

100-67-7546

MOTC-IOT-99-H2DA004

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

中華民國 100 年 5 月

100-67-7546

MOTC-IOT-98-H2DA004

臺灣近岸港域地形變遷與 環境調查研究 (2/4)

著 者：蔡立宏、徐如娟

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 5 月

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

GPN：1010000834

定價 400 元

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 (2/4)
/ 蔡立宏、徐如娟著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，
民 100.05

面 ； 公分

ISBN 978-986-02-7655-8 (平裝)

1. 海岸 2. 流沙 3. 數值分析 4. 生態模擬

443.3

100006771

臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究 (2/4)

著 者：蔡立宏、徐如娟

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 100 年 5 月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 100 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：400 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：1010000834

ISBN：978-986-02-7655-8 (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 (2/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-7655-8(平裝)	政府出版品統一編號 1010000834	運輸研究所出版品編號 100-67-7546	計畫編號 99-H2DA004
主辦單位：港灣技術研究中心 主 管：邱永芳 計畫主持人：蔡立宏 研究人員：徐如娟、何良勝、林受勳、張惠華、陳以螢 光碟製作：單誠基、馬維倫 聯絡電話：04-26587177 傳真號碼：04-26571329			研究期間 自 99 年 01 月 至 99 年 12 月
關鍵詞：漂沙；海岸地形變遷；水質；港灣環境；港灣工程			
摘要： 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與港灣環境之維護及永續利用的目標，本研究探討港區附近地形變遷機制及水質環境，並提出改善建議方案，俾提供施政以及工程單位之參酌。本研究為四年期(98~101 年)之計畫，研究工作項目包括：1.漂沙及水體基本資料收集。2.建立鄰港水理數值模式。3.調查及分析鄰港水質及生態環境。4.探討鄰港漂沙機制及特性。5.預測鄰港未來地形變遷趨勢。6.研擬漂沙及飛沙整治方案。7.研擬鄰港水質環境改善方案。8.新式海岸保護工法研發。本年度（99）研究為第二年，目標港灣以臺中港以及鄰近地區為主。 本研究分別以文獻資料整理分析、現場調查、水工模型試驗、理論解析以及數值模擬計算方式，分析目標港灣（臺中港）及鄰港附近水動力以及漂沙機制，探討港灣結構物、海象以及地形條件互制所產生特殊的波潮流變化以及侵蝕淤積的原因與現象，提出改善方案並評估效果，研究成果可提供主管港務相關單位作為未來改善港灣漂沙侵淤積問題之參考；本研究對臺中港港池及附近作水質及生態調查分析，並探討影響之可能污染源，作為港池水質環境管理單位未來水質控管參考。此外，對船舶壓艙水排放量作估算，並探討外來船舶之生物污染風險，成果可提供主管港灣設計營運及水質生態單位改善及監控之參考。本研究成果亦可提供研究及設計單位如顧問公司以及學術研究等單位，對於港灣漂沙及水質環境問題改善、水動力數值模擬、漂沙地形變遷數值模擬與水質數值模擬之參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 5 月	342	400 元	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究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 Harbor (2/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-7655-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010000834	IOT SERIAL NUMBER 100-67-7546	PROJECT NUMBER 99-H2DA004
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-hung PROJECT STAFF: Hsu Ju-chuan, Ho Lian-sheng, Lin Shou-shiun, Chang Hei-hwa, Chen Yi-ying PHONE: +886-4-26587177 FAX: +886-4-26560661			PROJECT PERIOD FROM January 2010 TO December 2010
KEY WORDS: sand drift, coastal topography change, water quality, harbor environments, harbor engineering			
ABSTRACT: The purpose of this study is to investigate the harbor environments and near-shore topography change due to the natural climate, harbor structures and human behavior. Site survey, theoretical analysis, numerical calculations, and experiments are respectively carried out in this project (a four –year project, 2009~2012). The topics included in the present research are as follows: 1. Review related literatures and documents. 2. Set up numerical models nearby the harbor. 3. Investigate and analyze the water quality and ecology in the harbor. 4. Study the mechanism and characteristic of near- shore sediments. 5. Predict the coastal topography change in the future. 6. Propose the improving strategies regarding the problems of sediment transport and wind blown sand. 7. Propose the strategies for improving the water environments near the harbor. 8. Look into the characteristic of new coastal protection structures. This study increases our understanding of the present and future impacts on the harbor and coastal zone, as well as providing improving strategies. The study would also provide critical information for harbor and coast managers in charge of the harbor and coastal areas. This year is the second year of the project; the target harbor is Taichung Harbor and the nearby areas. This study can both uphold and preserve the harbor and coastal environment. It has considered not only the safety level of the coast and harbor, but also its effect on walkway and ecology. The results provide the government institutes and private sectors, including the Ministry of Transportation and Communication, Water Resource Agency, Environmental Protection Administration, Harbor Bureaus, consultant incorporations et al., with the references to improve the problems of sediment transport and water pollution and to design coastal engineering to protect the coastal environments.			
DATE OF PUBLICATION May 2011	NUMBER OF PAGES 342	PRICE 400	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

摘 要	I
目 錄	III
表目錄	III
圖目錄	III
照片目錄	III
第一章 緒論	1-1
1.1 前言	1-1
1.2 研究動機及目的	1-2
1.3 研究項目與方法	1-3
1.4 本研究組織	1-5
第二章 基本資料蒐集與分析	2-1
2.1 臺中港區概況	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	2-9
2.3.2 海流	2-11
2.3.3 波浪	2-13
2.3.4 潮位	2-16
2.4 颱風資料	2-18
2.5 海域水質	2-26
2.5.1 臺中港外海水質	2-26
2.5.2 臺中港港內水質	2-31

2.6 陸域水質	2-38
2.7 海域生態	2-47
2.7.1 浮游植物	2-49
2.7.2 浮游動物	2-49
2.7.3 底棲生物	2-49
2.7.4 魚類	2-50
2.7.5 生態指數變化	2-50
第三章 水體採樣調查及分析	3-1
3.1 測站規劃	3-1
3.1.1 測站設置原則	3-1
3.1.2 測站選定	3-1
3.2 海域水質調查	3-2
3.2.1 採樣方法	3-2
3.2.2 採樣頻率	3-4
3.2.3 分析項目與檢測方法	3-4
3.3 海域水質調查結果	3-5
3.4 海域生態調查	3-14
3.4.1 樣品採集	3-14
3.4.2 採樣頻率	3-15
3.4.3 分析項目	3-15
3.5 海域生態調查結果	3-15
3.5.1 浮游植物	3-15
3.5.2 浮游動物	3-23
第四章 水質與生態統計分析	4-1

4.1 海域水質分析	4-1
4.2 統計分析結果	4-7
第五章 船舶排水對港池水質影響	5-1
5.1 資料分析	5-2
5.1.1 資料來源	5-2
5.1.2 排水量分析	5-2
5.1.3 風險評估	5-4
5.2 結果分析	5-8
5.2.1 進港船舶運量等基本資料	5-8
5.2.2 壓艙水排放估算	5-20
5.2.3 船舶之生物風險評估	5-23
第六章 壓艙水處理策略研擬	6-1
6.1 公約中與壓艙水處理相關之規範	6-1
6.2 壓艙水處理技術	6-7
6.2.1 物理方式處理	6-8
6.2.2 機械處理方法	6-11
6.2.3 化學處理方法	6-14
6.2.4 案例分析	6-19
6.3 壓艙水管理策略之研擬	6-21
第七章 灘線侵淤變化分析	7-1
7.1 灘線變化模擬	7-1
7.2 模式校核	7-3
7.3 灘線變化分析（1996 年至 2002）	7-6
7.3.1 冬、夏季代表波浪(方法 I)	7-5

7.3.2 常年平均月代表波浪(方法 II)	7-7
7.3.3 當月代表波浪(方法 III)	7-9
7.4 灘線變化分析 (2002 年至 2006)	7-12
7.4.1 冬、夏季代表波浪 (方法 I).....	7-13
7.4.2 常年平均月代表波浪 (方法 II)	7-14
7.4.3 當月代表波浪 (方法 III)	7-17
7.5 綜合比較	7-21
第八章 侵淤防治方案研擬與評估.....	8-1
8.1 防治方案對漂沙特性影響	8-3
8.2 防治方案研擬	8-7
8.3 防治方案評估	8-8
8.3.1 方案 1 評估	8-8
8.3.2 方案 2 評估	8-11
8.3.3 方案 3 評估	8-12
第九章 系列潛堤保護工法特性研究.....	9-1
9.1 理論模式	9-2
9.2 數值模式	9-4
9.3 結果與討論	9-5
第十章 結論與建議.....	10-1
10.1 結論	10-1
10.2 建議	10-3
10.3 成果效益及後續應用情形	10-4
參考文獻	11-1
附錄 A 簡報資料	A-1

附錄 B 期末審查意見處理情形表	B-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 1999-2009 年之氣象觀測資料統計表	2-4
表 2-3	梧棲氣象站 1999-2009 年之氣象觀測資料統計表	2-4
表 2-4	臺中港 2001 年至 2009 年風之風速及風向統計表	2-9
表 2-5	臺中港 2003 年至 2009 年海流之流速及流向統計表	2-11
表 2-6	臺中港 2003 年至 2009 年示性波高、週期及波向資料 統計表.....	2-14
表 2-7	臺中港 1999-2009 年潮位資料統計	2-17
表 2-8	1999 年至 2009 年侵臺颱風基本資訊一覽表	2-19
表 2-8(續)	1999 年至 2009 年侵臺颱風基本資訊一覽表	2-20
表 2-9	1999 年至 2009 年期間颱風路徑分類統計表	2-21
表 2-10	水體分類及水質標準.....	2-29
表 2-11	臺灣北、中、南部海域水質調查統計表	2-30
表 3-1	民國 99 年臺中港鄰港海域水質測站座標	3-2
表 3-2	水質檢測項目之方法與偵測極限等品質目標	3-5
表 3-3	民國 99 年 3 月臺中港鄰港海域水質採樣調查結果	3-6
表 3-4	民國 99 年 9 月臺中港鄰港海域水質採樣調查結果	3-6
表 3-5	民國 99 年 3 月臺中港鄰港水質環境調查 浮游植物個 體量及含量百分比.....	3-18

表 3-6	民國 99 年 9 月臺中港鄰港水質環境調查 浮游植物個 體量及含量百分比.....	3-19
表 3-7	民國 99 年臺中港鄰港水質環境調查各測站浮游植物生 態指數.....	3-20
表 3-8	臺中港海域歷次浮游植物族群歧異度及優勢度指數表	3-20
表 3-9	民國 99 年 3 月臺中港鄰港水質環境調查 浮游動物平 均豐度及含量百分比.....	3-26
表 3-10	民國 99 年 9 月臺中港鄰港水質環境調查 浮游動物平 均豐度及含量百分比.....	3-27
表 3-11	民國 99 年臺中港鄰港水質環境調查各測站浮游動物生 態指數.....	3-28
表 3-12	臺中港海域歷次浮游動物族群歧異度及優勢度指數表	3-28
表 3-13	各測次間測量土方侵淤比較表	3-32
表 4-1	臺中港海域水質原始資料(X)與經過 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 函數轉換後 頻度分布比較.....	4-8
表 4-1(續 1)	臺中港海域水質原始資料(X)與經過 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 函數轉換 後頻度分布比較	4-9
表 4-1(續 2)	臺中港海域水質原始資料(X)與經過 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 函數轉換 後頻度分布比較	4-10
表 4-1(續 3)	臺中港海域水質原始資料(X)與經過 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 函數轉換	

	後頻度分布比較	4-11
表 4-2	臺中港海域水質水溫原始資料與轉換後之常態化測試 結果.....	4-12
表 4-3	臺中港海域水質氫離子濃度原始資料與轉換後之常態 化測試結果.....	4-12
表 4-4	臺中港海域水質鹽度原始資料與轉換後之常態化測試 結果.....	4-13
表 4-5	臺中港海域水質溶氧量原始資料與轉換後之常態化測 試結果.....	4-13
表 4-6	臺中港海域水質生化需氧量原始資料與轉換後之常態 化測試結果.....	4-14
表 4-7	臺中港海域水質礦物性油脂原始資料與轉換後之常態 化測試結果.....	4-14
表 4-8	臺中港海域水質大腸桿菌群原始資料與轉換後之常態 化測試結果.....	4-16
表 4-9	臺中港海域水質酚類原始資料與轉換後之常態化測試 結果.....	4-16
表 4-10	臺中港海域水質氨氮原始資料與轉換後之常態化測試 結果.....	4-17
表 4-11	臺中港海域水質總磷原始資料與轉換後之常態化測試 結果.....	4-17
表 4-12	臺中港海域水質氰化物原始資料與轉換後之常態化測 試結果.....	4-18
表 4-13	臺中港海域水質有機氮原始資料與轉換後之常態化測 試結果.....	4-18

表 4-14	民國 85~97 年臺中港海域水質相關性檢定結果	4-19
表 4-15	海域水質主成份之特徵值及解釋變異量百分比	4-20
表 4-16	海域水質特徵值大於 1 之主成份相關係數矩陣	4-21
表 4-17	民國 98~99 年臺中港海域水質相關性檢定結果	4-26
表 4-18	海域水質主成份之特徵值及解釋變異量百分比(11 項).....	4-27
表 4-19	海域水質特徵值大於 1 之主成份相關係數矩陣(11 項).....	4-27
表 4-20	海域水質主成份之特徵值及解釋變異量百分比(9 項).....	4-32
表 4-21	海域水質特徵值大於 1 之主成份相關係數矩陣(9 項).....	4-33
表 4-22	臺中港沿海海域水質與浮游植物相關性分析	4-33
表 5-1	壓艙水排放量估算歐洲模式表格	5-4
表 5-2	壓艙水公約規範風險評估之三種方式	5-5
表 5-3	壓艙水風險評估法.....	5-6
表 5-4	風險程度.....	5-7
表 5-5	臺中港 94-98 年度艘數、總噸位、貨物量	5-8
表 5-6	臺中港 94-98 年進港船舶種類	5-10
表 5-7	臺中港 94-98 年進港船舶艘數變化	5-10
表 5-8	簽署壓艙水公約或擬定壓艙水管理辦法之國家	5-13
表 5-9	全球權宜船旗之國家.....	5-14
表 5-10	臺中港入港船舶艘次前十大船旗國家	5-15
表 5-11	臺中港 94-98 年進港船舶上一港國家累積表	5-17
表 5-12	臺中港歷年壓艙水排放量估算.....	5-22

表 5-13 各國港口風險區分.....	5-25
表 5-14 溫鹽風險評估表.....	5-26
表 5-14(續 1) 溫鹽風險評估表.....	5-27
表 5-14(續 2) 溫鹽風險評估表.....	5-28
表 5-14(續 3) 溫鹽風險評估表.....	5-29
表 5-14(續 4) 溫鹽風險評估表.....	5-30
表 5-14(續 5) 溫鹽風險評估表.....	5-31
表 5-14(續 6) 溫鹽風險評估表.....	5-32
表 5-14(續 7) 溫鹽風險評估表.....	5-33
表 5-14(續 8) 溫鹽風險評估表.....	5-34
表 5-14(續 9) 溫鹽風險評估表.....	5-35
表 5-14(續 10) 溫鹽風險評估表.....	5-36
表 5-14(續 11) 溫鹽風險評估表.....	5-37
表 6-1 IMO 壓艙水達標標準(D-2).....	6-1
表 6-2 IMO 壓艙水管理逐步實施期程.....	6-2
表 6-3 IMO 所列之六種岸上收受設施收費制度.....	6-6
表 6-4 一般壓艙水過濾設備之裝設成本	6-9
表 6-5 物理處理方法.....	6-10
表 6-6 機械處理方法.....	6-13
表 6-7 化學處理方法.....	6-15
表 6-8 目前已通過審核之壓艙水處理技術	6-18

表 6-9	各國壓艙水處理技術.....	6-20
表 6-10	美國壓艙水回報表格.....	6-23
表 7-1	GENESIS 模式參數校核分析方法	7-4
表 7-2	GENESIS 灘線模式參數	7-4
表 7-3	GENESIS 模式之冬、夏季代表波浪計算條件	7-7
表 7-4	GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較(I).....	7-6
表 7-5	GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件	7-7
表 7-6	GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較 (II)	7-8
表 7-7	GENESIS 模式之常年各月代表波浪計算條件	7-9
表 7-8	GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形之比較 (III)	7-11
表 7-9	GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (I).....	7-13
表 7-10	GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件	7-15
表 7-11	GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (II)	7-16
表 7-12	GENESIS 模式之常年各月代表波浪計算條件	7-18
表 7-13	GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (III)	7-20
表 8-1	以突堤上游灘線變化理論計算灘線淤積至堤頭之時間	8-10
表 8-2	以突堤上游灘線變化理論計算灘線淤積至堤頭之時間	8-12

圖目錄

圖 2-1	臺中港附近海域海氣象資料之觀測站位置圖	2-2
圖 2-2	臺中氣象站 1999 年至 2009 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 2009 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 2009 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 2009 年平均氣壓之月統計圖	2-6
圖 2-6	臺中氣象站 1999 年至 2009 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 2009 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 2009 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 2009 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 2009 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 2009 年平均氣壓之月統計圖	2-8
圖 2-12	梧棲氣象站 1999 年至 2009 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 2009 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 2009 年風速及風向之月統計圖	2-10
圖 2-15	臺中港 2001 年至 2009 年風速及風向之月統計分佈圖	2-10
圖 2-16	臺中港 2003 年至 2009 年海流流速、流向及最大流速之 月統計	2-12
圖 2-17	臺中港 2003 年至 2009 年海流流速、流向及最大流速之 月統計分佈圖	2-12
圖 2-18	臺中港 2003 年至 2009 年平均示性波高、平均週期及最 大示性波高之月統計	2-15
圖 2-19	臺中港 2003 年至 2009 年平均示性波高、平均週期及波 向之月統計分佈圖	2-15
圖 2-20	臺中港 1999 年至 2009 年最大潮差、大潮平均潮差及平 均潮差之月統計圖	2-16
圖 2-21	颱風路徑分類圖	2-21
圖 2-22	2009 年蓮花颱風之路徑圖	2-22
圖 2-23	2009 年莫拉菲颱風之路徑圖	2-23
圖 2-24	2009 年莫拉克颱風之路徑圖	2-24
圖 2-25	2009 年芭瑪颱風之路徑圖	2-25
圖 2-26	臺灣沿海海域水體分類圖	2-28
圖 2-27	臺中港港內海域水質監測點位圖	2-31
圖 2-28	臺中港港內歷年溶氧量監測值	2-32
圖 2-29	臺中港港內歷年生化需氧量監測值	2-33
圖 2-30	臺中港港內歷年大腸桿菌群監測值	2-34
圖 2-31	臺中港港內歷年氨氮監測值	2-35

圖 2-32	臺中港港內歷年總磷監測值.....	2-36
圖 2-33	臺中港港內歷年鹽度監測值.....	2-37
圖 2-34	陸域水質監測點位圖.....	2-38
圖 2-35	上游陸域水質之歷年水溫監測值	2-39
圖 2-36	上游陸域水質之歷年 pH 監測值.....	2-40
圖 2-37	上游陸域水質之歷年溶氧量監測值	2-41
圖 2-38	上游陸域水質之歷年生化需氧量監測值	2-42
圖 2-39	上游陸域水質之歷年懸浮固體監測值	2-43
圖 2-40	上游陸域水質之歷年大腸桿菌群監測值	2-44
圖 2-41	上游陸域水質之歷年氨氮監測值	2-45
圖 2-42	上游陸域水質之歷年總磷監測值	2-46
圖 2-43	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佈圖	2-48
圖 2-44	臺中港海域浮游植物生態多樣性歧異度變化趨勢	2-52
圖 2-45	臺中港海域浮游動物生態多樣性歧異度變化趨勢	2-53
圖 2-46	臺中港海域底棲動物生態多樣性歧異度變化趨勢	2-54
圖 2-47	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	2-55
圖 2-48	臺中港海域浮游植物生態優勢度變化趨勢	2-56
圖 2-49	臺中港海域浮游動物生態優勢度變化趨勢	2-56
圖 2-50	臺中港海域底棲動物生態優勢度變化趨勢	2-57
圖 2-51	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.....	2-58

圖 2-52	臺中港海域浮游植物生態均勻度變化趨勢	2-59
圖 2-53	臺中港海域浮游動物生態均勻度變化趨勢	2-59
圖 2-54	臺中港海域底棲生物生態均勻度變化趨勢	2-60
圖 2-55	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.....	2-61
圖 3-1	民國 99 年度臺中港鄰港海域水質與生態測站位置	3-3
圖 3-2	臺中港鄰近沿海海域之歷年酸鹼度變化	3-13
圖 3-3	臺中港鄰近沿海海域之歷年溶氧量變化	3-13
圖 3-4	臺中港鄰近沿海海域之歷年重金屬銅變化	3-13
圖 3-5	民國 99 年 3 月浮游植物之細胞總個體數與歧異度關係 ...	3-21
圖 3-6	民國 99 年 3 月浮游植物之細胞總個體數與優勢度關係 ...	3-21
圖 3-7	民國 99 年 9 月浮游植物之細胞總個體數與歧異度之關係	3-21
圖 3-8	民國 99 年 9 月浮游植物之細胞總個體數與優勢度關係 ...	3-22
圖 3-9	臺中港海域浮游植物歧異度歷年與本研究調查分析比較 圖	3-22
圖 3-10	臺中港海域浮游植物優勢度歷年與本研究調查分析比較 圖	3-22
圖 3-11	測量範圍示意圖.....	3-29
圖 3-12	臺中港北淤沙區 2010.9.21~10.16 侵淤圖	3-31
圖 3-13	臺中港北淤沙區 2010.10.16~11.25 侵淤圖	3-31
圖 3-14	臺中港北淤沙區 2010.9.21~11.25 侵淤圖	3-31
圖 3-15	臺中港北淤沙區各斷面示意圖	3-33

圖 3-16	臺中港北淤沙區斷面地形比較圖	3-33
圖 3-16(續)	臺中港北淤沙區斷面地形比較圖.....	3-34
圖 4-1	環境監測資料進行統計分析處理流程	4-6
圖 4-2	臺中港海域水質總磷對溶氧分布	4-21
圖 4-3	臺中港海域水質總磷對水溫分布	4-22
圖 4-4	臺中港海域水質 pH 對鹽度分布.....	4-23
圖 4-5	臺中港海域水質總磷對氨氮分布	4-28
圖 4-6	臺中港海域水質總磷對水溫分布	4-28
圖 4-7	臺中港海域水質總磷對水溫分布	4-29
圖 5-1	生物地理區域.....	5-7
圖 5-2	臺中港 94-98 年船舶艘次變化	5-8
圖 5-3	臺中港 94-98 年進港船舶艘次變化	5-10
圖 5-4	臺中港 94-98 年進港船舶各船旗國艘次	5-15
圖 5-5	臺中港 94-98 年進港船舶各船旗國比例	5-15
圖 5-6	臺中港 94-98 年進港船舶前一港所屬來源	5-18
圖 5-7	臺中港 94-98 年進港船舶前一港所屬來源	5-18
圖 5-8	94 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比	5-18
圖 5-9	95 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比	5-19
圖 5-10	96 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比	5-19
圖 5-11	97 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比	5-19
圖 5-12	98 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比	5-20

圖 5-13	臺中港 94-98 年壓艙水年度排放量變化.....	5-23
圖 5-14	臺中港 94-98 年各船舶壓艙水年度排放量變化.....	5-23
圖 5-15	極度危險港口分佈圖	5-38
圖 6-1	處理壓艙水之科技方法	6-8
圖 6-2	美國麻州緬因灣建議壓艙水交換區域	6-25
圖 6-3	臺中港未來實行風險評估時之建議步驟	6-25
圖 7-1	臺中港北防波堤與北防沙堤灘線變化圖(1996 年至 2006 年).....	7-1
圖 7-2	GENESIS 灘線模式預測與實測灘線比較(I) (1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-2
圖 7-3	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-3
圖 7-4	臺中港北淤砂區侵淤量累積曲線圖	7-5
圖 7-5	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(II) (1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-8
圖 7-6	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(III) (1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-12
圖 7-7	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(I) (2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-14
圖 7-8	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(II) (2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-17
圖 7-9	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(III)(2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-20
圖 7-10	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(1996 年至	

	2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-21
圖 7-11	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-22
圖 7-12	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-23
圖 7-13	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$).....	7-24
圖 8-1	漂沙整治方案配置圖.....	8-2
圖 8-2	冬季季風($H_s=2.1m$ ， $T_s=5.6sec$ ，N 向)流場分布圖(興建 定沙堤及延長攔沙堤配置).....	8-4
圖 8-3	夏季季風($H_s=0.9m$ ， $T_s=5.3sec$ ，W 向)流場分布圖(興建 定沙堤及延長攔沙堤配置).....	8-4
圖 8-4	颱風($H_s=5.5m$ ， $T_s=9.8sec$ ，N 向)流場分布圖.....	8-5
圖 8-5	突堤上游灘線變化解析所使用之符號示意	8-7
圖 8-6	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (北防沙堤 延伸和新建定沙堤，2002 年至 2015 年).....	8-9
圖 8-7	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (延伸北防 砂堤延伸和新建定沙堤，2002 年至 2020 年).....	8-11
圖 8-8	漂沙防治方案 3 佈置示意圖	8-11
圖 8-9	北淤沙區侵淤量(方案 1).....	8-12
圖 8-10	北淤沙區侵淤量(方案 3).....	8-12
圖 8-11	地形剖面位置示意圖.....	8-13
圖 8-12	不同配置方案 Line 1 水深剖面比較圖	8-14

圖 8-13	不同配置方案 Line 2 水深剖面比較圖	8-14
圖 8-14	不同配置方案 Line 3 水深剖面比較圖	8-15
圖 9-1	複合式潛堤佈置參數示意圖	9-3
圖 9-2	三組複合式系列潛堤之反射率分佈圖	9-7
圖 9-3	單群及雙群系列潛堤反射率分佈圖	9-8
圖 9-4	單群及三群系列潛堤反射率分佈圖	9-9
圖 9-5	不同第三群系列潛堤堤數反射率分佈圖 ($S_3 = 1.6m$)	9-10
圖 9-6	不同第三群系列潛堤堤數反射率分佈圖 ($S_3 = 1.9m$)	9-10
圖 9-7	不同第三群系列潛堤堤距反射率分佈圖 ($S_3 = 1.9m$)	9-11
圖 9-8	不同兩組間距系列潛堤反射率比較圖	9-12
圖 9-9	不同的堤寬 W/S 及 $2S_1/L$ 條件之反射率變化圖	9-13
圖 9-10	函數 $\sin(kW)$ 及反射率 R 在不同 $2S_1/L$ 條件之分佈比較圖	9-13
圖 9-11	不同 $2S_1/L$ 條件之函數 β 與反射率 R 之分佈圖	9-14
圖 9-12	各堤距函數和在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖	9-15
圖 9-13	不同堤距組合函數在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖	9-16
圖 9-14	不同堤距函數在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖 ($p=1, q=2$)	9-17
圖 9-15	不同堤距函數在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖 ($p=1, q=3$)	9-17
圖 9-16	不同堤距函數在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖 ($p=2, q=3$)	9-18

圖 9-17 三組複合式系列潛堤不同堤距組合發生布拉格反射條件 圖（點線：第 1 組 S_1 ，點虛線：第 2 組 S_2 ，虛線：第 3 組 S_3 ）	9-19
圖 9-18 兩組複合式系列潛堤不同堤距組合發生布拉格反射條件 圖（ $S_1 = 240cm$ ，點線：第 1 組 S_1 ，虛線：第 2 組 S_2 ） ...	9-20
圖 9-19 兩組複合式系列潛堤不同堤距組合發生布拉格反射條件 圖（ $S_1 = 180cm$ ，點線：第 1 組 S_1 ，虛線：第 2 組 S_2 ） ...	9-20
圖 9-20 三組複合式系列潛堤不同堤距組合反射率立體圖	9-21
圖 9-21 三組複合式系列潛堤條件選擇示意圖	9-22
圖 9-22 不同三組複合式系列潛堤佈置條件擇圖	9-22

照片目錄

照片 3-1	Lidar 地形測量情形.....	3-30
照片 3-2	經緯儀地形測量情形	3-30

第一章 緒 論

1.1 前言

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

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

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

1.2 研究動機及目的

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

本研究目的乃在運用各式水理數值模式，模擬漂沙運動之機制，

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

1.3 研究項目與方法

本研究分別藉由資料蒐集、現場調查、水工模型試驗、理論解析以及數值模式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.預測未來地形變遷（99-101 年）。7.提出漂飛沙整治方案（99-101 年）。8.分析鄰港水質環境特性（98-101 年）。9.提出鄰港水質環境改善方案（98-101 年）。10.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（99 年）研究內容簡述如下：

1. 漂沙與地形調查及相關資料收集分析

收集歷年特定港區之近岸水深地形、結構物設施、海氣象以及河川水文等資料，港區建設與地形變遷相關文獻，整理並分析探討本區域漂沙之特性以及與海氣象條件之關係。

2. 水質與生態相關資料收集分析

收集歷年港灣及鄰近河川水質資料，整理並分析探討水質分佈之

特性，並分析與海氣象條件及河川排放水間之關係性。

3. 調查鄰港水質及生態環境

選定港池及鄰近地區適當地點，不同時間作 2 次的水質及生態調查分析。

4. 淤沙防護方案研擬及評估

依據所建立之模式模擬計算，預測在不同未來改善方案下，地形變化的情形。

5. 分析鄰港水質與生態環境特性

依據文獻研究成果以及本研究調查結果，分析探討鄰港各地點不同時間港域水質、陸域水質、浮游植物與浮游動物之監測資料，解析水質整體變化趨勢與浮游動植物豐度間之關係。

6. 探討船舶排水對港區影響評估

壓艙水排放量與風險評估，收集歷年進出港口船舶資料，精算壓艙水最大可能排放量與代表性港之水質資料，並探討外來船舶之生物污染風險。

7. 壓艙水處理策略研擬

壓艙水處理方式評估與管理策略之研擬，收集國外船上壓艙水處理技術案例分析，探討聯合國針對國際船舶壓艙水之管制措施並研擬我國防治管理辦法。

8. 新式海岸保護工法特性探討

針對具有防災、生態以及親水功能之系列潛堤軟式工法，以複合式組合進行特殊機制之探討，並提出未來應用至海岸工法設計之建議方法及步驟。

1.4 本研究組織

本研究共分為十章，第一章為緒論，說明本研究研究背景、動機、目的及方法；第二章為自然環境基本資料蒐集與分析，包括海、氣、地象條件以及水質與生態分析；第三章現場水體採樣及地形測量，包括水質與生態採樣與海岸地形量測；第四章水質與生態資料分析，以主成份分析法探討水質及生態特性；第五章船舶排水對港池水質影響，探討船舶排水對港池的風險評估；第六章為壓艙水處理策略研擬，壓艙水處理方式評估與策略研擬；第七章為灘線侵淤變化分析，以數值模式探討海岸灘線變化特性；第八章為侵淤防治方案研擬與評估，研擬防護對策並評估效果；第九章為系列潛堤保護工法特性探討；第十章為結論與建議，並說明成果效益及後續應用情形。

第二章 基本資料蒐集與分析

2.1 臺中港區概況

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

臺中港發展至今已興建之營運碼頭共 49 座，總長度 11,936 公尺，貨櫃 8 座、客運 1 座、穀類 2 座、煤炭 4 座、管道 8 座、水泥 3 座、散雜貨 21 座、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 2009 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；交通部運輸研究所（以下稱本所）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，詳細內容如表 2-1 所示，各觀測站位置請參考圖 2-1 所示。

表 2-1 臺中港附近海域海氣象資料蒐集概況表

資料類別	測站	經度 / 緯度	觀測期間	觀測單位	備註(觀測儀器)
波浪	臺中港	24°18'00"N 120°29'10"E	1999/10-2000/08	港研中心	AWCP
波浪	臺中港	24°18'09.4"N 120°28'38.4"E	2003/08-2009/12	港研中心	AWCP
海流	臺中港	24°18'10"N 120°28'40"E	2003/08-2009/12	港研中心	AWCP
風	臺中港	24°18'24"N 120°31'23"E	2001/07-2009/11	港研中心	Young Brand 風速計
潮位	臺中港	24°17'22.3"N 120°31'28"E	1999/10-1999/10 2001/04-2009/12	港研中心	Water Log
潮位	臺中港	24°18'10"N 120°28'30"E	2003/08-2009/12	港研中心	AWCP
潮位	臺中港	24°17'16"N 120°31'59"E	1999/01-1999/10 2002/01-2009/12	內政部	Aquatrak 音波式
氣象	臺中	24°08'51"N 120°40'33"E	1999/01-2009/12	中央氣象局	
氣象	梧棲	24°15'31"N 120°30'54"E	1999/01-2009/12	中央氣象局	

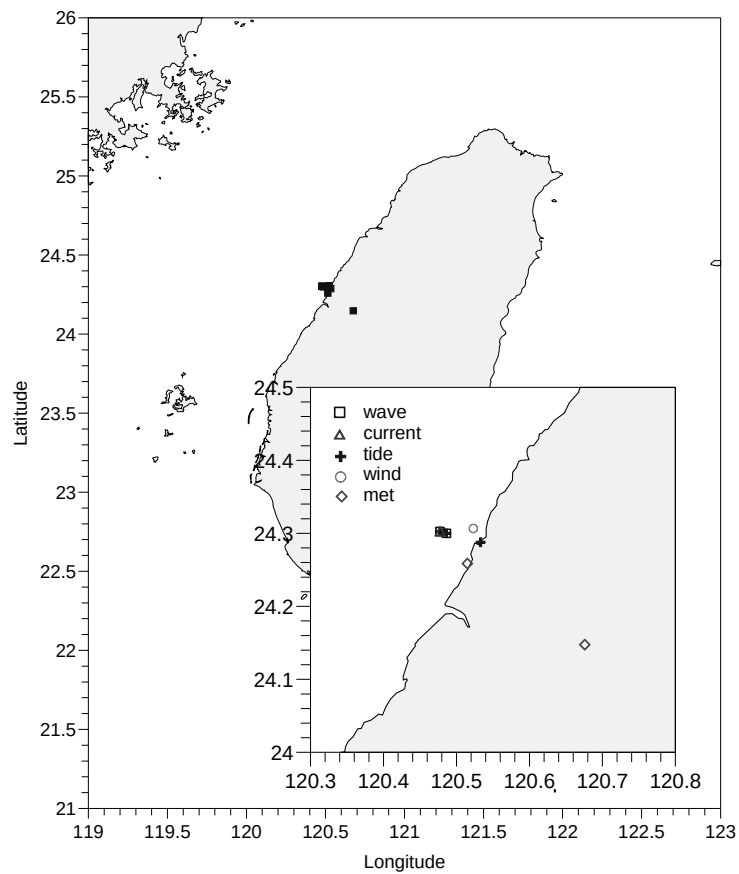


圖 2-1 臺中港附近海域海氣象資料之觀測站位置圖

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個，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 2009 年。臺中氣象站之氣象觀測資料年統計值如表 2-2 所示，各觀測項目之月統計圖如圖 2-2 至圖 2-7 所示，各觀測項目之統計分析如下：

1. 年平均氣溫在 23.3 至 23.9℃ 之間，最高氣溫為 39.9℃，發生在 2004 年 7 月 1 日，最低氣溫為 4.7℃，發生在 1999 年 12 月 23 日。
2. 年平均風速在 1.5 m/sec 至 1.7 m/sec 之間，最多風向為 NNW 至 N 向之間，最大瞬間風速為 34 m/sec，發生在 2005 年 7 月 18 日於海棠颱風期間。
3. 年平均相對溼度在 72% 至 77% 之間，最小相對溼度為 23%，發生在 2002 年 1 月 5 日。
4. 年平均氣壓介於 1001.5 hPa 至 1003.0 hPa 之間。
5. 年降雨量以 2003 年的 930.6 mm 為最少，其降雨時數為 361.9 小時，2005 年的 2574.5 mm 為最多，其降雨時數為 660.3 小時。

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℃ 至 23.7℃ 之間，最高氣溫為 36.9℃，發生在 2004 年 7 月 1 日，最低氣溫為 6.8℃，發生在 1999 年 12 月 22 日。
2. 年平均風速在 4.6 m/sec 至 5.3 m/sec 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 1999-2009 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	-	-	26.9	310	2009/8/7	72.3	29	1002.3	1978.7	-	86	2094.0

資料來源：中央氣象局

表 2-3 梧棲氣象站 1999-2009 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	-	-	41.3	360	2009/8/7	74.7	36	1009.3	997.3	-	79	2261.8

資料來源：中央氣象局

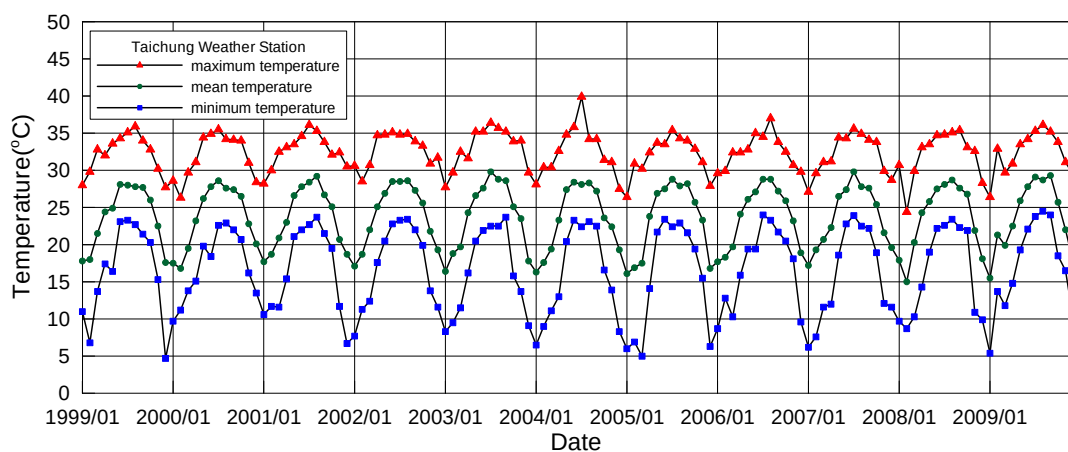


圖 2-2 臺中氣象站 1999 年至 2009 年平均氣溫、最高氣溫及最低氣溫之月統計圖

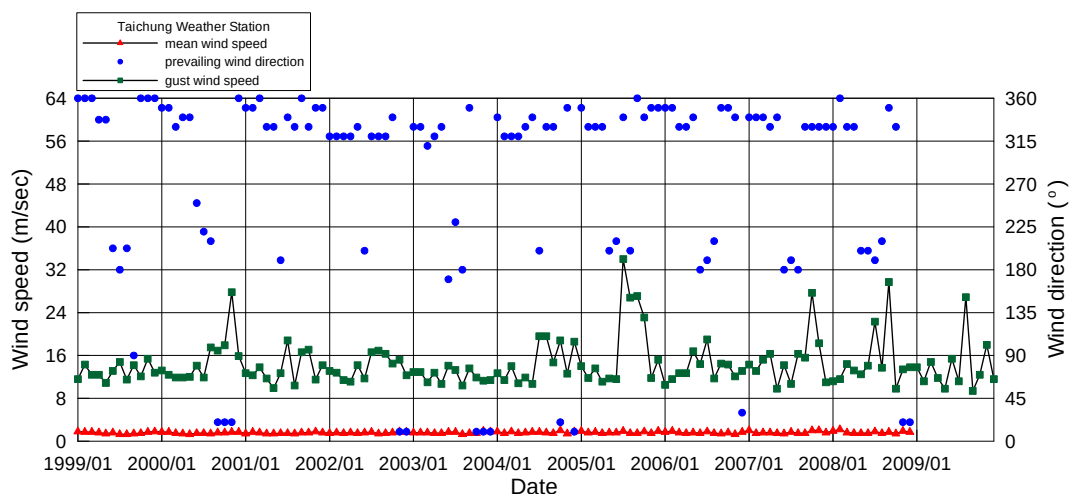


圖 2-3 臺中氣象站 1999 年至 2009 年平均風速、最多風向及瞬間最大風速之月統計圖

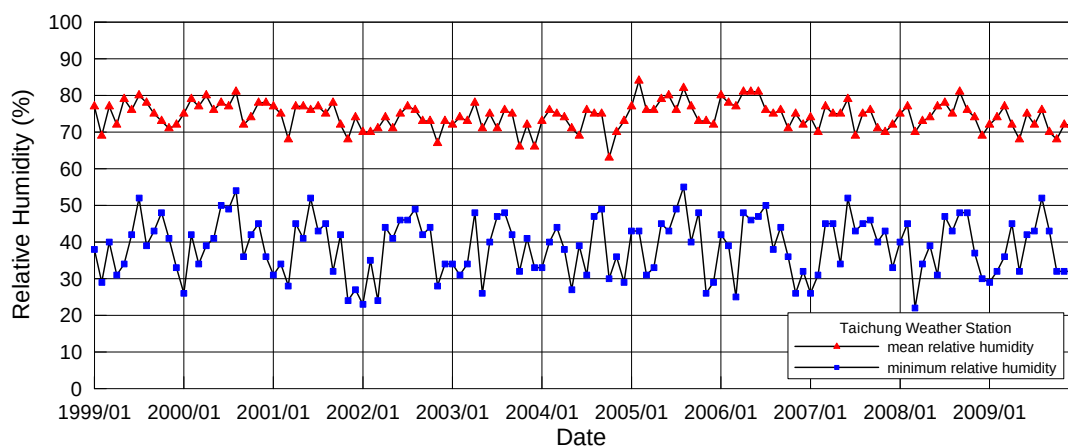


圖 2-4 臺中氣象站 1999 年至 2009 年平均相對濕度及最小相對濕度之月統計圖

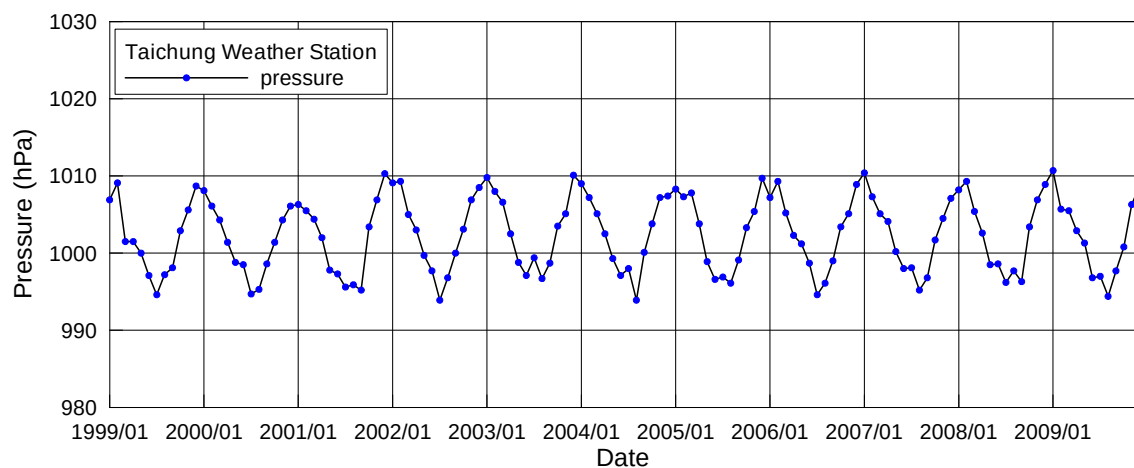


圖 2-5 臺中氣象站 1999 年至 2009 年平均氣壓之月統計圖

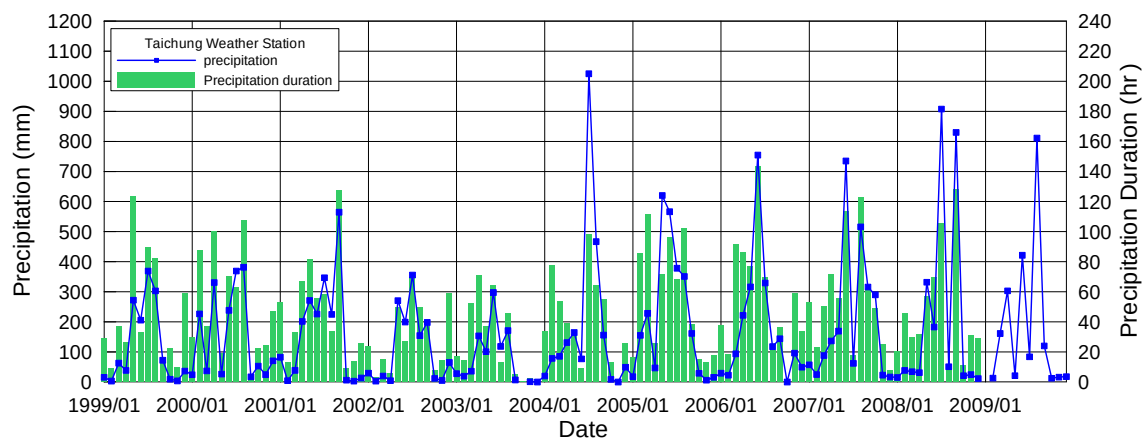


圖 2-6 臺中氣象站 1999 年至 2009 年降水量及降水時數之月統計圖

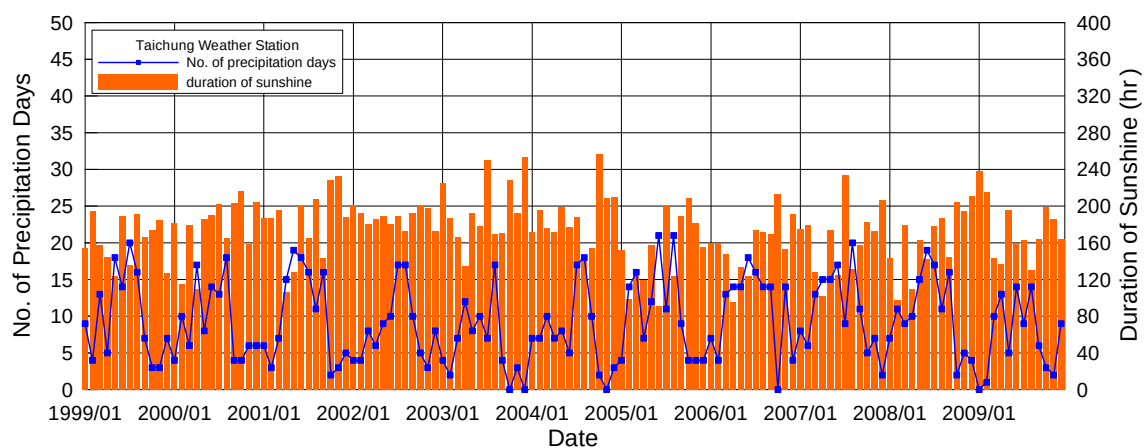


圖 2-7 臺中氣象站 1999 年至 2009 年降水日數及日照時數之月統計圖

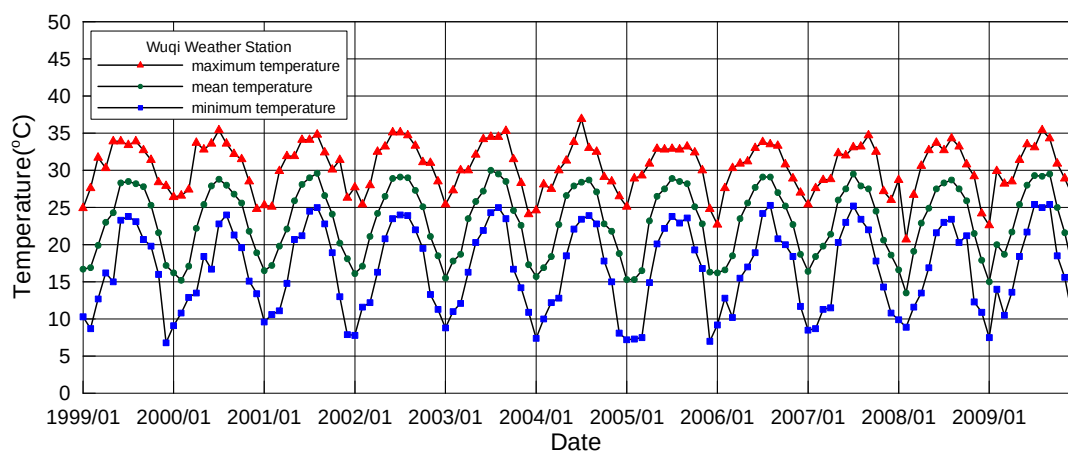


圖 2-8 梧棲氣象站 1999 年至 2009 年平均氣溫、最高氣溫及最低氣溫之月統計圖

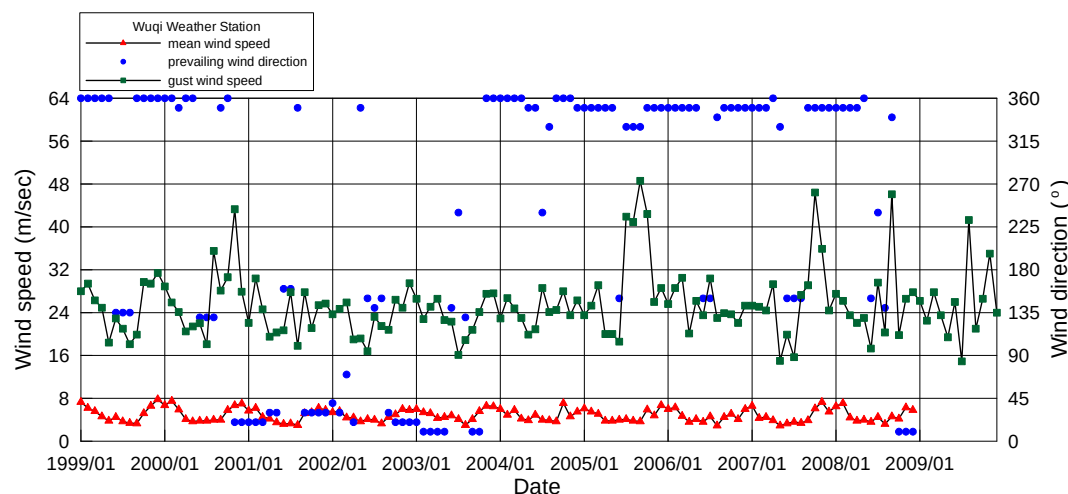


圖 2-9 梧棲氣象站 1999 年至 2009 年平均風速、最多風向及瞬間最大風速之月統計圖

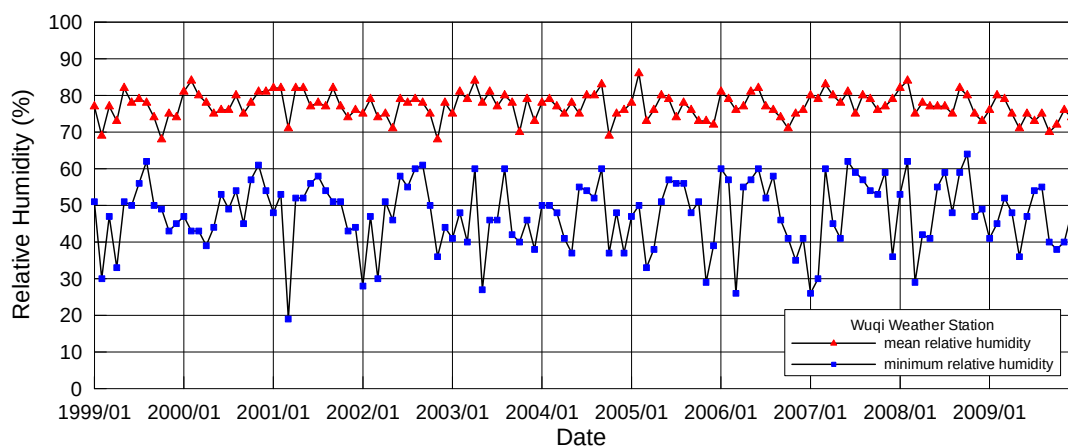


圖 2-10 梧棲氣象站 1999 年至 2009 年平均相對濕度及最小相對濕度之月統計圖

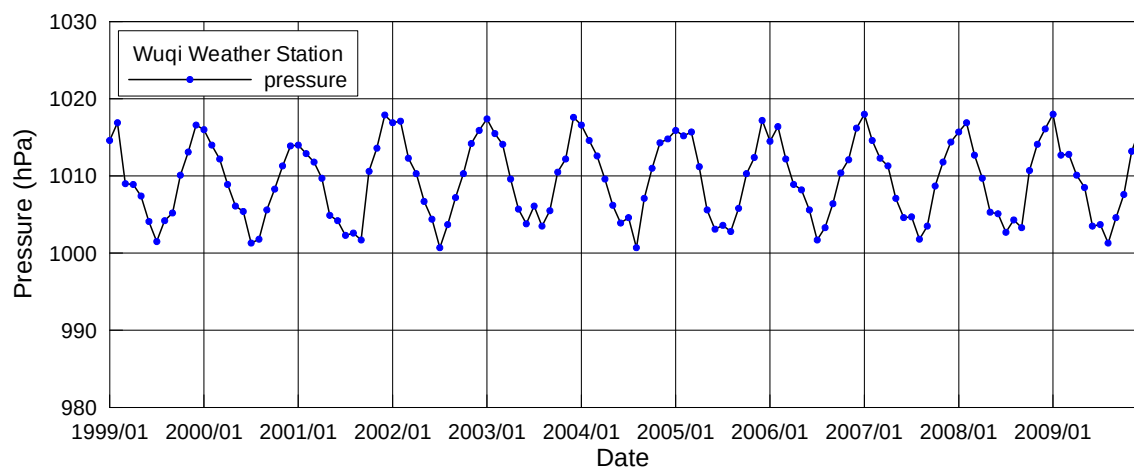


圖 2-11 梧棲氣象站 1999 年至 2009 年平均氣壓之月統計圖

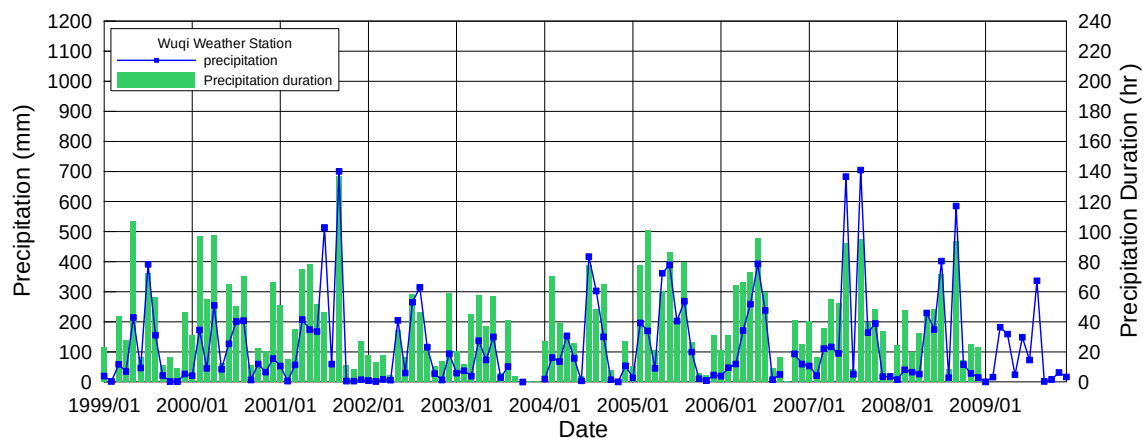


圖 2-12 梧棲氣象站 1999 年至 2009 年降水量及降水時數之月統計圖

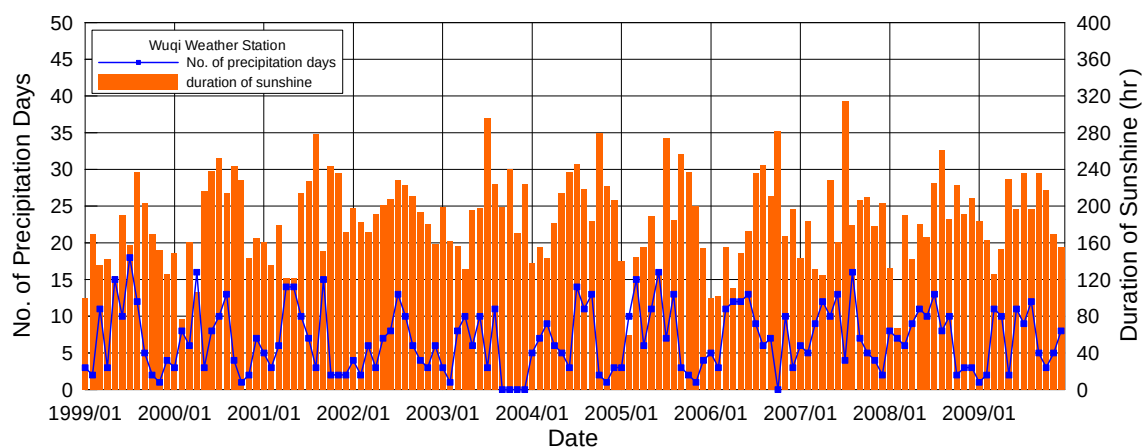


圖 2-13 梧棲氣象站 1999 年至 2009 年降水日數及日照時數之月統計圖

2.3 海象資料之統計分析

在海象方面，本所在臺中港附近海域設有觀測站，觀測項目有：潮位、海流、風及波浪，下面就各觀測項目之統計結果分別說明。

2.3.1 風

本研究收集本所自 2001 年 7 月至 2009 年 11 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 顯示，港區附近主要風向為北至東向，約佔歷年觀測的 62.4%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的 18.7%。風速小於 5 m/sec 以下者，約佔歷年觀測的 55.6%；風速介於 5-10 m/sec 之間者，約佔歷年觀測的 27.1%；風速介於 10-15 m/sec 之間者，約佔歷年觀測的 12.8%；風速大於 15 m/sec 以上者，約佔歷年觀測的 4.5%。歷年之平均風速為 5.8m/sec；歷年最大風速為 37.5m/sec，其風向為北北西向。

表 2-4 臺中港 2001 年至 2009 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
統計值	5.8	37.5	NNE	55.6	27.1	12.8	4.5	62.4	9.5	18.7	9.4	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 2.5 m/sec 至 7 m/sec 之間，月平均風速大於 10 m/sec 以上者皆發生在冬季，盛行風向多集中在北至東北向。圖 2-15 為臺中港歷年逐月之風速及風向統計分佈圖，由圖 2-15 顯示，

在夏季時風速小於 5 m/sec，風向介於南至西向所佔的比例較大；在冬季時風速大於 5 m/sec，風向介於北至東向所佔的比例較大。

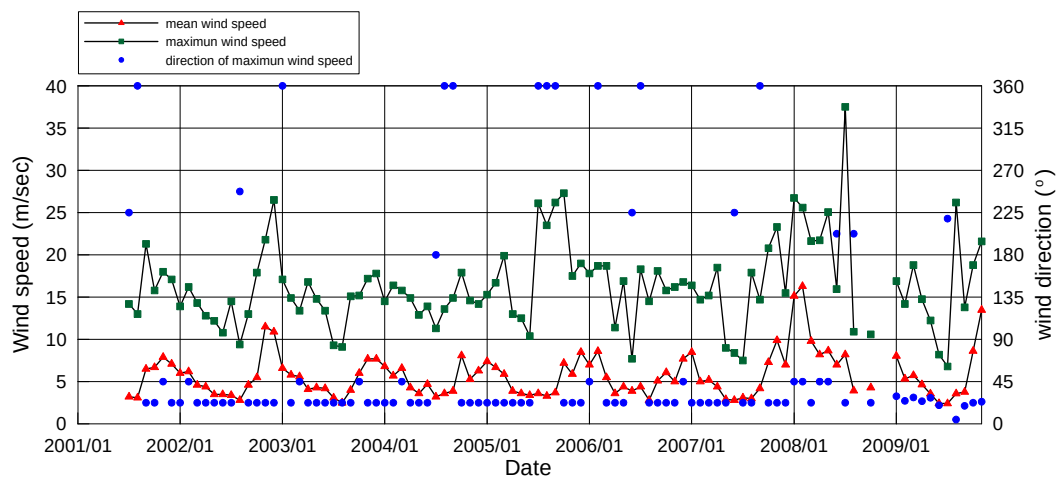


圖 2-14 臺中港 2001 年至 2009 年風速及風向之月統計圖

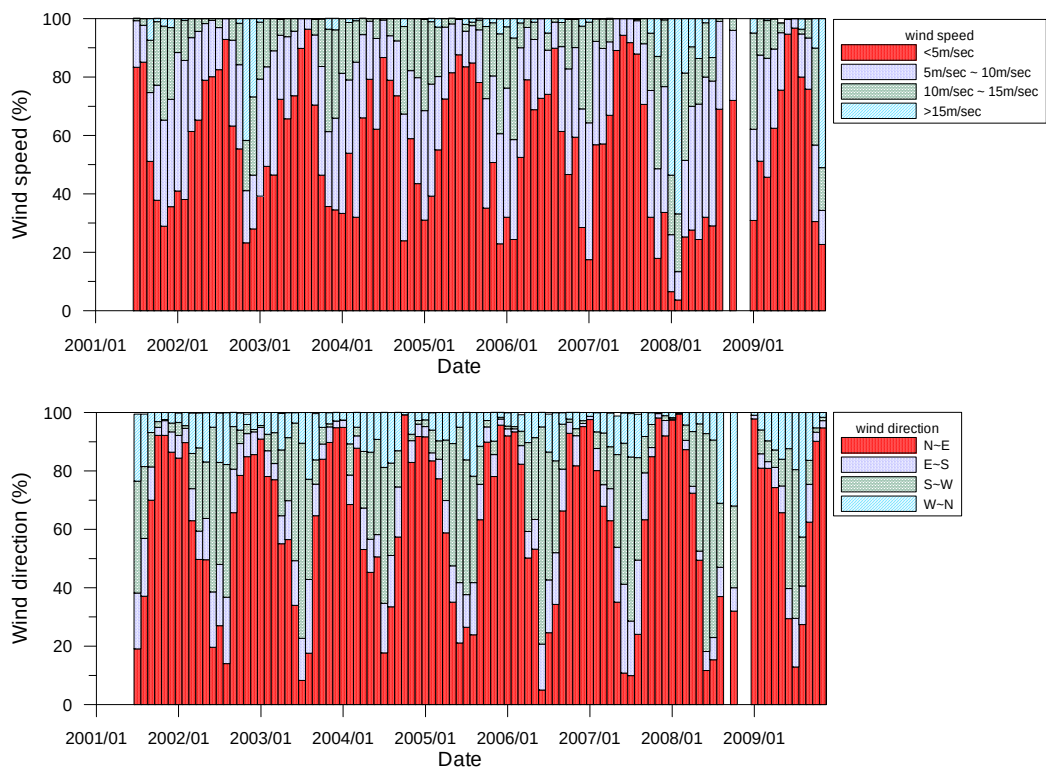


圖 2-15 臺中港 2001 年至 2009 年風速及風向之月統計分佈圖

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 2009 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 56.6%；其次為南至西向，約佔歷年觀測的 22.7%。流速小於 25 cm/sec 以下者，約佔歷年觀測的 25.7%；流速介於 25-50 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 36.2%；流速介於 50-100 cm/sec 之間，約佔歷年觀測的 33.2%；流速大於 100 cm/sec 以上者，約佔歷年觀測的 4.9%。歷年之平均流速為 45.9 cm/sec；最大流速為 248.3 cm/sec，其流向為西向。

表 2-5 臺中港 2003 年至 2009 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
統計值	45.9	248.3	W	25.7	36.2	33.2	4.9	15.0	5.6	22.7	56.6

資料來源：本所港灣技術研究中心

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

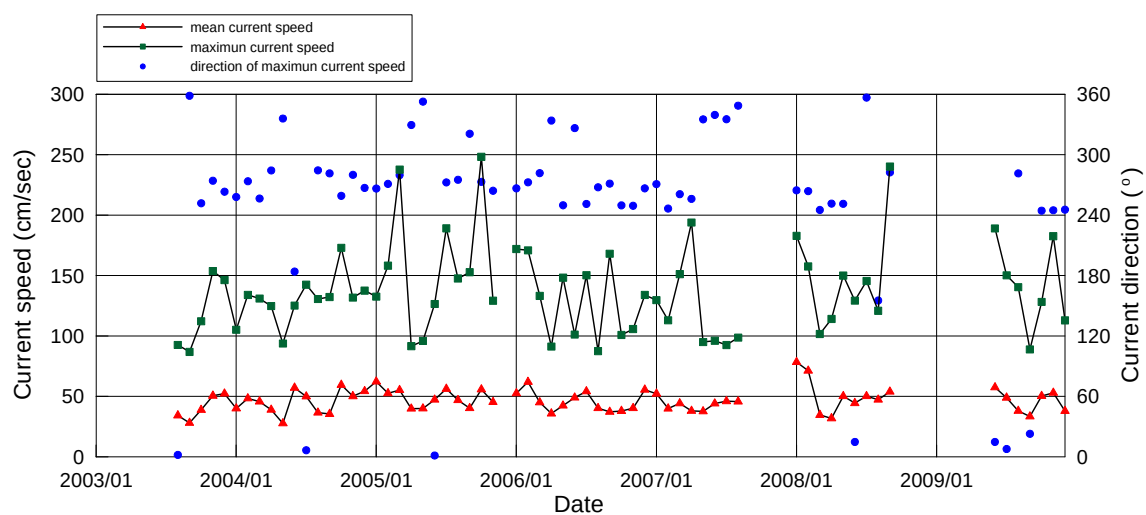


圖 2-16 臺中港 2003 年至 2009 年海流流速、流向及最大流速之月統計

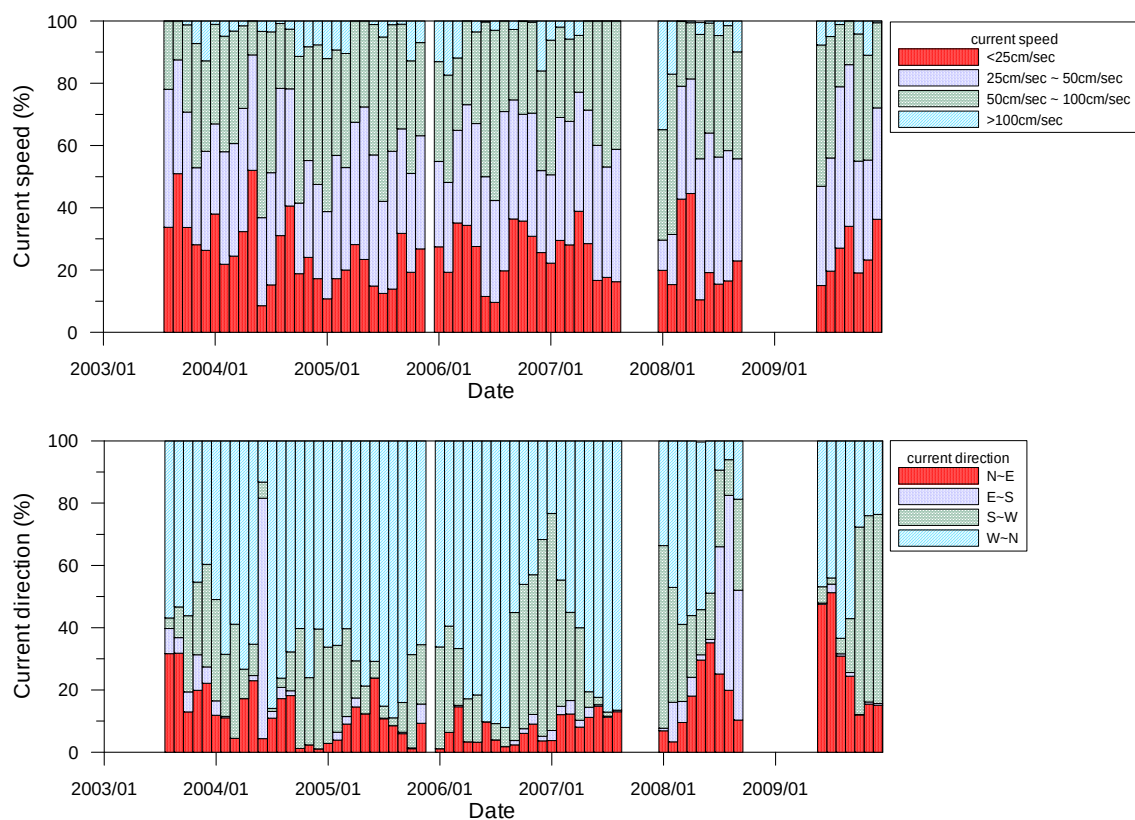


圖 2-17 臺中港 2003 年至 2009 年海流流速、流向及最大流速之月統計
分佈圖

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 2009 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 64.2%；其次為西至北向，約佔歷年觀測的 28.2%。 $H_{1/3}$ 波高小於 0.5 m 以下者，約佔歷年觀測的 13.8%； $H_{1/3}$ 波高介於 0.5 m 至 1 m 之間者，約佔歷年觀測的 27%； $H_{1/3}$ 波高介於 1m 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 42.3%；介於 6 sec 至 8 sec 之間者，約佔歷年觀測的 48.3%。歷年之平均 $H_{1/3}$ 波高為 1.54 m；平均 $T_{1/3}$ 週期為 6.4 sec；歷年最大 $H_{1/3}$ 波高為 7.78 m，其週期為 8.7 sec，發生於 2009 年 8 月 7 日莫拉克(Morakot)颱風期間。

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

表 2-6 臺中港 2003 年至 2009 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}			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
統計值	1.54	6.4	7.78	8.7	-	13.8	26.8	59.0	0.3	64.2	0.5	5.9	26.5	42.3	48.3	8.5	0.6

資料來源：本所港灣技術研究中心

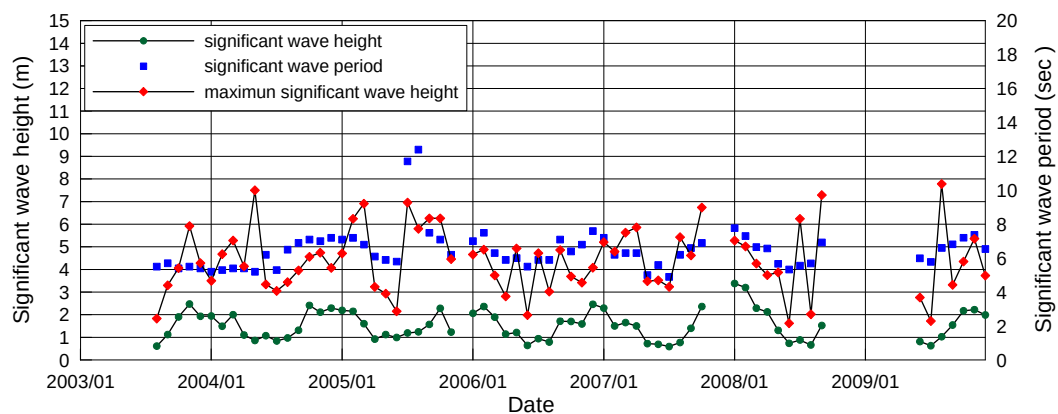


圖 2-18 臺中港 2003 年至 2009 年平均示性波高、平均週期及最大示性波高之月統計

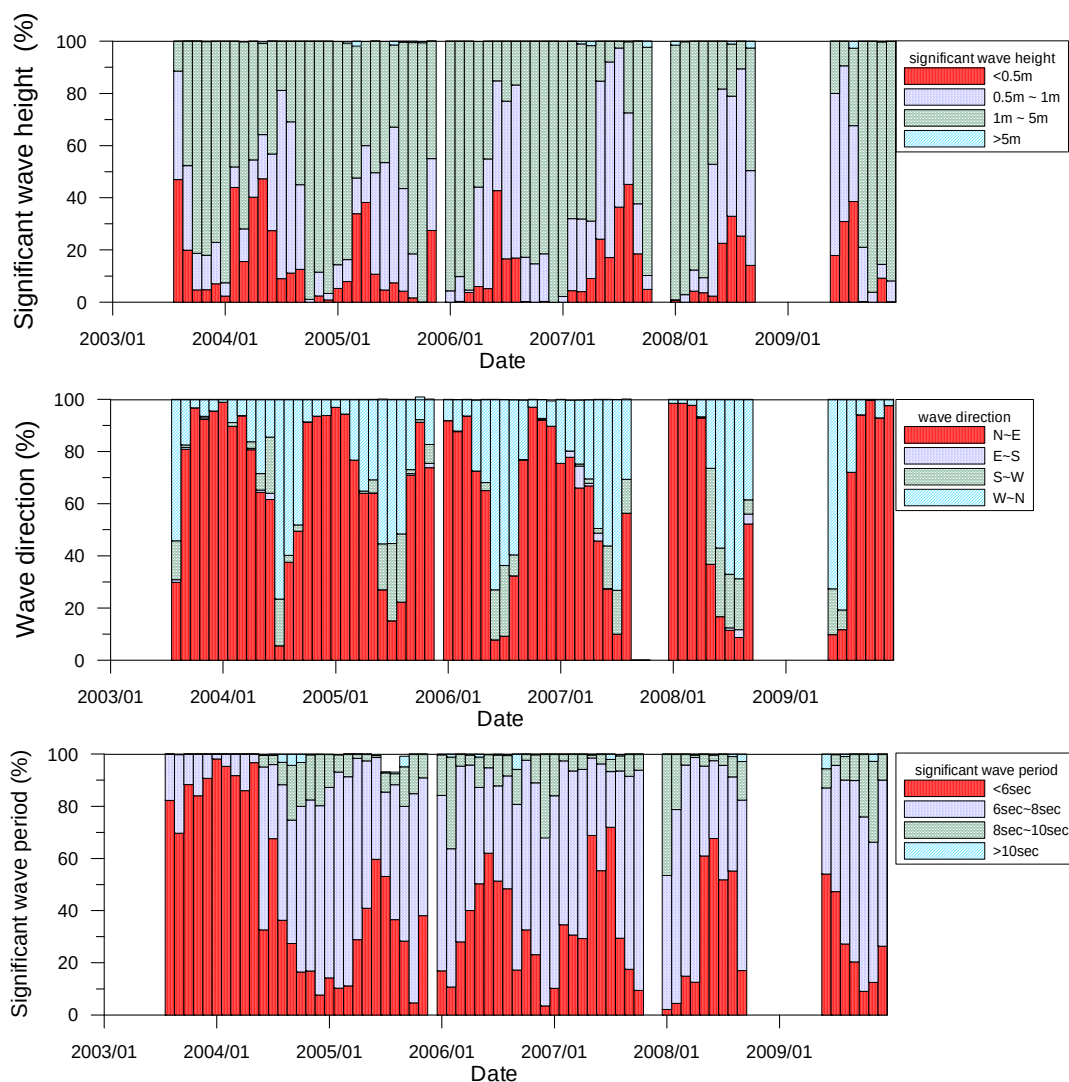


圖 2-19 臺中港 2003 年至 2009 年平均示性波高、平均週期及波向之月統計分佈圖

2.3.4 潮位

臺中港之潮汐每日漲落 2 次，本研究收集中央氣象局自 1999 年 1 月至 2009 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 2009 年期間，其平均潮差為 375 公分，大潮平均潮差為 463 公分，最大潮差為 619 公分，最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計如圖 2-20 所示。

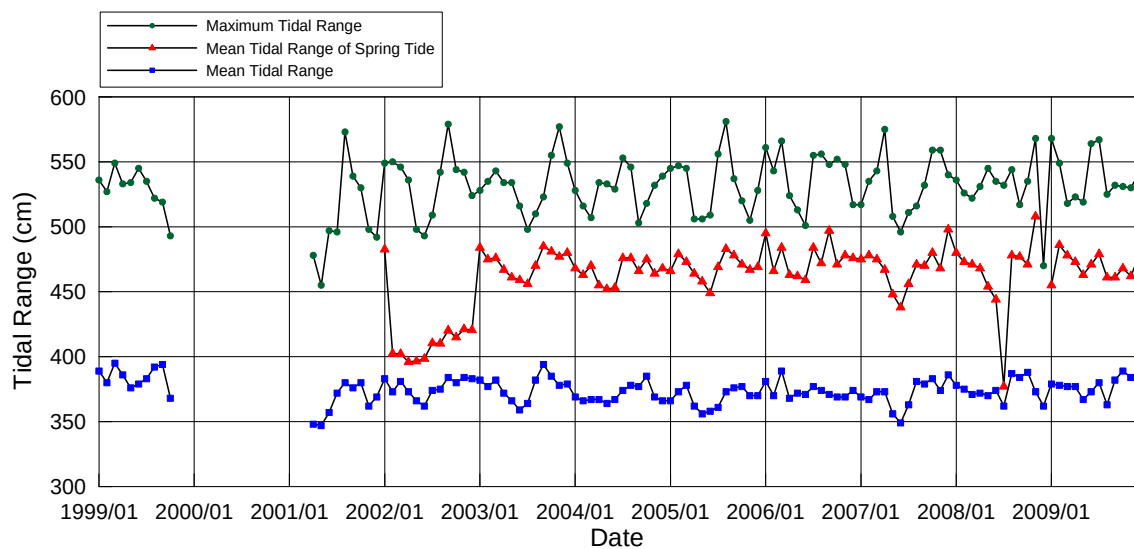


圖 2-20 臺中港 1999 年至 2009 年最大潮差、大潮平均潮差及平均潮差之月統計圖

表 2-7 臺中港 1999-2009 年潮位資料統計

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

潮高單位：公分

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

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

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

2004 年：基準面相對 KP：-268.12cm。

2005 年~2009 年：基準面相對 KP：0cm。

資料來源：中央氣象局。

2.4 颱風資料

臺灣處於熱帶與亞熱帶的之間，由過去長期的觀測顯示平均每年約有 3.5 次颱風侵襲臺灣海域。近年來，隨著全球暖化效應及海洋氣候變遷的影響，颱風侵襲臺灣之次數也相對增加，自 1999 年至 2009 年期間共有 71 個颱風侵襲臺灣海域，平均每年約有 6.5 次颱風侵襲臺灣海域。因此颱風資料的收集與分析對海域水質環境、海岸防災預警、及海岸管理極為重要。

本研究根據過去 11 年中央氣象局曾發布颱風警報的颱風資訊，彙整 71 個颱風資料，彙整項目包括颱風名稱、颱風警報發佈期、颱風路徑與強度、近中心最大風速、中心最低氣壓等等相關資訊，詳請參閱表 2-8。本計畫所彙整的 71 個颱風案例中，如依據圖 2-21 之颱風路徑分類，可得知各颱風路徑的發生次數統計，如表 2-9 所示。該表顯示，在侵臺的九類颱風路徑中，其他特殊路徑發生的次數最多，共發生 30 次佔 42.3%；其次為第三類及第六類的颱風，分別佔 14.1%及 8.5%；其他各類的颱風路徑之發生次數及所佔的百分比，詳請參閱表 2-9。

以 2009 年的颱風資料為例，2009 年中央氣象局共發佈 4 次颱風警報，分別為蓮花(LINFA)、莫拉菲(MOLAVE)、莫拉克(MORAKOT)、芭瑪(PARMA)，侵襲臺灣的時間集中在 6 至 10 月之間，以侵臺颱風路徑分類：蓮花颱風為第九類；莫拉克颱風為第三類；芭瑪颱風則為特殊路徑，各颱風之詳細資料如圖 2-22 至圖 2-25 所示。

表 2-8 1999 年至 2009 年侵臺颱風基本資訊一覽表

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

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

表 2-8(續) 1999 年至 2009 年侵臺颱風基本資訊一覽表

颱風 編號	中文 名稱	英文名稱	警報期間	強度	侵臺颱風 路徑 (九類)	近中心 最低氣壓 (hPa)	近中心 最大風速 (m/sec)	七級風 暴風 半徑	十級風 暴風 半徑
200417	艾利	AERE	08/23～08/26	中度	1	960	48	200	50
200420	海馬	HAIMA	09/11～09/13	輕度	6	998	18	100	--
200421	米雷	MEARI	09/26～09/27	中度	--	940	45	200	80
200424	納坦	NOCK-TEN	10/23～10/26	中度	6	945	43	250	100
200427	南瑪都	NANMADOL	12/03～12/04	中度	9	940	45	250	100
200505	海棠	HAITANG	07/16～07/20	強烈	3	912	55	280	120
200509	馬莎	MATSA	08/03～08/06	中度	1	955	40	250	80
200510	珊瑚	SANVU	08/11～08/13	輕度	--	985	25	200	--
200513	泰利	TALIM	08/30～09/01	強烈	3	920	53	250	100
200515	卡努	KHANUN	09/09～09/11	中度	--	950	43	200	80
200518	丹瑞	DAMREY	09/21～09/23	中度	--	955	40	200	50
200519	龍王	LONGWANG	09/30～10/03	強烈	3	925	51	200	80
200601	珍珠	CHANCHU	05/16～05/18	中度	9	943	45	300	100
200603	艾維尼	EWINIAR	07/07～07/09	中度	--	925	51	300	100
200604	碧利斯	BILIS	07/12～07/15	輕度	2	978	25	300	--
200605	凱米	KAEMI	07/23～07/26	中度	3	960	38	200	50
200608	桑美	SAOMAI	08/09～08/10	中度	--	935	48	180	80
200609	寶發	BOPHA	08/07～08/09	輕度	4	985	25	120	--
200613	珊珊	SHANSHAN	09/14～09/16	中度	--	945	43	200	80
200706	帕布	PABUK	08/06～08/08	輕度	4	980	28	150	--
200707	梧提	WUTIP	08/08～08/09	輕度	3	992	18	100	--
200708	聖帕	SEPAT	08/16～08/19	強烈	3	920	53	250	100
200712	韋帕	WIPHA	09/17～09/19	中度	1	935	48	200	80
200715	柯羅莎	KROSA	10/04～10/07	強烈	2	925	51	300	120
200723	米塔	MITAG	11/26～11/27	中度	--	955	40	200	80
200807	卡玫基	KALMAEGI	07/16～07/18	中度	2	--	33	120	50
200808	鳳凰	FUNG-WONG	07/26～07/29	中度	3	--	43	220	80
200812	如麗	NURI	08/19～08/21	中度	--	--	40	220	80
200813	辛樂克	SINLAKU	09/11～09/16	強烈	2	--	51	250	100
200814	哈格比	HAGUPIT	09/21～09/23	中度	--	--	45	280	100
200815	薔蜜	JANGMI	09/26～09/29	強烈	2	--	53	280	100
200903	蓮花	LINFA	06/19～06/22	輕度	9	--	28	150	--
200906	莫拉菲	MOLAVE	07/16～07/18	輕度	--	--	28	100	--
200908	莫拉克	MORAKOT	08/05～08/10	中度	3	--	40	250	100
200917	芭瑪	PARMA	10/03～10/06	中度	特殊路徑	--	43	250	80

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

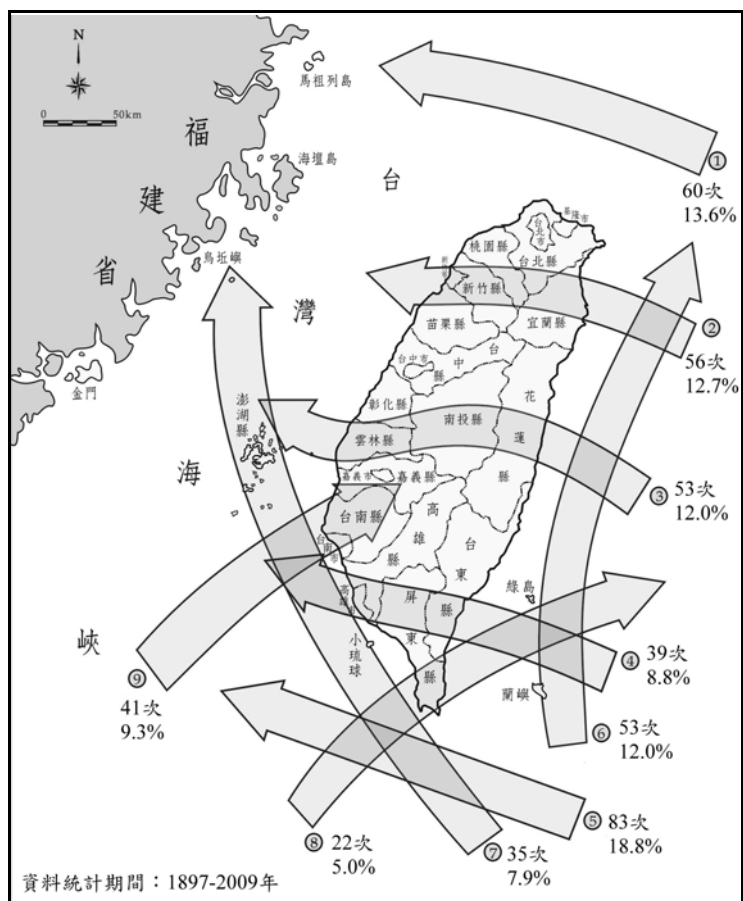


圖 2-21 颱風路徑分類圖

表 2-9 1999 年至 2009 年期間颱風路徑分類統計表

颱風路徑分類	發生次數	發生百分比
1	4	5.6%
2	5	7.0%
3	10	14.1%
4	5	7.0%
5	3	4.2%
6	6	8.5%
7	2	2.8%
8	2	2.8%
9	4	5.6%
其他	30	42.3%
合計	71	100.0%

1. 蓮花颱風

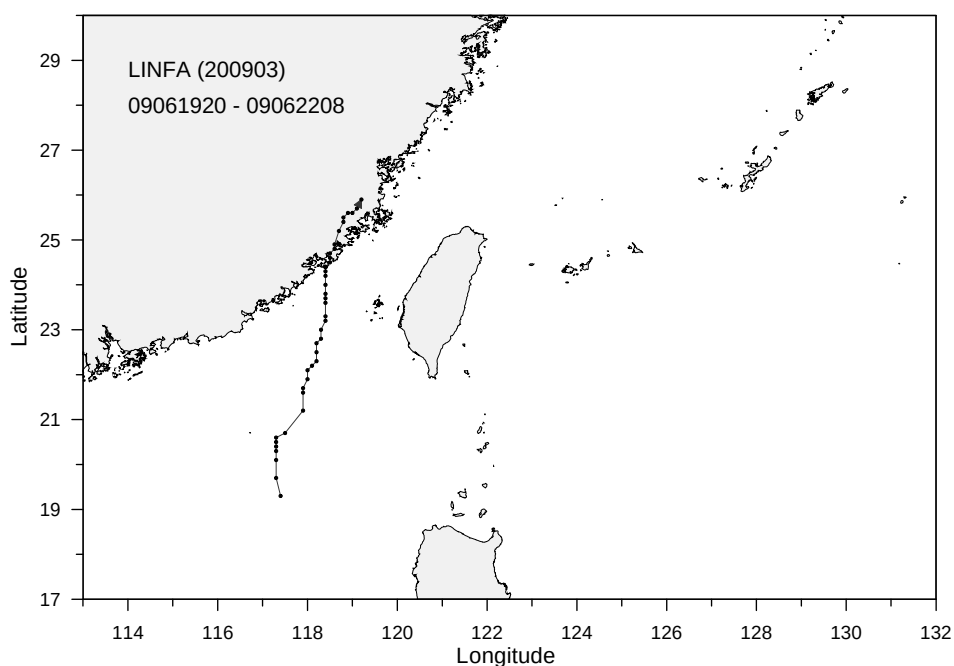


圖 2-22 2009 年蓮花颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：蓮花(LINFA)

颱風編號：0903

生成地點：菲律賓西方海面

侵(近)臺日期：2009 年 6 月 21 日

發布時間：海上：6 月 19 日 20 時 30 分，陸上：6 月 20 日 23 時 30 分

解除時間：海上：6 月 22 日 8 時 30 分，陸上：6 月 22 日 8 時 30 分

發布報數：21

最大強度：輕度

近中心最大風速：28.0 公尺/秒

侵臺路徑分類：9

登陸地段：金門

動態：生成後颱風中心先滯留打轉，而後向北緩慢移動，進入臺灣海峽南部時轉向北北東移動，於 21 日 22 時左右由金門附近進入大陸。

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

2. 莫拉菲颱風

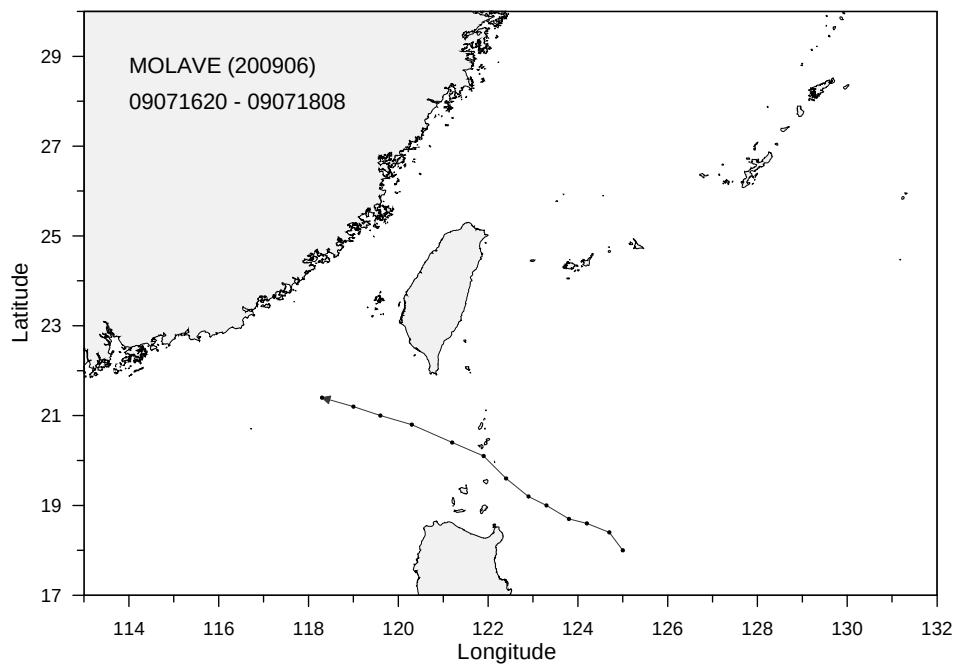


圖 2-23 2009 年莫拉菲颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：莫拉菲(MOLAVE)
颱風編號：0906
生成地點：菲律賓東方海面
侵(近)臺日期：2009 年 7 月 17 日
發布時間：海上：7 月 16 日 22 時 0 分
解除時間：海上：7 月 18 日 8 時 30 分
發布報數：13
最大強度：輕度
近中心最大風速：28.0 公尺/秒
侵臺路徑分類：—
登陸地段：未登陸
動態：生成後向西北西移動，通過臺灣海峽南部後朝東沙島東北方前進。

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

3. 莫拉克颱風

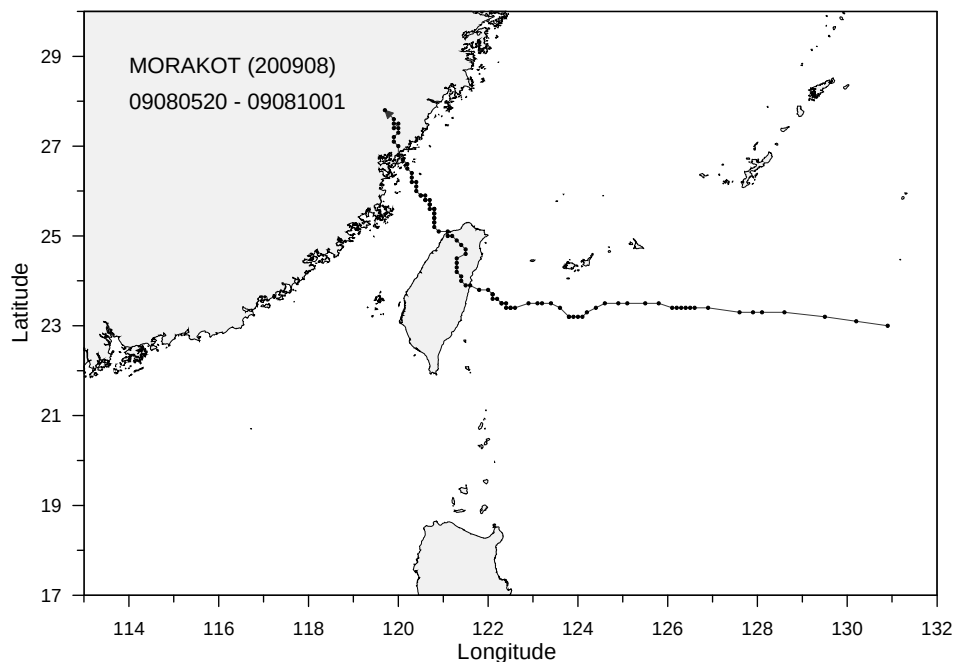


圖 2-24 2009 年莫拉克颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：莫拉克(MORAKOT)
颱風編號：0908
生成地點：菲律賓東北方海面
侵(近)臺日期：2009 年 8 月 8 日
發布時間：海上：8 月 5 日 20 時 30 分，陸上：8 月 6 日 8 時 30 分
解除時間：海上：8 月 10 日 5 時 30 分，陸上：8 月 10 日 5 時 30 分
發布報數：36
最大強度：中度
近中心最大風速：40.0 公尺/秒
侵臺路徑分類：3
登陸地段：花蓮市附近
動態：5 日 20 時增強為中度颱風並向西移動，進入臺灣東部近海時受地形影響，速度略為減慢並轉向西北，7 日 23 時 50 分左右在花蓮市附近登陸，8 日 14 時左右在桃園附近出海，於 9 日 18 時 30 分左右在馬祖北方進入福建。
災情：受颱風及西南氣流影響，中南部、東部多處地區降下刷新歷史紀錄的雨量，引發嚴重水患，造成臺南、高雄、屏東及臺東等縣重大災情，鐵、公路多處路基流失造成交通中斷，多處地區發生嚴重土石流災害。

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

4. 芭瑪颱風

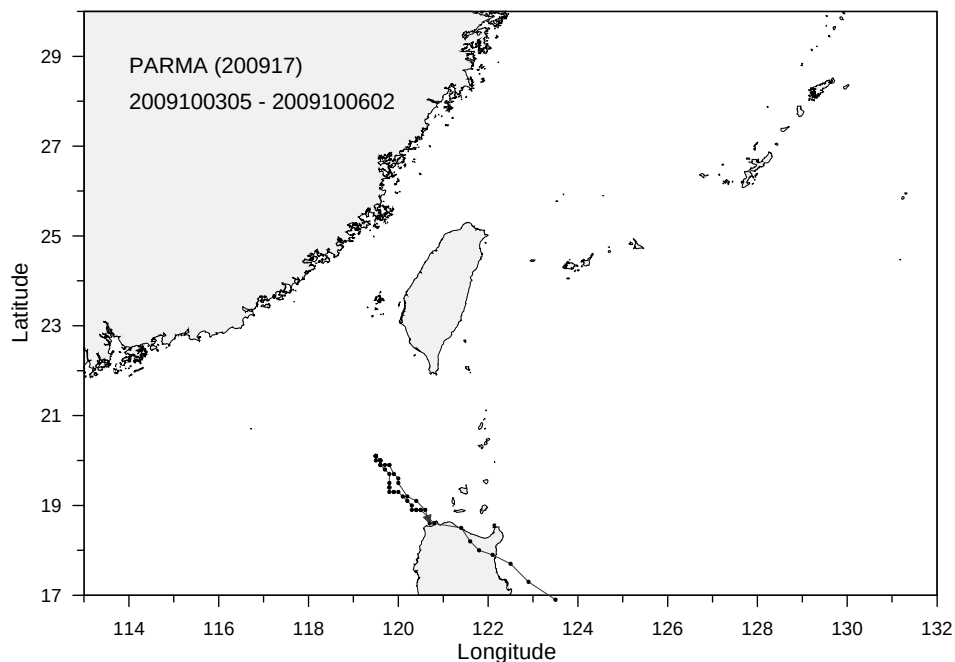


圖 2-25 2009 年芭瑪颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

颱風名稱：芭瑪(PARMA)

颱風編號：0917

生成地點：菲律賓東方海面

侵(近)臺日期：2009 年 10 月 5 日

發布時間：海上：10 月 3 日 5 時 30 分，陸上：10 月 4 日 5 時 30 分

解除時間：海上：10 月 6 日 17 時 30 分，陸上：10 月 5 日 23 時 30 分

發布報數：29

最大強度：中度

近中心最大風速：43.0 公尺/秒

侵臺路徑分類：特殊路徑

登陸地段：未登陸

動態：生成後向西北移動，3 日於呂宋島東北部登陸後持續向西北移動，進入巴士海峽後中心呈現滯留打轉，5 日晚間轉向東南移動，6 日於呂宋島西北部再次登陸，7 日於呂宋島東北部出海，8 日轉向西南 3 度登陸呂宋島，9 日於呂宋島西部出海朝海南島前進。

災情：受颱風外圍環流及東北季風共伴效應影響，東北部及東部地區降下超大豪雨，造成宜蘭地區嚴重災情，多處淹水、交通中斷。

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

2.5 海域水質

臺中港海域水質調查參考資料，包括民國 78 年臺中港工業區開發時的環境調查、民國 79 年環保署港灣污染整治規劃之調查、台電公司「臺中發電廠環境監測報告」(2002)、行政院環保署於 1995~2009 年辦理之「臺灣北部、中部、南部海域水質監測現況」、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」(1996~2009)以及中興公司「海渡火力發電廠開發計畫環境影響評估」(1999)，茲將調查成果摘要說明如下：

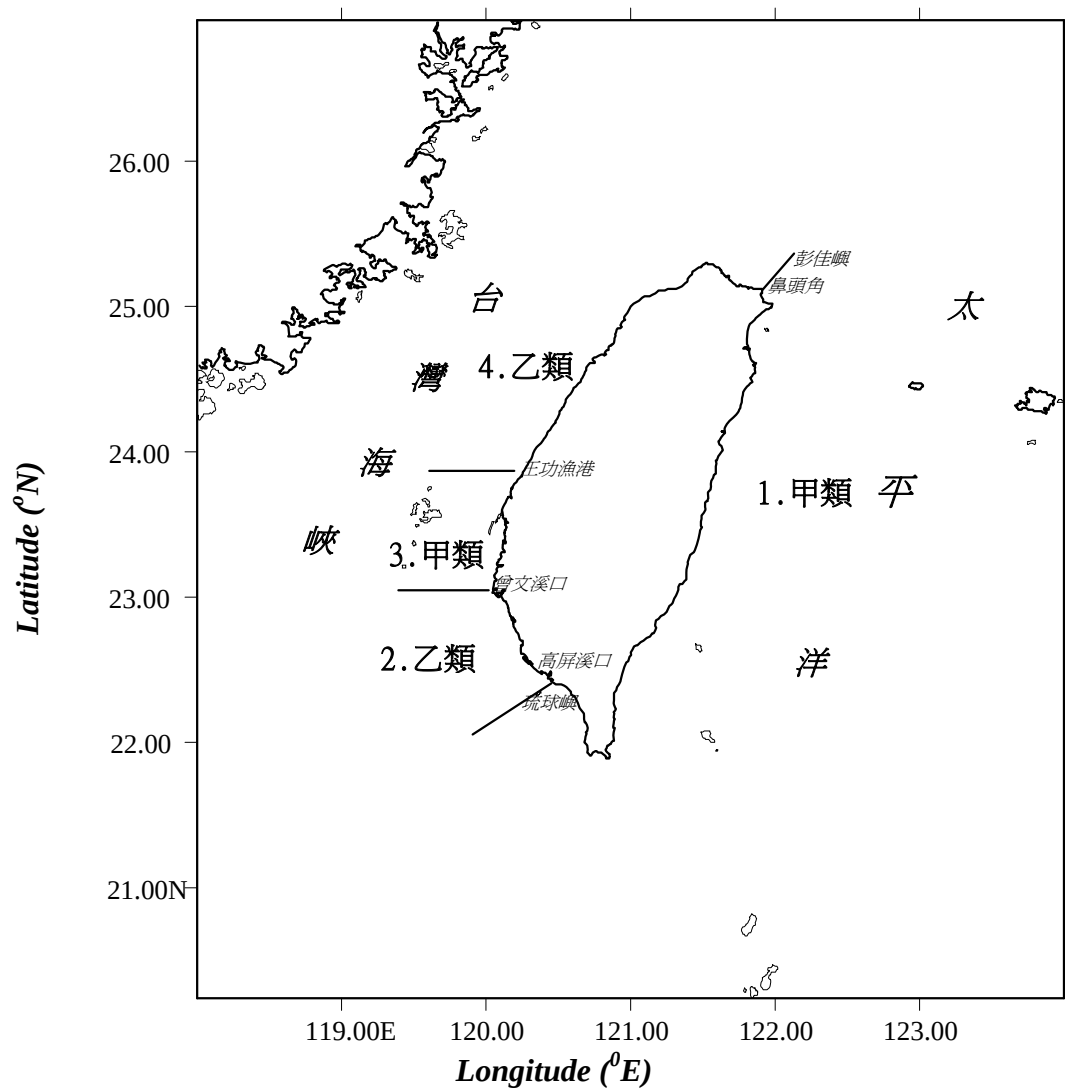
2.5.1 臺中港外海水質

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

此外，依據環保署 96 與 97 年度環境水質監測年報中可知(<http://wqshow.epa.gov.tw/waterqaqc/document/pop-report.aspx>)，96 年度臺灣近海 19 處海域(104 個測站)的水質監測結果，以海域環境分類與海洋環境品質標準相關的監測項目：pH、溶氧量、鉛、銅、汞、鋅、鎘等 7 個水質監測項目計算其合格率，總合格率为 99.9%。以各監測項目分析比較，96 年度沿海海域水質的 pH 值合格率为 99.3%；溶氧量合格率为 100%，重金屬部分包括鎘、銅、鉛、鋅與汞等項目的合格率均為 100%。整體而言，96 年度海域水質狀況普遍良好，其中不合格之項目為 pH，出現於高屏溪口與大鵬灣沿海，而中部海域均能符合標準。

而 97 年的 7 個水質監測項目分析結果顯示，其總合格率為 99.9%，同樣仍以高屏溪口沿海海之東港溪出海口 pH 略偏低(97 年第 4 季，pH：7.4)未能符合。而 98 年總達成率為 99.9%，其中 pH 值達成率為 99.8%；溶氧量達成率為 99.5%，重金屬部分包括鎘、銅、鉛、鋅與汞等項目的達成率均為 100%。98 年之全年達成率與 95 年至 97 年維持相同，皆為 99.9 %。其中臺中港沿海於 98 年 4 季次之海洋環境品質標準達成率為 100 %，全國僅高屏溪口出海口於第 3 季與第 4 季溶氧略低(DO:4.0, 4.2 mg/L)；以及大鵬灣內於第 2 季 pH 值偏高(pH：8.7)而不符標準。整體而言，98 年海域水質狀況普遍良好。

由環保署於臺中港沿海設置之 5 處海域水質測站，歷次之水質監測結果顯示(民國 86 年 7 月至 98 年 12 月)，其 pH 均能符合其所屬之乙類海域水質標準，溶氧量亦可符合標準。而早期(86 年 7 月至 90 年 9 月)總磷於臺中港沿海一與沿海二測站曾高於參考之甲類海域標準(乙類無標準)，氨氮(94 年 3 月至 98 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，99 年 1 月與 5 月的調查結果顯示，除於 1 月時臺中港沿海 5 處海域表層水，均出現正磷酸鹽偏高且高於總磷而不符標準之情形外，其餘則均可符合標準，5 月亦均能符合標準且無異常。



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 2-26 臺灣沿海海域水體分類圖

表 2-10 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)

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⁾		甲 類		乙 類		丙 類		丁類	戊類
水質項目		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	≤0.005							
	除草劑 ⁽³⁾	≤0.1							

備註：1.保護人體健康相關環境基準值係以對人體具有累積性危害之物質，具體標示其基準值。

2.基準值以最大容許值表示。

3.全部公共水域一律適用。

4.其他有害水質之農藥，其容許量由中央主管機關增訂公告之。

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

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

(3)除草劑係指丁基拉草、巴拉刈、2,4-地。

表 2-11 臺灣北、中、南部海域水質調查統計表

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

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

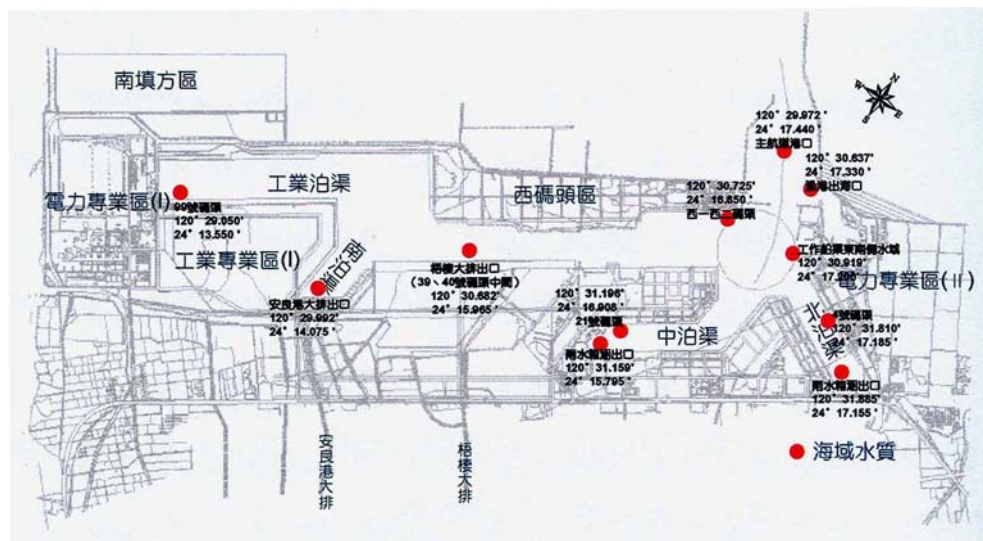
2.—：表未檢測

3.ND 表低於其檢測極限

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」

2.5.2 臺中港港內水質

臺中港務局自民國 85 年起即委託檢測公司按季進行港區、以及上游各大、中排水路持續進行水質監測，依據「臺中港區環境調查監測分析」歷年報告(民國 85 年至民國 98 年)，各測站相關之監測位置如圖 2-27 所示。以下分別討論在各測站量測所得溶氧、生化需氧量、大腸菌、總磷、氨氮及懸浮固體等之濃度變化情形。



資料來源：臺中港務局「97 年度臺中港區環境調查監測分析」

圖 2-27 臺中港港內海域水質監測點位圖

1. 溶氧(DO)

圖 2-28 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 86~93 年調查期間皆曾出現不符合乙類海域水體水質標準之情形。惟自 95 年起，各測站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。

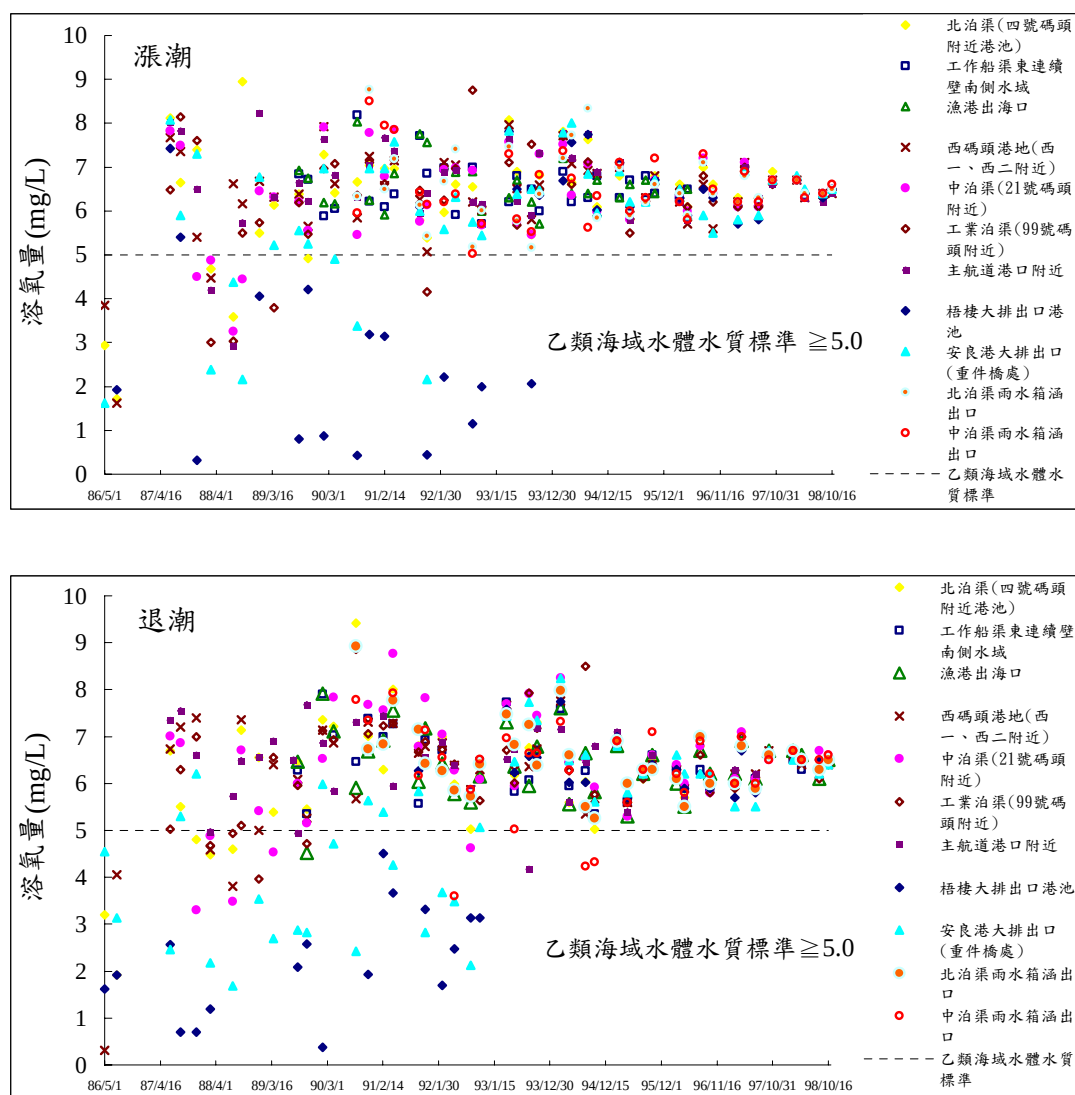


圖 2-28 臺中港港內歷年溶氧量監測值

2. 生化需氧量(BOD)

圖 2-29 顯示各測站生化需氧量(BOD)歷年監測結果。於 86~94 年調查期間，各測站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 88 年 12 月測得最高值 56.3 mg/L，此測值已超出乙類海域水體上限 19 倍，顯示此二區域水體中有機污染物濃度較高，需要消化污染物之需氧量多，水域中有機污染嚴重。自 95 年起，各測站生化需氧量超標之現象已明顯改善，各測站生化需氧量多數能符合乙類海域水體水質標準，且大多為 <2.0 mg/L 測值。

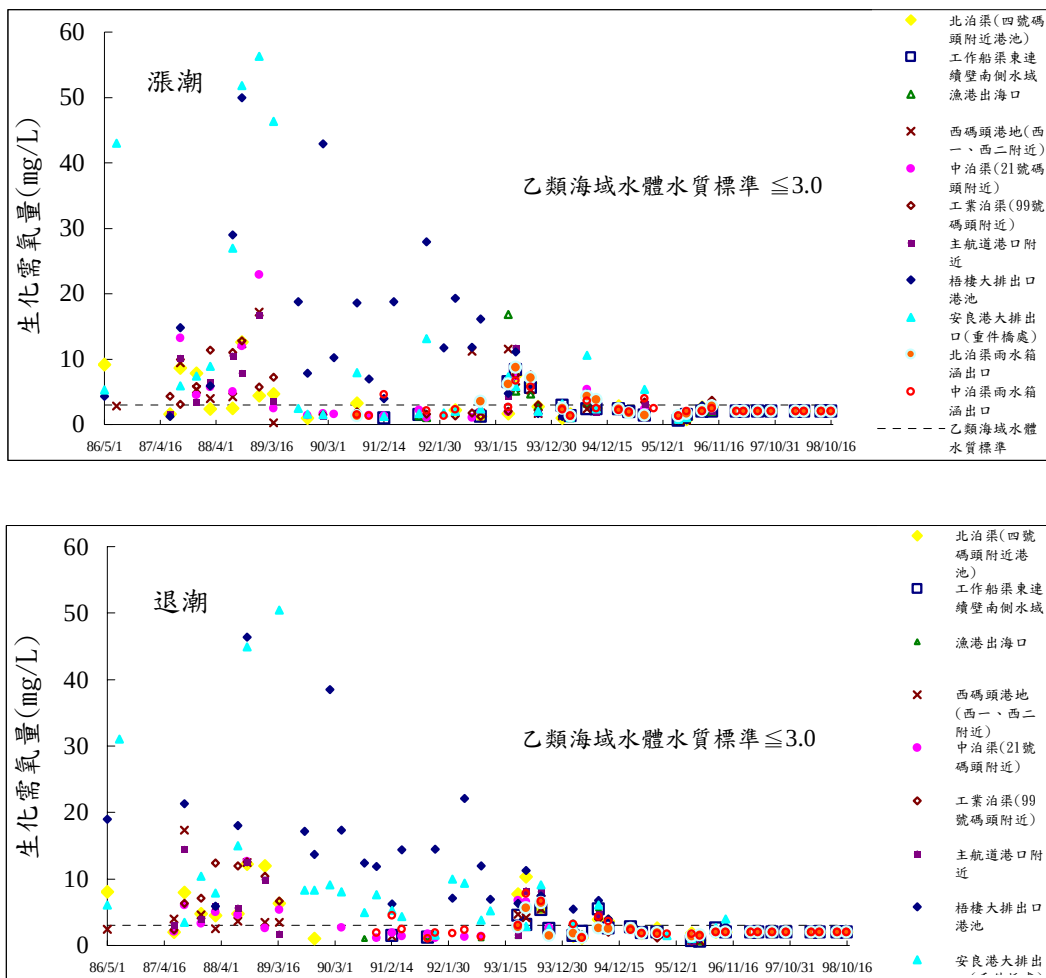


圖 2-29 臺中港港內歷年生化需氧量監測值

3. 大腸桿菌群

圖 2-30 顯示各測站大腸桿菌群歷年監測結果。比較各測站大腸桿菌群監測結果，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 86~93 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水質帶入，整體水質最差。自 97 年起，各測站大腸桿菌群測值介於<10~370 CFU/100 mL，皆符合海域水質標準。

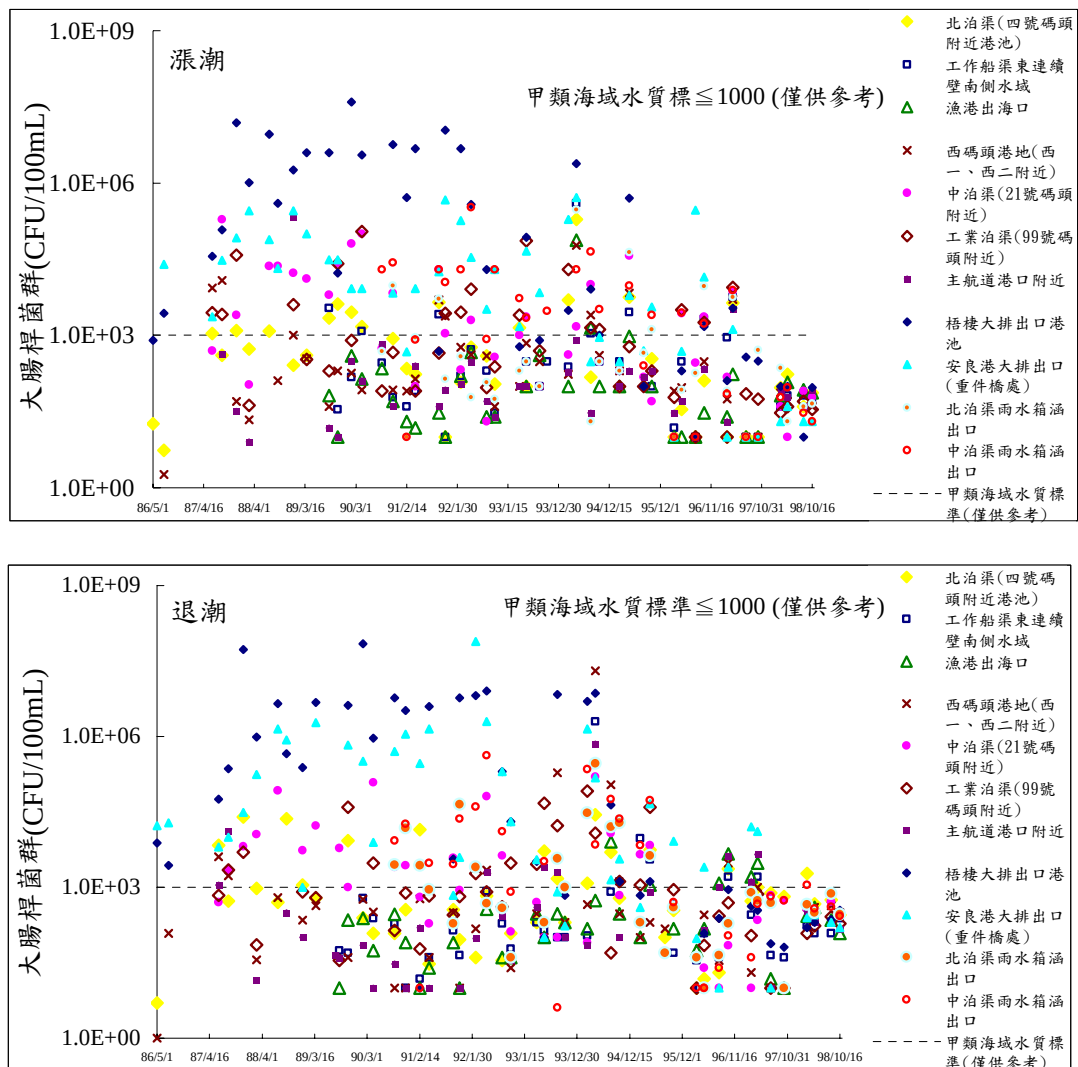


圖 2-30 臺中港港內歷年大腸桿菌群監測值

4. 氨氮

圖 2-31 顯示各測站氨氮歷年監測結果。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 0.05~20.26 mg/L 間；安良港大排出口漲退潮氨氮濃度約在 0.05~5.3 mg/L 間，遠高於其他測站，此二水域氨氮濃度偏高易消耗水中溶氧而使水體呈厭氧狀態，水質環境變差，所幸自 97 年起梧棲大排出口與安良港大排出口氨氮濃度已經下降並趨於平穩，水質漸趨改善。

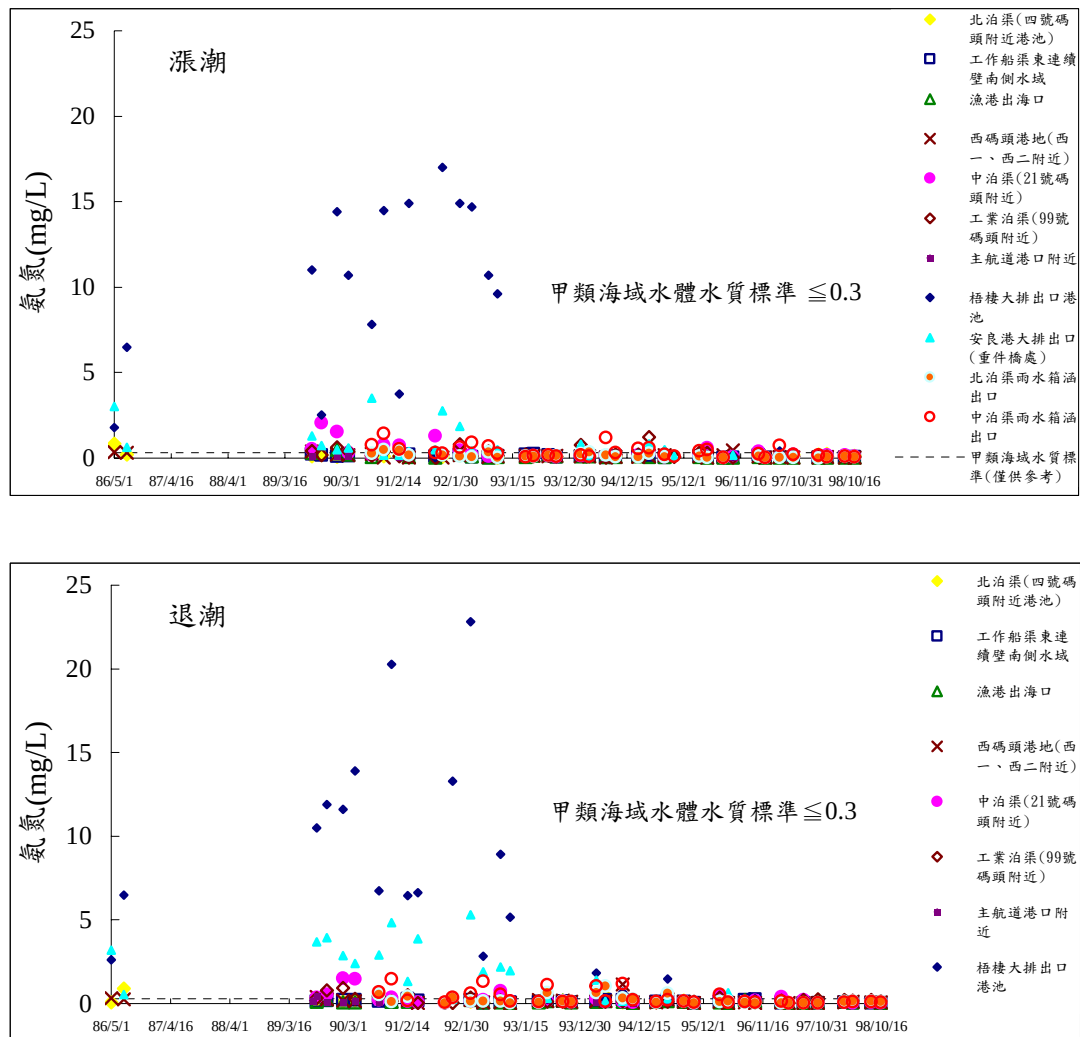


圖 2-31 臺中港港內歷年氨氮監測值

5. 總磷

圖 2-32 顯示各測站總磷歷年監測成果。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 97 年底起各測點水質狀況漸趨穩定，且多符合乙類海域水體水質標準，而過去位居梧棲大排出口處與安良港大排出口處部分港域水質測項濃度偏高且超標之情形已獲改善，水質漸趨良好。

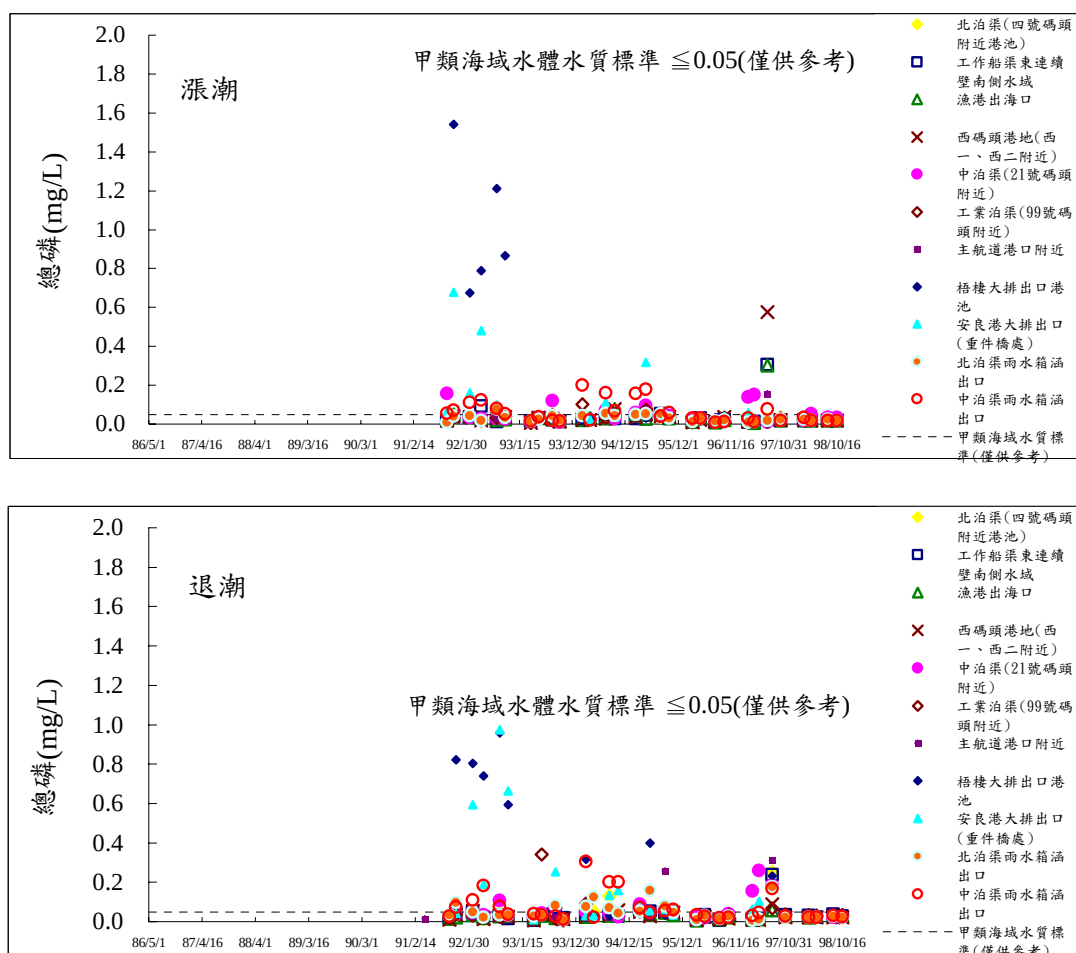


圖 2-32 臺中港港內歷年總磷監測值

6. 鹽度

圖 2-33 顯示各測站鹽度歷年監測結果。各測站之鹽度隨季節變化略有差異，在冬季時各測站鹽度測值普遍較高，春季、夏季較低，其中梧棲大排出口與安良港大排出口於 86 年及 92 年夏季調查期間皆曾出現鹽度偏低之情形，未來仍須特別注意其變動情形。

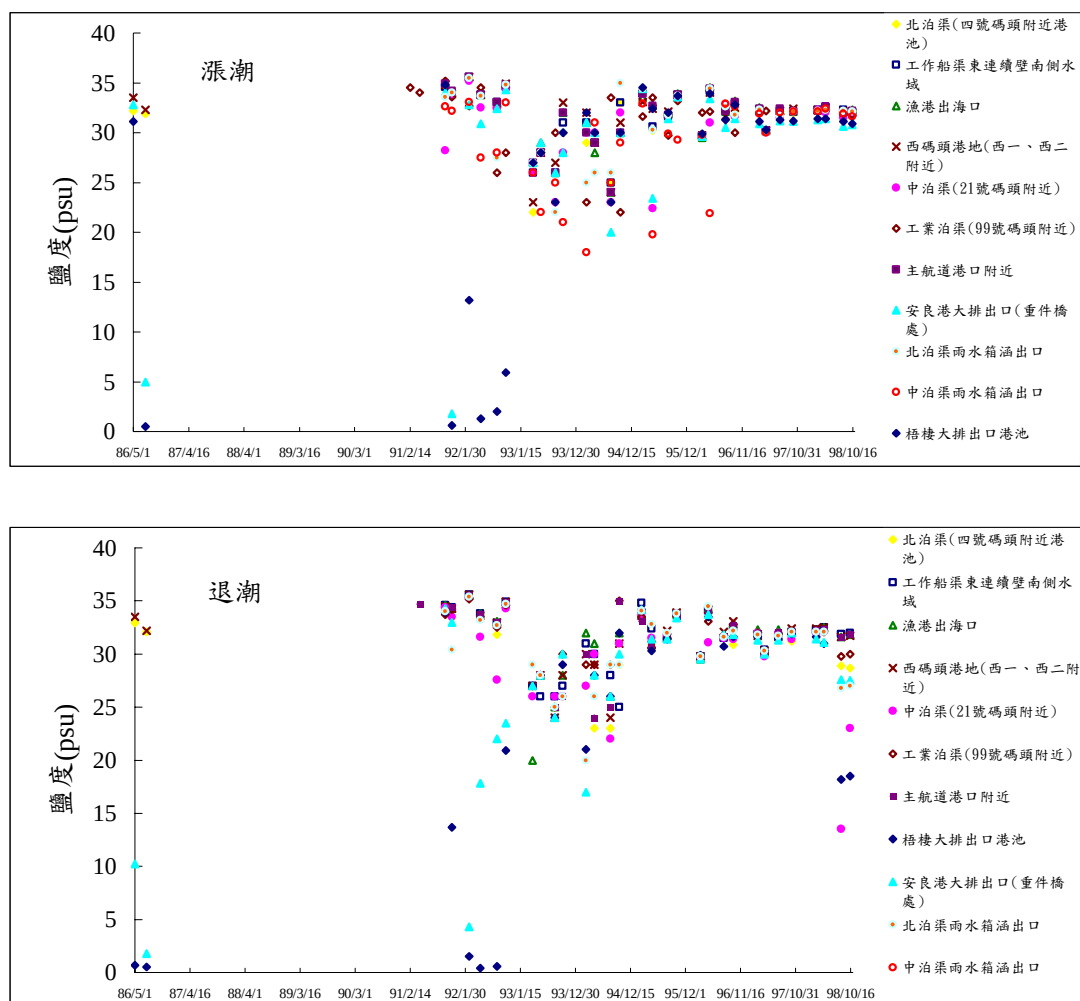
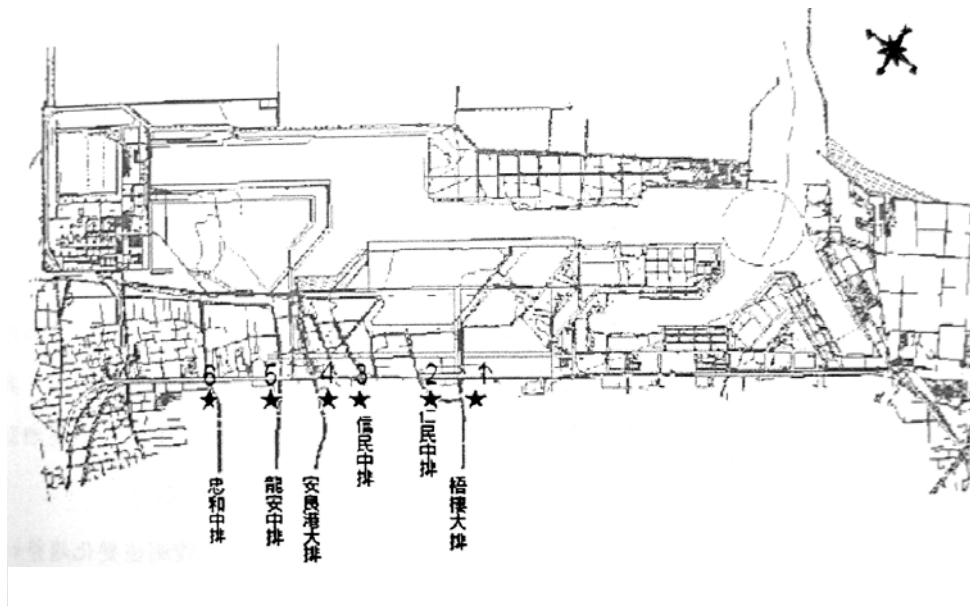


圖 2-33 臺中港港內歷年鹽度監測值

2.6 陸域水質

臺中港區港池呈狹長型，長約 7~8 km，水域寬度則僅約 0.5 km，水質由於受到上游排水路家庭及工業廢水排入港內，加以港內潮汐漲退之影響，致港內水質變化較大。依據臺中港務局「臺中港區環境調查監測分析」歷年調查結果(監測位置如圖 2-34 所示)，由民國 87 年至 98 年期間流入臺中港的各大排與中排水質變化如圖 2-35 至圖 2-42 所示。整體而言，陸域水質狀況不佳，各中、大排水路除了生活、畜牧污水排入外，又因緊鄰工業區，亦可能受工業廢水影響。在溶氧、生化需氧量、懸浮固體、大腸桿菌群、氨氮及總磷等項目多無法符合「陸域水體水質標準」，且以溶氧時常出現偏低(圖 2-37)；而生化需氧量(圖 2-38)及大腸桿菌群(圖 2-40)常遠高標準值，顯示上游排水路受到來自生活、畜牧污水嚴重污染。



資料來源：臺中港務局「97 年度臺中港區環境調查監測分析」

圖 2-34 陸域水質監測點位圖

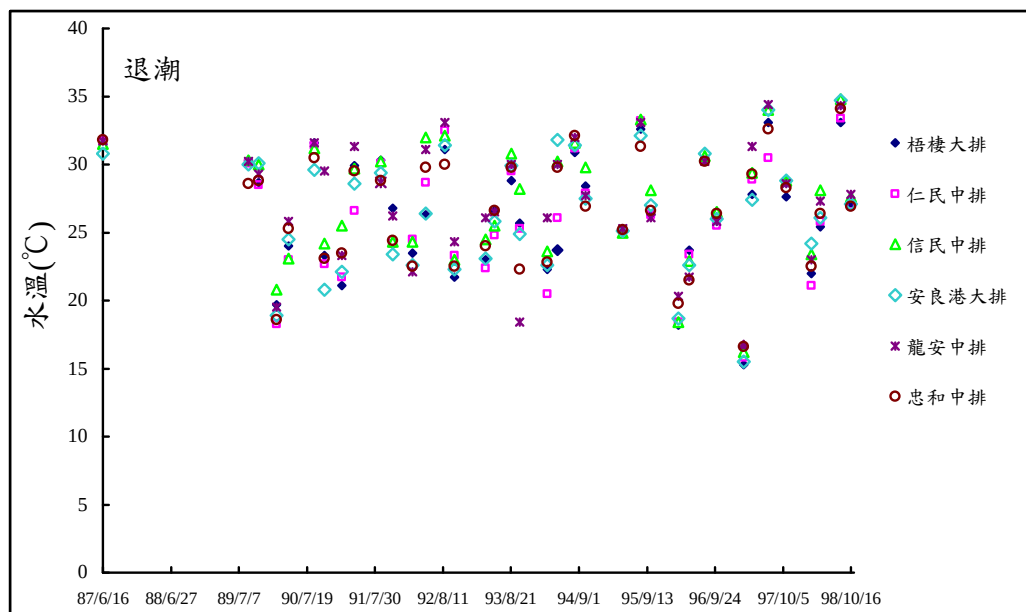
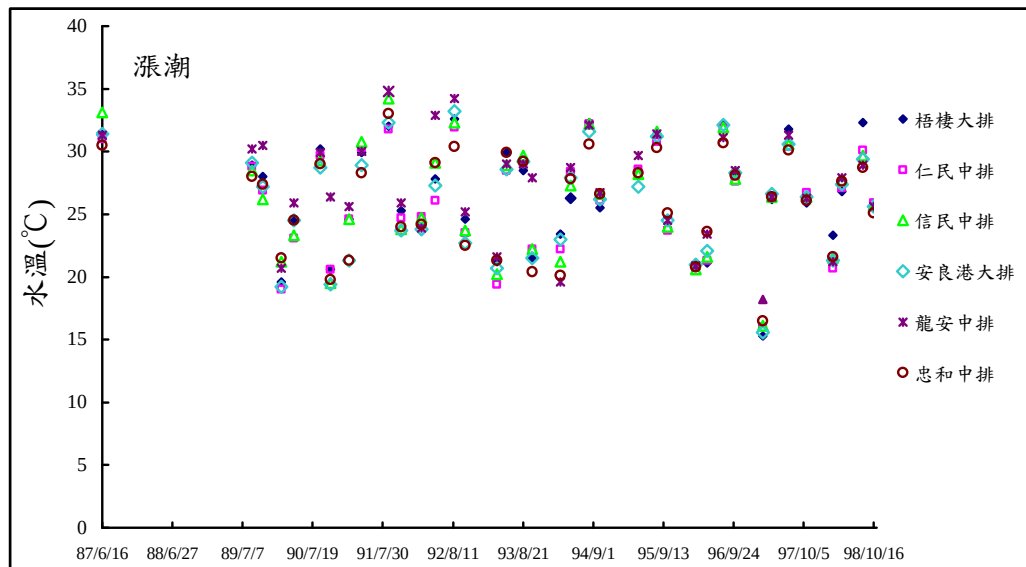


圖 2-35 上游陸域水質之歷年水溫監測值

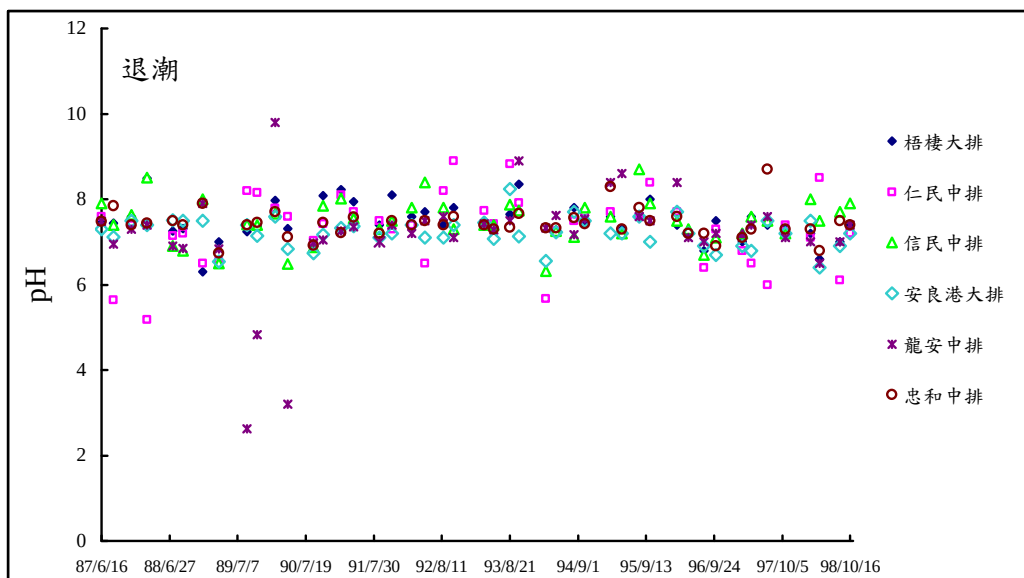
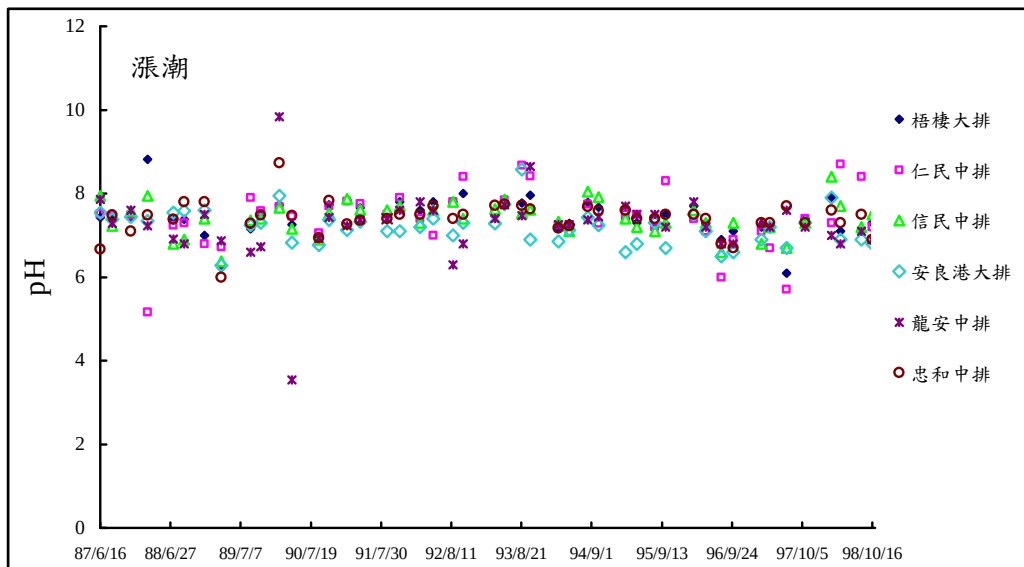


圖 2-36 上游陸域水質之歷年 pH 監測值

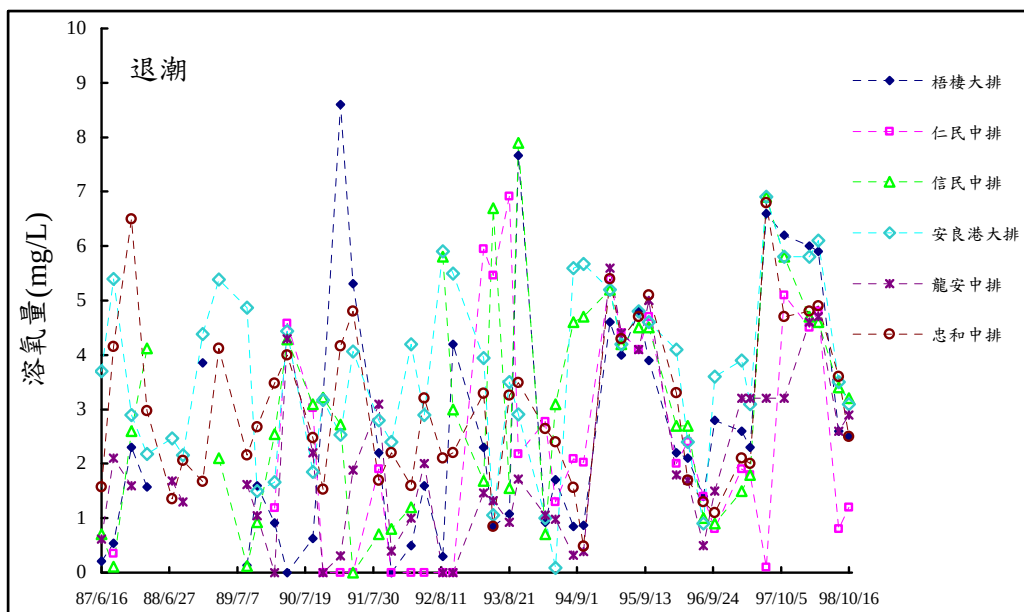
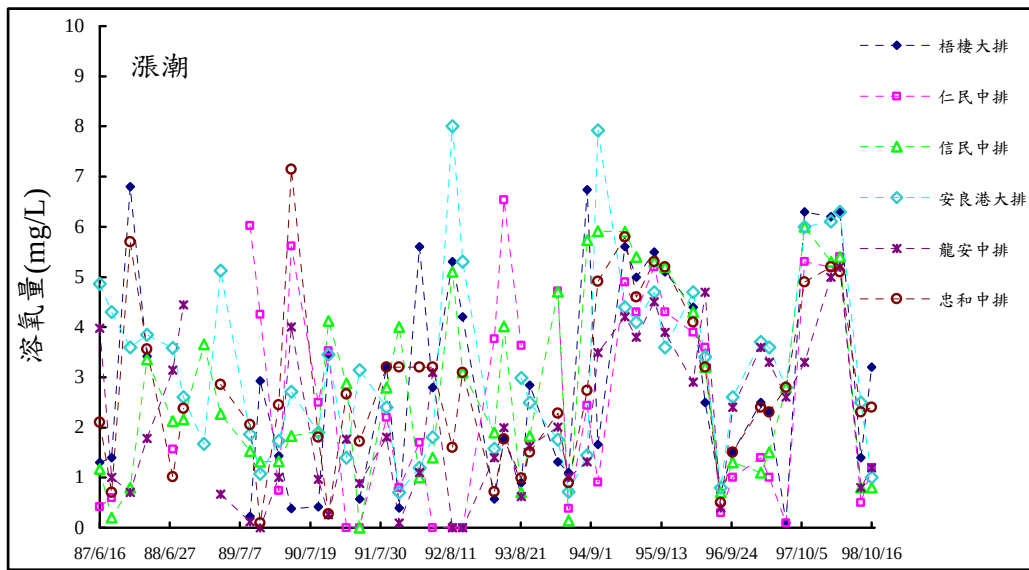


圖 2-37 上游陸域水質之歷年溶氧量監測值

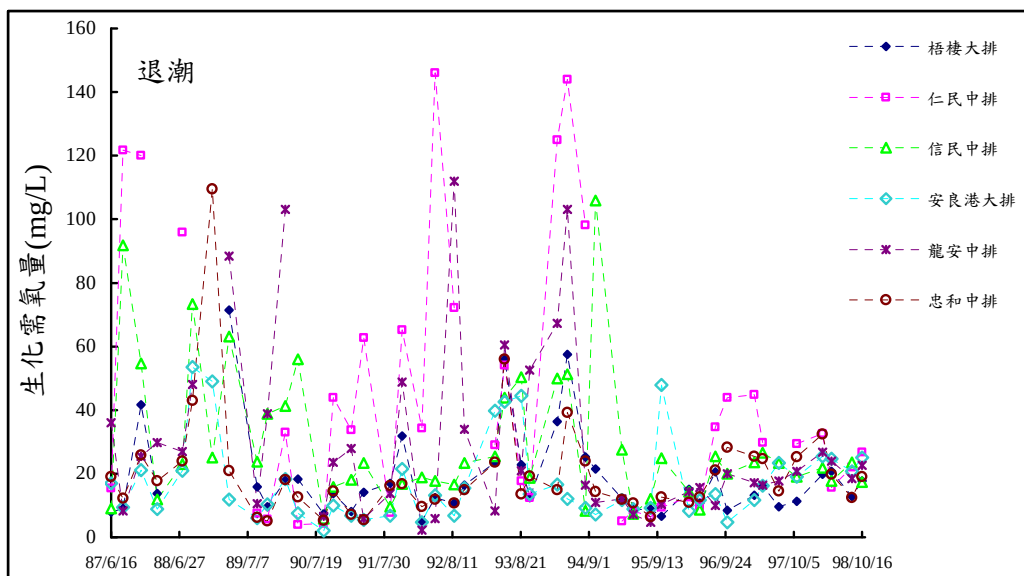
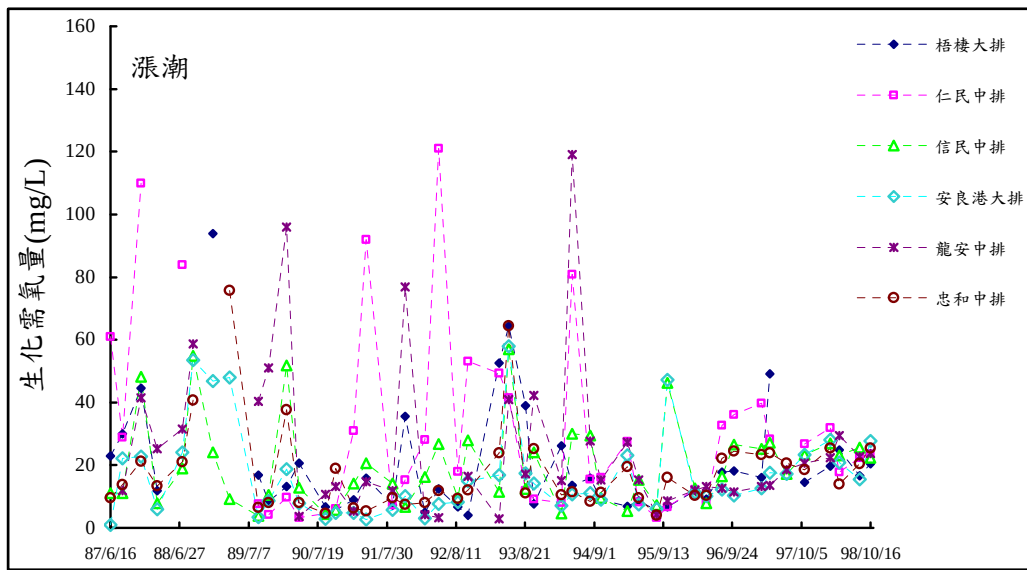


圖 2-38 上游陸域水質之歷年生化需氧量監測值

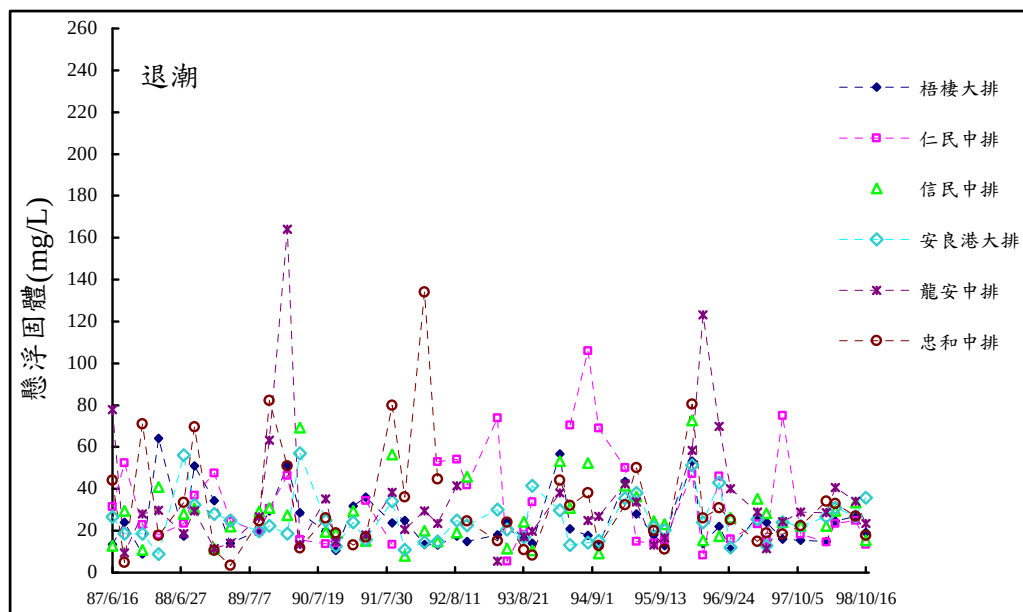
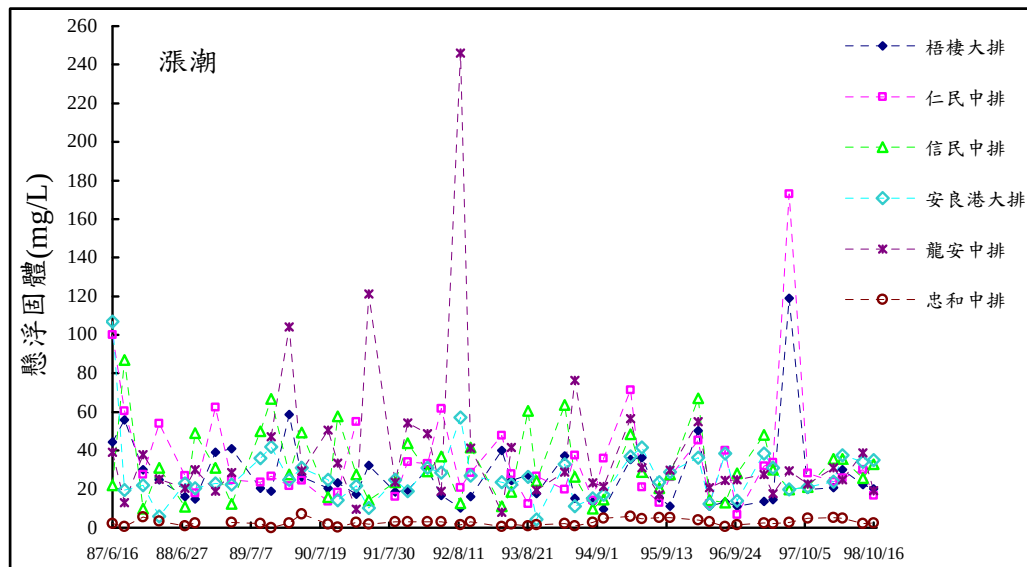


圖 2-39 上游陸域水質之歷年懸浮固體監測值

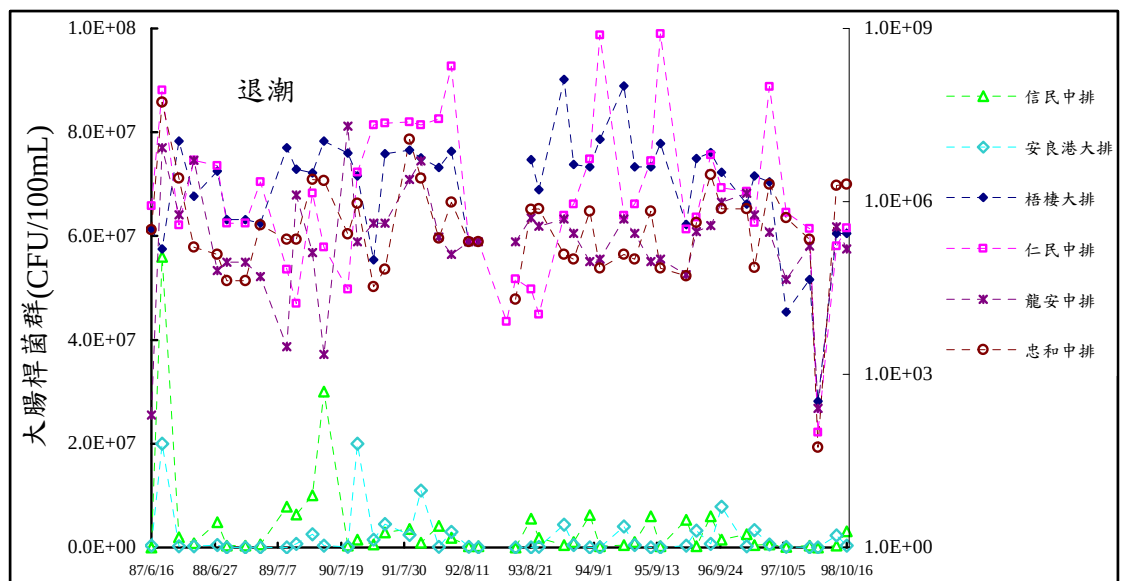
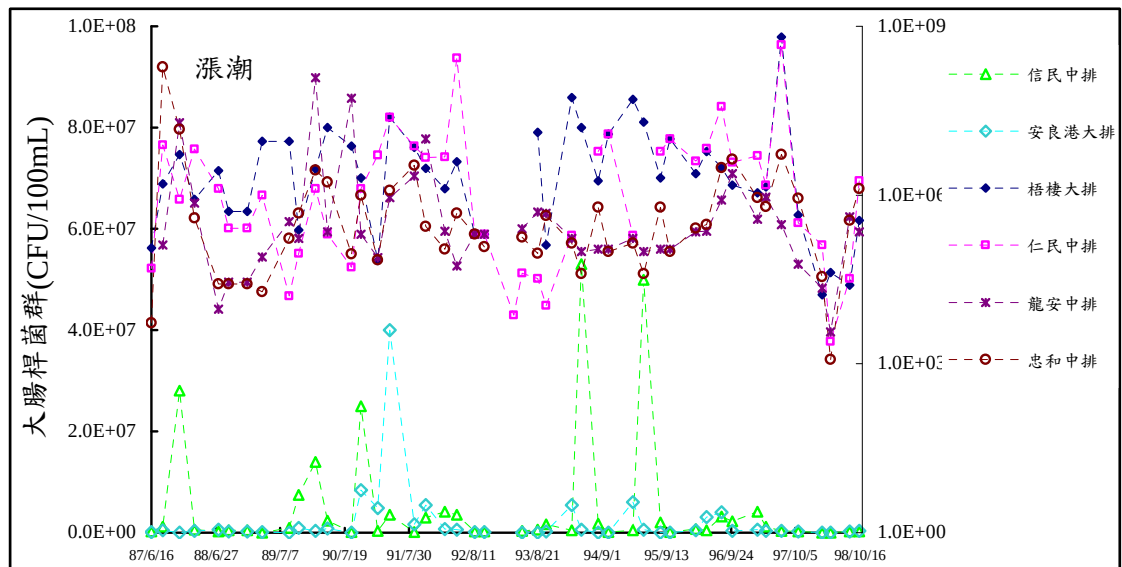


圖 2-40 上游陸域水質之歷年大腸桿菌群監測值

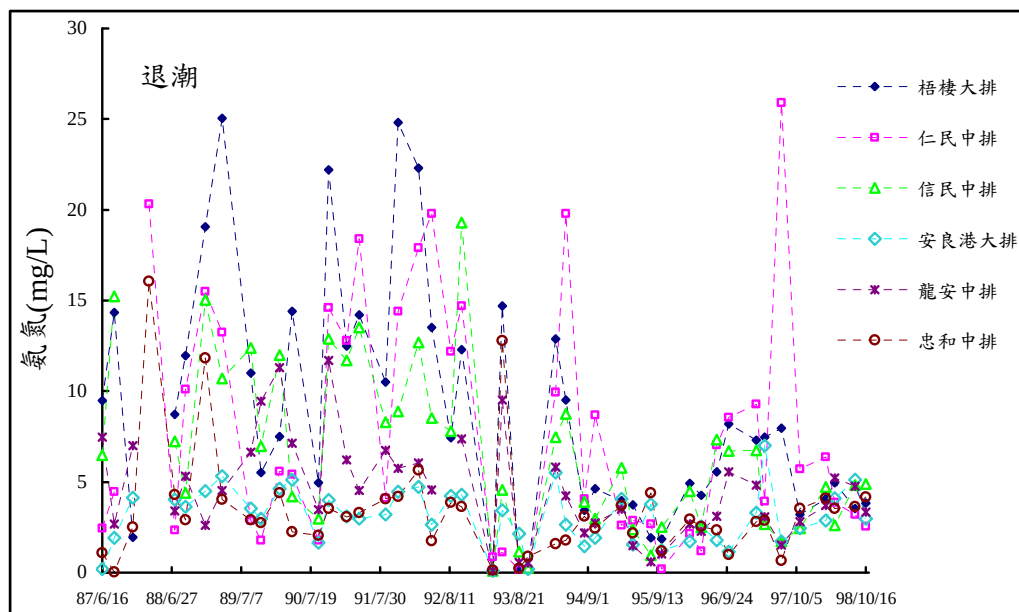
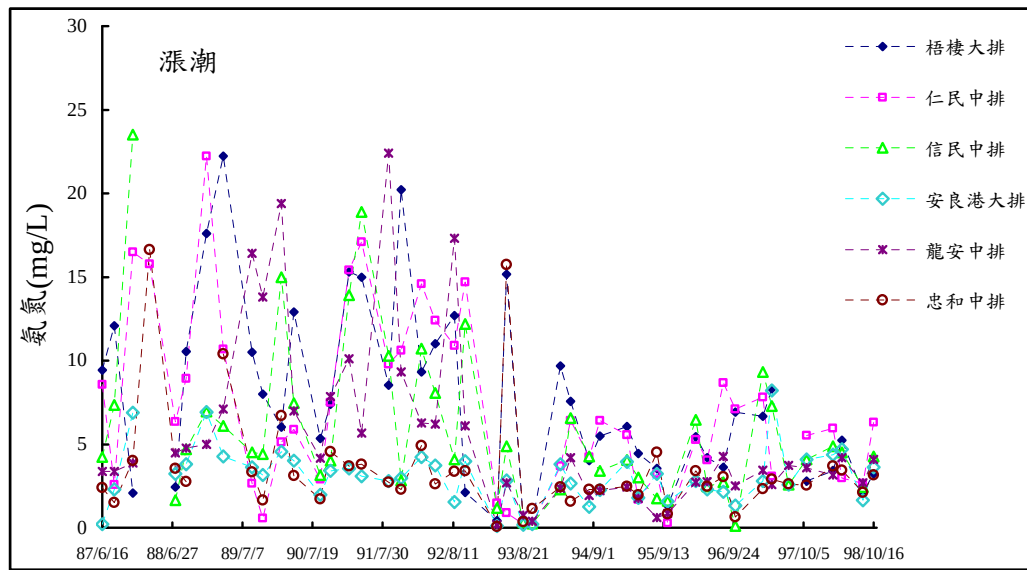


圖 2-41 上游陸域水質之歷年氨氮監測值

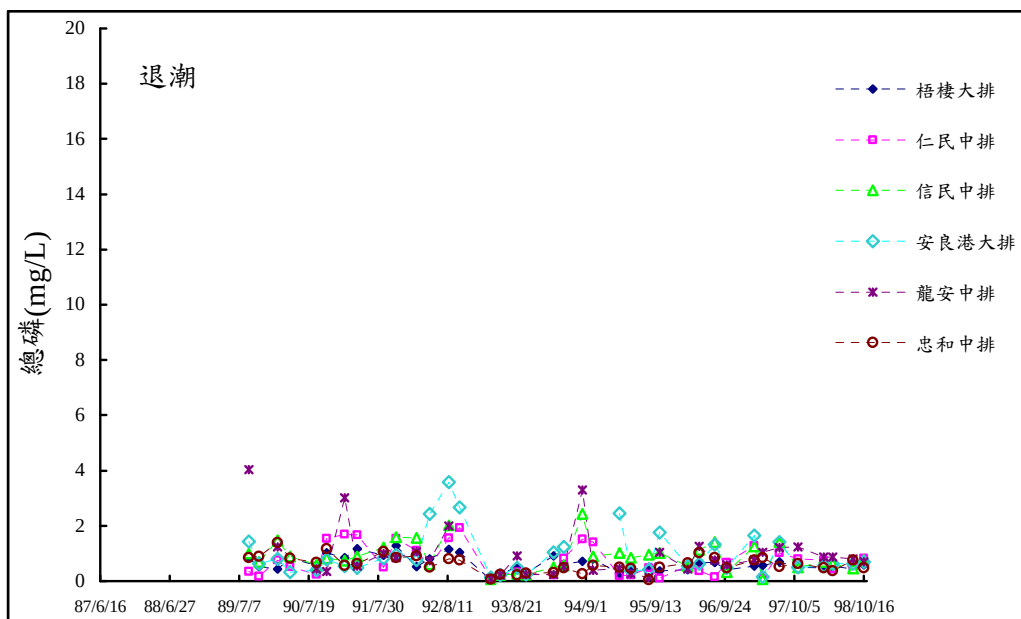
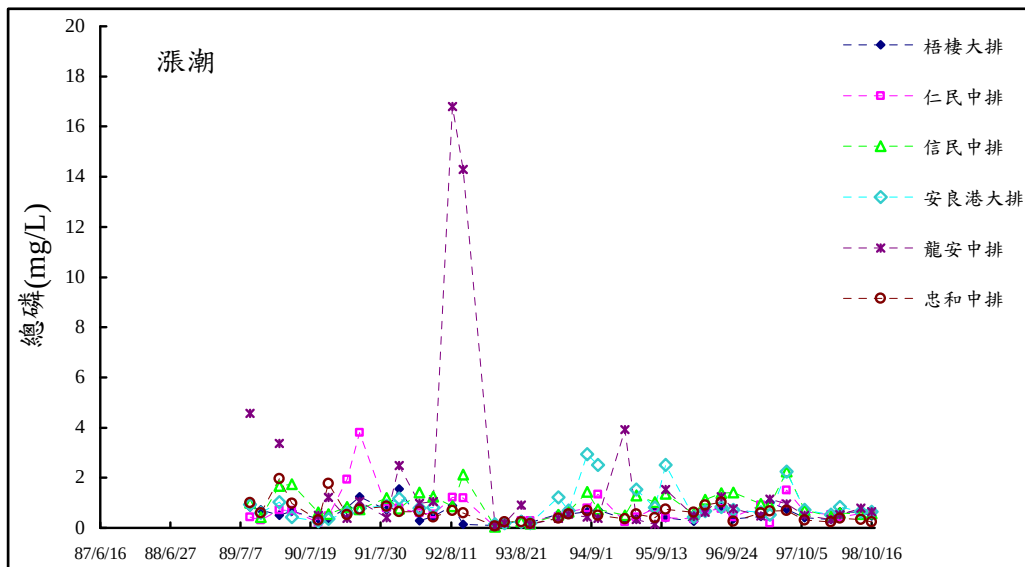


圖 2-42 上游陸域水質之歷年總磷監測值

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。臺中港環境監測調查分析計畫自民國 92 年起開始進行海域生態監測，至民國 98 年間計有 7 年之海域生態資料。

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

此外，「臺中港西一號碼頭後線第三儲槽及附屬設施興建工程環境影響說明書(95 年度)」中顯示，當時曾於 93 年 4 月 2 日(第 1 季)、5 月 23 日(第 2 季)、8 月 20 日(第 3 季)及 10 月 10 日(第 4 季)，共進行 4 季次海域生態調查(測站如圖 2-43)進行調查，其結果摘述如下：

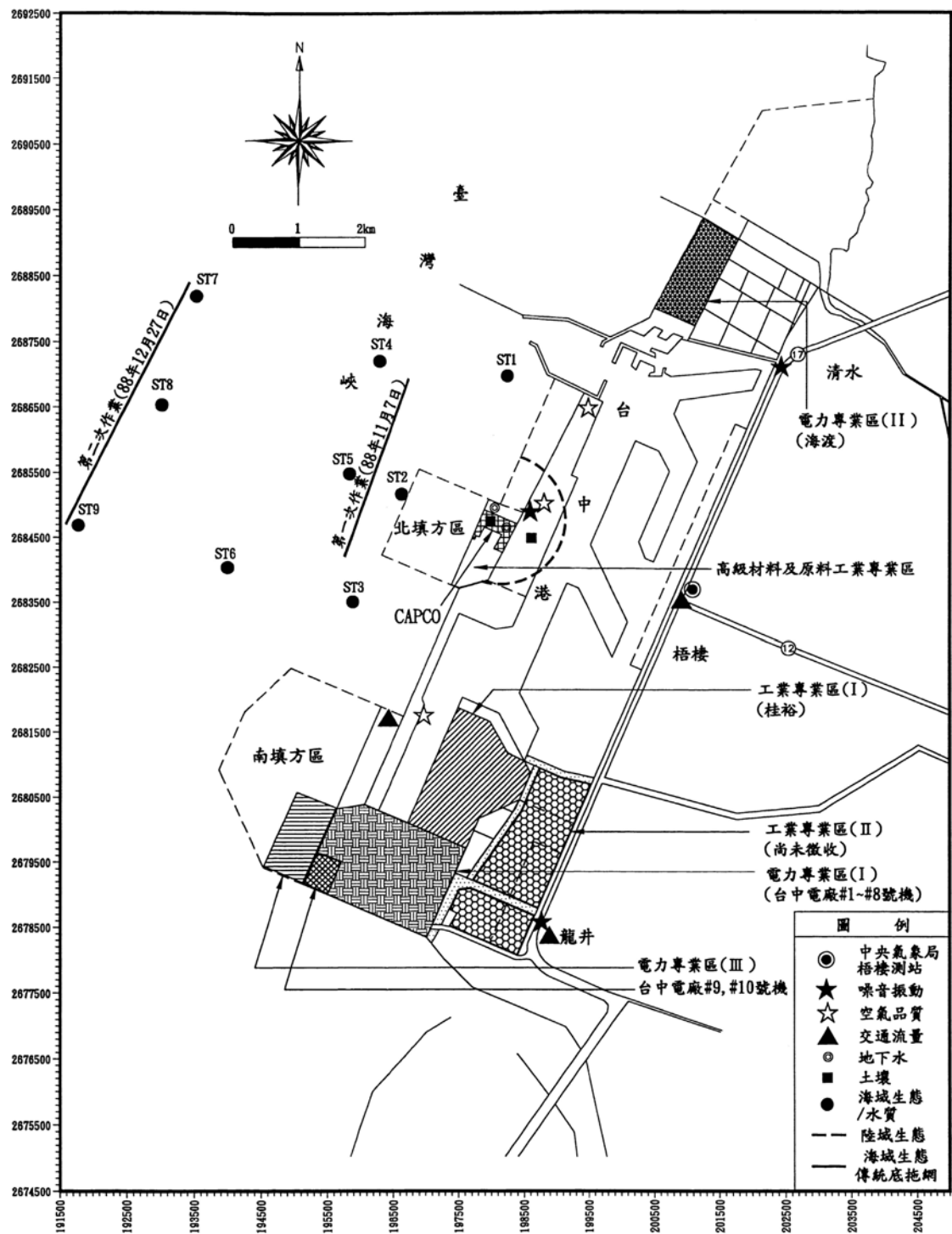


圖 2-43 臺中港西一號碼頭後線第三儲槽及附屬設施興建工程環境影響說明書海域生態監測站位置分佈圖

2.7.1 浮游植物

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

2.7.2 浮游動物

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

2.7.3 底棲生物

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

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

2.7.4 魚類

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

2.7.5 生態指數變化

由於臺中港環境監測調查分析計畫在 92 年至 97 年執行期間，海域生態調查所使用之採樣方法並非一致，因此在解析臺中港海域生態資料時，難以進行定量之分析比較。故在本研究中，主要分析臺中港海域生態系統之物種多樣性歧異度、優勢度及均勻度等相對生態指數之變化。

在分析臺中港海域生態系統之物種多樣性時，係使用

Shannon-Wiener 歧異度指數(Shannon-weiner diversity index: H')，以下為此多樣性歧異度指數之計算公式：

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \dots\dots\dots (2-1)$$

其中：

S ：各群聚中所記錄到之生物種數

P_i ：各群聚中第 i 種物種所佔的數量百分比

在應用上 Shannon-Wiener 歧異度指數(或稱多樣性指數)可綜合反映一群聚內生物種類之豐富度及個體數在種間分配是否均勻。若 H' 值愈大，則表示群聚間種數愈多或種間分配較均勻，也就是此生態系統之歧異度較大，為一較複雜之生態系統。而 Margalef's 的豐富度指數(Margalef's richness index)係指一個群落或環境中物種數目的多寡，亦表示生物群聚(或樣品)中種類豐富程度的指數。

$$SR = (S-1) / (\ln N)$$

S ：各群聚中所記錄到之生物種數

N ：各群聚中所有種類的個數

在分析臺中港海域生態系統之物種優勢度時，係使用 Simpson 優勢度指數(Simpson dominance index: C)，以下為此優勢度指數之計算公式：

$$C = \sum_{i=1}^S (N_i / N)^2 \dots\dots\dots (2-2)$$

S ：各群聚中所記錄到之生物種數

N_i ：為第 i 種生物之個體數

N ：所有種類之個體數

當 C 值愈低時，表示其優勢度愈大，也就是此生態系統具有某些特別

優勢的物種存在。

在分析臺中港海域生態系統之物種均勻度時，係使用 Shannon-Wiener 均勻度指數(Evenness index: E)，以下為此均勻度指數之計算公式：

$$E = H' / \log_2 S \dots\dots\dots (2-3)$$

S ：各群聚中所記錄到之生物種數

H' ：Shannon-Wiener 歧異度指數的值

E 值愈大，表示此生態系統中生物個體數量在種間分配較均勻。

圖 2-44 為臺中港海域浮游植物生態歧異度變化趨勢。圖中實線代表臺中港內浮游植物 Shannon-Wiener 歧異度指數隨時間之變動趨勢；長虛線代表臺中港外浮游植物歧異度指數隨時間之變動趨勢；而短虛線則代表臺中港內外合併之浮游植物歧異度指數隨時間之變動趨勢。由此圖可看出臺中港海域浮游植物生態歧異度變動在港內外具有相當程度之一致性，當港外浮游植物生態歧異度指數下降時，港內浮游植物生態多樣性歧異度指數也會隨之下降。浮游植物 Shannon-Wiener 歧異度指數在歷年來多保持在 2 與 6 之間。相對而言，2003 與 2004 年浮游植物歧異度指數無明顯變化；但在 2005 至 2006 年間，浮游植物歧異度指數有值較低且變動較大之趨勢。若按季比較，在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月) 浮游植物歧異度指數常會出現相對低點。

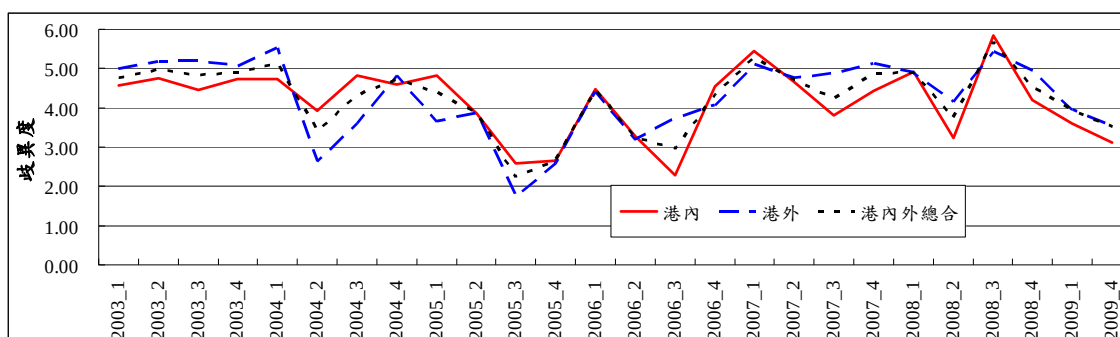


圖 2-44 臺中港海域浮游植物生態多樣性歧異度變化趨勢

圖 2-45 為臺中港海域浮游動物生態多樣性歧異度變化趨勢。圖中實線、長虛線及短虛線分別代表臺中港內、港外及港內外合併之浮游動物 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數隨時間之變動趨勢。與浮游植物之狀況相似，由圖中可看出臺中港海域浮游動物生態多樣性變動在港內外具有相當程度之一致性，當港外浮游動物生態多樣性歧異度指數下降時，港內浮游動物生態多樣性歧異度指數也會隨之下降。浮游動物 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數在歷年來多保持在 1 與 4 之間，相對而言，2003 年浮游動物 Shannon-Wiener 多樣性指數歧異度較低，但在 2004 年以後，浮游動物 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數呈波動性穩定之狀況。若按季比較，臺中港海域浮游動物生態多樣性變化與浮游植物生態多樣性變化幾乎呈相反之趨勢，在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月) 浮游動物 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數常會出現相對高點。

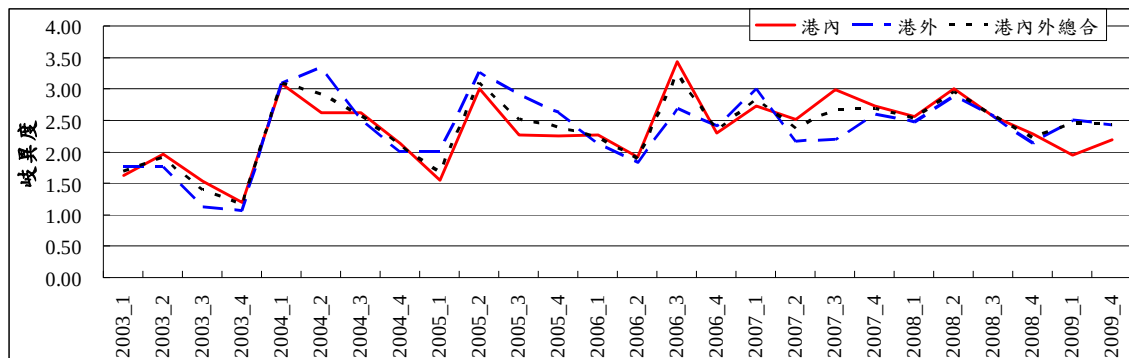


圖 2-45 臺中港海域浮游動物生態多樣性歧異度變化趨勢

臺中港海域底棲動物生態多樣性歧異度變化趨勢如圖 2-46 所示。圖中實線代表臺中港內底棲動物 Shannon-Wiener 多樣性指數隨時間之變動趨勢；長虛線代表臺中港外底棲動物 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數隨時間之變動趨勢；而短虛線則代表臺中港內外合併之底棲動物 Shannon-Wiener 多樣歧異度性指數隨時間之變動趨勢。與浮游植物及浮游動物比較，底棲動物生態多樣性歧異度變化趨勢較複雜，不但波動程度較為劇烈，港內及港外也常呈不一致之狀況。整體而言，底棲動物 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數介於 0 與 5 之間，且自 2003

年起呈下滑之狀況，此下滑之狀況自 2006 年起趨緩。若比較季別變化，臺中港底棲動物 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數與浮游植物狀況類似，常在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月)出現相對低點。

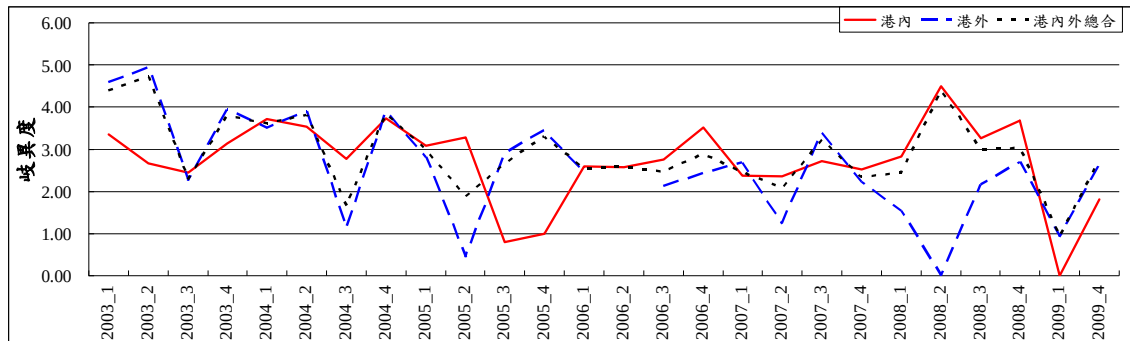


圖 2-46 臺中港海域底棲動物生態多樣性歧異度變化趨勢

圖 2-47 為臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合之生態多樣性歧異度變化趨勢。圖中實線代表臺中港內之綜合 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數隨時間之變動趨勢；長虛線代表臺中港外之綜合 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數隨時間之變動趨勢；而短虛線則代表臺中港內外合併之綜合 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數隨時間之變動趨勢。由此圖可看出臺中港海域綜合生態多樣性歧異度變動趨勢與圖 2-44 之臺中港內浮游植物 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數變動趨勢幾乎一致。而且港內港外也呈同步變動之狀況：當港外綜合生態多樣性歧異度指數下降時，港外綜合生態多樣性歧異度指數也會隨之下降。綜合 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數在歷年來多保持在 2 與 6 之間，相對而言，2003 與 2004 年綜合 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數無明顯變化，但在 2005 至 2006 年間，綜合 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數有較低且變動較大之趨勢。若按季比較，在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月) 綜合 Shannon-Wiener 多樣性歧異度指數常會出現相對低點。

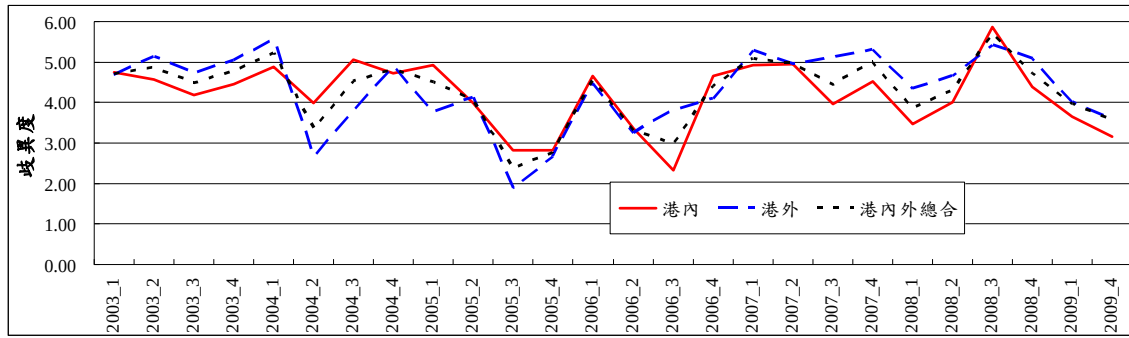


圖 2-47 臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態歧異度多樣性變化趨勢

Simpson 優勢度指數為常被引用之生態系統優勢度指標，其值愈高表示其優勢度愈大，也就是此生態系統具有某些特別優勢的物種存在。圖 2-48 為臺中港海域浮游植物生態優勢度指數變化趨勢。圖中實線代表臺中港內浮游植物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢；長虛線代表臺中港外浮游植物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢；而短虛線則代表臺中港內外合併浮游植物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢。由圖 2-48 可看出，臺中港海域浮游植物生態優勢度變動在港內外呈現相當程度之一致性，當港外浮游植物生態優勢度指數上升時，港內浮游植物生態優勢度指數也會隨之上升。浮游植物 Simpson 優勢度指數在歷年資料中多保持在 0 與 0.4 之間。若按季比較，在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月) 浮游植物 Simpson 優勢度指數常會出現相對高點，若以 2006 年第 1 季為界，之前時段，當浮游植物 Simpson 優勢度指數相對高點出現時，港外浮游植物優勢度指數明顯比港內浮游植物優勢度指數高；相反的自 2006 年第 1 季以後當浮游植物 Simpson 優勢度指數相對高點出現時，港內浮游植物優勢度指數明顯比港外浮游植物優勢度指數高。

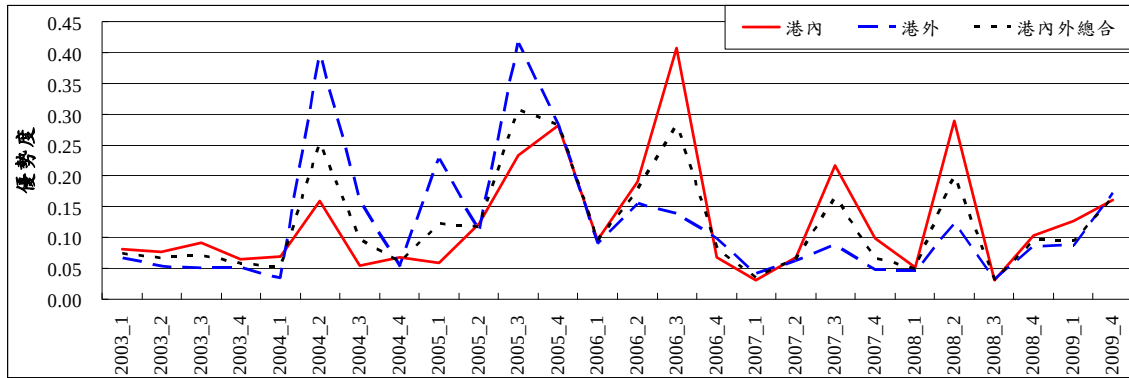


圖 2-48 臺中港海域浮游植物生態優勢度變化趨勢

圖 2-49 為臺中港海域浮游動物生態優勢度指數變化趨勢。圖中實線代表臺中港內浮游動物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢；長虛線代表臺中港外浮游動物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢；而短虛線則代表臺中港內外合併之浮游動物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢。由圖 2-49 可看出，臺中港海域浮游動物生態優勢度變動在港內外相當程度之一致性，當港內浮游動物生態優勢度指數上升時，港外浮游動物生態優勢度指數也會隨之上升。浮游動物 Simpson 優勢度指數在歷年來多保持在 0 與 0.7 之間，2003 年浮游動物生態優勢度指數介於 0.4 與 0.7 之間，往後之年間臺中港浮游動物生態優勢度指數降至 0.1 至 0.4 之間。若比較各季資料，在第 1 季(1 至 3 月)及第 4 季(10 至 12 月) 臺中港浮游動物 Simpson 優勢度指數常會出現相對高點。

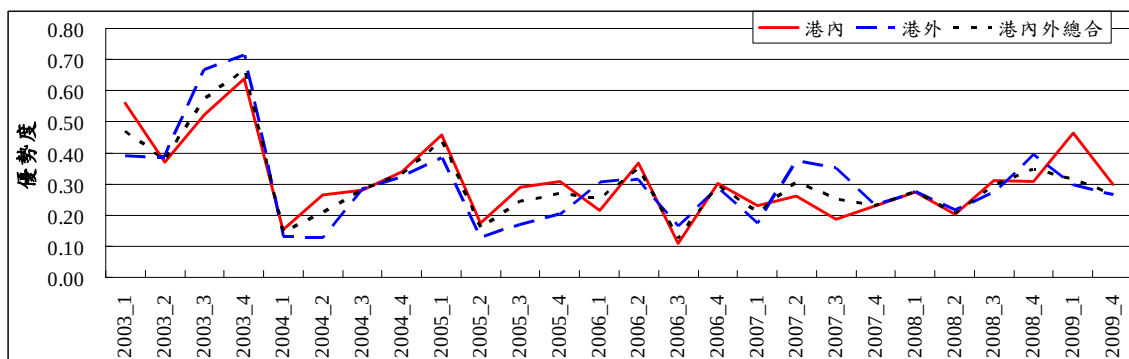


圖 2-49 臺中港海域浮游動物生態優勢度變化趨勢

臺中港海域底棲動物 Simpson 優勢度指數變化趨勢如圖 2-50 所示。圖中實線代表臺中港內底棲動物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢；長虛線代表臺中港外底棲動物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢；而短虛線則代表臺中港內外合併之底棲動物 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢。與浮游植物及浮游動物比較，底棲動物 Simpson 優勢度指數變化趨勢較複雜，不但波動程度較為劇烈，港內及港外也常呈不一致之狀況。整體而言，底棲動物 Simpson 優勢度指數之值介於 0 與 1 之間。若比較季別變化，臺中港底棲動物 Simpson 優勢度指數常在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月)出現相對高點，且在相對高點出現時，多以臺中港外海域底棲動物優勢度為最高。

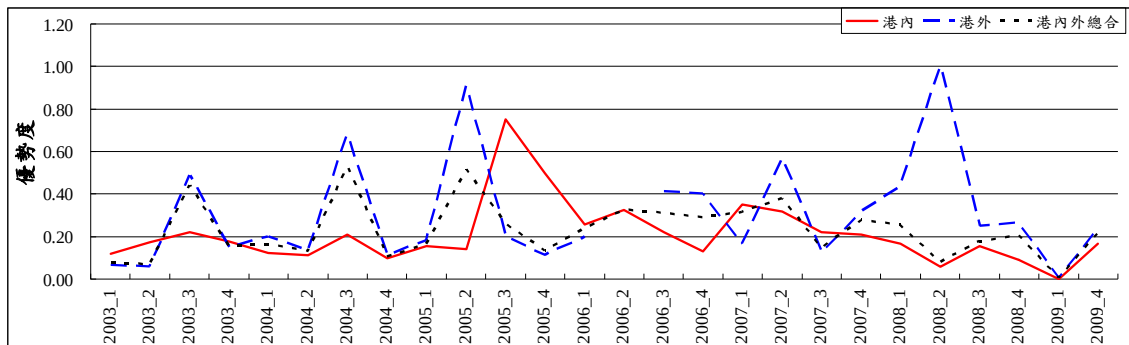


圖 2-50 臺中港海域底棲動物生態優勢度變化趨勢

臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物資料所計算出之 Simpson 優勢度指數變化趨勢如圖 2-51 所示。圖中實線、長虛線與短虛線分別代表臺中港內、港外及港內外合併海域之綜合 Simpson 優勢度指數隨時間之變動趨勢。與前述綜合生態多樣性歧異度變動趨勢情況類似；臺中港海域綜合生態優勢度變動趨勢與圖 2-48 之臺中港內浮游植物優勢度變動趨勢幾乎一致。綜合 Simpson 優勢度指數在歷年來多保持在 0 與 0.4 之間。若按季比較，在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月)綜合 Simpson 優勢度指數常會出現相對高點，若以 2006 年第 1 季為界，之前時段，當綜合 Simpson 優勢度指數相對高點出現時，港外綜合優勢度指數明顯比港內綜合優勢度指數高；相反的自 2006 年第 1 季以後當綜合 Simpson 優勢度指數相對高點出現時，港內綜合優勢度指數明顯比港外綜合優勢度指數高。

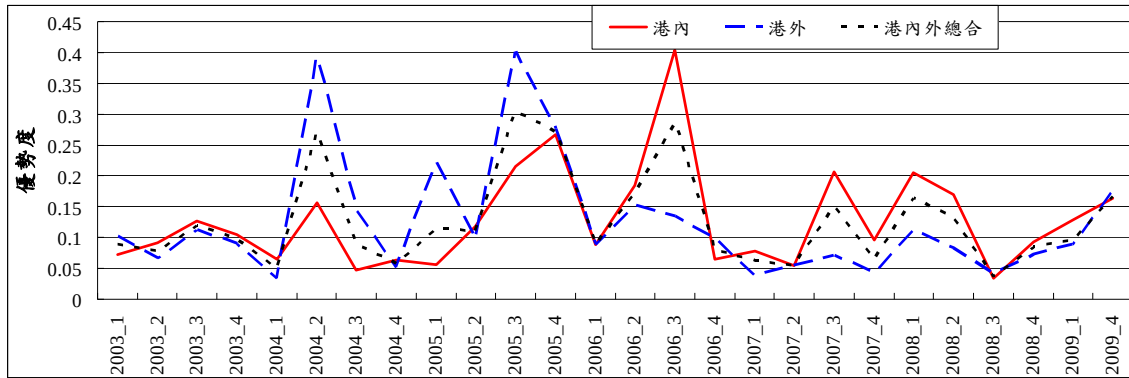


圖 2-51 臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態優勢度變化趨勢

在分析臺中港海域生態系統之物種均勻度時，係使用 Shannon-Wiener 均勻度指數。圖 2-52 至圖 2-55 分別為臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物及三項綜合之 Shannon-Wiener 均勻度指數隨時間變動之趨勢。

臺中港海域浮游植物 Shannon-Wiener 均勻度指數隨時間變動之趨勢如圖 2-52 所示。圖中實線、長虛線及短虛線分別代表臺中港內、港外及港內外合併之浮游植物 Shannon-Wiener 均勻度指數隨時間之變動趨勢。由圖 2-52 可看出，臺中港海域浮游植物生態均勻度變動在港內外相當程度之一致性，當港內浮游植物生態多樣性歧異度指數下降時，港外浮游植物生態多樣性指數也會隨之下降。浮游植物 Shannon-Wiener 均勻度指數在歷年來多保持在 0.3 與 0.9 之間，相對而言，前兩年及最後兩年浮游植物 Shannon-Wiener 均勻度指數無明顯變化，但在 2005 至 2006 年間，浮游植物 Shannon-Wiener 均勻度指數有較低且變動較大之趨勢。若按季比較，在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月) 浮游植物 Shannon-Wiener 均勻度指數常會出現相對低點。若再仔細觀察浮游植物 Shannon-Wiener 均勻度指數出現相對低點之時間點，可發現：若在 2006 年之前，則以港外之浮游植物均勻度指數相對港內為較低；若在 2006 年之後，則以港內之浮游植物均勻度指數相對港外為較低。

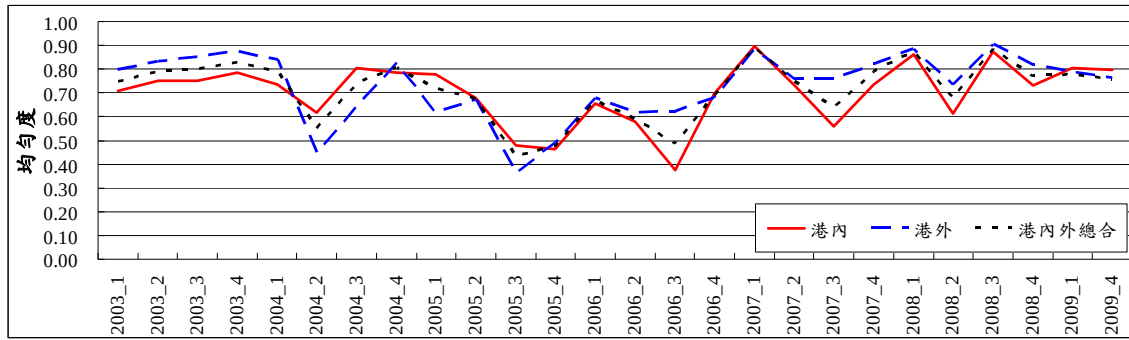


圖 2-52 臺中港海域浮游植物生態均勻度變化趨勢

圖 2-53 為臺中港海域浮游動物生態均勻度變化趨勢。圖中實線、長虛線及短虛線分別代表臺中港內、港外及港內外合併之浮游動物 Shannon-Wiener 均勻度指數隨時間之變動趨勢。臺中港海域浮游動物 Shannon-Wiener 均勻度指數除 2009 年外，歷年來於 2008 年以前多保持在 0.2 與 1.0 之間。相對而言，2003 年臺中港海域浮游動物 Shannon-Wiener 均勻度指數較低，約介於 0.2 至 0.5 之間。而在 2004 年以後，浮游動物 Shannon-Wiener 均勻度指數波動性緩降之狀況，其中 2004 年至 2006 年約在 0.4 至 1.0 之間振盪，2007 年以後則較為穩定，約在 0.5 至 0.7 之間變動。

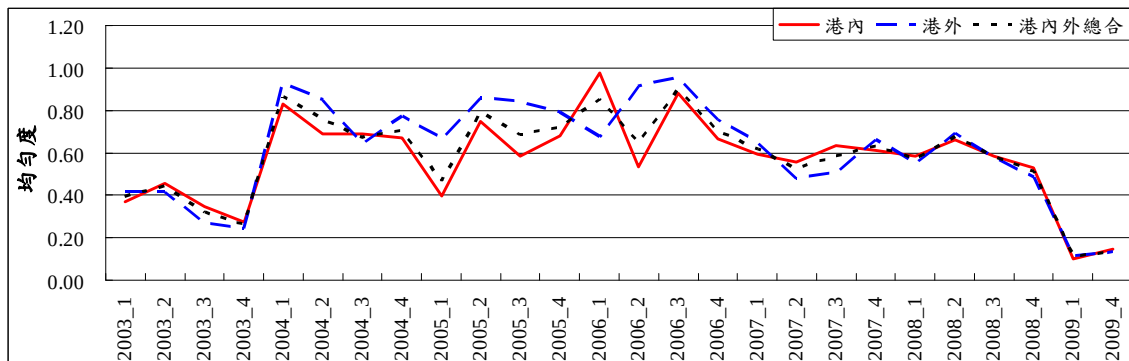


圖 2-53 臺中港海域浮游動物生態均勻度變化趨勢

臺中港海域底棲動物生態均勻度變化趨勢如圖 2-54 所示。圖中實線代表臺中港內底棲動物 Shannon-Wiener 均勻度指數隨時間之變動趨勢；長虛線代表臺中港外底棲動物 Shannon-Wiener 均勻度指數隨時間之變動趨勢；而短虛線則代表臺中港內外合併之底棲動物

Shannon-Wiener 均勻度指數隨時間之變動趨勢。臺中港海域底棲動物 Shannon-Wiener 均勻度變化趨勢較複雜，不但波動程度較為劇烈，港內及港外也常呈不一致之狀況。若單比較臺中港外底棲動物 Shannon-Wiener 均勻度變化趨勢，可發現 2006 年前後底棲動物均勻度之變化趨勢有差異：在 2006 年之前臺中港外底棲動物 Shannon-Wiener 均勻度指數波動程度較為劇烈；但 2006 年以後，底棲動物均勻度指數波動程度變緩。另外，若再詳細分析港內外底棲動物均勻度指數波動程度，則可發現港內之狀況與港外相反：在 2006 年之前底棲動物均勻度指數波動程度較緩；2006 年以後，底棲動物均勻度指數波動程度波動較大。整體而言，底棲動物之 Shannon-Wiener 均勻度指數介於 0.1 與 1.0 之間，底棲動物均勻度指數波動程度係以港外大於港內，但 2009 年無論港內外均出現歷年之最低情形，且 2006 年以後，港內與港外之底棲動物均勻度指數波動程度漸趨一致，但是波動相位相反。

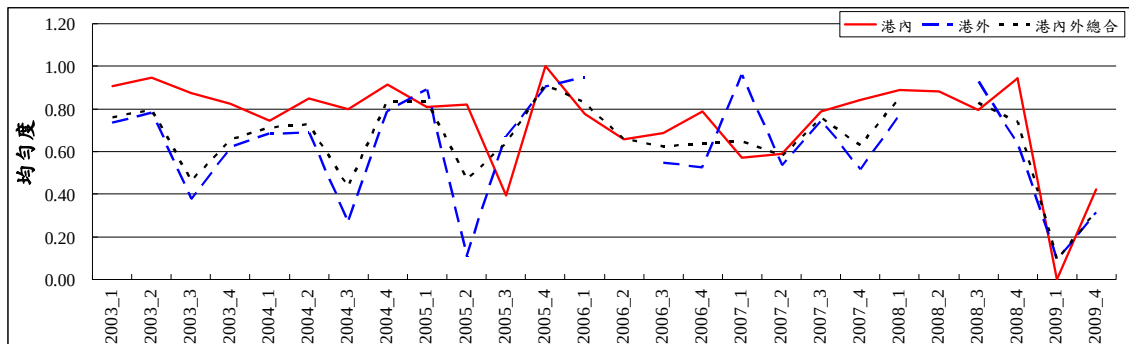


圖 2-54 臺中港海域底棲生物生態均勻度變化趨勢

與先前多樣性歧異度及優勢度之狀況相同，圖 2-55 之臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物資料綜合所計算出之 Shannon-Wiener 均勻度指數變化趨勢與圖 2-52 之臺中港浮游植物之均勻度變動趨勢幾乎一致。綜合 Shannon-Wiener 均勻度指數在歷年來多保持在 0.3 與 0.9 之間，相對而言，前兩年及最後兩年綜合 Shannon-Wiener 均勻度指數無明顯變化，但在 2005 至 2006 年間，綜合 Shannon-Wiener 均勻度指數有較低且變動較大之趨勢。若按季比較，在第 2 季(4 至 6 月)及第 3 季(7 至 9 月) 綜合 Shannon-Wiener 均勻度指數常會出現相對低點。若觀察綜合 Shannon-Wiener 均勻度指數出現相對低點之時間點，可發

現：若在 2006 年之前，則以港外之綜合均勻度指數為最低值；若在 2006 年之後，則以港內之綜合均勻度指數為最低值。

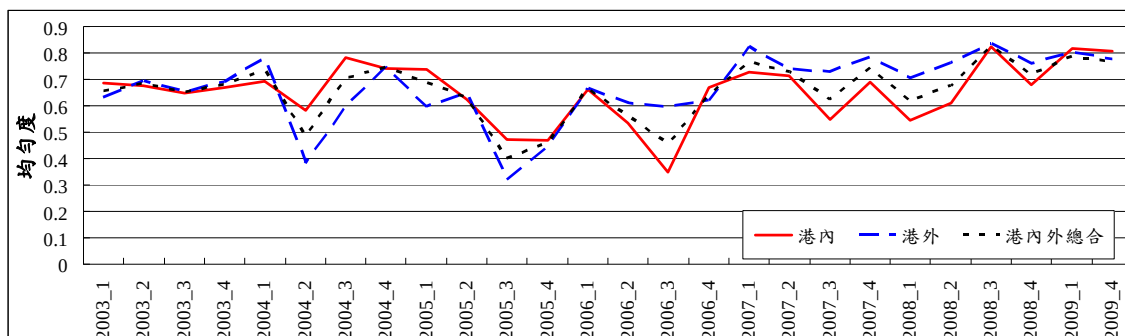


圖 2-55 臺中港海域浮游植物、浮游動物及底棲動物綜合生態
均勻度變化趨勢

第三章 現場水體採樣及地形測量

本研究今年度（99 年）進行第 2 年在臺中港鄰港區域進行海域水體環境品質調查，並進行分析比較。此外，為進行下一年（100 年）本計畫第三年在北淤沙區飛沙機制研究，於臺中港北淤沙區進行三次地形高程測量，並進行土方量分析以及斷面高程比較。

3.1 水體採樣測站規劃

在水體採樣上，今年度進行兩次臺中港鄰近海域水質調查分析，上半年於 3 月 23 日至 3 月 24 日完成採樣，下半年則於 9 月 7 日至 9 月 8 日完成依據調查結果將可提供港灣附近水質分佈之特性、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。

3.1.1 測站設置原則

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

1. 主、次要河川入海口。
2. 重要污染源流入點。
3. 港灣、潟湖。
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。

3.1.2 測站選定

本年度（99 年度）研究臺中港鄰港海域水質測站設置主要依照上述原則所規劃，並參考 98 年度本研究之測站位置為測點選定之依據。

此外，環保署(EPA)長期於臺中港外沿海海域設有 5 處水質測站，以及臺中港務局(THB)於此區域，亦設有港內 2 處與港外 6 處。

由於港域污染大多來自陸源性污染，而陸源性污染最常經由河川、排水路從河口向近岸海域傳送，除注入豐富的營養鹽類外，也伴隨過多的有機與無機方面的污染。而陸源污染物向海傳輸之影響程度與範圍，主要受潮汐漲退推移與海潮流之擴散傳送，多集中在近岸水深 10m 以內之區域，而更近岸之水深 5m 內淺水區，因近岸風浪翻攪而上下混合良好，分層現象不明顯。更深水域除非當地海域地形有特殊情況，造成水體交換不良外，一般至水深 20m 以上海水，受陸源淡水影響較不明顯。在水體渾濁程度方面，近岸淺水區變化較大，遠岸水深 20m 以外變化通常較不明顯。

基於上述考量後，本研究本年度(99 年)水質調查部份，乃參考前 1 年度測站位置選定原則，選擇臺中港鄰港共 5 個測站(港內 3 處與港外 2 處)，進行表層海域水質調查，點位座標如表 3-1 所示，位置如圖 3-1 所繪，圖示 EPA 表環保署長期於臺中港外沿海海域之水質測站，THB 則代表臺中港務局於此區域所進行之海域水質及生態測站，HMTC 則為本研究第 1 年度(98 年)之海域與港區水質測點。

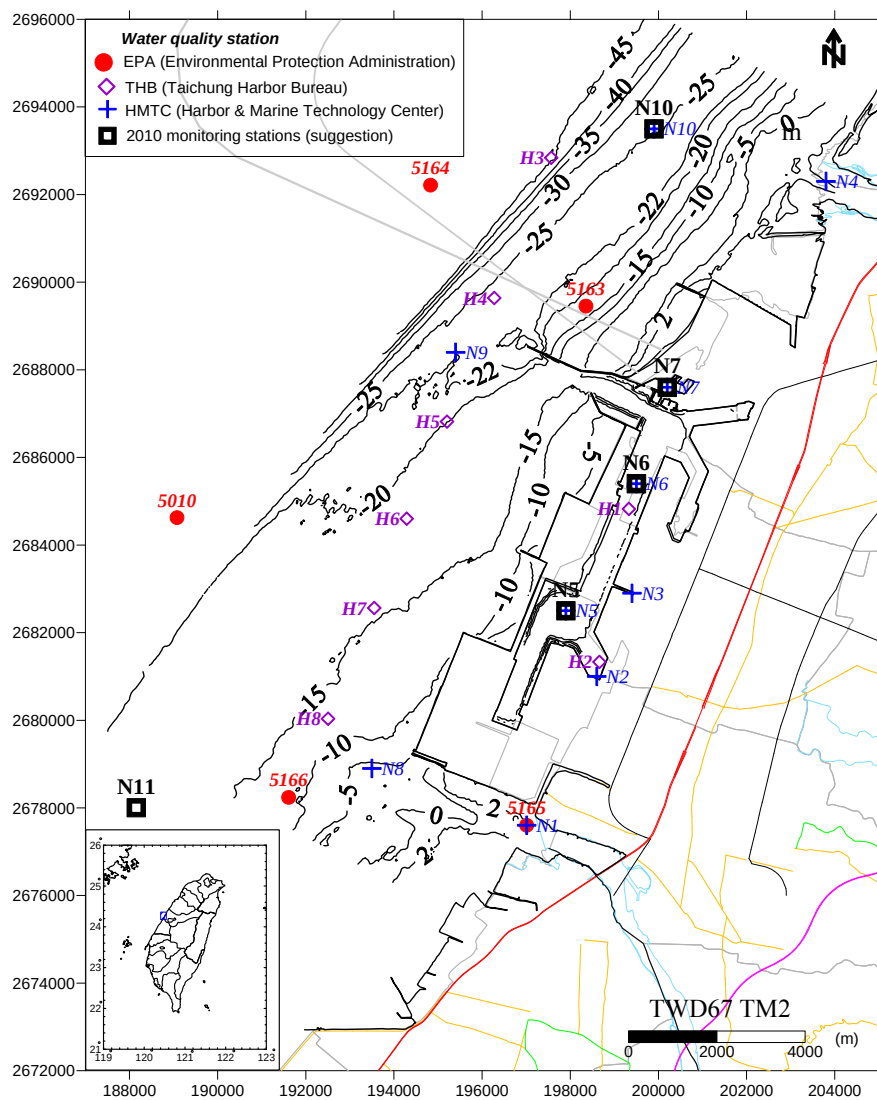
表 3-1 民國 99 年臺中港鄰港海域水質測站座標

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

3.2 海域水質調查

3.2.1 採樣方法

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



(本研究第 2 年：N5, N6, N7, N10, N11)

圖 3-1 民國 99 年度臺中港鄰港海域水質與生態測站位置

3.2.2 採樣頻率

本年度(99 年度)海域水質監測 1 年共 2 次，豐、枯水期間各 1 次，於第 1 年(民國 98 年)起迄今，已於 98 年 4 月 29 日、98 年 6 月 25 日、98 年 9 月 14~15 日、99 年 3 月 23~24 日與 99 年 9 月 7 日~8 日計進行 5 次採樣調查。

3.2.3 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。

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，如分析項目未列入環保署公告之方法中，採用美國公共衛生協會(APHA)等編印之「水與廢水標準檢驗方法」(Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, APHA, 1998)之檢測方法進行分析。其方法依據與方法偵測極限等如表 3-2 所示。

表 3-2 水質檢測項目之方法與偵測極限等品質目標

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⁾ pH 值	電極法	NIEA ⁽²⁾ W424.52A	—	±0.1	—	—
◎溶氧量	電極法	NIEA W455.50C	—	≤10%	—	—
◎導電度	導電度計法	NIEA W203.51B	—	≤3%	—	—
鹽度	導電度法	NIEA W447.20C* ⁽³⁾	—	≤5%	—	—
◎水溫	溫度計法	NIEA W217.51A	—	≤3%	—	—
透明度	水中透明度檢測 方法	NIEA E220.50C	—	—	—	—
◎五日生化 需氧量	水中生化需氧量 檢測方法	NIEA W510.54B	2.0 ^{#(4)} mg/L	≤15%	168~228 mg/L ⁽⁵⁾	—
◎大腸桿菌群	濾膜法	NIEA E202.53B	—	≤0.2	—	—
◎懸浮固體	103~105℃ 乾燥法	NIEA W210.57A	2.5 [#] mg/L	≤20% ≤10% ⁽⁷⁾	—	—
◎氨氮	靛酚法	NIEA W448.51B	0.02 mg/L	≤10%	80~120%	85~115%
◎總磷	分光光度計/維 生素丙法	NIEA W427.52B	0.006 mg/L	≤10%	85~115%	75~125%
葉綠素 a	丙酮萃取法/分光 光度計分析法	NIEA E507.02B	—	≤25%	—	—

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168~224 mg/L。

(6).表中各檢項方法偵測極限值原則上每年更新一次。

(7).若因不可抗力力(如天災、儀器故障)未能執行檢測分析，本實驗室將通知業主，並於樣品有效期限內轉委託經環保署認證之單位執行檢測。轉委託後之分析品質亦須符合上表中品質目標的規定。

3.3 海域水質調查結果

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

表 3-3 民國 99 年 3 月臺中港鄰港海域水質採樣調查結果

檢項	pH	水溫 ℃	導電度 μmho/cm	鹽度 psu	透明度 m	DO mg/L	DO 飽和度(%)	BOD mg/L	懸浮固體 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100mL	總磷 mg/L	氮 mg/L	葉綠素 a μg/L
測站	NIEA W424.52A	NIEA W427.51A	NIEA W203.51B	NIEA W447.20C ^④	NIEA E220.50C	NIEA W455.50C	NIEA W455.50C	NIEA W510.54B	NIEA W210.57A	NIEA E202.53B	NIEA W427.52B	NIEA W448.51B	NIEA W507.02B
N5	8.2(8.20)	23.6	52300	34.3	2.5	9.1(9.14)	132	<2.0(1.6)	3.8	1.8×10 ⁴	0.048	0.12	2.2
N6	8.3(8.27)	24.4	53000	34.9	2.2	7.1(7.06)	103	<2.0(0.5)	3.8	20	<0.020(0.017)	<0.05(0.05)	1.1
N7	8.3(8.27)	24.1	52900	34.9	1.3	7.3(7.29)	107	<2.0(0.8)	4.4	25	0.032	0.11	1.7
N10	8.1(8.07)	24.2	53300	35.1	5.2	6.8(6.81)	101	<2.0(0.7)	7.6	<10	0.042	0.06	1.1
N11	8.1(8.12)	24.8	53800	35.5	6.7	6.5(6.53)	97.5	<2.0(0.3)	<2.5	<10	<0.020(0.016)	<0.05(0.02)	0.5
認證與否	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎		
MDL	—	—	—	—	—	—	—	2.0 [#]	2.5	—	0.006	0.02	—
乙類	7.5-8.5	無	無	無	無	≥5.0		≤3.0	無	無	無	無	無

備註：1.標示◎者為經環境保護署認可之檢項。“⊕”代表該檢測方法係參考環保署公告的方法。“#”表定量極限。
 2.本報告書依據環保署「檢測報告位數表示規定」出具檢測數據。pH及DO檢項括號內數據表實際測值。3.報告值標示為<2.0() (BOD)，2.0為該檢項的定量極限濃度，括號內數據表實際測值。
 4.報告值標示為<0.020() (總磷)或<0.05() (氮)，0.020、0.05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。
 5.氮氣檢項樣品編號 W099032405，樣品濃度為0.0454mg/L。

表 3-4 民國 99 年 9 月臺中港鄰港海域水質採樣調查結果

檢項	pH	水溫 ℃	導電度 μmho/cm	鹽度 psu	透明度 m	DO mg/L	DO 飽和度(%)	BOD mg/L	懸浮固體 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100mL	總磷 mg/L	氮 mg/L	葉綠素 a μg/L
測站	NIEA W424.52A	NIEA W427.51A	NIEA W203.51B	NIEA W447.20C ^④	NIEA E220.50C	NIEA W455.50C	NIEA W455.50C	NIEA W510.54B	NIEA W210.57A	NIEA E202.53B	NIEA W427.52B	NIEA W448.51B	NIEA W507.02B
N5	8.2(8.208)	31.9	48900	32.2	2.5	4.6(4.56)	73.6	<2.0(0.8)	16.9	2.5×10 ²	0.043	0.08	10.3
N6	8.2(8.162)	31.6	49800	32.9	2.1	4.4(4.37)	70.7	<2.0(0.2)	16.4	55	0.027	<0.05(0.04)	3.1
N7	8.2(8.192)	31.4	50100	33.0	1.2	4.4(4.45)	71.8	<2.0(0.3)	10.5	40	0.030	ND	3.4
N10	8.2(8.175)	32.1	50000	32.9	6.6	6.6(6.55)	98.5	<2.0(0.1)	9.2	<10	0.024	<0.05(0.03)	1.1
N11	8.2(8.205)	29.8	50000	33.0	5.2	5.8(5.79)	91.0	<2.0(0.2)	12.0	10	0.048	0.09	0.6
認證與否	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎		
MDL	—	—	—	—	—	—	—	2.0 [#]	2.5	—	0.006	0.02	—
乙類	7.5-8.5	無	無	無	無	≥5.0		≤3.0	無	無	無	無	無

備註：1.標示◎者為經環境保護署認可之檢項。“⊕”代表該檢測方法係參考環保署公告的方法。“#”表定量極限。
 2.本報告書依據環保署「檢測報告位數表示規定」出具檢測數據。pH及DO檢項括號內數據表實際測值。3.報告值標示為<2.0() (BOD)，2.0為該檢項的定量極限濃度，括號內數據表實際測值。
 4.報告值標示為<0.020() (總磷)或<0.05() (氮)，0.020、0.05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。
 5.氮氣檢項樣品編號 W099032405，樣品濃度為0.0454mg/L。

1. 酸鹼度(pH)

各測站之 pH 值與第 1 年（98 年度）3 次採樣監測結果相較變動不大，皆屬於中性偏鹼範圍，3 月與 9 月計 2 次採樣監測結果均能符合乙類海域水質標準（7.5~8.5），在港區內各海域測點（N5、N6、N7）之 pH 值介於 8.16~8.27 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）之酸鹼度測值相近，水質穩定無異常值。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍	平均
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	8.1~8.3	8.3
		第 2 次	98/6/25	8.1~8.2	8.1
		第 3 次	98/9/14~15	7.1~8.3	7.8
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	8.07~8.27	8.19
		第 5 次	99/9/7~9/8	8.16~8.21	8.19
環保署 監測	86~99 年	臺中港 沿海二	86/7/8~99/5/5	8.0~8.3	8.18

2. 導電度(Electrical conductivity, EC)

各海域測站於 3 月與 9 月計 2 次採樣監測之導電度測值介於 48900~53800 $\mu\text{mho/cm}$ 間，監測結果皆於正常海水值 45000~55000 $\mu\text{mho/cm}$ 之變動範圍內，且皆以港區外新增之 N11(大肚溪外海)測點為最高，以港區內 N5 測點為最低，整體測站導電度平均值 51410 $\mu\text{mho/cm}$ ，雖略高於第 1 年(98 年度)3 次採樣監測結果，但無明顯異常。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍 ($\mu\text{mho/cm}$)	平均 ($\mu\text{mho/cm}$)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	18300~51000	45510
		第 2 次	98/6/25	43600~50200	48970
		第 3 次	98/9/14~15	3510~55200	32459
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	52300~53800	53060
		第 5 次	99/9/7~9/8	48900~50100	49760
環保署 監測	86~99 年	臺中港 沿海二	未監測	未監測	未監測

3. 鹽度(Salinity)

各海域測站於 3 月與 9 月計 2 次採樣監測之鹽度測值介於 32.2~35.5

psu 間，鹽度變化之趨勢與導電度大致相似，整體測站鹽度平均值 33.9 psu，較第 1 年(98 年度)3 次採樣監測結果高，且本年度 2 次採樣監測結果亦顯示，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 3 處測點(N5、N6、N7)為略高，但略低於環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之鹽度平均測值 33.6psu。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍(psu)	平均(psu)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	10.9~33.5	29.7
		第 2 次	98/6/25	28.2~33.0	32.2
		第 3 次	98/9/14~15	1.8~33.1	19.7
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	34.3~35.5	34.9
		第 5 次	99/9/7~9/8	32.2~33.0	32.8
環保署 監測	86~99 年	臺中港 沿海二	86/7/8~99/5/5	31.4~35.7	33.6

4. 水溫(Temperature)

各海域測站於 3 月與 9 月計 2 次採樣監測之水溫測值介於 23.6~32.1℃，整體測站平均水溫 27.8℃，略低於第 1 年(98 年度)3 次採樣監測年平均值 28.9℃，而本年度 2 次監測之平均水溫溫差約±7℃，係屬季節性變化。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍(℃)	平均(℃)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	24.6~26.4	25.6
		第 2 次	98/6/25	29.2~31.7	30.3
		第 3 次	98/9/14~15	28.8~31.7	30.0
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	23.6~24.8	24.2
		第 5 次	99/9/7~9/8	29.8~32.1	31.4
環保署 監測	86~99 年	臺中港 沿海二	86/7/8~99/5/5	17.8~31.4	25.6

5. 透明度、透視度、懸浮固體(SS)

各海域測站於 3 月與 9 月計 2 次採樣監測之懸浮固體物測值介於 2.5~16.9 mg/L，整體測站平均測值 8.7 mg/L，與環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之懸浮固體物平均測值 8.5 mg/L 相近，而本年度 9 月上旬採樣平均測值雖較 3 月下旬調查結果略增，但與第 1 年(98 年度)3 次採樣監測結果相比仍為低，整體透明度相對提高。歷次以南側靠近大肚溪口(N1)處相對最高，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。

	監測日期(民國年/月/日)			懸浮固體物測值範圍與平均(mg/L)	透明度測值範圍與平均(m)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	5.4~32.0 (11.5)	0.5~2.5 (1.8)
		第 2 次	98/6/25	6.9~58.6 (13.3)	0.7~2.1 (1.5)
		第 3 次	98/9/14~15	5.6~63.5 (20.1)	調查透視度
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	2.5~7.6(4.4)	1.3~6.7 (3.6)
		第 5 次	99/9/7~9/8	9.2~16.9 (13.0)	1.2~6.6 (3.5)
環保署 監測	86~99 年	臺中港 沿海二	86/7/8~99/5/5	<2.0~33.1(8.5)	未監測

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

各海域測站於 3 月與 9 月計 2 次採樣監測之溶氧量介於 4.37~9.1 mg/L，除港區外，其餘大多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，而本年度在 3 月下旬調查時，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)，惟測站 N5 與 N7 之溶氧飽和度皆超過 105%，有過飽和現象，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 9 月上旬調查時，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($\geq$ 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%。

	監測日期(民國年/月/日)			溶氧測值範圍與平均(mg/L)	溶氧飽和度測值範圍與平均(%)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	6.6~10.8(8.3)	92.7~130(109)
		第 2 次	98/6/25	6.2~7.4(6.5)	97.2~117(101)
		第 3 次	98/9/14~15	1.7~11.5(6.2)	24.3~151(87.9)
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	6.53~9.14(7.37)	97.5~132(108)
		第 5 次	99/9/7~9/8	4.37~6.55(5.14)	70.7~98.5(81.1)
環保署 監測	86~99 年	臺中港 沿海二	86/7/8~99/5/5	5.9~8.4(6.9)	未監測

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

港區內外 5 處海域測站(N5、N6、N7、N10、N11)於 2 次採樣監測期間，生化需氧量測值皆<2 mg/L，皆能符合乙類海域水質標準($\leq$ 3.0 mg/L)，且與環保署外海環境水質測站(臺中港沿海二)之歷次生化需氧

量測值相近，而第 1 年(98 年度)海域部分測站偶有超標之情形於本年度調查期間也未出現，有機性污染程度似有降低趨勢，但仍有待後續觀察。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍 (mg/L)	平均 (mg/L)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	2.5~4.5	3.7
		第 2 次	98/6/25	<2.0	<2.0
		第 3 次	98/9/14~15	<2.0~63.6	10.0
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	<2.0	<2.0
		第 5 次	99/9/7~9/8	<2.0	<2.0
環保署 監測	86~87 年	臺中港 沿海二	86/7/8~87/11/12	0.3~1.0	0.6

8. 大腸桿菌群(Coliform Group)

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，在本年度 2 次採樣監測中，除港區內 N5 測站曾於 3 月下旬因受局部陸源污染輸入之影響，而有超出甲類海域水質標準(≤ 1000 CFU/100 mL)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 次採樣監測中皆均低於甲類上限值，整體測站平均測值 1.8×10^3 CFU/100 mL，雖略高於環保署外海環境水質測站(臺中港沿海二) 86~87 年度大腸桿菌群平均測值 1.1×10^3 CFU/100 mL，但與第 98 年度大腸桿菌群年平均值 5.9×10^6 CFU/100 mL 相比為低且有下降趨勢。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍 (CFU/100 mL)	平均 (CFU/100 mL)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	$<10 \sim 1.4 \times 10^4$	1.6×10^3
		第 2 次	98/6/25	$<10 \sim 3.9 \times 10^3$	4.9×10^2
		第 3 次	98/9/14~15	$4.9 \times 10^2 \sim 1.2 \times 10^8$	1.3×10^7
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	$<10 \sim 1.8 \times 10^4$	3.6×10^3
		第 5 次	99/9/7~9/8	$<10 \sim 2.5 \times 10^2$	73
環保署 監測	86~87 年	臺中港 沿海二	86/7/8~87/11/12	$<10 \sim 6.2 \times 10^3$	1.1×10^3

9. 總磷(Total Phosphorus, TP)

港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之總磷測值介於

<0.020(0.016)~0.048 mg/L，整體測站平均測值 0.033 mg/L，因總磷無乙類海域水質標準，若以海域最高標準(甲類)衡量，在本年度 2 次採樣監測中，各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。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍 (mg/L)	平均 (mg/L)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	0.022~0.144	0.050
		第 2 次	98/6/25	0.038~0.090	0.054
		第 3 次	98/9/14~15	0.048~1.87	0.622
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	<0.020~0.048	0.031
		第 5 次	99/9/7~9/8	0.024~0.048	0.034
環保署 監測	86~87 年	臺中港 沿海二	86/7/8~87/11/12	0.01~0.054	0.021

10. 氨氮

港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之氨氮測值介於ND<0.02~0.12 mg/L，因氨氮無乙類海域水質標準，若以海域最高標準(甲類)衡量，各測站之氨氮測值於本年度 2 次採樣監測中均低於甲類上限值(≤ 0.3 mg/L)，平均測值 0.07 mg/L，略高於環保署外海環境水質測站(臺中港沿海二)之歷次氨氮平均測值 0.04 mg/L，但與第 1 年(98 年度) 3 次採樣監測結果相比為低且有下降趨勢。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍 (mg/L)	平均 (mg/L)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	0.04~0.43	0.11
		第 2 次	98/6/25	0.11~0.46	0.24
		第 3 次	98/9/14~15	0.09~5.41	2.16
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	<0.05~0.12	0.07
		第 5 次	99/9/7~9/8	ND<0.02~0.09	0.06
環保署 監測	94~99 年	臺中港 沿海二	94/3/9~99/5/5	0.01~0.13	0.04

11. 葉綠素 a (Chlorophyll a)

美國環保署(US EPA, 1973)以葉綠素 a 為基準之營養分級標準，將水庫湖泊等區分為優養(Eutrophic)、中養(Mesotrophic)以及貧養(Oligotrophic)，其中以葉綠素 a 測值>10 $\mu\text{g/L}$ 定為優養(Eutrophic)，4

~10 µg/L 定為中養(Mesotrophic)以及<4 µg/L 定為貧養(Oligotrophic)。

本年度於 3 月與 9 月採樣調查新增葉綠素 a 測項，在港區內外各海域測點(N5、N6、N7、N10、N11)之葉綠素 a 測值介於 0.5~10.3 µg/L，介於環保署長期外海環境水質測站(臺中港沿海二)之監測變動範圍內，且本年度 2 次採樣監測結果皆以港區外新增之 N11(大肚溪外海)測點為最低，以港區內 N5 測點為最高。以 USEPA 葉綠素 a 為基準之營養分級顯示，除港區內 N5 測站為優養水體外，其餘港區內外 4 處海域測站(N6、N7、N10、N11)皆屬貧養水體。

	監測日期(民國年/月/日)			測值範圍(µg/L)	平均(µg/L)
本研究 監測	98 年	第 1 次	98/4/29	未監測	未監測
		第 2 次	98/6/25		
		第 3 次	98/9/14~15		
	99 年	第 4 次	99/3/23~24	0.5~2.2	1.3
		第 5 次	99/9/7~9/8	0.6~10.3	3.7
環保署 監測	86~99 年	臺中港 沿海二	86/7/8~99/5/5	<0.1~17.5	1.6

歸納環保署近海海域水質 86~99 年度長期監測結果，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，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、汞、鋅、鎘等 8 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 3-2)、溶氧量(圖 3-3)、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 3-4)，合格率为 99.6%。由環保署長期監測結果與本研究 98、99 年調查結果皆顯示，臺中港鄰近海域水質狀況普遍良好，如本研究臺中港外 N10、N11 兩海域側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。

本年度於臺中縣清水鎮之大甲溪出海口—高美濕地曾發生遭致疑似不肖業者非法傾倒廢油污染案，該污染事件係 99 年 6 月 29 日晚間於清水大排出海口附近出現大片油污，經環保署與臺中縣環保局等相關單位緊急應變及油污清理後，現場油污已獲得阻絕圍堵，經初步估

計廢油污染面積約 1,000 平方公尺。另經空勤總隊及海巡單位於空中及海面查察，未發現有油污擴散情形。而由本研究 9 月調查結果顯示，臺中港外海域水質並無特別異常之處。

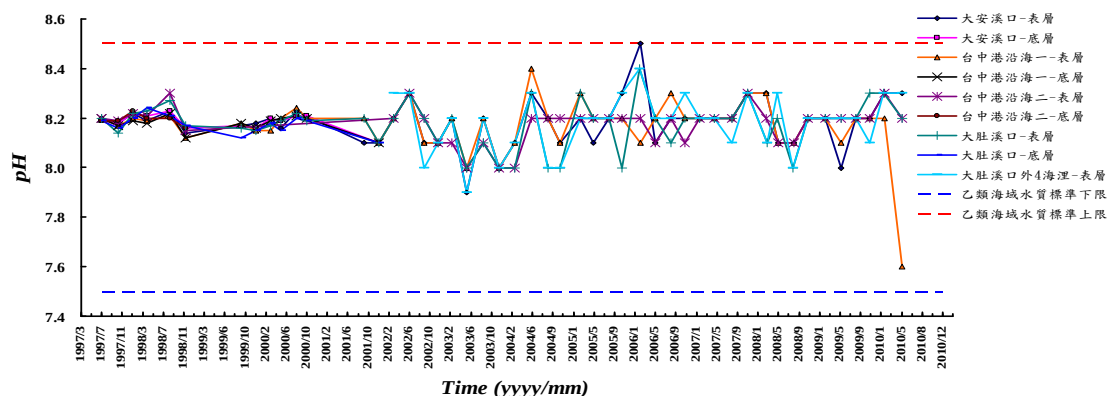


圖 3-2 臺中港鄰近沿海海域之歷年酸鹼度變化

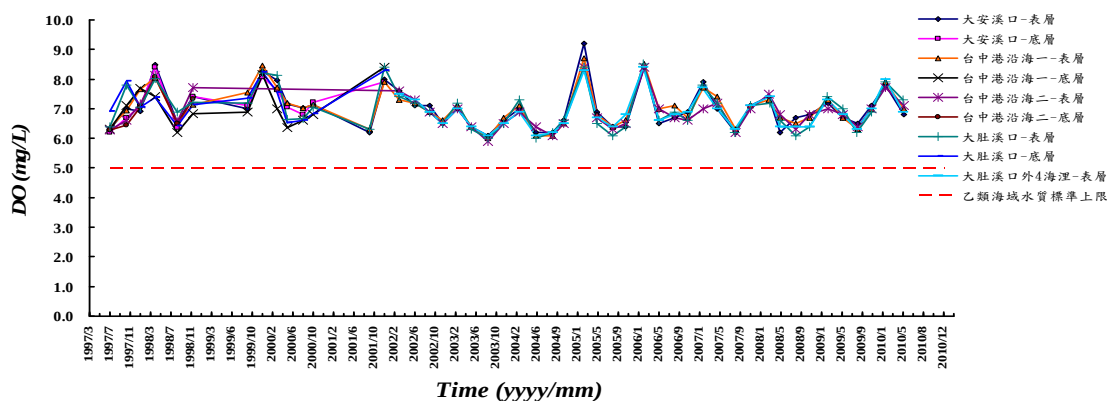


圖 3-3 臺中港鄰近沿海海域之歷年溶氧量變化

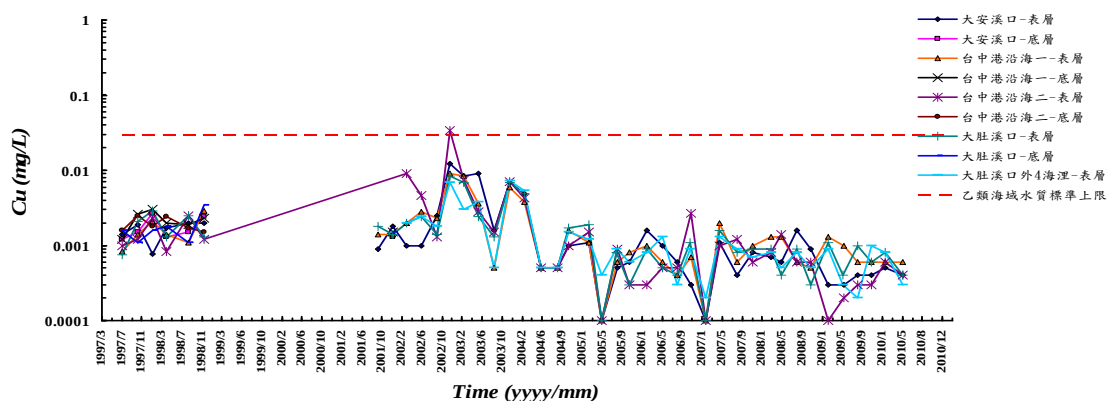


圖 3-4 臺中港鄰近沿海海域之歷年重金屬銅變化

整體而論，臺中港鄰近水體中以陸域水質狀況不佳，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；而生化需氧量及大腸桿菌群常遠高標準，顯示上游排水路受到來自生活、畜牧污水嚴重污染。而匯入台中港域內之梧棲大排、安良大排出口處水質受陸域影響，亦相對較港域內其他處與港外為差，但歷年來於港域內水體調查結果，溶氧已呈現出無論是在漲潮或退潮期間，自民國 95 年起至 98 年間，均能符合乙類海水標準之改善趨勢。

由於陸域水質不佳將會影響到臺中港港域內水質，今年 9 月調查復又出現港內溶氧相對偏低且不符乙類海域水質標準之情形，因此需建請環保主管機關持續推動執行河川流域之污染削減等整治工程，同時進行工業廢水、家庭污水與畜牧廢水管制，持續巡查及取締不法之污染排放。此外於颱風大雨時期，需特別注意來自上游蓄積之陸源污染，可能於此時期流入港域進而造成港域水體品質不佳。再者，港口管理單位可依港務局防制船舶污染登輪檢查實施要點，加強港區污染源之稽查處理，防制港區船舶不當排洩廢油水、投棄垃圾等，以維港域整潔及保護生態環境與水質。並依照環境污染罰則中(船舶排洩有毒物質、廢(污)油水等，其情形嚴重者，可爰依「海洋污染防治法」第廿九、五十三條規定，處新台幣三十萬元以上，一百五十萬元以下罰鍰，並得限期勒令其改善；屆期未改善者，得按日連續處罰)，對於船舶排放污染者施以重罰。

3.4 海域生態調查

3.4.1 樣品採集

依照環境保護署之環境檢驗所公告之採樣調查方法進行，現場調查時將配合水質同步採樣。

1. 海洋浮游植物採樣方法：NIEA E505.50C
2. 海洋浮游動物採樣方法：NIEA E701.20C

3.4.2 採樣頻率

海域生態監測與水質相同，一年共 2 次，豐、枯水期間各 1 次，分別於梅雨季節前之枯水期及颱風季節大雨之豐水期間採樣；本年度(99 年)分別於 3 月及 9 月進行採樣調查。

3.4.3 分析項目

包含浮游植物與浮游動物。

1. 浮游植物

進行浮游植物之大類組成、密度分佈之測定，以及 4 項生態指數－豐富度(Margalef's richness)、均勻度(Evenness Index)與歧異度指數(Shannon-weiner diversity)以及 Simpson 優勢度指數(Dominance index)分析。

2. 浮游動物

進行浮游動物之大類組成、密度分佈之測定，以及 4 項生態指數－豐富度(Margalef's richness)、均勻度(Evenness Index)與歧異度指數(Shannon-weiner diversity)以及 Simpson 優勢度指數(Dominance index)分析。

3.5 海域生態調查結果

3.5.1 浮游植物

1. 民國 99 年 3 月調查分析

本年度第 1 次海域浮游植物採樣調查於民國 99 年 3 月 23~24 日完成，所採獲之浮游植物，共計有矽藻門(Bacillariophyta)和金黃藻門(Chrysophyta)等 4 門共 29 種，其中以矽藻門的 20 種為最多(表 3-5)。就各測站所採集到的總個體量而言，以 N7 的 37,544 cells/L 最多，其次為 N5 的 30,020 cells/L，而以 N11 測站個體數量相對最低，僅有 2,907 cells/L，顯示各測站所採獲到浮游植物的總個體量差異頗大。整體而

言，位於臺中港內之測站，如 N5、N6 及 N7 等站，其浮游植物數量較港外測站(N10 及 N11)來得高；而就各測站的物種數而言，則以 N10 測站最高，共發現 20 種(表 3-5)。

浮游性藻類在此海域含量的百分比(表 3-5)，矽藻門中之 *Chaetoceros* spp.及 *Lauderia* spp.兩種類共佔本海域浮游植物總量 76.6% 以上，其中以 *Chaetoceros* spp.的含量最高，佔此海域浮游植物總量的 48.8%，為此海域數量最多的浮游性藻類。

2. 民國 99 年 9 月調查分析

本年度第 2 次浮游植物採樣調查於民國 99 年 9 月 7~8 日完成，所採獲之浮游植物，共計有矽藻門(Bacillariophyta)、綠藻門(Chlorophyta)和渦鞭毛藻門(Dinophyta)等 3 門共 37 種，其中以矽藻門的 32 種為最多(表 3-6)。就各測站所採集到的總個體量而言，同樣以 N7 的 21,470 cells/L 最多，其次為 N6 的 11,115 cells/L，而以 N10 測站個體數量最低，有 7,695 cells/L，各測站所採獲到浮游植物的總個體量差異頗大，仍以位於臺中港內之測站，如 N5、N6 及 N7 等站，其浮游植物數量較港外測站(N10 及 N11)來得高。就各測站的物種數而言，以 N5 測站最高，共發現 21 種(表 3-6)。

3. 生態調查指數分析

Margalef's 的豐富度指數(Margalef's richness index)指一個群落或環境中物種數目的多寡，亦表示生物群聚(或樣品)中種類豐富程度的指數。此數值愈大表示此生物群聚中種類愈豐富。99 年 3 月各測站中以 N10 測站較高，其豐富度為 1.38(表 3-7)，顯示其為調查海域測站中浮游性藻類種類最為豐富之測站，N6 豐富度相對最低，其值為 0.96。99 年 9 月則以 N5 測站較高，其豐富度為 2.06(表 3-7)，N6 豐富度相對最低，其值為 1.72。

Shannon-Wiener 均勻度指數(Evenness index)表示環境中各物種個體數目分配的均勻程度，此數值愈大表示物種間個體數分佈較均勻。99 年 3 月由表 3-7 中可見各測站的均勻度以 N11 最高 (0.70)，顯示此測站於物種及豐度間之分配較其他測站為均勻，均勻度最低值出現於 N7 測站，其值為 0.33，亦顯示出 N7 測站各藻種間數量之差異較大。99 年 9 月之均勻度以港外之 N10 及 N11 最高(0.89)，顯示港外測站於

物種及豐度間之分配較其他測站為均勻，均勻度最低值出現於 N5 測站，其值為 0.69，此亦顯示出 N5 測站各浮游藻種間數量之差異較大。

Shannon-weiner 歧異度指數(Shannon-weiner diversity index)，或稱多樣性歧異度指數乃表示物種個體出現失調及不確定性，即表示物種的多樣性，此數值愈大表示物種的多樣性愈高，與物種數與數量均勻程度有關，此數值可提供生物自然集會或群聚組合的訊息，亦可用以解釋當環境遭受衝擊時該地區生物群聚結構之改變與空間之差異，一般來說歧異度較高代表當地生物群聚結構較穩定。99 年 3 月調查結果發現，各測站歧異度介於 1.31~2.81 間，以 N11 測站歧異度最高，顯示該測站採得物種較豐富且數量分配較平均，整體族群較為穩定，歧異度最低則為 N7 測站(表 3-7 及圖 3-5)。99 年 9 月之歧異度介於 3.04~3.76 間，以港外 N11 測站歧異度最高，顯示該測站採得物種較豐富且數量分配較平均，整體族群較為穩定，歧異度最低則為港內之 N5 測站(表 3-7 及圖 3-7)。

Simpson 優勢度指數(Simpson dominance index)為探討族群中優勢物種的存在，當優勢度越大，也顯示此一族群中優勢物種的出現機率越高。99 年 3 月由表 3-7 及圖 3-6 可知各測站以 N7 測站之優勢度最高(0.55)，顯示該站優勢物種所佔比例較其他站來得高，N7 測站浮游植物細胞數量亦為最高，應為該測站之優勢物種大量出現造成，而最低值出現在 N11 測站(0.24)，顯示 N11 測站出現優勢物種機率較低。99 年 9 月以 N5 測站之優勢度較高(0.25，表 3-7 及圖 3-8)，顯示該站優勢物種所佔比例較其他站來得大，以 9 月各站之浮游植物細胞總數量來看，N7 測站總數量雖最高，但其優勢物種並未造成整體族群太大的影響，而最低值出現在 N11 測站(0.09)，顯示 N11 測站出現優勢物種機率較低。

根據民國 92 至 97 年間於臺中港進行海域生態調查所得之資料，與本年度(99 年)調查結果，進行浮游植物族群之歧異度與優勢度比較分析顯示，99 年 3 月調查之浮游植物歧異度港內外差異不大，而與歷次調查結果相較，3 月調查中港內之歧異度值為歷次最低(表 3-8、圖 3-9)，而港外歧異度在歷次調查結果範圍內，但亦呈現偏低的情形，就總合歧異度而言，其值亦為歷年來最低，此一情形反映在優勢度上，3 月港內優勢度已接近歷年最高值(表 3-8、圖 3-10)，總合優勢度則為歷次調查結果最高值，顯示 3 月調查結果，其浮游植物族群中有部份物種較為優勢，造成整體物種分佈較不均勻。而 9 月調查之浮游植物歧

異度同樣於港內外差異不大，而與歷次調查結果相較，99 年 3 月份調查中港內之歧異度值為歷次最低，而港外歧異度在歷次調查結果範圍內，但亦呈現偏低的情形，就總合歧異度而言，亦較歷年來各次調查中較低值，但以優勢度比較的結果來看，9 月港內外之優勢度已較 3 月降低許多，總合優勢度亦呈現下降的趨勢，顯示 9 月調查結果，其浮游植物之優勢物種並未造成整體物種分佈有太大的影響。

表 3-5 民國 99 年 3 月臺中港鄰港水質環境調查
浮游植物個體量及含量百分比

測 站 名 稱	N5	N6	N7	N10	N11	百分比 (%)
Bacillariophyta (矽藻門)						
<i>Achnanthes</i> spp.		38				0.03
<i>Actinoptychus</i> spp.				19		0.02
<i>Bacteriastrium</i> spp.	1,140	532	285	57		1.84
<i>Biddulphia</i> spp.	114	76		19		0.19
<i>Chaetoceros</i> spp.	14,022	8,512	26,980	2,717	1,292	48.82
<i>Coscinodiscus</i> spp.	2,850	4,408	2,641	4,693	285	13.57
<i>Detonula</i> spp.		304				0.28
<i>Diploneis</i> spp.			19		19	0.03
<i>Eucampia</i> spp.			114	209		0.29
<i>Hemiaulus</i> spp.	2,166		152		57	2.17
<i>Lauderia</i> spp.	8,626	10,070	6,726	5,092		27.83
<i>Melosira</i> spp.	266			133		0.36
<i>Navicula</i> spp.	228	114	19	190	228	0.71
<i>Nitzschia</i> spp.		76	76	114	380	0.59
<i>Pleurosigma</i> spp.					38	0.03
<i>Rhizosolenia</i> spp.					38	0.03
<i>Surirella</i> spp.				19		0.02
<i>Thalassionema</i> spp.	38				76	0.10
<i>Thalassiosira</i> spp.	114	76	19	247	114	0.52
<i>Thalassiothrix</i> spp.	76			228	95	0.36
Chlorophyta (綠藻門)						
<i>Oocystis</i> spp.		266				0.24
Chrysophyta (金黃藻門)						
<i>Dictyocha</i> spp.	76	38	114	95	19	0.31
<i>Distephanus</i> spp.	38		19	95	19	0.16
<i>Mesocena</i> spp.		38	38	19	190	0.26
Dinophyta (渦鞭毛藻門)						
<i>Ceratium</i> spp.	114		19	57		0.17
<i>Dinophysis</i> spp.	76	76	57			0.19
<i>Oxytoxum</i> spp.				19		0.02
<i>Prorocentrum</i> spp.	38	190	266	228	38	0.69
<i>Protoperidinium</i> spp.	38			95	19	0.14
總計	30020	24814	37544	14345	2907	100.00
種類數	17	15	16	20	16	

浮游植物個體量單位：cells/L

表 3-6 民國 99 年 9 月臺中港鄰港水質環境調查

浮游植物個體量及含量百分比

測 站 名 稱	N5	N6	N7	N10	N11	百分比 (%)
Bacillariophyta (矽藻門)						
<i>Achnanthes</i> spp.	760	285	1,520	190	1,045	6.31
<i>Actinoptychus</i> spp.			190	95	285	0.95
<i>Amphora</i> spp.				190		0.32
<i>Asterionella</i> spp.		285				0.47
<i>Asteromphalus</i> spp.	95			95		0.32
<i>Auliscus</i> spp.	95	190				0.47
<i>Biddulphia</i> spp.	190	190	380	760	1,140	4.42
<i>Campyloneis</i> spp.					285	0.47
<i>Chaetoceros</i> spp.	190			570	475	2.05
<i>Climacodium</i> spp.	285	1,425	1,995			6.15
<i>Cocconeis</i> spp.	95					0.16
<i>Coscinodiscus</i> spp.	95	95	285	855	380	2.84
<i>Detonula</i> spp.	190				190	0.63
<i>Diploneis</i> spp.				190	285	0.79
<i>Ditylum</i> spp.	285	190	285			1.26
<i>Eucampia</i> spp.			5,795	855	1,425	13.41
<i>Grammatophora</i> spp.		95				0.16
<i>Hemiaulus</i> spp.	190	570	95			1.42
<i>Lauderia</i> spp.	380		1,615			3.31
<i>Licmophora</i> spp.	95		285			0.63
<i>Mastogloia</i> spp.					95	0.16
<i>Navicula</i> spp.	190	475	285		190	1.89
<i>Nitzschia</i> spp.	285		1,235	380	285	3.63
<i>Plagiogramma</i> spp.		190				0.32
<i>Pleurosigma</i> spp.	285	95	380	665	380	3.00
<i>Rhizosolenia</i> spp.			95			0.16
<i>Skeletonema</i> spp.	190	570	475	285	1,330	4.73
<i>Surirella</i> spp.				95		0.16
<i>Triceratium</i> spp.	4,940	1,710	3,610	1,520	1,140	0.16
<i>Thalassionema</i> spp.	1,140	4,085	2,565	285		21.45
<i>Thalassiosira</i> spp.			190			13.41
<i>Thalassiothrix</i> spp.					95	0.32
Chlorophyta (綠藻門)						
<i>Oocystis</i> spp.	190				190	0.63
<i>Microcystis</i> spp.		475	190	95	190	1.58
Dinophyta (渦鞭毛藻門)						
<i>Ceratium</i> spp.				570	190	1.26
<i>Dinophysis</i> spp.		190				0.32
<i>Proto-peridinium</i> spp.	190					0.32
總計	10,355	11,115	21,470	7,695	9,595	100.00

浮游植物個體量單位：cells/L

表 3-7 民國 99 年臺中港鄰港水質環境調查各測站浮游植物生態指數

生態指數	99 年度	測站 年.月	N5	N6	N7	N10	N11
			臺中港內			臺中港外	
優勢度 Simpson Dominance	第 1 次	99.03	0.32	0.31	0.55	0.27	0.24
	第 2 次	99.09	0.25	0.19	0.14	0.10	0.09
豐富度 Margalef's richness	第 1 次	99.03	1.08	0.96	0.99	1.38	1.30
	第 2 次	99.09	2.06	1.72	1.80	1.79	1.96
均勻度 Evenness	第 1 次	99.03	0.52	0.51	0.33	0.55	0.70
	第 2 次	99.09	0.69	0.76	0.78	0.89	0.89
歧異度 Shannon-weiner diversity	第 1 次	99.03	2.13	2.00	1.31	2.36	2.81
	第 2 次	99.09	3.04	3.10	3.32	3.63	3.76

表 3-8 臺中港海域歷次浮游植物族群歧異度及優勢度指數表

項目 區域 時間	歧異度指數			優勢度指數		
	港內	港外	總合	港內	港外	總合
92_1	4.57	4.98	4.76	0.08	0.07	0.07
92_2	4.75	5.17	4.95	0.08	0.05	0.07
92_3	4.45	5.18	4.82	0.09	0.05	0.07
92_4	4.74	5.06	4.89	0.06	0.05	0.06
93_1	4.74	5.51	5.12	0.07	0.03	0.05
93_2	3.93	2.63	3.42	0.16	0.40	0.25
93_3	4.82	3.59	4.32	0.05	0.16	0.10
93_4	4.58	4.83	4.70	0.07	0.05	0.06
94_1	4.82	3.66	4.38	0.06	0.23	0.12
94_2	3.85	3.86	3.85	0.12	0.11	0.12
94_3	2.58	1.74	2.25	0.23	0.41	0.31
94_4	2.66	2.57	2.62	0.28	0.28	0.28
95_1	4.49	4.41	4.45	0.10	0.09	0.09
95_2	3.27	3.18	3.24	0.19	0.16	0.18
95_3	2.28	3.71	2.95	0.41	0.14	0.28
95_4	4.54	4.07	4.34	0.07	0.10	0.08
96_1	5.44	5.09	5.29	0.03	0.04	0.04
96_2	4.67	4.75	4.71	0.07	0.06	0.06
96_3	3.81	4.87	4.23	0.22	0.09	0.17
96_4	4.43	5.13	4.86	0.10	0.05	0.07
97_1	4.91	4.88	4.90	0.05	0.05	0.05
97_2	3.23	4.16	3.73	0.29	0.12	0.20
97_3	5.83	5.43	5.69	0.03	0.03	0.03
97_4	4.20	4.93	4.52	0.10	0.09	0.10
99_1	1.90	2.68	2.11	0.38	0.23	0.34
99_3	2.17	2.56	2.33	0.20	0.10	0.16

註：1.港內測站：N5、N6及N7；港外測站：N10及N11。

2.時間表示方式：前2碼為年份，末1碼為該年度之季節，1表1~3月、2表4~6月、3表7~9月、4表10~12月。

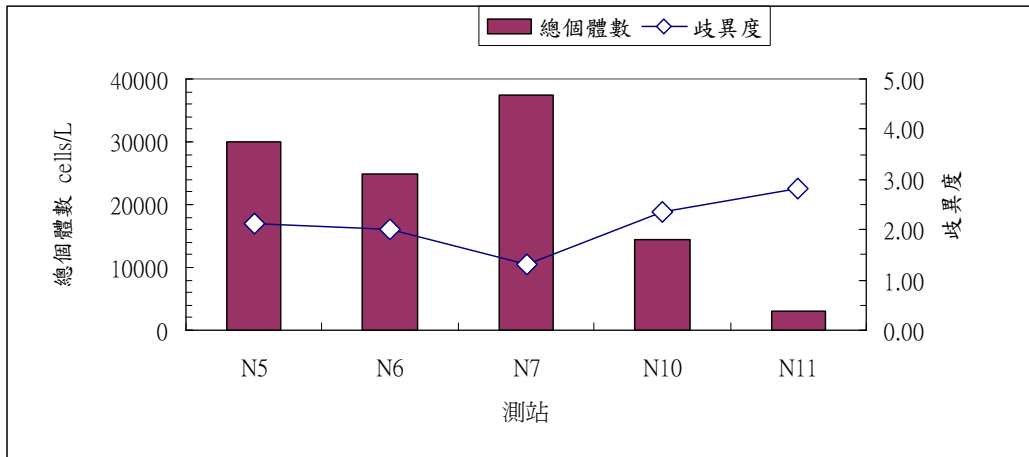


圖 3-5 民國 99 年 3 月浮游植物之細胞總個體數與歧異度之關係

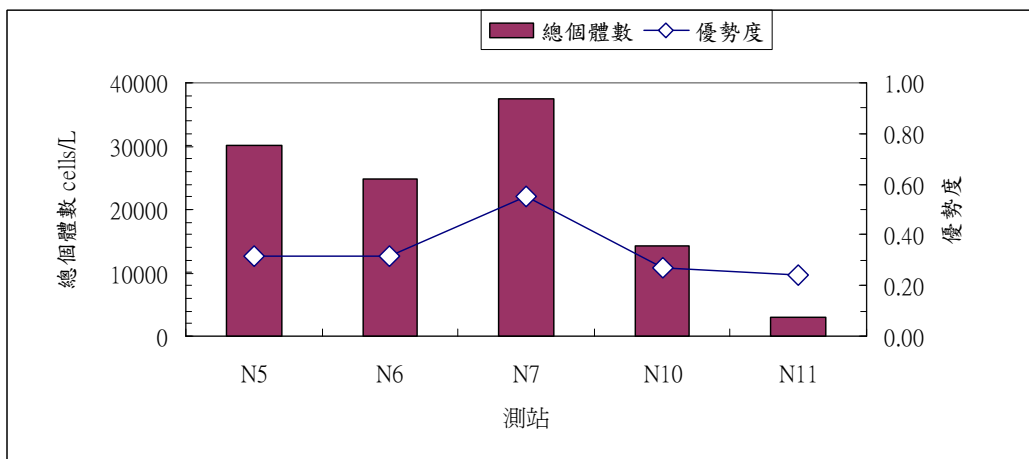


圖 3-6 民國 99 年 3 月浮游植物之細胞總個體數與優勢度之關係

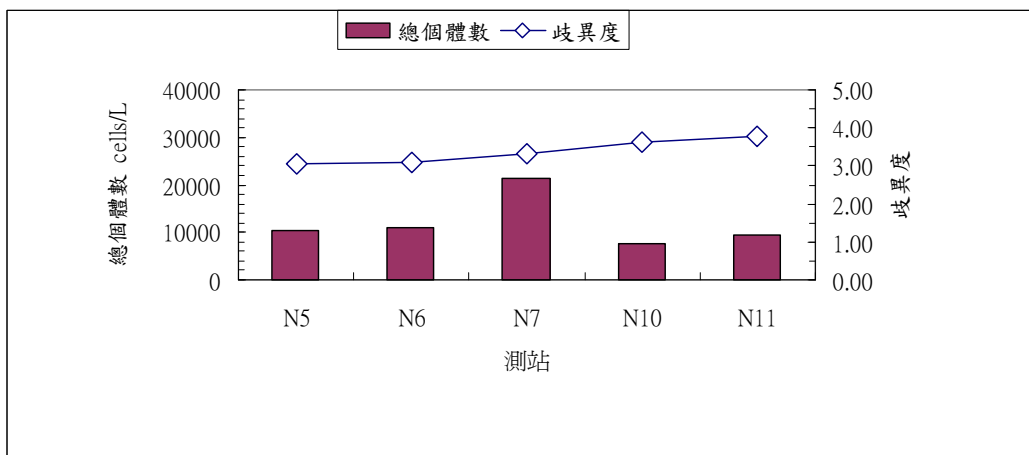


圖 3-7 民國 99 年 9 月浮游植物之細胞總個體數與歧異度之關係

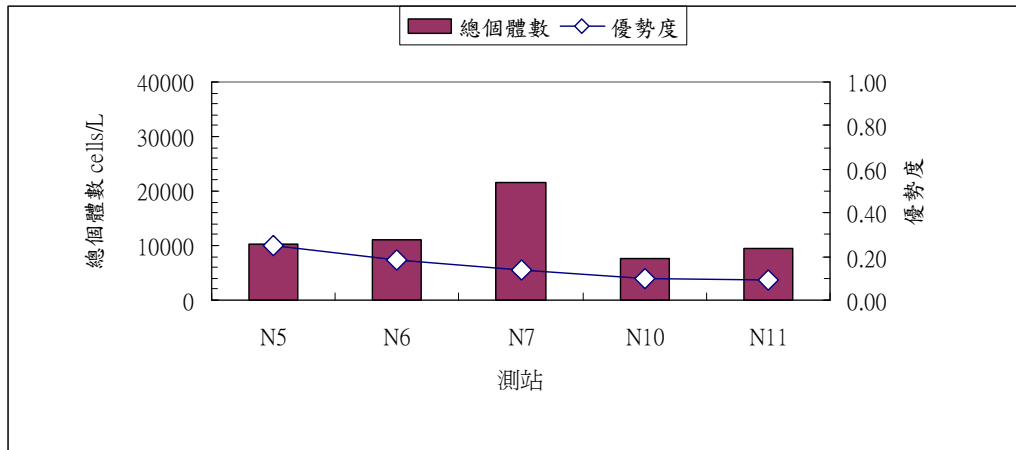
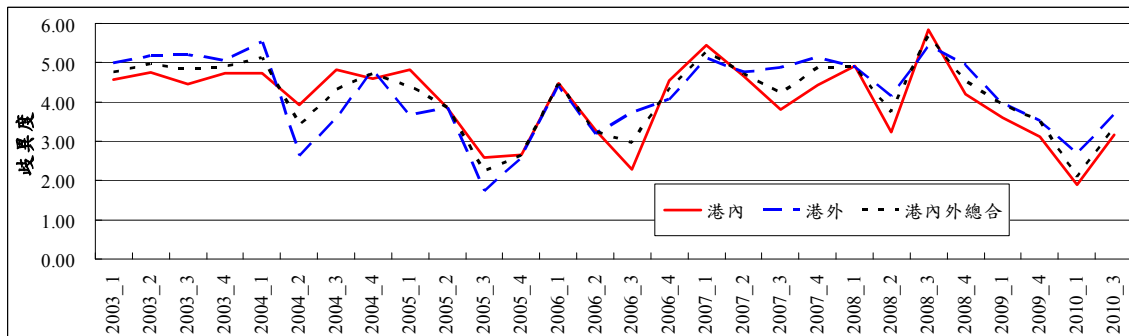
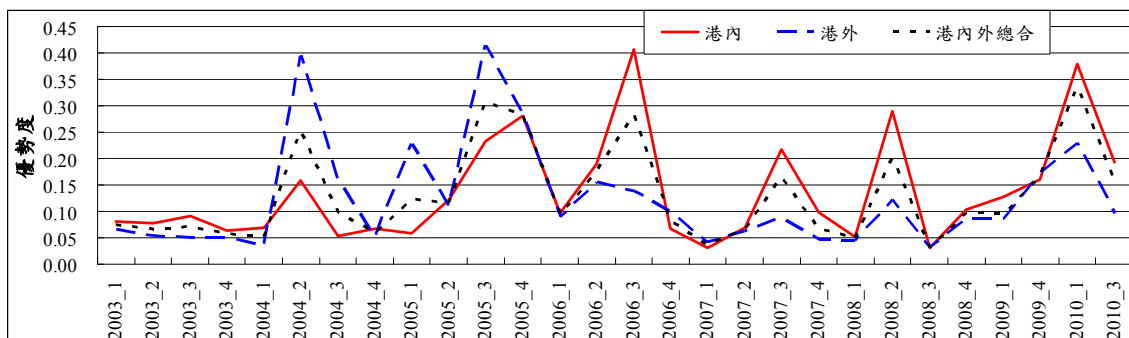


圖 3-8 民國 99 年 9 月浮游植物之細胞總個體數與優勢度之關係



註：1.港內測站：N5、N6 及 N7；港外測站：N10 及 N11。
2.時間表示方式，前 2 碼為年份，末 1 碼為該年度之季節，1 表 1~3 月、2 表 4~6 月、3 表 7~9 月、4 表 10~12 月。

圖 3-9 臺中港海域浮游植物歧異度歷年與本研究調查分析比較圖



註：1.港內測站：N5、N6 及 N7；港外測站：N10 及 N11。
2.時間表示方式，前 2 碼為年份，末 1 碼為該年度之季節，1 表 1~3 月、2 表 4~6 月、3 表 7~9 月、4 表 10~12 月。

圖 3-10 臺中港海域浮游植物優勢度歷年與本研究調查分析比較圖

3.5.2 浮游動物

1. 民國 99 年 3 月調查分析

本年度第 1 次於 3 月所採集到浮游動物的類別共計有原生動物(Protozoa)、刺胞動物(Cnidaria)、櫛板動物(Ctenophora)、軟體動物(Mollusca)、環節動物(Annelida)、節肢動物(Arthropoda)、毛顎動物(Chaetognatha)、棘皮動物(Echinoderm)、原索動物(Protochordata)及脊索動物(Chordata)等共 10 門 26 大類(表 3-9)。各測站之總個體數介於 10,537~643,266 ind./1000 m³ 之間,以 N11 測站的 643,266 ind./1000 m³ 為最多,其次為 N6 測站的 533,259 ind./1000 m³,N10 測站的豐度則最相對最低,其值為 10,537 ind./1000 m³。各測站的類別數而言,以 N7 測站的 20 個類別數為最多(表 3-9),N5 及 N6 測站亦有 19 個類別,N10 測之類別數最低,僅有 14 個。

由浮游動物的組成來看(表 3-9),夜光蟲(Notiluca)及哲水蚤(Calanoida)為主要優勢族群共佔了總豐度的 82.5%以上,夜光蟲所佔比率最高(62.1%),於各海域中常見浮游動物之一,集中於 N5、N6、N7 及 N11 等測站出現,均佔有相當高的比例,哲水蚤亦為各測站主要物種之一,是許多經濟魚種主要的食物來源,毛顎類(Chaetognatha)、蟹類幼生(Crab zoea)、水母(Medusa)、劍水蚤(Cyclopoida)、魚卵(Fish egg)、棘皮幼生(Echinoderm larvae)等物種,於臺中港海域 3 月份時亦分佈相當廣泛,於各測站皆有出現。

2. 民國 99 年 9 月調查分析

本年度第 2 次於 9 月所採集到浮游動物的類別共計有原生動物門(Protozoa)刺胞動物(Cnidaria)、軟體動物(Mollusca)、環節動物(Annelida)、節肢動物(Arthropoda)、毛顎動物(Chaetognatha)、棘皮動物(Echinoderm)、原索動物(Protochordata)及脊索動物(Chordata)等共 9 門 25 大類(表 3-10)。各測站之總個體數介於 10,689~286,066 ind./1000 m³

之間，以 N10 測站的 286,066 ind./1000 m³ 為最多，其次為 N11 測站的 135,425 ind./1000 m³，N5 測站的豐度則最低，其值為 10,689 ind./1000 m³。各測站的類別數而言，以 N7 測站的 22 個類別數為最多(表 3-10)，N10 及 N11 測站亦有 18 個類別，N5 測之類別數則相對最低(16 個)。

由浮游動物的組成來看(表 3-10)，哲水蚤(Calanoida)為主要優勢族群共佔了總豐度的 63.5%以上，是海域中常見浮游動物，9 月調查中，哲水蚤集中於港外 N10 及 N11 測站出現並為最主要的浮游動物種類，此外，哲水蚤亦為許多經濟魚種主要的食物來源，其他物種如夜光蟲(Noctiluca)、水母(Medusa)、管水母(Siphonophora)、多毛類(Polychaeta)、劍水蚤(Cyclopoida)、橈足類幼生(Copepoda nauplius)、蟹類幼生(Crab zoea)、蝦類幼生(Shrimp zoea)、櫻蝦(Sergestidae)、毛顎類(Chaetognatha)、魚卵(Fish egg)及尾蟲(Appendicularia)等物種，雖然佔總數量之比例不高，但於臺中港海域 9 月份時亦分佈相當廣泛，於各測站皆有出現。

3. 生態調查指數分析

Margalef's 的豐富度指數(Margalef's richness index)由表 3-11 中可知，99 年 3 月浮游動物於 N7 測站中之種類較為豐富，其豐富度為 1.08，其次為 N5 站(1.06)，各測站豐富度差異不大，介於 0.88~1.08 間。99 年 9 月同樣以 N7 測站中之種類較為豐富，其豐富度為 2.03，其次為 N6 站(1.71)，各測站豐富度差異不大，介於 1.35~2.03 間。

以均勻度指數(Evenness index)來看(表 3-11)，99 年 3 月各測站物種個體數目分配的均勻程度差異不大，介於 0.31~0.68，以 N5 測站種類分佈最均勻，其值為 0.68，而以 N6 測站均勻度最低，其值為 0.31，主要原因為 3 月時 N6 測站中出現大量夜光蟲使其均勻度降低。99 年 9 月各測站物種個體數目分配的均勻程度差異不大，介於 0.38~0.69，以 N5 測站種類分佈最均勻，其值為 0.69，而以 N10 測站均勻最低，其值為 0.38，主要原因為 N10 測站中哲水蚤大量出現造成其均勻度降低。

就 Shannon-weiner 歧異度指數(Shannon-weiner diversity index)而言(表 3-11)，99 年 3 月各測站介於 1.32~2.88 間，測站間差異頗大，其中以 N5 測站之歧異度最高(2.88)，顯示該測站浮游動物種類多且數量分配均勻，而歧異度最低為 N6 測站(1.32)，雖 N6 測站種類數較多，但夜光蟲數量極大，高出其他物種約 1 至 2 個數量級，使得物種分配較為不均。99 年 9 月各測站歧異度介於 1.59~2.80 間，同樣測站間差異頗大，以 N7 測站之歧異度最高(2.80)，顯示此測站浮游動物種類較多且各種類之數量分配較均勻，而歧異度最低測站為 N10(1.59)，因 N10 測站出現大量哲水蚤，佔該站之總數量 70%以上，造成該站浮游動物總數量大增但各種類數量差異變大，因而使得歧異度偏低。

而以 Simpson 優勢度指數(Simpson dominance index)而言(表 3-11)，99 年 3 月以 N6 測站數值最高，說明在 N6 測站中夜光蟲佔有相當優勢的比例，對於族群結構穩定性影響頗大。99 年 9 月則以 N10 測站數值最高，說明在 N10 測站中，其優勢種—哲水蚤影響此測站物種分佈相當大。

再以臺中港歷年調查資料作比較，99 年 3 月海域浮游動物之歧異度指數結果港內外差異不大，歧異度值位於歷年變動範圍內(表 3-12)，93~95 年間歧異度變化相當劇烈，港內外差異也很大，自 96 年之後歧異度變動趨於平緩，直至 99 年 3 月調查逐漸下降，而以優勢度來看，同樣港內外差異不明顯，99 年 3 月調查結果亦介於歷年變動範圍之間(表 3-12)。而 99 年 9 月調查結果則顯示出，臺中港海域浮游動物之歧異度指數於港內外差異頗大，港外浮游動物歧異度較港內來得低，但歧異度值仍位於歷年變動範圍內。另由歷年資料顯示，99 年 9 月份時港內歧異度略為上昇，而港外則仍持續降低。以優勢度來看，99 年 9 月份時同樣於港內外有明顯差異，主要因為港外哲水蚤大量出現，但其優勢度仍介於歷年變動範圍內。

表 3-9 民國 99 年 3 月臺中港鄰港水質環境調查
浮游動物平均豐度及含量百分比

樣品編號	N5	N6	N7	N10	N11	百分比(%)
Protozoa 原生動物						
Foraminifera 有孔蟲	102	3,512	341	0	1,725	0.377
Noctiluca 夜光蟲	38,472	404,402	119,066	88	373,083	62.12
Cnidaria 刺細胞動物						
Medusa 水母	4,604	6,213	3,408	44	6,898	1.406
Ctenophora 櫛板動物	0	0	0	0	0	
Ctenophora 櫛水母	1,023	270	1,023	0	0	0.154
Mollusca 軟體動物						
Pteropoda 翼足類	2,046	5,133	6,249	0	40,240	3.565
Annelida 環節動物						
Polychaeta 多毛類	0	0	114	0	1,150	0.084
Arthropoda 節肢動物						
Cladocera 枝角類	5,321	4,052	3,408	0	4,599	1.154
Calanoid 哲水蚤	35,198	85,365	39,878	6,753	140,265	20.42
Cyclopoid 劍水蚤	3,990	3,242	1,818	352	6,323	1.045
Copepoda nauplius 橈足類幼生	1,023	1,351	1,363	44	0	0.251
Amphipoda 端腳類					4,024	0.267
Crab megalopa 蟹類大眼幼生	205		114	22	2,299	0.175
Crab zoea 蟹類幼生	16,474	3,242	3,181	66	10,922	2.251
Procellana zoea 瓷蟹幼生	205					0.014
Shrimp larva 蝦類幼生	7,776	5,133	6,590	2,816		1.482
Lucifera 螢蝦類	2,353	810	909		2,299	0.423
Euphausiacea 磷蝦		270			5,749	0.400
Mysidacea 糠蝦				44		0.003
Squilla larva 蝦蛄幼生	205					0.014
Ostracoda 介形類				22		0.001
Chaetognatha 毛顎動物						
Sagittidae 毛顎類	1,432	2,972	1,136	66	40,815	3.084
Echinoderm 棘皮動物						
Echinodermata larvae 棘皮幼生	307	2,161	1,136	22	575	0.279
Protochordata 原索動物						
Appendicularia 尾蟲	205	1,621	341		575	0.182
Thaliacea 海桶		270	227			0.033
Chordata 脊索動物						
Fish egg 魚卵	6,344	2,161	568	176	575	0.653
Fish larva 仔稚魚		1,081	227	22	1,150	0.165
總計	127,286	533,259	191,097	10,537	643,266	100
種類數	19	19	20	14	18	

浮游動物平均豐度單位：ind./1000m³

表 3-10 民國 99 年 9 月臺中港鄰港水質環境調查
浮游動物平均豐度及含量百分比

測站	N5	N6	N7	N10	N11	百分比(%)
Protozoa 原生動物						
Foraminifera 有孔蟲			42		69	0.02
Noctiluca 夜光蟲	1017	489	3838	17269	19346	8.84
Cnidaria 刺細胞動物						
Polyps 水螅體	17					0.00
Medusa 水母	121	60	417	349	551	0.32
Siphonophora 管水母	276	12	104	698	1102	0.46
Mollusca 軟體動物						
Bivalvia 二枚貝			21			0.00
Pteropoda 翼足類		12	42	5407	1446	1.46
Annelida 環節動物						
Polychaeta 多毛類	103	370	188	1744	275	0.57
Arthropoda 節肢動物						
Cladocera 枝角類			21	14478	826	3.23
Barnacle nauplius 藤壺幼生						
Calanoid 哲水蚤	4017	4190	5236	211584	76284	63.50
Cyclopoid 劍水蚤	34	72	146	2093	3167	1.16
Copepoda nauplius 橈足類幼生	259	1648	7823	872	620	2.36
Amphipoda 端腳類		12	63			0.02
Crab zoea 蟹類幼生	1931	2447	6884	3314	1377	3.36
Procellana zoea 瓷蟹幼生	207	24				0.05
Shrimp larva 蝦類幼生	586	824	1356	6454	22376	6.66
Lucifera 螢蝦類				523		0.11
Sergestidae 櫻蝦	17	24	63	523	69	0.15
Euphausiacea 磷蝦			42	174	207	0.09
Chaetognatha 毛顎動物						
Sagittidae 毛顎類	86	12	63	698	4269	1.08
Echinoderm 棘皮動物						
Echinodermata larvae 棘皮幼生	17		42			0.01
Protochordata 原索動物						
Appendicularia 尾蟲	1552	752	3880	349	688	1.52
Thaliacea 海桶			21			0.00
Chordata 脊索動物						
Fish egg 魚卵	448	549	292	19013	2272	4.76
Fish larva 仔稚魚		48	167	523	482	0.26
總計	10689	11545	30748	286066	135425	
種類數	16	17	22	18	18	

浮游動物平均豐度單位：ind./1000m³

表 3-11 民國 99 年臺中港鄰港水質環境調查各測站浮游動物生態指數

生態指數	99 年度	測站 年.月	N5	N6	N7	N10	N11
			臺中港內			臺中港外	
優勢度 Simpson Dominance	第 1 次	99.03	0.20	0.60	0.44	0.48	0.39
	第 2 次	99.09	0.21	0.21	0.18	0.56	0.37
豐富度 Margalef's richness	第 1 次	99.03	1.06	0.95	1.08	0.97	0.88
	第 2 次	99.09	1.62	1.71	2.03	1.35	1.44
均勻度 Evenness	第 1 次	99.03	0.68	0.31	0.44	0.40	0.47
	第 2 次	99.09	0.69	0.66	0.63	0.38	0.50
歧異度 Shannon-weiner diversity	第 1 次	99.03	2.88	1.32	1.90	1.51	1.97
	第 2 次	99.09	2.77	2.69	2.80	1.59	2.10

表 3-12 臺中港海域歷次浮游動物族群歧異度及優勢度指數表

項目		歧異度指數			優勢度指數		
時間	區域	港內	港外	總合	港內	港外	總合
92_1		1.62	1.76	1.69	0.56	0.39	0.47
92_2		1.96	1.76	1.89	0.37	0.39	0.38
92_3		1.53	1.12	1.39	0.52	0.67	0.57
92_4		1.20	1.06	1.15	0.64	0.71	0.67
93_1		3.08	3.08	3.08	0.15	0.13	0.14
93_2		2.62	3.32	2.91	0.27	0.13	0.21
93_3		2.62	2.51	2.58	0.28	0.28	0.28
93_4		2.13	1.99	2.09	0.34	0.32	0.33
94_1		1.55	2.00	1.67	0.46	0.38	0.44
94_2		3.00	3.27	3.10	0.17	0.13	0.16
94_3		2.27	2.90	2.52	0.29	0.17	0.24
94_4		2.26	2.62	2.40	0.31	0.20	0.27
95_1		2.27	2.14	2.21	0.21	0.30	0.25
95_2		1.92	1.82	1.89	0.37	0.31	0.35
95_3		3.44	2.68	3.23	0.11	0.17	0.12
95_4		2.30	2.40	2.34	0.30	0.29	0.30
96_1		2.73	3.00	2.84	0.23	0.17	0.21
96_2		2.52	2.17	2.38	0.26	0.37	0.31
96_3		2.98	2.19	2.67	0.19	0.35	0.25
96_4		2.73	2.59	2.68	0.23	0.23	0.23
97_1		2.56	2.47	2.52	0.27	0.27	0.27
97_2		3.00	2.89	2.96	0.20	0.21	0.21
97_3		2.56	2.55	2.56	0.31	0.27	0.30
97_4		2.29	2.13	2.22	0.31	0.39	0.35
99_1		1.81	2.01	1.95	0.47	0.38	0.43
99_3		2.75	1.85	2.39	0.20	0.46	0.31

註：1.港內測站：N5、N6及N7；港外測站：N10及N11。

2.時間表示方式：前2碼為年份，末1碼為該年度之季節，1表1~3月、2表4~6月、3表7~9月、4表10~12月。

3.6 北淤沙區地形測量

為進行 100 年本計畫第三年在北淤沙區飛沙機制研究，於今年度（99 年）於該地區進行三次地形高程測量，並進行土方量分析以及斷面高程比較。

3.6.1 測量範圍

本年度（99 年）於臺中港北淤沙區地形測量範圍，以臺中港北防波堤以北至北攔沙堤以南區域，其中 105 公頃為潮間帶區域，另外 30 公頃為編籬定沙區域，如圖 3-11 紅色框所示。



圖 3-11 測量範圍示意圖

3.6.2 測量過程及方法

本地形測量採用 LIDAR 3D 測量(3D 雷射掃描)，共施測 3 次，於 99.07.30 進行控制點檢測與引測，3D 雷射掃描為 99.08.09~99.08.10 進行第一次測量、99.09.30~99.10.01 進行第二次測量以及 99.11.25~99.11.26 進行第三次測量，3D 雷射掃描相關作業如照片 3-1 所示。由

於部份範圍需配合潮汐進行施測，3D 雷射掃描配合最低潮進行施測，靠近岸邊區域因受海水影響容易造成 3D 雷射掃描資料上不足，不足區域運用全測站經緯儀進行補測如照片 3-2，使全測區資料完整。



照片 3-1 Lidar 地形測量情形



照片 3-2 經緯儀地形測量情形

3.6.3 測量結果與分析

A. 土方量分析

三次測量土方侵淤分析如圖 3-12~3-14 所示。圖 3-12 為第一次及第二次土方侵淤比較圖(99.09.21~99.10.16)，這期間為東北季風開始吹襲西部，圖形顯示在臺中港北淤沙區較大地區呈現侵蝕的情形。圖 3-13 為第二次及第三次土方侵淤比較圖(99.10.16~99.10.25)，此期間發生中度梅姬(MEGI)颱風，其路徑為第九類，由臺灣南部海域進入臺灣

海峽再往大陸福建，影響臺灣西部時間為 99.10.21～99.10.23，圖形顯示經過颱風侵襲，臺中港北淤沙區，部分地區呈現明顯的淤積及侵蝕現象。由第一及三次土方比較圖 3-13（99.09.21～99.10.25）顯示，侵淤現象更明顯，在北防沙堤南側、北防波堤北側以及編籬定沙區海測附近均呈侵蝕現象，其餘均呈淤積現象，尤其在編籬定沙區更明顯。

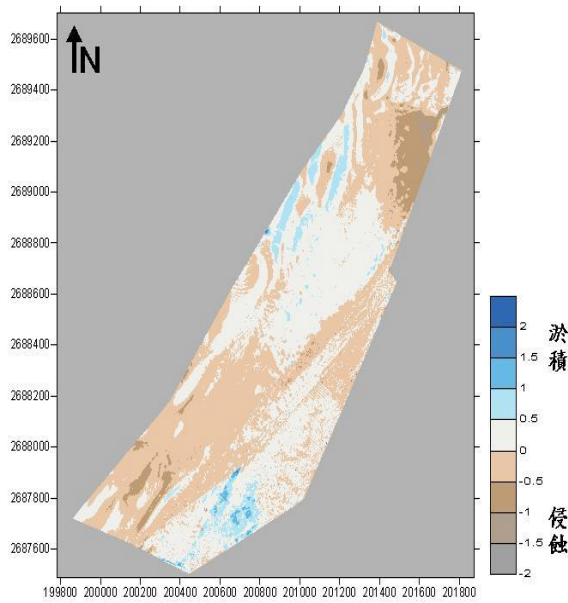


圖 3-12 9.21～10.16 侵淤圖

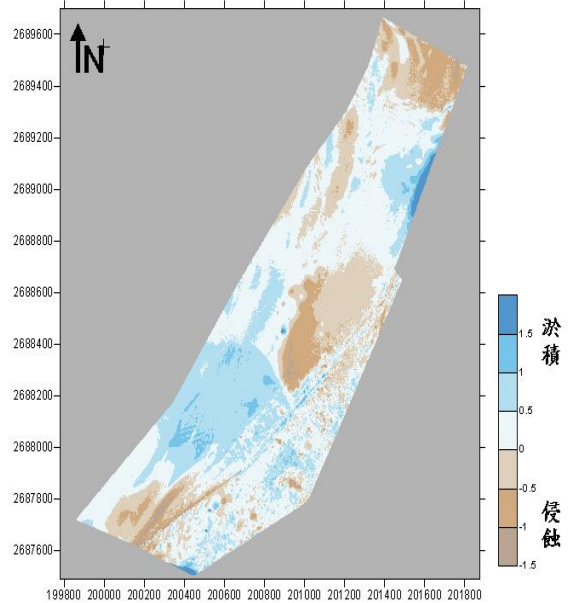


圖 3-13 10.16～11.25 侵淤圖

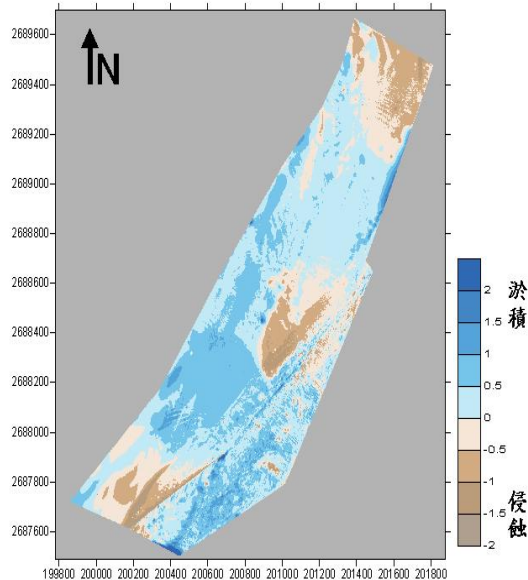


圖 3-14 9.21～11.25 侵淤圖

表 3-13 為各測次間北淤沙區土方侵淤比較表，表中顯示第一次及第二次東北季風吹襲約一個月北淤沙區呈現輕微侵蝕現象，總侵蝕量為 5,844 立方米，第二次及第三次為經過梅姬颱風侵襲過，其總淤積量為 308,126 立方米，第一次及第三次比較結果總淤積量為 302,267 立方米。

表 3-13 各測次間測量土方侵淤比較表

土方侵蝕淤積量 (m ³)			
99.09.21~99.10.16	侵蝕	168,324	- 5,844
	淤積	162,480	
99.10.16~99.11.25	侵蝕	174,806	+ 308,126
	淤積	482,932	
99.09.21~99.10.16	侵蝕	200,193	+ 302,267
	淤積	502,460	

B. 斷面高程分析

本研究取垂直岸線之斷面作高程測量比較分析，各斷面高程比較示意如圖 3-15，各測次高程分析比較結果如圖 3-16 所示，結果顯示斷面 A1 及 A2，其位置為靠近北防沙堤南側，離岸約 100m~400m 處在第三次測量結果呈現明顯的侵蝕。斷面 A9 及 A10 在離岸約 300m~800m 處，即編籬定沙區之前（海）側，呈現明顯的淤積。斷面 A13 其位置為靠近北防波堤北側，在離岸約 0m~150m 處，測量結果呈現明顯的淤積。

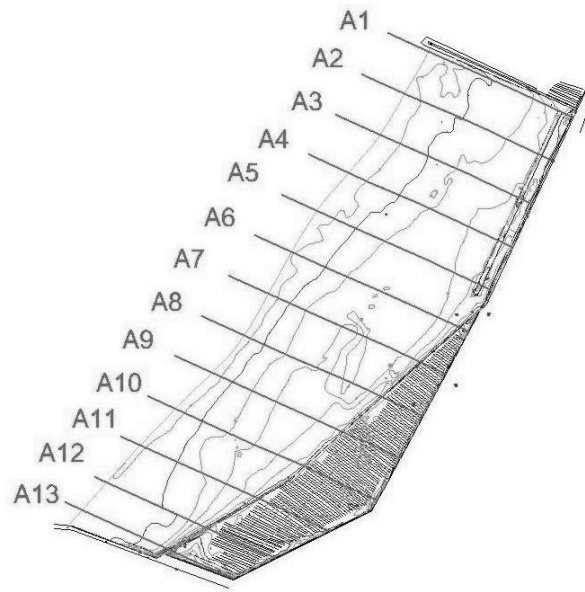


圖 3-15 各斷面示意圖

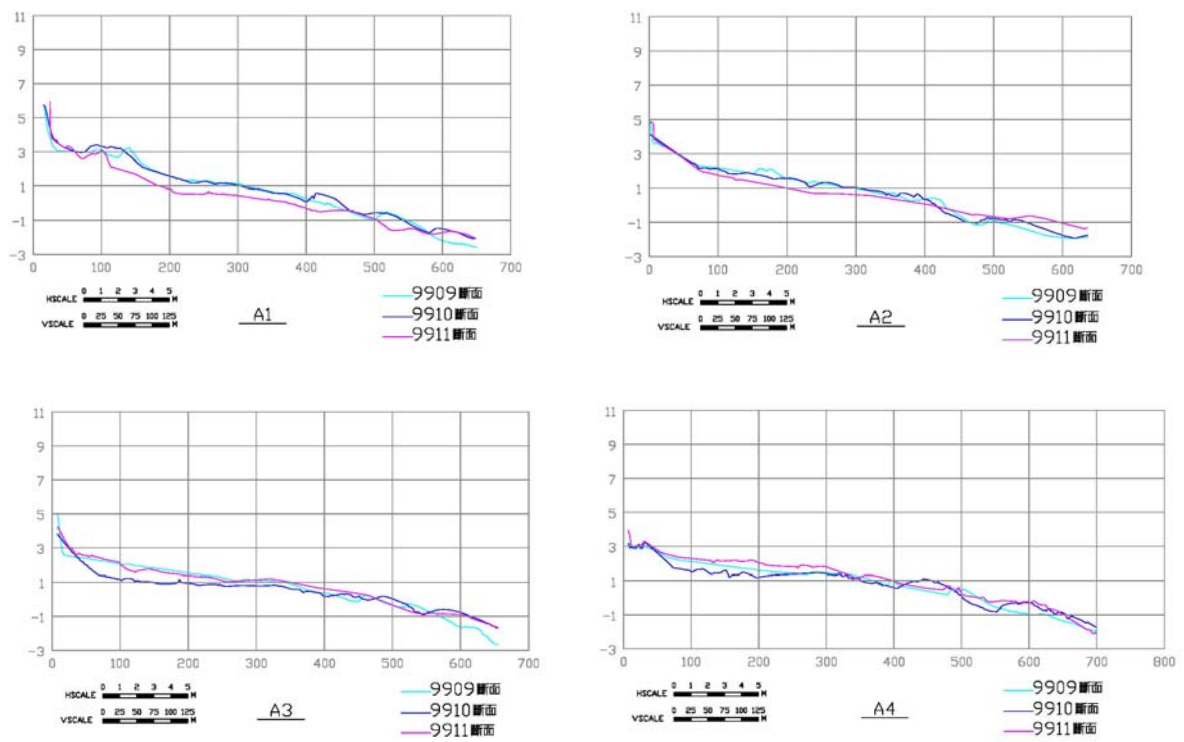


圖 3-16 臺中港北淤沙區斷面地形比較圖 (單位：公尺)

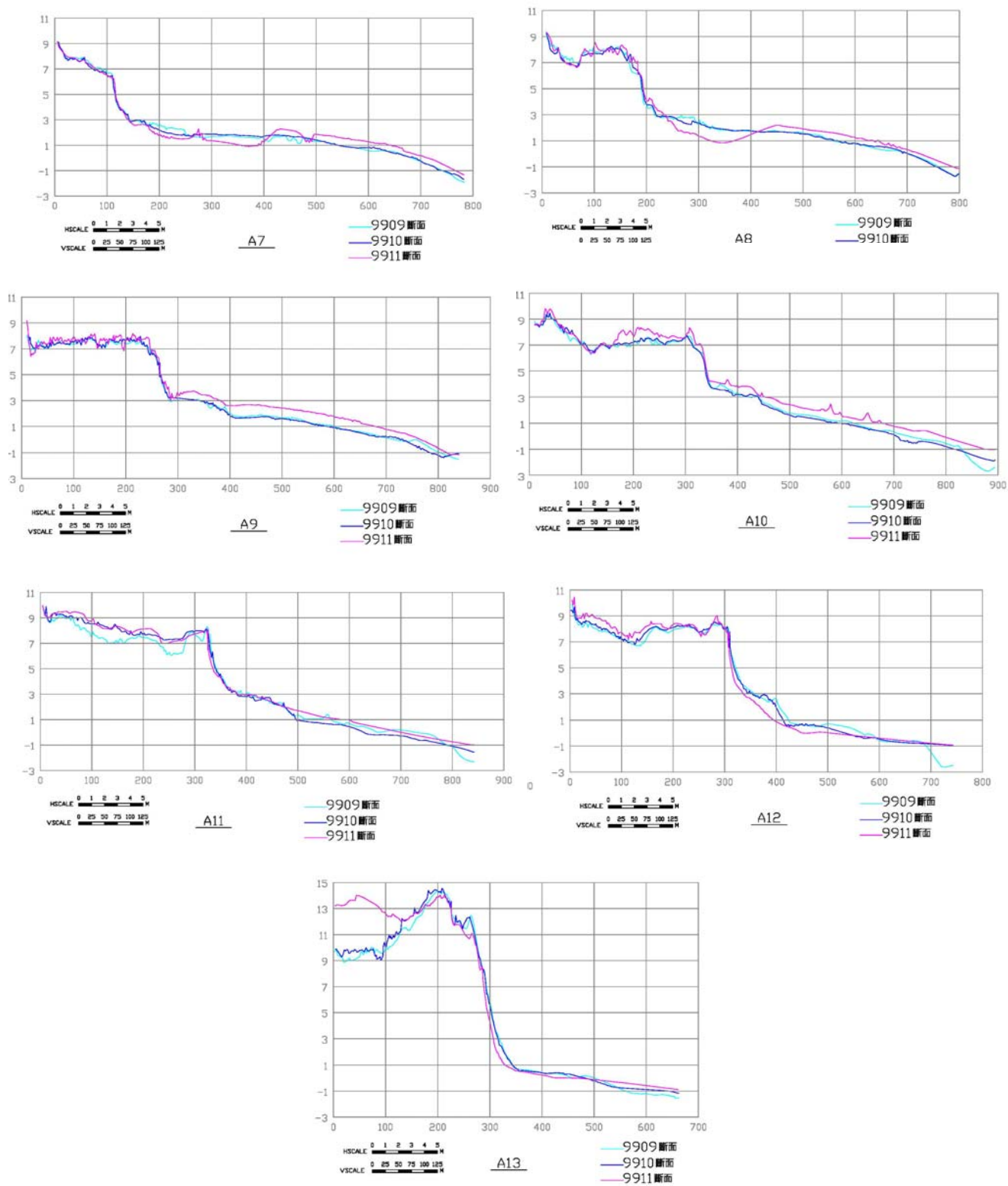


圖 3-16 (續) 臺中港北淤沙區斷面地形比較圖 (單位：公尺)

第四章 水質與生態資料分析

許多單位於鄰近臺中港海域進行之海域環境品質調查工作，其中包含環保署於臺中沿海之長期水質監測，臺中港務局亦長期針對其營運或工程所需進行調查。以臺中港務局為例，歷年曾於匯入臺中港之排水路、港池及近海進行環境監測，其水質方面所執行的監測項目最多可達15項以上，包含一般水文之水質，如水溫、鹽度、溶氧與酸鹼度，此外亦針對可反映出來自有機污染物或營養鹽物質如大腸桿菌群、生化需氧量及氮、磷類等進行調查，在毒性化學物上亦有重金屬方面之監測，此外亦針對船舶用油方面之油脂進行檢測。若由每項水質單獨逐一討論，不易窺得水體品質之變化特性，故本研究使用主成份分析法(PCA: Principle Component Analysis)，利用眾多參數簡化成為少數幾個主成份來解釋與描述其水體主要特性，換言之，主要用較少的變數去分析原來資料中之大部分變異，而這些主成份可用來作為資料解釋上之綜合性指標，同時可進一步由臺中港之水質、浮游植物、與浮游動物之觀測資料，嘗試解析歷年水質整體變化特性與浮游動、植物豐度間之關係。

4.1 海域水質分析

臺中港水質資料庫系統中計有河川水質、海域水質及底泥等三大類監測資料。其中河川水質監測項目共有21項，分別為：水溫、pH、溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、大腸桿菌群、氨氮、有機氮、硝酸鹽氮、總磷、鉛、銅、鎘、鋅、六價鉻、錳、銀、汞、砷、硒及總凱氏氮。海域水質之監測項目共有12項，分別為：水溫、pH、鹽度、溶氧量、生化需氧量、礦物性油脂、大腸桿菌群、酚類、氨氮、總磷、氰化物及有機氮。底泥監測項目共9項，分別為：總有機物、砷、汞、鉛、鋅、銅、鎘、總鉻及平均粒徑。在眾多的監測項目，若要掌握其整體趨勢，必需先將眾多之監測細項進行化約。在本研究中係利用主成份分析法(PCA)將水質等檢測數據進行統計分析，其流程如下：

1. 將資料轉換為常態分布

主成份分析法之理論係架構在常態機率分布之基礎上，故在進行分析前，需要確認監測資料是否呈常態分布。然而，許多水質監測資料多非呈常態分布，因此在進行分析前需要進行常態分布轉換。在本研究中，係使用 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 計 9 種函數進行轉換，轉換完成後，再以夏皮羅-維克係數(Shapiro-Wilk Statistic).(Shapiro and Wilk 1965)做為判定最符合常態分布之轉換結果，夏皮羅-維克係數之計算過程如下：

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (4-1)$$

其中：W 為夏皮羅-維克係數；n 為樣本數； x_i 為樣本； $\bar{x}$ 樣本平均值； $x_{(i)}$ 為按次序排列之第 i 個樣本；而 a_i 為常數：

$$(a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}, \quad m = (m_1, \dots, m_n)^T \dots\dots\dots (4-2)$$

其中： $m_1, \dots, m_n$ 為按次序排列之第 i 個樣本的期望值，V 為 $m_1, \dots, m_n$ 的共變異矩陣。在應用上，夏皮羅-維克係數的值愈高，表示資料之機率分佈愈符合常態分佈。

2. 相關性檢定

因主成份分析法之運算主要為去除原始數據之相關性，並以一組新的獨立變數來取代原始數據，原始數據之相關性太高或太低都不適合以主成份分析法進行分析。在本研究中係以皮爾森相關係數(Pearson's correlation coefficient. Pearson, 1920)進行相關性檢定。

皮爾森相關係數指的是母群體中連續變項 x 與 y 之間的線性相關，又簡稱為相關係數(Correlation Coefficient)。樣本相關係數通常以「r」來

表示，其計算方式如下：

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \right) \\
 &= \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{s_x s_y} \dots\dots\dots (4-3) \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}
 \end{aligned}$$

計算出之相關係數值乃一個沒有單位的數值，其值的範圍介於-1 到+1 之間。若 r 等於 0，表示 x 與 y 變項之間沒有線性關係存在；若 r 等於 1，表示 x 與 y 變項呈現完全正向的相關；反之，若 r 等於-1，則表示 x 與 y 變項呈現完全負向的相關。

而不同觀測項目間之線性相關度如下所示：

$$\text{corr}(x, y) = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sqrt{\text{Var}(x)\text{Var}(y)}} \dots\dots\dots (4-4)$$

其中 $\text{corr}(x, y)$ 為觀測值 x 與 y 間之皮爾森相關係數； $\text{Cov}(x, y)$ 為觀測值 x 與 y 間之共變異數； $\text{Var}(x)$ 及 $\text{Var}(y)$ 分別為 x 與 y 之變異數。

若兩觀測項目之皮爾森相關係數之絕對值大於 0.9，以統計的觀點會認為此兩觀測項目是觀測到同樣的現象，所以在進行主成份分析時，只要選取其中之一即可；相反的若兩觀測項目之皮爾森相關係數絕對值小於 0.1，以統計的觀點會將此兩觀測項目視為獨立，其本身已經互為主成份，不用再抽取其它主成份。

3. 主成份分析

主成份分析係由 Pearson 於 1901 年提出基礎理論所發展出之多變量統計方法。此多變量統計法之設計是在盡可能保留原始數據資訊的前提下，取若干線性組合，將多維且彼此間具有相關性之原始數據轉換為維數較少且相互獨立之主成份。經過線性轉換後之主成份具有下列特性：

- (1) 每一主成份為原始數據的線性組合。
- (2) 第一主成份必需能解釋最大的資料變異量。
- (3) 接下來的第 N 個主成份能解釋扣除第一、第二...及第 $N-1$ 個主成份後所剩餘的最大資料變異量。
- (4) 所有主成份加起來可百分之百解釋原始資料變異量。
- (5) 各主成份之間獨立無相關性。

在應用上，可按資料變異量解釋能力，選擇前幾個主成份，並將其視為獨立之新變數來進行分析。從原始數據轉換為主成份之過程可視為一種正交座標變換，其方程式如下：

設 $X=(X_1\cdots X_p)'$ 為 p 維經過標準化之隨機變數，其變異數記為 $\text{Var}(X)$ 。若主成份 Y 為 X 之線性組合：

$$\begin{cases} Y_1 = \mathbf{I}_1' X = l_{1,1}X_1 + \dots + l_{p,1}X_p \\ \dots\dots\dots \\ Y_p = \mathbf{I}_p' X = l_{p,1}X_1 + \dots + l_{p,p}X_p \end{cases} \dots\dots\dots (4-5)$$

則 Y 的變異數及共變異數分別為：

$$\begin{aligned} \text{Var}(Y_i) &= \mathbf{I}_i' \text{Var}(X) \mathbf{I}_i \\ \text{Cov}(Y_i, Y_j) &= \mathbf{I}_i' \text{Var}(X) \mathbf{I}_j \dots\dots\dots (4-6) \\ i, j &= 1, \dots, p \end{aligned}$$

如果使 Y_1 盡可能保留 X 的變異量，最經典的方法是使 Y_1 的變異數盡可能大，而在計算上是求單位矩陣，使得 $\mathbf{I}_1' \mathbf{I}_1 = 1$ 。

其它的主成份 Y_i 也希望盡可能多地保留剩餘的 X 變異量，所以在方法上也是同樣使 $\text{Var}(Y_i)$ 儘量大，即解 $\mathbf{I}_i$ 以滿足 $\mathbf{I}_i' \mathbf{I}_i = 1$ ；又因在 Y_i 之前的 $Y_1, \dots, Y_{i-1}$ 已保留的變異量就不必再重覆保留，所以必需另外限制 $\text{Cov}(Y_i, Y_j) = 0, j = 1, \dots, i-1$ 。

設 $\text{Var}(X)$ 的特徵值為 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ ，且對應的單位特徵向量為 $v_1, \dots, v_p$ 。則 X 的第 i 個主成份為 $Y_i = v_i' X, i = 1, \dots, p$ 且 $\text{Var}(Y_i) = \lambda_i$ 。定義主成份 Y_k 之變異量解釋率 Ψ_k 為：

$$\Psi_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \dots\dots\dots (4-7)$$

則前 m 個主成份之累計變異量解釋率為：

$$\sum_{i=1}^m \Psi_i = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \dots\dots\dots (4-8)$$

在應用上一般是選取前 m 個變異量解釋力大於 5% 的主成份值，而將原始變數之維數由 p 縮減為 m 。圖 4-1 乃環境監測資料進行統計分析之流程。

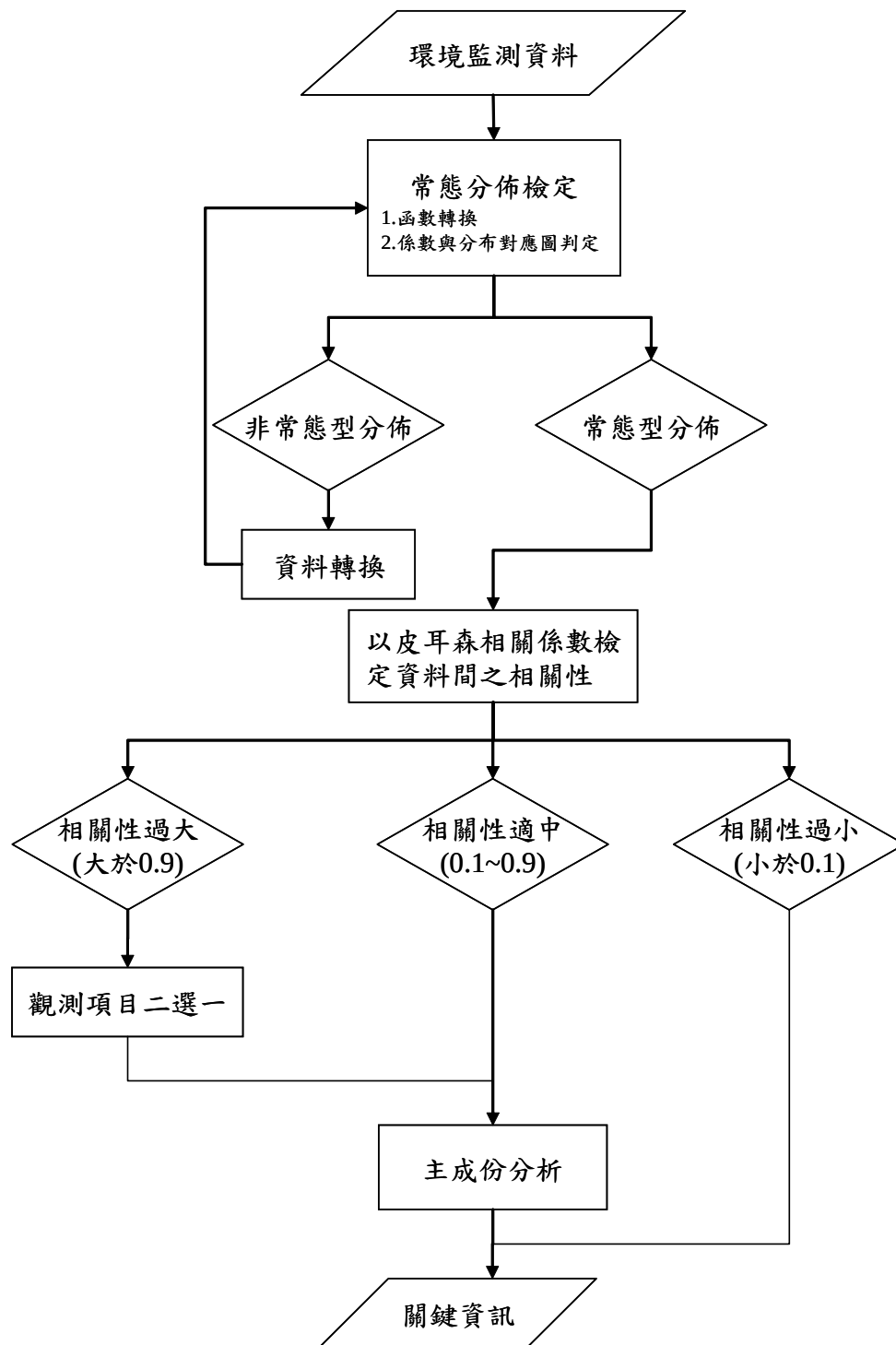


圖 4-1 環境監測資料進行統計分析處理流程

4.2 統計分析結果

以下就臺中港務局於民國 85 年至 97 年間之海域水質監測資料，試進行常態分布檢定後之結果說明如下：

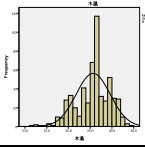
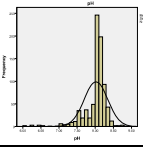
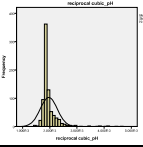
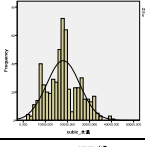
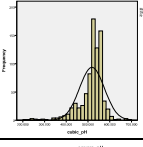
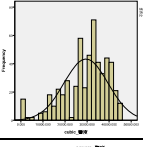
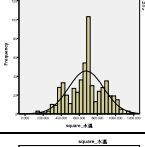
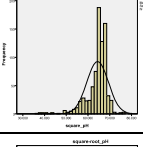
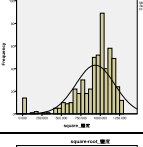
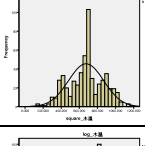
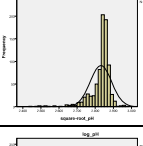
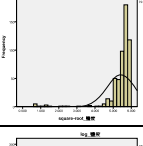
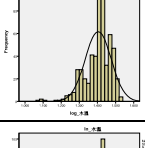
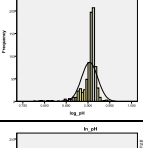
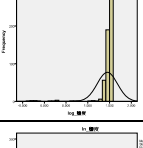
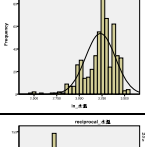
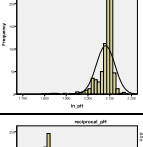
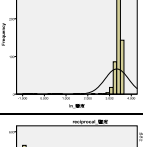
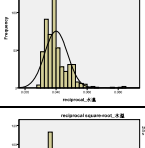
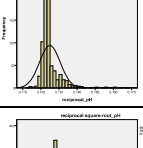
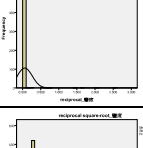
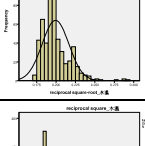
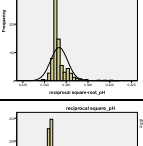
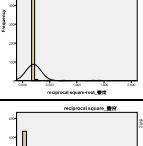
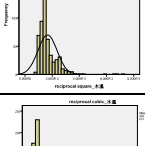
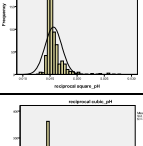
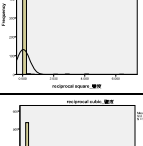
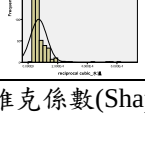
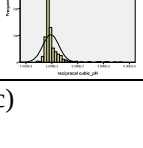
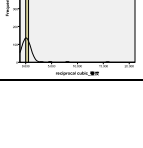
1. 常態分佈檢定結果

臺中港環境監測資料庫系統中屬於海域水質監測項目共有 12 項，其檢測項目名稱及單位分別為：T(水溫℃)、pH(無單位)、Salinity(鹽度‰ 或 psu)、DO(溶氧量 mg/L)、BOD₅(五日生化需氧量 mg/L)、Mineral oil(礦物性油脂 mg/L)、Coliform group(大腸桿菌群 CFU/100 mL)、Phenols(酚類 mg/L)、NH₃-N(氨氮 mg/L)、TP(總磷 mg/L)、CN(氰化物 mg/L)及 N_{org}(有機氮 mg/L)。

表 4-1 係臺中港海域水質原始監測資料與經過 9 種常態分布函數轉換後之數據頻度分布，以及夏皮羅-維克係數計算結果。其中一般水質項目之水溫、pH 與鹽度及溶氧，多以轉換成平方或立方後之分布有最高之夏皮羅-維克係數值；而來自畜牧生活污水方面的氮、磷類營養鹽、耗氧之五日生化需氧量，以及可代表糞便污染之大腸桿菌群與酚類，則以取對數或自然對數後有較佳之常態分布。此外，來自油類之污染與毒性物質氰化物，則以倒數或倒數開根號有相對較高之夏皮羅-維克係數值。表 4-1 各檢項欄位 S-W 中之夏皮羅-維克係數值註記底線者乃為較近常態分佈之轉換後數據，其中部份檢項之對數或自然對數轉換結果均相近，如大腸桿菌群、酚類與氨氮之對數與自然對數數轉換後，其夏皮羅-維克係數值極相近。

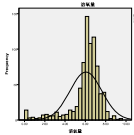
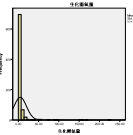
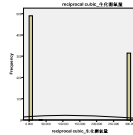
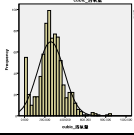
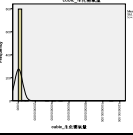
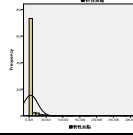
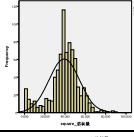
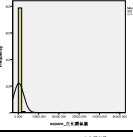
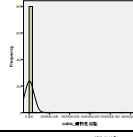
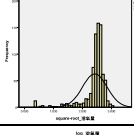
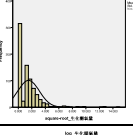
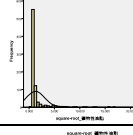
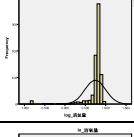
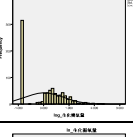
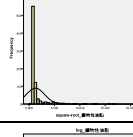
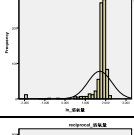
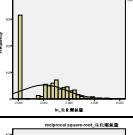
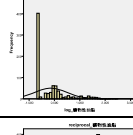
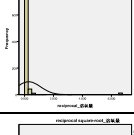
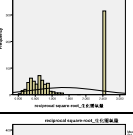
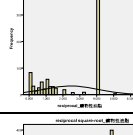
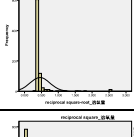
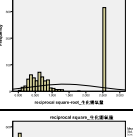
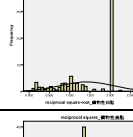
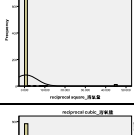
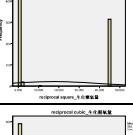
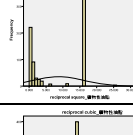
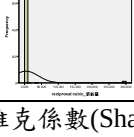
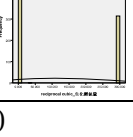
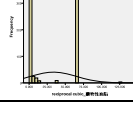
經常態分布轉換後之數據測試結果如表 4-2 至表 4-13 所示。

表 4-1 臺中港海域水質原始資料(X)與經過 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 函數轉換後頻度分布比較

海域水質	T (°C)		pH		Salinity (psu)	
轉換公式	頻度分布	S-W	頻度分布	S-W	頻度分布	S-W
X		972		.779		.667
X^3		981		<u>.838</u>		<u>.935</u>
X^2		<u>.986</u>		.810		.859
$\sqrt{X}$		.955		.761		.498
$\log(X)$		.930		.743		.315
$\ln(X)$		.930		.743		.315
$\frac{1}{X}$		.851		.703		.125
$\frac{1}{\sqrt{X}}$		.896		.723		.186
$\frac{1}{X^2}$		.728		.660		.085
$\frac{1}{X^3}$		.572		.614		.070

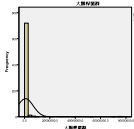
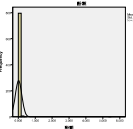
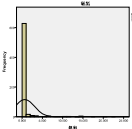
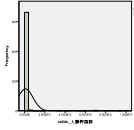
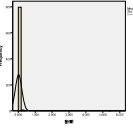
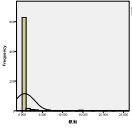
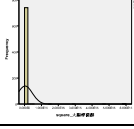
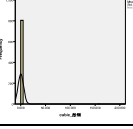
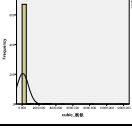
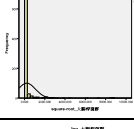
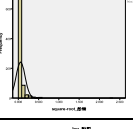
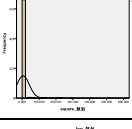
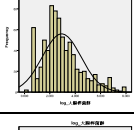
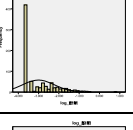
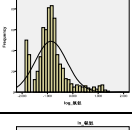
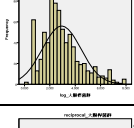
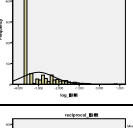
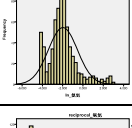
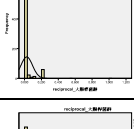
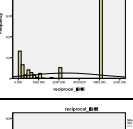
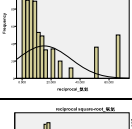
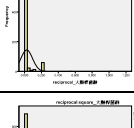
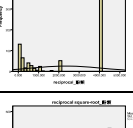
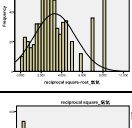
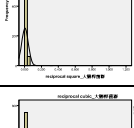
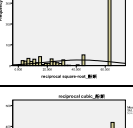
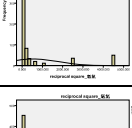
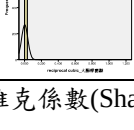
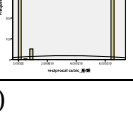
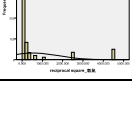
S-W：夏皮羅-維克係數(Shapiro-Wilk Statistic)

表 4-1(續 1) 臺中港海域水質原始資料(X)與經過 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 函數轉換後頻度分布比較

海域水質	DO (mg/L)		BOD ₅ (mg/L)		Mineral oil (mg/L)	
轉換公式	頻度分布	S-W	頻度分布	S-W	頻度分布	S-W
X		.820		.274		.212
X^3		<u>.966</u>		.048		.050
X^2		.948		.079		.075
$\sqrt{X}$		.678		.674		.462
$\log(X)$		.468		<u>.869</u>		.747
$\ln(X)$		.468		<u>.869</u>		.747
$\frac{1}{X}$		.168		.674		.769
$\frac{1}{\sqrt{X}}$		.271		.754		<u>.808</u>
$\frac{1}{X^2}$		.113		.628		.710
$\frac{1}{X^3}$		.103		.621		.687

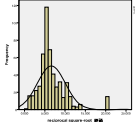
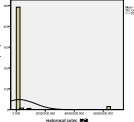
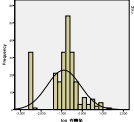
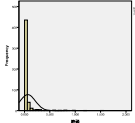
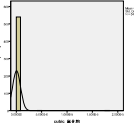
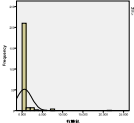
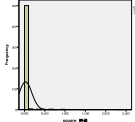
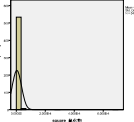
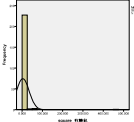
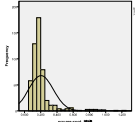
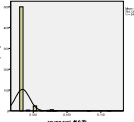
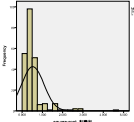
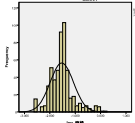
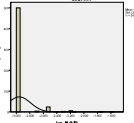
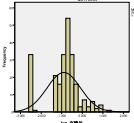
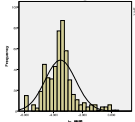
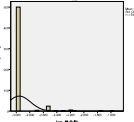
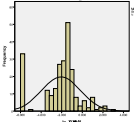
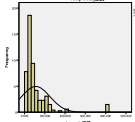
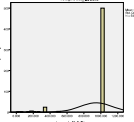
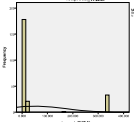
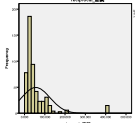
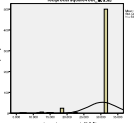
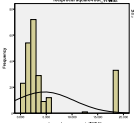
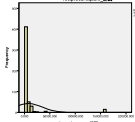
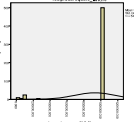
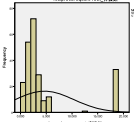
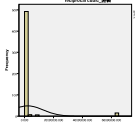
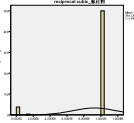
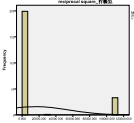
S-W：夏皮羅-維克係數(Shapiro-Wilk Statistic)

表 4-1(續 2) 臺中港海域水質原始資料(X)與經過 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 函數轉換後頻度分布比較

海域水質	Coliform group (CFU/100 mL)		Phenols (mg/L)		NH ₃ -N (mg/L)	
轉換公式	頻度分布	S-W	頻度分布	S-W	頻度分布	S-W
X		.104		.040		.281
X^3		.054		.014		.109
X^2		.061		.015		.157
$\sqrt{X}$		.260		.343		.515
$\log(X)$		<u>.947</u>		<u>.772</u>		<u>.916</u>
$\ln(X)$		<u>.947</u>		<u>.772</u>		<u>.916</u>
$\frac{1}{X}$		.398		.722		.696
$\frac{1}{\sqrt{X}}$		.684		.767		.891
$\frac{1}{X^2}$		.093		.674		.490
$\frac{1}{X^3}$		.030		.655		.414

S-W：夏皮羅-維克係數(Shapiro-Wilk Statistic)

表 4-1(續 3) 臺中港海域水質原始資料(X)與經過 X^3 、 X^2 、 $\sqrt{X}$ 、 $\log(X)$ 、 $\ln(X)$ 、 $1/X$ 、 $1/\sqrt{X}$ 、 $1/X^2$ 及 $1/X^3$ 函數轉換後頻度分布比較

海域水質	TP (mg/L)		CN (mg/L)		N _{org.} (mg/L)	
轉換公式	頻度分布	S-W	頻度分布	S-W	頻度分布	S-W
X		.348		.172		.283
X^3		.095		.033		.052
X^2		.158		.058		.087
$\sqrt{X}$		.627		.254		.642
$\log(X)$		<u>.938</u>		.295		<u>.896</u>
$\ln(X)$		<u>.938</u>		.295		<u>.896</u>
$\frac{1}{X}$		.580		<u>.304</u>		.461
$\frac{1}{\sqrt{X}}$		.854		<u>.304</u>		.587
$\frac{1}{X^2}$		.275		.300		.420
$\frac{1}{X^3}$		.192		.297		.416

S-W：夏皮羅-維克係數(Shapiro-Wilk Statistic)

表 4-2 臺中港海域水質水溫原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
水溫 (°C)	原始資料 X	.972	554	.000
cubic_水溫	X^3	.981	554	.000
square_水溫	X^2	.986	554	.000
square-root_水溫	$\sqrt{X}$	.955	554	.000
log_水溫	$\log(X)$	.930	554	.000
ln_水溫	$\ln(X)$	.930	554	.000
reciprocal_水溫	$\frac{1}{X}$	.851	554	.000
reciprocal square-root_水溫	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.896	554	.000
reciprocal square_水溫	$\frac{1}{X^2}$	.728	554	.000
reciprocal cubic_水溫	$\frac{1}{X^3}$	.572	554	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85~97 年環境監測數據

表 4-3 臺中港海域水質氫離子濃度原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
pH	原始資料 X	.779	806	.000
cubic_pH	X^3	.838	806	.000
square_pH	X^2	.810	806	.000
square-root_pH	$\sqrt{X}$	.761	806	.000
log_pH	$\log(X)$	.743	806	.000
ln_pH	$\ln(X)$	.743	806	.000
reciprocal_pH	$\frac{1}{X}$	.703	806	.000
reciprocal square-root_pH	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.723	806	.000
reciprocal square_pH	$\frac{1}{X^2}$	.660	806	.000
reciprocal cubic_pH	$\frac{1}{X^3}$	.614	806	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85~97 年環境監測數據

表 4-4 臺中港海域水質鹽度原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
鹽度 (psu)	原始資料 X	.667	542	.000
cubic_鹽度	X^3	.935	542	.000
square_鹽度	X^2	.859	542	.000
square-root_鹽度	$\sqrt{X}$	.498	542	.000
log_鹽度	$\log(X)$	.315	542	.000
ln_鹽度	$\ln(X)$	.315	542	.000
reciprocal_鹽度	$\frac{1}{X}$	.125	542	.000
reciprocal square-root_鹽度	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.186	542	.000
reciprocal square_鹽度	$\frac{1}{X^2}$	.085	542	.000
reciprocal cubic_鹽度	$\frac{1}{X^3}$	.070	542	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-5 臺中港海域水質溶氧量原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
溶氧量 (mg/L)	原始資料 X	.820	801	.000
cubic_溶氧量	X^3	.966	801	.000
square_溶氧量	X^2	.948	801	.000
square-root_溶氧量	$\sqrt{X}$	.678	801	.000
log_溶氧量	$\log(X)$	.468	801	.000
ln_溶氧量	$\ln(X)$	.468	801	.000
reciprocal_溶氧量	$\frac{1}{X}$	.168	801	.000
reciprocal square-root_溶氧量	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.271	801	.000
reciprocal square_溶氧量	$\frac{1}{X^2}$	.113	801	.000
reciprocal cubic_溶氧量	$\frac{1}{X^3}$	.103	801	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-6 臺中港海域水質生化需氧量原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
生化需氧量 (mg/L)	原始資料 X	.274	806	.000
cubic_生化需氧量	X^3	.048	806	.000
square_生化需氧量	X^2	.079	806	.000
square-root_生化需氧量	$\sqrt{X}$	.674	806	.000
log_生化需氧量	$\log(X)$	.869	806	.000
ln_生化需氧量	$\ln(X)$	.869	806	.000
reciprocal_生化需氧量	$\frac{1}{X}$	.674	806	.000
reciprocal square-root_生化需氧量	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.754	806	.000
reciprocal square_生化需氧量	$\frac{1}{X^2}$	.628	806	.000
reciprocal cubic_生化需氧量	$\frac{1}{X^3}$	.621	806	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-7 臺中港海域水質礦物性油脂原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
礦物性油脂 (mg/L)	原始資料 X	.212	806	.000
cubic_礦物性油脂	X^3	.050	806	.000
square_礦物性油脂	X^2	.075	806	.000
square-root_礦物性油脂	$\sqrt{X}$	.462	806	.000
log_礦物性油脂	$\log(X)$	.747	806	.000
ln_礦物性油脂	$\ln(X)$	.747	806	.000
reciprocal_礦物性油脂	$\frac{1}{X}$	.769	806	.000
reciprocal square-root_礦物性油脂	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.808	806	.000
reciprocal square_礦物性油脂	$\frac{1}{X^2}$	.710	806	.000
reciprocal cubic_礦物性油脂	$\frac{1}{X^3}$	.687	806	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

來自陸源可能致病之生物性指標大腸桿菌群常態化測試結果如表 4-8；人為工業污染之酚類常態化測試結果如表 4-9；而來自營養鹽方面之氨氮常態化測試結果如表 4-10；總磷常態化測試結果如表 4-11 所示。此外具有急毒性之毒化物質氰化物常態化測試結果如表 4-12；而有機氮之常態化測試結果如表 4-13。由上述原始資料與經函數轉換後的常態分布檢定結果可知，部份水質參數如水溫數據分布非常接近常態分配，但也有部份參數相對之常態分布程度較低，如生化需氧量與氰化物等。

海域水質經過常態分佈轉換與夏皮羅-維克係數之計算後，篩選出相對較高之常態分布轉換變數如下：

- (1) square_水溫
- (2) cubic_pH
- (3) cubic_鹽度
- (4) cubic_溶氧量
- (5) log_生化需氧量
- (6) reciprocal square-root_礦物性油脂
- (7) log_大腸桿菌群
- (8) log_酚類
- (9) log_氨氮
- (10) log_總磷
- (11) reciprocal square-root_氰化物
- (12) log_有機氮

2. 相關性檢定結果

主成份分析法之目的為去除原始數據之相關性，並以新的獨立變數來取代原始數據。因此數據之相關性太高或太低都不適合以主成份分析法進行分析，故在執行主成份分析之前需要先進行相關性檢定。以下說明海域水質監測項目間之相關性檢定結果：

臺中港海域水質相關性檢定經雙尾(2-tailed)檢定計算皮爾森相關係數結果如表 4-14。表中以“*”標示兩監測值之相關性為顯著，以“**”標示兩監測值之相關性為極顯著，N 欄位表示兩項監測值可以配對之資料筆數。

表 4-8 臺中港海域水質大腸桿菌群原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
大腸桿菌群 (CFU/100 mL)	原始資料 X	.104	749	.000
cubic_大腸桿菌群	X^3	.054	749	.000
square_大腸桿菌群	X^2	.061	749	.000
square-root_大腸桿菌群	$\sqrt{X}$	.260	749	.000
log_大腸桿菌群	$\log(X)$	.947	749	.000
ln_大腸桿菌群	$\ln(X)$	.947	749	.000
reciprocal_大腸桿菌群	$\frac{1}{X}$	.398	749	.000
reciprocal square-root_大腸桿菌群	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.684	749	.000
reciprocal square_大腸桿菌群	$\frac{1}{X^2}$	.093	749	.000
reciprocal cubic_大腸桿菌群	$\frac{1}{X^3}$	.030	749	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-9 臺中港海域水質酚類原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
酚類	原始資料 X	.040	805	.000
cubic_酚類	X^3	.014	805	.000
square_酚類	X^2	.015	805	.000
square-root_酚類	$\sqrt{X}$	.343	805	.000
log_酚類	$\log(X)$	.772	805	.000
ln_酚類	$\ln(X)$	.772	805	.000
reciprocal_酚類	$\frac{1}{X}$	.722	805	.000
reciprocal square-root_酚類	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.767	805	.000
reciprocal square_酚類	$\frac{1}{X^2}$	.674	805	.000
reciprocal cubic_酚類	$\frac{1}{X^3}$	.655	805	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-10 臺中港海域水質氨氮原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality

項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
氨氮	原始資料 X	.281	688	.000
cubic_氨氮	X^3	.109	688	.000
square_氨氮	X^2	.157	688	.000
square-root_氨氮	$\sqrt{X}$	.515	688	.000
log_氨氮	$\log(X)$	<u>.916</u>	688	.000
ln_氨氮	$\ln(X)$	<u>.916</u>	688	.000
reciprocal_氨氮	$\frac{1}{X}$	.696	688	.000
reciprocal square-root_氨氮	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.891	688	.000
reciprocal square_氨氮	$\frac{1}{X^2}$	.490	688	.000
reciprocal cubic_氨氮	$\frac{1}{X^3}$	.414	688	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-11 臺中港海域水質總磷原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality

項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
總磷	原始資料 X	.348	520	.000
cubic_總磷	X^3	.095	520	.000
square_總磷	X^2	.158	520	.000
square-root_總磷	$\sqrt{X}$	.627	520	.000
log_總磷	$\log(X)$	<u>.938</u>	520	.000
ln_總磷	$\ln(X)$	<u>.938</u>	520	.000
reciprocal_總磷	$\frac{1}{X}$	.580	520	.000
reciprocal square-root_總磷	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.854	520	.000
reciprocal square_總磷	$\frac{1}{X^2}$	.275	520	.000
reciprocal cubic_總磷	$\frac{1}{X^3}$	.192	520	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-12 臺中港海域水質氰化物原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
氰化物	原始資料 X	.172	542	.000
cubic_氰化物	X^3	.033	542	.000
square_氰化物	X^2	.058	542	.000
square-root_氰化物	$\sqrt{X}$	.254	542	.000
log_氰化物	$\log(X)$	.295	542	.000
ln_氰化物	$\ln(X)$	.295	542	.000
reciprocal_氰化物	$\frac{1}{X}$	.304	542	.000
reciprocal square-root_氰化物	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.304	542	.000
reciprocal square_氰化物	$\frac{1}{X^2}$	.300	542	.000
reciprocal cubic_氰化物	$\frac{1}{X^3}$	.297	542	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-13 臺中港海域水質有機氮原始資料與轉換後之常態化測試結果

Tests of Normality				
項目		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
有機氮	原始資料 X	.283	233	.000
cubic_有機氮	X^3	.052	233	.000
square_有機氮	X^2	.087	233	.000
square-root_有機氮	$\sqrt{X}$	.642	233	.000
log_有機氮	$\log(X)$	.896	233	.000
ln_有機氮	$\ln(X)$	.896	233	.000
reciprocal_有機氮	$\frac{1}{X}$	.461	233	.000
reciprocal square-root_有機氮	$\frac{1}{\sqrt{X}}$	.587	233	.000
reciprocal square_有機氮	$\frac{1}{X^2}$	.420	233	.000
reciprocal cubic_有機氮	$\frac{1}{X^3}$	.416	233	.000

原始資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測數據

表 4-14 民國 85~97 年臺中港海域水質相關性檢定結果

Correlations												
Pearson Correlation	square_ 水溫	cubic_ pH	cubic_ 鹽度	cubic_ 溶氧量	log_ 生化需氧量	reciprocal square-root_ 礦物性油脂	log_ 大腸桿菌群	log_ 酚類	log_ 氨氮	log_ 總磷	reciprocal_ 氯化物	log_ 有機氮
square_ 水溫	1	.076	-.162**	-.324**	.153**	-.059	.077	-.056	.042	.117**	.133**	.078
C Pearson												
Sig. (2-tailed)		.072	.000	.000	.000	.162	.083	.188	.328	.008	.002	.490
N	554	554	540	553	554	554	512	554	534	518	540	81
cubic_ pH	.076	1	.216**	.381**	-.369**	.216**	-.360**	-.168**	-.462**	-.230**	.079	-.227**
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.072		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.066	.000
N	554	806	542	801	806	806	749	805	688	520	542	233
cubic_ 鹽度	-.162**	.216**	1	.067	-.607**	.035	-.472**	-.406**	-.536**	-.233**	.102*	.233*
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.000	.000		.117	.000	.423	.000	.000	.000	.000	.018	.037
N	540	542	542	541	542	542	501	542	536	520	542	81
cubic_ 溶氧量	-.324**	.381**	.067	1	-.297**	.195**	-.250**	-.167**	-.370**	-.364**	.087*	-.200**
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.000	.000	.117		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.044	.002
N	553	801	541	801	801	801	744	800	683	519	541	229
log_ 生化需氧量	.153**	-.369**	-.607**	-.297**	1	-.305**	.509**	.340**	.502**	.231**	.129**	.537**
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.003	.000
N	554	806	542	801	806	806	749	805	688	520	542	233
reciprocal square-root_ 礦物性油脂	-.059	.216**	.035	.195**	-.305**	1	-.033	-.176**	.125**	.057	.156**	-.184**
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.162	.000	.423	.000	.000		.368	.000	.001	.191	.000	.005
N	554	806	542	801	806	806	749	805	688	520	542	233
log_ 大腸桿菌群	.077	-.360**	-.472**	-.250**	.509**	-.033	1	.293**	.566**	.260**	-.058	.427**
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.083	.000	.000	.000	.000	.368		.000	.000	.000	.199	.000
N	512	749	501	744	749	749	749	748	652	487	501	221
log_ 酚類	-.056	-.168**	-.406**	-.167**	.340**	-.176**	.293**	1	.318**	.082	-.086*	.306**
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.188	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.062	.045	.000
N	554	805	542	800	805	805	748	805	688	520	542	233
log_ 氨氮	.042	-.462**	-.536**	-.370**	.502**	.125**	.566**	.318**	1	.465**	-.006	.291**
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.328	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000		.000	.896	.000
N	534	688	536	683	688	688	652	688	688	520	536	233
log_ 總磷	.117**	-.230**	-.233**	-.364**	.231**	.057	.260**	.082	.465**	1	.022	.188
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.008	.000	.000	.000	.000	.191	.000	.062	.000		.616	.093
N	518	520	520	519	520	520	487	520	520	520	520	81
reciprocal_ 氯化物	.133**	.079	.102*	.087*	.129**	.156**	-.058	-.086*	-.006	.022	1	. ^a
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.002	.066	.018	.044	.003	.000	.199	.045	.896	.616		.000
N	540	542	542	541	542	542	501	542	536	520	542	81
log_ 有機氮	.078	-.227**	.233*	-.200**	.537**	-.184**	.427**	.306**	.291**	.188	. ^a	1
C Pearson												
Sig. (2-tailed)	.490	.000	.037	.002	.000	.005	.000	.000	.000	.093	.000	
N	81	233	81	229	233	233	221	233	233	81	81	233

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

^a Cannot be computed because at least one of the variables is constant.

資料來源：臺中港務局

3. 主成份分析結果

經過常態分佈轉換及相關性檢定，總共選擇使用前處理轉換後之 square_水溫、cubic_pH、cubic_鹽度、cubic_溶氧量、log_生化需氧量、reciprocal square-root_礦物性油脂、log_大腸桿菌群、log_酚類、log_氨氮、log_總磷、reciprocal square-root_氰化物、log_有機氮進行主成份分析。在應用上，一般係選擇特徵值(eigenvalues)超過 1 之主成份，並將其視為獨立之新變數來進行分析。表 4-15 為水質監測項目所有主成份之特徵值及解釋變異量百分比，特徵值大於 1 之主成份共計有 4 個，總共可解釋相關海域水質監測資料 70.8% 的變異。而由表 4-15 與表 4-16 中各個主成份與原始水質監測值間之線性方程式係數，可以得知各主成份與原始水質監測值間之相關性，且線性方程式係數愈高表示兩者間之關聯愈強。此外，一般而言，係數之正負則分別代表其正相關或負相關，但須注意彼此間的函數轉換，若其中有資料經過倒數處理後，則其正負的相關性則需反轉以免誤判。

表 4-15 海域水質主成份之特徵值及解釋變異量百分比

主成份 Component	特徵值 Total	Initial Eigenvalues	
		解釋變異量百分比 % of Variance	變異量百分比累計 Cumulative %
1	3.237	29.423	29.423
2	1.891	17.188	46.612
3	1.464	13.306	59.918
4	1.201	10.917	70.835
5	.893	8.116	78.951
6	.625	5.681	84.632
7	.499	4.539	89.171
8	.454	4.126	93.297
9	.352	3.202	96.499
10	.293	2.660	99.159
11	.092	.841	100.000

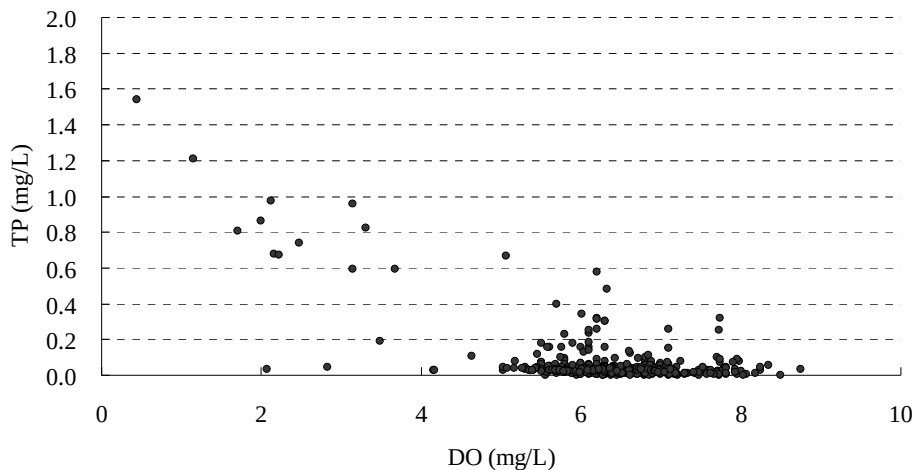
資料來源：臺中港務局民國 85~97 年環境監測

表 4-16 海域水質特徵值大於 1 之主成份相關係數矩陣

項目	主成份 Component			
	1	2	3	4
square_水溫	.933	.090	-.212	.019
cubic_pH	.041	.588	-.395	.321
cubic_鹽度	-.144	-.491	.526	.219
cubic_溶氧量	-.666	.472	-.137	.200
log_生化需氧量	.432	.609	.435	.050
reciprocal square-root_礦物性油脂	-.361	.303	.773	.037
log_大腸桿菌群	.037	.406	.123	.655
log_酚類	-.751	.112	-.031	-.196
log_氨氮	.534	.274	.383	-.448
log_總磷	.838	.014	.040	.109
log_有機氮	.179	-.597	.128	.571

資料來源：臺中港務局民國 85～97 年環境監測

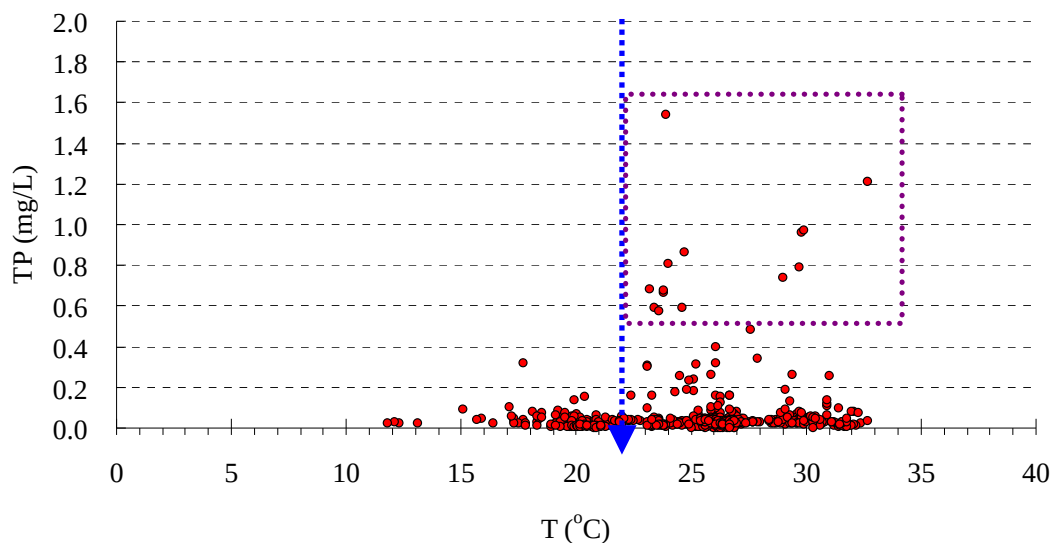
第 1 主成份中顯示氨氮與總磷有較高之正相關，而溶氧量則呈現負相關，鹽度則略呈負相關但不是很明顯，此外水溫亦明顯呈現正相關，其第 1 主成份可能代表的是來自畜牧、生活污染方面的影響，反映出臺中港海域水質在受到氮磷類之營養鹽匯入增加時，其水體將因受到有機物分解耗氧而導致溶氧量之降低，由總磷對溶氧之分布圖亦可看出此負向相關性(圖 4-2)。



(資料來源：臺中港務局民國85～97年)

圖 4-2 臺中港海域水質總磷對溶氧分布

而水中溶氧量變動除受到生物作用影響外，亦與水溫高低造成氣體溶解度改變有關，當水溫高時其體溶解度降低，大氣中的氧氣溶解進入水中的量相對減少，所以第 1 主成份亦可看出溶氧量變化受到水溫高低的負相關影響。其次第 1 主成份在水溫方面意味著臺中港海域水體品質，可能於高水溫的季節，如夏、秋之際氣溫偏高時期，其水體中氮、磷類之營養鹽濃度增高而溶氧偏低。此可由臺中港海域水質中之總磷濃度與水溫關係(圖 4-3)看出，當水溫高於 22°C 以上時，其總磷濃度多高達 0.5 mg/L 以上，而此濃度為海域水質標準上限的 10 倍。初步推測因排入臺中港域的排水路於乾季雨量少期間，其水閘門控制多為關閉，即陸源營養鹽多被阻擋於水閘門上游；當逐漸進入雨季，甚至到颱風季節常因豪大雨造成水位湧升，為避免內陸淹水而打開閘門排洪，因此於此時期常會將內陸水體中過高之氮、磷類污染排入港域近海。

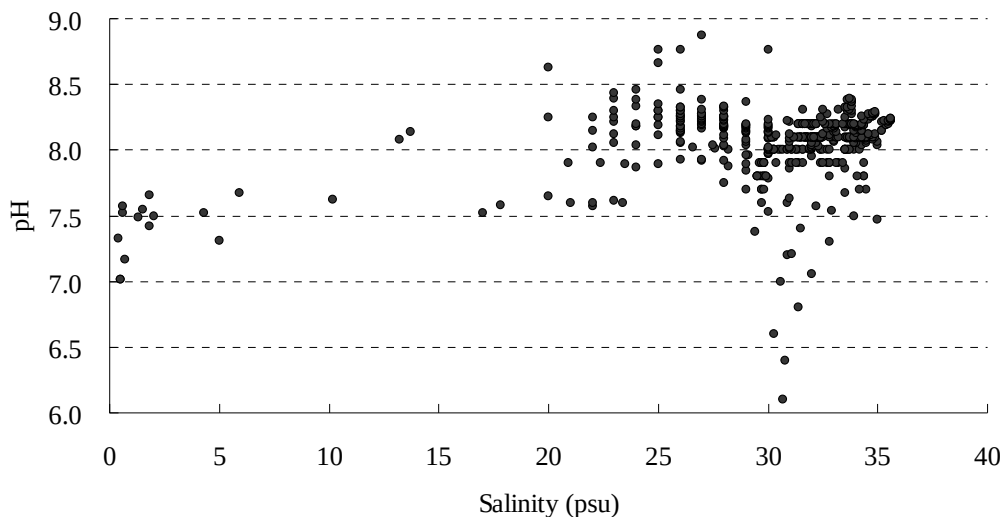


(資料來源：臺中港務局民國85～97年)

圖 4-3 臺中港海域水質總磷對水溫分布

進一步探究一般近岸水體易受到河川排水之陸源性影響，當河水(低鹽度、低 pH)輸入之氮磷類營養鹽近入海水(高鹽度、高 pH)，往往造成其鹽度與 pH 之降低，惟在第 1 主成份中看不出此變化特性，甚至出現鹽度與 pH 略呈負相關之現象。茲將臺中港海域水質之鹽度與 pH

分布作圖(圖 4-4)可知，兩者分布散亂而無特定關係，且異常偏低之 pH(<6.5)曾發生於梧棲大排出口入港池與主航道港口處，且伴隨偏低之溶氧。而第 2 主成份中約略顯示出鹽度同時對五日生化需氧量及大腸桿菌群之負相關，代表來自陸源淡水之生物性可能致病指標，若於水中檢測出大量大腸桿菌，表示水體在短時間內曾受人類或動物排泄物污染。由於大腸桿菌與其他致病菌同樣來自溫血動物，而其在水中的生存時間較致病菌長，當在水中檢驗出大腸桿菌群，則此水體含有其他致病菌的機會將增高。第 3 主成份中則以礦物性油脂與鹽度呈現較高的負相關，可能代表水體中礦物性油脂來源並非來自外海，而是來自於近岸水體如河口或有淡水排入之商港或漁港。



(資料來源：臺中港務局民國85~97年)

圖 4-4 臺中港海域水質 pH 對鹽度分布

以上係就臺中港務局所觀測之海域水質(含港域)統計分析結果所進行之水體特性描述。整體而論，由臺中港務局於民國 85~97 年間之海域水質監測資料經主成份分析後顯示，特徵值高於 1 之主成份計有 4 個，其中第 2 主成份中約略顯示出鹽度同時對五日生化需氧量及大腸桿菌群之負相關，代表來自陸源淡水之生物性可能致病指標，若於水中檢測出大量大腸桿菌，表示水體在短時間內曾受人類或動物排泄物污染。第 3 主成份以礦物性油脂與鹽度間之負相關為主，反映出來自船舶用油與機械潤滑或鍋爐用重油等之污染來源，主要可能來自陸源

而非源自外海。第 4 主成份則主要以有機與無機氮類與大腸桿菌群為主，其中大腸桿菌群與有機氮之正相關，以及與無機之氮氮呈現負相關為主，但尚不易解釋其中複雜之氮循環降解與大腸桿菌群之關聯。

而本研究於第 1 年(98 年度)起至今，亦於臺中港域及近海共進行 5 次水質調查與 2 次生態觀測，已完成 5 次之水質資料可供進一步分析。故以下針對本研究所觀測之水質資料，依同樣方式進行前述之統計分析，以瞭解於 98 與 99 年近 2 年來之水體品質特性。

本研究於民國 98 年 4 月與 6 月曾於大甲溪與大肚溪出海口、梧棲與安良港大排，以及臺中港域與近海共 10 測點進行氫離子濃度指數(或稱酸鹼值)、水溫、鹽度、導電度、透明度、透視度、溶氧與飽和度、生化需氧量、懸浮固體物、總固體物、大腸桿菌群、總磷、氮氮、亞硝酸鹽氮及油脂共計 16 項水質檢測，而後 98 年 9 月則針對匯入港域之可能污染源：梧棲與安良港大排共 2 處進行全潮水質觀測；本年度於 99 年 3 月與 9 月期間，則繼續針對港域與近海共 5 測點進行其中之 13 項水質調查。

由本研究於 98 年與 99 年調查所得之海域水質數據，經常態分佈轉換與夏皮羅-維克係數之計算後，篩選出相對較高之常態分布變數計有：

- (1) cubic_水溫
- (2) cubic_pH
- (3) cubic_鹽度
- (4) cubic_導電度
- (5) log_透明度
- (6) 溶氧量
- (7) square-root_溶氧飽和度
- (8) log_生化需氧量
- (9) log_大腸桿菌群
- (10) reciprocal square-root_懸浮固體物
- (11) reciprocal square-root_氮氮

(12) reciprocal square-root_總磷

(13) reciprocal square-root_油脂

上述 13 項海域水質相關性檢定經雙尾(2-tailed)檢定計算皮爾森相關係數結果如表 4-17。由表中可知其兩兩參數間之相關性，其中鹽度與導電度相關係數高達 0.984，此外溶氧量與飽和度相關係數亦達 0.926，均高於 0.9 以上，故於進一步的主成份分析中，鹽度與導電度及溶氧量與飽和度此 4 項中，將取鹽度與溶氧量為代表納入分析。

表 4-18 為 98 至 99 年兩年期間，11 項水質監測項目主成份之特徵值及解釋變異量百分比，其中特徵值大於 1 之主成份共計有 3 個，總共可解釋相關海域水質監測資料 84.5%的變異。

其第 1 主成份同樣顯示來自畜牧、生活污水方面的氨氮與總磷有很高之正相關(圖 4-5)與正值(表 4-19)，且氨氮與總磷亦呈現明顯之負相關，而通常海水的酸鹼度(氫離子濃度指數)偏鹼性且高於內陸淡水，故代表氨氮與總磷的來源係來自陸源之排水。圖中圓點外加正方形數據乃梧棲與安良港大排於 98 年 9 月的全潮水質調查數據，從此圖中亦再次反映出匯入臺中港域之營養鹽污染係來自其大排。此外，第 1 主成份中之水溫則有很高的負關係數值，由於氨氮與總磷係取開根號後之倒數，代表的是原高濃度之數據經轉換後反而會變小，故實際上氨氮與總磷與水溫應同為正相關，圖 4-6 即可看出其相關性，由 4 次觀測資料初步顯示，在水溫超過 28°C 時，部份總磷數據的確出現偏高，但此一關係需要謹慎小心推論，因為高濃度總磷均出現在 98 年 9 月的梧棲與安良港大排口，若濾除此群觀測數據(圖 4-7)，則事實上可以反應季節性變化的水溫指標，與總磷間並無明顯之相關性，故在應用與解釋須特別注意，以免造成資訊誤導。

表 4-17 民國 98~99 年臺中港海域水質相關性檢定結果

Pearson Correlation	cubic_水溫	cubic_pH	cubic_鹽度	log_透明度	DO	log_BOD	log_大腸桿菌群	reciprocal square-root_懸浮固體	reciprocal square-root_氨氮	reciprocal square-root_總磷	reciprocal square-root_總油脂	cubic_導電度	squareroot_DO 飽和度
cubic_水溫	1	-.352*	-.332*	-.055	-.483**	-.142	.263	-.491**	-.444**	-.412**	.441**	-.315*	-.356*
C Pearson													
Sig. (2-tailed)		.017	.024	.791	.001	.347	.077	.001	.002	.004	.007	.033	.015
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
cubic_pH	-.352*	1	.795**	.008	.645**	-.576**	-.759**	.327*	.651**	.723**	-.329	.810**	.746**
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.017		.000	.969	.000	.000	.000	.027	.000	.000	.050	.000	.000
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
cubic_鹽度	-.332*	.795**	1	.646**	.488**	-.660**	-.817**	.538**	.694**	.852**	-.246	.984**	.620**
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.024	.000		.000	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.148	.000	.000
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
log_透明度	-.055	.008	.646**	1	.047	-.365	-.471*	.512**	.427*	.572**	-.279	.641**	.075
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.791	.969	.000		.820	.067	.015	.008	.030	.002	.296	.000	.716
N	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	16	26	26
DO	-.483**	.645**	.488**	.047	1	-.093	-.318*	.254	.314*	.301*	-.119	.558**	.926**
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.001	.000	.001	.820		.540	.031	.089	.033	.042	.491	.000	.000
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
log_BOD	-.142	-.576**	-.660**	-.365	-.093	1	.707**	-.283	-.501**	-.622**	.028	-.633**	-.321*
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.347	.000	.000	.067	.540		.000	.057	.000	.000	.872	.000	.030
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
log_大腸桿菌群	.263	-.759**	-.817**	-.471*	-.318*	.707**	1	-.385**	-.735**	-.865**	.332*	-.757**	-.493**
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.077	.000	.000	.015	.031	.000		.008	.000	.000	.048	.000	.001
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
reciprocal square-root_懸浮固體	-.491**	.327*	.538**	.512**	.254	-.283	-.385**	1	.462**	.574**	-.083	.564**	.252
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.001	.027	.000	.008	.089	.057	.008		.001	.000	.629	.000	.091
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
reciprocal square-root_氨氮	-.444**	.651**	.694**	.427*	.314*	-.501**	-.735**	.462**	1	.860**	-.516**	.662**	.345*
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.002	.000	.000	.030	.033	.000	.000	.001	.000	.000	.001	.000	.019
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
reciprocal square-root_總磷	-.412**	.723**	.852**	.572**	.301*	-.622**	-.865**	.574**	.860**	1	-.382*	.803**	.413**
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.004	.000	.000	.002	.042	.000	.000	.000	.000		.021	.000	.004
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
reciprocal square-root_總油脂	.441**	-.329	-.246	-.279	-.119	.028	.332*	-.083	-.516**	-.382*	1	-.183	-.135
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.007	.050	.148	.296	.491	.872	.048	.629	.001	.021		.285	.432
N	36	36	36	16	36	36	36	36	36	36	36	36	36
cubic_導電度	-.315*	.810**	.984**	.641**	.558**	-.633**	-.757**	.564**	.662**	.803**	-.183	1	.667**
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.033	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.285		.000
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46
squareroot_DO 飽和度	-.356*	.746**	.620**	.075	.926**	-.321*	-.493**	.252	.345*	.413**	-.135	.667**	1
C Pearson													
Sig. (2-tailed)	.015	.000	.000	.716	.000	.030	.001	.091	.019	.004	.432	.000	
N	46	46	46	26	46	46	46	46	46	46	36	46	46

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

表 4-18 海域水質主成份之特徵值及解釋變異量百分比(11 項)

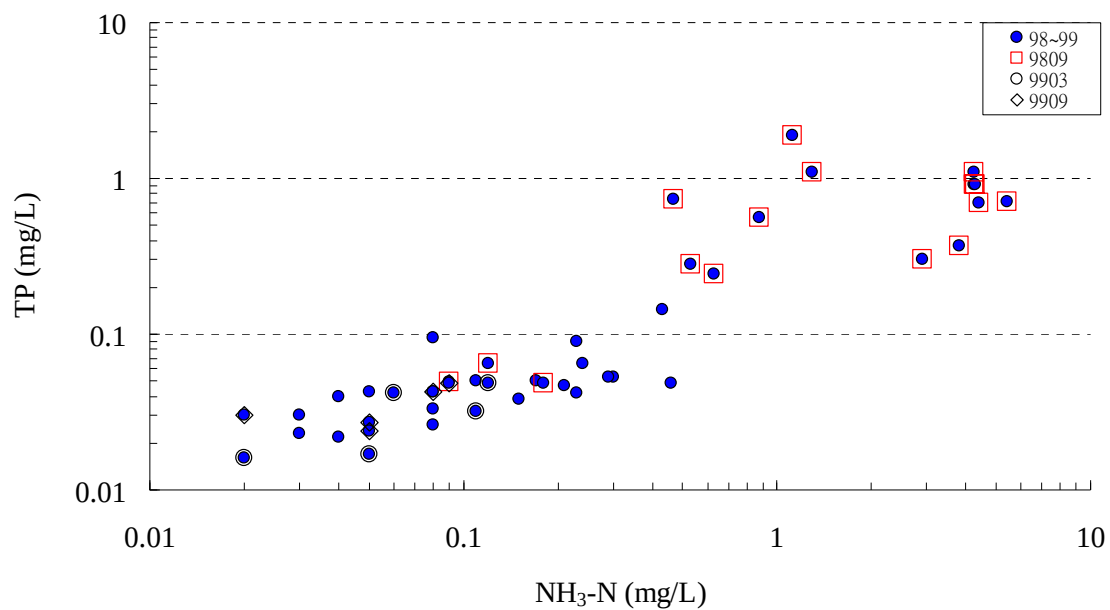
主成份 Component	Initial Eigenvalues		
	特徵值 Total	解釋變異量百分比 % of Variance	變異量百分比累計 Cumulative %
1	5.254	47.765	47.765
2	2.889	26.261	74.026
3	1.154	10.490	84.517
4	.685	6.228	90.745
5	.353	3.206	93.950
6	.288	2.622	96.573
7	.165	1.503	98.076
8	.135	1.228	99.304
9	.042	.383	99.687
10	.019	.169	99.856
11	.016	.144	100.000

資料觀測期間：民國98～99年

表 4-19 海域水質特徵值大於 1 之主成份相關係數矩陣(11 項)

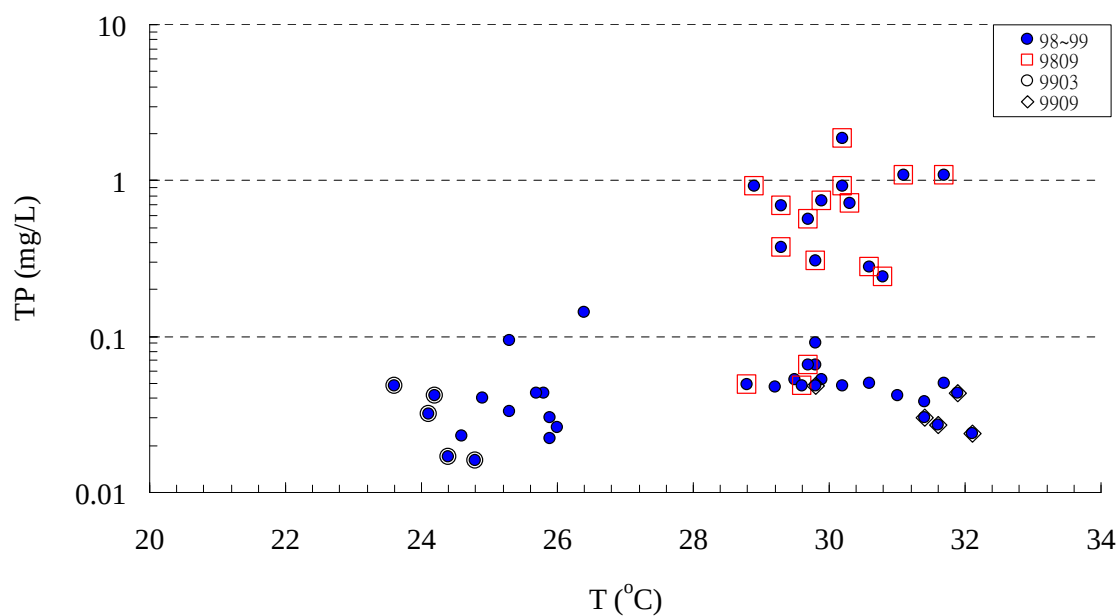
項目	主成份 Component		
	1	2	3
cubic_水溫	-.658	.702	-.037
cubic_pH	.793	-.238	-.015
cubic_鹽度	.414	.715	.318
log_透明度	.752	.515	.251
DO	.482	-.377	.739
log_BOD	.686	-.622	-.011
log_大腸桿菌群	-.463	-.676	.374
reciprocal square-root_懸浮固體	.719	.588	-.040
reciprocal square-root_氨氮	.873	-.236	-.191
reciprocal square-root_總磷	.927	.268	.013
reciprocal square-root_總油脂	-.632	.322	.514

資料觀測期間：民國98～99年



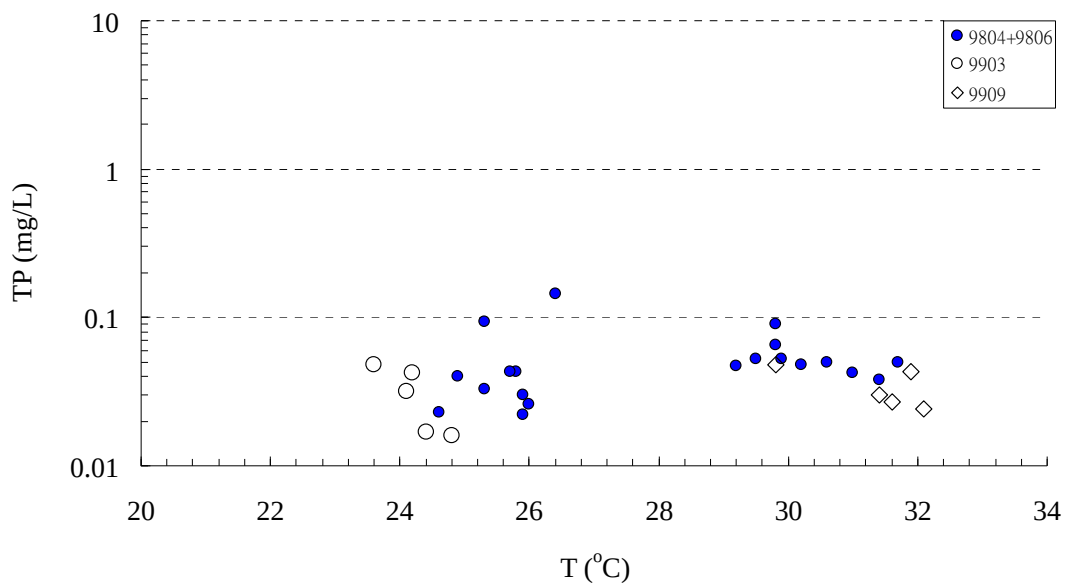
(資料觀測期間：民國 98~99 年)

圖 4-5 臺中港海域水質總磷對氮氮分布



(資料觀測期間：民國 98~99 年)

圖 4-6 臺中港海域水質總磷對水溫分布



(資料觀測：民國 98~99 年，已濾除 98 年 9 月的梧棲與安良港大排全潮水質數據)

圖 4-7 臺中港海域水質總磷對水溫分布

整體而論，第 1 主成份仍代表來自陸源淡水的畜牧、生活污水成份(氮磷類)，陸源淡水具有較高的氮磷含量，以及相對較海水為低的 pH 值，而且淡水中帶來之懸浮固體量較高，導致水體的透明度降低，上述這些內陸排水與近岸海水之特性，以及彼此間的相關性，均能夠於第 1 主成份中顯現。第 2 主成份中同樣顯示出鹽度同時對五日生化需氧量及大腸桿菌群之負相關性，意味著來自陸源淡水之生物性可能致病指標，當陸源水含量相對較高時將造成鹽度下降，而此時水體含有其他致病菌的機會將大為增高；第 3 主成份則尚不易看出相關水質的關係特性，僅以溶氧量較為顯著，同時隱約與總油脂成負相關，可能反映出當水體油脂濃度增高時，將阻擋大氣中氧溶解於水中的量，同時水中油脂分解將消耗氧氣，因此造成水中總油脂濃度增高時，將導致溶氧量的降低。上述第 1 與第 2 主成份所代表之意義，與臺中港務局於民國 85~97 年間觀測之統計分析結果極為相近，而第 3 主成份雖然代表的是來自油脂方面的特性，但臺中港務局於民國 85~97 年數據反映在其可能的來源為鹽度較低之海淡混合水體，而本研究 98~99 年調查結果，則是反映在高濃度油脂出現，將降低水中溶氧量的特性。

總結上述水質之主成份分析可以歸納出臺中港海域水體特性中，第 1 主成份顯現的是來自陸源的氮、磷類營養鹽污染成份；而第 2 主成份則代表可能致病微生物指標成份之影響；第 3 主成份可能是代表農漁牧與商業用機械船舶產生的油脂成份特徵。此外若將 98~99 年水質調查中，未每次皆有調查之油脂與透明度此二項不列入主成份分析，則可發現其 9 項水質的特性成份略有變動，其中第 1 與第 2 主成份能夠描述解釋臺中港沿海水質約 75.1% 的變異特性(表 4-20)；而第 1 主成份即以展現出來自陸源淡水所帶來的畜牧與生活污水方面的特性，其相對海水而言較低的低 pH 與低鹽度河川與排水路之淡水，相對於海水明顯含有偏高的氮、磷類與大腸桿菌群(表 4-21)，此再次可說明來自陸源排水對臺中港沿海水體所帶來的影響，也說明了當沿海水體之 pH 與鹽度降低時，通常多伴隨較高的氨氮與總磷，甚至代表溫體動物糞便污染之大腸桿菌群亦常同時增加。而第 2 主成份則主要代表來自大自然季節的變化，當水溫升高時氣體溶解度降低，使得水體中溶氧量減少，因此單就在物理的因子如水溫影響下，冬季寒冷季節水體的溶氧量往往比夏季高溫時節來的高些。當然影響水中溶氧的因素還包含化學與生物的作用，因此要能夠很準確的掌握與分析描述臺中港沿海水質特性，是需要相當足夠的數據才能夠精準地探討與研究。

由歷年於臺中港沿海水質調查結果可知，本調查區域內近岸水體，主要受到來自陸源生活、畜牧污水經河川排水路匯入所影響，而當每年冬春之際的枯水期間，其內陸排水受水閘門關閉阻擋，導致污染主要累積於內陸。而當進入雨季甚至到了颱風豪大雨之夏秋季節，基於排洪防溢淹，其水閘門將開啟，此時會造成大量累積之氮磷類污染物進入近岸水體，使得臺中港域內水質不佳，因此臺中港域水質需特別注意於夏秋季節內陸污染排入之影響，另由梧棲大排出口處與安良港大排出口處部分港域水質濃度偏高情形已改善，水質漸趨良好與本年度調查結果顯示，並未發現有明顯的異常污染情形。

進一步的水質與生態之間的統計分析，由於海域水體環境中的物

理、化學及生物因子間的相互影響相當龐大與複雜，需要長期與相當的數據累積後解析，在本研究有限的實際採樣調查資料限制下，初步先就本年度(民國 99 年)3 月與 9 月之水質與浮游植物之間的調查結果，進行相關性分析。嘗試先就水質改變對浮游生物中的浮游植物雙方面的變動關係上，進行臺中港之港內外沿海水質與浮游植物間的關聯性分析。其中在 3 月時於浮游植物方面計有矽藻、綠藻、金黃藻與渦鞭毛藻，但綠藻僅出現在港內測站 N6；而 9 月時調查除矽藻、綠藻與渦鞭毛藻仍重複出現以外，金黃藻則未被觀測到。經統計之相關係數分析後顯示(刮號內數值為 Pearson Correlation 相關係數，Correlation is significant at the 0.01 level)，由表 4-22 中顯示；矽藻出現之種類與水溫有明顯之正向相關(0.869)，而渦鞭毛藻則與水溫呈現明顯之負相關(-0.863)；此外矽藻種類數與鹽度(-0.834)與導電度(-0.827)、溶氧量(-0.800)與溶氧飽和度(-0.780)有相當顯著之負向相關，而與懸浮固體(0.817)有相當顯著之正向相關；渦鞭毛藻種類數亦與溶氧量(0.822)與溶氧飽和度(0.814)有相當顯著之正向相關。綠藻與水質之相關性則相對較矽藻及金黃藻為低，但仍約略可看出綠藻種類數與水溫成正相關，而與鹽度及導電度呈現負相關。

由表 4-22 浮游植物與水質間相互關係反映出 3 月與 9 月時季節性的浮游植物群聚結構的變化與消長，即 3 月春季枯水期間，臺中港沿海浮游植物中之矽藻種類數，相對較 9 月秋季豐水期為低；而渦鞭毛藻則呈現相反之負向關係，於 3 月春季枯水期間種類數則相對比 9 月為略多，此一消長變化從水質中的鹽度與導電度，以及溶氧量及其飽和度之間關係可進一步看出，當 3 月春季枯水期相對較 9 月低溫的季節，臺中港沿海水體因陸源淡水注入沿海量，相對較 9 月秋季豐水期為少，因此鹽度與導電度相對較低，此外溶氧量與飽和度可能因 3 月氣溫低，水體溶氧量相對較 9 月高溫時高以外，9 月豐水期帶來的陸源淡水中含有較多的營養鹽等有機耗氧物質分解耗掉水中溶氧，使得 9 月溶氧低而 3 月溶氧較高，再者 9 月豐水期較多陸源物質沖刷至沿海，也造成臺中港沿海水體中懸浮固體量的增加。

綜合上述說明可知，相對於秋季豐水期(9 月調查)而言，在春季枯水期(3 月調查)於相對低水溫、高鹽度及高溶氧量的水體環境中，臺中港沿海的浮游植物中，以矽藻的種類數相對較 9 月時低，但港內之 3 月時矽藻的豐度則較高，港外則互有高低，同時 3 月時有金黃藻出現，而 9 月則於港內及港外均未發現，且綠藻僅出現在 3 月港內 N6。當季節交替進入 9 月時，颱風豪雨豐水期間帶來較多陸源物質，如岩石礦物風化產生含矽之無機顆粒，增加了海域中矽的來源，也可能因此造成 9 月時矽藻種類數相對增加；而渦鞭毛藻的種類數則相對較 9 月時高，且港內渦鞭毛藻的豐度較高，而此時金黃藻則未出現，反而綠藻在港內外測站均可發現，雖然種類數極低，僅有 1~2 種，但港內外豐度則均有增加。在生態指標方面則顯示出當 9 月高水溫與低鹽度環境下，臺中港沿海生態之豐富度、均勻度與歧異度均呈現增加的趨勢。

上述有限的分析結果仍有諸多不足之處，如本研究僅於今年度進行兩次之水質生態調查，無法瞭解四季之變化關係。但可於未來後續中進一步探討，即本年度調查結果，可於下年度結合港務局若能釋出之 99 年度，同樣於臺中港沿海所進行的水質與生態四季調查成果，進一步納入統計分析，應可獲致更多生態與水質間的相互關係與其變化特性。

表 4-20 海域水質主成份之特徵值及解釋變異量百分比(9 項)

主成份 Component	Initial Eigenvalues		
	特徵值 Total	解釋變異量百分比 % of Variance	變異量百分比累計 Cumulative %
1	5.315	59.052	59.052
2	1.449	16.097	75.149
3	.918	10.198	85.348
4	.541	6.011	91.359
5	.238	2.641	94.000
6	.205	2.273	96.273
7	.142	1.573	97.846
8	.133	1.483	99.329
9	.060	.671	100.000

資料觀測期間：民國98~99年，其中透明度與油脂不納入分析

表 4-21 海域水質特徵值大於 1 之主成份相關係數矩陣(9 項)

項目	主成份 Component	
	1	2
cubic_水溫	-.478	-.776
cubic_pH	.865	.007
cubic_鹽度	.924	-.087
DO	.530	.529
log_BOD	-.671	.628
log_大腸桿菌群	-.891	.261
reciprocal square-root_懸浮固體	.605	.293
reciprocal square-root_氨氮	.848	-.007
reciprocal square-root_總磷	.935	-.100

資料觀測期間：民國98～99年，其中透明度與油脂不納入分析

表 4-22 臺中港沿海海域水質與浮游植物相關性分析

浮游植物 環境水質因子	矽藻		綠藻		渦鞭毛藻		浮游植物		生態指數			
	種類	豐度	種類	豐度	種類	豐度	總豐度	總種類數	優勢度	豐富度	均勻度	歧異度
酸鹼度	-.227	.621	.287	.216	-.181	-.014	.622	-.377	.401	-.231	-.313	-.326
水溫	.869**	-.510	.709*	.598	-.863**	-.095	-.510	.453	-.699*	.909**	.796**	.822**
導電度	-.834**	.333	-.735*	-.620	.745*	.077	.333	-.533	.591	-.879**	-.677*	-.723*
鹽度	-.827**	.313	-.720*	-.594	.723*	.059	.313	-.539	.589	-.868**	-.667*	-.714*
透明度	.049	-.728*	.012	-.234	.055	.317	-.726*	.031	-.465	.192	.472	.439
溶氧量	-.800**	.507	-.487	-.547	.822**	.306	.509	-.419	.493	-.752*	-.574	-.603
溶氧飽和度	-.780**	.493	-.479	-.555	.814**	.330	.495	-.406	.468	-.726*	-.546	-.574
五日生化需氧量	-.398	.619	-.567	-.509	.729*	.083	.616	.044	.586	-.489	-.670*	-.630
大腸桿菌群	-.326	.416	-.363	-.324	.535	.038	.413	-.119	.182	-.357	-.274	-.278
懸浮固體	.817**	-.426	.623	.682*	-.613	-.124	-.424	.653*	-.496	.860**	.557	.621
氨氮	-.327	.555	-.120	-.164	.530	.347	.559	.058	.501	-.236	-.467	-.426
總磷	.245	.162	.111	-.024	.288	.069	.162	.679*	-.018	.285	-.027	.069
葉綠素 a	.617	-.077	.149	.154	-.309	-.229	-.082	.599	.009	.493	.044	.129

** . Pearson Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. ..Pearson Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

第五章 船舶排水對港池水質影響

臺中港是我國第三大的國際商港，總計可容納八十三座大型碼頭，水深 9-16 公尺，包括貨櫃碼頭、散雜貨碼頭、大宗散雜貨碼頭、煤炭碼頭、穀物碼頭、水泥碼頭以及客運碼頭等。在 2009 年全球國際商港排名為第 86 名。港區不僅集商港、工業港、及漁港於一身，同時也兼具觀光與親水的現代化優質港口，臺中港多功能的定位，除了是臺灣中部最大的國際商港，並且是我國主要能源、重工及石化原料的進口港，憑藉著四通八達的聯外交通優勢，更成為國內最重要的製造、加工出口及物流中心，又是我國境外航運中心指定港，因此蘊藏著無限商機，深具發展潛力(臺中港務局)。

縱使「國際船舶壓艙水及沉積物控管公約」並未達到生效門檻，而臺灣亦非國際海事組織之會員國，但臺中港在臺灣航運運輸上有一定數量，促使臺中港暴露在船舶壓艙水導入外來種之侵襲風險中，未來勢必得順應國際趨勢，建立一套壓艙水管理之辦法因應外來物種入侵的威脅。

臺灣目前對船舶在港內之污水排放有進行嚴格之管制，不易造成影響。然而船舶壓艙水為外來種生物傳播之主要途徑，而壓艙水的排放是目前船舶排水項目中尚未管理卻可能嚴重影響港域水質原因之一。Endresen (2004)概估全球之壓艙水總運量為每年 3,500 Mton，其中國際與國內貿易各占 2,174 Mton 與 1,300 Mton；此外 Gollasch (2002)對全球每年壓艙水總排放量之估算為每年 3,000 Mton。全球每日初估約有 3,000~4,000 種生物經由航運擴散至全球各地區，而最近 Streftaris et al.(2005) 之估算值更高達每日 10,000 種，由此可見港域生態與水質的變化明顯受船舶壓艙水之影響。商港內各船舶航運型態，例如其進港頻率及航行時間，亦成為壓艙水後續監測的重要參考依據。本工作項目針對臺中港區域進港船舶排放壓艙水對港域水質之影響，擬先蒐集港區進港船舶之航運資料，並將船舶航運資料做運輸型態分析，透過外來壓艙水排放量之估算進而探討可能之影響結果。

5.1 資料分析

5.1.1 資料來源

由交通部臺中港務局取得 94-98 年度，所有進入臺中港進港船舶航運運輸相關資料，資料內容包含船舶呼號、船名、船籍港、船舶種類、前一港、總噸位、載重噸、航線、進出口貨物噸量等。

5.1.2 排水量分析

以 94-98 年間進入臺中港之船舶資料為依據，分析船舶航運運輸型態，分析資料包含船舶種類、進出口貨量、前一港來源地區等分布與變化情形，但若前一港為臺灣，則取其出發港做分析。先將船舶種類以貨物種類與裝載方式為分類之參考依據，在不同的討論議題中會有部份的分類差異，但大致上分為貨櫃輪、雜貨輪、油輪、客輪、散裝輪、客貨輪、特殊船舶、其他船舶等，八大類型，其中第八類包括未含壓艙水之工作船、交通船、錨船、拖船等，此類船舶則未列入分析範圍。

本研究使用「歐洲模式」(European Form)，如表 5-1 所示，使用此模型估算臺中港壓艙水排放量，其所需之資料包含年度進港艘數 (Annual arrivals)、臺中港整體進出口貨物百分比、國內外航線百分比…等。依進出口貨物噸量計算出進出口比例，並將國內外航線分類，了解其所占比例，再將船型分類算出各別船型之進港船舶艘數。使用歐洲模式帶入進出口比例、國內外航線比例、船型、艘數等數值分析船舶帶多少壓艙水入臺中港。

表格內容包含：(1)船型；(2)年度進港船舶艘次；(3)船舶載重噸；(4)每船最大壓艙水櫃容量；(5)最大壓艙水櫃容量占載噸之百分比；(6)年度最大壓艙水櫃容量；(7)年度船上壓艙水等，其中船舶載重噸、最大壓艙水櫃容量占載噸之百分比為定值，定值透過平均各船型之船舶載重噸與最大壓艙水櫃容量而得。

計算方法：先計算各船型年度進港船舶艘次之百分比；利用船舶

載重噸、最大壓艙水櫃容量占載噸之百分比，此兩定值相乘得到每船最大壓艙水櫃容量；再以年度進港船舶艘次、船舶載重噸、最大壓艙水櫃容量占載噸之百分比三者相乘得到年度最大壓艙水櫃容量；年度最大壓艙水櫃容量與船上壓艙水容量得到年度船上壓艙水，最後各船型壓艙水總量相加，即為年度船上壓艙水量。此年度船上壓艙水量在估計船於進港時船舶保有之壓艙水量，若船舶全部排放時會產生多少壓艙水的估計值。

壓艙水量之估算受到各種船舶貨物操作特性、貨物種類以及貨物量與載重噸之比例影響，除船舶進港資料外，還須參考各類船種之單一貨物運輸量，目前全球對壓艙水量估算有相似之方法，主要還是倚靠港口單位管理，依據航運記錄資料估計壓艙水排放量。在缺乏詳盡之各類船舶貨物裝卸記錄資料下，首先必須先以臺中港務局統計數據計算臺中港進出港貨物總量及各類船型，其中散裝輪之貨物包含玉米、穀物、煤、礦砂...等散裝貨品，油輪則是包含原油和燃料油...等貨物，雜貨輪之貨物則為鋼鐵、機件...等，並依據整體臺中港之各類船舶進港艘次與相關載重噸位，估算整體壓艙水汲取與排放總量。

本年度壓艙水量估算乃改善上年度之工作方法，上年度根據交通部網頁資料計算，由於並無細部資料，故本年度則根據台中港務局每艘船舶之詳細資料計算(各類船型艘數、載重噸與上年度皆有差異，然而以本年度資料較為精確)；並根據模式作者 Gollash 對模式的調整，適度更改船型分類，並且以臺中港每年進港船舶資料為基準，更改進入臺中港船舶各船型平均載重噸，最後修改最後排放量的計算方式。上年度報告以“源自國外壓艙水排放量”為最後壓艙水總排放量，本年度報告則以“年度船上壓艙水量”為最後壓艙水總排放量。上年度報告因作者認為 1DWT 等於 2.8 噸並不準確，並且無法清楚得知船舶壓艙水排放入水道與港口個別的量，且源自國外壓艙水計算方式採用國外貨物百分比計算，此法亦較粗略，本年度故予以刪除，而以 Gollash 建議之“年度船上壓艙水量”為計算之總排放量。

表 5-1 壓艙水排放量估算歐洲模式表格

船型	年度進港 船舶艘次		船舶 載重噸	每船最大 壓艙水櫃 容量	最大壓艙 水櫃容量 占載噸之 百分比	年度最 大壓艙 水櫃容 量	船上壓艙 水體積	船上壓 艙水
	船舶數	%	(平均)	(平均)	(平均)	載重噸	載重噸%	載重噸
貨櫃船								
客貨船								
雜貨船								
散裝船								
油輪								
郵輪								
特殊船舶								
總計								

資料來源:Flagella et al., (2006) Shipping traffic and introduction of non-indigenous organisms: Study case in Italian harbours.

5.1.3 風險評估

風險是一個因為做出了某些行為或是某些行動而產生不願發生的事件，而風險評估就是用來確認這類事件發生的頻率及情況，通常在其評估的過程當中會伴隨著一系列尚未確定的解釋及推估，而壓艙水及底泥帶來的風險便是一種我們不希望在交換壓艙水時會發生的事件。

在分析船舶的來源國及路線之後，有必要為此船舶建立風險程度的判斷，以用來估計可能發生潛在危險的機率，並依此標準加以管理，防止未經安全處理的壓艙水排入港內。《壓艙水公約》之風險評估指導方針 7 中第 6 條對於風險評估所訂定出如表 5-2 的三種方法：(1)環境相似度，透過船舶來源港與接受港環境進行比較，調查兩港口環境水體的溫度及鹽度等基本特性等；(2)生物地理區特性，了解在同一生物地理區的港口環境；(3)特定物種評估，因為目前已知有特殊物種的侵襲性較高，便應針對該物種做出詳細的評估，了解可能入侵的機率，並且研擬適當的管理方式來避免來自該物種高風險區域的船舶在港區排放壓艙水。

表 5-2 壓艙水公約規範風險評估之三種方式

評估方式	內容說明
環境相似度評估 (Environmental matching risk assessment)	調查港區的水質：溫度、鹽度等基本資訊，與船舶來源港對照比較，當相似度越高時代表越適合外來種生存，風險也就升高。
生物地理區評估 (Species' biogeographical risk assessment)	比較港區的原生種和外來種的生物地理區特性，了解船舶的來源港是否已有物種入侵至目的港，或由第三港間接入侵至目的港。
特定物種評估 (Species-specific risk assessment)	對於已知有害生物或已經入侵港區的生物進行生物評估，藉此作出必要的預防措施。

另外方針中第 7 條規定了船舶免除檢驗的項目，訂定免除檢驗項目的國家應該提供相關公開資訊，包括了所有的應用設備、風險評估的模式、任何需注意的目標物種、數值標準及其他任何需提供的資訊。若經過評估此船的風險是低的，那麼船舶便可以獲得認可以免除檢驗，但當船舶有中其中一項評估為高風險時，港口國就必須對此船舶的壓艙水記錄簿作更加詳細的調查與檢驗，以確保船上所攜帶的壓艙水是安全的。

表 5-3 列出近期各國或國際間風險評估的發展情形，主要著重在特殊物種的與環境相似度的評估。而各國在其國內已發展風險評估的國家有澳洲、挪威、德國、美國，國際間的合作則有 Globallast。表 5-3 簡述各風險評估的方法，使用環境變數數量、執行期間與目的等。其中，澳洲決策中心、挪威採用特殊物種作為風險評估的方法；而 Globallast、澳洲昆士蘭、北歐、德國則採用環境相似度評估方法。

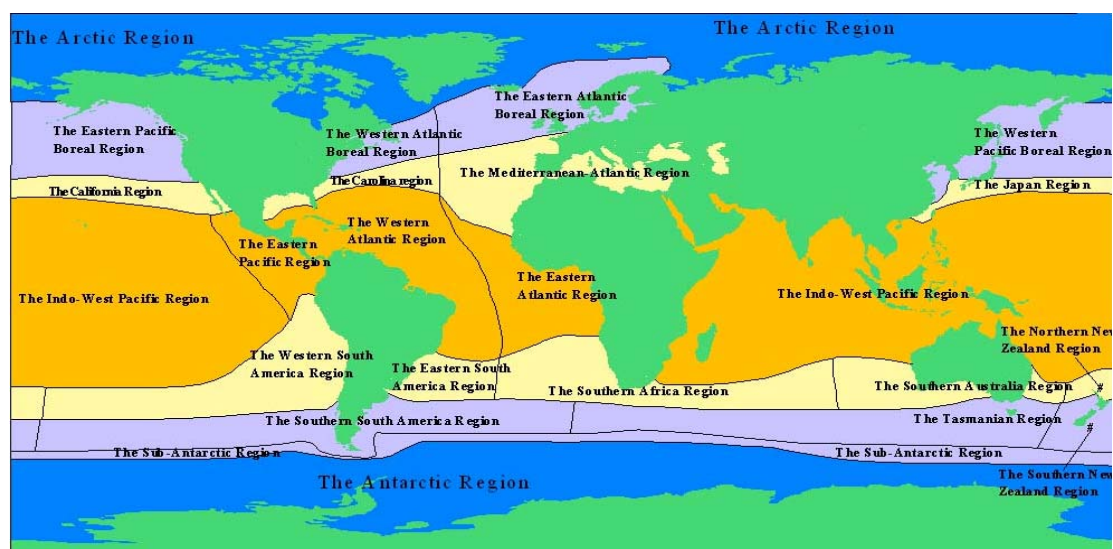
本研究採用環境相似度此方法，比對全球各來源港口與臺中港海域內溫度與鹽度之相似程度，以相似程度之高低區分吻合之國家海域或港口，並加入航程分析，藉以了解距離對外來種存活的影響，距離越短則外來生物在壓載艙內尚未因環境條件改變而死亡之際即被排出，故侵襲下一港之風險極高。

表 5-3 壓艙水風險評估法

名稱	方法摘要	方法	環境變數	endpoint	時間單位	目的	日期	參考文獻
澳洲決策支援系統	生物入侵處理四步驟：來源港傳染、船舶傳染、航程存活率、在接收港的存活率	特殊物種、量化	1	目標物種在接收港完成生命週期的風險高低	月	辨識低風險路徑、船舶、壓載艙	1997-迄今	Hayes and Hewitt(2000, 2001)
Globalast	地區間的環境相似度、種源港內目標物種的比例、接種引入因子(inoculation factors)	環境相似度、半量化	37	確認並排序港口風險高低	季	提升意識並建議港口間壓艙水策略管理	2002-2004	Clark et al. (2003)
挪威壓艙水評估	方法一：種源港與來源港的環境吻合度 方法二：生物入侵處理四步驟：來源港傳染、船舶傳染、航程存活率、在接收港的存活率	特殊物種、量化	2	目標物種在接收港完成生命週期的風險高低	月	辨識低風險路徑、船舶、tanks	1998-迄今	Behren et al. (2002); Haugom et al. (2002)
北歐港口風險評估	種源港與來源地區的環境吻合度、列出潛在危險物種	環境相似度、特殊物種、質化	5	N/A-危險分析	年	辨識高風險路徑與北歐國家之物種	1998/1999	Gollasch and Leppakoski (1999)
澳洲昆士蘭港口合作系統	地區間的環境相似度、種源港港內目標物種的比例、接種引入因子(inoculation factors)	環境相似度、特殊物種、半量化	37	確認並排序港口風險高低	季	提升意識並建議港口間壓艙水策略管理	1995-1997	Hilliard et al. (1997a, b); Hilliard and Raaymakers(1997)
腰鞭毛蟲生物經濟風險評估	評估在地繁殖的可能性、繁衍、外來腰鞭毛蟲的衝擊	特殊物種、量化	1	旅遊業與養殖業衝擊	年	Gymnodinium catenatum 在養殖業與旅遊業的經濟衝擊	1993/1994	AQIS (1994)
德國壓艙水風險評估	種源港與來源港的環境吻合度	環境相似度、特殊物種、質化	2	N/A-危險分析	年	辨識載德國水域高風險的路徑與物種	1992-1996	Gollasch(1996)
五大湖風險評估	物種容忍度、在無壓艙水船上物種的濃度	量化	2	目標物種在行程的存活率	航程	對進入五大湖無壓艙水在船上的船進行評估	2002	MacIzaac et al. (2002)

資料來源: Barry C.,(2008), Ballast water risk assessment: principles, processes, and methods.

港口溫度評估使用 Ekman(1953)與 Briggs(1974)的生物地理區域圖，圖 5-1 將之劃分為四區，劃分在同區的為有較相近的生物地理特性。鹽度相似度分析依據 2009-2010 年的勞氏港口指南內紀錄之港口密度(Lloyds Register/Fairplay, 2009)，以各港口平均鹽度之差值來區分入侵風險大小。航程風險分析則分析上一港或出發港距臺中港航程距離，以海況平穩航速 20 浬航行為基準。表 5-4 列出各項目之風險高低，和臺中港同屬溫帶區之港口，或鹽度差值上下 3psu，或航程可於 3 天抵達者，列為高風險區積分 3；相鄰之寒帶或熱帶，鹽度值上下差 3-5psu，航程三至十天，為中度風險區積分 2；位於極區者，或鹽度值相差 5psu，或航行十天方能抵達臺中港者則為低風險區，積分 1。



資料來源：Ekman (1953) Zoogeography of the Sea and Briggs (1974) Marine Zoogeography.

圖 5-1 生物地理區域

表 5-4 風險程度

分析項目	接受港	來源港		
	臺中港	高風險區	中度風險區	低風險區
	積分	3	2	1
溫度	溫帶	溫帶	寒帶或熱帶	極區
鹽度	30.9	27-34	25-27 34-36	>36 <25
航程	--	0-1500 浬 或<3 天	1500-4500 浬 或 3-10 天	>4500 浬 或>10 天

5.2 結果分析

5.2.1 進港船舶運量等基本資料

分析臺中港資料得知，如圖 5-2 所示，船舶總艘數從 94 年度 5,696 艘至 98 年度 6,462 艘有緩慢上升的趨勢；由表 5-5 可知，總噸位也由 73,283,975 噸上升至 86,253,547 噸。在貨物進出口量與貨物吞吐量(進出口貨量加國內航線貨運量)方面，從 94 年至 95 年有明顯成長外，其他年度呈現平穩的趨勢。此五年間，以 96 年度與 98 年度進港艘數最多，但總噸位與貨物進出口量則由 98 年度居冠分別為 86,253,547 噸 48,715,674 噸。由貨物進出口量與吞吐量比較之差可知，95 年度國內運輸貨量位居倒數第二僅有 5,191,435 噸。

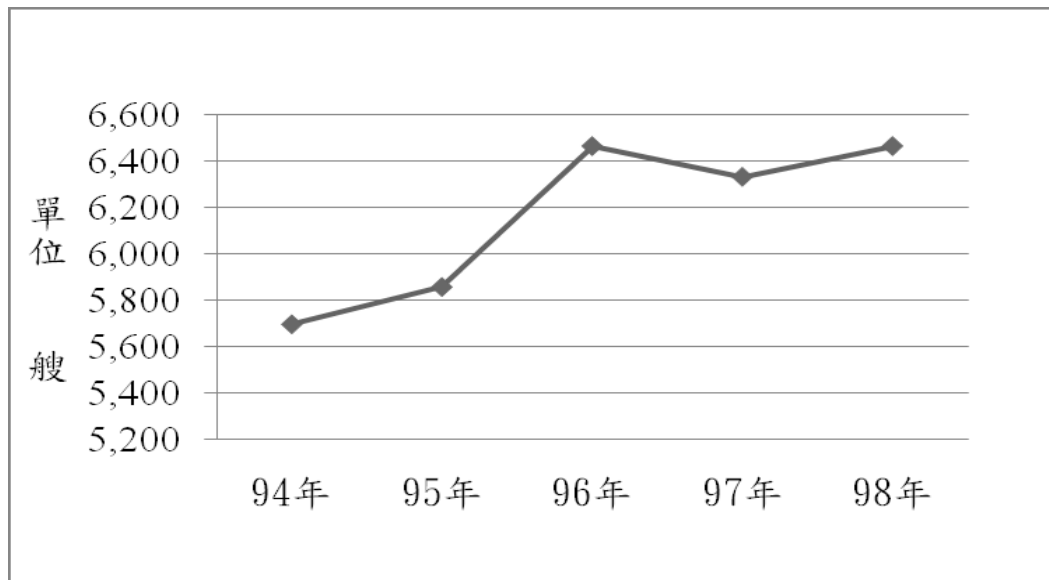


圖 5-2 臺中港 94-98 年船舶艘次變化

表 5-5 臺中港 94-98 年度艘數、總噸位、貨物量

年度	總艘數	總噸位 (噸)	貨物進出口量 (噸)	貨物吞吐量 (噸)	國內運輸量 (噸)
94 年	5,697	73,283,975	44,951,479	50,256,797	5,305,318
95 年	5,857	76,659,076	48,210,079	53,401,514	5,191,435
96 年	6,462	77,722,824	47,072,337	52,438,020	5,365,683
97 年	6,330	75,329,849	47,072,337	52,438,020	5,365,683
98 年	6,462	86,253,547	48,715,674	52,746,527	4,030,853
總計	30,808	389,249,271	236,021,906	261,280,878	25,258,972

1. 船舶運輸型態分析

船舶航運型態依據貿易需求具有相當廣泛之變化，Barry et al. (2008)建議在規劃壓艙水管理及作業程序時，應將船舶之航運運輸型態列入考慮。航運運輸型態分析是以國外地區航線為主，透過航運型態的分析來探討 94-98 年間臺中港進港船舶種類、船旗國、前一港來源地區之分布情形，將所分析出之臺中港進港船舶航運特性變化，作為臺中港壓艙水導入外來種研究之依據以及後續擬定臺中港壓艙水管理辦法之參考。

一般船舶大多分為貨櫃輪、雜貨輪、礦砂輪、散裝輪、冷藏輪、油輪、液化瓦斯輪、水泥船、客輪...等(廖，2006；林等人，2006)。將船舶種類依照貨物裝載運送與裝卸特性可分成八大類，第一類為以貨櫃裝載貨物之全貨櫃及半貨櫃輪；第二類為可運載乘客與貨物兼具的客貨兩用輪；對於沿用已久之傳統式捆裝貨貨船、裝載件貨或鋼鐵材的貨船為第三類雜貨輪；第四類船舶為裝載散貨之散裝輪，裝載之貨物大多為煤炭、穀類、糖類、礦砂、鹽類、水泥、肥料...等；第五類為運送油品之油輪；載客專用之郵輪為第六類；冷凍船與汽車船則歸類於特殊用途為第七類；最後一類為其他船舶，此類船舶不排除壓艙水或僅於內港使用之船舶，包含工作船(工作平臺船、工作駁船)、拖船、交通船、受泥船、挖泥船、拋石船、載重平臺船、測量船、遊艇、錨船、打樁船、佈管線船、載客小船...等。表 5-6 為臺中港 94-98 年進港船舶種類分類表。

在艘次方面，由表 5-7 可知，以雜貨輪、散裝輪與油輪居多，客貨兩用船與郵輪只有個位數進出港，圖 5-5 顯示各種船型進艘次變化不大，其中雜貨輪進港艘次逐年下降，貨櫃輪較其他船型波動較大，其他船型呈現穩定趨勢(圖 5-3)。

表 5-6 臺中港 94-98 年進港船舶種類

船舶種類	裝載貨物
貨櫃船	全貨櫃、半貨櫃、貨櫃
客貨船	旅客、貨物
雜貨船	鋼鐵、機件、件貨
散裝船	煤炭、穀物、鹽類、礦砂、礦石、水泥、糖類
油輪	原油、油品、化學品、化學液體、固體化學
郵輪	客輪
特殊船舶	冷凍船、汽車船
其它	工作船、拖船、交通船、受泥船、挖泥船、拋石船、載重平臺船、測量船、遊艇、錨船、打樁船、佈管線船、載客小船

表 5-7 臺中港 94-98 年進港船舶艘數變化

船型	94 年	95 年	96 年	97 年	98 年	總計
貨櫃船	169	174	188	200	192	923
客貨船	1	4	1	2	5	13
雜貨船	481	504	433	440	362	2,220
散裝船	316	331	355	363	357	1,722
油輪	395	382	407	351	383	1,918
郵輪	0	1	2	2	6	11
特殊船舶	26	29	20	18	25	118
其它	31	39	86	116	92	364
總計	1,419	1,464	1,492	1,492	1,422	7,289

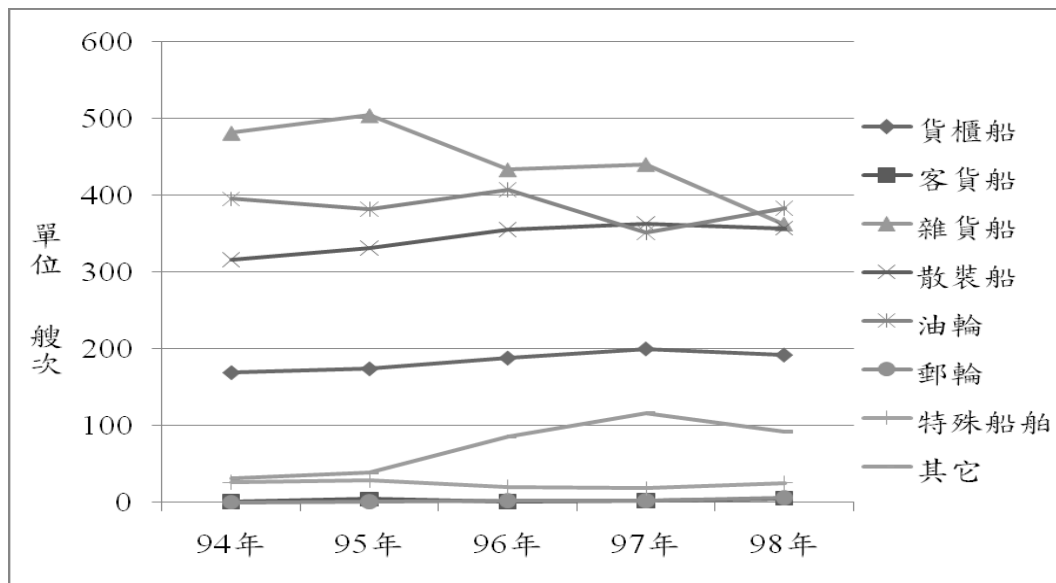


圖 5-3 臺中港 94-98 年進港船舶艘次變化

2. 船舶船旗國

船舶所屬之船籍(船舶國籍)可由該船所懸掛之船旗來辨別(水上千之，2000)，若船籍登記為巴拿馬籍之船舶，應於船舶航行時懸掛巴拿馬國家之國旗，則該船舶之所屬船旗國為巴拿馬，亦即其所擁有之國籍為巴拿馬籍。對於船旗國在船舶管理上之規定，聯合國海洋法公約第 211 條第 2 款規定和第 217 條第 1 款規定分別提及船旗國應制定法律和規章以防止、減少和控制該國船舶對海洋環境的污染，且各船旗國應確保懸掛其國旗或在登記於其國內之船舶，皆能遵守船舶海洋污染防治之相關法規，船旗國應使法律和規章有效執行，不論違反行為在何處發生。

船舶船籍的選擇因素主要在於經濟方面的考量，例如：較低的稅賦徵收、節省營運成本，所謂的權宜船籍(Flag of Convenience, FOC)便是航商為了因應航業高度競爭，圖謀生存發展而將船舶向他國登記入籍，除繳納少許登記費用及常年噸位稅(Annual Fee)外，不須繳納營業稅捐，也較少會顧及船旗國對船舶航行安全及污染標準的檢查，僱用船員標準亦較不受限制，使營運的成本大為降低(林，1997)。換言之，船舶所有人之所以選擇將船舶登記為權宜船籍的原因可分成(水上千之，2000)：

- (1) 稅金方面：因稅金的徵收較低，而成為船舶所有人獲得經濟利益的主要來源以及選擇登記為權宜船籍的主要原因。
- (2) 安全方面：關於船舶之相關安全規定，在達不到自身國家之檢驗標準時，可能就會選擇將船舶登記至權宜船籍之國家，逃避相關之船舶安全檢驗，讓船舶得以航行運作。
- (3) 營運費：權宜船籍的船員費用與營運費用較低，也是船舶所有人選擇登記之一主要原因。
- (4) 國家沒有嚴格的限制：對於權宜船籍之船旗國與船舶兩者之間的關聯較不嚴謹，對於船舶之控管也比較不嚴格。

由此可知，權宜船籍的使用是船舶所有人提高自身競爭優勢的方式，促使其藉由船籍的選擇，獲得較大的營運經濟利益，且因船旗國對於控管船舶方面較為鬆散，故懸掛船旗國國旗之船舶可規避因船舶污染所帶來之責任與賠償。

至 2010 年 12 月 2 日為止，國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)網站上列出許多船旗國國家已簽署壓艙水公約或是已有擬定國內壓艙水管理辦法，如表 5-8 所示，有阿爾巴尼亞、吉里巴斯、馬爾地夫、墨西哥、聖克里斯多福、獅子山和西班牙...等 27 個國家，佔全球商船總噸位的 25.32%，是已簽署壓艙水公約之國家；阿根廷、喬治亞、以色列和立陶宛等 15 個國家則是已在該國家內擬定壓艙水管理辦法。

表 5-9 為全球權宜船籍之國家，表中列出臺中港進港船舶懸掛船旗國國旗艘次百分比。臺中港在 94-98 年間進港船舶以懸掛巴拿馬旗之船舶占 51%居冠，其次為南韓與新加坡占 8.2%，第三為賴比瑞亞占 7.3%。

目前全球前十大船旗國各別為巴拿馬、賴比瑞亞、巴哈馬、馬紹爾群島、馬爾他、塞浦路斯、英屬地曼島、安地卡及巴布達、百慕達和聖文森，截至 2008 年之統計，上述之前五大船旗國同時為權宜船旗國，這些國家同時也掌控了船旗註冊的市場，登記於這國家的船舶噸位由 27.9 百萬載重噸增加至 431.9 百萬載重噸(UNCTAD,2008)，在此前十大船旗國中，居於領先的巴拿馬以 252.6 百萬載重噸佔全世界 22.6%，其次是賴比瑞亞 117.5 百萬載重噸，佔 10.5%。

94-98 各年臺中港進港船舶前十大主要國籍別進港艘次如表 5-10 所示。主要是由巴拿馬、賴比瑞亞、中華民國、新加坡等所組成，其他國家尚有聖文森、貝里斯...等 30 多個國家。此五年間，其中以懸掛巴拿馬旗之船舶年年居冠，第二位則由中華民國與南韓交替，對照表 5-9 船舶變化艘次可知，前十大船旗國總計部分，每年占臺中港總進港艘次的 70%~80%。由圖 5-4~5-5 可知，臺中港進港船舶中以懸掛巴拿馬國旗船舶之艘數居冠占 51%，其次為國輪占 9%，新加坡以及南韓居於第三各占 8%，賴比瑞亞位居第四占 7%。

表 5-8 簽署壓艙水公約或擬定壓艙水管理辦法之國家

國家	簽署壓艙水公約	國內壓艙水管理辦法
阿爾巴尼亞 Albania	●	
安地卡 Antigua & Barbuda	●	
阿根廷 Argentina		●
澳洲 Australia		●
巴貝多 Barbados	●	
巴西 Brazil	●	●
加拿大 Canada	●	●
智利 Chile		●
庫克群島 Cook Islands	●	
克羅埃西亞 Croatia	●	
埃及 Egypt	●	
法國 France	●	
喬治亞 Georgia		●
以色列 Isreal		●
肯亞 Kenya	●	
吉里巴斯 Kiribati	●	
立陶宛 Lithuania		●
賴比瑞亞 Liberia	●	
馬來西亞 Malaysia	●	
馬爾地夫 Maldives	●	
馬紹爾群島 Marshall Islands	●	
茅利塔尼菲 Mauritania		
墨西哥 Mexico	●	
荷蘭 Netherlands	●	
紐西蘭 New Zealand		●
奈及利亞 Nigeria	●	
挪威 Norway	●	
巴拿馬 Panama		●
秘魯 Peru		●
南韓 Republic of Korea	●	
聖克里斯多福 Saint Kitts and Nevis	●	
獅子山 Sierra Leone	●	
南非 South Africa	●	
西班牙 Spain	●	
瑞典 Sweden	●	
敘利亞 Syrian Arab Republic	●	
吐窪魯 Tuvalu	●	
美國 United States		●
英國 United Kingdom		●
俄羅斯 Russia		●
烏克蘭 Ukraine		●

註：●代表有簽署壓艙水公約的國家或已有國內壓艙水管理辦法
資料來源：IMO,2010；Lloyd's, 2009

表 5-9 全球權宜船旗之國家

洲別	國名	英文	占臺中港 進港艘次(%)
美洲	宏都拉斯	Honduras	0%
	巴拿馬	Panama	51%
	百慕達	Bermuda	0%
	巴哈馬	Bahamas	3%
	巴貝多	Barbados	0%
	貝里斯	Belize	3.4%
	開曼群島	Cayman Islands(UK)	1.2%
	哥斯大黎加	Costa Rica	0%
	馬紹爾群島	Marshall Islands	3.5%
	牙買加	Jamaica	0%
	聖文森	St. Vincent	2%
	荷屬安地列斯	Netherlands Antilles	0%
	海地	Haiti	0%
	玻利維亞	Bolivia	0.1%
	安地卡及巴布達	Antigua and Barbuda	1.8%
亞洲	柬埔寨	Cambodia	3.3%
	蒙古	Mongolia	0.4%
	斯里蘭卡	Sri Lanka	0%
	南韓	South Korea	8.2%
	喬治亞	Georgia	0.4%
	緬甸	Myanmar (Burma)	0.1%
	新加坡	Singapore	8.2%
	黎巴嫩	Lebanon	0%
歐洲	德國國際船舶	German International Ship	0.3%
	法國國際船舶	French International Ship	0.1%
	直布羅陀	Gibraltar(UK)	0%
	馬爾他	Malta	2.6%
	塞浦路斯	Cyprus	2.9%
非洲	索馬利亞	Somalia	0%
	摩洛哥	Morocco	0%
	模里西斯	Mauritius	0%
	赤道幾內亞共和國	The Republic of Equatorial Guinea	0%
	賴比瑞亞	Republic of Liberia	7.3%
	科摩洛	Comoros	0%
	聖多美普林西比民主共和國	Democratic Republic of Sao Tome and Principe	0%
大洋洲	東加	Kingdom of Tonga	0%
	萬納度	Vanuatu	0.2%

資料來源：International Transport Workers' Federation, ITF

表 5-10 臺中港入港船舶艘次前十大船旗國家

國家	94 年	95 年	96 年	97 年	98 年	總計
臺灣	71	94	114	93	89	461
巴拿馬	558	558	525	543	538	2,722
巴哈馬	30	32	32	35	30	159
貝里斯	40	53	38	27	21	179
柬埔寨	22	44	50	45	16	177
馬紹爾群島	16	30	43	47	51	187
南韓	80	99	93	92	71	435
塞浦路斯	35	28	31	33	29	156
新加坡	73	76	104	89	97	439
賴比瑞亞	62	78	78	88	81	387
總計	987	1,092	1,108	1,092	1,023	5,302

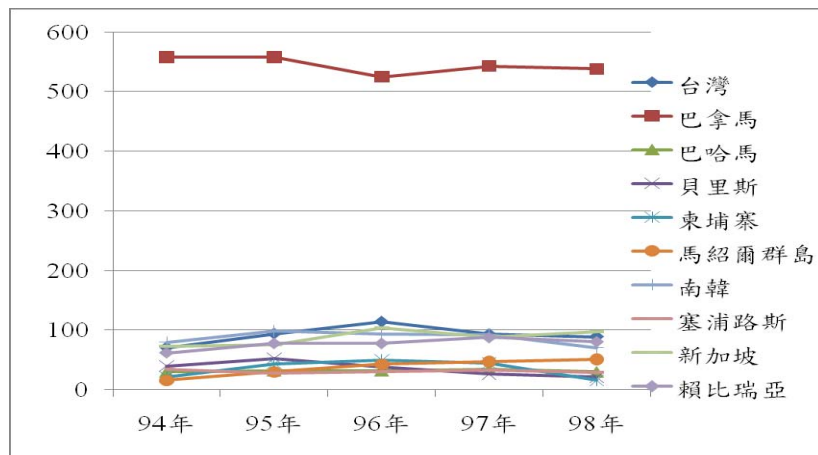


圖 5-4 臺中港 94-98 年進港船舶各船旗國艘次

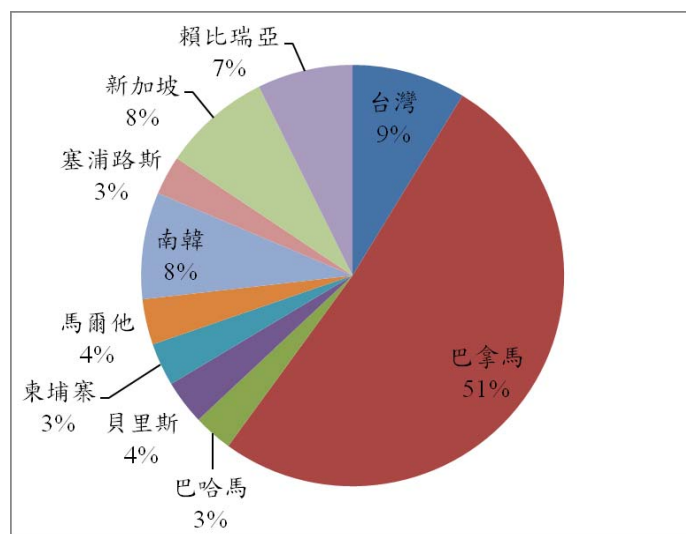


圖 5-5 臺中港 94-98 年進港船舶各船旗國比例

3. 進港船舶前一港所屬國家地區

船舶裝載壓艙水之地區依航線或各國貨物貿易型態而所不同，列出前一港地區主要是為了確認裝載壓艙水來源區域以及辨識壓艙水內所含生物體之來源。由臺中港務局的數據統計整理成表 5-11 得知，可看出臺中港進港船舶的前一港大多來自於亞洲地區占 95%，詳細內容見圖 5-6~5-7。表 5-13 顯示臺中港進港船舶上一港多為臺灣港口，但經由整理船型與航線發現，進臺中港的船舶大多為貨櫃船與散裝船，加上本國貿易型態得知，我國須從國外進口工業原料與用品，故可推測其上上港大多為國外，故不可輕忽此種船舶排放壓艙水所帶來之風險。

臺中港 94-98 各年進港船舶之來源前一港所屬主要國家百分比，如圖 5-8~5-12，顯示 94 年度至 98 年度臺中港進港船舶上一港來自各洲的比例，94-98 年進港船舶主要前一港所屬區域以亞洲區為主，其次為紐澳地區占 2.3%。若以一般航行於平穩海面時之情況而言，參考目前國內海運公司航期表後，估算由亞洲地區航行至臺中港之航程天數約在一星期以內；澳洲地區之航程在 2-3 星期中；非洲地區航程約 4 星期；經蘇伊士運河航行至歐洲地區航程約為 4-5 星期；美洲地區之航程則大約為 4 星期左右。由於全球航運交錯相連之供需互相牽制，亦即所有單一船舶之運輸航線並非只停靠於單一固定港口，在其航線內通常依據貨物營運之供需來規劃其停靠港口，因此船舶所屬航線僅能用以研判其可能之航行途徑及主要行經洲區別，而非其所停靠之港口洲區。

日本從 1990 年開始至 2006 年都曾發生過藻華事件；韓國為 1999 年至 2006 年間有藻華事件發生；中國大陸與香港則是有害藻華頻傳之地區；菲律賓所發生之 *Prorocentrum minimum* 藻華事件主要造成箱網養殖漁業資源的崩盤；其中南中國海區域之國家如中國珠江河口、菲律賓馬尼拉灣、越南亦是藻華事件頻傳(Wang et al., 2008)，由於上述這些地區跟臺中港往來密切，因此要注意壓艙水從這些地區所帶來的藻華或其他生物上的危害。目前國際上所通過之壓艙水管理程序多要求船長要避免在藻華地區汲取壓艙水(IMO, 1997)，因此對於船舶壓艙水導入如有害藻華或毒藻等外來種生物具有較高度之防範意識。

表 5-11 臺中港 94-98 年進港船舶上一港國家累積表

國家	94 年	95 年	96 年	97 年	98 年	94-98 年總計
臺灣	2,309	1,603	736	639	674	5,961
日本	1095	1,403	1487	1313	1108	6,406
韓國	593	540	715	801	543	3,192
港澳	473	871	1420	1422	987	5,173
印尼	308	412	340	352	314	1,726
印度	3	5	9	9	1	27
越南	165	139	143	110	149	706
泰國	101	82	98	97	165	543
菲律賓	62	45	33	64	81	285
新加坡	66	73	96	96	127	458
馬來西亞	144	77	109	98	91	519
緬甸	0	1	3	4	5	13
巴基斯坦	0	0	0	0	1	1
汶萊	0	0	0	0	1	1
中國	69	223	292	391	1485	2,460
孟加拉	0	1	0	0	0	1
柬埔寨	0	0	44	50	46	140
伊朗	0	0	0	0	0	0
斯里蘭卡	1	0	0	0	0	1
紐澳	80	112	142	151	162	647
中東	11	10	31	45	30	127
非洲	7	11	12	8	18	56
中南美	27	19	23	27	36	132
北美	56	62	78	64	76	336
東歐	51	60	66	32	46	255
西歐	15	11	4	4	5	39
南太平洋小島	6	5	7	9	2	29
總計艘數	5,642	5,765	5,888	5,786	6,153	29,234

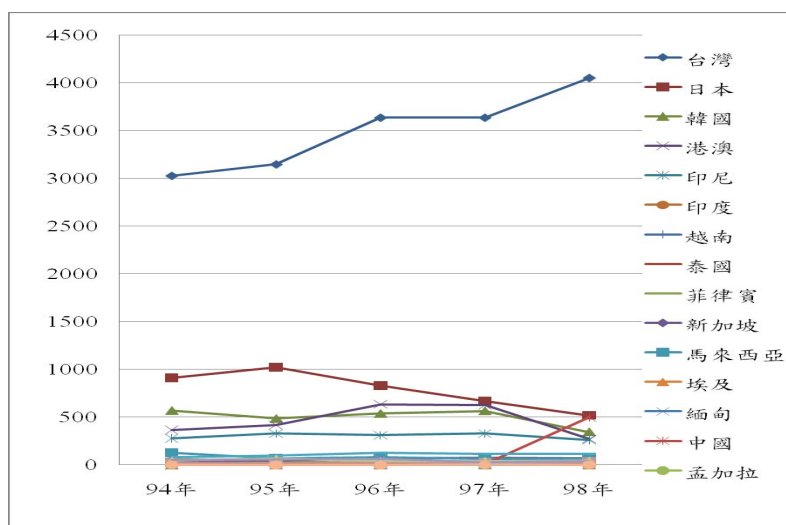


圖 5-6 臺中港 94-98 年進港船舶前一港所屬來源

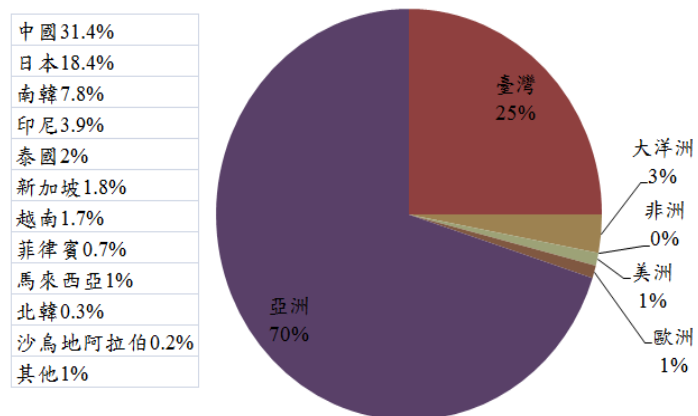


圖 5-7 臺中港 94-98 年進港船舶前一港所屬來源

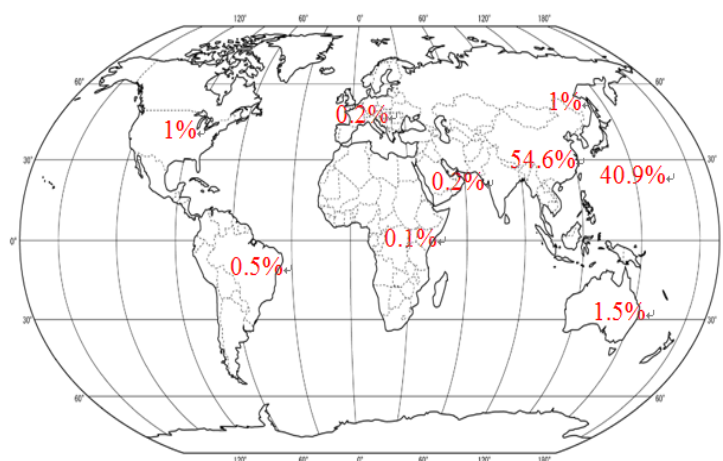


圖 5-8 94 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比

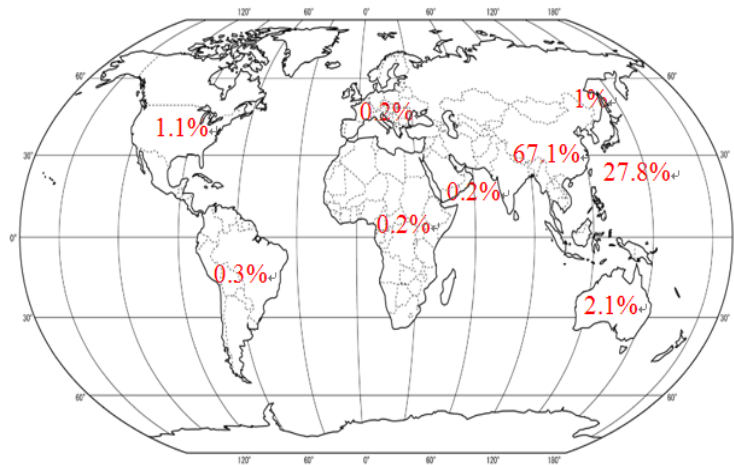


圖 5-9 95 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比

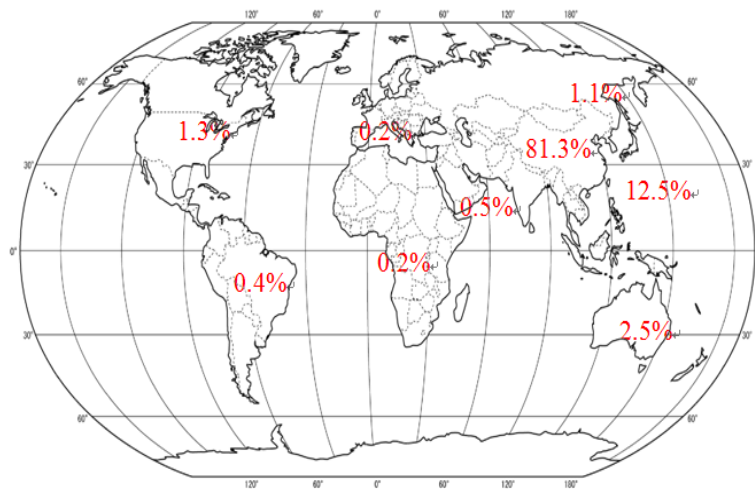


圖 5-10 96 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比

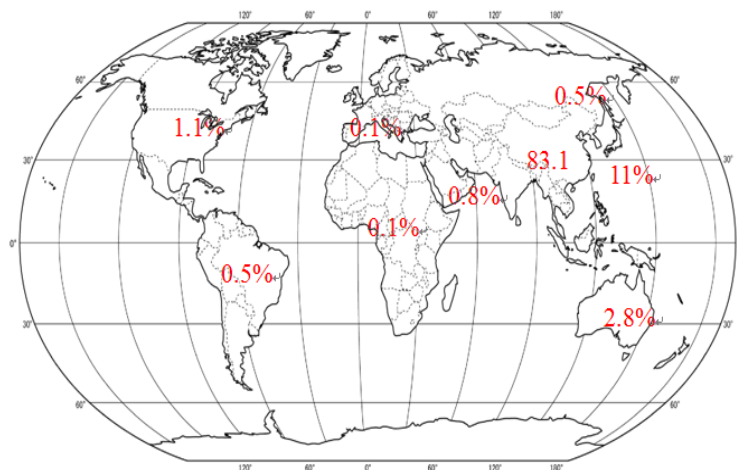


圖 5-11 97 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比

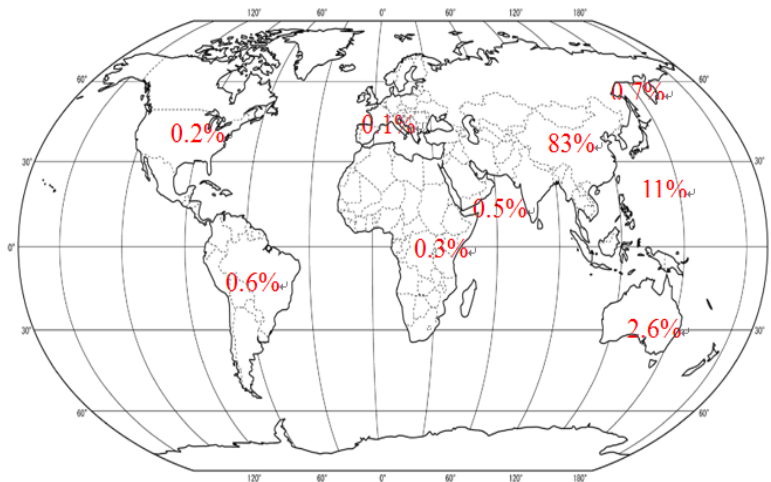


圖 5-12 98 年臺中港進港船舶前一港所屬區域累計百分比

5.2.2 壓艙水排放估算

一般壓艙水排放量可透過港口之航運運輸資料來估算，Gollasch (1995)之歐洲模式(European Form)是依據各港口之航運特性，填入相關之船舶資料，搭配港口進出口貿易型態如進出口貨量百分比和國內外船舶艘數百分比，計算外來壓艙水排放量，所需資料包含年度進港艘次、各類船舶之載重噸、最大壓艙水櫃容量、最大壓艙水櫃容量佔載重噸之百分比。

壓艙水的量除了跟船舶型態有關係之外，另外也跟進出港的比例、國內外運輸比例有關係。使用臺中港之航運資料修改相關係數與關係式，其所需資料包含各船舶種類之進港艘次、船舶載重噸位、平均最大壓艙水櫃容量佔載重噸之百分比、單一船舶之最大壓艙水櫃容量、年度最大壓艙水櫃容量、各船種之貨物量百分比、壓艙水裝載量佔載重噸之百分比。

表 5-12 列出 94 年度至 98 年度臺中港壓艙水排放量之估算。94 年臺中港船舶在港區內壓艙水量估算為 827,668 噸，其中貨櫃船進港艘數最多，船上的壓艙水載有 422,180 噸。95 年臺中港船舶在港區內壓艙水量估算為 794,076 噸，其中貨櫃船進港艘次有 2,521 艘，船上的壓艙水量最多有 447,567 噸，雖然雜貨船進港艘次位居第二，有 1,114 艘，但其船上壓艙水量位居第三。96 年壓艙水量估算為 893,659 噸，其中

貨櫃船進港艘數為 2,551 艘，壓艙水載有 530,910 噸，而以 217,168 噸油輪居次。97 年壓艙水量估算總共為 795,772 噸，以進港艘數有 2,549 艘的貨櫃船載有 481,957 噸壓艙水居冠。98 年壓艙水量估算共有 852,681 噸，進港艘數有 3,057 艘的貨櫃船載有 568,323 噸為最多，進港艘數 897 艘的油輪第二載有 191,362 噸。

臺中港 94-98 年的船舶壓艙水總量排放變化圖示圖 5-13 所示，總量來說以 96 年為最多，95 年為最少。在此計算表格內把船舶分成七個種類計算。圖 5-14 顯示，各類船種每年的壓艙水排放量，各類船舶的壓艙水排放變化量除了貨櫃船有逐年上升的趨勢外，其他種船型的壓艙水排放量每年皆穩定。

船舶所裝載之壓艙水來源遍佈世界各地，隨著進出口貿易型態差異，船舶種類、進港次數或頻率、壓艙水來源港以及排放量之間具有多元變化，針對港口航運型態進行分析，可知該港口之航運運輸型態特性為何，進港之主要船舶種類變化與辨別壓艙水裝載之來源港皆有助於壓艙水侵襲風險之評估與掌控。值得注意的是，目前全球壓艙水運輸量或排放量多為粗估值，除非港口管理單位有專職管理壓艙水量之單位，記錄實際進出港船舶壓艙水排放或汲取量，否則，單靠任何一種估算方式，都無法掌握確切壓艙水量變化，例如，雖可透過貨物進出口量差距推算出壓艙水排放量，但貨櫃船所裝卸的進出口貨櫃量差只能估計排放在港口的壓艙水量，卻是無法由此得知在此階段的壓艙水交換量(Niimi, 2004)。因此，對於臺中港壓艙水運輸量之估算，仍有賴於建立一套壓艙水申報系統，協助取得相關之壓艙水交換量。

表 5-12 臺中港歷年壓艙水排放量估算

年份	船型	年度進港船舶艘次		船舶載重噸 (平均)	每船最大壓艙水櫃容量 (平均)	最大壓艙水櫃容量占載噸之百分比 (平均)	年度最大壓艙水櫃容量 載重噸	船上壓艙水體積 載重噸%	船上壓艙水 載重噸
		船舶數	%						
94 年	貨櫃船	2,414	42.8	17,771	4,940	27.8	11,925,976	3.5	422,180
	客貨船	28	0.5	353	36	10.1	998	3.5	35
	雜貨船	1,082	19.2	17,823	5,169	29.0	5,592,652	3.5	197,980
	散裝船	1,016	18.0	45,648	1,735	3.8	1,762,389	0.1	2,080
	油輪	1,047	18.6	15,181	5,010	33.0	5,245,187	3.9	204,248
	郵輪	0	0.0	0	0	5.9	0	1.2	0
	特殊船舶	50	0.9	20,031	1,943	9.7	97,150	1.2	1,146
	總計	5,637	100.0	827,668					
95 年	貨櫃船	2,521	43.8	18,673	5,191	27.8	13,086,748	3.4	447,567
	客貨船	15	0.3	626	63	10.1	948	3.4	32
	雜貨船	1,114	19.3	14,855	4,308	29.0	4,798,969	3.4	164,125
	散裝船	1,034	17.9	49,418	1,878	3.8	1,941,731	0.1	2,214
	油輪	1,010	0.0	14,293	4,717	33.0	4,763,857	3.8	179,216
	郵輪	25	0.4	318	19	5.9	469	1.1	5
	特殊船舶	43	0.7	19,275	1,870	9.7	80,395	1.1	916
	總計	5,762	100.0	794,076					
96 年	貨櫃船	2,551	44.5	19,649	5,462	27.8	13,934,639	3.8	530,910
	客貨船	2	0.0	353	36	10.1	71	3.8	3
	雜貨船	1,022	17.8	12,581	3,648	29.0	3,728,757	3.8	142,066
	散裝船	1,057	18.4	43,745	1,662	3.8	1,757,062	0.1	2,231
	油輪	1,034	18.0	15,186	5,011	33.0	5,181,767	4.2	217,168
	郵輪	32	0.6	375	22	5.9	708	1.3	9
	特殊船舶	38	0.7	27,195	2,638	9.7	100,241	1.3	1,273
	總計	5,736	100.0	893,659					
97 年	貨櫃船	2,549	44.8	19,714	5,480	27.8	13,969,774	3.5	481,957
	客貨船	6	0.1	291	29	10.1	176	3.5	6
	雜貨船	1,098	19.3	10,825	3,139	29.0	3,446,897	3.5	118,918
	散裝船	978	17.2	43,414	1,650	3.8	1,613,438	0.1	1,855
	油輪	903	15.9	16,862	5,564	33.0	5,024,707	3.8	190,688
	郵輪	29	0.5	308	18	5.9	527	1.2	6
	特殊船舶	123	2.2	17,070	1,656	9.7	203,662	1.2	2,342
	總計	5,686	100.0	795,772					
98 年	貨櫃船	3,057	50.0	18,576	5,164	27.8	15,786,739	3.6	568,323
	客貨船	20	0.3	261	26	10.1	527	3.6	19
	雜貨船	993	16.2	8,635	2,504	29.0	2,486,621	3.6	89,518
	散裝船	1,080	17.7	42,412	1,612	3.8	1,740,588	0.1	2,089
	油輪	897	14.7	16,325	5,387	33.0	4,832,363	4.0	191,362
	郵輪	37	0.6	16,298	962	5.9	35,579	1.2	427
	特殊船舶	31	0.5	26,169	2,538	9.7	78,690	1.2	944
	總計	6,115	100.0	852,681					

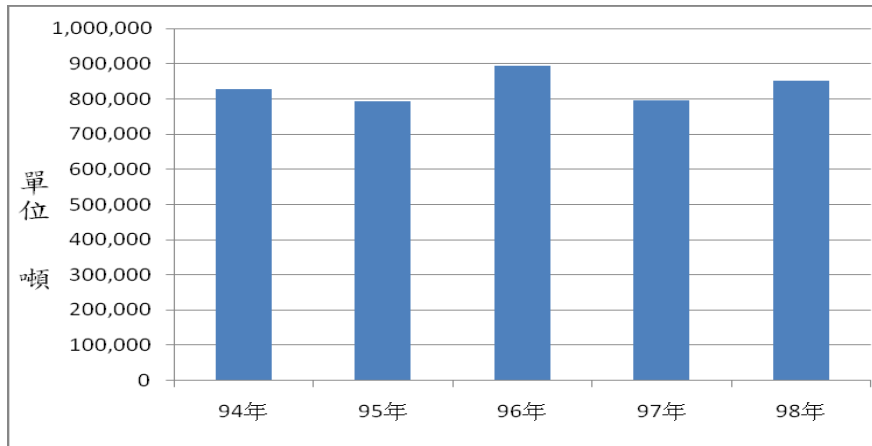


圖 5-13 臺中港 94-98 年壓艙水年度排放量變化

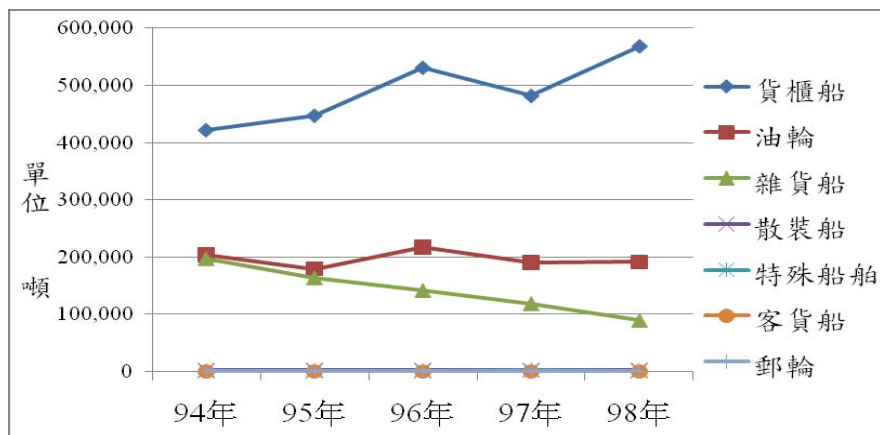


圖 5-14 臺中港 94-98 年各船舶壓艙水年度排放量變化

5.2.3 船舶之生物風險評估

表 5-13 列出五年間造訪臺中港船舶之上一港，港口風險程度由極度危險往下排列，共列出 288 個港口。極度風險區之港口共有 78 個，其中以日本居冠，共有 51 個港口被列為極度風險區。在高風險區中，共有 84 個港口，此類港口大多位於亞洲。位於中度風險區的港口有 96 個，此類港口則遍佈世界五大洲，但仍有一半以上為亞洲區之港口。而有 30 個港口位於低度風險區內，位於此區之港口國大多位於歐、美、非三大洲，因臺中港位於亞洲區之緣故，所以亞洲區之港口僅占少數。在 288 個港口中，亞洲港口總共 201 個，佔 70%，由此可知與臺中港貿易頻繁之港口大多位於亞洲區內。其次位於高風險區之港口除亞洲外，造訪臺中港第二高之國家為澳洲，有 12 個港口位於此區，表示除亞洲區外，管理單位亦應嚴加管控上一港為澳洲港口之船舶。

雖然中國位於極度風險區內之港口數屈居於日本之下，但由表 5-14 得知，上一港造訪次數排名前五名國家中，第一名為中國香港，此單一港口造訪臺中港次數，明顯高於其他國家之港口，其次為日本東京，造訪次數為居第三的是中國廈門有 399 次，第四為日本神戶港有 379 次，韓國釜山以 335 次位居第五。雖然日本位於極度風險區港口數為中國的三倍，但前五名港口中的東京與神戶兩港總造訪次數為 855 次，中國的香港與廈門共有 5,511 次，為日本的六倍之多。在高度風險區港口中，上海造訪次數 1,052 次，遠勝於位居第二名、造訪臺中港 390 次的四日市，而胡志明市與木浦兩港造訪次數則皆在 300 次以上，位居第五的紐塞港次數為 170 次，第六為造訪 114 次的江蘇，其餘位於高度危險區之港口造訪次數在此五年間並未達到 100 次。

在中度風險區中，上一港造訪次數前五名分別為日本石垣、新加坡、泰國曼谷、柬埔寨希哈諾貝克、印尼雅加達。上一港為日本石垣港船舶的造訪次數高達 1,135 次，其次為上一港為新加坡的船舶造訪 443 次，第三為造訪 421 次的曼谷，上一港為希哈諾貝克有 138 次，排名第五的雅加達有 110 次。在低度風險區內，造訪次數最多者為印尼的三馬琳達五年間造訪 305 次，其於港口在五年間未超過 50 次。圖 5-15 依各國港口之數據整理出積分九，極度危險之港口與造訪次數前十名之港口。此極度風險港口排名前十名之港口依序為：中國香港、日本東京、中國廈門、日本神戶、南韓釜山、日本大阪、南韓蔚山、南韓光陽、中國福建、日本博多。未來應針對這些港口來的船舶應加以管理。

但是此風險評估法仍有其缺失，因為評估因素太少，僅限於溫度、鹽度與航程，並未通盤考慮所有相關影響因素，例如壓艙水量，上一港是否為船旗國、是否有發生過藻華事件等，且此方法以大環境為考慮，對於某些物種可能擁有廣鹽、廣溫特性，對於此方法中的溫鹽限制無法有效了解某些物種對該港口的風險高低。

雖此法只考慮大環境因子，但我國仍可藉由此法，了解各港口風險高低，針對來自各個風險區港口之船舶，依風險程度不同進行不同

程度的查驗，雖然中國港口位於極度風險區之港口數遠少於日本，但由上述分析可知造訪次數較日本頻繁，特別是上一港或出發港為香港的船舶應加以追蹤檢查，以降低外來物種入侵之危害。

表 5-13 各國港口風險區分

風險等級	極度風險區(9)	高風險區(8)	中度風險區(6-7)	低風險區(<5)
	總港口數	總港口數	總港口數	總港口數
	78	84	96	30
國家及港口數	中國 18 日本 51 南韓 9	中國 22 日本 14 南韓 5 印尼 1 俄羅斯 3 紐西蘭 1 馬來西亞 3 越南 5 澳洲 12 菲律賓 13 北韓 4	中國 3 日本 8 南韓 1 印尼 13 俄羅斯 2 紐西蘭 5 馬來西亞 10 越南 1 澳洲 10 巴西 4 泰國 6 沙烏地阿拉伯 1 埃及 1 美國 9 巴布亞新幾內亞 1 巴基斯坦 1 以色列 2 尼加拉瓜 1 伊朗 1 印度 4 西班牙 1 阿根廷 1 南非 5 柬埔寨 1 科威特 1 智利 1 新加坡 1 獅子山 1	印尼 3 俄羅斯 1 巴西 1 泰國 1 沙烏地阿拉伯 3 埃及 1 美國 8 巴拿馬 2 加拿大 1 印度 1 阿拉伯聯合大公國 1 孟加拉 1 英國 1 烏克蘭 1 荷蘭 1 斐濟 1 德國 1 緬甸 1

表 5-14 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度是 否吻合	溫度 風險 程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程風 險程度	總風 險程 度	五年間 造訪 次數
中國	Changshu 江蘇常熟	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.02	488	3	8	1
中國	Changzhou 江蘇常州	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.12	539	3	8	2
中國	Chiwan 廣東赤灣	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.82	392	3	9	8
中國	Dairen=Dalian 遼寧大連	30.9	Y	3	WPB	N	2	1.89	905	3	8	1
中國	Dandong 遼寧丹東	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.01	965	3	8	1
中國	Fuzhou=Foochow 福建福州	22.1-30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.26	124	3	9	253
中國	Guangzhou=Canton 廣東廣州	33-34	Y	3	TJR	Y	3	0.92	440	3	9	93
中國	HONG KONG 香港	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.77	371	3	9	5112
中國	Huangpu 廣東黃埔	33-34	Y	3	TJR	Y	3	0.92	440	3	9	2
中國	Huizhou=Huiyang 廣東惠州(惠陽)	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.73	350	3	9	1
中國	Humen 廣東虎門	33-34	Y	3	TJR	Y	3	0.91	437	3	9	1
中國	Jiangyin 江蘇江陰	22.1-30.9	Y	3	WPB	N	2	1.10	529	3	8	10
中國	Jiaxing 浙江嘉興	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.62	778	3	8	2
中國	Lanshan 山東嵐山	14.4	N	1	WPB	N	2	1.46	703	3	6	6
中國	Lianyungang 江蘇連雲港	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.43	685	3	8	95
中國	MACAO 澳門	33-34	Y	3	TJR	Y	3	0.85	406	3	9	3
中國	Maoming 廣東茂名	30.9	Y	3	IWP	N	2	1.15	551	3	8	1
中國	Nantong 江蘇南通	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.04	501	3	8	11
中國	Ningbo 浙江寧波	30.9	Y	3	WPB	N	2	0.77	371	3	8	44
中國	Ningde 福建寧德	33-34	Y	3	TJR	Y	3	0.34	164	3	9	52
中國	QINDAO 青島	30.9	Y	3	WPB	N	2	1.53	732	3	8	14
中國	Qinhuangdao=Chingwantao 河北秦皇島	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.10	1010	3	8	2
中國	Quanzhou 福建泉州	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.24	113	3	9	5
中國	Rizhao=Shijiu 山東日照(石臼)	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.50	721	3	8	6

表 5-14(續 1) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度是否吻合	鹽度風險程度	溫度	溫度是否吻合	溫度風險程度	航程(天數)	航程(哩)	航程風險程度	總風險程度	五年間造訪次數
中國	Shanghai 上海	33-34	Y	3	WPB	N	2	0.94	450	3	8	1052
中國	Shantou=Swatow 廣東汕頭	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.45	214	3	9	11
中國	Shekou 廣東蛇口	33-34	Y	3	TJR	Y	3	0.82	392	3	9	79
中國	Taicang 江蘇太倉	33-34	Y	3	WPB	N	2	0.98	472	3	8	114
中國	Taizhou 江蘇泰州	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.50	1200	3	8	5
中國	Taizhou 浙江台州	33-34	Y	3	WPB	N	2	0.64	305	3	8	2
中國	Tianjin=Tientsin 天津	14.4-24.6	N	1	WPB	N	2	2.19	1053	3	6	22
中國	Wenzhou 浙江溫州	29.8	Y	3	TJR	Y	3	0.49	235	3	9	1
中國	Xiamen=Amoy 福建廈門	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.28	134	3	9	399
中國	Xiuyu 福建秀嶼	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.21	101	3	9	1
中國	Yangpu 海南洋浦	33-34	Y	3	IWP	N	2	1.45	694	3	8	2
中國	Yangzhou 江蘇楊州	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.26	603	3	8	2
中國	Yantai=Chefoo 山東煙臺	28.5	Y	3	WPB	N	2	1.81	867	3	8	1
中國	Yantian 廣東鹽田	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.76	366	3	9	7
中國	Zhangjiagang 江蘇張家港	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.09	523	3	8	12
中國	Zhangzhou 福建漳州	33-34	Y	3	TJR	Y	3	0.28	134	3	9	48
中國	Zhanjiang=Tsamkong 廣東湛江	33-34	N	1	IWP	N	2	1.23	589	3	6	1
中國	Zhenjiang=Chinkiang 江蘇鎮江	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.22	584	3	8	3
中國	Zhoushan=Majistan(MAJ)浙江舟山	30.9	Y	3	TJR	Y	3	0.74	357	3	9	1
中國	Zhuhai 廣東珠海	33-34	Y	3	TJR	Y	3	0.85	406	3	9	4
巴布亞新幾內亞	VANIMO 溫尼眸	35-36	N	2	IWP	N	2	4.29	2059	2	6	1
巴西	PARANAGUA, PR 巴拉瓜	18.2-24.6	N	1	ESA	Y	3	21.96	10542	1	5	3
巴西	RIO DE JANEIRO, RJ 里約熱內盧	30.9	Y	3	ESA	Y	3	21.56	10351	1	7	2
巴西	RIO GRANDE 里約格蘭(大河口)	36-37	N	2	ESA	Y	3	21.99	10553	1	6	5

表 5-14(續 2) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度是 否吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程風 險程度	總風 險程度	五年間 造訪 次數
巴西	SANTOS, SP 聖多斯	17-20.8	N	1	ESA	Y	3	21.84	10482	1	5	12
巴西	TUBARAO 土拔瑞歐	30.9-34.8	Y	3	WAR	N	2	21.41	10279	1	6	4
巴拿馬	BALBOA 巴波亞	22.1	N	1	WAR	N	2	18.35	8809	1	4	3
巴拿馬	CRISTOBAL 克里斯多波	22.1	N	1	WAR	N	2	18.44	8850	1	4	3
巴基斯坦	KARACHI 喀拉蚩	30.9	Y	3	IWP	N	2	9.51	4567	2	7	1
日本	ABOSHI 阿布希	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.08	999	3	9	1
日本	AKITA, AKITA 秋田	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.83	1357	3	8	4
日本	AMAGASAKI, HYOGO 尼崎	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.10	1006	3	9	5
日本	ATSUMI, AICHI 冠見	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.24	1074	3	9	1
日本	CHIBA 千葉	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.56	1229	3	9	93
日本	CHITA 知多	23.4-30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.29	1097	3	9	20
日本	FUKUYAMA, HIROSHIMA 福山	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.98	951	3	9	26
日本	FUNABASHI, CHIBA 船橋	34-35	Y	3	TJR	Y	3	2.56	1231	3	9	20
日本	HAKATA, FUKUOKA 博多	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.50	722	3	9	238
日本	HAKODATE 函館	30.9	Y	3	WPB	N	2	3.03	1453	2	7	1
日本	HIBIKINADA 喜必	34-35	Y	3	TJR	Y	3	1.66	798	3	9	13
日本	HIGASHIHARIMA, HYOGO 東播島	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.08	1000	3	9	4
日本	HIKARI 光	34-35	Y	3	TJR	Y	3	1.79	857	3	9	1
日本	HIROHATA 喜岩哈達	34-35	Y	3	TJR	Y	3	2.09	1002	3	9	2
日本	HIROSHIMA 廣島	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.87	899	3	9	1
日本	ISHIGAKI, OKINAWA 石垣	34-35	N	2	IWP	N	2	0.53	255	3	7	1135
日本	ISHIKARI 石狩	34-35	N	2	WPB	N	2	3.25	1562	2	6	4
日本	ISHINOMAKI, MIYAGI 石卷	34-35	N	2	WPB	N	2	2.98	1429	3	7	3
日本	KAGOGAWA 加古川	34-35	Y	3	TJR	Y	3	2.08	1000	3	9	12

表 5-14(續 3) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程風 險程度	總風 險程 度	五年間 造訪 次數
日本	KAGOSHIMA, KAGOSHIMA 鹿兒島	34-35	Y	3	TJR	Y	3	1.47	706	3	9	1
日本	KAINAN, WAKAYAMA 開南	34-35	Y	3	TJR	Y	3	2.03	976	3	9	5
日本	KAMAISHI, IWATE 斧石	34-35	N	2	WPB	N	2	3.10	1489	2	6	3
日本	KANDA, FUKUOKA 神田	34-35	Y	3	TJR	Y	3	1.71	819	3	9	8
日本	KANOKAWA 卡漏卡瓦	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.87	899	3	9	1
日本	KAOSHIMA 卡歐西瑪	34-35	N	2	WPB	N	2	2.71	1301	3	7	6
日本	KASHIMA, IBARAGI 卡西瑪	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.67	1281	3	8	77
日本	KAWASAKI, KANAGAWA 川崎	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.54	1218	3	9	83
日本	KIMITSU 齊米粗	24.6-30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.51	1206	3	9	12
日本	KINUURA 齊努阿	11.8	N	1	TJR	Y	3	2.25	1081	3	7	17
日本	KOBE, HYOGO 神戶	22.1-32.2	Y	3	TJR	Y	3	2.10	1007	3	9	379
日本	KOKURA, FUKUOKA 小倉	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.67	803	3	9	32
日本	KUDAMATSU, YAMAGUCHI 下松	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.77	851	3	9	1
日本	KURE, HIROSHIMA 吳港	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.87	898	3	9	5
日本	KUROSAKI, FUKUOKA 墨崎	34-35	N	2	WPB	N	2	1.64	787	3	7	8
日本	KOBE, HYOGO 神戶	22.1-32.2	Y	3	TJR	Y	3	2.10	1007	3	9	379
日本	KOKURA, FUKUOKA 小倉	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.67	803	3	9	32
日本	KUDAMATSU, YAMAGUCHI 下松	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.77	851	3	9	1
日本	KURE, HIROSHIMA 吳港	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.87	898	3	9	5
日本	KUROSAKI, FUKUOKA 墨崎	34-35	N	2	WPB	N	2	1.64	787	3	7	8
日本	KOBE, HYOGO 神戶	22.1-32.2	Y	3	TJR	Y	3	2.10	1007	3	9	379
日本	KOKURA, FUKUOKA 小倉	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.67	803	3	9	32
日本	KUDAMATSU, YAMAGUCHI 下松	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.77	851	3	9	1
日本	KURE, HIROSHIMA 吳港	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.87	898	3	9	5
日本	KUROSAKI, FUKUOKA 墨崎	34-35	N	2	WPB	N	2	1.64	787	3	7	8
日本	KOBE, HYOGO 神戶	22.1-32.2	Y	3	TJR	Y	3	2.10	1007	3	9	379
日本	KOKURA, FUKUOKA 小倉	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.67	803	3	9	32
日本	KUDAMATSU, YAMAGUCHI 下松	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.77	851	3	9	1
日本	KURE, HIROSHIMA 吳港	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.87	898	3	9	5
日本	KUROSAKI, FUKUOKA 墨崎	34-35	N	2	WPB	N	2	1.64	787	3	7	8
日本	KOBE, HYOGO 神戶	22.1-32.2	Y	3	TJR	Y	3	2.10	1007	3	9	379
日本	KOKURA, FUKUOKA 小倉	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.67	803	3	9	32
日本	KUDAMATSU, YAMAGUCHI 下松	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.77	851	3	9	1
日本	KURE, HIROSHIMA 吳港	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.87	898	3	9	5

表 5-14(續 4) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程風 險程度	總風 險程 度	五年間 造訪次 數
日本	NAKAGUSUKU, OKINAWA 中城	34-35	N	2	IWP	N	2	0.90	430	3	7	3
日本	NAMIKATA 愛媛	25.9	N	2	TJR	Y	3	1.90	910	3	8	2
日本	NANAO, ISHIKAWA 七尾港	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.53	1214	3	8	1
日本	NAOETSU KO 直江津港	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.56	1227	3	8	1
日本	NAOSHIMA 內西瑪	34-35	Y	3	TJR	Y	3	2.01	963	3	9	1
日本	NIIGATA, NIIGATA 新潟	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.61	1254	3	8	2
日本	NIIHAMA, EHIME 新居濱港	34-35	Y	3	TJR	Y	3	1.94	931	3	9	207
日本	OITA 大分港	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.79	858	3	9	68
日本	OKINAWA, OKINAWA 琉球	34-35	Y	3	TJR	Y	3	0.97	465	3	9	12
日本	OSAKA, OSAKA 大阪	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.09	1005	3	9	292
日本	SAGANOSEKI, OITA 佐賀關	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.75	842	3	9	2
日本	SAKAI, OSAKA 界(阪井)	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.09	1004	3	9	161
日本	SAKAIDE, KAGAWA 撒給地, 色凱迪	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.00	960	3	9	3
日本	SAKAIMINATO, TOTTORI 撒給米那投	34-35	N	2	WPB	N	2	2.00	962	3	7	1
日本	SAKAISENBOKU, OSAKA 森布庫	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.09	1004	3	9	5
日本	SENDAI, KAGOSHIMA 川內	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.95	1416	3	9	1
日本	SHIMIZU 清水	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.38	1142	3	9	2
日本	SHIMOTSU 下津	14.4	N	1	TJR	Y	3	2.03	976	3	7	27
日本	SHIOGAMA 鶴釜	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.96	1421	3	8	1
日本	TAKASAGO 高砂	34-35	Y	3	TJR	Y	3	2.08	1000	3	9	2
日本	TOBATA 拖寶塔, FUKUOKA 戶油	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.66	798	3	9	4
日本	TOKUYAMA, YAMAGUCHI 德山	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.76	847	3	9	35
日本	TOKYO, TOKYO 東京	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.56	1227	3	9	476
日本	TOMAKOMAI, HOKKAIDO 占小牧	30.9	Y	3	WPB	N	2	3.18	1528	2	7	4

表 5-14(續 5) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程 風險 程度	總風 險程 度	五年間 造訪 次數
日本	TOYOHASHI, AICHI 托約哈西	34-35	Y	3	TJR	Y	3	2.26	1086	3	9	5
日本	TSUKUMI, OITA 津久見	34-35	Y	3	TJR	Y	3	1.75	840	3	9	34
日本	WAKAMATSU, FUKUOKA 若松港	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.68	804	3	9	2
日本	YOKKAICHI, MIE 四日市	24.6	N	2	TJR	Y	3	2.29	1098	3	8	390
日本	YOKOHAMA, KANAGAWA 橫濱	30.9	Y	3	TJR	Y	3	2.53	1216	3	9	48
以色列	ASHDOD 阿悉達	29.8	Y	3	IWP	N	2	14.18	6808	1	6	1
以色列	HAIFA 海法	30.9	Y	3	IWP	N	2	14.28	6853	1	6	1
加拿大	VANCOUVER, BC 溫哥華	11.8-20.8	N	1	EPB	N	2	10.99	5274	1	4	20
北韓	CHUNG JIN 昌進, 清津	33-34	Y	3	WPB	N	2	2.51	1203	3	8	2
北韓	HUNGNAM 興南	33-34	Y	3	WPB	N	2	2.29	1097	3	8	2
北韓	NAMPO 南浦	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.90	913	3	8	61
北韓	SONG RIM 松林	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.97	945	3	8	1
尼加拉瓜	CORINTO 科林沱	30.9	Y	3	EPR	N	2	17.06	8189	1	6	1
伊朗	BANDAR ABBAS 阿巴市	32.2	Y	3	IWP	N	2	10.54	5060	1	6	12
印尼	BALIKPAPAN, KALIMANTAN 巴里巴板	11.8-24.6	N	1	IWP	N	2	3.34	1603	2	5	45
印尼	BANDJARMASIN 馬辰	34-35	Y	3	IWP	N	2	4.29	2057	2	7	24
印尼	BELAWAN, SUMATRA 百拉萬	18.2	N	1	IWP	N	2	4.26	2046	2	5	1
印尼	BITUNG 百通	30.9	Y	3	IWP	N	2	3.03	1453	2	7	3
印尼	BONTANG 邦坦	27.2	N	2	IWP	N	2	3.15	1513	2	6	41
印尼	JAKARTA, JAVA 雅加達	30.9	Y	3	IWP	N	2	4.16	1998	2	7	110
印尼	LHOKSUMAWA, SUMATRA 洛克沙馬尾	34-35	Y	3	IWP	N	2	4.52	2171	2	7	2
印尼	MAKASSAR 錫江	30.9	Y	3	IWP	N	2	3.71	1779	2	7	1
印尼	MERAK, JAVA 莫瑞克	34-35	Y	3	IWP	N	2	4.17	2002	2	7	1
印尼	PANJANG 潘將	30.9	Y	3	IWP	N	2	4.27	2050	2	7	12

表 5-14(續 6) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程風 險程度	總風 險程 度	五年間 造訪 次數
印尼	PONTIANAK KALIMANTAN 坤甸	18.2	N	1	IWP	N	2	3.38	1623	2	5	1
印尼	SAMARANG 三寶瓏	34-35	Y	3	IWP	N	2	4.27	2049	2	7	4
印尼	SAMARINDA, KALIMANTAN 三馬林達	5.4-15.7	N	1	IWP	N	2	3.26	1567	2	5	305
印尼	SAMPIT, KALIMANTAN 三皮特	34-35	Y	3	IWP	N	2	4.05	1945	2	7	1
印尼	SURABAYA, JAVA 泗水	25.9	N	2	IWP	N	2	4.24	2033	2	6	296
印尼	TANJUNG 坦匠	34-35	Y	3	IWP	N	2	4.10	1966	2	7	48
印尼	TARAKAN, KALIMANTAN 打拉根	30.9	Y	3	IWP	N	2	2.72	1305	3	8	42
印度	CALCUTTA 加爾各答	35-36	N	1	IWP	N	2	7.76	3726	2	5	1
印度	KAKINADA 卡基納達	30.9	Y	3	IWP	N	2	6.86	3294	2	7	1
印度	KANDLA 肯德拉	30.9	Y	3	IWP	N	2	9.30	4466	2	7	9
印度	MANGALORE (NEW MANGALORE) 曼加羅	30.9	Y	3	IWP	N	2	7.76	3724	2	7	1
印度	TUTICORIN 土底科林	30.9	Y	3	IWP	N	2	7.06	3387	2	7	1
西班牙	BILBAO 畢爾包	30.9	Y	3	EAB	N	2	19.66	9436	1	6	1
沙烏地阿拉伯	AJMAN 阿茲曼	36-37	N	2	IWP	N	2	10.62	5099	1	5	14
沙烏地阿拉伯	DAMMAN 達曼	37.3	N	1	IWP	N	2	11.15	5353	1	4	1
沙烏地阿拉伯	JEDDAH 吉達	37.3	N	1	IWP	N	2	12.46	5981	1	4	1
沙烏地阿拉伯	JUBAIL 約拜耳	30.9-37.3	Y	3	IWP	N	2	11.21	5382	1	6	40
孟加拉	CHITTAGONG 吉大港	34	Y	3	IWP	N	2	6.62	3176	2	7	1
阿拉伯聯合大公國	JEBEL ALI 傑貝阿里	39.3	N	1	IWP	N	2	10.69	5130	1	4	1
阿根廷	BAHIA BLANCA 布蘭加	30.9	Y	3	SSA	N	2	21.87	10498	1	6	4
俄羅斯	MAGADANSKY, PORT 馬加丹	30.9	Y	3	WPB	N	2	5.23	2510	2	7	1
俄羅斯	MURMANSK 莫曼斯克	14.4	N	1	WPB	N	2	23.77	11411	1	4	1
俄羅斯	NAKHODKA 那科卡	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.67	1280	3	8	69
俄羅斯	VANINO 瓦里諾	24.6-30.9	Y	3	WPB	N	2	3.69	1770	2	7	3

表 5-14(續 7) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程 風險 程度	總風 險程 度	五年間 造訪 次數
俄羅斯	VLADIVOSTOK 海參威	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.68	1287	3	8	94
俄羅斯	VOSTOCHNY PORT 東方大港	30.9	Y	3	WPB	N	2	2.67	1280	3	8	46
南非	CAPETOWN 開普敦	30.9	Y	3	SZAR	Y	3	14.82	7114	1	7	2
南非	DURBAN 德班	30.9	Y	3	SZAR	Y	3	13.41	6437	1	7	6
南非	EAST LONDON 東倫敦	30.9	Y	3	SZAR	Y	3	13.76	6606	1	7	1
南非	RICHARDS BAY 理查灣	30.9	Y	3	SZAR	Y	3	13.30	6385	1	7	15
南非	SALDANHA BAY 沙丹亞灣	30.9	Y	3	SZAR	Y	3	14.93	7164	1	7	1
南韓	BUSAN 釜山	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.65	791	3	9	335
南韓	DAESAN 大山	30.9	Y	3	WPB	N	2	1.71	823	3	8	29
南韓	INCHEUN 仁川	27.2-30.9	Y	3	WPB	N	2	1.77	850	3	8	44
南韓	JEJU(CHEJU)濟州	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.35	648	3	9	213
南韓	KUNSAN 群山	24.6	N	1	WPB	N	2	1.60	770	3	6	70
南韓	KWANGYANG 光陽	33-34	Y	3	TJR	Y	3	1.56	747	3	9	278
南韓	MASAN 馬山	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.63	783	3	9	8
南韓	MOKPO 木浦	33-34	Y	3	WPB	N	2	1.46	702	3	8	338
南韓	ONSAN 昂三	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.70	816	3	9	17
南韓	POHANG 浦項	30.9	Y	3	WPB	N	2	1.79	861	3	8	11
南韓	PYEONGTAEK 派揚提克	30.9	Y	3	WPB	N	2	1.69	812	3	8	23
南韓	SAMCHONPO 三千浦	33-34	Y	3	TJR	Y	3	1.56	749	3	9	1
南韓	ULSAN 蔚山	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.70	816	3	9	289
南韓	WANDO 文度	33-34	Y	3	TJR	Y	3	1.44	690	3	9	135
南韓	YEOSU 麗水, YOSU 麗水(麗川)	30.9	Y	3	TJR	Y	3	1.53	733	3	9	88
柬埔寨	SIHANOUKVILLE 希哈諾克貝	30.9	Y	3	IWP	N	2	3.03	1452	2	7	138
科威特	KUWAIT 科威特	36	N	2	IWP	N	2	11.48	5509	1	5	1

表 5-14(續 8) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程 風險 程度	總 風 險 度	五年間 造訪 次數
美國	ALBANY 奧巴尼	36-37	N	2	WAB	N	2	22.81	10947	1	5	1
美國	DESTREHAN, LA 新奧爾良	19.5	N	1	CL	Y	3	21.34	10244	1	5	5
美國	GUAM 關島	35-36	N	2	IWP	N	2	3.27	1570	2	6	2
美國	HOUSTON, TX 休士頓	37	N	1	CL	Y	3	21.58	10359	1	5	3
美國	KALAMA 克拉馬	34	N	2	EPB	N	2	11.22	5385	1	5	26
美國	LONG BEACH, CA 長堤	30.9	Y	3	CAR	Y	3	12.47	5986	1	7	7
美國	LONGVIEW 長景	34	N	2	EPB	N	2	11.20	5378	1	5	1
美國	LOS ANGELES, CA 洛杉磯	30.9	Y	3	CAR	Y	3	12.47	5986	1	7	6
美國	LOUISIANA 路易西安那	19.5	N	1	CL	Y	3	21.15	10151	1	5	6
美國	OAKLAND, CA 奧克蘭	30.9	Y	3	EPB	N	2	11.84	5681	1	6	13
美國	PORTLAND, ME 波特蘭	30.9	Y	3	WAB	N	2	22.96	11022	1	6	45
美國	SAN FRANCISCO, CA 舊金山	18.2	N	1	EPB	N	2	11.83	5678	1	4	3
美國	SEATTLE, WN 西雅圖	30.9	Y	3	EPB	N	2	11.14	5348	1	6	47
美國	TACOMA, WN 他科馬	30.9	Y	3	EPB	N	2	11.18	5368	1	6	51
美國	TEXAS CITY, TX 德克薩士	37	N	1	CL	Y	3	21.55	10342	1	5	3
美國	VANCOUVER, WN 溫哥華	34	N	2	EPB	N	2	11.28	5414	1	5	20
美國	WESTWEGO, LA 威斯衛哥	37	N	2	CL	Y	3	21.31	10229	1	6	4
英國	NEWCASTLE UPON TYNE 紐塞	18.2	N	1	EAB	N	2	21.02	10090	1	4	1
埃及	PORT SAID 塞得港	30.9	Y	3	MAR	Y	3	13.93	6688	1	7	1
埃及	SUEZ 蘇伊士	37.3	N	1	IWP	N	2	13.75	6601	1	4	4
泰國	BANGKOK 曼谷	33-34	Y	3	IWP	N	2	3.53	1696	2	7	421
泰國	KHANOM 卡怒	33-34	Y	3	IWP	N	2	3.35	1607	2	7	18
泰國	KOSICHANG 柯西嘉	33-34	Y	3	IWP	N	2	3.56	1710	2	7	7
泰國	LAEM CHABANG 利加班	33-34	Y	3	IWP	N	2	3.53	1692	2	7	9

表 5-14(續 9) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程風 險程度	總風 險程 度	五年間 造訪 次數
泰國	MAP TA PHUT 美普他發	30.9	Y	3	IWP	N	2	3.39	1626	2	7	6
泰國	RAYONG 羅勇	30.9	Y	3	IWP	N	2	3.38	1620	2	7	2
泰國	SRIRACHA 史里拉查	30.9	Y	3	IWP	N	2	3.49	1677	2	7	8
烏克蘭	NIKOLAYEV 廟街	5.4	N	1	MAR	Y	3	16.35	7849	1	5	1
紐西蘭	NAPIER 納皮爾	35	N	2	TSMR	N	2	10.94	5249	1	5	11
紐西蘭	NELSON 納爾遜	30.9	Y	3	TSMR	N	2	10.40	4994	1	6	1
紐西蘭	NEW PLYMOUTH 新普利穆斯	30.9-32.2	Y	3	TSMR	N	2	10.23	4908	1	6	2
紐西蘭	TAURANGA 陶蘭加	30.9	Y	3	SAUR	Y	3	10.26	4925	1	7	42
紐西蘭	WELLINGTON 惠靈頓	30.9	Y	3	TSMR	N	2	10.50	5041	1	6	6
紐西蘭	WHANGAREI 晃加雷灣	35	N	2	SAUR	Y	3	10.00	4798	2	7	1
馬來西亞	BINTULU 平多羅	19.5	N	1	IWP	N	2	2.78	1333	3	6	82
馬來西亞	BUTTERWORTH 北海	30.9	Y	3	IWP	N	2	4.26	2047	2	7	9
馬來西亞	KOTAKINABALU 高打肯南玻	33-34	Y	3	IWP	N	2	2.35	1130	3	8	1
馬來西亞	KUANTAN (TANJONG GELANG) 關丹	30.9	Y	3	IWP	N	2	3.27	1568	2	7	28
馬來西亞	LABUAN HADJIL, SABAH 納閩	18.2	N	1	IWP	N	2	2.46	1181	3	6	6
馬來西亞	LABUAN 拉布安	18.2	N	1	IWP	N	2	2.46	1181	3	6	1
馬來西亞	LAHAD DATU, SABAH 拉哈達土	30.9	Y	3	IWP	N	2	2.53	1214	3	8	16
馬來西亞	MIRI, SARAWAK 米里	24.6-30.9	Y	3	IWP	N	2	2.62	1256	3	8	5
馬來西亞	PASIR GUDANG, JOHOR PORT 巴色古丹	22.1-25.9	N	2	IWP	N	2	3.55	1705	2	6	62
馬來西亞	PENANG (GEORGETOWN), PENUNG 檳城	34	Y	3	IWP	N	2	4.27	2050	2	7	4
馬來西亞	PORT KELANG 克蘭港, 巴生港	24.6-30.9	Y	3	IWP	N	2	3.94	1893	2	7	13
馬來西亞	SANDAKAN, SABAH 山打根	23.4	N	1	IWP	N	2	2.35	1128	3	6	5
馬來西亞	TANJUNG PELEPAS 丹絨柏樂巴斯	33-34	Y	3	IWP	N	2	3.58	1718	2	7	3
荷蘭	ROTTERDAM 鹿特丹	18.2	N	1	EAB	N	2	28.45	13655	1	4	25

表 5-14(續 10) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程風 險程度	總風 險程 度	五年間 造訪 次數
斐濟	LAUTOKA 勞吐克	18.2	N	1	IWP	N	2	8.84	4241	2	5	2
智利	VALPARAISO 法耳巴拉索	30.9	Y	3	WSA	Y	3	20.87	10018	1	7	1
菲律賓	BACOLOD 巴柯洛德	30.9	Y	3	IWP	N	2	1.88	901	3	8	2
菲律賓	BATAAN 八丹半島	30.9	Y	3	IWP	N	2	1.30	622	3	8	6
菲律賓	BATANGAS 八打雁	30.9	Y	3	IWP	N	2	1.40	671	3	8	27
菲律賓	CEBU 宿移	30.9	Y	3	IWP	N	2	1.86	895	3	8	3
菲律賓	DAVAO, MINDANAO 納卯	30.9	Y	3	IWP	N	2	2.56	1228	3	8	16
菲律賓	ILIGAN 伊利干	30.9	Y	3	IWP	N	2	2.12	1019	3	8	5
菲律賓	ILOILO, PANAY 怡郎	33-34	Y	3	IWP	N	2	1.87	899	3	8	5
菲律賓	ISABELA 依沙貝拉	30.9	Y	3	IWP	N	2	2.24	1075	3	8	1
菲律賓	JASAAN/CAGAYAN DE ORO 杰森	33-34	Y	3	IWP	N	2	2.09	1001	3	8	8
菲律賓	MANILA 馬尼拉	30.9	Y	3	IWP	N	2	1.34	642	3	8	92
菲律賓	PULUPANDAN 普魯潘登	33-34	Y	3	IWP	N	2	1.90	912	3	8	3
菲律賓	SUBIC BAY 蘇比克灣	33-34	Y	3	IWP	N	2	1.24	593	3	8	2
菲律賓	TABANGAO 塔班溝	30.9	Y	3	IWP	N	2	1.40	671	3	8	1
越南	CAMPHA 肯伐	33-34	Y	3	IWP	N	2	1.65	791	3	8	7
越南	Cat Lai 卡萊港	33-34	Y	3	IWP	N	2	2.40	1150	3	8	4
越南	DA NANG (TOURANE) 達南, 峴港	30.9	Y	3	IWP	N	2	1.77	849	3	8	8
越南	HAIPHONG 海防	18.2	N	1	IWP	N	2	1.72	824	3	6	22
越南	HOCHIMINH 胡志明, SAIGON 西貢	1.6-30.9	Y	3	IWP	N	2	2.44	1173	3	8	354
越南	VUNG TAU 緬它	30.9	Y	3	IWP	N	2	2.40	1150	3	8	3
新加坡	SINGAPORE 新加坡	30.9	Y	3	IWP	N	2	3.54	1700	2	7	443
獅子山	PORT KEMBIA 肯比亞港	35-37	N	2	EAB	N	2	21.31	10228	1	5	9
德國	BREMERHAVEN 不萊梅港	9.3-13.1	N	1	EAB	N	2	21.11	10133	1	4	1

表 5-14(續 11) 溫鹽風險評估表

國家	港口	鹽度	鹽度 是否 吻合	鹽度風 險程度	溫度	溫度 是否 吻合	溫度風 險程度	航程 (天數)	航程 (哩)	航程風 險程度	總風 險程 度	五年間 造訪 次數
緬甸	RANGOON 仰光	33-34	N	1	IWP	N	2	5.79	2780	2	5	10
澳洲	BRISBANE 布里斯本	35	Y	3	SAUR	Y	3	7.87	3778	2	8	47
澳洲	BUNBURY, WA 本伯利	29.8-30.9	Y	3	SAUR	Y	3	7.34	3522	2	8	4
澳洲	CAPE FLATTERY 開普福類特瑞	35	Y	3	IWP	N	2	6.03	2894	2	7	71
澳洲	DAMPIER 丹皮爾	28.5	Y	3	IWP	N	2	5.63	2701	2	7	16
澳洲	FREMANTLE, WA 佛利曼特	30.9	Y	3	SAUR	Y	3	7.19	3452	2	8	3
澳洲	GEEELONG, VI 基朗	33.5	Y	3	TSMR	N	2	9.87	4737	2	7	2
澳洲	GERALDTON, WA 基拉頓	35	Y	3	SAUR	Y	3	6.77	3248	2	8	3
澳洲	HAYPOINT, QL 海角	35	N	2	SAUR	Y	3	6.95	3338	2	7	1
澳洲	HOBART, TS 荷巴特	30.9	Y	3	TSMR	N	2	34.34	16482	1	6	1
澳洲	KWINANA, WA 卡那那	30.9	Y	3	SAUR	Y	3	7.21	3461	2	8	8
澳洲	MACKAY, QL 美凱	30.9	Y	3	IWP	N	2	6.93	3325	2	7	2
澳洲	MELBOURNE, VI 墨爾本	32.2	Y	3	TSMR	N	2	34.89	16749	1	6	1
澳洲	NEWCASTLE, NS 紐塞(新堡)	30.9	Y	3	SAUR	Y	3	8.62	4139	2	8	170
澳洲	ONSLow, WA 昂斯羅	35	N	2	IWP	N	2	5.81	2789	2	6	303
澳洲	PORT ADELAID 阿德雷得港	30.9	Y	3	SAUR	Y	3	9.88	4744	2	8	1
澳洲	PORT ALMA 奧爾馬港	30.9	Y	3	IWP	N	2	7.31	3509	2	7	2
澳洲	PORT HEDLAND, WA 黑德蘭港	30.9	Y	3	IWP	N	2	5.60	2687	2	7	12
澳洲	PORT KEMBLA, NS 坎布拉港	30.9	Y	3	SAUR	Y	3	8.83	4239	2	8	27
澳洲	SHARK BAY, WA 鯊灣	35	Y	3	SAUR	Y	3	6.50	3120	2	8	20
澳洲	SYDNEY, NS 雪梨	30.9	Y	3	SAUR	Y	3	8.75	4201	2	8	1
澳洲	TOWNSVILLE, QL 敦士維	35	N	2	IWP	N	2	6.59	3165	2	6	23
澳洲	WHYALLA 懷亞力	20.9-34.8	Y	3	SAUR	Y	3	9.95	4775	2	8	1



圖 5-15 極度危險港口分佈圖

第六章 壓艙水處理策略研擬

6.1 公約中與壓艙水處理相關之規範

目前在壓艙水公約之規範中，有壓艙水收受設施指導方針(G5)、壓艙水管理系統認證指導方針(G8 & G9)等三個相關之規範，以下分別說明及討論。

1. 實施標準與期程

在壓艙水公約附則中，對船舶交換壓艙水有詳細規定。D-1 為壓載水置換標準，船舶根據本規則進行的壓載水置換應達到其所載壓載水量的 95%的置換率。對於公約生效前建造的船舶，注入排出壓載艙三倍容積的水量應被視為等效於上述標準。

D-2 壓載水執行標準，如表 6-1 所述，進行壓載水管理的船舶須排放每立方米少於 10 個單位大於 50 微米的存活生物和每毫升少於 10 個單位小於 50 微米但大於 10 微米的存活生物。指標微生物的排放不應超過特定的濃度。指標微生物應包括：每 100 毫升小於 1cfu 的有毒霍亂弧菌（O1 和 O139）或 1g 的浮游動物樣品（濕重）小於 1cfu；每 100 毫升小於 250cfu 的大腸桿菌；每 100 毫升小於 100cfu 的腸道球菌。

表 6-1 IMO 壓艙水達標標準(D-2)

生物體種類	可存活的生物體大小	濃度
所有種類	$\geq 50\mu\text{m}$	$< 10 \text{ 個}/\text{m}^3$
	$\geq 10\mu\text{m}$ 且 $< 50\mu\text{m}$	$< 10 \text{ 個}/\text{cm}^3$
霍亂弧菌（O1 和 O139）	---	$< 1 \text{ CFU}/100\text{ml}$ 或 $1 \text{ CFU}/1\text{g}$ 濕重浮游生物
大腸桿菌	---	$< 250 \text{ CFU}/100\text{ml}$
腸道球菌	---	$< 100 \text{ CFU}/100\text{ml}$

對於現有（2009 年以前建造）的船舶：壓載艙容量在 $1500\text{m}^3 \sim 5000\text{m}^3$ 的船舶，在 2014 年之前，壓艙水管理至少要滿足大洋更換標準（D-1），或壓艙水達標標準（D-2），2014 年開始，應滿足壓艙水達標標準（D-2）。壓載艙容量小於 1500m^3 或大於 5000 m^3 的船舶，在 2016 年以前，壓艙水管理至少要滿足壓艙水大洋更換標準（D-1），或壓艙

水達標標準 (D-2)，2017 年開始，應滿足壓艙水達標標準 (D-2)。對於新建造 (2009 年以後建造) 的船：壓載艙容量小於 5000m³ 的船舶，其壓艙水管理應滿足壓艙水達標標準 (D-2)；2009 至 2012 年開始建造，壓載艙容量大於或等於 5000m³ 的船舶，從 2017 年開始，其壓艙水管理至少能夠滿足壓艙水達標標準 (D-2)。2012 年開始建造壓艙水容量大於或等於 5000 m³ 的船舶，壓艙水管理應滿足壓艙水達標標準 (D-2)。臺中港未來為提升自身競爭力，也須考量建造壓艙水收受設施，以提供未裝設船上壓艙水處理系統的船舶進出。

表 6-2 IMO 壓艙水管理逐步實施期程

建造日期 (C.D.)	壓艙水容積(Cap.)	2009~2010	2011~2014	2015~2016	≥2017
<2009	1500m ³ ~ 5000m ³	D-1 或 D-2		D-2	
	<1500m ³ or >5000m ³	D-1 或 D-2			D-2
≥2009	<5000m ³	D-2			
2009~2012	≥5000m ³	D-1 或 D-2			D-2
≥2012	≥5000m ³	---	D-2		

2. 壓艙水收受設施指導方針(G5)

設《壓艙水公約》指導方針 G5 的目的並非要求締約方需要提供收受設施，而是鼓勵全球統一的收受設施，使船舶不需指定岸上設施。而 G5 要求收受設施需有能力接收船上的壓艙水且不會因此對環境、人類健康、財產、資源造成影響，並提供管線、歧管、其他設備使他船可在港口使用，並可安全錨泊。

除對收受設施規範外，並建立岸上收受設施相關規定，但是壓艙水交換規定並沒有要求船舶直接將壓艙水排放到岸上壓艙水收受設施中，因此，這一項條約並不是強制性的，沒有強制要求港口國必須建立岸上收受設施的規定。因對於大型港口而言，要額外建立管線及大型儲水設備和處理系統恐怕非常困難。現今的船舶也缺乏統一的連接設備，如統一口徑大小的連接管線等，使得排放的壓艙水無法進入收受設施。

在考慮建立壓艙水收受設施時，指導方針 G5 提供許多需要注意的項目：影響處理設施的各國當地立法、場址選擇、可供使用船舶大小及船型、處理壓艙水的方式、採樣及分析壓艙水的技術、帶給環境的好處與成本、技術人員的訓練、設備維護、最大處理能力等。這對於初期建造壓艙水收受設施時所必須做的評估項目提出了全面的方案。

3. 壓艙水管理系統認證指導方針(G8 & G9)

為確保公約中的規定能夠正確的被使用，G8 提供達到 D-2 壓艙水管理系統所需的架構，其中 G8 的主要核心架構如下：確立達到壓艙水管理系統所需的測試及達標要求；確立管理階層決定適合的設計、建設及操作項目去達到壓艙水管理系統的要求，依照管理壓艙水的初始目標，建立不同策略來達到同樣結果；提供統一的設備應用方式去達到規範所要求的項目；提供設備建造指導方針給製造商和船東，以方便讓他們一開始便建造出合乎要求的設備；由管理階層去確立壓艙水管理系統的合適性並且有能力達到 D-2 所訂定的相關標準。

對於設備的規格應包含壓艙水管理系統、壓艙水處理設備、監控設備。在壓艙水管理系統中，不可包含任何有害物質，除非經過適當的儲存與安全的應用且被執行單位接受，在運作過程若有狀況應有警報警示，若有需要維修應記錄以便查閱；對於壓艙水處理設備的規定應符合船上人員安全且不會對環境造成危害，並附有控制系統進行管控，且設置於安全的地方避免因靜電而產生危險；在監控設備方面，控制設備應可自動監控調整，且應可記錄運作過程並保留至少兩年。船上須具備壓艙水設備相關文件，如設備的配置圖、製造商提供的使用手冊、維修方法與應急程序等。簡單的說，此指導方針是針對於管理階層人員進行系統認證的重要查核指標，相較於其他國際海事組織(IMO)型式的認證測試，例如船上油水分離或是廢水處理計畫，壓艙水管理系統認證是一個很繁瑣的過程，包含了大量的人力、時間以及資金。G8 當中要求了有關陸上測試及船上測試至少要達到 6 個月以上，以確保所通過的認證是已經經過嚴密的步驟才取得的。

G9 提供活性物質的使用準則與認證，使用活性物質應符合 D-3：

D-1 和 D-2 的附加要求，根據本公約使用的壓載水管理系統必須由主管機關根據組織制定的指導原則批准。壓載水管理系統在使用化學品或生物殺滅劑、使用有機物或生物方法，或改變壓載水的化學或物理性質，須經組織批准且必須對船舶及其設備和船員安全。在排放壓艙水前須經過毒性測試，以確保排放的壓艙水不會對環境與人員造成傷害。使用病毒或菌類當活性物質需要組織同意並符合 D-3 規定，使用的活性物質需經過持久性、生物累積與毒性分析，且申請者應提供測試後的資料報告給組織，讓組織批准取得認證。

4. 壓艙水及底泥收受設施

岸上廢棄物收受設施的設置，是為了配合國際公約上的相關規範如國際防止船舶污染公約(International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978 relating thereto, MARPOL 73/78)，表示所有港口都應提供相關廢棄物收受設施，讓入港船舶使用，以避免船舶產生的廢棄物污染海洋。臺中港未來也有可能因應《壓艙水公約》開發及建立岸上壓艙水及底泥收受設施，用來接受船舶所產生之壓艙水及底泥，處理設備種類及設備形式十分多元，大致可分成固定式、浮水式、行動式...等。

壓艙水卸載點所設置的位置及使用的方便度也是必須考量的重點，倘若船員在使用岸上收受設施時感到收受設施操作不易，就會降低使用收受設施的意願，因此臺中港須提供方便的使用位置及簡易的操作方法，提升使用意願。影響壓艙水收受設施位置的關鍵因素有：(1)接收的壓艙水及底泥量；(2)排放壓艙水的時間；(3)設施的處理方法及設備規模；(4)使用收受設施的船舶種類以及各項設施操作的要求。

岸上收受設施可以建立在港區中所有可供使用的區域，並且考量到檢疫制度實行時的管理方便性，岸上壓艙水收受設施可以達到相當優良的壓艙水處理品質控管，但在建置費用就高了許多，因為必須建立大口徑管線運送船舶所排放的壓艙水。若在起初建立岸上收受設施時有港區土地的考量，可先利用工作船做為替代方案，一方面使得土地需求降低，一方面減少額外建造管線與壓艙水處理槽的成本。需要

排放壓艙水的船舶可以透過統一管線將壓艙水汲取至旁邊的另一艘工作船暫時存放，再經由工作船上的處理設備或是透過工作船將壓艙水連接至岸上廢水設備進行處理後排放。

在建立壓艙水及底泥收受設施的相關設備前，要考量的因素除港區環境等天然條件外，也須蒐集港中真正會接受到的壓艙水量及底泥量等資訊。藉由真正需要接收與有可能接收的壓艙水及底泥量，用來推測臺中港真正所需建立的收受設施需求大小，以免建設收受設施之後，接收的量大於可處理的量，或是只有少數的壓艙水量，卻有過多的收受設施，造成資源的浪費。因此，若要在臺中港建立收受設施，應先通過(1)船商與收受設施監造管理者的協商討論，共同規劃操作收受設施的方案，以確保將來處理設施及方法符合國際標準；(2)分析對於收受設施的需求，估計出真正需要處理與未來可能增加的壓艙水及底泥量，以及需要暫存的容量等，並依此建造規模大小合適的處理系統，避免處理設施與實際處理量的差距過大，過與不及皆不能達到最佳效益；(3)評估設立的位置及使用的方便度，藉由提供方便的位置與設施，提高船商對處理系統的使用率，也降低非法排放壓艙水的可能，其中，容易影響收受設施位置的原因有：接受到壓艙水的量、完全排放壓艙水的時間、使用的處理方法、取得便利性、管理的安全性、接受服務的船舶種類以及操作的要求等；(4)考慮整體環境及長期監測，針對臺中港區提出整體規劃方案，以符合實際需求外，還能兼顧整體環境美觀，並能建立長期監測系統，遇到技術上問題時才能夠加以解決改善。

此外，建立岸上收受設施的收費制度也是必須探討的問題，這直接影響到未來實際營運時的設備維護支出與港口收入，目前國際上船舶使用岸上收受設施，不同國家港口有不同收費制度，由於費用的收取多寡，對於船商在使用收受設施上也會有潛在性的影響。於是 IMO 列出六種收費制度，如表 6-3 所示，前三種制度在北海地區已經有部分國家正在使用，而後三種方法尚在理論階段，並未有港口國真正執行。

事實上，如美國阿拉斯加的瓦爾迪斯港(Port Valdez)這些主要以原

油做為輸出的港口，自從 1970~80 年代就已經建立了大規模的岸邊收受設施來處理原油艙中受油污染的水體，如引擎、幫浦、及儲存艙中的油污水等，世界上也有許多大型港口都有技術和經濟能力去建造像這樣的處理系統，再加上建造出有關生物處理的系統也不算是全新的挑戰，只需在現有的設施上加以改良，便可以使處理油污水的處理系統再進行壓艙水的回收處理作業。未來最佳化的方式，是希望透過岸上壓艙水收受設施回收壓艙水，處理過後也有機會提供乾淨的壓艙水供船舶使用，藉由裝進處理過且清潔的壓艙水使得船舶不需要再進行大洋交換，便可以省去驗證及管理的時間，也是未來可行的方式。

表 6-3 IMO 所列之六種岸上收受設施收費制度

收費制度	實行地區	特色
直接收費	英國、荷蘭	港口收受設施經由其它合約商引進裝設，船商透過經認證的合約商處理廢棄物，港口對合約商收取認證及檢查的費用，確保使用正確的設備及方法來處理壓艙水，可以避免不正確的棄置過程造成環境傷害。
非特定收費	瑞典	收受設施和處理費用一併包含在港口的稅裡面，港口中所有的船舶都必須要付費，平均下來所收取的費用相對較少。但是缺點是會降低船舶安裝壓艙水處理設備的動力，因為他們進港時付的價格通常都低於自身安裝處理設備所需負擔的成本。
免費	德國	收受設施的經費來源全在港口所在地納稅人身上，使用收受設施可以不用再多負擔成本，讓船舶十分願意將壓艙水交由港口的收受設施來處理。但必須搭配法律及罰鍰，以免船舶因為貪圖一時方法而非法於港口中排放壓艙水。
合約制收費	N/A	依照不同類型的船舶，提供最合適的專屬合約。包括壓艙水量、使用收受設施的頻率等，減少管理上的許多麻煩。
固定收費	N/A	這壓艙水費用與港口基本收費分開計算，變成一種附加費用，但是在進入港口時仍要一起繳納。無論該船舶有沒有真正使用收受設備，全部的船舶都需要支付處理費用，當船商認為既然已經成為固定成本，就會去使用處理設施，希望利用這種方法來減少非法的壓艙水排放。
綜合式收費	N/A	全部的船舶收取固定的基本服務費，當船舶使用到收受設施時還要根據壓艙水量再收取額外的費用。這種制度最主要的目的，就是希望在要另外收費的狀況下，大多的船舶上都可以裝設有船舶壓艙水處理設備。

6.2 壓艙水處理技術

由於全面實行 D-2 生物體排放濃度限制的期限日趨逼近，各國也在開發壓艙水處理技術上面持續進行，以便能將設備安裝在船上處理壓載艙中的水體，一般來說，船舶壓艙水可能因為航行地區的不同，具備了淡水到海水等各種水體的特性，通常壓艙水要比含有高濃度底泥或生物體的水體要清澈一些，但是比乾淨水體污濁，整體來看，需要依壓艙水汲取地區或港口的實際情況而定。

壓載艙的情況也會對壓艙水造成程度上大小不一的影響，尤其是以船艙的腐蝕程度和底泥含量差別最大。有了這些特性，再加上壓載艙周圍環境的影響(海水溫度、日照影響船身溫度等)，使得壓載艙的環境差異十分明顯，也進而影響壓艙水，使得水體變異性相當大。

圖 6-1 為科技壓艙水處理方法，將處理方式分為船上與陸上兩大類，在陸地上可由陸上接收設備接收壓艙水或直接置換乾淨的水。在船上則有多種選擇，可在大洋中交換壓艙水或在船上裝設處理設施，在大洋中交換壓艙水，先淨空壓載艙，再重新打入海水；船上處理設施分為三種，物理分隔、機械處理與化學處理。物理分隔可利用過濾或氣旋來處理壓艙水；機械處理可用紫外線、熱處理、超音波、磁場與電場；化學處理加入可破壞生物的物质、氯、臭氧、過氧化氫、有機化學物質或其他可處理壓艙水內生物之物質等。

而壓艙水的高度變異性會影響各種壓艙水處理方法的效能，必須根據壓艙水的不同特點選擇適當的處理方法。有些處理方法利用海水的化學特性來消滅活性生物；而另一些方法，是利用消毒劑來消滅存在底泥及壓載艙環境中的活性生物。

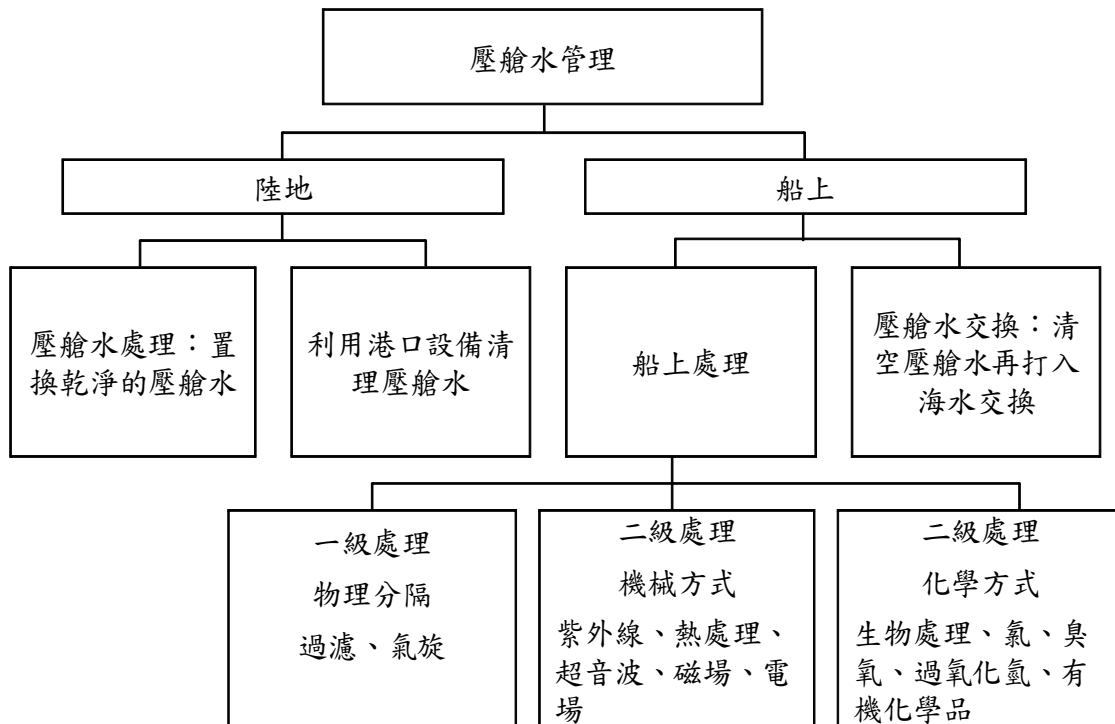


圖 6-1 處理壓艙水之科技方法

6.2.1 物理方式處理

物理方式包含了一般過濾、離心比重分離...等，將水中懸浮物體帶離水體、水中生物體濃度減少，以達排放標準。「過濾」方式包含了沙過濾、篩網過濾、布質濾網過濾、膜過濾、...等。利用濾網口徑 50 μ m 的過濾系統可以去除絕大部分的浮游動物；而濾網口徑 40 μ m 的過濾系統則可處理壓艙水裡中等程度的固體混濁物，也能去除各個生命週期的斑馬貽貝；濾網口徑 20 μ m 還能進一步去除渦鞭毛藻的孢囊，也就是常見發生藻華的藻類。以下分別介紹沙過濾和膜過濾兩套系統。

(1) 沙過濾

沙過濾器的處理是利用物體的萬有引力，此過濾系統用於處理飲用水和廢水。其去除水中雜質有效機制包括：滯留粒徑大於濾網口徑的顆粒；濾器物質產生的吸附和黏附作用；生物降解...等。沙過濾速率約 5m~30m/h，此速率用於處理流量每小時 1000 噸的壓艙水，過濾面積需達 33~200m²。雖然沙過濾器可減少水中粒徑

為 1.5~60 μm 顆粒的數量，但這個範圍裡的顆粒部分仍會通過沙過濾器，而且，過濾的速率越快，濾過效率就越低。

(2)膜過濾

口徑為 0.2 μm 的膜過濾系統可有效去除水中細菌，口徑更小的膜過濾系統則可用於去除水中的病毒。除可去除細菌外，還可去除原生動物的孢囊和卵囊。去除病毒的機理是直接吸附在過濾膜上；病毒先吸附在污染物上形成較大顆粒，使之無法通過過濾膜；病毒吸附在有機物上再被過濾膜濾出。使用膜過濾前需用口徑為 50~200 μm 進行初步過濾，防止產生淤塞和保護過濾膜不被損壞。

另一項機械方式過濾是「離心比重分離」過濾，壓艙水中的許多微生物都具有特定比重，且這些生物比重與水相近，可讓生物懸浮於水中，因此活動能力都很強，在沒有外力影響下，這些微生物不會沉澱，這與許多固體物質及油的特性截然不同。通常來說，渦鞭毛藻的比重會大於 1.05，且大多數大於 1.10，所以利用比重差異，便能透過離心方式將它們從壓艙水中分離。過濾裝置不但操作簡單，且不需大量空間，處理設備可安裝在小規模空間中，使這套設備在船上得以運用。要注意的是因安裝處理設備所增加的人力需求也必須計算在成本當中，如表 6-4 所示。在選擇壓艙水處理方法時，尚須考慮汲取壓艙水時可能帶入大量泥漿、沙土和其他沉澱物。須先去除壓艙水中的沉澱物和較大的固體物質，以便進一步實施物理或化學處理，再按國際標準對壓艙水進行消毒，使壓艙水存活生物體濃度達到符合標準。

表 6-4 一般壓艙水過濾設備之裝設成本

處理設備	成 本
整體基本裝設	US \$ 290 萬
50 μm 濾網	US \$ 240 萬
500 μm 濾網	US \$ 160 萬
2000 μm 濾網	US \$ 90 萬
水處理單位成本	US \$ 117.6 / 1000m ³
整體單位成本	US \$ 1000 / 1000m ³

表 6-5 詳細列出物理處理方法，例如：Dardeau et al. (1995)設計回流過濾法控制斑馬貽貝，可移除大於 70%的微生物；Cangelosi et al. (2001)在使用散裝船 M/V Algonorth 與 M/V Regal Princess 在加拿大做實驗，利用與氣旋分離有效的移除 30%的浮游動物，但無法有效減少細菌和病毒…等等。

表 6-5 物理處理方法

方 法	容 量	受測海洋生物	移除比例	參考文獻
過濾	6 ton h ⁻¹	斑馬貽貝	>70%	Dardeau JR et al., 1995
過濾/氣旋	Regal Princess 輪 199.8 m ³ h ⁻¹	浮游動物	30%	Cangelosi et al., 2001
		浮游植物	30%	
		大型浮游動物	95%	
		小型浮游動物	>90%	
		腰鞭毛蟲	95%	
氣旋/紫外線	312-350 m ³ h ⁻¹	Skeletonama costanum, Thalassio sp., copepodes	無報告	Sutherland et al., 2001
過濾	340 m ³ h ⁻¹	浮游植物 浮游動物	30-90%	Parsons et al., 2000
渦漩	5.7 m ³ h ⁻¹	浮游動物	60%	Waite et al., 2003
過濾	25-75 m ³ h ⁻¹ m ⁻²	浮游植物	50-80%	Tang et al., 2006, 2009
		浮游動物	70-90%	
過濾	530 m ³ h ⁻¹	浮游植物	70%	Veldhuis et al., 2006
過濾/氣旋	2 m ³ h ⁻¹	綠藻	93%	Xiangpeng et al., 2007
氣旋/紫外線	100-3000 m ³ h ⁻¹	Artemia sp.,	13.7%	Nilsen et al., 2001
		Nauplius larva of Artemia	8.3%	

6.2.2 機械處理方法

機械方法為一級處理，處理方法包括了熱處理、紫外線、超音波；利用海水水體的物理特性將壓艙水中活性生物殺死或是分離，達到標準後再行排放。

「熱處理」是目前可以運用於船舶航行時處理壓艙水的唯一方法。船舶航行時會從引擎產生大量的熱能，通常為了使機械操作保持正常，必須使用冷卻系統將廢熱帶出，因此，來自船舶冷卻系統和排氣裝置的廢熱可以免費獲得處理壓艙水時所需的熱能，由於是重新使用廢熱，也就代表其花費的成本較低，且大致上與大洋交換壓艙水的成本較為相近。這種方法可取得 38°C 左右的水溫，並維持數小時，便可以有效地殺滅大多數的冷水生物。然而，由於這樣的水溫與人體體溫較為接近，壓艙水中可能存在的一些特別的耐熱病原體(如沙門桿菌、霍亂弧菌)不受到這種熱處理的影響，會繼續存留在壓艙水當中。另外，還需要對許多生物體進行耐熱測試，以進一步判斷熱處理技術的效果。熱處理技術較不適用於航程短的船舶，這是因為將足夠的熱量傳遞到壓艙水中需要較長時間，另外，這套系統也無法在較冷的水域(如極地水域)中產生功效，因為大量的熱量會透過船艙金屬流失到環境中，使得溫度上升幅度不足以達到消滅生物的效果。

表 6-6 顯示，在熱處理方面，要除去微生物的活性至少溫度要超過 40°C，常用的兩種方法為：使用船上引擎廢熱或鍋爐系統的熱能。將溫度傳達到壓載水艙有以下三種方法：使用引擎冷卻環路連接至壓載水艙、透過冷卻系統反覆壓熱管道、發電機餘熱。但使用熱處理受航程、天氣與能夠使用的廢熱限制，且會增加腐蝕的可能性。Rigby et al. (1999)在散裝船 M/V Iron Whyalla 上進行廢熱處理，可有效處理不必要的微生物。微波較傳統熱處理有較高的熱能，Boldor et al. (2008)設計一個連續微波加熱系統流速每分鐘 1 至 2 公升，能量等級設為 2.5 至 4.5 千瓦，溫度 11.8°C 至 64.9°C，使受測試的種無法活化。

另外，關於熱處理方法可能引起船艙腐蝕的部分，目前已經證實

影響較小，但是使用熱處理系統可能造成船舶結構產生差異性膨脹，進而影響了船舶的承載能力。若將廢氣裝置作為熱源來源，可使熱處理技術的效率提升，而利用管線將熱量再循環利用的方法，雖然對船舶來說，花費的成本較大，舉例來說：增加利用引擎的熱交換器約為 US \$ 94,000，增加船艙管路約每 147,000 噸花費 US \$ 50,000，設計處理速率約為 500 m³/hour 的系統大約花費 US \$ 350,000。

另一物理方法是「紫外線」，紫外線已在海洋保護領域中發揮不少作用，也有不少成熟設備。如設於海岸邊的煉油廠，需使用大量海水處理廢熱，將其生產的廢水排放入海前，須保證廢水中細菌和其他生物體達到 100% 的消滅率，於是，紫外線處理為滿足這種需求的重要方法之一。而紫外線在船舶上的應用則包括消毒飲用水和污水排放前的處理。目前，紫外線已成為最受關注的壓艙水物理處理方法，從短期來看，因為成本較低的特點最有發展空間。一般來說，過濾法和離心比重分離法可去除耐受紫外線強的生物，以及干擾紫外線的沉澱物。

紫外線一般使用波長在 240~280nm 的短波。它可破壞生物體的 DNA 結構，達到消滅活性的效果，而且所有的生物體都或多或少地對紫外線敏感。殺滅生物體所需要的劑量取決於紫外線強度和照射時間的長短，如果劑量使用得當，紫外線可消滅大部分的病毒、細菌、原生動物、真菌、酵母菌和藻類。紫外線並不改變被處理水體的物理性質，因此要比化學處理方法更加環保。對許多僅攜帶少量壓艙水或不需要快速排放壓艙水的船舶，如郵輪、軍艦、貨櫃船、駛上/駛下船...等，這種處理方式是比較可行的。表 6-6 顯示，Montani et al. (1995) 發現暴露在紫外線兩小時後對 *Gymnodinium* sp. 與 *Alexandrium* sp. 與 *Chattonella* sp 的控制下降；Cangelosi et al. (2001) 在 Regal Princess 輪上使用紫外線測試，發現 *Artemia salina* 致死率高達 99.5%，*Dinoflagellate* *Prorocentrum* 與 *Tetraselmis* sp. 致死率分別為 84.7% 與 87.6%。

目前，關於超音波、磁場、電場技術在壓艙水處理中的應用情況的資料還很少，且大都沒有經過廣泛的測試及驗證。它們對壓艙水中的主要目標生物的作用效果也尚未有結果。但是，將這些方法中的一

種或幾種與其他的物理處理方法結合起來，卻可去除一些其他處理方法無法去除的特定生物或病原體。Gavand et al. (2007)使用超音波聲裂法 1.4 千赫茲測試綠藻的三個成長階段，*Dunaliella tertiolecta* 移除率達 40%，幼蟲階段則可 100%移除，成蟲則高達 85%，囊胞移除率僅 60%。

表 6-6 機械處理方法

方 法	容 量	受測海洋生物	移除比例	參考文獻
熱	Iron Whyalla 5 萬噸壓艙水	浮游植物、浮游動物、 細菌	>98%	Rigby et al., 1999
熱	各種測試	浮游植物、浮游動物、 細菌	>99%	Thornton et al., 2003
熱	85Lmin ⁻¹	浮游動物	90%	Meshabi et al., 2007
		細菌	95%	Badia et al, 2008
紫外線	無報告	<i>Gymnodinium</i> sp. <i>Alexandrium</i> sp.	<6%	Montani et al., 1995
		<i>Chattonella</i> sp	<40%	
紫外線	2m ³ h ⁻¹	綠藻	87%	Xiangpeng et al., 2007
紫外線	0.2-1.6 m ³ h ⁻¹	多種類	78-100%	Sassi et al., 2005
紫外線	無報告	浮游植物、浮游動物、 細菌	40-99%	Champ et al., 2002
紫外線/漩	312-350 m ³ h ⁻¹	浮游植物、浮游動物、 細菌	>85%	Sutherland et al., 2003
紫外線	Regal Princess 輪 100-3000m ³ h ⁻¹	<i>Artemia salina</i>	99.5%	Cangelosi et al., 2001
		<i>Dinoflagellate</i> <i>Prorocentrum</i>	84.7%	
		<i>Tetraselmis</i> sp.	87.6%	
紫外線/過濾	Coral Princess 輪 無報告	浮游植物、浮游動物、 細菌	>70%	Wright et al., 2007
微波	1-2Lmin ⁻¹	微藻 (<i>Nannochloropsis oculata</i>) 浮游動物(<i>Artemia</i>) 牡蠣幼體 (<i>Crassostrea virginica</i>)	未活化	Boldor wt al., 2008
微波	1-2Lmin ⁻¹	<i>Artemia</i> cysts	100%	Balasubramanian et al., 2009
超音波	1-2Lmin ⁻¹	<i>Artemia salina</i>	100%	Gavand et al., 2007
		幼蟲階段	100%	
		成蟲	85%	
		囊胞	60%	
		<i>Dunaliella tertiolecta</i>	40%	

6.2.3 化學處理方法

化學方法包括了添加次氯酸鈉、SeaKleen[®]、氫氧自由基、高級氧化技術、添加二氧化氯、臭氧、脫氧或增加二氧化碳、文式脫氧管技術[®]等；添加化學藥劑進入壓載艙中，將活體生物體殺死後再進行壓艙水排放，不再另外進行過濾，因為 D-2 中要求的生物體濃度標準為活性生物體，因此將活體殺死即可達到標準，為了要進一步消滅壓艙水中剩餘的各種活性生物體，對壓艙水進行的化學消毒動作。而使壓艙水適於排放到接收港口而採取的方法中，目前最為可行的化學處理方法是氯、臭氧、及過氧化氫。

「氯」是歷史悠久、確實且有效的水體消毒劑，特別針對飲用水，它可有效地消滅大多數的病毒和細菌。但由於氯能與海水中的多種成分產生複雜的化學反應，特別是與氯化物的反應，使氯對海水的作用沒那麼明顯。另外值得注意的是，二氧化氯對藻類孢囊消滅非常有效，可以作為綜合壓艙水處理方案的一個良好藥劑。水中若要達到 5 mg/L 的低濃度，成本大約是 US \$ 4.9 / 1000 m³，但若是要於壓艙水消毒之用，約要乘以 20~100 倍的濃度，也就是每 40,000 m³ 的壓艙水使用 4~20 噸的氯；澳洲檢疫與檢查中心估計建立速率為 4,000 m³/hour 且達到濃度為 2 mg/L 的系統大約花費 US \$ 376,500。經氧化的抗生物物質有氯、氧化氯、臭氧與經電氣化學處理的氯，氯是很強的氧化劑，他的有效性取決於溫度、殘留的氯與反應時間，因為化學用品對環境影響重大故使用前須加以評估。表 6-7 顯示，Bolch et al. (1993)測試，氯的濃度達到 500ppm 時可 100%除去 *Gymnodinium catenatum* cysts 的活性；Zhang et al. (2003)使用每公升 5mg 的次氯酸鈉可有效從壓艙水中移除細菌；Vianna et al. (2003)發現使用氯的可能性與其產生的副產品，如三鹵甲烷，在散裝船 *Frotargetina* 上測試，浮游動物的致死率高達 99%，浮游植物則是 100%；Gray et al. (2006)使用次氯酸鈉，濃度為 10000mg/L，24 小時後高達 89%的囊胞已無活性；Ichikawa et al. (1992)於實驗室使用二氧化氯，觀察其對 *Gymnodinium catenatum* 與 *Alexandrium catenella* 的反應，當劑量 100 mg/L 時可消滅 97%的上述生物。

表 6-7 化學處理方法

方 法	容 量	受測海洋生物	移除比例	參考文獻
氯	無報告	<i>Gymnodinium catenatum</i> cysts	100%	Bolch et al. 1993
次氯酸鈉	5mg L ⁻¹	細菌	85.2%-100%	Zhang et al., 2003
		浮游植物	有效	
	2mg L ⁻¹	浮游動物 (<i>Artemia salina</i>)	15-100%	
氯	散裝船 無報告	細菌 浮游植物 浮游動物	>99%	Vianna et al., 2003
氯氧化物	無報告	<i>Gymnodinium catenatum</i> <i>Alexandrium catenella</i>	>97%	Ichikawa et al. 1992
氯氧化物	無報告	<i>Gymnodinium catenatum</i> cysts	75-98%	Bolch et al., 1993
次氯酸鈉	無報告	囊胞	>89%	Gray et al., 2006
臭氧	400Lh ⁻¹	<i>Bacillus subtilis</i> spores	無效	Oemcke et al., 2003, 2004
臭氧	400Lh ⁻¹	<i>Dinoflagellate alga</i> <i>Amphidinium</i> sp.	>98%	Oemcke et al., 2005
臭氧	無報告	浮游動物 浮游植物 細菌	99%	Viitasalo et al., 2005
臭氧	無報告	浮游動物 浮游植物 細菌	90-99%	Perrins et al., 2006
臭氧	無報告	五種海洋有機物	>95%	Jones et al., 2006
臭氧	S/T Tosina(1.3-3.11)*10 ³ m ³	浮游動物、浮游植物、 細菌	>96%	Tamburri et al., 2002
抗生素	無報告	三種淡水微生物	>95%	Sano et al., 2005
抗生素	實驗室規模	細菌	有效	Chelossi et al., 2006
抗生素	實驗室規模	海洋有機物	有效	Faimali et al., 2006
抗生素	實驗室規模	微藻 腰鞭毛藻囊胞菌	有效	Gregg et al., 2007
抗生素	實驗室規模	腰鞭毛藻囊胞	>95%	Wright et al., 2007
抗生素	實驗室規模 船上測試	活體生物質	>99%	de Lafontainet et al., 2008
電解液	1200m ³ h ⁻¹	浮游植物	>99.99%	Matousek et al., 2006
		<i>Mesozooplankton</i>	>99%	
電解	2.5 m ³ h ⁻¹	<i>Artemia</i>	>95%	Dang et al., 2003
磁分離	100 m ³ day ⁻¹	紅色浮游植物	>92%	Saho et al., 2002

「臭氧」作為一種消毒劑具有氯和其他化學物所沒有的優點，那就是它不需事先備妥用量，可以直接在船上從空氣中取得。但由於臭氧也會與海水中的溴化物迅速反應，而且需要很大的處理劑量，並有可能會加快船體和設備的腐蝕，因此臭氧成為一種有效的壓艙水消毒劑並不是很方便。但有對於航線僅限於淡水水體的船舶，如航行於北美五大湖的船舶，臭氧在淡水壓艙水處理成效較好。與紫外線相似的是，要達到良好的臭氧處理成效也必須先進行水體的初級處理，並且濾網的口徑要達到 5 μ m，以去除耐受性較大的生物體。臭氧濃度達到 0.01ppm 即可有消毒的效果，由於製造、監測、保養設備較為嚴格，所以整體來說的成本是高於氯消毒設備的，要建立足夠製造出供 4,000 m³/hour 的壓艙水使用的臭氧設備約花費 US \$ 2,900,000。表 6-7 列出臭氧處理方法，其中 Oemcke et al. (2003, 2004)檢視臭氧對壓艙水內的 *Bacillus subtilis* 孢子的消毒能力，但結果顯示臭氧可控制孢子的成型，臭氧對於移除 *Dinoflagellate alga* 與 *Amphidinium sp.* 的有效性，顯示需要相當高的臭氧量才可移除。

「過氧化氫」也曾經用來處理壓艙水中的多種海洋生物，但是對於蚌類，要達到良好的處理效果所需使用過氧化氫的劑量很大，因此，使用過氧化氫所需的成本相對大了許多，較沒有經濟效益。

抗生素有五大作用，其可破壞細胞壁、改變細胞的滲透性、改變原生質、改變 DNA 或 RNA 與限制酶反應。抗生素分為氧化抗生素與未氧化的抗生素，前者常用與淡水系統因為其可降低有機物在水中的活性。

一些使用化學物質進行壓艙水處理的方法近來有較多研究，目前的研究重點主要集中在戊二醛和其他的有機酸消毒劑上。一些沒有攜帶壓艙水進入北美五大湖的船舶(No Ballast Onboard, NOBOB)，可使用這類化學物對壓載艙的艙底底泥進行消毒，殺滅其中的生物，但它的缺點有：(1)費用較高；(2)對水的 pH 值普遍敏感；(3)要達到處理標準的要求通常需要很高的劑量。大多數的化學處理方法都要求化學物質與壓艙水體能夠充分地混合，同時，殘餘化學物質要能維持一定的

時間，才能保證處理達到成效。化學處理方法涉及到加藥時的安全操作問題，以及最終排放的壓艙水體中可能含有對環境毒性的殘餘物，都是在研究化學處理方法時需要克服的問題。整體來說，建造出一座每年可以處理 1150 萬噸的岸上壓艙水處理收受設施的成本大約是 US \$ 13,200,000~27,900,000，加上每單位壓艙水處理成本約 US \$ 132 / 1000 m³(包括化學藥劑、電費、設備維護費、人力、以及廢棄物處理...等)，所以估計出整體壓艙水處理費用為 US \$ 500~900 / 1,000 m³。

大多數船舶的操作壓艙水方式皆有所不同，所汲取的壓艙水當中的生物內容也相距甚遠。有些船舶必須在港口汲取壓艙水，而這些港口水體可能含有大量有害細菌和病毒。往往使用單一的方式，其處理結果未必能符合要求，因此可以將數種處理方法結合起來，達到有效處理壓艙水的目的。例如，船舶可能具有多個處理方式如：機械式的分離系統、物理式紫外線處理系統、及化學式的處理系統等，用來專門處理對紫外線耐受性較高的特殊生物或病原體。然而合併多種處理系統會使操作上更加複雜，並使成本增加，因此一般只有在港口國有特殊要求時才會使用。任何新壓艙水處理技術都應考慮到以下五項主要標準：安全、適應環境、符合實際、實際成本、具有生物有效性。關於現在已經開發出的壓艙水處理技術，皆必須通過海洋保護委員會議(MEPC)通過，並且經過 IMO 秘書處、GESAMP-BWWG(GESAMP - Ballast Water Working Group)以及海洋污染科學專家所組成的壓艙水聯合小組，對各國送審的壓艙水處理系統進行評估，任何的處理系統都必須檢驗核可後才能正式裝載在船舶上提供商業使用。

壓艙水處理系統的成本一直是各國在開發時會遭遇到的難題，由於前置技術發展與建置成本使得處理系統造價並不便宜，不是每一艘船都有能力在船上安裝，另外，在安裝完成後還是必須持續支付相關耗材的開支，除了成本增加外，化學藥劑排入海洋後也會對海洋生物造成不確定的威脅；機械方式處理系統也必須再添購過濾耗材，如濾心、活性碳...等，以維持處理系統的速率與品質穩定；物理方式系統中使用的加熱器、紫外線燈管、冷卻設備...等也必須經常檢測維修，

長期使用下來所費不貲，然而，這些成本全部都需由船東負擔，也造成各船公司主動裝設意願並不高，在全面實施 D-2 濃度管制之前，各國應積極開發成本較低且有效的處理技術，吸引更多船舶裝設，臺灣在廢水處理系統上已經有一定程度的發展，未來也可以更加積極發展出新的壓艙水處理系統，除了讓本國籍船舶降低裝設成本及後續營運支出，也可以將技術售出至國外，創造出更多價值。表 6-8 列出目前已初步通過審核的處理技術。

表 6-8 目前已通過審核之壓艙水處理技術

活性物質或系統名稱	製造廠商	方 法	初步審核	最終批准
Peraclean Ocean	Degussa GmbH (德國)	結合過濾與添加 Peraclean (PAA+ H ₂ O ₂)	MEPC 54	
Electro-Clean	Techcross Ltd. & KORDI (韓國)	電解	MEPC 54	
EctoSys TM electrochemical system	Permascand AB (瑞典)	羥基自由基、活性氯與氯 的電化學技術	MEPC 55	
Special Pipe Hybrid System	Japan Association of Marine Safety (日本)	特殊管+臭氧	MEPC 55	
PureBallast	Alfa Laval Wallenius Water AB (瑞典)	過濾+產生自由基的高級 氧化技術 裝載時：過濾+高級氧化 排放時：高級氧化	MEPC 56	MEPC 56
NKO BWTS	NK Company Ltd. (韓國)	臭氧	MEPC 56	
Electro-Clean System (ECS)	Techcross Inc. (韓國)	電解	MEPC 54 韓國	MEPC 57 韓國
Triiron tetroxide, PAC and PASA ClearBallast	Hitachi Ballast Water (日本)	絮凝	MEPC 57 日本	
EctoSys TM CleanBallast	Permascand AB (瑞典)	機械分離+電化學單元 裝載：機械分離+電化學 排放：電化學	MEPC 55 瑞典	MEPC 57 德國
GloEn-Patrol TM	PANASIA CO., Ltd. (韓國)	裝載時：過濾+紫外線 排放時：紫外線	MEPC 57 韓國	
Peraclean Ocean. SEDNA System	Degussa GmbH (德國)	結合過濾與添加 Peraclean (PAA+ H ₂ O ₂)	MEPC 54 德國	MEPC 57 德國
OceanSaver BWMS	Norwegian Research Council (挪威)	氯氣+電滲透析	MEPC 57 挪威	

6.2.4 案例分析

表 6-9 則列出目前各國處理方法與技術，表中第一個計畫為澳洲檢疫處(Australian Quarantine and Inspection Service, AQIS)所贊助計畫，此計畫由 Rigby 等學者進行研究，利用 Broken Hill Proprietary 公司 141,457DWT 散裝船 Iron Whyalla 做測試，本船航線由澳洲開往日本。Rigby 等學者為解決壓艙水所衍生的問題，發展出替代方法。使用船上主機或冷卻水機械的廢熱加熱海水，沖刷壓載艙使壓艙水溫度達到 37°C 至 38°C，可有效的殺死微生物，並以有毒的腰鞭毛藻為目標物種，初步在研究室實驗的結果，在短時間(30 秒至 90 秒內)加熱至 40°C 至 45°C 可使 *Gymnodinium catenatum* 此種腰鞭毛藻死亡，如果溫度降低則致死率亦隨著降低。1993 年初步在 Iron Whyalla 做生物檢驗，由引擎廢熱加熱海水，導入壓載艙內。

此法結果顯示沒有浮游動植物存活，但在此試驗中發現船舶引擎的廢熱無法使全部壓載艙的溫度維持在 40°C。1997 年由坎培拉港出發航向德黑蘭港，此段行程共花費十天，但在此航程之前，先進船塢裝置額外的管路系統，使熱水可順利的打入左右艙，以左邊壓載艙做為測試艙，裝置 50mm 的採樣管並監測溫度，首先從坎培拉港開始測試，周遭海水為 28.5°C，經過 30 小時的熱水沖刷，所有壓載艙皆超過 38°C，結果顯示沒有浮游動物或僅有少數浮游植物存活，在沖刷熱水的此動作消除了大約 90% 的浮游生物。此熱處理法不會對環境造成重大傷害，且兼顧船舶穩度，比清空壓載艙在打入海水的方法安全，費用低廉，處理每噸壓艙水只花費美金三分(不包含裝置管路費用)。但此法不適用於短程航線，因時間不足已完成所有壓載艙的熱循環，也不適用於海水溫低於 15 至 20°C 的環境，此環境會延長加熱時間。

表 6-9 各國壓艙水處理技術

國家	計畫名稱	處理方法		研究方法	成效/結果
	測試地點	金額			
澳洲	Ballast Water Heating and Sampling Trials on the BHP Ship MV Iron Whyalla	熱處理		熱處理：用引擎廢熱加熱壓艙水並採樣	(1)實驗室實驗：有毒腰鞭毛藻囊胞在 38℃下 4.5 小時候被殺死。(2)船上實驗：壓艙水加熱到超過 38℃需 30 小時，但經過熱處理沒有浮游動物或只有少數浮游植物存活。(3)報告結果，熱處理有潛力值得採用，不像化學藥劑會對環境造成危害且具效益，但此法受航程長短與周圍海水溫度影響。新數據顯示當處理溫度達 40-45℃時可有效殺死或使壓艙船內生物失去活性。長時間低溫處理較短時間高溫處理來的有效。
	MV. Iron Whyalla				
澳洲	Does Heat Offer a Superior Ballast Water Treatment Option?	熱處理	AUD250,000	利用熱處理觀察微生物與其活性	
澳洲	Ports Corporation of Queensland Ballast Water Initiative No. 2: R&D of Ballast Water Treatment Technology	改變 pH 值、絮凝、過濾、紫外線與臭氧		採樣：辨識潛在問題物種與壓艙水特性消毒測試：使用臭氧、紫外線與膜過濾測試前先檢查 pH 值、絮凝...等	實驗結果顯示紫外線在移除沉積物與大型微生物上較過濾法有效且具經濟效益。
	敦士維				
巴西	Use of Chlorine for Ballast Water Treatment	氯		使用八個翼艙，四個控制組四個加入氯濃度為 1、3、5、10ppm，六至八天後採樣分析鹽度、pH 值、溫度、溶氧...等	浮游動植物的死亡率高達 76.4%，氯的濃度高低並不影響致死率，但濃度越高會產生三鹵甲烷，因此建議使用低濃度的氯可提升使用效率。
中國	散裝船 Frotargentina				
	Effect of the Chlorination Treatment for Ballast Water	化學殺菌劑		根據中國國家標準測試細菌、浮游植物、端足目動物、鹽水蝦...等	利用次氯酸鈉為殺菌劑，結果顯示用在海水中殺死微生物與細菌是有效的，但使用濃度取決於受測物種為何。
	大連海事大學	USD40,000			
德國	Process for the Removal of Organisms from Different Waters	化學處理：Peraclean® Ocean		採用 Artemia 測試標準測試	(1)實驗室測試：400ppm 的 Peraclean® Ocean 濃度下許多不同的物種完全死亡。(2)船上測試：顯示在 200ppm 的 Peraclean® Ocean 濃度下有 99-100%的浮游動植物死亡。(3)在漢堡田野測試：100ppm 的 Peraclean® Ocean 可完全殺死 Cyclops、Daphnia、Copepode nauplii、Rotifers、Ciliates、Nematodes、Cladocera 等物種。
	德國	Ca. US200,000			
日本	Unwanted Aquatic Organisms in Ballast Tank- Report of the Ballast Water Management by Heat Treatment using Main Engine Water Cooling Circuit and Findings of the On-Board Research	熱處理		分析重新裝載壓艙水後，經熱處理浮游植物存活之可能性	熱處理後減少海洋生物與浮游植物但其囊胞仍可能存活於沉積物中。在此產生如何使溫度一致的問題，在第一個出口溫度在 43℃但在最遠端只有 35℃。
	MV Onde Maru，從 Kure 港/日本到 Walcott 港/澳洲				

(資料來源：Global Ballast Water Management Programme, Ballast Water Treatment R&D Director 2ND Edition)

6.3 壓艙水管理策略之研擬

針對臺中港壓艙水管理策略之研擬，首要應先建立申報制度，有完善的申報制度才能了解每艘船舶為臺中港帶來多少壓艙水量與排放多少量入臺中港；了解壓艙水量後，應評估並建立壓艙水交換區，指定區域讓入港船舶排放其壓艙水；進港船舶申報後，依照所回傳的資料進行風險評估作業；最後壓艙水之排放管制是否嚴格執行，仍視港口國是否嚴格確實執行，以便掌控壓艙水量與來源。

1. 申報制度的建立

目前我國並無壓艙水申報制度，故本研究參考美國與澳洲兩國壓艙水回報表格，做為我國未來建立申報制度的參考依據。

美國壓艙水回報的表格，如表 6-10 所示，首要項目便提出問題，目的在確定這次回報的理由，判斷這是第一次回報或是為前次回報時的缺失做補強或更正錯誤之用，讓相關單位能夠更快了解船舶壓艙水狀態。回報表格內容分成六個部分：分別是船舶資料、航運資訊、壓艙水量、壓艙水管理、壓艙水歷史記錄以及負責人的簽名。

第一部分：船舶資料，這部分用來了解船舶資料，以方便日後追蹤及統計使用。

第二部分：航運資訊，填入進入美國專屬經濟海域後或聖羅倫斯航道（St. Lawrence Seaway）之後第一個停靠的港口、日期及代理商…等。

第三部分：壓艙水，計算船上總共可以攜帶的「壓艙水體積」（包含單位）、「壓載艙數量」；確認目前載有壓艙水的壓載艙體積及數量。

第四部分：壓艙水管理，填入在進入美國專屬經濟海域前已經有交換過壓艙水的壓載艙有幾個，分別使用哪些方法做交換？或是使用替代方案、岸上收受設施的壓載艙個數…等。

第五部分：壓艙水歷史紀錄，記錄所有到達港口國時所有有交換過壓艙水的壓載艙，使用壓載艙代碼一一詳述其交換記錄，包含來源

及交換歷程。

第六部份：職稱及簽名，在壓艙水回報的表格當中，有適當的負責人員簽名負責是相當重要的，代表此人對船上壓艙水管理的負責。

最後，美國依照不同區域進行壓艙水回報表格傳送單位：若行駛五大湖區，由水牛城海岸巡防隊港口（COTP Buffalo）接受回報；行經哈德遜河喬治華盛頓橋以北的船舶則回報至紐約海岸巡防隊港口隊長（COTP NY），且在進入領海水域前傳送；船舶行經上述地區外的其他美國港口，則要求回報至下列三者其一：美國海岸防衛隊；國家壓艙水資訊交換中心（National Ballast Information Clearinghouse, NBIC）；傳真至美國海岸防衛隊總指揮，用以了解該船的壓艙水狀況，以利後續追蹤管理時能有完整資料可使用。

根據澳洲 AQIS 所提供的壓艙水回報表格，可以簡單的分成上、下兩部分，上部分為船舶資訊及相關注意事項，下部分則是詳細的壓載艙使用記錄：

上部分：首要填寫「船舶名稱」、「建造年份」、「IMO 或是勞氏船舶編號」、「無線電呼號」，再加上「日期」、「頁碼」以及船主或負責人的「簽名」。

下部分：詳細的壓載艙記錄皆必須記載於下部分：

A 欄：列出壓載艙及貨艙數量及最大攜帶量，以立方公尺為單位。

B 欄：記錄在航程中汲取壓艙水的港口，如果是在大洋中汲取，則記錄當時的經緯度，另外，日期及容量也須記錄。

C 欄：確認每一抽水泵抽水速率以估計水量多少，並在每一次交換壓艙水時記錄抽水泵編號；使用批次交換法或連續沖洗法/稀釋法時，分別記錄到表格中，且記錄交換百分比，以供檢驗時確認。

D 欄：針對將在澳洲排放的壓艙水做出預估港口、日期、及水量。

最後，進入澳洲的船舶必須在進入領海前 12 小時將報告書傳給 AQIS，以供後續管理及風險評估之用。

表 6-10 美國壓艙水回報表格

壓艙水回報表格

這是一個修正過的壓艙水回報表格嗎？ 是 ☐ 否 ☐

1. 船舶資料

船名：	抵達港：	確認單位 (m ³ , MT, LT, ST)	
IMO 編號：	抵達日期：	船上總壓艙水：	
擁有人：	代理商：	容量	單位
型態：	前一港：	壓載艙數量	
總噸位：	前一港國家：		
無線電呼號：	下一港：	船上總壓艙水攜帶能力：	
船旗國：	下一港國家：	容量	體積
		船上總壓載艙數量	

3. 壓艙水使用與體積

2. 航運資訊

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：

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：

船上是否有壓艙水管理計畫？ 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 ☐

是否有履行管理計畫？ 有 ☐ 沒有 ☐

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

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)
				C										sg
				C										sg
				C										sg
				C										sg
				C										sg
				C										sg
				C										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，船舷艙(Topside)=TS，貨艙(Cargo Hold)=CH，其他(Other)=O														

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. 建立壓艙水交換區

壓艙水交換區因地理環境受限，或為方便管理交換區，經詳細的地形水深、海流分析及航道規劃後所劃設一個適合船舶交換壓艙水的區域，一般而言，當海流、離岸流越強、海底深度越深的條件下，該區便可成為良好交換區，因水流可將壓艙水中的生物帶離岸邊，足夠深的地形也不適合沿岸生物的生長，如美國麻州緬因灣(Gulf of Maine)由於位於美加交界，因此成為十分忙碌的航線，各國船舶也經常在此區交換壓艙水，使得導入外來物種的風險增高，為了解決這個問題，在圖 6-2 中斜線是經過評估後所建議的壓艙水交換區，從海流來看，不論是位於水深小於 75 公尺或是大於 150 公尺的沿岸流都十分強烈，且能將水體引出緬因灣不會滯留於灣中，如此水流可以將船上所排放出的壓艙水與緬因灣海域水體進行交換後再帶出緬因灣，避免壓艙水進入沿岸生態系統，降低可能存在的風險，另外，該壓艙水交換建議區的水深平均皆超過 100 公尺，雖沒達到《壓艙水公約》中所規定至少 200 公尺深，但藉旺盛沿岸流將水體帶離岸邊，以及對該區加強管理及環境監控，也能達到有效預防壓艙水污染及管理成效。

3. 建立風險評估準則

臺中港在收到即將進港船舶所傳送過來的壓艙水回報表格後，圖 6-3 依所回傳的航運資訊、壓艙水攜帶狀況、交換狀況、進出港歷史紀錄等進行風險評估，當船舶曾有不良紀錄、壓艙水回報不實、前一港有證據顯示發生壓艙水污染事件、在過去 12 個月之內沒有進入過臺中港等事件時，便可以依據港口國管制原則派出港口稽查人員進行登船檢驗壓艙水相關資料，再配合著環境相似度、物種特性等因素進行評估，若經評估後屬低風險船舶，則可以獲得免除檢驗，若為高風險船舶，則應加強檢查，以防止任何污染港區的可能產生。當船舶進港時，由於其中所攜帶的壓艙水量與來源皆未知，藉由要求傳送回報表格資料，再經風險評估，不但可明確區分出高、低風險船舶，做出最適當處理外，更可以有效降低所需的人力、物力，達到高效率管理成效。

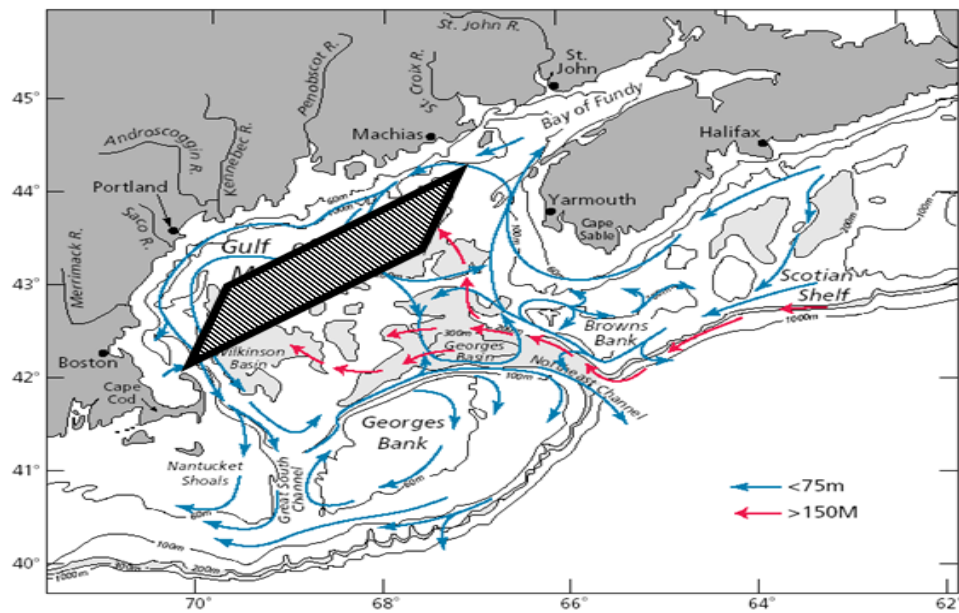


圖 6-2 美國麻州緬因灣建議壓艙水交換區域

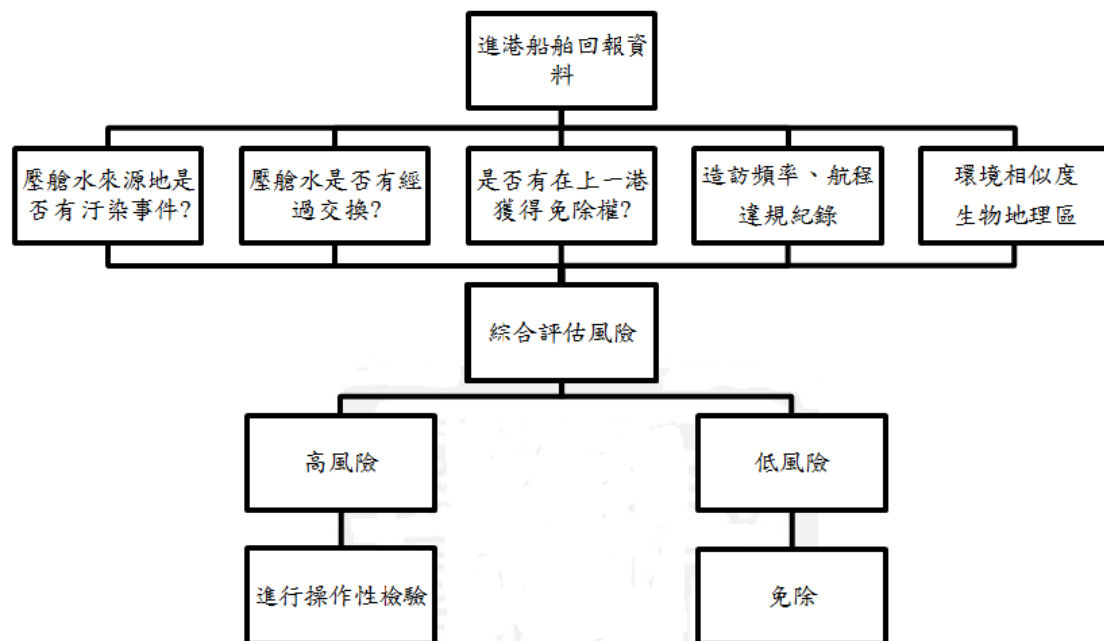


圖 6-3 臺中港未來實行風險評估時之建議步驟

4. 港口國管制

實行港口國管制的目的是要增加船舶的安全性，是防止未受妥善管理的船舶進入港口的最後一道防線，目前的管制已經從單國各自訂定擴大到區域性的管制，《東京備忘錄》便是亞太地區最重要的共同管制體系。

在國內，依據《商港法》的規範，外國船舶若有違反港口國相關規範的事實產生，港口國有權利將該船舶拘留並且要求改善，直到改善完成後才能夠再駛離臺中港，其中第 35 條之 1 中，有關船舶管理規則之訂定的部分為：「船舶排洩有害物質之限制、油輪操作手冊、船舶油貨紀錄簿、船舶污油水收受設備等防止船舶污染海水及商港區域內污染事故之處理等事項之管理規則，由交通部會商有關機關定之。」根據本條文，交通部於 91 年 11 月 26 日由交通部公布「海水污染管理規則」，其中針對於受油污染（第 10、11、14 條）及有毒物質污染（第 16~20 條）之壓艙水做出禁止排放的規範；另外，也有針對油輪操作壓艙水（第 25~27 條）及污油水收受設備（第 35 條）訂定出標準，以確保港口環境水體的安全。但由於目前已知壓艙水污染已不侷限於油污及有毒物質污染，未來國內可增訂有關壓艙水管理之新法，或修訂國內現有法令，補強預防壓艙水造成生物污染之規定，並制定防止外來種入侵之標準，一方面達到符合國際標準之要求，一方面也能確保我國水體環境的生物安全，維持本土之既有生態特性及生物多樣性。

港口檢查分為一般性、操作性及政策性三種：「一般性」檢查包含了船舶的救生設備、消防設備、應急設備、防止污染設備等的書面資料，當臺中港港口管制員發現該船有「明顯理由」(Clear Grounds) 可以確定其現有的設備或是船員的情況不符合公約規定，或是對其中細節有懷疑時，便可以進一步進行「操作性」檢查。在發生此類情事時，臺中港的港口管制官員有權登船進行確認，針對不符及不合格項目檢查，並要求改善。另外的「政策性」檢查，是指臺中港需要更有效地對外國船舶進行管制和監督的作業時，可以不定時宣布特定項目的檢查。

一般來說，臺中港的一般性檢查通常是針對於船舶配有的證書及文件進行核對，查看的項目如船舶與船員的實際狀況、機艙配備與住艙設施是否有達到國際要求標準以及基本的船舶衛生條件等，如果船舶上的各項證書齊全且有效，在加上各種檢視範圍皆屬於良好狀態下，便會終止檢查。

未來針對壓艙水部分進行港口國管制，受檢船舶中依照各種船型、船旗國等依據，加以統計分析後便可以找出需要特別加強受檢的目標船舶。因此臺中港可參考《東京備忘錄》之模式，若在同一備忘錄區域中已受過檢查且合格之船舶，在進入臺中港時可避免再次檢查，可使港口國管制之效率更為提升。

5. 管理權責單位

為因應 1992 年生物多樣性公約，我國永續會擬訂生物多樣性行動計畫，詳述具體工作內容與主管機關。此計畫主要理念為保護生物多樣性特別重要的區域，復原、維持特定分類群內物種的族群或減緩這些族群的下降。其中針對外來種方面主要為控制入侵種主要的潛在入侵途徑與針對威脅生態系、棲地、或物種的主要入侵種建立管理計畫。

在控制入侵種威脅此工作項目中，提出七項工作內容，如：建置外來種輸出入管理機制、建立外來種輸入風險評估及引入生態影響評估體系、建立外來種監（偵）測、強化外來（入侵）種走私查緝、入侵種生物防治、建立名錄、建立與執行生物技術研發與衍生產品對生物多樣性衝擊之評估能力與管理體系…等。根據不同工作內容有不同管理、協辦單位與工作的完成期限。此七項工作項目都由農委會管理，除了強化外來(入侵)種走私查緝此工作項目，另外加入海巡署與財政部協助。各個項目在協辦單位方面，針對不同性質，加入其他相關單位予以協助，例如在建立外來種輸出入管理機制上，加入國科會、衛生署、環保署、經濟部、財政部等予以協助；在建立風險評估極引入生態影響評估體系上，加入環保署此協辦機關；在建立外來種監測及早期預警機制，則加入海巡署與財政部予以協辦；入侵種生物防治則加入環保署各部會一同協辦；在建立與執行生物技術研發與衍生產品對生物多樣性衝擊之評估能力與管理體系方面，加入衛生署與經濟部等協辦單位。

參考目前永續會研擬控制外來物種工作內容之架構下，本節所述之申報制度，屬於檢疫與外來種輸出入管理機制，故應納入農委會管理；建立壓艙水交換區與建立風險評估準則因涉及環境與生態影響評

估體系，故應由農委會管理輔以環保署共同管理；在港口國管制方面主要應由交通部管轄，管理船舶進出港、檢查船舶安全性與適航證書等。交通部雖在港口國管制上扮演重要角色，然而目前永續會研擬之生物多樣性行動計畫只針對外來物種輸出入、風險評估、防治與建立生物技術研發與衍生產品對生物多樣性衝擊之評估能力與管理等，並未對船舶壓艙水引入外來種部分加強管理，也因此並未將交通部納入，然而管理壓艙水需要許多部門共同合作，進行全方位的策略擬定、執法、及後續環境監測等，故此議題應涉及交通部管理範圍與詳列交通部之工作內容，並會合各部會防堵與監控外來物種由不同途徑入侵之可能性。

第七章 灘線侵淤變化分析

7.1 灘線變化模擬

依據上年度研究分析歷年之水深量測資料可知 (1996 年至 2006 年)，臺中港北防波堤北側之灘線變化呈現北防波堤至北防沙堤間灘線大量淤積。研究分析範圍自北防波堤灘線往北延伸至北防沙堤北側灘線，總長度共計約 3.0 公里。分析範圍示意圖如圖 7-1 所示。

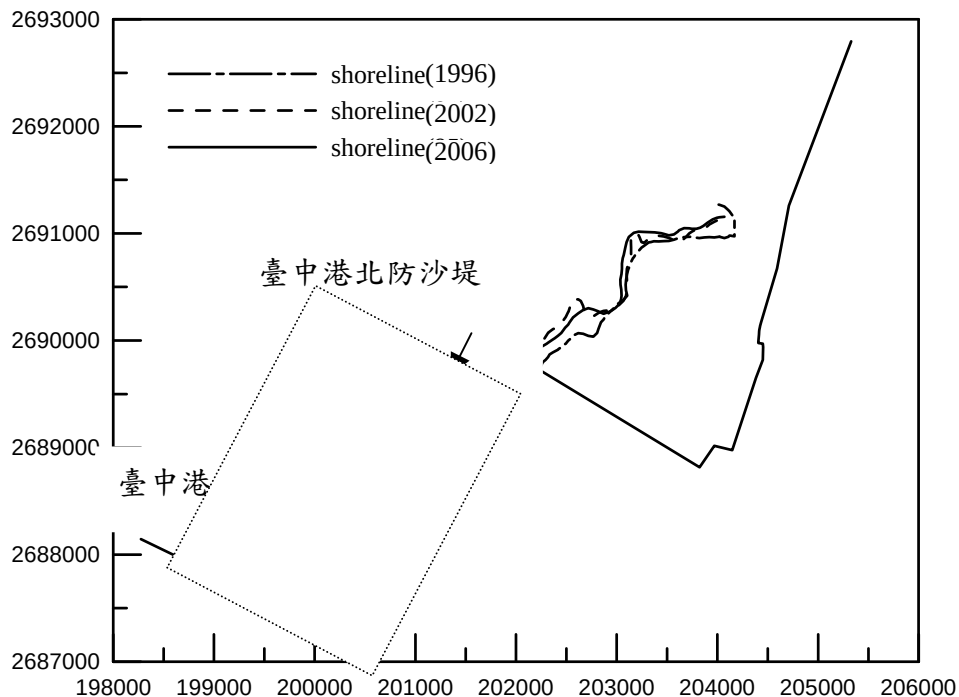


圖 7-1 臺中港北防波堤與北防沙堤附近灘線變化圖
(1996 年至 2006 年)

1996 年至 2006 年灘線變化圖如圖 7-1 所示。在 1996 年至 2002 年間，受北防波堤延伸影響，其灘線在北防波堤與北防沙堤間快速成長。北防沙堤在波浪持續作用下呈現堤址附近處灘線淤積的現象，受堤端岬頭控制的影響，北側灘線呈現一穩定的灣岸形狀。在北防波堤與北防沙堤南側間之灘線，受到北防波堤阻擋之故，使得北防波堤堤址處灘線呈現淤積趨勢。同時，受到波浪作用以及北防沙堤南側受到堤體遮蔽效應影響，使得沙源容易淤積於此處。北防波堤與北防沙堤南側

間之灘線，受到上述結構物遮蔽及阻擋影響，在沙源持續補足情況下，使得北防沙堤堤址南側線持續淤積。在北防波堤與北防沙堤南側間之灘線，亦持續產生淤積。2002 年後，受北防波堤再次延伸影響，灘線仍持續在防波堤與北防沙堤間成長，其灘線成長幅度較前一階段小。由於受到北防波堤影響，使得北防波堤堤址處灘線亦呈現前進趨勢。由於受到結構物改變影響，其灘線於北防波堤址處灘線無明顯變化趨勢，但由於受到沙源持續供應的影響，使得此一區域的灘線於北防沙堤南側堤址處呈現持續淤積。

為探討臺中港北防波堤附近灘線之長期變化趨勢，上年度本研究應用 GENESIS 灘線模式進行灘線的模擬，以長年季代表波浪 (I) 為入射波浪條件，沿岸輸沙量在 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下 (Q ：沿岸輸沙量， α ：透過率)，模計算結果在 1996 年至 2002 年間，GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料比較具有較佳的預測結果，如圖 7-2 所示。

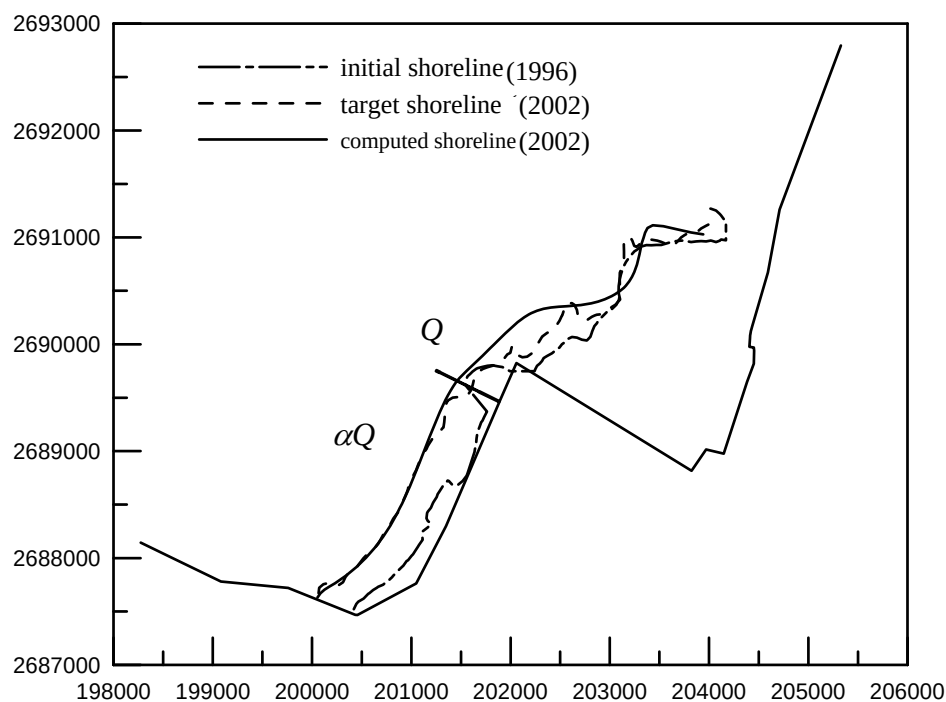


圖 7-2 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (I)
(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

其模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 26 公尺，其標準差為 26.98 公尺。在 2002 年，延伸北防波堤後，於 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下，具有較佳的灘線模擬結果，其模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 39.9 公尺，其標準差為 41.44 公尺，如圖 7-3 所示。由圖顯示若以此結果預測未來的灘線變遷，將產生更大的誤差結果。本年度針對此問題進行修正，探討 GENESIS 模擬過程中，模擬不同參數對模式的影響，以此找出更佳的模擬設定參數。

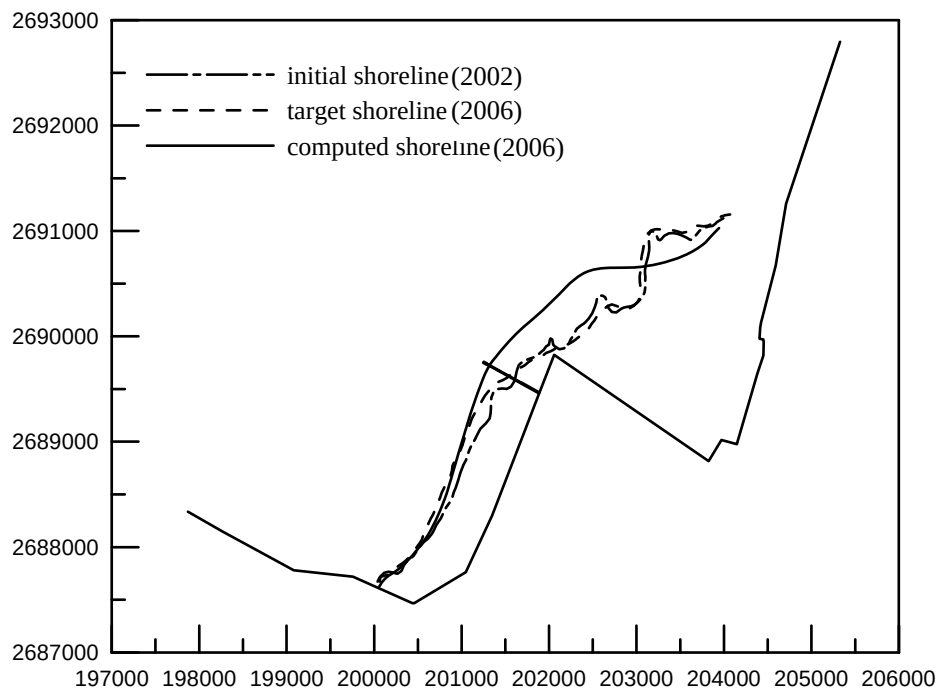


圖 7-3 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較圖 (I)
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$)

7.2 模式校核

為重新探討 GENESIS 灘線模式應用於臺中港北防波堤附近灘線之長期變化趨勢，本研究分為兩個階段對模式進行探討：(1). 模擬 1996 年至 2002 年的灘線變遷；(2) 模擬 2002 年至 2006 年的灘線變遷。由於 GENESIS 灘線模式在模擬灘線變遷的過程中，受到傳輸參數 K_1 、 K_2 、輸沙量 Q 及波浪入射條件（波高 H 、週期 T 及入射角度 θ ）的多重影響。本研究擬以變換傳輸參數 K_1 與 K_2 、輸沙量 Q 及波浪入射條

件（波高 H 、週期 T 及入射角度 θ ）對 GENESIS 灘線模式進行校核。分析方法如表 7-1 所示，相關計算參數如表 7-2。由於北淤沙區侵淤量無法準確估算，本研究依據北淤沙區侵淤量累積曲線圖(如圖 7-4)，進行漂沙量合理值的判斷，誤差量以平均誤差及標準差作校核比較，其

中平均誤差為 $E_r = \frac{\sum_{i=1}^N |Y_i - Y_o|}{N}$ 及標準差為 $\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |Y_i - Y_o|^2}{N}}$ （ Y_i 為模擬值； Y_o 為實測值）。

表 7-1 GENESIS 模式參數校核分析方法

方法/年份	1996 年至 2002 年	2002 年至 2006 年
方法 I	常年季代表波浪 (夏季與冬季)	常年季代表波浪 (夏季與冬季)
方法 II	常年平均月代表波浪 (1 月至 12 月)	常年平均月代表波浪 (1 月至 12 月)
方法 III	缺乏實測波浪資料，以近年當 月份的資料隨機取樣計算	當年月代表波浪給定計算
設定參數	$K_1=0.2\sim0.5$ $K_2=0.3\sim0.6$	$K_1=0.3\sim0.5$ $K_2=0.3\sim0.6$

表 7-2 GENESIS 灘線模式參數

GENESIS 模式參數	參數值
時間間格 Δt (hr)	3
海灘線間格 Δx (m)	20
終端水深 D_C (m)	5.47
漂沙至陸側最大高程 D_B (m)	2
底床中質粒徑 D_{50} (mm)	0.24

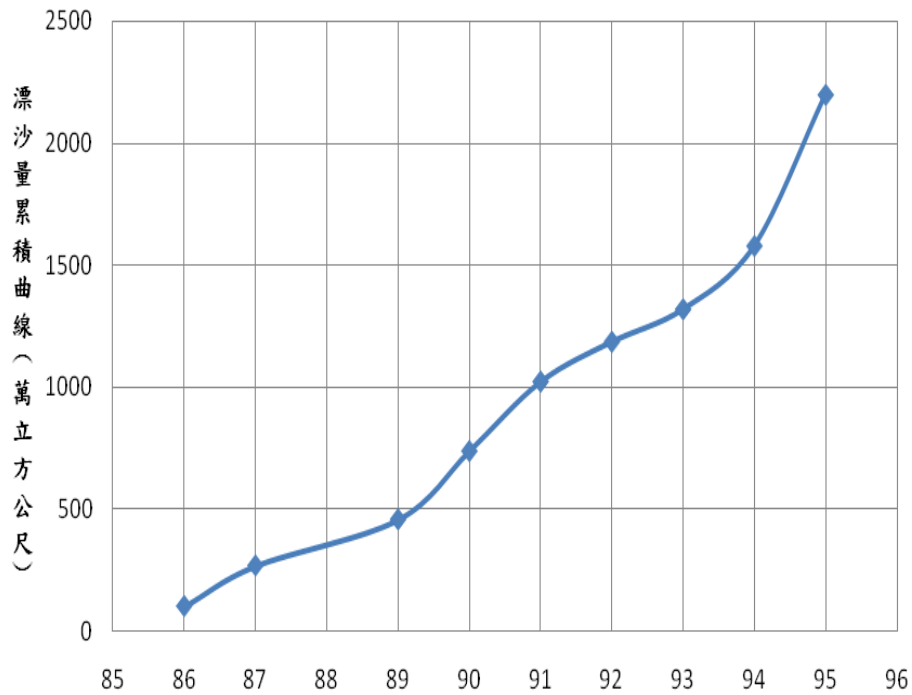


圖 7-4 臺中港北淤沙區侵淤量累積曲線圖

本研究以對於上游輸沙量的給定，本研究以式(7-1)進估算

$$Q = K \left[\frac{\rho \sqrt{g}}{16k^{\frac{1}{2}}(\rho_s - \rho)(1-n)} \right] \times H_{brms}^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b) \quad (7-1)$$

式中 K 為漂沙與波浪相關之經驗係數， ρ_s 為沙粒之密度， ρ 為海水之密度， n 為底床沙粒之孔隙率， k 碎波參數， H_{brms} 為有義波波高， α_b 為碎波之波峰線與海岸線之夾角。若 α 為透過北防波堤之透過率，透過北防沙堤之沙量則以 αQ 進行灘線模擬。

7.3 灘線變化分析（1996 年至 2002）

依據前述章節 GENESIS 模式模擬 1996-2002 年之地形為起始地形，加入延伸之北防波堤，模擬 2002 年至 2006 年臺中港北防沙堤附近海灘之長期灘線變化。其模式計算結果分述如下。

7.3.1 冬、夏季代表波浪（方法 I）

本研究依據上一年度計算所得之代表波浪資料，其中分為冬季代表波浪、夏季代表波浪與颱風波浪（ $H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$ ）。其輸入條件如表 7-3 所示，計算結果如表 7-4 所示。表中顯示沿岸輸沙量在 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 條件，模式所模擬的灘線位置與實測資料比較具有較佳的預測結果。在 K_1 與 K_2 值分別為（0.2,0.6）條件下，模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 27.05 公尺，其標準差為 27.13 公尺，如圖 7-2 所示。分析北防波堤堤址附近處呈現最大灘線淤積幅度約 387 公尺，北防沙堤與北防波堤間之灘線淤積幅度約為 523 公尺，北防沙堤堤址附近灘線淤積幅度約為 164 公尺，其模擬結果與實測資料在整體灘線趨勢變化上具有一致性。

表 7-4 GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較 (I)

$\alpha Q = 190 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
$K_1 \setminus K_2$	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(69.04,50.12)	(56.93,32.58)	(54.12,25.49)	(57.43,25.98)
0.3	(114.93,80.01)	(95.14,65.10)	(80.96,47.20)	(78.44,41.16)
0.4	(135.67,87.27)	(125.57,81.74)	(111.48,73.91)	(91.14,57.31)
0.5	(150.79,94.59)	(141.28,89.14)	(130.91,84.28)	(110.30,71.45)
$\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
$K_1 \setminus K_2$	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(90.46,66.24)	(54.81,45.15)	(33.34,36.15)	(27.05,27.13)
0.3	(111.99,78.39)	(106.66,75.41)	(79.53,55.48)	(59.31,41.46)
0.4	(139.30,85.74)	(119.82,80.98)	(111.57,77.54)	(95.80,64.95)
0.5	(144.92,92.19)	(136.58,87.03)	(127.85,82.55)	(118.79,79.90)
$\alpha Q = 250 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
$K_1 \setminus K_2$	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(126.55,87.13)	(90.69,65.20)	(70.39,50.43)	(58.20,40.09)
0.3	(110.89,77.62)	(107.30,76.85)	(108.10,77.28)	(76.42,56.15)
0.4	(123.77,84.98)	(115.22,80.11)	(109.08,76.26)	(109.38,76.23)
0.5	(139.12,90.32)	(131.44,85.44)	(123.55,81.44)	(115.58,78.87)

表 7-3 GENESIS 模式之冬、夏季代表波浪計算條件

季節\項目	入射波向	波高 $H_{1/3}$ (m)	週期 $T_{1/3}$ (sec)
冬季	N	2.1	6.6
夏季	W	0.9	6.3
颱風波浪	N	5.5	9.8

7.3.2 常年平均月代表波浪（方法 II）

本章節中所探討的波浪計算條件為 1996 至 2008 年波浪觀測下所得之月平均代表波浪（ $H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$ ）（交通部運輸研究所），輸入條件如表 7-5 所示。本研究採用 $\alpha Q = 150 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 190 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 及 $\alpha Q = 250 \times 10^4 m^3 / year$ 進行灘線模擬。其計算結果如表 7-6 所示。

綜合計算結果，在沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 條件，GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料比較有較佳的預測結果。在 K_1 與 K_2 值分別為（0.2,0.6）設定下，模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 68.51 公尺，標準差為 51.16 公尺，如圖 7-5 所示。其模擬結果與實測資料在整體灘線趨勢變化上有顯著的差異存在，其原因可能為長時間作用下之月平均代表波浪無法表現出波浪的作用特性，如颱風波浪等。

表 7-5 GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件 (II)

月份	波高 $H_{1/3}$ (m)	週期 $T_{1/3}$ (sec)	入射波向
1	2.3	6.1	N
2	2.3	6.3	N
3	1.9	5.8	N
4	1.3	5.8	N
5	1.0	5.4	N
6	0.8	5.5	WSW
7	0.9	6.3	NW
8	1.1	6.3	NNW
9	1.4	6.6	N
10	2.0	6.3	N
11	1.9	6.4	N
12	2.4	6.5	N

表 7-6 GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較 (II)

$\alpha Q = 190 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量, 誤差量標準差 (單位: m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(132.75, 68.52)	(110.33, 67.62)	(89.94, 64.45)	(81.94, 61.04)
0.3	(177.11, 74.86)	(164.70, 72.16)	(145.44, 68.31)	(127.84, 70.77)
0.4	(180.79, 86.18)	(187.31, 79.85)	(189.72, 78.98)	(175.66, 74.97)
0.5	(218.32, 113.71)	(207.68, 102.55)	(198.75, 96.18)	(207.50, 92.84)
$\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量, 誤差量標準差 (單位: m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(115.25, 80.23)	(91.30, 80.23)	(79.33, 67.32)	(68.51, 51.16)
0.3	(166.39, 78.74)	(153.13, 72.10)	(128.92, 73.95)	(102.68, 72.20)
0.4	(155.95, 74.89)	(181.76, 78.89)	(177.35, 75.47)	(162.86, 71.42)
0.5	(187.67, 91.71)	(176.63, 81.37)	(187.22, 80.42)	(194.49, 81.67)
$\alpha Q = 250 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量, 誤差量標準差 (單位: m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(106.13, 87.13)	(88.00, 82.54)	(82.41, 79.46)	(84.17, 72.21)
0.3	(157.10, 83.34)	(143.91, 74.23)	(145.44, 68.31)	(96.99, 78.50)
0.4	(171.75, 93.32)	(187.31, 79.85)	(169.20, 73.54)	(151.68, 71.85)
0.5	(167.30, 87.87)	(167.11, 84.73)	(183.22, 79.86)	(185.09, 78.00)

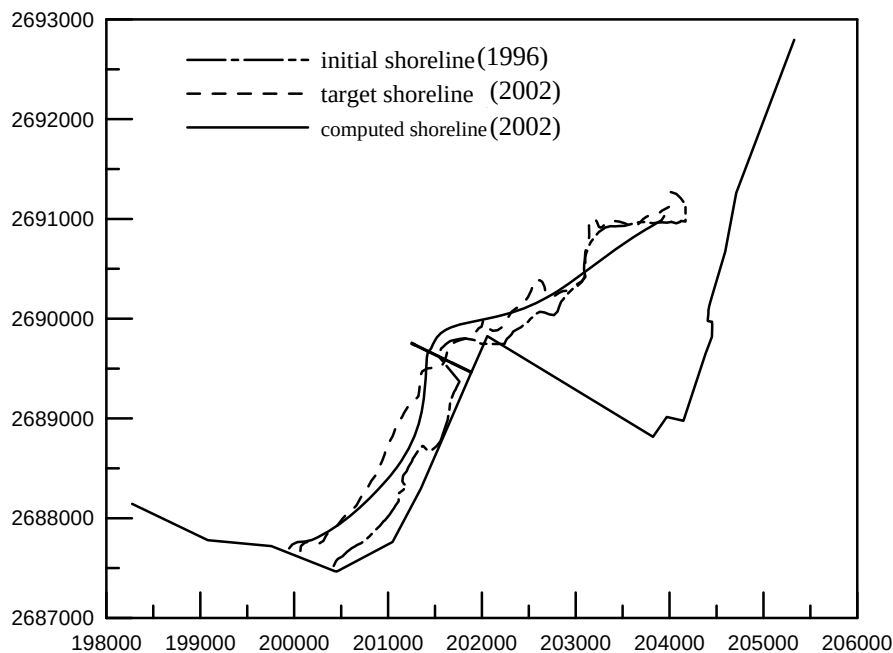


圖 7-5 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (II)
(自 1996 年至 2002 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

7.3.3 當月代表波浪（方法 III）

本章節中所探討的波浪計算條件為波浪觀測下所得之當月平均代表波浪（ $H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$ ），由於 1996 年至 2002 年間缺乏實測之波浪資料，故當月份的波浪代表資料以 2002 年以後的每月實測資料，以亂數法進行編排，進行模式模擬。其輸入條件如表 7-6 所示。本研究採用 $\alpha Q = 150 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 190 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 及 $\alpha Q = 250 \times 10^4 m^3 / year$ 進行灘線模擬。其計算結果如表 7-8 所示。

表 7-7 GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件 (III)

年/月	波高 $H_{1/3}$ (m)	週期 $T_{1/3}$ (sec)	入射波向
1996/01	1.53	5.8	N
1996/02	1.76	6.0	N
1996/03	1.25	5.4	NNE
1996/04	1.28	5.7	NNE
1996/05	0.80	5.1	WSW
1996/06	0.40	4.4	ENE
1996/07	0.49	4.4	WSW
1996/08	0.45	5.1	N
1996/09	1.14	6.0	N
1996/10	1.41	6.2	N
1996/11	1.84	6.7	N
1996/12	1.33	6.2	N
1997/01	1.69	5.7	NW
1997/02	1.75	5.9	NW
1997/03	1.21	5.3	NW
1997/04	1.77	6.0	NW
1997/05	2.88	6.1	NW
1997/06	1.70	5.6	NW
1997/07	0.72	5.4	E
1997/08	0.62	5.4	NNE
1997/09	0.46	5.3	NE
1997/10	0.86	5.7	NE
1997/11	2.37	2.6	NW
1997/12	1.77	6.0	NW
1998/01	1.94	5.2	N
1998/02	1.49	5.3	N

1998/03	2.00	5.4	NNE
1998/04	1.10	5.4	NNE
1998/05	0.86	5.2	WSW
1998/06	1.07	6.2	ENE
1998/07	0.84	5.3	WSW
1998/08	0.97	6.5	N
1998/09	1.31	6.9	N
1998/10	2.41	7.1	N
1998/11	2.11	7.0	N
1998/12	2.29	7.2	N
1999/01	2.19	7.1	N
1999/02	2.15	7.2	NW
1999/03	1.60	6.8	N
1999/04	0.92	6.1	NNE
1999/05	1.12	5.9	NNE
1999/06	0.99	5.8	NNE
1999/07	1.19	11.7	N
1999/08	1.24	12.4	N
1999/09	1.08	6.1	NW
1999/10	1.43	5.6	NNW
1999/11	2.29	6.2	NW
1999/12	2.87	6.5	NW
2000/01	1.77	6.0	NW
2000/02	2.88	6.1	NW
2000/03	1.70	5.6	NW
2000/04	0.72	5.4	E
2000/05	0.62	5.4	NNE
2000/06	0.46	5.3	NE
2000/07	0.86	5.7	NE
2000/08	2.37	2.6	NW
2000/09	1.12	5.7	N
2000/10	1.90	5.4	N
2000/11	2.47	5.5	NNE
2000/12	1.93	5.4	N
2001/01	2.06	7.0	N
2001/02	2.36	7.5	N
2001/03	1.89	6.3	N
2001/04	1.14	5.9	N
2001/05	1.21	6.0	N
2001/06	0.64	5.5	WSW
2001/07	0.94	5.9	NW

2001/08	0.79	5.9	NNW
2001/09	1.71	7.1	N
2001/10	1.70	6.4	N
2001/11	1.59	6.8	N
2001/12	2.46	7.6	N
2002/01	2.29	7.2	N
2002/02	1.50	6.2	N
2002/03	1.65	6.3	N
2002/04	1.50	6.3	N
2002/05	0.72	5.0	NNE
2002/06	0.69	5.6	ENE
2002/07	0.59	4.9	WNW
2002/08	0.77	6.2	N
2002/09	1.40	6.6	N

表 7-8 GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較 (III)

$\alpha Q = 190 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(103.12,69.05)	(104.65,58.86)	(83.87,60.47)	(64.52,65.87)
0.3	(164.15,79.64)	(163.01,71.30)	(151.53,63.88)	(136.41,58.61)
0.4	(192.90,95.65)	(185.57,87.78)	(180.18,80.56)	(178.60,76.64)
0.5	(216.59,109.78)	(207.78,101.57)	(201.01,94.58)	(194.22,88.37)
$\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(113.22,64.90)	(93.81,62.59)	(72.81,66.33)	(57.19,71.65)
0.3	(154.14,76.80)	(151.58,67.91)	(140.35,61.27)	(125.28,56.95)
0.4	(180.97,90.79)	(175.02,83.39)	(172.39,76.89)	(168.98,71.73)
0.5	(203.83,103.70)	(197.20,96.70)	(190.92,90.18)	(184.93,83.89)
$\alpha Q = 250 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(103.12,69.05)	(84.05,68.69)	(64.55,72.98)	(56.45,76.35)
0.3	(146.71,74.81)	(141.65,66.11)	(129.32,60.20)	(115.12,56.81)
0.4	(171.34,87.31)	(165.10,80.07)	(164.85,73.78)	(159.67,67.93)
0.5	(193.33,99.02)	(187.43,92.43)	(181.63,86.09)	(177.58,80.69)

綜合比較上述沿岸輸沙量的計算結果，沿岸輸沙量在 $\alpha Q = 250 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下，GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料比較有較佳的預測結果。在 K_1 與 K_2 值分別為 (0.2, 0.6) 設定下，模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 56.45 公尺，其標準差為 76.35 公尺，如圖 7-8 所示。其模擬結果與實測資料在整體灘線趨勢變化上有顯著的差異存在，其原因可能受到缺乏當月平均代表波浪影響，以隨機取樣的波浪進行計算時無法表現出當時當月波浪的作用特性，如颱風波浪等，故仍造成明顯的差異表現。

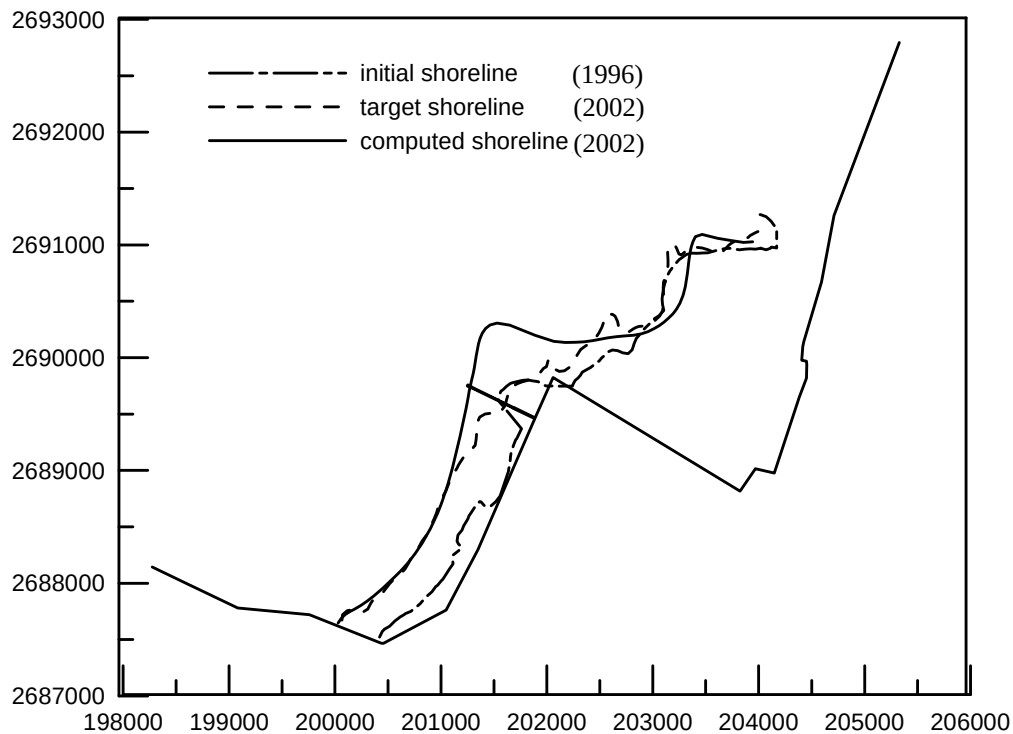


圖 7-6 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (III)
(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

7.4 灘線變化分析 (2002 年至 2006)

依據前述章節 GENESIS 模式模擬 1996-2002 年之地形為起始地形，加入延伸後之北防波堤，模擬 2002 年至 2006 年臺中港北防沙堤附近海灘之長期灘線變化。其模式計算結果分述下列章節：

7.4.1 冬、夏季代表波浪（方法 I）

本章節中所探討的波浪計算條件為 1996 至 2008 年波浪觀測下所得之代表波浪（2008 年海氣地象觀測年報，交通部運輸研究所），分為冬季代表波浪、夏季代表波浪與颱風波浪（ $H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$ ）。輸入條件如表 7-3 所示。由於北淤沙區侵淤量無法準確估算，本研究依照臺中港北淤沙區侵淤量累積曲線圖進行漂沙量估算，採用 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 70 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 90 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 110 \times 10^4 m^3 / year$ 進行模擬，結果如表 7-9 所示。

表 7-9 GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (I)

$\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(26.91,24.86)	(32.62,24.75)	(40.56,31.60)	(48.72,43.14)
0.3	(42.36,22.95)	(25.36,23.63)	(30.47,24.02)	(35.32,26.20)
0.4	(47.46,30.87)	(40.37,25.42)	(22.96,21.68)	(28.37,22.34)
0.5	(52.06,37.02)	(47.43,33.46)	(41.03,28.95)	(21.01,21.27)
$\alpha Q = 70 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(61.42,38.34)	(41.27,24.75)	(30.18,30.95)	(28.34,31.57)
0.4	(67.80,44.38)	(61.67,39.11)	(42.92,24.42)	(30.25,28.22)
0.5	(77.42,43.63)	(72.80,38.94)	(67.28,35.14)	(45.21,27.14)
$\alpha Q = 90 \times 10^4 m^3 / year$				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(88.11,48.70)	(57.79,36.41)	(49.41,35.58)	(44.70,36.41)
0.4	(97.33,49.43)	(91.16,43.98)	(64.46,34.71)	(46.90,33.41)
0.5	(105.52,47.96)	(101.11,44.06)	(95.56,39.94)	(76.84,32.47)
$\alpha Q = 110 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(117.16,52.90)	(87.34,36.25)	(82.77,34.99)	(74.37,35.00)
0.4	(126.12,52.74)	(119.75,47.46)	(87.20,33.09)	(76.22,32.75)
0.5	(132.68,51.10)	(128.52,47.35)	(122.77,43.42)	(94.13,32.22)

綜合比較上述沿岸輸沙量的計算結果，沿岸輸沙量在 $\alpha Q = 50 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 條件下，GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料比較有較佳的預測結果。在 K_1 與 K_2 值分別為 (0.5, 0.6) 設定下，模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 21.01 公尺，其標準差為 21.27 公尺，如圖 7-7 所示。北防沙堤與北防波堤間之灘線淤積幅度約為 13 至 200 公尺左右，北防沙堤堤址附近灘線淤積幅度約為 13 至 67 公尺。其模擬結果與實測資料在整體灘線趨勢變化上有著良好一致性。

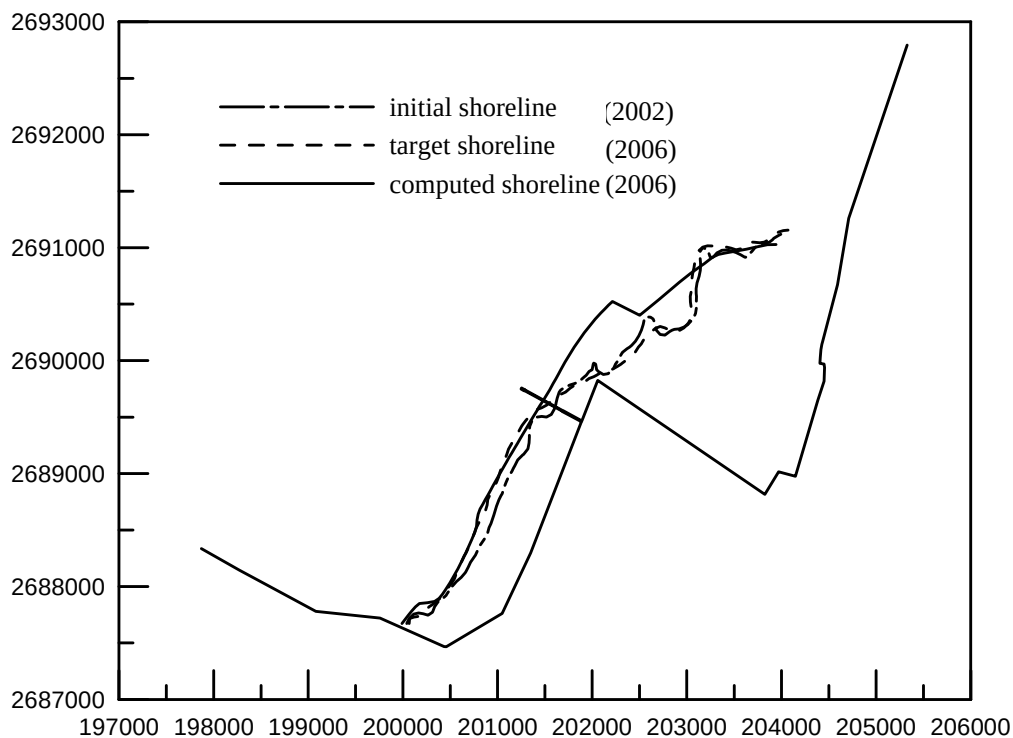


圖 7-7 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (I)
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$)

7.4.2 常年平均月代表波浪 (方法 II)

本章節中所探討的波浪計算條件為長期 (1996 至 2008 年) 波浪觀測下所得之月平均代表波浪 ($H_{1/3}$, $T_{1/3}$)，其輸入條件如表 7-10 所示。

本研究採用 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 70 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 90 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 110 \times 10^4 m^3 / year$ 進行灘線模擬，其計算結果如表 7-11 所示。綜合比較上述沿岸輸沙量的計算結果，沿岸輸沙量在 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下，GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料比較有較佳的預測結果。在 K_1 與 K_2 值分別為 (0.3, 0.6) 設定下，模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 36.38 公尺，其標準差為 19.89 公尺，如圖 7-8 所示。其模擬結果與實測資料在整體灘線趨勢變化上有顯著的差異存在，其原因可能為長時間作用下之月平均代表波浪無法表現出波浪的作用特性，如颱風波浪等。故在海岸灘線的變化趨勢上與實際的灘線變化上仍有些許差異。

表 7-10 GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件(II)

月份	波高 $H_{1/3}$ (m)	週期 $T_{1/3}$ (sec)	入射波向
1	2.06	6.4	N
2	2.00	6.7	N
3	1.83	6.2	NNE
4	1.05	5.8	NNE
5	1.06	5.7	WSW
6	0.90	5.8	ENE
7	0.99	7.6	WSW
8	0.90	7.6	N
9	1.43	6.8	N
10	2.07	6.5	N
11	1.85	6.4	N
12	2.23	6.7	N

表 7-11 GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (II)

$\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(55.74,29.27)	(49.54,26.76)	(43.03,23.81)	(36.38,19.89)
0.4	(64.13,33.23)	(59.21,31.31)	(54.21,29.35)	(49.17,27.12)
0.5	(69.64,36.02)	(65.65,34.42)	(61.54,32.88)	(57.26,31.20)
$\alpha Q = 70 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(69.90,42.73)	(64.54,39.22)	(58.91,35.48)	(52.66,31.19)
0.4	(77.79,46.75)	(73.23,44.50)	(68.68,41.97)	(64.21,39.08)
0.5	(83.58,49.71)	(79.74,47.93)	(75.67,46.06)	(71.77,44.01)
$\alpha Q = 90 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(90.38,54.91)	(85.60,50.99)	(80.62,46.83)	(75.41,42.01)
0.4	(97.79,59.48)	(93.77,56.77)	(89.89,53.66)	(85.76,50.50)
0.5	(103.84,62.44)	(100.30,60.51)	(96.93,58.06)	(93.50,55.48)
$\alpha Q = 110 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量，誤差量標準差 (單位：m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(117.44,60.36)	(113.85,54.96)	(109.71,49.59)	(104.87,44.26)
0.4	(124.01,66.45)	(121.45,62.06)	(118.47,57.76)	(115.21,53.52)
0.5	(130.04,70.20)	(127.90,66.48)	(125.59,62.77)	(123.09,59.16)

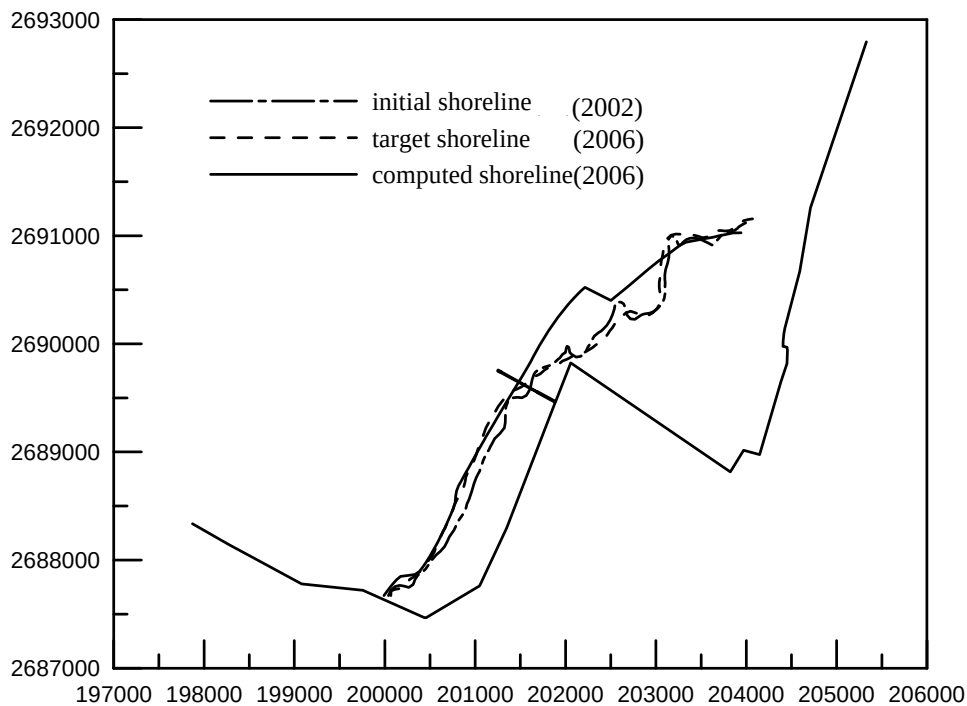


圖 7-8 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (II)
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)

7.4.3 當月代表波浪（方法 III）

本章節中所探討的波浪計算條件為波浪觀測下所得之當月平均代表波浪（ $H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$ ），當月份的波浪代表資料以 2002 年以後的每月實測資料進行模式模擬。其輸入條件如表 7-12 所示。本研究採用 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 70 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 90 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 110 \times 10^4 m^3 / year$ 進行灘線模擬，其計算結果如表 7-13 所示。

綜合比較上述沿岸輸沙量的計算結果，沿岸輸沙量在 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下，GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料比較有較佳的預測結果。在 K_1 與 K_2 值分別為（0.3,0.5）設定下，模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 22.66 公尺，其標準差為 19.97 公尺，如圖 7-9 所示。以此方式進行計算可得到與實測資料較為接近的情形，其結果與前述 1996 年至 2002 年的模擬結果一致。

表 7-12 GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件(III)

年/月	波高 $H_{1/3}$ (m)	週期 $T_{1/3}$ (sec)	入射波向
2002/01	2.29	7.2	N
2002/02	1.50	6.2	N
2002/03	1.65	6.3	N
2002/04	1.50	6.3	N
2002/05	0.72	5.0	NNE
2002/06	0.69	5.6	ENE
2002/07	0.59	4.9	WNW
2002/08	0.77	6.2	N
2002/09	1.40	6.6	N
2002/10	2.36	6.9	N
2002/11	2.29	6.2	NW
2002/12	2.87	6.5	NW
2003/01	3.38	7.8	N
2003/02	3.20	7.3	NNE
2003/03	2.32	6.6	ENE
2003/04	2.12	6.6	NNE
2003/05	1.31	5.7	NNE
2003/06	0.73	5.3	WSW
2003/07	0.88	5.6	NNE
2003/08	0.61	5.5	NNE
2003/09	1.12	5.7	N
2003/10	1.90	5.4	N
2003/11	2.47	5.5	NNE
2003/12	1.93	5.4	N
2004/01	1.94	5.2	N
2004/02	1.49	5.3	N
2004/03	2.00	5.4	NNE
2004/04	1.10	5.4	NNE
2004/05	0.86	5.2	WSW
2004/06	1.07	6.2	ENE
2004/07	0.84	5.3	WSW
2004/08	0.97	6.5	N

2004/09	1.31	6.9	N
2004/10	2.41	7.1	N
2004/11	2.11	7.0	N
2004/12	2.29	7.2	N
2005/01	2.19	7.1	N
2005/02	2.15	7.2	NW
2005/03	1.60	6.8	N
2005/04	0.92	6.1	NNE
2005/05	1.12	5.9	NNE
2005/06	0.99	5.8	NNE
2005/07	1.19	11.7	N
2005/08	1.24	12.4	N
2005/09	1.57	7.5	N
2005/10	2.28	7.1	NNE
2005/11	1.23	6.2	N
2005/12	2.87	6.5	NW
2006/01	2.06	7.0	N
2006/02	2.36	7.5	N
2006/03	1.89	6.3	N
2006/04	1.14	5.9	N
2006/05	1.21	6.0	N
2006/06	0.64	5.5	WSW
2006/07	0.94	5.9	NW
2006/08	0.79	5.9	NNW
2006/09	1.71	7.1	N
2006/10	1.70	6.4	N
2006/11	1.59	6.8	N
2006/12	2.46	7.6	N

表 7-13 GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (III)

$\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量, 誤差量標準差 (單位: m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	(36.76,21.53)	(28.22,21.31)	(31.13,21.89)	(40.42,29.37)
0.3	(37.87,22.14)	(28.33,22.18)	(22.66,19.97)	(24.21,17.08)
0.4	(57.49,30.50)	(50.36,32.15)	(42.94,33.93)	(36.68,34.33)
0.5	(77.02,41.25)	(71.70,43.16)	(65.76,44.93)	(59.85,46.80)
$\alpha Q = 70 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量, 誤差量標準差 (單位: m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(66.51,28.39)	(58.43,24.91)	(49.99,22.67)	(40.97,24.68)
0.4	(83.31,36.75))	(76.54,36.56)	(69.97,35.95)	(63.00,36.17)
0.5	(101.55,46.51)	(96.23,47.69)	(90.50,48.78)	(84.99,49.61)
$\alpha Q = 90 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量, 誤差量標準差 (單位: m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(97.24,33.46)	(89.64,28.23)	(81.35,24.28)	(72.03,23.42)
0.4	(111.77,40.78)	(105.62,39.29)	(99.39,37.55)	(93.81,36.40)
0.5	(128.12,50.21)	(123.37,50.30)	(118.08,50.29)	(112.96,50.58)
$\alpha Q = 110 \times 10^4 m^3 / year$ (平均誤差量, 誤差量標準差 (單位: m))				
K1 \ K2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	(128.46,38.45)	(120.68,32.70)	(112.18,27.96)	(102.68,25.01)
0.4	(141.37,43.90)	(135.44,41.41)	(129.20,39.19)	(122.53,37.46)

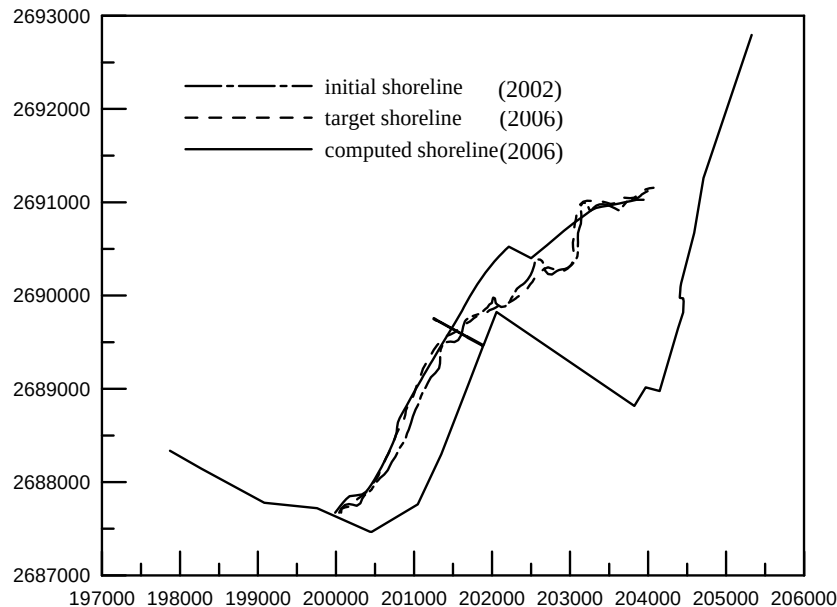


圖 7-9 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (III)
(自 2002 年至 2006 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)

7.5 綜合比較

1. 無完整波浪資料條件

本章節依據 7-3 節計算所得結果可知，在無完整波浪資料條件下，以常年季代表波浪（夏季與冬季）加上颱風波浪模擬，在固定沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下及 (K_1, K_2) 值為 $(0.2, 0.6)$ 參數設定下，可得最佳的設定結果。若以常年平均月代表波浪（1 月至 12 月）及當年月代表波浪設定為波浪參數進行模式計算，其平均誤差結果與實測值有較大的誤差產生，其誤差值約仍有 68 公尺左右，若以隨機取樣的波浪進行計算，其最小誤差值仍約有 56 公尺左右，其結果如圖 7-10 所示。於相同情況下，計算模式預測值與實測灘線預測結果之標準差，其結果如圖 7-11 所示。

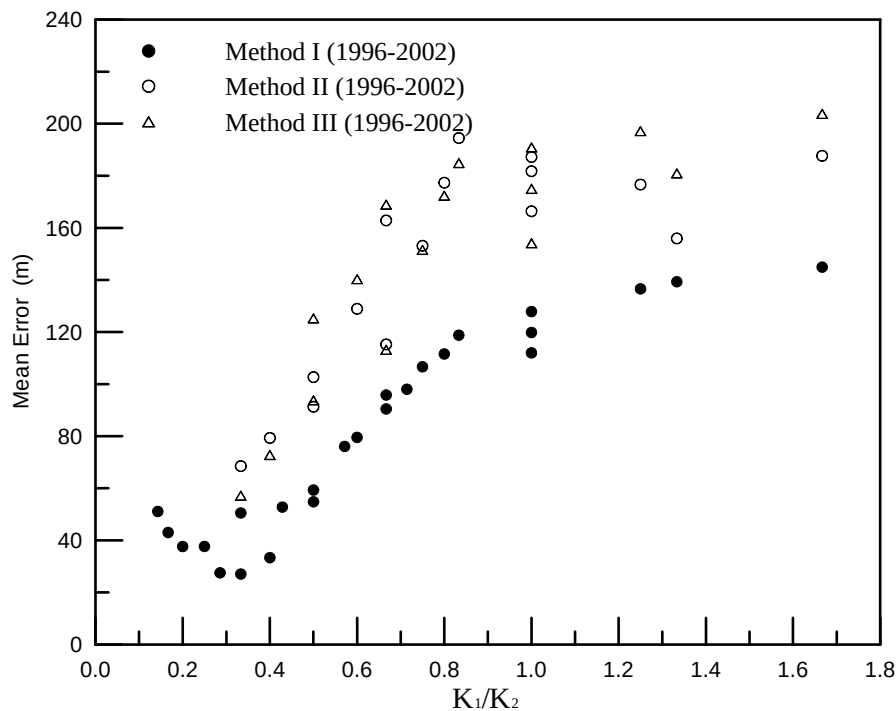


圖 7-10 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

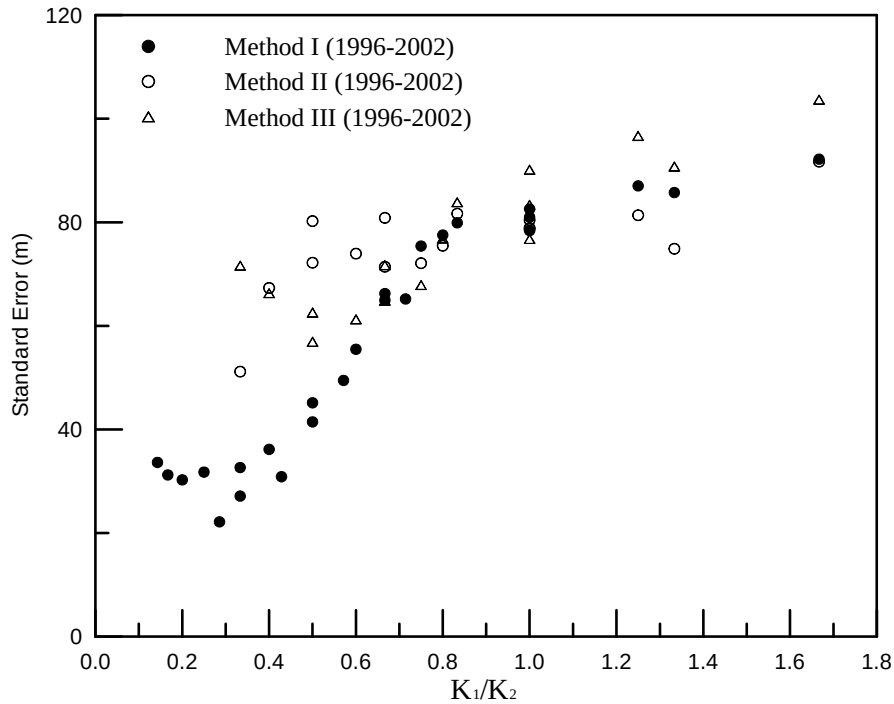


圖 7-11 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

2. 具有波浪資料條件

本章節依據 7-4 節計算所得結果可知，在具有波浪資料條件下，以常年季代表波浪（夏季與冬季）加上颱風波浪模擬，在固定沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下及 (K_1, K_2) 值為 $(0.5, 0.6)$ 參數設定下，可得最佳的設定結果。若以常年平均月代表波浪（1 月至 12 月）及當年月代表波浪設定為波浪參數進行模式計算，在固定沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下及 (K_1, K_2) 值為 $(0.3, 0.6)$ 參數設定下，其平均誤差結果與實測值有不錯的預測結果，其誤差值約仍有 21 公尺左右，若以隨機取樣的波浪進行計算，在固定沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下及 (K_1, K_2) 值為 $(0.3, 0.5)$ 參數設定下，其最小誤差值約可降至 20 公尺左右，其結果如圖 7-12 所示。於相同情況下，計算模式預測值與實測灘線預測結果之標準差，結果如圖 7-13 所示。

綜合比較上述以 GENESIS 模式探討 1996 年至 2002 年無完整波浪資料與 2002 年至 2006 年含有波浪資料下之計算結果，得到以下幾點結論：

1. 若考量無完整波浪資料情況下，應用 GENESIS 灘線模式模擬灘線變化，以常年季代表波浪（夏季與冬季）加上颱風波浪模擬可得最佳的灘線預測結果。
2. 若考量完整波浪資料情況下，應用 GENESIS 灘線模式模擬灘線變化，以 (1). 常年季代表波浪（夏季與冬季）加上颱風波浪模擬; (2) 常年平均月代表波浪（1 月至 12 月）; (3) 當年月代表波浪給定計算皆可得到不錯的灘線預測結果。以方法 I 與方法 III 預測灘線其預測值與實測值平均誤差值可控制在 23 公尺以內，其灘線預測平均誤差值與標準偏差可控制在 22 公尺以內。

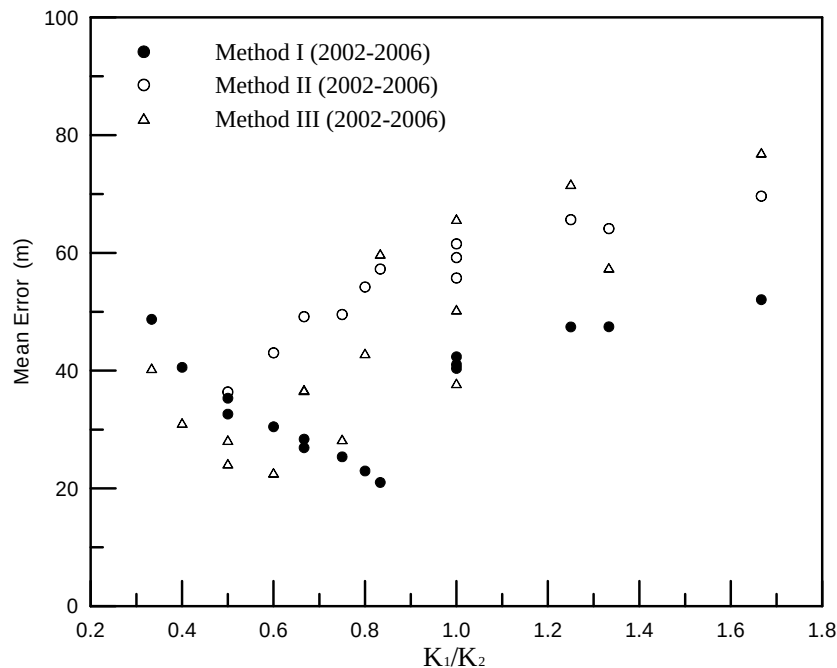


圖 7-12 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$)

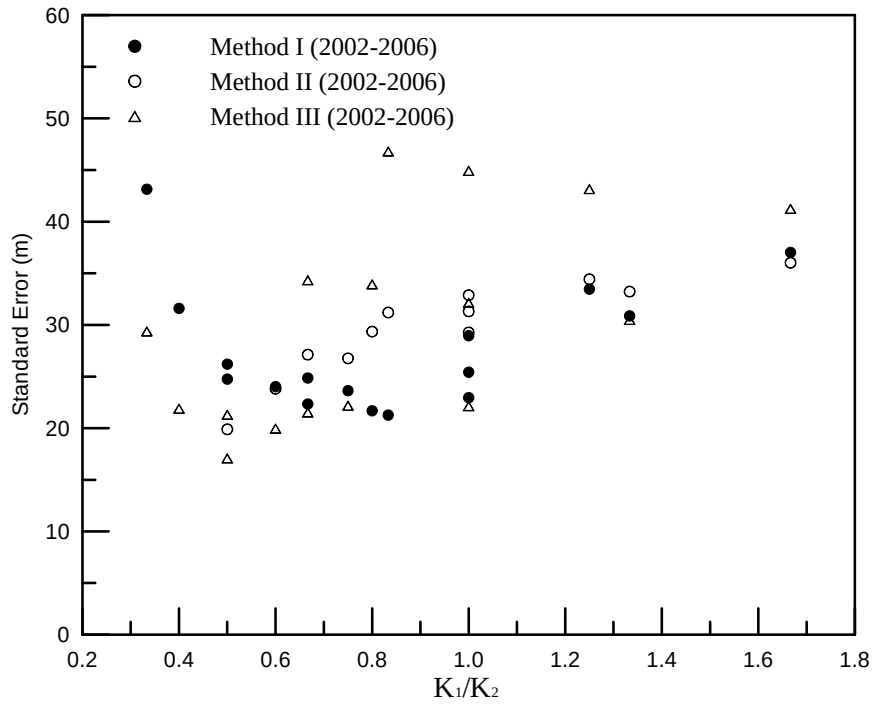


圖 7-13 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)

第八章 侵淤防治方案研擬與評估

近年來，臺中港北側淤沙速度加快，在北防波堤與北防沙堤間已形成廣大灘地，致飛沙現象較往年嚴重。由於北防波堤走向完全攔阻飛沙移動方向，南側更為臺中港重要營運區，北淤沙區之飛沙無法依循自然規律往下游搬運，加上淤沙區灘地面積日益擴增，若不加以整治，未來飛沙堆積現象將更趨嚴重。臺中港北淤沙區現有之防護功能日漸減小，一旦前線之林區及擋沙牆功能遭飛沙破壞，不僅遊憩專業區、電力專業區 II 將面臨無法開發，現有防風林區生態、景觀受到嚴重威脅外，臺中港航道、漁港水域更將重現受飛沙影響營運之窘境。

北淤沙區飛沙現象源於漂沙淤積之裸露灘地，只要大甲溪持續供應輸沙，淤積灘地將持續擴展，臺中港務局追蹤淤積沙量級觀測地形之自然擴張，初估以約 10 年之時距分期辦理漂飛沙整治，故第二期整治工程完成後，第三期整治工作有必要規劃接續辦理，方能持續將飛沙影響區有效隔阻於營運區之外，以確保臺中港營造已久之優質營運環境。此外，依據臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫報告書針對北淤沙區第三期整治提出以下列四種方向整治方向：

1. 清除淤沙，減緩下游港外航道淤積速度。
2. 穩定淤沙灘地地形，以利設置整治設施。
3. 清除堆積之飛沙，改善陸域環境品質。
4. 削減裸露灘地，攔阻及抑制飛沙。

漂沙整治之可行方案

北淤沙區之飛沙問題源於漂沙淤積，而漂沙淤積問題亦影響航道水深之維持，因此整治漂沙根本之道在於解決漂沙問題，目前臺中港之漂沙特性，可行性之整治方法包括：

● 延長北防沙堤

北防沙堤為北淤沙區第一線攔沙堤，延長後可恢復攔沙功能，立即發揮攔蓄沙效果，提高北淤沙區儲沙能力，並將漂沙動線往外海方向推移，降低迴遶至港外航道之漂沙量。依 30 年來地形資料顯示之攔沙效果，北防沙堤延長 300m 後，可立即提高北淤沙區儲沙容量 300 萬方以上，而北防沙堤堤頭附近水深若淤淺，相對於疏浚整治，整治成本較低，且可藉自然力量形成土地，整治漂沙效果佳且具經濟性。

● 定沙突堤工程

在北防波堤北側第一道轉折處，朝北方（約與該處漂沙動線垂直）設置 1 座長 450m 定沙突堤，以穩定灘地地形並兼具提高北淤沙區攔阻漂沙能力，其配置示意如圖 8-1 所示：

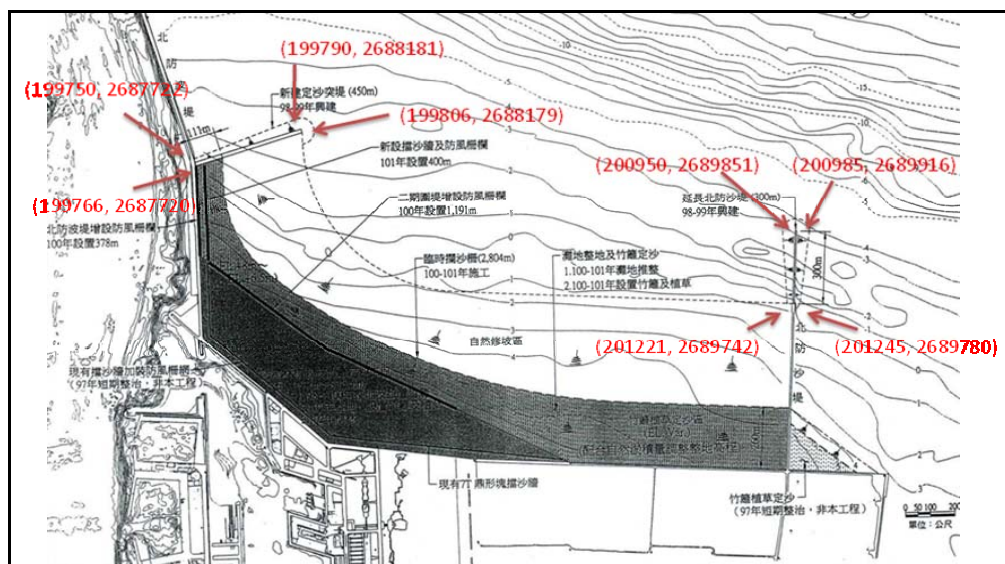


圖 8-1 漂沙整治方案配置圖

8.1 整治方案對漂沙特性之影響

圖 8-2~圖 8-4 為臺中港於新建定沙堤及延長攔沙堤配置下，總計算時間區段所求得之平均輸沙潛量，圖中平均輸沙潛量之主要傳輸方向用箭頭表示，平均輸沙潛量之多寡用彩色色階及箭頭大小表示。由圖 8-2 整治方案興建定沙堤及延長攔沙堤設置後，冬季季風漂沙潛量的比較可知，興建定沙堤的設置將使其北側輸沙潛量增大，而使原本在該處的淤積可能轉為侵蝕。在興建定沙堤和北防波堤堤頭間，由於漂沙潛量遞減，顯示該區將產生淤積。在北防波堤堤頭北側有一局部輸沙潛量減小區，表示該區將產生淤積。由圖 8-3 夏季季風漂沙潛量的比較可知，輸沙潛量分布的結果大致相同。由圖 8-4 新建定沙堤及延長攔沙堤設置後，10 年迴歸期颱風漂沙潛量的比較可知，在興建定沙堤的堤頭輸沙潛量有些微的增大，顯示該處將產生侵蝕，而在堤後由於輸沙潛量的降低，因此將產生淤積的現象。

經由上年度以突堤上游灘線變化之理論分析整治方案配置下之定沙堤後灘線淤積至堤頭之時間，在假設年沿岸輸沙量為 $\alpha Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3、0.5 及 0.7 三種狀況下，在延伸定沙突堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間在 1.7-8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 及 5.6 年。

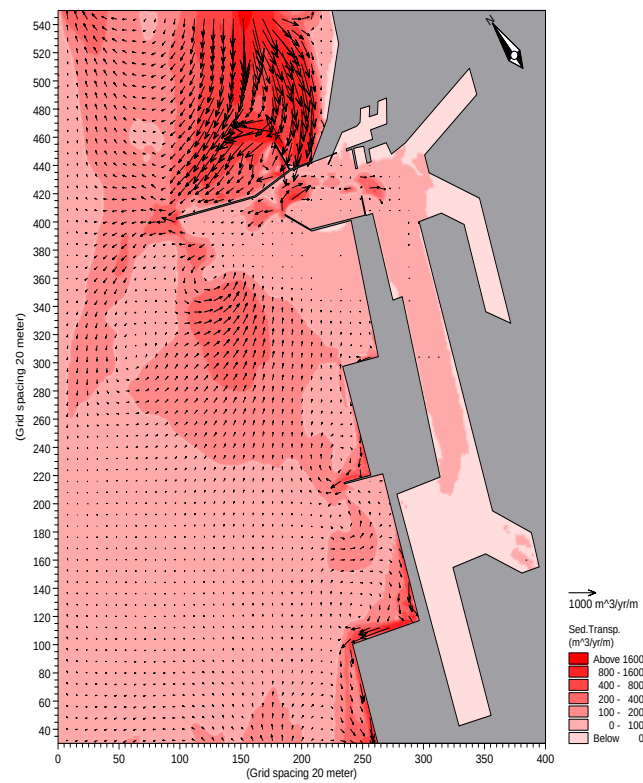


圖 8-2 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=5.6\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖

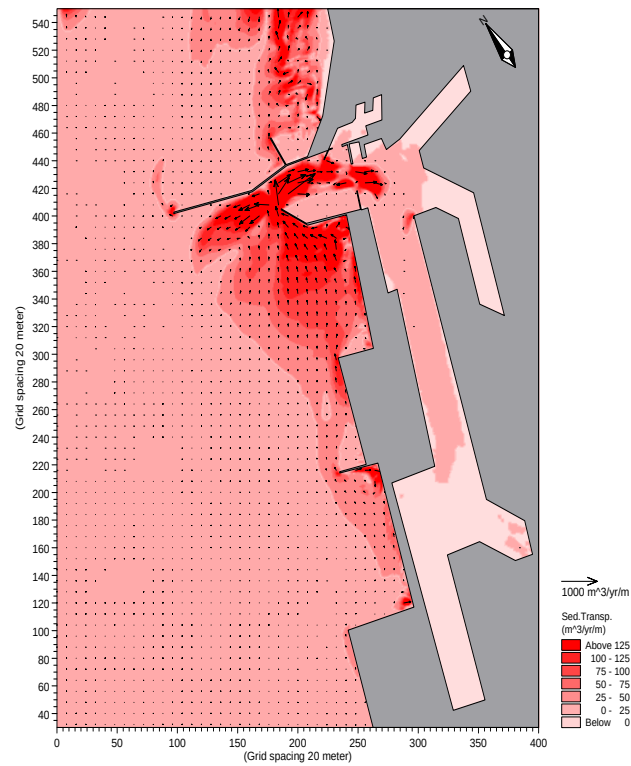


圖 8-3 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=5.3\text{sec}$ ，W 向)流場分布圖

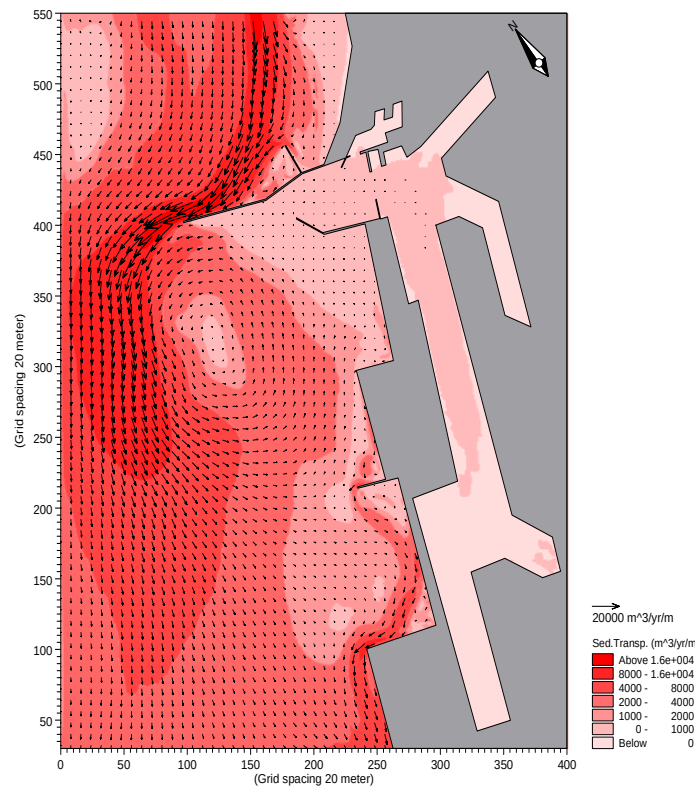


圖 8-4 颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖

8.2 防治方案研擬

對於整治方案之防治對策，本研究依據上年度研究計畫所得之漂沙移動特性擬定整治方案，對於整治方案興建後之海域有下列幾點特性：

1. 興建定沙堤及延長攔沙堤的設置，將使北淤沙區近岸產生淤積，而在新建定沙堤的堤頭將使原本該處的淤積轉為侵蝕，並在堤頭和北防波堤堤頭間產生淤積。
2. 興建定沙堤的設置將使其北側輸沙潛量增大。
3. 經由 GENESIS 灘線模式與實測資料分析，北防波堤堤址處灘線變動趨緩，並無明顯淤積趨勢，北防沙堤堤址處有淤積的現象發生。

依據上述漂沙特性與整治方向，本研究研擬三種防治方案進行評估。

- (一) 方案 1 (新建定沙突堤 450 公尺與北防沙堤 300 公尺)。
- (二) 方案 2 (由方案 1 佈置再延伸定沙堤至 600 公尺與北防沙堤至 600 公尺)。
- (三) 方案 3 (由方案 1 佈置再於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建一定沙突堤 450 公尺)。

本研究對於方案 1 與方案 2 的評估，以一維灘線模式進行灘線淤積至堤頭時間進行評估，其中選定透過率 α 為 0.5 之沙量進行計算， αQ 為 125 萬立方公尺。此外，受限於 GENESIS 模式的使用限制，方案 3 的佈置將以二維平面模式進行評估。

8.3 防治方案評估

本研究第一年（98 年）沿岸漂沙特性成果及臺中港務局規畫之定沙方案擬定防治方案，以突堤上游灘線變化之理論解析及 GENESIS 灘線模式來評估防治方案之成效，即評估建構定沙堤後灘線淤積至堤頭之時間。

8.3.1 方案 1 評估

A. 突堤上游灘線變化

海岸建構突堤後，上游之沿岸漂沙因突堤之阻隔而會淤積於上游處，隨時間之增加灘線會隨之往外海移動，由漂沙之質量守恆原理，可推估灘線淤積至堤頭之時間為

$$t_{full} = \frac{\pi d_p S_e^2}{4Q \tan \alpha_0} \quad (8-1)$$

式中 S_e 代表突堤長度； d_p 為漂沙高度，即漂沙水深加上沙灘平台之高度； Q 為沿岸輸沙量； α_0 為初始灘線與沿岸座標之夾角，符號定義如圖 8-5，突堤上游灘線變化之理論解析詳見 Kamphuis (2006)。

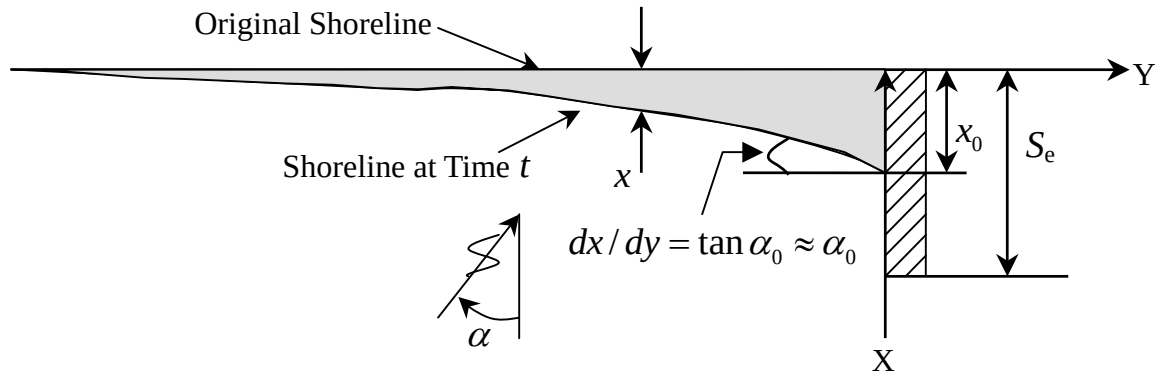


圖 8-5 突堤上游灘線變化解析所使用之符號示意

本研究選擇 2002、2005 及 2008 年之灘線，在北防波堤往北以 50m 間距，取 3 點 (y_0, y_1) 來計算灘線在防波堤之夾角(α_0)，以數值微分之二點法，即割線法 (secant method) (Gerald 及 Wheatley, 1996)，其計算公式如下

$$\tan \alpha_0 = \frac{y_0 - y_1}{\Delta x} \quad (8-2)$$

由式(8-2)所得三年之 α_0 分別為 19.3° 、 17.6° 及 19.0° ，三者平均值為 18.06° ，在北防沙堤之灘線與北防波堤者相似， α_0 夾角約為 19° 。

由第一年分析北防波堤之沿岸輸沙量約為 $Q=250$ 萬立方公尺，考慮沿岸輸沙量變異性，本研究另外增加 $Q=125$ 萬立方公尺加以計算比較。考慮臺中海域之潮差可達 4m，因此由漂沙界限($d_p=4.05m$)加上潮差之半，可得 $d_p=6.05$ 公尺。新建北防沙堤長為 300m，由公式(8-1)在 $\alpha_0=19^\circ$ ， $Q=125$ 及 250 萬立方公尺條件，計算灘線淤積至堤頭之時間分別為 0.5 及 1.0 年。

延伸的北防沙堤之堤頭在-3m 水深上，由漂沙界限($dp=4.05m$)可知初期還有漂沙流過延伸北防沙堤至定沙突堤。若以長度比例估算 $(4.05-3.0)/4.05=0.26$ ，若時間久後，堤頭淤積到一個程度通過漂沙之比例自然增加，故本研究假設透沙率為 0.3、0.5 及 0.7 三種狀況，以式(8-1)計算灘線淤積至定沙突堤堤頭之時間示如表 8-1。表 8-1 之第二行(t_{1full})為灘線淤積延伸北防沙堤堤頭之時間，即為 0.5 或 1.0 年；第三行(t_{2full})為灘線淤積新建定沙突堤堤頭之時間；第四行為二者之和。

表 8-1 以突堤上游灘線變化的理論計算灘線淤積至堤頭之時間

αQ ($\times 10^4 m^3/yr$)	$t_{1full}(yr)$	$t_{2full}(yr)$	$t_{full}(yr)$
250	0.5	1.1	1.7
250×0.7	0.5	1.6	2.1
250×0.5	0.5	2.2	2.7
250×0.3	0.5	3.8	4.3
125	1.0	2.3	3.3
125×0.7	1.0	3.3	4.3
125×0.5	1.0	4.6	5.6
125×0.3	1.0	7.6	8.6

由表 8-1 可知，沿岸輸沙量若為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺在不同的防沙堤透射率條件，在新建定沙突堤與延伸北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間在 1.7-8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 及 5.6 年。

B. 灘線模擬評估

本研究以 GENESIS 灘線預測模式進行模擬，探討方案 1 佈置條件下（新建定沙突堤 450 公尺及北防沙堤延伸 300 公尺）之灘線變化。以無防治對策之方案 0，以 2002 年灘線模擬至 2010 年灘線，接著加入以方案 1 佈置進行模擬，模擬時間為 2010 年至 2015 年，其中方案 1 之沿岸輸沙量於假設為 $\alpha Q=125$ 萬立方公尺，計算結果如圖 8-6 所示，

圖形顯示 2002 至 2010 年間以及 2010 至 2015 年間，此區域灘線持續往海測平移。2010 至 2015 年間北防波堤堤體附近以及定沙突堤附近之灘線淤積幅度約在 200 公尺左右。圖中並顯示，北防沙堤之灘線已成長至堤頭附近處，防沙堤將失去攔阻沿岸漂沙之功效。

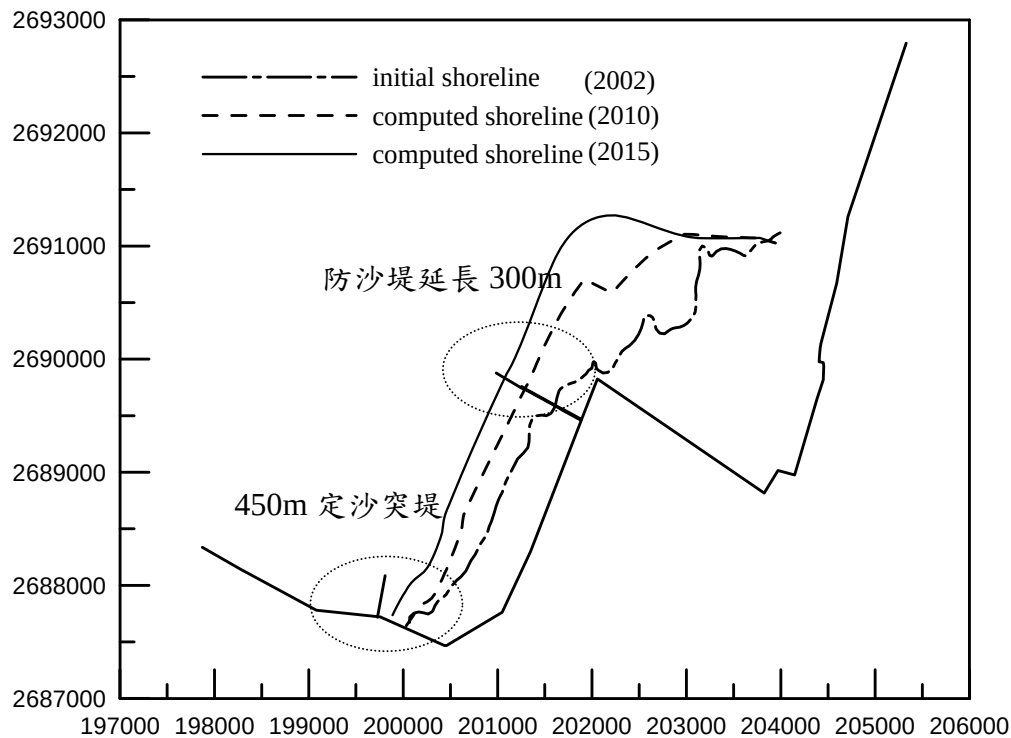


圖 8-6 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (北防沙堤延伸和新建定沙堤，2002 年至 2015 年)

8.3.2 方案 2 評估

A. 上游灘線變化之評估

本節對以方案 1 佈置為基礎，再延伸北防沙堤 300m 以及再延伸定沙突堤 150m 之方案 2，進行上游灘線變化評估。由表 8-2 可知，假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3、0.5 及 0.7 三種狀況下，灘線淤積至定沙突堤堤頭時間介於 0.62~1.84 年。若以平均防沙堤透過率 0.5 為條件，則方案 2 建置後，灘線淤積至定沙突堤堤頭時間為 3.44 及 7.11 年 ($\alpha=0.5$ ， $Q=125$ 及 250 萬立方公尺)。

表 8-2 以突堤上游灘線變化的理論計算灘線淤積至堤頭之時間

αQ ($\times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$)	$t_{1\text{full}}(\text{yr})$	$t_{2\text{full}}(\text{yr})$	$t_{\text{full}}(\text{yr})$
250	0.5	0.12	0.62
250 $\times$ 0.7	0.5	0.17	0.67
250 $\times$ 0.5	0.5	0.24	0.74
250 $\times$ 0.3	0.5	0.42	0.92
125	1.0	0.25	1.25
125 $\times$ 0.7	1.0	0.36	1.36
125 $\times$ 0.5	1.0	0.51	1.51
125 $\times$ 0.3	1.0	0.84	1.84

B. 灘線模擬評估

在方案 2 佈置條件下（北防沙堤再延伸 300 公尺共延伸 600 公尺以及定沙突堤再延伸 150 公尺共 600 公尺），以 GENESIS 灘線預測模式進行模擬計算，探討其灘線變化的情形。以 2002 年灘線為初始灘線在無新增港灣佈置條件下，以 GENESIS 模式模擬計算至 2010 年；接著加入方案的佈置條件進行模擬，模擬時間為 2010 年至 2015 年；接著再以方案 2 的佈置條件由 2015 年模擬計算至 2020 年，其中方案 2 防沙堤及定沙突堤延伸後之沿岸輸沙量定為 $\alpha Q=125$ 萬立方公尺，結果如圖 8-7 所示。圖形顯示，在防治方案 2 佈置後，在北防沙堤附近，其灘線前進約 200 公尺，但在定沙突堤附近，灘線往海測前進約 80 公尺，北淤沙區淤沙面積較未延伸前有明顯的增長，達到穩定的淤沙效果。

8.3.3 方案 3 評估

本研究另以漂沙模式計算，進行方案 3 的評估，方案 3 為在方案 1 佈置下，於定沙突堤北側再興建一定沙突堤 450 公尺，如圖 8-8 所示，主要目的為當方案 1 定沙突堤定沙的功能失效時，能再有第二道防線，繼續將沿岸漂沙攔阻下來，避免漂沙進入臺中港航道。

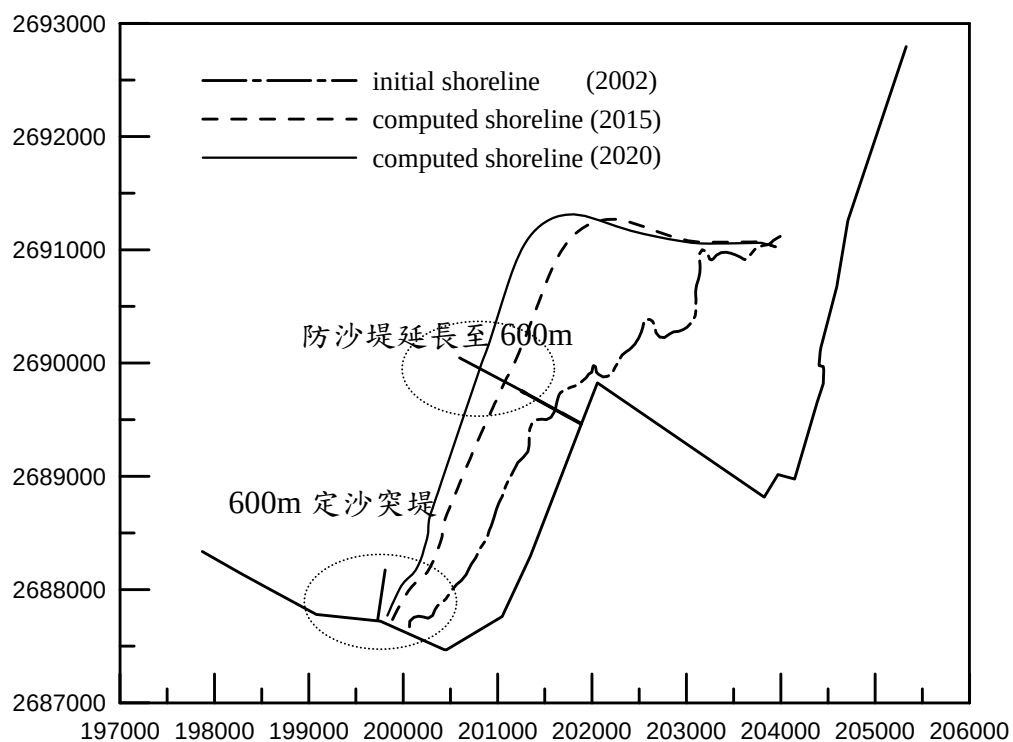


圖 8-7 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (延伸北防沙堤延伸和新建定沙堤，2002 年至 2020 年)

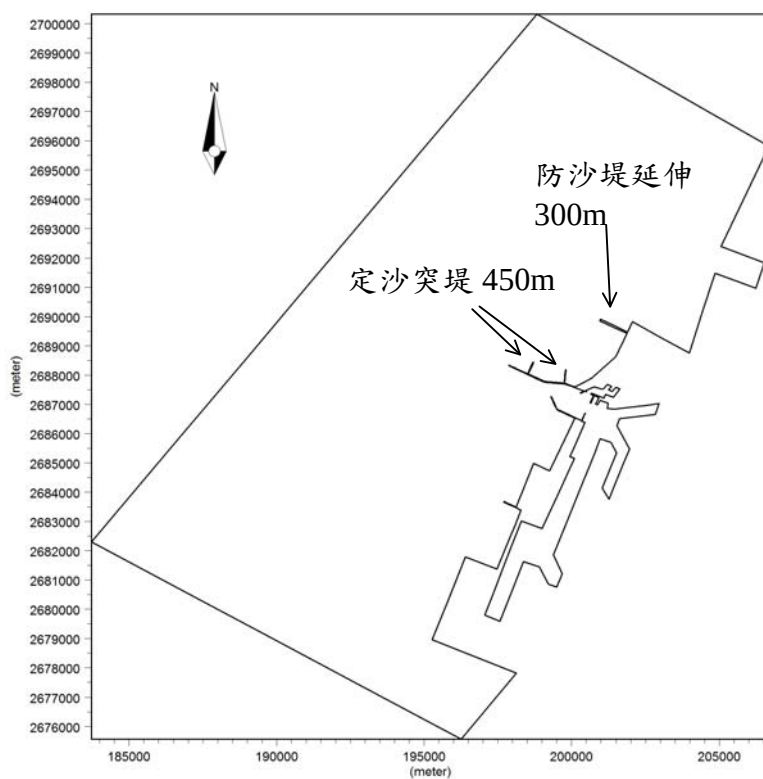


圖 8-8 漂沙防治方案 3 佈置示意圖

圖 8-9 和圖 8-10 是以 2004 年為起始地形，分別模擬方案 1 和方案 3 至 2005 年的地形侵淤變化，由圖 8-9 顯示，方案 1 的淤積量集中在北防沙堤和新建定沙突堤之間，待該區域淤積量過多而無法再攔阻沿岸漂沙時，本研究研擬於海側再興建一定沙突堤，興建後的侵淤情形如圖 8-10 所示，由圖中可知，沿岸漂沙被攔阻在第 2 道定沙突堤前，顯示該突堤可繼續攔阻沿岸漂沙，避免該漂沙向南輸送至臺中港航道。

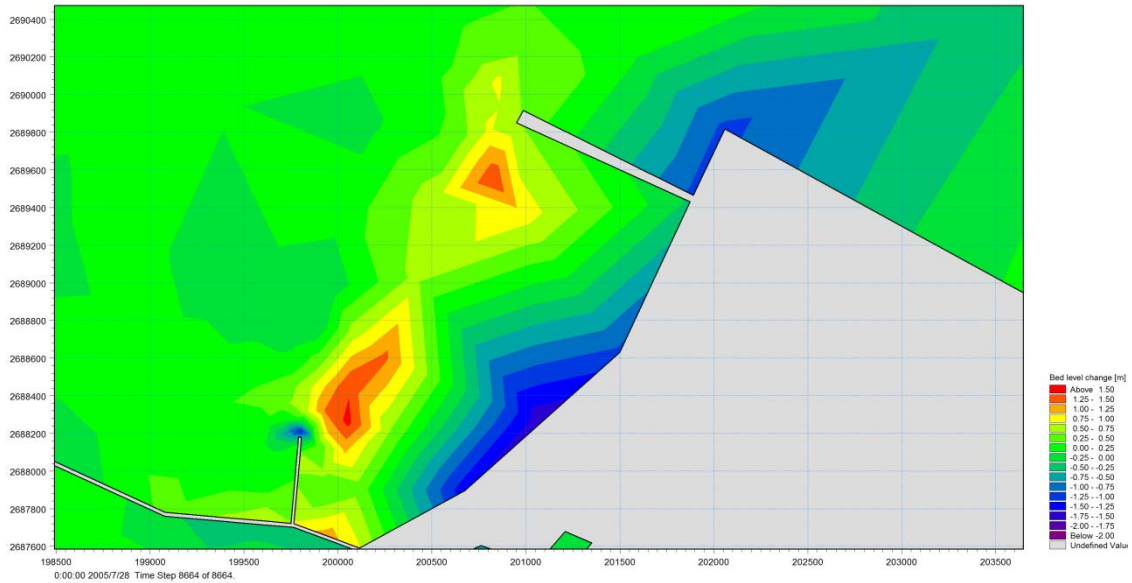


圖 8-9 北淤沙區侵淤量(方案 1)

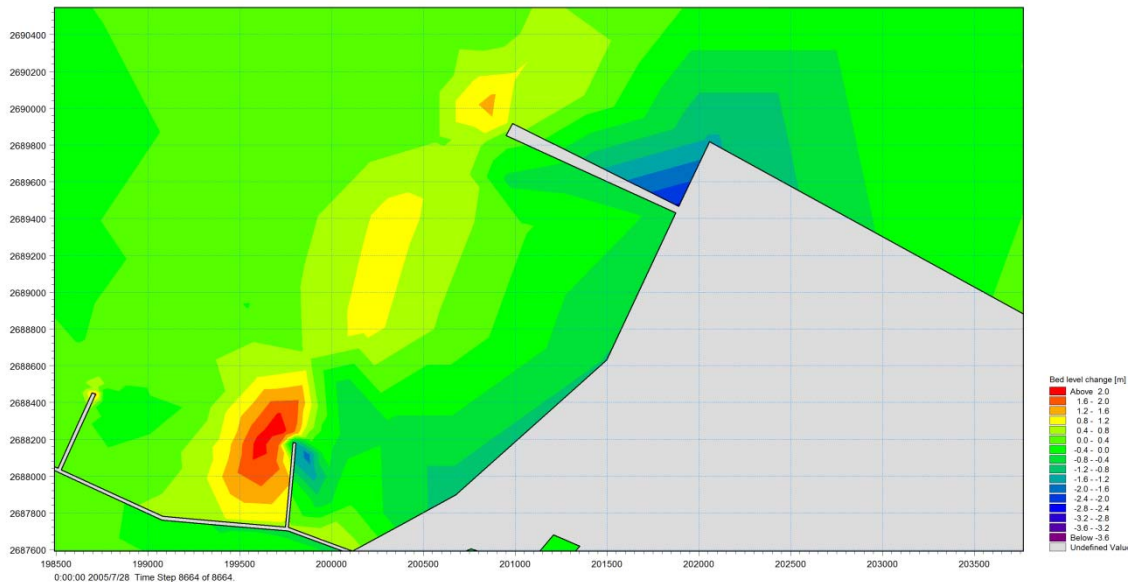


圖 8-10 北淤沙區侵淤量(方案 3)

本研究另以斷面水深分析比較不同防治方案之效果，其斷面剖面示意如圖 8-11 所示。圖 8-12~8-14 為各方案 Line 1~Line 3 的剖面水深比較圖，各方案皆以 2004 年為起始地形模擬至 2005 年地形，圖中細實線為方案 0 的剖面、細虛線為方案 1 的剖面而粗實線為方案 3 的剖面，由圖 8-12 之 Line 1 的剖面比較結果顯示，方案 1 於近岸附近較方案 0 有些微的淤積，而方案 3 與其他 2 個方案相比，於近岸附近則有大量的淤積。由圖 8-13 Line 2 的剖面可知，方案 1 於近岸附近較方案 0 已有大量的淤積，而方案 3 於近岸的淤積量則更大於方案 1。由圖 8-14 之 Line 3 橫向剖面比較顯示，方案 0 和方案 1 的水深剖面相當接近，方案 3 於堤頭附近為侵蝕而於北防波堤北側則為淤積，航道附近則無明顯變化。綜合上述結果顯示，本研究提出的方案 3 可將沿岸漂沙攔阻於北淤沙區，且由於降低漂沙向南的輸送量，即達到臺中港避免漂沙進入港區的防護目標。

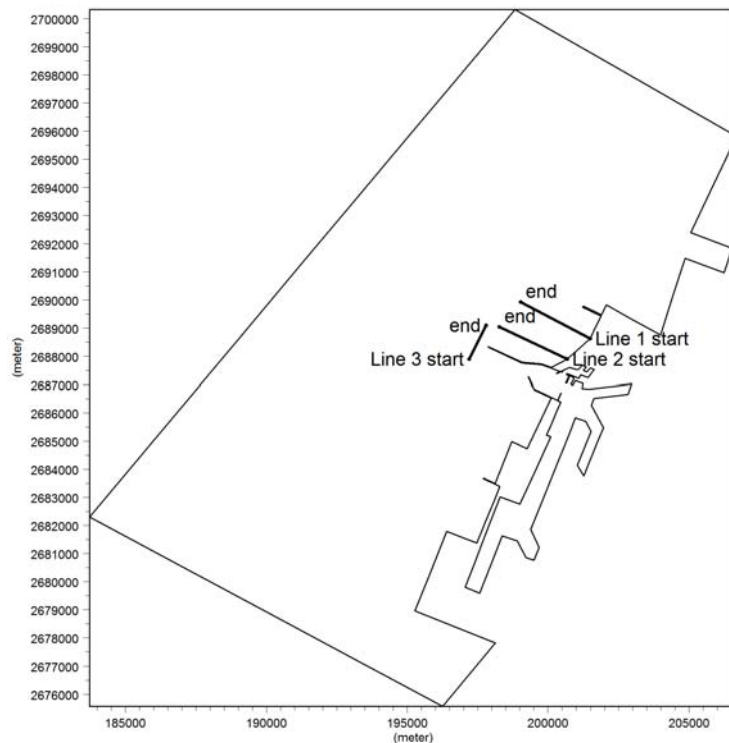


圖 8-11 地形剖面位置示意圖

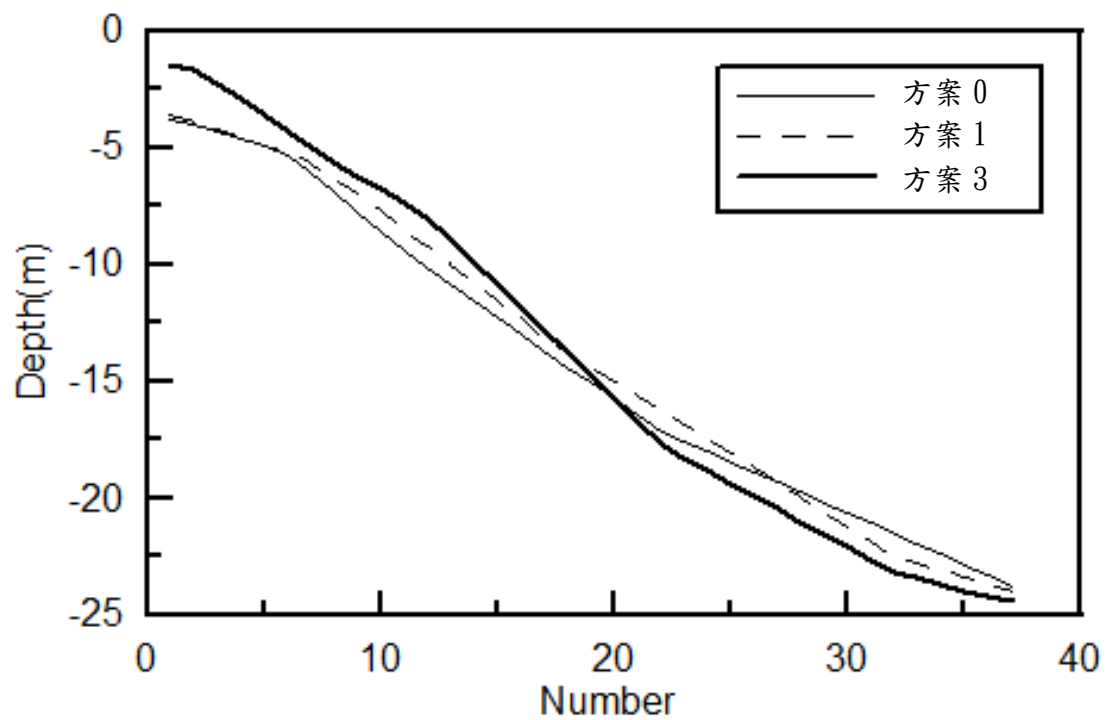


圖 8-12 不同配置方案 Line 1 剖面水深比較圖

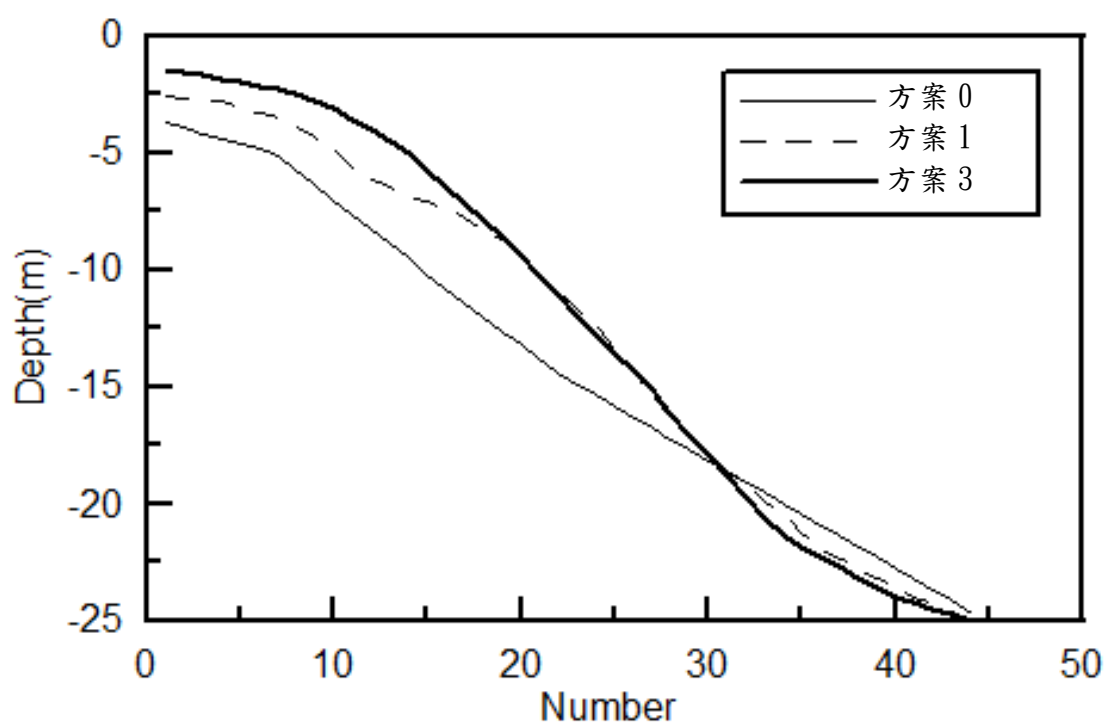


圖 8-13 不同配置方案 Line 2 剖面水深比較圖較

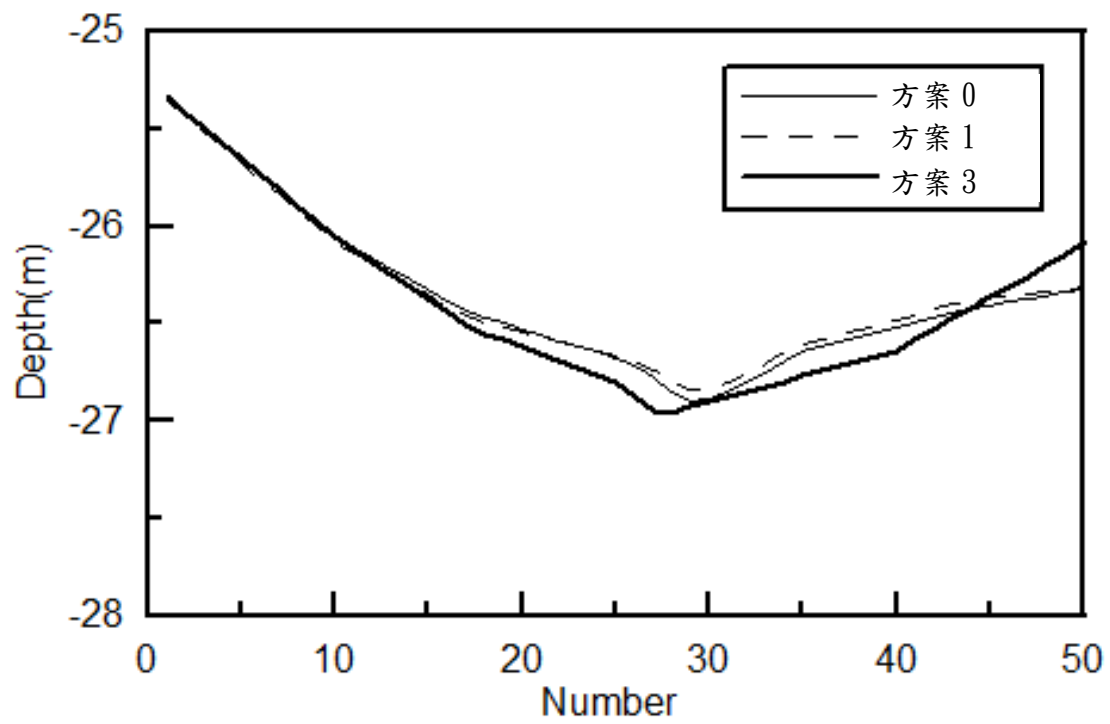


圖 8-14 不同配置方案 Line 3 剖面水深比較圖

第九章 系列潛堤保護工法特性研究

近年來海岸侵蝕問題持續威脅臺灣海岸，為傳統海岸保護工法如護岸、突堤、離岸堤等均與侵襲的波浪作直接的抵抗，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，且堤體本身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，離岸潛堤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。其非利用堤頂碎波原理，故佈置位置較傳統離岸潛堤的水深的底床（約 6-15 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) 進一步以水工模型試驗加以驗證之並分析其堤後消波效果。由上述研究顯示三組以上複合式系列潛堤的布拉格反射機制更為複雜，值得進一步加以探討。

為釐清複合式系列潛堤各影響參數間變化的特性，本研究以 Miles (1981) 理論為基礎，推導波浪通過系列潛堤之反射率，利用反射率方程式中形成的各參數函數，分別進行計算以探討各參數函數影響反射率分佈之關係，最後得到影響布拉格反射產生反射率陡降的原因。

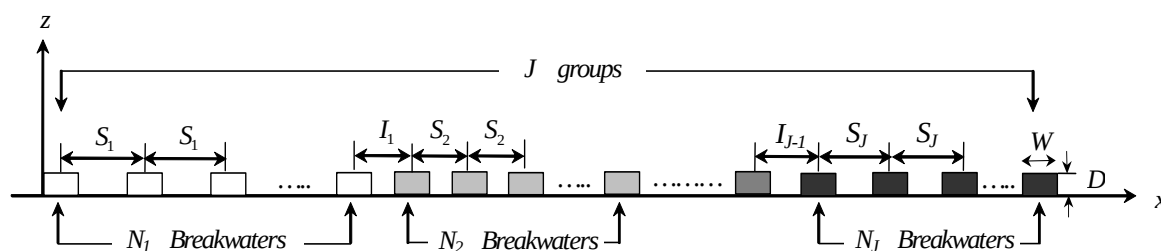
9.1 理論模式

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

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

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

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

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


將上式 $\delta(x)$ 代入式 (9-1) 中積分得到反射率如下

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

9-3

$$A_j = \frac{\sin(k_x N_j S_j)}{\sin(k_x S_j)}, j = 1, 2, \dots, J \dots\dots\dots (9-5)$$

$$A_p = \frac{\sin(k_x N_j S_p)}{\sin(k_x S_p)}, p = 1, 2, \dots, J - 1 \dots\dots\dots (9-6)$$

$$A_q = \frac{\sin(k_x N_j S_q)}{\sin(k_x S_q)}, q = 2, 3, \dots, J \dots\dots\dots (9-7)$$

$$\begin{aligned} X_{pq} &= N_1 S_p + 2 \sum_{i=p+1}^{q-1} (N_1 S_i + 2I_i) \\ &= N_1 S_p + 2 \sum_{i=p+1}^{q-1} (N_1 S_i + I_{i-1}) + N_1 S_q + 2I_{q-1}, p < q \end{aligned} \dots\dots\dots (9-8)$$

由式(9-4)~(9-8) 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。

9.2 數值模式

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

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

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

$$k_c^2 = \left[\frac{g\vec{F}_1 \cdot \nabla_h \delta + gF_2 + k^2 CC_g}{CC_g - g(1 - \lambda^2)\delta} \right] - \frac{\nabla_h^2 \sqrt{CC_g - g(1 - \lambda^2)\delta}}{\sqrt{CC_g - g(1 - \lambda^2)\delta}} \dots\dots\dots (9-10)$$

$$\vec{F}_1 = \lambda(1 - \lambda^2)(k\nabla_h h + h\nabla_h k) \dots\dots\dots (9-11)$$

$$F_2 = \alpha_1(\nabla_h h)^2 k + \alpha_2 \nabla_h^2 h + \alpha_3 \nabla_h k \cdot \nabla_h h / k + \alpha_4 \nabla_h^2 k / k^2 + \alpha_5 (\nabla_h k)^2 / k^3 \dots\dots (9-12)$$

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

$$\alpha_1 = -\lambda(1 - \lambda^2)(1 - \lambda q) - 2(1 - \lambda^2)\lambda^2 k \delta \dots\dots\dots (9-13)$$

$$\alpha_2 = -\lambda q(1 - \lambda^2)/2 + (1 - \lambda^2)\lambda k \delta \dots\dots\dots (9-14)$$

$$\alpha_3 = q(1 - \lambda^2)(2q\lambda^2 - 5\lambda/2 - q/2) - 2(1 - \lambda^2)(2\lambda^2 q - \lambda - q)k \delta \dots\dots\dots (9-15)$$

$$\alpha_4 = q(1 - \lambda^2)(1 - 2\lambda q)/4 - \lambda/4 + (1 - \lambda^2)\lambda q k \delta \dots\dots\dots (9-16)$$

$$\alpha_5 = q(1 - \lambda^2)(4\lambda^2 q^2 - 4q^2/3 - 2\lambda q - 1)/4 + \lambda/4 + (1 - \lambda^2)q^2(1 - 2\lambda^2)k \delta \dots\dots\dots (9-17)$$

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

9.3 結果及討論

本研究利用蔡和徐 (2010) 所發現布拉格反射條件下會發生反射率陡降的三組系列潛堤佈置條件，以第三組的潛堤逐一增加堤數方式，測試第三組潛堤的佈置是否為導致發生反射率陡降的原因。此外，以相同方法測試利用第三組堤距介於第一組及第二組之間，測試是否亦會發生反射率陡降現象。最後利用一系列不同的第三組堤距佈置，加以探討在不同的 $2S/L$ 條件下，反射率分佈的情形，並找出發生反射率陡降佈置條件。

為找出引起反射率陡降的來源，利用反射率方程式內組成的各參數函數，分別進行計算並探討各參數以及函數影響反射率分佈之關係，計算測試依序為：由堤寬 W 所形成之函數 $\sin(k_x W)$ 、水深 h 函數 α 、各組堤距函數（ A_j 、 A_p 與 A_q ）、堤距互制與堤組距互制函數 $\cos(k_x \chi_{pq})$ 及 $A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})$ ，以每兩組作組合測試。最後利用上述結果並進行一系列計算分析繪圖探討，並研擬複合式系列潛堤之適合佈置條件。

以本研究理論模式（Miles (1981)）與試驗室試驗值（蔡和徐 (2010)）以及 EEMSE (Hsu 等人 (2003)) 數值模式計算結果比較如圖 9-2 所示，潛堤佈置條件為：堤高 $D=0.24m$ ，堤寬 $W=0.6m$ ，系列潛堤組數 $J=3$ ，各組堤數 $N_1=N_2=N_3=4$ ，各組堤距 $S_1=2.4m$ 、 $S_2=1.8m$ 、 $S_3=1.6m$ ，組距 $I_j=S_{j+1}$ （ $I_1=S_2=2.4m$ ， $I_2=S_3=1.8m$ ），入射水深 $h=0.6m$ ，入射波高為 $H_i=0.04m$ ， $T_i=1.03\sim 4.03\text{sec}$ ，故試驗之 $2S_1/L=0.5\sim 3.0$ 。圖形顯示 Miles (1981)在 $2S_1/L=0.75\sim 1.6$ 間會發生布拉格反射的現象，其中有三個反射率尖峰值（ $R=0.620$ 、 $R=0.640$ 及 $R=0.732$ ），分別發生在 $2S_1/L=0.898$ 、 1.024 及 1.280 。在布拉格反射條件範圍內，於 $2S_1/L=1.119$ 條件發生特殊的反射率陡降（達 $R=0.176$ ）現象，此特殊現象為往昔複合式潛堤為兩組堤距組成條件未發現過的現象。此外，由反射率試驗值以及 EEMSE (Hsu 等人，2003)模式計算結果顯示在布拉格反射發生範圍內亦會發生反射率低值現象，目前此機制發生原因尚無文獻發現及討論，本研究將以上述方式探討其發生的原因以及原理。

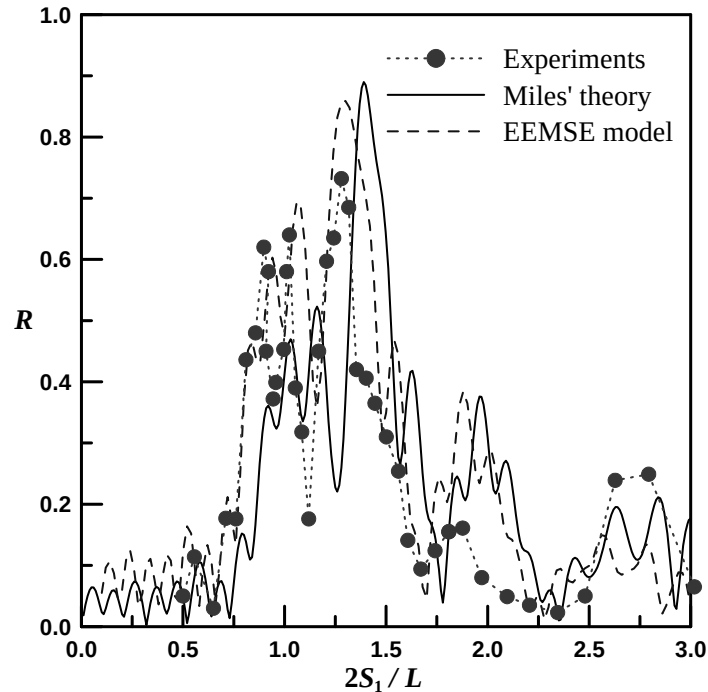


圖 9-2 三組複合式系列潛堤之反射率分佈圖

蔡和徐 (2009) 利用單群系列潛堤組合說明雙群以及三群複合式系列潛堤布拉格反射分佈的關係如圖 9-3 及圖 9-4 所示，圖 9-3 為系列潛堤在不同配置條件下，波浪通過的反射率變化比較圖。圖中虛曲線為等間距潛堤配置 $N = 4$ 及 $S = 2.4m$ ，而等間距潛堤配置個數 $N = 4$ 及 $S = 1.8m$ ，其結果如點線所示；此兩組等間距組合成二群複合式系列潛堤 ($N = 8$ ，兩組各為 $N_1 = 4$ ， $S_1 = 2.4m$ 與 $N_2 = 4$ ， $S_2 = 1.8m$ ， $I_j = S_1$)，反射率變化繪製如實曲線所示。圖形顯示複合式系列潛堤反射率變化近似為兩組不同的等間距系列潛堤反射率組合疊加而成，且複合式系列潛堤的每個反射率尖峰位置，為另兩組等間距系列潛堤之一的反射率尖峰，布拉格反射發生的條件為 $2S_1/L = 1 \sim 1.3$ ，為兩個等間距系列潛堤發生布拉格反射的條件。

圖 9-4 為單群及三群複合式系列潛堤的反射率比較圖。圖中佈置條件分別為單間距系列潛堤 ($N = 4$ 與 $S = 2.4m$ 、 $N = 4$ 與 $S = 1.8m$ 、 $N = 4$ 與 $S = 1.6m$)、三群複合式系列潛堤佈置 ($N_1 = N_2 = N_3 = 4$ 、 $S_1 = 2.4m$ ， $S_2 = 1.8m$ 、 $S_3 = 1.6m$ 和 $I_1 = I_2 = I_3 = S_1$)。圖形顯示單群

間距系列潛堤布拉格反射分別發生在 $2S_1/L=1$ (Case(a))、 $2S_1/L=1.33$ (Case(b)) 和 $2S_1/L=1.50$ (Case(c))。而三群複合式系列潛堤 (Case(d)) 布拉格反射發生在 $2S_1/L=1.0\sim 1.5$ ，但在主頻布拉格反射條件中，發生很明顯的反射率陡降現象 ($2S_1/L=1.25$, $R=0.22$)，此現象過去在雙群複合式系列潛堤以及圖 9-3 分析結果中並無此現象。若依據往昔文獻研究結果，複合式系列潛堤反射率應該由各單群系列潛堤反射率所疊加組成，故蔡和徐 (2010) 研究結果表示系列潛堤若由三群的不同間距潛堤組成，其反射的機制比單群及雙群系列潛堤更加複雜，故導致發生反射率遽降現象。

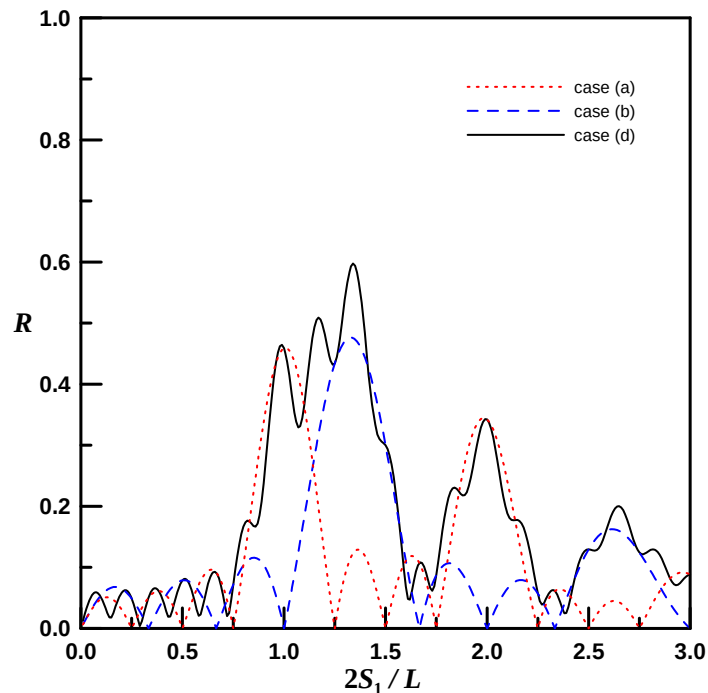


圖 9-3 單群及雙群系列潛堤反射率分佈圖

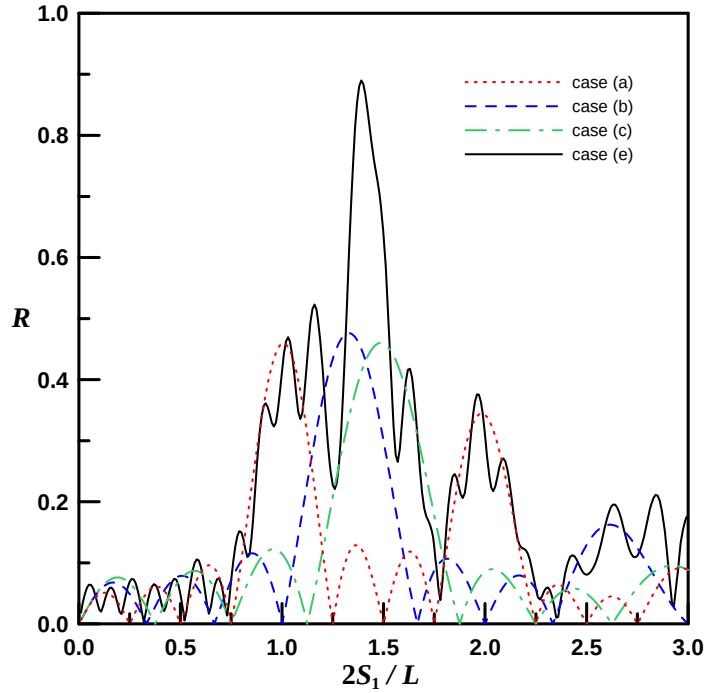


圖 9-4 單群及三群系列潛堤反射率分佈圖

為探討布拉格反射發生條件反射率陡降是否為第三組間距潛堤增加之故，本研究以上述潛堤佈置條件：堤高 $D=0.24m$ ，堤寬 $W=0.6m$ ，系列潛堤組數 $J=3$ ，各組堤距 $S_1=2.4m$ 、 $S_2=1.8m$ ，前 2 組堤數 $N_1=N_2=4$ ，逐漸增加第三組 ($S_3=1.6m$) 堤數 ($N_3=1\sim 4$)，分別於 $2S_1/L=0.5\sim 2.5$ 條件計算反射率值，其分佈繪製比較如圖 9-5 所示。圖形顯示布拉格反射發生條件中，於 $2S_1/L=1.25$ 附近，反射率陡降的現象會隨堤數的增加而更明顯。本計算例第三組堤距 $S_3=1.6m$ 為三組中最小，為測試第三組堤距若介於前兩組 ($S_1=2.4m$ 及 $S_2=1.8m$) 之間，此現象是否改變，故另以 $S_3=1.9m$ 堤距，亦以堤數累加方式 ($N_3=1\sim 4$) 計算比較分析如圖 9-6。圖形顯示反射率陡降的現象隨堤數的增加比前一計算例更加明顯，發生條件為 $2S_1/L=1.1$ 附近，反射率高低值由 $R=0.99$ 遽降至 $R=0.1$ 。此顯示原只有兩組不同堤距 ($S_1=2.4m$ 及 $S_2=1.8m$) 組成之系列潛堤佈置，其反射率似乎由各別單堤距系列潛堤所產生之反射率疊加而成，但加入

介於兩堤距之第三組堤距潛堤，卻造成反射率出現上下劇烈震盪。因此，此反射率遽降證實為第三組潛堤增加所導致。

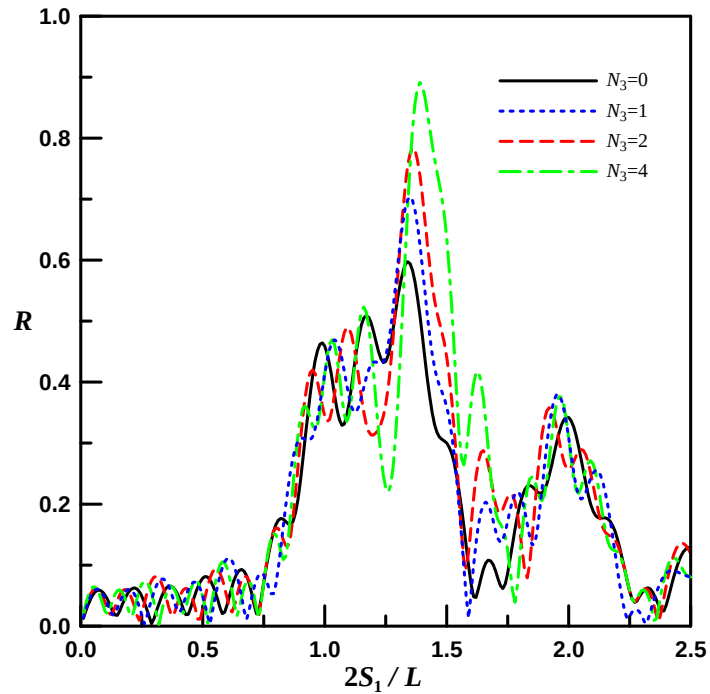


圖 9-5 不同第三群系列潛堤堤數反射率分佈圖 ($S_3 = 1.6m$)

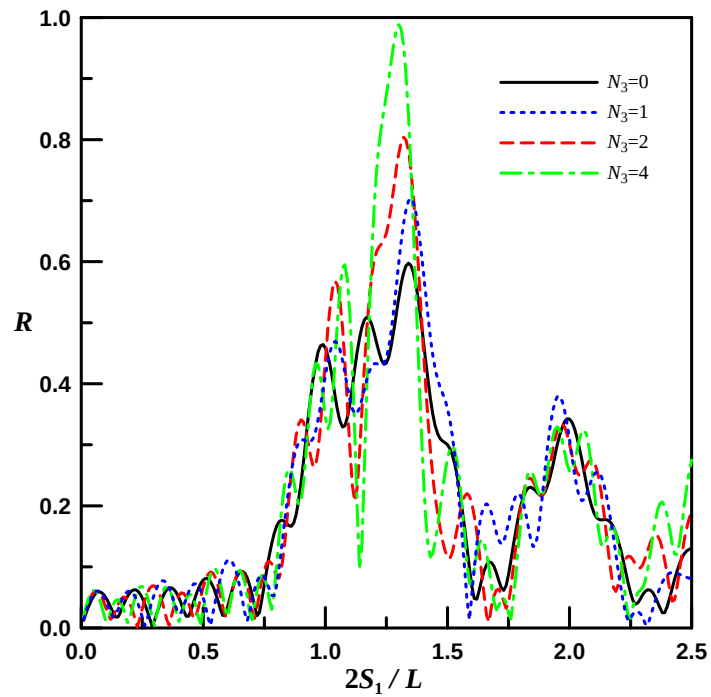


圖 9-6 不同第三群系列潛堤堤數反射率分佈圖 ($S_3 = 1.9m$)

前兩分析例測試結果顯示第三組不同堤距潛堤增加，會導致在布拉格反射條件下，發生反射率遽降的現象，為測試更多其他不同堤距的第三組潛堤佈置，是否亦會發生反射率遽降現象，本研究以更多不同第三組堤距（ $S_3 = 1.2 \sim 4.8m$ ， $S_3/S_1 = 0.5 \sim 2.0$ ）之堤群佈置，作反射率計算分析如圖 9-7 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。本計算例中若系列潛堤只由兩組堤距組成（ $N_1 = N_2 = 4$ ， $S_1 = 2.4m$ 及 $S_2 = 1.8m$ ），其布拉格反射應發生於 $2S_1/L = 1.0 \sim 1.33$ ，而圖形顯示於此範圍內部分 S_3/S_1 條件會發生反射率遽降的情形，如在 $S_3/S_1 = 0.75 \sim 0.85$ 以及 $S_3/S_1 = 1.65 \sim 1.75$ 條件。此結果顯示並非所有第三組堤距的潛堤增加佈置下，均會產生反射率遽降的情形，而是依據第三組堤距的不同而改變。

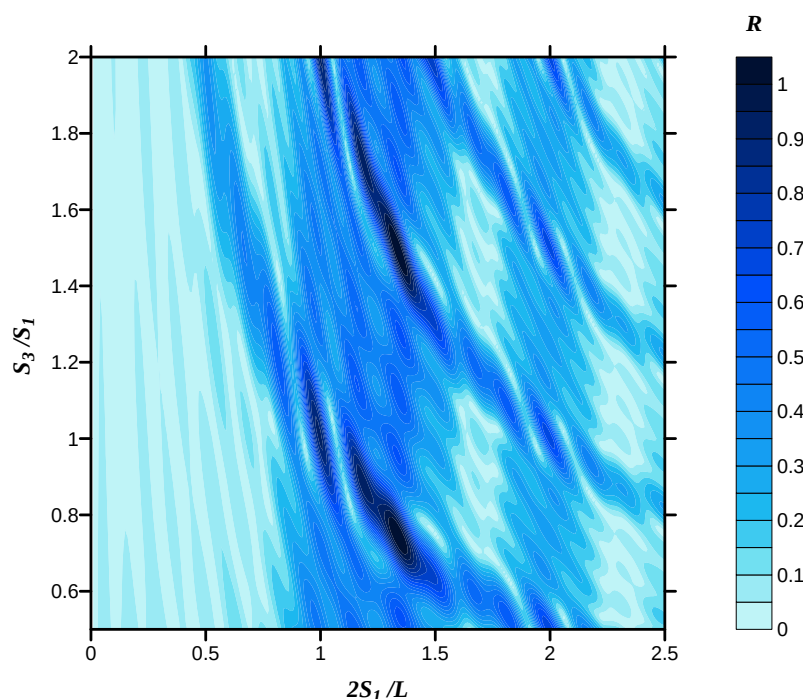


圖 9-7 不同第三群系列潛堤堤距反射率分佈圖

既然反射率遽降為第三組不同堤距的潛堤增加所導致，其發生的原因為第三組與第一組潛堤間之互制關係所形成，亦或第三組與第二組潛堤間之互制關係所形成，或有更複雜的互制關係，為釐清上述問題，以三組不同堤距中之每兩組作組合複合式系列潛堤，計算其反射

率分佈並繪製比較如圖 9-8 所示，圖中點線為 $S_1 = 2.4m$ 及 $S_2 = 1.8m$ 的佈置條件，虛線為 $S_1 = 2.4m$ 及 $S_2 = 1.6m$ ，實線為 $S_1 = 1.8m$ 及 $S_2 = 1.6m$ ，圖形顯示虛線以及實線條件均會發生反射率遽降現象，至此，若是三組組成的系列潛堤，其反射率遽降現象似乎為上述兩個配置例中兩組的潛堤間互制作用所導致。

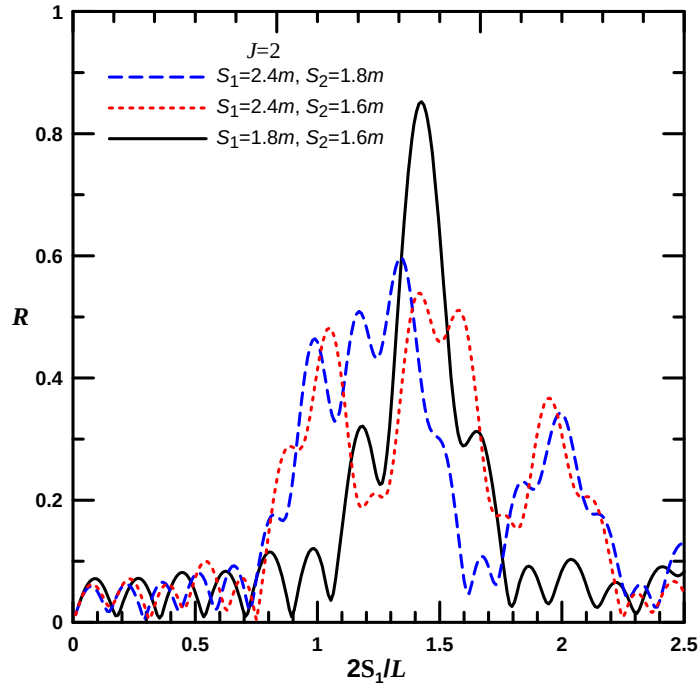


圖 9-8 不同兩組間距系列潛堤反射率比較圖

本研究為證實上述觀點的正確性，或另有其影響此現象之參數及原因，故本研究另以所推導之反射率理論公式表示式逐項加以探討。

1. 堤寬之影響

由式 9-4 中顯示堤寬 W 影響反射率值的函數為 $\sin(kW)$ ，故以不同的堤寬以及不同的 $2S/L$ 條件，計算函數 $\sin(kW)$ 值，並繪製分佈如圖 9-9 所示。圖形顯示在相同的 W/S 條件下，其 $\sin(kW)$ 值隨 $2S/L$ 增加的變化為漸進緩變，此變化的幅度並無法讓反射率於有限的布拉格反射條件範圍內，發生劇烈的上下變動。另以圖 9-2 潛堤佈置條件之反

射率分佈與本堤寬函數 $\sin(kW)$ 作分佈比較如圖 9-10 所示，圖形更容易看出堤寬並非造成反射率震盪的原因。

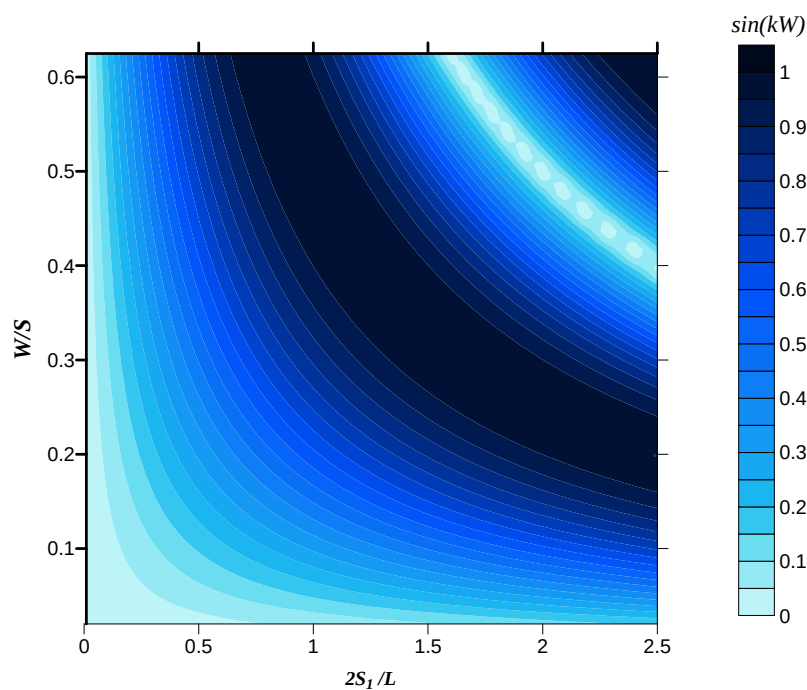


圖 9-9 不同的堤寬 W/S 及 $2S_1/L$ 條件之反射率變化圖

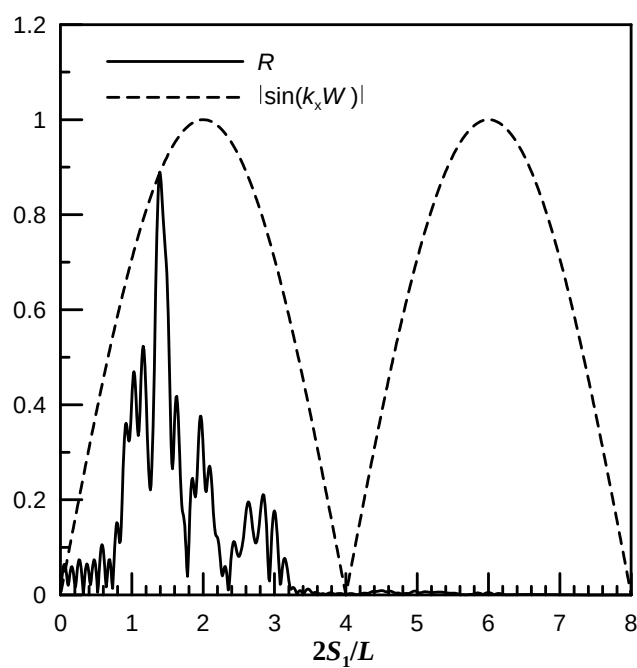


圖 9-10 函數 $\sin(kW)$ 及反射率 R 在不同 $2S_1/L$ 條件之分佈比較圖

2.水深之影響

由式 9-4 中顯示水深 h 影響反射率值的函數為 β ，函數 β 表示式如式 9-2 所示，以不同的水深函數 β 以及圖 9-2 佈置條件（ $D=0.24m$ ， $W=0.6m$ ， $h=0.6m$ ， $J=3$ ， $S_1=2.4m$ ， $S_2=1.8m$ ， $S_3=1.6m$ ， $N_1=N_2=N_3=4$ ）作反射率計算分佈比較如圖 9-11 所示，圖中顯示水深函數 β 值隨著 $2S_1/L$ 得增加而遞減，故水深亦非造成布拉格反射條件發生反射率值遞減的影響參數。

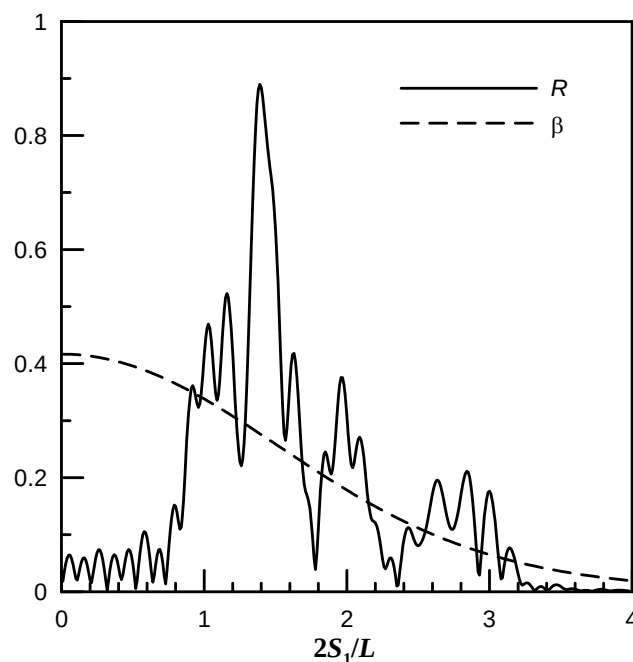


圖 9-11 不同 $2S_1/L$ 條件之函數 β 與反射率 R 之分佈圖

3 堤高的影響

由式 9-4 顯示堤高 D 在反射率公式中，只影響反射率值的整體放大倍數，故亦非造成布拉格反射條件發生反射率遞減的主要參數。

4.堤距的影響

由上述分析結果顯示造成在布拉格反射條件發生遽烈變化的函數應為式 9-4 根號內之參數所影響。故將根號內之函數個別分離，計

算在 $2S/L$ 上的變化，並繪製如圖 9-12 所示。圖形顯示點線為 $\sum_{j=1}^J A_j^2$ 函數分佈曲線，虛線為 $2\sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})$ 函數分佈曲線，而實線為兩函數之相加結果。圖形顯示在 $2S/L=1.3$ 附近，以 $2\sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})$ 函數曲線會有明顯的遽降負值，故此函數為影響整個反射率發生遽降的主要來源。

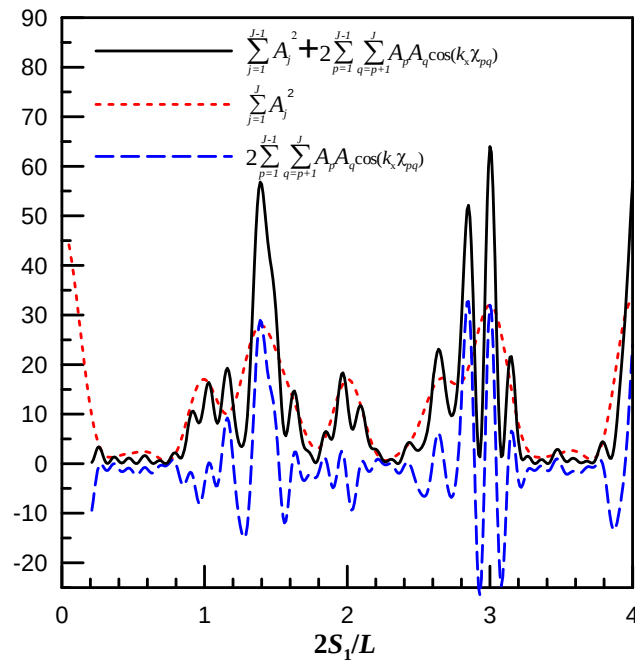


圖 9-12 各堤距函數和在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖

但在 $2\sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})$ 函數中，包括不同的組序 p 及 q ，所形成之 $A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})$ 累加而成，圖 9-13 為不同的組序組合（ $p=1,2$ 及 $q=2,3$ ）之 $A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})$ 乘積函數值比較圖，圖形顯示 $A_2 A_3 \cos(k_x \chi_{23})$ 乘積值曲線會在 $2S/L=1.3$ 附近產生明顯的負值低點。反射率公式 9-4 顯示反射率振盪主要為公式中根號內函數所主導，故由此圖分析結果顯示本系列潛堤佈置條件下，造成布拉格反射條件發生反射率遽減主要為第 2 組及第 3 組系列潛堤互制作用的結果。

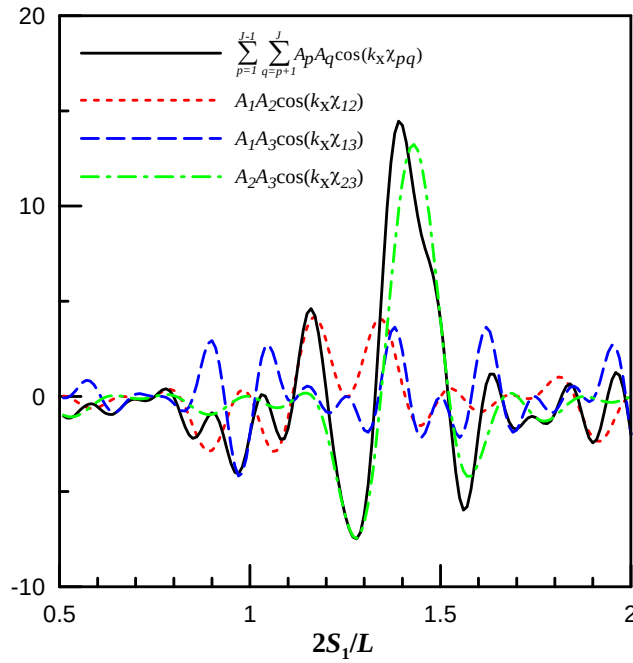


圖 9-13 不同堤距組合函數在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖

而 $A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})$ 函數中包含三個函數 A_p 、 A_q 及 $\cos(k_x \chi_{pq})$ ，圖 9-14～圖 9-16 再以上述三函數不同組序（ p 及 q ）組合，繪製分佈比較圖。圖 9-14 顯示在 $p=1$ ， $q=3$ 條件，雖然 A_1 、 A_3 及 $\cos(k_x \chi_{13})$ 在不同的 $2S/L$ 條件分佈顯示上下振盪，惟其乘積 $A_1 A_3 \cos(k_x \chi_{13})$ 並不會在 $2S/L=1.3$ 附近發生劇烈振盪，故第 1 組以及第 2 組組合之系列潛堤並不是發生反射率遽減的來源。此外，圖 9-15 顯示第 1 組及第 3 組組合的函數計算分佈結果，與圖 9-14 結果相似，其乘積值並無明顯遽降，顯示第 1 組以及第 3 組組合之系列潛堤亦不是發生反射率遽減的主要動力。圖 9-16 為第 2 組以及第 3 組系列潛堤組合，其 A_2 、 A_3 及 $\cos(k_x \chi_{23})$ 在不同的 $2S/L$ 條件振盪分佈圖，圖形顯示 A_2 、 A_3 及 $\cos(k_x \chi_{23})$ 曲線在 $2S/L=1.3$ 附近幾乎都達到振盪的谷底，三個函數再乘積，則使 $A_2 A_3 \cos(k_x \chi_{23})$ 值出現較大的負值，如此則影響式 9-4 根號內函數值，最後導致反射率值出現遽降的情形。上述結果顯示，在此系列潛堤佈置條件下（ $D=0.24m$ ， $W=0.6m$ ， $h=0.6m$ ， $J=3$ ，

$S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$, $S_3 = 1.6m$, $N_1 = N_2 = N_3 = 4$) , 於布拉格反射條件 ($2S_1/L = 1 \sim 1.5$) 中 , 出現反射率遽降主要為第 2 組以及第 3 組系列潛堤互制作用所導致 , 而並非由第 1 組以及第 3 組不同堤距 ($S_1 = 2.4m$, $S_3 = 1.6m$) 系列潛堤互制作用所導致。

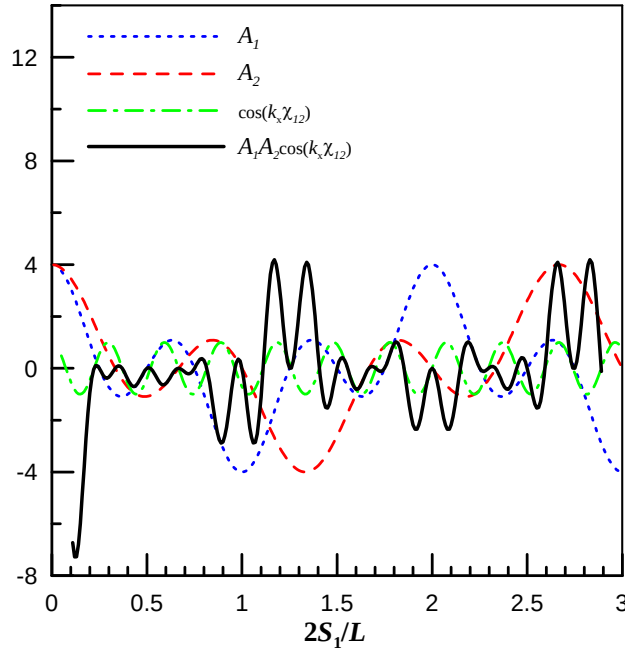


圖 9-14 不同堤距函數在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖 ($p=1$, $q=2$)

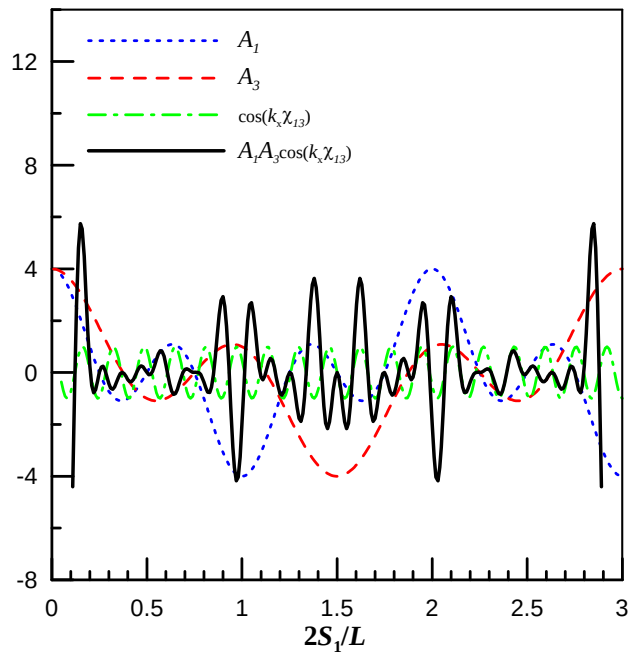


圖 9-15 不同堤距函數在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖 ($p=1$, $q=3$)

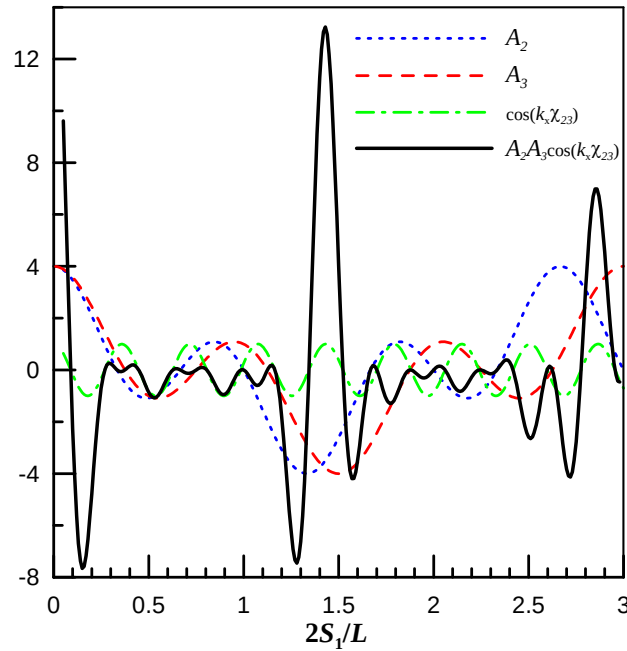


圖 9-16 不同堤距函數在不同 $2S_1/L$ 條件之變化圖 ($p=2$, $q=3$)

系列潛堤若由三組（每組 4 個， $N_1=N_2=N_3=4$ ）不同間距（ $S_1=2.4m$ ， $S_2=1.8m$ ， $S_3=1.6m$ ）潛堤組成（ $D=0.24m$ ， $W=0.6m$ ， $h=0.6m$ ， $J=3$ ），由於每 1 組潛堤均會在 $2S/L=1$ 處發生布拉格共振，故若以第 1 組堤距 $S_1=240cm$ 作基本參數，以 $2S_1/L$ 為橫座標繪圖，則 3 組不同間距潛堤其發生布拉格共振位置為分別為 $2S_1/L=1$ 、 $2S_1/L=1.33$ 及 $S_3/S_1=(2S_1/L)^{-1}$ ，如圖 9-17 曲線，圖中色階表示不同 S_3/S_1 以及 $2S_1/L$ 之反射率分佈圖，圖形顯示反射率較大值條件均為各組潛堤產生布拉格反射所貢獻。在 $S_3/S_1=0.9$ 及 $2S_1/L=1.1$ 條件附近，理應由第三組堤距產生布拉格共振反射，但圖中顯示卻出現明顯的低反射率值，此現象與以往的認知不同，故在進行三組複合式系列潛堤佈置設計時，需特別注意第三組潛堤所引起的反射率遽降的發生。

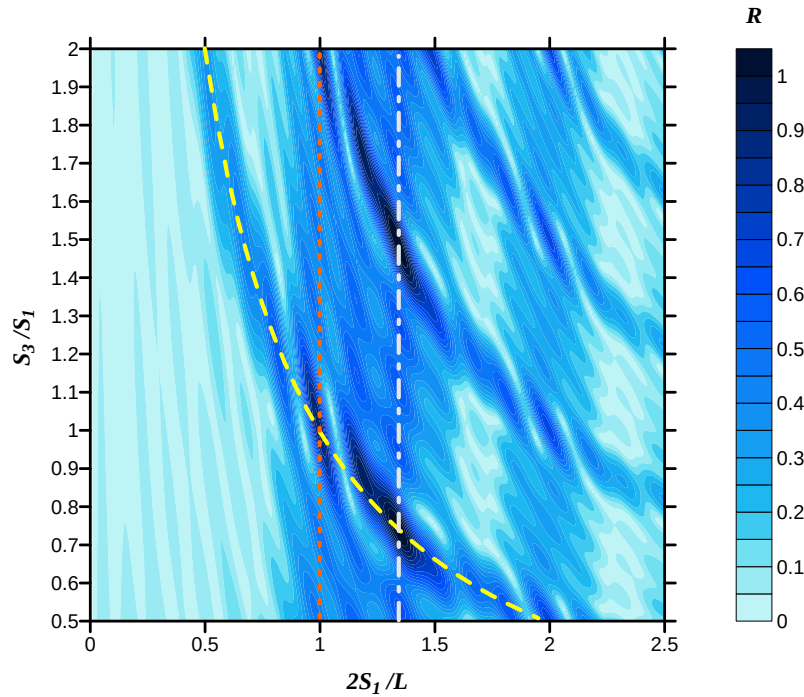


圖 9-17 三組複合式系列潛堤不同堤距組合發生布拉格反射條件圖
(點線：第 1 組 S_1 ，點虛線：第 2 組 S_2 ，虛線：第 3 組 S_3)

為證實布拉格反射出現反射率遽降的情形只發生於三組複合式系列潛堤佈置，故以不同的第 2 組潛堤間距，作 2 組堤距複合式潛堤之反射率分佈分析，如圖 9-18 所示，佈置條件為 $N_1 = N_2 = 4$ ， $S_1 = 240\text{cm}$ ， $D = 0.24\text{m}$ ， $W = 0.6\text{m}$ ， $h = 0.6\text{m}$ ， $J = 2$ 。圖形顯示在第 1 組堤距 ($S_1 = 240\text{cm}$) 潛堤所產生的布拉格共振條件為 $2S_1/L$ 整數時 ($2S_1/L = 1$ 及 $2S_1/L = 2$)，如圖中點線所示，而第 2 組堤距所產生的布拉格共振條件為 $2S_2/L$ 整數時，即 $S_2/S_1 = n(2S_1/L)^{-1}$ (其中 n 為整數) 條件，如圖中虛曲線所示。圖形顯示在布拉格共振條件間，並無發現明顯的反射率陡降現象。再由前述分析結果，將造成反射率陡降之堤距 ($S_1 = 180\text{cm}$ 及 $S_2 = 160\text{cm}$) 計算例，以 $S_1 = 180\text{cm}$ 作基準，變化第 2 組堤距 S_2 ，計算其反射率分佈如圖 9-19 所示，其中點線以及虛曲線為個別堤距組發生布拉格反射之條件 ($2S_1/L = n$ ， $S_2/S_1 = n(2S_1/L)^{-1}$ ， n 為整數)，圖形顯示兩布拉格共振條件間，並無明顯反射率陡降現象。故再一次證明反射率陡降現象為三組不同堤距組成系列潛堤時，因其中兩組潛堤互制作用所產生，在兩組堤距複合式系列潛堤組合並不會發生。此外由圖 9-18 及圖 9-19 中顯示，當兩

組堤距接近時 ($S_1/S_2 \approx 1$)，在布拉格共振條件 ($2S_1/L=1$) 處，反射率增加明顯，但在鄰近布拉格共振條件 ($2S_1/L=1$) 處，反射率卻遽降，此機制在三組複合式系列潛堤佈置條件時，很可能就是使反射率遽降的原動力。

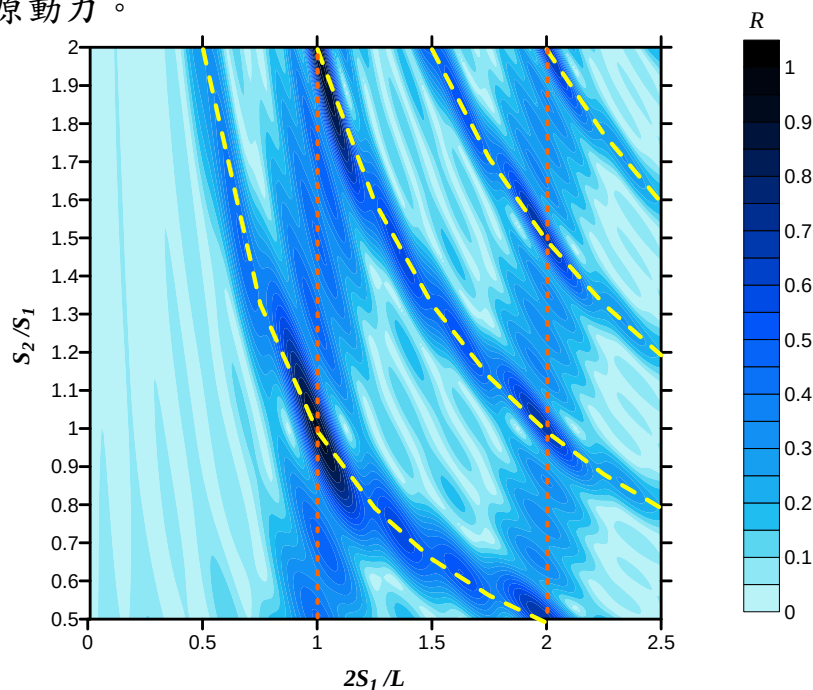


圖 9-18 兩組複合式系列潛堤不同堤距組合發生布拉格反射條件圖
($S_1 = 240\text{cm}$ ，點線：第 1 組 S_1 ，虛線：第 2 組 S_2)

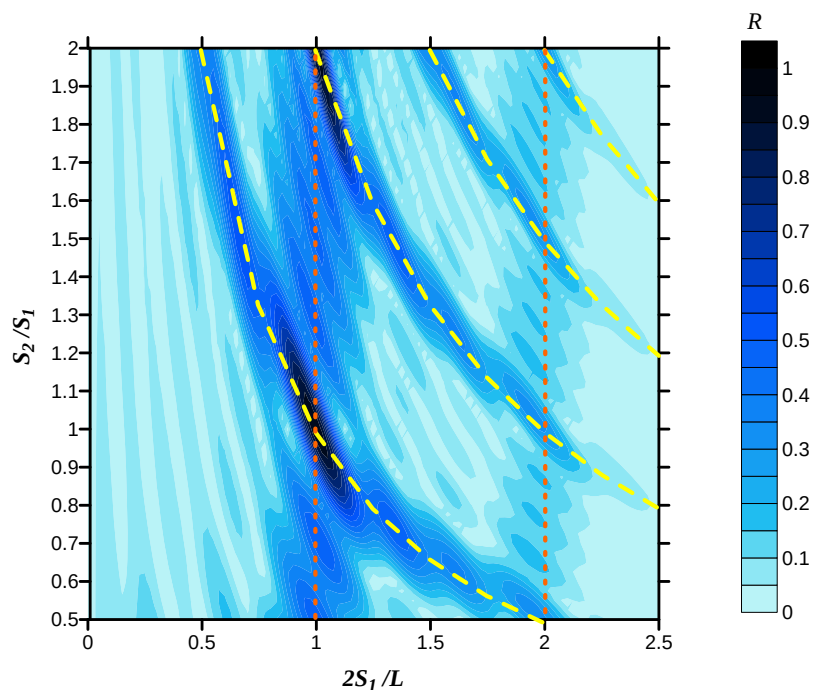


圖 9-19 兩組複合式系列潛堤不同堤距組合發生布拉格反射條件圖
($S_1 = 180\text{cm}$ ，點線：第 1 組 S_1 ，虛線：第 2 組 S_2)

鑑於上述分析結果，若設計由三組不同間距潛堤組成系列潛堤作為海岸保護工法，如何避免反射率值遽降而減少防護波浪條件範圍，可透過圖 9-20 反射率立體圖，瞭解不同佈置條件之反射率分佈的情形，亦可透過圖 9-21 反射率分佈色階變化圖，選擇符合反射率需求的佈置條件，如圖 9-21 中選擇三個布拉格反射條件，以圖中佈置條件 $S_3/S_1=0.6$ 、 0.67 以及 1.2 ，分別繪製其反射率分佈比較圖，如圖 9-22 所示，圖形顯示三個系列潛堤佈置條件，均能有效增加布拉格反射的範圍，亦即布拉格反射帶寬較大，而以 $S_3/S_1=0.6$ 的佈置條件可完全避免反射率遽降的現象發生。

系列潛堤應用至實際近岸現場，由於水深地形變化使反射機制更加複雜，未來有興趣從事系列潛堤研究以及設計者，可依據本研究提供之方式，先以 Miles(1980) 理論解析，分析反射率機制，依所需求選取適當的佈置條件並避免反射率低值的發生。有初步結果後，再利用較複雜精確的水理波場模式，進行更詳細的水理分析，如此可避免大量的模式建置以及模式計算工作時間，並能達到海岸保護的預期效果。

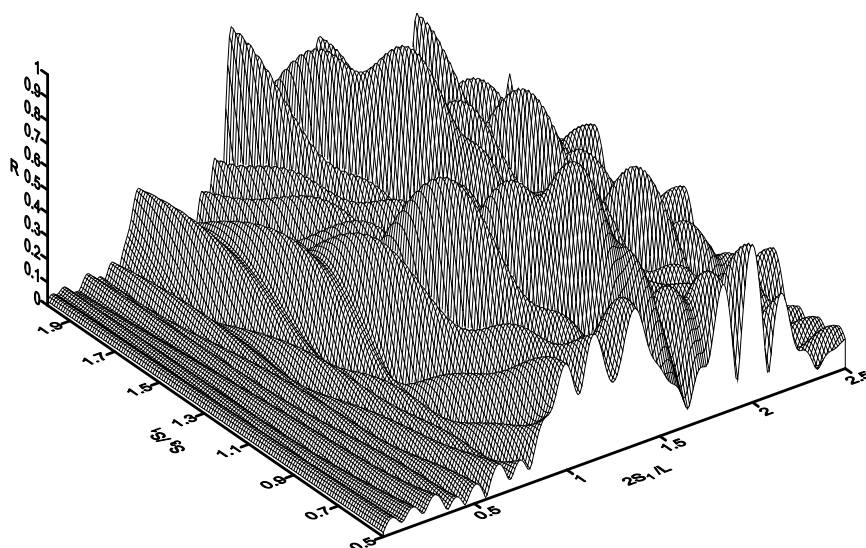


圖 9-20 三組複合式系列潛堤不同堤距組合反射率立體圖

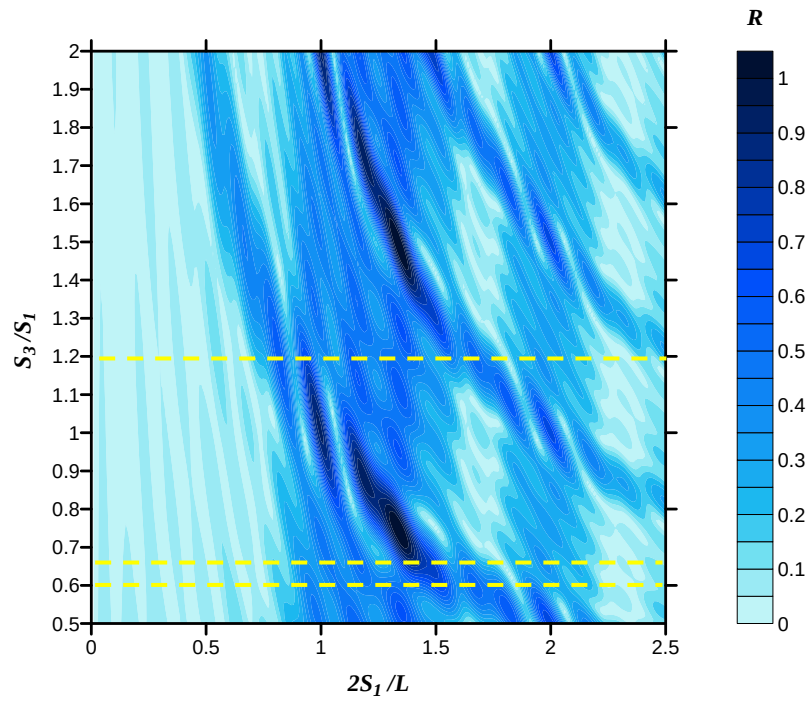


圖 9-21 三組複合式系列潛堤條件選擇示意圖

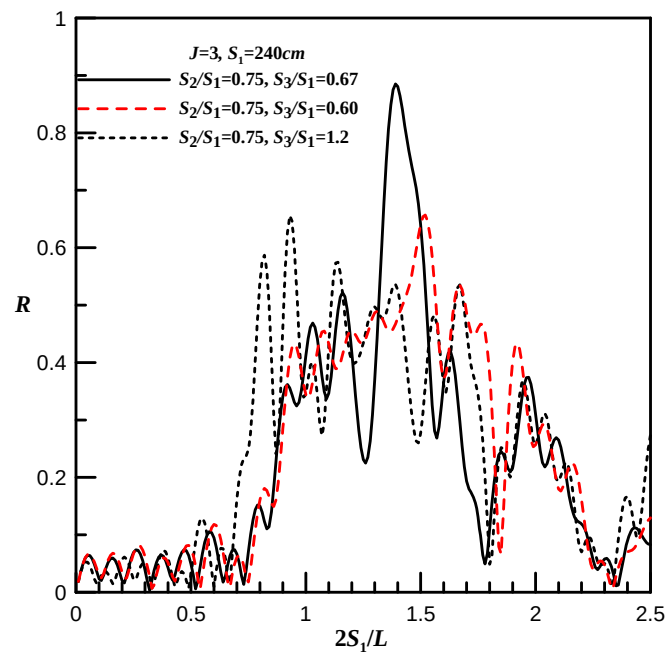


圖 9-22 不同三組複合式系列潛堤佈置條件擇圖

第十章 結論與建議

港灣結構物的設置造成鄰港地區水理機制的改變，港灣常建造在河川附近，故受到上下游河川輸沙的影響大，因而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，在臺中港建港後北側長年發生淤積現象，漂沙淤積若繞過港灣結構物進到航道，或因風吹沙進入航道港池，將影響船隻航行安全。此外，港域水質可能因工商業活動所產生之污染源未經處理完全而藉由河川、圳溝排入港灣附近或港池內，亦可能藉由船舶排水帶來非本土之生物種類。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。本研究目的乃在運用各式水理數值模式，模擬水動力及漂沙運動之機制，藉以瞭解海岸變遷與影響因素間之水動力機制，並對改善方案進行評估分析，以解決港灣及海岸淤積以及漂沙等地形變遷的問題。此外，在特定海域作水質與生態環境資料收集及調查監測分析，探討水質環境特性並對船舶排水所造成環境生態影響作評估。本研究為4年期研究之第2年，主要以臺中港以及附近區域為目標港域，茲將研究結論與建議分述如下：

10.1 結論

1. 本年度3月與9月兩次水質採樣中，海域水質與去年並無異常。大腸桿菌群於港區 N5 測站曾於3月下旬因受局部陸源污染輸入之影響，而超出甲類海域水質標準(≤ 1000 CFU/100 mL)18倍；9月上旬於港區內 N5、N6、N7 測站之溶氧值低於乙類海域水質標準(>5 mg/L)。
2. 本年度3月與9月調查之浮游植物歧異度於港內外差異不大，與歷次調查結果相較，而港外歧異度亦呈現偏低的情形，就港內外總合歧異度而言，其值亦較歷年為低，此一情形亦反應在優勢度上。3

月港內優勢度已接近歷年最高值，而 9 月港內外之優勢度已較 3 月降低許多，總合優勢度亦呈現下降的趨勢，9 月調查結果顯示浮游植物之優勢物種並未造成整體物種分佈有太大的影響。

3. 本年度 3 月調查浮游動物，夜光蟲及哲水蚤為主要優勢族群，共佔總豐度 82% 以上，夜光蟲所佔比率最高(62.12%)。本年度兩次港內外浮游動物調查結果其歧異度與優勢度均在臺中港歷年（92～97 年）結果變動範圍內。9 月歧異度及優勢度於港內外差異較大，浮游動物歧異度港外比港內低，主要原因為港外哲水蚤大量出現。
4. 水質主成分分析顯示陸源排水對臺中港沿海水體帶來影響，當沿海水體之 pH 與鹽度降低時，通常多伴隨較高的氨氮與總磷，代表溫體動物糞便污染之大腸桿菌群增加。當水溫高於 22°C 以上時，其總磷濃度多高達 0.5 mg/L 以上，而此濃度為海域水質標準上限的 10 倍。調查區域每年冬春之際，內陸排水受水閘門關閉阻擋，導致污染累積於內陸。當進入雨季，基於排洪防溢淹水閘門開啟，此時造成大量累積之氮磷類污染物進入近岸水體，使得臺中港域內水質不佳
5. 94～98 年間進入臺中港之船舶，船上壓艙水量約 80 萬噸，以貨櫃輪的排放量為主。在風險評估方面，由上一港與臺中港之間的溫度、鹽度與航程三種因素分析結果，發現此五年間造訪臺中港的船舶中，以中國香港為極度風險區，不僅溫度、鹽度與臺中港相似，且航程僅距離 388 浬，五年間造訪次數高達 5,112 次。
6. 研擬的漂沙防治方案 1: 假設沿岸輸沙量為 125 及 250 萬立方公尺條件，在新建定沙堤與延伸北防沙堤間淤沙狀況，若以平均防沙堤透過率為 0.5，則灘線淤積至堤頭約為 2.7 及 5.6 年。方案 2：灘線淤積至堤頭之時間則為 3.44 及 7.11 年。方案 3：可將沿岸漂沙攔阻於北淤沙區，達到臺中港避免漂沙進入港區。
7. 本研究證實系列潛堤海岸保護工法，若由多組不同間距作複合式組合，可能在布拉格反射條件發生反射率遽降現象，此特殊反射遽降現象因三組以上間距所組成系列潛堤，因其中兩組潛堤影響波浪互

制作用所產生。未來若要以系列潛堤應用至實際近岸現場作海岸保護，可依據本研究提供之方式，先以 Miles(1980) 理論解析，分析反射率機制，依所需求選取適當的佈置條件並避免反射率低值的發生，有初步結果後，再利用較複雜精確的水理波場模式，進行更詳細的水理分析。

10.2 建議

1. 由於陸域水質不佳將會影響到臺中港港域內水質，因此需建請環保主管機關持續推動執行河川流域之污染削減等工作，同時進行工業廢水、家庭污水與畜牧廢水管制，持續巡查及取締不法之污染排放。港口管理單位可依港務局防制船舶污染登輪檢查實施要點，加強港區污染源之稽查處理，防制港區船舶不當排洩廢油水、投棄垃圾等，以維港域整潔及保護生態環境與水質。
2. 壓艙水管理方面建議針對來自中國、日本、南韓的貨櫃輪、雜貨船與油輪進行嚴格的管制。風險評估方面，上述三國因地緣關係距臺中港非常近，溫鹽環境因素類似，易使外來種入侵臺中港並繁衍，我國應針對不同船型之船舶與來源港，依風險等級高低做不同程度之抽檢與管制，以減少資源的浪費並能達到最大管控效果。
3. 在壓艙水管理方面，本研究已列舉多項處理方法與實例，應考慮當地生態環境是否會因使用上述方法而使生態遭受更大的破壞，使用前儘可能完整的評估該港水域環境與外來種的特性。可參考美、澳國家之制度，並依據 IMO 標準，參考美國緬因州案例，建立各港區壓艙水交換區，並藉此申報資料進行風險評估。建議後續進行壓艙水處理方式評估時，陳列說明國內、外壓艙水對環境造成之損害的案例，用以證實建立壓艙水管理之重要性。
4. 關於海岸保護新工法-系列潛堤特殊機制研究，本研究中發現特殊之布拉格反射條件下，反射率會發生遽降的現象，並於本年度研究釐

清機制，建議可由本研究所提出之方法，實際以現場地形作規劃設計並探討其效果。

10.3 成果效益及後續應用情形

本研究分別以文獻資料整理分析、現場調查、理論解析以及數值模擬計算方式，探討目標港灣（臺中港）及鄰港附近漂沙機制，並研擬防治方案，此結果可提供各港務局相關單位作為未來改善港灣漂沙侵淤積問題之參考；本研究提出各水質及生態調查分析結果以及影響水質之可能污染源，可作為未來進行海域水質、海域生態、系統動力學模擬以及環保與港務單位管理港灣附近排放污染源之參考依據；船舶壓艙水排放量估算與風險評估成果，可提供主管港灣設計營運及水質生態單位進行改善及監控之參考。

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

參考文獻

1. Badia G., McCollin T. and Josefsen K.D., “On Board Short Time High Temperature Heat Treatment of Ballast Water: a Field Trial under Operational Conditions,” *Marine Pollution Bulletin* 56, 127–135 (2008).
2. Balasubramanian S., Ortego J., Rusch K.A. and Boldor D. “Efficiency of Artemia Cysts Removal as a Model Invasive Spore Using a Continuous Microwave System with Heat Recovery,” *Environment Science Technology* 42, 9363–9369 (2009).
3. Boldor D., Balasubrama S., Purohit S. and Rusch K.A. “Design and Implementation of a Continuous Microwave Heating System for Ballast Water Treatment,” *Environ Science Technology* 42, 4121–4127 (2008).
4. Cangelosi A.A., Knight I.T., Balcer M., Wright D., Dawson R. and Blatchley C. “The Great Lakes Ballast Technology Demonstration project: Biological effectiveness test program (including MV Regal Princess Trials),” *ProcIMO1st Inter Ballast Water Treatment R&D Symposium*, London, UK, 88–94 (2001).
5. Chelossi E. and Faimali M. “Comparative Assessment of Antimicrobial Efficacy of New Potential Biocides for Treatment of Cooling and Ballast Waters,” *Science Total Environment* 356, 1–10 (2006).
6. Dang K., Yin P., Sun P. and Song Y. “Application Study of Ballast Water Treatment by Electrolyzing Seawater,” *IMO Proc 2nd Inter Baltic Water Treatment R&D Symposium*, 103–111 (2003).
7. Dardeau JR and Elba A. T. “Zebra mussel Control with Backwash Filtration Waterpower,” *ProcIntConfonHydropower2*, 1256–1264 (1995).
8. Davies, A.G. and Heathershaw, A.D. “Surface wave propagation over sinusoidally varying topography,” *Journal of Fluid Mechanics*, 144, 419–443 (1984).

9. de Lafontaine Y., Despatie S.P. and Wiley C. "Effectiveness and Potential Toxicological Impact of the PERACLEAN . Ocean Ballast Water Treatment Technology," *Ecology Environment Safety* 71, 355–369 (2008).
10. Engelund, F. and Fredsøe, J. "A sediment transport model for straight alluvial channels," *Nordic Hydrology*, 7, 296-306 (1976).
11. Faimali M., Garaventa F., Chelossi E. et al. "A new Photodegradable Molecule as a Low Impact Ballast Water Biocide: Efficacy Screening on Marine Organisms from Different Trophic Level," *Marine Biology* 149, 7–16 (2006).
12. Gavand M.R., McClintock J.M., Amsler C.D., Peters R.W. and Angus R.A. "Effects of Sonication and Advanced Chemical Oxidants on the Unicellular Green Alga *Dunaliella Tertiolecta* and Cysts, Larvae and Adults of the Brine Shrimp *Artemia Salina*: A Prospective Treatment to Eradicate Invasive Organisms from Ballast Water," *Marine Pollution Bulletin* 54, 1777–1788 (2007).
13. Gray D.K., Duggan I.C. and Mac Isaac H.J. "Can Sodium Hypochlorite Reduce the Risk of Species Introductions from Diapausing Invertebrate Eggs in Non-ballasted Ships?" *Marine Pollution Bulletin* 52, 689–695 (2006).
14. Gregg M.D. and Hallegraeff G.M. "Efficacy of Three Commercially Available Ballast Water Biocides against Vegetative Microalgae, Dinoflagellate Cysts and Bacteria," *Harm Alga* 6, 567–584 (2007).
15. Guazzelli, E., Rey, V. and Belzons, M. "Higher-order Bragg reflection of gravity surface waves by periodic beds," *Journal of Fluid Mechanics*, 245, 301–317 (1992).
16. Gunnarsson, J., Broman, D., Jonsson, P., Olsson, M. and Rosenberg, R., "Interactions between eutrophication and contaminants: Towards a new research Concept for the European aquatic environment," *Ambio* 24, 383–385 (1995).
17. Heathershaw, A.D. "Seabed-wave resonance and sand bar growth. nature," 296, 343–345 (1982).

18. Herwig R.P., Cordell J.R., Perrins J.C. et al. "Ozone treatment of Ballast Water on the Oil Tanker S/T Tonsina: Chemistry, Biology and Toxicity," *Marine Ecological Progress Series* 324, 33–55 (2006).
19. Hsu, T.W., Chang, H.K. and Tsai, L.H. "Bragg reflection of waves by different shapes of artificial bars," *China Ocean Engineering*, 16(3), 21–30 (2002).
20. Hsu, T.W., Tsai, L.H. and Huang, Y.T. "Bragg scattering of water waves by multiply composite artificial bars," *Coastal Engineering Journal*, 45(2), 235–253 (2003).
21. Ichikawa S., Wakao Y. and Fukuyo Y. "Extermination Efficacy of Hydrogen Peroxide against Cysts of Red Tide Toxic Dinoflagellates and its Adaptability to Ballast Water of Cargo Ships," *Nip Su Gak* 58, 2229–2233 (1992).
22. Jones A.C., Gensemer R.W., Stubblefield W.A. et al. "Toxicity of Zonated Seawater to Marine Organisms," *Environment Toxic Chemistry* 25, 2683–2691 (2006).
23. Kirby, J.T. and Anton, J.P. "Bragg reflection of waves by artificial bars," *Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, New York, 757–768 (1990).
24. Matousek R.C., Hill D.W., Herwig R.P. et al. "Electrolytic Sodium Hypochlorite System for Treatment of Ballast Water," *J Ship Prod* 22, 160–171 (2006).
25. Montani S., Meksumpun L. and Ichimi K. "Chemical and Physical Treatments for Destruction of Phytoflagellate Cysts," *J Marine Biotechnology* 2, 179–181 (1995).
26. Oemcke D.J. and van Leeuwen J. "Chemical and Physical Characterization of Ballast Water. Part 1: Effects on Ballast Water Treatment Processes," *J Marine Environment Engineering* 7, 47–64 (2003).
27. Oemcke D.J. and van Leeuwen J. "Seawater Ozonation of *Bacillus Subtilis* Spores: Implications for the Use of Ozone in Ballast Water," *Ozone Science Engineering* 26, 389–40 (2004).

28. Oemcke D.J. and van Leeuwen J. "Ozonation of the Marine Dinoflagellate Alga *Amphidinium* sp. – Implications for Ballast Water Disinfection," *Water Res* 39, 5119–5125 (2005).
29. Pearson, K., "On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space," *Philosophical Magazine* 2(6), 559-572 (1901).
30. Pearson, K., "Notes on the history of correlation," *Biometrika* 13(1), 25-45 (1920).
31. Prandle, D. D., "Modeling study of mixing Cs in the seas of the European continental shelf," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 310, 407–436 (1984).
32. Rigby, G.R., Hallegraeff G.M. and Sutton C. "Novel Ballast Water Heating Technique Offers Cost-effective Treatment to Reduce the Risk of Global Transport of Harmful Marine Organisms," *Marine Ecology Progress Series* 191, 289–293 (1999).
33. Sano L., Steven M., Bartell S.M. and Landrum P.F. "Decay Model for Biocide Treatment of Unballasted Vessels: Application for the Laurentian Great Lakes," *Marine Pollution Bulletin* 50, 1050–1060 (2005).
34. Sano L., Krueger A.M. and Landrum P.F. "Chronic Toxicity of Glutaraldehyde: Differential Sensitivity of Three Freshwater Organisms," *Aqua Toxic* 71, 283–296 (2005).
35. Sassi J., Viitasalo S., Rytönen J. and Leppäkoski E. "Experiments with Ultraviolet Light, Ultrasound and Ozone Technologies for Onboard Ballast Water Treatment," *VTT Tiedotteita-Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus* 2313, 1–80 (2005).
36. Saho N., Isogami H., Mizumori T. and Nishijima N. "Superconducting Magnetic Separator for Ballast Water Treatment," *IMO Proc2nd Inter Baltic Water Treatment R&D Symposium*, 125–137 (2002).
37. Shapiro, S. S. and M. B. Wilk, "An analysis of variance test," *Biometrika* 52: 591 (1965).

38. Sutherland T.F., Levings C.D., Elliott C.C. and Hesse W.W. "Effect of a Ballast Water Treatment System on Survivorship of Natural Populations of Marine Plankton," *Marine Ecological Progress Series* 210, 139–148 (2001).
39. Sutherland T.F., Levings C.D., Petersen S. and Hesse W.W., Mortality of Zooplankton and Invertebrate Larvae Exposed to Cyclonic Pretreatment and Ultraviolet Radiation," *Marine Technology Soc J* 37:3–12 (2003).
40. Tang Z., Butkus M.A. and Xie Y.F. "The Effects of Various Factors on Ballast Water Treatment Using Crumb Rubber Filtration: Statistical Analysis," *Environment Engineering Science* 23, 561–569 (2006).
41. Tang Z., Butkus M.A. and Xie Y.F. "Crumb Rubber Filtration: a Potential Technology for Ballast Water Treatment," *Marine Environment Res* 61, 410–423 (2006).
42. Tang Z., Butkus M.A. and Xie Y.F. "Enhanced performance of crumb rubber filtration for ballast water treatment," *Chemistry* 74, 1396–1399 (2009).
43. Thornton G.A. and Chapman J.E. "The Use of Heat for Ballast Water Disinfection – the Aqua Thermal Method," *Proc IMO 2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium*, London, UK, 88–102 (2003).
44. Tsai, L.H. and C.C. Wen, "Functional Design of a Submerged Breakwaters for Coastal Protection Against Regular Waves," *China Ocean Engineering*, 24, 1–10 (2010).
45. Waite T.D., Kazumi J., Lane P.V.Z., Farmer L.L., Smith S.G. and Smith S.L. "Removal of Natural Populations of Marine Plankton by a Large-scale Ballast Water Treatment System," *Marine Ecological Progress Series* 258, 51–63 (2003).
46. Wen, C.C. and Tsai L.H. "Numerical simulation of Bragg reflection based on linear waves propagating over a series of rectangle seabed," *China Ocean Engineering*, 22, 71-86 (2008).

47. Wright D.A., Dawson R., Orano-Dawson C.E. and Moesel S.M. "A Test of the Efficacy of a Ballast Water Treatment System Aboard the Vessel Coral Princess," *Marine Technology* 44, 57–67 (2007).
48. Wright D.A., Dawson S.J., Cutler H.G., Cutler Dawson-Orano C.E. and Graneli E. "Naphthoquinones as Broad Spectrum Biocides for Treatment of Ship's Ballast Water: Toxicity to Phytoplankton and Bacteria," *Water Res* 41, 1294–1302 (2007).
49. Veldhuis M.J.W., Fuhr F., Boon J.P. and Ten Hallers-Tjabbers C.C. "Treatment of Ballast Water; How to Test a System with a Modular Concept," *Environ Technology* 27, 909–921 (2006).
50. Vianna da Silva J.S. and da Costa Fernandes F. "Use of Chlorine for Ballast Water Treatment," *IMO Proc 2nd Inter Baltic Water Treatment R&D Symposium*, 158–164 (2003).
51. Viitasalo S., Sassi J., Rytik ¨onen J. and Lepp¨akoski E. "Ozone, Ultraviolet Light, Ultrasound and Hydrogen Peroxide as Ballast Water Treatments – Experiments with Mesozooplankton in Low-saline Brackish Water," *J Marine Environment Engineering* 8, 35–55 (2005).
52. Xiangpeng K., Yimin Z., Manxia Z. et al., "Simulated Experiment on Minimizing the Presence Chlorella and Bacteria in Ballast Water by Combination of Micro-hole Filtration and UV Radiation," *J Adv Oxidant Technology* 10, 186–188 (2007).
53. Zhang S., Chen X. and Yang D. "Effects of the Chlorination for Ballast Water," *IMO Proc 2nd Inter Baltic Water Treatment R&D Symposium*, 148–157 (2003).
54. 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。
55. 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。

56. 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。
57. 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。
58. 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。
59. 交通部中央氣象局，氣候資料年報—地面資料，1999 年至 2009 年。
60. 交通部運輸研究所，臺灣海氣地象觀測資料年報，2001 年至 2009 年。
61. 交通部中央氣象局，潮汐觀測資料年報，1999 年至 2009 年。
62. 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。
63. 蔡立宏、徐如娟，2010，「臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究（4/1）」，交通部運輸研究所。
64. 中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw>。
65. 臺中港務局網頁 <http://www.tchb.gov.tw>。

附錄 A 簡報資料

計畫編號: MOTC-IOT-99-H2DA004

臺灣近岸港域地形變遷與環境 調查研究 (2/4)

蔡立宏、徐如娟

交通部運輸研究所

中華民國100年03月02日

研究動機

- 港灣工程的開發建設，破壞原有自然海岸漂沙平衡機制，常造成鄰港附近地形變遷，再加上近年異常的海氣象發生頻率增加，以及鄰近河川持續的排放輸沙，故常發生海岸侵蝕及淤積的現象。
- 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，以及天然降雨、港灣附近工業污染以及加上船隻排放污水油污等，許多因未經過處理或處理不完善而進入海洋中影響海域水質，進而影響生態環境。

研究動機

- 2009/11內政部核定「永續海岸整體發展方案」以及2010/05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，提到海岸地區屬環境敏感地區，海岸永續發展應兼顧災害防護與合理利用之管理。落實「藍色革命、海洋興國」的海洋政策、愛台十二項建設之「海岸新生」政策，目標為正視海岸破壞及劣化現象，回復海岸生機，防治港灣污染改善港灣環境。
- 本研究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。

研究目的

- 分別利用資料收集、現場調查、水工試驗、理論解析、數值計算以及統計分析方式，藉以瞭解海岸變遷與影響因素間之水動力機制，提出適當的解決方案並進行評估分析，研究目的為以解決特定港灣及海岸漂沙造成地形變遷的問題，探討水質環境各參數間之相關性以及與海氣象條件間或人為污染之關連性，並根據分析結果提出改善對策。
- 本研究成果可提供學術、施政、設計及施工相關單位之參酌，並期本研究成果提昇國內港灣海岸和生態環境保護之研究技術水準。

研究項目

分別利用資料收集、現場調查、水工試驗、理論解析、數值計算以及統計分析，進行分析探討。

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. 調查鄰港海象、地形、水質、生態環境（98-101年）
5. 分析鄰港漂飛沙特性（98及100年）
6. 預測未來地形變遷（99-101年）
7. 提出漂飛沙整治方案（99及101年）
8. 分析鄰港水質環境特性（98-101年）
9. 提出鄰港水質環境改善建議（99-101年）
10. 新式海岸保護工法研發（98-101年）

研究項目

1. 漂沙、水質及生態相關資料收集分析

收集及分析歷年臺中港近岸水深地形、結構物設施、海地氣象、河川水文、港池水質及生態等資料。

2. 調查鄰港水質、生態與海岸地形環境

3月(枯水期)及9月(豐水期)針對臺中港附近海域進行2次水質與生態調查分析。8、10及11月進行3次北淤沙區地形測量分析。

3. 淤沙防護方案研擬及評估

研擬淤沙防治方案，以模式模擬計算方式，預測並評估在不同改善方案的效果。

研究項目

4. 探討鄰港水質與生態環境特性

依據文獻研究成果以及本研究調查結果，分析探討鄰港不同地點、時間水質各參數間之相關性。

5. 船舶排水風險評估並研擬策略

壓艙水排放量估算與風險評估，根據聯合國針對國際船舶壓艙水之管制措施並研擬我國防治管理辦法。

6. 新式海岸保護工法特性探討

針對具有防災、生態以及親水功能之系列潛堤軟式工法，以複合式組合進行特殊機制之探討，並提出未來應用至海岸工法設計之建議方法及步驟。

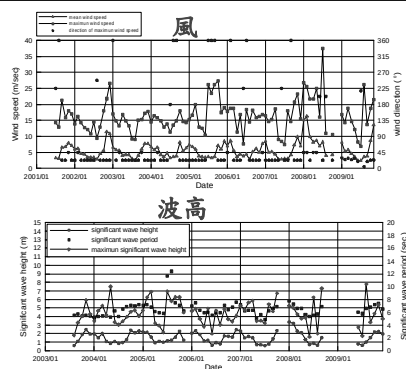
目標研究地區-台中港



二、基本資料蒐集分析

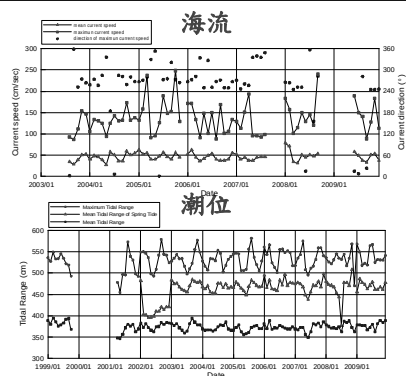
- 海象：波高、週期、潮位
- 氣象：風速、風向
- 水質：港域水質、陸域水質
- 生態：浮游植物、浮游動物

海氣象資料統計



- 歷年之月平均風速介於2.5 m/sec至7 m/sec之間
- 月平均風速大於10 m/sec以上者皆發生在冬季
- 盛行風向多集中在北至東北向
- 歷年之平均風速為5.8m/sec
- 歷年最大風速為37.5m/sec，其風向為北北西向。

- 歷年之月平均波高小於3 m以下，月平均週期介於4.9 sec至7.8 sec之間。
- 歷年平均波高為1.6 m，歷年最大波高為7.78 m，其週期為8.7 sec，發生於2009年8月7日莫拉克(Morakot)颱風期間

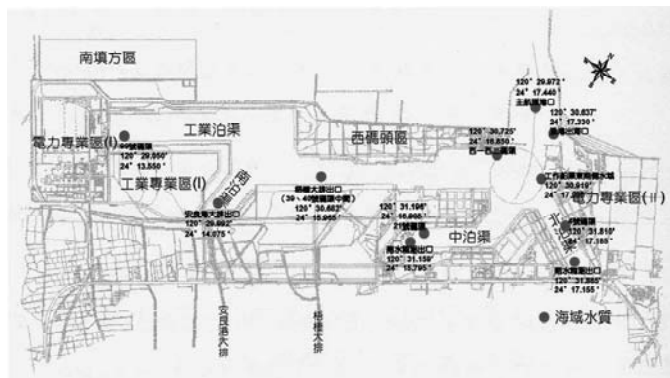


- 歷年之月平均流速介於30 cm/sec至70 cm/sec之間
- 最多流向多集中在西至北向
- 歷年之平均流速為45.9 cm/sec
- 最大流速為248.3 cm/sec，其流向為西向

- 最大潮差為613公分
- 大潮平均潮差為462公分
- 平均潮差為375公分

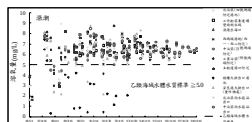
台中港港內水質

- 1.行政院環保署於1995~2009年辦理之「台灣北部、中部、南部海域水質監測現況」、
- 2.港務局進行「台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)、
「台中港區環境調查監測分析」(1996~2009)，
- 3.中興公司「海渡火力發電廠開發計畫環境影響評估」(1999)

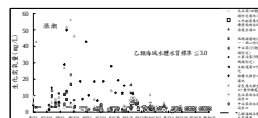
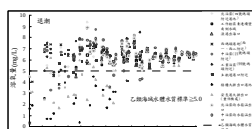


台中港既有水質調查採樣位置分佈圖

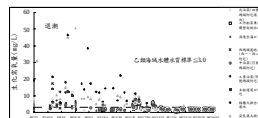
乙類海域DO>5



乙類海域DO>5

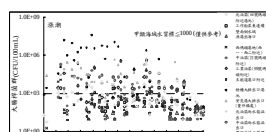


乙類海域BOD<3

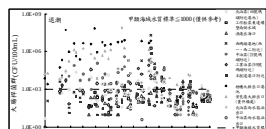


乙類海域BOD<3

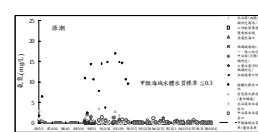
乙類海域大腸桿菌群<1000



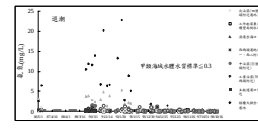
乙類海域大腸桿菌群<1000



甲類海域氨氮<0.3

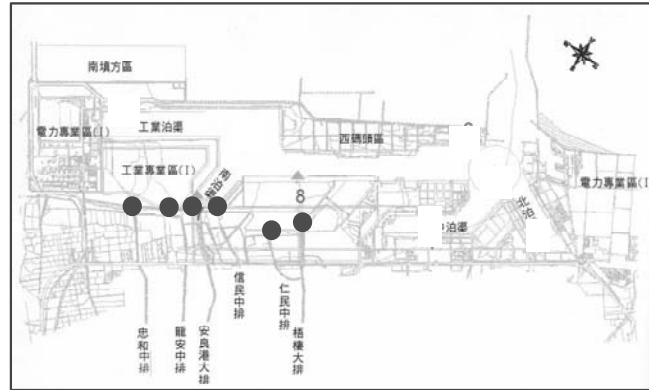


甲類海域氨氮<0.3

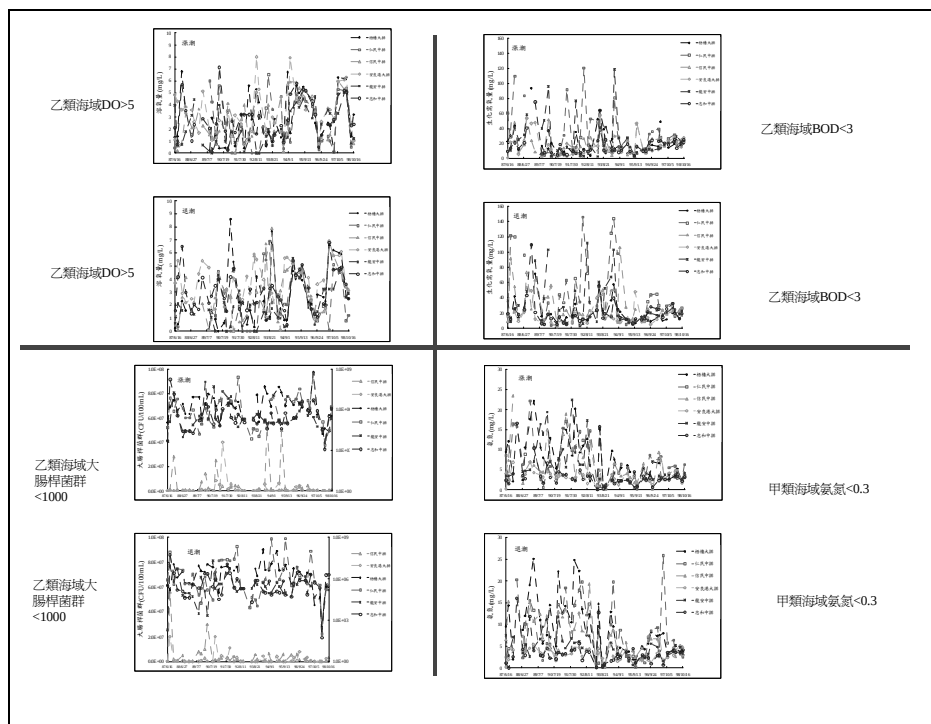


台中港陸域水質：

整體而言，陸域水質狀況不佳，各中、大排水路除了生活污水排入外，又因緊鄰工業區，亦可能受工業廢污之影響。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、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生活污水嚴重污染。



陸域水質監測點位圖



三、水體採樣調查與分析

- 時間：99年3月及9月
- 地點：港域3點、外海2點
- 水質：pH、導電度、水溫、溶氧、大腸桿菌群、
氨氮、葉綠素a、總磷等11項
- 生態：浮游植物、浮游動物等
- 分析方法：豐富度、均勻度、歧異度及優勢度指數

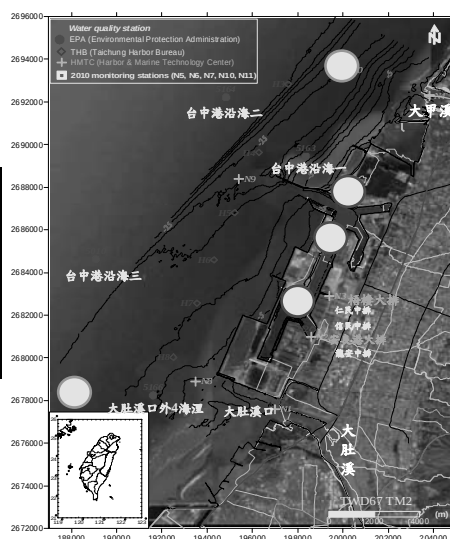
海域水質與生態採樣

- 本年度於3月(枯水期)及9月(豐水期)針對臺中港附近海域進行二次海域水質與生態採樣調查



本計畫	調查日期	項 目
第一年 98年度	98年4月29日	水質
	98年6月25日	水質
	98年9月14~15日	水質
第二年 99年度	99年3月23~24日	水質、生態
	99年9月7日~8日	水質、生態

測站	位置	二度分帶 (TWD67)		
		X(E)	Y(N)	
N5	港 域	臺中港區	197899	2682529
N6		臺中港區	199554	2685329
N7		梧棲漁港港區	200205	2687591
N10	港	大甲溪外海	199975	2692403
N11	外	大肚溪外海	188250	2678235



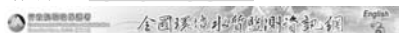
臺中港附近海域水質監測站分佈圖

● 環保署2010年前3季(1、5、8月)於臺中港外鄰近海域調查結果顯示，除1月正磷酸鹽略偏高外，其餘有標準者均能符合乙類海域水質標準。

海域名稱	測站名稱	測站編號	海域分類	採樣日期	時間	採樣深度 (m)	水溫 (℃)	鹽度 (psu)	酸鹼值	溶氧(測定法) (mg/L)	懸浮固體 (mg/L)	葉綠素a (μg/L)	氨氮 (mg/L)	硝氮 (mg/L)	亞硝氮 (mg/L)	正磷酸鹽 (mg/L)	矽酸鹽 (mg/L)
台中港沿海	大安溪口	5162	乙	2010/8/20	09:21	1	30.7	30.0	8.2	7.4	5.0	4.8	0.02	0.36	0.007	0.003	1.55
台中港沿海	台中港沿海一	5163	乙	2010/8/20	08:00	1	30.3	32.9	8.2	6.8	2.6	2.8	0.03	0.01	0.001	0.010	0.171
台中港沿海	台中港沿海二	5164	乙	2010/8/20	08:19	1	30.5	33.2	8.2	6.8	3.4	2.0	0.01	0.01	0.001	0.003	0.140
台中港沿海	大肚溪口	5165	乙	2010/8/19	13:16	1	30.8	33.2	8.2	6.4	12.2	1.2	0.03	0.02	0.002	0.018	0.249
台中港沿海	大肚溪口外4海深	5166	乙	2010/8/19	12:54	1	30.2	32.6	8.3	7.9	2.7	5.7	0.02	0.02	0.004	0.009	0.264
台中港沿海	大安溪口	5162	乙	2010/5/5	09:10	1	25.6	34.2	8.3	6.8	2.4	2.0	0.04	0.02	0.007	0.030	0.257
台中港沿海	台中港沿海一	5163	乙	2010/5/5	08:05	1	26.0	33.8	7.6	7.0	3.1	1.3	0.03	0.03	0.011	0.023	0.193
台中港沿海	台中港沿海二	5164	乙	2010/5/5	08:25	1	25.9	34.3	8.2	7.1	3.8	1.4	0.03	0.03	0.011	0.025	0.182
台中港沿海	大肚溪口	5165	乙	2010/5/4	11:00	1	25.6	34.3	8.2	7.3	5.2	2.3	0.02	0.04	0.013	0.022	0.210
台中港沿海	大肚溪口外4海深	5166	乙	2010/5/4	10:35	1	25.4	34.1	8.3	6.9	7.2	3.6	0.01	0.03	0.008	0.020	0.182
台中港沿海	大安溪口	5162	乙	2010/1/20	10:48	1	17.9	32.9	8.3	7.8	4.3	1.0	0.01	0.13	0.007	0.102	0.540
台中港沿海	台中港沿海一	5163	乙	2010/1/20	12:05	1	17.7	32.8	8.2	7.9	4.0	1.8	0.02	0.16	0.010	0.065	0.585
台中港沿海	台中港沿海二	5164	乙	2010/1/20	11:50	1	17.8	32.7	8.3	7.7	3.5	1.8	0.03	0.17	0.014	0.144	0.592
台中港沿海	大肚溪口	5165	乙	2010/1/19	12:10	1	19.0	32.4	8.3	7.9	16.8	1.7	0.04	0.19	0.014	0.054	0.674
台中港沿海	大肚溪口外4海深	5166	乙	2010/1/19	11:30	1	17.6	32.4	8.3	8.0	20.8	1.9	0.04	0.21	0.014	0.065	0.651

海域名稱	測站名稱	測站編號	海域分類	採樣日期	時間	採樣深度 (m)	錳 (mg/L)	鎳 (mg/L)	銅 (mg/L)	鉛 (mg/L)	鉍 (mg/L)	汞 (mg/L)	氣溫 (℃)
台中港沿海	大安溪口	5162	乙	2010/8/20	09:21	1	0.00001	0.001	0.0003	0.0001	0.001	0.0003	30.5
台中港沿海	台中港沿海一	5163	乙	2010/8/20	08:00	1	0.00001	0.001	0.0005	0.0004	0.0017	0.0003	30.5
台中港沿海	台中港沿海二	5164	乙	2010/8/20	08:19	1	0.00001	0.001	0.0009	0.0007	0.0019	0.0003	30.6
台中港沿海	大肚溪口	5165	乙	2010/8/19	13:16	1	0.00001	0.001	0.0006	0.0009	0.0018	0.0003	30.3
台中港沿海	大肚溪口外4海深	5166	乙	2010/8/19	12:54	1	0.00001	0.001	0.0009	0.0020	0.0013	0.0003	30.0
台中港沿海	大安溪口	5162	乙	2010/5/5	09:10	1	0.00002	0.001	0.0004	0.0003	0.0027	0.0003	24.3
台中港沿海	台中港沿海一	5163	乙	2010/5/5	08:05	1	0.00006	0.001	0.0006	0.0005	0.0025	0.0003	23.8
台中港沿海	台中港沿海二	5164	乙	2010/5/5	08:25	1	0.00002	0.001	0.0004	0.0003	0.0010	0.0003	24.1
台中港沿海	大肚溪口	5165	乙	2010/5/4	11:00	1	0.00004	0.001	0.0004	0.0004	0.0012	0.0003	26.0
台中港沿海	大肚溪口外4海深	5166	乙	2010/5/4	10:35	1	0.00001	0.001	0.0003	0.0001	0.0012	0.0003	26.0
台中港沿海	大安溪口	5162	乙	2010/1/20	10:48	1	0.00003	0.001	0.0005	0.0001	0.0013	0.0003	18.3
台中港沿海	台中港沿海一	5163	乙	2010/1/20	12:05	1	0.00002	0.001	0.0006	0.0001	0.0013	0.0003	18.0
台中港沿海	台中港沿海二	5164	乙	2010/1/20	11:50	1	0.00002	0.001	0.0006	0.0001	0.0013	0.0003	18.0
台中港沿海	大肚溪口	5165	乙	2010/1/19	12:10	1	0.00002	0.001	0.0008	0.0001	0.0014	0.0003	21.0
台中港沿海	大肚溪口外4海深	5166	乙	2010/1/19	11:30	1	0.00002	0.001	0.0008	0.0001	0.0013	0.0003	18.0

資料來源：<http://wqshow.epa.gov.tw/>



總磷乙類海
域水質無標
準，甲類：
0.05 mg/L

18

臺中港鄰近海域水質99年3月枯水期與9月豐水期採樣調查結果

- 除臺中港域9月表水水質溶氧量略偏低而不符乙類海域水質標準外，其餘有標準者均可符合
- 靠近梧棲與安良港大排出口之測站N5 大腸桿菌含量相對較高
(乙類海域無標準，甲類: 1,000 CFU/100 mL)
- 整體氨磷類亦以N5相對較高

檢項及 方法	pH	水溫 ?	導電度 μmho/cm	鹽度 psu	透明度 m	DO mg/L	DO 飽和度(%)	BOD mg/L	懸浮固體 mg/L	大腸桿菌群 CFU/100mL	總磷 mg/L	氨氮 mg/L	葉綠素 a μg/L
	NIEA W424.52A	NIEA W427.51A	NIEA W203.51B	NIEA W447.20C ¹	NIEA E220.50C	NIEA W465.50C	NIEA W465.50C	NIEA W510.54B	NIEA W210.57A	NIEA E202.53B	NIEA W427.52B	NIEA W440.51B	NIEA W507.02B
N5	9903 8.2(8.20)	236	52300	34.3	2.5	9.1(9.14)	132	<2.0(1.6)	3.8	1.8×10 ⁴	0.048	0.12	2.2
	9909 8.2(8.208)	31.9	48900	32.2	2.5	4.6(4.56)	736	<2.0(0.8)	16.9	2.5×10 ²	0.043	0.08	10.3
N6	9903 8.3(8.27)	244	53000	34.9	2.2	7.1(7.06)	103	<2.0(0.5)	3.8	20	<0.020(0.017)	<0.05(0.05)	1.1
	9909 8.2(8.162)	31.6	49800	32.9	2.1	4.4(4.37)	70.7	<2.0(0.2)	16.4	55	0.027	<0.05(0.04)	3.1
N7	9903 8.3(8.27)	24.1	52900	34.9	1.3	7.3(7.29)	107	<2.0(0.8)	4.4	25	0.032	0.11	1.7
	9909 8.2(8.192)	31.4	50100	33.0	1.2	4.4(4.45)	71.8	<2.0(0.3)	10.5	40	0.030	ND	3.4
N10	9903 8.1(8.07)	24.2	53300	35.1	5.2	6.8(6.81)	101	<2.0(0.7)	7.6	<10	0.042	0.06	1.1
	9909 8.2(8.175)	32.1	50000	32.9	6.6	6.6(6.55)	98.5	<2.0(0.1)	9.2	<10	0.024	<0.05(0.03)	1.1
N11	9903 8.1(8.12)	24.8	53800	35.5	6.7	6.5(6.53)	97.5	<2.0(0.3)	<2.5	<10	<0.020(0.016)	<0.05(0.02)	0.5
	9909 8.2(8.205)	29.8	50000	33.0	5.2	5.8(5.79)	91.0	<2.0(0.2)	12.0	10	0.048	0.09	0.6
MDL	無	無	無	無	無	無	無	2.0 ²	2.5	無	0.006	0.02	無
乙類 海域	7.5-8.5	無	無	無	無	≥5.0		≤30	無	無	無	無	無
甲類 海域	7.5-8.5	無	無	無	無	≥5.0		≤20	無	≤1000	≤0.05	≤0.3	無

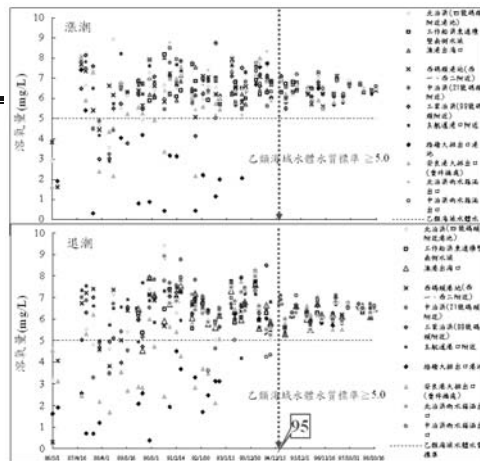
備註：

- 標示“①”代表該檢測方法係參考環保署公告的方法。“#”表定量極限。
- 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。pH及DO檢項括號內數據表實際測值。
- 報告值標示為<2.0 (BOD)，2.0為該檢項的定量極限濃度，括號內數據表實際測值。
- 報告值標示為<0.020 (總磷)或<0.05 (氨氮)，0.020、0.05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。

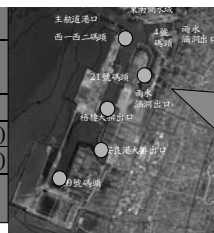
20

海域水質現場調查結果

- 99年9月港域內表水溶氧量偏低且不符乙類海域水質標準(5.0 mg/L)；港外鄰近海域水體則仍可符合乙類海域水質標準且無異常。
 - 與歷次相比，本年度9月與3月及上一年度(98年)4月與6月相比，9月於臺中港域內溶氧偏低。
 - 由環保署歷年(86年7月~99年8月)於臺中港外鄰近海域調查顯示，溶氧均能符合標準。
- 由歷年匯入臺中港之陸域水質分析可知，其DO、BOD₅、SS、Coliform group、NH₃-N及TP多無法符合陸域水質標準。



監測日期(民國年/月/日)				溶氧測量值與平均(mg/L)
本計畫監測	98年	第1次	98/4/29	6.6~10.8(8.3)
		第2次	98/6/25	6.2~7.4(6.5)
		第3次	98/9/14~15	1.7~11.5(6.2)
	99年	第4次	99/3/23~24	6.53~9.14(7.37)
		第5次	99/9/7~9/8	4.37~6.55(5.14)
環保署監測	86~99年	台中港沿海二	86/7/8~99/8/20	5.9~8.4(6.9)



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86~93年期間溶氧曾出現不符合乙類海水水質標準。

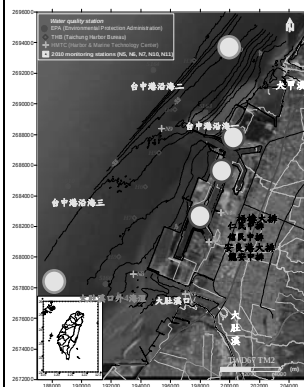
21

海域生態-枯水期(1/4) 臺中港鄰近港水質環境調查浮游植物個體量(cells/L)及含量百分比

99年3月23~24日調查

浮游植物

共計有矽藻(Bacillariophyta)、金黃藻(9月未發現Chrysophyta)、綠藻(Chlorophyta)和渦鞭毛藻(Dinophyta)計4門共29種，其中以矽藻門的20種為最多



測站名稱	N5	N6	N7	N10	N11	百分比(%)
Bacillariophyta (矽藻門)						
Achnanthes spp.		38				0.03
Actinocyclus spp.				19		0.02
Bacteriastrium spp.	1,140	532	285	57		1.84
Biddulphia spp.	114	76		19		0.19
Chaetoceros spp.	14,022	8,512	26,980	2,717	1,292	48.82
Coscinodiscus spp.	2,850	4,408	2,641	4,693	285	13.57
Detonula spp.		304				0.28
Diploneis spp.			19		19	0.03
Eucampia spp.			114	209		0.29
Hemiaulus spp.	2,166	152			57	2.17
Lauderia spp.	8,626	10,070	6,726	5,092		27.83
Melosira spp.	266			133		0.36
Navicula spp.	228	114	19	190	228	0.71
Nitzschia spp.		76	76	114	380	0.59
Pleurosigma spp.					38	0.03
Rhizosolenia spp.					38	0.03
Surirella spp.				19		0.02
Thalassionema spp.	38				76	0.10
Thalassiosira spp.	114	76	19	247	114	0.52
Thalassiothrix spp.	76			228	95	0.36
Chlorophyta (綠藻門)						
Oocystis spp.		266				0.24
Chrysophyta (金黃藻門)						
Dictyocha spp.	76	38	114	95	19	0.31
Distephanus spp.	38		19	95	19	0.16
Mesocena spp.		38	38	19	190	0.26
Dinophyta (渦鞭毛藻門)						
Ceratium spp.	114		19	57		0.17
Dinophysis spp.	76	76	57			0.19
Oxytoxum spp.				19		0.02
Prorocentrum spp.	38	190	266	228	38	0.69
Protoperidinium spp.	38			95	19	0.14
總計						
	30020	24814	37544	14345	2907	100.00
種類數						
	17	15	16	20	16	

整體而言，位於臺中港內之測站，如N5、N6及N7等站，其浮游植物數量較港外(N10及N11)來得高；而就各測站的物種數而言，則以N10測站最高，共發現20種。

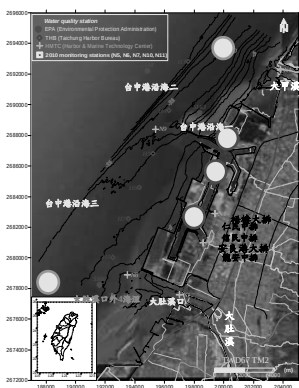
海域生態-豐水期(2/4) 臺中港鄰近水質環境調查浮游植物個體量(cells/L)及含量百分比

99年9月7~8日調查

浮游植物

共計有矽藻(Bacillariophyta)、綠藻(Chlorophyta)和渦鞭毛藻(Dinophyta)計3門共37種，其中以矽藻門的32種為最多

▶本季未發現Chrysophyta(金黃藻門)



測站名稱	N5	N6	N7	N10	N11	百分比(%)
Bacillariophyta (矽藻門)						
Achnanthes spp.	760	285	1,520	190	1,045	6.31
Actinocyclus spp.			190	95	285	0.95
Amphora spp.						0.32
Asterionella spp.		285				0.47
Asteromphalus spp.	95			95		0.32
Auliscus spp.	95	190				0.47
Biddulphia spp.	190	190	380	760	1,140	4.42
Campyloneis spp.					285	0.47
Chaetoceros spp.	190			570	475	2.05
Climacodium spp.	285	1,425	1,995			6.15
Cocconeis spp.	95					0.16
Coscinodiscus spp.	95	95	285	855	380	2.84
Detonula spp.	190				190	0.63
Diploneis spp.				190	285	0.79
Ditylum spp.	285	190	285			1.26
Eucampia spp.			5,795	855	1,425	13.41
Grammatophora spp.		95				0.16
Hemiaulus spp.	190	570	95			1.42
Lauderia spp.	380		1,615			3.31
Licmophora spp.	95		285			0.63
Mastogloia spp.					95	0.16
Navicula spp.	190	475	285		190	1.89
Nitzschia spp.	285		1,235	380	285	3.63
Plagiogramma spp.		190				0.32
Pleurosigma spp.	285	95	380	665	380	3.00
Rhizosolenia spp.			95			0.16
Skeletonema spp.	190	570	475	285	1,330	4.73
Surirella spp.				95		0.16
Triceratium spp.	4,940	1,710	3,610	1,520	1,140	0.16
Thalassionema spp.	1,140	4,085	2,565	285		21.45
Thalassiosira spp.			190			13.41
Thalassiothrix spp.					95	0.32
Chlorophyta (綠藻門)						
Oocystis spp.	190				190	0.63
Microcystis spp.		475	190	95	190	1.58
Dinophyta (渦鞭毛藻門)						
Ceratium spp.		190		570	190	1.26
Dinophysis spp.						0.32
Protoperdinium spp.	190					0.32
總計	10,355	11,115	21,470	7,695	9,595	100.00
種類數	21	17	19	17	19	

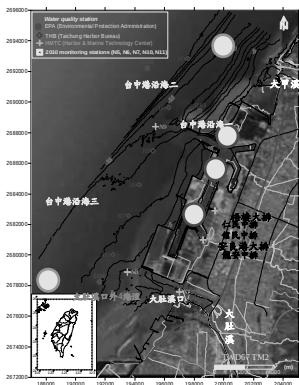
各測站所採得到浮游植物的總個體量差異頗大，仍以位於臺中港內之測站(如N5、N6及N7)，其浮游植物數量較港外(N10及N11)來得高。就各測站的物種數而言，以N5測站最高，共發現21種

海域生態-枯水期(3/4) 臺中港鄰近水質環境調查浮游動物平均豐度(ind./1000m³)及含量百分比

99年3月23~24日調查

浮游動物

共計有原生動物(Protozoa)、刺胞動物(Cnidaria)、櫛板動物(9月未發現Ctenophora)、軟體動物(Mollusca)、環節動物(Annelida)、節肢動物(Arthropoda)、毛類動物(Chaetognatha)、棘皮動物(Echinoderm)、原索動物(Protochordata)及脊索動物(Chordata)共10門26大類



樣品編號	N5	N6	N7	N10	N11	百分比(%)
Protozoa 原生動物						
Foraminifera 有孔蟲	102	3,512	341	0	1,725	0.377
Noctiluca 夜光蟲	38,472	404,402	119,066	88	373,083	62.12
Cnidaria 刺胞動物						
Medusa 水母	4,604	6,213	3,408	44	6,898	1.406
Ctenophora 櫛板動物	0	0	0	0	0	0
Ctenophora 水母	1,023	270	1,023	0	0	0.154
Mollusca 軟體動物						
Pteropoda 翼足類	2,046	5,133	6,249	0	40,240	3.565
Annelida 環節動物						
Polychaeta 多毛類	0	0	114	0	1,150	0.084
Arthropoda 節肢動物						
Cladocera 蚌類	5,321	4,052	3,408	0	4,599	1.154
Calanoid 桡水蚤	35,198	85,365	39,878	6,753	140,265	20.42
Cyclopoid 劍水蚤	3,990	3,242	1,818	352	6,323	1.045
Copepoda nauplius 桡足類幼生	1,023	1,351	1,363	44	0	0.251
Amphipoda 端腳類					4,024	0.267
Crab megalopa 蟹類大眼幼生	205		114	22	2,299	0.175
Crab zoea 蟹類幼生	16,474	3,242	3,181	66	10,922	2.251
Procennana zoea 龍蝦幼生	205					0.014
Shrimp larva 蝦類幼生	7,776	5,133	6,590	2,816		1.482
Lucifera 螢蝦類	2,353	810	909		2,299	0.423
Euphausiacea 磷蝦		270			5,749	0.400
Mysidacea 糠蝦				44		0.003
Squilla larva 蝦幼生	205					0.014
Ostracoda 介形類				22		0.001
Chaetognatha 毛類動物						
Sagittidae 毛類類	1,432	2,972	1,136	66	40,815	3.084
Echinoderm 棘皮動物						
Echinodermata larvae 棘皮幼生	307	2,161	1,136	22	575	0.279
Protochordata 原索動物						
Appendicularia 尾蟲	205	1,621	341		575	0.182
Thaliacea 海樽		270	227			0.033
Chordata 脊索動物						
Fish egg 魚卵	6,344	2,161	568	176	575	0.653
Fish larva 仔稚魚		1,081	227	22	1,150	0.165
總計	127,286	533,259	191,097	10,537	643,266	100
種類數	19	19	20	14	18	

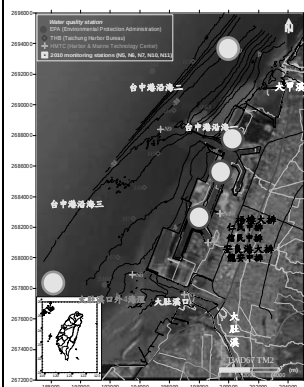
夜光蟲及哲水蚤為主要優勢族群共總豐度的82.5%，夜光蟲所佔比率最高(62.1%)，乃海域中常見浮游動物，集中於N5、N6、N7及N11測站，佔有相當高比例，哲水蚤亦為各測站主要物種，是許多經濟魚種主要食物來源

海域生態-豐水期(4/4)

99年9月7~8日調查

浮游動物

共計有原生動物(Protozoa)、刺胞動物(Cnidaria)、軟體動物(Mollusca)、環節動物(Annelida)、節肢動物(Arthropoda)、毛類動物(Chaetognatha)、棘皮動物(Echinoderm)、原索動物(Protochordata)及脊索動物(Chordata)共9門25大類櫛板動物(未發現)



臺中港鄰港水質環境調查浮游動物平均豐度(ind./1000m³)及含量百分比

測站	N5	N6	N7	N10	N11	百分比(%)
Protozoa 原生動物						
Foraminifera 有孔蟲			42	69		0.02
Noctiluca 夜光蟲	1017	489	3838	17269	19346	8.84
Cnidaria 刺胞動物						
Polyps 水螅體	17					0.00
Medusa 水母	121	60	417	349	551	0.32
Siphonophora 管水母	276	12	104	698	1102	0.46
Mollusca 軟體動物						
Bivalvia 二枚貝			21			0.00
Pteropoda 翼足類		12	42	5407	1446	1.46
Annelida 環節動物						
Polychaeta 多毛類	103	370	188	1744	275	0.57
Arthropoda 節肢動物						
Cladocera 枝角類			21	14478	826	3.23
Barnacle nauplius 藤壺幼生						
Calanoid 哲水蚤	4017	4190	5236	211584	76284	63.50
Cyclopoid 劍水蚤	34	72	146	2093	3167	1.16
Copepoda nauplius 桡足類幼生	259	1648	7823	872	620	2.36
Amphipoda 端腳類		12	63			0.02
Crab zoea 蟹類幼生	1931	2447	6884	3314	1377	3.06
Procclana zoea 荒蟹幼生	207	24				0.05
Shrimp larva 蝦類幼生	586	824	1356	6454	22376	6.66
Lucifera 螢蝦類				523		0.11
Sergesidae 櫻蝦	17	24	63	523	69	0.15
Euphausiacea 磷蝦			42	174	207	0.09
Chaetognatha 毛類動物						
Sagittidae 毛類	86	12	63	698	4269	1.08
Echinoderm 棘皮動物						
Echinodermata larvae 棘皮幼生	17		42			0.01
Protochordata 原索動物						
Appendicularia 尾蟲	1552	752	3880	349	688	1.52
Thaliacea 海鞘			21			0.00
Chordata 脊索動物						
Fish egg 魚卵	448	549	292	19013	2272	4.76
Fish larva 仔稚魚		48	167	523	482	0.26
總計	10689	11545	30748	286066	135425	
總類數	16	17	22	18	18	

哲水蚤為主要優勢族群共佔了總豐度的63.5%，9月調查哲水蚤集中於港外N10及N11，並為最主要的浮游動物種類

26

海域生態-生態指數

臺中港鄰港水質環境99年調查各測站浮游植物生態指數

生態指數	99年度	測站 年.月	N5	N6	N7	N10	N11
			臺中港內			臺中港外	
優勢度	第1次	99.03	0.32	0.31	0.55	0.27	0.24
Simpson Dominance	第2次	99.09	0.25	0.19	0.14	0.10	0.09
豐富度	第1次	99.03	1.08	0.96	0.99	1.38	1.30
Margalef's richness	第2次	99.09	2.06	1.72	1.80	1.79	1.96
均勻度	第1次	99.03	0.52	0.51	0.33	0.55	0.70
Evenness	第2次	99.09	0.69	0.76	0.78	0.89	0.89
歧異度	第1次	99.03	2.13	2.00	1.31	2.36	2.81
Shannon-weiner diversity	第2次	99.09	3.04	3.10	3.32	3.63	3.76

豐水期(9月)浮游植物之豐富度、均勻度與歧異度指數均同步增加；優勢度則降低

臺中港鄰港水質環境99年調查各測站浮游動物生態指數

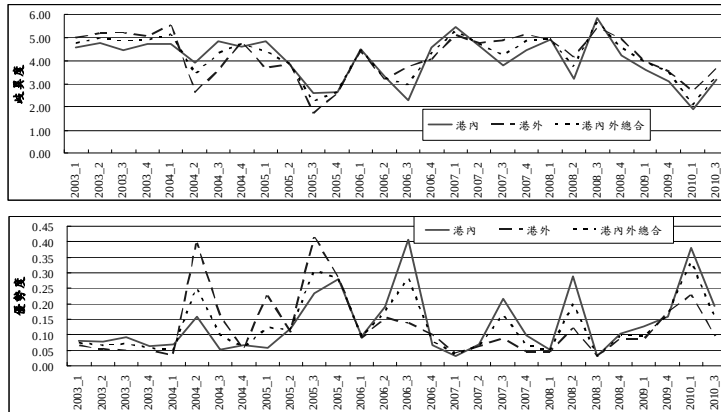
生態指數	99年度	測站 年.月	N5	N6	N7	N10	N11
			臺中港內			臺中港外	
優勢度	第1次	99.03	0.20	0.60	0.44	0.48	0.39
Simpson Dominance	第2次	99.09	0.21	0.21	0.18	0.56	0.37
豐富度	第1次	99.03	1.06	0.95	1.08	0.97	0.88
Margalef's richness	第2次	99.09	1.62	1.71	2.03	1.35	1.44
均勻度	第1次	99.03	0.68	0.31	0.44	0.40	0.47
Evenness	第2次	99.09	0.69	0.66	0.63	0.38	0.50
歧異度	第1次	99.03	2.88	1.32	1.90	1.51	1.97
Shannon-weiner diversity	第2次	99.09	2.77	2.69	2.80	1.59	2.10

豐水期(9月)浮游動物之豐富度、均勻度與歧異度與浮游植物相同，多呈同步增加趨勢

27

臺中港海域生態調查結果(1/2)-浮游植物

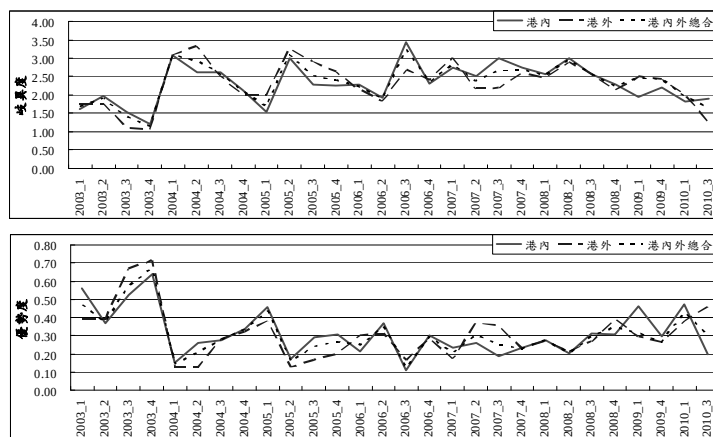
- 99年3月浮游植物歧異度港內外差異小，與歷次相比3月港內歧異度為歷次最低，而港外歧異度雖歷次範圍內，但亦呈現偏低。就總合歧異度而言，其值亦為歷年來最低，此一情形反映在優勢度上，3月港內優勢度已接近歷年最高值，總合優勢度則為歷次調查結果最高值，顯示3月矽藻族群中出現部份物種較為優勢，造成整體物種分佈較不均勻。
- 9月浮游植物歧異度同樣於港內外差異不大，總合歧異度仍較歷次為低，但以優勢度來看，9月港內外優勢度已比3月降低許多，總合優勢度亦呈現下降的趨勢，顯示9月浮游植物優勢物種並未造成整體物種分佈有過於集中的趨勢。



28

臺中港海域生態調查結果(2/2)-浮游動物

- 99年3月海域浮游動物歧異度顯示港內外差異小，在歷年變動範圍內，而由歷年資料顯示，93~95年間歧異度變化相當劇烈，港內外差異也相對較大，自96年之後歧異度變動趨於平緩。
- 以優勢度來看，同樣3月港內外差異不明顯，介於歷年變動範圍。而9月臺中港海域浮游動物於港內外差異頗大，港內浮游動物較港外來得低，但仍在歷年變動範圍。主要因為9月港外大甲溪口外(N10)哲水蚤大量出現。



29

四、水質與生態統計分析

- 常態分佈檢定（夏皮羅-維克Shapiro-Wilk Statistic）
- 相關性檢定（皮爾森相關性Pearson Correlation）
- 主成份分析法(PCA: Principle Component Analysis)

水質與生態統計分析(1/3)

臺中港及沿海水質：1996～2008 期間

(PCA: Principle Component Analysis 主成份分析法)

➤ 第1主成份-來自畜牧、生活污染方面的影響

➤ 臺中港海域水體品質可能於高水溫的季節，如夏、秋之際氣溫偏高時，水體中氮、磷類之營養鹽濃度增高而溶氧偏低。當水溫高於22℃以上時，其總磷濃度多高達0.5 mg/L以上（為海域水質標準上限的10倍）。推測因排入臺中港域的排水路於乾季雨量少期間，其水閘門多關閉，即陸源營養鹽多被阻擋於水閘門上游；當進入雨季，甚至颱風季節常因豪大雨造成水位湧升，為避免內陸淹水而打開閘門排洪，因此於此時期常會將內陸水體中過高之氮、磷類之營養鹽污染排入港域及近海。

海域水質特徵值大於1之主成份相關係數矩陣

	主成份 Component			
	1	2	3	4
square_水溫	.933	.090	-.212	.019
cubic_pH	.041	.588	-.395	.321
cubic_鹽度	-.144	-.491	.526	.219
cubic_溶氧量	-.666	.472	-.137	.200
log_生化需氧量	.432	.609	.435	.050
reciprocal square-root_礦物性油脂	-.361	.303	.773	.037
log_大腸桿菌群	.037	.406	.123	.655
log_酚類	-.751	.112	-.031	-.196
log_氨氮	.534	.274	.383	-.448
log_總磷	.838	.014	.040	.109
log_有機氮	.179	-.597	.128	.571

資料來源：臺中港務局民國85～97年環境監測

➤ 第2主成份-來自陸源淡水之可能致病微生物指標成份之影響

顯示出鹽度同時對五日生化需氧量及大腸桿菌群之負相關，反映出受人類或動物排泄物污染主要來自陸源淡水。

➤ 第3主成份-來自船舶用油與機械潤滑或鍋爐用重油等之污染來源影響

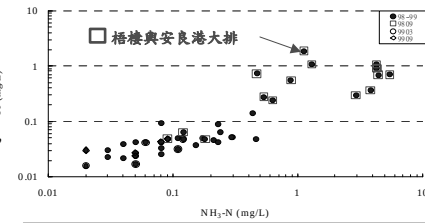
礦物性油脂與鹽度呈現較高的負相關，可能代表水體中礦物性油脂之來源並非來自外海，而是來自於近岸水體如河口或有淡水排入之商港或漁港。

水質與生態統計分析(2/3)

臺中港及沿海水質：2009~2010 期間

➤第1主成份-來自陸源畜牧、生活污染影響

同樣顯示來自畜牧、生活污水方面的氮與總磷有很高之正相關與正值，且酸鹼度與氮及總磷亦呈現明顯之負相關，而通常海水的酸鹼度(氫離子濃度指數)偏鹼性且高於內陸淡水。陸源淡水具有高氮磷含量，以及相對較海水為低的pH，且淡水帶來懸浮固體量較高，導致透明度降低，這些內陸排水與近岸海水之特性，以及彼此間的相關性，均能夠於第1主成份中顯現。



海域水質特徵值大於1之主成份相關係數矩陣

	主成份 Component		
	1	2	3
cubic_水溫	-.658	.702	-.037
cubic_pH	.793	-.238	-.015
cubic_鹽度	.414	.715	.318
log_透明度	.752	.515	.251
DO	.482	-.377	.739
log_BOD	.686	-.622	-.011
log_大腸桿菌群	-.463	-.676	.374
reciprocal square-root_懸浮固體	.719	.588	-.040
reciprocal square-root_氮	.873	-.236	-.191
reciprocal square-root_總磷	.927	.268	.013
reciprocal square-root_總油脂	-.632	.322	.514

資料觀測期間：民國98~99年

✓由98年9月全潮水質調查可反映出匯入臺中港域之氮磷類營養鹽污染係來自其梧棲與安南港大排

➤第2主成份-同樣顯示來自陸源淡水之可能致病微生物指標成份之影響

意味著來自陸源淡水之生物性可能致病指標，當陸源水含量相對較高時將造成鹽度下降，而此時水體含有其他致病菌的機會將大為增高。

➤第3主成份-尚不易看出相關水質的關係特性，僅以溶氧量較為顯著

可能反映出當水體油脂濃度增高時，將阻擋大氣中氧氣溶解於水中，同時水中油脂分解將消耗氧氣，造成水中總油脂濃度增高時，將導致溶氧量的降低。

32

水質與生態統計分析(3/3)

Pearson Correlation

臺中港及沿海生態：2009~2010 期間

➤臺中港內外沿海水質與浮游植物關聯性分析

- 矽藻出現之種類與水溫有明顯之正相關(0.869)，而渦鞭毛藻則與水溫呈現明顯之負相關(-0.863)；矽藻種類數與鹽度(-0.834)與導電度(-0.827)、溶氧量(-0.800)與溶氧飽和度(-0.780)有相當顯著之負相關，而與懸浮固體(0.817)有相當顯著之正相關。
- 渦鞭毛藻種類數亦與溶氧量(0.822)與溶氧飽和度(0.814)有相當顯著之正相關。

臺中港沿海海域水質與浮游植物相關性分析												
浮游植物	矽藻	綠藻	渦鞭毛藻	浮游植物	生態指數							
環境水質因子	種類	豐度	種類	豐度	種類	豐度	總豐度	總種類數	優勢度	豐富度	均勻度	歧異度
酸鹼度	-.227	.621	.287	.216	-.181	-.014	.622	-.377	.401	-.231	-.313	-.326
水溫	.869**	-.510	.709**	.598	-.863**	-.095	-.510	.453	-.699	.909**	.796**	.822**
導電度	-.834**	.333	-.735**	.620	.745*	.077	.333	-.533	.591	-.879**	-.677*	-.723*
鹽度	-.827**	.313	-.720**	.594	.723*	.059	.313	-.539	.589	-.868**	-.667*	-.714*
透明度	.049	-.728*	.012	-.234	.055	.317	-.726*	.031	-.465	.192	.472	.439
溶氧量	-.800**	.507	-.487	-.547	.822**	.306	.509	-.419	.493	-.752*	-.574	-.603
溶氧飽和度	-.780**	.493	-.479	-.555	.814**	.330	.495	-.406	.468	-.726*	-.546	-.574
五日生化需氧量	-.398	.619	-.567	-.509	.729*	.083	.616	.044	.586	-.489	-.670*	-.630
大腸桿菌群	-.326	.416	-.363	-.324	.535	.038	.413	-.119	.182	-.357	-.274	-.278
懸浮固體	.817**	.426	.623	.682*	-.613	-.124	-.424	.653*	-.496	.860**	.557	.621
氮	-.327	.555	-.120	-.164	.530	.347	.559	.058	.501	-.236	-.467	-.426
總磷	.245	.162	.111	-.024	.288	.069	.162	.679*	-.018	.285	-.027	.069
葉綠素 a	.617	-.077	.149	.154	-.309	-.229	-.082	.599	.009	.493	.044	.129

** Pearson Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* Pearson Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

33

五、船舶排水對港池水質影響

- 排水量估算：歐洲模式
- 風險評估：環境相似度

分析方法

➤ 排水量估算

- 本研究使用「歐洲模式」估算臺中港壓艙水排放量，以94-98年間進入臺中港之船舶資料為依據，分析船舶航運運輸型態，分析資料包含船舶種類、進出口貨量、前一港來源地區等變化情形。

➤ 風險評估

- 環境相似度：透過船舶的來源港與接受港之溫度與鹽度相似度進行比較，在本研究加入航程因素。

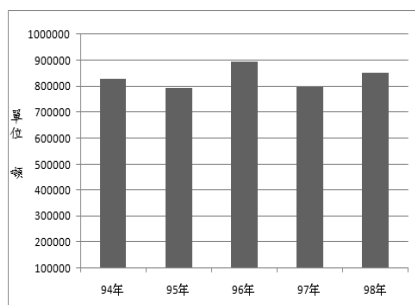
風險評估

分析項目	接受港	來源港		
	台中港	高風險區	中度風險區	低風險區
	積分	3	2	1
溫度	溫帶	溫帶	寒帶或熱帶	極區
鹽度	30.9	27-34psu	25-27或 34-36	>36或 <25
航程	---	0-1500浬 或<3天	1500-4500 浬或3-10天	>4500浬 或>10天

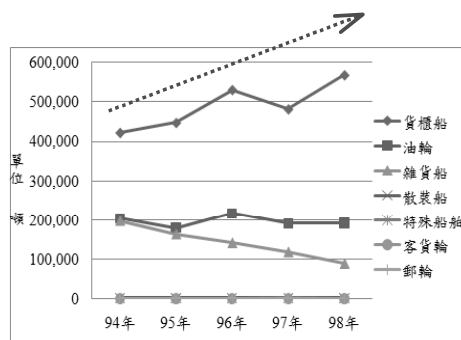
風險積分高低以溫度、鹽度、航程三個項目評估，若三個評估項目皆位於高風險區，則積分為9。

36

94-98年壓艙水變化



臺中港94-98年壓艙水年度排放量變化



臺中港94-98年各船舶壓艙水年度排放量變化

38

各國港口風險區分(94-98)

風險等級	極度風險區	高風險區	中度風險區	低風險區
風險積分	9	8	6-7	<5
總港口數	78	84	96	30
國家及港口數	中國18 日本51 南韓9	中國22 日本14 菲律賓13 澳洲12 等11個國家 共84個港口	印尼13 馬來西亞10 澳洲10 等28個國家共 96個港口	美國8 印尼3 沙烏地阿拉伯3 等18個國家共 30個港口

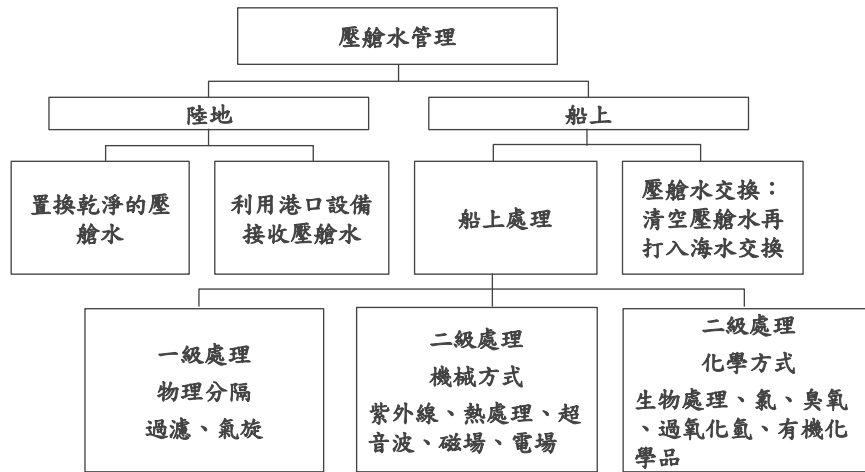
➤在被評選為極度風險港口中(與臺中港溫度、鹽度相似且航程可於三天內抵達者)，所有港口皆分佈於中國、日本、南韓。

39

六、壓艙水管理策略研擬

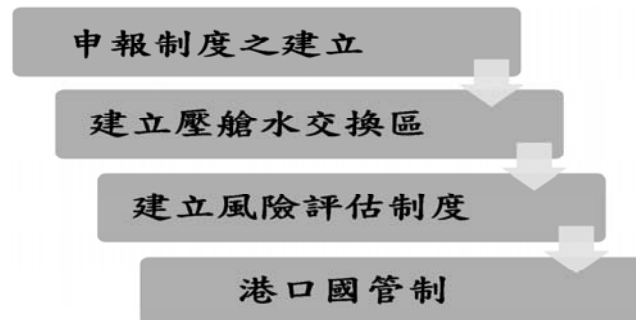
- 壓艙水處理方式
- 研擬管理策略之步驟

壓艙水處理方式



42

研擬管理策略之步驟



首要應先建立申報制度，有完善的申報制度才能了解每艘船舶為臺中港帶來多少壓艙水量與排放多少量入臺中港；了解壓艙水量後，應評估並建立壓艙水交換區，指定區域讓入港船舶排放其壓艙水；進港船舶申報後，依照所回傳的資料進行風險評估作業；最後壓艙水之排放管制是否嚴格執行，仍視港口國是否嚴格確實執行，以便掌控壓艙水量與來源。

43

申報制度之建立

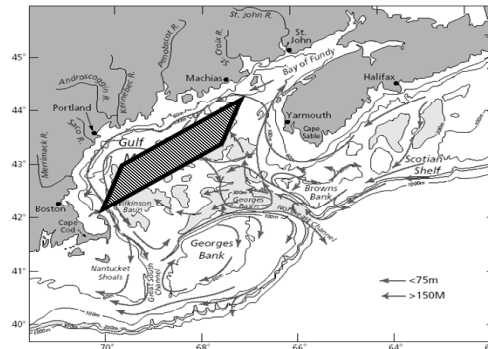
➤ 目前我國並無壓艙水申報制度，故參考美國與澳洲兩國壓艙水回報表格，做為我國未來建立申報制度參考依據。

➤ 美國：回報表格內容分成六個部分，分別是船舶資料、航運資訊、壓艙水量、壓艙水管理、壓艙水歷史記錄以及負責人的簽名。依照不同區域有不同的回報單位。

➤ 澳洲：根據澳洲檢疫處(Australian Quarantine and Inspection Service, AQIS) 所提供的壓艙水回報表格，分成上、下兩部分，上部分為船舶資訊及相關注意事項，下部分則是詳細的壓載艙使用記錄。進入澳洲的船舶必須在進入領海前12小時將報告書傳給AQIS，以供後續管理及風險評估之用。

44

建立壓艙水交換區

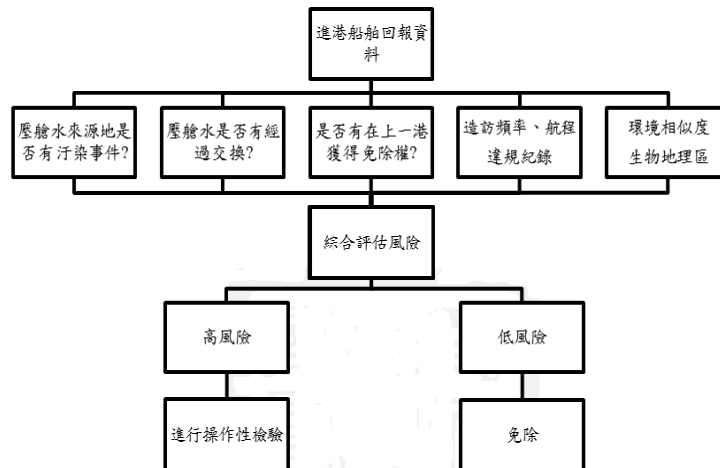


美國麻州緬因灣建議壓艙水交換區域

壓艙水交換區各國因地理環境受限，或為方便管理交換區，經詳細的地形水深、海流分析及航道規劃後所劃設一個適合船舶交換壓艙水的區域，當海流、離岸流越強、海底深度越深的條件下，該區便可成為良好交換區

45

建立風險評估制度



臺中港未來實行風險評估時之建議步驟

46

七、灘線侵淤變化分析

- 北淤沙區地形測量
- 灘線模式校核

北淤沙區地形測量

目的：

為進行100年本計畫在北淤沙區飛沙機制研究，於今年度（99年）於該地區進行3次地形高程測量，並進行土方量分析以及斷面高程比較。

測量範圍：

北防沙堤至北防波堤。

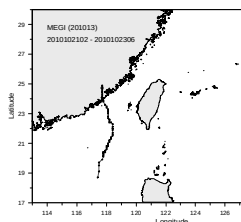
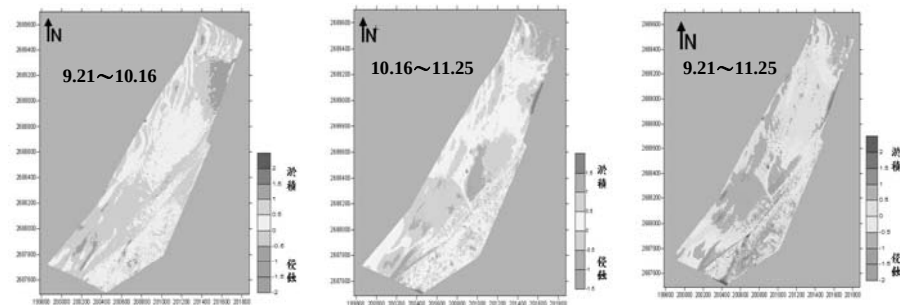
測量方法：

採用LIDAR 3D測量(3D雷射掃描)，不足區域運用全測站經緯儀進行補測。



49

地形測量侵淤分析

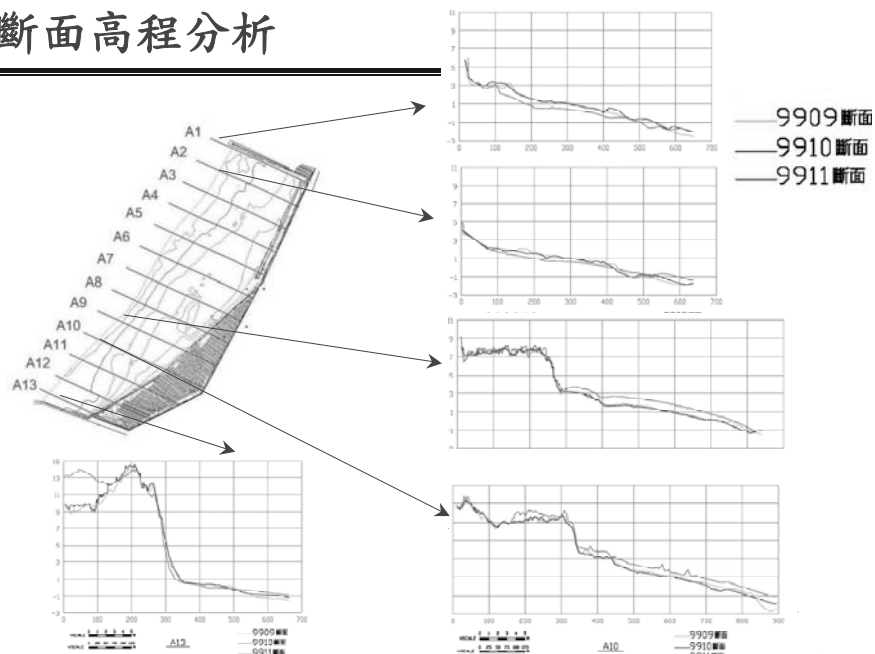


梅姬颱風中度第九類

土方侵蝕淤積量 (m ³)			
99.09.21~99.10.16	侵蝕	168,324	5,844
	淤積	162,480	
99.10.16~99.11.25	侵蝕	174,806	308,126
	淤積	482,932	
99.09.21~99.10.16	侵蝕	200,193	302,267
	淤積	502,460	

50

斷面高程分析



51

模式校核方法

GENESIS模式校核參數設定

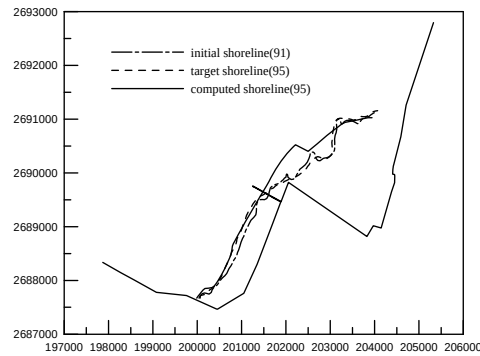
表 GENESIS 模式參數校核分析方法

方法/年份	民國85年至91年	民國91年至95年
方法 1	常年季代表波浪 (夏季與冬季)	常年季代表波浪 (夏季與冬季)
方法2	常年平均月代表波浪 (1月至12月)	常年平均月代表波浪 (1月至12月)
方法3	缺乏實測波浪資料，以近年當月份的資料隨機取樣計算	當年月代表波浪給定計算
設定參數	$Q=190,220,250$ $K_1 = 0.2 \sim 0.5 \text{ m}^3/\text{year}$ $K_2 = 0.3 \sim 0.6$	$Q=50,70,90,110$ $K_1 = 0.3 \sim 0.5 \text{ m}^3/\text{year}$ $K_2 = 0.3 \sim 0.6$

52

校核方法一

91年至95年灘線侵淤變化探討
冬、夏季代表波浪(91年至95年灘線侵淤變化探討)



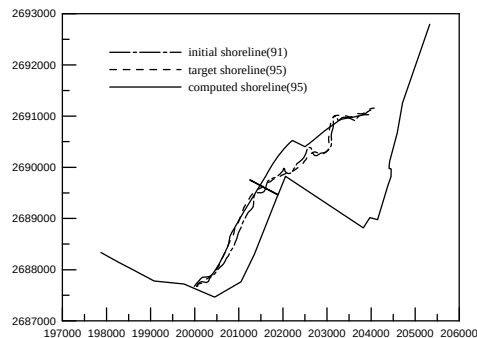
GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自民國91年至95年, 沿岸輸沙量 $Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)
[$k_1=0.5$, $k_2=0.6$, (21.01,21.27)]

53

校核方法二

91年至95年灘線侵淤變化探討
常年平均月代表波浪(91年至95年灘線侵淤變化探討)

月份	H	T	波向
1	2.06	6.4	N
2	2.00	6.7	N
3	1.83	6.2	NNE
4	1.05	5.8	NNE
5	1.06	5.7	WSW
6	0.90	5.8	ENE
7	0.99	7.6	WSW
8	0.90	7.6	N
9	1.43	6.8	N
10	2.07	6.5	N
11	1.85	6.4	N
12	2.23	6.7	N

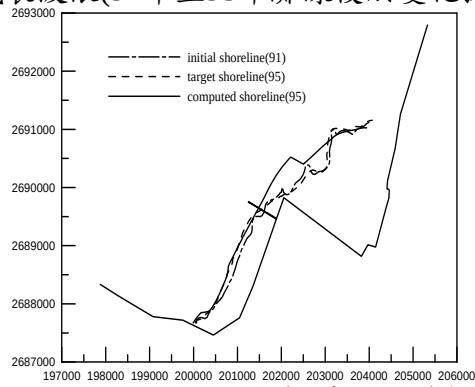


GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自民國91年至95年, 沿岸輸沙量 $Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)
[$k_1=0.3$, $k_2=0.6$, (36.38,19.89)]

54

校核方法三

91年至95年灘線侵淤變化探討
當月代表波浪(91年至95年灘線侵淤變化探討)



GENESIS 灘線模式預測灘線與實
測之比較 (自民國91年至95年，沿
岸輸沙量 $Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)
[$k_1=0.3$, $k_2=0.5$, (22.66,19.97)]

55

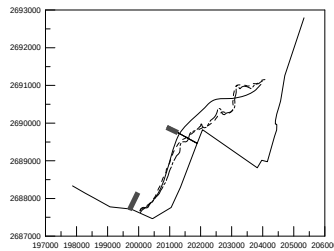
八、淤沙防治方案研擬

- 防治方案研擬
- 防治方案評估

漂沙防治方案研擬

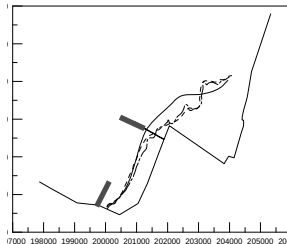
方案1

延長北防沙堤300m
新建定沙突堤450m



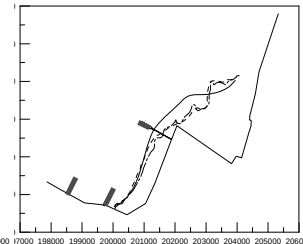
方案2

方案1布置條件下
再延長北防沙堤300m
再延長定沙突堤150m



方案3

方案1布置條件下
新建第二道定沙突堤450m



57

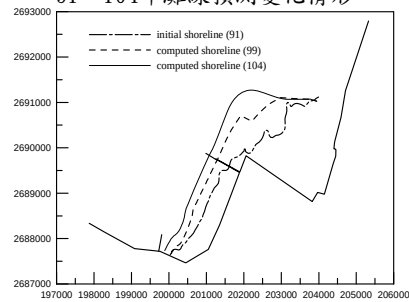
防治方案1評估

由漂沙之質量守恒原理預測：
不同沿岸輸沙量，灘線淤積至堤頭之時間

αQ ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$)	$t_{1\text{full}}(\text{yr})$	$t_{2\text{full}}(\text{yr})$	$t_{\text{full}}(\text{yr})$
250	0.5	1.1	1.7
250 $\times$ 0.7	0.5	1.6	2.1
250 $\times$ 0.5	0.5	2.2	2.7
250 $\times$ 0.3	0.5	3.8	4.3
125	1.0	2.3	3.3
125 $\times$ 0.7	1.0	3.3	4.3
125 $\times$ 0.5	1.0	4.6	5.6
125 $\times$ 0.3	1.0	7.6	8.6

以平均防沙堤透過率為0.5，灘線淤積至堤頭之時間為2.7及5.6年。

91~104年灘線預測變化情形



91至99年間及99至104年間，此區域灘線持續往海測平移。99至104年間北防波堤附近以及定沙突堤附近灘線淤積約200m。

北防沙堤之灘線已成長至堤頭附近處，防沙堤將失去攔阻沿岸漂沙之功效。

58

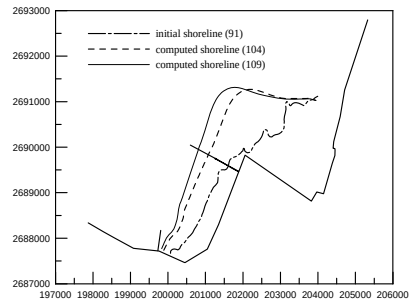
防治方案2評估

不同沿岸輸沙量，灘線淤積至堤頭之時間

αQ ($\times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$)	$t_{1\text{full}}(\text{yr})$	$t_{2\text{full}}(\text{yr})$	$t_{\text{full}}(\text{yr})$
250	0.5	0.12	0.62
250 $\times$ 0.7	0.5	0.17	0.67
250 $\times$ 0.5	0.5	0.24	0.74
250 $\times$ 0.3	0.5	0.42	0.92
125	1.0	0.25	1.25
125 $\times$ 0.7	1.0	0.36	1.36
125 $\times$ 0.5	1.0	0.51	1.51
125 $\times$ 0.3	1.0	0.84	1.84

以平均防沙堤透過率為0.5，灘線淤積至堤頭之時間為3.44及7.11年

91~109年灘線預測變化情形

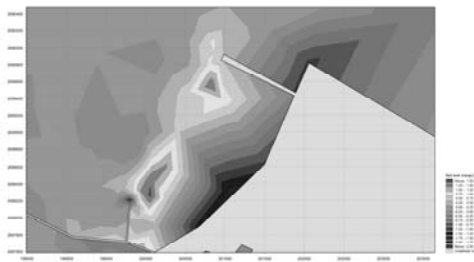


104~109年北防沙堤附近，灘線往海測前進約200m，在定沙突堤附近，灘線前進約80m。
北淤沙區淤沙面積有明顯的增長，具有淤沙效果。

59

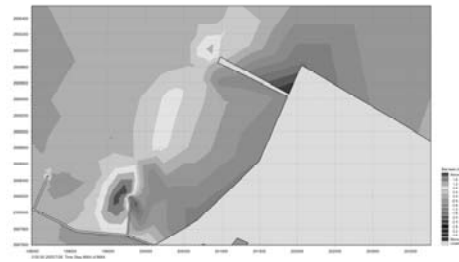
防治方案評估

方案1



淤積量集中在北防沙堤和新建定沙突堤之間，待該區域淤積量過多而無法再攔阻沿岸漂沙時，本計畫建議於北側再興建一定沙突堤如方案3。

方案3



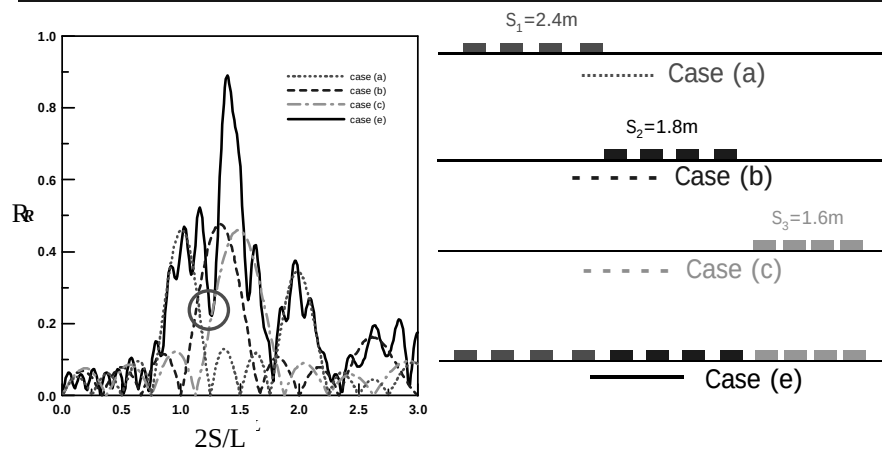
突堤可繼續攔阻沿岸漂沙，避免該漂沙向南輸送至臺中港區。

60

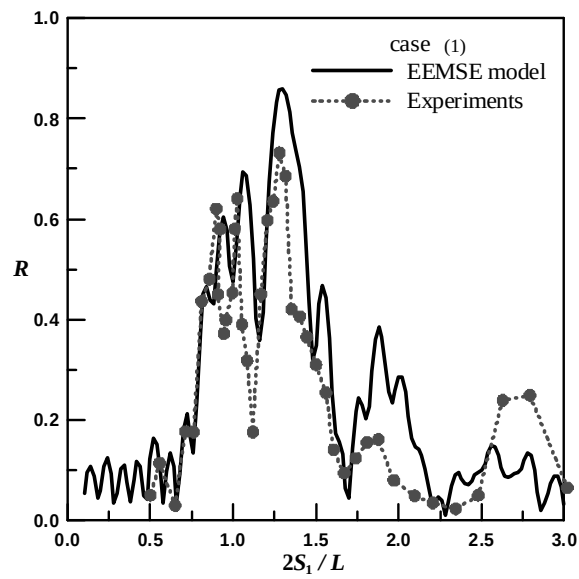
八、新式海岸防護工法特性探討

- 反射機制探討
- 最適方案選擇

3 群系列潛堤

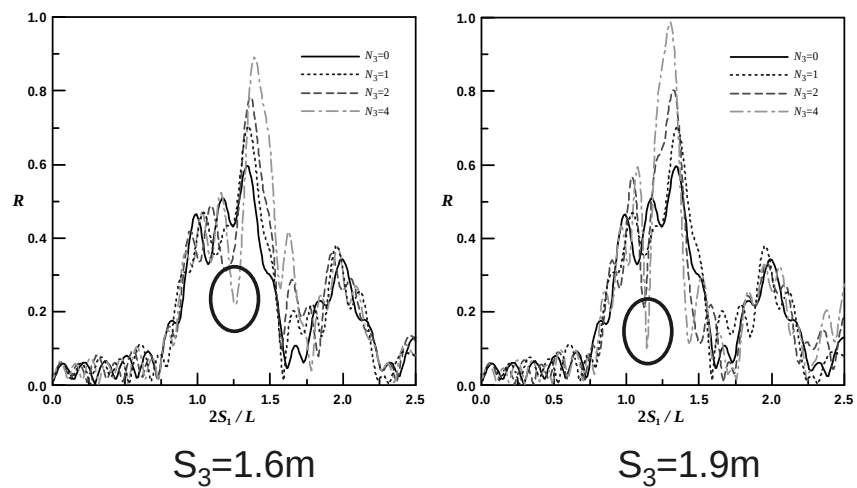


試驗驗證結果



反射機制探討-1

不同第3組堤數反射率變化



反射機制探討-2

由Miles(1981)推導出的反射率公式：

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

其中

$$\left\{ \begin{array}{l} A_j = \frac{\sin(k_x N_j S_j)}{\sin(k_x S_j)}, j = 1, 2, \dots, J \\ A_p = \frac{\sin(k_x N_j S_p)}{\sin(k_x S_p)}, p = 1, 2, \dots, J-1 \\ A_q = \frac{\sin(k_x N_j S_q)}{\sin(k_x S_q)}, q = 2, 3, \dots, J \\ X_{pq} = N_1 S_p + 2 \sum_{i=p+1}^{q-1} (N_1 S_i + I_{i-1}) + N_1 S_q + 2I_{q-1}, p < q \end{array} \right.$$

影響函數：

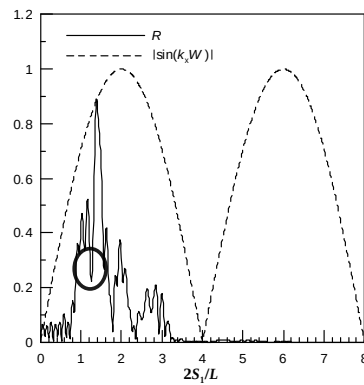
$$\alpha = \frac{k}{2kh + \sinh 2kh}, \quad \sin(k_x W)$$

A_j, A_p, A_q and $\cos(k_x \chi_{pq})$

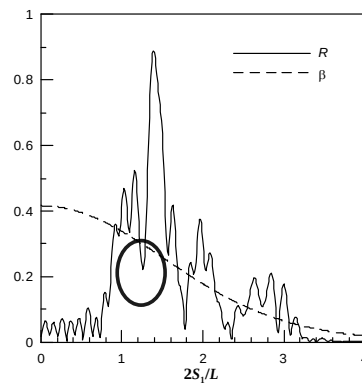
影響參數：

堤數 N 、堤寬 W 、堤高 D 、
堤距 S_j 、群與群間距 I 、群數 J 、
水深 D 、波數 k 、波浪入射角度 θ

反射機制探討-3

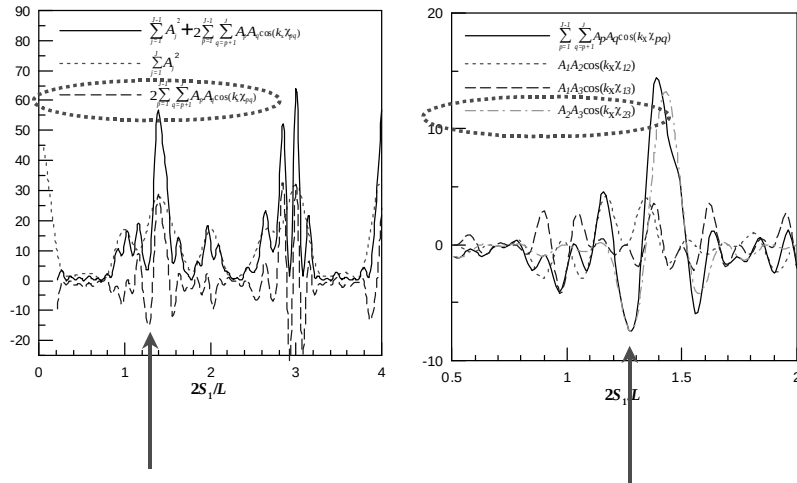


堤寬影響

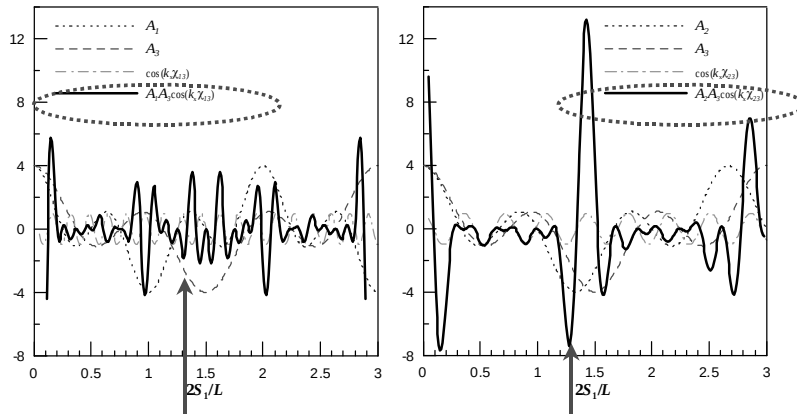


水深影響

反射機制探討-4 (堤距影響)

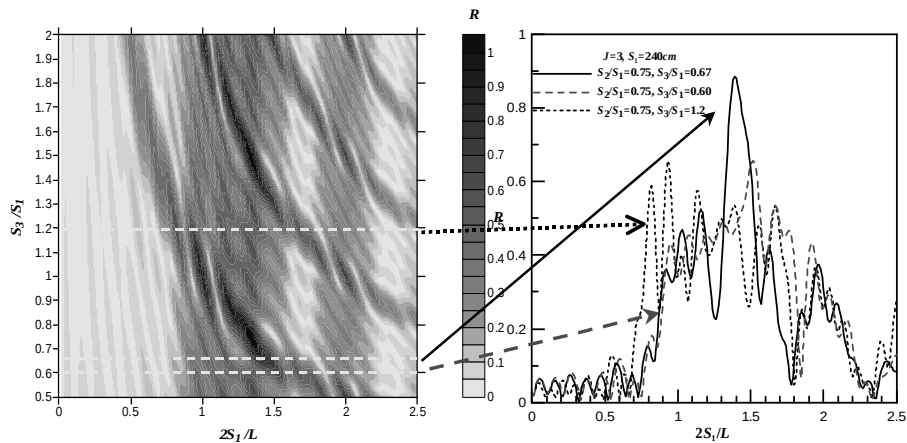


反射機制探討-5 (堤距影響)



證實為第2及3組潛堤互制作用產生反射率低值現象

最適配置選擇



結 論 (1/4)

1. 本年度3月與9月兩次水質採樣中，海域水質與去年並無異常。大腸桿菌群於港區N5測站曾於3月下旬因受局部陸源污染輸入之影響，而超出甲類海域水質標準(≤ 1000 CFU/100 mL)18倍；9月上旬於港區內N5、N6、N7測站之溶氧值低於乙類海域水質標準(≥ 5 mg/L)。
2. 本年度3月與9月調查之浮游植物歧異度於港內外差異不大，與歷次調查結果相較，而港外歧異度亦呈現偏低的情形，就港內外總合歧異度而言，其值亦較歷年為低，此一情形亦反應在優勢度上。3月港內優勢度已接近歷年最高值，而9月港內外之優勢度已較3月降低許多，總合優勢度亦呈現下降的趨勢，9月調查結果顯示浮游植物之優勢物種並未造成整體物種分佈有太大的影響。

結 論 (2/4)

3. 本年度3月調查浮游動物，夜光蟲及哲水蚤為主要優勢族群，共佔了總豐度的82%以上，夜光蟲所佔比率最高(62.12%)。本年度兩次港內外浮游動物調查結果其歧異度與優勢度均在臺中港歷年（92~97年）結果變動範圍內。99年9月歧異度及優勢度於港內外差異較大，浮游動物歧異度港外比港內低，主要原因為港外哲水蚤大量出現。
4. 水質主成分分析顯示陸源排水對臺中港沿海水體帶來影響，當沿海水體之pH與鹽度降低時，通常多伴隨較高的氨氮與總磷，代表溫體動物糞便污染之大腸桿菌群增加。當水溫高於22℃以上時，其總磷濃度多高達0.5 mg/L以上，而此濃度為海域水質標準上限的10倍。調查區域每年冬春之際，內陸排水受水閘門關閉阻擋，導致污染累積於內陸。當進入雨季，基於排洪防溢淹水閘門開啟，此時造成大量累積之氮磷類污染物進入近岸水體，使得臺中港域內水質不佳。

結 論 (3/4)

5. 94~98年間進入臺中港之船舶，船上壓艙水量約80萬噸，以貨櫃輪的排放量為主。在風險評估方面，由上一港與臺中港之間的溫度、鹽度與航程三種因素分析結果，發現此五年間造訪臺中港的船舶中，以中國香港為極度風險區，不僅溫度、鹽度與臺中港相似，且航程僅距離388浬，五年間造訪次數高達5,112次。
6. 研擬的漂沙防治方案1: 假設沿岸輸沙量為125及250萬立方公尺條件，在新建定沙堤與延伸北防沙堤間淤沙狀況，若以平均防沙堤透過率為0.5，則灘線淤積至堤頭約為2.7及5.6年。方案2：灘線淤積至堤頭之時間則為3.44及7.11年。方案3：可將沿岸漂沙攔阻於北淤沙區，達到臺中港避免漂沙進入港區。

結 論 (4/4)

7. 本研究證實系列潛堤海岸保護工法，若由多組不同間距作複合式組合，可能在布拉格反射條件發生反射率遽降現象，此特殊反射遽降現象因三組以上間距所組成系列潛堤，因其中兩組潛堤影響波浪互制作用所產生。未來若要以系列潛堤應用至實際近岸現場作海岸保護，可依據本研究提供之方式，先以Miles(1980) 理論解析，分析反射率機制，依所需求選取適當的佈置條件並避免反射率低值的發生，有初步結果後，再利用較複雜精確的水理波場模式，進行更詳細的水理分析。

建議 (1/2)

1. 由於陸域水質不佳將會影響到臺中港港域內水質，因此需建請環保主管機關持續推動執行河川流域之污染削減等工作，同時進行工業廢水、家庭污水與畜牧廢水管制，持續巡查及取締不法之污染排放。港口管理單位可依港務局防制船舶污染登輪檢查實施要點，加強港區污染源之稽查處理，防制港區船舶不當排洩廢油水、投棄垃圾等，以維港域整潔及保護生態環境與水質。
2. 壓艙水管理方面建議針對來自中國、日本、南韓的貨櫃輪、雜貨船與油輪進行嚴格的管制。風險評估方面，上述三國因地緣關係距臺中港非常近，溫鹽環境因素類似，易使外來種入侵臺中港並繁衍，我國應針對不同船型之船舶與來源港，依風險等級高低做不同程度之抽檢與管制，以減少資源的浪費並能達到最大管控效果。

建議 (2/2)

3. 在壓艙水管理，本研究已列舉多項處理方法與實例，應考慮當地生態環境是否會因使用上述方法而使生態遭受更大的破壞，使用前儘可能完整的評估該港水域環境與外來種的特性。可參考美、澳國家之制度，並依據IMO標準，參考美國緬因州案例，建立各港區壓艙水交換區，並藉此申報資料進行風險評估。建議後續進行壓艙水處理方式評估時，陳列說明國內、外壓艙水對環境造成之損害的案例，用以證實建立壓艙水管理之重要性。
4. 海岸保護新工法-系列潛堤於本研究中發現特殊之布拉格反射條件下，反射率會發生遽降的現象，並於本年度研究釐清機制，建議可由本研究所提出之方法，實際以現場地形作規劃設計並探討其效果。

報告完畢、敬請指教

附錄 B

交通部運輸研究所 99 年度科技計畫 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究(2/4)

執行單位：運輸研究所港灣技術研究中心

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形
一、林炤圭委員 1. 本研究文主題甚多，且對港灣之環境品質都是很重要的影響因子。但也因此而分散了人力與經費，有部分子題未能充分發揮。 2. 本研究未來如能依據研究成果與心得建置港灣環境監測與保護，對未來港灣管理將助益良多。 3. 各子題彼此之間之關連性應再發揮 4. 環境監測應注重與鄰近區域之關連性，例如夏季港內水質究深受大肚溪或是大甲溪之影響？冬季呢？ 5. 加強搜集國外港灣監測之資料。 6. 結論中突然冒出台北港的文字，請再核對、第十章不夠簡潔。	1. 由於經費及人力有限，僅能針對每個子題的主要重點作深入探討研究。 2. 未來研究將依據研究成果再提出更完整及應用價值之研究計畫。 3. 計畫子題關連性如第一章說明，故各章節中不再敘述。 4. 本研究已進行兩年度不同季節的水質監測研究及分析討論，冬季由於為枯水其排放污染較小，且溪流受海洋海水稀釋，故並無發現明顯污染源。 5. 水質監測資料具有地域性，故只針對國內相關單位所規定之項目及方法進行。 6. 結論中先敘述臺灣各港狀況，提出研究動機，故才會提及各港問題，結論與建議依據建議修正。
二、張金機委員 1. P2-9 風為氣象資料。 2. P2-11 流向在 W-N 向平均佔 56.6%與過去調查 SW 向佔約 56%差異極大，	1. 此風資料為運研所海上觀測資料，故列在氣象資料中。 2. 由於潮流資料為臺中港北防波堤觀測樁資料，此地點受到北防波堤堤頭影

建議再查。 3.水質成份分析結果呈現正相關或負相關，此結果是否與其他地區相關研究趨勢一致，建議作討論。 4.測量結果土方量分析，資料太少，又缺相對應時間海氣象資料，只能研判大致性趨勢。 5.灘線侵淤變化分析中，淤沙堆積量 P7-5 年度差異達 3~4 倍，年度沿岸輸砂用等量是否合理？ 6.對淤沙區而言，北防波堤為阻擋非遮蔽(7-1) 7.計算誤差分析，如何定義？P7-6 平均差與標準差近似 27？ 8.報告撰寫現象解釋力求精簡，文詞不應一再重複(例如 P7-2…)標點予以注意，西元、民國應統一，次標 7.3 及 7.4 應合併。 9.研究主題涵蓋範圍過於龐大，又跨越不同領域，為獲得較精確可靠成果建議加強主要方向研究。 10.大甲溪河口已形成一道沙洲，其長度超越北防波堤甚多，因此延伸北防波堤功能，值得再作探討。	響，故潮流方向較為複雜。 3.此建議將作為未來計畫研究參考。 4.土方量及海氣象分析已於第一年計畫(98)完成精細分析，可參考其研究成果。 5.沿岸輸沙並非均用等量，本研究分兩階段(1996~2002 及 2002~2006)設定，若每年給定，將增加模式率定的困難性，輸沙量及其他參數率定可參考 98 及今年度報告內容。 6.北防波堤應為阻擋已修正 7.誤差分析以平均誤差及標準偏差作分析參考，平均誤差 $E_r = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i - Y_o }{N}$ 及標準偏差 $\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Y_i - Y_o ^2}{N}}$。(Y_i 為模擬值；Y_o 為實測值)，其中近似 27 為所有率定最佳結果之誤差值。 8.內容撰寫已根據建議再修正，第七章及第八章民國與西元年代依建議統一，7.3 及 7.4 因年代不同，為容易辨識故仍維持原章節。 9.未來研究將參考建議內容做適度修正。 10.目前在淤沙無法浚挖運離的條件下，只能朝有效蓄沙的防治方案規劃，以防止漂沙繞過北防波堤堤頭進
--	---

	入航道。
三、陳陽益委員 1.港域水質差異很大，建議以環保署公佈的項目為宜，並建議列述出其污染源的背景（如產業）與範圍和季節性 2.建議本海域生態（含動、植物）的優、弱種分佈的情況，及會受到主要衝擊的因素為何，圖表說明之。 3.建議本國港口需建有符合處理船舶廢水的國際標準設施，否則對本國的形象不好。 4.反射率的推算建議宜滿足能適量守衡及連續鉅齒形的邊界條件。 5.輸沙量與淤積量宜以季節分界為宜，因台中港區受季節因素影響海氣象情況的差異很大。	1.本計畫未來將以環保署公布監測事項為依據，污染源北背景及範圍在 98 及 99 年報告內容中已提及。 2.目前衝擊因素尚在研究中，未來若有相關研究成果將以圖表說明之。 3.本研究目前僅提出國際現有的船舶廢水處置方式，未來會朝更符合國內港灣設施之處理設施及方法作進一步研究。 4.此建議為未來努力的方向。 5.臺中港輸沙因缺乏大甲溪之輸沙資料，故僅能以初估方式進行研究。輸沙量及淤積量分析，在報告中已有考量季節性變化。
四、蔡清標委員 1.本研究包括台中港近岸地形變遷及環境調查分析研究，並提出淤砂及保護之法，研究績效優良。 2.本計畫目標港區為何僅以台中港為主，應述明。 3.圖 2-21，颱風路徑分類應更新至最近年代。 4.§2-3，觀測站建議附圖說明位置。	1.感謝肯定。 2.目前本所針對臺中港以外之商港港灣海岸漂沙防治均有計畫進行中，惟臺中港尚無，且臺中港近期將辦理淤沙防治工程，期本研究可提供相關之參酌。1.2 研究動機中已說明以臺中港為目標之動機。 3.遵照辦理，由原來 2007 更新至 2009。

5.本研究 GENESIS 模式，以實測灘像探討 K_1，K_2 及沿岸輸砂量之適當輸入值，而該沿岸輸砂量與河川溪流輸砂量之關係，建議未來可予探討，以說明其可靠性。而 K_1，K_2 為敏感參數，但研究結論 K_1 及 K_2 值均為範圍值，可進一步探討。 6.侵淤防治方案，亦可考慮岬頭控制而產生灣岸景觀之工法。 7.第九章標題，建議考慮為系列潛堤保護工法研究，可本研究僅為斷面研究，其平面如何佈置，未來可進一步研究。而該工法應用依本段海岸，究竟係為淤砂防治或侵蝕防治？ 8.依研究題目，第七章~第九章，建議應提至第三章環境調查之前編排。 9.參考文獻與內文應一致。	4. 請參考表 2-1 以及圖 2-1。 5. 謝謝指教，未來將朝建議方向進行研究。 6. 謝謝指教，未來將朝建議方向進行研究。 7. 遵照辦理。 8. 由於第二章已有港灣環境文獻資料分析，為求報告連續性，故章節仍維持目前次序。 9. 遵照辦理，本工法主要為防治侵襲波浪，具防治淤沙及侵蝕效果。
五、陳文俊委員： 1. P2-21 圖 2-21 圖建議與表 2-9 能配合。 2. 水質調查時間大都介於 3~9 月、生態調查於 3 月、9 月調查，建議能分佈於各季較具代表性。 3. P3-14 中敘述“臺中港鄰近水體中以陸域水質狀況不佳”，建議能先有佐證說明較宜。 4. 臺中港進港以貨櫃船為大宗，文中是否說明壓艙水之污染源主要是否與	1. 遵照辦理。 2. 目前限於經費僅能針對枯水期及豐水期作監測，未來若經費許可下將朝四季監測進行。 3. 可由第二章分析內容得到印證。 4. 目前所收集資料無法分析污染源種類與船舶種類之相關性，未來若有收集更多文獻資料或現場監測資料，可朝建議方向分析。

此船舶種類有關。 5. GENESIS 模式中 αQ 之輸入數值有無與本案地點實際可能年漂砂量之大小查驗是否合理？另外 K_1, K_2 為推求 Q 值之重要參數，為何又輸入 Q？ 6. 參數校核中地形之誤差量如何計算應敘述。 7. 第七章灘線變化分析中舉出許多不同較佳的 $\alpha Q, K_1, K_2$ 之數值，應介定本案最後於第八章之選用？ 8. 北防砂堤延長 300m，敘述可立即提高北淤砂容量 300 萬方以上，如此是否可能僅一年餘即淤過堤頭，效益是否得當？ 9. 第八章各模擬結果是何種透過率之結果應說明清楚。 10. 第九章”新式海岸保護工法”之措詞是否修飾。 11. 建議能藉由量測地形資料加強漂砂特性與地形特性之描述有助地形變遷之模擬。	5. GENESIS 模式中 αQ 之輸入數值，為所驗證年度實測地形淤積變化量的範圍值，以此來變化 K_1, K_2，故改變範圍值內的 Q 值找出最佳輸沙可能條件。 6. 灘線預測模式中的誤差量以統計學中之平均誤差 $E_r = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i - Y_o }{N}$ 及標準偏差 $\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Y_i - Y_o ^2}{N}}$，（$Y_i$ 為模擬值；Y_o 為實測值） 7. 由於第八章為防治方案，其配置與前述章節配置有所差異，故輸沙量 αQ 將會改變，故選定透過率為 0.5 之沙量進行計算。 8. 北防砂堤延長 300m，可提高北淤砂區容量 300 萬方以上，其淤過堤頭時間仍應視大甲溪河川輸沙量來決定。 9. 透過率為 0.5 之輸沙量進行計算，αQ 為 125 萬立方公尺。 10. 感謝委員建議，修飾為系列潛堤保護工法特性研究。 11. 感謝委員建議，若經費足夠將進行地形量測以有助於地形變遷之模擬之比對。
--	---