

100-18-7510
MOTC-IOT-99-H2DB002

近岸漂沙機制與防治研究(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

100-18-7510
MOTC-IOT-99-H2DB002

近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

著者：蔡立宏、溫志中、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

100

近岸漂沙機制與防治研究
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010000300

定價 300 元

國家圖書館出版品預行編目資料

近岸漂沙機制與防治研究(2/4) / 蔡立宏等著.

--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所， 民 100.04
面 ； 公分

ISBN 978-986-02-7163-8(平裝)

1. 海岸 2. 流沙 3. 數值分析 4. 生態模擬

443.3

100002641

近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

著 者：蔡立宏、溫志中、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 100 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010000300

ISBN：978-986-02-7163-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所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(2/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-7163-8(平裝)	政府出版品統一編號 1010000300	運輸研究所出版品編號 100-18-7510	計畫編號 99-H2DB002
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：張憲國、劉勁成、陳蔚璋 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 99 年 3 月 至 99 年 12 月
關鍵詞:漂沙傳輸、灘線模擬、水動力模式			
摘要： 港灣建設破壞了原有漂沙平衡機制，而常造成鄰港附近地形變遷。本計畫擬探討台灣西部臺中港附近地形變遷機制，提出改善建議方案並評估改善方案之效果，俾提供施政以及工程單位之參酌。為瞭解臺中港附近海域之漂沙運動特性，本研究以四年期之研究，進行近岸漂沙機制與防治研究。本年度為第二年度計畫，接續第一年的研究成果，以一維及二維之經驗正交特徵模式 (EOF) 來分析探討臺中港附近海域漂沙之特性及外力影響因子，藉由分析後可預測地形變化。最後由一維海岸變遷模式 (GENESIS) 與 MIKE21 模式計算現行佈置條件下，未來海岸線變遷之趨勢。 本研究經由上述研究分析方法得到以下結果:以一維一維及二維經驗正交函數預測地形，僅適合下一時間(以本研究為一年)之預測，若預測下兩時間(二年)結果之誤差則突增，其值約為預測下一時間結果 10 倍以上。以一維經驗正交函數預測剖面地形或等深線之離岸距離時，加入最大值波浪特性可以提升預測能力；但在二維經驗正交函數預測地形上，加入最大值波浪特性反而降低預測能力。一維經驗正交函數預測下一年地形之精度上，在剖面之平均誤差約為 1.2m，而等深線之離岸距離之平均誤差約為 10m。綜合一維及二維經驗正交函數預測地形結果，F_s 及 Ω 外力因子比較其他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，本計劃研究發現以 F_s 及 Ω 外力因子及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。 以 GENESIS 灘線模式模擬灘線變化方面，考量無完整波浪資料情況下，應用 GENESIS 灘線模式模擬灘線變化，以常年季代表波浪（夏季與冬季）加上颱風波浪模擬可得最佳的灘線預測結果。若考量完整波浪資料情況下，應用 GENESIS 灘線模式模擬灘線變化，以 (1). 常年季代表波浪（夏季與冬季）加上颱風波浪模擬; (2) 常年平均月代表波浪（1 月至 12 月）; (3) 當年月代表波浪給定計算皆可得到不錯的灘線預			

測結果。以方法 I 與方法 III 預測灘線其預測值與實測值平均誤差值可控制在 23 公尺以內。其灘線預測平均誤差值與標準偏差可控制在 22 公尺以內。

本研究計研擬三種防治方案進行初步評估。方案 1 (case1: 行政院版, 延長定沙堤 450 公尺與北防沙堤 300 公尺)。方案 2 (case2: 基於方案 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 (case3: 基於方案 1 的基礎, 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: 假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 三種狀況下, 在新建北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況, 以灘線淤積至堤頭之時間在 1.7 - 8.6 年之間, 以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況, 所得結果為 2.7 及 5.6 年。

方案 2: 在延伸北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況, 以灘線淤積至堤頭之時間為零方案所需時間再加上 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, 本計畫提出的方案 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 Line 3 剖面於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。

本研究針對對現行佈置基礎上, 提出更進一步之幾種改善海岸侵淤防治對策, 並評估改善方案之效果提出最合適之海岸防護對策, 俾提供施政及工程單位參酌。

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。一維灘線模式已可應用於臺中附近海岸的地形變遷計算, 二維平面水理模式亦可模擬港灣結構物與波潮流間的相互間的水理機制。此結果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。研究中所建立之海岸防護對策之流程可提供相關單位遭遇海岸受到破壞時最終規劃設計時之參考。

出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 4 月	280	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品, 公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱; 私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級:

☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密

(解密條件: ☐ 年 月 日解密, ☐ 公布後解密, ☐ 附件抽存後解密,

☐ 工作完成或會議終了時解密, ☐ 另行檢討後辦理解密)

☒ 普通

備註: 本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

TITLE: Investigation of sediment transport in the nearshore and countermeasure for beach erosion around western coast in central Taiwan (2/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-02-7163-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010000300	IOT SERIAL NUMBER 100-18-7510	PROJECT NUMBER 99-H2DB002
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 2010 TO December 2010
RESEARCH AGENCY: Hung Kuang University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen Chih-chung PROJECT STAFF: Chang Hsien-kuo, Liou Jin-cheng, Chen Wei-wei ADDRESS: No. 34, Chung-Chie Rd., Sahlu, Taichung County, 43303, Taiwan PHONE: (04) 26318652-4115			
KEY WORDS: Sediment transport, Shoreline model, Hydrodynamic model			
ABSTRACT: This research obtains the following result by way of mentioned research analysis methods: By using one-dimensional and two-dimensional experience orthogonal function method to predict topography, the time step of one year has better result than the time step of two years, the error of this result suddenly increases. By adding the characteristic of maximum value wave will improve the predicted ability in one-dimensional, but it will reduce the ability predicted ability in two-dimensional experience orthogonal function. By the GENESIS one-line model simulation beach line change aspect, under the condition of incomplete wave data, using summer and winter wave condition and adding the typhoon wave data will get good simulation results in GENESIS one-line model. Under the condition of complete wave data, (1) the year average (summer and winter) and the typhoon wave data; (2) month average of the year wave data; (3) month average wave data, Using method I and method III to predict the shoreline will get good results and the average error value will be controlled under 23 meters and the standard deviation may control in 22 meters. In the prevention countermeasure appraisal aspects: (1) crosswise extends north-breakwater 450 meter and north jetty extends 300 meters (case1); (2) following the case1, crosswise extends north-breakwater 150 meter and north jetty 300 meters (case2); (3) building a jetty crosswise extends north-breakwater 450 meter and parallel to case1 (case3). In case1, under the condition of $Q = 1,250,000$ cubic meters and the average rate of			

sand transportation as 0.5 penetration rates, the time of reach the beach line deposit to the jetty head needs 2.7 to 5.6 years. In case2, under the same condition with cse1, the time of reach the beach line deposit to the jetty head needs 3.44 to 7.11 years

According to the Two-dimensional MIKE 21 model analysis, case3, building a jetty crosswise extends north-breakwater 450 meters and parallel to case, can reduces the drifted sand to the south transportation quantity.

According to the above analysis results, the knowledge of sediment transport and beach evolution around Taichung Harbor some applicable countermeasures are proposed to prevent the sediment deposited in the beach. The achievement of benefit is GENESIS one-line model could get good simulation results to predict the shoreline near Taichung Harbor. Two-dimensional MIKE 21 model analysis also could get good simulation results and display the water dynamic between structures and waves induced currents and tidal-currents. The above results can apply to the northern breakwater north side and north nearby against to manage the sediment transport near the seaway. The above study results could provide the related facilities maintenance and the reference design for port authorities.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2011	280	300	☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

目錄

中文摘要	I
英文摘要	III
目錄	V
圖目錄	VIII
表目錄	XIII
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	1-11
1.4 本研究組織	1-13
第二章 自然環境基本資料蒐集分析	2-1
2.1 氣象條件	2-1
2.2 海象條件	2-11
2.3 地象條件	2-26
2.4 水文資料	2-28
第三章 經驗正交函數法分析海岸地形變化	3-1
3.1 研究方法之使用動機與目的	3-1
3.2 有關經驗正交函數法之文獻回顧	3-2
3.3 EOF 方法簡介	3-4
3.3.1 一維經驗正交函數法	3-4
3.3.2 二維經驗正交函數法	3-6
3.4 經驗正交函數分析地形變化特性	3-6
3.4.1 地形區域劃分之選擇	3-6
3.4.2 選擇剖面之地形變化特性	3-7
3.4.4 等深線之變遷特性	3-18
3.4.5 二維空間地形變遷特性 EOF 分析	3-31
3.5 以經驗正交函數預測地形變化	3-32

3.5.1 正交函數預測模式之理論	3-32
3.5.2 選擇的外力參數	3-34
3.5.3 地形之預測	3-37
第四章 灘線侵淤變化分析	4-1
4.1 GENESIS 灘線變遷模擬.....	4-1
4.2 GENESIS 模式校核參數設定.....	4-3
4.3 1996 年至 2002 年灘線侵淤變化探討	4-5
4.3.1 冬、夏季代表波浪 (1996 年至 2002 年灘線侵淤變化探討)	4-5
4.3.2 常年平均月代表波浪 (1996 年至 2002 年灘線侵淤變化探 討).....	4-7
4.3.3 當月代表波浪 (1996 年至 2002 年灘線侵淤變化探討).....	4-9
4.4 2002 年至 2006 年灘線侵淤變化探討	4-12
4.4.1 冬、夏季代表波浪 (2002 年至 2006 年灘線侵淤變化探討)	4-13
4.4.2 常年平均月代表波浪 (2002 年至 2006 年灘線侵淤變化探 討).....	4-14
4.4.3 當月代表波浪 (2002 年至 2006 年灘線侵淤變化探討).....	4-15
4.5 綜合比較	4-20
第五章 防治對策方案研擬及灘線預測評估	5-1
5.1 臺中港北側淤沙區漂飛沙整治工程	5-1
5.1.1 整治方案對漂沙特性之影響	5-3
5.2 整治方案之防治對策	5-3
5.3 防治對策評估	5-6
5.3.1 方案 1 評估	5-6
5.3.1.1 方案 1 突堤上游灘線變化之評估.....	5-6
5.3.1.2 方案 1 GENESIS 灘線模擬評估	5-8
5.3.2 方案 2 延伸北防沙堤和延伸定沙突堤之評估	5-9
5.3.2.1 方案 2 延伸北防沙堤和延伸定沙突堤上游灘線變	

化之評估.....	5-9
5.3.2.2 方案 2 延伸北防沙堤和延伸定沙突堤 GENESIS 灘 線模擬評估.....	5-10
第六章 二維數值模擬之地形變遷評估	6-1
6.1 地形變遷數值模擬分析流程	6-1
6.1.1 MIKE 21 SW 波浪模式	6-2
6.1.2 MIKE 21 HD 水動力模式	6-4
6.1.3 MIKE 21 ST 輸沙模式	6-5
6.1.4 數值模擬條件	6-6
6.2 模式驗證	6-10
6.3 建議方案數值模擬	6-19
第七章 海岸防護對策之流程建立及模式適用條件	7-1
7.1 海岸防護對策之流程	7-1
7.2 計畫需求與問題陳述	7-1
7.3 計畫條件評估	7-2
7.4 目標設定	7-3
7.5 工法選定與目標修訂	7-3
第八章 結論與建議	8-1
8.1 結論	8-1
8.2 建議	8-4
8.3 成果效益與後續應用情形	8-4
參考文獻	參-1
附錄 1 模式適用條件	附 1-1
附錄 2 期中審查處理情形表	附 2-1
附錄 3 期末審查處理情形表	附 3-1
附錄 4 期中簡報檔	附 4-1
附錄 5 期末簡報檔	附 5-1

圖目錄

圖 1-1	臺中港附近海岸地形圖	1-1
圖 1-2	臺中港附近地形侵淤變化圖 (1996 年~2006 年)	1-3
圖 1-3	衛星影像中擷取的平均水位灘線位置	1-5
圖 1-4	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)	1-6
圖 1-5	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$)	1-6
圖 1-6	漂沙整治新建方案配置圖	1-7
圖 2-1	臺中港風力觀測站位置示意圖	2-3
圖 2-2	北防波堤堤頭風玫瑰圖(1996~1998)	2-5
圖 2-3	梧棲測站各月風玫瑰圖(2001.01 月~2008.02)	2-6
圖 2-4	防風測站處風玫瑰圖	2-7
圖 2-5	二期擴建堤頭測站風玫瑰圖	2-8
圖 2-6	侵襲台灣之颱風路徑統計圖(1897~2008)(資料來源：中央氣象局圖書館歷年颱風調查報告)	2-10
圖 2-7	臺中港波浪觀測站位置圖	2-14
圖 2-8	颱風波浪推算目標點位置示意圖	2-22
圖 2-9	臺中港北外廓防波堤第一期擴建前海流觀測站位置圖 ...	2-24
圖 2-10	96 年臺中港地形水深分布圖	2-27
圖 2-11	水位流量站分佈圖	2-29
圖 2-12	烏溪 1992 年至 2005 年之年懸移質輸沙量	2-34
圖 2-13	大安溪 1993 年至 2007 年之年懸移質輸沙量	2-34

圖 2-14 烏溪 1992 年至 2005 年之年總輸沙量	2-35
圖 2-15 大安溪 1993 年至 2007 年之年總輸沙量	2-36
圖 3-1 經驗正交函數法之座標示意圖	3-4
圖 3-2 原 E-N 座標與轉換座標及選擇 5 個剖面示意圖	3-7
圖 3-3 剖面 1 之底床高程、前四個特徵向量與以其所計算之 3 維地形變化量	3-10
圖 3-4 剖面 2(如圖 3-1 之說明)	3-12
圖 3-5 剖面 3(如圖 3-2 之說明)	3-14
圖 3-6 剖面 4(如圖 3-1 之說明)	3-16
圖 3-7 剖面 5(如圖 3-2 之說明)	3-18
圖 3-8 -15m 等水深之離岸距離、前四個特徵向量與以各成份所計算離岸距離之 3 維變化量	3-21
圖 3-9 -10m 等水深(如圖 3-6)	3-23
圖 3-10 -5m 等水深(如圖 3-7)	3-25
圖 3-11 -3m 等水深(如圖 3-7)	3-27
圖 3-12 0m 等水深(如圖 3-7)	3-29
圖 3-13 +2m 等水深(如圖 3-7)	3-31
圖 3-14 經驗正交法分析二維空間水深之前第四個特徵向量	3-32
圖 3-15 以外力年平均值預測剖面 1 地形	3-40
圖 3-16 以外力年平均值預測剖面 3 地形	3-41
圖 3-17 以各種外力年平均及月最大值預測剖面 1 地形	3-43
圖 3-18 以外力年平均及月最大值預測剖面 3 地形	3-44

圖 3-19 以外力年平均預測-15m 等水深之離岸距離	3-47
圖 3-20 以外力年平均預測-5m 等水深之離岸距離	3-48
圖 3-21 以各種外力年平均及月最大值預測-15m 等水深之離岸距離	3-49
圖 3-22 以外力年平均及月最大值預測-5m 等水深之離岸距離	3-50
圖 3-23 以 F_s 外力因子之年平均值預測地形高程之誤差	3-52
圖 3-24 以 F_s 年平均值及月最大值預測地形高程之誤差	3-53
圖 4-1 臺中港北防波堤與北防沙堤灘線變化圖 (1996 年至 2006 年)	4-1
圖 4-2 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(I) (自 1996 年至 2002 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)	4-2
圖 4-3 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自 2002 年至 2006 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$)	4-3
圖 4-4 臺中港北淤砂區侵淤量累積曲線圖	4-4
圖 4-5 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(II) (自 1996 年至 2002 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)	4-8
圖 4-6 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(III)(自 1996 年至 2002 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)	4-12
圖 4-7 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(I)(自 2002 年至 2006 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)	4-14
圖 4-8 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(II)(自 2002 年至 2006 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)	4-16
圖 4-9 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測比較(III)(自 2002 年至 2006 年, 沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)	4-20
圖 4-10 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自 1996 年至	

2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$).....	4-22
圖 4-11 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$).....	4-22
圖 4-12 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)	4-23
圖 4-13 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)	4-23
圖 5-1 漂沙整治方案配置圖	5-2
圖 5-2 冬季季風($H_s=2.1m$ ， $T_s=5.6sec$ ，N 向)流場分布圖(興建定沙突堤及延長攔沙堤配置).....	5-5
圖 5-3 夏季季風($H_s=0.9m$ ， $T_s=5.3sec$ ，W 向)流場分布圖(興建定沙突堤及延長攔沙堤配置).....	5-5
圖 5-4 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5m$ ， $T_s=9.8sec$ ，N 向)流場分布圖(採用興建定沙突堤及延長攔沙堤配置).....	5-6
圖 5-5 突堤上游灘線變化解析所使用之符號示意	5-7
圖 5-6 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (北防沙堤延伸和新建定沙突堤，2002 年至 2015 年).....	5-9
圖 5-7 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (延伸北防砂堤延伸和新建定沙突堤，2002 年至 2020 年).....	5-11
圖 6-1 地形變遷分析流程圖	6-2
圖 6-2 模擬範圍之地形水深(2004 年)	6-7
圖 6-3 臺中港測站位置圖	6-9
圖 6-4a 臺中港測站示性波高玫瑰圖(2004 年 8 月 1 日~2005 年 7 月 28 日).....	6-9
圖 6-4b 臺中港測站風玫瑰圖(2004 年 8 月 1 日~2005 年 7 月 28 日)	

.....	6-10
圖 6-5 臺中港潮位驗證	6-12
圖 6-6 北防波堤堤頭侵淤量驗證(2004~2005 年)	6-12
圖 6-7 堤頭附近侵淤狀況(Sutherland 等人，1999)	6-13
圖 6-8 地形剖面驗證位置示意圖	6-14
圖 6-9 Line 1 剖面驗證	6-14
圖 6-10 Line 2 剖面驗證	6-15
圖 6-11 Line 3 剖面驗證	6-15
圖 6-12a 臺中附近海域波場分布，參考潮位：臺中港漲潮	6-16
圖 6-12b 臺中附近海域潮流分布，參考潮位：臺中港漲潮	6-16
圖 6-13 臺中港衛星影像圖(2004/09/29 09:42)	6-17
圖 6-14a 臺中附近海域波場分布，參考潮位：臺中港退潮	6-17
圖 6-14b 臺中附近海域潮流分布，參考潮位：臺中港漲潮	6-18
圖 6-15 臺中港衛星影像圖(2005/03/06 10:41)	6-18
圖 6-16 Case 1 配置	6-19
圖 6-17 Case 3 配置	6-19
圖 6-18 北淤沙區侵淤量(Case 1)	6-20
圖 6-19 北淤沙區侵淤量(Case 3)	6-20
圖 6-20 各方案 Line 1 剖面比較	6-21
圖 6-21 各方案 Line 2 剖面比較	6-22
圖 6-22 各方案 Line 3 剖面比較	6-22
圖 7.1 海岸防護對策之流程	7-4

表目錄

表 1-1	侵淤量與河川輸沙量之相關性	1-4
表 2-1	梧棲測站氣象資料觀測統計表	2-1
表 2-2	各月侵台颱風之次數及頻率統計表	2-9
表 2-3	臺中港波浪觀測站資料彙整表	2-12
表 2-4	南外廓防波堤南側海域(4 測站)波高週期機率分布統計表	2-15
表 2-5	南外廓防波堤南側海域(4 測站)波高超越機率比較表.....	2-16
表 2-6	北外廓防波堤堤頭 TC.1 測站波高週期機率分布統計表..	2-16
表 2-7	北外廓防波堤堤頭 TC.1 測站波高波向機率分布統計表..	2-17
表 2-8	南外廓防波堤西南側錨泊區 TC.2 測站波高週期機率分布統計表	2-17
表 2-9	南外廓防波堤西南側錨泊區 TC.2 測站波高週期機率分布統計表	2-18
表 2-10	北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站波高週期機率分布統計表.	2-19
表 2-10	北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站波高週期機率分布統計表(續 1)	2-20
表 2-10	北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站波高週期機率分布統計表(續 2)	2-21
表 2-11	北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站波浪特性統計表	2-21
表 2-12	臺中港外海颱風波迴歸分析統計表	2-23
表 2-13	臺中港海流觀測站資料彙整表	2-23
表 2-14	北外廓防波堤第一期擴建後各測站流速分布統計表	2-25

表 2-15 歷年計畫區鄰近水深觀測概況表	2-27
表 2-16 烏溪 1992 年至 2005 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量	2-30
表 2-16 烏溪 1992 年至 2005 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量 (續)	2-31
表 2-17 大安溪 1993 年至 2007 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量	2-32
表 2-17 大安溪 1993 年至 2007 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量 (續)	2-33
表 2-18 烏溪 1998 年至 2005 年之河川總輸沙量	2-35
表 2-19 大安溪 1993 年至 2007 年之河川總輸沙量	2-36
表 3-1 5 個剖面之前四個特徵值與前 10 個之之比值(%).....	3-8
表 3-2 不同等水深之離岸距離之相對前四個特徵值比 (%).....	3-19
表 3-3 以年平均值所預測 6 個剖面地形之檢驗標準(單位:m).....	3-41
表 3-4 以年平均值及月最大值所預測剖面地形之檢驗標準(單位:m)	3-44
表 3-5 以年平均值所預測各等水深之離岸距離之檢驗標準(單 位:m).....	3-45
表 3-6 以年平均值及月最大值預測等水深離岸距離之檢驗標準(單 位:m).....	3-51
表 3-7 以二維經驗正交函數預測地形之檢驗標準(單位:m).....	3-54
表 4.1 GENESIS 模式參數校核分析方法.....	4-5
表 4-2 GENESIS 灘線模式參數.....	4-5
表 4-3 GENESIS 模式之冬、夏季代表波浪計算條件	4-6

表 4-4	GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較 (I).....	4-6
表 4-5	GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件	4-7
表 4-6	GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較 (II).....	4-8
表 4-7	GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件.....	4-9
表 4-8	GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形之比較 (III).....	4-11
表 4-9	GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (I)	4-13
表 4-10	GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件	4-16
表 4-11	GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (II).....	4-17
表 4-12	GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件	4-17
表 4-13	GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (III).....	4-19
表 5-1	以突堤上游灘線變化理論計算灘線淤積至堤頭之時間	5-8
表 5-2	以突堤上游灘線變化理論計算灘線淤積至堤頭之時間	5-10
表 6-1	網格設定內容	6-8
表 6-2	模式模擬時間	6-8

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

港灣建設破壞了原有漂沙平衡機制，而常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。為達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標。本研究針對臺中港鄰近海域漂沙現象進行一系列之研究，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。其研究範圍如圖 1-1 所示：

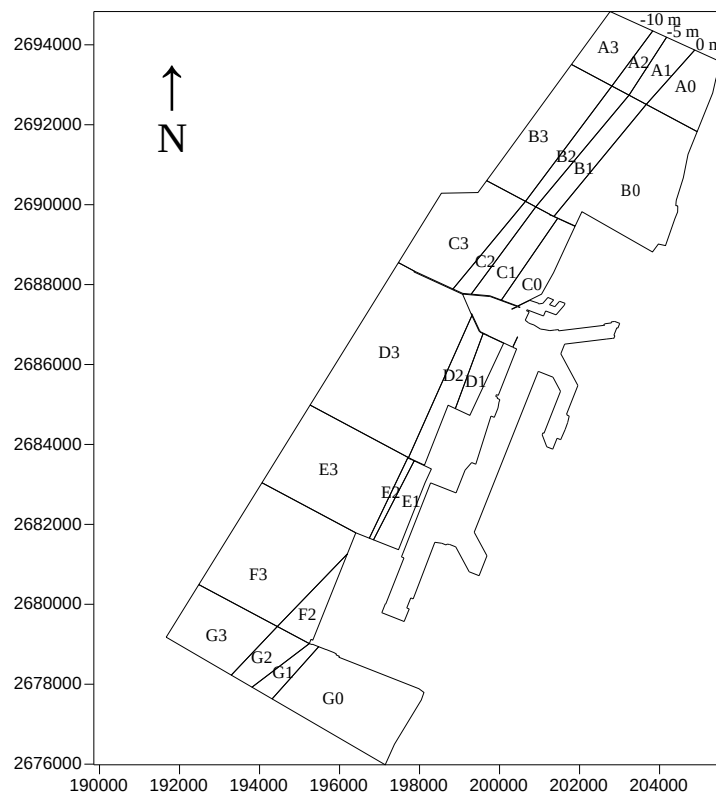


圖 1-1 臺中港附近海岸地形圖

臺中港務局於臺中港 1976 年建港後，針對臺中港鄰近海域漂沙現象進行一系列之研究。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砂整治規劃研究 (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可行性研究 (2007)。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產生影響。為解決臺中港北側淤積問題，港區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可行性研究 (2007) 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，為海岸提供更充足的沿岸漂沙，如 2008 年薔蜜颱風及辛樂克颱風。

第一年計畫中研究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 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。根據以上分析項目得到以下幾點結論：

1.本研究經侵淤分析發現，除了 2000 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 2006 年達到最大累積淤積量，約 7650.22 萬 m³。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，目前因漂沙越過臺中港，亦於 94 年後由侵蝕轉為淤積。其臺中港附近地形侵淤變化圖 (1996 年~2006 年) 如圖 1-2 所示：

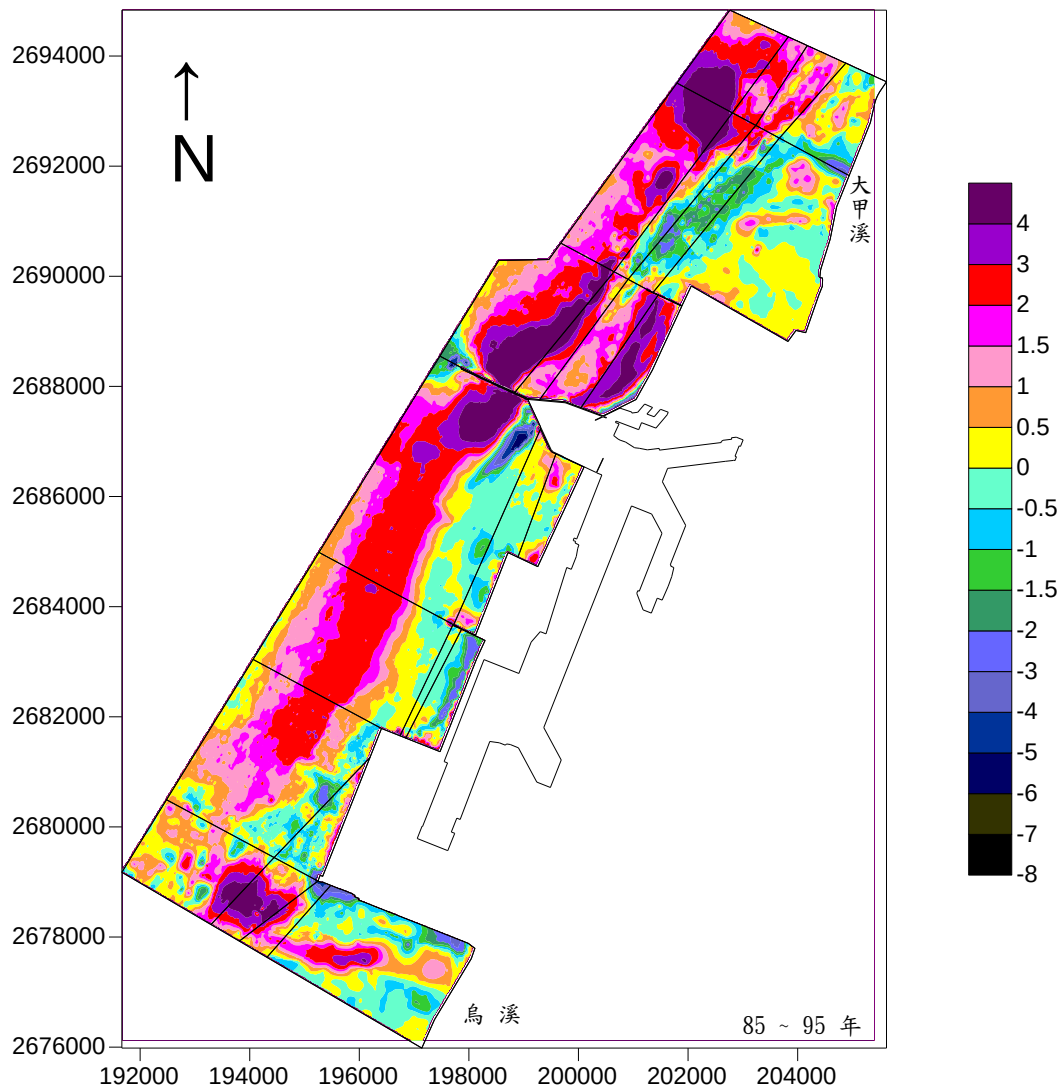


圖 1-2 臺中港附近地形侵淤變化圖 (1996 年~2006 年)

2.若從北防波堤北側侵淤量與大安溪輸沙量分析漂沙特性，在 A1 區近岸侵淤量與大安溪較 B1 還有高相關係數，而在 C1 區反而與大安溪

輸沙量有負的相關性，此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值相關性，此顯示大安溪輸沙量直接留在此三區少，可能因為有沿岸或向離岸海岸輸沙而造成，造成遠岸地形與河川輸沙量有薄弱相關的原因。其結果如表 1-1 所示：

表 1-1 侵淤量與河川輸沙量之相關性

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

(Rd 及 Rw 分別為大安溪與烏溪兩條河川之年輸沙量)

3.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，此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，但因為波浪所造成的沿岸輸沙為由北往南移動。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。

4.本研究利用 1993 年至 2003 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，以分析臺中港北堤以北至大甲溪河口處的灘線變遷，並加入了臺中港務局 1996 至 95 年間的地形實測資料進行長期的灘線變遷分析，其結果顯示臺中港北堤至北攔沙堤間的沙灘段自 1993 年開始由於臺中港北堤的擴建

工程而持續有淤積的現象直至 2004 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 1993 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 1-3 所示：

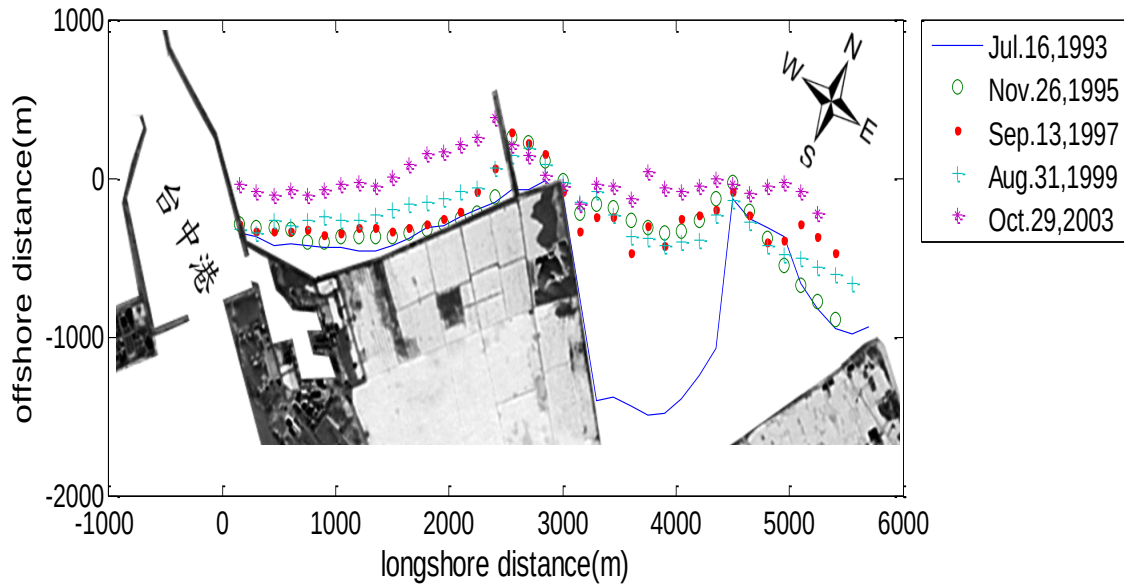


圖 1-3 衛星影像中擷取的平均水位灘線位置

5.本研究以 GENESIS 灘線模式預測灘線，以 85 年灘線為起始灘線模擬至 91 年灘線地形。沿岸輸沙量在 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下（ α ：透過率； Q ：沿岸輸沙量），GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料相吻合。分析北防波堤堤址附近處呈現最大灘線向外海成長距離約 387 公尺，北防砂堤與北防波堤間之灘線向外海成長距離約為 523 公尺，北防砂堤堤址附近灘線向外海成長距離約為 164 公尺，其模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 26 公尺，其標準差為 26.98 公尺。此外，以 91 年配置條件及灘線為起始條件，模擬 91 至 95 年之灘線變化，研究中以 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 計算所得之灘線，其向外海成長距離將大於實測之海岸地形。在降低沿岸輸沙量條件下，以 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$ 為計算條件有較佳的灘線模擬結果，其模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 39.9 公尺，其標準差為 41.44 公尺。若假設大甲溪輸沙量未改變狀況下，比較 85 年至 91 年北防波堤未完全延伸與 91 年至 95 年北防波堤延伸後之沿岸漂沙量結果顯示，91 年

後北防波堤與北防沙堤間的蓄沙能力有降低的趨勢。其結果如圖 1-4 及圖 1-5 所示：

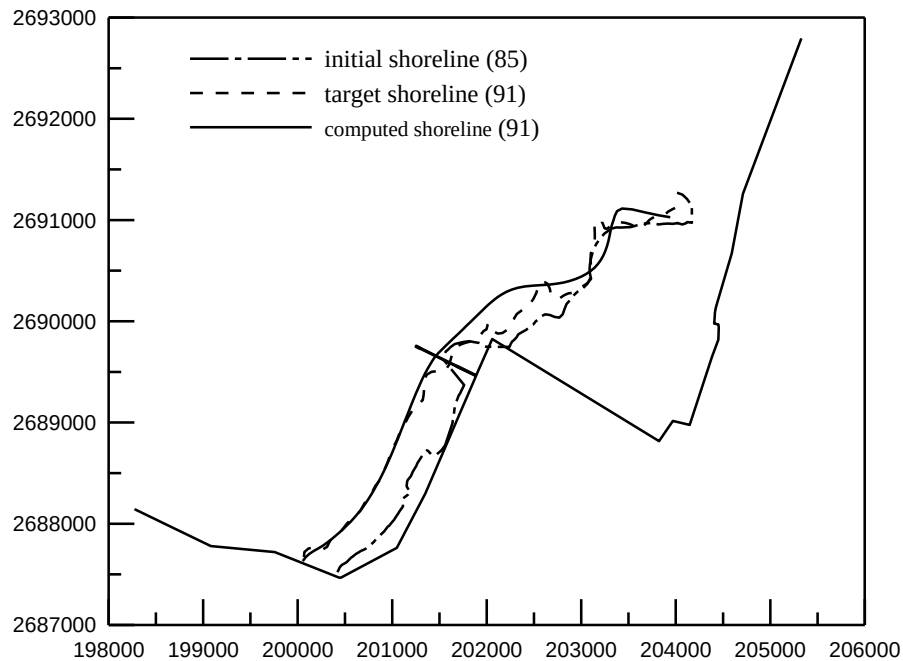


圖 1-4 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

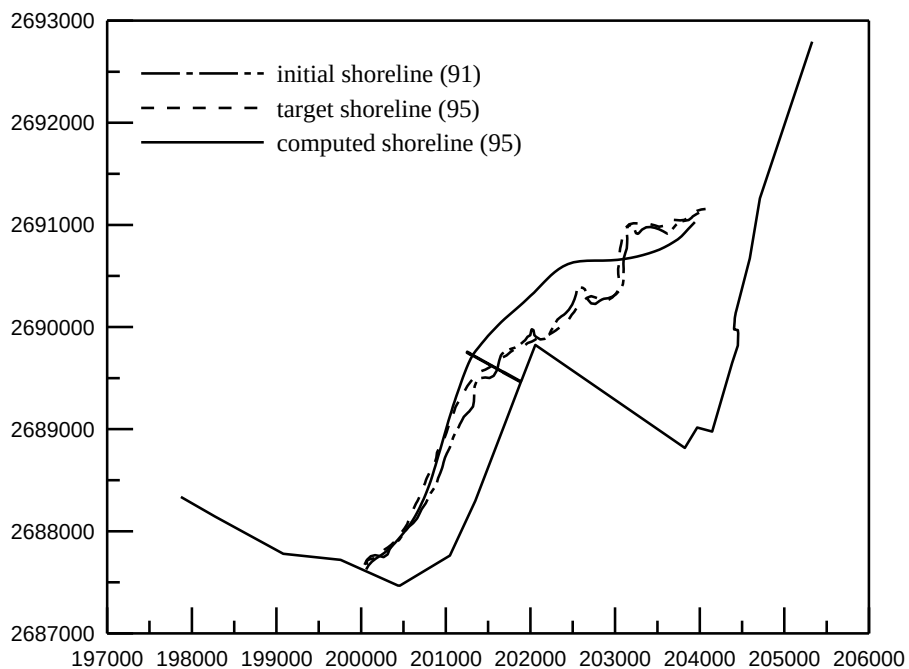


圖 1-5 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$)

- 6.經由二維地形輸沙數值模擬，臺中港附近海域冬季季風輸沙潛量為漂沙由北往南輸送，受到北防波堤的阻擋，在堤頭處產生分岔，一部份轉回向北一部份則跨越港口向南側輸送。夏季季風輸沙潛量為漂沙由南往北輸送，然由於夏季季風波浪較小，故沿岸輸沙無法跨越北防波堤。由 10 年迴歸期颱風所得之輸沙潛量為漂沙由北往南輸送，且由於颱風波浪較大，故可順利跨越北防波堤而免於被防波堤阻隔。
- 7.本研究對漂沙整治之方案進行分析，同時新建定沙堤及延長攔沙堤的設置（如圖 1-6 所示）將有較明顯的蓄沙表現。以突堤上游灘線變化的理論計算灘線淤積至堤頭之時間（ $\alpha Q=250 \times 10^4 m^3 / yr$ ， $\alpha Q=125 \times 10^4 m^3 / yr$ ），在平均防沙堤透過率為 0.5 狀況下，所得結果為 2.7 年及 5.6 年。

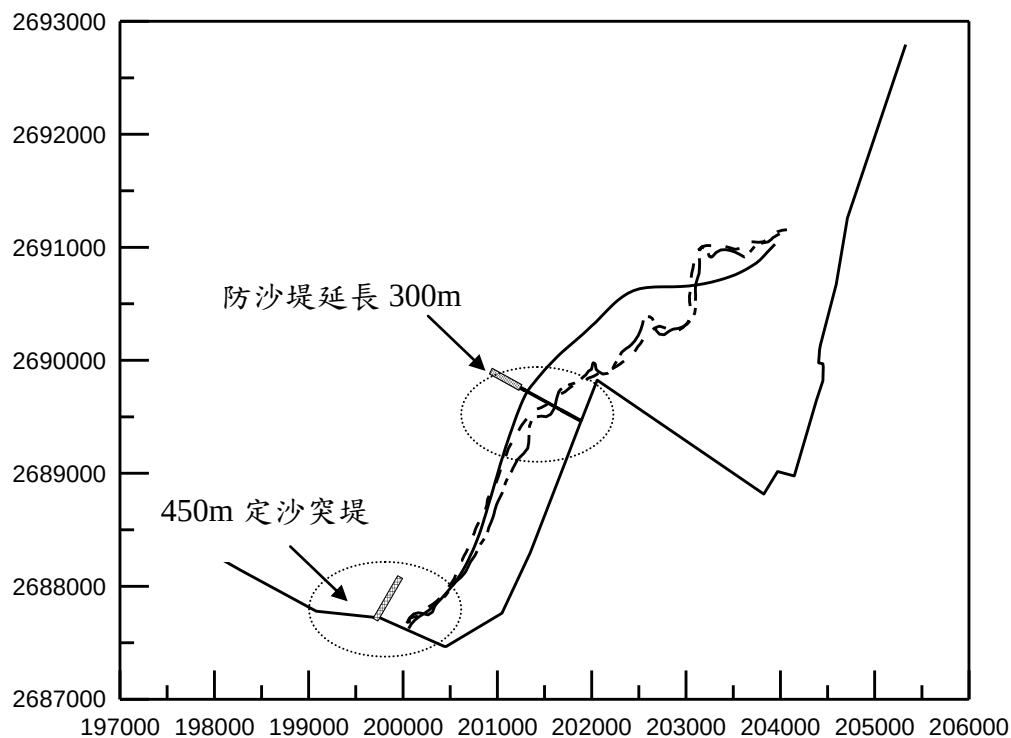


圖 1-6 漂沙整治新建方案配置圖

本研究為第二年度計畫，透過歷年實測的地形資料配合經驗正交函數法的運算方法，瞭解海岸在時間及空間的變化情形。此外，由海象及地象資料之基本分析與統計、衛星影像分析、灘線變遷及海域漂沙數值模式模擬臺中港附近灘線在未來改善結構物佈置下之地形變化

特性，並提出未來改善海岸侵淤防治對策。藉由此研究過程，提出海岸防護對策流程，進而提供預測海岸變化之趨勢。

1.2 研究內容

本研究分四年進行，現為計畫第二年度，計畫主要內容為以一維及二維之經驗正交特徵模式來分析探討臺中港附近海域漂沙之特性及外力影響因子，藉由分析後可預測地形變化。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。

(1) 收集往昔研究此基地之文獻及整理分析其研究成果。

(2) 分析臺中海域之波浪波高及週期之統計特性。每日、每月示性波高及週期特性。

(3) 分析臺中海域之潮汐特性。

(4) 收集此基地之水文資料。

(5) 分析附近河川流量與輸沙量。

(6) 收集臺中海域之地形資料，分析此海岸基地之地形變化特性。

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。

(1) 由衛星影像資料擷取海岸線以分析海岸線變遷之趨勢。

(2) 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臺中港南北海岸變化之適用性。

- (3)分析探討臺中港南北海岸變化之漂沙運動機制。
- 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。
- (1)以 MIKE21 初步建立臺中港南北海岸之二維波浪及流場之格網。
- (2)以 MIKE21 模擬臺中港南北海岸之二維波浪及流場。
- 4.探討臺灣中西部港灣上、下游侵淤與河川輸砂與海氣象條件之相關性。
- (1)由統計方法建立地形變化特性與海氣象及河川流量與輸沙量之關係。
- 5.依據臺灣中西部港灣附近海域水理機制評估改善海岸侵淤防治對策。
- (1)依地形變化特性及波浪與流場特性評估幾種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。
- (1)以一般原則分析所提改善海岸侵淤防治對策之效益。

第二年（99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.建立一維及二維正交特徵法模式，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遷趨勢。
- 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之地形變遷。

第三年（100 年）：研究臺中港附近海灘之飛沙特性

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。

(1)廣泛蒐集分析現有國內外各式相關調查資料、研究報告。

(2)將臺中港附近海岸依其走向、地形、植生、溼度、沉積物、砂源等因素分成不同段落、區域，並擇定具代表性海岸段繪製剖面，作為初步評估風砂搬運情形之依據。

(3)藉由衛星圖等資料之比對植被與後灘寬度與面積，以瞭解風成地貌成因，評估飛砂移動趨勢與可能強度。

2.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，計算風砂移動量。

(2)推算飛砂佔臺中港附近海岸漂沙之影響程度。

3.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)提出改善海岸飛砂之方案。

(2)比較防治效果分析。

4.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）：整體防護臺中港附近海岸侵淤之對策

1.根據海岸漂沙及海灘飛沙之特性提出親水生態與工程安全之整合性防治方案。

(1)以問卷及專家會議討論出此段海岸之親水生態與工程安全需求。

(2)提出整體防護臺中港附近海岸侵淤之對策。

(3)評估所提侵淤之對策對附近海岸之影響。

2.依據研擬定案之防護工法內容，進行工程細部設計及相關工程施工細部計畫。

1.3 研究方法

本研究為第二年度計畫，以正交特徵函數模式及二維地形數值方法探討臺中港海岸變遷特性。以往學者在探討海岸地形變化時，大多藉由漂沙量的變化情形來研究海岸地形的變遷方式與型態，因而研究的方法多是使用實測地形配合波浪有關的漂沙量計算公式，其探討過程較為煩瑣，故若能將實測的地形資料配合經驗正交函數法 (empirical orthogonal function, EOF) 的運算方法，則能輕易瞭解海岸在時間及空間的變化情形。

應用經驗正交函數分析地形變化開始於斷面變化的研究，Winant 等人 (1975) 及 Winant 和 Aubrey (1976) 首先將經驗正交函數應用於海灘斷面變化的分析，他們發現前三個模態的空間特徵函數分別代表平均斷面、沙洲－平台(bar/berm) 及低潮位的台梯 (terrace)。Clarke 和 Eliot (1982) 及 Clarke 等人 (1984) 利用 EOF 分析沿岸地形變化特性。Miller 和 Dean (2007a, b) 探討全球四個海岸地區之 EOF 時空變化特性及其與波浪特性的關係。

Hsu 等人 (1986) 擴展 Hashimoto 和 Uda (1980) 之模式，以二維理論同時解析向、離岸及沿岸 EOF 之變化情形，並配合馬可夫過程 (Markov process) 及線性迴歸 (linear regression)，進行海灘地形變化預測。Hsu 等人 (1994) 改進 Hsu 等人 (1986) 的模式提出較簡便之模式來分析海岸結構物附近地形之變化特性。Bird (1996) 應用 EOF 分析每年一次的海灘實測資料，提出應用時間平均的經驗正交函數第一個模態可以代表海岸水深的平均位置；應用空間平均的特徵函數發現第一

個模態為常數，第二及第三模態可能可以觀察出海洋震盪或是其他自然訊息。Horikawa (1998) 應用 EOF 從事相關研究發現，第一模態可以代表海岸線的平均變化，假設海岸的漂沙沈積對海岸變化影響較小的情況下，第一模態當作時間常數去預測海灘變化的結果非常趨近於用實測數據所描繪的沿岸地形。王及張(2009)以一維及二維之 EOF 計算地形資料的結果探討新竹漁港附近之沿岸地形變異量。

本文應用經驗正交函數法，分析臺中港附近海域，非固定間距之實測地形資料，一方面以異於往昔學者研究沿岸變化的分析方法，探討等深線的變化，另一方面以不同於 Hsu 等人 (1994) 的二維模式，來探討研究區域整體的地形變化特徵。此外，本研究擬探討在未來改善結構物佈置下造成的之地形變遷，提出改善建議方案，評估改善方案之效果，並找出海岸防護對策之流程，俾提供施政以及工程單位之參酌。

在防治對策的評估上，使用一維之 GENESIS 單線模式進行岸線預測模擬。在水動力模擬方面，本研究以丹麥 DHI 研發之 MIKE 21 水力數值模擬軟體中之近岸波場模式(NSW)進行波浪場模擬，此模組係應用選定之綜合波浪統計資料為邊界條件，藉以計算模擬局部海域之波浪場與輻射應力分布。輻射應力為波浪引起近岸流之主要動力，且為局部海域海流模擬計算時之主要波浪特性參數。本研究接著以 MIKE 21 之 HD 模組進行近岸流場模擬，該項海域二維水動力模組之計算，係應用 MIKE 21 之 NSW 模擬計算所得波場及輻射應力之成果，作為流場計算之波浪條件及邊界條件。本研究最後以 MIKE 21 之 ST 模組模擬計算受局部海域之水動力與波浪引起之漂沙潛量(sediment transport capacity)，將前述所得之波場、輻射應力及流場計算成果，作為模擬臺中港附近海域之近岸漂沙潛量。研究中並依據數值模擬計算，評估不同防治對策下，漂沙防治之效益。

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。第二章為自然環境基本資料蒐集分析，蒐集有關臺中港鄰近範圍之氣象、海象及海域水深地形條件。第三章為地形變遷之二維經驗正交特徵模式建立與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地形變化之預測模式。第四章為灘線侵淤變化分析。第五章為防治對策方案研擬及灘線預測評估，以一維灘線模式探討北側淤沙區之整治方案下，漂沙防治對策評估。第六章為以二維數值模式模擬漂沙防治對策之地形變遷評估。第七章為海岸防護對策流程建立與模式適用條件，第八章則為本研究之參考文獻。

第二章 自然環境基本資料蒐集分析

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 LNG 接收站暨臺中至大潭海管新建計畫可行性研究；(3) 2005 年港灣海氣地象觀測資料年報 (風力及波浪部分)；及(4)臺中港港口第二期擴建工程規劃等相關資料，茲整理說明如後。

2.1 氣象條件

臺中港區基本氣象資料係以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)。

表 2-1 梧棲測站氣象資料觀測統計表

月份	平均降雨量 (mm)	平均降雨日數 ($\geq 0.1\text{mm}$)	平均日照時數 (hour)	平均氣壓 (mb)	平均溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	相對濕度 (%)
1	28.5	6.1	148.6	1016.6	15.9	77.7
2	84.5	10.3	109.6	1015.6	15.8	79.6
3	106.1	11.3	121.5	1013.3	18.4	80.3
4	131	10.5	143.9	1010.3	22.3	78.9
5	222.5	11	163.2	1007	25.3	80.2
6	217.7	10.8	188.3	1004.5	27.8	79.6
7	165.9	8.6	234.3	1003.8	29	77.4
8	213.2	10.7	206.6	1002.7	28.7	78.5
9	68.7	5.5	191.7	1006	27.3	77
10	9.9	2.3	196.7	1010.3	24.4	75
11	15.5	2.9	155.8	1013.7	21.2	75
12	20.9	3.7	158.1	1016.6	17.7	75.3
年合計	1284.4	93.7	2018.3	—	—	—
月平均	—	—	—	1010	22.8	77.9

a.降雨

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 90.5 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。

b.日照時數

梧棲地區平均日照時數共有 2018.3 小時，其中 7 月份較多，達 234.3 小時，2 月份最少，僅 109.6 小時。

c.氣壓

梧棲地區年平均氣壓為 1,010 mb，其中以 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。

d.溫度

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

e.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。

f. 風力

臺中港自 1971 年起陸續設有 4 個風力測站，分別為位於北防波堤堤根處(即梧棲漁港後側)之「A 測站」；海港大樓頂端之「B 測站」(即中央氣象局梧棲測站)；防風林中消防隊觀測塔頂之「C 測站」及北防波堤堤頭處之「D 測站」。另外，交通部運輸研究所港灣研究技術中心(以下簡稱港研中心) 2001 年 6 月於北防風林處架設「風速風力觀測站 7」。各風力觀測站位置詳圖 2-1 所示。

依據蒐集(1)北防坡堤堤頭(D測站)(以下簡稱一期擴建堤頭測站)相關研究報告；(2)中央氣象局梧棲測站(B 測站) (以下簡稱梧棲測站)自2001年1月~2008年2月風力觀測資料；(3)本所港研中心北防風林處(測站7)(以下簡稱防風林測站)「2005年臺灣海氣地象觀測資料年報」及2001年7月~2003年12月風力觀測資料，以及(4)臺中港務局(中油公司代辦)2007年7月~2008年1月風力觀測資料進行臺中港區風力統計分析。

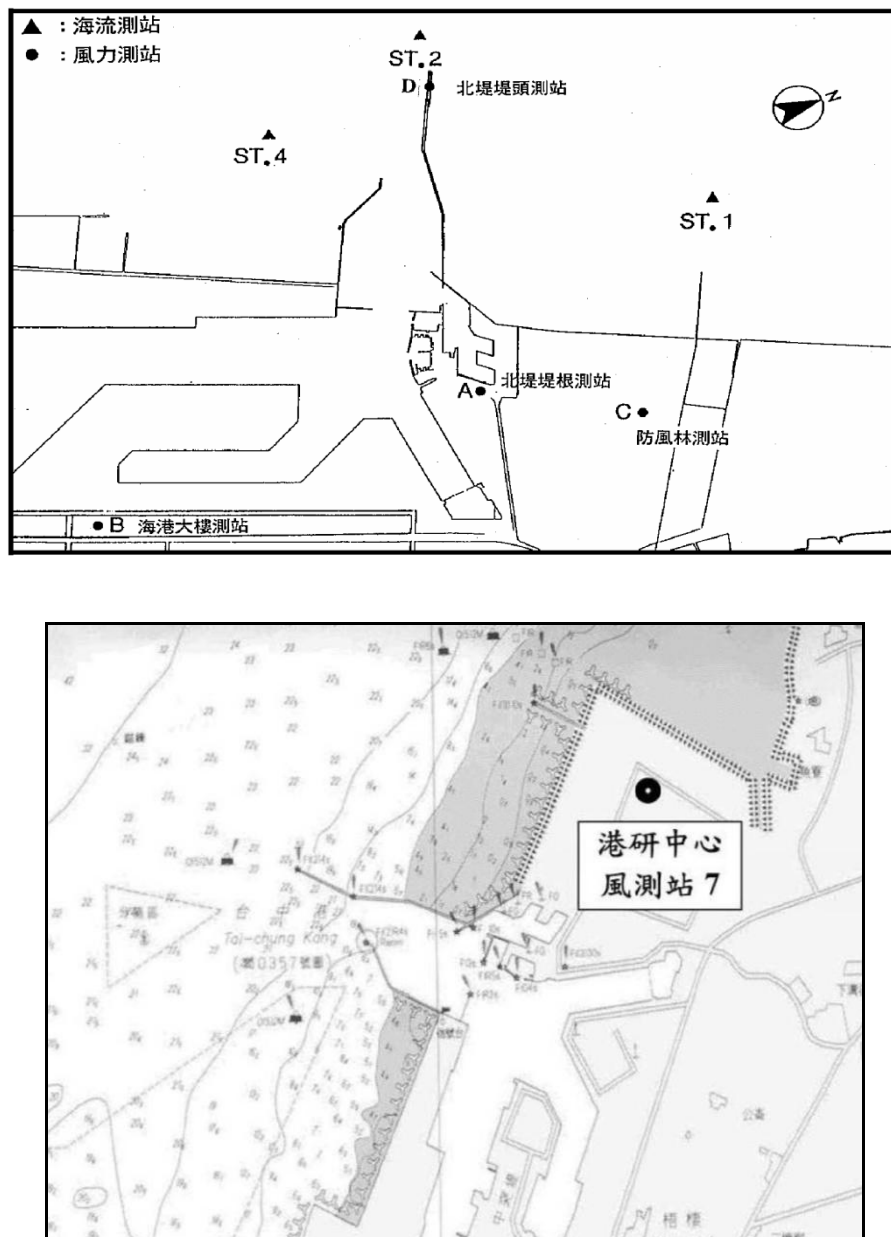


圖 2-1 臺中港風力觀測站位置示意圖

一、風速、風向機率分布

1. 一期擴建堤頭測站

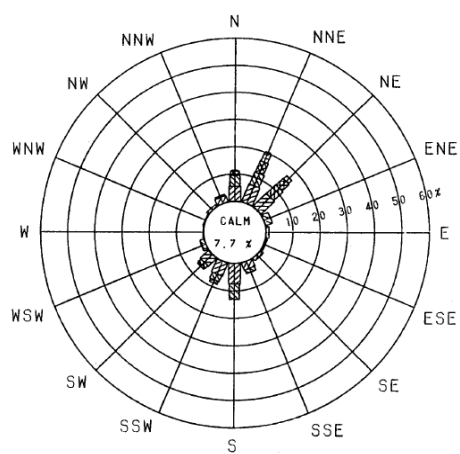
依據「臺中港 LNG 接收站暨臺中至大潭海管新建計畫可行性研究」統計 1996 年 9 月至 1998 年 7 月之風力觀測資料，全年期間平均風速約 9.4m/sec，風向以 NNE 向為最多，約佔 33.7%，其次為 NE 向約佔 25.7%，而風速大於 10m/sec 約佔 38.5%、大於 15 m/sec 約佔 17.3%。

夏季期間平均風速約 6.2m/sec，風向為多向性，主要風向 NNE 向約佔 19%，其次為 NE 向約佔 15.3%，S 向約佔 13.9%，而風速大於 10m/sec 約佔 17.3%、大於 15m/sec 約佔 5.6m/sec。冬季期間平均風速約 11.4m/sec，主要風向為 NNE 向，約佔 42.7%，其次為 NE 向約佔 32.1%，而風速大於 10m/sec 約佔 51.7%、大於 15m/sec 約佔 24.5%。

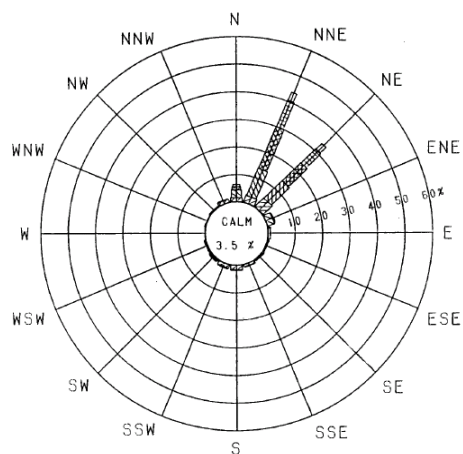
另外，依 1999 年「臺中港港口第二期擴建工程規劃」，圖 2-2 為夏、冬季及全年之風玫瑰圖。夏季期間以 NNE、NE 向發生機率最多，平均風速為 5.5m/sec，冬季期間以 NNE、NE 向發生機率最多，風速分布較強，平均風速為 10.5m/sec。全年以 NNE、NE 向發生機率最多，平均風速為 8.6m/sec。

2. 梧棲測站

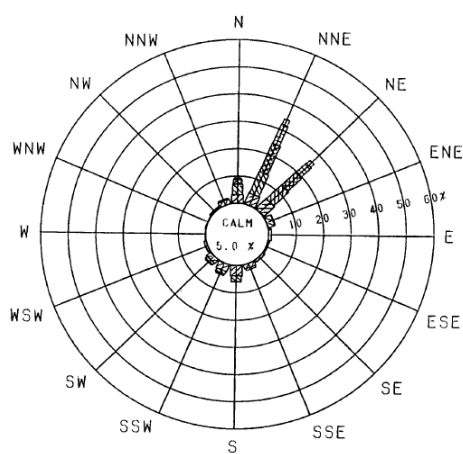
根據中央氣象局梧棲氣象站 2001 年 1 月～2008 年 2 月之風速、風向觀測資料統計分析可知，梧棲地區歷年主要風向為 N 向，約佔 36.6%。9 月至翌年 5 月主要風向為 N 向，而 7、8 月份受颱風影響造成風向分布以 SSE 向為最多。梧棲地區冬季期間主要風向為 N 向，約佔 54.67%，風速小於 12m/sec 之累積機率約佔 97.65%。夏季期間主要風向為 N 向，約佔 21.83%；其次為 SSE 向，約佔 11.45%，風速小於 12m/sec 之累積機率約佔 99.21%。依據中央氣象局梧棲氣象站觀測資料繪製梧棲氣象站各月風玫瑰圖如圖 2-3 所示。



夏季

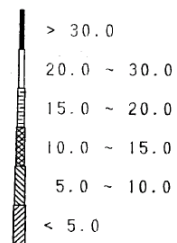


冬季



全年

LEGEND :



WIND SPEED (M/SEC)

圖 2-2 北防波堤堤頭風玫瑰圖(1996~1998)

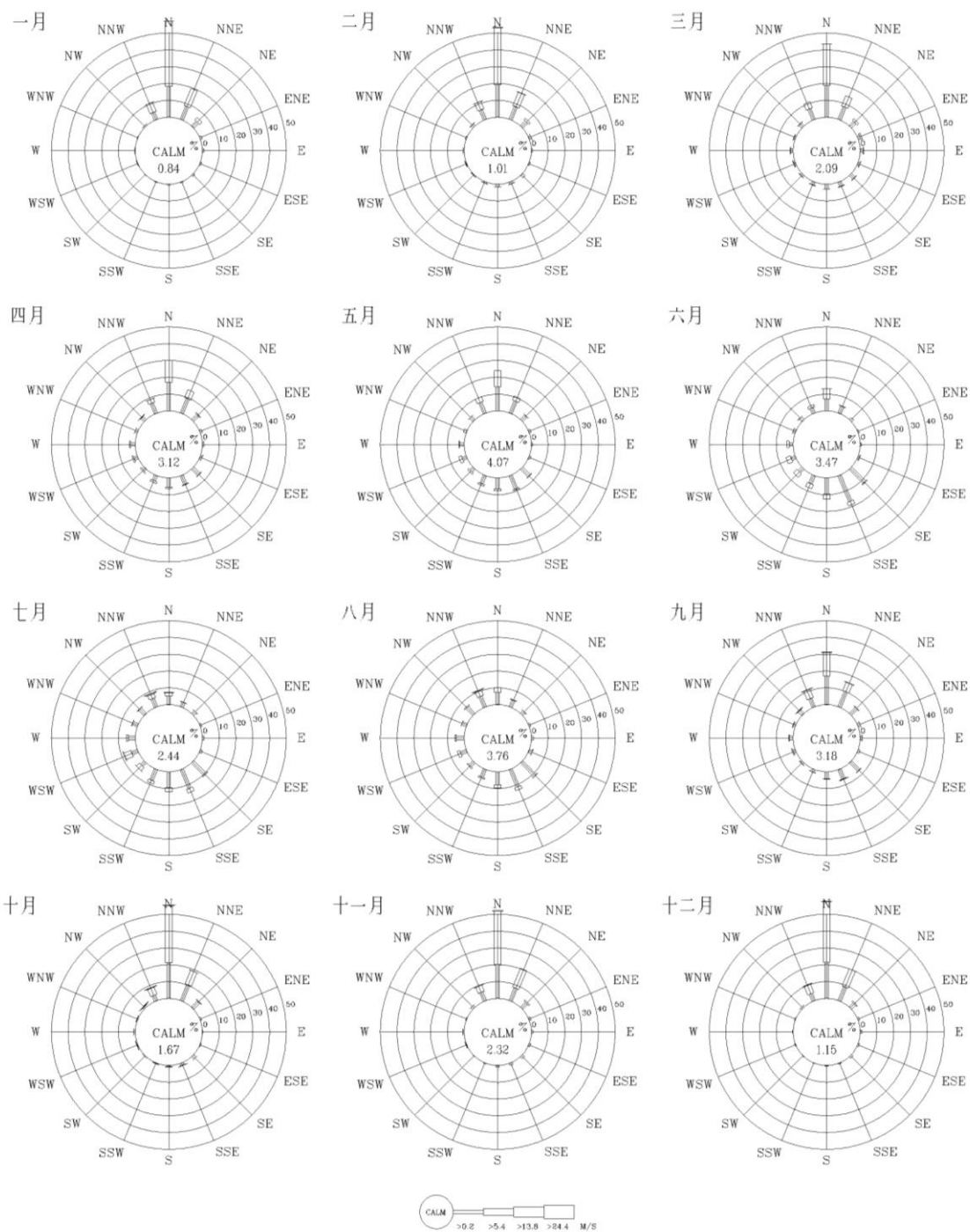


圖 2-3 梧棲測站各月風玫瑰圖(2001.01 月~2008.02)

3.防風林測站

依據「2005 年港灣海氣地象觀測資料年報」資料，圖 2-4 為北防風林處之各季、全年風玫瑰圖。由圖可知，全年主要風向為 NNE 向。除夏季期間受西南氣流影響，風向轉為 S~SW 向，且風速分布較小，約在 10m/sec 以下；冬、春及秋季風向多為 NNE 向及 NE 向，且風速分布較強，約在 15~20m/sec 間。

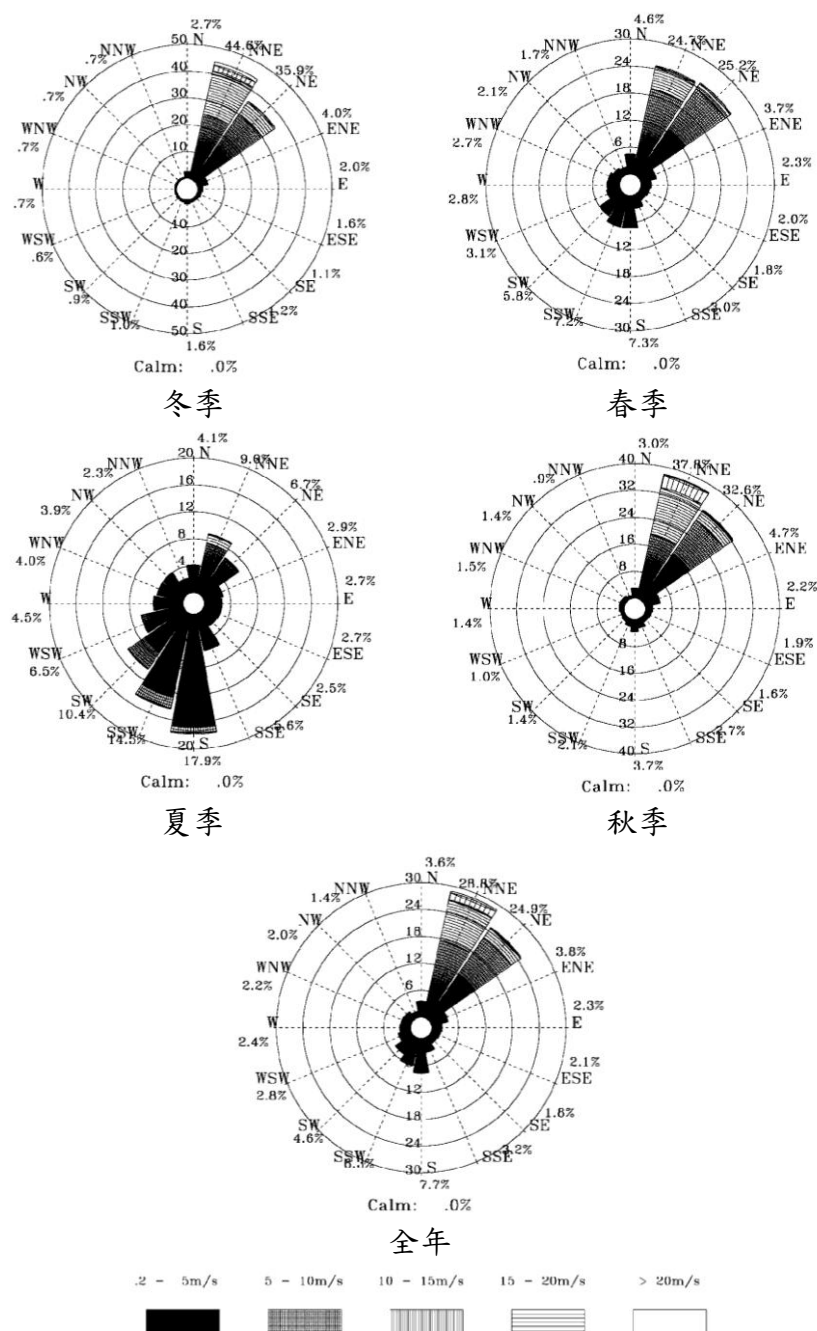


圖 2-4 防風測站處風玫瑰圖

4.二期擴建堤頭測站

圖 2-5 為二期擴建堤頭測站自 2007 年 7 月~2008 年 1 月風力觀測資料之風玫瑰圖。由圖可知，7~8 月間以 SSE 向為主要風向，風速大約為 5~10m/sec。9 月至翌年 1 月風力較強，風速約大於 20m/sec，風向以 NNE 向為主。

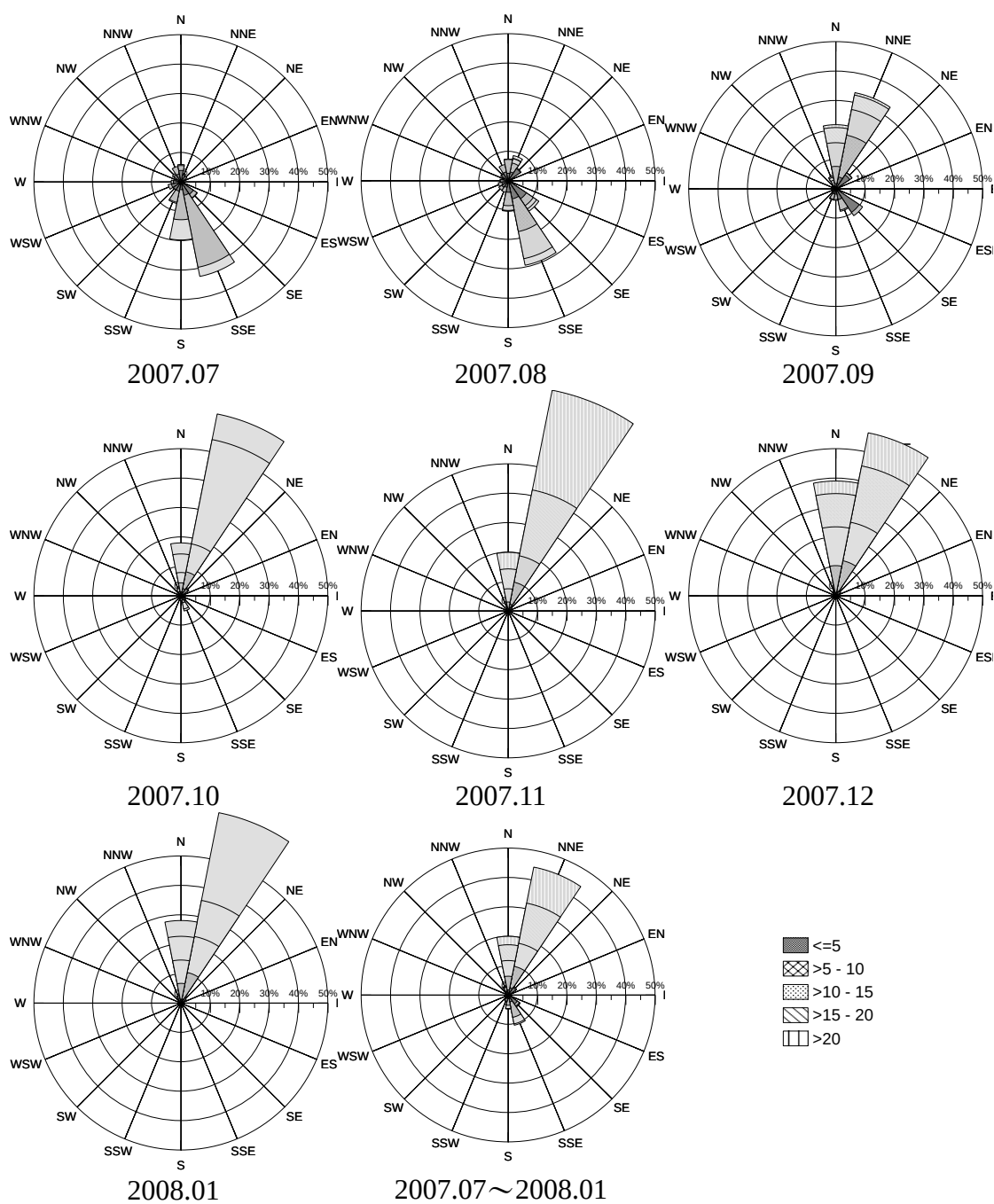


圖 2-5 二期擴建堤頭測站風玫瑰圖

g. 颱風

颱風為威脅台灣地區最嚴重之自然災害，歷年來因颱風損失之生命及財產不可勝數，尤其當颱風直接襲擊時，不僅影響海上船隻作業安全，更對海岸結構物造成極大之衝擊。茲根據中央氣象局所發佈於 1897～2008 年以颱風資料進行統計分析，相關分析成果則說明如后。

一、颱風侵台之頻率

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，各月侵台颱風總次數及頻率如表 2-2 所示。由該表可知，1897～2008 年之 112 年間，侵台颱風總數為 397 次，其中以 8 月份佔 119 次為最高，約佔總數之 30.0%；7 月份佔 97 次居次，約佔總數之 24.4%。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)。

表 2-2 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	0.0%	0.00
2	0	0.0%	0.00
3	0	0.0%	0.00
4	2	0.5%	0.02
5	15	3.77%	0.13
6	28	7.1%	0.25
7	97	24.4%	0.87
8	119	30.0%	1.06
9	91	22.9%	0.81
10	35	8.81%	0.31
11	9	2.27%	0.08
12	1	0.25%	0.01
合 計	397	100.0%	3.54

二、侵台颱風路徑

中央氣象局依據歷年颱風調查報告資料，將過去 112 年(1897～2008 年)間侵台颱風路徑大致劃分為 9 類，詳如圖 2-6 所示。

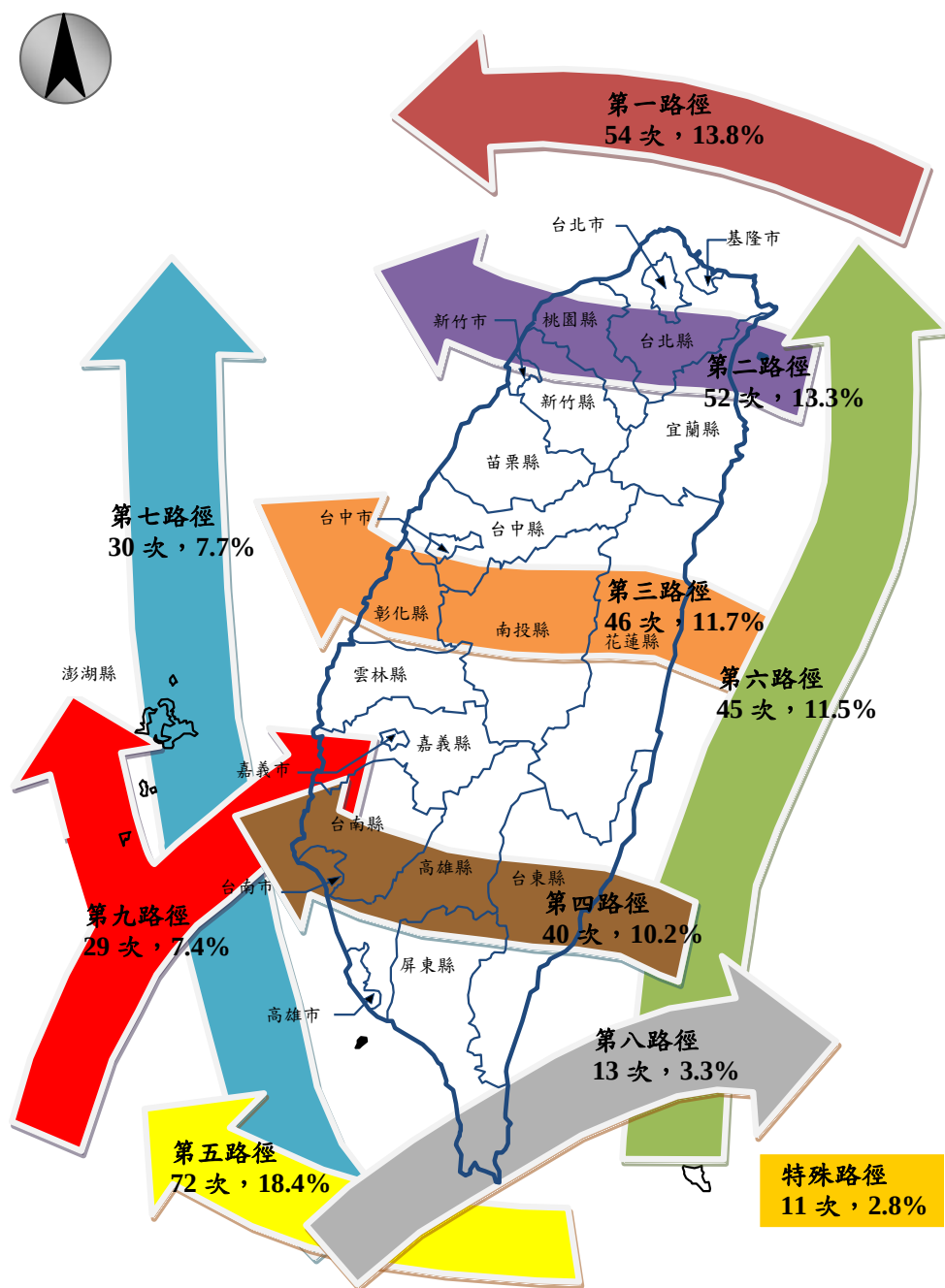


圖 2-6 侵襲台灣之颱風路徑統計圖(1897～2008)
(資料來源：中央氣象局圖書館歷年颱風調查報告)

三、影響計畫區附近之颱風

臺中港位於台灣西海岸之中部，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 2-6 之統計結果顯示，每年侵台颱風中約有 19.4% 直接影響臺中地區海域，即平均每年約有 0.69 個颱風將影響臺中港附近海域。

2.2 海象條件

2.2.1 潮汐

臺中港附近海域為典型之半日潮，每日有兩次高潮及兩次低潮。臺中港自 1971 年初工程局成立後，即安裝自動驗潮儀進行潮位觀測，潮位資料充足。有關潮位資料參考臺中港務局 2003 年 11 月之「臺中港港口第二期擴建工程設計」報告書，其統計 1971 年 3 月～1996 年 3 月合計 25 年潮位資料結果如下：

最高高潮位	H.H.W.L.	+6.48m (1996 年)
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T.	+4.93m
平均高潮位	M.H.W.L.	+4.45m
平均潮位	M.W.L.	+2.63m
平均低潮位	M.L.W.L.	+0.82m
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T.	+0.09m
最低低潮位	L.L.W.L.	-0.55m (1988 年)
平均潮差	Ave.Range	3.63m

另外，根據本所港研中心「臺中港港口擴建及航道浚深拓寬後操船模擬試驗」以 Log-Pearson Type III 法分析最高潮位發生頻率，臺中港區發生 50 年迴歸期之最高高潮位為 5.864m，其相當 1971 年 9 月 23 日所發生的最高高潮位 5.86m，故擬以 +5.86m 作為臺中港區之設計潮位。

2.2.2 波浪

一、季風波浪

臺中港波浪觀測始於 1971 年 7 月，設於北防波堤外低潮位下-19m 處，觀測站位置詳圖 2-7 之「X 測站」，該測站觀測資料至 1979 年 9 月停止觀測。1994 年臺中港北外廓防波堤第一期擴建 850m 後，本所港灣技術研究中心於臺中港港口附近海域架設 3 處海象觀測站，觀測站位置詳圖 2-7 之 1、2 及 4 測站。為了配合臺中港第二期北外廓防波堤擴建 480m 之工程成效評估，工業技術研究院能源與資源研究所於 2002 年 10 月架設 2 處長期波浪觀測站，測站位置詳圖 2-7 之「TC.1 測站」及「TC.2 測站」。表 2-3 為各波浪觀測站水深及觀測期間彙整表。目前本所港灣技術研究中心於北外廓防波堤堤頭附近架設「TC.A 波浪觀測站」，觀測期間自 2003 年 8 月迄今，測站位置詳圖 2-7 所示。

表 2-3 臺中港波浪觀測站資料彙整表

測站代碼	水深	觀測期間	備 註
X	-19m	1971 年 7 月～68 年 9 月	北外廓防波堤第一期擴建前
1	-15m	1994 年 9 月～84 年 12 月	北外廓防波堤第一期擴建後
2	-25m	1994 年 9 月～84 年 12 月	北外廓防波堤第一期擴建後
4	-11m	1994 年 9 月～84 年 12 月	北外廓防波堤第一期擴建後
TC.1	-	2002 年 10 月～92 年 6 月	北外廓防波堤第二期擴建後
TC.2	-	2002 年 10 月～92 年 7 月	北外廓防波堤第二期擴建後
TC.A	-25m	2003 年 8 月～迄今	觀 測 中

考慮計畫區工址位置及北外廓防波堤現況，蒐集鄰近相關之波浪觀測資料進行說明，為了避免觀測資料長度不足造成統計分析之誤差，本研究茲就第一期擴建後之 4 測站、第二期擴建後之 TC.1 及 TC.2 測站，以及目前持續觀測之 TC.A 測站波浪特性整理說明如后。

(一)南外廓防波堤南側海域(4 測站)

表 2-4 為臺中港南外廓防波堤南側海域 4 測站自 1994 年 9 月至 1995 年 12 月之全年及冬、夏二季波高週期聯合機率分布統計表。由表可知，冬季期間以波高為 0.5~1.5m 之機率最高，約達 68.7%，週期集中在 5~7sec 間，而冬季波高大於 1m 之機率約 55.3%、大於 1.5m 之機率約 18.8%。夏季期間以波高小於 1m 之機率為最高，約達 96%，週期集中在 4~6sec 間，而夏季波高大於 1m 之機率約 3.9%。

表 2-5 為臺中港第一期擴建後 4 測站波高超越機率比較表。由表可知，南外廓防波堤南側海域發生超越機率 90%以上之冬、夏季波高均小於 0.5m。

(二)北外廓防波堤堤頭(TC.1 測站)

臺中港北外廓防波堤堤頭 TC.1 測站觀測期間自 2002 年 10 月~2003 年 6 月，表 2-6 為北外廓防波堤堤頭波高週期機率分布統計表；表 2-7 為北外廓防波堤堤頭波高波向機率分布統計表。由表可知，北外廓防波堤堤頭附近之平均波高約為 1.27m，而波高發生大於 1m 以上之機率約 52.8%、大於 2m 以上之機率約 24.6%、大於 3m 以上之機率約 3.2%。平均週期約分布在 5~7sec 間，5~6sec 約佔 60.5%、6~7sec 約佔 30.8%。波向以 NNE 向為主，約佔 40%，其次為 N 向約 32.4%。

(三)南外廓防波堤西南側錨泊區(TC.2 測站)

臺中港南外廓防波堤西南外海錨泊區 TC.2 測站觀測期間自 2002 年 10 月~2003 年 7 月，表 2-8 為 TC.2 測站波高週期機率分布統計表；表 2-9 為 TC.2 測站波高波向機率分布統計表。由表可知，南外廓防波堤西南外海錨泊區附近之平均波高約為 0.45m，而波高發生大於 1m 以上之機率約 4.4%。平均週期約分布在 4~7sec 間，以 4~5sec 約佔 38.8%、5~6sec 約佔 47.4%、6~7sec 約佔 11.5%。波向以 NNW 向及 NW 向為主，分別約佔 30.8%及 29.1%。

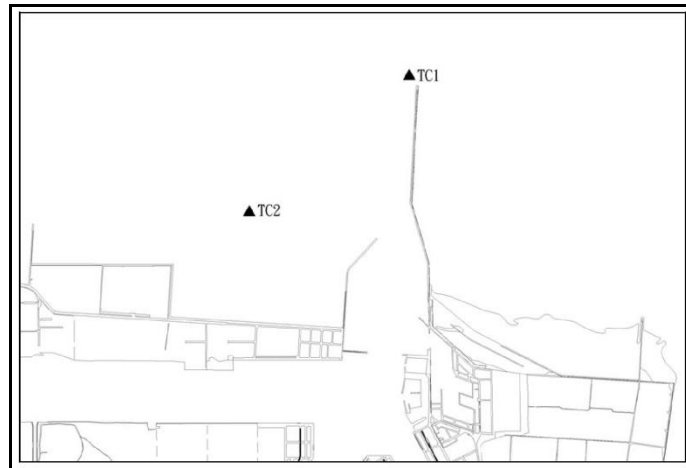
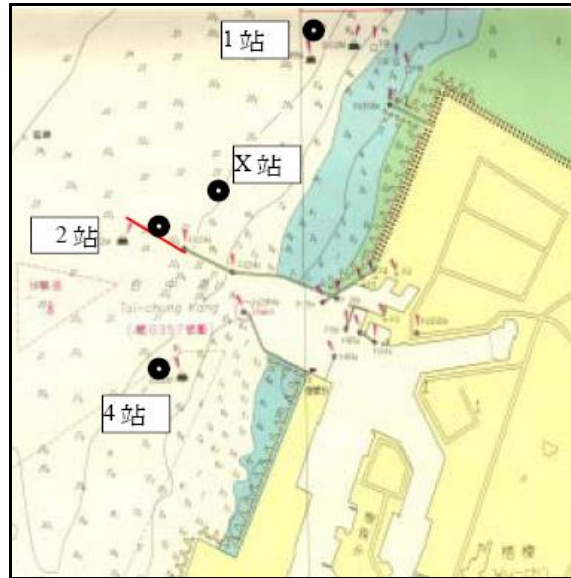


圖 2-7 臺中港波浪觀測站位置圖

表 2-4 南外廓防波堤南側海域(4 測站)波高週期機率分布統計表

冬 季 期 間

單位：％

週期(sec) 波高(m)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	小計
0~0.5			0.6	6.4	5.2	0.2	0.1									12.5
0.5~1.0			0.1	2.8	18.2	10.3	0.5	0.1		0.1						32.2
1.0~1.5					6.3	24.1	5.9	0.2		0.1						36.5
1.5~2.0						6.1	8.6	0.7	0.1							15.5
2.0~2.5							1.8	0.8								2.6
2.5~3.0							0.1	0.5	0.1							0.7
3.0~3.5																
3.5~4.0																
4.0~4.5																
4.5~5.0																
小計			0.7	9.2	29.8	40.7	16.9	2.3	0.2	0.1						100

夏 季 期 間

單位：％

週期(sec) 波高(m)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	小計
0~0.5			9.2	28.5	14.3	7.1	1.0		0.2							60.3
0.5~1.0			1.6	11.2	10.7	7.7	2.5	0.7	1.2	0.2						35.7
1.0~1.5					1.2	1.3	0.5	0.2								3.1
1.5~2.0					0.2	0.7										0.8
2.0~2.5																
2.5~3.0																
3.0~3.5																
3.5~4.0																
4.0~4.5																
4.5~5.0																
小計			10.9	39.7	26.4	16.8	4.0	0.8	1.3	0.2						100

全 年

單位：％

週期(sec) 波高(m)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	小計
0~0.5			2.0	10.7	7.4	1.6	0.2									22.0
0.5~1.0			0.4	4.2	17.1	10.2	0.9	0.3	0.2	0.1						33.3
1.0~1.5					5.1	19.2	5.2	0.2		0.1						29.8
1.5~2.0					0.1	4.9	6.7	0.5	0.1							12.2
2.0~2.5							1.4	0.7								2.1
2.5~3.0							0.1	0.4	0.1							0.5
3.0~3.5																
3.5~4.0																
4.0~4.5																
4.5~5.0																
小計			2.4	15	29.7	35.9	14.5	2.1	0.4	0.1						100

表 2-5 南外廓防波堤南側海域(4 測站)波高超越機率比較表

單位：％

測 站	4 測站		
	冬季	夏季	全年
$\geq 0.5\text{m}$	87.5	39.7	78.0
$\geq 1.0\text{m}$	55.3	4.0	44.7
$\geq 1.5\text{m}$	18.8	0.9	14.9
$\geq 2.0\text{m}$	3.3	0.1	2.7
$\geq 2.5\text{m}$	0.7	0.0	0.6
$\geq 3.5\text{m}$	0.0	0.0	0.1
$\geq 4.0\text{m}$	0.0	0.0	0.0

表 2-6 北外廓防波堤堤頭 TC.1 測站波高週期機率分布統計表

單位：％

週期 (sec) 波高(m)	0~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	>12	小 計
0~0.5				2.1	17.8	5.4	0.2						25.8
0.5~1.0				4.3	14.3	2.7	0.1						21.4
1.0~1.5				1.0	12.5	1.7							15.2
1.5~2.0					9.2	3.8							13.0
2.0~2.5					5.8	7.2							13.0
2.5~3.0					0.9	7.3	0.2						8.4
3.0~3.5						2.4	0.4						2.8
3.5~4.0							0.4						0.4
4.0~4.5													
4.5~5.0													
>5.0													
小計				7.4	60.5	30.8	1.3						100

表 2-7 北外廓防波堤堤頭 TC.1 測站波高波向機率分布統計表

單位：%

波向 波高(m)	N	N N E	N E	E N E	E	E S E	S E	S S E	S	S S W	S W	W S W	W	W N W	N W	N N W	小計
0~0.5	1.9	4.2	1.7	0.8	0.6	0.7	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.2	1.1	0.7	0.7	1.0	17.1
0.5~1.0	3.9	8.2	2.4	0.6	0.4	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3	0.7	0.5	0.1	0.7	1.9	20.6
1.0~1.5	4.8	8.0	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1		0.1			0.1		0.1	0.4	1.8	17.2
1.5~2.0	6.2	7.3	0.4	0.1	0.1										0.2	1.2	15.5
2.0~2.5	7.1	7.5	0.1													0.7	15.4
2.5~3.0	5.9	3.5														0.7	10.1
3.0~3.5	2.3	1.1														0.1	3.5
3.5~4.0	0.4	0.1															0.5
4.0~4.5																	
4.5~5.0																	
>5.0																	
小計	32.4	40.0	5.7	1.9	1.2	1.0	0.8	0.6	0.7	0.8	1.0	2.0	1.6	0.9	2.1	7.3	100

表 2-8 南外廓防波堤西南側錨泊區 TC.2 測站波高週期機率分布統計表

單位：%

週期(sec) 波高(m)	0~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	>12	小計
0~0.5			1.1	33.8	24.7	2.3	0.3						62.2
0.5~1.0			0.2	4.9	21.7	6.6	0.3						33.7
1.0~1.5				0.1	1.0	2.6	0.4						4.1
1.5~2.0													
2.0~2.5													
2.5~3.0													
3.0~3.5													
3.5~4.0													
4.0~4.5													
4.5~5.0													
>5.0													
小計			1.3	38.8	47.4	11.5	1.0						100

表 2-9 南外廓防波堤西南側錨泊區 TC.2 測站波高週期機率分布統計表

單位：%

波向 波高(m)	N	N N E	N E	E N E	E	E S E	S E	S S E	S	S S W	S W	W S W	W	W N W	N W	N N W	小 計
0~0.5	5.4	3.0	2.2	1.0	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.8	1.6	4.9	7.3	5.6	15.9	16.0	65.1
0.5~1.0	1.7	0.5	0.4	0.1						0.1	0.4	1.4	1.4	0.8	11.2	12.5	30.5
1.0~1.5												0.1			1.9	2.3	4.3
1.5~2.0															0.1		0.1
2.0~2.5																	
2.5~3.0																	
3.0~3.5																	
3.5~4.0																	
4.0~4.5																	
4.5~5.0																	
>5.0																	
小計	7.1	3.5	2.6	1.1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.9	2.0	6.4	8.7	6.4	29.1	30.8	100

(四)北外廓防波堤堤頭(TC.A 測站)

表 2-10 為臺中港北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站全年及四季之波高週期機率分布統計表，表 2-11 為波浪特性統計表。由表可知，臺中港北外廓防波堤堤頭全年平均波高約 1.52m、平均週期約 6.4sec，最多波向為 NNE 向，發生超越機率 90%之示性波高約為 2.98m、示性週期約為 7.73sec。冬季期間平均波高約 2.09m、平均週期約為 6.3sec，主要波向約為 N 向，發生超越機率 90%之示性波高約為 3.5m、示性週期約為 7.8sec。夏季期間平均波高約 1.0m、平均週期約為 6.8sec，主要波向約為 W 向，發生超越機率 90%之示性波高約為 2.0m、示性週期約為 7.4sec。

綜合前述波浪資料分析可知，臺中港鄰近海域之波浪特性，冬季期間主要波向為 NNE 向及 N 向；夏季期間主要波向則為 W。冬季期間波高以大於 1m 為最多、夏季期間則多發生波高小於 1m 之波浪。

表 2-10 北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站波高週期機率分布統計表

冬季												單位：%
週期(sec) 波高(m)	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~12	12~20	>20	小計
0~0.5			0.1	3.3	1.1	0.4						5.0
0.5~1.0		0.7	1.5	3.2	2.4	0.6						8.1
1.0~1.5		0.1	2.3	4.6	1.6	1.1						11.7
1.5~2.0			1.6	5.3	5.5	5.8	0.4					20.1
2.0~3.0			0.9	7.5	8.9	16.1	5.5	0.1				38.3
3.0~4.0				2.1	3.8	4.3	4.6	0.9				14.2
4.0~5.0				0.3	0.4	0.8	0.5	0.3	0.1			2.4
5.0~6.0						0.1						0.2
6.0~7.0												
7.0~8.0												
8.0~9.0												
9.0~10.0												
10.0~11.0												
11.0~12.0												
12.0~13.0												
13.0~14.0												
14.0~15.0												
>15.0												
小計	0.1	0.8	6.4	26.4	24.7	29.1	11.0	1.3	0.1			100

春季												單位：%
週期(sec) 波高(m)	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~12	12~20	>20	小計
0~0.5	0.4	1.0	2.1	11.2	7.0	2.3	0.3					24.3
0.5~1.0	0.6	5.2	6.5	7.5	5.3	1.8	0.3	0.1				27.4
1.0~1.5	0.1	0.4	3.5	5.2	6.0	1.5	0.2	0.1				17.2
1.5~2.0			0.9	3.3	4.8	3.1	0.3					12.5
2.0~3.0			0.3	4.4	3.0	4.1	0.6	0.1				12.5
3.0~4.0				1.2	0.9	1.0	0.6	0.2				4.0
4.0~5.0				0.3	0.4	0.4	0.4	0.1				1.6
5.0~6.0						0.1	0.1	0.1				0.4
6.0~7.0												
7.0~8.0												
8.0~9.0												
9.0~10.0												
10.0~11.0												
11.0~12.0												
12.0~13.0												
13.0~14.0												
14.0~15.0												
>15.0												
小計	1.2	6.7	13.3	33.2	27.5	14.4	2.9	0.6				100

表 2-10 北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站波高週期機率分布統計表(續 1)

夏季

單位：%

週期(sec) 波高(m)	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~12	12~20	>20	小計
0~0.5	0.6	2.1	2.9	8.8	7.5	2.7	0.4			0.1		25.2
0.5~1.0	1.1	9.0	9.9	10.0	9.2	5.9	1.5	0.6	0.1	0.1	0.1	47.4
1.0~1.5	0.1	0.8	3.4	4.2	3.4	1.5	0.5	0.1				14.1
1.5~2.0	0.9	0.1	0.1	1.4	1.9	1.2	0.3					6.1
2.0~3.0	2.2			0.4	1.5	1.1	0.3	0.1				5.5
3.0~4.0	0.4				0.2	0.5	0.2	0.1				1.3
4.0~5.0						0.1	0.1					0.2
5.0~6.0												0.1
6.0~7.0												
7.0~8.0												
8.0~9.0												
9.0~10.0												
10.0~11.0												
11.0~12.0												
12.0~13.0												
13.0~14.0												
14.0~15.0												
>15.0												
小計	5.2	11.9	16.3	24.8	23.7	12.9	3.5	1.0	0.2	0.2	0.1	100

秋季

單位：%

週期(sec) 波高(m)	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~12	12~20	>20	小計
0~0.5	0.1	0.3	0.5	2.2	2.6	0.5	0.1					6.4
0.5~1.0		0.5	2.9	6.3	4.0	1.5	0.3	0.1	0.1			15.8
1.0~1.5		0.1	1.6	7.0	6.6	2.5	0.6	0.3	0.1	0.3	0.1	19.2
1.5~2.0			0.8	5.1	8.1	4.2	0.8	0.3	0.2	0.1		19.5
2.0~3.0			0.4	5.5	7.8	10.7	2.7	0.3	0.1			27.6
3.0~4.0			0.1	1.8	2.1	2.3	2.1	0.5	0.1			8.9
4.0~5.0				0.5	0.4	0.5	0.3	0.4	0.1			2.2
5.0~6.0								0.1				0.3
6.0~7.0												0.1
7.0~8.0												
8.0~9.0												
9.0~10.0												
10.0~11.0												
11.0~12.0												
12.0~13.0												
13.0~14.0												
14.0~15.0												
>15.0												
小計	0.1	0.9	6.3	28.4	31.6	22.3	6.9	2.2	0.6	0.5	0.1	100

表 2-10 北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站波高週期機率分布統計表(續 2)

全年

單位：%

波高(m) \ 週期(sec)	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~12	12~20	>20	小計
0~0.5	0.3	0.9	1.5	6.4	4.7	1.5	0.2					15.5
0.5~1.0	0.5	4.0	5.4	7.0	5.3	2.6	0.6	0.2	0.1			25.8
1.0~1.5	0.1	0.4	2.7	5.3	4.9	1.7	0.4	0.1		0.1		15.6
1.5~2.0	0.3		0.8	3.7	5.3	3.4	0.5	0.1	0.1			14.2
2.0~3.0	0.6		0.4	4.2	5.0	7.6	2.1	0.1				20.2
3.0~4.0	0.1		0	1.2	1.3	1.9	1.8	0.4				6.8
4.0~5.0				0.3	0.3	0.4	0.3	0.2				1.5
5.0~6.0						0.1	0.1	0.1				0.2
6.0~7.0												
7.0~8.0												
8.0~9.0												
9.0~10.0												
10.0~11.0												
11.0~12.0												
12.0~13.0												
13.0~14.0												
14.0~15.0												
>15.0												
小計	1.8	5.4	10.8	28.0	26.9	19.3	5.9	1.3	0.3	0.1	0.1	100

表 2-11 北外廓防波堤堤頭 TC.A 測站波浪特性統計表

單位：%

	冬季	春季	夏季	秋季	全年
示性波高平均值	2.09	1.19	1.00	1.85	1.52
示性週期平均值	6.3	5.8	6.8	6.4	6.4
最多波向	N	NNE	W	N	NNE
$H_s \leq 1\text{m}$	16.1	54.6	64.4	23.3	40.2
$1\text{m} < H_s \leq 2\text{m}$	29.2	25.1	25.4	35.3	29.0
$2\text{m} < H_s$	54.7	20.3	10.2	41.3	30.7
$T_s \leq 6\text{sec}$	47.9	61.8	61.1	43.1	53.2
$6\text{sec} < T_s \leq 8\text{sec}$	45.8	36.3	33.9	46.0	40.4
$8\text{sec} < T_s \leq 10\text{sec}$	6.2	1.9	3.0	9.6	5.4
$10\text{sec} < T_s$	0.0	0.0	0.6	1.3	0.5
波向 N~E	82.3	71.6	29.2	74.8	62.8
波向 E~S	0.0	2.0	3.4	0.3	1.5
波向 S~W	0.1	3.4	22.6	1.1	7.4
波向 W~N	17.6	23.0	44.8	23.8	28.3

二、颱風波浪

波浪資料乃為港灣結構設計重要因素之一，尤其當颱風來襲時引致之異常波高危害度最大，故防波堤設計乃採颱風波浪為設計依據，由於颱風波浪之實測資料極為缺乏，為了設計需要通常利用颱風期間之氣象資料，井島武士及湯麟武博士 (1970) 之數學模式推算颱風波浪，雖然所推算結果之信賴度尚有進一步改進之空間，但目前國內國際商港皆採用此方式，故以工程設計上之利用而言，應可符合設計之需求。

為了解計畫區受颱風波浪影響之狀況，本研究以井島武士及湯麟武博士 (1970) 之理論重新推算本研究區之颱風波浪。茲選擇通過以 120.39°E 、 24.3°N 為中心(詳圖 2-8)，於南北、東西各兩個經緯度的範圍內，根據 1940 年~2006 年間颱風中心氣壓小於或等於 970mb 之颱風資料，篩選出 106 個對本研究區影響較大者，進行颱風波浪推算，並將各方向可能發生之最大示性波高，以極端值分布法推算各迴歸期之波浪，如表 2-12 所示。推算結果顯示，臺中港 50 年迴歸期颱風波浪以 N 向影響最大，波高約達 7.3m、對應週期約為 11.3sec，而依港研中心曾於 2004 年 5 月 28 日 22 時監測得示性波高約為 7.5m，此與 50 年迴歸期颱風波浪相近。

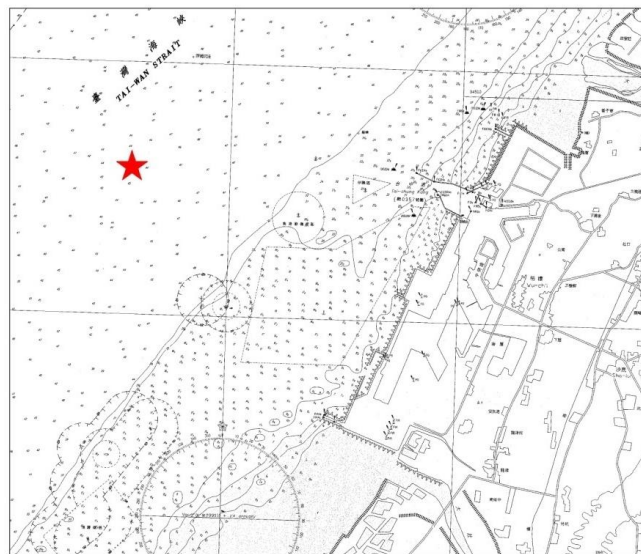


圖 2-8 颱風波浪推算目標點位置示意圖

表 2-12 臺中港外海颱風波迴歸分析統計表

迴歸期 波向	250		200		100		50		25		20		10	
	H ₀	T ₀	H ₀	T ₀	H ₀	T ₀	H ₀	T ₀	H ₀	T ₀	H ₀	T ₀	H ₀	T ₀
NE	7.3	11.3	7.1	11.2	6.6	10.8	6.0	10.3	5.4	9.8	5.1	9.5	4.4	8.8
NNE	8.8	12.5	8.6	12.3	8.0	11.9	7.3	11.3	6.6	10.8	6.4	10.6	5.6	9.9
N	8.8	12.5	8.6	12.3	8.0	11.9	7.3	11.3	6.6	10.8	6.3	10.5	5.5	9.8
NNW	8.0	11.9	7.8	11.7	7.2	11.3	6.5	10.7	5.8	10.1	5.6	9.9	4.7	9.1
NW	7.5	11.5	7.3	11.3	6.8	11.0	6.2	10.5	5.5	9.8	5.3	9.7	4.6	9.0
WNW	6.9	11.0	6.8	11.0	6.3	10.5	5.8	10.1	5.2	9.6	5.1	9.5	4.4	8.8
W	6.8	11.0	6.6	10.8	6.2	10.5	5.7	10.0	5.2	9.6	5.0	9.4	4.4	8.8
WSW	6.5	10.7	6.4	10.6	6.0	10.3	5.5	9.8	5.0	9.4	4.8	9.2	4.3	8.7
SW	5.6	9.9	5.5	9.8	5.1	9.5	4.7	9.1	4.3	8.7	4.2	8.6	3.7	8.1

單位：H₀：m，T₀：sec

水深：-31m

三、海流

臺中港海流觀測始於 1981 年 7 月，表 2-13 為歷年長期海流觀測站位置資料彙整表，其中有關本所港灣技術研究中心海流資料監測位置詳圖 2-9 所示，而工業技術研究院能源與資源研究所海流監測站 TC.1 及 TC.2 位置詳圖 2-7 所示。考慮臺中港港域設施現況擬蒐集北外廓防波堤第二期擴建後之波浪觀測資料，並參考第一期擴建後觀測紀錄達 1 年以上之海流資料，第一期擴建後之 1、2 及 4 測站，以及第二期擴建後之 TC.1 及 TC.2 測站海流特性整理說明如后。

表 2-13 臺中港海流觀測站資料彙整表

監測單位	測站代碼	觀測期間	測站水深(m)	儀器水深(m)	備註
本所港灣技術研究中心	B	1981 年 11 月～1982 年 5 月	27	7	北外廓防波堤 第一期擴建前
	C	1981 年 11 月～1982 年 5 月	29	7	
本所港灣技術研究中心	BU	1986 年 1 月～1986 年 1 月	20	4	
	E	1985 年 12 月～1986 年 4 月	4	2	
本所港灣技術研究中心	1	1994 年 9 月～1995 年 3 月	-	-	北外廓防波堤 第一期擴建後
	2	1994 年 10 月～1995 年 2 月	-	-	
	4	1994 年 9 月～1995 年 12 月	-	-	
工業技術研究院 能源與資源研究所	TC.1	2002 年 10 月～2003 年 5 月	-	-	北外廓防波堤 第二期擴建後
	TC.2	2002 年 10 月～2003 年 7 月	-	-	

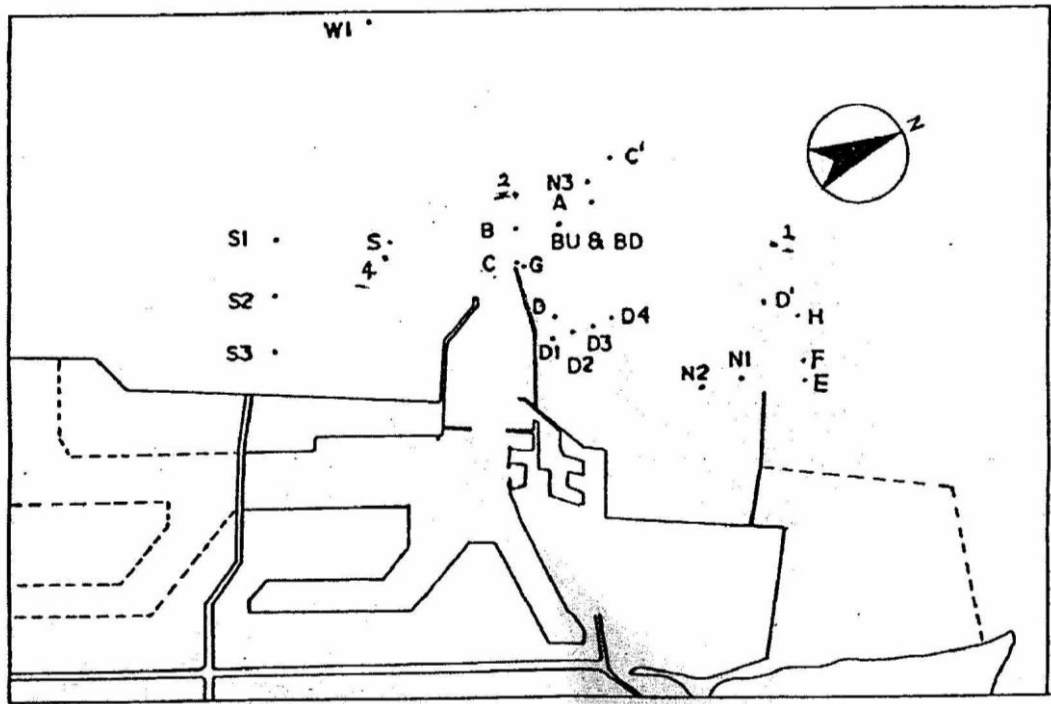


圖 2-9 臺中港北外廓防波堤第一期擴建前海流觀測站位置圖

(一)第一期擴建後

表 2-14 為北外廓防波堤第一期擴建後各測站流速分布表，茲說明如下：

1. 北外廓防波堤堤外 1 測站海流成分主要為恆流及強制裂流，當鋒面來襲時，風速增強，強制裂流成分明顯，流向約為 WSW 向；鋒面離境時，風速減弱，恆流成分較為明顯，流向偏為 NNW 向。平均流速約為 18.7cm/sec、最大流速可達 85.9cm/sec。
2. 北外廓防波堤堤頭 2 測站海流成分主要為風趨流及沿岸流，流向為 SW 向，流速隨風速增強而增大。平均流速約 34.8cm/sec、最大流速可達 116.3cm/sec。
3. 南外廓防波堤南側海域 4 測站海流成分主要為潮流及恆流，受北堤堤頭產生環流影響，流向隨漲、退潮及風速而改變，約在 NNW~NNE 向間。平均流速約為 13.3cm/sec、最大流速為 57.8cm/sec。

表 2-14 北外廓防波堤第一期擴建後各測站流速分布統計表

單位：%

測站 流速分布(cm/sec)	1 測站	2 測站	4 測站
0~10	35.8	13.5	43.7
10~20	26.2	16.7	36.1
20~30	17.5	15.3	15.5
30~40	11.3	15.7	3.3
40~50	5.9	15.1	1.0
50~60	1.7	10.7	0.4
60~70	1.3	7.0	0
70~80	0.2	3.0	0
80~90	0.1	1.7	0
90~100	0	1.0	0
100~110	0	0.2	0
110~120	0	0.1	0
最大流速	85.9	116.3	57.8
平均流速	18.7	34.8	13.3

(二) 第二期擴建後

1. 北防波堤堤頭測站(TC1)

北防波堤堤頭測站之海流流向主要為 W 向和 NNW 向，流速較大者(>80cm/sec)之流向主要為 W 向，平均流速為 42cm/sec。

2. 南防波堤西南外海之錨泊區測站(TC2)

南防波堤西南外海錨泊區測站之海流流向主要為 NNE 向和 N 向，流速分布以 5~25cm/sec 最多，平均流速為 14cm/sec。

2.3 地象條件

臺中港區位於台灣西海岸之中部，自大肚山西側山麓向海岸，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，惟於冬季強烈東北季風及夏季颱風波浪作用下，漂沙活動劇烈，海底地形常隨風浪大小而變化。

依據既有之地質資料記載，臺中港區基地地盤屬台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，主要由粉土質砂、砂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 2-15 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。彰濱工業區之海域地形水深係由工業局進行水深調查工作，自 1990 年起，每年進行 1~2 次全面測量；自 89 年下半年度停止海域抽砂後，每年仍持續監測海域地形變化情形，施測範圍北起烏溪出海口，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 2-10 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 2-15 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。

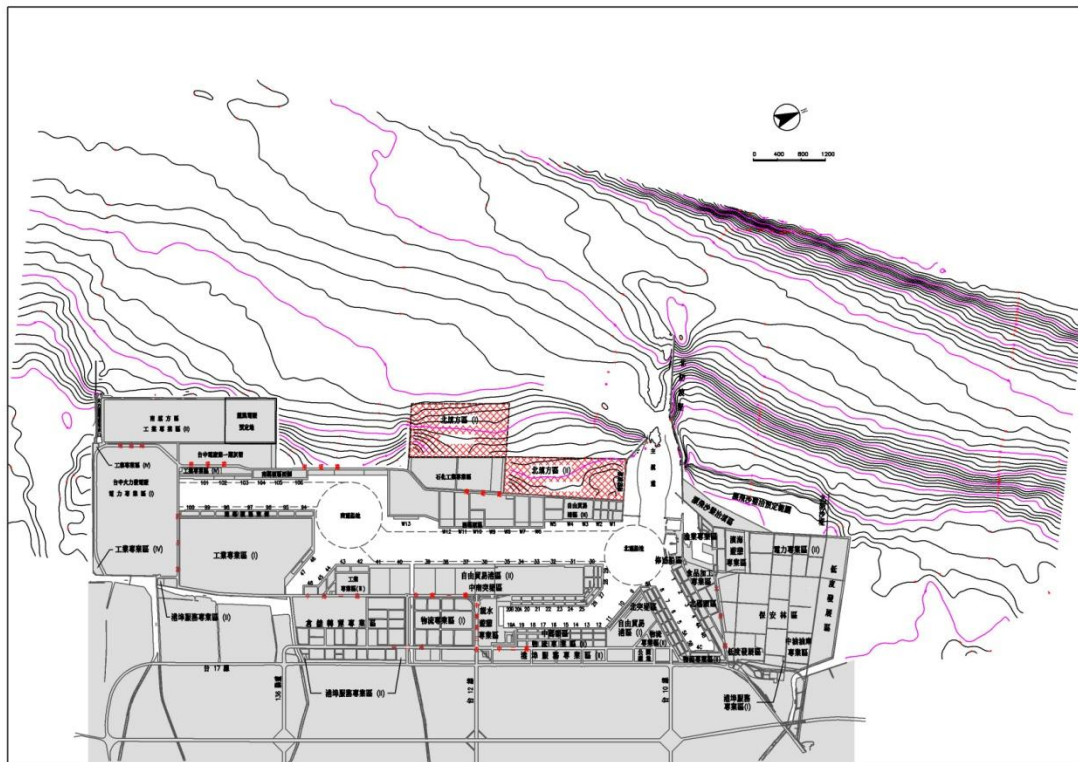


圖 2-10 96 年臺中港地形水深分布圖

2.4 水文資料

臺中港位於烏溪出海口的北方及大安溪出海口的南方，其中烏溪為台灣境內第 6 大河川。本研究所需水文資料為河川輸沙量，資料來源根據經濟部水利署出版之 1992 至 2008 年的台灣水文年報，對於烏溪流域採用最靠近臺中港的大肚橋測站資料，大安溪則採用義里測站資料，其位置圖如圖 17 所示。首先，利用實測之輸沙量數據，推估月平均之懸浮質輸沙量，但是兩個測站輸沙量資料皆缺漏了 2003、2004 及 2008 年，大肚橋測站的 2006 年與 2007 年以及義里測站的 1992 年資料並不完整，故這幾年並不加以考慮。結果如表 2-16、表 2-17 及圖 2-12、圖 2-13 所示，而推移質部分則以懸浮質量之 25%估計。

由表 2-16 可以看出，烏溪河川懸移質輸沙量主要集中在 5~9 月，其量大都在 1000 公噸/日以上，最大量甚至一個月有 37 萬公噸/日。10~12 月輸沙量明顯較少，整體總量幾乎都在 500 公噸/日以下，其中 1、2 月在 1992~1997 間輸沙量皆小於 630 公噸/日，之後開始有較為不規則的變動量。由表 2-16 及圖 2-12 可知，烏溪的輸沙量在 1993 年及 1994 年明顯較其他年份大，可達 800 萬立方公尺以上，而在 1995、1999 及 2002 年總共 3 年之輸沙量相較起來相當的小，最少的甚至不到 50 萬立方公尺，還可以明顯看見從 1995 年之後輸沙量明顯的下降許多，皆低於 500 萬立方公尺。

表 2-17 及圖 2-13 為大安溪河川懸移質輸沙量表及趨勢圖。另外，大安溪河川懸移質輸沙量比較起烏溪少很多，但主要也是集中在 5~9 月，其量大都約在 300 公噸/日以上，最大量為 28 萬公噸/日。1、11~12 月輸沙量則較少，整體總量幾乎都在 50 公噸/日以下，甚至 1 月在 1993~1997 間輸沙量皆小於 10 公噸/日。表 2-18 及圖 2-14 為烏溪河川總輸沙量表及趨勢圖。圖中顯示，1993 年及 1994 年明顯較其他年份大。由表 2-19 及圖 2-15 可知，大安溪的輸沙量在 1997 年比起其他年份大許多，可達 8800 萬立方公尺以上，而其他年份相比較發現 1998 年後的輸沙量明顯下降許多，最少量還不到 6 萬立方公尺。

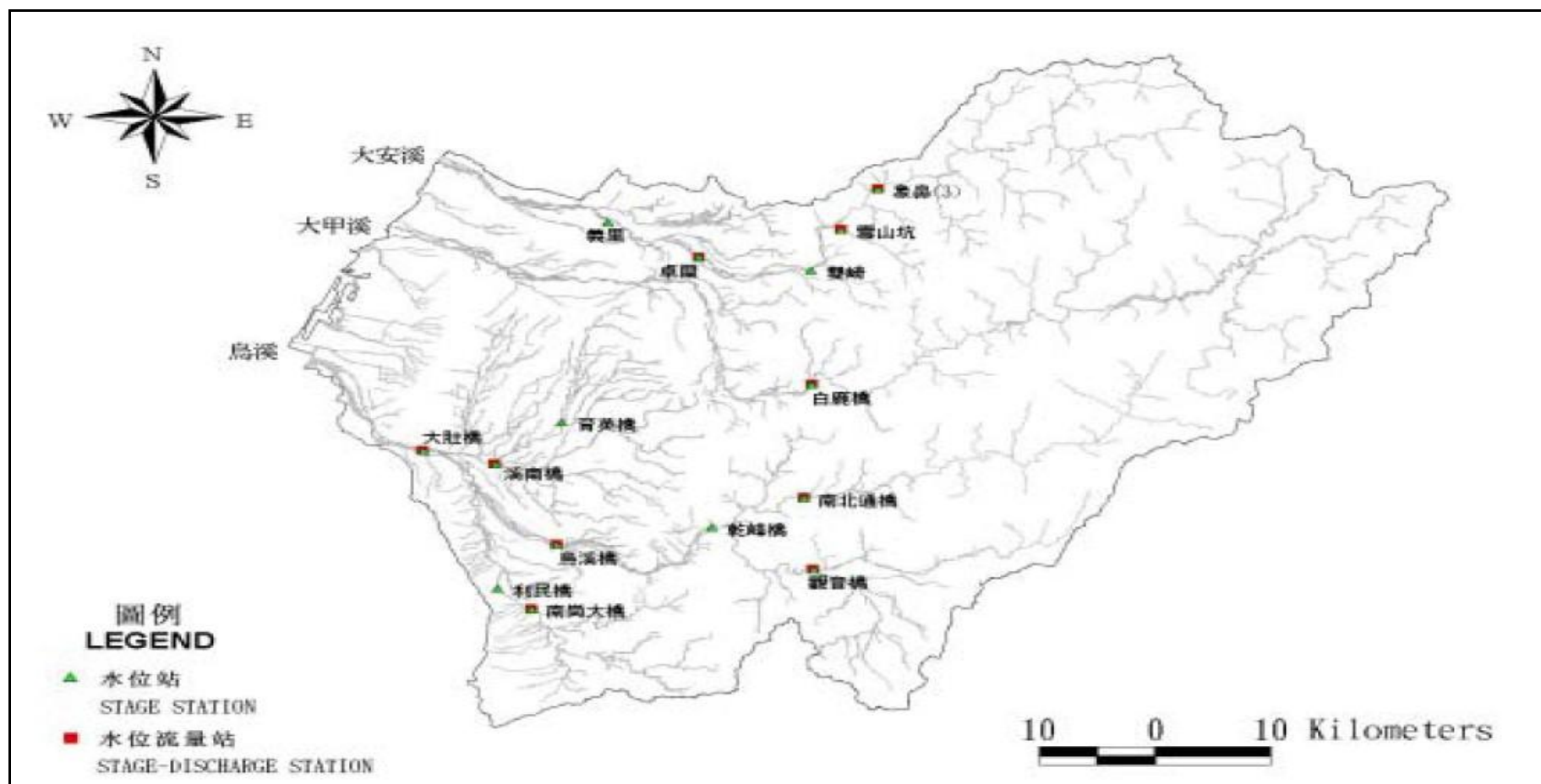


圖 2-11 水位流量站分佈圖

表 2-16 烏溪 1992 年至 2005 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量

月份\年份	1992	1993	1994	1995	1996	1997
一月(公噸 / 日)	232	621	370	468	544	344
二月(公噸 / 日)	423	187	412	555	402	387
三月(公噸 / 日)	14,129	411	2,610	1,315	227	7,466
四月(公噸 / 日)	31,960	821	429	1,098	332	856
五月(公噸 / 日)	2,967	133,141	1,714	1,089	21,826	6,233
六月(公噸 / 日)	3,064	133,210	1,736	1,368	15,307	86,213
七月(公噸 / 日)	59,595	1,574	2,060	2,594	992	20,716
八月(公噸 / 日)	2,401	983	377,539	2,467	19,493	28,813
九月(公噸 / 日)	2,453	899	10,752	1,764	1,146	771
十月(公噸 / 日)	869	281	1,054	605	259	645
十一月(公噸 / 日)	655	268	732	415	148	390
十二月(公噸 / 日)	276	325	544	513	167	470
月平均月(公噸 / 日)	9,919	22,727	33,329	1,188	5,070	12,775
年總量(公噸)	3,620,320	8,295,222	12,165,252	433,454	1,850,618	4,662,994

表 2-16 烏溪 1992 年至 2005 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量（續）

月份\年份	1998	1999	2000	2001	2002	2005
一月(公噸 / 日)	2,106	274	576	418	261	1,021
二月(公噸 / 日)	22,084	283	2,149	811	428	1,072
三月(公噸 / 日)	3,964	321	801	633	476	3,771
四月(公噸 / 日)	874	266	8,290	3,130	269	1,938
五月(公噸 / 日)	1,313	680	2,836	7,848	659	45,703
六月(公噸 / 日)	62,263	765	76,614	21,134	3,329	9,534
七月(公噸 / 日)	3,678	5,925	697	52,135	5,350	17,847
八月(公噸 / 日)	3,616	1,676	4,761	8,700	2,592	36,975
九月(公噸 / 日)	632	2,245	1,364	49,419	2,956	34,695
十月(公噸 / 日)	562	525	364	2,311	406	1,647
十一月(公噸 / 日)	370	495	420	409	443	1,694
十二月(公噸 / 日)	315	503	448	615	643	2,001
月平均月(公噸 / 日)	8,481	1,163	8,277	12,297	1,484	13,158
年總量(公噸)	3,095,684	424,556	3,020,985	4,488,370	541,797	4,802,659

表 2-17 大安溪 1993 年至 2007 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量

月份\年份	1993	1994	1995	1996	1997	1998
一月(公噸 / 日)	2	1	9	5	8	92
二月(公噸 / 日)	2	343	18	242	71	26,275
三月(公噸 / 日)	180	269	1,295	293	1,626	11,337
四月(公噸 / 日)	367	11	5,819	1,370	79	2,705
五月(公噸 / 日)	353	14,597	2,552	31,278	1,359	273
六月(公噸 / 日)	1,214	382	1,008	1,151	86,487	22,998
七月(公噸 / 日)	28	1,977	6,030	194	787	230
八月(公噸 / 日)	78	56,742	1,074	219,758	2,814,687	124
九月(公噸 / 日)	10	12,559	214	428	1,027	219
十月(公噸 / 日)	7	2,274	76	92	144	2,696
十一月(公噸 / 日)	5	92	32	15	38	110
十二月(公噸 / 日)	2	84	34	13	119	114
月平均月(公噸 / 日)	187	7,444	1,513	21,237	242,203	5,598
年總量(公噸)	68,351	2,717,162	552,338	7,751,356	88,403,978	2,043,202

表 2-17 大安溪 1993 年至 2007 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量（續）

月份\年份	1999	2000	2001	2002	2005	2006	2007
一月(公噸 / 日)	32	35	37	61	43	35	30
二月(公噸 / 日)	34	1,628	149	24	406	28	24
三月(公噸 / 日)	213	441	84	15	6,284	240	21
四月(公噸 / 日)	22	1,172	3,061	26	242	3,540	617
五月(公噸 / 日)	181	2,500	3,307	140	4,344	756	913
六月(公噸 / 日)	508	343	1,315	314	1,901	3,823	1,023
七月(公噸 / 日)	219	209	266	1,643	2,032	6,117	516
八月(公噸 / 日)	297	310	5,719	96	109,538	286	1,282
九月(公噸 / 日)	131	508	12,224	63	960	310	201
十月(公噸 / 日)	122	66	253	21	688	134	1,244
十一月(公噸 / 日)	87	47	63	19	87	138	511
十二月(公噸 / 日)	56	146	56	12	24	76	276
月平均月(公噸 / 日)	159	617	2,211	203	10,546	1,290	555
年總量(公噸)	57,879	225,186	807,065	74,036	3,849,214	470,931	202,535

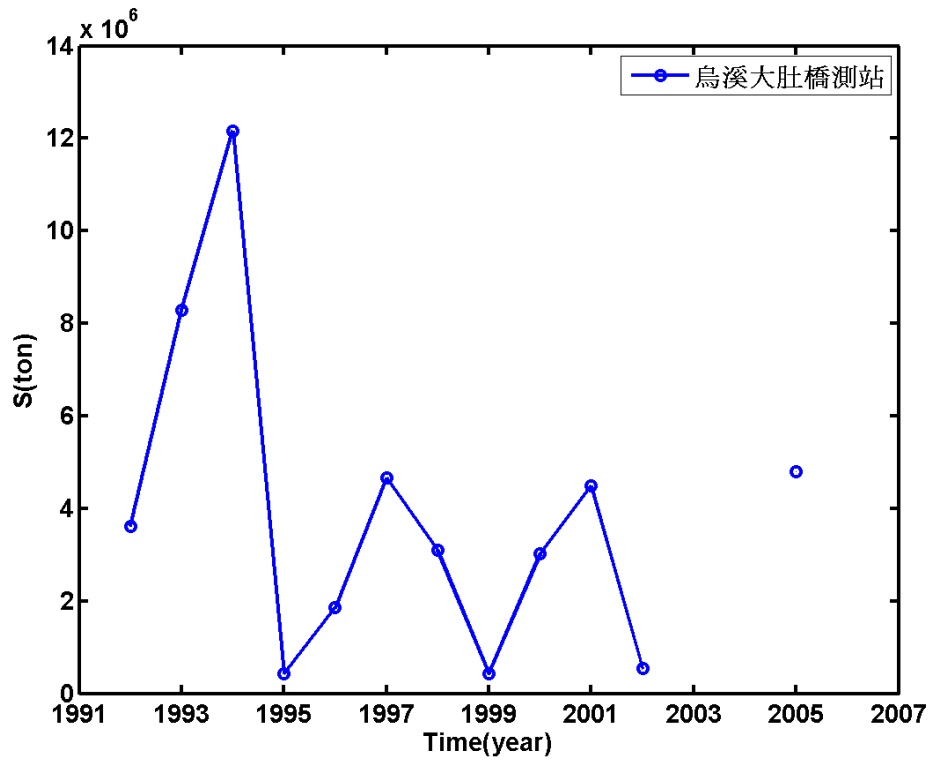


圖 2-12 烏溪 1992 年至 2005 年之年懸移質輸沙量

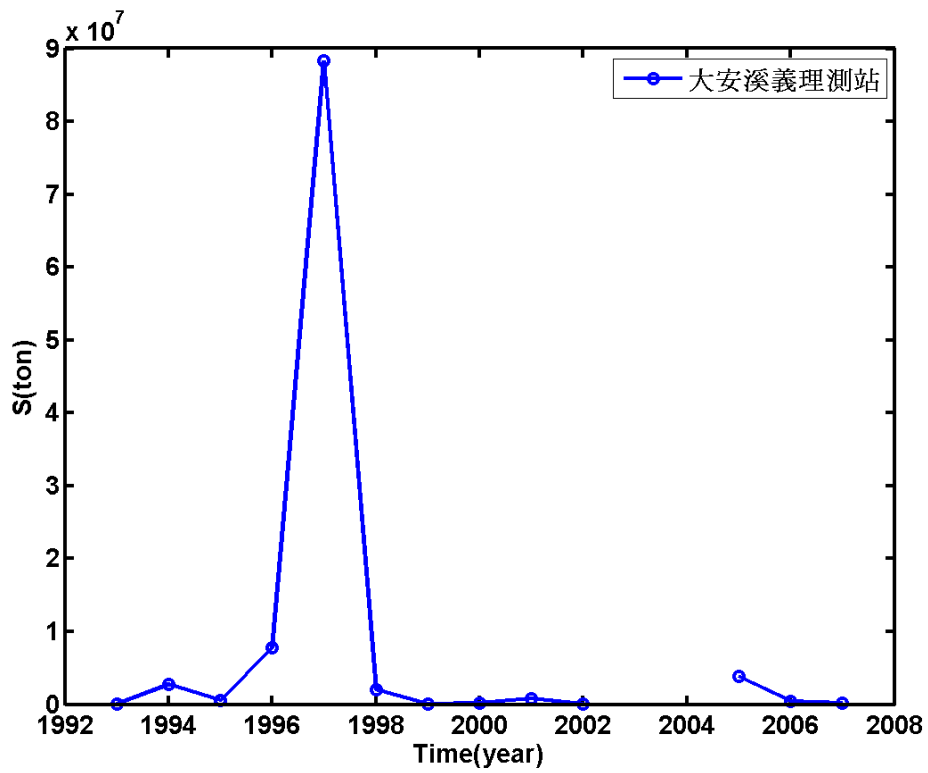


圖 2-13 大安溪 1993 年至 2007 年之年懸移質輸沙量

表 2-18 烏溪 1998 年至 2005 年之河川總輸沙量

年份	懸移質年總量 (公噸) S	懸移質年總體 積量(m^3) SV	推移質年總體 積量(m^3) SV * 25%	年輸沙總體積 (m^3) SV + SV * 25%
1993	8,295,222	5,027,407	1,256,852	6,284,259
1994	12,165,252	7,372,880	1,843,220	9,216,100
1995	433,454	262,699	65,675	328,374
1996	1,850,618	1,121,587	280,397	1,401,983
1997	4,662,994	2,826,057	706,514	3,532,571
1998	3,095,683	1,876,172	469,043	2,345,215
1999	424,556	257,307	64,327	321,634
2000	3,020,985	1,830,900	457,725	2,288,625
2001	4,488,370	2,720,224	680,056	3,400,280
2002	541,797	328,362	82,090	410,452
2005	4,802,659	2,910,702	727,676	3,638,378
年平均量	3,950,159	2,394,036	598,509	2,992,545

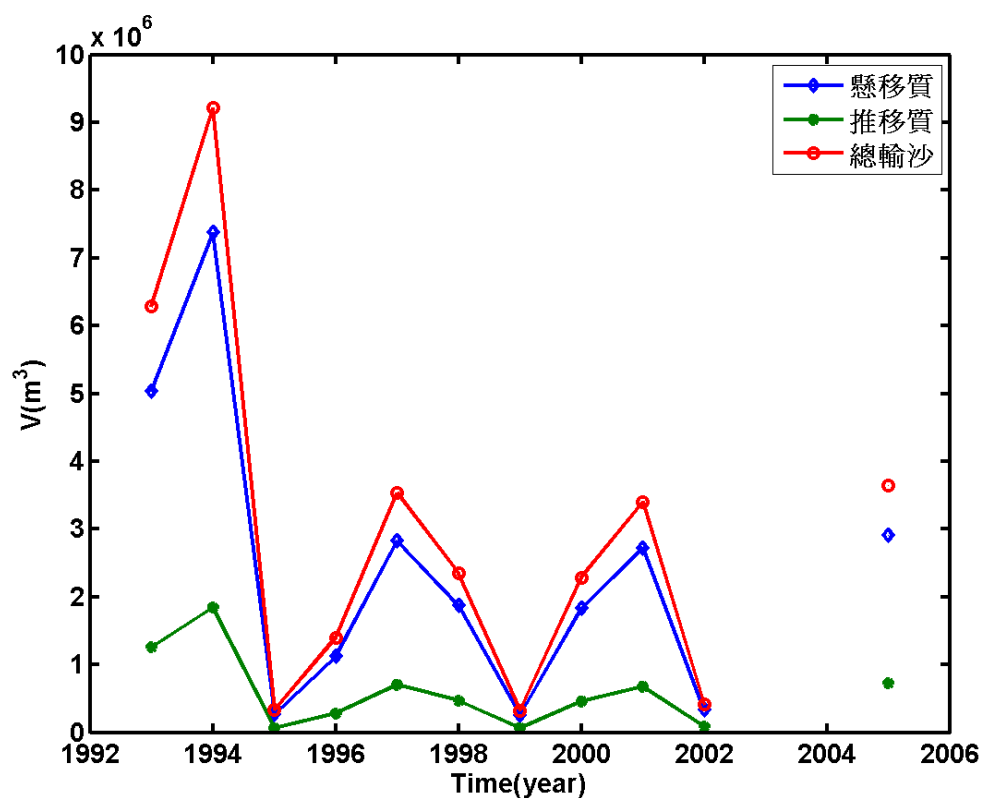


圖 2-14 烏溪 1992 年至 2005 年之年總輸沙量

表 2-19 大安溪 1993 年至 2007 年之河川總輸沙量

年份	懸移質年總量 (公噸) S	懸移質年總體 積量(m^3) SV	推移質年總體 積量(m^3) SV * 25%	年輸沙總體積 (m^3) SV +SV * 25%
1993	68,351	41,425	10,356	51,781
1994	2,717,162	1,646,765	411,691	2,058,456
1995	552,338	334,750	83,688	418,438
1996	7,751,356	4,697,792	1,174,448	5,872,240
1997	88,403,978	53,578,168	13,394,542	66,972,710
1998	2,043,202	1,238,304	309,576	1,547,880
1999	57,879	35,078	8,770	43,848
2000	225,186	136,476	34,119	170,596
2001	807,065	489,131	122,283	611,413
2002	74,036	44,870	11,218	56,088
2005	3,849,214	2,332,857	583,214	2,916,071
2006	285,413	71,353	356,766	285,413
2007	122,748	30,687	153,436	122,748
年平均量	8,247,941	4,998,752	1,249,688	6,248,440

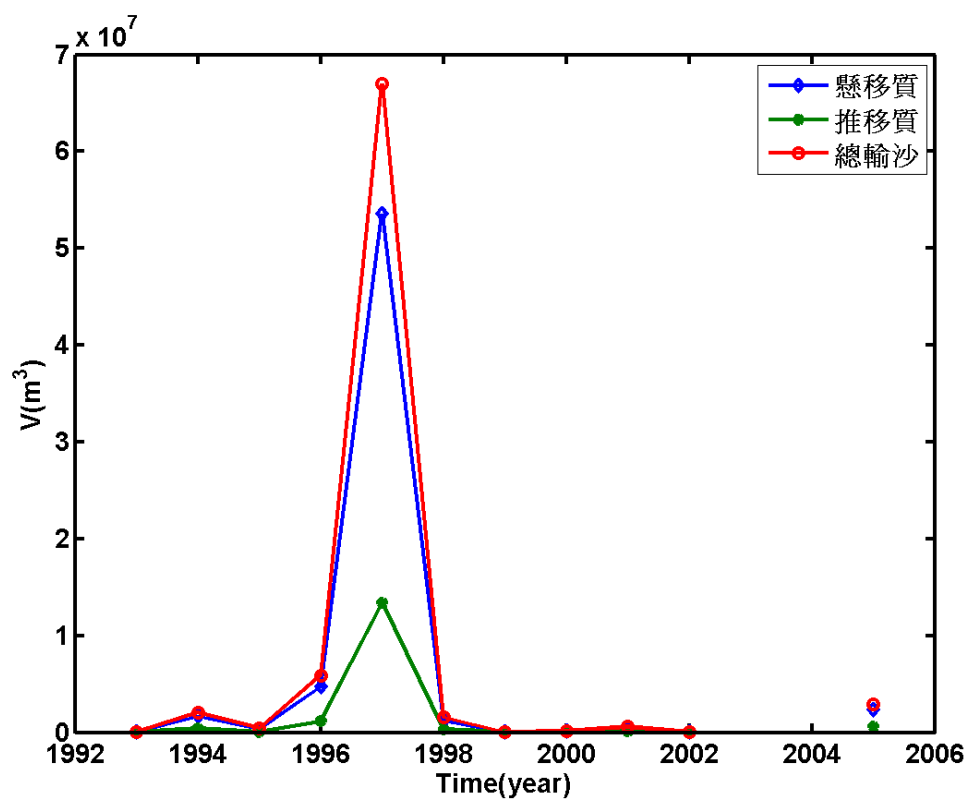


圖 2-15 大安溪 1993 年至 2007 年之年總輸沙量

第三章 經驗正交函數法分析海岸地形變化

3.1 研究方法之使用動機與目的

海岸地形變化為一錯綜複雜的水理現象，其變化過程受波浪條件、底床坡度、底質粒徑、沿岸流、離岸流等因素的影響。實際上，由於造成海岸地形變化的影響因素不斷改變，如颱風、潮汐等，使得海岸地形不斷地變化，因此瞭解海岸地形的變化特性，實為海岸利用與海岸線保護不可或缺的工作。

往昔研究海岸地形變化的方法有：

- (1)數值模式：由漂沙機構之動力關係，導出理論或經驗式，然後進行數值計算，但由於對碎波特性及漂沙機構的瞭解有限，因此尚未模擬出很好的結果。
- (2)動床模型試驗：由漂沙之運移型態與支配漂沙活動之影響因素，推導動床模型相似律，使現場漂沙活動重現於模型試驗中，但由於影響因素過於複雜，選擇不同的參數則有相異其趣的相似律；另外，模型試驗受試驗場地限制及漂沙時間比尺的影響，欲使現場物理現象完全重現於模型中實屬困難，故一般針對研究的目的，選擇重要的參數，推導所需之相似律，進行動床模型相似律。
- (3)現場調查：由現場實測資料加以研判分析，進而瞭解海灘地形變化特性，雖然現場調查費時、費力、耗費金錢，且受自然條件之限制，實施較為困難，但實測之海岸變化資料為各種影響因素綜合作用的結果，如果有足夠的實測資料，則可研判其海岸地形之變化過程，此優點較數值模式或動床模型試驗為佳。

由於實際的海岸地形不斷的變化，所以如果有長期的實測記錄，再輔以數值方法分析其海岸地形變化，則有助於對海灘地形變化特性

的瞭解，進而可以預測未來海灘地形的變化趨勢，做為日後海岸保護對策之參考。

經驗正交函數法 (Empirical orthogonal function, EOF) 利用經驗正交函數法分析海岸地形的水深資料，分析所得的不同模態，每一個模態應代表空間變化成分在不同時間的變化性質，若瞭解這些模態所代表的海岸地形的變化特性，將有助於對海灘地形變化之瞭解。本研究利用經驗正交函數法從 1996 年至 2006 年所量測的臺中港附近海岸之地形資料，討論臺中港北防波堤至北防沙堤間的海岸地形變化特性。另提出馬可夫過程 (Markov process)，以年及每月波浪參數(forcing wave parameters)而建立海岸地形預測模式。

3.2 有關經驗正交函數法之文獻回顧

Winant et al. (1975) 首先將 EOF 應用於海岸地形變化之解析; Hashimoto and Uda (1979) 應用 EOF 解析波高、波向及沿岸流與特徵函數之關係，並將各變化型態與 Winant et al. 之結果比較，除第一模態為平均分量外，其餘變化型態與 Winant et al. 略有不同，表示選擇不同的海灘地形，會有不同的變化型態; Davis (1976) 應用 EOF 配合線性統計，從事海水表面溫度及壓力之預測; Aubrey (1978) 應用 EOF 配合實測波浪條件，從事海灘地形之解析與預測; Aranuvachapun and Johnson (1979) 則利用 EOF 研究特徵函數與風速之關係。

Hashimoto 和 Uda (1980) 首先提出二維模式之概念，此模式係以兩個函數描述整個海灘地形之變化。一為解析垂直海岸方向變化之向、離岸特徵函數，另一則為與沿岸方向相關之沿岸特徵函數，然後由實測之剖面資料分析防波堤存在時之漂沙活動性質。解析結果顯示，向、離岸漂沙及沿岸漂沙對於海灘地形變化之影響可以分開。但他們於解析應用時，則將向、離岸特徵函數取時間之平均值，而僅考慮沿岸變化分量，失去二維模式之真正意義。

歐等人(1985)及 Hsu 等人(1986)擴展 Hashimoto 和 Uda (1980)之模式，以較完整的二維理論，同時解析向、離岸及沿岸之變化情形，並配合馬可夫過程(Markov process) 及線性迴歸(linear regression)，進行海灘地形變化預測，雖獲較佳結果，但其解析過程太過繁瑣，在操作過程中容易增加人為的誤差。

Zbigniew (1992) 應用 Dean's function 的迴歸分析方法與 EOF 來分析比較海灘剖面變化，在運用二個模式分析比較下，發現 EOF 較能夠明確表現出海灘變化特徵；許等人 (1993) 改進以往二維模式提出較簡便之模式，利用新的二維 EOF 去預測海岸的灘線變化，發現當採用資料數據大於 13 筆時，應用 EOF 的分析結果趨於穩定，且應用 EOF 所預測海岸地形變化結果與利用馬可夫過程和線性迴歸預測的結果相似。

Bird (1996) 應用 EOF 分析每年一次的海灘實測資料，提出應用時間平均的 EOF 的第一個模態（依特徵值的大到小排列）可以代表海岸水深的平均位置，而從第一個模態到第三個模態約可以代表海岸 90% 的變化；應用空間平均的特徵函數發現第一個模態為常數，第二及第三模態可能可以觀察出海洋震盪或是其他自然訊息。

Horikawa (1998) 提到應用 EOF 的第一模態可以代表海岸線的平均變化，假設海岸的漂砂沉積對海岸變化影響較小的情況下，第一模態的特徵函數幾乎與時間是成比例的，並以 20 小時的沿岸地形變化作為模擬例子，發現用第一模態當作時間常數去預測海灘變化的結果非常趨近於用實測數據所描繪的沿岸地形。

高 (2008) 將新竹港南海岸實測資料分成等深線不分季、夏季、冬季，剖面線不分季、夏季、冬季和二維模式不分季、夏季、冬季的方式，利用 EOF 來計算並分析新竹港南沿岸的地形變遷，發現應用 EOF 分析新竹港南沿岸實測資料，確實能了解新竹港南地形變遷所在的位置。黃 (2009)以 EOF 方法探討台南科技工業區開發工程出口保護工之海域地形分析及預測。

3.3 EOF 方法簡介

3.3.1 一維經驗正交函數法

一般海岸漂沙移動方向可分為向、離岸 (cross-shore) 漂沙及沿岸 (long-shore) 漂沙，所以在某一時刻下，海岸地形之實測數據為向、離漂沙及沿岸漂沙兩者綜合作用的結果，因此假定海岸地形，如等水深線可以用沿岸 (long-shore) 特徵函數及如剖面水深可用向、離岸 (cross-shore) 特徵函數來描述其變化，分別表示式如下：

$$[y(x, t; h)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(x) \mathbf{e}_{nk}^T(t) \quad (3-1)$$

$$[h(y, t)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(y) \mathbf{e}_{nk}^T(t) \quad (3-2)$$

上式中的 y 為向、離岸方向座標， x 為沿岸方向座標， t 為時間， $\mathbf{e}_{mk}(y)$ 為單位向、離岸空間特徵向量所構成之矩陣， $\mathbf{e}_{mk}(x)$ 為單位沿岸空間特徵向量所構成之矩陣， $\mathbf{e}_{nk}(t)$ 為時間特徵向量所構成之矩陣，而 $\mathbf{e}_{nk}^T(t)$ 為 $\mathbf{e}_{nk}(t)$ 的轉置矩陣 (transpose)， k 為特徵值的個數，且式中下標 mn 、 mk 、 nk 分別為各矩陣的列數與行數。其座標如圖 3-1 所示，圖中 $h(y, t)$ 代表在 N 次時間沿岸 m 個點之離灘線基準線之距離 y 之水深； $h(x, t)$ 代表在 N 次時間向、離岸 m 個點之剖面線距海平面之距離 x 之水深。

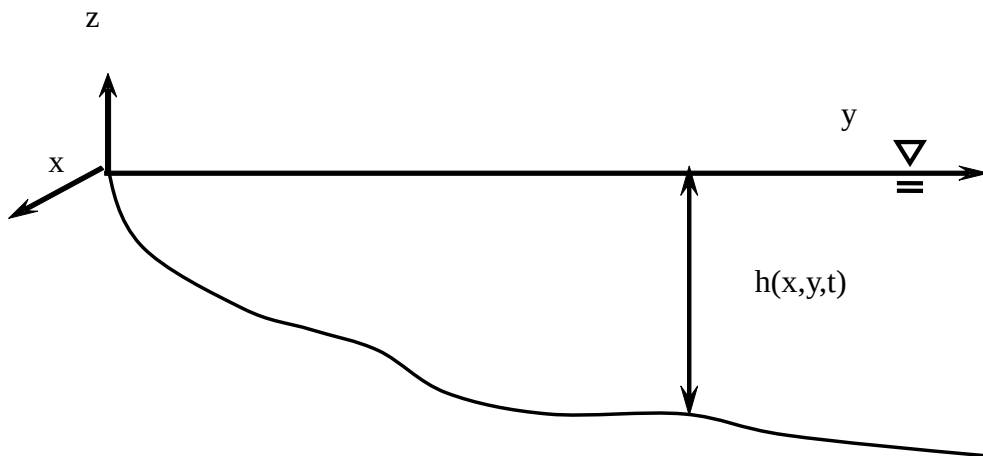


圖 3-1 經驗正交函數法之座標示意圖

欲求得上述 $[y(x,t)]_{mn}$ 矩陣與 $[h(y,t)]_{mn}$ 矩陣的特徵值與特徵向量，必須先將上述矩陣 $[y(x,t)]_{mn}$ 與 $[h(y,t)]_{mn}$ 各自乘上其轉置矩陣後，變成一個對稱的方形矩陣，分別為：

$$\mathbf{A} = [y(x,t)][y(x,t)]^T = [a_{ij}]_{mm} \quad (3-3)$$

$$\mathbf{B} = [h(y,t)][h(y,t)]^T = [b_{ij}]_{mm} \quad (3-4)$$

因 $\mathbf{A}$ 跟 $\mathbf{B}$ 方形矩陣為對稱性矩陣，依矩陣運算可知， $\mathbf{A}$ 跟 $\mathbf{B}$ 方形矩陣的特徵值與特徵向量滿足特徵方程式：

$$\mathbf{A} \mathbf{e}_{mk}(x) = \mathbf{D}(\lambda_I) \mathbf{e}_{mk}(x) \quad (3-5)$$

$$\mathbf{B} \mathbf{e}_{mk}(y) = \mathbf{D}(\lambda_I) \mathbf{e}_{mk}(y) \quad (3-6)$$

其中 λ_I 為特徵值， $\mathbf{D}(\lambda_I)$ 為特徵值所構成之對角矩陣。由矩陣 $\mathbf{A}$ 可求得 m 個特徵值及其相對應之單位正交向、離岸空間特徵函數；而矩陣 $\mathbf{B}$ 亦可求得 m 個特徵值及其對應之單位正交沿岸空間特徵函數。若將特徵值 λ_i 按大到小順序排列，即 $1 > 2 > \dots > m$ ，則第一個特徵值所對應的第一組特徵向量就稱為特徵經驗函數的第一個模態(mode)，其中 EOF 的第一個模態之空間特徵向量與地形水深在時間上之平均值比值相近。

因為矩陣 $\mathbf{A}$ 及 $\mathbf{B}$ 為對稱性矩陣，所以其特徵向量為 Hermitian 矩陣，因此 $\mathbf{e}_{mk}(x)$ 行向量與 $\mathbf{e}_{mk}(y)$ 行向量皆滿足克朗尼克函數(Kronecker delta)，即稱二者為正交特徵向量：

$$\mathbf{e}_{mk}(x_i)[\mathbf{e}_{mk}(x_j)]^T = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (3-7)$$

$$\mathbf{e}_{mk}(y_i)[\mathbf{e}_{mk}(y_j)]^T = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (3-8)$$

EOF 的特徵值大小決定其特徵值其重要性(權重)，一般如下式代表其特徵值重要性：

$$\frac{100\lambda_i}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} \% \quad (3-9)$$

上式中分母則是其所有特徵值的總和。

3.3.2 二維經驗正交函數法

若需同時考慮向、離岸及沿岸漂沙對於海岸地形變化的影響，以便完整地描述海岸地形變化特性，則需要建立二維模式之經驗正交函數。若將某一時刻之平面二維水深以 $[h(x, y, t)]$ 表示，則海岸地形可用二維特徵函數來描述其變化，其式如下：

$$[h(x, y, t)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(x, y) \mathbf{e}_{nk}^T(t) \quad (3-10)$$

上式表示水深 h 在 n 個時間上，二維空間上有 $m=m_1*m_2$ 個網格點的資料，其中沿岸有 m_1 個剖面，向、離岸有 m_2 個剖面，為求得上述 $[h(x, y, t)]_{mn}$ 矩陣的特徵值與特徵向量，將 $[h(x, y, t)]_{mn}$ 乘上其轉置矩陣後，可得一個方形矩陣為：

$$\mathbf{A} = [h(x, y, t)][h(x, y, t)]^T = [a_{ij}]_{mm} \quad (3-11)$$

如前述方法，由方陣 $\mathbf{A}$ 之運算，可求得方陣 $\mathbf{A}$ 的 m 個特徵值，其分別對應向、離岸空間特徵向量矩陣 m_1 個；沿岸空間特徵向量矩陣 m_2 個。

3.4 經驗正交函數分析地形變化特性

3.4.1 地形區域劃分之選擇

本研究主要探討之的水深地形資料來自於 1996 至 2006 年之水深測量，其平面座標為二度分帶座標。因以臺中港北防波堤至北防沙堤間的海岸地形變化為研究主要基地，為方便計算及表現分析結果，將此二度分帶座標 (E-N 系統) 轉為沿岸及離岸之 x - y 座標系統，以海堤向北為沿岸方向之新座標 x 軸而垂直海堤向外海為正 y 軸，此 x - y 座標

原點在 E-N 座標之(200843.2820, 2687311.0970)，而新 x-y 座標系統為二度分帶 E-N 座標逆時針旋轉 64 度，二座標系統示如圖 3-2。

跟據臺中港之波浪分析東夏季代表值及沙粒之中值粒徑，並以佐藤和田中 (1962) 公式計算出漂沙臨界移動水深作為選擇等深線，本研究選擇+2、0、-3、-5、-10 及-15 等六條等深線以 EOF 探討海岸地形等深線沿岸之變化。另外，臺中港北防波堤至北防沙堤約 2500m，本研究以 EOF 探討 500m 等間距之 5 個剖面之底床高程變化，所選擇之等水深及剖面示意圖如圖 3-2 所示。

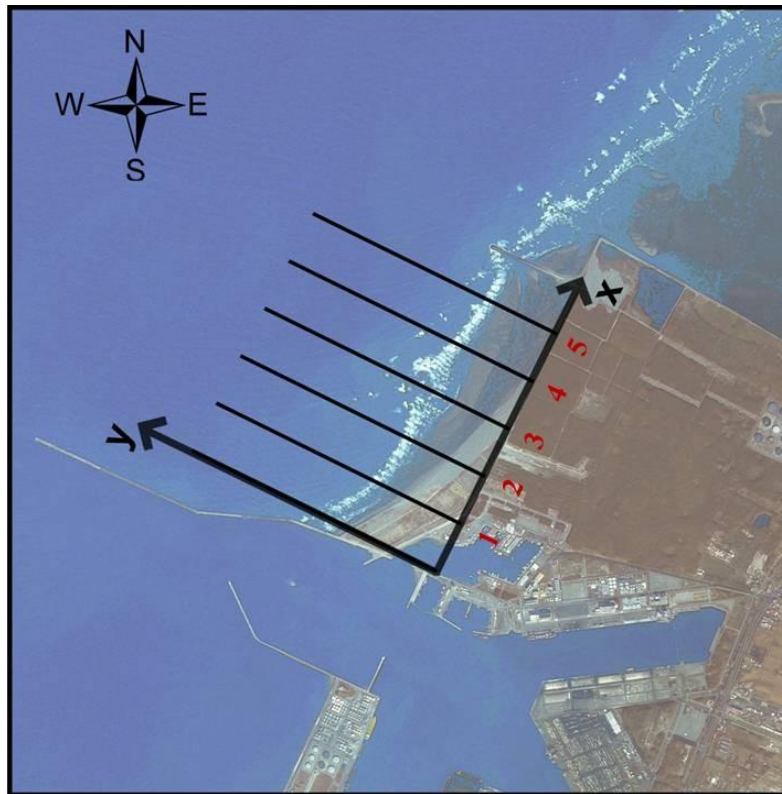


圖 3-2 原 E-N 座標與轉換座標及選擇 5 個剖面示意圖

3.4.2 選擇剖面之地形變化特性

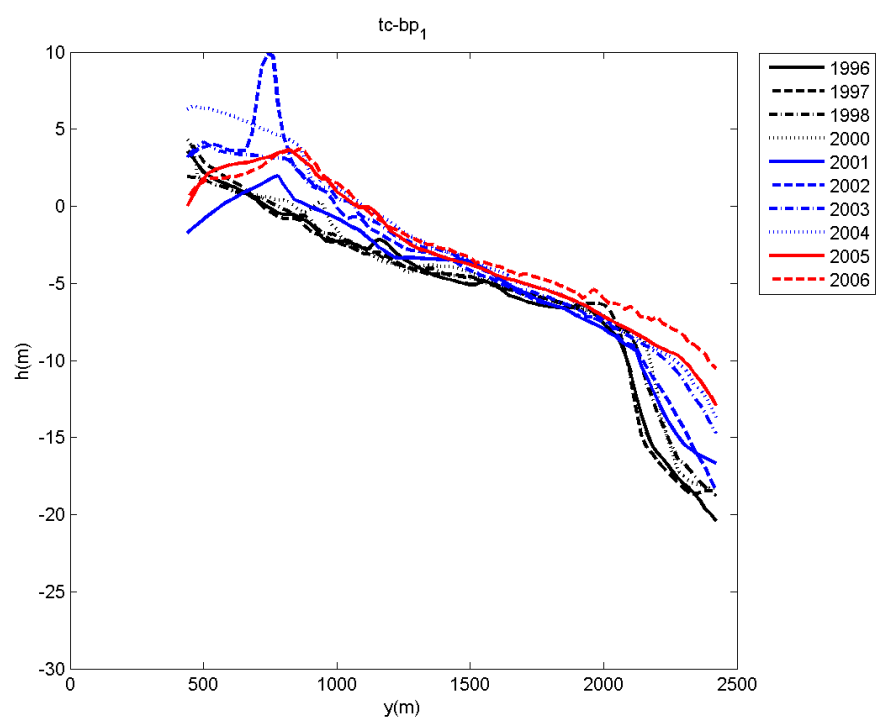
首先探討所選擇 5 個剖面之底床高程、前四個特徵向量與以其所計算之 3 維地形變化量，其結果分別示如圖 3-3 至圖 3-7。此 5 個剖面之前四個特徵值與前 10 個之之比值示如表 3-1。

從表 3-1 可知除了剖面 1 外第一個特徵值已佔所有特徵值合之 99.3%以上，而第二個特徵值約為 0.1-0.5%之間，前二者特徵值所佔比例已高達 99.0-99.9%。第一個特徵值代表意義主要為各點水深之平均值特性，而第二個特徵值顯示各點水深變動之標準偏差(standard deviation) (見 Hsu et al. (1994)，高(2008)，黃(2009))。

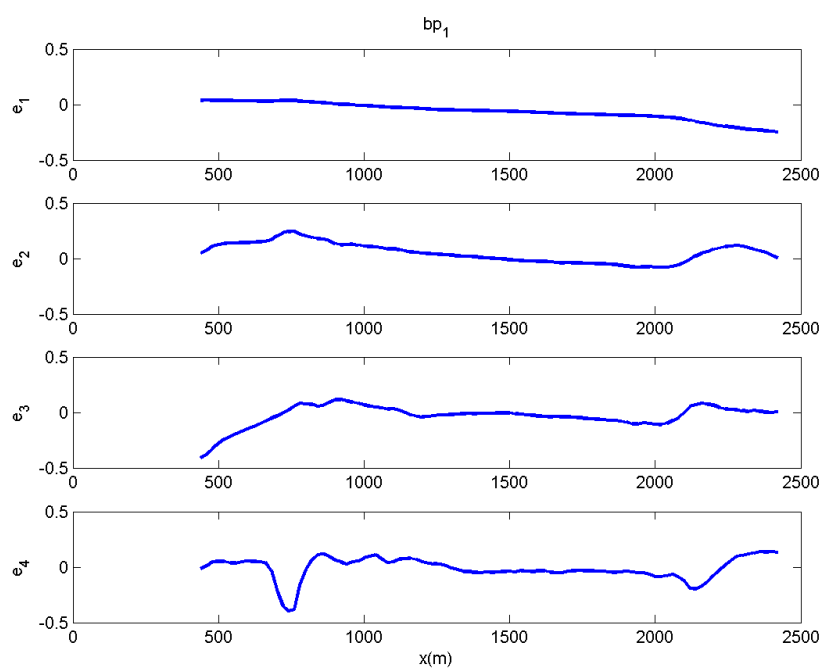
表 3-1 5 個剖面之前四個特徵值與前 10 個之之比值(%)

剖面	第一個	第二個	第三個	第四個
1	96.43	2.612	0.485	0.280
2	99.33	0.526	0.057	0.042
3	99.44	0.404	0.093	0.039
4	99.63	0.294	0.039	0.016
5	99.60	0.319	0.050	0.019

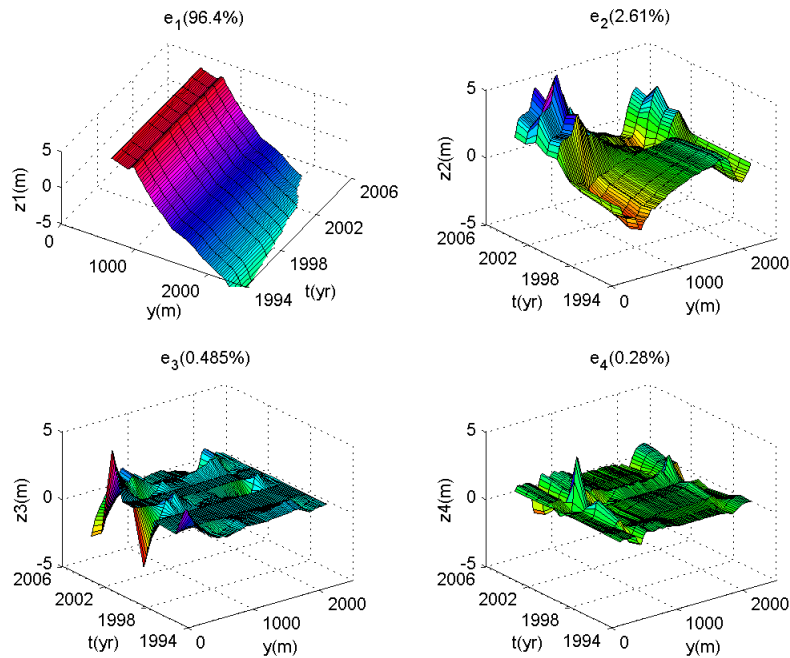
剖面 1 位置幾乎靠近北防波堤。圖 3-3(a)顯示剖面 1 之高程逐漸變淺，變化量在離海堤 1000m 內及 2000m 以外之範圍尤其明顯，在北防波堤延伸後 2000m 以外之剖面淤積更快，而在 1000-2000m 間底床高程變化在 10 年之間約有 1-2m 之淤積。圖 3-3(b) 顯示剖面 1 前四個特徵向量在 1000-2000m 間接近於 0，而其他範圍各點特徵向量值較大，由此各點特徵向量可明顯說明剖面不同時間之高程變化程度。圖 3-3(c) 第二個特徵向量之地形變化量顯示剖面 1 在 2002 年以後，範圍在離海堤 1000m 內及 2000m 以外明顯有高程變化，其量可達 3-5m。至於第三個特徵向量之地形變化量亦可看出在 2000 年以前地形變化之分量比較小，而在 2002 年附近且在近岸部份有比較明顯之變化。第四個特徵向量之地形變化量在 2002 年比較其他年份有明顯之變化，但變化量已比前第二及三個特徵向量之地形變化量小。



(a) 底床高程



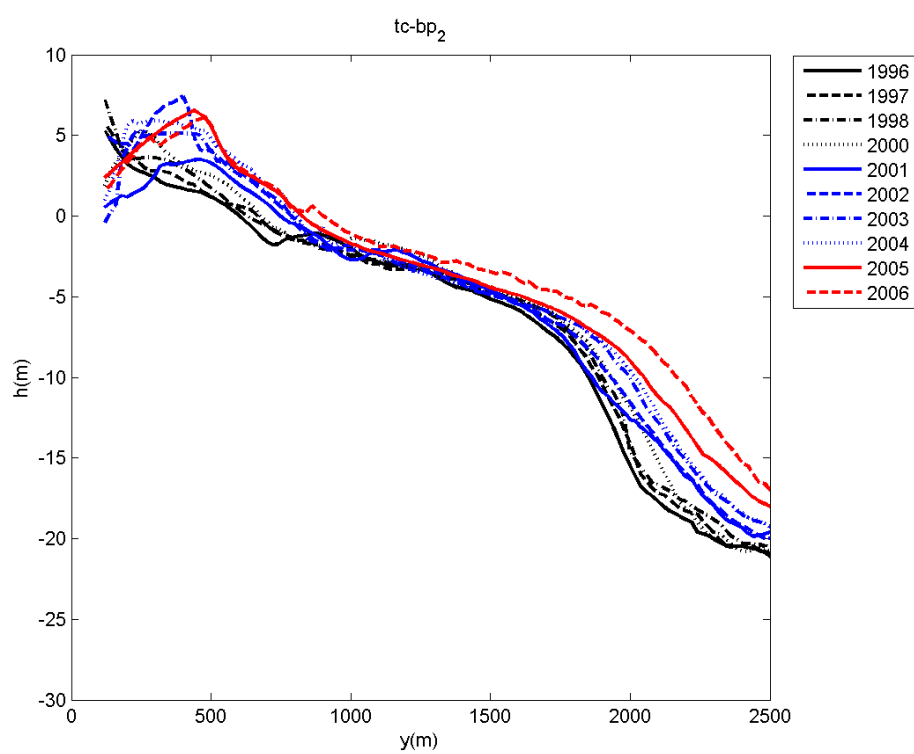
(b) 前四個特徵向量



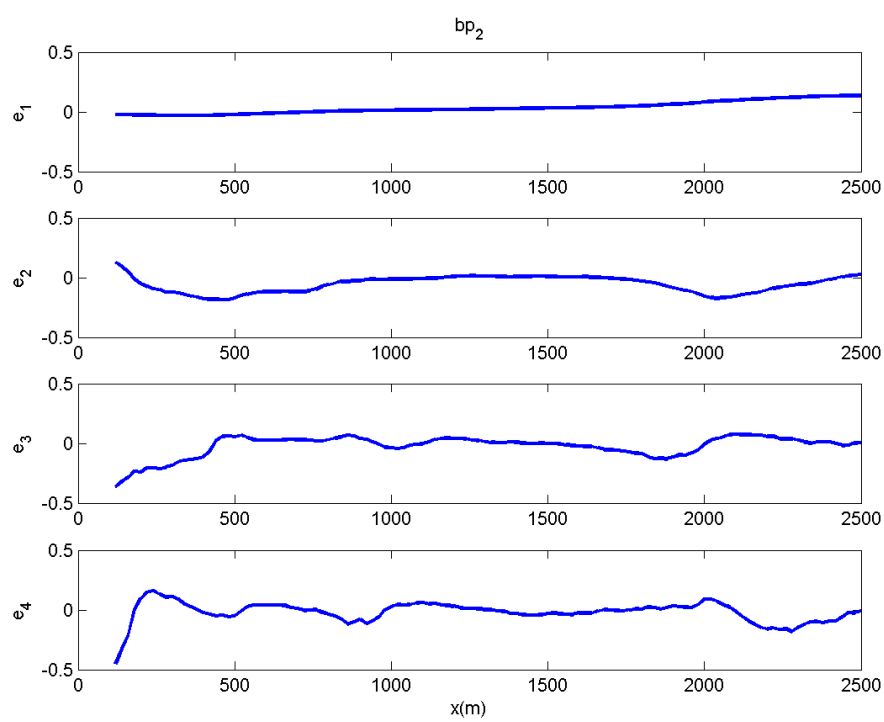
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維地形變化量

圖 3-3 剖面 1 之底床高程、前四個特徵向量與以其所計算之 3 維地形變化量

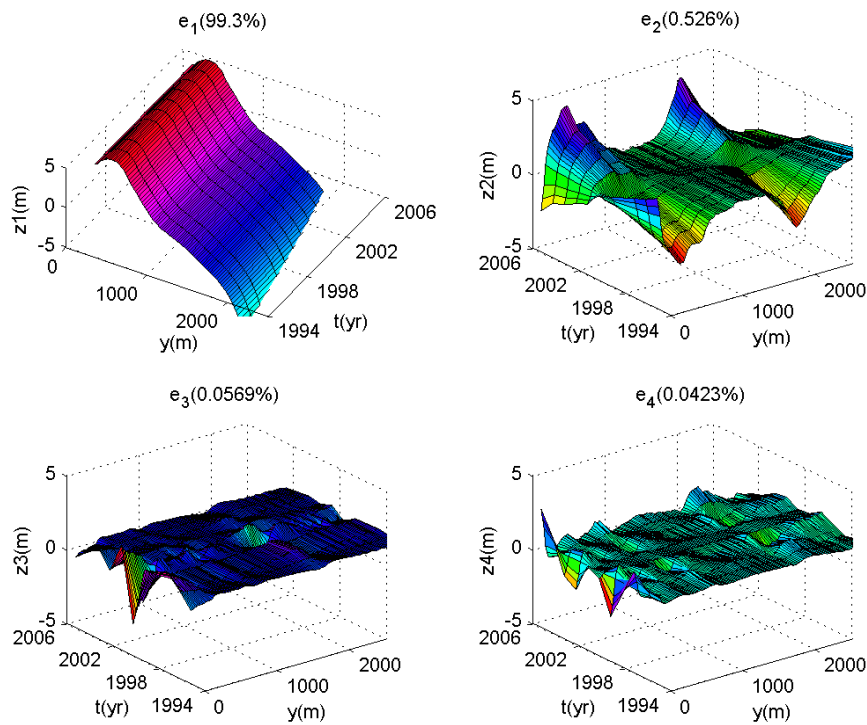
圖 3-4(a)顯示剖面 2 之高程逐漸變淺，變化量在離海堤 700m 內及 1800m 以外之範圍尤其明顯，在北防波堤延伸後 1800m 以外之剖面淤積更快，而在 700-1800m 間底床高程變化在 10 年之間僅有 1-2m 之淤積，尤其在離海堤 1200m 之高程變化最小。圖 3-4(b) 顯示剖面 2 前四個特徵向量在 750-1800m 間接近於 0，而其他範圍各點特徵向量值較大，由此各點特徵向量可明顯說明剖面不同時間之高程變化程度。圖 3-4(c) 第二個特徵向量之地形變化量顯示剖面 2 在 1998 年以前範圍在離海堤 500m 及 1800m 附近底床高程減少，但在 2002 年以後，範圍在離海堤 500m 及 1800m 附近逐漸高程增加，其量可達 3-5m。至於第三個特徵向量之地形變化量亦可看出在 2001-2002 年且在近岸部份有比較明顯地形變化。第四個特徵向量之地形變化量在近岸有明顯之變化外其他地方則均小，但變化量已比第二及三個特徵向量之地形變化量小。



(a) 底床高程



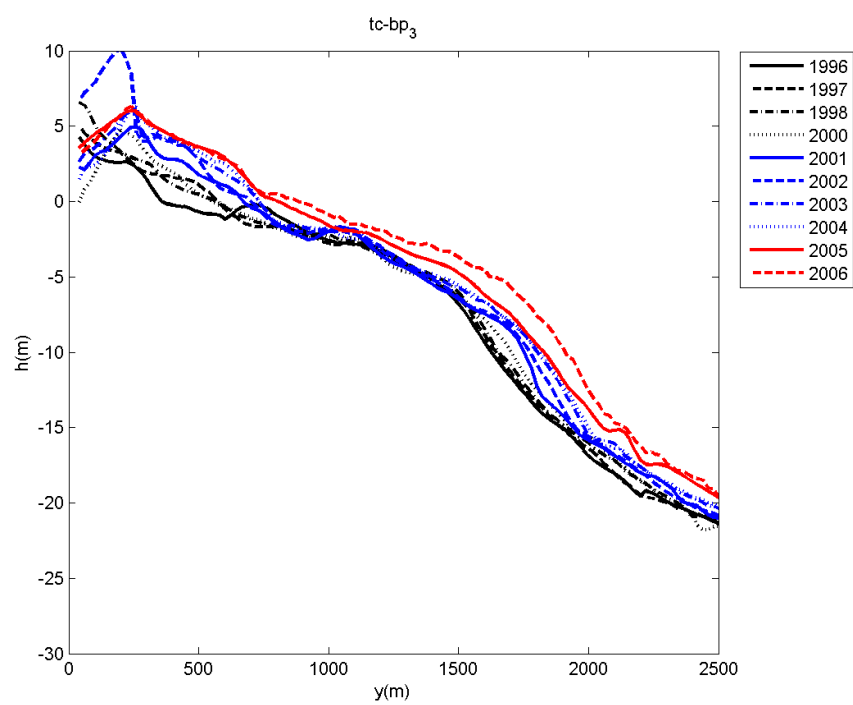
(b) 前四個特徵向量



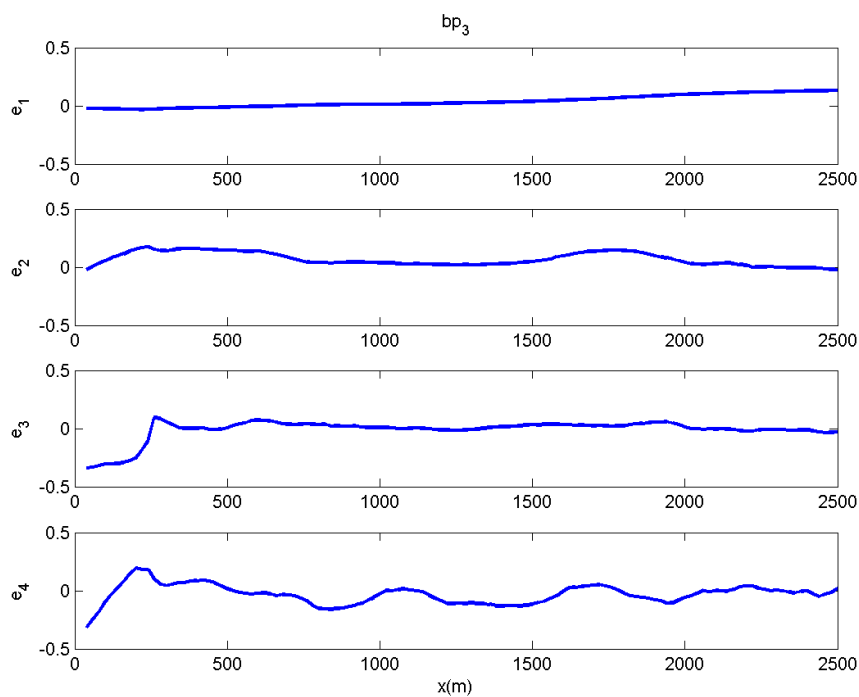
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維地形變化量

圖 3-4 剖面 2(如圖 3-1 之說明)

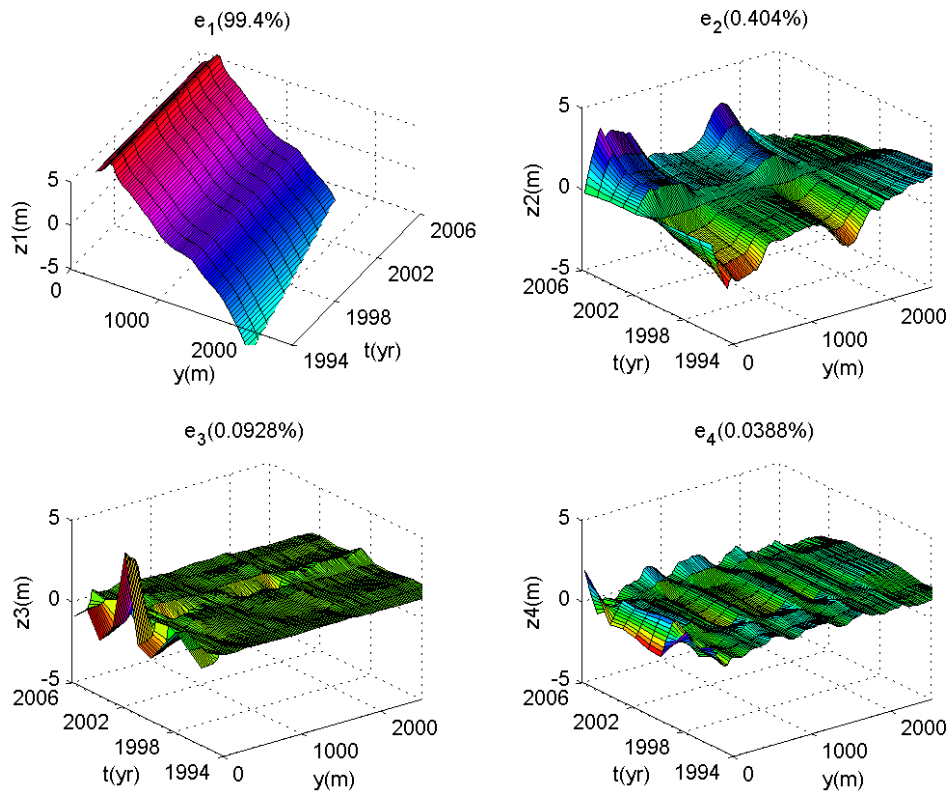
圖 3-5(a)顯示剖面 3 之高程亦逐漸變淺，變化量在離海堤 500m 內及 1700m 附近尤其明顯，在北防波堤延伸後 1500m 以外之剖面淤積更快，而在 700-1800m 間底床高程變化在 10 年之間僅有 1m 左右之淤積，尤其在離海堤 1100m 之高程變化最小。圖 3-5(b) 顯示剖面 3 第二個特徵向量值並無較明顯高或低之範圍而接近於 0，而第四特徵向量值在全範圍內明顯有變化。圖 3-5(c) 第二個特徵向量之地形變化量顯示剖面 3 在 2002 年以後，範圍在離海堤 300m 及 1700m 附近逐漸高程增加，其量可達 2-3m。至於第三個特徵向量之地形變化量在 2001-2002 年且在近岸部份有比較明顯地形變化外，其他地方及時間其值均小。第四個特徵向量之地形變化量之變化已比第二及三個特徵向量之地形變化量都小。



(a) 底床高程



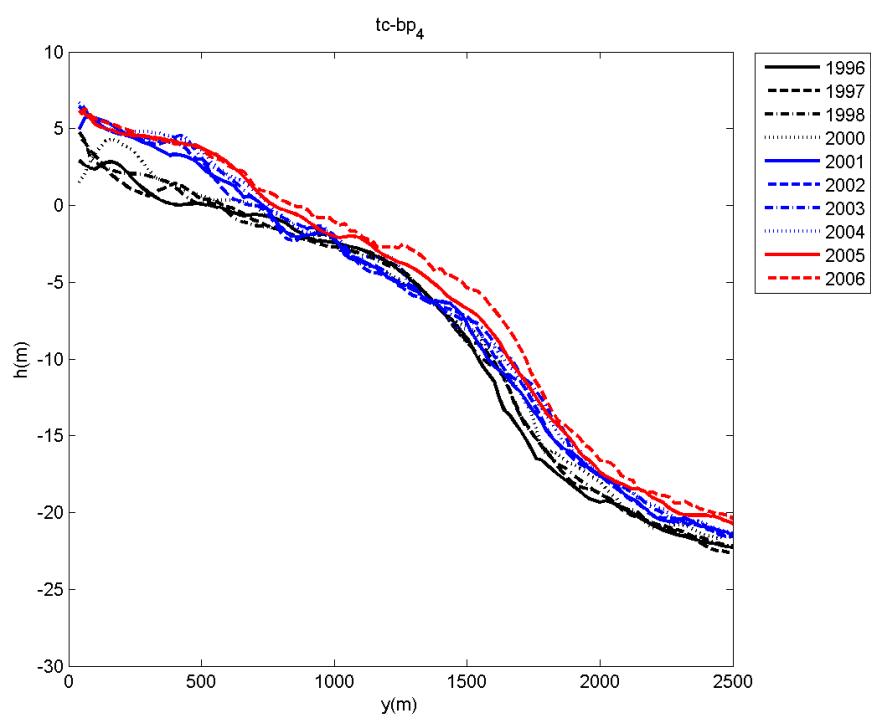
(b) 前四個特徵向量



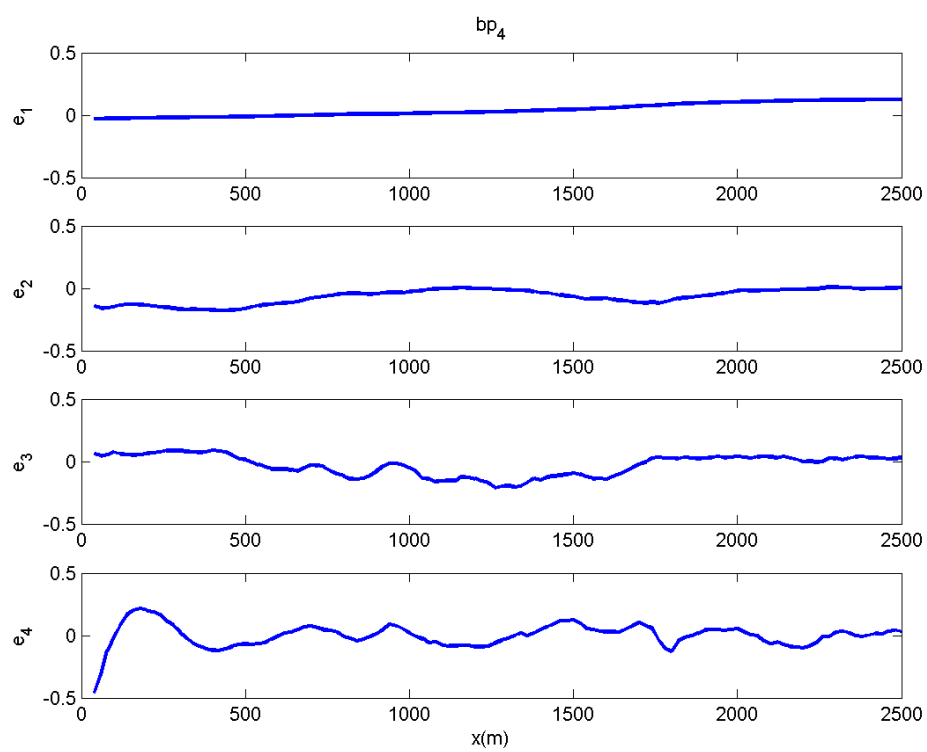
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維地形變化量

圖 3-5 剖面 3(如圖 3-2 之說明)

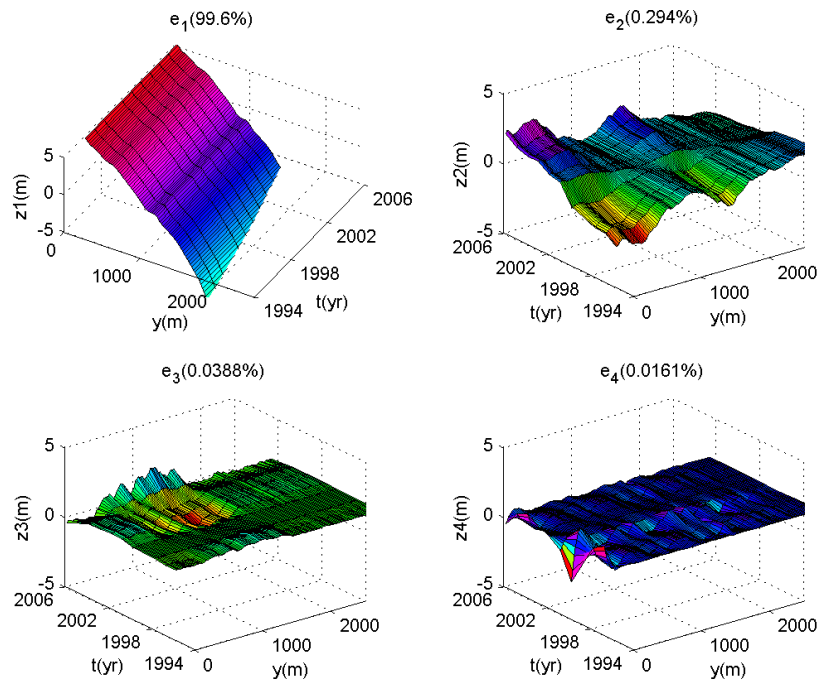
圖 3-6(a)顯示剖面 4 之高程亦逐漸變淺，但變化量已無像前個剖面比較均勻地增加，在 10 年之間約有 3m 左右之淤積。圖 3-6(b) 顯示剖面 4 第二個及第三特徵向量值並無較明顯高低變化。圖 3-6(c) 第二個特徵向量之地形變化量顯示剖面 4 自 1996 年以後逐漸高程增加。至於第三個特徵向量之地形變化量在 2004 年且在離岸 1000m 內有比較明顯地形變化外，其他地方及時間其值均小。第四個特徵向量之地形變化量在 2004 年且近岸有些變化外，其他處之變化已比第二及三個特徵向量之地形變化量都小。



(a) 底床高程



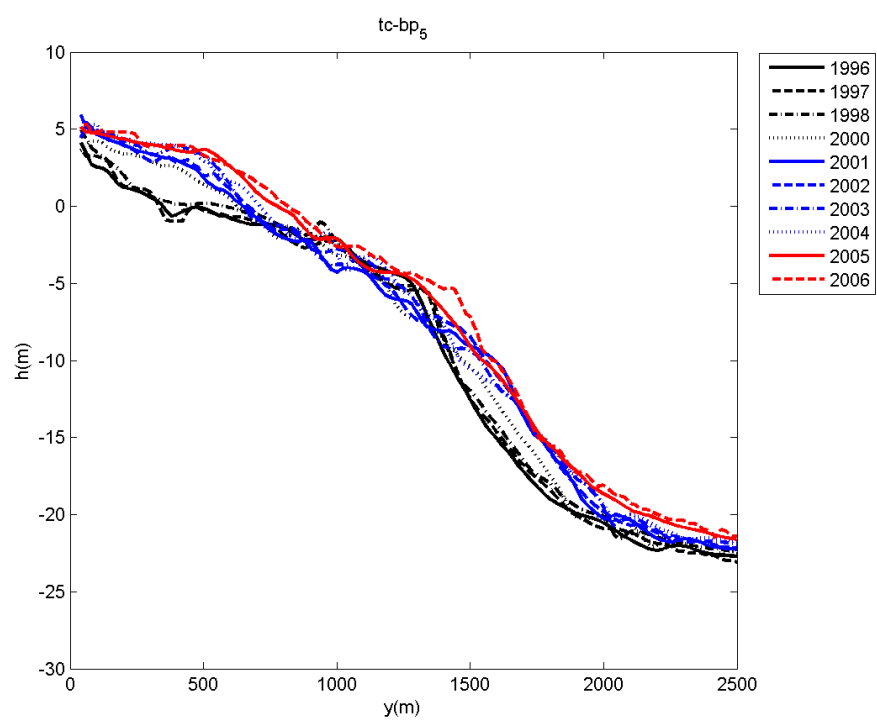
(b) 前四個特徵向量



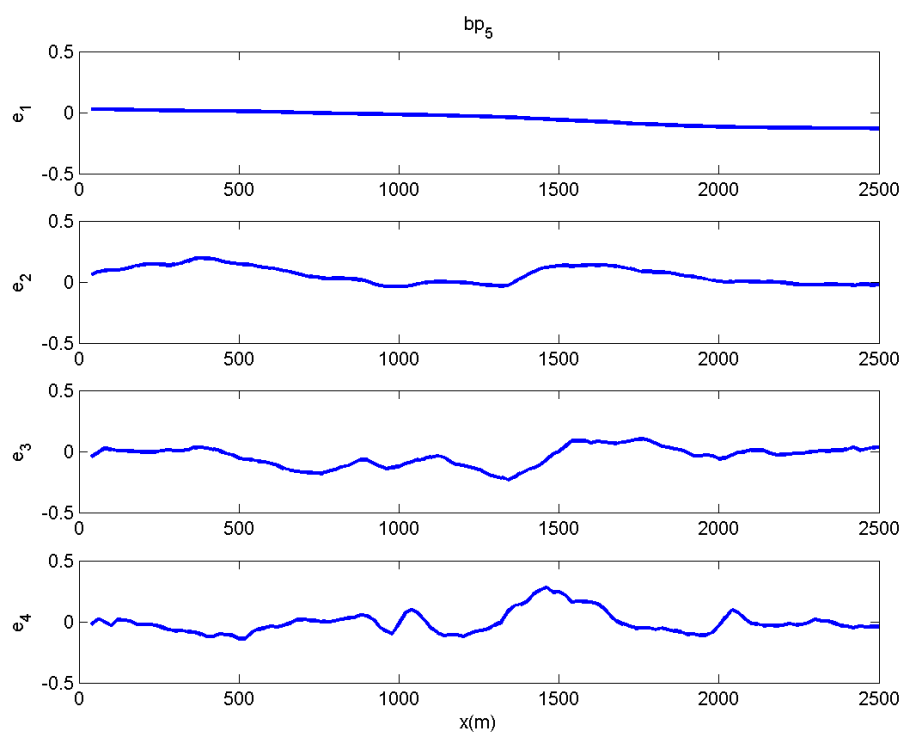
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維地形變化量

圖 3-6 剖面 4(如圖 3-1 之說明)

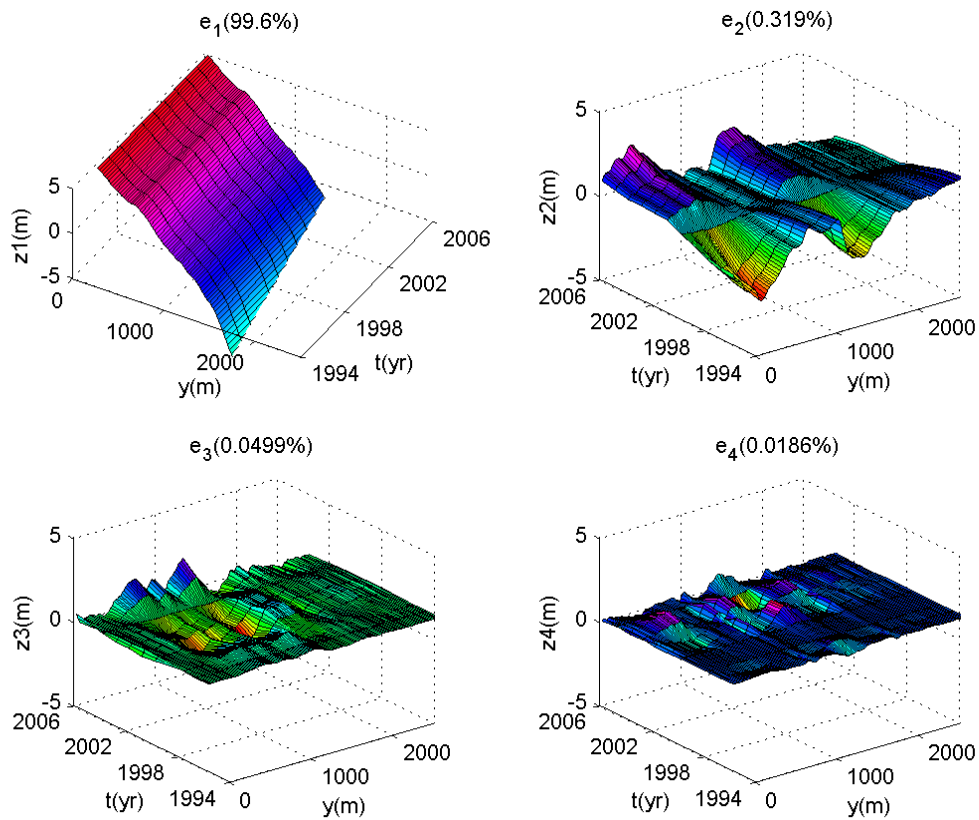
剖面 5 位置已接近於北防沙堤，底床高程變化受此突堤影響與剖面 3 及 4 略有不同，圖 3-7(a)顯示剖面 5 之高程亦逐漸變淺，但變化量在離岸 800m 有明顯增加，在 1998-2000 年增加最多，而增建北防波堤在 2001 之後，此剖面之近岸高程已無明顯增加，此顯示增建北防波堤影響範圍至此剖面已不明顯。此剖面在離岸 1200m 之底床高程變化最少，在離岸 1500m 以外之底床 1998-2000 年間有比較大之高程變化，但 2001-2006 之高程變化則反而減緩。圖 3-7(b) 顯示剖面 5 第二個至第四特徵向量值有明顯高低變化。圖 3-7(c)特徵向量之地形變化量與圖 3-5(c)類似，顯示剖面 5 自 1996 年以後逐漸高程增加。至於第三個特徵向量之地形變化量在 2004 年且在離岸 1000m 內有比較明顯地形變化外，其他地方及時間其值均小。第四個特徵向量之地形變化量已比第二及三個特徵向量之地形變化量都小。



(a) 底床高程



(b) 前四個特徵向量



(c) 以前四個特徵向量計算 3 維地形變化量

圖 3-7 剖面 5(如圖 3-2 之說明)

3.4.4 等深線之變遷特性

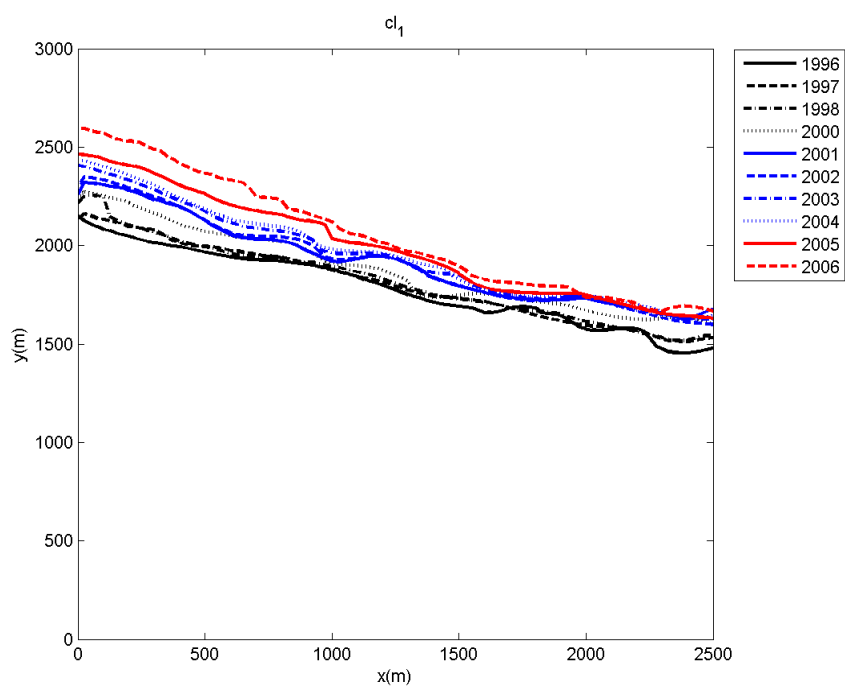
接著探討所選擇 6 個等水深之離岸距離、前四個特徵向量與以各成份所計算離岸距離之 3 維變化量，其結果分別示如圖 3-8 至圖 3-13。此 6 個等水深之離岸距離之前四個特徵值與前 10 個特徵值合之比值示如表 3-1。

從表 3-2 可知除了+2m 等水深外第一個特徵值已佔所有特徵值合之 99.47%以上，而第二個特徵值約為 0.012-0.31%之間，前二者特徵值所佔比例已高達 99.78-99.99%。

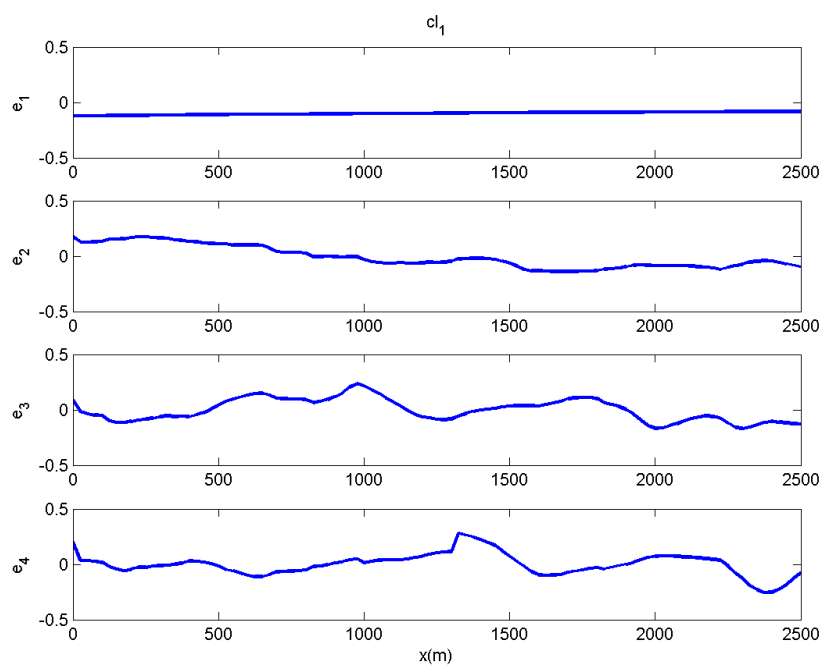
表 3-2 不同等水深之離岸距離之相對前四個特徵值比 (%)

等水深	第一個	第二個	第三個	第四個
-15m	99.97	0.017	0.005	0.002
-10m	99.97	0.012	0.008	0.003
-5m	99.95	0.022	0.0011	0.007
-3m	99.78	0.129	0.038	0.029
0m	99.47	0.312	0.093	0.089
+2m	98.47	1.223	0.145	0.074

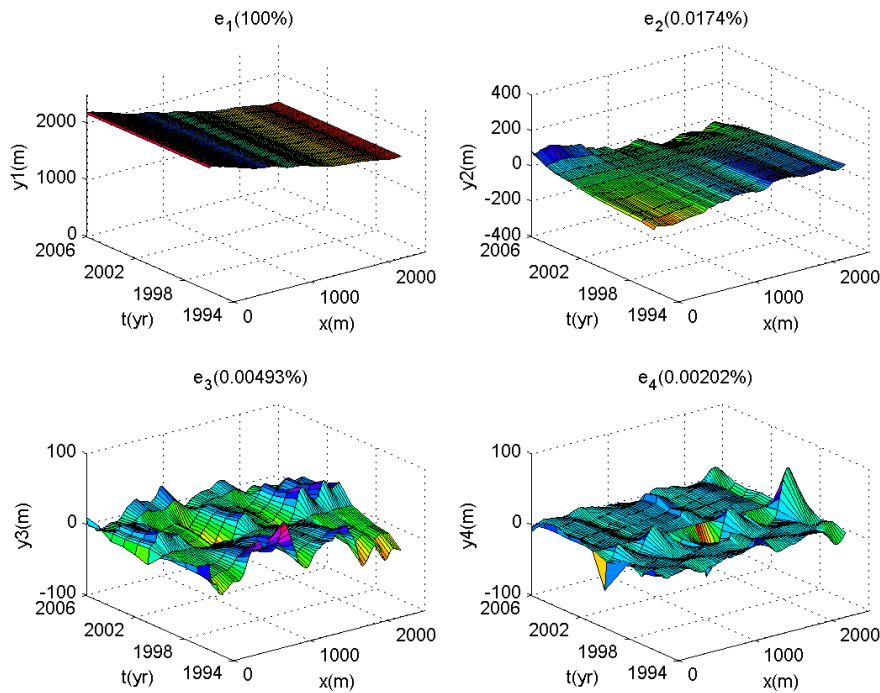
圖 3-8(a)顯示-15m 等水深位置離海堤約 1500m-2500m 之間，向右下傾斜約 15 度，等深線明顯隨時間往外海移動，此結果與上一小結討論剖面在外海處有大量淤積之結果相乎對應。圖 3-8(b) 顯示-15m 等水深第二個特徵向量值顯示各點等水深位置離海堤位置偏離平均位置較大在北防波堤處是往海側，而在北防沙堤則往路側，趨勢亦是左邊為正而右邊為負。圖 3-8(c) 第二個特徵向量之地形變化量顯示-15m 等水深在 2002 年以後，靠近北防波堤逐漸增加的速度比在遠離北防波堤處還快。第三個特徵向量之地形變化量在時間及空間上變化特性比較均勻。第四個特徵向量之地形變化量在 2000 年比較時間有明顯之變化，整體之變化量比第二及三個特徵向量之地形變化量小。



(a) 等水深之離岸距離



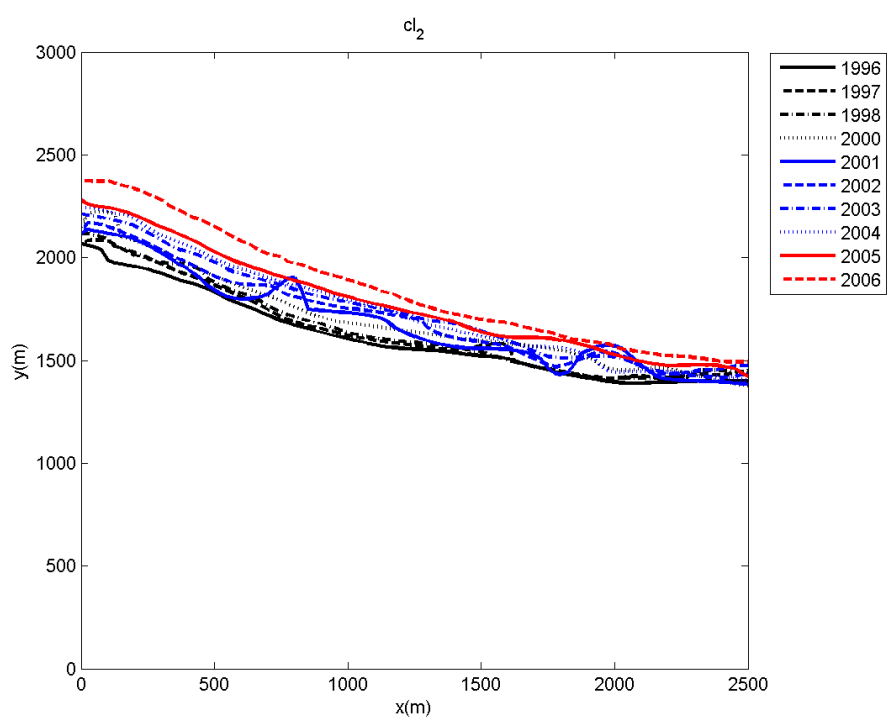
(b) 前四個特徵向量



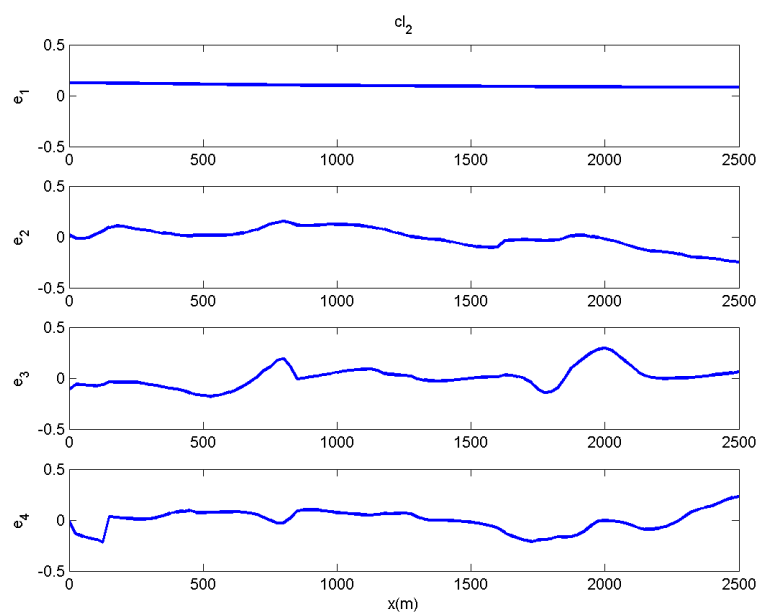
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維等水深之離岸距離

圖 3-8 -15m 等水深之離岸距離、前四個特徵向量與以各成份所計算離岸距離之 3 維變化量

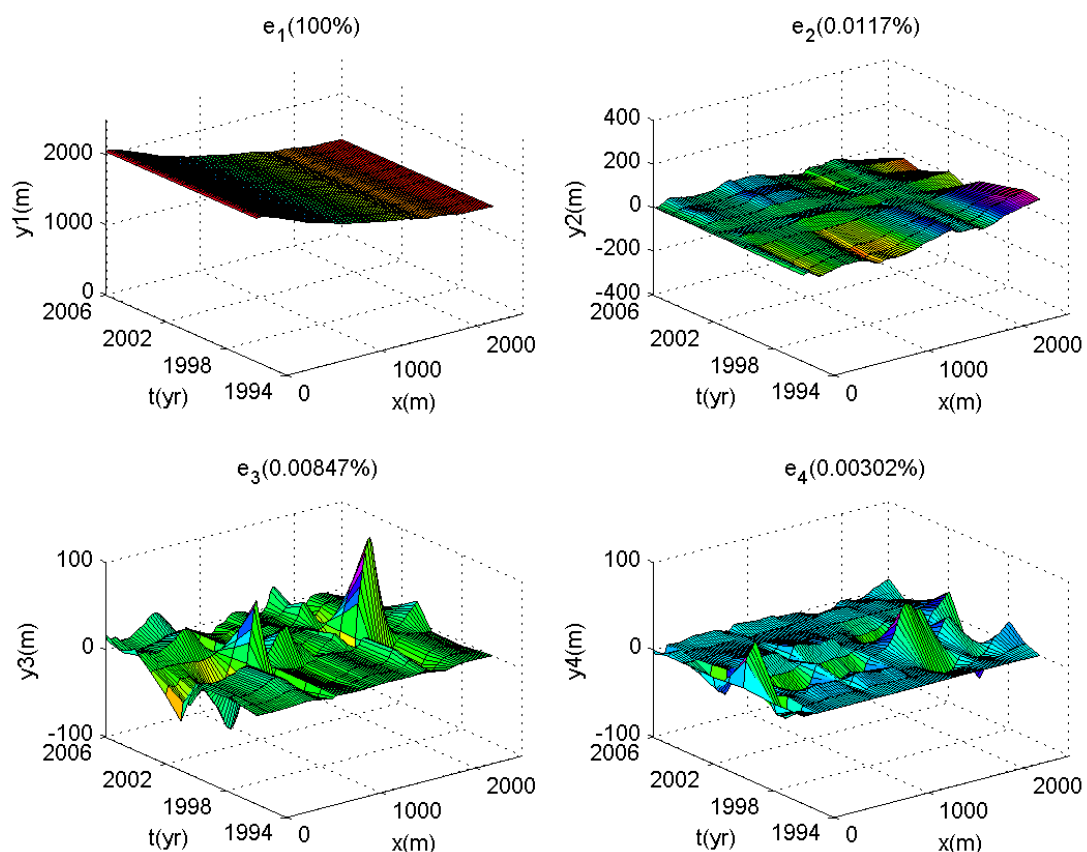
圖 3-9(a)顯示-10m 等水深離海堤之位置，除了 2001 年外等水深均平滑向右下傾斜，且隨時間往外海移動。圖 3-9(b) 顯示-10m 等水深的第二個特徵向量值稍有起伏變化，而第三個特徵向量之變動似乎與 2001 年之等深線之偏離平均值相近，此推論第三個特徵向量可能與物理量比其他有特別變化趨勢者，但此卻無統計上之證明，在沿岸 1000-1500m 之第二至第四個特徵向量變化較小，此顯示-10m 等水深在這段範圍變化趨勢相近。圖 3-9(c) 第二個特徵向量之地形變化量顯示-10m 等水深時間及空間變化都小。第三個及第四個特徵向量之地形變化量在 2000-2002 年比較其他年份有明顯之變化外，整體地形變化量均小。



(a) 等水深之離岸距離



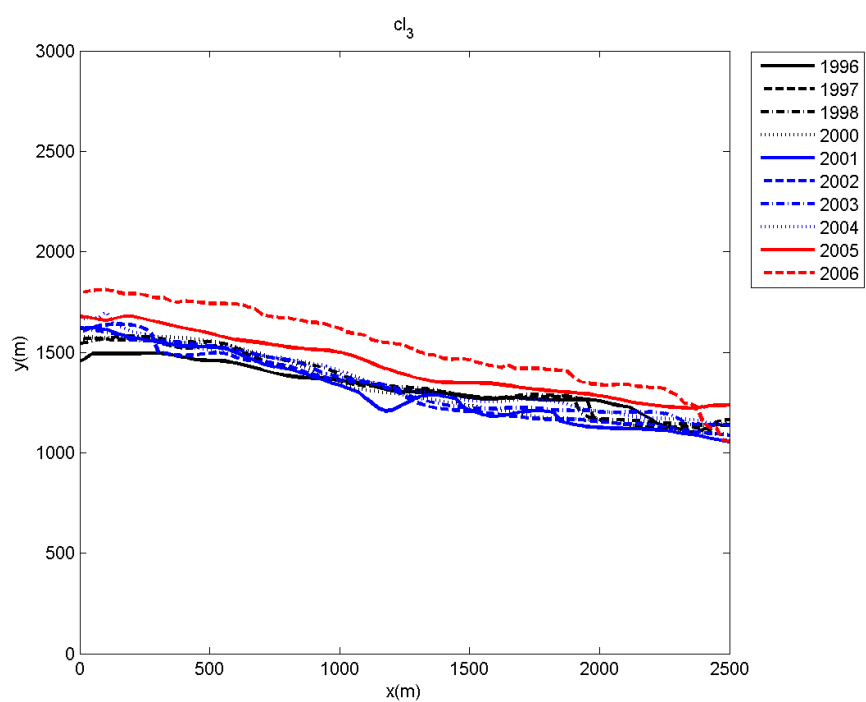
(b) 前四個特徵向量



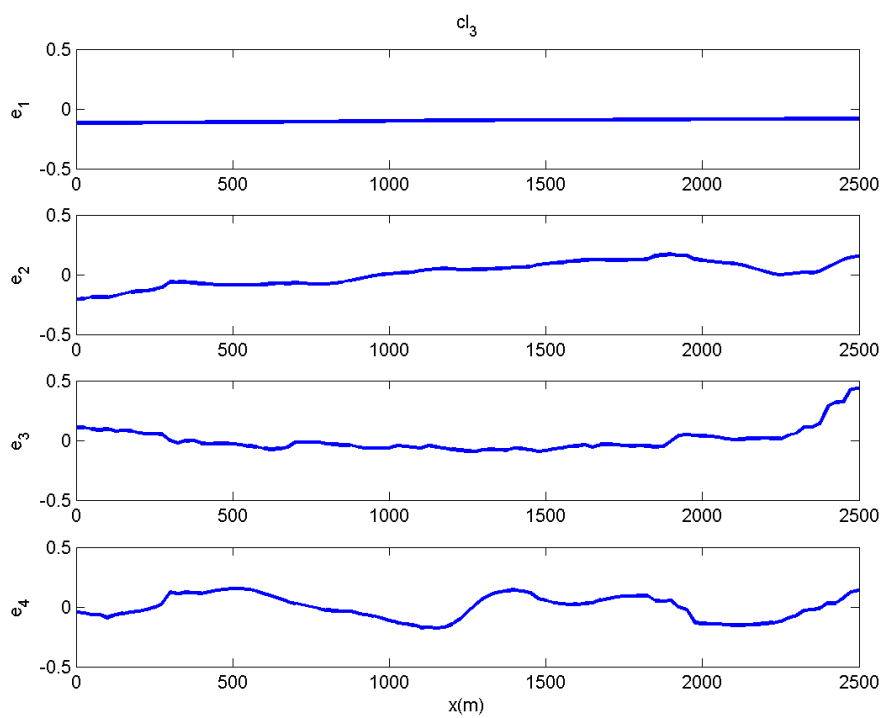
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維等水深之離岸距離

圖 3-9 -10m 等水深(如圖 3-6)

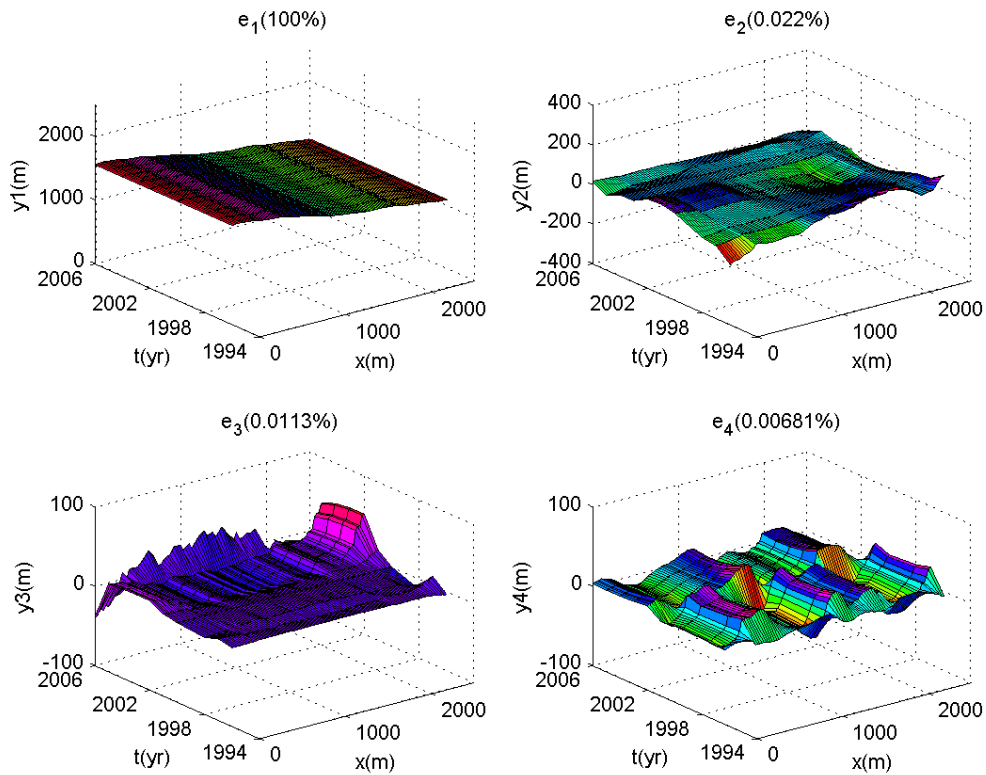
圖 3-10(a)顯示-5m 等水深離海堤之位置，除了 2001 年在 1200m 至 1700m 範圍外，均平滑向右下傾斜，2005-2006 年明顯往外海移動。圖 3-10(b) 顯示-5m 等水深的第二個特徵向量值在 300m 左邊及 1900m 之右邊有起伏變化外其他則接近於 0，而第三個特徵向量之變動似乎與 1996 年之等深線變動的趨勢相近。圖 3-10(c) 第二個特徵向量之地形變化量顯示-5m 等水深時間及空間變化都小。第三個特徵向量之地形變化量在 2002 年以後比較之前年份有明顯之變化。



(a) 等水深之離岸距離



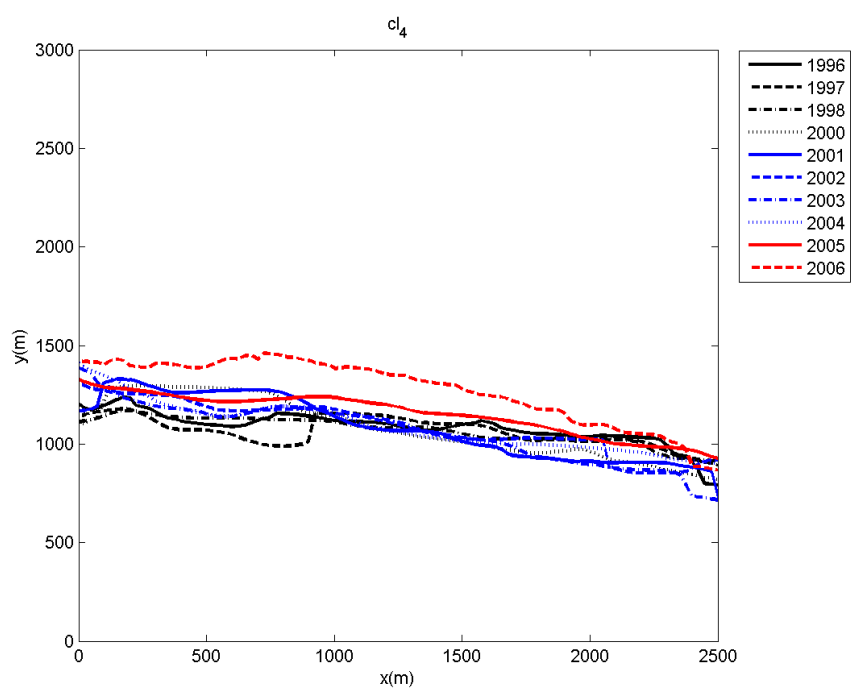
(b) 前四個特徵向量



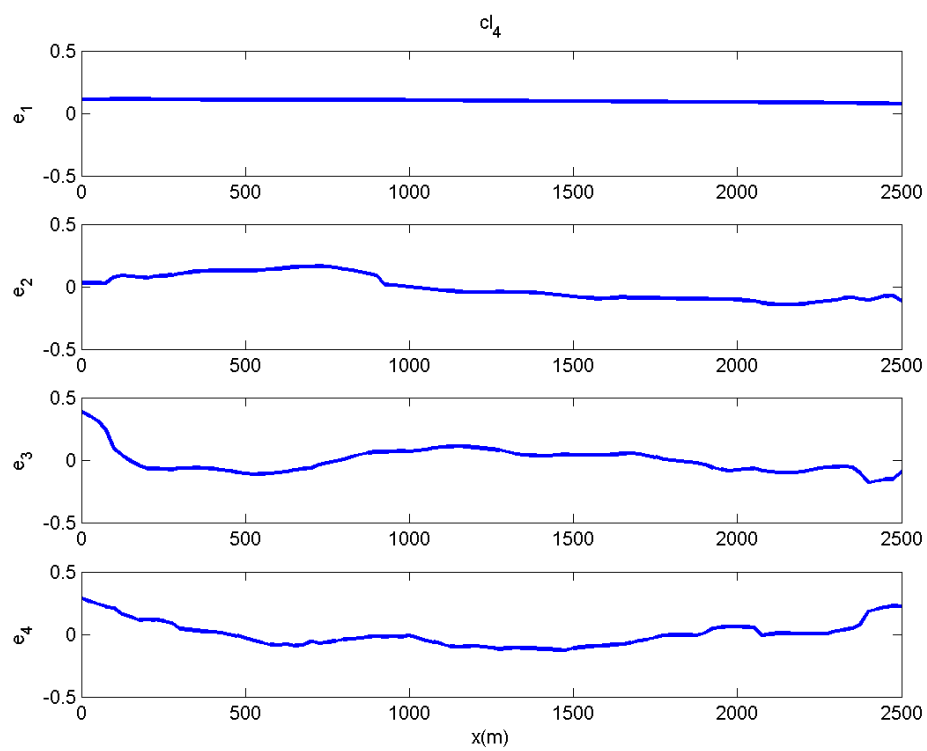
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維等水深之離岸距離

圖 3-10 -5m 等水深(如圖 3-7)

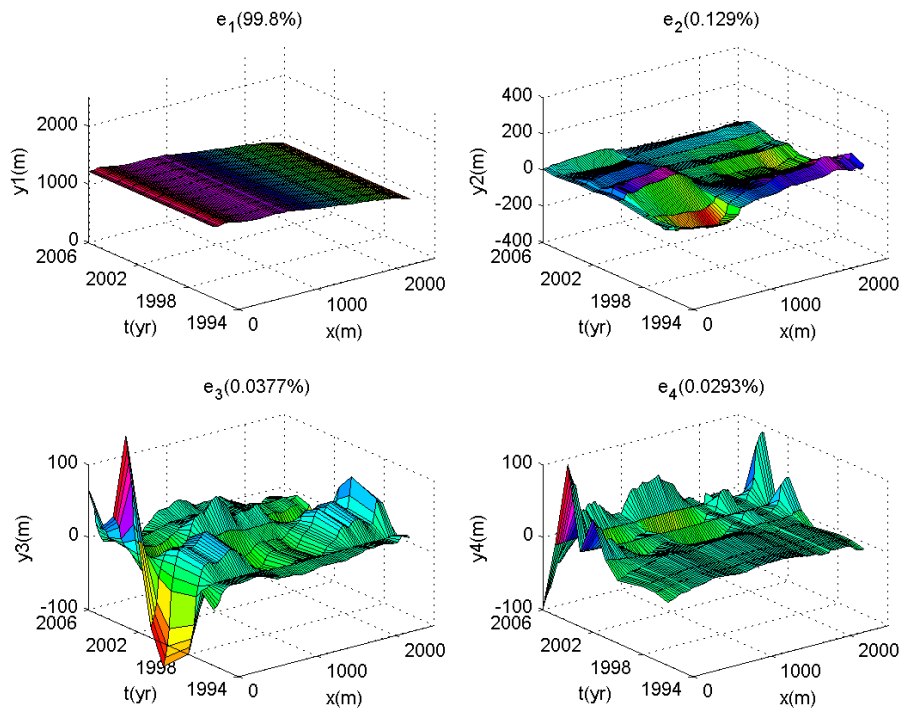
圖 3-11(a)顯示-3m 等水深離海堤之距離，等水深逐漸略平行於海堤，向右下傾斜約 8 度，2006 年之等深線明顯往外海移動。圖 3-11(b)顯示-3m 等水深的第二個特徵向量值在 1000m 內略有起伏變化，而第三個及第四個特徵向量有較第二個特徵向量值大之變動。圖 3-11(c) 第二個特徵向量之地形變化量顯示-3m 等水深在 1996 至 2000 年間有比較其他時間較大之變化，但至 2006 第二個特徵向量之地形變化又有比較大之變化量。第三個特徵向量之地形變化量顯然有時間及空間上的變化，而第四個特徵向量之地形變化在 2000 前比較 2000 後小。



(a) 等水深之離岸距離



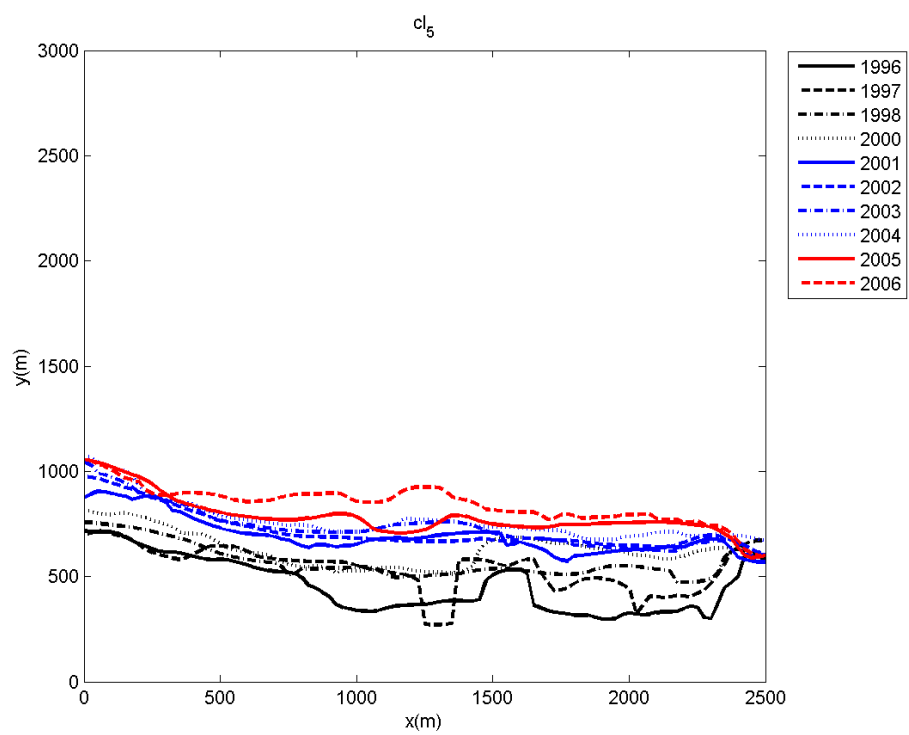
(b) 前四個特徵向量



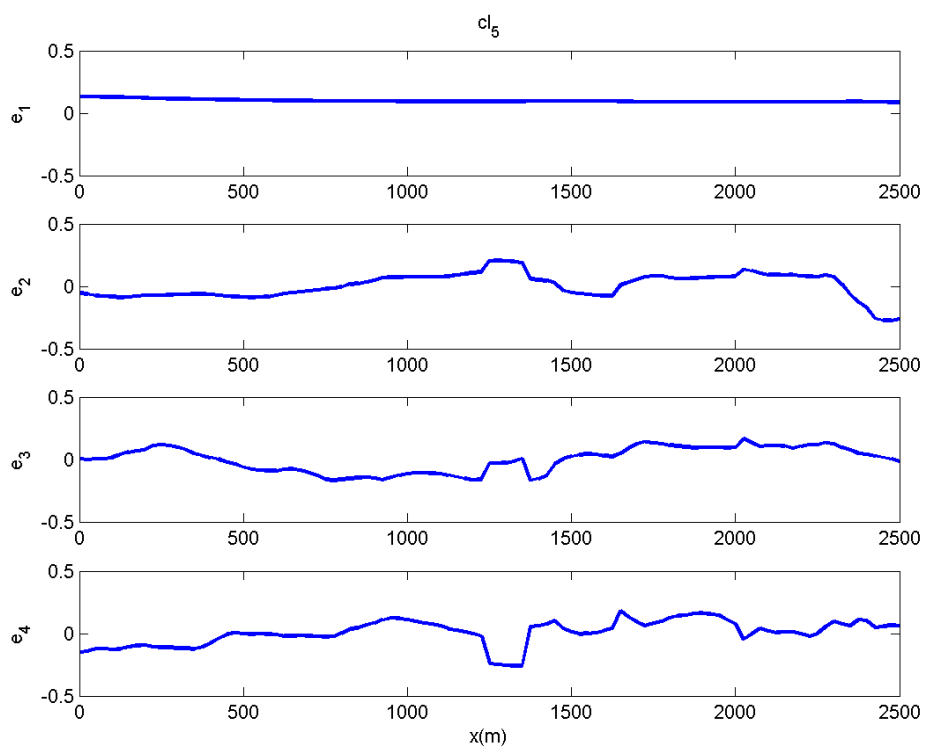
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維等水深之離岸距離

圖 3-11 -3m 等水深(如圖 3-7)

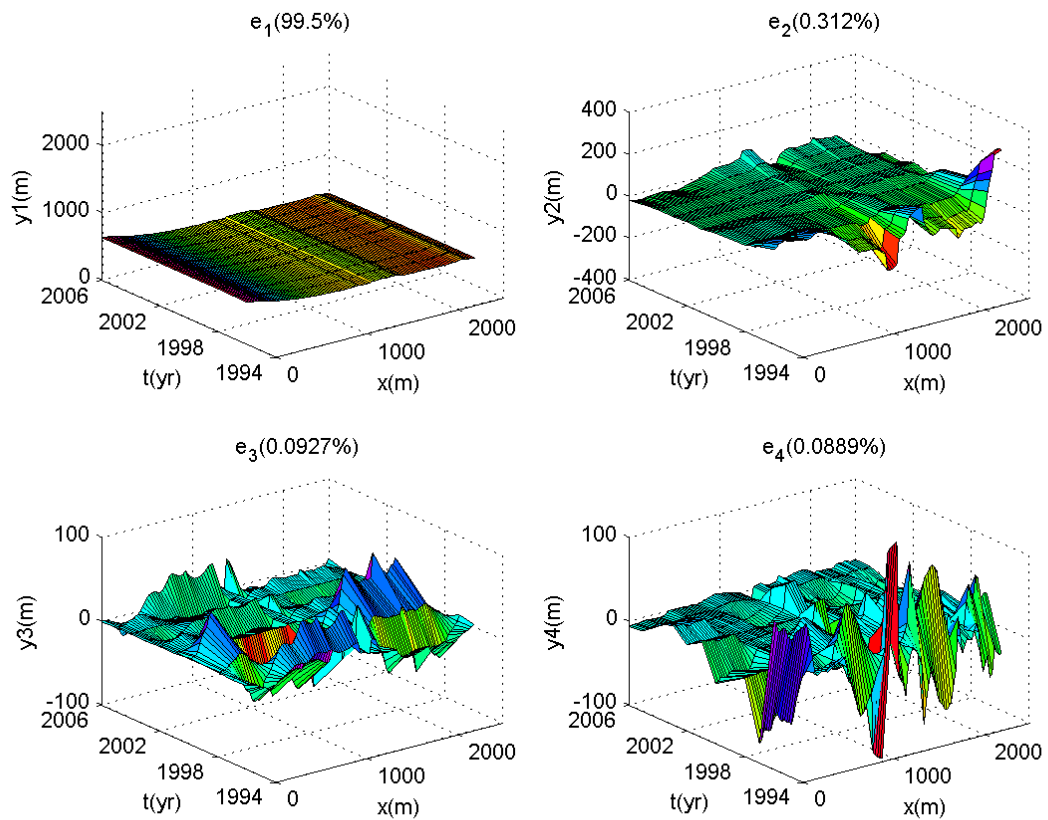
圖 3-12(a)顯示 0m 等水深離海堤之位置，0m 等水深比-3m 等水深更平行於海堤，等深線明顯隨時間往外海移動。圖 3-12(b) 顯示 0m 等水深的第二個、第三個及第四個特徵向量有明顯起伏變化，顯示各時段 0m 等水深在沿岸方向之變化並無一致的趨勢，亦即無法用少數前幾個特徵向量就可表明等水深變遷之特性。圖 3-12(c)第二個特徵向量之地形變化量顯示 0m 等水深在 2001 年前且在沿岸 1000m 右有比較其他時間及空間大之變化，在 2002 後 0m 等水深就穩定一個趨勢的往外海移動，所以其第二個特徵向量之地形變化量就小。第三個及第四個特徵向量之地形變化量在 2001 年比較其他年份有明顯之變化外，範圍包括整體地沿岸區域。



(a) 等水深之離岸距離



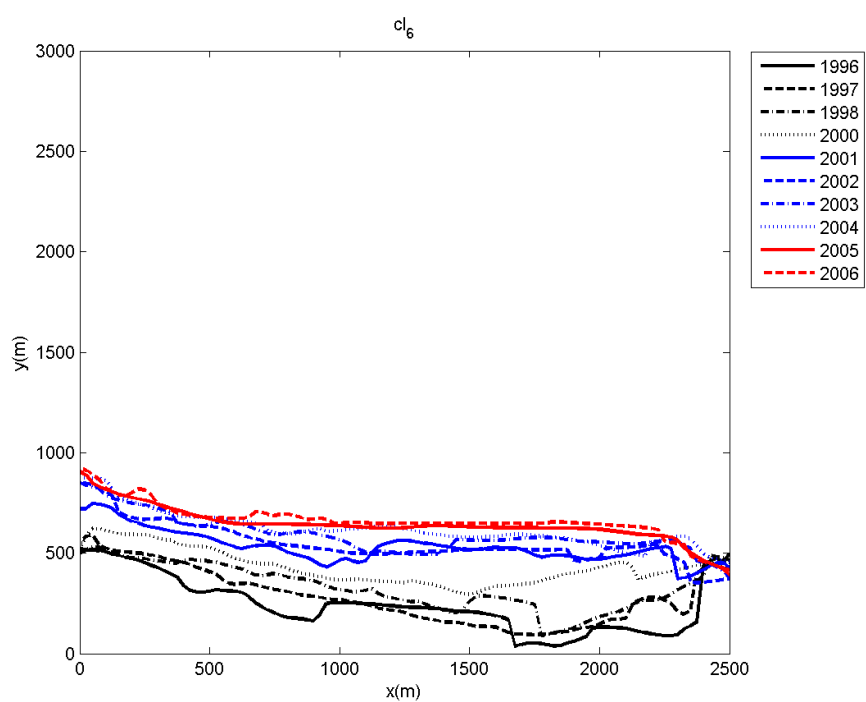
(b) 前四個特徵向量



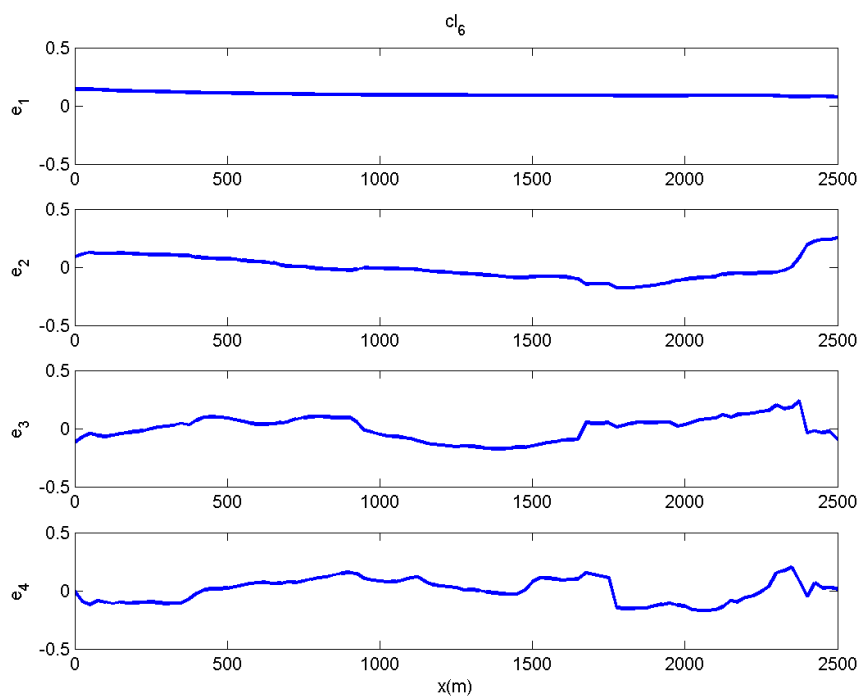
(c) 以前四個特徵向量計算 3 維等水深之離岸距離

圖 3-12 0m 等水深(如圖 3-7)

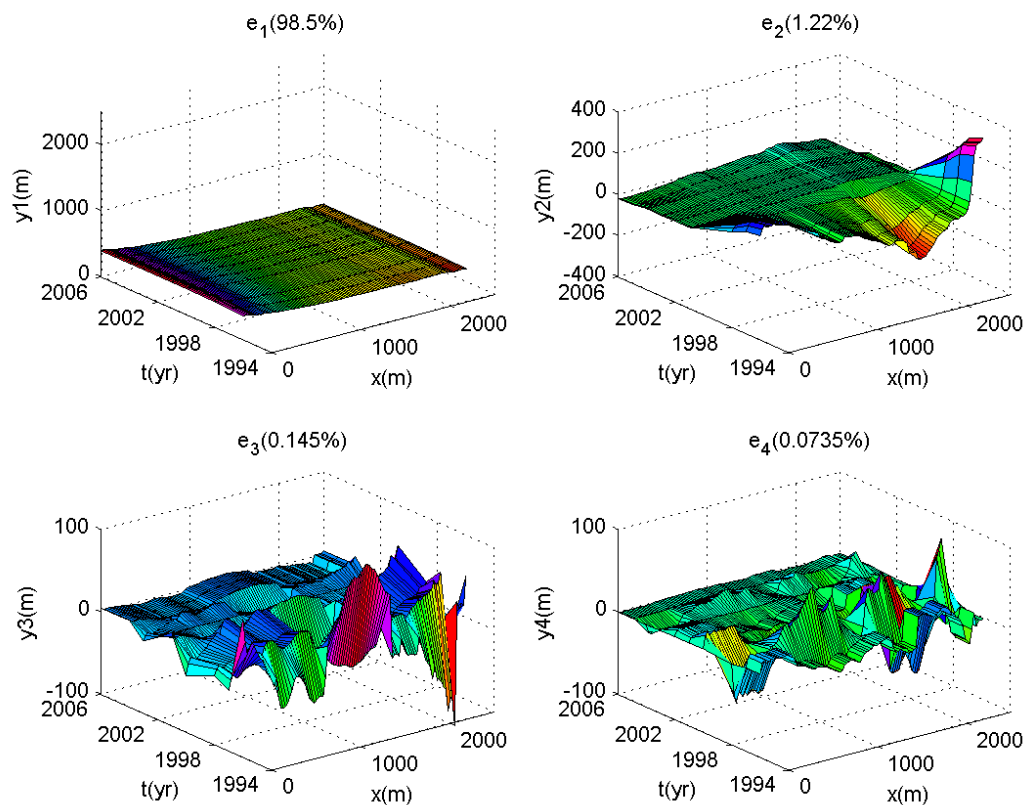
圖 3-13(a)顯示+2m 等水深離海堤之位置，除了 2001 年後+2m 等水深就比較之前穩定有較少之變化，2005-2006 年之+2m 等深線幾乎相近，顯示岸上沙灘之高程已穩定。圖 3-13(b) 顯示+2m 等水深的第二至第四個特徵向量值有起伏變化，此推論+2m 等深線在沿岸變化並無一致之趨勢，而須要比較多特徵向量才能更加描述此變化特性。圖 3-13(c) 第二個至第四個特徵向量之地形變化量均顯示+2m 等水深可知在 2001 年後有較小之時間及空間變化。



(a) 等水深之離岸距離



(b) 前四個特徵向量



(c) 以前四個特徵向量計算 3 維等水深之離岸距離

圖 3-13 +2m 等水深(如圖 3-7)

3.4.5 二維空間地形變遷特性 EOF 分析

在研究範圍中以平面格網(dx=50m, dy=40m)上水深當 EOF 資料，所得前第四個特徵向量圖如圖 3-14 所示，而對應特徵值佔全部特徵值之比例分別為 99.46%、0.413%、0.050%及 0.036%。第二個特徵向量主要代表個點不同時間水深變化之變異大小，由圖 3-13 三維第二個特徵向量及其相對應之等值圖(contour)可知地形變化比較劇烈主要在北防波堤附近離岸 800m 以內，而在北防沙堤處約離岸 500m 以內，在這變化比較之範圍外海邊界直至在北防波堤處離岸 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。此現象與第一年以水深測量高程比對所得結果，在臺中港北

側海岸近岸及遠岸均有大的地形變化，而中間斷之區域之地形變化小，其造成之外力機制主要因為波浪及潮流配合結構物所成，欲知其結果可詳參第一年報告。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。

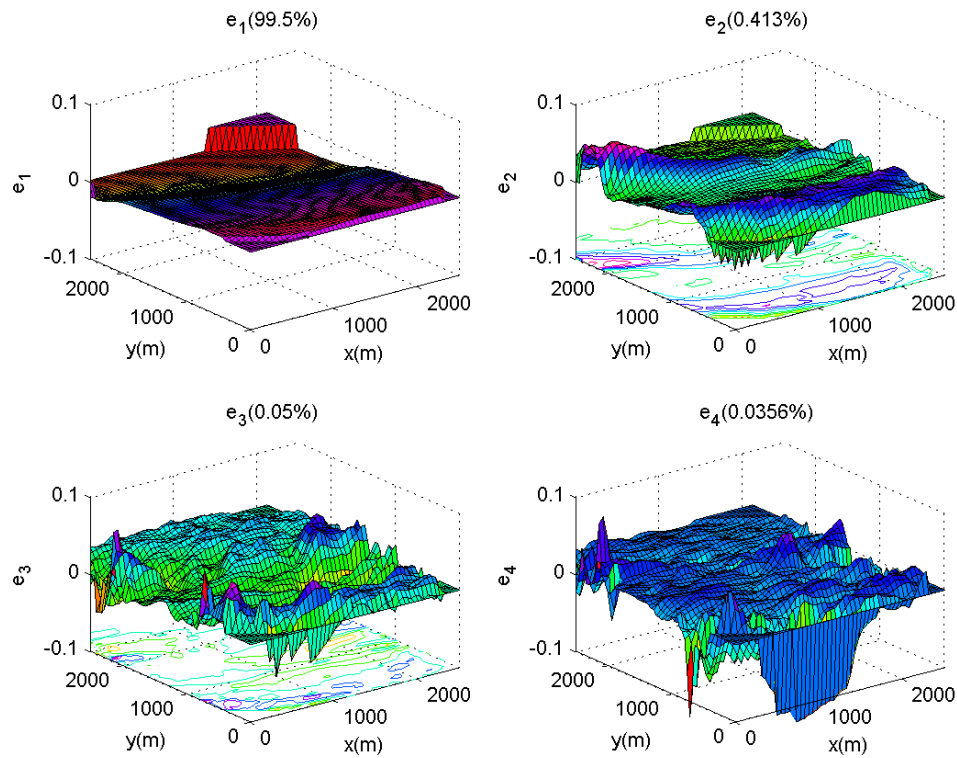


圖 3-14 以經驗正交法分析二維空間水深之前第四個特徵向量

3.5 以經驗正交函數預測地形變化

3.5.1 正交函數預測模式之理論

根據第 3.4 節之討論可說明經驗正交函數分析地形變化特性之能力，以下將延伸此方法至海岸地形變化之預測，此方法已於 Hsu et. al. (1994)及黃(2009)引用。上述作者將外力作用時間以平均一個代表值來處理，但地形之變化是每日或月不同波浪外力所作用結果所致，雖然往昔作者已將波浪之特性依能通率之概念計算出一個代表值，但若輸入每月之代表值應更能呈現地形變化是有每月不同波浪特性所造

成。本研究更擴展往昔經驗正交函數以年或半年之波浪外力作之地形預測模式成為，以前後地形測量波量每月不同波浪作用外力之地形預測模式。

以統計方法預測某一系統的紛紜現象時，通常先作過濾手續 (filtering)，即求出樣本的平均值，而由移去平均值之偏差 (residual) 在模式中運算，此種處理方式具有以下的優點：

- (1) 移去平均的資料變數，在運算過程中的變化幅度較小，可避免造成較大的相對誤差。
- (2) 在經驗特徵函數法的應用上，可求得變動量較小之特徵函數，如此可得更精確的預測結果。

推測未來海岸地形變化情形，本文視海岸斷面係由一平均值及幾個變化型態所構成，而這些變化型態均為紊亂變動量，故海灘斷面地形之高程可表示為：

$$[h(p, t)]_{mn} = [\bar{h}(p)]_{mn} + \bar{\mathbf{e}}_{mk}(p) \bar{\mathbf{e}}_{nk}^T(t) \quad (3-12)$$

上式中的 $[\bar{h}(p)]_{mn}$ 為海岸空間點上 p 之平均斷面地形，而 $\bar{\mathbf{e}}_{mk}(p)$ 及 $\bar{\mathbf{e}}_{nk}(t)$ 分別代空間點上 p 和時間上的特徵函數。 $[h(p, t)]_{mn}$ 可以表示成在第 3.3 節中為剖面之水深，等水深之離岸距離，或二維空間格點上之水深。

海岸地形變化過程中，各變化型態是由紊亂空間特徵函數及時間特徵函數所組成，海岸地形即表示每一空間變化分量隨不同時段之時間特徵函數變動的結果，故欲求得未來海灘地形，須先求得下一時段之時間特徵函數方可達到目的。若要由 i 時刻之時間特徵向量 $\bar{\mathbf{e}}_{nk}(t_i)$ ，求得下一個時刻的時間特徵函數 $\bar{\mathbf{e}}_{nk}(t_{i+1})$ ，則需考慮兩時間特徵向量時間之關聯性，若假設海岸地形變化過程為一階馬可夫過程 (Markov process)，而且海岸地形受外在參數 (forcing parameter) 的影響而產生變化，即 $\bar{\mathbf{e}}_{nk}(t_{i+1})$ 與 $\bar{\mathbf{e}}_{nk}(t_i)$ 及外力參數 $\mathbf{F}(t_{i+1})$ 有關，其關係由馬可夫過程可表明如下：

$$\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t_{i+1}) = \mathbf{M}_{k(k+l)}[\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t); \mathbf{F}_{l1}(t_{i+1})] \quad (3-13)$$

上式中 $\mathbf{M}_{k(k+l)}$ 為馬可夫過程之轉換係數矩陣(coefficient matrix of transfer function)， $\mathbf{F}_{l1}(t_{i+1})$ 為考慮下一時刻之 l 個外力參數， $\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t_i)$ 及 $\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t_{i+1})$ 。分別為兩時間特徵向量， $[\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t); \mathbf{F}_{l1}(t_{i+1})]$ 表示在行時間特徵向量下接 l 個外力。若有 n 個時間，則每兩個時刻均可建立成(13)式之形式，所以有 $n-1$ 可行時間特徵向量建立，因此(3-13)式以用矩陣之通式表示為：

$$\mathbf{P}_{k(n-1)} = \mathbf{M}_{k(k+l)} \mathbf{D}_{(k+l)(n-1)} \quad (3-14)$$

應用矩陣運算則可得馬可夫過程轉換之係數矩陣為：

$$\mathbf{M}_{k(k+l)} = (\mathbf{P}_{k(n-1)} \mathbf{D}_{(k+l)(n-1)}^T) (\mathbf{D}_{(k+l)(n-1)} \mathbf{D}_{(k+l)(n-1)}^T)^{-1} \quad (3-15)$$

預測模式的建立是以實測 n 個時段之資料，利用第 3.3 節的方法，先求出單位時間特徵函數，再以(15) 式求得 $\mathbf{M}_{k(k+l)}$ 後，若預測 $n+1$ 時間則利用 $\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t_n)$ 及 $\mathbf{F}_{l1}(t_{n+1})$ ，以(13)式求得 $\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t_{n+1})$ 後，再以(3-12)式則可算出 $n+1$ 時間上空間之水深 $[\hat{h}(p, t_{n+1})]_{mn}$ 。為表明預測空間水深之能力，本研究以一般平均絕對誤差為檢驗標準，以公式可表為：

$$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left| \hat{h}(p, t_{n+1}) - h(p, t_{n+1}) \right|}{mn} \quad (3-16)$$

上式中水深之二維格點數為 $m \times n$ ，若考率剖面則(3-16)式中 $n=1$ 。

3.5.2 選擇的外力參數

影響海岸漂沙的因素很多，如底床坡度、底質性質及波浪條件等，如果視海灘地形變化為馬可夫過程，則外力參數於預測過程中占有相當重要的地位，合適的外力參數不僅充分支配海岸地形變化，更能避免預測時所產生的誤差，因此如何選定跟海灘地形變化有關係的外力參數就是個很重要的問題。本研究參考 Miller and Dean(2007) 關連經驗

正交函數與近岸條件的 8 個參數，另外本研究提出與海岸漂沙量有關的 Shields 數及 Ursell 數共 10 個外力參數。此參數之定義如下：

(1)波浪能量：

波浪能量對於海岸漂沙量的估算甚為重要，當漂沙量減少時，會造成海岸線後退產生侵蝕，而漂沙量增多時，會造成海岸線前進產生堆積，其式表示如下：

$$E = \frac{\rho g H_b^2}{8} \quad (3-17)$$

上式中的 ρ 為水的密度， g 為重力加速度， H_b 為碎波波高。

(2)波浪能量通率：

一般沿岸漂沙多以波浪能量通率來估算，見 Komar and Inman (1970)，Kamphuis(1990)。不同於波浪能量，波浪能量通率為包含沿岸方向和向、離岸方向之向量，其式如下：

$$Fc = Ec_g \cos \theta_b \quad (3-18)$$

$$Fs = Ec_g \sin \theta_b \quad (3-19)$$

上式中的 c_g 為波浪群波速度， θ_b 為波浪碎波時的波向角。

(3)沉降速度參數(nondimensional fall velocity parameter):

Gourlay(1968)及 Dean (1973)認為沉降速度參數與波量尖銳度相關，又考慮沙粒之沉降速度。其定義如下：

$$\Omega = \frac{H_b}{w_s T} \quad (3-20)$$

上式中的 w_s 為沙粒之沉降速度。Kraus et al. (1991)指出在碎波帶內 Ω 與波浪之能量消散有關。

(4)碎波福祿參數(Surfzone Froude number):

與沉降速度參數相關之碎波福祿參數可以說明懸浮漂起與沉降之比值，而被認為可以當為淺水區漂沙特性。其定義如下：

$$F_r = \frac{w_s}{\sqrt{gH_b}} \quad (3-21)$$

Kraus et al. (1991)指出碎波福祿參數與在碎波帶內之波浪消散與底部剪應力及波浪功率(power)來讓沙粒懸浮有關。

(5)剖面參數(profile parameter):

碎波福祿參數並不考慮波浪之週期，因此無法完整描述碎波帶內之漂沙特性，因此 Dalrymple (1992)提出可以區隔有無沙洲(sand bar)海灘剖面之指標。其定義如下：

$$P = \frac{gH_0^2}{w_s^3 T} \quad (3-22)$$

(6)碎波相似參數：

波浪由外海傳遞至近岸區域時，由於地形的淺化效應，使得波高變大波長變短，能量集中於波峰處，使得波峰處的波速增加，再者由於水深變小，波浪受到底床摩擦的影響致使波底的波速變小，一旦波峰與波底的波速差距太大，波峰無法保持安定而崩潰即產生碎波。

一般來說，碎波的種類與特性受水深與波浪尖銳度等因素的影響，Battjes (1974) 綜合相關因素提出碎波相似參數(surf similarity parameter; Iribarren number)：

$$\xi = \frac{m}{\sqrt{H_0 / L_0}} \quad (3-23)$$

上式中的 m 為底床平均坡度， H_0 為深海波高， L_0 為深海波長。碎波相似參數不僅可以區分碎波的型態，且 Bruun 和 Günbak (1977)

的研究指出波浪在斜坡上之遡升 (run-up) 及作用時間與碎波相似參數有密切的關係。

(7)波浪尖銳度

波浪尖銳度為顯示波浪非線性的一個重要參考指標，亦是決定海灘剖面形式之因素。其表示如下：

$$\delta = \frac{H_0}{L_0} \quad (3-24)$$

(8)徐爾茲數(Shields number)

徐爾茲數為推導沙粒被波浪起動之推移力(drag force)及重力平衡所得之無因次化參數。其可表示如下：

$$\psi = \frac{u_f^2}{\gamma g d_{50}} \quad (3-25)$$

上式中 u_f 為波浪對底床沙粒產生之摩擦坡度(frictional velocity)， γ 為沙粒之浸水比重，一般值為 1.65。摩擦坡度可表為

$$u_f = \sqrt{\frac{f_w}{2} \frac{\pi H}{T \sinh(kh)}} \quad (3-26)$$

上式中 f_w 為波浪對底床沙粒產生之摩擦係數(frictional coefficient)， k 為波浪之週波數(wave number)。

(9)Ursell 數(Ursell number)

Ursell 數可以同時顯示波浪非線性及淺水效應。其可表示如下：

$$U_r = \frac{H_b}{d_b} \frac{L_b^2}{d_b^2} \quad (3-27)$$

3.5.3 地形之預測

考慮 10 次地形測量時間多為 9 月，在分析地形影響外力時因此考慮波浪界限為前一年之 9 月至當年 8 月之波浪，由港研中心提供加每月波浪資料，如第二章所述，再加以分析。考慮漂沙與波浪能通率

有關係，因此年代表波浪採用波高平方之幾何平均值。若有些月份沒有波浪資料狀況，則用同時有風與波浪資料回歸二次方程式後，再以當月風的資料代入回歸值獲得波浪值。本研究主要以 6 個剖面及二維空間格點上之地形來評估經驗正交函數預測地形之能力。以前 8 年之地形資料及年代表外力參數及月代表外力參數計算(3-15)式之轉換係數矩陣後，再預測後兩年之地形，並以(3-16)式之檢驗指標來說明經驗正交函數預測地形之能力。

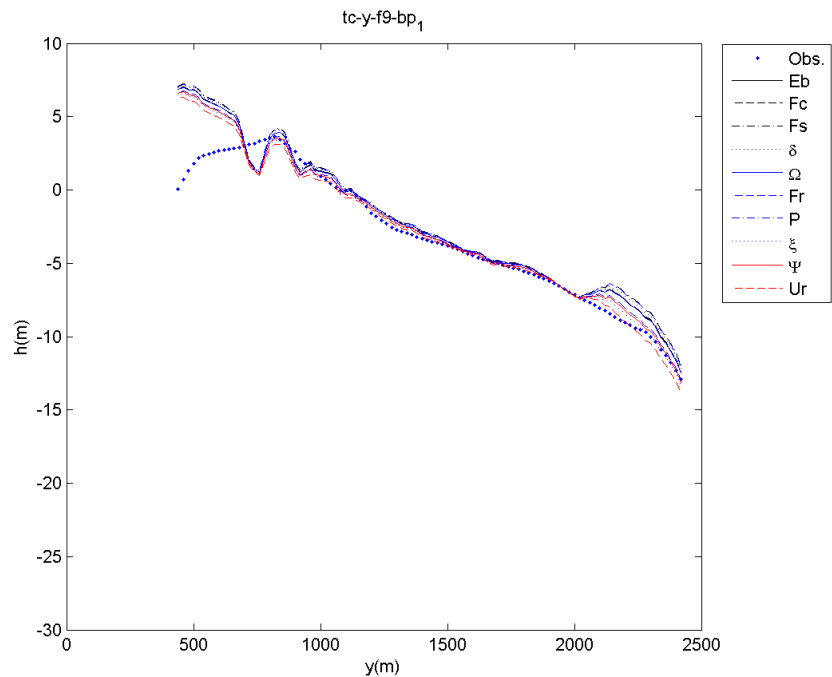
經過檢驗發現若輸入 12 月之波浪外力，所得第 9 及 10 筆之預測值非常不好，此可能是所取特徵值只有 6 個，而外力因子確有 12 個，在馬可夫過程轉換之係數中外力項佔有太多於特徵值。本計劃選擇月最大波浪外力特性及年平均特性當為馬可夫過程轉換之兩個外力特性，此考慮地形變化之主要因素至預測模式中，一為地形整體變化乃受年平均波浪能量影響，而一次最大波浪能量可能造成大的地形變化，當颱風時一般海灘地形變化大，可能超過其他數個月分沒颱風波浪造成地形變化之總合，而且大波浪造成地形侵淤之位置可能不同於其他小波浪造成地形侵淤之位置。

首先探討剖面之地形預測，選擇剖面 1 及剖面 3 為例來說明之預測地形。圖 3-15(a)為使用各種外力因子年平均值之地形期結果。此乃以 2004 年前 8 筆數據求得馬可夫過程轉換之係數，代入 2005 年之各種外力年平均值於式(3-14)求得預測時間特徵值後，再求出剖面地形資料，圖(b)為以所得 2005 年預測時間特徵值，再代入 2006 年之各種外力年平均值於式(3-14)，得 2006 年預測時間特徵值，再求出剖面地形資料。

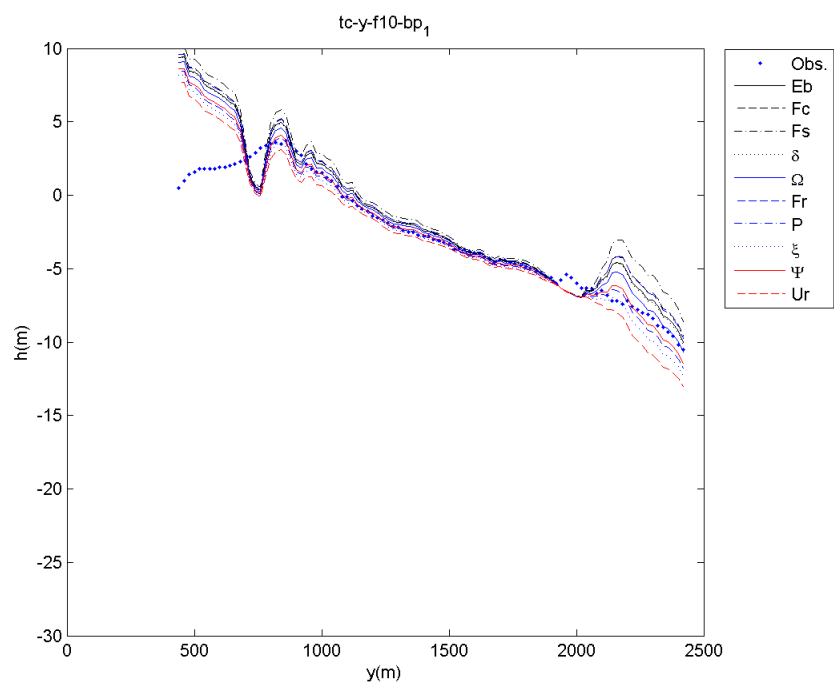
由圖 3-15 顯示預測 2005 年地形較預測 2006 年地形精準，此是必然之結果，因為預測 2006 年地形是以推估 2005 年之時間特徵值當做輸入條件，其中已包括某程度之誤差，再經馬可夫過程二次轉換，此誤差擴大，則造成預測 2006 年地形有較預測 2005 年地形大的誤差。預測 2005 年及 2006 年地形之特性發現，在剖面中間段是比較吻合於

實測值，此可能是在剖面前後之變化特性與整體之變化特性不同。若比較 10 種外力因子年平均値所預測地形偏離實測値之結果，發現無明顯之差異，若以式(16)檢驗指標來表明可見表 3-3。

至於剖面 3 之預測結果示如圖 3-16。比較圖 3-15 及圖 3-16 可知，本模式預測 2005 年地形比預測 2006 年地形較精準。預測 2005 年及 2006 年地形之特性均發現低估於實測値，此可知在剖面 3 在 2005 年有明顯之增加。

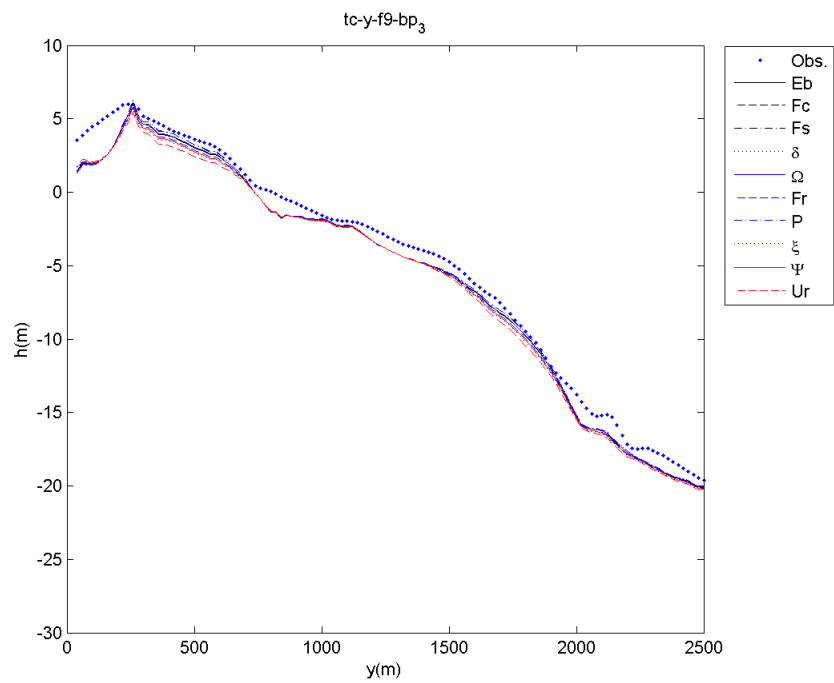


(a) 2005 年

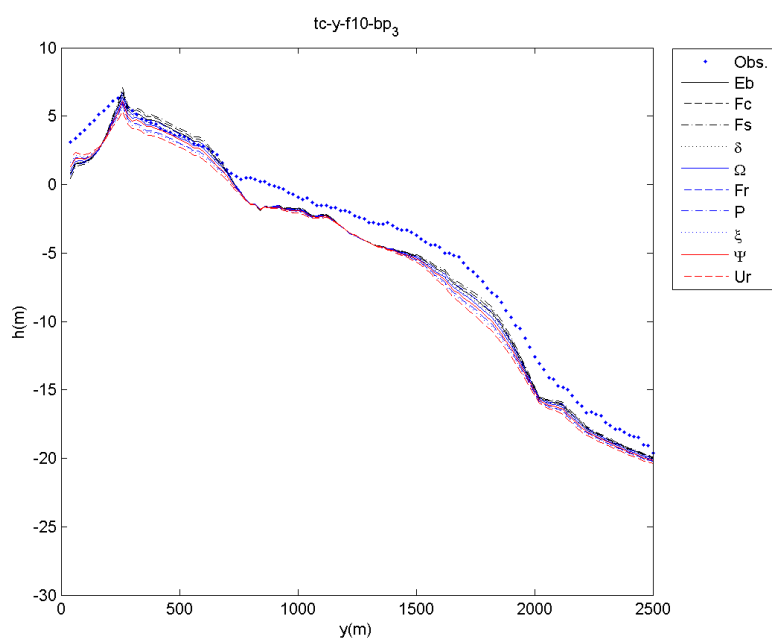


(b) 2006 年

圖 3-15 以外力年平均預測剖面 1 地形



(a) 2005 年



(b) 2006 年

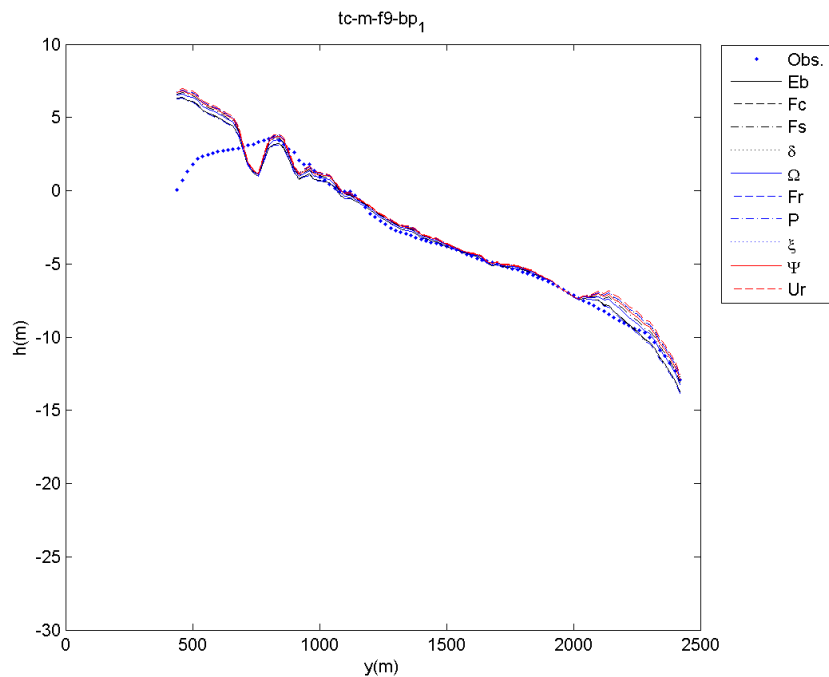
圖 3-16 以外力年平均預測剖面 3 地形

表 3-3 以年平均預測 6 個剖面地形之檢驗標準(單位:m)

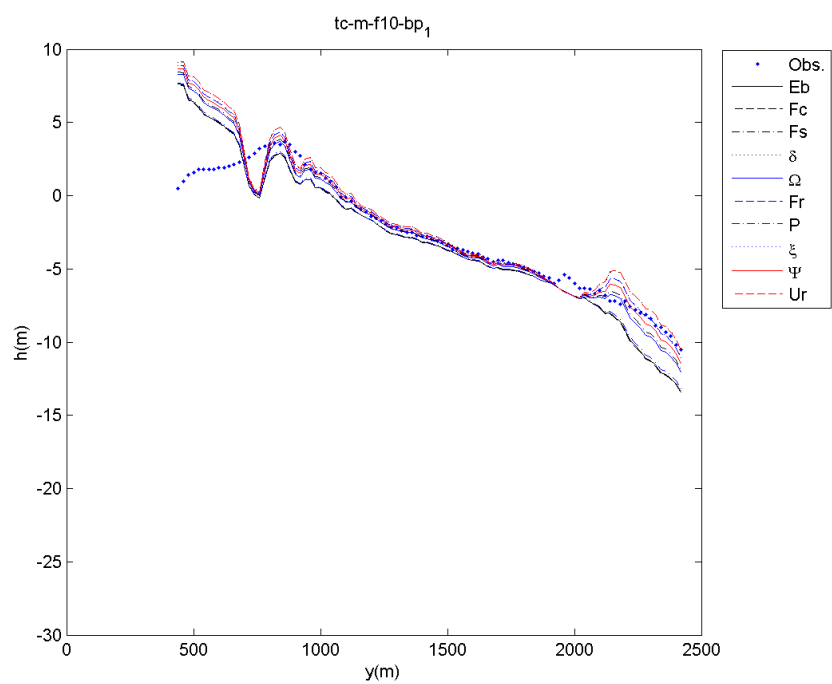
剖面 \ 外力因子		E	F_c	F_s	Ω	F_r	P	ξ	δ	ψ	U_r
2005	1	0.97	0.99	1.14	1.06	0.96	0.82	1.12	0.74	0.79	0.72
	2	1.18	1.17	1.27	1.36	1.29	1.33	1.26	0.28	1.20	1.28
	3	0.77	0.77	0.69	0.70	0.75	0.83	0.69	0.91	0.87	1.01
	4	1.13	1.13	1.12	1.13	1.14	1.16	1.12	1.17	1.16	1.20
	5	2.53	2.88	2.50	1.55	1.88	1.78	1.76	1.91	2.64	1.82
	6	125.	424.0	17.04	6.91	36.50	11.92	4.95	6.86	6.35	4.72
	平均	1.32	1.39	1.35	1.16	1.21	1.18	1.19	1.20	1.33	1.21
2006	1	1.34	1.49	1.89	1.31	1.13	1.01	1.47	1.09	0.99	1.31
	2	2.38	2.41	2.33	2.38	2.40	2.48	2.33	2.50	2.47	2.54
	3	1.22	1.19	1.15	1.25	1.30	1.46	1.20	1.53	1.38	1.64
	4	1.41	1.41	1.41	1.46	1.43	1.44	1.43	1.43	1.42	1.43
	5	9.86	12.20	11.16	4.65	6.19	5.30	5.75	5.62	9.66	4.78
	6	7013	77612	143.	28.87	655.	60.41	14.83	18.27	15.20	8.44
	平均	3.24	3.74	3.59	2.21	2.49	2.34	2.44	2.43	3.18	2.34

以表 3-3 中 10 種外力因子年平均値所預測 6 個剖面地形之檢驗標準顯示，剖面 6 之檢驗標準都比其他 5 個剖面超過 10 倍以上，此可能因為剖面 6 之位置接近於大安溪及大甲析溪口，變動的河口輸沙量影響此剖面較其他剖面大，此兩河口之輸沙量尚未有研究數據客可以引用，而無法考慮河口輸沙量為外力因子。若剖面有類似在河口情況，將河口輸沙量做為外力因子應可會改善預測之精準度。若不比較剖面 6，以 Ω 、 P 、 ξ 、 δ 及 U_r 等 5 個外力因子所得之誤差在 5 個剖面之檢驗標準較為平均，預測 2005 年 5 個剖面之檢驗標準在 2m 以下，預測 2006 年 5 個剖面之檢驗標準在 6m 以下。以 Ω 為外力因子預測 2005 及 2006 年 5 個剖面之檢驗標準平均值之為最小，其值分別為 1.16m 及 2.21m，而以 P 外力因子預測結果次之，其平均值分別為 1.18m 及 2.34m。

若外力再加入月最大波浪特性，所預測上述探討剖面之結果如下圖 3-17 及圖 3-18 所示，其分別為剖面 1 及剖面 3 之預測結果。

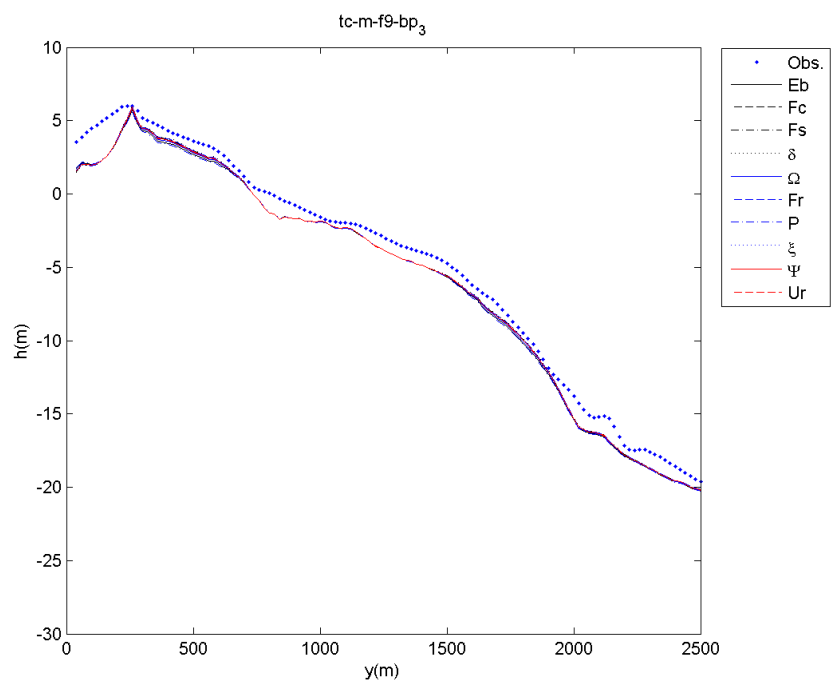


(a) 2005 年

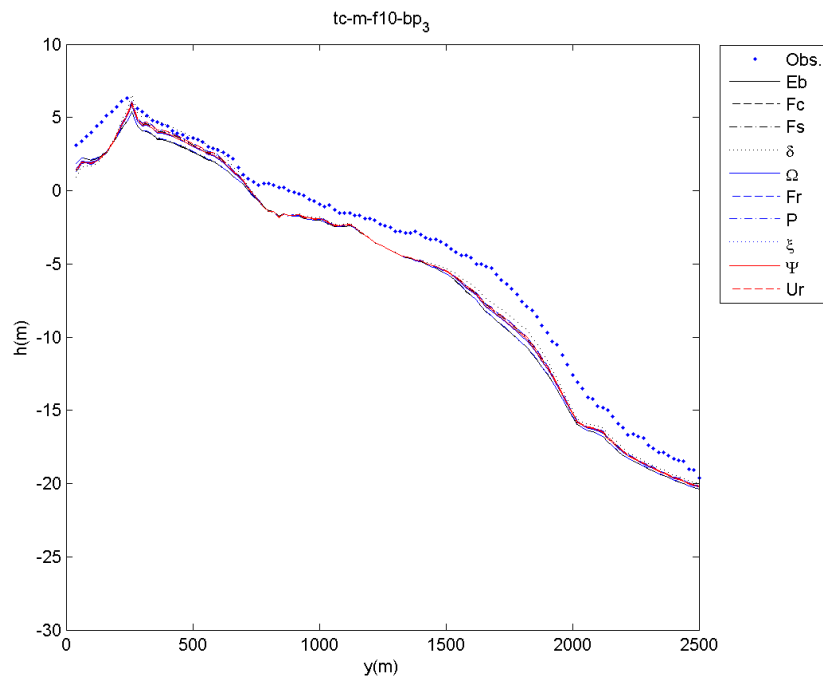


(b) 2006 年

圖 3-17 以各種外力年平均及月最大值預測剖面 1 地形



(a) 2005 年



(b) 2006 年

圖 3-18 以外力年平均及月最大值預測剖面 3 地形

由圖 3-17 及圖 3-18 顯示以外力年平均及月最大值預測 2005 年地形亦較預測 2006 年地形精準。若比較相對之圖 3-15 及圖 3-16 以外力年平均及月最大值之預測地形更較為接近，但與實測值還是有某程度之差異，其預測地形偏離實測值之檢驗指標如表 3-4 所示。

表 3-4 以年平均值及月最大值所預測剖面地形之檢驗標準(單位:m)

剖面 \ 外力因子		E	F_c	F_s	Ω	F_r	P	ξ	δ	ψ	U_r
2005	1	0.72	0.72	0.80	0.89	0.76	0.91	0.72	0.90	0.86	0.95
	2	1.44	1.45	1.33	1.27	1.39	1.29	1.51	1.21	1.32	1.18
	3	0.90	0.90	0.81	0.78	0.86	0.80	0.93	0.83	0.82	0.83
	4	1.13	1.14	1.12	1.28	1.16	1.14	1.14	1.18	1.16	1.21
	5	1.49	1.53	2.22	1.83	1.53	2.12	1.23	3.42	2.53	7.24
	6	6.81	6.44	6.23	5.47	8.99	24.48	6.56	6.11	5.40	4.53
	平均	1.14	1.15	1.26	1.21	1.14	1.25	1.11	1.51	1.34	2.28
2006	1	1.39	1.41	1.02	1.17	1.05	1.03	1.35	1.03	0.99	1.17
	2	2.65	2.68	2.58	2.48	2.50	2.43	2.61	2.49	2.55	2.52

	3	1.64	1.64	1.42	1.24	1.47	1.38	1.63	1.41	1.45	1.39
	4	1.62	1.83	1.44	1.58	1.44	1.42	1.41	1.46	1.42	1.48
	5	4.02	4.31	8.17	4.81	4.05	7.47	2.61	15.26	9.79	53.95
	6	13.30	11.18	12.19	14.78	33.84	262.	16.61	15.37	10.71	8.49
	平均	2.26	2.37	2.93	2.26	2.10	2.75	1.92	4.33	3.24	12.10

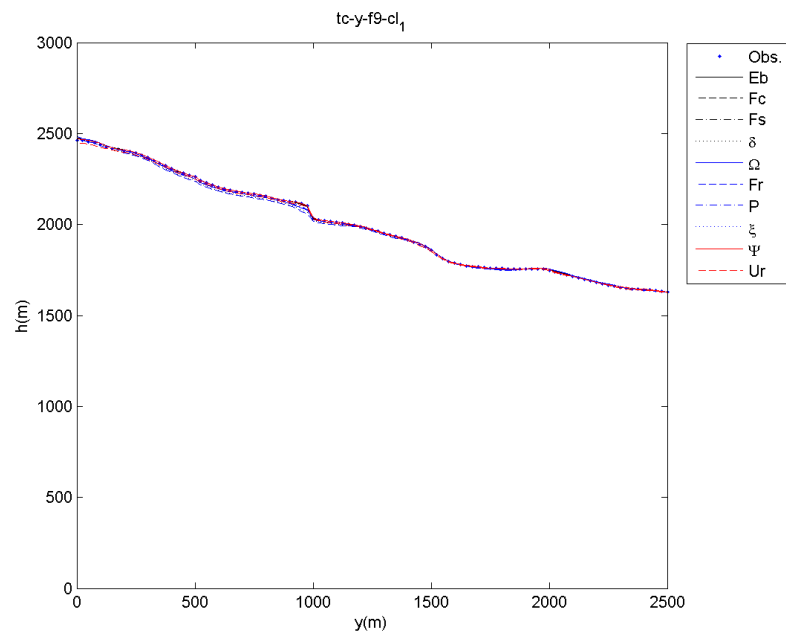
表 3-4 之檢驗標準顯示，剖面 6 之檢驗標準都比其他 5 個剖面超過 10 倍以上，若不比較剖面 6，除 F_s 、 P 、 δ 、 ψ 及 U_r 外力因子外，所得之誤差在 5 個剖面之檢驗標準較為平均，預測 2005 年 5 個剖面之檢驗標準在 2m 以下，預測 2006 年 5 個剖面之檢驗標準在 5m 以下。以 ξ 為外力因子預測 2005 及 2006 年 5 個剖面之檢驗標準平均值為最小，其值為 1.11m 及 1.91m，而以 F_r 外力因子預測結果次之，其平均值分別為 1.14m 及 2.10m。若比較表 3-3 及表 3-4 可知，預測 5 個剖面地形較好的前二個外力因子為 Ω 及 ξ 。接著探討等水深之離岸距離之預測結果，選擇 -15m 及 -5m 等水深為例說明。圖 3-19 (a) 為預測 2005 年 -15m 之結果。此乃以 2004 年前 8 筆數據當馬可夫過程轉換之係數求得時間特徵值，代入 2005 年之年平均外力求出剖面地形資料。圖 3-19 (b) 為以所得 2005 年預測時間特徵值，再代入 2006 年之年平均外力於式(14)後，得 2006 年預測時間特徵值，再求出剖面地形資料。圖 3-20 為預測 -5m 等水深之離岸距離。由圖 3-19 及圖 3-20 顯示預測 2005 年等水深之離岸距離較預測 2006 年等水深之離岸距離精準，尤其是 -15m 等水深之結果。預測 2006 年 -15m 及 -5m 等水深之離岸距離與實測值相差很大，有些外力年平均值所預測結果較相近，而各種預測檢驗指標如下表：

表 3-5 以年平均值所預測各等水深之離岸距離之檢驗標準(單位:m)

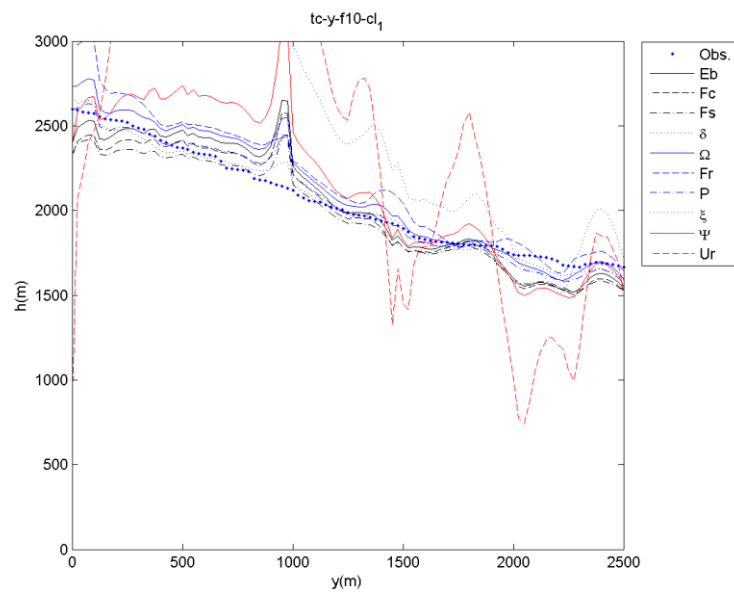
等水深 \ 外力因子		E	F_c	F_s	Ω	F_r	P	ξ	δ	ψ	U_r
2005	-15	2.06	1.74	2.07	9.09	6.02	11.15	5.09	3.83	1.57	5.96
	-10	6.46	6.51	6.82	6.44	6.41	6.50	6.44	6.64	6.41	7.29
	-5	6.71	6.50	3.73	4.33	7.09	10.51	3.99	11.25	10.44	12.34
	-3	6.78	6.83	6.84	6.78	6.85	7.30	6.88	7.28	7.04	7.51
	0	16.18	16.27	16.29	15.79	15.80	15.84	15.85	15.79	16.06	15.80

	+2	11.66	11.54	11.42	11.60	12.02	14.70	11.38	16.43	13.82	20.18
	平均	8.31	8.23	7.86	9.01	9.03	11.00	8.27	10.20	9.22	11.51
2006	-15	94.24	96.19	94.60	39.03	87.44	127.6	53.48	569.3	187.5	901.4
	-10	61.54	60.79	60.19	68.92	64.27	62.17	70.18	60.67	59.88	60.20
	-5	103.1	106.3	94.16	76.61	91.00	94.57	90.03	102.1	107.2	107.0
	-3	347.6	361.3	300.6	292.4	317.3	335.0	298.5	372.5	389.5	432.2
	0	59.86	56.55	77.71	93.31	80.57	82.16	78.69	62.45	53.93	46.18
	+2	22.94	27.24	20.04	21.55	19.91	25.61	19.40	23.61	19.72	25.75
	平均	114.9	118.0	107.9	98.64	110.0	121.2	101.7	198.4	136.3	262.1

以表 3-5 之檢驗標準顯示，預測較深等水之深離岸距離之檢驗標準都比近岸者小。預測 2005 年之檢驗標準平均值前四小之外力因子分別為 F_s 、 ξ 、 F_c 及 E ；而預測 2006 年所得檢驗標準平均值之前四小外力因子分別為 ξ 、 F_s 、 F_r 及 E 。檢驗標準平均值 2005 年前四小約在 7.9m 至 8.2m 之間，2006 年檢驗標準平均值之前四小約在 102m 及 115m 間。此結果足見以此方法預測下兩年等水深之離岸距離誤差可達 100 m 以上。以外力年平均及月最大值預測 2005 年及 2006 年等水深之離岸距示如圖 3-21 及圖 3-22。由圖 3-21 及圖 3-22 顯示預測 2005 年等水深之離岸距離較預測 2006 年等水深之離岸距離精準，尤其是 -15m 等水深之結果。預測等水深之離岸距離之檢驗指標如表 3-6 所示。

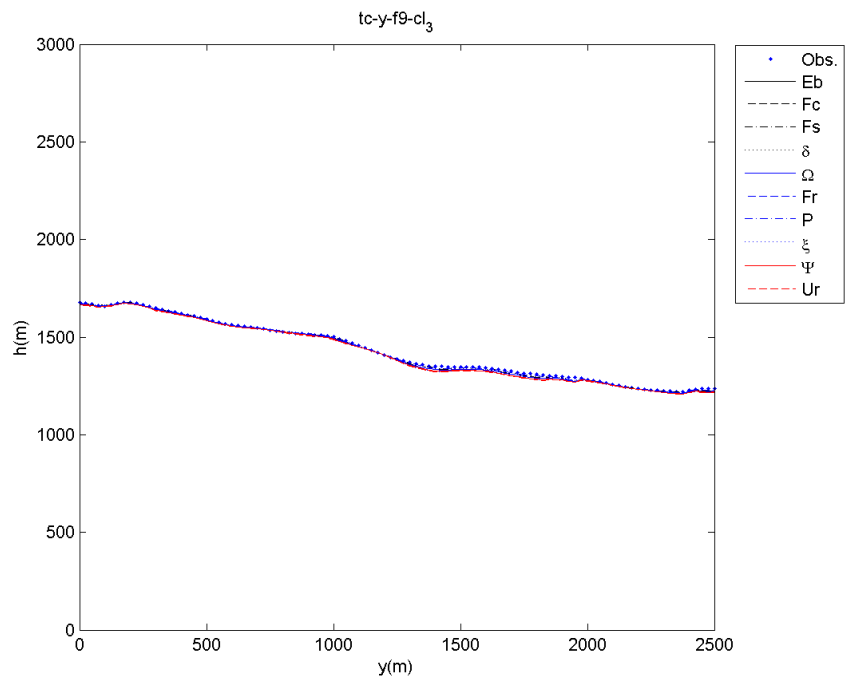


(a) 2005 年

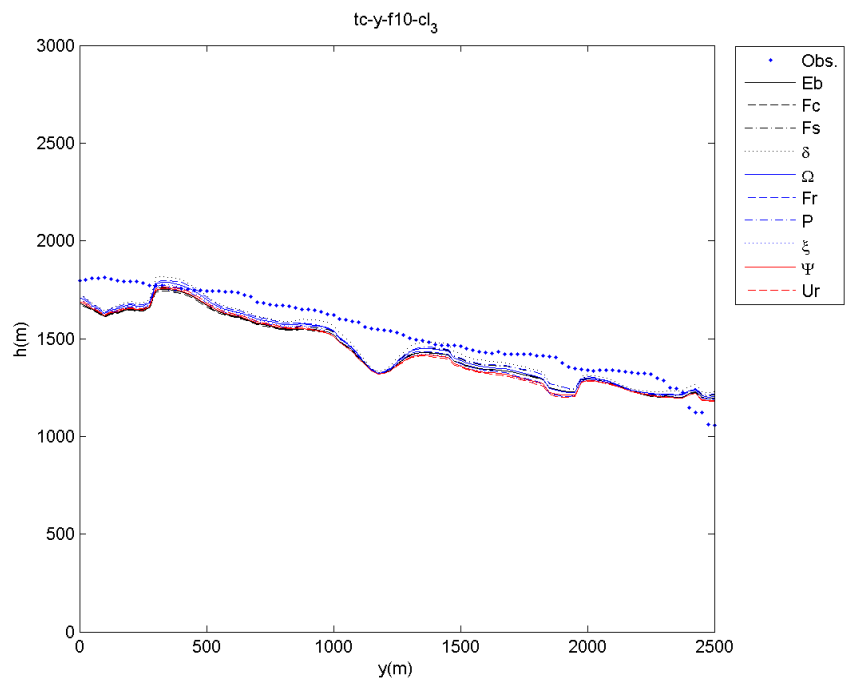


(b) 2006 年

圖 3-19 以外力年平均值預測-15m 等水深之離岸距離

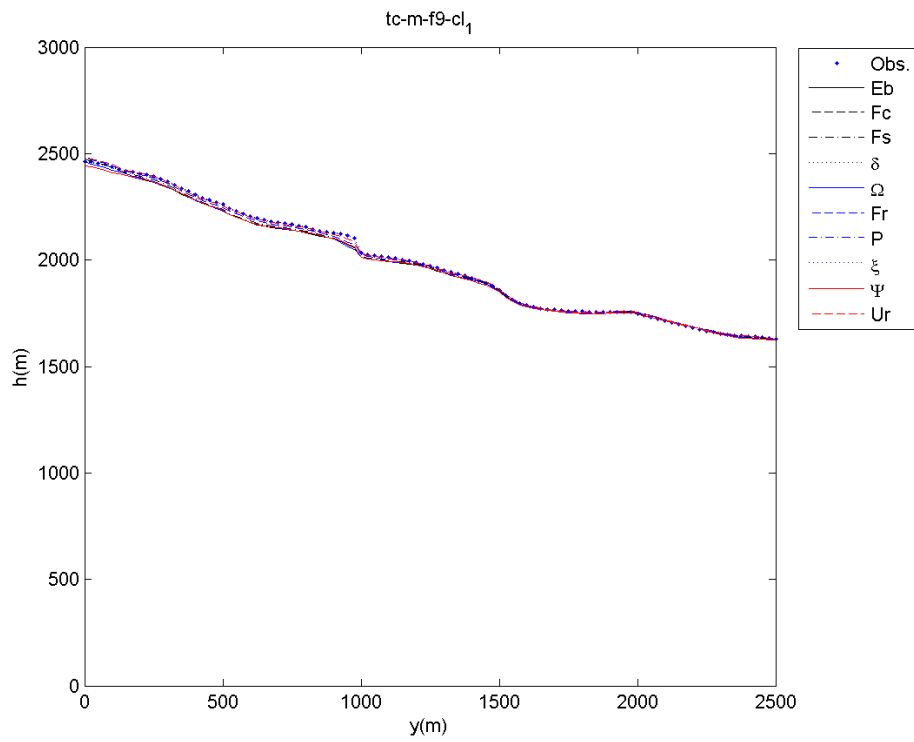


(a) 2005 年

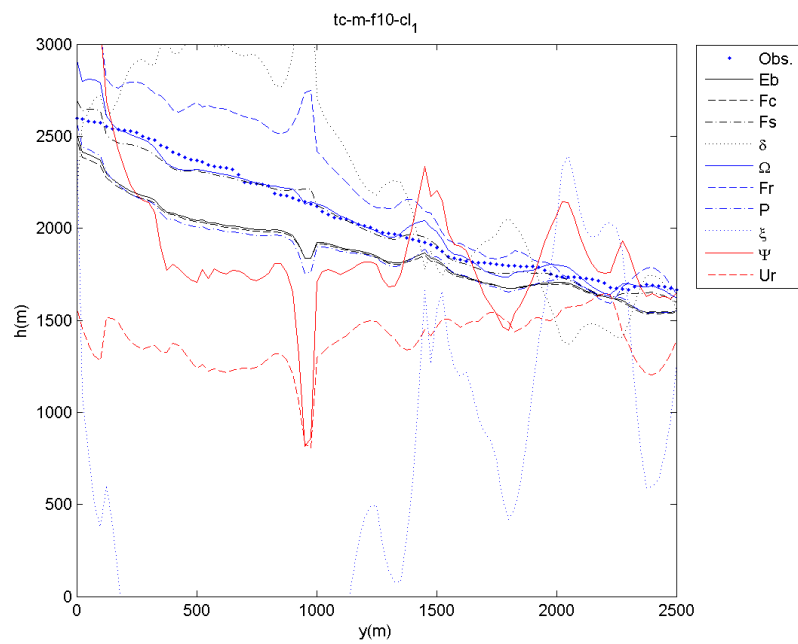


(b) 2006 年

圖 3-20 以外力年平均預測-5m 等水深之離岸距離

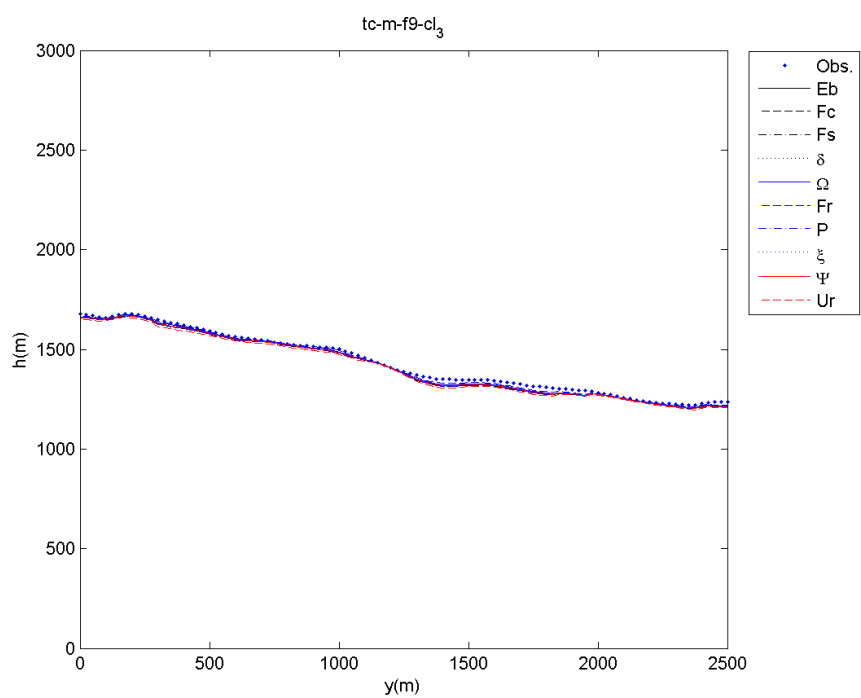


(a) 2005 年

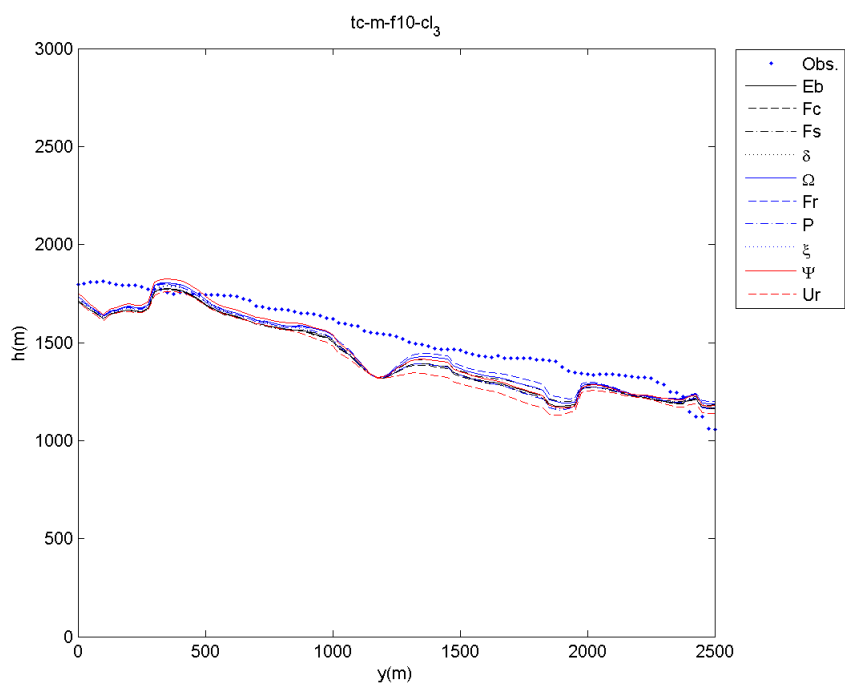


(b) 2006 年

圖 3-21 以各種外力年平均及月最大值預測-15m 等水深之離岸距離



(a) 2005 年



(b) 2006 年

圖 3-22 以外力年平均及月最大值預測-5m 等水深之離岸距離

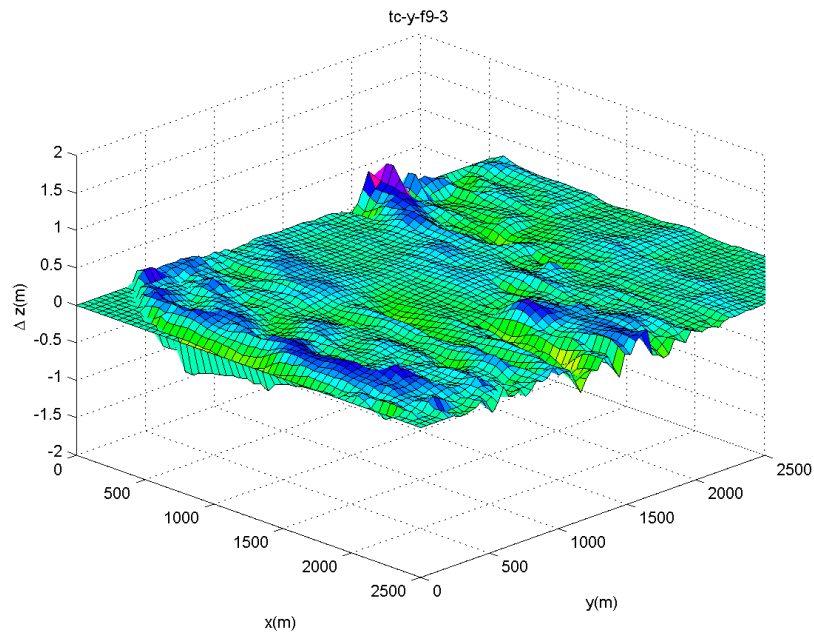
表 3-6 以年平均及月最大值預測等水深離岸距離之檢驗標準(單位:m)

等水深 \ 外力因子		E	F_c	F_s	Ω	F_r	P	ξ	δ	ψ	U_r
2005	-15	16.49	16.24	11.22	0.29	14.69	7.27	15.98	1.45	15.52	4.19
	-10	6.41	6.41	6.52	8.01	6.51	6.42	6.70	7.91	6.62	10.32
	-5	16.70	17.99	12.47	17.61	12.23	8.47	17.86	17.52	15.46	23.61
	-3	8.01	8.08	7.54	9.66	7.94	6.91	9.04	8.58	8.17	9.32
	0	17.95	18.50	15.80	16.11	15.94	15.79	17.23	15.98	15.97	16.20
	+2	13.81	13.59	12.70	18.31	15.17	13.35	16.87	19.01	20.10	24.55
	平均	13.23	13.47	11.04	11.67	12.08	9.70	13.95	11.74	13.64	14.70
2006	-15	171.8	181.6	39.31	340.2	43.93	194.7	182.4	1926.	329.9	662.0
	-10	60.92	60.32	59.82	61.53	61.66	61.13	62.22	60.36	61.37	62.32
	-5	111.00	114.0	104.3	109.3	95.74	90.72	108.0	109.8	98.44	129.5
	-3	316.0	307.9	319.2	391.7	345.19	321.4	336.4	341.6	320.1	334.6
	0	126.3	133.8	95.29	65.55	86.34	74.68	115.4	66.71	74.16	57.92
	+2	30.76	30.15	25.32	20.06	24.91	20.18	33.51	20.04	23.45	20.31
	平均	136.1	138.0	107.2	164.7	109.63	127.1	139.6	420.8	151.2	211.1

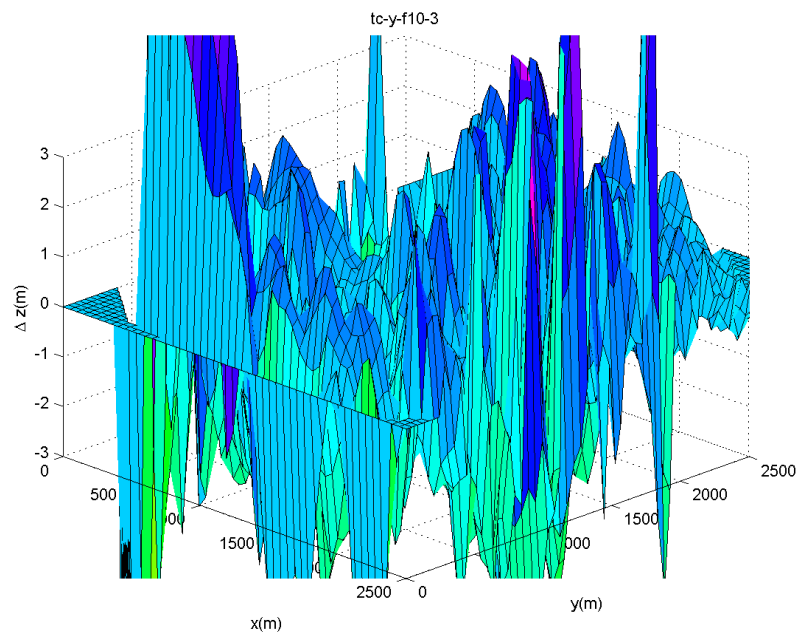
表 3-6 之檢驗標準顯示，並無如表 3-5 預測較深等水之深離岸距離之檢驗標準都比近岸者小之結論。預測 2005 年結果之檢驗標準平均值之前四小外力因子分別為 P 、 F_s 、 Ω 及 δ ；而及預測 2006 年所得檢驗標準平均值之前四小外力因子分別為 F_s 、 F_r 、 P 及 E 。2005 年之檢驗標準平均值前四小約在 9.7m 至 11.7m，而 2006 年之檢驗標準平均值前四小約為 107m 及 136m。此結果足見以此方法預測下兩年等水深之離岸距離誤差可達 100 m 以上。若比較表 3-5 之結果，以外力因子平均值及月最大值所預測等水深之離岸距離並不比以外力因子年平均值所得者更接近於實測值。且較適合用於預測等水深之離岸距離之外力因子為 F_s ，由波浪理論可知 F_s 與沿岸輸砂量有關，因而造成以 F_s 外力較適合預測等水深之離岸距離。

最後本計劃探討二維經驗正交函數預測地形之能力。選擇 F_s 外力因子之年平均值預測 2005 年及 2006 年之地形高程誤差如圖 3-23 所示；而以 F_s 外力因子之年平均值及月最大值預測 2005 年及 2006 年之

地形高程誤差示如圖 3-24。以 10 種外力因子及 2 種波浪輸入本經驗正交函數模式預測地形程誤差示如表 3-7。

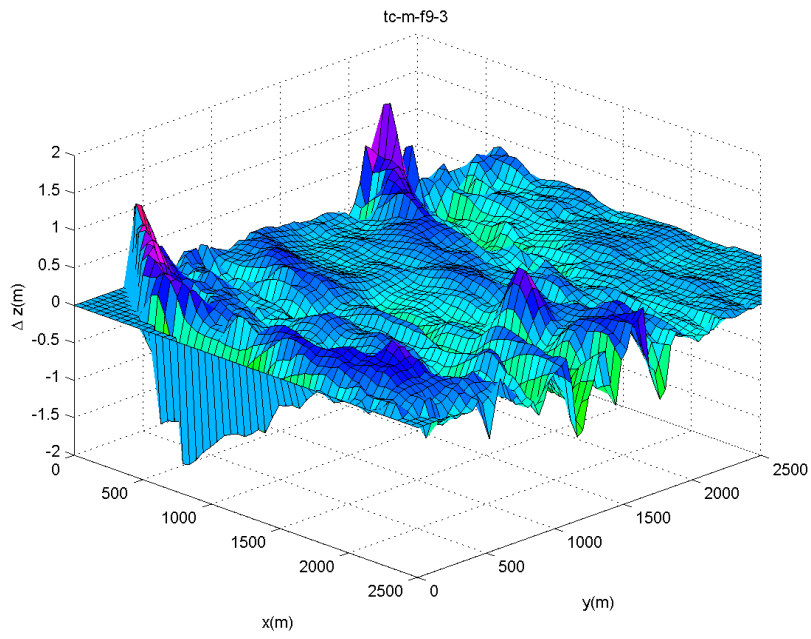


(a) 2005 年

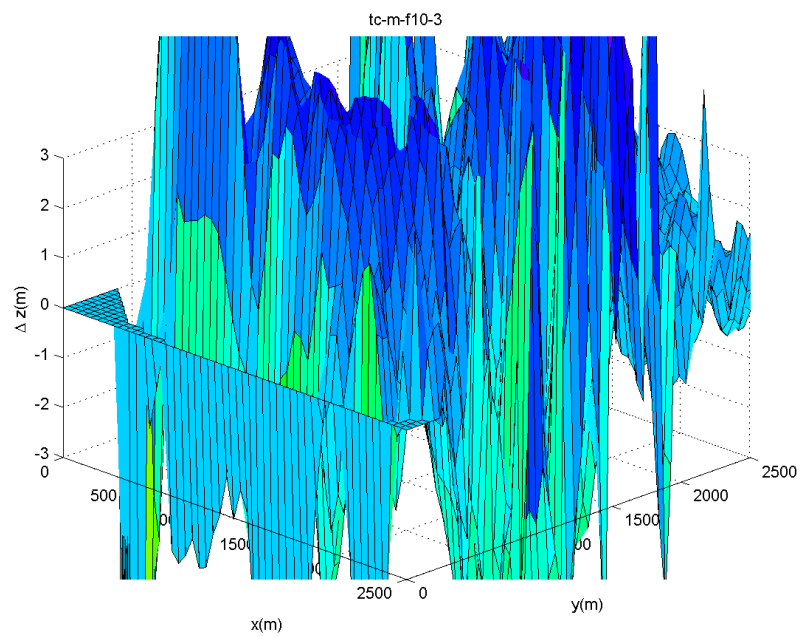


(b) 2006 年

圖 3-23 以 F_s 外力因子之年平均值預測地形高程之誤差



(a) 2005 年



(b) 2006 年

圖 3-24 以 F_s 年平均值及月最大值預測地形高程之誤差

表 3-7 以二維經驗正交函數預測地形之檢驗標準(單位:m)

波浪特性 \ 外力因子		E	F_c	F_s	Ω	F_r	P	ξ	δ	ψ	U_r
平均 值	2005	0.12	0.12	0.05	0.03	0.10	0.14	0.07	0.17	0.16	0.21
	2006	1.55	1.46	1.53	2.32	2.07	2.58	1.89	2.09	1.63	1.91
月最 大值	2005	0.25	0.27	0.14	0.13	0.14	0.14	0.21	0.21	0.18	0.25
	2006	3.13	3.20	2.12	1.92	2.88	2.41	4.17	2.22	3.31	1.99

由圖 3-23(a)及圖 3-24(a)可知二維經驗正交函數所預測下一年地形誤差較大之處在海岸線及離海岸線約 1500m 處，此顯示兩處之漂沙相對其他地點之漂沙明顯不同。由圖 3-23、圖 3-24 及表 3-7 同時顯示不管各種外力因子及年平均値及月最大值波浪特性輸入二維經驗正交函數，所預測下一年地形之誤差遠小於預測下二年地形之誤差，二者相差約有 10 倍以上之差異。若比較各種外力因子對預測地形之影響，由表 3-7 可知以 F_s 、 Ω 、 ξ 及 P 之外力因子有前四小檢驗標準平均値。以年平均値波浪特性當為外力之預測地形能力尚比同時以年平均値及月最大值波浪特性之預測地形能力高，此足見二維經驗正交函數中因引用每年之海灘底床地形，當部分不準確的波浪資料(因回歸獲得)加入預測模式所以降低預測能力。若以 F_s 及 Ω 外力因子及年及平均値波浪特性預測下一年地形之平均誤差可在 0.05m 以下，在工程上可算是接受之精度。由此二維經驗正交函數較前述一維經驗正交函數之預測精度結果，並從主波浪入射角度大且有北防波堤影響沿岸漂沙之機制可判斷，臺中港北防波堤北測之海灘地形變遷，沿岸及向、離岸之輸沙應是佔有相等程度之重要性，而非單獨沿岸或向、離岸之輸沙所造成。

第四章 灘線侵淤變化分析

4.1 GENESIS 灘線變遷模擬

依據上年度研究分析歷年之水深量測資料可知 (1996 年至 2006 年)，臺中港北防波堤北側之灘線變化呈現明顯大量淤積。本研究分析範圍：北防波堤灘線往北延伸至北防沙堤間之灘線，總長度共計約 3.0 公里。分析範圍示意圖如圖 4-1 所示。

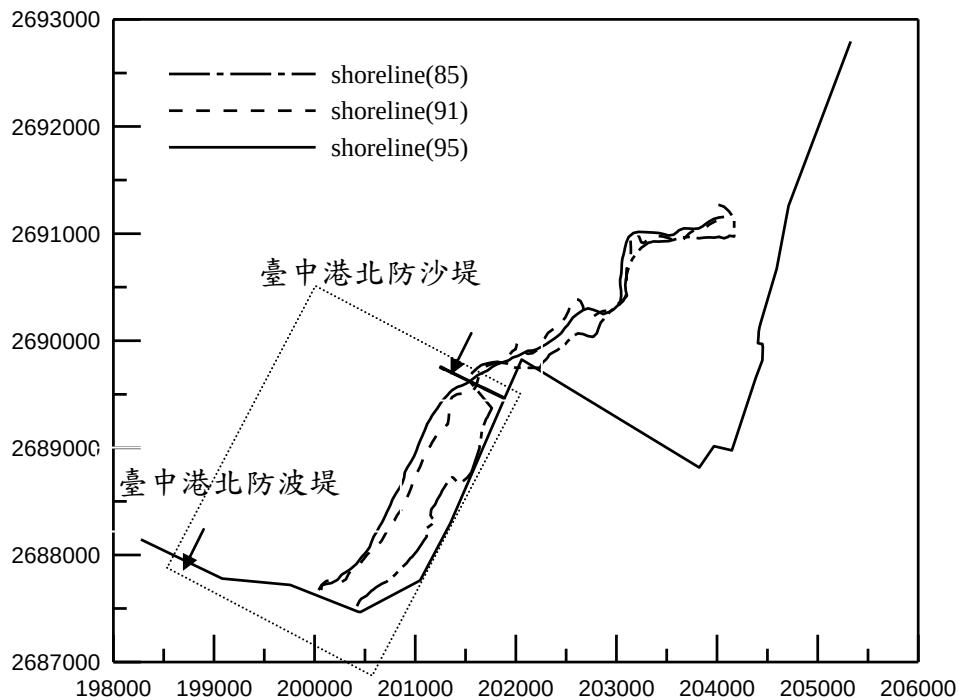


圖 4-1 臺中港北防波堤與北防沙堤灘線變化圖
(1996 年至 2006 年)

1996 年至 2006 年灘線變化圖如圖 4-1 所示。1996 年至 2001 年間，受北防波堤延伸影響，其灘線在北防波堤與北防沙堤間快速成長。北防沙堤在波浪持續作用下呈現堤址附近處灘線淤積的現象，受堤端岬頭控制的影響，北側灘線呈現一穩定的灣岸形狀。在北防波堤與北防沙堤南側間之灘線，受到北防波堤遮蔽影響，使得北防波堤堤址處灘線呈現淤積趨勢。同時，受到波浪波向作用影響，北防沙堤南側受到堤體遮蔽效應影響，使得沙源容易淤積於此處。北防波堤與北防沙堤

南側間之灘線，受到上述結構物遮蔽影響，在沙源持續補足情況下，使得北防沙堤堤址南側線持續淤積。2002 年後，受北防波堤再延伸影響，灘線仍持續在防波堤與北防沙堤間成長，其灘線成長幅度較前一階段小。由於受到北防波堤影響，使得北防波堤堤址處灘線亦呈現前進趨勢。由於受到結構物改變影響，其灘線於北防波堤址處灘線無明顯變化趨勢，北防沙堤南側堤址處呈現持續淤積的現象。

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

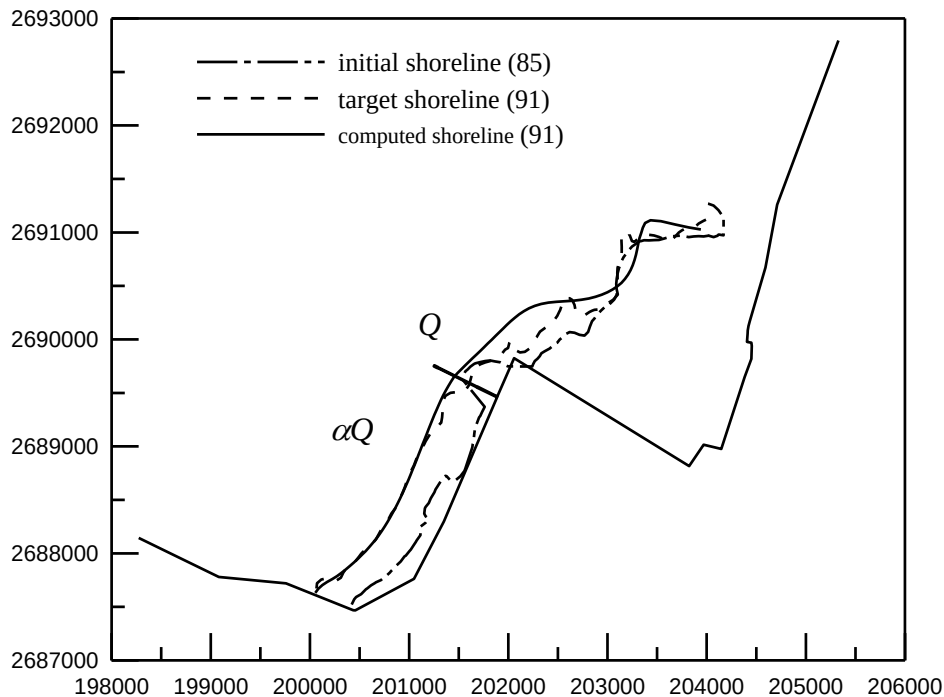


圖 4-2 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (I)

(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

其模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 26 公尺，其標準差為 26.98 公尺。在 2002 年，延伸北防波堤後，於 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$ 為計算條件下，有較佳的灘線模擬結果，其模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 39.9 公尺，其標準差為 41.44 公尺，如圖 4-3 所示。由圖 4-3 可

得知，若以此結果預測未來的灘線變遷，將產生更大的誤差結果。本年度針對此問題進行修正，探討 GENESIS 模擬過程中，模擬不同參數對模式的影響，以此找出最佳的模擬設定參數。

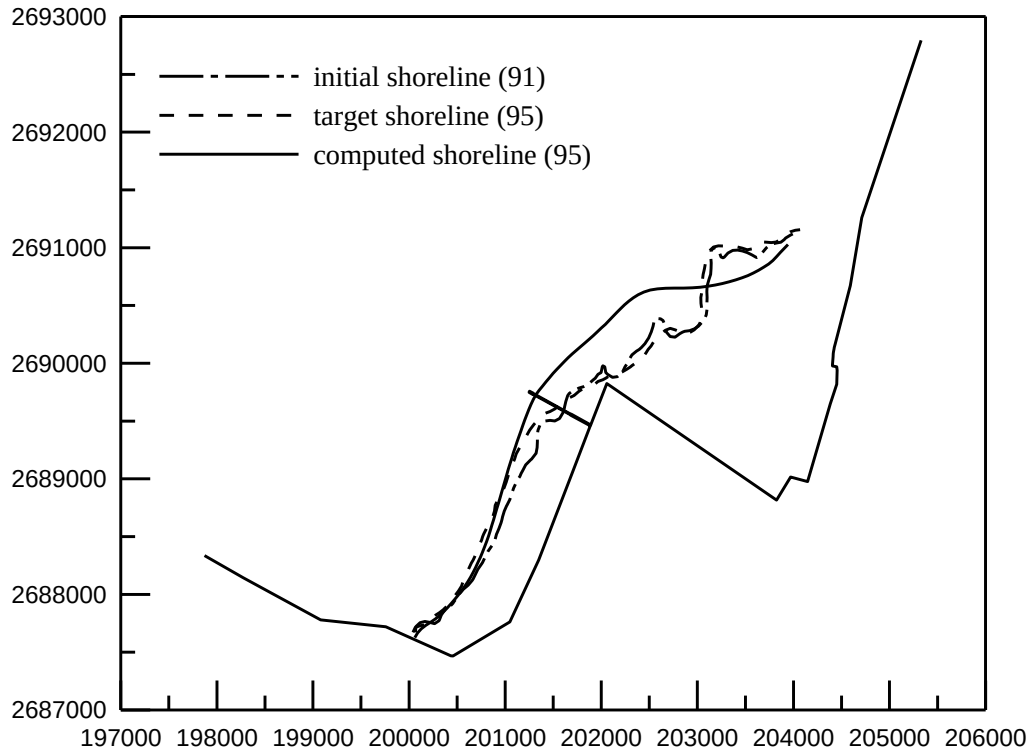


圖 4-3 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 170 \times 10^4 m^3 / year$)

4.2 GENESIS 模式校核參數設定

為重新探討 GENESIS 灘線模式應用於臺中港北防波堤附近灘線之長期變化趨勢，本研究分為兩個階段對模式進行探討：(1). 模擬 1996 年至 2002 年的灘線變遷；(2) 模擬 2002 年至 2006 年的灘線變遷。由於 GENESIS 灘線模式在模擬灘線變遷的過程中，受到傳輸參數 K_1 、 K_2 、輸沙量 Q 及波浪入射條件（波高 $H_{1/3}$ 、週期 T 及入射角度 θ ）的多重影響。本研究擬以變換 K_1 、 K_2 輸沙量 Q 及波浪入射條件（波高 H 、週期 T 及入射角度 θ ）對 GENESIS 灘線模式進行校核。分析方法如表 4-1 所示，相關計算參數如表 4-2。由於北淤沙區侵淤量無法準

確估算，本研究依據臺中港北淤沙區侵淤量累積曲線圖(圖 4-4)，進行漂沙量合理值的判斷。

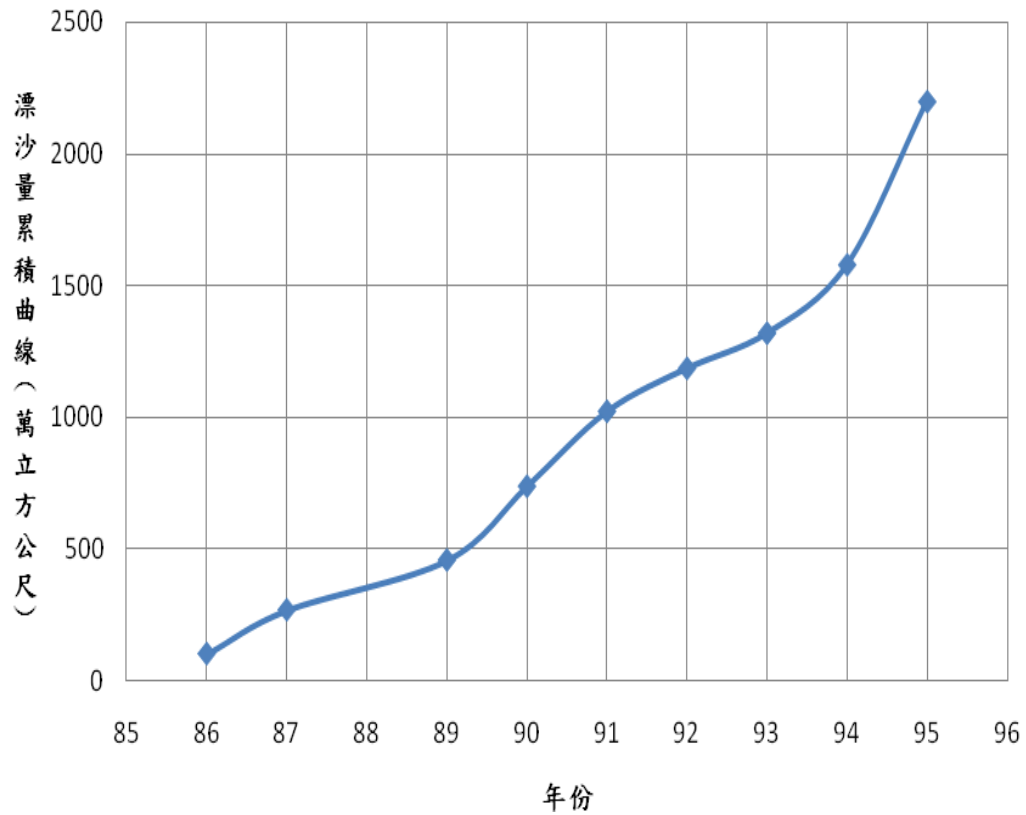


圖 4-4 臺中港北淤沙區侵淤量累積曲線圖

本研究對於上游輸沙量的給定以式(4-1) 進估算

$$Q = K \left[\frac{\rho \sqrt{g}}{16k^{\frac{1}{2}} (\rho_s - \rho)(1-n)} \right] \times H_{brms}^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b) \quad (4-1)$$

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

表 4-1 GENESIS 模式參數校核分析方法

方法/年份	1996 年至 2002 年	2002 年至 2006 年
I	常年季代表波浪 (夏季與冬季)	常年季代表波浪 (夏季與冬季)
II	常年平均月代表波浪 (1 月至 12 月)	常年平均月代表波浪 (1 月至 12 月)
III	缺乏實測波浪資料，以近年當 月份的資料隨機取樣計算	當年月代表波浪給定計算
設定參數	$\alpha Q=190,220,250 \text{ m}^3 / \text{year}$ $K_1=0.2\sim0.5$ $K_2=0.3\sim0.6$	$\alpha Q=50,70,90,110 \text{ m}^3 / \text{year}$ $K_1=0.3\sim0.5$ $K_2=0.3\sim0.6$

表 4-2 GENESIS 灘線模式參數

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

4.3 1996 年至 2002 年灘線侵淤變化探討

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

4.3.1 冬、夏季代表波浪 (1996 年至 2002 年灘線侵淤變化探討)

本章節中所探討的波浪計算條件，依據上一年度計算所得之代表波浪資料，其中分為冬季代表波浪、夏季代表波浪與颱風波浪 ($H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$)。其輸入條件如表 4-3 所示，其結果如表 4-4 所示。綜合比較上述

沿岸輸沙量的計算結果，沿岸輸沙量在 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$ 條件下，GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料比較有較佳的預測結果。在 K_1 與 K_2 值分別為 (0.2, 0.6) 設定下，模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 27.05 公尺，其標準差為 27.13 公尺，如圖 4-2 所示。分析北防波堤堤址附近處呈現灘線淤積幅度約 387 公尺，北防沙堤與北防波堤間之灘線淤積幅度約為 523 公尺，北防沙堤堤址附近灘線淤積幅度約為 164 公尺，模擬結果與實測資料在灘線趨勢變化上有良好一致性。

表 4-3 GENESIS 模式之冬、夏季代表波浪計算條件

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

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

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

4.3.2 常年平均月代表波浪 (1996 年至 2002 年灘線侵淤變化探討)

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

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

表 4-5 GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件

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

表 4-6 GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較 (II)

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

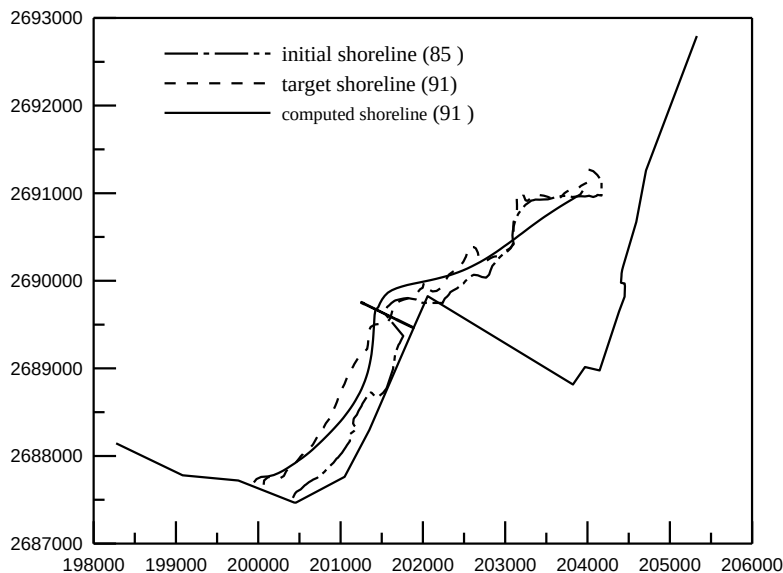


圖 4-5 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (II)
(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

4.3.3 當月代表波浪 (1996 年至 2002 年灘線侵淤變化探討)

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

表 4-7 GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件

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

1998/02	1.49	5.3	N
1998/03	2.00	5.4	NNE
1998/04	1.10	5.4	NNE
1998/05	0.86	5.2	WSW
1998/06	1.07	6.2	ENE
1998/07	0.84	5.3	WSW
1998/08	0.97	6.5	N
1998/09	1.31	6.9	N
1998/10	2.41	7.1	N
1998/11	2.11	7.0	N
1998/12	2.29	7.2	N
1999/01	2.19	7.1	N
1999/02	2.15	7.2	NW
1999/03	1.60	6.8	N
1999/04	0.92	6.1	NNE
1999/05	1.12	5.9	NNE
1999/06	0.99	5.8	NNE
1999/07	1.19	11.7	N
1999/08	1.24	12.4	N
1999/09	1.08	6.1	NW
1999/10	1.43	5.6	NNW
1999/11	2.29	6.2	NW
1999/12	2.87	6.5	NW
2000/01	1.77	6.0	NW
2000/02	2.88	6.1	NW
2000/03	1.70	5.6	NW
2000/04	0.72	5.4	E
2000/05	0.62	5.4	NNE
2000/06	0.46	5.3	NE
2000/07	0.86	5.7	NE
2000/08	2.37	2.6	NW
2000/09	1.12	5.7	N
2000/10	1.90	5.4	N
2000/11	2.47	5.5	NNE
2000/12	1.93	5.4	N
2001/01	2.06	7.0	N
2001/02	2.36	7.5	N
2001/03	1.89	6.3	N
2001/04	1.14	5.9	N
2001/05	1.21	6.0	N
2001/06	0.64	5.5	WSW

2001/07	0.94	5.9	NW
2001/08	0.79	5.9	NNW
2001/09	1.71	7.1	N
2001/10	1.70	6.4	N
2001/11	1.59	6.8	N
2001/12	2.46	7.6	N
2002/01	2.29	7.2	N
2002/02	1.50	6.2	N
2002/03	1.65	6.3	N
2002/04	1.50	6.3	N
2002/05	0.72	5.0	NNE
2002/06	0.69	5.6	ENE
2002/07	0.59	4.9	WNW
2002/08	0.77	6.2	N
2002/09	1.40	6.6	N

表 4-8 GENESIS 模式預測灘線與 1996 年至 2002 年實測地形比較 (III)

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

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

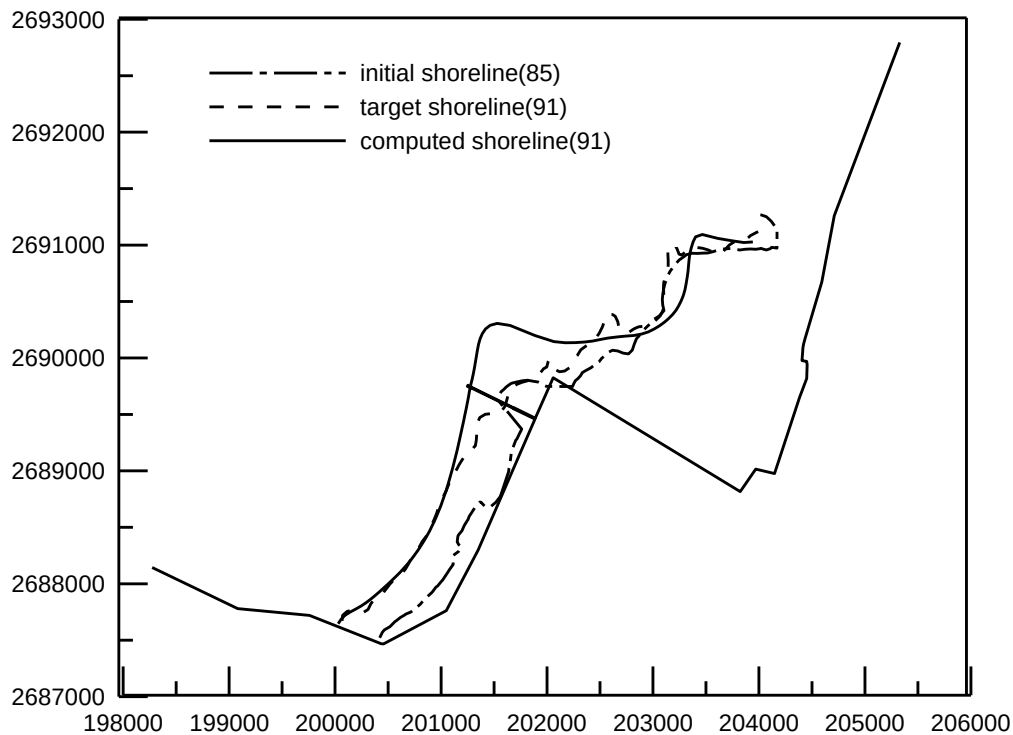


圖 4-6 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (III)
(自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$)

4.4 2002 年至 2006 年灘線侵淤變化探討

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

4.4.1 冬、夏季代表波浪 (2002 年至 2006 年灘線侵淤變化探討)

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

表 4-9 GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (I)

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

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

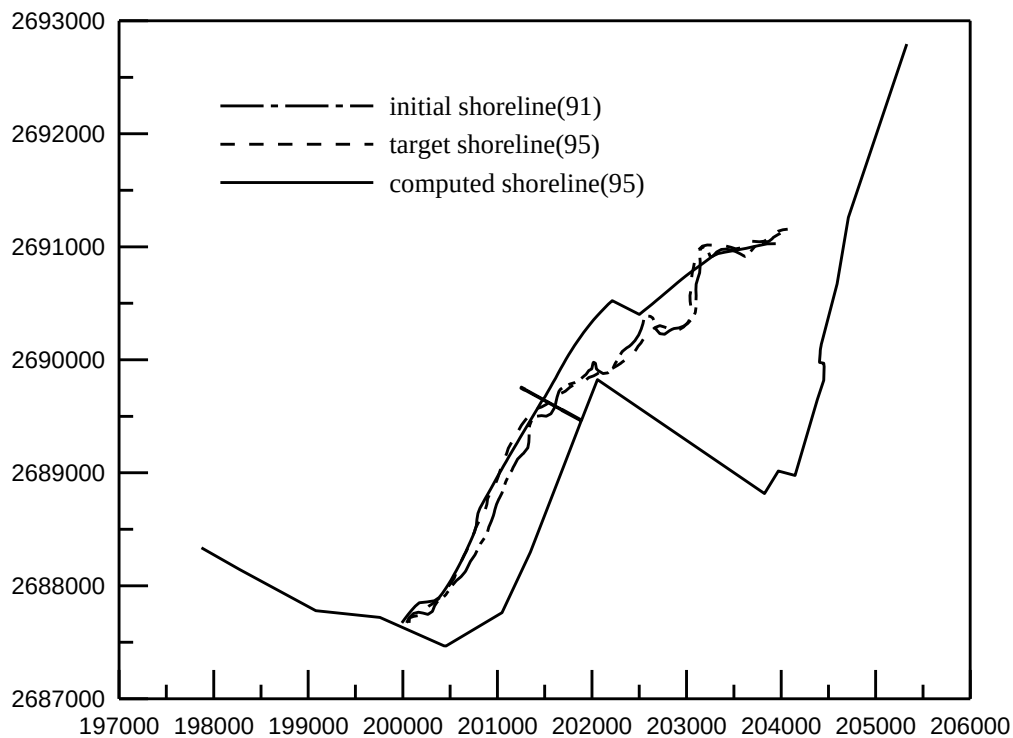


圖 4-7 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (I)
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)

4.4.2 常年平均月代表波浪 (2002 年至 2006 年灘線侵淤變化探討)

本章節中所探討的波浪計算條件為長期 (1996 至 2008 年) 波浪觀測下所得之月平均代表波浪 ($H_{1/3}$, $T_{1/3}$)，其輸入條件如表 4-9 所示。本研究採用 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$ 、 $\alpha Q = 70 \times 10^4 m^3 / year$ 、

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

4.4.3 當月代表波浪 (2002 年至 2006 年灘線侵淤變化探討)

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

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

表 4-10 GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件

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

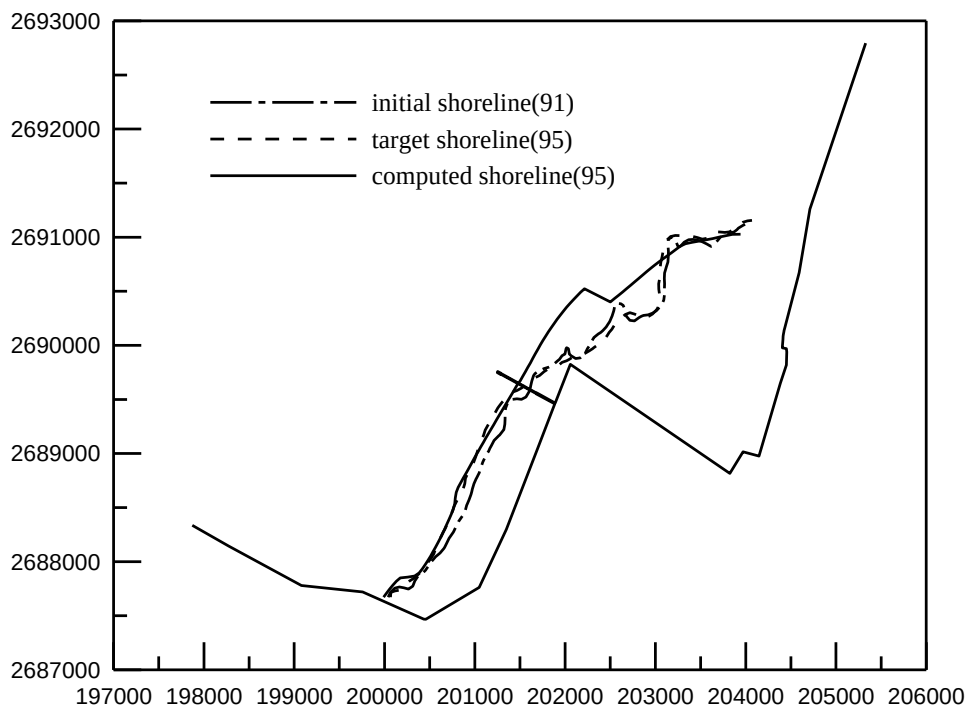


圖 4-8 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (II)
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)

表 4-11 GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (II)

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

表 4-12 GENESIS 模式之常年平均月代表波浪計算條件

年/月	波高 $H_{1/3}$ (m)	週期 $T_{1/3}$ (sec)	入射波向
2002/01	2.29	7.2	N
2002/02	1.50	6.2	N
2002/03	1.65	6.3	N
2002/04	1.50	6.3	N
2002/05	0.72	5.0	NNE
2002/06	0.69	5.6	ENE
2002/07	0.59	4.9	WNW

2002/08	0.77	6.2	N
2002/09	1.40	6.6	N
2002/10	2.36	6.9	N
2002/11	2.29	6.2	NW
2002/12	2.87	6.5	NW
2003/01	3.38	7.8	N
2003/02	3.20	7.3	NNE
2003/03	2.32	6.6	ENE
2003/04	2.12	6.6	NNE
2003/05	1.31	5.7	NNE
2003/06	0.73	5.3	WSW
2003/07	0.88	5.6	NNE
2003/08	0.61	5.5	NNE
2003/09	1.12	5.7	N
2003/10	1.90	5.4	N
2003/11	2.47	5.5	NNE
2003/12	1.93	5.4	N
2004/01	1.94	5.2	N
2004/02	1.49	5.3	N
2004/03	2.00	5.4	NNE
2004/04	1.10	5.4	NNE
2004/05	0.86	5.2	WSW
2004/06	1.07	6.2	ENE
2004/07	0.84	5.3	WSW
2004/08	0.97	6.5	N
2004/09	1.31	6.9	N
2004/10	2.41	7.1	N
2004/11	2.11	7.0	N
2004/12	2.29	7.2	N
2005/01	2.19	7.1	N
2005/02	2.15	7.2	NW
2005/03	1.60	6.8	N
2005/04	0.92	6.1	NNE
2005/05	1.12	5.9	NNE
2005/06	0.99	5.8	NNE
2005/07	1.19	11.7	N
2005/08	1.24	12.4	N
2005/09	1.57	7.5	N
2005/10	2.28	7.1	NNE
2005/11	1.23	6.2	N
2005/12	2.87	6.5	NW
2006/01	2.06	7.0	N
2006/02	2.36	7.5	N
2006/03	1.89	6.3	N
2006/04	1.14	5.9	N
2006/05	1.21	6.0	N

2006/06	0.64	5.5	WSW
2006/07	0.94	5.9	NW
2006/08	0.79	5.9	NNW
2006/09	1.71	7.1	N
2006/10	1.70	6.4	N
2006/11	1.59	6.8	N
2006/12	2.46	7.6	N

表 4-13 GENESIS 模式預測灘線與 2002 年至 2006 年實測地形比較 (III)

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

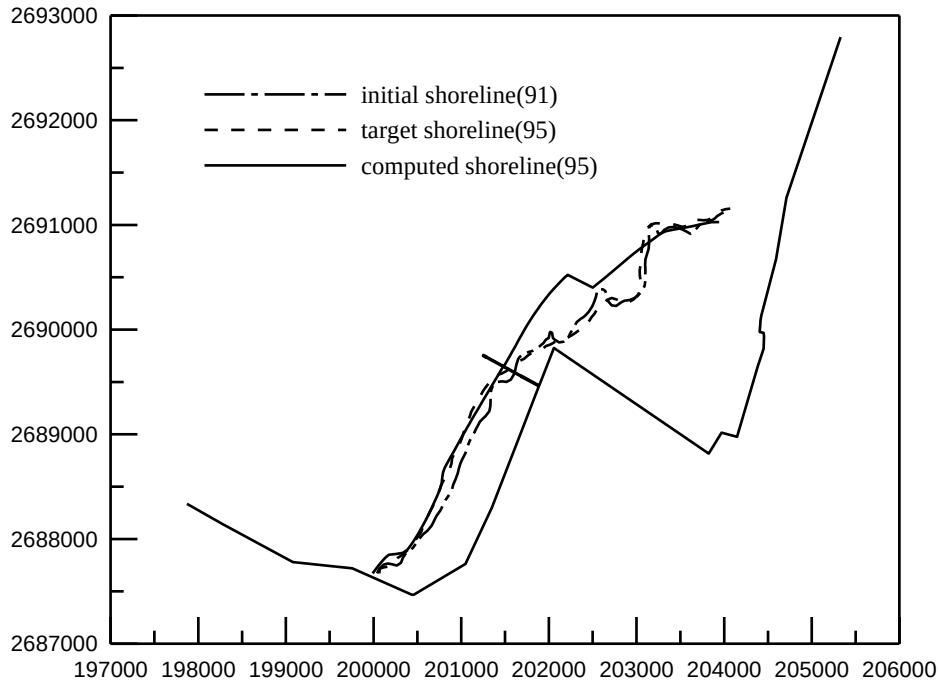


圖 4-9 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (III)
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)

4.5 綜合比較

1. 無完整波浪資料條件

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

2. 具有波浪資料條件

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

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

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

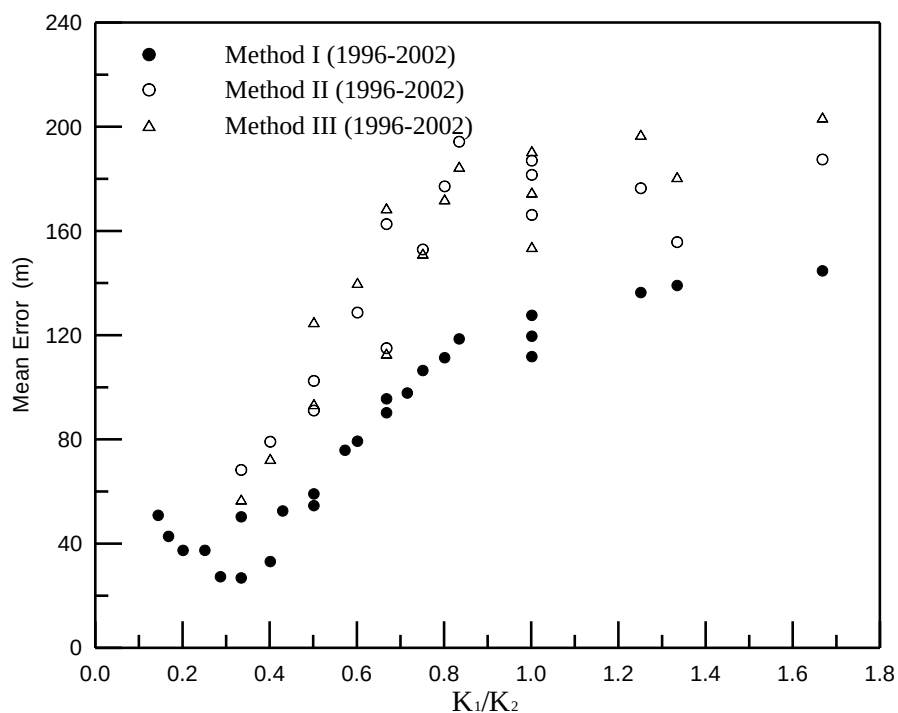


圖 4-10 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
 (自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

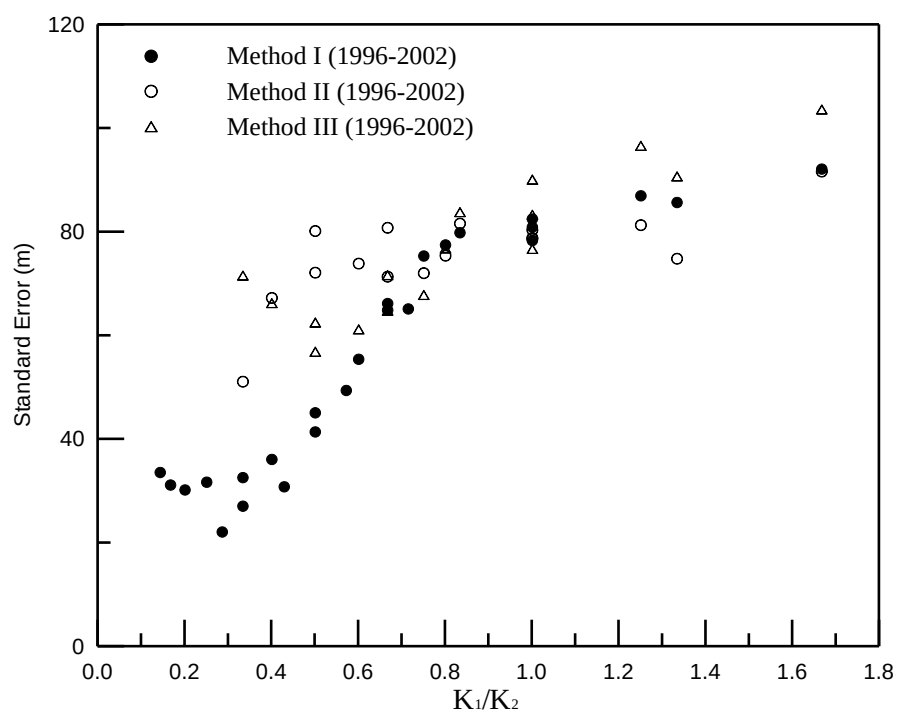


圖 4-11 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
 (自 1996 年至 2002 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

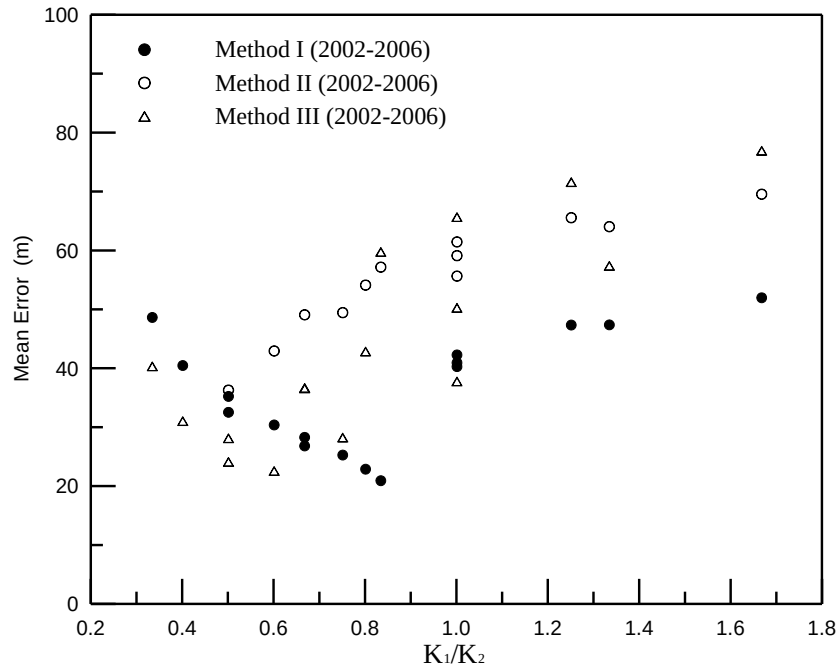


圖 4-12 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)

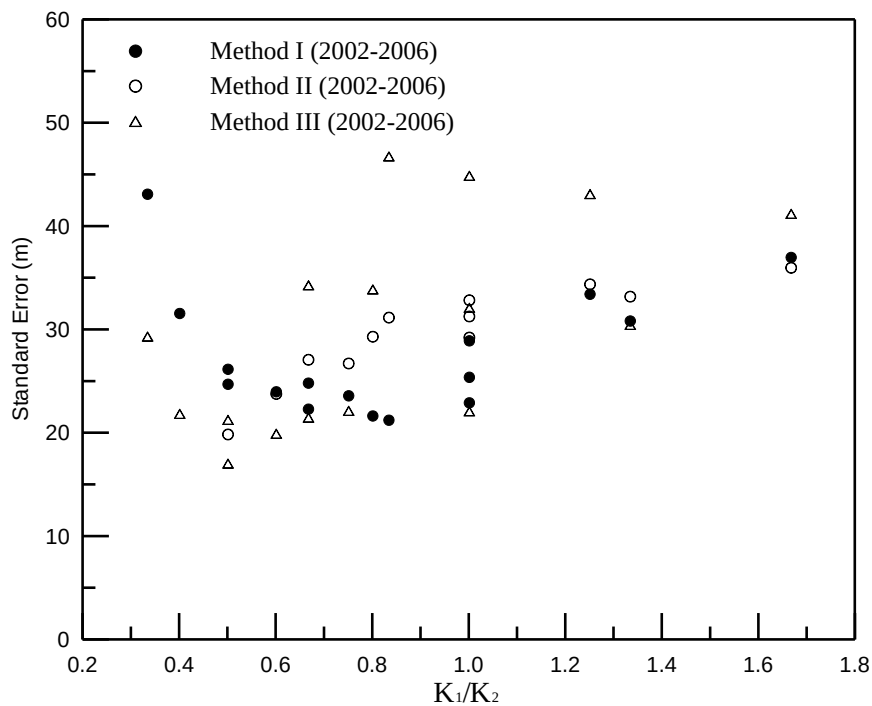


圖 4-13 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自 2002 年至 2006 年，沿岸輸沙量 $\alpha Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)

第五章 防治對策方案研擬及灘線預測評估

5.1 臺中港北側淤沙區漂飛沙整治工程

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

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

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

漂沙整治之可行方案

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

● 延長北防沙堤

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

● 定沙突堤工程

在北防波堤北側第一道轉折處，朝北方（約與該處漂沙動線垂直）設置 1 座長 450m 定沙突堤，以穩定灘地地形並兼具提高北淤沙區攔阻漂沙能力。其配置示意圖如圖 5-1 所示：

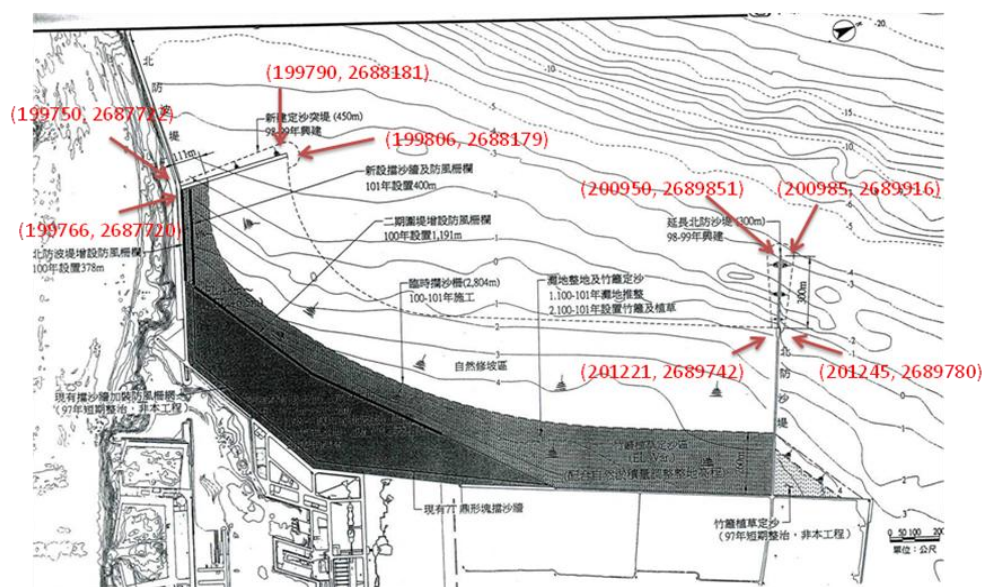


圖 5-1 漂沙整治方案配置圖

5.1.1 整治方案對漂沙特性之影響

圖 5-2~圖 5-4 為臺中港於新建定沙突堤及延長攔沙堤配置下，總計算時間區段所求得之平均輸沙潛量，圖中平均輸沙潛量之主要傳輸方向用箭頭表示。由圖 5-2 整治方案興建定沙突堤及延長攔沙堤設置後，冬季季風漂沙潛量的比較可知，興建定沙突堤的設置將使其北側輸沙潛量增大，而使原本在該處的淤積可能轉為侵蝕。在興建定沙突堤和北防波堤堤頭間，由於漂沙潛量遞減，顯示該區將產生淤積。在北防波堤堤頭北側有一局部輸沙潛量減小區，表示該區將產生淤積。由圖 5-3 夏季季風漂沙潛量的比較可知，輸沙潛量分布的結果大致相同。由圖 5-4 新建定沙突堤及延長攔沙堤設置後，10 年迴歸期颱風漂沙潛量的比較可知，在興建定沙突堤的堤頭輸沙潛量有些微的增大，顯示該處將產生侵蝕，而在堤後由於輸沙潛量的降低，因此將產生淤積的現象。

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

5.2 整治方案之防治對策

對於整治方案之防治對策，本研究依據上年度研究計畫所得之漂沙移動特性與本年度以一維及二維正交特徵函數模式分析臺中港海岸變遷特性之結果，初步擬定整治方案之防治對策。對於整治方案興建後之海域有下列幾點特性：

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

依據上述漂沙特性與整治方向，本研究計研擬三種防治方案進行初步評估。

- (一) 方案 1 (case1: 行政院版，延長定沙突堤 450 公尺與北防沙堤 300 公尺)。
- (二) 方案 2 (case2: 基於方案 1 的基礎延伸定沙突堤至 600 公尺與北防沙堤至 600 公尺。
- (三) 方案 3 (case3: 基於方案 1 的基礎，再於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建一定沙突堤 450 公尺)。

本研究對於方案 1 與方案 2 的評估，以一維灘線模式進行灘線淤積至堤頭時間進行評估。此外，受限於 GENESIS 模式的使用限制，方案 3 的佈置將以二維平面模式進行評估。因此，本章節以一維模式進行評估方案 1 與方案 2，方案 3 的評估則於次一章中進行說明。



圖 5-2 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=5.6\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖(興建定沙突堤及延長攔沙堤配置)



圖 5-3 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=5.3\text{sec}$ ，W 向)流場分布圖(興建定沙突堤及延長攔沙堤配置)

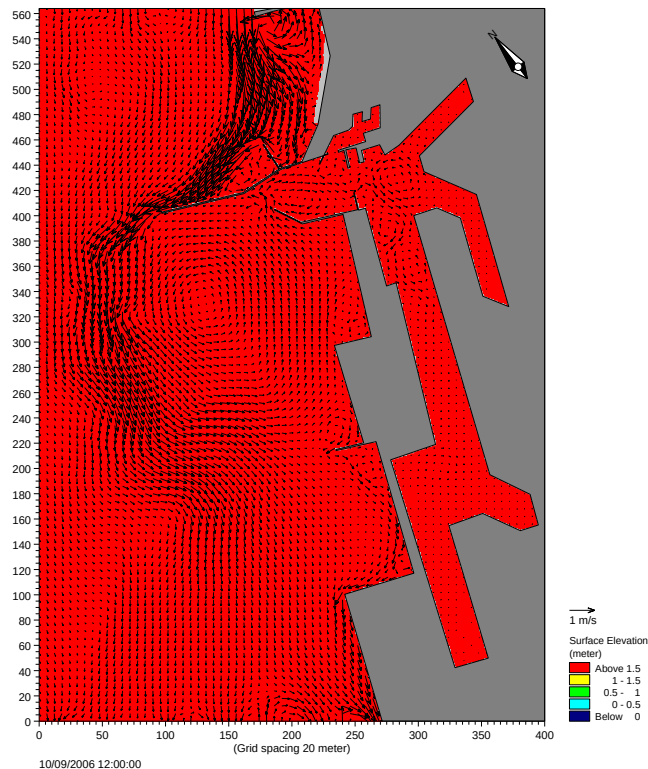


圖 5-4 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖(採用興建定沙突堤及延長攔沙堤配置)

5.3 防治對策評估

本研究由特徵函數法分析出之沿岸漂沙特性及臺中港務局規畫之定沙方案擬定防治方案，以突堤上游灘線變化之理論解析及 GENISIS 灘線模式來評估防治方案之成效，即評估建構定沙突堤後灘線淤積至堤頭之時間。

5.3.1 方案 1 評估

5.3.1.1 方案 1 突堤上游灘線變化之評估

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

$$t_{full} = \frac{\pi d_p S_e^2}{4Q \tan \alpha_0} \quad (5-1)$$

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

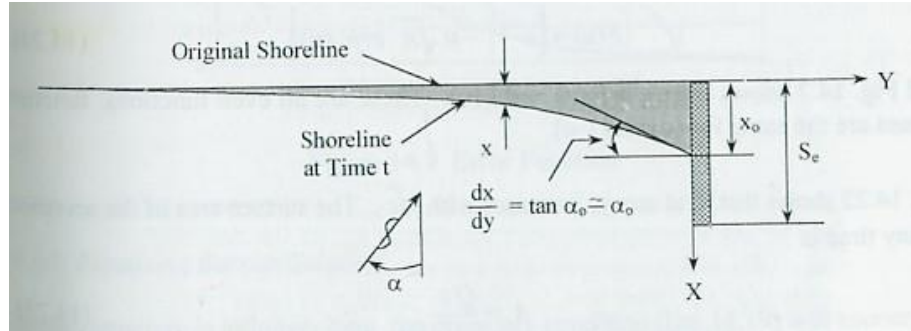


圖 5-5 突堤上游灘線變化解析所使用之符號示意

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

$$\tan \alpha_0 = \frac{y_0 - y_1}{\Delta x} \quad (5-2)$$

由式(5-2)所得三年之 α_0 分別為 19.3° 、 17.6° 及 19.0° ，三者平均值為 18.06° 。在北防沙堤之灘線與北防坡堤者相似， α_0 夾角約為 19° 。

由第三章之分析北防波堤之沿岸輸沙量約為 $Q=250$ 萬立方公尺，考慮沿岸輸沙量變異性，本研究另外計算 $Q=125$ 萬立方公尺。考慮臺中海域之潮差可達 4m，因此第三章之漂沙界限($d_p=4.05m$)加上潮差之半，可得 $d_p=5.05$ 公尺。新建北防沙堤長為 300m，由公式(5-1)在 $\alpha_0=19^\circ$ ， $Q=125$ 及 250 萬立方公尺狀況，計算灘線淤積至堤頭之時間分別為 0.5 及 1.0 年。

新建北防沙堤之堤頭在-3m 等水深上，由漂沙界限($d_p=4.05\text{m}$)可知初期還有漂沙流過新建北防沙堤至北定沙突堤。若以長度比例估算 $(4.05-3.0)/4.05=0.26$ ，若時間久後，堤頭淤積到一個程度通過漂沙之比例自然增加，本研究假設透沙率為 0.3、0.5 及 0.7 三種狀況，因此以式 (5-1)將灘線淤積至北定沙突堤堤頭之時間示如表 5-1。表 5-1 之第二行為灘線淤積新建北防沙堤堤頭之時間，即為 0.5 或 1.0 年；第三行為灘線淤積新建北定沙突堤堤頭之時間；第四行為二者之和。

表 5-1 以突堤上游灘線變化的理論計算灘線淤積至堤頭之時間

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

由表 5-1 可知，假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3、0.5 及 0.7 三種狀況下，在新建北定沙突堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間在 1.7-8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 及 5.6 年。

5.3.1.2 方案 1 GENESIS 灘線模擬評估

本研究以前一小節計算所擬定之防治對策，以 GENESIS 灘線預測模式進行模擬，探討方案 1 佈置條件下之灘線變化。以前一章節 2002 年灘線模擬至 2010 年灘線，接著加入方案 1 進行模擬，模擬時間為 2010 年至 2015 年，模擬方案之沿岸輸沙量於模式中將假設為 $\alpha Q=125$

萬立方公尺，模擬結果如圖 5-5 所示。經由 GENESIS 模式模擬結果顯示，在北防波堤橫向延伸 450 公尺後，灘線於北防波堤與北防砂堤間快速往前淤積，北防波堤堤體附近處之灘線淤積較為顯著，其淤積幅度約在 200 公尺左右，在靠近北防砂堤附近處，其淤積長度約為 300 公尺左右。於圖中顯示，北防砂堤之灘線已成長至堤頭附近處，防沙堤將失去攔阻沿岸漂沙之功效。

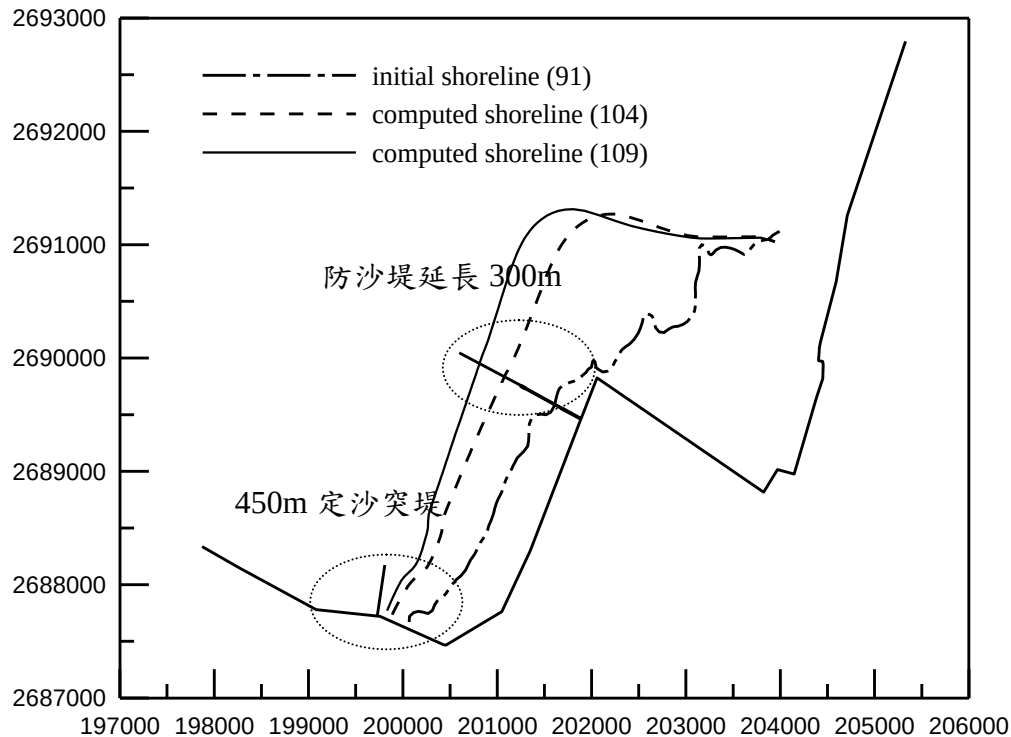


圖 5-6 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (北防沙堤延伸和新建定沙突堤，2002 年至 2015 年)

5.3.2 方案 2 延伸北防沙堤和延伸定沙突堤之評估

5.3.2.1 方案 2 延伸北防沙堤和延伸定沙突堤上游灘線變化之評估

本節對延伸北防沙堤延伸和定沙突堤上游灘線變化進行評估在。由表 5-2 可知，假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3、0.5 及 0.7 三種狀況下，在延伸北防沙突堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間為方案 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。

表 5-2 以突堤上游灘線變化的理論計算灘線淤積至堤頭之時間

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

5.3.2.2 方案 2 延伸北防沙堤和延伸定沙突堤 GENESIS 灘線模擬評估

本研究以前一小節計算所擬定之防治對策以 GENESIS 灘線預測模式進行模擬，探討方案 2 佈置條件下之灘線變化。以前一章節 2002 年灘線模擬至 2010 年灘線，接著加入整治方案進行模擬，模擬時間為 2010 年至 2015 年，接著延續延伸北防沙堤 300 公尺和定沙突堤 150 公尺模擬至 2020 年。延伸後之沿岸輸沙量將假設為 $\alpha Q=125$ 萬立方公尺。其結果顯示，圖 5-6 中顯示，經由 GENESIS 模式模擬結果顯示，在定沙突堤再延伸後，灘線於北防波堤與北防砂堤間快速往前淤積，北防波堤堤體附近處之灘線淤積較為顯著，其淤積幅度約在 100 公尺左右，在靠近北防沙堤附近處，其淤積長度約為 200 公尺左右。北淤沙區淤沙面積較未延伸前有明顯的增長，達到穩定的淤沙效果。

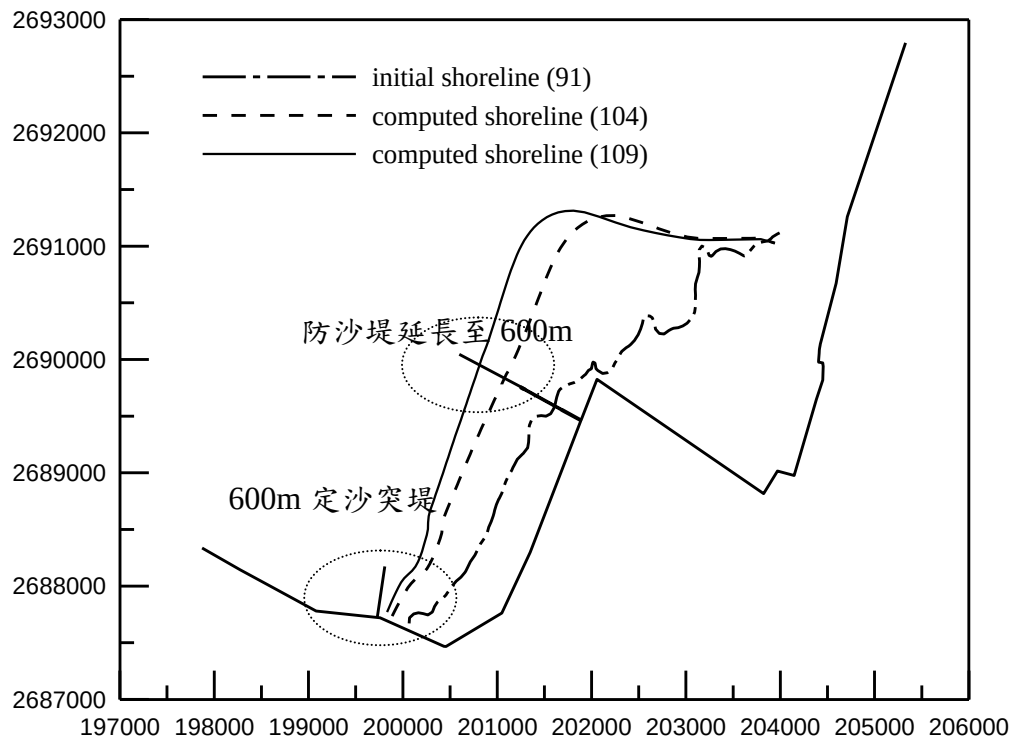


圖 5-7 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (延伸北防砂堤延伸和新建定沙突堤，2002 年至 2020 年)

第六章 二維數值模擬之地形變遷評估

6.1 地形變遷數值模擬分析流程

本研究將依據計畫區附近之海底底質特性及波浪觀測資料，透過數值模式進行計畫區漂沙之推估，並瞭解漂沙移動之特性及計算海域內之侵淤特性。本研究數值模式採用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之 MIKE 21 軟體進行數值模擬，DHI 是一個獨立的國際諮詢及科學研究機構，其所研發的 MIKE 21 是模擬水動力、水質、泥沙、波浪的專業工程軟體，主要應用於港口、河流、湖泊、河口海岸和海洋，具有先進的前後處理功能和用戶介面。

本研究首先以 MIKE 21 數值模擬軟體中之 MIKE 21 SW 波浪模式進行波浪場模擬，此模式主要應用波浪資料為邊界條件，藉以計算模擬海域之波浪場與輻射應力分布。海岸漂沙以受波浪及潮流之影響為主，但在碎波帶內，由於潮流之強度一般較弱，因此由波浪碎波後而產生之沿岸流即成為影響沿岸輸沙之主要機制。輻射應力為波浪引起沿岸流之主要動力，且為海域海流模擬計算時之主要波浪特性參數。本研究接著以 MIKE 21 HD 水動力模式進行流場模擬，透過波浪場模擬計算所得之輻射應力，作為流場計算之波浪條件，同時配合 Matsumoto 等人(2000)針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果作為驅動 HD 模式進行天文潮推算所需的動力邊界條件。最後以 MIKE 21 ST 輸沙模式模擬受海域之水動力與波浪引起之地形變化特性，將前述所得之波場及流場計算成果，作為模擬計算之輸入條件，可得波浪與潮流共同作用下所造成之侵淤特性，且經由地形的改變重新計算波浪場，整體分析流程圖如圖 6-1 所示。各模式皆以有限體積法(Finite Volume Method)將控制方程式在空間上進行離散，所採用之網格系統為非結構性三角形網格，每一個三角形都代表一個元素，每一時間步均可解出各元素中心的 N 值。

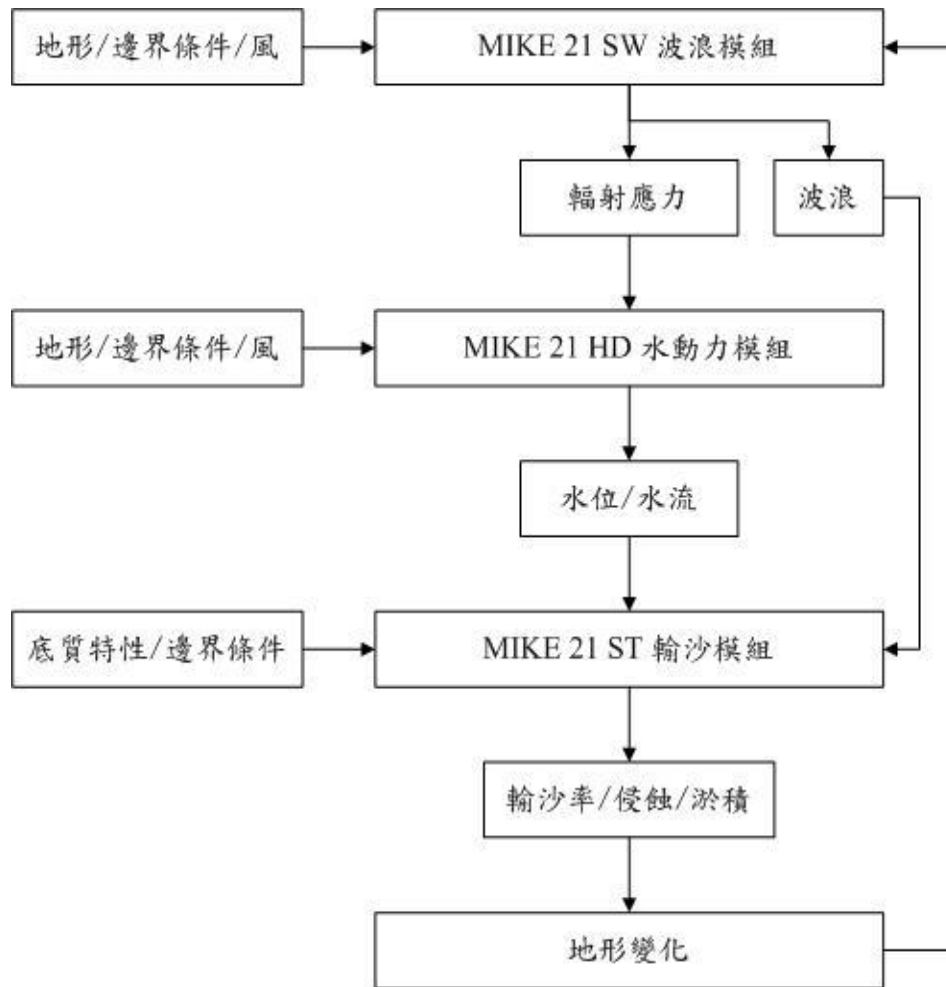


圖 6-1 地形變遷分析流程圖

6.1.1 MIKE 21 SW 波浪模式

MIKE 21 SW 主要用於模擬離岸及近岸區，風浪和湧浪的成長、衰減及傳播變形。MIKE 21 SW 包含兩個不同公式：

1. 全譜公式

全譜公式基於 Komen 等人(1994)和 Young (1999)的波動守恆方程。全譜模式包含下列物理現象：風浪成長、波與波非線性交互作用、白沫消散、底床摩擦消散、水深引起的波浪破碎、水深變化引起的折射和淺水變形、波流交互作用、水深隨時間變化產生的影響、波浪場冰層覆蓋產生的影響。

該模式係模擬波浪在各種外力作用下之波能變化，其求解之方程式為波浪作用力守恆方程式(Wave action conservation equation)，此方程式為二維時變域之偏微分方程式，表示如下：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (6-1)$$

其中， $N(\bar{x}, \sigma, \theta, t)$ 為波力頻譜密度函數(wave action density function)，與波能頻譜密度函數(wave energy density function)之關係為 $N=E/\sigma$ ； $\bar{x}=(x, y)$ 為卡氏坐標； t 為時間； σ 為角頻率；而 θ 則為波向角。 $\bar{v}=(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ 為一個 4 維空間的向量， $(c_x, c_y)=d\bar{x}/dt=\bar{c}_g+\bar{U}$ ，代表群波在空間上的傳遞速度，其中 $\bar{c}_g$ 為群波速度，而 $\bar{U}$ 則為海流之流速，模式可考量波浪在海流流動狀況下之傳遞情形。 $c_\sigma=d\sigma/dt$ ，代表角頻率 σ 之變化速度。 $c_\theta=d\theta/dt$ ，代表波向角 θ 之變化速度。

$\nabla=(\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial \sigma, \partial/\partial \theta)$ 為一個 4 維空間的向量運算子， S 則為源項(Source term)，代表波浪傳遞過程時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象，表示如下：

$$S=S_{in}+S_{nl}+S_{ds}+S_{bot}+S_{surf} \quad (6-2)$$

其中 S_{in} 為風浪之成長項， S_{nl} 為波與波非線性交互作用項， S_{ds} 為白沫消散項， S_{bot} 為底床摩擦項，而 S_{surf} 則為碎波消耗項。

2. 方向參數化解耦公式

方向參數化解耦公式基於波動守恆方程的參數化形式，按照 Holthuijsen (1989) 理論，參數化在頻率空間內進行，引入波譜的零階和一階矩作為決定變量，可用於以波浪碎波後而產生之沿岸流的泥沙傳輸計算。參數化的方程式表示如下：

$$\frac{\partial(m_0)}{\partial t} + \frac{\partial(C_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta m_0)}{\partial \theta} = T_0 \quad (6-3)$$

$$\frac{\partial(m_1)}{\partial t} + \frac{\partial(C_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta m_1)}{\partial \theta} = T_1 \quad (6-4)$$

其中 $m_0(x,y,\theta)$ 為波譜 $N(x,y,\omega, \theta)$ 的零次矩， $m_1(x,y,\theta)$ 為波譜 $N(x,y,\omega, \theta)$ 的一次矩， C_{gx} 及 C_{gy} 分別為群波速度 x 、 y 方向之分量， C_θ 為 θ 方向的波浪行進速度， ω 為角頻率， T_0 和 T_1 為 Source Terms，包含風、底床摩擦、碎波等因素。 n 次矩 $m_n(\theta)$ 定義為

$$m_n(x, y, \theta) = \int_0^\infty \omega^n N(x, y, \omega, \theta) d\omega \quad (6-5)$$

6.1.2 MIKE 21 HD 水動力模式

MIKE 21 HD 建立在 Boussinesq 和流體靜壓力假設的不可壓縮 Reynolds averaged Navier-Stokes 方程式的基礎之上，其由連續方程式和動量方程式組成。對一般含時間因素之空間上三維的水動力系統方程式，以水深方向積分處理後，簡化為如下含時間變化之二維水動力計算系統

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (6-6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = & f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} \\ & - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (6-7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = & -f\bar{u}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} \\ & - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (6-8)$$

其中 η 為自由液面， d 為靜止水深， $h = \eta + d$ 為總水深， f 為柯氏(Coriolis)力參數， g 為重力加速度， p_a 為大氣壓力， s_{xx} 、 s_{xy} 、 s_{yx} 、 s_{yy} 為輻射應力張量(radiation stress tensor)， τ_{sx} 和 τ_{sy} 為表面風應力， τ_{bx} 和 τ_{by} 為底部應力， T_{xx} 、 T_{xy} 、 T_{yy} 為側向應力， S 為點源的排出量， $\bar{u}$ 和 $\bar{v}$ 為水深平均速度，可定義如下式

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (6-9)$$

側向應力 T_{ij} 包括黏性摩擦和紊流摩擦，可透過紊流渦度黏滯(eddy viscosity)係數 A 估計

$$T_{xx} = 2A\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = A\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x}\right), \quad T_{yy} = 2A\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \quad (6-10)$$

6.1.3 MIKE 21 ST 輸沙模式

MIKE 21 ST 主要為計算波浪、潮流或波流共同作用下的非粘性沙傳輸能力及相對的地形變化率。該模式的數值計算是基於給定地形條件下的相應水動力條件進行，透過對地形變化率的回饋機制進行地形變遷計算。MIKE 21 ST 的輸沙量同時考慮底床載輸沙量和懸浮載輸沙量，可表示為

$$q_t = q_b + q_s \quad (6-11)$$

其中 q_t 為總輸沙量， q_b 為底床載輸沙量， q_s 為懸浮載輸沙量。底床載輸沙量採用 Engelund 和 Fredsøe (1976)的理論，透過瞬時徐爾茲參數(Shields parameter)計算而得。懸浮載輸沙量可透過下式計算

$$q_s = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{D_d} (uc) dz dt \quad (6-12)$$

其中 u 為瞬時流速， c 為瞬時漂沙濃度，採用 Fredsøe 等人(1985)的理論。

MIKE 21 ST 主要透過網格中心點的地形變化率 $\partial z / \partial t$ 來決定地形變化，其控制方程式可表示為

$$-(1-n) \frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} - \Delta S \quad (6-13)$$

其中 n 為底床孔隙率， z 為地形高程， S_x 為 x 方向底床載輸沙量或總輸沙量， S_y 為 y 方向底床載輸沙量或總輸沙量， ΔS 為源項。地形的更新主要基於地形變化率，因此新的地形高程可表示為

$$z_{new} = z_{old} + \frac{1}{1-n} \frac{\partial z}{\partial t} \Delta t_{HD} \quad (6-14)$$

6.1.4 數值模擬條件

1. 地形及網格

本研究採用的地形水深資料於計畫區內為現地實測的地形，而計畫區外則採用海軍海洋測量局發行之海圖，模擬範圍之地形水深如圖 6-2 所示，為了於計畫區獲得較高精度的模擬結果，鄰近臺中海域之海岸線採用較密的網格，而離計畫區較遠之外海則採用較粗的網格，網格的設定如表 6-1 所示。

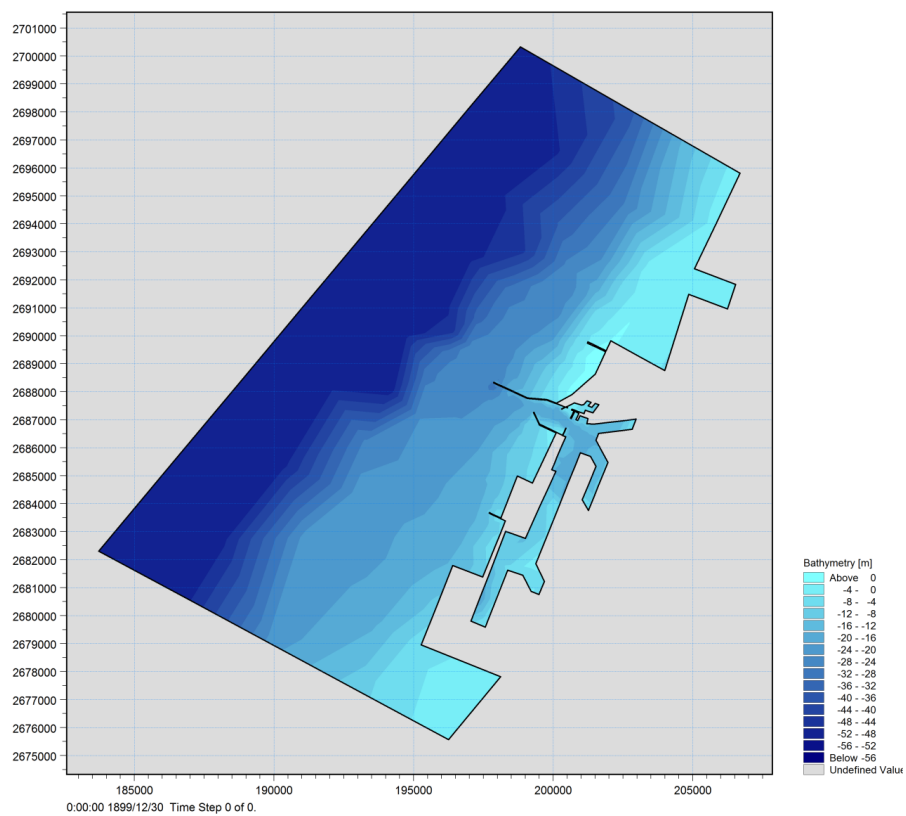


圖 6-2 模擬範圍之地形水深(2004 年)

表 6-1 網格設定內容

元素個數	759
節點個數	475
最小元素面積	72m ²
最大元素面積	6313985m ²

2. 模擬時間

本研究模擬的時間區段主要考慮現場地形的量測時間，該起迄時間如表 6-2 所示，由表中可知，模擬時間區段總計 361 天，其中前 24 小時為暖啟動時間。

表 6-2 模式模擬時間

	模擬開始時間	暖啟動結束時間	模擬結束時間
模擬時間	2004 年 8 月 1 日 00:00	2004 年 8 月 2 日 00:00	2005 年 7 月 28 日 00:00

3. 波浪與潮位條件

本研究採用的波浪資料為港灣技術研究中心於臺中港觀測的逐時資料，該測站於 1999 年 9 月開始監測，原位於北防波堤堤頭附近，後因北防波堤延長工程暫停測量，並在延長工程完工後，於 2003 年 7 月移至北防波堤堤頭 150m 外、水深-25m 處，該測站經緯度為 (24°18'10"N, 120°28'40"E)，其相關位置如圖 6-3 所示，儀器則採用挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪(波高、週期及波向)即時傳送監測系統(簡稱 AWCP)。該測站示性波高玫瑰圖如圖 6-4 所示，由圖中可知，全年示性波高主波向為 N、NNE 和 W 向。在潮位資料方面，配合 Matsumoto 等人(2000) 針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果作為驅動 HD 模式進行天文潮推算所需的動力邊界條件。



圖 6-3 臺中港測站位置圖

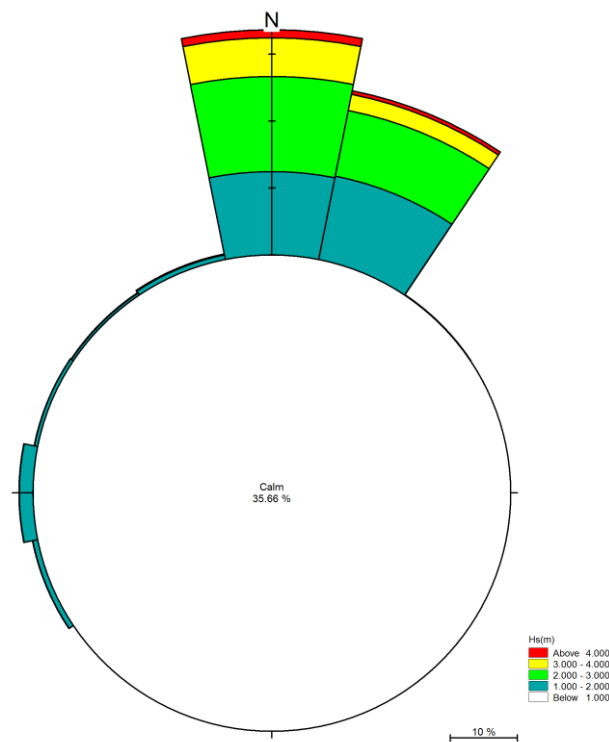


圖 6-4a 臺中港測站示性波高玫瑰圖
(2004 年 8 月 1 日~2005 年 7 月 28 日)

4.風場

本研究採用的風場資料為港灣技術研究中心於臺中港觀測的逐時資料，該測站位於北防風林處，經緯度為（ $24^{\circ}18'24''N$, $120^{\circ}31'23''E$ ），其相關位置如圖 6-3 所示，該測站於 2001 年 7 月開始監測，儀器則採用 Young Brand 風速計，儀器高度約 10m。該測站風玫瑰圖如圖 6-5 所示，由圖中可知，全年主風向為 NNE、NE 和 SSW 向。

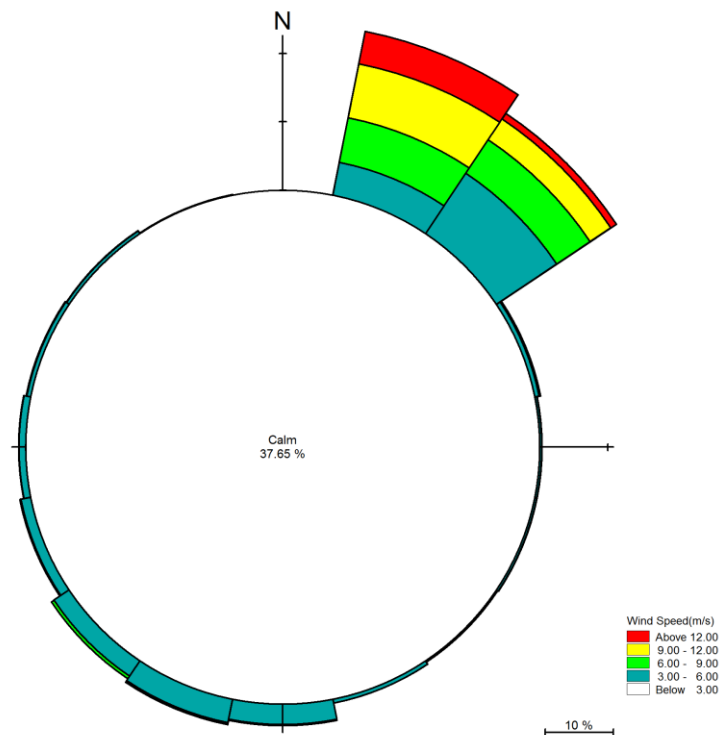


圖 6-4b 臺中港測站風玫瑰圖(2004 年 8 月 1 日~2005 年 7 月 28 日)

6.2 模式驗證

本研究應用圖 6-1 的分析流程進行模擬，其中 MIKE 21 HD 水動力模式同時考慮潮位與波浪之影響，模擬之結果主要用來探討臺中港海域之輸沙量與型態。為確認邊界潮位設定及相關計算結果之準確性，選擇臺中港作為驗潮站，驗潮站之實測潮位與模擬計算潮位之驗證比

較結果如圖 6-5 所示，圖中實心點為實測資料，實線為模擬結果，由圖中可知，臺中港實測與模擬的潮位幾乎一致。

圖 6-6 為北防波堤堤頭侵淤量驗證，圖中(a)為 2005 年實測地形減去 2004 年實測地形的侵淤量，(b)為 2005 年模擬地形減去 2004 年實測地形的侵淤量，圖中藍色至紫色為侵蝕，黃色至紅色為淤積，由圖中可知，模擬的侵淤量與實測結果非常一致。圖 6-7 為 Sutherland 等人(1999)於實驗室內進行 30000 個波浪作用後地形變化的試驗結果，圖中(a)為垂直入射的結果而(b)為斜向入射的結果，臺中港附近波浪主波向為 N 和 NNE 向，因此對於北防波堤來說應屬於斜向入射的狀況，經由圖 5.2-1 和圖 6-7(b)的比對可知，數值模擬結果和實驗室內試驗結果的侵淤特性相當一致。

為進行地形剖面高程的驗證，本研究截取 3 個剖面來探討，Line 1 靠近北攔沙堤，Line 2 靠近北防波堤，擷取方向皆為由岸上向海上，Line 3 位於北防波堤堤頭附近有較大侵蝕處，擷取方向為由南向北，其相關位置如圖 6-8 所示。圖 6-9~6-11 分別為 Line 1~Line 3 的驗證結果，圖中實線為實測值而虛線為模擬值，由圖中可知，Line 1 和 Line 2 實測與模擬皆相當一致，而 Line 3 於侵蝕最大的位置亦僅有 0.4m 的誤差。

為再次確認輸沙模式的正確性，特別選取漲退潮時刻臺中港的衛星影像圖進行驗證，圖 6-12a,b 為臺中附近海域漲潮時波場與潮流分布，圖 6-13 為相對應圖 6-12 漲潮時刻的衛星影像圖，圖中在臺中港附近的白色帶狀即為漂沙現象，由圖中可知，該時段潮流方向為向北，與衛星影像圖中的漂沙方向一致。圖 6-14a,b 為臺中附近海域退潮時波場與潮流分布，圖 6-15 為相對應圖 6-14 退潮時刻的衛星影像圖，由圖中可知，該時段潮流方向為向南，亦與衛星影像圖中的漂沙方向一致。綜合上述驗證結果，本研究的地形變遷模擬可完整呈現現場的漂沙現象。

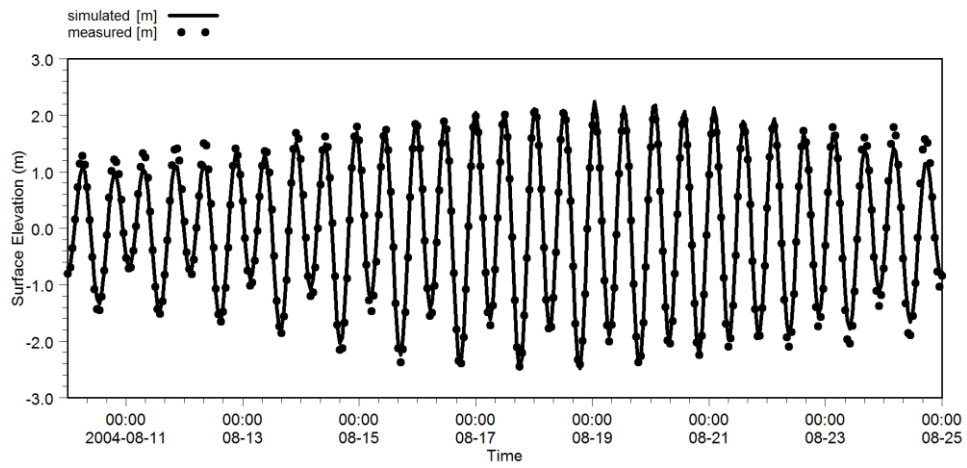
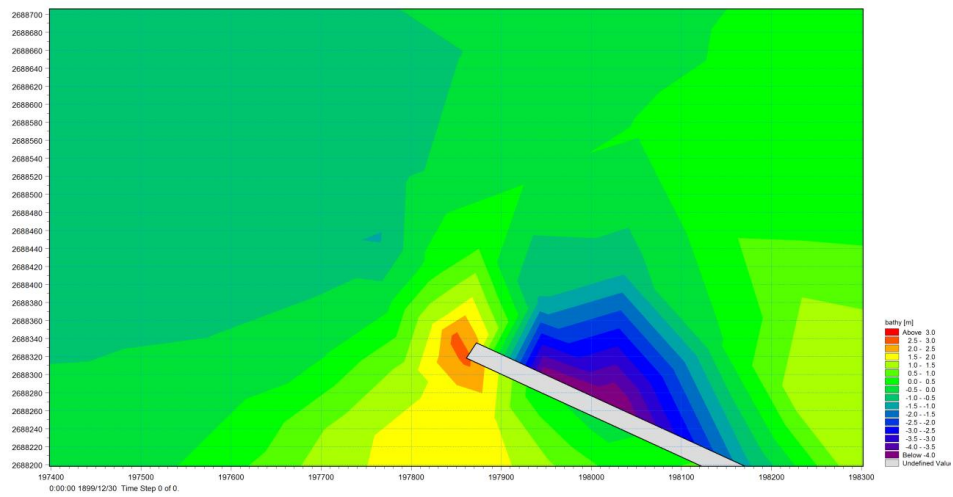
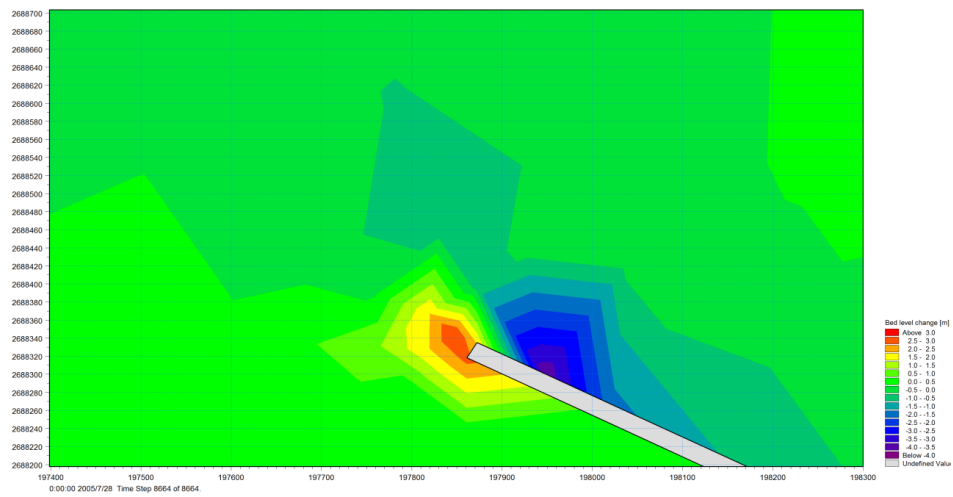


圖 6-5 臺中港潮位驗證



(a)實測



(b)模擬

圖 6-6 北防波堤堤頭侵淤量驗證(2004~2005 年)

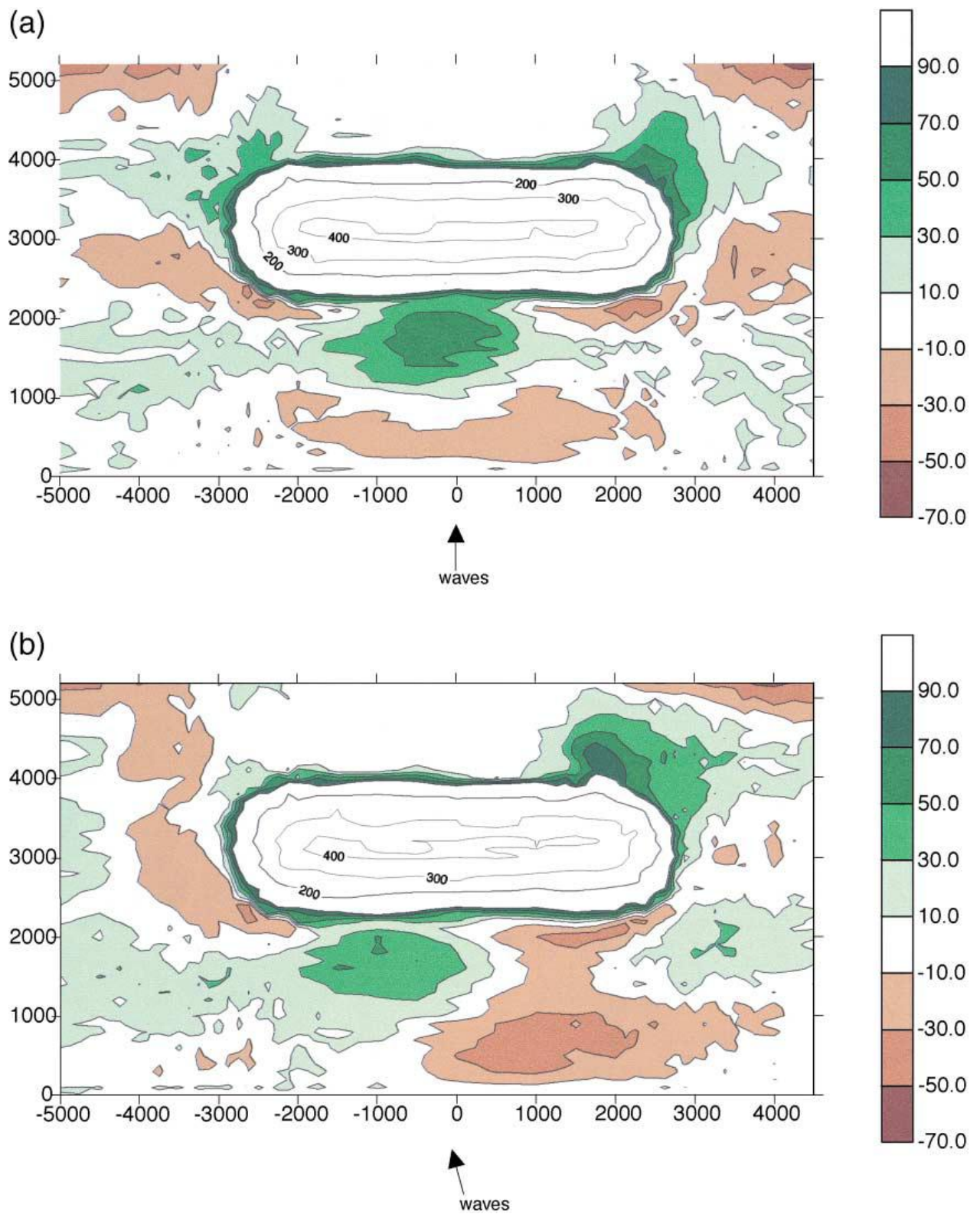


圖 6-7 堤頭附近侵淤狀況(Sutherland 等人，1999)

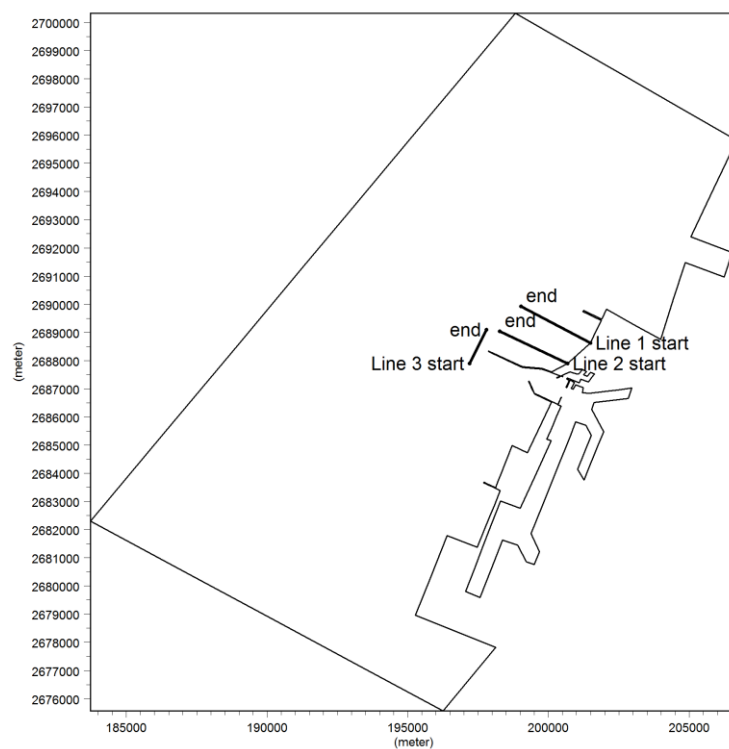


圖 6-8 地形剖面驗證位置示意圖

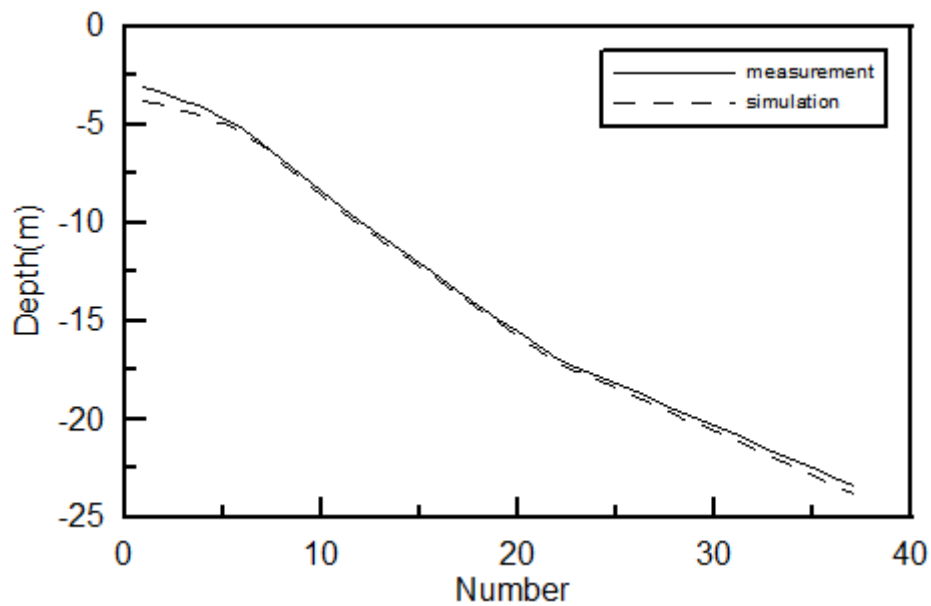


圖 6-9 Line 1 剖面驗證

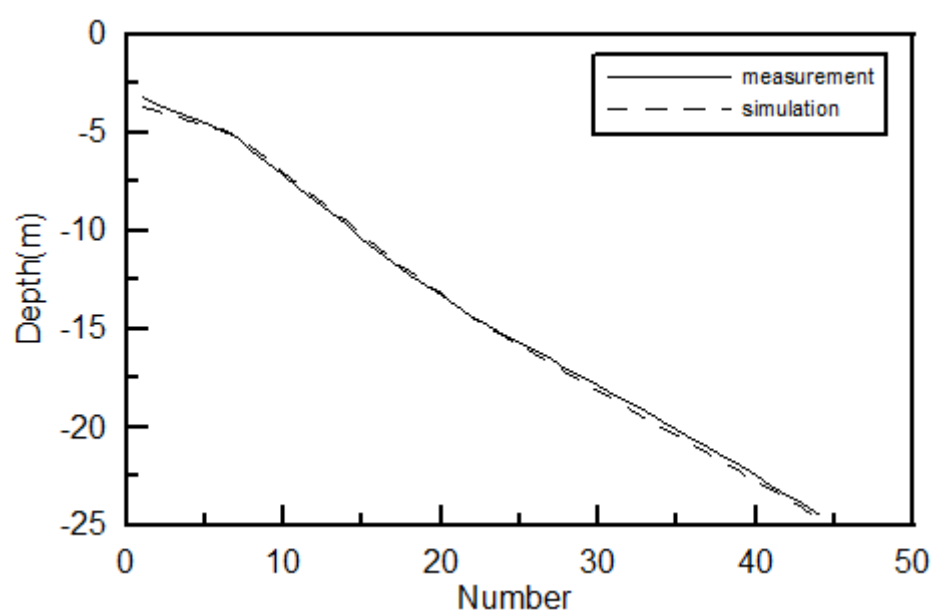


圖 6-10 Line 2 剖面驗證

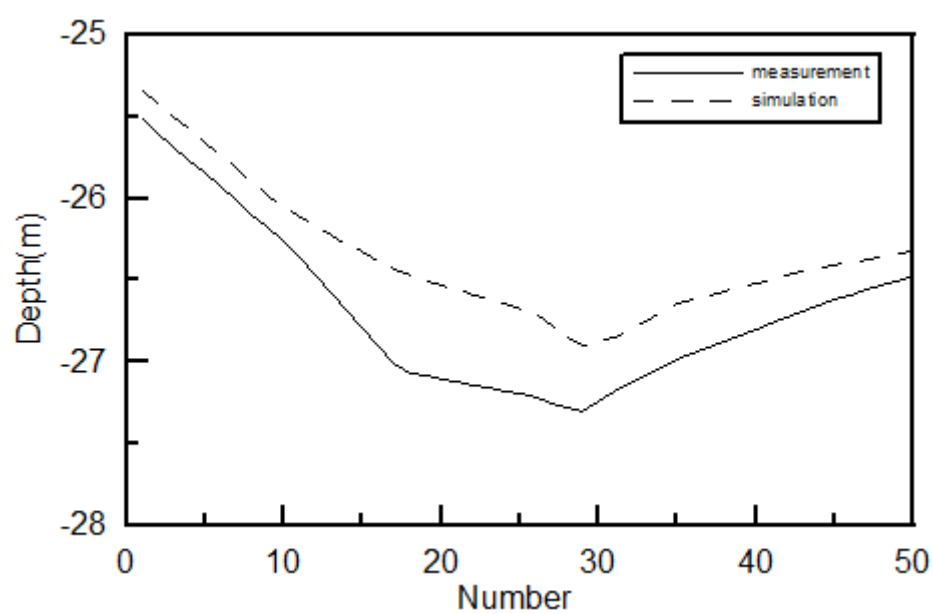


圖 6-11 Line 3 剖面驗證

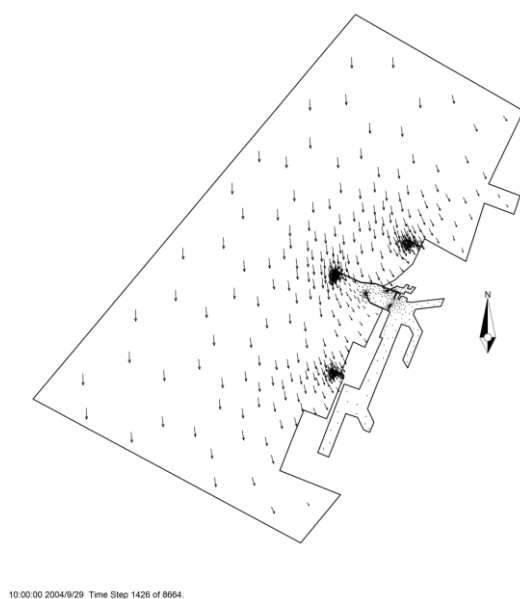


圖 6-12a 臺中附近海域波場分布，參考潮位：臺中港漲潮

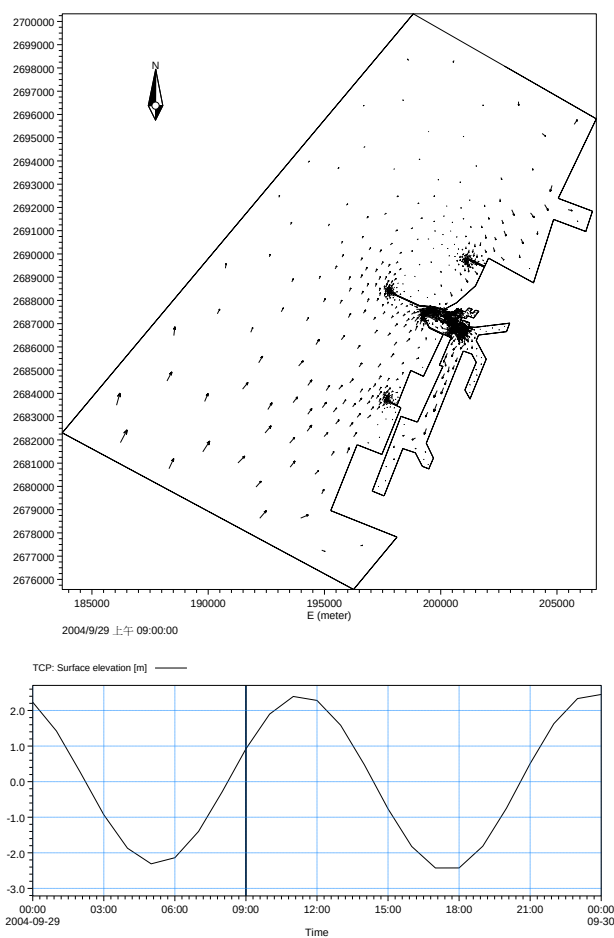


圖 6-12b 臺中附近海域潮流分布，參考潮位：臺中港漲潮

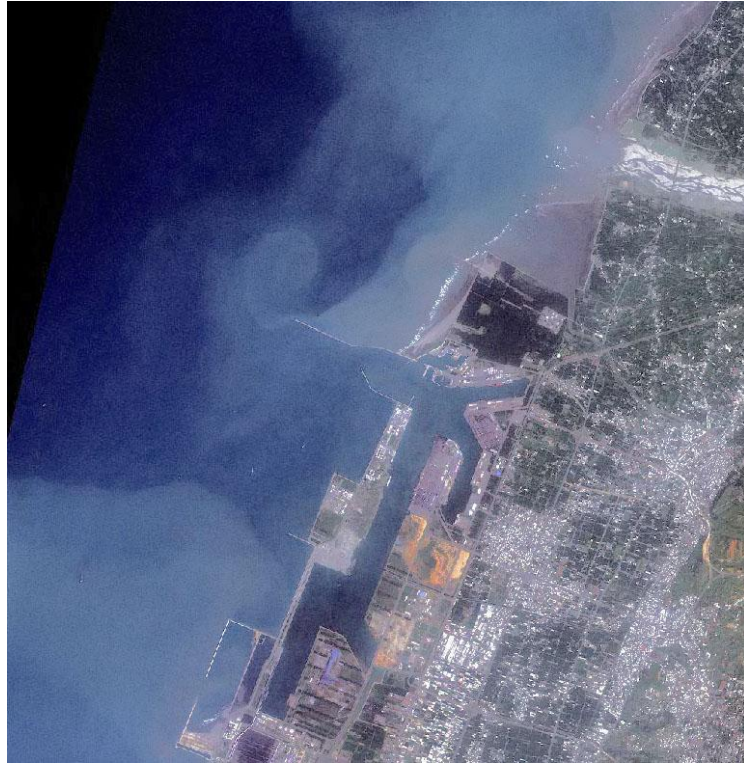
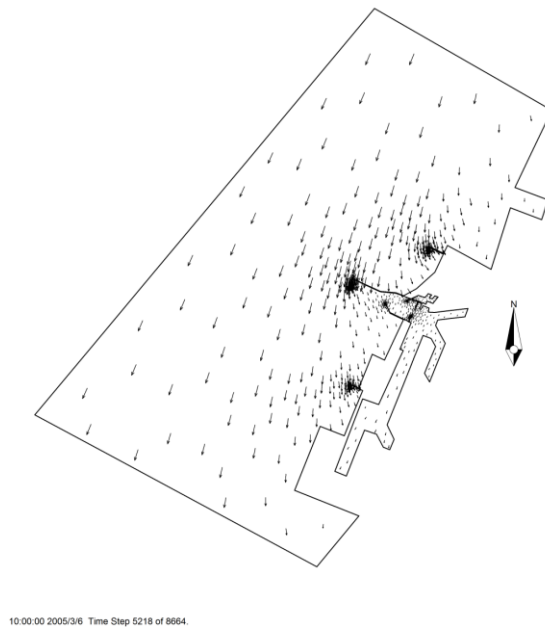


圖 6-13 臺中港衛星影像圖(2004/09/29 09:42)



10:00:00 2005/3/6 Time Step 5218 of 8664.

圖 6-14a 臺中附近海域波場分布，參考潮位：臺中港漲潮

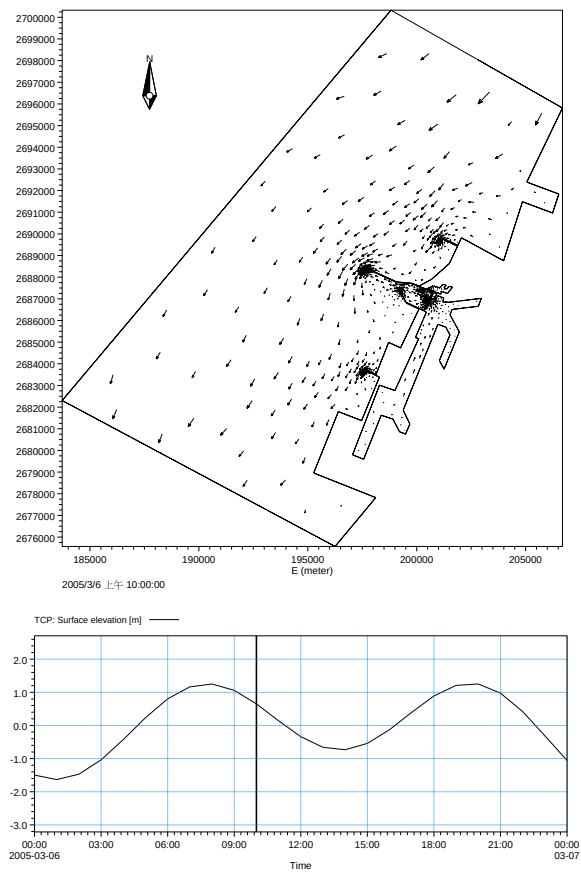


圖 6-14b 臺中附近海域潮流分布，參考潮位：臺中港退潮

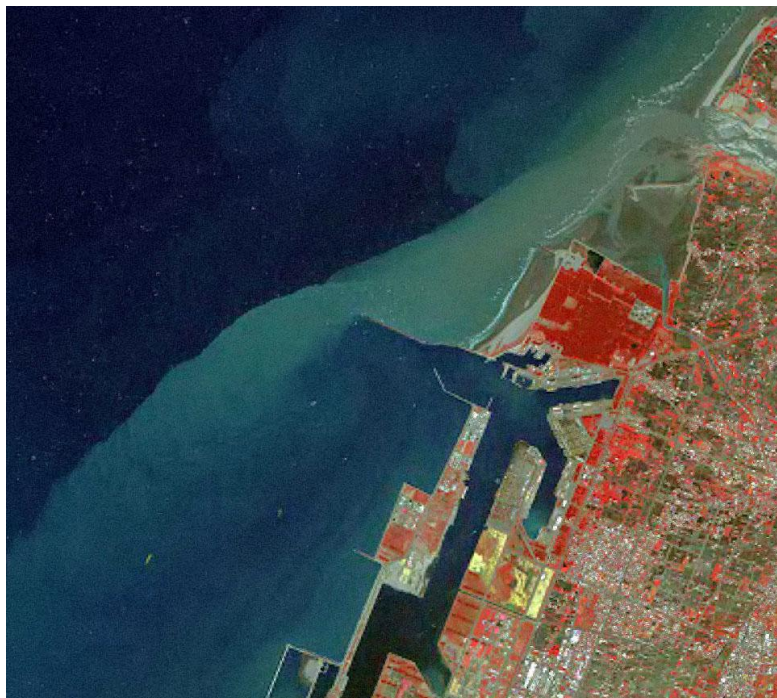


圖 6-15 臺中港衛星影像圖(2005/03/06 10:41)

6.3 建議方案數值模擬

本研究將進行方案 1 與方案 3 的數值模擬，方案配置如圖 6-16 和圖 6-17 所示，圖 6-16 為目前行政院通過的臺中港北淤沙區漂飛沙整治工程，工程內容包括延長北防沙堤 300m 和於北防波堤側新建定沙突堤 450m，圖 6-17 為本研究提出的方案，為滿足臺中港的防護目標，待方案 1 定沙的功能失效時，方案 3 於定沙突堤北側再興建一定沙突堤 450m，期能繼續將沿岸漂沙攔阻下來，避免漂沙進入臺中港區。

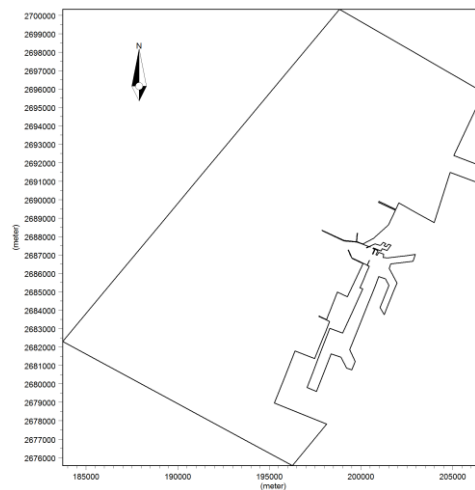


圖 6-16 Case 1 配置

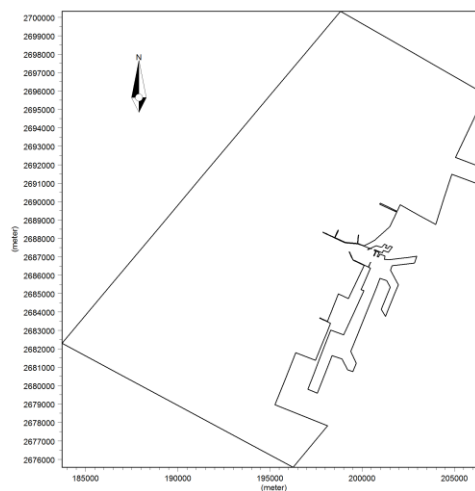


圖 6-17 Case 3 配置

圖 6-18 和圖 6-19 是以 2004 年為起始地形，分別模擬方案 1 和方案 3 至 2005 年的地形侵淤變化，由圖 6-18 可知，方案 1 的淤積量集中在北防沙堤和新建定沙突堤之間，待該區域淤積量過多而無法再攔阻沿岸漂沙時，本研究建議於北側再興建一定沙突堤，興建後的侵淤量如圖 6-19 所示，由圖中可知，沿岸漂沙被攔阻在第 2 道定沙突堤前，顯示該突堤可繼續攔阻沿岸漂沙，避免該漂沙向南輸送至臺中港區。

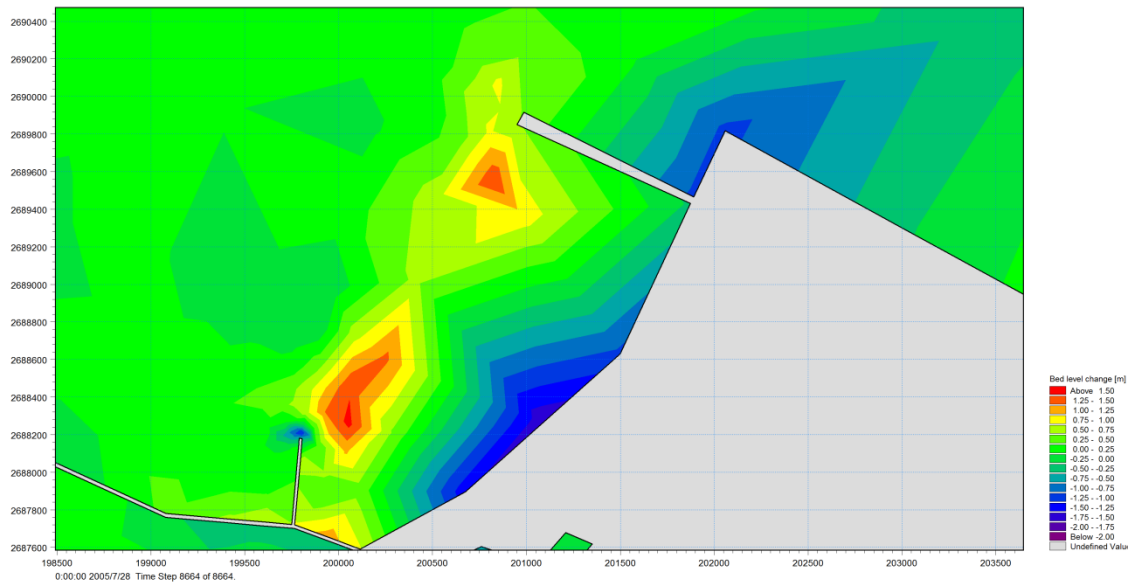


圖 6-18 北淤沙區侵淤量(Case 1)

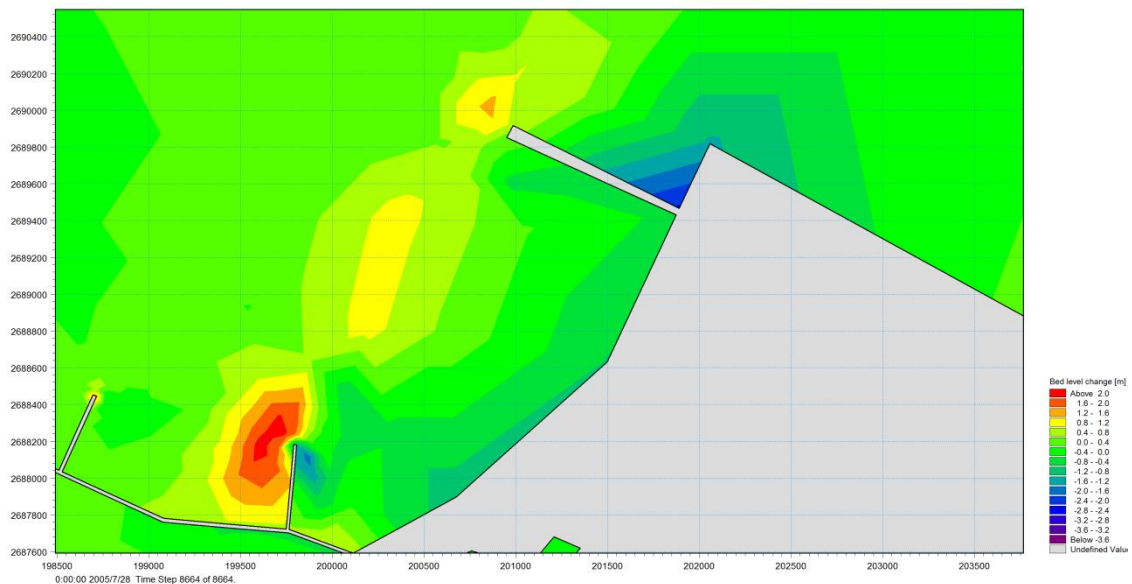


圖 6-19 北淤沙區侵淤量(Case 3)

圖 6-20~6-22 為各方案 Line 1~Line 3 的剖面比較，各方案皆以 2004 年為起始地形模擬至 2005 年地形，圖中細實線為零方案的剖面、細虛線為方案 1 的剖面而粗實線為方案 3 的剖面，由圖 6-20 Line 1 的剖面可知，方案 1 於近岸附近較零方案(現況)有些微的淤積，而方案 3 與其他 2 個方案相比，於近岸附近則有大量的淤積。由圖 6-21 Line 2 的剖面可知，方案 1 於近岸附近較零方案已有大量的淤積，而方案 3 於近岸的淤積量則更大於方案 1。由圖 6-22 Line 3 的剖面可知，零方案和方案 1 的剖面相當接近，方案 3 於港口附近為侵蝕而於北防波堤北側則為淤積。綜合上述結果顯示，本研究提出的方案 2 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 Line 3 剖面於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。

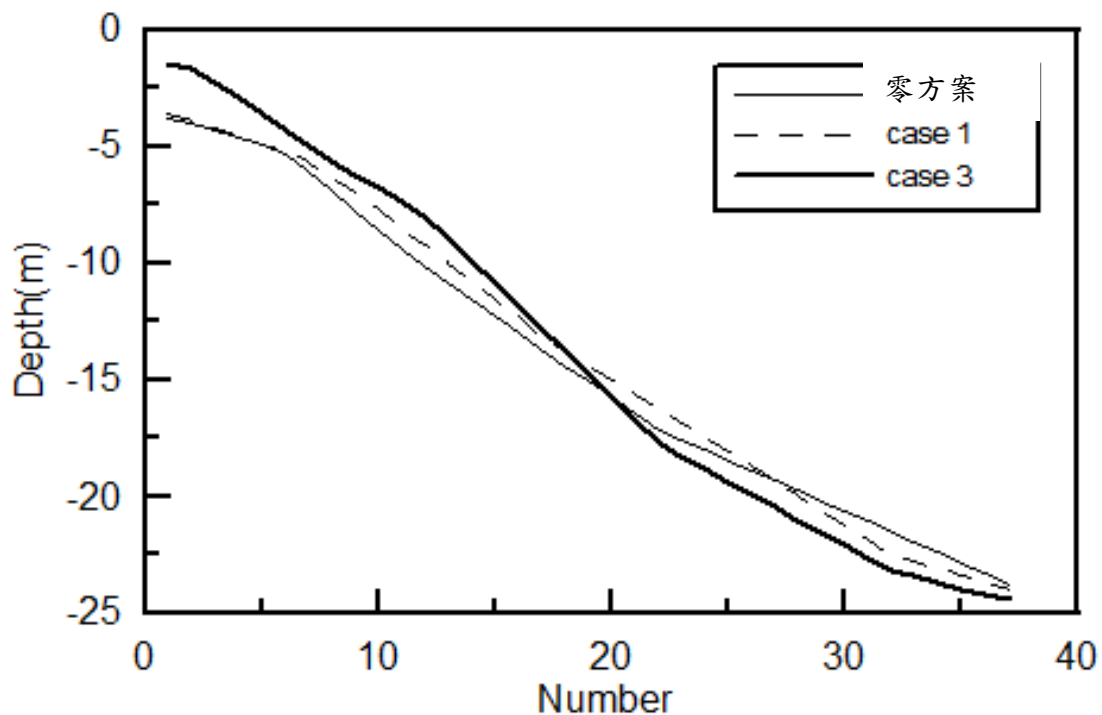


圖 6-20 各方案 Line 1 剖面比較

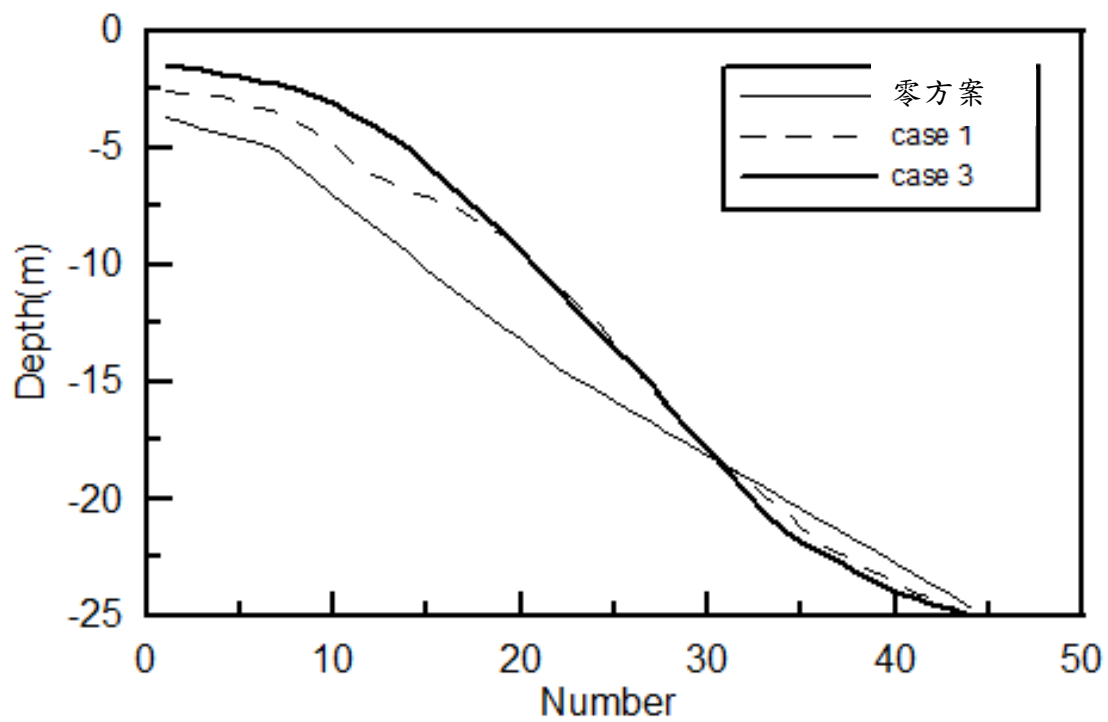


圖 6-21 各方案 Line 2 剖面比較

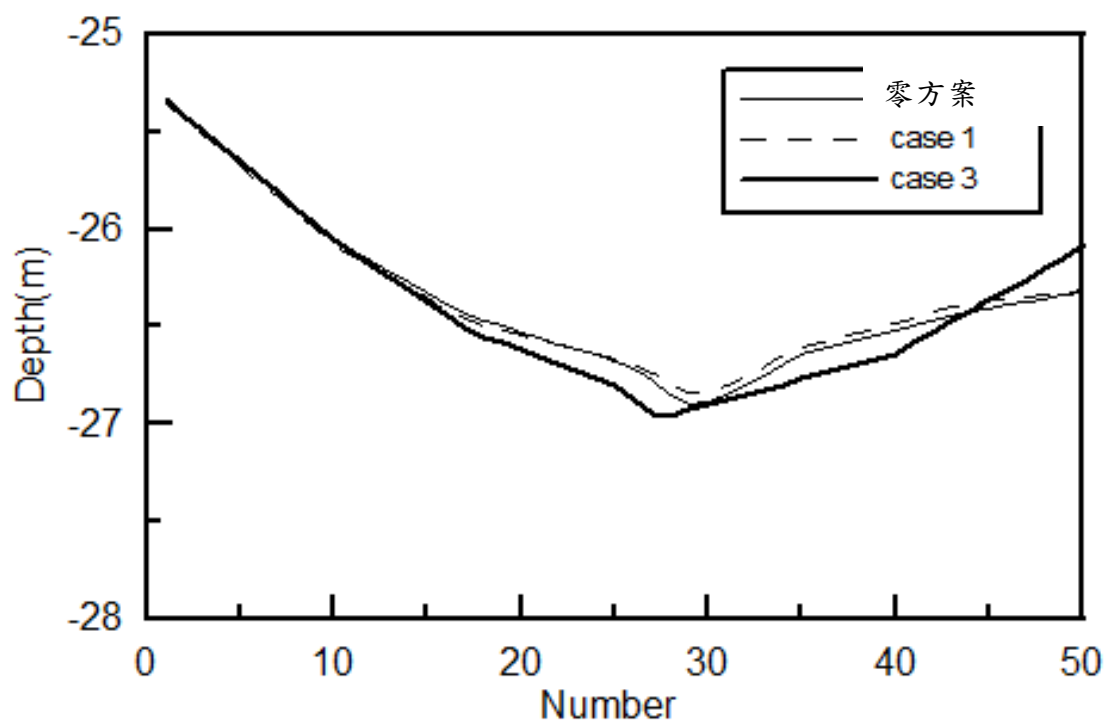


圖 6-22 各方案 Line 3 剖面比較

第七章 海岸防護對策之流程建立

7.1 海岸防護對策之流程

對於一般問題的規劃步驟可分為以下 6 個有效步驟：

1. 確定問題及機會。
2. 釐清現況及若沒處理時之預測結果。
3. 制定多種方案。
4. 評估效益。
5. 比較最適方案。
6. 選擇最後方案。

本研究根據美國海軍工兵團出版之海岸工程手冊(coastal engineering manual, 2008)中第五部份第一章之海岸保護之規劃及設計之流程來建立一個適合台灣海岸之防護對策之流程。其推動海岸防護對策之計畫流程示如圖 7.1。其步驟流程說明如以下小節：

7.2 計畫需求與問題陳述

首先為計畫需求，這部份主要以海岸目前之問題確定出想要完成所欲解決之問題，開始規劃時工程師不能只被要求去建築海堤或離岸堤，而需要有完整資料來確定問題之所在。當有初步之勘查及簡易測量資料，應將有關此海岸問題之規劃工程師、海岸管理人員、甚至召集生態及景觀之專家學者一起來討論產生此問題之可能原因，確立出欲規劃之問題陳述。

7.3 計畫條件評估

計畫條件評估為海岸防護對策之重心，當一個海岸須要防護時，海岸結構物之破壞結果或海岸侵淤及其造成之機制應要有所瞭解，方能對症下藥。海岸侵蝕由地形測量資料來加以判斷其程度，一般多以不同年代之剖面圖之高程，等水深之前進後退及小區域之土方量變化來分析，然而此方法需要定期在此海域進行測量(一般進行一年一次至兩次)，這種定期測量時間建議在冬夏分季期間比較好，測量要在短期測完，若測量年代需要在 3 年以上才能比較出侵淤特性及其量化之結果。然而，在不是重點海岸一般不會有定期之地形測量，此時需用訪問當地居民，拍照或用航照及衛星影像等方式來分析判斷，自 1993 年起衛星影像在台灣目前已容易獲得，灘線截取(boundary detection)也有研發，此對於海岸變遷之研究上是未來應用上趨勢，此部份可見 Chen 和 Chang (2009)。

透過數值模擬來瞭解水理及漂沙之機制。數值模擬輸入條件主要有波浪及潮位、地質及地形資料，波浪一般可輸入一年代表波浪或每月代表波浪，甚至逐時之波浪。若以年代表波浪時會關係到年代表波浪之計算，因為水理主要外力與漂沙之主要剪應力不同，當以算術平均或幾合平均計算結果，造成數值模擬上有差異，另外颱風影響海岸變化很大，如何在一年中加入合適大小及時間點是一個難以處理之技巧，所以若能輸以逐時之波浪是最佳方式。潮汐影響局部水深改變，進而波浪也改變，另外潮流強度也會不同，所以能給逐時潮位來計算波流場是比較合於實際狀況，而非為固定某潮位進行模擬。比對模擬地形變化結果，建議使用半年以上之兩次地形，若使用半年應含有颱風波浪或大波浪影響較能驗證出模式之準確性。破壞報告及水理與地形模擬主要是要確定海岸地形變化之程度與力學機制，以利所提工法之選擇，此階段之資料以半年或一年定期之地形測量、潮位分析及每小時或每月之代表波浪與潮汐資料進行之。

7.4 目標設定

根據計畫條件之瞭解可以設定解決問題之目標設定，此部份除了工程安全性及效果需要考慮外，應對環境及生態衝擊或影響需要評估，若有程度之影響則須要考慮改變原提出之方案(減緩)或替代方案，這部份可以參考郭及李(2005)之說明。另外工程成本之初估及政策上經費預算及限制也都要考量。目標設定主要能再後續工法效果評估有所參考。工程成效評估主要有灘線變遷、地形變化及建築成本。若目標設定主要在海岸灘線時，可以用一維之灘線模式來進行，目前常用 Graves et al. (1991)之 GENESIS 一維灘線模式來分析，此模式已是相當成熟之理論，也有商業軟體可以操作，輸入波浪可以年代表波浪或短時之代表波浪，此結果可以參考本研究中有關一維灘線模擬之內容，一般來講以一維灘線模擬之預測時間可以達到5-10年，空間上可以達至數十公里。此方法須先有由兩次灘線及波浪輸入資料來率定其中參數，若沒有率定係數可能用內定之係數無法達到局部地區之地形變化特性。若是以二維模式來預測地形，也需由兩次空間地形資料來驗證模式設定上之可行性，此驗證部份需要地質粗細(中值粒徑)、逐時外海邊界波浪資料(波高、週期及波向)、逐時外海邊界潮汐資料及地形資料。一般驗證項目可以用二維侵淤變化圖或剖面地形高程圖，此驗證部份可以參考本研究有關二維地形模擬之內容。當所有可行之防護方案經工程評估後不完全可行，可能需要稍為修正原設定目標。

7.5 工法選定與目標修訂

選擇滿足規劃目標之可行工法時，需同時考慮施工及維護等經濟成本、經濟成本(含施工及維修等)、景觀及生態性。綜合評估方法可以用專家會議、AHP 及 TOPSIS 方法進行，此方法在台灣工程界也廣泛使用，詳細操作可以參考 Chang et al. (2010)。最終步驟為選擇最後定案工法進行設計及詳細成本分析，再制定計畫書。

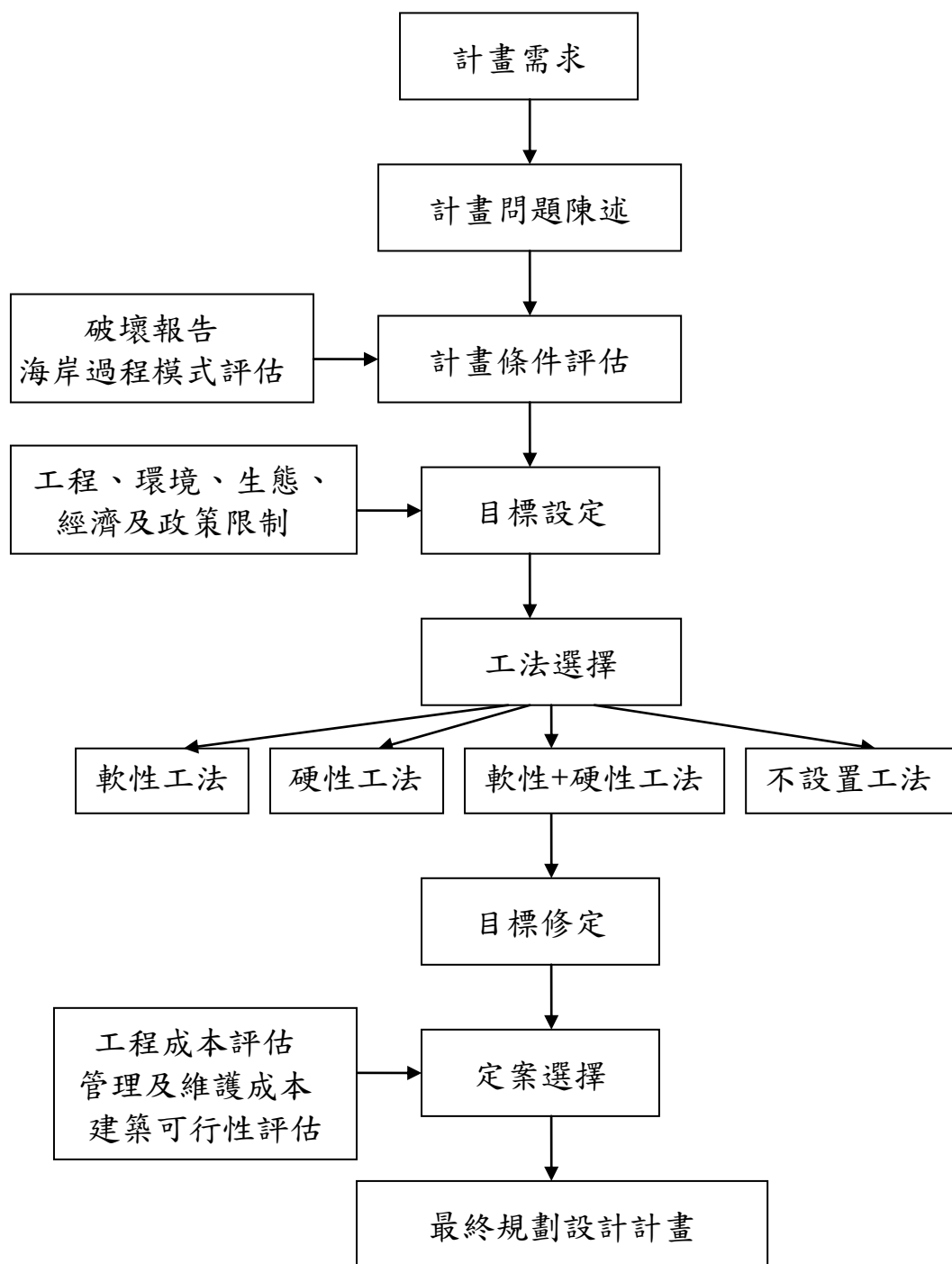


圖 7.1 海岸防護對策之流程

第八章 結論與建議

港灣結構物的興建破壞了原有漂沙平衡機制，而常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。由於海岸地形變遷機制極為複雜，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。為達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標，本研究擬探討臺灣西部港灣附近地形變遷機制，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。

本研究透過歷年實測的地形資料配合經驗正交函數法的運算方法，瞭解海岸在時間及空間的變化情形。此外，由海象及地象資料之基本分析與統計、衛星影像分析、灘線變遷及海域漂沙數值模式模擬臺中港附近灘線在未來改善結構物佈置下之地形變化特性，並提出未來改善海岸侵淤防治對策。藉由此研究過程，提出海岸防護對策流程，進而提供預測海岸變化之趨勢。最後，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。根據以上分析項目得到以下幾點結論：

8.1 結論

1. 本研究推導出一維之等水深線及剖面高程的經驗正交函數法及二維經驗正交函數法，並以前四個特徵值及特徵向量來臺中港北防波堤至北防沙堤間的海岸地形變化特性。近北防波堤之剖面之高程逐漸變淺，變化量在離海堤 1000m 內及 2000m 以外之範圍尤其明顯，在北防波堤延伸後 2000m 以外之剖面淤積更快，而在 1000-2000m 間底床高程變化在 10 年之間約有 1-2m 之淤積。前四個特徵向量在 1000-2000m 間接近於 0，而其他範圍各點特徵向量值較大，由此各

點特徵向量可明顯說明剖面不同時間之高程變化程度。第二個特徵向量之地形變化量顯示此剖面在 2002 年以後，範圍在離海堤 1000m 內及 2000m 以外明顯有高程變化，其量可達 3-5m。至於第三個特徵向量之地形變化量亦可看出在 2000 年以前地形變化之分量比較小，而在 2002 年附近且在近岸部份有比較明顯之變化。第四個特徵向量之地形變化量在 2002 年比較其他年份有明顯之變化，但變化量已比前第二及三個特徵向量之地形變化量小。

2. 接近於北防沙堤之剖面，底床高程變化受此突堤影響與剖面之高程逐漸變淺，但變化量在離岸 800m 有明顯增加，在 1998-2000 年增加最多，而增建北防波堤在 2001 之後，此剖面之近岸高程已無明顯增加，此顯示增建北防波堤影響範圍至此剖面已不明顯。此剖面在離岸 1200m 之底床高程變化最少，在離岸 1500m 以外之底床 1998-2000 年間有比較大之高程變化，但 2001-2006 之高程變化則反而減緩。第二個至第四特徵向量值有明顯高低變化，自 1996 年以後逐漸高程增加。至於第三個特徵向量之地形變化量在 2004 年且在離岸 1000m 內有比較明顯地形變化外，其他地方及時間其值均小。第四個特徵向量之地形變化量已比第二及三個特徵向量之地形變化量都小。
3. 由二維經驗正交函數法分析結果之三維第二個特徵向量及其相對應之等值圖可知地形變化比較劇烈主要在北防波堤附近離岸 800m 以內，而在北防沙堤處約離岸 500m 以內，在這變化比較之範圍外海邊界直至在北防波堤處離岸 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。
4. 綜合一維及二維經驗正交函數預測地形結果， F_s 及 Ω 外力因子比較其他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，本計劃研究發現以 F_s 及 Ω 外力因子及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。

5. 本研究依據上年度研究計畫所得之漂沙移動特性與本年度以一維及二維正交特徵函數模式分析臺中港海岸變遷特性之結果，初步擬定整治方案之防治對策。對於定沙突堤與北防沙堤延長後之海域有下列幾點特性：

(1) 興建定沙突堤及延長攔沙堤的設置，將使北淤沙區近岸產生淤積，而在新建定沙突堤的堤頭將使原本該處的淤積轉為侵蝕，並在堤頭和北防波堤堤頭間產生淤積。

(2) 興建定沙突堤的設置將使其北側輸沙潛量增大，

(3) 經由 GENESIS 灘線分析與實測資料分析，北防波堤堤址附近處灘線變動趨緩，並無明顯淤積趨勢，北防沙堤堤址處有淤積的現象發生。

6. 本研究依據上述漂沙特性與整治方向，本研究計研擬三種防治方案進行初步評估。方案 1 (case1: 行政院版，延長定沙突堤 450 公尺與北防沙堤 300 公尺)。方案 2 (case2: 基於方案 1 的基礎延伸定沙突堤至 600 公尺與北防沙堤至 600 公尺。方案 3 (case3: 基於方案 1 的基礎，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: 假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 三種狀況下，在新建北定沙突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在 1.7 - 8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 及 5.6 年。

方案 2: 在延伸北定沙突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 Line 3 剖面於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。

8.2 建議

1. 本研究以經驗正交函數找出臺中港附近海域地形之變化趨勢，並以一維灘線模式模擬在北防波堤延伸前、後之灘線變化趨勢。雖然，在趨勢與定量上有相當的一致性，但受到由於海氣象及水文資料(上游河川輸沙資料)不易取得，故在分析上相關問題釐清上仍有待探討。
2. 雖然本次研究在堤頭侵淤量與定性的探討上有著相當的一致性，但在近岸漂沙機制的分析上，河川輸沙量與當時的地形為極重要的參考資料。在此次分析研究中，由於大甲溪下游出海口附近處並無的河川輸沙量的測站。因此在驗證與機制的探討上將增加上的難度。
3. 本研究對漂沙整治之可行方案，擬考慮臺中港受飛沙的影響擬，在更完整的相關資料與未來發展規劃後，再對改善配置方案進行更細部的分析與探討，藉以了解工程單位的需求與問題。

8.3 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漂沙機制已進一步的加以了解。一維灘線模式已可應用於臺中附近海岸的地形變遷計算，二維平面水理模式亦可模擬港灣結構物與波潮流間的相互間的水理機制。此結果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。研究中所建立之海岸防護對策之流程可提供相關單位遭遇海岸受到破壞時最終規劃設計時之參考。

參考文獻

1. 唐存勇、梁乃框、歐陽餘慶、林斐然、林曉武 (1992),「新竹南寮附近海岸侵蝕與堆積問題初步研究」,研究試驗報告,第 46-48 頁、第 87-91 頁。
2. 李國川 (2003),「新竹海岸變化特性及其風速相關性之研究」,交通大學土木工程系研究所碩士論文。
3. 郭一羽、李麗雪(2005),「海岸景觀與生態設計」,田園城市文化事業出版有限公司,第 282 頁。
4. 台灣漁業及海洋技術顧問社 (2006),「新竹港南海岸侵蝕調查與防治研究計畫(第一年)」,研究試驗報告。
5. 經濟部水利署第二河川局 (2006),「新竹港南海岸生態工法之研擬(2)-人工養灘對底棲生物之影響」,研究試驗報告,第 1-1~1-5 頁、第 5-1~5-43 頁。
6. 台灣世曦工程顧問股份有限公司 (2007),「新竹港南海岸生態工法之研擬(3/4)-人工養灘對底棲生物之影響」,研究試驗報告,第 5-1~6-18 頁。
7. 王順寬、張憲國 (2009),「新竹海岸地形變化 EOF 分析」,第三十一屆海洋工程研討會論文集,臺中,第 507-512 頁。
8. Bird, E.C.F. (1996) Beach management, John Wiley & Sons Ltd.
9. Clarke, D.J., Eliot, I.G. (1982) "Description of littoral alongshore sediment movement from empirical eigenfunction analysis," *Journal of the Geological Society of Australia*, Vol. 29, pp. 327-341.
10. Clarke, D.J., Eliot, I.G., Frew, J.R. (1984) "Variation in subaerial beach sediment volume on a small sandy beach over a monthly lunar tidal cycle," *Marine Geology*, Vol. 58, pp. 319-344.
11. Chen, W. W. and Chang, H. K. (2009) "Estimation of shoreline position and change from satellite images considering tidal variation, Estuarine", *Coastal and Shelf Science*, Vol. 84, Issue 1, pp. 54-60.
12. Chang, HK, Liou, JC, Chen, W.W. (2010) "Protection priority in coastal

- environment using hybrid AHP-TOPSIS method at Miaoli Coast”, Taiwan, *Journal of Coastal Engineering* (accepted).
- 13.DHI, User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic model, Danish Hydraulic Institute (2007).
 - 14.Engelund, F. and Fredsøe, J. (1976) “A sediment transport model for straight alluvial channels,” *Nordic Hydrology*, 7, pp. 296-306.
 - 15.Fredsøe, J., Andersen, O.H., and Silberg, S. (1985) “Distribution of Suspended Sediment in Large Waves,” *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. III, No. 6, pp. 1041-1059.
 - 16.Gravens, M.B., Kraus, N.C. and Hanson, H. (1991) “GENESIS: Generalized model for simulating shoreline change”, Instruction Report CERC-89-19, U. S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
 - 17.Hashimoto, H., Uda, T. (1980) “An application of an empirical prediction model of beach profile change to Ogawara Coast,” *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 23, pp. 191-204.
 - 18.Holthuijsen, L.H, Booij, N. and Herbers, T.H.C. (1989) “A Prediction Model for Stationary, Short-crested Waves in Shallow Water with Ambient Currents, *Coastal Engineering*, ” Vol. 13, pp. 23-54.
 - 19.Horikawa, K. (1998) Nearshore dynamics and coastal processes : theory measurement, and predictive models, University of Tokyo Press.
 - 20.Hsu, T.W., Liaw, S.R., Wang, S.K., Ou, S.H. (1986) “Two-dimensional empirical eigen-function model for the analysis and prediction of beach profile changes,” *Proceeding of the 20th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 1180-1195.
 - 21.Hsu, T.W., Ou, S.H., Wang, S.K. (1994) “On the prediction of beach changes by a new 2-D empirical eigenfunction model,” *Coastal Engineering*, Vol. 23, pp. 255-270.
 - 22.Kamphuis, J. W. (2006) “Introduction to coastal engineering and management”, World Scientific.
 - 23.Komen, G.J., Cavaleri, L., Doneland, M., Hasselmann, K., Hasselmann

- S. and Janssen, P.A.E.M. (1994) “ Dynamics and modelling of ocean waves,” Cambrigde University Press, UK, 560pp.
- 24.Liou, J.C., Chang, H.K., Chen, W.W., Liaw, S.R. (2009) “Beach Erosion and Preventive Countermeasure at Kangnan Coast, Taiwan,” *Journal of Coastal Research*, Vol.25, pp. 405-416.
- 25.Matsumoto, K., T. Takanezawa and M. Ooe, (2000) “Ocean Tide Model Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimetry Data into Hydrodynamical Model: A Global and a Regional Model around Japan,” *Journal of Oceanography*, Vol. 56, pp. 567-581.
- 26.Miller, J.K, Dean , R.G. (2007) “Shoreline variability via empirical orthogonal function analysis: Part I temporal and spatial characteristics,” *Coastal Engineering*, Vol. 54, pp. 111-131.
- 27.Miller, J.K, Dean , R.G. (2007) “Shoreline variability via empirical orthogonal function analysis: Part II relationship to nearshore conditions,” *Coastal Engineering*, Vol. 54, pp. 133-150.
- 28.Price, W. A., Tomlinson, K.W. and Willis, D.M. (1972) Predicting changes in the plane-slope of beaches. *Proceedings of the 13rd Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 1321-1330.
- 29.Sutherland, J., Chapman, B., Whitehouse, R.(1999) “SCARCOST Experiments in the UK Coastal Research Facility, ” Data on scour around a detached rubble mound breakwater. HR Wallingford Report TR 98, December 1999.
- 30.Winant, C.D., Aubrey, D.G. (1976) “Stability and Impulse Response of Empirical Eigenfunctions,” *Proceedings of the 15th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 1312 – 1325.
- 31.Winant, C.D., Inman, D.L., Nordstron, C.E. (1975) “Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunctions,” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 80 (15), pp. 1979 – 1986.
- 32.Young, I.R.(1999) “Wind generated ocean waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, ” Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.

- 33.佐藤昭二，田中則男 (1962)，「水平床における波による沙移動について」，日本第9回海岸工学講演會論文集，pp.95-100。

附錄 1 模式適用條件

EOF 模式限制

經驗特徵法主要以長期資料中含有統計特性來分析一個物理現象在時間上之特性，所以數據品質是本方法最關鍵之項目。一般數據以固定時間距為最佳，雖然此方法只是探討空間點及時間點之統計關係，但以特徵值問題之理論，固定時間距之資料來分析在個特徵向量上比較沒有時間上之變形。選擇特徵值之數量上，理論可以達空間點數，然而在自然界現象常含有雜訊，而且前幾個特徵值已佔大部份(90%以上之比例)，所以特徵值可選擇大約 6 個左右。另外在空間點數上，因為電腦臨時記憶體容量有限，空間點位建議在 5000 點以內較為合適。在經驗特徵法預測上之限制，本研究發現推估下一個時間段(目前資料為一年)之預測是較能接受，若超過二個時間段預測結果的誤差較大。

GENESIS 模式適用條件

海岸線變遷模式用來描述海灘平面形狀達到平衡過程之長期變遷趨勢，而此改變常由顯著之構造物所引起，如：商漁港的防波堤及保護海岸的突堤或離岸堤等。海岸線變遷模式無法用來模擬海灘位置變化不明顯之隨機性變動。GENESIS 不可用以計算與海岸結構物、邊界條件或沿岸輸沙之空間差分無關的海岸變遷，諸如控制區域內部或入口之潮流所引起的海岸變遷、風吹沙所引起之海岸線變遷、颱風時暴浪所引起之海岸侵蝕(主要為向離岸方向之輸沙)及結構物基礎處之沖刷等。

GENESIS 模式之主要功能：

1. 結合突堤、防波堤、離岸堤、養灘、海堤

2. 組合結構物，如：T 型、Y 型、馬刺型突堤
3. 考量突堤、防波堤之輸沙率
4. 可計算離岸堤、防波堤、突堤之繞射
5. 含蓋之空間範圍廣大
6. 可任意輸入外海波浪之波高、週期、方向
7. 可輸入多樣波列(由獨立之波源而來)
8. 考量由斜向入射波及沿岸波高梯度引起之輸沙
9. 考量離岸堤之波浪轉換

GENESIS 模式之使用限制：

1. 不考慮結構物反射
2. 不可形成繫岸沙洲(tombolo)(即海岸線不可接觸離岸堤)
3. 結構物佈置、形狀及方位有限制(如：不能設圓弧形突堤)
4. 不考慮潮位變化的影響
5. 須遵守海岸線變遷模式理論之基本限

附錄 2 期中報告審查意見及處理情形

參與審查人員及其所提意見	合作單位處理情形	本所承辦單位審查意見
蔡政翰委員 一、應附期初審查意見與回覆表。 二、4-1 頁後三行至 4-2 頁 13 行之文字，希望輔助圖說，會較清楚。 三、圖 37、38 與 40 之岸線與防沙堤應明確指出。 四、表 28 內之數目(括號內)為何，應說明。 五、4-6 頁中之圖 36 似乎打錯號碼。 六、圖 37、38 與 40、41、42、43 之模擬條件敘述未完整。 七、4-2 頁有提到附錄 C，報告中沒有另附錄 A 與 B 呢？ 八、圖 54 與 54 之防沙堤為潛堤應標示。	一、因無期初審查，故無法回覆。 二、感謝委員建議，將於期末報告中增列圖 4-1 予以輔助說明。 三、感謝委員建議，已於報告中輔助說明。 四、感謝委員建議，已於報告中予以說明。 五、感謝委員建議，已於報告中做修正。 六、感謝委員建議，已於期末報告中做修正。 七、感謝委員建議，已於期末報告中做修正。 八、感謝委員建議，已於報告中修正。	一、同意。 二、符合。 三、符合。 四、符合。 五、符合。 六、符合。 七、符合。 八、符合。

余進利委員 一、報告中有多處提及「本所港研中心....」其中”本所”兩字用詞不當，建議修正。 二、報告第 2-18 頁過及北外防波堤堤頭(Tc. A 測站)夏季期間主要波向為 W，此與一般之認知有所差異，請再詳查。 三、建議報告 3-7 頁，圖 23 之 5 個剖面及防沙堤應標示清楚，再者，這 5 個剖面之間的間距是否為 500M，請再確認。 四、圖 24 至圖 28 各剖面歷年來之底床高程變化，因有 10 條曲線太過複雜，建議用另一張圖，顯示 10 年間前中段三條之歷線，如此比較容易分辨，另外，圖 29 至圖 34 亦是同樣情況。	一、感謝委員建議，已於報告中予以修正。 二、感謝委員建議，將於期末報告中進行確認。經年報資料確認北外防波堤堤頭(Tc. A 測站)夏季期間所測得之波向為 W 方向為主要波向。 三、感謝委員建議，已於期末報告中進行確認。 四、感謝委員建議，已於期末報告中做修正。	一、符合。 二、符合。 三、符合。 四、符合。
--	--	---

劉景毅委員 一、臺中港北堤南側近年開始有淤沙，是否會導致臺中港航道淤淺？因北防波堤堤頭水深 20 多 M，這些淤沙來自於北側或南側，值得深究？本年度之二維模式模擬，可以此為探討方向，尤其可針對颱風來襲期間之漂沙狀況進行模擬分析，再據以研擬防治對策。 二、不管用哪一類的地形變遷模式作預測，其可信度都與海氣象條件息息相關，因此預估要準，需要花點工夫進行資料的蒐集與分析，確實掌握沙的來源與損失，以及動力機制。根據 Genesis 的模擬成果，85~91 年的沿岸年輸沙量約 220 萬方，91~95 年的沿岸輸沙量約 170 萬方。此與本研究蒐集之烏溪與大安溪輸沙量是否一致(表 21 與表 22)？豐水時期的河川輸沙，	一、感謝委員建議，將於期末報告中對此問題進行探討。其探討內容補述於第五章。由今年度二維模式的驗證結果及 Sutherland 等人(1999)的實驗結果可知，北防波堤堤頭這些淤沙來自於北側，但其並不會導致臺中港航道淤淺。 二、感謝委員建議，模式中所使用的沿岸輸沙量的推算，以輸沙經驗公式進行評估，再依據假設越過北防沙堤的比例進行漂沙量的推估。對於河口輸沙為海岸有效沙源的評估則將納入模式模擬分析時之參考，於期末報告中進行補充說明。由於水利局於溪口並未設置測站，因此較難掌握河川輸沙量，故本計畫二維模式並未考慮沙源的補充。	一、同意。 二、符合。
--	--	---------------------------

有多少可以留在岸邊，成為海岸的有效沙源？二維模式可以進行此一研究方向模擬分析。		
三、這是個四年計畫，應有較充裕的時間，釐清臺中港近岸海域的漂沙機制，尤其在定量部分，再據以研擬長治久安的防治對策。在此海岸，影響近岸漂沙的動力有河川入流、颱風與季風波浪、海流、風等因素均有關，沙源主要來自河川。因此進行近岸漂沙機制分析時，若只考慮輸沙量單一因素，將有所不足，宜就上述相關因素進行多變量分析，來探討各因素對北淤沙區淤沙量影響之權重，再據以研擬適當對策。	三、感謝委員建議，若明年度能持續執行，本研究團隊將針對飛沙等機進行漂沙機制的探討。並探討各因素對北淤沙區淤沙量影響之權重，在機制釐清後再對防治對策進行整體的評估。	三、同意。
四、本研究有使用 Genesis 模式、EOF 模式與 Mike 模式進行模擬分析。模式只是解析問題的工具，各類模式都有它的優缺點，要使	四、感謝委員建議，已增列於報告附錄 A 與 6.1 節中。	四、符合。

用哪一種模式，只要模式使用者用起來稱手，能達到解析所要解決問題之目的即可，但最重要的是模式使用者要確實瞭解模式的使用限制，應用時要有適當與準確的資料，以進行模式的輸入條件與率定、驗證之用。結果呈現時最好能說明模式的限制與成果的局限性，以免模擬內容被不當解讀		
楊文衡委員： 一、 延長北防波堤位置、座標、及方向應說明。 二、 原北防波堤有若干距離為多少？為何與原北防波堤延伸有距離？ 三、 圖 48 定沙突堤圖繪與橫坐標 Legend 一致是否有誤？ 四、 定沙突堤位置坐標及方向應說明。 五、 圖 49-51 流場圖顏色太黑不可讀。	一、 感謝委員建議，已於報告中做修正。 二、 感謝委員建議，相關座標距離表示於圖 5-1。 三、 感謝委員建議，已於期末報告中做修正。 四、 感謝委員建議，已於期末報告中做修正。 五、 感謝委員建議，已於期末報告中做修正。	一、 符合。 二、 符合。 三、 符合。 四、 符合。 五、 符合。

何良勝委員 一、 報告內容部分請於期末報告時作適當修正。例如標題、圖表之統一表示(圖 8~圖 11)及部份圖示以彩色表示。 二、 為提供臺中港作為有效之參考應用，本研究之防治對策研擬方案與臺中港未來相關規劃工作配合，因此建議期末報告中增列相關規劃計畫說明。 三、 本研究 Chap5 所擬研堤之防治對策方案，大都與飛沙、定沙有關，此和前面幾章中所說明之歷史資料分析方式與結果有何關連性。	一、 感謝委員建議，已於期末報告中做修正。 二、 感謝委員建議，已增列於期末報告中。 三、 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。	一、 符合。 二、 符合。 三、 符合。
林柏青委員： 一、 整體工作案進度進行，內容豐富，值得肯定。 二、 報告上有些打字或文字上之錯誤，如 5.3.2 之標題及 5.3 文內之 $\alpha 0...$ 請於	一、 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 二、 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。	一、 符合。 二、 符合。

期末報告時注意更正。 三、文中圖 8～圖 11 之風玫瑰圖有四種不同表示法，是否能統一。 四、防治對策評估中 5.3.3 興建離岸潛堤方案，由於設置位置位於北防波堤頭附近，請注意此方案是否會引起波浪反射，或加強堤頭入港處之流速，危及船隻入港安全。	三、感謝委員建議，受限於原始資料缺乏，故以原繪製單位所表示的方式呈現。 四、感謝委員建議，此一工法為阻絕漂沙運移的評估，對於是否堤頭入港處之流速及船隻入港安全需進一步評估。	三、同意。 四、同意。
--	--	---------------------------

附錄 3 期末報告審查意見及處理情形

參與審查人員及其所提意見	合作單位處理情形	本所承辦單位審查意見
余進利委員 一、報告 3-7 頁有提到如圖 22 及如表 22，此兩者可能是筆誤，請修正。 二、建議方案 2 多興建一座定沙突堤 450m，請問這個長度是如何決定？ 三、報告的結論部份太過冗長，應再濃縮。 四、圖 6-18 或圖 6-19 即建議方案的數值模擬圖，圖中的北防沙堤和定沙突堤之長度好像不成比例。	一、感謝委員建議，已修正為表 3-1。 二、定沙突堤長度依據方案 1 計算所得之平面流場所研擬。 三、感謝委員建議，將於期末報告進行濃縮。 四、感謝委員建議，圖中所示之北防沙堤和定沙突堤之長度包含原有突堤之長度。	一、符合。 二、符合。 三、符合。 四、同意。
楊文衡委員： 一、NSW 結果應加入。 二、HD 結果應加入水位驗證與流速驗	一、感謝委員建議，已將結果加入報告中，如圖 6-12a。 二、感謝委員建議，已將水位驗證結果加入報告中，由	一、符合。 二、符合。

證。 三、邊界條件應加以說明清楚。 四、Do nothing 改為零方案。 五、一維與二維經驗正交函數預測地形若預測下兩時間結果為何誤差增加為 10 倍以上?	於測站於位於堤頭附近諸多效應影響，所以不適合進行驗證。 三、感謝委員建議，已說明於 p6-7。 四、感謝委員建議，已於期末報告中做修正。 五、預測地形所使用之一維與二維經驗正交函數法，應用馬可夫過程進行模擬，當時間間隔增加，第一年與第二年誤差值將快速增加。	三、符合。 四、符合。 五、符合。
何良勝委員 一、報告內容應修正之處： 1. 中英文摘要之題目名稱請修正。 2. 部份期中報告意見應修正之處，請於期末報告修正稿中再次修正。 3. 其他部份修正之處：p. 3-9、p. 3-7 之” eof” 改為” EOF” 、p. 3-7 之表號等。	一、感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 1. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 2. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 3. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。	1. 符合。 2. 符合。 3. 符合。

4. 結論有些冗長，建議給予適度修正。 二、補充說明有關 3.3.1 節中經驗正交函數法中的四個特徵值與地形變化之代表意義。 三、補充說明 p. 6-10 中輸沙模式以漲退潮時之潮流分佈計算之驗證說明。 四、建議補充說明研究模擬目的說明，如於 p. 5-4。	4. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 二、感謝委員建議，將於 3.4.2 節中說明。 三、感謝委員建議，已於期末報告中做補充，如圖 6-12 及 6-13 所示。 四、感謝委員建議，補述於 p. 5-3 與 p. 5-4。	4. 符合。 二、符合。 三、符合。 四、符合。
林柏青委員： 一、報告內容豐富，工作團隊的努力，應予肯定。 二、臺灣西海岸基本上是動態平衡，港灣建設破壞了平衡狀態，興建防沙堤或抽沙清淤都只是頭痛醫頭腳痛醫腳的工法，而且目前全球氣候變遷，暖化或是小冰期尚未定論，過去的資料不見得能百分百用在	一、感謝委員肯定。 二、感謝委員建議，將納入未來整體整治考量。	一、符合。 二、同意。

模擬未來。除了氣候變遷因素外，漂沙現象隨季節或海象變化，北防沙堤如果完全阻隔沿岸漂沙又可能造成北防沙堤堤頭或下游南側堤防的侵蝕。建議在整治方案中增設的北防沙堤是否可以考慮安裝可調節式閘門，隨時能針對漂沙情況作反應。 三、本研究所研擬的第三種防治方案，即在北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建離岸潛堤，完全沒作說明或模擬評估，是否能再補充。 四、P5-12 頁，段落有誤，請更正。	三、 感謝委員建議，北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建離岸潛堤已改為以定沙突堤進行評估模擬。 四、 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。	三、 同意。 四、 符合。
--	---	-----------------------------

附錄 4 期中簡報檔

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(2/4)

簡報人：溫志中



弘光科技大學
HUNGKUANG UNIVERSITY

環境與安全衛生工程系
中華民國九十九年七月十二日

WOTC-10T-99-B2D6002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

1

研究動機

- 海氣象條件、港灣結構物建造的形式位置、上下游河川輸沙等對海岸線變遷之影響。
- 以臺中港為例，探討該海域附近海岸侵淤的水理機制，及並提供可行之防護對策。



WOTC-10T-99-B2D6002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

2

四年研究總目標 (98-101年度)

- 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

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

3

98年度研究成果

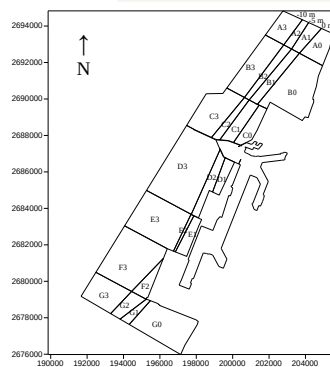


圖1 臺中港附近地形圖

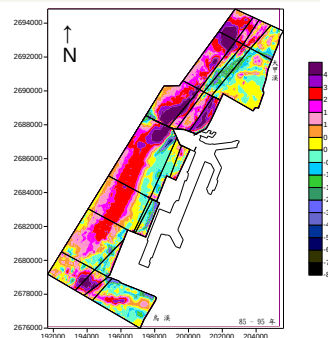


圖2 臺中港附近地形侵淤變化圖 (民國85年~民國95年)

- 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，目前因漂沙越過臺中港，亦於94年後由侵蝕轉為淤積。

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

4

98年度研究成果

表1 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)

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

5

98年度研究成果

- 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，此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，但因為波浪所造成的沿岸輸沙為由北往南移動。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。
- 分析民國82至95年間衛星影像資料與地形實測資料，其結果顯示臺中港北堤至北攔沙堤間的沙灘段自民國82年開始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。

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

6

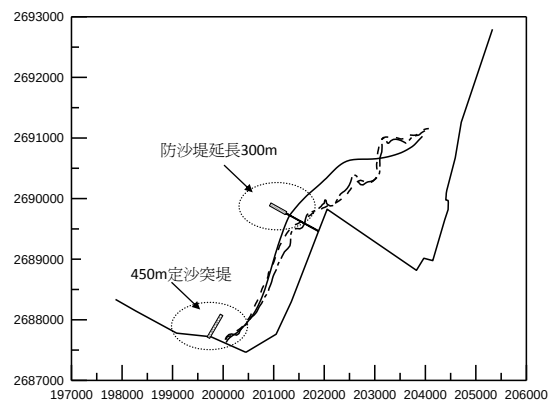
98年度研究成果

- 經由GENESIS 灘線模式預測灘線結果顯示，85年至91年北防波堤未完全延伸與91年至95年北防波堤延伸後之沿岸漂沙量結果顯示，91年後北防波堤與北防沙堤間的蓄沙能力有降低的趨勢。
- 經由二維地形輸沙數值模擬，臺中港附近海域冬季季風輸沙潛量為漂沙由北往南輸送，受到北防波堤的阻擋，在堤頭處產生分岔，一部份轉回向北一部份則跨越港口向南側輸送。夏季季風輸沙潛量為漂沙由南往北輸送，然由於夏季季風波浪較小，故沿岸輸沙無法跨越北防波堤。由10年迴歸期颱風所得之輸沙潛量為漂沙由北往南輸送，且由於颱風波浪較大，故可順利跨越北防波堤而免於被防波堤阻隔。

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

7

98年度研究成果



- 本研究對漂沙整治之方案進行分析，同時新建定沙堤及延長攔沙堤的設置（如上圖所示）將有較明顯的蓄沙表現。以突堤上游灘線變化理論計算灘線淤積至堤頭之時間（ $Q=250 \text{ m}^3/\text{yr}$ ， $125 \text{ m}^3/\text{yr}$ ），在平均防沙堤透過率為0.5狀況下，所得結果為2.7年及5.6年。

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

8

今年度研究目標

■以正交特徵函數模式及二維地形數值方法探討臺中港海岸變遷特性研究：

- 1.海岸地形變遷之一維正交特徵函數模式建立
- 2.二維經驗正交特徵法模式建立。
- 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地形變化之預測模式。
- 4.以MIKE21二維之地形變化模式來計算臺中港海域之地形變化。
 - (1)由第一年之外海之波浪特性計算出臺中港南北海域之地形變化趨勢。
 - (2)推估臺中港南北海域之地形未來之變遷。

99年度研究項目

- 地形變遷之一維正交特徵函數模式建立
- 地形變遷之二維經驗正交特徵模式建立
- 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地形變化之預測模式
- 以GENESIS一維之灘線變遷模式計算臺中港附近灘線在未來改善結構物佈置下之地形變遷
- 以MIKE21二維之地形變化模式來計算臺中港海域之地形變化
- 海岸防護對策之流程建立

99年度研究方法

- 海氣象資料、水文資料及附近河川流量與輸沙量資料特性初步分析
- 蒐集往昔研究此基地之文獻及整理分析其研究成果。
- 分析台中海域之波浪波高及週期之統計特性。每日、每月示性波高及週期特性。
- 分析台中海域之潮汐特性。
- 蒐集此基地之水文資料。
- 分析附近河川流量與輸沙量。
- 蒐集台中海域之地形資料，分析此海岸基地之地形變化特性。

WOTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

1

99年度研究方法

- 地形變遷之一維正交特徵函數模式建立
- 將不同時間海岸線或等水深線以經驗正交特徵向量矩陣表示
- 由所求得之特徵值來表示等水深位置偏差之權重
- 地形變遷之二維經驗正交特徵模式建立
- 分析實際海岸漂沙特性（包括海岸漂沙之向、離岸及沿岸漂沙兩種），如同一維經驗正交特徵法之概念，將不同時間平面二維之水深以經驗正交特徵向量矩陣表示
- 求得不同時間平面二維之特徵值來表示等水深位置偏差之權重。

WOTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

12

理論分析——一維經驗正交特徵法

- 研究海岸地形變化時，海岸線及等水深線的位置都是判斷海岸侵淤之一種指標
- 將不同時間之海岸線或等水深線以經驗正交特徵向量矩陣表示

$$[y(h,t)]_{MN} = \mathbf{e}_{Mk}(y) \mathbf{e}_{Nk}^T(t)$$

- 空間特徵向量，可由等水深線距離矩陣乘以其轉置矩陣，所得之對稱方形矩陣求得

$$\mathbf{A} = [y(h,t)]_{MN} [y(h,t)]_{MN}^T = [a_{ij}]_{MN}$$

WOTC-10T-99-B2D6802 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

13

理論分析——一維經驗正交特徵法

- 矩陣A之第i個模態 (mode) 特徵值及其相對應之特徵向量可表示為

$$\mathbf{A} \mathbf{e}_M^i(y) = \lambda_i \mathbf{e}_M^i(y)$$

- 相關矩陣A為對稱之Hermitian矩陣，因此其特徵向量皆滿足正交性，即滿足克朗尼克函數 (Kronecker delta)

$$\mathbf{e}_M^i(y) [\mathbf{e}_M^j(y)]^T = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

WOTC-10T-99-B2D6802 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

14

理論分析——維經驗正交特徵法

- 時間特徵向量可由特徵函數之正交性求得

$$\mathbf{e}_{Nk}(t) = [\mathbf{y}(h,t)]_{MN}^T \mathbf{e}_{Mk}(y)$$

- 第一個模態之空間特徵相向量代表時間上之平均值，而其他則代表偏離平均值之大小，為明顯表示這些偏移量，可將等水深線位置減去平均等水深線位置，偏差量再以特徵向量矩陣形表示

99度研究方法

- 以GENESIS一維之灘線變遷模式計算臺中港附近灘線在未來改善結構物佈置下之地形變遷
- 經由基本之波浪水文及河川輸沙量之分析及前一年度計畫率定之參數後，配合此部分之一維單線模式計算出臺中港臺中港附近灘線在未來改善結構物佈置下之地形變遷
- 以MIKE21二維之地形變化模式來計算臺中港海域之地形變化
- 經由基本之波浪水文及河川輸沙量之分析及前一年度計畫率定之參數後，配合MIKE21二維之地形變化模式計算出臺中港海域之地形變化

民國66~99年間之長期觀測統計資料

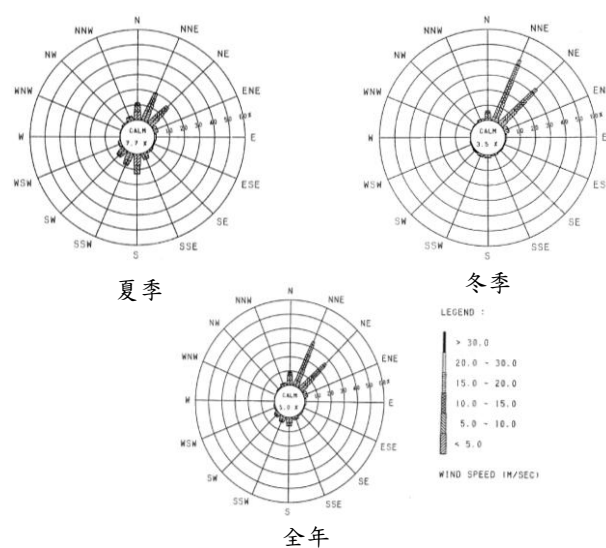
梧棲測站氣象資料觀測統計表

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	1016.6	15.9	77.7
2	84.5	10.3	109.6	1015.6	15.8	79.6
3	106.1	11.3	121.5	1013.3	18.4	80.3
4	131	10.5	143.9	1010.3	22.3	78.9
5	222.5	11	163.2	1007	25.3	80.2
6	217.7	10.8	188.3	1004.5	27.8	79.6
7	165.9	8.6	234.3	1003.8	29	77.4
8	213.2	10.7	206.6	1002.7	28.7	78.5
9	68.7	5.5	191.7	1006	27.3	77
10	9.9	2.3	196.7	1010.3	24.4	75
11	15.5	2.9	155.8	1013.7	21.2	75
12	20.9	3.7	158.1	1016.6	17.7	75.3
年合計	1284.4	93.7	2018.3	—	—	—
月平均	—	—	—	1010	22.8	77.9

WOTC-10T-99-R208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

17

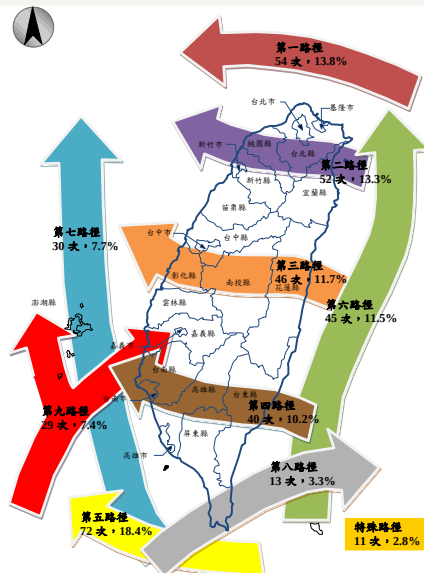
北防波堤堤頭風玫瑰圖(民國85~87年)



WOTC-10T-99-R208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

18

侵襲台灣之颱風路徑統計圖(1897~2008)



■ 臺中港以第3類與第7類路徑之颱風將直接侵襲其鄰近海域。

■ 每年侵台颱風約有19.4%直接影響臺中地區海域，即平均約有0.69個颱風影響。

WUTC-10T-99-B2D6802 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

19

潮位資料結果

- 典型之半日潮，每日有兩次高潮及兩次低潮。
- 民國60年3月至民國85年3月合計25年潮位。

最高高潮位	H.H.W.L.	+6.48m (民國85年)
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T.	+4.93m
平均高潮位	M.H.W.L.	+4.45m
平均潮位	M.W.L.	+2.63m
平均低潮位	M.L.W.L.	+0.82m
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T.	+0.09m
最低低潮位	L.L.W.L.	-0.55m (民國77年)
平均潮差	Ave.Range	3.63m

WUTC-10T-99-B2D6802 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

20

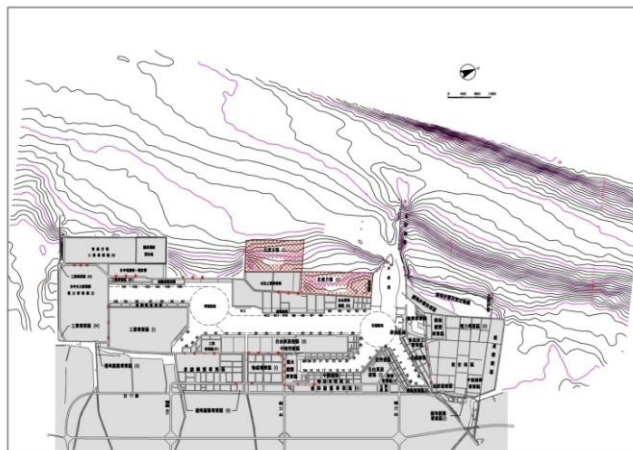
台中港鄰近海域之波浪特性

- 冬季期間主要波向為NNE向及N向
- 夏季期間主要波向則為W向
- 冬季期間波高以大於1m為最多
- 夏季期間則多發生波高小於1m之波浪

WTC-10T-99-B2D6002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

21

96年台中港地形水深分布



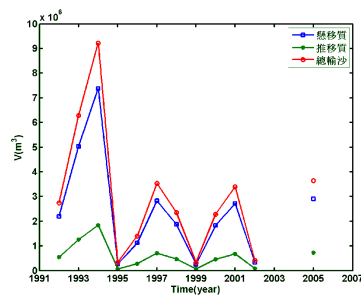
WTC-10T-99-B2D6002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

22

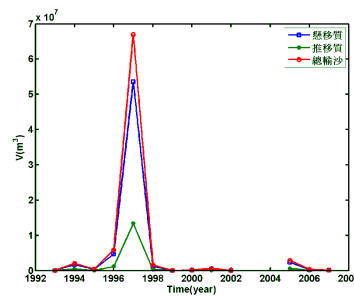
河川輸沙資料



- 臺中港位於烏溪出海口的北方及大安溪出海口的南方。
- 烏溪流域採用大肚橋測站資料。
- 大安溪則採用義里測站資料。



烏溪1992年至2005年之年總輸沙量



大安溪1993年至2007年之年總輸沙量

WOTC-10T-99-B2D6802 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

23

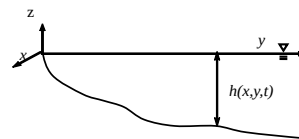
經驗正交函數法分析海岸地形變化

EOF方法一

一維經驗正交函數法—沿岸特徵函數及如剖面水深

$$[y(x,t;h)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(x)\mathbf{e}_{nk}^T(t)$$

$$[h(y,t)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(y)\mathbf{e}_{nk}^T(t)$$



二維經驗正交函數法

$$[h(x,y,t)]_{mn} = \mathbf{e}_{mk}(x,y)\mathbf{e}_{nk}^T(t)$$

$$\mathbf{A} = [h(x,y,t)][h(x,y,t)]^T = [a_{ij}]_{mm}$$

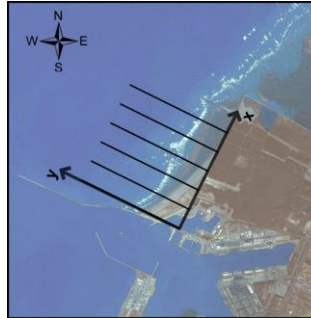
$$\mathbf{A}\mathbf{e}_{mk}(x) = \mathbf{D}(\lambda_I)\mathbf{e}_{mk}(x)$$

WOTC-10T-99-B2D6802 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

24

地形區域劃分之選擇

- +2、0、-3、-5、-10及-15m等六條等深線
- 500m等間距之5個剖面

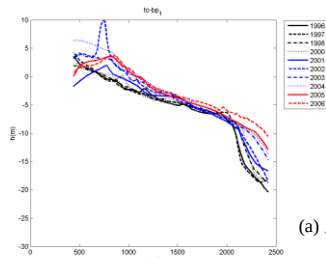


剖面之地形變化特性 (1/3)

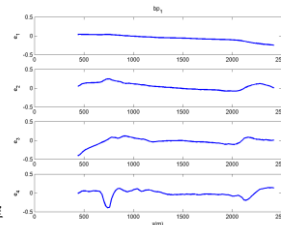
表3-1 5個剖面之前四個特徵值與前10個之之比值(%)

剖面	第一個	第二個	第三個	第四個
1	96.43	2.612	0.485	0.280
2	99.33	0.526	0.057	0.042
3	99.44	0.404	0.093	0.039
4	99.63	0.294	0.039	0.016
5	99.60	0.319	0.050	0.019

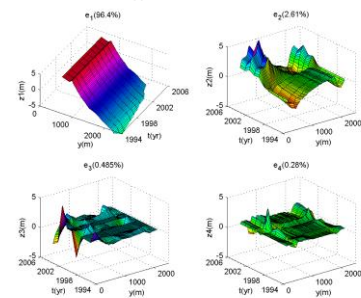
剖面之地形變化特性 (2/3)



(a) 底床高程



(b) 前四個特徵向量

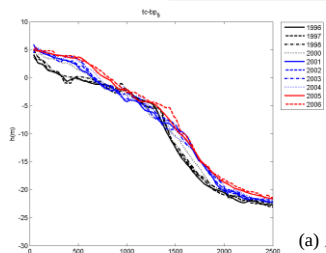


(c) 以前四個特徵向量計算3維地形變化量
圖3-3剖面1之底床高程、前四個特徵向量與以其所計算之3維地形變化量

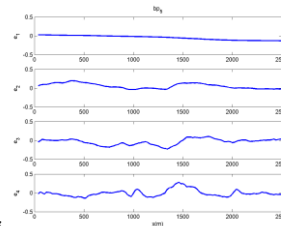
WOTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

27

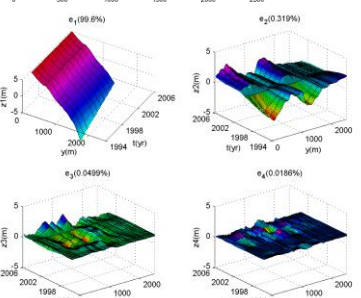
剖面之地形變化特性 (3/3)



(a) 底床高程



(b) 前四個特徵向量



(c) 以前四個特徵向量計算3維地形變化量
圖3-7剖面5之底床高程、前四個特徵向量與以其所計算之3維地形變化量

WOTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

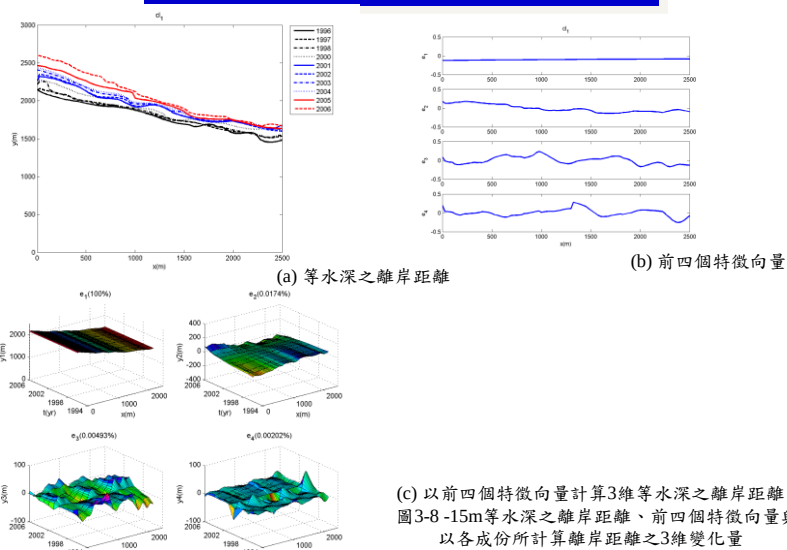
28

等深線之變遷特性 (1/3)

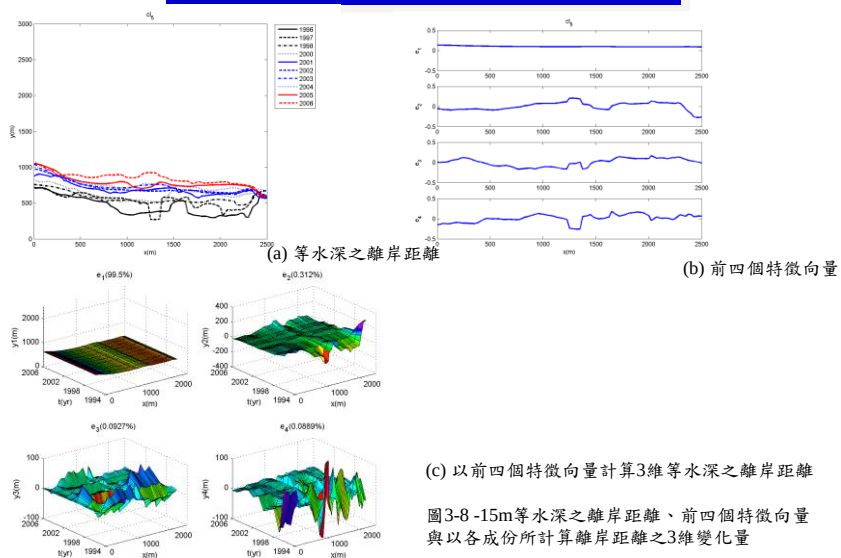
表3-2不同水深之離岸距離之相對前四個特徵值比(%)

等水深	第一個	第二個	第三個	第四個
-15m	99.97	0.017	0.005	0.002
-1m	99.97	0.012	0.008	0.003
-5m	99.95	0.022	0.0011	0.007
-3m	99.78	0.129	0.038	0.029
0m	99.47	0.312	0.093	0.089
+2m	98.47	1.223	0.145	0.074

等深線之變遷特性 (2/3)



等深線之變遷特性 (3/3)



WOTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

31

二維空間地形變遷特性EOF分析

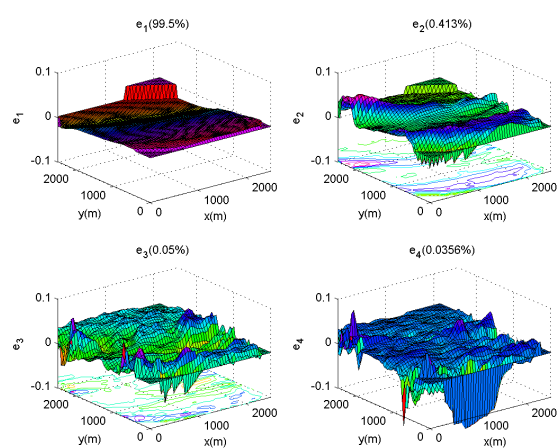


圖3-14以經驗正交法分析二維空間水深之前第四個特徵向量

WOTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

32

以經驗正交函數預測地形變化(1/2)

正交函數預測模式之理論

$$[h(p,t)]_{mn} = [\bar{h}(p)]_{mn} + \bar{\mathbf{e}}_{mk}(p) \bar{\mathbf{e}}_{nk}^T(t)$$

➤ 一階馬可夫過程 (Markov process)

$$\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t_{i+1}) = \mathbf{M}_{k(k+1)} [\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t_i); \mathbf{F}_{11}(t_{i+1})]$$

➤ 表示在行時間特徵向量下接 l 個外力 $[\bar{\mathbf{e}}_{k1}(t_i); \mathbf{F}_{11}(t_{i+1})]$

$$\mathbf{P}_{k(n-1)} = \mathbf{M}_{k(k+l)} \mathbf{D}_{(k+l)(n-1)}$$

以經驗正交函數預測地形變化(2/2)

選擇的外力參數

➤ 波浪能量： $E = \frac{\rho g H_b^2}{8}$

➤ 波浪能量通率： $F_c = E c_g \cos \theta_b$ $F_s = E c_g \sin \theta_b$

➤ 沉降速度參數(nondimensional fall velocity parameter): $\Omega = \frac{H_b}{w_s T}$

➤ 碎波福祿參數(Surfzone Froude number): $F_r = \frac{w_s}{\sqrt{g H_b}}$

➤ 剖面參數(profile parameter): $P = \frac{g H_0^2}{w_s^3 T}$

➤ 碎波相似參數： $\xi = \frac{m}{\sqrt{H_0 / L_0}}$

➤ 波浪尖銳度： $\delta = \frac{H_0}{L_0}$

➤ 徐爾茲數(Shields number)： $\psi = \frac{u_f^2}{\gamma g d_{50}}$

➤ Ursell數(Ursell number)： $U_r = \frac{H_b L_b^2}{d_b^2}$

理論分析—二維經驗正交特徵法

- 平面二維之水深可以經驗正交向量矩陣表示

$$[\mathbf{h}(x, y, t)]_{MN} = \mathbf{e}_{Mk}(x, y) \mathbf{e}_{Nk}^T(t)$$

- 沿岸有 m_1 個剖面，每個剖面離岸有 m_2 個測點，則二維空間上有 $m_1 \times m_2$ 個網格點的資料
- 欲得空間特徵向量，由水深矩陣之相關矩陣著手

$$\mathbf{A} = [\mathbf{h}(x, y, t)]_{MN} [\mathbf{h}(x, y, t)]_{MN}^T = [a_{ij}]_{MN}$$

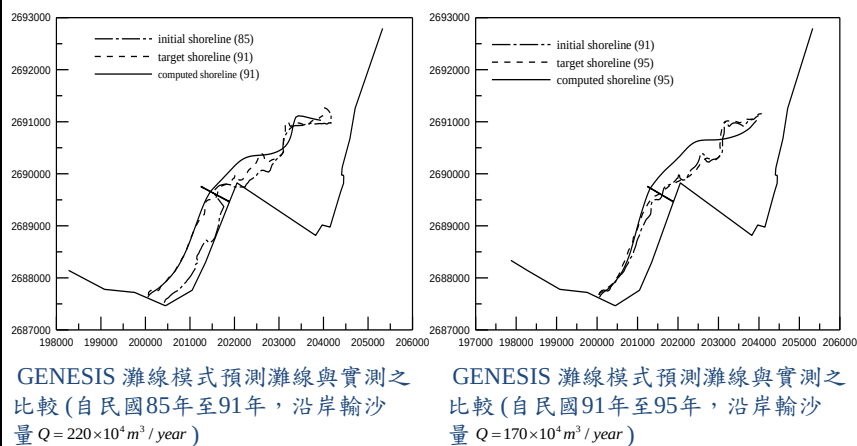
- 如同一維模式之推求過程，可求得具有正交性之單位空間特徵函數，而時間特徵向量矩陣亦可由正交性求得

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

35

灘線侵淤變化分析

GENESIS灘線變遷模擬



WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

36

灘線侵淤變化分析

GENESIS模式校核參數設定

表 GENESIS 模式參數校核分析方法

方法/年份	民國85年至91年	民國91年至95年
CASE 1	常年季代表波浪(夏季與冬季)	常年季代表波浪(夏季與冬季)
CASE 2	常年平均月代表波浪(1月至12月)	常年平均月代表波浪(1月至12月)
CASE 3	缺乏實測波浪資料，以近年當月份的資料隨機取樣計算	當年月代表波浪給定計算
設定參數	$Q=190,220,250 \text{ m}^3/\text{year}$ $K_1=0.2\sim0.5$ $K_2=0.3\sim0.6$	$Q=50,70,90,110 \text{ m}^3/\text{year}$ $K_1=0.3\sim0.5$ $K_2=0.3\sim0.6$

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

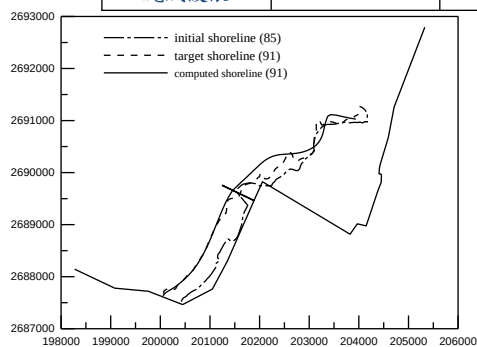
37

灘線侵淤變化分析

85年至91年灘線侵淤變化探討

冬、夏季代表波浪(85年至91年灘線侵淤變化探討)

季節\項目	入射波向	波高(m)	週期(sec)
冬季	N	2.1	6.6
夏季	W	0.9	6.3
颱風波浪	N	3.7	11.2



GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自民國85年至91年，沿岸輸沙量 $Q = 220 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$)

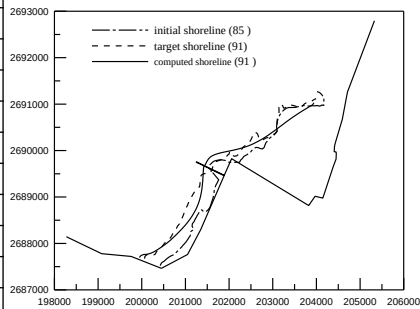
WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

38

灘線侵淤變化分析

85年至91年灘線侵淤變化探討
常年平均月代表波浪(85年至91年灘線侵淤變化探討)

月份	H	T	波向
1	2.3	6.1	N
2	2.3	6.3	N
3	1.9	5.8	N
4	1.3	5.8	N
5	1.0	5.4	N
6	0.8	5.5	WSW
7	0.9	6.3	NW
8	1.1	6.3	NNW
9	1.4	6.6	N
10	2.0	6.3	N
11	1.9	6.4	N
12	2.4	6.5	N



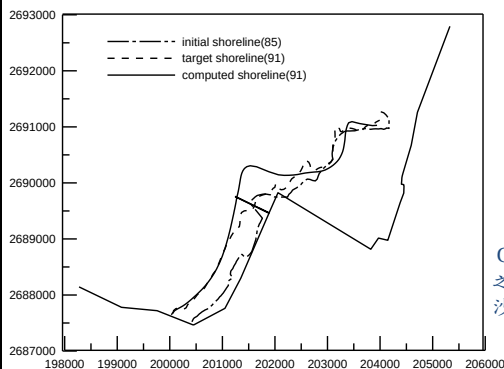
GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自民國85年至91年, 沿岸輸沙量 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$)
[$K_1=0.2$, $K_2=0.6$, (68.51,51.16)]

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

39

灘線侵淤變化分析

85年至91年灘線侵淤變化探討
當月代表波浪(85年至91年灘線侵淤變化探討)



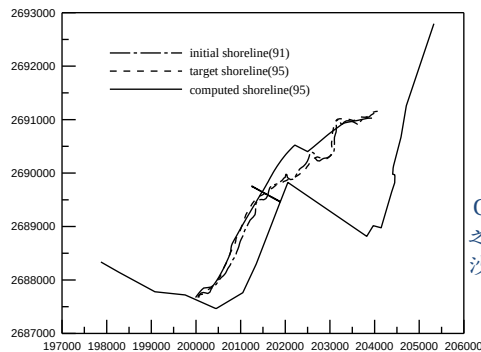
GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自民國85年至91年, 沿岸輸沙量 $Q = 250 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$)
[$K_1=0.2$, $K_2=0.6$, (56.45,76.35)]

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

40

灘線侵淤變化分析

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



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

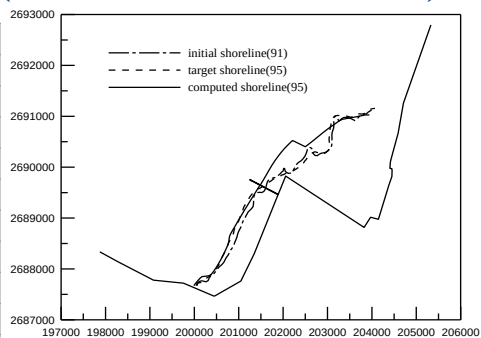
WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

41

灘線侵淤變化分析

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

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



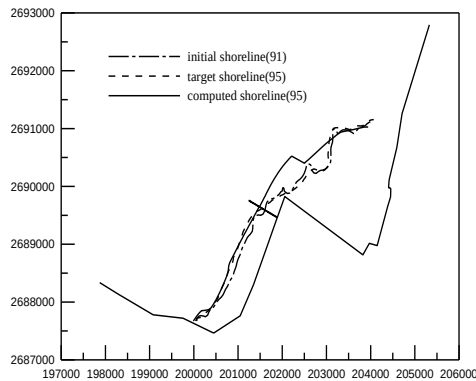
GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(自民國91年至95年, 沿岸輸沙量 $Q = 50 \times 10^4 m^3 / year$)
[$k_1=0.3, k_2=0.6, (36.38, 19.89)$]

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

42

灘線侵淤變化分析

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



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

WOTC-10T-99-B206802 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

43

灘線侵淤變化分析

綜合比較

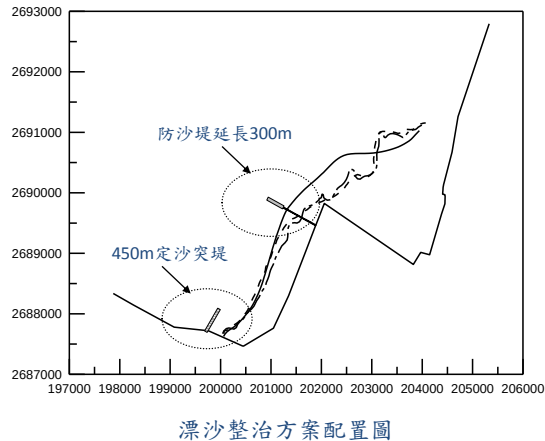
- 若考量無完整波浪資料情況下, 應用GENESIS灘線模式模擬灘線變化, 以常年季代表波浪 (夏季與冬季) 加上颱風波浪模擬可得最佳的灘線預測結果。
- 若考量完整波浪資料情況下, 應用GENESIS灘線模式模擬灘線變化, 以(1) 常年季代表波浪 (夏季與冬季) 加上颱風波浪模擬; (2) 常年平均月代表波浪 (1月至12月); (3) 當年月代表波浪給定計算皆可得到不錯的灘線預測結果。以方法 I 與方法III預測灘線其預測值與實測值平均誤差值可控制在23公尺以內。其灘線預測平均誤差值與標準偏差可控制在22公尺以內。

WOTC-10T-99-B206802 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

44

防治對策方案研擬

臺中港北側淤沙區漂飛沙整治工程



WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

45

防治對策方案研擬

整治方案之防治對策

對於整治方案之防治對策，本研究依據上年度研究計畫所得之漂沙移動特性與本年度以一維及二維正交特徵函數模式分析臺中港海岸變遷特性之結果，初步擬定整治方案之防治對策。對於整治方案興建後之海域有下列幾點特性：

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

三種防治方案

- 零方案。
- 續延長定沙堤200公尺與北防沙堤300公尺。
- 於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建離岸潛堤。

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

46

防治對策方案研擬

防治對策評估

零方案評估

表 以突堤上游灘線變化的理論計算灘線淤積至堤頭之時間

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

假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 三種狀況下，在新建北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間在 1.7 - 8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 及 5.6 年。

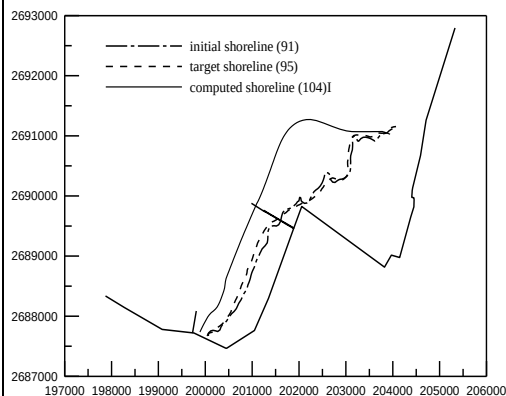
WUTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

47

防治對策方案研擬

防治對策評估

零方案GENESIS灘線模擬評估



GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(北防沙堤延伸和新建定沙堤，民國91年至民國104年)

WUTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

48

防治對策方案研擬

防治對策評估

延伸北防沙堤延伸和定沙堤上游灘線變化之評估

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

假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 三種狀況下，在延伸北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間為零方案所需時間再加上 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。

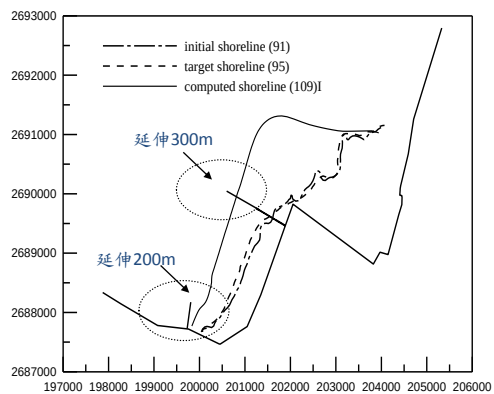
WOTC-10T-99-B208002 近岸灘沙機制與防治研究(2/4)

49

防治對策方案研擬

防治對策評估

延伸北防沙堤延伸和定沙堤GENESIS灘線模擬評估



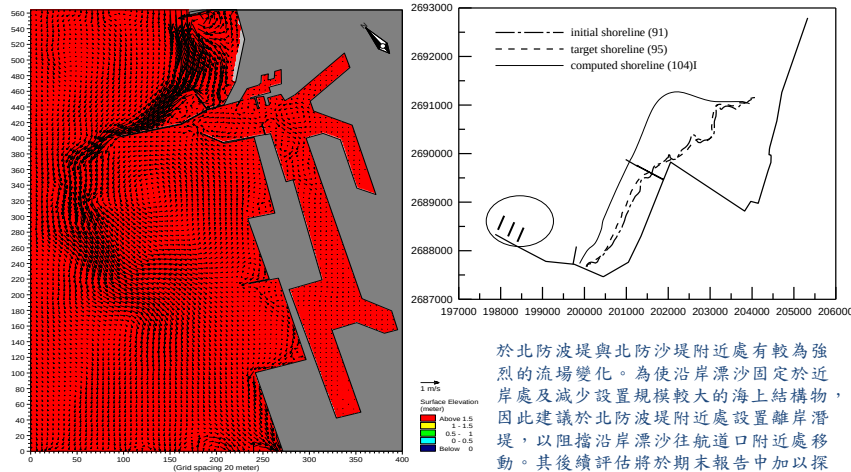
GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(延伸北防砂堤延伸和新建定沙堤，民國91年至民國109年)

WOTC-10T-99-B208002 近岸灘沙機制與防治研究(2/4)

50

防治對策方案研擬

防治對策評估 興建離岸潛堤方案



於北防波堤與北防沙堤附近處有較為強烈的流場變化。為使沿岸漂沙固定於近岸處及減少設置規模較大的海上結構物，因此建議於北防波堤附近處設置離岸潛堤，以阻擋沿岸漂沙往航道口附近處移動。其後續評估將於期末報告中加以探討。

WTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

51

結論

- 本研究已推導出一維之等水深線及剖面高程的經驗正交函數法及二維經驗正交函數法，並以前四個特徵值及特徵向量來臺中港北防波堤至北防沙堤間的海岸地形變化特性。
- 在近北防波堤之剖面之高程變化：在1000-2000m間底床高程變化在10年之間約有1-2m之淤積。前四個特徵向量在1000-2000m間接近於0，而其他範圍各點特徵向量值較大，由此各點特徵向量可明顯說明剖面不同時間之高程變化程度。第二個特徵向量之地形變化量顯示此剖面在2002年以後，範圍在離海堤1000m內及2000m以外明顯有高程變化，其量可達3-5m。至於第三個特徵向量之地形變化量亦可看出在2000年以前地形變化之分量比較小，而在2002年附近且在近岸部份有比較明顯之變化。第四個特徵向量之地形變化量在2002年比較其他年份有明顯之變化，但變化量已比前第二及三個特徵向量之地形變化量小。

WTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

52

結論

- 接近於北防沙堤之剖面，底床高程變化受此突堤影響與剖面之高程逐漸變淺，但變化量在離岸800m有明顯增加，在1998-2000年增加最多，而增建北防波堤在2001之後，此剖面之近岸高程已無明顯增加，此顯示增建北防波堤影響範圍至此剖面已不明顯。此剖面在離岸1200m之底床高程變化最少，在離岸1500m以外之底床1998-2000年間有比較大之高程變化，但2001-2006之高程變化則反而減緩。第二個至第四特徵向量值有明顯高低變化，自1996年以後逐漸高程增加。至於第三個特徵向量之地形變化量在2004年且在離岸1000m內有比較明顯地形變化外，其他地方及時間其值均小。第四個特徵向量之地形變化量已比第二及三個特徵向量之地形變化量都小。
- 灘線0m等水深約平行於海堤，等深線明顯隨時間往外海移動。0m等水深的第二個、第三個及第四個特徵向量有明顯起伏變化，顯示各時段0m等水深在沿岸方向之變化並無一致的趨勢，亦即無法用少數前幾個特徵向量就可表明等水深變遷之特性。第二個特徵向量之地形變化量顯示0m等水深在2001年前且在沿岸1000m右有比較其他時間及空間大之變化，在2002後0m等水深就穩定一個趨勢的往外海移動，所以其第二個特徵向量之地形變化量就小。第三個及第四個特徵向量之地形變化量在2001年比較其他年份有明顯之變化外，範圍包括整體地沿岸區域。

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

53

結論

- 由二維經驗正交函數法分析結果之三維第二個特徵向量及其相對應之等值圖(contour)可知地形變化比較劇烈主要在北防波堤附近離岸800m以內，而在北防沙堤處約離岸500m以內，在這變化比較之範圍外海邊界直至在北防波堤處離岸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。
- 本研究以GENESIS模式進行灘線變化分析，在無完整波浪資料條件下，以常年季代表波浪(夏季與冬季)加上颱風波浪模擬，在固定沿岸輸沙量條件下及比值為1/3參數設定下，可得最佳的設定結果。在具有波浪資料條件下，以常年季代表波浪(夏季與冬季)加上颱風波浪模擬，在固定沿岸輸沙量條件下及比值為0.88參數設定下，可得最佳的設定結果。若以常年平均月代表波浪(1月至12月)及當年月代表波浪設定為波浪參數進行模式計算，在固定沿岸輸沙量條件下及比值為0.38參數設定下，其平均誤差結果與實測值有不錯的預測結果，其誤差值約仍有21公尺左右，若以隨機取樣的波浪進行計算，在固定沿岸輸沙量條件下及比值為0.6參數設定下，其最小誤差值約可降至20公尺左右。

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

54

結論

本研究依據上述漂沙特性與整治方向，本研究計研擬三種防治方案進行初步評估：

1. 零方案。
 - 假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 三種狀況下，在新建北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間在 1.7 - 8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 及 5.6 年。
2. 續延長定沙堤 200 公尺與北防沙堤 300 公尺。
 - 在延伸北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間為零方案所需時間再加上 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。
3. 於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建離岸潛堤。
 - 對於興建離岸潛堤佈置，則是將以平面二維數值模式加以評估。

WOTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

55

未來工作項目

- 海岸防護對策之流程建立
- 由第一年之計畫內容可知，以統計方法分析臺中海氣地象、水文資料及附近河川流量與輸沙量資料，建立臺中港海岸侵淤之特性。另外以丹麥水力研究所之MIKE21-NSW波浪模式與MIKE21-HD水動力模式進行計算，配合臺中港海域海象實際調查資料校核計算參數與條件後，臺中港鄰近海域之海流可於計算中有效的加以模擬，藉以瞭解該海域附近侵淤的主要特性及造成原因，最後探討現有保護方案之效果。
- 本年度建立海岸防護對策之分析流程，做為別的基地研究之參考

WOTC-10T-99-B206002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

56

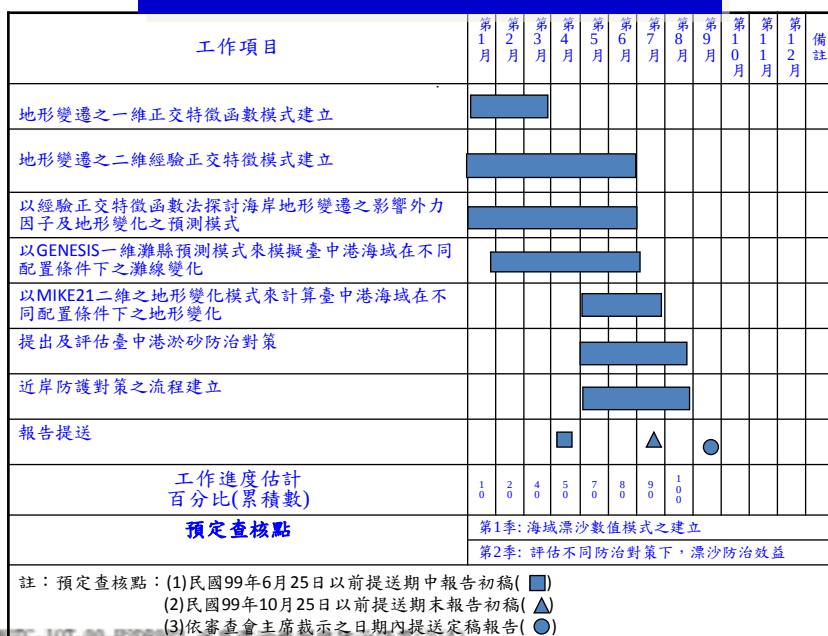
研究人員

類別	姓名	目前服務單位與職稱	最高學歷	在本計畫中擔任之工作
主持人	溫志中	弘光科技大學環境與安全衛生工程系助理教授	博士	綜理全盤計畫之推動、協調人力配署、計畫基本架構與撰寫報告
協同主持人	張憲國	交通大學土木工程系教授	博士	協調人力配署、計畫基本架構與撰寫報告
兼任研究人員	劉勁成	交通大學土木工程系博士後研究員	博士	模式建立與計畫執行
專任研究人員	陳蔚瑋	交通大學土木工程系碩士	碩士	模式建立與計畫執行

WOTC-10T-99-B208002 近岸漂沙機制與防治研究(2/4)

57

預定進度甘梯圖



58

報告完畢
敬請指正

附錄 5 期末簡報檔

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(2/4)

簡報人：溫志中



弘光科技大學
HUNGKUANG UNIVERSITY

環境與安全衛生工程系
中華民國九十九年十一月十七日



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



今年度研究目標

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. 建立一維及二維正交特徵法模式，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遷趨勢。
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之地形變遷。



簡報內容

- 一. 期中意見回覆
- 二. 研究目標（99年度）
- 三. 經驗正交函數預測地形變化
- 四. 防治對策方案研擬與評估
- 五. 海岸防護對策流程
- 六. 結論



期中報告審查意見

蔡政翰委員

1. 應附期初審查意見與回覆表。

回覆1. 因無期初審查，故無法回覆。

2. 4-1頁後三行至4-2頁13行之文字，希望輔助圖說，會較清楚。

回覆2. 感謝委員建議，將於期末報告中增列圖4- 1以輔助說明。

3. 圖37、38與40之岸線與防沙堤應明確指出。

回覆3. 感謝委員建議，將於期末報告中予以輔助說明。

4. 表28內之數目(括號內)為何，應說明。

回覆4. 感謝委員建議，將於期末報告中予以說明。



期中報告審查意見

蔡政翰委員

5. 4-6頁中之圖36似乎打錯號碼。

回覆5. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

6. 圖37、38與40、41、42、43之模擬條件敘述未完整。

回覆6. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

7. 4-2頁有提到附錄C，報告中沒有另附錄A與B呢？

回覆7. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

8. 圖54與54之防沙堤為潛堤應標示。

回覆8. 感謝委員建議，將於期末報告中予以說明。



期中報告審查意見

余進利委員

1. 報告中有多處提及「本所港研中心....」其中”本所”兩字用詞不當，建議修正。

回覆1. 感謝委員建議，將於期末報告中予以修正。

2. 報告第2-18頁過及北外防波堤堤頭(Tc.A測站)夏季期間主要波向為W，此與一般之認知有所差異，請再詳查。

回覆2. 感謝委員建議，將於期末報告中進行確認。經年報資料確認北外防波堤堤頭(Tc.A測站)夏季期間所測得之波向為W方向為主要波向。



期中報告審查意見

余進利委員

3. 建議報告3-7頁，圖23之5個剖面及防沙堤應標示清楚，再者，這5個剖面之間的間距是否為500M，請再確認。

回覆3. 感謝委員建議，將於期末報告中進行確認。

4. 圖24至圖28各剖面歷年來之底床高程變化，因有10條曲線太過複雜，建議用另一張圖，顯示10年間前中段三條之歷線，如此比較容易分辨，另外，圖29至圖34亦是同樣情況。

回覆4. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。



期中報告審查意見

劉景毅委員

1. 臺中港北堤南側近年開始有淤沙，是否會導致臺中港航道淤淺？因北防波堤堤頭水深20多M，這些淤沙來自於北側或南側，值得深究？本年度之二維模式模擬，可以此為探討方向，尤其可針對颱風來襲期間之漂沙狀況進行模擬分析，再據以研擬防治對策。

回覆1. 感謝委員建議，將於期末報告中對此問題進行探討，探討內容補述於第六章。



期中報告審查意見

劉景毅委員

2. 不管用哪一類的地形變遷模式作預測，其可信度都與海氣象條件息息相關，因此預估要準，需要花點工夫進行資料的蒐集與分析，確實掌握沙的來源與損失，以及動力機制。根據Genesis的模擬成果，85~91年的沿岸年輸沙量約220萬方，91~95年的沿岸輸沙量約170萬方。此與本研究蒐集之烏溪與大安溪輸沙量是否一致(表21與表22)？豐水時期的河川輸沙，有多少可以留在岸邊，成為海岸的有效沙源？二維模式可以進行此一研究方向的模擬分析。

回覆2. 感謝委員建議，對於Genesis模式中所使用的沿岸輸沙量的推算，以輸沙經驗公式進行評估，再依據假設越過北防沙堤的比例進行漂沙量的推估。對於河口輸沙為海岸有效沙源的評估則將納入模式模擬分析時之參考，已於期末報告中進行補充說明。本年度對於二維式的計算，則無考慮河川輸沙進行估算。此一建議將移至後續持續研究。



期中報告審查意見

劉景毅委員

3. 這是個四年計畫，應有較充裕的時間，釐清臺中港近岸海域的漂沙機制，尤其在定量部分，再據以研擬長治久安的防治對策。在此海岸，影響近岸漂沙的動力有河川入流、颱風與季風波浪、海流、風等因素均有關，沙源主要來自河川。因此進行近岸漂沙機制分析時，若只考慮輸沙量單一因素，將有所不足，宜就上述相關因素進行多變量分析，來探討各因素對北淤沙區淤沙量影響之權重，再據以研擬適當對策。

回覆3. 感謝委員建議，對於砂源的考慮本研究團隊明年度將針對飛沙等機進行漂沙機制的探討。並探討各因素對北淤沙區淤沙量影響之權重，在機制釐清後再對防治對策進行整體的評估。

期中報告審查意見

劉景毅委員

4. 本研究有使用Genesis模式、EOF模式與Mike模式進行模擬分析。模式只是解析問題的工具，各類模式都有它的優缺點，要使用哪一種模式，只要模式使用者用起來稱手，能達到解析所要解決問題之目的即可，但最重要的是模式使用者要確實瞭解模式的使用限制，應用時要有適當與準確的資料，以進行模式的輸入條件與率定、驗證之用。結果呈現時最好能說名模式的限制與成果的局限性，以免模擬內容被不當解讀。

回覆4. 感謝委員建議，將於期末報告中予以輔助說明，並已增列於7.2節中。

期中報告審查意見

楊文衡委員

1. 延長北防波堤位置、座標、及方向應說明。

回覆1. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

2. 原北防波堤有若干距離為多少？為何與原北防波堤延伸有距離？

回覆2. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

3. 圖48定沙突堤圖繪與橫坐標Legend一致是否有誤？

回覆3. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。



期中報告審查意見

楊文衡委員

4. 定沙突堤位置坐標，及方向應說明。

回覆4. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

5. 圖49-51流場圖顏色太黑不可讀

回覆5. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。



期中報告審查意見

何良勝委員

1. 報告內容部分請於期末報告時作適當修正。例如標題、圖表之統一表示(圖8~圖11)及部份圖示以彩色表示。
回覆1. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。
2. 為提供臺中港作為有效之參考應用，本研究之防治對策研擬方案與臺中港未來相關規劃工作配合，因此建議期末報告中增列相關規劃計畫說明。
回覆2. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。



期中報告審查意見

何良勝委員

3. 本研究Chap5所擬研堤之防治對策方案，大都與飛沙、定沙有關，此和前面幾章中所說明之歷史資料分析方式與結果有何關連性。
回覆3. 感謝委員建議飛砂與室沙問題為臺中港整治的另一個重點之一，本研究團隊今年先依據漂砂特性進行評估，明年應將針對飛砂問題進行研究，將於期末報告中做修正。



期中報告審查意見

林柏青委員

1. 整體工作案進度進行，內容豐富，值得肯定。

回覆1. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

2. 報告上有些打字或文字上之錯誤，如5.3.2之標題及5.3文內之αO...請於期末報告時注意更正。

回覆2. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

期中報告審查意見

林柏青委員

3. 文中圖8～圖11之風玫瑰圖有四種不同表示法，是否能統一。

回覆3. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

4. 防治對策評估中5.3.3興建離岸潛堤方案，由於設置位置位於北防波堤頭附近，請注意此方案是否會引起波浪反射，或加強堤頭入港處之流速，危及船隻入港安全。

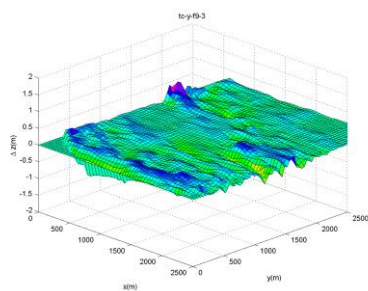
回覆4. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。

以經驗正交函數預測地形變化(2/2)

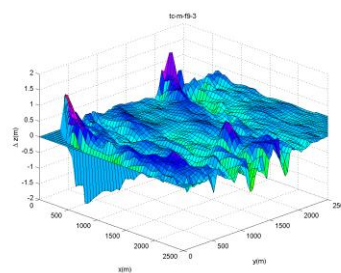
選擇的外力參數

- 波浪能量： $E = \frac{\rho g H_b^2}{8}$
- 波浪能量通率： $F_c = E c_g \cos \theta_b$ $F_s = E c_g \sin \theta_b$
- 沉降速度參數(nondimensional fall velocity parameter): $\Omega = \frac{H_b}{w_s T}$
- 碎波福祿參數(Surfzone Froude number): $F_r = \frac{w_s}{\sqrt{g H_b}}$
- 剖面參數(profile parameter): $p = \frac{g H_b^2}{w_s^2 T}$
- 碎波相似參數： $\xi = \frac{m}{\sqrt{H_0 / L_0}}$
- 波浪尖銳度： $\delta = \frac{H_0}{L_0}$
- 徐爾茲數(Shields number)： $\psi = \frac{u_f^2}{\gamma g d_{50}}$
- Ursell數(Ursell number)： $U_r = \frac{H_b L_b^2}{d_b^3}$

二維經驗正交函數預測地形



以Fs (向、離岸方向能量通率) 外力因子之年平均值預測地形高程之誤差 (2005)



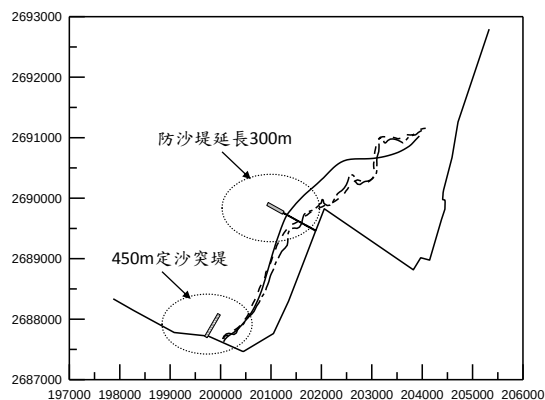
以Fs (向、離岸方向能量通率) 年平均值及月最大值預測地形高程之誤差 (2005)

一維及二維經驗正交函數預測地形結論

- 一維及二維經驗正交函數預測地形，僅適合下一時間(以本研究為一年)之預測，若預測下兩時間(二年)結果之誤差則突增，其值約為預測下一時間結果10倍以上。
- 以一維經驗正交函數預測剖面地形或等深線之離岸距離時，**加入最大值波浪特性可以提升預測能力**；但在二維經驗正交函數預測地形上，**加入最大值波浪特性反而降低預測能力**。
- 一維經驗正交函數預測下一年地形之精度上，在剖面之平均誤差約為1.2m，而等深線之離岸距離之平均誤差約為10m。
- 綜合一維及二維經驗正交函數預測地形結果， Ω 及 F_s 外力因子比較其他外力因子適合當為模式之輸入條件。以臺中港北防波堤北側之海灘為例，本計劃研究發現以 Ω 及 F_s 外力因子及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。

防治對策方案研擬與評估

臺中港北側淤沙區漂飛沙整治工程



漂沙整治方案配置圖

防治對策方案研擬與評估

整治方案之防治對策

- 興建定沙堤及延長攔沙堤的設置，將使北淤沙區近岸產生淤積，而在新建定沙堤的堤頭將使原本該處的淤積轉為侵蝕，並在堤頭和北防波堤堤頭間產生淤積。
 - 興建定沙堤的設置將使其北側輸沙潛量增大
 - 經由GENESIS灘線分析與實測資料分析，北防波堤堤址附近處灘線變動趨緩，並無明顯淤積趨勢，北防沙堤堤址處有淤積的現象發生。
- 三種防治方案**
- **零方案（行政院方案）。**
 - **續延長定沙堤200公尺與北防沙堤300公尺。**
 - **於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建離岸潛堤。**

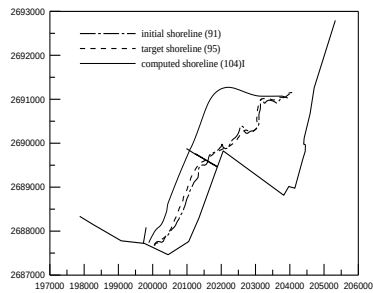
防治對策方案研擬與評估

本研究依據上述漂沙特性與整治方向，本研究計研擬三種防治方案進行初步評估：

1. **零方案（行政院方案）。**
 - 假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 三種狀況下，在新建北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間在 1.7 - 8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 及 5.6 年。
2. **續延長定沙堤200公尺與北防沙堤300公尺。**
 - 在延伸北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間為零方案所需時間再加上 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。
3. **於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建突堤。**
 - 對於興建突堤，則是將以平面二維數值模式加以評估。

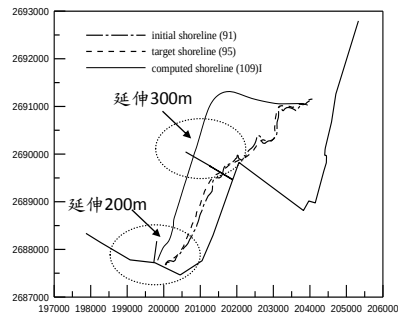
防治對策方案研擬與評估

零方案GENESIS灘線 模擬評估



GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (北防沙堤延伸和新建定沙堤，民國91年至民國104年)

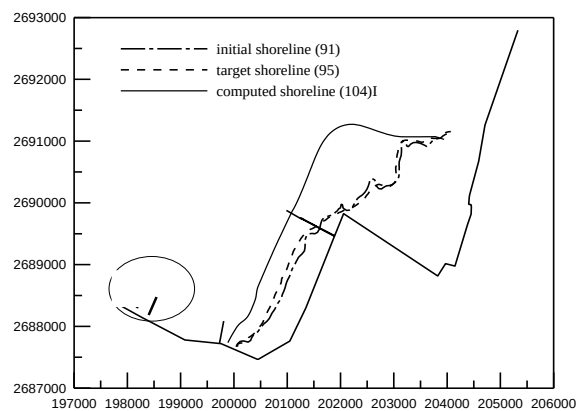
延伸北防沙堤延伸和定沙堤GENESIS灘線模擬評估



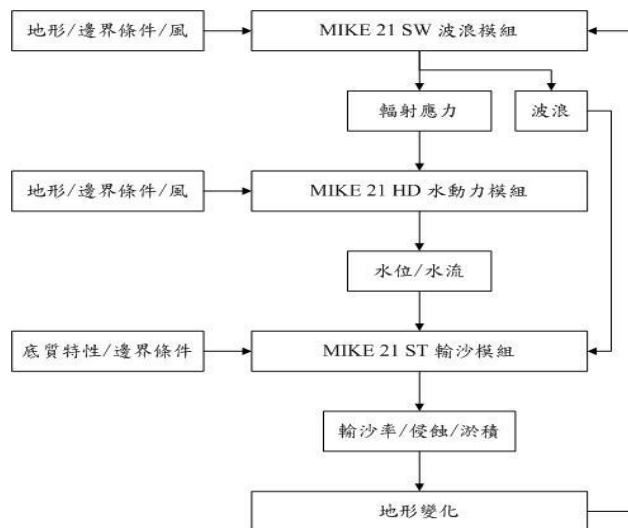
GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (延伸北防沙堤延伸和新建定沙堤，民國91年至民國109年)

防治對策方案研擬與評估

防治對策評估 興建離岸突堤方案

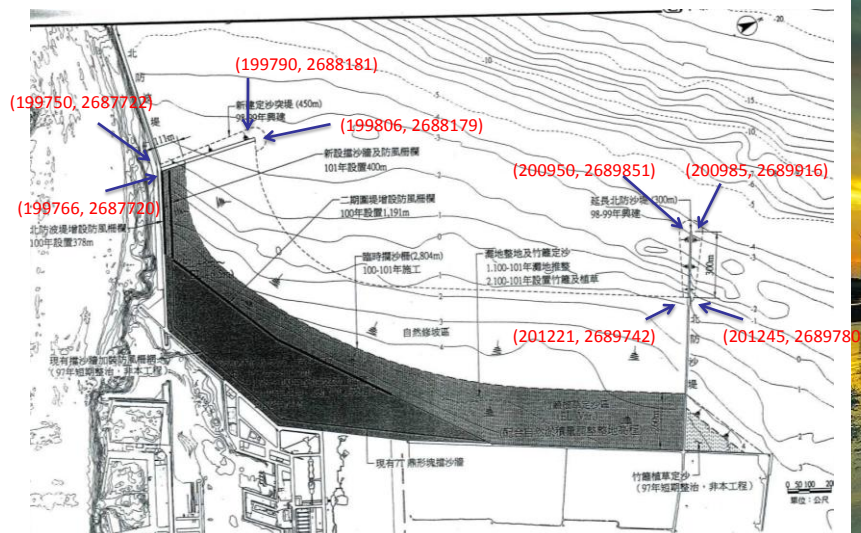


二維數值模擬之地形變遷評估

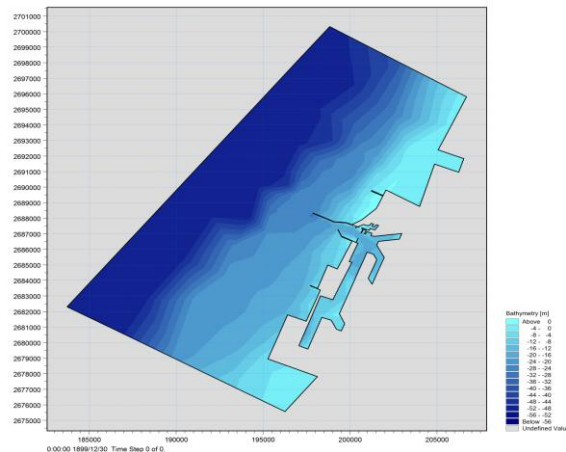


地形變遷分析流程圖

二維平面配置方案



地形及網格



元素個數	759
節點個數	475
最小元素面積	72m ²
最大元素面積	6313985m ²

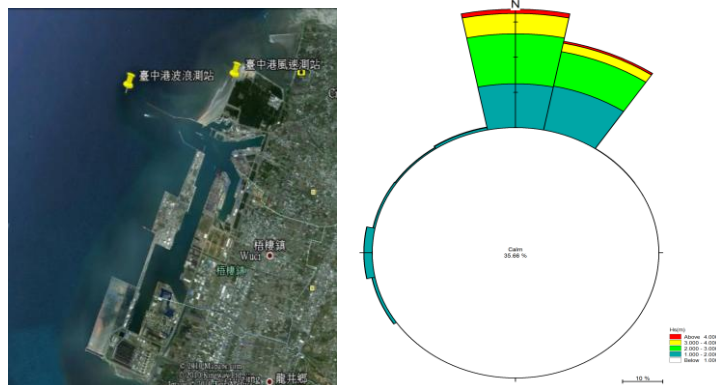
模擬時間

本計畫模擬的時間區段主要考慮現場地形的量測時間，模擬時間區段總計361天，其中前24小時為暖啟動時間。

	模擬開始時間	暖啟動結束時間	模擬結束時間
模擬時間	2004年8月1日 00:00	2004年8月2日 00:00	2005年7月28日 00:00

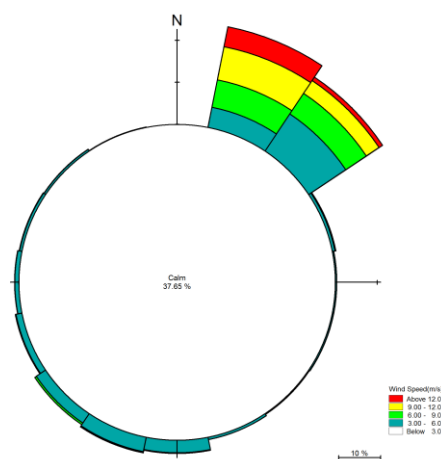
波浪條件

全年示性波高主波向為N、NNE和W向



臺中港測站示性波高玫瑰圖(2004年8月1日~2005年7月28日)

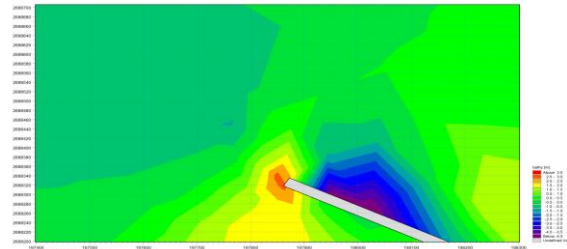
風場



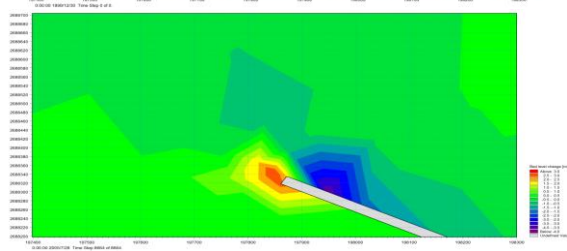
臺中港測站風玫瑰圖(2004年8月1日~2005年7月28日)

模式驗證

北防波堤堤頭侵淤量驗證



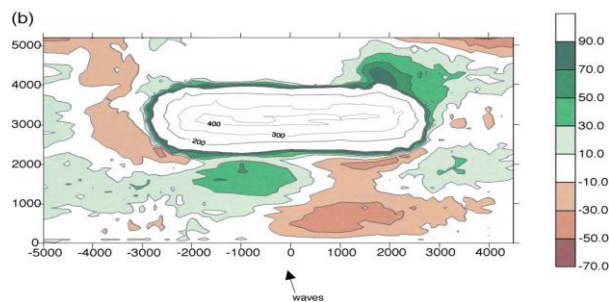
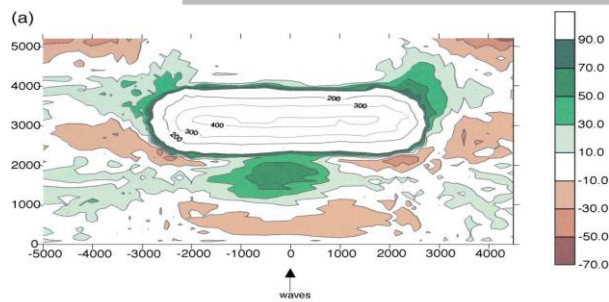
(a)實測



(b)模擬

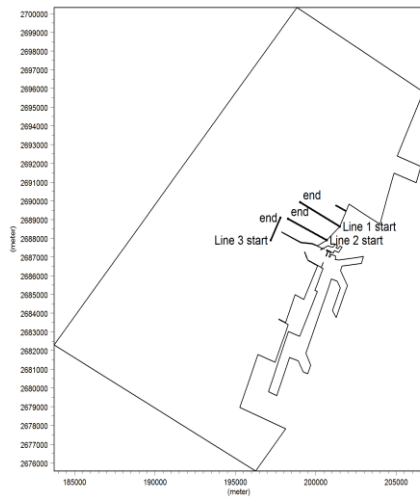
北防波堤堤頭侵淤量驗證(2004~2005年)

模式驗證

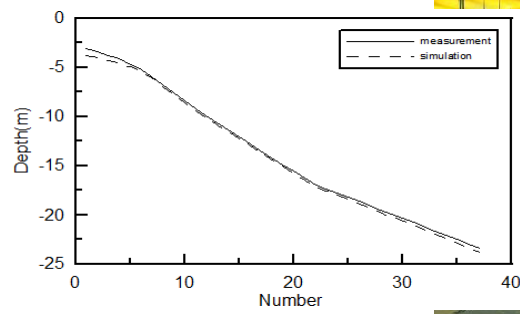


堤頭附近侵淤狀況
(Sutherland 等人，
1999)

剖面驗證

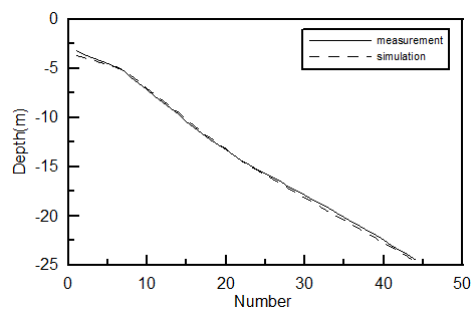


地形剖面驗證位置示意圖

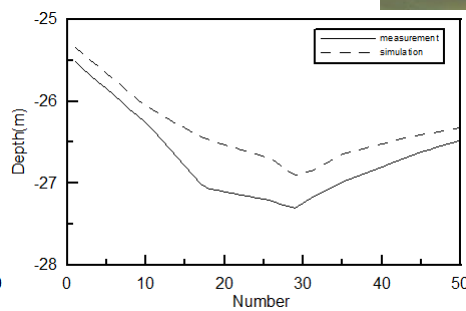


Line 1剖面驗證

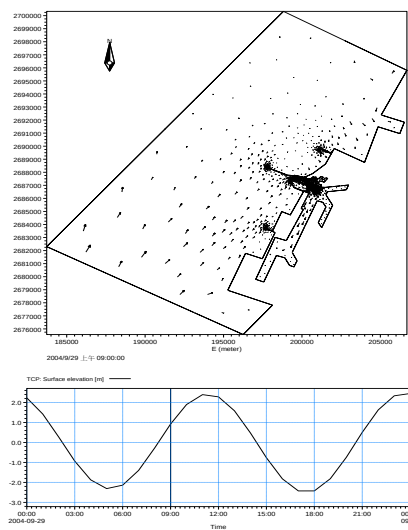
剖面驗證



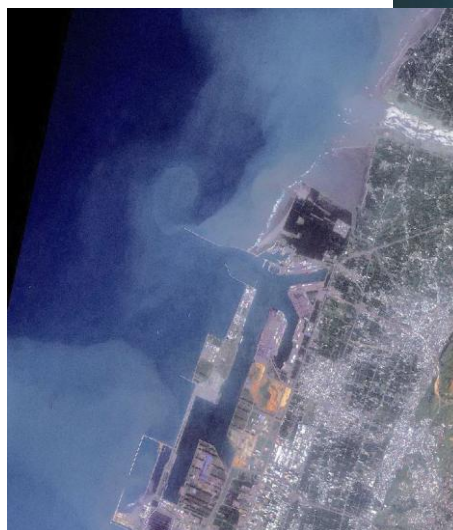
Line 2剖面驗證



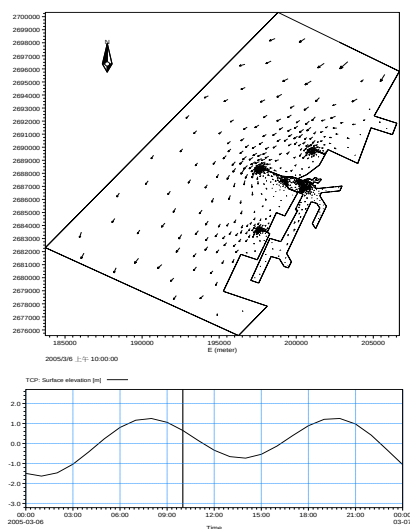
Line 3剖面驗證



臺中附近海域潮流分布，參考潮位：
臺中港漲潮



臺中港衛星影像圖 (2004/09/29
09:42)

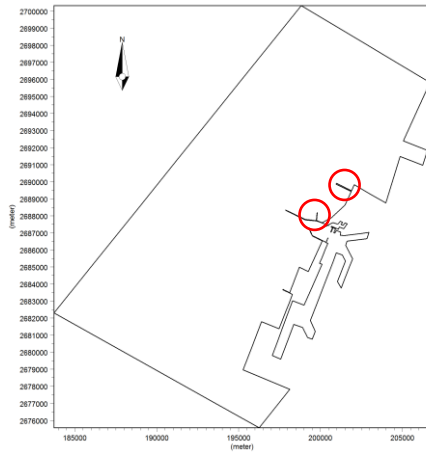


臺中附近海域潮流分布，參考潮位：
臺中港退潮



臺中港衛星影像圖 (2005/03/06
10:41)

建議方案數值模擬

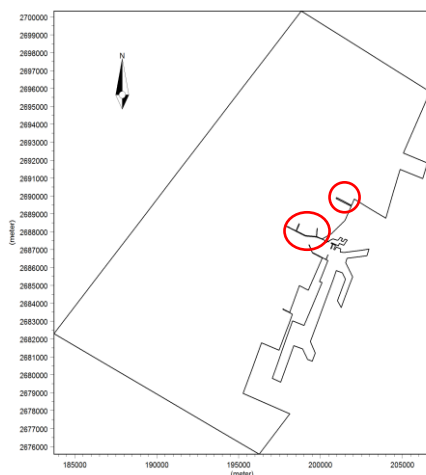


Case 1

北防沙堤300m和北防波堤側新建定沙突堤450m



建議方案數值模擬

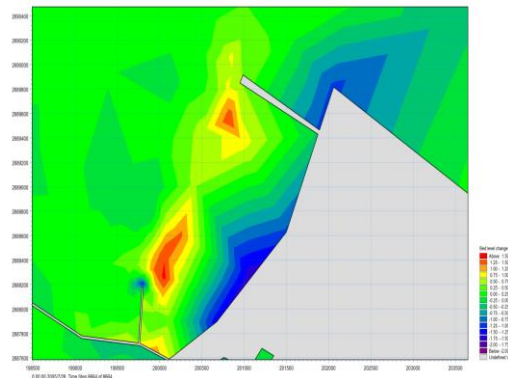


Case 2

北防沙堤300m和北防波堤側新建定沙突堤450m，定沙突堤北側再興建一定沙突堤450m



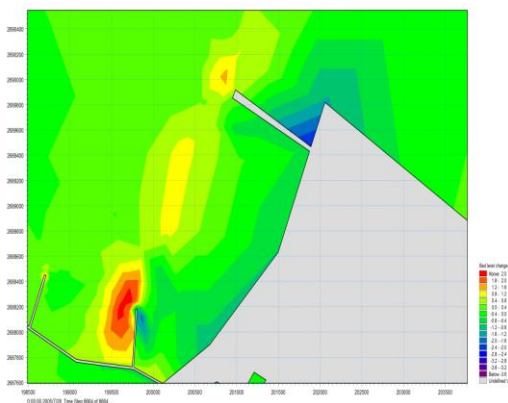
建議方案數值模擬



Case 1

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

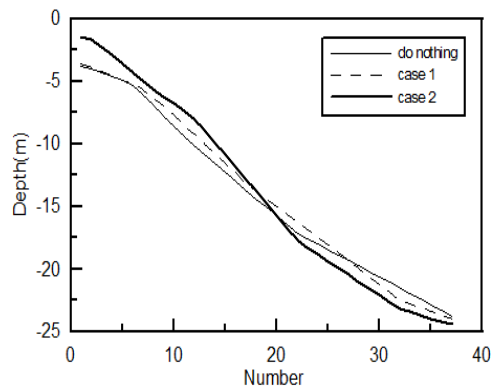
建議方案數值模擬



Case 2

興建後的侵淤量如圖所示，由圖中可知，沿岸漂沙被攔阻在第2道定沙突堤前，顯示該突堤可繼續攔阻沿岸漂沙，避免該漂沙向南輸送至臺中港區

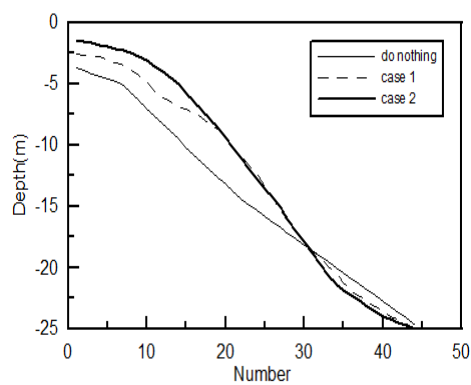
建議方案數值模擬



Line 1

Line 1的剖面可知，方案1於近岸附近較零方案有些微的淤積，而方案2與其他2個方案相比，於近岸附近則有大量的淤積

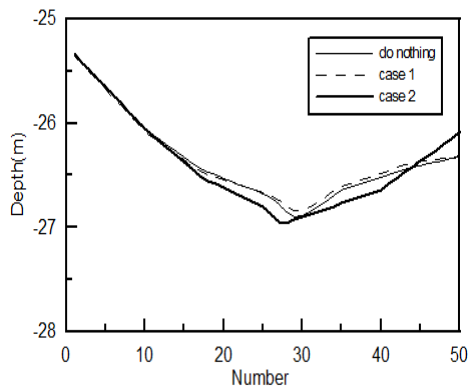
建議方案數值模擬



Line 2

Line 2的剖面可知，方案1於近岸附近較零方案已有大量的淤積，而方案2於近岸的淤積量則更大於方案1

建議方案數值模擬



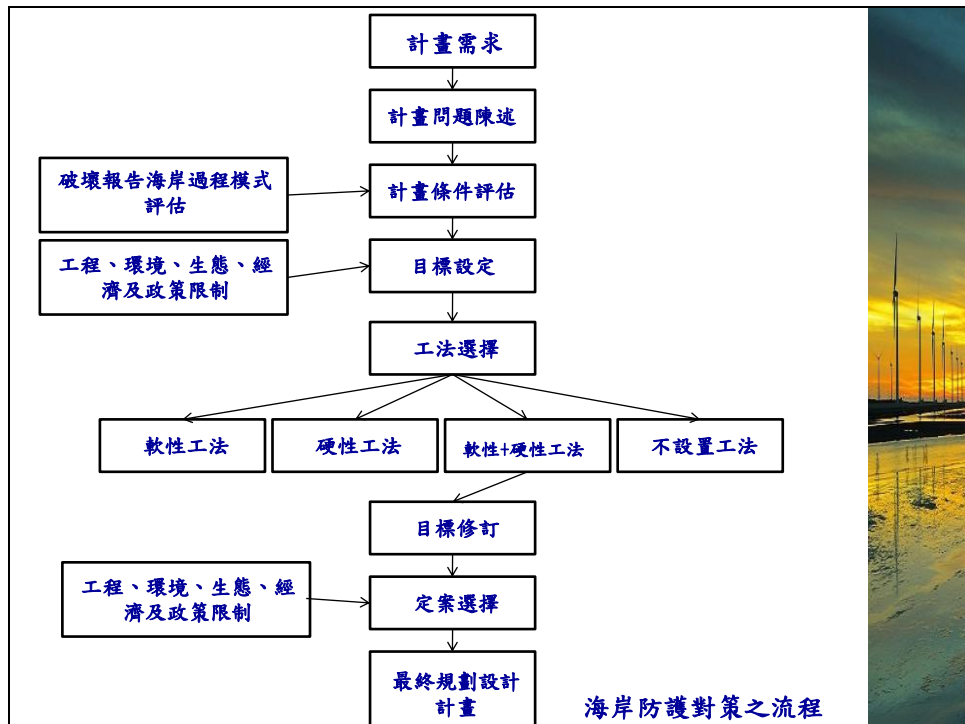
Line 3的剖面可知，
零方案和方案1的剖面相當接近，方案2
於港口附近為侵蝕而
於北防波堤北側則為
淤積

Line 3

海岸防護對策之流程

一般規劃主要之步驟有6個：

1. 確定問題及機會。
2. 釐清現況及若沒處理時之預測結果。
3. 制定多種方案。
4. 評估效益。
5. 比較最適方案。
6. 選擇最後方案。



結論

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

結論

2.本研究依據上述漂沙特性與整治方向，本研究計研擬三種防治方案進行初步評估。（一）零方案；（二）續延長定沙堤200公尺與北防沙堤300公尺；（三）於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建離岸潛堤。在零方案條件下，假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 三種狀況下，在新建北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間在 1.7 - 8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 及 5.6 年。在延伸北定沙堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間為零方案所需時間再加上 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。對於興建離岸潛堤佈置，則是將以平面二維數值模式加以評估。

結論

3.本計畫透過北防波堤堤頭侵淤量驗證可知，模擬的侵淤量與實測結果非常一致，且數值模擬結果和實驗室內試驗結果的侵淤特性相當一致。由地形剖面高程的驗證可知，Line 1和Line 2實測與模擬皆相當一致，而Line 3於侵蝕最大的位置亦僅有 0.4m 的誤差。另透過衛星影像圖進行驗證，確認潮流方向與衛星影像圖中的漂沙方向一致。綜合上述驗證結果，本計畫的地形變遷模擬可完整呈現現場的漂沙現象。

結論

4. 本計畫進行2個建議方案的數值模擬，透過平面及剖面結果的探討可知，本計畫提出的方案2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Line 3剖面於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。
5. 綜合以上研究結果，海岸防護對策應用於本計劃為可行之分析流程。

