

102-29-7678
MOTC-IOT-101-H2DB004a

近岸漂沙機制與防治研究(4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-29-7678
MOTC-IOT-101-H2DB004a

近岸漂沙機制與防治研究(4/4)

著者：蔡立宏、溫志中、周偉龍、王俊欽

交通部運輸研究所
中華民國 102 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

近岸漂沙機制與防治研究. (4/4) / 蔡立宏等著. --
初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民 102.02
面；公分
ISBN 978-986-03-6170-4(平裝)

1.海岸

443

102003252

近岸漂沙機制與防治研究(4/4)

著者：蔡立宏、溫志中、周偉龍、王俊欽
出版機關：交通部運輸研究所
地址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)
電話：(04)26587176
出版年月：中華民國 102 年 2 月
印刷者：
版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站
定價：200 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：1010200322

ISBN：978-986-03-6170-4 (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。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：近岸漂沙機制與防治研究(4/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-6170-4（平裝）	政府出版品統一編號 1010200322	運輸研究所出版品編號 102-29-7678	計畫編號 101-H2DB004a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：蔡立宏 研究人員：徐如娟 聯絡電話：04-26587177 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：弘光科技大學 計畫主持人：溫志中 研究人員：周偉龍、王俊欽、徐稚昀 地址：433 臺中市沙鹿區臺灣大道六段 1018 號 聯絡電話：04-26318652	研究期間 自 101 年 1 月 至 101 年 11 月	
關鍵詞：臺中港、飛沙、風速、飛沙量、空氣品質			
<u>摘要</u> 為瞭解臺中港附近海域之漂飛沙運動特性，本研究為四年期之第四年度計畫，除持續蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料外，並進行北淤沙區整治後之效果評估及進行飛沙監測，並進行飛沙量以及越堤飛沙量之推估，最後進行飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析。由民國85年～100年臺中港附近長期地形資料得知，大甲溪河口附近處淤積量平均為103萬m^3/year；高美溼地前方海域淤積量平均為206萬m^3/year；臺中港北淤沙區海域淤積量平均為213萬m^3/year；臺中港北防波堤附近海域淤積量平均為173萬m^3/year；臺中港北防波堤南側海域淤積量平均為88萬m^3/year；臺中港南填方區近海域淤積量為64萬m^3/year。綜合漂、飛沙整體對臺中港附近海域之影響，經由侵淤分析得知於民國91年臺中港北防波堤延伸後，北防波堤堤頭附近產生淤積，擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕之現象，累計至民國100年之地形，則呈現大量淤積的趨勢。由北淤沙區沙灘區飛沙量測監測結果得知，0.2 m 以下飛沙佔總量的88.4%，高程高於0.2 m 以上則急遽減少。推估北淤沙區之飛沙量，以飛沙量迴歸關係式推估高程$Z=0.2m$之沙量，民國90年至99年年飛沙量約在13.33～39.26m^3/m之間。現地勘查所設置擋沙牆、防風柵欄及編籬定沙等，可有效將飛沙安定於定沙區域內，此設施可使飛沙不致運移至航道中，可節省因飛沙越堤所造成港池淤積之浚深經費。本研究結果可應用於北防波堤北側與北防沙堤間的漂、飛沙整治與航道口維護，提供臺中港務分公司於港灣設施維護與設計上的參考。此外，本研究之研究方法及成果，亦可提供相關港務管理及港灣規劃單位，面對漂沙及飛沙問題研擬對策之參酌。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
102 年 2 月	230	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價購買。
機密等級： ☐ 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 sediment transport in the near shore and countermeasure for beach erosion around western coast in central Taiwan (4/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-03-6170-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200322	IOT SERIAL NUMBER 102-29-7678	PROJECT NUMBER 101-H2DB004a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-Hung PROJECT STAFF: Hsu Ju-Chuan PHONE: (04) 26587177 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD From January 2012 To November 2012
RESEARCH AGENCY: Hung Kuang University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen Chih-Chung PROJECT STAFF: Chou Wei-Lung, Wang Chun-Chin, Hsu Chih-Yun ADDRESS: No. 34, Chung-Chie Rd., Sahlu, Taichung 43303, Taiwan PHONE: (04) 26318652-4115			
KEY WORDS: Taichung Harbor, Aeolian sand, Wind speed, Sand volume, Air quality			
<u>Abstract:</u> In order to understand the characteristics of sediment transport near Taichung Harbor, the four-year project aims to investigate the mechanism of sediment transport near marine structures, such as breakwater, jetty, etc., in the near shore and to propose applicable countermeasure to the beach erosion around the Taichung Harbor. In fourth year, we still collect the relevant data and field measurements of the sand flux and speed of Aeolian sand and the estimate the behavior of Aeolian sand in this zone. Experiments of observed Aeolian sands are used to examine the tidal elevation, sand particle size, water content, sand density, wind speed, wind direction, meteorological parameters and the relationship between the amount of Aeolian sand and air quality. Analyzing the long-term topography data (1996~2011), the zone A was accretion and the volume values was about 1.03 million m^3/year and the elevation values was about 0.64 m/year. The zone B was accretion and the volume values was about 2.06 million m^3/year and the elevation values was about 1.27 m/year. The zone C was accretion and the volume values was about 2.13 million m^3/year and the elevation values was about 1.32 m/year. The zone D was accretion and the volume values was about 0.64 million m^3/year and the elevation values was about 0.41 m/year. Overall this observed period, the accretion volume values of the sediment transport added in this region around Taichung Harbor. Observed the Aeolian sand vertical distribution between Taichung Harbor north breakwater and north jetty, it has 88.4% Aeolian sand movement under 0.2m. Analyzing the long-term periods (2001~2010), the annual Aeolian sand transport volume is about 13.33~39.26 m^3/m at 0.2m elevation level. According to the above analysis, the knowledge of Aeolian sands transport and beach evolution around the coastal region some applicable countermeasures are proposed to protect the beach erosion and to prevent beach accretion in Taichung Harbor.			
DATE OF PUBLICATION February 2013	NUMBER OF PAGES 230	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

近岸漂沙機制與防治研究(4/4)

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XII
照片目錄.....	XV
第一章 前言.....	1-1
1.1 研究動機與目的.....	1-1
1.2 研究內容.....	1-3
1.3 前三年度研究成果.....	1-5
1.4 研究方法.....	1-10
1.5 本研究組織.....	1-11
第二章 海岸飛沙環境資料蒐集分析.....	2-1
2.1 臺中港北淤沙區飛沙整治工程歷程簡述.....	2-1
2.1.1 第一期整治工程.....	2-1
2.1.2 第二期整治工程.....	2-1
2.1.3 第三期整治工程現況.....	2-2
2.2 氣象條件.....	2-11

2.3 臺中港區風速及風向特性	2-13
2.4 地質條件	2-27
第三章 飛沙現地試驗	3-1
3.1 試驗地點簡介	3-1
3.2 飛沙試驗器材	3-1
3.3 飛沙試驗量測步驟	3-6
3.3.1 風速量測	3-6
3.3.2 沙粒含水率量測	3-7
3.3.3 飛沙量測	3-9
3.3.4 飛沙越堤量測	3-11
3.3.5 空氣品質監測	3-14
第四章 飛沙運移機制分析	4-1
4.1 垂直剖面風速特性	4-1
4.1.1 風速之垂直分佈之分析	4-1
4.1.2 風速時序列分析	4-2
4.1.3 風速 $U_{0.2}$ 與摩擦風速 U_* 之影響	4-2
4.1.4 風速 $U_{0.2}$ 與粗糙長度 Z_0 之影響	4-2
4.2 飛沙移動公式	4-9
4.2.1 飛沙量 Q 與風速 $U_{0.2}$ 之關係	4-9
4.2.2 飛沙量 Q 與垂直高程 Z 之關係	4-12
4.2.3 飛沙量 Q 與沙粒含水率 ω 之關係	4-13

4.2.4 飛沙量 Q 與中值粒徑 d_{50} 之關係	4-13
4.3 飛沙量推估	4-14
4.3.1 年飛沙量推估	4-14
4.3.2 越堤飛沙量推估	4-16
第五章 飛沙空氣品質相關性探討	5-1
5.1 大甲溪河口飛沙對 PM_{10} 之影響	5-1
5.2 北淤沙區飛沙對臺中港區之 PM_{10} 之影響	5-4
5.3 北淤沙區風速 U 、飛沙量 Q 對應空氣品質之關係	5-7
5.3.1 北淤沙區飛沙對擋風牆外圍區之空氣品質監測	5-7
5.3.2 北淤沙區飛沙對北防波堤堤址之空氣品質監測	5-8
5.3.3 擋風牆外圍區與北防波堤堤址之空氣品質綜合結果比較	5-8
第六章 漂飛沙作用下地形變化趨勢分析	6-1
6.1 平面侵淤特性分析	6-1
6.1.1 侵淤特性分析	6-2
6.1.2 累積侵淤量分析	6-13
6.1.3 長期侵淤趨勢分析	6-17
6.1.4 累積高程分析	6-25
6.2 海岸飛沙對港池之影響	6-28
6.3 整治方案效益分析與適用性評估	6-35
6.3.1 效益分析	6-38
6.3.2 適用性評估	6-40

第七章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 建議	7-3
7.3 成果效益與後續應用情形	7-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表.....	附錄 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表.....	附錄 2-1
附錄三 期中報告簡報資料.....	附錄 3-1
附錄四 期末報告簡報資料.....	附錄 4-1

圖目錄

圖 1.1	臺中港平面配置圖	1-1
圖 1.2	臺中港附近地形侵淤變化圖 (民國 85 年~民國 100 年)	1-6
圖 1.3	臺中港地形水深變遷計算分區圖	1-6
圖 1.4	衛星影像中擷取的平均水位灘線位置	1-8
圖 2.1	臺中港北淤沙區二期整治	2-2
圖 2.2	臺中港北淤沙區三期整治區地形圖	2-3
圖 2.3	臺中港風力觀測站位置示意圖	2-13
圖 2.4a	梧棲測站風向圖 (2003/01~2012/09).....	2-14
圖 2.4b	梧棲測站風向圖 (2003/01~2012/09).....	2-15
圖 2.5	侵襲臺灣之颱風路徑統計圖 (1897~2012/09)	2-18
圖 2.6	2012 年泰利颱風之路徑圖	2-19
圖 2.7	2012 年杜蘇芮颱風之路徑圖	2-20
圖 2.8	2012 年蘇拉颱風之路徑圖	2-21
圖 2.9	2012 年海葵颱風之路徑圖	2-22
圖 2.10	2012 年啟德颱風之路徑圖	2-23
圖 2.11	2012 年天秤颱風之路徑圖	2-24
圖 2.12	2012 年杰拉華颱風之路徑圖	2-26
圖 2.13	100 年臺中港地形水深分布圖	2-28
圖 3.1	臺中港北防波堤北側附近現地試驗地形圖	3-1

圖 3.2	Davis 時序列風速風向計	3-2
圖 3.3	RiNEX 探針式土壤含水率計	3-3
圖 3.4	沙粒含水率校正曲線	3-3
圖 3.5	垂直式沙粒收集器	3-4
圖 3.6	DustMate 激光粉塵監測儀	3-5
圖 3.7	含水率試驗地點位置圖	3-8
圖 3.8	沙灘區域潮汐水位變化	3-8
圖 3.9	沙灘區域沙粒含水率變化	3-9
圖 3.10	飛沙量測試驗地點圖	3-10
圖 3.11	北防沙堤南側沙粒粒徑分佈	3-10
圖 3.12	北防波堤北側沙粒粒徑分佈	3-11
圖 3.13	編籬定沙區沙粒粒徑分佈	3-11
圖 3.14	飛沙越堤試驗地點對應圖	3-13
圖 3.15	北防沙堤飛沙越堤試驗地點圖	3-13
圖 3.16	北防波堤飛沙越堤試驗地點圖	3-13
圖 3.17	北淤沙區沿岸空氣品質監測對應圖	3-14
圖 4.1	觀測點 9 垂直剖面風速圖	4-4
圖 4.2	觀測點 10 垂直剖面風速圖	4-4
圖 4.3	觀測點 11 垂直剖面風速圖	4-5
圖 4.4	觀測點 12 垂直剖面風速圖	4-5
圖 4.5	觀測點 13 垂直剖面風速圖	4-6

圖 4.6	觀測點 14 垂直剖面風速圖	4-6
圖 4.7	觀測點 15 垂直剖面風速圖	4-7
圖 4.8	觀測點 16 垂直剖面風速圖	4-7
圖 4.9	U_* 與 $U_{0.2}$ 之關係圖	4-8
圖 4.10	Z_o 與 $U_{0.2}$ 之關係圖	4-8
圖 4.11	Q 與 $U_{0.2}$ 之關係圖	4-11
圖 4.12	實測值與推估值之分析結果	4-11
圖 4.13	Q 與 Z 之關係圖	4-12
圖 4.14	Q 與 ω 之關係圖	4-13
圖 4.15	Q 與 d_{50} 之關係圖	4-14
圖 4.16	外海風速 U_{10m} 與沙灘區風速 $U_{0.2m}$ 之關係圖	4-15
圖 5.1	大甲溪河口飛沙量與 PM_{10} 之分析結果	5-3
圖 5.2	$U_{0.2}$ 與 PM_{10} 之分析結果	5-3
圖 5.3	測站 PM_{10} 與推估值 PM_{10} 之分析結果	5-6
圖 5.4	測站 PM_{10} 與推估值 PM_{10} 之分析結果	5-7
圖 5.5	擋風牆外圍 TSP 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果	5-9
圖 5.6	擋風牆外圍 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果	5-10
圖 5.7	擋風牆外圍 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果	5-10
圖 5.8	擋風牆外圍 PM_{10} 與飛沙量 Q 監測結果	5-11
圖 5.9	北防波堤堤址 TSP 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果	5-11
圖 5.10	北防波堤堤址 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果	5-12

圖 5.11	北防波堤堤址 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果	5-12
圖 5.12	北防波堤堤址 PM_{10} 與飛沙量 Q 監測結果	5-13
圖 6.1	臺中港地形水深變遷計算分區圖	6-1
圖 6.2	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 86 年)	6-3
圖 6.3	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 87 年)	6-3
圖 6.4	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 89 年)	6-4
圖 6.5	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 90 年)	6-4
圖 6.6	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 91 年)	6-5
圖 6.7	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 92 年)	6-5
圖 6.8	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 93 年)	6-6
圖 6.9	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 94 年)	6-6
圖 6.10	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 95 年)	6-7
圖 6.11	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 96 年)	6-7
圖 6.12	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 98 年)	6-8
圖 6.13	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 99 年)	6-8
圖 6.14	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 100 年)	6-9
圖 6.15	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 92 年)	6-9
圖 6.16	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 93 年)	6-10
圖 6.17	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 94 年)	6-10
圖 6.18	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 95 年)	6-11
圖 6.19	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 96 年)	6-11

圖 6.20	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 98 年)	 6-12
圖 6.21	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 99 年)	 6-12
圖 6.22	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 100 年)	 6-13
圖 6.23	A 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年～民國 91 年)	 6-18
圖 6.24	A 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年～民國 100 年)	 6-19
圖 6.25	B 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年～民國 91 年)	 6-19
圖 6.26	B 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年～民國 100 年)	 6-20
圖 6.27	C 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年～民國 91 年)	 6-20
圖 6.28	C 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年～民國 100 年)	 6-21
圖 6.29	D 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年～民國 91 年)	 6-21
圖 6.30	D 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年～民國 100 年)	 6-22
圖 6.31	E 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年～民國 91 年)	 6-22
圖 6.32	E 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年～民國 100 年)	 6-23
圖 6.33	F 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年～民國 91 年)	 6-23
圖 6.34	F 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年～民國 100 年)	 6-24
圖 6.35	G 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年～民國 91 年)	 6-24
圖 6.36	G 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年～民國 100 年)	 6-25
圖 6.37	臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖(安良港大排)	 6-29
圖 6.38	臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖(梧棲大排)	 6-30
圖 6.39	臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖(中泊渠)	 6-31
圖 6.40	臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖(北泊渠)	 6-32

圖 6.41 臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖(臺中港出海口)	6-33
圖 6.42 臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖(工業泊渠)	6-34
圖 6.43 臺中港航道口位置示意圖	6-39
圖 6.44 臺中港航道口浚深量之變化圖	6-39
圖 6.45 北淤沙區整治後之效果評估圖	6-41

表目錄

表 1-1	各區侵淤量與河川輸沙量之相關性	1-7
表 2-1	梧棲測站氣象資料觀測統計表	2-12
表 2-2	臺中港 2001 年至 2012 年風之風速及風向統計表	2-16
表 2-3	各月侵台颱風之次數及頻率統計表	2-17
表 2-4	歷年計畫區鄰近水深觀測概況表	2-27
表 3-1	飛沙試驗測量項目	3-6
表 3-2	含水率試驗座標	3-7
表 3-3	飛沙試驗座標	3-10
表 3-4	北防沙堤飛沙越堤試驗座標	3-12
表 3-5	北防波堤飛沙越堤試驗座標	3-12
表 3-6	北淤沙區沿岸空氣品質監測座標	3-14
表 3-7	污染物濃度與污染副指標值對照表	3-15
表 3-8	PSI 值與健康影響	3-15
表 4-1	風速觀測分析	4-3
表 4-2	飛沙量試驗資料	4-10
表 4-3	臺中港北淤沙區飛沙量推估	4-16
表 4-4	北防波堤堤址飛沙量測各高程飛沙量百分比	4-18
表 4-5	北防波堤堤址飛沙量測 Q_{0m} 、 $Q_{0.1m}$ 高程飛沙量(g/m-s)	4-18
表 4-6	北防沙堤堤址飛沙越堤量測 Q_{0m} 、 $Q_{0.1m}$ 高程飛沙量(g/m-s)	4-19
表 5-1	大甲溪河口飛沙量與 PM ₁₀ 觀測值(范，2010)	5-2

表 5-2	中突堤空氣品質監測結果(民國 89 年～民國 100 年)	5-5
表 5-3	中突堤空氣品質監測結果(民國 90 年～民國 100 年)	5-6
表 5-4	北防波堤堤址及擋風牆外空氣品質監測結果	5-9
表 6-1a	臺中港附近地形累積侵淤量	6-15
表 6-1b	臺中港附近地形累積侵淤量	6-16
表 6-2	臺中港附近地形高程變化量	6-27
表 6-3	編籬定沙之飛沙量攔阻率試驗表	6-40

照片目錄

照片 2-1	第三期工程編籬定沙區 (2011/10)	2-3
照片 2-2	第三期工程於圍堤堤頂處設置長防風柵欄 (2011/10)	2-4
照片 2-3	臺中港北淤沙區三期整治區照片位置示意圖	2-5
照片 2-4	北淤沙區三期整治區位置 1 現況 (2012/09).....	2-6
照片 2-5	北淤沙區三期整治區位置 2 現況 (2012/09).....	2-6
照片 2-6	北淤沙區三期整治區位置 3 現況 (2012/09).....	2-7
照片 2-7	北淤沙區三期整治區位置 4 現況 (2012/09).....	2-7
照片 2-8	北淤沙區三期整治區位置 5 現況 (2012/09).....	2-8
照片 2-9	北淤沙區三期整治區位置 6 現況 (2012/09).....	2-8
照片 2-10	北淤沙區三期整治區位置 7 現況 (2012/09)	2-9
照片 2-11	北淤沙區三期整治區位置 8 現況 (2012/06).....	2-9
照片 2-12	北淤沙區三期整治區位置 9 現況 (2012/06)	2-10
照片 2-13	北淤沙區三期整治區位置 10 現況 (2012/06)	2-10
照片 6-1	北淤沙區三期整治區 (2012/06).....	6-36
照片 6-2	北淤沙區三期整治區 (2012/06).....	6-37
照片 6-3	北淤沙區三期整治區 (2012/06).....	6-37
照片 6-4	北淤沙區三期整治區 (2012/06)	6-38

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

港灣建設常於自然海岸建造突出之港灣結構物，破壞了原有漂沙平衡機制，而造成鄰港附近地形變遷，再加上近年常發生異常的海、氣象事件，港灣鄰近上、下游河川持續的排放沙源與強勁的季節風常將大量在平緩沙灘上之沙吹向下游，故常發生海岸侵蝕與淤積及港池淤積的現象。海岸地形變遷發生原因包括：海氣地象條件、港灣結構物建造的形式位置、上下游河川輸沙及人為搬移等，其變遷機制極為複雜，在進行許多改善設施計畫前，需先瞭解其整個變遷機制，以使改善方案達到預期的效果。在「國家科學技術計畫」促進國家永續發展的總目標及「研發港灣新科技，改善港灣環境，提升港埠功能及營運效率」等政府政策下，為達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標，本研究探討臺灣西部臺中港港灣附近漂、飛沙機制，提出改善建議方案，評估改善方案之效果，俾提供施政以及工程單位之參酌。其研究範圍如圖1.1所示：

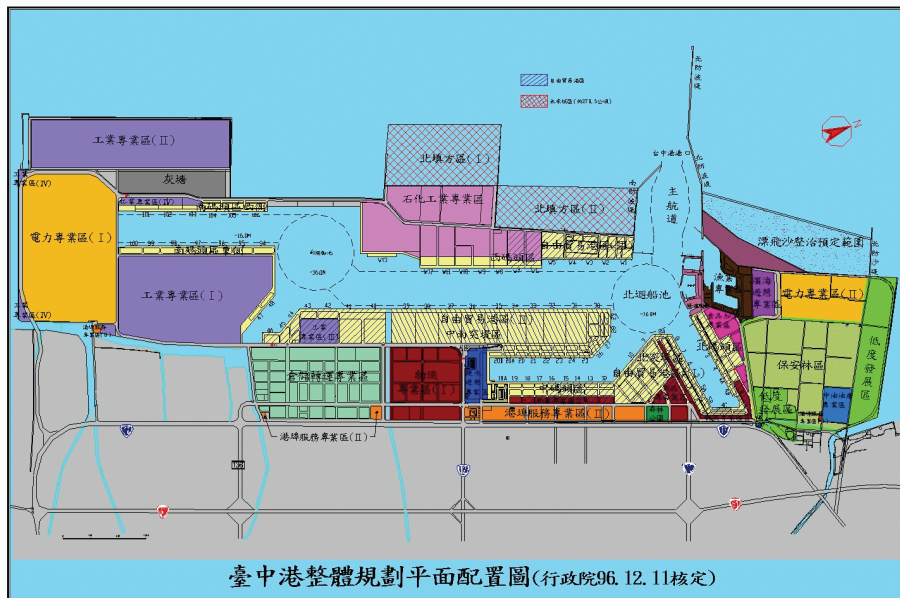


圖 1.1 臺中港平面配置圖

本研究針對臺中港鄰近海域漂沙現象進行一系列之研究。首先，由海象地象資料之基本分析與統計，探討臺中港附近海岸之地形變化特性。臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司於民國 65 年建港後，針對臺中港鄰近海域漂沙現象進行一系列研究。其主要研究包括：「臺中港第一期工程完工報告」(1985)；「臺中港漂沙評估報告 (1979)」；「臺中港港口擴建計畫評估研究」(1988)；「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治規劃研究」(1992)；「臺中港漂沙防制與新生地開發 (1994)」；「臺中港港池泊渠浚及圍堤造地規劃」(1999)；「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治暨生態保育研究」(2003)；「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」(2009)。為解決臺中港北側淤積問題，臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司持續以圍堤造地及淤沙區漂飛沙整治方式對海岸漂沙進行處理。依據「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」(2009)報告指出，臺中港海域漂沙現象除使北淤沙區因沙地面積增加導致飛沙問題更加嚴重外，歷年來持續淤積之漂沙，已使北淤沙區及南側港外航道海域水深地形變淺，致使北淤沙區逐漸呈現飽和，降低攔阻海岸漂沙能力。此外，受到颱風所帶來之豪雨影響，大量土沙伴隨洪水帶出河口，為海岸帶來更多的沿岸漂沙，如 2008 年薔蜜颱風及辛樂克颱風。綜合上述結果顯示，臺中港鄰近海域長期受到海岸漂沙活動及東北季風吹襲影響，導致港區北側鄰近海域持續淤積，對臺中港區航道及附近漁港水域已產生影響。本研究為探討臺灣西部臺中港港灣附近漂、飛沙機制，提出改善建議方案，評估改善方案之效果。

前二年度研究以海岸漂沙的運移特性為主要的探討目標，第三、第四年度以飛沙運移特性為主要的探討目標。由於臺中港受東北季風影響嚴重，根據風速資料顯示，臺中港附近海域的風速已到達可驅動飛沙運移的風速條件。受高風速與高潮差影響，臺中港北防沙堤與北防波堤間飛沙問題嚴重。

本年度為第四年度計畫，除持續蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料以及整理分析外，進行北淤沙區整治後之效果評估及進行越堤飛沙作相關項目監測。所得之監測結果進行飛沙量推估以及越堤

飛沙量之推估，進行飛沙運移機制分析及空氣品質間之相關分析。最後整理前三年所得研究結果，並提出適合該區有效之漂、飛沙防治對策，俾提供施政及工程單位參酌。

1.2 研究內容

研究分四年進行，本年度為第四年度，研究主要內容為釐清臺中港灣近岸所面臨的飛沙與漂沙之產生機制以及淤積原因。探討臺灣西部臺中港港灣附近漂飛沙機制，提出改善建議方案，評估改善方案之效果，俾提供施政以及工程單位之參酌。各年度研究工作內容與項目分述如下：

第一年(98 年)：

1. 蒐集臺中港附近海域海氣地象、水文資料及附近河川流量與輸沙量資料，整理並探討該地區海氣地象及水文等特性。
2. 建置該區海域漂沙數值模式，利用所蒐集之各項基本資料所建立之資料庫，進行數值模式之驗證，修正相關參數，提高數值模式及漂沙運動機制之準確性。
3. 分析及探討臺中港部附近海域漂沙水理機制，藉以瞭解該海域附近侵淤的主要特性及造成原因。
4. 探討臺中港港灣上、下游侵淤與河川輸沙與海、氣象條件相關性。
5. 依據臺中港港灣附近海域水理機制提出改善海岸侵淤防治對策。
6. 利用數值模擬計算，評估不同防治對策下，漂沙防治之效益。
7. 海岸防護對策之流程建立。

第二年 (99年)：

1. 蒐集臺中港附近海域海氣地象、水文資料及附近河川流量及輸沙量文獻資料，整理並探討該地區海氣象及水文特性。

2. 建立一維及二維正交特徵函數模式，並探討臺中港海岸變遷特性研究。
3. 以經驗正交特徵函數法探討海岸地形變遷之影響外力因子及建立地形變化之預測模式。
4. 由第一年分析之外海之波浪特性推估臺中港現有結構物之未來地形變化趨勢。
5. 提出未來臺中港淤沙防治對策。
6. 推估鄰近臺中港在未來改善結構物佈置下造成的之地形變遷。

第三年 (100年)：

1. 蒐集臺中港附近海岸飛沙文獻資料，整理並探討該地區海氣象、水文及飛沙特性。
2. 分析現有臺中監測站之風速及風向之每月及每季特性。
3. 建立飛沙機制模式並探討飛沙與海岸侵淤的相關性，以瞭解飛沙對海岸侵淤的影響，並探討飛沙對附近港池可能造成的淤積威脅。
4. 根據理論以及已實施的防飛沙設施，進行比較防治效果分析。
5. 評估飛沙防禦對策之效益與適用性，並提出適合該區有效之飛沙防治對策。

第四年 (101年)：

1. 蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料以及整理分析。
2. 進行北淤沙區整治後之效果評估。
3. 進行越堤飛沙作相關項目監測。
4. 進行飛沙量推估以及越堤飛沙量之推估。
5. 進行飛沙運移機制分析。
6. 進行飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析。

1.3 前三年度研究成果

本研究為「近岸漂沙機制與防治(4/4)」計畫，前三年研究內容分別為：第一年研究內容為蒐集臺中港附近海域海氣地象、水文資料及附近河川流量與輸沙量資料，整理並探討該地區海氣地象及水文等特性。並建置該區海域漂沙數值模式，利用所蒐集之各項基本資料所建立之資料庫，進行數值模式之驗證，修正相關參數，提高數值模式及漂沙運動機制之準確性。此外，由衛星影像資料擷取海岸線以分析海岸線變遷之趨勢。由擷取的海岸線資料率定一維海岸變遷模式(GENISIS)之係數，驗證一維海岸變遷模式在模擬臺中港附近灘線變化之適用性。對於臺中港附近海岸變化之漂沙運動機制，則以 MIKE21 模組進行臺中港附近海域漂沙水理機制的探討，藉以瞭解該海域附近侵淤的主要特性及造成原因。最後，依據臺中港港灣附近海域水理機制提出改善海岸侵淤防治對策。根據以上分析項目得到以下幾點結論：

1. 經侵淤分析發現，除了民國 89 年防波堤延長工程進行中有最大累積侵蝕量外，其餘年度皆呈現淤積的現象，並於民國 95 年達到最大累積淤積量，約 7,650 萬 m^3 。綜言之，臺中港北防波堤以北之區域，因北防波堤及防沙堤攔阻季節性之沿岸漂沙呈現淤積現象，而北防波堤以南之區域，因漂沙越過臺中港，於 94 年後由侵蝕轉為淤積。其臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 100 年)如圖 1.2 所示。臺中港北防波堤至北防沙堤間近岸區明顯淤積，而在北防波堤堤頭附近亦有產生淤積，並擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕的現象。由於臺中港整體擴建已完成，北防波堤至北防沙堤間不論是近岸還是遠岸，皆全面淤積，而擴及至港口南側的淤積面積亦有擴大並往南持續延伸，淤積深度則是逐年加深，港口南側近岸區則維持些微侵蝕的狀況，北防波堤堤頭附近及港口附近的侵蝕範圍則大致上維持穩定，並未持續刷深。

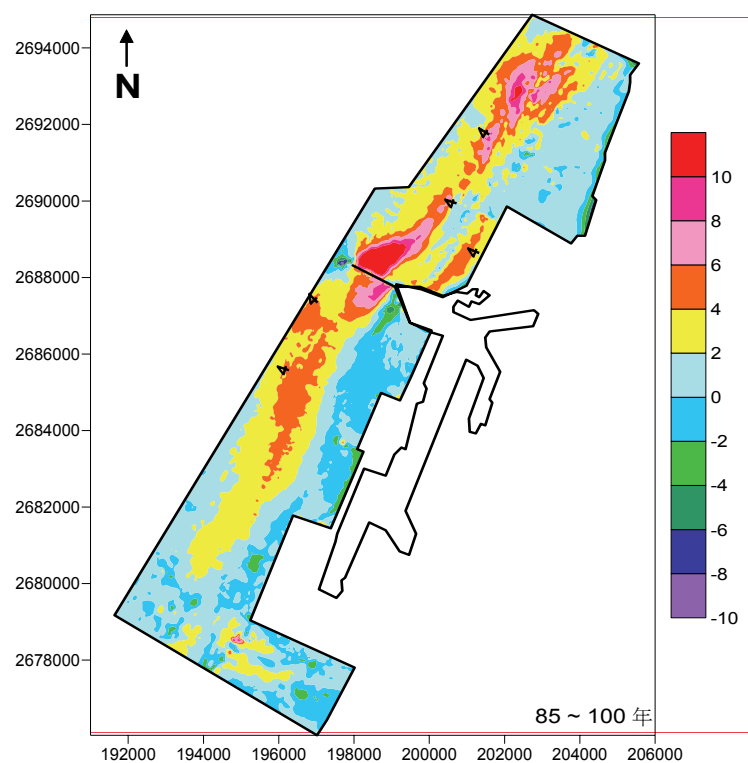


圖 1.2 臺中港附近地形侵淤變化圖 (民國 85 年~民國 100 年)

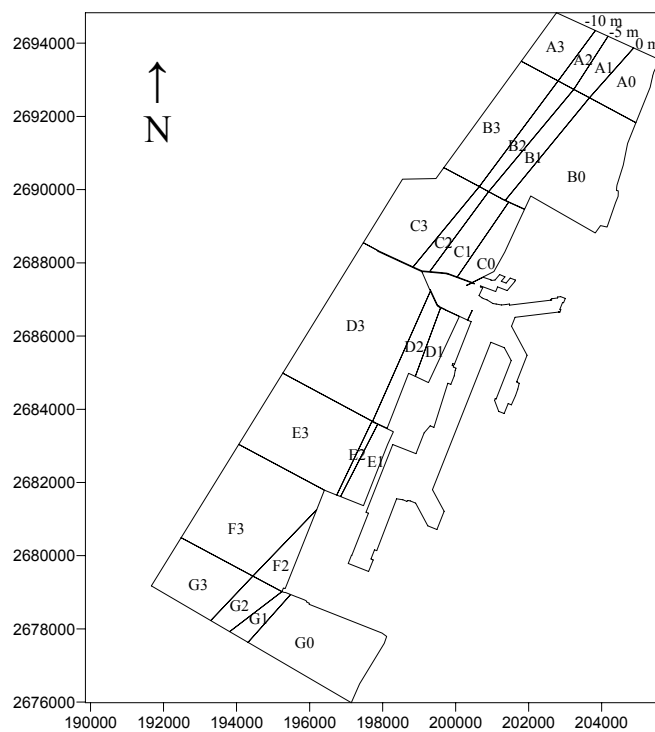


圖 1.3 臺中港地形水深變遷計算分區圖

2. 分析北防波堤北側侵淤量與大安溪輸沙量之相關性，分區圖如圖 1.3，在 A1 區近岸侵淤量與大安溪較 B1 有較高之相關係數，而在 C1 區反而與大安溪輸沙量呈現負相關性，此結果說明大安溪排出之輸沙不直接停留在 C1 區，而在 A1 區因水流再漂移至 B1 及 C1 區。A3、B3 與 C3 的侵淤量與大安溪均呈負相關性，此顯示大安溪輸沙量直接留在此三區較少，可能因為有沿岸或向離岸海岸輸沙，而造成遠岸地形與河川輸沙量有薄弱相關性的原因。其結果如表 1-1 所示。防波堤南側的侵淤量與烏溪輸沙量成反比，因為南側的年侵淤量大部分為負值而低的相關性，顯示臺中港防波堤之突堤效應，在由北往南海岸漂沙而造成防波堤南側之侵蝕。雖然南側有烏溪輸沙補充，但因為沿岸輸沙較大而使得河川輸沙往南側淤積相對減少。因此南側地形侵淤量與烏溪輸沙量無法辨別出地區之漂沙特性。

表 1-1 各區侵淤量與河川輸沙量之相關性

		A	B	C	D	E	F	G	All
全區	R_d	0.140	-0.283	-0.758	-0.359	-0.703	-0.511	0.254	-0.481
	R_w	-0.257	-0.323	0.524	-0.335	-0.330	-0.410	-0.413	-0.100
0 區	R_d	0.197	-0.121	0.066	--	--	--	0.142	0.197
	R_w	0.652	-0.353	0.747	--	--	--	0.019	0.652
1 區	R_d	0.593	0.117	-0.870 A	-0.454	-0.681	--	-0.403	-0.253
	R_w	-0.195	-0.147	0.107	-0.221	-0.400	--	-0.206	-0.293
2 區	R_d	0.371	-0.039	0.097	-0.170	-0.852	-0.456	0.379	-0.053
	R_w	-0.248	-0.580	-0.404	-0.076	-0.229	0.098	-0.420	-0.300
3 區	R_d	-0.679	-0.449	-0.544	-0.192	-0.655	-0.394	0.212	-0.542
	R_w	-0.052	0.088	-0.404	-0.241	-0.284	-0.668	-0.252	-0.356

(R_d 及 R_w 分別為大安溪與烏溪兩條河川之年輸沙量，單位： m^3)

3. 利用民國 82 年至民國 92 年的衛星影像資料透過影像前置處理以及灘線位置的修正，擷取出各年平均水位處的灘線位置，分析臺中港北堤以北至大甲溪河口處的灘線變遷。結果顯示，臺中港北堤至北攔沙堤間的沙灘段自民國 82 年起，由於臺中港北堤的擴建工程而持續有淤積的現象直至民國 93 年趨於穩定，而北攔沙堤以北的區

域由於受到大甲溪河口的輸沙補注，發展成一片廣大且複雜的淺灘地形，但除了民國 82 至 84 年間有較大的淤積量之外，該區域沙量皆保持穩定。如圖 1.4 所示：

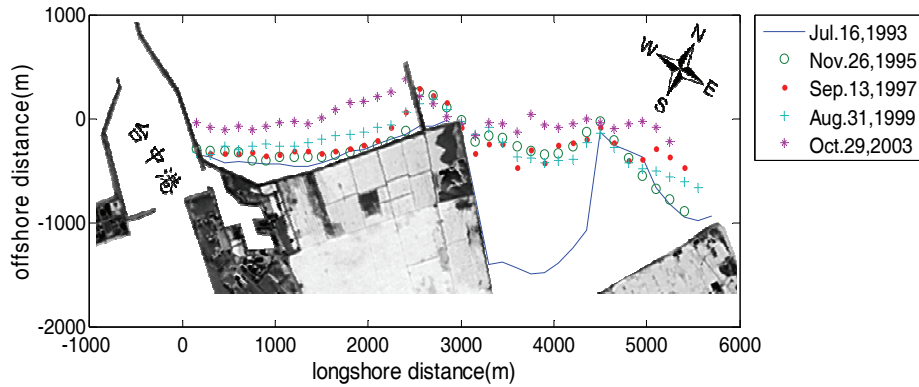


圖 1.4 衛星影像中擷取的平均水位灘線位置

第二年研究內容依據第一年度所得之漂沙移動特性，以一維及二維正交特徵函數模式，分析臺中港海岸變遷特性，擬定整治方案之防治對策。

1. 由二維經驗正交函數法分析結果可知地形變化比較劇烈主要在北防波堤附近離岸 800 m 以內及北防沙堤處約離岸 500 m 以內，在這範圍外直至北防波堤處離岸 2000 m，延伸至北防沙堤離岸 1500 m 之間，第二個特徵向量值變小，顯示此範圍之地形變化相對的小，然而，在此範圍之外第二個特徵向量值又變大說明其地形變化大。第三個及第四個特徵向量值大小特性與第二個特徵向量值之特性相近。
2. 由一維及二維經驗正交函數預測地形結果，波浪離岸方向能量通率 F_s 及沙粒沈降速度 Ω 外力因子比較其它外力因子適合為模式之輸入條件。以臺中港北防波堤北測之海灘為例，研究發現以波浪離岸方向能量通率 F_s 及沙粒沈降速度 Ω 和年及平均值波浪特性預測下一年地形之平均誤差可在 0.05 m 以下。
3. 分析臺中港海岸變遷特性之結果，擬定整治方案之防治對策。對於

定沙突堤與北防沙堤延長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；（2）興建定沙堤的設置將使其北側輸沙潛量增大；（3）經由 GENESIS 灘線分析與實測資料分析，北防波堤堤址附近處灘線變動趨緩，並無明顯淤積趨勢，北防沙堤堤址處產生淤積。

4. 依據上述漂沙特性與整治方向，研擬三種防治方案進行評估。方案 1（延長定沙堤 450 公尺與北防沙堤 300 公尺）。方案 2（在方案 1 的基礎延伸定沙堤至 600 公尺與北防沙堤至 600 公尺）。方案 3（在方案 1 的基礎下，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）。

方案 1：興建北定沙堤與新建北防沙堤間，假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬 m^3 與防沙堤透過率為 0.3、0.5 及 0.7 三種條件下，應用突堤上游灘線變化之理論推估灘線淤積至堤頭之時間在 1.7~8.6 年之間，若以平均防沙堤透過率為 0.5，所得結果為 2.7 及 5.6 年。

方案 2：在延伸北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，應用突堤上游灘線變化之理論推估灘線淤積至堤頭之時間為方案 1 所需時間再加上 0.62-1.84 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 3.44 及 7.11 年。

方案 3：透過平面及剖面結果的探討可知，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，因此會造成港區附近有些微的侵蝕，亦即達到臺中港避免漂沙進入港區的防護目標。

第三年研內容主要為瞭解臺中港北淤沙區飛沙淤積情形，於臺中港北防波堤附近海域地形進行飛沙現地試驗，以建立臺中港北淤沙區之飛沙與風速之關係。經由飛沙現地試驗量測之飛沙量，經由分析後與地表 0.2 m 風速皆呈指數關係，求得飛沙量 Q ($g/s-m$) 與 $U_{0.2}$ (m/s) 之關係為： $Q = 0.5892e^{0.2701 U_{0.2}}$ 。

第三年內容同時並針對第三期工程提出適當之防治設施，建立臺中港區 PM_{10} ($\mu g / m^3$) 粒徑小於 $10 \mu m$ 以下之細微粒、飛沙量 Q ($g / s - m$) 其推估式為： $PM_{10} = 178.92 U_{0.2}^{0.1633}$ 。若第三期工程灘地整地後之海域重新形成廣大沙灘後，灘地快速增加，則以圍堤造地作為飛沙防禦對策，考慮以圍堤造地方式，對沙灘區進行整治。在以第三期工程灘地整地後之海域重新形成沙灘後，若灘地成長速度緩慢，配合沙地含水率的監測及設置地工沙管方式讓沙粒含水率增加，將沙源固定於沙灘上。

1.4 研究方法

根據 Anderson 和 Haff (1991) 和 Huang 和 Zheng (2003) 研究指出，於飛沙運移的過程中，飛沙躍動的發展可被分為：空氣動力的夾帶 (Aerodynamic entrainment)，沙粒移動 (Sand movement)，沙粒與底床間的相互衝擊 (Impacts between sand particles and the bed)，與風剖面的修正過程 (Modification of the wind profile)。飛沙之移動型式可分成三個部份，表層滾動 (creep)、跳躍 (saltation) 以及懸浮 (suspension)，而跳躍 (saltation) 為主要的運移方式，於 75% 飛沙運移過程中，提供動能於其他兩項型態，並且驅動了表層躍動 (creep) 以及懸浮 (suspension) 型態 (Anderson and Willetts, 1991)。依據「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」(2009) 指出，臺中港北淤沙區因沙地面積增加導致飛沙問題嚴重。前人對於臺中港以現地試驗進行研究，林等人 (2005) 針對臺中港潮差較大之區域進行飛沙整治研究，研究結果顯示，臺中港北側淤沙區每年飛沙搬運速率據估計約為 $14.3 m^3 / m - year$ ，淨搬運速率則為 $13.9 m^3 / m - year$ 。吳 (2006) 以現地試驗方式，針對臺中港飛沙量進行推估，以 H-2 水平捕沙器推估之飛沙量為 $14.67 m^3 / m$ ，以垂直捕沙器推估之飛沙量為 $52.89 m^3 / m$ 。比對現場地形量測數據，該期間 (2005/11 ~ 2006/01) 臺中港北淤沙區之堆沙量為 $73.568 m^3 / m$ 。

本研究為第四年度，透過 (1) 蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料以及整理分析；(2) 進行越堤飛沙做相關項目監測；(3) 進行飛沙量推估以及越堤飛沙量之推估；(4) 探討飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析。藉由此研究過程評估越堤飛沙量及飛沙防禦對策之效益與適用性，並提出適合該區有效之飛沙防治對策。

1.5 本研究組織

本研究共分七章，第一章為前言，敘述研究動機與目的、研究內容、前三年度成果及研究方法。第二章為海岸飛沙環境資料蒐集分析，蒐集有關臺中港海岸整治相關資料以及鄰近氣象、海象特性資料並分析。第三章為飛沙現地試驗，以現地試驗方式量測海岸飛沙及空氣品質相關量測。第四章為飛沙運移機制分析，利用蒐集及量測所得實測資料，並建立飛沙運移模式。第五章為飛沙量與空氣品質相關性探討，以探討飛沙對海岸地區空氣品質之影響及北淤沙區整治效果評估，第六章為漂、飛沙作用下地形變化趨勢分析，第七章則為本研究之結論與建議。

第二章 海岸飛沙環境資料蒐集分析

有關臺中港鄰近範圍之氣象、海象及海域水深地形條件，本研究蒐集(1)「臺中港整體規劃及未來發展計畫 (2007-2011 年)」；(2)「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書 (2009)」；(3)中央氣象局梧棲氣象站觀測資料及(4)本所港灣技術研究中心風力觀測資料等相關資料，茲整理說明如後。

2.1 臺中港北淤沙區整治工程歷程簡述

由於臺中港位於臺灣中部大甲溪及大肚溪出海口間之海岸，因近年來海象及氣象異常，造成鄰近港區上下游河川持續的排放沙源，並受潮汐、海浪及強勁東北季節風影響，常將大量在平緩沙灘上之沙吹向下游，發生海岸淤積以及港池的淤積現象，臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司於 80 年辦理故「臺中港北側淤沙區整治第一期工程」，因沙源供應影響，淤積之沙丘隨風侵入港池，並於 88 年接續辦理「臺中港北側淤沙區整治第二期工程」，而臺中港北淤沙區受到東北季風作用及潮汐所產生廣大裸露沙灘的影響，導致飛沙的運移情況明顯，當擋風牆堤址處的飛沙達到飽和則飛沙越過此區往港區移動，依「臺中港整體規劃及未來發展計畫 (96 年至 100 年)」進行北淤沙區第三期整治工作。

2.1.1 第一期整治工程

臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司於民國 80 年辦理「臺中港北側淤沙區整治第一期工程」，造地 116 公頃並進行定沙植林，由於北淤沙區受大甲溪沙源供應影響，漂沙持續搬運至北淤沙區，近岸區域於退潮期間形成廣闊灘地，堆積之沙丘更隨風侵入航道及漁港水域。

2.1.2 第二期整治工程

臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司於民國 88 年接續辦理「臺中港北側淤沙區整治第二期工程」，在北防波堤與北海堤間、漁港西側近岸灘地圍堤造地植林約 39.3 公頃，並設置 1,068 m 長擋土牆兼防風定沙功能，於民國 88 年至民國 99 年間，第二期工程提供商、漁港良好之遮蔽環境，如圖 2.1 所示。依據「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」(2009)報告結果，分析民國 95 年～民國 96 年實測地形資料，估計停留在二期整治區範圍內之飛沙量年約 15.1 萬方。此外，從現場飛沙實際堆積情況估算，估計停留在二期整治區與北防沙堤間之飛沙堆積量每年約 3.4 萬方，停留在北防波堤後方之堆積量約 1.5 萬方，侵入後線航道及漁港水域之沙量至少約 10 萬方。

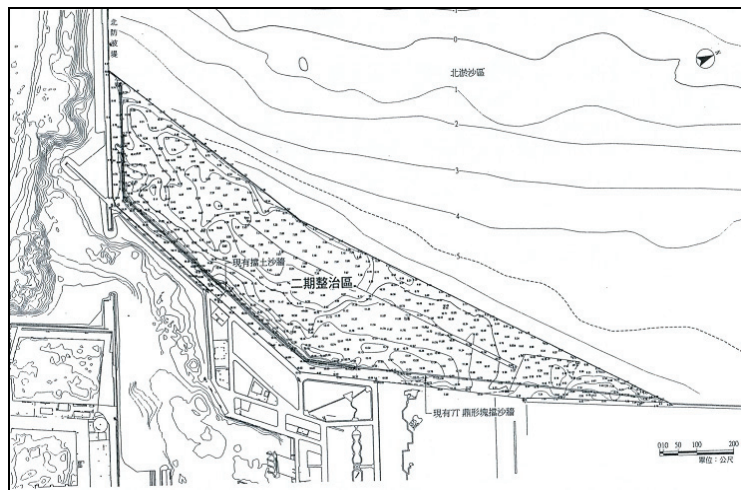


圖 2.1 臺中港北淤沙區二期整治(臺中港北淤沙區第二期工程報告)

2.1.3 第三期整治工程現況

近年來由於北淤沙區近岸灘地快速淤積，加上潮汐作用影響，北淤沙區海域飛沙現象更為嚴重，編籬定沙區域內至擋風牆間之飛沙已堆積至擋風牆頂端，在強風作用下越過擋風牆飛離北淤沙區。因此，整體估算北淤沙區年飛沙量至少在 30 萬方以上水準。依「臺中港整體規劃及未來發展計畫（96 年至 100 年）」，北淤沙區第三期整治工作原預定在 98 年至 100 年間執行，臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司採柔性海岸工法，配合自然漂飛沙現象進行漂飛沙整治，北淤沙區

整治工程地形如圖 2.2 所示。主要工程期程如下：

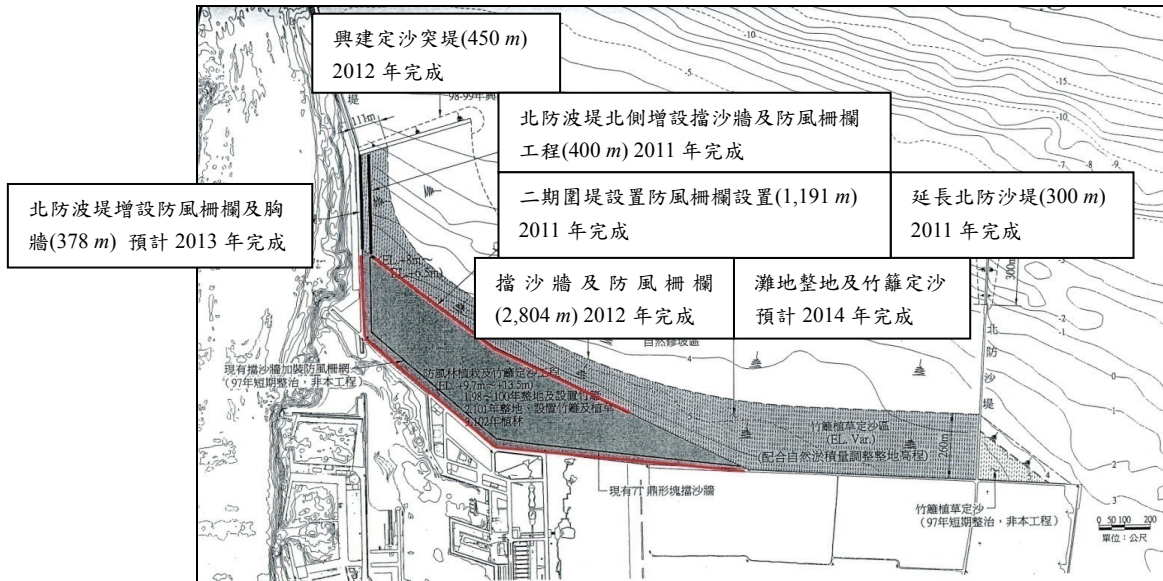


圖 2.2 臺中港北淤沙區三期整治區地形圖

1. 2011 年完成工程：

臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司於 2011 年 12 月完成北防沙堤延長工程，循原堤體離岸方向向外海延長 300 m，以提高北淤沙區攔阻漂沙能力。並在現有之二期整治區辦理防風林植栽工程，採中央高、四周低的方式，地面推整完成後全區設置竹籬定沙，如照片 2-1 所示。



照片 2-1 第三期工程編籬定沙區 (2011/10)

完成於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄，於北防波堤堤頂處設置一道長防風柵欄，其現況如照片 2-2 所示。防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防堤堤後港池及二期整治區內，形成灘地竹籬設施後側之飛沙防護線。

2. 2012 年完成工程：

臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司於 2012 年進行植樹工作。竹籬、植草及植林，竹籬設置原則上採 1 m 高竹籬、間距 10 m 為主要配置，另再視區位特性搭配 2 m 高竹籬分區交錯配置以增強定沙能力，配置走向採與風向垂直，竹籬間植草原則上採馬鞍籬、濱刺麥、蔓荊等第一線臨海防風定沙植物混種辦理，植林樹種，前線區域將優先種植木麻黃，較後線區域再搭配黃瑾、草海桐等樹種分區混種。2012 年 8 月完成在北防波堤北側第一道轉折處，朝北向（約與該處漂沙動線垂直）設 1 座長 450 m 定沙突堤，以穩定灘地地形並兼具提高北淤沙區攔阻漂沙能力。



照片 2-2 第三期工程於圍堤堤頂處設置長防風柵欄 (2011/10)

臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司於民國 100 年起開始進行第三期整治工程。照片 2-3 為第三期北淤沙區現況示意圖，10 個位置分別由照片 2-4 至照片 2-13 所示。照片 2-4 為位置 1（北防沙堤北側）

照片對應為臺中港北淤沙區北防沙堤北側之編籬定沙區，照片 2-5 至 2-6 為北防沙堤南側整治後編籬定沙區現場照片，照片 2-7 及照片 2-8 為沙灘區設置沙腸袋定沙之情況，照片 2-9 為沙灘區沙腸袋定沙工內側整治之情況，照片 2-10 為擋沙牆及防風柵欄北側，部份呈現飛沙越過擋沙牆進入編籬定沙區之情況，照片 2-11 為防風柵欄及擋沙牆內側，此區域顯示出大量飛沙淤積在結構物上，而編籬定沙區之飛沙淤積量已達飽和狀態，失去飛沙攔截作用，照片 2-12 為防風柵欄及擋沙牆內側南側出口，照片中顯示，飛沙已逐漸大量堆積至擋風牆及防風柵欄堤頂處，可能呈現越沙的情況發生。照片 2-13 為臺中港北方波堤北側沙灘區之現況。



照片 2-3 臺中港北淤沙區三期整治區照片位置示意圖



照片 2-4 北淤沙區三期整治區位置 1 現況 (2012/09)



照片 2-5 北淤沙區三期整治區位置 2 現況 (2012/09)



照片 2-6 北淤沙區三期整治區位置 3 現況 (2012/09)



照片 2-7 北淤沙區三期整治區位置 4 現況 (2012/09)



照片 2-8 北淤沙區三期整治區位置 5 現況 (2012/09)



照片 2-9 北淤沙區三期整治區位置 6 現況 (2012/09)



照片 2-10 北淤沙區三期整治區位置 7 現況 (2012/09)



照片 2-11 北淤沙區三期整治區位置 8 現況 (2012/06)



照片 2-12 北淤沙區三期整治區位置 9 現況 (2012/06)



照片 2-13 北淤沙區三期整治區位置 10 現況 (2012/06)

3. 2012 年至 2013 年預計完成工程：

臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司預計於 2012 年至 2013 年間完成外圍灘地整地及定沙工程工作，配合高、低窪地形平順推整，地面推整後，全區再設置竹籬定沙，再於竹籬間植草強化定沙效果，整地後之灘地將高於海水面 8.0m 至 6.5m。

2.2 氣象條件

臺中港區基本氣象資料，本研究對中央氣象局梧棲測站 1977～2012 年 9 月間之長期觀測雨量、日照時數、氣壓、溫度及相對濕度統計資料（詳表 2-1 所示）進行分析。

1. 雨量

梧棲地區平均年總降雨量為 1,193.5 mm，其中以 8 月份之降雨量為最高，達 348.3 mm，10 月份之降雨量最低，僅 10.1 mm；平均年總降雨日數為 93.6 日，主要分布在 5～8 月間，其中以 5 月份之降雨日數為最多，平均達 12.9 日，而 10 月份之降雨日數為最少，約 2.4 日。

2. 日照時數

梧棲地區年平均日照時數共有 1,984.2 小時，其中 7 月份較多，達 244.5 小時，2 月份最少，僅 91.1 小時。

3. 氣壓

梧棲地區年平均氣壓為 1,007.9 mb，1 月份之月平均氣壓為最高，達 1,016.5 mb，8 月份之月平均氣壓最低，僅 1,001.9 mb。

4. 溫度

梧棲地區年平均氣溫為 23.5℃，其中以 7 月份之月平均氣溫最高，達 29.0℃，1 月份及 2 月之平均氣溫最低，分別都為 15.1℃。

5. 相對濕度

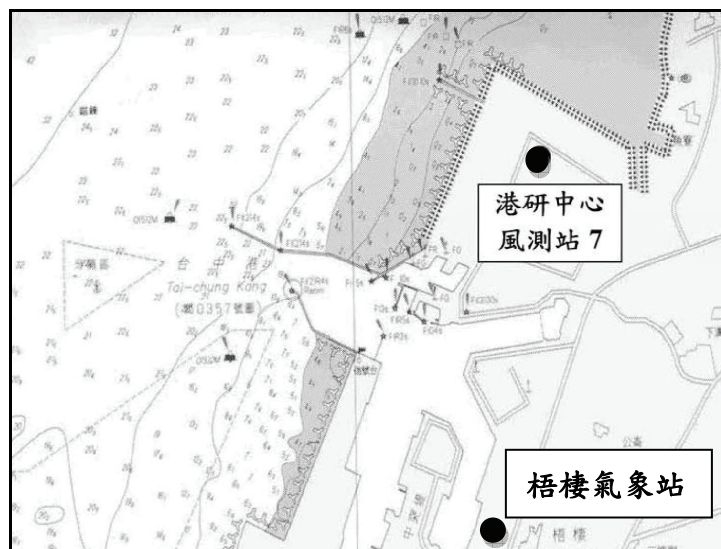
梧棲地區年平均相對濕度為 77.7%，其中以 2 月份之月平均相對濕度 82.9%為最高，9 月份及 12 月之月平均濕度 75.3%為最低。

表 2-1 梧棲測站氣象資料觀測統計表

月份	平均 降雨量 (mm)	平均降 雨日數 ($\geq 0.1mm$)	平均日 照時數 (hour)	平均氣壓 (mb)	平均溫度 ($^{\circ}C$)	相對濕度 (%)
1	44.5	8.3	114.5	1016.5	15.1	79.9
2	77.3	8.7	91.1	1014.5	15.1	82.9
3	45.9	9.2	120.1	1013.9	17.5	78.4
4	148.5	9.3	137.4	1010.2	22.7	77.0
5	140.6	12.9	168.3	1006.3	25.5	79.4
6	201.5	11.3	190.6	1003.2	28.0	79.5
7	113.1	9.4	244.5	1003.2	29.0	76.8
8	348.3	10.5	203.0	1001.9	28.7	77.8
9	23.2	4.9	207.0	1006.0	27.3	75.3
10	10.1	2.4	196.4	1010.3	24.4	75
11	19.5	3.0	154.5	1013.6	21.2	75
12	21.1	3.7	156.8	1016.5	17.7	75.3
年合計	1,193.5	93.6	1,984.2	—	—	—
月平均	—	—	—	1,009.7	22.7	77.7

2.3 臺中港區風速及風向特性

依據中央氣象局梧棲氣象站觀測資料，本研究繪製梧棲氣象站 2003 年 1 月～2012 年 9 月風玫瑰圖，如圖 2.4 所示。由圖可知，7 月以 W、N 向為主要風向，8 月主要風向為 NNW 向。9 月至翌年 5 月風向以 N 向為主。此外，分析本所港灣技術研究中心自 2001 年 7 月至 2010 年 12 月期間歷年風速及風向統計資料，結果如表 2-2 所示。就風向觀測結果得知，港區附近主要風向為 N～E 向，約佔歷年觀測的 62.4%；其次為 S～W 向，約佔歷年觀測的 19.1%。其中風向為 N～E 向，主要為冬季季風風向，風向為 S～W 向，主要為夏季季風風向。就風速結果得知，風速小於 5 m/s 以下者，約佔歷年觀測 52.9%；風速介於 5～10 m/s 之間者，約佔歷年觀測的 27.5%；風速介於 10～15 m/s 之間者，約佔歷年觀測的 13.5 %；風速大於 15 m/s 以上者，約佔歷年觀測的 6.1%。歷年之平均風速為 6.2 m/s；歷年最大風速為 24.7 m/s，月平均風速大於 10 m/s 以上者皆發生在冬季，盛行風向多集中在北至東北向。總結長年風速觀測結果，風速為靜止狀態在臺中港幾乎很少發生，風速大多處於 5 m/s 以下，但 5 m/s 以上之風速約佔 47.2%。本所港灣技術研究中心及中央氣象局梧棲氣象站位置圖，如圖 2.3 所示。



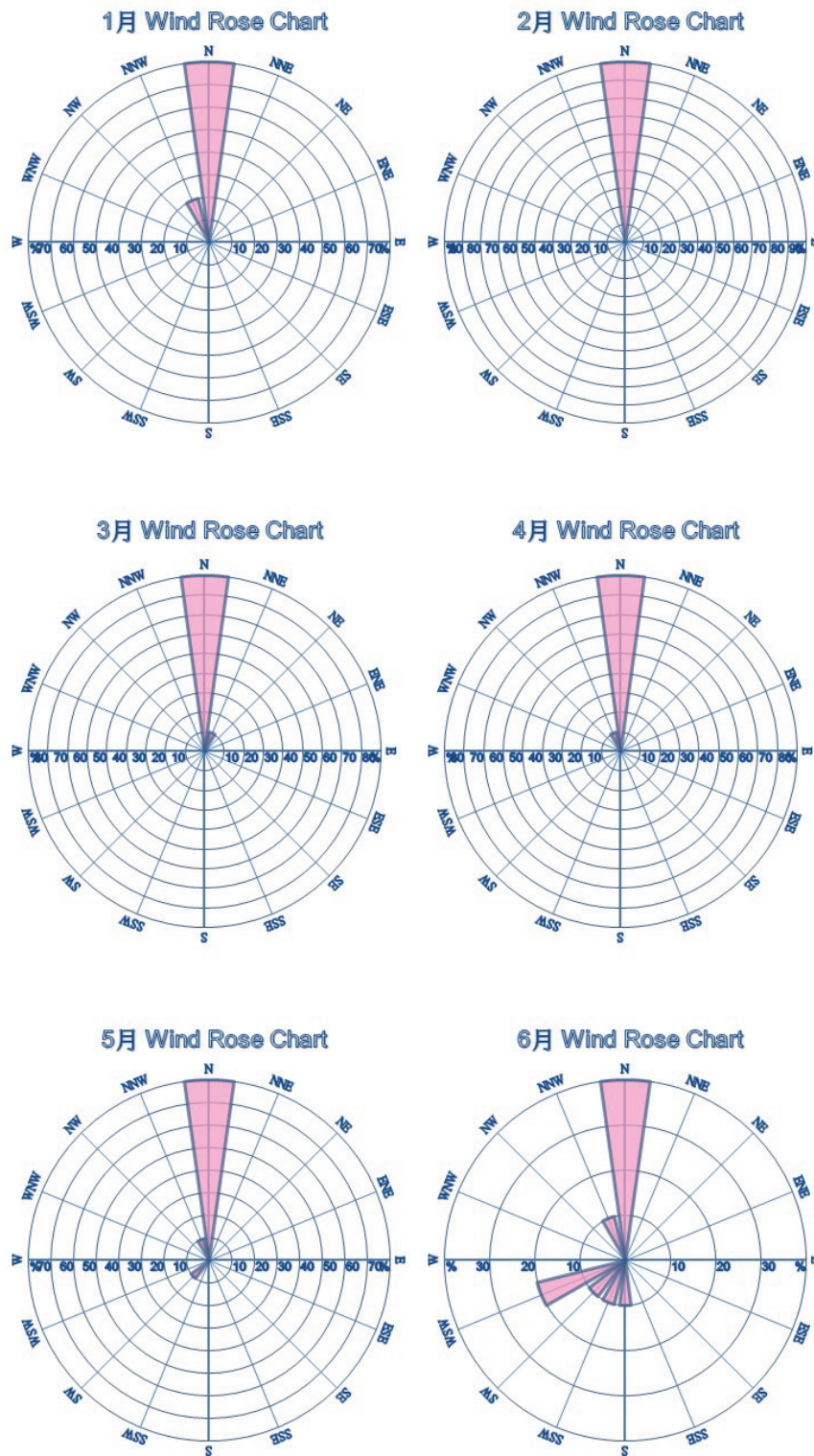


圖 2.4a 梧棲測站風向圖 (2003/03~2012/09)

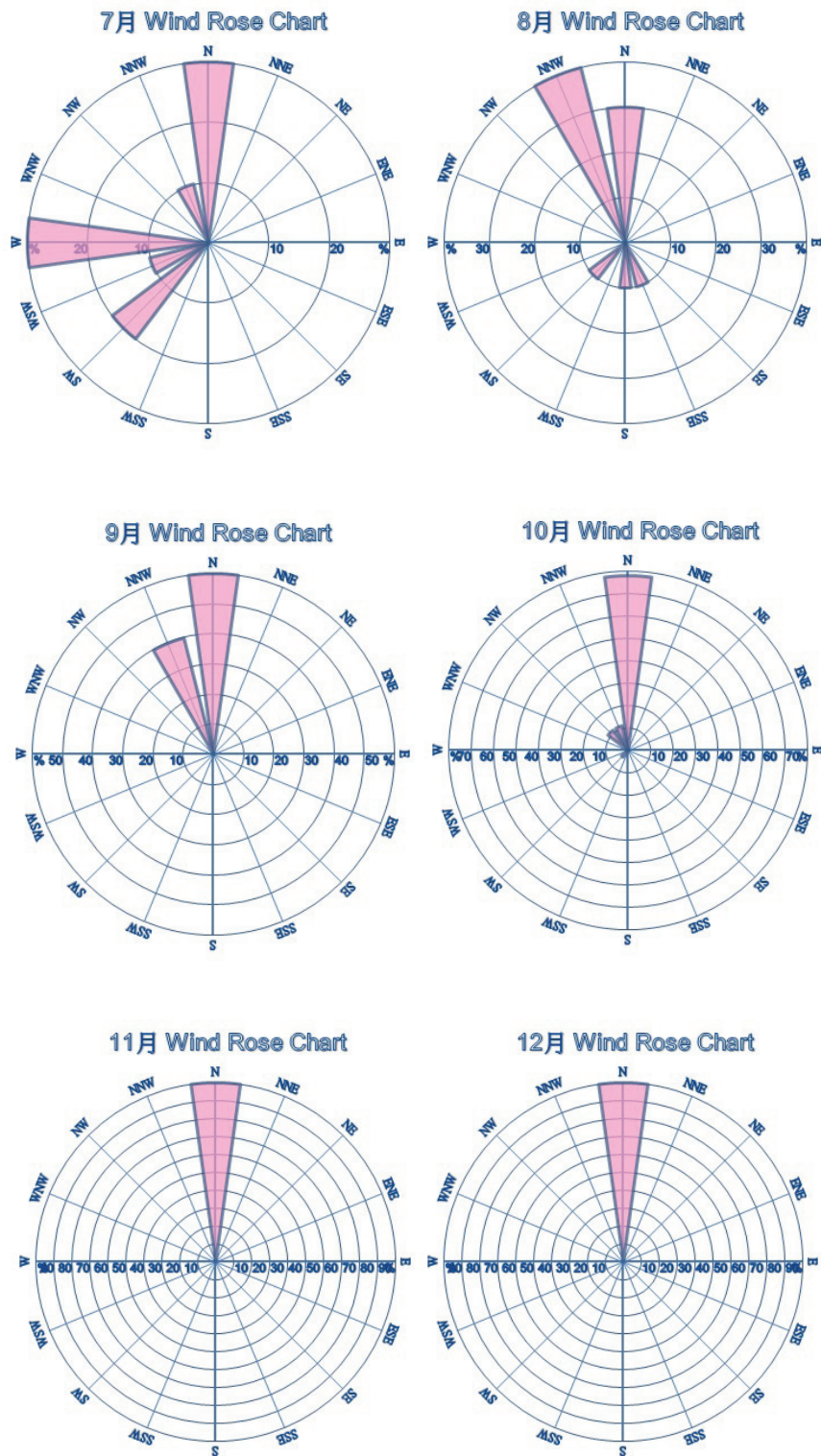


圖 2.4b 梧棲測站風向圖 (2003/03~2012/09)

表 2-2 臺中港 2001 年至 2010 年風之風速及風向統計表

年份	平均 風速 m/s	風速		風速 $<5 m/s$ (%)	風速 $5 \sim 10 m/s$ (%)	風速 $10 \sim 15 m/s$ (%)	風速 $>15 m/s$ (%)	靜風 $<0.3 m/s$ (%)	風向 N~E (%)	風向 E~S (%)	風向 S~W (%)	風向 W~N (%)
		最大值 m/s	風向									
2001	5.8	21.3	NNE	53.6	27.5	16.6	2.4	0.2	66.2	10.8	13.4	0.2
2002	5.6	26.5	NNE	59.2	26.0	8.9	5.9	0.1	59.3	12.6	18.8	9.2
2003	5.1	17.8	NNE	60.0	26.7	12.5	0.8	0.1	62.6	10.0	18.7	8.7
2004	5.2	17.9	NNE	57.7	29.6	12.3	0.4	0.0	65.2	9.4	15.8	9.6
2005	5.3	27.3	NNE	60.2	25.2	13.2	1.4	0.0	62.1	9.4	19.6	8.9
2006	5.3	18.7	NNE	57.5	28.8	12.0	1.8	0.1	64.3	9.2	19.6	6.9
2007	5.3	23.3	NNE	59.6	26.3	12.5	1.7	0.2	60.6	12.2	19.3	7.7
2008	9.1	37.5	NNE	32.2	32.9	15.3	19.7	0.0	55.8	4.6	28.9	10.7
2009	5.6	26.2	NNE	60.6	21.2	11.6	6.4	0.2	65.2	7.6	14.3	13.0
2010	9.3	30.3	NNE	28.7	30.6	20.4	20.3	0.0	62.8	6.7	22.8	7.7
平均	6.2	24.7	NNE	52.9	27.5	13.5	6.1	0.1	62.4	9.3	19.1	8.3

資料來源：本所港灣技術研究中心

此外，在颱風統計方面，本研究根據中央氣象局所發佈於 1897～2012 年九月間之颱風資料進行統計分析，相關分析成果如表 2-3 所示。

表 2-3 各月侵台颱風之次數及頻率統計表

月份	侵台次數	佔總數百分比 (%)	年平均次數
1	0	0.00%	0.00
2	0	0.00%	0.00
3	0	0.00%	0.00
4	2	0.48%	0.02
5	17	4.07%	0.15
6	32	7.66%	0.28
7	99	23.68%	0.85
8	127	30.38%	1.09
9	94	22.49%	0.81
10	37	8.85%	0.32
11	9	2.15%	0.08
12	1	0.24%	0.01
合 計	418	100%	3.60

颱風多見於夏、秋兩季，冬、春期間較少發生。根據中央氣象局歷年颱風調查報告資料統計，侵台颱風最早出現於 4 月，最晚為 12 月。由該表可知，1897～2012 年之 116 年間，侵台颱風總數為 418 次，其中以 8 月份佔 127 次為最高，約佔總數之 30.38%；7 月份佔 99 次居次，約佔總數之 23.68%。又因 9 月份起颱風多轉北向侵襲日本之機會較大，故以往 12 月至翌年 3 月間多無侵台記錄，惟 2004 年 12 月首次發生颱風侵台之紀錄（南瑪都颱風，2004/12/03～2004/12/04）。

中央氣象局依據歷年颱風調查報告資料，將過去 116 年 (1897～2012 年) 間侵台颱風路徑大致劃分為 9 類，詳如圖 2.5 所示。臺中港位於臺灣西海岸之中部，以第 3 類與第 7 類路徑之颱風將直接侵襲其鄰

近海域，依圖 2.5 之統計結果顯示，每年侵台颱風中約有 18.0% 直接影響臺中地區海域。圖 2.6～圖 2.12 為 2012 年颱風路徑圖。

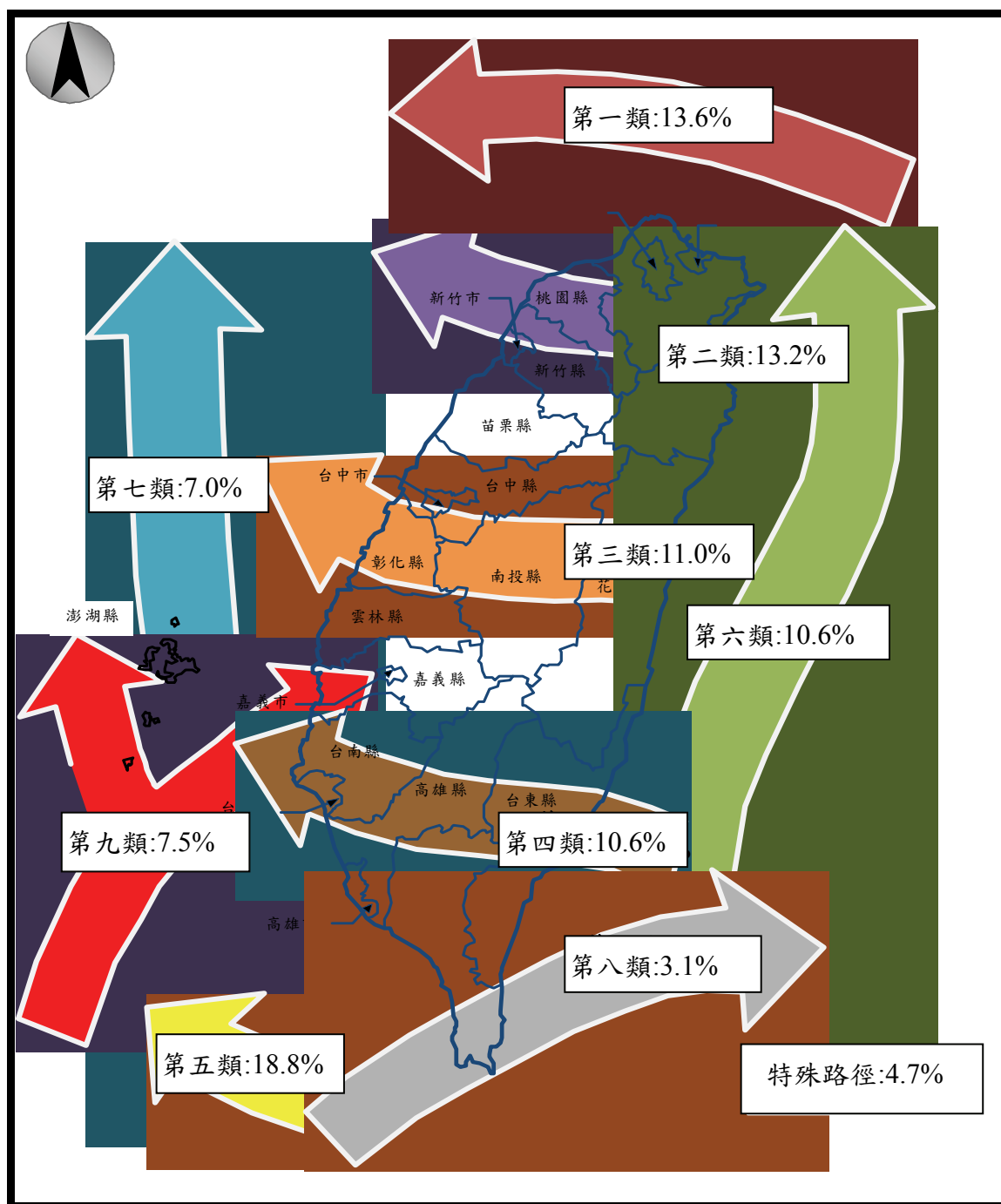


圖 2.5 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖 (1897～2012/09)

資料來源：中央氣象局

1. 泰利颱風

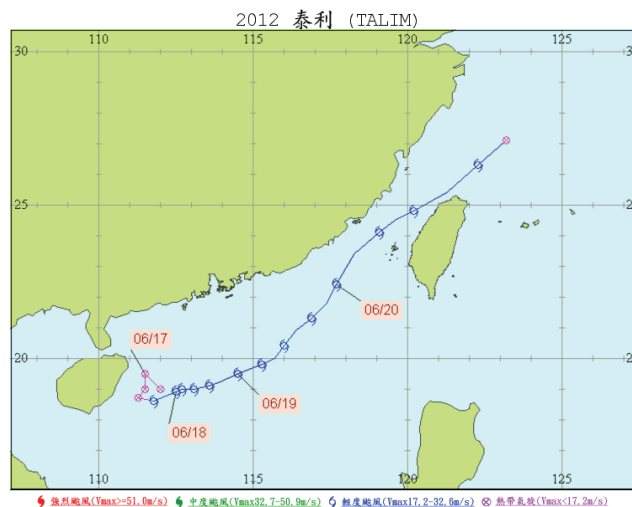


圖 2.6 2012 年泰利颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

名	稱	泰利(TALIM)		
編	號	1205		
生	成	地	點	海南島附近
侵(近)台	日期	2012 年 6 月 20 日		
發	布	時	間	海上:2012/06/19 日(05 時 30) ; 陸上:2012/06/19 (20 時 30 分)
解	除	時	間	海上:2012/06/21 (05 時 30 分) ; 陸上:2012/06/21 (02 時 30 分)
發	布	報	數	17
最	大	強	度	輕度
近中心最大風速	25.0 (公尺/秒)			
侵台路徑分類	9			
登	陸	地	段	臺東縣大武附近
動	態	6 月 18 日凌晨 2 時於海南島附近生成，以東北方向逐漸往臺灣海峽附近移動。颱風強度維持在輕度颱風，20 日 14 時其中心於位於澎湖與金門之間，持續向東北快速移動，21 日 5 時於彭佳嶼東北方轉變為熱帶性低氣壓。		

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

2. 杜蘇芮颱風

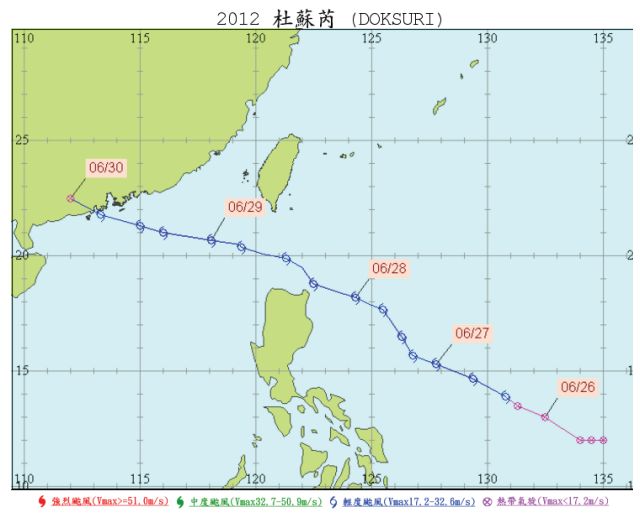


圖 2.7 2012 年杜蘇芮颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

名 稱	杜蘇芮(DOKSURI)
編 號	1206
生 成 地 點	菲律賓東方海面
侵 (近) 台 日 期	2012 年 6 月 28 日
發 布 時 間	海上:2012/06/28 日(05 時 30)
解 除 時 間	海上:2012/06/29 (05 時 30 分)
發 布 報 數	10
最 大 強 度	輕度
近中心最大風速	25.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	5
動 態	6 月 26 日晚上 8 時於菲律賓東方海面生成，生成後向西北西移動，通過巴士海峽南部後朝東沙島海面前進。

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

3. 蘇拉颱風

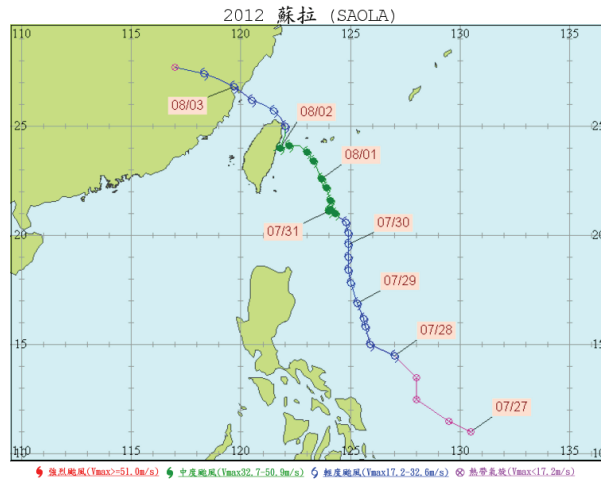


圖 2.8 2012 年蘇拉颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

名	稱	蘇拉(SAOLA)		
編	號	1209		
生	成	地	點	菲律賓東方海面
侵(近)台	日期	2012年8月2日		
發	布	時	間	海上:2012/07/30日(20時30分);陸上:2012/07/31(20時30分)
解	除	時	間	海上:2012/08/03日(14時30分);陸上:2012/08/03(14時30分)
發	布	報	數	31
最	大	強	度	中度
近中心最大風速	38.0(公尺/秒)			
侵台路徑分類	2			
登	陸	地	段	花蓮秀林鄉
動	態	7月28日8時於菲律賓東方海面生成，初期往北至北北西移動，2日凌晨3時20分於花蓮秀林鄉附近登陸，之後呈打轉現象，2日下午14時左右掠過臺灣東北角進入北部海面，於3日6時左右在馬祖北方進入福建。		

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

4. 海葵颱風

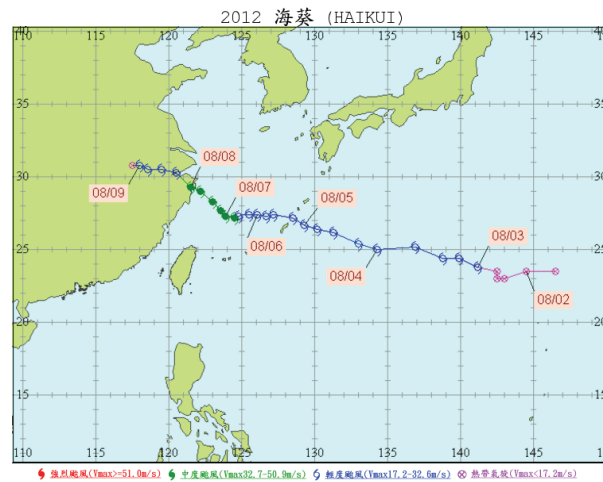


圖 2.9 2012 年海葵颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

名	稱	海葵(HAIKUI)		
編	號	1211		
生	成	地	點	西北太平洋
侵 (近) 台	日	期	2012 年 8 月 7 日	
發	布	時	間	海上:2012/08/06 日(11 時 30 分)
解	除	時	間	海上:2012/08/07 日(17 時 30 分)
發	布	報	數	11
最	大	強	度	中度
近中心最大風速	35.0 (公尺/秒)			
侵台路徑分類	1			
動	態	8 月 3 日 8 時於西北太平洋洋面生成，初期往西移動，6 日 23 時其強度增強為中度颱風，8 日凌晨於中國浙江登陸。		

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

5. 啟德颱風

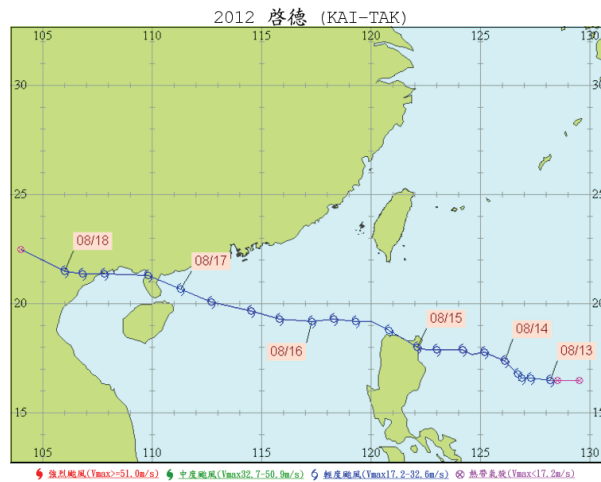


圖 2.10 2012 年啟德颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

名	稱	啟德(KAI-TAK)		
編	號	1213		
生	成	地	點	菲律賓東方海面
侵 (近) 台	日 期	2012 年 8 月 15 日		
發	布	時	間	海上:2012/08/14 日(14 時 30 分)
解	除	時	間	海上:2012/08/15 日(17 時 30 分)
發	布	報	數	10
最	大	強	度	輕度
近中心最大風速	20.0 (公尺/秒)			
侵台路徑分類	5			
動	態	8 月 13 日 08 時於菲律賓東方海面生成，初期往西移動，15 日 8 時其中心進入菲律賓呂宋島北部，至 17 時其中心在巴士海峽南方，向西北西移動，對臺灣近海的威脅已解除。		

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

6. 天秤颱風

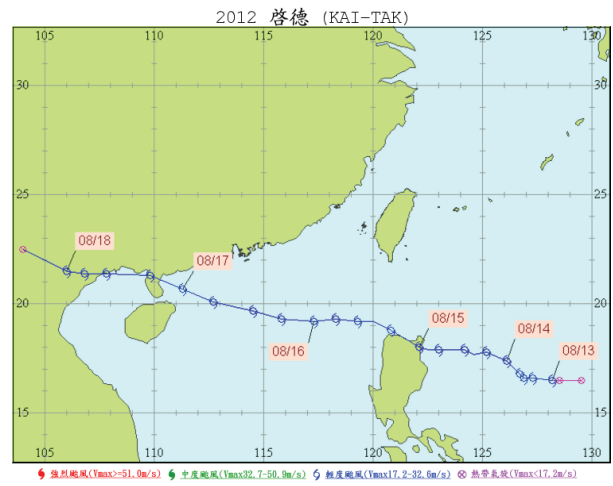


圖 2.11 2012 年天秤颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	天秤(TEMBIN)
編號	1214
生成地點	【第 1 次】：呂宋島東方海面【第 2 次】：呂宋島東方海面
侵(近)台日期	【第 1 次】：2012/08/24 日【第 2 次】：2012/08/28 日
發布時間	【第 1 次】： 海上:2012/08/21 日 14 時 30 分；陸上:2012/08/22 日 5 時 30 分 【第 2 次】： 海上:2012/08/26 日 11 時 30 分；陸上:2012/08/27 日 2 時 30 分
解除時間	【第 1 次】： 海上:2012/08/25 日 14 時 30 分；陸上:2012/08/25 日 8 時 30 分 【第 2 次】： 海上:2012/08/28 日 23 時 30 分；陸上:2012/08/28 日 20 時 30 分

發布報數	【第 1 次】：33 【第 2 次】：21
最大強度	【第 1 次】：中度 【第 2 次】：中度
近中心最大風速	【第 1 次】：45.0 (公尺/秒) 【第 2 次】：35.0 (公尺/秒)
侵台路徑分類	【第 1 次】：特殊路徑 【第 2 次】：特殊路徑
登陸地段	【第 1 次】：屏東牡丹鄉附近 【第 2 次】：--
動態	【第 1 次】：形成後向北行進，至鵝鑾鼻東方海面後，向北北西轉西方向移動，至台東東方近海，又轉西南西撲向恆春半島，於 24 日凌晨 5 時於屏東牡丹鄉附近登陸，並穿越恆春半島繼續往西南西方向離去。 【第 2 次】：25 日解除警報後向西南西轉向偏南方向移動，26 日晚間至 27 日清晨再次轉彎，向東轉東北東方向移動，對臺灣及附近海面再次造成威脅。28 日清晨 5 時其中心通過蘭嶼與綠島中間，並向北北東方移動，晚間其中心在宜蘭東北東方海面持續向北北東移動，臺灣陸續脫離其暴風圈。
災情	【第 1 次】：-- 【第 2 次】：--

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

7. 杰拉華颱風

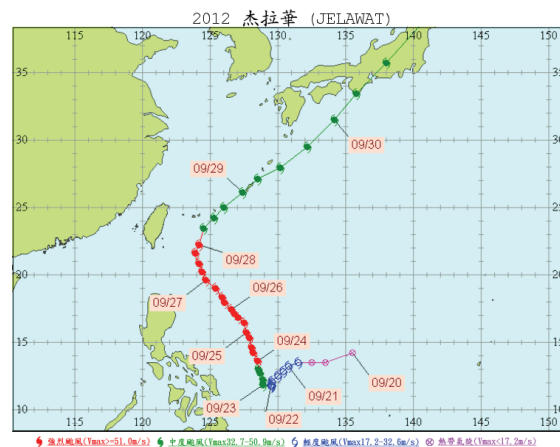


圖 2.12 2012 年杰拉華颱風之路徑圖

中央氣象局颱風警報發布概況

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	杰拉華(JELAWAT)
編號	1217
生成地點	菲律賓東方海面
侵(近)台日期	2012 年 9 月 28 日
發布時間	海上:2012/09/27 日 2 時 30 分
解除時間	海上:2012/09/28 日 20 時 30 分
發布報數	15
最大強度	強烈
近中心最大風速	55.0 (公尺/秒)
動態	9 月 21 日 02 時於菲律賓東方海面生成，27 日 2 時其中心在鵝鑾鼻東南東方海面，向西北移動，28 日 2 時其中心逐漸轉向東北方向，至 20 時其中心在花蓮東方海面，對臺灣近海的威脅已解除。

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>

2.4 地質條件

臺中港區位於臺灣西海岸之中部，自大肚山西側向海岸方向，以約 1：2,000 緩坡形成之廣大沖積平原，港址處為一平坦且岸線平直之灘岸。依據既有之地質資料記載，臺中港區基地地盤屬臺灣新第三紀地槽盆地中之台西-臺中構造盆地，地表為現代沖積層所覆蓋，此沖積層厚度至少超過 150 m，主要由粉土質沙、沙質粉土及粉土質黏土交互出現所組成，各土層中夾層亦多且組成複雜。

臺中港鄰近水深資料主要包括臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司及工業局等單位之施測結果彙整詳表 2-4 所示。臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司局自 1976 年起即進行水深調查工作，施測範圍北起大甲溪出海口，南至烏溪出海口，東濱臺中港港埠設施，西迄外海水深約-30 m~-40 m 等深線。圖 2.13 為臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司 100 年水深分布圖。由圖可知，臺中港北防波堤以北之區域地形變化較大，離岸 2 公里範圍內坡度約為 1：80；離岸 2~4 公里範圍內坡度較緩，約為 1：300；離岸 4 公里外之坡度較陡，約為 1：40。北防波堤以南之區域地形變化較緩，離岸 5 公里範圍內坡度約為 1：250，水深變化約在-5~-25 m 間。

表 2-4 歷年計畫區鄰近水深觀測概況表

單 位	觀測時間	備 註
臺 中 港 務 分 公 司	1976 年迄今	施測範圍北起大甲溪出海口，南至烏溪出海口，東濱臺中港港埠設施，西迄外海水深約-30m~-40m 等深線。
工 業 局	自 1990 年起，每年 1~2 次。89 年下半年度迄今每年 1 次	彰濱工業區施測範圍北起烏溪（大肚溪）出海口，南至海尾村西側海域，長約 27 公里，西迄海堤法線向外海觀測至水深-25m 等深線。

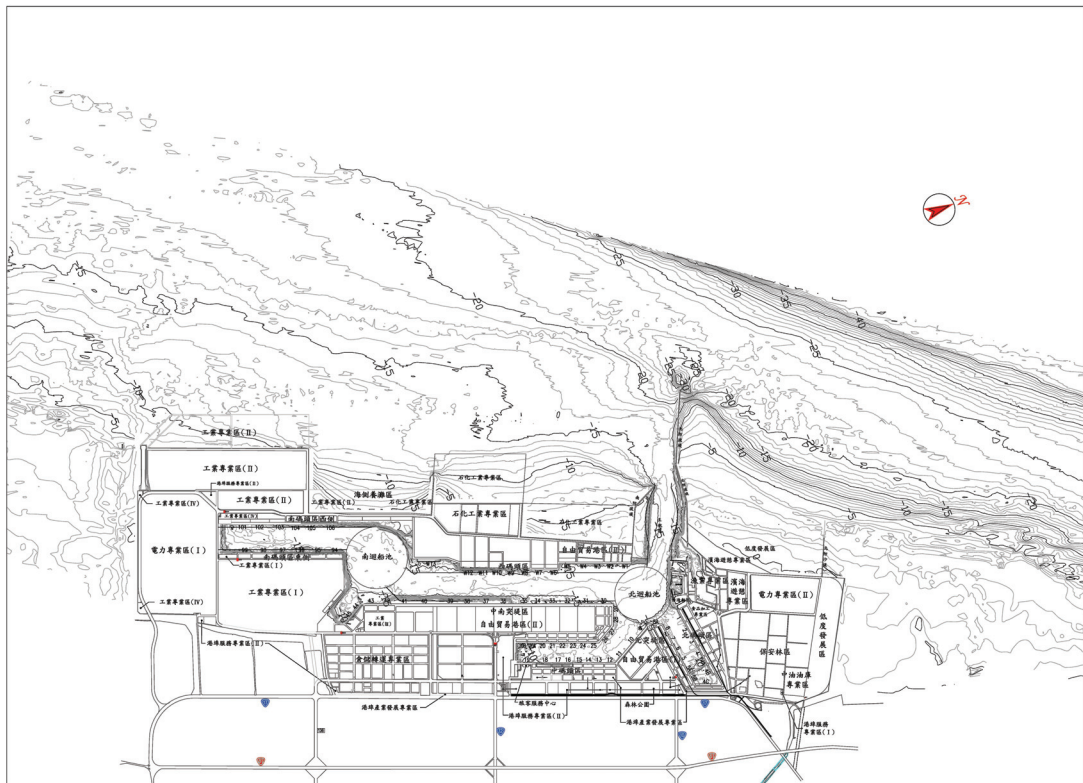


圖 2.13 臺中港地形水深分布圖(民國 100 年)

第三章 飛沙現地試驗

3.1 試驗地點簡介

為瞭解臺中港北防波堤飛沙淤積情形，本研究針對臺中港北防波堤至北防沙堤附近海域地形圖，區域內分別進行(1)飛沙現地量測試驗、(2)沙粒含水率量測、(3)飛沙越堤量測所得之結果，建立飛沙移動公式計算風沙移動量，試驗區域如圖 3.1 所示。現地試驗期程為 2011/04/19～04/22(夏季)、2011/05/11、2011/05/20～05/23(夏季)、2011/11/24(冬季)及 2012/02/14～02/17(春季)、2012/05/10、2012/05/20～05/24(夏季)、2012/09/05(秋季)、2012/10/08(秋季)。

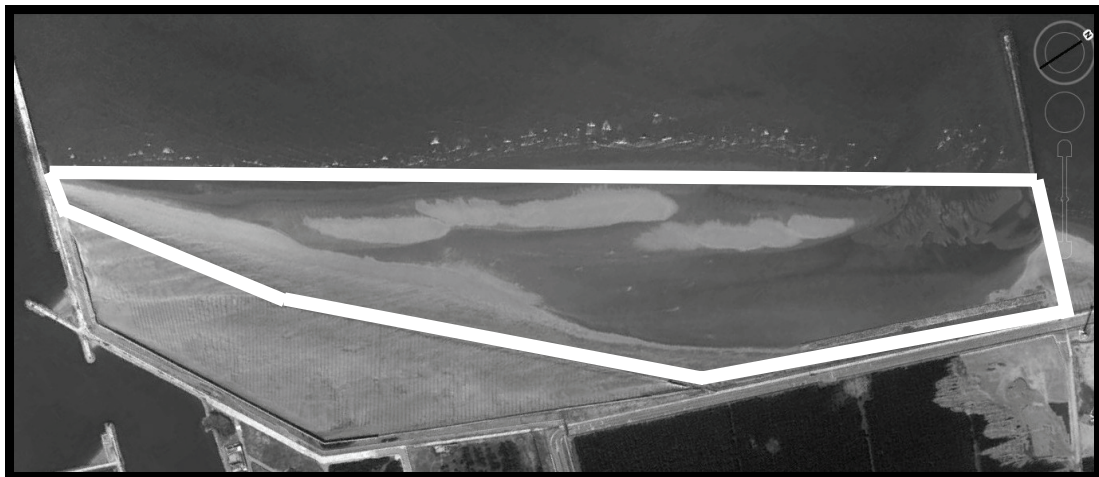


圖 3.1 臺中港北防波堤北側附近現地試驗地形圖

3.2 飛沙試驗器材

飛沙現地試驗所使用之主要器材為風速風向計、土壤含水量計沙粒收集器及環境揚塵監測器。簡述如下：

1. 時序列風速計：

由於飛沙啟動之因素主要受到風速影響，因此本研究以風速、摩擦風速和粗糙長度作為探討飛沙啟動之主要因子。本研究風係以

Davis 多功能時序列綜合氣象觀測儀量測風速及風向，以求得飛沙與風速間之相互關係。量測儀器架設方式採迎風面無干擾處架設，高度為 0.2 m、0.5 m、1.0 m、1.5 m 及 2.0 m 如圖 3.2 所示，數據每 10 sec 為一筆，紀錄區間為 10 min。



圖 3.2 Davis 多功能時序列綜合氣象觀測儀

2. 探針式含水量計：

本研究因此使用探針式含水量計對沙灘沙粒含水率進行試驗，以測得飛沙即時之含水率，有助於瞭解沙灘含水量與飛沙啟動之情形。粒中的含水率是影響飛沙啟動的因素之一，本研究為了瞭解飛沙量與土壤含水率之關係，第一步先取迎風面土壤上表層之沙樣，再以 RiXEN M-700 型探針式含水率計(如圖 3.3 所示)量測沙粒含水率，並將沙粒密封於採樣袋中，攜回實驗室使用烘箱以 105°C 高溫進行沙粒含水率試驗，最後再對應 RiXEN M-700 型探針式含水率計所測得之數據。並繪製沙粒含水率校正曲線如圖 3.4 所示(X 軸及 Y 軸分別為儀器值及實驗值)，可藉由沙粒含水率校正曲線簡化試驗步驟，更易瞭解沙灘含水量與飛沙啟動之情形。



圖 3.3 RiXEN 探針式土壤含水率計

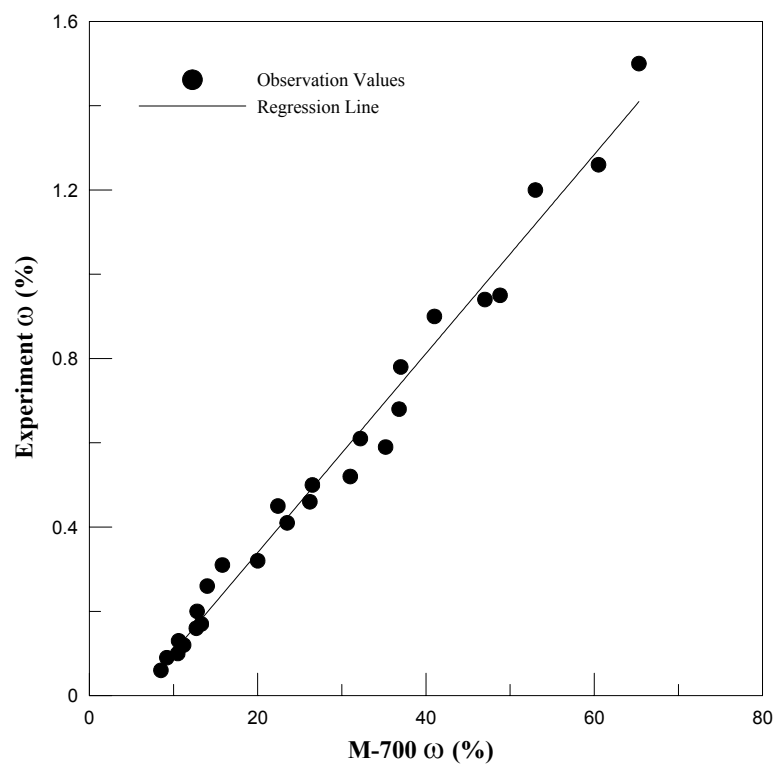


圖 3.4 沙粒含水率校正曲線

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

3. 沙粒收集器

本研究於現地試驗中設置垂直式沙粒收集器，其目的為了更有效的觀察飛沙與垂直高程之關係。並針對捕沙器進行改良，將以電子設定方式對風速、風向觀測同步擷取現地資料。採樣器開口設置寬度為寬 0.04 m 、高度為 0.1 m 、擴散角 4° ，可降低通過之風速，使飛沙沉降，而沙粒採樣器後方出口以#200 白鐵篩網代替，其作用係為了防止產生渦流，避免收集之沙量由開口飛散出，如圖 3.5 所示。多層垂直式捕沙器各層採樣口以下緣高度別為 0.0 m 、 0.1 m 、 0.2 m 、 0.3 m 、 0.4 m 、 0.5 m 、 0.6 m 、 0.7 m 、 0.8 m 及 0.9 m ，採樣器架設方式為迎風面無干擾處設置，其目的是為了瞭解各高程飛沙量佔總飛沙量之比例。紀錄區間為 10 min 配合 Davis 多功能時序列綜合氣象觀測儀同步量測風速及風向。



圖 3.5 垂直式沙粒收集器

4. 空氣品質監測器

本研究於臺中港北淤沙區沿岸設置環境揚程監測儀，其目的係為了瞭解對空氣品質與風速之關係，進行監測分析，由於揚塵主要係由氣流的擾動而懸浮於大氣中，並經由氣流帶動而運移下風處，影響之範圍深遠。因此本研究監測儀器架設方式採迎風面無干擾處設置並配合 Davis 多功能時序列綜合氣象觀測儀，監測數據記錄區間為 20 min。DustMate 環境粉塵監測儀主要技術規格(量測範圍：0 ~60 mg/m^3 、讀數方式：大屏幕液晶顯示、尺寸：160×100×90 mm、重量：1.2 kg、儀器採樣時間範圍：1 秒至 4 小時、檢測項目： $TSP, PM_{2.5}, PM_{10}$)，如圖 3.6 所示。



圖 3.6 DustMate 激光粉塵監測儀

3.3 飛沙試驗量測步驟

為釐清飛沙與海岸漂沙間的相互影響，本研究延續上年度計畫，試驗期間為 2012 年 5 月至 2012 年 10 月，分別進行飛沙含水率試驗、飛沙高程量測試驗、飛沙蒐集試驗。試驗區域如圖 3.1 所示，試驗區域於向離岸方向分別進行飛沙試驗量測，量測項目如表 3-1 所示。

表 3-1 飛沙試驗測量項目

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

3.3.1 風速量測

風速與風向為影響飛沙量之主要影響因子，本研究於試驗區域量測點設置風速計，其各層設置位置高度分別為 0.2 m、0.5 m、1.0 m、1.5 m 與 2.0 m。在沙粒收集器之採集期間，分別記錄不同高度下各層位置之風速與風向，將所觀察之資料進行迴歸分析，所得之迴歸式及相關係數 (r)，利用相關係數之顯著性判定其迴歸式，藉以瞭解風速垂直分布之特性，並推算各風速之摩擦速度 U_* 與粗糙長度 Z_0 。試驗時間為(2011 年 4 月 19 日 12 時至 14 時、2011 年 5 月 11 日 12 時至 15 時、2012 年 2 月 17 日 13 時至 18 時及 2012 年 5 月 10 日 13 時至 17 時)。

3.3.2 沙粒含水率量測

沙粒含水率量測方面，使用探針式含水量計，量測沙粒受潮汐作用下沙粒含水率，試驗間隔時間採 20 min 進行土壤含水率量測，試驗沙粒取迎風面土壤表層之沙樣，進行沙粒含水率試驗。並量測出潮汐變化下土壤含水率之關係，沙灘區域分別設置三個試驗點，試驗點以海水陸交界處進行含水率量測，試驗位置如圖 3.7 所示。其試驗座標如表 3-2 所示。試驗時間為(2012 年 5 月 21 日 12 時至 18 時、2012 年 5 月 22 日 12 時至 18 時、2012 年 5 月 23 日 12 時至 18 時)，潮汐變化如圖 3.8 所示，試驗期間溫度介於 28.6℃～29.1℃，大氣壓力介於 1006.1 hpa 至 1004.4 hpa，大氣濕度介於 63.2%～72.8%。

經由圖 3.9 三次試驗結果顯示，A 點平均含水率為 22.3%，標準差為 2.1%；B 點平均含水率為 22.5%，標準差為 1.5%；C 點平均含水率為 22.1%，標準差為 1.8%。由以上結果得知沙粒受潮汐作用影響區域，沙灘含水率隨潮位高程遞減時，其含水率變化並不顯著。

表 3-2 含水率試驗座標

試驗點	座標
(A)含水率試驗座標	N: 24°18'31.89" E: 120°31'27.73"
(B)含水率試驗座標	N: 24°18'3.52" E: 120°31'4.99"
(C)含水率試驗座標	N: 24°17'43.05" E: 120°30'38.05"



圖 3.7 含水率試驗地點位置圖

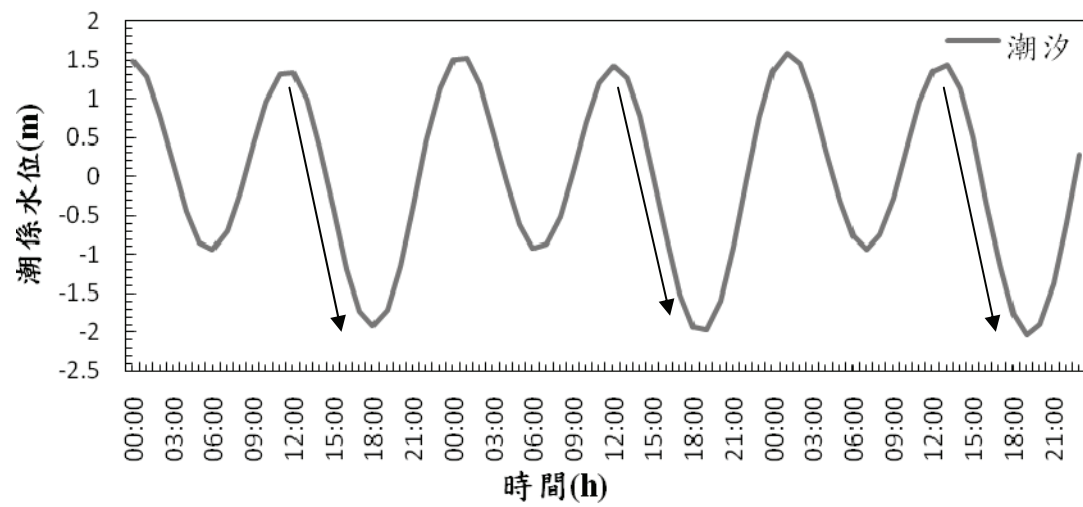


圖 3.8 沙灘區域潮汐水位變化(2012 年 5 月 21 日~5 月 23 日)

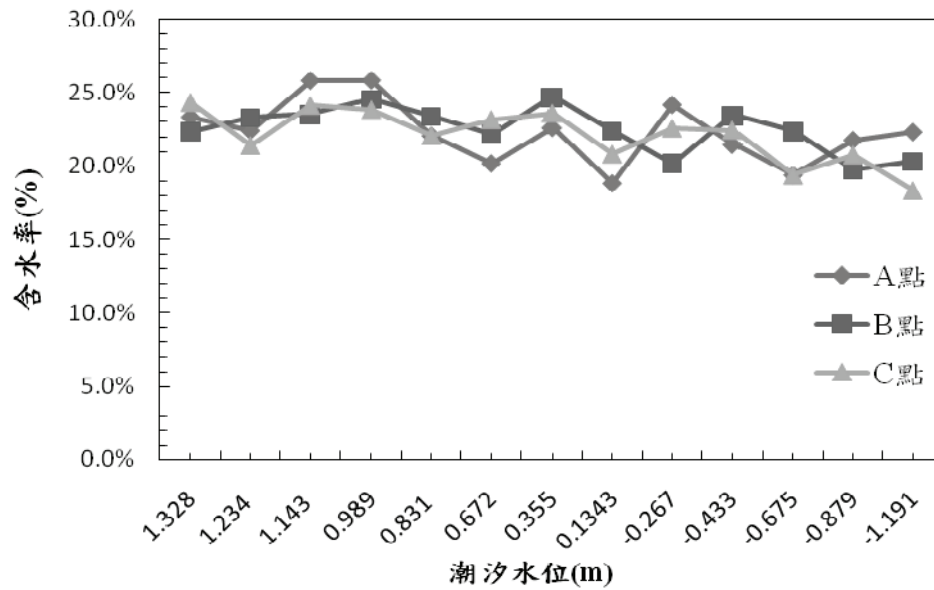


圖 3.9 沙灘區域沙粒含水率變化

3.3.3 飛沙量測

在飛沙量測方面，本研究於北防沙堤南側及北防波堤北側進行飛沙試驗，位置如圖 3.10 所示，試驗時間為(2012 年 2 月 14 日 13 時至 18 時、2012 年 2 月 15 日 12 時至 17 時、2012 年 5 月 20 日 12 時至 16 時、2012 年 5 月 24 日 12 時至 18 時)。量測飛沙於沙灘表面滾動、躍動與地表上懸浮的飛沙量值，以求得此區域的飛沙特性，將集沙器捕獲到的飛沙風乾後進行篩分析；篩網分別為#10、#20、#40、#60、#70、#80、#100 等篩號，於電子天秤稱重，繪製粒徑分佈曲線圖如圖 3.11～圖 3.13 所示。由試驗結果得知，北防沙堤南側沙粒粒徑 $d_{50} = 0.28\text{ mm}$ ，北防波堤北側沙粒粒徑 $d_{50} = 0.253\text{ mm}$ ，編籬定沙區沙粒粒徑 $d_{50} = 0.212\text{ mm}$ 。

表 3-3 飛沙試驗座標

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



圖 3.10 飛沙量測試驗地點圖

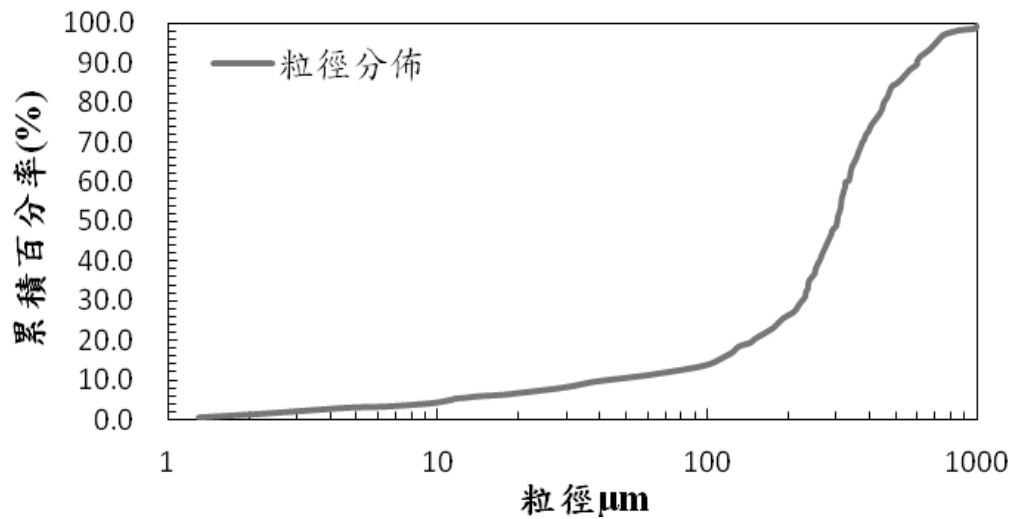


圖 3.11 北防沙堤南側沙粒粒徑分佈 ($d_{50} = 0.28mm$)

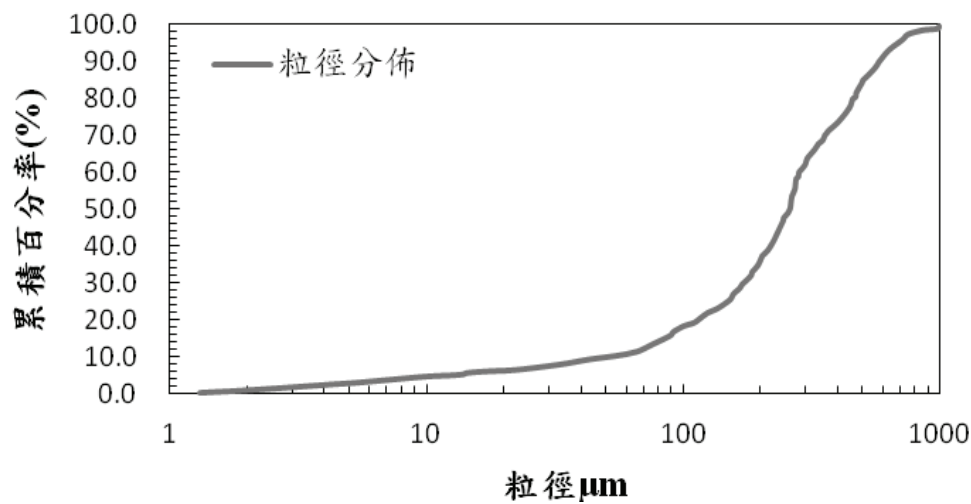


圖 3.12 北防波堤北側沙粒粒徑分佈 ($d_{50} = 0.253mm$)

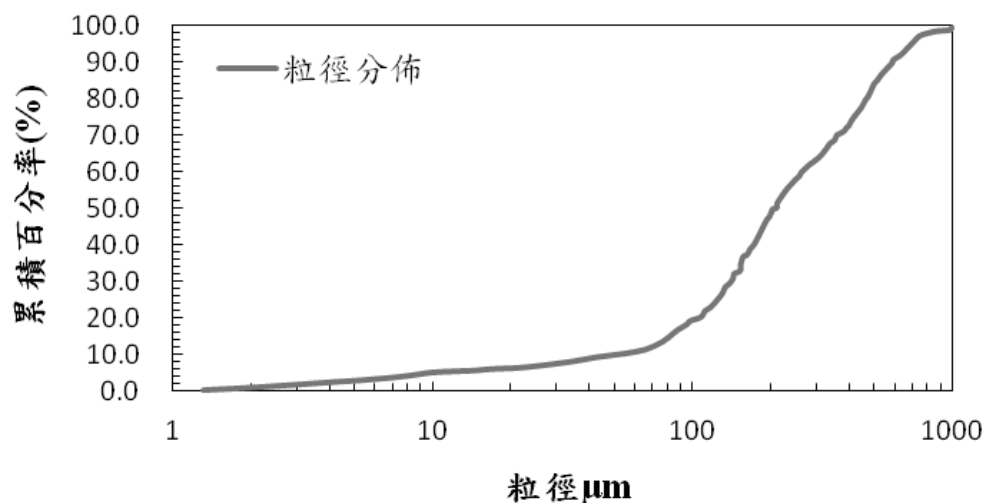


圖 3.13 編籬定沙區沙粒粒徑分佈 ($d_{50} = 0.212mm$)

3.3.4 飛沙越堤量測

本研究為了探討臺中港北淤沙區越堤之沙量，本試驗於北防沙堤以及北防波堤分別進行飛沙量越堤試驗，如圖 3.14 所示；北防沙堤採樣寬度 50 m、間隔 12.5 m、方向朝北如圖 3.15 所示，北防波堤採樣寬度 50 m、間隔 12.5 m、方向朝北如圖 3.16 所示。試驗時間為(2012 年 2

月 16 日 13 時至 18 時、2012 年 2 月 17 日 13 時至 18 時、2012 年 5 月 20 日 12 時至 16 時、2012 年 5 月 24 日 12 時至 18 時)。

表 3-4 北防沙堤飛沙越堤試驗座標

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

表 3-5 北防波堤飛沙越堤試驗座標

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



圖 3.14 飛沙越堤試驗地點對應圖

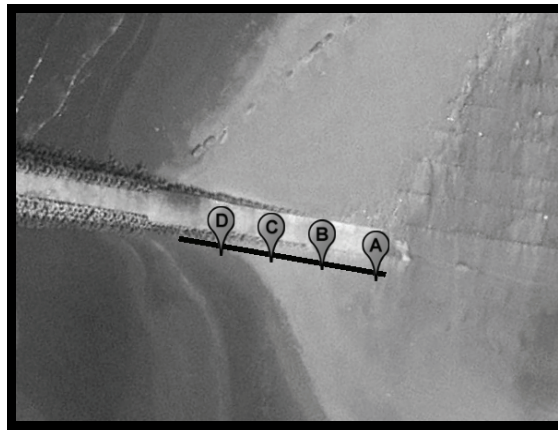


圖 3.15 北防沙堤飛沙越堤試驗地點圖

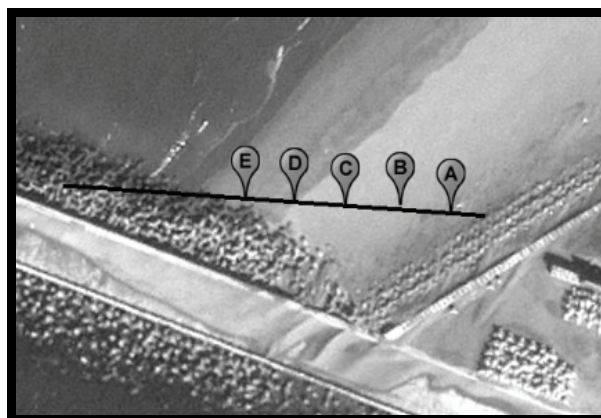


圖 3.16 北防波堤飛沙越堤試驗地點圖

3.3.5 空氣品質監測

為了探討臺中港北淤沙區風速、飛沙量與空氣品質間之關係，本試驗於擋風牆外圍(A 點位)及北防波堤堤址(B 點位)分別進行空氣品質監測如圖 3.17 所示。試驗時間為(2012 年 9 月 5 日 12 時至 14 時、2012 年 10 月 08 日 13 時至 15 時)，以一般成人呼吸口平均高度 1.5 m 為監測高度，監測項目以 TSP (總懸浮微粒)、 PM_{10} (粒徑 10 微米以下之細微粒)及 $PM_{2.5}$ (粒徑 2.5 微米以下之細微粒)為主要觀測對象，並將監測濃度參考 PSI 空氣汙染指標，可得知該區域空氣品質對人類健康之影響。於實驗前進行零點校正、採樣口之清潔及更換過濾海綿，座標如表 3-6 所示。PSI 空氣汙染指標及人類健康之影響，如表 3-7 及表 3-8 所示。

表 3-6 北淤沙區沿岸空氣品質監測座標

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



圖 3.17 北淤沙區沿岸空氣品質監測對應圖

表 3-7 污染物濃度與污染副指標值對照表

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

資料來源：行政院環境保護署「統計資料庫」

表 3-8 PSI 值與健康影響

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

資料來源：行政院環境保護署

第四章 飛沙運移機制分析

4.1 垂直剖面風速特性

本研究根據 Prandtl 之對數法則，將臺中港區所做之試驗所測得之風速風向資料進行分析，並經由對數直線迴歸及相關係數分析所得直線方程式之迴歸係數 a 、 b 及相關係數 r 分別列於表 4-1。故可藉由此關係推算摩擦風速 U_* 及粗糙長度 Z_0 。

4.1.1 風速之垂直分佈之分析

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

$$U = 5.75 \times U_* \log \frac{Z}{Z_0} \dots\dots\dots (4-1)$$

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

$$Z_0 = 0.081 \times \log \frac{d}{0.18} \dots\dots\dots (4-2)$$

本研究根據 (Horickawa 與 Shen, 1960) 現地觀測結果顯示，白天約有 93% 之風速垂直分佈遵循對數法則，然而夜間由於熱氣層出現，對於對數法則無法充分地表現出風速之垂直分佈；因此，本研究針對白天時段進行飛沙觀測試驗。根據式(4-1)，在不同高度 Z 之風速 U ，可求得摩擦風速，風速垂直分佈與高度之對數呈直線關係，如式 (4-3)：

$$U = a + b \log Z \dots\dots\dots (4-3)$$

經由最小平方法求式(4-3)之常數 a 及迴歸係數 b 。在 Prandtl 之風速對數法則成立下，由式(4-1)與式(4-3)可得：

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

4.1.2 風速時序列分析

本研究風速觀測係利用於氣象觀測中，所使用之多層式時序列風速計進行風速量測，多層式時序列風速計設置高程為 0.2 m 、 0.5 m 、 1.0 m 、 1.5 m 以及 2.0 m ，量測時間為 10 min ，其時序表中之風向都以 N 為主，在飛沙的發生情況下，自地面至高度 2 m 範圍內之風速垂直分佈符合對數函數分布，本年度風速垂直分佈如圖 4.1～圖 4.8 所示。圖中結果顯示，試驗所得之風速垂直分佈皆呈現良好之對數關係， R^2 介於 $0.838\sim 0.995$ 之間。由於大氣風賦予沙粒之初始動能，並促使沙粒產生運移，躍動之沙粒將大幅改變風速剖面(Zhang and Lee, 2007)。

4.1.3 風速 $U_{0.2}$ 與摩擦風速 U_* 之影響

往昔學者針對飛沙量之影響因子，都以摩擦風速 U_* 代表 (Bagnold, 1954；江和張, 1978)，由於前人所做試驗多為試驗室所的資料，對於野外所得之試驗經由吳(2006) 研究指出，為此因子將難以表示為風速垂直變化之最好指數。本研究所推算之摩擦風速 U_* 與 $U_{0.2}$ 風速之關係如圖 4.9 所示，摩擦風速 U_* 與 $U_{0.2}$ 風速之相關性極低，此結果與吳(2006)相同。因此，本研究以 0.2 m 高之 $U_{0.2}$ 風速作為影響飛沙量傳輸之主要因子，並由現場試驗所得摩擦風速，於(Bagnold, 1954)沙面上風速垂直分佈圖中，對應高程 0.1 m 之門檻值風速 U_t 為 $3.2\text{ m/s}\sim 4.3\text{ m/s}$ 之間。吳(1965)於新疆塔里木盆地布谷里沙漠地區，使用染色沙進行多次試驗觀測得知，沙粒粒徑 $0.10\sim 0.25\text{ mm}$ 、 $0.25\sim 0.50\text{ mm}$ 於離地高度 2.0 m 之啟動風速 U_t 分別為 4.0 m/s 及 5.6 m/s 。

4.1.4 風速 $U_{0.2}$ 與粗糙長度 Z_0 之影響

本研究之現地粗糙長度，除了兩點測得結果介於 $0.0006\sim 0.0003$ 之間外大多低於 0.0004 ，本研究對於地表之粗糙長度 Z_0 與 $U_{0.2}$ 風速建立關係如圖 4.10 所示，圖中顯示，粗糙長度 Z_0 與 $U_{0.2}$ 風速並無高度相關性存在，此結果與吳(2006)相同。

表 4-1 風速觀測分析

Data	No.	Wind velocity at 5 height					a			r	U_* (m/s)	Z_0 (m)	Wind direction
		0.2 m	0.5m	1 m	1.5 m	2.0m							
2011/04/19	1	5.63	8.36	9.22	9.37	12.22	9.536	2.394	0.938**		0.416	1.039E-04	N
	2	6.45	8.14	9.79	11.46	14.02	10.69	3.02	0.953**		0.525	2.886E-04	N
	3	6.45	8.14	9.79	11.46	14.02	10.69	3.02	0.953**		0.525	2.886E-04	N
	4	6.45	8.14	9.79	11.46	14.02	10.69	3.02	0.953**		0.525	2.886E-04	N
2011/05/11	5	3.41	3.69	5.81	6.71	8.1	6.033	2.032	0.942**		0.353	1.074E-03	N
	6	4.3	4.85	5.69	6.12	6.71	5.78	1.025	0.981**		0.178	2.296E-06	N
	7	6.2	6.6	7.55	8.44	8.74	7.784	1.157	0.965**		0.201	1.872E-07	N
	8	6.39	6.62	8.25	8.69	9.03	8.098	1.254	0.956**		0.218	3.485E-07	N
2012/02/17	9	10.1	11.3	12.3	12.6	13.1	12.191	2.959	0.995**		0.514	7.58E-05	N
	10	9.7	10.8	11.9	12.1	12.5	11.695	2.821	0.989**		0.489	7.15E-05	N
	11	10.2	11.6	12.3	12.8	14.1	12.565	3.492	0.944**		0.607	4.74E-06	N
	12	10.1	11.3	12.2	13.1	13.9	12.503	3.661	0.975**		0.637	3.84E-04	N
2012/05/10	13	9.8	11.3	11.8	12.2	12.7	11.845	2.730	0.976**		0.474	4.15E-05	N
	14	9.8	11.2	12.1	13	13.9	12.468	3.910	0.978**		0.680	5.72E-04	N
	15	9.7	9.9	10.5	11.0	11.6	10.780	1.871	0.865**		0.325	1.73E-06	N
	16	9.8	10.2	10.3	10.8	11.4	10.643	1.386	0.838**		0.241	2.10E-08	N

a 、 b ：迴歸係數； r ：相關係數；**： $p < 0.01$

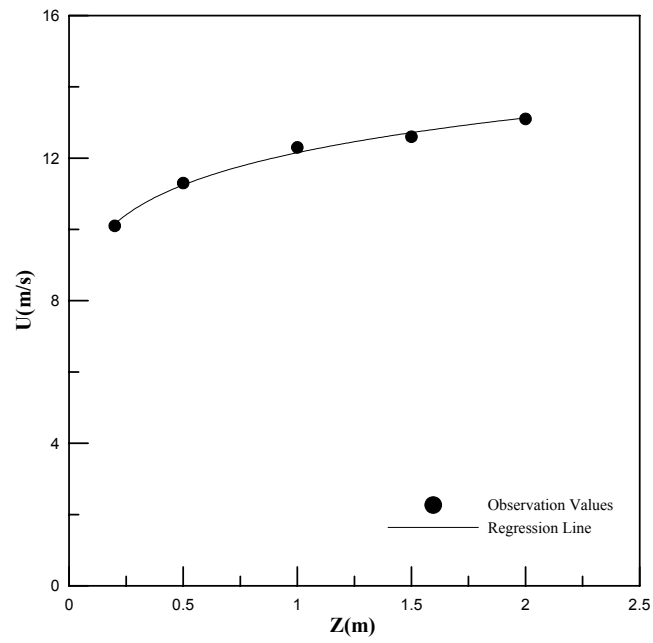


圖 4.1 觀測點 9 垂直剖面風速圖

$$(U = 2.959 \log(Z) + 12.1895, R^2 = 0.995)$$

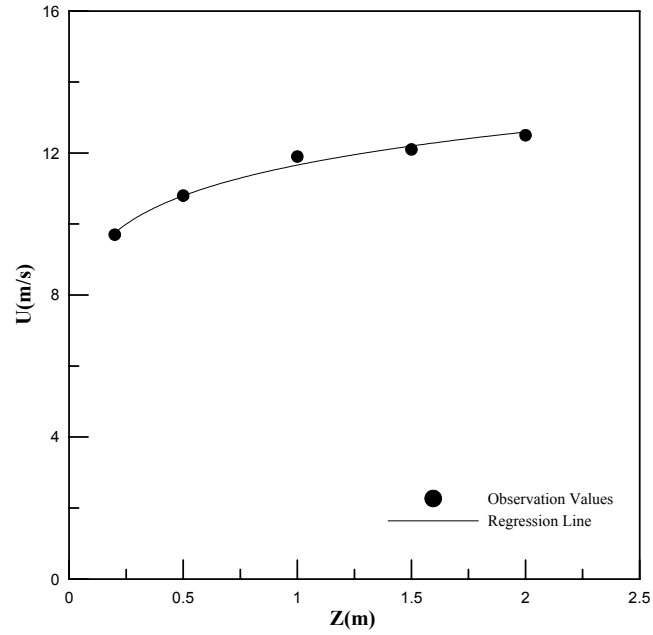


圖 4.2 觀測點 10 垂直剖面風速圖

$$(U = 2.8210 \log(Z) + 11.6951, R^2 = 0.989)$$

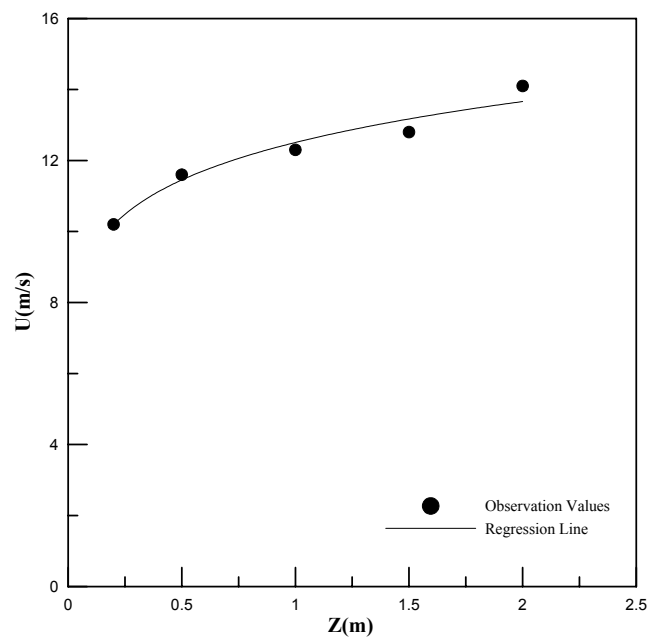


圖 4.3 觀測點 11 垂直剖面風速圖

$$(U = 3.4922\log(Z) + 12.5651, R^2 = 0.944)$$

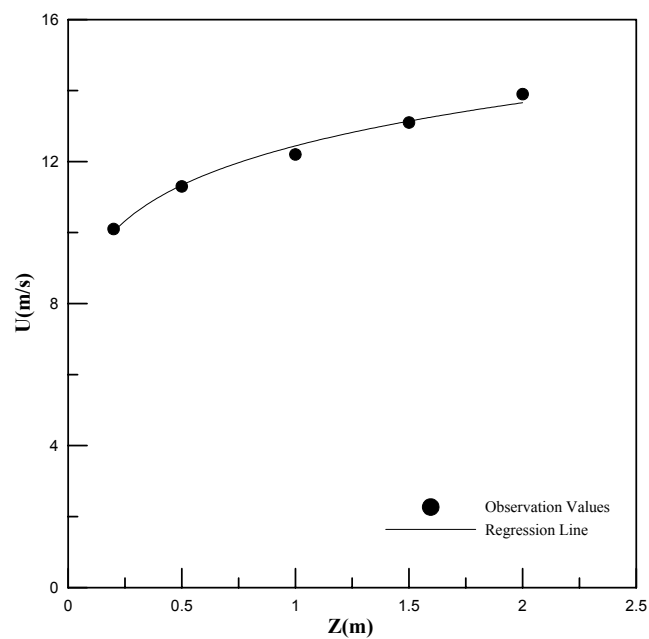


圖 4.4 觀測點 12 垂直剖面風速圖

$$(U = 3.6612\log(Z) + 12.5031, R^2 = 0.975)$$

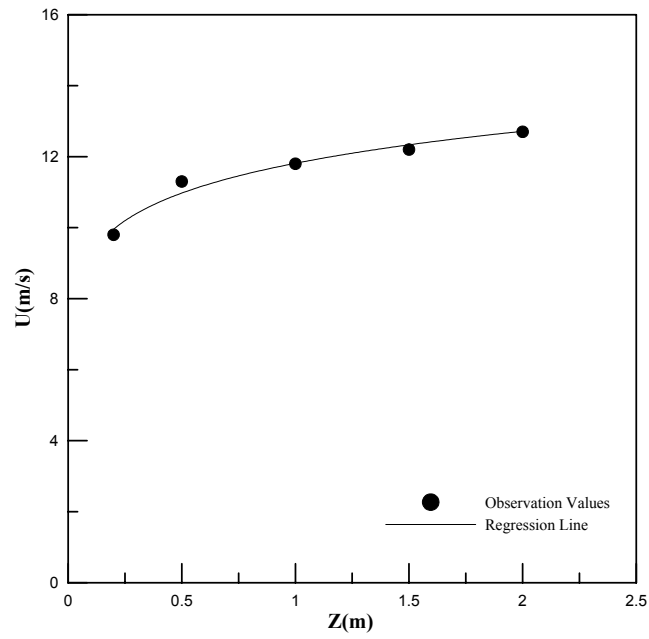


圖 4.5 觀測點 13 垂直剖面風速圖

$$(U = 2.7308 \log(Z) + 11.8455, R^2 = 0.976)$$

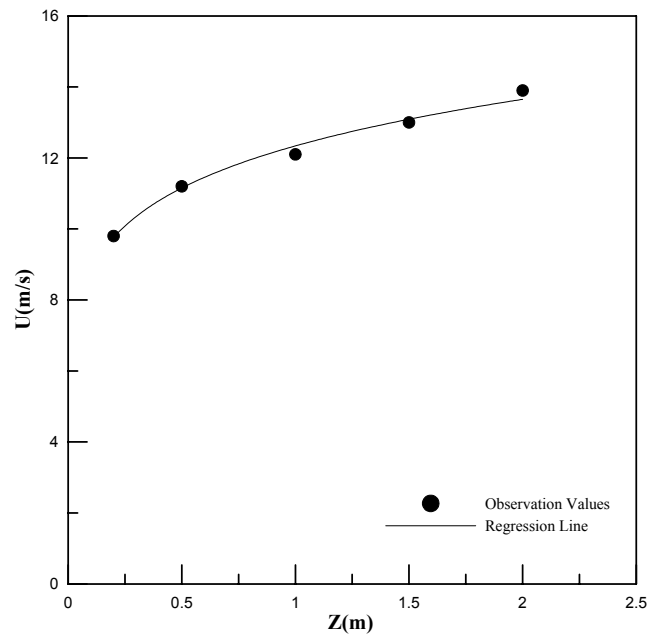


圖 4.6 觀測點 14 垂直剖面風速圖

$$(U = 3.9109 \log(Z) + 12.4689, R^2 = 0.978)$$

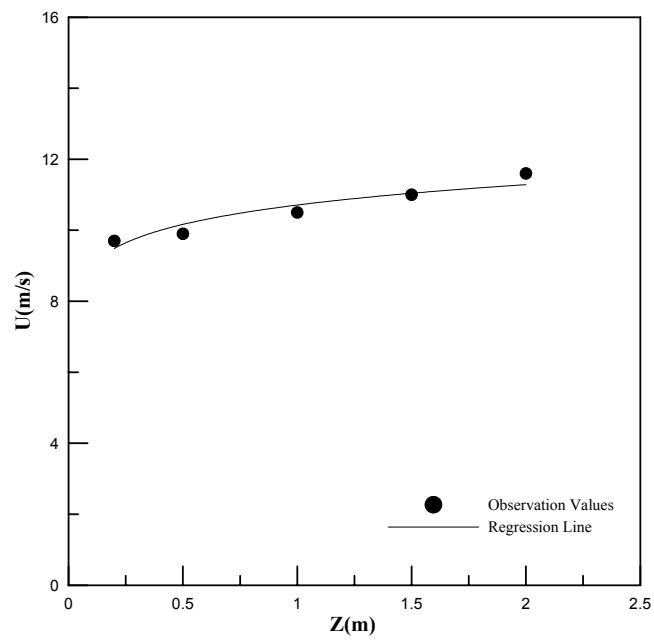


圖 4.7 觀測點 15 垂直剖面風速圖

$$(U = 1.8175 \log(Z) + 10.7805, R^2 = 0.8651)$$

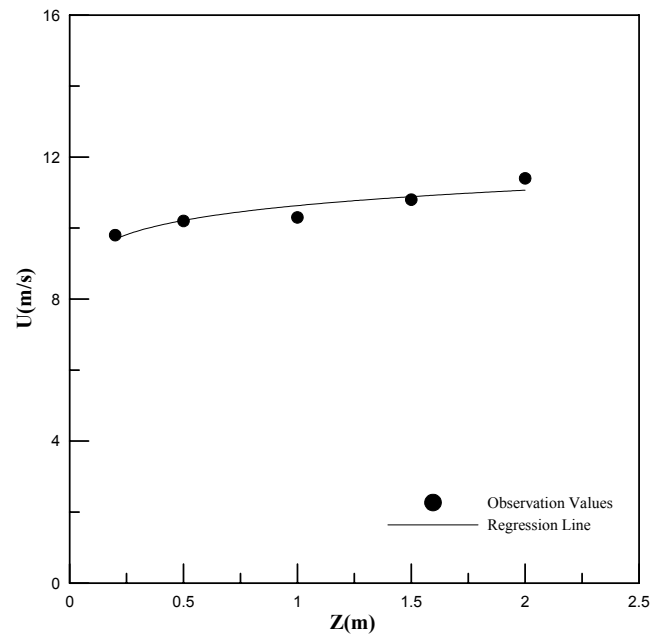
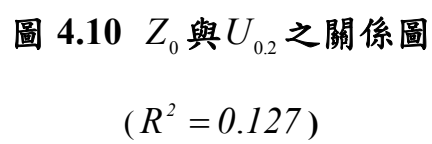
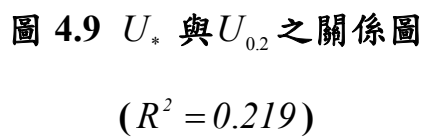


圖 4.8 觀測點 16 垂直剖面風速圖

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



4.2 飛沙移動公式

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

4.2.1 飛沙量 Q 與風速 $U_{0.2}$ 之關係

由於風速為沙粒驅動之主要因子，因此本研究係以高程 0.2 m 之風速為探討飛沙量之依據，並將吳(2006)現地量測數據一同進行飛沙量與高程 0.2 m 之風速關係分析，資料列於表 4-2 所示。經由指數迴歸分析後，所求得下列飛沙量與風速 $U_{0.2}$ 之方程式：

$$Q_{0.2} = 0.715e^{0.1956 U_{0.2}}, R^2 = 0.844 \dots\dots\dots (4-5)$$

式中 Q ：飛沙量 ($g/m-s$)； $U_{0.2}$ ：高程為 0.2 m 之風速 (m/s)，其關係如圖 4.11 所示。對應表 4-2 及圖 4.11 可知，在相同風速下，有不同之沙量發生，其原因可能受到含水率及其它參數影響。

若進一步增加考量影響海岸飛沙之參數為風速 $U_{0.2}$ 、含水率 ω 及摩擦風速 U_* 情況下，比較飛沙量推估以風速作為單一因子和考量風速、含水率及摩擦風速下對實測值之誤差，其分析結果更能與實測值相接近， R^2 可達到 0.9142。

$$Q_{0.2} = 0.06(U_{0.2} - 2.274(\omega)^{0.491-0.642(U_*)^{4.662}})^{2.033}, R^2 = 0.914 \dots\dots\dots (4-6)$$

式中 Q ：飛沙量 ($g/m-s$)； $U_{0.2}$ ：高程為 0.2 m 之風速 (m/s)； U_* 為摩擦風速； $\omega(\%)$ 為沙粒含水率。藉由非線性迴歸統計分析得知，以 $Q(\omega, U_{0.2}, U_*)$ 推估飛沙量較只單一考量 $Q(U_{0.2})$ 結果較為準確，如圖 4.12 所示。

表 4-2 飛沙量試驗資料

飛砂量 $Q(g/m-s)$	風速 $U_{0.2}(m/s)$	含水率 $\omega(\%)$	中值粒徑 $d_{50}(mm)$	摩擦風速 $U_*(m/s)$	$Q(\omega, U_{0.2}, U_*)$ 推估式(4-6)	$Q(U_{0.2})$ 推估式(4-5)
吳(2006)						
7.72	11.37	0.1	0.23	0.52	7.36	6.65
6.25	11.08	0.12	0.22	0.65	6.79	6.28
6.21	10.8	0.13	0.24	0.69	6.33	5.94
6.31	10.65	0.13	0.23	0.44	6.27	5.77
7.29	11.16	0.12	0.22	0.53	6.97	6.38
7.75	11.57	0.12	0.23	0.73	7.37	6.91
8.66	12.14	0.1	0.22	0.70	8.35	7.73
8.55	12.18	0.1	0.23	0.68	8.43	7.79
8.74	12.43	0.14	0.22	0.69	8.60	8.18
8.11	12.09	0.1	0.22	0.70	8.27	7.65
8.70	12.66	0.09	0.22	0.71	9.19	8.55
8.53	12.35	0.09	0.23	0.77	8.61	8.05
8.38	12.02	0.15	0.22	0.44	8.10	7.55
8.08	11.83	0.1	0.22	0.54	8.02	7.27
8.41	12	0.12	0.25	0.63	8.11	7.52
7.81	11.65	0.13	0.23	0.56	7.60	7.02
6.79	11.32	0.14	0.24	0.55	7.10	6.58
4.83	9.48	0.11	0.26	0.54	4.89	4.59
4.29	9.64	0.11	0.25	0.56	5.07	4.74
4.22	9.79	0.13	0.24	0.63	5.13	4.88
本所臺灣技術研究中心						
3.96	10.69	1.2	0.24	0.55	4.36	5.82
4.53	11.15	0.5	0.23	0.48	5.92	6.37
6.78	11.36	0.9	0.23	0.53	5.51	6.63
4.68	11.09	0.6	0.24	0.52	5.66	6.29
4.29	10.05	0.9	0.23	0.34	4.03	5.13
4.26	10.52	1.2	0.24	0.49	4.18	5.63
5.22	10.4	0.9	0.23	0.43	4.92	5.45
2.19	4.91	0.13	0.27	0.42	1.04	1.88
2.07	4.87	0.12	0.26	0.45	1.04	1.86

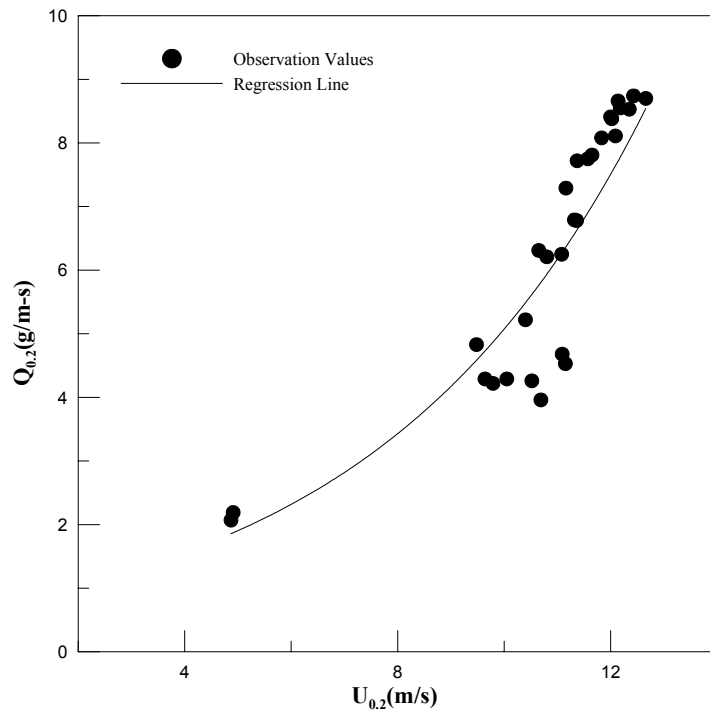


圖 4.11 $Q_{0.2}$ 與 $U_{0.2}$ 之關係圖

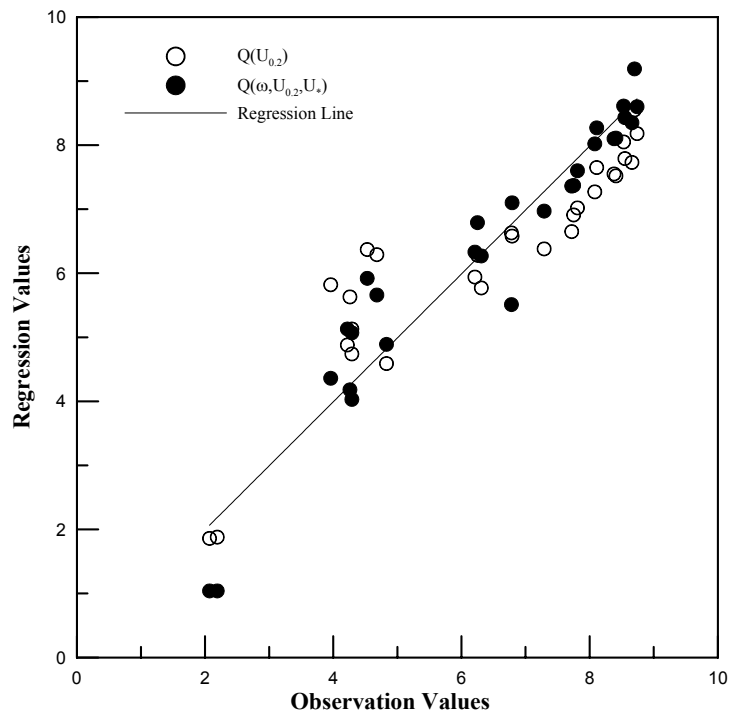


圖 4.12 實測值與推估值之分析結果

4.2.2 飛沙量 Q 與垂直高程 Z 之關係

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

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

由上式得知，垂直高程與飛沙量呈現指數關係，隨高度增加迅速遞減。移動範圍在高程 0.2 m 以下有較多之飛沙量，高程高於 0.2 m 以上則急遽減少。如圖 4.13 可知 Q_0 飛沙量佔總飛沙量的 67.6%、 $Q_{0.1}$ 飛沙量為總量 20.1%、 $Q_{0.2}$ 為總量 7.2%、 $Q_{0.3}$ 為總量 2.6%、 $Q_{0.4}$ 為總量 1.1%、 $Q_{0.5}$ 至 $Q_{0.9}$ 飛沙量均為總量 0.1%~0.5%之間。

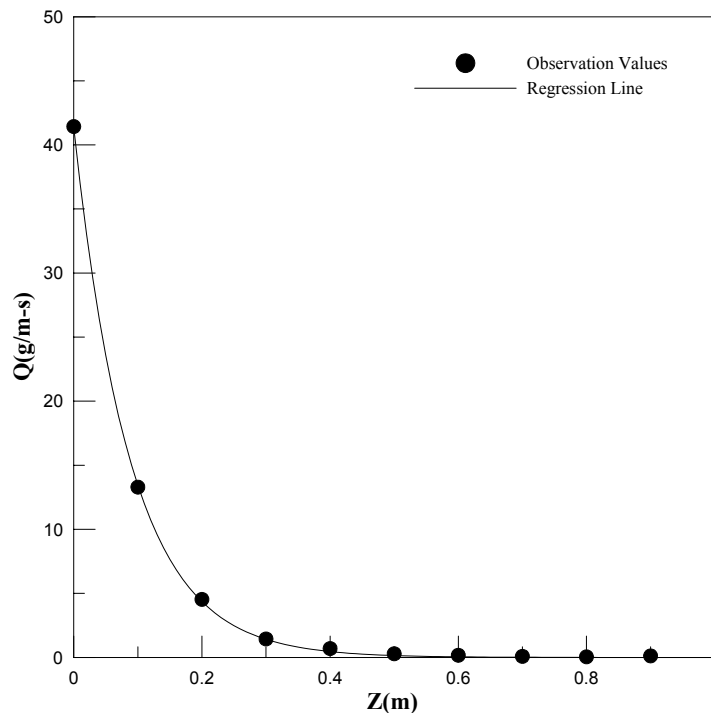


圖 4.13 Q 與 Z 之關係圖

4.2.3 飛沙量 Q 與沙粒含水率 ω 之關係

由於裸露在表層之沙粒含水率是影響風沙運移之重要因素，故本研究將探討沙粒含水率 ω 與飛沙運移之狀況。沙粒含水率 ω 及飛沙量 Q 之資料對應表 4-2，經由線性迴歸分析後，其相關性極低，結果如圖 4.14 所見。沙粒含水率 ω 於 0.2% 以下時，飛沙量 Q 與沙粒含水率 ω 呈不顯著相關，其因素可能為當下飛沙量主要受到風速影響較大，而當含水率上升時，風速對飛沙量之影響逐漸轉弱。沙粒含水率 ω 於 1.2% 時呈現負相關；並依據范(2010)研究指出當含水率達 0.77% 以上時，將抑制沙粒移動。

$$Q_{0.2} = -2.411\omega + 7.061, R^2 = 0.178 \dots \dots \dots (4-8)$$

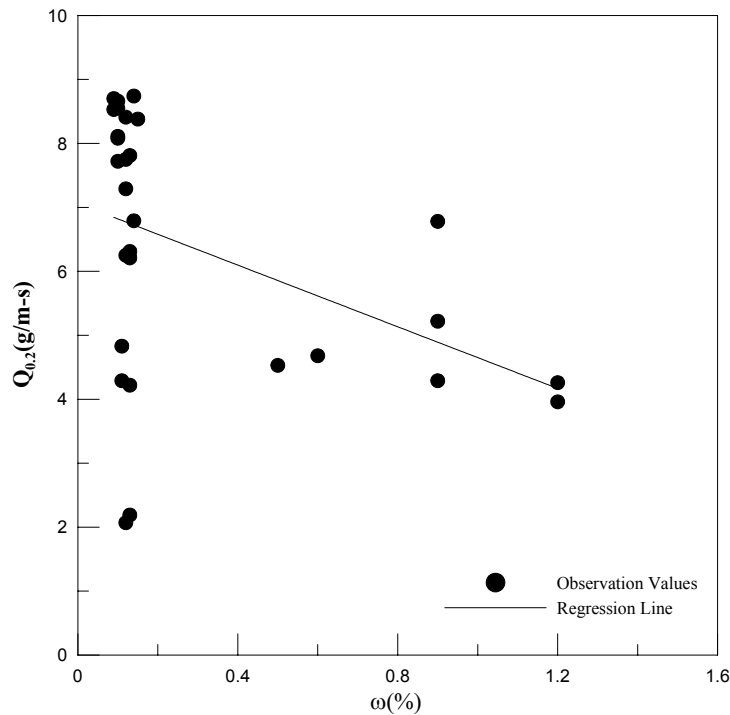


圖 4.14 $Q_{0.2}$ 與 ω 之關係圖

4.2.4 飛沙量 Q 與中值粒徑 d_{50} 之關係

本研究飛沙量 Q 與中值粒徑 d_{50} 之關係，係利用北防波堤北側沙灘區沙粒特性做為探討，並由圖 4.15 得知收集之飛沙量中值粒徑分佈範

圍為 $0.21\text{ mm} \sim 0.26\text{ mm}$ 之間，而由式 4-9 得知飛沙量與中值粒徑呈現負相關。

$$Q_{0-0.2} = -735.3d_{50} + 189.2, R^2 = 0.273 \dots \dots \dots (4-9)$$

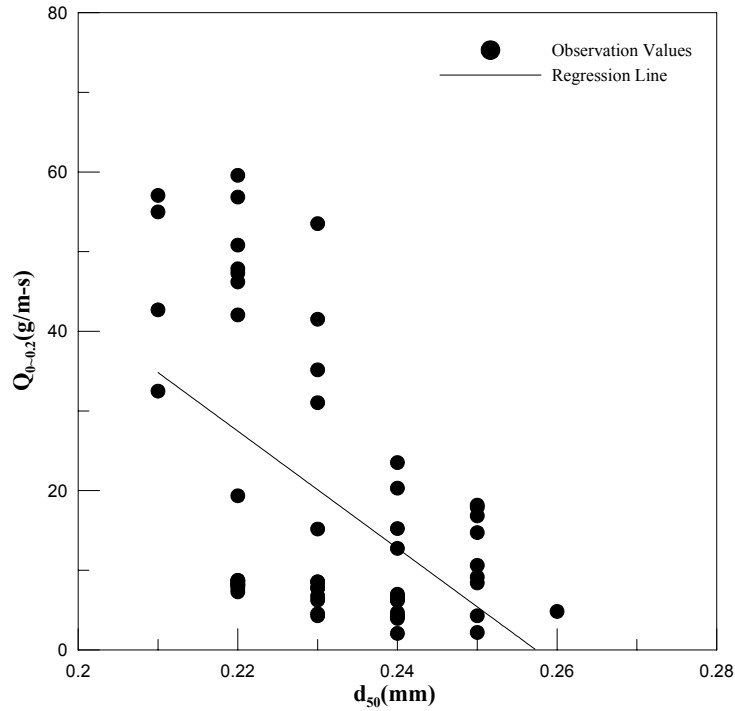


圖 4.15 $Q_{0-0.2}$ 與 d_{50} 之關係圖

4.3 飛沙量推估

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

4.3.1 年飛沙量推估

本研究以現地試驗方式建立臺中港北淤沙區沙灘區風速與本所港灣技術研究中心臺中港外海堤頭測站風速之關係，如圖 4.16 顯示，臺中港北淤沙區沙灘區之風速 $U_{0.2}$ 與本所港灣技術研究中心

臺中港外海堤頭測站風速 U_{10} 相關性高，並由式 4-9 得知沙灘區之風速 $U_{0.2}$ 為外海堤頭測站風速 U_{10} 之 0.7 倍。

$$U_{10} = 1.42U_{0.2}, R^2 = 0.983 \dots \dots \dots (4-10)$$

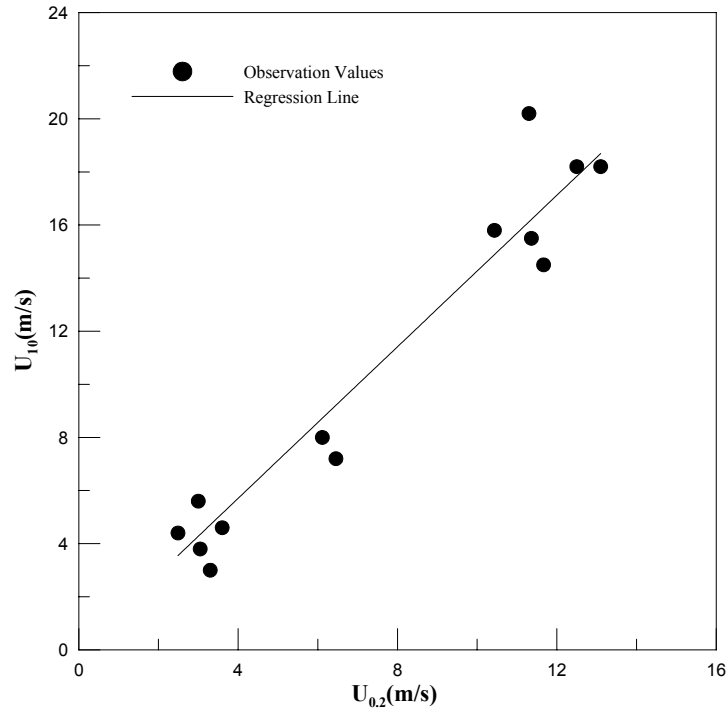


圖 4.16 外海風速 U_{10} 與沙灘區風速 $U_{0.2}$ 之關係圖

由前述章節本所港灣技術研究中心所得之 2001 年至 2010 年氣象資料，推估臺中港區北淤沙區飛沙量。研究中，以各風速區間 $<5\text{ m/s}$ 為 5 m/s 、 $5\sim 10\text{ m/s}$ 為 8 m/s 、 $10\sim 15\text{ m/s}$ 為 13 m/s 、 $>15\text{ m/s}$ 為 17 m/s ，利用式 4-5 算各風速之飛沙量 $Q_{0.2}$ ，各飛沙量 $Q_{0.2}$ 乘上各風速區間比例，乘上風向 N~E 向佔之比例，乘上非降雨天數比例，除上沙粒密度($2.65 \times 10^6\text{ g/m}^3$)，以 2001 年飛沙量估算為例 $\sum_{U_{0.2}=5}^{17} Q_{0.2}(U_{0.2}) = 3.939\text{ g/m-s}$
 $\times 0.662 \times (365 - 93.6) / 365 / (2.65 \times 10^6) \times 86400 \times 365 = 23.08\text{ m}^3/\text{m-year}$ 如表 4-3 所示。若以飛沙量關係式推估高程 $Z = 0.2\text{ m}$ 之沙量，2001 年至 2010 年飛沙量約在 $18.55\sim 41.59\text{ m}^3/\text{m-year}$ 之間，平均值為 $24.03\text{ m}^3/\text{m-year}$ 。將飛沙垂直分佈關係 $Z=0.2\text{ m}$ 之飛沙量為

總飛沙量 7.2%代入平均值飛沙量約為 $333.75 m^3 / m - year$ ，所得結果與吳(2006)推算臺中港北淤沙區實測飛沙估算量，2005 年 11 月至 2006 年 1 月期間堆沙量 $73.568 m^3 / m$ ，換算後每月約為 $24.52 m^3 / m - month$ 較本研究換算每月平均 $27.81 m^3 / m - month$ 低，與本研究之估算量結果相近。

表 4-3 臺中港北淤沙區飛沙量推估

年份	風速 <5 m/s (%)	風速 5~10 m/s (%)	風速 10~15 m/s (%)	風速 >15 m/s (%)	風向 N~E (%)	飛沙量推估 $Z = 0.2m$ $m^3 / m - year$
2001	53.6	27.5	16.6	2.4	66.2	23.08
2002	59.2	26.0	8.9	5.9	59.3	20.97
2003	60.0	26.7	12.5	0.8	62.6	18.55
2004	57.7	29.6	12.3	0.4	65.2	19.07
2005	60.2	25.2	13.2	1.4	62.1	19.15
2006	57.5	28.8	12.0	1.8	64.3	20.07
2007	59.6	26.3	12.5	1.7	60.6	18.81
2008	32.2	32.9	15.3	19.7	55.8	34.79
2009	60.6	21.2	11.6	6.4	65.2	24.26
2010	28.7	30.6	20.4	20.3	62.8	41.59
平均	55.6	27.1	12.8	4.5	62.4	24.03

4.3.2 越堤飛沙量推估

本研究於北防波堤北側進行飛沙調查，量測方式為陣列式雙層擺設，如圖 3.15 所示，表 4-4 為所量測到的高程飛沙量百分比，而表 4-5 為不同監測位置不同高程的量測結果，表中顯示在垂直分佈特性上，在位置 E 點(不受結構物影響)量測結果所得 $Q_{0.1}/Q_0$ 比值較其它點位大，表示此位置點沙量移動方式為表層移動。B 點位置沙量比例較接近沙灘區量測值，C 點及 D 點由測得飛沙量顯示，C 點及 D 點沙粒移動之方式以懸浮移動比例居多。而位置 A 之表層飛沙量較其它點位差異較大，其探討之原因可能是風力受到防風柵欄之影響，導致飛沙量之收集量較其它點位少。

在北防沙堤南側飛沙越堤量測位置如圖 3.14 所示，量測結果如表 4-6 所示，北防沙堤南側堤址附近處之越沙量，在垂直分佈特性，位置 A~D 量測結果所得 $Q_{0.1}/Q_0$ 之比值較北防波堤北側量測結果為小，表示此區域懸浮移動之沙粒較北防波堤北側較多，其原因可能受北防沙堤與地形影響產生飛沙溢散之現象。而位置 D 之表層飛沙量較其它點位差異較大，原因為位置 D 設置較靠近潮間帶區，測得之沙粒含水率較其它位置高，而測得之飛沙量相對與其它位置易受影響。

表 4-4 北防波堤堤址飛沙量測各高程飛沙量百分比

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

表 4-5 北防波堤堤址飛沙越堤量測 Q_0 、 $Q_{0.1}$ 高程飛沙量(g/m-s)

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

表 4-6 北防沙堤堤址飛沙越堤量測 Q_0 、 $Q_{0.1}$ 高程飛沙量(g/m-s)

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

第五章 飛沙量與空氣品質相關性探討

5.1 大甲溪河口飛沙對 PM_{10} 之影響

本研究依據范(2010)與吳(2006)研究結果得知，大甲溪河口與臺中港北淤沙區之海岸飛沙粒徑相似均介於為 $0.22\text{ mm} \sim 0.31\text{ mm}$ 之間，其資料如表 5-1 所示。因此，為探討臺中港北淤沙區的飛沙量 Q 與 PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 之關係，本研究係以大甲溪河口飛沙量 Q 與 PM_{10} 觀測值之總飛沙量與揚塵量如表 5-1 所示，進行迴歸分析，並求得出飛沙量 Q 與 PM_{10} 之方程式與相關性，關係式如式 5-1 所示。經由圖 5.1 結果分析，飛沙量 Q 與 PM_{10} 呈指數關係，而 PM_{10} 隨飛沙量之增加明顯增大。

$$PM_{10} = 380.33 Q^{0.1587}, R^2 = 0.931 \dots\dots\dots (5-1)$$

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

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

經由式(5-1)之迴歸結果，本研究前述章節所得之飛沙量迴歸式進行 PM_{10} 推估，求得 PM_{10} 與高程 0.2 m 之風速關係式，如式(5-2)所示。由圖 5.2 結果顯示，推估之 PM_{10} 濃度範圍為 $420\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 1600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 當風速 $U_{0.2}$ 大於 11 m/s 時， PM_{10} 濃度將急遽上升。

$$PM_{10} = 176.92 e^{0.163 U_{0.2}}, R^2 = 0.844 \dots\dots\dots (5-2)$$

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

$U_{0.2}$ ：高程為 0.2 m 之風速(m/s)。

表 5-1 大甲溪河口飛沙量與 PM_{10} 觀測值(范，2010)

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

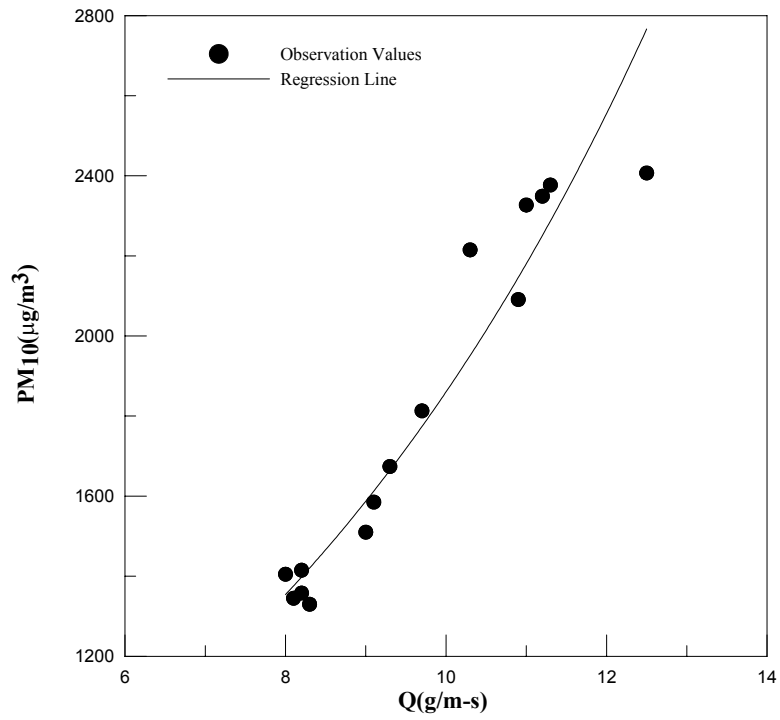


圖 5.1 大甲溪河口飛沙量與 PM_{10} 之分析結果(范，2010)

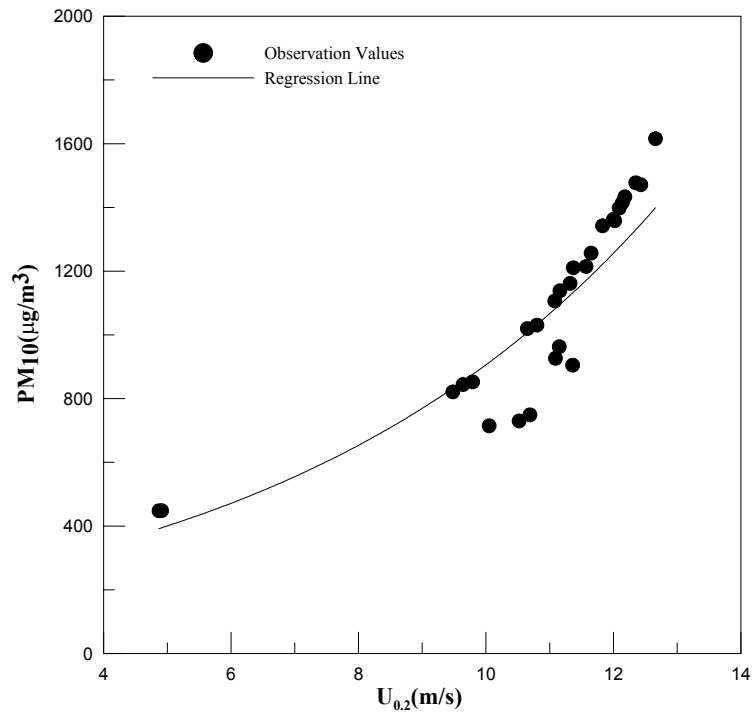


圖 5.2 $U_{0.2}$ 與 PM_{10} 之分析結果

5.2 北淤沙區飛沙對臺中港區之 PM_{10} 之影響

本研究針對臺中港區空氣品質與飛沙量間之關係進行研究，研究中以大甲溪河口飛沙量 Q 與 PM_{10} 之關係，建立臺中港區 PM_{10} 與風速之關係。臺中港區歷年環境調查監測分析之空氣品質監測結果，如表 5-2 所示，藉由監測資料比對，顯示相同風速下北淤沙區 PM_{10} 約為臺中港 PM_{10} 濃度之 4.8 倍。並由測站風速和北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值 α 之分析結果得知，北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值 α 為測站風速的 1.462 倍，其相關性為 0.931，如圖 5.3 所示。

由於臺中港位於大甲溪河口區南側，若進一步考慮風向對臺中港所造成之影響，故以 NNW、N、NE、NW 為考慮風向之條件下進行分析。經由表 5-3 所示，藉由監測資料比對，顯示相同風速下北淤沙區 PM_{10} 約為臺中港 PM_{10} 濃度之 4.0 倍。由測站風速和北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值 α 之分析結果得知，北淤沙區與中突堤 PM_{10} 比值 α 為測站風速的 1.247 倍，其相關性為 0.953，如圖 5.4 所示。

經由以上分析結果得知，當 α 平均值為 4.0 倍時相關性為 0.953，較 4.8 倍高。因此， PM_{10} 推估在考量風向條件下較為準確，故可得知上游端(北淤沙區 PM_{10})為臺中港區 PM_{10} 量約為 4.0 倍，關係如式 5-3 所示。

$$PM_{10} = (176.92e^{0.163U_{0.2}}) / \alpha \dots\dots\dots (5-3)$$

式中 PM_{10} ：懸浮微粒 ($\mu g/m^3$)； U ：為測站風速(m/s)。

表 5-2 中突堤 89~100 年間空氣品質監測結果

中突堤測站資料				測站風速利用式 (5-2)所得北淤沙 區 PM_{10} 推估值	北淤沙區與中 突堤 PM_{10} 比值(α)
日期	最頻風向	風速(m/s) 日平均	$PM_{10}(\mu g/m^3)$ 日平均		
100.10.06	NW	3	68	288.8	4.3
100.08.03	NNW	1.6	72	229.8	3.2
100.05.01	NNE	2.4	58	261.8	4.5
100.03.11	NNE	1	60	208.3	3.5
99.08.08	W	1.8	68	237.4	3.5
99.02.22	N	1.9	70	241.3	3.5
98.10.09	NW	5.4	57	427.4	7.5
98.04.28	N	1.8	82	237.4	2.9
98.03.13	WNW	7.5	49	602.3	12.3
94.10.08	NNE	5.8	58	456.3	7.9
93.10.30	NW	5.8	70	456.3	6.5
93.08.04	ENE	2.6	43	270.5	6.3
93.05.18	NNW	4.2	79	351.3	4.5
93.03.24	NNE	4.9	38	393.9	10.4
92.10.20	NNE	2.2	74	253.4	3.4
92.09.15	WNW	2	78	245.3	3.1
92.05.19	ESE	3.1	44	293.6	6.7
92.02.25	ENE	5.1	75	407.0	5.4
91.11.26	NNE	1.6	83	229.8	2.8
91.09.20	NE	5.8	81	456.3	5.6
91.04.04	WNW	2.03	95	246.5	2.6
91.02.09	NE	2.92	79	285.0	3.6
90.11.25	E	1.92	58	242.1	4.2
90.08.25	NNW	2.44	66	263.6	4.0
90.04.10	NNW	2.36	103	260.1	2.5
90.01.30	NW	1.93	66	242.5	3.7
89.10.23	NNW	1.39	78	222.0	2.9
89.09.18	N	1.07	100	210.7	2.1
平均值		3.1	69.7	304.3	4.8

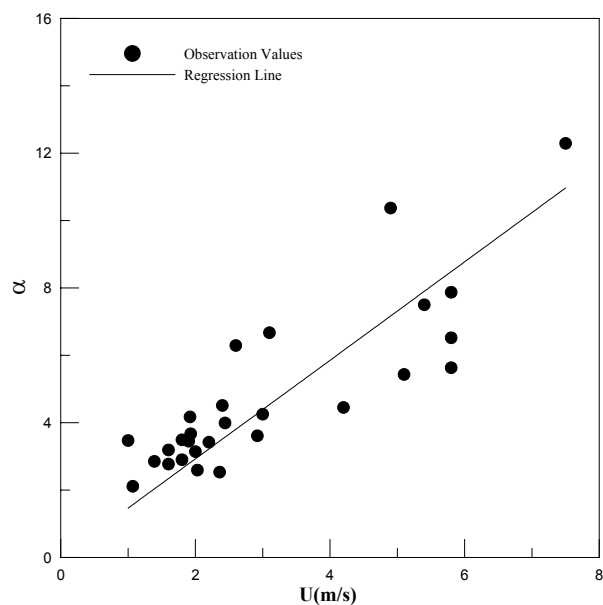


圖 5.3 測站風速 U 與 PM_{10} 比值之分析結果

$$(\alpha = 1.462 U, R^2 = 0.931)$$

表 5-3 中突堤 90~100 年間空氣品質監測結果

中突堤測站資料				測站風速利用式 (5-2)所得北淤沙 區 PM_{10} 推估值	北淤沙區與中 突堤 PM_{10} 比值(α)
日期	最頻風向	風速(m/s) 日平均	$PM_{10}(\mu g/m^3)$ 日平均		
100.10.06	NW	3.0	68	288.8	4.3
100.08.03	NNW	1.6	72	229.8	3.2
99.02.22	N	1.9	70	241.3	3.5
98.10.09	NW	5.4	57	427.4	7.5
98.04.28	N	1.8	82	237.4	2.9
93.10.30	NW	5.8	70	456.3	6.5
93.05.18	NNE	4.2	79	351.3	4.5
91.09.20	NE	5.8	81	456.3	5.6
91.02.09	NE	2.92	79	285.0	3.6
90.08.25	NNW	2.44	66	263.6	4.0
90.04.10	NNW	2.36	103	260.1	2.5
90.01.30	NW	1.93	66	242.5	3.7
89.10.23	NNW	1.39	78	222.0	2.9
89.09.18	N	1.07	100	210.7	2.1
平均值		3.0	76.5	298.0	4.0

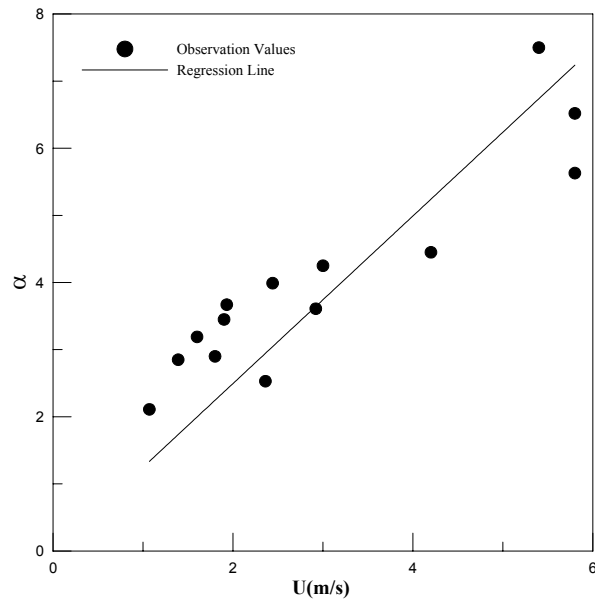


圖 5.4 測站風速與 PM_{10} 比值之分析結果

$$(\alpha = 1.247 U, R^2 = 0.953)$$

5.3 北淤沙區風速 U 、飛沙量 Q 對應空氣品質之關係

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

5.3.1 北淤沙區飛沙對擋風牆外圍區之空氣品質監測

北淤沙區沿岸地區(位置如圖 3.17 A 點所示)空氣品質監測結果如圖 5.5～圖 5.8 所示，風速區間： $1.5\text{ m/s} \sim 36.5\text{ m/s}$ 、平均風速： 3.5 m/s ；飛沙量 $8.8\text{ g}/\text{m-s} \sim 31.3\text{ g}/\text{m-s}$ 、平均飛沙量： $3.0\text{ g}/\text{m-s}$ ；TSP 監測濃度範圍： $67.5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 3355.7\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $191.2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ； PM_{10} 監測濃度範圍： $57.3\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim$

$333.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $132.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ； $\text{PM}_{2.5}$ 監測濃度範圍： $21.5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 34.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $27.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，由以上監測結果參考 PSI 值為 PSI(100)對應 PSI 值與健康影響為普通，而人體健康為對敏感族群健康無立即之影響。

5.3.2 北淤沙區飛沙對北防波堤堤址之空氣品質監測

北防波堤堤址北淤沙區沿岸地區(位置如圖 3.17 B 點所示)空氣品質監測結果如圖 5.9～圖 5.12 所示。風速區間： $3.1 \text{ m/s} \sim 7.4 \text{ m/s}$ 、平均風速： 5.9 m/s ；飛沙量： $13 \text{ g}/\text{m-s} \sim 2.4 \text{ g}/\text{m-s}$ 、平均飛沙量： $6.7 \text{ g}/\text{m-s}$ ；TSP 監測濃度範圍： $1296.1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 3130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $2024.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ； PM_{10} 監測濃度範圍： $653.5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 1659.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $928.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ； $\text{PM}_{2.5}$ 監測濃度範圍： $47.1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 72.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均濃度： $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，由以上監測結果參考 PSI 值(表 3-7)為 PSI (500)以上，對應 PSI 值與健康影響(表 3-8)為有害，而對應人體健康中於敏感族群方面，除了不適症狀顯著惡化並造成某些疾病提早病發，且將減低正常人的運動能力。

5.3.3 擋風牆外圍區與北防波堤堤址之空氣品質綜合結果比較

經由北防波堤堤址及擋風牆外圍之空氣品質監測結果顯示，北防波堤堤址之各項監測項目濃度值較高，而擋風牆外圍濃度值較低，顯示北防波堤堤址空氣品質易受飛沙及風場作用之影響。以平均值結果(表 5-4)得知，北防波堤堤址風速為擋風牆外圍之 1.8 倍、飛沙量為 2.2 倍，而各項監測項目 TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 分別為 10.6 倍、7.0 倍、2.1 倍。

表 5-4 北防波堤堤址及擋風牆外空氣品質監測結果

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

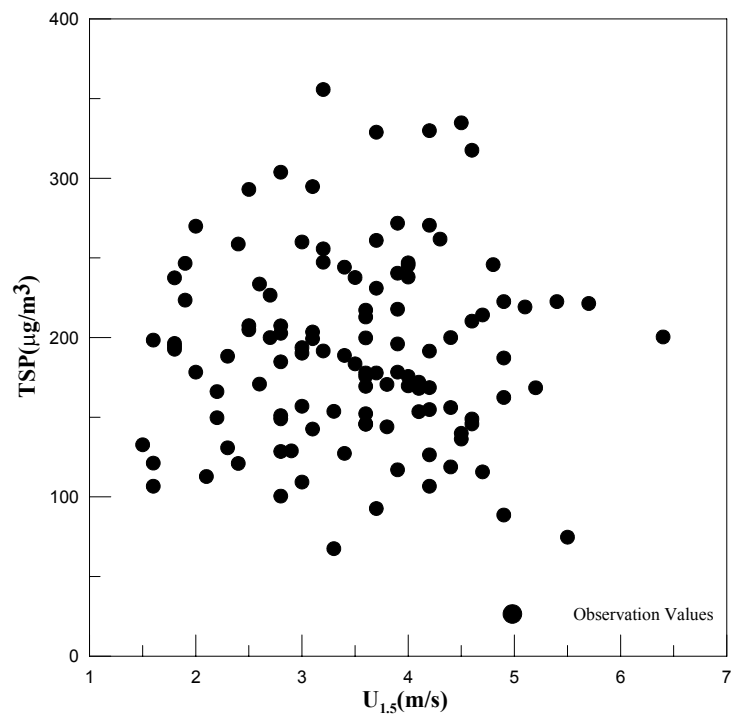


圖 5.5 擋風牆外圍 TSP 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果

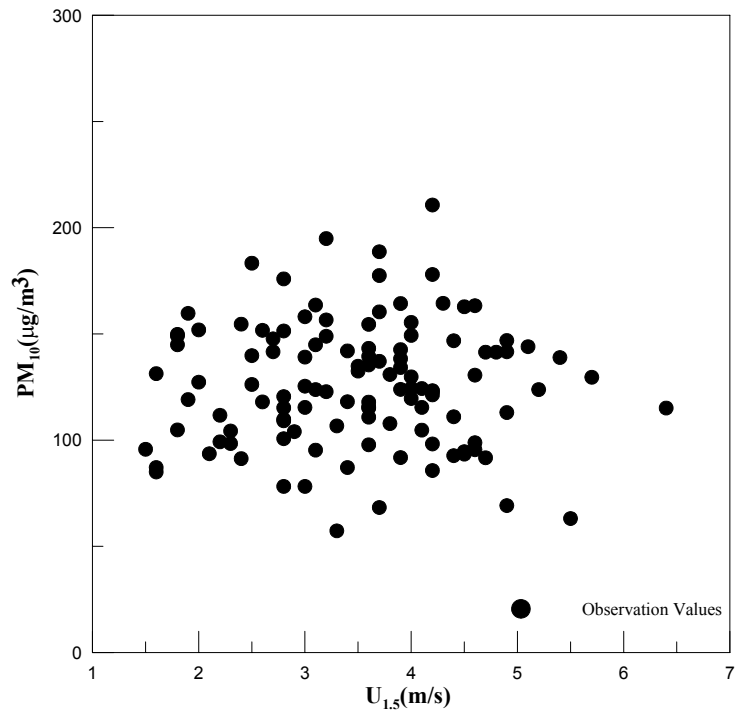


圖 5.6 擋風牆外圍 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果

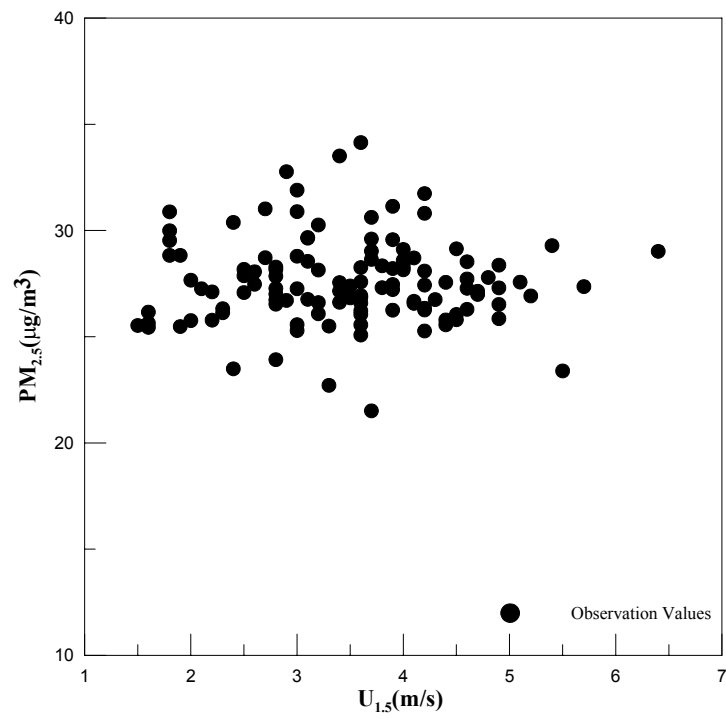


圖 5.7 擋風牆外圍 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果

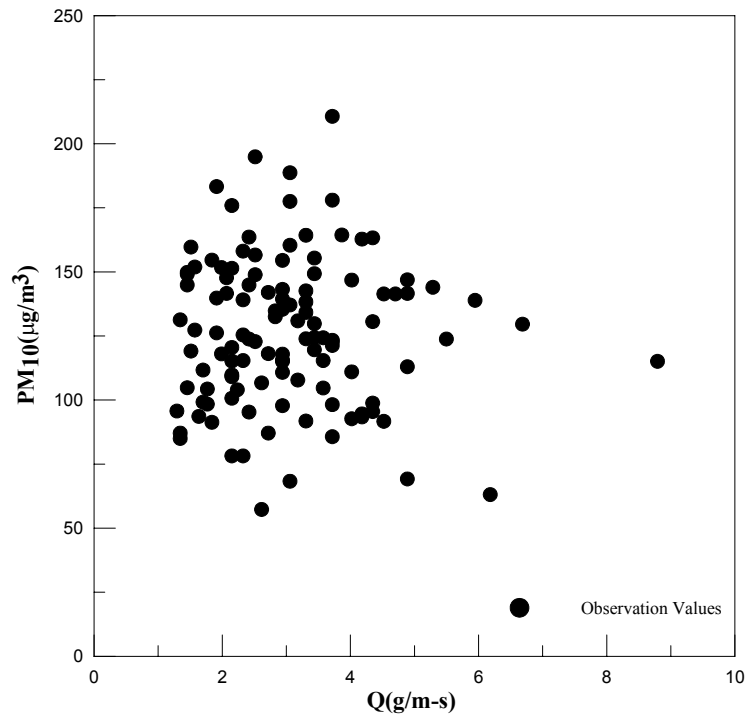


圖 5.8 擋風牆外圍 PM_{10} 與飛沙量 Q 監測結果

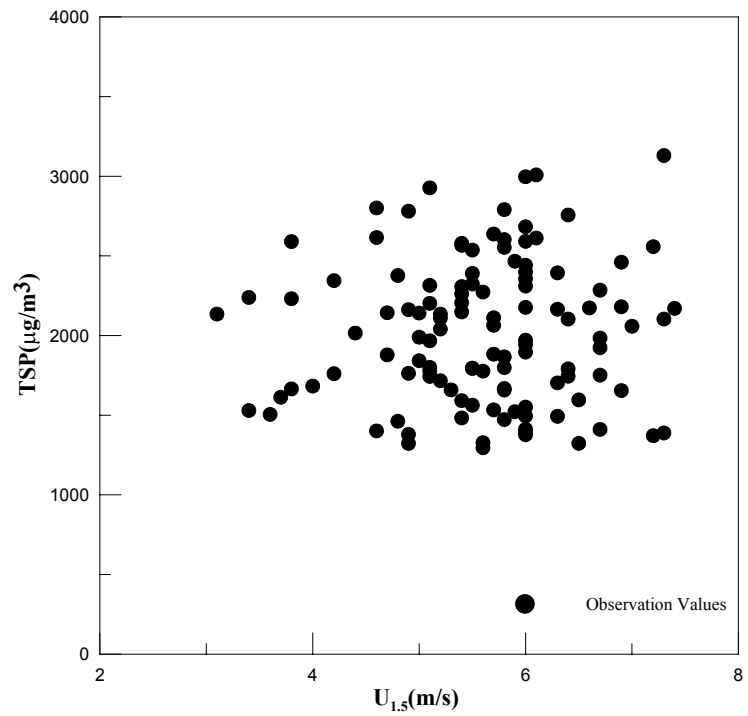


圖 5.9 北防波堤堤址 TSP 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果

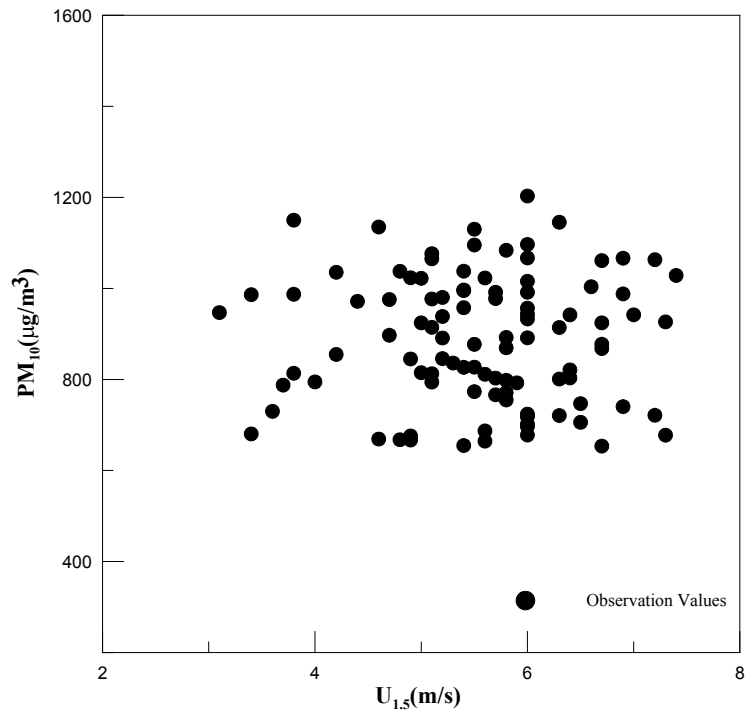


圖 5.10 北防波堤堤址 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果

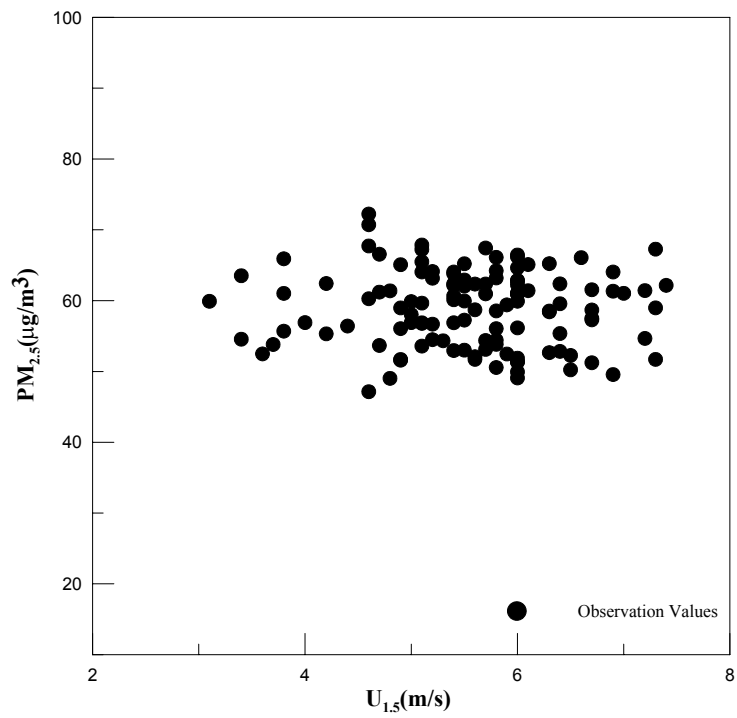


圖 5.11 北防波堤堤址 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果

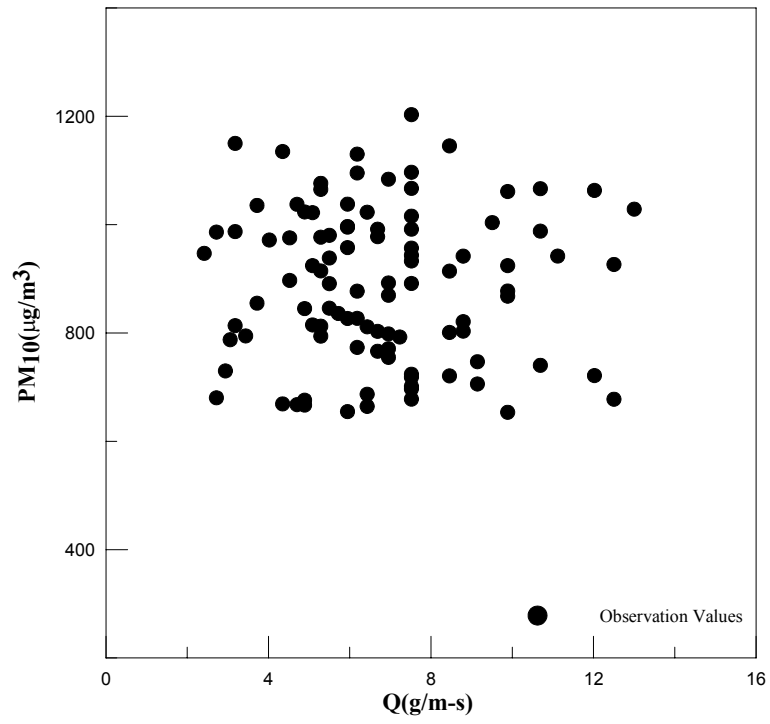


圖 5.12 北防波堤堤址 PM_{10} 與飛沙量 Q 監測結果

第六章 漂飛沙作用下地形變化趨勢分析

由本研究分析自民國 85 至民國 100 年間漂飛沙作用下臺中港附近地形侵淤變化，以統計分析方式歸納出附近地形的長期侵淤變化趨勢。

6.1 平面侵淤特性分析

本節採用已蒐集之地形水深圖 (民國 85 年~100 年間)，延續「近岸漂沙機制與防治研究(1/4)」之結果，進行相關之海岸地形變遷趨勢分析。為便於了解海岸之特性，將計畫區沿岸方向海岸分為 A~G 等 7 個區域，採用冬季時表層移動界限水深(d_s)為 10.45m，夏季時為 3.81m，因此，本研究在考量漂沙移動界限水深下，將向離岸方向分為 4 區，分別為 0m 以上標示為第 0 區、0m 至-5m 之間標示為第 1 區、-5m 至-10m 間標示為第 2 區、-10m 以上標示為第 3 區，來詳細探討各分區的侵淤狀況，各分區代號詳圖 6.1 所示。由圖中可知，A、B 區為防沙堤以北區域；C 區為臺中港北防波堤至防沙堤之間的區域；D、E、F、G 區為臺中港北防波堤南側區域。

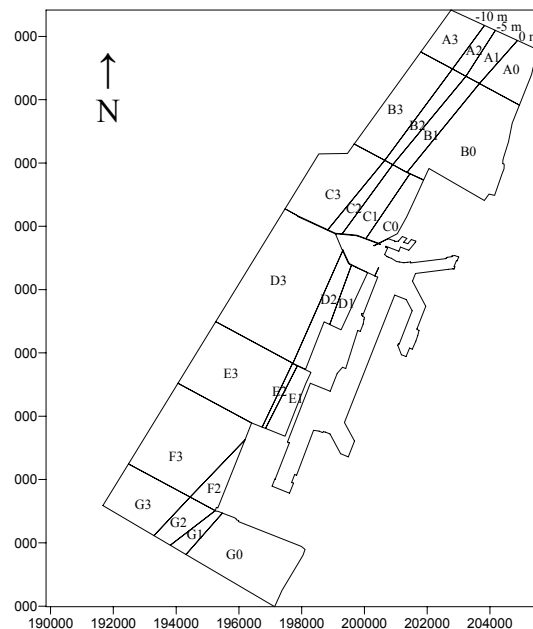


圖 6.1 臺中港地形水深變遷計算分區圖

6.1.1 侵淤特性分析

為了解各區域內侵淤分佈之情形，以民國 85 年之地形水深圖為基準年，繪製各次測量之地形水深資料相對於 85 年測量之地形水深資料侵淤變化圖如圖 6.2 至圖 6.14 所示。由圖 6.2 和圖 6.3 可知，臺中港北防波堤至北防沙堤間於民國 85～民國 87 年有部分淤積，而在北防波堤堤頭附近亦有產生淤積，並擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕的現象。

由圖 6.4 至圖 6.6 可知，民國 89 年至 91 年間，臺中港北防波堤正在進行延長工程，造成北防波堤至北防沙堤間持續淤積，淤積高度最大可達 4m 以上，臺中港北防波堤附近區域及北淤沙區亦快速淤積，尤其以北側遠岸的區域淤積速度最快，淤積深度最大亦達 4m 以上，而在北防波堤堤頭附近及港口附近產生大量侵蝕，侵蝕深度最大可達 -5m 以上。

圖 6.7 至圖 6.14 為民國 91 年後臺中港整體擴建已完成之臺中港附近地形侵淤變化圖，由圖 6.7 至由圖 6.14 得知，北防波堤至北防沙堤間不論是近岸還是遠岸，皆呈現全面淤積，臺中港南側區域呈現侵蝕現象。而民國 91 為基底之臺中港附近地形侵淤變化圖，由圖 6.15 至圖 6.22 顯示，北防波堤附近海域淤積擴及至港口南側之淤積面積亦有擴大並往南持續延伸，淤積幅度則是逐年增長，港口南側近岸區則維持些微侵蝕的狀況，北防波堤堤頭附近及港口附近的侵蝕範圍則大致上維持穩定，並未持續刷深。

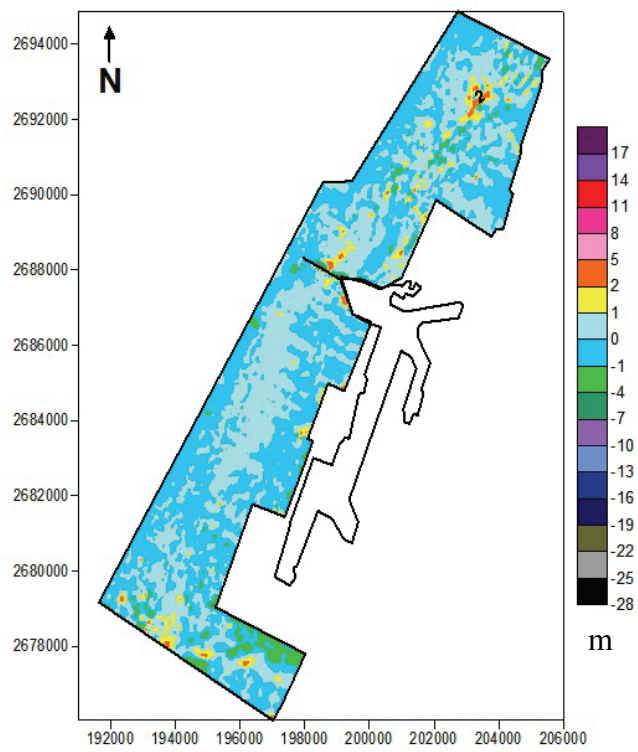


圖 6.2 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 86 年)

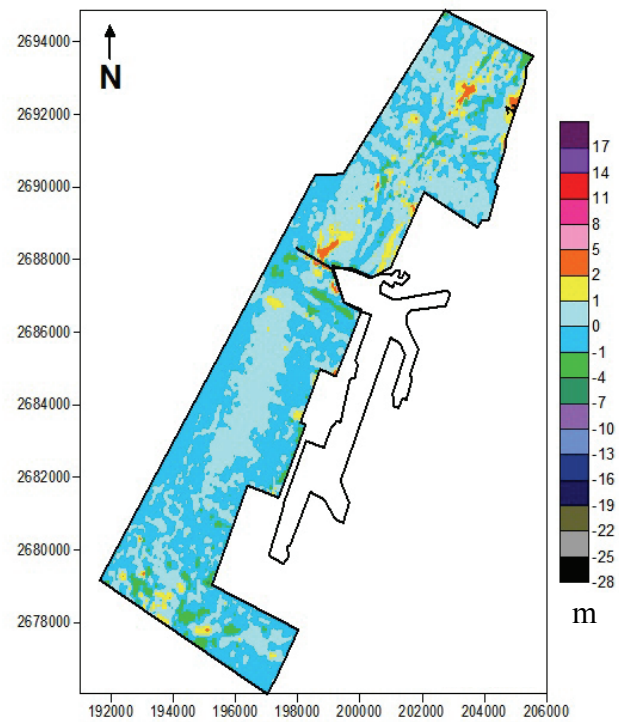


圖 6.3 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 87 年)

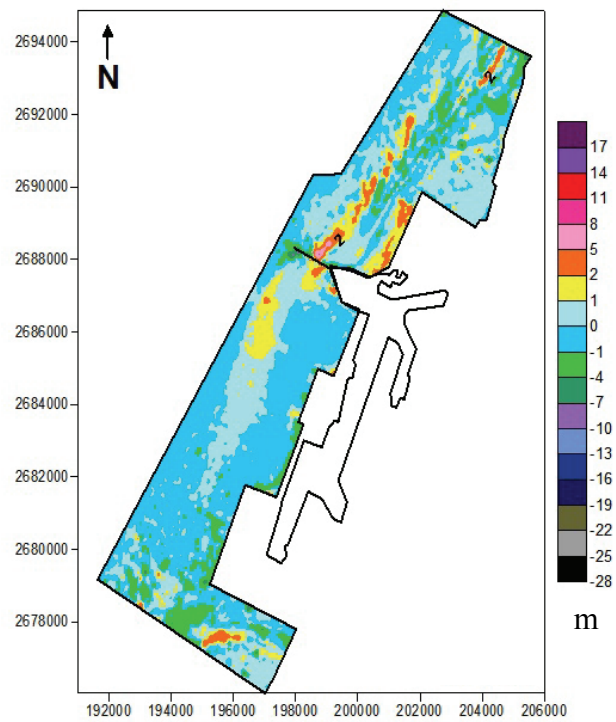


圖 6.4 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年~民國 89 年)

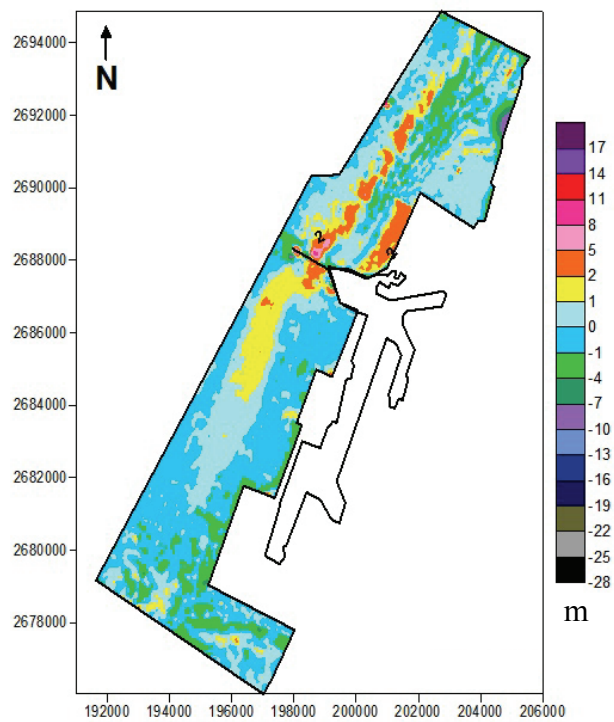


圖 6.5 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年~民國 90 年)

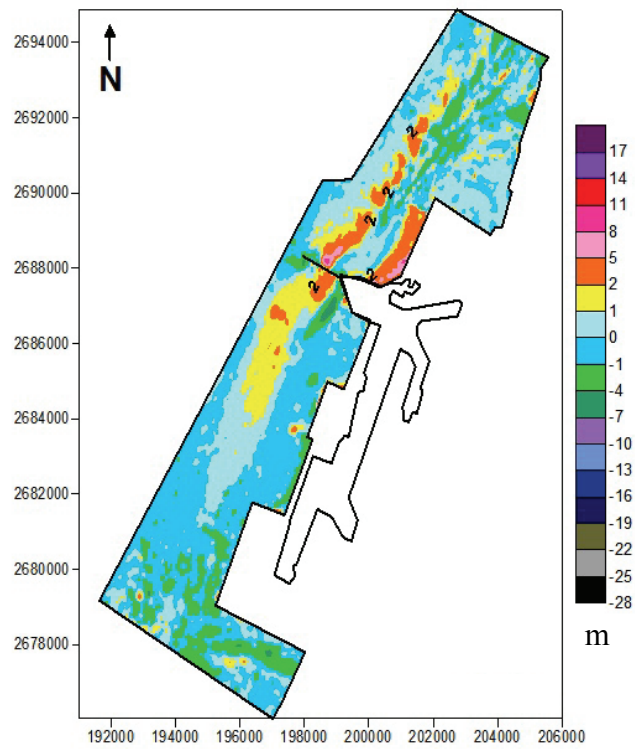


圖 6.6 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 91 年)

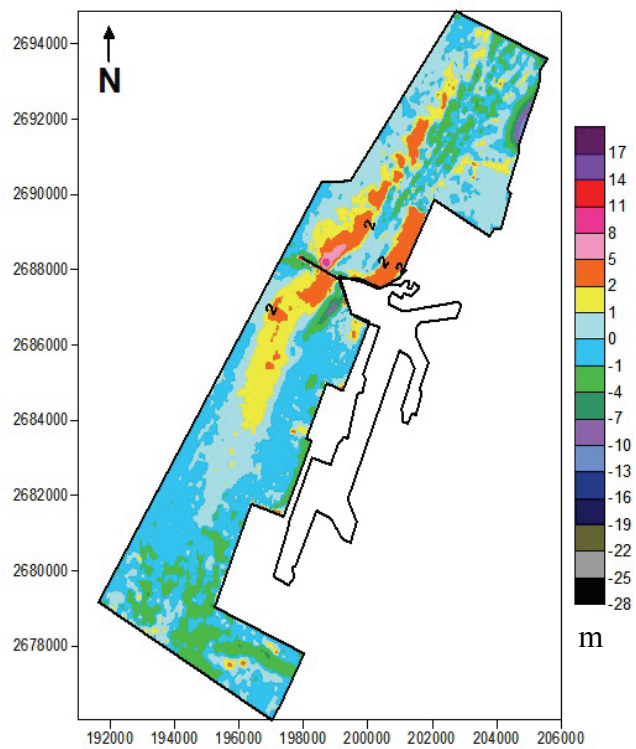


圖 6.7 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 92 年)

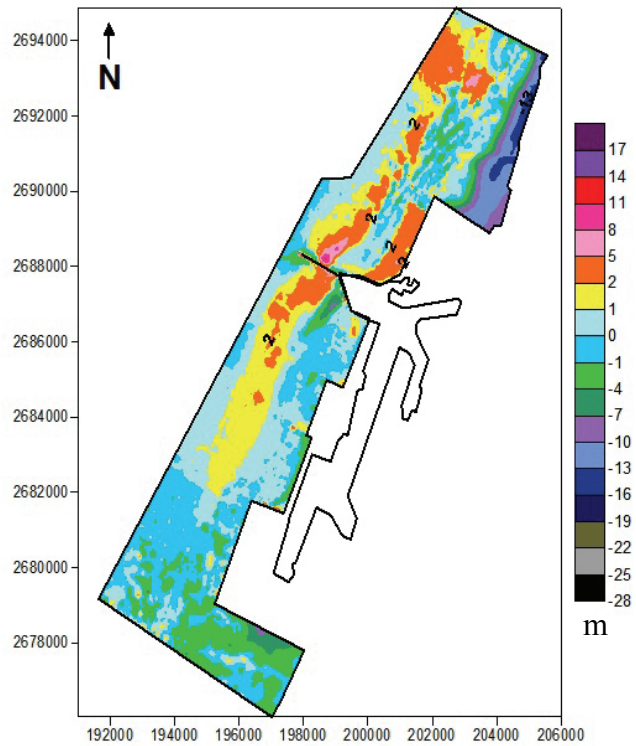


圖 6.8 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 93 年)

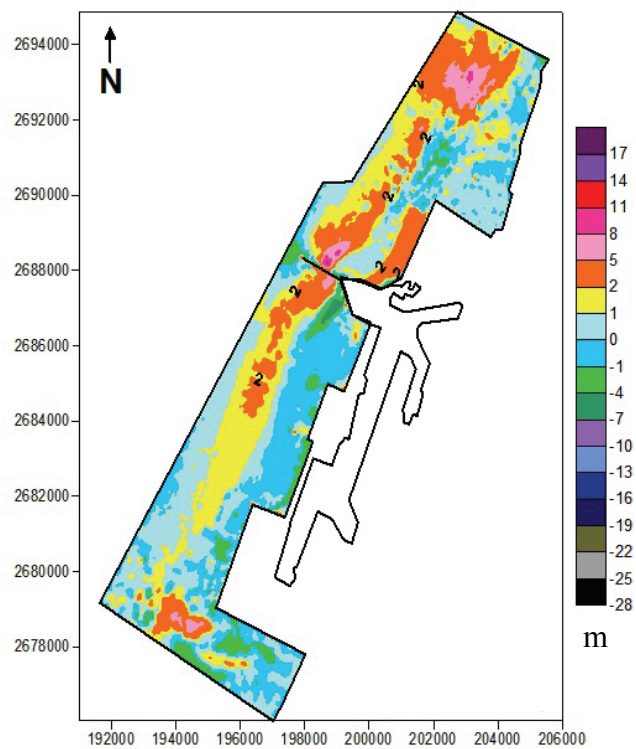


圖 6.9 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 94 年)

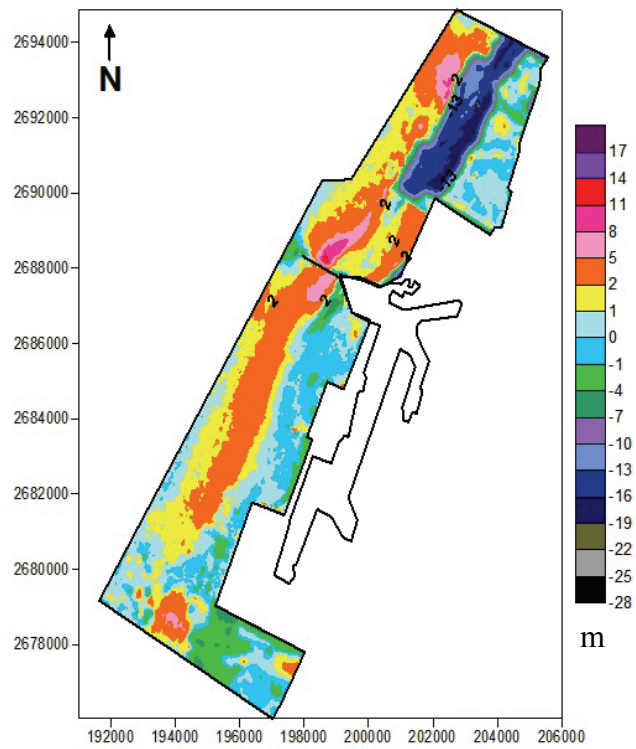


圖 6.10 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 95 年)

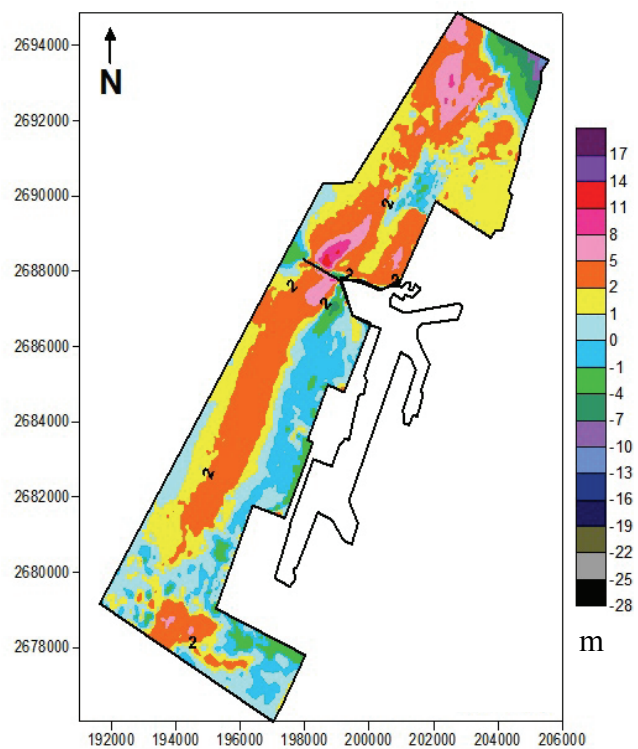


圖 6.11 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 96 年)

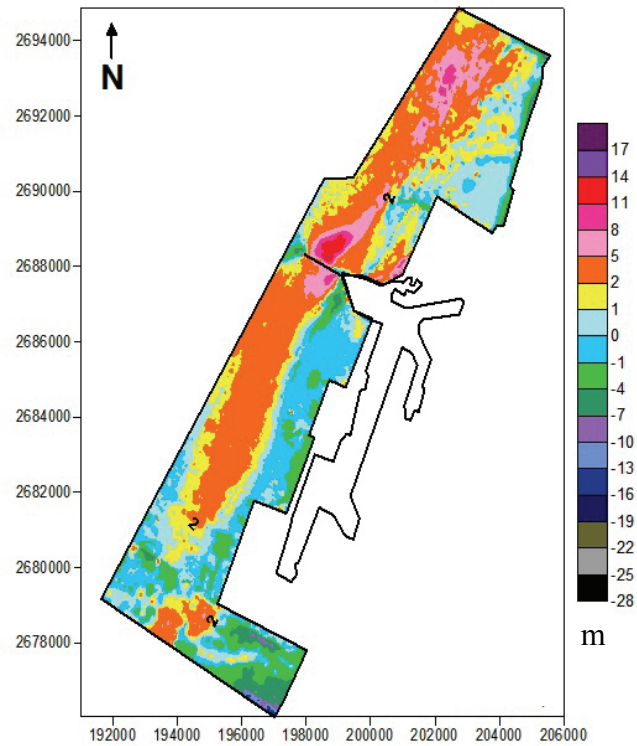


圖 6.12 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 98 年)

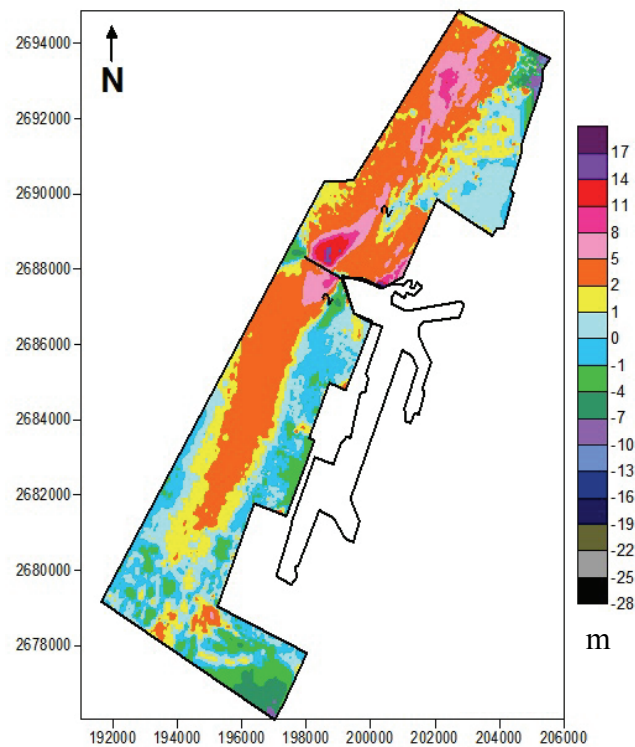


圖 6.13 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 99 年)

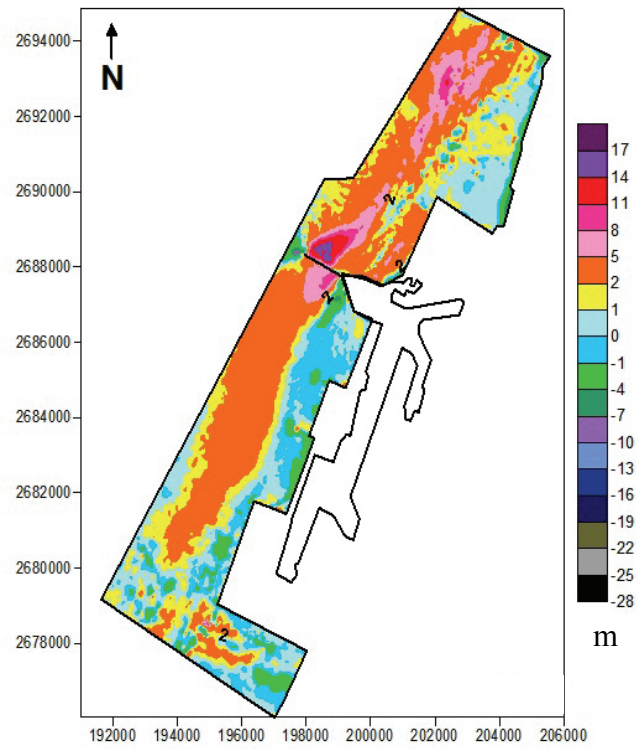


圖 6.14 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年～民國 100 年)

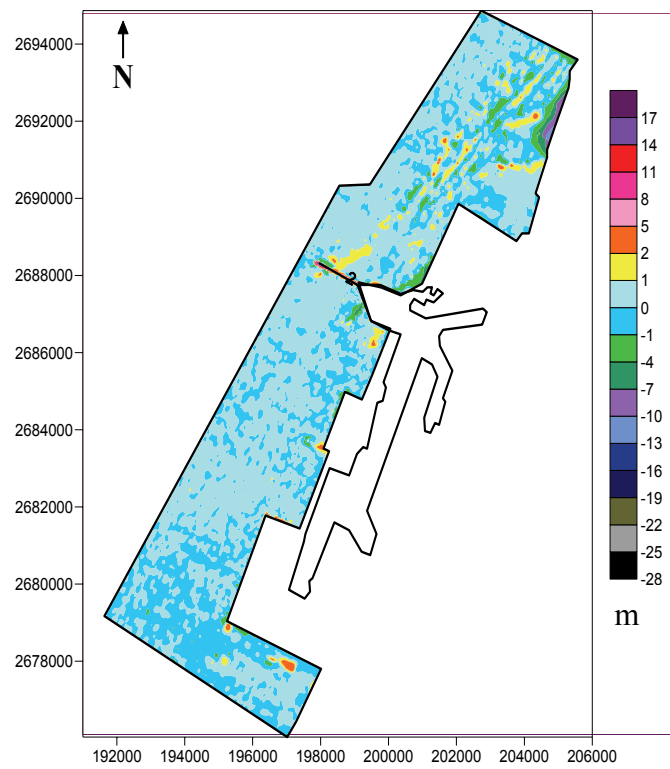


圖 6.15 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 92 年)

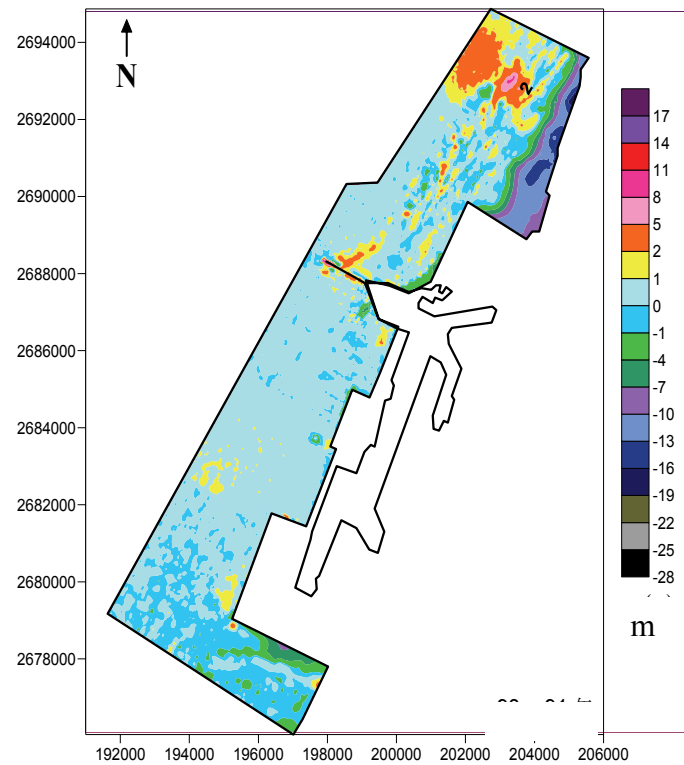


圖 6.16 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年~民國 93 年)

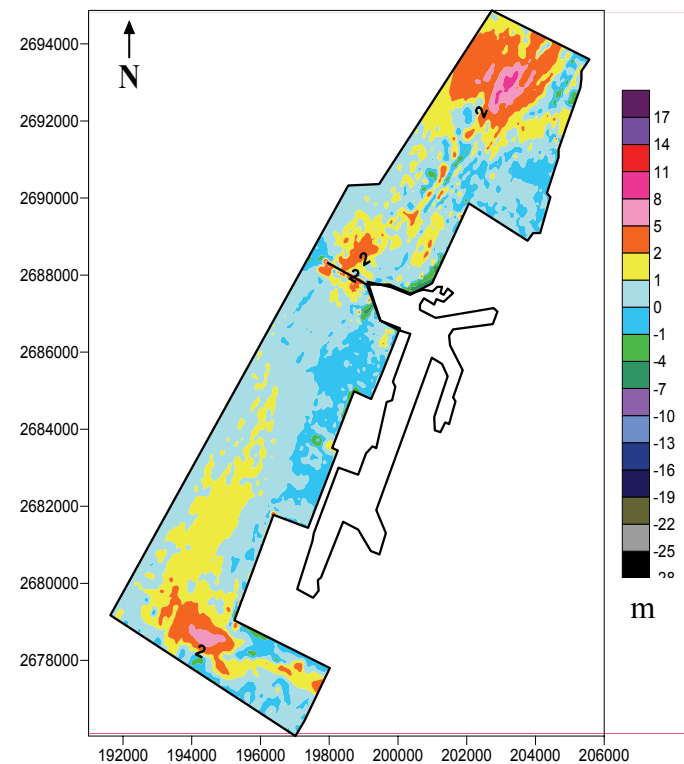


圖 6.17 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年~民國 94 年)

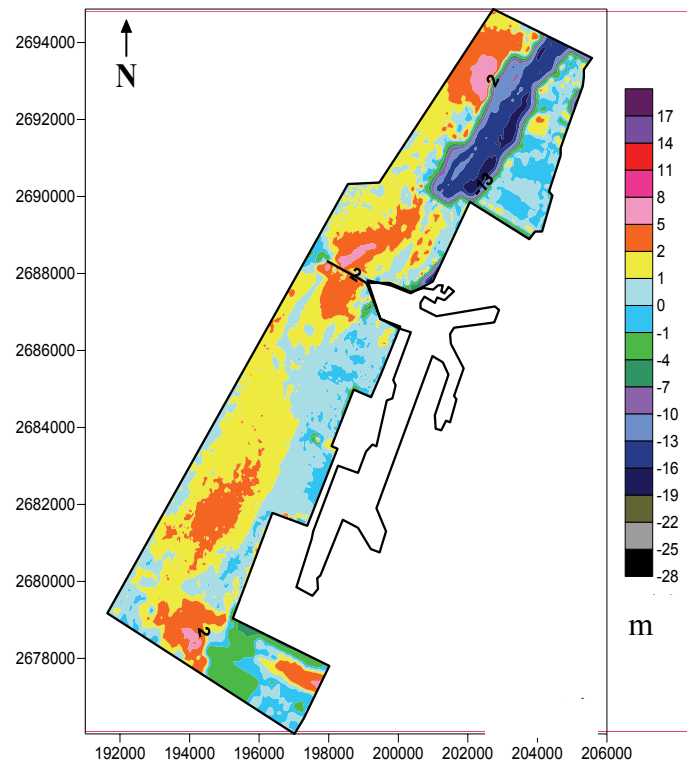


圖 6.18 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年~民國 95 年)

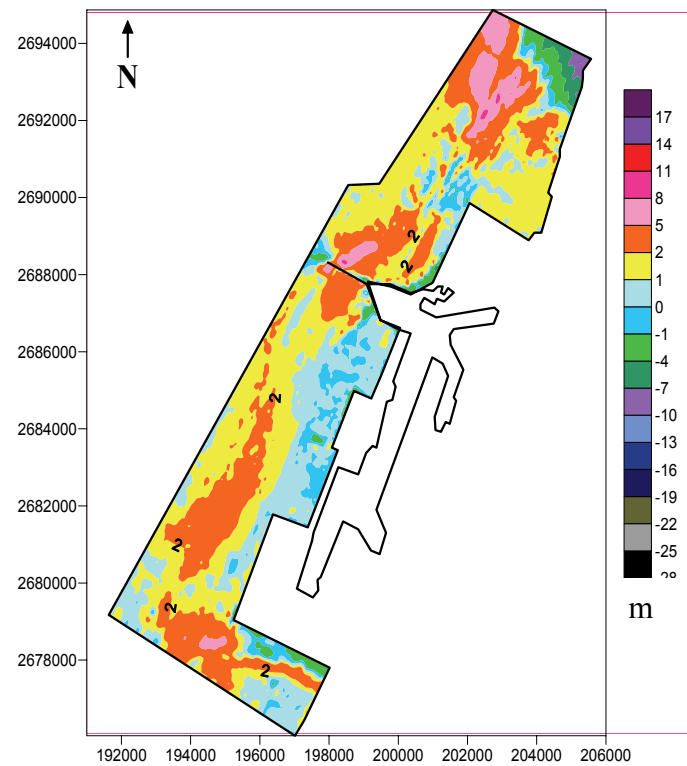


圖 6.19 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年~民國 96 年)

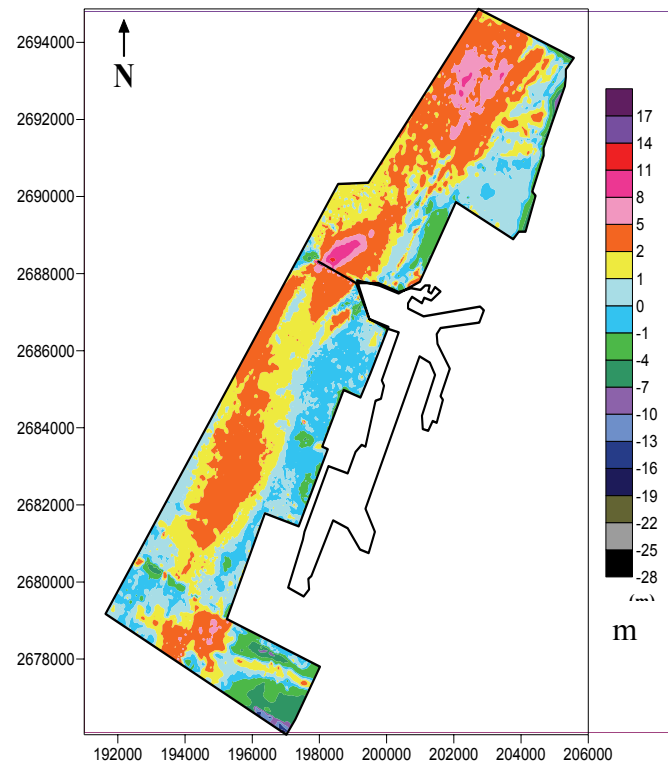


圖 6.20 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 98 年)

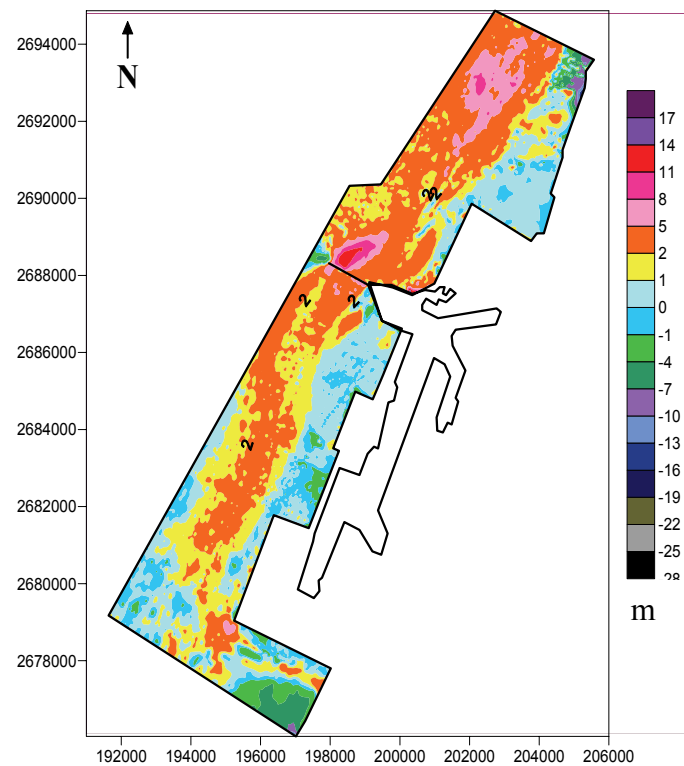


圖 6.21 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年～民國 99 年)

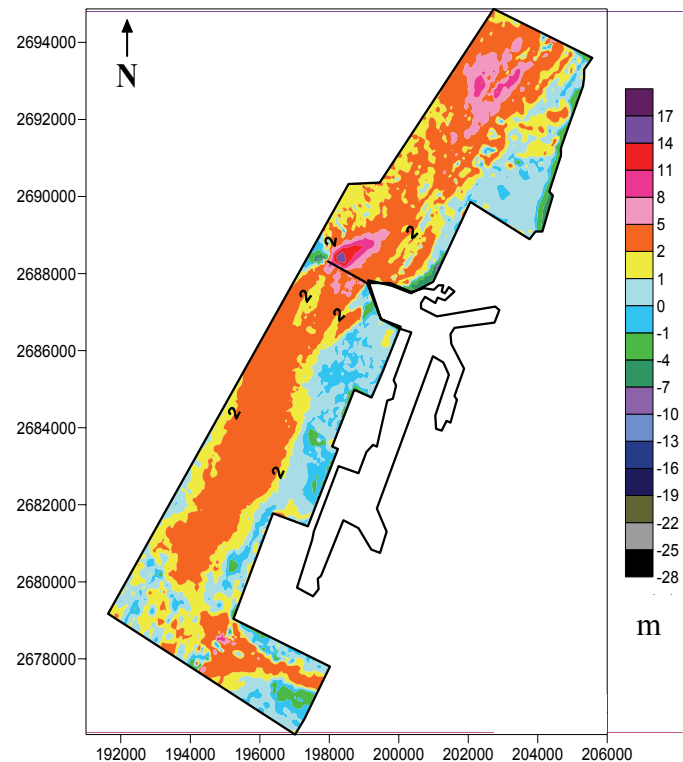


圖 6.22 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 91 年~民國 100 年)

6.1.2 累積侵淤量分析

表 6-1a 與表 6-1b 係以民國 85 年之地形水深圖為基準年，計算各區相對於 85 年之累積侵淤量。表中彙整各分區之淨侵淤量，淨侵淤量若為正值表示該分區為淤積；負值表示該分區為侵蝕，並以粗體字表示之。由表 6-1a 的淨侵淤量可知，在北防沙堤北側的 A、B 區中，遠岸的 A3 及 B3 區大致呈現淤積的現象，A3 區至 99 年達到最大累積淤積量約為 705.77 萬 m^3 ，B3 區則至 99 年達到最大累積淤積量約為 1545.37 萬 m^3 。合計北防沙堤以北的區域，自民國 85 年至 99 年皆呈現淤積的現象，並在民國 94 年達到最大累積淤積量約為 4652.68 萬 m^3 ，而民國 89 年~91 年由於正在進行防波堤延伸工程，因此淤積量較少，在民國 90 年達到最小累積淤積量約為 96 萬 m^3 。

由表 6-1a 的淨侵淤量可知，C 區為臺中港北防波堤至北防沙堤間的北淤沙區，其中除了近岸的 C1 區在民國 85 年~民國 90 年呈現略微

侵蝕之情形，其累積侵蝕量於 86 年最大，約 23.8 萬 m^3 ，其餘區域所有年度皆呈現淤積之特性，合計北淤沙區自民國 85 年至民國 100 年間，累積淤積量持續成長，並於民國 99 年達到最大累積淤積量約為 3372.95 萬 m^3 。

D、E、F、G 區為臺中港北防波堤以南區域，由表 6-1b 的淨侵淤量可知，D3 區各年度皆呈現淤積情形，最大累積淤積量發生在 100 年，約 2595.52 萬 m^3 ；E1 區和 F2 區皆呈現侵蝕情形，E1 區在 99 年有最大累積侵蝕量，約 165.89 萬 m^3 ，F2 區在 90 年有最大累積侵蝕量，約 145.28 萬 m^3 ，合計北防波堤以南的區域，自民國 85 年至 93 年間皆為侵蝕情形，最大累積侵蝕量發生在 91 年，約 862.79 萬 m^3 ，至 94 年後由侵蝕轉為淤積，於 100 年產生最大累積淤積量為 5478.75 萬 m^3 。

由表 6-1b 中全區的淨侵淤量可知，除了民國 89 年防波堤延長工程進行中有最大累積侵蝕量外，其餘年度皆呈現淤積現象，並於民國 100 年達到最大累積淤積量，約 13322.26 萬 m^3 。綜言之，臺中港北防波堤以北之區域，因北防波堤及北防沙堤攔阻季節性之沿岸漂沙呈現淤積現象，而北防波堤以南之區域，目前因漂沙越過臺中港，已於 94 年後由侵蝕轉為淤積。

各區域之民國 85 年～國 100 年臺中港附近地形累積全區侵淤總量，經由 6-1a 與表 6-1b 地形累積侵淤量得知，A 區淤積量為 $103 \times 10^4 m^3 / year$ ；B 區侵淤淤積量為 $206 \times 10^4 m^3 / year$ ；C 區淤積量 $213 \times 10^4 m^3 / year$ ；D 區淤積量 $173 \times 10^4 m^3 / year$ ；E 區淤積量 $88 \times 10^4 m^3 / year$ ；F 區淤積量 $64 \times 10^4 m^3 / year$ ；G 區淤積量 $39 \times 10^4 m^3 / year$ 。

表 6-1a 臺中港附近地形累積侵淤量(單位： $\times 10^4 m^3$)

區域 \ 年度	85~86	85~87	85~89	85~90	85~91	85~92	85~93	85~94	85~95	85~96	85~98	85~99	85~100
	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度	年度
A0	-1.60	53.76	-105.70	-7.48	-30.58	-40.90	-215.89	545.90	599.66	-470.97	117.30	-193.21	218.50
A1	39.20	59.28	29.69	-37.01	-31.55	-32.05	113.59	225.83	-10.14	6.17	309.10	383.37	350.94
A2	23.23	25.79	6.29	-42.86	-24.36	-15.11	144.50	132.95	-109.17	172.87	351.56	396.44	342.75
A3	-32.04	3.31	-34.54	8.67	11.45	267.61	413.61	270.64	153.10	850.71	654.56	705.77	637.30
B0	12.10	64.05	17.09	62.29	29.11	62.24	-258.61	225.83	-10.14	892.98	418.40	508.56	443.52
B1	61.62	46.88	-110.23	-161.00	-97.15	-123.99	-11.21	132.95	-109.17	441.75	434.43	544.88	490.43
B2	26.50	22.51	-34.13	-48.45	-34.21	-6.20	76.06	270.64	153.10	557.95	653.26	761.49	734.15
B3	-22.56	33.46	124.17	324.02	306.05	363.47	587.32	827.24	1040.10	1046.95	1416.00	1545.37	1426.13
防沙堤以北	106.45	309.04	107.35	98.19	128.76	475.07	849.35	2631.98	1707.34	3498.43	4354.61	4652.68	4643.73
C0	75.19	115.94	192.09	261.85	492.53	397.54	424.28	375.39	446.51	563.96	327.00	691.45	507.82
C1	-23.86	-1.87	-2.06	13.99	37.24	66.01	101.21	159.52	248.43	283.77	164.78	351.00	322.22
C2	23.32	45.80	49.83	32.75	59.69	98.10	109.64	161.60	264.46	427.49	483.29	542.54	550.53
C3	27.69	108.82	217.93	429.75	433.46	624.69	684.93	883.20	1240.49	1185.54	1540.19	1787.96	1819.22
北淤沙區	102.34	268.69	457.80	738.34	1022.92	1186.35	1320.05	1579.71	2199.88	2460.77	2515.25	3372.95	3199.78

表 6-1b 臺中港附近地形累積侵淤量(單位： $\times 10^4 m^3$)

年度 區域	85~86	85~87	85~89	85~90	85~91	85~92	85~93	85~94	85~95	85~96	85~98	85~99	85~100
D1	3.55	-15.27	-16.54	-22.67	21.36	48.98	46.21	32.60	40.50	38.40	19.27	50.97	32.40
D2	17.34	-12.96	-39.66	-48.86	3.21	5.20	-7.59	-34.38	-6.06	-26.69	-72.94	-1.84	-29.27
D3	55.08	24.78	202.49	449.88	396.17	502.17	719.70	795.76	1509.76	1708.66	1950.19	2346.00	2595.52
E1	-29.37	-38.12	-111.28	-100.36	-93.22	-59.96	-93.15	-103.12	-76.97	-98.91	-162.44	-165.89	-120.23
E2	-5.77	-6.98	-14.04	-12.59	-7.99	-2.17	5.89	-8.37	1.98	3.75	-12.82	-10.34	4.37
E3	-32.68	-18.10	-119.33	43.77	42.25	121.35	493.97	474.52	881.16	983.27	1051.31	961.32	1442.86
F2	-32.27	-36.81	-115.22	-148.28	-77.36	-73.39	-19.37	-0.79	-18.89	17.93	-56.60	17.20	-18.31
F3	-69.57	-103.13	-261.07	-305.14	-395.88	-355.52	-244.66	326.43	666.24	875.34	440.84	598.70	983.65
G0	-162.76	-99.22	-38.08	-244.33	-427.50	-424.22	-1046.63	-146.16	51.91	191.86	-1503.13	-970.59	197.17
G1	-13.40	-43.99	-126.18	-57.10	-81.85	-95.98	-108.75	42.53	71.37	151.37	95.05	63.59	47.49
G2	42.84	10.29	-55.88	-64.34	-80.93	-104.24	-102.92	257.62	314.29	343.75	313.79	171.20	176.14
G3	17.53	-19.75	-103.92	-99.11	-133.94	-180.25	-159.71	300.14	307.72	316.10	3.62	-62.10	166.96
防坡堤以南	-209.47	-359.25	-798.72	-609.11	-835.68	-618.02	-517.02	1936.77	3743.00	4504.84	2066.14	2998.21	5478.75
全區	-0.67	218.48	-448.27	227.42	315.99	1043.39	1652.38	6148.45	7650.22	10464.04	8936.00	11023.84	13322.26

6.1.3 長期侵淤趨勢分析

圖 6.23～圖 6.36 分別為各區累積侵淤趨勢圖，以北防波堤興建前(民國 85 年～91 年)及興建後(民國 92 年～100 年)進行分析，圖中各資料點為以民國 85 年之地形水深圖為基準年，計算各區相對於 85 年之累積侵淤量，各點的數值即為表 6-4a 及 6-4b 中的淨侵淤量，菱形、實心三角形、空心方塊及十字型分別為第 0、1、2 及 3 區的累積侵淤量。圖中線條為累積侵淤量之線性迴歸曲線($Y=aX+b$)，實線、細虛線、粗長實線和短實線的組合及粗實線分別為第 0、1、2 及 3 區的累積侵淤量之線性迴歸曲線，透過長期的趨勢可瞭解各區歷年之侵淤特性，各斜率若為正值，表示呈現淤積現象，若斜率為負值則為侵蝕。

在北防沙堤北側 A、B 區部分，由圖 6.23～圖 6.26 得知，A0 區為大甲溪河口處，受大甲溪河口沖淤之影響，該區呈現沖淤互侵之區域勢，A1 區於民國 86 年～91 年呈現侵蝕現象，在民國 92 年～100 年的趨勢呈現緩慢遞增，A2 區及 A3 區斜率為正值，表示該區長期趨勢已呈現遞增；B0 區及 B1 最初斜率為負值趨勢為遞減，於在民國 92 年～100 年則呈現快速遞增，B2 和 B3 區為快速遞增，斜率為正值，表示該區長期呈現淤積現象。

在臺中港北防波堤至防沙堤間的 C 區部分，由圖 6.27～圖 6.28 可知，C0 區初期趨勢為快速遞增，而在民國 92 年～100 年呈現緩慢遞增，C2 區由最初斜率為零，在民國 92 年～100 年為遞增侵淤累積量為正值。C1 區長期趨勢呈現緩慢遞增，表示該區長期趨勢已達穩定，而 C3 區趨勢則呈現快速遞增，表示 C 區長期呈現淤積的現象。

在臺中港北防波堤南側 D、E 區部分，由圖 6.29～圖 6.32 可知，D1 和 D2 區在民國 92 年～100 年斜率約為 0，表示該區長期趨勢已達穩定，遠岸的 D3 區趨勢為快速遞增，切線斜率為正值，表示該區長期將呈現淤積現象；E1 區在民國 92 年～100 年斜率約為 0，表示該區長期趨勢已達穩定，E2 區於民國 91 年前斜率約為負值趨勢呈現侵蝕現象，在民國 92 年～100 年的趨勢呈現緩慢遞減，遠岸的 E3 區趨勢初期

有些微的遞增，之後則呈現快速的淤積現象，顯示遠岸區受到上游沙源的補充，長期呈現淤積的現象。

F、G 區部分，由圖 6.33～圖 6.36 可知，F2 區最初趨勢呈現侵蝕現象，斜率約為負值，而長期觀測趨勢為緩慢遞減，F3 區之趨勢先遞減，並於民國 91 年後轉為快速遞增，顯示此區長期為淤積的現象；G0 區域之長期趨勢為侵蝕現象，而 G1、G2 及 G3 區的趨勢皆於民國 91 年前斜率約為負值，在民國 92 年～100 年中顯示此三區長期將呈現淤積的現象。

由各侵淤趨勢圖的比較可知，B～F 區的遠岸，趨勢為快速遞增，顯示臺中港北防波堤以北的漂沙越過防波堤，造成北防波堤南側快速的淤積。

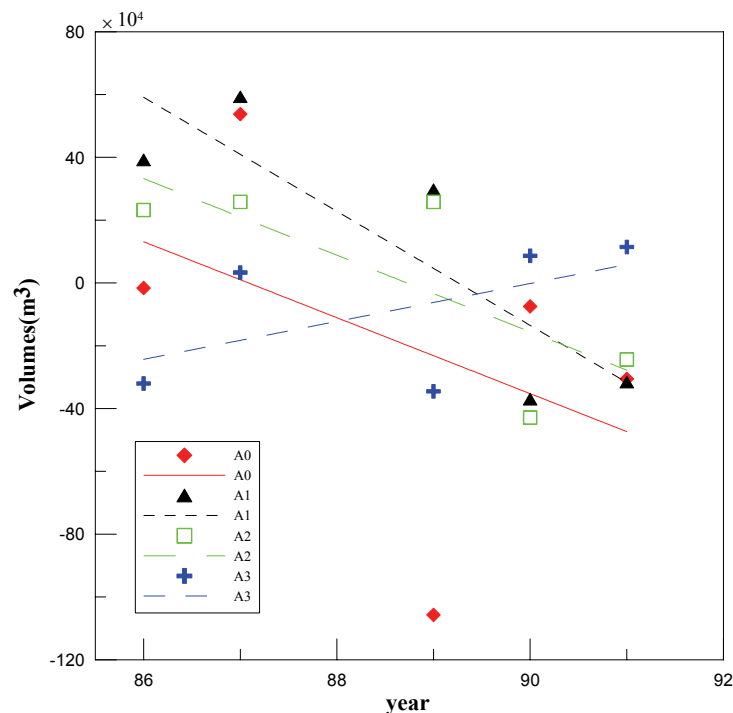


圖 6.23 A 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年～民國 91 年)

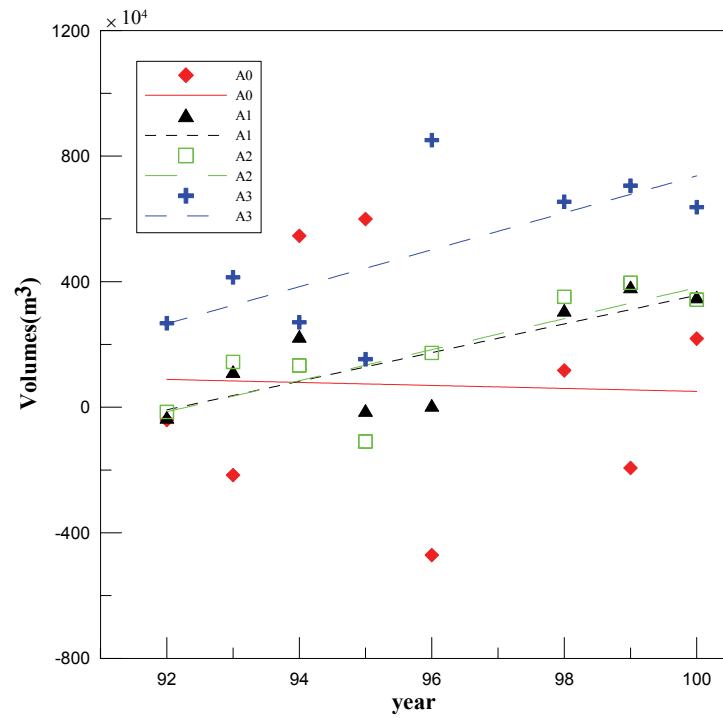


圖 6.24 A 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年~民國 100 年)

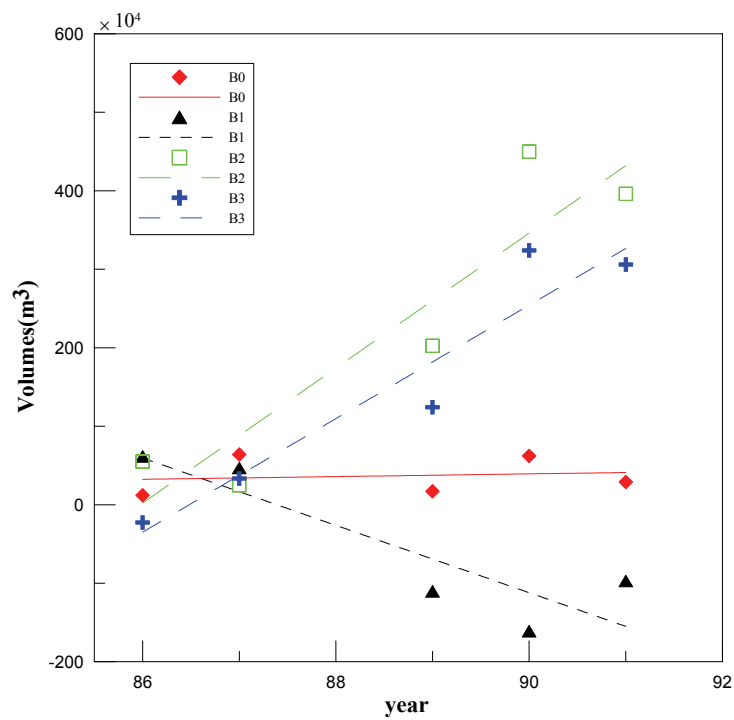


圖 6.25 B 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年~民國 91 年)

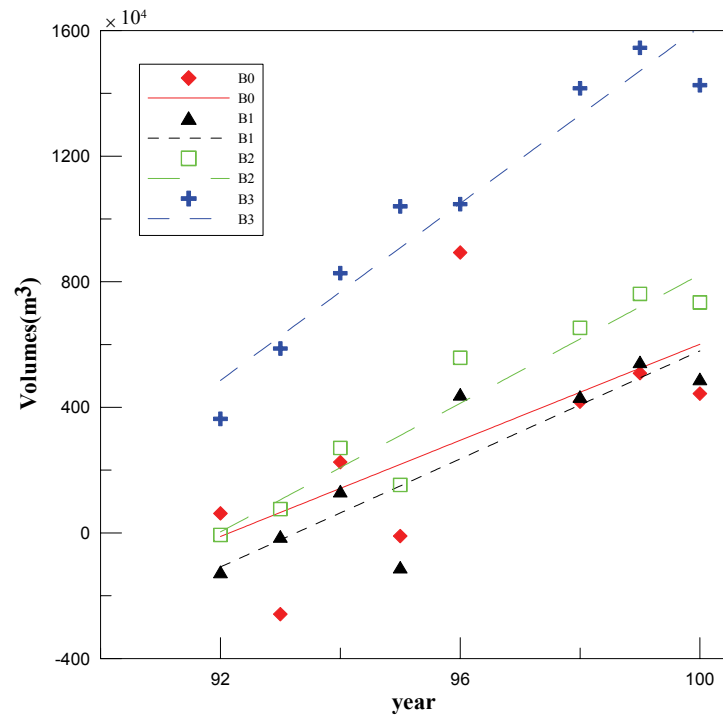


圖 6.26 B 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年~民國 100 年)

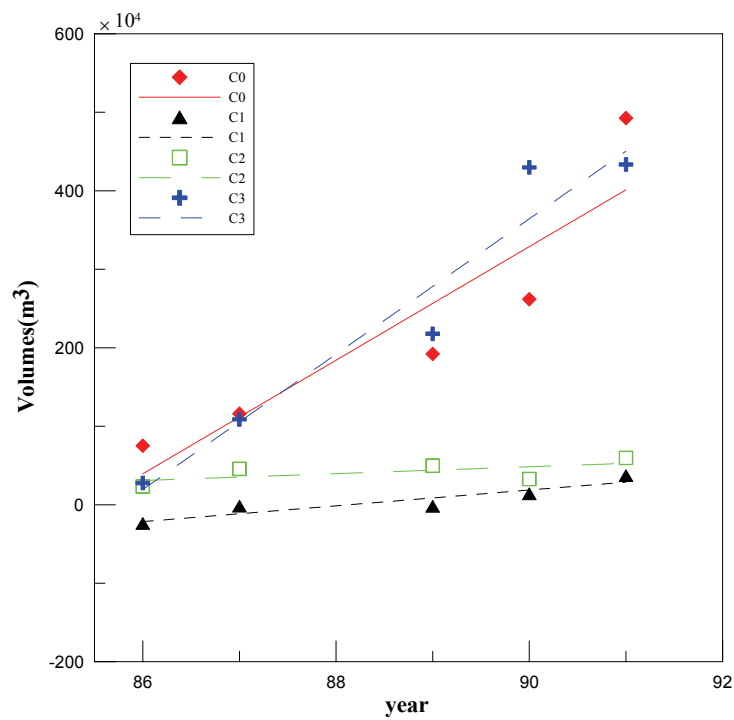


圖 6.27 C 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年~民國 91 年)

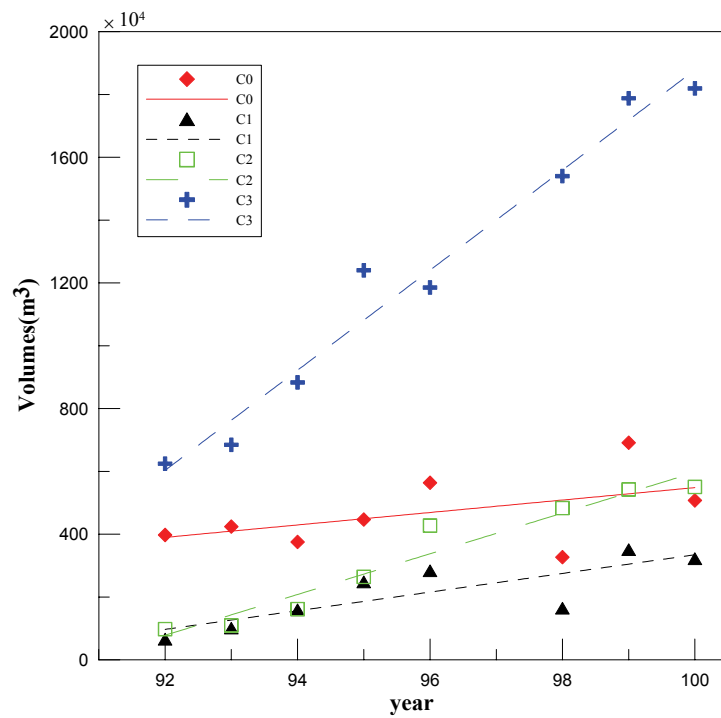


圖 6.28 C 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年~民國 100 年)

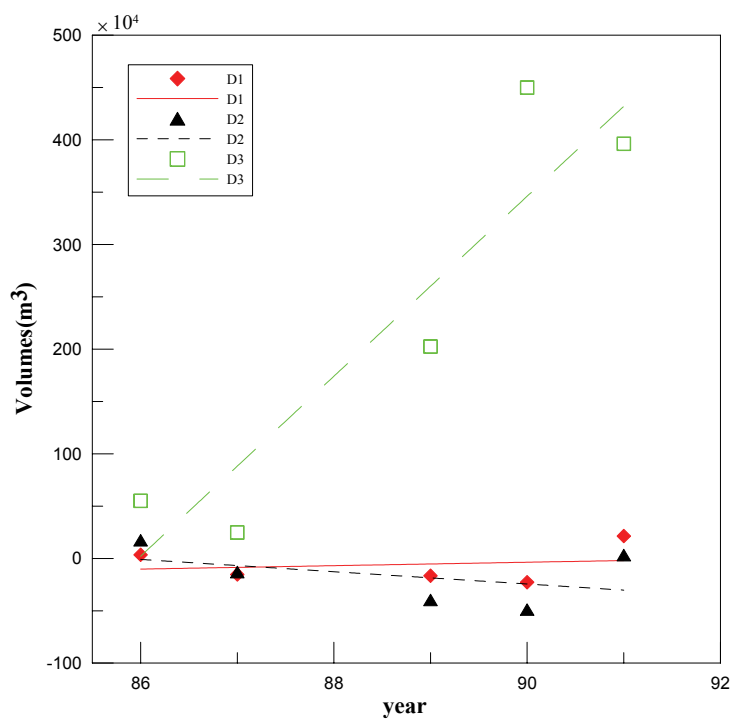


圖 6.29 D 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年~民國 91 年)

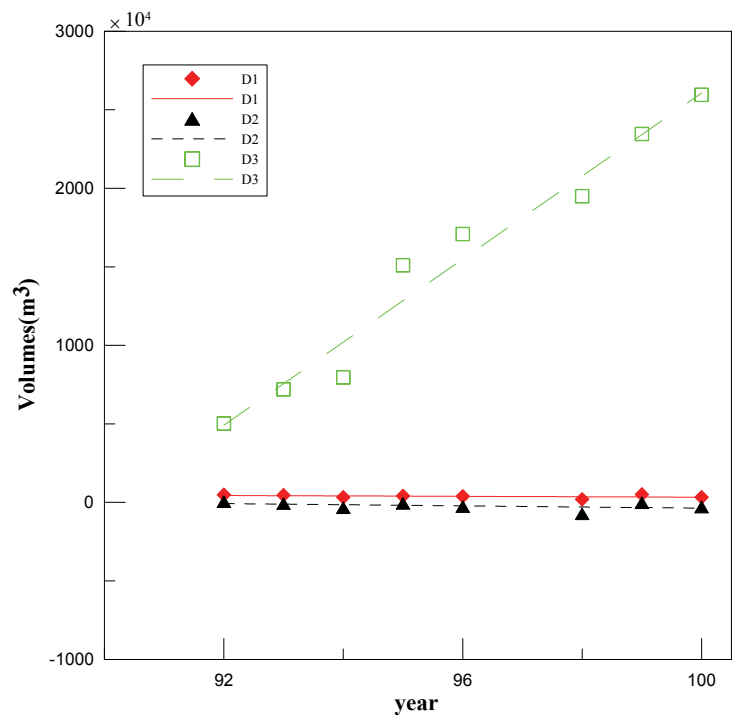


圖 6.30 D 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年~民國 100 年)

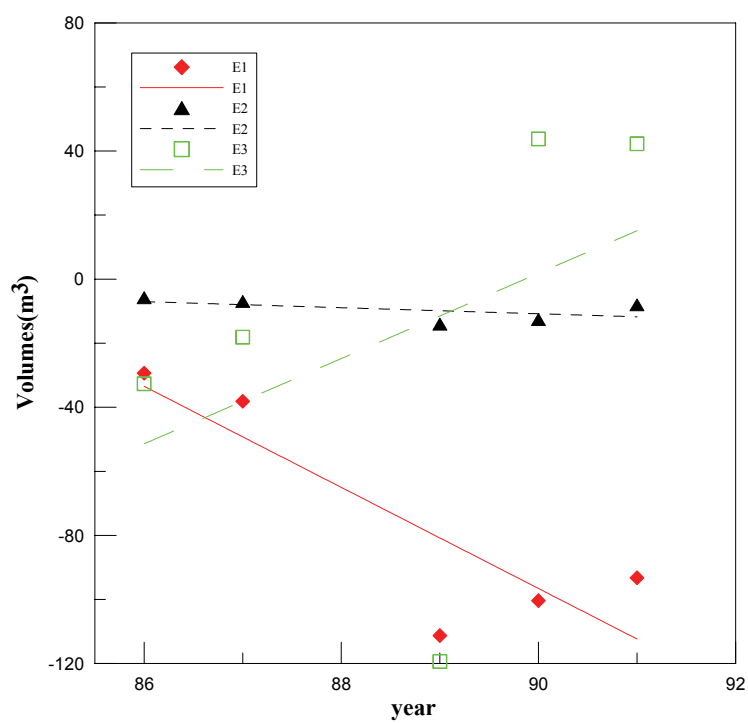


圖 6.31 E 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年~民國 91 年)

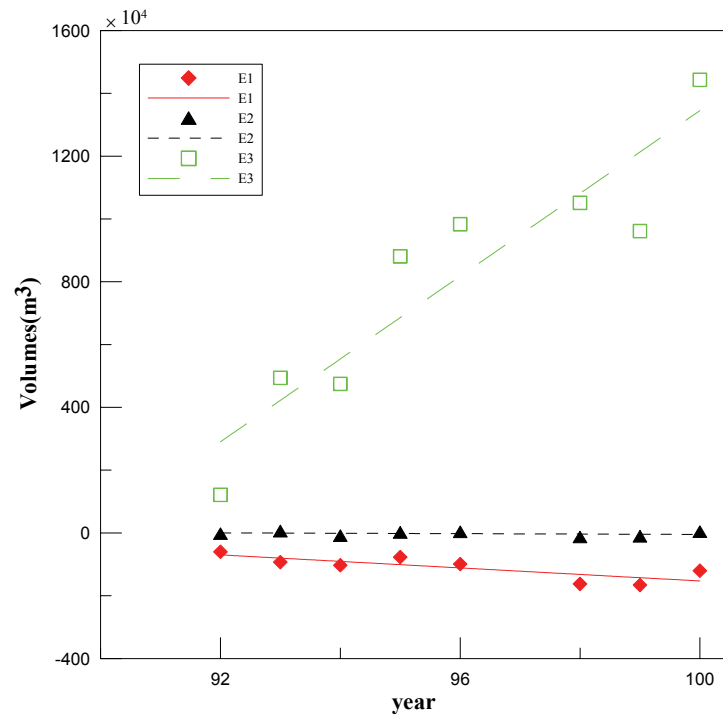


圖 6.32 E 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年~民國 100 年)

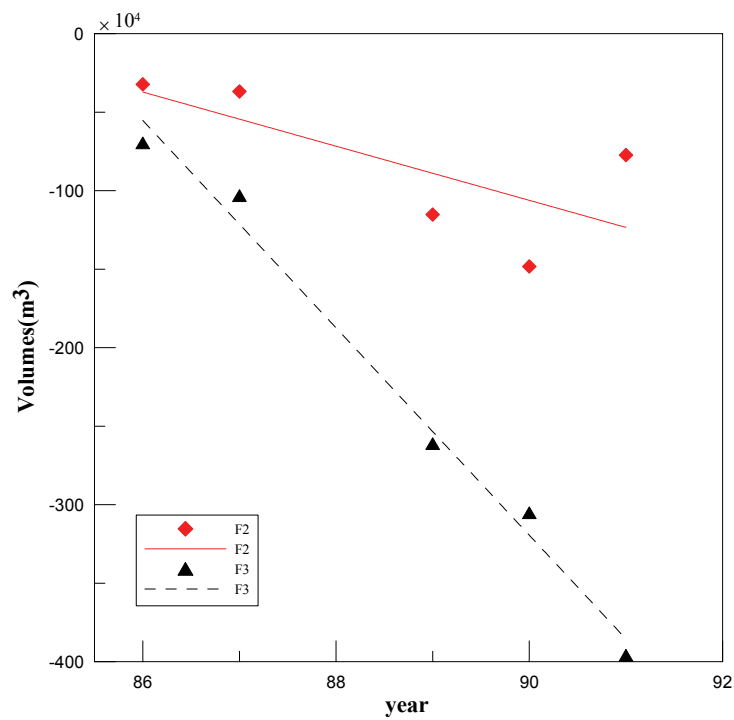


圖 6.33 F 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年~民國 91 年)

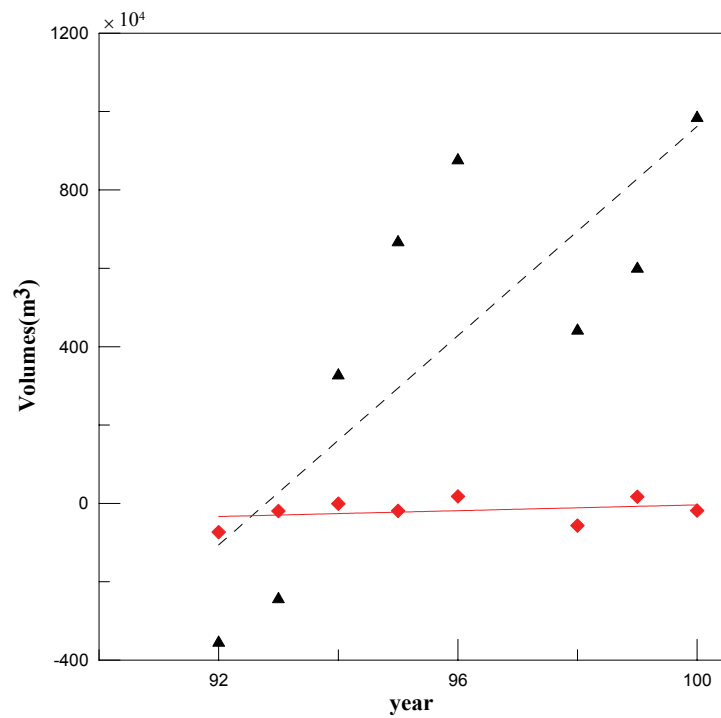


圖 6.34 F 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年~民國 100 年)

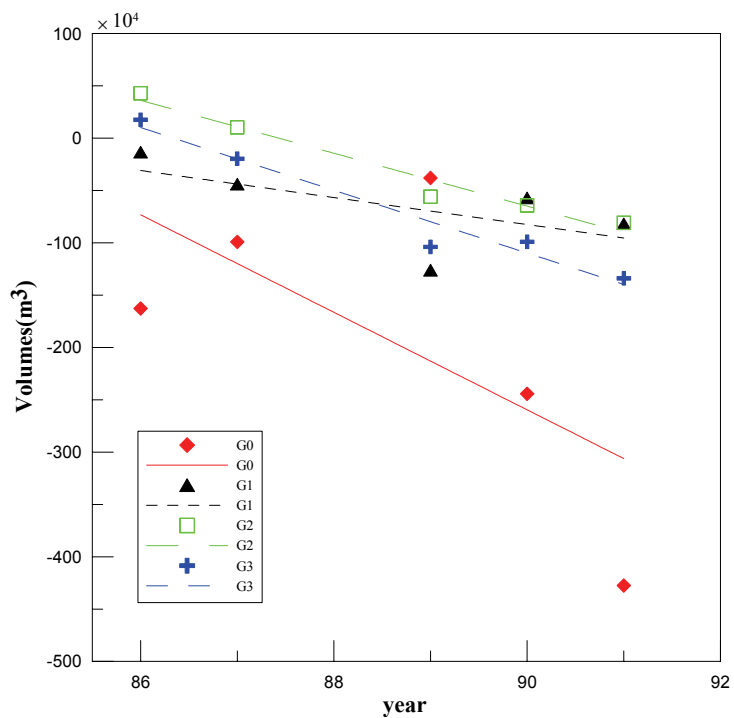


圖 6.35 G 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 86 年~民國 91 年)

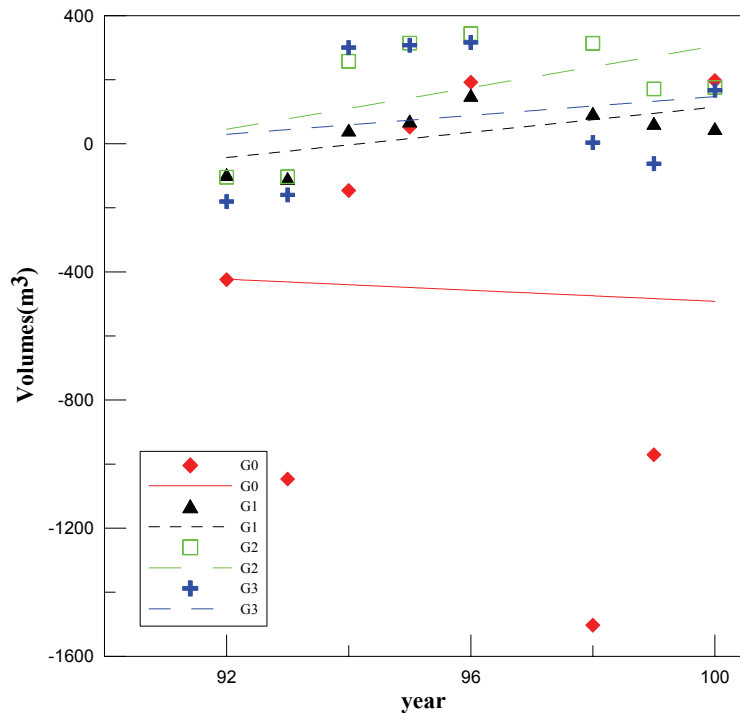


圖 6.36 G 區地形累積侵淤趨勢圖(民國 92 年～民國 100 年)

6.1.4 累積高程分析

表 6-2 係以民國 85 年之地形水深圖為基準年，計算各區相對於 85 年之高程變化量。表中彙整各分區之高程變化量，高程變化量若為正值表示該分區高程上升；反之若為負值表示該分區高程降低，並以粗體字表示之。

由表 6-2 的高程變化量可知，A0 區之高程變化量於民國 85 年至 93 年間呈現侵蝕現象，最高為 -1.09 m ，而民國 94 至 100 年間高程淤積最大為 1.16 m 。A1 及 A2 區域於民國 90 年至 92 年為呈現侵蝕現象，侵蝕最大高程分別為 -0.34 m 及 -0.58 m ，而兩區從民國 93 年轉為長期淤積現象。A3 區域於民國 90 年至 100 年呈現淤積現象，於民國 96 年達到最大高程 4.96 m 。

B0 區由民國 86 年至 96 年為淤積現象，民國 98 年至 100 年高程變化呈現穩定狀態。B1 區於民國 89 年至 93 年為侵蝕現象，最大高程為 -0.9 m ，並於民國 96 年至 100 年呈現淤積現象，其最大高程為 3.2 m 。B2 區於民國 89 年至 92 年為侵蝕現象，並由民國 93 年轉為長期淤積

現象，於民國 99 年為最大高程淤積 5.85 *m*。B3 區高程從民國 87 年大致呈現逐漸淤積的現象，並於民國 99 年為最大高程 3.97 *m*。

由表 6-2 的高程變化量可知，C 區為臺中港北防波堤至防沙堤間的北淤沙區，其中除了近岸的 C1 區在 85 年～89 年呈現略微侵蝕之情形，其高程侵蝕於 86 年最大，約 -0.14*m*，並於民國 89 年後所有年度高程皆呈現淤積之特性，而 C0 及 C2 自民國 85 年至 99 年間，高程量持續呈現淤積現象，並於民國 99 年淤積達到最大高程分別為 4.93*m*、5.44 *m* 及 4.19 *m*。

D、E、F、G 區為臺中港北防波堤以南的區域，由表 6-2 的高程變化量可知，D3 區各年度皆呈現淤積之情形，最大高程淤積為民國 99 年，約 2.28 *m*；E1 區和 E2 區皆長期呈現侵蝕現象，E1 區於民國 99 年之最大侵蝕高程為 -1.43 *m*，而 E2 區於民國 89 年發生最大侵蝕高程，約 -0.44*m*，E3 區於民國 85 年至 89 為侵蝕現象，並由民國 90 年轉為長期淤積現象，於民國 100 年淤積最大高程為 2.23 *m*。而 F2 區高程長期呈現侵蝕現象，最大侵蝕高程於民國 90 年約為 -1.28 *m*，F3 區於民國 85 至 93 年為侵蝕現象，最大侵蝕高程發生於民國 91 年約為 -0.52 *m*，並由民國 94 年至 100 年轉為淤積現象，並於 100 年為最大淤積高程 1.16 *m*，G0 區民國 85 年至 94 年間為侵蝕現象，期間最大侵蝕高程發生於 94 年，約 -1.83*m*，至民國 94 年後高程則由侵蝕漸轉為淤積，並於 100 年產生最大淤積高程量為 0.36*m*。G1、G2 及 G3 區合計自民國 85 年至 93 年皆為侵蝕之情形，G1 區侵蝕高程於民國 93 年最大，約 -1.59 *m*，其次為 G2 區，最大侵蝕高程發生於民國 92 年為 -0.85 *m*，而 G3 區侵蝕高程於 87 年為 -0.06 *m*。G1、G2 及 G3 區由民國 93 年後各區域高程皆由侵蝕轉為淤積現象，3 區最大淤積高程皆發生於 96 年，分別為 2.27 *m*、2.91 *m* 及 1.0 *m*，其中以 G2 區淤積高程為最大。

表 6-2 臺中港附近地形高程變化量(單位：m)

區域 年度	85~86	85~87	85~89	85~90	85~91	85~92	85~93	85~94	85~95	85~96	85~98	85~99	85~100
	85~86	85~87	85~89	85~90	85~91	85~92	85~93	85~94	85~95	85~96	85~98	85~99	85~100
A0	-0.01	0.27	-0.54	-0.04	-0.15	-0.21	-1.09	0.45	0.08	-2.50	0.62	-1.03	1.16
A1	0.36	0.54	0.27	-0.34	-0.29	-0.29	1.04	3.22	1.45	0.06	3.01	3.73	3.42
A2	0.31	0.35	0.09	-0.58	-0.33	-0.20	1.96	4.40	1.87	2.64	5.38	6.06	5.24
A3	-0.17	0.02	-0.18	0.05	0.06	0.21	2.16	2.85	3.14	4.96	3.81	4.11	3.71
B0	0.02	0.09	0.03	0.09	0.04	0.09	-0.38	0.33	-0.01	1.37	0.64	0.78	0.68
B1	0.35	0.26	-0.62	-0.90	-0.54	-0.69	-0.06	0.75	-0.61	2.59	2.55	3.20	2.88
B2	0.19	0.16	-0.25	-0.35	-0.25	-0.04	0.55	1.95	1.11	4.29	5.02	5.85	5.64
B3	-0.06	0.08	0.31	0.81	0.76	0.91	1.47	2.07	2.60	2.69	3.64	3.97	3.67
C0	0.50	0.77	1.27	1.73	3.26	2.63	2.81	2.49	2.96	4.02	2.33	4.93	3.62
C1	-0.14	-0.01	-0.01	0.08	0.22	0.39	0.59	0.94	1.46	1.75	1.02	2.17	1.99
C2	0.23	0.45	0.49	0.32	0.59	0.96	1.08	1.59	2.60	4.29	4.84	5.44	5.52
C3	0.06	0.25	0.50	0.99	1.00	1.44	1.58	2.04	2.86	2.78	3.61	4.19	4.27
D1	0.04	-0.16	-0.17	-0.24	0.22	0.51	0.48	0.34	0.42	0.41	0.21	0.55	0.35
D2	0.10	-0.08	-0.23	-0.29	0.02	0.03	-0.04	-0.20	-0.04	-0.16	-0.45	-0.01	-0.18
D3	0.05	0.02	0.19	0.43	0.38	0.48	0.69	0.76	1.44	1.66	1.89	2.28	2.52
E1	-0.23	-0.30	-0.88	-0.80	-0.74	-0.48	-0.74	-0.82	-0.61	-0.85	-1.40	-1.43	-1.04
E2	-0.18	-0.22	-0.44	-0.39	-0.25	-0.07	0.18	-0.26	0.06	0.12	-0.42	-0.34	0.14
E3	-0.05	-0.03	-0.18	0.07	0.06	0.18	0.75	0.72	1.33	1.52	1.62	1.49	2.23
F2	-0.28	-0.32	-1.00	-1.28	-0.67	-0.64	-0.17	-0.01	-0.16	0.17	-0.53	0.16	-0.17
F3	-0.09	-0.14	-0.34	-0.40	-0.52	-0.47	-0.32	0.43	0.88	1.16	0.58	0.79	1.30
G0	-0.28	-0.17	-0.07	-0.43	-0.75	-0.74	-1.83	-0.26	0.09	0.35	-2.73	-1.76	0.36
G1	-0.20	-0.64	-1.84	-0.83	-1.20	-1.40	-1.59	0.62	1.04	2.27	1.43	0.95	0.71
G2	0.35	0.08	-0.45	-0.52	-0.66	-0.85	-0.84	2.09	2.55	2.91	2.65	1.45	1.49
G3	0.05	-0.06	-0.32	-0.30	-0.41	-0.55	-0.49	0.92	0.95	1.00	0.01	-0.20	0.53

6.2 海岸飛沙對港池之影響

本章節為探討臺中港北淤沙區海岸飛沙越堤進入港池後受潮汐影響下之運移情況，以質點追蹤方式對飛沙路境進行評估，模擬時間為兩週，而臺中港區之海域質點追蹤模擬結果，由圖 6.29～圖 6.34 所示。並針對同潮位時間點下安良港大排、梧棲大排、中泊渠、北泊渠、臺中港出海口、工業泊渠等區域進行水體流動模擬，以 MIKE 21 HD 與 PT 模式進行計算。本研究數值模式採用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之 MIKE 21 軟體進行數值模擬，DHI 是一個獨立的國際諮詢及科學研究機構，其所研發的 MIKE 21 是模擬水動力、水質、泥沙、波浪的專業工程軟體，主要應用於港口、河流、湖泊、河口海岸和海洋，具有先進的前後處理功能和用戶介面。

本研究以 MIKE 21 HD 水動力模式進行流場模擬，透過波浪場模擬計算所得之輻射應力，作為流場計算之波浪條件，同時配合 MIKE 21 水動力模式中之潮位預報結果，作為驅動 HD 模式進行天文潮推算所需的動力邊界條件。最後以 MIKE 21 PT 質點追蹤模式模擬受海域之水動力作用下，物質傳輸之變化特性，將前述所得之波場及流場計算成果，作為模擬計算之輸入條件，可得波浪與潮流共同作用下所造成之侵淤特性，且經由地形的改變重新計算波浪場，整體分析流程圖如圖 6-1 所示。各模式皆以有限體積法(Finite Volume Method)將控制方程式在空間上進行離散，所採用之網格系統為非結構性三角形網格，每一個三角形都代表一個元素，每一時間步均可解出各元素中心的 N 值。

經由圖 6.37 為安良港大排之模擬結果，從圖中可得知，此區域水體流動範圍僅介於梧棲大排出海口及工業泊渠之間。圖 6.38 為梧棲大排之模擬結果，從圖中顯示出此區域水體流動的區域僅於梧棲大排出海口附近。圖 6.39 為中泊渠模擬結果，此區域模擬結果顯示出水體流動呈現原地打轉，並無向外流動的狀況發生。圖 6.40 為北泊渠模擬結果，於北泊渠的部份可從圖中看出此區域的水體流動是會往北防波堤堤頭附近處。並不會被侷限於此區域內。圖 6.41 為臺中港出海口模擬

結果，由於此區域靠近出海口，因此水體流動容易隨著潮汐之變動而跟著移動帶往北防波堤。圖 6.42 為工業泊渠模擬結果，由於此區域為臺中港港池最內側，因此受到潮汐流動的影響較小，所以導致工業泊渠中水體流動僅在原地打轉。綜合以上結果顯示，航道口附近處之流場將容易隨著潮汐的變動而將漂沙往北防波堤移動。

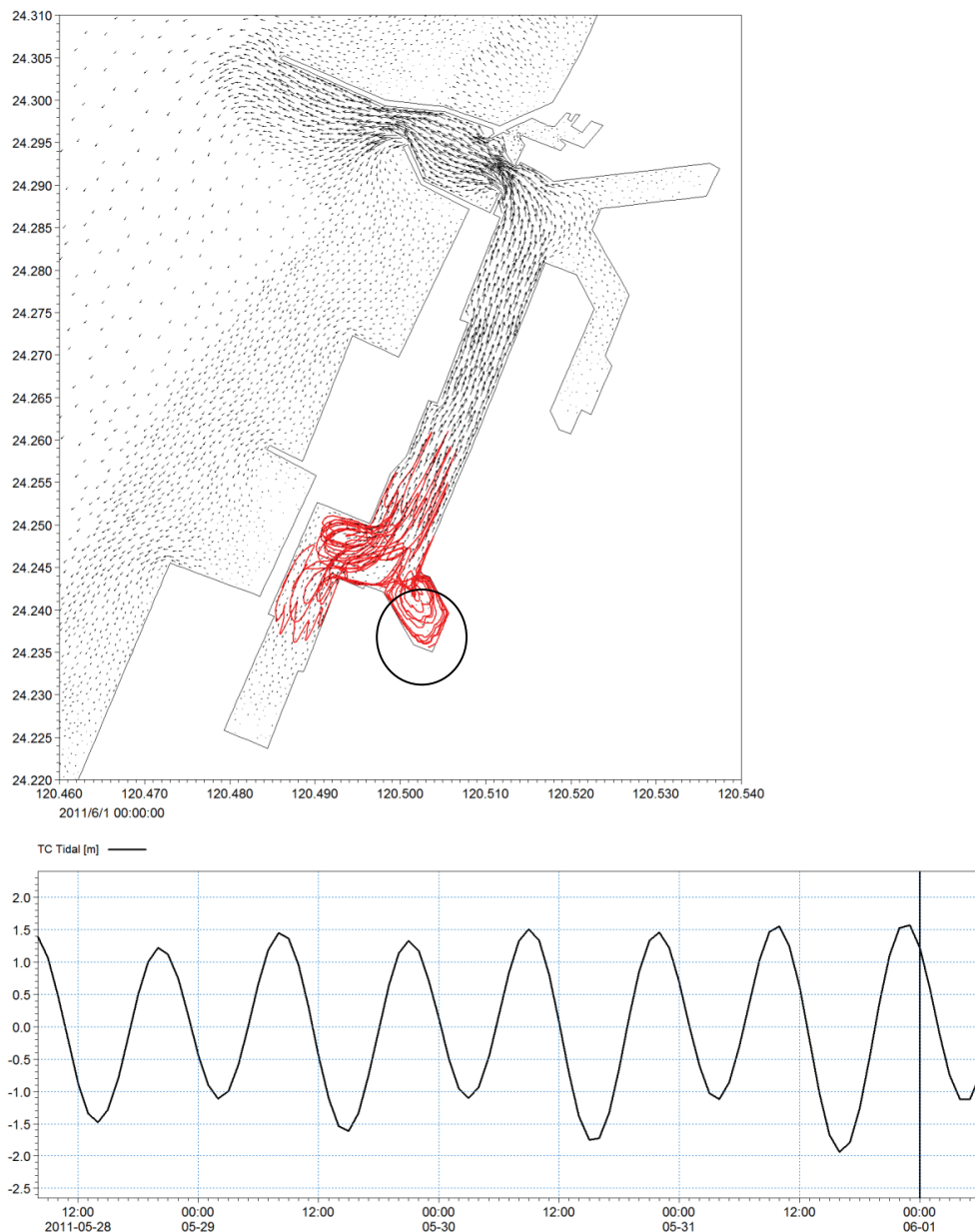


圖6.37 臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：

2011/05/20 00:00:00~2011/06/03:00:00 (安良港大排)

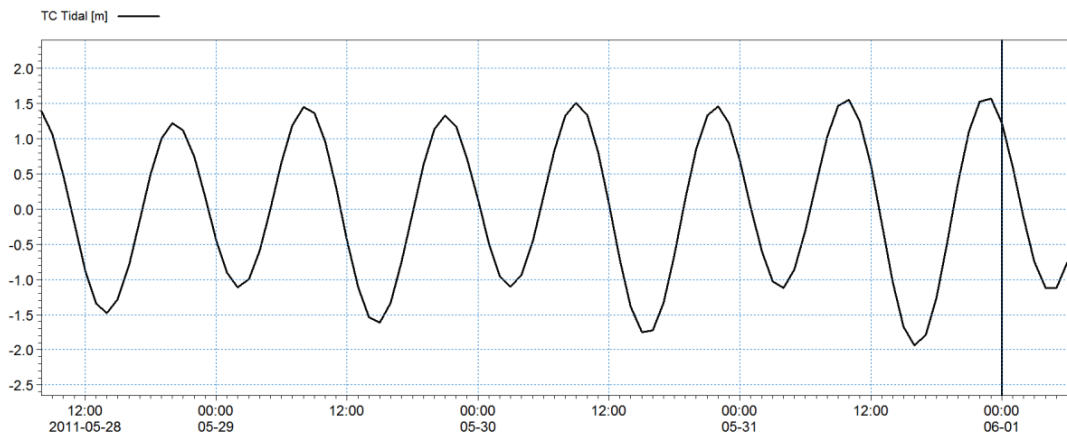
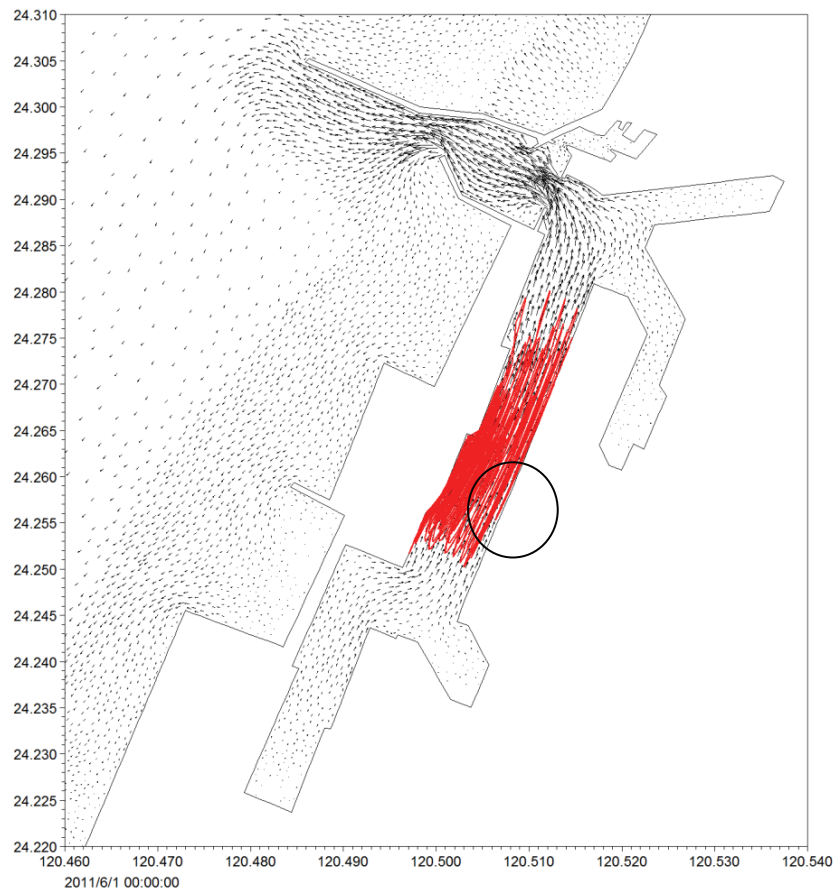


圖6.38 臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：
2011/05/20 00:00:00～2011/06/03:00:00 (梧棲大排)

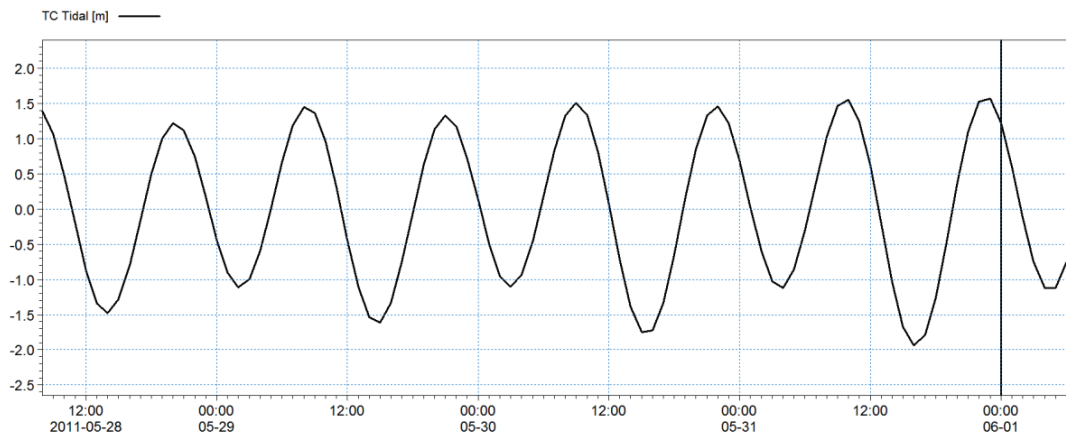
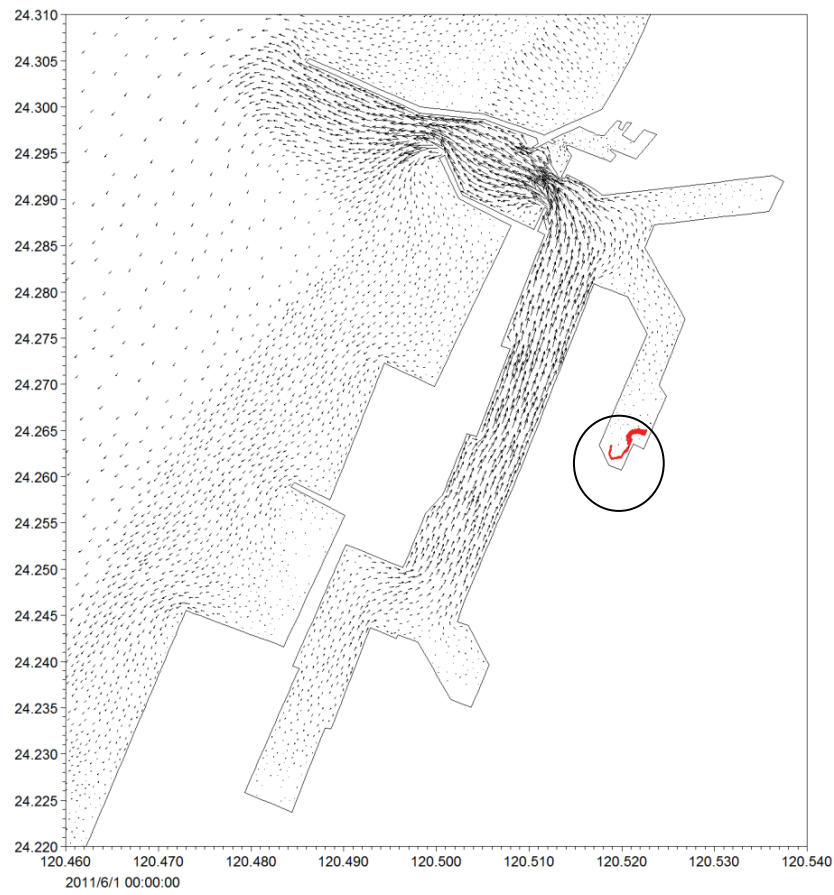


圖6.39 臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：
2011/05/20 00:00:00~2011/06/03:00:00 (中泊渠)

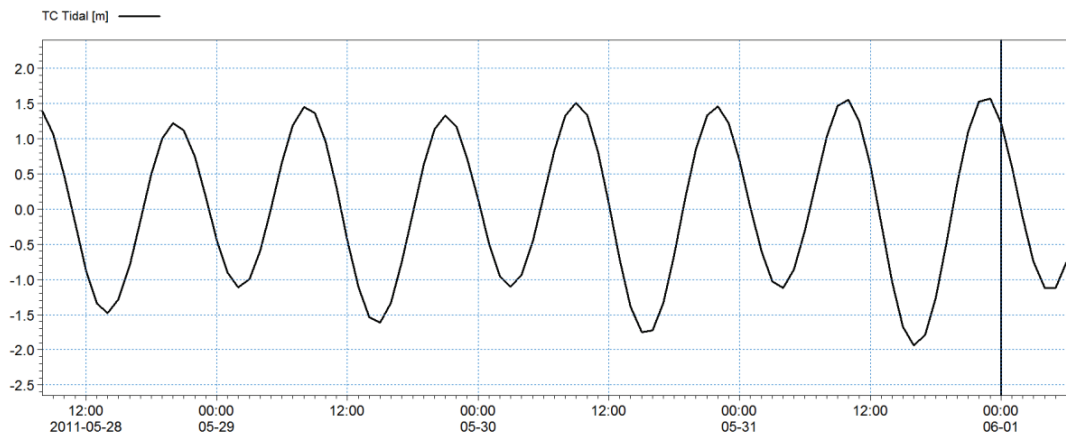
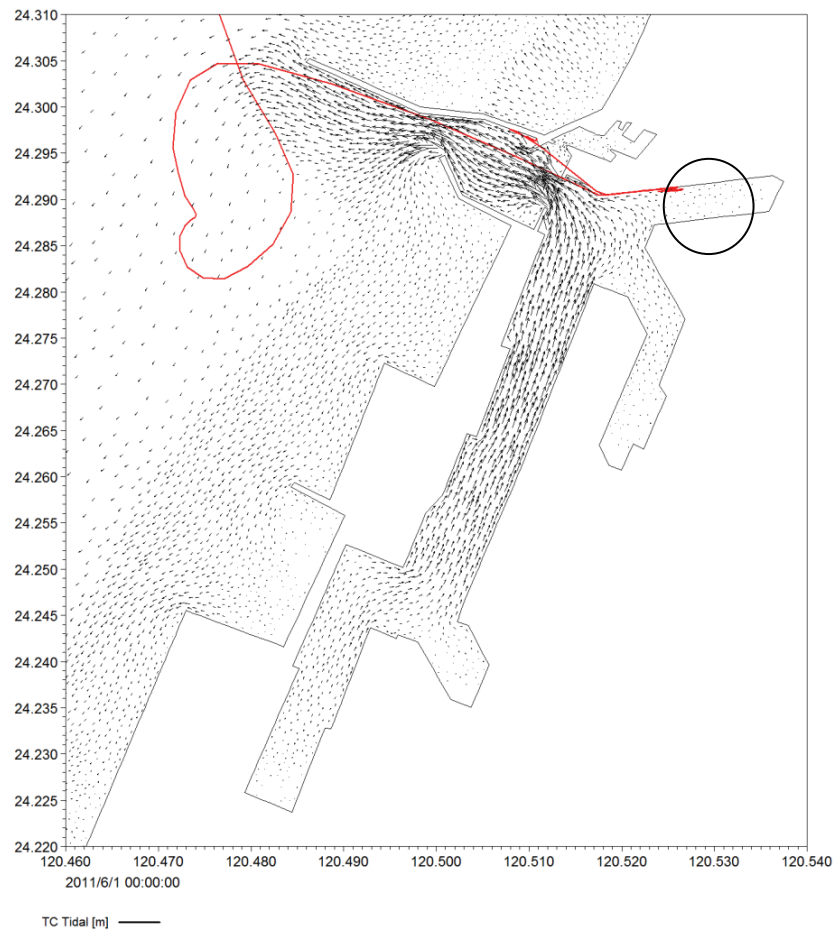


圖6.40 臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：
2011/05/20 00:00:00~2011/06/03:00:00 (北泊渠)

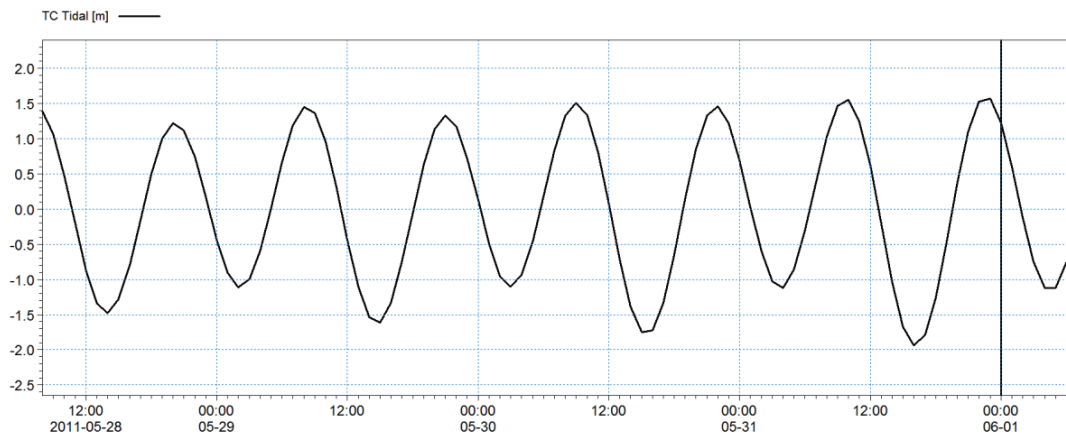
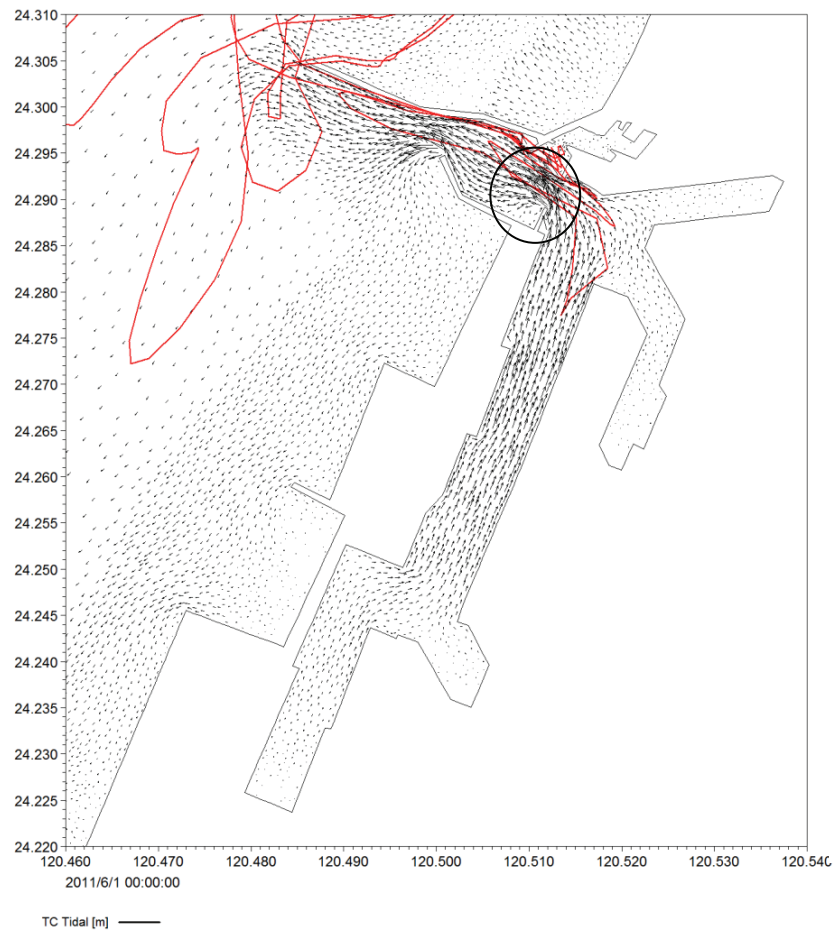


圖6.41 臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：

2011/05/20 00:00:00~2011/06/03:00:00 (臺中港出海口)

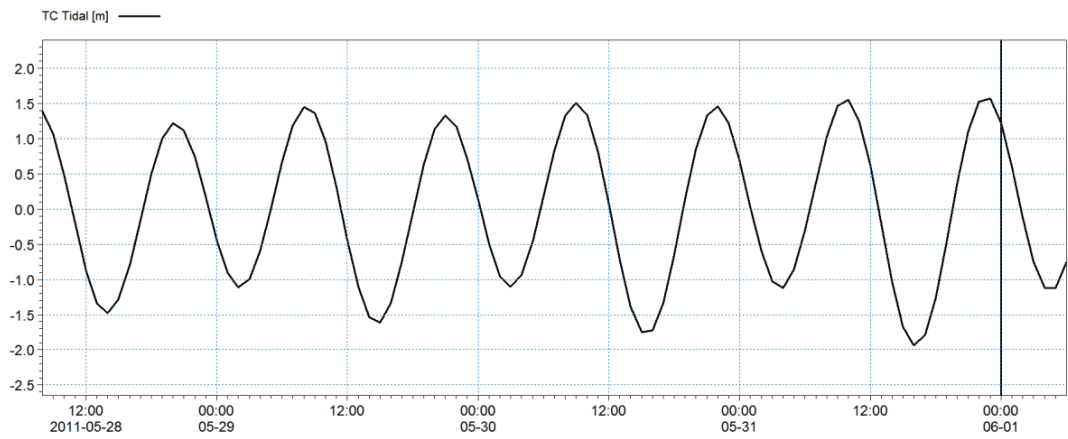
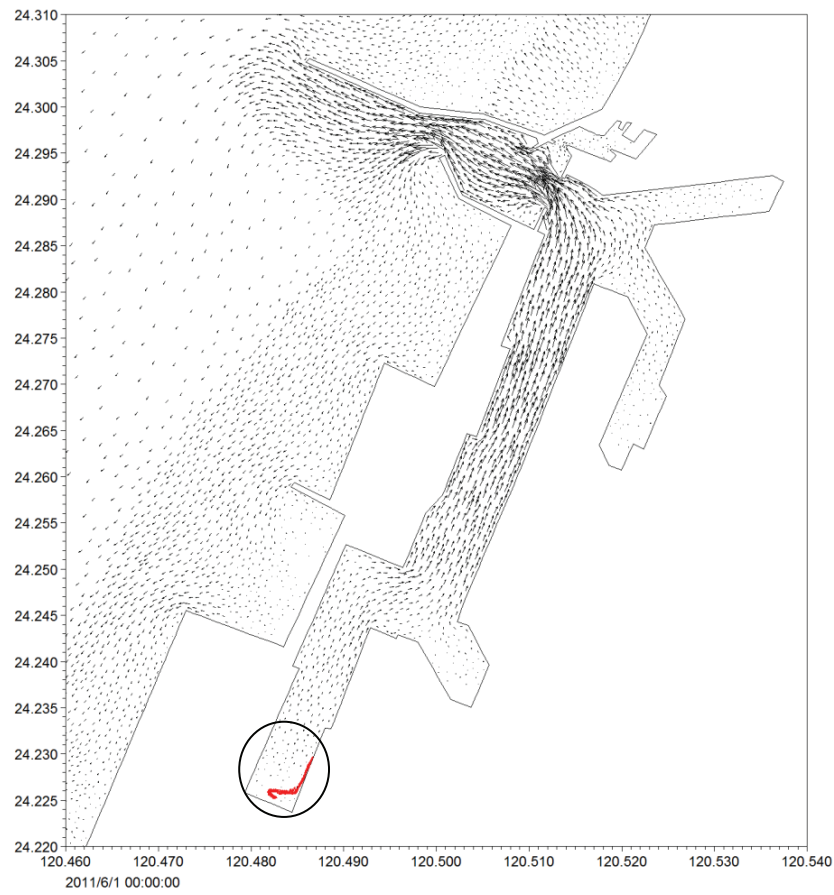


圖 6.42 臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：

2011/05/20 00:00:00～2011/06/03:00:00 (工業泊渠)

6.3 整治方案效益分析與適用性評估

本研究對於第三期整治方案進行效益分析與適用性評估，第三期整治方案示意如圖 2.2 所示。防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防堤堤後港池及二期整治區內。如照片 6-1 所示。在設置防風柵欄後，將可有效的阻擋飛沙飛入港池，若未設置，則飛沙將因擋風牆導流作用影響，匯集於北防波堤堤址附近處而後飛入港內，如照片 6-2 至照片 6-4 所示。

第三期工程規劃北防波堤堤頂處設置長防風柵欄，此設施將可有效的阻擋飛沙於北防波堤前，但由於此設置區域為飛沙於此區域運移的最終路徑，飛沙將於此處快速匯集，當淤積到達一定高度時（如照片 6-2 至照片 6-4 所示），飛沙將順著地形飛越擋風牆進入港池，對港池造成影響。

本計畫對於臺中港北淤沙區飛沙整治後問題改善，可使飛沙停留於北淤沙區整治區域內，減少海岸飛沙對港區營運的影響。彙整本計畫最主要之效益如下：

1. 可減少船舶受航道淤積之影響：

透過北淤沙區區域內之整治，海岸飛沙將可有效被安定於北淤沙區之整治區域內，減少飛沙越堤情況發生，減緩航道淤積的情況發生。因此，減少越堤飛沙量，將可減少上述情形發生及不必要之財務損失與港勤人力支援。

2. 維持港區環境空氣品質問題：

當北淤沙區區域內之海岸飛沙發生越堤後，將導致港區空氣品質受到影響，於東北季風作用期間，飛沙大量懸浮於大氣中，如此將可能造成港勤人員於東北季風期間作業，增加工作之危險性。因此，減少越堤飛沙量，將可減少上述情形發生，及不必要之財務損失及港勤人力受到危害的風險。

3. 提供就業機會：

有建設就能帶動經濟之繁榮，最明顯之表徵就在於就業機會的增加。本計畫結構性工程替代方案執行期間港務局、顧問公司及包商將投入龐大人力參與工程建設，因此，在設計施工期間可帶動國內工程界、營造業及製造業之活絡，而增加工作機會。

4. 促進地方工商之發展：

本計畫在結構性工程替代方案興建期間，工程有關之土木、機械及五金物料及耗材需求量龐大，經常需要大量補充與採購，如此大量而頻繁的交易，勢必刺激當地之物料供應，進而帶動當地之貨物暢流，及工商發達。

5. 生態環境之發展：

北淤沙區將復育出優質綠化親水性土地，有助於提升本港及臺中縣親水遊憩海岸形象，提高海岸觀光遊憩價值，增加廠商投資誘因，創造土地及營運價值。藉由串聯沿線旅遊景點，並結合縣府推廣海線藍帶發展計畫，串聯港區之附近地區觀光資源，可建立臺中港為經濟、環保與生態之綠色港埠形象。



照片 6-1 北淤沙區三期整治區（2012/06）



照片 6-2 北淤沙區三期整治區 (2012/06)



照片 6-3 北淤沙區三期整治區 (2012/06)



照片 6-4 北淤沙區三期整治區 (2012/06)

6.3.1 效益分析

本研究以民國 91 年後水深地形為基準，計算港池內部水深地形變化，位置如圖 6.43 所示。由圖 6.44 得知，於民國 92 年～民國 100 年港池航道口淤積體積為 $22 \times 10^4 m^3/year$ ，若此飛沙量均能攔阻於北淤沙區內，則每年可減省約 5 千 5 佰萬之浚深費用（清運費係依據臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫內容指出，航道口飛沙清運費為每方 250 元計算）。

分析 C3 區與 D3 區之兩區沙量每年約產生 $294 \times 10^4 m^3/year$ ，若延長北防波沙堤及興建定沙突堤，將可把沙源有效安定於臺中港北淤沙區內。若無法將沙源安定於北淤沙區內，將使得沙源繞過北防波堤，使得部分漂沙進入港池，增加港池所需之浚深費用。

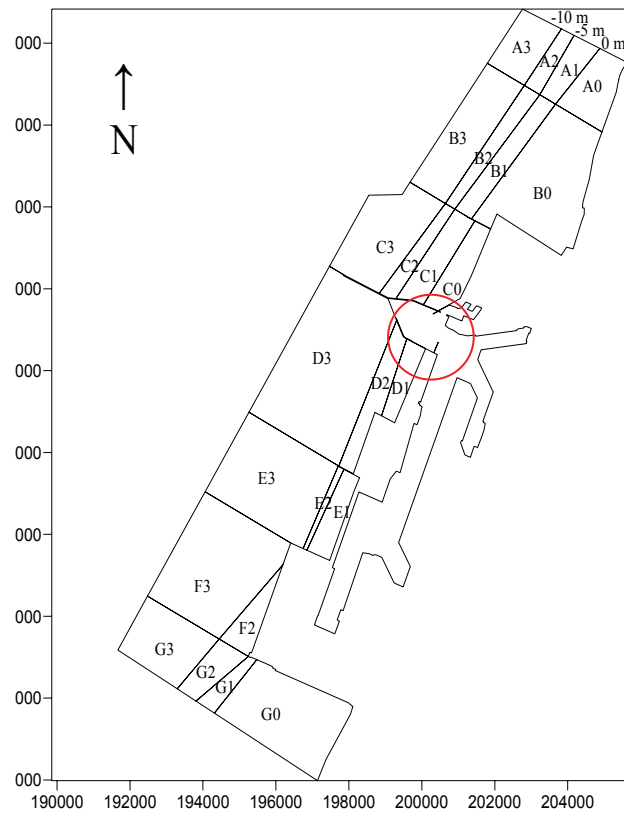


圖 6.43 臺中港航道口位置示意圖

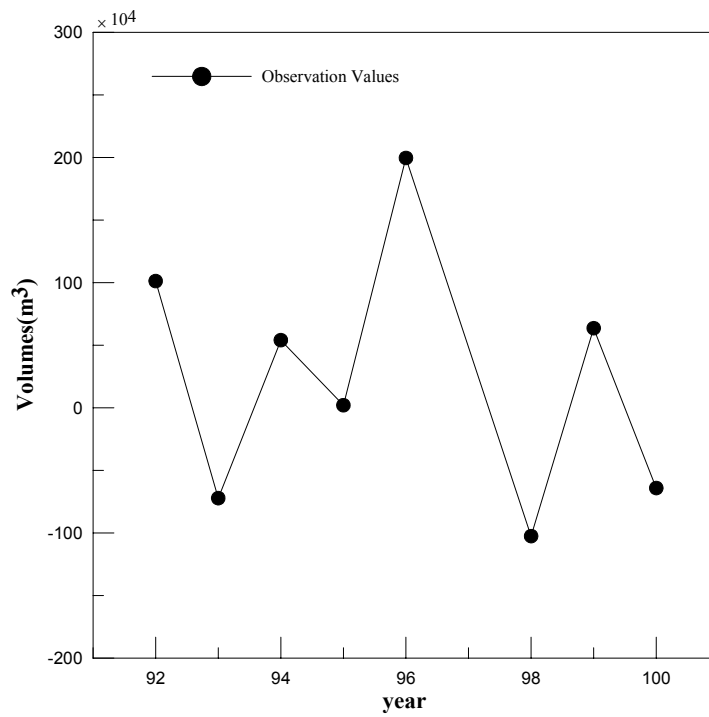


圖 6.44 臺中港航道口侵淤量之變化圖

6.3.2 適用性評估

臺中港北淤沙區海域延長北防沙堤，可增加北淤沙區攔蓄漂沙之能力，降低短時間內漂沙大量繞過北防波堤淤積於港外航道附近海域，疏緩該區域海床淤淺速度，使航道維持基本操航深度，降低大型船舶進港操航受漂沙淤積影響之風險。

本研究為瞭解整治區域內編籬定沙之攔沙情況，並於竹籬前方迎風面向設置捕沙器，進行編籬定沙攔阻率試驗。由試驗結果表 6-3 可知，飛沙量攔阻率試驗之平均風速為 11.6 m/s，而飛沙在編籬定沙第一層時達到 99.7%，於第二層可達到 99.9%，第三層時飛沙量已呈現微量狀態。以上結果顯示編籬定沙之工法可有效攔阻飛沙。

北淤沙區整治後之效果評估結果如圖 6.45 所示，評估係以東北季風作用期間為四個月與每月 $32.86 \text{ m}^3/\text{m-month}$ 與沙灘深度北防沙堤北側為 300m 與北淤沙區沙灘 500m 計算。在編籬定沙竹籬高度為 2 m 設置下，若飛沙均有效被此方法攔阻，以此設置估算此區域可容納之飛沙量，該區體積與飛沙體積換算後可得，北防沙堤以北之編籬定沙區估計有效期限為 1.09 年 [$43,000 \text{ m}^3 / (32.86 \text{ m}^3/\text{m-month} * 4 \text{ month/year} * 300 \text{ m}) = 1.09 \text{ 年}$]。其它區域均以此推算，北防沙堤以北之編籬定沙區為 7.04 年 [$463,000 \text{ m}^3 / (32.86 \text{ m}^3/\text{m-month} * 4 \text{ month/year} * 500 \text{ m}) = 7.04 \text{ 年}$]，編籬定沙區為 9.6 年 [$463,000 \text{ m}^3 / (32.86 \text{ m}^3/\text{m-month} * 4 \text{ month/year} * 500 \text{ m}) = 9.6 \text{ 年}$]。

表 6-3 飛沙運移方向之編籬定沙攔阻率試驗表

試驗 測回	第一層 飛沙量 (g/m-s)	第一層 攔阻率 (%)	第二層 飛沙量 (g/m-s)	第二層 攔阻率 (%)	第三層 飛沙量 (g/m-s)	平均 風速 (m/s)
1.	49.72	99.7	0.12	99.9	0.003	12.0
2.	44.51	99.4	0.23	99.9	0.001	11.4
3.	46.30	99.6	0.17	99.9	0.001	11.5
平均值	46.84	99.6	0.17	99.9	0.0016	11.6

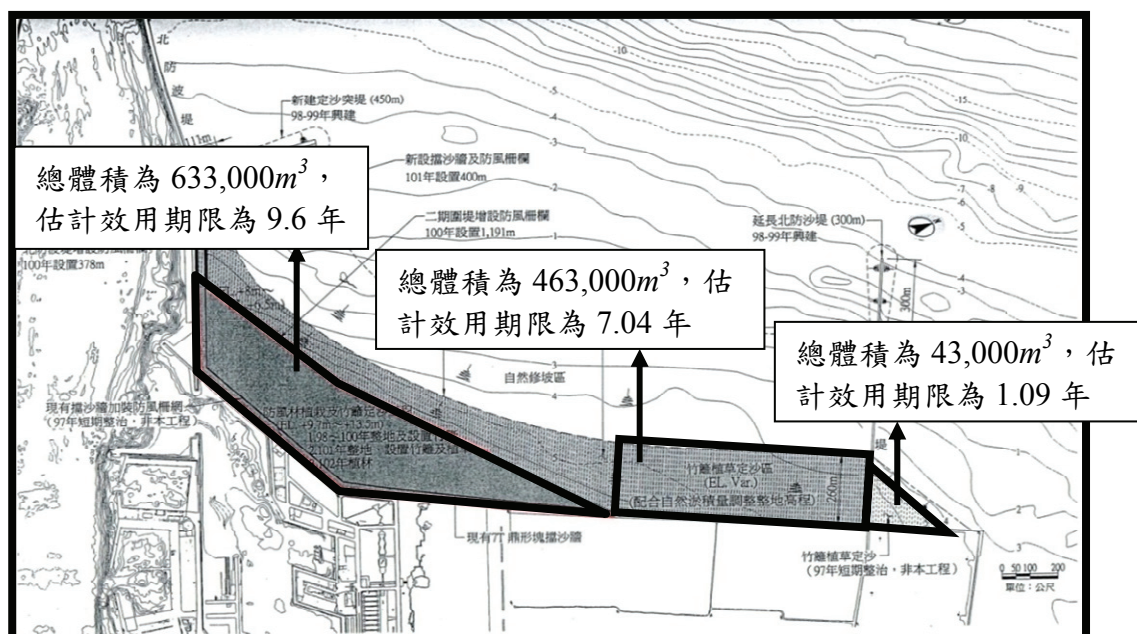


圖 6.45 北淤沙區整治後之效果評估圖

第七章 結論與建議

漂沙平衡機制受到海岸結構物與潮波流特性影響，使得海岸過程為一複雜的變遷行為。為能了解複雜的海岸變遷過程，海岸漂飛沙機制研究為本研究主要的課題。海岸過程中除海域變遷中之漂沙影響外，亦須考慮海岸受鄰近上下游河川排放沙源與強勁季節風作用影響，使得大量沙灘上游之沙源往下游吹送，故導致海岸常產生淤積與侵蝕現象以及港池航道產生淤淺的現象。本研究探討臺灣中部臺中港港灣附近之地形變遷機制，評估整治方案之效果，俾提供施政以及工程單位之參酌。

本研究透過現場觀測方式，量測及推估臺中港北淤沙區之飛沙量與越堤量，為探討飛沙對海岸地區空氣品質影響，並於北防波堤堤址與擋風牆外進行空氣品質監測。藉由此研究提出此研究區域之海岸漂飛沙特性，進而提供未來此區域以及類似漂飛沙問題海岸整治之參考。根據以上分析項目得到以下幾點結論與建議：

7.1 結論

1. 本研究經由現地量測結果得出，北淤沙區沙灘區飛沙垂直分佈比例， Q_0 飛沙量佔總飛沙量的 68.3%、 $Q_{0.1}$ 飛沙量為總飛沙量的 20.1%、 $Q_{0.2}$ 為總飛沙量的 6.8%、 $Q_{0.3}$ 為總飛沙量的 2.4%、 $Q_{0.4}$ 為總飛沙量的 1.2%、 $Q_{0.5}$ 至 $Q_{0.9}$ 飛沙量約佔總飛沙量的 0.1%~0.4%之間，於高程 0.2 m 以下有較多之飛沙發生，高程高於 0.2 m 以上則急遽減少。
2. 臺中港北淤沙區越堤特性，由北防沙堤越堤所得 $Q_{0.1}/Q_0$ 之比例較沙灘區量測結果為小，顯示此區域之飛沙受北防沙堤影響，仍以表層移動為主。而北防波堤越堤特性所得 $Q_{0.1}/Q_0$ 之比例較沙灘區(不受結構物影響)量測結果較大，顯示此區域之飛沙受地形影響，飛沙移動主要高度較沙灘區大。

3. 經由北防波堤堤址及擋風牆外圍之空氣品質現地監測結果顯示，北防波堤堤址(擋風牆南側) PM_{10} 平均濃度為 $928.1 \mu g/m^3$ 、擋風牆外圍(擋風牆東側) PM_{10} 平均濃度為 $132.3 \mu g/m^3$ ，將以上兩區 PM_{10} 平均濃度對應 PSI 值分別為 PSI(500) 以上及 PSI(100)，並由 PSI 值與健康影響中顯示，北防波堤堤址之空氣品質為有害，對應人體健康中於敏感族群方面，除了不適症狀顯著惡化並造成某些疾病提早病發，且將減低正常人的運動能力。而擋風牆外圍之空氣品質為普通，對於人體無立即之影響。
4. 本研究分析民國 85 年～100 年臺中港附近地形累積各區侵淤總量和分別以各區總面積 A 區 $526 \times 10^4 m^2$ 、B 區 $753 \times 10^4 m^2$ 、C 區 $826 \times 10^4 m^2$ 、D 區 $1,284 \times 10^4 m^2$ 、E 區 $792 \times 10^4 m^2$ 、F 區 $862 \times 10^4 m^2$ 、G 區 $1,049 \times 10^4 m^2$ 計算高程，A 區淤積量為 $103 \times 10^4 m^3/year$ 、高程為 $0.19m$ ；B 區侵淤淤積量為 $206 \times 10^4 m^3/year$ 、高程為 $0.27m$ ；C 區淤積量 $213 \times 10^4 m^3/year$ 、高程為 $0.25m$ ；D 區淤積量 $173 \times 10^4 m^3/year$ 、高程為 $0.13m$ ；E 區淤積量 $88 \times 10^4 m^3/year$ 、高程為 $0.11m$ ；F 區淤積量 $64 \times 10^4 m^3/year$ 、高程為 $0.07m$ ；G 區淤積量 $39 \times 10^4 m^3/year$ 、高程為 $0.03m$ 。
5. 綜合漂、飛沙對臺中港附近海域之影響，本研究經由侵淤分析得知民國 86～91 年臺中港北防波堤至北防沙堤間有部分淤積，而民國 91 年臺中港北防波堤延伸後，在北防波堤堤頭附近亦產生淤積，並擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕之現象，累計至民國 100 年之地形，則呈現大量淤積的趨勢。
6. 本研究針對臺中港北淤沙區之飛沙防治，進行效益評估的現地試驗，其防治飛沙設施在飛沙移動路徑上可有效的攔阻海岸飛沙，攔阻率達 99%，估計每年可攔阻約 30 萬方立方公尺之飛沙量。

7.2 建議

1. 本研究針對臺中港北淤沙區飛沙整治，適逢第三期工程進行整治重新整地，本研究建議於整地後之地形持續監測，以瞭解對地形之變化趨勢。對於北淤沙區之監測方式，建議以全區域高程測量方式對北淤沙區進行測量。
2. 於第三期工程灘地整地後，應對整地後之空氣品質進行全面性監測，以瞭解擋風牆外及北防波堤堤址之長期趨勢，並評估對北淤沙區對臺中港區的威脅及損害。

7.3 成果效益與後續應用情形

本研究對於臺中港附近海域的近岸漂、飛沙機制已進一步釐清了解。並經由現地勘查與現地高程量測，可分析出北淤沙區飛沙的遷移過程。所設置擋沙牆、防風柵欄及編籬定沙等，將可有效的將飛沙安定於定沙區域內，此設施可使飛沙不致運移至航道中，可有效節省因飛沙越堤所造成之港池淤積所需之浚深經費。此結果將可應用在北防波堤北側與北防沙堤間的漂、飛沙整治與航道口維護，提供臺中港務分公司於港灣設施維護與設計上的參考，此外，本研究之研究方法及成果，亦可提供相關港務管理及港灣規劃單位，面對漂沙及飛沙問題研擬對策之參酌。

參考文獻

1. 吳正(1968),「新疆和田地沙土及土壤風蝕的初步研究」,中國地理學會地貌學術討論會,125-127 頁。
2. 江永哲、張文詔 (1978),「海岸飛砂量估算之風洞試驗」,中華水土保持學報,9 (2), 55-81 頁。
3. 交通部臺中港務局 (1979),「臺中港漂沙評估報告」。
4. 交通部臺中港務局 (1985),「臺中港第一期工程完工報告」。
5. 交通部臺中港務局 (1988),「臺中港港口擴建計畫評估研究」。
6. 交通部臺中港務局 (1992),「臺中港北側淤沙區漂飛砂整治規劃研究」。
7. 交通部臺中港務局 (1994),「臺中港漂沙防制與新生地開發」。
8. 交通部臺中港務局 (1999),「臺中港港池泊渠浚及圍堤造地規劃」。
9. 交通部臺中港務局 (2003),「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治暨生態保育研究」。
10. 林宗儀、許泰文、臧效義 (2006),「臺中港飛砂整治研究」,26 屆海洋工程研討會,677-682 頁。
11. 吳昌翰 (2006),「臺中港海岸飛砂量推估之研究」,中興大學水土保持學系碩士學位論文。
12. 交通部臺中港務局 (2007),「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程可行性研究」。
13. 交通部臺中港務局 (2009),「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」。
14. 范姜明威 (2010),「臺灣中部河口飛砂及揚塵調查與研究」,中興大

學水土保持學系碩士學位論文。

- 15.行政院環保署 (2011),「甲級空氣污染防治專責人員訓練教材」。
16. Anderson, R., and Willetts, B. (1991), "A review of recent progress in our understanding of aeolian sediment transport," *Acta, Mechanica. Supplementum*, Vol. 1, pp. 1-19.
17. Bagnold, R.A. (1954), "The physics of blown sand and desert dunes," Chapman and Hall: pp. 86.
18. Horikawa, K. and Shen, H.W. (1960), "Sand movement by wind action on the characteristics of sand traps," Beach Erosion Board Crops of Engineers, Technical Memorandum.
19. Huang, N., Zheng, X.J. (2003), "Theoretical simulation of developing process of wind-blown sand movement," *Key Engineering Materials*, Vol. 243, pp. 589-594.
20. Zhang, Wand Lee, S.J.(2007), "Two-phase measurements of wind and saltating sand in an atmospheric boundary layer," *Geomorphology*, Vol. 88, pp. 109-119.

附錄一

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

☒期中☐期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-101-H2DB004a

計畫名稱：近岸漂沙機制與防治研究(4/4)

執行單位：弘光科技大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
楊文衡委員： 1. 本計畫最後應整理前三年所得研究結果，並提出適合該區有效之漂、飛沙防治對策，俾提供施政及工程單位參酌。 2. 本報編排有誤值，如 P.4-7 圖 4-7 下圖應更正為圖 4-8，表 4-7，編排應放至表 4-5 與 4-6 後。	1. 謝謝委員指教，將於期末報告中提出適合該區有效之漂、飛沙防治對策。增列於第六章 2. 謝謝委員指教，將修正圖 4-7 為圖 4-8，並將表 4-7，編排放至表 4-5 與 4-6 後。詳見第四章 P.4-7 及 P.4-17	符合 符合
黃隆明委員： 1. 本計畫前 3 年已有豐碩成果，本年度新增項目將使本計畫更臻完善。 2. 建議在不同氣候狀況下，增加不同風速等級時飛沙量之觀測數據。 3. 表 4-5 與表 4-6 之 Q 差異頗大，請說明原因？	1. 謝謝委員的指教。 2. 謝謝委員指教，於期末報告中增加不同氣候條件及不同風速等級時飛沙量之觀測數據。將於適合之氣候條件及不同風速下，對該區域持續進行監測。 3. 謝謝委員指教，表 4-5 與表 4-6 之 Q 差異為試驗地點受地形、結構物及飛沙來源不同所致，故其比例分配有明顯差異，故本研究分別對不同區域飛沙量進行統計比較。	同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
4. 圖 5.1 及圖 5.3 及圖 5.4 其縱橫坐標與說明不符，請修正。 5. 表 4-5A 位置之 Q_{0m} 與其他位置差異較大，而表 4-6D 位置之 Q_{0m} 亦與其他位置差異較大，請說明原因？ 6. 請說明為何圖 4.13Z 之高度與表 4-4 不同？	4. 謝謝委員指教，於期末報告中更正圖 5.1 及圖 5.3 及圖 5.4 之說明。 詳見期末報告第五章 P.5-1 及 P.5-4。 5. 謝謝委員指教，表 4-5A 位置佈設於靠擋風牆測，受結構物影響，故產生與其它點位明顯之差異表現，而表 4-6D 位置較靠近於沙灘地區，所測得之沙粒含水率較高，Q_0 亦與其他位置差異較大。 6. 謝謝委員指教，將更正圖 4.13Z 之高度與表 4-4 相符。修正於期末報告第四章 P.4-12。	符合 同意 符合
劉景毅委員： 1. 本計畫主軸為近岸漂沙機制探討與防治研究，風吹沙為影響臺中港近岸漂沙平衡的重要沙源之一，因此本年度以風沙評估研究為主軸建議在寫期末報告成果時，宜再加強風沙評估與前幾年海岸漂沙研究成果的鏈結，並針對臺中港的近岸漂沙機制進行總探討，再建議防治對策，讓研究成果可以更為完整。 2. 臺中港北堤北側之風吹沙量每年約多少？可否推估風吹沙掉落在那些區域？	1. 謝謝委員指教，於期末報告中增加風沙評估與前幾年海岸漂沙研究成果之鏈結，並將針對臺中港的近岸漂沙機制進行總探討。臺中港的近岸漂沙機制進行總探討，詳見於期末報告第六章節。 2. 謝謝委員指教，於期末報告中臺中港北堤北側之每年之風吹沙量進行推估，	符合 符合

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
所使用之風速資料的測量 高程為何?其與本計畫量 測風速風向的相關性為 何? 3. 臺中港 89 年防波堤延伸 後，防波堤南側近岸海域 呈現侵蝕，在 94 年後轉為 淤積，其沙源來自何方?是 否可能與風吹沙有關?此 區長期資料顯示風向以北 往南為主，與本計畫量測 風向是否相同?是否有地 形影響因素，使得風吹沙 被吹向近岸海域，導致北 防波南側之淤積。 4. 5.3 節整治方案之評估，宜 再加強，北防波堤之興 建，其效益為何?是否能達 到預期的效果?	並補充說明風速資料的測 量高程及本計畫量測風速 風向之相關性。詳見期末 報告第四章 P.4-13 及 P.4-14。 3. 謝謝委員指教，將於期末 報告中進行探討沙源方向 與風吹沙相關性，報告中 量測風速資料為 N 與長期 資料顯示風向以北往南相 同。並增加探討地形影響 因素。 4. 謝謝委員指教，於期末報 告中增加整治方案之評估 及北防波效益。詳見於期 末報告中第六章 P.6-36~ P.6-37。	同意 符合
陳文俊委員: 1. 部份環境背景統計資料建 議能加註統計平均之期 程。 2. 報告內容之研究以飛沙為 對象，題目為“近岸漂 沙”建議能予報告中敘 明，可避免被題目誤導。 3. 有無嘗試利用一些 U^* 經驗 公式來作為風沙量估算式 之探討，因為以 U^* 作為參	1. 謝謝委員指教，於期末報 告中加註環境背景統計資 料統計平均之期程。詳見 於期末報告中第二章各統 計表之說明。 2. 謝謝委員指教，於期末報 告中將修正敘明。近岸漂 沙於期末報告中第六章敘 述。 3. 謝謝委員指教，於期中報 告 4.2.1 中試以將 U^* 作為 飛沙量推估因子，詳見於	符合 符合 符合

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
數因子會更符合漂沙力學之機制。 4. 已有一些觀測資料及一些調查數據，能否得知臺中港北淤沙區飛沙產生之起動風速(門檻風速)是多大? 此對建立飛沙量估算及未來防治對策皆有助益。 5. 由飛沙捕抓之高度分佈以地表處量體最大，0.1m 以下也幾達 90%之總量，且風向亦有局限，此可提供後續飛沙防治有效對策研擬之思考，並期盼期末來能有具體可行方案之提出，供委辦單位參考。	期末報告第四章 P.4-9。 4. 謝謝委員指教，於期末報告中將增加臺中港北淤沙區飛沙產生起動風速之門檻風速。詳見於期末報告第四章 P.4-2。 5. 謝謝委員指教，並於期末報告中提出具體可行方案，供委辦單位參考。詳見於期末報告第六章 P.6-36~P.6-37。	符合 符合
何良勝委員： 1. 有關前三年研究成果專列一節說明，其中第三年部份宜增加陳述。 2. 第四節之飛沙模式建立部分，建議增列前人相關研究。 3. 建議期末報告中，補充說明飛沙實際對港區影響及相關改善方案(宜配合臺中港未來可能實行方法);以及可能和前幾年淤沙結果的總結說明。	1. 謝謝委員指教，於期末報告中將前三年研究成果專列一節說明，並加強第三年部份陳述。詳見於期末報告第一章 P.1-3。 2. 謝謝委員指教，於期末報告中飛沙模式建立部分增加前人相關研究。增列於第四章 P.4-2。 3. 謝謝委員指教，於期末報告中增加飛沙實際對港區影響及相關改善方案說明，並提出前幾年淤沙結果的總結說明。前幾年淤沙結果的總結說明，於期末報告第一章 P.1-3	符合 符合 符合

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
張富東委員：		
1. 飛沙機制最重要的是起動因子為粒徑及風速的關係，本研究未進行飛沙調查的時粒徑分析及相對的風速條件。	1. 謝謝委員指教，於期末報告內增加探討粒徑及風速之關係性。詳見於第四章4-13。	符合
2. 研究區域已經過整治工程，風場條件已非前幾年的情況，風速、風向調查應該在實測區域設置臨時風的觀測站，不應採用梧棲測站的資料來推估。	2. 謝謝委員指教。於期中報告係以港灣技術研究中心海外風速風向測站資料來進行推估。	同意
3. 研究題目漂砂機制與防治，報告偏向飛沙。	3. 謝謝委員指教。第一年與第二年主要以漂沙為主，而第三年與第四年以飛沙為主，並於期末報告中將進行漂飛沙之總整。	同意

附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

□期中☑期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-101-H2DB004a

計畫名稱：近岸漂沙機制與防治研究(4/4)

執行單位：弘光科技大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
陳文俊委員：		
1. 本案已對臺中港之近岸漂沙機制及防治工法效益皆有成果提出，對未來臺中港飛沙之防治有所幫助，給予肯定。	1. 謝謝委員肯定，本計畫所得之研究結果將發表期刊及提供相關工程單位參考。	同意
2. P.2-3 文中敘述“預計2012 進行...”建議修飾。	2. 謝謝委員意見，於期末報告修正 P.2-3 文中“預計2012 進行”之敘述。	符合
3. 飛沙量測中值粒徑大小與飛沙來向是否有關(來向與量測距離)?	3. 謝謝委員意見，飛沙量測中值粒徑大小之飛沙來向，經由試驗量測飛沙中值粒徑與飛沙量測位置有關，於北側中值粒徑越大，於南側中值粒徑較小。	同意
4. P.4-1(4-2)式 d 是否為 d_{50} ，若是，建議報告中皆以統一。	4. 謝謝委員意見，本計劃期末報告中 P.4-1(4-2)式 d 為沙粒粒徑， d_{50} 為中值粒徑。	同意
5. 本研究 u^* 與 $u_{0.2}$ 關係不佳之原因可能為何?有無可能知道問題所在?	5. 謝謝委員意見，由於空氣運動係受到摩擦力之影響，受現地地表之空氣所受摩擦作用最大，於起伏不平之地區，空氣易形成渦漩運動。亦即有較高之摩擦風速，並不一定有較高之風速存在。	同意
6. 由第六章圖 6.2～圖 6.14 之侵淤變化圖發現	6. 謝謝委員意見，防波堤兩側之地形明顯淤積情形與	同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
似乎無論北防沙堤是否興建，防波堤兩側之地形仍是持續之明顯堆積情形，顯示本防沙堤功效不高，且 96 年以後北側海域亦呈明顯堆積情形？顯見可能與大甲溪河川輸沙與沿岸漂沙可能有密切之關係，未來應可由此探討與淤積速率及淤積範圍之探討。 7. 因為本案之飛沙多集中在 0.2 m~0.0 m 以下，未來之飛沙防治以不讓淤沙積高機會，則將可增加攔沙之壽命及越過堤頂之機率。另外未來竹籬定沙亦可依此特性採漸變高度方式處理以破壞風場結構方式降低風沙傳播距離。	防波堤、潮流及大甲溪河口輸沙相互作用有直接之影響。其結果之呈現於「近岸漂沙機制與防治研究(2/4)」中，對於大甲溪河川輸沙與沿岸漂沙可能有密切之關係，未來將持續進行探討與淤積速率及淤積範圍。 7. 謝謝委員意見，本計畫之現地試驗飛沙量 Q 與高程 Z 之研究成果，提供相關單位進行參考。	同意
黃隆明委員： 1. 摘要表飛沙之英文建議修正為 Aeolian Sand 並請補空氣品質之英文關鍵詞。 2. 圖表若非本計畫所得，建議於圖表說明下方註明參考來源。 3. 建議增加英文參考文獻。 4. P.4-13 粒徑 0.22 m~0.26m 請修正為 0.21mm	1. 謝謝委員指教，於期末報告修正摘要表飛沙之英文為 Aeolian Sand，並增加空氣品質之英文關鍵詞。 2. 謝謝委員指教，於期末報告中之非本計畫圖表下方說明增加註明參考來源。 3. 謝謝委員指教，於期末報告中第一章 P.1-10 增加英文參考文獻。 4. 謝謝委員指教，於期末報告中 P.4-13 粒徑 0.22m~	符合 符合 符合 符合

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
~0.26mm。 5. P.3-4 垂直式沙粒收集器無法隨風向自動調整收及口之方位，所收集成果會產生較大誤差，建議爾後相關實驗應考量修正。 6. 沙體含水量與發沙量之關係為何？建議後續能夠再從事相關試驗。	0.26m 修正為 0.21mm~0.26mm。 5. 謝謝委員意見，本研究分析及採樣，皆配合時序列風速風向計進行分析，確認採沙器設置之方向為主要風向，皆為 N 向。 6. 謝謝委員指教，於期末報告中 P.4-13 增加沙體含水量與飛沙量之關係。	同意 符合
張富東委員： 1. 本研究以 85 年之地型為基準年，期間於民國 89 年至 91 年因北防波堤延長 850 公尺，受延長工程影響，其北防沙堤至北防波堤間，侵淤量變化很難論斷，建議本研究以 91 年防波堤延長工程完後，為基準，來探討港池佈置現狀的侵淤量，較有參考價值。(放置於圖 6.2~圖 6.14 之後)。 2. 建議本研究結論，能針對全區侵淤總量作一量化描述，並探討其侵淤量的來源。(淤積時的沙源，或侵蝕時流向何方?)	1. 謝謝委員意見，於期末報告中 P.6-9~P.6-13 增加以 91 年防波堤延長工程完後為基準之臺中港附近地形侵淤變化圖，探討民國 91 年~民國 100 年港池佈置現狀之侵淤量。 2. 謝謝委員意見，於第七章結論增加全區侵淤總量的量化描述 P.7-2 第 4 點及探討其侵淤量之來源 P.7-2 第 5 點。	符合 符合
楊文衡委員： 1. 空白頁整理。	1. 謝謝委員意見，將刪除其餘之空白頁。	符合

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
2. d_{50} mm 更正。	2. 謝謝委員意見，將更正 d_{50} 之單位。	符合
3. Mike-21 二維，PT 質點無法算淤積量。	3. 謝謝委員意見，PT 依據流場水動力特性能描述表面流速軌跡，對於飛沙進入港池之淤積，以實測地形加以分析。	同意
4. 流場須加風場，以冬季為主，時間最好壹至參個月為佳。	4. 謝謝委員意見，對於流場中加入冬季風場之地形變遷分析，已呈現於「近岸漂沙機制與防治研究(2/4)」中。	同意
5. 最好以 Mike-3(ST)算航道港池每季淤積量。	5. 謝謝委員意見，考量現有模式無 Mike-3(ST)，故無法以此模式進行模擬。	同意
何良勝委員： 1. 報告格式，請依本所規定辦理。 2. 請補充說明摘要內容。 3. 相關飛沙監測成果，宜說明監測之時間(或季節)。 4. 有關第三期整治方案之效益分析，請補充說明。	1. 謝謝委員意見，於期末報告中修正格式。 2. 謝謝委員意見，於期末報告中補充摘要內容。 3. 謝謝委員意見，於期末報告中 P.3-1、P.3-6、P.3-7、P.3-9、P.3-11 及 P.3-14 增加飛沙相關監測成果之(時間或季節)說明。 4. 謝謝委員意見，於期末報告中第六章 6-3 節增加說明有關第三期整治方案之效益分析。	符合 符合 符合 符合

附錄三

期末報告簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

近岸漂沙機制與防治研究(4/4)

期中報告

簡報人：溫志中



弘光科技大學
HUNGKUANG UNIVERSITY

中華民國101年7月11日



1

(98年度計劃)結論

1. 經由二維地形輸沙數值模擬，臺中港附近海域冬季季風輸沙潛量為漂沙由北往南輸送，受到北防波堤的阻擋，在堤頭處產生分岔，一部份轉回向北一部份則跨越港口向南側輸送。夏季季風輸沙潛量為漂沙由南往北輸送，然由於夏季季風波浪較小，故沿岸輸沙無法跨越北防波堤。由10年迴歸期颱風所得之輸沙潛量為漂沙由北往南輸送，且由於颱風波浪較大，故可順利跨越北防波堤而免於被防波堤阻隔。
2. 本研究對漂沙整治之可行方案進行分析，同時新建定沙堤及延長攔沙堤的設置，將有較明顯的蓄沙表現。以突堤上游灘線變化理論計算灘線淤積至堤頭之時間 ($Q=250 \times 10^4 \text{m}^3/\text{year}$ $Q=125 \times 10^4 \text{m}^3/\text{year}$)，在平均防沙堤透過率為0.5狀況下，所得結果為2.7年及5.6年。



2

(99年度計劃)結論

1. 本研究依據上年度研究計畫所得之漂沙移動特性與本年度以一維及二維正交特徵函數模式分析臺中港海岸變遷特性之結果，初步擬定整治方案之防治對策。對於定沙突堤與北防沙堤延長後之海域有下列幾點特性：
 - (1)興建定沙突堤及延長攔沙堤的設置，將使北淤沙區近岸產生淤積，而在新建定沙突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)興建定沙突堤的設置將使其北側輸沙潛量增大。
 - (3)經由GENESIS灘線分析與實測資料分析，北防波堤堤址附近處灘線變動趨緩，並無明顯淤積趨勢，北防沙堤堤址處有淤積的現象發生。

3

(100年度計劃)結論

1. 第三年研內容主要為臺中港北淤沙區飛沙區飛沙量測，經由地形及高程測量結果得知，2010年9月~2011年5月全區域總體積為淤積23.1萬方，分析淤積主要因為期間（2010年10月）受颱風波浪影響，沙灘區大量累積沿岸輸沙所導致。分析2010年11月~2011年5月，全區域總體積為侵蝕8.7萬方。
2. 綜合第二期與第三期工程的防飛沙設施與設置，本研究對上述工程提出兩種改善對策方案並評估其改善後的效益。(1)零方案：第三期工程防治設施；(2)方案1：圍堤造地工程；(3)方案2：測前灘沙地的淤積幅度。若第三期工程灘地整地後之海域重新形成廣大沙灘後，灘地快速增加，則以方案1作為飛沙防禦對策，考慮以圍堤造地方式，對沙灘區進行整治。在以第三期工程灘地整地後之海域重新形成沙灘後，若灘地成長速度緩慢，則以方案2作為飛沙防禦對策，配合沙地含水率的監測及設置地工沙管方式讓沙粒含水率增加，將沙源固定於沙灘上。

4

研究目標 (101年度)

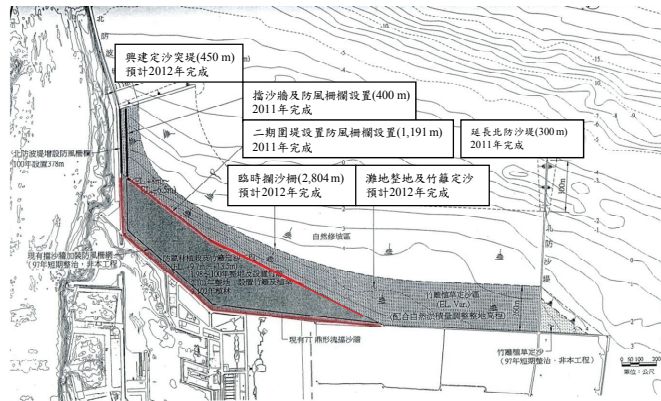
- 一. 蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料以及整理分析。
- 二. 進行北淤沙區整治後之效果評估。
- 三. 進行越堤飛沙作相關項目監測。
- 四. 進行飛沙量推估以及越堤飛沙量之推估。
- 五. 進行飛沙運移機制分析。
- 六. 進行飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析。

5

工作會議(結論)

- 一. 本月工作進度符合契約規定。
回覆:計畫執行時間符合契約規定
- 二. 乙方弘光科大需再收集北淤沙區各項工程實際內容佈置以及開工與完工時間。
回覆:於計畫執行中收集各項工程實際內容佈置以及開工與完工時間。
- 三. 乙方弘光科大需再增加不同風速條件現場量測，並提出飛沙估算量。
回覆:於合適氣象條件下進行飛沙現地量測及飛沙量估算。
- 四. 港研中心擬配合計畫執行於北淤沙區地形測量2次。
回覆:配合相關單位於北淤沙區進行地形測量。

6



臺中港北淤沙區三期整治區地形圖

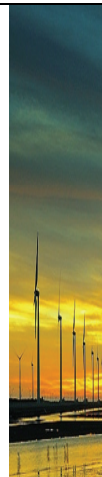


北淤沙區之北防沙堤北側現況 (2012/05)

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區之北防沙堤南側現況(2012/05)

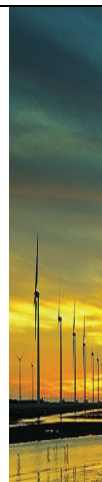


9

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區新設擋風牆北側沙灘區現況 (2012/06)

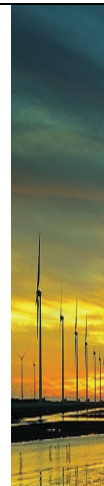


10

臺中港北淤沙區現況分析

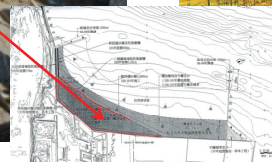


北淤沙區新設擋風牆北側邊釐定沙區現況 (2012/06)

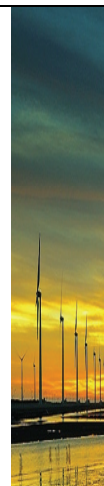


11

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區整治後邊釐定沙區現況a (2011/10)

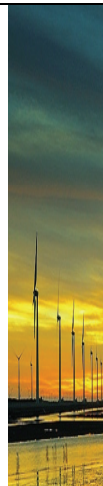


12

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區整治後邊釐定沙區現況b (2011/10)

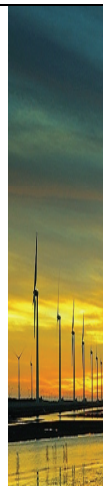


13

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區防風柵欄外與北防波堤堤址處現況 (2012/06)

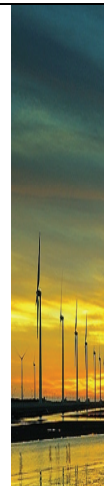


14

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區防風柵欄內與北防波堤堤址處現況 (2011/10)

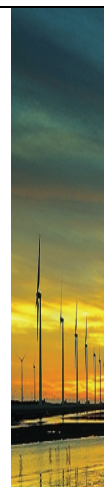


15

臺中港北淤沙區現況分析



北北淤沙區防風柵欄外側及擋沙牆內側現況 (2012/06)



16

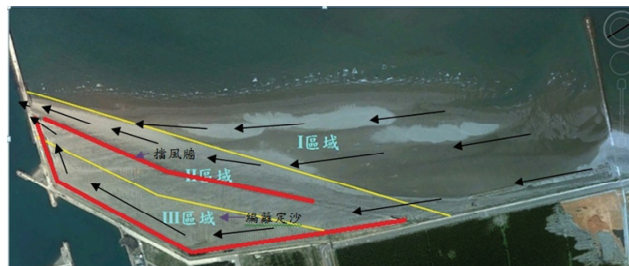
臺中港北淤沙區現況分析



北北淤沙區防風柵欄外側及擋沙牆內側現況 (2012/06)

16

進行北淤沙區整治後之效果評估



第三期工程海岸結構物與風場作用示意圖

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

18

進行北淤沙區整治後之效果評估

1. 可減少船舶受航道淤積之影響：

透過北淤沙區區域內之整治，海岸飛沙將可有效被安定於北淤沙區之整治區域內，減少飛沙越堤情況發生，減緩航道淤積的情況發生。因此，減少越堤飛沙量，將可減少上述情形發生，及不必要之財務損失及港勤人力支援。

2. 維持港區環境空氣品質問題：

當北淤沙區區域內之海岸飛沙發生越堤後，將導致港區空氣品質受到影響，於東北季風作用期間，飛沙大量懸浮於大氣中，如此將可能造成港勤人員於東北季風期間作業，增加工作之危險性。因此，減少越堤飛沙量，將可減少上述情形發生，及不必要之財務損失及港勤人力受到危害的風險。

19

進行北淤沙區整治後之效果評估

3. 提供就業機會：

有建設就能帶動經濟之繁榮，最明顯之表徵就在於就業機會的增加。本計畫結構性工程替代方案執行期間港務局、顧問公司及包商將投入龐大人力參與工程建設，因此，在設計施工期間可帶動國內工程界、營造業及製造業之活絡，而增加工作機會。

4. 促進地方工商之發展：

本計畫在結構性工程替代方案興建期間，工程有關之土木、機械及五金物料及耗材需求量龐大，經常需要大量補充與採購，如此大量而頻繁的交易，勢必刺激當地之物料供應，進而帶動當地之貨物暢流，及工商發達。

20

臺中港北淤沙區飛沙量測

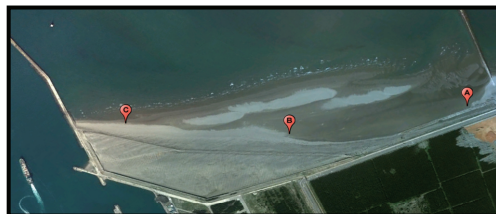
瞭解臺中港北防波堤飛沙淤積情形，本研究針對臺中港北防波堤至北防沙堤附近海域沙灘區，內分別進行(1) 飛沙現地量測試驗、(2) 沙粒含水率量測、(3) 飛沙越堤量測。計算現場量測海灘含水量，以飛沙移動公式計算風沙移動量。



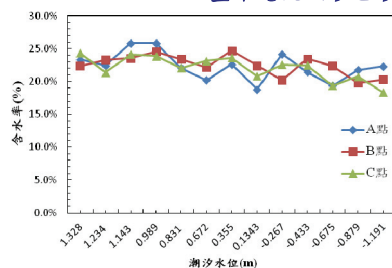
臺中港北淤沙區沙灘區試驗地形圖

21

含水率量測



臺中港北淤沙區沙灘區含水率試驗位置圖



沙灘區域沙粒含水率變化

A點平均含水率為22.3%，標準差為2.1%；
B點平均含水率為22.5%，標準差為1.5%；
C點平均含水率為22.1%，標準差為1.8%。
由以上結果得知沙粒受潮汐作用影響區域
沙灘含水率隨潮位高程遞減時，其含水率
變化並不顯著。

22

飛沙試驗量測



臺中港北淤沙區飛沙量測位置圖

- 飛沙量測方面，本研究於北防沙堤南側、北防波堤北側及沙灘區進行飛沙試驗，位置如上圖所示。量測飛沙於沙灘表面滾動、躍動與地表上懸浮的飛沙量值，以求得此區域的飛沙特性。

23

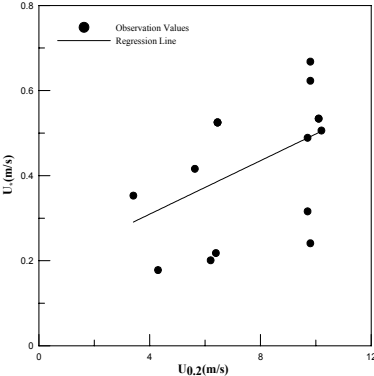
沙灘區特性

根據 Prandtl 之對數法則，將臺中港北防波堤北側飛沙整治區所測得之風速風向資料經由對數直線迴歸及相關係數分析所得直線方程式之常數項 (a)、迴歸係數 (b)及相關係數 (r)分別列於下表。

Data	No.	Wind velocity at 5 height					a	b	r	U_z (m/sec)	Z_0 (m)	Wind direction
		0.2m	0.5m	1m	1.5m	2m						
2012/02/17	1	10.1	11.3	12.3	12.6	13.1	12.19	2.959	0.995**	0.534	7.58E-05	N
	2	9.7	10.8	11.9	12.1	12.5	11.69	2.821	0.989**	0.489	7.15E-05	N
	3	10.2	11.6	12.3	12.8	14.1	12.56	3.492	0.944**	0.506	4.74E-06	N
	4	10.1	11.3	12.2	13.1	13.9	12.50	3.661	0.975**	0.534	3.84E-04	N
2015/05/10	5	9.8	11.3	11.8	12.2	12.7	11.84	2.730	0.976**	0.668	4.15E-05	N
	6	9.8	11.2	12.1	13	13.9	12.46	3.910	0.978**	0.623	5.72E-04	N
	7	9.7	9.9	10.5	11.0	11.6	10.78	1.871	0.865**	0.316	1.73E-06	N
	8	9.8	10.2	10.3	10.8	11.4	10.64	1.386	0.838**	0.241	2.10E-08	N

24

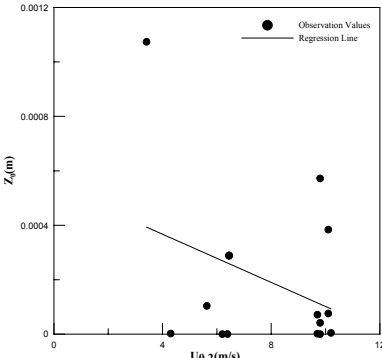
沙灘區特性


$$R^2 = 0.219$$

- 經由分析結果得知，摩擦風速於低風速時顯示出較低之摩擦風速，於高風速時摩擦風速分佈範圍較廣，其相關性極低。



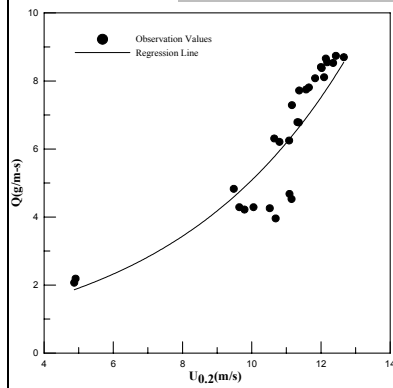
沙灘區特性


$$R^2 = 0.127$$

- 經由分析結果得知，粗糙長度之變化範圍都在 $10^{-3} \sim 10^{-8} \text{ m}$ 之間，因此粗糙長度對於往後分析上並無太大的影響。且粗糙長度與風速並無相關性存在。



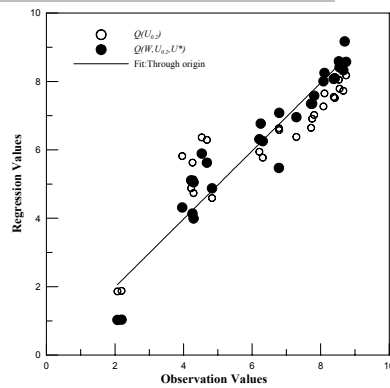
沙灘區特性



Q與 $U_{0.2}$ 之關係圖

$$Q = 0.178e^{0.1956 U_{0.2}}$$

$$R^2 = 0.8421$$



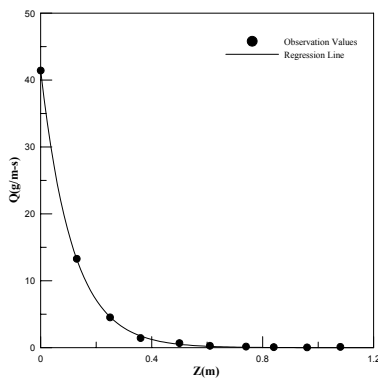
實測值與推估值之分析結果

$$Q = 0.06(U_{0.2} - 2.274(W)^{0.491-0.642(L)^{4.682}})^{2.033}$$

$$R^2 = 0.9142$$

27

沙灘區特性



Q與Z之關係圖

$$Q = 14.606(Z + 0.01)^{-0.816} \quad R^2 = 0.998$$

- $Q_{0.0m}$ 飛沙量: 68.3%
- $Q_{0.1m}$ 飛沙量: 20.1%
- $Q_{0.2m}$ 為總量: 6.8%
- $Q_{0.3m}$ 為總量: 2.4%
- $Q_{0.4m}$ 為總量: 1.2%
- $Q_{0.5m}$ 至 $Q_{0.9m}$ 飛沙量: 0.1%~0.4%之間。

28

北防波堤越堤飛沙試驗



北防波堤飛沙越堤試驗地點圖
(50 m、間隔10 m、方向朝北)

29

北防波堤越堤量分析

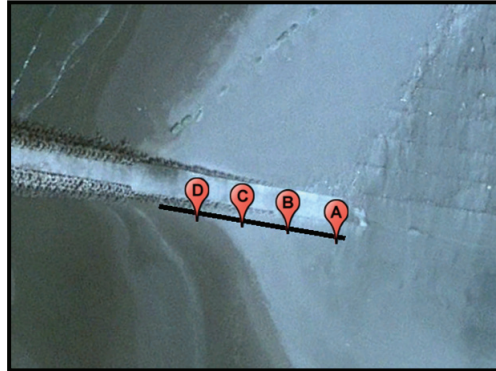
表1.北防波堤提址飛沙量測

高程	NO.	A	B	C	D	E	平均 $Q(g/m-s)$	$U(m/s)$
Q_{0m}	1	32.49	54.99	47.31	47.85	53.52	47.232	10.05
	2	31.04	56.85	35.16	46.2	50.82	44.014	10.32
	3	42.69	59.58	42.06	41.52	57.06	48.582	10.39
$Q_{0.1m}$	1	19.35	14.73	9.15	8.25	20.31	14.358	10.18
	2	17.91	15.24	10.62	6.66	16.83	13.452	10.45
	3	23.52	18.18	12.75	6.99	15.18	15.324	10.39
$\frac{Q_{0.1m}}{Q_{0m}}$	1	59.56%	26.79%	19.34%	17.24%	37.95%	32.17%	10.51
	2	57.70%	26.81%	30.20%	14.42%	33.12%	32.45%	10.79
	3	55.09%	30.51%	30.31%	16.84%	26.60%	31.87%	10.86

- 在垂直分佈特性方向位置A與位置E點量測結果所得 $Q_{0.1m}/Q_{0m}$ 之比例較沙灘區(不受結構物影響)量測結果較大。代表此點為表層移動之沙量與懸浮移動方式之沙量。B點則較接近沙灘區量測值，C點及D點表層移動之沙量與懸浮移動方式比例較沙灘區為多。

30

北防沙堤越堤飛沙試驗



北防沙堤飛沙越堤試驗地點圖
(50 m、間隔12.5 m、方向朝北)

31

北防沙堤越堤量分析

北防波堤堤址飛沙量測

高程	NO.	A	B	C	D	平均 $Q(g/m-s)$	$U(m/s)$
Q_{0m}	1	37.08	37.92	33.33	19.17	31.88	9.25
	2	49.17	41.25	30.00	10.92	32.83	9.52
	3	29.17	56.25	29.17	10.46	31.26	9.73
	4	32.50	45.83	21.25	15.83	28.85	9.62
$Q_{0.1m}$	1	1.28	1.02	4.01	2.38	2.17	9.37
	2	1.16	1.22	3.27	1.97	1.91	9.64
	3	1.20	2.31	3.30	2.41	2.31	9.85
	4	1.03	2.44	2.12	1.78	1.84	9.74
$\frac{Q_{0.1m}}{Q_{0m}}$	1	3.45%	2.69%	12.03%	12.42%	6.81%	9.67
	2	2.36%	2.96%	10.90%	18.04%	5.82%	9.95
	3	4.11%	4.11%	11.31%	23.04%	7.39%	10.17
	4	3.17%	5.32%	9.98%	11.24%	6.38%	10.06

- 北防沙堤堤址處附近處之越沙量，在垂直分佈特性方向，位置A~D量測結果所得 $Q_{0.1m}/Q_{0m}$ 之比例較沙灘區量測結果為小。代表此點位表層移動之沙量與懸浮移動之沙量較沙灘區比列為多。其原因可能受北防沙堤與地形影響產生飛沙溢散之現象。

32

臺中港北淤沙區飛沙量推估

年份	風速<5 (%)	風速 5~10 (%)	風速 10~15 (%)	風速>15 (%)	風向 N~E (%)	飛沙量推估 $Q(g/m-s)$
2001	53.6	27.5	16.6	2.4	66.2	29.15
2002	59.2	26.0	8.9	5.9	59.3	13.33
2003	60.0	26.7	12.5	0.8	62.6	14.28
2004	57.7	29.6	12.3	0.4	65.2	26.3
2005	60.2	25.2	13.2	1.4	62.1	24.5
2006	57.5	28.8	12.0	1.8	64.3	25.43
2007	59.6	26.3	12.5	1.7	60.6	23.7
2008	32.2	32.9	15.3	19.7	55.8	32.61
2009	60.6	21.2	11.6	6.4	65.2	28.71
2010	28.7	30.6	20.4	20.3	62.8	39.26
平均	55.6	27.1	12.8	4.5	62.4	28.51

33

臺中港北淤沙區飛沙量推估

1. 藉由上表2001年至2010年氣象資料，帶入現場觀測飛沙量測迴歸關係式，推估臺中港區北淤沙區飛沙量。研究中，考慮各風速區間下所對應之飛沙量，並考慮主要風向N~E方向之百分比與非降雨天數於推估關係式中，結果如表4-3所示。若以飛沙量測關係式推估高程 $Z=0.2m$ 之沙量，2001年至2010年飛沙量約在 $13.33 \sim 39.26 m^3/m-year$ 之間，平均值為 $28.51 m^3/m-year$ 。
2. 將垂直分佈曲線帶入關係式中求得垂直分佈之總飛沙量平均約為 $394.32 m^3/m-year$ ，所得結果與吳(2006)推算臺中港北淤沙區實測飛沙估算量，2005年11月至2006年1月期間堆沙量 $73.568 m^3/m$ ，換算後每月約為 $24.52 m^3/m-month$ ，較本研究換算每月平均 $32.86 m^3/m-month$ 高，若只考慮東北季風作用期間，本研究之飛沙估算量結果相近。

34

飛沙與風場以及空氣品質相關性分析

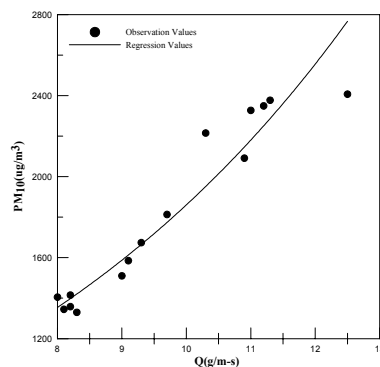


臺中港北淤沙區飛沙量之 PM_{10} 對應方向關係圖

- 本研究依據范姜明威 (2010) 與吳昌翰 (2006) 研究結果得知，大甲溪河口與臺中港北淤沙區之海岸飛沙特性相似均介於為 $0.22\text{ mm} \sim 0.31\text{ mm}$ 之間，為探討臺中港北淤沙區的飛沙量與 PM_{10} 之關係，本研究係以大甲溪河口飛沙量與 PM_{10} 觀測值之總飛沙量與揚塵量，進行迴歸分析，並求得飛沙量與 PM_{10} 之方程式與相關性。

35

飛沙與風場以及空氣品質相關性分析



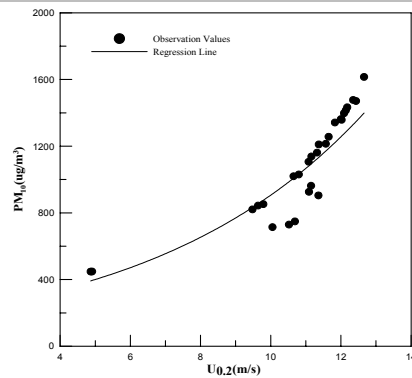
PM_{10} 與大甲溪河口飛沙量之關係圖

$$PM_{10} = 380.33 Q^{0.1587} \quad R^2 = 0.931$$

- 經由分析結果得知，北淤沙區上游大甲溪河口飛沙量與 PM_{10} 呈指數關係，而 PM_{10} 隨飛沙量之增加，而明顯增大。

36

飛沙與風場以及空氣品質相關性分析



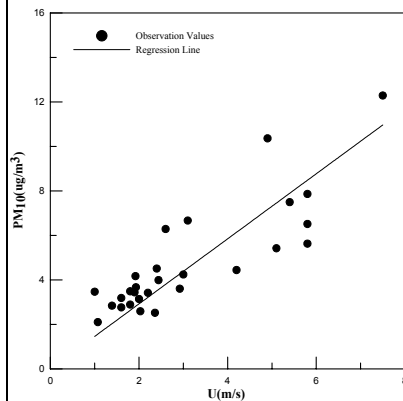
$U_{0.2}$ 與 PM_{10} 之關係圖

$$PM_{10} = 178.92U_{0.2}^{0.1633} \quad R^2 = 0.844$$

- 藉由 PM_{10} 與大甲溪河口飛沙量所得之飛沙量迴歸式，進行 PM_{10} 推估，並由 $U_{0.2}$ 與 PM_{10} 之分析結果得知，當風速大於11 m/s時， PM_{10} 濃度將急遽上升。

37

飛沙與風場以及空氣品質相關性分析



U與推估值 PM_{10} 之關係圖

$$(\alpha=0.235)$$

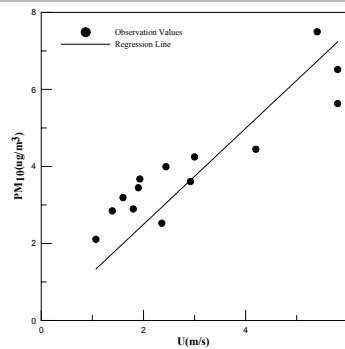
$$R^2 = 0.931$$

- 藉由臺中港區歷年環境調查監測分析之空氣品質監測資料比對。可得知於相同風速下之 PM_{10} 約為大甲溪河口 PM_{10} 之0.235倍。其結果顯示，以風速進行 PM_{10} 推估濃度分佈較廣，其相關性為0.931，下列為此關係式。

$$PM_{10} = \alpha(178.92U^{0.1633})$$

38

飛沙與風場以及空氣品質相關性分析



U與推估值PM₁₀之關係圖($\alpha=0.256$)

$$R^2 = 0.953$$

- 由於臺中港位於大甲溪河口區南側，若進一步考慮風向對台中港所造成之影響，故以NNW、N、NE、NW為考慮風向之條件下進行分析。大甲溪河口PM₁₀約為臺中港PM₁₀濃度之0.256倍。

39

初步結論

- 分析臺中港北淤沙區第三期工程現況，由於設置擋沙牆及防風柵欄之關係，飛沙受結構物影響及風場作用，造成海岸飛沙大量淤積於北防波堤擋風牆堤址處，並於堤址處已造成飛沙越堤之情形。
- 北淤沙區沙灘區飛沙垂直分佈比例， Q_{0m} 飛沙量佔總飛沙量的68.3%、 $Q_{0.1m}$ 飛沙量為總飛沙量的20.1%、 $Q_{0.2m}$ 為總飛沙量的6.8%、 $Q_{0.3m}$ 為總飛沙量的2.4%、 $Q_{0.4m}$ 為總飛沙量的1.2%、 $Q_{0.5m}$ 至 $Q_{0.9m}$ 飛沙量約佔總飛沙量的0.1%~0.4%之間。試驗觀察得知，於高程0.2 m以下有較多之飛沙發生，高程高於0.2 m以上則急遽減少。

40

初步結論

- 臺中港北淤沙區越堤特性，由北防沙堤越堤特性所得 $Q_{0.1m}/Q_{0m}$ 之比例較沙灘區量測結果為小，顯示此區域之飛沙受北防沙堤影響，仍以表層移動為主。而北防波堤越堤特性所得 $Q_{0.1m}/Q_{0m}$ 之比例較沙灘區(不受結構物影響)量測結果較大，顯示此區域之飛沙受地形影響，飛沙移動主要高度較沙灘區大。
- 經由飛沙量測與空氣品質之相關性探討得知，臺中港北淤沙區所產生之 PM_{10} 量約為臺中港港區內中突堤附近所量測之 PM_{10} 量的3.91倍。

41

預定進度甘梯圖

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月	第12月	備註
蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料以及整理分析													
進行北淤沙區整治後之效果評估													
進行越堤飛沙作相關項目監測													
進行飛沙量推估以及越堤飛沙量之推估													
進行飛沙運移機制分析													
進行飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析													
報告提送		※		※	◆	※		※	▲	●			
工作進度估計 百分比(累積數)	10	20	40	50	70	80	90	100					
預定查核點	第1季:蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料以及整理分析												
	第2季:進行越堤飛沙作相關項目監測												
	第3季:進行飛沙量推估以及越堤飛沙量之推估												
	第4季:進行飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析												
註：預定查核點：(1)民國101年6月27日以前提送期中報告初稿(◆) (2)民國101年10月29日以前提送期末報告初稿(▲) (3)依審查會主席裁示之日期內提送定稿報告(●)													

42

未來工作

- 一. 進行北淤沙區整治後之效果評估。
- 二. 進行越堤飛沙作相關項目監測。
- 三. 進行飛沙量推估以及越堤飛沙量之推估。
- 四. 進行飛沙運移機制分析。
- 五. 進行飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析。

43

報告完畢

44

附錄四

期末報告簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

近岸漂沙機制與防治研究(4/4)

簡報人：溫志中



弘光科技大學
HUNGKUANG UNIVERSITY

環境與安全衛生工程系
中華民國101年11月14日



1

研究總目標

- 臺灣中西部附近海域漂沙水理機制數值模擬
- 臺灣中西部附近海域海、氣象資料統計分析
- 港灣上、下游侵淤與河川輸砂與海氣象條件之相關性分析
- 正交特徵函數模式及二維地形數值方法探討臺中港海岸變遷特性分析
- 臺中港附近海灘之飛沙特性分析
- 整體防護臺中港附近海岸侵淤之對策



15

今年度研究目標

1. 蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料以及整理分析。
2. 進行北淤沙區整治後之效果評估。
3. 進行越堤飛沙作相關項目監測。
4. 進行飛沙量推估以及越堤飛沙量之推估。
5. 進行飛沙運移機制分析。
6. 進行飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析。

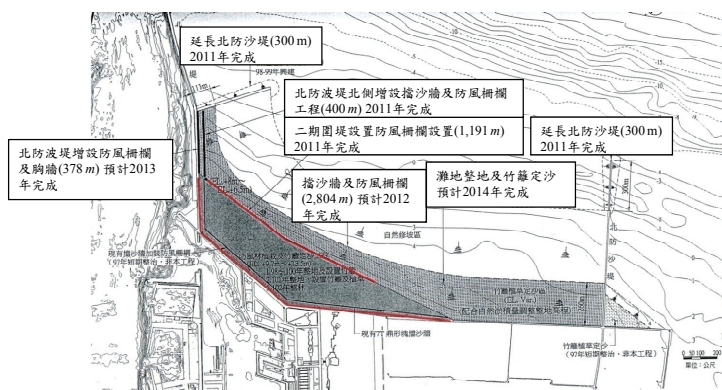
27

研究方法

- 本研究為第四年度，透過(1)蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治相關資料以及整理分析;(2)進行越堤飛沙作相關項目監測;(3)進行飛沙量推估以及越堤飛沙量之推估;(4)探討飛沙與風場以及空氣品質間之相關性分析。
- 藉由此研究過程評估越堤飛沙量及飛沙防禦對策之效益與適用性，並提出適合該區有效之飛沙防治對策。

28

蒐集臺中港附近北淤沙區海岸整治 相關資料以及整理分析



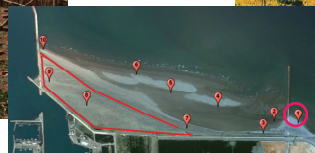
臺中港北淤沙區三期整治區地形圖

29

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區之北防沙堤北側現況 (2012/09)

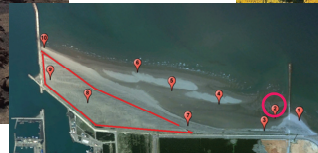


30

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區之北防沙堤南側現況 (2012/09)

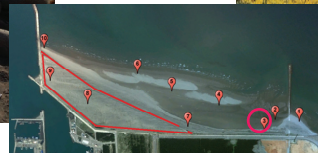


31

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區之北防沙堤南側現況 (2012/09)



32

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區之沙灘區現況 (2012/09)

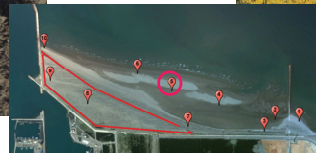


33

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區之沙灘區現況 (2012/09)



34

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區之沙灘區現況 (2012/09)



35

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區竹籬定沙區北側現況 (2012/09)

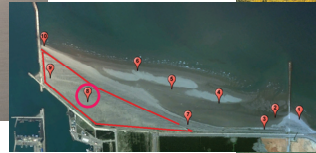


36

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區竹籬定沙區現況 (2012/06)

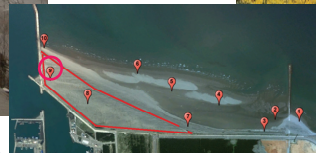


37

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區竹籬定沙區南側現況 (2012/06)

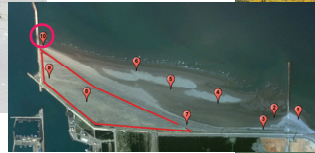


38

臺中港北淤沙區現況分析



北淤沙區竹籬定沙區南側現況 (2012/06)



39

臺中港北淤沙區飛沙量測

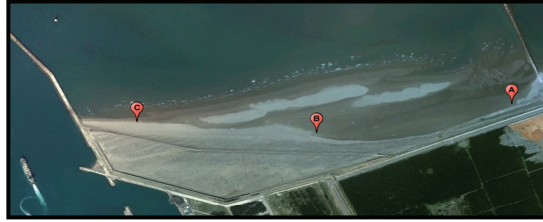
瞭解臺中港北防波堤飛沙淤積情形，本研究針對臺中港北防波堤至北防沙堤附近海域沙灘區，內分別進行(1) 飛沙現地量測試驗、(2) 沙粒含水率量測、(3) 飛沙越堤量測。計算現場量測海灘含水量，以飛沙移動公式計算風沙移動量。



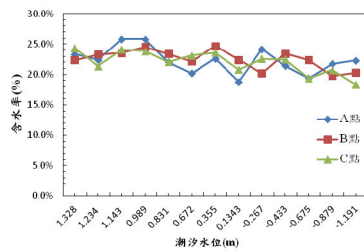
臺中港北淤沙區沙灘區試驗地形圖

40

臺中港北淤沙區含水率量測



臺中港北淤沙區沙灘區含水率試驗位置圖



沙灘區域沙粒含水率變化

A點平均含水率為22.3%，標準差為2.1%；
B點平均含水率為22.5%，標準差為1.5%；
C點平均含水率為22.1%，標準差為1.8%。
由以上結果得知沙粒受潮汐作用影響區域，
沙灘含水率隨潮位高程遞減時，其含水率
變化並不顯著。

41

臺中港北淤沙區飛沙試驗量測量測



臺中港北淤沙區飛沙量測位置圖

- 飛沙量測方面，本研究於北防沙堤南側、北防波堤北側及沙灘區進行飛沙試驗，位置如上圖所示。量測飛沙於沙灘表面滾動、躍動與地表上懸浮的飛沙量值，以求得此區域的飛沙特性。

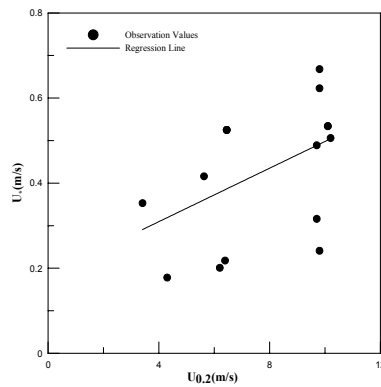
42

沙灘區特性

根據 Prandtl 之對數法則，將臺中港北防波堤北側飛沙整治區所測得之風速風向資料經由對數直線迴歸及相關係數分析所得直線方程式之常數項 (a)、迴歸係數 (b)及相關係數 (r)分別列於下表。

Data	No.	Wind velocity at 5 height					a	b	r	U_* (m/sec)	Z_0 (m)	Wind direction
		0.2m	0.5m	1m	1.5m	2m						
2012/02/17	1	10.1	11.3	12.3	12.6	13.1	12.19	2.959	0.995**	0.534	7.58E-05	N
	2	9.7	10.8	11.9	12.1	12.5	11.69	2.821	0.989**	0.489	7.15E-05	N
	3	10.2	11.6	12.3	12.8	14.1	12.56	3.492	0.944**	0.506	4.74E-06	N
	4	10.1	11.3	12.2	13.1	13.9	12.50	3.661	0.975**	0.534	3.84E-04	N
2015/05/10	5	9.8	11.3	11.8	12.2	12.7	11.84	2.730	0.976**	0.668	4.15E-05	N
	6	9.8	11.2	12.1	13	13.9	12.46	3.910	0.978**	0.623	5.72E-04	N
	7	9.7	9.9	10.5	11.0	11.6	10.78	1.871	0.865**	0.316	1.73E-06	N
	8	9.8	10.2	10.3	10.8	11.4	10.64	1.386	0.838**	0.241	2.10E-08	N

沙灘區特性

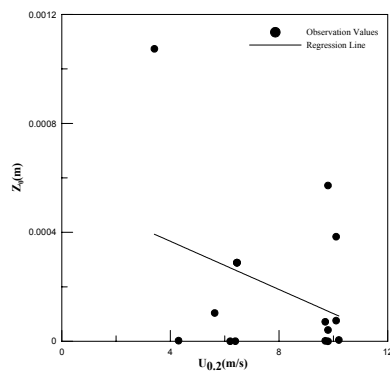


U_* 與 $U_{0.2}$ 之關係圖

$$R^2 = 0.219$$

- 經由分析結果得知，摩擦風速於低風速時顯示出較低之摩擦風速，於高風速時摩擦風速分佈範圍較廣，其相關性極低。

沙灘區特性

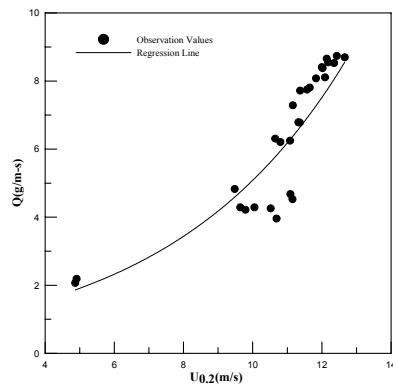


Z_0 與 $U_{0.2}$ 之關係圖
 $R^2 = 0.127$

- 經由分析結果得知，粗糙長度之變化範圍都在 $10^{-3} \sim 10^{-8} m$ 之間，因此粗糙長度對於往後分析上並無太大的影響。且粗糙長度與風速並無相關性存在。

45

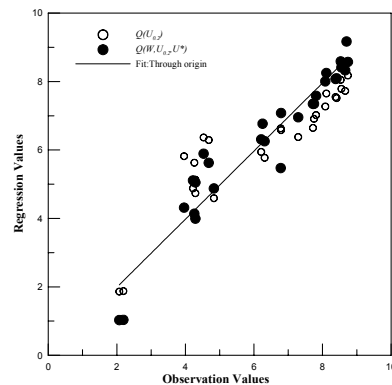
海岸飛沙量分析



Q 與 $U_{0.2}$ 之關係圖

$$Q = 0.178e^{0.1956 U_{0.2}}$$

$$R^2 = 0.8421$$



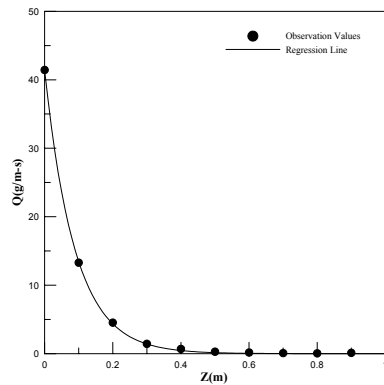
實測值與推估值之分析結果

$$Q = 0.06(U_{0.2} - 2.274(W)^{0.491-0.642(U_{0.2})^{1.062}})^{2.033}$$

$$R^2 = 0.9142$$

46

海岸飛沙量分析



Q與Z之關係圖

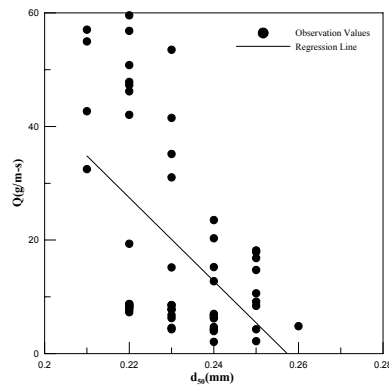
$$Q = 41.45 \times 0.111^{4Z}$$

$$R^2 = 0.998$$

- $Q_{0.0m}$ 飛沙量: 68.3%
- $Q_{0.1m}$ 飛沙量: 20.1%
- $Q_{0.2m}$ 為總量: 6.8%
- $Q_{0.3m}$ 為總量: 2.4%
- $Q_{0.4m}$ 為總量: 1.2%
- $Q_{0.5m}$ 至 $Q_{0.9m}$ 飛沙量: 0.1%~0.4%之間。

47

海岸飛沙量分析



Q與 d_{50} 之關係圖

$$Q = -735.3d_{50} + 189.2 \quad R^2 = 0.273$$

收集之飛沙量中值粒徑分佈範圍為0.22 m~0.26 m之間，由結果得知飛沙量與中值粒徑呈現負相關。

48

北防波堤越堤飛沙試驗



北防波堤飛沙越堤試驗地點圖
(50 m、間隔10 m、方向朝北)

49

北防波堤越堤飛沙試驗

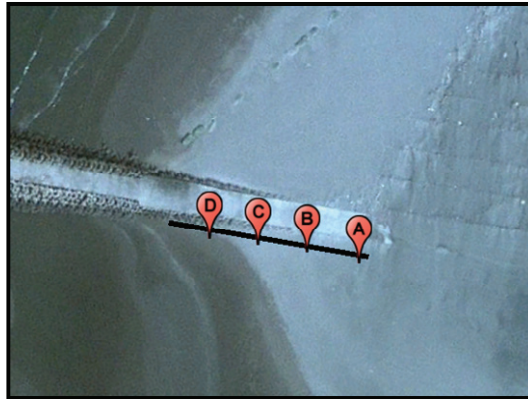
表1.北防波堤堤址飛沙量測

高程	NO.	A	B	C	D	E	平均 $Q(g/m-s)$	$U(m/s)$
Q_{0m}	1	32.49	54.99	47.31	47.85	53.52	47.232	10.05
	2	31.04	56.85	35.16	46.2	50.82	44.014	10.32
	3	42.69	59.58	42.06	41.52	57.06	48.582	10.39
$Q_{0.1m}$	1	19.35	14.73	9.15	8.25	20.31	14.358	10.18
	2	17.91	15.24	10.62	6.66	16.83	13.452	10.45
	3	23.52	18.18	12.75	6.99	15.18	15.324	10.39
$\frac{Q_{0.1m}}{Q_{0m}}$	1	59.56%	26.79%	19.34%	17.24%	37.95%	32.17%	10.51
	2	57.70%	26.81%	30.20%	14.42%	33.12%	32.45%	10.79
	3	55.09%	30.51%	30.31%	16.84%	26.60%	31.87%	10.86

- 在垂直分佈特性方向位置A與位置E點量測結果所得 $Q_{0.1m}/Q_{0m}$ 之比例較沙灘區(不受結構物影響)量測結果較大。代表此點為表層移動之沙量與懸浮移動方式之沙量。B點則較接近沙灘區量測值，C點及D點表層移動之沙量與懸浮移動方式比例較沙灘區為多。

50

北防沙堤越堤飛沙試驗



北防沙堤飛沙越堤試驗地點圖
(50 m、間隔12.5 m、方向朝北)

51

北防波堤越堤飛沙試驗

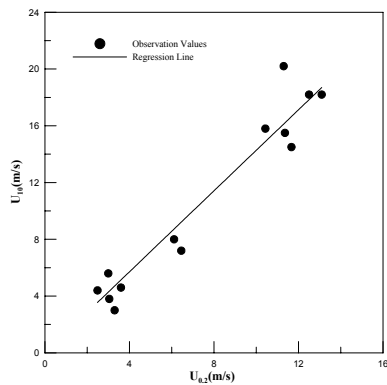
表1.北防沙堤堤址飛沙量測

高程	NO.	A	B	C	D	平均 $Q(g/m-s)$	$U(m/s)$
Q_{0m}	1	37.08	37.92	33.33	19.17	31.88	9.25
	2	49.17	41.25	30.00	10.92	32.83	9.52
	3	29.17	56.25	29.17	10.46	31.26	9.73
	4	32.50	45.83	21.25	15.83	28.85	9.62
$Q_{0.1m}$	1	1.28	1.02	4.01	2.38	2.17	9.37
	2	1.16	1.22	3.27	1.97	1.91	9.64
	3	1.20	2.31	3.30	2.41	2.31	9.85
	4	1.03	2.44	2.12	1.78	1.84	9.74
$\frac{Q_{0.1m}}{Q_{0m}}$	1	3.45%	2.69%	12.03%	12.42%	6.81%	9.67
	2	2.36%	2.96%	10.90%	18.04%	5.82%	9.95
	3	4.11%	4.11%	11.31%	23.04%	7.39%	10.17
	4	3.17%	5.32%	9.98%	11.24%	6.38%	10.06

- 在垂直分佈特性方向位置A與位置E點量測結果所得 $Q_{0.1m}/Q_{0m}$ 之比例較沙灘區(不受結構物影響)量測結果較大。代表此點為表層移動之沙量與懸浮移動方式之沙量。B點則較接近沙灘區量測值，C點及D點表層移動之沙量與懸浮移動方式比例較沙灘區為多。

52

臺中港北淤沙區飛沙量推估



臺中港北淤沙區沙灘區之風速 $U_{0.2}$ 與港灣技術研究中心臺中港外海堤頭測站風速 U_{10} 相關性高，並由下式得知沙灘區之風速 $U_{0.2}$ 為外海堤頭測站風速 U_{10} 之0.7倍。

外海風速 U_{10} 與沙灘區風速 $U_{0.2}$ 之關係圖

$$U_{10} = 1.42U_{0.2} \quad R^2 = 0.983$$

53

臺中港北淤沙區飛沙量推估

年份	風速<5 (%)	風速 5~10 (%)	風速 10~15 (%)	風速>15 (%)	風向 N~E (%)	飛沙量推估 $Q(g/m-s)$
2001	53.6	27.5	16.6	2.4	66.2	29.15
2002	59.2	26.0	8.9	5.9	59.3	13.33
2003	60.0	26.7	12.5	0.8	62.6	14.28
2004	57.7	29.6	12.3	0.4	65.2	26.3
2005	60.2	25.2	13.2	1.4	62.1	24.5
2006	57.5	28.8	12.0	1.8	64.3	25.43
2007	59.6	26.3	12.5	1.7	60.6	23.7
2008	32.2	32.9	15.3	19.7	55.8	32.61
2009	60.6	21.2	11.6	6.4	65.2	28.71
2010	28.7	30.6	20.4	20.3	62.8	39.26
平均	55.6	27.1	12.8	4.5	62.4	28.51

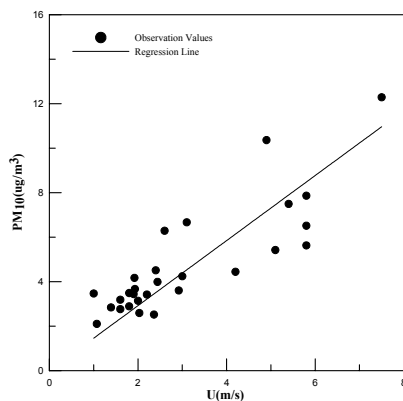
54

臺中港北淤沙區飛沙量推估

1. 藉由上表2001年至2010年氣象資料，帶入現場觀測飛沙量測迴歸關係式，推估臺中港區北淤沙區飛沙量。研究中，考慮各風速區間下所對應之飛沙量，並考慮主要風向N~E方向之百分比與非降雨天數於推估關係式中，結果如表4-3所示。若以飛沙量測關係式推估高程 $Z=0.2m$ 之沙量，2001年至2010年飛沙量約在 $13.33 \sim 39.26 m^3/m\text{-year}$ 之間，平均值為 $28.51 m^3/m\text{-year}$ 。
2. 將垂直分佈曲線帶入關係式中求得垂直分佈之總飛沙量平均約為 $394.32 m^3/m\text{-year}$ ，所得結果與吳(2006)推算臺中港北淤沙區實測飛沙估算量，2005年11月至2006年1月期間堆沙量 $73.568 m^3/m$ ，換算後每月約為 $24.52 m^3/m\text{-month}$ ，較本研究換算每月平均 $32.86 m^3/m\text{-month}$ 高，若只考慮東北季風作用期間，本研究之飛沙估算量結果相近。

55

飛沙與風場以及空氣品質相關性分析



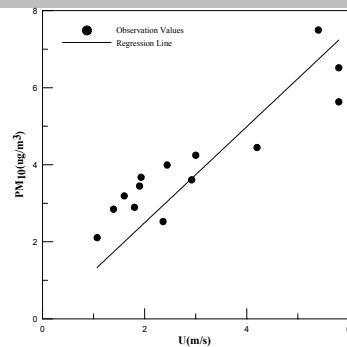
U與 PM_{10} 比值之關係圖
($\alpha=0.235$)
 $R^2 = 0.931$

- 藉由臺中港區歷年環境調查監測分析之空氣品質監測資料比對。可得知於相同風速下之 PM_{10} 約為大甲溪河口 PM_{10} 之0.235倍。其結果顯示，以風速進行 PM_{10} 推估濃度分佈較廣，其相關性為0.931，下列為此關係式。

$$PM_{10} = \alpha(178.92U^{0.1633})$$

56

飛沙與風場以及空氣品質相關性分析



U與PM₁₀ 比值之關係圖
($\alpha=0.256$)

$$R^2 = 0.953$$

- 由於臺中港位於大甲溪河口區南側，若進一步考慮風向對台中港所造成之影響，故以NNW、N、NE、NW為考慮風向之條件下進行分析。大甲溪河口PM₁₀約為臺中港PM₁₀濃度之0.256倍。

57

臺中港北淤沙區空氣品質監測

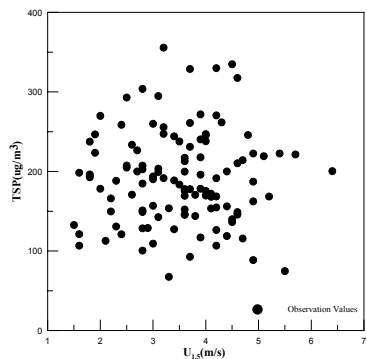


北淤沙區沿岸空氣品質監測對應圖

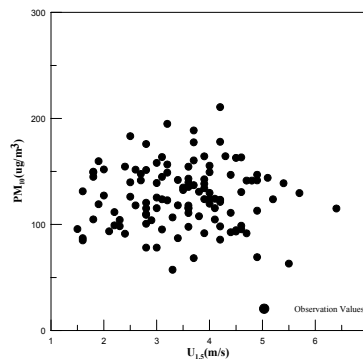
探討臺中港北淤沙區風速、飛沙量與空氣品質間之關係，本試驗於擋風牆外圍(A點位)及北防波堤堤址(B點位)分別進行空氣品質監測如圖所示。以一般成人呼吸口平均高度1.5 m為監測高度，監測項目以(TSP、PM₁₀及PM_{2.5})為主要監測對象，並將監測濃度參考PSI空氣汙染指標，可得知該區域空氣品質對人類健康之影響。

58

北淤沙區飛沙對擋風牆外圍區之 空氣品質監測



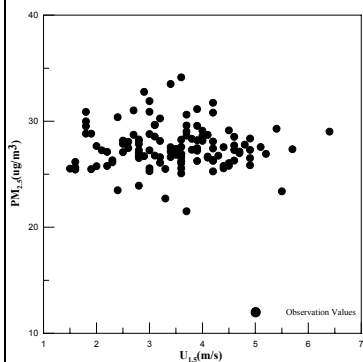
擋風牆外圍TSP與風速 $U_{1.5}$ 監測結果



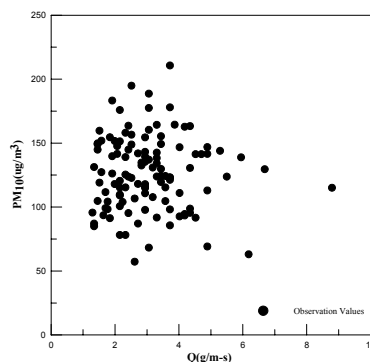
擋風牆外圍PM₁₀與風速 $U_{1.5}$ 監測結果

59

北淤沙區飛沙對擋風牆外圍區之 空氣品質監測



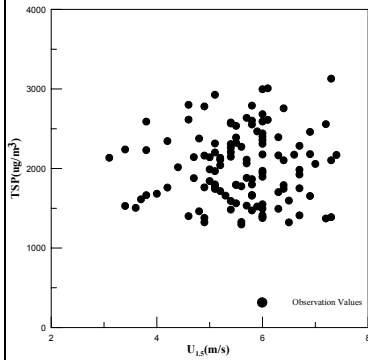
擋風牆外圍PM_{2.5}與風速 $U_{1.5}$ 監測結果



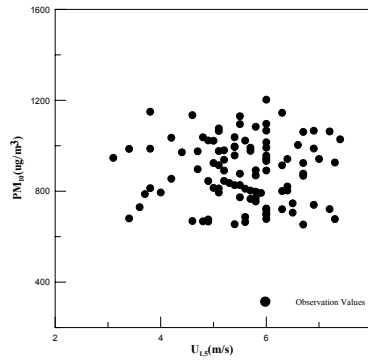
擋風牆外圍PM₁₀與飛沙量 Q 監測結果

60

北淤沙區飛沙對北防波堤堤址之 空氣品質監測



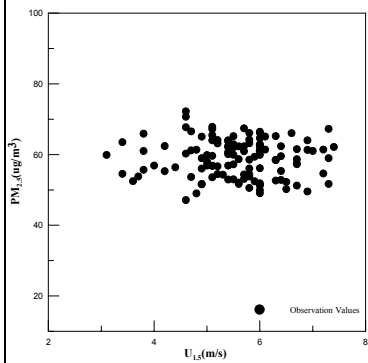
北防波堤堤址TSP與風速 $U_{1.5}$ 監測結果



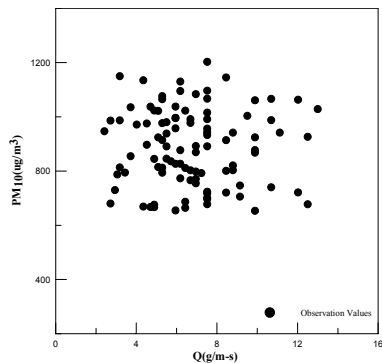
北防波堤堤址 PM_{10} 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果

61

北淤沙區飛沙對北防波堤堤址之 空氣品質監測



北防波堤堤址 $PM_{2.5}$ 與風速 $U_{1.5}$ 監測結果



北防波堤堤址 PM_{10} 與飛沙量 Q 監測結果

62

擋風牆外圍區與北防波堤堤址之 空氣品質綜合結果比較

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

63

擋風牆外圍區與北防波堤堤址之 空氣品質綜合結果比較

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

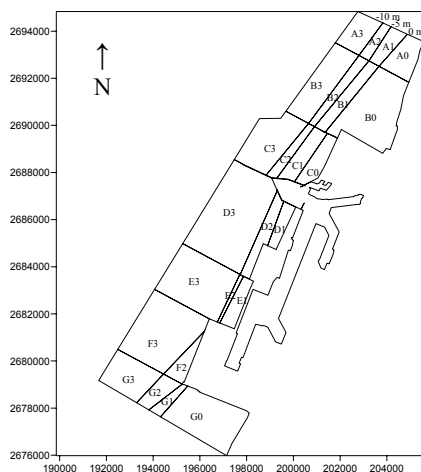
64

擋風牆外圍區與北防波堤堤址之 空氣品質綜合結果比較

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

65

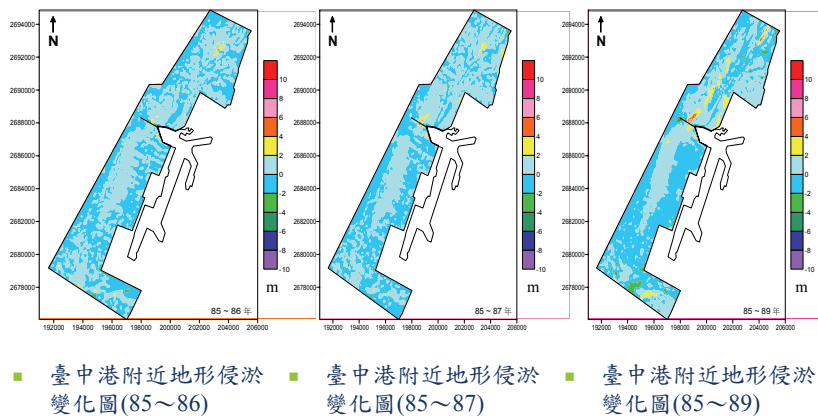
臺中港地形水深變遷計算分區



■ 為便於了解海岸之特性，將計畫區沿岸方向海岸分為A~G等7個區域，冬季時表層移動界限水深(ds)為10.54m，夏季時為3.81m，因此，本計畫在考量漂沙移動界限水深下將向離岸方向分為4區，分別為0m以上標示為第0區、0m至-5m之間標示為第1區、-5m至-10m間標示為第2區、-10m以上標示為第3區，來詳細探討各分區的侵淤狀況。

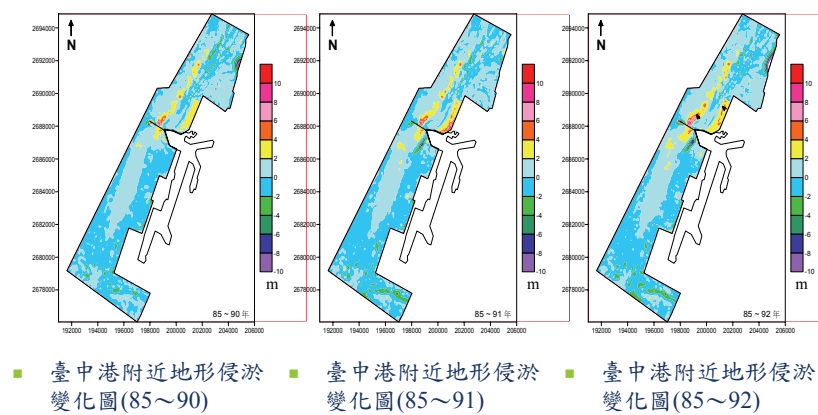
66

侵淤特性分析 (1/5)



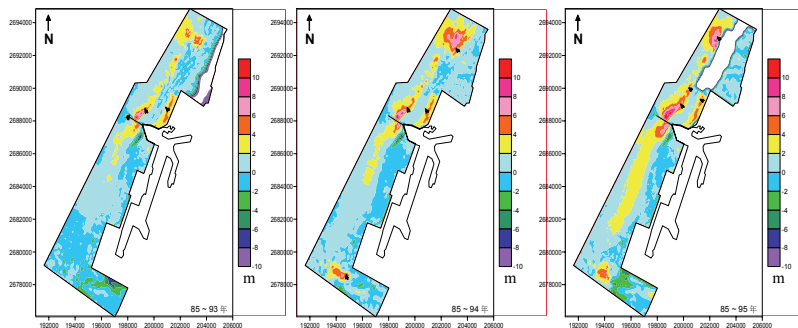
67

侵淤特性分析 (2/5)



68

侵淤特性分析 (3/5)



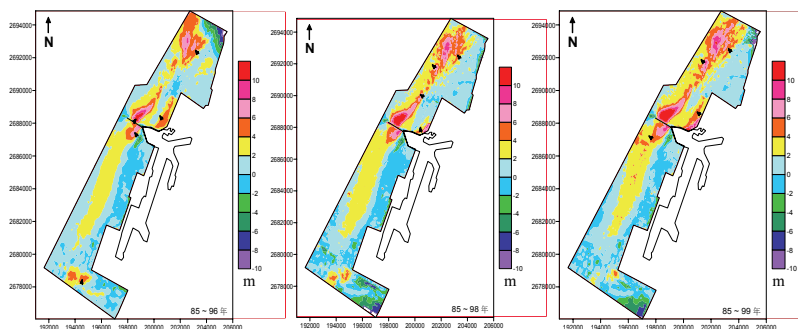
■ 臺中港附近地形侵淤變化圖(85~93)

■ 臺中港附近地形侵淤變化圖(85~94)

■ 臺中港附近地形侵淤變化圖(85~95)

69

侵淤特性分析 (4/5)



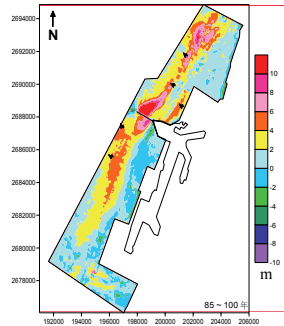
■ 臺中港附近地形侵淤變化圖(85~96)

■ 臺中港附近地形侵淤變化圖(85~98)

■ 臺中港附近地形侵淤變化圖(85~99)

70

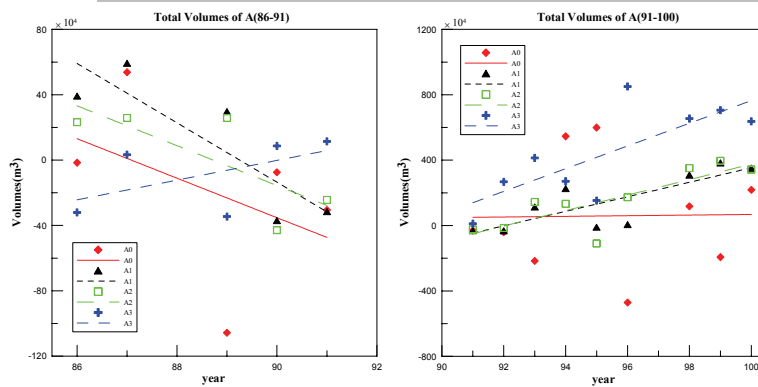
侵淤特性分析 (5/5)



■ 臺中港附近地形侵淤變化圖(85~100)

71

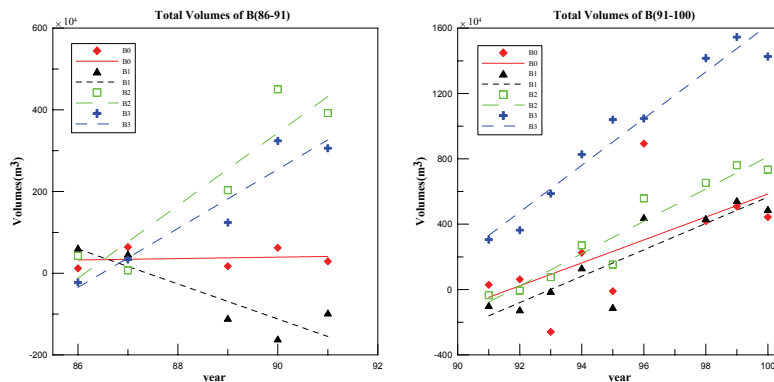
累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(A區)



A0區：累積淤積量為218萬 m^3
 A1區：累積淤積量為351萬 m^3
 A2區：累積淤積量為342萬 m^3
 A3區：累積淤積量為637萬 m^3
 A區：累積淤積量為1549萬 m^3

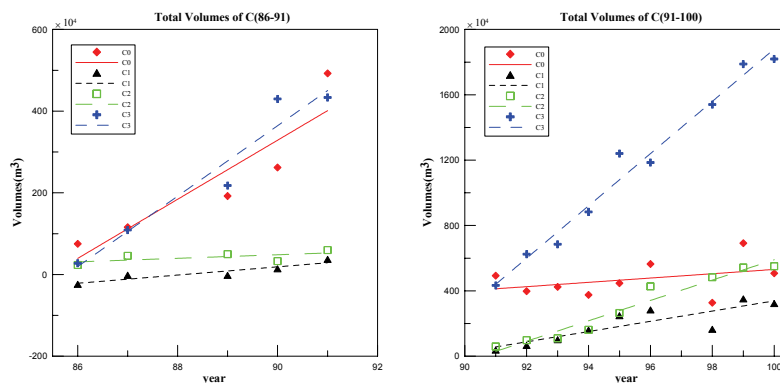
72

累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(B區)



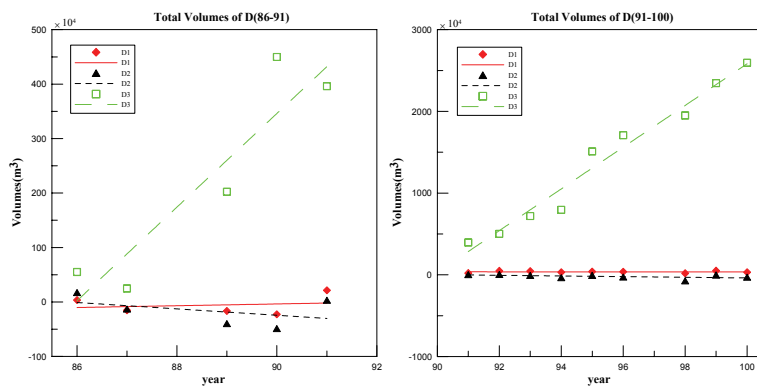
B0區：累積淤積量為637萬 m^3
 B1區：累積淤積量為443萬 m^3
 B2區：累積淤積量為490萬 m^3
 B3區：累積淤積量為734萬 m^3
 B 區：累積淤積量為2304萬 m^3

累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(C區)



C0區：累積淤積量為507萬 m^3
 C1區：累積淤積量為322萬 m^3
 C2區：累積淤積量為550萬 m^3
 C3區：累積淤積量為1819萬 m^3
 C 區：累積淤積量為3198萬 m^3

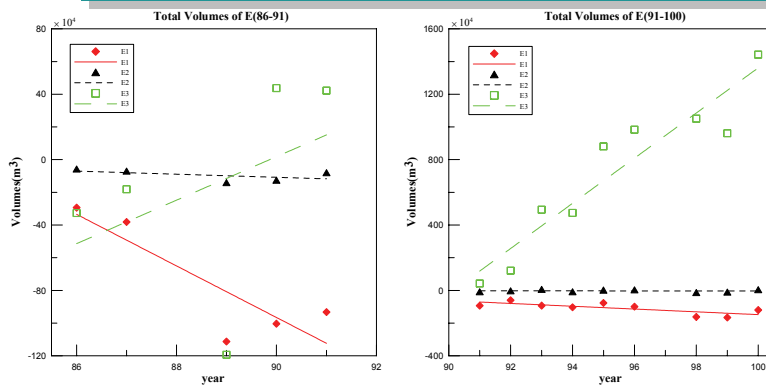
累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(D區)



D1區：累積淤積量為 32萬m³
 D2區：累積侵蝕量為 29萬m³
 D3區：累積淤積量為2595萬m³
 D 區：累積淤積量為2598萬m³

75

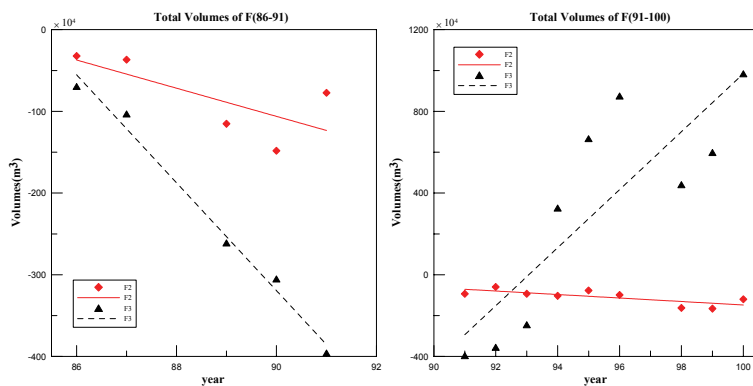
累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(E區)



E1區：累積侵蝕量為 120萬m³
 E2區：累積淤積量為 4萬m³
 E3區：累積淤積量為1442萬m³
 E 區：累積淤積量為1326萬m³

76

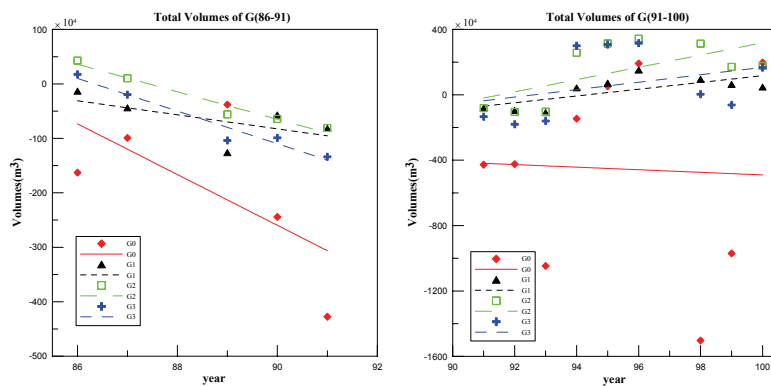
累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(F區)



F2區：累積侵蝕量為 18萬m³
 F3區：累積淤積量為983萬m³
 F 區：累積淤積量為965萬m³

77

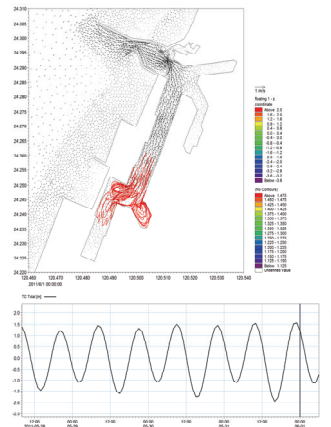
累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(G區)



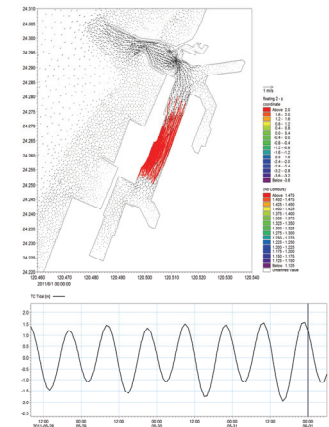
G0區：累積淤積量為 197萬m³
 G1區：累積淤積量為 47萬m³
 G2區：累積淤積量為 176萬m³
 G3區：累積淤積量為 166萬m³
 G 區：累積淤積量為1220萬m³

78

飛沙對港池之影響(1/3)

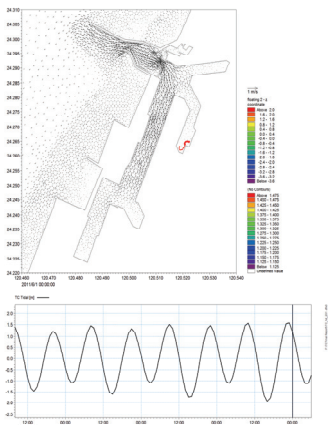


臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：2011/06/01 00:00:00
(安良港大排)

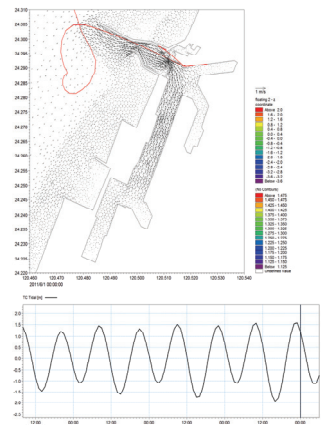


臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：2011/06/01 00:00:00
(梧棲大排)

飛沙對港池之影響(2/3)

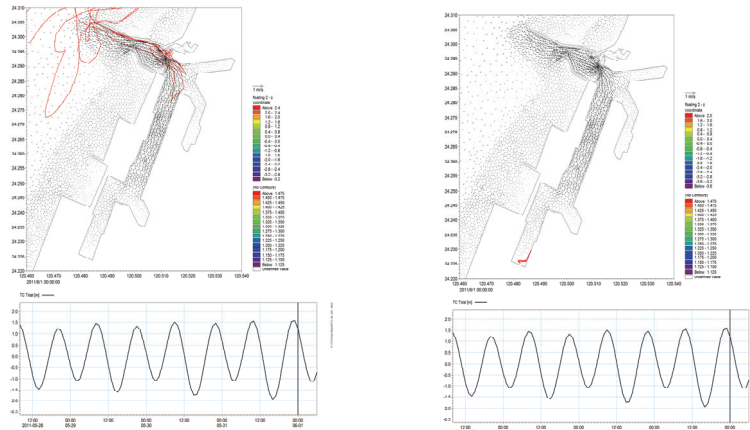


臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：2011/06/01 00:00:00
(中泊渠)



臺中港區海域漲潮質點追蹤模擬圖：2011/06/01 00:00:00
(北泊渠)

飛沙對港池之影響(3/3)



臺中港區海城漲潮質點追蹤模擬圖：2011/06/01 00:00:00
(臺中港出海口)

臺中港區海城漲潮質點追蹤模擬圖：2011/06/01 00:00:00
(工業泊渠)

81

第三期整治方案效益與適用性評估

1. 本研究對於第三期整治方案進行效益分析與適用性評估，第三期整治方案示意如圖6.35所示。防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防堤堤後港池及二期整治區內。由於現階段沙灘區仍未進行任何防飛沙設施的工法，故此片廣大的沙灘將仍會帶給北淤沙區充足的飛沙來源。如照片6-1所示。在設置防風柵欄後，將可有效的阻擋飛沙飛入港池，若未設置，則飛沙將因擋風牆導流作用影響，匯集於北防波堤堤址附近處而後飛入港內如照片6-2至照片6-4所示。
2. 第三期工程規劃北防波堤堤頂處設置長防風柵欄，此設施將可有效的阻擋飛沙於北防波堤前，但由於此設置區域為飛沙於此區域運移的最終路徑，飛沙將於此處快速匯集，當淤積到達一定高度時（如照片6-2至照片6-4所示），飛沙將順著地形飛越擋風牆進入港池，對港池造成影響。

82

第三期整治方案效益與適用性評估

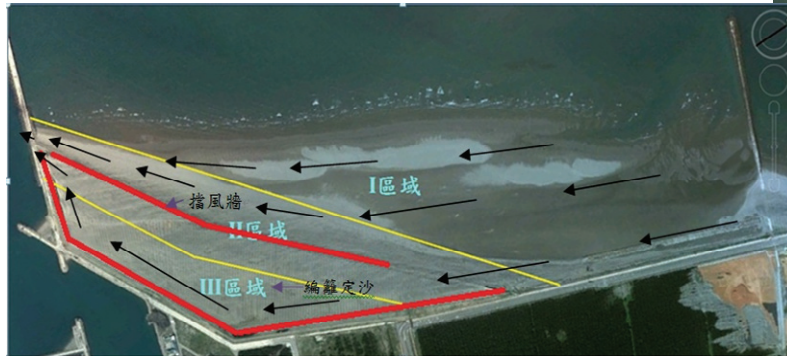


圖6.5 第三期工程海岸結構物與風場作用示意圖

83



照片6-1 北淤沙區三期整治區現況 (2012/06)



照片6-2 北淤沙區三期整治區現況 (2012/06)

84



照片 6-3 北淤沙區三期整治區現況 (2012/06)

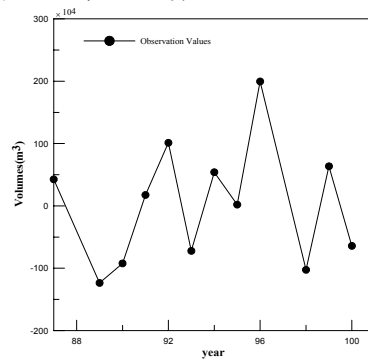


照片 6-4 北淤沙區三期整治區現況 (2012/06)

85

效益分析

- 以民國86年水深地形為基準，計算港池內部水深地形變化。由圖可知，相對於民國86年，民國87、91、93、99年水深無明顯變化，而民國89、90、93、98、100年則呈現明顯侵蝕現象，比對不同年份之水深，由於此區域水深特性穩定，故推估明顯呈現土方量減少之年份應為浚深所造成之水深變化。若北淤沙區越堤進入港池之飛沙量為31萬立方公尺，則港池航道附近處之水深則平均增加0.2m。若此飛沙量均能攔阻於北淤沙區內，則可減省約620萬之浚深費用。



臺中港航道口水深之變化圖

86

適用性評估(1/2)

- 由試驗結果下表可知，飛沙量攔阻率試驗之平均風速為11.6 m/s，而飛沙在編籬定沙第一層時達到99.7%，於第二層可達到99.9%，第三層時飛沙量已呈現微量狀態。以上結果顯示編籬定沙之工法可有效攔阻飛沙。

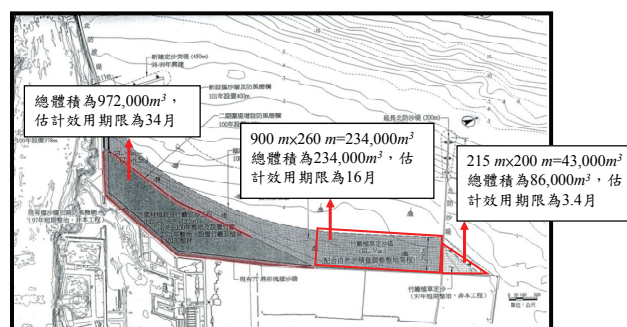
編籬定沙之飛沙量攔阻率試驗表

試驗測回	第一層飛沙量 (g/m-s)	第一層攔阻率 (%)	第二層飛沙量 (g/m-s)	第二層攔阻率 (%)	第三層飛沙量 (g/m-s)	平均風速(m/s)
1.	49.72	99.7	0.12	99.9	0.003	12.0
2.	44.51	99.4	0.23	99.9	0.001	11.4
3.	46.30	99.6	0.17	99.9	0.001	11.5
平均值	46.84	99.6	0.17	99.9	0.0016	11.6

87

適用性評估(2/2)

- 評估係以每月25,000 $m^3/month$ 之飛沙量、編籬定沙竹籬高度為2 m及未設置擋風牆之情況，北防沙堤以北之編籬定沙區估計有效期限為3.4個月，北防沙堤以北之編籬定沙區估計有效期限為16個月，編籬定沙區估計效期限為34月。



北淤沙區整治後之效果評估圖

88

結論

1. 北淤沙區沙灘區飛沙垂直分佈比例， Q_{0m} 飛沙量佔總飛沙量的68.3%、 $Q_{0.1m}$ 飛沙量為總飛沙量的20.1%、 $Q_{0.2m}$ 為總飛沙量的6.8%、 $Q_{0.3m}$ 為總飛沙量的2.4%、 $Q_{0.4m}$ 為總飛沙量的1.2%、 $Q_{0.5m}$ 至 $Q_{0.9m}$ 飛沙量約佔總飛沙量的0.1%~0.4%之間。試驗觀察得知，於高程0.2 m以下有較多之飛沙發生，高程高於0.2 m以上則急遽減少。
2. 臺中港北淤沙區越堤特性，由北防沙堤越堤特性所得 $Q_{0.1m}/Q_{0m}$ 之比例較沙灘區量測結果為小，顯示此區域之飛沙受北防沙堤影響，仍以表層移動為主。而北防波堤越堤特性所得 $Q_{0.1m}/Q_{0m}$ 之比例較沙灘區(不受結構物影響)量測結果較大，顯示此區域之飛沙受地形影響飛沙移動主要高度較沙灘區大。

89

結論

3. 經由北防波堤堤址及擋風牆外圍之空氣品質現地監測結果顯示，北防波堤堤址 PM_{10} 平均濃度為 $928.1 \mu g/m^3$ 、擋風牆外圍 PM_{10} 平均濃度為 $132.3 \mu g/m^3$ ，將以上兩區 PM_{10} 平均濃度對應PSI值分別為PSI(500)以上及PSI(100)，並由PSI值與健康影響中顯示，北防波堤堤址之空氣品質為有害，對應人體健康中於敏感族群方面，除了不適症狀顯著惡化並造成某些疾病提早病發，且將減低正常人的運動能力。而擋風牆外圍之空氣品質為普通，對於人體無立即之影響。

90

結論

4. 綜合漂、飛沙對臺中港附近海域之影響，本研究經侵淤分析得知民國86~91年臺中港北防波堤至北防沙堤間有部分淤積，而由民國91年臺中港北防波堤延伸後，在北防波堤堤頭附近亦有產生淤積，並擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕之現象，累計至民國100年之地形，則呈現大量淤積的趨勢。
5. 本研究針對臺中港北淤沙區之飛沙防治，進行效益評估的現地試驗，其防治飛沙設施在飛沙移動路徑上可有效的攔阻海岸飛沙，攔阻率達99%，估計每年可攔阻約30萬立方公尺之飛沙量。

91

建議

1. 本研究針對臺中港北淤沙區飛沙整治，適逢第三期工程進行整治重新整地，本研究建議於整地後之地形持續監測，以瞭解對地形之變化趨勢。對於北淤沙區之監測方式，建議以全區域高程測量方式對北淤沙區進行測量。
2. 於第三期工程灘地整地後，應對整地後之空氣品質進行全面性監測，以瞭解擋風牆外及北防波堤堤址之長期趨勢，並評估對北淤沙區對臺中港區的威脅及損害。

92

成果效益與後續應用情形

- 對於本研究之成果效益與後續應用情形，本研究對於臺中港附近海域的近岸漂、飛沙機制已進一步了解。並經由現地勘查與現地高程量測，可分析出北淤沙區飛沙的遷移過程。所設置擋風牆、防風柵欄及編籬定沙等，將可有效的將飛沙安定於定沙區域內，此設施將可使飛沙不運移至航道中，可有效節省因飛沙越堤所造成之港池淤積所需之浚深經費。此結果將可應用在北防波堤北側與北防沙堤間的漂、飛沙整治與航道口維護，提供臺中港務局在港灣設施維護與設計上的參考。

93

報告完畢
謝謝指教

94