

99-36-7452
MOTC-IOT-98-H2DB002

近岸漂沙機制與防治研究(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 4 月

近岸漂沙機制與防治研究
(1/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1009901375
定價 300 元

99-36-7452
MOTC-IOT-98-H2DB002

近岸漂沙機制與防治研究(1/4)

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 99 年 4 月

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.(1/4)/蔡立宏等著
. -- 初版. -- 臺北市:交通部運研所,
民 99. 04
面; 公分
參考書目:面
ISBN 978-986-02-3174-8(平裝)

443. 3

99007422

近岸漂沙機制與防治研究(1/4)

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 99 年 4 月
印 刷 者:良機事務機器有限公司
版(刷)次冊數:初版一刷 100 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站
定 價: 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)25780207
五南文化廣場:40042 臺中市中山路 6 號 • 電話:(04)22260330

GPN: 1009901375

ISBN: 978-986-02-3174-8 (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(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-02-3174-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1009901375	運輸研究所出版品編號 99-36-7452	計畫編號 98-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、楊怡芸 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：台中縣沙鹿鎮中棲路 34 號 聯絡電話：04-26318652		研究期間 自 98 年 3 月 至 98 年 12 月
關鍵詞：漂沙傳輸、灘線模擬、水動力模式、防治			
摘要： 本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(GENESIS)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探討，藉以瞭解該海域附近侵淤的主要特性及造成原因。 本研究經由上述研究分析方法得到以下結果：探討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。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。利用衛星影像資料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民國 85 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。 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 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 條件下，GENESIS 所模擬的灘線位置與實測資料相吻合。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續沙能力有飽和的趨勢。經由二維地形輸沙數值模擬計算冬季季風輸沙潛量分布圖可知，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。由夏季季風輸沙潛量分布圖可知，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 年迴歸期颱風輸沙潛量分布圖可知，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。經由二維地形輸沙數值模擬與 GENESIS 灘線模式模擬新建定沙堤及延長攔沙堤的設置，結果顯示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。經由 GENESIS 灘線模式模擬結果顯示，北防波堤堤體附近處之灘線最大淤積幅度約在 400 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。 藉由以上分析方法，本研究成功分析海象及地象資料之基本特性，並經由一維灘線變遷及二維之地形變化之數值模式，分析出臺中港附近海域漂沙水理機制，及了解該海域附近侵淤的主要特性及造成原因。計畫中並提出改善建議方案，評估改善方案之效果，俾提供相關管理單位如港務局、水利署及本所等作為漂沙相關問題之參酌。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99 年 4 月	282	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 near shore and countermeasure for beach erosion around western coast in central Taiwan (1/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-3174-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901375	IOT SERIAL NUMBER 99-36-7452	PROJECT NUMBER 97-H2DB002
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-hung PROJECT STAFF: Hsu Ju-chuan; Yang Yi-yun PHONE: (04) 26587177 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM March 2009 TO December 2009
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., Sahl, Taichung County, 43303, Taiwan PHONE: (04) 26318652-4115			
KEY WORDS: Sediment transport, Shoreline model, Hydrodynamic model, Countermeasure for erosion beach			
ABSTRACT: The breakwaters of a harbor often interrupt the along-shore sand transport so that it is easy for the upstream beach to accumulate sand and the downstream beach often becomes an erosive beach. The phenomenon of large shoreline variation occurs near breakwaters of Taichung Harbor. The four-year project aims to investigate the mechanism of sediment transport near marine structures, such as breakwaters, jetties, etc., in the near shore and to propose applicable countermeasure to the beach erosion around Taichung Harbor. In the first year, data collection around Taichung Harbor, including metrological, geophysical, and topographical factors, is a basis to know the wave statistics, tide type, and topographical variation etc. through basic data analysis. Satellite images of several years are used to detect the shoreline positions by which beach evolution is estimated. Through these shoreline positions from satellite images some parameters in the GENESIS one-line model can be calibrated. The well-calibrated GENESIS model can be applied to predict the shoreline evolution. The two-dimensional MIKE 21 model will be used to calculate the wave and current pattern. With knowledge of sediment transport and beach evolution around Taichung Harbor (1996~2006), some applicable countermeasures will be proposed to protect the beach erosion and to prevent beach accretion. According to the above analytic method, this research obtains the following results: the A1 area has higher values of erosion and deposit quantity than B1 area in Daanxi River; the C1 area has negative correlation with sediment transport of Wu River. This demonstrated that the jetty effect of the breakwater in Taichung Harbor and the sediment transport from the north coast has resulted in the erosion of the south side breakwater. Satellite images are used to analyze the shoreline changes from the north breakwater of Taichung Harbor to Dachia River estuary. The results show that the above area continues to deposit and reach a steady status until 2004. Through these shoreline positions from satellite images, some parameters in the GENESIS one-line model can be calibrated by $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$. Compared with the shoreline changes from 1996 to 2002 and from 2002 to 2006 the breakwater, the result demonstrated that the ability of sand deposition have become more saturated from 2002 to 2006. The two-dimensional MIKE 21 model is used to calculate the wave and current pattern. During the winter monsoon, sediment is transported from north to south. Owing to the impediment of the north breakwater of Taichung Harbor, the current has the branch in the head of the part of north breakwater; part of current is return to north and part of current transport to the south side. During summer monsoon, sediment transport from south to north and it is hard for the sediment to cross the north breakwater. During the typhoon season, sediment transport from north to south and it is easy for the sediment to cross the north breakwater of Taichung Harbor. According to the two-dimensional MIKE 21 model and the GENESIS one-line model, the maximum shoreline deposition is 400m near the north breakwater of Taichung Harbor and the maximum shoreline deposition 200m near the north. According to the above analysis, the knowledge of sediment transport and beach evolution around Taichung Harbor some applicable countermeasures are proposed to protect the beach erosion and to prevent beach accretion. The detailed evaluation on the efficiency of these proposed countermeasures will be done in the next three years.			
DATE OF PUBLICATION April 2010	NUMBER OF PAGES 282	PRICE 300	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XIV
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 研究方法.....	1-2
1.3 工作流程.....	1-5
1.4 本研究組織.....	1-6
第二章 自然環境基本資料蒐集分析.....	2-1
2.1 氣象條件析.....	2-1
2.2 海象條件.....	2-11
2.2.1 潮汐.....	2-11
2.2.2 波浪.....	2-12
2.3 地象條件.....	2-26
2.4 水文資料.....	2-28
第三章 地形變化趨勢分析.....	3-1
3.1 漂沙特性分析.....	3-1
3.1.1 漂沙代表波浪特性分析.....	3-1
3.1.2 碎波水深之決定.....	3-1

3.1.3	漂沙移動界限水深之計算.....	3-2
3.1.4	沿岸流漂沙之界限水深計算.....	3-3
3.1.5	海岸縱斷剖面變化之判定.....	3-3
3.1.6	漂沙特性指標綜合整理.....	3-4
3.2	平面侵淤特性分析.....	3-5
3.2.1	侵淤特性分析.....	3-8
3.2.2	累積侵淤量分析.....	3-14
3.2.3	長期侵淤趨勢分析.....	3-16
3.2.4	累積高程分析.....	3-20
3.3	颱風對海岸侵淤與河川輸沙量的影響.....	3-23
3.4	海岸侵淤與河川輸沙量相關性.....	3-26
3.4.1	海岸侵淤的平衡分析.....	3-26
3.4.2	漂沙量與侵淤量的比例關係.....	3-27
3.5	海岸各區侵淤與河川輸沙量之相關性.....	3-31
第四章	灘線侵淤變化分析.....	4-1
4.1	資料來源.....	4-1
4.2	長期灘線變化分析.....	4-2
4.2.1	衛星影像中灘線位置以及與實測地形的比較.....	4-2
4.2.2	長期灘線變遷.....	4-5
4.3	GENESIS 模式參數校核.....	4-7
4.4	GENESIS 海岸變遷模擬.....	4-10
4.4.1	GENESIS 灘線模式驗證.....	4-10
4.4.2	GENESIS 灘線模擬.....	4-15

4.5 綜合比較.....	4-19
第五章 二維地形輸沙數值模擬.....	5-1
5.1 輸沙數值模擬分析程序.....	5-1
5.1.1 地形水深資料.....	5-1
5.1.2 波浪條件.....	5-4
5.1.3 模擬時間區段.....	5-5
5.2 二維波浪場數值模擬.....	5-5
5.3 二維流場數值模擬.....	5-12
5.3.1 區域海域流場模擬結果與驗證.....	5-12
5.3.2 局部海域流場模擬結果.....	5-12
5.4 二維輸沙數值模擬.....	5-25
第六章 北側淤沙防護方案之探討.....	6-1
6.1 臺中港北側淤沙區漂飛沙整治工程.....	6-1
6.2 新建定沙堤及延長攔沙堤對漂沙特性之影響.....	6-2
6.2.1 二維波浪場數值模擬.....	6-2
6.2.2 二維流場數值模擬.....	6-3
6.2.3 二維輸沙數值模擬.....	6-3
6.3 新建定沙堤及防沙堤間定沙成效之評估.....	6-13
6.3.1 突堤上游灘線變化之評估.....	6-13
6.3.2 GENESIS 灘線模擬-北防沙堤延伸.....	6-15
第七章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 建議	7-3

7.3 成果效益及後續應用情形.....	7-4
參考文獻.....	參-1
附錄 A 颱風路徑圖.....	A-1
附錄 B 衛星影像及灘線擷取介紹.....	B-1
附錄 C GENESIS 模式簡介.....	C-1
附錄 D MIKE21 模式簡介.....	D-1
附錄 E 突堤上游灘線變化理論之簡介.....	E-1
附錄 F 期中報告審查意見及處理情形.....	F-1
附錄 G 期末報告審查意見及處理情形.....	G-1
附錄 H 期中簡報檔.....	H-1
附錄 I 期末簡報檔.....	I - 1

圖 目 錄

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(民國85~87年).....	2-5
圖2-3	梧棲測站各月風玫瑰圖(2001.01~2009.02).....	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(1897~2006).....	2-10
圖2-7	臺中港波浪觀測站位置圖.....	2-13
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	民國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2006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2006年之年總輸沙量.....	2-36
圖3-1	砂村、堀川之海灘分類(1974).....	3-4
圖3-2	臺中港後續工程位置圖.....	3-6
圖3-3	臺中港地形水深變遷計算分區圖.....	3-7
圖3-4	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~86年).....	3-9
圖3-5	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~87年).....	3-9
圖3-6	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~89年).....	3-10

圖3-7	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~90年).....	3-10
圖3-8	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~91年).....	3-11
圖3-9	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~92年).....	3-11
圖3-10	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~93年).....	3-12
圖3-11	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~94年).....	3-12
圖3-12	臺中港附近地形侵淤變化圖(民國85~95年).....	3-13
圖3-13	A區地形累積侵淤趨勢圖.....	3-17
圖3-14	B區地形累積侵淤趨勢圖.....	3-17
圖3-15	C區地形累積侵淤趨勢圖.....	3-18
圖3-16	D區地形累積侵淤趨勢圖.....	3-18
圖3-17	E區地形累積侵淤趨勢圖.....	3-19
圖3-18	F區地形累積侵淤趨勢圖.....	3-19
圖3-19	G區地形累積侵淤趨勢圖.....	3-20
圖3-20	海岸漂沙之平衡示意圖.....	3-26
圖3-21	計算防波堤北側侵淤量與實測值的散步圖.....	3-29
圖3-22	計算防波堤南側侵淤量與實測值的散步圖.....	3-29
圖3-23	計算防波堤南北兩側侵淤量與實測值的散步圖.....	3-30
圖3-24	計算C3區域侵淤量時序圖.....	3-30
圖4-1	衛星影像中擷取的平均水位灘線位置.....	4-2
圖4-2	北攔沙堤以北靠近大甲溪口的淺灘地形區域.....	4-3
圖4-3	衛星影像中平均水位灘線與實測地形之比較(民國86年)....	4-4
圖4-4	衛星影像中平均水位灘線與實測地形之比較(民國92年)....	4-5
圖4-5	離岸方向沙灘長度變化量(以民國82年為基準年).....	4-6

圖4-6	臺中港北淤砂區侵淤量累積曲線圖.....	4-9
圖4-7	GENESIS灘線模式驗證.....	4-10
圖4-8	GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較.....	4-12
圖4-9	GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較.....	4-13
圖4-10	GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較.....	4-13
圖4-11	GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較.....	4-14
圖4-12	GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較.....	4-14
圖4-13	GENESIS灘線模式預測灘線與測之比較.....	4-16
圖4-14	GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較.....	4-17
圖4-15	GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較.....	4-17
圖4-16	GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較.....	4-18
圖4-17	臺中港北堤六個斷面的位置.....	4-19
圖4-18	斷面P1的灘線變化圖.....	4-20
圖4-19	斷面P2的灘線變化圖.....	4-21
圖4-20	斷面P3的灘線變化圖.....	4-21
圖4-21	斷面P4的灘線變化圖.....	4-22
圖4-22	斷面P5的灘線變化圖.....	4-22
圖4-23	斷面P6的灘線變化圖.....	4-23
圖5-1	二維輸沙模試模擬流程圖.....	5-2
圖5-2	臺中附近海域邊界及地形水深.....	5-2
圖5-3	臺中港海域邊界及民國89年地形水深.....	5-3
圖5-4	臺中港海域邊界及民國94年地形水深.....	5-4

圖 5-5	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 波高波向分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深)	5-6
圖 5-6	夏季季風 ($H_s=0.9\text{m}$, $T_s=6.3\text{sec}$, W 向) 波高波向分布 圖(採用民國 89 年臺中港地形水深).....	5-7
圖 5-7	10 年迴歸期颱風 ($H_s=5.5\text{m}$, $T_s=9.8\text{sec}$, N 向) 波高波 向分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深)	5-8
圖 5-8	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 波高波向分布圖 (採用民國 94 年臺中港地形水深)	5-9
圖 5-9	夏季季風 ($H_s=0.9\text{m}$, $T_s=6.3\text{sec}$, W 向) 波高波向分布 圖 (採用民國 94 年臺中港地形水深)	5-10
圖 5-10	10 年迴歸期颱風 ($H_s=5.5\text{m}$, $T_s=9.8\text{sec}$, N 向) 波高波 向分布圖 (採用民國 94 年臺中港地形水深)	5-11
圖 5-11	臺中附近海域潮流分布, 參考潮位: 臺中港退潮.....	5-13
圖 5-12	臺中附近海域潮流分布, 參考潮位: 臺中港漲潮.....	5-14
圖 5-13	區域海域計算結果中的臺中港潮位驗證.....	5-14
圖 5-14	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 流場分布圖 (採 用民國 89 年臺中港地形水深)	5-15
圖 5-15	夏季季風 ($H_s=0.9\text{m}$, $T_s=6.3\text{sec}$, W 向) 流場分布圖 (採 用民國 89 年臺中港地形水深)	5-16
圖 5-16	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 (採用民國 89 年臺中港地形水深)	5-17
圖 5-17	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 流場分布圖 (採用 民國 94 年臺中港地形水深)	5-18
圖 5-18	夏季季風 ($H_s=0.9\text{m}$, $T_s=6.3\text{sec}$, W 向) 流場分布圖 (採 用民國 94 年臺中港地形水深)	5-19

圖 5-19	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 (採用民國 94 年臺中港地形水深)	5-20
圖 5-20	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 流場分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深, 參考潮位: 臺中港 2006/10/08 17:00)	5-21
圖 5-21	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 流場分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深, 參考潮位: 臺中港 2006/10/08 21:00)	5-22
圖 5-22	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 流場分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深, 參考潮位: 臺中港 2006/10/09 03:00)	5-23
圖 5-23	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 流場分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深, 參考潮位: 臺中港 2006/10/09 11:00)	5-24
圖 5-24	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 輸沙潛量分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深)	5-28
圖 5-25	夏季季風 ($H_s=0.9\text{m}$, $T_s=6.3\text{sec}$, W 向) 輸沙潛量分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深)	5-29
圖 5-26	10 年迴歸期颱風 ($H_s=5.5\text{m}$, $T_s=9.8\text{sec}$, N 向) 輸沙潛量分布圖 (採用民國 89 年臺中港地形水深)	5-30
圖 5-27	民國 85 年至 89 年間地形侵淤變化圖	5-31
圖 5-28	冬季季風 ($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向) 輸沙潛量分布圖 (採用民國 94 年臺中港地形水深)	5-32
圖 5-29	夏季季風 ($H_s=0.9\text{m}$, $T_s=6.3\text{sec}$, W 向) 輸沙潛量分布圖 (採用民國 94 年臺中港地形水深)	5-33
圖 5-30	10 年迴歸期颱風 ($H_s=5.5\text{m}$, $T_s=9.8\text{sec}$, N 向) 輸沙潛量分布圖 (採用民國 94 年臺中港地形水深)	5-34

圖 5-31	民國 89 年至 94 年間地形侵淤變化圖.....	5-35
圖 5-32	臺中港衛星影像圖（參考潮位：2004/04/05 10：36）	5-36
圖 5-33	臺中港衛星影像圖（參考潮位：2005/03/06 10：40）	5-37
圖 5-34	臺中港衛星影像圖（參考潮位：2005/09/27 10：51）	5-38
圖 5-35	臺中港衛星影像圖（參考潮位：2006/12/23 10：33）	5-39
圖 6-1	漂沙整治可行方案配置圖.....	6-2
圖 6-2	冬季季風（ $H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向）波高波向分布 圖（採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置）	6-4
圖 6-3	夏季季風（ $H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向）波高波向分布 圖（採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置）	6-5
圖 6-4	10 年迴歸期颱風（ $H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向）波高波 向分布圖（採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置）	6-6
圖 6-5	冬季季風（ $H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向）流場分布圖（採 用新建定沙堤及延長攔沙堤配置）	6-7
圖 6-6	夏季季風（ $H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向）流場分布圖（採 用新建定沙堤及延長攔沙堤配置）	6-8
圖 6-7	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（採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置）.....	6-9
圖 6-8	冬季季風（ $H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向）輸沙潛量分布 圖（採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置）	6-10
圖 6-9	夏季季風（ $H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向）輸沙潛量分布 圖（採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置） ...	6-11
圖 6-10	10 年迴歸期颱風（ $H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向）輸沙潛 量分布圖（採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置）	6-12
圖 6-11	突堤上游灘線變化解析所使用之符號示意.....	6-13

圖 6-12	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較.....	6-16
圖 6-13	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較.....	6-16
圖 6-14	GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較.....	6-17

表 目 錄

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.....	2-14
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	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...	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	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 2-17	大安溪 1993 年至 2006 年月平均及年平均河川懸移質輸沙量.....	2-32
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 2006 年之河川總輸沙量.....	2-36
表 3-1	計畫區海岸漂沙特性一覽表.....	3-5
表 3-2	計畫區歷年觀測水深概況表.....	3-6
表 3-3	臺中港後續工程一覽表.....	3-6
表 3-4	臺中港附近地形累積侵淤量.....	3-15
表 3-5	臺中港附近地形高程變化量.....	3-22
表 3-6	臺中港附近地形輸沙量與侵淤量.....	3-23
表 3-7	民國 85 至民國 94 年侵台颱風發生的時間及強度.....	3-25
表 3-8	北側淤沙區浚挖期間浚挖量統計表.....	3-27
表 3-9	海岸各區侵淤與河川輸沙量之相關性.....	3-32
表 4-1	GENESIS 模式之計算條件列表.....	4-8
表 4-2	GENESIS 灘線模式參數.....	4-8
表 4-3	以 GENESIS 模式模擬不同傳輸參數 K1 及 K2 與相似參數之比較.....	4-9
表 4-4	GENESIS 模式預測灘線與實測地形之比較（民國 85 年至民國 91 年）.....	4-11
表 4-5	GENESIS 模式預測灘線與實測地形之比較（民國 91 年至民國 95 年）.....	4-15

表 5-1	季風及颱風代表波浪條件.....	5-5
表 5-2	模式模擬時間區段.....	5-5
表 6-1	以突堤上游灘線變化的理論計算灘線淤積至堤頭之時間...	6-14

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。

臺中港務局於臺中港民國 65 年建港後，針對臺中港鄰近海域漂沙現象進行一系列之研究。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)，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。

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。本年度為第一年度計畫。其第一年研究範圍與對象為臺中港附近海岸，透過歷年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瞭解地形變化特性，並提出改善海岸侵淤防治對策。

1.2 研究內容

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，並以一維灘線變遷及二維之地形變化之數值模式驗證並預測臺中港附近海岸地形變化，以提供海岸防護最適之對策。本研究以四年進行，其研究工作內容與項目分述如下：

第一年：

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：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。

第三年：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) 並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：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

本研究為第一年度計畫，研究中使用一維之 GENESIS 單線模式進行岸線預測模擬。由於 GENESIS 模式需要數年之灘線資料來率定其中之模式參數，本研究以衛星圖擷取灘線之方法來準備一維 GENESIS 單線模式所需不同年之灘線。海灘地形的變化受波浪條件、底床坡度、底質粒徑、沿岸流等綜合影響因素所造成的結果。往昔研究海灘地形變化的方法包括數值模式、動床模型試驗及現場調查。由現場調查所觀測之地形雖然能呈現各種影響因素綜合變化的結果，而非模型試驗或數值模式在簡化條件下所能完整描述的，因此現場調查方法廣泛被使用，然而，現場調查的一些技術問題及現場調查高經費的困擾也是降低實際執行可行性的因素。如實測的海灘地形極不規則，即使有現場調查地形資料，亦難以直接單純分析出具體的結果，瞭解其變化特性及進一步預測未來的變化情形。海岸變遷或地形變化現象可由最直接明顯的灘線隨時間變化的來瞭解。因此若有大量的灘線資料，再輔以數理方法，分析灘線的變化特性，即可進一步瞭解海灘地形變化特性。對於台灣海灘線變遷的監測，往昔亦使用人力的傳統量測高程來定位及，此傳統量測方法不僅費時、費力，而且測量經費亦高。傳統的人力量測方法，在短時間內量測大區域在平均潮位的灘線亦有所困難，況且在不同時間因為潮汐高低及波浪的溯升會影響灘線位置移動，所量測到的平均灘線位置則有所誤差。若量測灘線資料存在誤差時，對進一步的分析海岸侵蝕亦會造成不可預知的錯誤。

為要解決上述量測灘線位置之高經費及潮汐與波浪的影響問題，利用新科技的衛星影像來擷取灘線是一種新嘗試的解決方法。這種以衛星影像監測海岸線的新技術在國內外逐漸被提出，如吳與吳(2003)利用許多不同時間的遙測資料分析台灣西海岸的變遷，顯示港南海岸是台灣西岸侵蝕較嚴重的區域，吳與吳(2003)僅把不同年之衛星影像擷取灘線後，即做後續灘線變遷之探討，然而，當此地區之海岸在短期內之變遷量低於因衛星影像不同拍攝時間的潮汐高低不同所造成灘線位置之差異時，評估的海岸變遷結果容易產生誤差。呂(2004)以涵蓋範圍大但空間解析度差的 SPOT 衛星影像利用區域成長

趨近法進行澎湖及東沙島地區的海岸線與面積的遙測分析，在忽略潮位影響後的遙感偵測結果與實測值比較結果，顯現其平均誤差在 10% 以下，如果把潮位影響後的遙感偵測結果考慮，應可提高以衛星影像所得離島之海岸線與面積之估算精度。張與陳(2005)以 SPOT 光學影像進行近 10 年來外傘頂洲的灘線變遷，該研究中提出在不同潮位下所辨識出的灘線位置，適當修正至同一平均海水面後，分析灘線變遷。Gardel and Gratiot (2005)利用衛星影像在法屬圭亞那進行沙灘變遷的分析，並以其中兩次相近的高低潮灘線位置來降低潮汐對灘線辨識所造成的影響。Liou 等人(2009)利用 SPOT 影像分析新竹港南地區因漁港興建所造成的海岸侵蝕影響，本研究雖已收集民國 85 年至 95 年間的實測地形資料，但為了能夠分析較長期的灘線變遷，故自 1993 年起挑選合適的 SPOT 影像進行灘線的擷取。

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。第三章為地形變化趨勢分析，探討近十年臺中港附近海域的地形變化趨勢。第四章為灘線

侵淤變化分析，利用衛星影像中的灘線位置進行截取，並採用潮位模式估算相對應潮高並配合現有的實測波浪資料進行灘線位置的修正，並利用 GENESIS 海岸變遷灘線模式進行模擬。第五章為二維地形輸沙數值模式，以 DHI 研發之 MIKE 21 水力數值模進行波浪場模擬，潮流流場模擬及近岸流場模擬及計算受局部海域之水動力與波浪引起之漂沙潛量。第六章為北側淤沙防護方案之探討，探討北側淤沙區之漂沙防護對策及定沙成效評估。第七章為本研究之整體結論與建議。

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 (民國 96-100 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，茲整理說明如后。

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民國 66~94 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 (日)	平均降雨日數 ($\geq 10\text{mm}$)	平均霧日 (日)	平均氣壓 (mb)	平均溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	相對濕度 (%)
1	27.4	5.7	0.8	0.6	1,018.9	15.9	77.7
2	81.0	9.3	2.4	1.7	1,017.9	16.0	79.9
3	98.9	10.9	2.9	1.6	1,015.7	18.5	79.4
4	127.4	10.0	3.8	0.3	1,012.6	22.4	78.8
5	214.9	10.6	4.5	0.2	1,009.1	25.5	79.8
6	205.7	10.6	4.5	0.1	1,006.7	27.8	79.4
7	186.0	8.6	3.6	0.0	1,005.9	29.0	77.4
8	210.8	10.5	4.3	0.1	1,004.9	28.8	78.6
9	93.6	5.8	2.1	0.0	1,008.2	27.3	77.4
10	9.9	2.2	0.3	0.4	1,012.7	24.2	74.6
11	13.3	2.6	0.4	0.3	1,016.0	21.3	74.8
12	23.4	3.6	0.8	0.7	1,019.0	17.7	75.2
年合計	1,292.3	90.5	30.5	5.9	—	—	—
月平均	—	—	—	—	1,012.3	22.9	77.7

a. 降雨

梧棲地區平均年總降雨量為 1,292.3mm，其中以 5 月份之降雨量為最高，達 214.9mm，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 10.9 日，而 10 月份之降雨日數為最少，約 2.2 日。

b. 霧日

梧棲地區平均一年霧日共有 5.9 日，其中 2、3 月份較多，其餘各月份之平均霧日數均不足 1 日。

c. 氣壓

梧棲地區年平均氣壓為 1,012.3 mb，其中以 12 月份之月平均氣壓為最高，達 1,019.0 mb，8 月份之月平均氣壓最低，僅 1,004.9 mb。

d. 溫度

梧棲地區年平均氣溫為 22.9℃，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 77.7%，其中以 2 月份之月平均相對濕度 79.9%為最高，10 月份之月平均濕度 74.6%為最低。

f. 風力

臺中港自民國 60 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。

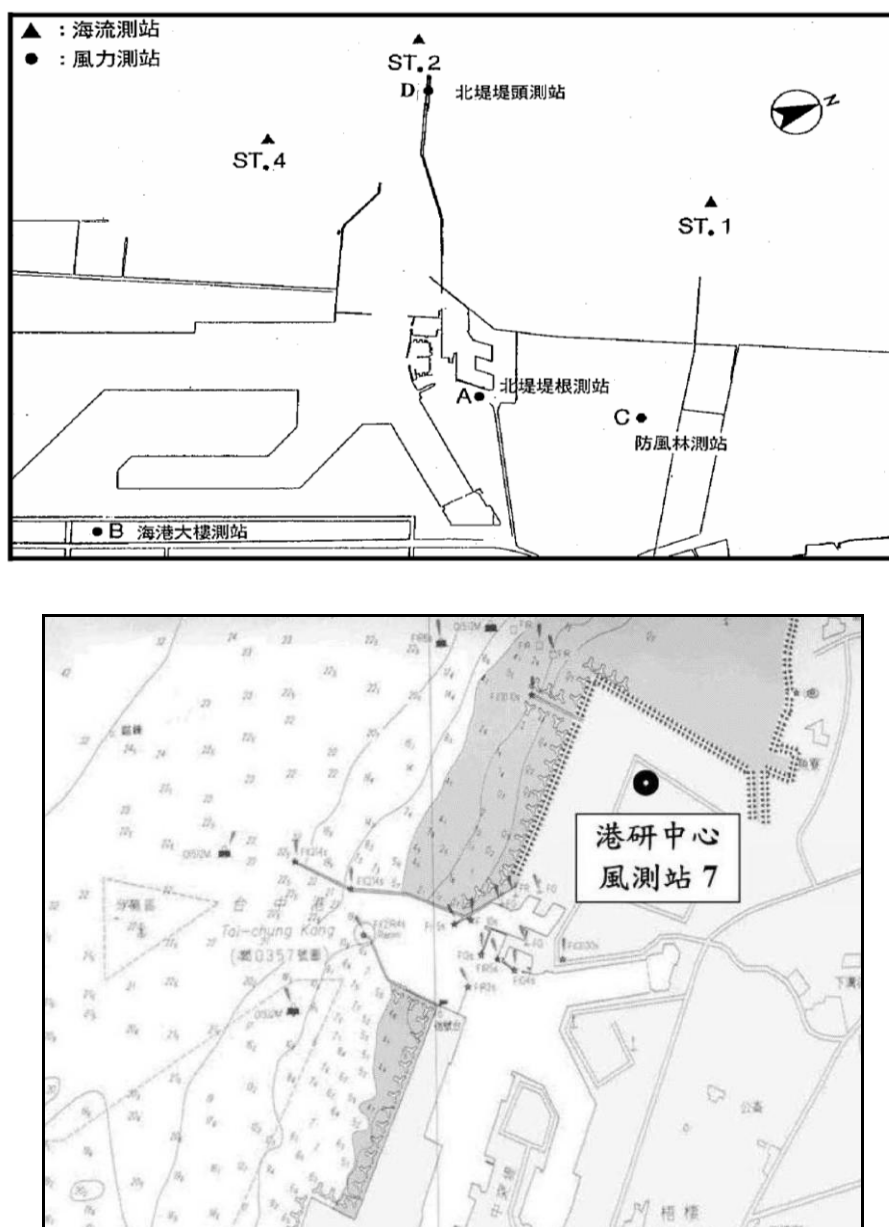


圖 2-1 臺中港風力觀測站位置示意圖

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，依民國 88 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。

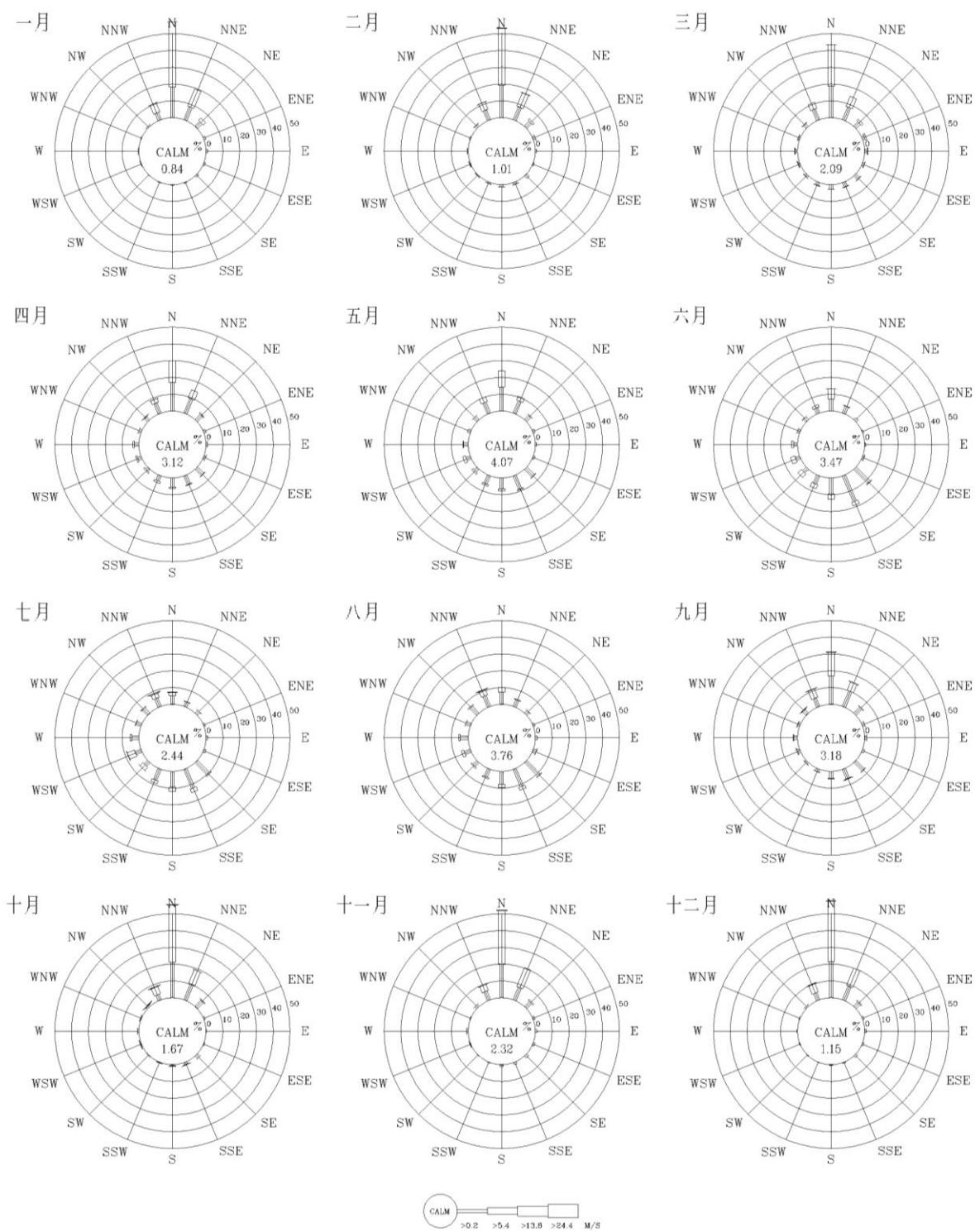


圖 2-3 梧棲測站各月風玫瑰圖(2001.01 月~2008.02)

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。

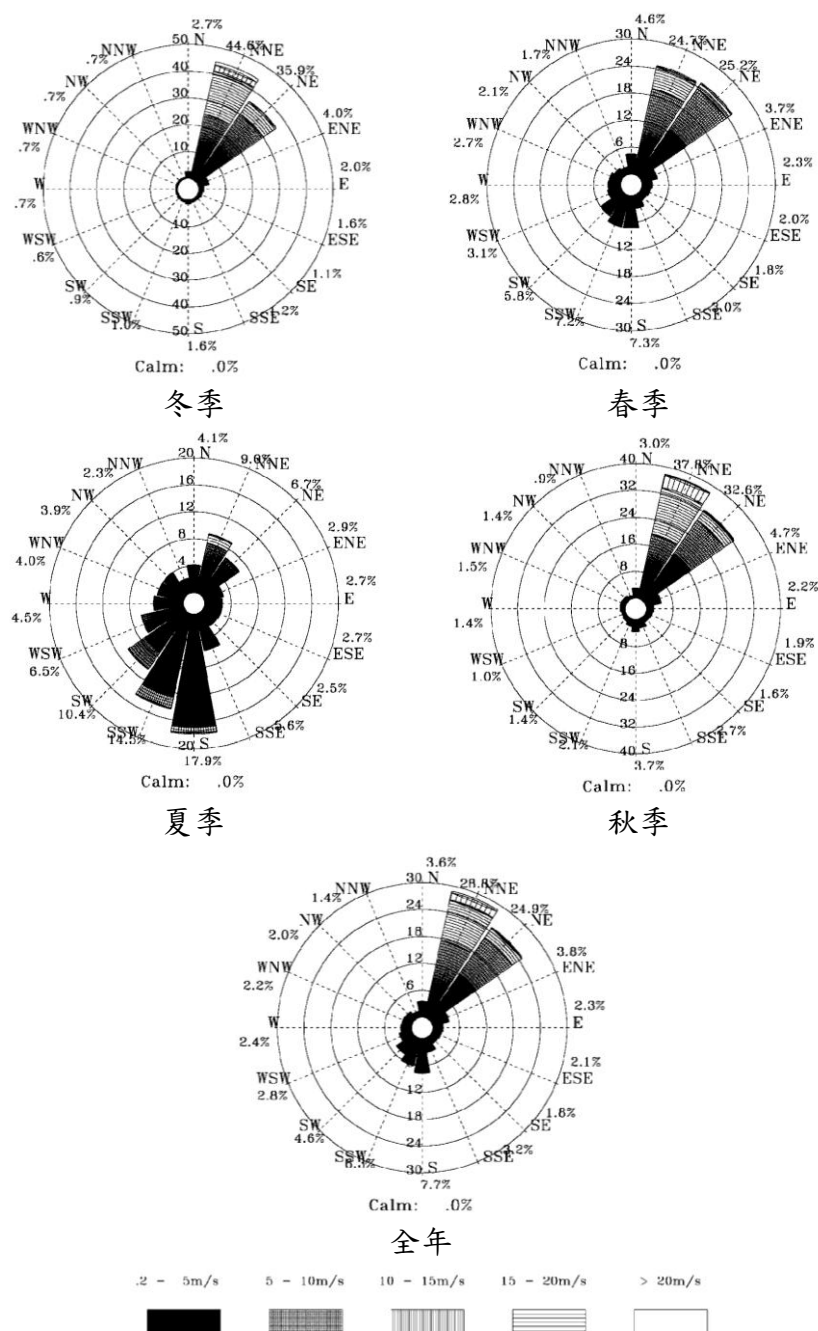


圖 2-4 防風測站處風玫瑰圖

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。

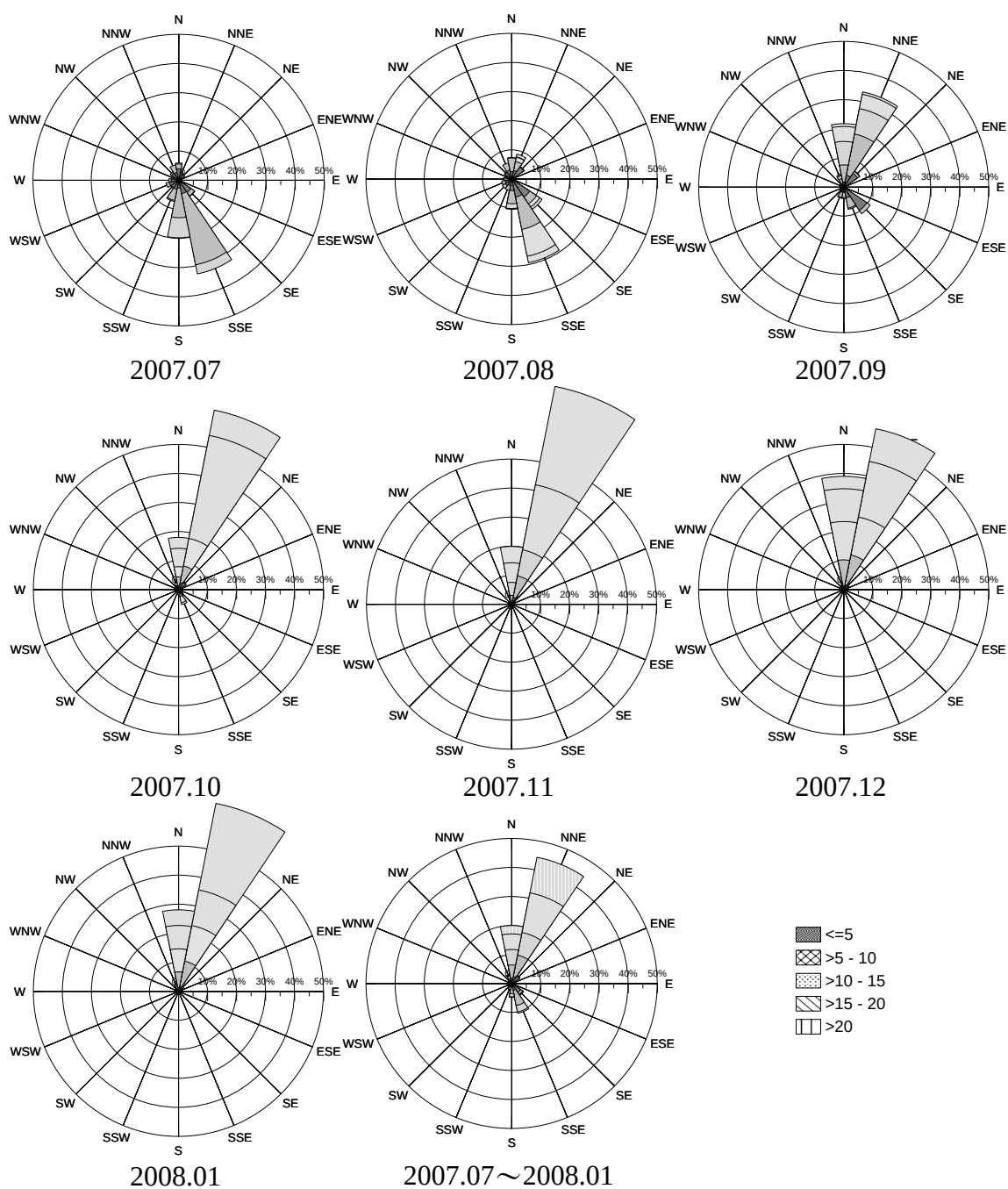


圖 2-5 二期擴建堤頭測站風玫瑰圖

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 1897～2006 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，1897～2006 年之 110 年間，侵台颱風總數為 388 次，其中以 8 月份佔 117 次為最高，約佔總數之 30.2%；7 月份佔 94 次居次，約佔總數之 24.2%。又因 9 月份起颱風多轉北向侵襲日本之機會較大，故以往 12 月至翌年 3 月間多無侵台記錄，惟 2004 年 12 月首次發生颱風侵台之紀錄(南瑪都颱風，2004.12.03～2004.12.04)。

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	3.9%	0.14
6	28	7.2%	0.25
7	94	24.2%	0.85
8	117	30.2%	1.06
9	89	22.9%	0.81
10	33	8.5%	0.30
11	9	2.3%	0.08
12	1	0.3%	0.01
合 計	388	100.0%	3.53

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 110 年(1897~2006 年)間侵台颱風路徑大致劃分為 7 類，詳如圖 2-6 所示。

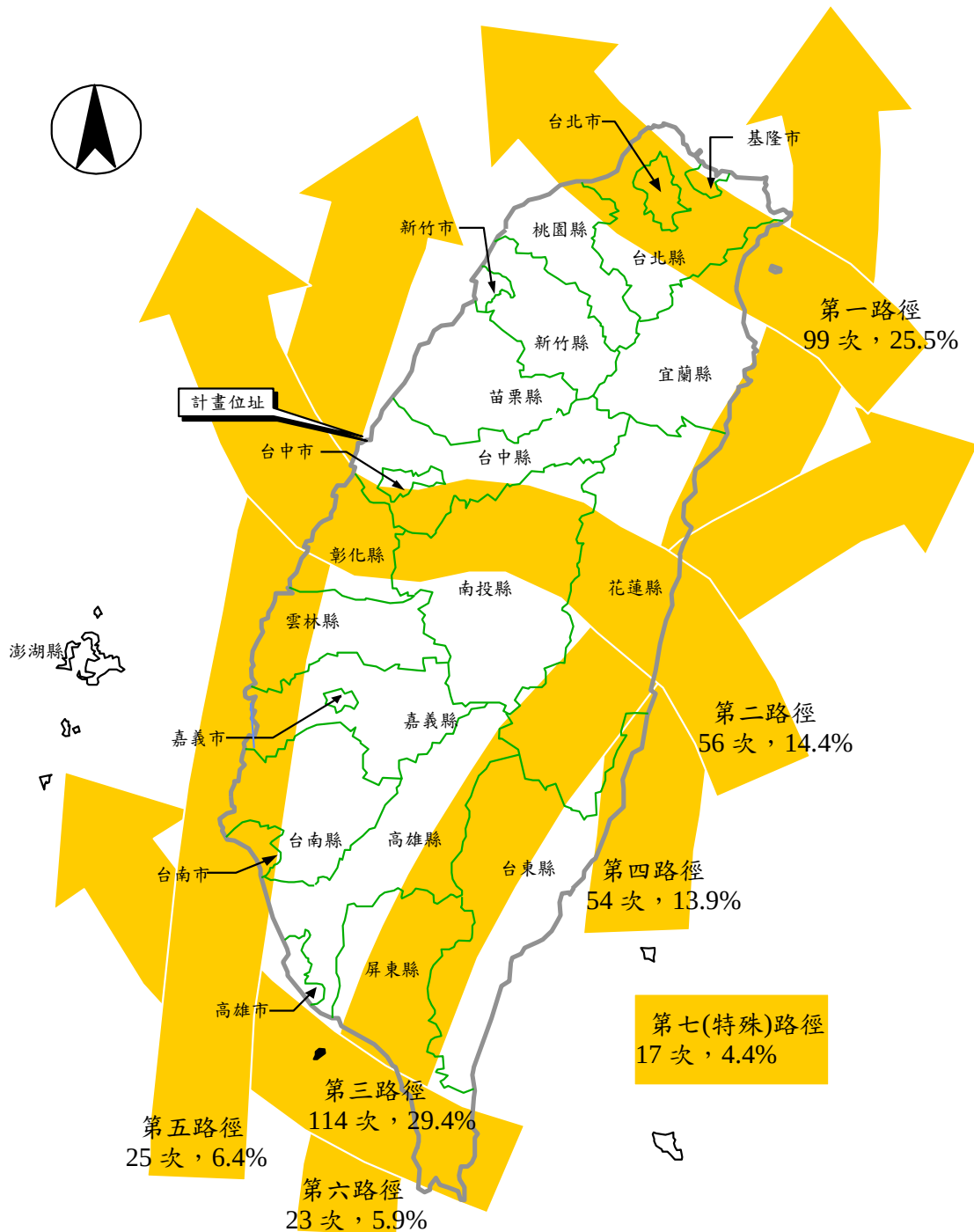


圖 2-6 侵襲台灣之颱風路徑統計圖(1897~2006)

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 2 類與第 5 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 20.8% 直接影響臺中地區海域，即平均每年約有 0.73 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。臺中港自民國 60 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民國 92 年 11 月之「臺中港港口第二期擴建工程設計」報告書，其統計民國 60 年 3 月～民國 85 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 (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

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，其相當民國 60 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民國 60 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」，該測站觀測資料至民國 68 年 9 月停止觀測。民國 83 年臺中港北外廓防波堤第一期擴建 850m 後，本所臺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民國 91 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。目前本所臺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」，觀測期間自民國 92 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	民國 60 年 7 月～68 年 9 月	北外廓防波堤第一期擴建前
1	-15m	民國 83 年 9 月～84 年 12 月	北外廓防波堤第一期擴建後
2	-25m	民國 83 年 9 月～84 年 12 月	北外廓防波堤第一期擴建後
4	-11m	民國 83 年 9 月～84 年 12 月	北外廓防波堤第一期擴建後
TC.1	-	民國 91 年 10 月～92 年 6 月	北外廓防波堤第二期擴建後
TC.2	-	民國 91 年 10 月～92 年 7 月	北外廓防波堤第二期擴建後
TC.A	-25m	民國 92 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 測站自民國 83 年 9 月至民國 84 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 測站觀測期間自民國 91 年 10 月~92 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 測站觀測期間自民國 91 年 10 月~92 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%。

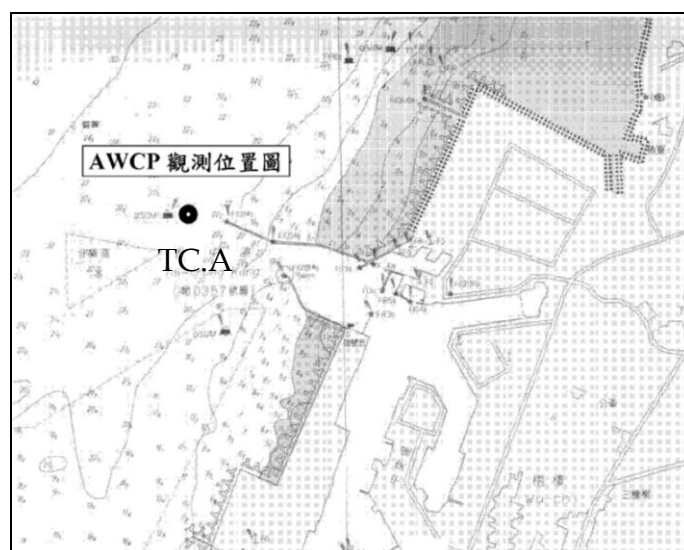
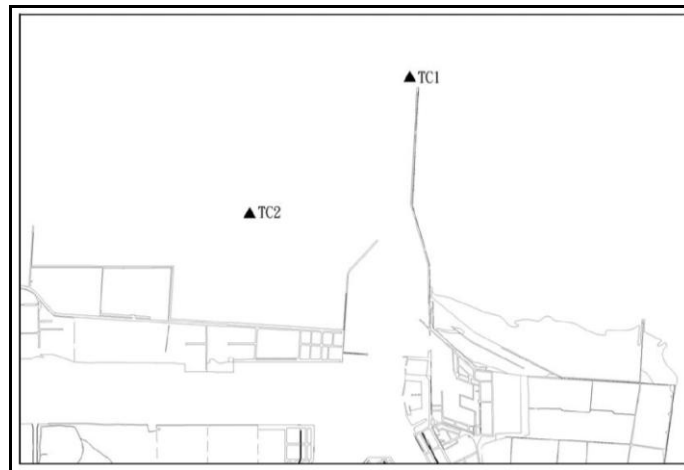
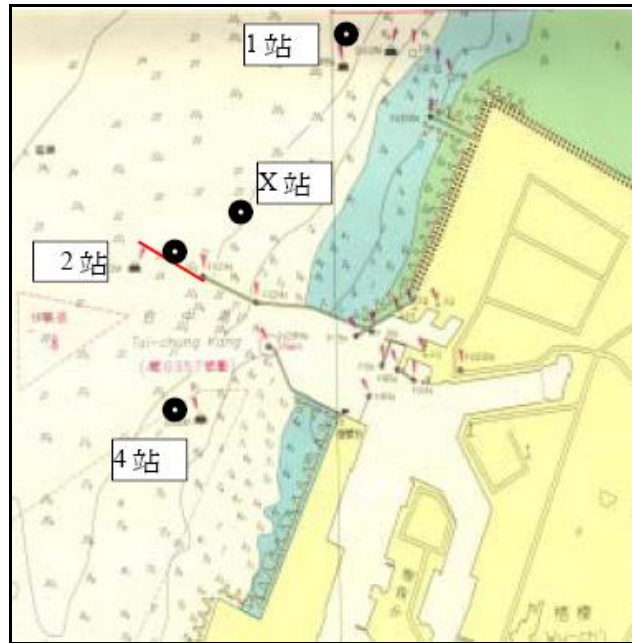


圖 2-7 臺中港波浪觀測站位置圖

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：%
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	0.3	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

	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
$H_s \leq 1m$	16.1	54.6	64.4	23.3	40.2
$1m < H_s \leq 2m$	29.2	25.1	25.4	35.3	29.0
$2m < H_s$	54.7	20.3	10.2	41.3	30.7
$T_s \leq 6sec$	47.9	61.8	61.1	43.1	53.2
$6sec < T_s \leq 8sec$	45.8	36.3	33.9	46.0	40.4
$8sec < T_s \leq 10sec$	6.2	1.9	3.0	9.6	5.4
$10sec < T_s$	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，根據民國 29 年~95 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 93 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。

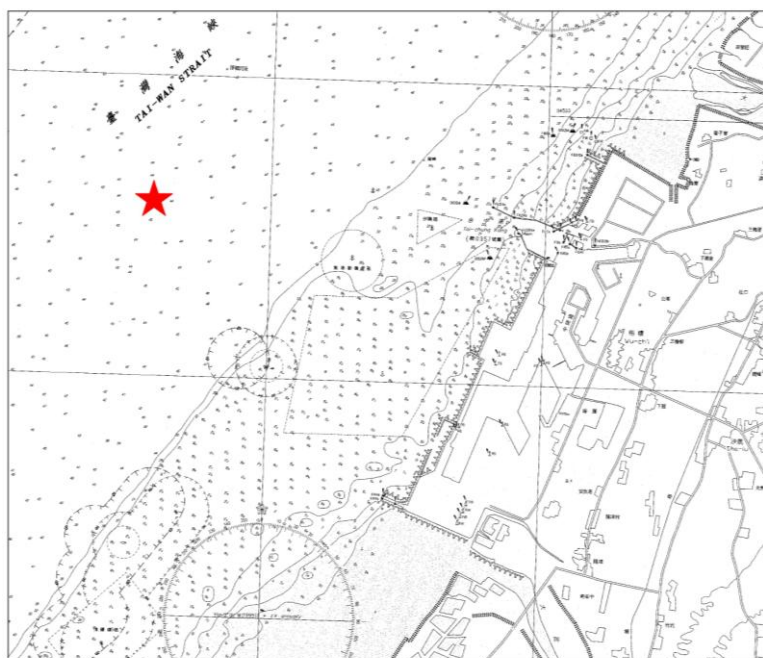


圖 2-8 颱風波浪推算目標點位置示意圖

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民國 70 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	民國 70 年 11 月～71 年 5 月	27	7	北外廓防波堤 第一期擴建前
	C	民國 70 年 11 月～71 年 5 月	29	7	
本所港灣技術研究中心	BU	民國 75 年 1 月～76 年 1 月	20	4	
	E	民國 74 年 12 月～75 年 4 月	4	2	
本所港灣技術研究中心	1	民國 83 年 9 月～86 年 3 月	-	-	北外廓防波堤 第一期擴建後
	2	民國 83 年 10 月～85 年 2 月	-	-	
	4	民國 83 年 9 月～84 年 12 月	-	-	
工業技術研究院 能源與資源研究所	TC.1	民國 91 年 10 月～92 年 5 月	-	-	北外廓防波堤 第二期擴建後
	TC.2	民國 91 年 10 月～92 年 7 月	-	-	

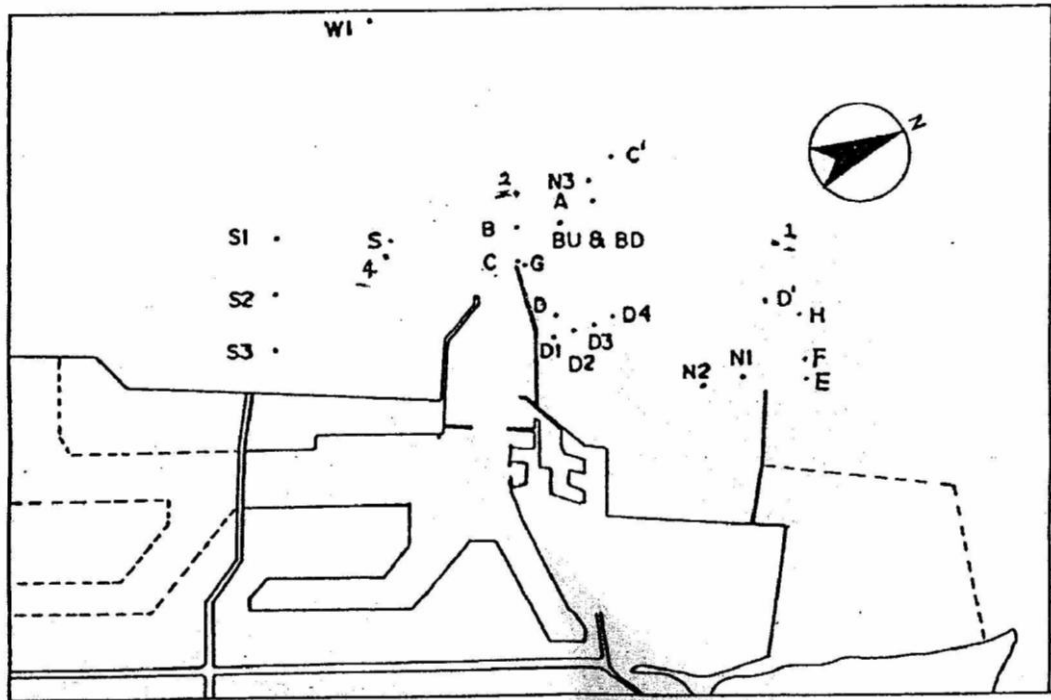


圖 2-9 臺中港北外廓防波堤第一期擴建前海流觀測站位置圖

(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：%

流速分布(cm/sec) \ 測站	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。臺中港務局自民國 65 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，自民國 79 年起，每年進行 1~2 次全面測量；自民國 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	民國 65 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	自民國 79 年起， 每年 1~2 次。民國 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。

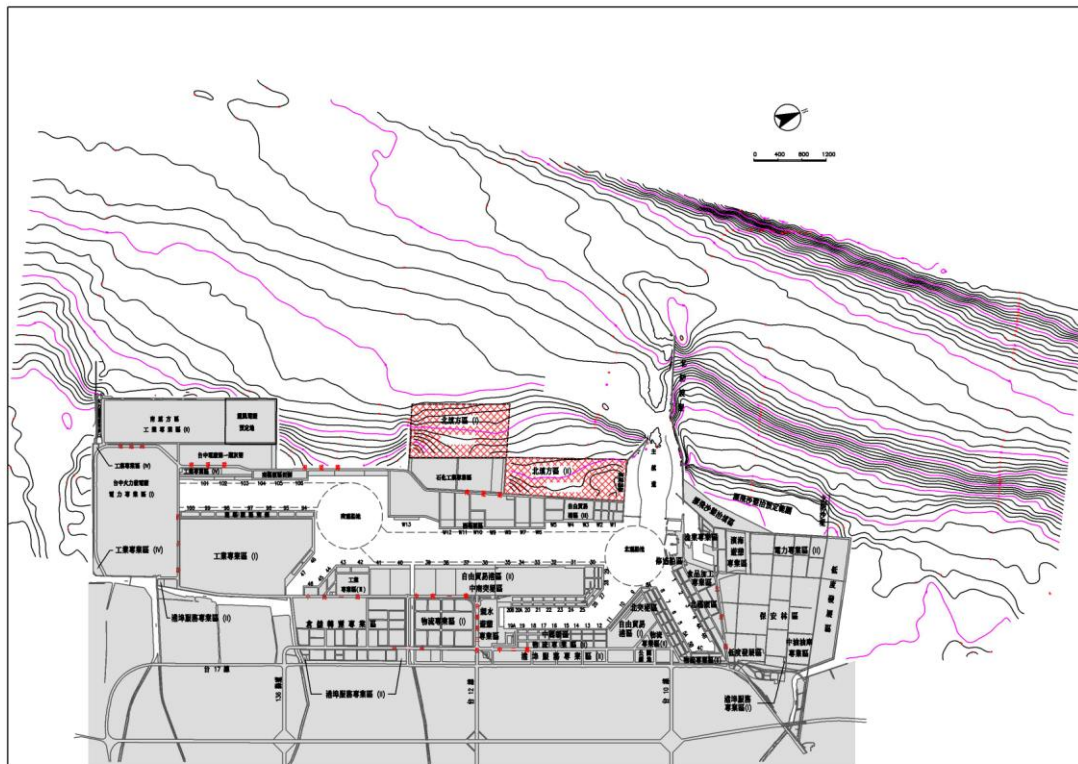


圖 2-10 民國 96 年臺中港地形水深分布圖

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 2006 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 2-11 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 及 2004 年，大肚橋測站的 2006 年及義里測站的 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。

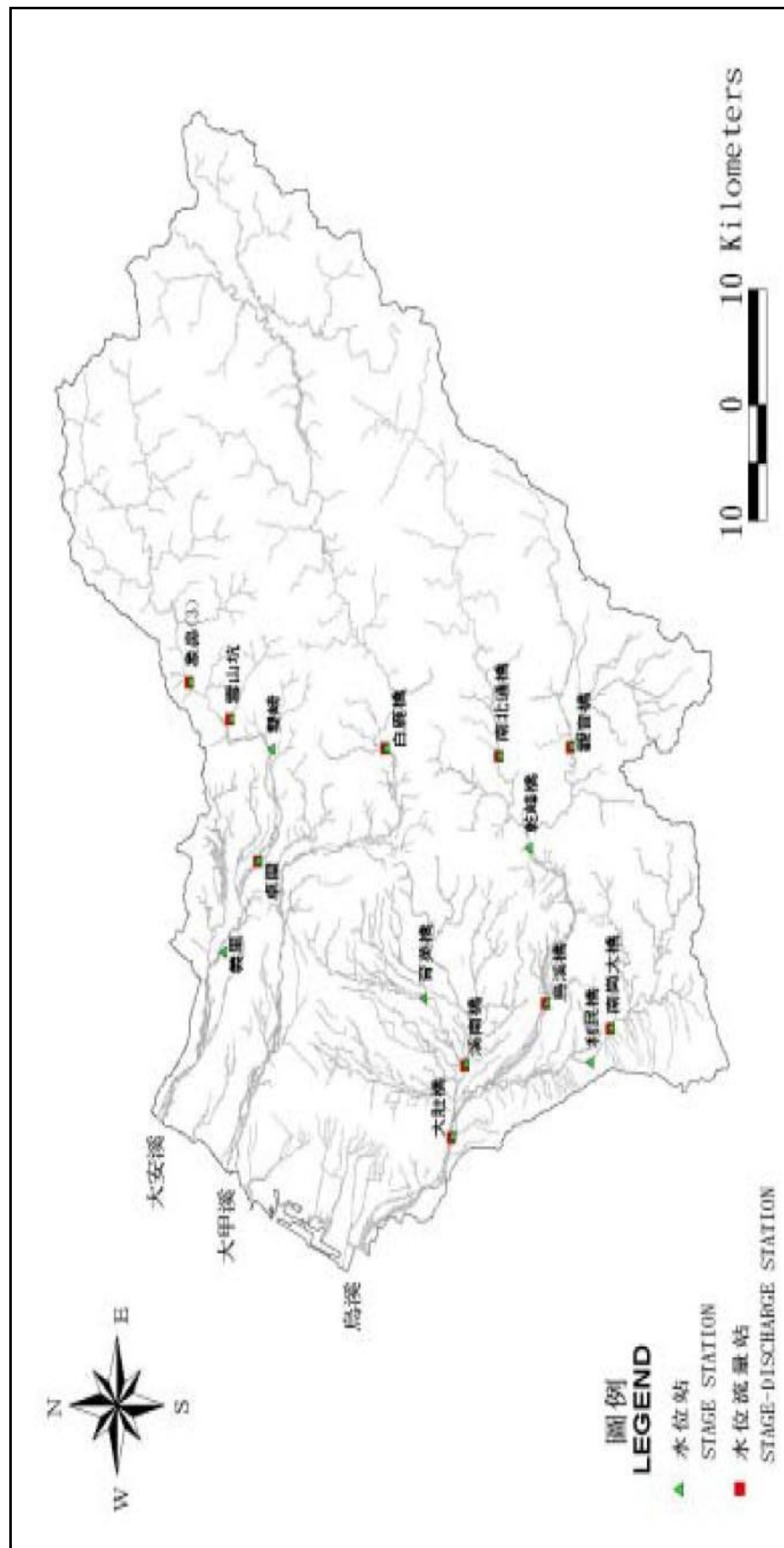


圖 2-11 水位流量站分佈圖

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

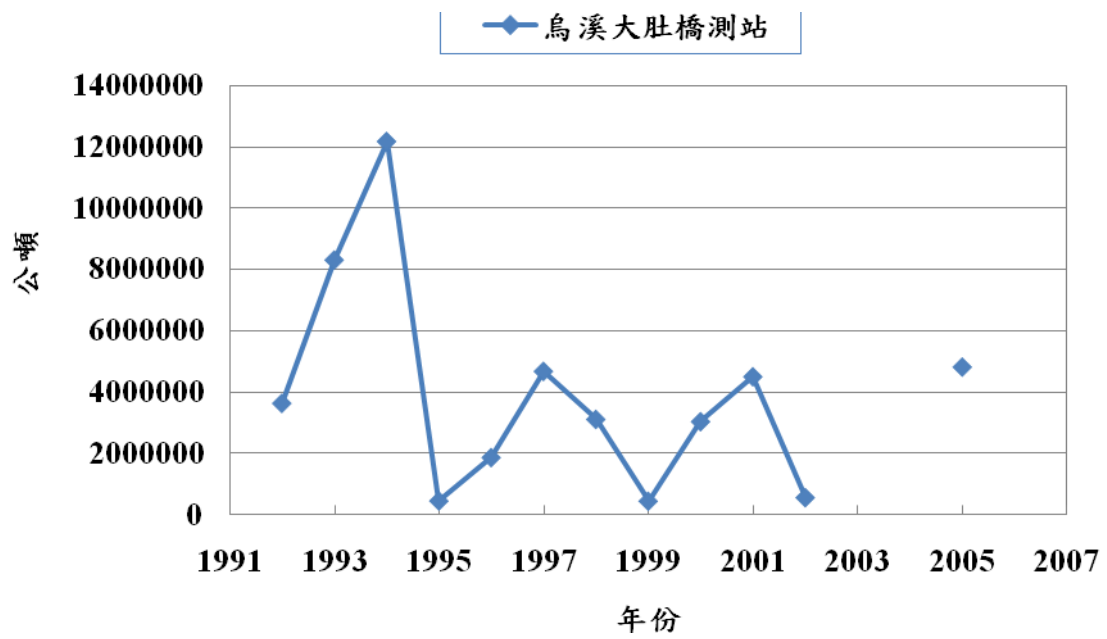


圖 2-12 烏溪 1992 年至 2005 年之年懸移質輸沙量

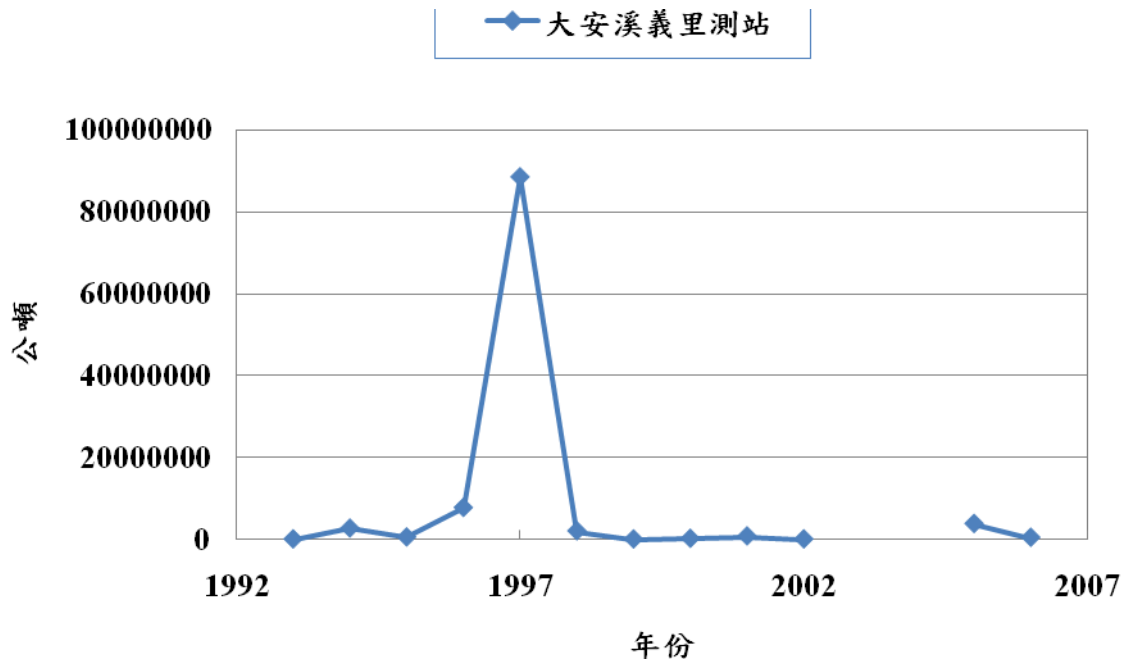


圖 2-13 大安溪 1993 年至 2006 年之年懸移質輸沙量

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%
1992	3,620,320	2,194,134	548,533	2,742,667
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

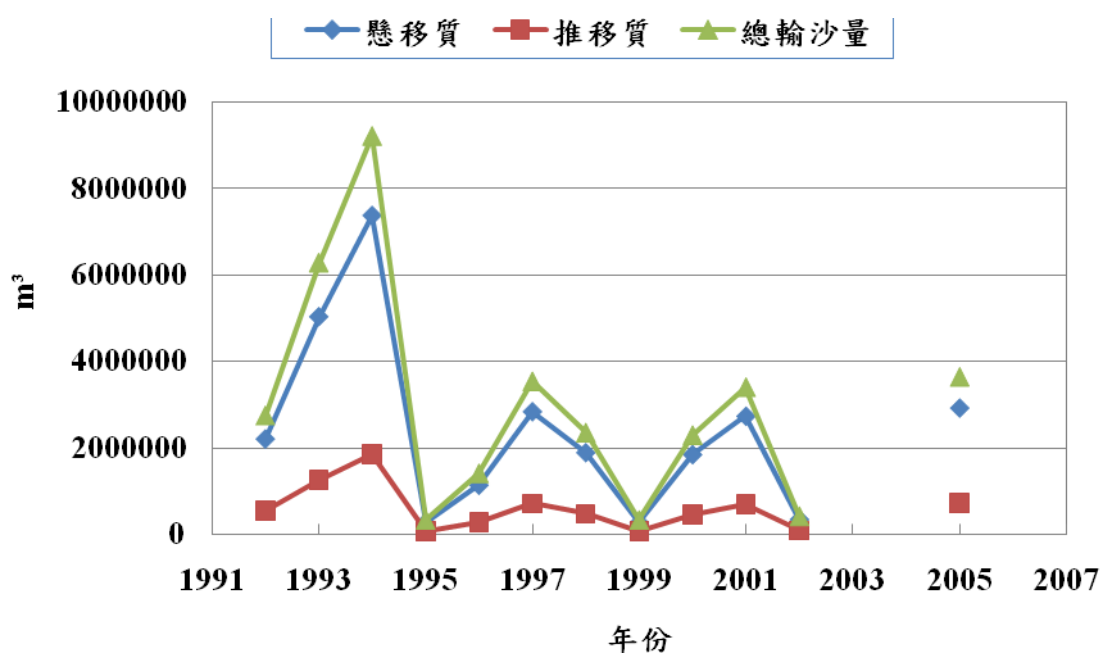


圖 2-14 烏溪 1992 年至 2005 年之年總輸沙量

表 2-19 大安溪 1993 年至 2006 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	470,931	285,413	71,353	356,766
年平均量	8,918,392	5,405,086	1,351,272	6,756,357

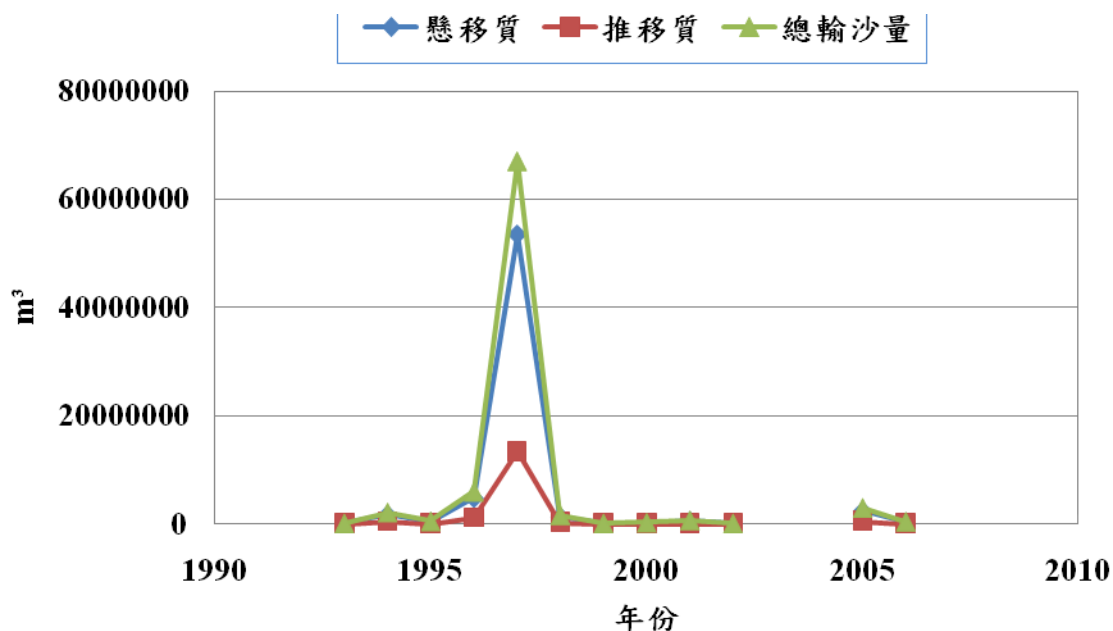


圖 2-15 大安溪 1993 年至 2006 年之年總輸沙量

第三章 地形變化趨勢分析

由於漂沙現象之水理機制複雜，故於進行海岸保護規劃時應對計畫區鄰近歷年之地形變化詳予比較分析後，再進行改善規劃作業。本章擬分析自民國 85 至民國 95 年間臺中港附近地形侵淤變化，以統計分析方式歸納出附近地形的侵淤變化趨勢。

3.1 漂沙特性分析

計畫區附近海域漂沙特性之分析，主要係依附近海底底質特性及波浪觀測資料分析與漂沙相關之各項指標，如向離岸斷面型態分類之判定係數(C_s)、碎波水深(d_b)、漂沙移動限界水深(d_s 、 d_g ：表層與集體移動限界水深)及沿岸流輸砂範圍之限界水深(d_c)等，由上述指標可約略判定計畫區附近海岸漂沙之活動範圍及海岸特性。

3.1.1 漂沙代表波浪特性分析

依據本所港灣技術研究中心出版的「2007 年港灣海氣地象觀測資料年報(波浪部分)」的分析，季風波浪在冬季以 N 向為主，夏季波浪則以 W 向為主。冬、夏兩季波浪之波高、週期資料，冬季之代表性波浪波高，(H_s)為 2.1m，週期(T_s)為 6.6sec，夏季之代表性波浪波高(H_s)為 0.9m、週期(T_s)為 6.3sec。

3.1.2 碎波水深之決定

碎波帶之大小影響漂沙現象極為顯著，而碎波帶之決定一般以碎波水深表示之。波浪於碎波時約有 60%之能量逸出，對海岸地形之變化及沿岸漂沙之影響頗巨，故在漂沙分析上必須加以考慮，而影響碎波之因素至為複雜，如入射波波形尖銳度、底床坡度及波高水深比等，因此發展出不少理論及經驗性公式，於本研究中選取 Le Mèhaut(1967)提出有關碎波波高經驗式，配合 Goda(合田；1970)對不規則波所提之碎波指標公式，可求得所需之碎波水深，其完整之計

算公式列示如下：

$$\frac{H_b}{H_o} = 0.76S^{1/7}(H_o/L_o)^{-1/4} \quad (3-1)$$

$$\frac{H_b}{L_o} = A\{1 - \exp[-1.5\pi(\frac{h_b}{L_o})(1 + 15S^{4/3})]\} \quad (3-2)$$

式中 H_o 、 L_o 為外海入射波波高與波長； H_b 為碎波波高； h_b 為碎波水深； S 為底床坡度； A 為經驗係數，於描述規則波時採 $A=0.17$ 。

經由上述二式將前節所得代表性波浪資料代入，可求得冬季碎波波高(H_b)為 $2.08m$ ，碎波水深(h_b)為 $2.75m$ ；夏季碎波波高則為 $1.07m$ ，碎波水深為 $1.35m$ 。

3.1.3 漂沙移動界限水深之計算

砂粒欲活動有其一定之摩擦力，若波浪或流之推曳力小於此等摩擦力，則砂粒將不致漂移，而此推曳力之大小決定於波浪條件、底質粒徑及海底坡降等因素。有關漂沙活動範圍之探討，於港灣工程規劃之漂沙問題分析中，以表層移動界限水深與集體移動界限水深較顯重要。所謂表層移動界限水深(d_s)即海底表面砂粒能隨波浪進行方向或沿岸流方向移動之水深界限，可視為漂沙能有效移動之水深界限；所謂集體移動界限水深(d_g)即某種深度以上之砂粒全部脫離其原來位置，砂粒移動十分顯著，是為含有明顯水深變化之臨界條件。

有關此兩項漂沙移動界限水深之計算，本研究採佐藤昭二(Sato, S.; 1962)按實地觀測及放射性砂作模型試驗結果所提之公式運用之，其公式列示如下：

$$\frac{H_o}{L_o} = A(\frac{D_m}{L_o})^{1/3}[\sinh(\frac{2\pi d}{L})](\frac{H_o}{H}) \quad (3-3)$$

式中 H_o 為深海波波高(m)； L_o 為深海波波長(m)； D_m 為平均粒徑或用中值粒徑 D_{50} (m)； d 為漂沙之臨界移動水深(m)； A 為定值之經驗係數；視 A 係數之採用值不同而可得 d_s (表層移動界限水深)及 d_g (集體移動界限水深)； H 、 L 為於水深 d 處之波高與波長，當欲求表層移動

界限水深時，採 $A=1.35$ ，當欲求集體移動界限水深時，採 $A=2.40$ 。

經將所得之代表性波浪資料代入，配合微小振幅波與 Snell's law，可求得冬季時表層移動界限水深(d_s)為 $10.45m$ ，集體移動界限水深(d_g)為 $5.47m$ ；夏季時此二值各為 $3.81m$ 、 $1.83m$ 。

3.1.4 沿岸流漂沙之界限水深 (Closure Depth)

海岸地形之變化主要可分為向離岸方向(on-off shore)與沿岸方向(longshore)，其中又以沿岸方向代表海岸長期變化之特性，而沿岸輸砂之大小則以沿岸流影響為主，本節所將計算之界限水深(closure depth)即可視為沿岸流輸砂之影響界限，故視為沿岸輸砂之一重要指標。有關此值之計算採 Hallermeier (1983)提出之公式如下：

$$d_c = [2.9H_0 / \sqrt{(\rho_s / \rho) - 1}] - 110H_0^2 / [(\rho_s / \rho) - 1]gT^2 \quad (3-4)$$

式中 ρ_s 為底床砂粒之密度； ρ 為海水之密度； H_0 為外海入射波波高； T 為入射波週期； g 為重力加速度。

3.1.5 海岸縱斷剖面變化之判定

依砂村、堀川(Sunamura and Horikawa；1974)調查日本沿岸灘線(shoreline)至水深-20m 間海灘地形變化，並記錄各不同海岸海灘剖面之侵蝕、淤積之結果而歸納分類海灘之型式有下列三類：

- 第一類：侵蝕型 (Bar 型)
- 第二類：變遷型
- 第三類：堆積型 (Step 型)

其分類型如圖 3-1 所示，而其判別式為：

$$H_0 / L_0 = C_s (\tan \theta)^{-0.27} (D_{50} / L_0)^{0.67} \quad (3-5)$$

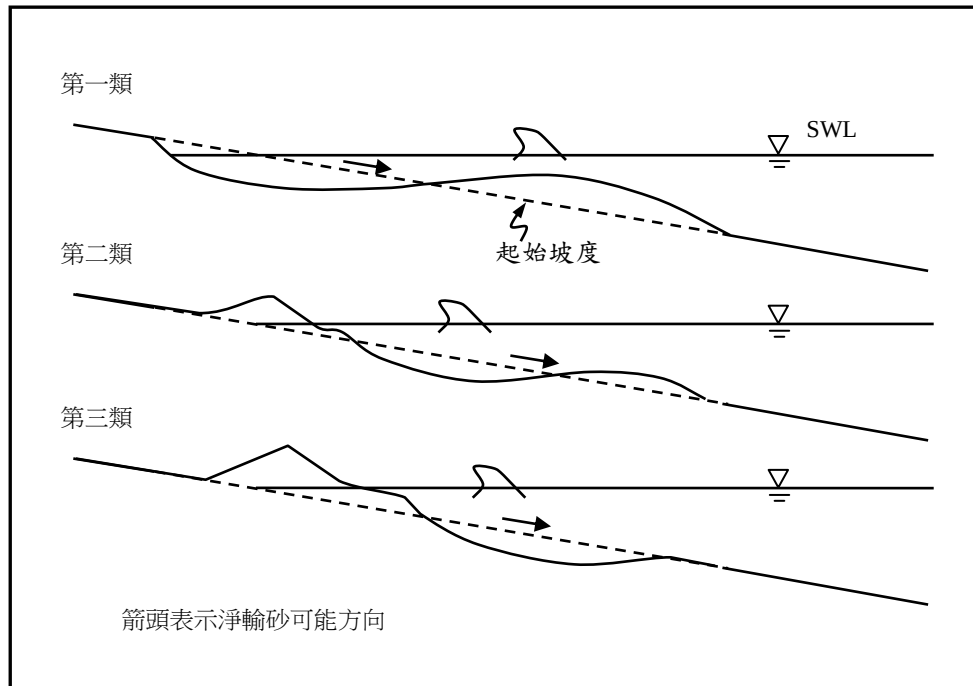


圖 3-1 砂村、堀川之海灘分類 (1974)

於實地測量結果判別如下：

$C_s < 9$: 為堆積型(第三類)

$18 > C_s > 9$: 為變遷型(第二類)

$C_s > 18$: 為侵蝕型(第一類)

式中 H_0 為外海入射波波高(m)； L_0 為外海入射波波長(m)； D_{50} 為底床砂粒中值粒徑(m)； $\tan\theta$ 為底床坡度； C_s 為判定係數。

茲將前述冬季代表波浪資料代入，求得 $C_s = 46.57$ 大於 18.0，故於冬季期間該區域之海灘縱剖面屬於侵蝕型剖面；另依夏季代表波浪資料代入，求得 $C_s = 20.41$ 亦大於 18.0，故於夏季期間該區域之海灘縱剖面亦屬於侵蝕型剖面。

3.1.6 漂沙特性指標綜合整理

依據上述各項指標分析結果，約略判定計畫區海岸漂沙之活動範圍及海岸特性，詳如表 3-1 所示。其中海底坡度部份，考量在季風波浪作用下，漂沙主要移動範圍約在 -10m 水深內，其現場地形坡度在

-10m 等深線內約在 1/80，故在條件選擇時取用影響近岸地形較大之海床坡度約 1/80 作為計算時之條件；另漂沙粒徑則參考臺中港務局於民國 92 年完成之「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治暨生態保育研究」調查成果，漂沙採樣調查中值粒徑介於 0.18mm~0.28mm 之間，平均值約為 0.22mm。將前述所得代表性波浪資料代入式 (3-4)，可得冬季時之界限水深 d_c 值為 4.05m；夏季時則為 1.94m。

表 3-1 計畫區海岸漂沙特性一覽表

項 目	入 射 波 向	代表波浪		碎 波 高	碎 波 水 深	漂沙移動 限界水深		沿岸流漂沙 限界水深	海 灘 縱 斷 面 特 性
		波	週						
		高	期						
		(m)	(sec)			(m)		(m)	
		H_s	T	H_b	h_b	d_s	d_g	d_c	C_s
冬季	N	2.1	6.6	2.08	2.75	10.45	5.47	4.05	侵蝕型 (46.57)
夏季	W	0.9	6.3	1.07	1.35	3.81	1.83	1.94	侵蝕型 (20.41)

3.2 平面侵淤特性分析

計畫區鄰近海岸地形水深自民國 65 年起，由臺中港務局及工業局等單位陸續於計畫區進行海岸地形水深調查工作，經本研究蒐集到之水深資料包含 10 次測量成果，如表 3-2 所示。

海岸設置任何結構物將影響到鄰近海岸之地形變化，其影響程度則依結構物規模、設置位置及完成時間等因素有關。在結構物完成後最初數年內影響最大；但隨時間之增長，海岸地形亦趨於新的平衡狀態，影響程度也隨之減少。計畫區海岸受臺中港之影響最大，臺中港

於民國 65 年完成主體工程，爾後陸續辦理擴建工程，相關工程內容茲彙整如表 3-3 所示，施工位置則如圖 3-2 所示。

表 3-2 計畫區歷年觀測水深概況表

單 位	調查時間	備 註
臺中港務局	85 年、86 年、 87 年、89 年、 90 年、91 年、 92 年、93 年、 94 年、95 年	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。

表 3-3 臺中港北防波堤工程一覽表

開工日期	完工日期	工程內容
民國 79 年	民國 84 年	延長北防波堤 850 公尺
民國 89 年	民國 91 年	延長北防波堤 480 公尺

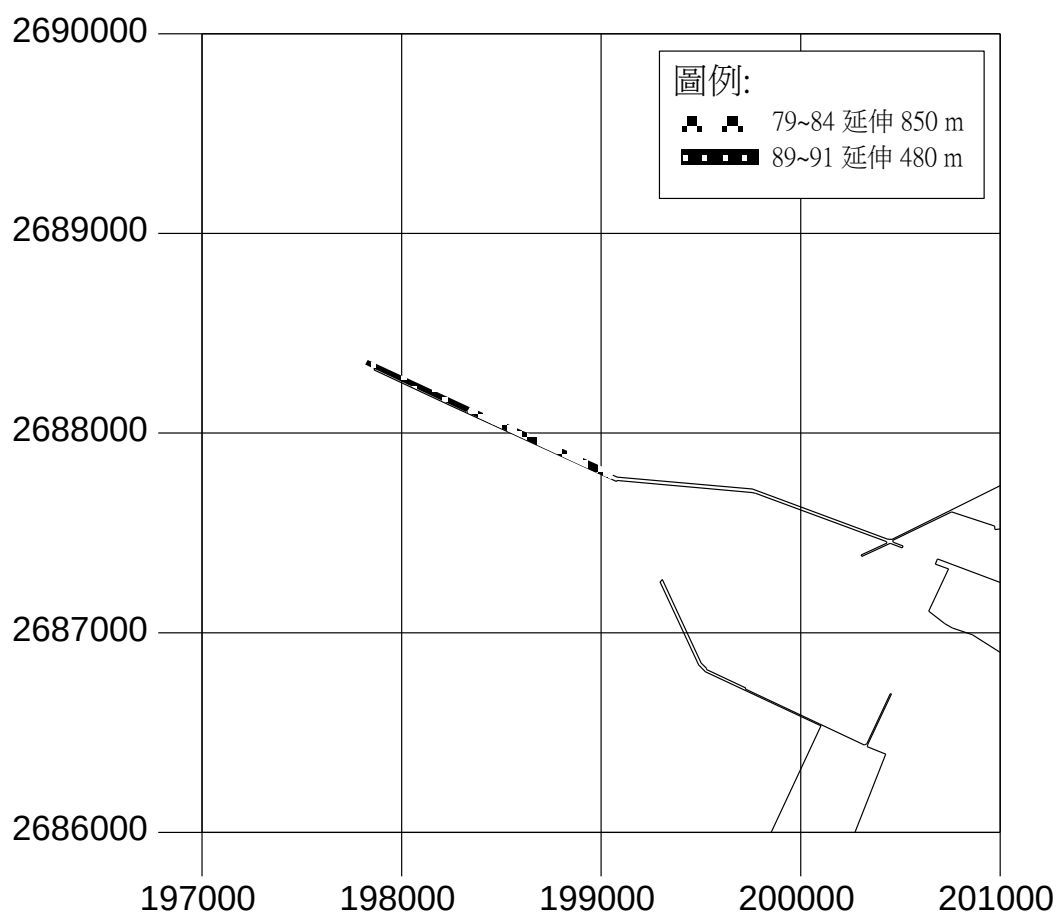


圖 3-2 臺中港後續工程位置圖

本節採用已蒐集之地形水深圖 (民國 85 年~95 年間)，進行相關之海岸地形變遷趨勢分析。為便於了解海岸之特性，將計畫區沿岸方向海岸分為 A~G 等 7 個區域，由表 3-1 可知，冬季時表層移動界限水深(d_s)為 10.45m，夏季時為 3.81m，因此，本研究在考量漂沙移動界限水深下，將向離岸方向分為 4 區，分別為 0m 以上標示為第 0 區、0m 至-5m 之間標示為第 1 區、-5m 至-10m 間標示為第 2 區、-10m 以上標示為第 3 區，來詳細探討各分區的侵淤狀況，各分區代號詳圖 3-3 所示。由圖中可知，A、B 區為防沙堤以北區域；C 區為臺中港北防波堤至防沙堤之間的區域；D、E、F、G 區為臺中港北防波堤南側區域。

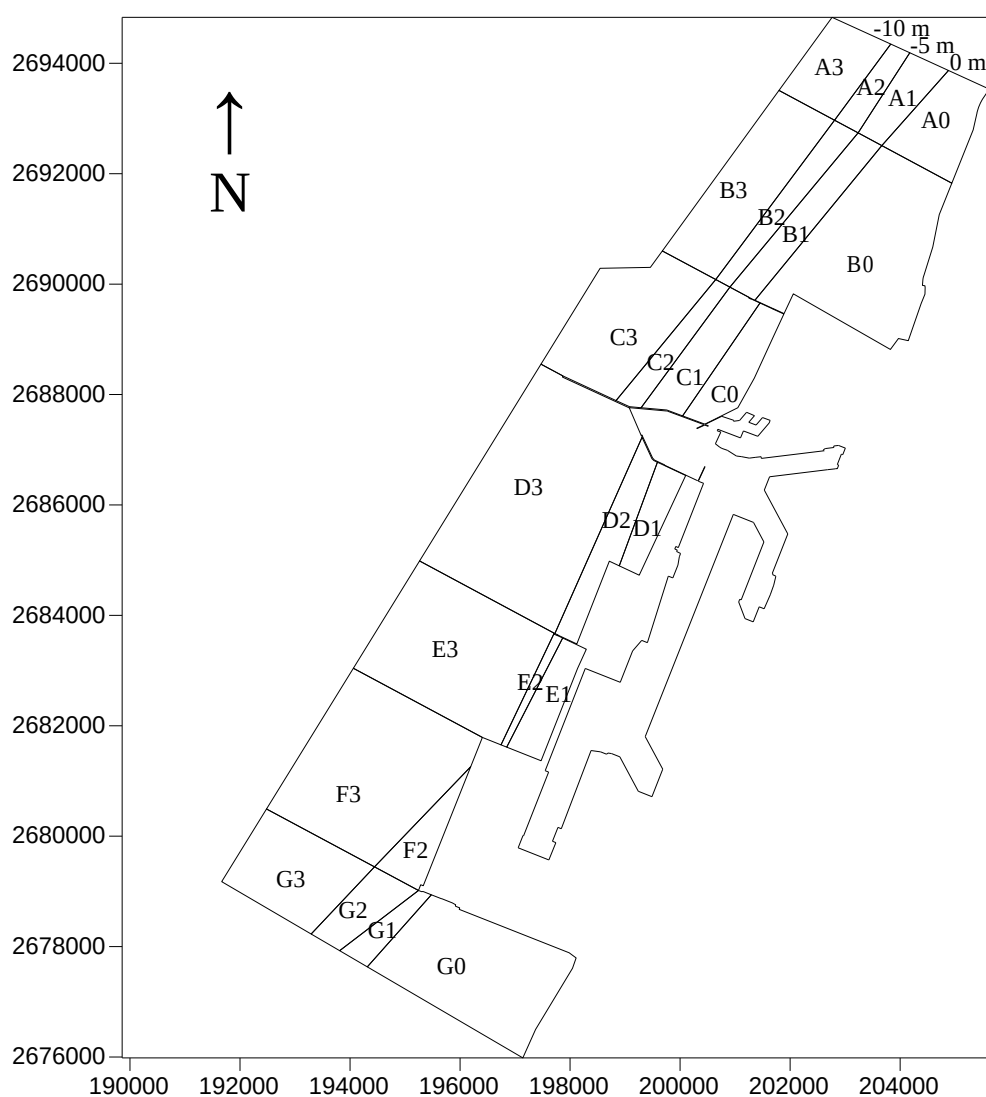


圖 3-3 臺中港地形水深變遷計算分區圖

3.2.1 侵淤特性分析

為了解各區域內侵淤分佈之情形，以民國 85 年之地形水深圖為基準年，繪製各次測量之地形水深資料相對於 85 年測量之地形水深資料侵淤變化圖如圖 3-4 至圖 3-12 所示。由圖 3-4 至圖 3-5 可知，臺中港北防波堤至北防沙堤間有部分淤積，而在北防波堤堤頭附近亦有產生淤積，並擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕的現象。由圖 3-6 至圖 3-8 可知，民國 89 年至 91 年間，臺中港北防波堤正在進行延長工程，造成北防波堤至北防沙堤間持續淤積，淤積深度最大可達 4m 以上，臺中港北側及南側遠岸的區域亦快速淤積，尤其以北側遠岸的區域淤積速度最快，淤積深度最大亦達 4m 以上，而在北防波堤堤頭附近及港口附近產生大量侵蝕，侵蝕深度最大可達 -5m 以上。由圖 3-9 至圖 3-12 可知，臺中港整體擴建已完成，北防波堤至北防沙堤間不論是近岸還是遠岸，皆全面淤積，而擴及至港口南側的淤積面積亦有擴大並往南持續延伸，淤積深度則是逐年加深，港口南側近岸區則維持些微侵蝕的狀況，北防波堤堤頭附近及港口附近的侵蝕範圍則大致上維持穩定，並未持續刷深。

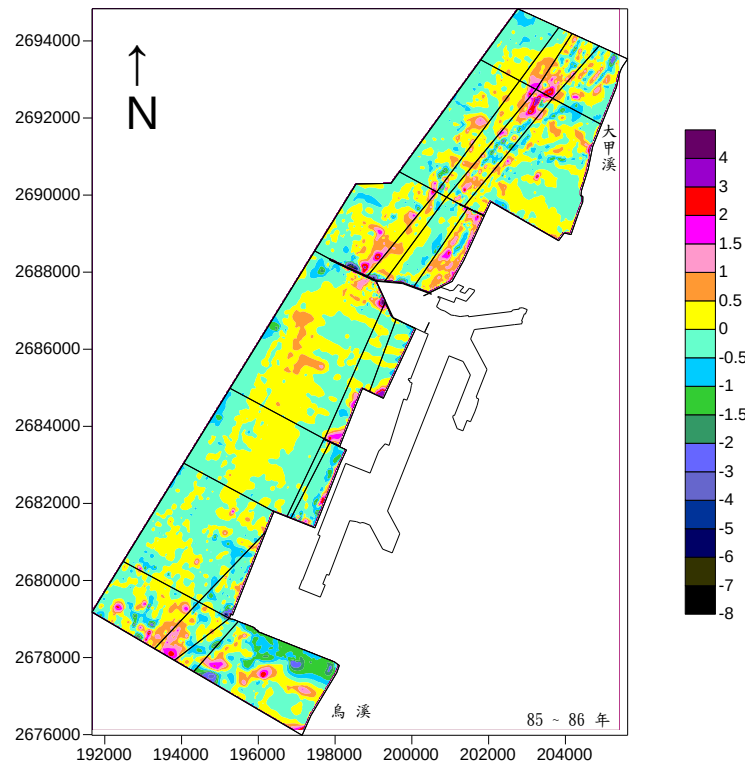


圖 3-4 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85 年~民國 86)

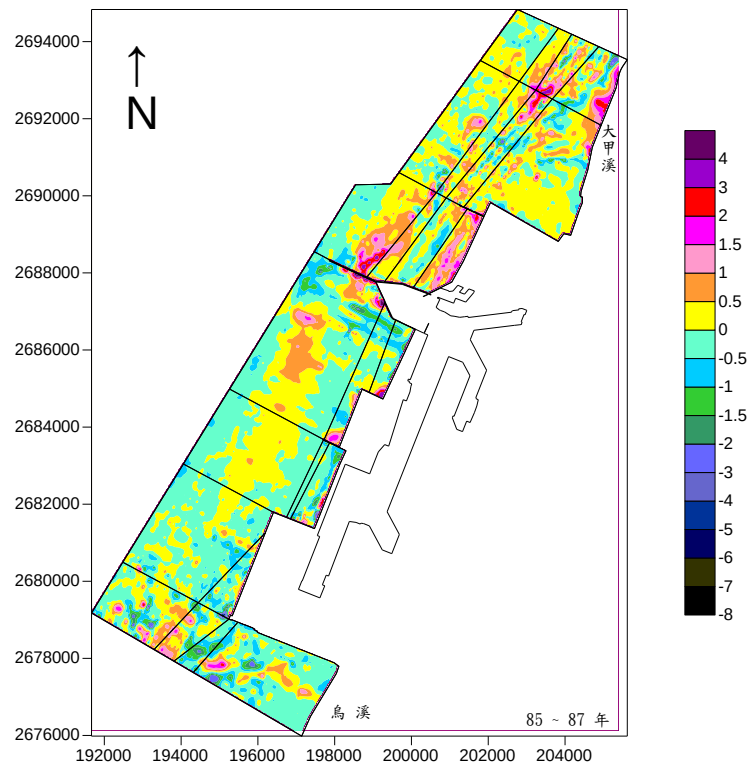


圖 3-5 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85~民國 87)

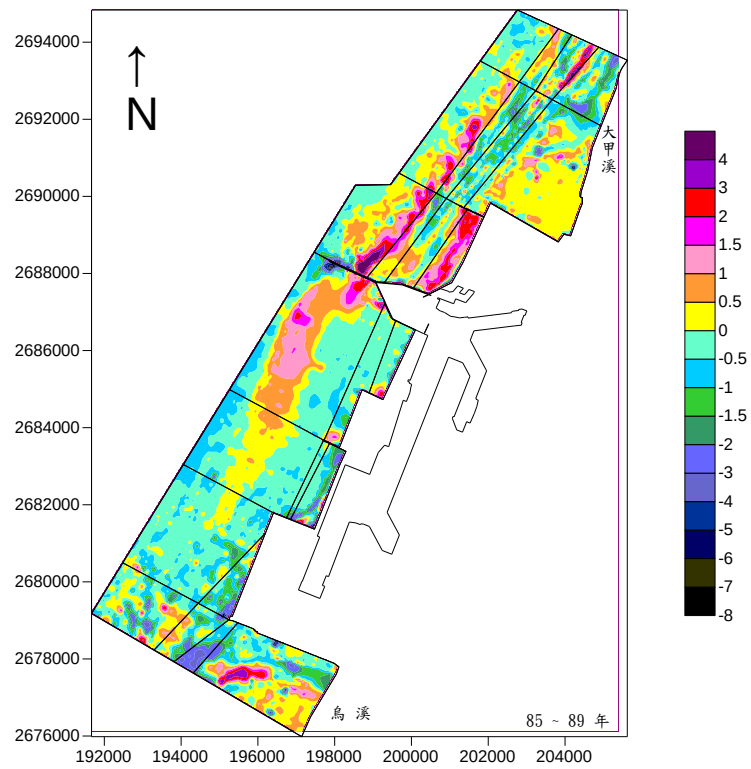


圖 3-6 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～民國 89)

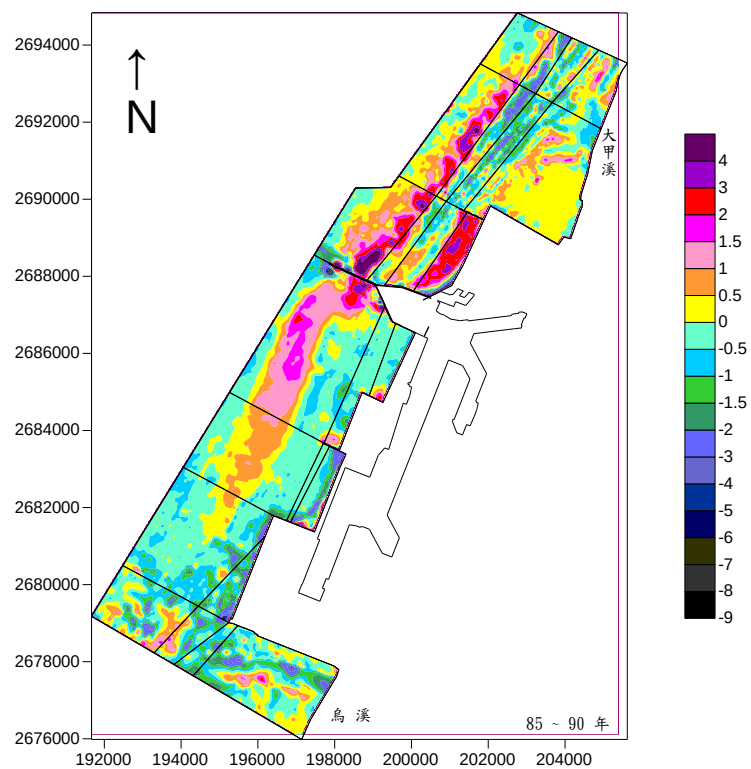


圖 3-7 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～民國 90)

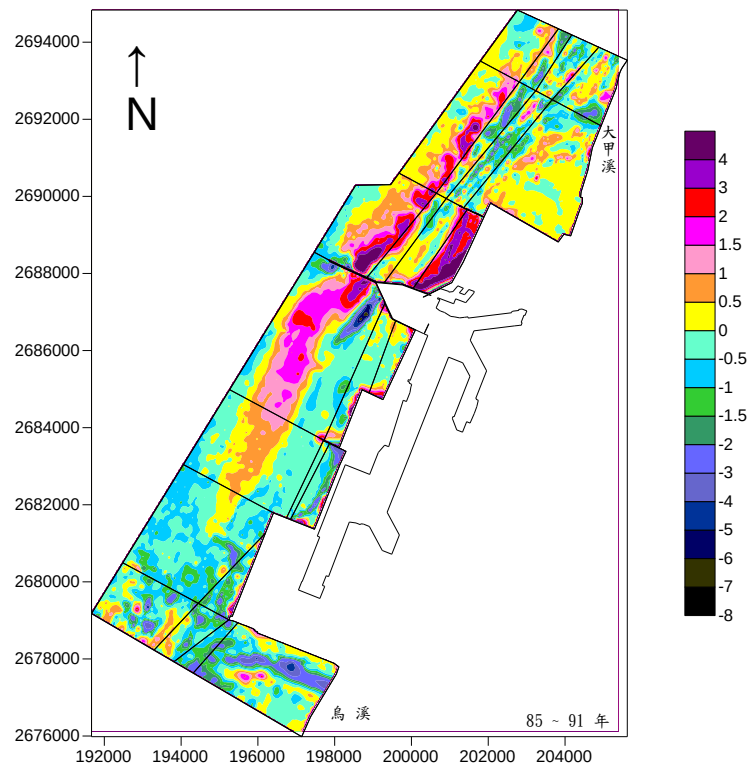


圖 3-8 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～民國 91)

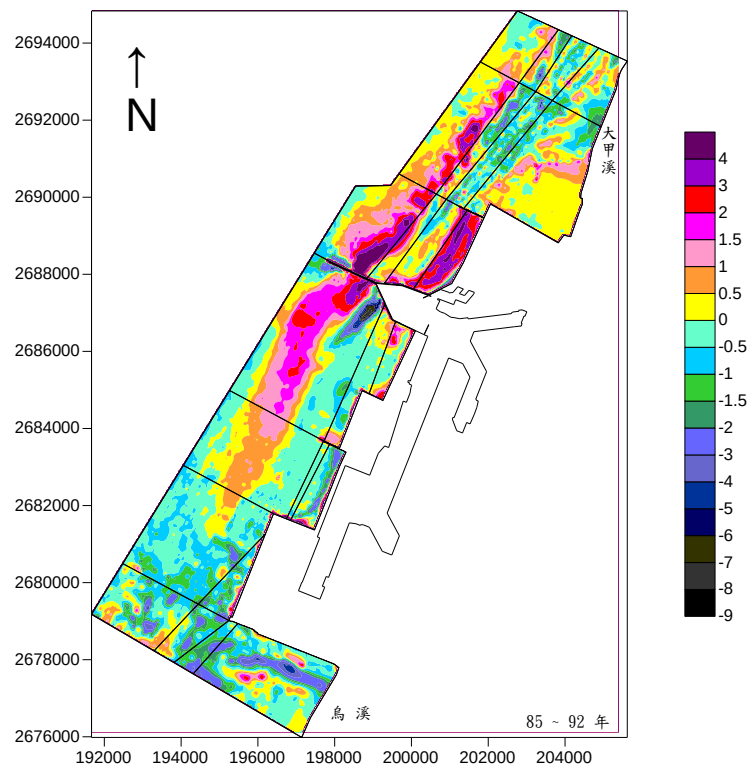


圖 3-9 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～民國 92)

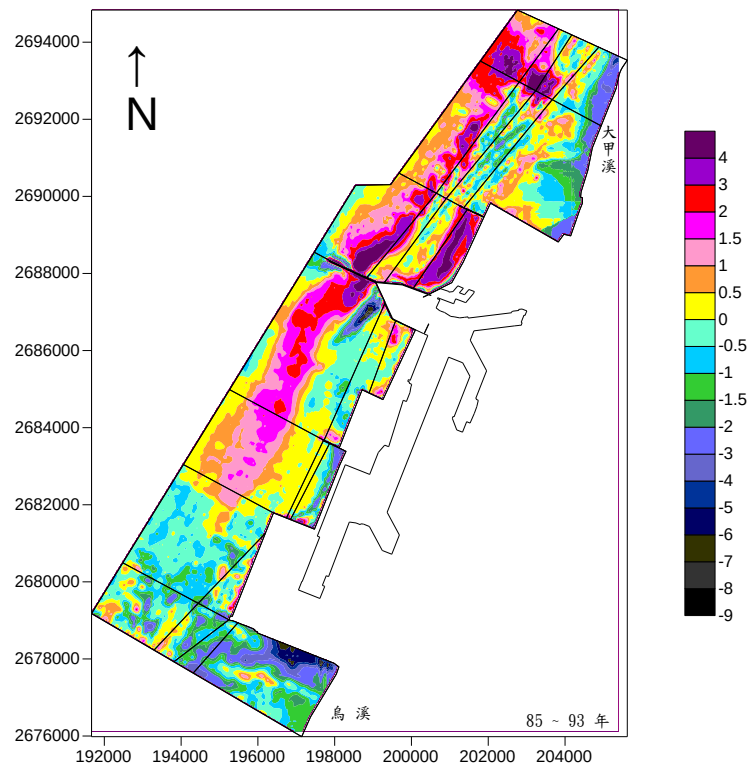


圖 3-10 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～民國 93)

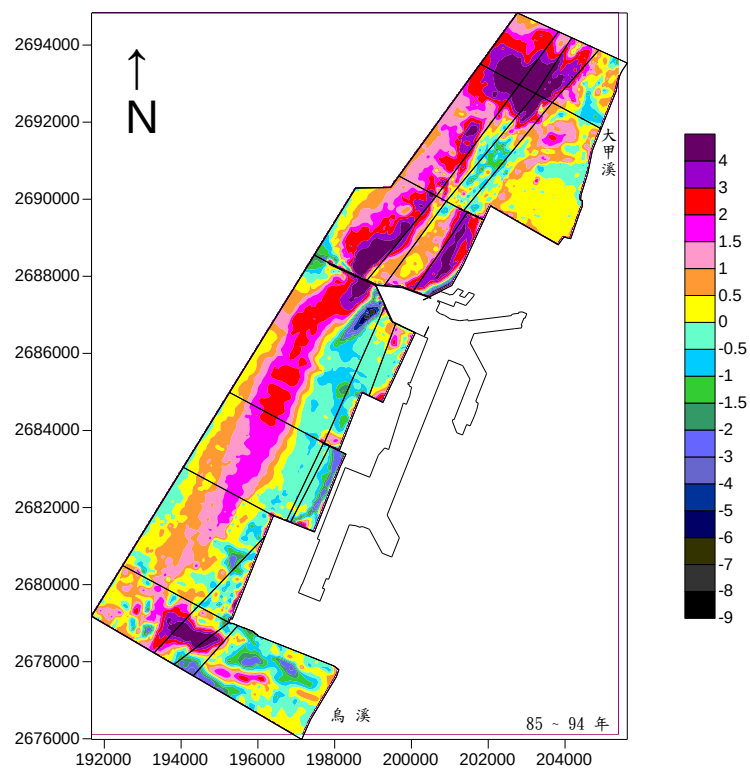


圖 3-11 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～民國 94)

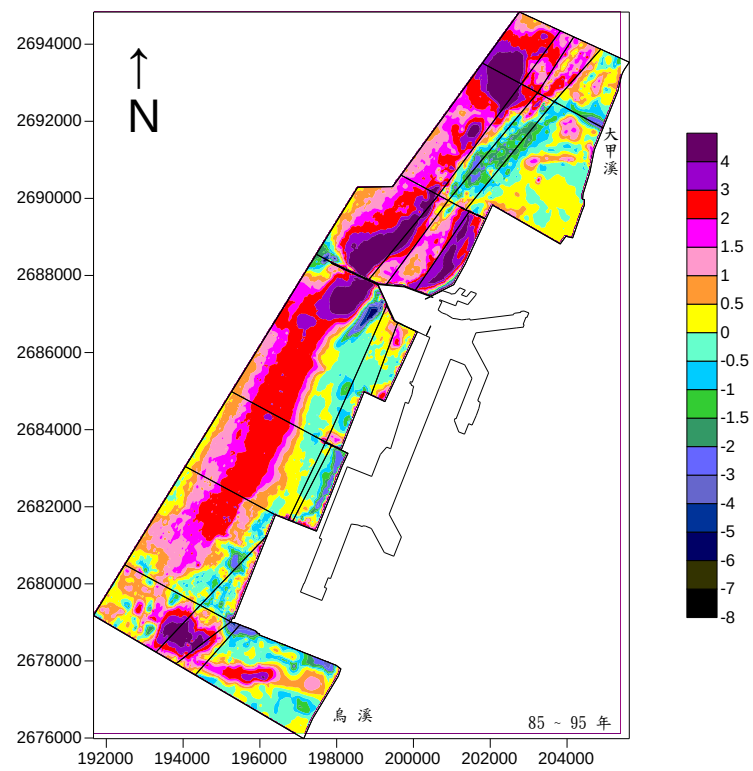


圖 3-12 臺中港附近地形侵淤變化圖(民國 85～民國 95)

3.2.2 累積侵淤量分析

表 3-4 係以民國 85 年之地形水深圖為基準年，計算各區相對於 85 年之累積侵淤量。表中彙整各分區之淨侵淤量，淨侵淤量若為正值表示該分區為淤積；負值表示該分區為侵蝕，並以粗體字表示之。

由表 3-4 的淨侵淤量可知，在防沙堤北側的 A、B 區中，遠岸的 A3 及 B3 區大致呈現淤積的現象，A3 區至 93 年達到最大累積淤積量約為 413 萬 m^3 ，B3 區則至 95 年達到最大累積淤積量約為 1040 萬 m^3 。合計防沙堤以北的區域，自民國 85 年至 95 年皆呈現淤積的現象，並在民國 94 年達到最大累積淤積量約為 2631 萬 m^3 ，而民國 89 年～91 年由於正在進行防波堤延伸工程，因此淤積量較少，在民國 90 年達到最小累積淤積量約為 98 萬 m^3 。

由表 3-4 的淨侵淤量可知，C 區為臺中港北防波堤至防沙堤間的北淤沙區，其中除了近岸的 C1 區在 85 年～89 年呈現略微侵蝕之情形，其累積侵蝕量於 86 年最大，約 23 萬 m^3 ，其餘區域所有年度皆呈現淤積之特性，合計北淤沙區自民國 85 年至 95 年間，累積淤積量持續成長，並於民國 95 年達到最大累積淤積量約為 2199 萬 m^3 。

D、E、F、G 區為臺中港北防波堤以南區域，由表 3-4 的淨侵淤量可知，D3 區各年度皆呈現淤積情形，最大累積淤積量發生在 95 年，約 1509 萬 m^3 ；E1 區和 F2 區皆呈現侵蝕情形，E1 區在 89 年有最大累積侵蝕量，約 111 萬 m^3 ，F2 區在 90 年有最大累積侵蝕量，約 148.28 萬 m^3 ，合計北防波堤以南的區域，自民國 85 年至 93 年間皆為侵蝕情形，最大累積侵蝕量發生在 91 年，約 835 萬 m^3 ，至 94 年後由侵蝕轉為淤積，於 95 年產生最大累積淤積量為 3743 萬 m^3 。

由表 3-4 中全區的淨侵淤量可知，除了民國 89 年防波堤延長工程進行中有最大累積侵蝕量外，其餘年度皆呈現淤積現象，並於民國 95 年達到最大累積淤積量，約 7650 萬 m^3 。綜言之，臺中港北防波堤以北之區域，因北防波堤及防沙堤攔阻季節性之沿岸漂沙呈現淤積現象，而北防波堤以南之區域，目前因漂沙越過臺中港，亦於 94 年後由侵蝕轉為淤積。

表 3-4 臺中港附近地形累積侵淤量 (單位：×10⁴m³)

分區	85~86	85~87	85~89	85~90	85~91	85~92	85~93	85~94	85~95
A0	-1.60	53.76	-105.70	-7.48	-30.58	-40.90	-215.89	545.90	599.66
A1	39.20	59.28	29.69	-37.01	-31.55	-32.05	113.59	225.83	-10.14
A2	23.23	25.79	6.29	-42.86	-24.36	-15.11	144.50	132.95	-109.17
A3	-32.04	3.31	-34.54	8.67	11.45	267.61	413.61	270.64	153.10
B0	12.10	64.05	17.09	62.29	29.11	62.24	-258.61	225.83	-10.14
B1	61.62	46.88	-110.23	-161.00	-97.15	-123.99	-11.21	132.95	-109.17
B2	26.50	22.51	-34.13	-48.45	-34.21	-6.20	76.06	270.64	153.10
B3	-22.56	33.46	124.17	324.02	306.05	363.47	587.32	827.24	1040.10
防沙堤以北	106.45	309.04	107.35	98.19	128.76	475.07	849.35	2631.98	1707.34
C0	75.19	115.94	192.09	261.85	492.53	397.54	424.28	375.39	446.51
C1	-23.86	-1.87	-2.06	13.99	37.24	66.01	101.21	159.52	248.43
C2	23.32	45.80	49.83	32.75	59.69	98.10	109.64	161.60	264.46
C3	27.69	108.82	217.93	429.75	433.46	624.69	684.93	883.20	1240.49
北淤沙區	102.34	268.69	457.80	738.34	1022.92	1186.35	1320.05	1579.71	2199.88
D1	3.55	-15.27	-16.54	-22.67	21.36	48.98	46.21	32.60	40.50
D2	17.34	-12.96	-39.66	-48.86	3.21	5.20	-7.59	-34.38	-6.06
D3	55.08	24.78	202.49	449.88	396.17	502.17	719.70	795.76	1509.76
E1	-29.37	-38.12	-111.28	-100.36	-93.22	-59.96	-93.15	-103.12	-76.97
E2	-5.77	-6.98	-14.04	-12.59	-7.99	-2.17	5.89	-8.37	1.98
E3	-32.68	-18.10	-119.33	43.77	42.25	121.35	493.97	474.52	881.16
F2	-32.27	-36.81	-115.22	-148.28	-77.36	-73.39	-19.37	-0.79	-18.89
F3	-69.57	-103.13	-261.07	-305.14	-395.88	-355.52	-244.66	326.43	666.24
G0	-162.76	-99.22	-38.08	-244.33	-427.50	-424.22	-1046.63	-146.16	51.91
G1	-13.40	-43.99	-126.18	-57.10	-81.85	-95.98	-108.75	42.53	71.37
G2	42.84	10.29	-55.88	-64.34	-80.93	-104.24	-102.92	257.62	314.29
G3	17.53	-19.75	-103.92	-99.11	-133.94	-180.25	-159.71	300.14	307.72
北防波堤以南	-209.47	-359.25	-798.72	-609.11	-835.68	-618.02	-517.02	1936.77	3743.00
全區	-0.67	218.48	-448.27	227.42	315.99	1043.39	1652.38	6148.45	7650.22

3.2.3 長期侵淤趨勢分析

圖 3-13~19 分別為各區累積侵淤趨勢圖，圖中各資料點為以民國 85 年之地形水深圖為基準年，計算各區相對於 85 年之累積侵淤量，各點的數值即為表 3-4 中的淨侵淤量，實心圓點、空心圓點、空心三角形及 x 分別為第 0、1、2 及 3 區的累積侵淤量。圖中線條為累積侵淤量之 2 次迴歸曲線($Y=a_0+a_1X+a_2X^2$)，細實線、細虛線、粗長實線和短實線的組合及粗實線分別為第 0、1、2 及 3 區的累積侵淤量之二次迴歸曲線，透過長期的趨勢可瞭解各區往後的侵淤特性，各切線斜率若為正值，表示將呈現淤積現象，反之，斜率為負值則為侵蝕。

在防沙堤北側 A、B 區部分，由圖 3-13~14 可知，A0 區初期趨勢為遞減，於民國 91 年後則快速遞增，A1 和 A3 區的趨勢呈現緩慢遞增，A2 區最終切線斜率約為 0，表示該區長期趨勢已達穩定；B0 區最終切線斜率約為 0，表示該區長期趨勢已達穩定，B1 和 B2 區之變動趨勢由初期之些微侵蝕，目前已轉為些微淤積，B3 區趨勢為快速遞增，切線斜率為正值，表示該區長期將呈現淤積現象。

在臺中港北防波堤至防沙堤間的 C 區部分，由圖 3-15 可知，C0 區由最初的遞增至最終切線斜率為零，侵淤累積量為正值，表示該區長期趨勢已達穩定，C1 和 C2 區趨勢呈現緩慢遞增，而 C3 區趨勢則呈現快速遞增，表示 C1、C2 及 C3 區長期將呈現淤積的現象。

在臺中港北防波堤南側 D、E、F、G 區部分，由圖 3-16~19 可知，D1 和 D2 區最終切線斜率約為 0，表示該區長期趨勢已達穩定，遠岸的 D3 區趨勢為快速遞增，切線斜率為正值，表示該區長期將呈現淤積現象；E1 和 E2 區最終切線斜率約為 0，表示該區長期趨勢已達穩定，遠岸的 E3 區趨勢初期有些微的遞減，之後則快速的遞增，顯示遠岸區受到上游沙源的補充，長期將呈現淤積的現象；F2 區最終切線斜率約為 0，表示該區長期趨勢已達穩定，F3 區之趨勢先遞減，於民國 91 年後轉為快速遞增，顯示此區長期為淤積的現象；G0、G1、G2 及 G3 區的趨勢為先遞減再遞增，顯示此區長期將呈現淤積的現象。

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

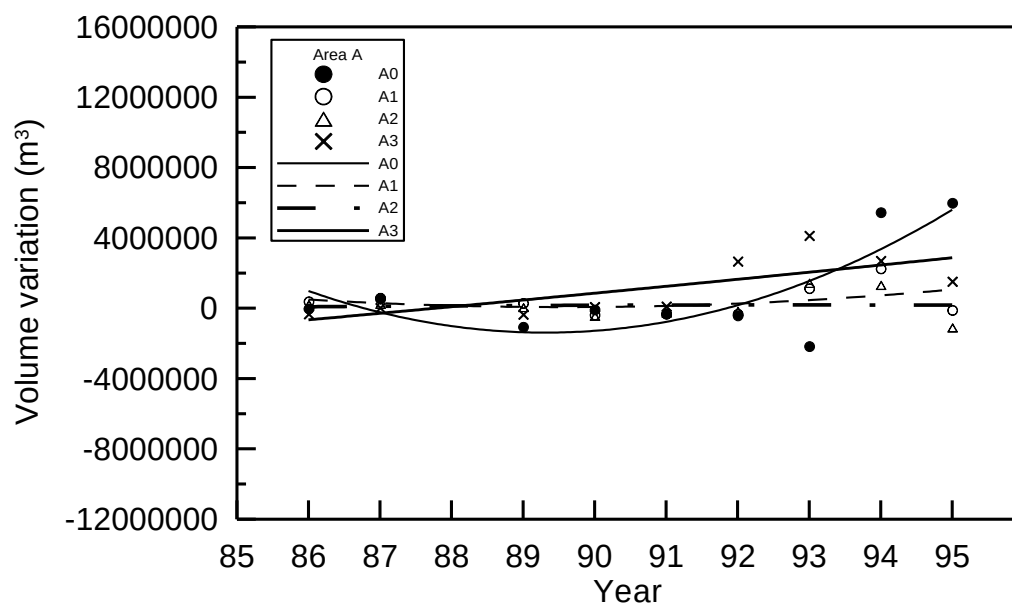


圖 3-13 A 區地形累積侵淤趨勢圖

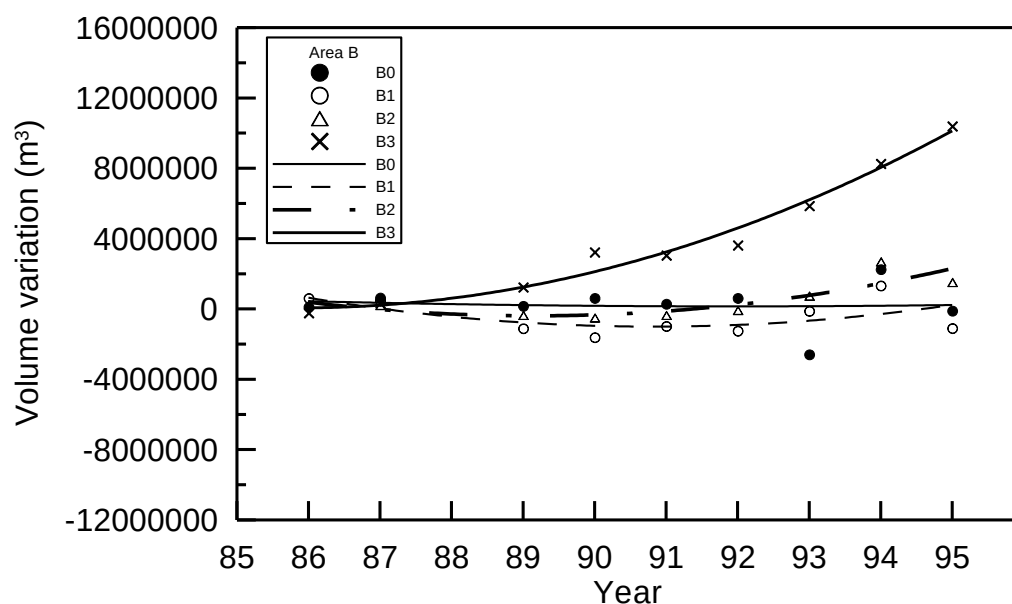


圖 3-14 B 區地形累積侵淤趨勢圖

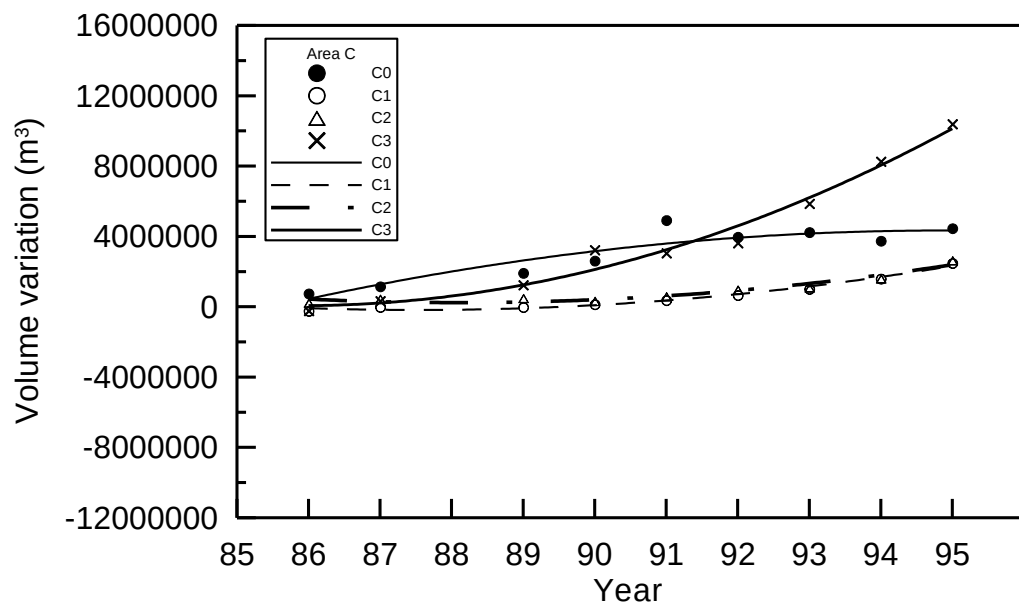


圖 3-15 C 區地形累積侵淤趨勢圖

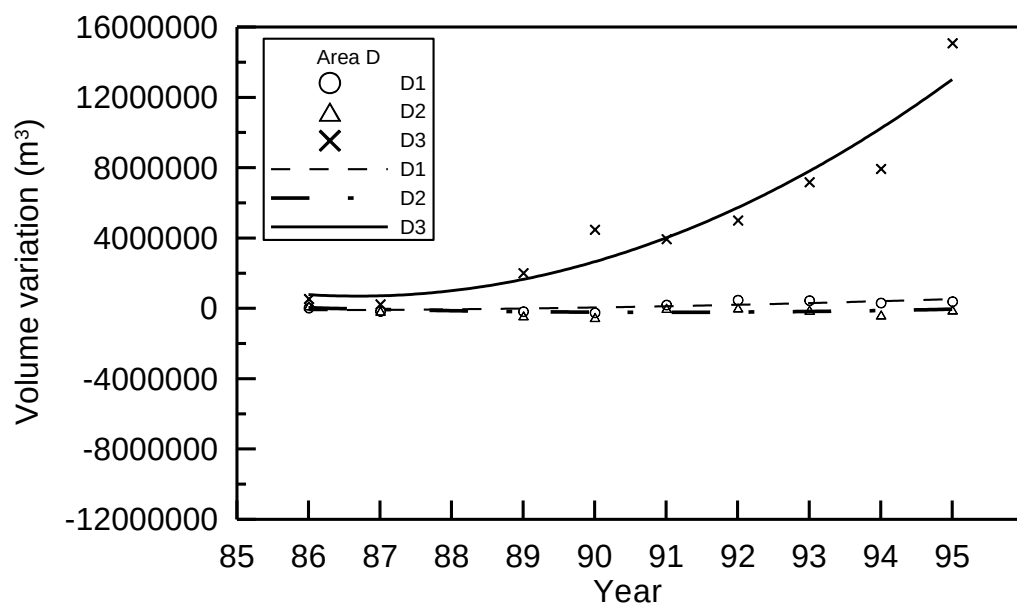


圖 3-16 D 區地形累積侵淤趨勢圖

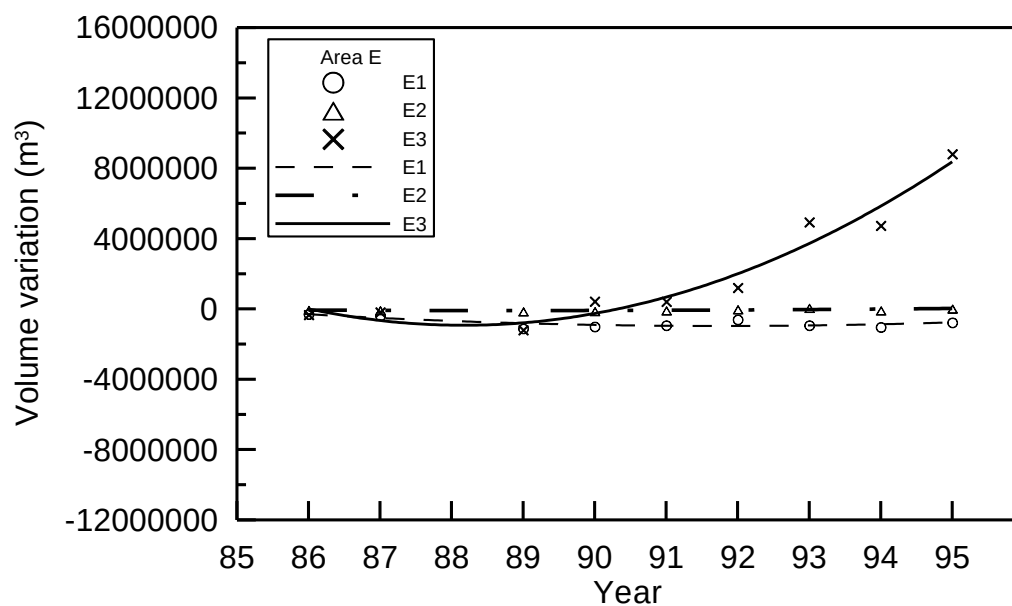


圖 3-17 E 區地形累積侵淤趨勢圖

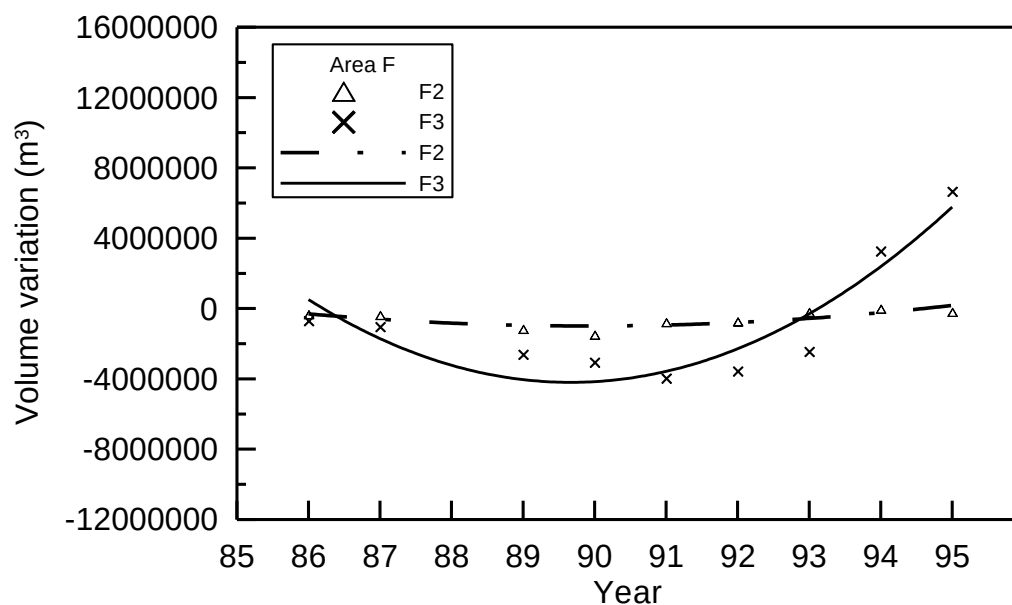


圖 3-18 F 區地形累積侵淤趨勢圖

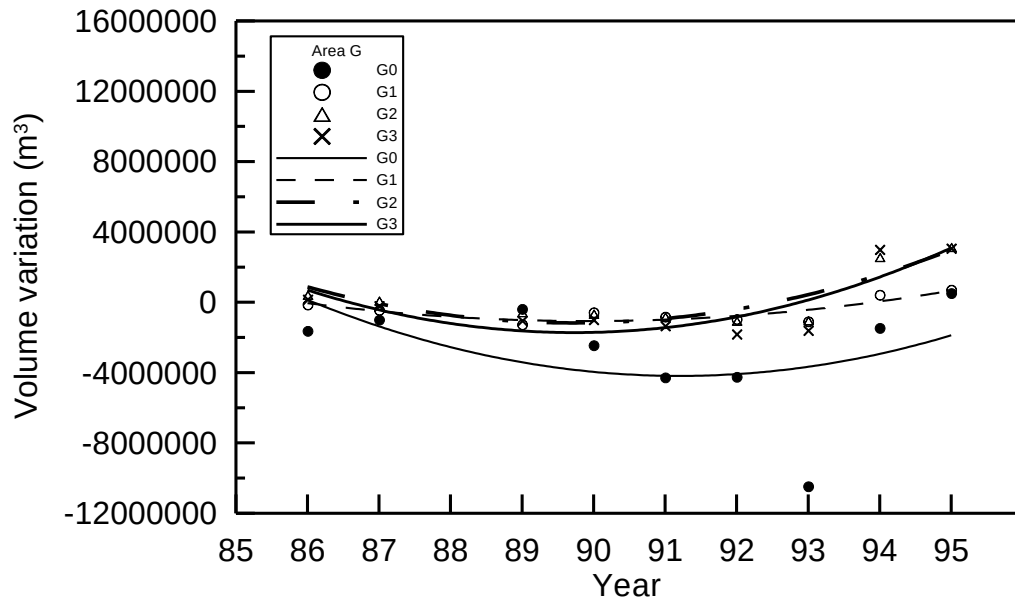


圖 3-19 G 區地形累積侵淤趨勢圖

3.2.4 累積高程分析

表 3-5 係以民國 85 年之地形水深圖為基準年，計算各區相對於 85 年之高程變化量。表中彙整各分區之高程變化量，高程變化量若為正值表示該分區高程上升；反之若為負值表示該分區高程降低，並以粗體字表示之。

由表 3-5 的高程變化量可知，在防沙堤北側的 A、B 區中，遠岸的 A3 及 B3 區高程從民國 90 年大致呈現逐漸上升的現象，A3 區及 B3 區皆至民國 95 年達到最大高程分別約為 3.14m 及 2.60m。在民國 90 年至 92 年間近岸的 A0~A2 及 B1~B2 高程皆下降，在民國 89 年 B1 下降達到 0.9m。合計防沙堤以北的區域，民國 89 年~92 年由於正在進行防波堤延伸工程，因此 B1 與 B2 區高程皆下降，但民國 93 年至 95 年間呈現高程明顯上升，在民國 93 至 94 年間年達到平均高程上升 0.98m。

由表 3-5 的高程變化量可知，C 區為臺中港北防波堤至防沙堤間的北淤沙區，其中除了近岸的 C1 區在 85 年~89 年呈現略微下降之情形，其高程下降量於 86 年最大，約 0.14m，其餘區域所有年度高程皆呈現上升之特性，合計北淤沙區自民國 85 年至 95 年間，累積平均高程量持續成長，並於民國 95 年達到最大高程約為 2.58m。

D、E、F、G 區為臺中港北防波堤以南的區域，由表 3-5 的高程變化量可知，D3 區各年度皆呈現上升的情形，最大高程量發生在 95 年，約 1.44m；E1 區和 F2 區皆呈現下降的情形，E1 區在 89 年有最低高程，約 0.88m，F2 區在 90 年有最低高程，約 1.28m，合計北防波堤以南的區域，自民國 85 年至 93 年間皆為侵蝕的情形，最大累積平均侵蝕量發生在 90 年至 91 年，約-0.2m，至 94 年後高程則由下降轉為上升，於 95 年產生最大高程量為 0.92m。

由表 3-5 中全區的高程變化量可知，除了民國 89 年至 91 年間防波堤延長工程進行中有下降的現象外，其餘年度皆呈現上升的現象，並於民國 95 年達到最大平均高程，約 1.17m。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高程呈現上升現象，而北防波堤以南之區域，目前因漂沙越過臺中港，亦於 92 年後由下降轉為上升。

表 3-5 臺中港附近地形高程變化量

(單位：m)

分區	85~86	85~87	85~89	85~90	85~91	85~92	85~93	85~94	85~95
A0	-0.01	0.27	-0.54	-0.04	-0.15	-0.21	-1.09	0.45	0.08
A1	0.36	0.54	0.27	-0.34	-0.29	-0.29	1.04	3.22	1.45
A2	0.31	0.35	0.09	-0.58	-0.33	-0.20	1.96	4.40	1.87
A3	-0.17	0.02	-0.18	0.05	0.06	0.21	2.16	2.85	3.14
B0	0.02	0.09	0.03	0.09	0.04	0.09	-0.38	0.33	-0.01
B1	0.35	0.26	-0.62	-0.90	-0.54	-0.69	-0.06	0.75	-0.61
B2	0.19	0.16	-0.25	-0.35	-0.25	-0.04	0.55	1.95	1.11
B3	-0.06	0.08	0.31	0.81	0.76	0.91	1.47	2.07	2.60
防沙堤以 北(各區 平均值)	0.06	0.156	-0.05	0.04	0.06	0.13	0.48	1.46	1.05
C0	0.50	0.77	1.27	1.73	3.26	2.63	2.81	2.49	2.96
C1	-0.14	-0.01	-0.01	0.08	0.22	0.39	0.59	0.94	1.46
C2	0.23	0.45	0.49	0.32	0.59	0.96	1.08	1.59	2.60
C3	0.06	0.25	0.50	0.99	1.00	1.44	1.58	2.04	2.86
北淤 沙區(各 區平均 值)	0.12	0.31	0.53	0.86	1.19	1.38	1.54	1.85	2.58
D1	0.04	-0.16	-0.17	-0.24	0.22	0.51	0.48	0.34	0.42
D2	0.10	-0.08	-0.23	-0.29	0.02	0.03	-0.04	-0.20	-0.04
D3	0.05	0.02	0.19	0.43	0.38	0.48	0.69	0.76	1.44
E1	-0.23	-0.30	-0.88	-0.80	-0.74	-0.48	-0.74	-0.82	-0.61
E2	-0.18	-0.22	-0.44	-0.39	-0.25	-0.07	0.18	-0.26	0.06
E3	-0.05	-0.03	-0.18	0.07	0.06	0.18	0.75	0.72	1.33
F2	-0.28	-0.32	-1.00	-1.28	-0.67	-0.64	-0.17	-0.01	-0.16
F3	-0.09	-0.14	-0.34	-0.40	-0.52	-0.47	-0.32	0.43	0.88
G0	-0.28	-0.17	-0.07	-0.43	-0.75	-0.74	-1.83	-0.26	0.09
G1	-0.20	-0.64	-1.84	-0.83	-1.20	-1.40	-1.59	0.62	1.04
G2	0.35	0.08	-0.45	-0.52	-0.66	-0.85	-0.84	2.09	2.55
G3	0.05	-0.06	-0.32	-0.30	-0.41	-0.55	-0.49	0.92	0.95
北防波堤 以南(各 區平均 值)	-0.05	-0.09	-0.19	-0.14	-0.20	-0.15	-0.12	0.48	0.92
全區(各 區平均 值)	-0.0001	0.03	-0.06	0.035	0.046	0.12	0.25	0.91	1.17

3.3 颱風對海岸侵淤與河川輸沙量的影響

經過上節分析，本研究因同時考慮地形測量及河川輸沙量的時間，選擇民國 85 至 94 年期間大安溪及烏溪之河川輸沙量與 C3 區域及防波堤南、北兩側每年漂沙侵淤量，如表 3-6，其中以 85 年為例代表，其表中數據由民國 86 年地形資料減去民國 85 年的地形資料。由於資料缺漏問題，在分析海岸侵淤與河川輸沙量關係的時候，沒有探討民國 88、民國 92 及民國 93 年。

表 3-6 臺中港附近地形輸沙量與侵淤量 (單位： $\times 10^4 \text{ m}^3$)

年份	大安溪	烏溪	C3 區域	北堤北側	北堤南側	兩側和
1996~1997	760.26	140.68	27.69	210.39	-209.47	0.92
1997~1998	392.62	325.60	81.13	313.58	-149.79	163.79
1998~1999	405.20	304.60	109.11	-67.83	-439.47	-507.30
2000~2001	19.46	251.07	211.82	387.87	189.61	577.48
2001~2002	62.90	337.84	3.71	338.24	-226.57	111.67
2002~2003	6.02	34.55	191.23	292.70	217.66	510.36
2005~2006	391.04	437.58	357.29	-89.62	1806.23	1716.61

為了得知大安溪及烏溪兩條河川輸沙量大小的影響原因，根據中央氣象局公布民國 85 年至民國 94 年的侵台颱風，共有 40 場，颱風資料如表 3-7 所示，而其颱風路徑附於附錄 A。其中侵台路徑為中央氣象局所統計出的九種路徑指標，未標示數字者為路徑不在這九種分類當中。

經過上段所述資料的對照，顯示颱風對於大安溪輸沙量有顯著的影響，民國 85 年的強烈颱風 Herb 造成該年大安溪輸沙量高達 760 萬立方公尺原因。在民國 86 年雖然有強烈颱風 Winnie，但是侵台路徑偏離台中港，影響相對減小，Amber 颱風路徑雖然直接影響台中港的地形，但其為輕度颱風，故大安溪的輸沙量驟降至 393 萬立方公尺，民國 87 年的颱風與民國 86 年的颱風相似，因此大安溪年輸沙量改變量不大，為 405 萬立方公尺。在民國 89 年至民國 91 年之間，雖然發生颱風次數較多，但是大部分的強度及路徑對於大安溪輸沙量的影響並不大，僅有 Bilis、Toraj 及 Nari 三場颱風影響，因此民國 89 及民

國 90 年輸沙量分別有 19 萬及 63 萬立方公尺，而沒颱風影響的民國 91 年其大安溪輸沙量只有 6 萬立方公尺。而 94 年因為有 Haitang、Talim 及 Longwang 三場路徑直接經過台灣中部的強烈颱風，輸沙量達到 391 萬立方公尺。

烏溪輸沙量與颱風影響的相關性就不如大安溪顯著。除了民國 91 年因沒有颱風的影響，輸沙量只有 35 萬立方公尺之外，其餘年份皆介於 141 萬至 437 萬立方公尺之間。

至於防波堤北側侵淤量與颱風相關較弱，但南側的侵淤量明顯與颱風較高相關，在民國 85 年至民國 87 年之間，由於較有強烈且路徑接近台中港之颱風影響，造成南側的總量皆為侵蝕，為 150 萬至 440 萬立方公尺間。民國 89 年至民國 91 年之間，因為民國 90 年有 Toraj 及 Nari 兩場影響侵淤量較大的颱風，因此該年侵蝕 227 萬立方公尺，而其他兩年由於受到颱風影響較小，所以漂沙量為淤積，在民國 91 年台中港防波堤南側沒受颱風影響，淤積了 218 萬立方公尺。

表 3-7 民國 85 至民國 94 年侵台颱風發生的時間及強度

年份	颱風名稱	颱風名稱	颱風警報期間	強度	侵台路徑
2005	Longwang	龍王	09/30~10/03	強烈	3
	Damrey	丹瑞	09/21~09/23	中度	--
	Khanun	卡努	09/09~09/11	中度	--
	Talim	泰利	08/30~09/01	強烈	3
	Sanvu	珊瑚	08/11~08/13	輕度	--
	Matsa	馬莎	08/03~08/06	中度	1
	Haitang	海棠	07/16~07/20	強烈	3
2002	Sinlaku	辛樂克	09/04~09/08	中度	1
	Nakri	娜克莉	07/09~07/10	輕度	9
	Rammasun	雷馬遜	07/02~07/04	中度	--
2001	Haiyan	海燕	10/15~10/16	中度	--
	Lekima	利奇馬	09/23~09/28	中度	4
	Nari	納莉	09/08~09/19	中度	特殊路徑
	Toraji	納莉	07/28~07/31	中度	3
	Yutu	桃芝	07/23~07/24	中度	--
	Trami	玉兔	07/10~07/11	輕度	4
	Utor	潭美	07/03~07/05	中度	5
	Chebi	尤特	06/22~06/24	中度	7
	Cimaron	奇比	05/11~05/13	中度	8
2000	Bebinca	貝碧佳	11/06~11/07	中度	--
	Xangsane	象神	10/30~11/01	中度	6
	Yagi	雅吉	10/23~10/26	中度	--
	Bopha	寶發	09/08~09/10	輕度	特殊路徑
	Prapiroon	巴比倫	08/27~08/30	中度	6
	Bilis	碧利斯	08/21~08/23	強烈	3
	Kaitak	啟德	07/06~07/10	中度	6
1998	Babs	芭比絲	10/25~10/27	中度	9
	Zeb	瑞伯	10/13~10/17	強烈	6
	Yanni	楊妮	09/27~09/29	輕度	6
	Otto	奧托	08/03~08/05	輕度	3
	Nichole	妮蔻兒	07/09~07/10	輕度	9
1997	Ivan	艾文	10/19~10/21	強烈	--
	Cass	卡絲	08/29~08/30	輕度	--
	Amber	安珀	08/27~08/30	中度	3
	Winnie	溫妮	08/16~08/19	強烈	1
1996	Zane	薩恩	09/27~09/28	中度	--
	Sally	莎莉	09/07~09/08	中度	--
	Herb	賀伯	07/29~08/01	強烈	2
	Gloria	葛樂禮	07/24~07/27	中度	7
	Cam	凱姆	05/20~05/23	輕度	8

註：整理自中央氣象局資料

3.4 海岸侵淤與河川輸沙量相關性

3.4.1 海岸侵淤的平衡分析

為觀念進一步瞭解海岸侵淤的機制，本研究控制體之沙量平衡原理來分析。圖 3-20 為臺中海岸地形變化控制體之示意圖，圖中 L_1 及 L_2 為南北兩側之沿岸漂沙量， Q 為 C3 區域往南的年漂沙量， R_d 及 R_w 分別為大安溪與烏溪兩條河川之年輸沙量， V_n 為防波堤北側的年總侵淤量， V_s 為防波堤南側的年總侵淤量。南、北兩側的侵淤量平衡依照控制體積的質量守恆原理分別列為：

$$\text{北側總侵淤量： } V_n = R_d + L_1 - Q \quad (3-6)$$

$$\text{南側總侵淤量： } V_s = Q + R_w - L_2 \quad (3-7)$$

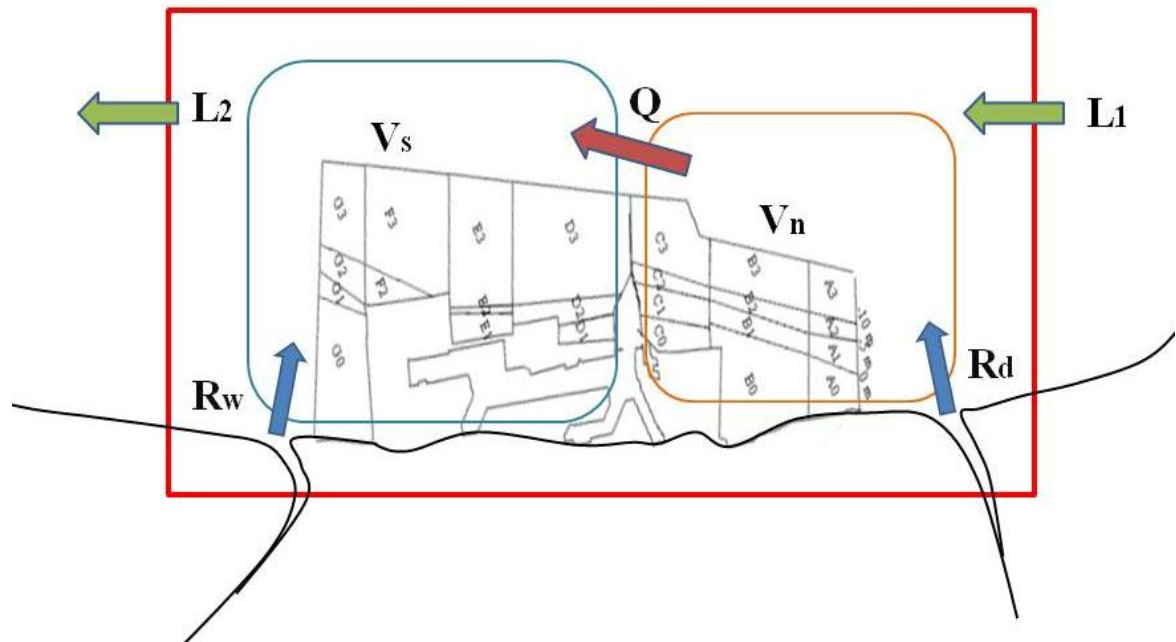


圖 3-20 海岸漂沙之平衡示意圖

3.4.2 漂沙量與侵淤量的比例關係

在民國 66 年至 83 年間，臺中港務局曾在防波堤北側浚挖土方，其量如表 3-8。由表顯示浚淤土方量是在 16.9~134.1 萬立方公尺之間，平均值為 54.8 萬立方公尺。此浚挖土方因與本研究之分析時段不同，故不加以考慮。但位於防波堤南側的 D 區域，在民國 90 年及 91 年間曾辦理航道浚深拓寬工程，兩年人工浚挖量分別為 143.6 萬及 175.2 萬立方公尺。

表 3-8 北側淤沙區浚挖期間浚挖量統計表 (單位：×10⁴ m³)

期間	66.01~66.12	67.01~67.12	68.01~68.12	69.01~69.12
挖泥量	23.43	40.97	45.51	55.73
期間	70.01~70.12	71.01~71.12	72.01~72.12	73.01~73.06
挖泥量	65.22	27.49	38.15	16.98
期間	73.07~74.06	74.07~75.06	75.07~76.06	76.07~77.06
挖泥量	70.07	55.17	96.38	49.34
期間	77.07~78.06	81.01~81.12	82.01~82.12	83.01~83.12
挖泥量	22.37	76.04	134.12	59.97

註：引自交通部臺中港務局「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程可行性研究」

為了得知控制體積中，大安溪及烏溪輸沙量跟 C3 區域漂沙量在防波堤南、北兩側的海岸總侵淤量之間的漂沙量，本研究使用最小二乘法，即以表 3-6 之數據在式 (3-8) 最小化的誤差平方和，獲得一組最合適的係數 (a_1, a_2, a_3, L_1, L_2)，誤差函數定義為：

$$\min \sum \left\{ \frac{1}{2} [a_1 \times R_d + L_1 - a_2 \times Q - V_n]^2 + \frac{1}{2} [a_2 \times Q + a_3 \times R_w - V_s - L_2]^2 \right\} \quad (3-8)$$

以表 3-6 中以前六筆（因第七筆數據時間相距較長）的河川輸沙量與海岸侵淤量數據計算出大安溪輸沙量係數 a_1 為 0.12、C3 區域漂沙量係數 a_2 為 0.60 及烏溪輸沙量係數 a_3 為 0.75，沿岸漂沙量 L_1 為 261.9 萬立方公尺， L_2 為 349.8 萬立方公尺。

為了要能表示利用係數計算出來的侵淤量結果之優劣程度，本研究利用了統計學上之相關係數（ R ）與相對誤差（ Err ）作為評估，相對誤差定義為

$$Err = \frac{\sum_{t_i=1}^N |V_p(t_i) - V_m(t_i)|}{\sum_{t_i=1}^N V_m(t_i)} \quad Err = \frac{\sum_{t_i=1}^N |V_p(t_i) - V_m(t_i)|}{\sum_{t_i=1}^N V_m(t_i)} \quad (3-9)$$

其中 V_p 為漂沙平衡所計算出之地形變化量， V_m 為測量地形變化量。防波堤北側的侵淤量與大安溪輸沙量的相關係數為 0.01，表示兩者相關性低，而防波堤南側的侵淤量與烏溪輸沙量的相關係數高，其為 0.72。

由計算出來的防波堤北側、南側及南北兩側侵淤量與實測侵淤量相比較，分別示如圖 3-21 至圖 3-23，其相關係數分別為 0.27 及 0.90 與 0.28，南北側之計算侵淤量與實測量之相對誤差分別為 0.44 及 0.50。而從圖 3-21 至圖 3-23 顯示所計算出來的侵淤量皆些許偏離 45 度中心線。

由所得出來係數 a_2 ，及 C3 區之年淤積量可計算出由 C3 區域往南側之年漂沙量，示如圖 3-24 所。從圖 3-24 顯示 C3 區域侵淤量在民國 85 至民國 89 年時候呈線性增加，接著在民國 91 及民國 94 年再度呈現一穩定成長，年平均輸沙量為 62.5 萬立方公尺。

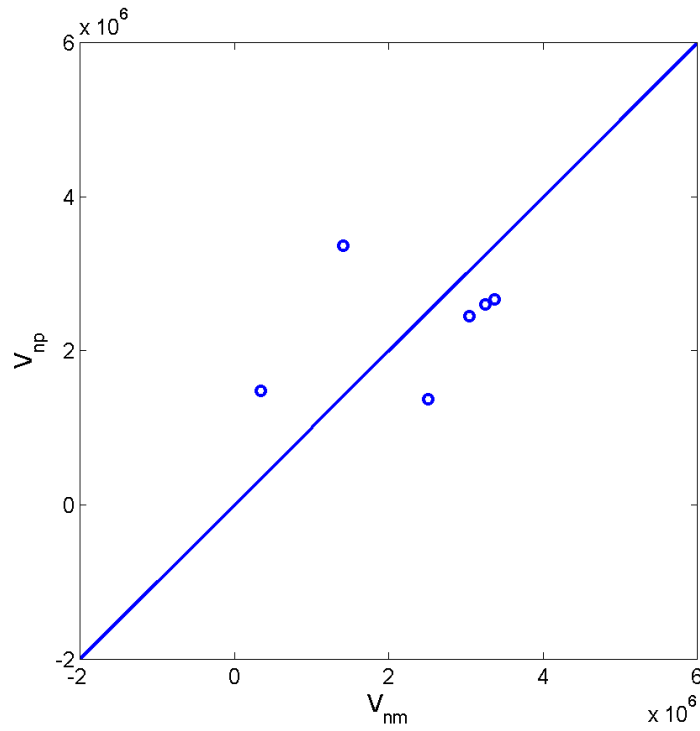


圖 3-21 計算防波堤北側侵淤量 V_{np} (m^3)與實測值的散佈圖 V_{nm} (m^3)

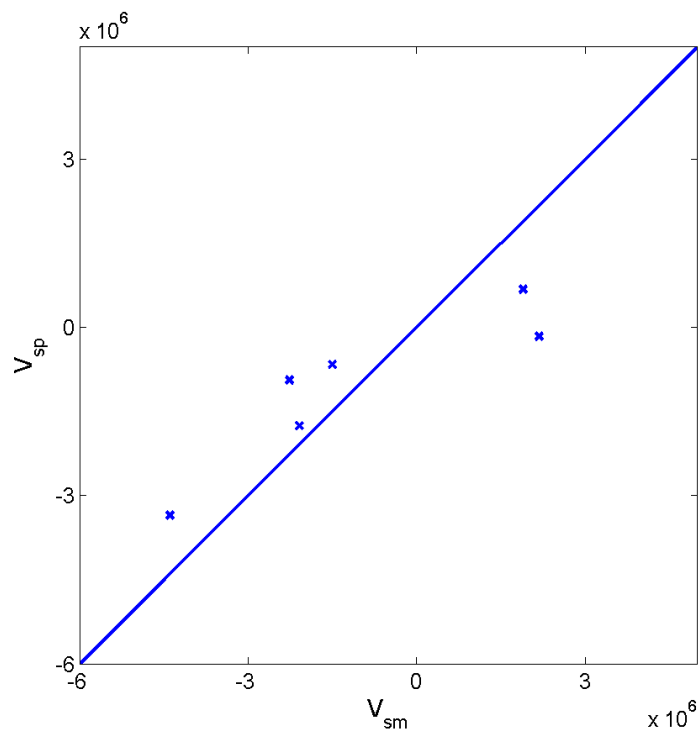


圖 3-22 計算防波堤南側侵淤量 V_{sp} (m^3)與實測值的散佈圖 V_{sm} (m^3)

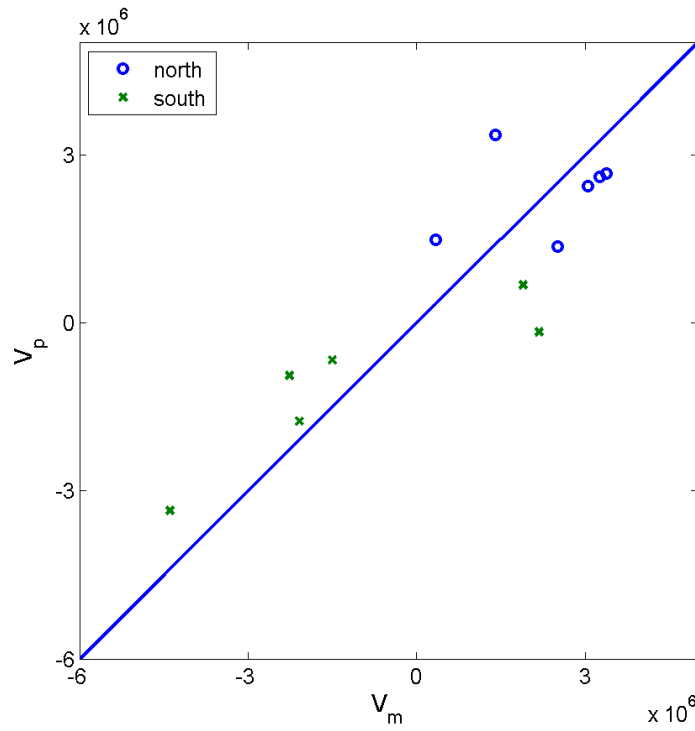


圖 3-23 計算防波堤南北兩側侵淤量與實測值的散佈圖
(V_p ：計算值； V_m ：實測值)

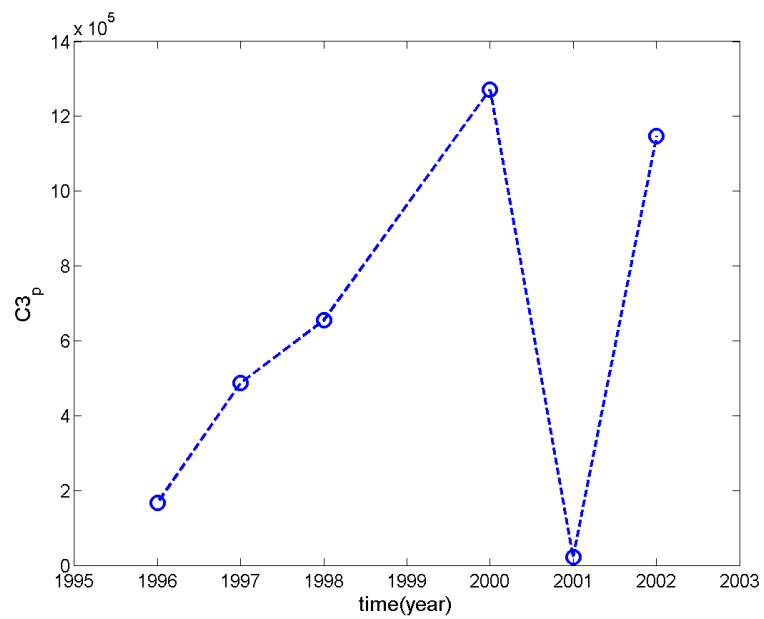


圖 3-24 計算 C3 區域侵淤量 (m^3) 時序圖

3.5 海岸各區侵淤與河川輸沙量之相關性

經過上節討論防波堤南、北側區域侵淤量與河川輸沙量的相關性之後，為了確定是否因為水深所劃分的區域影響，因此以各區侵淤量分別與大安溪及烏溪六年的輸沙量（第七筆數據時間相距較長）做相關性的分析探討，其結果如表 3-9 所示。從表 3-9 顯示當不分區的情況，C 區及 E 區侵淤量與大安溪的輸沙量分別達到-0.758 及-0.703，呈現較大負相關性，但與烏溪輸沙量的 R 為 0.524，呈現中度正相關。

而在水深 0m 以上的第 0 區，A 區及 C 區與大安溪的輸沙量分別達到 0.652 及 0.747，呈現較大的正相關性。水深 0m 至-5m 之間的第 1 區侵淤量方面，A 區域與大安溪輸沙量的 R 為 0.593。C 及 E 區域侵淤量與大安溪的 R 分別為-0.87 及-0.681，顯示整個 C 區中的侵淤量與大安溪輸沙量在水深 0m 至-5m 之間的區域相關性影響較大。並且在水深-5m 至-10m 之間的第 2 區方面，E 區域侵淤量與大安溪的 R 為-0.852，顯示 E 區中侵淤量與大安溪輸沙量在水深-5m 至-10m 之間區域相關性影響較大。

另外在水深-10m 以上的第 3 區侵淤量方面，在 A、B 及 C 區域與大安溪輸沙量的 R 為-0.449 至-0.679 之間，表示在這 3 個區域侵淤量在水深-10m 以上的區域受到大安溪輸沙量影響相較於其他水深的影響較為平均。

若從北側侵淤量與大安溪輸沙量來分析漂沙特性，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。

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，但因為沿岸輸沙大而使河川輸沙往南側淤積相對減少。因此南側地形侵淤量與烏溪輸沙量無法辨別出地區之漂沙特性。

表 3-9 分區侵淤量與河川輸沙量之相關性

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

第四章 灘線侵淤變化分析

4.1 衛星資料來源

港灣建設或劇烈的海象變化皆會破壞原有漂沙平衡機制，而常造成鄰港附近地形變遷，本研究將由地形實測資料以及衛星影像資料來探討臺中港北堤以北的海岸地形變化特性。首先，收集臺中港務局民國 85 至 95 年的地形實測資料進行分析，並透過衛星影像資料擷取海灘線，以分析早期無實測地形的海灘線位置，作為海岸侵淤防治對策的參考，俾提供規劃及工程單位參酌。

海岸變遷或地形變化現象可由最直接明顯的灘線隨時間變化的來瞭解。本研究已收集民國 85 年至 95 年間的實測地形資料，但為了能夠分析較長期的灘線變遷，故自民國 82 年起挑選合適的衛星影像資料進行灘線的擷取。本研究主要選用 SPOT 衛星超解像模式影像或全色態影像進行分析，雖然只有單色態的影像資料，但空間解析度可高達 2.5m。對於本研究基地此類比較較小範圍的海灘線監測，可以獲得較高的準確度，SPOT 衛星影像相關介紹可參見附錄 B。

由於每張衛星影像圖因拍攝時的地表天候或天體相關位置不同而會有不同的拍攝條件，每張衛星影像由於拍攝時光量以及氣候的不同，在單色態影像的亮度與對比上會有明顯的差異，且因為地表天候以及天體相對位置的不同，其差異程度也無法以簡單的線性調整來做標準化，故本研究以直方圖等化、影像強化以及邊界擷取三個前置處理來獲得衛星影像中的灘線位置，以上前置處理的詳細說明請參見附錄 B。

本研究除了將衛星影像中的灘線位置進行截取，並採用潮位模式估算相對應潮高並配合現有的實測波浪資料進行灘線位置的修正，往昔已提出相關方法可以將衛星影像中的灘線位置考慮潮位變化以及波浪變化修正至平均水位處，詳細修正方法以及過程請參見附錄 B。

4.2 長期灘線變化分析

經由上述的衛星影像前置處理以及灘線位置的修正，本研究利用衛星影像定位出民國 82、84、86、88 以及 92 年的平均水位灘線位置，配合臺中港務局所提供民國 85 至 87 以及 89 至 95 年的實測地形資料本節將針對 82 至 95 間的長期灘線變遷作分析與討論。

4.2.1 衛星影像中灘線位置以及與實測地形的比較

利用衛星影像資料來獲取灘線位置可以追朔往昔沒有實測地形資料的時代來進行分析，由於臺中港擴建工程大致上分為民國 79 年至 84 年以及民國 89 年至 91 年兩段工程期，但本研究僅收集民國 85 至 95 年的實測地形資料，故本研究向中央大學太空遙測中心進行衛星影像的申購，資料範圍以民國 82 年起至 92 年止，可用來分析臺中港於民國 79 至 84 年擴建期間的灘線變化，所定位出來的灘線位置以及時間如圖 4-6 所示。

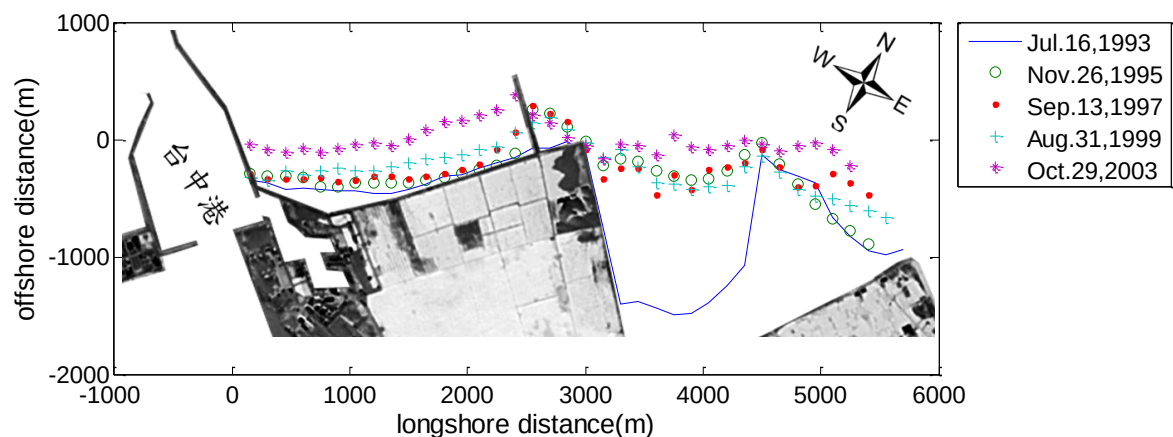


圖 4-1 衛星影像中擷取的平均水位灘線位置

圖中顯示民國 82 年於臺中港北堤擴建工程施作時，臺中港北堤至北攔砂堤間(圖中沿岸方向 0 至 2500m 間)的沙灘面積很小，只有靠近臺中港北堤處有些許沙灘(圖中沿岸方向 0 至 1500m 間)，而在民國 84 年的灘線位置顯示靠近臺中港北堤處的原有沙灘量持續有增加的現象；民國 86 年的灘線位置則顯示靠近北攔砂堤處(沿岸方向 2000

至 2500m 處)開始淤積的現象；而民國 88 年的灘線位置顯示中段(圖中沿岸方向 500 至 2200m 間)開始有明顯的淤積量；直到民國 92 年，臺中港北堤至北攔砂堤間在這 10 年間明顯呈現持續淤積的現象，且淤積的量大使沙灘向外海延伸了將近 500m。

在北攔砂堤以北的海岸範圍，如圖 4-2，由於靠近大甲溪的河口處，且該區域離人工結構物仍有很長一段距離，使得離岸方向 3000 至 6000m 處的海岸形狀較複雜的淺灘地，除了需考慮大甲溪的輸沙量之外，其海陸交界線也十分複雜，故較難以進行分析，其變化除了民國 82 至 84 年間有較明顯的淤積之外，在民國 84 年之後除了民國 88 年有稍微侵蝕的現象之外，整體上則呈現淤積的狀況。



圖 4-2 北攔砂堤以北靠近大甲溪口的淺灘地形區域

由衛星影像所擷取的灘線位置中，民國 86 年以及民國 92 年的灘線位置與臺中港務局的實測地形時間相符，故本研究亦以這兩年的灘線位置進行比較，其結果如圖 4-3 以及 4-4 所示。圖中實線為衛星影像中所定位出來的平均水位灘線位置；而空心圓點則為實測地形資料轉換為中潮系統後的 0 米線位置，民國 86 年以及民國 92 年兩種方法

所獲得的灘線位置其 RMS 分別為 40.69m 以及 43.65m，此差異量在大範圍且長期的灘線變化分析上其影響不大，其造成的原因約略有三：一、衛星影像空間解析度的不足(本研究選取的影像資料只有早期民國 82 年以及民國 84 年 SPOT-1 的空間解析度較差，為 10m)；二、進行地形實測時的潮位變化以及傳統人工測量所造成的誤差；三、衛星影像拍攝時間與實測地形時間有所差異，此期間的地形變化(地形實測除了海上的船行測量之外，陸上需輔以人工測量，全程測量時間視其範圍大小，約需幾個月)，由圖 4-3 以及圖 4-4 所示，本區域灘線變化量大，此差異量仍在可接受的範圍。

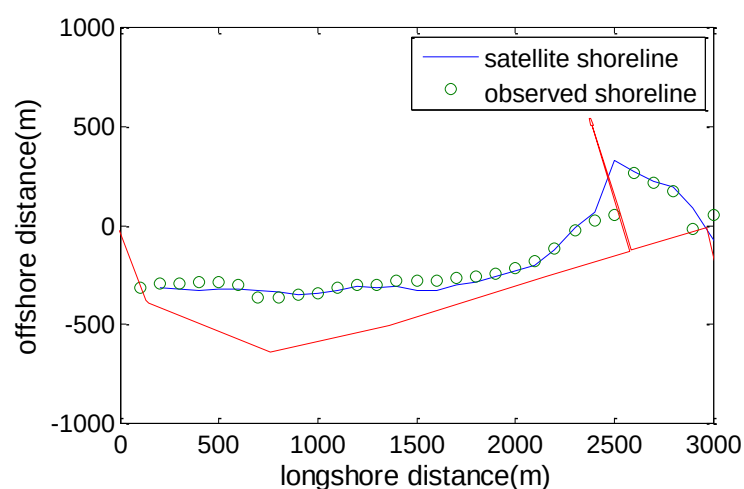


圖 4-3 衛星影像中平均水位灘線與實測地形之比較(民國 86 年)

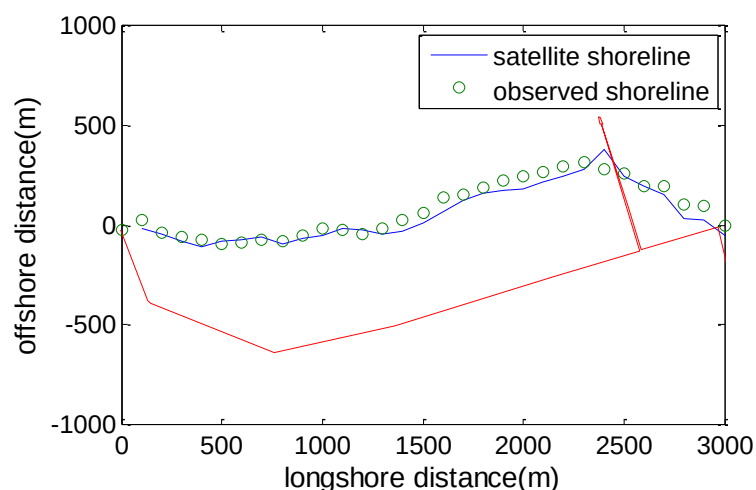


圖 4-4 衛星影像中平均水位灘線與實測地形之比較(民國 92 年)

4.2.2 長期灘線變遷

經由上一節的驗證，雖然衛星影像所定位出的平均水位灘線位置與 RTK-GPS 地形實測的 0 米線位置有些許差異，但在每年取一代表灘線作長期性灘線變遷分析的狀況來說，此差異量仍在可接受的範圍內。目前以上述衛星影像分析的結果可看出臺中港北堤至北攔沙堤間自民國 82 年至民國 92 年呈現一逐漸淤積的狀況，我們以民國 82 年為一基準年，民國 84 年、民國 86 年、民國 88 年以及民國 92 年年的離岸方向沙灘長度變化量亦可明顯看出這個現象，如下圖 4-5 所示。圖中可發現民國 84 年、民國 86 年、民國 88 年以及民國 92 年在沿岸方向 0 至 2500m 之間皆為逐漸的增加，而沿岸方向 2500 至 4500m 處除了民國 82 年至民國 84 年的大量淤積後則保持侵淤互現的狀況。

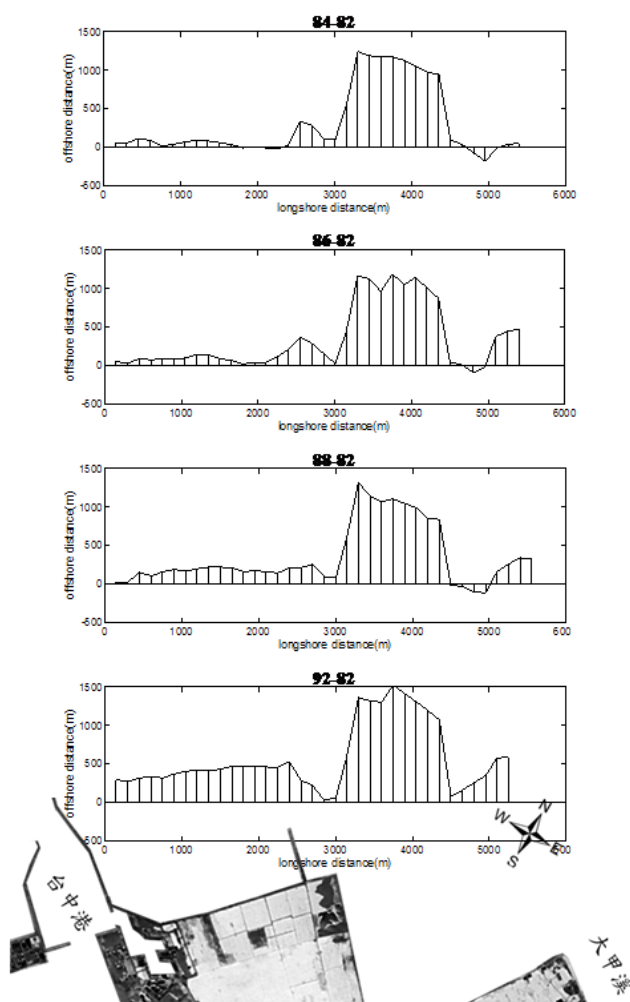


圖 4-5 離岸方向沙灘長度變化量 (以民國 82 年為基準年)

除了衛星影像資料以外，本研究亦以目前所收集臺中港務局的實測地形資料進行 0 米線的擷取，實測地形資料除了須把座標系統統一為 TWD97 的系統之外，為了與衛星影像資料的灘線資料進行分析，對於 0 米線的定義也必須有所改變，往昔的實測資料皆以築港高程為基準，其 0 米線的位置並非平均水準面的水陸交界線，故需將高程系統轉換至中潮系統，以便能與衛星影像的灘線資料進行合併分析。

在此簡述實測資料的操作與處理，從 CAD 圖層資料中將實測地形資料點讀出後，即可對所有資料點進行座標轉換，將非 TWD97 的座標系統統一轉換為 TWD97，並調整其高程至中潮系統。其後將所有資料點在研究範圍內以間距 20m 透過 Kriging 法做二維資料格網化，並繪製等高線圖以擷取出 0 米線的位置。最後 0 米線再透過座標旋轉以原點順時鐘旋轉 48.14 度，再將其位置平移映射至接近原點的位置。而衛星影像資料所定位的平均水位灘線亦經此座標映射至原點附近，即可以沿岸方向當作 x 軸，離岸方向的灘線變遷量即為 y 軸來進行分析與比較。

4.3 GENESIS 模式參數校核

為探討臺中港北防波堤附近灘線之長期變化趨勢，本研究應用 GENESIS 灘線模式進行灘線的模擬（GENESIS 灘線模式參見附錄 C）。對於預測臺中港區北防波堤附近灘線所需輸入的傳輸參數 K_1 及 K_2 值，本研究以民國 85 年灘線地形為基礎，模擬民國 85 年至 91 年的灘線地形變化，對傳輸參數 K_1 及 K_2 進行校核。模式模擬期間之沿岸漂砂量的估算，則以表 3.2-3 計畫區附近地形累積侵淤量民國 85 年累積至民國 91 年之累積量作為模式輸入條件。其模式輸入條件如表 4-1 與 4-2 所示。在不同 K_1 、 K_2 值下，模擬北防砂堤與北防波堤間海灘線所得之結果。研究中以 Willmott (1981) 所提相似指數 S_f (agreement index) 來進行精確度的比對。其相似參數 S_f 如下式所示：

$$S_f = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4-1)$$

式中 P_i 為數值計算結果， O_i 為理論或試驗觀測值， $\bar{O}$ 為 O_i 的平均值， N 區域內的量測點。

表 4-1 GENESIS 模式之計算條件列表

項 目	入 射 波 向	代表波浪		漂 沙 移 動 限 界 水 深		沿 岸 流 漂 沙 限 界 水 深
		波 高	週 期			
		(m)	(sec)	(m)		(m)
		H_s	T	d_c	d_g	d_c
冬季	N	2.1	6.6	4.05	5.47	4.05
夏季	W	0.9	6.3	1.94	1.83	1.94

表 4-2 GENESIS 灘線模式參數

GENESIS 模式參數	參數值
波浪作用時間 (year)	1
時間間格 Δt (hr)	6
海灘線間格 Δx (m)	50
終端水深 D_c (m)	6.58
漂砂至陸側最大高程 D_B (m)	2
底床中質粒徑 D_{50} (mm)	0.24
輸砂量 Q (m^3/hr)	220

表 4-3 GENESIS 模式不同傳輸參數 K_1 及 K_2 與相似參數之比較

Case\模擬參數	K_1	K_2	K_2 / K_1	S_f
1	0.2	0.3	1.5	0.95
2	0.2	0.4	2.0	0.96
3	0.2	0.5	2.5	0.965
4	0.2	0.6	3.0	0.98
5	0.3	0.3	1.0	0.95
6	0.3	0.4	1.33	0.955
7	0.3	0.5	1.66	0.965
8	0.3	0.6	2.0	0.958
9	0.4	0.3	0.75	0.93
10	0.4	0.4	1.0	0.95
11	0.4	0.5	1.25	0.945
12	0.4	0.6	1.66	0.96

表 4-3 為利用 GENESIS 模式在不同傳輸參數 K_1 及 K_2 條件下灘線相似參數之比較。於表中可知，在傳輸參數 $K_1 = 0.2$ 及 $K_2 = 0.6$ 條件下，灘線相似參數有最佳的相似值。為了選定適合臺中港北淤砂區之沿岸漂砂量，本研究將歷年臺中港北淤砂區之侵淤量累積曲線繪於圖 4-6 中。圖中顯示，在 91 年北防砂堤完成延伸後至 93 年間及 94 年至 95 年間，臺中港北淤砂區歷年侵淤量以逐年增加約 232 至 255 百萬立方公尺的速度進行淤積。

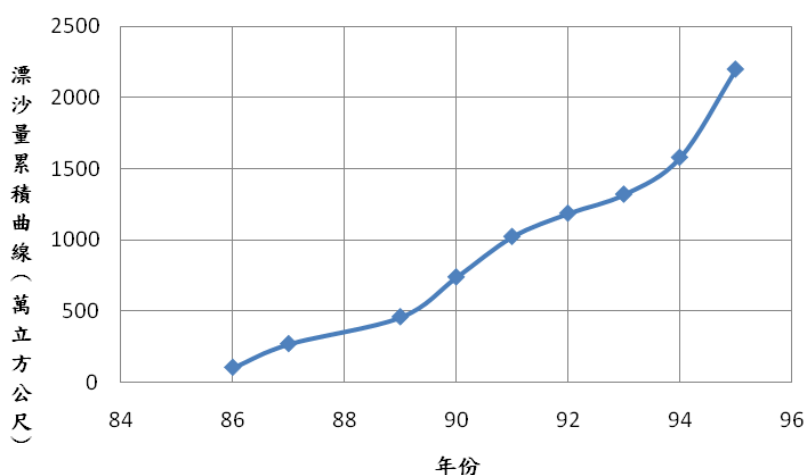


圖 4-6 臺中港北淤砂區侵淤量累積曲線圖

4.4 GENESIS 海岸變遷模擬

依據前述章節 GENESIS 模式模擬 85-91 年之地形為起始地形，加入延伸後之北防波堤，模擬民國 91 年至民國 95 年臺中港北防砂堤附近海灘之長期灘線變化。其模式輸入相關參數如表 4-1 及表 4-2：

本研究計算範圍自北防波堤灘線往北延伸至北防砂堤北側灘線，總長度共計 4.5 公里。模擬範圍示意圖如圖 4-7 所示：

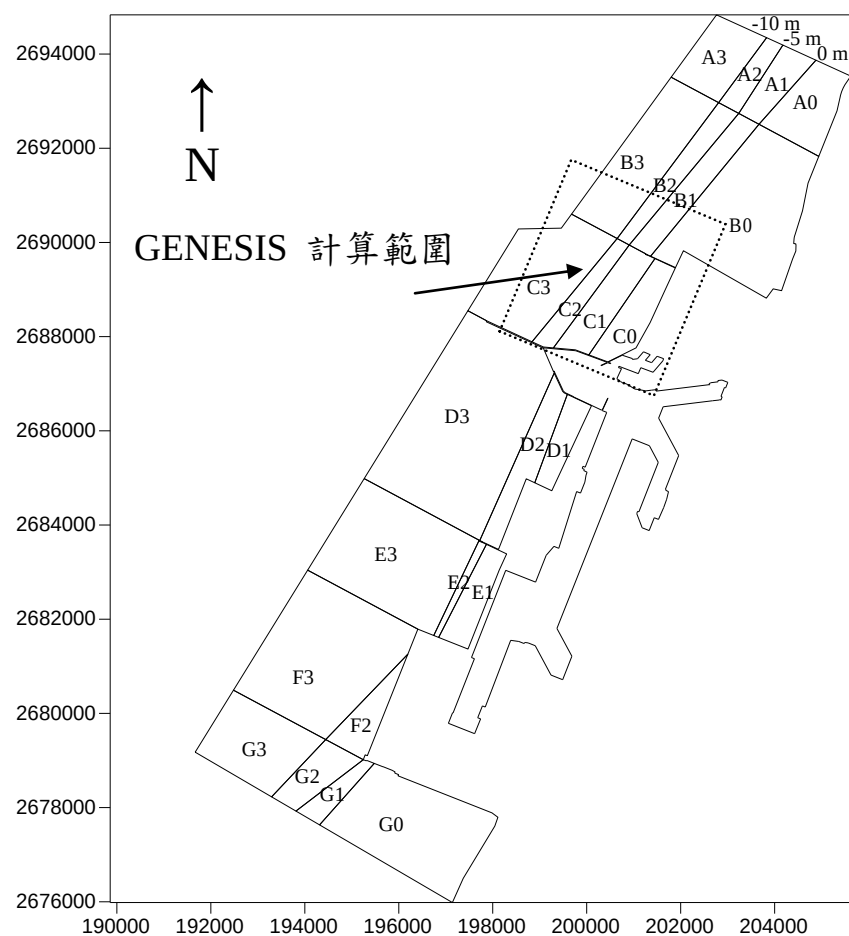


圖 4-7 GENESIS 灘線預測模式計算區域圖

4.4.1 GENESIS 灘線模式驗證

分析歷年之水深量測資料可知 (民國 85 年至民國 95 年)，臺中港北防波堤北側之灘線變化呈現北防波堤至北防砂堤間灘線大量淤積。在民國 85 年至 90 年間，受北防波堤延伸影響，其灘線在北防波

堤與北防砂堤間快速成長。民國 91 年後，受北防波堤再次延伸影響，灘線仍持續在防波堤與北防砂堤間成長，其灘線成長幅度較前一階段小。本節以 85 年之灘線地形為起始灘線，模擬至 91 年後之灘線變化。

由於大甲溪輸砂量無法準確估算，本研究採用 $Q=150 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 、 $Q=170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 、 $Q=190 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 、 $Q=220 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 及 $Q=250 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 進行灘線的驗證模擬。GENESIS 模式模擬北防波堤至北防砂堤間灘線結果與實測灘線地形之比較如表 4-4 所示：

表 4-4 GENESIS 模式預測灘線與實測地形之比較 (85 年至 91 年)

給定沙量\最大灘線 淤積幅度	北防波 堤堤址	北防砂 堤堤址	北防波 堤至北 防砂堤 間	平均誤 差量	標準差
$Q=150 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$	283m	52.3m	375m	125.01m	45.3m
$Q=170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$	305m	81.4m	390m	93.3m	37.45m
$Q=190 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$	327m	102.6m	488m	61.58m	29.37m
$Q=220 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$	387m	164.2m	523m	26.01m	26.98m
$Q=250 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$	407m	201.2m	575m	59.52m	45.12m

綜合比較上述沿岸輸砂量，沿岸輸砂量在 $Q=220 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 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。分析北防波堤堤址附近處呈現最大灘線淤積幅度約 387 公尺，北防砂堤與北防波堤間之灘線淤積幅度約為 523 公尺，北防砂堤堤址附近灘線淤積幅度約為 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。

圖 4-8、4-9、4-10、4-11 及 4-12 分別為改變沿岸輸砂量條件下 ($Q=150\times10^4\text{m}^3/\text{year}$ 、 $Q=170\times10^4\text{m}^3/\text{year}$ 、 $Q=190\times10^4\text{m}^3/\text{year}$ 、 $Q=220\times10^4\text{m}^3/\text{year}$ 及 $Q=250\times10^4\text{m}^3/\text{year}$), GENESIS 灘線模式預測灘線結果與實測之比較。圖 4-8、4-9、4-10、4-11 及 4-12 中顯示, 北防砂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。在北防波堤與北防砂堤南側間之灘線, 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, 北防砂堤南側受到堤體遮蔽效應影響, 使得砂源容易淤積於此處。北防波堤與北防砂堤南側間之灘線, 受到上述結構物遮蔽影響, 在砂源持續補足情況下, 使得北防砂堤堤址南側線持續淤積。受到砂源補足影響, 於北防波堤堤址附近處之灘線, 呈現穩定的灘線位置。在北防波堤與北防砂堤南側間之灘線, 則持續產生淤積, 其灘線淤積幅度愈往北防砂堤靠近則淤積幅度愈大。

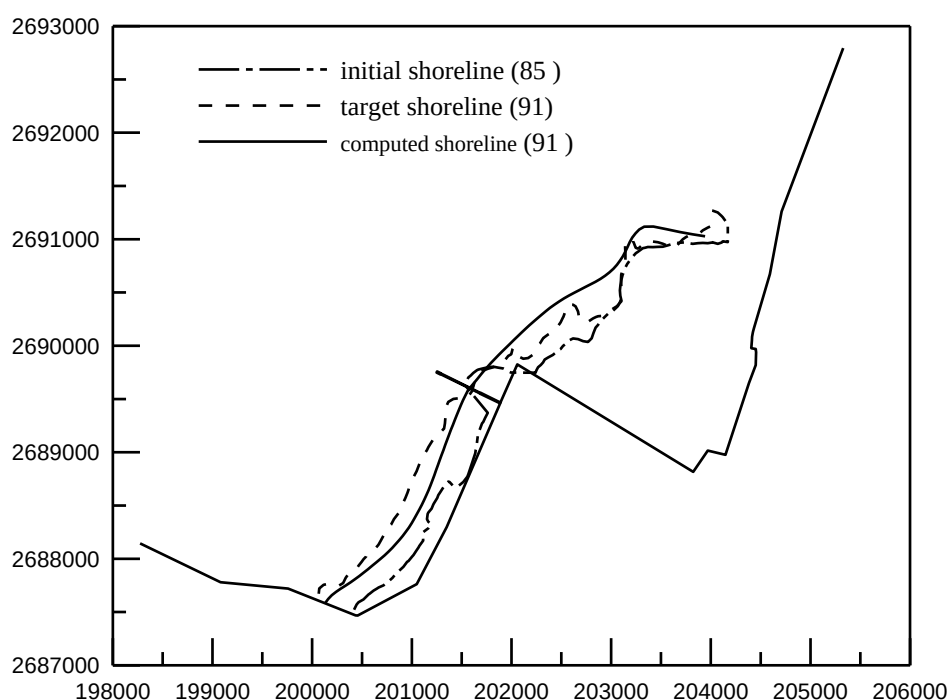


圖 4-8 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自民國 85 年至民國 91 年, 沿岸輸沙量 $Q=150\times10^4\text{m}^3/\text{year}$)

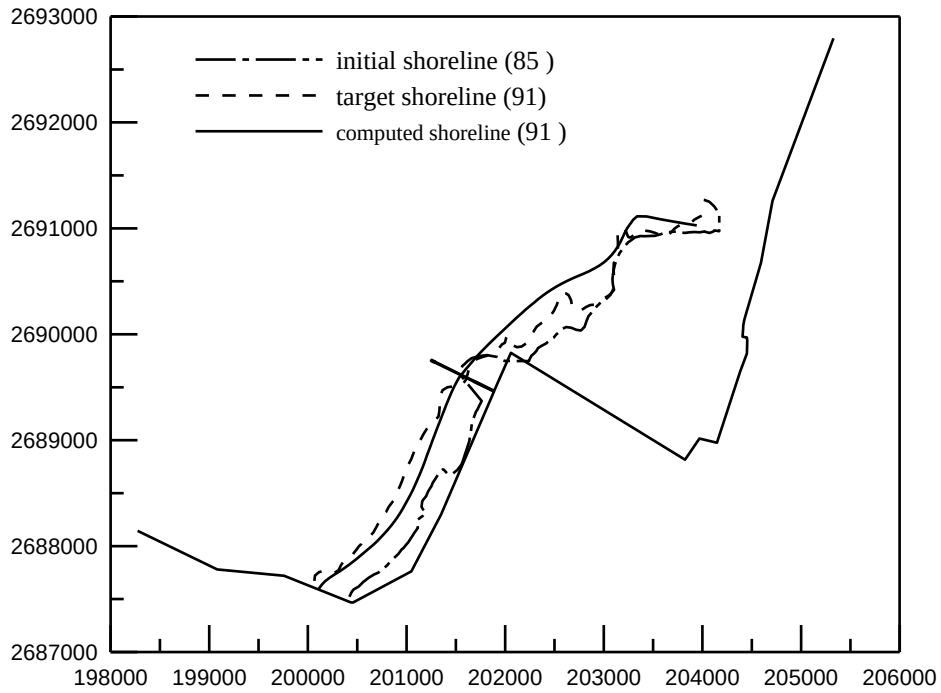


圖 4-9 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自民國 85 年至民國 91 年，沿岸輸沙量 $Q=170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$)

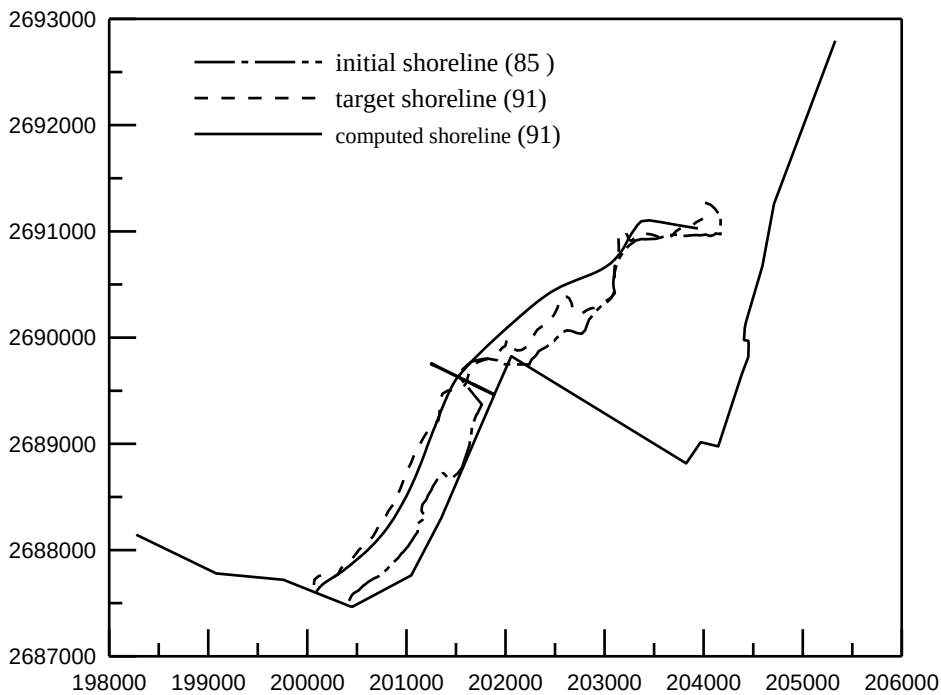


圖 4-10 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自民國 85 年至民國 91 年，沿岸輸沙量 $Q=190 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$)

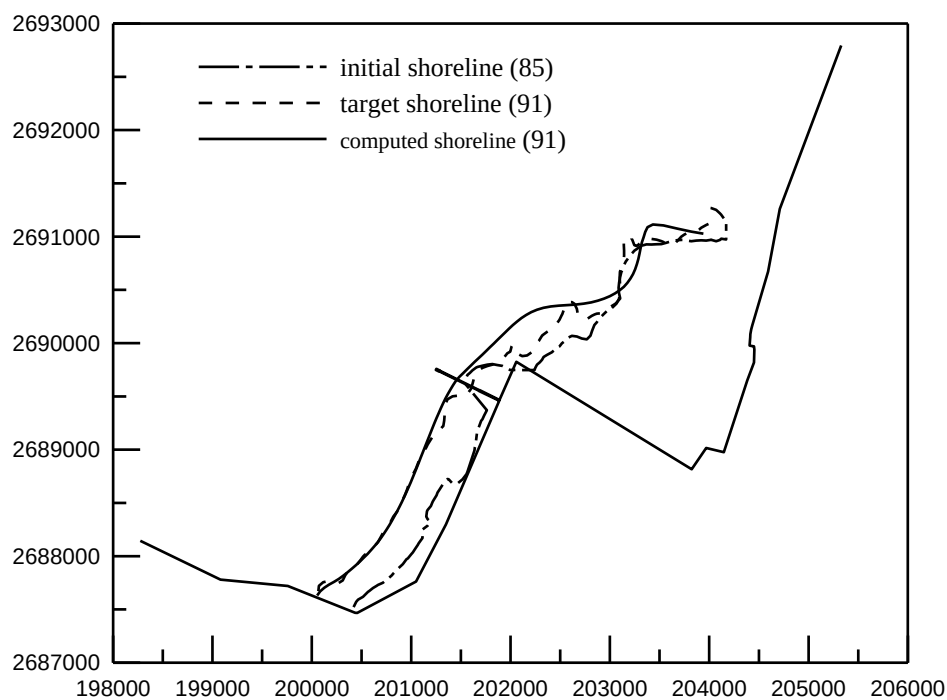


圖 4-11 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自民國 85 年至民國 91 年，沿岸輸沙量 $Q=220 \times 10^4 \text{m}^3/\text{year}$)

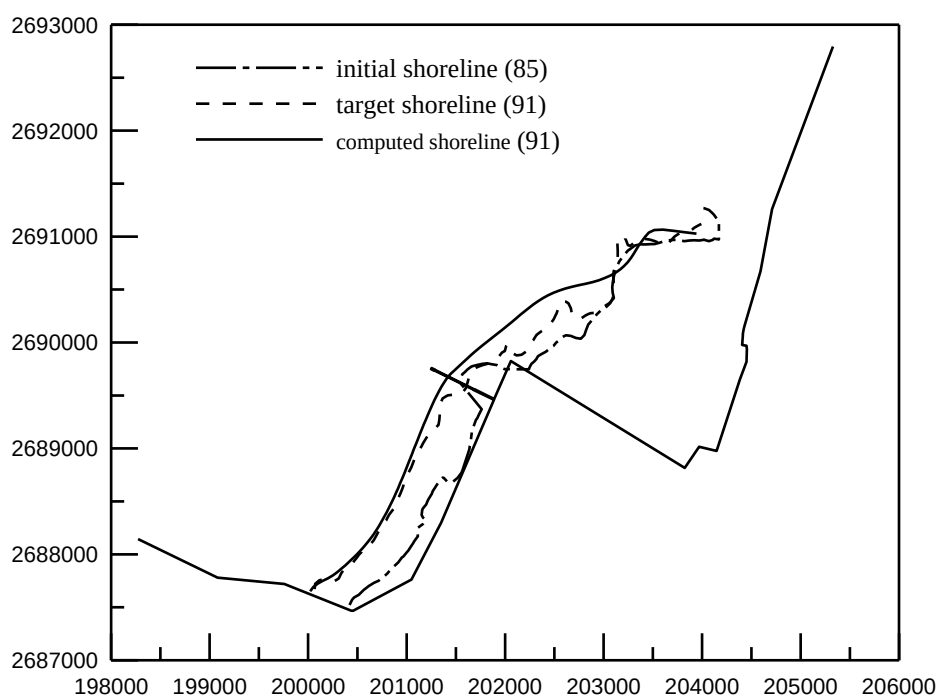


圖 4-12 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自民國 85 年至民國 91 年，沿岸輸沙量 $Q=250 \times 10^4 \text{m}^3/\text{year}$)

4.4.2 GENESIS 灘線模擬

本研究此一章節以 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。研究中所使用的沿岸輸砂量延續上一章節驗證所得之沙量為給定條件進行灘線模擬 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 。GENESIS 模式模擬北防波堤至北防砂堤間灘線結果與實測灘線地形之比較圖如圖 4-13 所示。圖中顯示，以 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 計算所得之灘線，其淤積幅度將大於實測之海岸地形。故本研究將沙量進行調整，將沿岸漂沙量降低為 $Q = 150 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 、 $Q = 170 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 、 $Q = 190 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 對灘線進行計算模擬。其模擬結果如表 4-5 所示：

表 4-5 GENESIS 模式預測灘線與實測地形之比較 (91 年至 95 年)

給定沙量\最大灘線淤積幅度	北防波堤堤址	北防砂堤堤址	北防波堤至北防砂堤間	平均誤差量	標準差
$Q = 150 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$	13m	209.2m	209.2m	48.8m	47.53m
$Q = 170 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$	25m	218.4m	218.4m	39.9m	41.44m
$Q = 190 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$	37m	258.6m	258.6m	53.13m	53.73m
$Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$	67m	290.2m	290.2m	70.4m	56.45m

綜合比較上述沿岸輸砂量，沿岸輸砂量在 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 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。分析北防波堤堤址附近處呈現最大灘線淤積幅度約 67 公尺，北防砂堤與北防波堤間之灘線淤積幅度約為 290.2 公尺，北防砂堤堤址附近灘線淤積幅度約為 290.2 公尺，其模式預測值與實測灘線的平均誤差量為 70.4 公尺，其標準差為 56.45 公尺。在降低給定之輸砂量參數 $Q = 150 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 、 $Q = 170 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 、 $Q = 190 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ ，其模擬

結果顯示 $Q=170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 為給定輸砂條件計算所得之結果與實測資料較為吻合。圖 4-14、圖 4-15 及圖 4-16 為 $Q=150 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 、 $Q=170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 、 $Q=190 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 利用 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測資料比較之模擬結果。由於受到北防波影響，使得北防波堤堤址處灘線亦呈現前進趨勢。由於受到結構物改變影響，其灘線於北防波堤址處灘線無明顯變化趨勢，但由於受到砂原補足的影響，使得此一區域的灘線於北防砂堤南側堤址處呈現持續淤積的現象。圖中顯示，北防砂堤與北防波堤間之灘線淤積幅度約為 13 至 300 公尺左右，北防砂堤堤址附近灘線淤積幅度約為 13 至 67 公尺。在降低沿岸輸砂量條件下，以 $Q=170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 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。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，若假設大甲溪輸砂量未改變狀況下，91 年後北防波堤與北防沙堤間的續沙容量有飽和的趨勢存在。

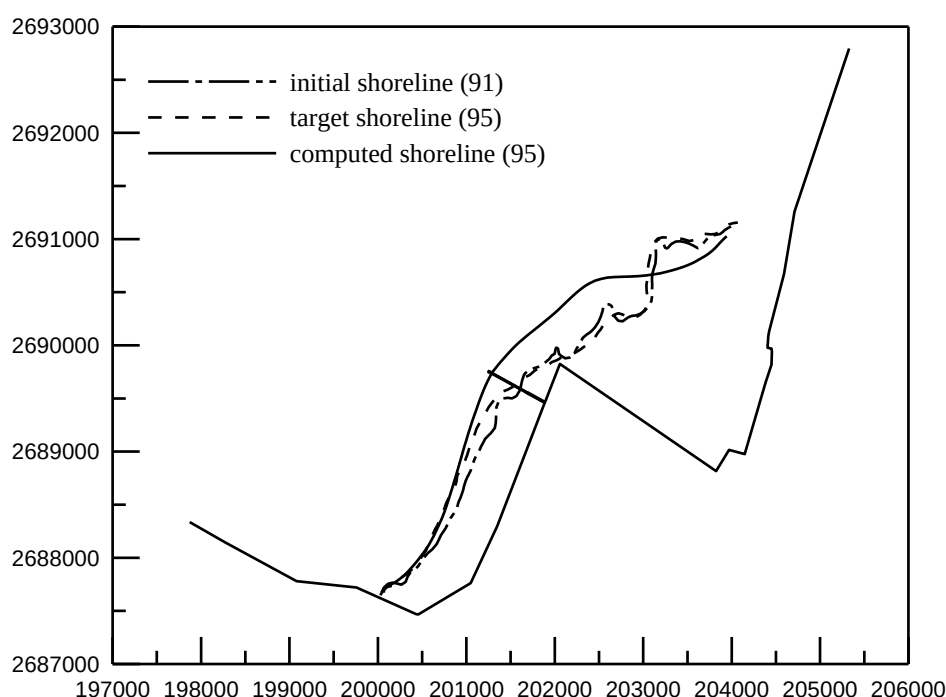


圖 4-13 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自民國 91 年至民國 95 年，沿岸輸砂量 $Q=220 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$)

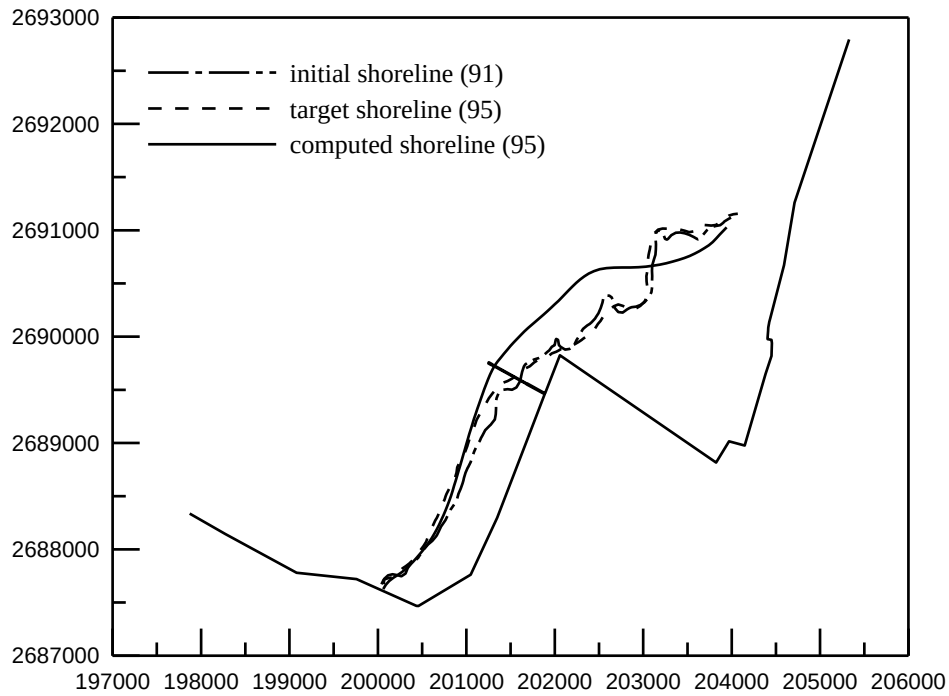


圖 4-14 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自民國 91 年至民國 95 年，沿岸輸沙量 $Q=150 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$)

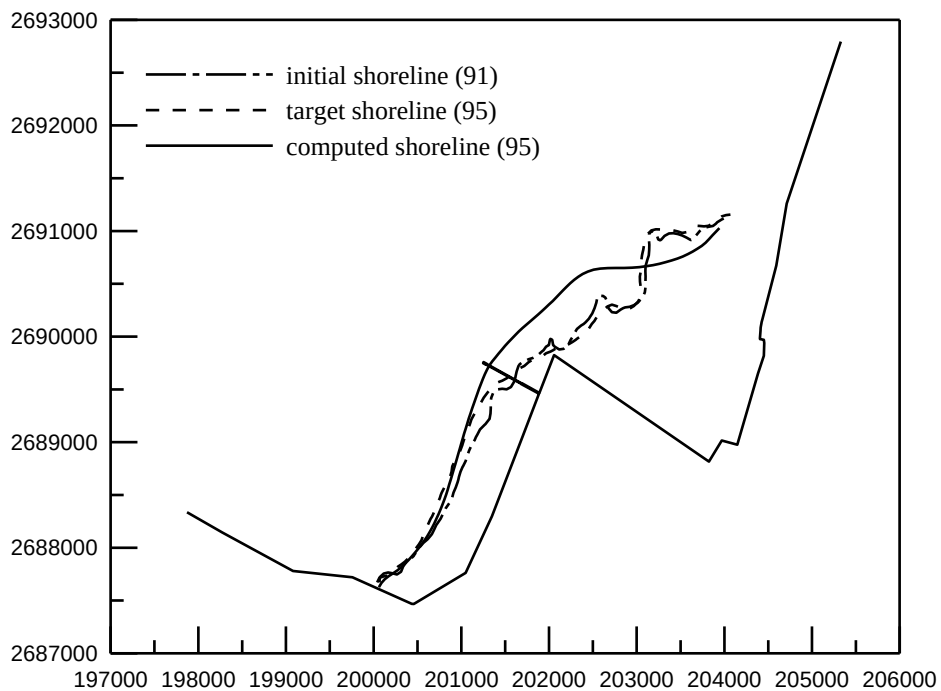


圖 4-15 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
(自民國 91 年至民國 95 年，沿岸輸沙量 $Q=170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$)

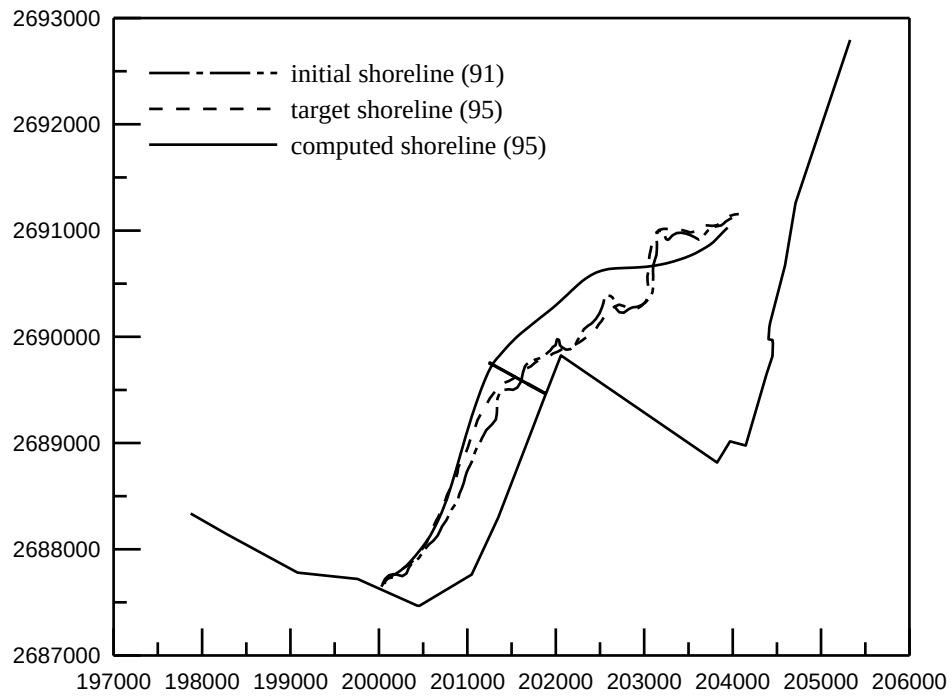


圖 4-16 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較
 (自民國 91 年至民國 95 年，沿岸輸沙量 $Q=190 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$)

4.5 綜合比較

合併比較衛星影像、地形實測資料以及 GENESIS 所推算出來的灘線位置可表示出民國 82 年至民國 95 年的灘線位置變化，本研究選定 6 個代表性的斷面來說明臺中港北堤海岸的灘線變化情形，斷面位置示如圖 4-17。

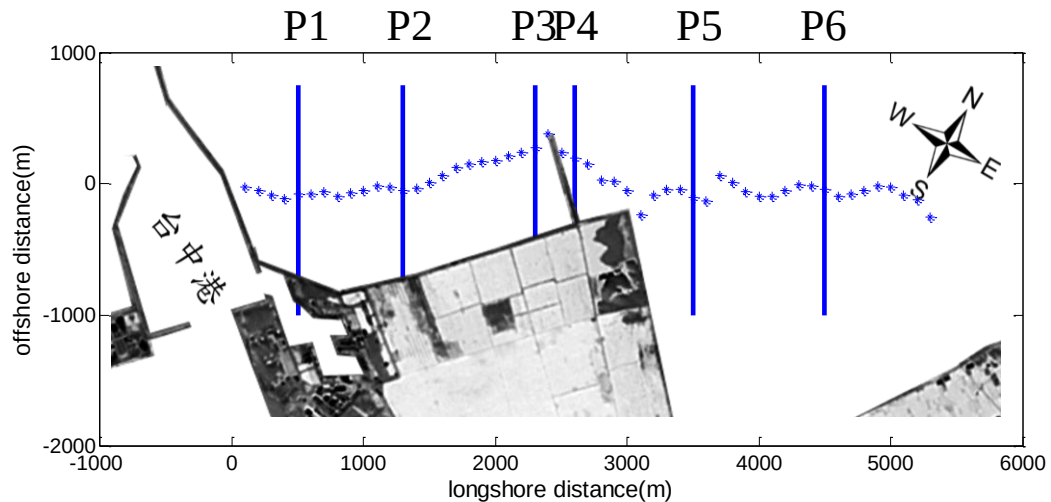


圖 4-17 臺中港北堤六個斷面的位置

上述六個斷面的灘線位置變遷則如圖 4-17 所示。圖中星號為各時間的灘線位置，實線則表示民國 82 年至民國 95 年年間以一次線性迴歸所畫出的趨勢線，六張圖中迴歸結果的 R-square 值分別為 0.9356、0.9714、0.9053、0.3310、0.4759 以及 0.0026，顯示一次線性迴歸十分適合用來描述斷面 P1、P2 以及 P3，而 P4、P5 以及 P6 則因為灘線變化較複雜故較不適合以一次線性迴歸來描述灘線變化的趨勢。P1、P2 以及 P3 三處的斷面分析結果皆顯示灘線持續有淤積的現象，其淤積的速度分別為 30.81 m/year、45.85 m/year、49.08 m/year，以北攔沙堤處的 P3 最快，海岸中段的 P2 次之，靠近北堤的 P1 則略小於 P2 及 P3。另外在北攔沙堤以北的區域以一次線性迴歸結果來看顯示 P4、P5 以及 P6 近年來有緩慢淤積的現象。淤積速度分別為 17.53 m/year、30.99 m/year、1.01 m/year，以 P5 淤積最快，而 P4 以及 P6 則變化不大。

近二十年來臺中港所進行的擴建工程共有兩項，其一為民國 79 年至民國 86 年臺中港北堤向外海延伸 850m，第二為臺中港北堤再度向外海延伸 480m，在圖 4-18 至圖 4-23 中將這兩段施工時間標記為灰色區塊(I)以及灰色區塊(II)，圖中可以發現 P1、P2、P3 以及 P5 在灰色區塊(I)完工之後皆有明顯的淤積現象；而在經過灰色區塊(II)之後，僅有 P2 以及 P3 有明顯的淤積現象。可看出兩段擴建工程對本研究基地不同的斷面位置有不同的影響，但基本上 P2 以及 P3 在兩次擴建後其沙灘沙量皆有大幅度的增加。以目前民國 82 年至民國今年的灘線資料來看，六個斷面的迴歸分析結果皆表現為淤積，但其淤積速度至民國 93 年年之後幾乎都已趨於穩定，甚至在 P1 以及 P5 等斷面在民國 93 年灘線趨於穩定後開始有灘線後退的現象發生。

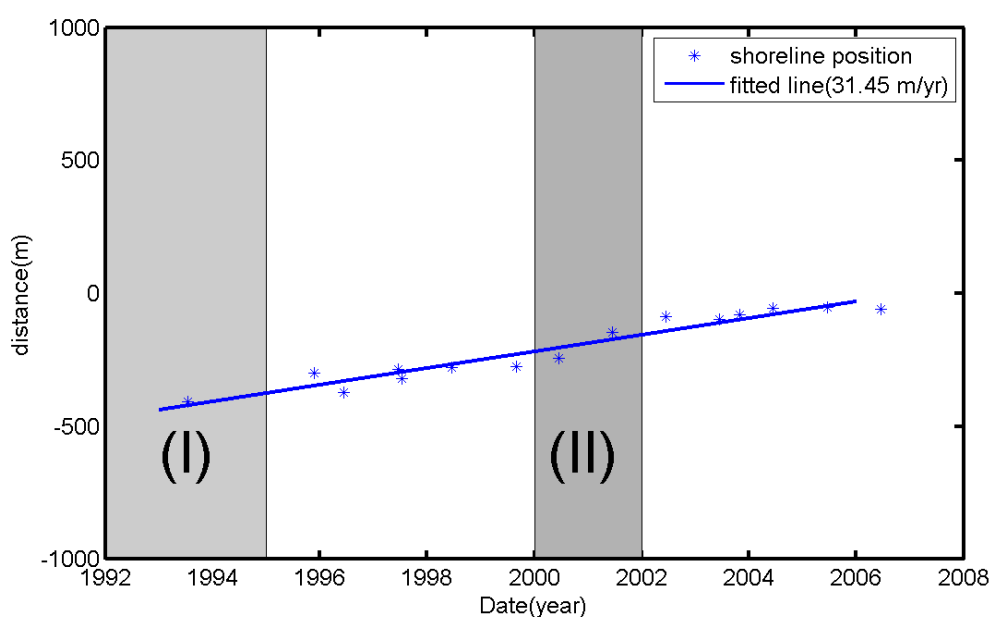


圖 3-18 斷面 P1 的灘線變化圖

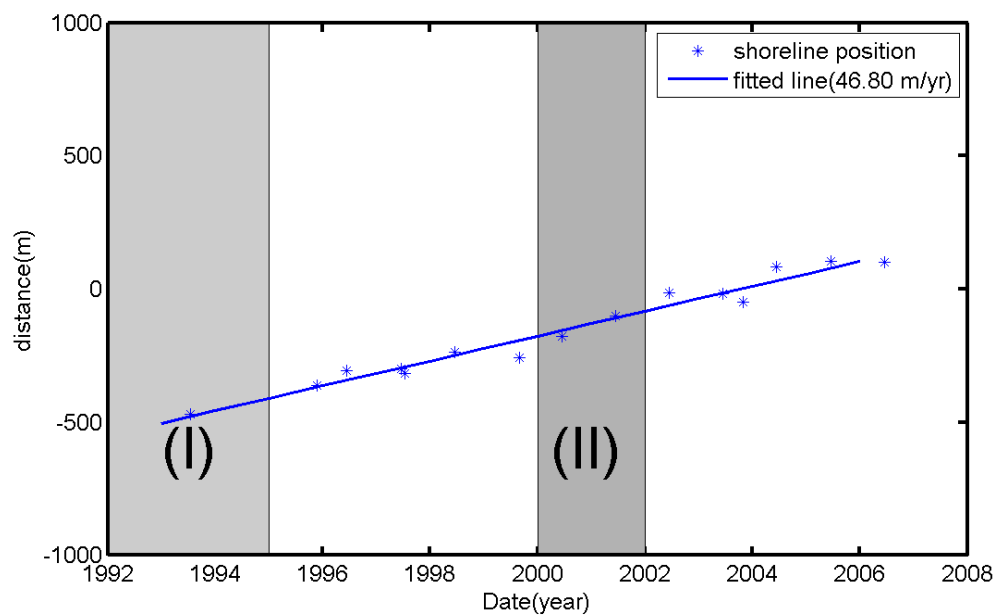


圖 3-19 斷面 P2 的灘線變化圖

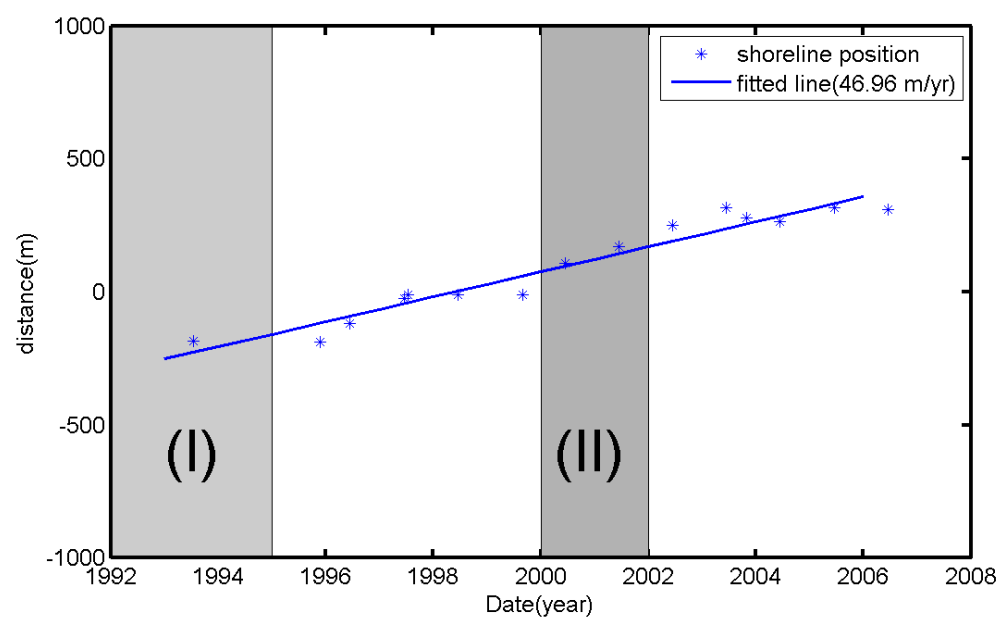


圖 3-20 斷面 P3 的灘線變化圖

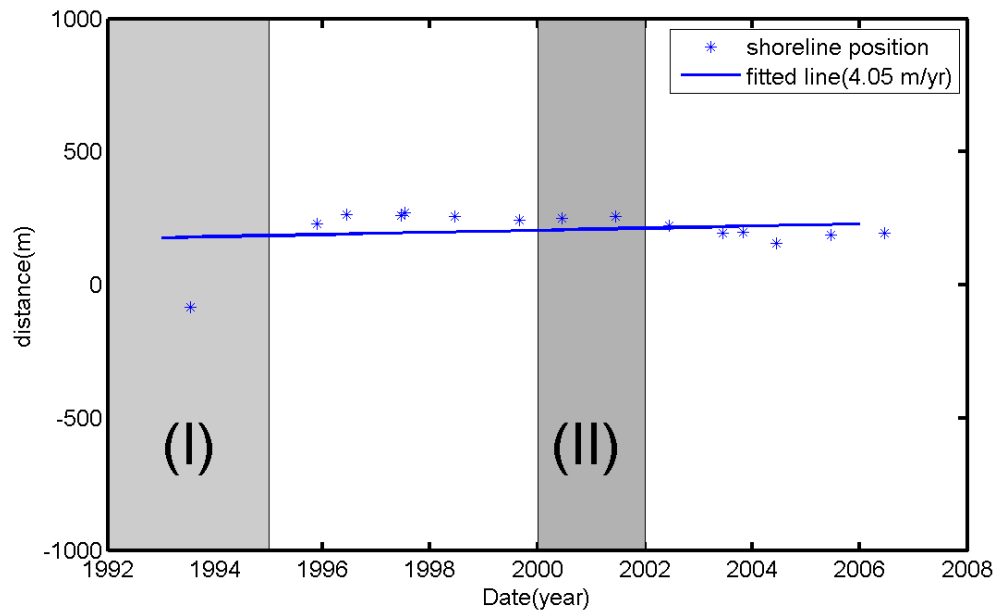


圖 3-21 斷面 P4 的灘線變化圖

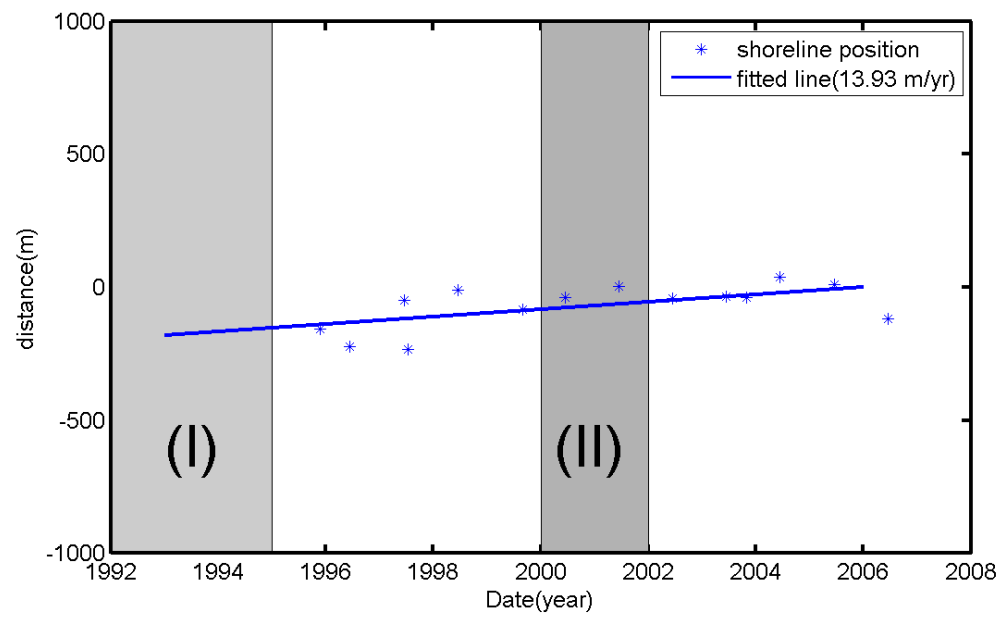


圖 3-22 斷面 P5 的灘線變化圖

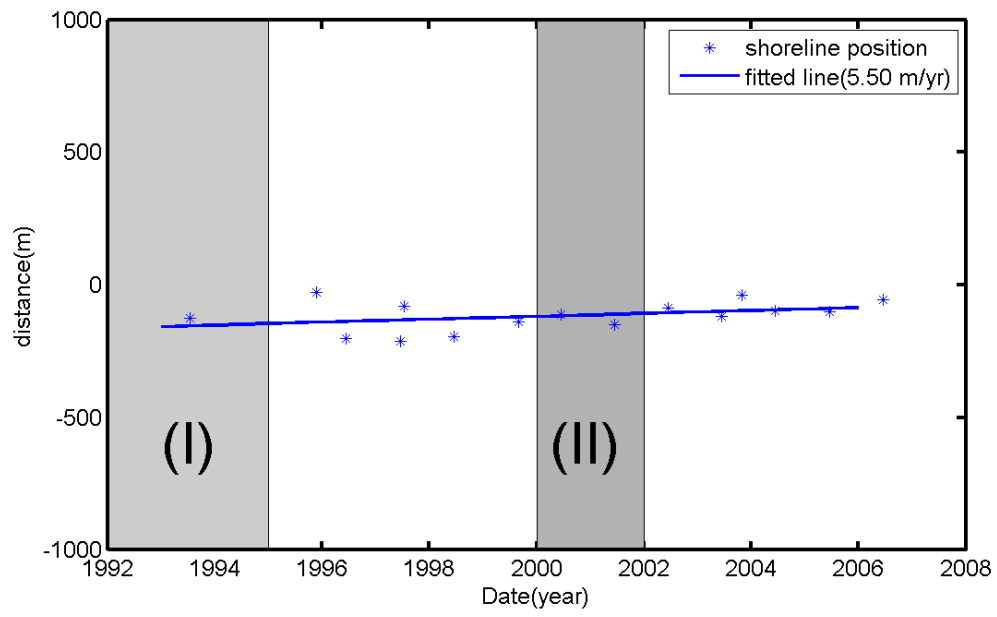


圖 3-23 斷面 P6 的灘線變化圖

第五章 二維地形輸沙數值模擬

5.1 輸沙數值模擬分析程序

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 模組進行潮流流場模擬及近岸流場模擬，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，作為模擬計算之輸入條件，可得波浪與潮流共同作用下所造成之漂沙潛量，依此成果可瞭解計算海域內漂沙移動之特性，並判斷其侵淤特性，整體分析程序流程圖如圖 5-1 所示。由圖中可知，局部海域之二維 MIKE 21 HD 水動力模組主要應用區域海域計算所得之水動力邊界條件來模擬局部海域的海流型態，且於計算時同時考慮局部海域計算所得之波浪場與輻射應力分布。

5.1.1 地形水深資料

本研究區域海域的範圍主要為臺中附近海域，地形水深資料採用 MIKE C-Map 資料庫之電子數位水深圖，網格大小為 500m，模擬範圍之地形水深如圖 5-2 所示。局部海域的範圍主要為臺中港海域，並採用臺中港現地實測地形水深資料，網格大小為 20m，為瞭解臺中港北防波堤延伸前後不同的漂沙特性，特別選擇防波堤第 2 次延伸開始的民國 89 年和近期的民國 94 年現地實測資料作為模式的起始地形水深，模擬範圍之地形水深如圖 5-3 和圖 5-4 所示，圖 5-3 為民國 89 年的地形水深，而圖 5-4 為民國 94 年的地形水深。

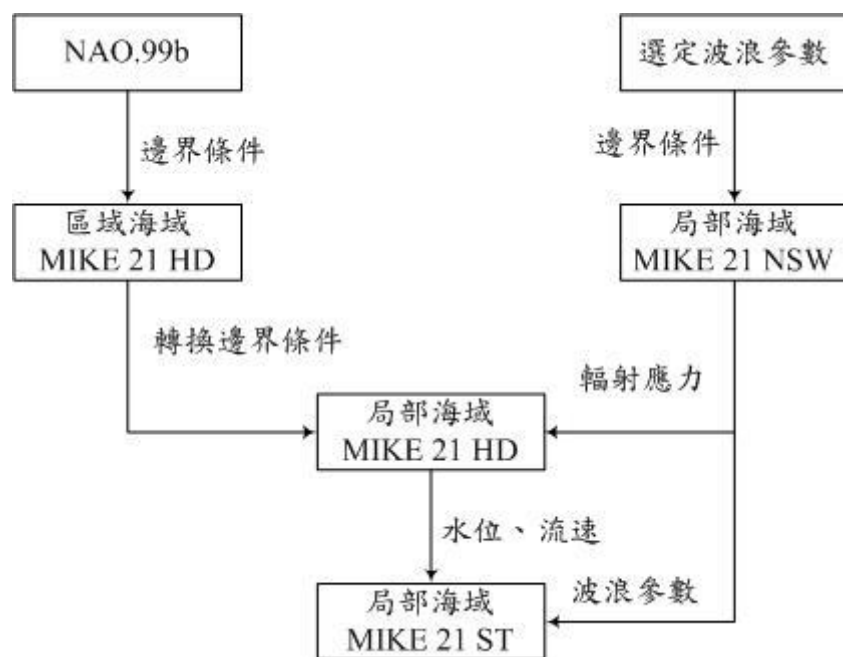


圖 5-1 二維輸沙模式模擬流程圖

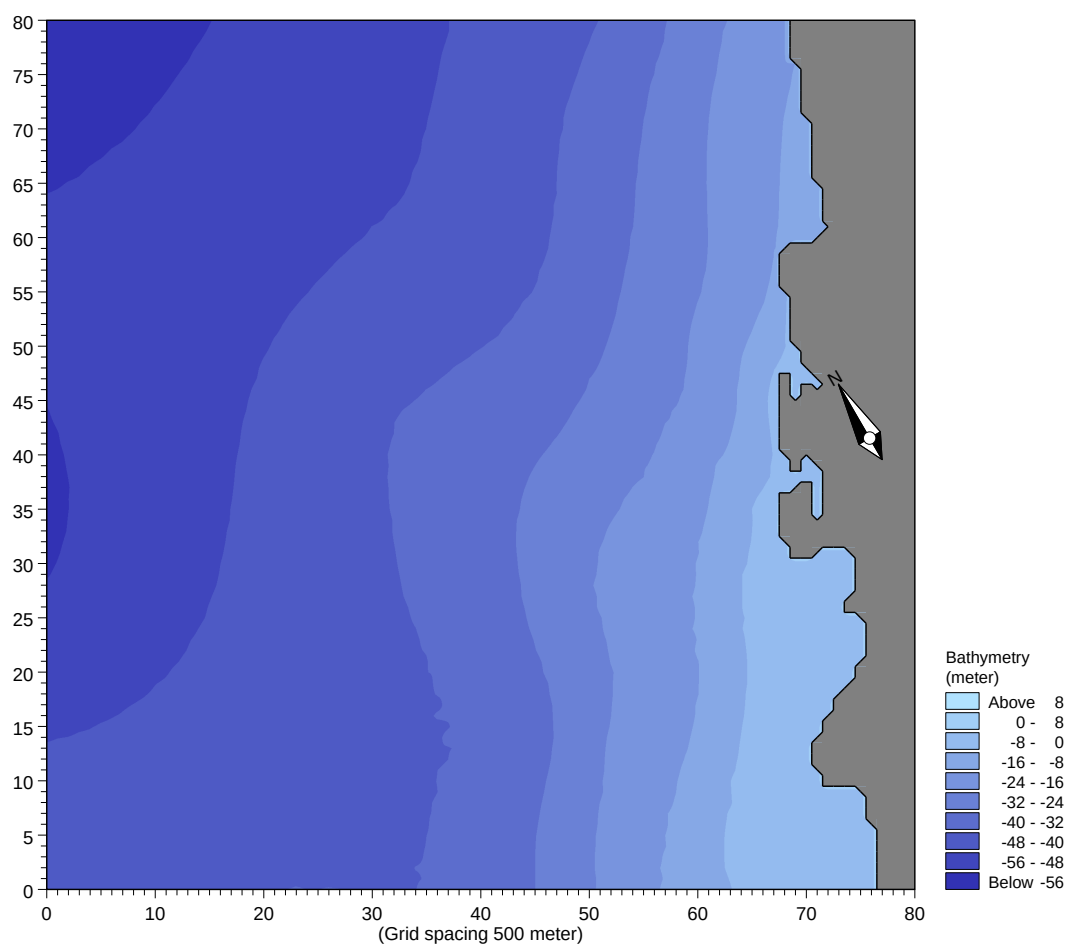


圖 5-2 臺中附近海域邊界及地形水深

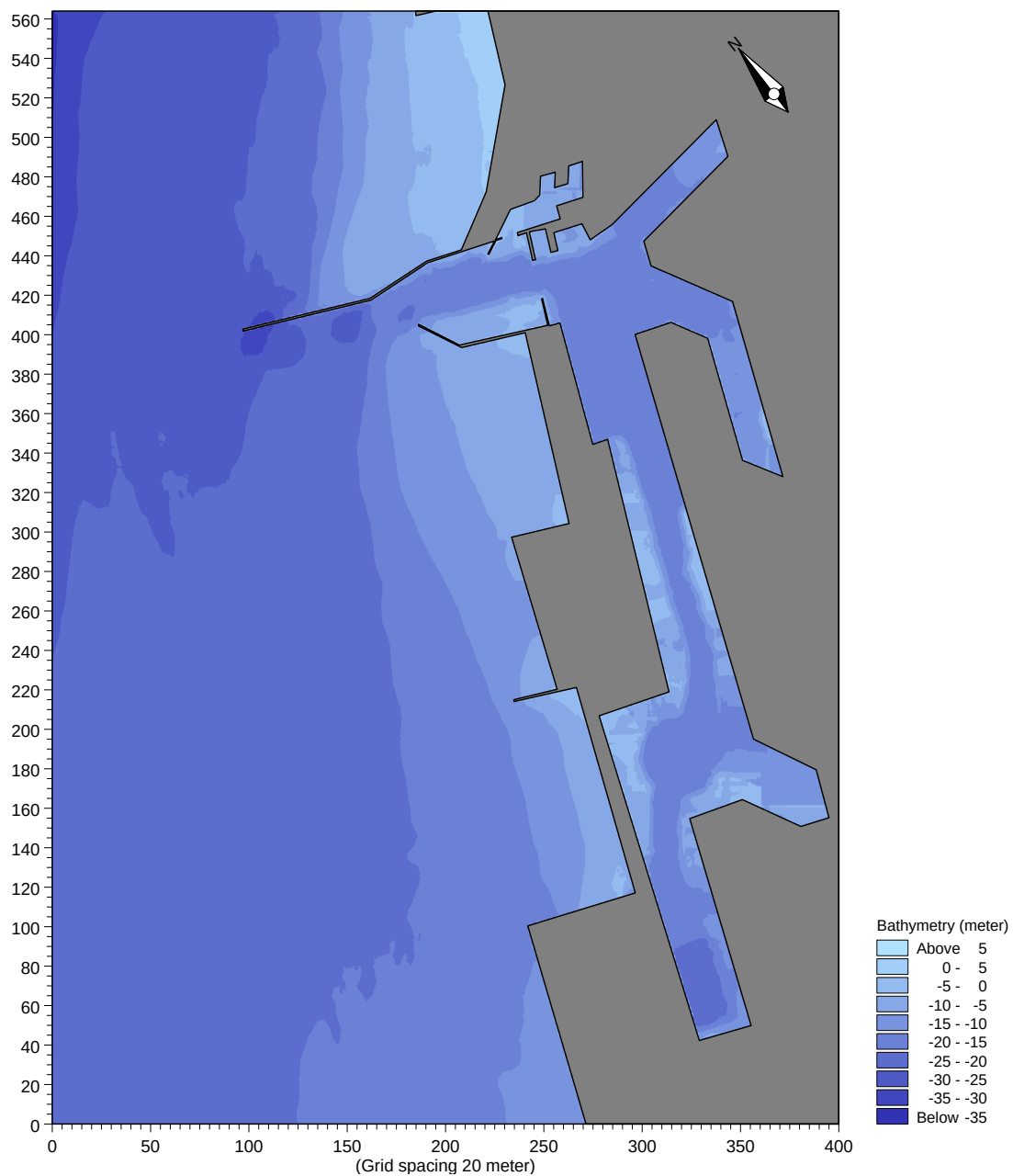


圖 5-3 臺中港海域邊界及 89 年地形水深

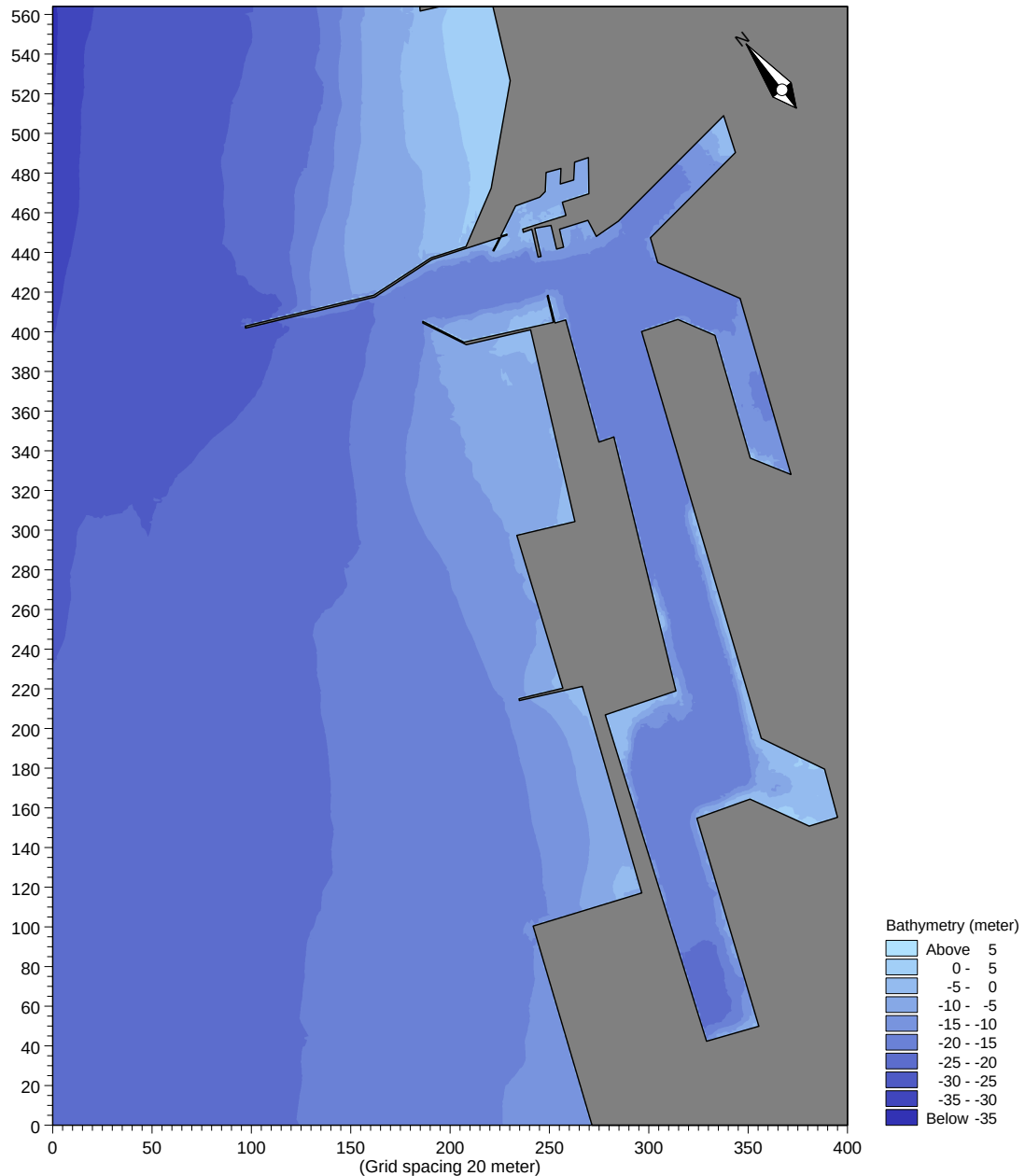


圖 5-4 臺中港海域邊界及 94 年地形水深

5.1.2 波浪條件

由表 2-12 的颱風波浪推算成果及表 3-1 漂沙特性分析成果可得表 5-1 的代表波浪條件，由表中可知，冬季季風示性波高為 2.1m，示性週期為 6.6sec，波向為 N 向，夏季季風示性波高為 0.9m，示性週期為 6.3sec，波向為 W 向，10 年迴歸期颱風示性波高為 5.5m，示性週期為 9.8sec，波向為 N 向。

表 5-1 季風及颱風代表波浪條件

類型	示性波高(m)	示性週期(sec)	波向
冬季季風	2.1	6.6	N
夏季季風	0.9	6.3	W
颱風(10 年迴歸期)	5.5	9.8	N

5.1.3 模擬時間區段

本研究模擬的時間區段主要考慮一全潮汐週期之潮位變動，但因一全潮汐週期潮位之逐日變動性，於評估平均之輸沙型態時，必須於逐日變動潮位之潮汐週期間進行選擇，本研究選定大潮期間的一全潮汐週期作為模式的模擬時間區段，該起迄時間如表 5-2 所示，由表中可知，模擬時間區段總計 35 小時，其中前 9 小時的暖啟動時間並未列入潮汐週期時間區段內。

表 5-2 模式模擬時間區段

	模擬開始時間	暖啟動結束時間	模擬結束時間
全潮汐週期	民國 95 年 10 月 8 日 02:00	民國 95 年 10 月 8 日 10:00	民國 95 年 10 月 9 日 12:00

5.2 二維波浪場數值模擬

本研究採用 MIKE 21 NSW 模組進行波浪場模擬，模擬計算間隔為 1 小時，各計算間隔之間，波場彼此相互獨立處理，潮位引用臺中港之觀測潮位，於計算時間區段內，潮位將隨時間而變化，但全計算範圍內，潮位保持等值，即不隨位置而改變。計算結果包括各網格點上之波高、週期、波向及輻射應力等波浪特性參數，其中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之主要波浪特性輸入參數。

臺中港之波浪場模擬計算結果如圖 5-5~圖 5-10 所示，圖中示性波高(Hs)以等值線顯示，波浪之平均波向則以箭頭表示。由圖中可知，波浪因折射效應使近海岸處之波前線(wave fronts)明顯趨向與海岸線平行，且由於淺化效應，波高值由外海向近岸處遞減。N 向的波浪使北防波堤南側形成一防波堤屏蔽區，屏蔽區內波高快速的遞減。

另比較採用不同年代地形水深的計算結果，發現在防沙堤和北防波堤間的北淤沙區近岸處，採用民國 94 年的地形所得的波高值小於採用民國 89 年的地形所得的波高值。

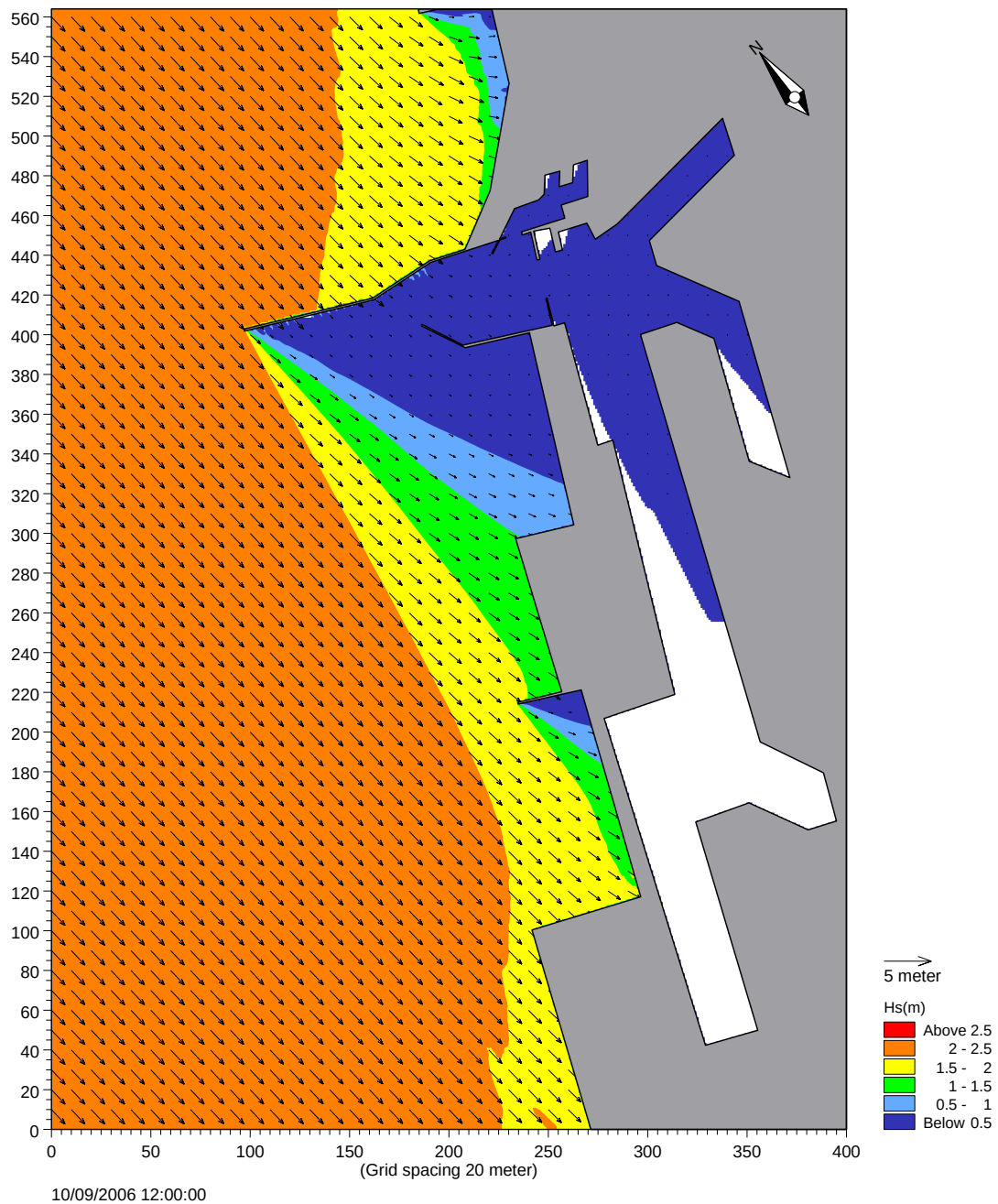


圖 5-5 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)波高波向分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

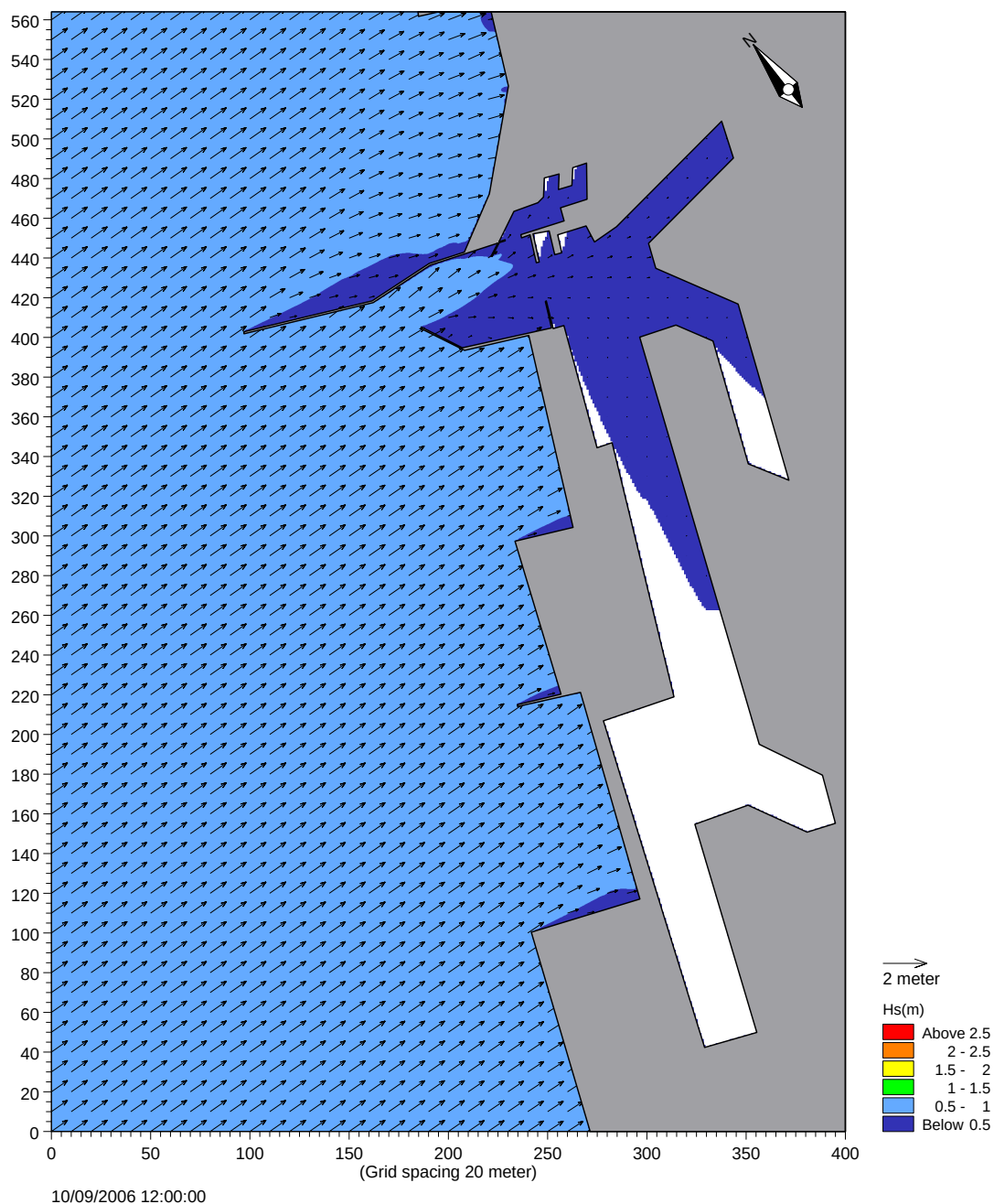


圖 5-6 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)波高波向分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

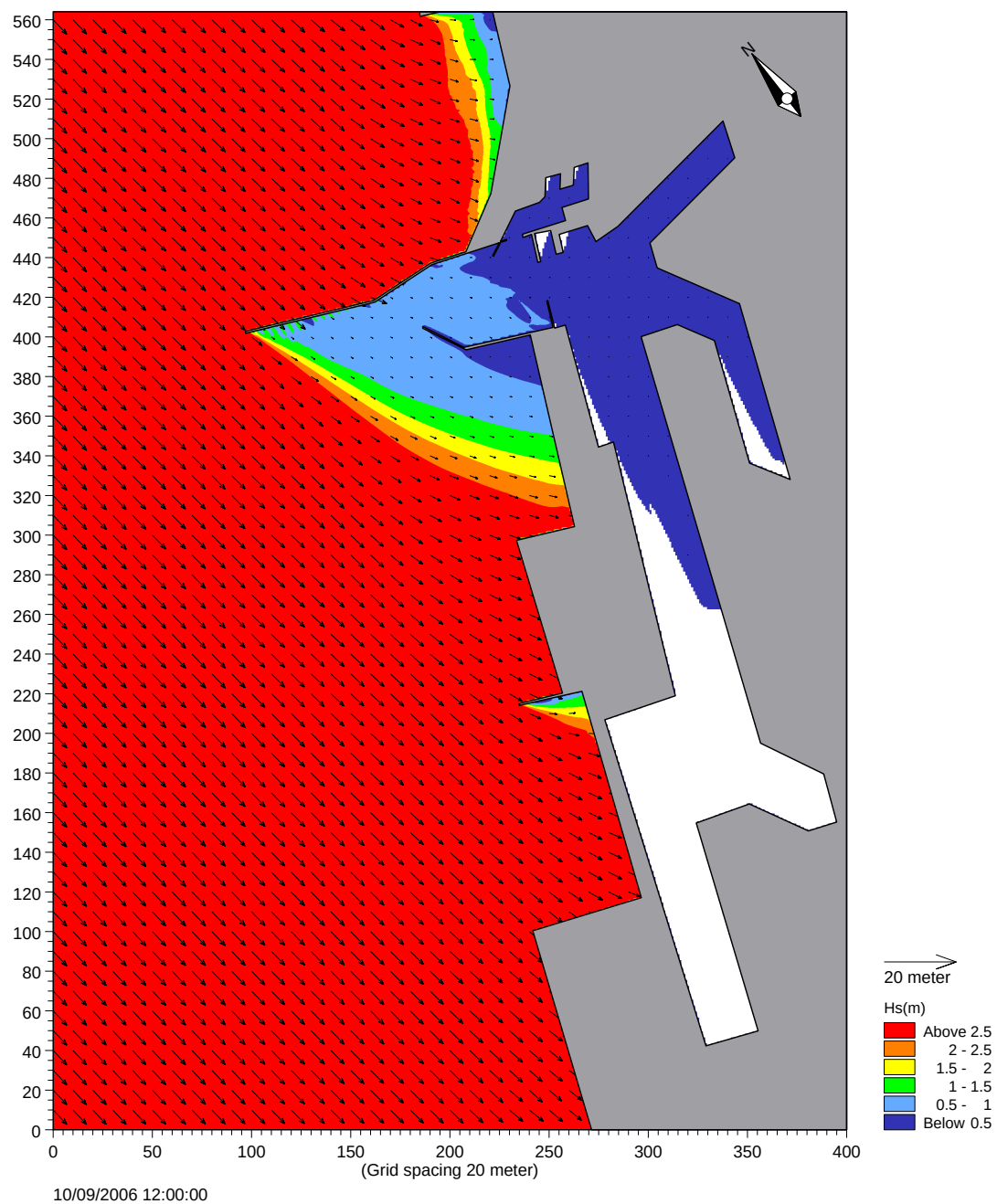


圖 5-7 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)波高波向分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

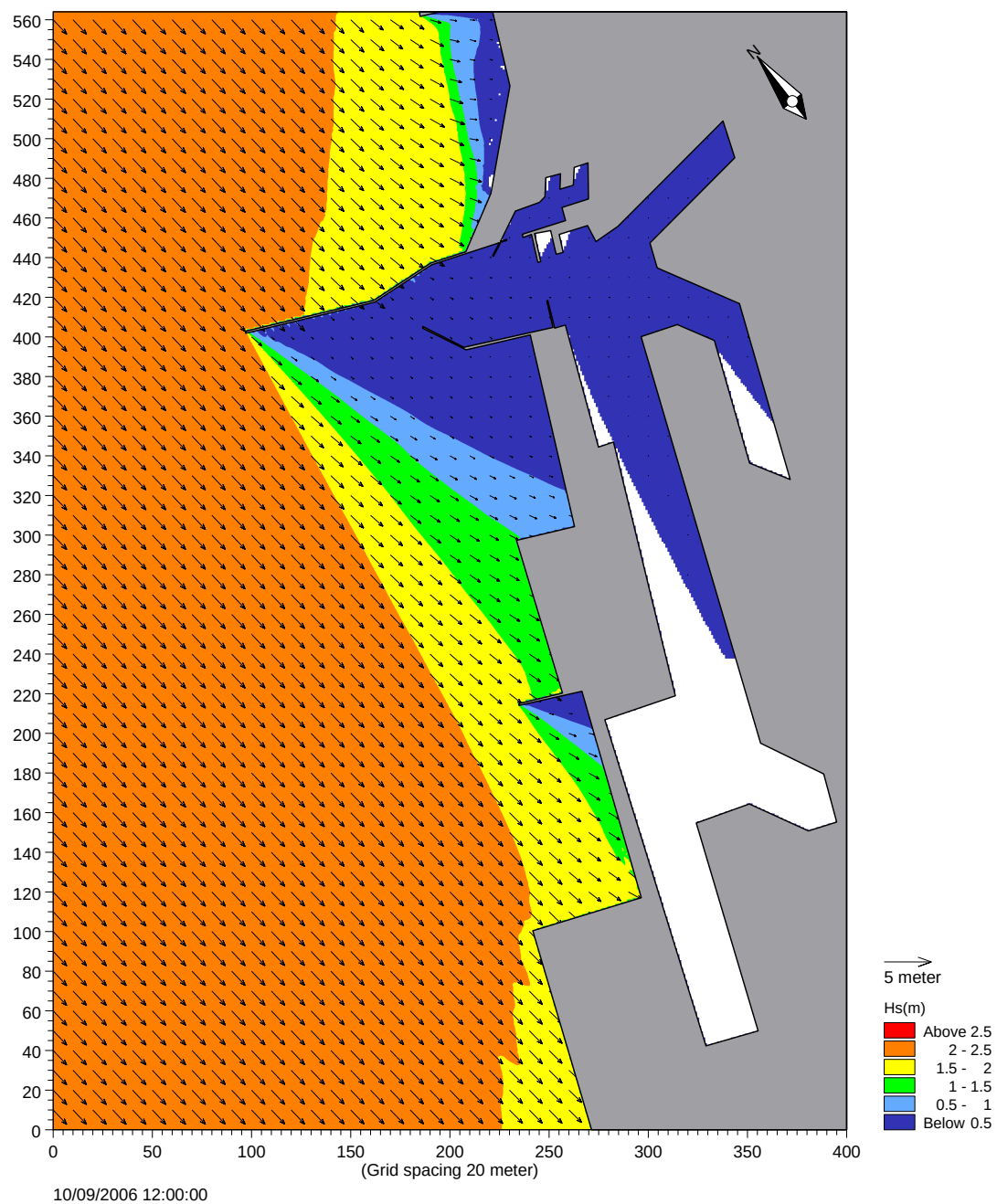


圖 5-8 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)波高波向分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)

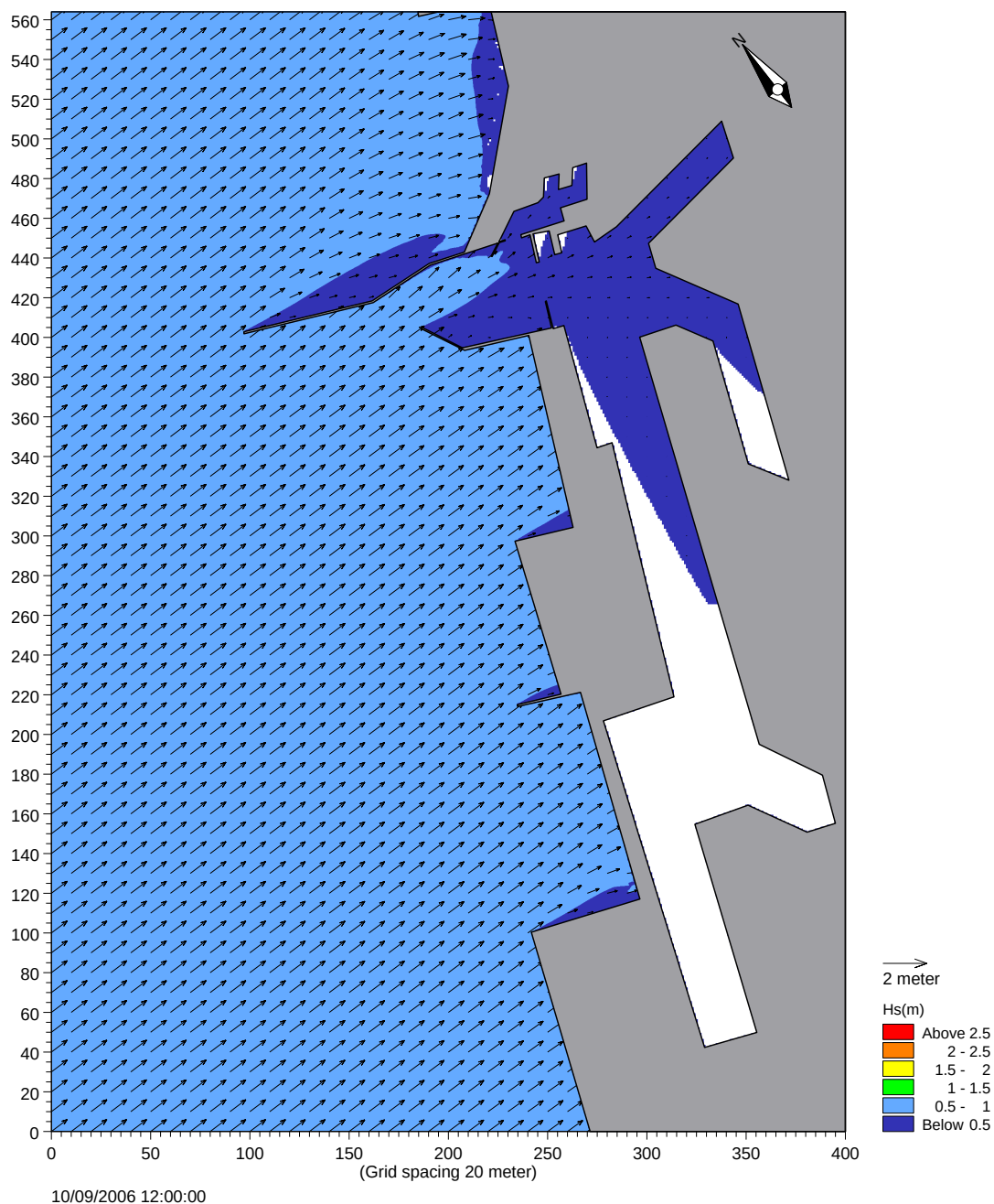


圖 5-9 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)波高波向分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)

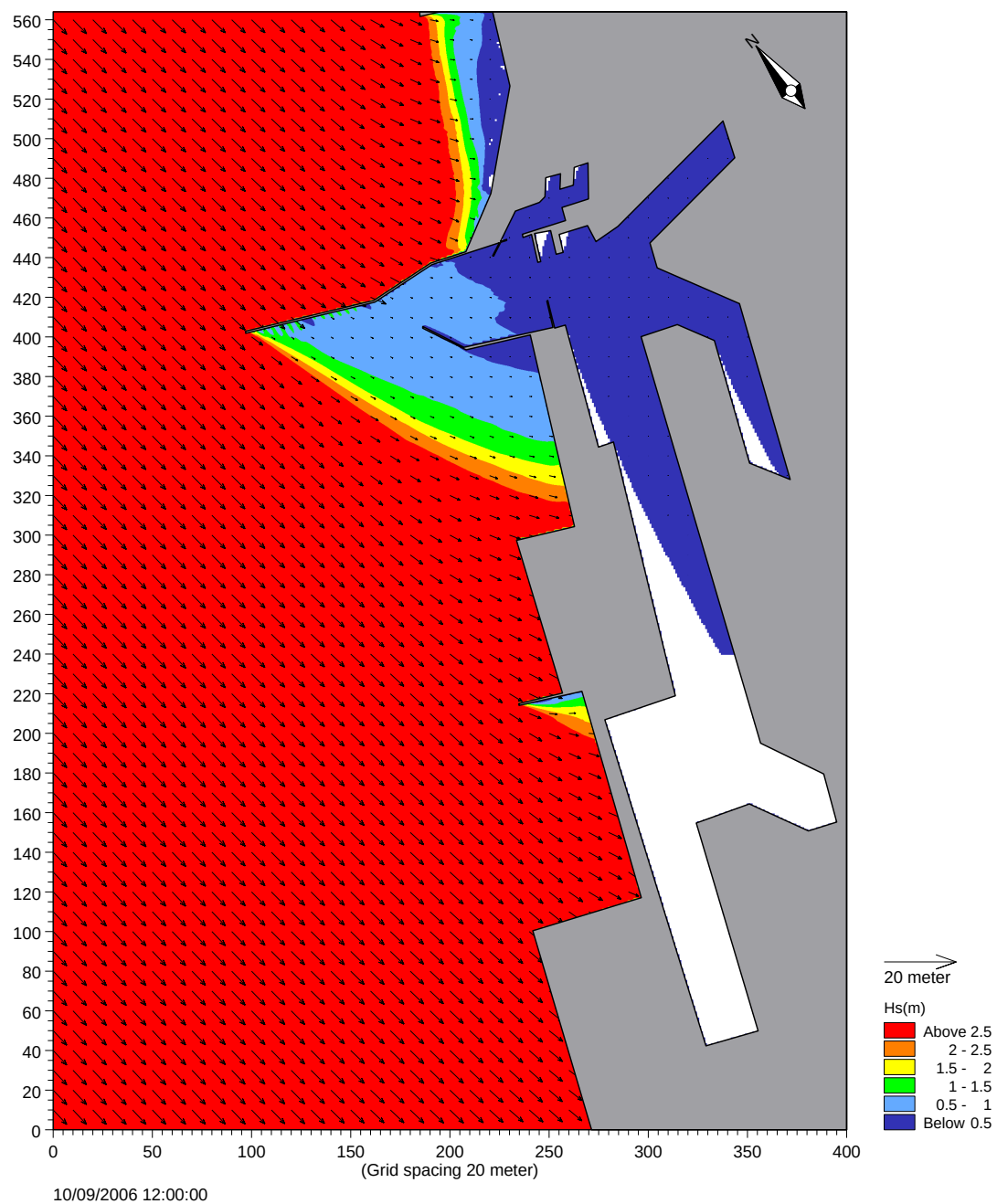


圖 5-10 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)波高波向分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)

5.3 二維流場數值模擬

本研究採用 MIKE 21 HD 水動力模組進行流場模擬，將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。

5.3.1 區域海域流場模擬結果與驗證

對圖 5-2 所示之計算範圍而言，不透水之邊界條件將應用於臺中附近沿岸，而開放海域上之邊界條件係依據 Matsumoto 等人(2000)針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果，針對選定之模擬時段，將其設定於開放海域邊界上，經由模擬計算可得臺中附近海域流場分布如圖 5-11 和圖 5-12 所示，圖中色階代表計算海域內之等潮位線，箭頭表示海域內潮流之大小與方向，由模擬結果可知，漲潮時潮流分別從南北兩端向臺中附近海域匯流，退潮時則由臺中附近海域分別向南北兩端流出。

為確認區域海域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 5-13 所示，圖中實線為實測資料，虛線為預測結果，由圖中可知，臺中港實測與預測的潮位幾乎一致，因此，應用 MIKE 21 HD 水動力模式配合本研究所使用之邊界設定，確實可充分掌握並完整呈現臺中附近海域潮位與潮時之整體變化特性及分布趨勢。

5.3.2 局部海域流場模擬結果

局部區域海域之水動力邊界條件，於巢狀網格交疊配置下，將可自區域海域之水動力模式計算結果中萃取後應用，因此，使用圖 5-3 和圖 5-4 所示之臺中港海域之地形水深資料，配合萃取自臺中附近海域計算結果之逐時潮位或流速，並應用 5.2 節 MIKE 21 NSW 模擬計算所得輻射應力之成果，重複應用水深積分後之二維水動力系統計算模式，可得臺中港海域潮流分布如圖 5-14~圖 5-19 所示。

由圖 5-14 和圖 5-17 不同年代冬季季風流場的比較可知，北防波

堤延長後，在北淤沙區靠近北防波堤外海產生一流速較弱的區域。由圖 5-15 和圖 5-18 不同年代夏季季風流場的比較可知，流場特性大致相同，僅在北防波堤堤頭附近所產生的漩渦有些許差異。由圖 5-16 和圖 5-19 不同年代 10 年迴歸期颱風流場的比較可知，流場特性大致相同，且皆會在臺中港南側產生大範圍的漩渦，範圍最遠約可到達南側突堤外海。

圖 5-20~圖 5-23 為不同潮位冬季季風流場分布圖，由圖 5-20 和圖 5-21 中可知，當臺中港退潮接近至低潮及漲潮剛過平潮時，北防波堤堤頭以北的流場為由南往北流動。由圖 5-22 和圖 5-23 中可知，當臺中港退潮剛過平潮及漲潮接近至高潮時，北防波堤堤頭以北的流場為由北往南流動。

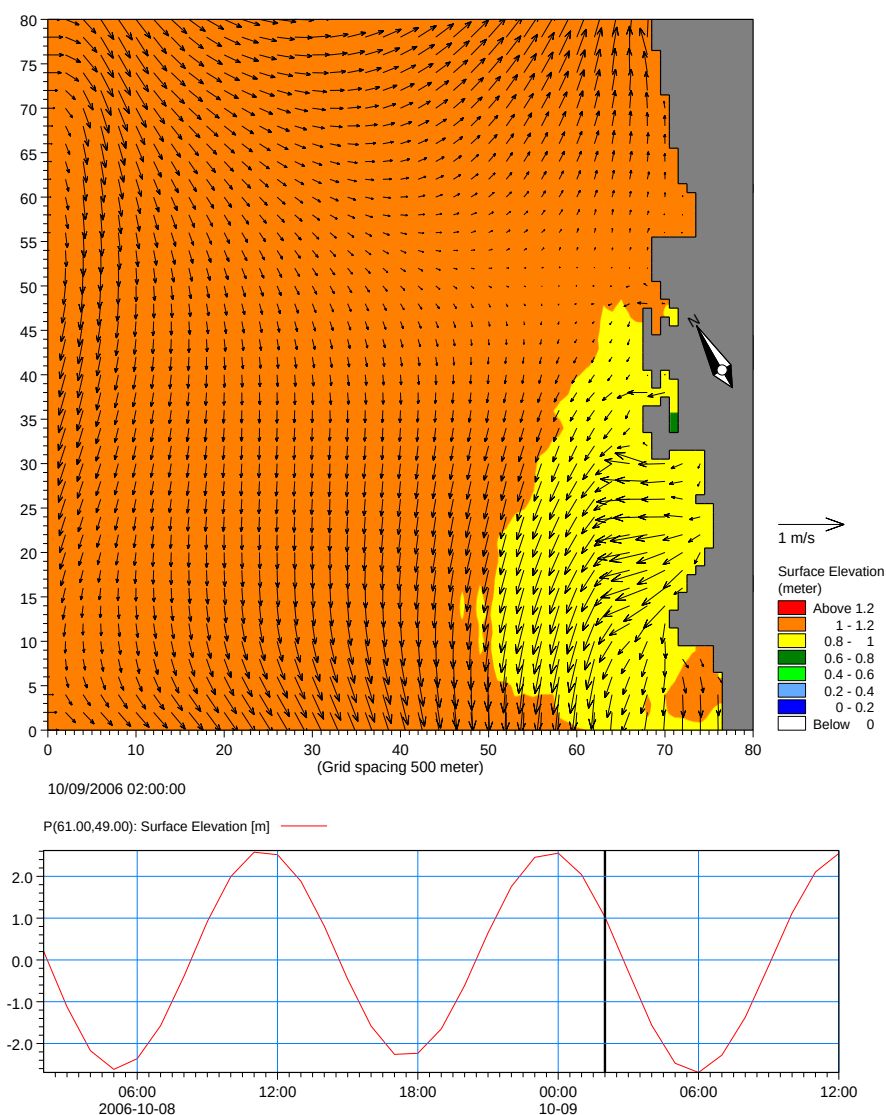


圖 5-11 臺中附近海域潮流分布，參考潮位：臺中港退潮

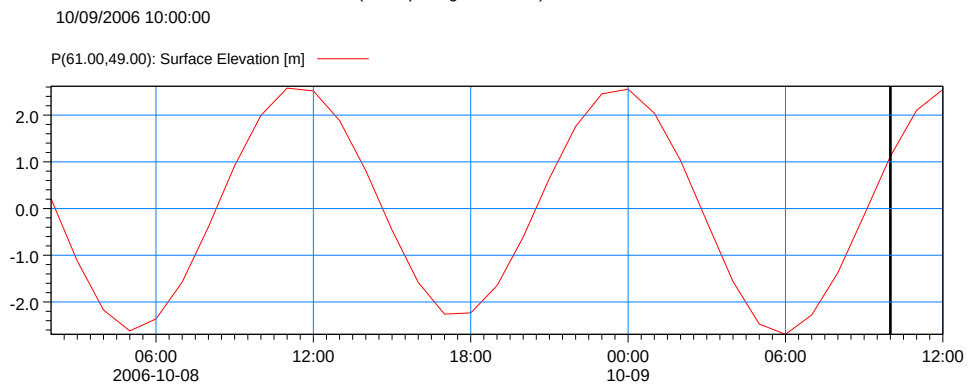
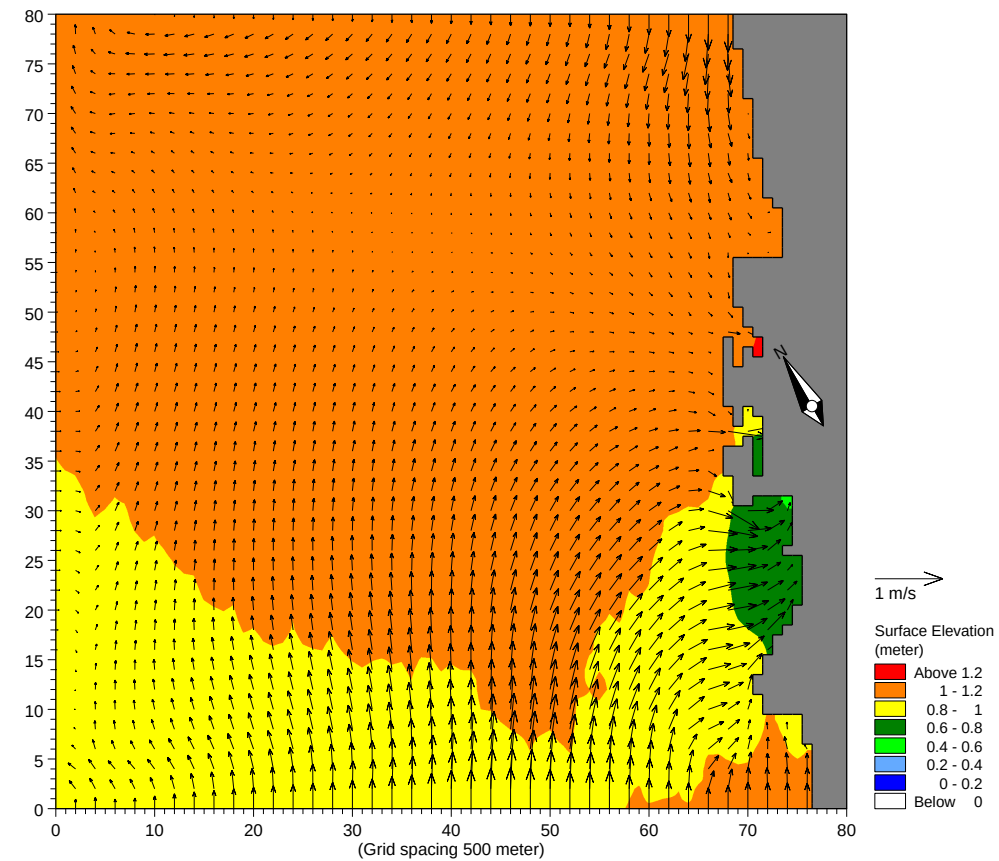


圖 5-12 臺中附近海域潮流分布，參考潮位：臺中港漲潮

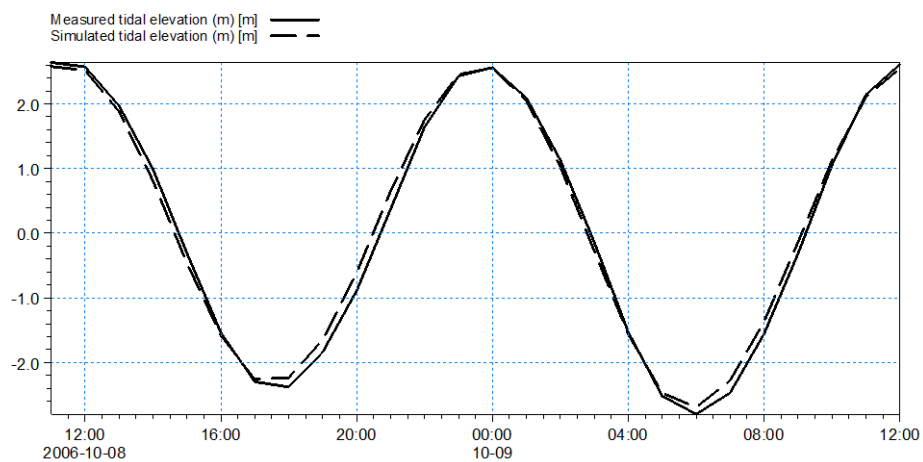


圖 5-13 區域海域計算結果中的臺中港潮位驗證

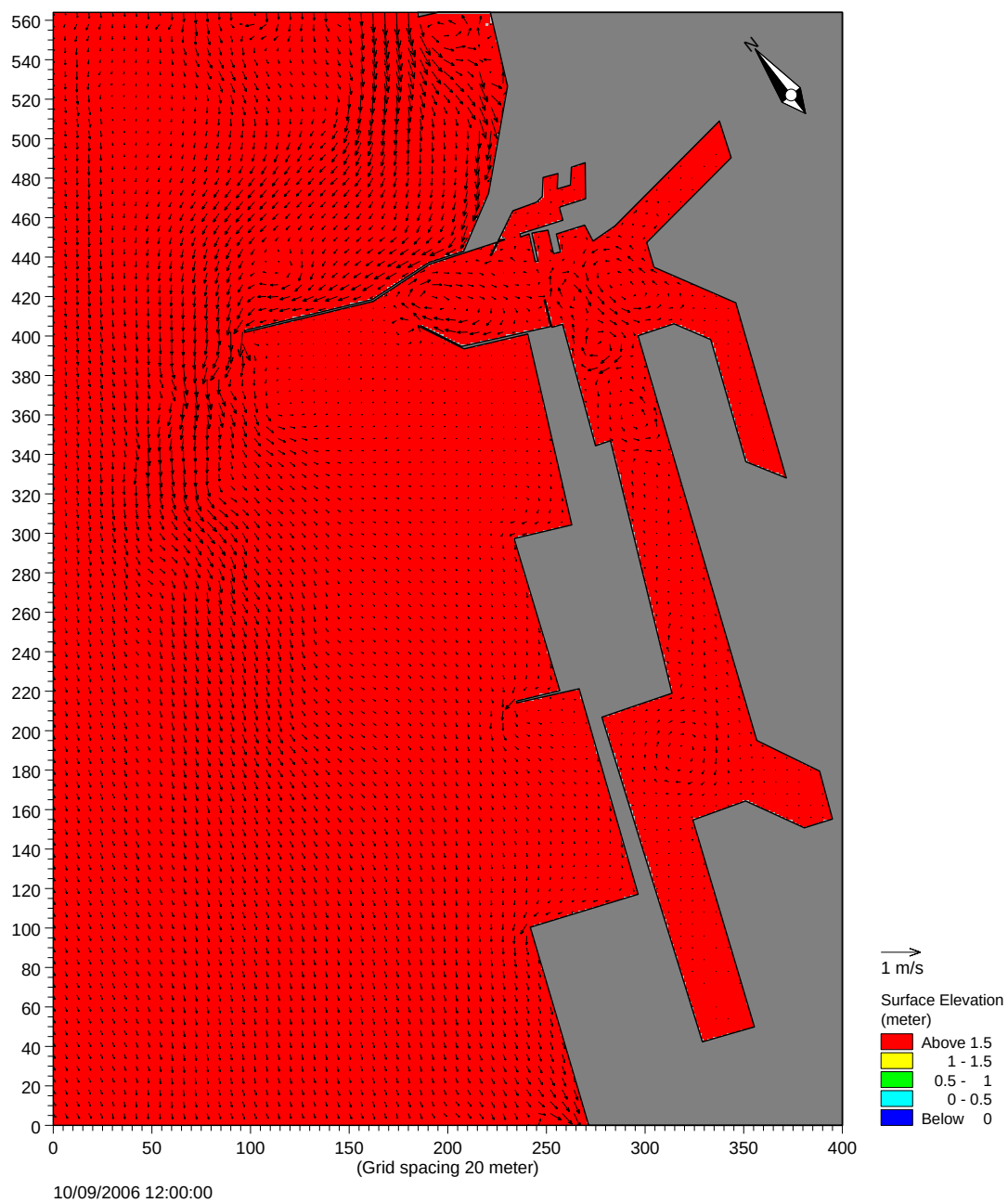


圖 5-14 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

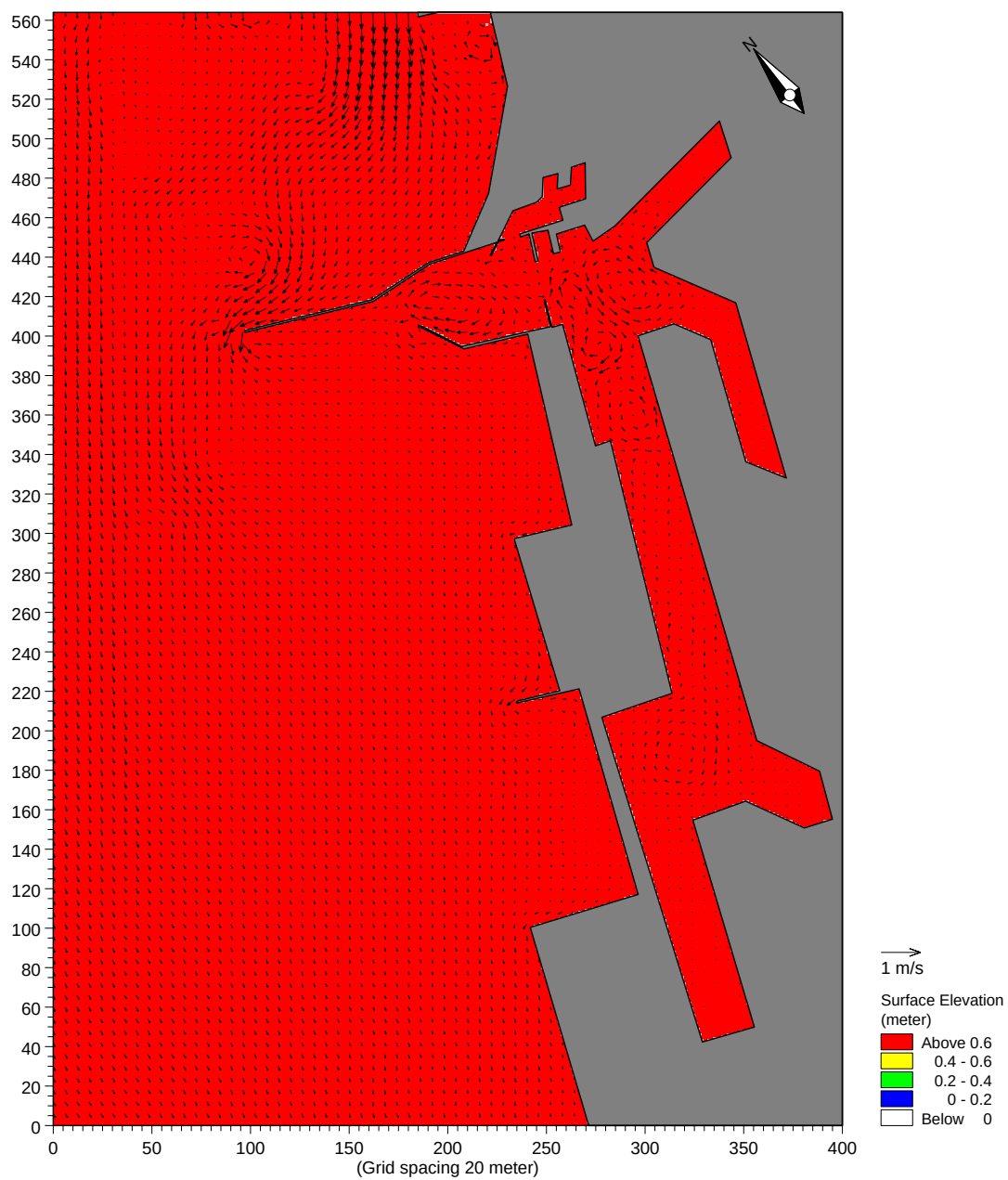


圖 5-15 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)流場分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

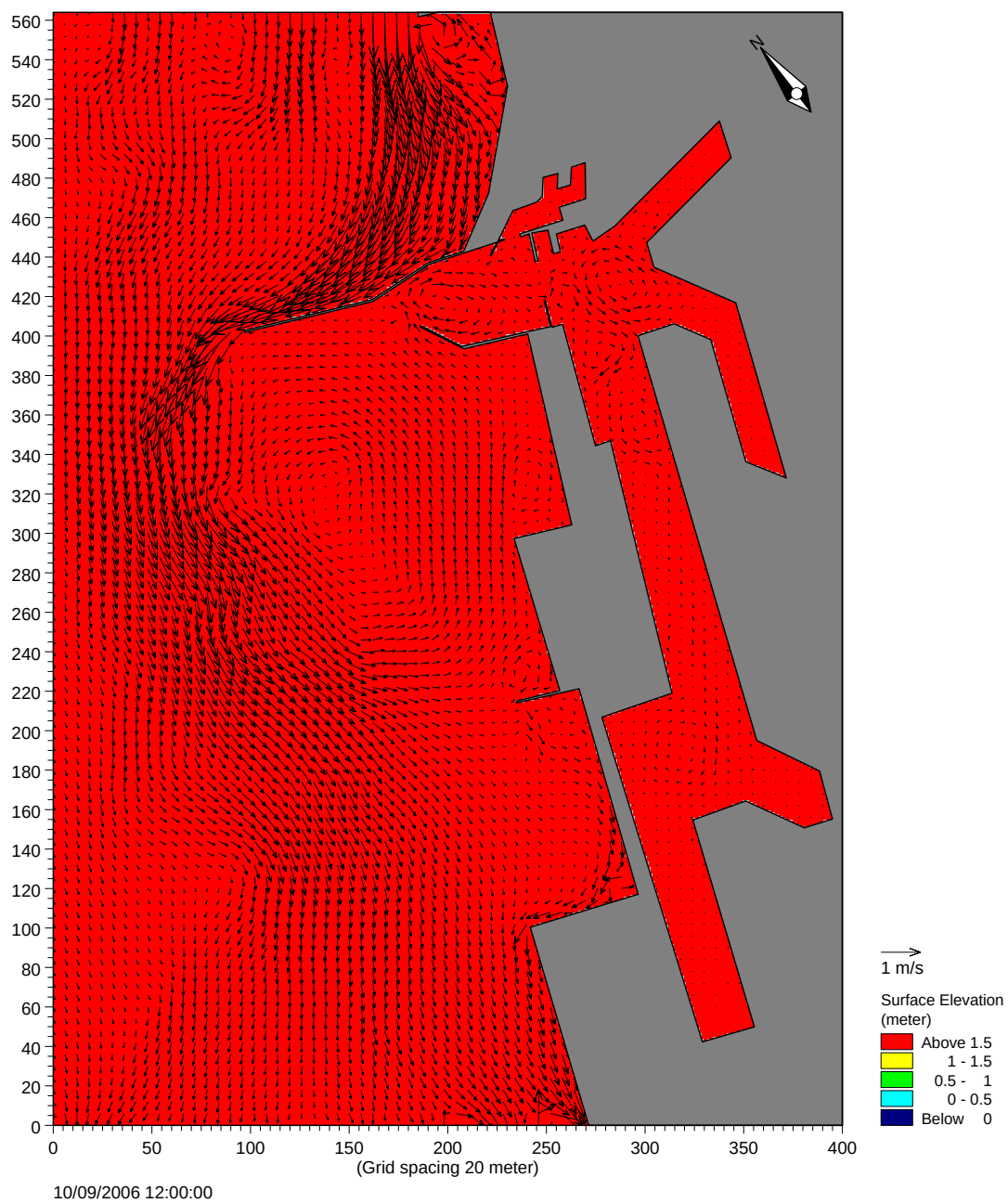


圖 5-16 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

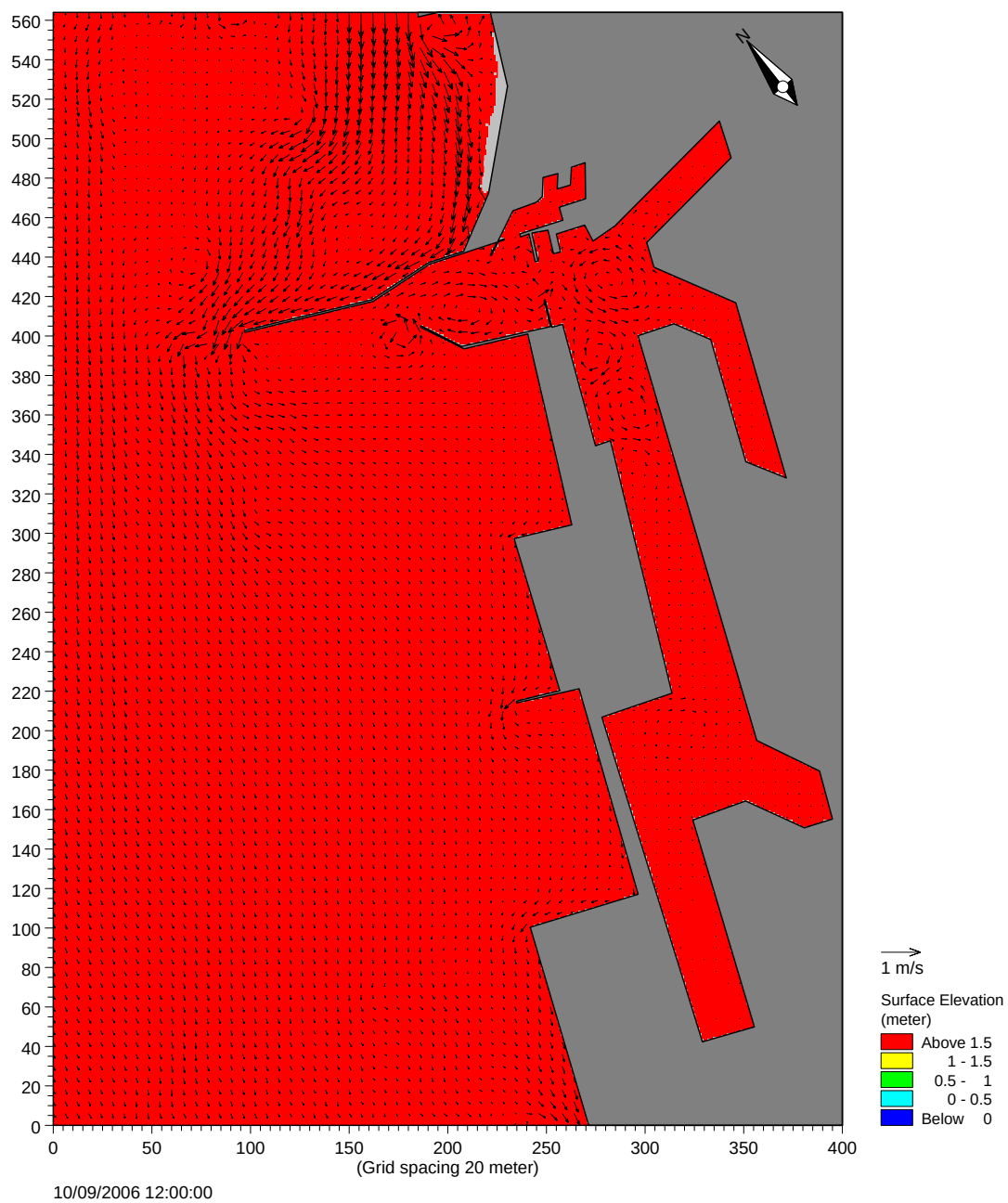


圖 5-17 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)

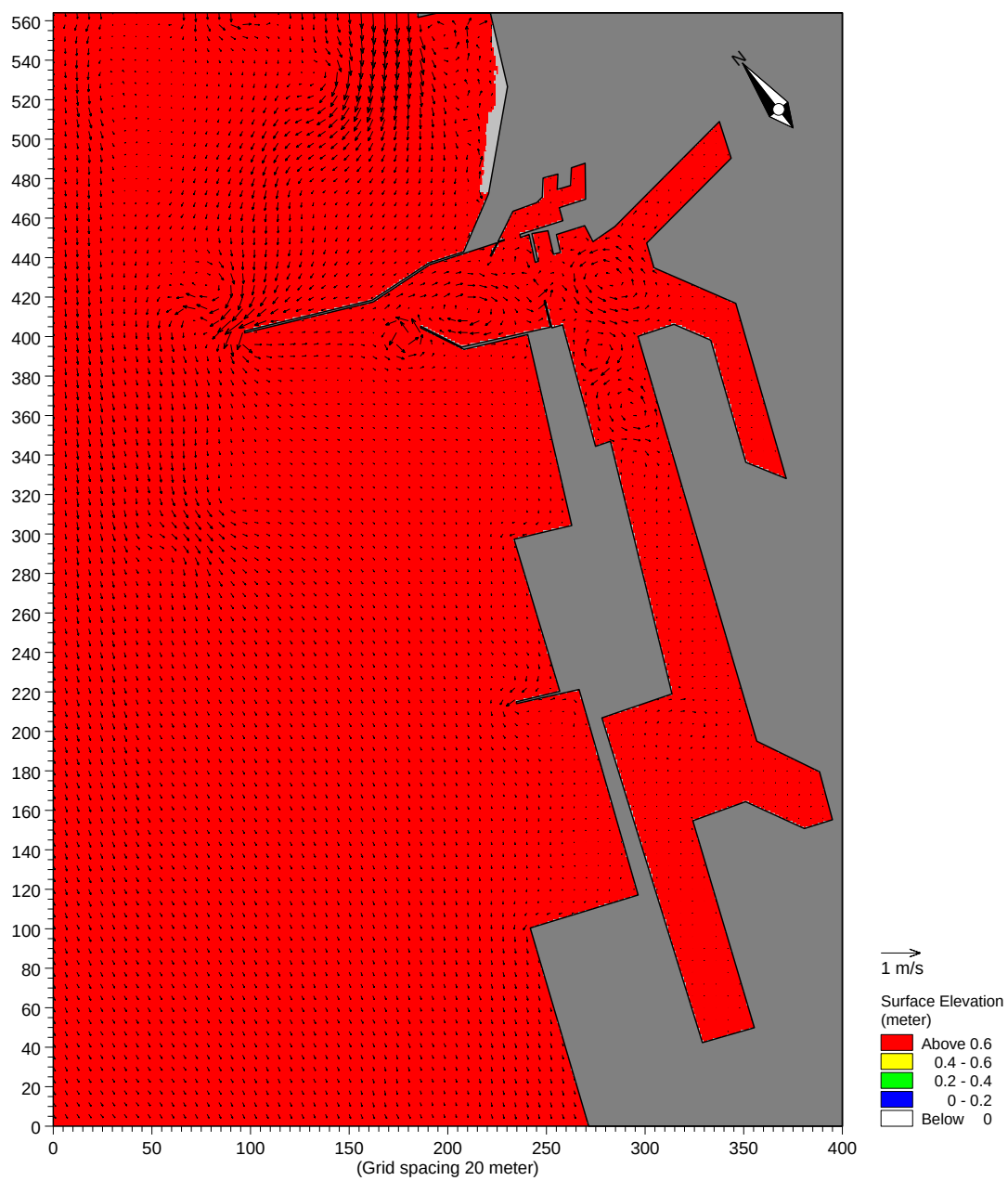


圖 5-18 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)流場分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)

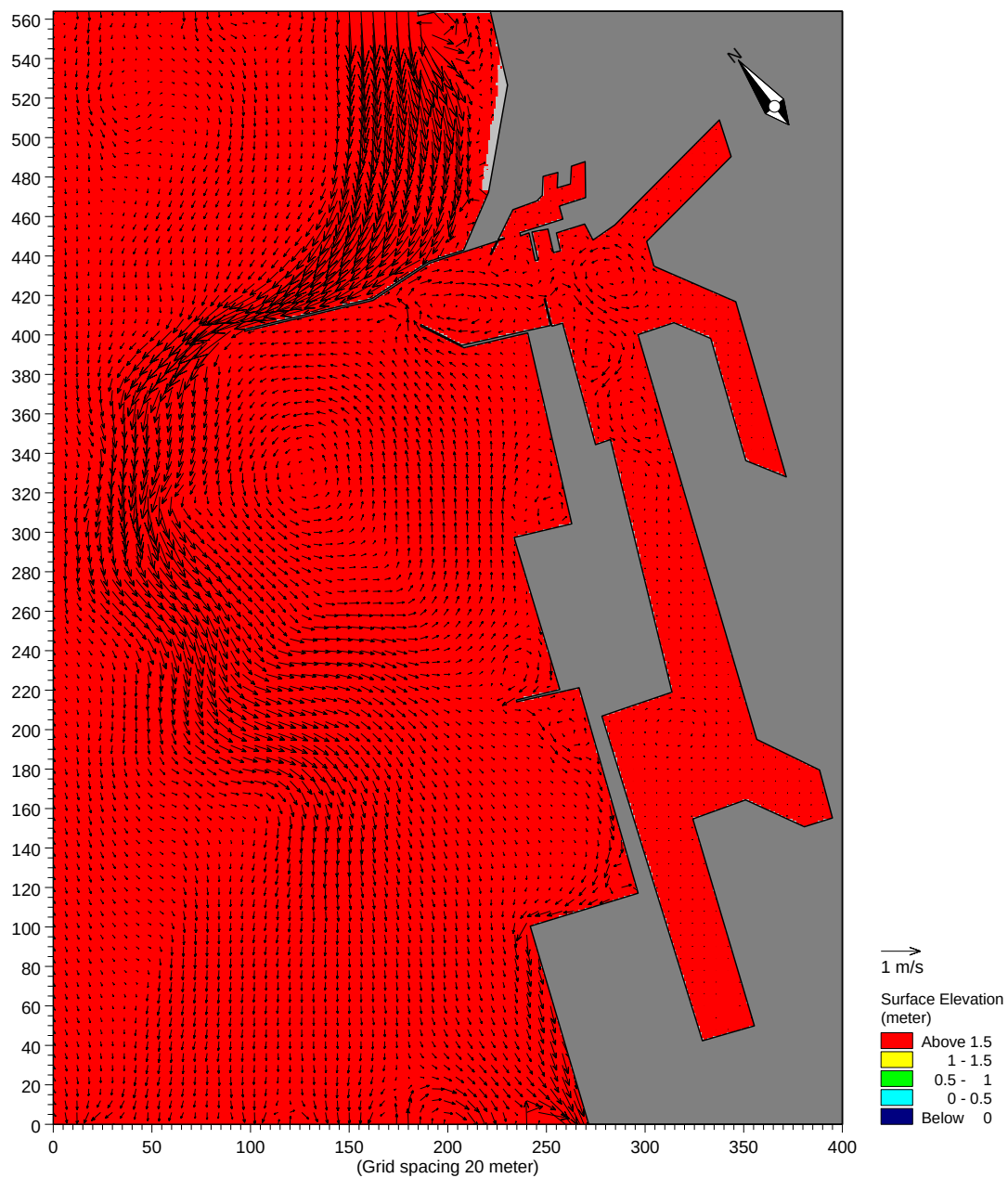


圖 5-19 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)

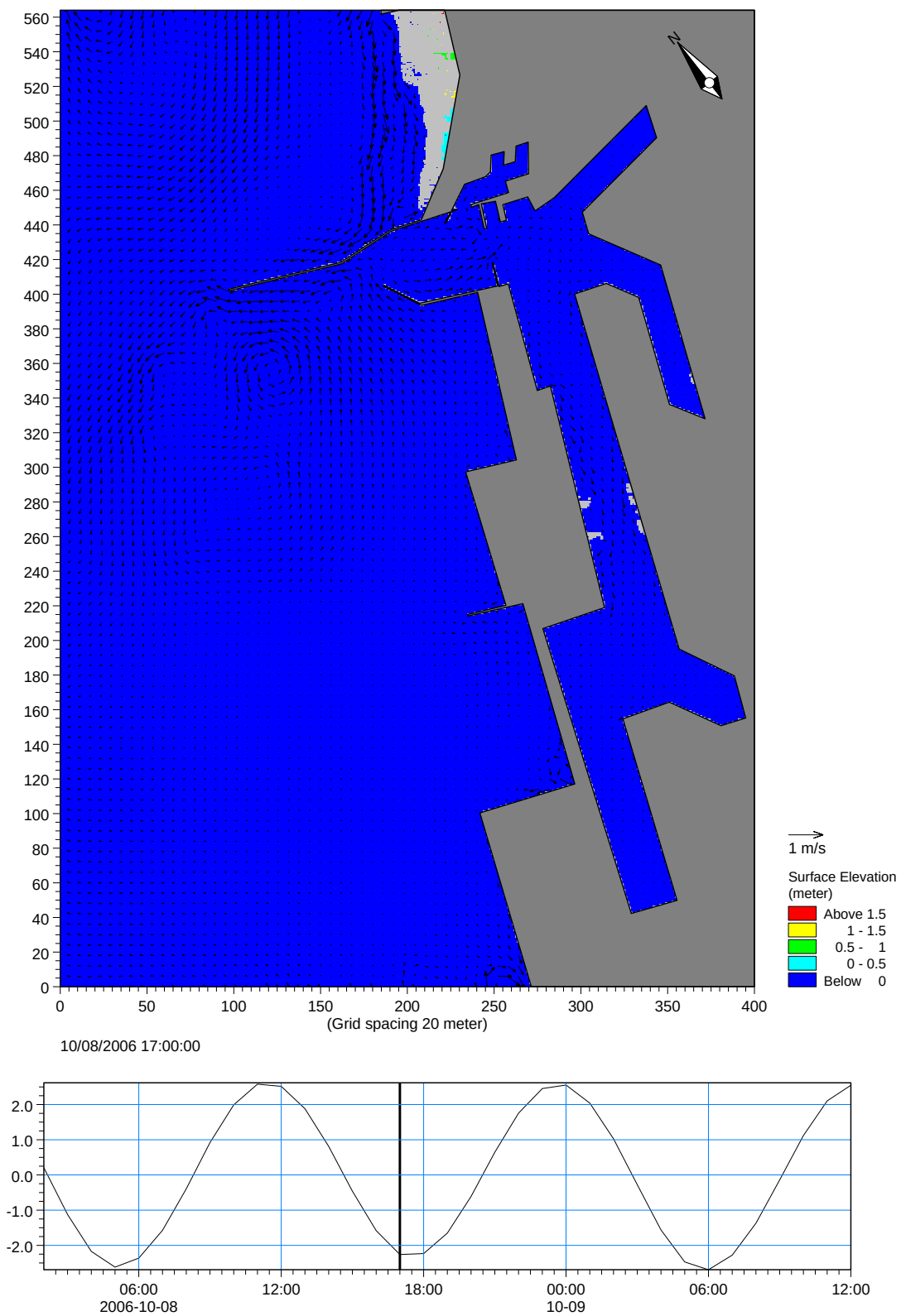


圖 5-20 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向)流場分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深, 參考潮位: 臺中港 2006/10/08 17:00)

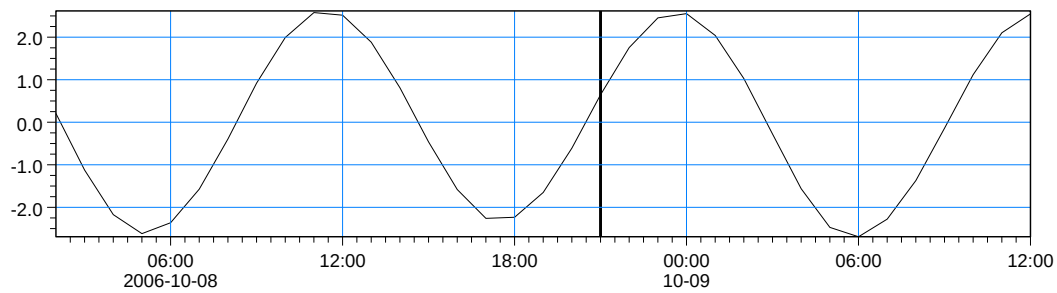
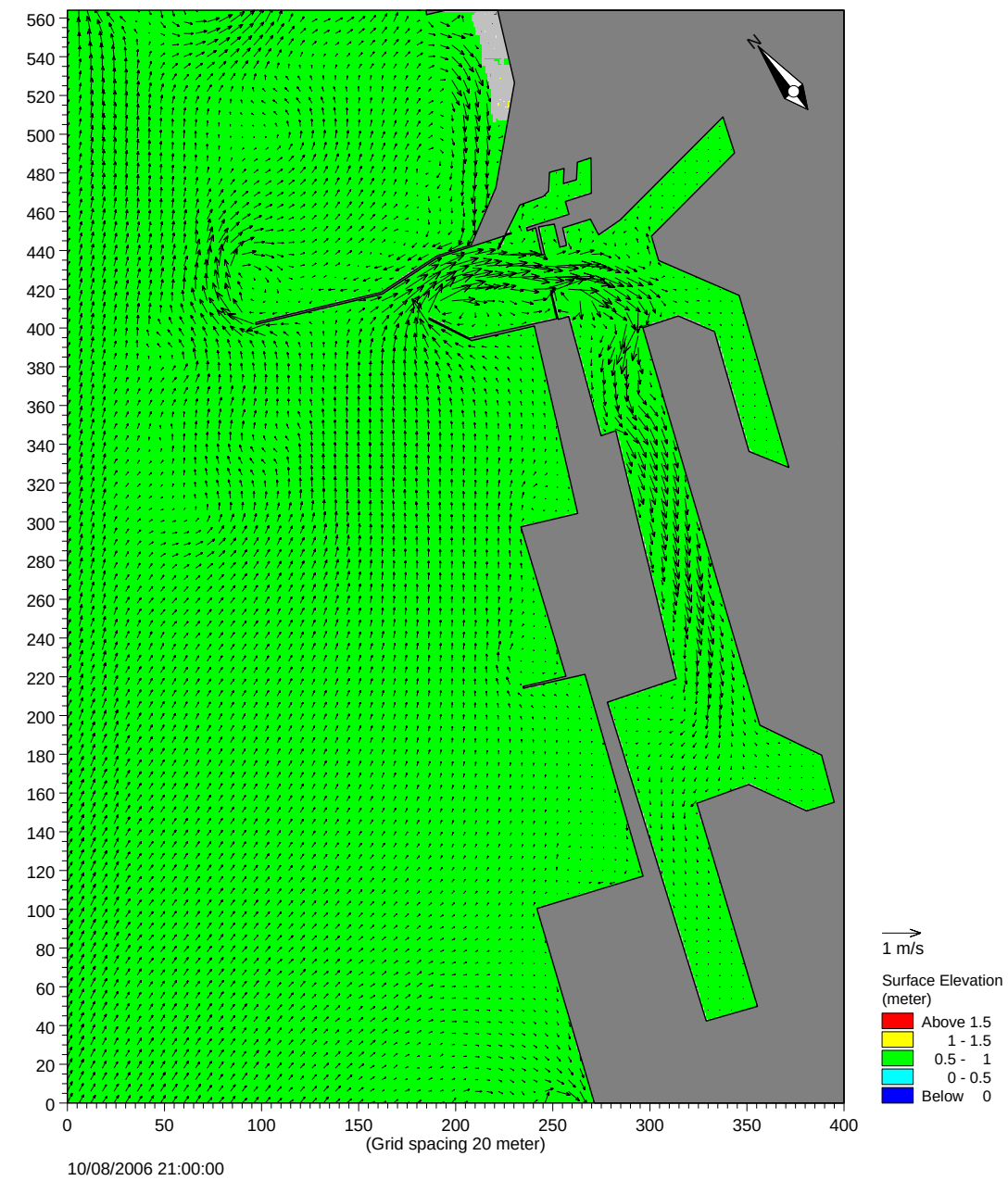


圖 5-21 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向)流場分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深，參考潮位：臺中港 2006/10/08 21:00)

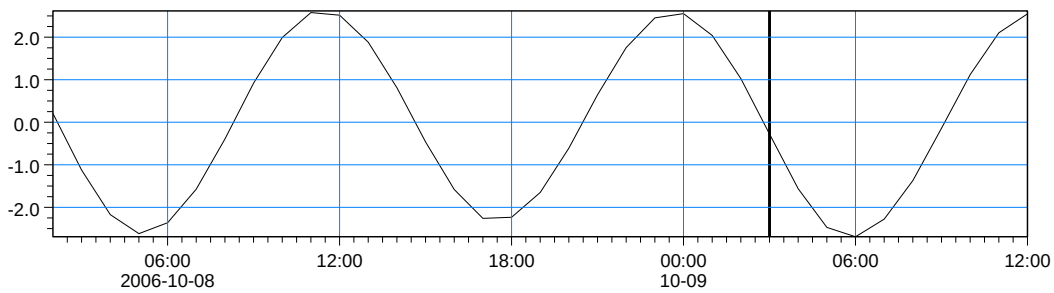
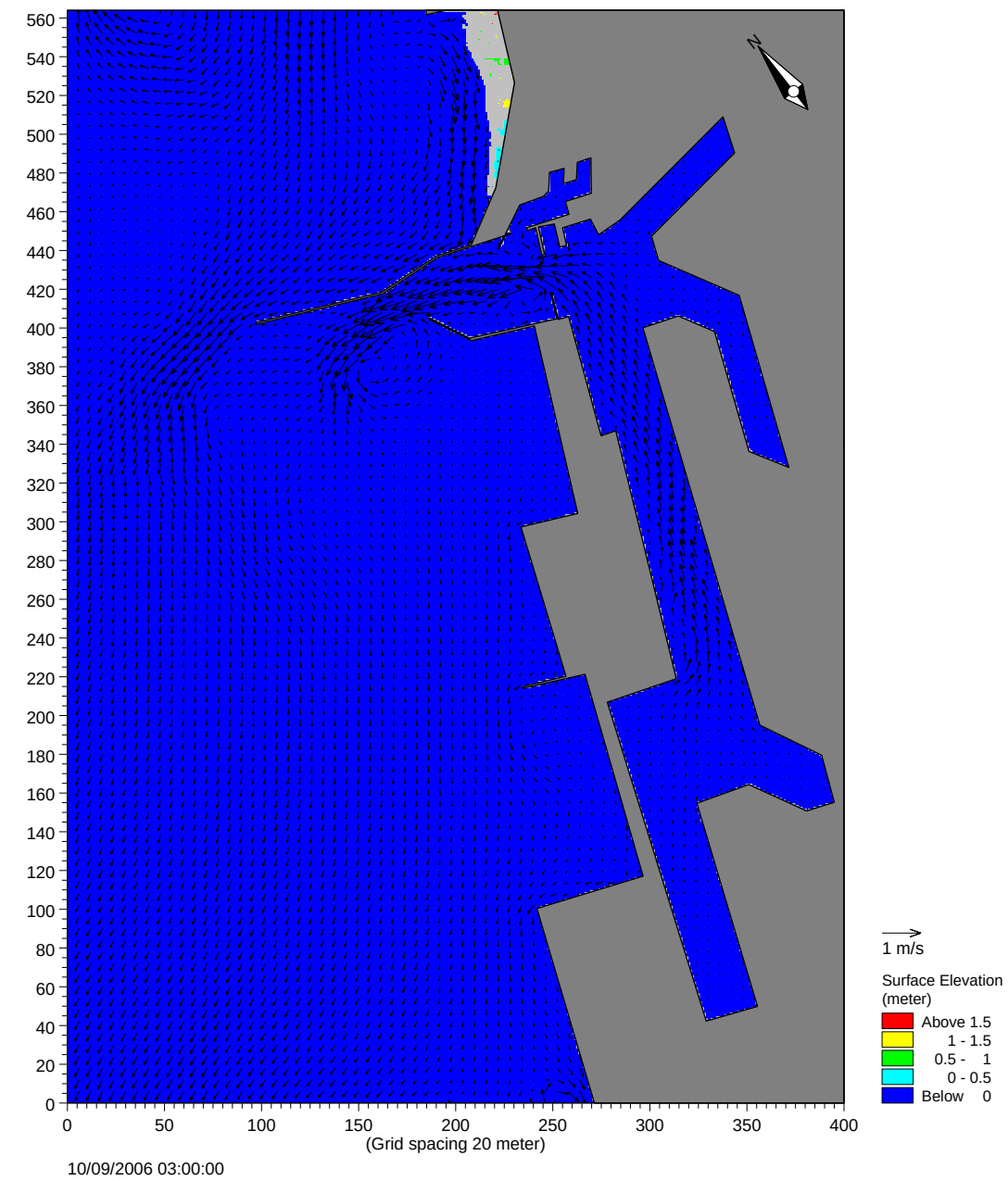


圖 5-22 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向)流場分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深，參考潮位：臺中港 2006/10/09 03:00)

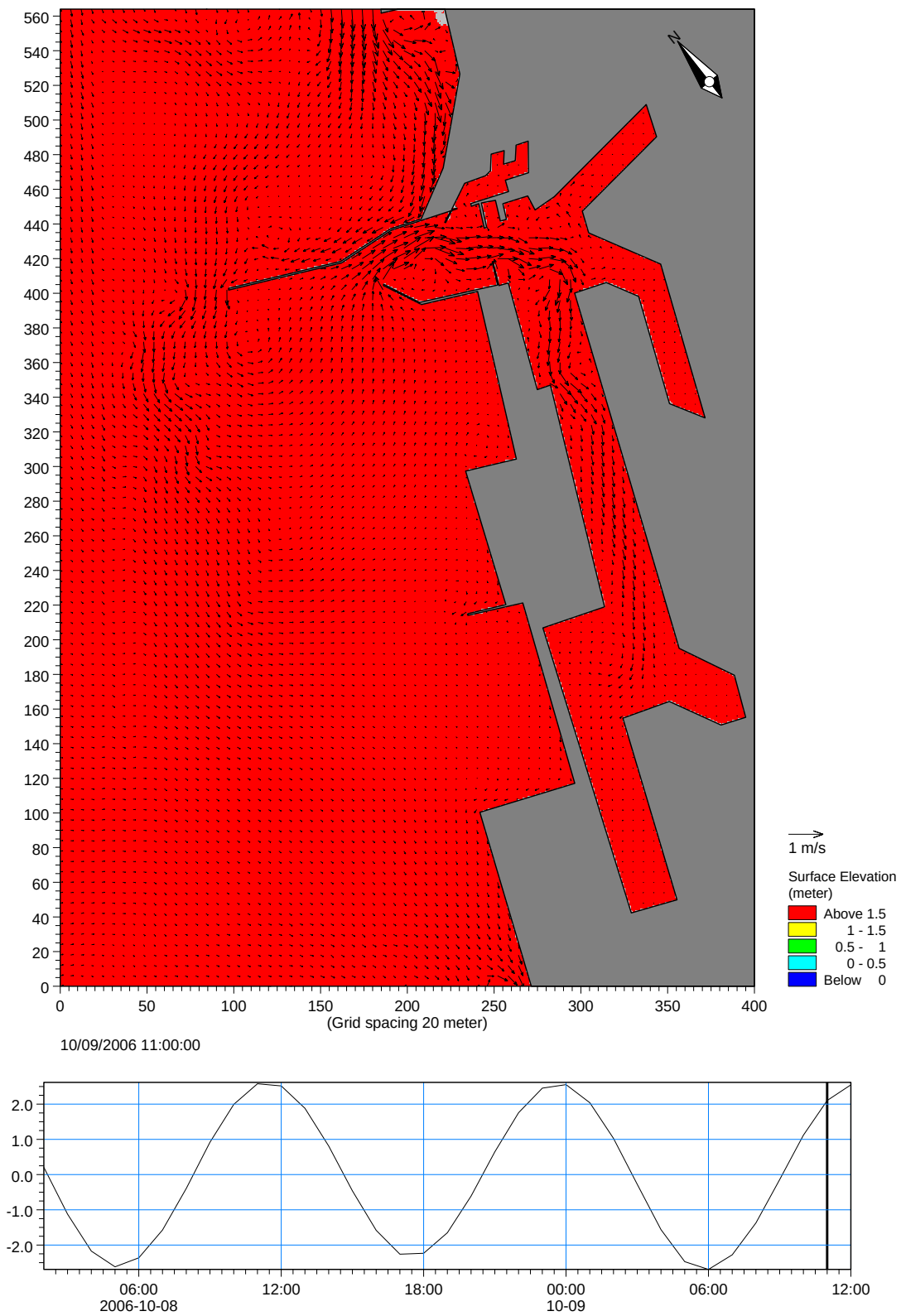


圖 5-23 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N 向)流場分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深，參考潮位：臺中港 2006/10/09 11:00)

5.4 二維輸沙數值模擬

臺中港局部海域之輸沙量計算評估係以輸沙潛量(sand transport capacities)表示，計算中將同時考慮波浪與海流之影響。在計算海域之特定位置上，輸沙潛量是指某特定沙級配粒徑能被波浪與海流傳輸之總潛在沙量(capacities)。在此特定位置上，若無沙源可供傳輸或沙源比波浪與海流之可輸送沙量少，則該位置上之實際輸沙量將會小於可輸送之沙量。

本研究有關輸沙潛量之計算結果係為計算總時間區段之平均量，且定義為單位寬度海灘上於 1 年內可輸送沙量之體積實方($m^3/m/year$)，依此可判斷計算海域內之侵淤特性，即若沿輸沙傳輸路徑(箭頭方向)上之輸沙潛量遞增，則傳輸路徑上會發生侵蝕，反之則產生淤積。

針對圖 5-3 所示之臺中港海域之地形水深資料，於總計算時間區段所求得之平均輸沙潛量如圖 5-24~圖 5-26 所示，圖中平均輸沙潛量之主要傳輸方向用箭頭表示，平均輸沙潛量之多寡用彩色色階及箭頭大小表示。圖 5-27 為民國 85 年至 89 年間地形侵淤變化圖，可透過該侵淤變化圖來驗證模式的正確性，圖中空白處表示無地形測量資料。

由圖 5-24 可知，漂沙由北往南輸送，在北淤沙區的近岸，由於波浪引起的沿岸流較強，故不僅沿岸輸沙潛量較大，漂沙的輸送區域也較寬廣，並沿著北防波堤往外海輸送，最後堆積在堤頭附近。在北淤沙區的外海，漂沙在靠近北防波堤後轉往北側輸送，且輸沙潛量遞減，顯示該區將產生淤積。北淤沙區外海的淤積可由圖 5-27 侵淤變化圖中北防波堤以北的帶狀淤積獲得證實。在北防波堤堤頭處，由於潮流的影響，可明顯見到一局部輸沙潛量增大區，表示該區將產生侵蝕，另潮流在臺中港南側產生大範圍的漩渦，範圍最遠約可到達南側突堤外海。在港口航道附近，輸沙潛量增大，顯示該區域為侵蝕的現象，且由輸沙路徑可知有部分漂沙被帶入港內。

由圖 5-25 可知，漂沙由南往北輸送，在南防波堤及港口附近，輸沙潛量增大，顯示該區域為侵蝕的現象，且由輸沙路徑可知有部分漂沙被帶入港內，另在北防波堤北側，有一小區域的輸沙潛量增大區，顯示堤頭附近有些微的侵蝕。

由圖 5-26 可知，漂沙由北往南輸送，在北淤沙區的近岸，由於颱風波浪較大，相對引起的沿岸流較強，故不僅沿岸輸沙潛量較大，漂沙的輸送區域也較寬廣，並沿著北防波堤順利跨越港口往南側大量輸送，在南側產生大範圍的漩渦，此將可解釋圖 5-27 中北防波堤南側帶狀淤積形成的原因。在北淤沙區的外海，漂沙並無如冬季季風般往北輸送，而是全面的往南輸送。在南側突堤至臺中港南側近岸處，由於輸沙潛量增加，顯示該區將產生侵蝕，此侵蝕現象亦可於圖 5-27 中發現。

針對圖 5-4 所示之臺中港海域之地形水深資料，於總計算時間區段所求得之平均輸沙潛量如圖 5-28~圖 5-30 所示，圖中平均輸沙潛量之主要傳輸方向用箭頭表示，平均輸沙潛量之多寡用彩色色階及箭頭大小表示。圖 5-31 為民國 89 年至 94 年間地形侵淤變化圖，可透過該侵淤變化圖來驗證模式的正確性。由圖 5-24 和圖 5-28 不同年代冬季季風漂沙潛量的比較可知，採用民國 94 年臺中港地形水深的結果在北淤沙區的近岸有產生一淤積的區域，此淤積區可由圖 5-31 侵淤變化圖中獲得證實。另在堤頭附近往南側輸送造成的輸沙潛量亦較採用民國 89 年臺中港地形水深的結果低。而在港口航道附近，由於輸沙潛量增大，顯示該區域為侵蝕的現象，此現象亦可由圖 5-31 中發現。由圖 5-25 和圖 5-29 不同年代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，然在北防波堤北側，輸沙潛量增大區較採用民國 89 年臺中港地形水深的結果小。由圖 5-26 和圖 5-30 不同年代 10 年迴歸期颱風漂沙潛量的比較可知，採用民國 94 年臺中港地形水深的結果在北淤沙區及臺中港南側的外海輸沙潛量皆較低，顯示該區相較於 89 年的結果有較多的淤積。

為再次確認輸沙模式的正確性，特別選取不同漲退潮時刻臺中港的衛星影像圖如圖 5-32~圖 5-35 所示，圖中在臺中港附近的白色帶狀即為漂沙現象，由圖 5-32 和圖 5-33 中可知，當臺中港退潮接近至低潮及漲潮剛過平潮時，在北防波堤堤頭處的漂沙向北輸送。由圖 5-34 和圖 5-35 中可知，當臺中港退潮剛過平潮及漲潮接近至高潮時，在北防波堤堤頭處的漂沙向南輸送。此種現象亦可由圖 5-20~圖 5-23 的流場分布圖獲得印證，並可說明冬季季風輸沙潛量在堤頭處會分岔而分別產生往北及往南輸送的特殊現象。

綜合上述結果，由冬季季風輸沙潛量分布圖可知，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。由夏季季風輸沙潛量分布圖可知，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 年迴歸期颱風輸沙潛量分布圖可知，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。

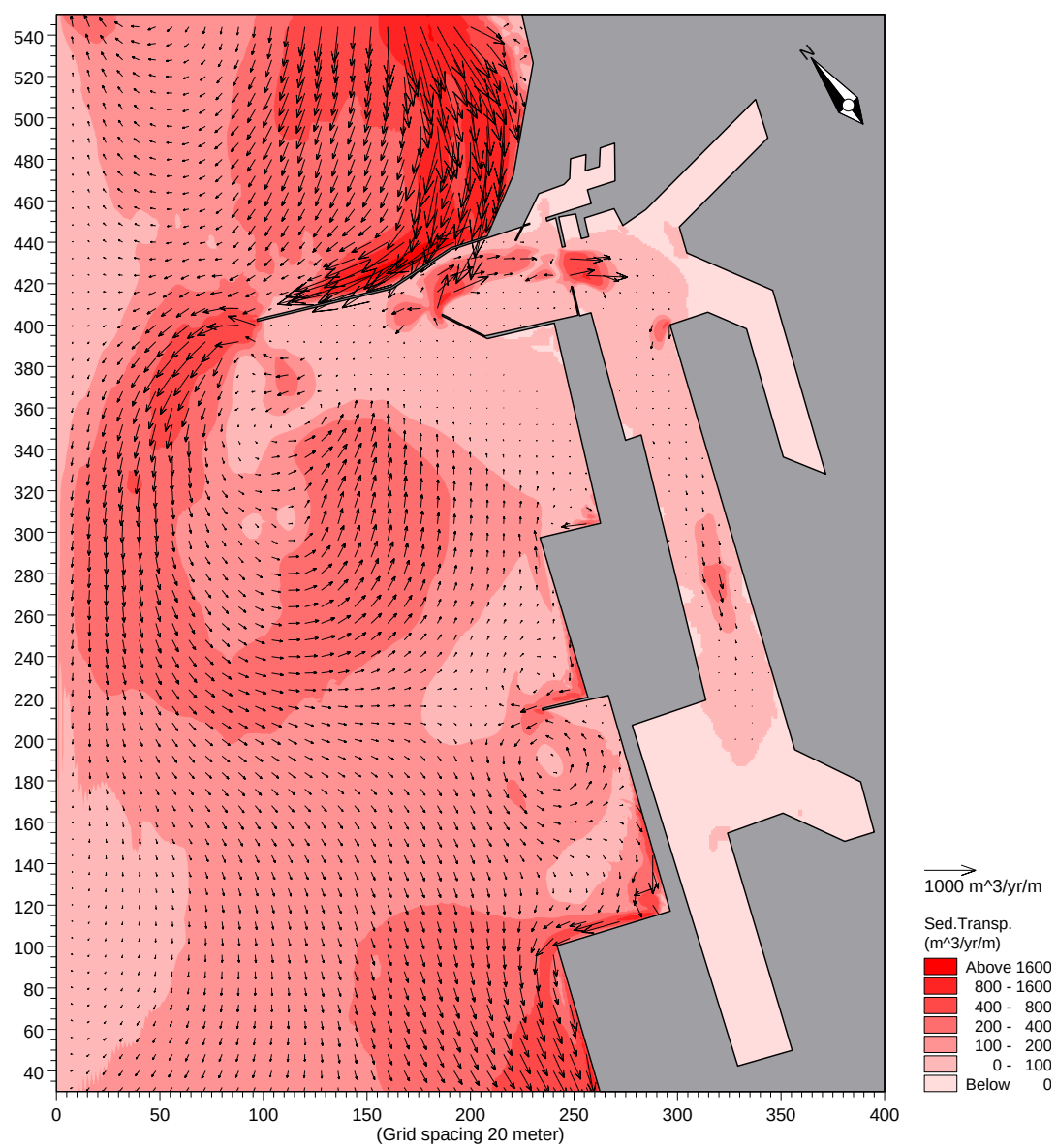


圖 5-24 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)輸沙潛量分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

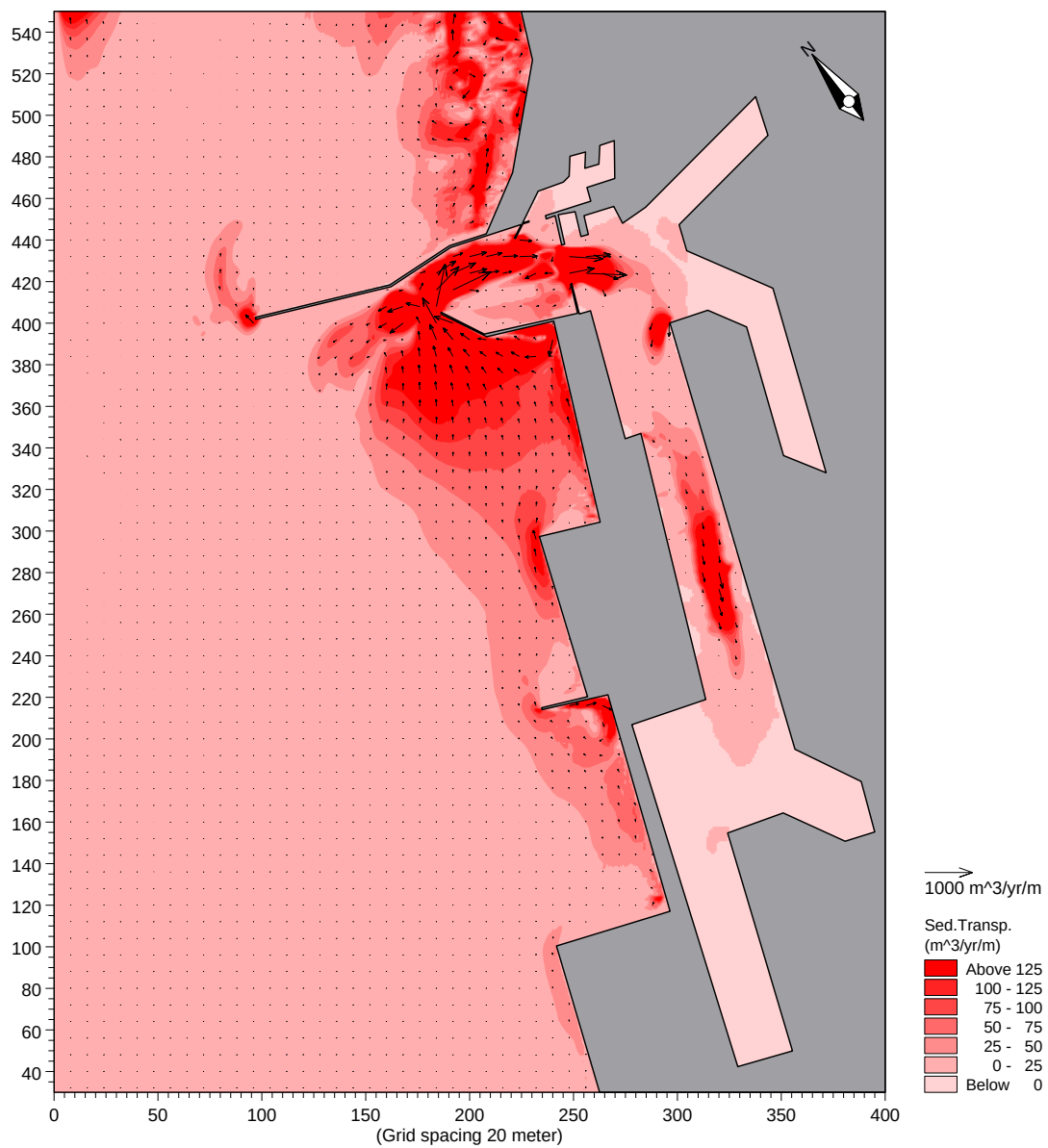


圖 5-25 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)輸沙潛量分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

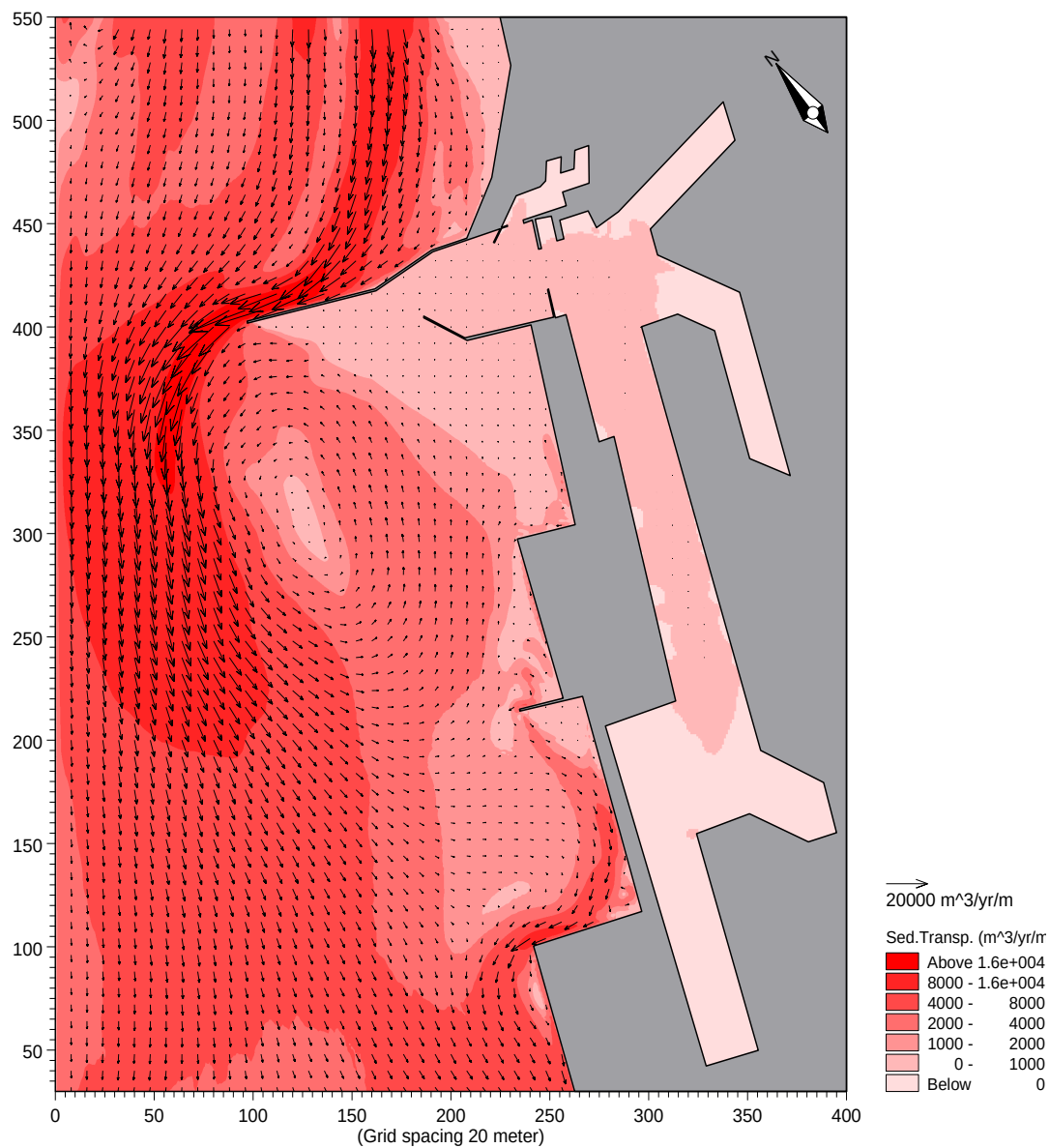


圖 5-26 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)輸沙潛量分布圖(採用民國 89 年臺中港地形水深)

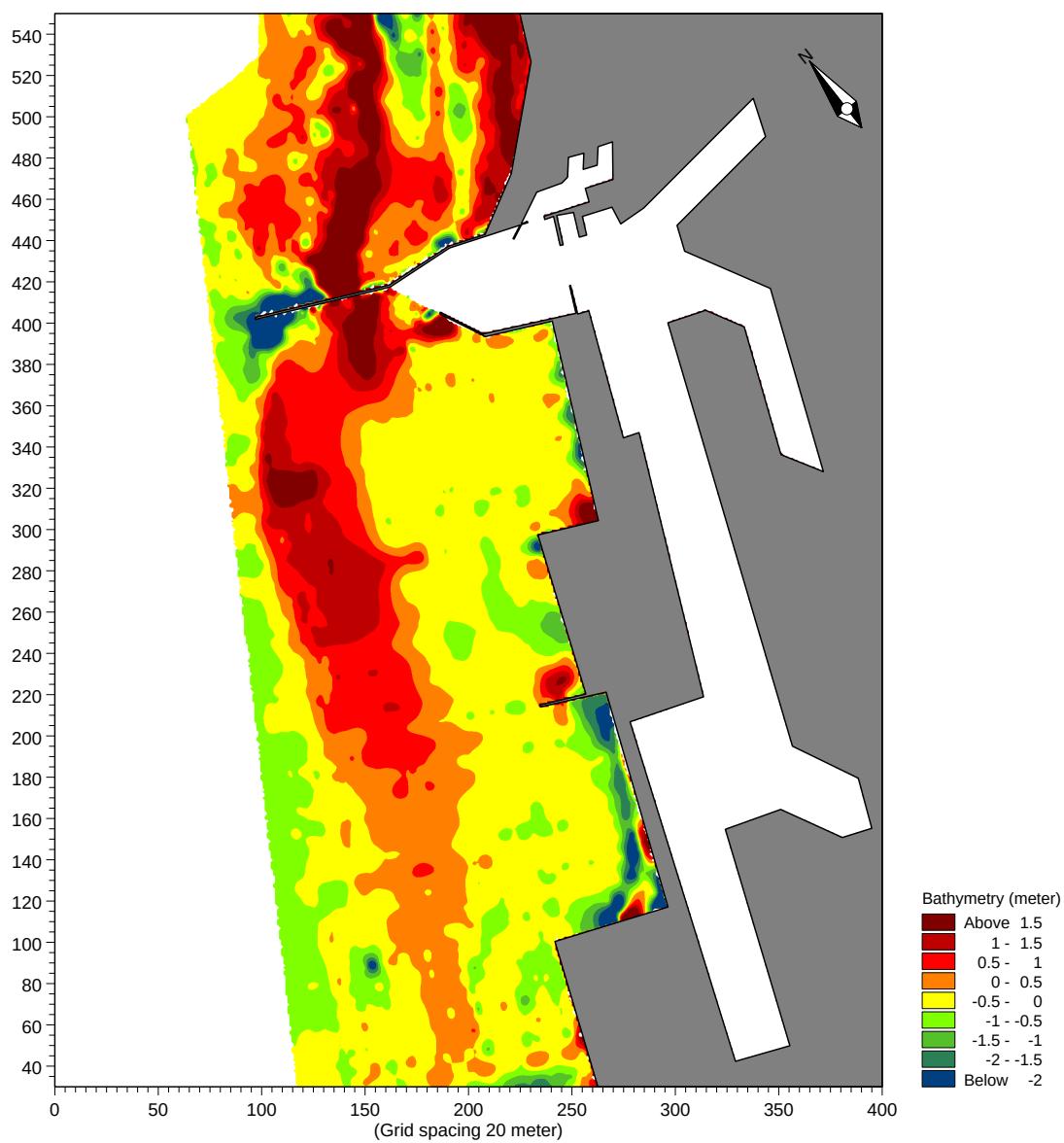


圖 5-27 民國 85 年至 89 年間地形侵淤變化圖

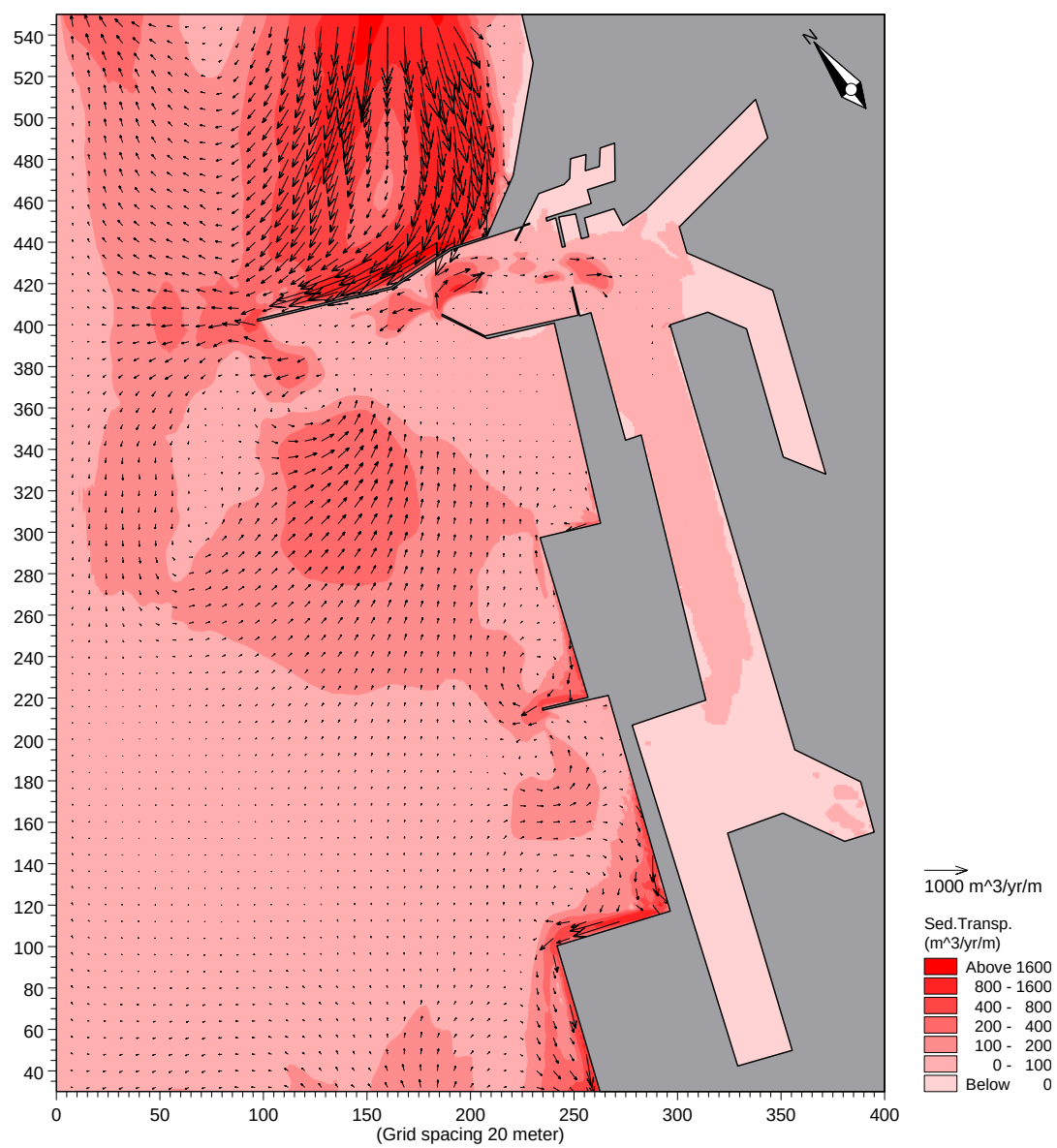


圖 5-28 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)輸沙潛量分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)



圖 5-29 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)輸沙潛量分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)



圖 5-30 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)輸沙潛量分布圖(採用民國 94 年臺中港地形水深)

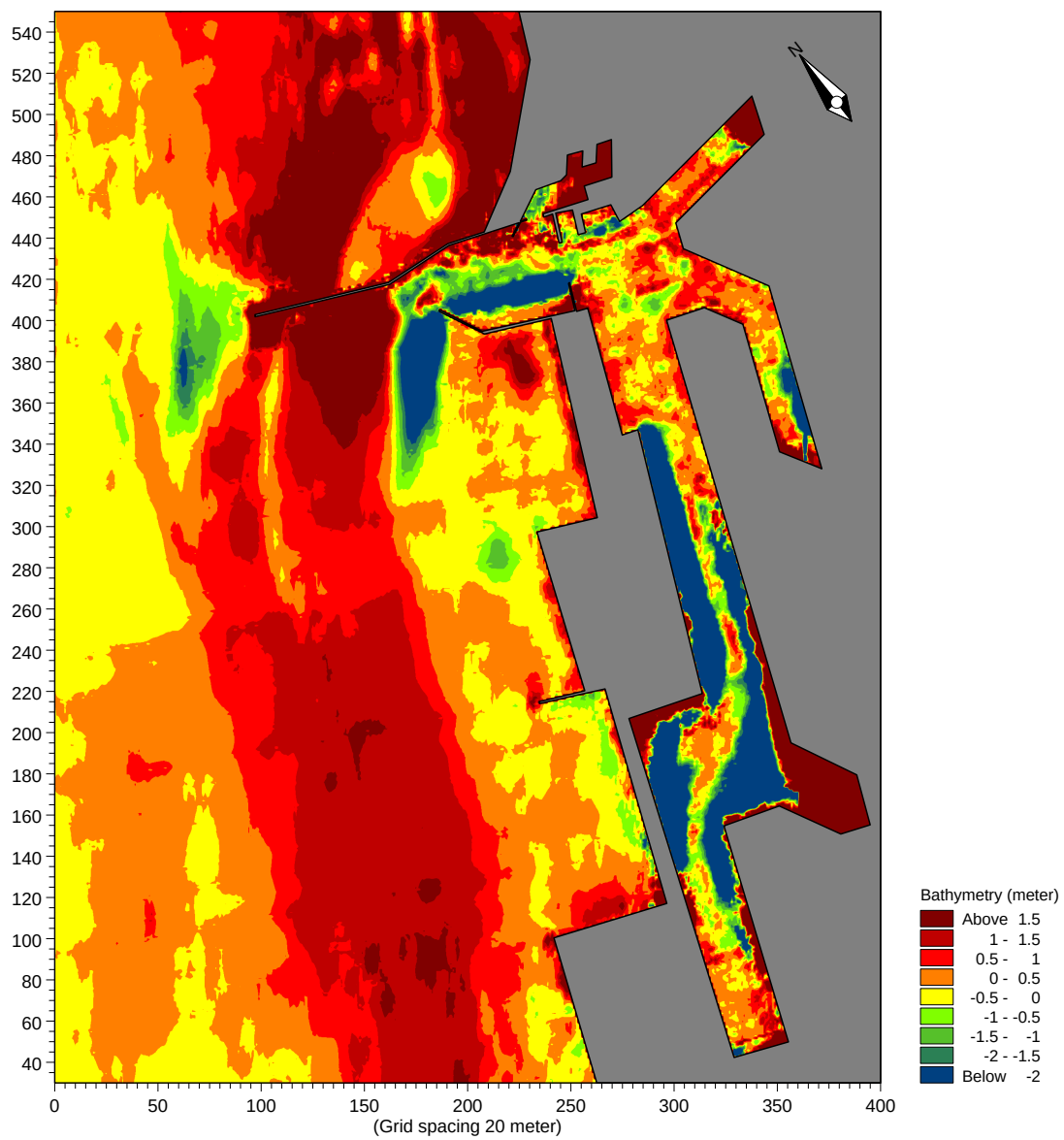


圖 5-31 民國 89 年至 94 年間地形侵淤變化圖

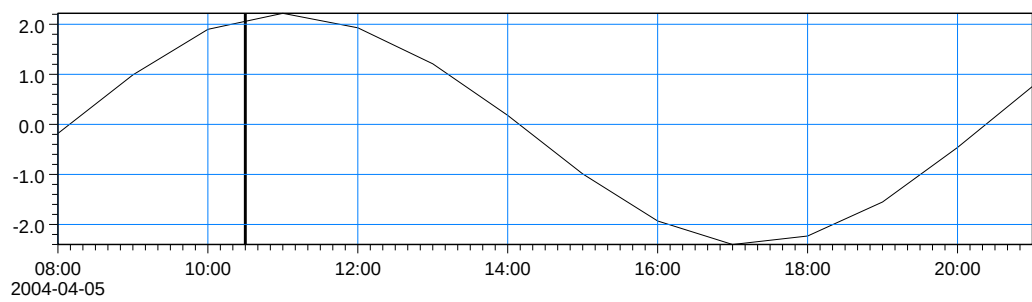


圖 5-32 臺中港衛星影像圖(參考潮位：臺中港 2004/04/05 10:36)

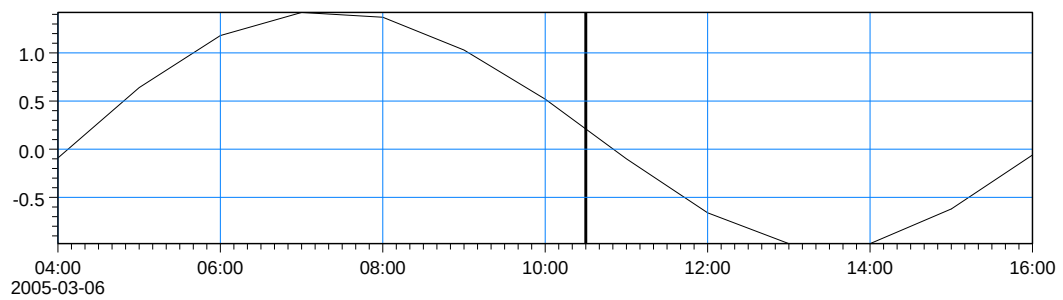


圖 5-33 臺中港衛星影像圖(參考潮位：臺中港 2005/03/06 10:40)

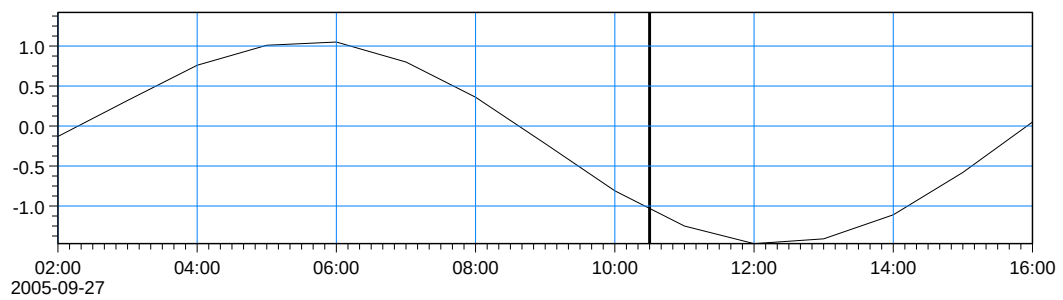


圖 5-34 臺中港衛星影像圖(參考潮位：臺中港 2005/09/27 10:51)

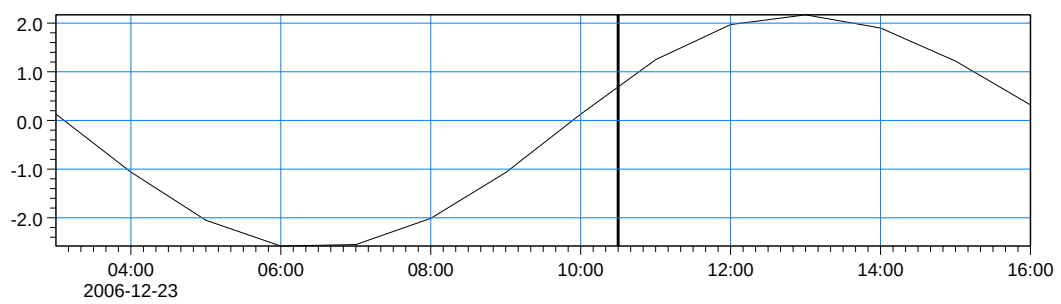


圖 5-35 臺中港衛星影像圖(參考潮位：臺中港 2006/12/23 10:33)

第六章 北側淤沙防護方案之探討

6.1 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發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。

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，可行性之整治方法之構想包括：

● 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，降低迴遠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 6-1 所示：

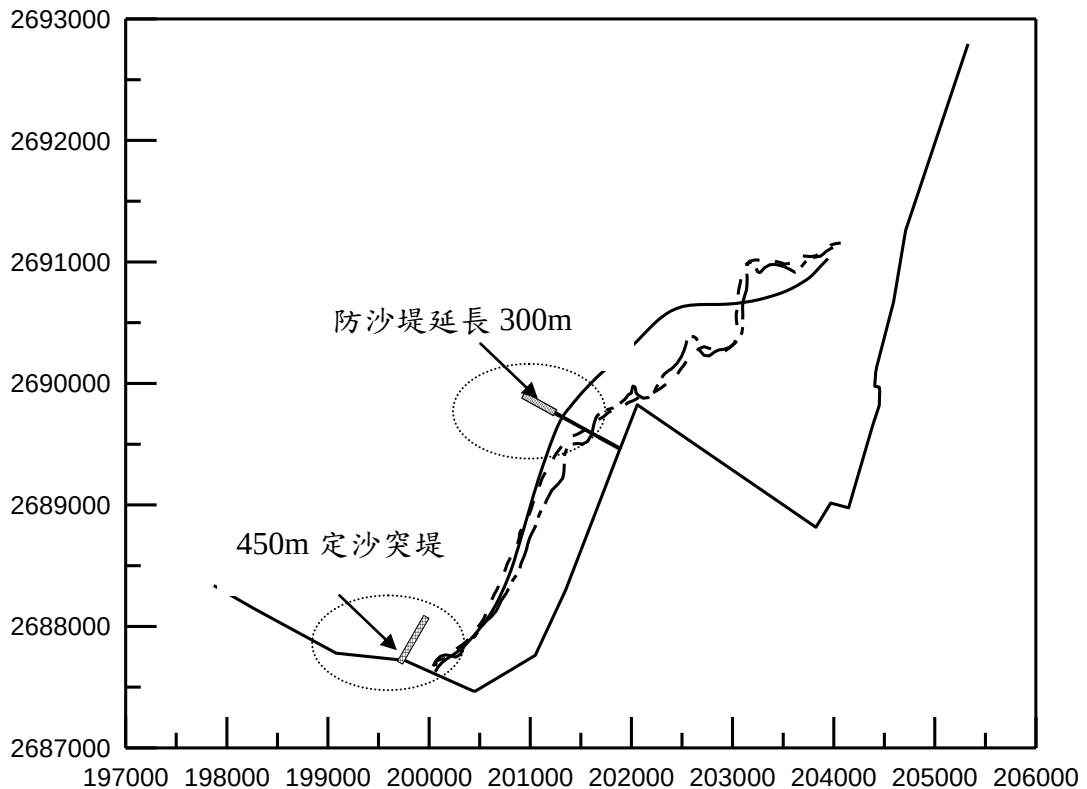


圖 6-1 漂沙整治可行方案配置圖

6.2 新建定沙突堤及延長攔沙堤對漂沙特性之影響

本節將應用 5.1.2 節的波浪條件和 5.1.3 節的模擬時間區段，同時配合圖 5-4 臺中港民國 94 年地形水深進行二維地形輸沙數值模擬，輸沙數值模擬分析程序如同第五章，模擬結果將用以探討新建定沙堤及延長攔沙堤對漂沙特性之影響。

6.2.1 二維波浪場數值模擬

臺中港之波浪場模擬計算結果如圖 6-2~圖 6-4 所示，圖中示性波高(H_s)以等值線顯示，波浪之平均波向則以箭頭表示。由圖 5-5~圖 5-7

和圖 6-2~圖 6-4 新建定沙堤及延長攔沙堤設置前後的比較可知，新建定沙堤及延長攔沙堤僅增加堤附近的屏蔽區，其餘則與未興建前差異不大。

6.2.2 二維流場數值模擬

臺中港海域潮流分布如圖 6-5~圖 6-7 所示，圖中色階代表計算海域內之等潮位線，箭頭表示海域內潮流之大小與方向，由圖 5-17~圖 5-19 和圖 6-5~圖 6-7 新建定沙堤及延長攔沙堤設置前後的比較可知，延長攔沙堤將造成南側較大的漩渦，而新建定沙堤的設置則使海流延著堤防往外海流去。

6.2.3 二維輸沙數值模擬

圖 6-8~圖 6-10 為臺中港於新建定沙堤及延長攔沙堤配置下，總計算時間區段所求得之平均輸沙潛量，圖中平均輸沙潛量之主要傳輸方向用箭頭表示，平均輸沙潛量之多寡用彩色色階及箭頭大小表示。

由圖 5-28 和圖 6-8 新建定沙堤及延長攔沙堤設置前後，冬季季風漂沙潛量的比較可知，新建定沙堤的設置將使其北側輸沙潛量增大，而使原本在該處的淤積可能轉為侵蝕。在新建定沙堤和北防波堤堤頭間，由於漂沙潛量遞減，顯示該區將產生淤積。在北防波堤堤頭北側有一局部輸沙潛量減小區，表示該區將產生淤積。由圖 5-29 和圖 6-9 新建定沙堤及延長攔沙堤設置前後，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 5-30 和圖 6-10 新建定沙堤及延長攔沙堤設置前後，10 年迴歸期颱風漂沙潛量的比較可知，在新建定沙堤的堤頭輸沙潛量有些微的增大，顯示該處將產生侵蝕，而在堤後由於輸沙潛量的降低，因此將產生淤積的現象。綜合上述結果，新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。

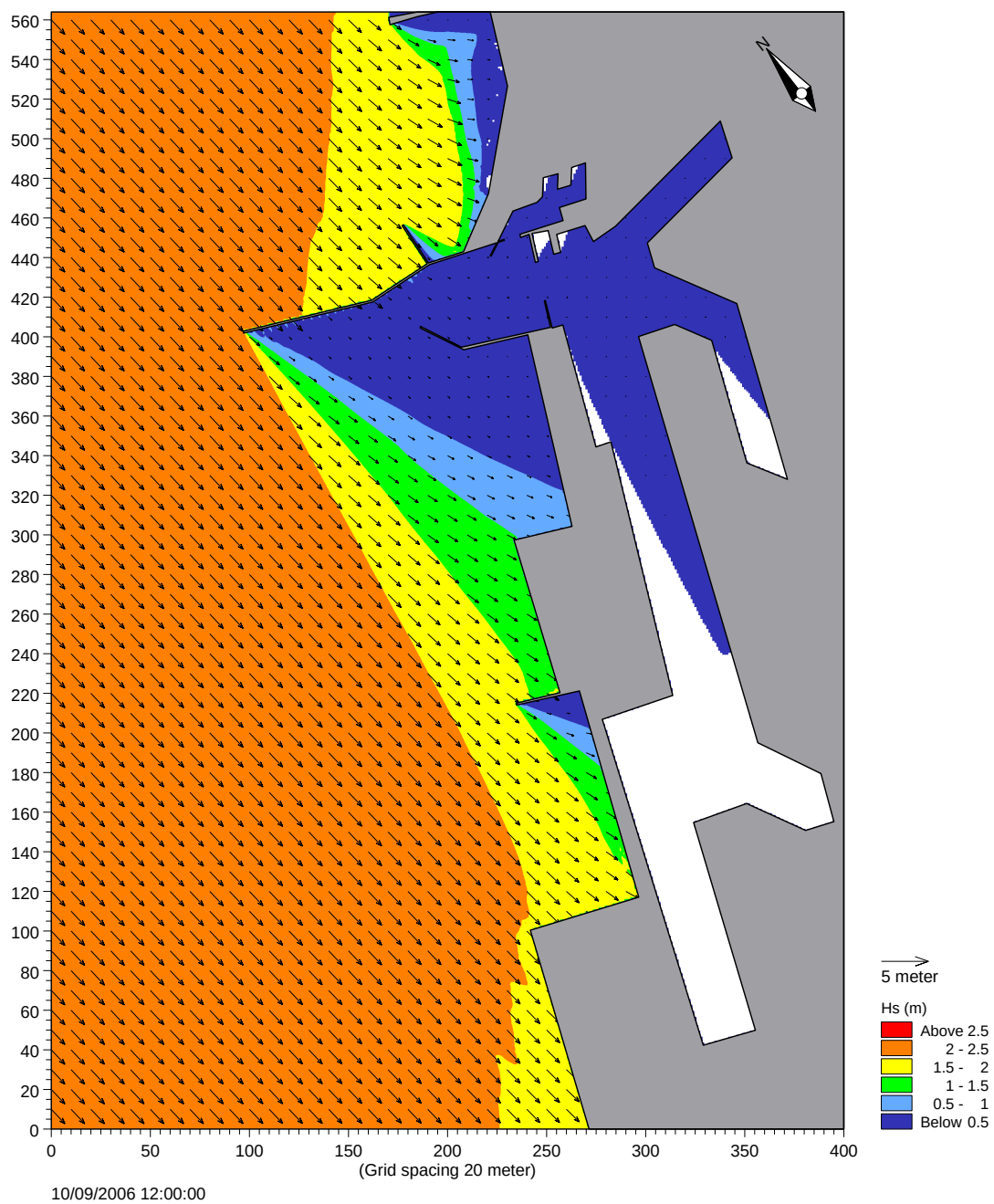


圖 6-2 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)波高波向分布圖(採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置)

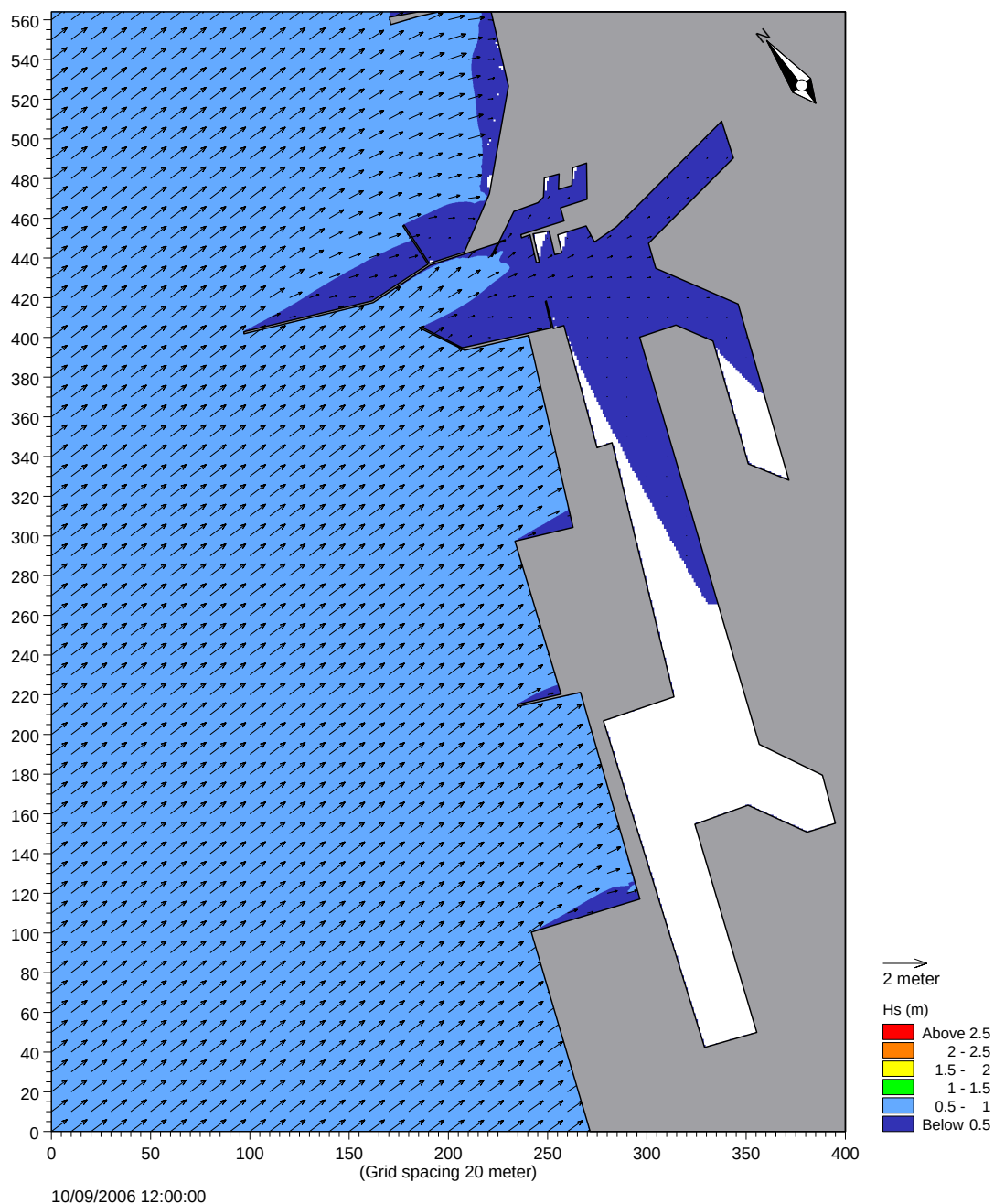


圖 6-3 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)波高波向分布圖(採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置)

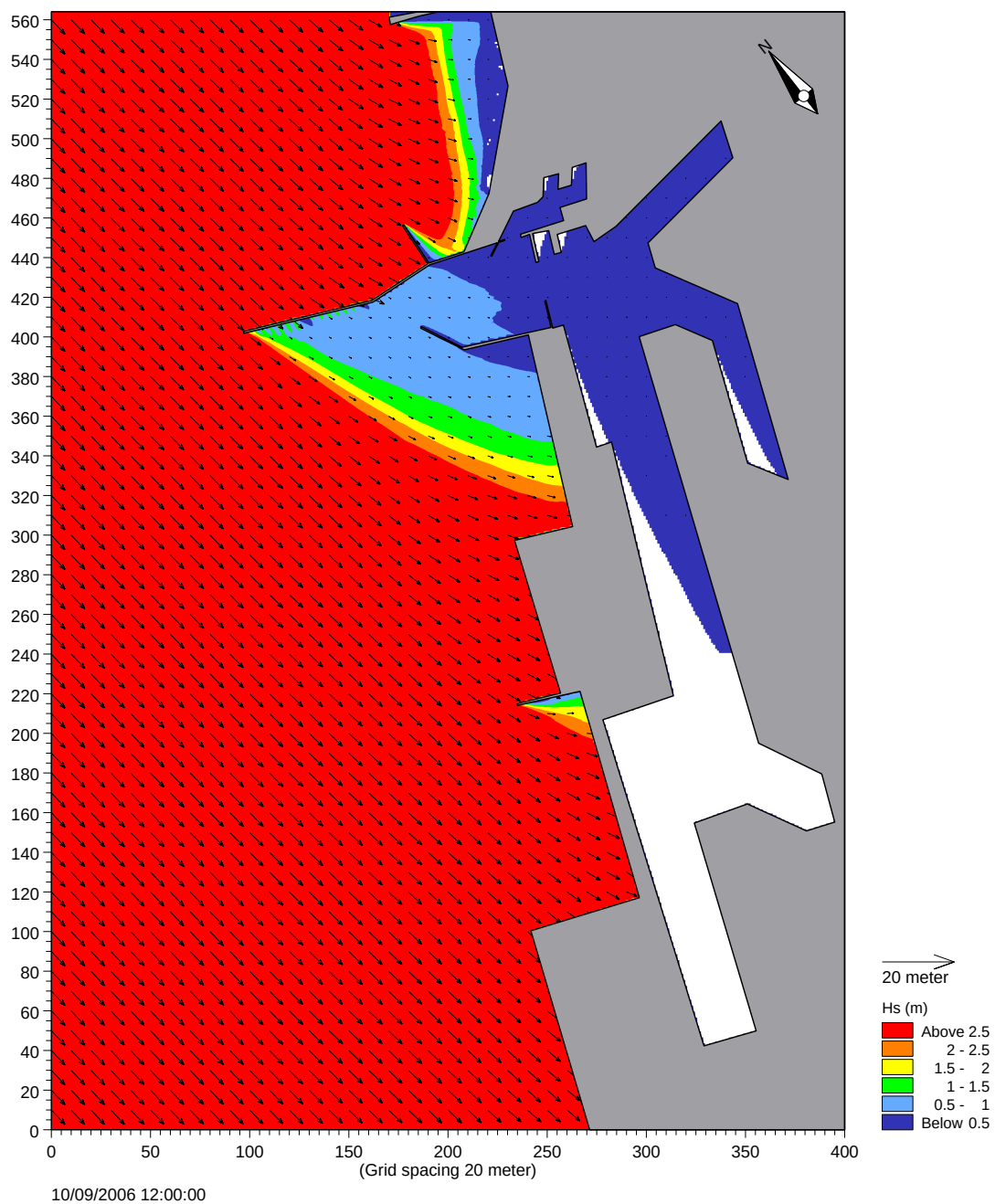


圖 6-4 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)波高波向分布圖
(採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置)

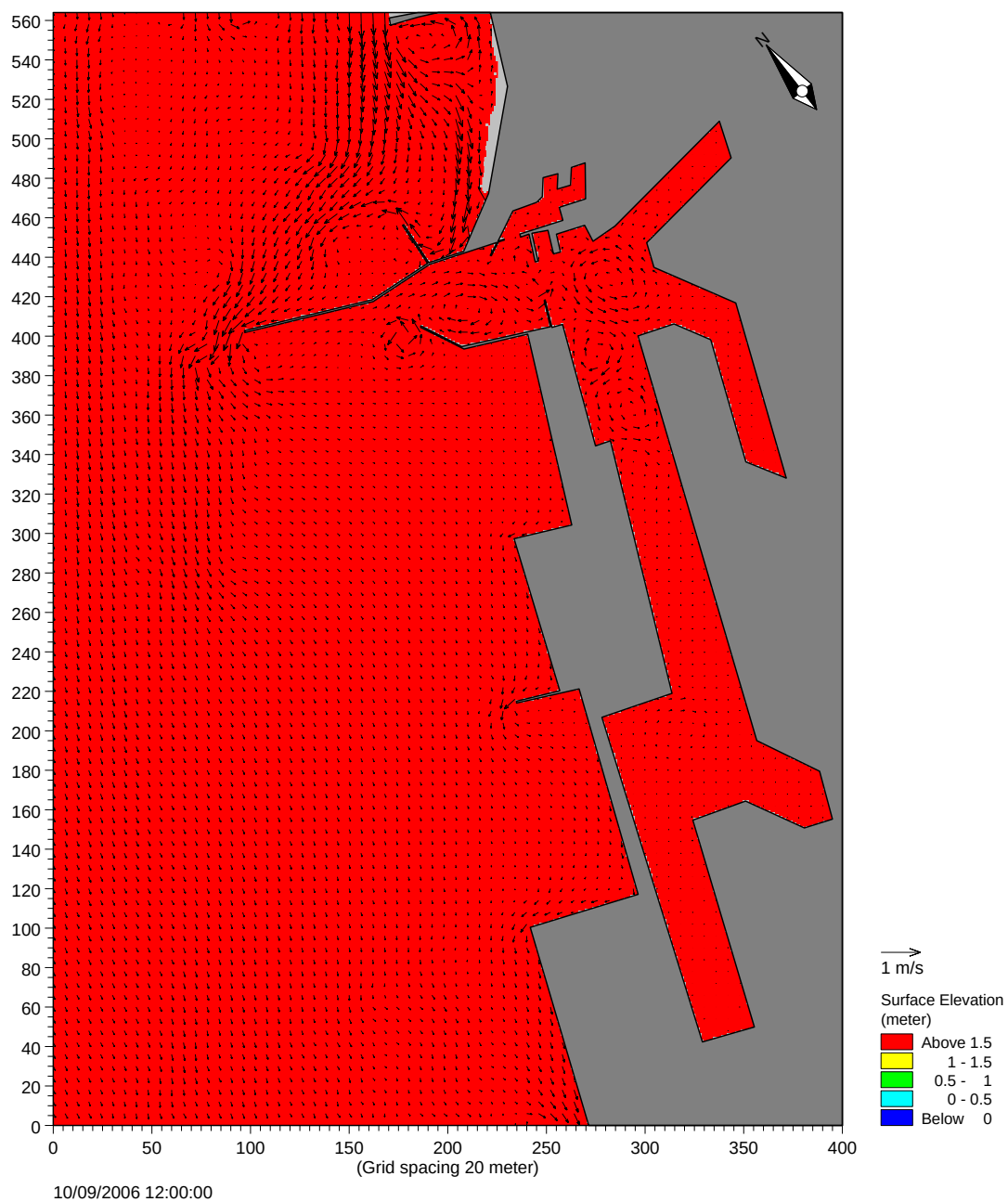


圖 6-5 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖(採用新建
定沙堤及延長攔沙堤配置)

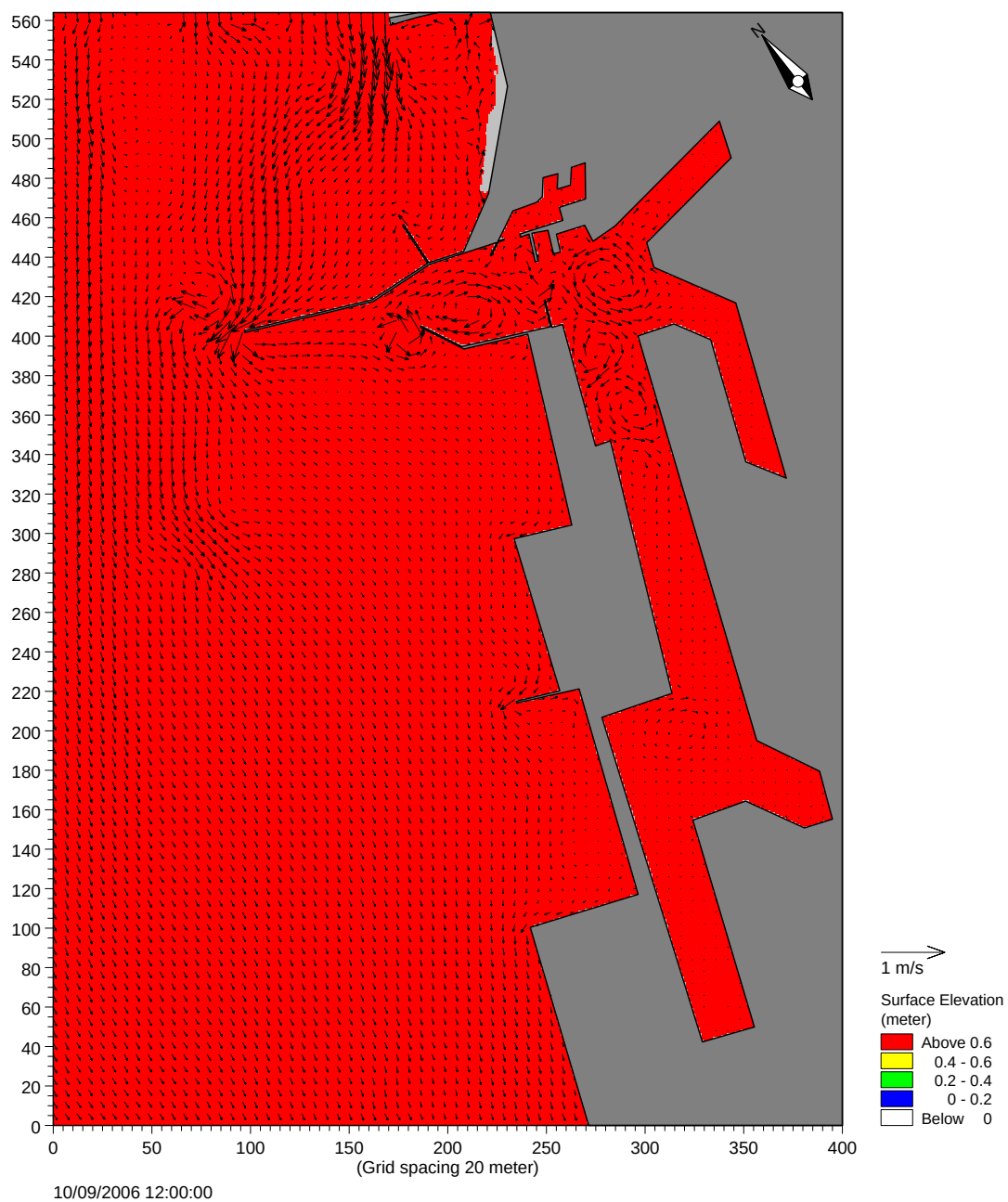


圖 6-6 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)流場分布圖(採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置)

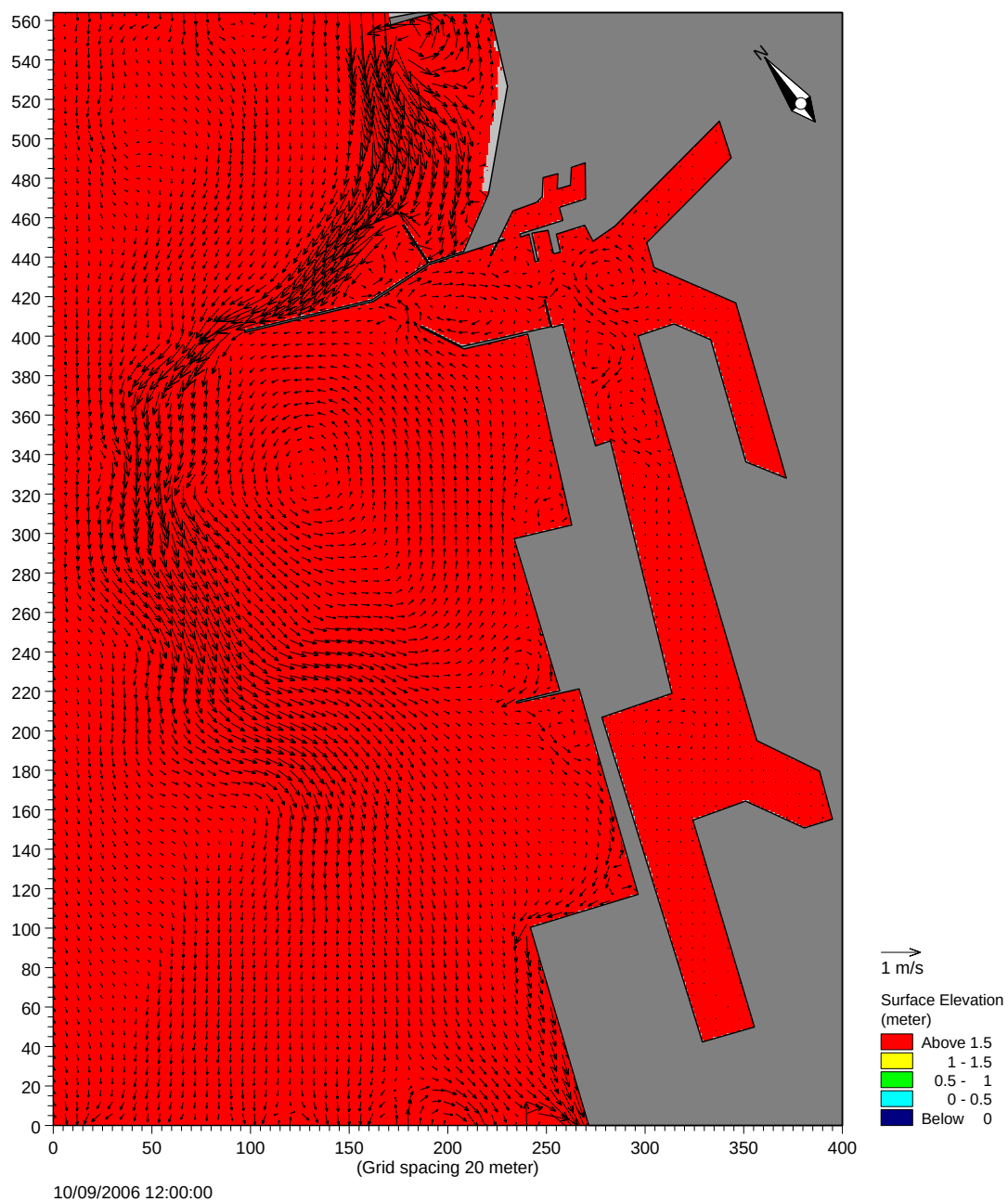


圖 6-7 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)流場分布圖(採用新建定沙堤及延長攔沙堤配置)

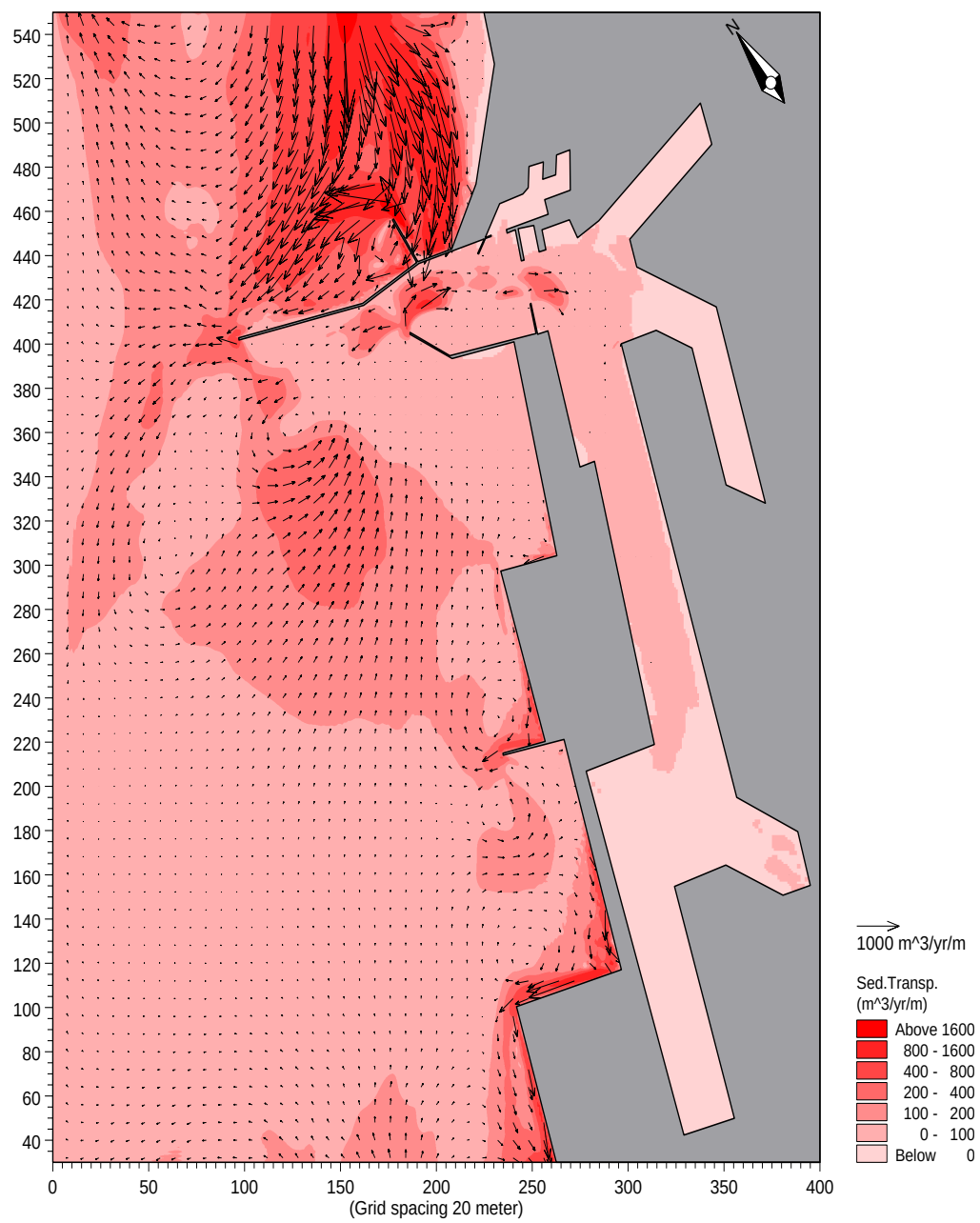


圖 6-8 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N 向)輸沙潛量分布圖(採用新建定沙堤及延長防波堤配置)

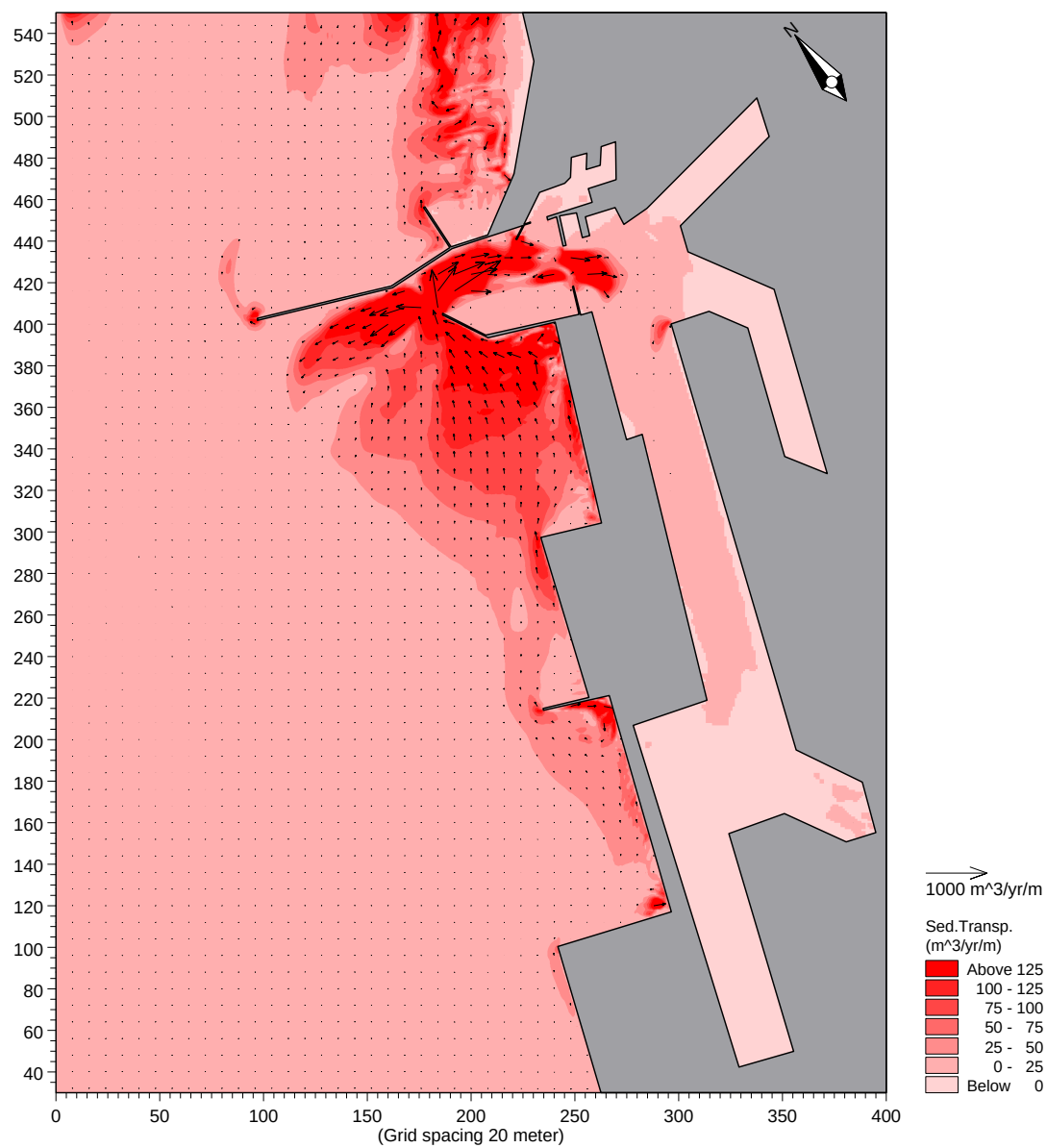


圖 6-9 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W 向)輸沙潛量分布圖(採用新建定沙堤及延長防波堤配置)

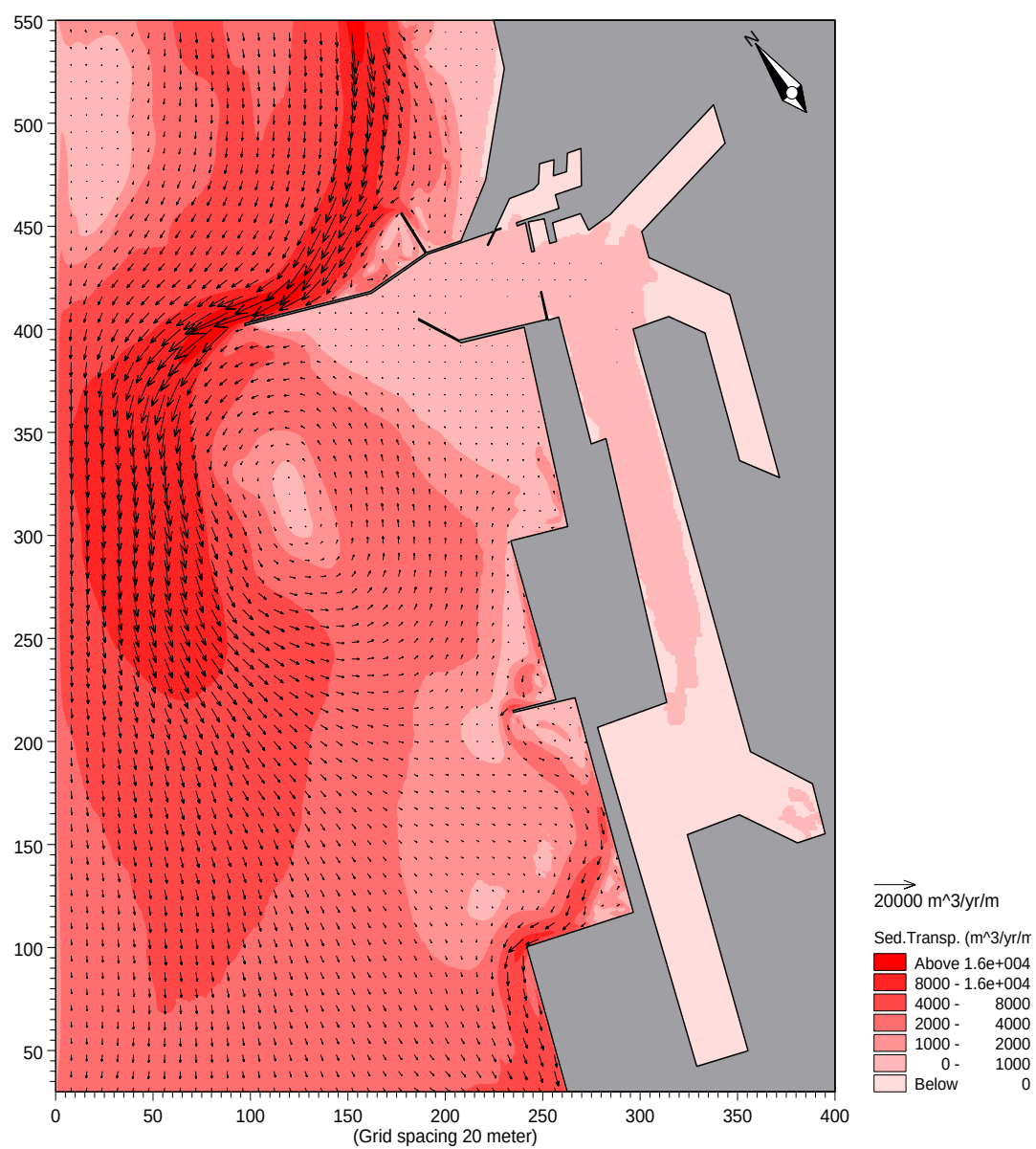


圖 6-10 10 年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N 向)輸沙潛量分布圖(採用新建定沙堤及延長防波堤配置)

6.3 新建定沙堤及防沙堤間定沙成效之評估

本研究由分析出之沿岸漂沙特性及臺中港規畫之定沙方案，以突堤上游灘線變化之理論解析及 GENISIS 灘線模式來評估定沙工程淤沙之成效，即評估建構定沙堤後灘線淤積至堤頭之時間。

6.3.1 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，由漂沙之質量守恒原理，可推估灘線淤積至堤頭之時間為

$$t_{full} = \frac{\pi d_p S_e^2}{4Q \tan \alpha_0} \quad (6-1)$$

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 6-11。突堤上游灘線變化之理論解析詳見 Kamphuis (2006) 或附錄 D。

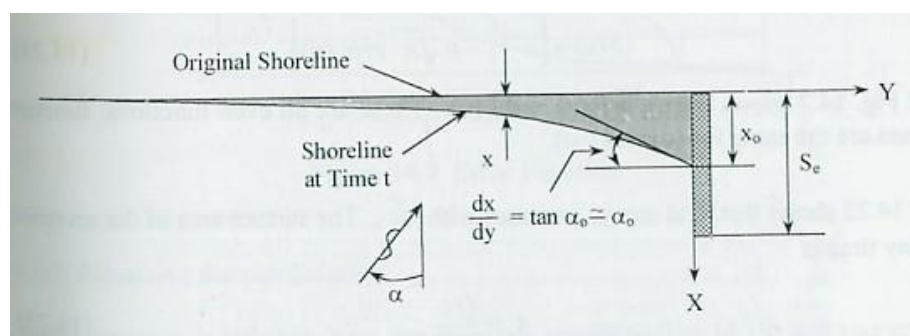


圖 6-11 突堤上游灘線變化解析所使用之符號示意

本研究選擇 91、94 及 97 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

$$\tan \alpha_0 = \frac{y_0 - y_1}{\Delta x} \quad (6-2)$$

由式(6.3-2)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($d_p=4.05\text{m}$)加上潮差之半，可得 $d_p=6.05$ 公尺。新建北防沙堤長為 300m ，由公式(6.3-1)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(6.3-1)將灘線淤積至北定沙堤堤頭之時間示如表 6-1。表 6-1 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堤堤頭之時間；第四行為二者之和。

表 6-1 以突堤上游灘線變化的理論計算灘線淤積至堤頭之時間

$Q(\times 10^4 \text{m}^3/\text{yr})$	$t_{1\text{full}}(\text{yr})$	$t_{2\text{full}}(\text{yr})$	$t_{\text{full}}(\text{yr})$
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

由表 6-1 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。

此計算結果均假設沿岸輸沙量為固定值，對於實際現況，往昔資料顯示每年之沿岸輸沙量變動異相當大，未來之沿岸輸沙量更不能推

測，本研究所計算灘線淤積至北防沙堤堤頭之時間僅當做未來監測及應採取漂沙越過北防沙堤堤頭可能造成港口淤沙之對策。

6.3.2 GENESIS 灘線模擬-北防砂堤延伸

本研究以第四章計算所得之 95 年灘線為基礎，探討在改變北防波堤佈置（堤體向北橫向延伸 450 公尺）及北防砂堤延伸 300 公尺條件下，模擬 95 至 99 年之灘線變化，模擬結果如圖 6-12~圖 6-14 所示。圖 6-12 中顯示，只單獨延伸北防砂堤延伸 300 公尺條件下，北防波堤堤體附近處之灘線較無明顯的淤積，其淤積幅度約在 50 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。圖 6-13 中顯示，只單獨改變北防波堤佈置（堤體橫向延伸 450 公尺）條件下，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 400 公尺左右，在靠近北防沙堤附近處，其淤積長度約為 100 公尺左右，灘線於北防波堤與北防砂堤間則淤積較不顯著。

圖 6-14 中顯示，在同時改變北防波堤佈置（堤體橫向延伸 450 公尺）及北防砂堤延伸 300 公尺條件下，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 400 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。綜合比較上述三種配置，以同時改變北防波堤佈置（堤體橫向延伸 450 公尺）及北防砂堤延伸 300 公尺條件下，將有較明顯的儲沙表現。

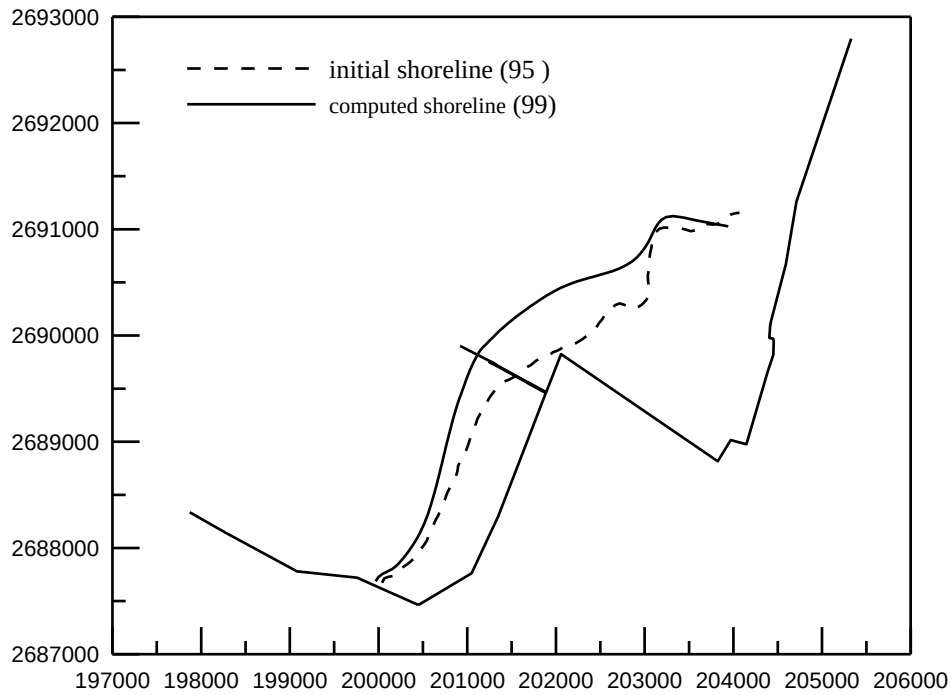


圖 6-12 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較(北防砂堤延伸)
(自民國 95 年至民國 99 年，沿岸輸沙量 $Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

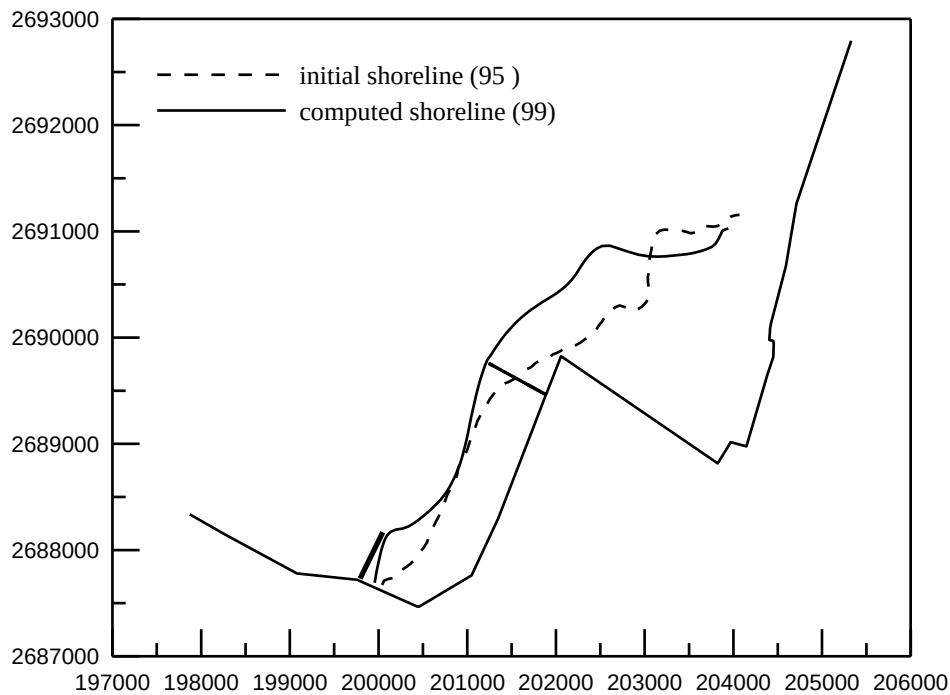


圖 6-13 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (新建定沙堤)
(自民國 95 年至民國 99 年，沿岸輸沙量 $Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

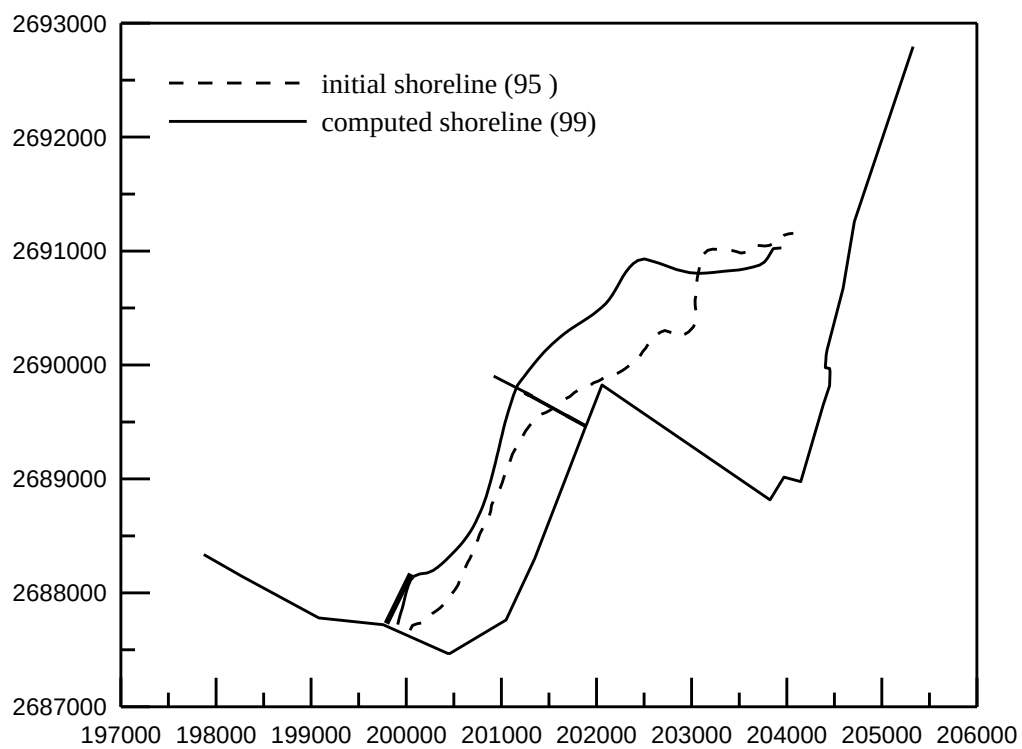


圖 6-14 GENESIS 灘線模式預測灘線與實測之比較 (北防砂堤延伸
和新建定沙堤)

(自民國 95 年至民國 99 年，沿岸輸沙量 $Q = 220 \times 10^4 m^3 / year$)

第七章 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：

7.1 結論

1. 本研究經侵淤分析發現，除了民國 89 年防波堤延長工程進行中有最大累積侵蝕量外，其餘年度皆呈現淤積的現象，並於民國 95 年達到最大累積淤積量，約 7650.22 萬 m^3 。綜言之，臺中港北防波堤以北之區域，因北防波堤及防沙堤攔阻季節性之沿岸漂沙呈現

淤積現象，而北防波堤以南之區域，目前因漂沙越過臺中港，亦於 94 年後由侵蝕轉為淤積。

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。
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. 本計畫利用民國 82 年至民國 92 年的衛星影像資料透過影像前置處理以及灘線位置的修正，擷取出各年平均水位處的灘線位置，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民國 85 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。
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 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 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 $Q=220\times10^4\text{ m}^3/\text{year}$ 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 $Q=170\times10^4\text{ m}^3/\text{year}$ 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砂堤間的蓄沙能力有降低的趨勢。

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可行方案進行分析，同時新建定沙堤及延長攔沙堤的設置，將有較明顯的蓄沙表現。以突堤上游灘線變化理論計算灘線淤積至堤頭之時間（ $Q=250\times10^4\text{ m}^3/\text{yr}$ ， $Q=125\times10^4\text{ m}^3/\text{yr}$ ），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。

7.2 建議

1. 本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。由於海氣象及水文資料不易取得，故在分析對長時間的變化區勢將造成不易分析的困擾。

2. 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，擬在蒐集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。

7.3 成果效益及後續應用情形

本研究經由上述分析與探討，釐清臺中港附近海域的近岸漂沙機制，其結果將有助於了解臺中港附近海域侵淤的主要特性與造成原因。在後續應用方面，本研究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，亦可提供其他港灣處理相關漂沙問題之參考。

參考文獻

1. 佐藤昭二、田中則男，1962，「水平床における波による砂移動について」，日本第9回海岸工學講演會論文集，95～100 頁。
2. 台中港務局，1985，「台中港第一期工程完工報告」。
3. 張憲國、黃金維，2001，「以 NAO99b 潮汐模式預測台灣西岸潮汐之評估」，第 23 屆海洋工程研討會，105～111 頁。
4. 吳哲榮、吳啟南，2003，「遙測技術應用於臺灣西海岸五十年來變遷分析」，航測及遙測學刊，第八卷，第三期，95～109 頁。
5. 呂黎光，2004，「海岸線與面積之遙感測繪應用研究」，海洋工程學刊，第四卷，第一期，71～88 頁。
6. 張憲國、陳蔚瑋，2005，「以衛星影像探討外傘頂洲的海灘變遷」，第 27 屆海洋工程研討會，823～830 頁。
7. 黃雅玲，2005，「以 GENESIS 模擬結構物所引起之海岸線變遷」，國立中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文。
8. 台加工程顧問股份有限公司，2003，「台中港北側淤沙區漂飛沙整治暨生態保育研究」，交通部台中港務局。
9. 宇泰工程顧問公司，2007，「台中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程可行性研究」，交通部台中港務局。
10. 祝玉潔，2008，「整合型海岸變遷模式於台中港淤砂整治之應用」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
11. DHI, (2002) “User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic model”, Danish Hydraulic Institute.
12. Dean, R.G. (1977) “Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf coast”, Ocean Engineering Report No. 12, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, DE, USA.
13. Gardel, A. and Gratiot, N. (2005) “A satellite image-based method

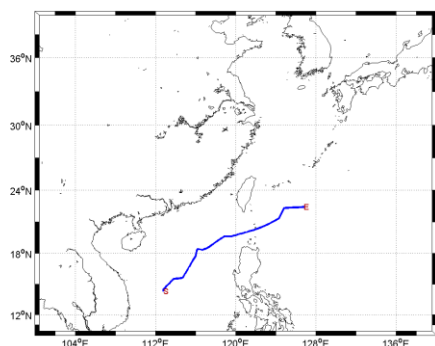
- for estimating rates of mud banks migration,” French Guiana, South America. *Journal of Coastal Research*, 21, 720-728.
14. Gerald, C. F. and Wheatley, P.O. (1996) “Applied numerical analysis”, 5th ed., Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
 15. Goda, Y. (1970) “A synthesis of breaker indices”, *Transactions of Japan Society of Civil Engineers*, 2, 227–230
 16. Gonzalez, R. C. (2004) “Digital image processing using MATLAB, Pearson Prentice Hall.
 17. 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.
 18. Hallermeier, R.J. (1983) “Sand transport limits in coastal structure design”, *Proceedings Coastal Structures*, 83, ASCE, New York, 703-716.
 19. Hanson, H and Kraus, N.C. (1991) “Numerical simulation of shoreline change at Lorain, Ohio”, *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 117, 1-18.
 20. Kamphuis, J. W. (2006) “Introduction to coastal engineering and management”, World Scientific.
 21. Kobayashi, N., Wurjanto, A., Cox, D.T. (1990) “Irregular wave on rough permeable slopes”, *Journal of Coastal Research*, 7, 167-184.
 22. Komar, P.D. and Inman, D.L. (1970) “Longshore sand transport on beaches.” *Journal of Geophysical Research*, 73 (30), 5914-5927.
 23. Kraus, N.C., Gingerich, K.J. and Rosati, J.D. (1988) “Toward an improved empirical formula for longshore sand transport”, *Proceedings of 21st International conference on Coastal Engineering*, American Society of Civil Engineers, New York, (2), 1182-1196.
 24. Linwood, V. and Zeki, D. (2002) *Coastal Engineering Manual*, US

Army Corps of Engineers.

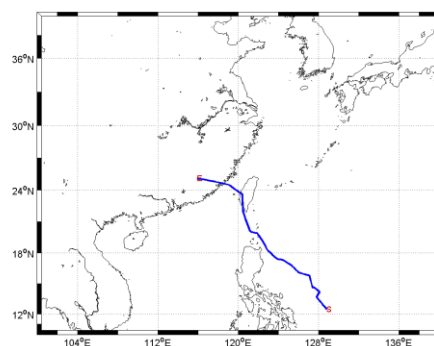
25. Liou, J.C., Chang, H.K., Chen, W.W. and Liaw, S.R. (2009) “Beach erosion at Kangnan coast in Taiwan responses to engineering structures”, *Journal of Coastal Research*, 25(2), 405–416.
26. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M. (2000) “Ocean tide model developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimetry data into hydrodynamical model: A global and a regional model around Japan”, *Journal of Oceanography*, 56, 567-581.
27. Méhauté B. Le and Koh, R.C.Y. (1967) “On the breaking of waves arriving at an angle to the shore”, *Journal of Hydraulic Research*, 5, 67–88.
28. Ozasa, H., and Brampton, A.H. (1980) “Mathematical modeling of beaches backed by seawalls”, *Coastal Engineering*, 4(1), 47-64.
29. Pelnard-Considere, R. (1956) “Essai de Theorie del ‘Evolution Des Fomrs de Vivadg en Plages de Sable et de Galets”, *Journees de l’Hydraulque, Les Energies de la Mer, Question II*, Report No.1, 289-298.
30. 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, 1321-1330.
31. Ryu, J.H., Won, J.S. and Min, K.D. (2002) “Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flatA case study in Gomso Bay, Korea”, *Remote Sensing of Environment*, 83, 442–456.
32. Saville, T. Jr. (1956) “Wave run-up on shore structures”, *Journal of Waterways Harbors Division, WW2*, ASCE, 82.
33. Schwiderski, E.W. (1980) “On charting global ocean tides”, *Geophysics and Space physics*, 18(1), 243-265.
34. Sunamura, T. and Horikawa, K. (1974) “Two-dimensional beach transformation due to waves”, *Proceedings of Fourteenth International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, 920–938.

35. Willmott, C.J. (1981) "On the Validation of Models", *Physical Geography*, 2 (2), 219-232.

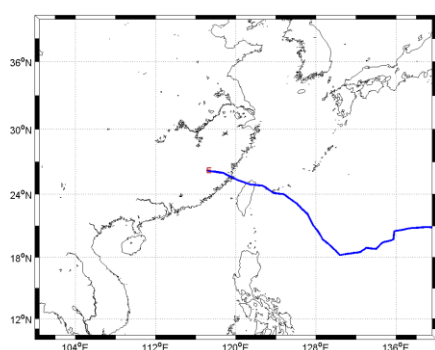
附錄 A 颱風路徑圖



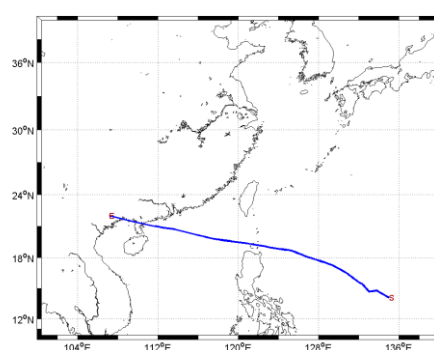
a. 凱姆 CAM



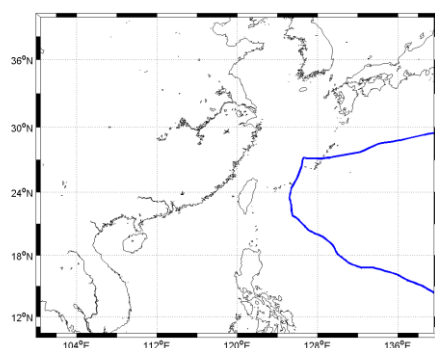
b. 葛樂禮 GLORIA



c. 賀伯 HERB



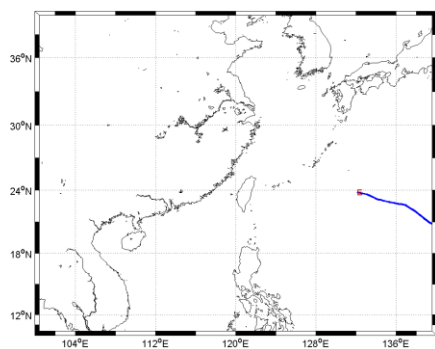
d. 莎莉 SALLY



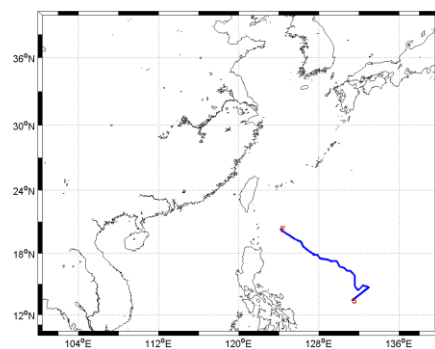
e. 薩恩 ZANE

1996

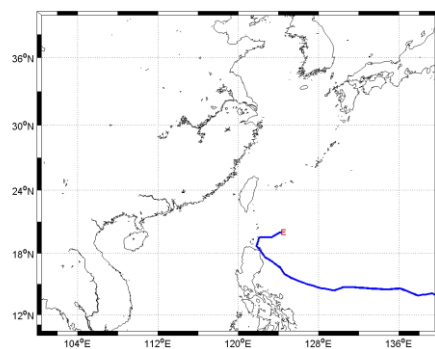
A-1



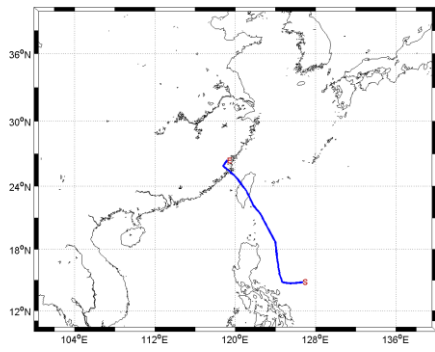
a. 溫妮 WINNIE



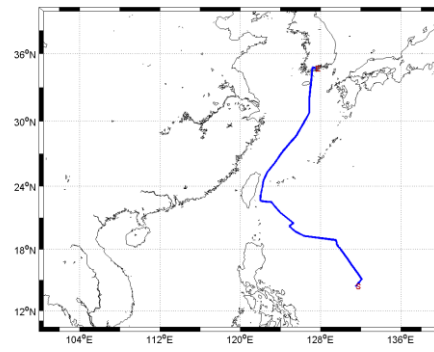
b. 安珀 AMBER



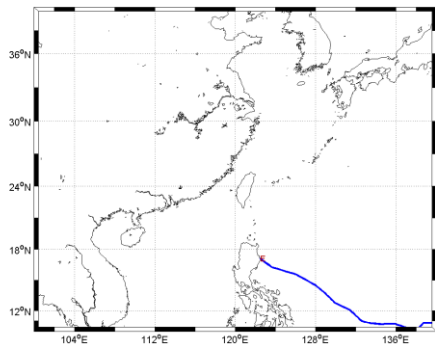
c. 艾文 IVAN



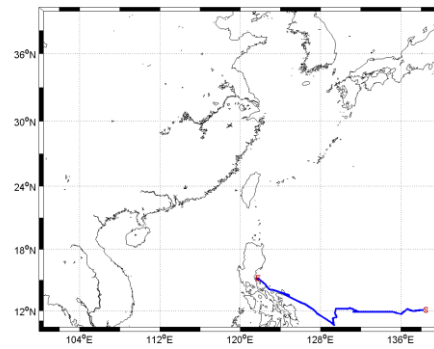
a. 奧托 OTTO



b. 楊妮 YANNI

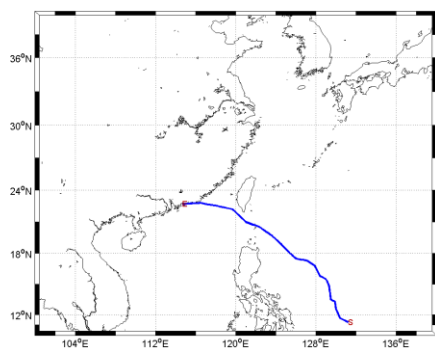


c. 瑞伯 ZEB

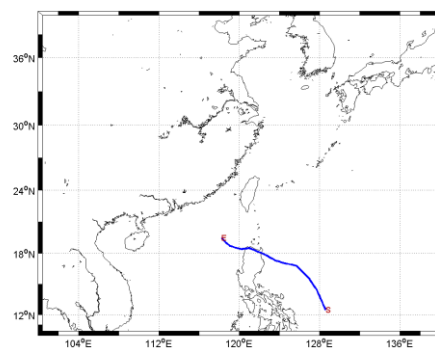


d. 芭比絲 BABS

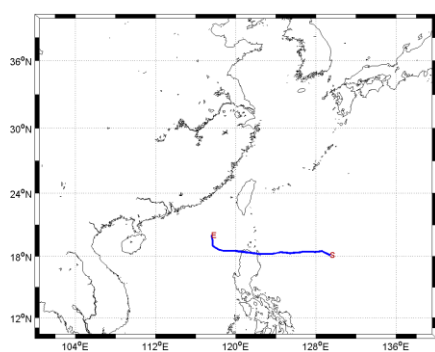
1998



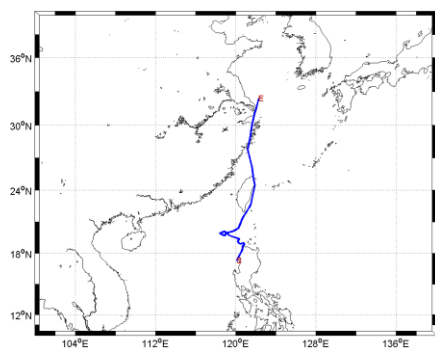
a. 瑪姬 MAGGIE



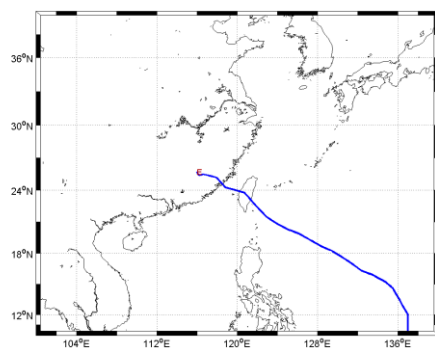
b. 山姆 SAM



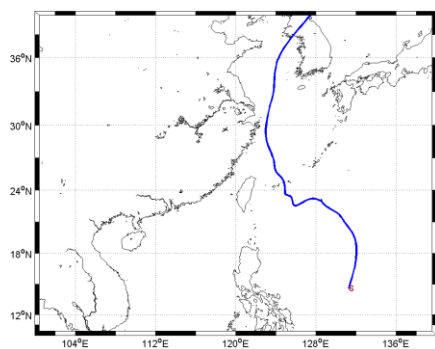
c. 丹恩 DAN



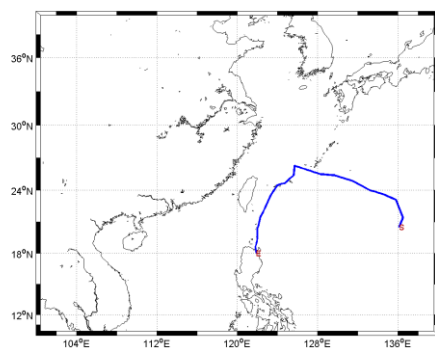
a. 啟德 KAI-TAK



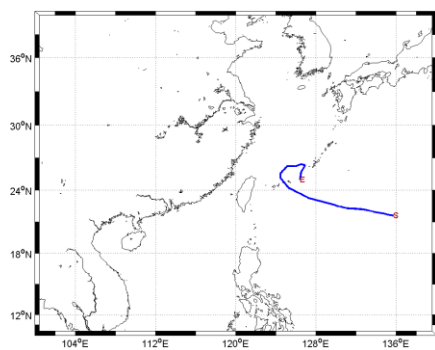
b. 碧利斯 BILIS



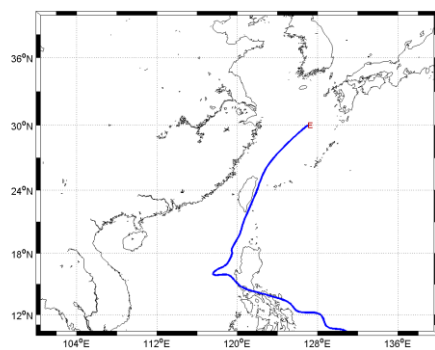
c. 巴比倫 PRAPIROON



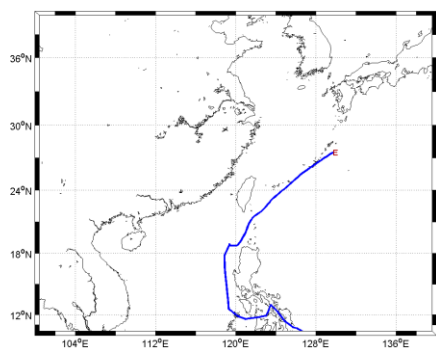
d. 寶發 BOPHA



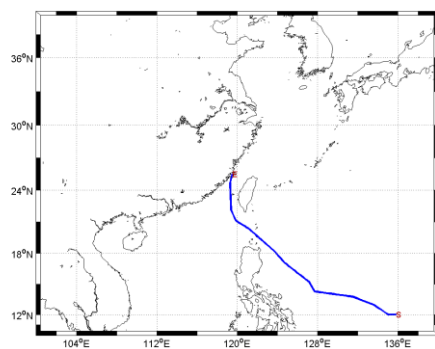
e. 雅吉 YAGI



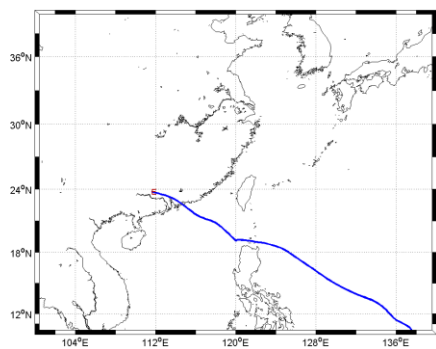
f. 象神 XANGSANE



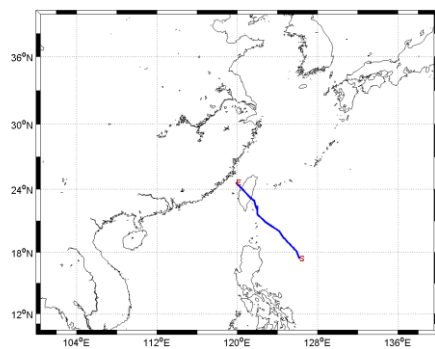
a. 西馬隆 CIMARON



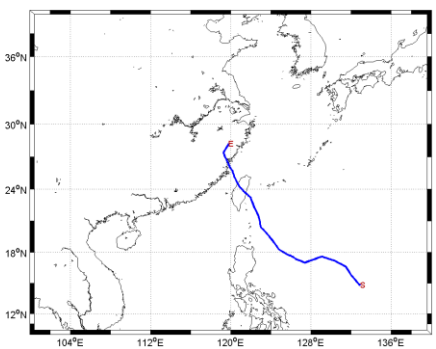
b. 奇比 CHEBI



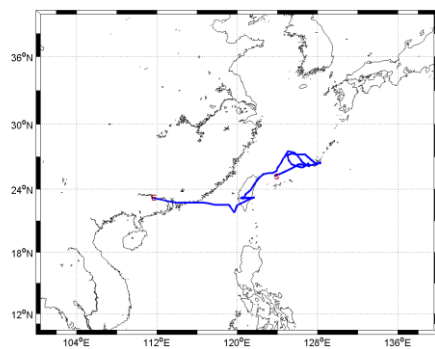
c. 尤特 UTOR



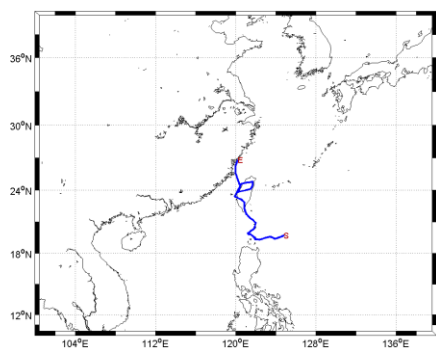
d. 潭美 TRAMI



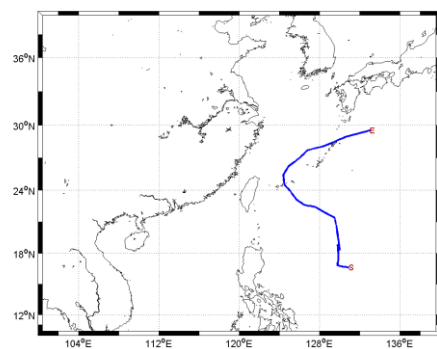
e. 桃芝 TORAJI



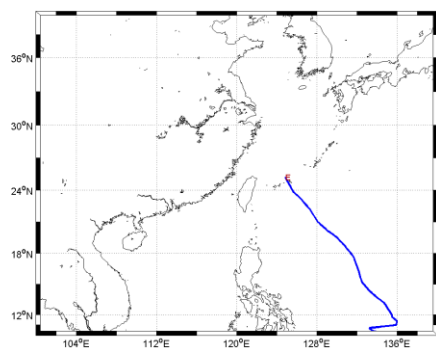
f. 納莉 NARI



g. 利奇馬 LEKIMA



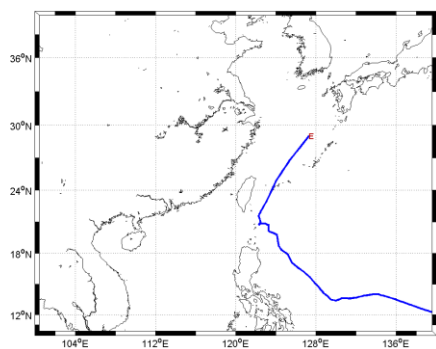
h. 海燕 HAIYAN



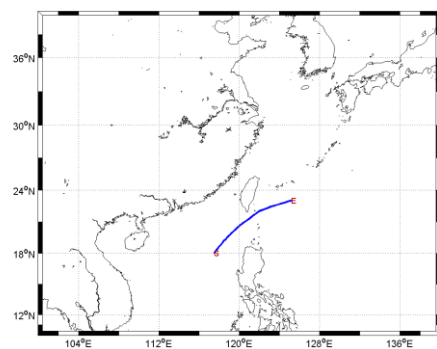
a. 雷馬遜 RAMMASUN

2002

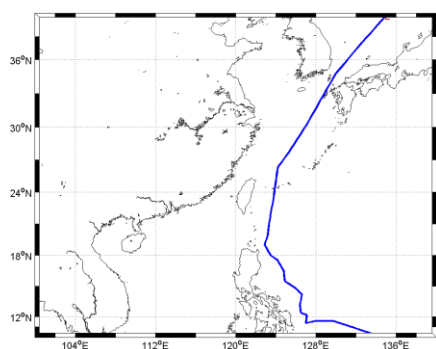
A-8



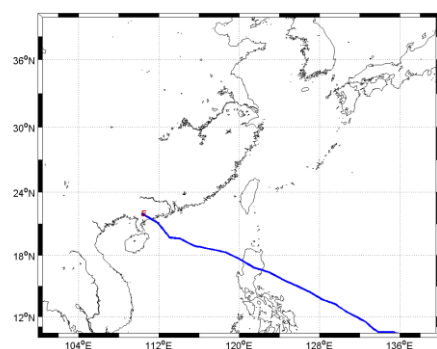
a. 柯吉拉 KUJIRA



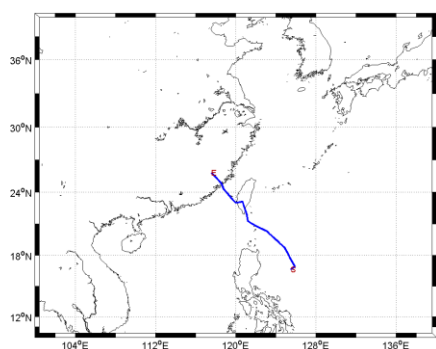
b. 南卡 NANGKA



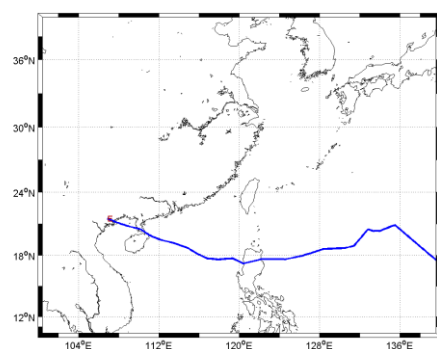
c. 蘇迪勒 SOUDELOR



d. 尹布都 IMBUDO

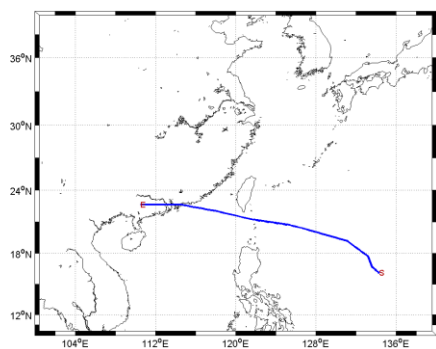


e. 莫拉克 MORAKOT

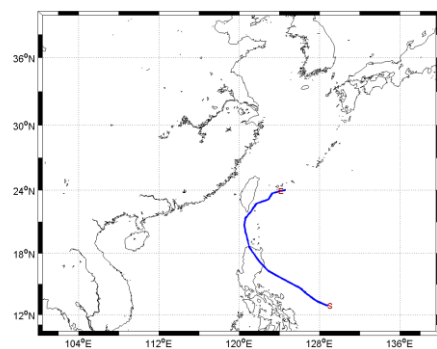


f. 克羅旺 KROVANH

2003



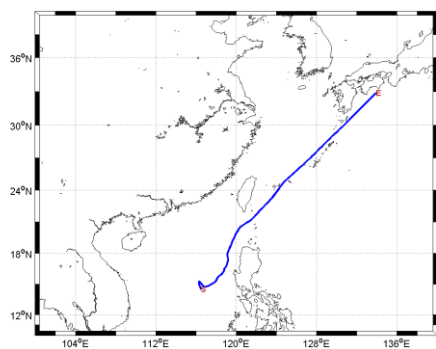
g. 杜鵑 DUJUAN



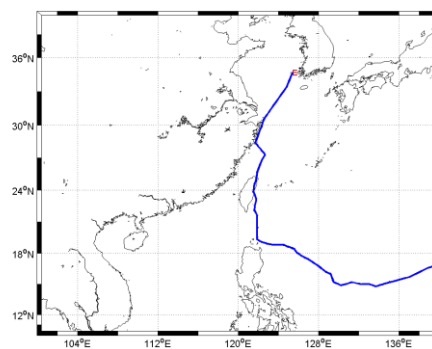
h. 米勒 MELOR

2003

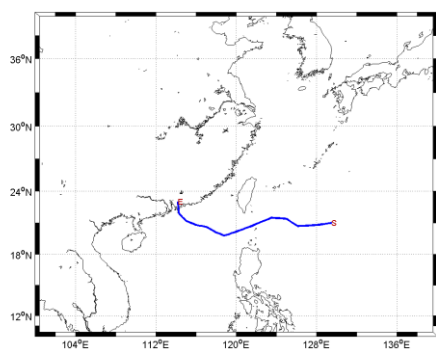
A-10



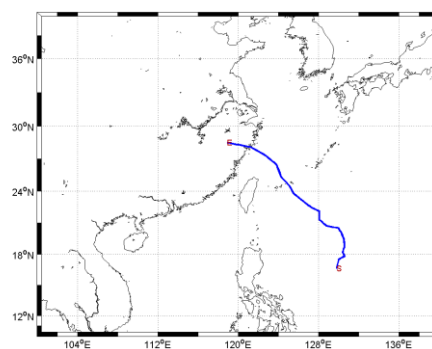
a. 康森 CONSON



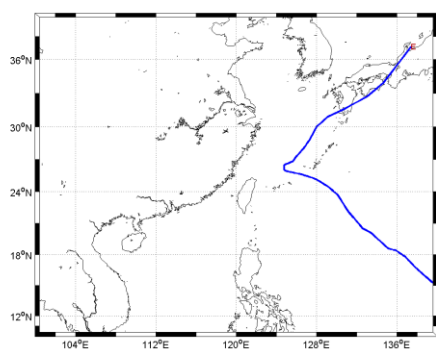
b. 敏督利 MINDULLE



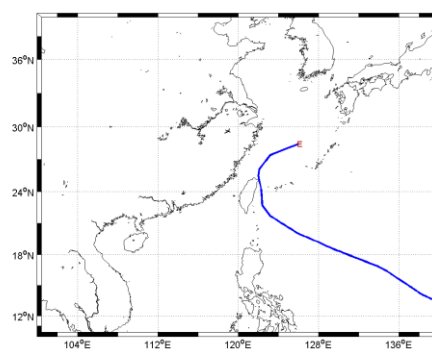
h. 康柏斯 KOMPASU



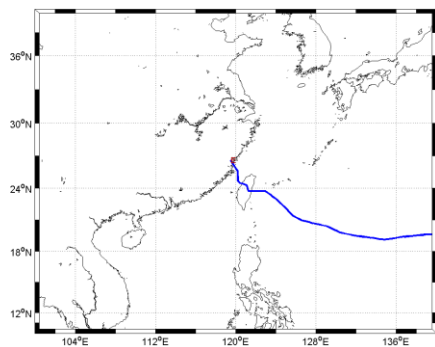
g. 蘭寧 RANANIM



f. 米雷 MEARI

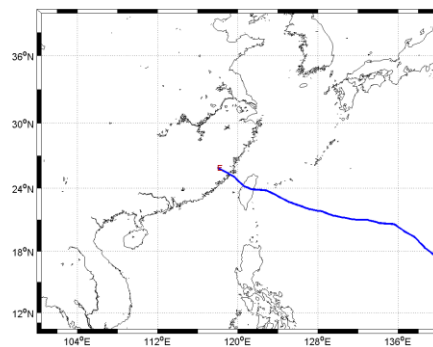


e. 納坦 N.OCK-TEN



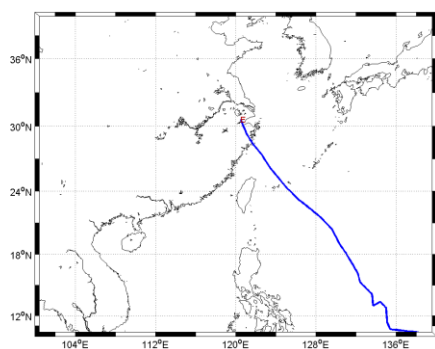
海棠 HAITANG

a.



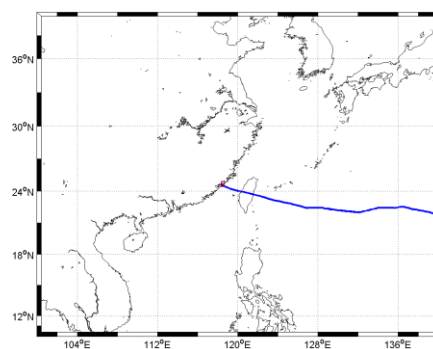
泰利 TALIM

b.



卡努 KHANUN

c.



龍王 LONGWANG

d.

附錄 B 衛星影像與灘線擷取介紹

B.1 衛星影像資料來源介紹

目前商用光學衛星影像有逐漸提高空間解析度之趨勢，從 1972 年 80 公尺空間解析度的 Landsat-1 MSS，直到 1999 年 15 公尺空間解析度的 Landsat-7 ETM+。以及 1986 年法國 SPOT-1 衛星之 20 公尺空間解析度，直到 2003 年 SPOT-5 衛星之 2.5 公尺空間解析度。除此之外，美國的 IKONOS 與 Quickbird 衛星，影像已優於 1 公尺之空間解析度。然而，各衛星各有其優缺點，針對任務需求之不同，選擇適當的資料才能有效的利用資源。

(一)SPOT 衛星

本研究目的為探討結構物對研究基地海岸線變遷的影響，自雙馬刺型突堤興建之前開始監測整個研究基地，故可以使用較高空間解析度的 SPOT-5 衛星所提供的影像資料。相較於 SPOT 系列的前幾個衛星，SPOT-5 不但在多光譜影像資料上有較好的表現，在單色態的空間解析度更可達 5m。SPOT-5 號衛星於 2002 年 5 月 4 日發射升空，除了跟 SPOT-1~3 一樣擁有單色態光學感測器、多光譜光學感測器(紅光、綠光、近紅外光)之外，還有 SPOT-4 所搭載的短波紅外光感測器(SWIR)，使得多光譜影像資料中包含四個波段的影像資料。此外，SPOT-5 搭載了兩組以上所提到的感測器，經由同時拍攝，再經過影像融合處理可以提昇其空間解析度到 2.5 公尺，稱為超解像模式(Supermode)影像，SPOT 系列影像的規格說明如表 B-1 所示。

本計畫期中報告主要選用超解像模式影像或全色態影像進行分析，雖然只有單色態的影像資料，但空間解析度可高達 2.5m。對於本研究基地此類比較較小範圍的海岸線監測，可以獲得較高的準確度。

表 B-1 SPOT 系列衛星資料空間解析度與感測器光譜模式

衛星代號	感測器	光譜模式	空間解析度
SPOT-1~3	HRV	單色態(PAN)	10m
		多光譜態(XS)	20m
SPOT-4	HRV	單色態(M)	10m
		多光譜態(XI)	20m
SPOT-5	HRG	單色態(HM)	5m
		超解像模式 (THR)	2.5m
		多光譜態(HI)	10m

(二) 福爾摩沙衛星二號

福爾摩沙衛星二號(FORMOSAT-2) 已於 2004 年 5 月 21 日成功發射，為我國第一個自主性遙測與科學衛星，是由國家實驗研究院國家太空中心所主導，為國家太空計畫第一期十五年計畫中之主要任務之一。福爾摩沙衛星二號具有資源探測與科學研究雙重任務，其資源探測任務是以滿足臺灣地區之需求為主，其每日再訪率與高空間解析度的設計，是福爾摩沙衛星二號優於其他商業遙測衛星的地方。其應用領域可包含土地利用與變遷、農林規劃、環境監控、災害評估以及科學研究與教育等方面。自中央大學太空遙測中心所申購的 FORMOSAT-2 影像資料的校正以及資料處理過程與 SPOT 系列衛星相同，皆經由系統改正以及精密幾何改正，其影像空間解析度與感測器光譜模式列如表 B-2。多光譜態不同於 SPOT 系列衛星的四個波段，即藍光段、綠光段、紅光段及近紅外光段。

表 B-2 FORMOSAT-2 衛星資料空間解析度與感測器光譜模式

衛星代號	感測器	光譜模式	波段數	空間解析度
FORMOSAT-2	RSI	全色態(PAN)	1	2m
		多光譜態 (XS)	4	8m

B.2 由衛星影像擷取灘線位置

B.2.1 衛星影像前置處理

海岸變遷或地形變化現象可由最直接明顯的灘線隨時間變化的來瞭解。本計畫已收集民國 85 年至 95 年間的實測地形資料，但為了能夠分析較長期的灘線變遷，故自 1993 年起挑選合適的衛星影像資料進行灘線的擷取。

由於每張衛星影像圖因拍攝時的地表天候或天體相關位置不同而會有不同的拍攝條件，每張衛星影像由於拍攝時光量以及氣候的不同，在單色態影像的亮度與對比上會有明顯的差異，且因為地表天候以及天體相對位置的不同，其差異程度也無法以簡單的線性調整來做標準化，故本研究以直方圖等化、影像強化以及邊界擷取三個前置處理來獲得衛星影像中的灘線位置。

(一)直方圖等化

每張衛星影像圖的亮度直方圖(Histogram)分佈均各集中在不同區域，故需先對各影像先進行直方圖等化(Histogram Equalization)，提高其對比度使影像中亮度的差異度提升，有助於辨識出影像中的差異處。在數位影像處理中灰階的亮度值域為介於 0~255 間的整數離散值，圖 B-1 中各張直方圖的橫軸為亮度，而縱軸為影像中該亮度出現的次數，此直方圖能夠用來表示一張灰階影像的強度分佈。經過直方圖等化處理後，如圖 B-2 所示，會將每張影像的亮度都均勻展開在 0~255 的亮度間，此方法可使影像中各組亮度的間的差異度提升，對於影像的分類以及邊緣的偵測上，可以較容易找出其特徵門檻值。

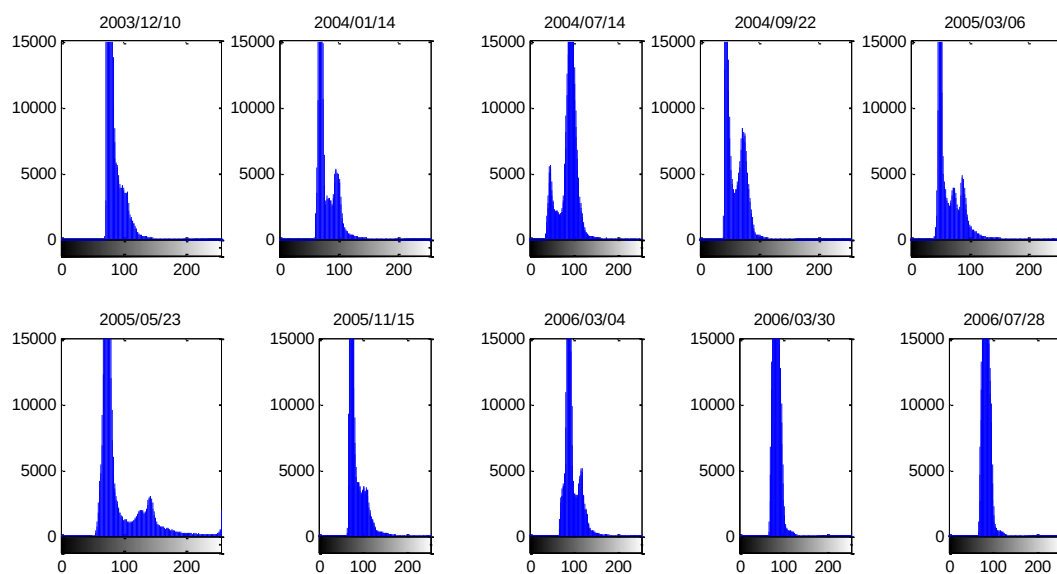


圖 B-1 衛星影像的亮度直方圖

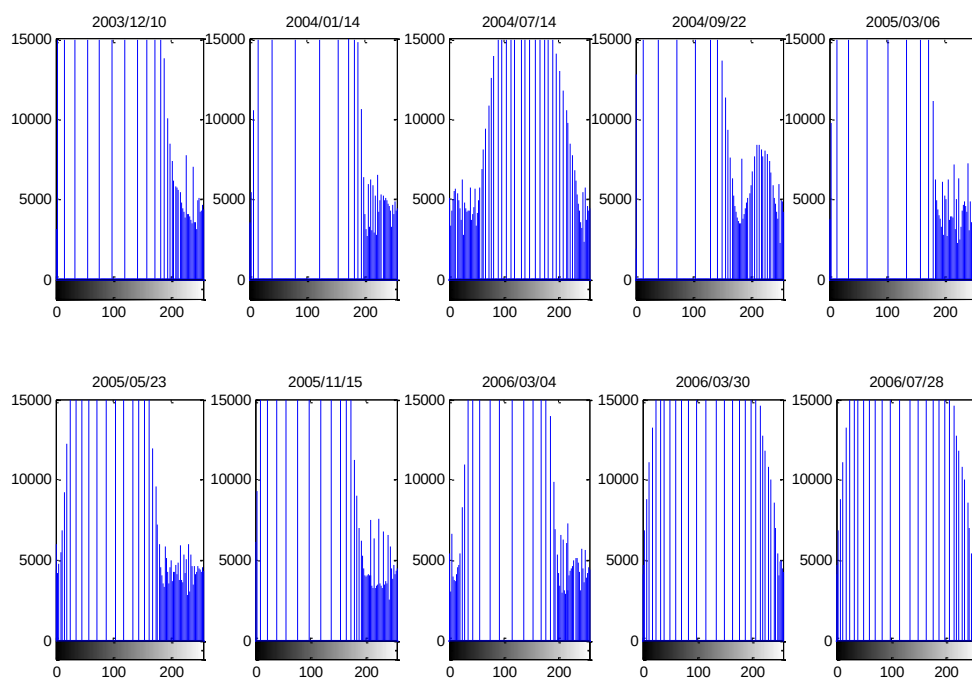


圖 B-2 各張衛星影像經過直方圖等化後的亮度直方圖

(二)影像強化

由於直方圖均勻等化法是以單一圖片的亮度範圍作為調整的依據，無法針對個別影像突顯部份特徵的海陸交界處，故本研究採用影像強化來解決剩餘影像的問題。影像強化主要是利用一個轉換函數將原始影像中的某段強度值轉換到新的輸出值域上，不同於直方圖等化，此方法必須針對不同影像給予不同的強度輸入範圍、強度輸出範圍、以及轉換函數曲率。如圖 B-3 所示，假設要將影像 a 中的強度值映射到 b 中的新數值，使得從 low_in 和 $high_in$ 間的數值映射到 low_out 與 $high_out$ 之間的數值。在 low_in 以下、 $high_in$ 以上的強度值將被忽略不處理直接映射到 low_out 以下與 $high_out$ 以上。而 low_in 以上至 $high_in$ 之間的強度值則需經過轉換函數的處理再映射至 low_out 與 $high_out$ 之間，轉換函數的曲率以 γ 係數來控制，如果 γ 小於 1，則映射出來的結果會較原來的強度大(意即較亮)，示如圖 B.2-3 左邊；反之，若 γ 大於 1，則映射出來的結果會較原來的強度小(較暗)，如圖 B-3 右邊；若 γ 值等於 1，則以線性映射進行轉換，如圖 B-3 中間。此方法若配合直方圖等化即可忽略掉影像中非重點的亮度差異處，而強調出影像中的重點差異處。

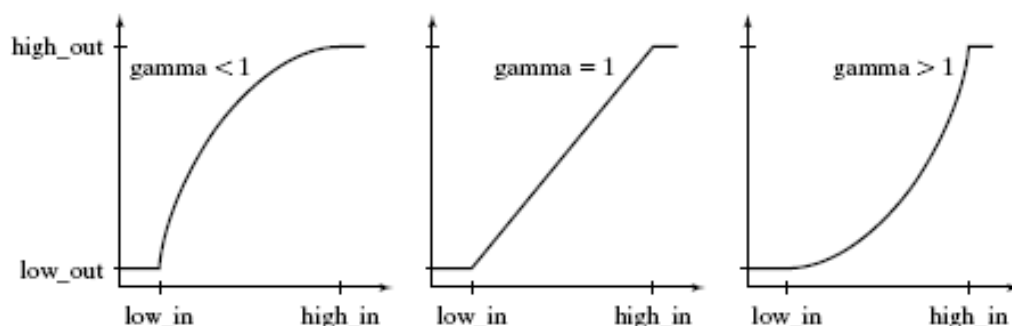


圖 B-3 影像強化中所使用的各式映射函數

(三)邊界擷取

從影像中將重要的主題或是範圍獨立出來，稱為影像分割。影像

分割主要有三種方法：一為區域成長法(Region growing method)，利用選取初始點並將初始點周邊相關的像素點獨立出來，而周圍非相近像素點則捨棄，若選取多個初始點即可順利在一影像中做到切割的動作；第二種是邊界偵測法(Edge detection method)，將影像中每個像素點與周圍點的強度關係推算出梯度向量，再由每個像素點的梯度向量去推估該點是否為邊界，最後將邊界獨立出來，即可獲得邊界與區域等相關資料；第三種為臨界值法(threshold method)，設定一亮度臨界值，在影像強度直方圖中將影像中強度點分為兩區，將影像進行二值化後會產生強度只有 0 與 1 的影像(僅有黑白兩色)，其中 0 與 1 之間即為邊界。

本計畫目的為辨識海岸線的位置，由於影像中除了海水與陸地外還有許多結構物或是植物，造成使用區域成長法使用上的不便。故本研究嘗試選用邊界偵測以及臨界值法來進行分析。臨界值法為最簡單的演算法，但由於臨界值法只能適用於部分影像，故本研究全部影像都以邊界偵測法來進行分析，本研究採用 Canny 邊緣檢測器作為邊界偵測的方法。Canny 檢測器主要是經由一個特定標準差的高斯濾波器來進行平滑化以降低雜訊，這個步驟對於海面上細小的波紋或是水花都有明顯的濾除效果。再經由式(B-1)與式(B-2)計算出每個點的局部梯度 g 與邊緣方向 α

$$g(x, y) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (B-1)$$

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1}(G_y^2 / G_x^2) \quad (B-2)$$

在每個點都計算出梯度與方向後可以得到一個梯度的矩陣，在此矩陣中可連結梯度較大的相鄰點，可形成一條山脊，並在山脊的頂端處檢測各點的梯度方向，剔除不符合方向的點之後剩餘的點可連成線段的即為邊界。海岸線位置可由 Canny 檢測器偵測出來，但仍有其他碎波帶的白泡沫的邊界線需要刪除，而海上結構物、陸上結構物以及樹林的邊界線也存在於影像中，故需使用 GIS 應用軟體或手動對其餘非海岸線部分的邊界線進行刪除，為了進行後續的海岸線位置修正以

及侵淤分析必須進行細線化(thinning)或骨架化(skeletonization)，選出真正具有代表性的海岸線位置。

B.2.2 將灘線修正至平均水位處

若要修正擷取衛星影像的灘線位置至平均潮位上，在衛星影像的拍攝時間的潮位是需要知道的，此潮位一般可用附近潮位站資料來決定，但若無潮位站時，由適當模式來計算潮位則是必要的方法。目前在台灣之潮汐計算常使用 Matsumoto 等人(1995)利用高度測量誤差約為 4.7 公分的高精度的 TOPEX/POSEIDON (T/P)衛星資料做混疊(aliasing)，配合 Schwiderski (1980)推導出的潮位運動的力學方程式發展出可計算全球各主要分潮特性分佈的 nao.99b 數值模式。張及黃(2001) 利用 nao.99b 模式推算台灣主要海域的潮位與實測值之比較，發現 nao.99b 模式是相當精準之水位計算模式。因此本研究在研究基地無實測潮汐資料時，則用 nao.99b 模式來計算潮位。另外，做為修正海灘線位置的參考波高的估算，Cox and Munk (1954)即利用航空影像進行估算，近年來更有許多研究利用光學衛星影像或是雷達衛星影像(SAR)成功進行估算(Beal, 1980)。

張與陳(2005)提出定位平均灘線的方法，將各個不同潮位所拍攝的海岸線位置統一修正至平均水位處，使每年海岸線的變遷能夠以一定的基準來評斷。

假設相鄰三年間的底床剖面相似，如圖 B-4 示。

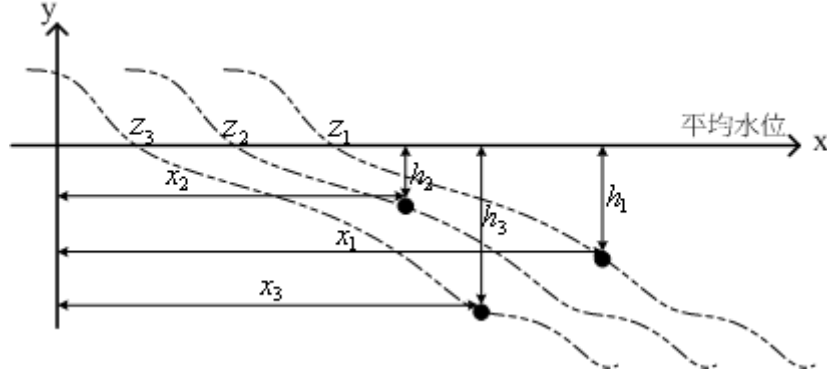


圖 B-4 鄰近三年的 y 方向地形以及潮位示意圖

灘線之地形若視為均勻坡度，則時間 t_i 某剖面之幾何關係可決定

$$\frac{h_i}{x_i - z_i} = s, \quad (i=1,2,3) \quad (\text{B-3})$$

其中 z_i 平均水位情況下的海岸線位置， x_i 是該 t_i 時間下衛星影像辨識出的海岸線位置， h_i 為 t_i 時間時的潮汐水位， s 為底床坡度。

若假設相近幾年之灘線變化相似，則定義移動速度為

$$V = \frac{z_j - z_i}{t_j - t_i} = \frac{\Delta z_{ji}}{\Delta t_{ji}}, \quad (i, j=1,2,3) \quad (\text{B-4})$$

由式(B-3)及式(B-4)，取連續三年之資料則可獲得平均坡度為

$$s = \frac{\Delta h_{32} - \frac{\Delta t_{32}}{\Delta t_{21}} \Delta h_{21}}{\Delta x_{32} - \frac{\Delta t_{32}}{\Delta t_{21}} \Delta x_{21}} \quad (\text{B-5})$$

將式(B-5)帶入式(B-3)可得平均灘線位置為

$$z_i = x_i - \frac{h_i \left(\Delta x_{32} - \frac{\Delta t_{32}}{\Delta t_{21}} \Delta x_{21} \right)}{\Delta h_{32} - \frac{\Delta t_{32}}{\Delta t_{21}} \Delta h_{21}}, \quad (i=1,2,3) \quad (\text{B-6})$$

經由式(B-6)可決定出平均灘線。

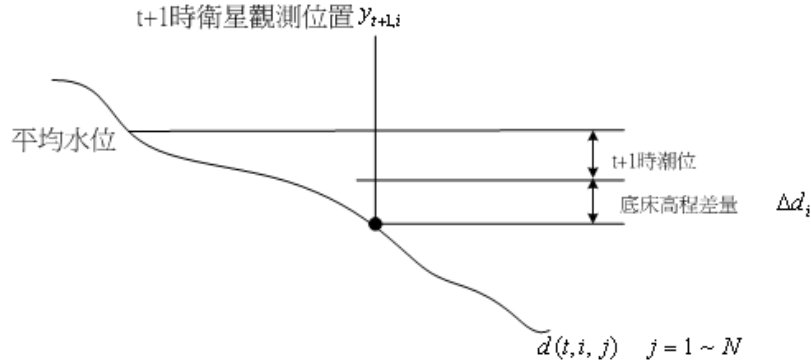


圖 B-5 基準斷面地形與次年觀測灘線位置關係圖

當人造衛星於海岸地區的上空拍攝地表影像時，會由於拍攝時間的不同而有不同的波浪條件，波浪在斜坡底床的近岸處發生溯升而使得衛星影像拍攝時的海岸線較為後退。因此當波高越大時，由衛星影像所判讀的海岸線位置會越較原本位置後退，故需進行修正以避免造成一系列海岸線比較以及分析上的誤差。Saville(1956)提出波浪於透水斜坡底床上的溯升(wave run-up)高度計算圖，可由深海波浪資料以及底床坡度求得溯升高度與深海波高的比值。而 Kobayashi(1990)以數值模式推算不規則波於透水底床上溯升高度，並提出經驗公式：

$$\frac{R}{H_s} = \frac{1.13\xi_p}{1+0.506\xi_p} \quad (\text{B-7})$$

其中 R 為溯升高度， H_s 為示性波高， ξ_p 為碎波參數，碎波參數可由底床坡度 β 、示性波高以及波長 L 定義之：

$$\xi_p = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L}} \quad (\text{B-8})$$

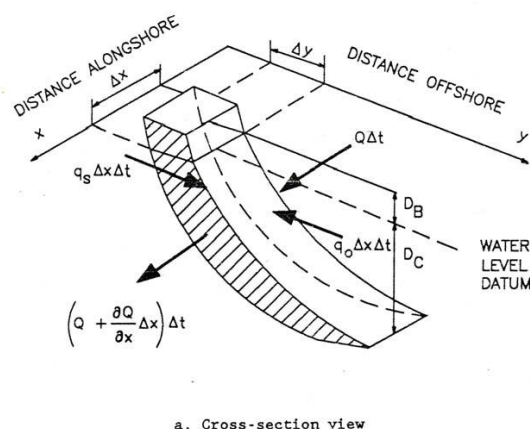
由式(B-7)以及式(B-8)即可由波浪資料以及底床坡度推求波浪溯升高度。

附錄C GENESIS 模式簡介

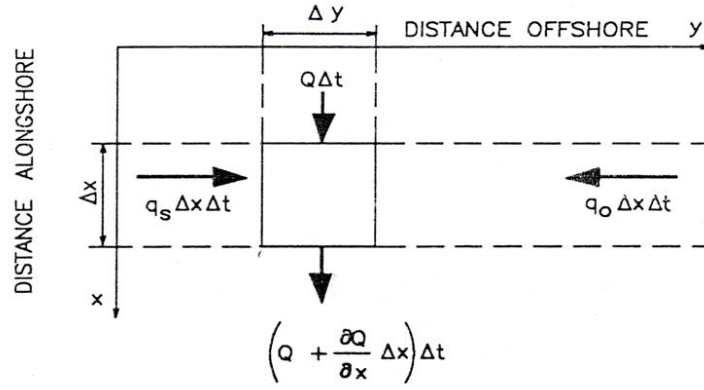
C.1 GENESIS 海岸線變遷模式

Hanson 和 Kraus (1991) 以及 Graven 等人 (1991) 針對單線模式中，Pelnard-Considere (1956) 的稜形控制體假設無法適切地描述實際海灘平衡剖面-Dean profile，遂改良原先之稜形控制體為圖C-1-1 (a) 所示之控制體，根據質量守恆定律，並以一卡式座標為基準， y 軸代表向、離岸的方向（垂直於海岸線）， x 軸代表沿海岸線的方向，假設海灘的平均剖面不變，海岸以此剖面形狀往陸地或外海平行移動。若以平均海水面為基準， Δy 代表海岸線位置水平移動的距離， Δx 代表兩相鄰海岸剖面的間隔； D_B 代表波浪所能達到陸側的最大高程； D_C 為海側無顯著漂沙移動的臨界水深。在 Δt 的時間，此區間的輸沙體積為 $\Delta V = (D_B + D_C) \Delta x \Delta y$ ，亦即輸沙在此區間進出的量。若沿岸漂沙率的變化為 ΔQ ，則在此區間兩側邊所產生之沿岸方向體積淨變化量為 $\Delta Q \Delta t = (\partial Q / \partial x) \Delta x \Delta t$ 。假設離岸（ q_s ）與向岸（ q_o ）的輸沙量之和為 q_x （ $q_x = q_s + q_o$ ），則向離岸沙源所產生之體積變化量為 $q_x \Delta x \Delta t$ ，由輸沙連續性可得 $\Delta V = (D_B + D_C) \Delta x \Delta y = (\partial Q / \partial x + q) \Delta x \Delta t$ 。若 Δt 趨近於零（ $\Delta t \rightarrow 0$ ），則海岸線長期變遷的控制方程式為

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0 \quad (C-1)$$



(a) 斷面示意圖



(b) 平面示意圖

圖 C-1 海岸線變遷模式控制體圖 (a) 斷面示意圖；(b) 平面示意圖

式 (C-1) 可由數學解析或數值方法求解；其中數學解析法適用於理想的邊界情況，而數值方法中一般以 GENESIS 系統等模式進行實際海岸線變化之預測。模式中的沿岸漂沙量的經驗公式，通常可寫成：

$$Q = (H^2 C_g)_b [a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cos \theta_{bs} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)]_b \quad (C-2)$$

式中， H_b 為碎波之有義波波高； C_{gb} 為碎波狀態下以線性波浪理論求得的群波波速；下標 b 為，代表在碎波狀態下的各種波浪條件； θ_{bs} 為碎波時之波峰線與當地海岸線之間的夾角； a_1 及 a_2 各為一無因次的參數，可分別表示為：

$$a_1 = \frac{K_1}{16 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - p) (1.416^{2.5})} \quad (C-3)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - p) \tan \beta (1.416^{3.5})} \quad (C-4)$$

式中， K_1 及 K_2 是與當地波浪及漂沙相關之校正或經驗係數； ρ_s 為沙粒的密度； ρ 為海水的密度； p 為底床沙粒的孔隙率； $\tan \beta$ 為在沿岸漂沙作用下之海灘平均坡度。

式 (C-2) 等號右方的第一項為波浪由斜向入射時所造成的沿岸漂沙

量。Komar 與Inman (1970) 由追蹤實驗的結果，以均方根的波高來計算漂沙量，訂出 $K_1 = 0.77$ 。Kraus 等人 (1982) 建議在一般的設計上， K_1 值應在 0.58~0.77 之間較為合理。等號右側的第二項代表由沿岸碎波波高的梯度變化 ($\partial H_b / \partial x$) 所計算的沿岸漂沙量，Ozasa 與Brampton (1980) 曾將此波高梯度所造成的影響引用到海岸變遷數值模式。在一開放性的海域，碎波波高梯度所造成的影響皆小於斜向入射波的影響。但在結構物的鄰近及背後區域，因繞射改變碎波波高的分佈，故此項修正有助於改善模式的精確度。雖然 K_1 與 K_2 的值可由經驗來決定或視為一常數，但在模式的校正中，常被視為一常數，稱為「傳送常數」。 K_1 所代表的是模擬海岸線變遷之時間縮尺及沿岸漂沙率的多寡，在其控制上，需要與式 (C-1) 的係數 $1/(D_B + D_C)$ 一致。再者， K_2 的值通常假定等於 K_1 或是 K_1 的半值；惟當使用 $K_1 = K_2$ 時，會誇大結構物鄰近海域海岸線變化的計算及造成數值模擬的不穩定性，因此等值之假設少有人用。

整體而言，在海岸線長期變遷的數值模擬公式中，藉由若干合理的假設與一些近似值的使用，可以表示相當於海岸附近實際的沿岸漂沙狀況，並以 K_1 與 K_2 為模式的校正參數。一般來說，實際工程應用上所採用的 K_1 值，可藉由模式模擬與實測的岸線變化率、沿岸漂沙率量的比較而定。在使用 GENESIS 系統時，需給定主要的沿岸漂沙傳送深度。基本上這與碎波帶的寬度有關。Hallermeier (1983) 以深海波浪條件計算 D_{LTO} (沿岸漂沙傳送最大深度)，進而計算海灘剖面之平均坡度 $\tan\beta$

$$D_{LTO} = [2.3 - 10.9(\frac{H_0}{L_0})]H_0 \quad (C-5)$$

式中， H_0/L_0 為深海波浪尖銳度； H_0 為波浪的深海有義波高； L_0 為波浪的深海波長。而根據過去的經驗分析結果，漂沙運動之臨界水深 D_C 約等同於沿岸漂沙傳送最大深度，即

$$D_C \approx D_{LTO} \quad (C-6)$$

對於結構物與砂粒移動的關係，GENESIS 模式以輸砂側渡 (sand bypassing) 及砂粒傳輸透過率 (sand transmission) 來進行模擬。其中輸砂

側渡表現於 D_G (結構物靠海端點深處) 小於 D_{LT} (沿岸漂砂傳送深度) 處。其水深值可利用 Dean (1977) 所推導的海岸剖面形狀函數公式：

$$D_h = Ay_1^{2/3} \quad (C-7)$$

式中 A 為經驗參數， y_1 為離岸距離。利用上式及結構物靠海端點可求得 D_G 值。對於輸砂側渡參數以 BYP 來加以表示，其參數可表示為：

$$BYP = 1 - \frac{D_G}{D_{LT}} \quad (C-8)$$

式中 $D_G \leq D_{LT}$ ， $0 \leq BYT \leq 1$ 。當 $BYT = 0$ 時，為無輸砂側渡，當 $BYT = 1$ 時，為砂粒完全通過結構物。至於砂粒傳遞於結構物 (突堤、離岸堤) 的參數，則是以透過係數 $PERM$ 來加以表示。當結構物高於平均海水面時，則 $PERM = 0$ ，其條件為不容許有砂粒傳遞通過的情形發生；當砂粒完全傳遞通過結構物時，則 $PERM = 1$ 。

若以有限差分數值方法解析式 (C-1)，根據圖C-1的相關物理量定義，式 (C-1) 可以有限差分式表示如下：

$$\Delta y = -\frac{1}{(D_B + D_C)} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \quad (C-9)$$

為方便計算，上式忽略 q 對 Δy 所造成的影響。式中， ΔQ 為數值格網點邊界上沿岸漂沙率的變化量。由式 (C-9) 可看出，海岸線變化量 Δy 與 Δt 成正比而與 Δx 成反比。

在以 GENESIS 模擬海岸線變遷時，所使用的給定波浪條件一般均為深海入射波浪條件。配合模組中所搭配的波浪模式，對波浪傳遞於淺水處所產生的波浪折射與淺化效應進行模擬。對於 GENESIS 模式內建波浪模式可分為內部波浪模組與外部波浪模組。圖C-2 (a) 為內部波浪模組之計算示意圖；圖C-2 (b) 為外部波浪模組。

1. 內部波浪模組

一般而言，應用 GENESIS 模擬海岸線變遷時，所採用的給定波浪條件為深海入射波浪條件，當該波浪傳遞至淺水處時，隨著水深變化會產生折射與淺化的變形，且遇到結構物也會有繞射效應產生，因此 GENESIS

模式內建波浪變形計算模組，稱為內部波浪模組 (internal wave model)。

考慮 GENESIS 模式在長期海岸線變遷模擬的計算效率，內部波浪模組採用較為簡單的理論或經驗公式，其中整合了波浪折射、淺化及碎波公式。當深海波浪由深水傳遞至碎波帶而產生上述三種變形效應影響時，其波高可表示為

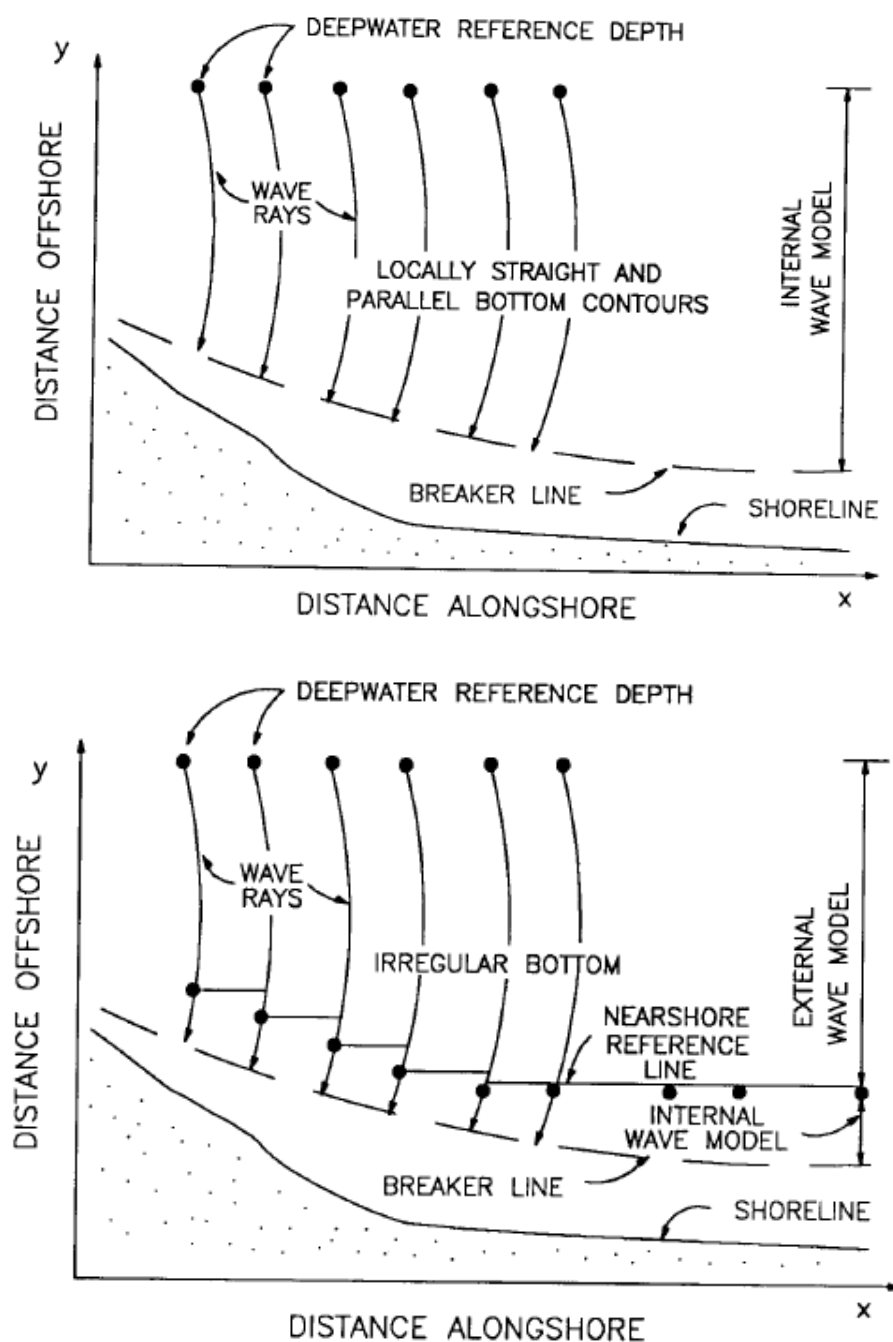


圖 C-2 GENESIS 海岸線變遷模式模擬波浪變形所採用之 (a) 內部波浪模組；(b) 外部波浪模組

$$H_2 = H_0 K_R K_S \quad (C-10)$$

式 (C-10) 中， H_2 為沿岸之碎波波高， K_R 與 K_S 分別是波浪折射與淺化係數，在均勻坡度底床其可以下式加以計算：

$$K_R = \cos\theta_1 / \cos\theta_2 \quad (C-11)$$

$$K_S = C_{g1} / C_{g2} \quad (C-12)$$

其中 C_g 為群波波速， $C_g = nc$ ， $n = \frac{1}{2} \frac{1+2kD}{\sinh(2kD)}$ ， k 為波浪週波數， D

為水深。式中波浪週波數可由所對應之波浪週期與所在位置水深求得其週波數。 H_1 為外海入射之波高條件。一般而言，參考波浪條件多採用深水處的波浪觀測資料。

對於波浪波高的估算，以波浪在近岸的碎波波高與碎波水深成正比來進行計算。其比例參數即為碎波指標，沿岸之碎波波高為

$$H_b = \gamma D_b \quad (C-13)$$

其中碎波指標參數為

$$\gamma_b = 0.53 - 0.3 \exp(-3\sqrt{(h/L_0)} + 5(\tan\beta)^{3/2} \exp[-45(\sqrt{h/L_0} - 0.1)^2]) \quad (C-14)$$

至於碎波波向角可由司乃爾定律 (Snell's law) 求得，如下所示

$$\frac{\sin\theta_b}{L_b} = \frac{\sin\theta_1}{L_1} \quad (C-15)$$

式 (C-10) ~ (C-15) 中，下標 1 為參考波浪之相關物理量，下標 2 或 b 則為碎波波浪之相關物理量式。模式中利用已知深海波浪條件及參考波浪條件，利用此三式交互疊帶計算，即可求得與碎波波浪條件相關的各物理量。

2. 外部波浪模組 (RCP 波浪模式)

前一小節內部波浪模組為假設水深為均勻水深地形時，亦即等深線均勻分佈，如圖C-2 (a) 所示。然而在近岸的水深分佈較為不規則地形時，如圖C-2 (b) 所示，則必須以較完整的波浪模式進行波浪模擬計算。

RCP 波浪模式以振幅函數方程式，及位相函數方程式求解波浪的振幅及位相，方程式如下所示：

$$\frac{1}{a} \left\{ \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial y^2} + \frac{1}{CC_g} [\nabla^2 a \cdot \nabla(CC_g)] \right\} + k^2 - |\nabla S|^2 = 0 \quad (C-16)$$

$$\nabla \cdot (a^2 CC_g \nabla S) = 0 \quad (C-17)$$

其中波浪位相函數的梯度為非旋性，即 $\nabla \times \nabla S = 0$ 。RCP 波浪模式假設反射波浪可被忽略，數值求解上以有限差分法來模擬波浪的傳遞。RCP 波浪模式對於網格的限制為格點間距小於 1/5 的波長，因此在計算時間上可明顯縮減。不過當波浪傳遞方向與格網邊界軸線夾角超出 20° 時，程式的收斂效率將會降低。因波浪位相函數以式 (C-17) 另行求解，所計算得的波浪軌跡將不會相互交錯。

附錄 D MIKE 21 模式簡介

D.1 MIKE 21 NSW 模組

NSW 模式之控制方程式為波能方程式，如下：

$$\frac{\partial(C_{gx}m_o)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_o)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta m_o)}{\partial \theta} = T_o \quad (D-1)$$

$$\frac{\partial(C_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta m_1)}{\partial \theta} = T_1 \quad (D-2)$$

其中 $m_o(x,y,\theta)$ 為波譜零次矩， $m_1(x,y,\theta)$ 為波譜一次矩， 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， T_o 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

$$m_n(\theta) = \int_0^\infty \omega^n E(\omega, \theta) d\omega \quad (D-3)$$

其中 ω 為角頻率， $E(\omega, \theta)$ 為能量密度函數， C_g 、 C_θ 可由線性波浪理論求得。

D.2 MIKE 21 HD 模組

水動力學之控制方程式為二維質量守恆及動量守恆方程式，分別表示如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (D-4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{Ch^2} - E \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) - \Omega q \\ & = \frac{1}{3} Dh \left(\frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t} + \frac{\partial^3 q}{\partial x \partial y \partial t} \right) \end{aligned} \quad (D-5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{Ch^2} - E \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) + \Omega p \\ &= \frac{1}{3} Dh \left(\frac{\partial^3 q}{\partial y^2 \partial t} + \frac{\partial^3 p}{\partial x \partial y \partial t} \right) \end{aligned} \quad (D-6)$$

其中 $\eta(x,y,t)$ 為自由液面， $p(x,y,t)$ 為 x 方向之通量， $q(x,y,t)$ 為 y 方向之通量， $D(x,y)$ 為平均水深， $h=D+\eta$ ， C 為 Chezy 底床摩擦係數， E 為 Eddy 渦滯係數， Ω 為地球自轉角速度， $p=uh$ ， $q=vh$ ， $u(x,y,t)$ 為 x 方向之縱積分平均流速， $v(x,y,t)$ 為 y 方向之縱積分平均流速。

D.3 MIKE 21 ST 模組

本計畫採用 Engelund & Hansen 輸沙公式計算海岸漂沙與地形變遷，首先將總輸沙量 q_t 無因次化

$$\Phi_t = \frac{q_t}{\sqrt{(s-1)gd^3}} \quad (D-7)$$

其中 Φ_t 為無因次的總輸沙量， s 為底床質載的相對密度， d 為底床質載的中值粒徑， g 為重力加速度。

Engelund & Hansen 建議 Φ_t 可由式(D-8)求得

$$\Phi_t = 0.1 \frac{C^2}{2g} \theta^{2.5} \quad (D-8)$$

其中 C 是 Chezy's number，而 θ 可由式(D-9)計算

$$\theta = \frac{U_f^2}{(s-1)gd} \quad (D-9)$$

其中 U_f 為在水流作用下之底床剪應力。

在完成流場數值模擬之後，即可計算底床剪應力，並透過 Engelund & Hansen 輸沙公式計算各網格點在各個時刻的總輸沙量。

附錄 E 突堤上游灘線變化管理論之簡介

解析突堤上游灘線變化假設灘線變化代表沿岸漂沙與海岸淤積之平衡，在近岸波浪接近於垂直於灘線。描述波浪近入於突堤之角度如圖 E 所示

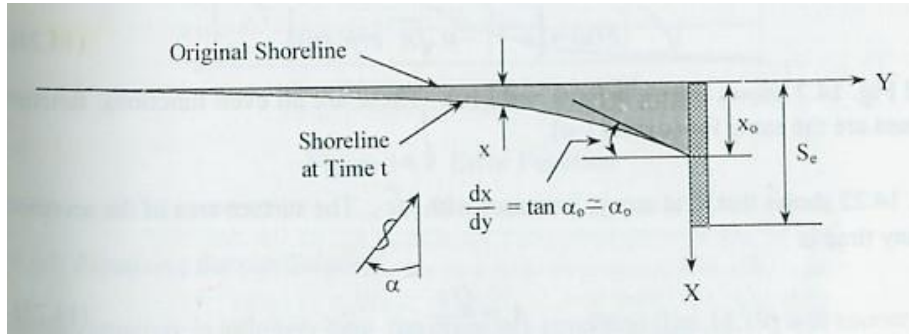


圖 E-1 突堤上游灘線變化解析所使用之符號示意

近岸波浪接於灘線產生沿岸漂沙的有效角度為

$$\alpha_e = \alpha_b - \frac{dx}{dy} \quad (E-1)$$

其中 α_b 為碎波角度， dx/dy 為灘線之夾角。沿岸漂沙以波浪沿岸方向可表為

$$Q = q \sin 2\alpha_e = q \sin 2\left(\alpha_b - \frac{dx}{dy}\right) \quad (E-2)$$

其中 q 為整體輸沙量。若將式(E-2)對 y 微分可得

$$\frac{dQ}{dy} = -2q \frac{d^2x}{dy^2} \quad (E-3)$$

由質量守恆，在一個控制體沿岸漂沙左右不平衡會釀成灘線之前進或後退，即為

$$\frac{dx}{dt} - D \frac{d^2x}{dy^2} = 0 \quad (E-4)$$

$$\text{及 } D = \frac{2q}{d_p} = \frac{Q}{\alpha_b d_p} \quad (E-5)$$

式(E-4)為二階常微分(ordinary differential equation)，其解需要 3 個條件，一為在突堤處無沿岸輸沙量 $Q_0=0$ ，一為在遠離突堤之灘線 $x=0$ ，三為在突堤之灘線夾角與波浪碎波夾角相同，即

$$\left[\frac{dx}{dy} \right]_0 = \alpha_b \cong \tan \alpha_b \quad (E-6)$$

依用分離變數法解二階常微分方法及邊界條件可得其解為(見 Kreyszig and Kreyszig, 2006)

$$x = \sqrt{\frac{4Dt}{\pi}} \tan \alpha_b F(u) \quad (E-7)$$

其中

$$F(u) = \left[e^{-u^2} - u\sqrt{\pi} \operatorname{erfc}(u) \right] \quad (E-8a)$$

$$\operatorname{erfc}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u) \quad (E-8b)$$

$$u = \frac{y}{\sqrt{4Dt}} \quad (E-8c)$$

其中 $\operatorname{erf}(u)$ 為錯誤函數(error function)，其定義如下

$$\operatorname{erf}(u) = \int_0^u e^{-x^2} dx \quad (E-9)$$

令式(D-4)中 $u=0$ ，即在突堤處，灘線位置即為

$$x_0 = 2 \sqrt{\frac{Qt}{\pi d_p}} \tan \alpha_b \quad (E-10)$$

若灘線達到堤頭時，即 $x_0=S_e$ ，則總共作用時間由式(E-10)可得

$$t_{full} = \frac{\pi d_p S_e^2}{4Q \tan \alpha_b} \quad (E-11)$$

式(E-11)在應用上，因近岸波浪與灘線垂直之故，可假設突堤之灘線夾角初始與波浪夾角相同。

附錄 F 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
一、 楊文衡委員 1. GENESIS 岸線預測模式，模擬結果與岬頭理論與實測資料不符。 2. 民國年份與西元年份一致性。 3. 符號一致性如水深，波速等。	1. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 2. 感謝委員建議，報告中將民國年份與西元區隔，於民國年份前加註民國敘述。 3. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。	1. 同意。 2. 同意。 3. 同意。
二、莊甲子委員 1. 計畫摘要內容完整性不足宜補強。 2. 部分表格內容(如表 2.2-10)之資料來源及獲得方式(推算或引用或本計畫分析整理)宜敘明。 3. 第 3.2.2 節地形變化累積侵淤量分析如何計算宜加補充敘明。 4. 各章公式編碼型式應統一。 5. 圖 5.1-1(a)、(b)二圖宜置同頁以利對照。 6. 第 5.2.2 節沿岸漂砂量推估計算式引用 Shore Protection Manual，簡稱 SPM，1977 年版者較老舊，建議引用更新版 2003 或 1997 年版者，因可能有重新修訂過。	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。 4. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 5. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 6. 感謝委員建議，將於期末報告中做補述。	1. 同意。 2. 同意。 3. 同意。 4. 同意。 5. 同意。 6. 同意。

7. 第 5-20 頁相似參數或相似係數應統一名稱，又其定義應用及求算說明亦宜敘明。 8. 結論後段建議補述後續擬進行之工作的簡要說明。	7. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 8. 感謝委員建議，將於期末報告中做補述。	7. 同意。 8. 同意。
三、余進利委員 1. 建議報告應加入預定進度與實際進度甘梯圖，以便能掌握工作的進度。 2. 本計畫研究目的言明要分析探討臺中港南北海岸之漂沙運動機制，但從報告的內容來看似乎著重在防波堤外，是否忽略了南岸的變化。 3. 第五章之 5.1 與 5.3 節的標題有點重覆，建議修正。 4. 本次雖是期中報告，有承諾的工作，但尚未完成者，報告內容亦應有所交代。 5. 報告內容相當豐富，但似乎抓不到重點，建議精簡之。	1. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 2. 由於台中港南側的灘線位置已緊臨人工結構物，故以灘線的角度較無法探討台中港南側的變化，本計畫另外會採用平面地形侵淤分析以及期末的二維水流模式來進行探討。 3. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 4. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 5. 感謝委員建議，將於期末報告中做進行。	1. 同意。 2. 同意。 3. 同意。 4. 同意。 5. 同意。
四、何良勝委員 1. 請先確定本年度之工作項目及工作成果，及增列臺中港未來整治淤沙區之相關規	1. 感謝委員建議，將於期末報告中做增列。	1. 同意。

劃計畫。 2. 應先檢核臺中港歷年之水形地形資料(P.3-15, 表 3.2-3), 可將不合理之測量資料去除, 以確定後續數值模擬之準確性, 另建議表 3.2-3 增列各區之侵淤高程變化。 3. 台灣夏季之颱風作用對地形侵淤影響重大, 為何相關數值模擬中, 無相關颱風作用情況? 4. 建議考慮有關流砂情況及河川輸沙問題之影響。	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。 4. 感謝委員建議, 河川輸砂量亦為地形侵淤的主要影響量之一, 本研究團隊目前已收集相關資料, 將於期末提出分析結果。	2. 同意。 3. 同意。 4. 同意。
五、蔡立宏委員 1. 報告格式請依規定撰寫:(1) 在「中英文摘要」中, 除需將報告內容重點摘要(目的、方法及結果)外, 並需另段敘明本研究成果之效益, 以及可提供本所或其他政府機關後續應用情形(摘要頁數不限。)(2) 在「結論與建議」章節, 需先簡述研究目的與問題, 再提出具體「結論」與「建議」, 最後另段增加敘明本研究成果之效益, 以及可提供本所	1. 感謝委員建議, 將於期末報告中做修正。	1. 同意。

或其他政府機關後續應用情形。(3) 報告中圖形請力求清晰，圖形線條符號表示方式請改進(不僅線條色彩，線條樣式亦需能辨識)。(4) 文章內容及格式請務必仔細校對(錯別字、文字通順、符號統一等)。 2. 目前研究成果仍侷限於漂沙現象探討，期末成果應再增加侵淤原因探討並釐清漂沙機制。 3. 請再收集過去研究區域是否有人為浚挖堆積、結構物改變、上下游河川輸沙以及極端海氣象資料，作為地形變遷研究的參考條件。	2. 感謝委員建議，將於期末報告中做補述。 3. 感謝委員建議，將於期末報告中做補述。	2. 同意。 3. 同意。
---	---	-----------------------------

附錄 G 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
一、楊文衡委員 1. 參數列表 (Mike21 NSW.HD.ST) 所有參數。 2. 模擬時間三個月才能表示淨漂砂量。 3. NSW 結果無法表現折射及弱繞射及碎波。 4. NSW 表現結果再細緻。 5. 流場圖列表。 6. 波向及波高修正。	1. 本計畫已於 5.1.1 節說明格網大小，而各模組之參數則採用 DHI 建議的內建值。 2. 依照 DHI 的建議，模擬區段選擇一個全潮汐週期即可代表該區的淨漂砂量。 3. 本計畫已將 NSW 表現結果再細緻，故已可表現折射、弱繞射及碎波。 4. 遵照委員意見，期末報告中做修正。 5. 作適當修正。 6. 本計畫已將 NSW 表現結果再細緻，故已可表現波向及波高的變化。	1. 符合。 2. 同意。 3. 同意。 4. 符合。 5. 符合。 6. 符合。
二、翁文凱委員 1. (一) 計畫內容豐富，值得肯定。 2. (二) 本計畫區內上下游均有河川輸砂，台灣西部河川輸砂在颱風洪水與平時差異相當大，在數模中如何輸入正確之值。 3. (三) 本模式中包含波與潮流之輸砂結果，但部分區域仍與侵淤變化有所差，其原因如何？又潮流所引起區域、水深或範圍，與波浪之影響成因有	1. 感謝委員肯定。 2. 本計畫外邊界僅考慮波浪跟潮流，並未加入河川輸沙量。 3. 潮流所引起區域、水深或範圍，與波浪之影響成因有差異，波浪影響範圍在近岸區，而潮流影響範圍在遠岸區。	1. 同意。 2. 同意。 3. 同意。

無差異。		
三、莊甲子委員 1. 中英文摘要內容敘述對稱性不足。 2. 本年度計劃為4年度計畫中之第1年，宜摘述4年計畫大綱後再續述本年度研究重點、方法及工作步驟。 3. 第2-28頁倒數第2行敘及”可達8800萬立方公尺”惟在圖表中最大值6697萬(P.2-36)方。文中指的是表2.4-4的懸移質年總量。 4. 表2-4-1至2-4-2中輸砂量百萬公噸中數字用到小數點後二位確實很不實際。 5. 表3-2-3為資料蒐集整理所得抑或本研究整理所得宜說明清楚。 6. 第3-28頁最後一段再度呈現一穩定成長，惟圖3.4-5中資料僅及2002年。 7. 第4-12頁第4行由於大甲溪輸沙量無法準確估算，本研究採用...建議使用過去研究所得之不同年輸砂	1. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 2. 感謝委員建議，將於期末報告中補述。 3. 感謝委員建議，將於期末報告中做修正。 4. 感謝委員指正，將於期末定稿中作修正。 5. 感謝委員建議，表3-2-3為本計劃蒐集往昔地形實測資料後經由地形分區計算而得。 6. 感謝委員建議，以於期末定稿中修正。 7. 由於輸沙量無法準確估算，本研究使用平均輸沙量之概念進行計算。	1. 符合。 2. 符合。 3. 符合。 4. 符合。 5. 符合。 6. 符合。 7. 符合。

量為輸入條件較符合實際變化。 8. 圖 4-4-2 至 4-4-3 中 computed shoreline (2006) 與 target shoreline(2006) 皆有顯著誤差，宜解釋其原因。 9. 圖 5-2-1 至圖 5-2-6 中波高應無” below 0 ”者。 10.缺參考文獻。	8. 在輸沙量為未能準確得知情況下，本研究以平均輸沙量作為 GENESIS 模式計算之灘線之輸入參數，於邊界處容易因輸沙量的增減產生誤差。 9. 依照委員意見修正。 10.感謝委員提醒，將於期末報告補充。	8. 符合。 9. 符合。 10. 符合。
四、余進利委員 1. 報告第 3-14 頁或結論第 1 點皆提及經侵淤分析後，發現於民國 95 年達到最大累積淤積量。此點結論不甚客觀，因為所分析之資料僅用到 95 年，往後之資料並沒有用到，何時會達到十年內最大值其實是未知，故建議修改用詞。 2. 建議利用實測資料補充說明比較夏季颱風和冬季颱風對臺中港漂砂之影響。	1. 感謝委員指正，將於期末定稿中作修正。 2. 本計畫已透過實測資料的侵淤分析探討季節風和颱風對臺中港漂沙之影響。	1. 符合。 2. 符合。

五、何良勝委員 1. 第三章相關引用之各單位各測站的波浪資料宜再詳細檢核。 2. 第二章中颱風與海流資料，建議再詳陳列。 3. 第三章中所收集水深地形量測資料，部份年度時程之數據差異很大，與現場情況有否吻合，宜再探討。 4. 第五章之數值模擬中，所引用之入射波浪條件與季風、颱風之模擬過程，及相關驗證結果，宜再加強補充說明。	1. 感謝委員建議，將於期末定稿中做檢核。 2. 感謝委員建議，將於期末定稿中做陳列。 3. 感謝委員建議，將於期末定稿中做探討。 4. 本計畫入射波浪採用港研中心的統計結果，並於 5.1 節詳細說明模式模擬過程，模擬流程如圖 5.1-1 所示，本計畫驗證方式除了往昔透過實測侵淤分析的驗證方式之外，亦透過衛星影像來加強驗證的說明。	1. 符合。 2. 符合。 3. 符合。 4. 符合。
五、蔡立宏委員 1. 委員期中及期末審查意見請確實修正。 2. 第五章結論需再加建議，最後另段撰寫本篇研究報告貢獻可應用的情形及效益。 3. 報告格式請依照規定撰寫編排及仔細校對，圖形力求清晰。 4. 理論及數值模式中所採用的各項參數值請詳細增列。	1. 感謝委員建議，將依照意見進行修正。 2. 感謝委員意見，已依照委員意見進行補述。 3. 感謝委員建議，將依照意見進行修正。 4. 本計畫已於 5.1.1 節說明格網大小，而各模組之參數則採用 DHI 建議的內建值。	1. 符合。 2. 符合。 3. 符合。 4. 符合。

附錄 H 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(1/4)

期中簡報

簡報人：溫志中

弘光科技大學環境及安全衛生工程系所
中華民國九十八年七月十五日

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



2

台中港之海岸問題



- 北防波堤對岸線的影響(潮汐、海流流況、鄰近地區漂沙量影響)
- 近年來颱風的數量增加，造成大甲溪流沙量變多
- 河川上游改變灘線變化量

3

研究總目標(98-102)

- 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

4



98 年度研究項目

- 蒐集並分析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。
- 建置該灘線數值模式。
- 建置該區海域二維漂沙數值模式。
- 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。
- 提出改善海岸侵淤防治對策。
- 評估不同防治對策下，漂沙防治之效益模擬。

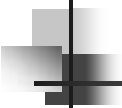
5



98 年度研究細項目標(1/3)

- 蒐集並分析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。
 - 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。

6



98 年度研究細項目標(2/3)

- 建置灘線數值模式
 - 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台中港南北海岸變化之適用性。
 - 分析探討台中港南北海岸變化之漂沙運動機制。
- 建置該區海域二維漂沙數值模式
 - 以MIKE21初步建立台中港南北海岸之二維波浪及流場之格網。
 - 以MIKE21模擬台中港南北海岸之二維波浪及流場。

7



98 年度研究細項目標(3/3)

- 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。
 - 由衛星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。
 - 由類神經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。
- 提出改善海岸侵淤防治對策
 - 依地形變化特性及波浪與流場特性提出幾種改善海岸侵淤防治對策
 - 利用數值模擬計算，評估不同防治對策下，漂沙防治之效益

8

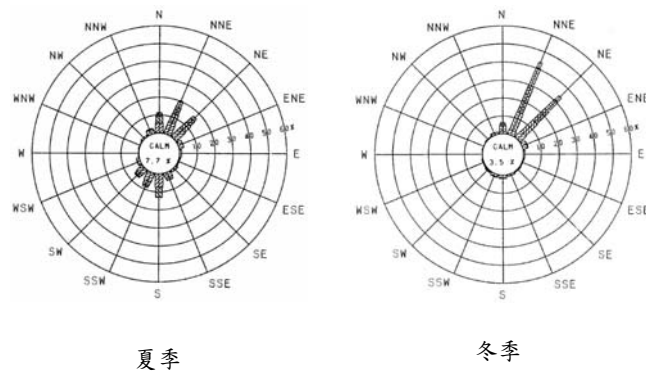
民國66~94年間之長期觀測統計資料

表2.1-1 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 (日)	平均降 雨日數 (≥10mm)	平均霧日 (日)	平均氣壓 (mb)	平均溫度 (°C)	相對濕度 (%)
1	27.4	5.7	0.8	0.6	1,018.9	15.9	77.7
2	81.0	9.3	2.4	1.7	1,017.9	16.0	79.9
3	98.9	10.9	2.9	1.6	1,015.7	18.5	79.4
4	127.4	10.0	3.8	0.3	1,012.6	22.4	78.8
5	214.9	10.6	4.5	0.2	1,009.1	25.5	79.8
6	205.7	10.6	4.5	0.1	1,006.7	27.8	79.4
7	186.0	8.6	3.6	0.0	1,005.9	29.0	77.4
8	210.8	10.5	4.3	0.1	1,004.9	28.8	78.6
9	93.6	5.8	2.1	0.0	1,008.2	27.3	77.4
10	9.9	2.2	0.3	0.4	1,012.7	24.2	74.6
11	13.3	2.6	0.4	0.3	1,016.0	21.3	74.8
12	23.4	3.6	0.8	0.7	1,019.0	17.7	75.2
年合計	1,292.3	90.5	30.5	5.9	—	—	—
月平均	—	—	—	—	1,012.3	22.9	77.7

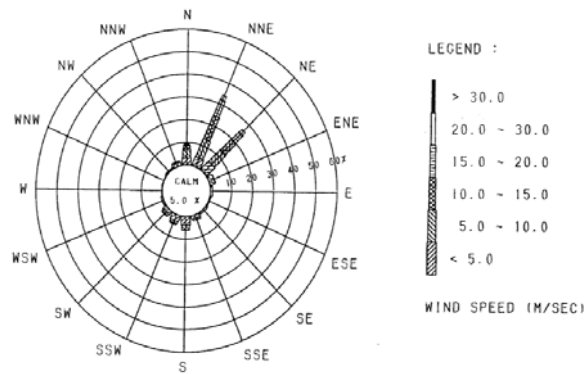
9

圖2.1-2 北防波堤堤頭風玫瑰圖(民國85~87年)



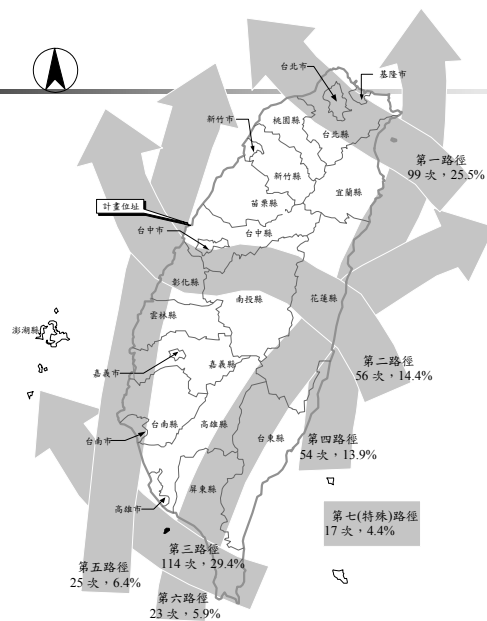
10

圖2.1-2 北防波堤堤頭風玫瑰圖(民國85~87年) (全年)



11

圖2.1-6 侵襲台灣之颱風路徑統計圖(1897~2006)



12

民國60年3月～85年3月合計25年潮位資料結果

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

13

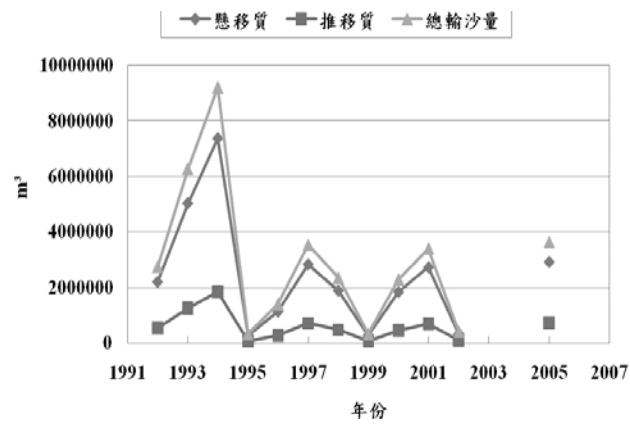
台中港鄰近海域之波浪特性

- 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

14

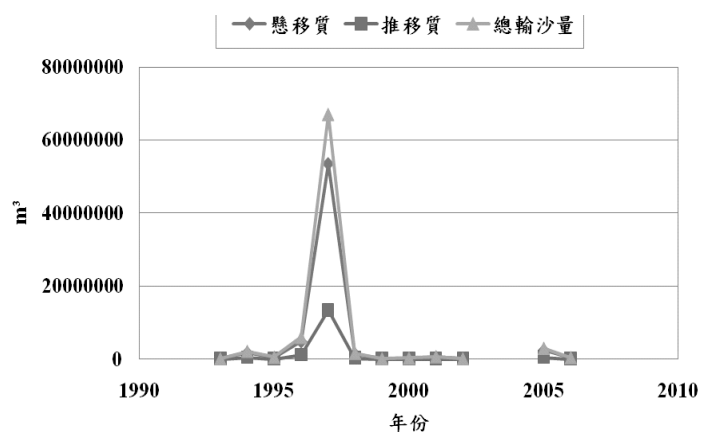


圖2.4-4 烏溪1992年至2005年之年總輸沙量



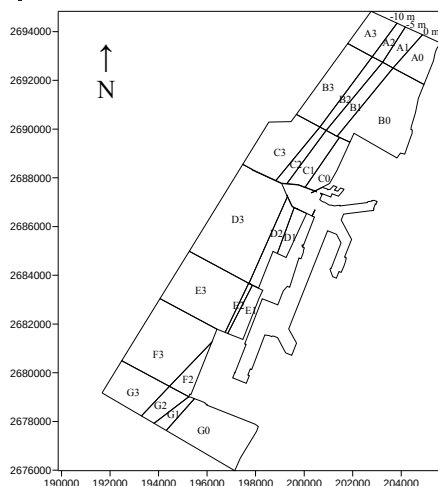
17

圖2.4-5 大安溪1993年至2006年之年總輸沙量



18

臺中港地形水深變遷計算分區



- 為便於了解海岸之特性，將計畫區沿岸方向海岸分為A~G等7個區域，冬季時表層移動界限水深(ds)為12.20m，夏季時為4.63m，因此，本計畫在考量漂沙移動界限水深下，將向離岸方向分為4區，分別為0m以上標示為第0區、0m至-5m之間標示為第1區、-5m至-10m間標示為第2區、-10m以上標示為第3區，來詳細探討各分區的侵淤狀況。

19

表 3-2-3 臺中港附近地形累積侵淤量

單位：
 $\times 10^4 m^3$

分區	85~86	85~87	85~89	85~90	85~91	85~92	85~93	85~94	85~95
A0	-1.60	53.76	-105.70	-7.48	-30.58	-40.90	-215.89	545.90	599.66
A1	39.20	59.28	29.69	-37.01	-31.55	-32.05	113.59	225.83	-10.14
A2	23.23	25.79	6.29	-42.86	-24.36	-15.11	144.50	132.95	-109.17
A3	-32.04	3.31	-34.54	8.67	11.45	267.61	413.61	270.64	153.10
B0	12.10	64.05	17.09	62.29	29.11	62.24	-258.61	225.83	-10.14
B1	61.62	46.88	-110.23	-161.00	-97.15	-123.99	-11.21	132.95	-109.17
B2	26.50	22.51	-34.13	-48.45	-34.21	-6.20	76.06	270.64	153.10
B3	-22.56	33.46	124.17	324.02	306.05	363.47	587.32	827.24	1040.10
防沙堤以北	106.45	309.04	107.35	98.19	128.76	475.07	849.35	2631.98	1707.34
C0	75.19	115.94	192.09	261.85	492.53	397.54	424.28	375.39	446.51
C1	-23.86	-1.87	-2.06	13.99	37.24	66.01	101.21	159.52	248.43
C2	23.32	45.80	49.83	32.75	59.69	98.10	109.64	161.60	264.46
C3	27.69	108.82	217.93	429.75	433.46	624.69	684.93	883.20	1240.49
北淤沙區	102.34	268.69	457.80	738.34	1022.92	1186.35	1320.05	1579.71	2199.88
D1	3.55	-15.27	-16.54	-22.67	21.36	48.98	46.21	32.60	40.50
D2	17.34	-12.96	-39.66	-48.86	3.21	5.20	-7.59	-34.38	-6.06
D3	55.08	24.78	202.49	449.88	396.17	502.17	719.70	795.76	1509.76
E1	-29.37	-38.12	-111.28	-100.36	-93.22	-59.96	-93.15	-103.12	-76.97
E2	-5.77	-6.98	-14.04	-12.59	-7.99	-2.17	5.89	-8.37	1.98
E3	-32.68	-18.10	-119.33	43.77	42.25	121.35	493.97	474.52	881.16
F2	-32.27	-36.81	-115.22	-148.28	-77.36	-73.39	-19.37	-0.79	-18.89
F3	-69.57	-103.13	-261.07	-305.14	-395.88	-355.52	-244.66	326.43	666.24
G0	-162.76	-99.22	-38.08	-244.33	-427.50	-424.22	-1046.63	-146.16	51.91
G1	-13.40	-43.99	-126.18	-57.10	-81.85	-95.98	-108.75	42.53	71.37
G2	42.84	10.29	-55.88	-64.34	-80.93	-104.24	-102.92	257.62	314.29
G3	17.53	-19.75	-103.92	-99.11	-133.94	-180.25	-159.71	300.14	307.72
北防波堤以南	-209.47	-359.25	-798.72	-609.11	-835.68	-618.02	-517.02	1936.77	3743.00
全區	-0.67	218.48	-448.27	227.42	315.99	1043.39	1652.38	6148.45	7650.22

20

研究方法--海岸線數值模式(1/3)

- 衛星影像資料擷取海岸線
- 率定一維海岸變遷模式(GENISIS)之係數
- 探討台中港南北海岸變化之漂沙運動機制



衛星影像資料擷取海岸線

■修正灘線至平均水位

■波浪溯升修正

21

研究方法-海岸線數值模式(2/3)

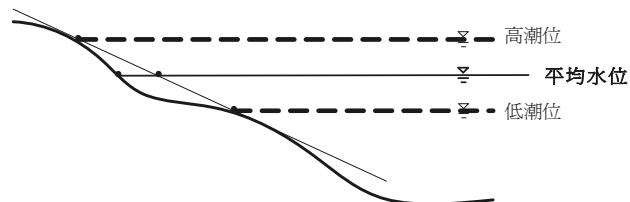
衛星影像所觀
測得的海灘線
位置變化原因

風浪所造成
的侵淤變化

(研究目的)

觀測時潮位
的不同

(需修正至平均水位)



22

灘線侵淤變化分析

本計畫以地形實測資料以及衛星影像資料來探討台中港北防波堤以北的海岸地形變化特性，作為海岸侵淤防治對策的參考，俾提供規劃及工程單位參酌，資料來源如下：

- ◆收集國85至95年的地形實測資料進行分析。
- ◆透過衛星影像資料擷取海岸線，以分析早期無實測地形的海岸線位置。

23

光學衛星影像來源

SPOT系列衛星資料：

衛星代號	感測器	光譜模式	空間解析度
SPOT-1~3	HRV	單色態(PAN)	10m
		多光譜態(XS)	20m
SPOT-4	HRV	單色態(M)	10m
		多光譜態(XI)	20m
SPOT-5	HRG	單色態(HM)	5m
		超解像模式(THR)	2.5m
		多光譜態(HI)	10m

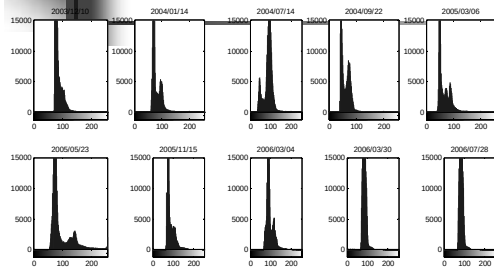
FORMOSA2衛星資料：

衛星代號	感測器	光譜模式	空間解析度
SPOT-1~3	HRV	單色態(PAN)	10m
		多光譜態(XS)	20m

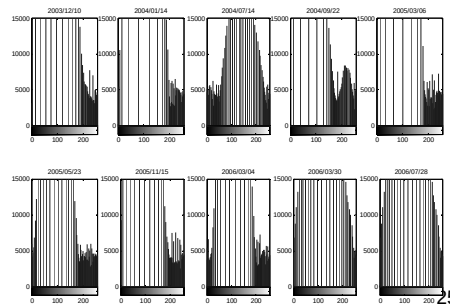
24

衛星影像前置處理(一)

直方圖等化(Histogram Equalization)：



提高其對比度使影像中亮度的差異度提升，有助於辨識出影像中的差異處。

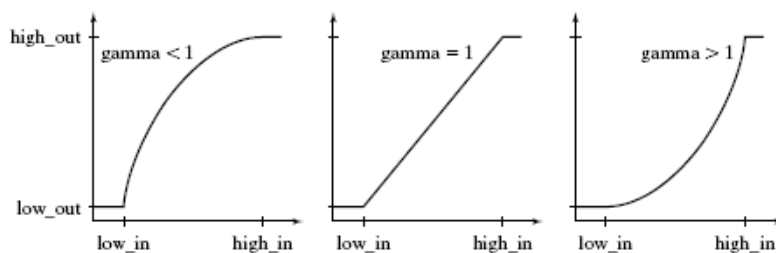


對於影像的分類以及邊緣的偵測上，可以較容易找出其特徵門檻值。

25

衛星影像前置處理(二)

影像強化：



可忽略掉影像中非重點的亮度差異處，而強調出影像中的重點差異處。

26

衛星影像前置處理(三)

透過影像分割進行邊界擷取：

影像分割主要有三種方法：

(1)區域成長法(Region growing method)：

利用選取初始點並將初始點周邊相關的像素點獨立出來，而周圍非相近像素點則捨棄，若選取多個初始點即可順利在一影像中做到切割的動作。

(2)邊界偵測法(Edge detection method)：

將影像中每個像素點與周圍點的強度關係推算出梯度向量，再由每個像素點的梯度向量去推估該點是否為邊界，最後將邊界獨立出來，即可獲得邊界與區域等相關資料。

(3)臨界值法(threshold method)：

設定一亮度臨界值，在影像強度直方圖中將影像中強度點分為兩區，將影像進行二值化後會產生強度只有0與1的影像(僅有黑白兩色)，其中0與1之間即為邊界。

27

衛星影像前置處理(三)

邊界偵測法

Canny檢測器主要是經由一個特定標準差的高斯濾波器來進行平滑化以降低雜訊，這個步驟對於海面上細小的波紋或是水花都有明顯的濾除效果。再經由下式計算出每個點的局部梯度 g 與邊緣方向 α

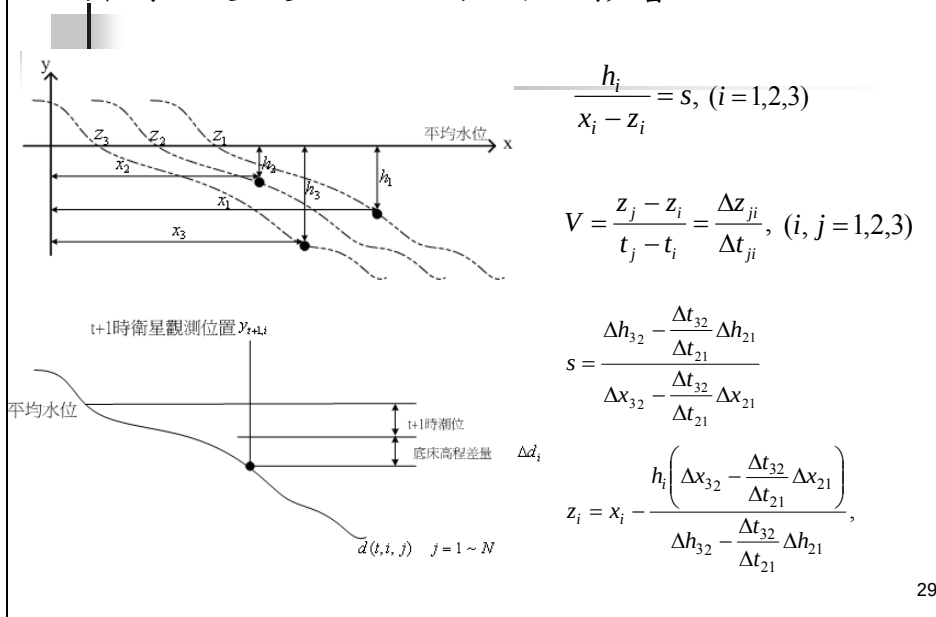
$$g(x, y) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$$

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1}(G_x / G_y)$$

在每個點都計算出梯度與方向後可以得到一個梯度的矩陣，在此矩陣中可連結梯度較大的相鄰點，可形成一條山脊，並在山脊的頂端處檢測各點的梯度方向，剔除不符合方向的點之後剩餘的點可連成線段的即為邊界。

28

灘線位置修正-去除潮位影響



29

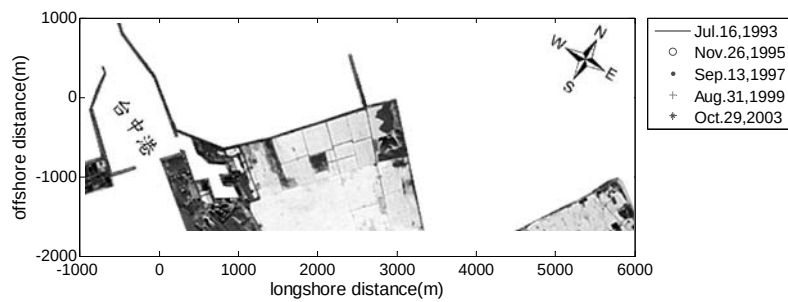
灘線位置修正-去除波浪影響

當人造衛星於海岸地區的上空拍攝地表影像時，會由於拍攝時間的不同而有不同的波浪條件，波浪在斜坡底床的近岸處發生溯升而使得衛星影像拍攝時的海岸線較為後退。因此當波高越大時，由衛星影像所判讀的海岸線位置會越較原本位置後退，故需進行修正以避免造成一系列海岸線比較以及分析上的誤差。

$$\frac{R}{H_s} = \frac{1.13 \xi_p}{1 + 0.506 \xi_p}$$

$$\xi_p = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L}}$$

30



沿岸方向0至2500m間：1993年時沙量很少

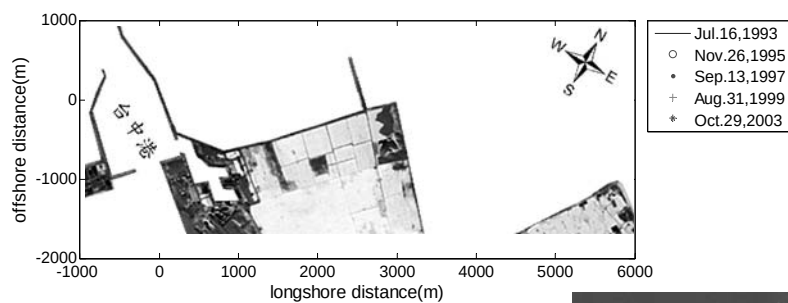
沿岸方向0至1500m間：1995年開始持續增加

沿岸方向2000至2500m處：1997開始淤積

沿岸方向500至2200m間：1999至2003有明顯淤積

台中港北防波堤至北防沙堤間在這10年間明顯呈現持續淤積的現象，且淤積的量大使沙灘向外海延伸了將近500m。

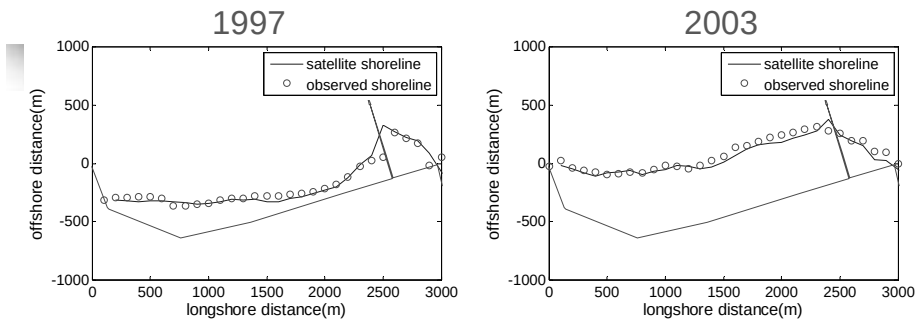
31



沿岸方向3000至6000m：屬於形狀較複雜的淺灘地，除了需考慮大甲溪的輸沙量之外，其海陸交界線也十分複雜，故較難以進行分析，其變化除了1993至1995間有較明顯的淤積之外，在1995年之後除了1999有稍微侵蝕的現象之外，整體上則呈現淤積的狀況。



衛星影像中灘線位置以及與實測地形的比較



1997年以及2003年的灘線位置與台中港務局的實測地形時間相符，故本計畫亦以這兩年的灘線位置進行比較。

1997年以及2003年兩種方法所獲得的灘線位置其RMS分別為40.69m以及43.65m，此差異量在大範圍且長期的灘線變化分析上其影響不大，其造成的原因約略有三：

- 一、衛星影像空間解析度的不足
- 二、進行地形實測時的潮位變化以及傳統人工測量所造成的誤差
- 三、衛星影像拍攝時間與實測地形時間有所差異

33

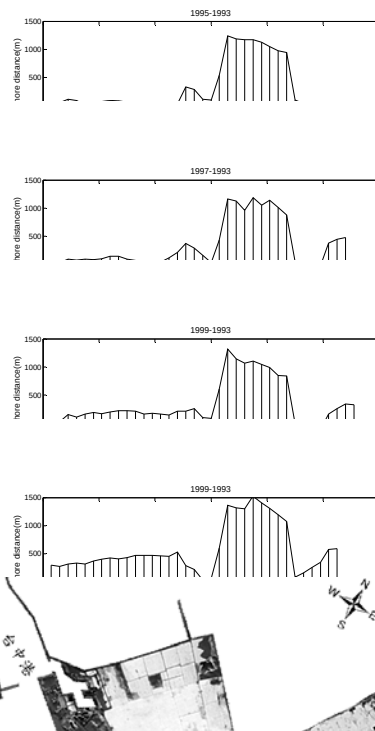
長期灘線變遷

◆台中港北防波堤至北防沙堤間自1993至2003呈現一逐漸淤積的狀況

◆右圖為以1993年為一基準年，1995、1997、1999以及2003年的離岸方向沙灘長度變化量

◆1995、1997、1999以及2003年在沿岸方向0至2500m之間的沙量皆為逐漸的增加

◆沿岸方向2500至4500m處除了1993至1995的大量淤積後則保持侵淤互現的狀況。



合併比較1993至2006年的灘線位置變化

- 衛星影像：1993、1995、1997、1999以及2003年的平均水位灘線位置
- 實測地形資料：民國85至87以及89至95年的實測地形資料

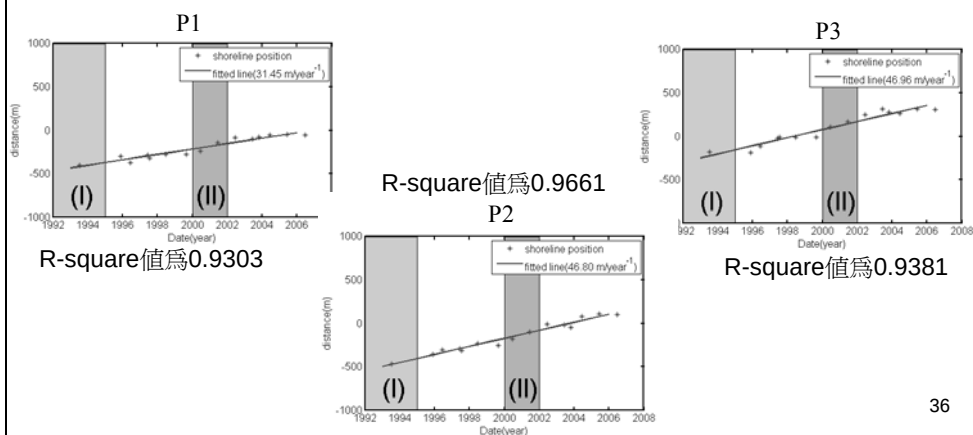
P1 P2 P3P4 P5 P6

台中港北防波堤的六個斷面位置

35

合併比較1993至2006年的灘線位置變化

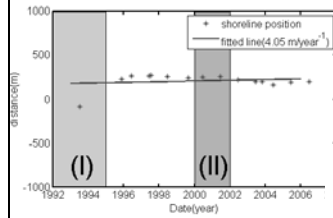
P1 P2 P3P4 P5 P6



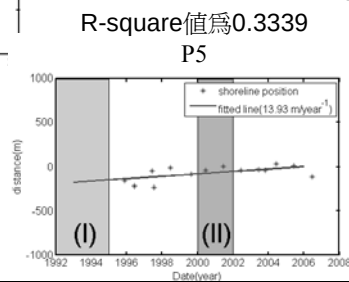
36

合併比較1993至2006年的灘線位置變化

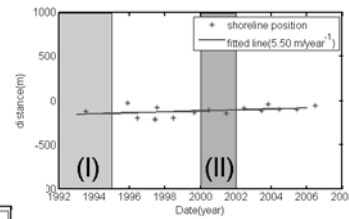
P1 P2 P3P4 P5 P6



R-square值為0.0318



R-square值為0.3339
P5



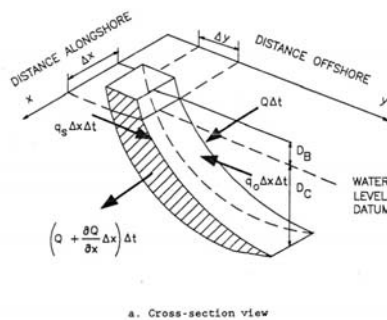
R-square值為0.1412

37

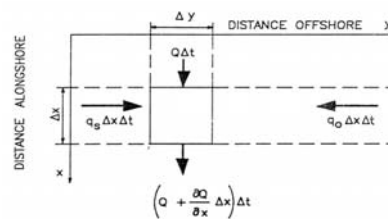
GENESIS 岸線變遷模式

控制方程式

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0$$



(a) 斷面示意圖



(b) 平面示意圖

38

沿岸漂沙量經驗公式

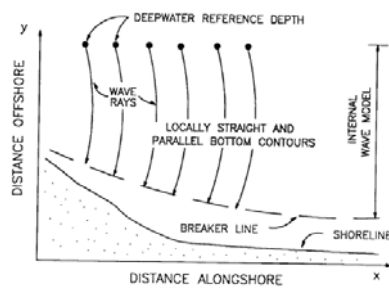
$$Q = (H^2 C_g)_b [a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cos \theta_{bs} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)]_b$$

$$a_1 = \frac{K_1}{16 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1-p) (1.416^{2.5})}$$

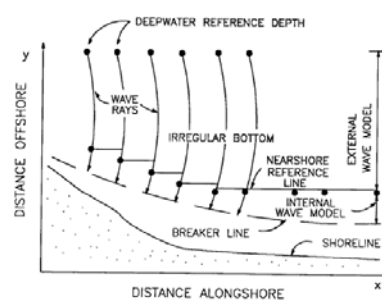
$$a_2 = \frac{K_2}{8 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1-p) \tan \beta (1.416^{3.5})}$$

39

GENESIS 海岸線變遷模式模擬波浪變形



(a) 內部波浪模組



(b) 外部波浪模組

40

GENESIS 模式參數校核

表5.2-1 GENESIS模式之計算條件列表

項 目	入 射 波 向	代表波浪		漂砂移動限界水深		沿岸流漂砂限界水深
		波高	週期			
		(m)	(sec)	(m)		(m)
		H_s	T	d_s	d_g	d_c
冬季	N	1.74	5.98	12.20	6.58	4.81
夏季	WSW	0.83	4.93	4.63	2.27	2.39

參考資料：「臺中港港口第二期擴建工程設計」及「中央氣象局民國39～87年」之季風波浪觀測資料和颱風迴歸分析)

41

表5.2-2 GENESIS模式中各項參數

GENESIS模式參數	設定參數
波浪作用時間 (year)	1
時間間格 (hr)	6
海岸線間格 (m)	50
終端水深 (m)	6.58
漂砂至陸側最大高程 (m)	2

42

表5.2-3 以GENESIS模式模擬不同傳輸參數與相似參數之比較

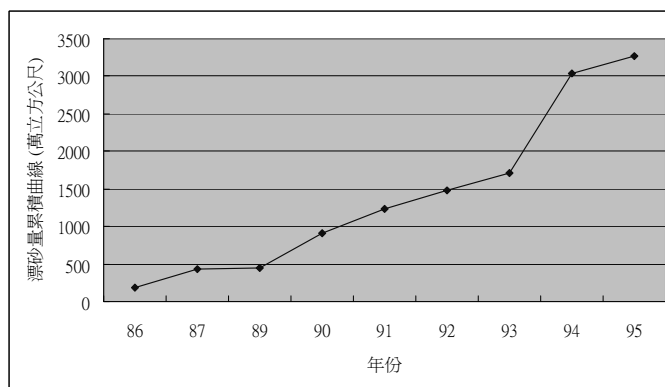
相似參數

$$S_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

Case\模擬參數	K ₁	K ₂	K ₁ /K ₂	S _r
1	0.6	0.2	3.0	0.97
2	0.55	0.2	2.75	0.96
3	0.5	0.2	2.5	0.965
4	0.45	0.2	2.25	0.95
5	0.6	0.3	2.0	0.95
6	0.7	0.4	1.75	0.97
7	0.45	0.3	1.5	0.93
8	0.6	0.4	1.25	0.95
9	0.5	0.5	1	0.96
10	0.45	0.6	0.75	0.96
11	0.5	0.75	0.66	0.98
12	0.5	1	0.5	0.93

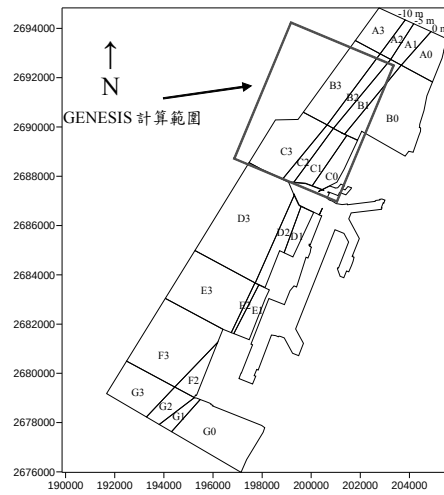
43

圖5.2-1 臺中港北淤砂區侵淤量累積曲線圖



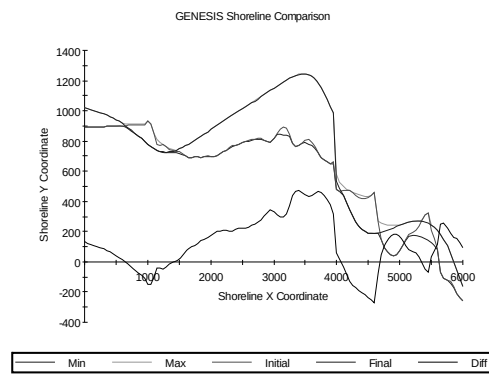
44

圖5.3-1 GENESIS 岸線預測模式計算區域圖



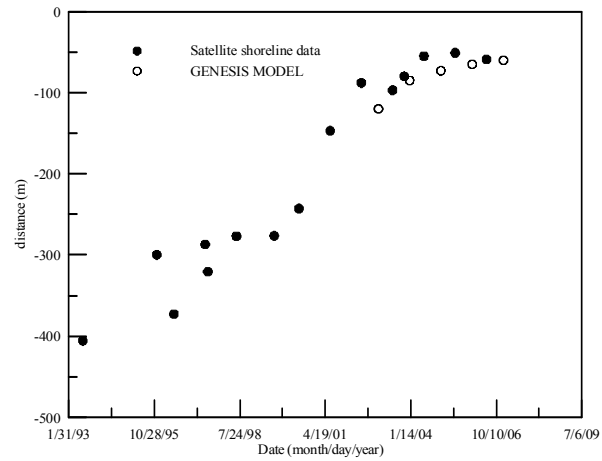
45

圖5.3-3 GENESIS 岸線預測模式灘線改變量
(民國91年1月1日~民國95年12月31日)



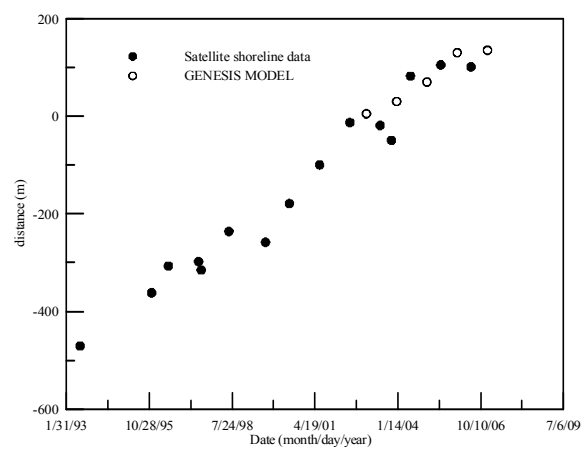
46

圖5.3-4 (a) GENESIS 岸線預測模式與衛星觀測結果之比較
(斷面P1)



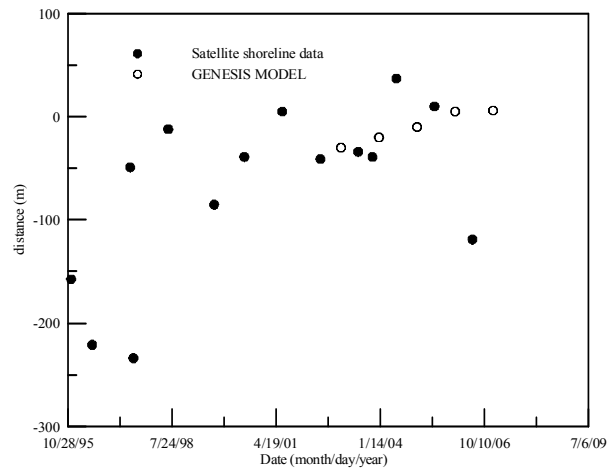
47

圖5.3-4 (b) GENESIS 岸線預測模式與衛星觀測結果之比較
(斷面P3)



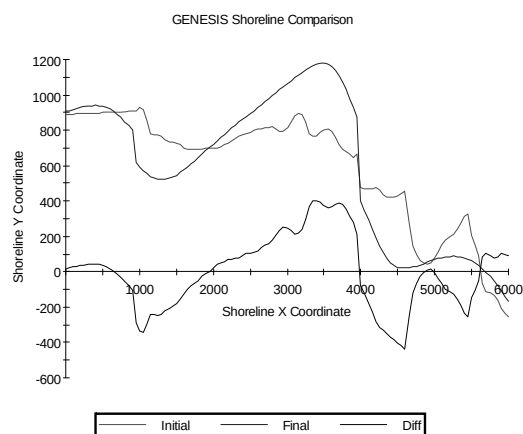
48

圖5.3-4 (c) GENESIS 岸線預測模式與衛星觀測結果之比較
(斷面P5)



49

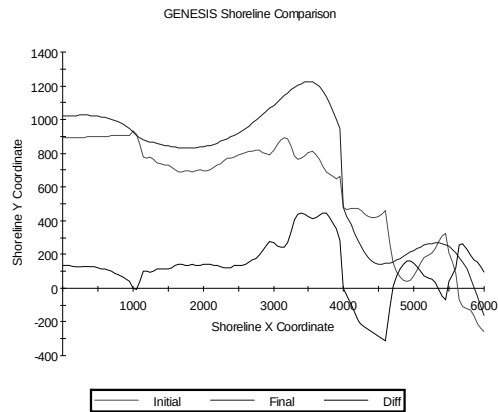
圖5.3-6 (a) GENESIS 岸線預測模式灘線改變量(無沙源提供)
(民國91年1月1日~民國95年12月31日)



50

圖5.3-8 GENESIS 岸線預測模式灘線改變量 (北防波堤未延伸)

(民國91年1月1日 ~ 民國95年12月31日)

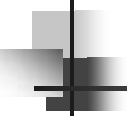


51

期中初步成果

- 完成整理臺灣中西部附近海域海氣象、水文資料及附近河川流量與輸沙量等資料之特性。
- 建置臺灣中西部灘線數值模式。

52



初步結論

- 研究經侵淤分析發現，除了民國89年防波堤延長工程進行中有最大累積侵蝕量外，其餘年度皆呈現淤積的現象，並於民國95年達到最大累積淤積量，約7650.22萬立方公尺。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。
- 本研究利用1993年至2003的衛星影像資料透過影像前置處理以及灘線位置的修正，其結果顯示台中港北防波堤至北防沙堤間的沙灘段自1993開始由於台中港北防波堤的擴建工程而持續有淤積的現象直至2004年趨於穩定，而北防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1995年間有較大的淤積量之外，該區域沙量皆保持穩定。

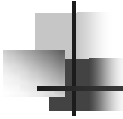
53



初步結論

- 本研究以91年灘線為起始灘線，以GENESIS 岸線預測模式模擬91年至95年之灘線變化，其模擬結果以相似參數進行分析，其模擬結果有95%的相似度。其結果呈現北防波堤北側堤址些許侵蝕，北防砂堤南側淤積趨勢，於北防砂堤北側則呈現灘線後退現象。
- 若假設北側無砂源供應情況下，本研究模擬91年至95年之灘線變化，其結果顯示，北防波堤北側灘線受防波堤岬頭效應影響，呈現灘線後退情況，於北防砂堤南側則呈現灘線前進趨勢，於北防砂堤北側則呈現灘線後退趨勢。整體而言，其灘線後退幅度較有砂源補足情況下顯著，其灘線前進幅度則較不顯著。
- 本研究以91年灘線為起始灘線，以GENESIS 岸線預測模式模擬北防波堤未延伸前之配置，模擬91年至95年之間灘線變化。模擬結果顯示，由於此配置北防波堤離岸距離較短，故灘線受到岬頭控制之影響較小。故在原有條件下呈現北防波堤與北防砂堤間之灘線普遍淤積，但北防砂堤北側堤址附近處灘線則呈現侵蝕之情形。

54



未來完成成果

- 提出臺灣中西部附近海域漂沙水理機制，並提出該海域附近侵淤的主要原因。
- 提出臺灣中西部港灣上、下游侵淤與河川輸砂與海氣象條件之相關性。
- 根據臺灣中西部港灣附近海域水理機制提出控制漂沙運移的防治對策。

附錄 I 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(1/4) 期末簡報

簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所
中華民國九十八年十一月十七日



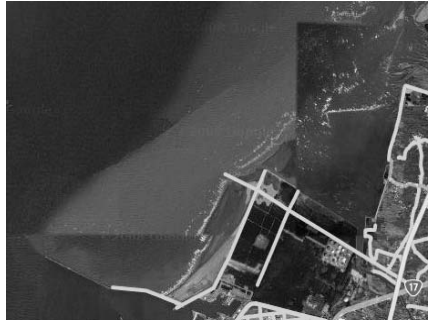
研究動機

- 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



台中港之海岸問題

- 北防波堤對岸線的影響(潮汐、海流流況、鄰近地區漂沙量影響)
- 近年來颱風的數量增加，造成大甲溪流沙量變多
- 河川上游改變灘線變化量



3

研究總目標(98-102)

- 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

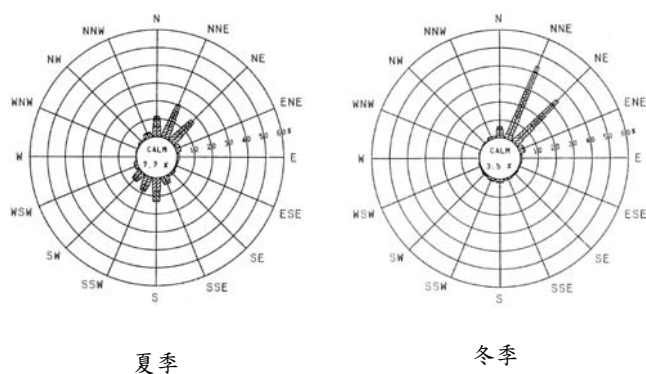
4

98 年度研究項目

- 蒐集並分析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。
- 建置該灘線數值模式。
- 建置該區海域二維漂沙數值模式。
- 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。
- 提出改善海岸侵淤防治對策。
- 評估不同防治對策下，漂沙防治之效益模擬。

5

圖2.1-2 北防波堤堤頭風玫瑰圖(民國85~87年)



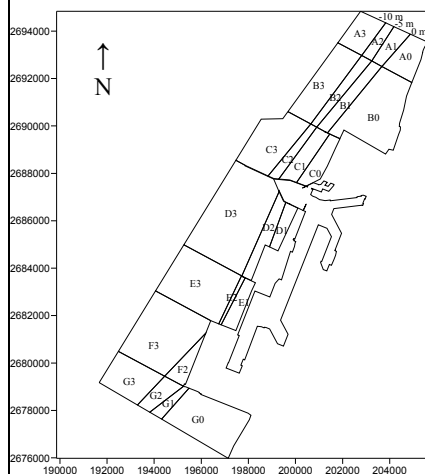
6

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

7

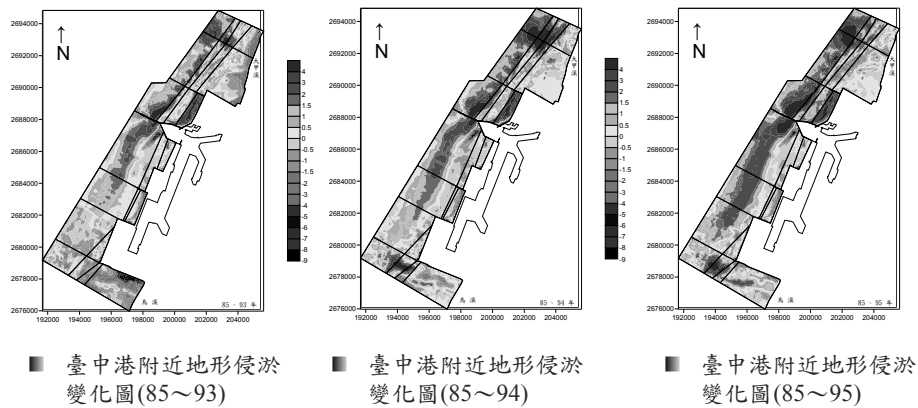
臺中港地形水深變遷計算分區



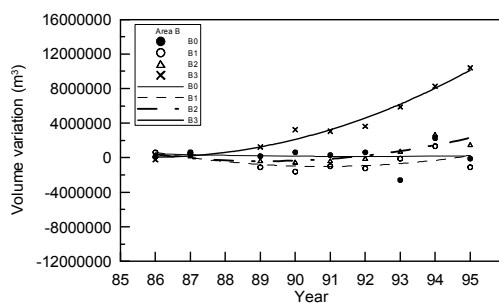
- 為便於了解海岸之特性，將計畫區沿岸方向海岸分為A0～G等7個區域，冬季時表層移動界限水深(ds)為12.20m，夏季時為4.63m，因此，本計畫在考量漂沙移動界限水深下，將向離岸方向分為4區，分別為0m以上標示為第0區、0m至-5m之間標示為第1區、-5m至-10m間標示為第2區、-10m以上標示為第3區，來詳細探討各分區的侵淤狀況。

8

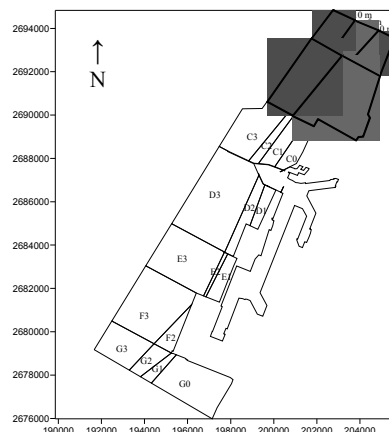
侵淤特性分析



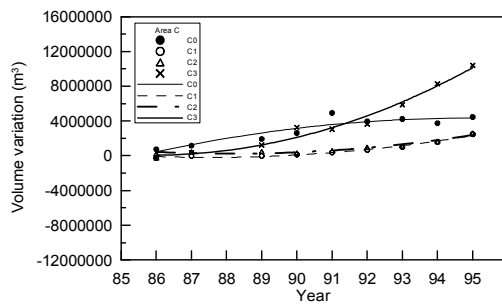
累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(B區)



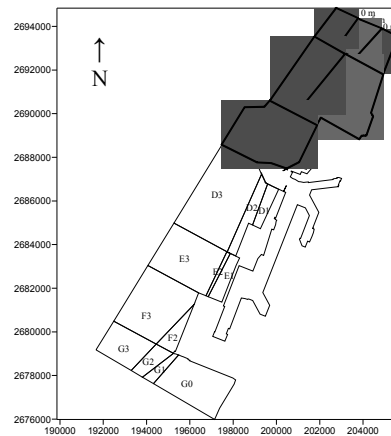
B0區：累積侵蝕量為 10萬m³
 B1區：累積侵蝕量為 109萬m³
 B2區：累積淤積量為 153萬m³
 B3區：累積淤積量為1040萬m³
 B 區：累積淤積量為1074萬m³



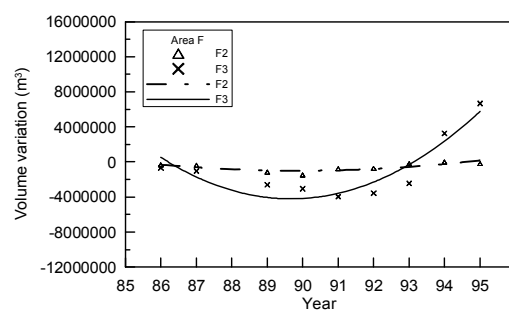
累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(C區)



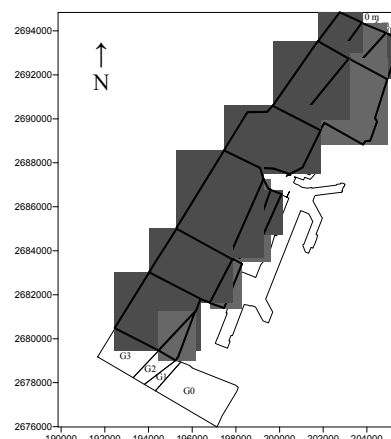
C0區：累積淤積量為 447萬 m^3
 C1區：累積淤積量為 248萬 m^3
 C2區：累積淤積量為 264萬 m^3
 C3區：累積淤積量為 1240萬 m^3
 C 區：累積淤積量為 2199萬 m^3



累積侵淤量及長期侵淤趨勢分析(F區)



F2區：累積侵蝕量為 19萬 m^3
 F3區：累積淤積量為 666萬 m^3
 F 區：累積淤積量為 647萬 m^3



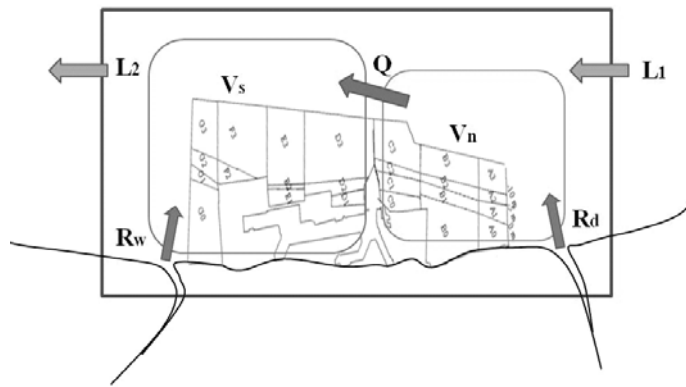
臺中港附近地形高層變化量

單位：m

分區	85~86	85~87	85~89	85~90	85~91	85~92	85~93	85~94	85~95
A0	-0.01	0.27	-0.54	-0.04	-0.15	-0.21	-1.09	0.45	0.08
A1	0.36	0.54	0.27	-0.34	-0.29	-0.29	1.04	3.22	1.45
A2	0.31	0.35	0.09	-0.58	-0.33	-0.20	1.96	4.40	1.87
A3	-0.17	0.02	-0.18	0.05	0.06	0.21	2.16	2.85	3.14
B0	0.02	0.09	0.03	0.09	0.04	0.09	-0.38	0.33	-0.01
B1	0.35	0.26	-0.62	-0.90	-0.54	-0.69	-0.06	0.75	-0.61
B2	0.19	0.16	-0.25	-0.35	-0.25	-0.04	0.55	1.95	1.11
B3	-0.06	0.08	0.31	0.81	0.76	0.91	1.47	2.07	2.60
防沙堤以北	1.00	1.78	-0.89	-1.26	-0.70	-0.23	5.64	16.03	9.62
C0	0.50	0.77	1.27	1.73	3.26	2.63	2.81	2.49	2.96
C1	-0.14	-0.01	-0.01	0.08	0.22	0.39	0.59	0.94	1.46
C2	0.23	0.45	0.49	0.32	0.59	0.96	1.08	1.59	2.60
C3	0.06	0.25	0.50	0.99	1.00	1.44	1.58	2.04	2.86
北淤沙區	0.65	1.46	2.25	3.13	5.07	5.42	6.06	7.05	9.87
D1	0.04	-0.16	-0.17	-0.24	0.22	0.51	0.48	0.34	0.42
D2	0.10	-0.08	-0.23	-0.29	0.02	0.03	-0.04	-0.20	-0.04
D3	0.05	0.02	0.19	0.43	0.38	0.48	0.69	0.76	1.44
E1	-0.23	-0.30	-0.88	-0.80	-0.74	-0.48	-0.74	-0.82	-0.61
E2	-0.18	-0.22	-0.44	-0.39	-0.25	-0.07	0.18	-0.26	0.06
E3	-0.05	-0.03	-0.18	0.07	0.06	0.18	0.75	0.72	1.33
F2	-0.28	-0.32	-1.00	-1.28	-0.67	-0.64	-0.17	-0.01	-0.16
F3	-0.09	-0.14	-0.34	-0.40	-0.52	-0.47	-0.32	0.43	0.88
G0	-0.28	-0.17	-0.07	-0.43	-0.75	-0.74	-1.83	-0.26	0.09
G1	-0.20	-0.64	-1.84	-0.83	-1.20	-1.40	-1.59	0.62	1.04
G2	0.35	0.08	-0.45	-0.52	-0.66	-0.85	-0.84	2.09	2.55
G3	0.05	-0.06	-0.32	-0.30	-0.41	-0.55	-0.49	0.92	0.95
北防波堤以南	-0.72	-2.00	-5.73	-4.98	-4.51	-3.99	-3.92	4.34	7.96
全區	0.93	1.24	-4.37	-3.12	-0.14	1.20	7.78	27.42	27.45

13

海岸侵淤的平衡分析

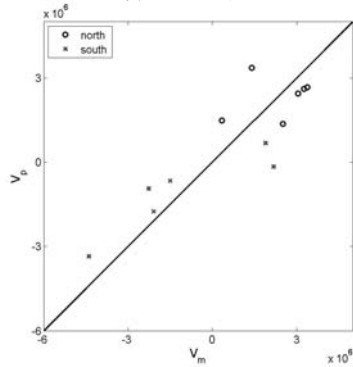


$$\min \sum \left\{ \frac{1}{2} [a_1 \times R_d + L_1 - a_2 \times Q - V_n]^2 + \frac{1}{2} [a_2 \times Q + a_3 \times R_w - V_s - L_2]^2 \right\}$$

14

海岸侵淤的平衡分析

防波堤南北兩側侵淤量
與實測值的散佈圖



分區侵淤量與河川輸沙量之相關性

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

灘線變化數值模式

- 衛星影像資料擷取海岸線
- 率定一維海岸變遷模式(GENISIS)之係數
- 探討台中港南北海岸變化之漂沙運動機制



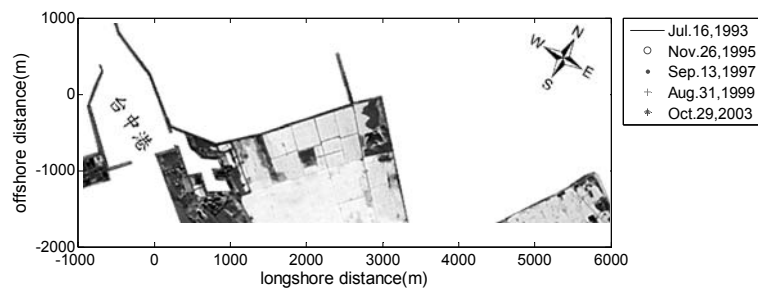
衛星影像資料擷取海岸線

- 修正灘線至平均水位

- 波浪溯升修正

$$\frac{R}{H_s} = \frac{1.13\xi_p}{1 + 0.506\xi_p}$$

$$\xi_p = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L}}$$

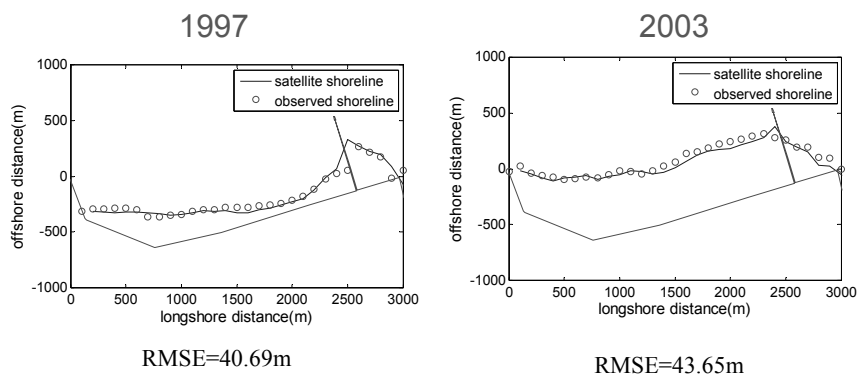


沿岸方向0至2500m間：1993年時沙量很少
 沿岸方向0至1500m間：1995年開始持續增加
 沿岸方向2000至2500m處：1997開始淤積
 沿岸方向500至2200m間：1999至2003有明顯淤積

台中港北防波堤至北防沙堤間在這10年間明顯呈現持續淤積的現象，且淤積的量大使沙灘向外海延伸了將近500m。

17

衛星影像中灘線位置以及與實測地形的比較



原因：

- 衛星影像空間解析度的不足
- 衛星影像拍攝時間與實測地形時間有所差異

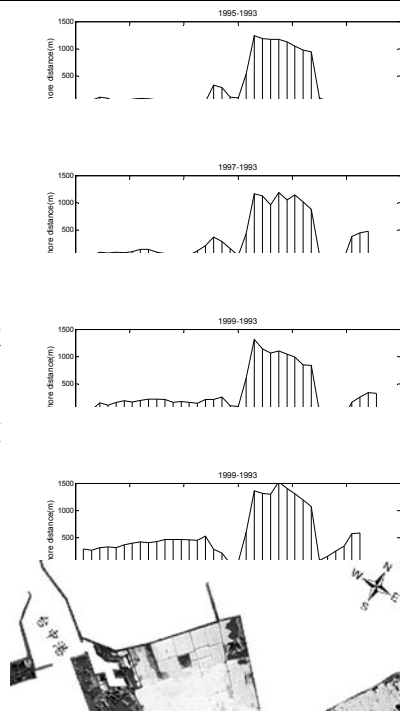
長期灘線變遷

◆台中港北防波堤至北防沙堤間自1993至2003呈現一逐漸淤積的狀況

◆右圖為以1993年為一基準年，1995、1997、1999以及2003年的離岸方向沙灘長度變化量

◆1995、1997、1999以及2003年在沿岸方向0至2500m之間的沙量皆為逐漸的增加

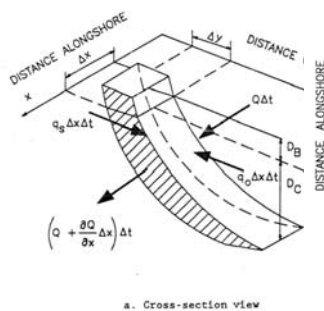
◆沿岸方向2500至4500m處除了1993至1995的大量淤積後則保持侵淤互現的狀況。



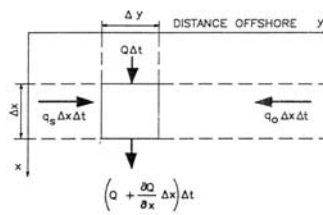
GENESIS 岸線變遷模式

控制方程式

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0$$



(a) 斷面示意圖



(b) 平面示意圖

GENESIS 模式參數校核

GENESIS模式之計算條件列表

項 目	入 射 波 向	代表波浪		漂 砂 移 動 限 界 水 深		沿 岸 流 漂 砂 限 界 水 深
		波	週			
		高	期			
		(m)	(sec)	(m)		(m)
		H _s	T	d _s	d _g	d _c
冬季	N	2.1	6.6	12.20	6.58	4.81
夏季	W	0.9	6.1	4.63	2.27	2.39

參考資料：「臺中港港口第二期擴建工程設計」及「中央氣象局民國39～84年之季風波浪觀測資料和颱風迴歸分析」

21

GENESIS模式中各項參數

D _c GENESIS 模式參數	參數值
D _B 波浪作用時間 (year)	1
D ₅₀ m ³ /時間間格 (hr)	6
海灘線間格 (m)	50
終端水深 (m)	6.58
漂砂至陸側最大高程 (m)	2
底床中質粒徑 (mm)	0.24
輸砂量 Q ()	220

22

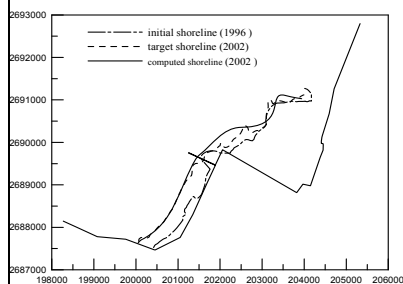
以GENESIS模式模擬不同傳輸參數與相似參數之比較

相似參數

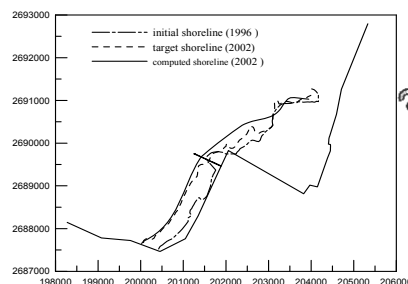
$$S_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

Case\模擬參數				
1	0.2	0.3	1.5	0.95
2	0.2	0.4	2.0	0.96
3	0.2	0.5	2.5	0.965
4	0.2	0.6	3.0	0.98
5	0.3	0.3	1.0	0.95
6	0.3	0.4	1.33	0.955
7	0.3	0.5	1.66	0.965
8	0.3	0.6	2.0	0.958
9	0.4	0.3	0.75	0.93
10	0.4	0.4	1.0	0.95
11	0.4	0.5	1.25	0.945
12	0.4	0.6	1.66	0.96

GENESIS 模式預測灘線與實測地形之比較



自民國85年至民國91年，沿岸輸沙量
 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$



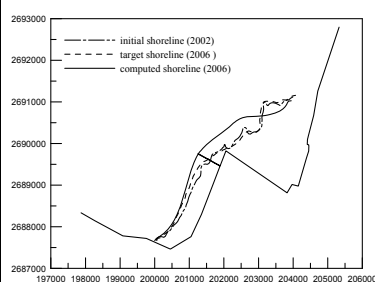
自民國85年至民國91年，沿岸輸沙量
 $Q = 250 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$

GENESIS 模式預測灘線與實測地形之比較 (85年至91年)

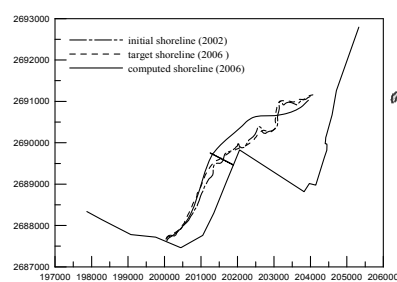
$10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 給定沙量\最大灘線 $10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ 淤積幅度 $10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$ $10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$	北 防 波 堤堤址	北 防 砂 堤堤址	北 防 波 堤 至 北 防 砂 堤 間	平均誤差 量	標準差
	283m	52.3m	375m	125.01m	45.3m
	305m	81.4m	390m	93.3m	37.45m
	327m	102.6m	488m	61.58m	29.37m
	387m	164.2m	523m	26.01m	26.98m
	407m	201.2m	575m	59.52m	45.12m

25

GENESIS 模式預測灘線與實測地形之比較



自民國91年至民國95年，沿岸輸沙量
 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$



自民國91年至民國95年，沿岸輸沙量
 $Q = 150 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$

26

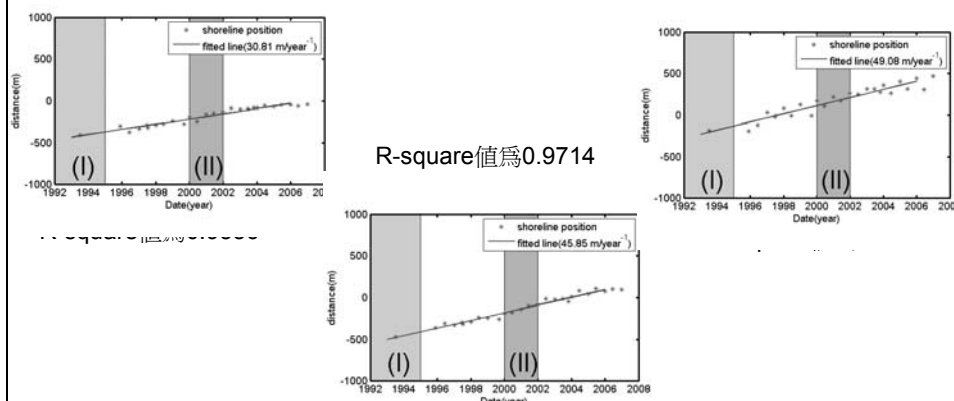
GENESIS 模式預測灘線與實測地形之比較 (91年至95年)

$10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 給定沙量\最大灘線 $10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 淤積幅度 $10^4 \text{ m}^3/\text{year}$	北防波堤堤址	北防砂堤堤址	北防波堤至北防砂堤間	平均誤差量	標準差
	13m	209.2m	209.2m	48.8m	47.53m
	25m	218.4m	218.4m	39.9m	41.44m
	37m	258.6m	258.6m	53.13m	53.73m
	67m	290.2m	290.2m	70.4m	56.45m

27

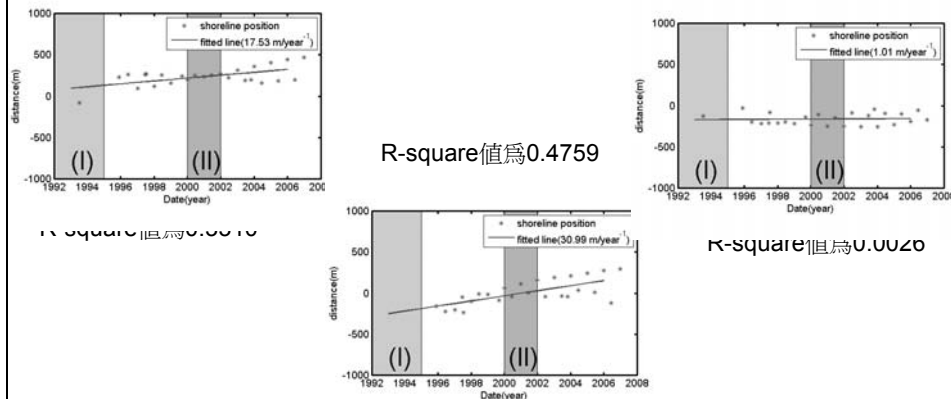
1993至2006年的灘線位置變化

P1 P2 P3P4 P5 P6

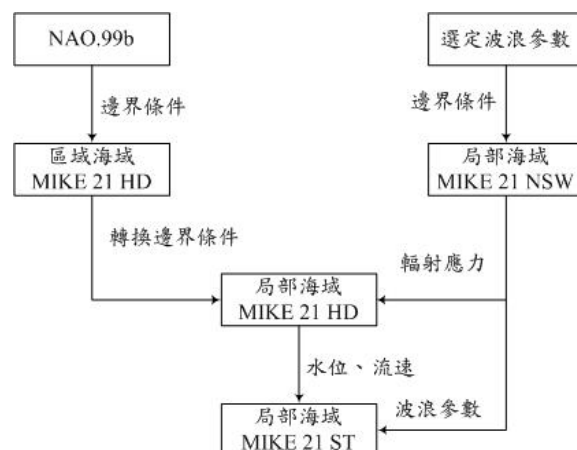


1993至2006年的灘線位置變化

P1 P2 P3P4 P5 P6



輸沙數值模擬分析程序



30

代表波浪條件及模擬時間區段

代表波浪條件

類型	示性波高(m)	示性週期(sec)	波向
冬季季風	2.1	6.6	N
夏季季風	0.9	6.3	W
颱風(10年迴歸期)	5.5	9.8	N

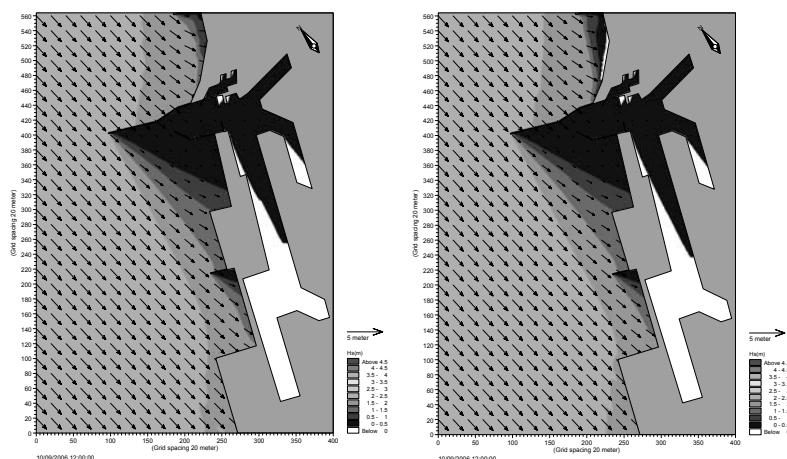
模擬時間區段

	模擬開始時間	暖啟動結束時間	模擬結束時間
全潮汐週期	民國95年10月8日02:00	民國95年10月8日10:00	民國95年10月9日12:00

31

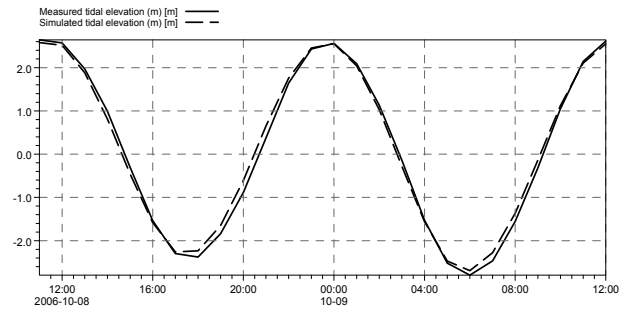
二維波浪場數值模擬

■ 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N向)波高波向分布圖



採用民國94年臺中港地形水深

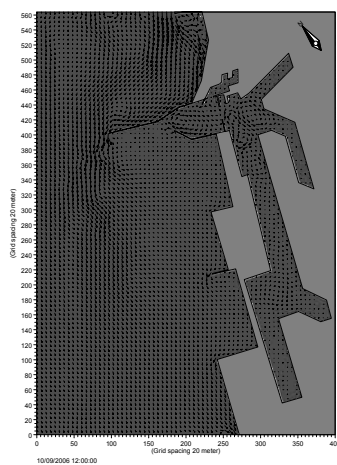
區域海域流場的臺中港潮位驗證



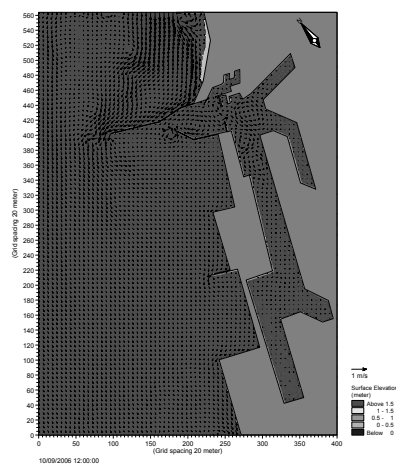
33

局部海域流場數值模擬

■ 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$, $T_s=6.6\text{sec}$, N向)流場分布圖



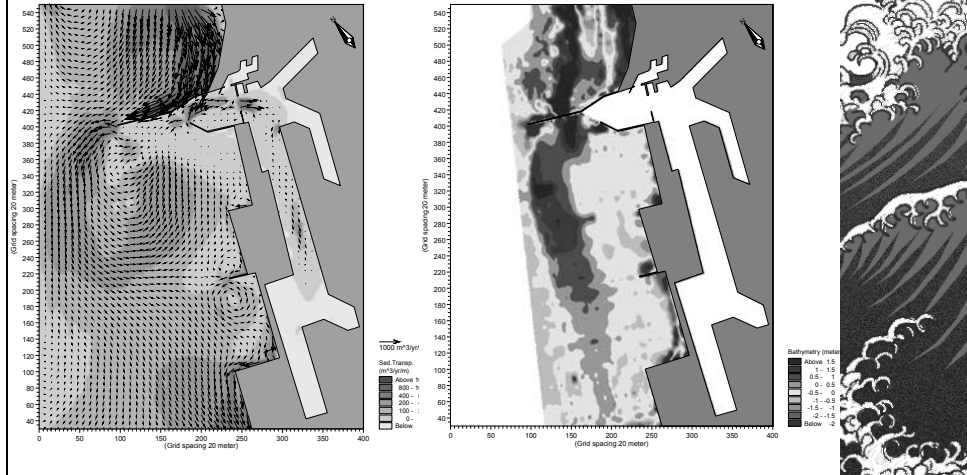
採用民國89年臺中港地形水深



採用民國94年臺中港地形水深⁴

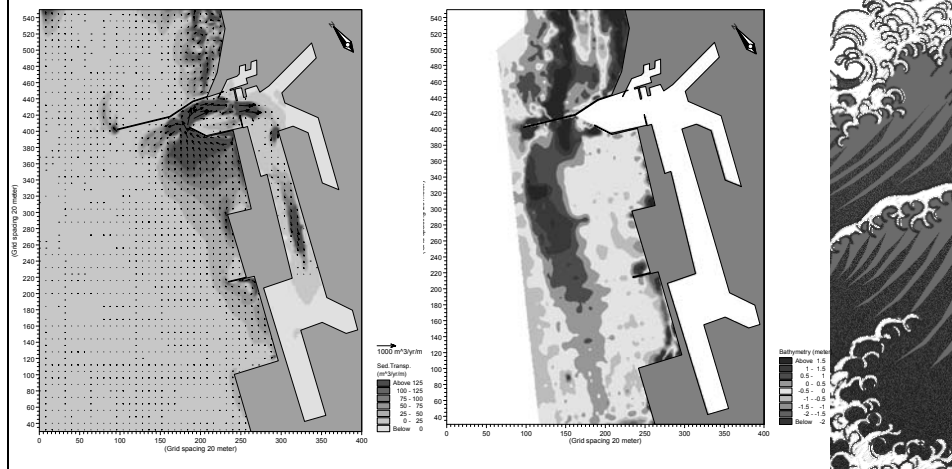
二維輸沙數值模擬(1/6)

■ 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N向)輸沙潛量分布圖(採用民國89年臺中港地形水深)



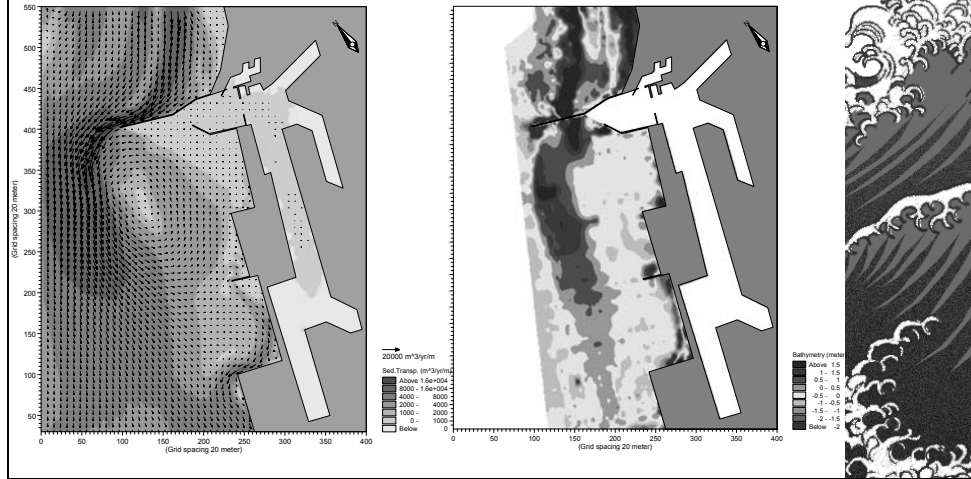
二維輸沙數值模擬(2/6)

■ 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W向)輸沙潛量分布圖(採用民國89年臺中港地形水深)



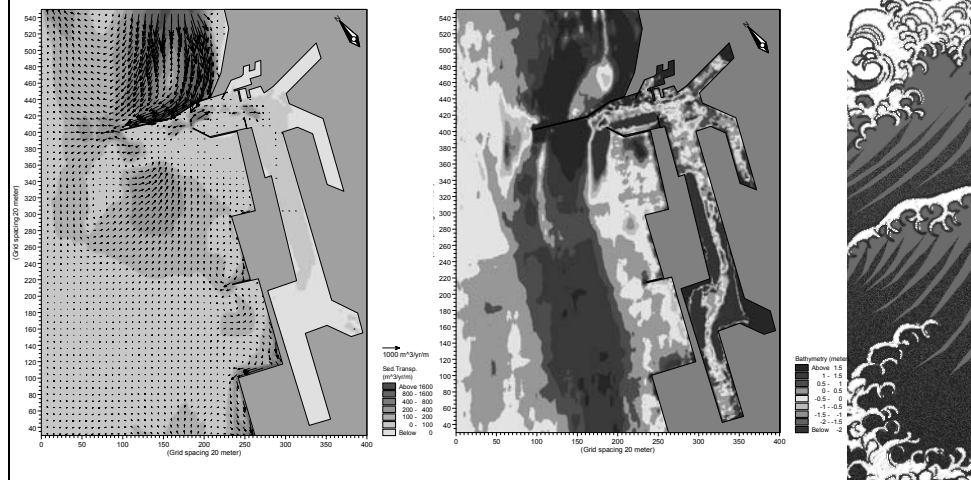
二維輸沙數值模擬(3/6)

■ 10年迴歸期颱風(Hs=5.5m, Ts=9.8sec, N向)輸沙潛量分布圖(採用民國89年臺中港地形水深)



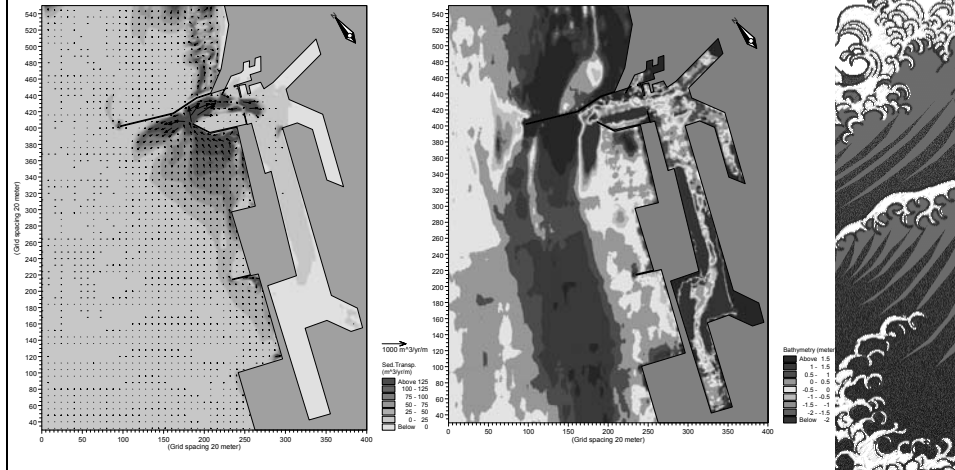
二維輸沙數值模擬(4/6)

■ 冬季季風(Hs=2.1m, Ts=6.6sec, N向)輸沙潛量分布圖(採用民國94年臺中港地形水深)



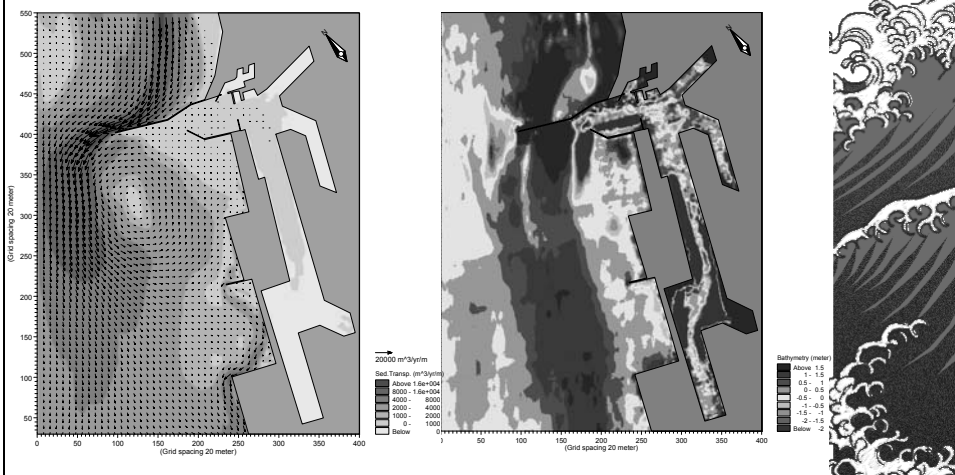
二維輸沙數值模擬(5/6)

■ 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W向)輸沙潛量分布圖(採用民國94年臺中港地形水深)

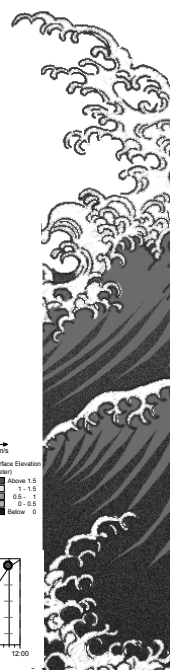
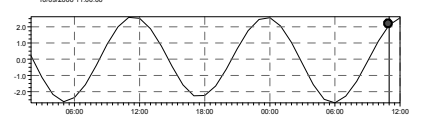
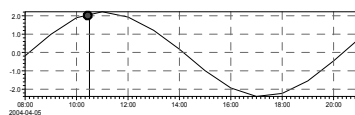
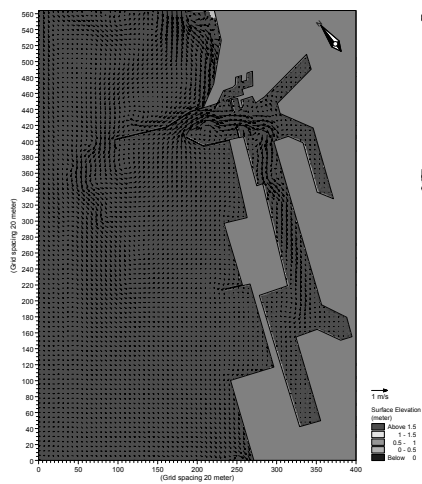


二維輸沙數值模擬(6/6)

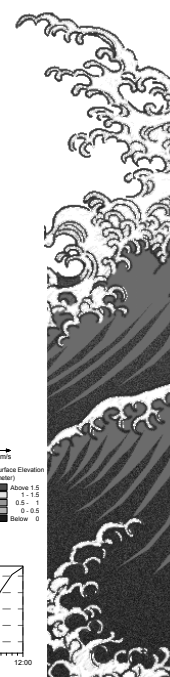
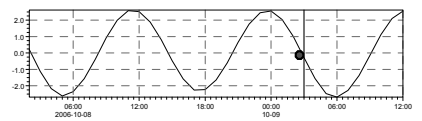
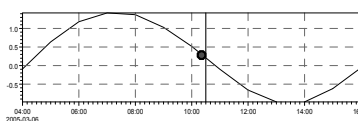
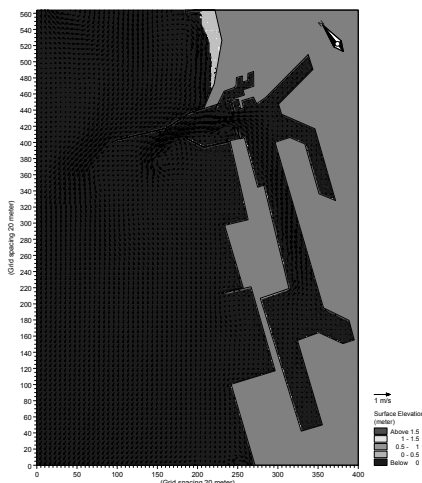
■ 10年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，N向)輸沙潛量分布圖(採用民國94年臺中港地形水深)



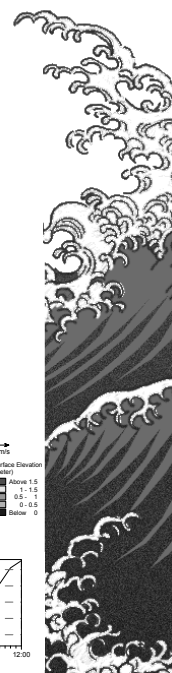
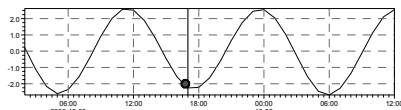
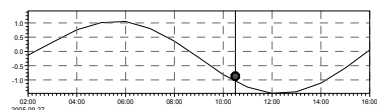
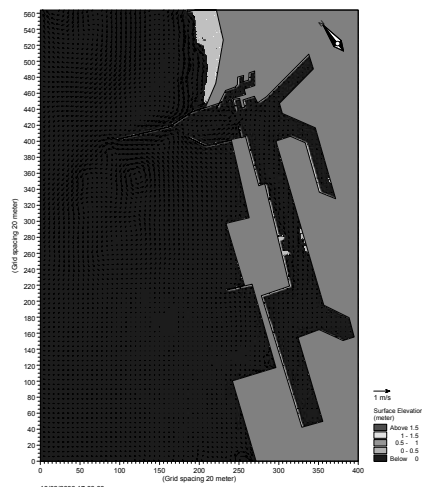
模式與衛星比對(1/4)



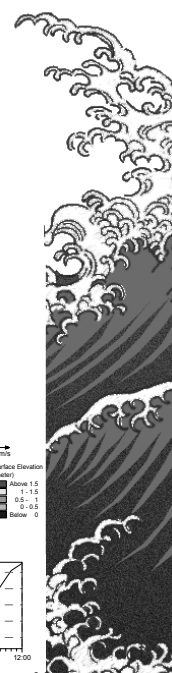
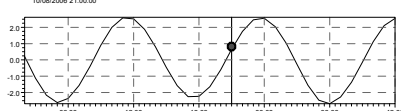
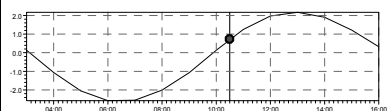
模式與衛星比對(2/4)



模式與衛星比對(3/4)



模式與衛星比對(4/4)



北側淤沙防護方案之探討

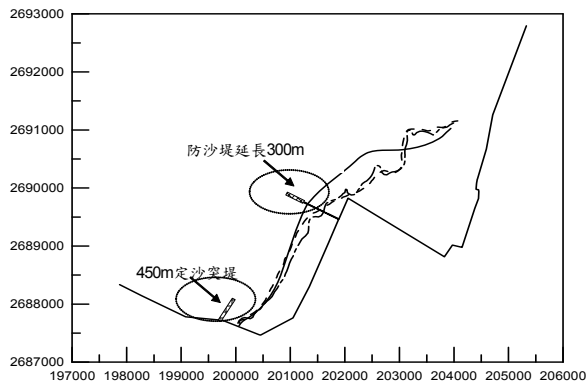
臺中港北側淤沙區漂飛沙整治工程

■ 延長北防沙堤300m

北防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，降低迴遠至港外航道之漂沙量。

■ 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。



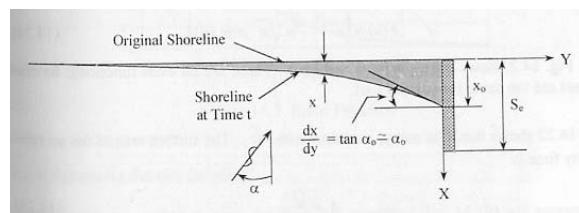
新建定沙堤及防沙堤間定沙成效之評估

■ 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

$$t_{full} = \frac{\pi d_p S_e^2}{4Q \tan \alpha_0}$$

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



新建定沙堤及防沙堤間定沙成效之評估

本文選擇 91、94 及 97 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

$$\tan \alpha_0 = \frac{y_0 - y_1}{\Delta x}$$

由上式所得三年之 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($d_b=4.05m$)加上潮差之半，可得 $d_b=6.05$ 公尺。新建北防沙堤長為 300m，由公式(6.3-1)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。

47

新建定沙堤及防沙堤間定沙成效之評估

本研究假設透沙率為 0.3、0.5 及 0.7 三種狀況

以突堤上游灘線變化管理論計算灘線淤積至堤頭之時間

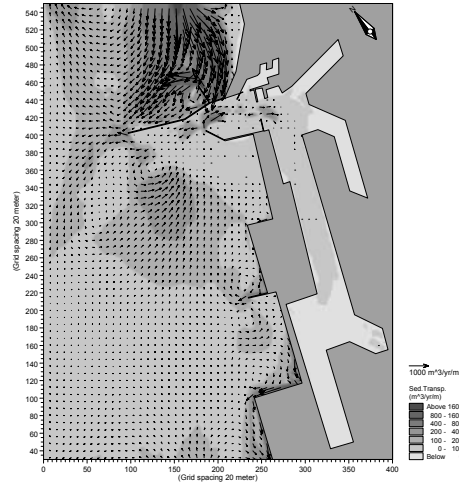
$Q(\times 10^4 m^3/yr)$	$t_{1full}(yr)$	$t_{2full}(yr)$	$t_{full}(yr)$
250	0.5	1.1	1.7
250×0.7	0.5	1.6	2.1
250×0.5	0.5	2.2	2.7
250×0.3	0.5	3.8	4.3
125	1.0	2.3	3.3
125×0.7	1.0	3.3	4.3
125×0.5	1.0	4.6	5.6
125×0.3	1.0	7.6	8.6

$t_{1full}(yr)$ 為灘線淤積新建北防沙堤堤頭之時間，即為0.5或1.0年
 $t_{2full}(yr)$ 為灘線淤積新建北定沙堤堤頭之時間
 $t_{full}(yr)$ 為二者之和

48

新建配置對漂沙特性之影響(1/3)

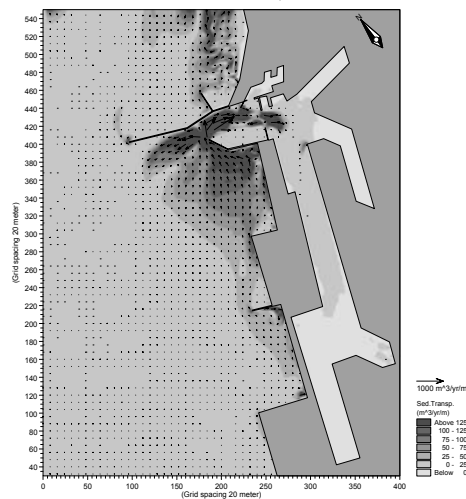
- 冬季季風($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，N向)輸沙潛量分布圖(採用新建定沙堤及延長防波堤配置)



49

新建配置對漂沙特性之影響(2/3)

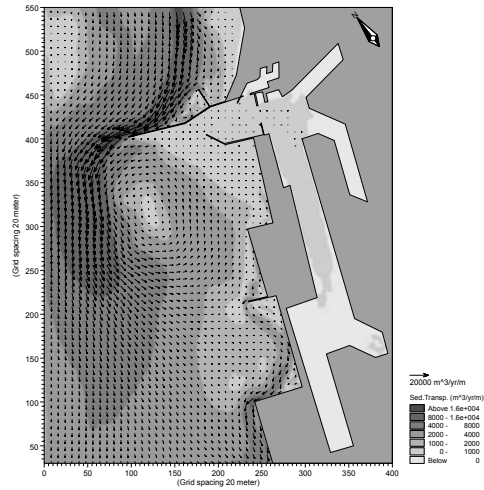
- 夏季季風($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，W向)輸沙潛量分布圖(採用新建定沙堤及延長防波堤配置)



50

新建配置對漂沙特性之影響(3/3)

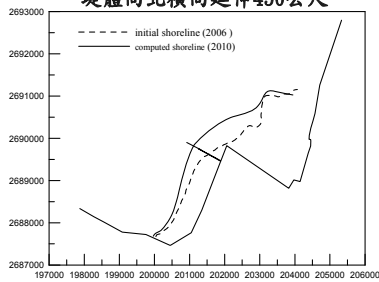
- 10年迴歸期颱風($H_s=5.5\text{m}$, $T_s=9.8\text{sec}$, N向)輸沙潛量分布圖(採用新建定沙堤及延長防波堤配置)



51

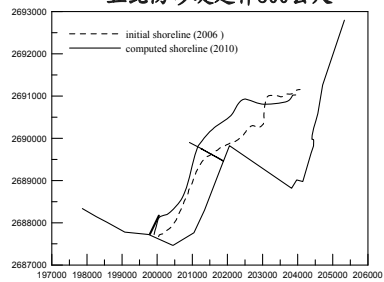
GENESIS灘線模擬

堤體向北橫向延伸450公尺



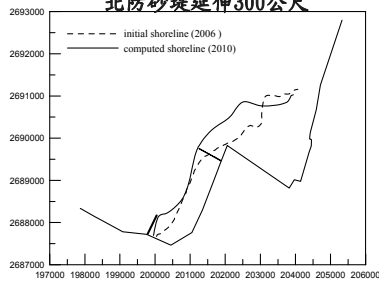
自民國95年至民國99年，沿岸輸沙量
 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$

堤體向北橫向延伸450公尺
且北防砂堤延伸300公尺



自民國95年至民國99年，沿岸輸沙量
 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$

北防砂堤延伸300公尺



自民國95年至民國99年，沿岸輸沙量 $Q = 220 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{year}$

結論

- 本研究經侵淤分析發現，除了民國89年防波堤延長工程進行中有最大累積侵蝕量外，其餘年度皆呈現淤積的現象，並於民國95年達到最大累積淤積量，約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。
- 若從北防波堤北側侵淤量與大安溪輸沙量分析漂沙特性，說明大安溪排出之輸沙不直接停留在河口，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。
- 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，但因為沿岸輸沙大而使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。

53

結論

- 本計畫利用民國82年至民國92年的衛星影像資料透過影像前置處理以及灘線位置的修正，擷取出各年平均水位處的灘線位置，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民國85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。
- 經由二維地形輸沙數值模擬計算冬季季風輸沙潛量分布圖可知，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。由夏季季風輸沙潛量分布圖可知，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年迴歸期颱風輸沙潛量分布圖可知，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。

54

結論

- 經由二維地形輸沙數值模擬與GENESIS灘線模式模擬，新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。經由GENESIS灘線模式模擬結果顯示，北防波堤堤體附近處之灘線最大淤積幅度約在400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。
- 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，其結果與實測資料相吻合。分析北防波堤堤址附近處呈現最大灘線淤積幅度約387公尺，北防砂堤與北防波堤間之灘線淤積幅度約為523公尺，北防砂堤堤址附近灘線淤積幅度約為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，其淤積幅度將大於實測之海岸地形。在降低沿岸輸沙量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。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續沙能力有降低的趨勢。

55

報告完畢
敬請指正

56