

101-58-7629  
MOTC-IOT-100-H2DB004a

# 近岸漂沙機制與防治研究(3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101-58-7629  
MOTC-IOT-100-H2DB004a

# 近岸漂沙機制與防治研究(3/4)

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 101 年 4 月

101

近岸漂沙機制與防治研究  
(3/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010100632

定價 150 元

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(3/4)/蔡立宏等著.

--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 101.04 面；公分

ISBN 978-986-03-2176-0 (平裝)

1. 海岸 2. 流沙 3. 數值分析

443.3

101005430

近岸漂沙機制與防治研究(3/4)

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](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 101 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：150 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：1010100632

ISBN：978-986-03-2176-0 (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(3/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-2176-0（平裝）	政府出版品統一編號 1010100632	運輸研究所出版品編號 101-58-7629	計畫編號 100-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、徐稚昫  地址：43303 台中市沙鹿區中棲路 34 號 聯絡電話：04-26318652		研究期間  自 100 年 3 月 至 100 年 12 月
關鍵詞：飛沙、風速、飛沙量、防治對策			
<p>摘要：</p> <p>本年度為第三年度計畫，以飛沙現地試驗與高程量測方式，分析探討臺中港北淤沙區海岸飛沙問題。最後經由所分析的結果提出海岸防飛沙之改善方案。分析臺中港區冬季主要風向為 N 向，夏季期間主要風向為 SSE 向，常年觀測風速大於 5m/s 之累積機率約佔 44.4%。依據北淤沙區高程量測結果推算，2010 年 11 月~2011 年 5 月約有 8.7 萬飛沙飛離北淤沙區，依據所建立之漂、飛沙運移關係式，求得每月約有 2.6 萬方沙粒離開北淤沙區域內。經由 BSNE 型及 H-2 型捕沙器收集到之飛沙量，經分析後與地表 0.2m 風速皆呈指數關係，求得飛沙量 <math>Q (g/s-m)</math> 與 <math>U_{0.2} (m/s)</math> 關係。BSNE 型捕沙器飛沙量與風速：<math>Q = 0.4609e^{0.2398 U_{0.2}}</math>；H-2 型捕沙器飛沙量與風速：<math>Q = 0.5892e^{0.2701 U_{0.2}}</math>。</p> <p>本研究針對現行佈置基礎上，提出更進一步之飛沙防治對策。若第三期工程灘地整地後之海域重新形成廣大沙灘後，灘地快速增加，則以方案 1 圍堤造地方式，對沙灘區進行整治。若第三期工程灘地整地後之海域重新形成沙灘後，若灘地成長速度緩慢，以方案 2 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。</p> <p>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沙機制已進一步的加以了解。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。所設置之防飛沙設施將可有效的將飛沙安定於定沙區域內，所提之防飛沙改善方案將有助於日後在漂沙防治對策上設計與應用。此結果將可應用在北防波堤北側與北防沙堤間的漂沙整治與航道口附近海域的漂沙運行機制，藉以提供臺中港務局在港灣設施維護與設計上的參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101 年 4 月	166	150	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，<input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Investigation of sediment transport in the near-shore and countermeasure for beach erosion around western coast in central Taiwan (3/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-03-2176-0 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100632	IOT SERIAL NUMBER 101-58-7629	PROJECT NUMBER 100-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 March 2011 To December 2011
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: Wind-brown, Wind speed, Sand volume, countermeasure			
<p><b>ABSTRACT:</b></p> <p>This study is now in its third year. Continuing from the results of the second-year study, an experiment on windblown sand and elevation measurement was implemented to analyze the coastal windblown sand problems appearing in the deposited zone at the north size of Taichung Harbor. Finally, based on the analysis of the results, we propose recommendations for improvement. During the winter, northerly (N) wind blows in Taichung Harbor and southeastern (SSE) wind blows during the summer. Over all the year, with 44.4% of chances to have a wind velocity greater than <math>5 \text{ m/s}</math>. From November 2010 to May 2011, the total volume of erosion across the region comes to 87 thousand cubic meters. It is estimated that, from established equation, a total of 26 thousand cubic meters of windblown sand were blown away from this target area per month. The amount of windblown sand caught by the BSNE type and H-2 type collection devices has an exponential relationship with 0.2m surface wind velocity. The following states the relationship between the volume of windblown sand <math>Q \text{ (g/s-m)}</math> and <math>U_{0.2} \text{ (m/s)}</math>. Sand volume and wind velocity function by BSNE: <math>Q = 0.4609 \exp(0.2398 U_{0.2})</math> H-2: <math>Q = 0.5892 \exp(0.2701 U_{0.2})</math>.</p> <p>In this study, we propose two improvement schemes. Among the proposed schemes, Scheme Zero is currently being implemented in the third phase project. Scheme 1 involves embankment on the beaches to fix the sand under the condition of the beach growth rapidly. Scheme 2 involves installation of a sprinkler system at the high tide mark and sand pipes along the shoreline at the low tide mark, which is expected to increase the moisture content of the beach area under the condition of the beach growth rapidly.</p> <p>The results of this study have provided us further knowledge in the coastal sediment mechanism in the Taichung Harbor area. The facilities implemented will effectively retain sand in the stable sand area, and the proposed improvement schemes will provide a good reference for design and application policies in the future. Results of this study can be applied to improve sediment management in the region between the north breakwater and north sand barrier and sediment transport mechanism in the sea areas near the mouth of the channel and provide a good reference for the Taichung Harbor Authority for harbor maintenance and design.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2012	NUMBER OF PAGES 166	PRICE 150	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 近岸漂沙機制與防治研究(3/4)

## 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	IV
目 錄.....	VII
圖目錄.....	XI
表目錄.....	XV
照片目錄.....	XVII
第一章 前言.....	1-1
1.1 研究動機與目的.....	1-1
1.2 研究內容.....	1-8
1.3 研究方法.....	1-10
1.4 本研究組織.....	1-10
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現況.....	2-1
2.1.1 第二期工程整治工程.....	2-1
2.1.2 第三期工程整治.....	2-9
2.2 氣象條件.....	2-16
2.3 臺中港區風速及風向特性.....	2-17
2.4 地質條件.....	2-23

第三章 飛沙區 3D 雷射掃描測量 .....	3-1
3.1 現地測量區域 .....	3-1
3.2 LIDAR 量測工作 .....	3-1
3.2.1 控制系統 .....	3-1
3.2.2 已知點坐標高程檢測與引測 .....	3-1
3.3 LIDAR 量測原理 .....	3-3
3.3.1 3D 雷射掃描原理 .....	3-3
3.3.2 反光規標佈置 .....	3-4
3.3.3 接圖及坐標轉換 .....	3-4
3.3.4 地形測量過程 .....	3-5
3.3.5 現地量測儀器設備 .....	3-6
3.4 飛沙量特性分析 .....	3-7
3.4.1 海岸飛沙量分析 .....	3-7
3.4.2 臺中港侵淤體積比較 .....	3-10
3.4.3 臺中港侵淤面積比較 .....	3-14
3.4.4 臺中港侵淤高度比較 .....	3-16
3.5 飛沙量推估 .....	3-20
第四章 飛沙現地試驗 .....	4-1
4.1 試驗地點簡介 .....	4-1
4.2 飛沙試驗器材 .....	4-1
4.3 飛沙試驗量測步驟 .....	4-4

4.3.1	風速量測 .....	4-5
4.3.2	飛沙高程量測 .....	4-5
4.3.3	含水率量測 .....	4-6
4.3.4	飛沙 H-2 水平量測及飛沙垂直式量測 .....	4-10
第五章	飛沙模式建立 .....	5-1
5.1	垂直剖面風速特性 .....	5-1
5.1.1	風速之垂直分佈之分析 .....	5-1
5.1.2	風速 $U_{0.2}$ 與摩擦風速 $U_*$ 之影響 .....	5-2
5.1.3	風速 $U_{0.2}$ 與粗糙長度 $Z_0$ 之影響 .....	5-2
5.2	飛沙移動公式 .....	5-8
5.2.1	$Q$ 與 $U_{0.2}$ 之關係 (H-2 水平捕沙器) .....	5-8
5.2.2	$Q$ 與 $U_{0.2}$ 之關係 (BSNE 垂直捕沙器) .....	5-8
5.3	垂直高程與飛沙量之影響 .....	5-9
第六章	海岸防飛沙設施效果分析與防治對策研擬 .....	6-1
6.1	飛沙工法簡介 .....	6-1
6.1.1	定工沙管 .....	6-1
6.1.2	編籬定沙 .....	6-1
6.1.3	植裁定沙 .....	6-2
6.1.4	圍堤造地工程 .....	6-2
6.2	第二期工程成效與防治效果分析 .....	6-3
6.3	第三期整治方案預期成效 .....	6-9

6.4 第三期整治方案效益與適用性評估 .....	6-10
6.5 防治對策研擬 .....	6-14
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 期中審查處理情形表 .....	附錄 1-1
附錄二 期末審查處理情形表 .....	附錄 2-1
附錄三 期末報告簡報資料 .....	附錄 3-1

## 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 95 年) .....	1-3
圖 1.3	臺中港地形水深變遷計算分區圖 .....	1-4
圖 1.4	衛星影像中擷取的平均水位灘線位置 .....	1-6
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 .....	2-10
圖 2.3a	梧棲測站風向圖 (2011.01~2011.09).....	2-18
圖 2.3b	梧棲測站風向圖 (2011.01~2011.09).....	2-19
圖 2.4	侵襲臺灣之颱風路徑統計圖 (1897~2010) .....	2-22
圖 2.5	96 年臺中港地形水深分布圖 .....	2-24
圖 3.1	現地高程測量量測區域 .....	3-1
圖 3.2	已知控制點分佈圖 .....	3-2
圖 3.3	RIEGL LMS-Z620 雷射掃描儀規格圖 .....	3-3
圖 3.4	光達測量流程圖 .....	3-3
圖 3.5	反光規標規格圖 .....	3-4
圖 3.6	坐標轉換流程圖 .....	3-4
圖 3.7	現地測量工作圖 .....	3-5
圖 3.8	LIDAR 量測儀器設備 .....	3-6
圖 3.9	臺中港北淤沙區區域劃分圖 .....	3-7

圖 3.10	全區域侵淤圖: 2010/9 至 2010/10 (單位: m).....	3-8
圖 3.11	全區域侵淤圖: 2010/10 至 2010/11 (單位: m).....	3-8
圖 3.12	全區域侵淤圖: 2010/11 至 2011/5 (單位: m).....	3-9
圖 3.13	全區域侵淤圖: 2010/9 至 2011/5 (單位: m).....	3-9
圖 3.14	全區域侵淤總體積圖 .....	3-11
圖 3.15	I 區域侵淤總體積圖 .....	3-12
圖 3.16	II 區域侵淤總體積圖.....	3-13
圖 3.17	III 區域侵淤總體積圖 .....	3-14
圖 3.18	臺中港侵淤高度剖面示意圖 .....	3-17
圖 3.19	A1 橫剖面高程變化圖 .....	3-18
圖 3.20	A2 橫剖面高程變化圖 .....	3-18
圖 3.21	A3 橫剖面高程變化圖 .....	3-19
圖 3.22	A4 橫剖面高程變化圖 .....	3-19
圖 3.23	A5 橫剖面高程變化圖 .....	3-20
圖 3.24	臺中港北淤沙區漂飛沙量估算地形對應圖 .....	3-21
圖 4.1	臺中港北防波堤北側附近現地試驗地形圖 .....	4-1
圖 4.2	時序列風速風向計 .....	4-2
圖 4.3	木竿量測標尺 .....	4-2
圖 4.4	土壤含水率計 .....	4-3
圖 4.5	H-2 型水平集沙器 .....	4-3
圖 4.6	垂直式沙粒收集器 .....	4-4

圖 4.7	標尺設置位置圖 .....	4-6
圖 4.8	含水率試驗地點圖 .....	4-7
圖 4.9	A 點含水率試驗地點圖 .....	4-8
圖 4.10	B 點含水率試驗地點圖 .....	4-8
圖 4.11	C 點含水率試驗地點圖 .....	4-8
圖 4.12	D 點含水率試驗地點圖 .....	4-9
圖 4.13	E 點含水率試驗地點圖 .....	4-9
圖 4.14	F 點含水率試驗地點圖 .....	4-9
圖 4.15	H-2 及垂直式補沙器試驗地點圖 .....	4-10
圖 4.16	區域 I 沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.28\text{mm}$ ) .....	4-11
圖 4.17	區域 II 沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.253\text{mm}$ ) .....	4-11
圖 4.18	區域 III 沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.212\text{mm}$ ) .....	4-11
圖 5.1	觀測點 1 垂直剖面風速圖 .....	5-5
圖 5.2	觀測點 2 垂直剖面風速圖 .....	5-5
圖 5.3	觀測點 3 垂直剖面風速圖 .....	5-5
圖 5.4	觀測點 4 垂直剖面風速圖 .....	5-6
圖 5.5	觀測點 5 垂直剖面風速圖 .....	5-6
圖 5.6	觀測點 6 垂直剖面風速圖 .....	5-6
圖 5.7	觀測點 7 垂直剖面風速圖 .....	5-7
圖 5.8	觀測點 8 垂直剖面風速圖 .....	5-7
圖 5.9	$U_*$ 與 $U_{0.2}$ 關係圖 .....	5-7

圖 5.10	$Z_o$ 與 $U_{0.2}$ 關係圖 .....	5-8
圖 5.11	$Q$ 與 $U_{0.2}$ 關係圖 (BSNE 垂直式補沙器).....	5-10
圖 5.12	$Q$ 與 $U_{0.2}$ 關係圖 (H-2 水平式補沙器).....	5-10
圖 5.13	$Q$ 與 $Z$ 關係圖 (BSNE 垂直式補沙器).....	5-10
圖 6.1	定工沙管示意圖 .....	6-1
圖 6.2	編籬定沙示意圖 .....	6-1
圖 6.3	植裁定沙示意圖 .....	6-2
圖 6.4	台塑圍堤造地工程 .....	6-2
圖 6.5	海岸結構物與風場作用示意圖 .....	6-8
圖 6.6	第三期工程海岸結構物與風場作用示意圖 .....	6-11
圖 6.7	方案 1 防治對策示意圖 .....	6-14
圖 6.8	方案 2 防治對策示意圖 .....	6-15

## 表目錄

表 1-1	侵淤量與河川輸沙量之相關性 .....	1-5
表 2-1	梧棲測站氣象資料觀測統計表 .....	2-17
表 2-2	臺中港 2001 年至 2009 年風之風速及風向統計表 .....	2-20
表 2-3	各月侵台颱風之次數及頻率統計表 .....	2-21
表 2-4	歷年計畫區鄰近水深觀測概況表 .....	2-23
表 3-1	已知控制點距離檢測表 (公尺) .....	3-2
表 3-2	已知控制點高程檢測表 (公尺) .....	3-2
表 3-3	臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/09~2010/10).....	3-10
表 3-4	臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/10~2010/11).....	3-10
表 3-5	臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/11~2011/05).....	3-11
表 3-6	臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/09~2011/05).....	3-11
表 3-7	全區域侵淤面積比較表 .....	3-14
表 3-8	I 區域侵淤面積比較表 .....	3-15
表 3-9	II 區域侵淤面積比較表 .....	3-15
表 3-10	III 區域侵淤面積比較表 .....	3-16
表 4-1	測量項目 .....	4-5
表 4-2	飛沙高程量測試驗座標 .....	4-6
表 4-3	含水率試驗座標 .....	4-7
表 4-4	H-2 及垂直式試驗座標.....	4-10
表 5-1	風速觀測分析 .....	5-3

表 5-2	BNSE 垂直集沙器實驗資料 .....	5-11
表 5-3	水平式集沙器實驗資料 .....	5-12
表 5-4	臺中港北淤沙區飛沙量推估 .....	5-13
表 6-1	第二期飛沙防治工程效果分析 .....	6-3
表 6-2	飛沙防治對策方案 .....	6-14
表 6-3	整治方案優缺點比較表 .....	6-15

## 照片目錄

照片 2-1	臺中港北防波堤北側附近海岸地形圖 .....	2-2
照片 2-2	臺中港北防波堤位置 1 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-3
照片 2-3a	臺中港北防波堤位置 2 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-3
照片 2-3b	臺中港北防波堤位置 2 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-4
照片 2-3c	臺中港北防波堤位置 2 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-4
照片 2-3d	臺中港北防波堤位置 2 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-5
照片 2-4	臺中港北防波堤位置 3 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-5
照片 2-5a	臺中港北防波堤位置 4 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-6
照片 2-5b	臺中港北防波堤位置 4 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-6
照片 2-6	臺中港北防波堤位置 5 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-7
照片 2-7	臺中港北防波堤位置 6 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-7
照片 2-8	臺中港北防波堤位置 7 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-8
照片 2-9	臺中港北防波堤位置 8 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-8
照片 2-10	臺中港北防波堤位置 9 飛沙淤積圖 (2011/05) .....	2-9
照片 2-11	臺中港北淤沙區三期整治區示意圖 .....	2-10
照片 2-12	北淤沙區三期整治區位置 1 現況 (2011/10).....	2-11
照片 2-13a	北淤沙區三期整治區位置 2a 現況 (2011/10).....	2-11
照片 2-13b	北淤沙區三期整治區位置 2b 現況 (2011/10) .....	2-12
照片 2-13c	北淤沙區三期整治區位置 2c 現況 (2011/10).....	2-12

照片 2-14	北淤沙區三期整治區位置 3 現況 (2011/10).....	2-13
照片 2-15a	北淤沙區三期整治區位置 4 現況 (2011/10).....	2-13
照片 2-15b	北淤沙區三期整治區位置 4a 現況 (2011/10) .....	2-14
照片 2-15c	北淤沙區三期整治區位置 4b 現況 (2010/10) .....	2-14
照片 2-15d	北淤沙區三期整治區位置 4c 現況 (2011/10).....	2-15
照片 2-16	北淤沙區三期整治區位置 5 現況 (2011/10).....	2-15
照片 2-17	北淤沙區三期整治區位置 6 現況 (2011/10).....	2-16
照片 6-1	第 I 區沙灘 (2011/10) .....	6-5
照片 6-2	第 I 區擋風牆附近處淤沙區 (2011/10) .....	6-5
照片 6-3	第 II 區海堤前方 (2011/10) .....	6-5
照片 6-4	第 II 區海堤後方 (向海) (2011/10) .....	6-6
照片 6-5	第 II 區海堤後方 (向岸) (2011/10) .....	6-6
照片 6-6	第 II 區海堤後方遮蔽區 (2011/10) .....	6-6
照片 6-7	第 III 區編籬定沙區前方 (2011/10) .....	6-7
照片 6-8	第 III 區編籬定沙區 (2011/10) .....	6-7
照片 6-9	第 III 區北防波堤堤址處 (2011/10) .....	6-7
照片 6-10	第 III 區擋風牆積沙區 (2011/10) .....	6-8
照片 6-11	第 III 區擋風牆牆角淤沙區 (2011/10) .....	6-8
照片 6-12	第三期工程編籬定沙區 (2011/10).....	6-9
照片 6-13	第三期工程於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄(2011/10) .	6-10
照片 6-14	第三期工程沙灘區現況 (向海) (2011/10).....	6-11

照片 6-15	第三期工程北防波堤現況 (2011/10).....	6-12
照片 6-16	第三期工程北防波堤現況 (向岸) (2011/10).....	6-12
照片 6-17	第三期工程北防波堤與海堤交界處 (2011/10).....	6-13
照片 6-18	第三期工程北防波堤堤址處淤沙 (2011/10).....	6-13

# 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：

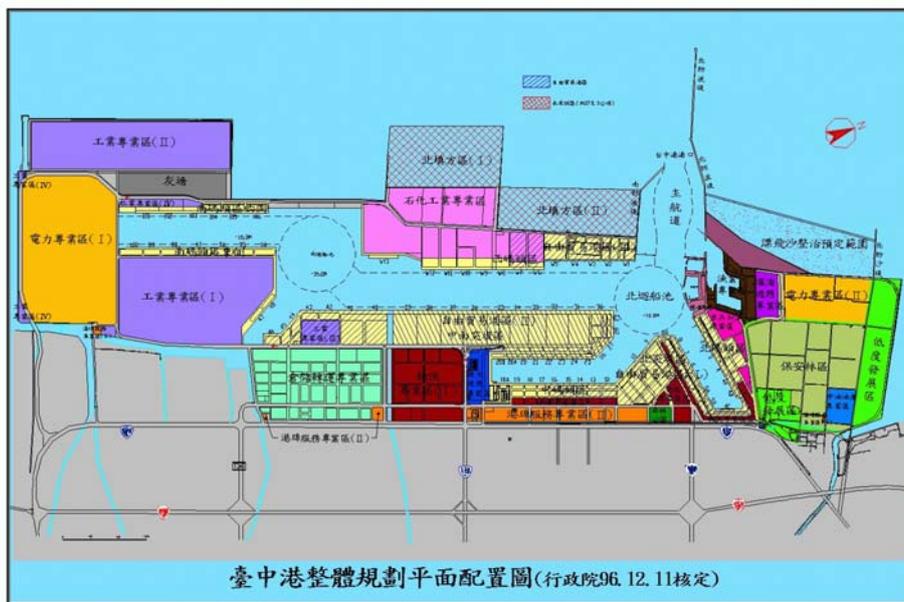


圖 1.1 臺中港平面配置圖

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。臺中港務局於民國 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，港務局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) 研究報告指出，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。綜合上述研究結果顯示，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。本年度為第三年度，期間蒐集現場相關海、氣象資料以現地試驗方式對海岸飛沙量進行研究，藉以建立飛沙機制模式並探討飛沙與海岸侵淤的相關性，並分析提出飛沙對附近港池可能造成的淤積威脅。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，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，俾提供施政及工程單位參酌。

第一年研究內容為蒐集臺灣中西部附近海域海氣地象、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 模組進行臺灣中西部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，依據臺灣西部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 95 年) 如圖 1.2 所示：

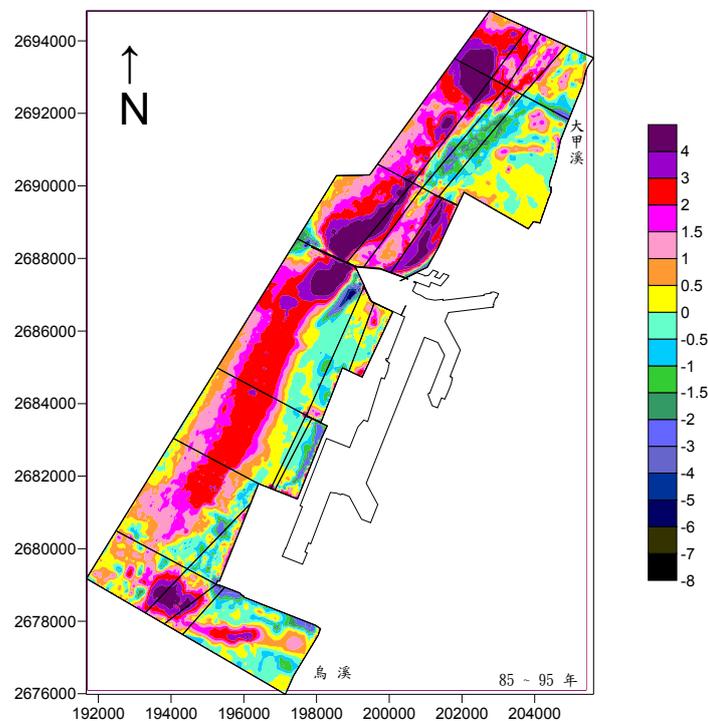


圖 1.2 臺中港附近地形侵淤變化圖 (民國 85 年~民國 95 年)

臺中港北防波堤至北防沙堤間有部分淤積，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。

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。

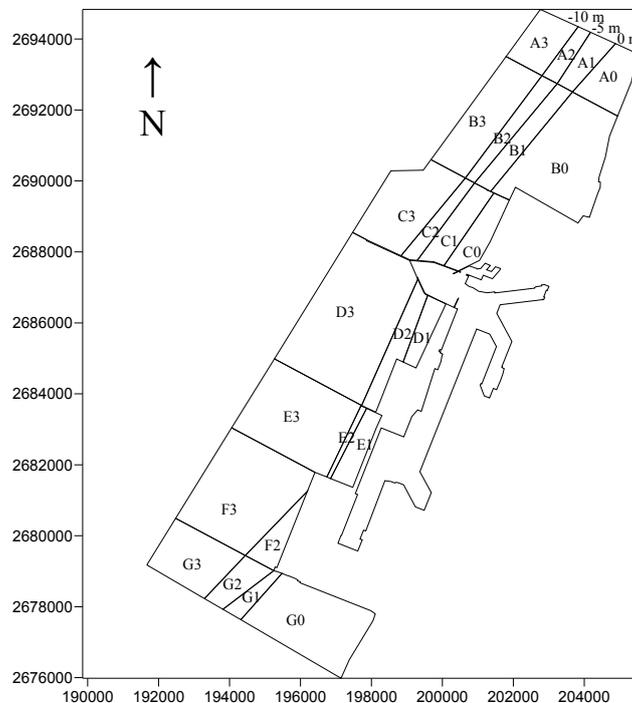


圖 1.3 臺中港地形水深變遷計算分區圖

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	-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： $m^3$ )

- 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：

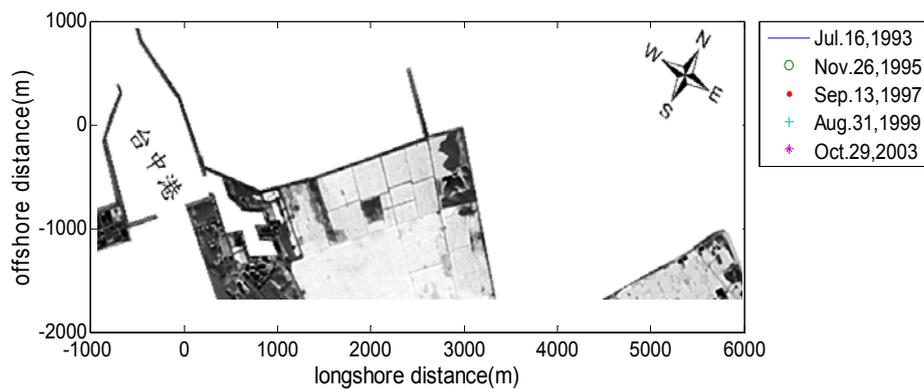


圖 1.4 衛星影像中擷取的平均水位灘線位置

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 800m 以內及北防沙堤處約離岸 500m 以內，在這範圍外直至北防波堤處離岸 2000m，延伸至北防沙堤離岸 1500m 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. 綜合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  $\Omega$  外力因子比較其它外力因子適合當為模式之輸入條件。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  $\Omega$  和年及平均值波浪特性預測下一年地形之平均誤差可在 0.05m 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初步評估。  
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。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。

前兩年度研究以海岸漂沙的運移特性為主要的探討目標。但由於臺中港受東北季風影響嚴重，依據臺中港第二期擴建堤頭測站資料，2007 年 7 月~2008 年 1 月風力觀測結果，7~8 月間以 SSE 向為主要風向，風速大約為  $5\sim 10m/s$ 。9 月至翌年 1 月風力較強，風速約大於  $20m/s$ ，風向以 NNE 向為主。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。為釐清臺中港灣近岸所面臨的飛沙機制以及淤積原因，本年度以蒐集現場相關海、氣象資料，以現地試驗方式對海岸飛沙量進行研究，藉以建立飛沙機制模式並探討飛沙與海岸侵淤的相關性，並分析提出飛沙對附近港池可能造成的淤積威脅。

## 1.2 研究內容

研究分四年進行，本年度為第三年度，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. 蒐集臺灣中西部附近海域海氣地象、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. 分析及探討臺灣中西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. 探討臺灣中西部港灣上、下游侵淤與河川輸沙與海、氣象條件相關性。
5. 依據臺灣中西部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。

(1)現場量測海灘含水量，以飛沙移動公式計算風沙移動量。

(2)以沙灘高程推算飛沙海岸漂沙。

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。

(1)提出改善海岸飛沙之方案。

(2)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 研究方法

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  $14.3 \text{ m}^3 / \text{m} - \text{year}$ ，淨搬運速率則圍  $13.9 \text{ m}^3 / \text{m} - \text{year}$ 。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  $14.67 \text{ m}^3 / \text{m}$ ，以 BSNE 垂直捕沙器推估之飛沙量為  $52.89 \text{ m}^3 / \text{m}$ 。比對現場地形量測數據，該期間(2005/11~2006/01) 臺中港堆沙量為  $73.568 \text{ m}^3 / \text{m}$ 。

本研究為第三年度，透過(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)現地試驗方式，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。現場量測計算海灘含水量，以飛沙移動公式計算風沙移動量，並由沙灘高程推算飛沙海岸漂沙，最後，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，提出改善海岸飛沙之方案與比較防治效果分析。藉由此研究過程，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。

### 1.4 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、研究內容與研究方法。第二章為海岸飛沙環境資料蒐集分析，蒐集有關臺中

港鄰近範圍之氣象、海象、海岸地形及飛沙特性資料並分析其相關特性。第三章為飛沙區 3D 雷射掃描測量，以 3D 雷射掃描方式量測飛沙區。第四章為飛沙現地試驗，以現地試驗方式量測海岸飛沙。第五章為飛沙模式建立，利用蒐集及量測所得實測資料，建立飛沙運移模式。第六章為海岸防飛沙設施效果分析與防治對策研擬，探討北側淤沙區之海岸防飛沙設施效果與研擬其防治之對策。第七章為本研究之結論與建議，最後為本研究之參考文獻。

## 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 臺中港北淤沙區飛沙現況

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，故本研究以臺中港北防波堤北側淤沙區為試驗地點，進行飛沙試驗研究。

#### 2.1.1 第二期整治工程

臺中港務局於民國 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。臺中港務局於民國 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。

第二期工程照片如下列照片所示。照片 2-1 標示 9 個不同位所攝影之圖片。分別如照片 2-1 至照片 2-14 所示。照片 2-2 至照片 2-9 則分別為個別細部之影像。飛沙由位置(1)平緩沙灘上之沙礫因退潮時受到日照影響，加上東北季風將大量沙礫向下游，於位置(2)及位置(3)可觀察

出沙礫移動方向及飛沙淤積高度已達防飛沙設施之高度，在位置(4)防飛沙設施已有崩壞之情形，於位置(5)下方之防沙牆底部有明顯的淤積，一直延續至位置(6)防沙牆轉角處形成大量淤積外，再因受防沙牆導流效果，將飛沙被帶入到位置(9)北防波堤堤址附近處。對應北防波堤北側廣大的沙灘，飛沙飛經過位置(7)及位置(8)，最後飛沙大量淤積至位置(9)。

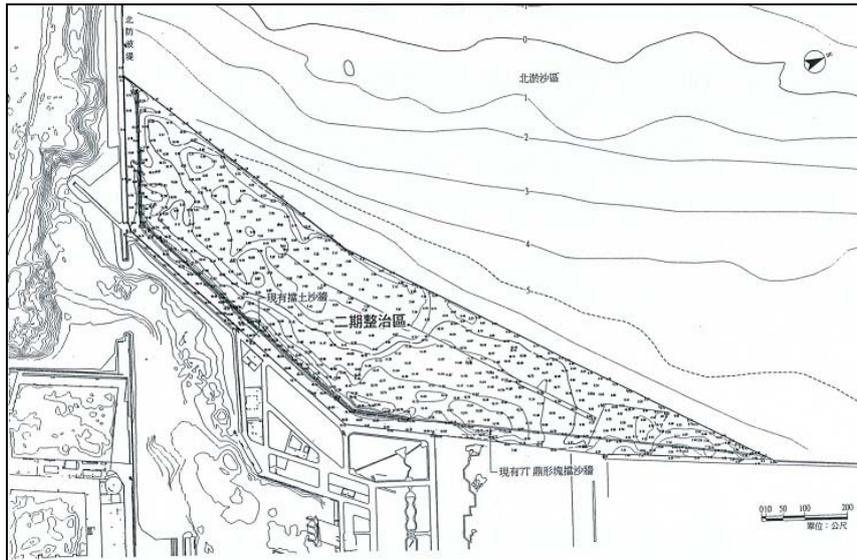


圖 2.1 臺中港北淤沙區二期整治



照片 2-1 臺中港北防波堤北側附近海岸地形圖



照片 2-2 臺中港北防波堤位置 1 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-3a 臺中港北防波堤位置 2 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-3b 臺中港北防波堤位置 2 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-3c 臺中港北防波堤位置 2 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-3d 臺中港北防波堤位置 2 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-4 臺中港北防波堤位置 3 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-5a 臺中港北防波堤位置 4 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-5b 臺中港北防波堤位置 4 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-6 臺中港北防波堤位置 5 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-7 臺中港北防波堤位置 6 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-8 臺中港北防波堤位置 7 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-9 臺中港北防波堤位置 8 飛沙淤積圖 (2011/05)



照片 2-10 臺中港北防波堤位置 9 飛沙淤積圖 (2011/05)

### 2.1.2 第三期整治工程

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。依據交通部臺中港務局 (2009)「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」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堆積量年約 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。因此，整體估算北淤沙區年飛沙量至少在 30 萬方以上水準。

在北淤沙區近年淤積加快累積下，淤沙區灘地面積日益擴增，且擋沙牆逐漸失去顯著效果，臺中港務局於民國 100 年起開始進行第三期整治工程。照片 2-11 為第三期北淤沙區現況示意圖，6 個位置分別由照片 2-12 至照片 2-17 所示。照片 2-12 為位置 1 (新設擋風牆最北側編籬定沙現場照片)，照片 2-13 為整治後編籬定沙區現場照片，照片

2-14 至照片 2-17 分別為整治後新增擋風牆前沙灘區與擋風牆後方編籬定沙區現場照片。

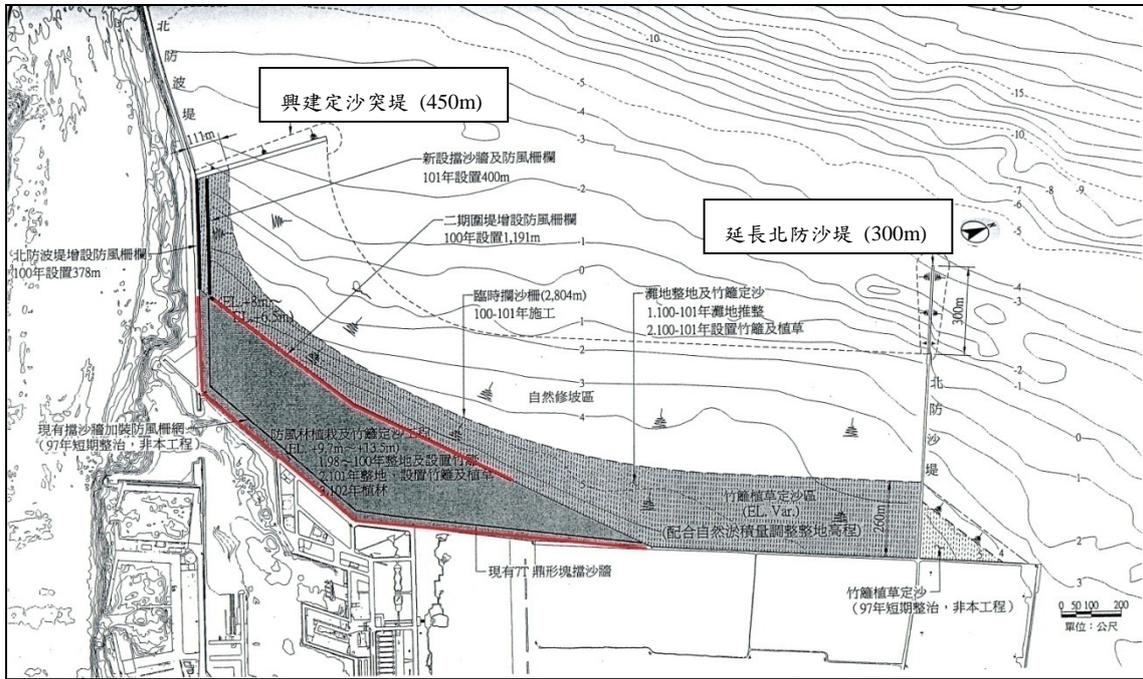
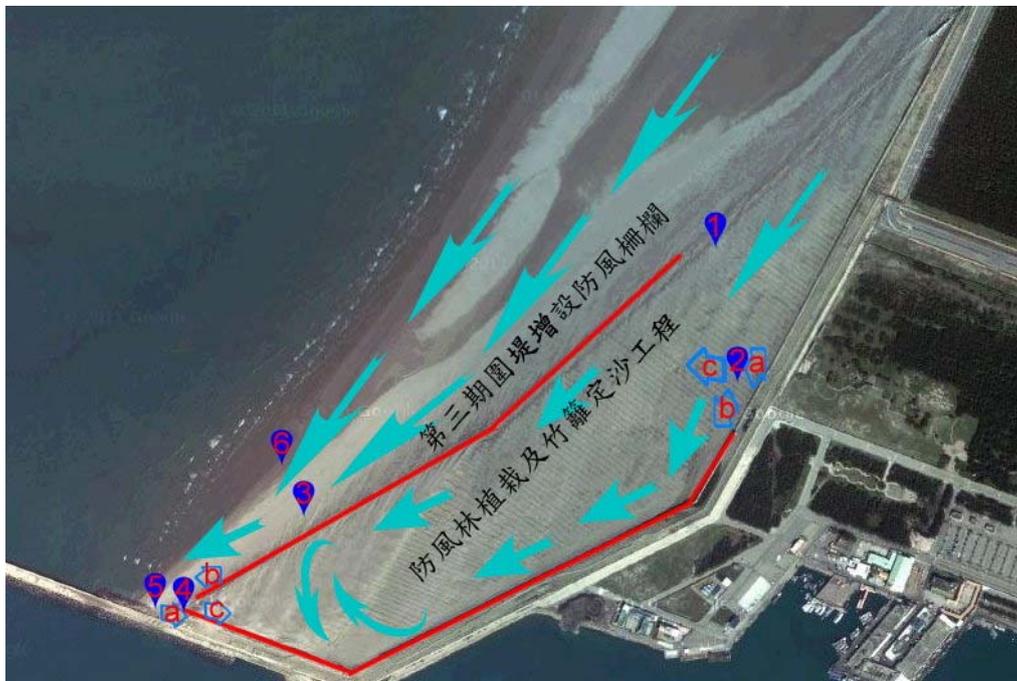


圖 2.2 臺中港北淤沙區三期整治區地形圖



照片 2-11 臺中港北淤沙區三期整治區示意圖



照片 2-12 北淤沙區三期整治區位置 1 現況 (2011/10)



照片 2-13a 北淤沙區三期整治區位置 2a 現況 (2011/10)



照片 2-13b 北淤沙區三期整治區位置 2b 現況 (2011/10)



照片 2-13c 北淤沙區三期整治區位置 2c 現況 (2011/10)



照片 2-14 北淤沙區三期整治區位置 3 現況 (2011/10)



照片 2-15a 北淤沙區三期整治區位置 4 現況 (2011/10)



照片 2-15b 北淤沙區三期整治區位置 4a 現況 (2011/10)



照片 2-15c 北淤沙區三期整治區位置 4b 現況 (2011/10)



照片 2-15d 北淤沙區三期整治區位置 4c 現況 (2011/10)



照片 2-16 北淤沙區三期整治區位置 5 現況 (2011/10)



照片 2-17 北淤沙區三期整治區位置 6 現況 (2011/10)

## 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 1977～2010 年間之長期觀測統計資料 (詳表 2-1 所示) 進行分析。

### 1. 雨

梧棲地區平均年總降雨量為 1,284.4mm，其中以 5 月份之降雨量為最高，達 222.5mm，10 月份之降雨量最低，僅 9.9mm；平均年總降雨日數為 93.7 日，主要分布在 2～8 月間，其中以 3 月份之降雨日數為最多，平均達 11.3 日，而 10 月份之降雨日數為最少，約 2.3 日。

### 2. 日照時數

梧棲地區年平均日照時數共有 2,018.3 小時，其中 7 月份較多，達 234.3 小時，2 月份最少，僅 109.6 小時。

### 3. 氣壓

梧棲地區年平均氣壓為 1,010 mb，1 月及 12 月份之月平均氣壓為最高，達 1,016.6 mb，8 月份之月平均氣壓最低，僅 1,002.7 mb。

#### 4. 溫度

梧棲地區年平均氣溫為 22.8°C，其中以 7 月份之月平均氣溫最高，達 29.0°C，1 月份之平均氣溫最低，僅 15.9°C。

#### 5. 相對濕度

梧棲地區年平均相對濕度為 77.9%，其中以 3 月份之月平均相對濕度 80.3% 為最高，10 月份之月平均濕度 75% 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 (≥0.1mm)	平均日照時數 (hour)	平均氣壓 (mb)	平均溫度 (°C)	相對濕度 (%)
1	28.5	6.1	148.6	1,016.6	15.9	77.7
2	84.5	10.3	109.6	1,015.6	15.8	79.6
3	106.1	11.3	121.5	1,013.3	18.4	80.3
4	131	10.5	143.9	1,010.3	22.3	78.9
5	222.5	11	163.2	1,007	25.3	80.2
6	217.7	10.8	188.3	1,004.5	27.8	79.6
7	165.9	8.6	234.3	1,003.8	29.0	77.4
8	213.2	10.7	206.6	1,002.7	28.7	78.5
9	68.7	5.5	191.7	1,006	27.3	77.0
10	9.9	2.3	196.7	1,010.3	24.4	75.0
11	15.5	2.9	155.8	1,013.7	21.2	75.0
12	20.9	3.7	158.1	1,016.6	17.7	75.3
年合計	1284.4	93.7	2018.3	—	—	—
月平均	—	—	—	1,010	22.8	77.9

### 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 2011 年 1 月~2011 年 9 月風玫瑰圖，如圖 2.3 所示。由圖可知，7~8 月間以 SSE 向為主要風向，風速大約為 5~10m/s。9 月至年 1 月風力較強，風速約大於 20m/s，風向以 N~NNE 向為主。此外，分析本所自 2001 年 7 月至 2009 年 11 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 18.7%。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 55.6%；風速介於 5~10m/s 之間者，約佔歷年觀測的 27.1%；風速介於 10~15m/s 之間者，約佔歷年觀測的 12.8%；風速大於 15m/s 以上者，約佔歷年觀測的 4.5%。歷年之平均風速為 5.8m/s；歷年最大風速為 37.5m/s，月平均風速大於 10m/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 5m/s 以下，但 5m/s 以上之風速約佔 44.4%。此一狀態之風速，將可啟動沙灘區之沙粒，造成沙粒在沙灘區移動產生海岸飛沙。

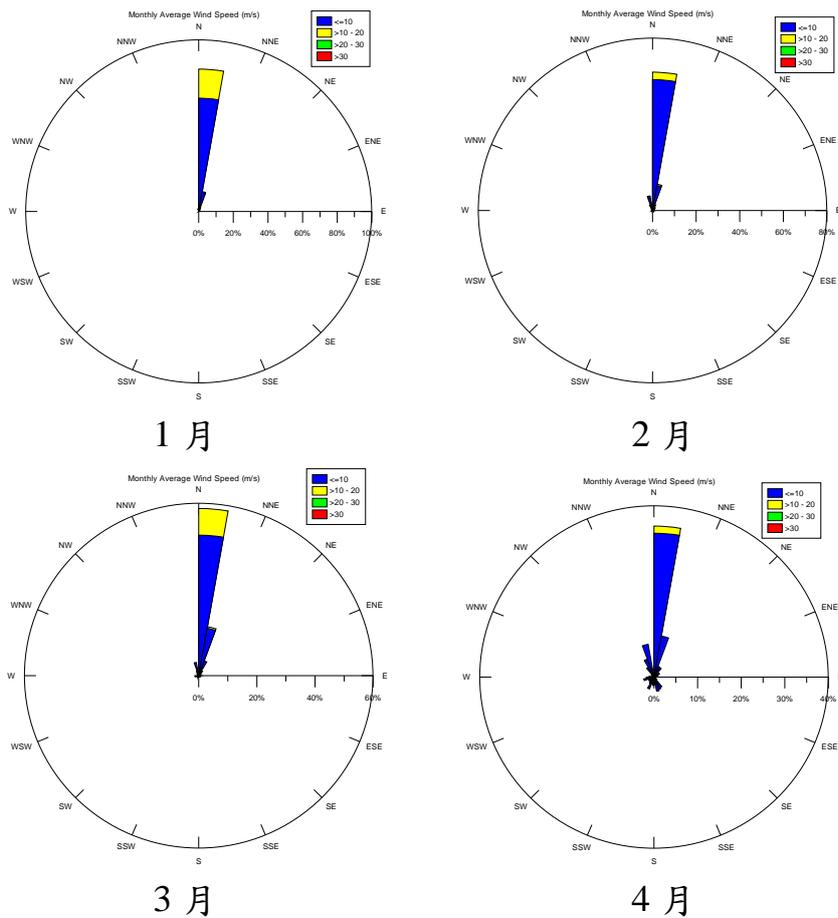


圖 2.3a 梧棲測站風向圖 (2011/01~2011/09)

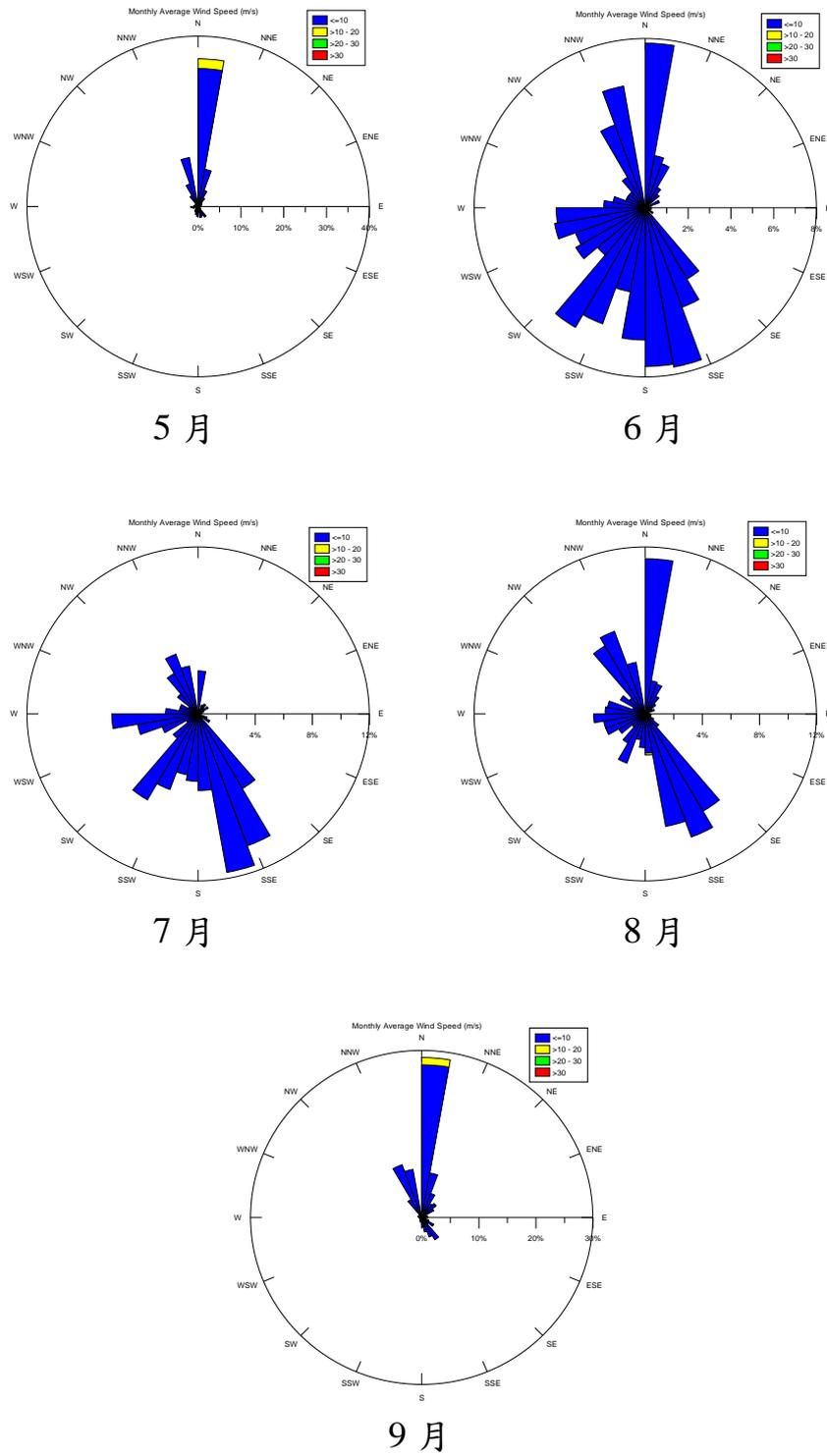


圖 2.3b 梧棲測站風向圖 (2011/01~2011/09) (續)

表 2-2 臺中港 2001 年至 2009 年風之風速及風向統計表

年份	平均 風速 m/s	風速		風速 <5 m/s (%)	風速 5~10 m/s (%)	風速 10~15 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	0.1
2003	5.1	17.8	NNE	60.0	26.7	12.5	0.8	0.1	62.6	10.0	18.7	0.1
2004	5.2	17.9	NNE	57.7	29.6	12.3	0.4	0.0	65.2	9.4	15.8	0.0
2005	5.3	27.3	NNE	60.2	25.2	13.2	1.4	0.0	62.1	9.4	19.6	0.0
2006	5.3	18.7	NNE	57.5	28.8	12.0	1.8	0.1	64.3	9.2	19.6	0.1
2007	5.3	23.3	NNE	59.6	26.3	12.5	1.7	0.2	60.6	12.2	19.3	0.2
2008	9.1	37.5	NNE	32.2	32.9	15.3	19.7	0.0	55.8	4.6	28.9	0.0
2009	5.6	26.2	NNE	60.6	21.2	11.6	6.4	0.2	65.2	7.6	14.3	0.2
平均	5.8	37.5	NNE	55.6	27.1	12.8	4.5	0.1	62.4	9.5	18.7	0.1

此外，在颱風統計方面，本研究根據中央氣象局所發佈於 1897～2010 年以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	0.49%	0.02
5	15	3.70%	0.13
6	29	7.16%	0.25
7	98	24.20%	0.86
8	121	29.88%	1.06
9	93	22.96%	0.82
10	37	9.14%	0.32
11	9	2.22%	0.08
12	1	0.25%	0.01
合計	405	100.00%	3.55

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，1897～2010 年之 114 年間，侵台颱風總數為 405 次，其中以 8 月份佔 121 次為最高，約佔總數之 29.88%；7 月份佔 98 次居次，約佔總數之 24.2%。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 114 年（1897～2010 年）間侵台颱風路徑大致劃分為 9 類，詳如圖 2.4 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 2.4 之統計結果顯示，每年侵台颱風中約有 19.3% 直接影響臺中地區海域。

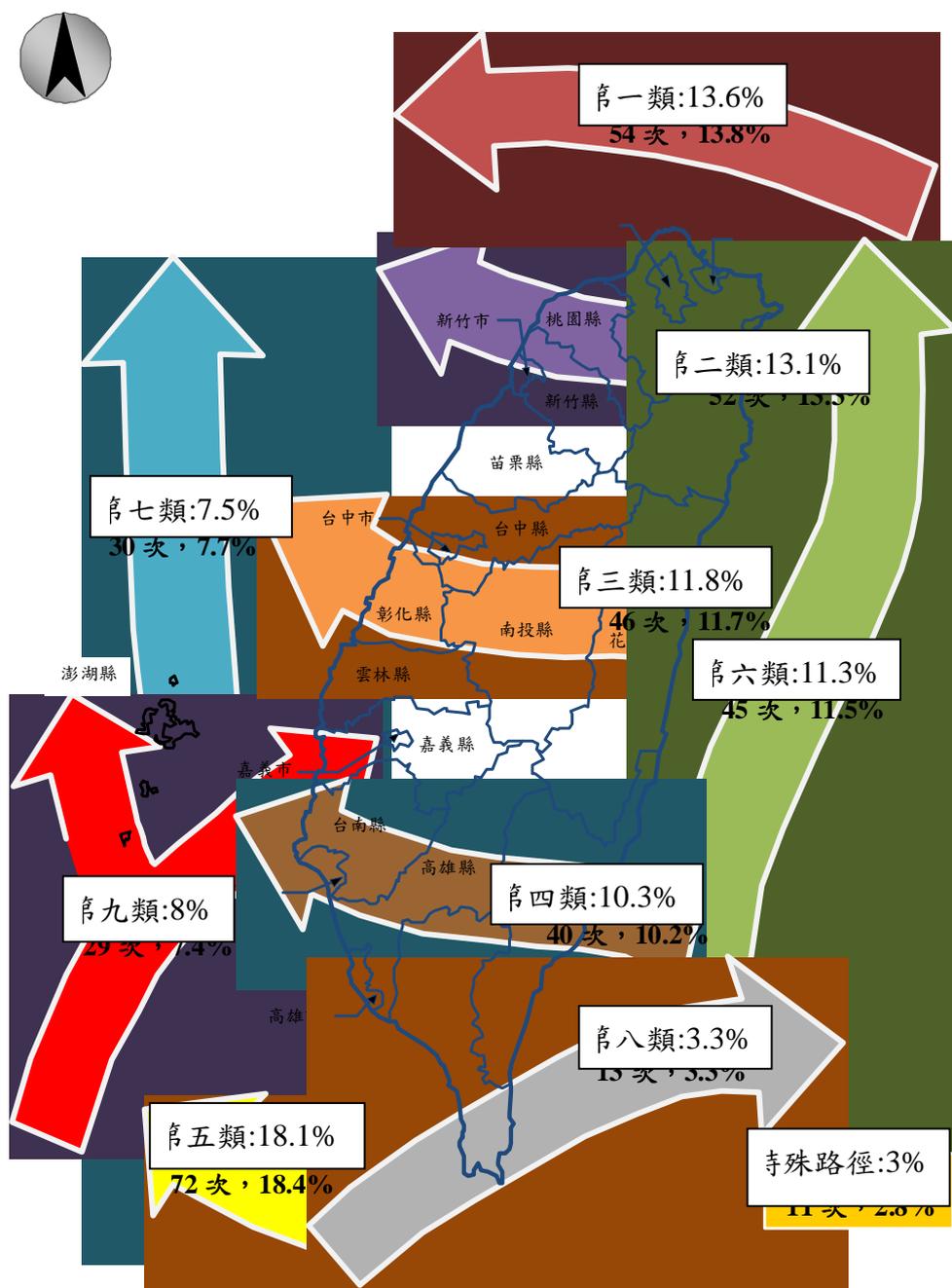


圖 2.4 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖 (1897~2010)

資料來源：中央氣象局圖書館歷年颱風調查報告

## 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 150m，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中港務局及工業局等單位之施測結果彙整詳表 2-4 所示。臺中港務局自 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-30m~-40m 等深線。圖 2.5 為臺中港務局 96 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~-25m 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
臺中港務局	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。

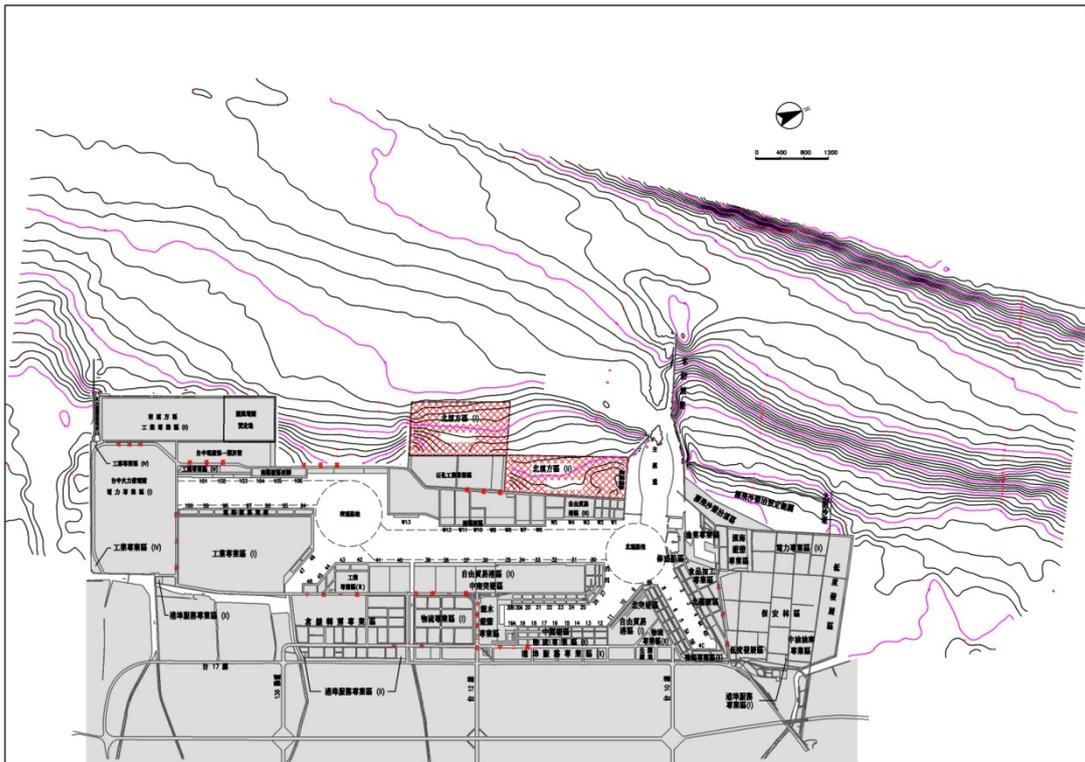


圖 2.5 96 年臺中港地形水深分布圖

## 第三章 飛沙區 3D 雷射掃描測量

### 3.1 現地測量區域

為了解臺中港北淤沙區之飛沙現況，本研究以 3D 雷射掃描測量所得高程，進行飛沙量之推估。本研究量測區域為臺中港北防波堤以北至北防沙堤以南，其中紅色框內為潮間帶區域，另外黑色框內為編籬定沙區域，如圖 3.1 所示。



圖 3.1 現地高程測量量測區域

### 3.2 LIDAR 量測工作

#### 3.2.1 控制系統

1. 平面控制：採用 TM 二度分帶 (TWD97) 坐標系統。
2. 高程控制系統：採用一等水準高程系統 (與臺中港築港系統差 2.674m)。

#### 3.2.2 已知點坐標高程檢測與引測

檢測測區附近臺中港務局 3 點 (TC049、TC131、TC132) 已知控

制點，已知控制點分佈情形如圖 3.2 所示。以全測站經緯儀經檢核其邊長與已知坐標反算，其距離精度均高於 1/10,000，詳表 3-1 所示。在高程精度方面，高程精度均高於 $100mm\sqrt{K}$ ，如表 3-2 所示，此 3 點已知控制點可作為平面控制之參考依據。將檢測合格已知控制點，以全測站經緯儀引測至測區，控制點分佈圖如 3-2 所示。



圖 3.2 已知控制點分佈圖

表 3-1 已知控制點距離檢測表

單位：公尺

點號	測站	原始距離 (m)	檢測距離 (m)	差值	精度	檢測成果
TC131	TC049	680.1968008	680.203	-0.0062	1/109792	OK
TC132	TC049	404.6129171	404.6078	-0.00511	1/79124	OK

表 3-2 已知控制點高程檢測表

單位：公尺

點號	原始高程 (m)	檢測高程 (m)	差值	精度	檢測成果
TC132	9.764	9.761	0.003	$5.1mm\sqrt{K}$	OK

### 3.3 LIDAR 量測原理

#### 3.3.1 3D 雷射掃描原理

3D 雷射掃描儀如圖 3.3 所示，利用雷射測距儀發射雷射光，並同時接收目標物反射的訊號以測量儀器至目標物的距離；而藉由有效距離或標準範圍內之測站至掃描點的斜距，推求掃描點與測站的三度空間相對坐標差，流程圖如圖 3.4 所示。



超長距離 RIEGL LMS-Z620	
測量範圍	最大 2,000 m (反射率 80%) 最大 650 m (反射率 10%)
測距精度	10 mm (單次)；5 mm (平均)
光束參數	光束散度：0.15 mrad
測量速率	11,000 點/秒
掃描範圍	垂直：0 度到 80 度 水平：0 度到 360 度
內附	傾角計、同步計時器
相機	外接式高階數位相機

圖 3.3 RIEGL LMS-Z620 雷射掃描儀規格圖

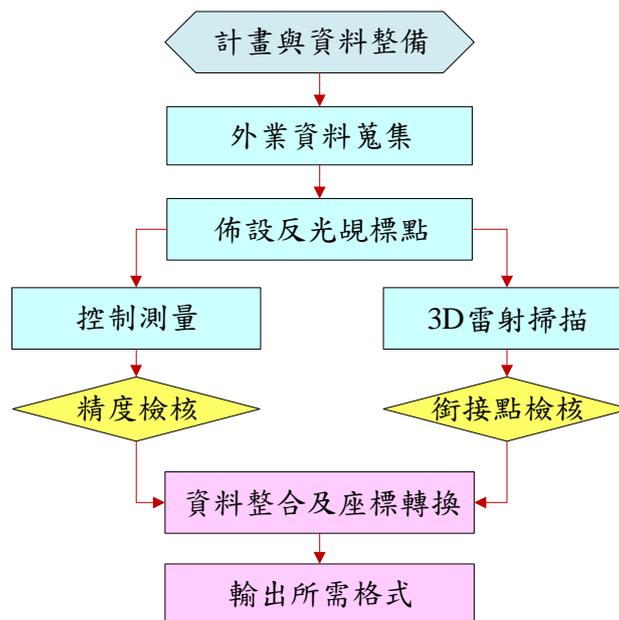


圖 3.4 3D 雷射掃描測量流程圖

### 3.3.2 反光規標佈置

測區內依照其地形變化規劃佈設反光規標，規標材質採用 3M 鑽石級反光貼紙如圖 3.5 所示。設置時佈設於空曠明顯處，作為各測站連結以及坐標轉換之依據。

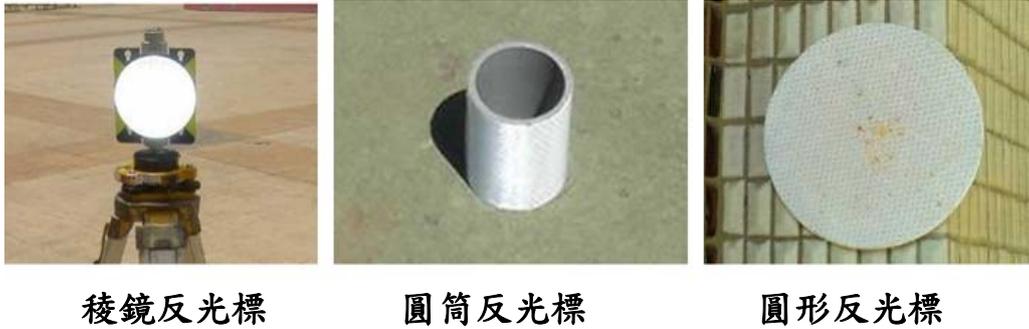


圖 3.5 反光規標規格圖

### 3.3.3 接圖及坐標轉換

將數位相機結合 LIDAR 作同軸拍照及掃描，透過 6 參數轉換及最小二乘法使相片上的色彩 (R、G、B) 值融合 LIDAR 的點雲資料，而成每點皆含有 X、Y、Z、R、G、B 的彩色點雲成果。坐標轉換流程如圖 3.6 所示，3D LIDAR 雷射掃描儀所得到之各測站 3D 點雲圖此時稱為掃描儀坐標系統 (SOCS)，再選取三個或以上空間已知銜接點 (如反光規標等) 進行坐標轉換，將不同測站所測得的 3D 點雲圖資料套合至 TWD97 坐標系統。

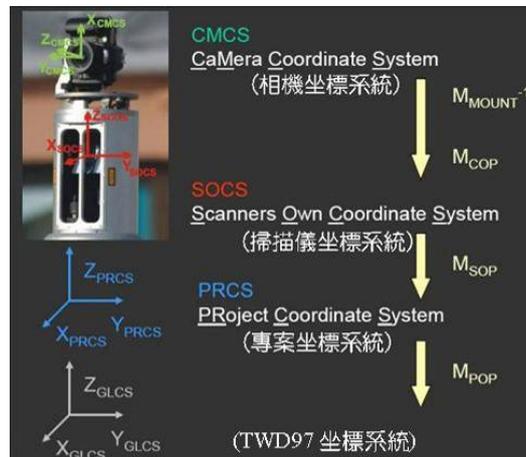


圖 3.6 坐標轉換流程圖

### 3.3.4 地形測量過程

研究過程中，地形測量於 2010 年 09 月至 2011 年 05 月進行控制點檢測與引測，3D 雷射掃描為 2010 年 09 月至 2011 年 05 月進行測量，3D 雷射掃描相關作業照片如圖 3.7 所示。測量過程中，由於部份範圍需配合潮汐進行施測，故以最低潮位時間進行施測。

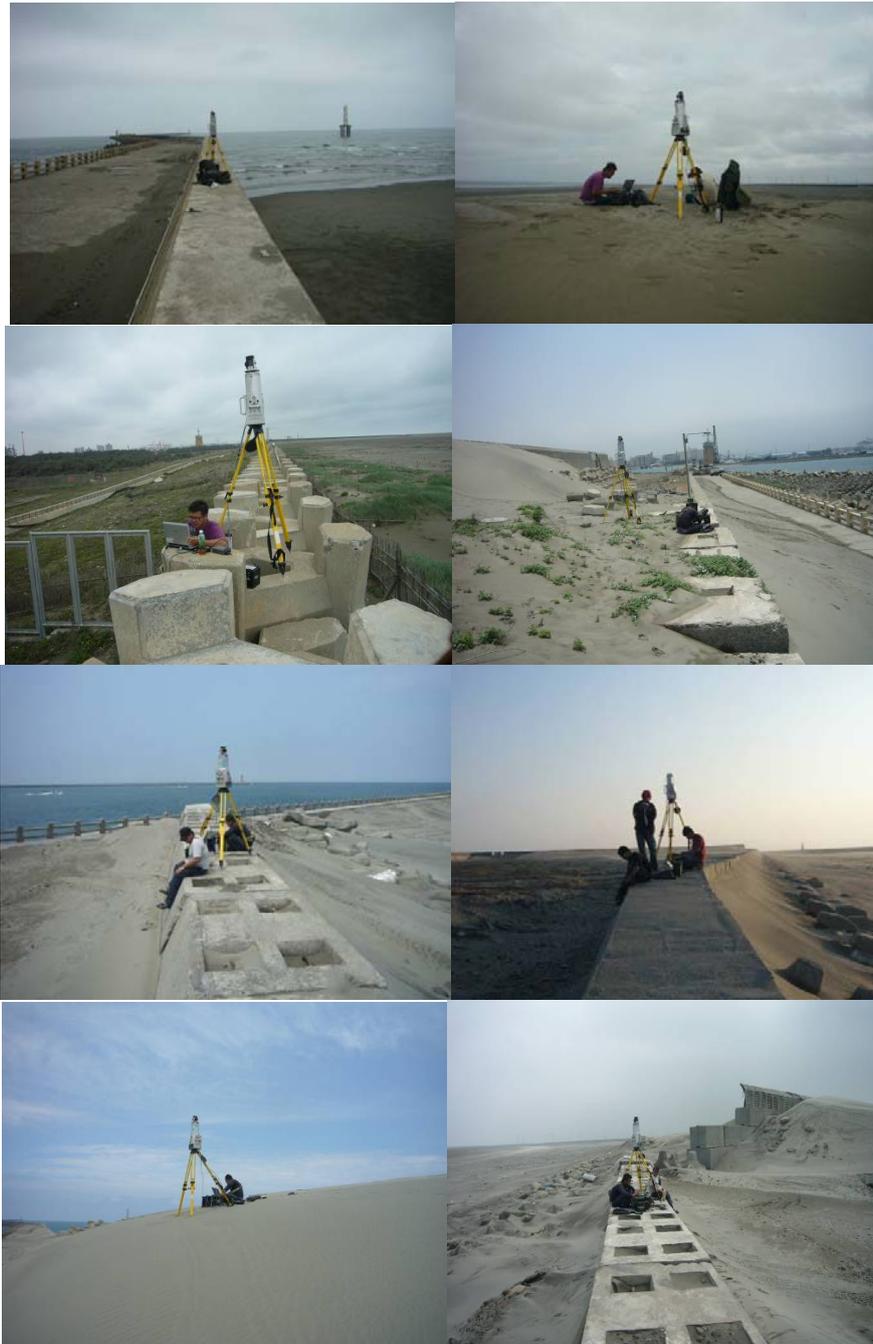


圖 3.7 現地測量工作圖

### 3.3.5 現地量測儀器設備

3D 雷射掃描過程中儀器設備，主要分為硬體設備及軟體設備，詳細儀器型式及規格分述如圖 3.8 所示：

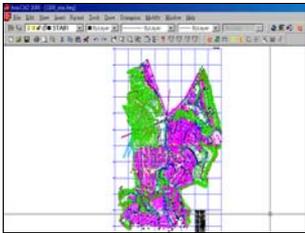
用途	儀器型式／儀器精度及規格	儀器照片	數量
地形測量	Topcon cpl 3002LN		1
3D 雷射掃描儀	RIEGL LMS-Z620		1
用途	軟體名稱	軟體照片	數量
3D 雷射掃描儀軟體	RISCAN PRO		1
繪圖軟體	AutoCad 2004 Map3D 網路版		1

圖 3.8 LIDAR 量測儀器設備

## 3.4 飛沙量特性分析

### 3.4.1 海岸飛沙量分析

本研究利用雷達及遙測影像分析及校正，擷取不同潮位系統下及不同季節北淤沙區之高程，探討不同潮位及不同季節時高程的變化特性。沙灘高程資料可作為分析海岸飛沙之依據，其結果可將海灘的整體變化趨勢有效的預測。比對兩次不同時間下之測量斷面，得知飛沙與漂沙移動量之變化趨勢。依據所得之飛沙相關參數資料與風場資料，進行飛沙模式之建立與校核。研究過程中，配合雷達量測之飛沙地形，所得之沙灘高程資料，分析各個區域之土方變化量，藉以瞭解各區域在不同海氣象條件變化下，沙灘移動量之關係。本研究將臺中港北淤沙區劃分為三個區域，示意圖如圖 3.9，依據高程量測時間分別取：2010 年 9 月至 2010 年 10 月、2010 年 10 月至 2010 年 11 月、2010 年 11 月至 2011 年 5 月及 2010 年 9 至 2011 年 5 月之時間間隔進行全區域侵淤圖如圖 3.10 至圖 3.13 所示。

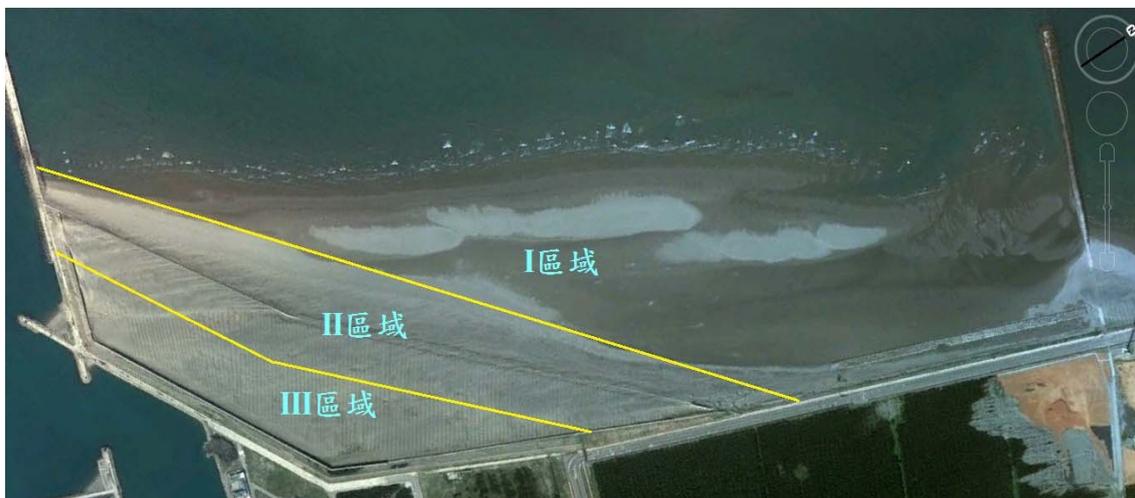


圖 3.9 臺中港北淤沙區區域劃分圖

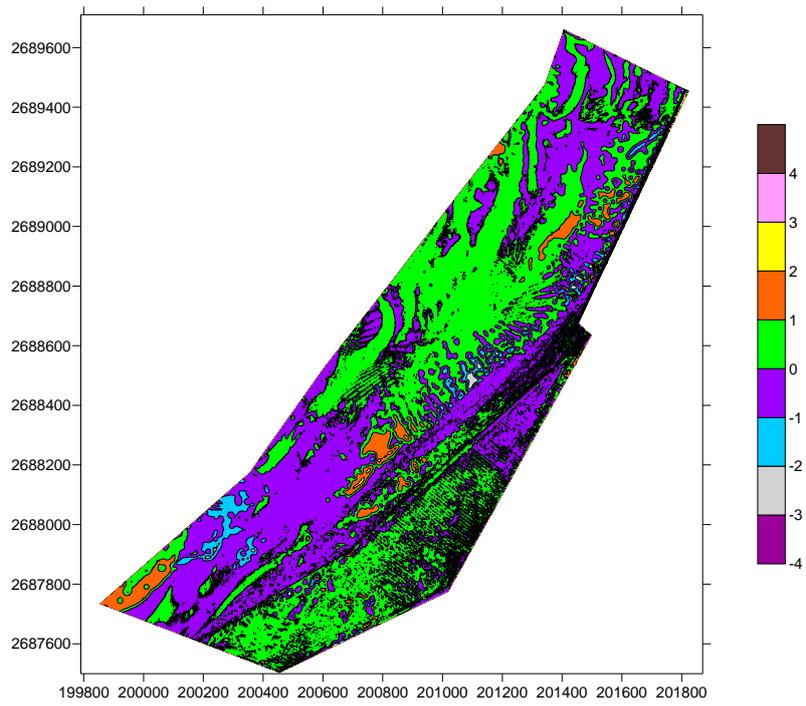


圖 3.10 全區域侵淤圖: 2010/09 至 2010/10 (單位:  $m$ )

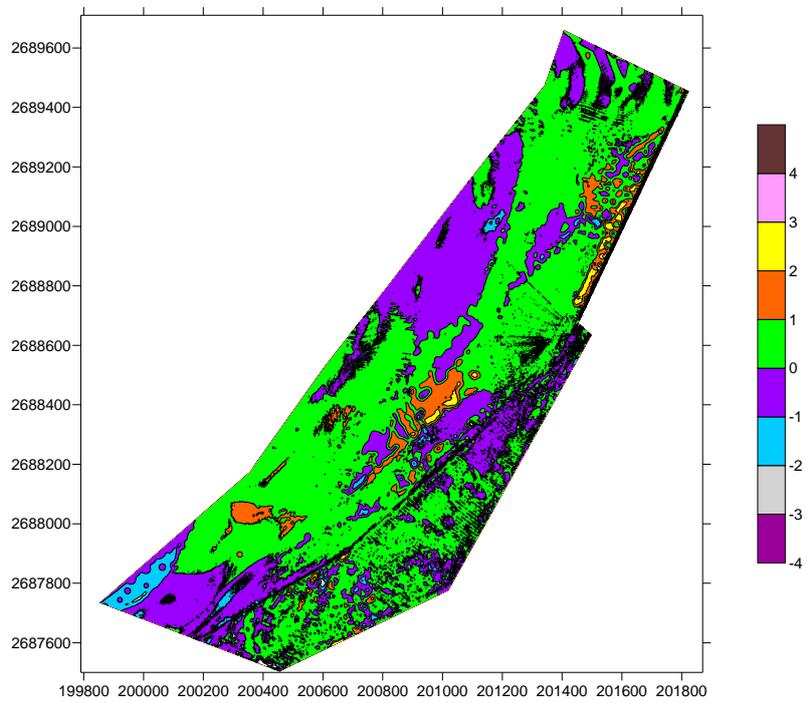


圖 3.11 全區域侵淤圖: 2010/10 至 2010/11 (單位:  $m$ )

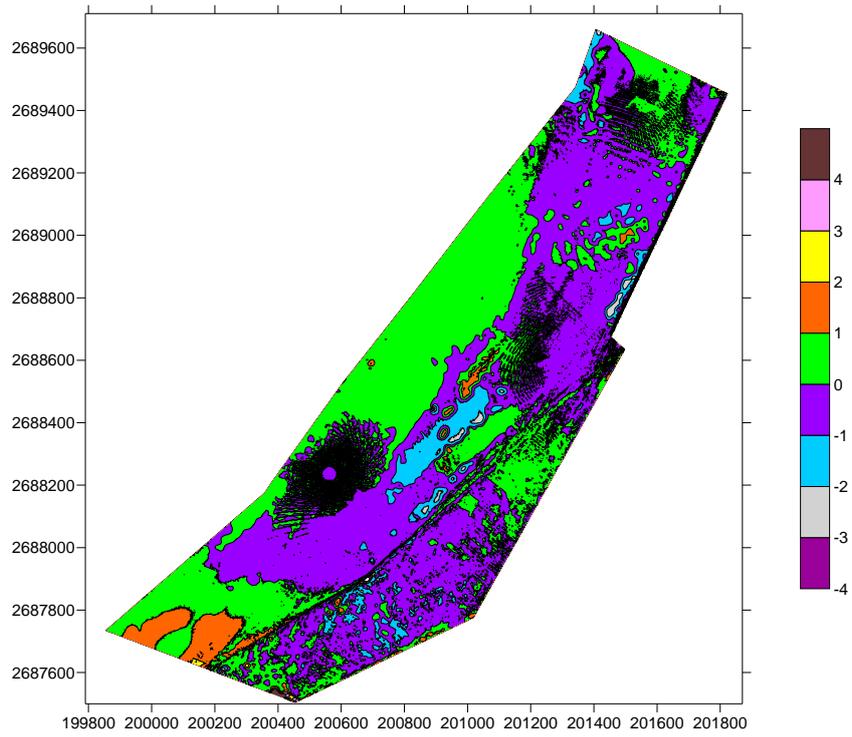


圖 3.12 全區域侵淤圖: 2010/11 至 2011/05 (單位:  $m$ )

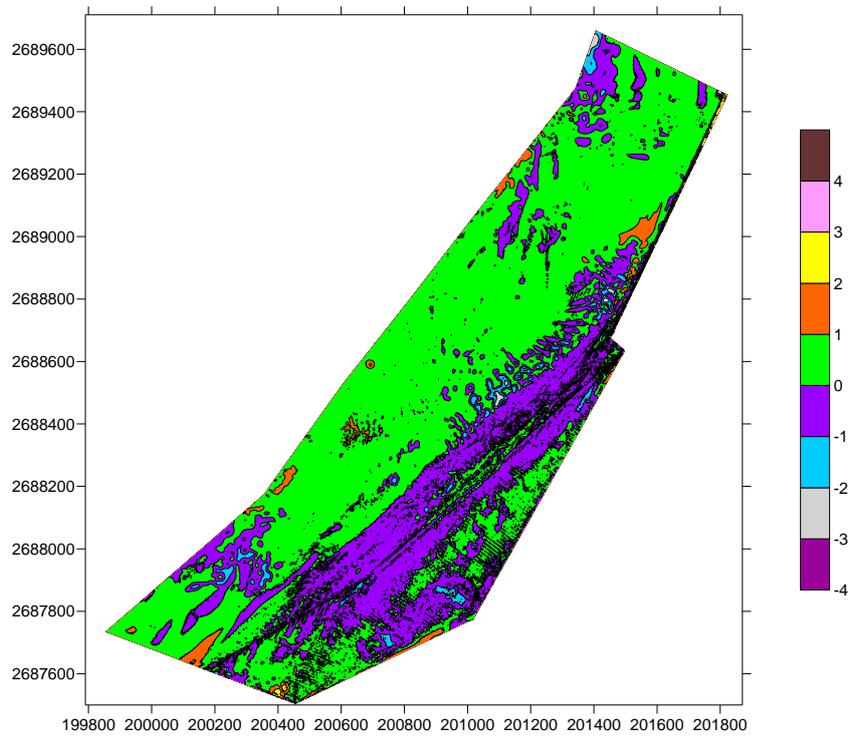


圖 3.13 全區域侵淤圖: 2010/09 至 2011/05 (單位:  $m$ )

### 3.4.2 臺中港侵淤體積比較

本章節針對臺中港北防波堤北側飛沙整治區之侵淤體積進行比較分析，各時段全區域侵淤體積分析結果，如表 3-3 至 3-6 所示。2010 年 9 月至 2010 年 10 月全區域總體積增加 5.6 萬方，2010 年 9 月至 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現正值，2010 年 10 月至 2010 年 11 月全區域總體積增加 26 萬方，2010 年 11 月至 2011 年 5 月全區域總體積減少 8.7 萬方；探討全區域中淤積及侵蝕狀況，2010 年 9 月至 2011 年 5 月全區域總體積為增加 23.1 萬方。圖 3.14 為各時段侵淤總體積圖，圖中顯示北淤沙區在東北季風開始作用期間沙量呈現增加趨勢。在東北季風結束季節，推算淤沙總量較東北季風盛行期間呈現減少趨勢，但區域內沙量總體積仍為正值。

表 3-3 臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/09~2010/10)

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

表 3-4 臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/10~2010/11)

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

表 3-5 臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/11~2011/05)

區域\體積	淤積體積( $m^3$ )	侵蝕體積( $m^3$ )	總體積( $m^3$ )
全區域	287,268	-375,230	-87,961
I 區域	186,793	-180,154	6,638
II 區域	70424	-132467	-62,043
III 區域	30,050	-62,607.59	-32,557

表 3-6 臺中港北淤沙區侵淤體積量 (2010/09~2011/05)

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

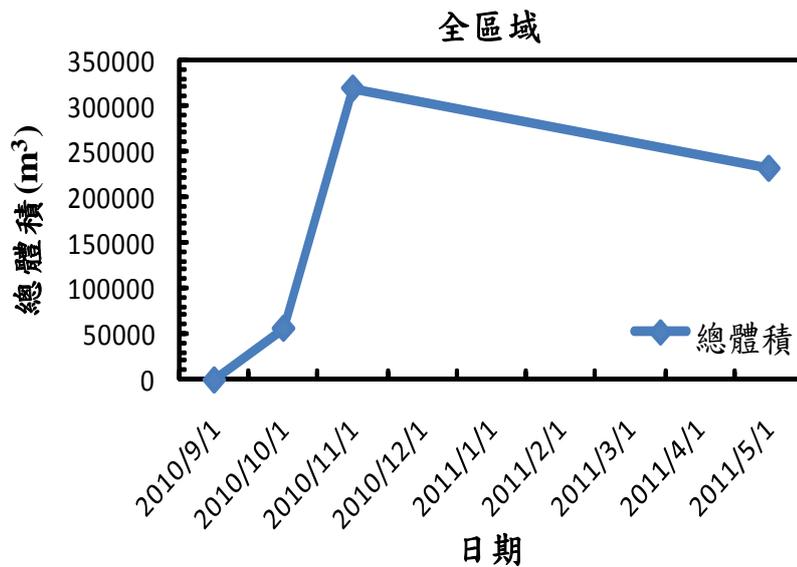


圖 3.14 全區域侵淤總體積圖

分析 I 區域侵淤體積，2010 年 9 月至 2010 年 10 月侵淤體積總量呈現淤積 3.3 萬方，2010 年 10 月至 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現淤積 21 萬方，2010 年 11 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現淤積 0.6 萬方，而 I 區域 2010 年 9 月至 2011 年 5 月侵淤體積淤積 25 萬方。分析上述結果，I 區區域內皆呈現淤積的情形，原因為此區域受潮汐、波浪及大甲溪輸沙供給影響，此區域之沙灘呈現淤積的情形。雖然沙灘區域在退潮期間大量裸露加上季節風作用導致沙灘飛沙情形明顯，但整體仍呈現淤積的狀態，其時間累積圖如圖 3.15 所示。2010 年 10 月至 2010 年 11 月間受季節風浪作用影響，此區域呈現大量淤積情形，其餘時段則呈現小量的淤積狀態。

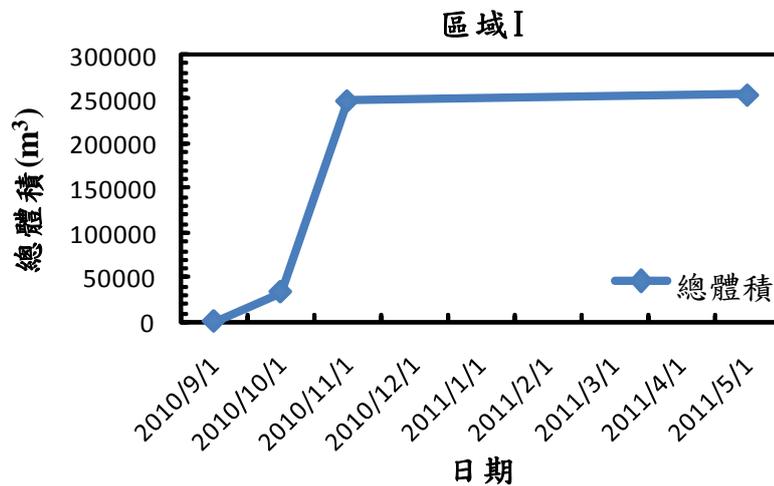


圖 3.15 I 區域侵淤總體積圖

分析 II 區域侵淤體積，2010 年 9 月至 2010 年 10 月侵淤體積總量呈現侵蝕 0.1 萬方，2010 年 10 月至 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現淤積 2.2 萬方，2010 年 11 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現侵蝕 6.2 萬方，而 II 區域 2010 年 9 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現侵蝕 4.0 萬方。分析 2010 年 9 月至 2010 年 10 月結果，顯示侵蝕大於淤積，推估原因為此區域沙粒被帶往區域 III 的邊籬定沙區中。分析 2010 年 10 月至 2010 年 11 月結果，此處區域呈現淤積，推測此區域的沙粒受區域 I 沙源供應影響，被帶往區域 II 的海堤堤址附近處。分析 2010 年 11 月至 2011 年 5 月結果，此處區域呈現侵蝕現象，推測此區域的沙粒被帶往區

域 III。於 2010 年 9 月至 2011 年 5 月間，海堤堤址附近處，呈現先淤積後侵蝕現象，此監測期間呈現侵蝕較多的現象，其時間累積圖如圖 3.16 所示。2010 年 10 月至 2010 年 11 月受颱風作用影響，此區域先呈現淤積情形，其餘時段受季風作用影響則呈現小量的侵蝕狀態。

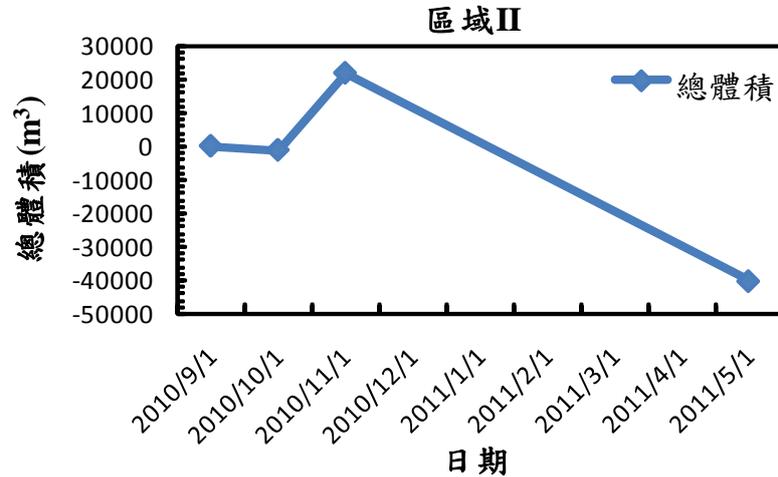


圖 3.16 II 區域侵淤總體積圖

分析 III 區域侵淤體積，2010 年 9 月至 2010 年 10 月侵淤體積總量呈現淤積 2.4 萬方，2010 年 10 月至 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現淤積 2.4 萬方，2010 年 11 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現侵蝕 3.2 萬方，而 III 區域 2010 年 9 月至 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現淤積 1.6 萬方。分析 III 區域中淤積及侵蝕狀況，區域 III 為編籬定沙區，此區域在 2010 年 9 月至 2010 年 10 月的沙量呈現較大的淤積表現，推估原因在此期間開始受東北季風影響，II 區域之飛沙被帶入此區域。分析 2010 年 10 月至 2010 年 11 月結果，此區域的沙量呈現淤積表現，區域 II 與區域 III 都呈現淤積的現象，故此區域的飛沙可能來自區域 I 廣大沙灘供給。2010 年 11 月至 2011 年 5 月間，此區域沙量在經過東北季風作用後，呈現沙量減少的情形發生。經實地探勘，其沙粒部分被帶往南側越過擋風牆進入港區航道內。此區域 2010 年 9 月至 2011 年 5 月的沙量亦呈現先淤積後侵蝕現象，時間累積圖如圖 3.17 所示。推測在東北季風作用初期，飛沙運移不致被帶離此區域；但在盛行期間風速較大，部分沙粒被帶往南側越過擋風牆進入港區航道內，導致區域內的飛沙體積減少。

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

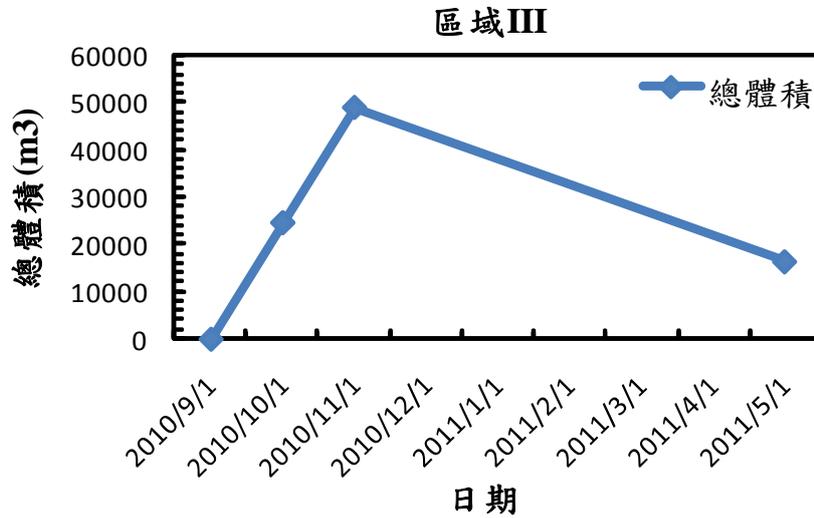


圖 3.17 III 區域侵淤總體積圖

### 3.4.3 臺中港侵淤面積比較

本章節針對臺中港北防波堤北側飛沙整治區之侵淤面積進行比較分析，探討全區域中淤積面積及侵蝕面積狀況，如表 3-7 所示。比較 2010 年 9 月至 2010 年 10 月地形侵淤結果，淤積面積大於侵蝕面積，2010 年 10 月至 2010 年 11 月地形分析結果，淤積面積大於侵蝕面積，2010 年 11 月至 2011 年 5 月地形分析結果，侵蝕面積大於淤積面積，全區域總面積為 1,515,462m<sup>2</sup>。

表 3-7 全區域侵淤面積比較表

全區域	淤積面積 (m <sup>2</sup> )	侵蝕面積 (m <sup>2</sup> )
2010/09 至 2010/10	790,431	725,031
2010/10 至 2010/11	998,385	517,077
2010/11 至 2011/05	684,113	831,349
2010/09 至 2011/05	1,030,537	484,925

I 區域侵淤面積分析結果，如表 3-8 所示。2010 年 9 月至 2010 年 10 月結果顯示侵蝕面積大於淤積面積；在 2010 年 10 月至 2010 年 11 月結果顯示淤積面積大於侵蝕面積；2010 年 11 月至 2011 年 5 月分析結果顯示淤積面積大於侵蝕面積與 2010 年 9 月至 2010 年 10 月分析結果相似，且變化較不顯著。在 2010 年 9 月至 2011 年 5 月所分析結果淤積面積大於侵蝕面積，此區域為受潮汐及波浪影響作用較大，此區域呈現大量淤積的情形，I 區域全面積為 965,488 $m^2$ 。

**表 3-8 I 區域侵淤面積比較表**

I 區域	淤積面積 ( $m^2$ )	侵蝕面積 ( $m^2$ )
2010/09 至 2010/10	499,083	466,405
2010/10 至 2010/11	657,375	308,112
2010/11 至 2011/05	494,218	471,269
2010/09 至 2011/05	806,450	159,038

II 區域侵淤面積分析結果如表 3-9 所示。2010 年 9 月至 2010 年 10 月結果顯示淤積面積大於侵蝕面積，推估原因為此期間開始吹起東北季風，導致飛沙從 I 區累積至 II 區。2010 年 10 月至 2010 年 11 月分析結果顯示淤積面積大於侵蝕面積，因 I 區域之飛沙進入此區造成淤積面積大於侵淤面積；在 2010 年 11 月至 2011 年 5 月分析結果顯示侵蝕面積大於淤積面積，而在 2010 年 9 月至 2011 年 5 月分析結果顯示分析結果侵蝕面積大於淤積面積與 2010 年 11 月至 2011 年 5 月分析結果變化差異不大。推估 II 區域在東北季風強烈影響作用下，飛沙將大量被帶入 III 區域，II 此區域全面積為 358,379 $m^2$ 。

**表 3-9 II 區域侵淤面積比較表**

II 區域	淤積面積 ( $m^2$ )	侵蝕面積 ( $m^2$ )
2010/09 至 2010/10	159,422	198,957
2010/10 至 2010/11	208,135	150,244
2010/11 至 2011/05	125,885	232,494
2010/09 至 2011/05	113,136	245,243

III 區域侵淤面積分析結果，如表 3-10 所示。2010 年 9 月至 2010 年 10 月分析結果顯示，侵蝕面積大於淤積面積，2010 年 10 月至 2010 年 11 月分析結果顯示淤積面積大於侵蝕面積。分析 2010 年 11 月至 2011 年 5 月侵淤面積結果，在東北季風持續的作用下，導致此區域部分沙粒被帶往南側越過擋風牆進入港區航道內，2010 年 9 月至 2011 年 5 月分析結果顯示淤積面積大於侵蝕面積。III 區域為編籬定沙區，比較個時段的淤積面積，此區域的淤積面積呈現淤積面積逐漸減少的趨勢，III 此區全面積為  $191,593m^2$ 。

表 3-10 III 區域侵淤面積比較表

III 區域	淤積面積 ( $m^2$ )	侵蝕面積 ( $m^2$ )
2010/09 至 2010/10	131,925	59,668
2010/10 至 2010/11	132,874	58,719
2010/11 至 2011/05	64,009	127,585
2010/09 至 2011/05	110,950	80,644

#### 3.4.4 臺中港侵淤高度比較

圖 3.18 為臺中港北淤沙區高程面示意圖，本研究將此區域分為五條橫切面，其座標軸如圖 3.10 所示。斷面 A1、A2、A3、A4 及 A5 為向岸往離岸方向之剖面。圖 3.19 為 A1 橫剖面高程變化曲線圖，X 軸上數值越小代表離岸方向，相反地數值越大代表向岸方向。圖中顯示越靠近外海，高程變化量約在  $1m$  至  $-1m$  之間，越靠近內陸高程變化量越大，以 X 軸為 201328 為界線。2010 年 9 月至 2011 年 5 月高程變化量大多為淤積，2010 年 9 月至 2010 年 11 月高程變化量在靠近外海的區域則為侵蝕，靠近內陸的區域則為淤積。2010 年 9 月至 2010 年 11 月高程有明顯的堆積現象，其原因可能受波浪、潮流作用影響所致。

圖 3.20 為 A2 橫剖面高程變化曲線圖，以 X 軸約在 201,276 為界線，左半邊為 I 區域，右半邊為 II 區域。I 區域較靠近外海的區域高程變化曲線變化較為平緩，較靠近內陸的區域高程變化較大，II 區域為高程變化較大。2010 年 9 月至 2011 年 5 月，在 I 區域部分呈現明顯的

淤積現象；在 II 區域部分則呈現海堤前方（離岸）侵蝕，後方淤積的現象，其原因為前方的沙粒受東北季風作用，被帶往堤體後方的編籬定沙區。圖 3.21 為 A3 橫剖面高程變化曲線圖，以 X 軸約在 200,664 為界線，左半邊為 I 區域，右半邊為 II 區域。比較 2010 年 9 月至 2011 年 5 月和 2010 年 9 月至 2010 年 11 月高程，I 區的高程無明顯變化，但於 II 區則有高程有明顯減少的趨勢。圖 3.22 為 A4 橫剖面高程變化曲線圖，以 X 軸約在 200,112 為界線，左半邊為 I 區域，右半邊為 II 區域；X 軸約在 200,612 界線上之左半邊為 III 區域。2010 年 9 月至 2011 年 5 月間，II 區域高程隨著越靠近海堤呈現侵蝕現象，II 區域及 III 區域則呈現普遍高程降低的現象。圖 3.23 為 A5 橫剖面高程變化曲線圖。此區域為北防波堤北側區域，屬於第 III 區，整體高程變化量約在 1m 至 -1m 之間。分析此區域 2010 年 9 月至 2011 年 5 月間變化，此斷面於越靠近北防波堤堤址處的擋風牆，受牆角風切效應影響表面高程降低，靠近與堤址較遠處的擋風牆則呈現高程增加趨勢。

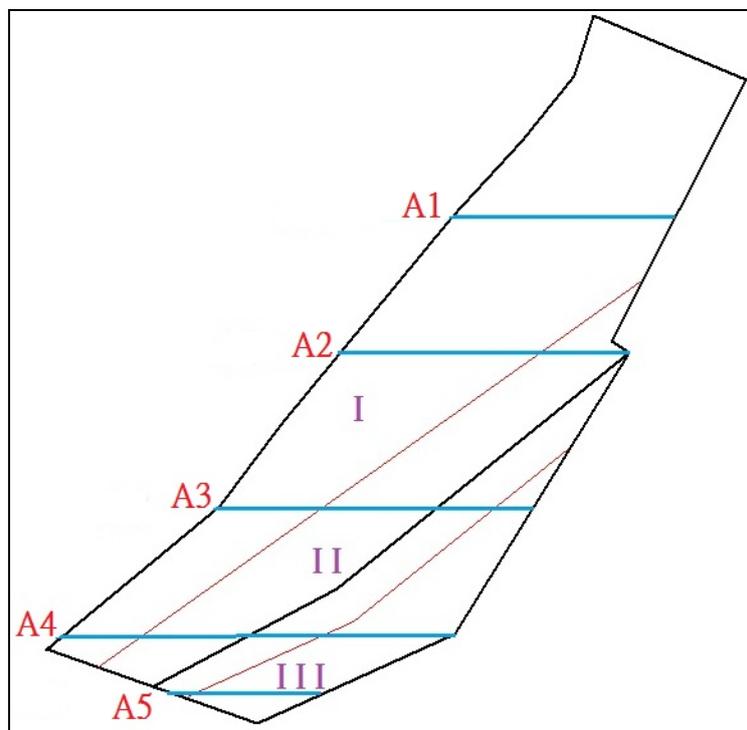


圖 3.18 臺中港侵淤高度剖面示意圖

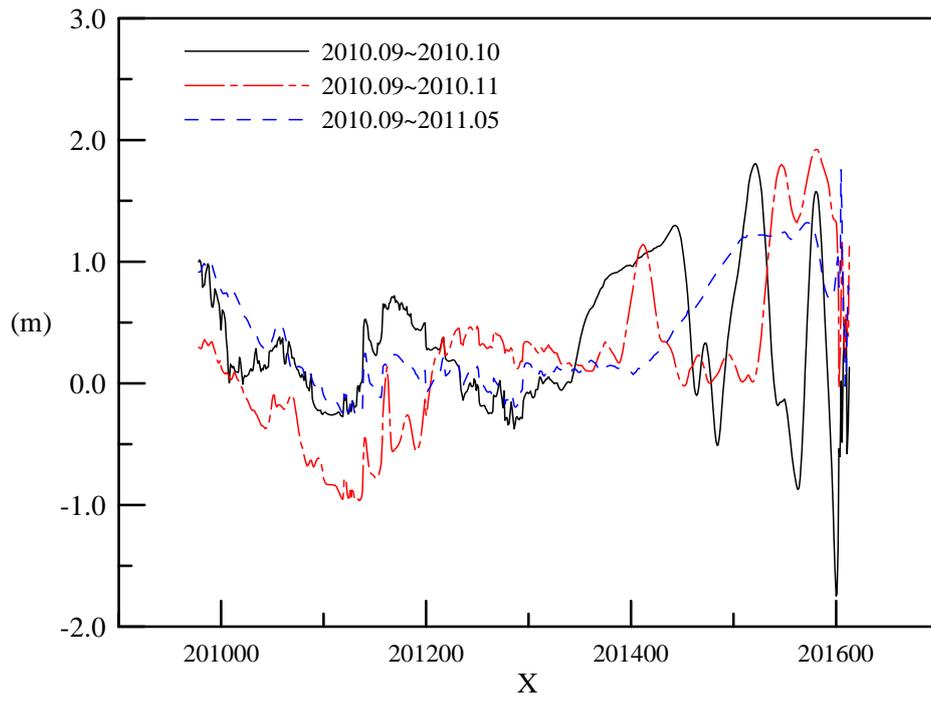


圖 3.19 A1 橫剖面高程變化圖

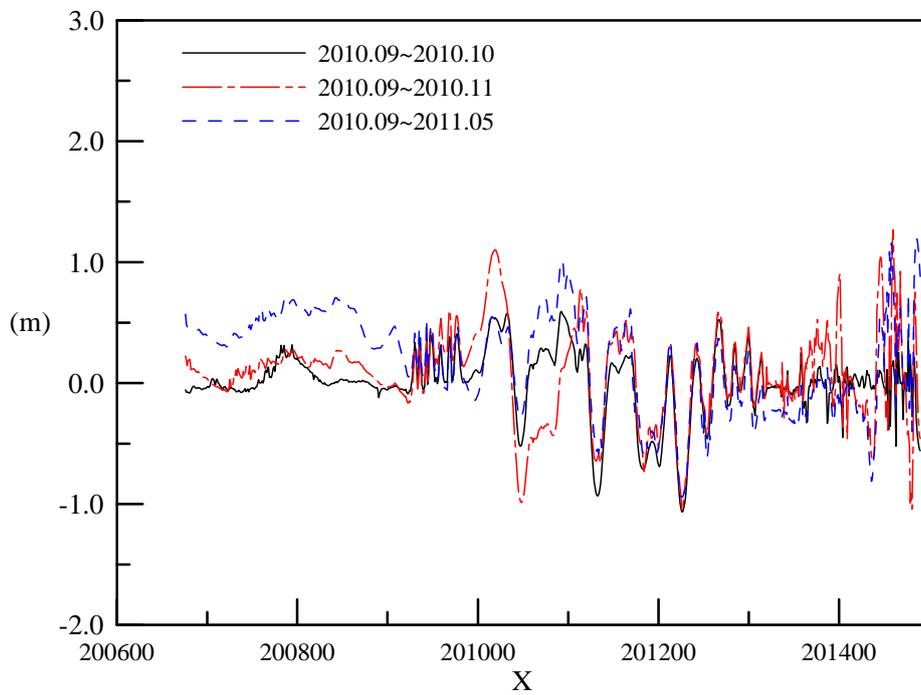


圖 3.20 A2 橫剖面高程變化圖

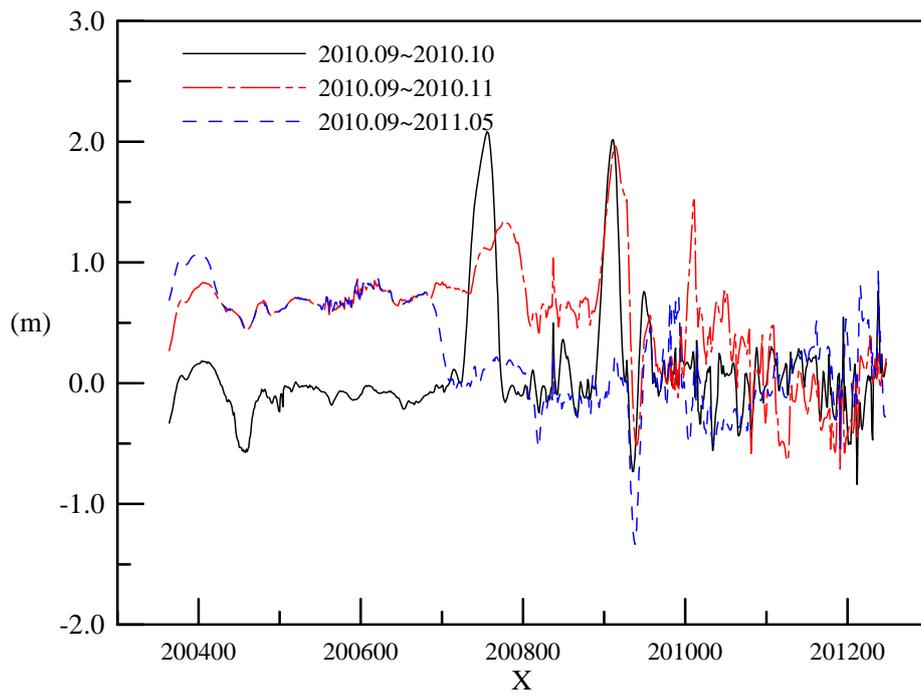


圖 3.21 A3 橫剖面高程變化圖

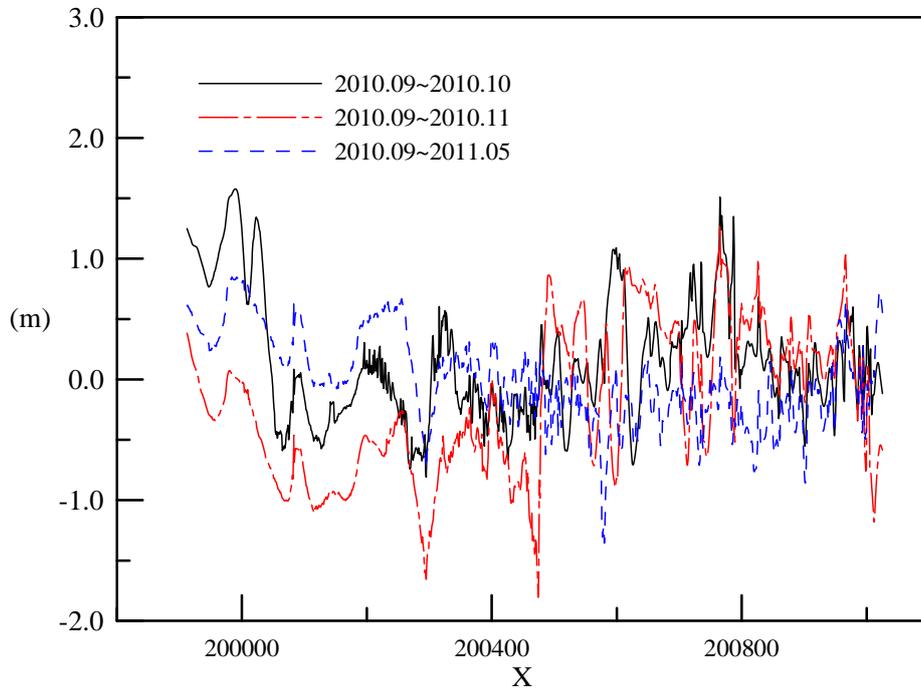


圖 3.22 A4 橫剖面高程變化圖

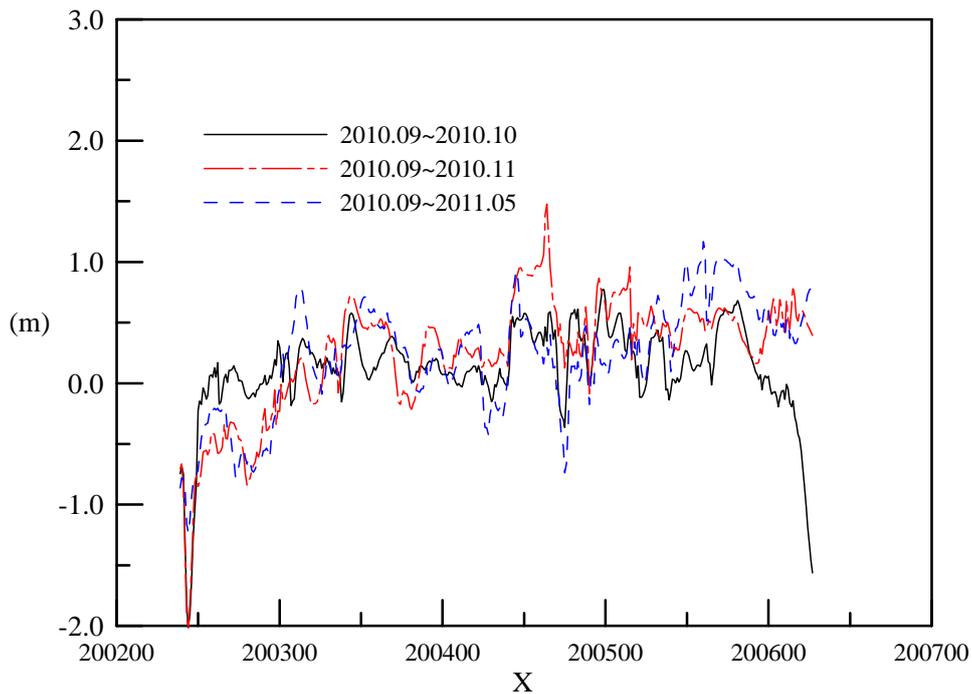


圖 3.23 A5 橫剖面高程變化圖

### 3.5 漂飛沙量推估

本研究依據區域高程測量之結果進行漂、飛沙量推估，在假設區域內漂飛、沙量守恆情況下（區域圖如圖 3.24），以現有觀測資料進行分析，其方程式可設為如下：

$$\alpha(\Delta V_1) + \beta(\Delta V_2) - \varepsilon = (\Delta V_3) \dots\dots\dots (3-1)$$

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

$$\alpha(33,288.25) + \beta(-1,215.71) - \varepsilon = 24,570.03 \quad (2010/09\sim 2010/10)$$

$$\alpha(215,925.37) + \beta(22,940.06) - \varepsilon = 24,301 \quad (2010/10\sim 2010/11)$$

$$6\alpha(6,638.48) + 6\beta(-62,043.22) - 6\varepsilon = -32,557.07 \quad (2010/09\sim 2011/05)$$

依據上式可解得

$$\alpha = -0.07, \quad \beta = 0.54, \quad \varepsilon = -27564.54 \quad (m^3/month)$$

初步推估區域I有7%的沙源從此去被帶往第II區，區域II有54%的沙源在此區域移動，每月有 $27,564m^3$ 沙粒被帶離北淤沙區中。推估2010年10月至2011年5月間有 $165,276m^3$ 的沙源被帶離此目標區。所估算的量值與臺中港務局(2009)「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程計畫書」所估算北淤沙區年飛沙量至少在30萬方以上水準相接近(半年約15萬方以上)。

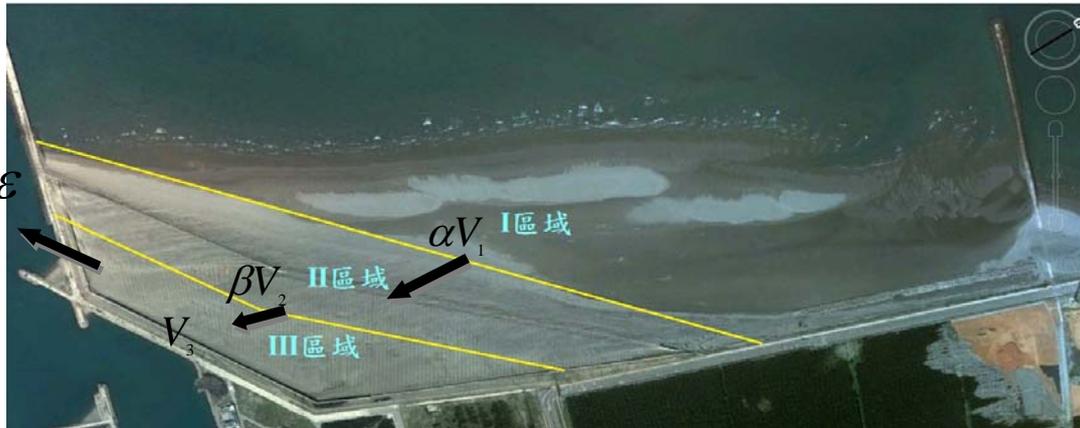


圖 3.24 臺中港北淤沙區漂飛沙量估算地形對應圖

## 第四章 飛沙現地試驗

### 4.1 試驗地點簡介

為瞭解臺中港北防波堤飛沙淤積情形，本研究將臺中港北防波堤附近海域地形圖區分五個區域，如圖 4.1 所示。區域內分別進行(1)飛沙高程量測、(2)含水率量測、(3)H-2 水平式捕沙器量測、(4)垂直式捕沙器量測，用以建立飛沙移動公式計算風沙移動量。



圖 4.1 臺中港北防波堤北側附近現地試驗地形圖

### 4.2 飛沙試驗器材

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

#### 1. 風速計：

由於飛沙之發生主要是受到風速影響，以風速計量測風速、風向，以求得飛沙與風速間的相互關係，如圖 4.2 所示。



圖 4.2 時序列風速風向計

## 2. 木竿量測標尺：

標尺材質為木質，使用量尺劃上刻度，最後噴上防鏽漆製作而成，用在飛沙躍動方面，為進一步瞭解飛沙躍動量，如圖 4.3 所示。



圖 4.3 木竿量測標尺

### 3. 土壤含水率計：

沙粒中的含水率是影響飛沙啟動的重要因素，因此使用土壤含水量計有助於瞭解沙灘含水量與飛沙啟動之情形，如圖 4.4 所示。



圖 4.4 土壤含水率計

### 4. H-2 型水平式沙粒收集器：

在水平沙粒收集器方面，本研究參考 Horikawa 和 Shen (1960) 之 H-2 型式水平集沙器進行收集。其優點為無擾亂氣流，但是無法收集各剖面之飛沙量，如圖 4.5 所示。水平式沙粒收集器構造，長為 120cm、寬 20cm、深 30cm 之木箱，中間以合板隔成各 10cm 寬之兩格，而上部導風板使飛沙進入箱內後，而不易飛出，箱口兩側加高，以防止側邊飛沙進入，其目的為收集滾動及跳躍型態之飛沙。



圖 4.5 H-2 型水平集沙器

## 5. BSNE 垂直式沙粒收集器

本研究設計可隨風向改變蒐集飛沙之捕沙器，其目的為垂直方向高度之飛沙以提高集沙效率，施做方法參考吳 (2006) 的方法進行設置。本研究並針對捕沙器進行改良，將以電子設定方式對風速、風向觀測同步擷取現地資料，如圖 4.6 所示，開口寬度設置為寬 4cm、高 8cm，取樣高程設定分別為 0.2m、0.5m、1.0m、1.5m 及 2.0m。



圖 4.6 垂直式沙粒收集器

## 4.3 飛沙試驗量測步驟

為釐清飛沙與海岸漂沙間的相互影響，本研究進行飛沙現地試驗，試驗期間為 2011 年 4 月至 2011 年 10 月，分別進行飛沙含水率試驗、飛沙高程量測試驗、飛沙蒐集試驗。將試驗區域分為五個試驗區，如圖 4.1 所示，每個區域在向離岸方向上分別擷取 3 至 6 個試驗點進行量測，量測項目為表 4-1 所示。

表 4-1 飛沙試驗測量項目

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

#### 4.3.1 風速量測

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

#### 4.3.2 飛沙高程量測

在飛沙躍動的量測方面，本試驗設置六個標尺量測區，如圖 4.7 所示，座標如表 4-2 所示。試驗期間記錄量測前後的標尺高度，用以判斷飛沙累積或侵蝕高程。

### 4.3.3 含水率量測

在沙粒含水率量測方面，於 I 區域分別設置四個試驗點，如圖 4-8 所示，試驗座標為表 4-3 所示。試驗時間為 2011 年 4 月 19 日至 4 月 21 日上午 10:00 至下午 17:00，試驗期間溫度介於  $22.8C^{\circ}$ ~ $29.1C^{\circ}$ ，大氣壓力介於  $1010.7hpa$  至  $1,015.9hpa$ ，大氣濕度介於 52%~68%，日照小時數為 12 小時情況下進行試驗。試驗結果如圖 4.9 至圖 4.14 所示。由試驗量測資料得知，A 點與 B 點較易受到潮位變化影響含水率較高，然而 C 點、D 點、E 點與 F 點不易受到漲退潮之影響，有較低之含水率值。

表 4-2 飛沙高程量測試驗座標

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



圖 4.7 標尺設置位置圖

表 4-3 含水率試驗座標

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



圖 4.8 含水率試驗地點圖

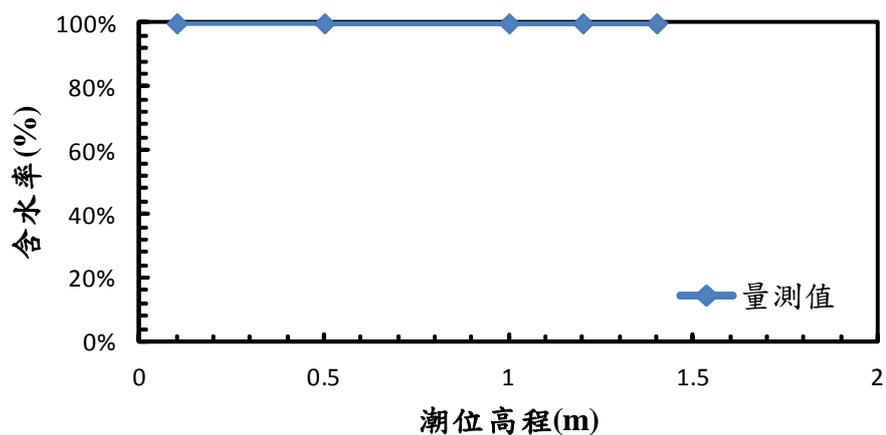


圖 4.9 A 點含水率試驗地點圖

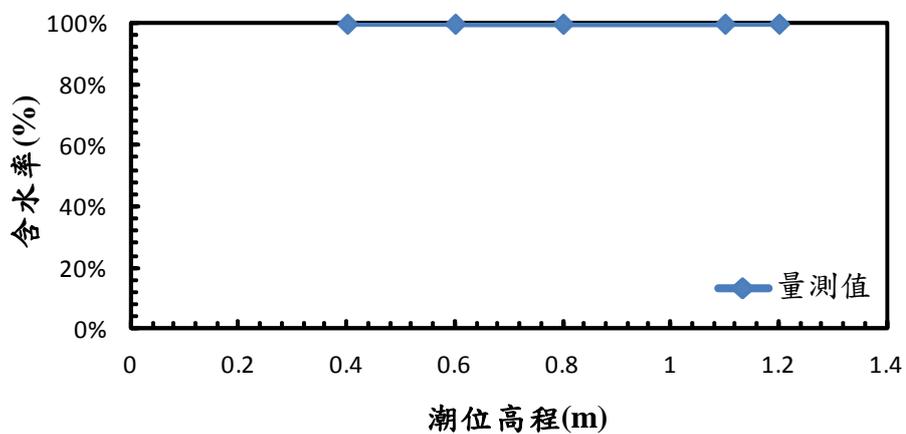


圖 4.10 B 點含水率試驗地點圖

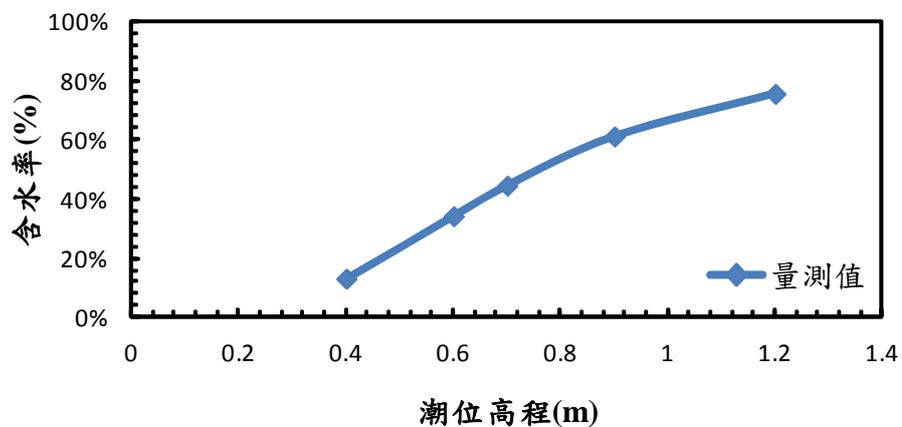


圖 4.11 C 點含水率試驗地點圖

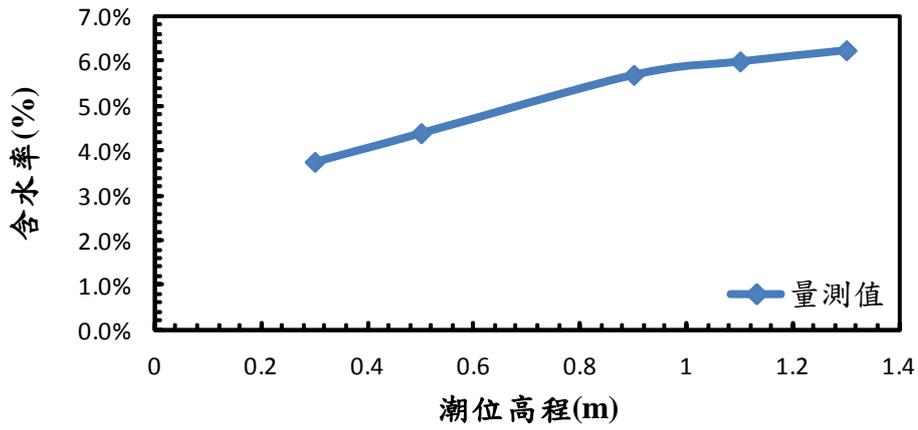


圖 4.12 D 點含水率試驗地點圖

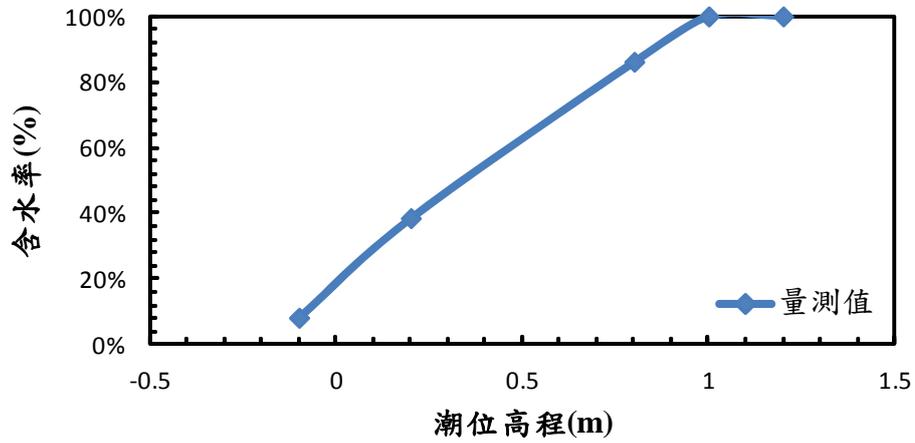


圖 4.13 E 點含水率試驗地點圖

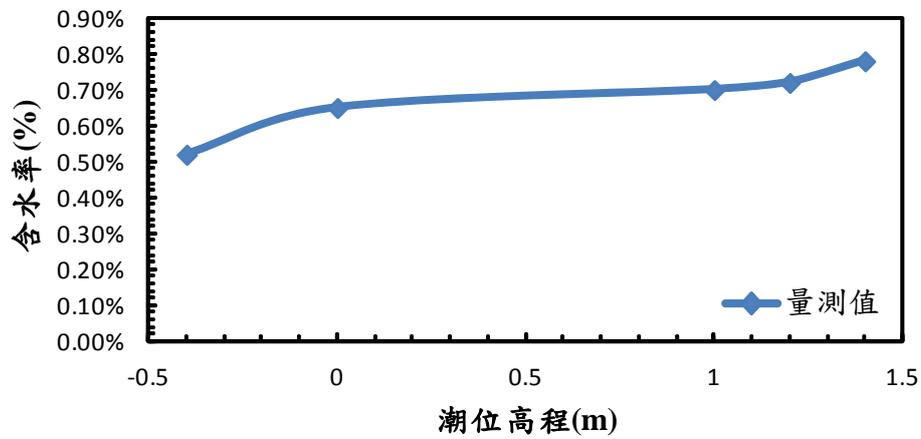


圖 4.14 F 點含水率試驗地點圖

#### 4.3.4 飛沙 H-2 水平量測及飛沙垂直式量測

在飛沙懸浮及跳躍量測方面，本試驗於圖 4.15 試驗區設置垂直式與水平式沙粒收集器。量測飛沙於沙灘表面滾動、躍動與地表上懸浮的飛沙量值，以求得此區域的飛沙特性，將集沙器捕獲到的飛沙風乾後進行篩分析；篩網分別為#10、#20、#40、#60、#70、#80、#100 等篩號，於電子天秤稱重，繪製粒徑分佈曲線圖如圖 4.16~圖 4.18 所示。由試驗結果得知，I 區域沙粒粒徑  $d_{50} = 0.28mm$ ，II 區域沙粒粒徑  $d_{50} = 0.253mm$ ，III 區域沙粒粒徑  $d_{50} = 0.212mm$ 。

表 4-4 H-2 及垂直式試驗座標

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

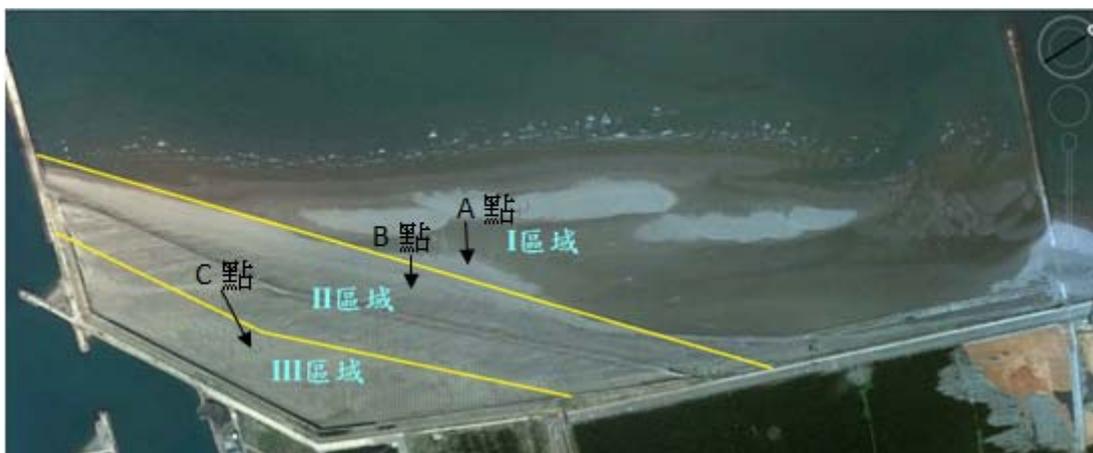


圖 4.15 H-2 及垂直式捕沙器試驗地點圖

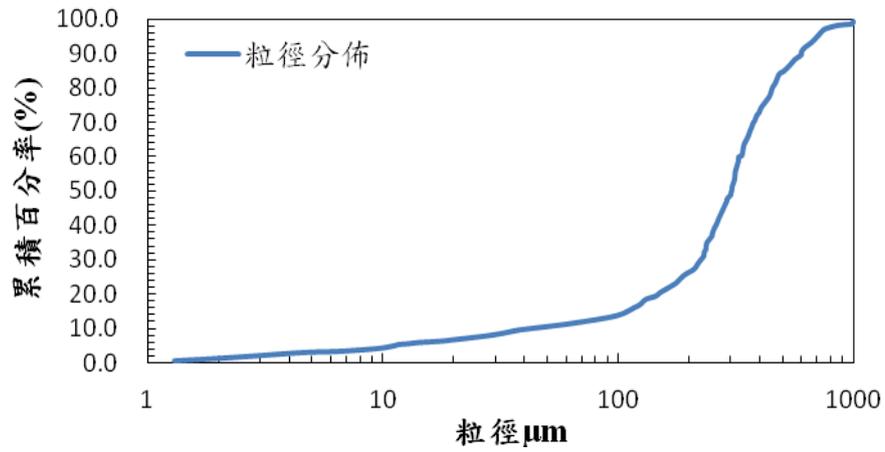


圖 4.16 I 區域沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.28\text{mm}$ )

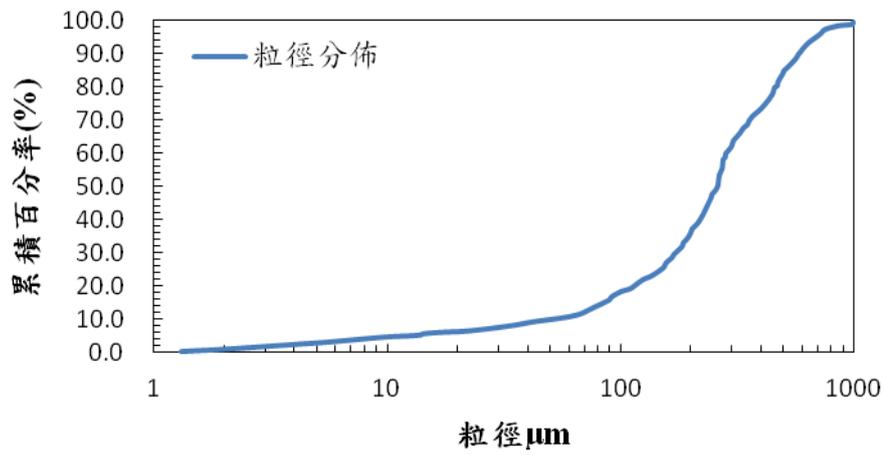


圖 4.17 II 區域沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.253\text{mm}$ )

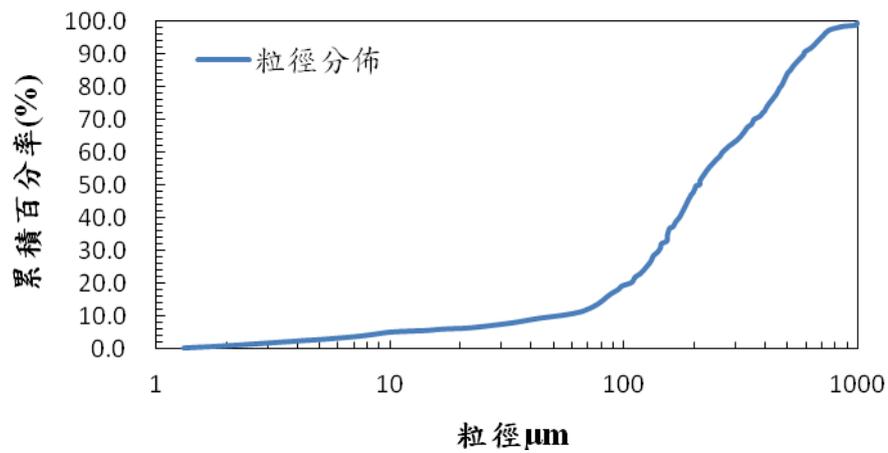


圖 4.18 III 區域沙粒粒徑分佈 ( $d_{50}=0.212\text{mm}$ )

## 第五章 飛沙模式建立

### 5.1 垂直剖面風速特性

#### 5.1.1 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：

$$U = 5.75 \times U_* \log \frac{Z}{Z_0} \dots\dots\dots (5-1)$$

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

$$Z_0 = 0.081 \times \log \frac{d}{0.18} \dots\dots\dots (5-2)$$

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(5-1)，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 (5-3)：

$$U = a + b \log Z \dots\dots\dots (5-3)$$

經由最小平方法求式(5-3)之常數  $a$  及迴歸係數  $b$ 。在 Prandtl 之風速對數法則成立下，由式(5-1)與式(5-3)可得：

$$U_* = \frac{b}{5.75}, Z_0 = 10^{\frac{a}{b}} \dots\dots\dots (5-4)$$

本研究根據 Prandtl 之對數法則，將吳 (2006) 針對臺中港區所做之試驗與本次試驗所測得之風速風向資料相互比對，並經由對數直線迴歸及相關係數分析所得直線方程式之迴歸係數  $a$ 、 $b$  及相關係數  $r$  分別列於表 5-1。表中之風向都以 N 為主，在飛沙的發生情況下，自地面至高度 2 m 範圍內之風速垂直分佈符合對數函數分布，如圖 5.1 至圖 5.8 所示，故可以此推算摩擦風速及粗糙長度。

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

往昔學者針對飛沙量之影響因子，都以摩擦風速  $U_*$  代表 (Bagnold, 1954；江和張，1978)，由於前人所做的試驗多為試驗室所之資料，對於野外所得之試驗經由吳 (2006) 研究指出，為此因子將難以表示為風速垂直變化之最好指數。本研究所推算之摩擦風速  $U_*$  與  $U_{0.2}$  風速之關係圖如圖 5.9 所示。圖中顯示，摩擦風速  $U_*$  與  $U_{0.2}$  風速之相關性極低。因此，本研究以 0.2m 高之  $U_{0.2}$  風速作為影響飛沙量傳輸之主要因子。

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

在野外地表面主要都以沙粒覆蓋為主，然而地形起伏變化不是差異很大，粗糙長度之變化範圍都在  $10^{-3} \sim 10^{-7} m$  之間，因此粗糙長度對於往後分析上並無太大的影響。本研究之現地粗糙長度，除了兩點測得結果介於 0.001~0.0014 之間外大多低於 0.0004。本研究對於地表之粗糙長度  $Z_0$  與  $U_{0.2}$  風速建立關係，如圖 5.10 所示。圖中顯示，粗糙長度  $Z_0$  與  $U_{0.2}$  風速並無相關性存在。

表 5-1 風速觀測分析

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

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

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

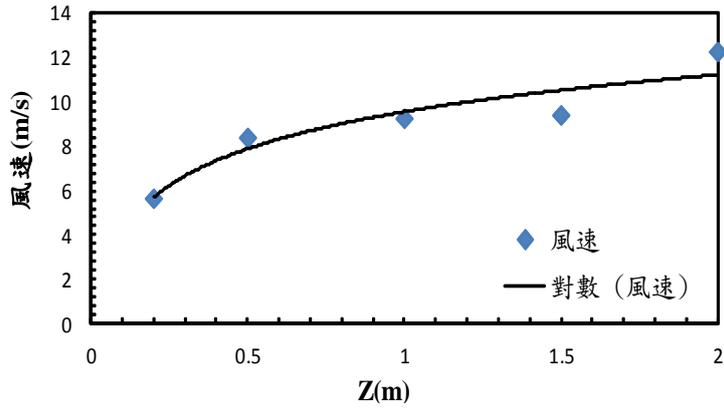


圖 5.1 觀測點 1 垂直剖面風速圖

$$(U = 2.394\log(Z) + 9.5365, R^2 = 0.88)$$

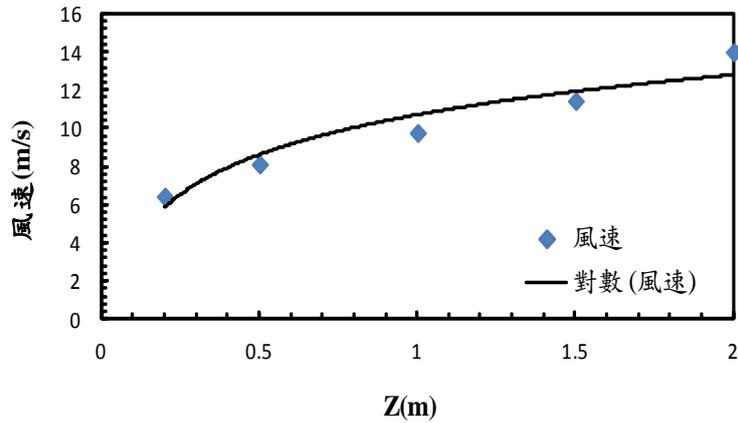


圖 5.2 觀測點 2 垂直剖面風速圖

$$(U = 3.0206\log(Z) + 10.699, R^2 = 0.908)$$

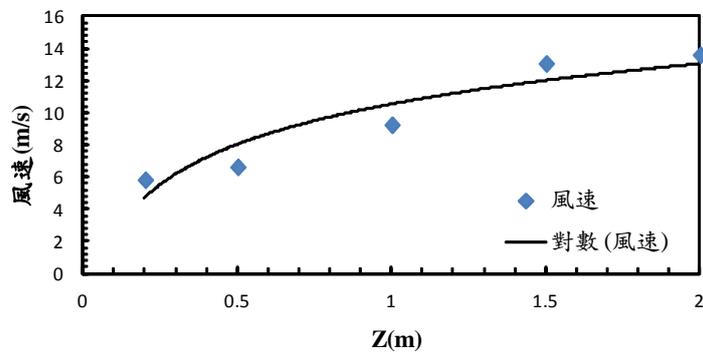


圖 5.3 觀測點 3 垂直剖面風速圖

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

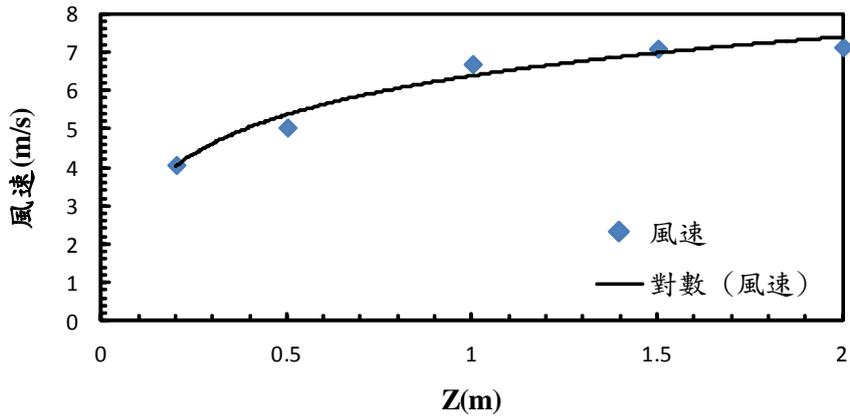


圖 5.4 觀測點 4 垂直剖面風速圖  
 $(U = 1.461\log(Z) + 6.3756, R^2 = 0.962)$

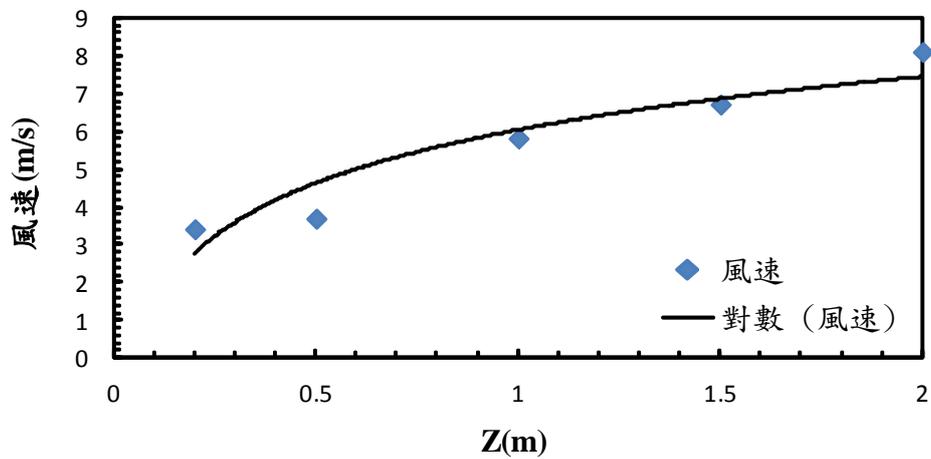


圖 5.5 觀測點 5 垂直剖面風速圖  
 $(U = 2.0329\log(Z) + 6.0335, R^2 = 0.887)$

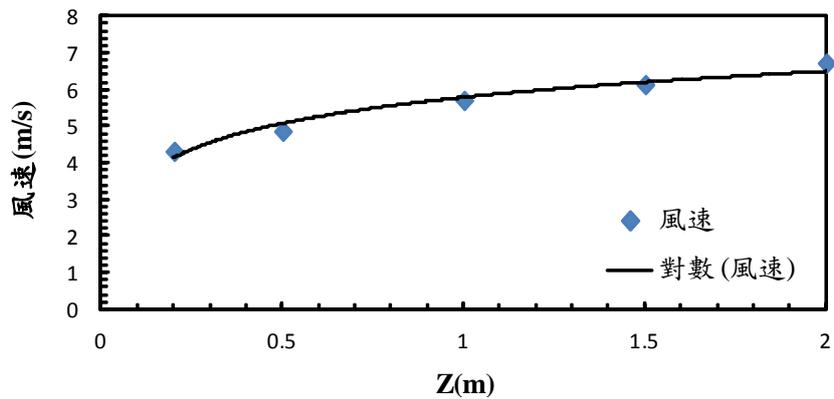


圖 5.6 觀測點 6 垂直剖面風速圖  
 $(U = 1.0255\log(Z) + 5.5809, R^2 = 0.962)$

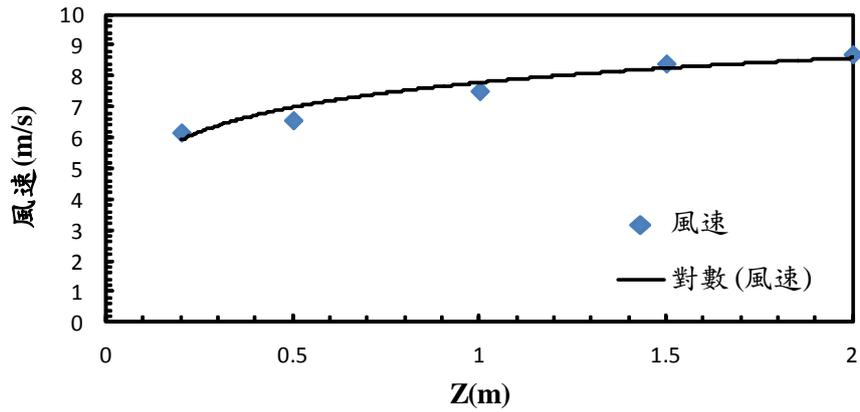


圖 5.7 觀測點 7 垂直剖面風速圖

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

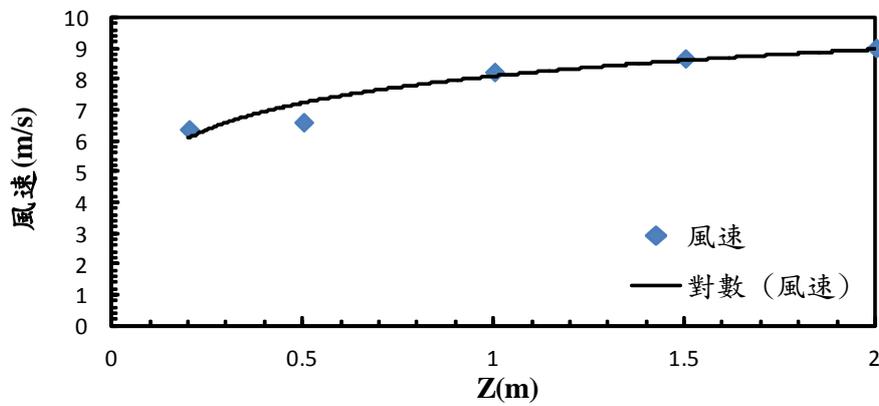


圖 5.8 觀測點 8 垂直剖面風速圖

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

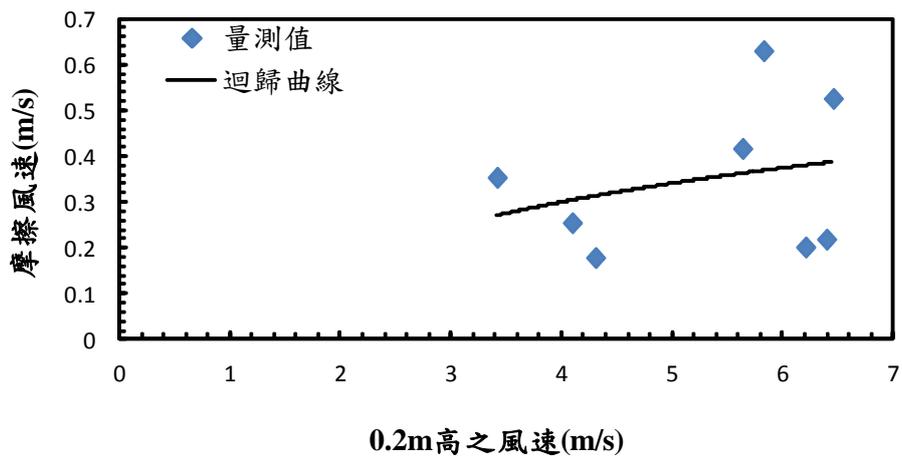


圖 5.9  $U_*$  與  $U_{0.2}$  關係圖

$$(R^2 = 0.0722)$$

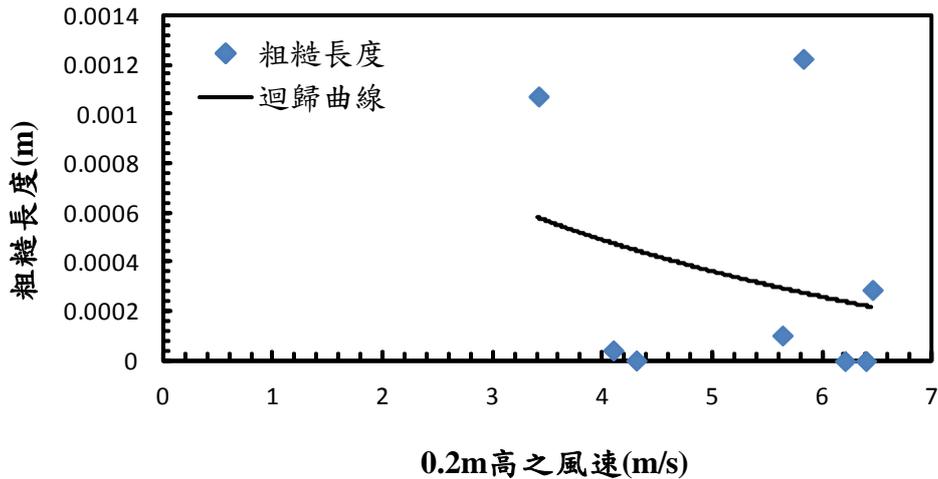


圖 5.10  $Z_0$  與  $U_{0.2}$  關係圖  
( $R^2 = 0.0734$ )

## 5.2 飛沙移動公式

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

### 5.2.1 $Q$ 與 $U_{0.2}$ 之關係 (BSNE 垂直捕沙器)

本研究將 BSNE 型捕沙器所收集之飛沙量與風速與前人於臺中港區飛沙試驗資料(表 5-2)總整進行迴歸分析後求得下列關係式:

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

式中  $Q$ : 飛沙量 ( $g/m-s$ );  $U_{0.2}$ : 高程為  $0.2m$  之風速 ( $m/s$ )，其關係圖如圖 5.11 所示。圖中顯示， $0.2m$  之風速與水平捕沙器所捕得之飛沙量有良好的指數關係存在，呈現高度的相關性。對於預測滾動及躍動的飛沙具有高度的準確性。

### 5.2.2 $Q$ 與 $U_{0.2}$ 之關係 (H-2 水平捕沙器)

本研究將 H-2 型垂直捕沙器，在  $Z = 0.2m$  所收集之飛沙量與風速與

前人試驗資料(表 5-3)，進行迴歸分析後求得下列關係式：

$$Q = 0.5892e^{0.2701 U_{0.2}}, R^2 = 0.9385 \dots\dots\dots (5-6)$$

式中  $Q$ :飛沙量 ( $g/m-s$ )； $U_{0.2}$ :高程為  $0.2m$  之風速 ( $m/s$ )，其關係圖如圖 5.12 所示。經分析後與地表  $0.2m$  風速皆呈現高度相關的指數關係式，對於預測表面運移的飛沙具有高度的準確性。

### 5.3 垂直高程與飛沙量之影響

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

$$Q = 7.375e^{-1.25Z}, R^2 = 0.860 \dots\dots\dots (5-7)$$

由上式得知，垂直高程與飛沙量呈現指數關係，並得知飛沙量之移動範圍在高程  $0.2m$  以下居多，高程高於  $0.2m$  以上則急遽減少。藉由前述章節所得之 2001 年至 2009 年氣象資料，帶入現場觀測飛沙量測迴歸關係式，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 5-4 所示。表中可得以 H-2 水平式捕沙器關係式推估，2001 年至 2009 年飛沙量約在  $29.31 \sim 54.26 m^3/m-year$  之間，平均值為  $20.64m^3/m-year$ 。若以 BSNE 垂直式捕沙器關係式推估高程  $Z = 0.2m$  之沙量，2001 年至 2009 年飛沙量約在  $17.98 \sim 29.65m^3/m-year$  之間，平均值為  $20.64m^3/m-year$ 。將垂直分佈曲線帶入關係式中求得垂直分佈之總飛沙量平均約為  $209.207m^3/m-year$ ，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  $73.568m^3/m$ ，換算後每月約為  $24.52 m^3/m-month$  較本研究換算每月平均  $17.43m^3/m-month$  高，若只受東風作用下，本研究之飛沙估算量結果相近。

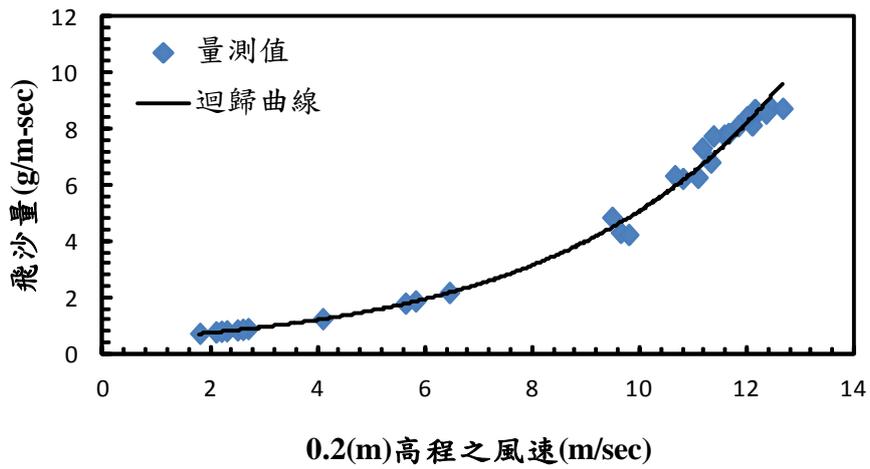


圖 5.11  $Q$  與  $U_{0.2}$  關係圖 (BSNE 垂直式捕沙器)

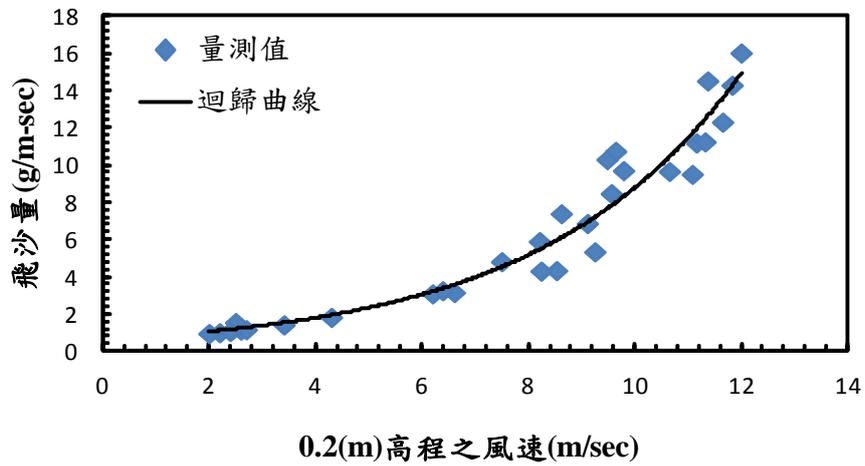


圖 5.12  $Q$  與  $U_{0.2}$  關係圖 (H-2 水平式捕沙器)

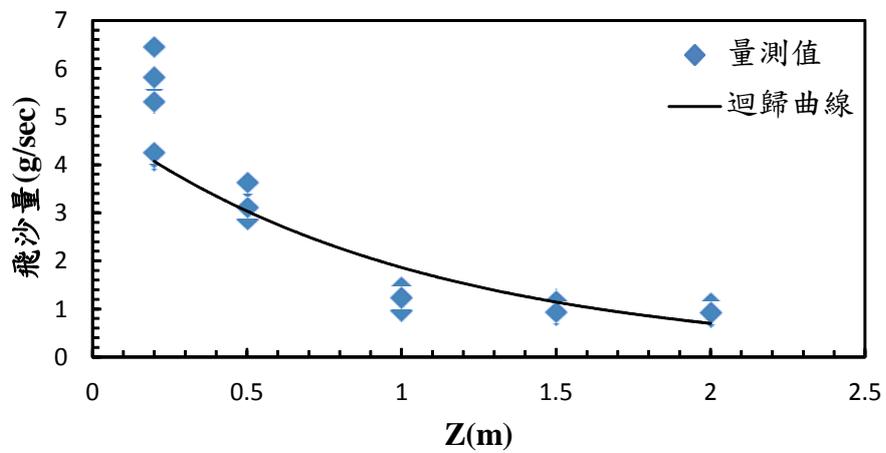


圖 5.13  $Q$  與  $Z$  關係圖 (BSNE 垂直式捕沙器)

表 5-2 BNSE 垂直集沙器實驗資料

BSNE 垂直式捕沙器實驗資料				
飛沙量 ( $g/m-s$ )	沙粒密度 ( $g/cm^3$ )	沙粒含水率 (%)	中值粒徑 ( $mm$ )	$U_{0.2}$ ( $m/s$ )
6.21	2.36	0.13	0.24	10.8
7.75	2.38	0.12	0.23	11.57
8.66	2.23	0.10	0.22	12.14
8.55	2.22	0.10	0.23	12.18
8.74	2.23	0.14	0.22	12.43
8.11	2.10	0.10	0.22	12.09
8.70	2.23	0.09	0.22	12.66
8.53	2.22	0.09	0.23	12.35
8.38	2.22	0.15	0.22	12.02
6.31	2.37	0.13	0.23	10.65
6.25	2.34	0.12	0.22	11.08
8.08	2.20	0.10	0.22	11.83
7.72	2.22	0.10	0.23	11.37
8.41	2.32	0.12	0.22	12.00
7.81	2.22	0.13	0.23	11.65
7.29	2.44	0.12	0.22	11.16
6.79	2.44	0.14	0.24	11.32
4.83	2.45	0.11	0.26	9.48
4.29	2.44	0.11	0.25	9.64
4.22	2.45	0.13	0.24	9.79
1.78	2.34	0.11	0.24	5.63
2.16	2.44	0.12	0.22	6.45
1.86	2.22	0.15	0.23	5.82
1.23	2.32	0.13	0.22	4.09
0.76	2.37	0.12	0.22	2.10
0.71	2.34	0.14	0.22	1.80
0.80	2.24	0.15	0.23	2.30
0.78	2.22	0.12	0.24	2.20

表 5-3 水平式集沙器實驗資料

H-2 水平式捕砂器實驗資料				
飛沙量 ( $g/m-s$ )	沙粒密度 ( $g/cm^3$ )	沙粒含水率 (%)	中值粒徑 ( $mm$ )	$U_{0.2}$ ( $m/s$ )
9.71	2.44	0.13	0.29	10.65
9.56	2.44	0.12	0.26	11.08
14.34	2.22	0.1	0.27	11.83
14.57	2.3	0.1	0.27	11.37
16.07	2.23	0.12	0.27	12.00
12.36	2.32	0.13	0.27	11.65
11.24	2.33	0.12	0.27	11.16
11.30	2.40	0.14	0.26	11.32
10.35	2.50	0.11	0.26	9.48
10.79	2.40	0.11	0.28	9.64
9.76	2.45	0.13	0.29	9.79
3.21	2.50	0.23	0.29	6.61
4.87	2.35	0.20	0.27	7.5
5.95	2.38	0.15	0.31	8.21
4.39	2.40	0.18	0.27	8.53
4.36	2.50	0.15	0.29	8.24
7.44	2.40	0.11	0.27	8.62
5.40	2.20	0.11	0.31	9.25
6.92	2.30	0.12	0.31	9.11
8.52	2.22	0.21	0.31	9.56
1.48	2.30	0.14	0.29	3.41
1.88	2.33	0.12	0.27	4.3
3.14	2.60	0.11	0.28	6.2
3.31	2.40	0.13	0.26	6.39
1.20	2.22	0.12	0.29	2.6
1.22	2.30	0.14	0.27	2.7
1.60	2.25	0.14	0.29	2.5
1.06	2.32	0.12	0.27	2.2
1.01	2.31	0.18	0.26	2
1.12	2.22	0.15	0.28	2.4

表 5-4 臺中港北淤沙區飛沙量推估

年份	風速 <5 m/s (%)	風速 5~10 m/s (%)	風速 10~15 m/s (%)	風速 >15 m/s (%)	風向 N~E (%)	飛沙量推估 H-2 Z = 0.2m m <sup>3</sup> /m-year	飛沙量推估 BSNE Z = 0.2m m <sup>3</sup> /m-year
2001	53.6	27.5	16.6	2.4	66.2	38.78	22.46
2002	59.2	26.0	8.9	5.9	59.3	32.62	18.93
2003	60.0	26.7	12.5	0.8	62.6	29.31	17.98
2004	57.7	29.6	12.3	0.4	65.2	29.9	18.68
2005	60.2	25.2	13.2	1.4	62.1	33.1	18.63
2006	57.5	28.8	12.0	1.8	64.3	32.59	19.24
2007	59.6	26.3	12.5	1.7	60.6	30.54	18.01
2008	32.2	32.9	15.3	19.7	55.8	54.26	29.65
2009	60.6	21.2	11.6	6.4	65.2	38.60	22.1
平均	55.6	27.1	12.8	4.5	62.4	35.53	20.64

## 第六章 海岸防飛沙設施效果分析與防治對策研擬

### 6.1 飛沙工法簡介

#### 6.1.1 定工沙管

定工沙管為近年來被使用於海岸侵蝕的海灘工法，此工法常配合突堤、離岸堤、岬灣控制或其他工法實施，為近年海岸防護工程之趨勢，主要用途為海岸保護，塑造沙灘或維持沙灘之穩定，如圖 6.1 所示。本研究應用此工法於潮間帶明顯之海灘地形上，使其增加沙地的含水率。

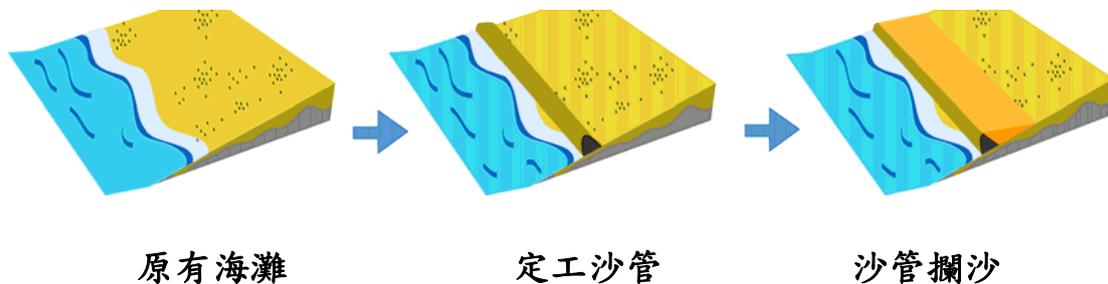


圖 6.1 定工沙管示意圖

#### 6.1.2 編籬定沙

此工法一般為人工構造物定沙工，其編籬造灘之目的在於攔截沿岸飛沙，增加沙丘的高度及寬度，如經費受限，可用細樹枝、竹片或梢料作為編籬定沙（如圖 6.2 所示），在飛沙旺盛的海岸，可形成定沙造灘。

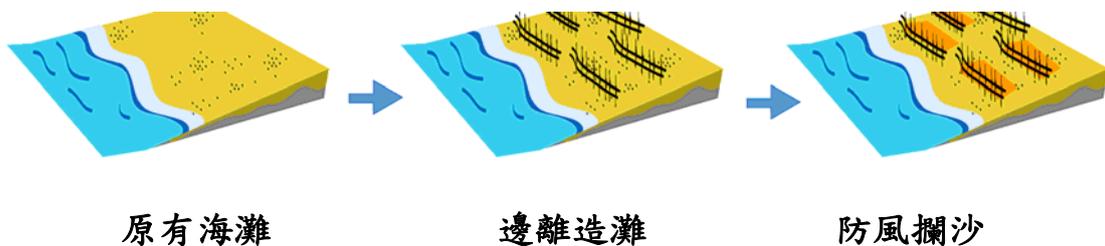


圖 6.2 編籬定沙示意圖

### 6.1.3 植栽定沙

植栽種類為海岸種植耐鹽性植物，經一段時間長成後，灘地日漸增高，形成沙丘灘岸，可作為減緩潮浪災害之防護。臺灣海岸之定沙植物常見者有林投、菅草、黃槿、馬鞍藤、狗牙根及木麻黃等，能產生有效的攔沙護岸作用，此外，海岸林是內陸之屏障，可穩定海岸線(如圖 6.3 所示)。



圖 6.3 植栽定沙示意圖

### 6.1.4 圍堤造地工程

圍堤造地工程為將原有之灘地或海域先以圍堤方式將區域圍繞，在進行圍堤區域的填補，進行灘地的造地工程。台灣沿海地區所使用的案例有：臺中港北側填方區為台灣早期之圍堤造地設計、林口灰塘、彰化濱海工業區、台塑麥寮濱海工業區等。以圍堤造地方式，將原有之灘地加高，使潮水不易影響高灘地，對灘地進行整治利用。配合植栽等相關措施，以解決飛沙問題，如圖 6.4 所示。



圖 6.4 台塑圍堤造地工程

## 6.2 第二期工程成效與防治效果分析

由於臺中港北淤沙區受到東北季風作用及潮汐所產生廣大裸露沙灘的影響，導致飛沙的運移情況明顯。本研究針對第二期工程的防治成效進行成效檢討。經由地形量測、現地飛沙量測與現地勘查對臺中港的防飛沙設施進行現況成效檢討，如表 6-1 所示：

表 6-1 第二期飛沙防治工程效果分析

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

防治區域\ 防治成效	飛沙防治設施	成效與防治效果分析
第 III 區	編籬定沙、擋風牆	<p>受飛沙防治設施的設置，此區域為北淤沙區定沙的主要區域。受編籬定沙設施的建置，飛沙於表面移動時將被阻擋於編籬定沙區域內（照片 6-7 及照片 6-8）。若風速較大時，飛沙則以躍動或懸浮方式往南移動。當編籬定沙設施所淤積的沙量到達飽合時，風場會受擋風牆影響，最後交會於南側的擋風牆附近處。此一現象將導致飛沙最後大量淤積於南側擋風牆(照片 6-9、照片 6-10 及照片 6-11)。當編籬定沙區與擋風牆淤積達飽合情況下，飛沙將繼續往南運移至航道中。</p>
綜合比較		<p>本研究比較第二期工程預期成效與實施結果，防飛沙設施能將大部分的海岸飛沙穩定於北淤沙區間。故可以得知所設置之防飛沙設施能有效的穩定北淤沙區的海岸飛沙於第 III 區域內。但由於第 I 區的沙灘並無防飛沙設施，致使海岸飛沙將不斷的產生，而編籬定沙區將不斷的阻擋飛沙運行而最終達到飽和，導致定沙的功能大幅降低。</p> <p>此外，海岸附近的結構物設置（如：海堤與擋風牆）將導致風行進方向的改變，進而影響飛沙移動路徑。當編籬定沙區位設置於非飛沙行進路線時，其定沙效果將不顯著。因擋風牆具有導流的作用，飛沙將被導流至風場交會處（圖 6.5），導致北淤沙區南側擋風牆附近出口處有大量的淤沙情形。當擋風牆堤址處的飛沙達到飽和則飛沙越過此區往港區移動。</p>

<p>第 I 區照片</p>	 <p>照片 6-1 第 I 區沙灘 (2011/10)</p>  <p>照片 6-2 第 I 區擋風牆附近處淤沙區 (2011/10)</p>
<p>第 II 區照片</p>	 <p>照片 6-3 第 II 區海堤前方 (2011/10)</p>



照片 6-4 第 II 區海堤後方（向海）（2011/10）



照片 6-5 第 II 區海堤後方（向岸）（2011/10）



照片 6-6 第 II 區海堤後方遮蔽區（2011/10）

第 III 區照片



照片 6-7 第 III 區編籬定沙區前方 (2011/10)



照片 6-8 第 III 區編籬定沙區 (2011/10)



照片 6-9 第 III 區北防波堤堤址處 (2011/10)



照片 6-10 第 III 區擋風牆積沙區 (2011/10)



照片 6-11 第 III 區擋風牆牆角淤沙區 (2011/10)



圖 6.5 海岸結構物與風場作用示意圖

### 6.3 第三期整治方案預期成效

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

#### 1. 2011年完成工程：

臺中港務局於2011年12月完成北防沙堤延長工程，循原堤體離岸方向向外海延長300m，以提高北淤沙區攔阻漂沙能力。並在現有之二期整治區辦理防風林植栽工程，採中央高、四周低的方式，地面推整完成後全區設置竹籬定沙，如照片6-12所示。



照片 6-12 第三期工程編籬定沙區 (2011/10)

完成於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄，於北防波堤堤頂處設置一道長防風柵欄，其現況如照片6-13所示。防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防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年預計完成工程：

臺中港務局預計定於2012年進行植樹工作。竹籬、植草及植林，竹籬設置原則上採1m高竹籬、間距10m為主要配置，另再

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



照片 6-13 第三期工程於二期圍堤堤頂處設置長防風柵欄 (2011/10)

### 3. 2012 年至 2013 年預計完成工程：

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

## 6.4 第三期整治方案效益與適用性評估

本研究對於第三期整治方案進行效益分析與適用性評估，第三期整治方案示意如圖 6.6 所示。防風柵欄設置後，可進一步防止飛沙侵入北防堤堤後港池及二期整治區內。由於現階段沙灘區仍未進行任何防

飛沙設施的工法，故此片廣大的沙灘將仍會帶給北淤沙區充足的飛沙來源。如照片 6-14 所示。在設置防風柵欄後，將可有效的阻擋飛沙飛入港池，若未設置，則飛沙將因擋風牆導流作用影響，匯集於北防波堤堤址附近處而後飛入港內，如照片 6-14 至照 6-17 所示。

第三期工程規劃北防波堤堤頂處設置長防風柵欄，此設施將可有效的阻擋飛沙於北防波堤前，但由於此設置區域為飛沙於此區域運移的最終路徑，飛沙將於此處快速匯集，當淤積到達一定高度時（如照片 6-18 所示），飛沙將順著地形飛越擋風牆進入港池，對港池造成影響。

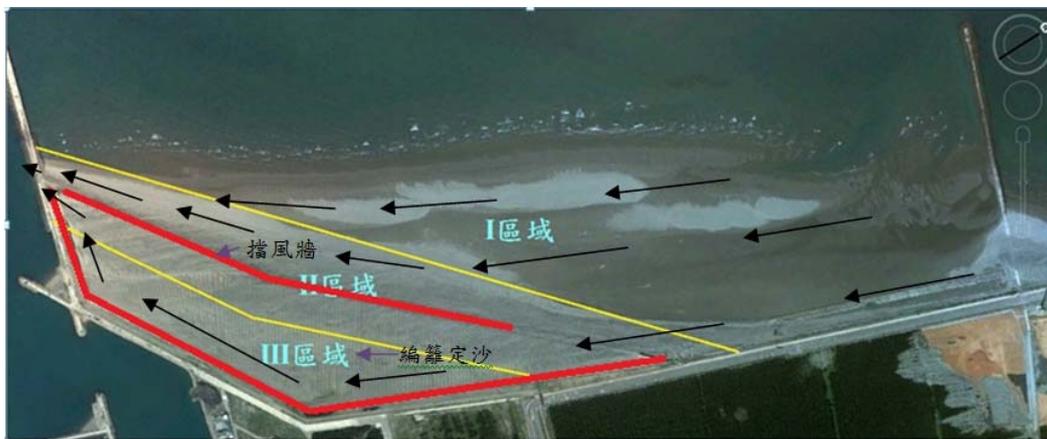


圖 6.6 第三期工程海岸結構物與風場作用示意圖



照片 6-14 第三期工程沙灘區現況 (向海) (2011/10)



照片 6-15 第三期工程北防波堤現況 (2011/10)



照片 6-16 第三期工程北防波堤現況 (向岸) (2011/10)



照片 6-17 第三期工程北防波堤與海堤交界處 (2011/10)



照片 6-18 第三期工程北防波堤堤址處淤沙 (2011/12)

## 6.5 防治對策研擬

綜合上述第二期與第三期工程的防飛沙設施與設置，本研究對上述工程提出兩種防治對策方案，並評估其防治後的效益。其防治對策如表 6-2 所示：

表 6-2 飛沙防治對策方案

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

所提方案中，零方案為目前第三期工程所設置之飛沙防治措施，如 6.3 節所述。方案 1 為第三期工程灘地整地後之海域重新形成廣大沙灘後，以圍堤方式將灘地墊高，進行圍堤造地，其示意如圖 6.7 所示。方案 2 為第三期工程灘地整地後之海域重新形成沙灘後，沙灘成長緩慢，高潮位位置處設置灑水設施，並於低潮位位置沿沙灘設置平行岸線的地工沙管，增加沙灘大面積的含水率，設置如圖 6.8 所示。



圖 6.7 方案 1 防治對策示意圖

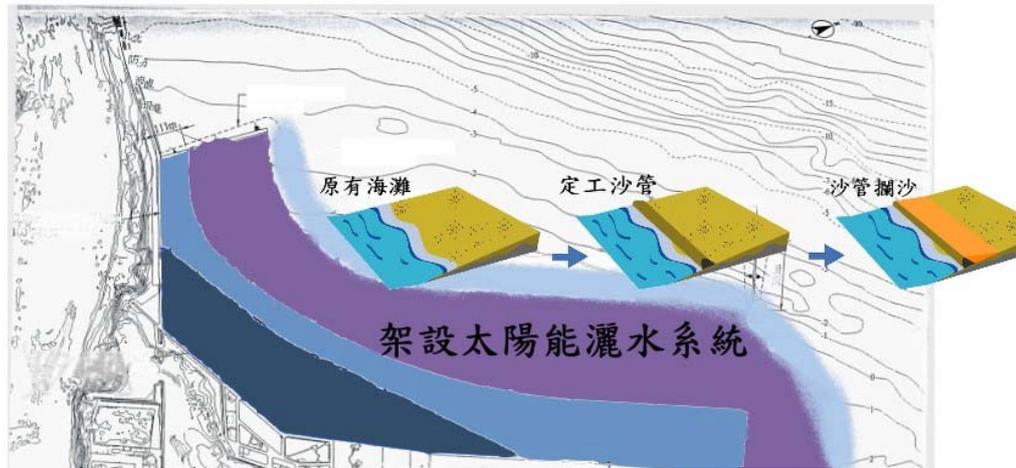


圖 6.8 方案 2 防治對策示意圖

各改善方案優缺點比較表如表 6-3 所示：

表 6-3 整治方案優缺點比較表

方案 \ 優缺點	優點	缺點
零方案	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 擋沙牆將可有效的阻擋飛沙於北防波堤前。</li> <li>2. 擋風牆間之編籬定沙區應可有效的使飛沙沈積於此區域。</li> <li>3. 防風柵欄的設置可有效的使飛沙不易飛離此區域。</li> <li>4. 整地後之地形，將不受到潮汐作用影響，可有效進行植栽，達到飛沙整治效果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 若沙灘區在未完成防飛沙設施的工法前，廣大的沙灘將仍會帶給北淤沙區充足的飛沙來源。</li> <li>2. 北防波堤堤址為飛沙運移最終路徑，可能將導致飛沙於此處快速淤積，當淤積到達一定高度時，飛沙將順著地形飛越擋風牆進入港池，對港池航道造成影響。</li> <li>3. 受大甲溪沙源供給影響，在興建定沙突堤將使灘地整地後之海域，重新形成沙灘。</li> </ol>

方案 \ 優缺點	優點	缺點
方案 1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 圍堤造地工程可將區域內的灘地獲得完整的利用，並對灘地進行植栽。</li> <li>2. 可解決目前因沙地裸露所造成的飛沙問題。</li> <li>3. 此一工法在臺中港區已使用，並植栽防風林獲得良好成效。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 圍堤造地工程對海域地形及灘線將造成影響，需進行細部評估。</li> </ol>
方案 2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高潮位區域設置灑水裝置可有效保持沙灘含水率。</li> <li>2. 於低潮位區域設置地工沙管可有效截流，保持沙地的含水率。</li> <li>3. 對於上游端的沙源可減少飛沙量的產生。</li> <li>4. 可保有沙灘的原貌，使沙源穩定於沙灘上。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由於沙灘面積大，所需成本較高。</li> <li>2. 需考慮低潮位線設置時工法時地工沙管在波浪作用下的穩定度。</li> <li>3. 灘地將持續擴增，飛沙問題仍持續發生。</li> </ol>

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

## 第七章 結論與建議

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以及港池的淤積現象。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、上下游河川輸沙以及人為搬移等，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，本計畫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。

為瞭解臺中港北防波堤飛沙淤積情形，於臺中港北防波堤附近海域地形進行(1)飛沙高程量測、(2)含水率量測、(3)H-2 水平式捕沙器量測、(4)垂直式補沙器量測。藉以探討飛沙對附近港池可能造成的淤積威脅。最後，依據飛沙移動與現場配置提出海岸飛沙改善方案。根據以上分析項目得到以下幾點結論與建議：

### 7.1 結論

1. 分析臺中港區冬季期間主要風向為 N 向，風速小於  $12\text{m/s}$  之累積機率約佔 97.65%。夏季期間主要風向為 SSE 向，風速小於  $12\text{m/s}$  之累積機率約佔 99.21%。
2. 以 3D 雷射掃描量測北淤沙區高程結果，2010 年 9 月~2011 年 5 月全區域總體積為淤積 23.1 萬方，分析淤積主要原因為期間（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。

3. I 區域：分析 2010 年 9 月~2010 年 10 月侵淤體積總量，呈現小幅淤積約 3.3 萬方，2010 年 10 月~ 2010 年 11 月侵淤體積總量則呈現大幅淤積約 21 萬方，沿岸輸沙大量累積於 I 區域內。其餘觀測時間 2010 年 11 月~ 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現小幅淤積 0.6 萬方的情形。結果顯示，若無特殊氣象條件發生，此區域沙灘呈現微量淤積的趨勢。
4. II 區域：分析 2010 年 9 月~2010 年 10 月侵淤體積總量，呈現侵蝕 0.1 萬方，2010 年 10 月~ 2010 年 11 月侵淤體積總量呈現淤積 2.2 萬方，2010 年 11 月~ 2011 年 5 月侵淤體積總量呈現侵蝕 6.2 萬方。觀測期間呈現侵淤互現的現象，推估原因 2010 年 10 月~ 2010 年 11 月期間受颱風作用影響，沿岸輸沙量少量累積於 II 區域內，其餘期間皆呈現侵蝕的現象發生。推測此區域的沙粒被帶往區域 III 的編籬定沙區中。
5. III 區域：分析 2010 年 9 月~2010 年 10 月侵淤體積總量，呈現淤積 2.45 萬方，2010 年 10 月~ 2010 年 11 月侵淤體積總量，呈現淤積 2.4 萬方，2010 年 9 月~2011 年 5 月侵淤體積總量呈現少量淤積 1.6 萬方。區域 III 為編籬定沙區 I 區域與 II 區域之飛沙將被帶入此區域中，在經過東北季風作用後，呈現沙源並無明顯增加的情形發生。經實地探勘部分沙粒被帶往南側越過擋風牆進入港區航道內，導致區域內的飛沙體積減少。
6. 經由 BSNE 型及 H-2 型捕沙器收集到之飛沙量，經分析後與地表 0.2m 風速皆呈指數關係，求得飛沙量  $Q(g/s-m)$  與  $U_{0.2}(m/s)$  之關係如下：  
水平型式捕沙器飛沙量與風速：
$$Q = 0.4609e^{0.2398 U_{0.2}}$$
垂直型式捕沙器飛沙量與風速：
$$Q = 0.5892e^{0.2701 U_{0.2}}$$
7. 綜合上述第二期與第三期工程的防飛沙設施與設置，本研究對上述工程提出兩種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。

## 7.2 建議

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，本研究建議持續對該區域進行監測。對於北淤沙區的監測，建議以全區域高程測量方式對北淤沙區進行測量。

經由現場勘查結果得知，大型海岸結構物的設置高程將對風場造成改變，建議進行擋風牆設置時增加風場分析，以了解區域內的風場結構，以提升編籬定沙工法的效益。

第三期工程灘地整地後，應可對區域內之飛沙達到整治的效果，但對於整治區前方海域重新形成之沙灘，建議應以數值模擬方式對灘地形成區域與形成速度進行細部的評估。

## 7.3 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飛沙機制已進一步了解。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。所設置之防飛沙設施將可有效的將飛沙安定於定沙區域內，所提之防飛沙改善方案將有助於日後在漂沙防治對策上設計與應用。此結果將可應用在北防波堤北側與北防沙堤間的漂沙整治與航道口附近海域的漂沙運行機制，提供臺中港務局在港灣設施維護與設計上的參考。

## 參考文獻

1. 交通部臺中港務局 (1979), 「臺中港漂沙評估報告」。
2. 交通部臺中港務局 (1985), 「臺中港第一期工程完工報告」。
3. 交通部臺中港務局 (1988), 「臺中港港口擴建計畫評估研究」。
4. 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」。
5. 交通部臺中港務局 (1994), 「臺中港漂沙防制與新生地開發」。
6. 交通部臺中港務局 (1999), 「臺中港港池泊渠浚及圍堤造地規劃」。
7. 交通部臺中港務局 (2003), 「臺中港北側淤沙區漂飛砂整治暨生態保育研究」。
8. 交通部臺中港務局 (2007), 「臺中港北側淤沙區漂飛砂整治第三期工程可行性研究」。
9. 交通部臺中港務局 (2009), 「臺中港北側淤沙區漂飛砂整治第三期工程計畫書」。
10. 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。
11. 江永哲和張文詔 (1978), 「海岸飛砂量估算之風洞試驗」, 中華水土保持學報, 9 (2), 第 55-81 頁。
12. 林宗儀、許泰文和臧效義 (2006), 「臺中港飛砂整治研究」, 26 屆海洋工程研討會, 第 677-682 頁。
13. 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。
14. Bagnold, R.A. (1954) "The physics of blown sand and desert dunes," Chapman and Hall: p.86.

15.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.

## 附錄一

### 期中報告審查意見及處理情形表

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-100-H2DB004a

計畫名稱：近岸漂沙機制與防治研究(3/4)

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
<p>黃隆明委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議增加沙粒物性分析。</li> <li>2. 建議從事現地飛沙量及微地形觀測，避免較粗糙的方式推算。</li> <li>3. 漂沙及飛沙應如何區分對飛沙估算量之影響請再敘明。</li> <li>4. 淤積平衡僅就滾動及跳躍而言，然而卻忽略懸浮量之損失，建議再深入探討。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增列沙粒粒徑分析於期末報告中，詳見 4.3.4 節，4-11 頁。</li> <li>2. 已進行飛沙現地量測與 3D 雷達掃描測量，詳見第三章，3-1 頁。</li> <li>3. 增列於期末報告中，飛沙估算量之影響，詳見 3.5 節，3-20 頁。</li> <li>4. 於期末報告中增列垂直方向的飛沙量測量，並於 3.5 節進行推估，3-20 頁。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.符合</li> <li>2.符合</li> <li>3.符合</li> <li>4.符合</li> </ol>
<p>蕭松山委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 飛沙資料蒐集及現地飛沙試驗資料分析初步成果良好，值得肯定。</li> <li>2. 圖 2-17 颱風路徑統計圖建議更新。</li> <li>3. p.3-2 第二行，p.3-4 第二行文句建議檢查更正。</li> <li>4. p.3-8 含水率量測建議註明量測時之潮位及氣象條件。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指教。</li> <li>2. 將於期末報告中更新颱風路徑圖更新於圖 2-4，2-22 頁。</li> <li>3. 將於期末報告中更正，3-2 頁及 3-4 頁。</li> <li>4. 已增列於期末報告中 4.3.3 節，4-6 頁</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.同意</li> <li>2.符合</li> <li>3.符合</li> <li>4.符合</li> </ol>

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
<p>5. 圖 4-9, 4-10, 相關係數甚小, 建議多採量測資料重新分析。</p> <p>6. 4.2 飛沙量特性分析之飛沙累積高度測量之基準建議說明。</p> <p>7. 圖 4-19~圖 4-36, 侵淤比較圖之色層分析建議統一以利判讀。</p> <p>8. 圖 4-12~圖 4-15 橫軸代表須標示。</p> <p>9. 按簡報資料顯示, 飛沙監測區自 2010/09~2011/05 總侵蝕量達 80 萬方, 建議釐清是吹風效應或是波浪期之原因可能運移至何處?</p> <p>10. 勘誤參考 p4-2、p4-3、p4-33 ch2、ch4、公式重覆, 量測儀器方法多說明一些。</p>	<p>5. 本研究與吳(2006)研究相符, 所求得之摩擦風速<math>U_*</math>與<math>U_{0.2}</math>風速之相關性極低, 粗造長度<math>Z_0</math>與<math>U_{0.2}</math>風速並無相關性存在, 5-2 頁。</p> <p>6. 飛沙量累積高度之量測基準以 2010 年 9 月為高度測量之基準。</p> <p>7. 侵淤比較之色層分析圖已於期末報告中統一, 詳見圖 3-10~圖 3-13, 3-8 頁及 3-9 頁。</p> <p>8. 已於期末報告中標示, 詳見圖 4-9~圖 4-14, 4-8 頁及 4-9 頁。</p> <p>9. 經重新與測量公司確認, 其飛沙侵蝕量將重新進行修正, 已於 3.4 節中更正結果將於期末報告中說明, 3-7 頁~3-14 頁。</p> <p>10. 已增列於期末報告中, 詳見 3.2 節, 3-2 頁。</p>	<p>5.符合</p> <p>6.符合</p> <p>7.符合</p> <p>8.符合</p> <p>9.同意</p> <p>10.符合</p>
<p>楊文衡委員:</p> <p>1. p.4-11 圖 4-12~圖 4-15 橫座標標示。</p> <p>2. 圖 4-37~圖 4-56 表示法再詳細。</p>	<p>1. 已於期末報告中更正, 詳見圖 4-9~圖 4-14, 4-8 頁及 4-9 頁。</p> <p>2. 已於期末報告中說明, 詳見 3.4.2 節, 3-10 頁~3-14 頁。</p>	<p>1.符合</p> <p>2.符合</p>

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
3. 飛沙與漂沙比例。	3. 已於期末報告補充，估算飛沙約佔漂沙變化量7%，詳見3.5節，3-20頁及3-21頁。	3.符合
4. ppt.121~123 表示法再詳細。	4. 已於期末報告補充，詳見3.5節，3-20頁及3-21頁。	4.符合
<p>林柏青委員：</p> <p>1. p.1-4 表 A~G 各區位置請以圖示說明。</p> <p>2. p.2-8 表 2-1 年均降雨日數 93.7 日與文章說明 90.5 日不同，請更正。表第一行最後一列，應是年平均非月平均。</p> <p>3. p.2-21 圖 2-19 能否增加解析度，至少各測站名稱要清楚。</p> <p>4. p.2-28 表 2-7 中 2006、2007 年的數據有誤請核對修改。圖 2-23 沒顯示 2006 與 2007 年輸沙量。</p> <p>5. p.3-5 圖 3-6a 是水平集沙器不是垂直集沙器。能否將兩種集沙器構造繪圖說明清楚。</p> <p>6. p.3-6 飛沙區分五個區域，每個區域再向離岸方向分別擷取 2~3 個試驗點進行量測氣象資料、海象資料及飛沙特性。可是實際上，如果風速計與補沙器同位</p>	<p>1. 已於期末報告中加說明，詳見圖 1-3，1-4 頁</p> <p>2. 已於期末報告中更正，詳見表 2-1，2-17 頁。</p> <p>3. 已於期末報告中加以刪除。</p> <p>4. 已於期末報告中加以刪除。</p> <p>5. 已於期末報告中更正及增加構造圖進行說明，詳見 4.2 節，4-1 頁~4-4 頁。</p> <p>6. 試驗觀測時，風速計與補沙器同步觀測，但含水率量測則不相同。</p>	<p>1.符合</p> <p>2.符合</p> <p>3.符合</p> <p>4.符合</p> <p>5.符合</p> <p>6.同意</p>

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
置同步觀測，只有 III、IV 各一點；含水率 I 區有 4 點，III 區有 2 點；標尺在 II 區設 6 點只有 4 點有資料。		
7. 表 4-2 風速測站有 8 個點，與 BSNE 才要擺放，請標示 8 個測站位置。風速測量使用手持式風速計，請說明作業方法，量測時間。	7. 已於期末報告中加以說明，詳見表 5-1 與 5.2 節。	7.符合
8. 圖 4-12~4-8 回歸式子應是 log 非 ln。	8. 已於期末報告中加以更正，詳見 5.2 節，	8.符合
9. 圖 4-12~4-15X 軸是時間嗎?請標示清楚。4/20 整體結果>0, 4/21、5/11 整體結果<0, 與圖所示不符。5/11 的曲線度平坦，其實是曲線伏最大。	9. 高程變化探討，以 3D 雷射掃描取代，詳見第三章。	9.符合
10. 為什麼沒有含水率測量資料。	10. 已增列於 4.3.3 節，4-6 頁~4-9 頁。	10.同意
11. p.4-13 利用雷達及遙測影像探討不同潮位及不同季節時灘線的變化特性，請問探討結果在哪裡?	11. 已增列於 3.4.2 節、3.4.3 節、3.4.4 節，3-10 頁~3-20 頁。	11.符合
12. 圖 4-16 與 4-17 臺中港海灘地形圖，為何圖不同卻時間相同。	12. 已於期末報告中修正，詳見圖 3-10~圖 3-13，3-8 頁~3-9 頁。	12.符合
13. 土方量分析 2010 年 9 月~2010 年 10 月、2010 年 9 月~2010 年 11 月、	13. 已於期末報告中補充，詳見 3.4 節，3-7 頁~3-9 頁。	13.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
<p>2010年9月~2011年5月，為什麼沒分析2010年10月~2010年11月、2010年9月~2011年5月、2010年10月~2011年5月。</p> <p>14. 土方量變化分析用的是 LIDAR 資料，請問資料來源及確實量測時間。</p> <p>15. 圖 4-37~4-52X 軸為什麼用 10/1、11/1、5/1?</p> <p>16. 飛沙區是否包含潮間帶，臺中港潮差大坡度緩，所以有非常寬的潮間帶，潮間帶的土方量變化量除了飛沙還包括沿岸與向離岸漂沙，如何區分?</p> <p>17. 圖 4-49~4-68 表示侵淤面積不是體積，4.2.4 節中說明的飛沙量都是錯誤的。</p> <p>18. 第五章看起來像是別人的報告。</p> <p>19. 現場作業請注意潮位及量測時間，因為潮水退去，地面受太陽曝曬，濕度越少，風速越大，建立飛沙模式時要將這些因素都考慮進去。</p>	<p>14. 已於期末報告中補充，詳見 3.4 節，3-7 頁~3-9 頁。</p> <p>15. 已於期末報告中修正，詳見圖 3-14~圖 3-17，3-11 頁~3-14 頁。</p> <p>16. 已於期末報告中補充，詳見 3.5 節，3-20 頁。</p> <p>17. 已於期末報告中更正，詳見 3.4 節，3-7 頁~3-20 頁。</p> <p>18. 已於期末報告中說明詳見第六章。</p> <p>19. 飛沙啟動沙粒含水量約小於 0.2%，故現場作業時間及施測點，均選擇晴朗天氣及乾燥灘地進行施測。</p>	<p>14.符合</p> <p>15.符合</p> <p>16.符合</p> <p>17.符合</p> <p>18.符合</p> <p>19.同意</p>

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
<p>20. 圖 4-31 圖色階侵淤應用色明顯，才好判別。</p> <p>21. 4.1.3 標題非摩擦風速→粗糙密度 <math>10^{-3}</math>~<math>10^{-7}</math> 更正。</p>	<p>20. 已於期末報告中更正，詳見圖 3-10~圖 3-13，3-8 頁及 3-9 頁。</p> <p>21. 已於期末報告中進行更正，詳見 5.1.3 節，5-2 頁。</p>	<p>20.符合</p> <p>21.符合</p>
<p>何良勝委員：</p> <p>1. 建議於期末報告補充增列前兩年研究成果及審查意見以及國內其他單位相關飛沙研究之成果。</p> <p>2. 建議更新與增列 Chap2 風向觀測資料及 Chap3 現地試驗之各次調查時間。</p> <p>3. 請補充說明 Chap2 與 Chap4 中有關經驗公式中風速的高程概況及現地試驗引用風速高程之依據。</p> <p>4. 建議將飛沙之侵蝕估算與以前之地形侵蝕做一比較，可較瞭解飛沙之真正影響。</p>	<p>1. 已於期末報告中補充，詳見第一章，1-2 頁~1-7 頁。</p> <p>2. 已於期末報告中進行補充，詳見第五章，5-4 頁。</p> <p>3. 第二章中的風速為風力觀測站所測得之風速，其為 10m 的高程風速。第四章經驗公式中的風速為現地試驗的表層風速，其高程約為 0.2m。</p> <p>4. 謝謝委員指教，於期末報告將比較飛沙之侵蝕估算與以前之地形侵蝕。</p>	<p>1.符合</p> <p>2.符合</p> <p>3.同意</p> <p>4.同意</p>

## 附錄二

### 期末報告審查意見及處理情形表

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-100-H2DB004a

計畫名稱：近岸漂沙機制與防治研究(3/4)

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
<p>黃隆明委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 摘要表內建議增列前三年具體研究成果。</li> <li>2. 針對所研擬之改善對策方案，建議後續研究應有具體量化之效益評估。</li> <li>3. 請再核算離開本目標區之飛沙量是否為 8.7 萬方？是否能再增列佐證資料說明此估算量確屬合理？</li> <li>4. 飛沙量與風速之推估式在本研究應用中有何貢獻？請再補充說明。</li> <li>5. 請再補充說明二維平面水理模式如何應用於漂沙防治對策之設計上？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 依委員意見增列於摘要表中。</li> <li>2. 在第四年度研究中，依照委員意見將效益評估具體量化。</li> <li>3. 已於期末報告中說明，增列於3.5節,3-20頁及3-21頁。</li> <li>4. 飛砂量與風速推估將可用於沙灘區飛砂量之推估，配合現場時序列風速資料進行評估，增列於5-10頁。</li> <li>5. 結合漂沙與飛沙相互影響機制，沙灘區減少的沙量將可更精準的用於計算漂沙水理模式。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 符合</li> <li>2. 同意</li> <li>3. 符合</li> <li>4. 同意</li> <li>5. 同意</li> </ol>
<p>蕭松山委員：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本年度已完成四年期計劃之前三年工作，研究成果值得肯定。建議綜整前三年的成果評析明年第四度所需工作項目及內容。</li> <li>2. 定稿本建議加強勘誤更正。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定，第四年所需工作項目及內容將參照委員意見辦理。</li> <li>2. 依照委員意見於報告已加強勘誤修正。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 同意</li> <li>2. 符合</li> </ol>

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
3. 第六章飛沙防治工法內文(圖)建議與標題相符。 4. 第二章標題建議更為「飛沙區 3D 雷射掃描測量」並補充控制點成果表。	3. 依照委員意見已修正第六章內文(圖)，6-1 頁及 6-2 頁。 4. 依照委員意見修訂此章節標題，3-2 頁。	3. 符合  4. 符合
楊文衡委員： 1. 飛沙現場調查應增加頻率，明年資料分析才可分析年變化模式。 2. 飛沙區域劃定應再加密，平行海岸線應分區，配合行進路線。 3. 高程圖及高程剖線圖可增加。	1. 依照委員建議，協調港研中心增加現場調查頻率。 2. 目前所得資料尚不足夠，飛砂區域劃定在明年取得更多量測資料後，配合行進路線將重新進行分析。 3. 將增列飛沙高程剖面進行高程分析，詳見 3.4 節，3-18 頁~3-20 頁。	1. 同意  2. 同意  3. 符合
林柏青委員： 1. P1-3，文中各區說明無法在圖 1-2 中找到對照點。 2. 圖 2-6 各小圖未標示月份。 3. 臺中港位於北臨大甲溪，但文中卻只探討大安溪輸沙量，是否無法取得大甲溪輸沙量。 4. P2-3 倒數第 2 行，8800 6600→倒數第 1 行，6→6。倒數第 14 行，表 2-4 及圖 2-12 表 2-6 及圖 2-14。	1. 依委員意見補充於圖 1-3，1-4 頁。 2. 依委員意見於第二章節中修正為圖 2-4，並增加各小圖月份，2-18 頁~2-19 頁。 3. 由於大甲溪河口砂量無法取得實測，故只探討大安溪河段之輸沙資料。 4. 依委員意見修正，並於文中刪除。	1. 符合  2. 符合  3. 同意  4. 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
<p>5. 表 3-1TC132 的檢測距離錯誤。</p> <p>6. P3-15 區域 I 並無先淤後侵的現象。</p> <p>7. 垂直沙粒收集 0.2~2m 輸沙量，有否現場照片。</p> <p>8. 圖 5-12 縱座標標題請修正，是否應該還有總飛沙量與 <math>U_{0.2}</math> 的關係，飛沙量移動公式要如何應用？</p> <p>9. 圖 4-16~18 粒徑分佈圖 <math>D_{50}&lt;0.2</math> 與表 5-3.4 的中值粒徑 0.2mm~0.3mm 不同。</p> <p>10. 5.1.3 標題錯誤，10-3~10-7。</p> <p>11. 飛沙移動公式建議加入含水率變數。</p> <p>12. 結論中關於夏、冬季風速分佈大小有誤。</p>	<p>5. 依委員意見已修正表 3-1TC132 的檢測距離，3-2 頁。</p> <p>6. 依委員意見已修正於 3.4.2 節文中。</p> <p>7. 依委員意見於 4.2 節補充圖 4-6 垂直補沙器現場照，4-4 頁。</p> <p>8. 依委員意見於第五章節修正圖 5-12 縱座標為飛沙量 (g/sec)，飛沙量移動公式為包含飛沙量與 <math>U_{0.2}</math> 的關係，可使用風場推估此區域之飛沙移動量，5-10 頁。</p> <p>9. 依委員意見進行資料的查核，並於表 5-3.4 的中值粒徑 0.2mm~0.3mm 修正圖 4-16~圖 4-18 粒徑分佈圖，4-11 頁。</p> <p>10. 依委員意見修正 5.1.3 標題為 <math>10^{-3}\sim 10^{-7}</math>，5-2 頁。</p> <p>11. 試驗分析結果與吳 (2006) 研究結果，飛沙啟動含水率介於 0.1~0.2% 以下，相關性並不顯著，故無應用於飛沙移動公式中。</p> <p>12. 依委員意見已於 P2-18 修正。</p>	<p>5. 符合</p> <p>6. 符合</p> <p>7. 符合</p> <p>8. 符合</p> <p>9. 同意</p> <p>10. 符合</p> <p>11. 同意</p> <p>12. 符合</p>
<p>何良勝委員：</p> <p>1. 增列英文摘要。</p> <p>2. 報告內容圖表編號等與內文應一致。</p>	<p>1. 依委員意見已於報告中補充英文摘要。</p> <p>2. 依委員意見已修正報告內圖表編號，並與內文一致。</p>	<p>1. 符合</p> <p>2. 符合</p>

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
<p>3. 有關飛沙現場量測之時程及區域劃分，建議於未來工作項目中作更精確之規劃因應。</p> <p>4. 有關飛沙防治對策，建議參考臺中港之現有防治方式，及未來相關單位於目前區域之規劃方案(相關景觀之參考等)。</p>	<p>3.依委員意見修正，並於未來工作項目加強飛沙現地量測之時間與區域劃分。</p> <p>4.增列於第六章進行說明，6-3 頁~6-14 頁。</p>	<p>3. 同意</p> <p>4. 同意</p>

## 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(3/4)

簡報人：溫志中



弘光科技大學  
HUNGKUANG UNIVERSITY

環境與安全衛生工程系  
中華民國一百年十一月十六日



1

### 期末報告審查意見

楊文衡委員

1. p.4-11圖4-12~圖4-15橫座標標示。

回覆1. p.4-11圖4-12~圖4-15橫座標標示。

2.圖4-37~圖4-56表示法再詳細。

回覆2. 於期末報告中加以詳解。

3.飛沙與漂沙比例。

回覆3. 於期末報告中說明飛沙與漂沙比例。

4. ppt.121~123表示法再詳細。

回覆4. ppt.121~123表示法於期末報告中加以詳解。



2

## 期末報告審查意見

### 黃隆明委員

**5. 建議增加沙粒物性分析。**

回覆5. 沙粒物性分析將增列於期末報告中。

**6. 建議從事現地飛沙量及微地形觀測，避免較粗糙的方式推算。**

回覆6. 由於目前階段現場風速較小導致飛沙量較不顯著，故先以比對地形高程方式推估現場飛沙量及比較微地形的變化。

**7. 漂沙及飛沙應如何區分，對飛沙估算量之影響請再敘明。**

回覆7. 於期末報告中說明飛沙及漂沙如何區分，並對飛沙估算量加以詳解。



## 期末報告審查意見

### 蕭松山委員

**1. 飛沙資料蒐集及現地飛沙試驗資料分析初步成果良好，值得肯定。**

回覆1. 謝謝委員指教。

**2. 圖2-17颱風路徑統計圖建議更新。**

回覆2. 將於期末報告中更新颱風路徑統計圖。

**3. p.3-2第二行，p.3-4第二行文句建議檢查更正。**

回覆3. 將於期末報告中更正。



## 期末報告審查意見

### 蕭松山委員

1. p.3-8含水率量測建議註明量測時之潮位及氣象條件。  
回覆4.於期末報告中補充量測時之潮位及氣象條件。
- 2.圖4-9，4-10，相關係數甚小，建議多採量測資料重新分析。  
回覆5.將於期末告中進行修正。
- 3.飛沙量特性分析之飛沙累積高度測量之基準建議說明。  
回覆6.將於期末報告中將做說明。

5

## 期末報告審查意見

### 林柏青委員

1. p. 1-4表A~G各區位置請以圖示說明。  
回覆1.於期末報告中加以圖示說明。
2. p.2-8表2-1年均降雨日數93.7日與文章說明90.5日不同，請更正。表第一行最後一列，應是年平均非月平均。  
回覆2.於期末報告中更正。
3. p.2-21圖2-19能否增加解析度，至少各測站名稱要清楚。  
回覆3.於期末報告中增加圖2-19解析度及將各站名稱明列。

6

## 期末報告審查意見

### 林柏青委員

4. p.2-28表2-7中2006、2007年的數據有誤請核對修改。圖2-23沒顯示2006與2007年輸沙量。

回覆4. 於期末報告中修正數據，並增加圖2-23輸沙量。

5.p.3-5圖3-6a是水平集沙器不是垂直集沙器。能否將兩種集沙器構造繪圖說明清楚。

回覆5. 於期末報告中更正及增加構造圖進行說明。



## 期末報告審查意見

### 何良勝委員

1.建議於期末報告補充增列前兩年研究成果及審查意見以及國內其他單位相關飛沙研究之成果。

回覆1. 將於期末報告中將補充其資料。

2.建議更新與增列Chap2風向觀測資料及Chap3現地試驗之各次調查時間。

回覆2. 於期末報告中更新風向觀測資料及補充現地試驗之各次時間。



## 期末報告審查意見

### 何良勝委員

3. 請補充說明Chap2與Chap4中有關經驗公式中風速的高程概況及現地試驗引用風速高程之依據。

回覆3. Chap 2 中的風速為風力觀測站所測得之風速，其為10m的高程風速。Chap4經驗公式中的風速為現地試驗的表層風速，其高程約為0.2m。

4. 建議將飛沙之侵蝕估算與以前之地形侵蝕做一比較，可較瞭解飛沙之真正影響。

回覆4. 謝謝委員指教，於期末報告將比較飛沙之侵蝕估算與以前之地形侵蝕。

9

## 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  
台中港海岸變遷特性分析
- 台中港附近海灘之飛沙特性分析
- 整體防護台中港附近海岸侵淤之對策

10

## 今年度研究目標

- 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。
  - (1)現場量測海灘含水量，以飛沙移動公式計算風沙移動量。
  - (2)以沙灘高程推算飛沙海岸漂沙

11

## 今年度研究目標

- 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。
  - (1)提出改善海岸飛沙之方案
  - (2)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。

12

## 研究方法

- 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。
- 分析現有臺中測站之風速及風向之每月及每季特性。
- 透過現地試驗方式，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。

13

臺中港北防沙堤北側飛沙及揚塵調查

觀察氣象條件及試驗地點觀測

標尺

含水率

H-2型

垂直式

記錄各試驗數據

數據彙整及分析

結果與討論

飛沙量推估

結果與建議

14

## 臺中港北淤沙區飛沙量測

本試驗為瞭解臺中港北防波堤飛沙淤積情形，將臺中港北防波堤附近海域地形圖區分五區域，並於此五區域內分別進行 (1) 飛沙高程量測、(2) 含水率量測、(3) H-2水平式捕沙器量測、(4) 垂直式補沙器量測。以探討飛沙對附近港池可能造成的淤積威脅，計算現場量測海灘含水量，以飛沙移動公式計算風砂移動量，並由沙灘高程推算飛沙海岸漂沙。

15

## 臺中港北淤沙區飛沙量測



飛沙高程量測

16

## 臺中港北淤沙區飛沙量測



儀器架設及資料輸出

17

## 臺中港北淤沙區飛沙量測



H-2水平式捕沙器量測

18

## 臺中港北淤沙區飛沙量測

在沙粒含水率量測方面，於下圖區域中，分別設置六個試驗點，量測在不同潮位條件變化下砂粒含水率。

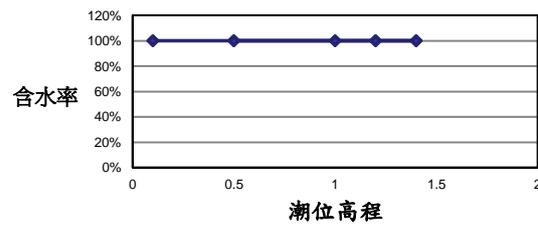


含水率試驗地點圖

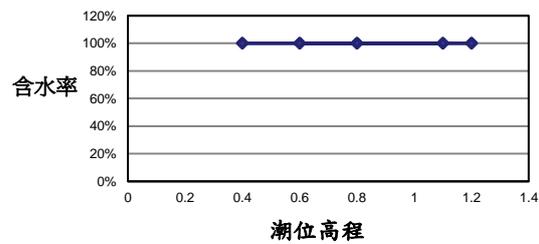


## 臺中港北淤沙區飛沙量測

A點之表層含水率(%)



B點之表層含水率(%)



## 海岸飛沙量定性分析

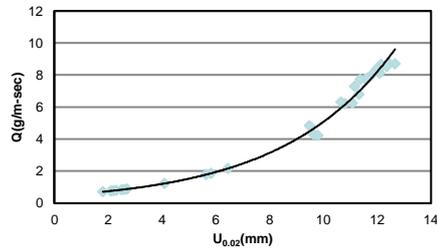
BNSE行垂直集沙器實驗資料  
(BSNE)

飛沙量(g/m-sec)	砂粒密度(g/cm <sup>3</sup> )	砂粒水分(%)	中值粒徑(mm)	風速(m/sec)
6.21	2.36	0.13	0.24	10.8
7.75	2.38	0.12	0.23	11.57
8.66	2.23	0.1	0.22	12.14
8.55	2.22	0.1	0.23	12.18
8.74	2.23	0.14	0.22	12.43
8.11	2.1	0.1	0.22	12.09
8.7	2.23	0.09	0.22	12.66
8.53	2.22	0.09	0.23	12.35
8.38	2.22	0.15	0.22	12.02
6.31	2.37	0.13	0.23	10.65
6.25	2.34	0.12	0.22	11.08
8.08	2.2	0.1	0.22	11.83
7.72	2.22	0.1	0.23	11.37
8.41	2.32	0.12	0.22	12
7.81	2.22	0.13	0.23	11.65
7.29	2.44	0.12	0.22	11.16
6.79	2.44	0.14	0.24	11.32
4.83	2.45	0.11	0.26	9.48
4.29	2.44	0.11	0.25	9.64
4.22	2.45	0.13	0.24	9.79
1.78	2.34	0.11	0.24	5.63
2.16	2.44	0.12	0.22	6.45
1.86	2.42	0.15	0.23	5.82
1.23	2.32	0.13	0.22	4.09
0.76	2.27	0.12	0.22	2.1
0.71	2.34	0.14	0.22	1.8
0.8	2.24	0.15	0.23	2.3
0.78	2.22	0.12	0.24	2.2
0.83	2.32	0.13	0.23	2.5
0.88	2.45	0.13	0.22	2.7
0.85	2.34	0.14	0.24	2.6

Q與U<sub>0.2</sub>之關係(BSNE)

$$y = 0.4591e^{0.2402x}$$

$$R^2 = 0.9974$$



Q與U<sub>0.2</sub>之關係(BSNE):  $Q = 0.4591e^{0.2402x}$

21

## 海岸飛沙量定性分析

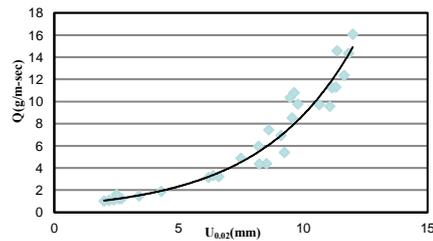
H-2行水平式集沙器實驗資料  
(H-2)

飛沙量(g/m-sec)	砂粒密度(g/cm <sup>3</sup> )	砂粒水分(%)	中值粒徑(mm)	風速(m/sec)
9.71	2.44	0.13	0.29	10.65
9.56	2.44	0.12	0.26	11.08
14.34	2.22	0.1	0.27	11.83
14.57	2.3	0.1	0.27	11.37
16.07	2.23	0.12	0.27	12
12.36	2.32	0.13	0.27	11.65
11.24	2.33	0.12	0.27	11.16
11.3	2.4	0.14	0.26	11.32
10.35	2.5	0.11	0.26	9.48
10.79	2.4	0.11	0.28	9.64
9.76	2.45	0.13	0.29	9.79
3.21	2.5	0.23	0.29	6.61
4.87	2.35	0.2	0.27	7.5
5.95	2.38	0.15	0.31	8.21
4.39	2.4	0.18	0.27	8.53
4.26	2.5	0.15	0.29	8.24
7.44	2.4	0.11	0.27	8.62
5.4	2.2	0.11	0.31	9.25
6.92	2.3	0.12	0.31	9.11
8.52	2.22	0.21	0.31	9.56
1.48	2.3	0.14	0.29	3.41
1.88	2.33	0.12	0.27	4.3
3.14	2.6	0.11	0.28	6.2
3.31	2.4	0.13	0.26	6.39
1.2	2.22	0.12	0.29	2.6
1.22	2.3	0.14	0.27	2.7
1.6	2.25	0.14	0.29	2.5
1.06	2.32	0.12	0.27	2.2
1.01	2.31	0.18	0.26	2
1.12	2.22	0.15	0.28	2.4

Q與U<sub>0.2</sub>之關係(H-2)

$$y = 0.6182e^{0.2652x}$$

$$R^2 = 0.9713$$

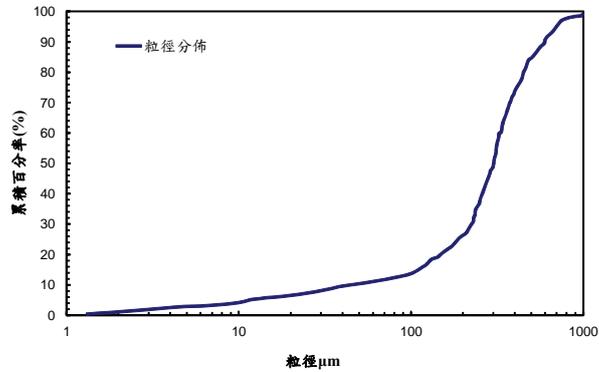


Q與U<sub>0.2</sub>之關係(H-2):  $Q = 0.6182e^{0.2652x}$

22

## 粒徑分佈曲線

區域I粒徑分佈圖



23

## 海岸飛沙量分析

本研究利用雷達及遙測影像分析及校正，擷取不同潮位系統下及不同季節北淤沙區之高程。探討不同潮位及不同季節時高程的變化特性。沙灘高程資料可作為分析海岸飛沙之依據，其結果可將海灘的整體變化趨勢有效的預測。比對兩次不同時間下之測量斷面，及可得知風沙與漂沙移動量之變化趨勢。如下圖所示，並且針對各個區域土方變化量做為探討。分析時間分為2010年9月~2010年10月、2010年10月~2010年11月、2010年11月~2011年5月、2010年09~2011年05月，針對不同時段全區域侵淤圖。圖中不同時段與不同區域的侵淤體積量。



臺中港北淤沙區地形對應圖

24

## 海岸飛沙量分析

2010/09~2010/10臺中港北淤沙區侵淤體積量

	淤積體積(m <sup>3</sup> )	侵蝕體積(m <sup>3</sup> )	總體積(m <sup>3</sup> )
全區域	262,828.4	-206,185.83	56,642.57
I區域	179,881.03	-146,592.78	33,288.25
II區域	47,312.61	-48,528.32	-1,215.71
III區域	35,634.76	-11,064.73	24,570.03

2010/10~2010/11臺中港北淤沙區侵淤體積量

	淤積體積(m <sup>3</sup> )	侵蝕體積(m <sup>3</sup> )	總體積(m <sup>3</sup> )
全區域	489,342.86	-226,176.43	263,166.43
I區域	349,959.62	-134,034.25	215,925.37
II區域	91,493.26	-68,553.2	22,940.06
III區域	47,889.98	-23,588.98	24,301.00

2010/11~2011/05臺中港北淤沙區侵淤體積量

	淤積體積(m <sup>3</sup> )	侵蝕體積(m <sup>3</sup> )	總體積(m <sup>3</sup> )
全區域	287,268.49	-375,230.3	-87,961.81
I區域	186,793.22	-180,154.74	6,638.48
II區域	70,424.75	-132,467.97	-62,043.22
III區域	30,050.52	-62,607.59	-32,557.07

2010/09~2011/05臺中港北淤沙區侵淤體積量

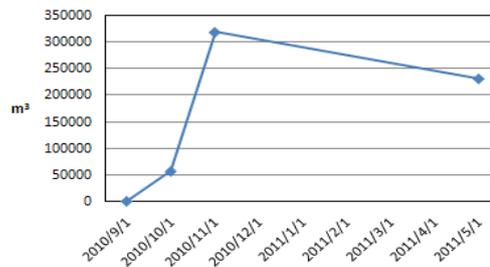
	淤積體積(m <sup>3</sup> )	侵蝕體積(m <sup>3</sup> )	總體積(m <sup>3</sup> )
全區域	397,691.48	-165,844.29	231,847.19
I區域	322,139.7	-66,287.6	255,852.1
II區域	29,952.58	-70,271.45	-40,318.87
III區域	45,599.2	-29,285.24	16,313.96

25

## 臺中港侵淤體積比較

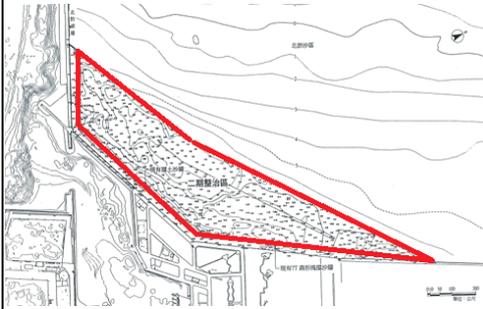
此章節針對臺中港北防波堤北側飛沙整治區之侵淤體積進行比較分析。全區域侵淤體積分析結果，如下圖所示，2010年9月~2010年10月全區域總體積呈現淤積5.6萬方，2010年9月~2010年11月侵淤體積總量呈現正值，2010/10~2010/11全區域總體積呈現淤積26萬方2010/11~2011/05全區域總體積為侵蝕8.7萬方；接著探討全區域中淤積及侵蝕狀況，2010/09~2011/05全區域總體積為淤積23.1萬方，因此瞭解整個臺中港飛沙量淤積於此目標區域中；結果顯示，並且發現有約8.7萬方沙飛離此目標區域中。

全區域



26

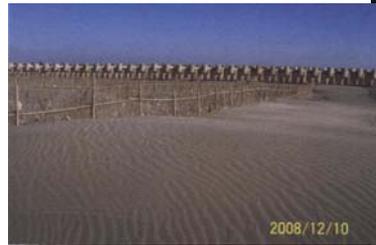
## 第二期工程整治



臺中港北淤沙區二期整治圖



2008/12/02二期整治編籬定砂區



2008/12/10二期整治編籬定砂區

27

## 第二期工程整治



臺中港北淤沙區



2008/12/10臺中港北淤沙區北區圖(位置A)



2008/11/19臺中港北淤沙區南區圖(位置B)

28

## 第二期工程整治



2008/12/10 臺中港北淤沙區北區圖(位置C)

## 第二期工程防治效果分析

### 第二期飛沙防治工程效果分析

防治區域\防治成效	飛沙防治設施	防治效果分析
第I區	無、擋風牆	此區域沙灘自然裸露，大部分區域內無設置飛沙防治工法於沙灘區域內導致沙源受東北季風影響，由第I區往第II區及第III區移動或飛離北淤沙區(照片6-1)。於擋風牆附近處受擋風牆遮蔽影響，風場減弱飛沙於擋風牆附近處產生淤積(照片6-2)。

## 第二期 工程防治效果分析

第II區	海堤、擋風牆	<p>此區域受海堤高度影響，當風速較小情況下，飛沙經過此區域會淤積於此區域內(照片6-3)。當風速較大時，飛沙將越過此區域，往第III區移動或飛離北淤沙區(照片6-4,5)。由於風場受海堤高程影響，將致使表面的風場的入射角度產生些許偏折。於北淤沙區南側海堤，受海堤高程影響，於堤前風場沿著堤體往南偏折，於堤後風速減弱，產生明顯的遮蔽效應(圖6-6)。</p>
------	--------	---

31

## 第二期 工程防治效果分析

第III區	編籬定沙、擋風牆	<p>受飛沙防治設施的設置，此區域為北淤沙區定沙的主要區域。受編籬定沙設施的建置，飛沙於表面移動時將被阻擋於編籬定沙區域內(照片6-7,8)。若風速較大時，飛沙則以躍動或懸浮方式往南移動。當編籬定沙設施所淤積的沙量到達飽合時，風場會受擋風牆影響，前進最後交會於南側的擋風牆附近處。此一現象將導致飛沙最後大量淤積於南側擋風牆(照片6-9,10,11)。當編籬定沙區與擋風牆淤積至飽合情況下，飛沙將繼續往南運移至航道中。</p>
-------	----------	--

32

## 第二期工程防治效果分析(綜合比較)

1. 本研究比較第二期工程預期成效與實施結果，防飛沙設施能將大部分的海岸飛沙穩定於北淤沙區間。故可以得知所設置之防飛沙設施能有效的穩定北淤沙區的海岸飛沙於第III區域內。但由於第I區的沙灘並無防飛沙設施，致使海岸飛沙將不斷的產生，而編籬定沙區將不斷的阻擋飛沙運行而最終達到飽和，導致定沙的功能大幅降低。
2. 此外，海岸附近的結構物設置（如：海堤與擋風牆）將導致風行進方向的改變，進而影響飛沙移動路徑。當編籬定沙區位設置於飛沙行進路線時，其定沙效果將不顯著。因擋風牆具有導流的作用，飛沙將被導流至風場交會處（圖6-6），導致北淤沙區南側擋風牆附近出口處有大量的淤沙情形。當擋風牆堤址處的飛沙達到飽和則飛沙越過此區往港區移動。

33

## 第二期工程防治效果分析



圖6-6 海岸結構物與風場作用示意圖

34

## 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圖如圖6-7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，形成未來灘地竹籬設施後側之第二道、第三道飛沙防護線。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6-14所示。在設置防風柵欄後，將可有效的阻擋飛沙飛入港池，若未設置，則飛沙將因擋風牆導流作用影響，匯集於北防波堤堤址附近，處飛入港內。如照片6-14~19所示。
2. 第三期工程規劃北防波堤堤頂處設置一道378m長防風柵欄，斷面圖，柵欄高約2.7m；北防波堤北側灘地處，增設400m長擋沙牆及防風柵欄，斷面圖，擋沙牆結構係回收北海堤活動胸牆組疊兩層，高6.4m，頂端再設置約2.7m高防風柵欄。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，可能將導致飛沙於此處快速淤積，當淤積到達一定高度時（如照片6-18所示），飛沙將順著地形飛越擋風牆進入港池，對港池造成影響。

35

## 第三期整治方案效益與適用性評估

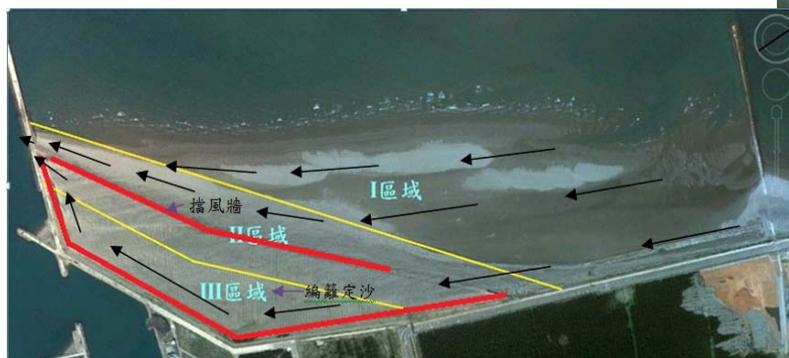


圖6-7 第三期工程海岸結構物與風場作用示意圖

36



照片6-12 第三期工程編釐定沙區(向海)



照片6-13 第三期工程於二期圍堤堤頂處設置一道1.191m 長防風柵欄



37

### 第三期整治方案效益與適用性評估

本研究對於第三期整治方案進行效益分析與適用性評估，第三期整治方案示意圖如圖21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，形成未來灘地竹籬設施後側之第二道、第三道飛沙防護線。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。如圖16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，則飛沙將因擋風牆倒流作用影響，匯集於北防波堤堤址附近，處飛入港內。如照片16~21所示。



38



## 結論

1. 分析臺中港區冬季期間主要風向為N向，約佔54.67%，風速小於12m/sec之累積機率約佔97.65%。夏季期間主要風向為N向，約佔21.83%；其次為SSE向，約佔11.45%，風速小於12m/sec之累積機率約佔99.21%。
2. 經由北淤沙區高程量測結果，2010年9月~2010年10月全區域總體積呈現淤積5.6萬方，2010年9月~2010年11月侵淤體積總量呈現正值，2010/10~2010/11全區域總體積呈現淤積26萬方2010/11~2011/05全區域總體積為侵蝕8.7萬方；2010/09~2011/05全區域總體積為淤積23.1萬方，因此瞭解整個臺中港飛沙量淤積於此目標區域中有約8.7萬方離開此目標區域中。

41

## 結論

5. 針對台中港北防波堤北側飛沙整治區之侵淤高度，在全區域的部份中，2010年9月~2011年5月總高度為0.0~0.153m之間；I區域的部份中，2010年9月~2011年5月總高度為0.0~0.256m之間，侵蝕高度為0.0~0.41m之間；II區域的部份中，2010年9月~2011年5月總高度為0.0~0.113m之間；III區域的部份中，2010年9月~2011年5月總高度為0.0~0.085m之間。
6. 在含水率試驗方面：經由以上各點各潮位含水率得知，含水率低於10%時將被風場作用帶動，造成飛沙運移之情形，然而C，D，E點，受漲退潮之影響含水率變化較為明顯，F點含水率受潮汐影響變化不明顯。
7. 經由BSNE型及H-2型捕沙器收集到之飛沙量，經分析後與地表0.2m風速皆呈指數關係，求得飛沙量( )與(m/s)之關係如下：
  - BSNE型捕沙器飛沙量與風速： $Q = 0.4609e^{0.2398U_{0.2}}$
  - H-2型捕沙器飛沙量與風速：

42

## 結論

綜合上述整治方案，建議在原有的零方案上於北淤沙區的廣大沙灘區，以增加沙地含水率的方式進行沙地的防治對策。故以方案2為最佳的飛沙防禦對策。沙地的含水率為飛沙啟動時所需的限制條件，當含水率增加時飛沙啟動不易，故可有效的將沙源固定於沙灘上。配合沙地含水率的監測，啟動灑水設施及以設置地工沙管方式讓沙灘在潮水退去時海水不致快速流失，將可減緩沙地因太陽日照與風吹襲所產生的水份蒸散。若上游端的沙源供應減緩，將可有效的將沙源穩定於穩定於沙灘。

43

## 建議

1. 針對臺中港北淤沙區飛沙整治，適逢第三期工程進行整治，臺中港北淤沙區進行重新整地，本研究建議持續對該區域進行監測。
2. 對於北淤沙區的監測，本研究建議以對全區域以高程測量方式對北淤沙區進行測量。
3. 經由此次現場勘查結果得知，大型海岸結構物的設置高程將對風場造成改變，建議進行擋風牆設置時增列風場分析，以了解區域內的風場結構，以提升編籬定沙工法的效益。
4. 由於計畫執行期間非東北季風盛行季節，建議在東北季風季節持續監測以求得更完整的現場數據。
5. 針對臺中港北防波堤北側飛沙整治區之飛沙，進行現況防飛沙設施改善方案局部區域的試驗，以評估改善方案的適用性。

44

## 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飛沙機制已進一步的加以了解。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。所設置之防飛沙設施將可有效的將飛沙安定於定沙區域內，所提之防飛沙改善方案將有助於日後在漂沙防治對策上設計與應用。此結果將可應用在北防波堤北側與北防沙堤間的漂沙整治與航道口附近海域的漂沙運行機制，藉以提供臺中港務局在港灣設施維護與設計上的參考。

45

報告完畢  
謝謝指教

46

