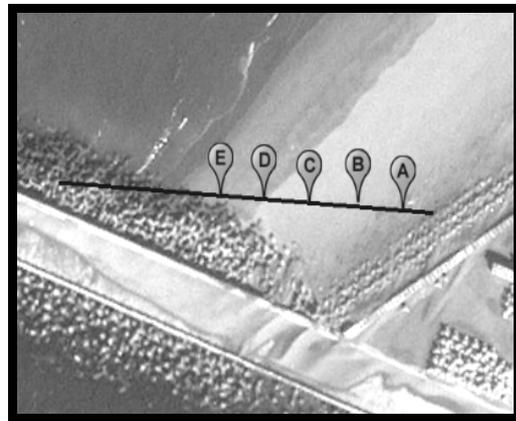


圖 6-16 北防波堤量測地點

6.3.5 空氣品質監測

為了探討臺中港北淤沙區風速、飛沙量與空氣品質間之關係，本研究於擋風牆外圍(A 點位)及北防波堤堤址(B 點位)分別進行空氣品質監測如圖 6-17 所示，座標如表 6-6 所示。量測時間分別為 2012 年 9 月 5 日 12 時至 14 時、2012 年 10 月 08 日 13 時至 15 時。以一般成人呼吸口平均高度 1.5 m 為監測高度，監測項目以 TSP 、 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 為主要觀測對象，並將監測濃度參考 PSI 空氣汙染指標，可得知該區域空氣品質對人類健康之影響。於量測前進行零點校正、採樣口之清潔及更換過濾海綿，PSI 空氣汙染指標及人類健康之影響，如表 6-7 及表 6-8 所示。

表 6-6 北淤沙區沿岸空氣品質監測座標

量測點	座標
(A)擋風牆外圍座標	N: 24°17'46.78" E: 120°31'14.24"
(B)北防波堤堤址座標	N: 24°17'31.64" E: 120°30'43.34"



圖 6-17 北淤沙區沿岸空氣品質監測對應圖

表 6-7 污染物濃度與污染副指標值對照表

污染物	PM_{10}	SO_2	CO	O_3	NO_2
統計方式	24 小時	24 小時	24 小時內	24 小時內	24 小時內
	平均值	平均值	最大 8 小時平均值	最大小時值	最大小時值
單位	$\mu g/m^3$	<i>ppb</i>	<i>ppm</i>	<i>ppb</i>	<i>ppb</i>
PSI(50)	50	30	4.5	60	-
PSI (100)	150	140	9	120	-
PSI (200)	350	300	15	200	600
PSI (300)	420	600	30	400	1200
PSI (400)	500	800	40	500	1600
PSI (500)	600	1000	50	600	2000

資料來源：行政院環境保護署「統計資料庫」

表 6-8 PSI 值與健康影響

空氣污染 指標 (PSI)	0~50	51~100	101~199	200~299	>=300
對健康之 影響	良好	普通	不良	非常不良	有害
	Good	Moderate	Unhealthful	Very Unhealthful	Hazardous
狀態色塊					
人體健康 影響	對一般民眾身體健康無影響。	對敏感族群健康無立即影響。	對敏感族群會有輕微症狀惡化的現象，如臭氧濃度在此範圍，眼鼻會略有刺激感。	對敏感族群會有明顯惡化的現象，降低其運動能力；一般大眾則視身體狀況，可能產生各種不同的症狀。	對敏感族群，除了不適症狀顯著惡化並造成某些疾病提早開始；減低正常人的運動能力。

資料來源：行政院環境保護署

第七章 飛沙機制分析

7.1 垂直剖面風速特性

本研究根據 Prandtl 之對數法則，將臺中港區調查所得之風速風向資料進行分析，並經由對數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 7-1。故可藉由此關係推算摩擦風速 U_* 及粗糙長度 Z_0 。

7.1.1 風速之垂直分佈之分析

對於風速之垂直分佈特性，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：

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

式中 U_* 為摩擦風速， Z_0 為粗糙長度。粗糙長度與沙粒粒徑 d 關係如下：

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

根據 (Horikawa 與 Shen, 1960) 現地觀測研究結果，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，本研究於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)：

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

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

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

表 7-1 風速觀測分析

Data	No.	Wind velocity at 5 height						a	b	r	U_* (m/s)	Z_0 (m)	Wind direction
		0.2 m	0.5m	1m	1.5m	2.0m	2.0m						
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	6.45	8.14	9.79	11.46	14.02	10.69	3.02	0.953**	0.525	2.886E-04	N	
	4	6.45	8.14	9.79	11.46	14.02	10.69	3.02	0.953**	0.525	2.886E-04	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	
2012/02/17	9	10.1	11.3	12.3	12.6	13.1	12.191	2.959	0.995**	0.514	7.58E-05	N	
	10	9.7	10.8	11.9	12.1	12.5	11.695	2.821	0.989**	0.489	7.15E-05	N	
	11	10.2	11.6	12.3	12.8	14.1	12.565	3.492	0.944**	0.607	4.74E-06	N	
	12	10.1	11.3	12.2	13.1	13.9	12.503	3.661	0.975**	0.637	3.84E-04	N	
2012/05/10	13	9.8	11.3	11.8	12.2	12.7	11.845	2.730	0.976**	0.474	4.15E-05	N	
	14	9.8	11.2	12.1	13	13.9	12.468	3.910	0.978**	0.680	5.72E-04	N	
	15	9.7	9.9	10.5	11.0	11.6	10.780	1.871	0.865**	0.325	1.73E-06	N	
	16	9.8	10.2	10.3	10.8	11.4	10.643	1.386	0.838**	0.241	2.10E-08	N	

a 、 b ：迴歸係數； r ：相關係數；**： $p < 0.01$

7.1.2 風速時序列分析

本研究風速觀測係利用於氣象觀測中，使用多層式時序列風速計進行風速量測，多層式時序列風速計設置高程為0.2m、0.5m、1.0m、1.5m以及2.0m，量測時間為10 min，所分析之風向均以N為主，風速分析結果垂直分佈如圖7-1~圖7-8，圖形顯示自地面至高度2m範圍內之風速垂直分佈符合對數函數分布， R^2 介於0.838~0.995之間。Zhang和Lee(2007)指出，由於大氣風賦予沙粒之初始動能，並促使沙粒產生運移，躍動之沙粒將大幅改變風速剖面。

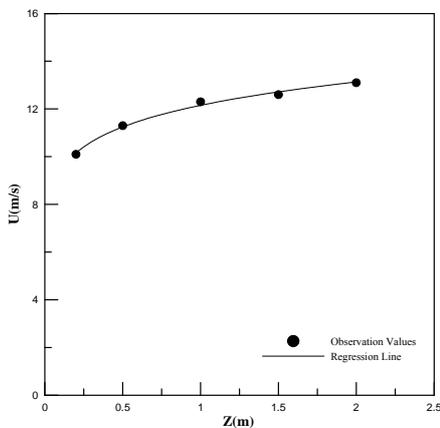


圖 7-1 觀測點 9 垂直剖面風速圖
($U = 2.959\log(Z) + 12.191$)

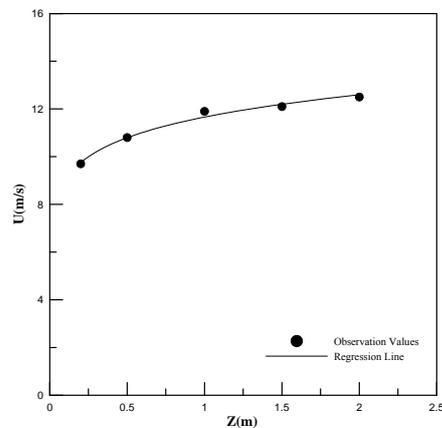


圖 7-2 觀測點 10 垂直剖面風速圖
($U = 2.821\log(Z) + 11.695$)

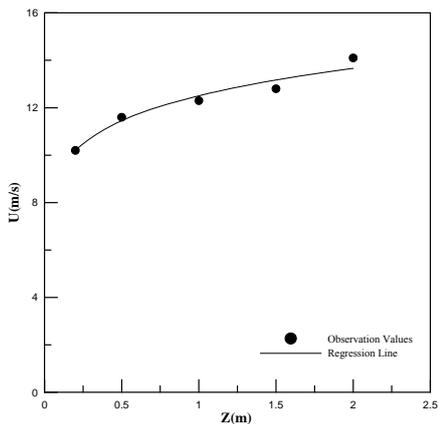


圖 7-3 觀測點 11 垂直剖面風速圖
($U = 3.492\log(Z) + 12.565$)

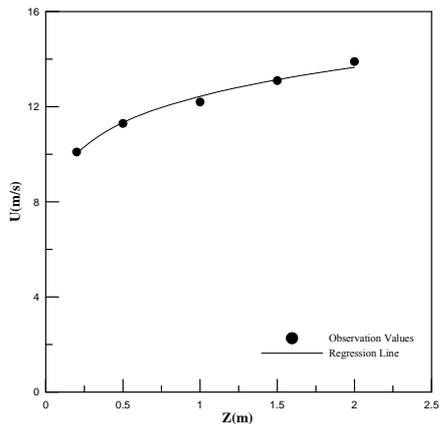


圖 7-4 觀測點 12 垂直剖面風速圖
($U = 3.661\log(Z) + 12.503$)

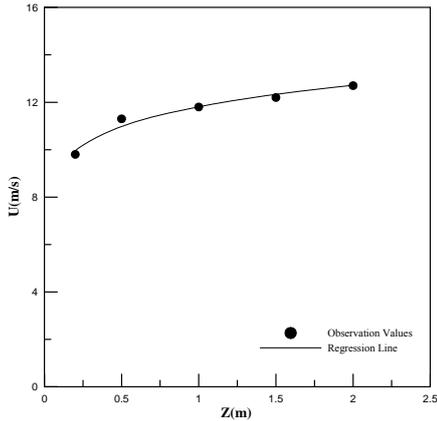


圖 7-5 觀測點 13 垂直剖面風速圖
($U = 2.730\log(Z) + 11.845$)

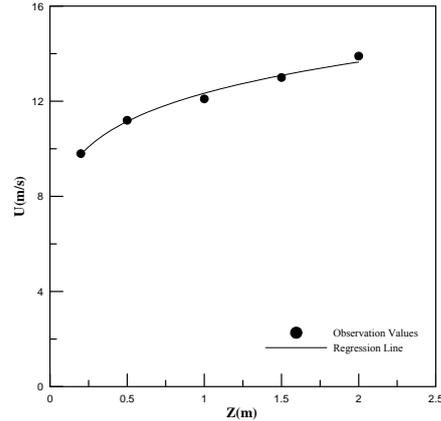


圖 7-6 觀測點 14 垂直剖面風速圖
($U = 3.910\log(Z) + 12.468$)

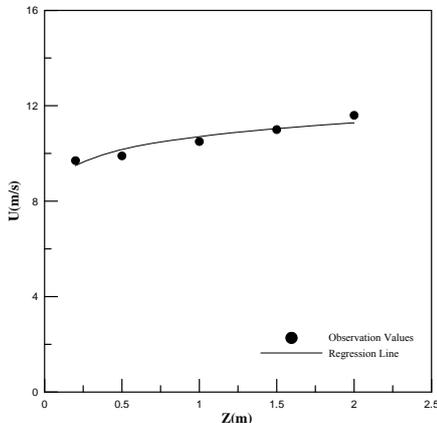


圖 7-7 觀測點 15 垂直剖面風速圖
($U = 1.817\log(Z) + 10.780$)

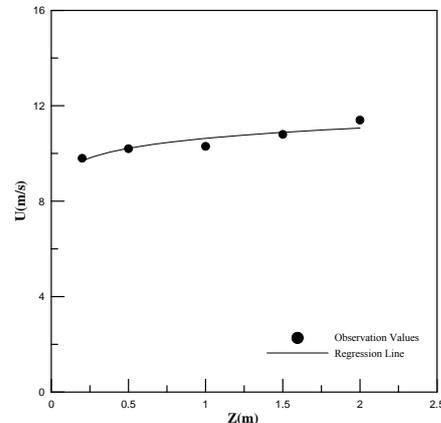


圖 7-8 觀測點 16 垂直剖面風速圖
($U = 1.386\log(Z) + 10.643$)

7.1.3 風速 $U_{0.2}$ 與摩擦風速 U_* 之關係

往昔學者針對飛沙量之影響因子，都以摩擦風速 U_* 作為主要影響因子(Bagnold, 1954; 江和張, 1978)，由於前人所作研究多為試驗室之試驗資料，而現場所得之調查資料經由吳(2006) 研究指出，此因子並不是表示風速垂直變化之最佳因子。本研究所推算之摩擦風速 U_* 與 $U_{0.2}$ 風速之關係如圖 7-9 所示，摩擦風速 U_* 與 $U_{0.2}$ 風速之相關性極低，此結果與吳(2006)的結果相同。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，並由現場調查所得到之摩擦風速，於 Bagnold (1954)沙面上風速垂直分佈圖中，對應高程 0.1 m 之門檻風速

U_i 為 $3.2 \text{ m/s} \sim 7.3 \text{ m/s}$ 之間。吳(1965)於新疆塔里木盆地布谷里沙漠地區，使用染色沙進行多次觀測得知，沙粒粒徑 $0.10 \sim 0.25 \text{ mm}$ 、 $0.25 \sim 0.50 \text{ mm}$ 於離地高度 2.0 m 之啟動風速 U_i 分別為 4.0 m/s 及 5.6 m/s 。

7.1.4 風速 $U_{0.2}$ 與粗糙長度 Z_0 之關係

本研究調查之現地粗糙長度，除了兩點測得結果介於 $0.0003 \sim 0.0006$ 之間，對於地表之粗糙長度 Z_0 與 $U_{0.2}$ 風速關係分析繪製如圖 7-10，圖中顯示，粗糙長度 Z_0 與 $U_{0.2}$ 風速並無高度相關性存在，此結果與吳(2006)研究結果相同。

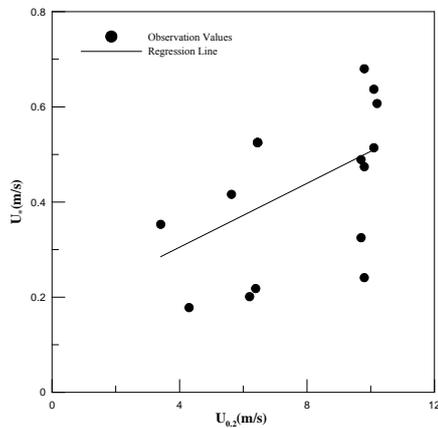


圖 7-9 U_* 與 $U_{0.2}$ 之關係圖

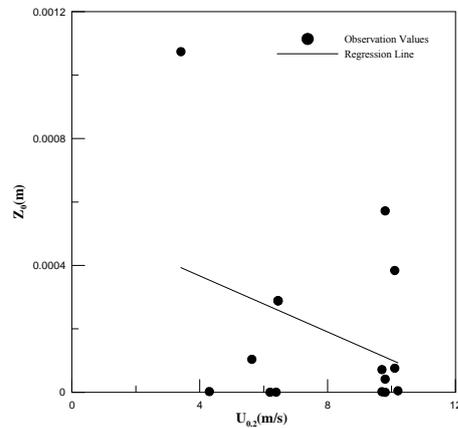


圖 7-10 Z_0 與 $U_{0.2}$ 之關係圖

7.2 飛沙移動模式建置

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

7.2.1 飛沙量 Q 與風速 ($U_{0.2}$, U_*) 和含水率 ω 之關係

由於風速為沙粒驅動之主要因子，因此本研究係以高程 0.2 m 之風速作為探討飛沙量之依據，並將吳(2006)現地量測數據一併進

行飛沙量與高程 0.2m 之風速關係分析，資料列於表 7-2 所示。經由指數迴歸分析後，求得飛沙量與風速 $U_{0.2}$ 之方程式為

$$Q_{0.2} = 0.715e^{0.1956 U_{0.2}}, R^2 = 0.844 \dots\dots\dots (7-5)$$

式中 Q ：飛沙量 ($g/m-s$)； $U_{0.2}$ ：高程為 0.2 m 之風速 (m/s)，其關係如圖 7-11 所示。對應表 7-2 及圖 7-11 可知，在相同風速下，有不同之沙量發生，其原因可能受到含水率及其它參數影響。

進一步增加考量影響海岸飛沙之參數為風速 $U_{0.2}$ 、含水率 ω 及摩擦風速 U_* 情況下，比較飛沙量推估以風速作為單一因子和考量風速、含水率及摩擦風速下對實測值之誤差，其分析結果更能與實測值相接近， R^2 可達到 0.914，其迴歸分析結果為

$$Q_{0.2} = 0.06(U_{0.2} - 2.274(\omega)^{0.491-0.642(U_*)^{4.662}})^{2.033}, R^2 = 0.914 \dots\dots\dots (7-6)$$

式中 Q ：飛沙量 ($g/m-s$)； $U_{0.2}$ ：高程為 0.2 m 之風速 (m/s)； U_* 為摩擦風速； ω (%) 為沙粒含水率。藉由非線性迴歸統計分析得知，以 $Q(\omega, U_{0.2}, U_*)$ 推估飛沙量比單一考量 $Q(U_{0.2})$ 結果更為準確，如圖 7-12 所示。

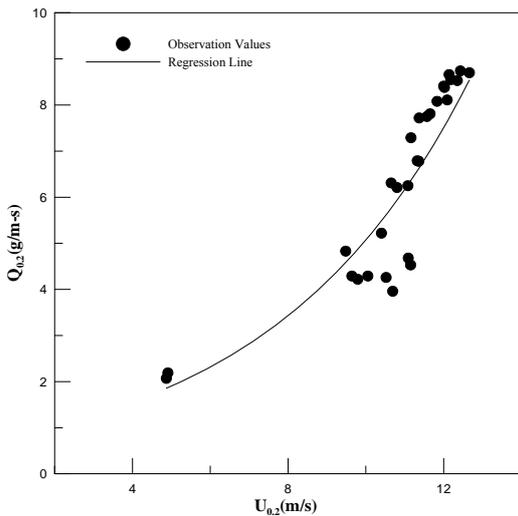


圖 7-11 $Q_{0.2}$ 與 $U_{0.2}$ 之關係圖

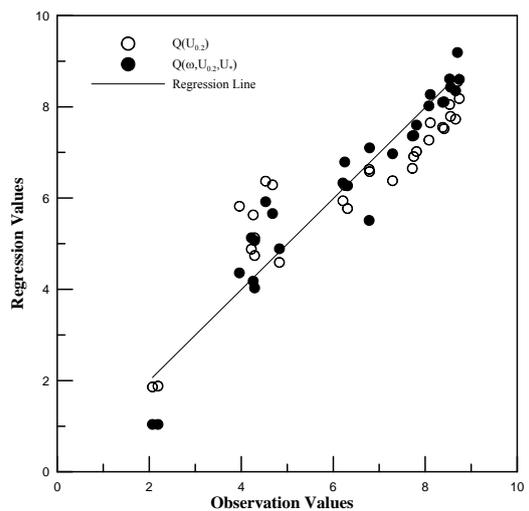


圖 7-12 不同參數迴歸比較圖

表 7-2 飛沙量調查與迴歸預測值比較表

飛砂量 $Q(g/m-s)$	風速 $U_{0.2}(m/s)$	含水率 $\omega(\%)$	中值粒徑 $d_{50}(mm)$	摩擦風速 $U^*(m/s)$	$Q(\omega, U_{0.2}, U^*)$ 式(7-6)	$Q(U_{0.2})$ 式(7-5)
吳(2006)						
7.72	11.37	0.1	0.23	0.52	7.36	6.65
6.25	11.08	0.12	0.22	0.65	6.79	6.28
6.21	10.8	0.13	0.24	0.69	6.33	5.94
6.31	10.65	0.13	0.23	0.44	6.27	5.77
7.29	11.16	0.12	0.22	0.53	6.97	6.38
7.75	11.57	0.12	0.23	0.73	7.37	6.91
8.66	12.14	0.1	0.22	0.70	8.35	7.73
8.55	12.18	0.1	0.23	0.68	8.43	7.79
8.74	12.43	0.14	0.22	0.69	8.60	8.18
8.11	12.09	0.1	0.22	0.70	8.27	7.65
8.70	12.66	0.09	0.22	0.71	9.19	8.55
8.53	12.35	0.09	0.23	0.77	8.61	8.05
8.38	12.02	0.15	0.22	0.44	8.10	7.55
8.08	11.83	0.1	0.22	0.54	8.02	7.27
8.41	12	0.12	0.25	0.63	8.11	7.52
7.81	11.65	0.13	0.23	0.56	7.60	7.02
6.79	11.32	0.14	0.24	0.55	7.10	6.58
4.83	9.48	0.11	0.26	0.54	4.89	4.59
4.29	9.64	0.11	0.25	0.56	5.07	4.74
4.22	9.79	0.13	0.24	0.63	5.13	4.88
本所港灣技術研究中心						
3.96	10.69	1.2	0.24	0.55	4.36	5.82
4.53	11.15	0.5	0.23	0.48	5.92	6.37
6.78	11.36	0.9	0.23	0.53	5.51	6.63
4.68	11.09	0.6	0.24	0.52	5.66	6.29
4.29	10.05	0.9	0.23	0.34	4.03	5.13
4.26	10.52	1.2	0.24	0.49	4.18	5.63
5.22	10.4	0.9	0.23	0.43	4.92	5.45
2.19	4.91	0.13	0.27	0.42	1.04	1.88
2.07	4.87	0.12	0.26	0.45	1.04	1.86

7.2.2 飛沙量 Q 與垂直高程 Z 之關係

風速剖面變化影響飛沙量與高程變化關係，其關係式可由實測數據加以建立，以垂直高程 0.0 m、0.1 m、0.2 m、0.3 m、0.4 m、0.5 m、0.6 m、0.7 m、0.8 m 及 0.9 m 所量測之飛沙量進行迴歸分析後可得以下關係式：

$$Q = 41.45 \times 0.111^{4Z}, R^2 = 0.998 \dots\dots\dots (7-7)$$

由上式得知，垂直高程 Z 與飛沙量 Q 呈現指數關係，隨高度增加迅速遞減。在高程 0.2 m 以下有較多之飛沙量，高程高於 0.2 m 以上則急遽減少。如圖 7-13 可知 Q_0 飛沙量佔總飛沙量的 67.6%、 $Q_{0.1}$ 飛沙量為總量的 20.1%、 $Q_{0.2}$ 為總量的 7.2%、 $Q_{0.3}$ 為總量的 2.6%、 $Q_{0.4}$ 為總量的 1.1%、 $Q_{0.5}$ 至 $Q_{0.9}$ 飛沙量在總量的 0.1%~0.5% 之間。

7.2.3 飛沙量 Q 與含水率 ω 之關係

由於裸露在表層之沙粒含水率亦是影響風沙運移之重要因素，故本研究探討沙粒含水率 ω 與飛沙運移之狀況。沙粒含水率 ω 及 $Z=0.2$ m 之飛沙量 Q 之資料對應表 7-2，經由線性迴歸分析後，其相關性極低，結果如圖 7-14 所見。沙粒含水率 ω 於 0.2% 以下時， $Z=0.2$ m 之飛沙量 Q 與沙粒含水率 ω 呈不顯著相關，其因素可能為飛沙量主要受到風速影響較大所致，而當含水率上升時，風速對飛沙量之影響逐漸轉弱。依據范(2010)研究指出當含水率 0.77% 以上時，將抑制沙粒移動。

$$Q_{0.2} = -2.411\omega + 7.061, R^2 = 0.178 \dots\dots\dots (7-8)$$

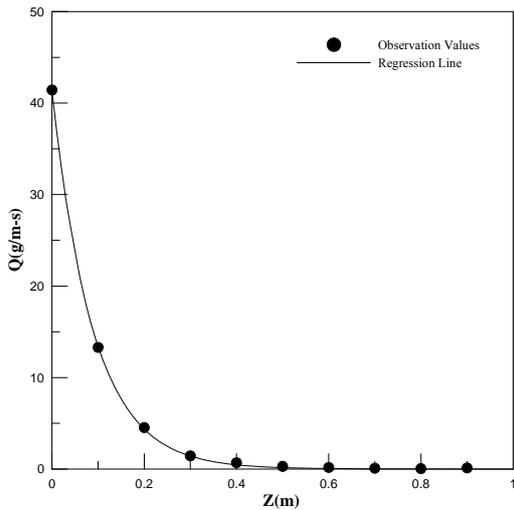


圖 7-13 Q 與 Z 之關係圖

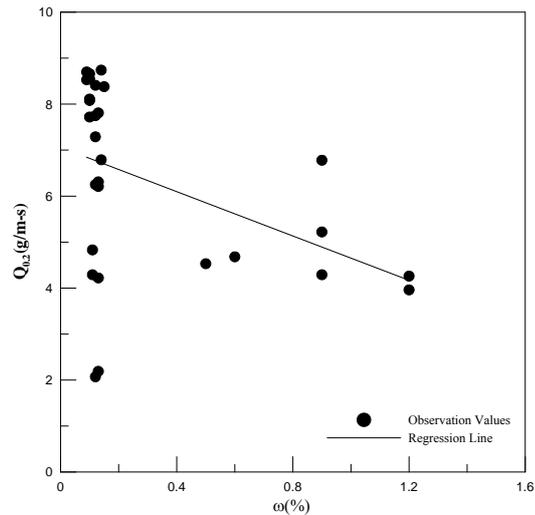


圖 7-14 $Q_{0.2}$ 與 ω 之關係圖

7.2.4 飛沙量 Q 與中值粒徑 d_{50} 之關係

在 $Z=0\sim 0.2\text{m}$ 之飛沙量 Q 與中值粒徑 d_{50} 之關係上，本研究利用北防波堤北側沙灘區調查結果作分析探討，資料迴歸分析結果如式 7-9 以及圖 7-15 所示，由式 7-9 顯示飛沙量與中值粒徑呈現負相關，而由圖 7-15 顯示飛沙量中值粒徑分佈範圍在 $0.21\text{ mm}\sim 0.26\text{ mm}$ 之間。

$$Q_{0-0.2} = -735.3d_{50} + 189.2, R^2 = 0.273 \dots \dots \dots (7-9)$$

7.3 飛沙量推估

前述章節中得知飛沙量 Q 對於風速 U 、摩擦風速 U_* 及沙粒含水率 ω 之對應關係。因此，本研究取前述章節中所得之結果，作為探討飛沙量推估之依據。

7.3.1 年飛沙量推估

本研究以調查量測方式建立臺中港北淤沙區沙灘區風速與本所港灣技術研究中心臺中港堤頭測站風速之關係，圖 7-16 顯示臺中港北淤沙區沙灘區之風速 $U_{0.2}$ 與本所港灣技術研究中心臺中港堤頭測站風速 U_{10} 相關性高，並由式 7-9 得知外海堤頭測站風速 U_{10} 為沙灘區之風速 $U_{0.2}$ 之 1.42 倍。

$$U_{10} = 1.42U_{0.2}, R^2 = 0.983 \dots \dots \dots (7-10)$$

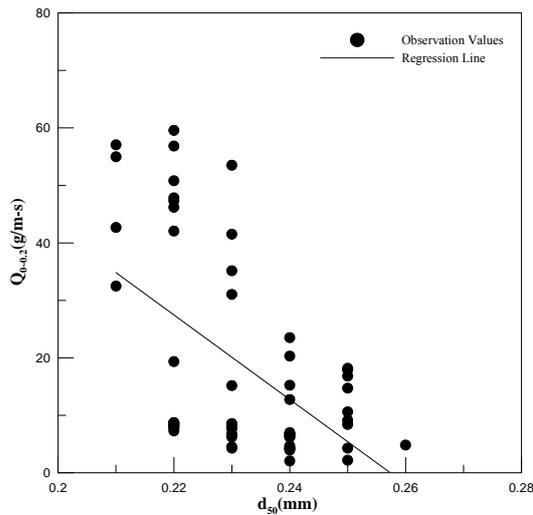


圖 7-15 $Q_{0-0.2}$ 與 d_{50} 之關係圖

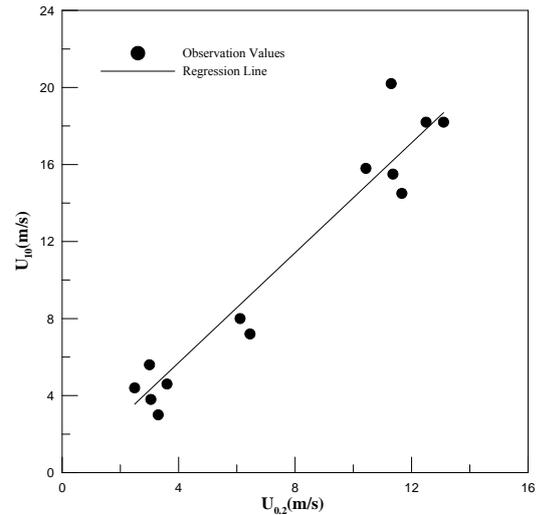


圖 7-16 堤頭風速 U_{10} 與沙灘區風速 $U_{0.2}$ 之關係圖

由前述章節本所港灣技術研究中心所得之 2001 年至 2010 年氣象資料，推估臺中港區北淤沙區飛沙量。本研究以各風速（表 7-3 中 $<5\text{ m/s}$ 、 $5\sim 10\text{ m/s}$ 、 $10\sim 15\text{ m/s}$ 及 $>15\text{ m/s}$ 分別以 5 m/s 、 8 m/s 、 13 m/s 及 17 m/s 代入）利用式 7-5 算各風速之飛沙量 $Q_{0.2}$ ，各飛沙量 $Q_{0.2}$ 再乘上各風速區間比例、風向 N~E 向佔比例以及非降雨天數比例，再除上沙粒密度($2.65\times 10^6\text{ g/m}^3$)，再乘上 1 年時間，得到年飛沙量，以 2001 年為例， $\sum_{U_{0.2}=5}^{17} Q_{0.2}(U_{0.2}) = 3.94\text{ g/m-s}$ 再乘上各項比例、時間以及單位換算得到 $23.08\text{ m}^3/\text{m-year}$ ($3.94\times 0.662\times (365-93.6)/365/(2.65\times 10^6)\times 86400\times 365 = 23.08$) 如表 7-3 所示。若以飛沙量關係式推估高程 $Z = 0.2\text{ m}$ 之沙量，2001 年至 2010 年飛沙量約在 $18.55\sim 41.59\text{ m}^3/\text{m-year}$ 之間，平均值為 $24.03\text{ m}^3/\text{m-year}$ 。將飛沙垂直分佈關係 $Z=0.2\text{ m}$ 之飛沙量為總飛沙量 7.2% 代入平均值飛沙量約為 $333.75\text{ m}^3/\text{m-year}$ ，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 $73.568\text{ m}^3/\text{m}$ ，換算後每月約為 $24.52\text{ m}^3/\text{m-month}$ 較本研究換算每月平均 $27.81\text{ m}^3/\text{m-month}$ 低，與本研究之估算量結果相近。

表 7-3 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 $Z = 0.2m$ $m^3 / m - year$
2001	53.6	27.5	16.6	2.4	66.2	23.08
2002	59.2	26.0	8.9	5.9	59.3	20.97
2003	60.0	26.7	12.5	0.8	62.6	18.55
2004	57.7	29.6	12.3	0.4	65.2	19.07
2005	60.2	25.2	13.2	1.4	62.1	19.15
2006	57.5	28.8	12.0	1.8	64.3	20.07
2007	59.6	26.3	12.5	1.7	60.6	18.81
2008	32.2	32.9	15.3	19.7	55.8	34.79
2009	60.6	21.2	11.6	6.4	65.2	24.26
2010	28.7	30.6	20.4	20.3	62.8	41.59
平均	55.6	27.1	12.8	4.5	62.4	24.03

7.3.2 越堤飛沙量推估

本研究於北防波堤北側進行飛沙調查，量測方式為陣列式雙層擺設，如圖 6-15 所示，表 7-4 為所量測到的高程飛沙量百分比，而表 7-5 為不同監測位置不同高程的量測結果，表中顯示在垂直分佈特性上，在位置 E 點(不受結構物影響)量測結果所得 $Q_{0.1}/Q_0$ 比值較其它點位大，表示此位置點沙量移動方式為表層移動。B 點位置沙量比例較接近沙灘區量測值，C 點及 D 點由測得飛沙量顯示，C 點及 D 點沙粒移動之方式以懸浮移動比例居多。而位置 A 之表層飛沙量較其它點位差異較大，其探討之原因可能是風力受到防風柵欄之影響，導致飛沙量之收集量較其它點位少。

在北防沙堤南側飛沙越堤量測位置如圖 6-14 所示，量測結果如表 7-6 所示，北防沙堤南側堤址附近處之越沙量，在垂直分佈特性，位置 A~D 量測結果所得 $Q_{0.1}/Q_0$ 之比值較北防波堤北側量測結果為小，表示此區域懸浮移動之沙粒較北防波堤北側較多，其原因可能受北防沙堤與地形影響產生飛沙溢散之現象。而位置 D 之表層飛沙量較其它點位差異較大，原因為位置 D 設置較靠近潮間帶區，測得之沙粒含水率較其它位置高，而測得之飛沙量相對与其它位置易受影響。

表 7-4 北防波堤堤址飛沙量測各高程飛沙量百分比

NO.	0m	0.1m	0.2m	0.3m	0.4m	0.5m	0.6m	0.7m	0.8m	0.9m	U(m/s)
1	66.73%	21.41%	7.30%	2.32%	1.11%	0.46%	0.27%	0.14%	0.08%	0.19%	11.55
2	62.53%	20.06%	10.23%	3.85%	1.49%	0.77%	0.19%	0.35%	0.21%	0.31%	11.57
3	71.13%	18.10%	6.18%	2.26%	0.83%	0.48%	0.32%	0.30%	0.25%	0.15%	11.39
4	69.40%	20.41%	6.02%	1.98%	1.05%	0.38%	0.31%	0.23%	0.13%	0.09%	10.71
5	67.91%	20.59%	6.55%	2.68%	0.89%	0.55%	0.32%	0.19%	0.24%	0.09%	11.26
6	68.12%	20.04%	7.10%	2.40%	1.00%	0.46%	0.26%	0.31%	0.17%	0.13%	11.13
平均	67.64%	20.10%	7.23%	2.58%	1.06%	0.52%	0.28%	0.25%	0.18%	0.16%	11.27

表 7-5 北防波堤堤址飛沙越堤量測 Q_0 、 $Q_{0.1}$ 高程飛沙量(g/m-s)

高程 (m)	NO.	A			B			C			D			E			
		Q (g/m-s)	d_{50} (mm)	ω (%)	$U_{0.2}$ (m/s)												
Q_0	1	37.08	0.22	0.31	54.99	0.25	0.33	47.31	0.25	0.28	47.85	0.26	0.32	53.52	0.24	0.34	10.05
	2	49.17	0.25	0.29	56.85	0.24	0.31	35.16	0.25	0.29	46.2	0.24	0.36	50.82	0.25	0.36	10.32
	3	29.17	0.24	0.32	59.58	0.25	0.33	42.06	0.24	0.32	41.52	0.25	0.33	57.06	0.23	0.35	10.39
$Q_{0.1}$	1	19.35	0.21	0.28	14.73	0.21	0.32	9.15	0.22	0.26	8.25	0.24	0.34	20.31	0.21	0.36	10.18
	2	17.91	0.23	0.30	15.24	0.22	0.34	10.62	0.23	0.29	6.66	0.21	0.33	16.83	0.22	0.37	10.45
	3	23.52	0.21	0.32	18.18	0.23	0.31	12.75	0.21	0.25	6.99	0.22	0.32	15.18	0.21	0.36	10.39
$\frac{Q_{0.1}}{Q_0}$	1	3.45%			26.79%			19.34%			17.24%			37.95%			
	2	2.36%			26.81%			30.20%			14.42%			33.12%			
	3	4.11%			30.51%			30.31%			16.84%			26.60%			

表 7-6 北防沙堤堤址飛沙越堤量測 Q_0 、 $Q_{0.1}$ 高程飛沙量(g/m-s)

高程 (m)	NO.	A			B			C			D			$U_{0.2}$ (m/s)
		Q (g/m-s)	d_{50} (mm)	ω (%)										
Q_0	1	37.08	0.25	0.33	37.92	0.25	0.33	33.33	0.25	0.38	19.17	0.24	0.43	9.25
	2	49.17	0.24	0.35	41.25	0.26	0.35	30.00	0.25	0.37	10.92	0.25	0.45	9.52
	3	29.17	0.26	0.36	56.25	0.24	0.32	29.17	0.26	0.37	10.46	0.26	0.47	9.73
	4	32.50	0.25	0.43	45.83	0.25	0.39	21.25	0.24	0.43	15.83	0.24	0.45	9.62
$Q_{0.1}$	1	1.28	0.23	0.29	1.02	0.22	0.26	4.01	0.24	0.33	2.38	0.23	0.38	9.37
	2	1.16	0.21	0.30	1.22	0.21	0.31	3.27	0.22	0.34	1.97	0.22	0.38	9.64
	3	1.20	0.22	0.32	2.31	0.22	0.25	3.30	0.21	0.35	2.41	0.24	0.36	9.85
	4	1.03	0.21	0.33	2.44	0.22	0.27	2.12	0.22	0.33	1.78	0.22	0.39	9.74
$\frac{Q_{0.1}}{Q_0}$	1	3.45%			2.69%			12.03%			12.42%			
	2	2.36%			2.96%			10.90%			18.04%			
	3	4.11%			4.11%			11.31%			23.04%			
	4	3.17%			5.32%			9.98%			11.24%			

7.4 飛沙量與空氣品質相關性探討

7.4.1 大甲溪河口飛沙對 PM_{10} 之影響

依據范(2010)研究結果顯示，大甲溪河口與臺中港北淤沙區之海岸飛沙粒徑相似均介於為 $0.22\text{ mm} \sim 0.31\text{ mm}$ 之間，其調查如表 7-7 所示。因此，為探討臺中港北淤沙區的飛沙量 Q 與 PM_{10} 之關係，本研究係以大甲溪河口飛沙量 Q 與 PM_{10} 觀測值之總飛沙量與揚塵量(如表 7-7)進行迴歸分析，求得出飛沙量 Q 與 PM_{10} 之迴歸式與相關性，如式(7-11)所示，迴歸結果如圖 7-17 所示，圖中飛沙量 Q 與 PM_{10} 呈指數關係，而 PM_{10} 隨飛沙量之增加明顯增大。

$$PM_{10} = 380.33 Q^{0.1587}, R^2 = 0.931 \dots\dots\dots (7-11)$$

式中 PM_{10} ：粒徑 10 微米懸浮微粒($\mu\text{g}/\text{m}^3$)；

Q ：飛沙量 ($\text{g}/\text{m}-\text{s}$)。

經由式(7-11)之迴歸結果，本研究前述章節所得之飛沙量迴歸式進行 PM_{10} 推估，求得 PM_{10} 與高程 0.2 m 之風速關係式，如式(7-12)所示，迴歸分析結果由圖 7-12 顯示， PM_{10} 濃度範圍為 $420 \sim 1600\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，當風速 $U_{0.2}$ 大於 $11\ \text{m}/\text{s}$ 時， PM_{10} 濃度將急遽上升。

$$PM_{10} = 176.92 e^{0.163 U_{0.2}}, R^2 = 0.844 \dots\dots\dots (7-12)$$

式中 $U_{0.2}$ ：高程為 0.2 m 之風速(m/s)。

表 7-7 大甲溪河口飛沙量 Q 與 PM_{10} 觀測值(范，2010)

測次	不同高度之飛沙量($g/m-s$)										總飛沙量 Q ($g/m-s$)	揚塵量 PM_{10} ($\mu g/m^3$)
	<0.01 m	0.01~0.25 mm	0.25 m	0.3 m	0.4 m	0.7 m	1.0 m	1.3 m				
1	156.6	19.3	15.2	12.9	3.0	2.5	1.8	1.6	10.3	2215		
2	160.8	21.1	19.0	16.7	3.0	2.5	1.8	1.5	11.2	2349		
3	174.9	23.1	21.0	19.4	3.5	2.7	2.1	1.6	12.5	2407		
4	148.0	18.3	16.5	12.7	2.1	1.9	1.5	1.1	9.3	1674		
5	163.3	20.3	17.3	15.2	3.5	2	2.1	1.5	11.0	2327		
6	177.6	21.7	14.4	14.2	2.6	2.4	2.1	1.7	10.9	2091		
7	168.4	21.1	16.7	16.0	3.3	2.5	2.1	1.5	11.3	2377		
8	91.3	16.4	14.6	12.3	2.9	2.0	1.3	1.1	8.0	1405		
9	95.6	15.6	16.3	14	2.4	2.0	1.3	1.0	8.1	1345		
10	130.4	17.6	14.8	11.5	3.4	1.7	1.3	1.1	9.0	1510		
11	134.8	18.1	13.8	13.5	2.5	1.9	1.6	1.2	9.1	1585		
12	91.5	14.8	16.7	14.6	3.3	1.5	1.6	1.0	8.2	1415		
13	98.0	16.2	15.8	14.2	2.8	1.8	1.4	1.0	8.3	1330		
14	82.3	15.6	16.0	15.4	3.2	2.0	1.6	1.0	8.2	1358		
平均	133.8	18.5	16.3	14.5	3	2.1	1.7	1.3	9.7	1813		

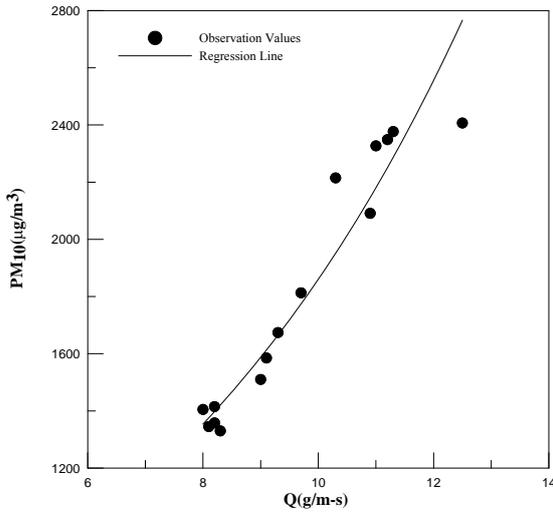


圖 7-17 大甲溪河口飛沙量 Q 與 PM_{10} 分析結果(范，2010)

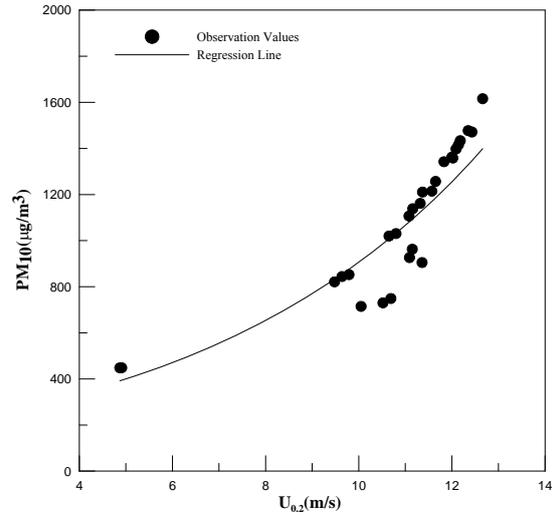


圖 7-18 $U_{0.2}$ 與 PM_{10} 之分析結果

7.4.2 北淤沙區飛沙對臺中港區之 PM_{10} 之影響

本研究針對臺中港區空氣品質與飛沙量間之關係進行研究，研究中以大甲溪河口飛沙量 Q 與 PM_{10} 之關係，建立臺中港區 PM_{10} 與風速之關係。臺中港區歷年環境調查監測分析之空氣品質監測結果，如表 7-8 所示，藉由監測資料比對，顯示相同風速下北淤沙區 PM_{10} 約為臺中港 PM_{10} 濃度之 4.8 倍。並由測站風速和北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值 α 之分析結果得知，北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值 α 為測站風速的 1.462 倍，其相關性為 0.931，如圖 7-19 所示。

由於臺中港位於大甲溪河口區南側，若進一步考慮風向對臺中港所造成之影響，故以 NNW、N、NE、NW 為考慮風向之條件下進行分析。經由表 7-9 所示，藉由監測資料比對，顯示相同風速下北淤沙區 PM_{10} 約為臺中港 PM_{10} 濃度之 4.0 倍。由測站風速和北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值 α 之分析結果得知，北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值 α 為測站風速的 1.247 倍，其相關性為 0.953，如圖 7-20 所示。經由以上分析結果得知，當 α 平均值為 4.0 倍時相關性為 0.953，較 4.8 倍高。因此， PM_{10} 推估在考量風向條件下較為準確，

故可得知上游端(北淤沙區 PM_{10})為臺中港區 PM_{10} 量約為 4.0 倍，關係如式 7-13 所示。

$$PM_{10} = (176.92e^{0.163U_{02}}) / \alpha \dots\dots\dots(7-13)$$

表 7-8 中突堤 89~100 年間空氣品質監測結果

中突堤測站資料				測站風速利用式(7-12)所得北淤沙區 PM_{10} 推估值	北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值(α)
日期	最頻風向	風速(m/s) 日平均	$PM_{10}(\mu g/m^3)$ 日平均		
100.10.06	NW	3	68	288.8	4.3
100.08.03	NNW	1.6	72	229.8	3.2
100.05.01	NNE	2.4	58	261.8	4.5
100.03.11	NNE	1	60	208.3	3.5
99.08.08	W	1.8	68	237.4	3.5
99.02.22	N	1.9	70	241.3	3.5
98.10.09	NW	5.4	57	427.4	7.5
98.04.28	N	1.8	82	237.4	2.9
98.03.13	WNW	7.5	49	602.3	12.3
94.10.08	NNE	5.8	58	456.3	7.9
93.10.30	NW	5.8	70	456.3	6.5
93.08.04	ENE	2.6	43	270.5	6.3
93.05.18	NNW	4.2	79	351.3	4.5
93.03.24	NNE	4.9	38	393.9	10.4
92.10.20	NNE	2.2	74	253.4	3.4
92.09.15	WNW	2	78	245.3	3.1
92.05.19	ESE	3.1	44	293.6	6.7
92.02.25	ENE	5.1	75	407.0	5.4
91.11.26	NNE	1.6	83	229.8	2.8
91.09.20	NE	5.8	81	456.3	5.6
91.04.04	WNW	2.03	95	246.5	2.6
91.02.09	NE	2.92	79	285.0	3.6
90.11.25	E	1.92	58	242.1	4.2
90.08.25	NNW	2.44	66	263.6	4.0
90.04.10	NNW	2.36	103	260.1	2.5
90.01.30	NW	1.93	66	242.5	3.7
89.10.23	NNW	1.39	78	222.0	2.9
89.09.18	N	1.07	100	210.7	2.1
平均值		3.1	69.7	304.3	4.8

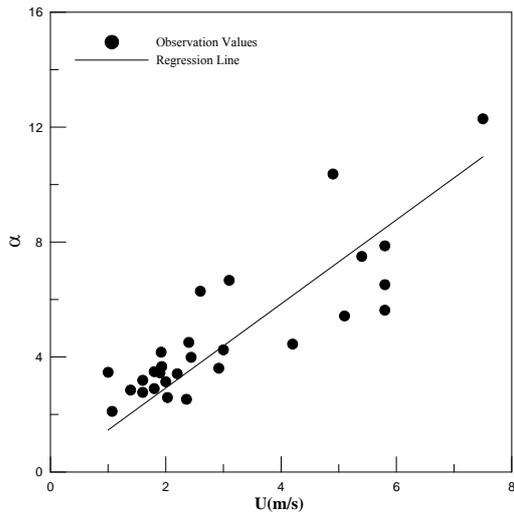


圖 7-19 U 與 α 迴歸結果
 $(\alpha = 1.462U, R^2 = 0.931)$

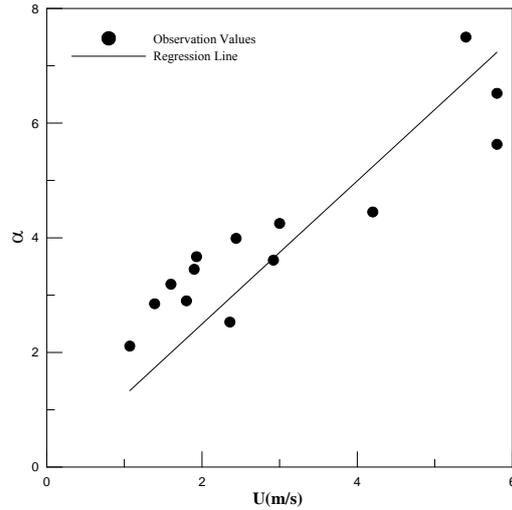


圖 7-20 U 與 α 迴歸結果
 $(\alpha = 1.247U, R^2 = 0.953)$

表 7-9 中突堤 90~100 年間空氣品質監測結果

中突堤測站資料				測站風速利用式 (7-12)所得北淤沙 區 PM_{10} 推估值	北淤沙區與中 突堤 PM_{10} 比值 (α)
日期	最頻風向	風速(m/s) 日平均	$PM_{10}(\mu g/m^3)$ 日平均		
100.10.06	NW	3.0	68	288.8	4.3
100.08.03	NNW	1.6	72	229.8	3.2
99.02.22	N	1.9	70	241.3	3.5
98.10.09	NW	5.4	57	427.4	7.5
98.04.28	N	1.8	82	237.4	2.9
93.10.30	NW	5.8	70	456.3	6.5
93.05.18	NNE	4.2	79	351.3	4.5
91.09.20	NE	5.8	81	456.3	5.6
91.02.09	NE	2.92	79	285.0	3.6
90.08.25	NNW	2.44	66	263.6	4.0
90.04.10	NNW	2.36	103	260.1	2.5
90.01.30	NW	1.93	66	242.5	3.7
89.10.23	NNW	1.39	78	222.0	2.9
89.09.18	N	1.07	100	210.7	2.1
平均值		3.0	76.5	298.0	4.0

7.4.3 北淤沙區風速 U 、飛沙量 Q 對應空氣品質之關係

本研究針對北淤沙區高程 1.5 m 之風速、飛沙量與空氣品質間之關係進行分析探討，藉此推估飛沙量對應空氣品質之相關性。依據行政院環保署甲級空氣污染防治專責人員訓練教材內容指出，懸浮微粒對於人體健康之短期影響如下：在濃度達 $350\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 會增加慢性支氣管炎病患之呼吸道症狀；濃度達 $250\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 會減低 1 秒鐘之用力呼吸量；濃度達 $150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 會增加氣喘發生之頻率。

1. 北淤沙區飛沙對擋風牆外圍區之空氣品質監測

北淤沙區沿岸地區(位置如圖 6-17 A 點所示)空氣品質監測結果如圖 7-21~圖 7-24 所示，風速： $1.5\text{ m/s} \sim 36.5\text{ m/s}$ 、平均風速： 3.5 m/s ；飛沙量 $8.8\text{ g}/\text{m-s} \sim 31.3\text{ g}/\text{m-s}$ 、平均飛沙量： $3.0\text{ g}/\text{m-s}$ ； TSP 濃度： $67.5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 3355.7\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $191.2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ； PM_{10} 濃度： $57.3\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 333.8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $132.3\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ； $PM_{2.5}$ 濃度： $21.5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 34.14\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $27.6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，由以上監測結果參考 PSI 值為 PSI(100)對應 PSI 值與健康影響為普通，而人體健康為對敏感族群健康無立即之影響。

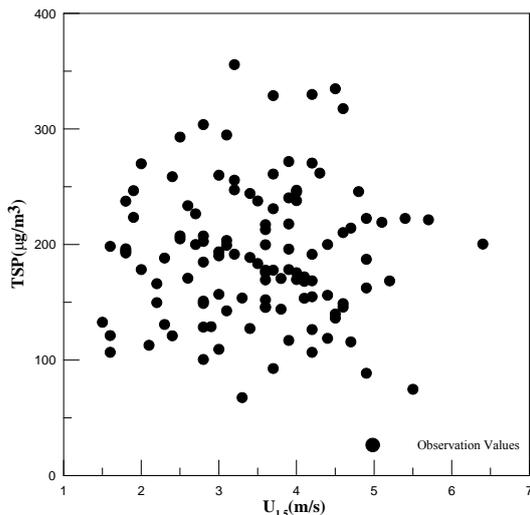


圖 7-21 擋風牆外圍 TSP 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖

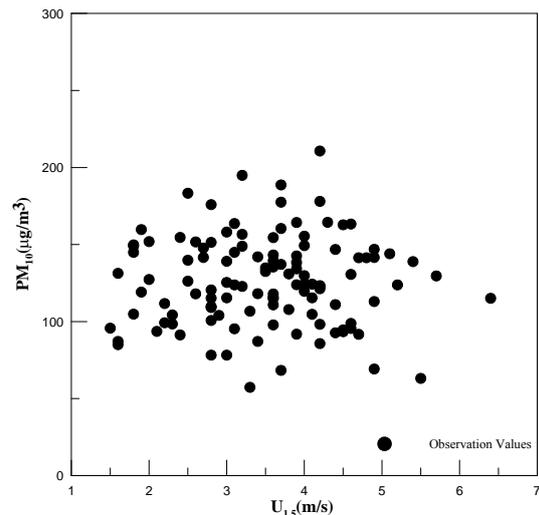


圖 7-22 擋風牆外圍 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖

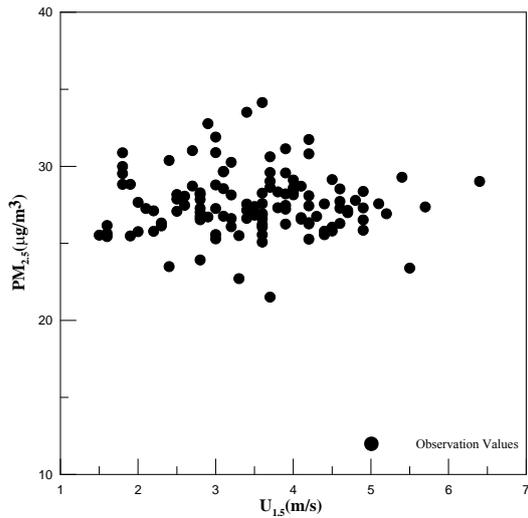


圖 7-23 擋風牆外圍 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖

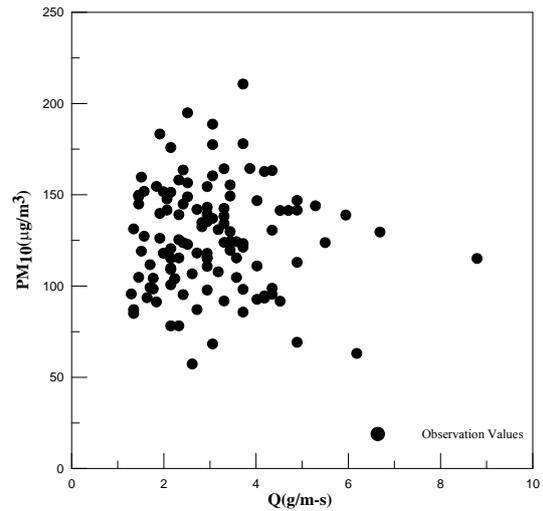


圖 7-24 擋風牆外圍 PM_{10} 與飛沙量 Q 相關分佈圖

2. 北淤沙區飛沙對北防波堤堤址之空氣品質監測

本研究於北防波堤堤址(位置如圖 6-17 B 點所示)空氣品質監測結果，如圖 7-25～圖 7-28 所示。風速區間： $3.1\text{ m/s} \sim 7.4\text{ m/s}$ 、平均風速： 5.9 m/s ；飛沙量： $13\text{ g/m-s} \sim 2.4\text{ g/m-s}$ 、平均飛沙量： 6.7 g/m-s ； TSP 濃度： $1296.1\text{ }\mu\text{g/m}^3 \sim 3130\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 、平均濃度： $2024.9\text{ }\mu\text{g/m}^3$ ； PM_{10} 濃度： $653.5\text{ }\mu\text{g/m}^3 \sim 1659.8\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 、平均濃度： $928.1\text{ }\mu\text{g/m}^3$ ； $PM_{2.5}$ 濃度： $47.1\text{ }\mu\text{g/m}^3 \sim 72.2\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 、平均濃度： $59\text{ }\mu\text{g/m}^3$ ，由以上監測結果參考 PSI 值(表 6-7)為 PSI (500)以上，對應 PSI 值與健康影響(表 6-8)為有害，而對應人體健康中於敏感族群方面，除了不適症狀顯著惡化並會造成某些疾病提早病發，且將減低正常人的運動能力。

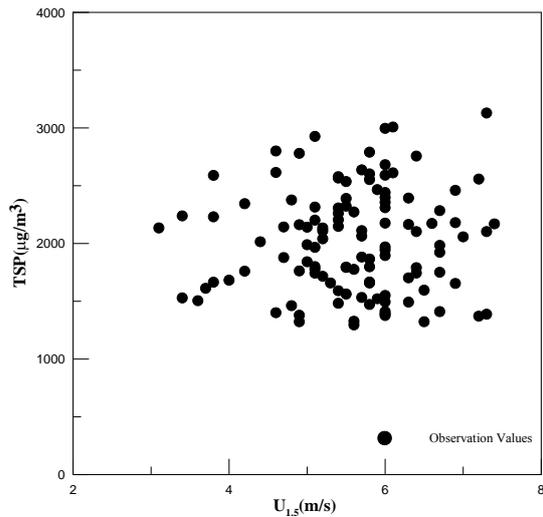


圖 7-25 北防波堤堤址 TSP 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖

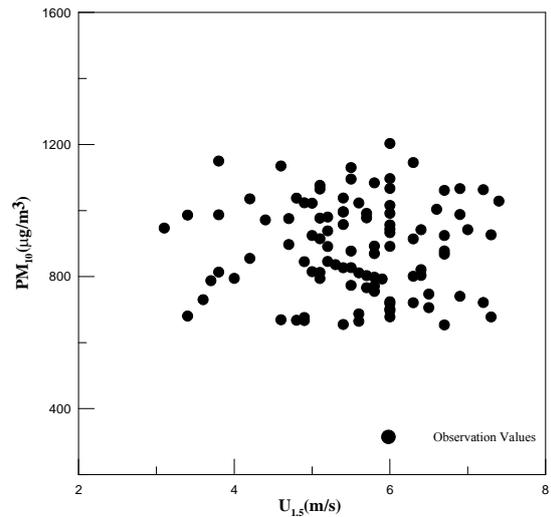


圖 7-26 北防波堤堤址 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖

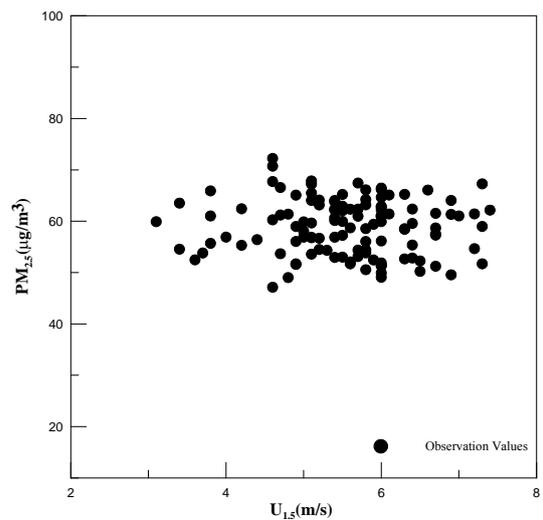


圖 7-27 北防波堤堤址 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 相關分佈圖

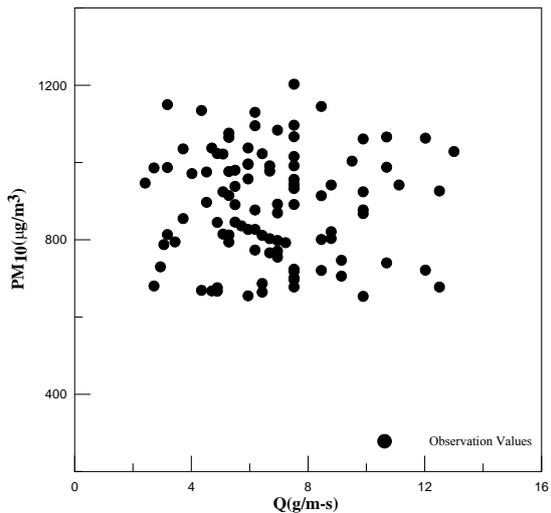


圖 7-28 北防波堤堤址 PM_{10} 與飛沙量 Q 相關分佈圖

3. 擋風牆外圍區與北防波堤堤址之空氣品質綜合比較

經由北防波堤堤址及擋風牆外圍之空氣品質監測結果顯示，北防波堤堤址之各項監測項目濃度值較高，而擋風牆外圍濃度值較低，顯示北防波堤堤址空氣品質易受飛沙及風場作用之影響。以平均值結果(表 7-10)得知，北防波堤堤址風速為擋風牆外圍之

1.8 倍、飛沙量為 2.2 倍，而各項監測項目 TSP 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 分別為 10.6 倍、7.0 倍、2.1 倍。

表 7-10 北防波堤堤址及擋風牆外空氣品質監測結果

空氣品質監測資料			
位置	擋風牆外圍 (A 點)	北防波堤堤址 (B 點)	北防波堤堤址與擋風 牆外圍監測資料比值 (B/A)
TSP 平均值	$191.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$2024.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$	10.6
PM_{10} 平均值	$132.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$928.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	7.0
$PM_{2.5}$ 平均值	$27.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$59.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2.1
$U_{1.5}$ 平均值	3.5 m/s	5.9 m/s	1.8
Q 平均值	3.0 g/m-s	6.7 g/m-s	2.2

第八章 系列潛堤保護工法設計研究

長久以來海岸侵蝕及淤積問題持續在臺灣不同海岸發生，傳統海岸保護工法如護岸、突堤、離岸堤等，設置的原理為抵抗侵襲的波浪以及防止海岸漂沙，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 (2010~2012) 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，並由理論解析去探討布拉格反射的特殊機制。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，本研究以臺中港為目標港區，利用該地區的海象條件，設計是何該地區的系列潛堤佈置。首先以計算效率較高的 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) 進一步計算，探討其波浪防禦的效果。

8.1 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：

$$R = \frac{2\alpha}{ik \cos \theta} \left[(k \cos \theta)^2 - (k \sin \theta)^2 \right] \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) e^{2ik \cos \theta x} dx \dots\dots\dots (8-1)$$

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， θ 為波浪入射角， α 參數表示如下：

$$\alpha = \frac{k}{2kh + \sinh 2kh} \dots\dots\dots(8-2)$$

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 8-1 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。根據圖 8-1 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(8-3)

$$\delta(x) = \begin{cases} D, (j-1)S_1 \leq x \leq (j-1)S_1 + W & , j=1, 2, \dots, N_j \\ D, (N_j-1)S_1 + I_1 + (j-1)S_2 \leq x \leq (N_j-1)S_1 + I_1 + (j-1)S_2 + W & , j=1, 2, \dots, N_j \\ \vdots & \vdots \\ D, \sum_{p=1}^{j-1} [(N_j-1)S_p + I_p] + (j-1)S_j \leq x & \\ \leq \sum_{p=1}^{j-1} [(N_j-1)S_p + I_p] + (j-1)S_j + W & , j=1, 2, \dots, N_j \\ 0, otherwise \end{cases} \quad (8-3)$$

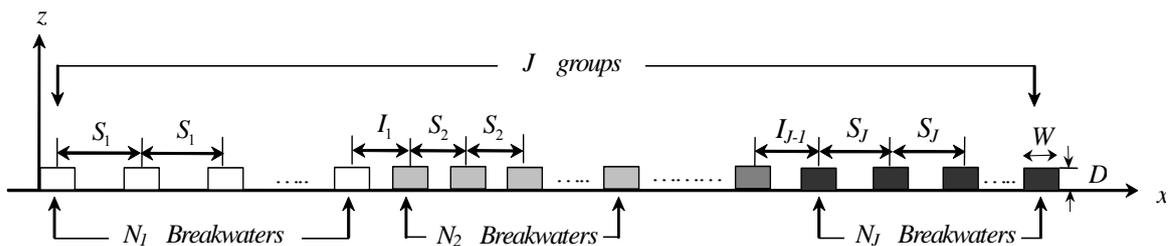


圖 8-1 複合式潛堤佈置參數示意圖

將上式 $\delta(x)$ 代入式 (8-1) 中積分得到反射率如下

$$R = \left| \frac{2\alpha D}{k_x^2} (k_x^2 - k_y^2) \sin(k_x W) \right| \times \sqrt{\sum_{j=1}^J A_j^2 + 2 \sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})} \dots (8-4)$$

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

$$A_j = \frac{\sin(k_x N_j S_j)}{\sin(k_x S_j)}, j = 1, 2, \dots, J \dots\dots\dots (8-5)$$

$$A_p = \frac{\sin(k_x N_j S_p)}{\sin(k_x S_p)}, p = 1, 2, \dots, J - 1 \dots\dots\dots (8-6)$$

$$A_q = \frac{\sin(k_x N_j S_q)}{\sin(k_x S_q)}, q = 2, 3, \dots, J \dots\dots\dots (8-7)$$

$$\begin{aligned} X_{pq} &= N_1 S_p + 2 \sum_{i=p+1}^{q-1} (N_1 S_i + 2I_i) \\ &= N_1 S_p + 2 \sum_{i=p+1}^{q-1} (N_1 S_i + I_{i-1}) + N_1 S_q + 2I_{q-1}, p < q \end{aligned} \dots\dots\dots (8-8)$$

由式(8-4)~(8-8) 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： α 、 $\sin(k_x W)$ 、 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 θ 等。

8.2 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：

$$\begin{aligned} & \left[\frac{-2\omega i}{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta} \right] \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right) \\ & = \nabla_h^2 \phi + k_c^2 \phi + \frac{g}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \left[2\bar{F}_1 \cdot \delta \nabla_h \frac{\phi}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \right] \dots (8-9) \\ & \quad + \frac{\delta}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \nabla_h [g(1-\lambda^2)] \cdot \nabla_h \left[\frac{\phi}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \right] \end{aligned}$$

式中 ϕ 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

$$k_c^2 = \left[\frac{g\bar{F}_1 \cdot \nabla_h \delta + gF_2 + k^2 CC_g}{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta} \right] - \frac{\nabla_h^2 \sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \dots (8-10)$$

$$\bar{F}_1 = \lambda(1-\lambda^2)(k\nabla_h h + h\nabla_h k) \dots (8-11)$$

$$F_2 = \alpha_1(\nabla_h h)^2 k + \alpha_2 \nabla_h^2 h + \alpha_3 \nabla_h k \cdot \nabla_h h / k + \alpha_4 \nabla_h^2 k / k^2 + \alpha_5 (\nabla_h k)^2 / k^3 \dots (8-12)$$

式 (8-11) 及式 (8-12) 中參數 $\alpha_i (i=1, \dots, 5)$ 為

$$\alpha_1 = -\lambda(1-\lambda^2)(1-\lambda q) - 2(1-\lambda^2)\lambda^2 k \delta \dots (8-13)$$

$$\alpha_2 = -\lambda q(1-\lambda^2)/2 + (1-\lambda^2)\lambda k \delta \dots (8-14)$$

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= q(1-\lambda^2)(2q\lambda^2 - 5\lambda/2 - q/2) \\ & \quad - 2(1-\lambda^2)(2\lambda^2 q - \lambda - q)k \delta \dots (8-15) \end{aligned}$$

$$\alpha_4 = q(1-\lambda^2)(1-2\lambda q)/4 - \lambda/4 + (1-\lambda^2)\lambda q k \delta \dots (8-16)$$

$$\begin{aligned} \alpha_5 &= q(1-\lambda^2)(4\lambda^2 q^2 - 4q^2/3 - 2\lambda q - 1)/4 \\ & \quad + \lambda/4 + (1-\lambda^2)q^2(1-2\lambda^2)k \delta \dots (8-17) \end{aligned}$$

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。

8.3 潛堤保護工設計

本研究根據本所港灣技術研究中心自 2003 年 8 月至 2011 年 12 月臺中港波浪觀測資料，統計結果顯示較大波浪 $H_{1/3} \geq 3\text{m}$ 的波浪週期介於 $6\text{sec} \leq T_{1/3} \leq 9\text{sec}$ 之間，故本研究針對此範圍週期內之波浪作系列潛堤設計，擬設置後能達到反射率 0.35 以上，以平均水深 10m 作潛堤佈置的水深，在週期 $T_{1/3} = 6\text{ sec}$ 時，波浪波長約為 48.35m，在週期 $T_{1/3} = 9\text{ sec}$ 時，波浪波長約為 81.64m。系列潛堤為利用當潛堤佈置與入射波長比為 $2S/L = 1$ 時，發生布拉格反射以達到防禦波浪效果，故堤距約在 25m 時，會使波長為 48.35m 發生布拉格反射。

本研究以兩組潛堤堤距(S_2 及 S_1)，每組潛堤個數為 4 個作設計，潛堤寬為 5m，堤高為 5m，首先以堤距 $S_1 = 25\text{m}$ 為第一組潛堤堤距，第 2 組堤距為 $S_2 = 12.5\text{m} \sim 50\text{m}$ (即 $S_2 / S_1 = 0.5 \sim 2.0$)，變化不同的波浪週期其所對應的參數為 $2S_1/L = 0.01 \sim 2.5$ ，以 Mile (1981) 理論推導計算不同堤距組合及波浪週期 $2S_1/L$ 的反射率，結果如圖 8-2 所示。圖中色階愈深表示反射率值愈高，而顏色愈淺則表示反射率愈低，當 $2S_1/L = 1$ 及 2 的高反射率為第一組 4 個潛堤堤距為 $S_1 = 25\text{m}$ 所造成，另外虛線附近所發生的較高反射率，為由第二組 4 個潛堤堤距為 S_2 所造成。本研究擬防禦波浪條件為週期 $6\text{sec} \leq T_{1/3} \leq 9\text{sec}$ (波長約為 $48.35\text{m} \leq L \leq 81.64\text{m}$)，亦即在 $0.61 \leq 2S_1/L \leq 1.03$ 範圍能有較高反射率，由圖中顯示約在 $1.3 \leq S_2 / S_1 \leq 1.6$ 之間會發生較大的反射率。

Hsu 等(2003)由 EEMES 模式計算模擬研究中指出，實際的布拉格反射分佈會往較低頻處平移，故本研究另以第一組 4 個潛堤堤距為 $S_1 = 30\text{m}$ 作不同的堤距組合 ($S_2 / S_1 = 0.5 \sim 2.0$) 以及波浪週期 ($2S_1/L = 0.01 \sim 2.5$) 的反射率計算，結果如圖 8-3 所示。圖中顯示當 $2S_1/L = 1$ 及 2 會發生較高反射率如點線，而由第二組 4 個潛堤堤距所造成的高反射率則發生在虛線附近條件。本研究欲防禦波浪條件 $0.61 \leq 2S_1/L \leq 1.03$ 間，則潛堤必須設計為 $1.3 \leq S_2 / S_1 \leq 1.6$ 。

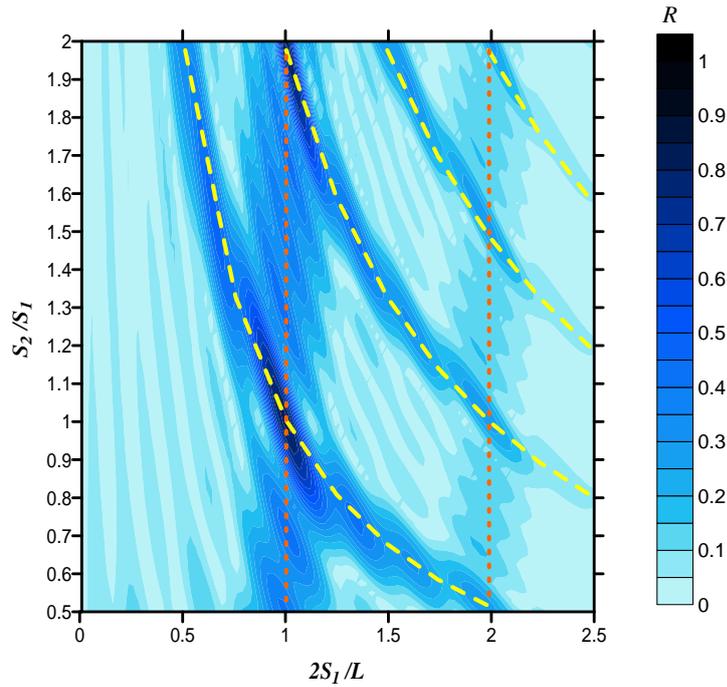


圖 8-2 不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($S_1=25\text{m}$)

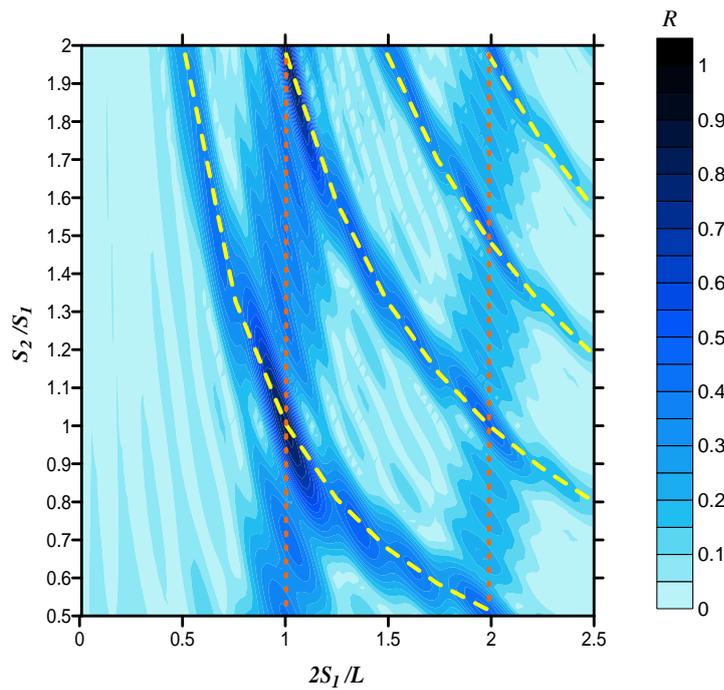


圖 8-3 不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($S_1=30\text{m}$)

為更清楚地看出波浪週期 $6\text{sec} \leq T_{1/3} \leq 9\text{sec}$ 條件下的反射率分佈情形，將圖 8-2 以及圖 8-3 的橫座標 $2S_1/L$ 改以週期 T 繪製如圖 8-4 及圖 8-5。圖 8-4 顯示在 $S_1=25\text{m}$ 條件下，欲在波浪週期 $6\text{sec} \leq T_{1/3} \leq$

9sec 發生較高反射率，則潛堤堤距必須設計為 $1.4 \leq S_2/S_1 \leq 1.6$ ，雖在 $S_2/S_1=1.4$ 與 $T=9\text{sec}$ 條件以及 $S_2/S_1=1.6$ 與 $T=7\text{sec}$ 條件，顯示的反射率似乎較小，但由 Hsu 等(2003)得知以 EEMES 模式計算模擬，實際的布拉格反射分佈會往較低頻處平移且其反射率值可能較高，故本研究仍以本佈置條件探討其防禦之效果。

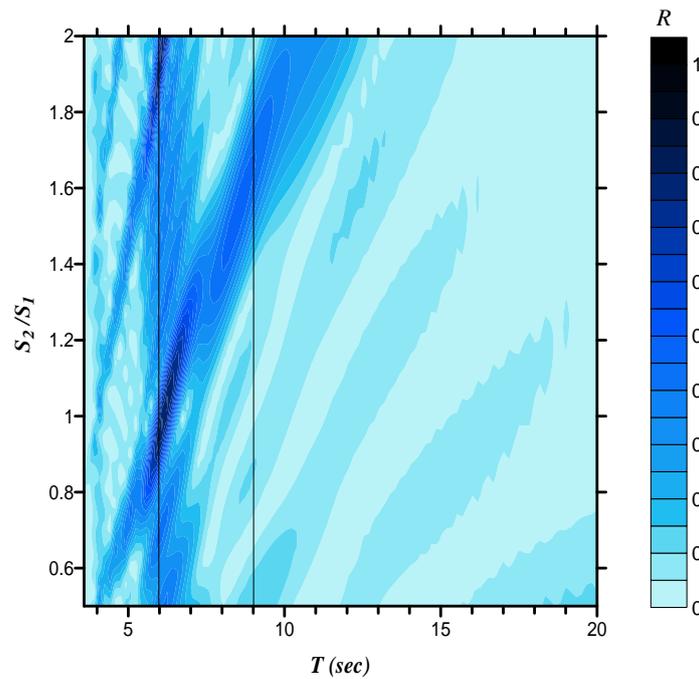


圖 8-4 不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($S_1=25\text{m}$)

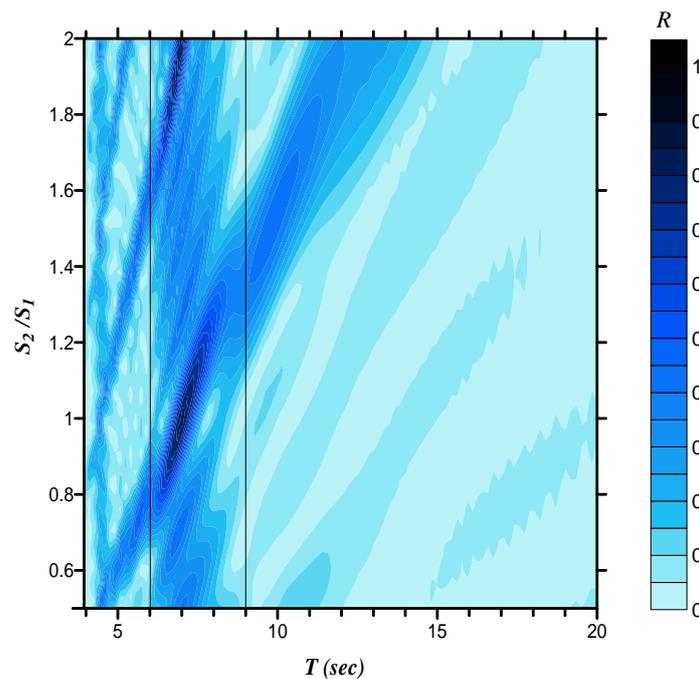


圖 8-5 不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($S_1=30\text{m}$)

上述探討的潛堤佈置個數為 8 個，為探討不同個數之反射率分佈情形，圖 8-6 及圖 8-7 為 $S_1=20\text{m}$ ，潛堤個數各別為 6 個及 4 個的計算結果。圖形顯示個數的減少，整體的反射率會減小，雖反射率在 S_2/S_1 與 T 的分佈情形與圖 8-4 及圖 8-5 相似，但較大的反射率條件較少，尤其在較大的波高週期條件。因此設計時欲增加其反射率，且其經費以及施工地區允許，可以將潛堤個數增加。

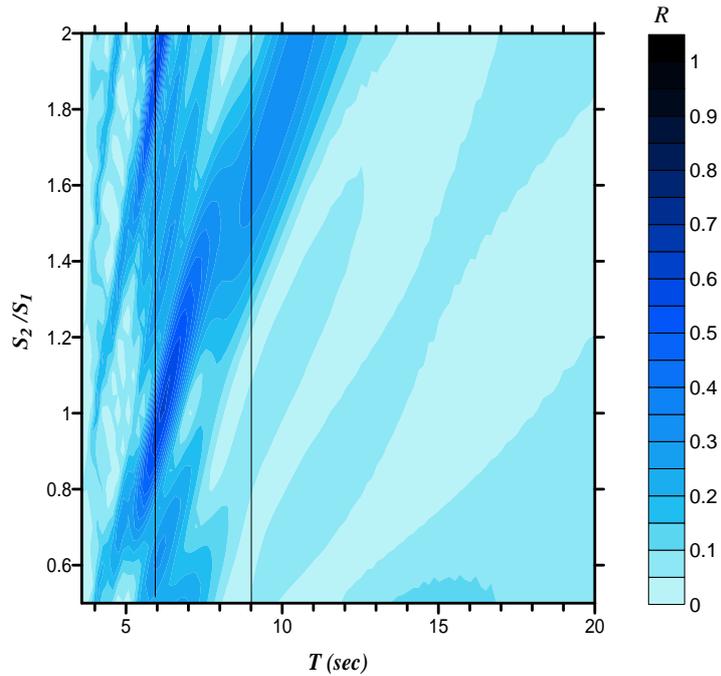


圖 8-6 不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($N=6$)

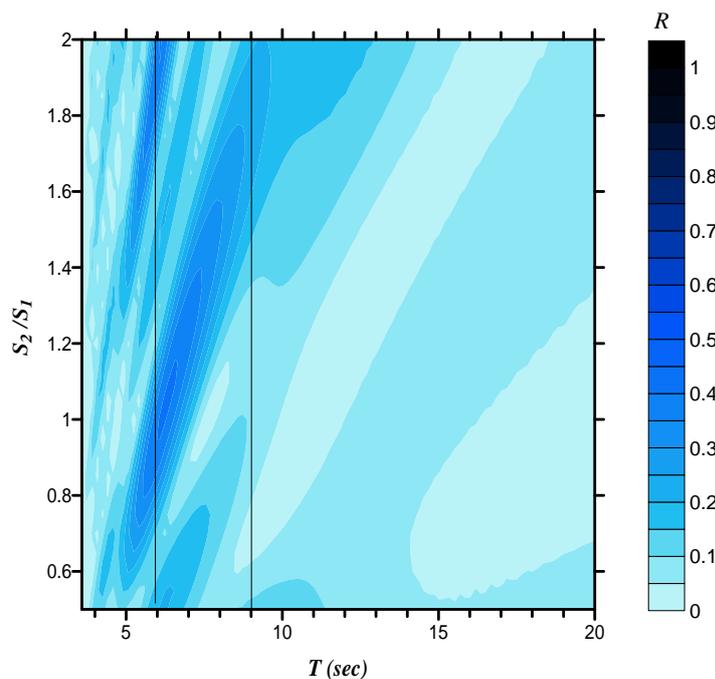


圖 8-7 不同堤距及波浪條件反射率分佈圖 ($N=4$)

本研究以圖 8-2 中之分析結果，繪出其中 $S_2/S_1=1.3$ 、1.4 以及 1.5 條件下，不同週期之反射率變化比較圖，如圖 8-8 所示。圖形顯示三個佈置條件在 $T=6\sim 9\text{sec}$ 間均會發生布拉格反射，其中 $S_2/S_1=1.3$ 的反射率帶寬較小，但在 $T=7\text{sec}$ 附近的反射率值，無法達到要求的目標值；在 $S_2/S_1=1.4$ 佈置條件下，雖然布拉格反射率帶寬較大，但在 $T=7\text{sec}$ 附近反射率值並未達到目標值；而 $S_2/S_1=1.5$ 佈置條件下，布拉格反射率帶寬較大，但在 $T=7\text{sec}$ 附近發生反射率遽降現象，在此分析中三個條件並未達到目標要求，但離目標值並不遠。

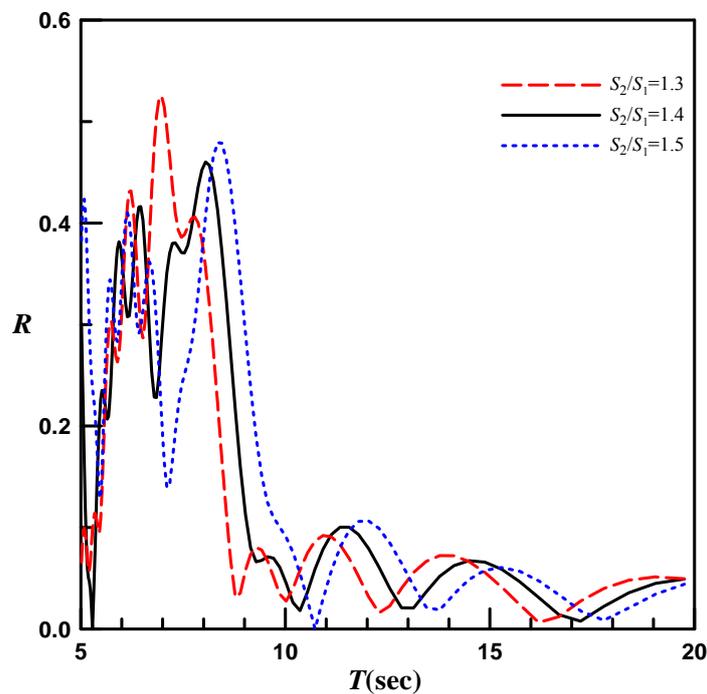


圖 8-8 不同週期反射率分佈圖 (Miles, 1881)

故本研究另外以較精確的 EEMSE 模式作上述佈置條件下計算分析，結果如圖 8-9。圖形顯示三個佈置條件 ($S_2/S_1=1.3$ 、1.4 以及 1.5) 下，在 $T=6\sim 9\text{sec}$ 間均會發生布拉格反射，在 $T=8\text{sec}$ 附近會發生反射率值較低現象，但並不像圖 8-8 中以 Miles (1981) 理論模式的計算的反射率值陡降明顯，整個的反射率曲線分佈，比圖 8-8 的曲線分佈較往長週期處平移。三個佈置條件中，以 $S_2/S_1=1.4$ 佈置符合本研究所定的波浪防禦目標，故本研究最終最適的系列潛堤佈置設計條件為，以兩組潛堤堤距，各為 $S_1=25\text{m}$ 及 $S_2=35\text{m}$ ，每組個數為 4 個，潛堤寬為 5m，堤高為 5m，佈置水深為 10m。

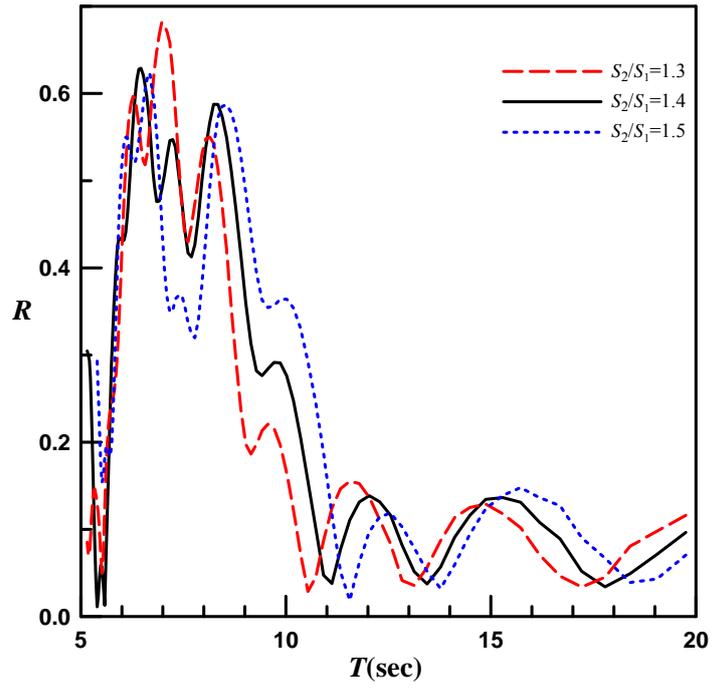


圖 8-9 不同週期反射率分佈圖 (EEMSE, Hsu 等 (2003))

第九章 結論與建議

港灣因營運以及安全考量，需建造許多港灣結構物在近岸，而結構物的設置造成了鄰近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，漂沙甚至繞過港灣結構物進到航道，也可能因風吹沙進入航道港池而造成淤積，若持續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經營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原生之生物種，影響原有海域生態平衡。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現場調查，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，提供對港灣及海岸淤積、飛沙、地形變遷以及水污染擴散等問題未來研擬對策之參考。此外，對新型海岸保護工法進行水理特性分析以及針對臺中港海象作設計分析。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，並對船舶壓艙水處置設置作規劃並研擬管理制度。本研究為4年期研究之第4年，主要以臺中港以及附近區域為目標港域，茲將研究結論、建議、成果效益以及應用情形分述如下：

9.1 結論

1. 本年度建立二維水質之數值模式，使用本所港研中心於臺中港所設立的海域水質測站來率定與驗證水質模式，並藉由水質模式來模擬分析上游污染源對臺中港區水質變化情形。由模擬結果可知，BOD濃度在臺中港港區外均能符合乙類海域水體水質標準(<3ppm)，而港

內地區(梧棲大排附近)BOD 濃度會高於 3ppm。如假設水域臨界值為乙類與丙類海水水體之水質標準，其 BOD 涵容餘裕量分別為 2.13E+07 kg/day 與 5.91E+07 kg/day。

2. 2012 年 4 月枯水期水質調查顯示，臺中港區內與港外水體品質整體而言良好，均能符合所屬之乙類海域水質標準。除港內鹽度略低於港外海水，以及港內大腸桿菌群含量相對略高但仍在合格範圍，其餘並無異常。而 9 月豐水期同屬良好，港內出現鹽度略微降低，而生化需氧量則略微升高且不符合乙類海域水質標準之情形，重金屬則均無異常。顯示港域內仍可能有來自有機廢污水之污染，導致水體中有機物耗氧量增加，但尚未導致溶氧量降低至不符合海域水體標準的程度。但 9 月豐水期時，臺中港內葉綠素 a 偏高已達中養至優養等級，顯示臺中港內仍可能受到過量營養鹽輸入，造成刺激藻類大量生長之優養化機率發生。
3. 臺中港海域表層沉積物重金屬於 2011 年 4 月與 2012 年 4 月枯水期間調查結果，整體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並無特別異常偏高，均低於底泥品質指標項目濃度上限值，除砷含量於大肚溪外海相對最高外，其餘項目多以港內為較高。底泥有機錫檢測結果顯示，臺中港區外之大甲溪外海、大肚溪外海與大肚溪河口均低於偵測極限無異常。而於梧棲大排出口、安良港大排出口以及梧棲漁港內底泥均測得微量有機錫之存在。
4. 由 2011 年 4 月與 2012 年 4 月枯水期間底質重金屬調查顯示，臺中港域、大甲溪外海與大肚溪外海之砷富集程度相對偏高，且以大肚溪外海最高，此應與海陸相地層特性與粒徑分布差異所致，而此處之有機質、鋁、銅、鉛、鋅、鉻與汞則相對最低；底質粒徑以此處之平均粒徑及中值粒徑為最高，砂含量亦最高，明顯有別於其他 4 處之表層沉積物多以粉砂為主。此外 2012 年 4 月增加於大肚溪河口

調查結果，底質粒徑同樣呈現砂含量高，且重金屬銅、鉛、鋅、鉻與汞亦相對偏低；有機質與鋁含量相對亦明顯最低之特性。

5. 海域水質與底質相關性分析顯示，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。底質汞含量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。
6. 經由國內航商公司問卷調查壓艙水處理設備結果，航運公司目前傾向採用船上的處置方式，故我國未來可朝船用壓艙水處理系統之規劃及管理進行，而岸上壓艙水收受設施由於技術問題仍有待克服，但其安全性高且較具公信力，因此可列為未來港口技術開發項目之一，尤以駁船式設備的應用較為可行。
7. 依據現場調查分析結果顯示，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。以風速 $U_{0.2}$ 、含水率 ω 及摩擦風速 U_* 作為推估飛沙量 Q 之因子較單一因子更能與實測值相接近，其飛沙量函數 $Q(\omega, U_{0.2}, U_*)$ 為非線性關係。以本研究所建立之飛沙量關係式，推估 2001 年至 2010 年垂直斷面之總飛沙量平均為 $333.75 m^3 / m - year$ 。
8. 以臺中港現場波浪條件，利用 Miles(1980)理論以及 EEMSE (Hsu 等, 2003) 模式，作系列潛堤防禦波浪設計，依據本研究方法作各式潛堤佈置分析，最終所選擇的佈置條件，可達到目標防禦波浪(週期 6~9 秒) 反射率達 0.35 的效果。

9.2 建議

1. 為持續保護與提升改善臺中港域水體與鄰近沿海海域水體品質，未來可朝兩方面進行。其一為污染稽查管制與削減：配合臺中港務分

公司調查成果，將可能之污染來源通報臺中市政府環境保護局，加強定期與不定期以及夜間污染稽查管制。其二為落實海域工程施作管理：由環保局配合海巡單位，針對海域工程施工單位進行近岸與海上稽巡查，針對申請之開發單位進行定期與不定期稽查，而施工活動密集期間更應加強稽查頻率。

2. 臺中港區內於梧棲大排、安良港大排處以及梧棲漁港底泥均測得微量有機錫之存在，而港區外之大甲溪與大肚溪河口，則未發現有機錫之有嚴重污染之情形。底泥出現微量之有機錫，應與過去船舶防污漆之溶出有關，由本年度調查結果研判，尚未發現有特別異常污染情勢，但後續仍可持續追蹤，針對港內如停泊整理修復之碼頭進行調查，以進一步確認其是否有受到有機錫污染或殘留之現象。
3. 航運公司有意願裝置船上壓艙水處理設備使壓艙水處理能符合國際要求，因缺少前例可循並且公約生效之日已近，國內應建立壓艙水相關資訊平臺讓航運界、相關公部門、學界等對於實務需求有交換資訊、對策研討的空間，以為未來壓艙水管理策略的擬定與執行奠立基礎。
4. 壓艙水管理制度的建立包含多方面，如指定交換區之劃設、船舶壓艙水資料之申報、港口國相關管制作業等等，但因目前具有外來生物種侵入威脅之船舶壓艙水在我國國內法之定位不明確，相關政府部門難依現有法規執法；因此極需在法制議題上給予船舶壓艙水清楚的定義，以便相關政府部會有法源根據以研擬進一步之管理規則。

9.3 成果效益及後續應用情形

本研究分別以蒐集資料整理分析、問卷調查、現場調查、理論解析、數值模擬計算以及統計分析等方式，探討目標港灣（臺中港）附近飛沙以及水理機制，此成果可提供各港務相關單位作為未來改善港灣飛沙、淤積問題以及防禦波浪之參考；此外，本研究依據水質及生態調查分析結果提出水質現況以及污染擴散機制，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改善水質及控制污染之參考依據；依據調查結果顯示國內航商傾向使用船上壓艙水處理設備，對於壓艙水管理制度的建立，研擬的壓艙水交換區，可提供各港務及環保相關單位作為未來港口國壓艙水管控之參考依據。

參考文獻

1. 吳正 (1968), 「新疆和田地沙土及土壤風蝕的初步研究」, 中國地理學會地貌學術討論會, 125~127 頁。
2. 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。
3. 交通部臺中港務局 (1979), 「臺中港漂沙評估報告」。
4. 交通部臺中港務局 (1985), 「臺中港第一期工程完工報告」。
5. 交通部臺中港務局 (1988), 「臺中港港口擴建計畫評估研究」。
6. 溫清光、周建成 (1990), 「台灣河川水質指數之建立」, 中華民國環境工程學會第三屆環境規劃研討會論文集, 184~198 頁。
7. 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。
8. 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」。
9. 交通部臺中港務局 (1994), 「臺中港漂沙防制與新生地開發」。
10. 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。
11. 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。
12. 交通部臺中港務局 (1999), 「臺中港港池泊渠浚及圍堤造地規劃」。

13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. 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。
17. 徐義人（1999），「工程機率統計學」，華泰文化事業股份有限公司。
18. 海渡電力股份有限公司（1999），「海渡火力發電廠開發計畫環境影響評估」。
19. 臺中港務局（1999），「臺中港南填方區（I）工程及航道浚深拓寬工程計畫環境影響說明書」。
20. 臺中港務局（1999），「臺中港港口第二期擴建工程計畫環境監測報告」。
21. 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。
22. 台灣電力股份有限公司（2002），「臺中發電廠環境監測九十一年年報」。
23. 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」。

24. 經濟部水資源局國立成功大學水工試驗所(2003),「臺灣地區漁港浚渫海拋處置場所評估調查研究」,研究試驗報告第295號。
25. 余炳盛、劉金龍、呂祺竹(2004),「陽明山國家公園土壤重金屬含量調查及其地質意義之探討」,內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。
26. 蘇千宗(2004),「淺談海洋棄置問題」,海巡論壇第十一期,30~31頁。
27. 楊文衡、盧春森(2006),「台灣淡水海域涵容能力之評估」,第四屆亞太地區DHI軟體技術研討會論文集。
28. 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。
29. 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。
30. 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」。
31. 行政院環保署(2007),「中央管河川劃定水區訂定水體分類檢討計畫」。
32. 交通部運輸研究所(2008),「近岸漂沙機制與防治研究(1/4)」。
33. 交通部運輸研究所(2008),「台中港觀測風力資料專刊(1994-2007年)」。
34. 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。
35. 張齊心(2009),「我國因應國際船舶壓艙水及底泥控制與管理發展趨勢之策略研究」,國立成功大學碩士論文。
36. 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」。

37. 交通部中央氣象局 (1999-2009), 「氣候資料年報—地面資料」。
38. 交通部中央氣象局 (1999-2009), 「潮汐觀測資料年報」。
39. 交通部運輸研究所(2001-2009), 「港灣海氣地象觀測資料年報」。
40. 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。
41. 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。
42. 行政院環境保護署 (1996-2011), 「台灣北部、中部、南部海域水質監測現況」, <http://www.epa.gov.tw>。
43. 環境水質監測年報 (1996-2011), 「海域水質篇」, <http://wqshow.epa.gov.tw/WQEPA/Code/Report/ReportList.aspx>。
44. 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。
45. 臺中市政府環境保護局 (2012), 「101 年度臺中市強化海洋污染稽查緊急應變能力及港區污染熱區稽查管制計畫」。
46. 澎湖縣環境保護局 (2004-2012), 「台灣外島海域環境品質及污染來源調查監測計畫」。
47. 蔡立宏、徐如娟 (2012), 「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。
48. 中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw>。
49. 交通部運輸研究所(2012), 「壓艙水水質管理座談會會議資料」。
50. Anderson, R., Willetts, B. (1991) “A review of recent progress in our understanding of aeolian sediment transport,” Acta, Mechanica. Supplementum, Vol. 1, pp. 1-19.
51. Bagnold, R.A. (1954) “The physics of blown sand and desert dunes,” Chapman and Hall: p.86.

52. Belzons, M., Rey, V. and Guazzelli, E. (1991) "Subharmonic Bragg resonance for surface water waves," *Europhysics Letters*, Vol. 16, No.2, pp. 189-194
53. 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.
54. EPA (2001) "Aquatic nuisance species in ballast water discharges: Issues and Options," *Draft Report for Public Comment*, p14.
55. EPA (2008) "Environmental impacts statements; Notice of availability," *Federal Register*, Vol. 73, No. 249, p79475
56. EPA (2009) "Vessel general permit for discharges incidental to the normal operation of vessels (VGP), " Authorization To Discharge Under The National Pollutant Discharge Elimination System, p16.
57. EPA (2011a) "Factsheet of vessel general permit," *EPA-833-11-002*.
58. EPA (2011b) "Efficacy of ballast water treatment systems: a report by the epa science advisory board", EPA-SAB-11-009
59. EPA (2011c) "Efficacy of ballast water treatment system: a report by the epa science advisory board, " United States Environmental Protection Agency Washington D.C. 20460, p. 81.
60. EPA Fact Sheet (2012) "The U.S . environmental protection agency plans to reissue, a national pollutant discharge elimination system (npdes) permit to the following facility pursuant to the provisions of the clean water act," 33 U.S.C. §1251 et seq: Alyeska Pipeline Service Co. Caldez Marine Terminal (AK-002324-8), p. 6.
61. Davies, A.G. and Heathershaw, A.D. (1984) "Surface wave propagation over sinusoidally varying topography," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 144, pp. 419-443.
62. Government of Canada (2011) "Ballast water control and management regulations," *SOR/2011-237*, Retrieved from

<http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2011/2011-11-09/html/sor-dors237-eng.html>

63. 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.
64. Heathershaw, A.D. (1982) "Seabed-wave resonance and sand bar growth nature," Vol. 296, pp. 343-345.
65. 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.
66. Horton, R. K. (1965) "An Index Number System for Rating Water Quality," *Journal of Water Pollution Control Fed*, Vol. 37, pp. 300-305.
67. 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.
68. 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.
69. Huang, N., Zheng, X.J. (2003) "Theoretical simulation of developing process of wind-blown sand movement," *Key Engineering Materials*, Vol. 243, pp. 589-594.
70. 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.
71. Matej David, Stephan Gollasch (2008) "EU shipping in the dawn of managing the ballast water issue," *Marine Pollution Bulletin* 56: 1966-1972.
72. Miles, J. W. (1981) "Oblique surface-wave diffraction by a cylindrical obstacle," *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, Vol. 6, pp. 121-123.

73. Montgomery, D.C., Runger, G.C., Hubele, N.F., (2007) “*Engineering statistics*,” John Wiley, Hoboken.
74. Pacific States Marine Fisheries Commission Portland, Oregon (2005), “Technologies shore based treatment hull fouling and nobobs regulations legislation,” Ballast Water Issue Paper, p8.
75. Tucker, M.J. and Pitt, E.G. (2001) “Waves in ocean engineering,” Elsevier Science Ltd, Oxford, UK.
76. USCG (2009) “U.S. coast guard office of operating and Environmental standards,” Retrieved from <http://www.uscgnews.com/external/content/document/4007/1444391/1/White%20Paper%20-%20Ballast%20Water%20Discharge%20Standard%20v3A.pdf>
77. USCG (2012) “Ballast water management,” Retrieved from <http://www.uscg.mil/hq/cg5/cg522/cg5224/bwm.asp>
78. The IMO Technical Guidelines, Retrieved from <http://globallast.imo.org/resolution.htm>
79. Tsai, L.H. and Wen, C.C. (2010) “Functional design of a series of submerged breakwaters for coastal protection against waves,” *China Ocean Engineering*, Vol. 24(3), pp. 553-564.
80. 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.
81. Zhang, W and Lee, S.J. (2007) “Two-phase measurements of wind and saltating sand in an atmospheric boundary layer,” *Geomorphology*, Vol. 88, pp. 109-119.

「船舶壓艙水水質管理座談會」

會議議程及會議紀錄

一、議程

日期：101年6月1日(星期五)

地點：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

時 間	議 程
09:00-09:15	報 到
09:15-09:30	主 席 致 詞
09:30-10:10	專題報告與座談(一)：臺中港壓艙水研究成果 主講人：劉大綱助理教授 成功大學海洋科技與事務研究所 主持人：邱永芳主任 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 李前鋒副處長 中國驗船中心研究處
10:10-10:30	中 場 休 息
10:30-11:20	專題報告與座談(二)：壓艙水公約管理法制 主講人：李前鋒副處長 中國驗船中心研究處 主持人：華健副教授 臺灣海洋大學輪機工程技術學系 何良勝科長 交通部運輸研究所港灣技術研究中心
11:20-12:10	專題報告與座談(三)：壓艙水管理及處理技術 主講人：華健副教授 臺灣海洋大學輪機工程技術學系 主持人：胡慶祥助理教授 弘光科技大學環境與安全衛生工程學系 蔡立宏研究員 交通部運輸研究所港灣技術研究中心

二、會議紀錄

日期：2012年6月1日(星期五)

地點：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

專題報告與座談(一)：臺中港壓艙水研究成果

主講人：劉大綱助理教授 成功大學海洋科技與事務研究所

主持人：邱永芳副主任 交通部運輸研究所港灣技術研究中心

李前鋒副處長 中國驗船中心研究處

問：投影片第3頁提到透過資料分析造訪臺中港之商船上一港，以及壓艙水年平均排放量估算，所得的估算似乎太過低估？若以各船的壓艙容量乘以造訪船數，所得的量遠遠大過簡報中的估算值。

答：本研究是以德國學者建議的方式估算，由於船舶不會排掉所有壓艙水，這與卸貨量有關，因此我們有將臺中港卸貨量納入參數，但除此之外，仍有許多的影響因素，因此本研究所估算的值已是可能排放的最大排放量。

問：補充一下，如果全部排放量會排到10萬噸，若以百分比計算，歐洲港口特性與亞洲港口特性很不一樣，若以德國學者的方式估算，與亞洲港口的差異性頗大，且通常貨櫃船排放量會較少，但為何這裡是貨櫃船排較多？

答：我們有訪問過航商，大多數是說在大洋中就將壓艙水排放了。除了要求航商確實申報壓艙水資料，否則因研究上限制，難以準確估算。例如，美澳都是規定進港船舶必須申報要排放多少量。

問：有關德國學者的估算方式，他們是用卸貨量算，但事實上壓艙水裝卸載貨量的差異，才是一船舶所排放之壓艙水量，因為壓艙水的功用是要維持船身平衡。德國學者用 DWT 算，但我建議可應用臺中港裝卸貨量算才會準確。還有以 NOAA 資料計算，我認為也是錯誤方式，因為要的是各港口的溫鹽資料，NOAA 所提供的非港內數據，港內受近岸影響，與港外海水的特性已有差異。

答：您提的兩個想法，我都有想過。計算裝卸貨量的確是最準的，但我們作本研究時，資料的取得是相當大的困難。

問：我有作過相似計畫，應該會拿到資料。

答：關於第二個問題，港口內的溫鹽資料，怎麼能拿得到？國內港口資料量已不易取得，國外港口資料更是不可能，因此使用 NOAA 的資料，在固定的經緯度點位上都有詳細的資料。

問：我是海大海資系的，海大可拿到臺灣區域的溫鹽資料。

答：NOAA 在固定的經緯度上都有資料，以全球尺度而言是很好的參考。

專題報告與座談(二)：壓艙水公約管理法制

主講人：李前鋒副處長 中國驗船中心研究處

主持人：華健副教授 台灣海洋大學輪機工程技術學系

何良勝科長 交通部運輸研究所港灣技術研究中心

問：USCG 三月份的最新規則有提到五年後可能會更改標準，這對我們航運公司造成困擾，怎麼可能現在採購了處理設備，五年後如果他們的標準改變了，又更換設備？

答：這的確是個困擾的地方。他們現在標準是和 IMO 一樣，但又留伏筆，說不排除五年後更改標準。

問：剛提到沉積物處理也在規範之內，對於船舶進塢處理沉積物，您是否有建議？

答：航商所要負責的就是跟港口聯絡，請港口回收。所以，未來港口可能都要設置有壓艙水和沉積物回收設施。船舶進塢所清出的污泥數量龐大，只能由港口負責回收，但如何處理，就沒有特別要求。

問：目前 CR 對於船舶在壓艙水設備的檢驗上是否有要求？

答：目前沒有特別的檢驗，但我們有發證書，說明該船舶是使用交換法，或是使用某一設備。

問：設備是否合格，港口單位要如何檢驗？

答：這是很困難的問題，通常一個設備要作檢驗需要幾十天，所以一個設備合不合格，港口單位在短時間內不易判斷，只能先採樣海水，再進行檢驗。光用肉眼很難判斷，看起來乾淨的海水可能含有許多病菌。港口國在登船檢驗時，如果很難判斷，就只能相信設備。如果使用加入活性物質的設備，如加入臭氧或加其他生物等，這可能會造成二次公害，因此要買有 IMO 認證的產品較佳。

問：請問依您對公約的瞭解，未來如果將公約國內法制化，這些規範若在國內落實，應由環資部或由交通部處理較為適合？

答：很難回答這問題，這與油污染、空氣污染議題較類似，不便隨便作建議。因為船是交通部管理，污染由環保署管理。目前交通法規對於油污染設備有作規

範，對於廢水有制訂設備規定，但環保署未訂有廢水標準。應由主管機關自行協調較適當。

專題報告與座談(三)：壓艙水處理技術

主講人：華健副教授 台灣海洋大學輪機工程技術學系

主持人：胡慶祥助理教授 弘光科技大學環境與安全衛生工程學系

蔡立宏研究員 交通部運輸研究所港灣技術研究中心

問：剛提到 IMO 提出十四項綱領，其中 G12 在 2012 年 3 月 12 日已更新資料。另外想請教，港口國官員採樣需要花費多久的時間？

答：目前正在研擬採樣程序中，我還不清楚。採樣的難易，要看船上壓載艙情形，有的有人孔，好採樣，有的位置不易。所以為了採樣方便，對於新船也有設計上的建議。

問：簡報中提到無壓艙水船的設計，對於商用船是否適用？

答：相關文獻只有指出會增加耗能，其他方面缺點未講出，但這研究已進行好幾年，如果真好用，應已試用，所以應是仍有無法克服的點。

問：我們一直想辦法把生物殺死，為何不能利用生物的特性，在固定空間中用細菌吃掉，會不會比其他排除法更好？

答：生物處理在水處理上一直有此方面的研究，例如對於油污染，也有關於噬油菌的研究。但壓艙水我目前沒有看到這方面研究，我猜想是因壓艙水包含的生物種範圍太大了，可能難找出適用於所有生物種的天敵。但使用噬油菌也會造成其他問題，例如，此生物的代謝物以及本身是否對環境造成問題。

問：目前有許多處理技術，請問哪一種是未來趨勢，低成本高效益？航商很需要這方面的資訊。

答：現在是戰國時代，各廠商都是先拿到認證，至於誰好用，還需要航商實際使用上才能得知。這需要時間。且近年一直有新的系統上市，原則上應該都是比舊款的更好。但是否合用，還有待驗證。有的公司裝了，過了些日子，同款設備價格就下跌了，這對航商的確不太容易。

問：就本公司現有船隊，我們的壓艙容量為 1500 噸，原定 2012 年就要安裝設備，約有 60 艘船，有人說越晚裝，越有利，因為等設備大量生產，價格就會下跌。我們公司新船都有安裝，但現有船的安裝，業界都還在觀望甚麼時間點切入較

佳，例如某公司明年年中才會評估。

答：這方面問題常有變動性，建議相關單位提供平臺，以頻繁地更新資訊、國內航商間對話空間。

問：三、四年前，我們選了 UV 設備裝置在新船，但後來後悔，因為後續維修的費用很多。建議國內船商可以多交流，要選哪一家。且安裝成本大於設備成本，若選擇錯誤會是很大損失。公約規定最遲要在進塢時安裝，剛華教授有提到，某家設備後來停用，但就我所知，該設備已有船舶安裝，那這樣不就無法有後續的服務了？

答：本次簡報的研究今年就要的結案了，未來可能另有個四年計畫要接續進行，但因公約生效門檻已非常接近，國內需要加快腳步來因應。航商公會也許可發公文至港研中心，我們的主任對壓艙水問題很關注，也很有衝勁，建議由公部門提供這樣的資訊平臺，結合學界力量，盡量將最新資訊提供給船商。

發言單紀錄

◎海洋大學副教授 華健

1. 剛開始，短期內恐需進一步瞭解造訪船的壓艙水管理詳細資訊。因此建議在落實要求以前，先要求船申報相關資訊。

◎中鋼運通工程師 鍾聖強

1. 壓艙水排放量估算應以實際數據或由設備規格、裝卸貨量資料配合壓艙水管理計畫書來計算，不宜引用過時之「歐洲模式」。
2. USCG 最新法規只暫時允許符合 D-2 標準之處理設備，並不排除五年後提高標準，此將影響航商投資該設備之意願及時程。
3. 港口國對於取樣分析等檢驗流程及對應處理措施仍無明確規定，然一旦法規生效，將造成航商之困擾。
4. 減低壓艙水的設計可行性研究？