

台中港港口擴建及航道浚深拓寬後 操船模擬試驗



主辦單位：交通部台中港務局

執行單位：交通部運輸研究所

中華民國九十二年十二月

台中港港口擴建及航道浚深拓寬後 操船模擬試驗



主辦單位：交通部台中港務局

執行單位：交通部運輸研究所

中 華 民 國 九 十 二 年 十 二 月

台中港港口擴建及航道浚深拓寬後操船模擬試驗

計劃編號：MOTC-IOT-92-H3CA02

總計畫主持： 邱永芳 主任

計劃主持人： 簡仲璟 研究員兼科長

莊文傑 研究員

蘇青和 研究員

研究人員： 曾相茂 研究員

江中權 副研究員

劉清松 助理研究員

參與人員： 李江澤 技工

錢爾潔 技工

摘 要

由於大型船舶在進出台中港港口及靠離碼頭時之操船過程，深受海流與東北季風之影響，為此台中港務局乃進行第二期擴建工程，以提昇大型船舶進靠台中港之安全性，並藉由真時操船模擬試驗，評估台中港擴建工程完工及航道濶深拓寬後，在不同環境外力作用下，船舶於航道航行及靠泊碼頭之操航安全性。本計畫操船模擬試驗之計畫船型分為 4,000TEU 貨櫃船、125,000M³ LNG 船及 145,000 載重公噸散裝貨船，並設定不同的風力及水流條件。依據第一階段 247 次操船模擬試驗結果，由台中港領港、台灣海洋大學資深船長及本所研究人員共同討論並研商安全操航模式。然後依照安全操航模式進行第二階段 19 次的確認操船試驗。由試驗資料分析結果顯示，操航主要之危機在於：操航者依其經驗對模擬環境產生錯誤判斷、船速控制不當、不熟悉大型船舶之特殊船性、拖船使用不當等因素。因此，台中港領港必須熟悉大型船舶之操航特性，而拖船也必須加強馬力性能及適當作業方式的配合，同時參照本研究研擬之安全操航模式，才能有效提昇大型船舶之航行安全。

本研究計畫報告書共分四冊，第一冊為本文部分即本冊，第二冊為委託台灣海洋大學辦理之「台中港真時操船模擬試驗」報告，第三及第四冊分別為附錄一及附錄二，詳細記載各次操船試驗的相關資料。

台中港港口擴建及航道浚深拓寬後操船模擬試驗

目 錄

摘要	I
第一章 前言	1-1
1.1 計畫背景	1-1
1.2 計畫目的	1-2
1.3 研究範圍與對象	1-3
第二章 台中港海氣象環境	2-1
2.1 風力	2-1
2.2 波浪	2-10
2.3 潮汐	2-15
2.4 海流	2-16
第三章 海流數值計算	3-1
3.1 引言	3-1
3.2 台中港二期擴建後之港口配置與水深地形	3-1
3.3 台中港二期擴建後之港口海象調查	3-2
3.4 二維水動力數值模式	3-3
3.5 台中港二期擴建後之海流數值模擬	3-7
3.6 結語	3-20
第四章 真時操船模擬試驗	4-1
4.1 研究範圍、方法與條件	4-1

4.2 試驗計畫、過程及紀錄	4-18
4.3 試驗資料分析	4-48
4.4 安全操航模式	4-76

第五章 結論與建議

5-1

5.1 結論	5-1
5.2 建議	5-6

參考文獻

圖 目 錄

圖 1.1	研究流程圖	1-3
圖 2.1.1	沉箱式碼頭.....	2-2
圖 2.1.2	L 型塊式碼頭.....	2-2
圖 2.1.3	混凝土方塊式碼頭	2-2
圖 2.1.4	中空型塊式碼頭.....	2-3
圖 2.1.5	消波塊式碼頭	2-3
圖 2.1.6	現場澆置混凝土式碼頭	2-3
圖 2.1.7	自立式碼頭.....	2-5
圖 2.1.8	錨碇式版樁碼頭.....	2-5
圖 2.1.9	版樁或直樁錨碇式版樁碼頭.....	2-5
圖 2.1.10	組樁錨碇式版樁碼頭.....	2-6
圖 2.1.11	圓形井筒式碼頭	2-6
圖 2.1.12	橢圓形井筒式碼頭	2-6
圖 2.1.13	直樁棧橋式碼頭	2-7
圖 2.1.14	斜樁棧橋式碼頭	2-7
圖 2.1.15	圓筒或角筒棧橋式碼頭	2-7
圖 2.1.16	L 型平台樁基式碼頭（背後版樁）	2-9
圖 2.1.17	L 型平台樁基式碼頭（前面版樁）	2-9
圖 2.1.18	箱型版樁基式碼頭	2-9
圖 2.1.19	離岸式碼頭斷面示意圖	2-10
圖 2.1.20	繫船浮筒斷面示意圖.....	2-11
圖 2.1.21	浮碼頭斷面示意圖	2-12
圖 3.3.1	台灣地區地震分區	3-22

圖 4.3.1	等級 1 地震時港灣設施之設計流程	4-11
圖 4.3.2	等級 2 地震時耐震強化設施之設計流程	4-12
圖 5.1.1	宇野港重力式碼頭斷面圖	5-2
圖 5.1.2	釧路港重力式碼頭斷面圖	5-2
圖 5.1.3	新潟港中部突堤碼頭斷面圖	5-2
圖 5.1.4	新潟港 A 泊位碼頭斷面圖	5-4
圖 5.1.5	新潟港 D 泊位碼頭斷面圖	5-4
圖 5.1.6	野邊地港碼頭斷面圖	5-5
圖 5.1.7	東神戶渡船頭第三船席碼頭受損情形	5-5
圖 5.1.8	碼頭面法線外視之相對 00-44 基線之偏移式意圖	5-6
圖 5.1.9	1 號碼頭 921 地震受災狀況平面示意圖	5-6
圖 5.1.10	2 號碼頭 921 地震受災狀況平面示意圖	5-7
圖 5.1.11	3 號碼頭 921 地震受災狀況平面示意圖	5-7
圖 5.1.12	4 號及 4A 號碼頭 921 地震受災狀況平面示意圖	5-8
圖 5.1.13	推測沉箱之可能變位狀況示意圖	5-8
圖 5.1.14	名古屋港版樁碼頭斷面圖	5-10
圖 5.1.15	八戶港小中野 1 號版樁碼頭斷面圖	5-10
圖 5.1.16	函館港北濱版樁碼頭斷面圖	5-10
圖 5.1.17	石卷港中島版樁碼頭斷面圖	5-12
圖 5.1.18	秋田港小濱 2 號版樁碼頭斷面圖	5-12
圖 5.1.19	版樁碼頭損壞情形	5-12
圖 5.1.20	四日市港棧橋碼頭斷面圖	5-13
圖 5.1.21	新潟港 B 泊位棧橋碼頭斷面圖	5-13
圖 5.2.1	重力式碼頭震害破壞模式	5-15
圖 5.2.2	版樁式碼頭震害破壞模式	5-15
圖 5.2.3	棧橋式碼頭震害破壞模式	5-15

圖 5.3.1	阪神大地震震央與神戶港相關位置	5-18
圖 5.3.2	921 集集大地震震央與台中港相關位置.....	5-18
圖 5.3.3	神戶港土層斷面示意圖	5-19
圖 5.3.4	台中港 1 至 4 號碼頭後線土層斷面示意圖	5-20

表 目 錄

表 2.2.1	基隆港碼頭型式統計表.....	2-13
表 2.2.2	蘇澳港碼頭型式統計表.....	2-14
表 2.2.3	台中港碼頭型式統計表.....	2-14
表 2.2.4	安平港碼頭型式統計表.....	2-14
表 2.2.5	高雄港碼頭型式統計表.....	2-15
表 2.2.6	花蓮港碼頭型式統計表.....	2-16
表 2.2.7	台灣地區國際商港碼頭型式統計表.....	2-16
表 3.2.1	用途係數 I 值	3-7
表 3.2.2	各類地盤水平向正規化加速度反應譜係數 C 與 週期 T 之關係	3-9
表 3.3.1	各國際商港之設計工址水平加速度係數.....	3-21
表 3.3.2	各類地盤水平向正規化加速度反應譜係數 C 與 週期 T 之關係	3-21
表 3.3.3	碼頭耐震設計公式加入 α_y 之後公式調整對照表	3-24
表 3.3.4	九二一地震後碼頭相關設計規範修訂摘要說明表	3-25
表 4.1.1	地盤分類係數	4-4
表 4.1.2	地盤分類表.....	4-4
表 4.1.3	重要度係數.....	4-5
表 4.2.1	迴歸期與地震發生機率.....	4-8
表 4.2.2	港灣設施耐震性設計時考慮之地震等級	4-8
表 4.2.3	由使用上之觀點來看碼頭變形量之指針	4-9
表 4.2.4	由功能上之觀點來看碼頭變形量之上限	4-9
表 4.2.5	耐震功能設計時容許受損程度	4-10
表 4.4.1	非鋼性結構物之耐震設計比較表(RC 結構物).....	4-17

第一章 前言

1.1 計畫背景

緣自民國五十年代以來，由於經濟建設的積極發展，進出口貿易額急遽增加，為因應經濟發展的需要，政府乃決定興建台中港，以減輕基隆、高雄兩港的負荷。台中港建港計畫包括商港、工業港及漁港三部份，於民國六十二年開工，至民國七十二年完成。建港當時由於海運量不大，貨輪船型較小，故最大進出港船舶係以三萬載重噸為規劃目標。

然而近年來，由於國際貿易蓬勃發展，航商為了節省海運成本，提昇市場競爭力，使得船舶大型化已成必然趨勢。以台中港近五年進港船舶總噸位除以艘數進行統計(如表 1-1 所示)，發現 87 年為 12,402 總噸/艘，89 年上昇為 13,121 總噸/艘，91 年則再上昇為 13,863 總噸/艘，此顯示台中港進港船舶有大型化的現象。

表 1-1 台中港進港船舶之總艘數與總噸位

年度	86	87	88	89	90	91
總噸位	68,996,000	69,948,000	75,354,000	76,538,000	71,021,000	76,876,000
總艘數	5,369	5,640	5,769	5,833	5,343	5,546
平均總噸/艘	12,851	12,402	13,062	13,122	13,292	13,862

資料來源：交通部，中華民國交通統計月報

台中港港區幅員廣闊，聯外交通又極便捷，再加上近年來港務局積極推動民營化成效良好，而且港口第二期擴建工程及航道浚深拓寬工程預定分別於九十二年八月及九十四年十二月完成，此將明顯改善船舶進出港操航安全及大幅提昇台中港營運條件。根據近五年來台中港貨櫃裝卸量可以發現，從民國 87 年 88 餘萬 TEU，89 年大幅增加為 113 餘萬 TEU，而 91 年雖受全球經濟不景氣影響，但仍有 119 餘

萬 TEU (如表 1-2 所示)。此顯示台中港的貨櫃運量穩定成長，已是百萬 TEU 級之國際大港。

表 1-2 台中港貨櫃裝卸量 (TEU)

年度	86	87	88	89	90	91
貨櫃裝卸量	841,792	880,240	1,106,668	1,130,357	1,069,354	1,193,657

資料來源：交通部，中華民國交通統計月報

台中港海域在冬季東北季風期(從每年 10 月至翌年 3 月)，風速及海流皆非常強勁，此為船舶進出台中港所面對的最大困難及最重要安全考量。台中港北防波堤堤頭處之強制裂流，其流速大且流向與進港船舶航向幾乎成直角的交角，致使船舶在接近外廓防波堤時受水流作用造成船位偏移，而不易維持在既定的航線上，此種偏移現象對大型船舶尤其顯著。此外，由於大型船舶的受風面積較大，東北季風產生之風力效應，使船艙向更加不易控制。因此，在惡劣的海氣象天候時，對於大型貨櫃輪及散貨輪等船隻而言，將造成進港的操航安全問題。為此，台中港務局乃於「台中港港口第一期擴建規劃」中將北防波堤延長 850 公尺，以提昇船舶進出港的操航安全，該項工程已於民國 84 年完成。經成效評估後發現在東北季風期，較原規劃三萬載重噸為大之巴拿馬級散貨輪及小於 3,000TEU 之貨櫃輪已可安全進港。

但隨著經濟的快速發展及船舶大型化之國際持續趨勢，航商及業者皆進一步希望第四代貨櫃輪及超巴拿馬極限型散貨輪能安全進泊台中港。為此台中港務局於 87 年進行「台中港港口第二期擴建規劃」以滿足航商及業者需求。第二期擴建工程包括延長北防波堤 480 公尺、拆除南外堤 93 公尺及南內堤 50 公尺，預定 92 年 8 月完成。

1.2 計畫目的

雖然在港口第二期擴建規劃時，曾進行快速 (fast-time) 及真時 (real-time) 操船模擬試驗，以研選較佳之港口佈置方案，並評估其操航安全性。然而該模擬試驗是以港口佈置方案研選為研究目的，所

以其操航計畫之操航起始點為錨泊區，終止點為北迴船池，對於船舶於北迴船池轉向向南，經內港航道航行至各碼頭區，並未進行模擬試驗。因此，台中港務局為探討港口第二期擴建工程及航道浚深拓寬工程完工後，船舶於內港航道航行及泊靠碼頭之操航情況，乃提出「台中港港口擴建及航道浚深拓寬後操船模擬試驗」計畫，希望藉此對船舶進港至靠泊碼頭或離開碼頭至出港整個航行過程的操航安全能有整體連貫性的瞭解，同時研擬提昇操航安全之相關措施。

台中港務局基於運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)曾完成台中港多項規劃、調查及試驗等研究工作，並於最近先後完成「台中港整體規劃與未來發展計畫」、「台中港港口擴建後海氣象調查研究」、「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」及「台中港港口第二期擴建工程規劃」等，對本計畫之背景有深入瞭解。因此，委託港研中心以代收代付方式代為執行「台中港港口擴建及航道浚深拓寬後操船模擬試驗」計畫。

1.3 研究範圍與對象

本研究計畫主要目的為了解船舶於內港航道航行及泊靠碼頭之操航情況，同時研擬提昇操航安全之相關措施。因此配合台中港務局之擴建工程計畫，港域配置將以港口第二期擴建工程及航道浚深拓寬工程完工後之港口寬度、航道寬度及水深為依據。海流數值模擬計算水域範圍包括港外錨泊區、主航道、內港航道、南北迴船池、北中南及工業泊渠等。環境外力條件包括風力、海流、波浪及潮汐。計畫船型則包括 4,000TEU 級（載重噸約 57,000 公噸）貨櫃輪一艘，靠泊 10 號及 33 號碼頭；14.5 萬 DWT 級（船長約 290 公尺）海岬型散裝煤輪一艘，靠泊 101 號碼頭；及容積 125,000m³（船長約 297.5 公尺）之 LNG 化學輪一艘，靠泊西 15 號碼頭。

利用數值模擬計算港區海流流場，配合風、浪及潮汐等外力條件，進港以錨泊區或登輪區或外堤口或內堤口為操航起始點，船舶靠泊碼頭為操航終止點，出港則反之，對各計畫船舶進行真時操船模擬試驗。

第二章 台中港海氣象環境

為配合台中港務局有關「台中港港口第二期港口擴建及航道浚深拓寬後操船模擬試驗」之研究。在台中港操船模擬試驗中模擬條件設定及海域海流模擬計算與分析比較之需要，本章節收集台中港域自然環境有關海氣象調查、分析結果，以掌握計算港域之海氣象影響因子及特性。以下分風力、波浪、潮汐及海流四個部份，說明簡要結果。

2.1 風力

2.1.1 港區風力現場觀測

對於風力的觀測，台中港自 1971 年起先後設有四個測站，各測站位置如圖 2.1.1 所示，其分別為位於北防波堤堤根處(即現在漁港後側)之 A 站、海港大樓頂端 B 站、防風林中消防隊之觀測塔頂 C 站及設於北防波堤堤頭處 D 站，除北防波堤堤根處之測站 A 已於 1981 年 12 月撤除外，其餘三個測站目前均仍持續觀測中。各站資料觀測期間統計如表 2.1.1。

台中港區風力之長期連續觀測，最早開始於中央氣象局設置於梧棲海港大樓頂端 B 站，及北防波堤堤根處測 A 站，其後為防風林測 C 站之延續觀測，北防波堤堤頭處 D 站為較新之觀測點。為探討比較海域風力特性，另蒐集中油公司於新竹 CBK 海域鑽油平台所進行風力觀測資料，與本港各測站進行比較分析。

2.1.2 港區不同測點風力比較分析

由於台中港幾個風速測站之位置均不同，且彼此間儀器觀測點高程亦不一致，加上台中港港區北側防風林生長茂盛，對台中港區北半部有局部之遮蔽影響，而在港區南半部則幾無遮蔽，因此就同一氣候

型態而言，除了在港區南半部及北半部測得之風力特性有所不同外，在港口內、外之風力大小也將有所差異。以下將有關幾個測點之風特性比較分析結果說明如后。

根據本所港灣技術研究中心于「台中港港口第二期擴建工程規劃」計畫相關報告(張等,1999)，經整理各測站風力大於或等於 5m/s、10m/s、15m/s、20m/s 之超值機率詳表 2.1.2 所示。由表中可知，各測站儀器設置高度不同，另受到鄰近地形地物阻擋，風力差異極大。其中以北堤堤頭風力最大，顯見本港海域風力將較內陸或台灣北部海域為大。

同樣根據張等(1999)，比較梧棲海港大樓頂端 B 站與北防波堤堤頭處 D 站，或與北防波堤堤根處測 A 站之風速相關性，經化算為 10 公尺標準儀器高後，分析如下：

(1)梧棲海港大樓頂端 B 站與北防波堤堤根處測 A 站風速相關性

若以 1970 年之觀測資料作相關分析，則北防波堤堤根處測 A 站的風速(W_A)與梧棲海港大樓頂端 B 站風速(W_B)間有下列關係(單位為 m/s)：

$$W_A = 1.9 + 1.16 \times W_B \quad (2-1)$$

(2)梧棲海港大樓頂端 B 站與北防波堤堤頭處 D 站風速相關性

若採用梧棲海港大樓頂端 B 站資料與北防波堤堤頭處 D 站資料，分冬、夏兩季，以同一時間之風場資料進行迴歸分析，則可得迴歸分析結果為(R^2 為相關係數)：

$$\text{冬季(10 月 翌年 3 月)} \quad W_D = 1.40 W_B + 3.15 \quad R^2 = 0.64 \quad (2-2)$$

$$\text{夏季(4 月 9 月)} \quad W_D = 1.55 W_B + 1.05 \quad R^2 = 0.79 \quad (2-3)$$

根據張等(1999)之分析結果可知，台中港區之風速，以梧棲海港大樓頂端 B 站之實測風速最小，其次為北防波堤堤根處測 A 站，而以北防波堤堤頭處 D 站之風速最大。平均而言，D 站風速 W_D 約為 A 站風速 W_A 之 1.24 倍。

根據工業技術研究院能源與資源研究所中于「台中港港口第二期擴建工程成效評估」計畫相關報告(能源與資源研究所,2003)，比較北防波堤堤頭處 D 站與梧棲海港大樓頂端 B 站，或與防風林中消防隊之觀測塔頂 C 站之風速相關性，分析結果說明如下：

擷取 2002 年 10 月 17 日至 2003 年 7 月 10 日期間內，北防波堤測站、防風林測站與梧棲氣象站同時均有風速、風向觀測值之 5938 筆逐時資料，進行測站間的風力特性比較分析。

圖 2.1.2 至圖 2.1.4 分別為北防波堤測站 D、防風林測站 C 與梧棲氣象站 B 同時段之風速風向向量時序圖。由圖 2.1.2 圖 2.1.3 和圖 2.1.4 各站風速風向向量時序變化，顯示這三站的風速和風向變化趨勢十分相似，在 2003 年 3 月底以前大部分為來自北方的東北季風，4 月至 5 月間為東北季風和西南季風交替出現，6 月以後則大部分為西南季風。三站所觀測到的風速資料也都顯示東北季風風速較大於西南季風風速之現象。

圖 2.1.5 顯示北防波堤測站 D 防風林測站 C 與梧棲氣象站 B 在全程、冬季和夏季三個風速觀測期間內之風玫瑰圖。在全程的觀測期間內，北防波堤測站 D 和防風林測站 C 之風向主要來自 NNE 和 NE，而梧棲氣象站 B 所觀測到的主要風向為 N 和 NNE。冬季觀測期間，各站的主要風向與全程觀測期間相同，但主要方向之各方位的發生機率則有所變化，例如各站除 NNE 風向的出現機率明顯增多外，防風林測站 C 之 NE 風向的出現機率也較其它兩站增多。夏季三站的風玫瑰圖除顯示 NNE 風向發生機率明顯降低外，由 WSW 至 S 間的風向出現機率也都有明顯的增加情況發生，另梧棲氣象站 B 的 SE 風向的出現機率也有顯著增加，這与其它兩站的風向出現機率分佈稍有不同。

三站同時觀測期間(2002 年 10 月 17 日至 2003 年 7 月 10 日)內，風速的平均值以北防波堤測站 D 為 9.5 m/s 最大，其次為防風林 C 站 5.5 m/s，梧棲 B 站 5.2 m/s 為最小。圖 2.1.6 和圖 2.1.7 分別為防風林測站 C—北防波堤測站 D 和梧棲氣象站 B—北防波堤測站 D 在全程、冬季與夏季三個觀測期間內之風速關係圖。北防波堤測站所觀測之風速資料對防風林測站 C 風速與梧棲氣象站 B 風速之線性迴歸分析顯示：

(1)全年：

$$W_D = 1.37 + 1.49 \times W_C \quad (R^2 = 0.86) \quad (2-4a)$$

$$W_D = 0.53 + 1.72 \times W_B \quad (R^2 = 0.78) \quad (2-4b)$$

(2)冬季：

$$W_D = 1.30 + 1.51 \times W_C \quad (R^2 = 0.87) \quad (2-5a)$$

$$W_D = 0.59 + 1.79 \times W_B \quad (R^2 = 0.80) \quad (2-5b)$$

(3)夏季：

$$W_D = 1.64 + 1.40 \times W_C \quad (R^2 = 0.86) \quad (2-6a)$$

$$W_D = 1.16 + 1.40 \times W_B \quad (R^2 = 0.71) \quad (2-6b)$$

其中以 W_D 、 W_C 、 W_B 分別代表北防波堤 D 站、防風林 C 站和梧棲 B 站等三個站之風速， R^2 為相關係數，其值越接近 1 代表兩者之相關性越佳。三種觀測期間均顯示防風林測站 C 風速與北防波堤測站

D 之風速相關性較好，北防波堤測站 D 之風速約為防風林測站 C 風速的 1.5 倍左右；在冬季約為梧棲氣象 B 站的 1.8 倍，夏季則約為 1.4 倍。

2.1.3 風力分佈及吹風延時特性

本計畫主要目的為提高大型船舶進出港安全，茲將各測站風力觀測資料做一分析整理，繪製風玫瑰圖及風速風向分佈統計表，其次為瞭解台中港全年不同風速吹風延時發生機率，以供操船模擬試驗及港埠規劃之參考，因此分析台中港北堤堤根及堤頭測站風力記錄，將風速超過 5m/s、10m/s、15m/s、20m/s，其連續吹風延時為 2hr、4hr、6hr、8hr、10hr 之發生機率加以統計，由歷年資料分析整理可得以下結果。

根據張等(1999)將北防波堤堤根處測 A 站 1971 年 1 月至 1980 年 12 月之分析，風力觀測資料做一分析整理，可得全年、夏季及冬季之風玫瑰圖，如圖 2.1.8 至圖 2.1.10 所示。表 2.1.3 至表 2.1.5 為全年、夏季及冬季風速風向分佈統計表，吹風延時分佈如表 2.1.6 所示，資料分析結果簡述如下：

(1) 北防波堤堤根處測 A 站夏季(4 月 9 月)風向分佈是多向性，幾乎各方向均有，但仍以 NNE 向(佔 17.9%)及 S 向(佔 16.5%)為主，夏季風速大於 10m/sec 之機率為 13.89%，大於 15m/sec 之機率為 3.66%，夏季平均風速為 5.8m/sec。

(2) 北防波堤堤根處測 A 站冬季(10 月 3 月)風向以 NNE 向(佔 53.3%)及 NE 向(佔 20.6%)佔大部份。風速大於 10m/sec 之機率為 49.4%，大於 15m/sec 之機率為 23%，冬季平均風速為 10m/sec。

(3) 北防波堤堤根處測 A 站全年平均風速為 8m/sec，全年風速超過 10m/sec 的機率約佔 27.5%。

(4) 在吹風延時方面，台中港北防波堤堤根處測 A 站處風測站之吹風延時分佈如表 2-9 所示，夏季風速超過 15m/sec 而延時持續超過 2 小時者甚少，僅有 0.9%之發生機率，而吹風延時持續超過 8 小

時者更少，僅有 0.6%；冬季時則有顯著差異，風速超過 15m/sec 而吹風延時超過 2 小時及 8 小時之機率分別為 5.2%及 3.5%。

(5) 另就逐時風力而言，北防波堤堤根處測 A 站無論夏季或冬季，夜間風速常較白天為低且強弱分佈亦較穩定。在一天當中，風速通常在下午 3 至 5 點時最強。以超過 20m/s 以上強風之出現機率為例，冬季下午 3 點至 5 點之超值機率約為傍晚或清晨時段出現強風機率之 3 至 5 倍。

另根據張等(1999)將防風林中消防隊之觀測塔頂 C 站，于 1981 年 1 月至 1997 年 12 月的風力觀測資料做一分析整理，可得表 2.1.7 至表 2.1.9 為全年、夏季及冬季風速風向分佈統計表，資料分析所得結果檢述如下：

(1) 防風林測站 C 夏季(4 月 9 月)風向分佈亦呈多向性，以 NE 向(佔 16%)、NNE 向(9.7%)及 S 向(10.2%)發生率較多，夏季風速大於 10m/sec 之機率為 7.68%，大於 15m/sec 之機率為 1.17%，夏季平均風速為 4.6m/sec。

(2) 防風林測站 C 冬季(10 月 3 月)風向以 NE 向(佔 45.9%)、NNE 向(佔 18%)及 ENE 向(佔 14%)為主，風速大於 10m/sec 之機率為 33.2%，大於 15m/sec 之機率為 6.7%，冬季平均風速為 7.8m/sec。

(3) 防風林測站 C 全年平均風速為 6.2m/sec，全年風速超過 10m/sec 的機率約佔 21.8%。

另根據張等(1999)將北防波堤堤頭處 D 站，于 1981 年 1 月至 1997 年 12 月的風力觀測資料做一分析整理，可得全年、夏季及冬季之風玫瑰圖，如圖 2.1.11 至圖 2.1.13 所示。表 2.1.10 至表 2.1.12 為全年、夏季及冬季風速風向分佈統計表吹風延時分佈如表 2.1.13 所示，同樣將資料分析所得結果簡述如下：

(1) 北防波堤堤頭處 D 站夏季(4 月 9 月)風向分佈亦呈多向性，以 NE 向(佔 16.7%)、NNE 向(20.3%)、及 S 向(13.0%)發生率較

多，夏季風速大於 10m/sec 之機率為 17.9%，大於 15m/sec 之機率為 6.0%，夏季平均風速為 5.5m/sec。

(2) 北防波堤堤頭處 D 站冬季(10 月 3 月)風向以 NE 向(佔 33.5%)及 NNE 向(佔 43.6%)為主，風速大於 10m/sec 之機率為 52.3%，大於 15m/sec 之機率為 24.9%，冬季平均風速為 10.5m/sec。

(3) 北防波堤堤頭處 D 站全年平均風速為 8.6m/sec，全年風速超過 10m/sec 的機率約佔 38.9%，大於 15m/sec 之機率為 17.4%。

(4) 在吹風延時方面，堤頭處 D 站處風測站之吹風延時分佈如表 2.1.13 所示，夏季風速超過 15m/sec 而延時持續超過 2 小時者甚少，僅有 4.2%之發生機率，而吹風延時持續超過 8 小時者更少，僅有 2.1%；冬季時則有顯著差異，風速超過 15m/sec 而吹風延時超過 2 小時及 8 小時之機率分別為 19.5%及 9.2%。

另根據能源與資源研究所(2003)將北防波堤堤頭處 D 站，于 1996 年 1 月至 1998 年的風力觀測資料做一分析整理，可得全年、夏季及冬季之風玫瑰圖，如圖 2.1.5(a)所示。表 2.1.14 及表 2.1.15 為全年風速風向分佈統計表及吹風延時分佈，表 2.1.16 及表 2.1.17 為夏季風速風向分佈統計表及吹風延時分佈，表 2.1.18 及表 2.1.19 為冬季風速風向分佈統計表及吹風延時分佈，今將分析所得結果簡述如下：

(1) 北防波堤堤頭處 D 站夏季(4 月 7 月)風向分佈亦呈多向性，以 NE 向(佔 20.6%)、NNE 向(21.4%)及 SSW 向(14.4%)發生率較多，夏季風速大於 10m/sec 之機率為 24.2%，大於 15m/sec 之機率為 5.8%，夏季平均風速為 7.3m/sec。

(2) 北防波堤堤頭處 D 站冬季(10 月 3 月)風向以 NE 向(佔 26.39%)及 NNE 向(佔 51.2%)為主，風速大於 10m/sec 之機率為 54.1%，大於 15m/sec 之機率為 28.3%，冬季平均風速為 10.7m/sec。

(3) 北防波堤堤頭處 D 站全年風向以 NE 向(佔 24.1%)及 NNE 向(佔 39.6%)為主，風速大於 10m/sec 之機率為 42.7%，大於 15m/sec 之機率為 19.6%，全年平均風速為 9.2m/sec。

(4) 在吹風延時方面，堤頭處 D 站處風測站之吹風延時分佈，夏季風速超過 15m/sec 而延時持續超過 2 小時者甚少，僅有 3.5% 之發生機率，而吹風延時持續超過 8 小時者更少，僅有 1.5%；冬季時則有顯著差異，風速超過 15m/sec 而吹風延時超過 2 小時及 8 小時之機率分別為 24.1% 及 17.3%。全年風速超過 15m/sec 而吹風延時超過 2 小時及 8 小時之機率分別為 15.3% 及 10.6%。

2.1.4 港區颱風特性

至於颱風之影響，臺灣地區地處太平洋之西側，為太平洋地區颱風路徑之要衝，根據中央氣象局颱風年報資料(1897—1997)統計，侵台颱風共計 370 次，平均每年侵台次數為 3.66 次。颱風侵台時間最早在四月下旬，最晚在十一月下旬，約佔七個月的時間。歷年來 12 月至翌年 3 月間尚無侵台紀錄。

由中央氣象局發佈颱風警報及侵台概況可知，每年約有 7 個颱風侵擾臺灣及附近海域，且以中度颱風(風速 32.7—50.9m/sec)為多。侵襲臺灣之颱風以八月份佔 115 次最多，相當於總數之 31.1%，七、九月份各佔 24.6% 及 22.4% 次之。

臺中港位於臺灣西側海岸中部，對於本港較具威脅之颱風路徑為通過臺灣中部向西或西北進行之第二類路徑、通過臺灣南部或南方近海向西或西北進行之三類路徑、以及沿臺灣西岸或台灣海峽北上之第五類路徑。過去 101 年來所發生第二、三及五路徑總計 187 次之多，年平均發生 1.85 次，佔直接侵台颱風次數之 50.5%，侵台颱風路徑分類統計圖則如圖 2.1.14。而其中就風力而言，以第五路徑對本港影響最大，第二路徑雖可能直接通過本港鄰近地區，但颱風結構受到中央山脈破壞後，其風力將明顯衰減。根據張等(1999)整理 1981—1990 年間颱風資料，得這十年間颱風中心曾通過距台中港 100 公里、200 公里範圍內之第一、二、五路徑颱風強度及發生次數，如表 2.1.20 所示。

而依中央氣象局梧棲測候站颱風記錄所得之最大平均風速為 33.0m/sec，最大瞬間風速 49.7m/sec，風向都是 NNE，為 1986 年 9 月

艾貝颱風來襲時所發生；當時港研所所觀測得之最大平均風速為 39.0m/sec。該颱風由台東新港間登陸，從梧棲北方出海，對台中港曾造成甚大之災害。

2.1.5 討論

台中港北堤堤頭 D 站四週均為海域，無受到任何地形地物影響，最能代表本港海域風力特性，也能符合台中港區探討船舶進出港操航研究之需要；北堤堤根測站 A 緊鄰海岸邊，上風側並無受到防風林之遮擋，較能呈現迴船池附近風力特性。因北堤堤頭測站 D 觀測期間尚短，資料較缺長期代表性，而北堤堤根測站 A 記錄期間雖較長，但此測站至 1990 年 12 月已停止觀測。以下將選擇上述二測站所獲得歷年成果，以提供相關研究分析之依據。本港港口方向為朝 WNW 向，此方向風力所產生波浪對港埠營運影響最大。為探討風力及風向季節性變化，茲以對港口營運相關性將風向分為「偏北」、「偏西」、「偏南」及「其他」四個象限討論，根據張等(1999)整理比較北堤堤根 A 站及堤頭測 D 站之風力風向分佈如表 2.1.21 所示。由本表可知，本港強風主要發生季節，僅限於冬季，其中又以 NNE NW 偏北風向為主。而此風向所產生波浪，將完全為已延伸之北防波堤所阻擋。惟此風向與港口主航道約略垂直，故風力對進港操船之影響將十分顯著。而對本港靜穩度影響最顯著之偏西方向風力而言，依長期風力調查之結果，偏西方向風力超過 10m/s 以上之機率極微。相對此風力所產生之波浪較小，對本港靜穩度之影響亦十分有限。而風力超過 20m/s 船舶無法進出港之風速，仍以東北季風期強烈鋒面過境或颱風侵襲時方可能發生，根據張等(1999)整理北堤堤根測站 A 持續 2.0 小時之全年機率僅有 0.22%，北堤堤頭測站 D 持續 2.0 小時之機率為 2.09%。將來如本港船舶進出港風力限制可提升至 20m/s，則風力對港埠營運之影響將可獲得有效解決。

2.2 波浪

2.2.1 港區波浪現場觀測

台中港波浪觀測起始於 1971 年 7 月，採超音波波高計，儀器設置於當時北防波堤外低潮位下 19 公尺處，稱測站 X，位置如圖 2.2.1 所示，資料記錄設定每隔兩小時記錄 20 分鐘。該次觀測作業一直持續至 1979 年 9 月因連接岸上之電纜斷裂而停止觀測，觀測期間，斷續共測得波浪記錄約 1 萬 9 仟餘筆。

1994 年台中港完成北外防波堤 850 公尺延伸擴建後，為探討延伸防波堤對海象之影響效應，乃於同年九月委託港灣技術研究所在台中港港口海域附近設置三個海象觀測站進行海象觀測，該三個海象觀測站編號與位置分別為：測站 1：(N24°19'25"，E120°30'44")；測站 2：(N24°18'，E120°28'09")與測站 4：(N24°17'10"，E120°29')，如圖 2.2.1 所示。測站 1 位於北防沙堤堤頭西北西方約 800 公尺，水深 15 米處，其型式為浮球式波向波高波浪儀，主要用作長期波浪觀站；測站 2 設於台中港北防波堤外距堤頭約 200 公尺，水深 25 米處，測站 4 則位於南防波堤以南之海域，水深 11 米處，兩者亦皆為浮球式波浪儀。

為配合台中港務局有關台中港港口第二期港口北外防波再堤延伸 480 公尺擴建工程成效評估之需，於 2002 年 10 月委託工業技術研究院能源與資源研究所設置兩個長期波浪觀測站(TC1 及 TC2)、八個短期波浪觀測站(TC3、TC4、TC4N、TC5、TC6、TC7、TC8 及 TC9)、平面雷達遙測等以進行波浪觀測，相關位置如圖 2.2.2 所示，圖中弧形範圍代表雷達影像區域。長期波浪觀測儀器其型式為 RDI WorkHorse 600 kHz ADCP(簡稱 WH-ADCP)，WH-ADCP 可同時觀測海面波浪和水中各層海流資料，另短期波浪觀測則使用壓力式波浪儀(SINO S700)。

2.2.2 波浪分佈

根據中華顧問工程司(1977)分析整理北外防波堤 850 公尺延伸前，測站 X 於 1971.7 ~ 1979.9 期間的示性波高及週期，分別可求得夏

季、冬季及全年示性波高週期之分佈統計，如表 2.2.1 至表 2.2.3 所示，示性波高與週期聯合分佈立體圖，則如圖 2.2.3 至圖 2.2.5 所示。由統計結果可知，冬季波浪以波高 1.0 ~ 2.0 公尺出現之機率最高，約佔全冬季之 48.4%，週期主要集中於 6 ~ 8 秒之間，記錄中冬季最大示性波高為 4.95 公尺，週期為 8.9 秒，發生於 1972 年 12 月 12 日 10 時，當時最大波高為 7.4 公尺，風速 31m/s，風向 NNE。夏季波浪以波高小於 1.0 公尺之出現機率最高，約佔全夏季之 79%，週期較冬季略小，集中於 5 ~ 7 秒之間，記錄中夏季最大示性波高為 5.62 公尺，週期為 10.9 秒，發生於 1971 年 9 月 23 日 2 時，貝絲颱風於台灣北部通過，當時最大波高 8.2 公尺，風速 24.7m/s，風向 NNW。

另中華顧問工程司(1988)分析整理第一期港口擴建北外防波堤 850 公尺延伸後，測站 1、測站 2 及測站 4 等三個觀測所得波浪資料，涵蓋自 1994 年 9 月至 1995 年 12 月，加以統計分析，可求得夏季、冬季及全年示性波高週期之分佈情形，如表 2.2.4 至表 2.2.12 所示，示性波高與週期聯合分佈立體圖，則如圖 2.2.6 至圖 2.2.14 所示。表 2.2.13 則為測站 2 及測站 4 測站波高超值機率比較表。由分析結果可知，台中港海域在冬季期間，自 1994 年 10 月至 1995 年 12 月，測站 2 之波浪略大，台中港海域冬季波高大於 2.0 公尺所佔機率亦由測站 2 之約 53.5%降低為測站 4 之 3.3%。相反的，波高小於 1.5 公尺所佔之機率，由測站 2 約 27.5%提高為測站 4 之約 81.2%。測站 1 波高分佈之機率則介於測站 2 與測站 4 之間。另依據波浪週期分佈分析結果顯示，測站 1 及測站 2 二測站波浪週期相當一致，且集中分佈於 5 秒至 8 秒間，所佔機率超過 95%；測站 4 受外廓防波堤遮蔽影響，週期則集中在 4 秒至 7 秒間，所佔機率亦超過 96%。

根據以上統計分析擴建北外防波堤 850 公尺延伸後，在台中港區之海域，冬季之波高及週期皆較夏季期間為大。夏季西南季風期間因風速小，波浪一般亦甚小；在冬季東北季風期間，因鋒面過境常導致風速增強，致使波高及波浪週期皆明顯較夏季為高。尤其是當風速超過 10m/sec 時，北防沙堤測站 1 及北防波堤堤頭測站 2 之示性波高大致均在 2 ~ 3 公尺之間，且以測站 2 示性波高較大。南防波堤測站 4 示性

波高雖仍隨風速變化而改變，但大致均在 2 公尺以下。綜合而言，測站 2 站之示性波高大於測站 1 站，平均約為測站 1 站波高之 1.3 倍；測站 4 站與測站 2 站之示性波高比值平均約為 0.6，即北防波堤至錨泊區波高衰減率約為 0.6。各測站示性週期的比值相差不大，平均接近於 1。

在波向調查統計方面，根據中華顧問工程司(1988)分析整理第一期港口擴建北外防波堤 850 公尺延伸後，在港區海域雷達波向觀測調查結果，台中港區各月之統計波向如表 2.2.14 所示，由表可看出，在冬季東北季風期間內，港口外海水深 20 公尺處之波向大多介於 355° 5° 之間，即約來自北向。3 月份以後為季風轉換期，隨著風向之轉變，外海波向亦有極大變化，惟因風力減弱，波浪之波高週期均減小，波浪於雷達上呈現點狀影像，波向判讀不易。但約略仍可研判 15%波向來自北向，20% 30%波向來自南至西南向。

另根據能源與資源研究所(2003)於港口第二期港口北外防波再堤延伸 480 公尺之擴建工程完成後，在觀測站(TC1 及 TC2)之波浪資料分析結果分別說明如下。

TC1 站觀測資料自 2003 年 5 月 13 日至 2003 年 6 月 24 日間共測得 4637 筆波高、週期逐時資料，及 3616 筆波向逐時資料。圖 2.1.15 分別為 TC1 站波浪波高、週期和波向之觀測資料統計圖，表 2.2.15 為 TC1 站波高 - 週期和波高 - 波向兩種聯合發生機率統計表。觀測資料顯示示性波高大於 1 m、2 m、3 m 以上的發生機率分別為 52.8%、24.6% 以及 3.2%，最大示性波高為 4.00 m，所對應之平均週期為 7.7 秒，當時波向來自 N，發生日期為 2003 年 3 月 4 日 3 時。整個觀測期間之平均示性波高為 1.27 m，平均週期主要分布在 5~7 秒間，其中 5~6 秒佔 60.5%，6~7 秒佔 30.8%，平均值為 5.7 秒，波向主要來自 NNE 和 N，分別佔 40.0%與 32.4%，其餘各方向的波所佔比例均小於 8%。

TC2 站觀測資料自 2002 年 10 月 14 日 7 時至 2003 年 7 月 29 日 3 時止，共測得 6080 筆波高、週期逐時資料，以及 5060 筆波向逐時資料。波浪波高、週期和波向之觀測資料統計圖分別如圖 2.2.16 所示，波高 - 週期以及波高 - 波向之聯合發生機率統計表如表 2.2.16。TC2

站觀測資料顯示示性波高大於 1 m 的發生機率僅為 4.4%，且沒有示性波高大於 2 m 的波浪發生，最大示性波高為 1.70 m，所對應之平均週期為 7.0 秒，共發生兩次，一次在 2002 年 11 月 20 日 4 時，當時波向來自 NW，另一次發生在 2002 年 12 月 8 日 11 時，當時波向為 NNW。整個觀測期間之平均示性波高為 0.45m，平均週期主要分布在 4~7 秒間，其中 4~5 秒佔 38.8%，5~6 秒佔 47.4%，6~7 秒佔 11.5%，平均值為 5.2 秒，波向主要來自 NNW 和 NW，分別佔 30.8 與 29.1%，其次為 W 佔 8.7%，再其次為 N 佔 7.1%。

另比較長期及短期觀測各站示性波高觀測之超值機(如表 2.2.17)，在港外示性波高大於 2 m 以上的發生機率以 TC1 站和 TC9 站最高，分別為 24.6%和 19.7%，其次為 TC3 站為 4.7%，TC2 站沒觀測到大於 2 m 的示性波高。TC2 站示性波高大於 1 m 的發生機率僅 4.4%，而港嘴區域示性波高大於 1 m 的發生機率更小至 0.6%，至於港內各站除 TC8 站外其餘三站測得的示性波高均小於 0.5 m，TC8 站示性波高大於 0.5 m 的發生機率為 2.6%。

表 2.2.18 則為冬季短期觀測期間內各站同時測得波高資料的超值機率。在港外三站波高大於 1 m 的發生機率依大小排列，分別為 TC1 站(70.0%)、TC3 站(57.5%)、TC2 站(16.9%)，港內波高均沒有超過 1 m 的波浪出現。波高大於 2 m 之發生機率僅出現在港外 TC1 站(55.1%)和 TC3 站(7.5%)。表 2.2.18 則為冬季短期觀測期間內各站同時測得波高資料的超值機率。表 2.2.19 則為夏季短期觀測期間內各站同時測得波高資料的超值機率。在港嘴與港內各站(TC4N 站、TC5 站、TC6 站)之示性波高值均很小，觀測值都沒超過 0.5 m。在港外四站之示性波高大於 1 m 的發生機率由大至小分別為 TC9 站(40.1%)、TC1 站(38.2%)、TC3 站(17.5%)、TC2 站(4.4%)，大於 2 m 的超值機率排序仍為 TC9 站(19.9%)、TC1 站(13.4%)、TC3 站(2.6%)以及 TC2 站(0.0%)，顯示這段觀測期間在東北風較強的情況下，北防波堤北側(TC9 站)和北防波堤堤頭(TC1 站)之波高仍為最大，其次為北防波南側離堤較遠的 TC3 站，離堤較近的 TC2 站之波高最小。

2.2.3 波高極端值分析

由於台中港附近之颱風波浪觀測資料不足以進行長期統計分析。因此，台中港之設計波浪將依井島武士(IJIMA)之理論，以電腦程式模擬推算，以作為海岸結構物設計之基準。

本計算根據歷年通過 118.46° 120.96° E, 22.30° 26.30° N 範圍之颱風，篩選出 65 個(1940 ~ 1994)對本區影響較大之颱風，進行颱風波浪推算，並依推算結果所繪製各方向波高包絡線，而後再以 Gumbel 極端值分佈，進行統計分析。依颱風波浪極端波高機率分佈圖再配合波高包絡線，以估計不同波向各迴歸期深海設計波，再依 $T=C \sqrt{H}$ 求得各設計波高相對應之週期。

依此推算結果可知侵襲本區之颱風波浪以 SSW 向波浪最大，次為 NW 向(詳表 2.2.20)，惟可能影響台中港地區之波向為 NNW 至 SSW 等 7 方向。以港灣工程結構物設計之 50 年迴歸期而言，SSW 方向之颱風波浪高達 7.4m，NW 方向 7.2m，波浪週期約 10.9 ~ 12.2 秒。

2.3 潮汐

台中港自 1971 年初工程局成立後，即安裝自動驗潮儀進行潮位觀測，至今超過 30 年的潮位資料。1991 年以前(1971/3 1990/12)潮汐站係設置於南內防波堤，1991 年 1 月起由港灣技術研究所在台中港四號碼頭與貯水池淺橋間設置一自動潮汐站，稱測站 8，如圖 2.3.1 所示，所測得資料目前可直接轉入港研所電腦海氣象資料庫內。

依據台中港區海域潮汐測站 8 實測記錄分析可知，台中港海域之潮型為典型之半日潮，每日明顯地存在有兩次高潮及兩次低潮。1971 年 3 月起至 1996 年 3 月止實測潮汐之統計資料可得如表 2.3.1，各項潮汐統計基準如表 2.3.2。其中，在 1971 年 9 月 23 日所發生的最高高潮位 5.86 公尺約相當於 50 年迴歸期之高潮位。至於台中港區各分潮之調和常數表依調和分析結果可得如表 2.3.3，其中幾個較大分潮振幅如圖 2.3.2。

在決定港灣構造物高度及設計水位時，須求得高水位的發生機率。將每年出現最高潮位依大小順序排列，用 Log-Pearson Type III 法分析最高潮位發生頻率，結果如表 2.3.4。50 年迴歸期發生之最高高潮位為 5.864m，而在民國 60 年 9 月 23 日所發生的最高高潮位 5.86m 約相當於 50 年迴歸期之高潮位。

2.4 海流

海岸流況與海岸漂沙運移、海岸地形之變遷、港口內外污染質之擴散、船舶進出港口之操航等關係密切，為一項極重要之海岸工程研究課題。影響近岸海域之流場，主要外力有潮汐、波力、風力等。潮汐可視為一種淺水長波，其引致之流場稱為潮流，潮流一般較為規則化。局部風剪力所引起之流場稱為風驅流，其影響之深度有限，而颱風產生之暴潮及流況則較複雜，另外全球性風壓效應產生之大洋流如黑潮或親潮之時間尺度更長。另將波浪視為一外力，其引致之流場，稱為沿岸流，波場本身即為一複雜之現象，因此沿岸流較為複雜。海流在區域上可以碎波帶劃分為內、外兩區。碎波帶以外海流主要成份為恒流（如黑潮或親潮）潮流及風驅流；碎波帶內主要為波浪碎波作用所產生之沿岸流及裂流。各成份之海流如再考慮海岸結構物之影響，則將形成一極複雜之流場。

2.4.1 港區流場現場觀測

台中港流況較有系統之研究，始於 1981 年 7 月中國石油公司構想於台中港外港興建 LNG 進口終端站計畫，並委託請港灣技術研究所辦理港口流況調查(梁,1982)。該調查於測站 B、C、D 等站，於冬夏季共進行 7 點次連續觀測。港灣技術研究所於 1983 年於台中港口另繼續進行 10 點次之流況調查觀測。1984 年台電進行台中火力電廠計畫，委由台灣大學海洋研究所於當時港口南側觀測 4 點次之海流。1986 年起台中港務局為辦理「台中港港口擴建計畫評估研究」再委請港灣技術研究所繼續進行更綿密之觀測作業。歷年調查時間、及觀測之地點詳如統計表 2.4.1 及圖 2.4.1 所示。

1994 年台中港完成北外防波堤 850 公尺延伸擴建後，為探討延伸防波堤對海象之影響效應，乃於同年九月委託港灣技術研究所在台中港港口海域附近設置三個海象觀測站進行海象觀測，該三個波浪及海流觀測站編號與位置分別為：測站 1、測站 2 及測站 4。調查時間及

觀測之地點詳如統計表 2.4.1 及圖 2.4.1 所示。

為配合台中港務局有關台中港港口第二期港口北外防波再堤延伸 480 公尺擴建工程成效評估之需，於 2002 年 10 月委託工業技術研究院能源與資源研究所設置海流兩個長期觀測站(TC1 及 TC2)、一個短期觀測站(TC4) 以及冬夏季兩次漲退潮流場空間分布觀測等海流現場調查工作。長期海流觀測儀器其型式為 RDI WorkHorse 600 kHz ADCP(簡稱 WH-ADCP)，WH-ADCP 可同時觀測海面波浪和水中各層海流資料，另短期海流觀測則使用 Nortek NDP 都卜勒流剖儀。漲退潮流場分布觀測則使用 Sontek 船載式都卜勒流剖儀(shipboard ADP，簡稱 sb-ADP)，進行冬季和夏季台中港港口附近海域之海流觀測，調查時間、觀測之地點及測線規劃詳如統計表 2.4.1 及圖 2.4.2 所示。

2.4.2 第一期擴建前流場特性

根據(梁,1982)之觀測流場資料分析，顯示在風速 20m/s 強大東北季風鋒面作用下，曾測得港口外測站 C 之流速高達 200cm/s(約 4 節)以上，當時流向幾與航道垂直，對船隻進港安全影響甚鉅。

根據中華顧問工程司(1988)對台中港區第一期擴建北外防波堤延伸 850 公尺前之海流分析結果如下：

1. 冬季流況

本地區冬季東北季風起自每年 10 月至翌年 3 月，風向以 NE、NNE、N 向為主，佔冬季 85%以上。當冷峰面過境時風力增強，波浪亦隨之而來。沿岸因風力、波浪、潮汐等因素作用，流速顯著增強。各測點因受地形地物之影響，流況特性有顯著不同，主要測點 B、D、C、BU 及 BD 等於第依次擴建前之歷次觀測結果簡述如下：

(1) B 站：

本站在東北季風盛行時，流速明顯隨風速變化而起伏。流向幾乎一致流向 SW(220° 240°)，於 1981 年 11 月 7 日 20 時測得最大

流速為 146.35cm/sec。當東北季風減弱時，流況受恒流及潮流所主導，漲潮至高潮位時流向為 NE(40° 60°)，其餘時間主要為 WNW 向(270° 290°)。流速約介於 10 60 cm/sec 之間。在高潮位時流速最小，當漲潮接近平均水位附近之時刻流速最大。

(2) D 站：

本站在鋒面通過、風力增強時流速作半日潮週性變化，於最低潮位過 1 2 小時流速最強，流向為 WSW(240° 260°)。1981 年 11 月 27 日 14 時最大流速為 126.77cm/sec。但在高潮位時，流速急速減小，約在 20cm/sec 以內，流向不定。此現象顯示低潮位時碎波帶接近 D 點，波浪產生之裂流增強。但在高潮位時碎波帶向岸移動遠離 D 點，波浪產生之裂流無法到達，故流速遽減。同時鋒面過境及高潮位時，B 點流速雖高達 100cm/sec 以上，但 D 點流速仍極緩，此點說明外海風驅流因受防波堤之阻隔及淺水區底床摩擦影響，於 D 點之成份應極小。

(3) C 站：

本站在東北季風增強時，流速仍同 D 點作週期性變化。最高潮位時流速最小，低潮位稍後流速最大。而 C 點流速最小時，其流速、流向與 B 點相近。而 C 點流速最大時，其流速約等於 B 點及 D 點流速之和。主要流向為 WSW(240° 260°)，較 B 點略為偏西。1981 年 11 月 27 日 8 時測得最大流速為 211.95cm/sec(約 4 節)。當東北季風減弱，漲潮達高潮位時流向為 350° 30° ，略較 B 點偏北。流速約介於 10 60 cm/sec。

(4) BU 及 BD 站：

為瞭解台中港北外防波堤延伸 850 公尺前，港口冬季強勁海流之水深方向流速分佈，特於原 B 點北側 14m 水深處(BU 測站)及 18m 水深處(BD 測站)各置一海流儀進行長期觀測。BU 及 BD 測站觀測資料顯示大部份時間兩站之流速及相位幾乎同步，BD 測站流速略較 BU 測站為小。但二測站基本特性與前述 B 測站相近。於

1986 年初觀測期間，BU 測站測得最大流速為 101.8cm/s，流向仍為西南向。此時刻 BD 測站流速為 83.5cm/s。但於 1986 年 2 月 6 日 2 月 16 日，此二測站曾測得一特殊現象，即底部 BD 測站流速反較上部 BU 測站為高 2 月 7 日 7 時 BD 測站流速達 116.7cm/s，同一時刻 BU 測站流速僅 65.6cm/s。BD 測站流速隨潮汐起伏而有明顯之變化，較大之流速約發生於低潮位前後；而 BU 測站則無此現象。此點可能為 B 點流速亦受波浪所產生之裂流影響，此束裂流偶沿海床通過港口，致發生底部流速較上部為快之現象。

2. 夏季流況

台中港海域夏季風力微弱，流況主要應由恒流(黑潮)及潮流所控制。根據實測記錄可明顯看出，B 點流向大部分為 NE 或 ENE 方向 (40° 60°)。C 點流向大部份時刻為 N 或 NNE 方向。每天最大流速均介於 40 60cm/sec 之間，在高潮位時流速最小，最低潮位開始漲潮 1 2 小時間流速最大。

而依台電公司於台中港以南海域觀測結果，夏季時 ATP 及 BTP 二測站每日最大流速約介於 20 100cm/s 之間，8 月及 9 月初流速較強，9 月中以後隨黑潮強度減弱，流速明顯減緩。其他各測站流況大致相似，僅部分測點流向受地形或地物影響，略有變化。

3. 恒流特性

夏季恒流主要受自南中國海流經台灣海峽之一股黑潮支流所影響。如將夏季風力及流速觀測資料繪製 P.V.D 圖(Progressive Vector Diagram)，可得流速與風力並無明顯之關係，恒流流約在 10cm/sec 45cm/sec 之間，流向約平行於海岸向東北流動。

冬季恒流主要為東北季風所引起向南之風趨流，各測點流速變化受風力之影響極大，如將觀測風速及流速資料繪製 P.V.D 圖，經比較可得，冬季恒流明顯沿海岸向南流動，流速極強，通常隨風力強弱而有變化。東北季風增強時，風力行徑 41.7 公里，而海流行徑

約 1.64 公里，依此可計算得日平均風驅流速平均約為風速之 4.0%。風驅流流向與風向之夾角約 10 度左右。

風驅流之因係當風吹掠海面，由於摩擦作用而使水面感受到一股順著風向的剪應力，海面上的水分子在風應力的推動下，會沿著受力方向運動，並經由摩擦及亂流混合可將動量往下傳遞，而使深處的水分子也跟著運動，這就是風驅流的主要機制。

通常在大洋中風驅流之流向因受科氏力之影響與風向約成 45° 夾角，平均流速約為風速之 3%；在小範圍的海域或淺水海域，如台灣海峽，風驅流的流向受地形影響較大，其流速則根據 Bretschneider 的公式可表示如下：

$$\frac{V}{U_{10}} = f_s / k \cdot \tanh\left(\frac{TU}{d} f_s / k\right)$$

其中 V = 平均流速(呎/秒), U_{10} = 10 公尺高平均風速, f_s = 水表面摩擦係數, $k = 14.6d^{-1/3}n^2$, n = 滿寧係數 (Manning's number), T = 吹風延時, d = 水深(呎)。如取定常狀態: $f_s = 3.0 \times 10^{-6}$, $n = 0.25(\text{呎})^{1/3}$, 則

$$\frac{V}{U} = 0.018d^{1/6}$$

如假設 $d=20$ 公尺 66 呎, 則 $V=0.036U$, 表層及底層流速分佈大約為表層流 $= 3/2 V = 0.054U$, 底部流 $= 2/3 V = 0.024U$ 。通常, 風趨流及潮流之流速強弱, 在近岸區亦會依水深變小而遞減。

4.潮流特性

潮流係因天體引力引起海面升降產生之海水流動, 台中港區附近海域因潮差大而潮流流速亦較強。中華顧問工程司曾於基隆外海測得最大潮流流速約 103cm/sec(約 2 節), 流向 301° 330° 。桃園外

海測得最大潮流流速為 114.83cm/sec, 流向平行海岸。台灣大學海洋研究所於新竹外海測得最大潮流流速約 60.9cm/sec。而台中外海潮流之流速依台電在 ATP 點於夏季所測, 若扣除向北恒流流速, 則潮流每日最大流速約介於 20 ~ 50cm/sec 之間。

5. 近岸流特性

近岸流之成因主要由波浪所引起。由於波浪之質量輸送以及海灘附近發生之碎波機制, 致使水面起伏之波浪變為水體之移動性運動, 若波浪與岸線呈一斜角入射, 則大量海水受波浪碎波產生之輻射剪應力推送而產生沿海岸方向之水體流動。在碎波帶內與海岸平行方向流動之水流稱為沿岸流(Longshore current)。沿岸流動之海水由於海岸地形之不規則, 或海水面高低起伏之不一致, 於海岸突出部分或海溝處常產生向外海方向流動之水流稱為離岸流(Rip current)。

由於沿岸流及離岸流均受波浪影響同時發生, 再加上地形及人工構造物之影響, 使得近岸水域之流況極為複雜。有關沿岸流之強度與波浪及海灘特性之研究不勝枚舉。其中美國工程兵團海岸保護手冊 1984 年版建議採用沿岸流流速公式如下:

$$V = 20.7m(gH_b)^{1/2} \cdot \sin 2\alpha_b$$

式中 V = 碎波帶最大沿岸流速, m = 海底坡度, g = 重力加速度, H_b = 碎波波高, α_b = 碎波時波峰線與海岸線夾角。

如以東北季風可能發生波高 $H_b = 2.5m$, 週期 $T_z = 7\text{sec}$, 入射角 $\alpha_b = 30^\circ$, 海底坡度 $m=1/200$ 之條件計算, 則沿岸流流速約 44cm/sec。至於離岸流之流速分佈, 目前尚無公式或理論可準確估計。

台中港於碎波帶以內之近岸水域流況, 僅港灣技術研究所於 1985 年 12 月 27 日 ~ 1987 年 1 月 18 日曾於北攔砂堤以北 E 點水深 4m 處進行沿岸流觀測。依據當時實測資料顯示, 於鋒面過境及退潮

時流速可達 80 ~ 180cm/sec 之間。另 D 點位於北波堤北側，測站水深 -9m，距碎波帶甚近，於退潮時流速亦達 120cm/sec 以上。而依實測資料或理論計算，台中港近岸之沿岸流流速應不致大於 50cm/sec(約 1 節)。至於 D 點及 E 點多次觀測結果流速高達 120cm/sec 以上，研判可能係波浪造成之沿岸流向南流動至北防波外堤或北攔沙堤受到阻擋，於退潮時碎波帶距堤頭甚近，沿岸流所輸送之質量碰到北外防波堤或攔沙堤後順堤向外海流動，形成一股極強勁之強制裂流。但漲潮時碎波帶內移，碎波帶距港口尚有一甚大空間，沿岸流遇防波堤向外海流動時，於堤根處形成渦流(Vortex)，能量逐漸消散，故漲潮時 D 點及 E 點所測流速迅速減弱。

6. 討論

綜合觀察以上海流調查分析結果可知，台中港北外防波堤在延伸 850 公尺前，港口強勁橫流主要係為外海風驅流再加上波浪產生強制裂流所引起，於最低潮之前後時段，港口流速可高達 4 ~ 5 節。對船隻進港構成極大之威脅，故於東北季風期鋒面過境時船隻應避開此段時刻，選擇高潮位時再行進出港口。但僅管台中港港口強勁橫流曾影響船隻進港之安全，但相反地沿海岸南移之漂沙，可藉此股強勁海流迅速通過港口，減少港口之淤積。另一值得注意的現象是台中港外廓防波堤完成後至民國 75 年間，此股橫流於港口入口處曾浚深一廣達 350m × 800m，最深達 32 米之坑洞。依坑洞之位置及其等深線之分佈，研判應係強勁海流繞行北外廓防波堤時產生逆時針方向環流所致。致於各成份海流之強度則歸納如下：

潮流之流速約 0.5m/sec，流向漲潮時為東北向，退潮時西南向。恒流於本海域恒流主要為黑潮之支流，全年向北流動，流速約 10 ~ 45m/sec。風驅流在台灣海峽冬季流場主要受東北季風所產生風驅流所主導，依一般經驗風速與平均流速之關係約為 $V_c = 0.03 \times U_w$ ，若風速達 20m/sec，則風驅流之流速約為 60cm/sec。近岸流受波浪作用產生，通常發生於碎波帶以內，依據理論公式計算，近岸流流速大部時間均在 50cm/sec 左右。

2.4.3 第一期擴建後流場特性

為瞭解第一期擴建台中港北外防波堤延伸 850 公尺後，外廓防波堤之阻流及遮蔽效果，設置之海流調查測點共三站，測點編號及位置為測站 1(北防砂堤堤外)、測站 2(北防波堤堤頭)及測站 4(南防波堤以南)，如圖 2.4.1 所示。根據曾等(1996)實測資料分析，當風向為 60° 即 ENE 向時，若風速超過 10m/sec，則各測點流速普遍較大，約在 40cm/sec 至 80cm/sec 間，以測站 1 北防砂堤測站而言，流向約為 240° (西南向)，最大流速約達 70cm/sec；測站 2 北防波堤堤頭測站流向則約為 270° (西向)，最大流速約為 80cm/sec，但當風速變小時，各測點流速亦變小，一般約在 60cm/sec 以下，流向則隨潮汐漲落而改變。

台中港北外防波堤延伸 850 公尺工程於民國 83 年底完成，北外防波堤延伸 850 公尺後，選取 1994 年 12 月及 1995 年 7 月之流速逐時記錄分別代表台中港冬夏季之水流特性。根據蘇等(1996)就觀測期間各站之典型資料整理分析如下：

1. 冬季流況

冬季期間，由測站 1 之逐時記錄分析可知，本站平均流速為 21.2cm/sec，最大流速可達 65.9cm/sec，主要流向為西南，流速低於平均流速時，流向呈週期變化，此時期流速受潮汐漲落影響較大，流速高於平均流速時，流向幾乎恒向西南流動，顯見此時期之流速係由強盛季風所支配。由測站 2 之逐時記錄分析得平均流速為 30.9cm/sec，最大流速高達 81cm/sec，向西之流向佔當月 44%，並有 32%之流向集中於北北西至北向間，流速低於平均流速時，一般主要流向為北北西至北向間，顯見其受向北恒流與潮流之共同影響甚大，當流速高於平均流速時，則主要流向為西向，此與強盛季風造成之風趨流受沿伸之北外防波堤($N65^\circ40'23.8''W$ ，約為 WNW 向)導引與恒流之共同影響應甚明顯。再由測站 4 之逐時記錄分析可知平均流速為 20.6cm/sec，最大流速 66.5cm/sec，平均流速與最大流速皆與測站 1 相當，唯其主方向集中於 NNE，佔當月 26%，向北之流向亦有 11%，由於本站位於北外防波堤南側，當強盛季風於測站 2 造

成偏西之水流時，必於北外防波堤南側形成反時鐘方向旋轉之環流，而測站 4 恰位於環流影響範圍內，故雖其季風風速之直接影響不如測站 1 與測站 2，但其流速大小卻與測站 1 相當，當季風風速不強且測站 2 流速低於平均值時，則測站之流速流向影響因素與特性應與測站-1 相類似。

2. 夏季流況

夏季期間，由測站 1 之逐時記錄分析可知平均流速為 12.5cm/sec，最大流速 49.1cm/sec，絕大部分流速均小於 20cm/sec，與冬季同測站之流速比較可得，夏季流速明顯比冬季小，且本站夏季流向普遍於 NNE 至 SW 間作順時鐘方向變動，可見潮流因素影響甚大。另由測站 2 之逐時記錄分析求得平均流速為 35.4cm/sec，最大流速可達 79.8cm/sec，大部分時間流速均小於 60cm/sec，流向除部分偏 NNW 流動外，主要流向集中於北向，由測站 2 與北外防波堤之相關位置研判，本站夏季之流速與流向除受北外防波堤影響外，最主要的影響因素應為向北之恒流與潮汐。再由測站 4 之逐時記錄分析得平均流速為 12.9cm/sec，最大流速為 43.9cm/sec，絕大部份流速均小於 25cm/sec，水流之強度與測站 1 之結果頗為相似，但主要方向 40%集中於 NW 方向，部分並於北向及北北東向間變動，可見潮流與向北恒流之影響仍大，而西碼頭外海堤線與南、北外防波堤之港灣設施邊界亦有其影響。

3. 恒流、風驅流、潮流特性

根據蘇等(1996)就觀測期間各站之典型資料整理分析，北防沙堤測站 1 海流成分主要為風驅流，流向為西南方向，最大流速約可達 70cm/sec。北外防波堤堤頭測站 2 海流成份主要為恆流及風趨流受北外防波堤導引產生之強制裂流，流向明顯分佈於西西北向至北向間，若鋒面靠近風速增加時，流向則轉為西向；測量期間所得最大流速可達 120cm/sec，當鋒面離去時，風速減弱，則流向偏北。南防波堤測站 4 海流成份主要為潮流及恆流，流向大致在北向與東向之間；所測最大流速可達 66cm/sec。將現有實測資料與以往堤頭海流

觀測資料比較，最大流速有偏小之趨勢，此可能與北防波堤延伸 850 公尺及堤頭水深變深，使得強制裂流的強度變弱所致。

另根據張等(1999)以梧棲風速測站之風速為基準，針對測站 1 及測站 2 實測流速進行流速與風速之迴歸分析結果，在強風(大於 10m/s)條件下，測站 1 及測站 2 測站之流速(V ; cm/s)與風速(W ; m/s)之關係及相關係數(R^2)可分別以下迴歸方程式表示為

$$\text{測站 1 : } V_1 = 0.55W_1^2 ; \quad R^2 = 0.96$$

$$\text{測站 2 : } V_2 = 0.70W_2^2 ; \quad R^2 = 0.94$$

2.4.4 第二期擴建後流場特性

另根據能源與資源研究所(2003)於港口第二期港口北外防波再堤延伸 480 公尺之擴建工程完成後，在觀測站(TC1 及 TC2)之海流資料分析結果分別說明如下。

1. 冬季及夏季流況

(1) TC1 站

本站觀測資料自 2002 年 10 月 14 日 9 時至 2003 年 5 月 8 日 9 時間共測得 3614 筆逐時海流資料。TC1 站位於北防波堤堤頭，水深約為 26 m，觀測資料包含水深 4 m 至 20 m 間每 2 m 一層之海流資料，觀測所得之各層間的流速、流向差異不大，僅在接近海面之上層流速較接近海床之下層流速稍大約為 5 cm/s。觀測期間內所測得之最大流速為 142 cm/s(約 3 節左右)，當時流向為 286°(WNW)，發生在 2003 年 2 月 2 日 10 時水深 14 m 處(約略位為該站水深中層)。由於 TC1 站各層流速的差異不大，因此以 -4 m 至 -20 m 之垂直平均流速說明該站海流之時序變化與統計結果。圖 2.4.3 為 TC1 站垂直平均海流之統計圖，包含流速、流向的直方圖、散佈圖與玫瑰圖。由圖中顯示 TC1 站很少有低於 5 cm/s 的流速發生，流向主要分布在 W 和 NNW 之間且主要為 W 和 NNW。由海流玫瑰圖顯示流速較大者(> 80 cm/s)之流向主要為 W。全程觀測資料的流速純

量平均為 42 cm/s，流速大於 50 cm/s(約 1 節)者佔 35.1%，大於 100 cm/s 者佔 1.5%。

若將 TC1 站觀測資料在民國 91 年 10 月至 92 年 3 月間視為冬季之海流觀測資料，民國 92 年 4 月和 5 月觀測資料視為夏季海流資料，其觀測資料之統計結果分別在冬季垂直平均流速之純量平均值為 43 cm/s，主要流向為 W 和 NNW，流速大於 50 cm/s 以及 100 cm/s 的發生機率分別為 37.8%和 1.9%；在夏季垂直平均流速之純量平均值為 36 cm/s，主要流向為 NNW 和 NW，流速大於 50 cm/s 以及 100 cm/s 的發生機率分別為 26.9%和 0.0%。顯示冬季流速較夏季大，冬季流向主要為 W 和 NNW 兩種，夏季則集中在 NW 和 NNW 之間。

表 2.4.2 為 TC1 站垂直平均流速在各月份之統計值及超值機率一覽表，大體而言，TC1 站各月份流速平均與最大流速大都出現在隆冬時期，也就是 11 月至 2 月間。各月份中流速平均值最大者(54 cm/s)為民國 91 年 11 月，該月份流速大於 50 cm/s 的發生機率也是最高達 57.0%；民國 91 年 10 月和 92 年 4、5 月之流速月平均值較小約 36 cm/s 左右，尤其民國 92 年 4、5 月的觀測資料均沒有超過 100 cm/s 以上的流速發生。

(2) TC2 站

TC2 站位於台中港南防波堤西南外海之錨泊區，測站當地水深為-10 m，海流觀測水深為-4 m 與-6 m 兩層，觀測期間自民國 91 年 10 月 14 日 7 時至民國 92 年 7 月 29 日 3 時止，大體上-4 m 與-6 m 的流速向量時序變化相同，主要流向以北向流為主，較大的南向流僅出現在民國 91 年 12 月 8 日和 25 日，其中民國 91 年 12 月 25 日也是北防波堤觀測到最大平均風速和最大瞬間風速的時刻。

TC2 站各層海流之觀測流速平均值與最大流速值分析顯示，本站水深-4 m 和-6 m 之兩層的流速沒有明顯的差異。觀測期間內

最大流速為 64 cm/s，當時流向為 356°(N)，發生在民國 91 年 12 月 25 日 16 時水深-4 m 處。

圖 2.4.4 為 TC2 站垂直平均海流之統計圖，圖中顯示 u 和 v 大部分為正值，且除了在民國 92 年 1、2 月間 u 之變化量與 v 差不多外，其餘時間 u 的變化量均小於 v ，顯示海流主要以北向流為主。由流向的直方圖和海流玫瑰圖均可明顯看出，TC2 站之海流流向主要為 NNE(佔 33.1%)和 N(佔 22.4%)。流速分布以 5~15 cm/s(佔 44.0%)和 15~25 cm/s(佔 30.4%)最多。觀測期間內 TC2 站垂直平均海流之流速純量平均為 14 cm/s。流速大於 50 cm/s 者僅佔 0.3%，且沒有大於 100 cm/s 的流速發生。冬季(民國 91 年 10 月至 92 年 3 月間)觀測所得之純量平均值為 15 cm/s，主要流向為 NNE、N 和 NE，流速大於 50 cm/s 的發生機率為 0.6%。在夏季(民國 92 年 4 月至 92 年 7 月間)垂直平均海流之流速平均為 14 cm/s，流向主要集中在 NNE，且沒有大於 50 cm/s 的流速發生。

各月份 TC2 站垂直平均海流的流速統計值與超值機率詳列於表 2.4.3 中，各月份的流速平均值差不多約在 12~16 cm/s 之間，但各月份最大流速較大者主要出現在冬季(民國 91 年 10 月至 92 年 2 月間)，夏季(民國 92 年 4 月至 7 月間)觀測之流速均小於 50 cm/s。

2. 漲退潮之流場分佈

冬、夏兩季的台中港港口附近海域漲退潮流場分布調查，分別於民國 91 年 12 月 3~5 日和民國 92 年 6 月 19~23 日進行，調查區域包含台中港港口外海、主航道及北迴船池。調查方法以船碇式都卜勒流剖儀於規劃的測線上重複量測數趟，然後以最小平方法(least square method)將各測線上瞬時觀測的流速計算出平均流與半日潮流之成分大小，然後再將兩者合成為同一時間之流場分佈。

(1) 冬季漲退潮之流場分佈

將計算所得之平均流和半日潮流合成為各測點同一時間之流場分布，並且挑選 12 月 4 日 5、8、11 和 14 時分別代表低潮位、

漲潮、高潮位、退潮等四個潮時，以說明冬季台中港港口附近漲退潮之流場空間分布。圖 2.4.5(a)~(d)分別為於低潮位、漲潮、高潮位、退潮等 4 個潮時的流場空間分布。

在圖 2.4.5(a)低潮位時之流場分布顯示，於台中港外錨泊區海流為微弱北向流，流速約 10 cm/s。往北接近北防波堤南側轉向外海(向西)，於接近堤頭流速逐漸變大(流速約 20 cm/s)；北防波堤北側為南向流，於接近北防波堤處轉向外海；在北防波堤堤頭外海，合併了堤南北兩側的西向流與原本外海之北向流，造成流速增大為 50 cm/s 以上，然後轉向北北西。

圖 2.4.5(b)為漲潮時之流場分布，港外錨泊區的海流與低潮位時並沒有明顯的差異，但在北防波堤南側，海流不再轉向外海而改為流入台中港內，且在主航道上出現 50 cm/s 以上的流速，北防波堤北側的南向流較低潮位時大，轉向外海的流在北防波堤堤頭處之流向則較低潮位時偏南向一些，但堤頭外海仍是北北西向的海流，流速較低潮位時稍微減弱。

圖 2.4.5(c)為高潮位時之流場分布，主要強流區出現在北防波堤北側，其餘區域之流速均不大。北防波堤堤頭外海原本北北向的海流，在缺乏南邊來的北向流之情況下，流向轉為偏西。

圖 2.4.5(d)為退潮時之流場分布，台中港池內的海水流向外海，出港嘴後仍沿著北防波堤南側向西流，與防波堤北側之西向流合併流向外海，於台中港外錨泊區則為微弱的南向流。此潮時的強流區主要出現在主航道與北防波堤堤頭外海，流速均約為 50 cm/s 左右。

(2)夏季漲退潮之流場分佈

於民國 92 年 6 月 19~23 日間進行台中港港口附近海域之夏季漲退潮流場分布現場調查，觀測期間為西南季風時期，平均風速約為 6.5 m/s，風向主要來自 SSW 和 SW。圖 2.4.6(a)~(d)分別為夏季於低潮位(6 月 20 日 22 時)、漲潮(6 月 21 日 1 時)、高潮位(6 月 21

日 5 時)、退潮(6 月 21 日 8 時)等 4 個潮時的流場空間分布。由於夏季台中港港口外海之平均流流速大於潮流流速振幅，因此圖 2.4.6(a) ~ (d) 中 4 個不同潮時在港外的漲退潮流場型態與平均流流場分布十分相似，僅流速大小有些微變化。但在港嘴、主航道以及北迴船池平均流微弱的地區，潮流成為控制流速變化的主要因素，在潮位為高潮位或低潮位之平潮時，港內區域(港嘴、主航道以及北迴船池)之海水流速很小，而於漲潮時海流流向港內，退潮時海水自港內流回港外。

表 2.1.1 台中港風力測站資料觀測期間統計表

測站名稱	測站位置	測點高程	觀測期間
北堤堤根測站 A	北防波堤堤根	24m	1971/1~1980/12
梧棲測站 B	海港大樓樓頂	40m	1977 年迄今
防風林測站 C	防風林內消防隊觀測塔塔頂	27m	1981 年迄今
北堤堤頭測站 D	北防波堤堤頂	24m	1996/9~1998/12 2002/10~2003/7

表 2.1.2 台中港鄰近地區風速測站超值機率比較表

單位：%

測站別		梧棲 (B 站)	防風林 (C 站)	北堤堤根 (A 站)	北堤堤頭 (D 站)	CBK
夏季	U 5 m/s	29.4	35.0	52.5	42.8	46.2
	U 10 m/s	3.9	7.7	13.9	17.9	10.9
	U 15 m/s	0.4	1.2	3.7	6.0	0.7
	U 20 m/s	0.1	0.4	0.9	0.8	0.1
冬季	U 5 m/s	64.0	67.5	77.5	77.2	74.4
	U 10 m/s	20.3	33.2	49.4	52.3	46.5
	U 15 m/s	1.5	6.7	23.0	24.9	12.5
	U 20 m/s	0.1	0.4	5.3	6.2	1.7
全年	U 5 m/s	46.5	52.6	65.2	64.4	59.5
	U 10 m/s	12.0	21.8	32.0	38.9	28.0
	U 15 m/s	0.9	4.6	13.5	17.4	6.3
	U 20 m/s	0.1	0.8	3.13	4.1	0.8

表2.1.3 台中港北堤堤根測站A全年風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向																	小 計
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N		
< 1.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	1.26	
1.0 ~ 1.9	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.5	5.55	
2.0 ~ 2.9	0.9	0.9	0.4	0.4	0.3	0.5	0.7	1	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.5	0.7	8.31	
3.0 ~ 3.9	1.2	1.1	0.4	0.2	0.1	0.3	0.7	1.2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.7	0.8	9.13	
4.0 ~ 4.9	1.5	1.4	0.2	0.1	0	0.1	0.5	1.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.7	1	9.24	
5.0 ~ 5.9	1.7	1.5	0.1	0	0	0.1	0.5	1.3	0.6	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3	0.5	1.1	9.03	
6.0 ~ 6.9	2	1.2	0.1	0	0	0	0.3	1.1	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.3	1	7.65	
7.0 ~ 7.9	2.1	1	0	0	0	0	0.2	1	0.4	0.4	0.2	0.2	0	0	0.1	0.9	6.54	
8.0 ~ 8.9	2.2	0.9	0	0	0	0	0.2	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0	0	0.1	0.7	5.6	
9.0 ~ 9.9	2	0.8	0	0	0	0	0.1	0.3	0.2	0.3	0.1	0	0	0	0	0.6	4.42	
10.0 ~ 10.9	2.4	0.8	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0.6	4.53	
11.0 ~ 11.9	2.3	0.7	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.5	3.92	
12.0 ~ 12.9	2.2	0.6	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.5	3.6	
13.0 ~ 13.9	2.3	0.6	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.4	3.42	
14.0 ~ 14.9	2.1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	2.98	
15.0 ~ 15.9	2.2	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	3.12	
16.0 ~ 16.9	1.9	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	2.64	
17.0 ~ 17.9	1.4	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.9	
18.0 ~ 18.9	1.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.67	
19.0 ~ 19.9	0.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.07	
20.0 ~ 20.9	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.04	
21.0 ~ 21.9	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.77	
22.0 ~ 22.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.41	
23.0 ~ 23.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	
24.0 ~ 24.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	
25.0 ~ 25.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	
26.0 ~ 26.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	
27.0 ~ 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	
28.0 ~ 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
>= 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
小計	35.9	14	1.7	1.2	0.8	1.8	3.9	8.9	4.5	3.5	2.3	2.2	1.4	2.1	3.4	11		

靜風機率：1.3

最大風速：41.3

平均風速：8

表 2.1.4 台中港北堤堤根測站 A 夏季風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向																小計
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	
< 1.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	1.67
1.0 ~ 1.9	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.9	0.7	0.9	0.5	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4	0.5	0.6	7.77
2.0 ~ 2.9	0.9	0.8	0.5	0.5	0.4	0.9	1.1	1.6	0.8	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.8	11.35
3.0 ~ 3.9	1.1	1	0.4	0.3	0.1	0.4	1.3	2.3	1.1	0.7	0.5	0.6	0.5	0.7	0.9	1	12.77
4.0 ~ 4.9	1.3	1	0.2	0.1	0.1	0.2	1	2.3	1	0.6	0.5	0.7	0.5	0.7	1	1.1	12.18
5.0 ~ 5.9	1.3	1	0.1	0	0	0.1	0.9	2.5	1.1	0.6	0.7	0.7	0.3	0.5	0.7	1.2	11.64
6.0 ~ 6.9	1.5	0.7	0	0	0	0.1	0.5	2.1	0.9	0.7	0.7	0.5	0.2	0.2	0.4	1.1	9.53
7.0 ~ 7.9	1.5	0.6	0	0	0	0	0.4	1.9	0.7	0.7	0.4	0.3	0	0	0.2	0.9	7.62
8.0 ~ 8.9	1.4	0.4	0	0	0	0	0.3	1.2	0.5	0.6	0.4	0.1	0	0	0.1	0.6	5.84
9.0 ~ 9.9	1.2	0.4	0	0	0	0	0.2	0.6	0.4	0.5	0.1	0	0	0	0.1	0.5	3.99
10.0 ~ 10.9	1.3	0.3	0	0	0	0	0.1	0.4	0.4	0.5	0.1	0	0	0	0	0.4	3.46
11.0 ~ 11.9	1.1	0.2	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.3	0	0	0	0	0	0.3	2.41
12.0 ~ 12.9	0.9	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.2	1.76
13.0 ~ 13.9	0.9	0.2	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.2	1.52
14.0 ~ 14.9	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	1.09
15.0 ~ 15.9	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.98
16.0 ~ 16.9	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7
17.0 ~ 17.9	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.43
18.0 ~ 18.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42
19.0 ~ 19.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23
20.0 ~ 20.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26
21.0 ~ 21.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
22.0 ~ 22.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11
23.0 ~ 23.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07
24.0 ~ 24.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
25.0 ~ 25.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
26.0 ~ 26.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
27.0 ~ 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
28.0 ~ 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	17.9	7.9	1.6	1.5	1.1	2.8	6.7	16.5	8.1	6.3	4.1	3.8	2.3	3.3	4.7	9.6	

靜風機率: 1.8

最大風速: 41.3

平均風速: 5.8

表2.1.5 台中港北堤堤根測站A冬季風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向																小 計
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	
< 1.0	0.2	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.87
1.0 ~ 1.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.2	0.4	3.42
2.0 ~ 2.9	1	0.9	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	5.38
3.0 ~ 3.9	1.2	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.7	5.64
4.0 ~ 4.9	1.8	1.7	0.3	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.9	6.4
5.0 ~ 5.9	2.1	2	0.2	0	0	0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	1	6.53
6.0 ~ 6.9	2.5	1.6	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.9	5.85
7.0 ~ 7.9	2.7	1.3	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0.9	5.5
8.0 ~ 8.9	2.9	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.8	5.38
9.0 ~ 9.9	2.8	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	4.83
10.0 ~ 10.9	3.4	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	5.56
11.0 ~ 11.9	3.4	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	5.37
12.0 ~ 12.9	3.5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	5.37
13.0 ~ 13.9	3.6	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	5.24
14.0 ~ 14.9	3.5	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	4.8
15.0 ~ 15.9	3.8	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	5.18
16.0 ~ 16.9	3.3	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	4.51
17.0 ~ 17.9	2.5	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	3.31
18.0 ~ 18.9	2.2	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	2.88
19.0 ~ 19.9	1.5	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.88
20.0 ~ 20.9	1.4	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.8
21.0 ~ 21.9	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.31
22.0 ~ 22.9	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71
23.0 ~ 23.9	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.52
24.0 ~ 24.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26
25.0 ~ 25.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24
26.0 ~ 26.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14
27.0 ~ 27.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07
28.0 ~ 28.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>= 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	53.3	21	1.7	0.8	0.6	0.9	1.2	1.6	1.1	0.8	0.6	0.6	0.5	1	2.2	12	

靜風機率 0.8

最大風速 36.7

平均風速 10

表2.1.6 北堤堤根測站A不同風速及延時統計表

風速	延時	夏季(%)	冬季(%)	全年(%)
超過5m/s	>2.0hr	14.24	48.65	31.44
	>4.0hr	12.54	47.39	29.97
	>6.0hr	11.41	46.25	28.83
	>8.0hr	10.05	44.78	27.42
	>10.0hr	8.47	42.63	25.55
超過10m/s	>2.0hr	3.49	23.11	13.30
	>4.0hr	3.17	21.92	12.55
	>6.0hr	2.77	20.68	11.73
	>8.0hr	2.33	18.98	10.65
	>10.0hr	1.98	17.40	9.69
超過15m/s	>2.0hr	0.88	5.17	3.02
	>4.0hr	0.79	4.55	2.67
	>6.0hr	0.69	3.92	2.31
	>8.0hr	0.59	3.45	2.02
	>10.0hr	0.57	2.90	1.73
超過20m/s	>2.0hr	0.08	0.37	0.22
	>4.0hr	0.04	0.29	0.17
	>6.0hr	0.04	0.23	0.14
	>8.0hr	0.03	0.19	0.11
	>10.0hr	0.00	0.19	0.09

表2.1.7 台中港防風林測站C全年風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向 (SEC)																小 計	超值 機率
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N		
< 1.0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	2.73	96.36
1.0 ~ 1.9	0.4	0.8	0.8	0.7	0.5	0.7	1	0.7	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	7.93	88.42
2.0 ~ 2.9	0.8	1.6	1.4	0.8	0.6	0.7	1.4	1.6	0.9	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	13.23	75.19
3.0 ~ 3.9	1	2.2	1.1	0.4	0.2	0.2	0.8	1.9	1.2	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.7	12.44	62.75
4.0 ~ 4.9	1.2	2.7	0.8	0.1	0	0.1	0.3	1	1	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4	0.7	10.11	52.64
5.0 ~ 5.9	1.3	2.8	0.6	0.1	0	0	0.1	0.4	0.6	0.5	0.4	0.4	0.1	0.1	0.2	0.6	8.09	44.56
6.0 ~ 6.9	1.3	2.8	0.5	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.2	0	0	0.1	0.4	6.6	37.96
7.0 ~ 7.9	1.3	2.8	0.5	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0.1	0	0	0.1	0.3	5.87	32.08
8.0 ~ 8.9	1.2	2.7	0.5	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0.2	5.38	26.7
9.0 ~ 9.9	1.1	2.6	0.5	0	0	0	0	0	0	0.3	0.1	0	0	0	0	0.1	4.94	21.76
10.0 ~ 10.9	1.1	2.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0.1	4.55	17.2
11.0 ~ 11.9	1	2.3	0.4	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	4.08	13.12
12.0 ~ 12.9	0.9	2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	3.5	9.62
13.0 ~ 13.9	0.8	1.7	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.94	6.68
14.0 ~ 14.9	0.5	1.2	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.13	4.55
15.0 ~ 15.9	0.4	0.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.57	2.97
16.0 ~ 16.9	0.3	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.04	1.94
17.0 ~ 17.9	0.1	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.59	1.35
18.0 ~ 18.9	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	1
19.0 ~ 19.9	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.81
20.0 ~ 20.9	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.71
21.0 ~ 21.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.65
22.0 ~ 22.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.61
23.0 ~ 23.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.58
24.0 ~ 24.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.56
25.0 ~ 25.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.54
26.0 ~ 26.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.52
27.0 ~ 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.5
28.0 ~ 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.48
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.45
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.42
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.41
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.4
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.39
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.37
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.37
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.36
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.35
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.34
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.33
>= 40.0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32	0.01
小計	15.2	33.3	9.4	2.3	1.5	2	4.1	5.9	4.6	4	2.9	2.6	1.8	1.5	2	4.3		

靜風機率：0.91

最大風速：59.9

平均風速：6.2

表2.1.8 台中港防風林測站C夏季風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向																小計	超值 機率
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N		
< 1.0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	4.06	94.37
1.0 ~ 1.9	0.5	1	1	0.9	0.8	1.1	1.7	1.2	0.6	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	11.44	82.93
2.0 ~ 2.9	0.8	1.5	1.4	0.8	0.7	1	2.5	3	1.7	0.9	0.4	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	17.82	65.11
3.0 ~ 3.9	1	1.7	1	0.4	0.1	0.3	1.4	3.3	2.5	1.2	0.5	0.6	0.8	0.7	0.7	0.9	17.14	47.96
4.0 ~ 4.9	1.1	1.8	0.8	0.1	0	0.1	0.5	1.6	1.8	1.1	0.7	0.7	0.6	0.4	0.6	0.9	12.95	35.01
5.0 ~ 5.9	1.1	1.8	0.7	0.1	0	0.1	0.2	0.5	0.8	1	0.7	0.7	0.3	0.1	0.2	0.6	8.92	26.09
6.0 ~ 6.9	0.9	1.6	0.6	0.1	0	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.7	0.5	0.1	0	0.1	0.4	6.45	19.64
7.0 ~ 7.9	0.8	1.5	0.6	0.1	0	0	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.4	0	0	0	0.3	5.13	14.51
8.0 ~ 8.9	0.6	1.1	0.5	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.5	0.2	0	0	0	0.2	3.82	10.69
9.0 ~ 9.9	0.5	1	0.4	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.3	0.1	0	0	0	0.1	3.01	7.68
10.0 ~ 10.9	0.5	0.8	0.4	0	0	0	0	0	0	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	2.42	5.26
11.0 ~ 11.9	0.4	0.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	1.64	3.61
12.0 ~ 12.9	0.3	0.4	0.3	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	1.17	2.44
13.0 ~ 13.9	0.2	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	1.69
14.0 ~ 14.9	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.51	1.17
15.0 ~ 15.9	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34	0.83
16.0 ~ 16.9	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21	0.62
17.0 ~ 17.9	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.5
18.0 ~ 18.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0.42
19.0 ~ 19.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.36
20.0 ~ 20.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.31
21.0 ~ 21.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.29
22.0 ~ 22.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.26
23.0 ~ 23.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.25
24.0 ~ 24.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.23
25.0 ~ 25.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23
26.0 ~ 26.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.22
27.0 ~ 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.21
28.0 ~ 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.17
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.12
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.08
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.07
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.05
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.04
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
>= 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
小計	9.7	16	9	2.9	1.9	3	7.2	10.2	8.5	7.2	5.3	4.5	3	2.4	2.6	5		

靜風機率: 1.6
 最大風速: 59.9
 平均風速: 4.6

表2.1.9 台中港防風林測站C冬季風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向																小計	超值 機率
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N		
< 1.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0.1	1.58	97.8
1.0 ~ 1.9	0.3	0.6	0.7	0.5	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	4.72	93.07
2.0 ~ 2.9	0.6	1.6	1.5	0.9	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	9.25	83.82
3.0 ~ 3.9	0.8	2.6	1.4	0.6	0.3	0.2	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	8.77	75.05
4.0 ~ 4.9	1.2	3.3	1.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	7.56	67.49
5.0 ~ 5.9	1.3	3.4	0.9	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.5	7	60.49
6.0 ~ 6.9	1.4	3.7	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.4	6.9	53.59
7.0 ~ 7.9	1.5	3.9	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	6.82	46.77
8.0 ~ 8.9	1.6	4	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	6.92	39.85
9.0 ~ 9.9	1.5	4	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	6.64	33.22
10.0 ~ 10.9	1.5	3.7	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	6.37	26.84
11.0 ~ 11.9	1.5	3.6	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	6.14	20.7
12.0 ~ 12.9	1.3	3.2	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	5.56	15.14
13.0 ~ 13.9	1.2	2.9	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	4.88	10.26
14.0 ~ 14.9	0.8	2	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	3.53	6.73
15.0 ~ 15.9	0.6	1.4	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	2.67	4.05
16.0 ~ 16.9	0.4	0.9	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.77	2.29
17.0 ~ 17.9	0.2	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.97	1.32
18.0 ~ 18.9	0.1	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.58	0.74
19.0 ~ 19.9	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31	0.43
20.0 ~ 20.9	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0.27
21.0 ~ 21.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0.2
22.0 ~ 22.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.14
23.0 ~ 23.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.09
24.0 ~ 24.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.06
25.0 ~ 25.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.04
26.0 ~ 26.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02
27.0 ~ 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01
28.0 ~ 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>= 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	18	45.9	14	2.8	1.3	1.3	1.4	1.5	0.9	1	1	1.1	1	1	1.5	4.2		

靜風機率：0.6
 最大風速：36.1
 平均風速：7.8

表2.1.10 北堤堤頭測站D全年風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向																小計
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	
< 1.0	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.2	2.62
1.0 ~ 1.9	0.7	0.9	0.7	0.5	0.2	0.3	0.4	0.9	0.6	0.3	0.1	0	0	0.2	0.5	0.6	6.8
2.0 ~ 2.9	0.8	1.3	0.8	0.3	0.1	0.2	0.4	1.2	0.8	0.4	0.2	0	0	0.1	0.4	0.8	7.89
3.0 ~ 3.9	1.2	1.3	0.3	0.1	0	0	0.3	0.7	0.6	0.6	0.2	0	0	0.1	0.3	0.6	6.41
4.0 ~ 4.9	1.3	1.5	0.2	0	0	0	0.3	0.9	0.6	0.4	0.2	0	0	0.1	0.4	1	6.87
5.0 ~ 5.9	1.3	0.9	0.1	0	0	0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0.2	1	4.8
6.0 ~ 6.9	1.5	1.2	0.1	0	0	0	0.1	0.8	0.3	0.1	0	0	0	0	0.2	0.8	5.02
7.0 ~ 7.9	1.5	1.4	0	0	0	0	0.1	0.5	0.2	0.2	0	0	0	0	0.1	0.6	4.69
8.0 ~ 8.9	2.3	2.3	0	0	0	0	0.2	0.3	0.3	0.1	0	0	0	0	0	1	6.64
9.0 ~ 9.9	1.9	1.4	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0.5	4.37
10.0 ~ 10.9	1.8	1.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.5	3.69
11.0 ~ 11.9	2.1	1.6	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.5	4.41
12.0 ~ 12.9	3.2	1.9	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.4	5.89
13.0 ~ 13.9	2.5	1.3	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.2	4.06
14.0 ~ 14.9	2	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	3.45
15.0 ~ 15.9	1.9	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	3.26
16.0 ~ 16.9	2.4	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	4.27
17.0 ~ 17.9	1.5	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	2.41
18.0 ~ 18.9	1.1	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.79
19.0 ~ 19.9	0.9	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.57
20.0 ~ 20.9	0.7	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.25
21.0 ~ 21.9	0.7	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.22
22.0 ~ 22.9	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.59
23.0 ~ 23.9	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35
24.0 ~ 24.9	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22
25.0 ~ 25.9	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17
26.0 ~ 26.9	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09
27.0 ~ 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
28.0 ~ 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>= 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
小計	34.1	26.2	2.8	1.1	0.5	0.8	2.3	6.1	4.4	3.1	0.9	0.1	0.2	0.6	2.2	9.5	

靜風機率: 5
 最大風速: 68.8
 平均風速: 8.6

表2.1.11 北堤堤頭測站D夏季風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向																小計
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	
< 1.0	0.5	0.7	0.8	0.5	0.2	0.4	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	6.01
1.0 ~ 1.9	1.4	1.4	0.7	0.5	0.2	0.4	0.7	2	1.4	0.6	0.2	0	0	0.2	0.9	1.4	11.91
2.0 ~ 2.9	1.7	2	0.5	0.1	0.2	0.2	0.6	2.3	1.7	0.9	0.3	0.1	0.1	0.1	0.6	1.7	13.06
3.0 ~ 3.9	1.8	1.8	0.3	0.1	0	0.1	0.5	1.1	1.1	1.4	0.4	0.1	0	0.2	0.4	0.8	9.99
4.0 ~ 4.9	1.5	1	0.1	0	0	0	0.5	1.7	0.8	0.9	0.3	0	0	0.1	0.3	1.3	8.54
5.0 ~ 5.9	1.2	0.6	0	0	0	0.1	0.4	1.4	0.3	0.4	0.2	0	0	0	0.2	1.2	6.11
6.0 ~ 6.9	1.2	0.9	0	0	0	0	0.3	2	0.5	0.1	0	0	0	0	0.2	0.8	5.98
7.0 ~ 7.9	1	0.9	0	0	0	0	0.3	1.2	0.4	0.3	0	0	0	0	0.2	0.6	4.86
8.0 ~ 8.9	0.9	1.3	0	0	0	0	0.3	0.8	0.7	0.2	0	0	0	0	0.1	0.7	4.96
9.0 ~ 9.9	0.6	0.9	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0.6	3.04
10.0 ~ 10.9	1	0.7	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0.4	2.76
11.0 ~ 11.9	0.7	0.7	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0.5	2.35
12.0 ~ 12.9	1.1	1.2	0	0	0	0	0	0	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0.3	3.32
13.0 ~ 13.9	1	0.6	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.2	1.97
14.0 ~ 14.9	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.2	1.53
15.0 ~ 15.9	0.8	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.28
16.0 ~ 16.9	1.1	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.81
17.0 ~ 17.9	0.4	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.72
18.0 ~ 18.9	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.61
19.0 ~ 19.9	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.72
20.0 ~ 20.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33
21.0 ~ 21.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.28
22.0 ~ 22.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
23.0 ~ 23.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
24.0 ~ 24.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
25.0 ~ 25.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.0 ~ 26.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27.0 ~ 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28.0 ~ 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>= 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	20.3	16.7	2.6	1.2	0.6	1.2	4.3	13	8.6	6.2	1.7	0.2	0.3	0.9	2.9	11	

靜風機率： 7.7

最大風速： 35.3

平均風速： 5.5

表2.1.12 北堤堤頭測站D冬季風速風向分佈統計表

風速 (M/SEC)	風向																小計
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	
< 1.0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.76
1.0 ~ 1.9	0.3	0.6	0.8	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.3	0.1	3.86
2.0 ~ 2.9	0.3	0.9	1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.6	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0.3	0.2	4.75
3.0 ~ 3.9	0.9	1	0.4	0.1	0	0	0.1	0.4	0.3	0.1	0.1	0	0	0.1	0.2	0.5	4.12
4.0 ~ 4.9	1.2	1.9	0.3	0	0	0	0.1	0.4	0.5	0.1	0.1	0	0	0	0.4	0.7	5.81
5.0 ~ 5.9	1.4	1.2	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0.7	3.8
6.0 ~ 6.9	1.7	1.4	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0.6	4.18
7.0 ~ 7.9	1.8	1.8	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.5	4.41
8.0 ~ 8.9	3.1	3	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.8	7.4
9.0 ~ 9.9	2.7	1.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.4	5.08
10.0 ~ 10.9	2.4	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	4.17
11.0 ~ 11.9	3	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	5.58
12.0 ~ 12.9	4.6	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.3	7.49
13.0 ~ 13.9	3.5	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	5.46
14.0 ~ 14.9	2.9	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	4.76
15.0 ~ 15.9	2.6	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	4.58
16.0 ~ 16.9	3.2	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	5.84
17.0 ~ 17.9	2.2	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	3.53
18.0 ~ 18.9	1.4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	2.57
19.0 ~ 19.9	1.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.16
20.0 ~ 20.9	1	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.83
21.0 ~ 21.9	1	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8
22.0 ~ 22.9	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.93
23.0 ~ 23.9	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.56
24.0 ~ 24.9	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33
25.0 ~ 25.9	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27
26.0 ~ 26.9	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15
27.0 ~ 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09
28.0 ~ 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
29.0 ~ 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
30.0 ~ 30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.0 ~ 31.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32.0 ~ 32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33.0 ~ 33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
34.0 ~ 34.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.0 ~ 35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36.0 ~ 36.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
37.0 ~ 37.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
38.0 ~ 38.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.0 ~ 39.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>= 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
小計	43.6	33.5	3	0.9	0.4	0.6	1	1.8	1.7	1.1	0.5	0.1	0.1	0.3	1.5	6.5	

靜風機率： 3.5

最大風速： 68.8

平均風速： 10.5

表2.1.13 北堤堤頭測站D不同風速及延時統計表

風速	延時	夏季(%)	冬季(%)	全年(%)
超過5m/s	>2.0hr	39.81	74.29	61.07
	>4.0hr	34.96	70.32	56.77
	>6.0hr	31.54	67.22	53.54
	>8.0hr	28.91	64.53	50.88
	>10.0hr	26.81	62.24	48.66
超過10m/s	>2.0hr	14.68	47.52	34.93
	>4.0hr	11.77	42.34	30.63
	>6.0hr	10.00	38.25	27.42
	>8.0hr	8.72	34.76	24.78
	>10.0hr	7.59	31.84	22.54
超過15m/s	>2.0hr	4.23	19.45	13.61
	>4.0hr	2.93	14.33	9.93
	>6.0hr	2.43	11.28	7.85
	>8.0hr	2.08	9.17	6.39
	>10.0hr	1.89	7.70	5.39
超過20m/s	>2.0hr	0.19	3.28	2.09
	>4.0hr	0.02	1.43	0.89
	>6.0hr	0.00	0.76	0.47
	>8.0hr	0.00	0.51	0.32
	>10.0hr	0.00	0.37	0.23

表2.1.14北防波堤測站D全程觀測期間風速 - 風向聯合發生機率統計表

觀測日期：91/10/17 16:00 ~ 92/07/31 23:00							資料筆數：6310
							單位：%
風速 (m/s) 風向	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	> 25	總計
N	0.6	1.3	0.5	0.0	0.0	0.0	2.4
NNE	3.0	10.4	13.0	10.7	2.4	0.1	39.6
NE	3.7	6.6	7.4	5.5	0.9	0.0	24.1
ENE	3.2	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	4.2
E	1.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1.5
ESE	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.9
SE	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
SSE	1.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1.2
S	2.2	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	3.4
SSW	2.2	4.2	0.4	0.0	0.0	0.0	6.8
SW	1.5	2.7	0.6	0.0	0.0	0.0	4.8
WSW	2.2	2.6	0.4	0.0	0.0	0.0	5.2
W	1.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	1.4
WNW	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
NW	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
NNW	1.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	2.0
總計	26.1	31.2	23.1	16.2	3.3	0.1	100.0

(引自台中港港口第二期擴建工程成效評估,能源與資源研究所,2003)

表2.1.15 北防波堤測站D全程觀測期間不同風速及歷時統計表

觀測日期：91/10/17 16:00 ~ 92/07/31 23:00					風速資料筆數：6761
					單位：%
歷時 風速	> 2 hours	> 4 hours	> 6 hours	> 8 hours	>10 hours
> 5 m/s	66.5	61.6	57.7	54.3	51.3
> 10 m/s	34.4	31.0	28.3	26.0	24.0
> 15 m/s	15.3	13.4	11.9	10.6	9.4
> 20 m/s	1.9	1.4	1.1	0.9	0.8

(引自台中港港口第二期擴建工程成效評估,能源與資源研究所,2003)

表2.1.16北防波堤測站D夏季觀測期間風速 - 風向聯合發生機率統計表

觀測日期：92/04/01 00:00 ~ 92/07/31 23:00							資料筆數：2436
							單位：%
風速 (m/s) 風向	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	> 25	總計
N	0.8	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	2.4
NNE	3.2	8.0	6.7	3.5	0.0	0.0	21.4
NE	3.9	7.3	7.1	2.0	0.3	0.0	20.6
ENE	3.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1
E	1.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
ESE	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
SE	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
SSE	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
S	3.0	2.4	0.4	0.0	0.0	0.0	5.8
SSW	2.9	10.3	1.2	0.0	0.0	0.0	14.4
SW	2.4	5.7	1.6	0.0	0.0	0.0	9.7
WSW	4.2	5.7	1.1	0.0	0.0	0.0	11.0
W	2.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
WNW	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
NW	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
NNW	1.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	1.9
總計	32.8	43.0	18.4	5.5	0.3	0.0	100.0

(引自台中港港口第二期擴建工程成效評估,能源與資源研究所,2003)

表2.1.17 夏季台中港北防波堤測站D不同風速及歷時統計表

觀測日期：92/04/01 00:00 ~ 92/07/31 23:00					風速資料筆數：2887
					單位：%
歷時 風速	> 2 hours	> 4 hours	> 6 hours	> 8 hours	>10 hours
> 5 m/s	59.2	53.0	48.0	44.0	40.4
> 10 m/s	15.9	12.9	10.6	8.8	7.2
> 15 m/s	3.5	2.6	2.0	1.5	1.0
> 20 m/s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(引自台中港港口第二期擴建工程成效評估,能源與資源研究所,2003)

表2.1.18北防波堤測站D冬季觀測期間風速 - 風向聯合發生機率統計表

觀測日期：91/10/17 16:00 ~ 92/03/31 23:00							資料筆數：3874
							單位：%
風速 (m/s) 風向	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	> 25	總計
N	0.5	1.2	0.7	0.0	0.0	0.0	2.4
NNE	3.0	11.9	17.0	15.3	3.9	0.1	51.2
NE	3.7	6.1	7.5	7.6	1.4	0.0	26.3
ENE	3.2	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	4.3
E	1.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3
ESE	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1
SE	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
SSE	1.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3
S	1.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
SSW	1.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
SW	1.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
WSW	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
W	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8
WNW	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
NW	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
NNW	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
總計	22.4	23.5	25.8	22.9	5.3	0.1	100.0

(引自台中港港口第二期擴建工程成效評估,能源與資源研究所,2003)

表2.1.19 北防波堤測站D冬季觀測期間不同風速及歷時統計表

觀測日期：91/10/17 16:00 ~ 92/03/31 23:00					風速資料筆數：3874
					單位：%
風速 歷時	> 2 hours	> 4 hours	> 6 hours	> 8 hours	>10 hours
> 5 m/s	71.9	68.0	64.7	61.8	59.2
> 10 m/s	48.2	44.5	41.5	38.8	36.4
> 15 m/s	24.1	21.4	19.3	17.3	15.6
> 20 m/s	3.4	2.5	2.0	1.5	1.3

(引自台中港港口第二期擴建工程成效評估,能源與資源研究所,2003)

表 2.1.20 侵襲台中港鄰近地區颱風強度及路徑分佈
單位：次數

路徑	半徑 100 公里			半徑 200 公里		
	輕度	中度	強烈	輕度	中度	強烈
第一路徑	1	3	0	2	4	0
第二路徑	1	2	2	1	2	2
第五路徑	0	1	0	0	1	0

表 2.1.21 台中港地區風速測站超值機率比較表

單位：%

測站別		北堤堤根測站			北堤堤頭測站		
		冬季	夏季	全年	冬季	夏季	全年
偏北風向	$U \geq 5\text{m/s}$	74.0	26.2	50.8	74.6	29.7	58.1
	$U \geq 10\text{m/s}$	48.6	9.7	29.7	51.5	15.6	38.0
	$U \geq 15\text{m/s}$	22.5	2.6	12.9	24.4	5.7	17.5
	$U \geq 20\text{m/s}$	4.9	0.4	2.7	6.0	0.6	4.1
偏西風向	$U \geq 5\text{m/s}$	0.7	8.6	4.9	0.6	2.4	1.3
	$U \geq 10\text{m/s}$	0.0	1.1	0.5	0.1	0.9	0.4
	$U \geq 15\text{m/s}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$U \geq 20\text{m/s}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
偏南風向	$U \geq 5\text{m/s}$	0.9	16.5	8.6	0.6	10.6	4.6
	$U \geq 10\text{m/s}$	0.0	2.1	0.9	0.0	1.3	0.5
	$U \geq 15\text{m/s}$	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	$U \geq 20\text{m/s}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
其它風向	$U \geq 5\text{m/s}$	0.3	0.1	0.2	0.3	0.0	0.2
	$U \geq 10\text{m/s}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$U \geq 15\text{m/s}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$U \geq 20\text{m/s}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

註：1. 偏北風向係為NNW，NE，N，NNW，NW向
 2. 偏西風向係為SW，WSW，W，WNW向
 3. 偏南風向係為SSW，SE，SSE，S向
 4. 其它風向係為ENE，E，ESE向

表 2.2.1 台中港測站 X 夏季示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期 (SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 - 5	0	0	0.2	6.8	14	14	5.8	1.5	0.3	0.1	0	0	0	0	0	42
5 - 1.0	0	0	0	3.3	13	15	4.5	1.1	0.4	0.1	0	0	0	0	0	37
1.0 - 1.5	0	0	0	0	1.6	5.8	3.9	0.5	0.1	0.1	0	0	0	0	0	12
1.5 - 2.0	0	0	0	0	0.1	1.8	2.6	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	5.4
2.0 - 2.5	0	0	0	0	0	0.2	1	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0	1.9
2.5 - 3.0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0.8
3.0 - 3.5	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0.5
3.5 - 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1
4.0 - 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
4.5 - 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 - 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 - 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 - 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 - 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0.2	10	29	36	18	5.2	1.5	0.3	0.2	0	0	0	0	

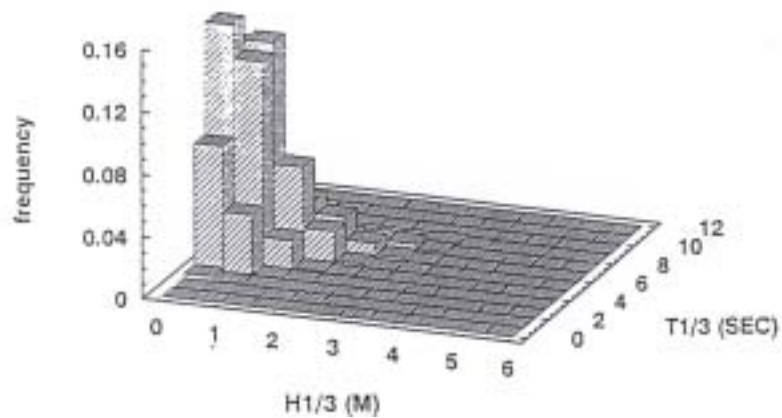


圖 2.2.3 台中港測站 X 夏季示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.2 台中港測站 X 冬季示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期 (SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	0	1	3	3.4	0.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	8.5
.5 ~ 1.0	0	0	0.1	1	4.6	8.2	1.7	0.3	0	0	0	0	0	0	0	16
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	2.2	13	8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	24
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0.3	9	13	1.9	0.1	0	0	0	0	0	0	25
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0.1	1.4	10	4.5	0.2	0	0	0	0	0	0	17
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0.2	2.3	4.3	0.7	0.1	0	0	0	0	0	7.7
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0.1	0.2	1.3	0.8	0.1	0	0	0	0	0	2.5
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0.5
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0.1	2	10	35	37	13	2.2	0.4	0	0	0	0	0	

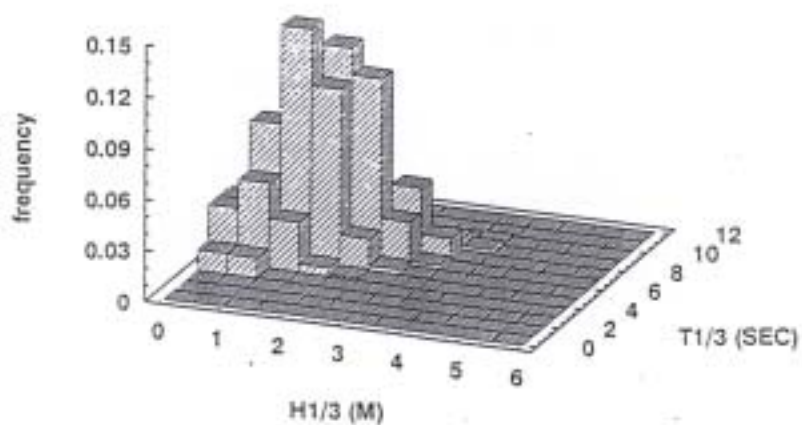


圖 2.2.4 台中港測站 X 冬季示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.3 台中港測站 X 全年示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	0.1	3.9	8.6	8.4	3.4	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	25.3
.5 ~ 1.0	0	0	0	2.1	8.7	11.3	3.1	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	26.2
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	1.9	9.5	5.9	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	18
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0.2	5.4	7.9	1.3	0.1	0	0	0	0	0	0	15
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0.1	0.8	5.7	2.5	0.2	0	0	0	0	0	0	9.3
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0.1	1.2	2.4	0.4	0	0	0	0	0	0	4.3
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7	0.5	0.1	0	0	0	0	0	1.5
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.3
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0.1	6.1	19.5	35.5	27.4	9.1	1.8	0.3	0.1	0	0	0	0	

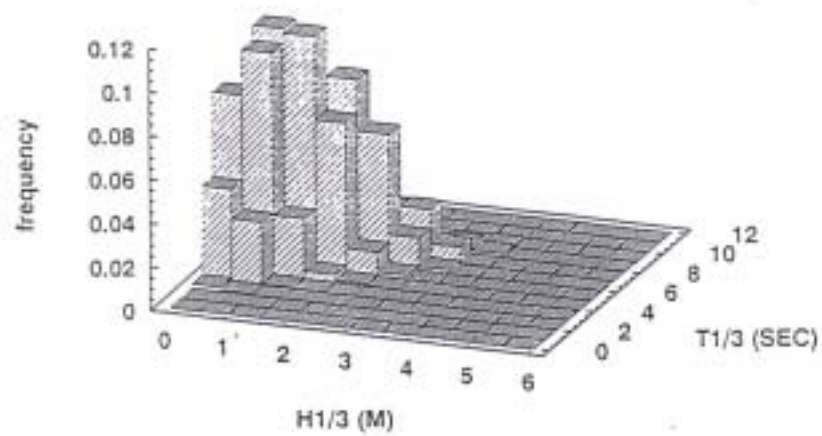


圖 2.2.5 台中港測站 X 全年示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.4 台中港測站 1 夏季示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	0.5	16.3	18.6	11.4	2.3	0.5	0.3	0	0	0	0	0	0	50
.5 ~ 1.0	0	0	0	1.6	13.1	10.9	3.1	0.4	0.2	0.2	0	0	0	0	0	29.6
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	0.7	5.6	5	0.4	0	0	0	0	0	0	0	11.6
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0	0.7	4.2	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	5.7
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	0	0.9	1.4	0	0	0	0	0	0	0	2.4
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.6
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.2
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0.5	17.8	32.5	28.6	15.6	4.1	0.7	0.2	0	0	0	0	0	

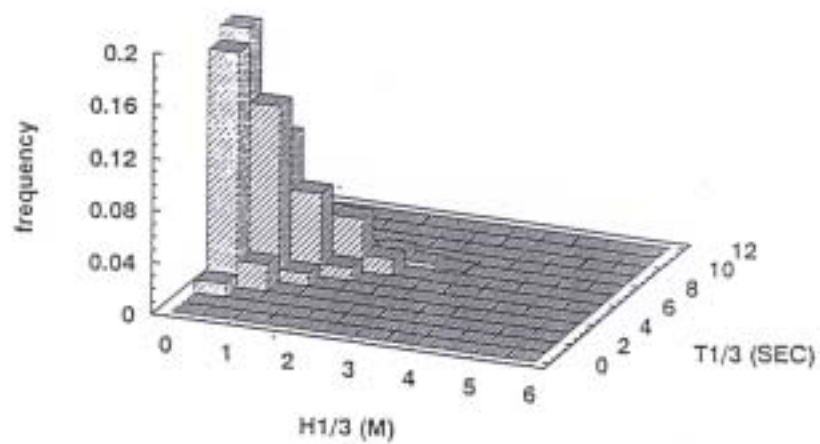


圖 2.2.6 台中港測站 1 夏季示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.5 台中港測站 1 冬季示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	0.1	1.5	2.4	2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	6.2
.5 ~ 1.0	0	0	0	0.3	6.2	8.6	1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	16.4
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	1.3	14.2	7	0.2	0	0	0.1	0.1	0	0	0	22.9
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0	6.3	20	2.4	0	0	0.1	0	0	0	0	28.8
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	0.2	10.9	7.8	0.2	0	0	0	0	0	0	19.1
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	0.4	4.4	0.9	0	0	0	0	0	0	5.7
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	0	0	0	0	0	0	0.8
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0 ~ 7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0.1	1.8	9.9	31.4	39.5	15.1	1.9	0.1	0.2	0.1	0	0	0	

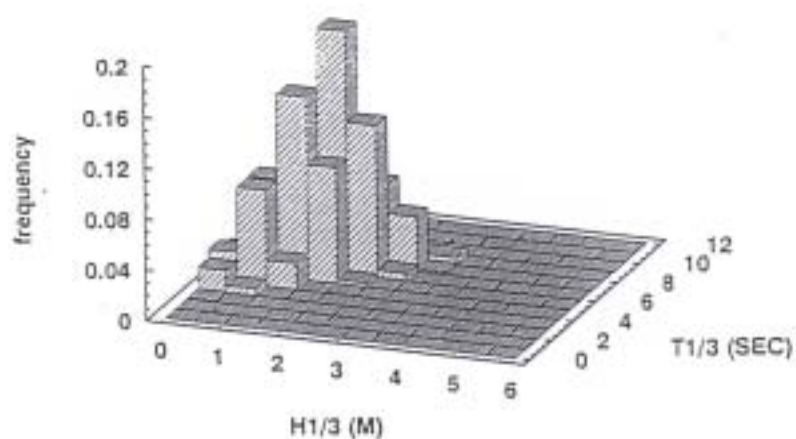


圖 2.2.7 台中港測站 1 冬季示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.6 台中港測站 1 全年示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ 0.5	0	0	0.2	6.9	8.4	5.5	1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	22.3
0.5 ~ 1.0	0	0	0	0.8	8.8	9.5	1.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	21.2
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	1.1	11.1	6.2	0.3	0	0	0.1	0	0	0	0	18.8
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0	4.3	14.2	1.8	0	0	0	0	0	0	0	20.3
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	0.2	7.2	5.4	0.1	0	0	0	0	0	0	13
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	0.2	3	0.6	0	0	0	0	0	0	3.8
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0.6
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0.2	7.7	18.2	30.4	30.7	11	1.5	0.1	0.1	0	0	0	0	

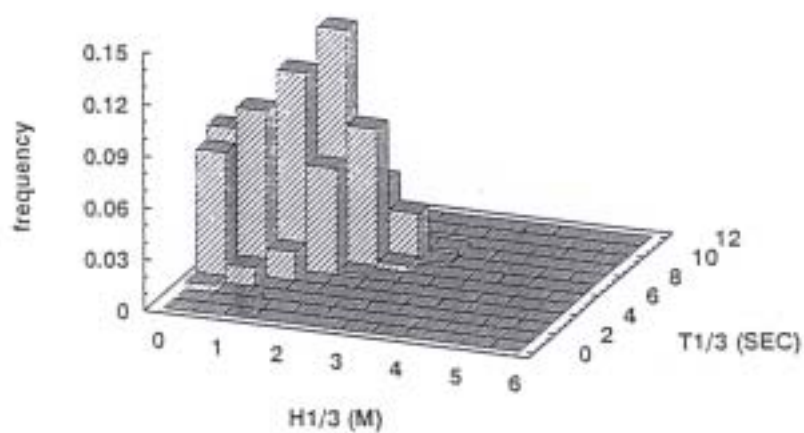


圖 2.2.8 台中港測站 1 全年示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.7 台中港測站 2 夏季示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	9.7	29.2	8.8	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51.3
.5 ~ 1.0	0	0	0.9	22.1	15	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39.8
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	5.3	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.8
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	10.6	51.3	29.2	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

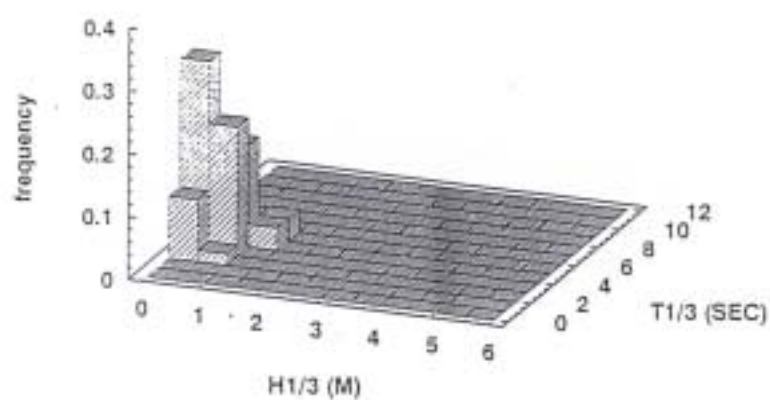


圖 2.2.9 台中港測站 2 夏季示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.8 台中港測站 2 冬季示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	0	0.5	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7
.5 ~ 1.0	0	0	0	1.5	5.9	3.6	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	11.4
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	3.6	8.9	1.5	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	14.4
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0.4	11.8	6.1	0.3	0	0	0.2	0	0	0	0	19
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	5.3	18.5	2.4	0	0	0.1	0	0	0	0	26.5
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0.1	13.7	7.6	0.2	0.1	0.1	0	0	0.1	0	22.2
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0.5	3.4	0.2	0.1	0	0	0	0	0	4.2
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0.5
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0	2	10.9	30	41	14.2	0.8	0.2	0.4	0	0.1	0.2	0.1	

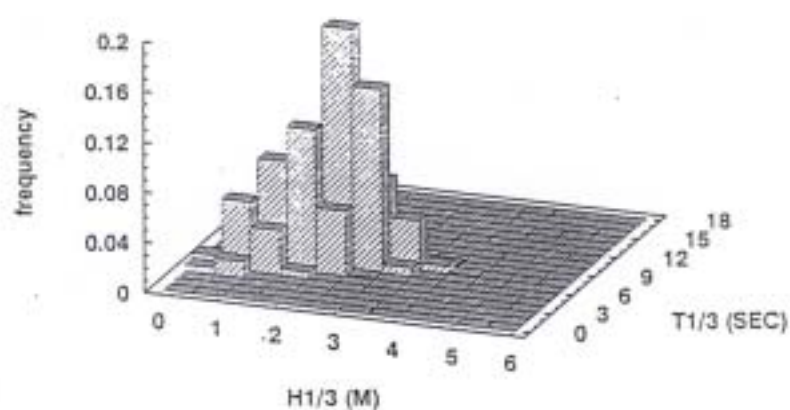


圖 2.2.10 台中港測站 2 冬季示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.9 台中港測站 2 全年示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0.0 ~ 0.5	0	0	0.4	1.7	1.4	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8
0.5 ~ 1.0	0	0	0	2.3	6.3	3.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	12.7
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	3.7	8.7	1.4	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	14.1
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0.4	11.3	5.9	0.3	0	0	0.2	0	0	0	0	18.1
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	5.1	18	2.3	0	0	0.1	0	0	0	0	25.4
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0.1	13	7.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0.1	0	21.2
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0.5	3.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	4.1
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0.5
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0.4	4.1	11.7	29	39	13.6	0.8	0.2	0.4	0	0.1	0.2	0.1	

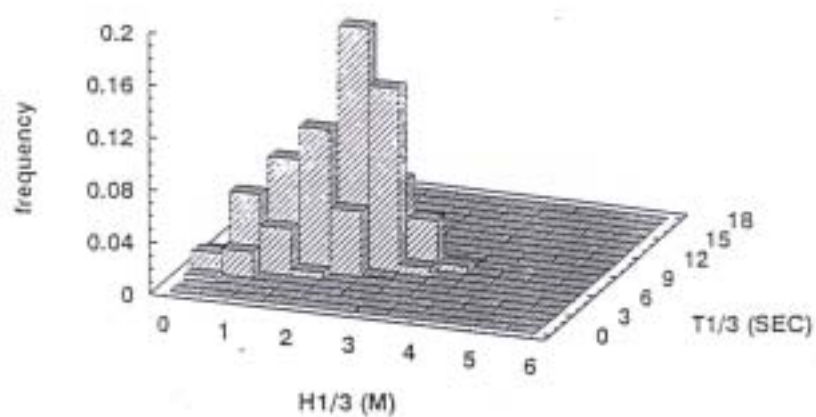


圖 2.2.11 台中港測站 2 全年示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.10 台中港測站 4 夏季示性波高與週期分佈統計表

波高, (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	9.2	28.5	14.3	7.1	1	0	0.2	0	0	0	0	0	0	60.3
.5 ~ 1.0	0	0	1.6	11.2	10.7	7.7	2.5	0.7	1.2	0.2	0	0	0	0	0	35.7
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	1.2	1.3	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	3.1
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0.2	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0 ~ 7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	10.9	39.7	26.4	16.8	4	0.8	1.3	0.2	0	0	0	0	0	

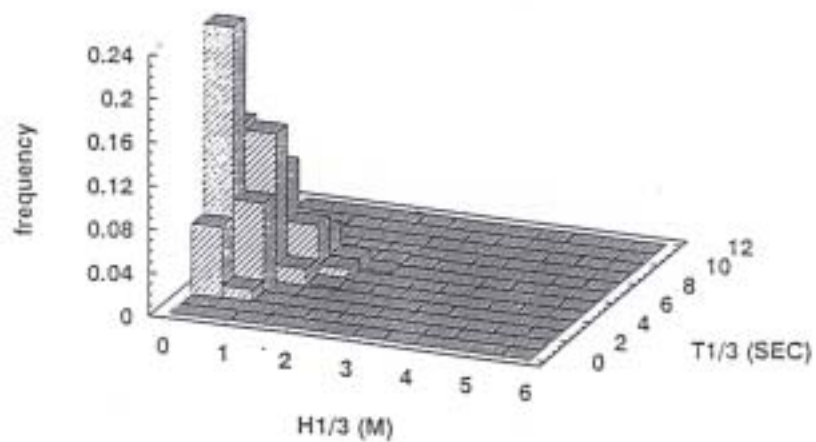


圖 2.2.12 台中港測站 4 夏季示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.11 台中港測站 4 冬季示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	0.6	6.4	5.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5
.5 ~ 1.0	0	0	0.1	2.8	18.2	10.3	0.5	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	32.2
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	6.3	24.1	5.9	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	36.5
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0	6.1	8.6	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	15.5
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	0	1.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	2.6
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0.7
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	0.7	9.2	29.8	40.7	16.9	2.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	

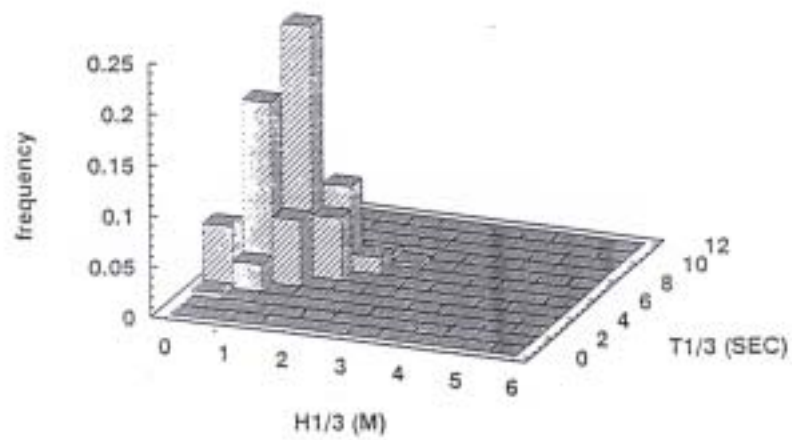


圖 2.2.13 台中港測站 4 冬季示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.12 台中港測站 4 全年示性波高與週期分佈統計表

波高 (M)	週期(SEC)															小 計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0 ~ .5	0	0	2	10.7	7.4	1.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	22
.5 ~ 1.0	0	0	0.4	4.2	17.1	10.2	0.9	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	33.3
1.0 ~ 1.5	0	0	0	0	5.1	19.2	5.2	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	29.8
1.5 ~ 2.0	0	0	0	0	0.1	4.9	6.7	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	12.2
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	0	1.4	0.7	0	0	0	0	0	0	0	2.1
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0.5
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0 ~ 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5 ~ 5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0 ~ 5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5 ~ 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0 ~ 6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5 ~ 7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	2.4	15	29.7	35.9	14.5	2.1	0.4	0.1	0	0	0	0	0	

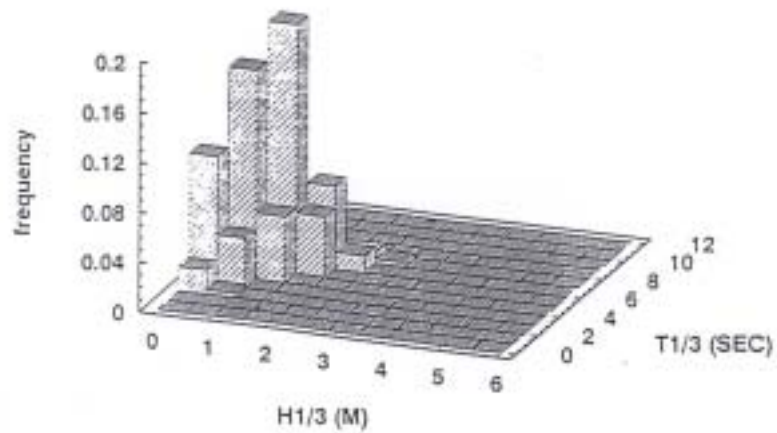


圖 2.2.14 台中港測站 4 全年示性波高與週期聯合分佈立體圖

表 2.2.13 ST.2 及 ST.4 測站波高超值機率比較表

單位：%

測站別	ST.2 測站			ST.4 測站		
	冬季	夏季	全年	冬季	夏季	全年
H _{1/3} 0.5m	98.3	48.7	96.2	87.5	39.7	78.0
H _{1/3} 1.0m	86.9	8.9	83.5	55.3	4.0	44.7
H _{1/3} 1.5m	72.5	0.1	69.4	18.8	0.9	14.9
H _{1/3} 2.0m	53.5	0.0	51.3	3.3	0.1	2.7
H _{1/3} 2.5m	27.0	0.0	25.9	0.7	0.0	0.6
H _{1/3} 3.5m	4.8	0.0	4.7	0.0	0.0	0.1
H _{1/3} 4.0m	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0

表2.2.14 台中港測站X觀測各月波向統計

		335	340	345	350	355	0	5	10	15	From South	Calm	Total
Jan.	No.			1	4	10	7	23	4			10	59
	%			1.7	6.8	16.9	11.9	38.9	6.8			17.0	100
Feb.	No.				7	21	34	24	5	1		7	99
	%				7.0	21.0	34.0	24.0	5.0	1.0		7.0	100
Mar.	No.		2	2	7	10	19	12	7	1	11	40	111
	%		1.8	1.8	6.3	9.0	17.1	10.8	6.3	0.9	10.0	36.0	100
Apr.	No.		1	3	5	9	8	15	9	1	21	50	122
	%		0.8	2.5	4.1	7.4	6.5	12.3	7.4	0.8	17.2	41.0	100
May	No.		2	1	4	7	9	19	5	1	36	35	119
	%		1.8	0.8	3.4	5.9	7.5	16.0	4.2	1.0	30.2	29.4	100
Jun.	No.				1	2	2	1	3		7	11	27
	%				3.7	7.4	7.4	3.7	11.1		25.9	40.8	100
Nov.	No.	2	2	4	8	32	66	21	1		2	6	144
	%	1.4	1.4	2.8	5.5	22.2	45.8	14.6	0.7		1.4	4.2	100
Dec.	No.				1	9	49	32	6			22	119
	%				0.8	7.6	41.2	26.9	5.0			18.5	100
Sub	No.	2	7	11	37	100	194	147	40	4	77	181	800
Total	%	0.3	0.9	1.4	4.6	12.5	24.3	18.4	5.0	0.5	9.6	22.5	100

(資料來源：中華顧問工程司，民國77年)

表2.2.15 台中港TC1站波高、週期及波向聯合發生機率統計表

波高 - 週期統計

觀測日期: 91/10/14 09:00 ~ 92/06/24 22:00												資料筆數: 4637
												單位: %
示性波高 (m) 週期(秒)	0.0 0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	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 以上	總計
0-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3-4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4-5	2.1	4.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4
5-6	17.8	14.3	12.5	9.2	5.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.5
6-7	5.7	2.7	1.7	3.8	7.2	7.3	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	30.8
7-8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	1.3
8-9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
總計	25.8	21.4	15.2	13.0	13.0	8.4	2.8	0.4	0.0	0.0	0.0	100.0

波高 - 波向統計

觀測日期: 91/10/14 09:00 ~ 92/05/08 10:00												資料筆數: 3616
												單位: %
示性波高 (m) 波向	0.0 0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	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 以上	總計
N	1.9	3.9	4.8	6.2	7.1	5.9	2.3	0.4	0.0	0.0	0.0	32.4
NNE	4.2	8.2	8.0	7.3	7.5	3.5	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	40.0
NE	1.7	2.4	1.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7
ENE	0.8	0.6	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
E	0.6	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
ESE	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
SE	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
SSE	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
S	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
SSW	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
SW	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
WSW	1.2	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
W	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
WNW	0.7	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
NW	0.7	0.7	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
NNW	1.0	1.9	1.8	1.2	0.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3
總計	17.1	20.6	17.2	15.5	15.4	10.1	3.5	0.5	0.0	0.0	0.0	100.0

表2.2.16 台中港TC2站波高、週期及波向聯合發生機率統計表

波高 - 週期統計

觀測日期：91/10/14 07:00 ~ 92/07/29 03:00												資料筆數：6080
												單位：%
示性波高 (m) 週期(秒)	0.0 0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	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 以上	總計
0-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3-4	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
4-5	33.8	4.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8
5-6	24.7	21.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.4
6-7	2.3	6.6	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5
7-8	0.3	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
8-9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
總計	62.2	33.7	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

波高 - 波向統計

觀測日期：91/10/14 07:00 ~ 92/07/29 03:00												資料筆數：5060
												單位：%
示性波高 (m) 波向	0.0 0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	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 以上	總計
N	5.4	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
NNE	3.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
NE	2.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
ENE	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
E	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
ESE	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
SE	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
SSE	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
S	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
SSW	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
SW	1.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
WSW	4.9	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
W	7.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7
WNW	5.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
NW	15.9	11.2	1.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.1
NNW	16.0	12.5	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.8
總計	65.1	30.5	4.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表2.2.17 台中港港區各定點波浪測站示性波高觀測值統計一覽表

區域	站名	起訖日期	資料筆數	平均值 ± 標準差	最大示性波高	波高 >0.5m 百分比	波高 >1.0m 百分比	波高 >2.0m 百分比
港外	1	91/10/14 ~ 92/06/24	4637	1.27 ± 0.88	4.00	82.8	52.8	24.6
	2	91/10/14 ~ 92/07/29	6080	0.45 ± 0.26	1.70	34.9	4.4	0.0
	3	91/11/05 ~ 92/05/08	1026	0.87 ± 0.60	2.75	64.6	35.6	4.7
	9	92/04/19 ~ 92/05/08	456	1.12 ± 1.13	4.78	54.2	39.9	19.7
港嘴	4	91/11/05 ~ 92/08/02	1468	0.24 ± 0.16	1.30	6.7	0.6	0.0
	4N	92/04/19 ~ 92/05/08	459	0.17 ± 0.08	0.46	0.0	0.0	0.0
港內	5	92/04/19 ~ 92/05/08	462	0.03 ± 0.01	0.10	0.0	0.0	0.0
	6	92/04/19 ~ 92/08/02	1348	0.11 ± 0.06	0.44	0.0	0.0	0.0
	7	91/11/05 ~ 91/11/29	571	0.03 ± 0.01	0.09	0.0	0.0	0.0
	8	91/11/05 ~ 91/11/29	570	0.11 ± 0.13	0.68	2.6	0.0	0.0

表2.2.18 冬季短期觀測波高超值機率比較表

觀測日期：91/11/06 12:00 ~ 91/11/26 09:00 資料筆數：478

波高	TC1	TC2	TC3	TC4	TC7	TC8
> 0.5 m	88.4	69.8	76.3	0.0	0.0	2.9
> 1.0 m	70.0	16.9	57.5	0.0	0.0	0.0
> 1.5 m	61.6	0.6	29.5	0.0	0.0	0.0
> 2.0 m	55.1	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0
> 2.5 m	27.7	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
> 3.0 m	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
> 3.5 m	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
> 4.0 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表2.2.19 夏季短期觀測波高超值機率比較表

觀測日期：92/04/19 13:00 ~ 92/05/08 10:00 資料筆數：454

波高	TC1	TC2	TC3	TC4N	TC5	TC6	TC9
> 0.5 m	59.6	25.1	46.4	0.0	0.0	0.0	54.4
> 1.0 m	38.2	4.4	17.5	0.0	0.0	0.0	40.1
> 1.5 m	21.5	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	26.9
> 2.0 m	13.4	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	19.9
> 2.5 m	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8
> 3.0 m	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6
> 3.5 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2
> 4.0 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9
> 4.5 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
> 5.0 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表2.2.20 台中港外海各方向各迴歸期設計波浪

迴歸期	5年		10年		25年		50年		100年	
波向	波高	週期	波高	週期	波高	週期	波高	週期	波高	週期
NNW	4.5	9.5	5.2	10.2	6.0	11.0	6.7	11.6	7.3	12.1
NW	4.9	9.9	5.6	10.6	6.5	11.4	7.2	12.0	7.9	12.6
WNW	4.4	9.4	5.1	10.1	5.9	10.9	6.6	11.5	7.2	12.0
W	4.0	9.0	4.7	9.7	5.4	10.4	5.9	10.9	6.5	11.4
WSW	4.2	9.2	4.9	9.9	5.7	10.7	6.3	11.3	6.8	11.7
SW	4.6	9.6	5.3	10.3	6.1	11.1	6.8	11.7	7.4	12.2

單位：波高(M) , 週期(sec)。

表2.3.1 台中港潮位統計資料(60.3~85.3)

分析時間	H.H.W.L.	M.H.W.L.	M.W.L.	M.L.W.L.	L.L.W.L.
60.3~64.12	5.86	4.59	2.72	0.9	-0.05
65.1~69.12	5.77	4.53	2.64	0.79	-0.41
70.1~74.12	5.5	4.44	2.62	0.81	-0.49
75.1~79.12	5.65	4.54	2.71	0.85	-0.55
80.1~85.3	5.47	4.21	2.5	0.76	-0.46
60.3~69.12	5.86	4.56	2.68	0.84	-0.41
70.1~79.12	5.65	4.49	2.67	0.83	-0.55
60.3~85.3	5.86	4.45	2.63	0.82	-0.55

表2.3.2 各項潮位基準統計分析結果

■最高高潮位	H.H.W.L.	5.86m(60.9.23.)
■大潮平均高潮位	M.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	M.L.W.O.S.T.	0.09m
■最低低潮位	L.L.W.L.	-0.55m(77.1.21.)
■平均潮差	Ave.Range	3.63m

表2.3.3 台中港潮汐39個分潮之調和常數統計表

Tide in Tai-Chung Harbor of ST-8 at 1972/01/01 00:00-1972/12/31 22:00

Data No = 8783, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : 2.73m

序號	分潮名稱	振幅(米)	週期(時)	經角(度)	平衡引數	延時(時)
1	M2	1.7446	12.42	25.16	-1.6865	-4.2020
2	S2	.5164	12.00	37.32	.0648	-1.1205
3	N2	.3182	12.66	18.77	-.3897	-1.4451
4	K1	.2602	23.93	277.68	3.4551	-5.2996
5	O1	.2252	25.82	-84.77	-5.1957	-15.2713
6	K2	-.1589	11.97	32.24	3.7785	-5.8421
7	VU2	.0875	12.63	19.32	-4.7677	-10.2583
8	MU2	.0763	12.87	-173.18	-3.4709	-.9183
9	P1	.0718	24.07	276.51	3.0207	-6.9148
10	2N2	.0532	12.91	-30.57	-5.3761	-9.9463
11	OP2	.0405	12.46	-97.51	-2.1750	-.9380
12	MKS2	.0213	12.39	172.01	2.0273	-1.9218
13	M4	.0208	6.21	-41.32	-3.3730	-2.6211
14	MSN2	.0186	11.79	258.61	5.0512	-10.7776
15	M1	.0129	24.84	-63.04	-1.8367	-2.9113
16	OO1	.0114	22.31	316.98	2.7895	-9.7376
17	MS4	.0113	6.10	332.91	4.6615	-1.1160
18	KJ2	.0088	11.75	204.49	5.6678	-7.8285
19	2MS6	.0074	4.09	4.29	2.9750	-2.2035
20	PA11	.0073	24.13	226.75	6.1040	-15.8877
21	OQ2	.0069	13.17	42.40	-2.8115	-7.4425
22	MK3	.0068	8.18	12.76	1.7687	-6.1651
23	M6	.0067	4.14	-28.86	-5.0595	-3.0019
24	M3	.0066	8.28	113.56	-2.5297	-5.9459
25	2Q1	.0065	28.01	-74.34	-2.6022	-5.8233
26	MP1	.0064	25.67	30.86	-4.7072	-21.4303
27	2MN6	.0059	4.17	-48.17	-3.7627	-1.9375
28	MF	.0048	327.86	222.42	5.5634	-240.1169
29	SO3	.0046	8.19	27.38	1.1522	-7.3133
30	MK4	.0034	6.09	285.02	2.0920	-2.7962
31	X1	.0029	24.71	107.28	3.1458	-19.7011
32	2SM6	.0028	4.05	329.88	4.7262	-.6640
33	MSN6	.0027	4.12	-23.01	-2.0114	-1.0551
34	2MK6	.0023	4.09	316.46	.4055	-3.3301
35	SN4	.0019	6.16	31.65	-.3249	-.8602
36	SK4	.0018	5.99	123.72	3.8433	-4.3859
37	SK3	.0015	7.99	59.25	3.5199	-4.8306
38	S4	.0014	6.00	16.70	.1295	-.1546
39	MSK6	.0007	4.04	280.19	2.1568	-1.8707

表 2.3.4 台中港不同迴歸期之高潮位

迴歸年	水位(M)
2	5.435
5	5.593
10	5.685
25	5.791
50	5.864
100	5.933
200	6.000

表2.4.1 台中港港區歷年點海流測站觀測統計一覽表

計畫名稱 (觀測單位)	站名	起訖日期	測站 水深	儀器 水深
中油 LNG 計畫(港研所)	B	1981/11/05 ~ 1982/05/17	27m	7m
	C	1981/11/19 ~ 1982/05/13	29m	7m
	D	1981/11/05 ~ 1981/11/16	9m	3m
港研所基本研 究計畫 (港研所)	D2	1983/03/21 ~ 1983/04/03	8m	3m
	D3	1983/03/21 ~ 1983/04/01	7.5m	3m
	N1	1982/05/05 ~ 1982/05/05	11m	3m
	N2	1982/05/05 ~ 1982/05/05	20m	4m
	N3	1982/05/05 ~ 1982/05/05	26m	4m
	S1	1982/05/10 ~ 1982/05/11	14m	4m
	S2	1982/05/10 ~ 1982/05/11	13m	4m
	S3	1982/05/10 ~ 1982/05/11	7.5m	3m
	V1	1982/08/20 ~ 1982/08/21	50m	5m
台中火力 (台灣大學)	Atp	1984/08/26 ~ 1984/10/08	20m	10,15m
	BTp	1984/08/26 ~ 1984/09/18	20m	10m
	Ctp	1984/09/18 ~ 1984/10/09	10m	10m

表2.4.1(續) 台中港港區歷年各定點海流測站觀測統計一覽表

計畫名稱 (觀測單位)	站名	起訖日期	測站 水深	儀器 水深
港研所代理計畫 (港研所)	BU	1986/01/16 ~ 1987/01/06	20m	4m
	BD	1986/03/07 ~ 1986/04/23	20m	18m
	C'	1986/01/29 ~ 1986/04/02	22m	4m
	D;	1986/03/08 ~ 1986/04/23	18m	4m
	E	1985/12/27 ~ 1986/01/18	4m	2m
	F	1986/01/03 ~ 1986/01/05	8m	4m
	S	1986/04/08 ~ 1986/04/23	15m	4m
	G	1987/03/05 ~ 1987/03/24	25m	4m
	H	1987/03/05 ~ 1987/03/24	17m	4m
港研所代理計畫 (港研所)	1	1994/09/22 ~ 1997/03/01		
	2	1994/10/03 ~ 1996/02/01		
	4	1994/09/29 ~ 1995/12/12		
台中港擴建計畫 (能資所)	TC1	2002/10/14 ~ 2003/05/08		
	TC2	2002/10/14 ~ 2003/07/29		
	TC4	2002/11/05 ~ 2002/11/29		

表2.4.2 台中港TC1站各月份垂直平均海流資料統計一覽表

年 / 月	觀測資料 筆 數	最大流速		流速平均 (cm/s)	流速>50 cm/s百分比	流速>100 cm/s百分比
		流速 (cm/s)	流向(°)			
91/10	423	104	273	36	25.3	0.5
91/11	588	124	277	54	57.0	3.1
91/12	0	--	--	--	--	--
92/01	323	120	278	40	29.7	3.4
92/02	644	135	281	43	37.4	2.3
92/03	744	111	271	41	33.7	0.9
92/04	714	94	256	35	25.6	0.0
92/05	178	78	327	37	32.0	0.0
全程	3614	135	281	42	35.1	1.5

表2.4.3 台中港TC2站各月份垂直平均海流資料統計一覽表

年 / 月	觀測資料 筆 數	最大流速		流速平均 (cm/s)	流速>50 cm/s百分比	流速>100 cm/s百分比
		流速 (cm/s)	流向(°)			
91/10	425	54	2	13	0.5	0.0
91/11	694	59	353	16	0.7	0.0
91/12	722	62	358	15	0.7	0.0
92/01	342	48	52	13	0.0	0.0
92/02	153	57	12	15	0.7	0.0
92/03	0	--	--	--	--	--
92/04	704	41	31	13	0.0	0.0
92/05	625	33	19	12	0.0	0.0
92/06	715	48	16	15	0.0	0.0
92/07	676	44	24	15	0.0	0.0
全程	5056	62	358	14	0.3	0.0

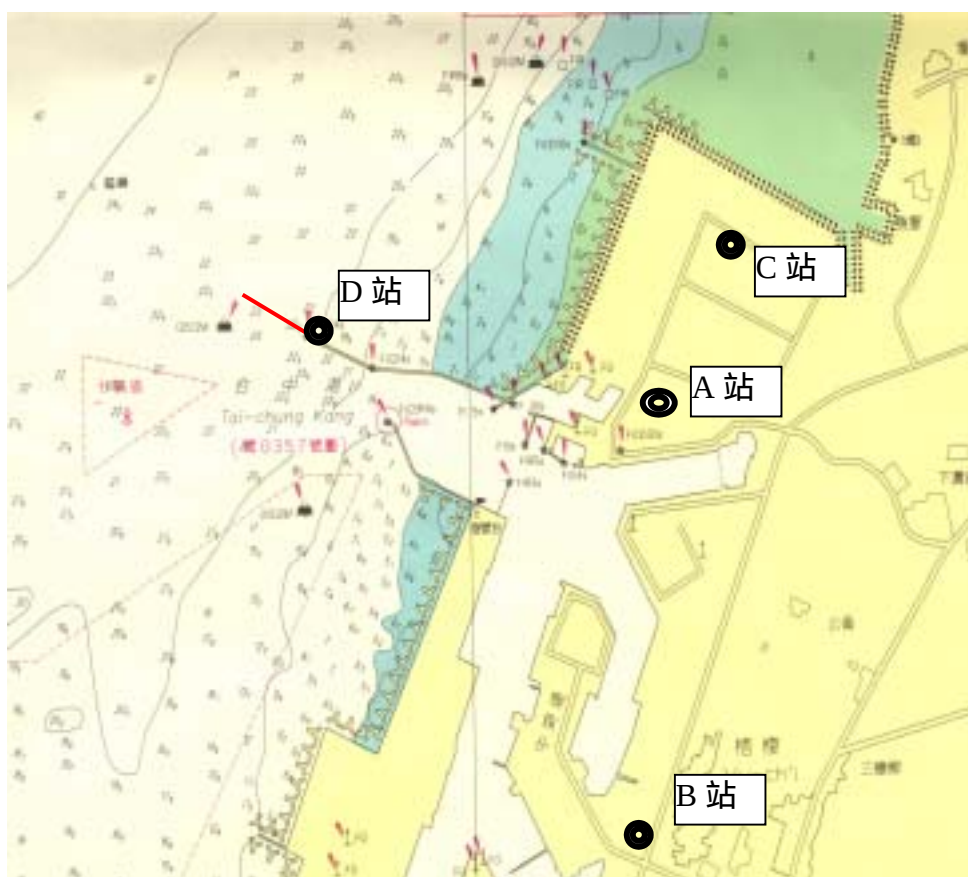


圖 2.1.1 台中港風力觀測站位置圖

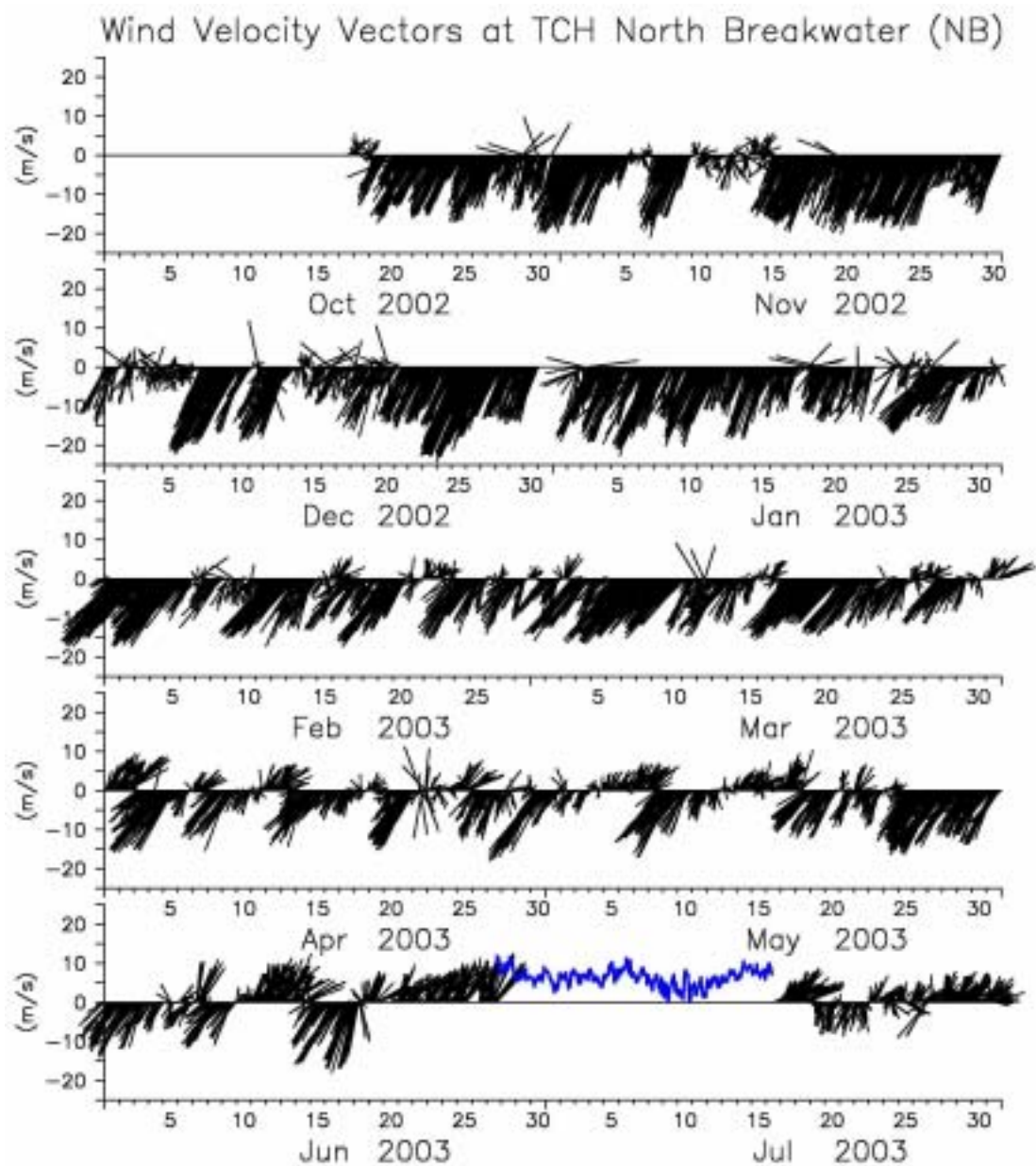


圖2.1.2 台中港北防波堤測站D風速風向向量時序圖

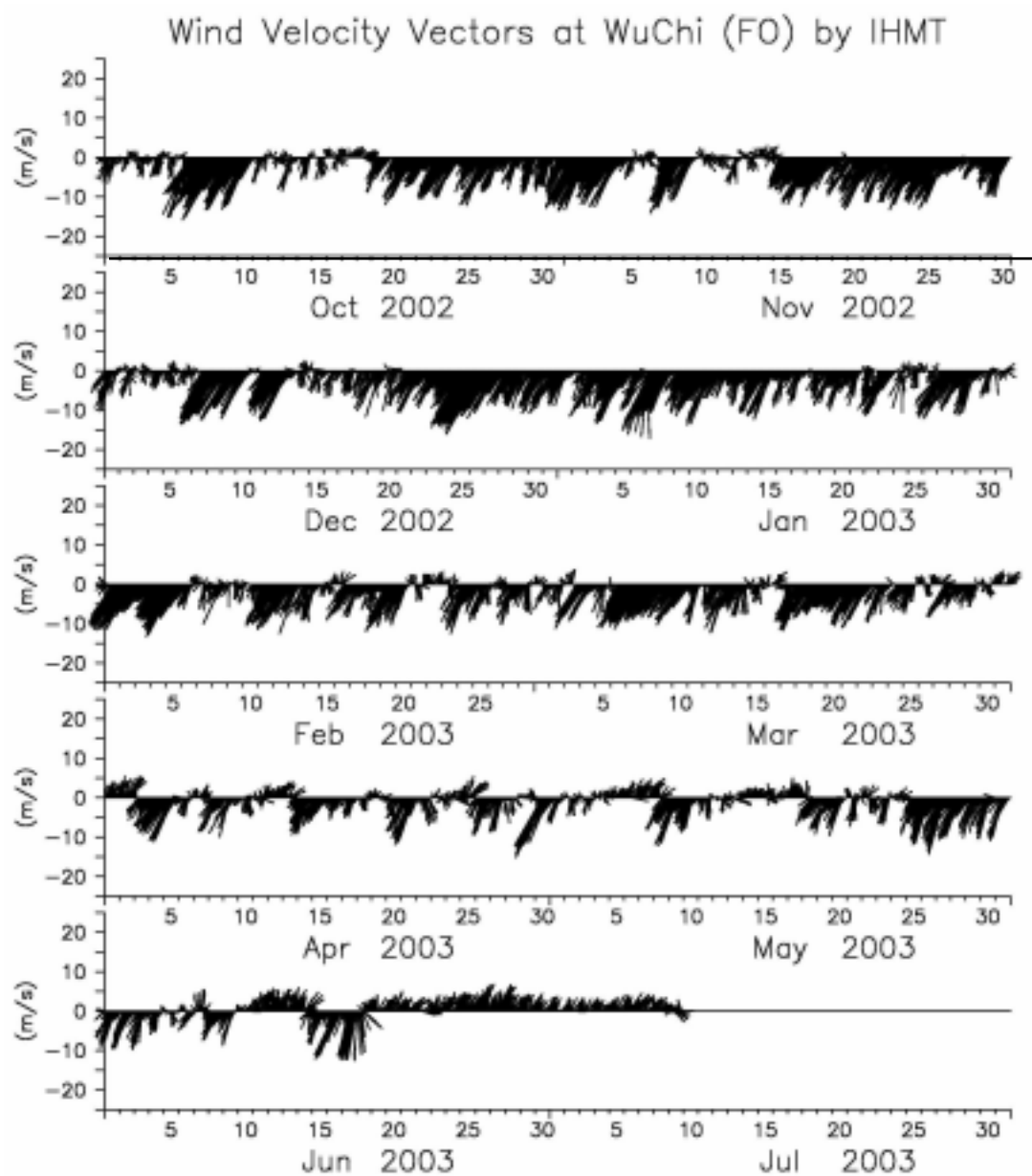


圖2.1.3 台中港區防風林測站(C)之風速風向向量時序圖

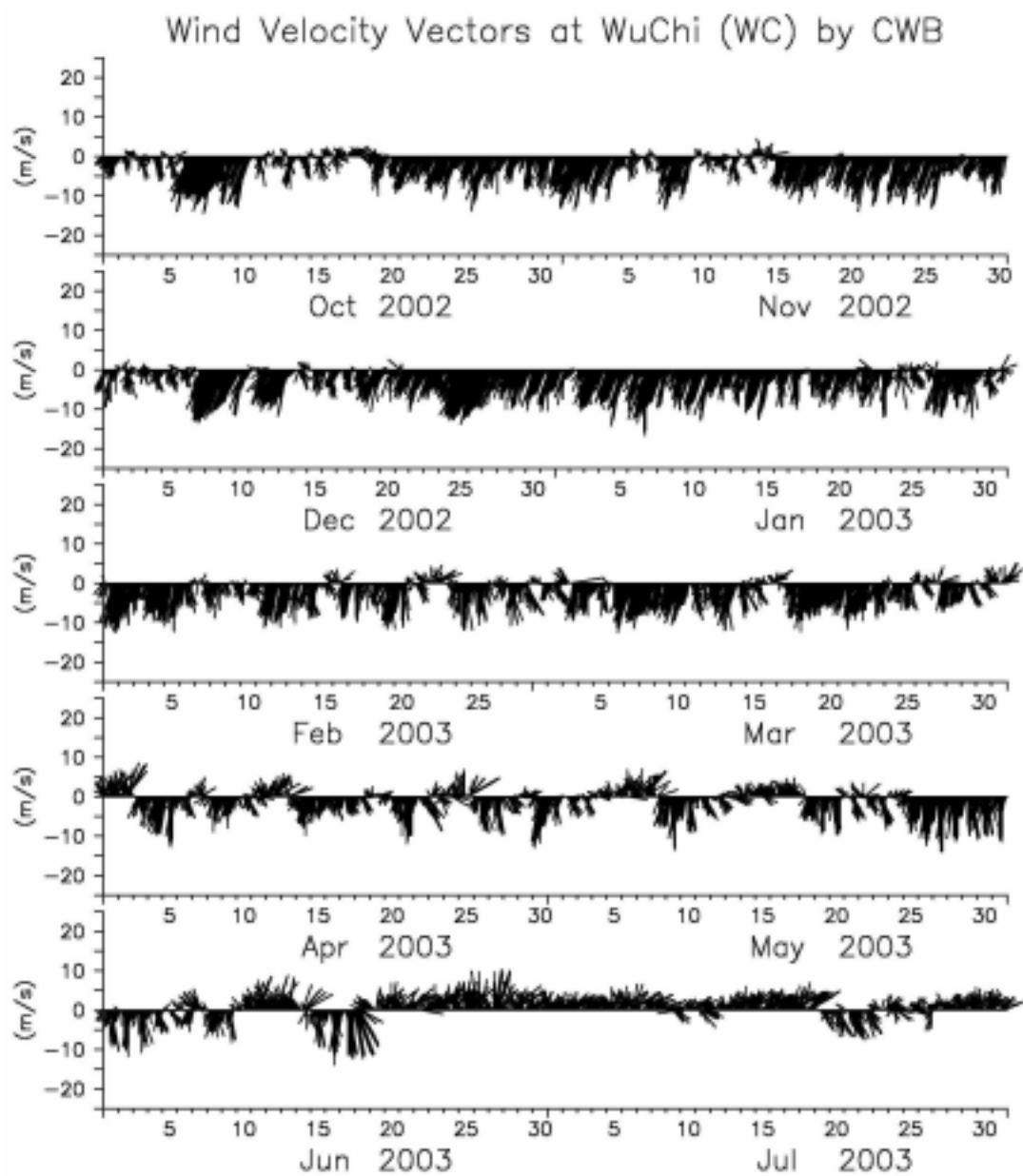
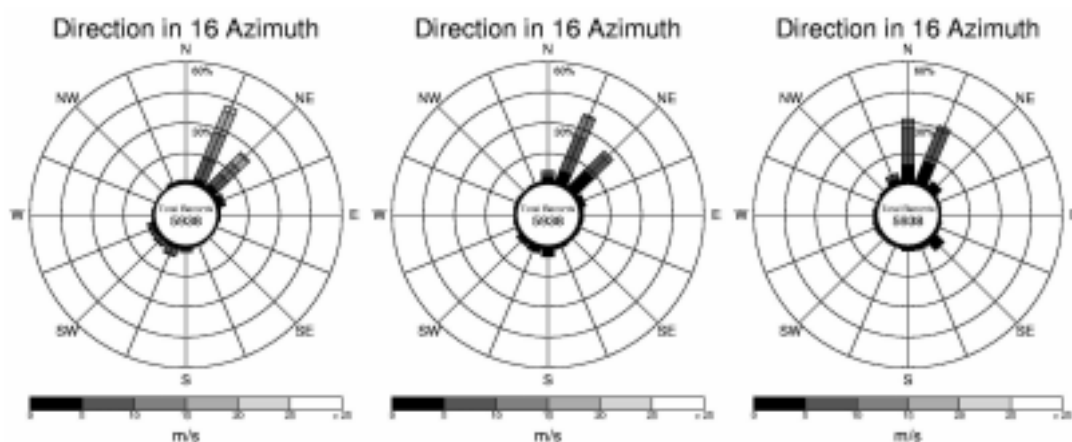


圖2.1.4 台中港區梧棲測站B之風速風向向量時序圖

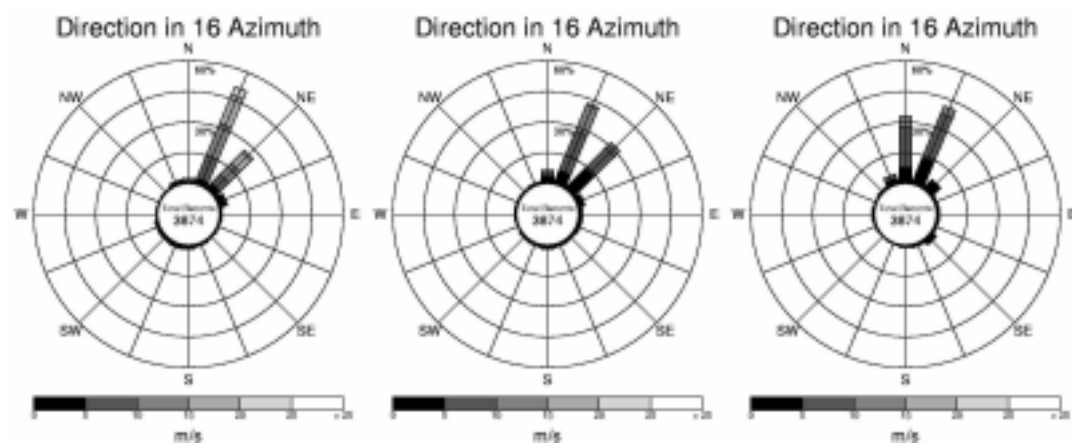
(資料來源：中央氣象局)

(a) 北防波堤測站D (b) 防風林測站C (c) 梧棲氣象站B

全程：91/10/17 16:00 ~ 92/07/10 01:00



冬季：91/10/17 16:00 ~ 92/03/31 23:00



夏季：92/04/01 00:00 ~ 92/07/10 01:00

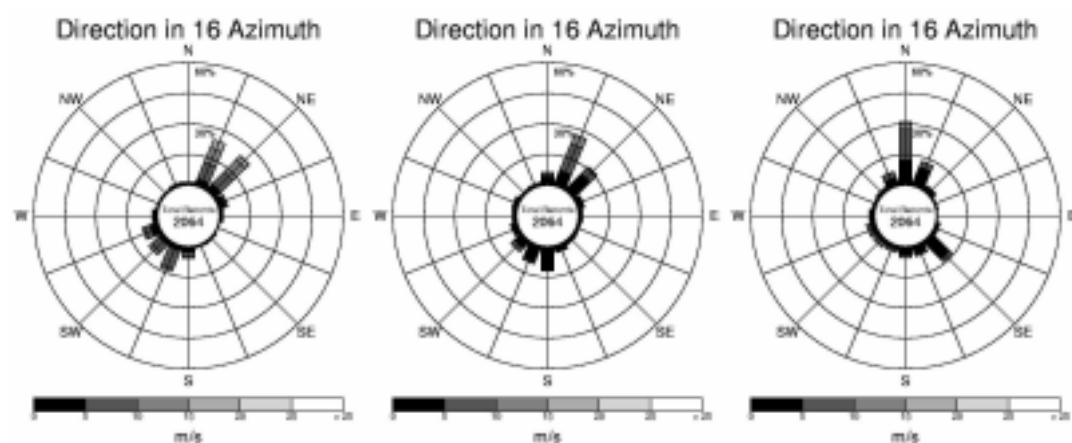
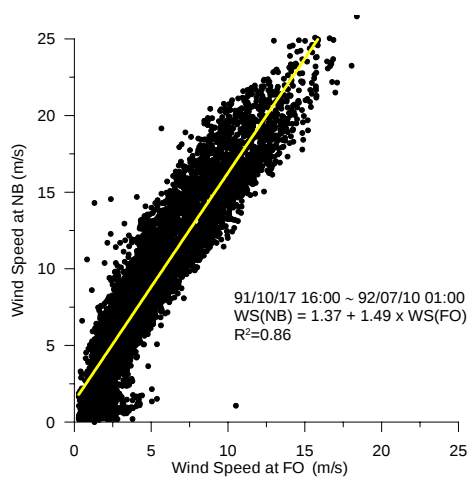
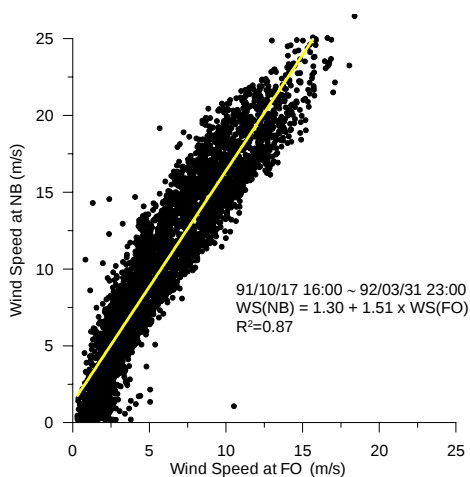


圖2.1.5 台中港區(a)北防波堤測站D、(b)防風林測站C與(c)梧棲測站B
於全程、冬季和夏季觀測期間之風玫瑰圖

(a) 全程：



(b) 冬季：



(c) 夏季：

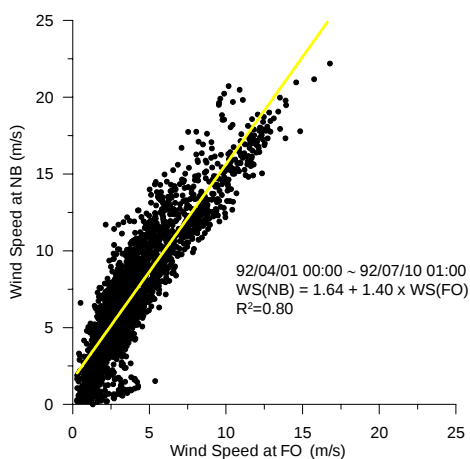
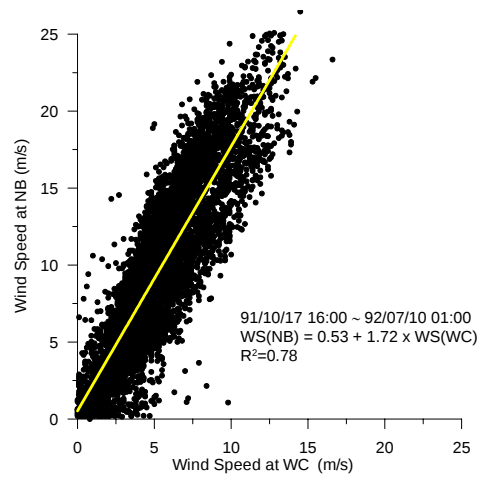
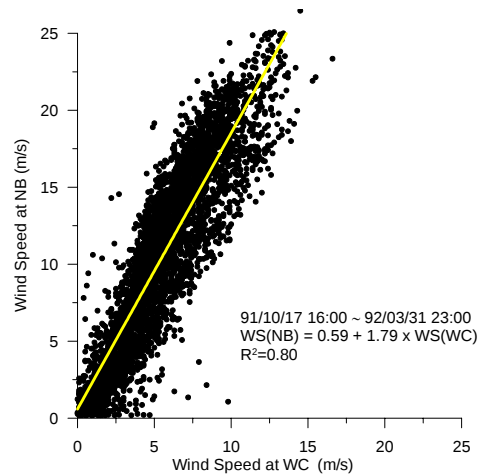


圖2.1.6 台中港區北防波堤測站D與防風林測站C於(a)全程、(b)冬季和
 (c)夏季觀測期間之風速關係圖

(a) 全程：



(b) 冬季：



(c) 夏季：

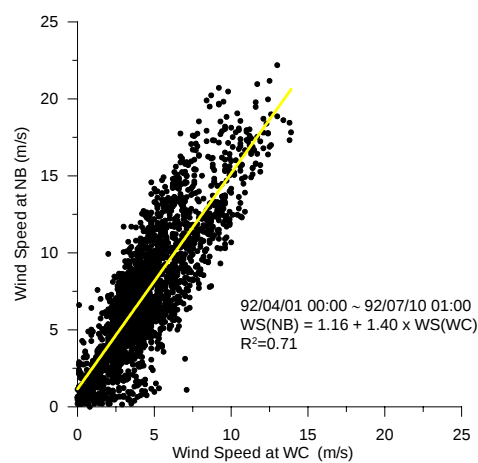


圖2.1.7 台中港區北防波堤測站D與梧棲氣象站B於(a)全程 (b)冬季和 (c)夏季觀測期間之風速關係

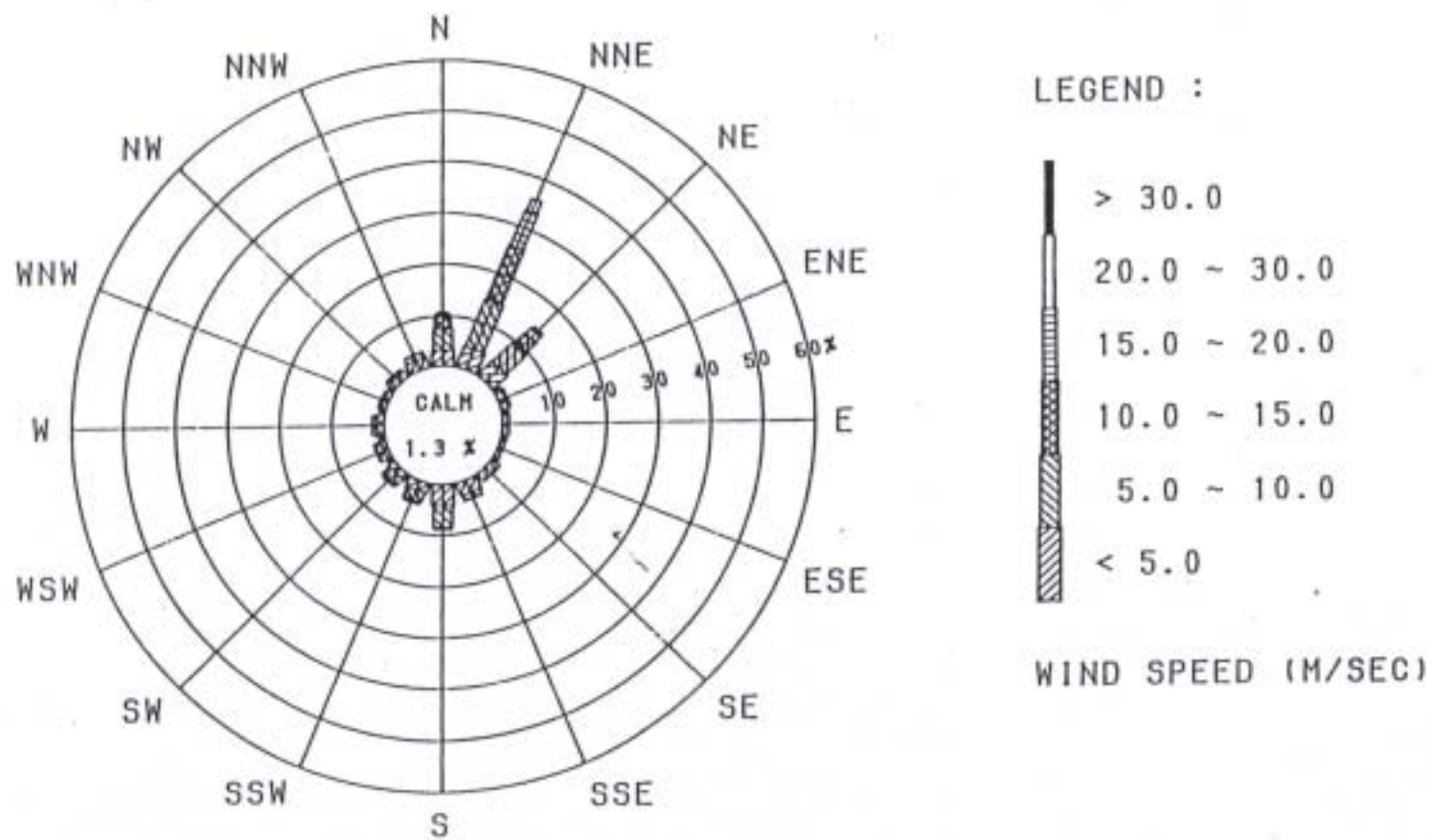


圖 2.1.8 北堤堤根測站 A 全年風玫瑰圖

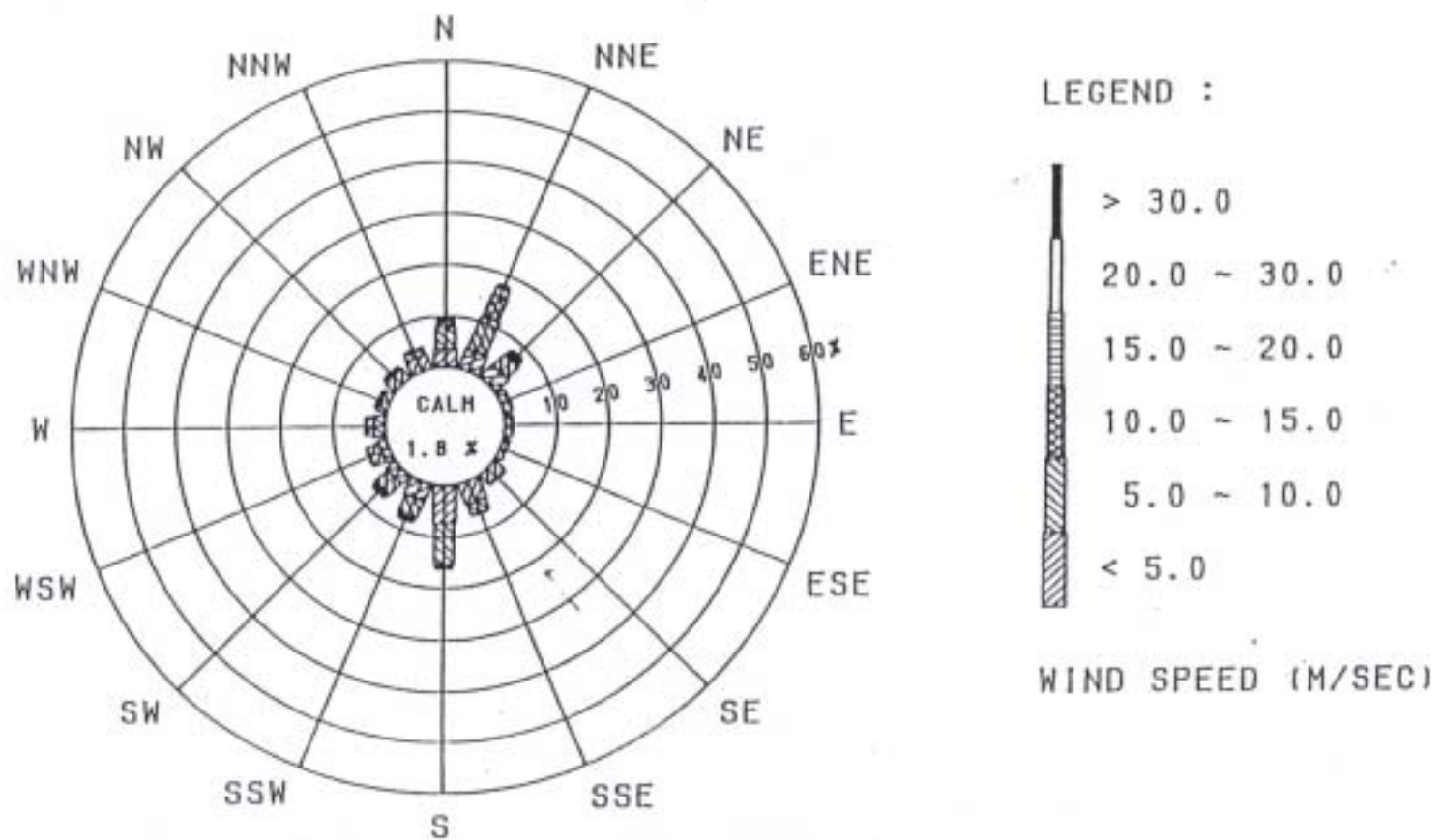


圖 2.1.9 北堤堤根測站 A 夏季風玫瑰圖

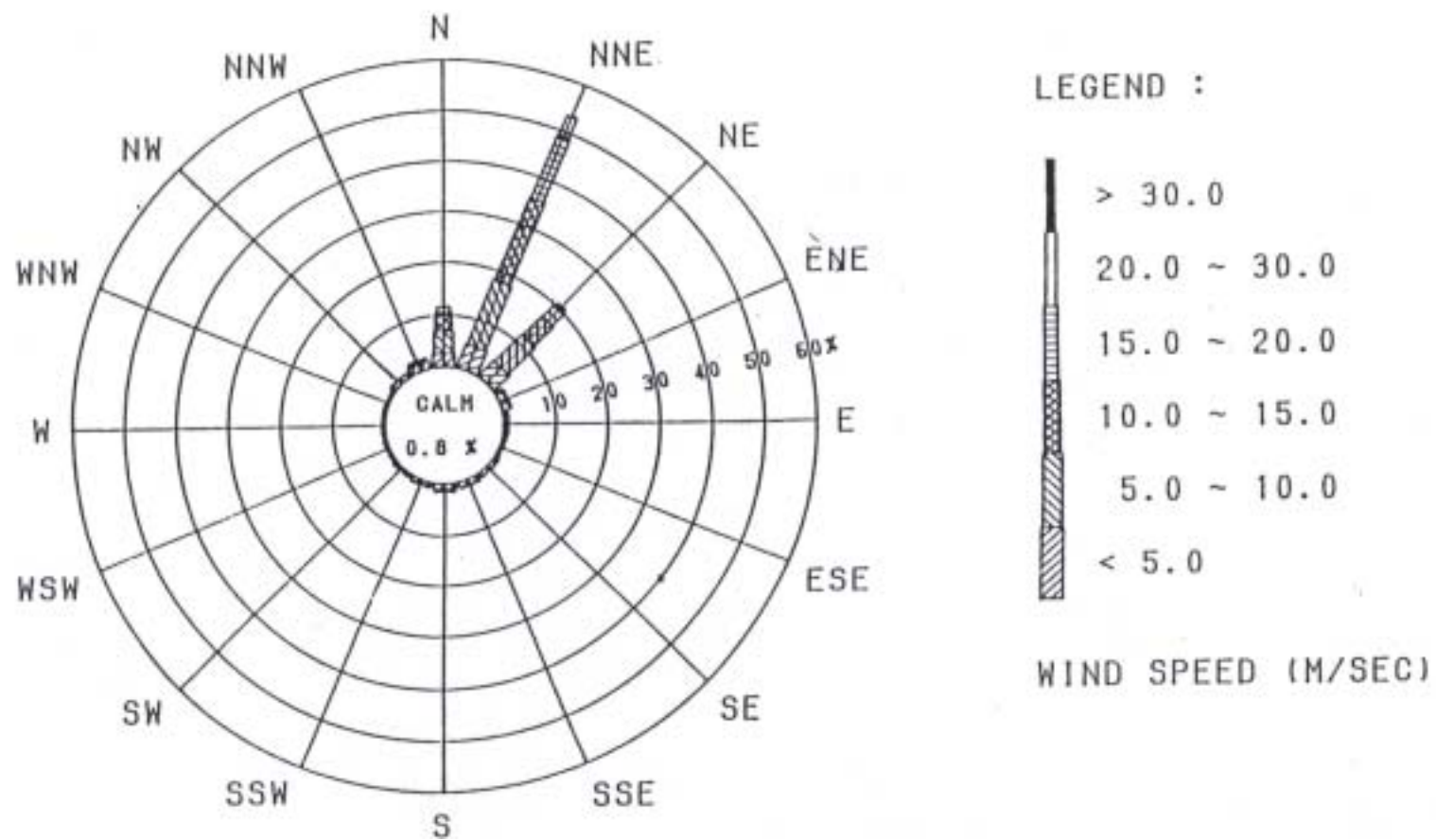


圖 2.1.10 北堤堤根測站 A 冬季風玫瑰圖

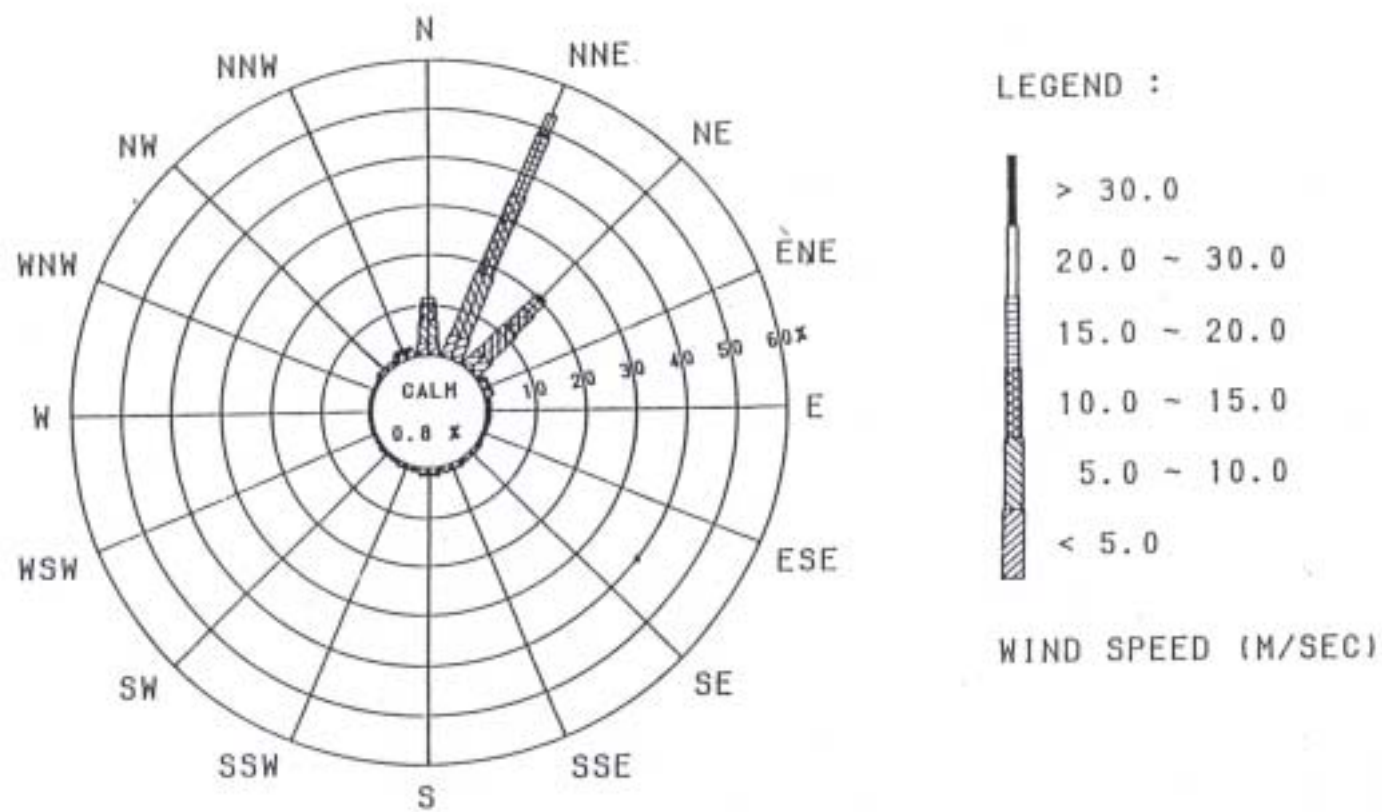


圖 2.1.11 北堤堤頭測站 D 全年風玫瑰圖

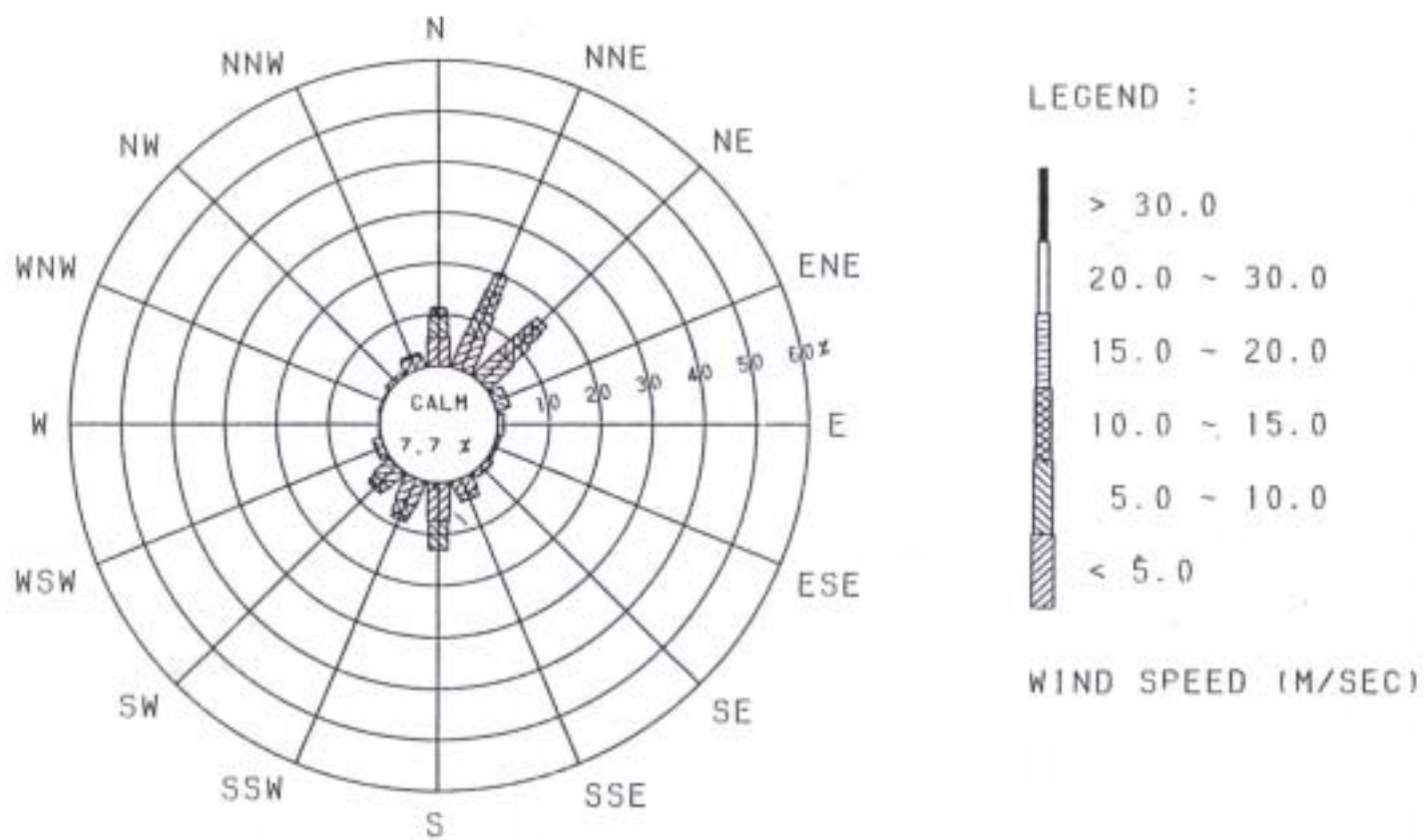


圖 2.1.12 北堤堤頭測站 D 夏季風玫瑰圖

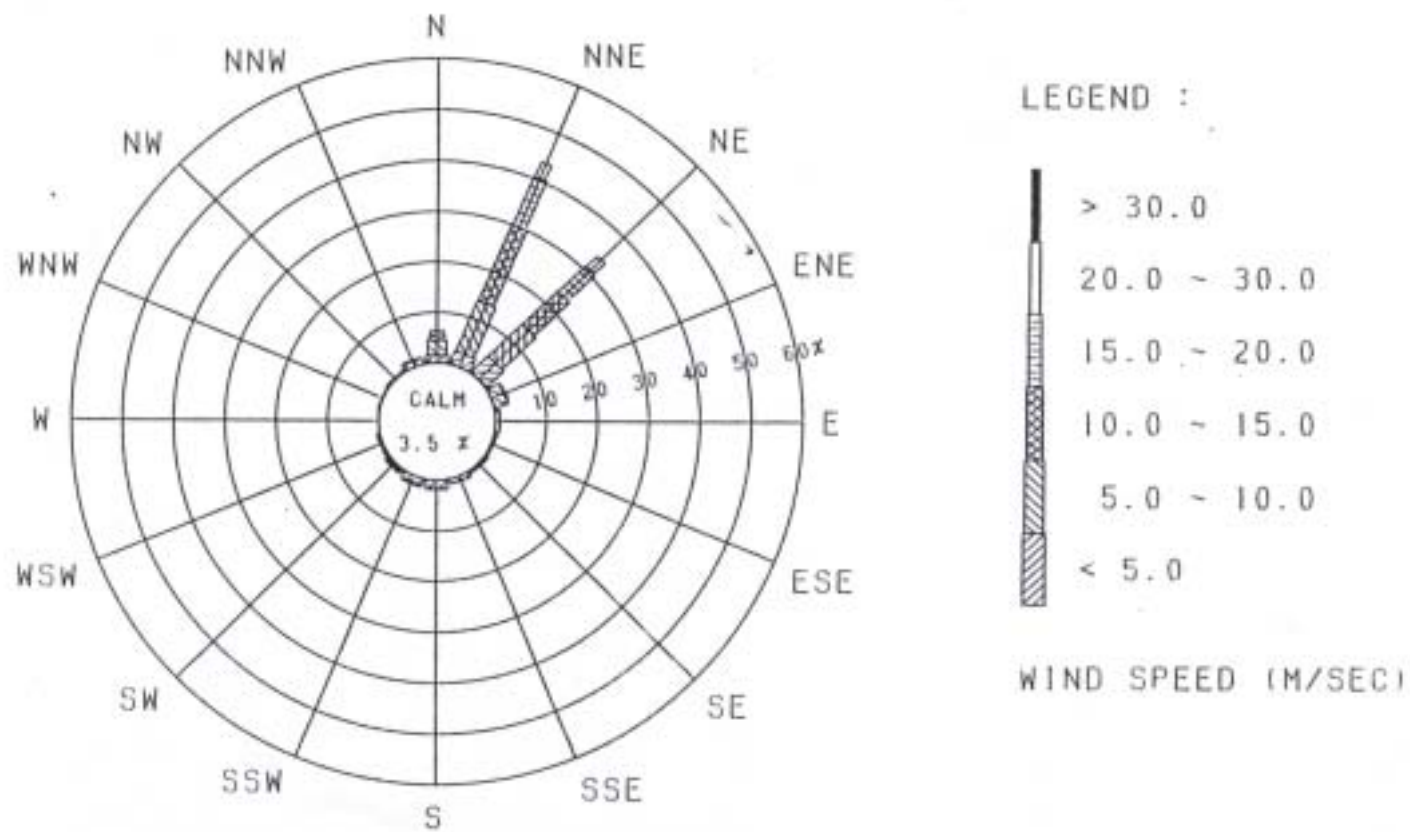


圖 2.1.13 北堤堤頭測站 D 冬季風玫瑰圖

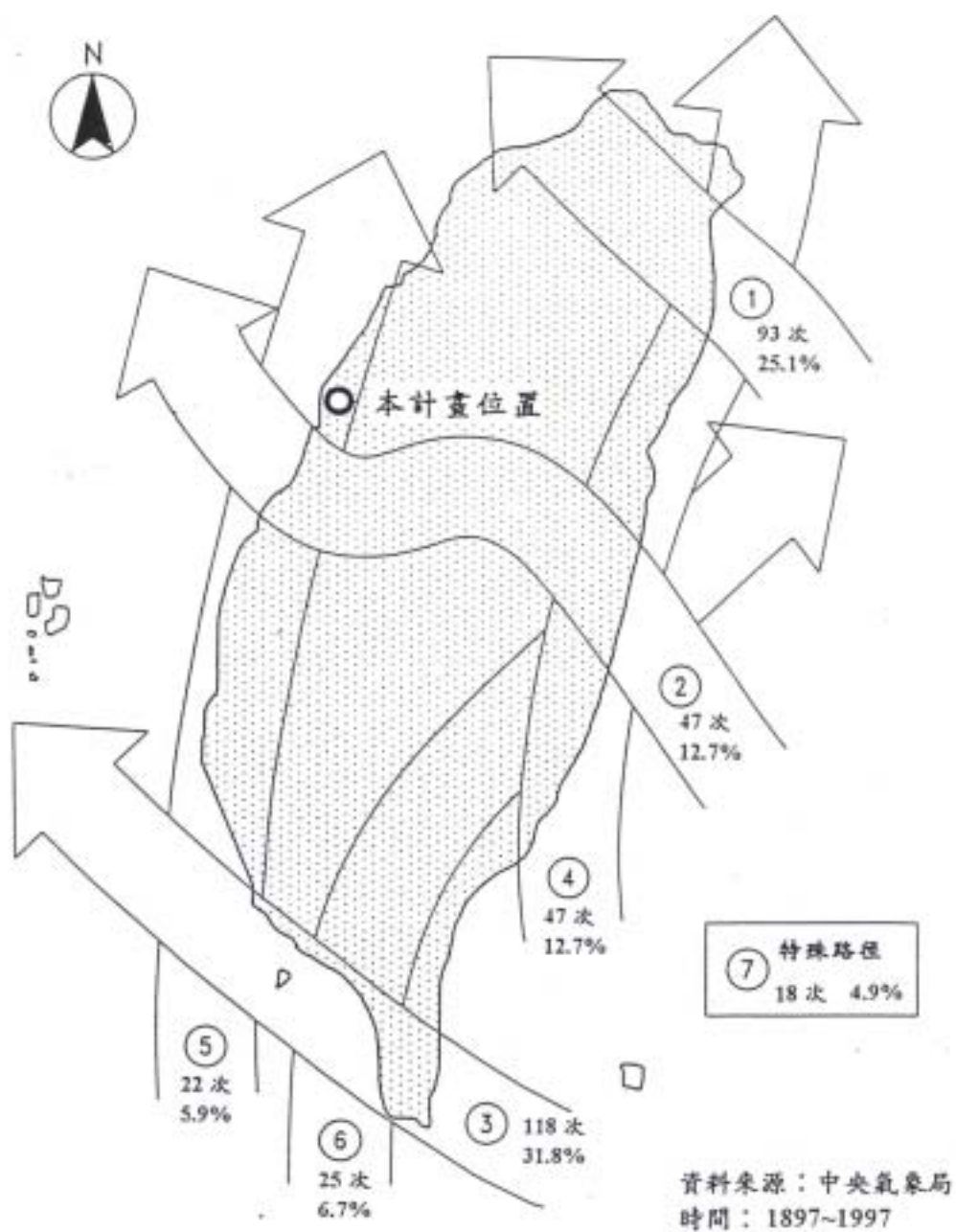


圖 2.1.14 侵台颱風路徑分類統計圖

交通部運輸研究所港灣技術研究中心台中港觀測站儀器安裝位置圖

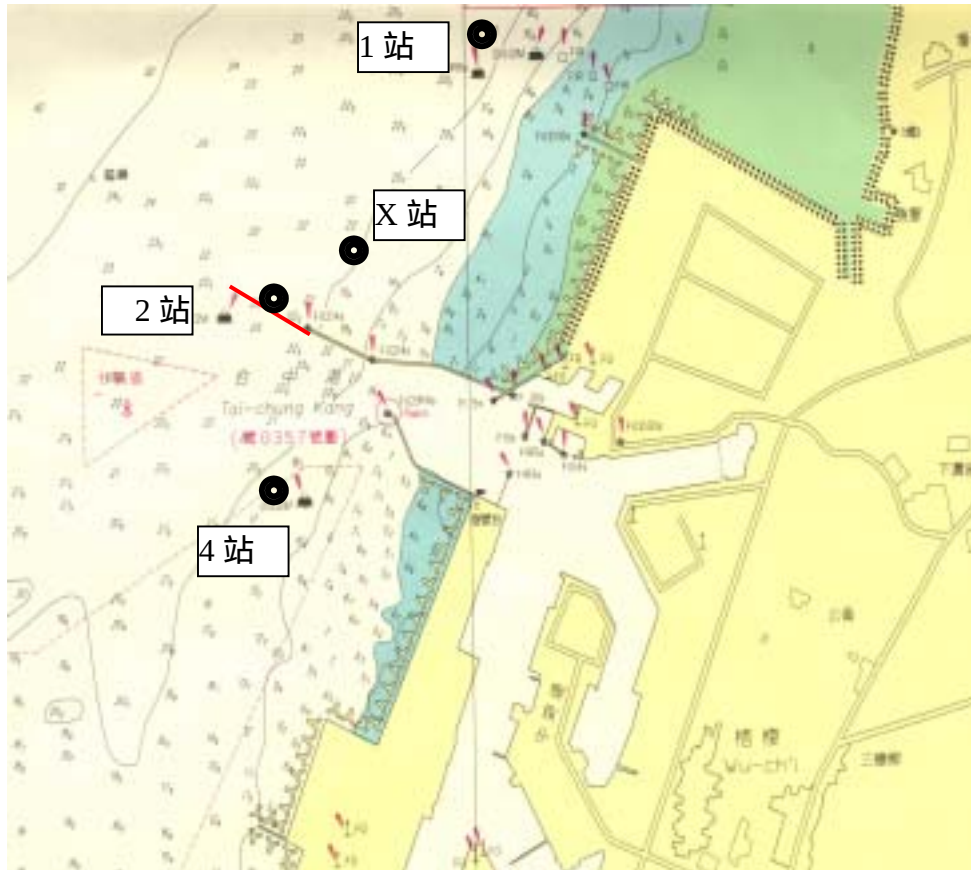


圖 2.2.1 台中港波浪觀測站位置圖

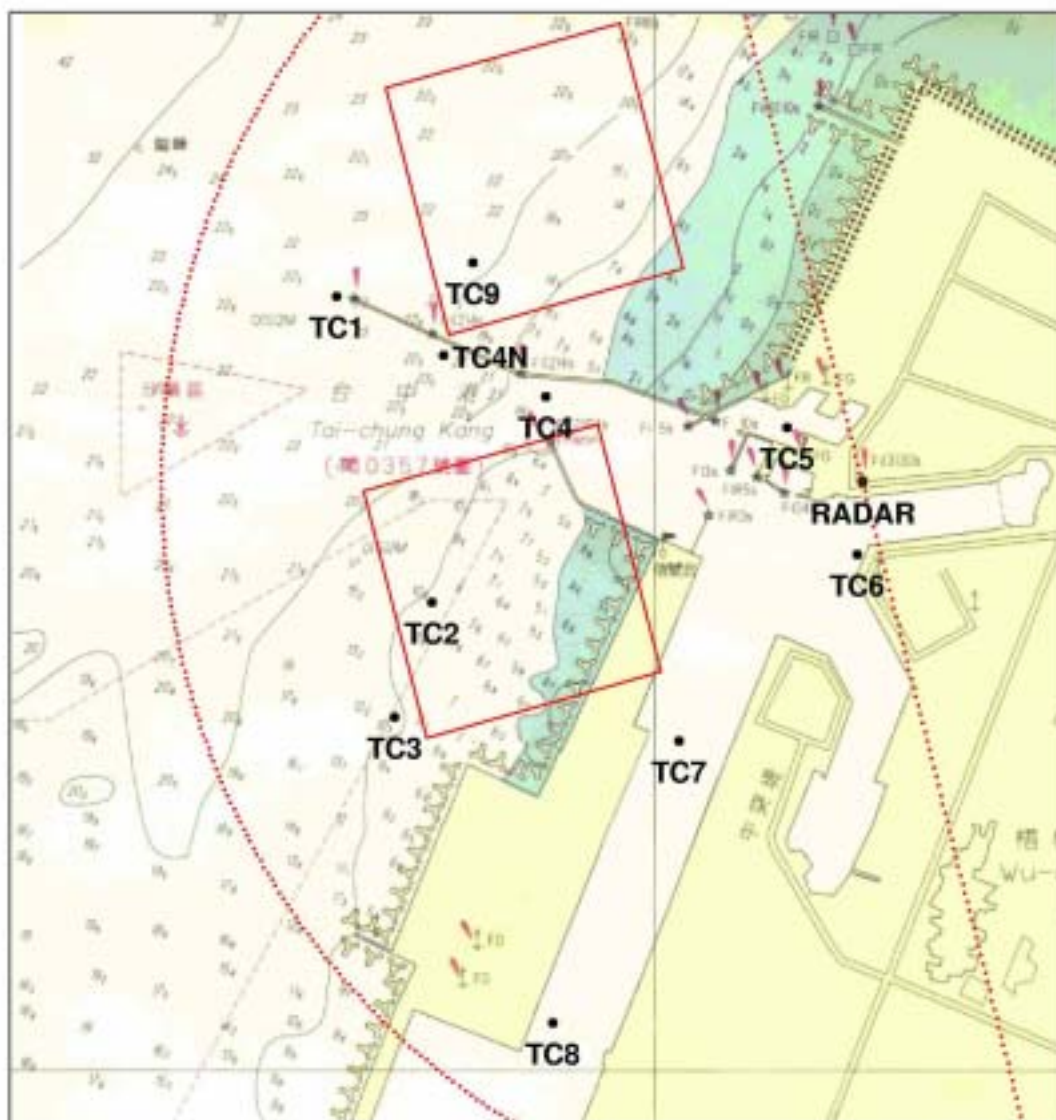


圖2.2.2 台中港港區波浪測站位置圖(圓點代表定點觀測站，
弧形範圍代表雷達影像區域，方形範圍代表雷達計算子區。)

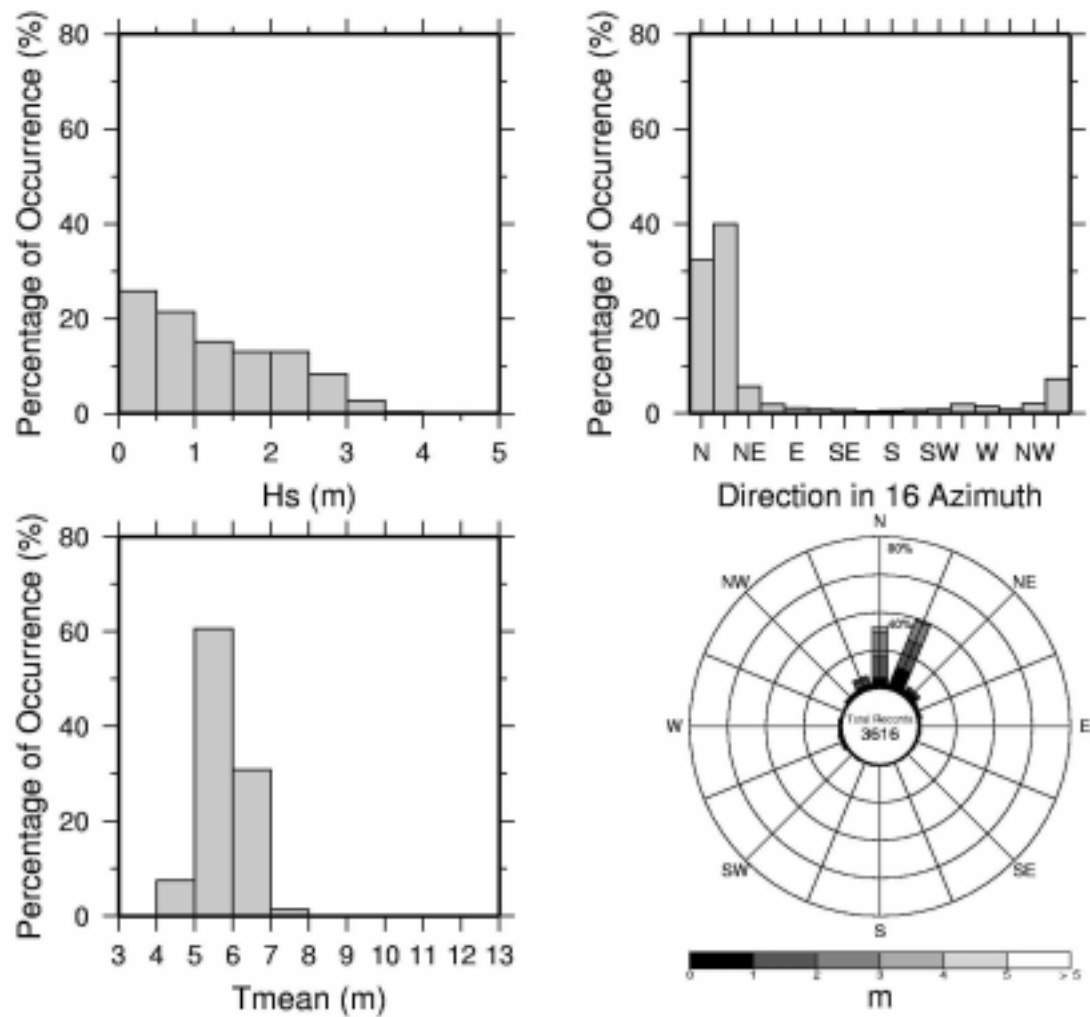


圖2.2.15 台中港TC1站波浪觀測資料之統計圖

(觀測日期：91/10/14 09:00 ~ 92/06/24 22:00)

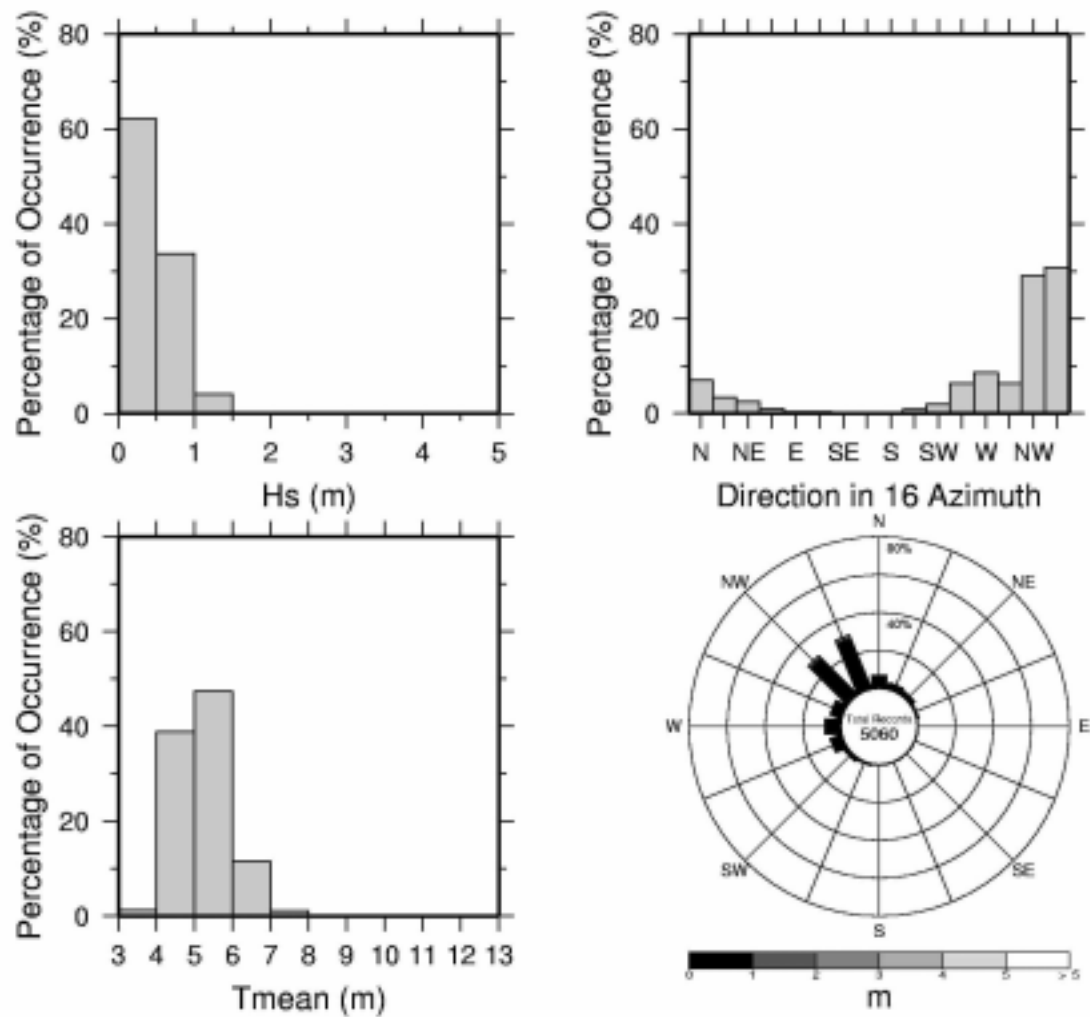


圖2.2.16 台中港TC2站波浪觀測資料之統計圖

(觀測日期：91/10/14 07:00 ~ 92/07/29 03:00)



圖 2.3.1 台中港潮汐觀測站位置圖

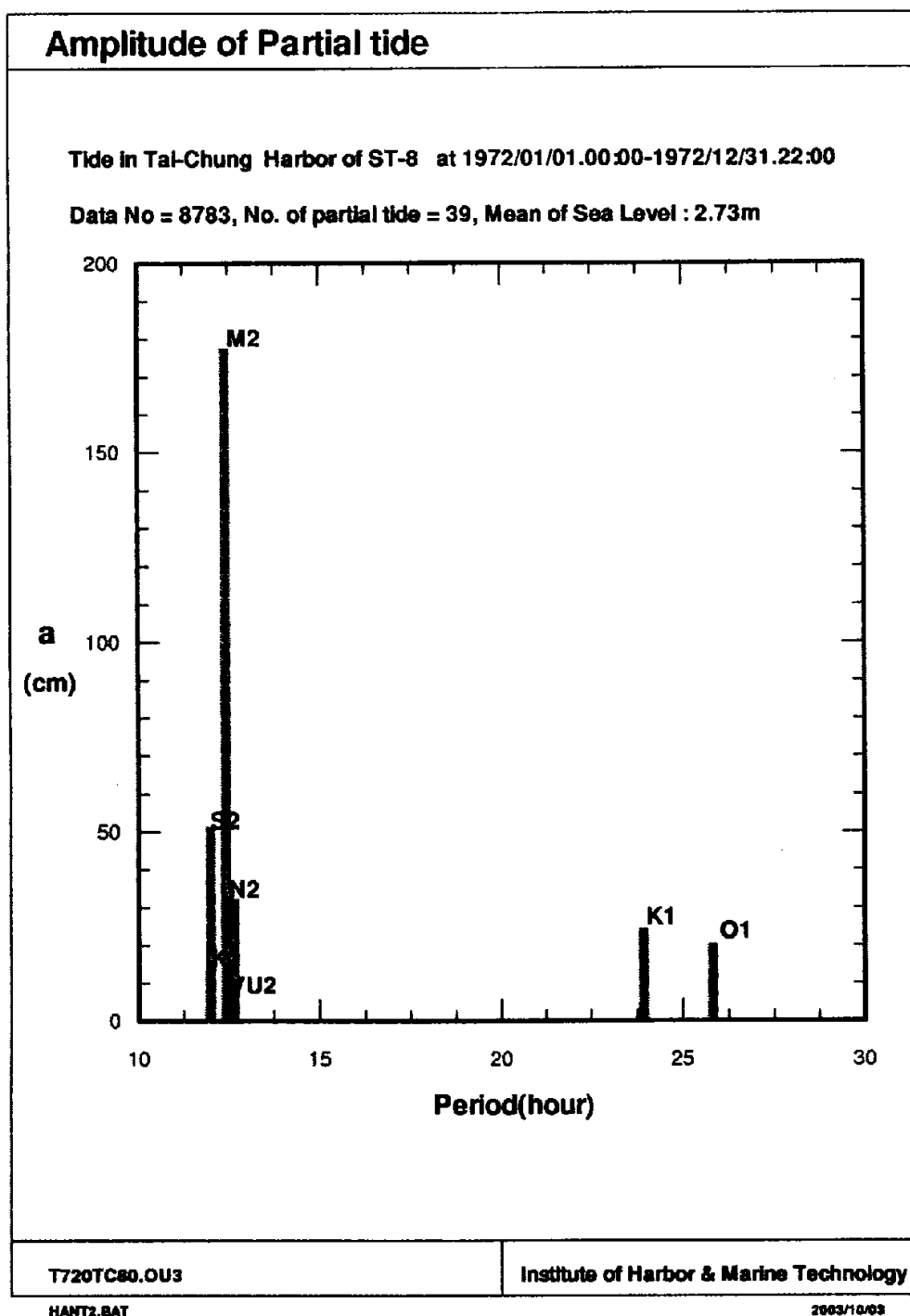


圖 2.3.2 台中港潮汐七個主要分潮振幅值圖

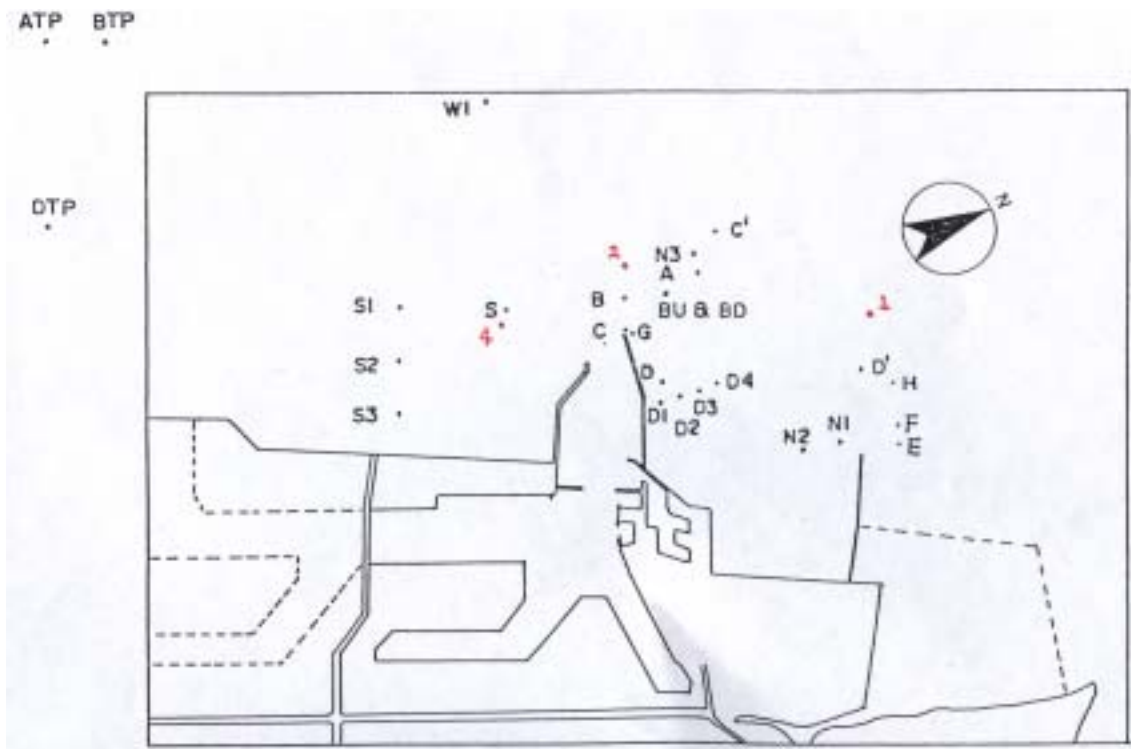


圖 2.4.1 台中港海流觀測站位置圖

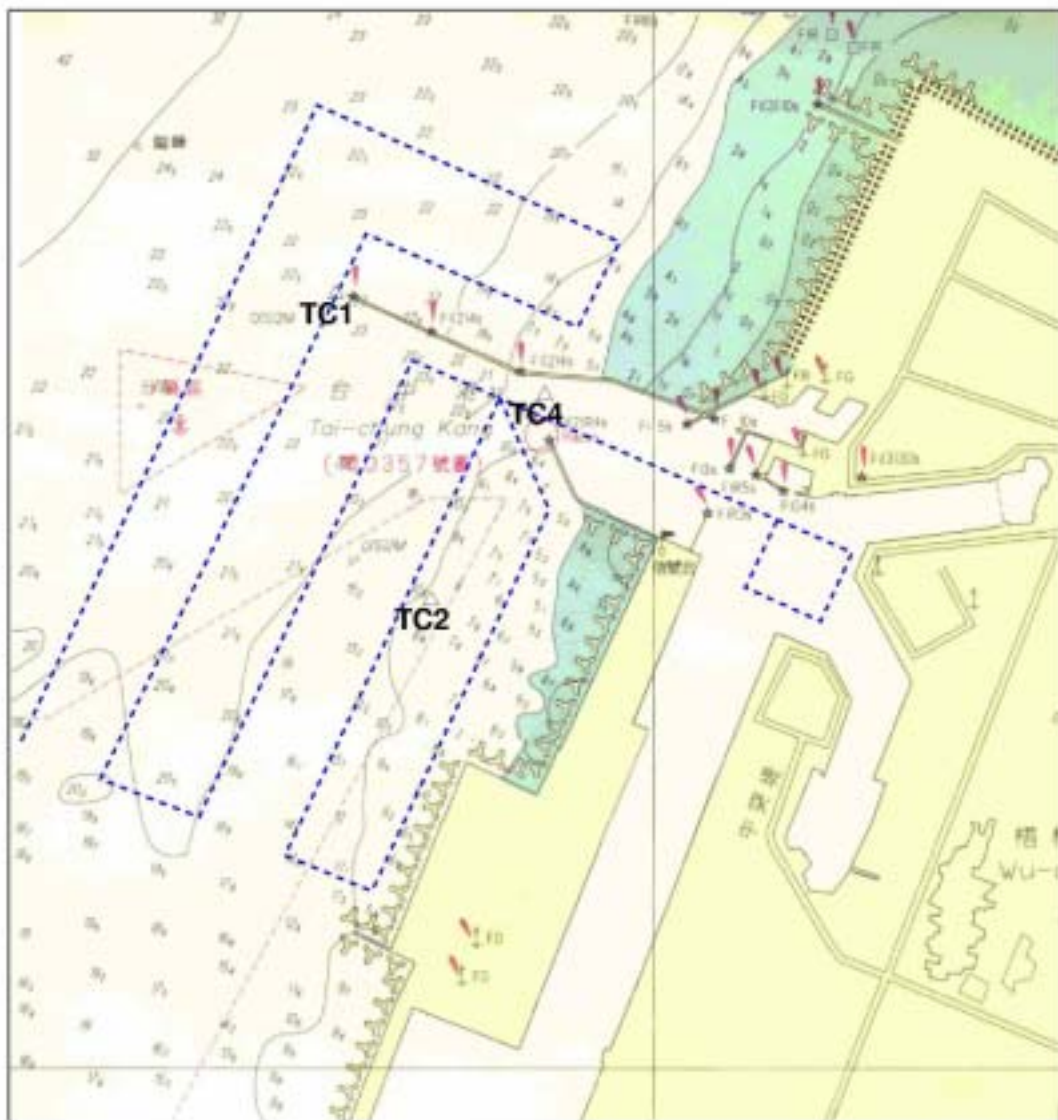


圖2.4.2 台中港港口附近海域海流觀測站位置分布圖

(其中TC1站和TC2站為長期定點觀測站，TC4站為短期定點觀測站，虛線為以船碇式都卜勒流剖儀觀測漲退潮流場空間分布之測線。)

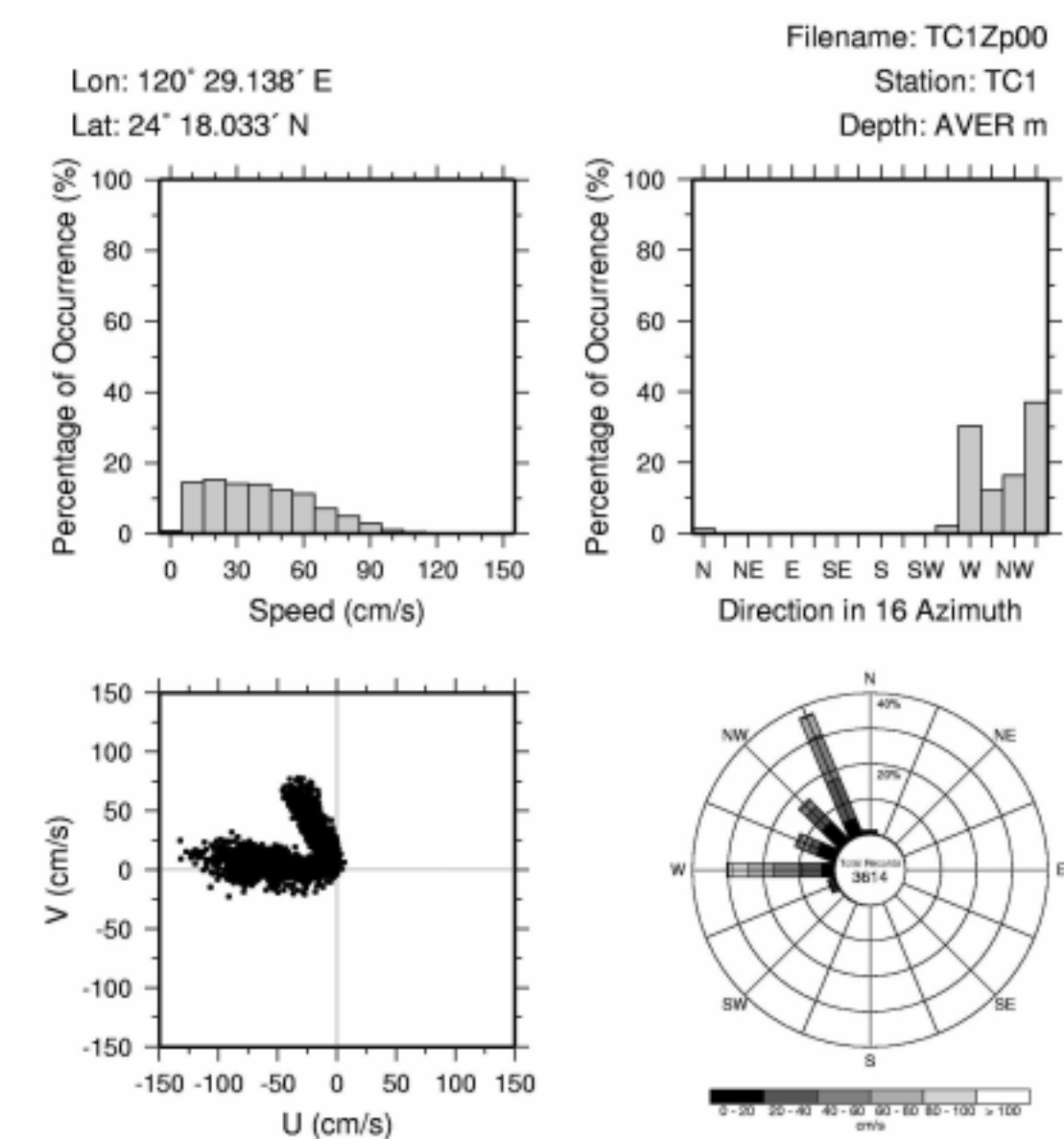


圖2.4.3 台中港TC1站垂直平均海流之流速流向統計圖

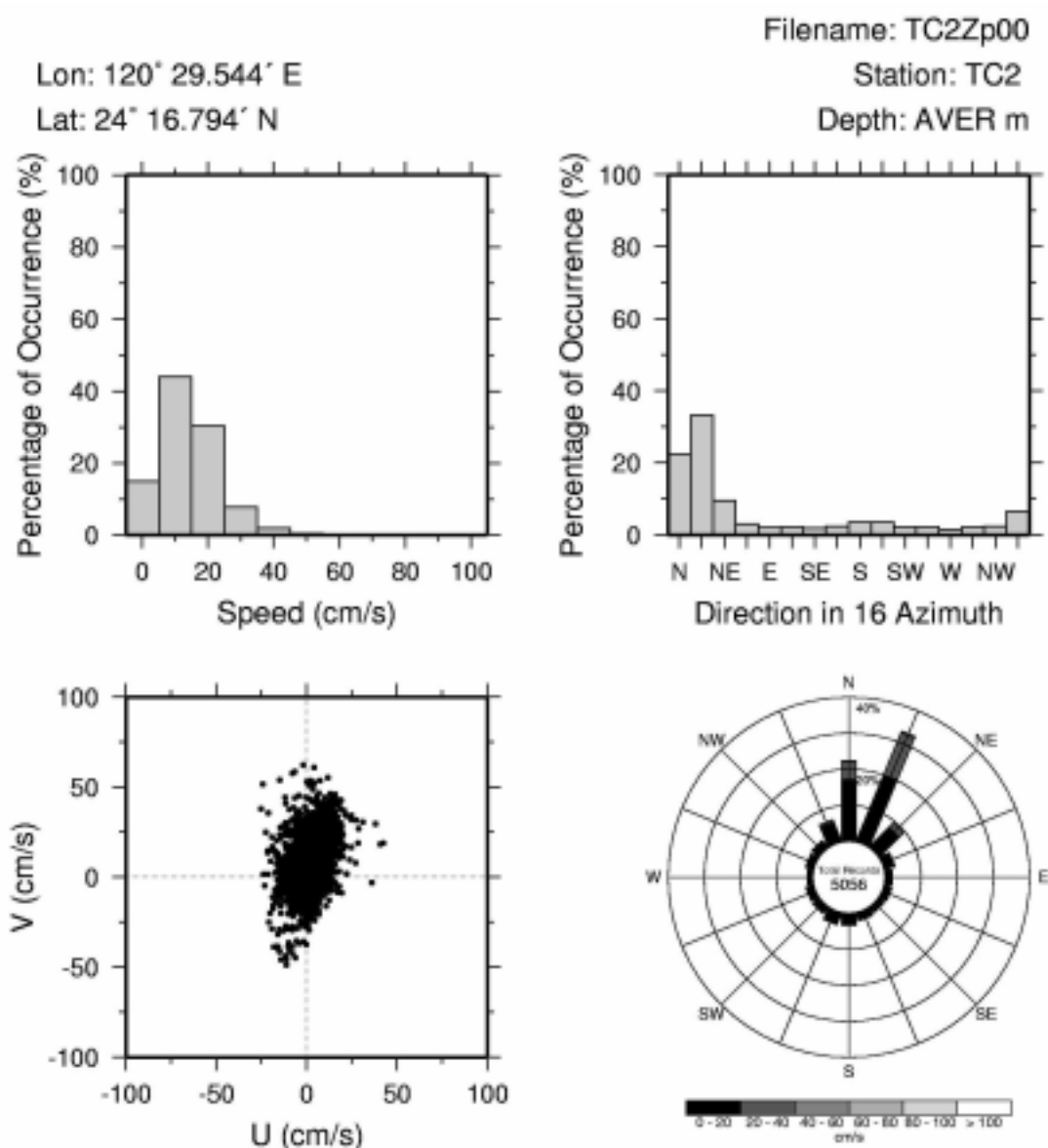


圖2.4.4 台中港TC2垂直平均海流之流速流向統計圖

(a)

(b)



(c)

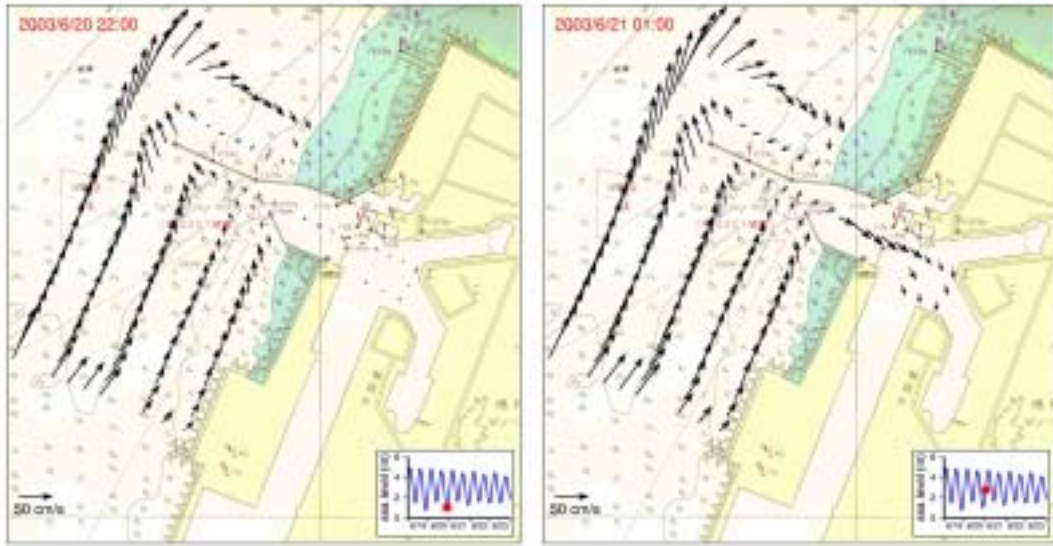
(d)



圖2.4.5 台中港港口附近海域冬季期間於(a)低潮位、(b)漲潮、(c)高潮位和(d)退潮等四個潮時平均流與半日潮潮流合成的流場分佈

(a)

(b)



(c)

(d)



圖2.4.6 台中港港口附近海域夏季期間於(a)低潮位、(b)漲潮、(c)高潮位和(d)退潮等四個潮時平均流與半日潮潮流合成的流場分佈

第三章 海流數值計算

3.1 引言

台中港港口二期擴建計劃之目標，主要在提昇 4,000TEU 級以上大型貨櫃輪及 12.5 萬載重噸散貨輪於海氣象條件不良情形下進泊台中港之安全性。台中港港口第二期擴建工程自民國八十八年七月起施工，預計民國九十二年八月完工，主要工程項目包括：再延伸北外防波堤 480 公尺、拆除部分南外堤 93 公尺、及拆除部分南內堤 50 公尺，藉以提昇計畫進港船型及港口操航安全，降低海運成本，提高航商業者投資意願。另為配合港口擴建成效，台中港航道浚深拓寬工程自民國八十八年七月起施工，預計民國九十四年十二月完工，主要工程項目包括：浚深拓寬航道至-16 公尺深及 400 公尺寬，以進泊大型輪船，提供充裕航行水域，增進操航安全。

為配合台中港港口二期擴建後進行相關評估與提供操船模擬設定海象環境之需要，因此，本研究將針對台中港二期擴建後之港口與港內海域進行海流數值模擬計算。海流模擬計算作業中，除恒流效應外，風、浪及潮之影響因素將作充分之考量，數值模擬計算之結果並將引用台中港海域最近海象調查之部分實測資料(工業技術研究院能源與資源研究所, 2003)檢定驗證。

3.2 台中港二期擴建後之港口配置與水深地形

台中港港口第一期擴建工程完工後，港區外廓防波堤及碼頭等結構物配置如圖 3-1 所示。而在第二期擴建工程中，防波堤等外廓設施之改善配置如圖 3-2-1 所示，主要工程項目包括：再延伸北外防波堤 480 公尺、拆除部分南外堤 93 公尺、及拆除部分南內堤 50 公尺。完成第二期擴建計劃目標後，台中港港口之配置(2003 年現況)如圖 3-2-2 所示。

台中港最近期(2001 年實測)之港口地形與水深，依據 2003 年 3 月台中港務局委託亞太環境科技股份有限公司進行「台中港南填方區間(I)圍堤工程及航道浚深拓寬工程環境監測報告書 - 九十一年年報」之實測結果，經台中港務局提供，可得地形與水深如圖 3-3 所示。

3.3 台中港二期擴建後之港口海象調查

為進行「台中港港口第二期擴建工程成效評估」，台中港務局於 2002 年 10 月委託工業技術研究院能源與資源研究所進行港口海象調查。海象調查之項目包括：風力、波浪、及海流。各海象調查測站之編號及位置分別如圖 3-4 所示。其中，應用以驗證本研究計畫成果之海流測站分別為：TC1 測站，其位置為($24^{\circ}18.033'N$; $120^{\circ}29.139'E$)，測站平均水深為 25 米，使用 WorkHouse RDI 儀器(S/N：1668)；TC2 測站，其位置為($24^{\circ}16.794'N$; $120^{\circ}29.544'E$)，測站平均水深為 13 米，使用 WorkHouse RDI 儀器(S/N：2619)；及 TC4 測站，其位置為($24^{\circ}17.773'N$; $120^{\circ}29.583'E$)，測站平均水深為 17 米，使用 NorTek Current Profilew 儀器(S/N：4582)。

為於數值模擬計算中考量潮汐、風力與波浪之效應，本研究之潮汐以本中心設置在第四處碼頭之驗潮站實測資料為基準。計算風力(含風速及風向)由工業技術研究院能源與資源研究所提供，風力測站之位置位於北外防波堤第一期擴建工程延伸 850 公尺後之堤頭燈杆上，使用 Young 風速儀，測站高程為 24 公尺。至於外海之波浪，依據工業技術研究院能源與資源研究所之觀測結果及風速(W_s)與波高(H_s)相關性之分析，可得 TC1 測站處之波高(H_s)與風速(W_s)關係為： $H_s \approx 0.15 \times W_s$ ，其相關係數(R^2)高達 0.93。

為數值模擬之應用及計算成果之檢核依據，配合工業技術研究院能源與資源研究所進行港口海象調查之期間，選取 2002 年 11 月相同期間之海象實測資料，可得風向、風速、及潮位之逐時變化歷程如圖 3-5 所示。風向、風速、及應用相關性分析所得之波高逐時變化歷程如圖 3-6 所示。2002 年 11 月期間，TC1、TC2、及 TC4 測站之實測

海流流向、流速及相對應之潮位逐時變化歷程分別如圖 3-7、圖 3-8 及圖 3-9 所示。

工業技術研究院能源與資源研究所配合國立台灣大學海洋研究所，應用船碇式杜卜勒海流儀(Sb-ADCP)，針對台中港港口海域進行平面海流流場觀測，可得 2002 年 12 月 4 日部分時段之實測海流隨潮位之變化分別如圖 3-10-1 至圖 3-10-4 所示，同期間之實測海流經資料進一步分析處理後，可得實測潮流橢圓之分布如圖 3-11 所示，而平均流(subtidal current)之強弱分布則如圖 3-12 所示。

3.4 二維水動力數值模式

3.4.1 MIKE21_HD 系統方程式

在潮波之大尺度波長與地轉效應考量下，由於台灣環島海域之水深相對於潮波之大波長而言，其相對水深比值實際上仍甚小，因此可假定潮波之運動特性其在水深方向之變化不大，故而可對一般含時間因素之空間上三維的水動力系統方程式，以水深方向積分處理後，簡化為如下含時間變化之二維水動力計算系統(DHI, 1998):

連續方程式：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = I - e \quad (3.1)$$

運動方程式：

x 方向：

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} \\ - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - f_w VV_x + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

y 方向：

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} \\ - \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - f_w V V_y + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

上列式中， $p, q(x, y, t)$ ：分別為 x 及 y 向之流量強度 ($m^3/s/m$) = (uh, vh) ； I ：單位平面源流之大小 ($m^3/s/m^2$)； e ：蒸發損失率 (m/s)； $C(x, y)$ ：Chezy 阻力係數 ($m^{1/2}/s$)； f_w ：風摩擦係數； $V, V_x, V_y(x, y, t)$ ：分別為風速及其在 x 及 y 方向之速度分量 (m/s)； $\Omega(x, y)$ ：柯氏 (Coriolis) 力參數，與緯度有關 (S^{-1})； $P_a(x, y, t)$ ：大氣壓力 ($kg/m/s^2$)。

3.4.2 有限差分法

對於實際物理應用問題而言，水動力系統方程式之求解方法一般可分為有限差分法(F.D.M.)與有限元素法(F.E.M.)兩類。此二類求解方法，依前、後置處理 (pre-& post-processor) 工作、數值方法與技巧及邊界處理難易程度等而各有優劣點。本研究引用丹麥水力研究所 (Danish Hydraulic Institute) 使用之交替方向隱式 (alternating direction implicit) 有限差分法以求解式(3.1)至(3.3)之水動力系統方程式(DHI, 1998)。求解計算中，各計算網格位置上之時空變量並以雙向刮掃 (double sweep) 方式處理計算。

依據 A.D.I. 有限差分法及時空網格分割之定義，因此，連續方程式，式(3.1)，在無質量增損情況下，其 x 及 y 方向之差分型式可分別表示為

x—方向：

$$2 \cdot \left(\frac{\zeta^{n+1/2} - \zeta^n}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k \\ + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} + \left(\frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n-1/2} \right\}_j = 0 \quad (3.4)$$

y—方向：

$$2 \cdot \left(\frac{\zeta^{n+1} - \zeta^{n+1/2}}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k \\ + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+3/2} + \left(\frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} \right\}_j = 0 \quad (3.5)$$

而動量方程式，在忽略大氣壓力、風力及其他波浪有效應力後，式(3.2)等號左右各項可逐項表示為

時間變化項：

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \left(\frac{p^{n+1} - p^n}{\Delta t} \right)_{j,k} \quad (3.6)$$

重力影響項：

$$gh\zeta_x \approx g \left(\frac{h_{j,k} + h_{j+1,k}}{2} \right)^n \left(\frac{\zeta_{j+1,k} - \zeta_{j,k}}{\Delta x} \right)^{n+1/2} \quad (3.7)$$

其中，

$$h_{j,k}^n = d_{j,k} + \zeta_{j,k}^n \quad (3.8)$$

x—方向對流項：

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pp}{h} \right) \cong \left[\frac{(p_{j+1} + p_j)^{n+1}}{2} \cdot \frac{(p_{j+1} + p_j)^n}{2} \cdot \frac{1}{h_{j+1}^n} - \frac{(p_j + p_{j-1})^{n+1}}{2} \cdot \frac{(p_j + p_{j-1})^n}{2} \cdot \frac{1}{h_j^n} \right]_k \cdot \frac{1}{\Delta x} \quad (3.9)$$

$$\overline{u^2} \Delta t \frac{\Delta^2 p}{\partial x^2} \cong \Delta t \left(\frac{p_{j,k}^n}{h^*} \right)^2 \cdot \left(\frac{p_{j+1} - 2p_j + p_{j-1}}{(2\Delta x)^2} \right)_k^{n-1} \quad (3.10)$$

其中

$$h^* = \frac{1}{2} \cdot (h_{j+1} + h_j)_k^n \quad (3.11)$$

x—方向動量交換項：

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) \approx \left[\left(\frac{p_{k+1}^a + p_k^b}{2} \right)_j \cdot v_{j+1/2,k}^{n+1/2} - \left(\frac{p_k^a + p_{k-1}^b}{2} \right)_j \cdot v_{j+1/2,k-1}^{n+1/2} \right] \cdot \frac{1}{\Delta y} \quad (3.12)$$

其中， $a = n + 1$ ， $b = n$ 表向下刮掃而 $a = n$ ， $b = n + 1$ 表向上刮掃，且

$$v_{j+1/2,k}^{n+1/2} = \frac{2(q_j + q_{j+1})_k^{n+1/2}}{(h_{j,k} + h_{j,k+1} + h_{j+1,k} + h_{j+1,k+1})^n} \quad (3.13)$$

$$v_{j+1/2,k-1}^{n+1/2} = \frac{2(q_j + q_{j+1})_{k-1}^{n+1/2}}{(h_{j,k-1} + h_{j,k} + h_{j+1,k-1} + h_{j+1,k})^n} \quad (3.14)$$

$$\overline{v^2} \Delta t \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \approx \Delta t (v^*)^2 \cdot \frac{\{p_{k+1}^a - (p_k^{n+1} + p_k^n) + p_{k-1}^b\}_j}{(\Delta y)^2} \quad (3.15)$$

a 、 b 之定義同式(3.12)，而

$$v^* = \frac{1}{2} \cdot (v_{k+1/2} + v_{k-1/2})_{j+1/2}^{n+1/2} \quad (3.16)$$

摩擦阻力項：

$$\frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \approx \frac{gp_{j,k}^{n+1} \sqrt{p^{*2} + q^{*2}}}{C^2 h^{*2}} \quad (3.17)$$

其中，

$$p^* = p_{j,k}^n \quad (3.18)$$

$$q^* = \frac{1}{8} (q_{j,k}^{n-1/2} + q_{j+1,k}^{n-1/2} + q_{j,k-1}^{n-1/2} + q_{j+1,k-1}^{n-1/2} + q_{j,k}^{n+1/2} + q_{j+1,k}^{n+1/2} + q_{j,k-1}^{n+1/2} + q_{j+1,k-1}^{n+1/2}) \quad (3.19)$$

$$h^* = 1/2 (h_{j+1} + h_j)_k^n \quad (3.20)$$

$$C = M \cdot h^{*1/6} \quad (3.21)$$

C 表 Chezy number, 而 M 表 Manning number

地轉效應項：

$$\Omega \cdot q \approx \Omega q^* \quad (3.22)$$

q^* 同式(3.19)。至於式(3.3)內各項之差分處理可仿照式(3.6)至式(3.22)方式編寫。

3.5 台中港二期擴建後之海流數值模擬

3.5.1 東亞海域之海流數值模擬

依據台灣環島海域、台灣中西部海域及台中港海域之水深地形及海岸特性，於計算範圍邊界條件之掌握、地形解析度、計算網格大小、電腦之總計算時間及計算結果驗證之需要等因素考量下，本研究之計算海域因此採用不同大小範圍交疊配置之巢狀網格(nested grids)配置。而針對台中港二期擴建後海流數值模擬計算設定初始及邊界條件之需要，因此，在計算台灣環島海域之潮汐及潮流之前，首先必須先

行計算模擬東亞海域之潮汐及潮流。

引用自美國國家地球物理資料中心(NGDC: National Geophysical Data Center)下載解析度為 5 分地理弧度(約 9km)之 ETOPO5 東亞海域水深地形資料及 GSHHS (A Global Self-consistent Hierarchical High-resolution Shoreline Database)高解析度海岸線資料(NGDC, 1988), 參考渤海、黃海、東海、西太平洋及南海海域之陸地或島嶼邊界, 再從英國皇家海軍潮汐表(UKHO, 1997)內搜尋台灣鄰近海域登載有潮汐調和分析常數之驗潮站, 因此可規劃東亞海域之數值水深地形如圖 3-13 所示。圖中, 計算海域範圍之網格間距為 10 公里, Y 軸有 230 網格, 長度為 2,300 公里; X 軸有 150 網格, 寬度達 1,500 公里, 網格原點之經緯座標為($23.043^{\circ}N$, $110.0^{\circ}E$), 相當於 UTM-51 座標系統之(-839910.201102, 2608499.833287), 計算海域 Y 軸與正北向之順時鐘夾角為 21° 。

在圖 3-13 所示之東亞海域計算範圍中, 明顯可見邊界之地理位置不僅分布於不同之時區(time zone), 甚且其位置尚分布於韓國、對馬海峽、日本、琉球群島、菲律賓、東沙島及香港等不同國境或地區。進行數值模擬計算前, 為取得計算範圍開放海域上之邊界控制潮位與流速, 因此, 必須先就計算海域邊界上之海岸或島嶼, 依據其鄰近驗潮站之潮汐調和分析常數預報逐時潮位, 相鄰驗潮站間之潮位邊界條件再以線性插分方式處理並設定。

東亞計算海域確立及邊界潮位設定後, 配合實際海象調查期間, 選取 2002 年 11 月為計算時段, 應用 MIKE21_HD 模式執行海流數值模擬, 則東亞海域整體之計算潮位及潮流分布分別可得如圖 3-14-1 至圖 3-14-7 所示。各圖中, 圖下方所示即為以台中港為參考基準之實測潮位, 至於全計算海域內之潮位係以白色等值線及彩色之色階表示, 而潮流之大小及方向則以箭矢長短及指向表示。

3.5.2 台灣四周海域之海流數值模擬

在巢狀網格配置下, 為承接東亞計算海域之海流及潮位結果, 據以進一步適當設定台灣四周海域之海流計算邊界條件, 因此, 規劃台

灣四周海域之計算範圍如圖 3-15 所示。圖中，計算海域範圍之網格間距為 3 公里，Y 軸有 280 網格，長度為 840 公里；X 軸有 250 網格，寬度達 750 公里，網格原點之經緯座標為($20.7^{\circ}N$ ， $116.72^{\circ}E$)，相當於 UTM-51 座標系統之(-155340.0, 2301700.0)，計算海域 Y 軸為正北向。

台灣四周海域確立後，自東亞計算海域之逐時海流及潮位計算結果中，萃取相關邊界上之計算海流及潮位資料，同樣再應用 MIKE21_HD 模式執行海流數值模擬，則台灣四周海域整體之逐時計算潮位及潮流分布分別可得如圖 3-16-1 至圖 3-16-6 所示。各圖中，圖下方所示為以台中港為參考基準之實測潮位，至於全計算海域內之潮位係以白色等值線及彩色之色階表示，而潮流之大小及方向則以箭矢長短及指向表示。

3.5.3 台灣中西部海域之海流數值模擬

台灣中西部海域計算範圍如圖 3-17 所示。其 Y 軸之長度為 125 網格；X 軸之寬度為 120 網格，網格間距 500 公尺，網格原點之經緯座標位於($24.171^{\circ}N$ ， $119.37^{\circ}E$)，網格 Y 軸與正北向之順時鐘夾角為 35° 。

台灣中西部海域確立後，自台灣四周計算海域之逐時海流及潮位計算結果中，萃取相關邊界上之計算海流及潮位資料，同時加入圖 3-7 所示之台中港實測風力之影響，再應用 MIKE21_HD 模式執行海流數值模擬，則台灣中西部海域(北起苗栗大安，南至彰化芳苑)整體之逐時計算潮位及潮流分布分別可得如圖 3-18-1 至圖 3-18-7 所示。各圖中，圖下方所示為以台中港為參考基準之實測潮位，至於全計算海域內潮流之大小及方向則以箭矢長短及指向表示。

3.5.4 台中港海域之海流數值模擬

MIKE21_HD 海流數值模式，除了可考量潮汐及風力之影響外，對於波浪作用力之影響也可充分納入(參見 3-3-1 節)。為於台中港海域之海流數值模擬中，充分考量波浪之影響因素，規劃台中港海域之波浪計算地形範圍如圖 3-19 所示。應用圖 3-6 所示之實測風速 - 波

高相關性分析所得之波高逐時變化歷程為外海波浪入射條件，且設定波浪週期平均為 7 秒，入射方向皆為正北向，使用 MIKE21_NSW 波浪計算模式並加入圖 3-6 所示之實測風力效應，可得台中港海域在小風速期間(2002/11/14)之波浪變形概況如圖 3-20-1 及圖 3-20-2 所示；大風速期間(2002/11/21)之波浪變形概況則如圖 3-21-1 及圖 3-21-2 所示。圖中，箭矢之指向表示計算波向，波高以等值線之數值大小表示，而計算期間則以台中港的實測潮位為參考基準。

為配合「台中港港口擴建及航道浚深拓寬後操船模擬試驗」之需要，並考量台中港海域之水深地形及海岸特性、計算範圍邊界條件之掌握、地形解析度、計算網格大小、電腦之總計算時間及計算結果驗證等因素，依據台中港務局所提供 2002 年之港區水深地形(如圖 3-3 所示)，規劃台中港海域海流之計算範圍如圖 3-22 所示。圖中，計算海域範圍之網格間距為 50 公尺，Y 軸有 245 網格，長度為 12.25 公里；X 軸有 204 網格，寬度達 10.2 公里，網格原點之經緯座標為 ($24.2216^{\circ}N$, $119.9434^{\circ}E$)，相當於 UTM-51 座標系統之(189536.70313 , 2682000.0)，計算海域 Y 軸與正北向之順時鐘夾角為 27° 。

台中港計算海域確立後，萃取上述巢狀網格配置中所預先計算之邊界潮位或海流，再配合驗證考量之實際海象調查期間，選取 2002 年 11 月為計算時段，並納入潮汐、風力(如圖 3-5 所示)及波浪(如圖 3-6 與圖 3-20 及圖 3-21 所示)等實際海象影響因素，應用 MIKE21_HD 模式執行海流數值模擬，則台中港海域在小風速期間(2002/11/10~2002/11/15)之部分典型逐時海流平面流場分布可得如圖 3-23-1 及圖 3-23-13 所示(分別對應自 2002/11/13 18:00 起至 2002/11/14 06:00 止)；而大風速期間(2002/11/16~2002/11/27)之部分典型逐時海流平面流場分布可得如圖 3-24-1 及圖 3-24-14 所示(分別對應自 2002/11/22 00:00 起至 2002/11/22 13:00 止)。各圖中，圖下方所示即為以台中港為參考基準之實測潮位，至於全計算海域內潮流之大小及方向則以箭矢長短及指向表示。

此外，為提供「台中港港口擴建及航道浚深拓寬後操船模擬試驗」之海域水流環境資訊，圖 3-23-1 至圖 3-23-13(小風速期間)與 3-24-1

至圖 3-24-14(大風速期間)所示之典型逐時平面計算海流流場,已逐點就計算海域之 X - Y 軸海流流速分量,以 ASCII 格式轉換並輸出存檔備用,其輸出之檔名格式為 B50W3-datetime.OUT,檔名中,"datetime"表示逐時平面計算海流流場之計算日期與時間,例如:2002/11/22 06:00 全計算海域逐點 X - Y 軸海流流速分量所對應 ASCII 格式輸出檔之檔名即記為 B50W3-2206.OUT。至於,全計算海域之水深,皆已直接輸出至上列 ASCII 格式之檔案中,或替代地,可直接自 TC-B50-Dep.OUT 之 ASCII 格式地形輸出檔中讀取應用。

3.5.5 台中港海域計算海流之驗證與討論

為驗證台中港海域計算海流之準確性,配合圖 3-4 所示之海象調查測站位置,再加上台中港主要進出口航道上的幾個重要點位,因此,可規劃台中港海域計算海流之數值檢測站如圖 3-25 所示。圖中,數值檢測站 1(網格座標:086.5;187.0)、檢測站 2(網格座標:120.2;153.7)及檢測站 4(網格座標:117;186.0)分別與工業技術研究院能源與資源研究所所設置之海象調查測站:TC1、TC2 及 TC4 之位置對應,而檢測站 7(網格座標:119.0;185.0)位於進出口航道上之南、北外防波堤中點處;檢測站 8(網格座標:150.0;186.0)位於進出口航道上之南、北內防波堤中點處;檢測站 9(網格座標:162.5;165.0)約位於 31 號碼頭及 W4 號碼頭間之港內航道入口處;檢測站 10(網格座標:167.5;105.0)約位於 39 號碼頭及 W14 號碼頭間之港內航道出口處;檢測站 11(網格座標:122.5;020.0)約位於南填方區之中西側海域上;檢測站 12(網格座標:168.3;191.4)約位於 1 號碼頭及 9 號碼頭間之北泊渠入口處;檢測站 13(網格座標:172;178.5)約位於 28 號碼頭及 29 號碼頭間之中泊渠入口處;檢測站 14(網格座標:165.3;172.8)約位第二貨櫃中心之 29 號碼頭及 30 號碼頭間之轉角處;檢測站 15(網格座標:155.0;173.6)約位於 W1 號碼頭及 W2 號碼頭間;檢測站 16(網格座標:155.8;164.1)約位於 W2 號碼頭及 W3 號碼頭間;檢測站 17(網格座標:168.3;098.3)約位於 42 號碼頭及 W15 號碼頭間之港內航道出口與南迴船池北端交接處;檢測站 18(網格座標:156.2;075.6)約位於 93 號碼頭及 107 號碼頭間之工業泊渠入口

與南迴船池南端交接處；致於檢測站 19(網格座標：160.0；182.0)則約位於北迴船池之中心。

針對上列選取之數值檢測站位置，從計算海域 2002 年 11 月全計算期間之平面逐時海時流場中，萃取各數值檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，因此可與相關實測資料相互驗證比較如下：

(一)數值檢測站 1：

本數值檢測站約位於台中港二期擴建後之北外防波堤堤頭外 100 公尺。萃取數值檢測站 1 位置上之逐時計算潮位與海流，並與 TC1 海象測站之實測資料相互驗證比較，結果如圖 3-26 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位之逐時變化驗證甚為吻合，但計算與實測海流之逐時流向及流速大小，其總體之變化趨勢則大抵上僅相近似，尤其是不論風速之大小，計算與實測海流間始終存在有些微之偏差，造成偏差之原因，主要應係本海域之平均流(subtidal current)效應未能於計算模式中充分考量所致。

有關台中港 TC1 測站海域之平均流(subtidal current)方向與流速大小，依據實測資料分析研判可得，平均流之流速可高達 42.1cm/s，流向 349.79°，約為 NNW。倘將此一觀測之平均流影響直接以線性方式疊加至計算海流中，則計算與實測海流之驗證比較結果將如圖 3-27 所示。由圖觀察可知，本海域之計算海流，若能充分納入平均流之影響效應，則計算與實測海流兩者間總體之變化趨勢將甚相吻合。惟因台灣四周海域之平均流數值模擬計算，在現階段尚存在諸多困難度，有待後續研究努力克服。故本研究針對台中港海域所提供之全平面逐時海流計算流場，目前為不考量平均流影響效應之現地近似流場。僅管如此，依據圖 3-26 進一步觀察可知，當台中港海域在大風速期間(2002/11/16~2002/11/27)，計算與實測海流之流向及流速大小，實際上是頗為一致地。因此，提供台中港 TC1 測站海域，在海象較惡劣之大風速期

間，海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-28 所示。

觀察圖 3-28 可知，雖然本檢測站位處台中港二期擴建後之北外防波堤堤頭端海域，但計算潮位與台中港驗潮站之實測潮位仍甚符合且無明顯之偏差。至於本檢測站之計算海流隨潮汐漲落之詳細變化，在海象較惡劣之大風速期間，從圖中觀察可清楚看出，無論台中港潮汐為漲潮或退潮期間，計算海流皆甚強勁，最大流速約可達 110 cm/s，最小流速約在 10 至 20 cm/s 間，流向近似保持恒定且不隨潮汐漲退而變動，平均約為 243° 。依據以上本檢測站海域之計算海流特性可知，在常年強東北季風之作用下，台中港二期擴建後之北外防波堤堤頭端海域，海流應經常維持在 WSW 方向流動。

(二)數值檢測站 2：

本數值檢測站約位於台中港二期擴建後之南外防波堤堤頭南側 1300 公尺，距南海堤區之中點亦約 1300 公尺。萃取數值檢測站 2 位置上之逐時計算潮位與海流，並與 TC2 海象測站之實測資料相互驗證比較，結果如圖 3-29-1 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位之逐時變化甚為吻合，而計算與實測海流逐時流向及流速大小之變化，其總體趨勢大抵上亦相近似。但在微弱風速期間，計算與實測海流之大小存在有些微之偏差，造成偏差之原因，主要仍係本海域之平均流(subtidal current)效應未能於計算模式中充分考量所致。

有關台中港 TC2 測站海域之平均流(subtidal current)方向與流速大小，依據實測資料分析研判可得，平均流之流速可達 13.7cm/s，流向 12.62° ，約為 NNE。對照圖 3-29-1 觀察可知，由於本測站海域在微弱風速期間，計算海流之大小普遍不及 10cm/s，因此，平均流之影響效應較顯著，而在強風速期間，平均流對計算海流之影響效應相對地較為有限。因此，提供台中港 TC2 測站海域，在海象較惡劣之大風速期間，海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-29-2 所示。

(三)數值檢測站 4：

本數值檢測站約位於台中港二期擴建後之航道口與北外防波堤轉角處。萃取數值檢測站 4 位置上之逐時計算潮位與海流，並與 TC4 海象測站之實測資料相互驗證比較，結果如圖 3-30-1 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位之逐時變化仍甚為吻合，而計算與實測海流逐時流向及流速大小之變化，其總體趨勢大抵上亦相吻合。惟在台中港潮汐退潮期間，計算海流之流速大小普遍較實測流速大，而在漲潮期間，計算海流之流速大小普遍較實測流速小。造成上述偏差之原因尚待研究探討。此外，因本檢測站之位置接近南、北外防波堤間之航道口北側，故實測海流資料中，平均流(subtidal current)之影響效應已不顯著。

另為瞭解台中港外港口海流之進出特性，因此，提供本測站海域，在海象較惡劣之大風速期間，海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-30-2 所示。從圖中可明顯看出，在本測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之流速最大可達 60 cm/s，流向 270° ；而在漲潮期間，計算海流之流速最大約為 30 cm/s，流向則轉變為 90° 。

(四)數值檢測站 7：

本數值檢測站位於進出口航道上之南、北外防波堤中點處，與數值檢測站 4 之位置甚接近，但無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-31-1 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位及海流之逐時變化，實際上與數值檢測站 4 相一致。在海象較惡劣之大風速期間，本檢測站計算海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-31-2 所示。從圖中可明顯看出，在本測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之流速最大可達 65 cm/s，流向約

270°；而在漲潮期間，計算海流之流速最大約為 35 cm/s，流向則約為 90°。

(五)數值檢測站 8：

本數值檢測站位於進出口航道上之南、北內防波堤中點處，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-32-1 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位亦相吻合。在海象較惡劣之大風速期間，本檢測站計算海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-32-2 所示。從圖中可明顯看出，在本測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之流速最大可達 60 cm/s，流向約 315°；而在漲潮期間，計算海流之流速最大約可達 45 cm/s，流向則約為 117°。

(六)數值檢測站 9：

本數值檢測站約位於 31 號碼頭及 W4 號碼頭間之港內航道入口處，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-33-1 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位亦相吻合。在海象較惡劣之大風速期間，本檢測站計算海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-32-2 所示。從圖中可明顯看出，在本測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之流速最大約為 23 cm/s，流向約 18°；而在漲潮期間，計算海流之流速最大亦約為 20 cm/s，流向則約為 216°。

(七)數值檢測站 10：

本數值檢測站約位於 39 號碼頭及 W14 號碼頭間之港內航道出口處，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-34 所示。由圖觀察可知，計算潮位與台中港驗潮站之實測潮位已有些微之偏差。至於本檢測站之計算海流隨潮汐漲落之詳細變化，在海象較惡劣之大風速期間，從圖中仔細觀察尚可看出，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之流速最大約為 32 cm/s，流向約 18° ；而在漲潮期間，計算海流之流速最大亦約為 20 cm/s，流向則約為 200° 。

(八)數值檢測站 11：

本數值檢測站約位於南填方區之中西側海域上，距南填方區海堤約 300 公尺，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-35 所示。由圖觀察可知，即使本檢測站位處台中港之南側海域，但計算潮位與台中港驗潮站之實測潮位仍甚符合且無明顯之偏差。至於本檢測站之計算海流隨潮汐漲落之詳細變化，在海象較惡劣之大風速期間(2002/11/16~2002/11/27)，從圖中觀察可清楚看出，無論台中港潮汐為漲潮或退潮期間，計算海流皆甚強勁，最大流速約可達 62 cm/s，最小流速約在 20 cm/s 左右，流向則僅隨潮汐漲退而作些微之規則變動，但平均仍約保持為 198° ；在小風速期間(2002/11/10~2002/11/15)，本檢測站海域之計算海流普遍皆甚微弱，最大流速大多不及 20 cm/s，流向則隨潮汐漲落而規則變動，平均約介在 0° 至 207° 間。依據以上本檢測站海域之計算海流特性，配合海灘之沖淤機制觀點，可預期地，在常年強東北季風之作用下，台中港南填方區之海堤外側海域，未來應具有甚高的沖蝕潛勢。

(九)數值檢測站 12：

本數值檢測站約位於 1 號碼頭及 9 號碼頭間之北泊渠入

口處，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-36 所示。由圖觀察可知，計算潮位與台中港驗潮站之實測潮位甚為吻合。至於本檢測站之計算海流隨潮汐漲落之詳細變化，從圖中觀察可清楚看出，即使在海象較惡劣之大風速期間且在台中港之大潮差條件下，本檢測站海域之計算海流普遍仍甚微弱，最大之計算海流流速一般皆在 5 cm/s 以下，流向則隨潮汐漲落而規則變動，平均約介在 60° 至 270° 間。

(十)數值檢測站 13：

本數值檢測站約位於 9 號碼頭及 28 號碼頭間之中泊渠入口處，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-37 所示。由圖觀察可知，計算潮位與台中港驗潮站之實測潮位甚為吻合。至於本檢測站之計算海流隨潮汐漲落之詳細變化，從圖中觀察可清楚看出，即使在海象較惡劣之大風速期間且在台中港之大潮差條件下，本檢測站海域之計算海流普遍亦甚微弱，最大之計算海流流速一般皆在 8 cm/s 以下，流向則隨潮汐漲落而規則變動，平均約介在 180° 至 333° 間。

(十一)數值檢測站 14：

本數值檢測站約位於第二貨櫃中心之 29 號碼頭及 30 號碼頭間之轉角處，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-38 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位相吻合。至於計算海流隨潮汐漲落之詳細變化，在海象較惡劣之大風速期間，由圖仔細觀察可知，在本檢測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之流速最大約可達 15 cm/s，流向約 20° ；

而在漲潮期間，計算海流之流速最大約可達 26 cm/s，流向則約為 230°。

(十二)數值檢測站 15：

本數值檢測站約位於 W1 號碼頭及 W2 號碼頭間，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-39 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位相吻合。至於計算海流隨潮汐漲落之詳細變化，在海象較惡劣之大風速期間，由圖仔細觀察可知，在本檢測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之流速最大約可達 25 cm/s，流向約 20°；而在漲潮期間，計算海流之流速最大僅約 12 cm/s，流向則約在 315°至 200°間作逆時針方向變動。

(十三)數值檢測站 16：

本數值檢測站約位於 W2 號碼頭及 W3 號碼頭間，與數值檢測站 15 相鄰，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-40 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位相吻合。至於計算海流隨潮汐漲落之詳細變化，在海象較惡劣之大風速期間，由圖仔細觀察可知，在本檢測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之流速最大約可達 18 cm/s，流向約 20°；而在漲潮期間，計算海流之流速最大可達約 13 cm/s，流向則約為 200°。

(十四)數值檢測站 17：

本數值檢測站約位於 40 號碼頭及 W16 號碼頭間之港內航道出口與南迴船池北端交接處，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-41-1 所示。由圖觀察可知，計算與實測潮位具些微之偏差。而在海象較惡劣之大風速期間，本檢測站計算海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-41-2 所示。從圖中可明顯看出，在本測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之最大流速可達 25 cm/s，流向約 30° ；而在漲潮期間，計算海流之流速最大約可達 16 cm/s，流向則約為 216° 。

(十五)數值檢測站 18：

本數值檢測站約位於 93 號碼頭及 107 號碼頭間之工業泊渠入口與南迴船池南端交接處，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-42-1 所示。由圖觀察可知，計算潮位明顯較實測潮位小，但潮時則甚相當。在海象較惡劣之大風速期間，本檢測站計算海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-42-2 所示。從圖中可明顯看出，在本測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之最大流速可達 17 cm/s，流向約 45° ；而在漲潮期間，計算海流甚微弱，最大之計算流速不及 5 cm/s，流向則約為 225° 。

(十六)數值檢測站 19：

本數值檢測站約位於北迴船池之中心，現階段尚無海象測站之實測資料可供相互驗證比較。

萃取本檢測站位置上之逐時計算潮位與海流，結果如圖 3-43-1 所示。由圖觀察可知，計算潮位明顯與實測潮位吻合。在海象較惡劣之大風速期間，本檢測站計算海流隨潮汐漲落之詳細變化如圖 3-43-2 所示。從圖中可明顯看出，在本測站海域，當台中港潮汐為退潮期間，計算海流之最大流速約可達 21 cm/s，流向約 340° ；而在漲潮期間，計算海流較強勁，

最大之計算流速超過 33 cm/s，流向則約為 160°。

3.6 結語

台中港港口二期擴建後之海流數值模擬計算，經採用不同大小範圍交疊之巢狀網格(nested grids)配置，考量風、浪及潮之影響因素，應用 MIKE21_HD 模式進行計算，引用台中港海域最近海象調查之部分實測資料(工業技術研究院能源與資源研究所，2003)檢定驗證後，確認於台中港海域，除平均流效應外，台中港港口二期擴建後港域內外之全平面海流逐時資訊應可有效且準確地加以掌握，對於提供操船模擬設定海域環境所需之全平面海流逐時資訊，預期應可圓滿達成目標。



圖 3-1 台中港第一期擴建工程完工後之港域及碼頭配置

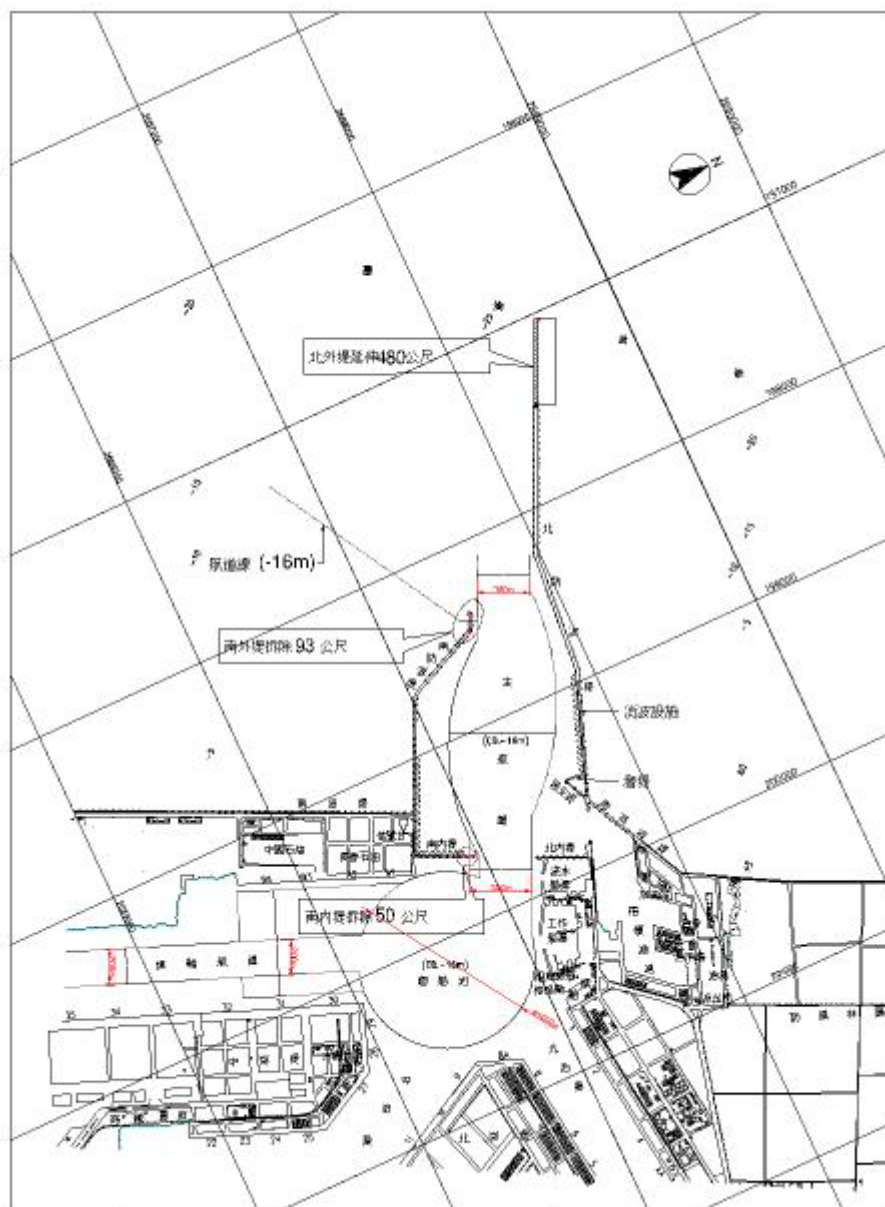


圖 3-2-1 台中港第二期擴建工程外廓設施之改善配置

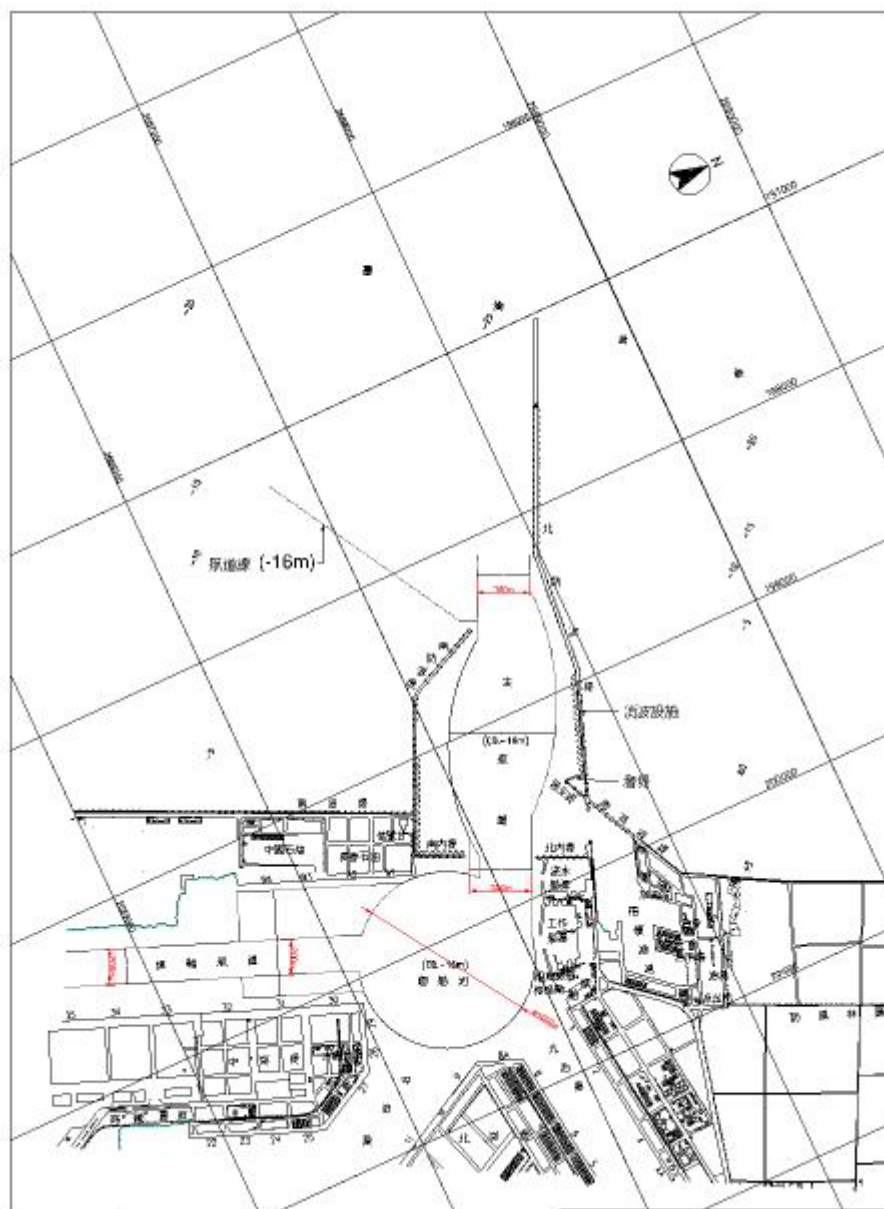


圖 3-2-2 台中港第二期擴建工程後之港口定案配置

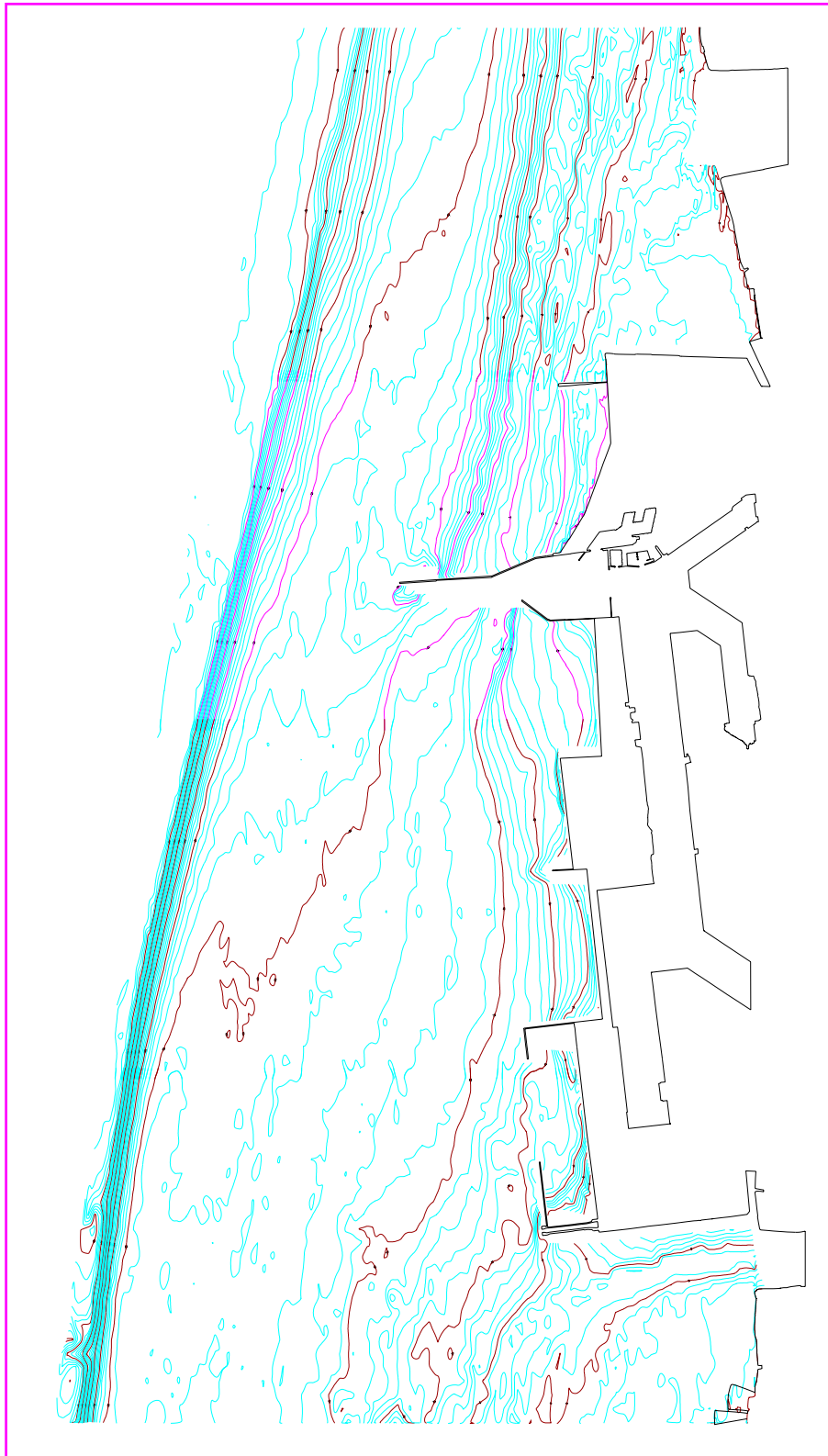


圖 3-3 台中港民國 91 年之港區地形水深測量結果

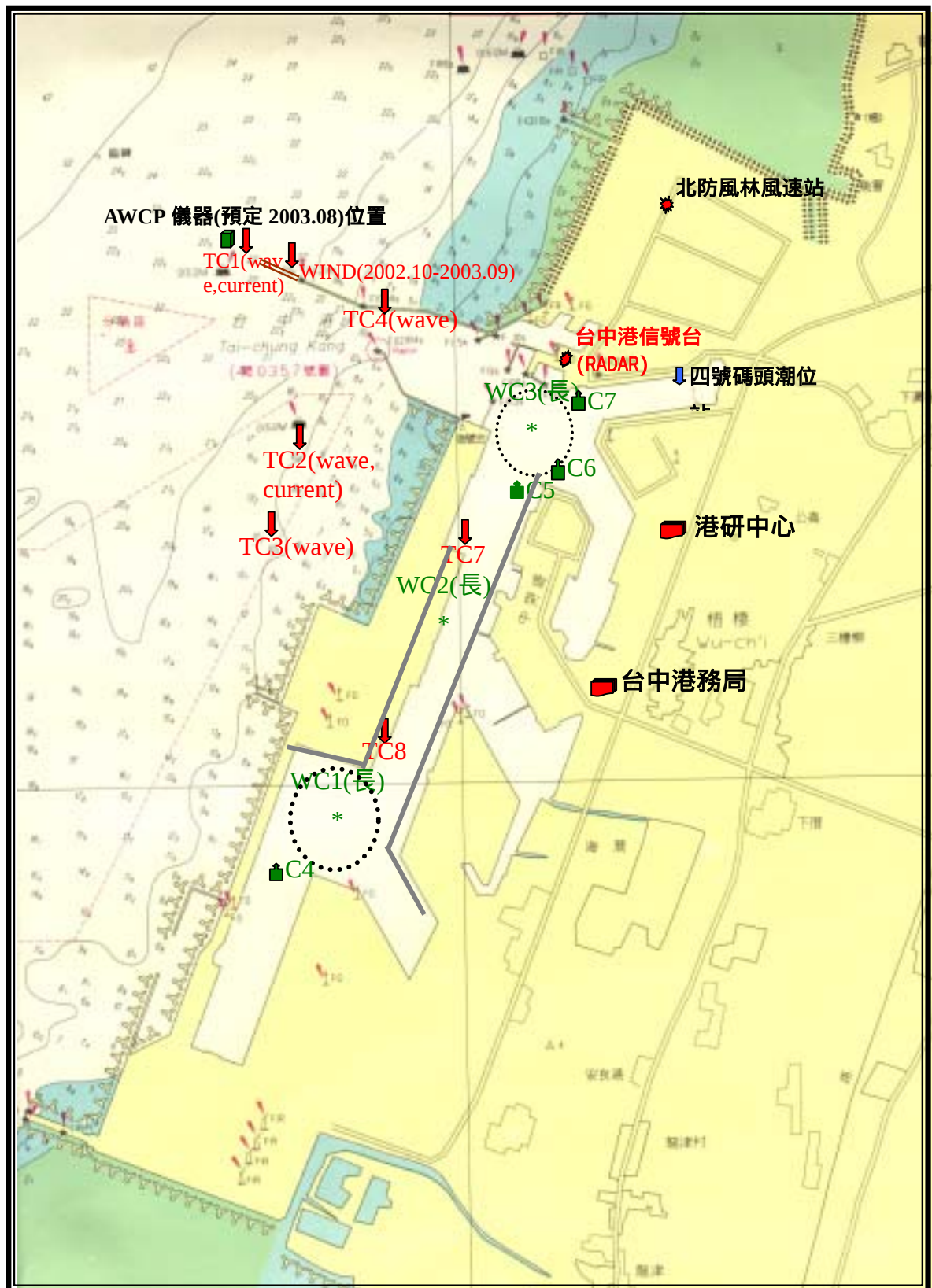


圖 3-4 工業技術研究院能資所進行台中港港口海象調查之測站位置與其編號

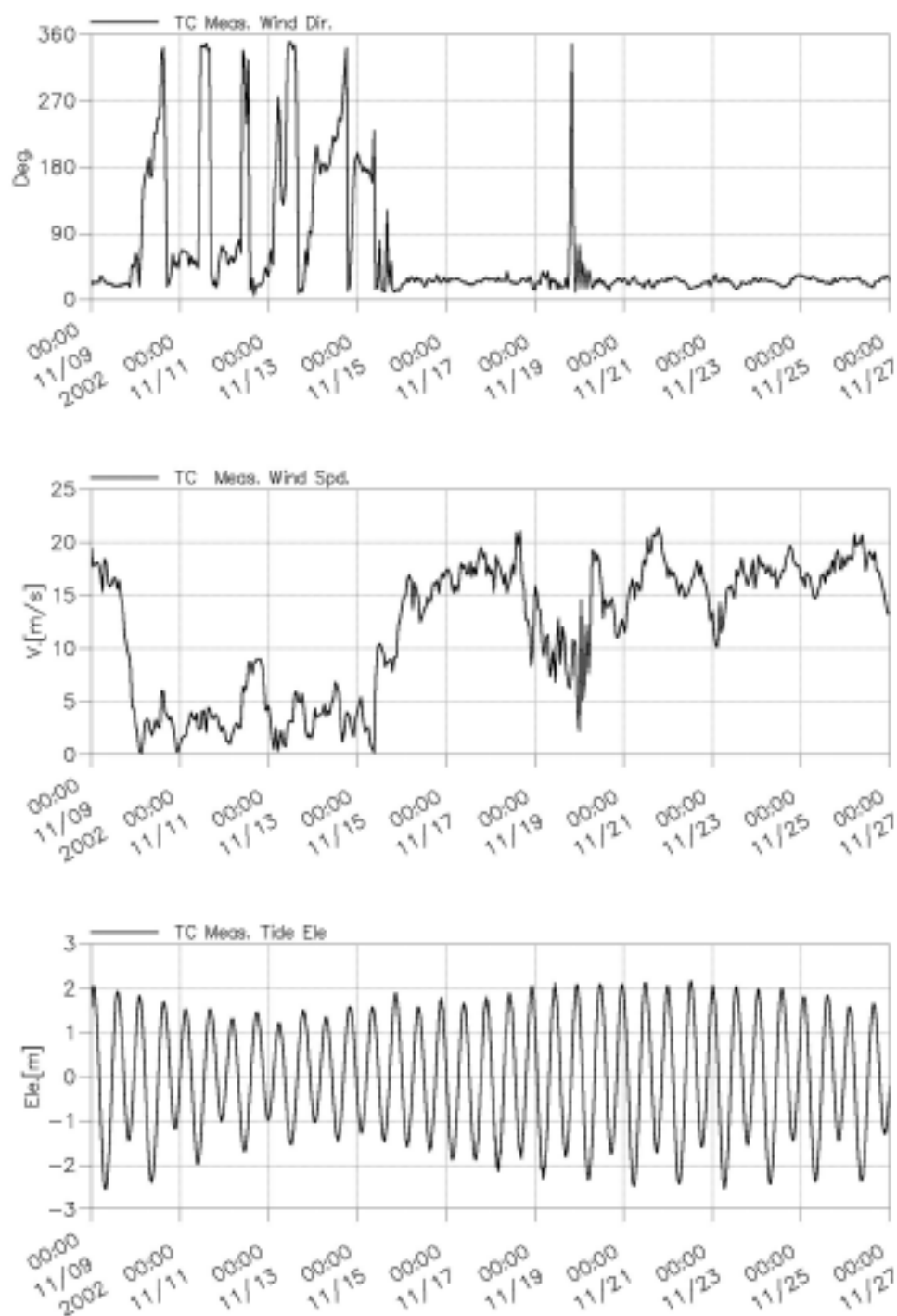


圖 3-5 台中港港口 2002 年 11 月海象調查之實測風向(上)、
風速(中)及潮位(下)

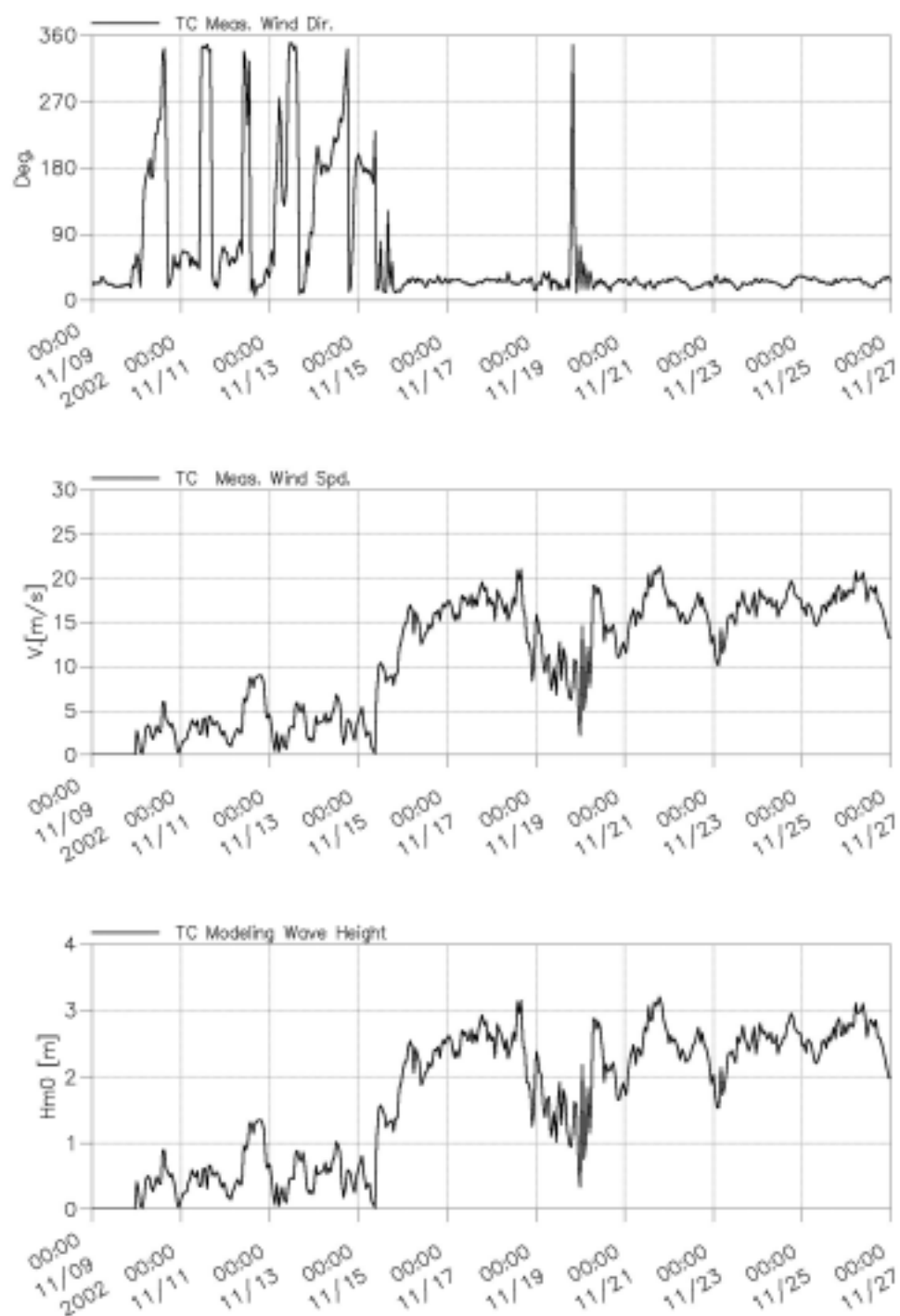


圖 3-6 台中港港口 2002 年 11 月海象調查之實測風向(上)、風速(中)及使用風 - 浪相關性計算之波高(下)

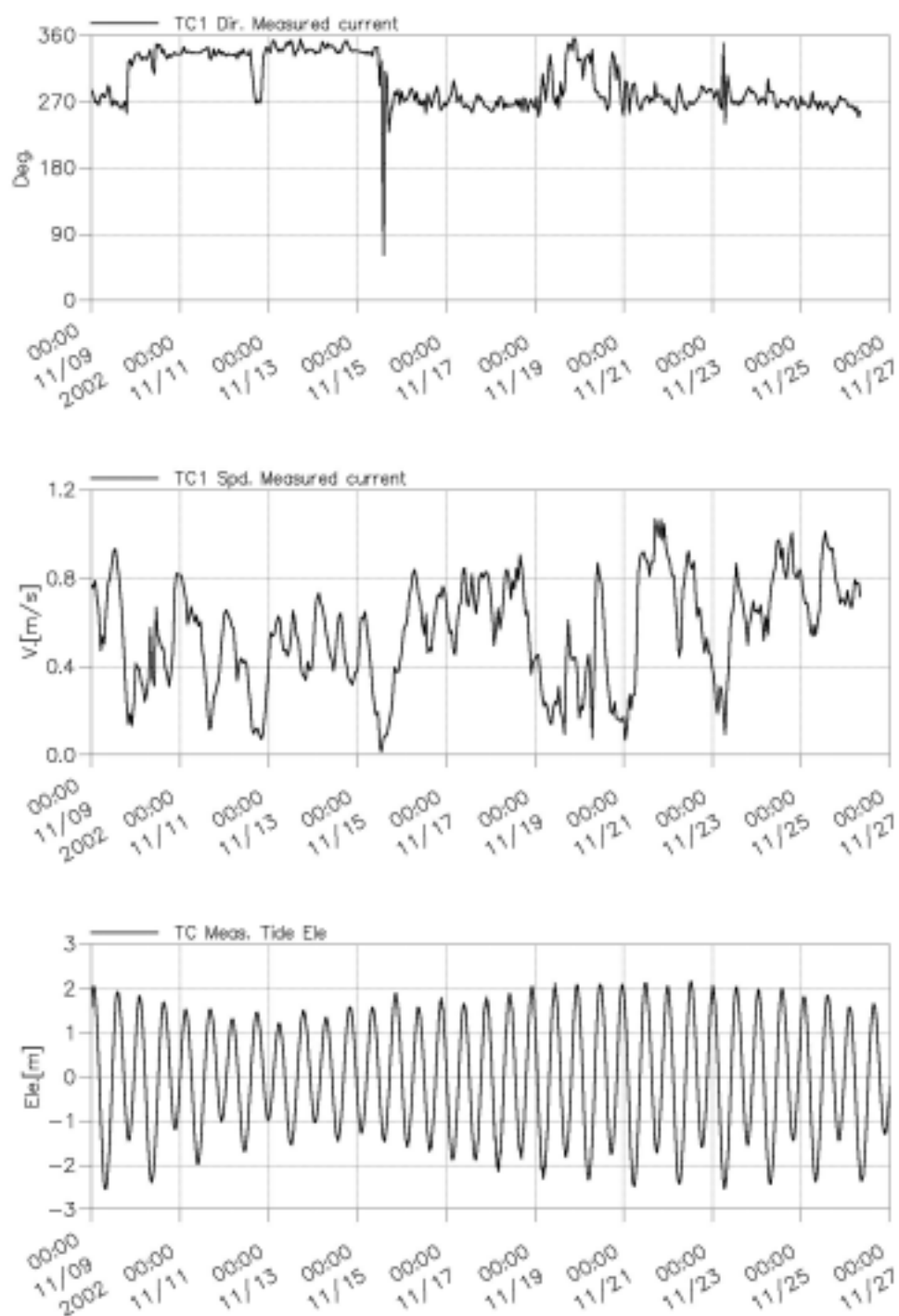


圖 3-7 工業技術研究院能資所在台中港港口 TC1 海象調查測站
2002 年 11 月之實測海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)

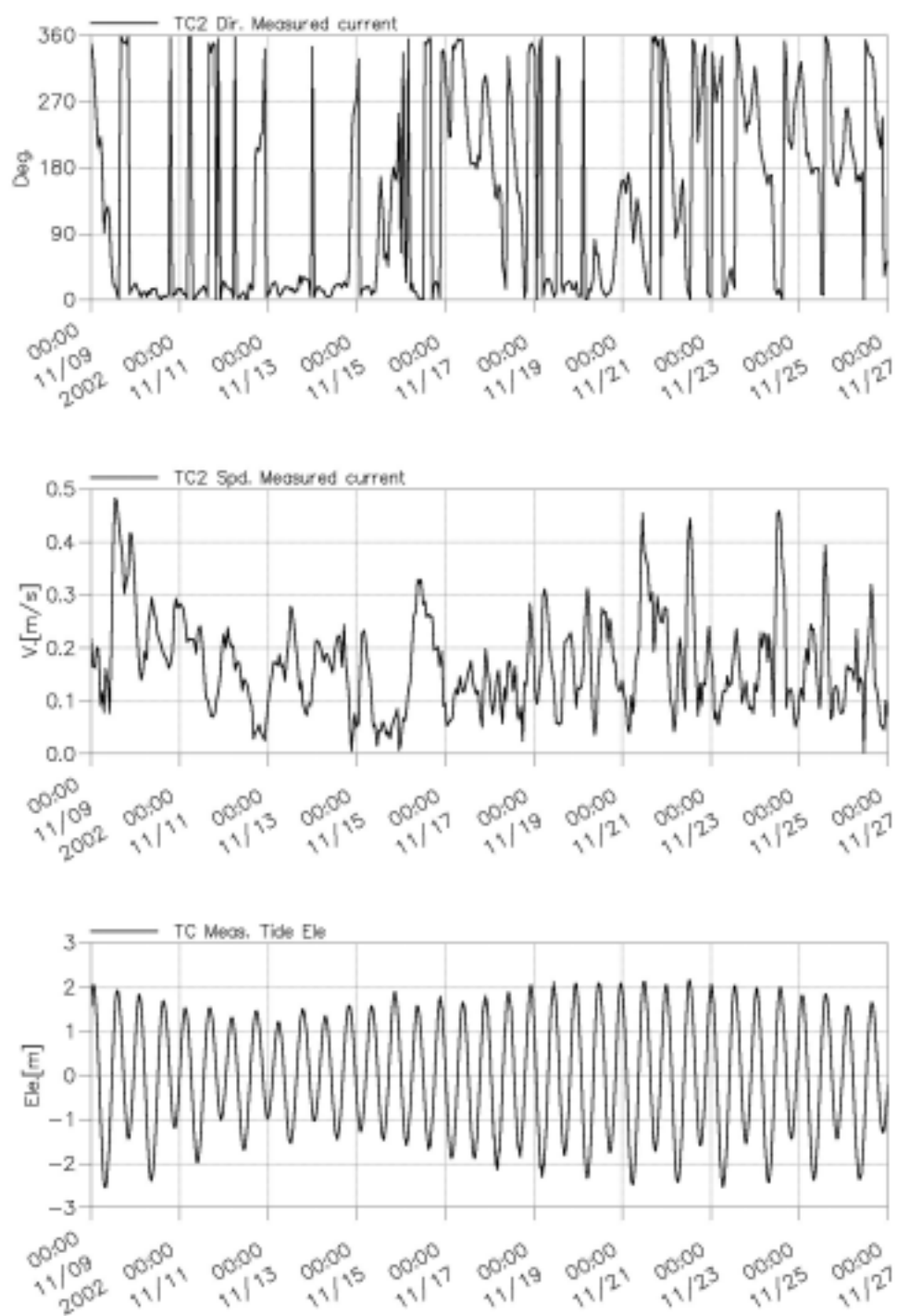


圖 3-8 工業技術研究院能資所在台中港港口 TC2 海象調查測站
2002 年 11 月之實測海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)

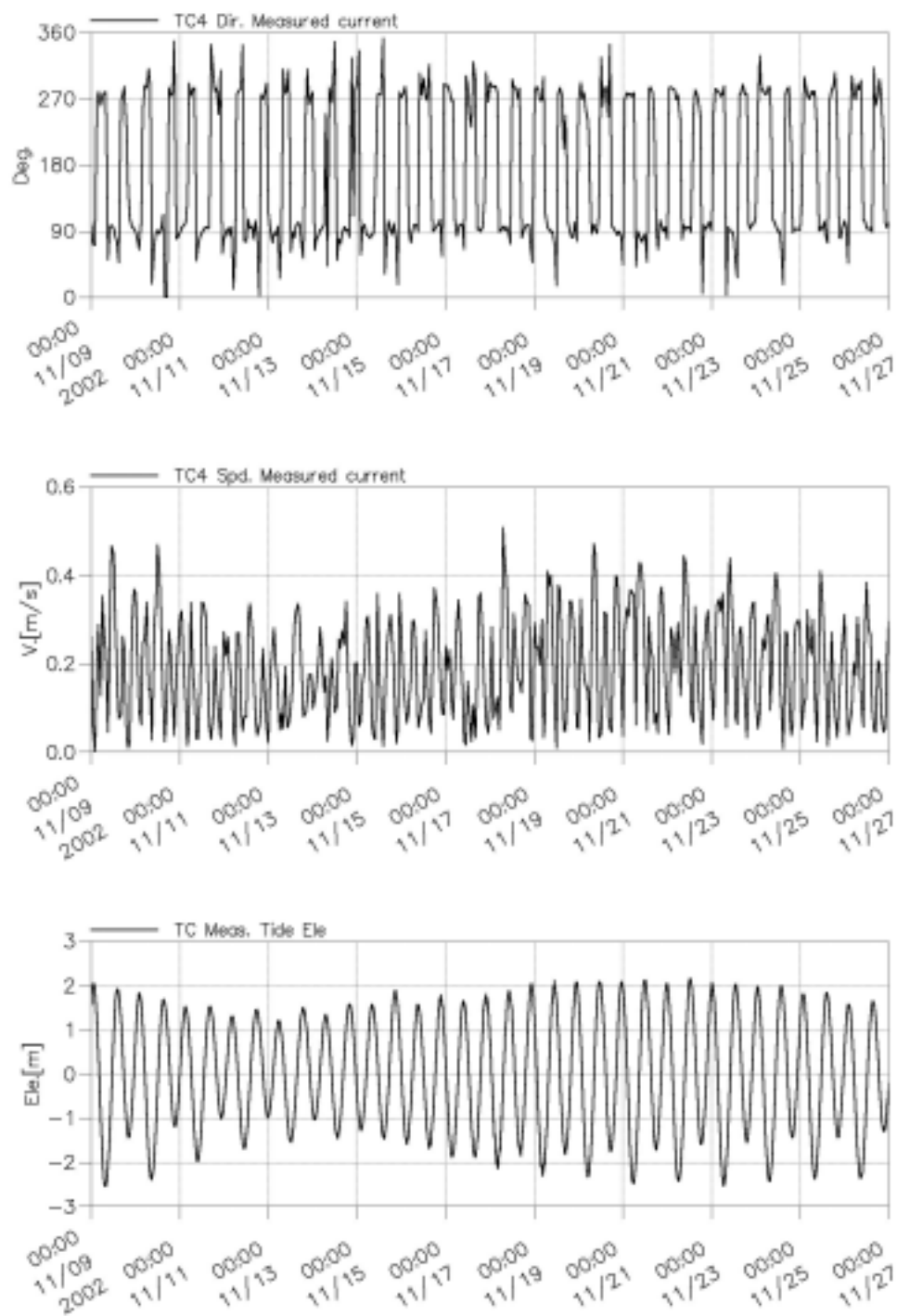


圖 3-9 工業技術研究院能資所在台中港港口 TC4 海象調查測站
2002 年 11 月之實測海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)

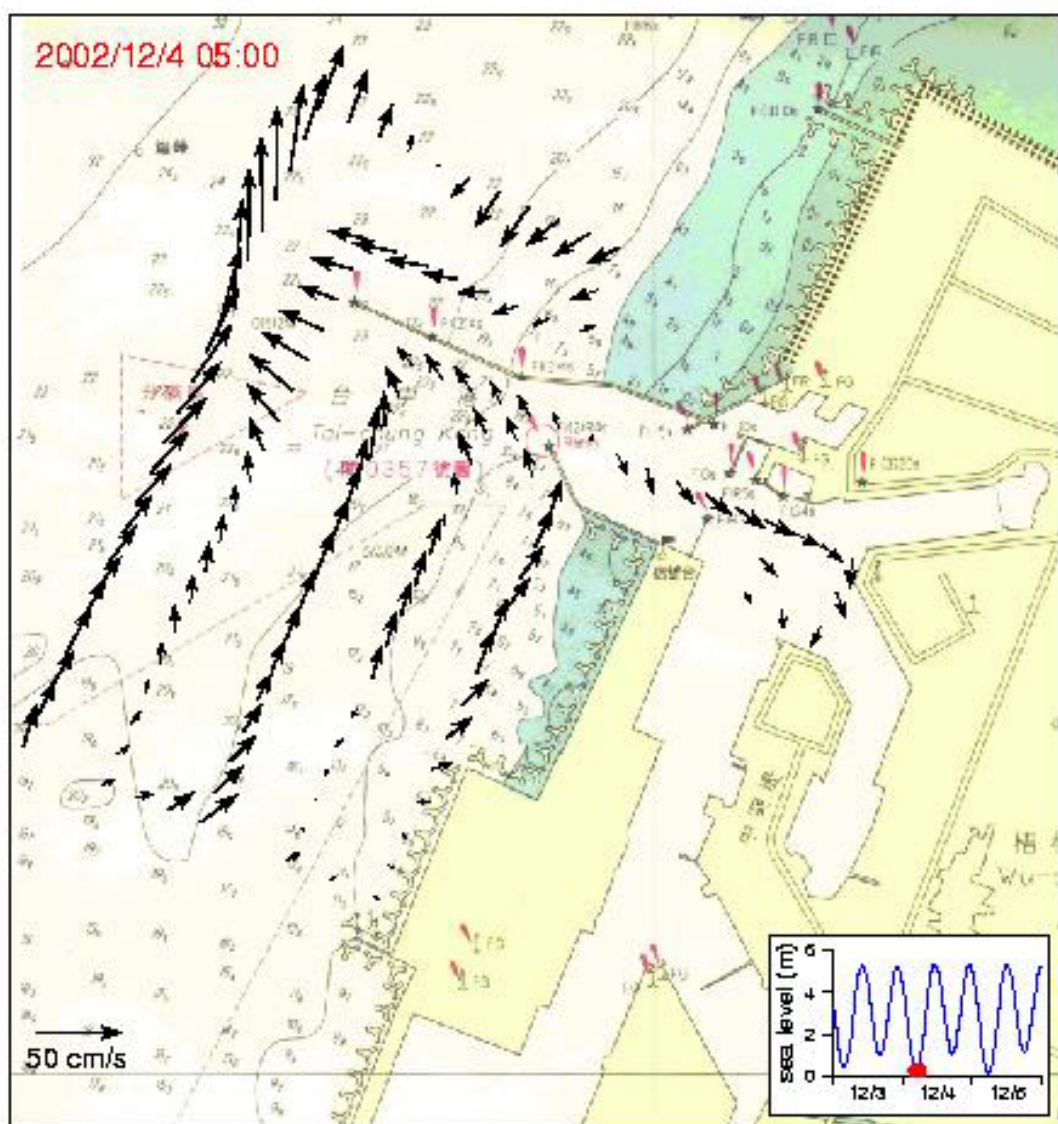


圖 3-10-1 台大海研所以船碇式杜卜勒海流儀於 2002 年 12 月 4 日在台中港港口海域低潮位時刻所實測之平面海流分布

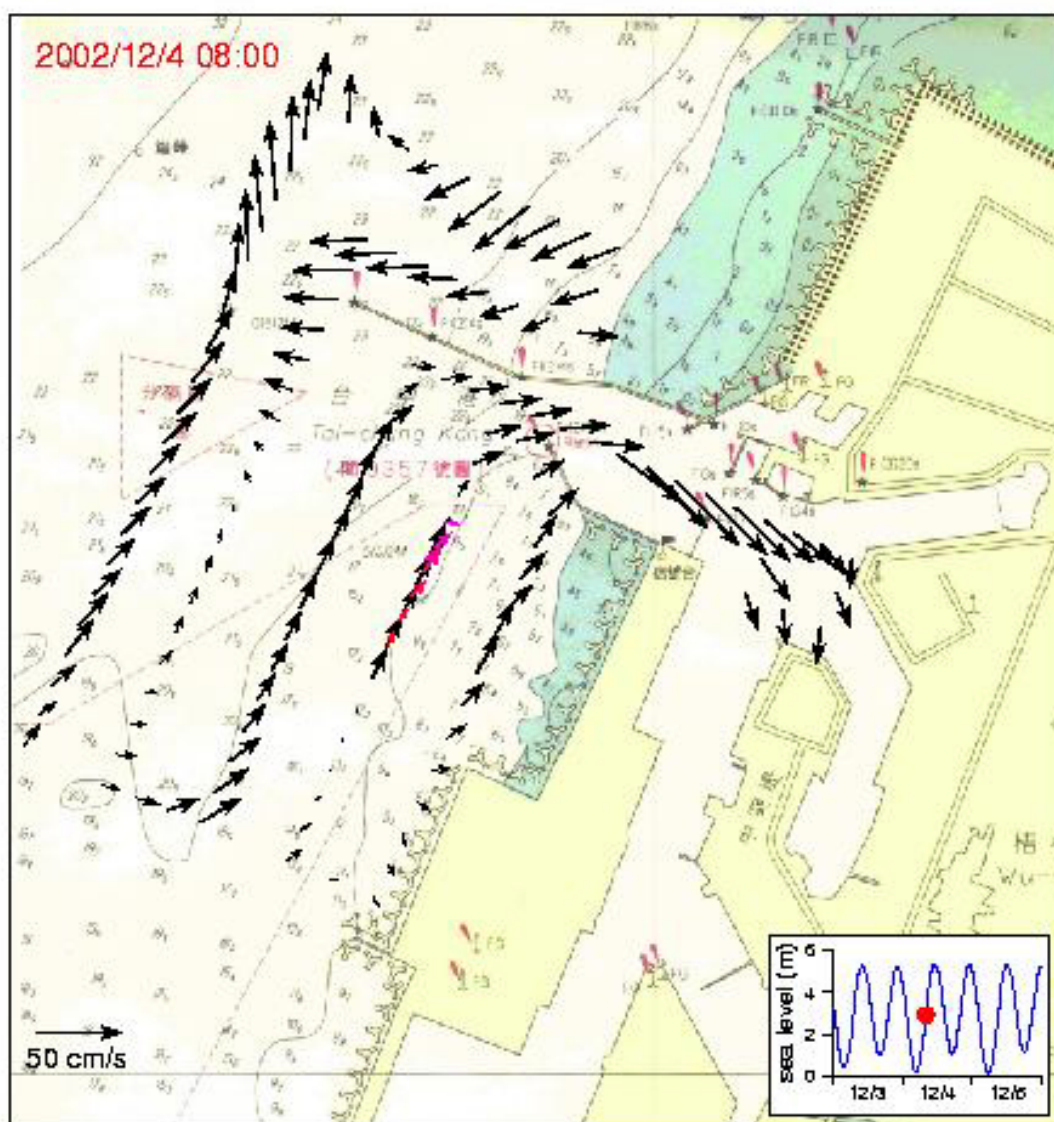


圖 3-10-2 台大海研所以船碇式杜卜勒海流儀於 2002 年 12 月 4 日在台中港港口海域漲潮期間平潮位時刻所實測之平面海流分布

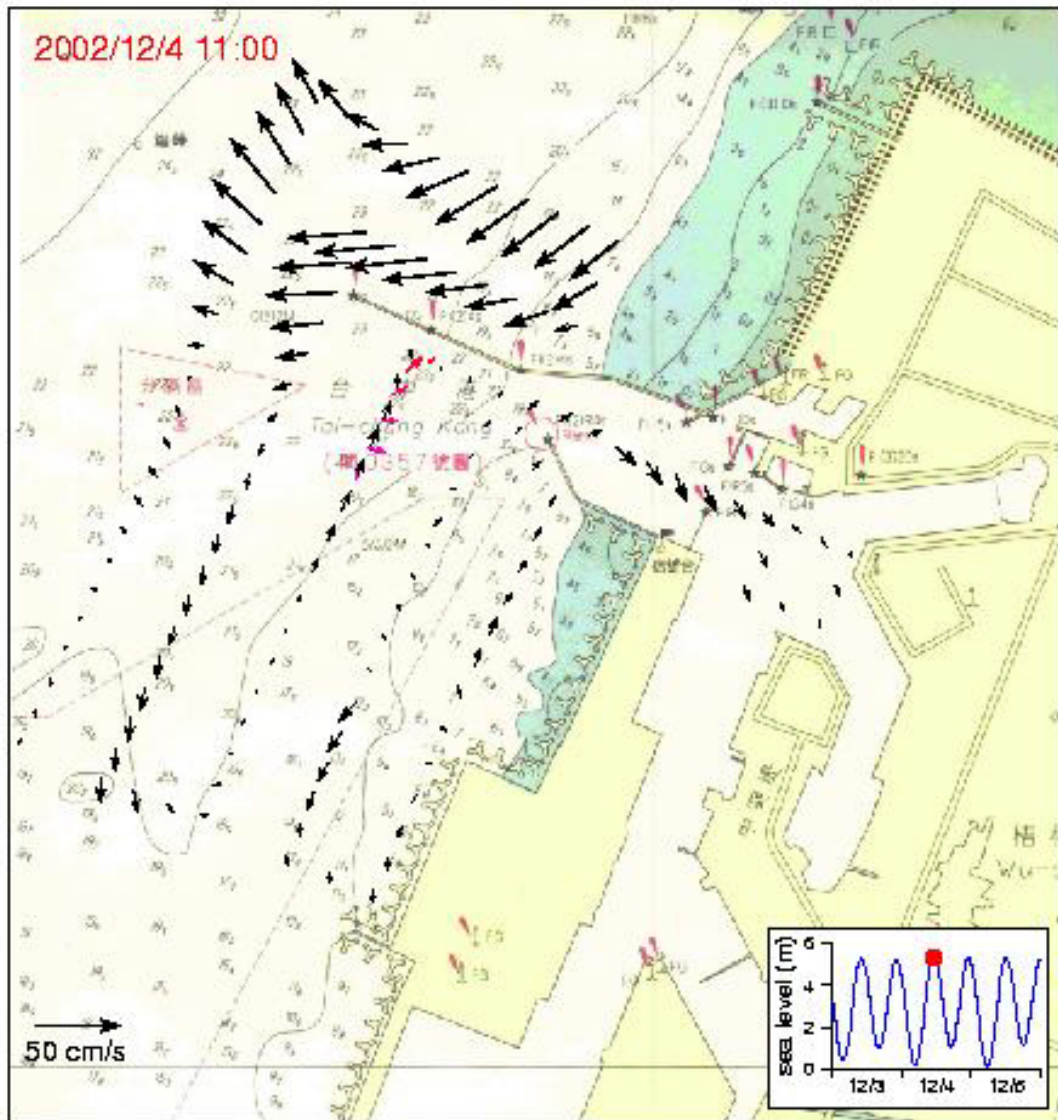


圖 3-10-3 台大海研所以船碇式杜卜勒海流儀於 2002 年 12 月 4 日在台
中港港口海域漲潮期間滿潮位時刻所實測之平面海流分布

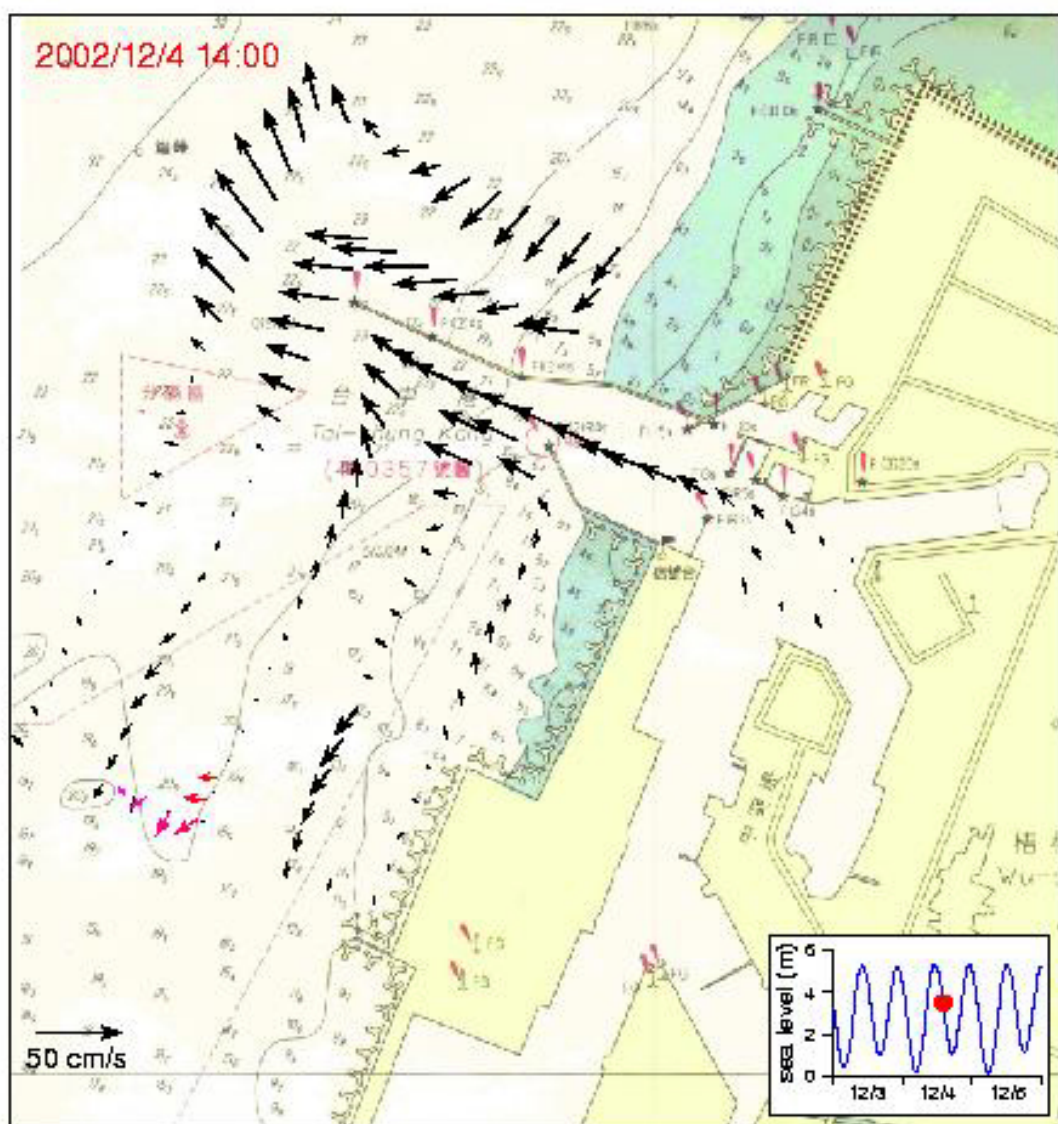


圖 3-10-4 台大海研所以船碇式杜卜勒海流儀於 2002 年 12 月 4 日在台中港港口海域退潮期間平潮位時刻所實測之平面海流分布

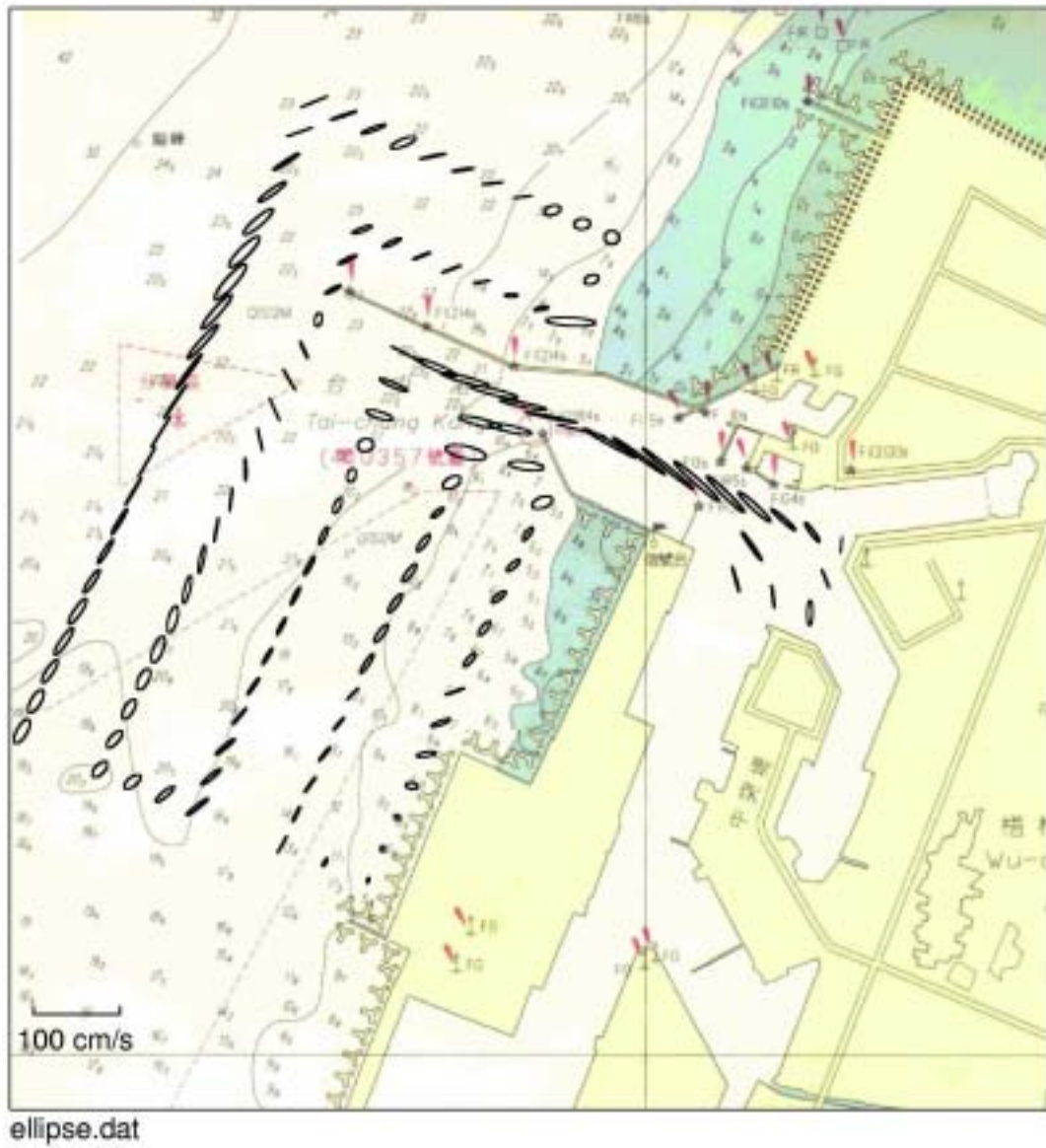


圖 3-11 台大海研所以船碇式杜卜勒海流儀於 2002 年 12 月在台中港口海域所實測分析之潮流橢圓分布

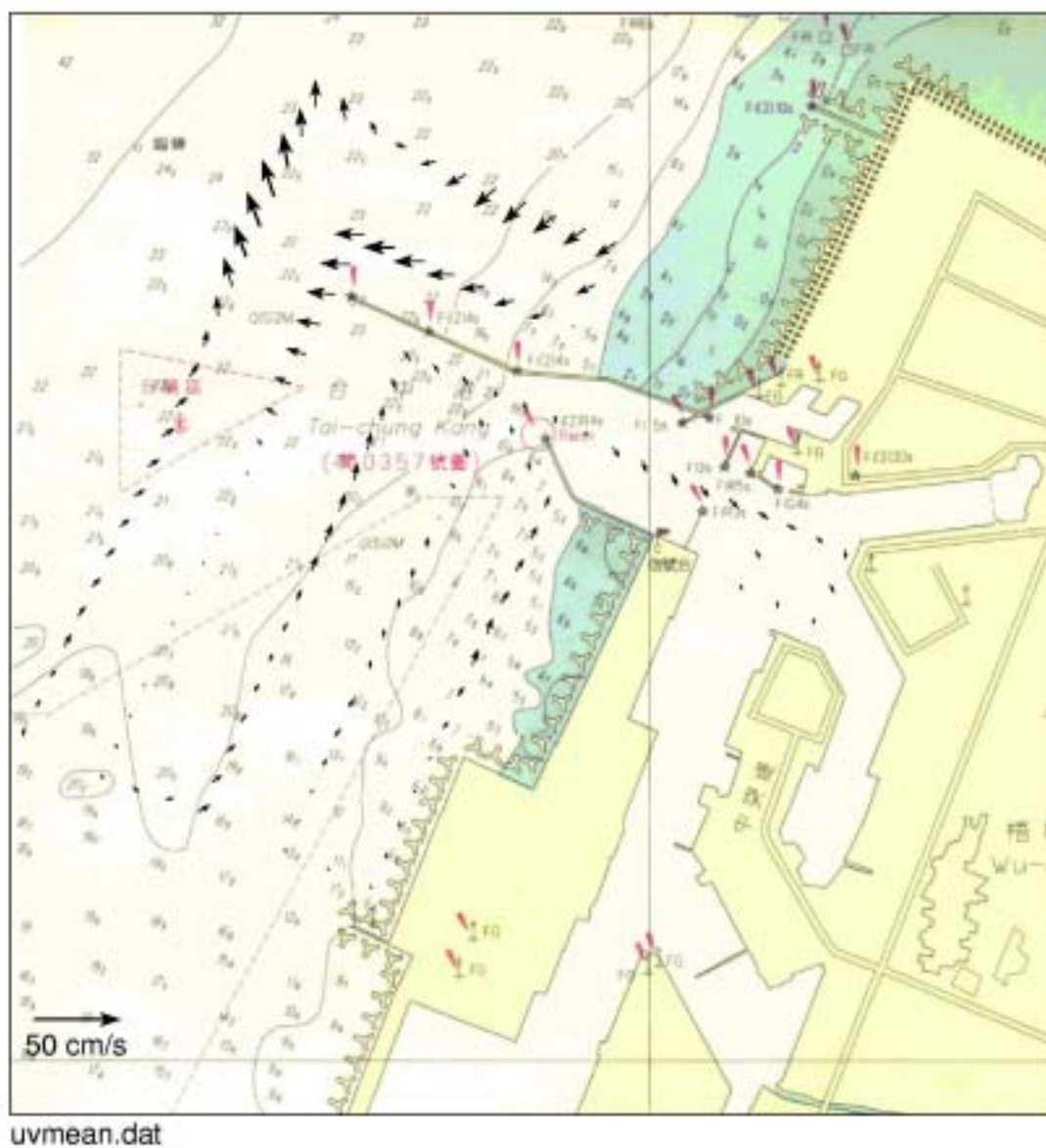


圖 3-12 台大海研所以船碇式杜卜勒海流儀於 2002 年 12 月在台中港口海域所實測分析之平均流分布

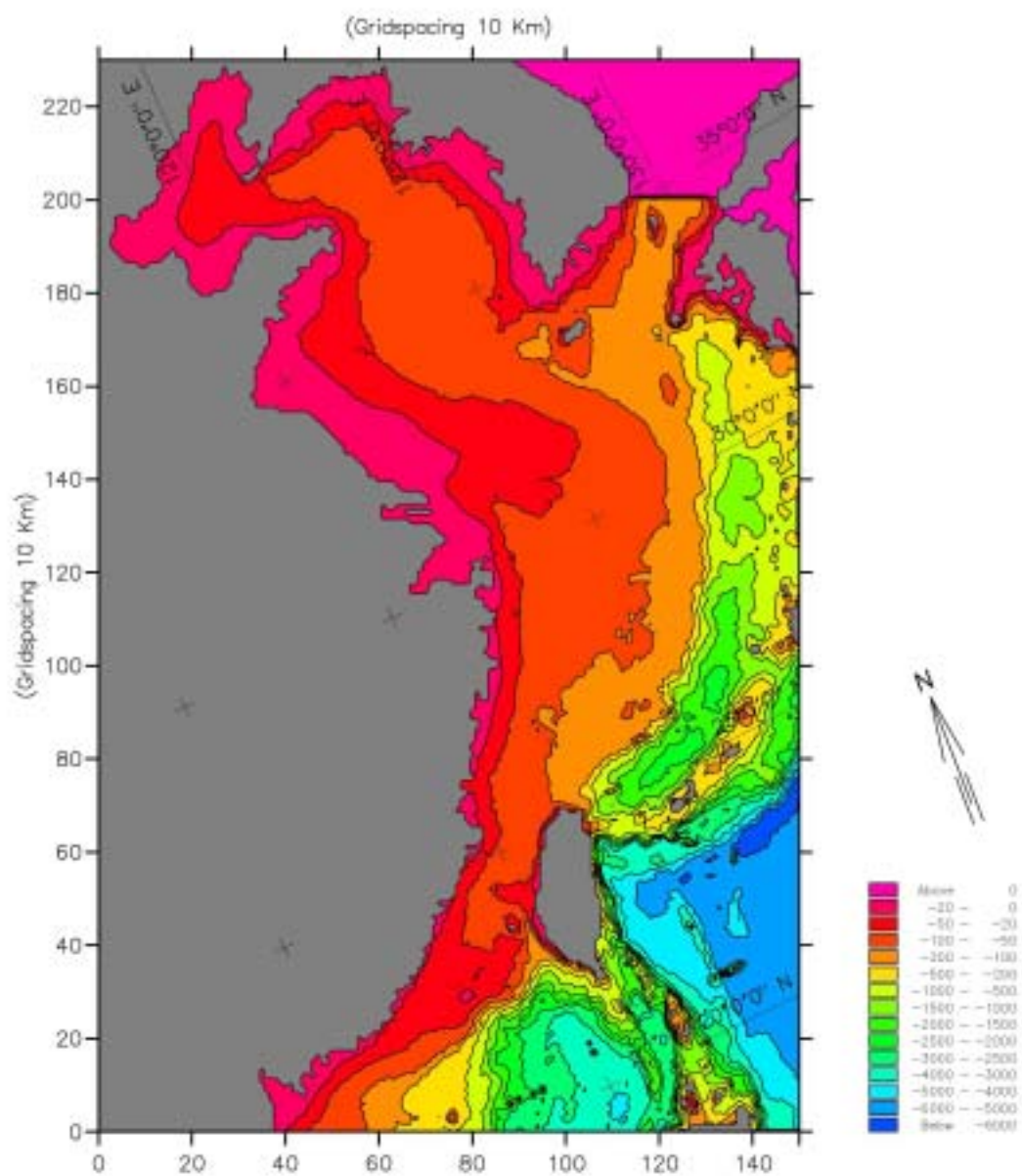


圖 3-13 台中港海流計算之東亞海域計算範圍、網格及水深地形

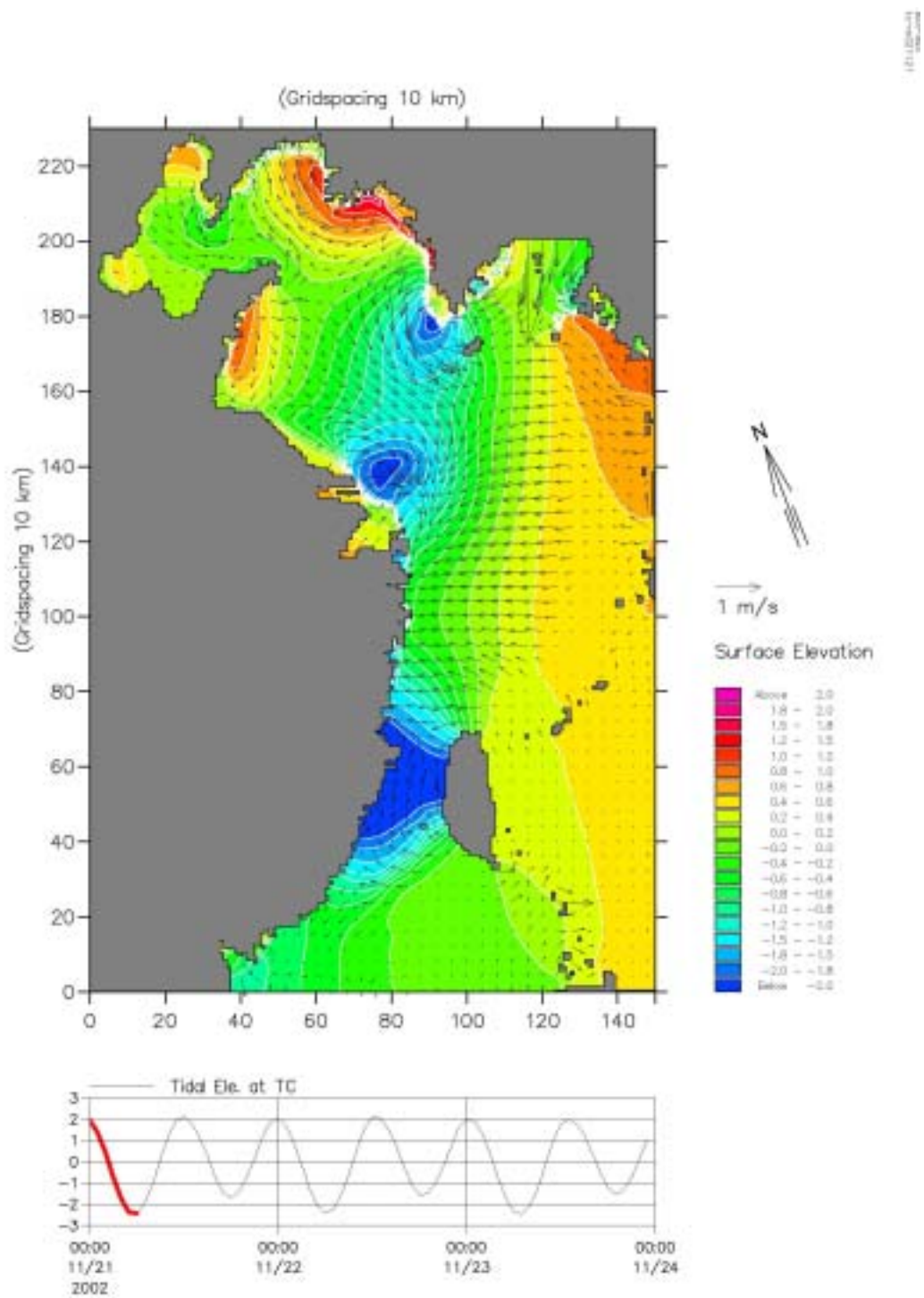


圖 3-14-1 台中港海流計算之東亞海域計算海流分布
(2002/11/21 06:00；參考潮位：台中港)

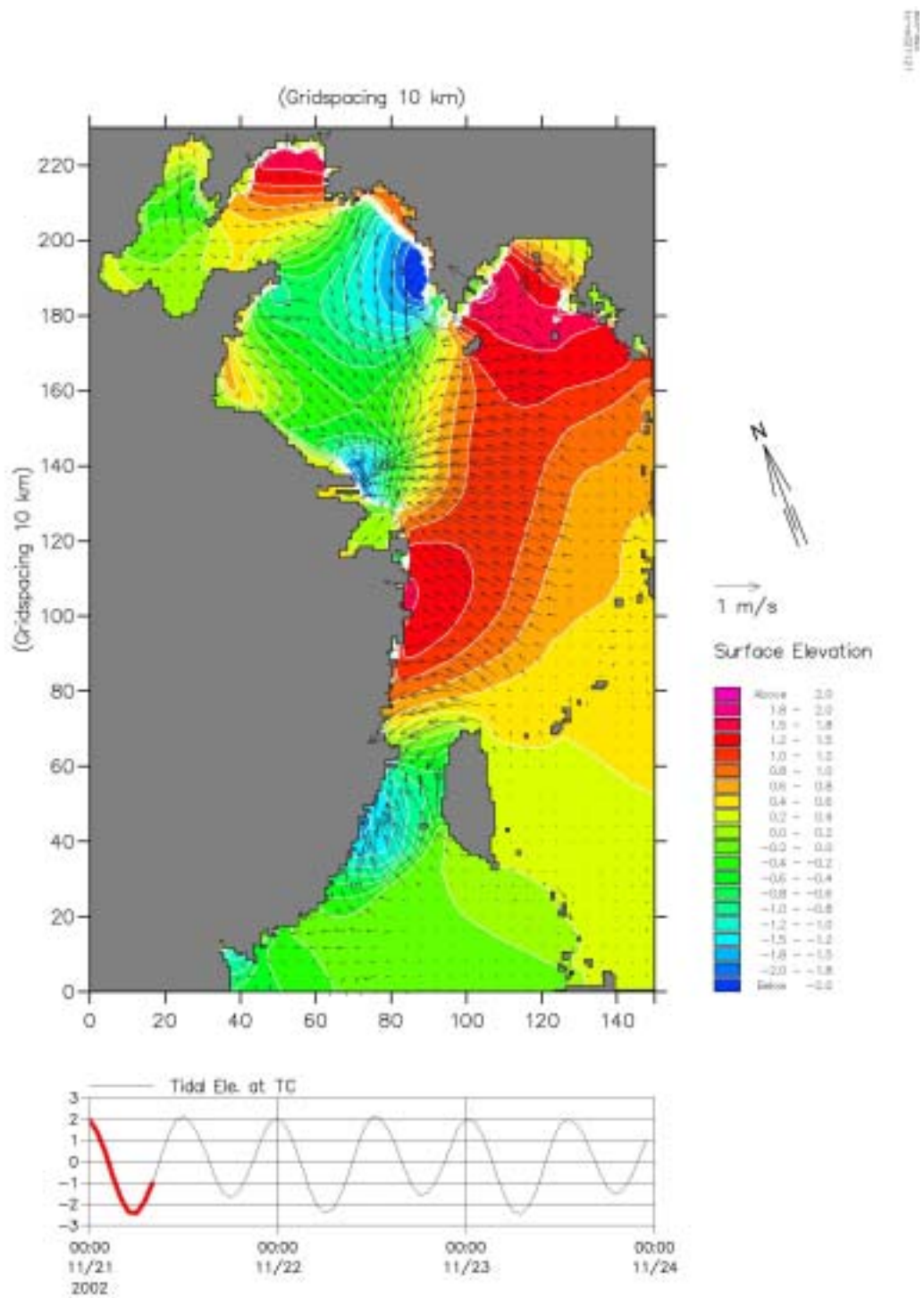


圖 3-14-2 台中港海流計算之東亞海域計算海流分布
(2002/11/21 08:00；參考潮位：台中港)

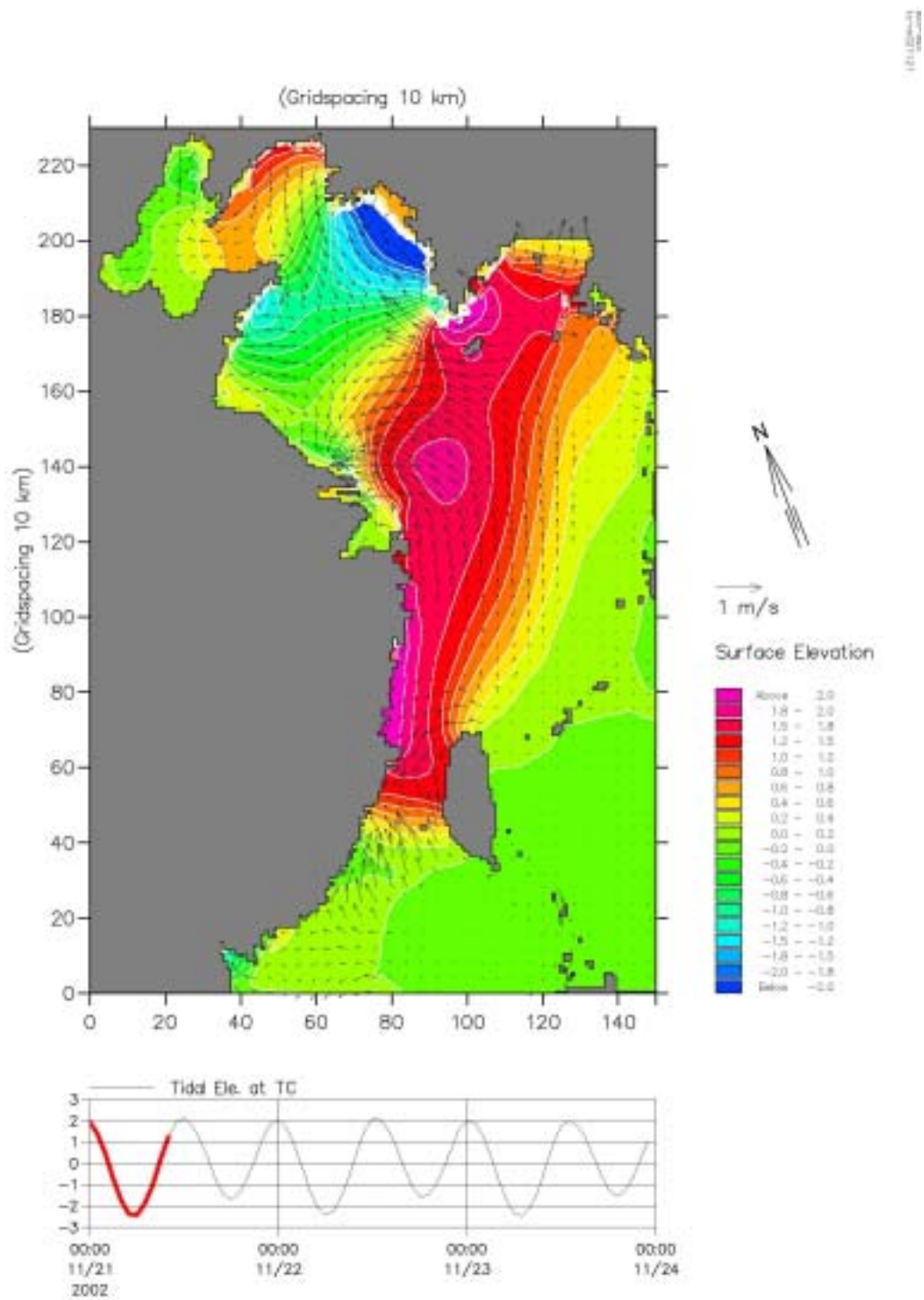


圖 3-14-3 台中港海流計算之東亞海域計算海流分布
(2002/11/21 10:00；參考潮位：台中港)

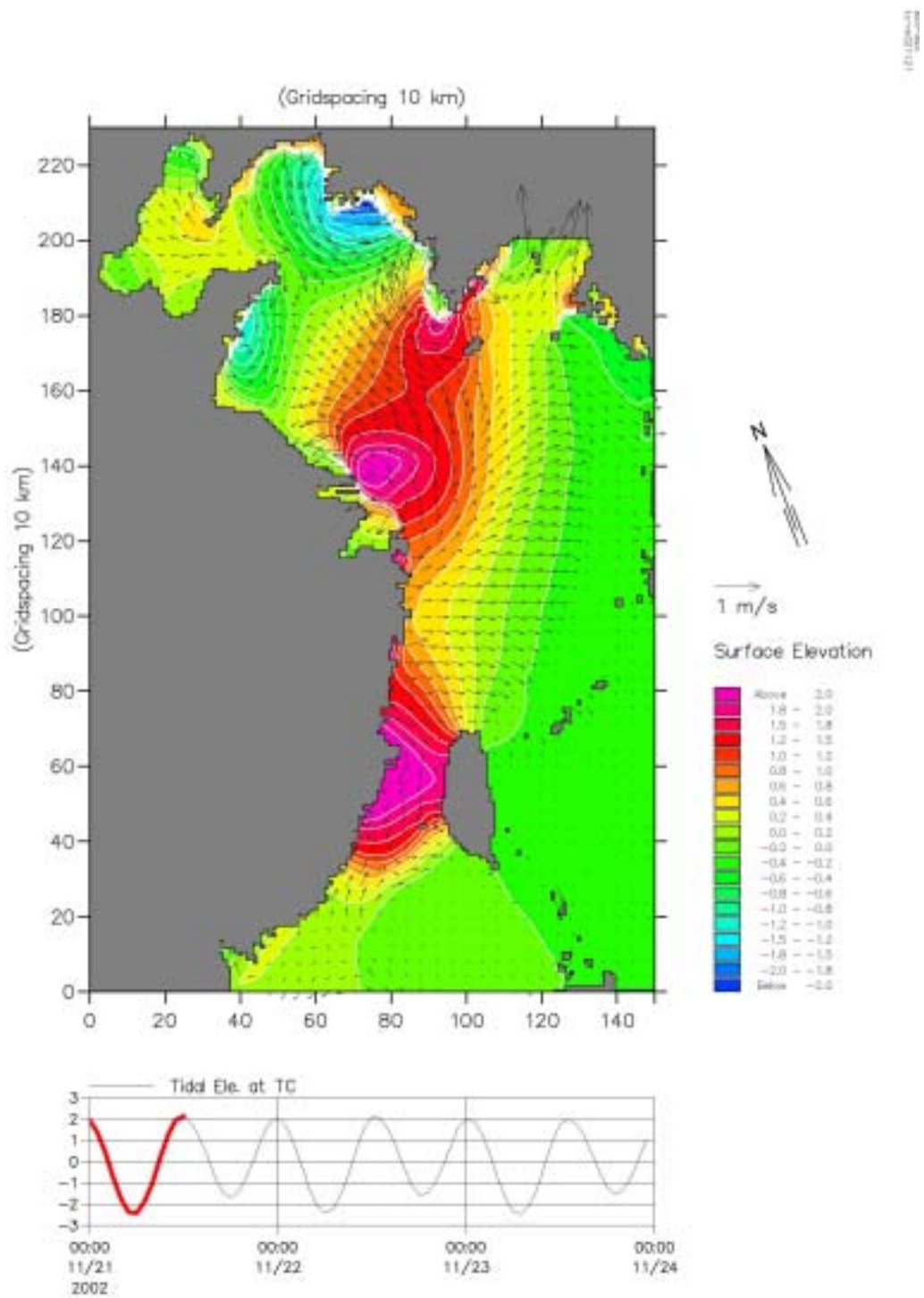


圖 3-14-4 台中港海流計算之東亞海域計算海流分布
(2002/11/21 12:00；參考潮位：台中港)

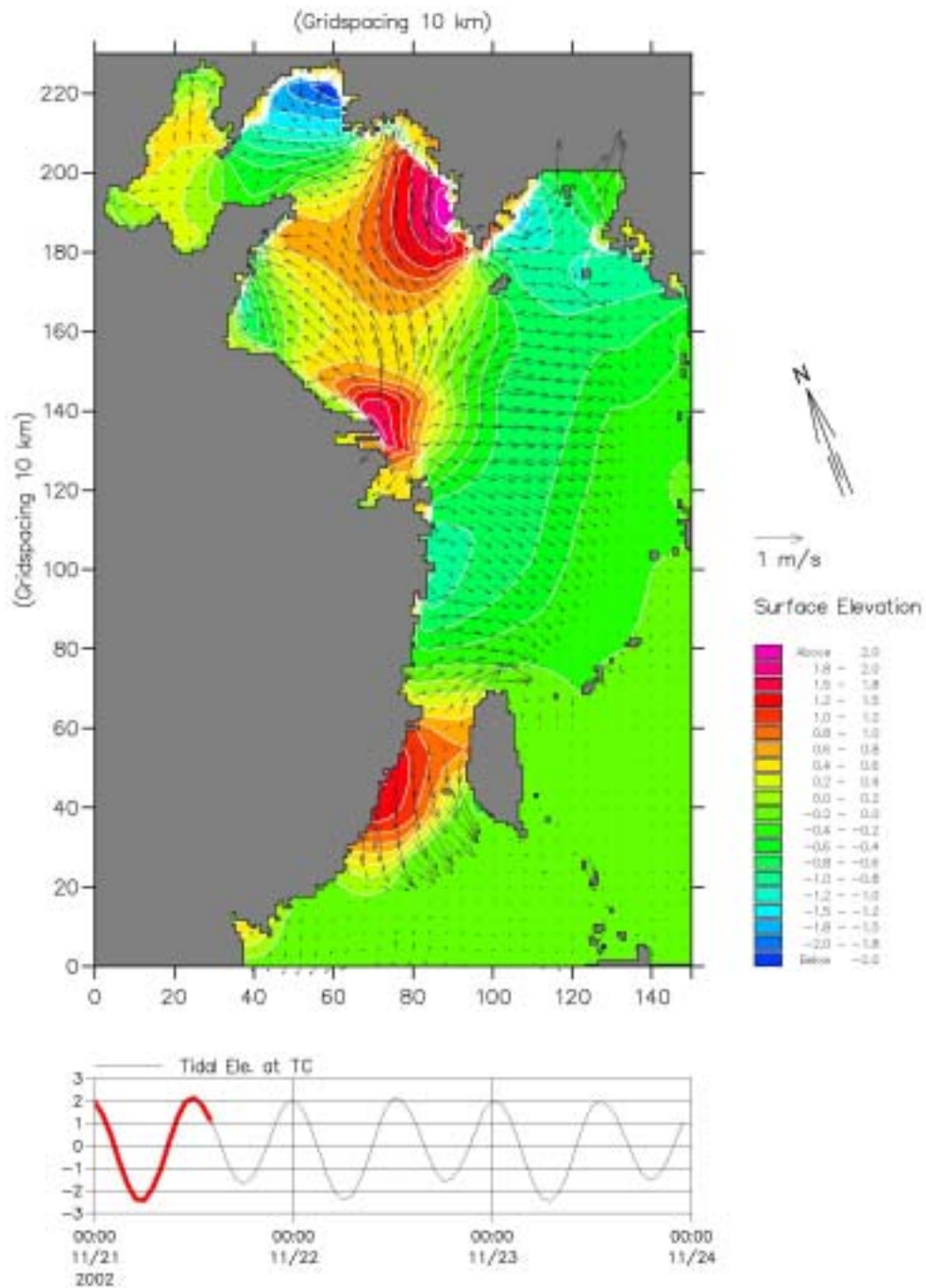


圖 3-14-5 台中港海流計算之東亞海域計算海流分布
(2002/11/21 14:00；參考潮位：台中港)

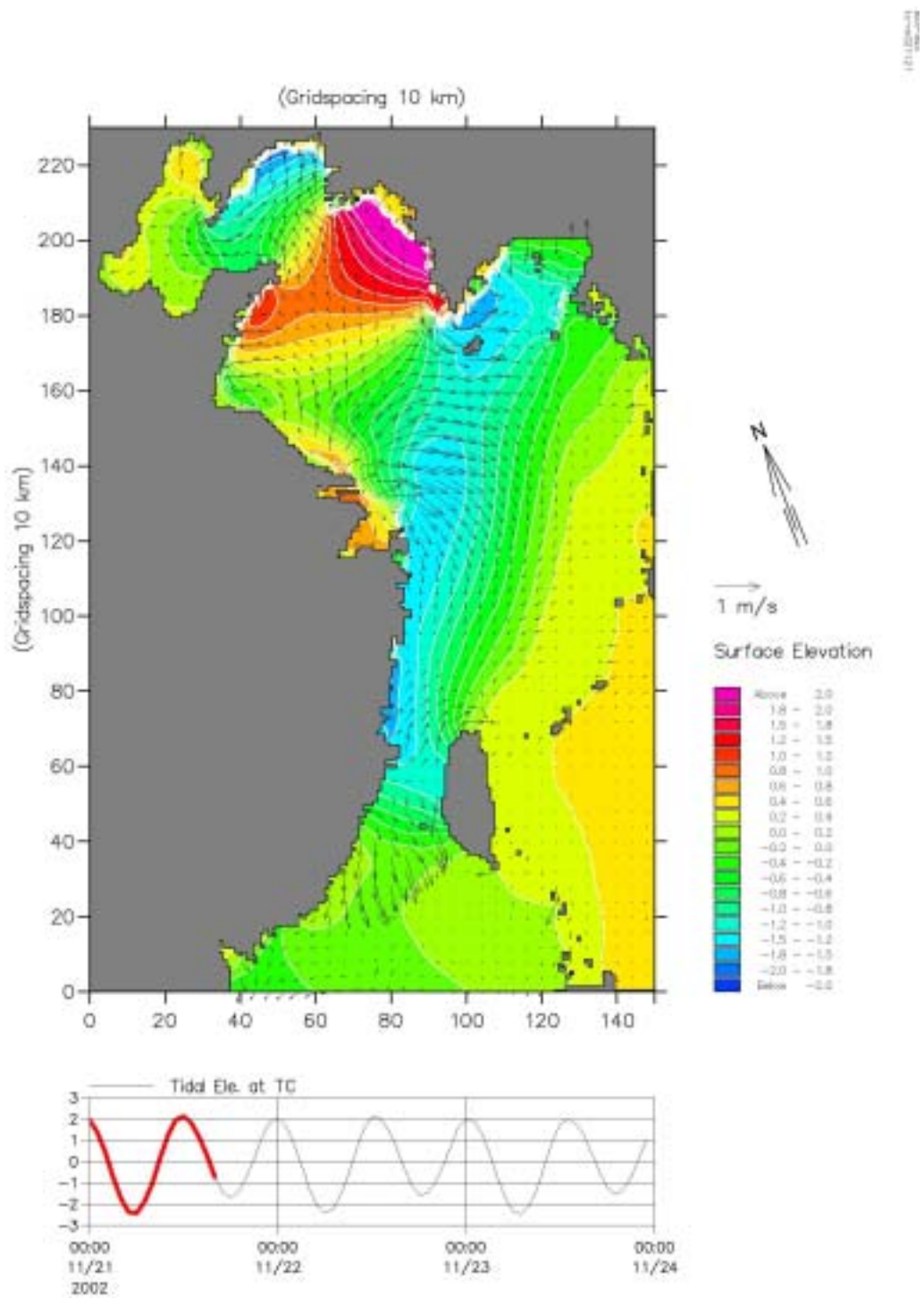


圖 3-14-6 台中港海流計算之東亞海域計算海流分布
(2002/11/21 16:00；參考潮位：台中港)

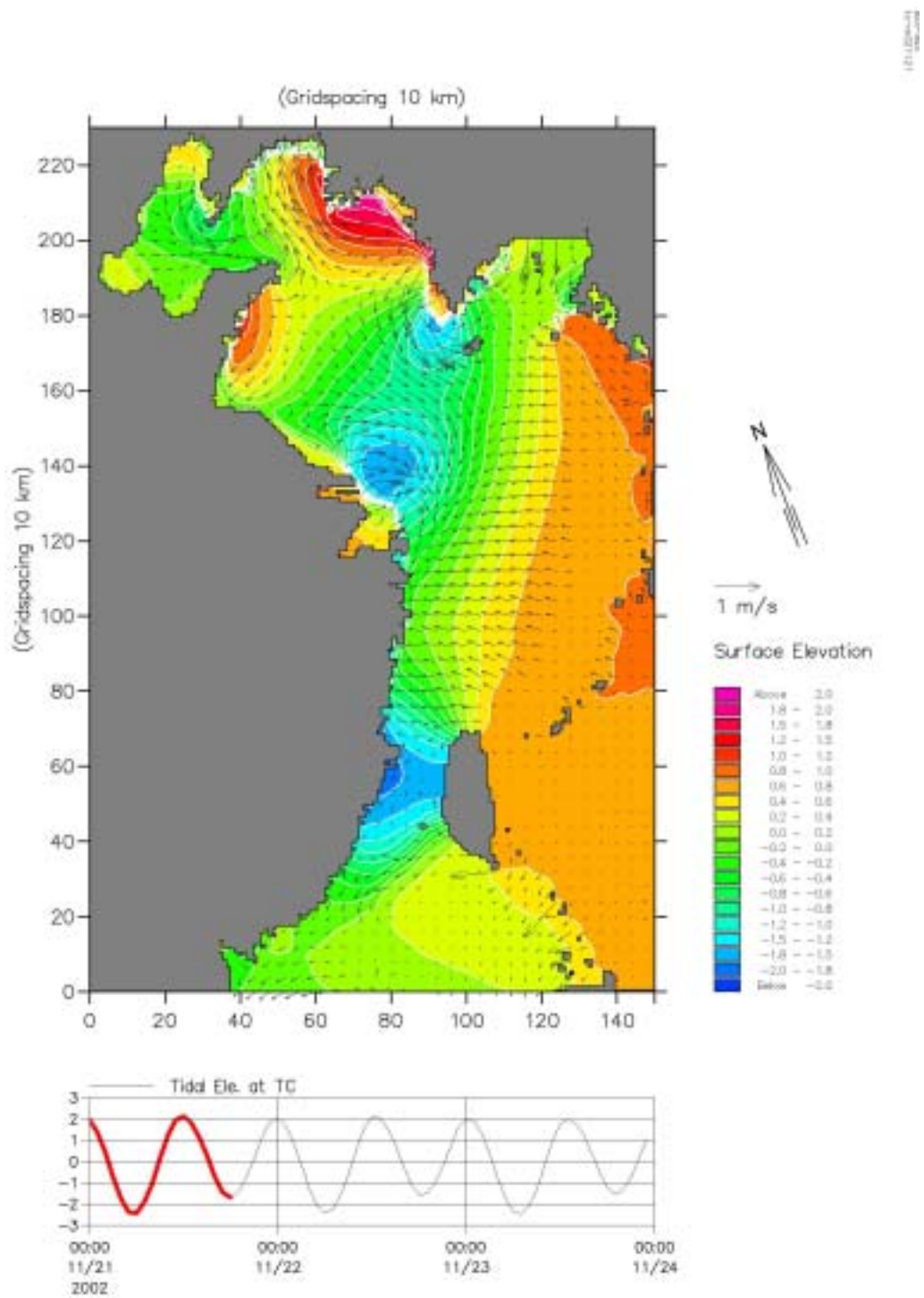


圖 3-14-7 台中港海流計算之東亞海域計算海流分布
(2002/11/21 18:00；參考潮位：台中港)

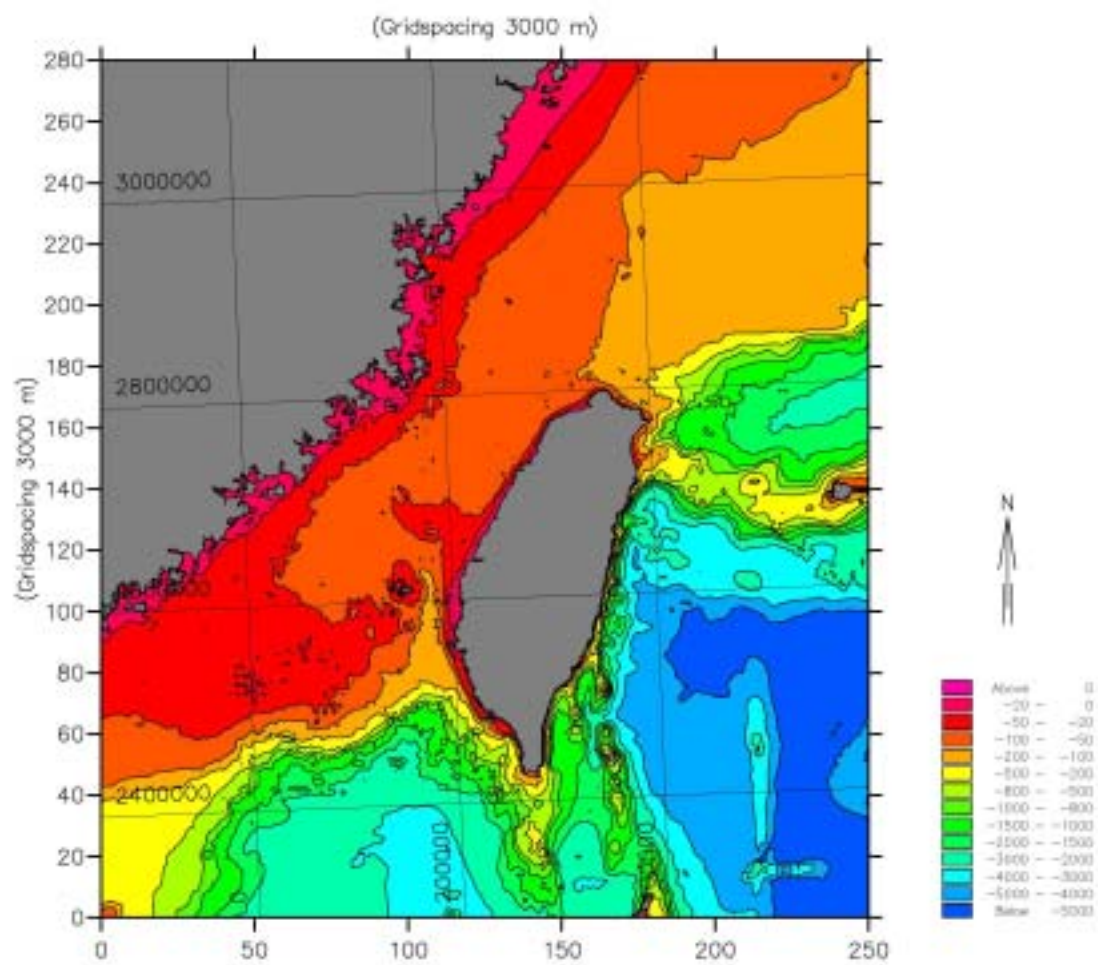


圖 3-15 台中港海流計算之台灣四周海域計算範圍、網格及水深地形

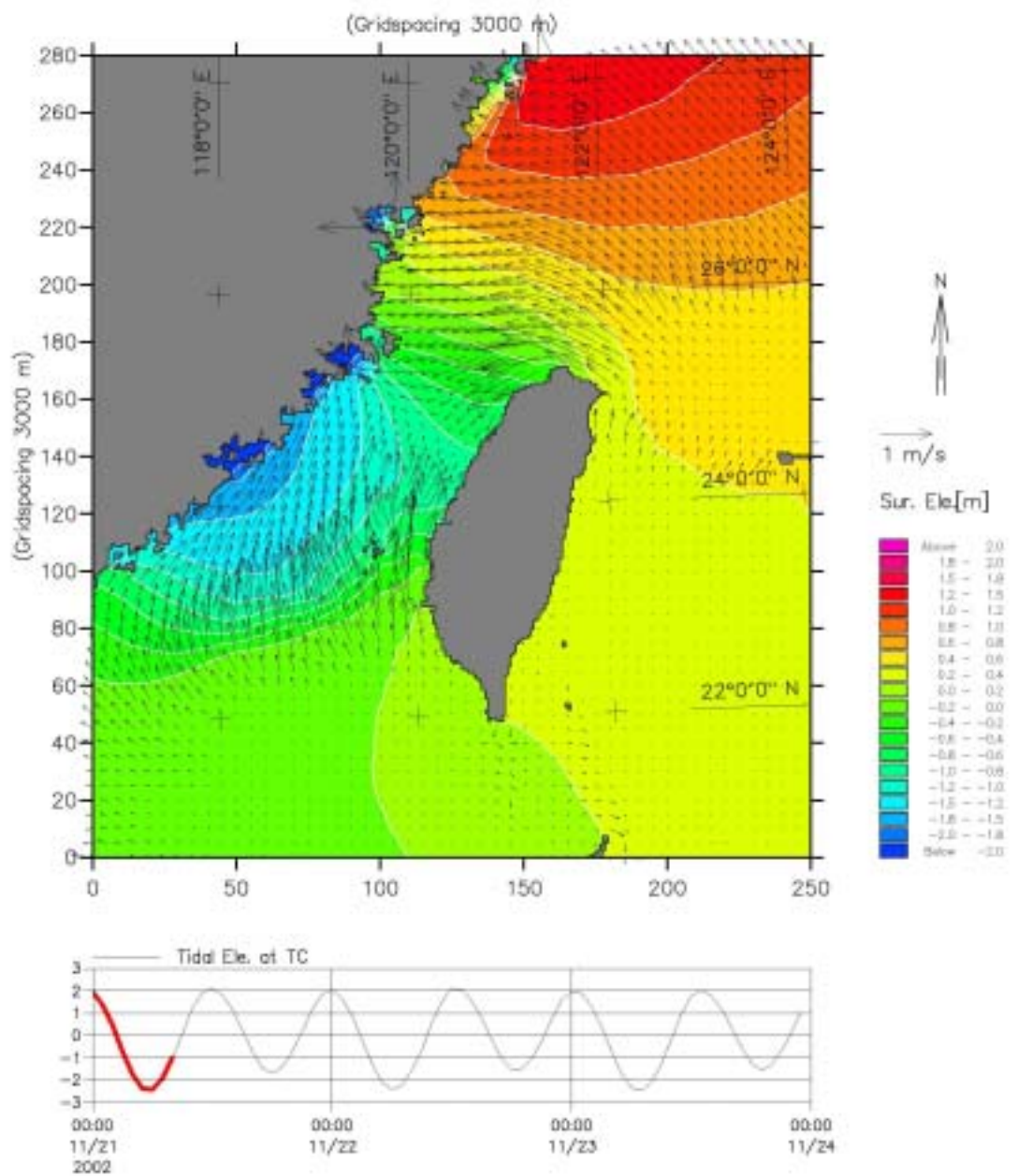


圖 3-16-1 台中港海流計算之台灣四周海域計算海流分布
(2002/11/21 08:00；參考潮位：台中港)

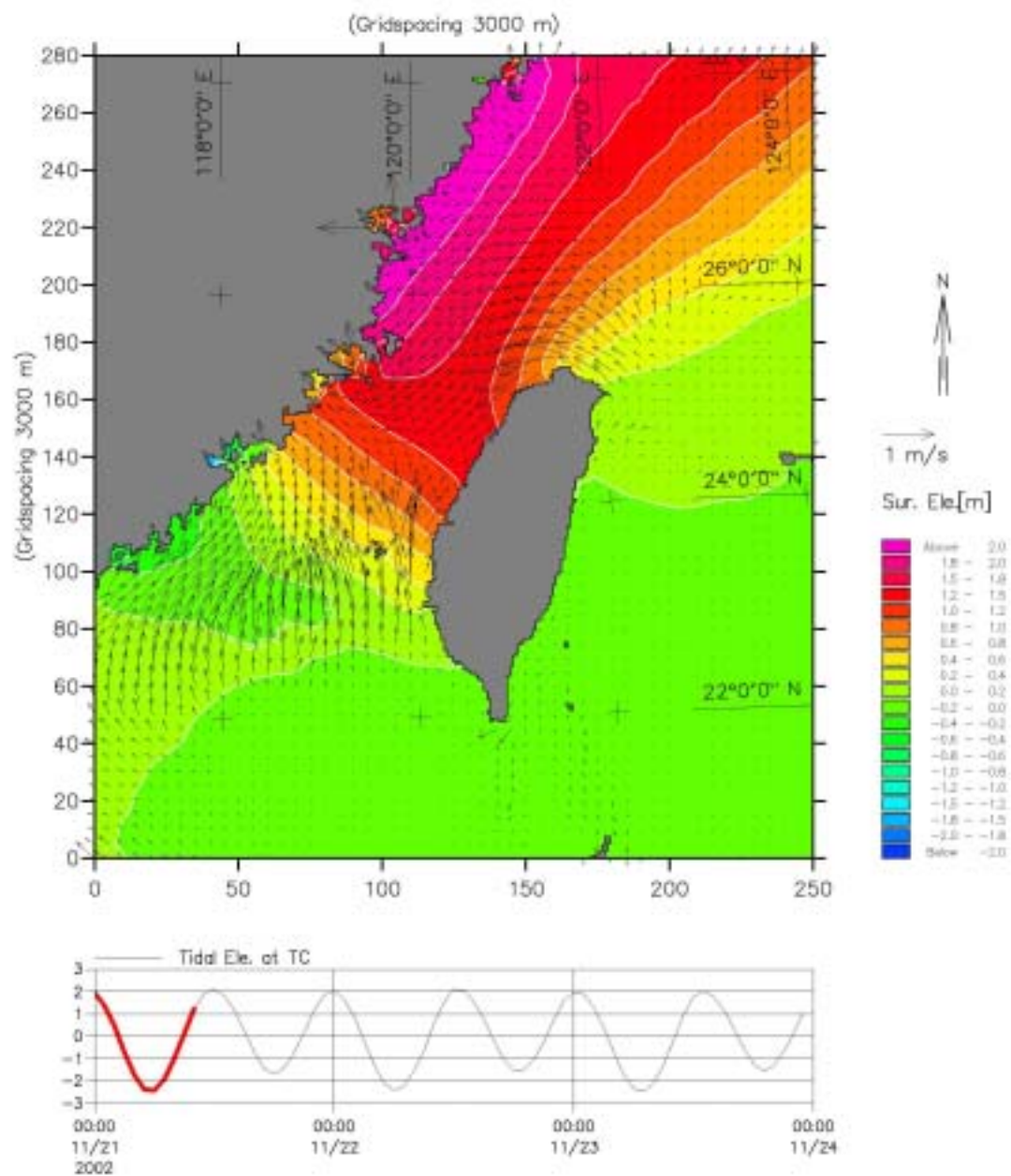


圖 3-16-2 台中港海流計算之台灣四周海域計算海流分布
(2002/11/21 10:00；參考潮位：台中港)

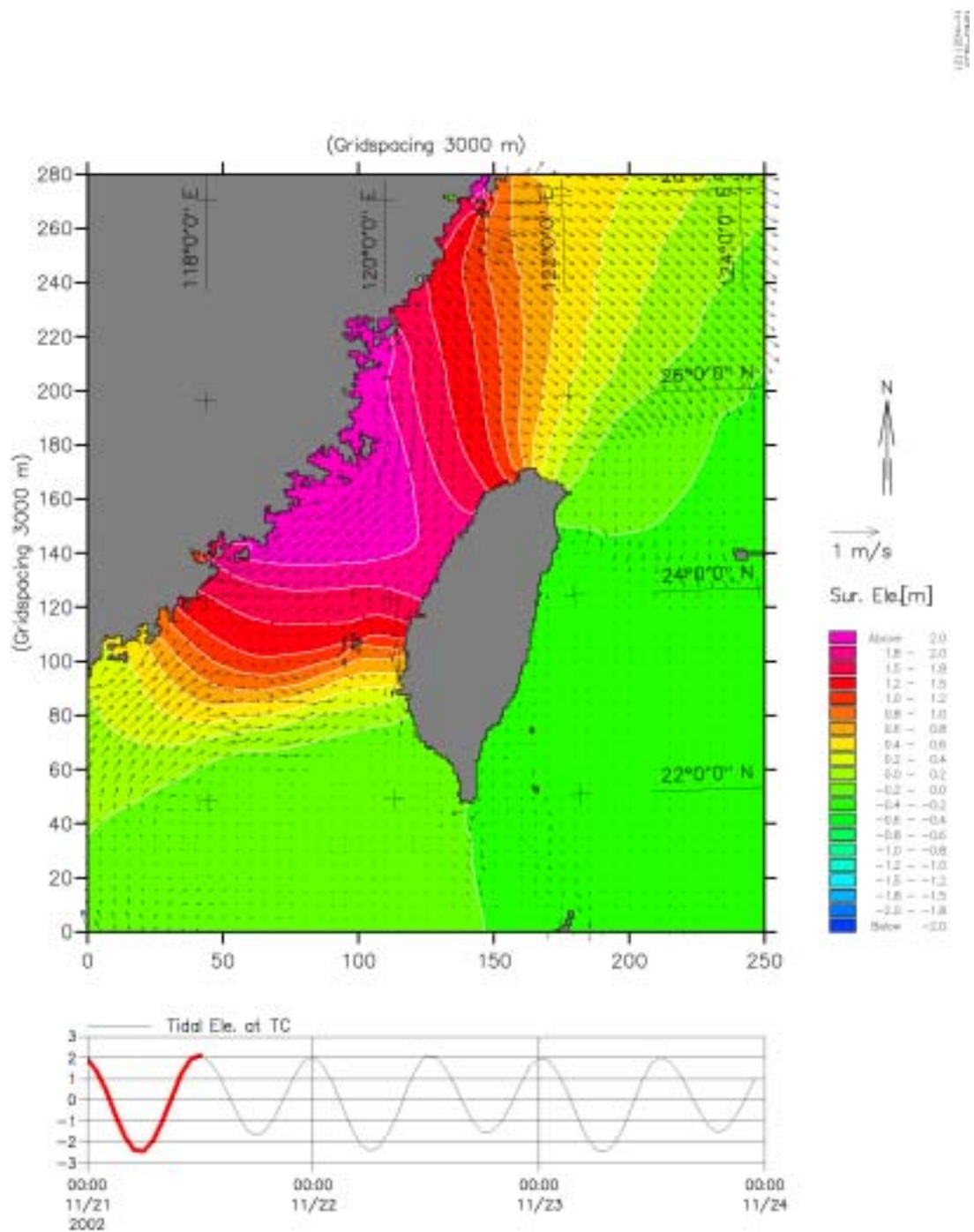


圖 3-16-3 台中港海流計算之台灣四周海域計算海流分布
(2002/11/21 12:00；參考潮位：台中港)

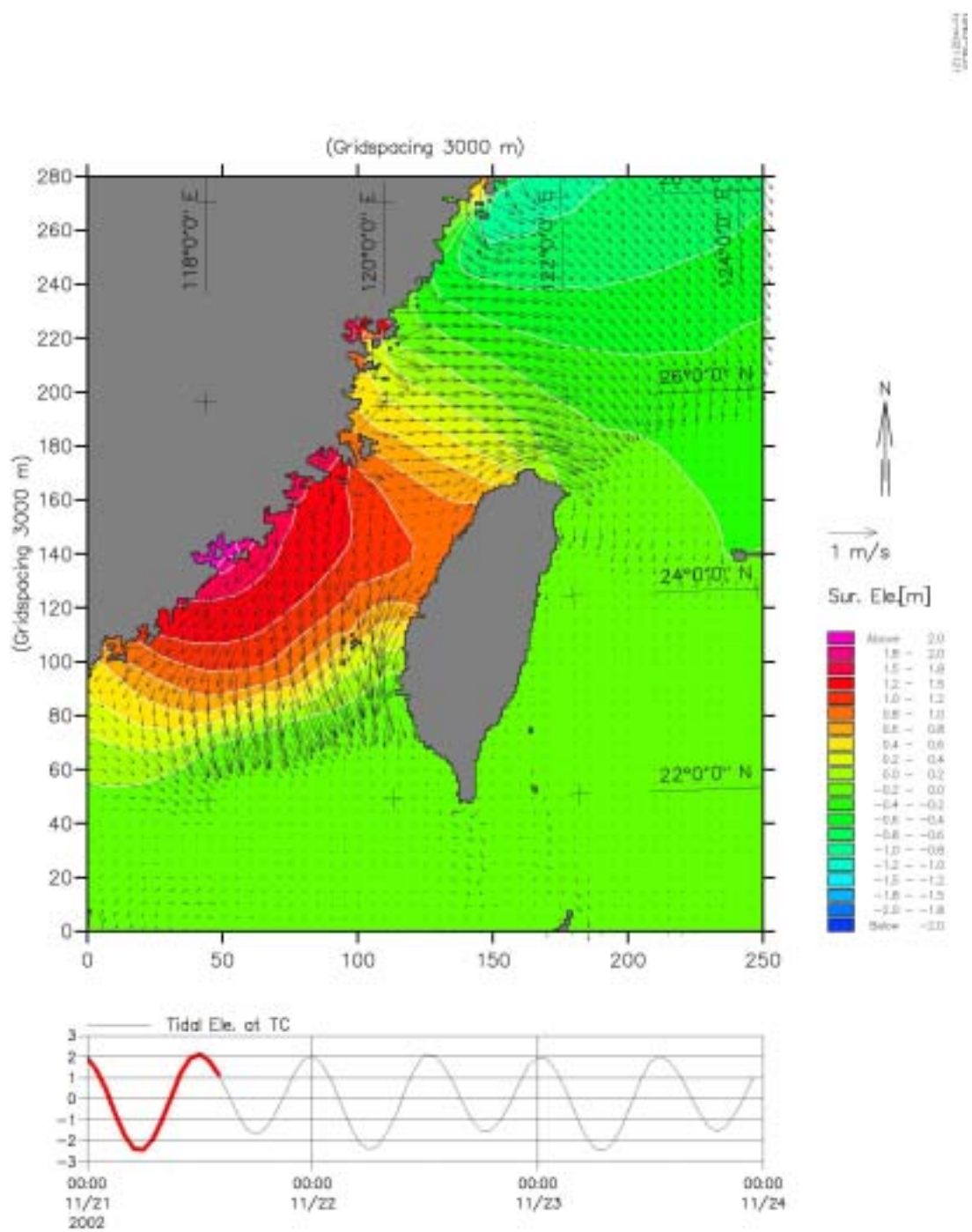


圖 3-16-4 台中港海流計算之台灣四周海域計算海流分布
(2002/11/21 14:00；參考潮位：台中港)

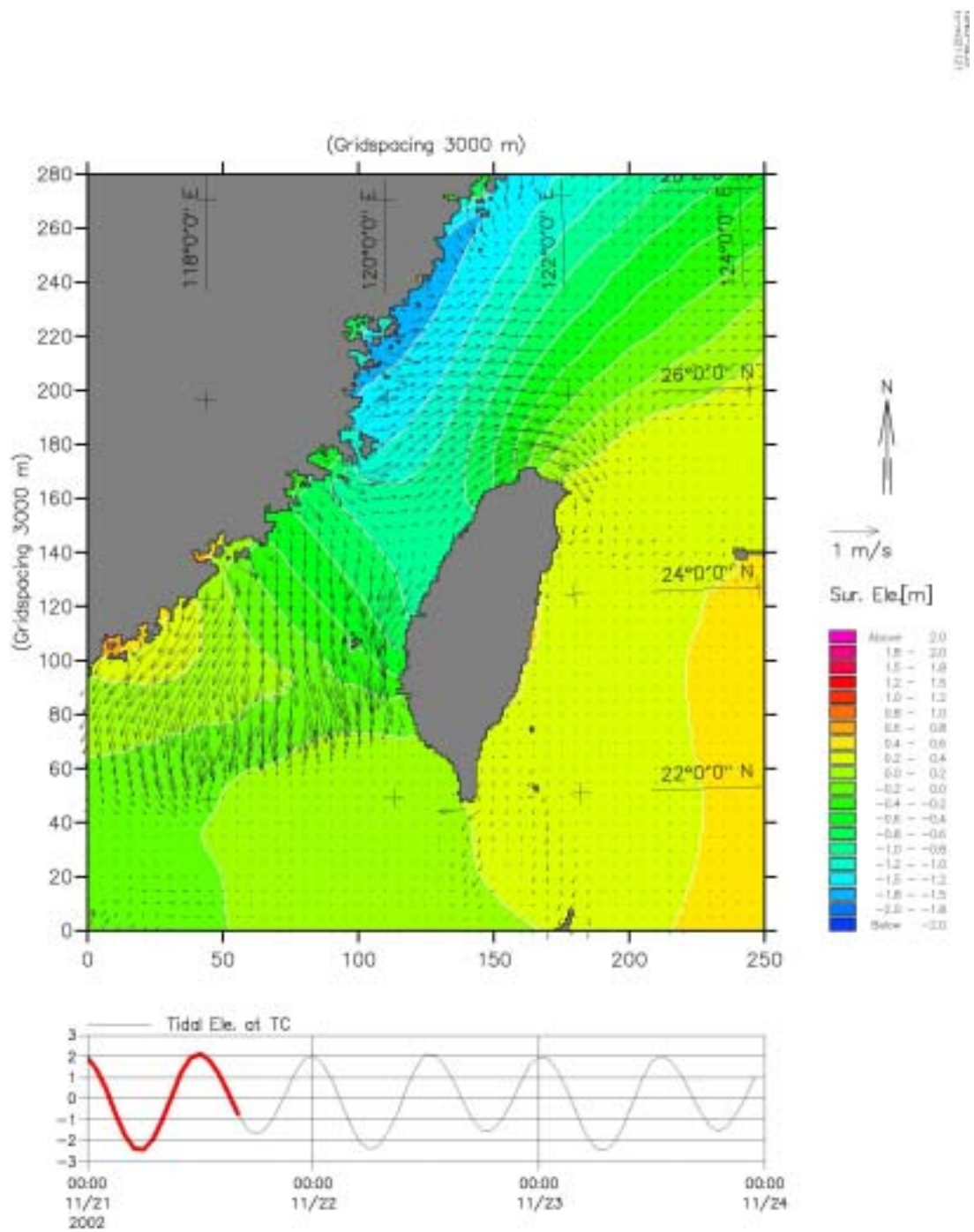


圖 3-16-5 台中港海流計算之台灣四周海域計算海流分布
(2002/11/21 16:00；參考潮位：台中港)

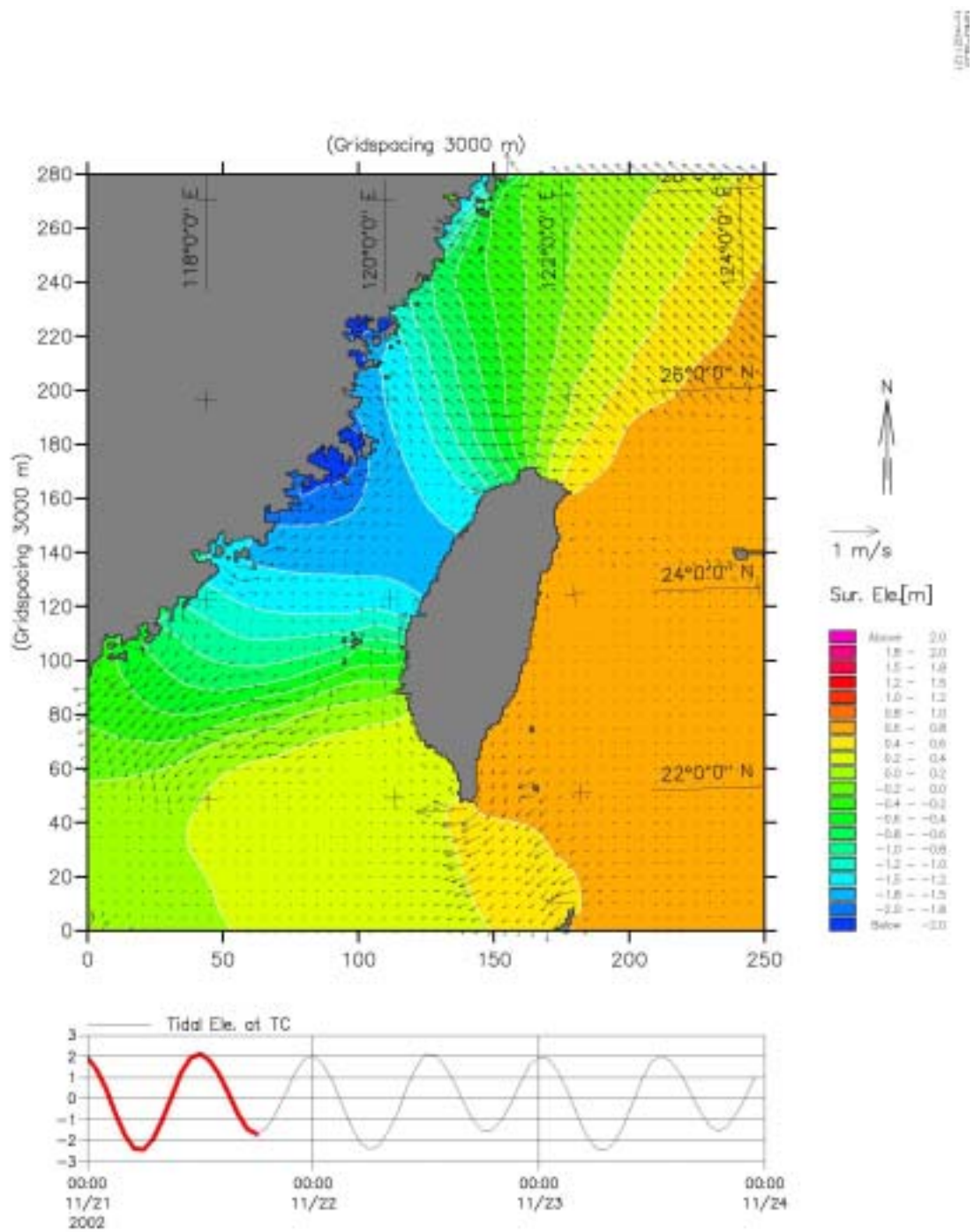


圖 3-16-6 台中港海流計算之台灣四周海域計算海流分布
(2002/11/21 18:00；參考潮位：台中港)

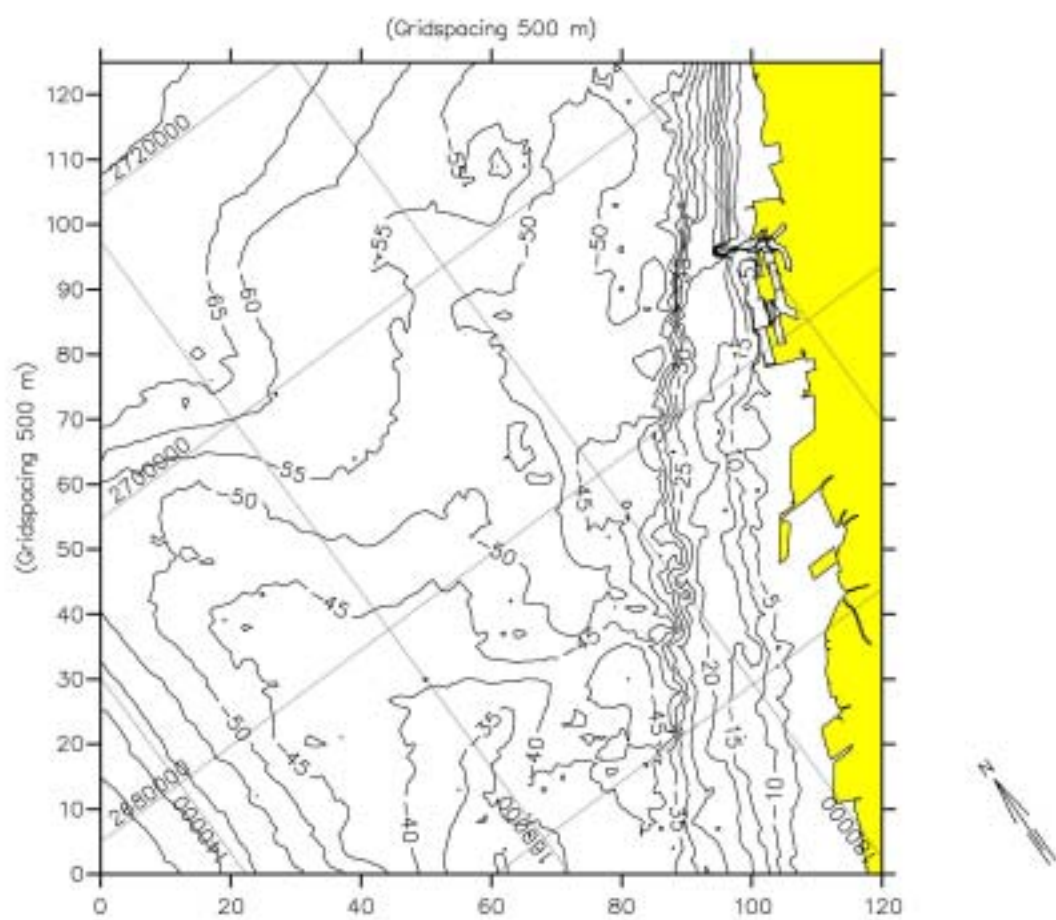


圖 3-17 台中港海流計算之台灣中西部海域計算範圍、網格及水深地形

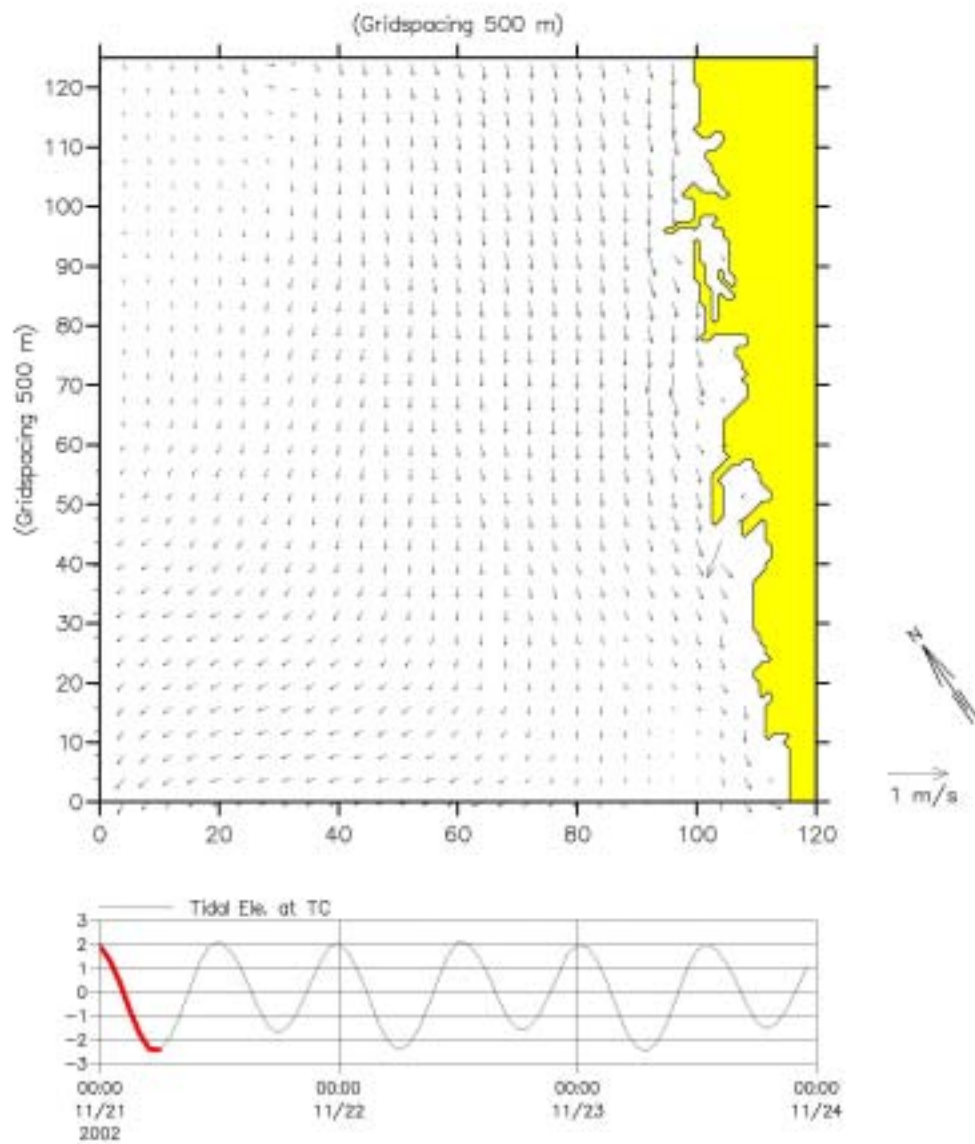


圖 3-18-1 台中港海流計算之台灣中西部海域計算海流分布
(2002/11/21 06:00；參考潮位：台中港)

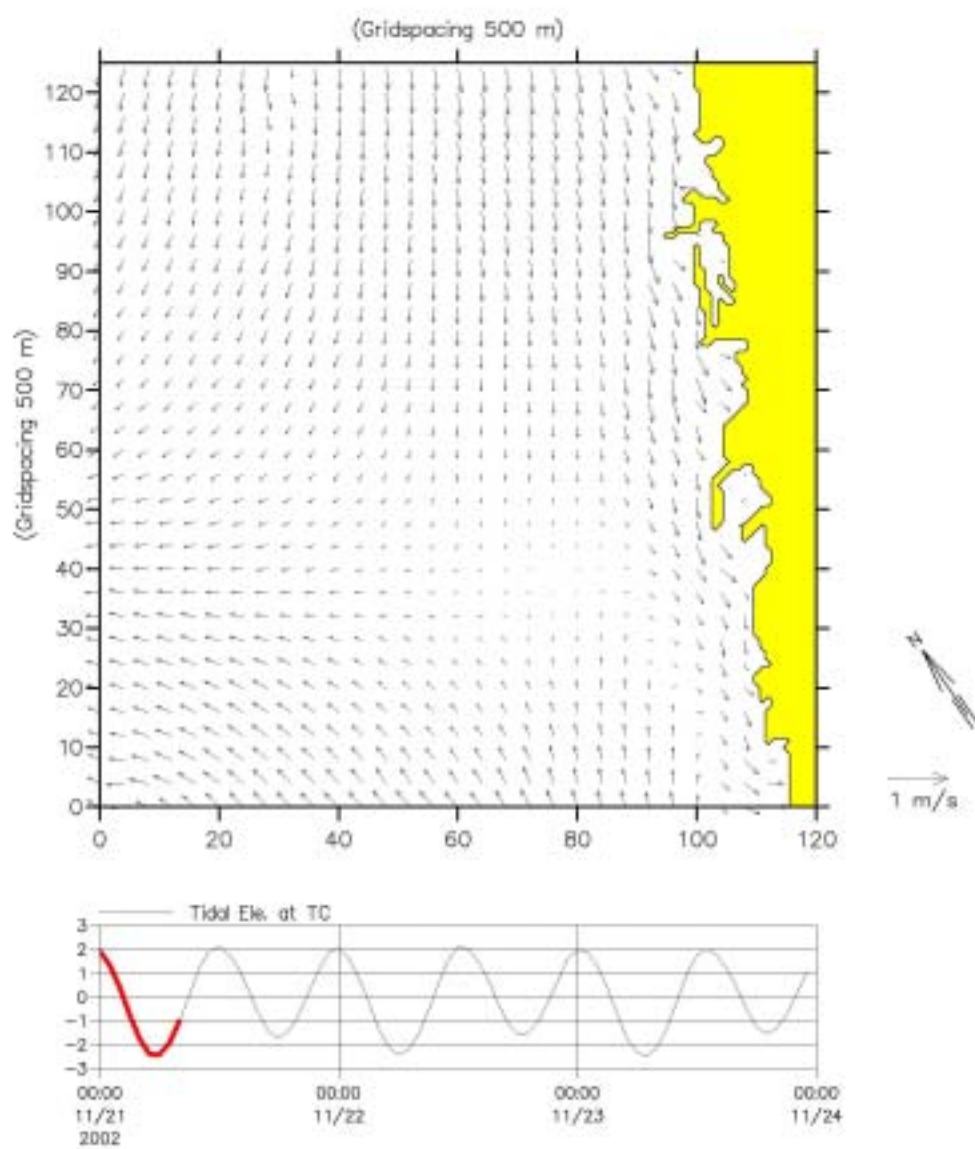


圖 3-18-2 台中港海流計算之台灣中西部海域計算海流分布
(2002/11/21 08:00；參考潮位：台中港)

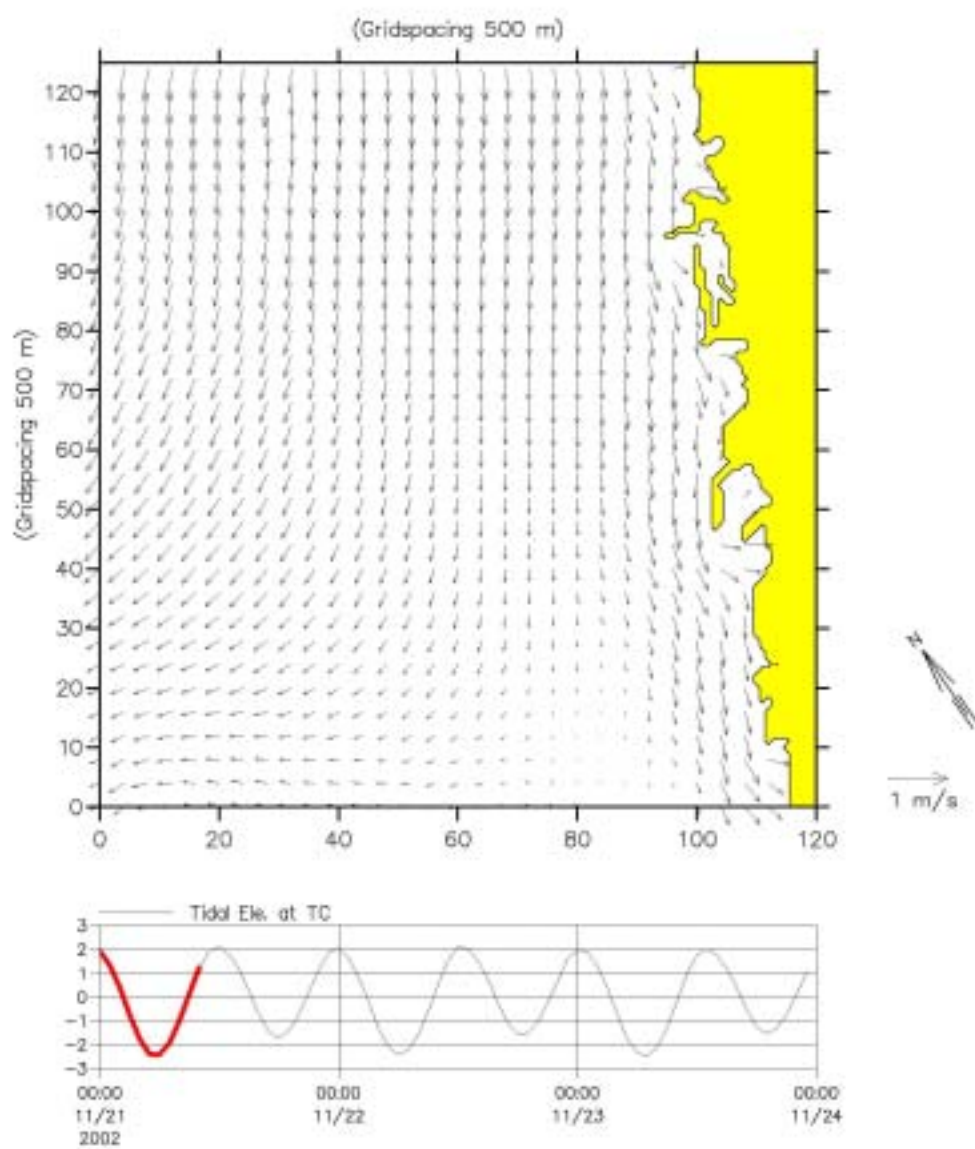


圖 3-18-3 台中港海流計算之台灣中西部海域計算海流分布
(2002/11/21 10:00；參考潮位：台中港)

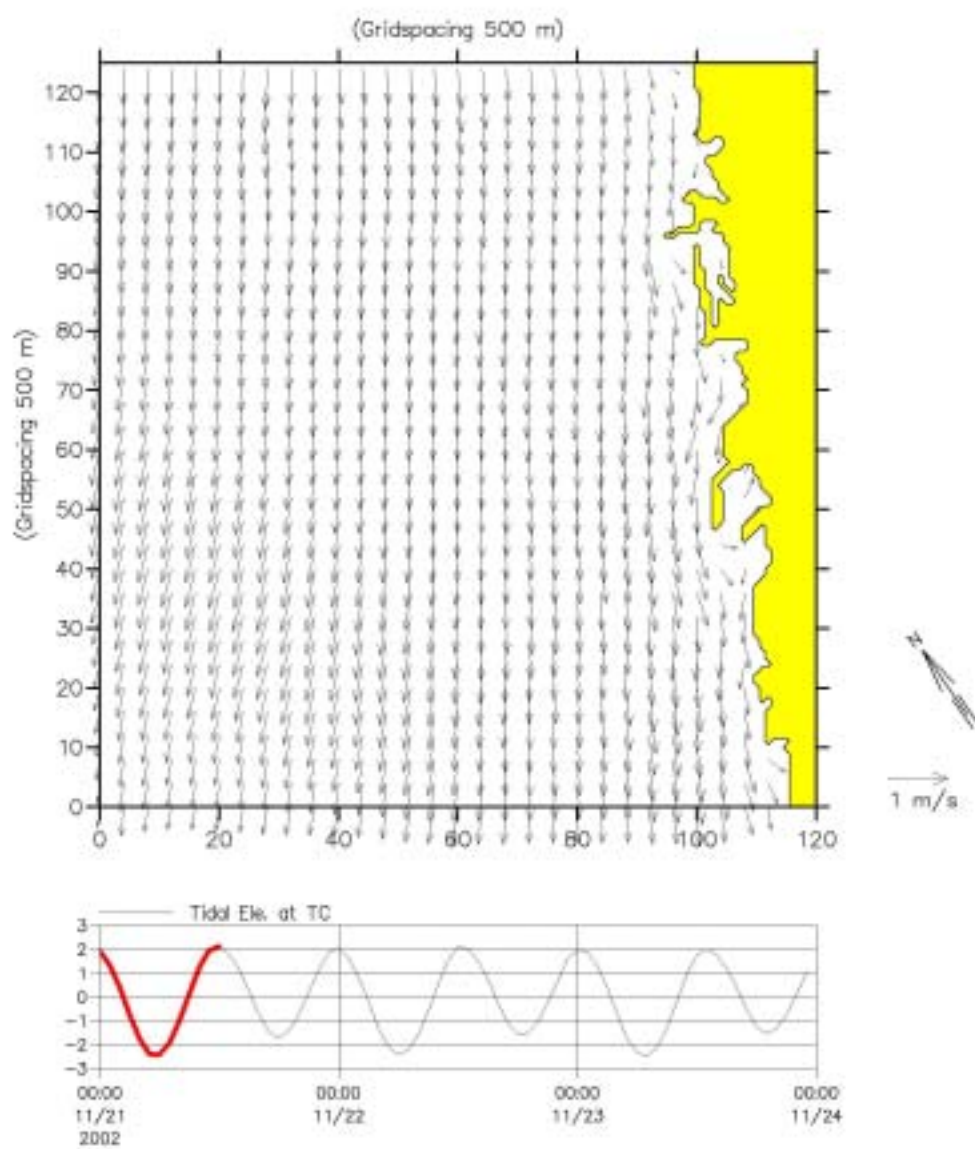


圖 3-18-4 台中港海流計算之台灣中西部海域計算海流分布
(2002/11/21 12:00；參考潮位：台中港)

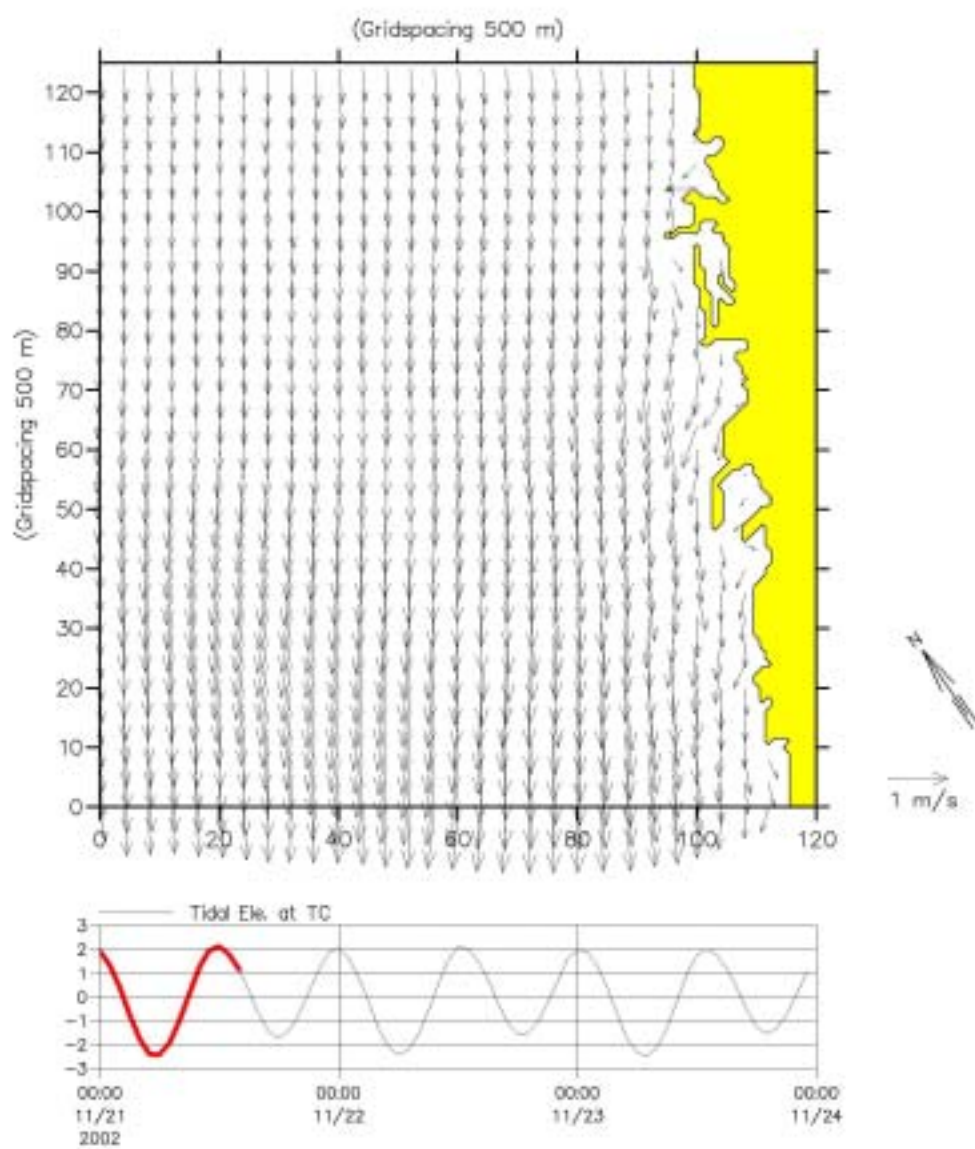


圖 3-18-5 台中港海流計算之台灣中西部海域計算海流分布
(2002/11/21 14:00；參考潮位：台中港)

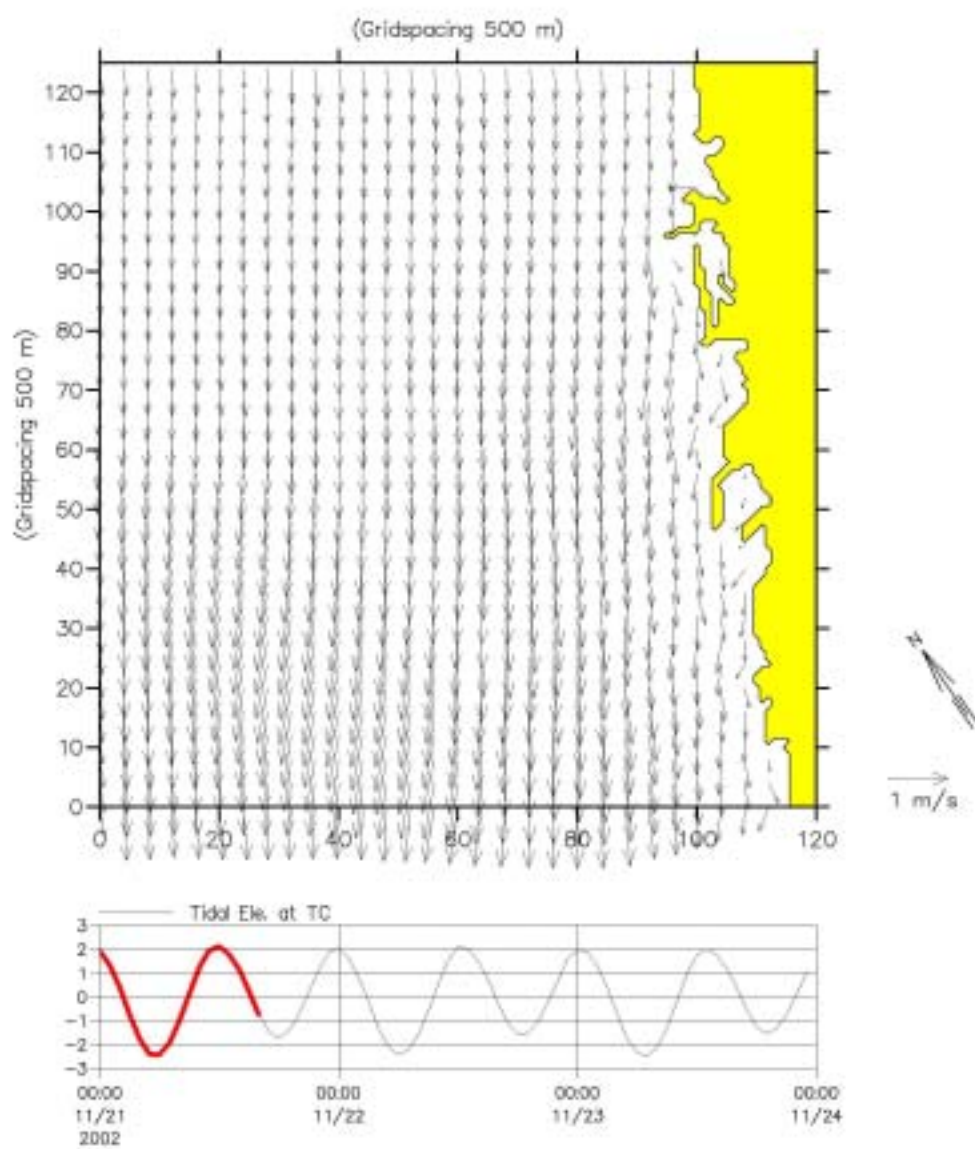


圖 3-18-6 台中港海流計算之台灣中西部海域計算海流分布
(2002/11/21 16:00；參考潮位：台中港)

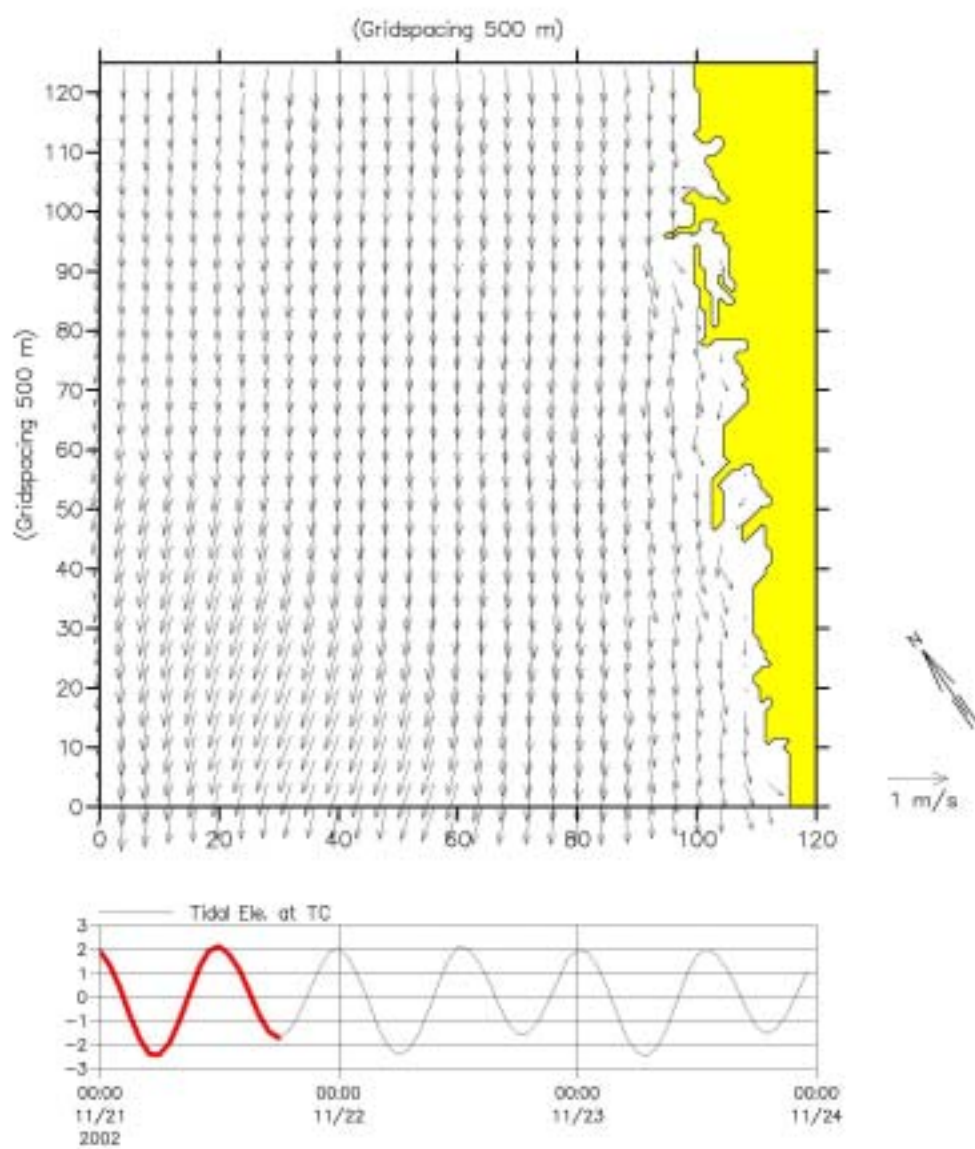


圖 3-18-7 台中港海流計算之台灣中西部海域計算海流分布
(2002/11/21 18:00；參考潮位：台中港)

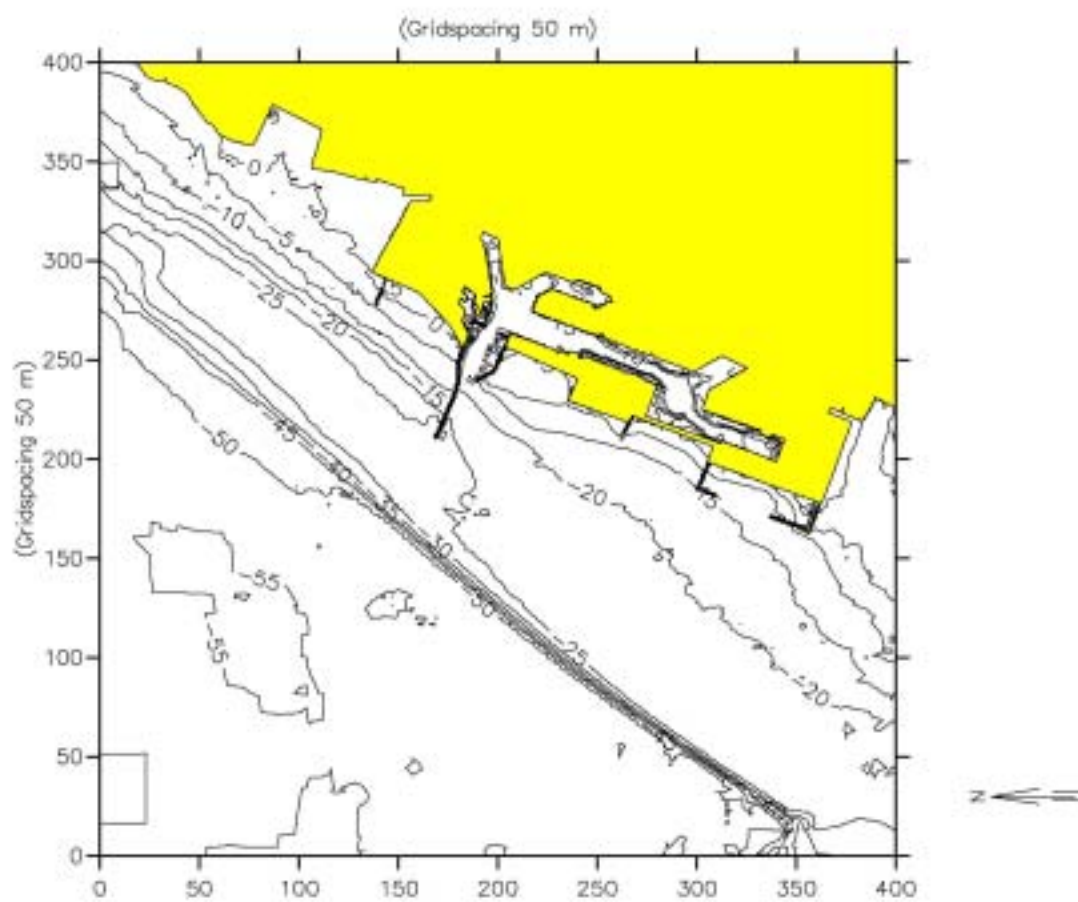


圖 3-19 台中港海域波浪計算之範圍及水深地形

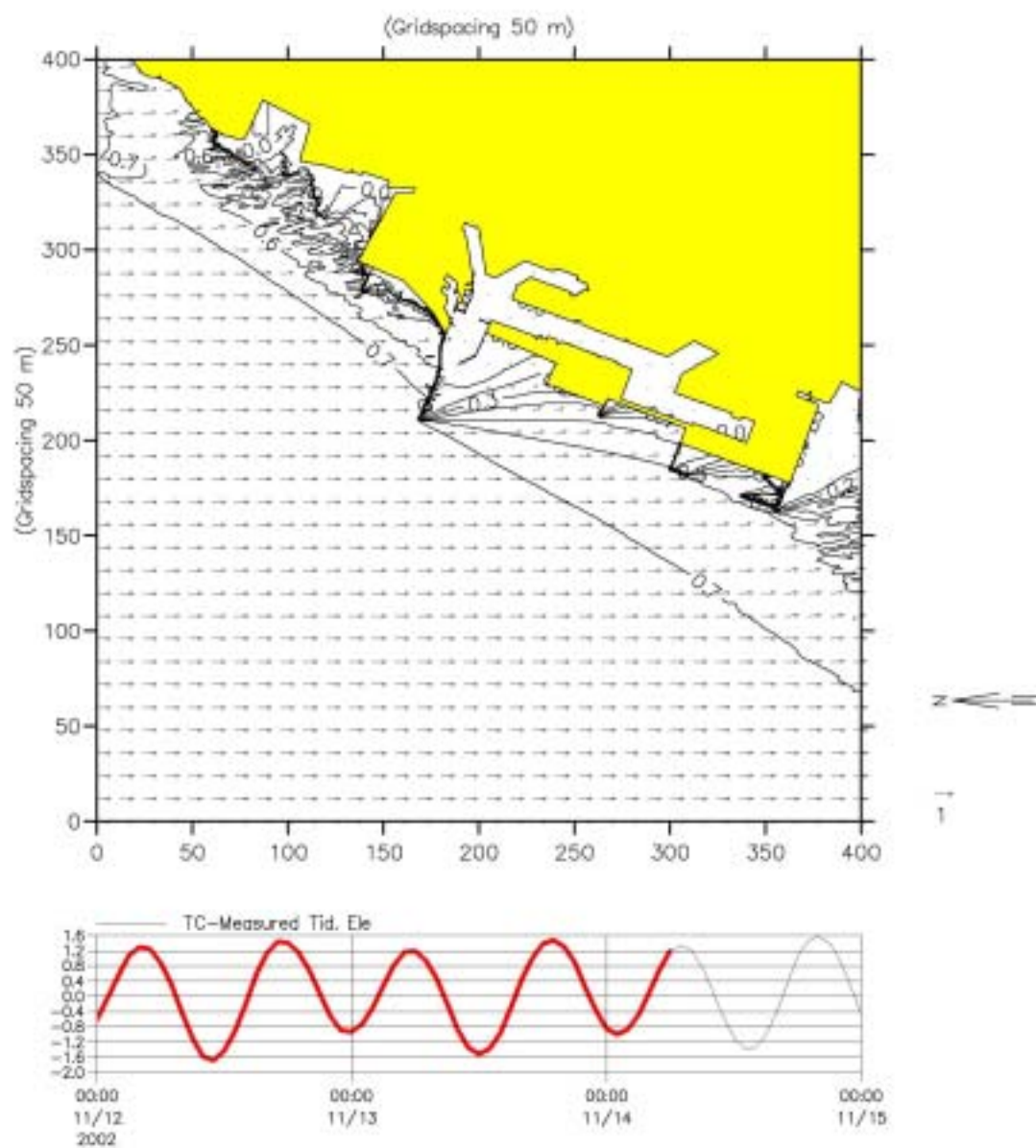


圖 3-20-1 台中港海域小風速期間波浪計算之波向及波高分布
(2002/11/14 06:00；參考潮位：台中港)

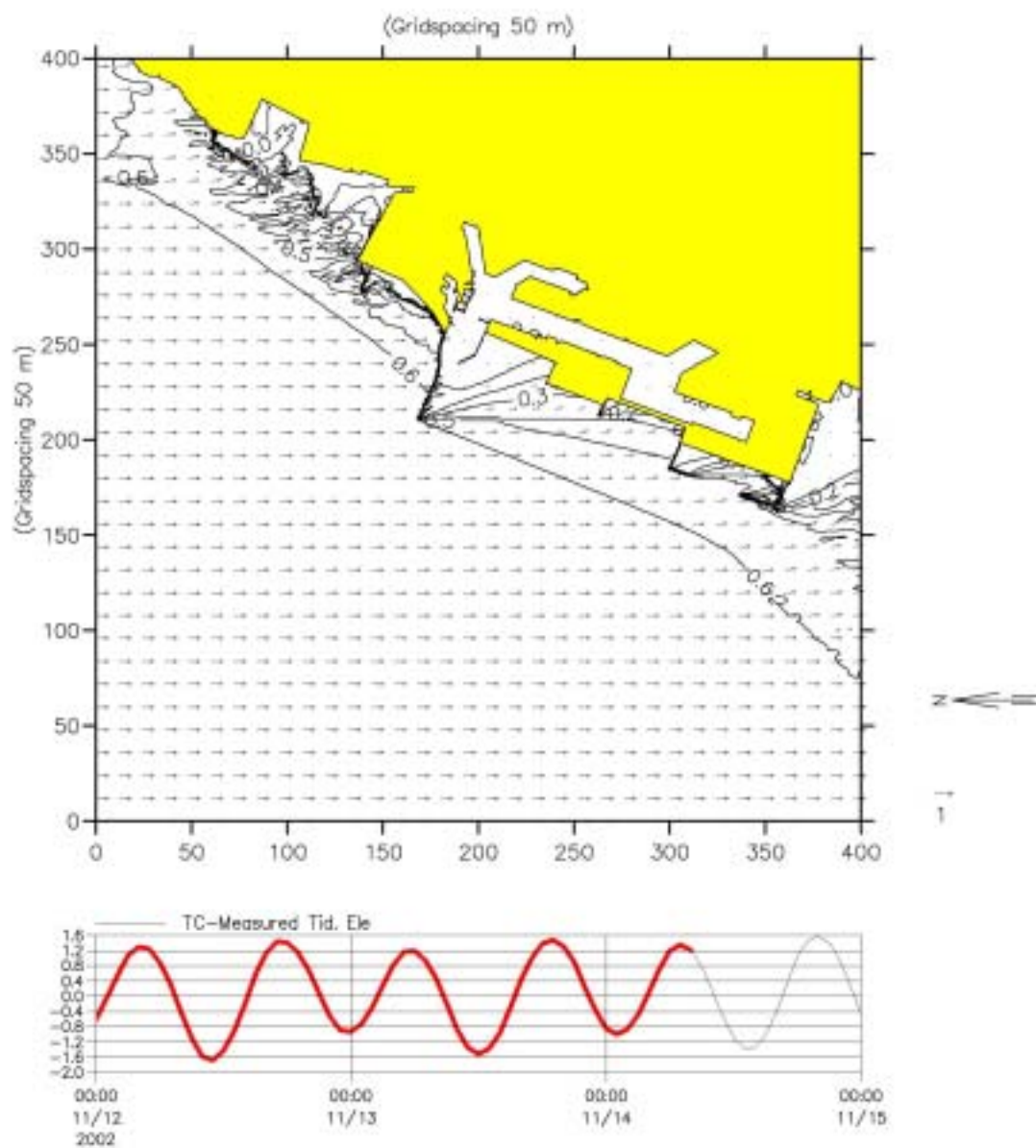


圖 3-20-2 台中港海域小風速期間波浪計算之波向及波高分布
(2002/11/14 08:00；參考潮位：台中港)

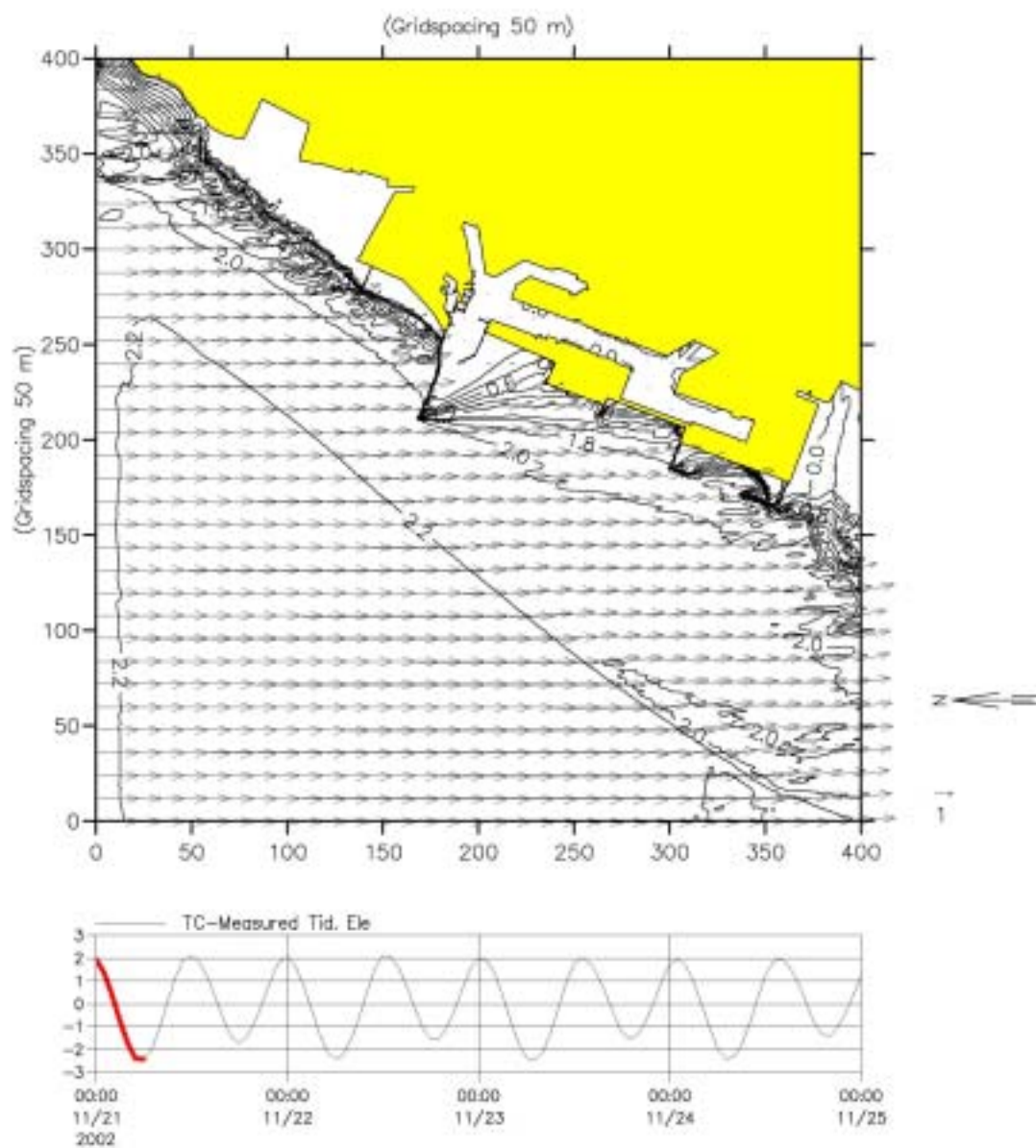


圖 3-21-1 台中港海域大風速期間波浪計算之波向及波高分布
(2002/11/21 06:00；參考潮位：台中港)

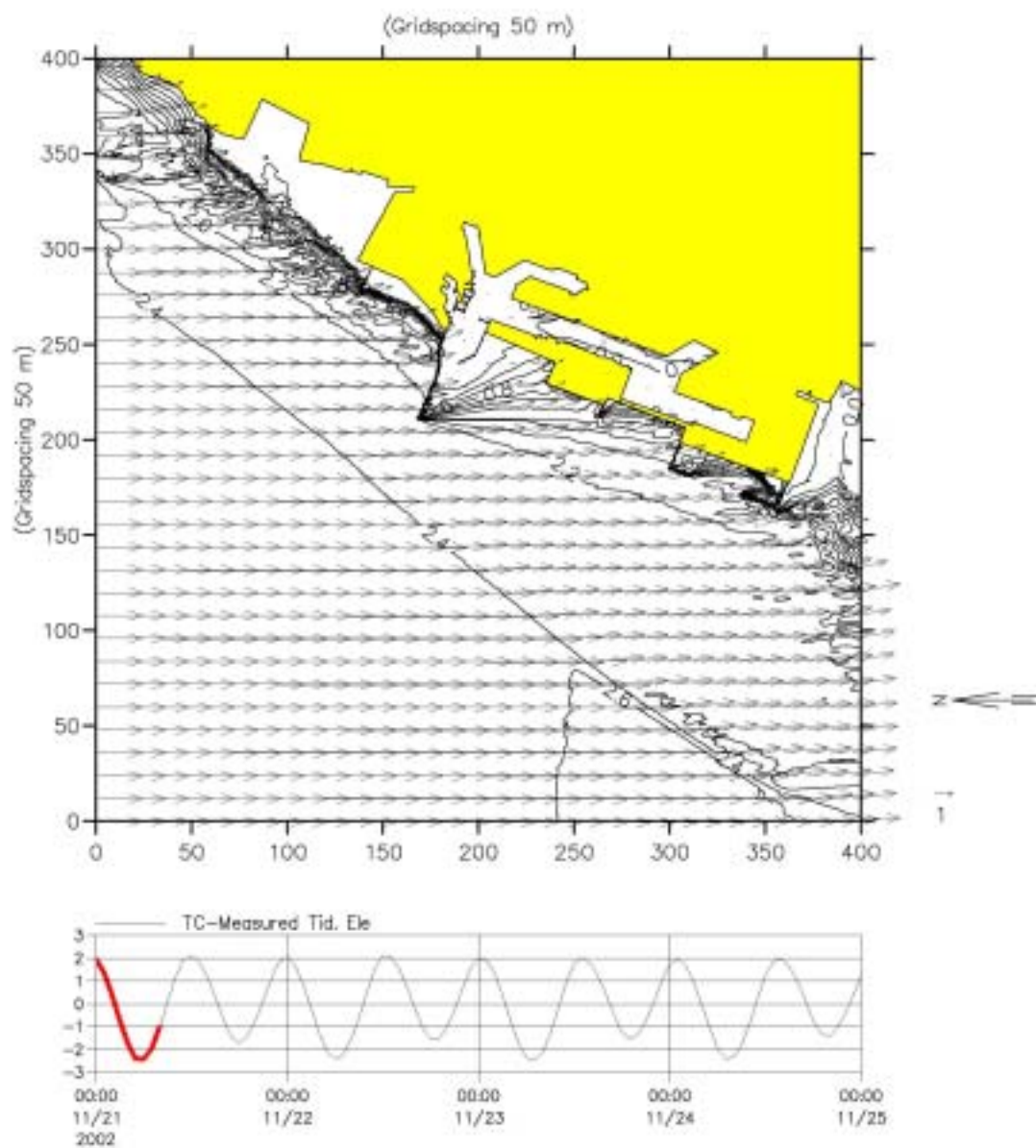


圖 3-21-2 台中港海域大風速期間波浪計算之波向及波高分布
(2002/11/21 08:00；參考潮位：台中港)

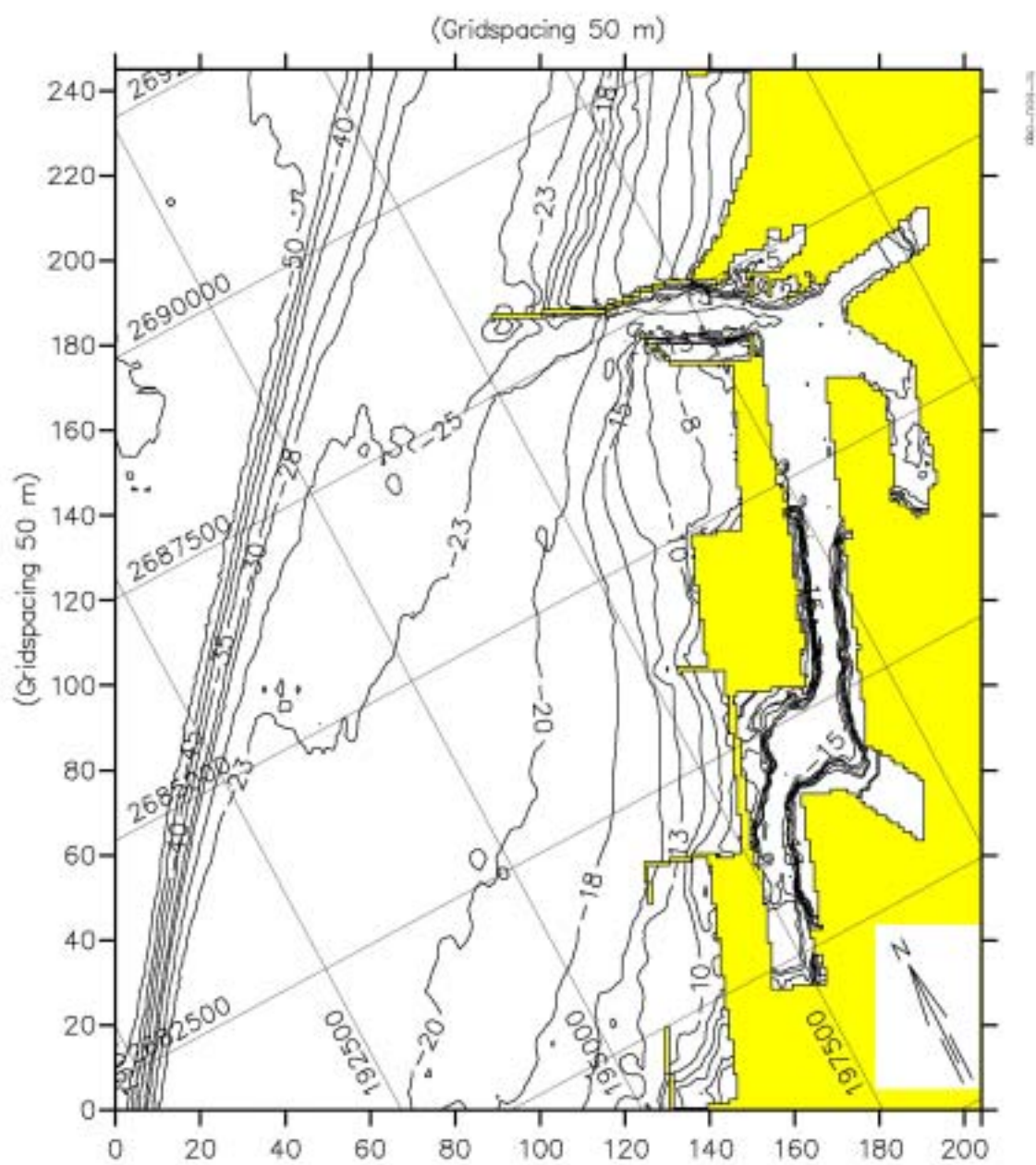


圖 3-22 台中港海域第二期擴建後海流計算之範圍、網格及水深地形

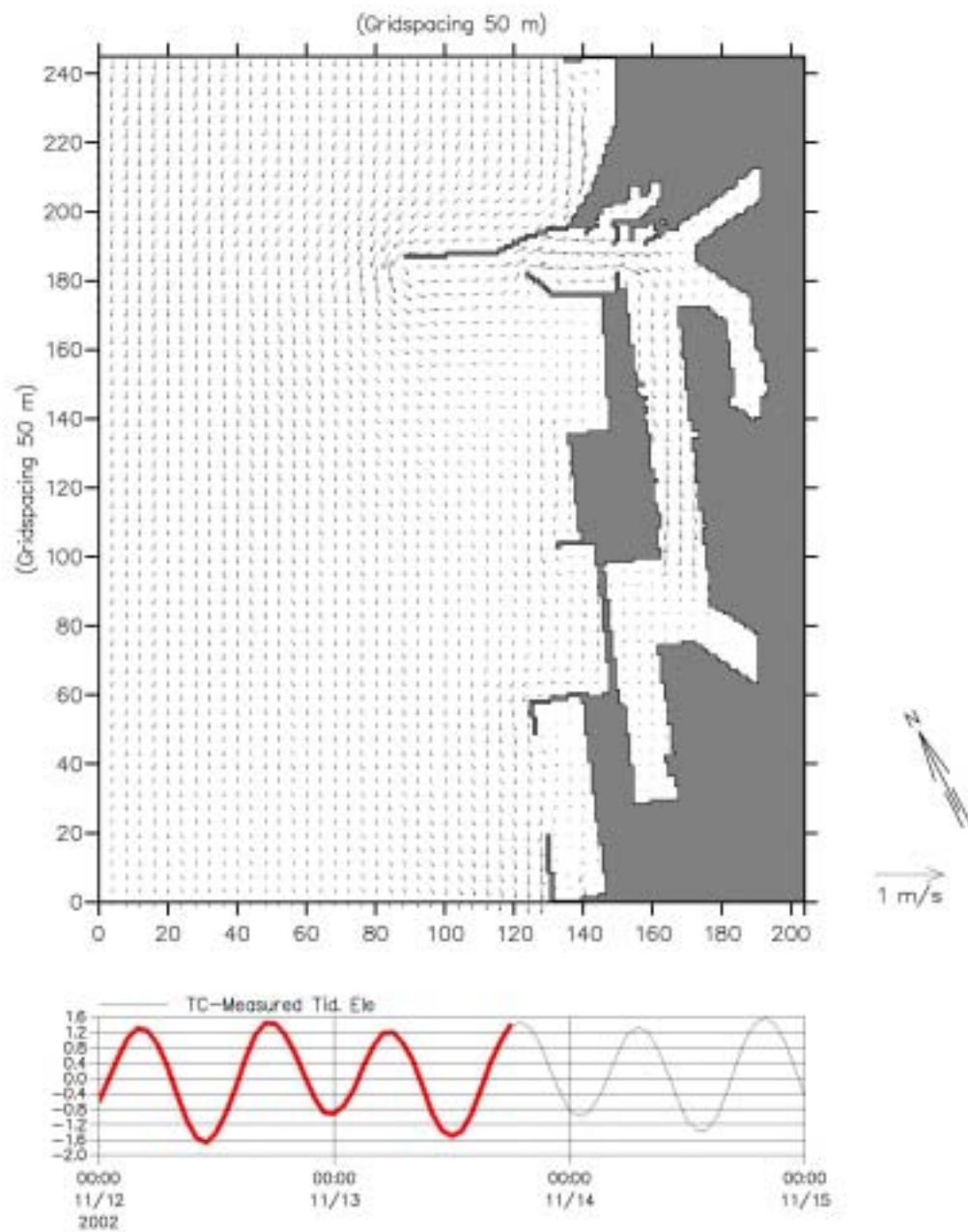


圖 3-23-1 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/13 18:00；參考潮位：台中港)

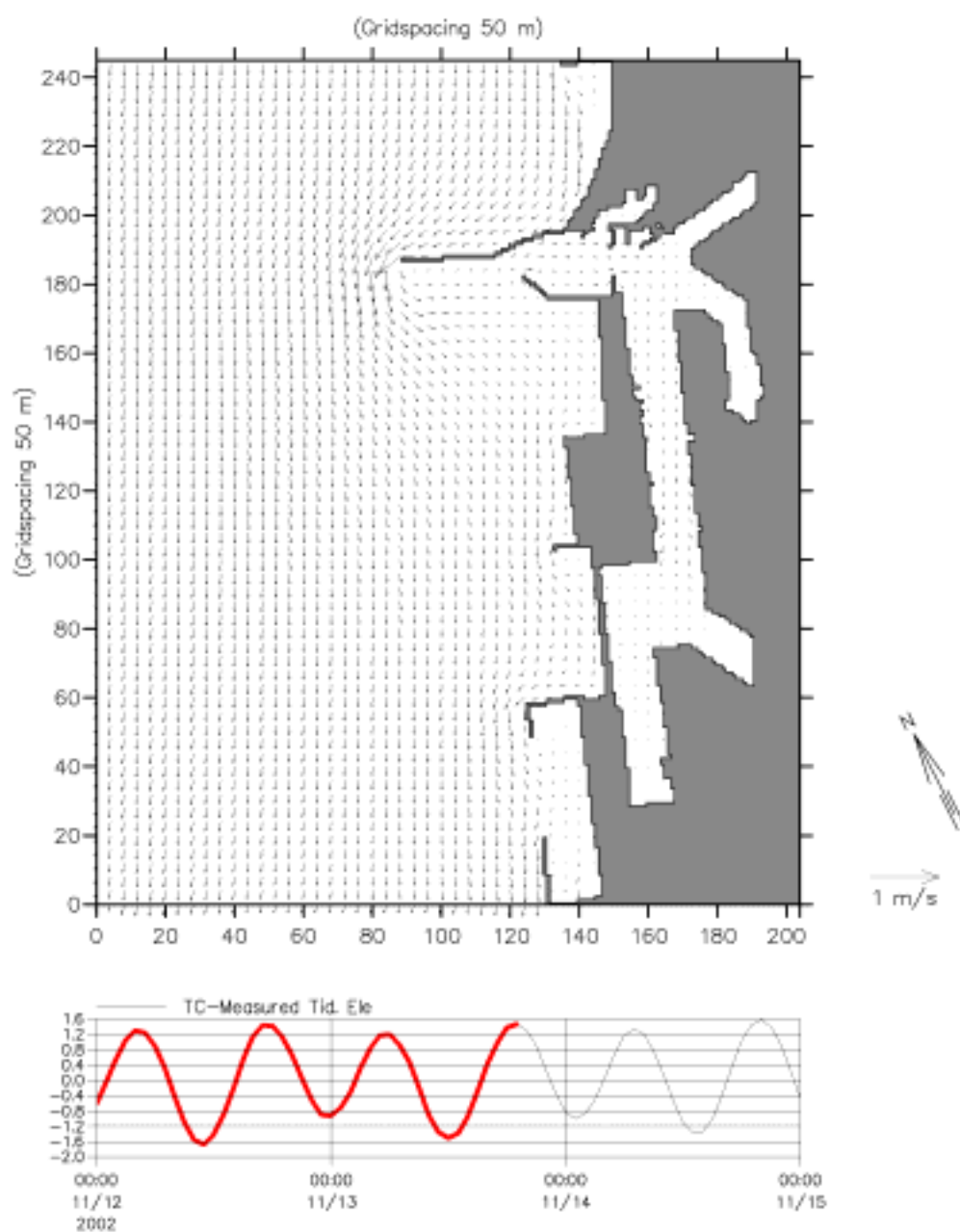


圖 3-23-2 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/13 19:00；參考潮位：台中港)

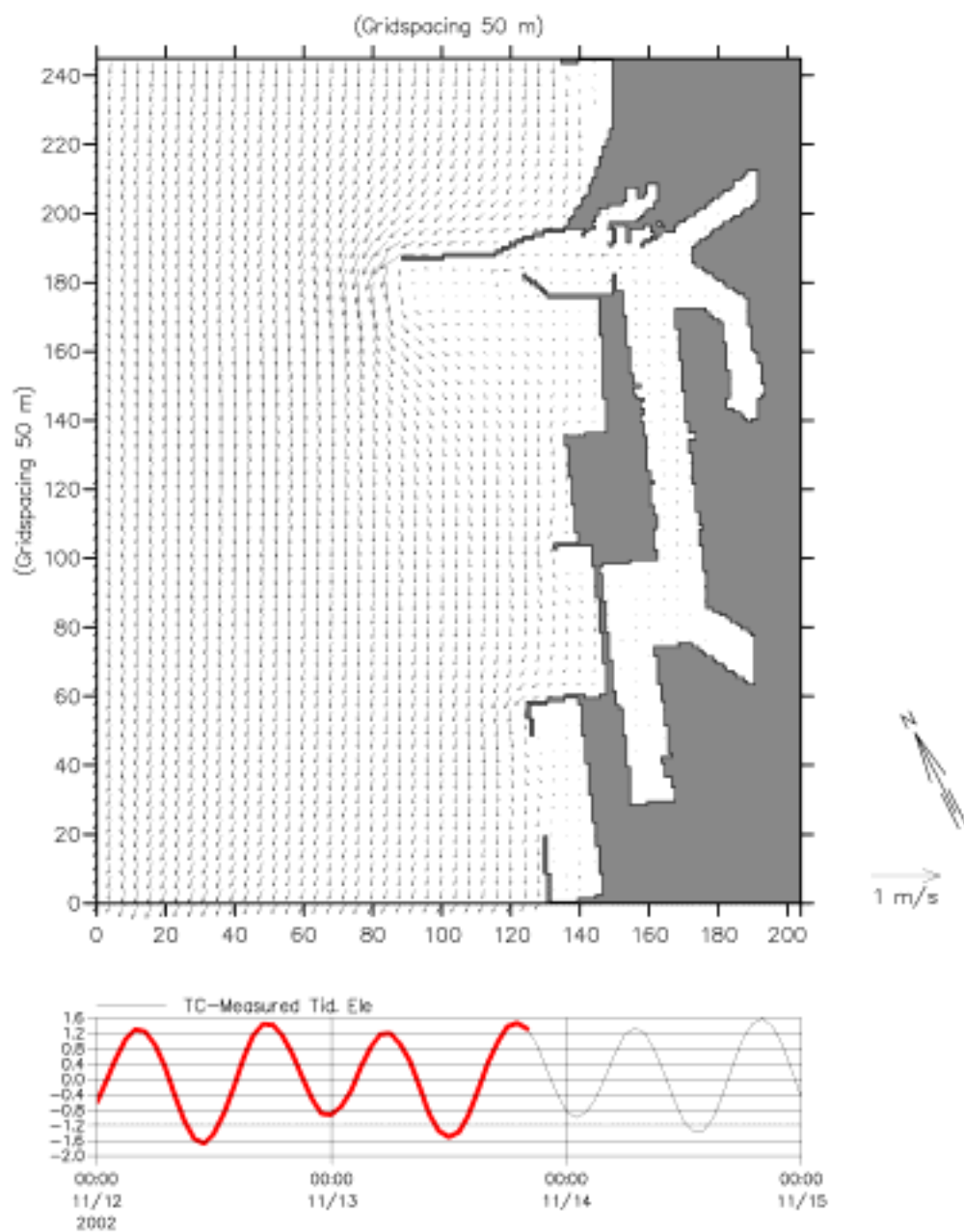


圖 3-23-3 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/13 20:00；參考潮位：台中港)

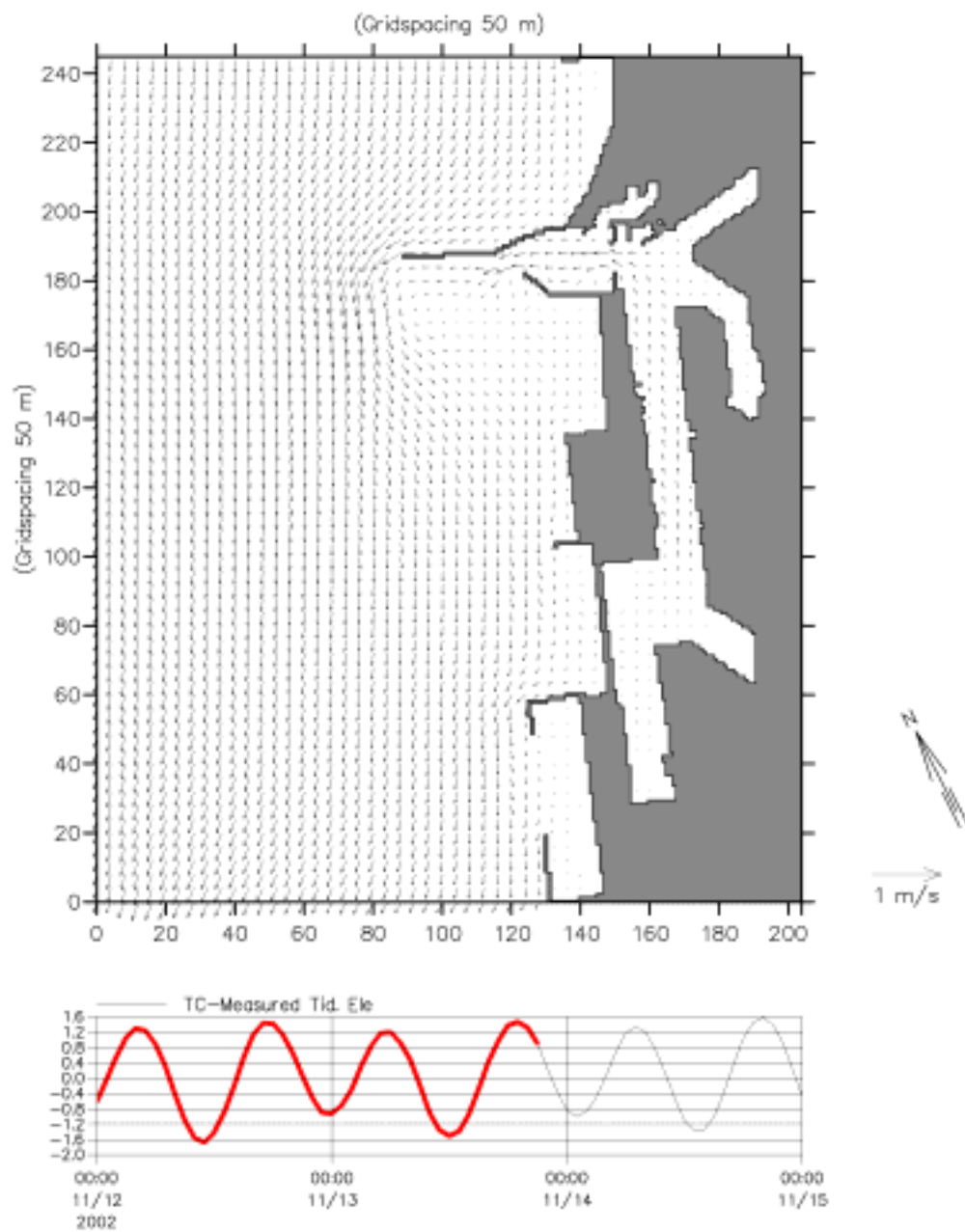


圖 3-23-4 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/13 21:00；參考潮位：台中港)

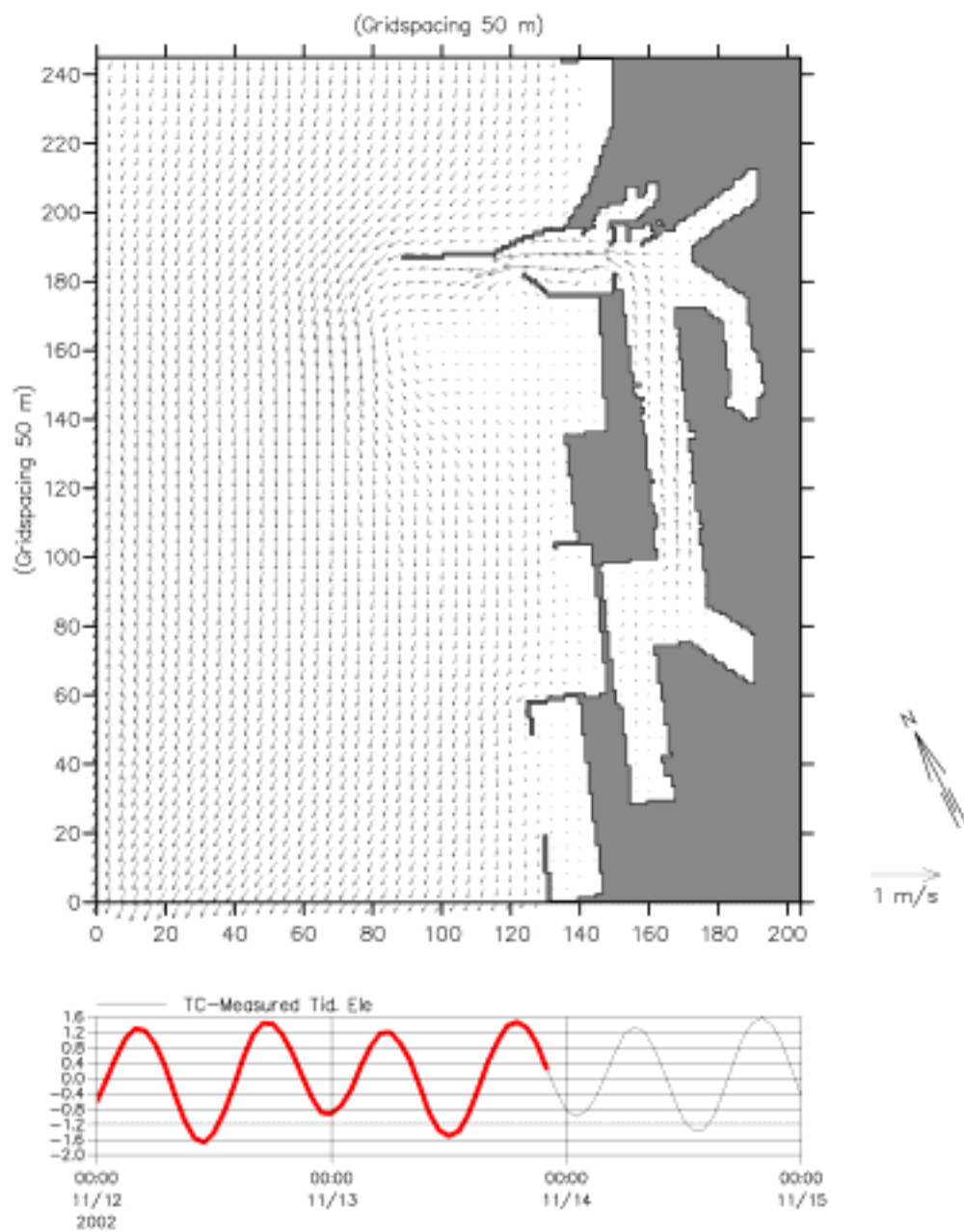


圖 3-23-5 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/13 22:00；參考潮位：台中港)

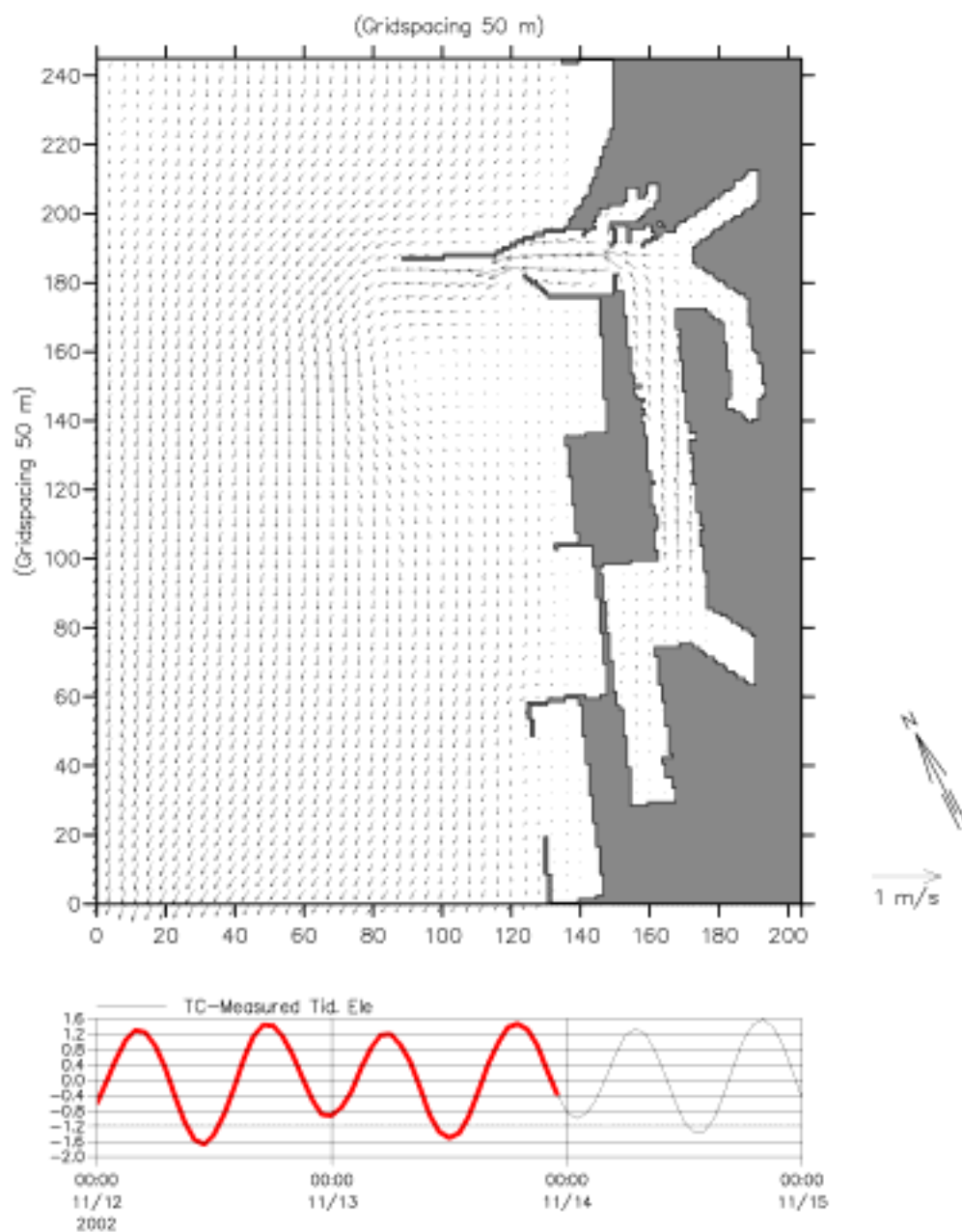


圖 3-23-6 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/13 23:00；參考潮位：台中港)

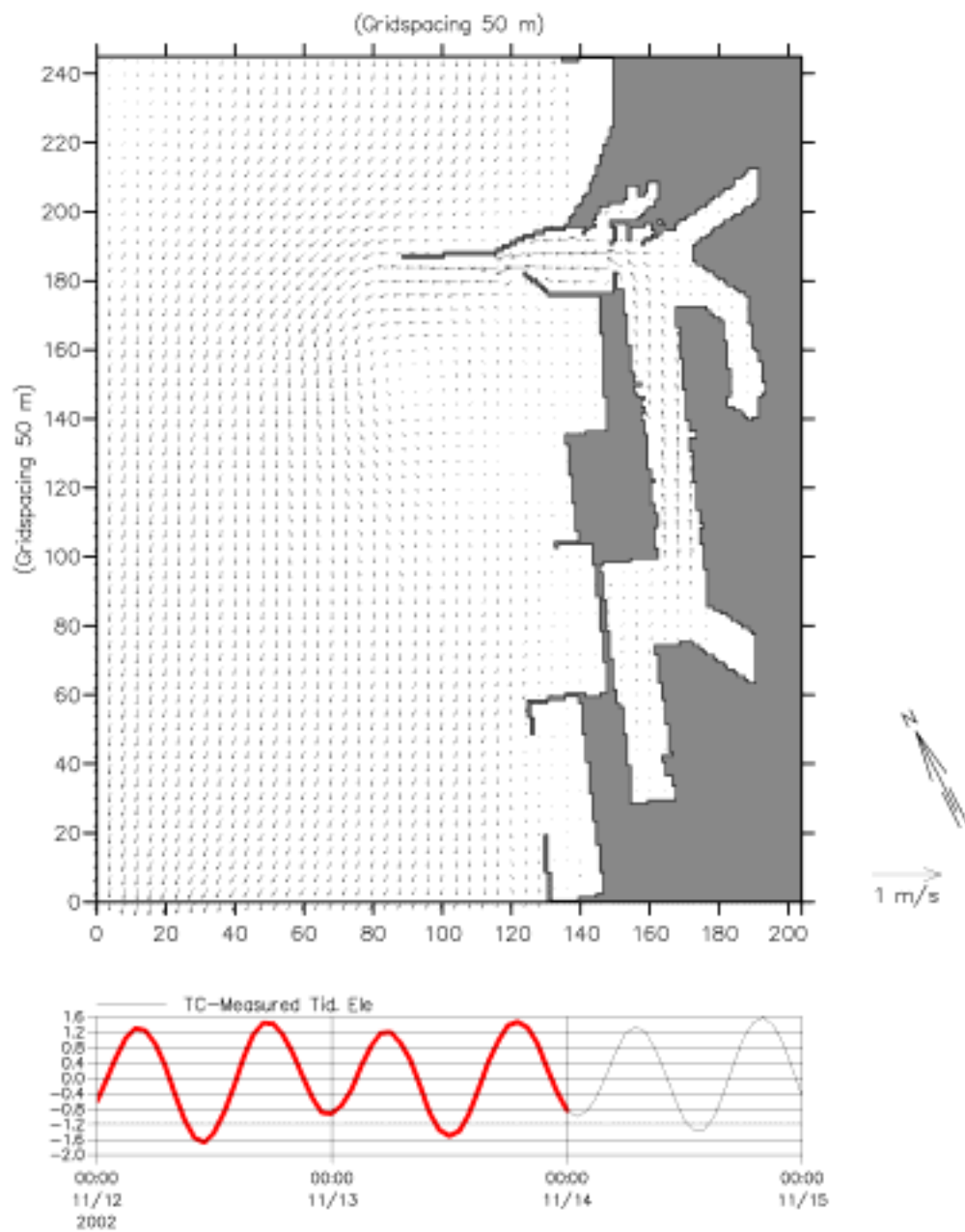


圖 3-23-7 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/14 00:00；參考潮位：台中港)

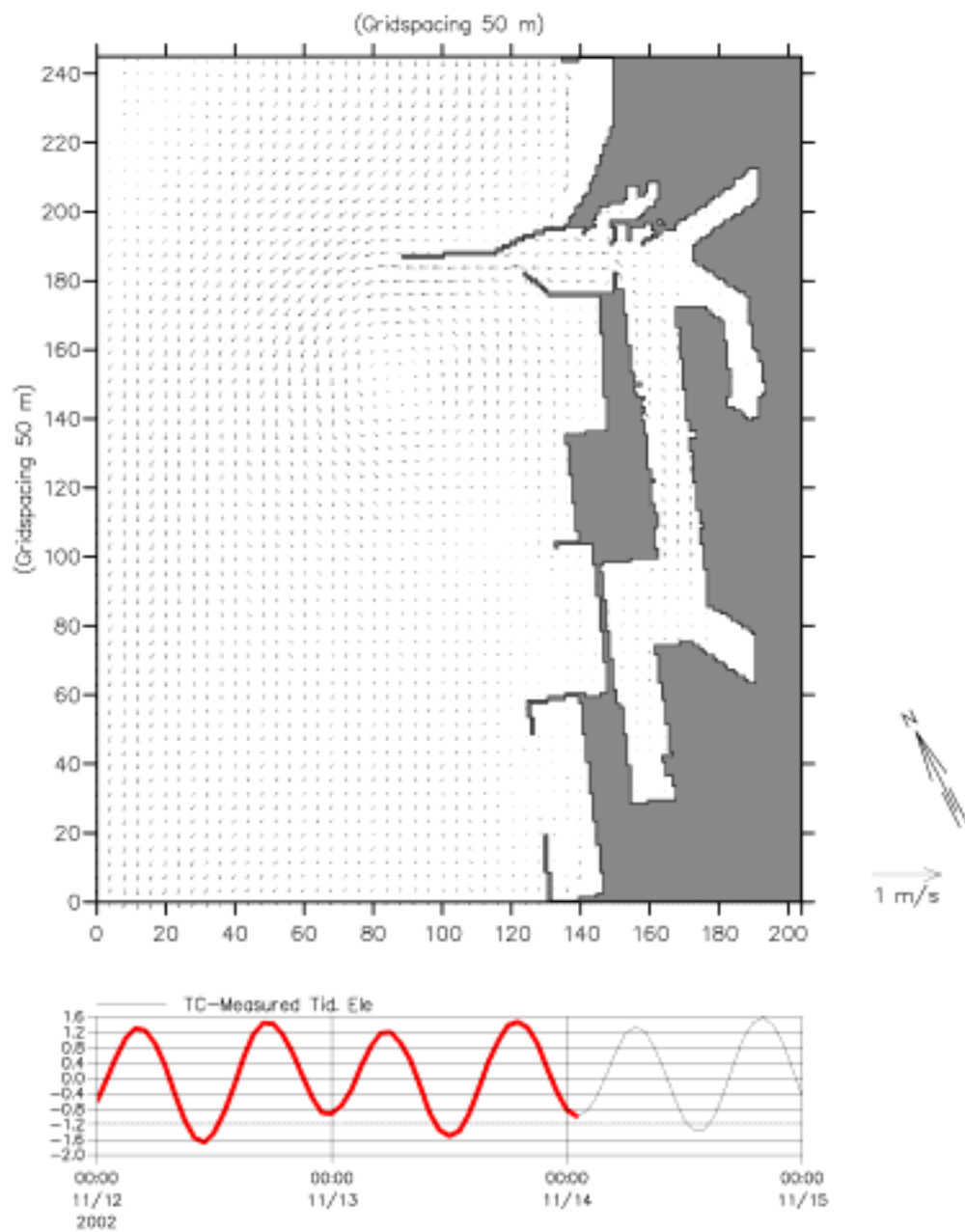


圖 3-23-8 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/14 01:00；參考潮位：台中港)

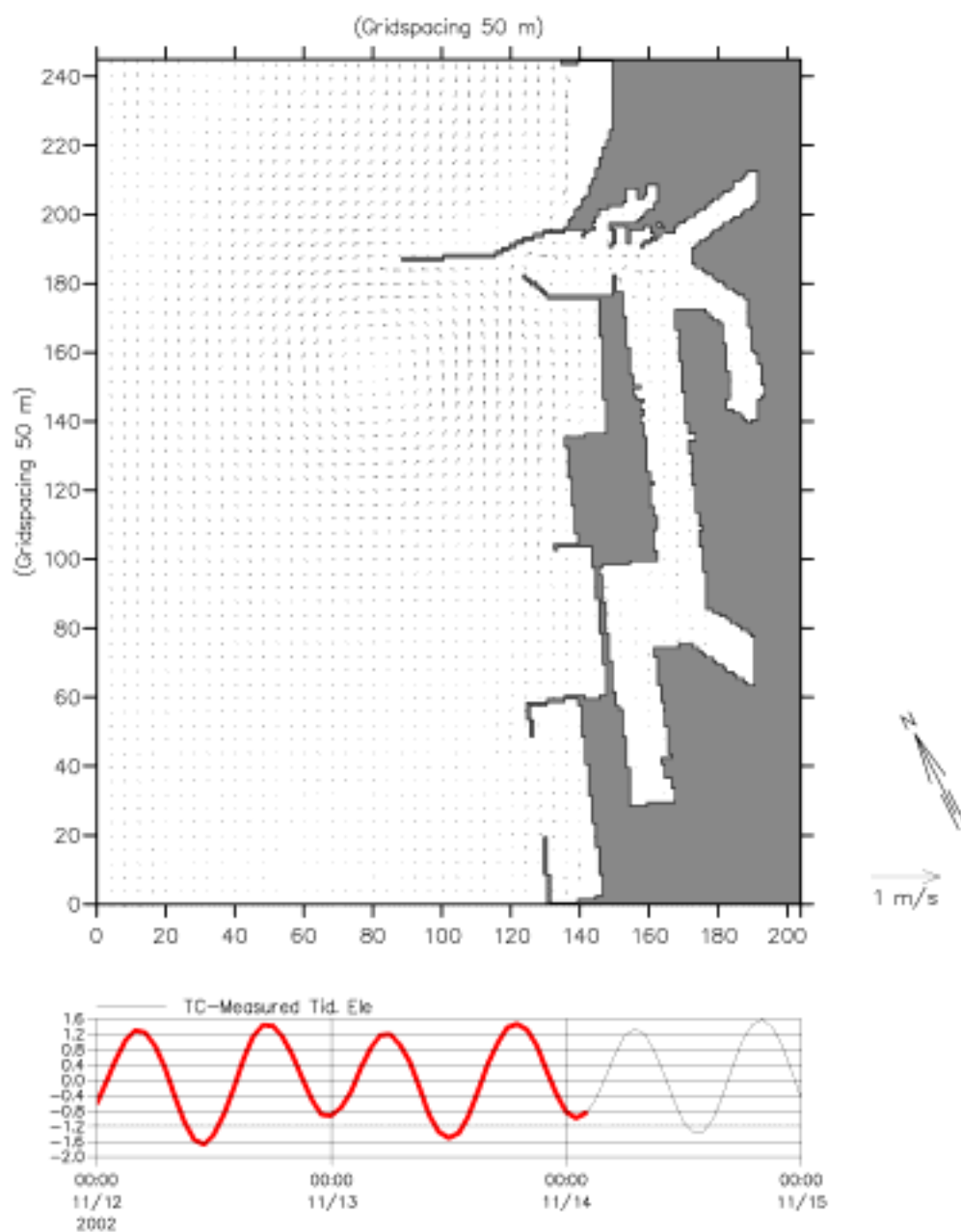


圖 3-23-9 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/14 02:00；參考潮位：台中港)

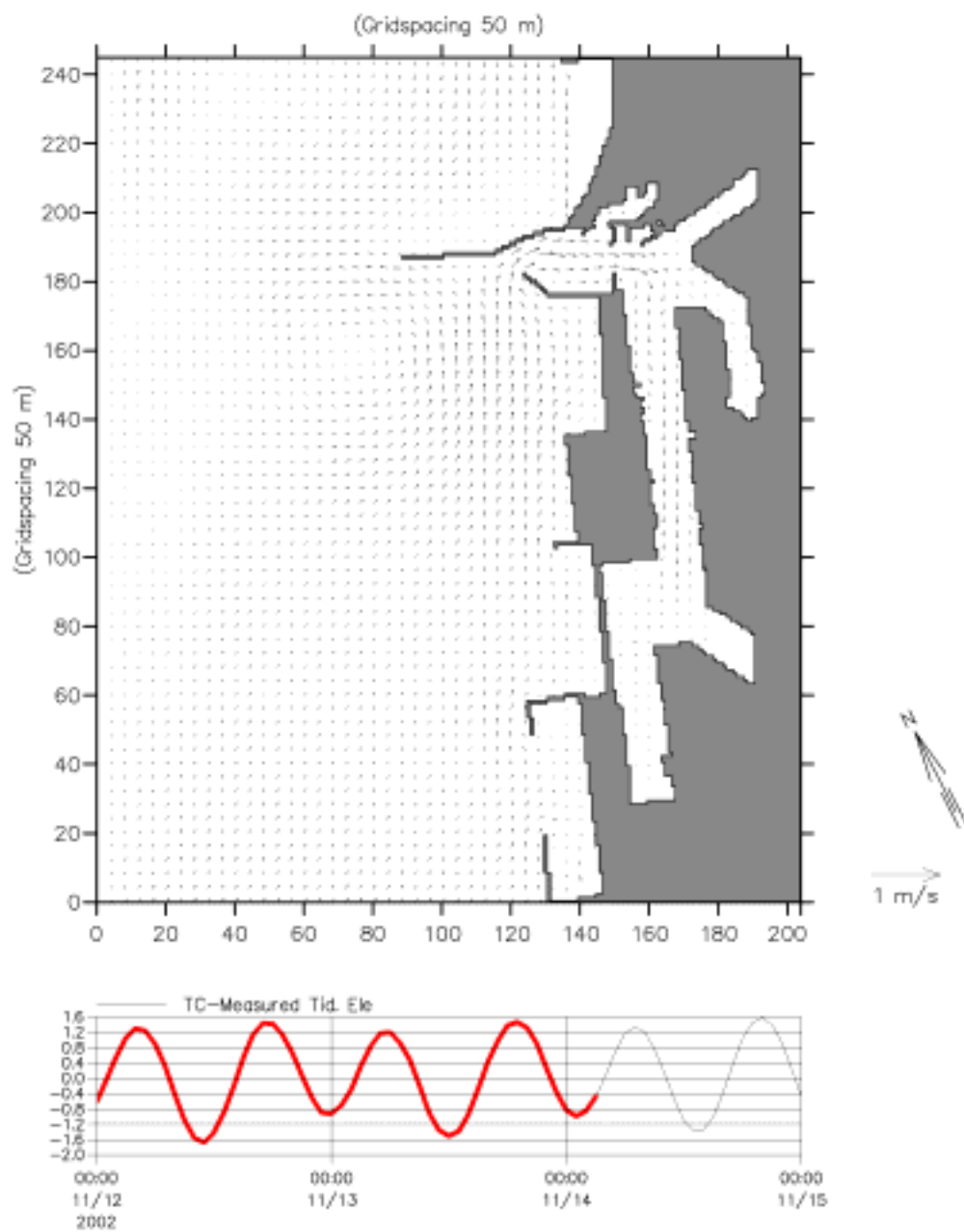


圖 3-23-10 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/14 03:00；參考潮位：台中港)

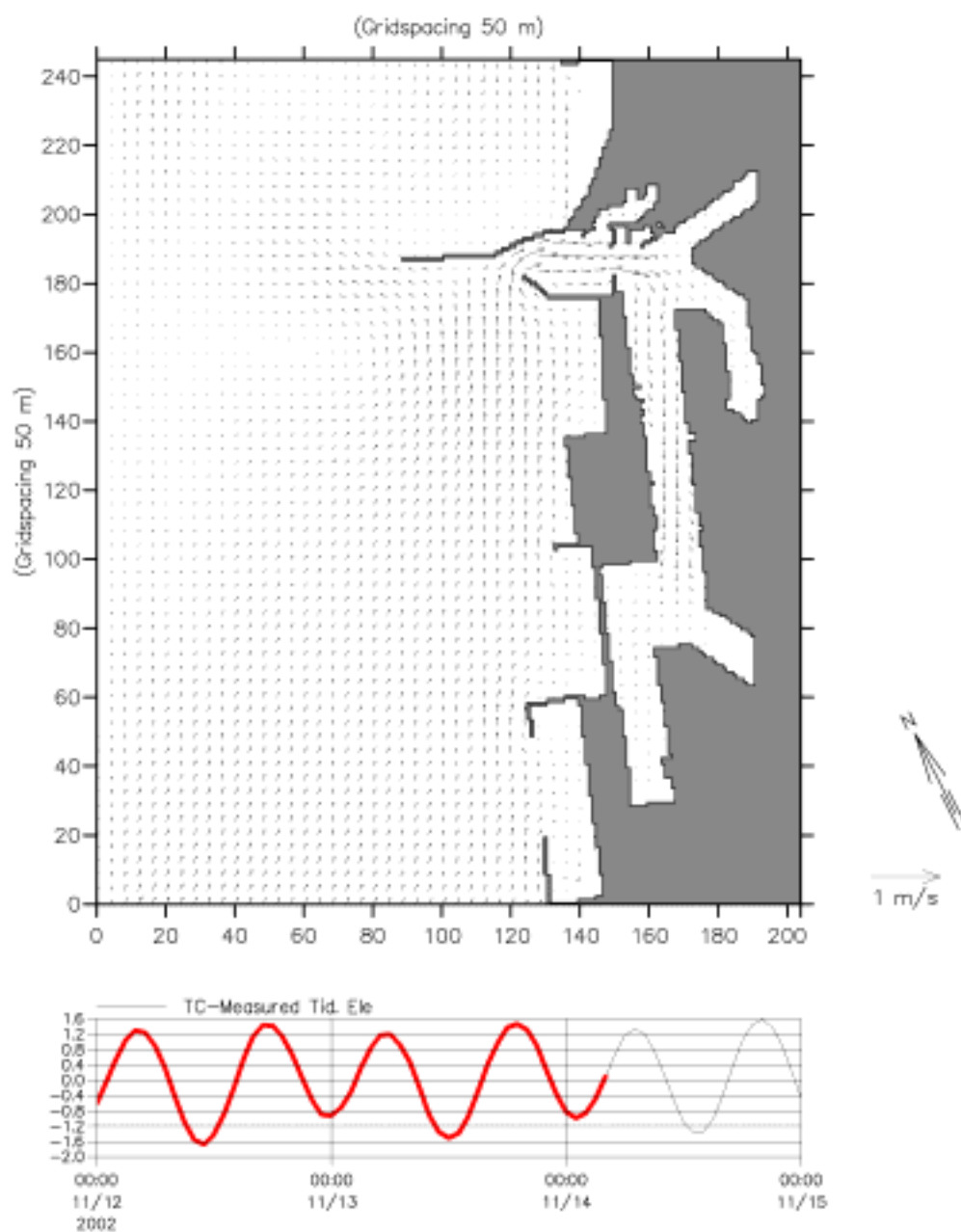


圖 3-23-11 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/14 04:00；參考潮位：台中港)

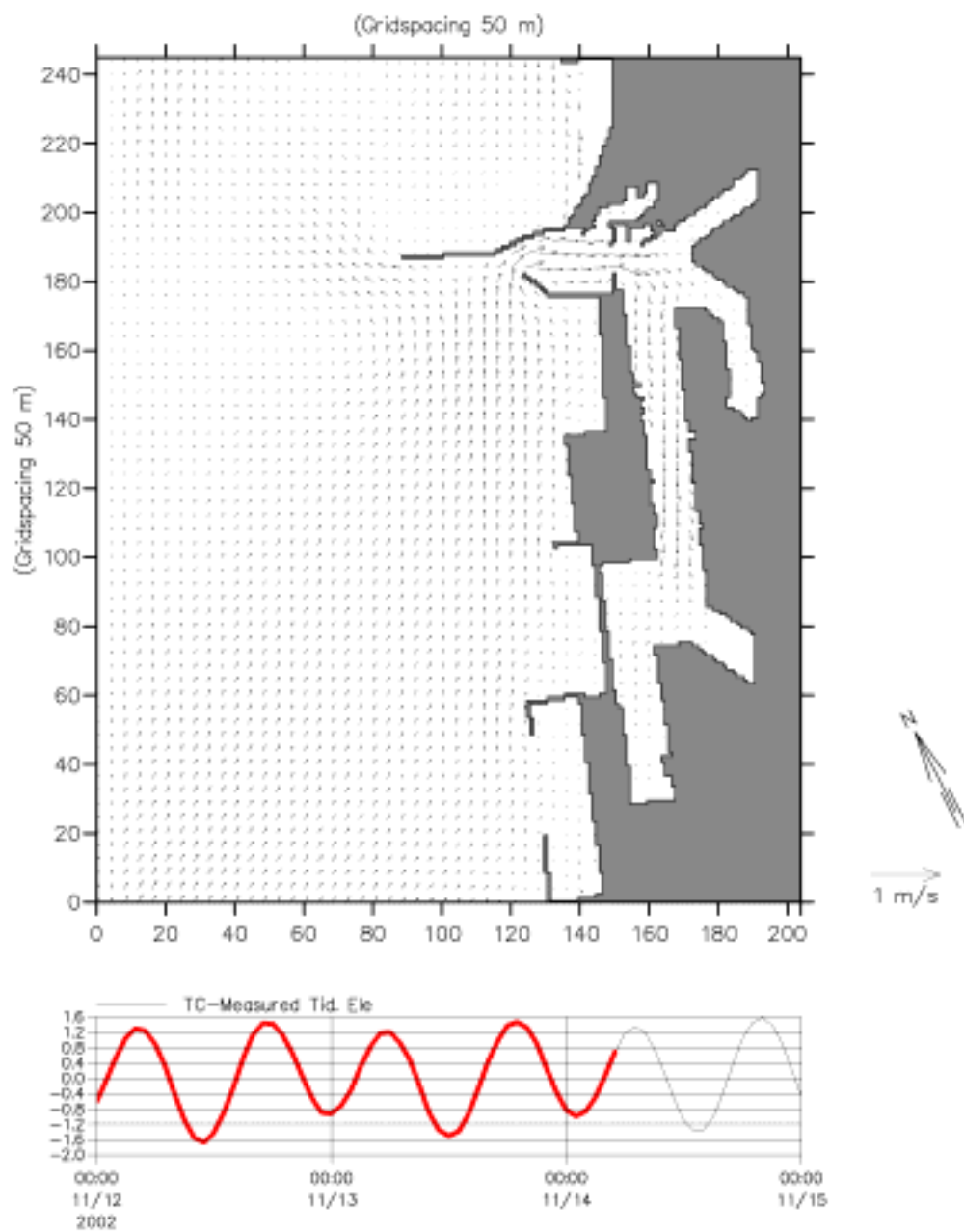


圖 3-23-12 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/14 05:00；參考潮位：台中港)

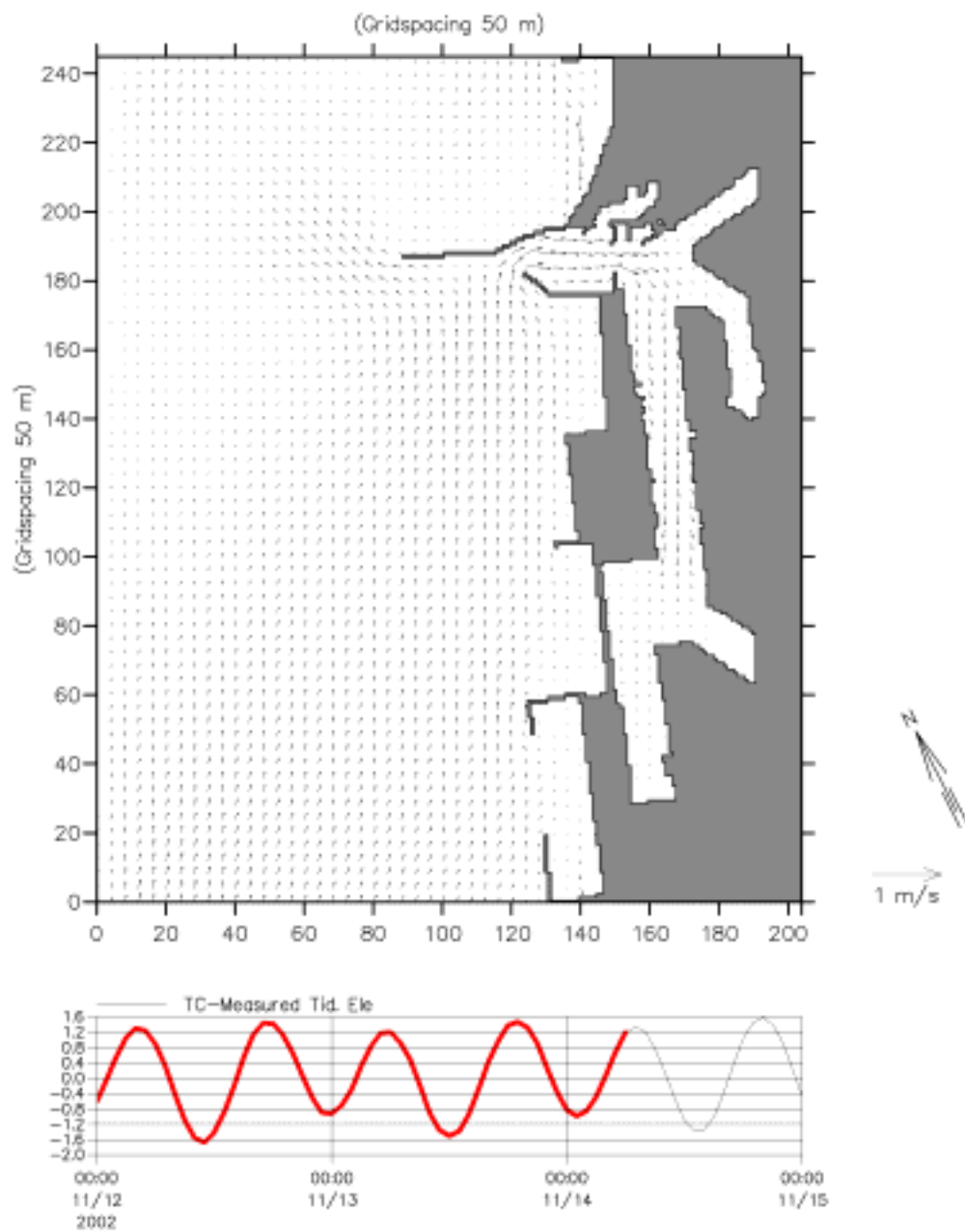


圖 3-23-13 台中港海域小風速期間之計算海流分布
(2002/11/14 06:00；參考潮位：台中港)

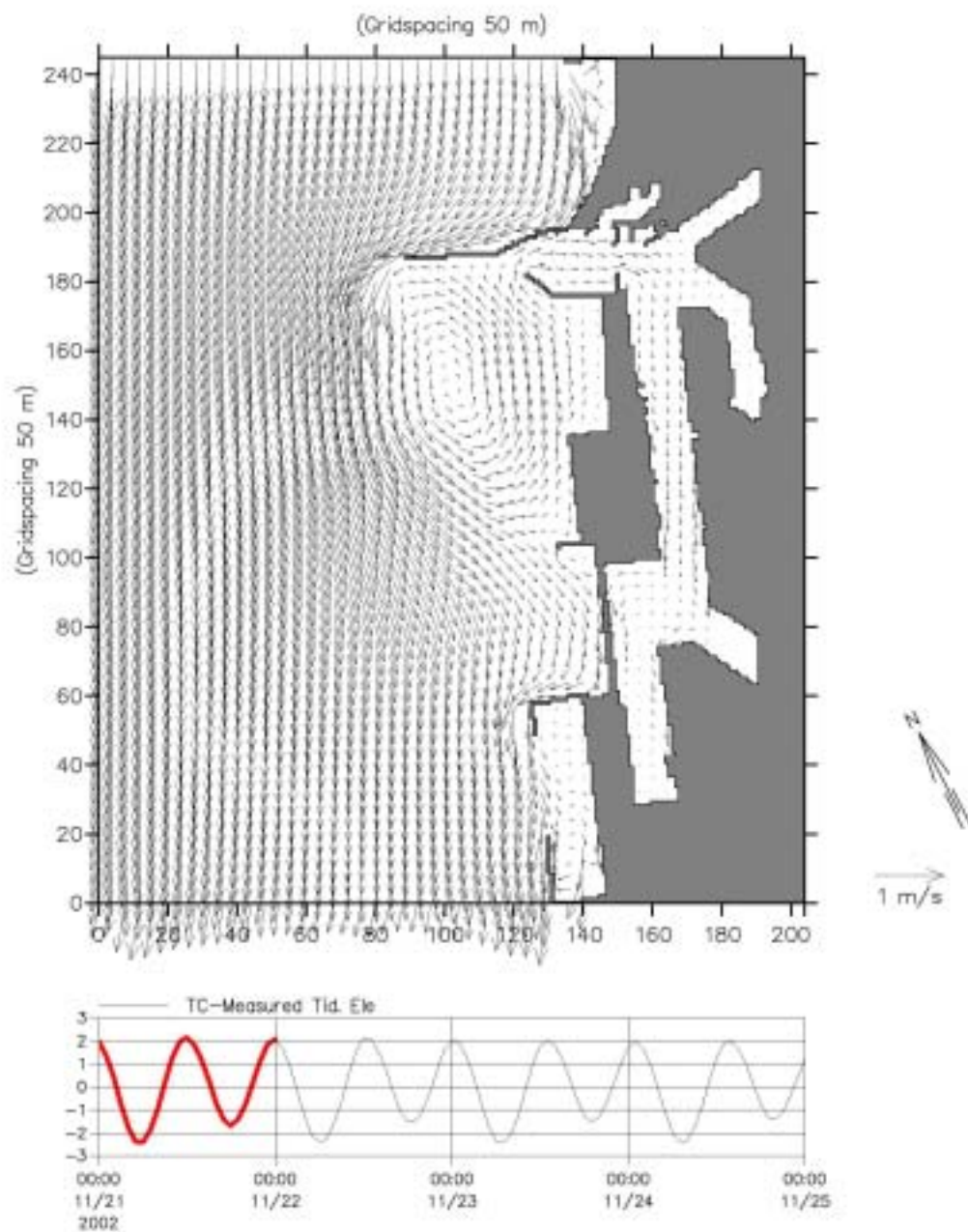


圖 3-24-1 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 00:00；參考潮位：台中港)

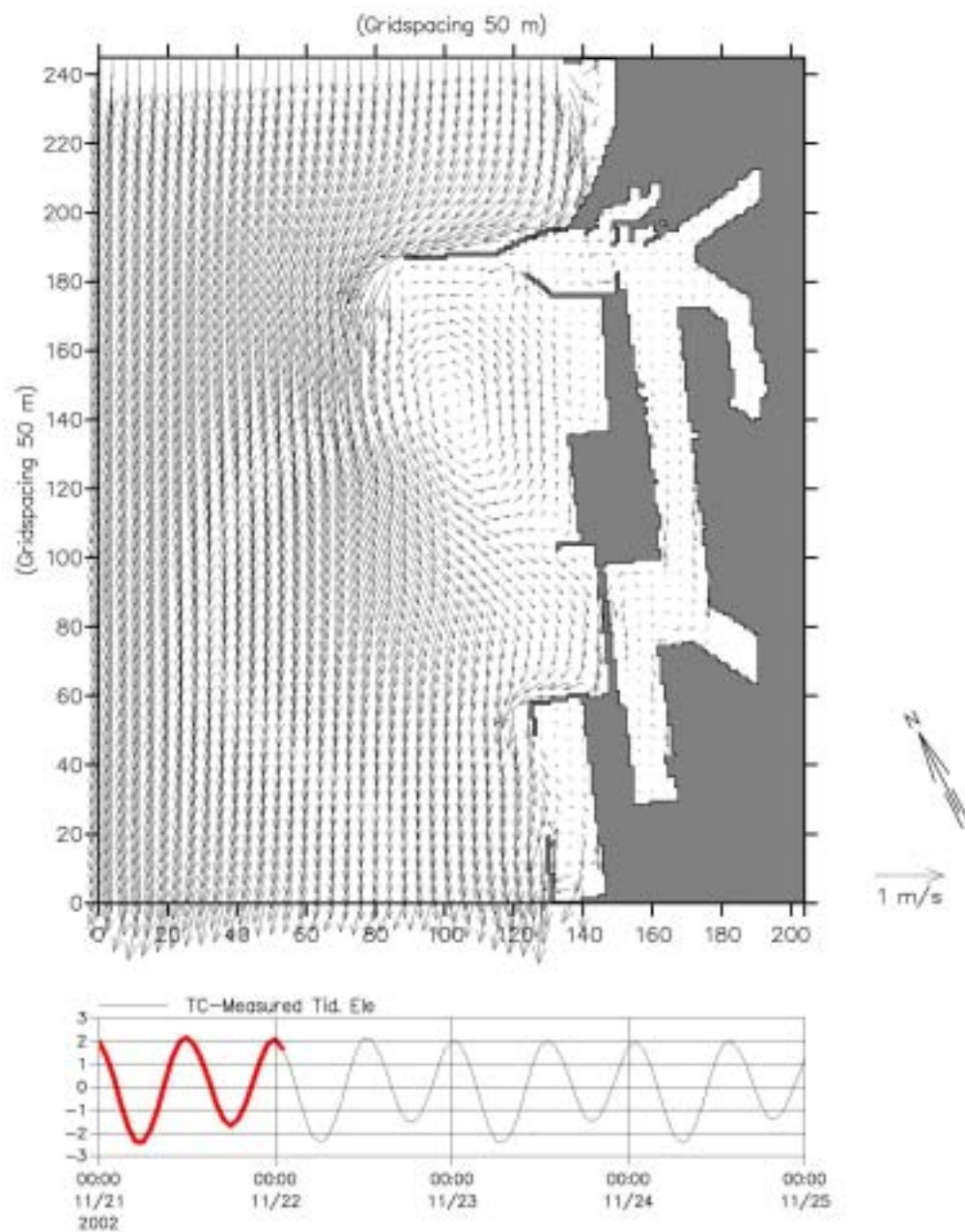


圖 3-24-2 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 01:00；參考潮位：台中港)

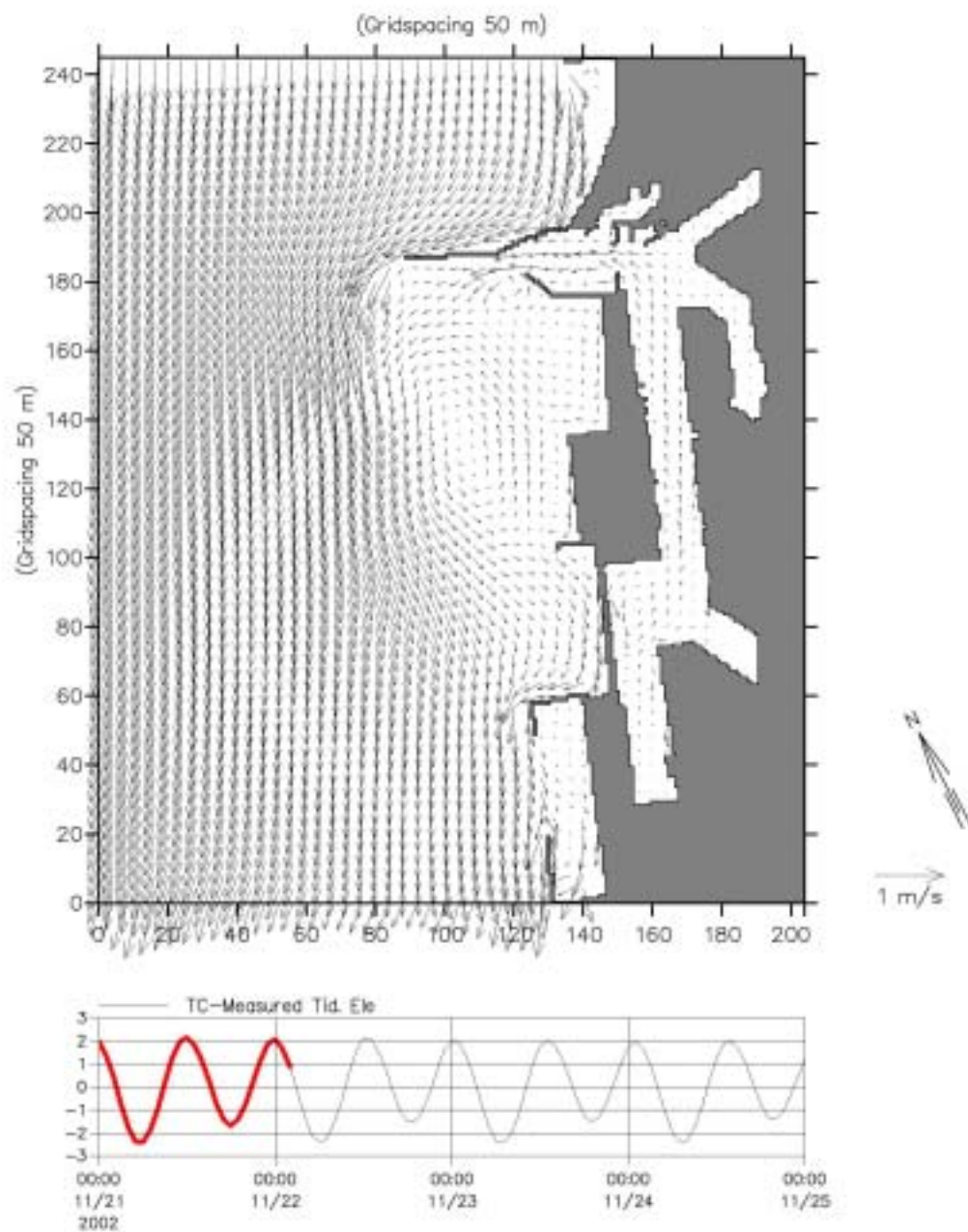


圖 3-24-3 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 02:00；參考潮位：台中港)

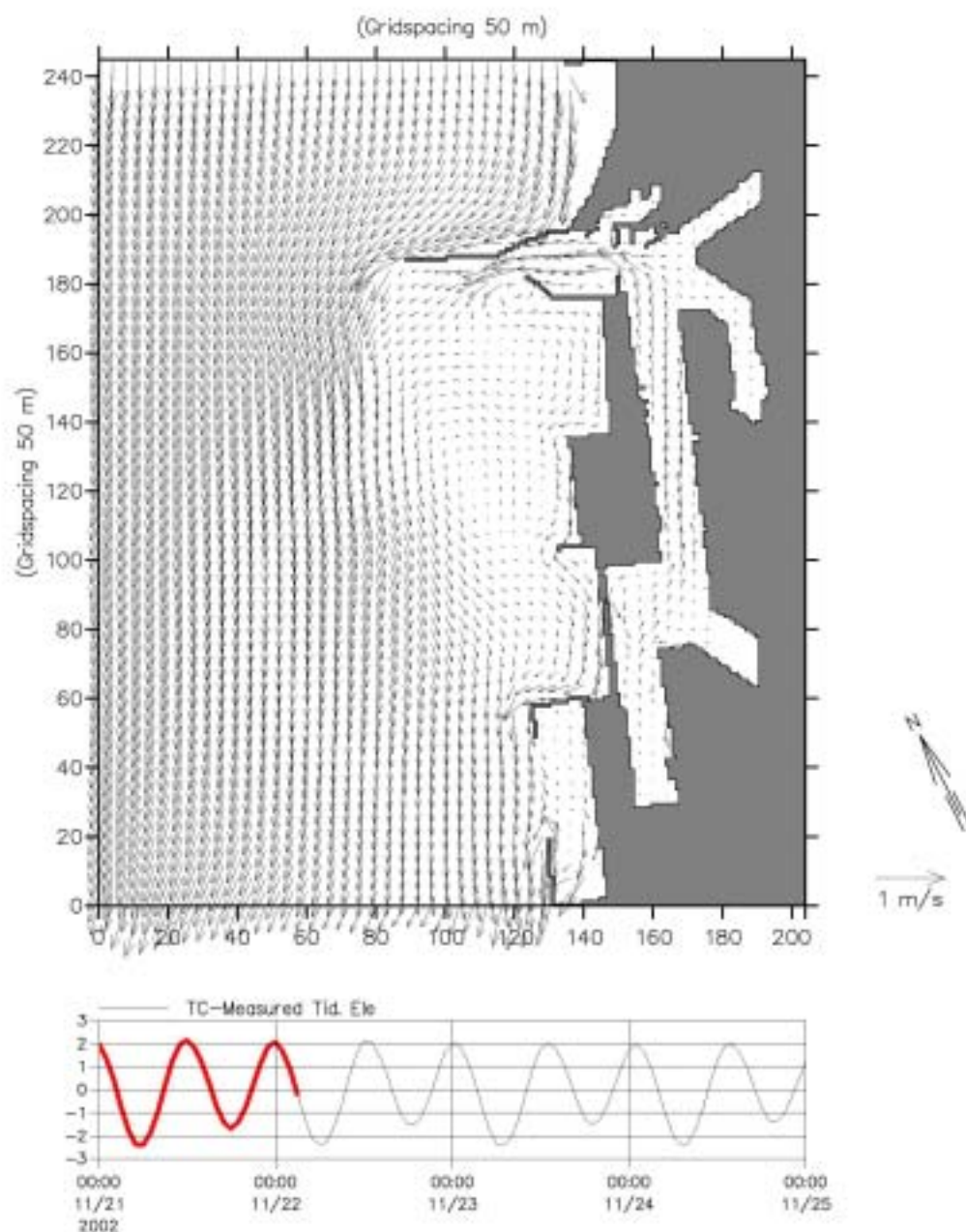


圖 3-24-4 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 03:00；參考潮位：台中港)

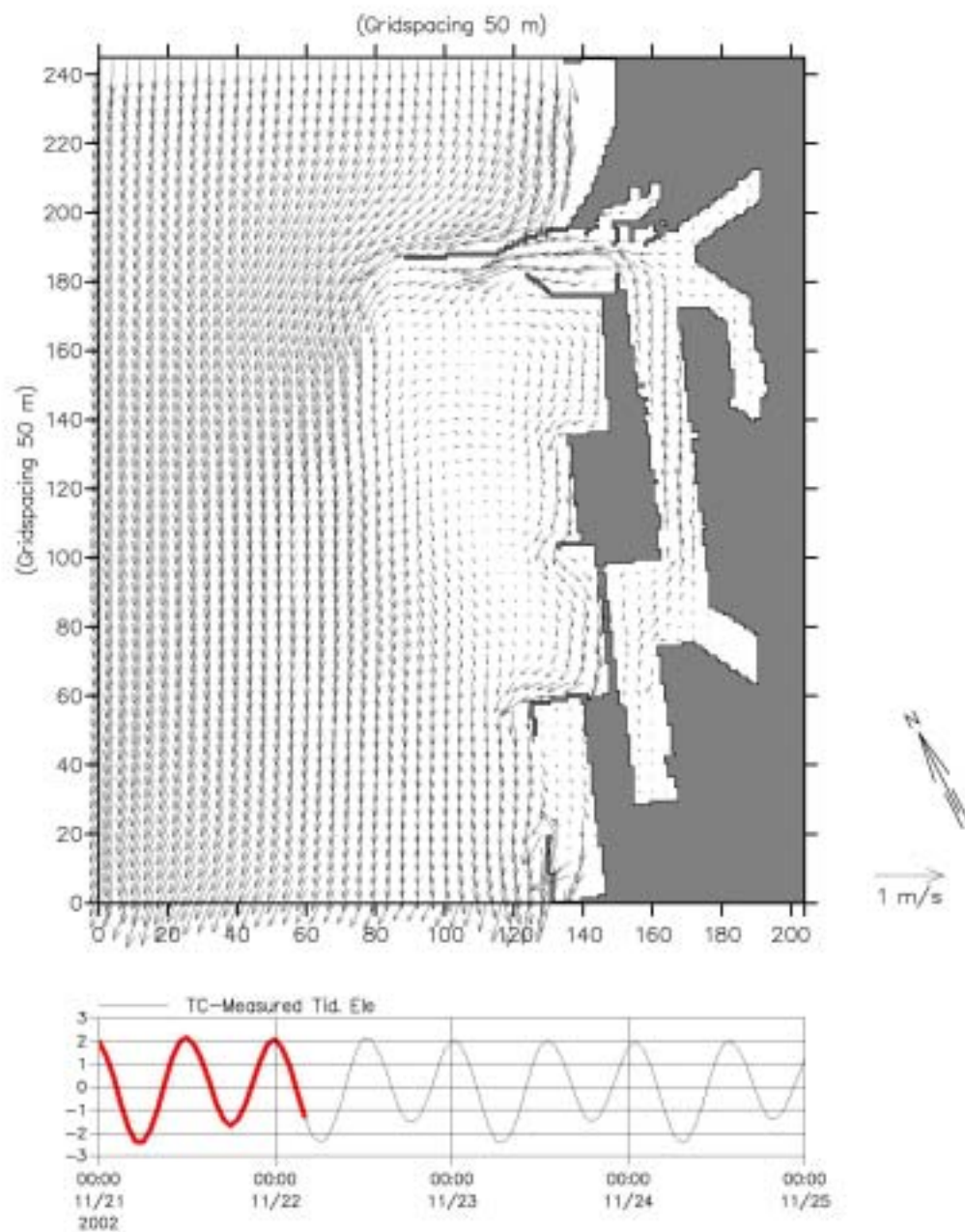


圖 3-24-5 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 04:00；參考潮位：台中港)

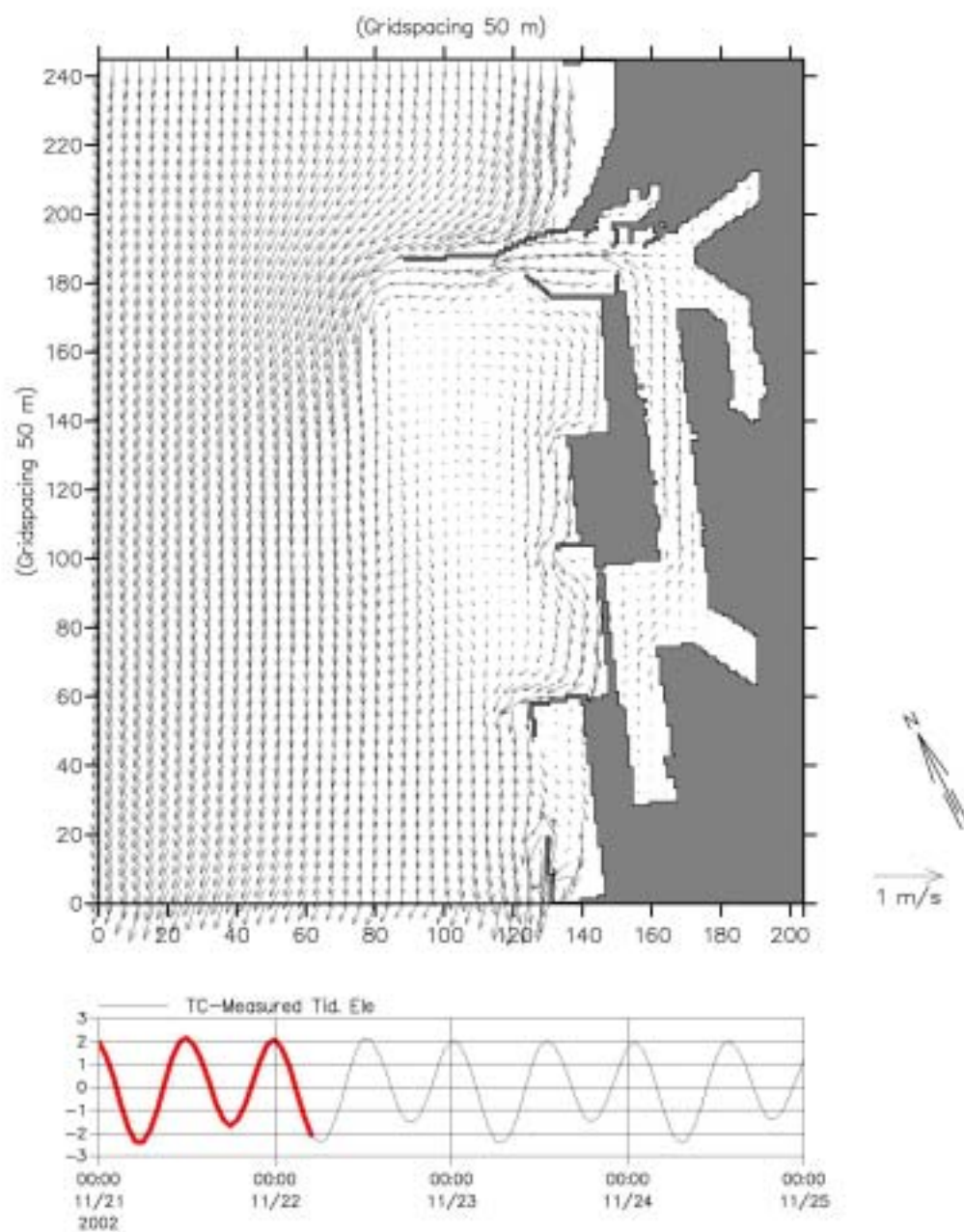


圖 3-24-6 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 05:00；參考潮位：台中港)

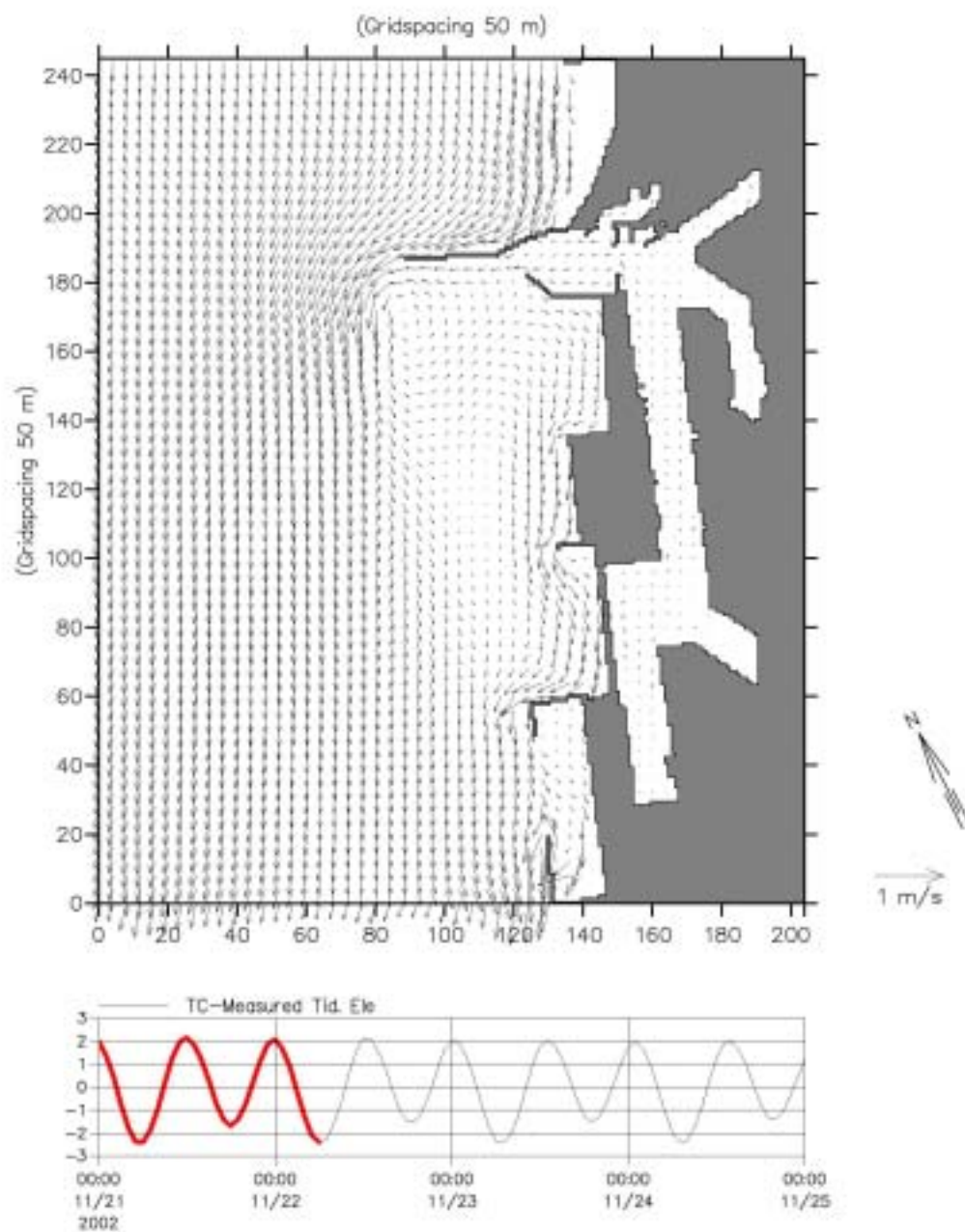


圖 3-24-7 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 06:00；參考潮位：台中港)

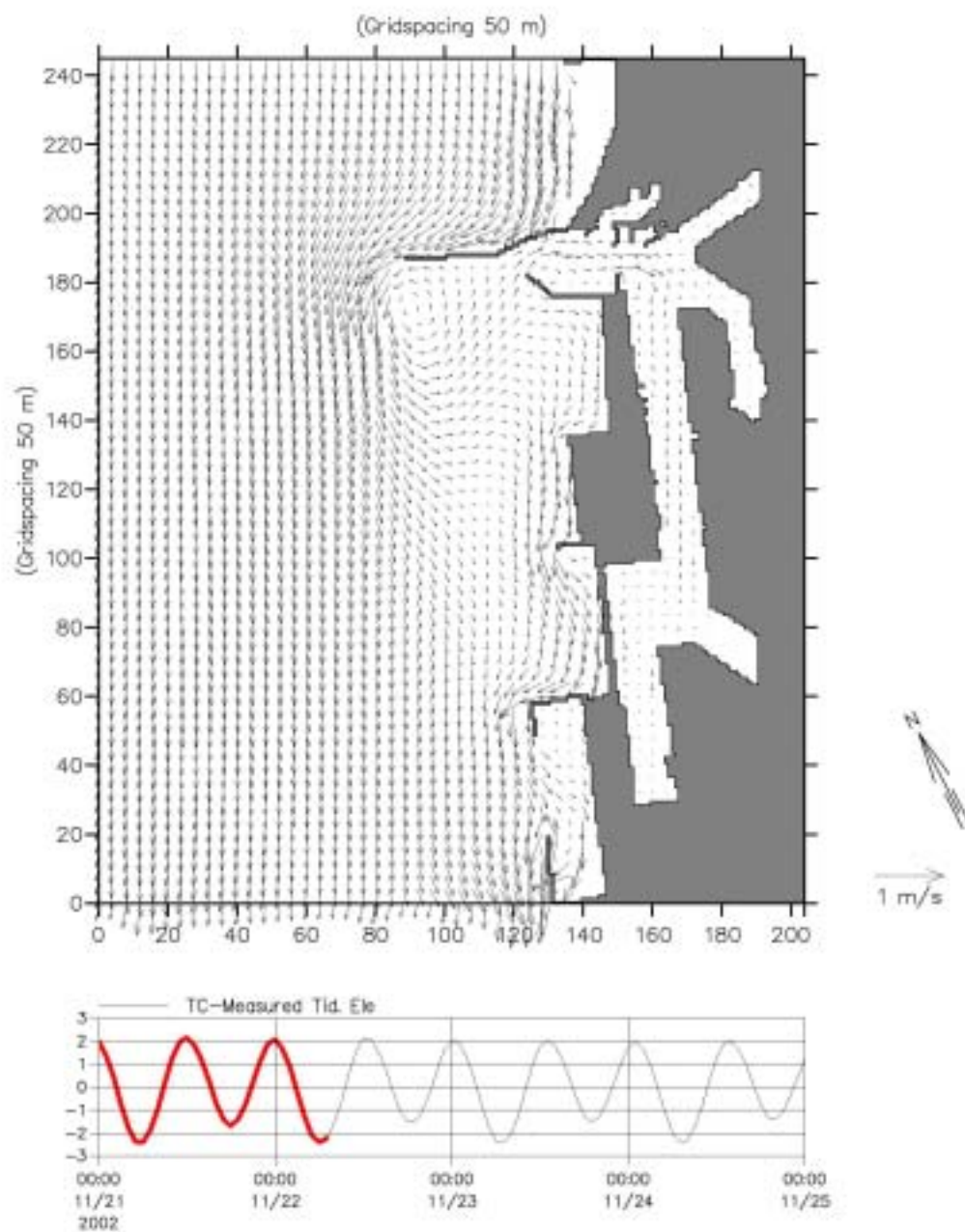


圖 3-24-8 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 07:00；參考潮位：台中港)

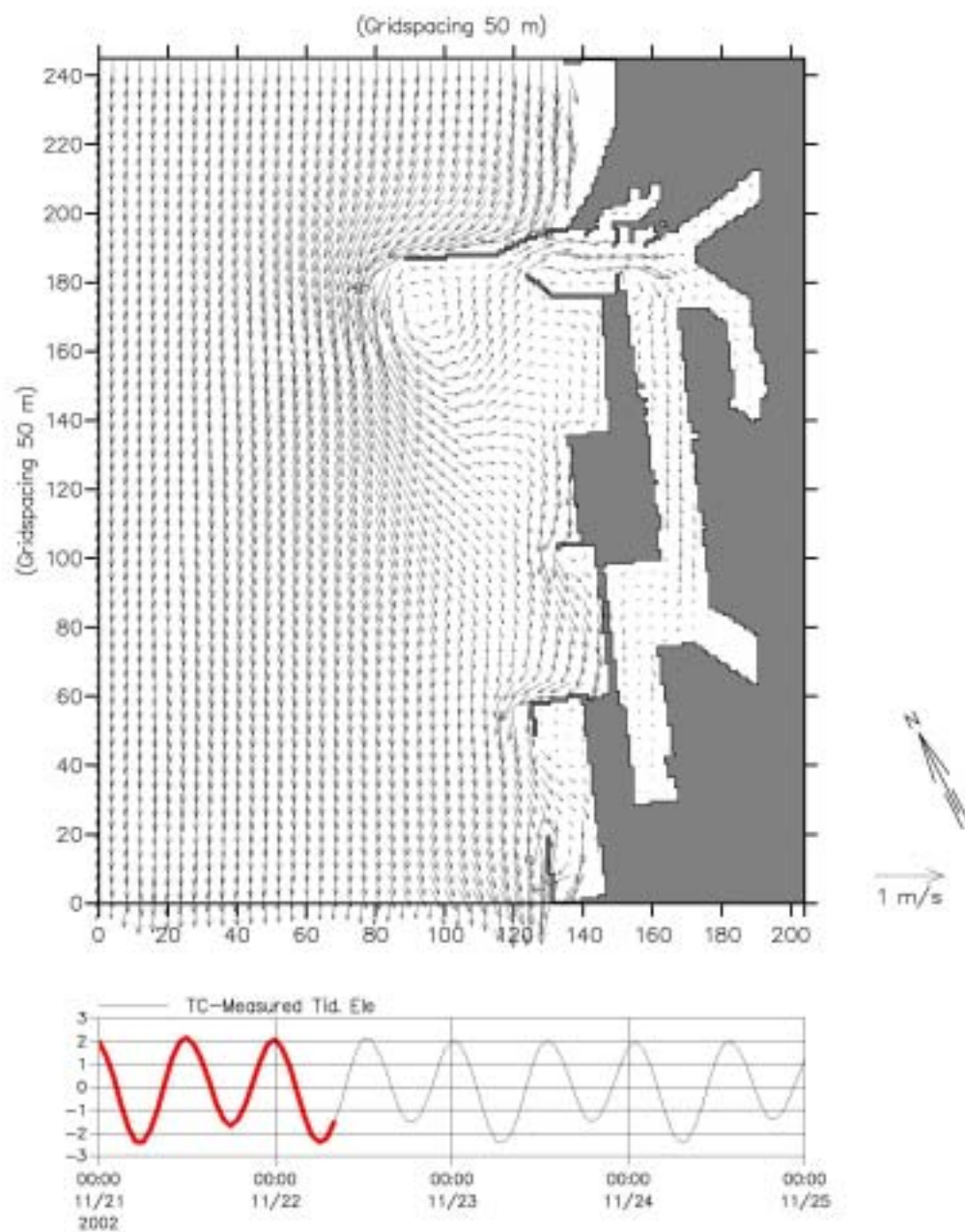


圖 3-24-9 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 08:00；參考潮位：台中港)

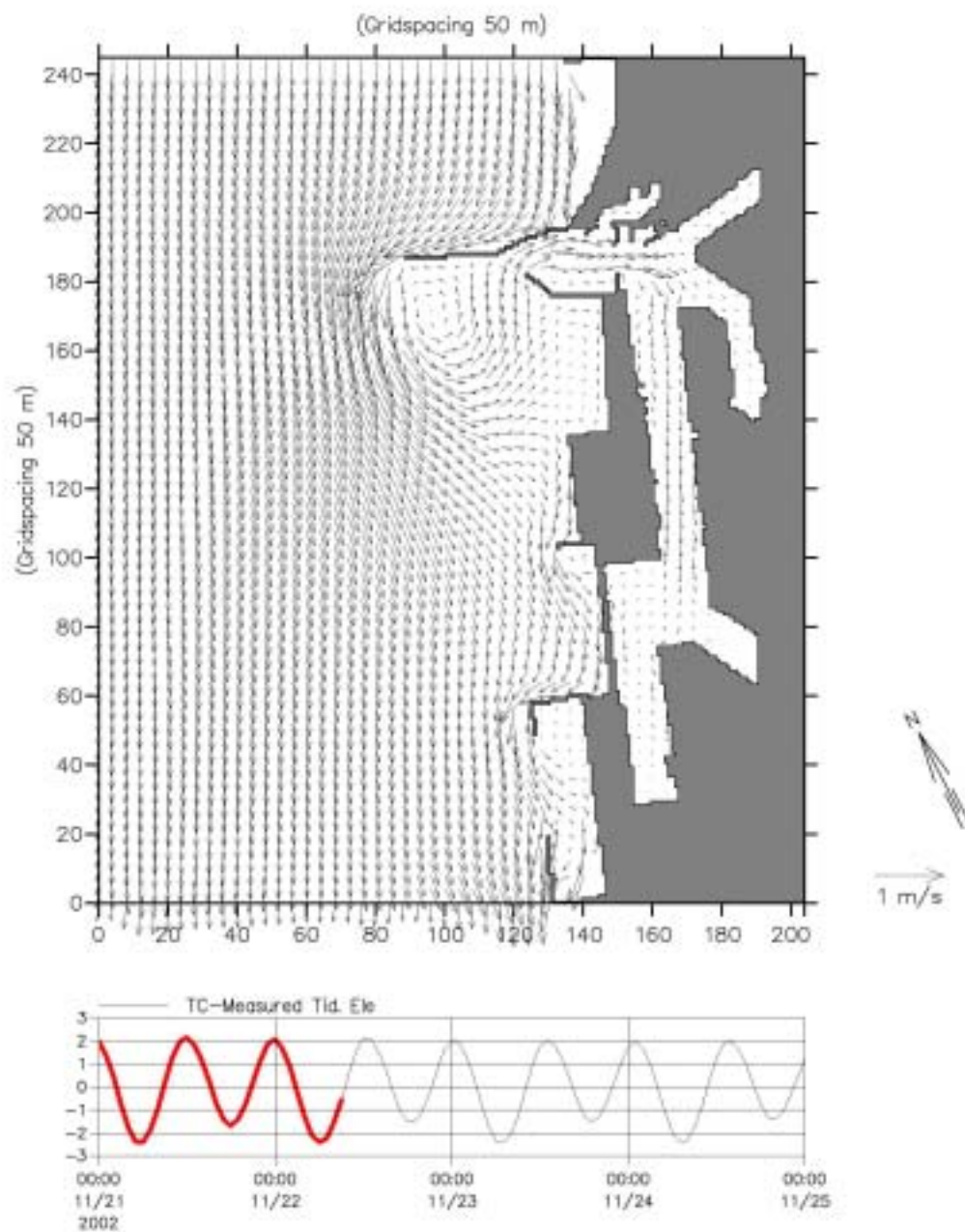


圖 3-24-10 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 09:00；參考潮位：台中港)

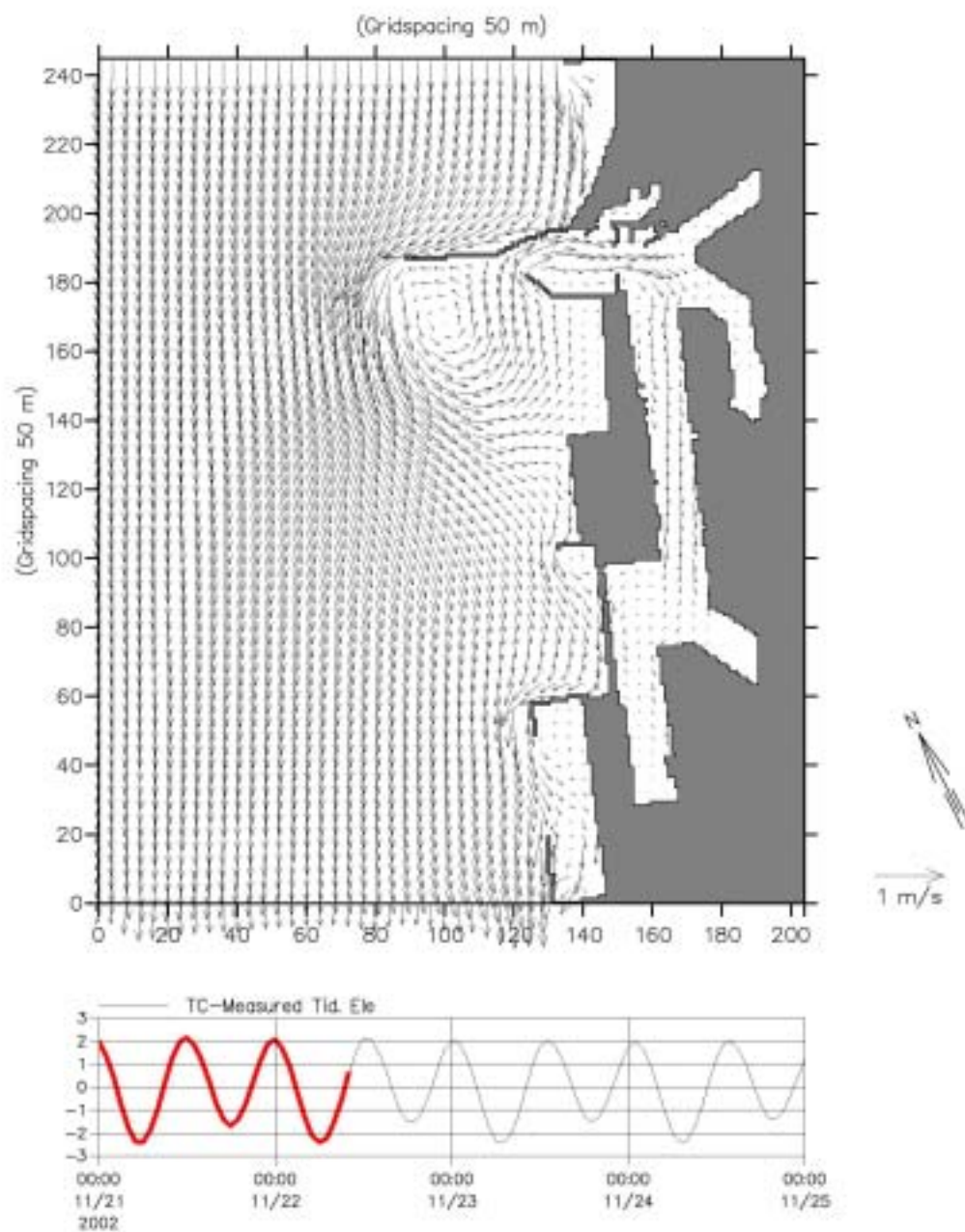


圖 3-24-11 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 10:00；參考潮位：台中港)

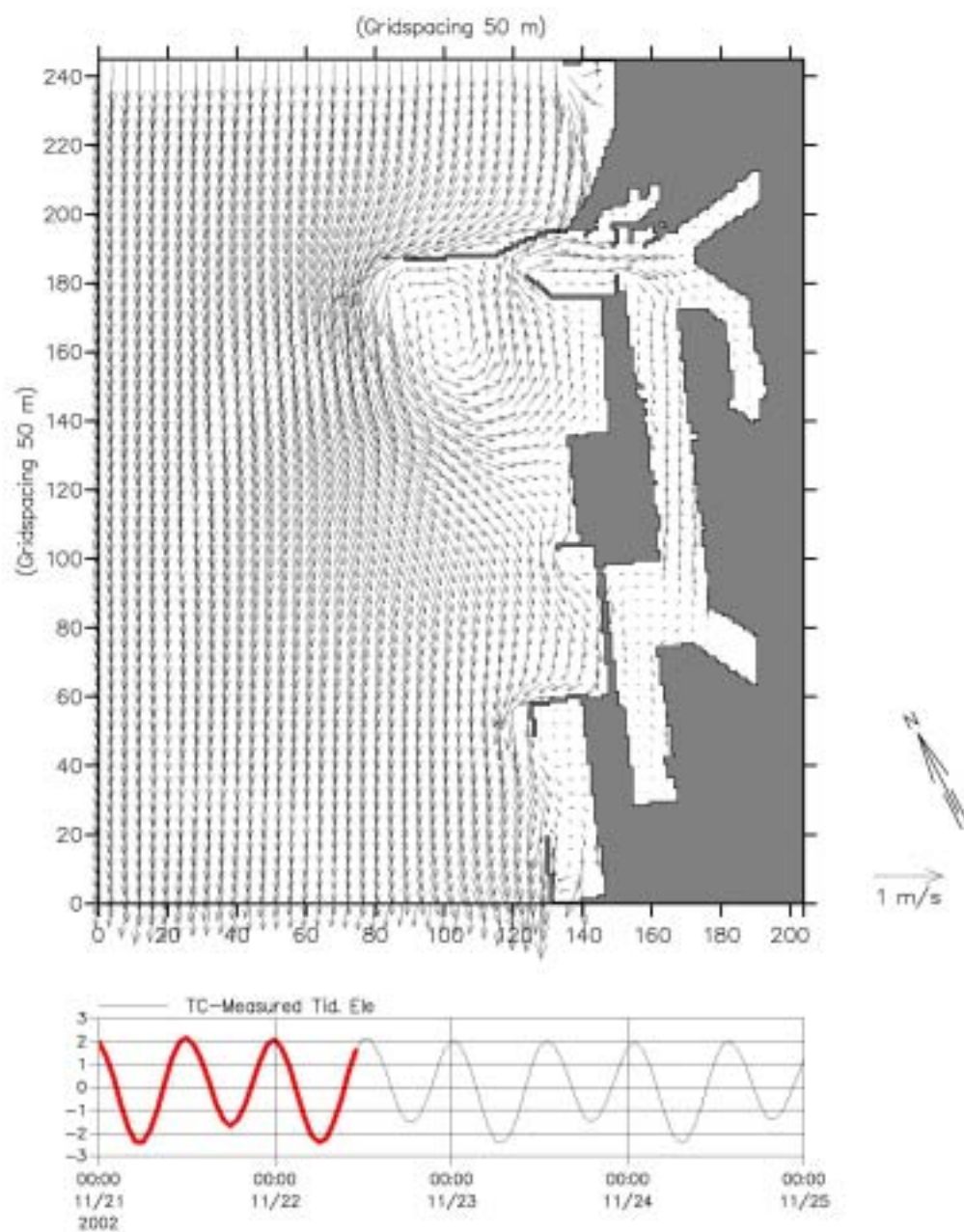


圖 3-24-12 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 11:00；參考潮位：台中港)

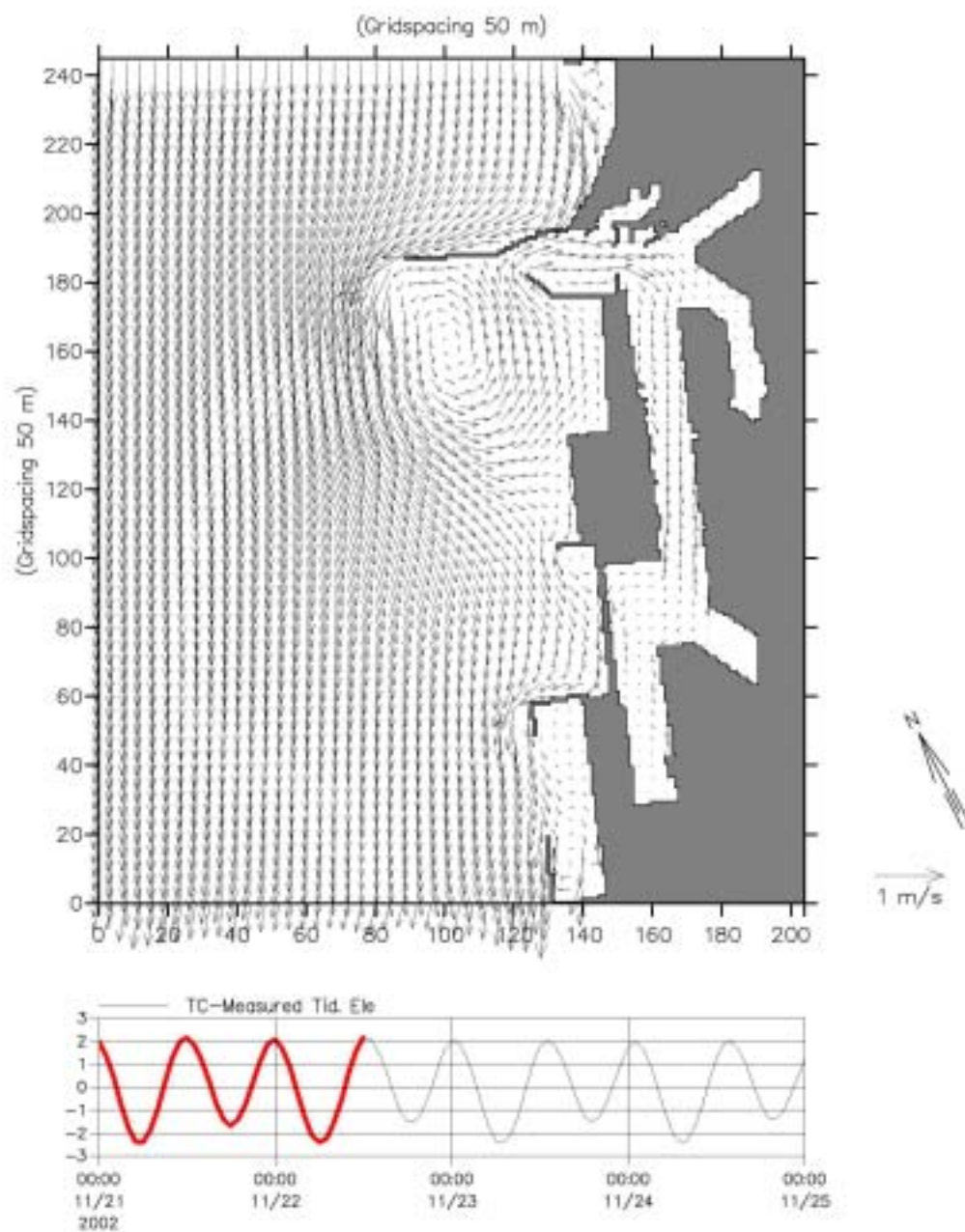


圖 3-24-13 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 12:00；參考潮位：台中港)

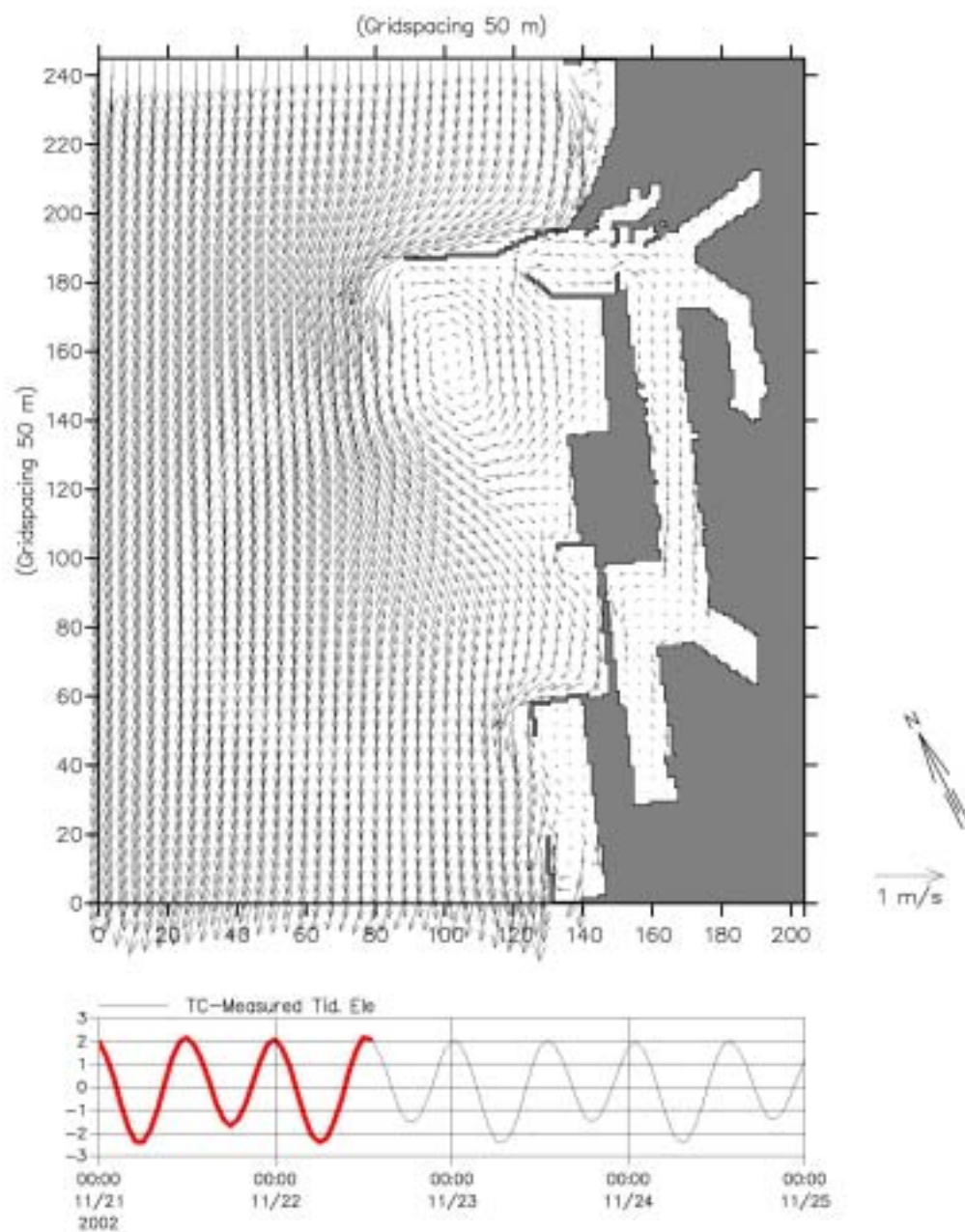


圖 3-24-14 台中港海域大風速期間之計算海流分布
(2002/11/22 13:00；參考潮位：台中港)

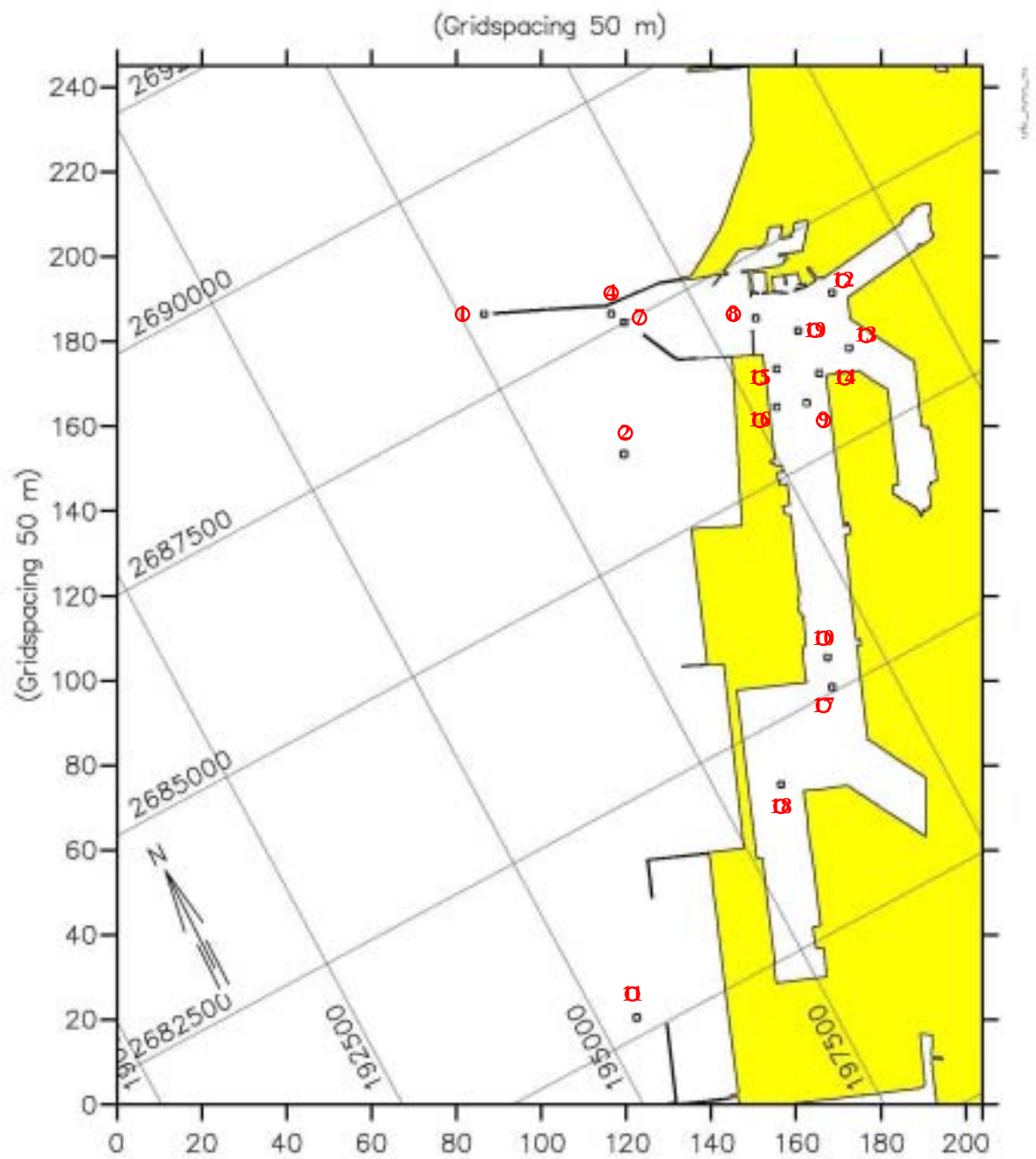


圖 3-25 台中港海域計算海流驗證之數值檢測站位置及其編號

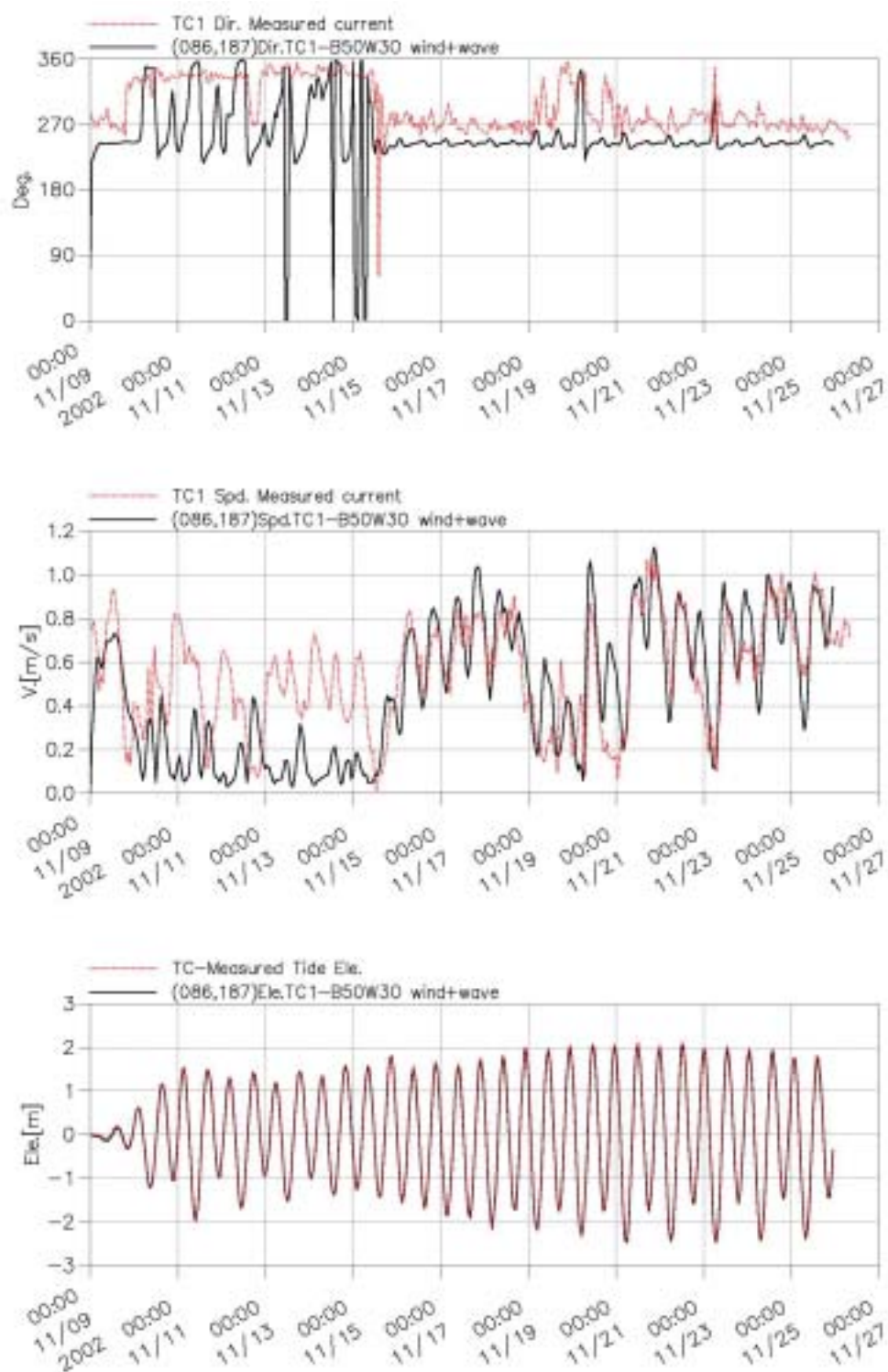


圖 3-26 台中港海域北外防波堤堤頭檢測站 1 之計算與實測海流
流向(上)、流速(中)及潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

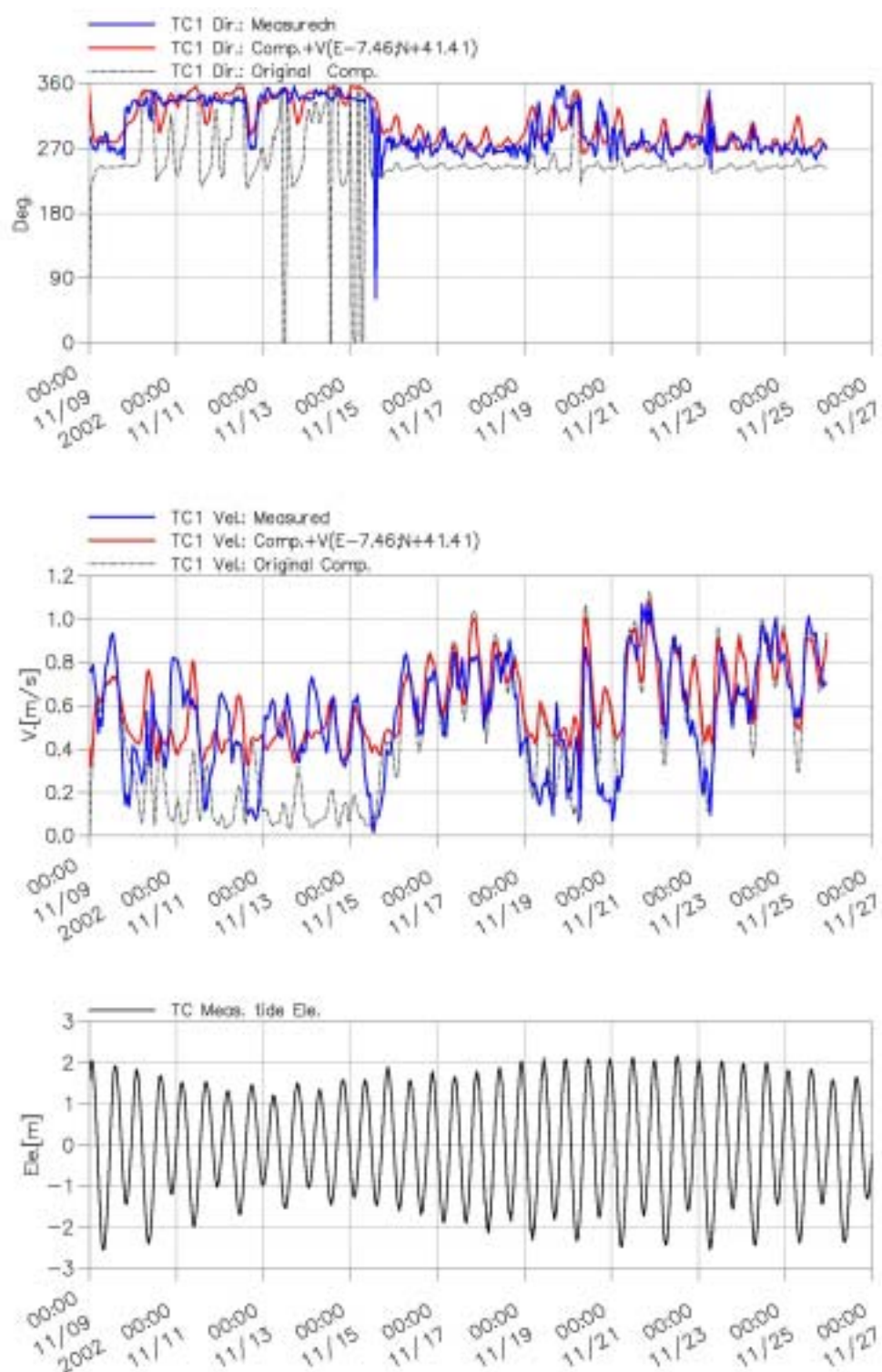


圖 3-27 台中港海域北外防波堤堤頭檢測站 1 之計算與實測海流
流向(上)、流速(中)及潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色虛線；計算 + 平均流 - 紅色實線；實測 - 藍色實線)

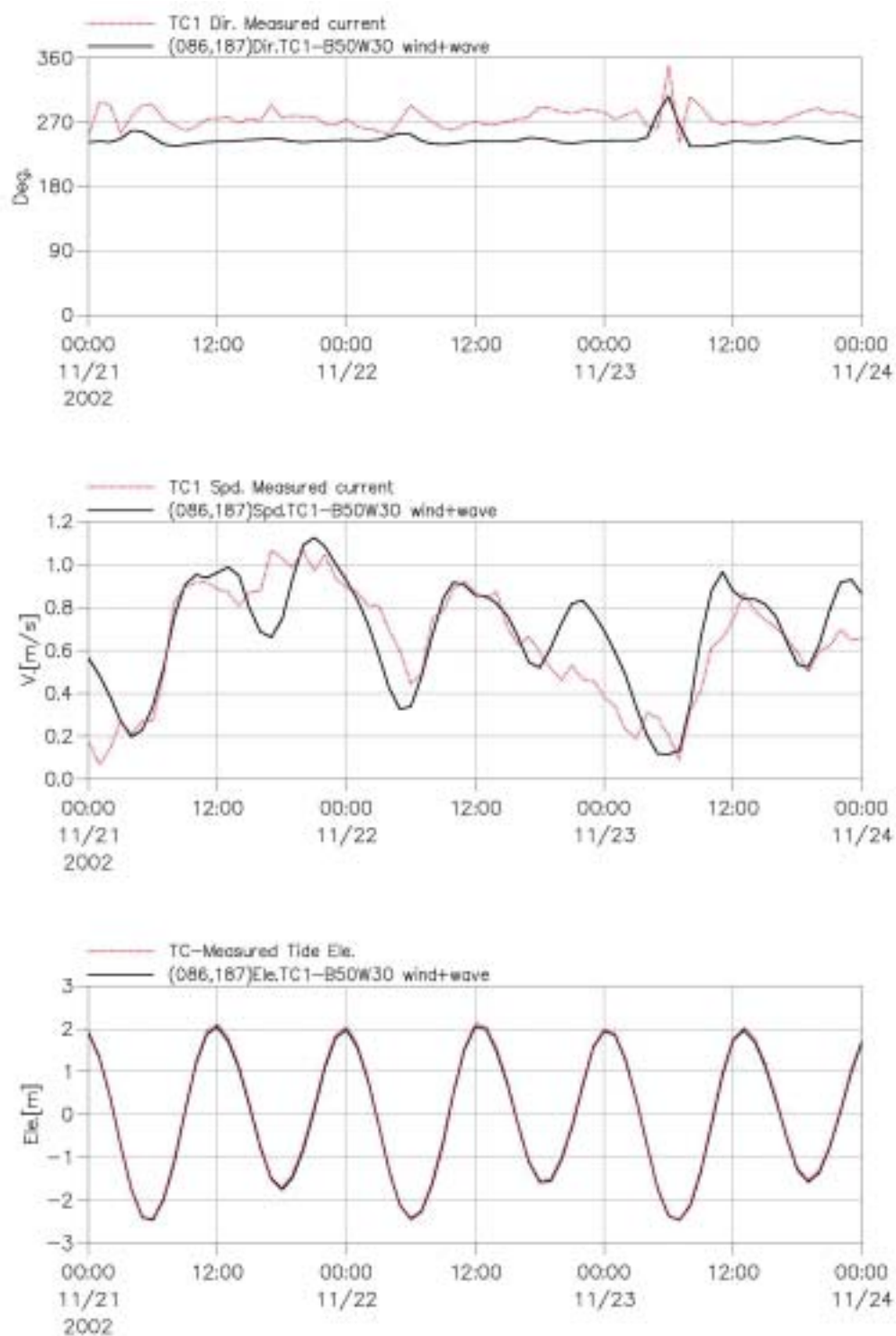


圖 3-28 台中港海域北外防波堤堤頭檢測站 1 大風期間之計算與實測海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

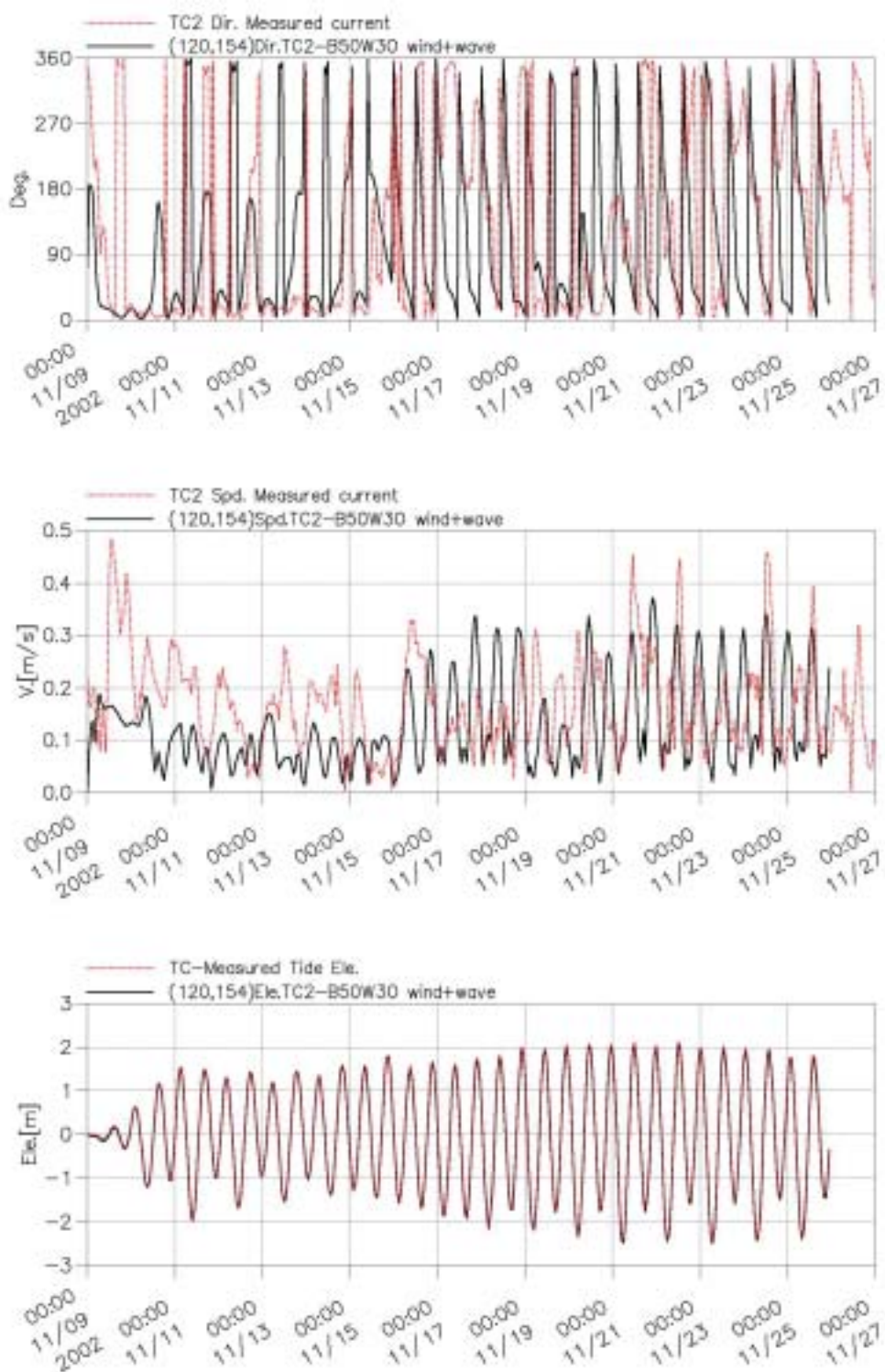


圖 3-29-1 台中港海域南外防波堤堤頭南側檢測站 2 之計算與實測
海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

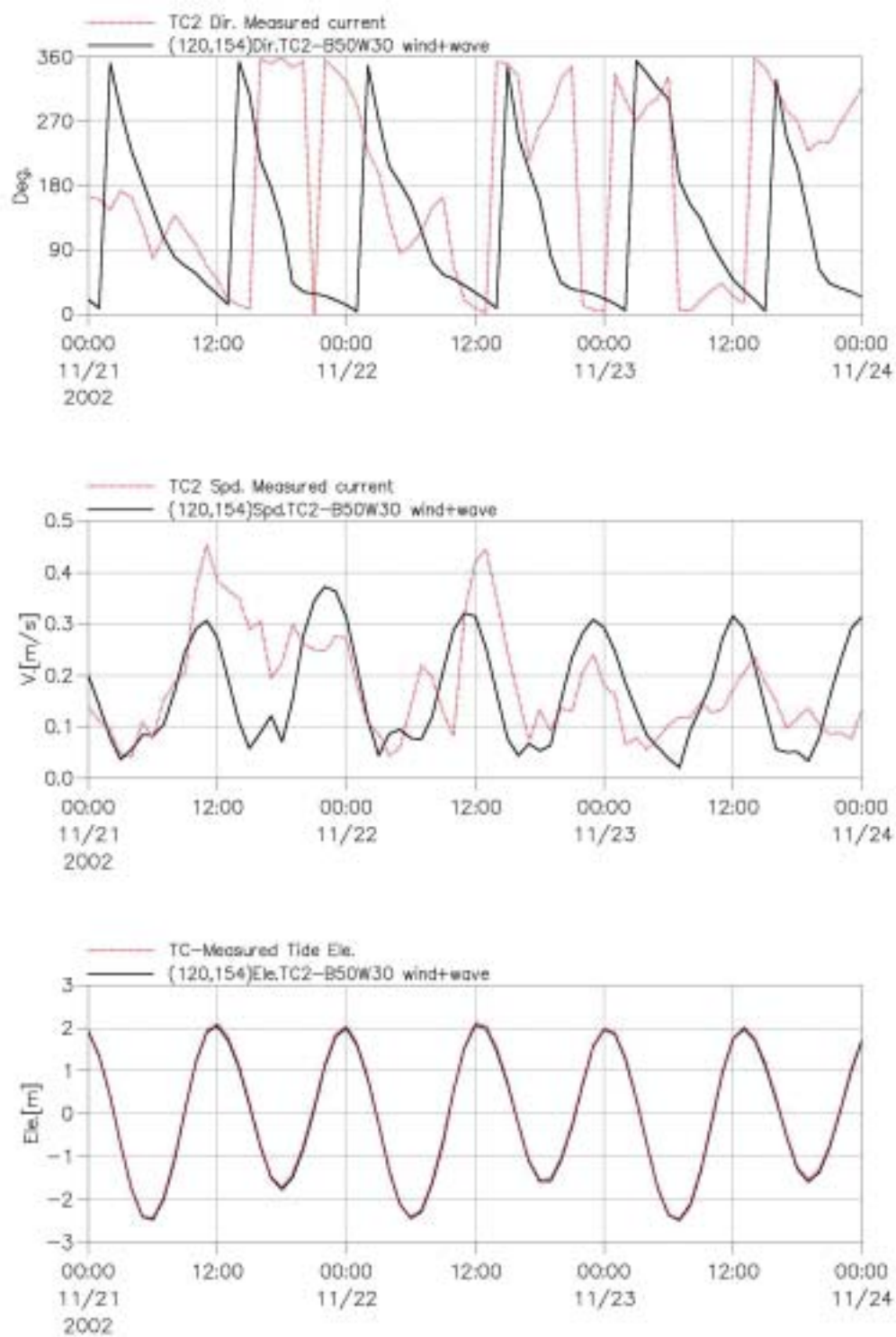


圖 3-29-2 台中港海域南外防波堤堤頭南側檢測站 2 大風期間之計算與實測海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

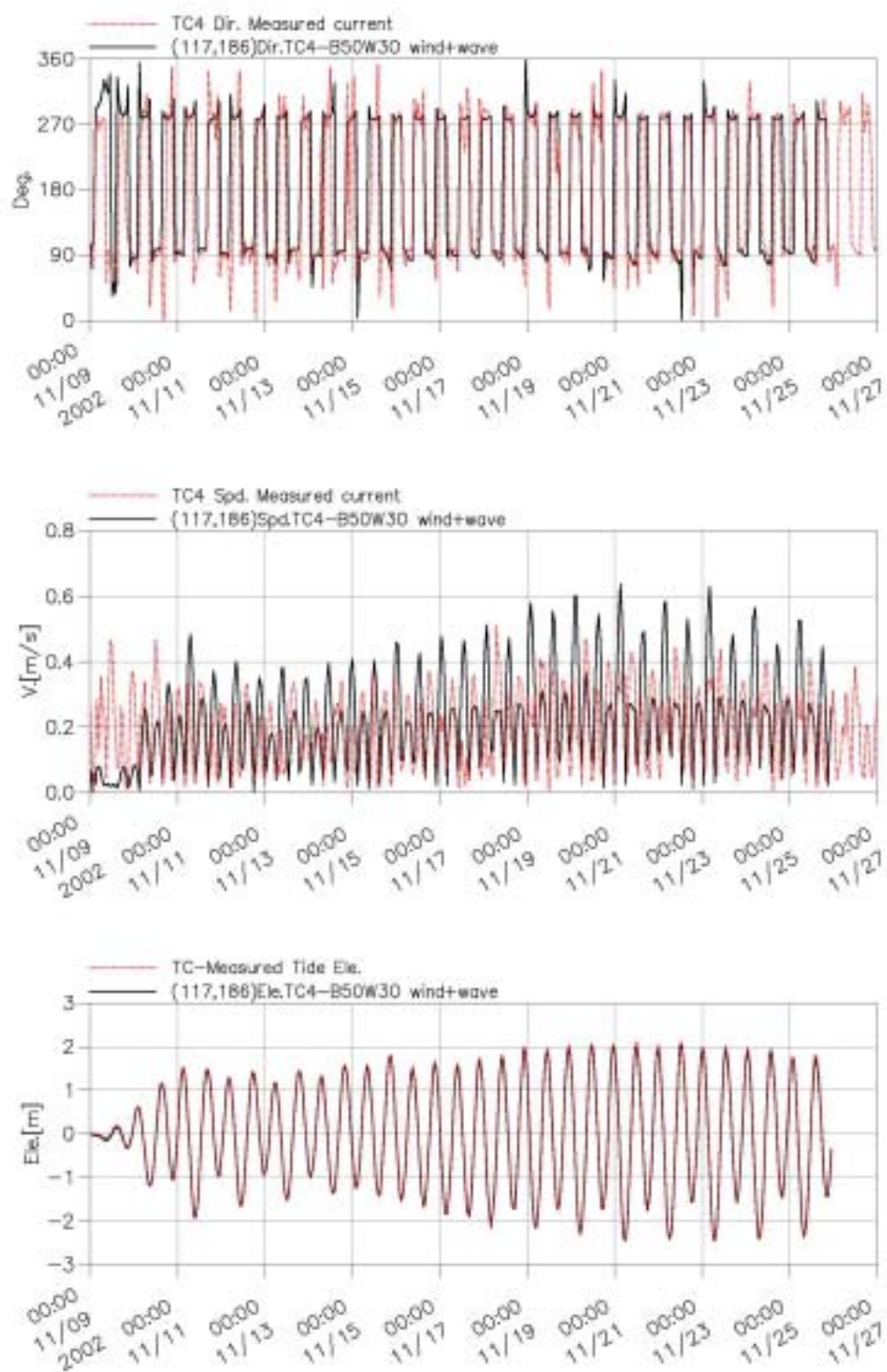


圖 3-30-1 台中港北外防波堤轉角處檢測站 4 之計算與實測海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

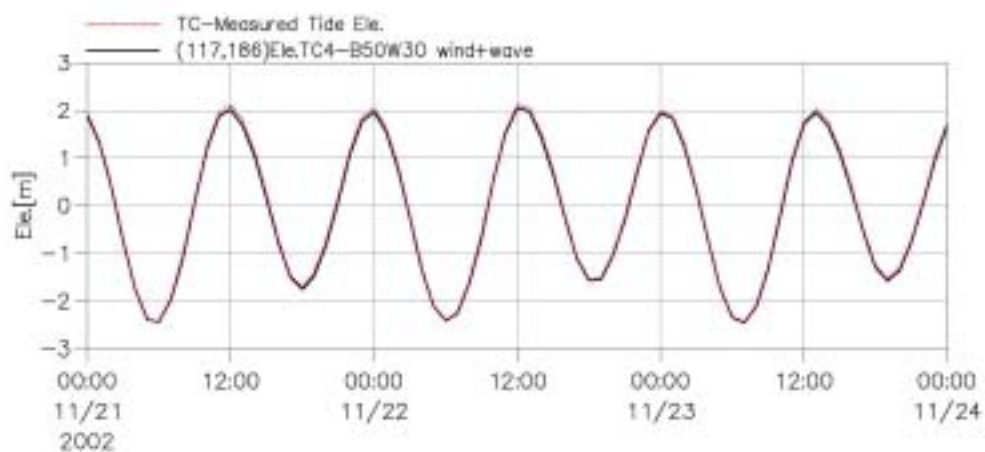
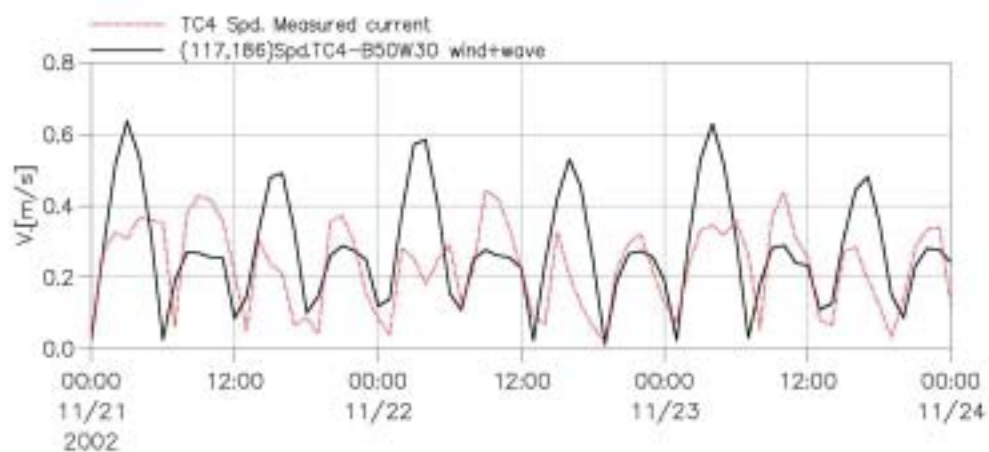
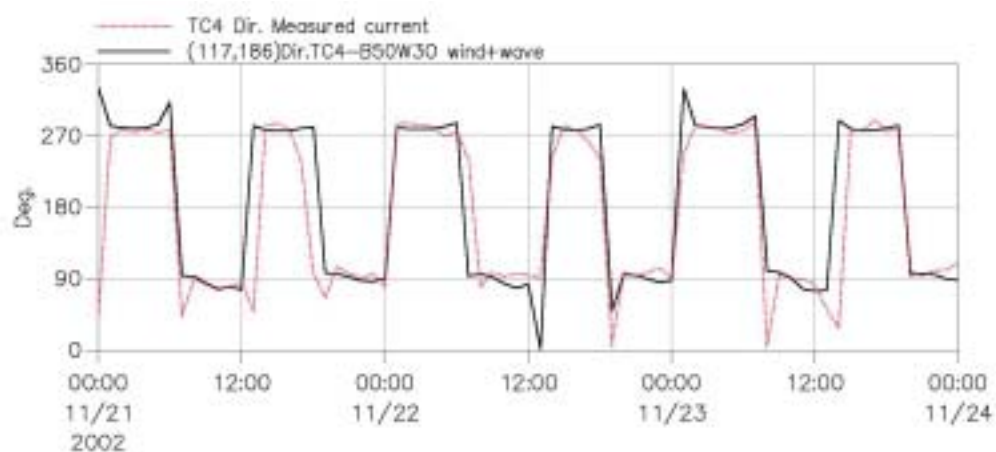


圖 3-30-2 台中港北外防波堤轉角處檢測站 4 大風期間之計算與實測海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

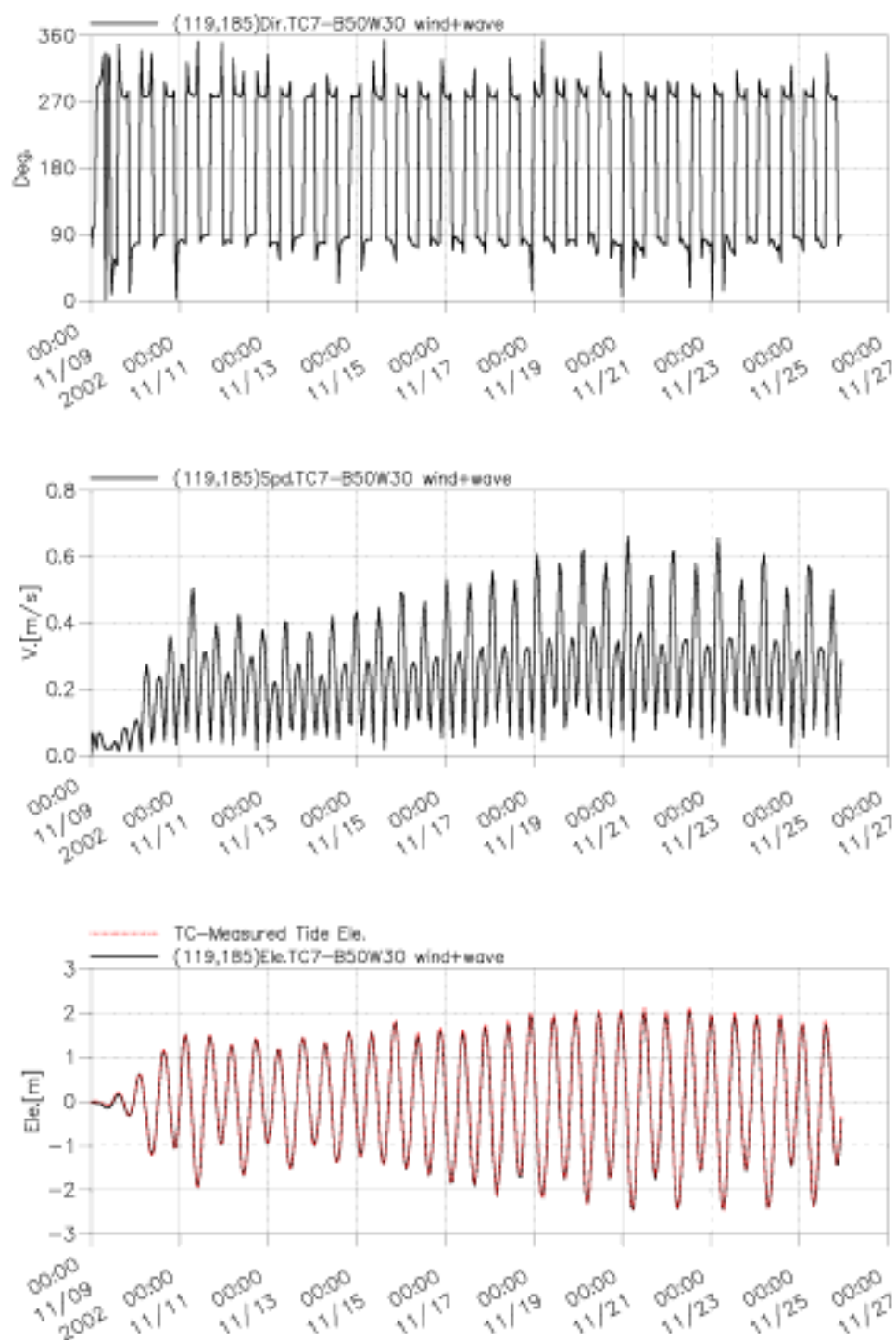


圖 3-31-1 台中港進出口航道上之南、北外防波堤中點處檢測站 7 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

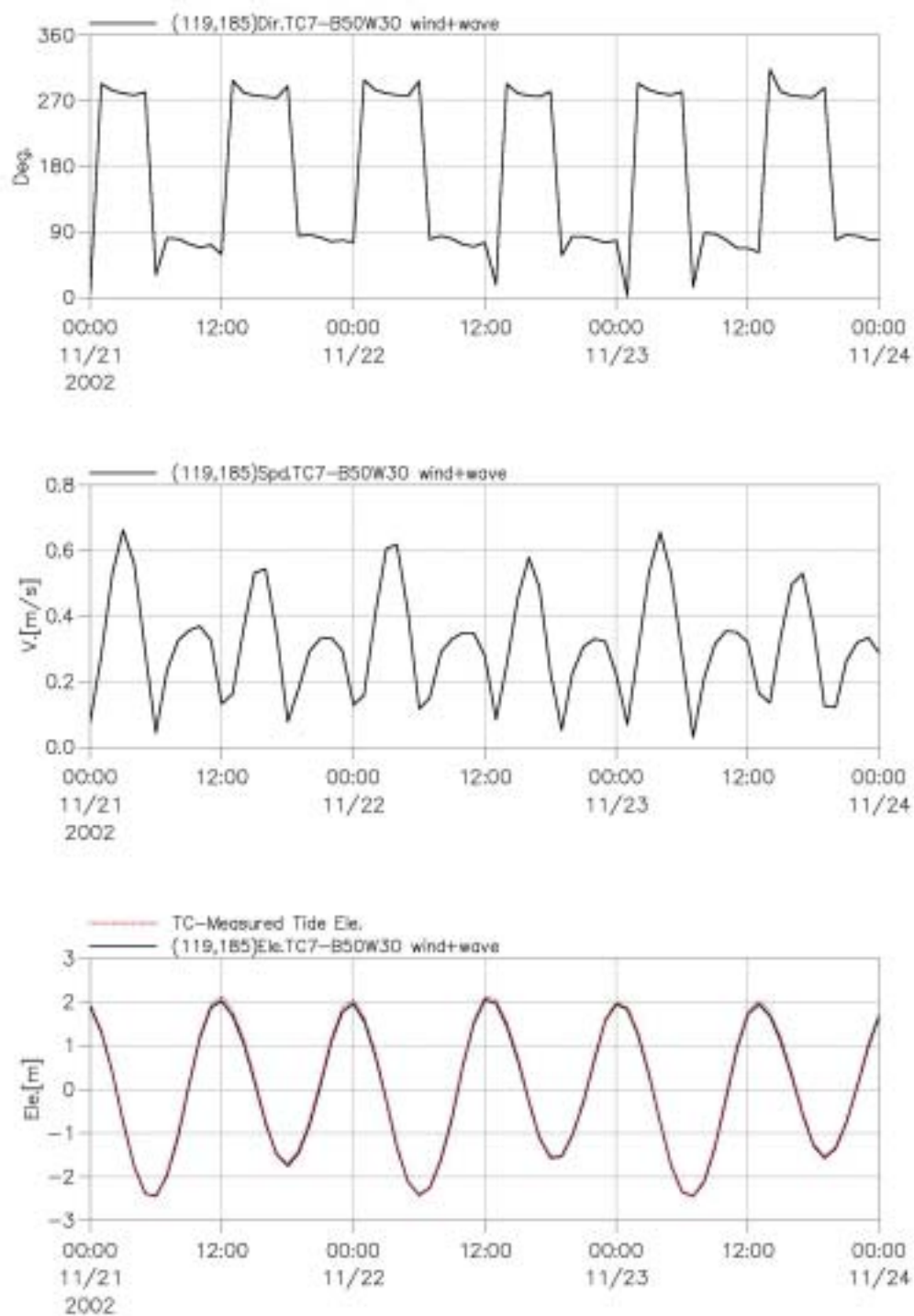


圖 3-31-2 台中港進出口航道上之南、北外防波堤中點處檢測站
7 大風期間之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實
測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

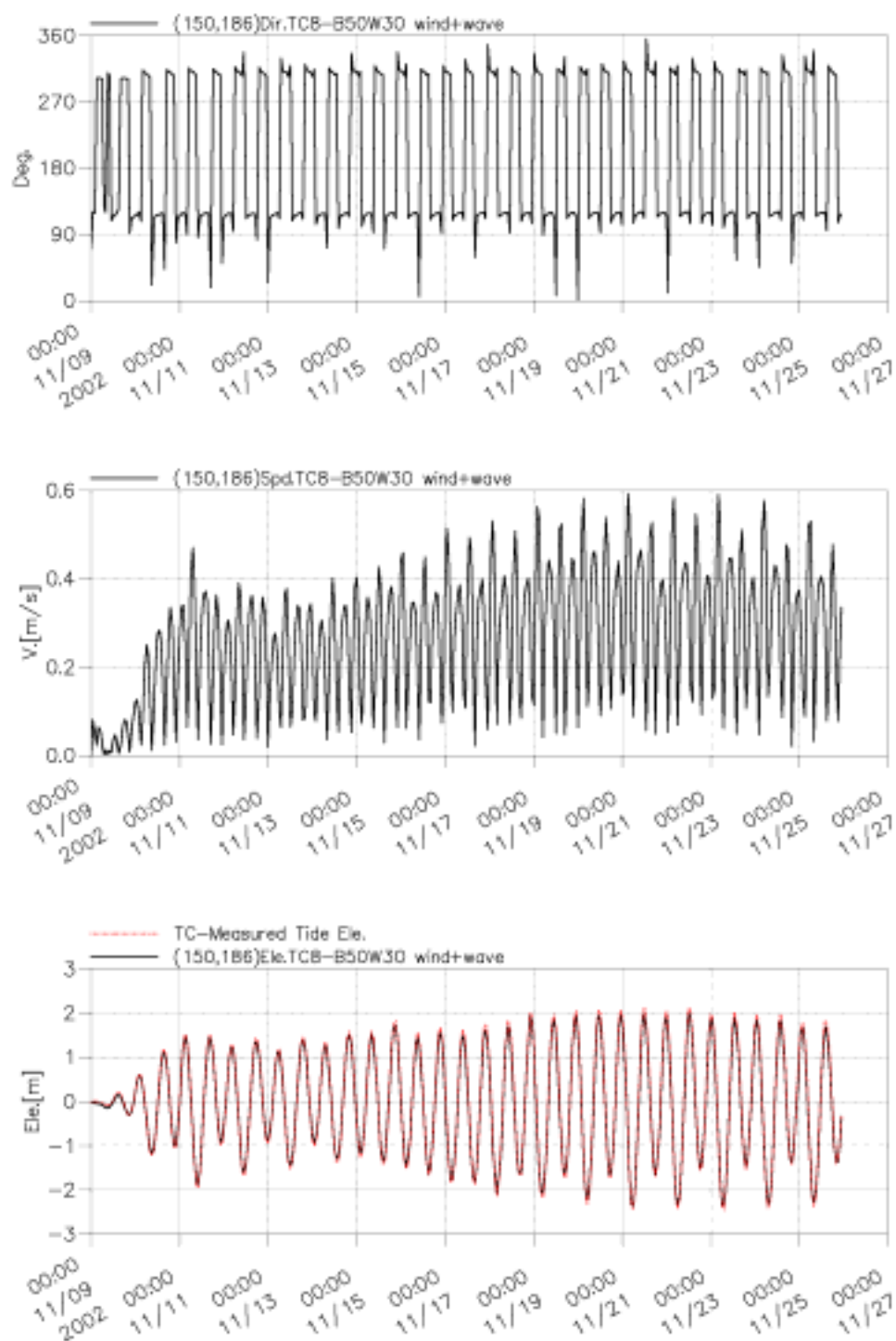


圖 3-32-1 台中港進出口航道上之南、北內防波堤中點處檢測站 8 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

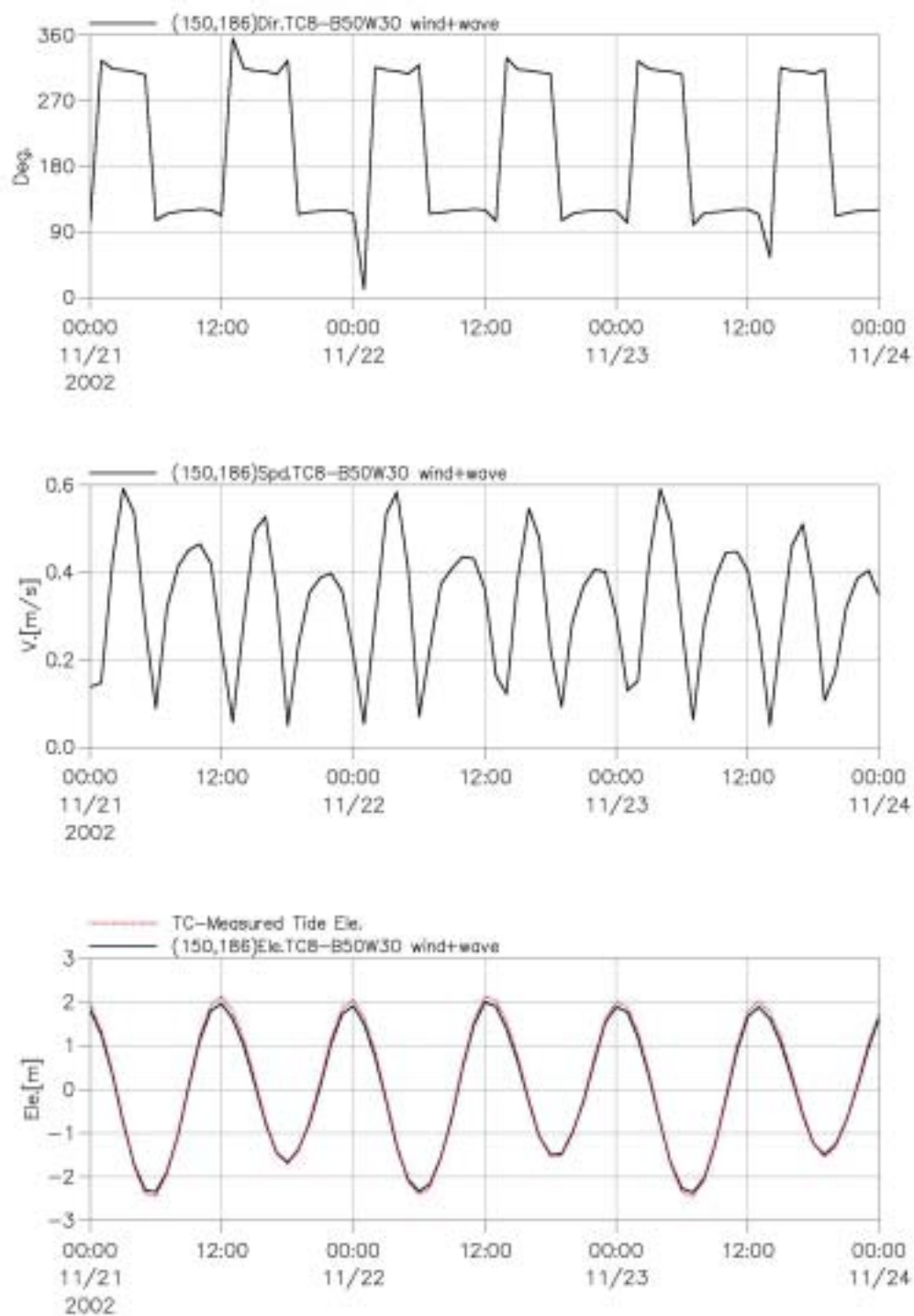


圖 3-32-2 台中港進出口航道上之南、北內防波堤中點處檢測站
8 大風期間之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實
測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

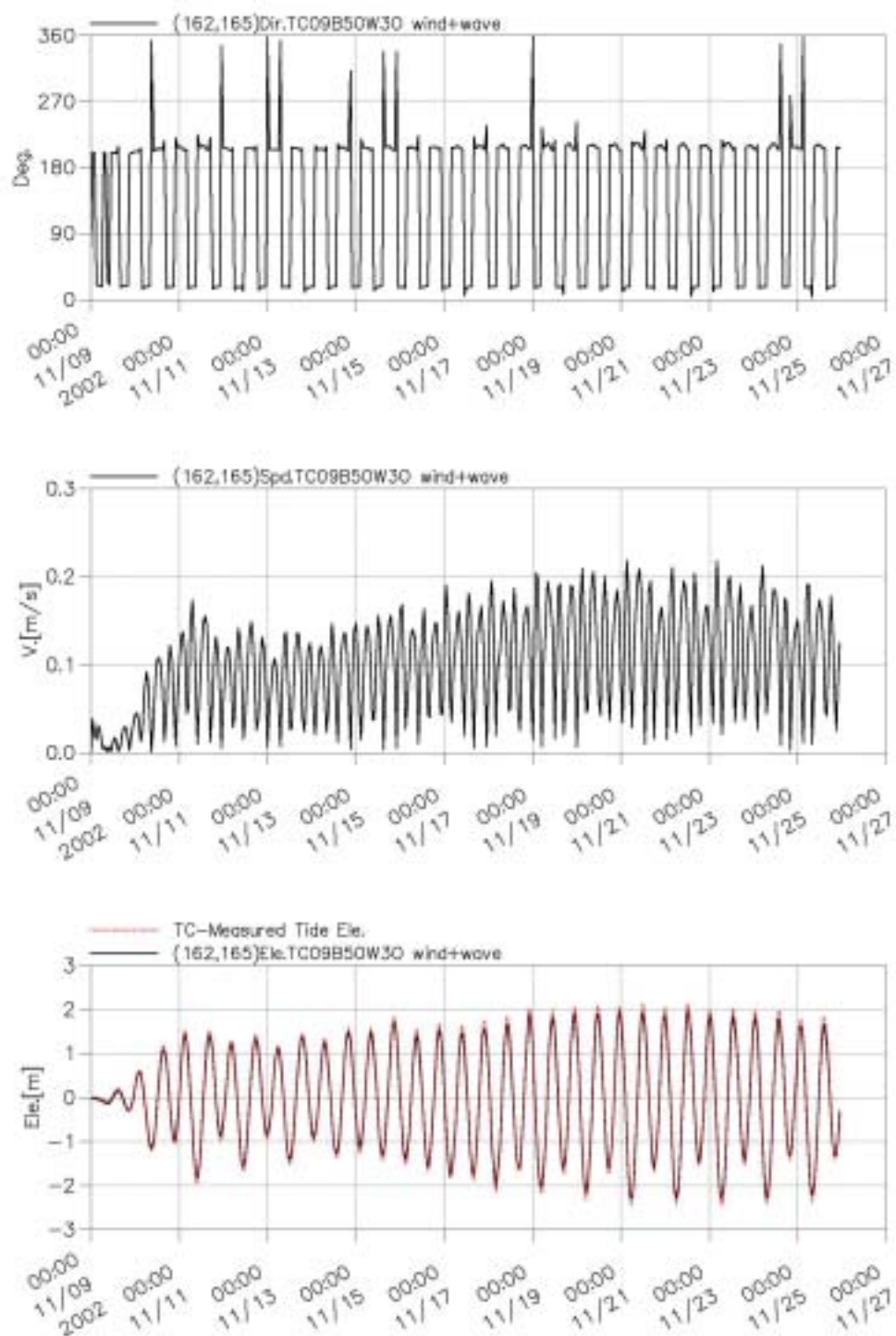


圖 3-33-1 台中港 31 號碼頭及 W4 號碼頭間之港內航道入口處檢測站 9 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

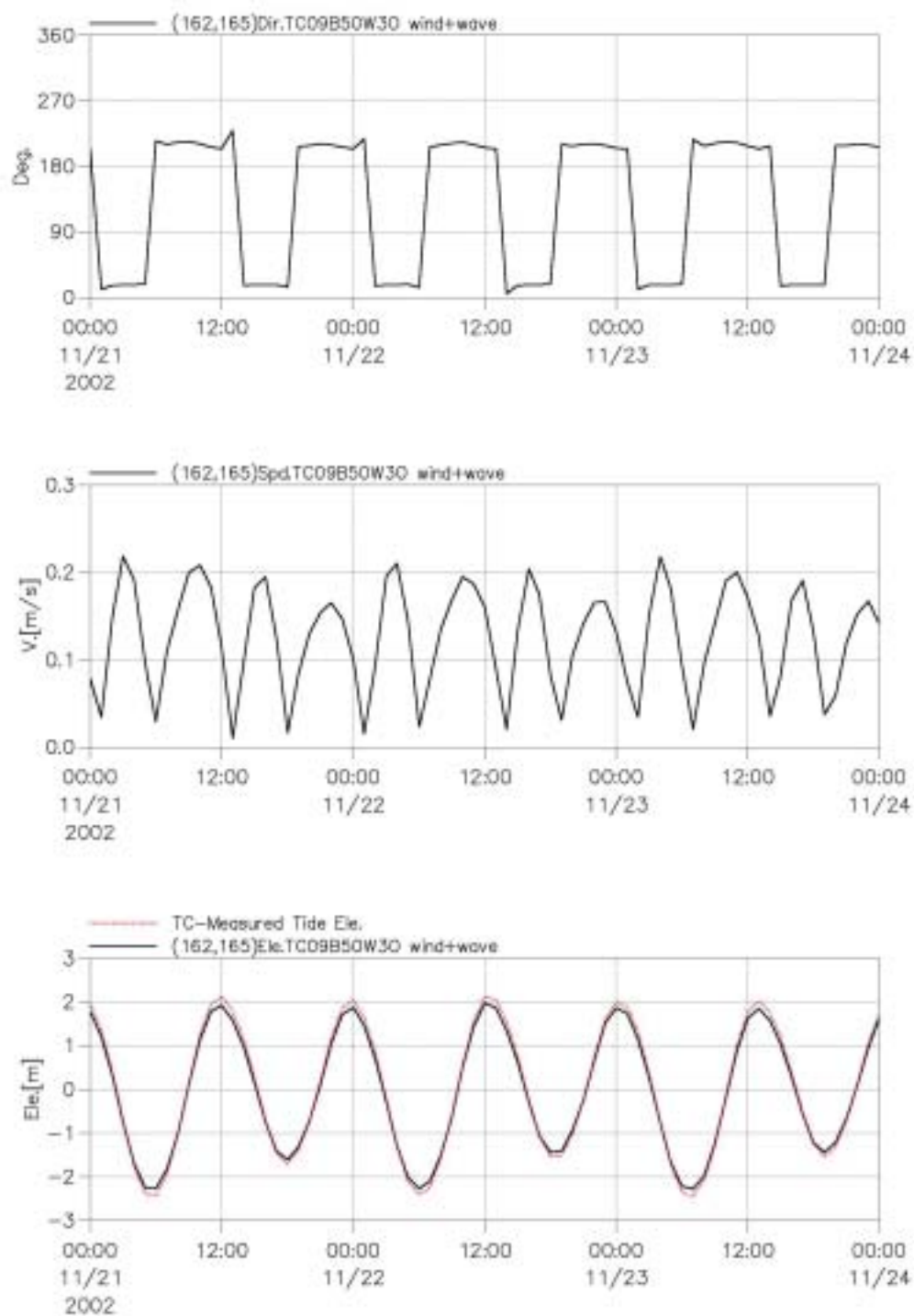


圖 3-34 台中港 39 號碼頭及 W14 號碼頭間之港內航道出口處檢測站 10 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

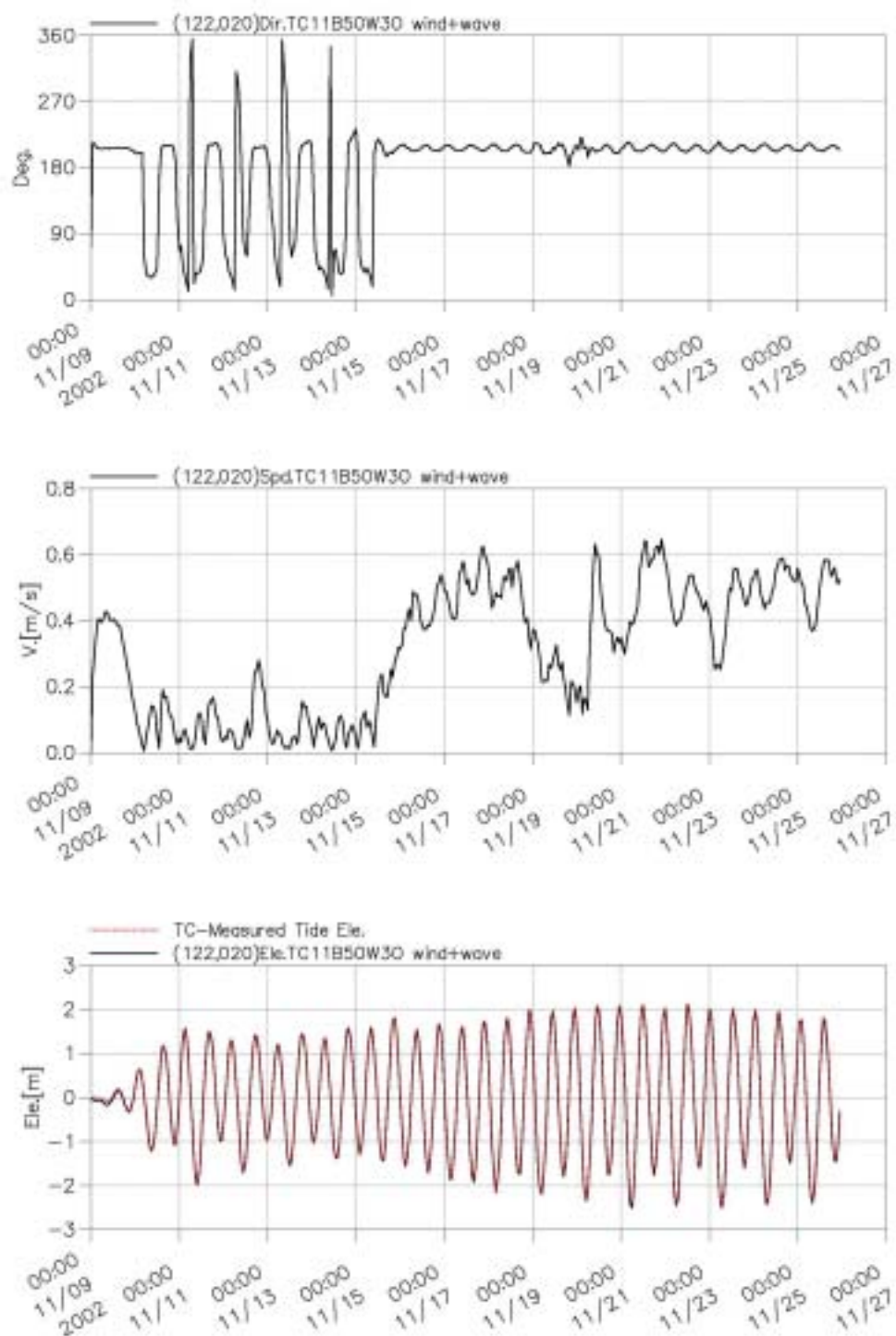


圖 3-35 台中港南填方區之中西側海域上檢測站 11 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較 (計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

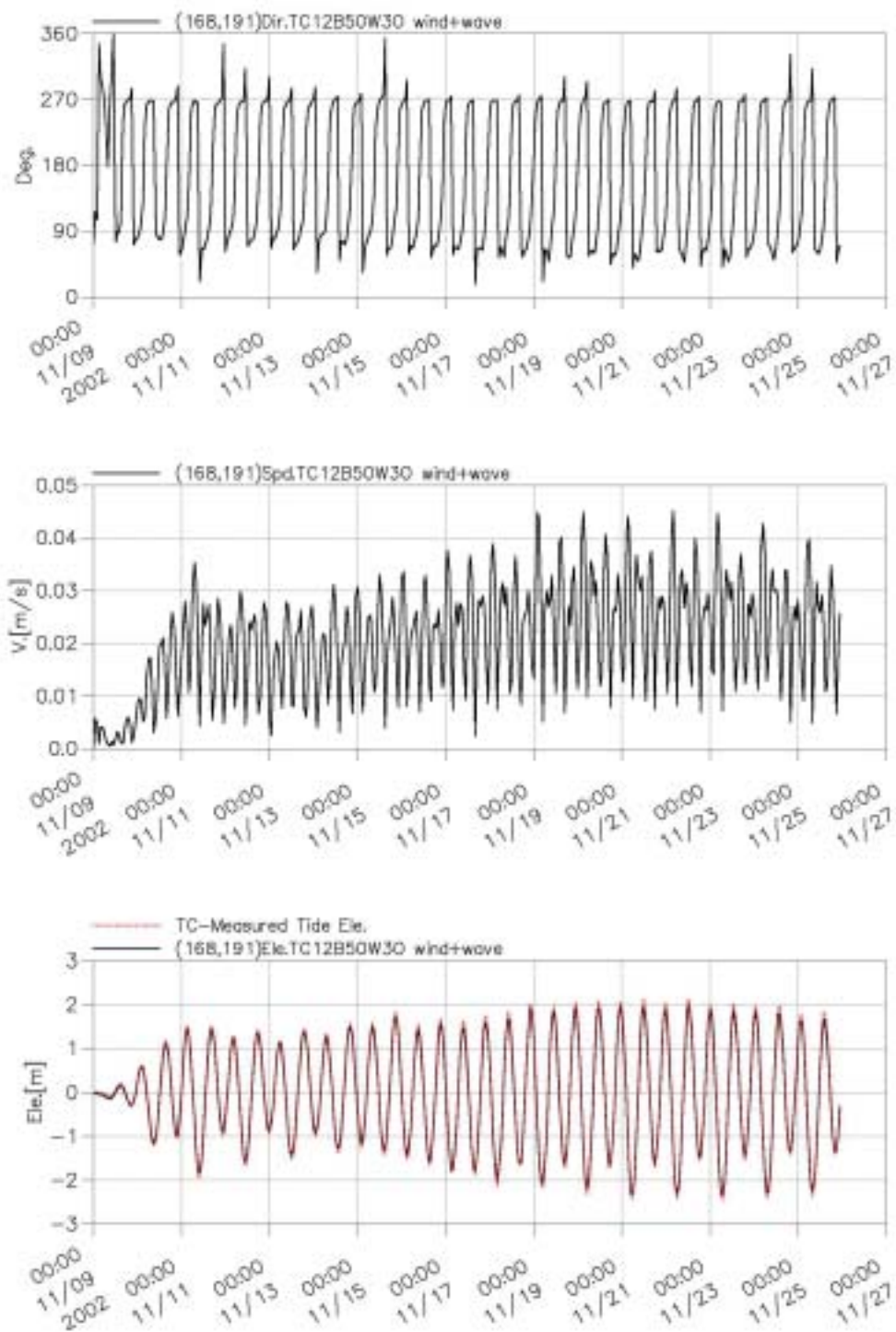


圖 3-36 台中港 1 號碼頭及 9 號碼頭間之北泊渠入口處檢測站 12 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

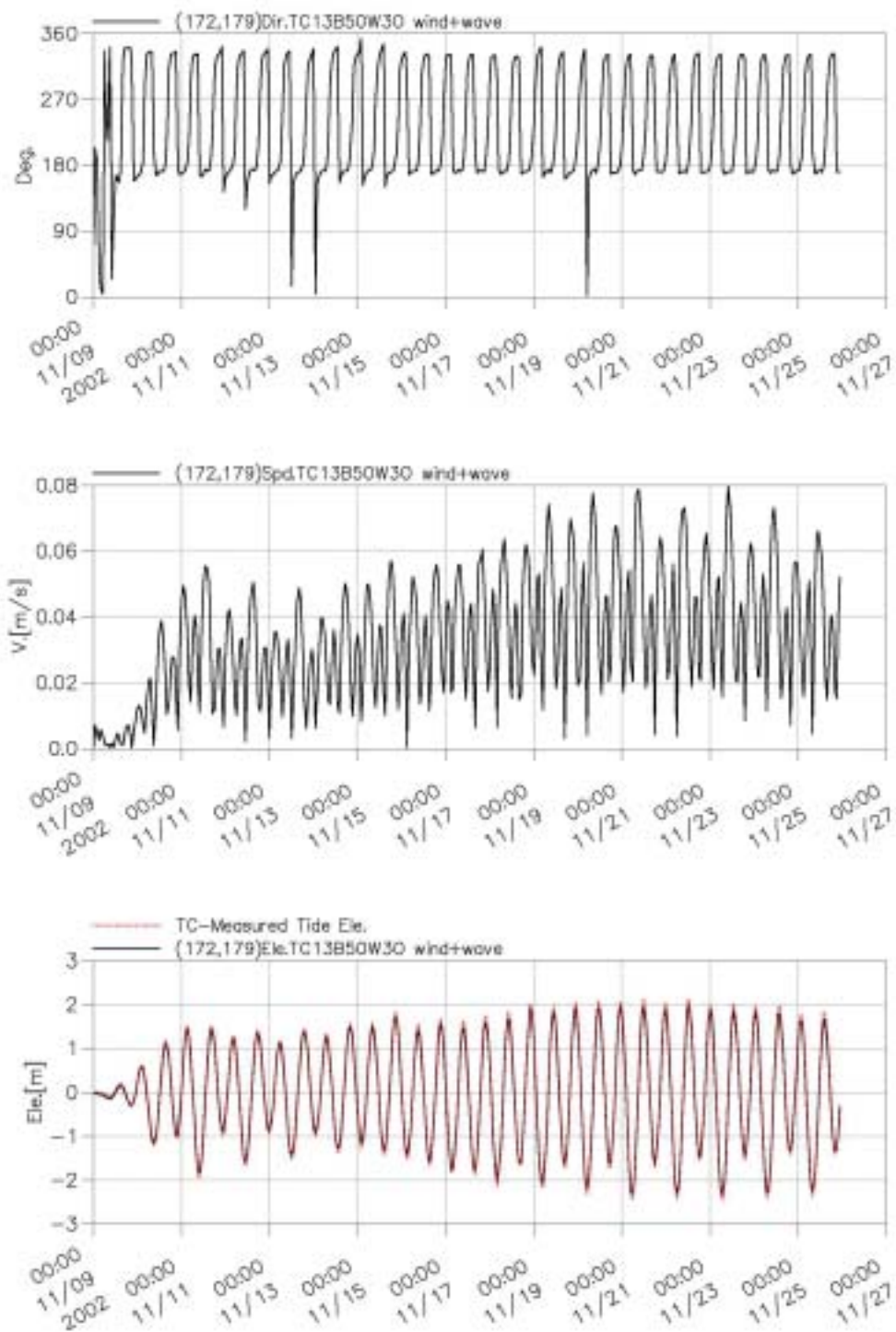


圖 3-37 台中港 9 號碼頭及 28 號碼頭間之中泊渠入口處檢測站 13 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

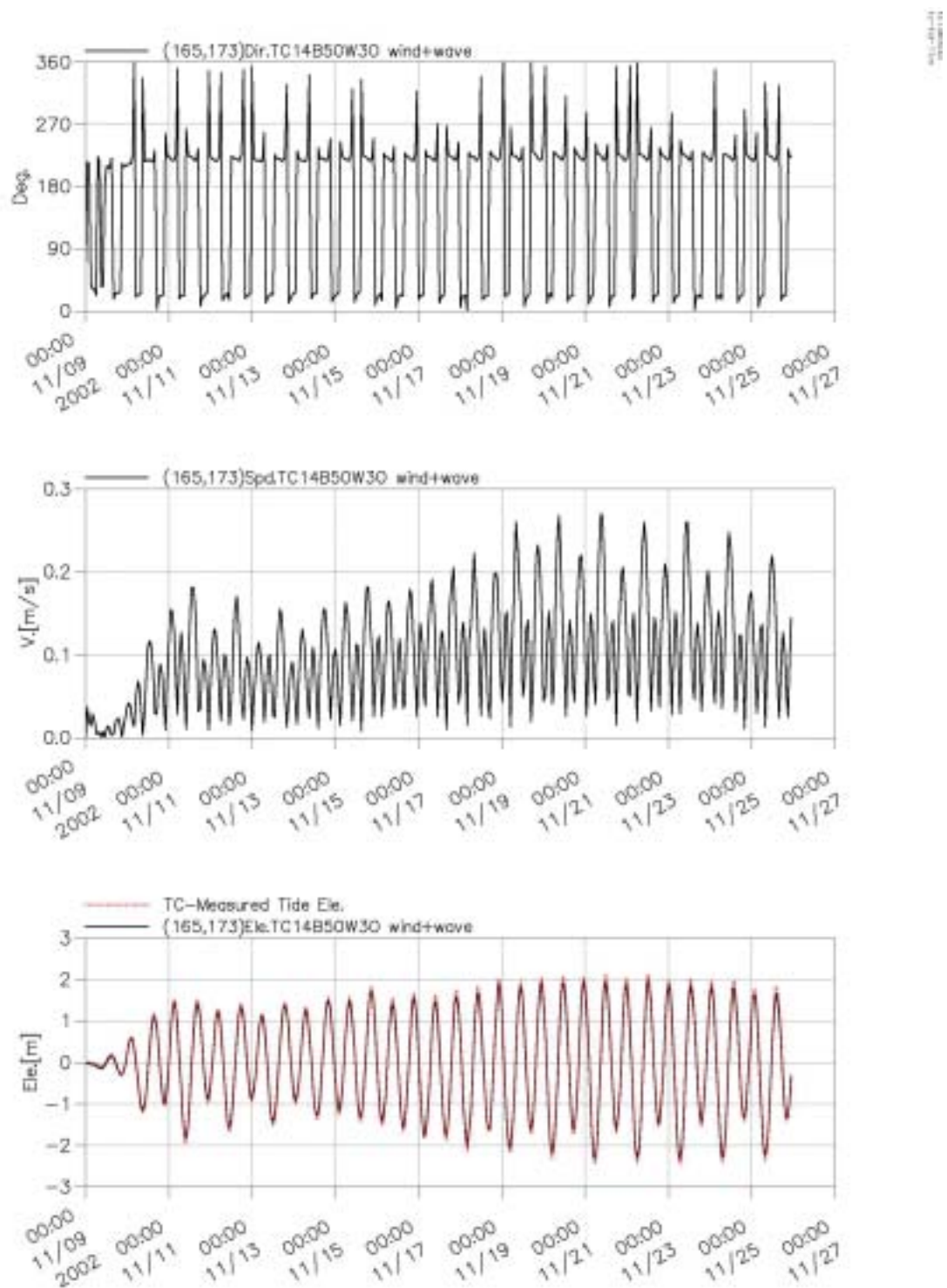


圖 3-38 台中港 29 號碼頭及 30 號碼頭間轉角處檢測站 14 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

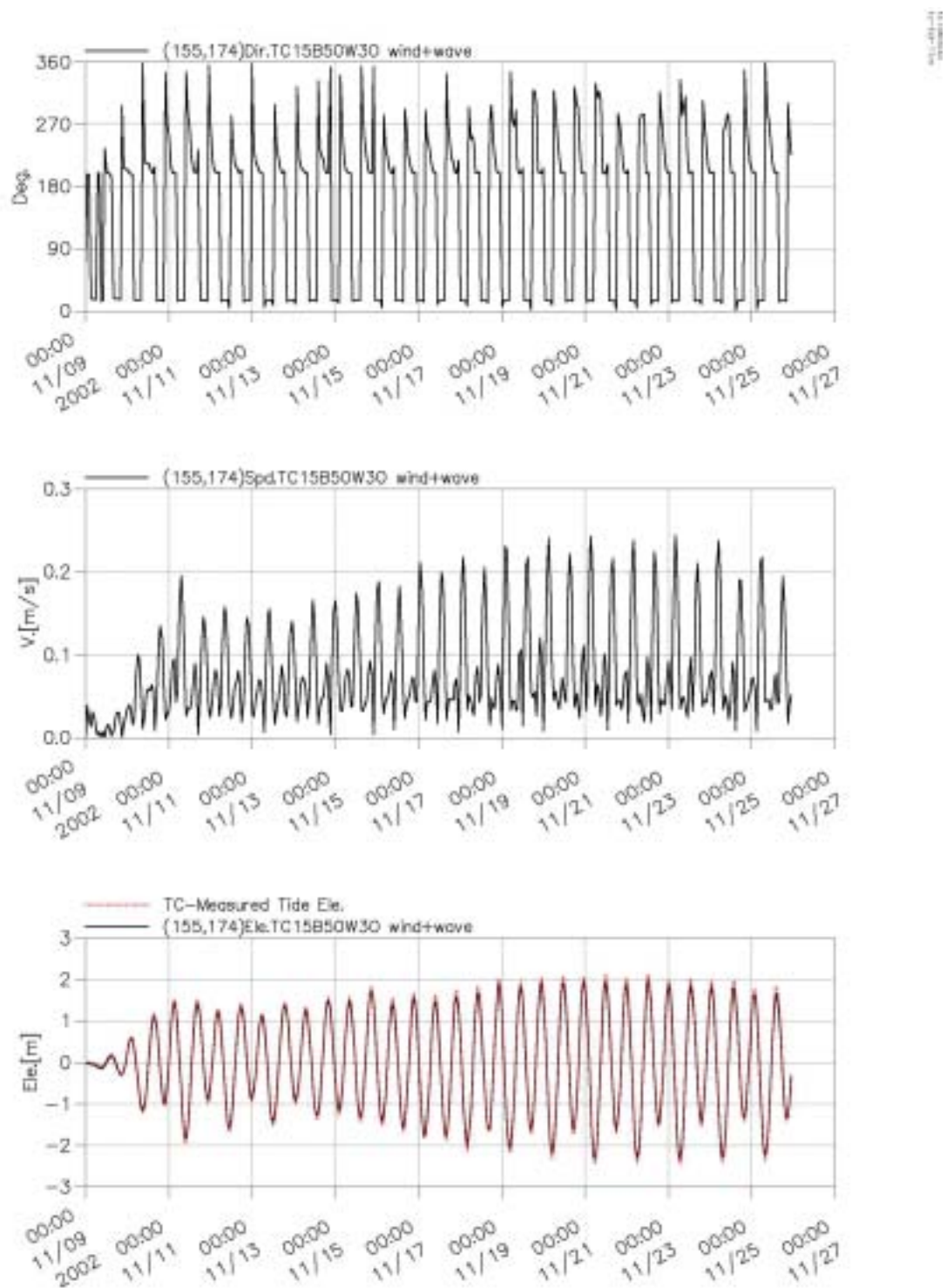


圖 3-39 台中港 W1 號碼頭及 W2 號碼頭間檢測站 15 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較 (計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

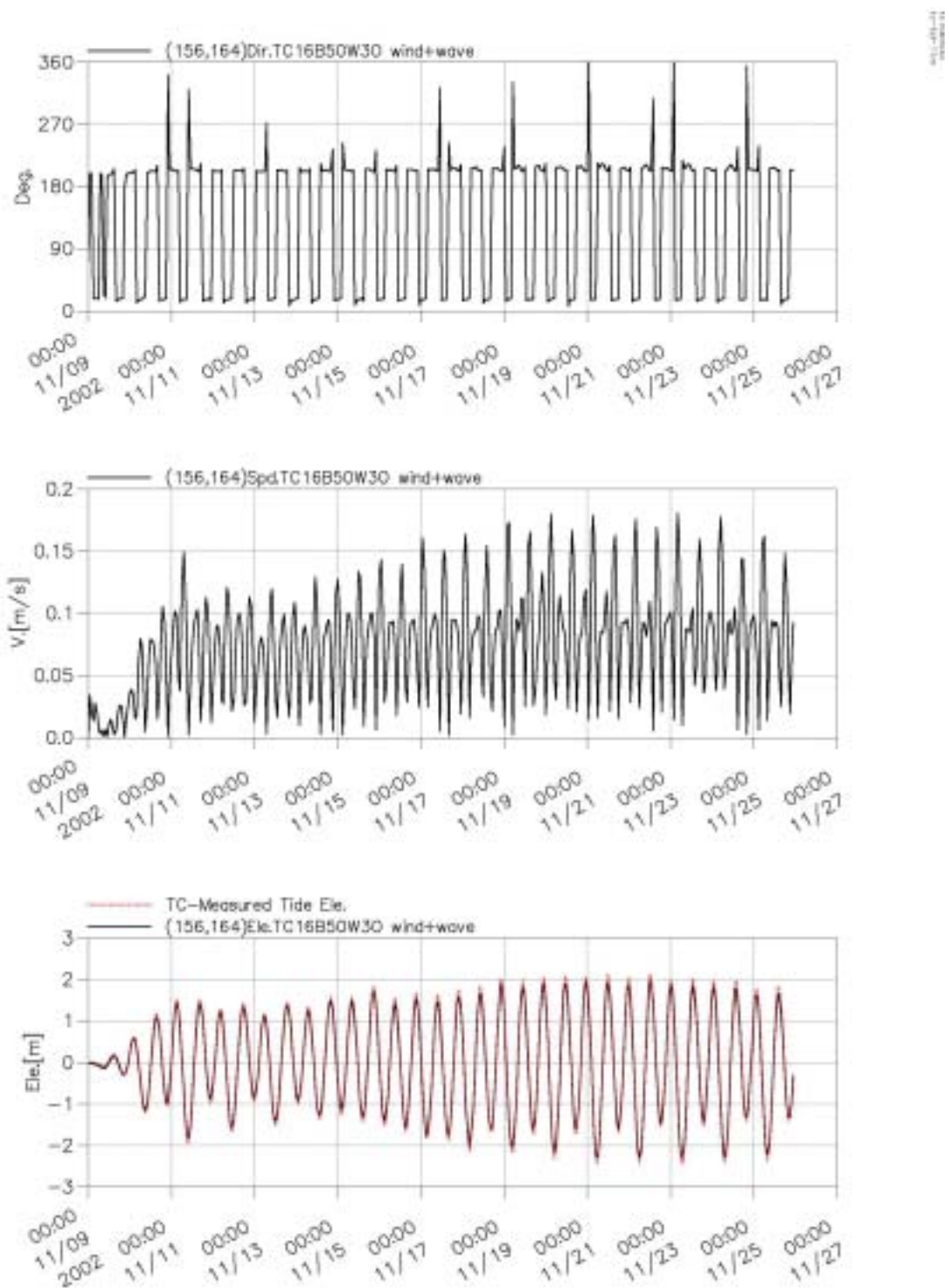


圖 3-40 台中港 W2 號碼頭及 W3 號碼頭間檢測站 16 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較 (計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

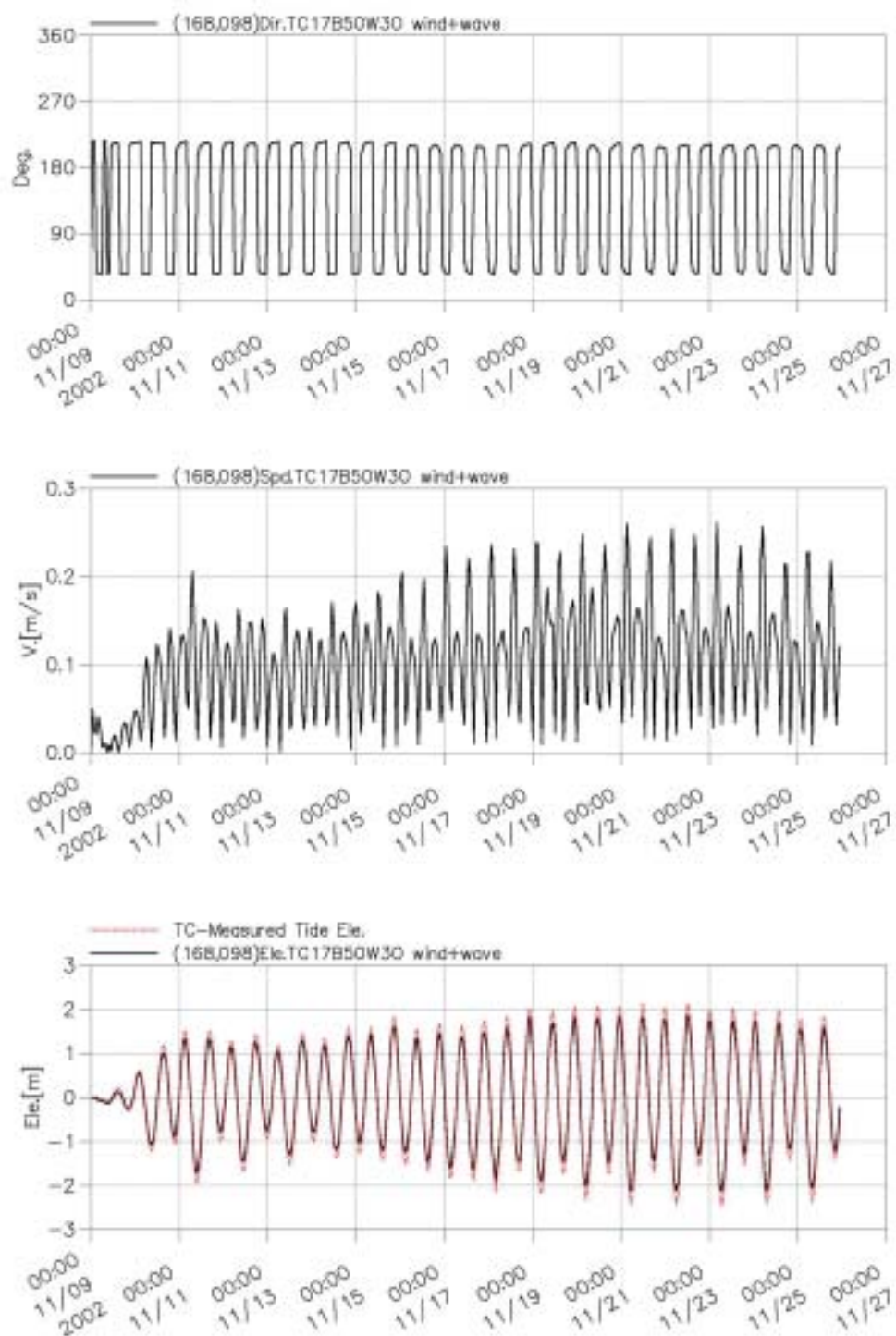


圖 3-41-1 台中港 40 號碼頭及 W16 號碼頭間之港內航道出口與南迴船池北端交接處檢測站 17 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

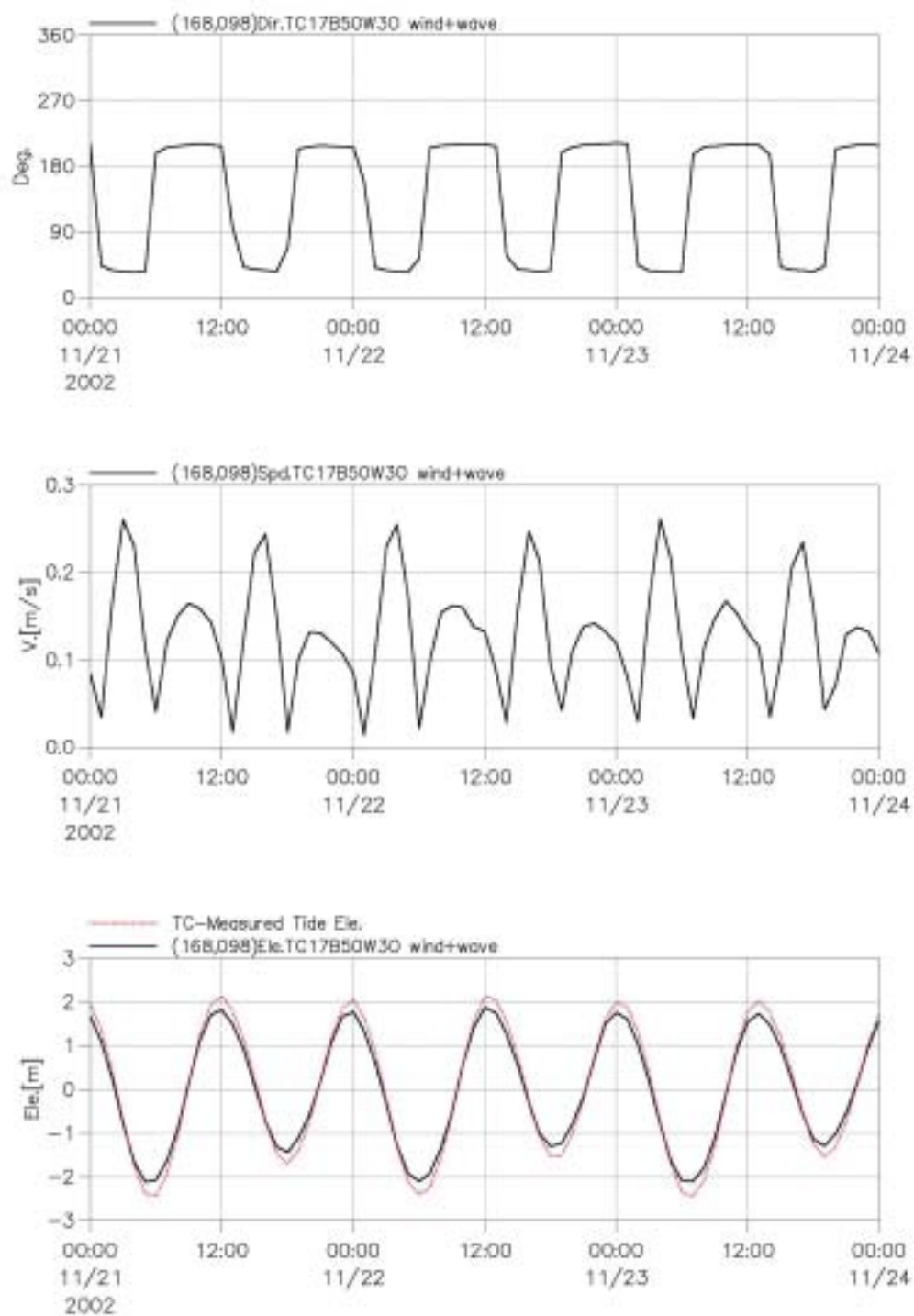


圖 3-41-2 台中港 40 號碼頭及 W16 號碼頭間之港內航道出口與南迴船池北端交接處檢測站 17 大風期間之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較 (計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

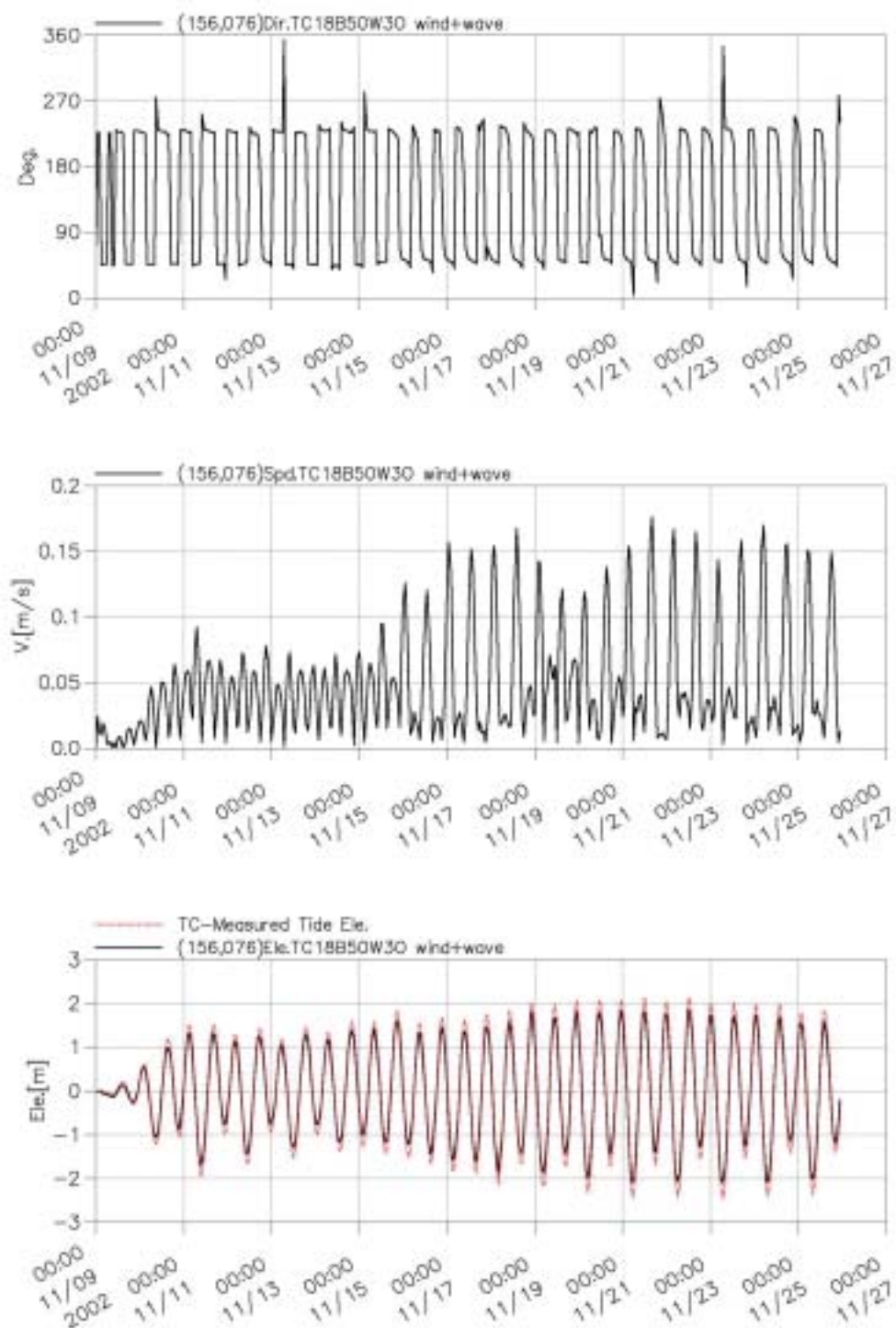


圖 3-42-1 台中港 93 號碼頭及 107 號碼頭間之工業泊渠入口與南迴船池南端交接處檢測站 18 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

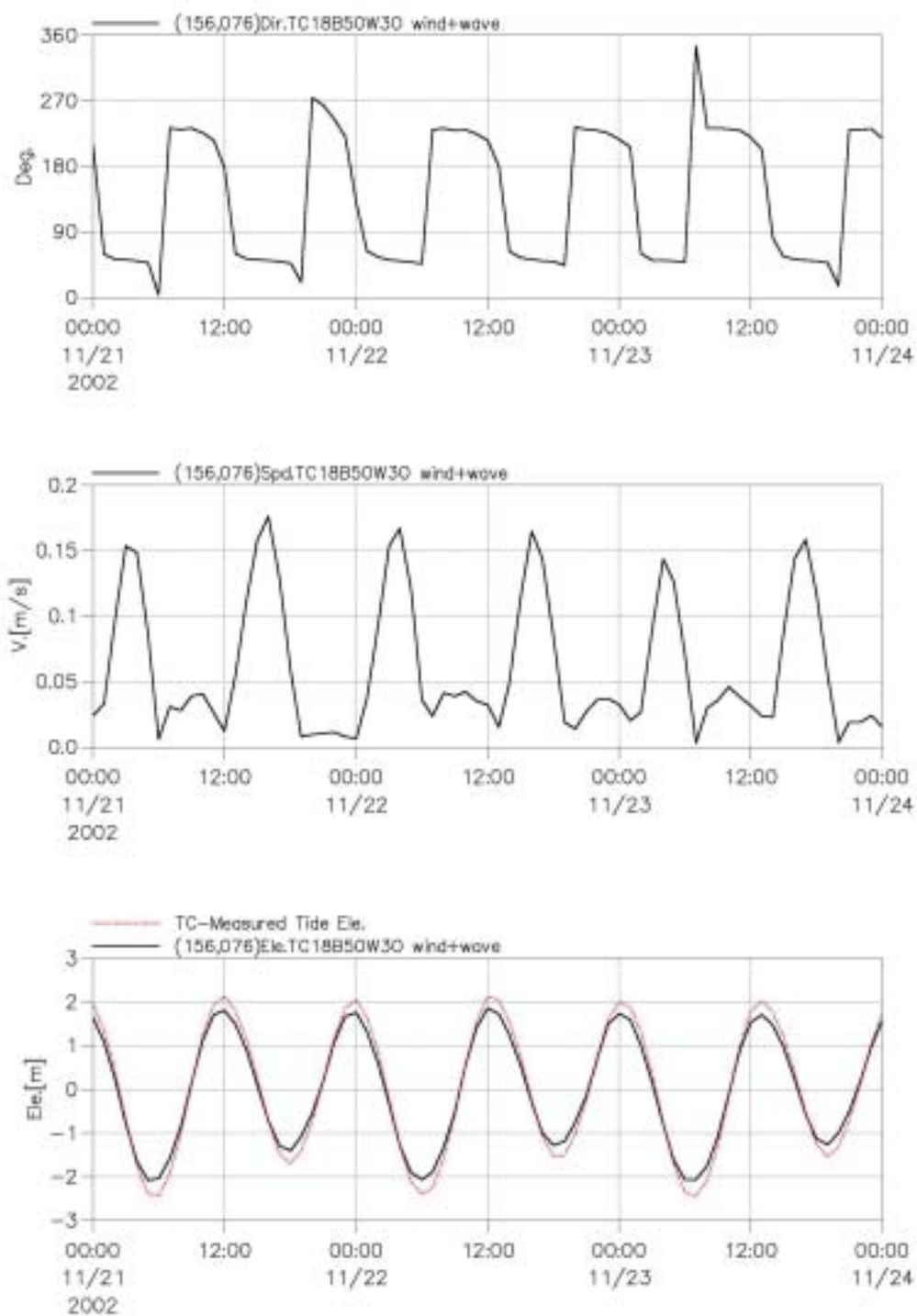


圖 3-42-2 台中港 93 號碼頭及 107 號碼頭間之工業泊渠入口與南迴船池南端交接處檢測站 18 大風期間之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較 (計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

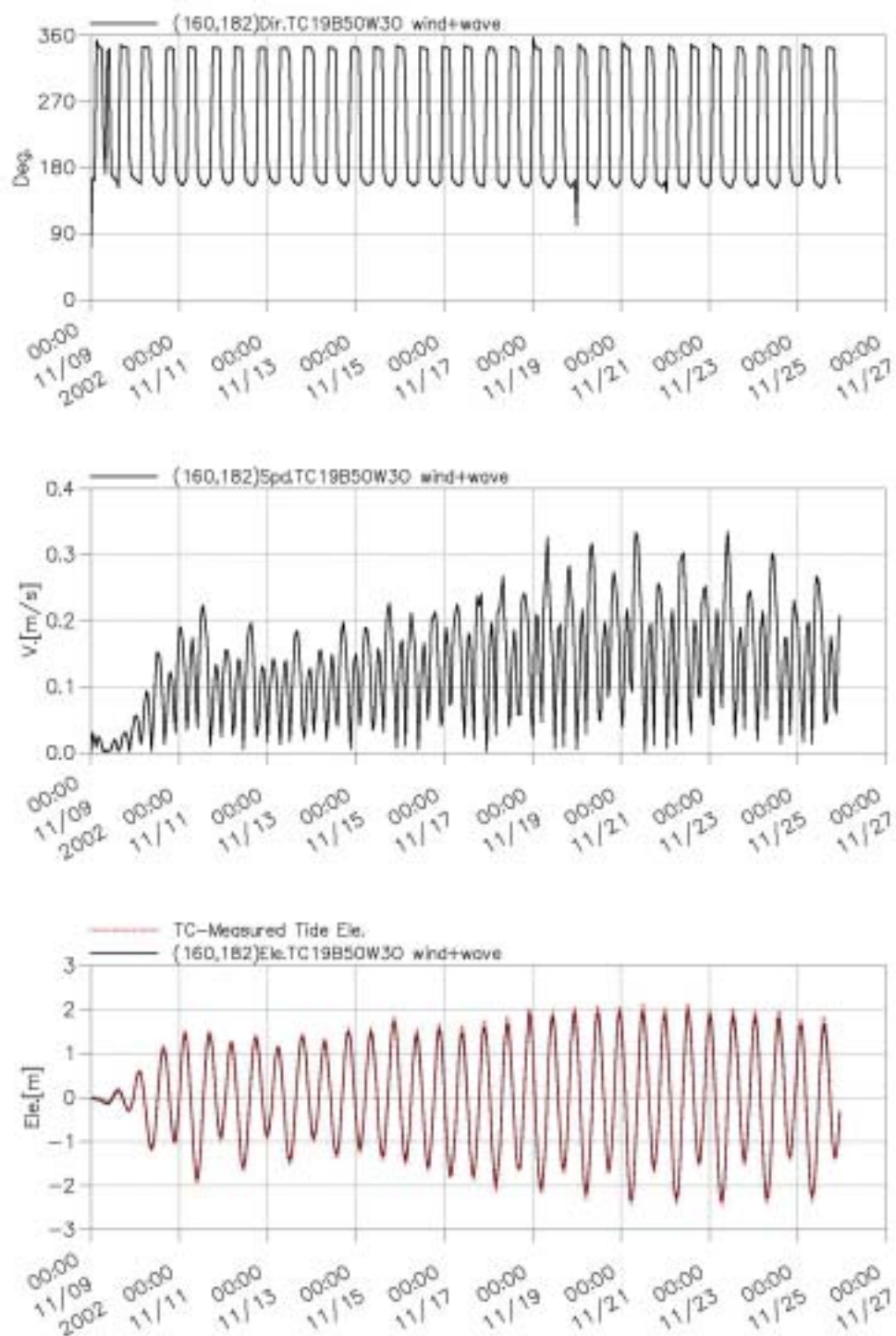


圖 3-43-1 台中港北迴船池中心檢測站 19 之計算海流流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
(計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

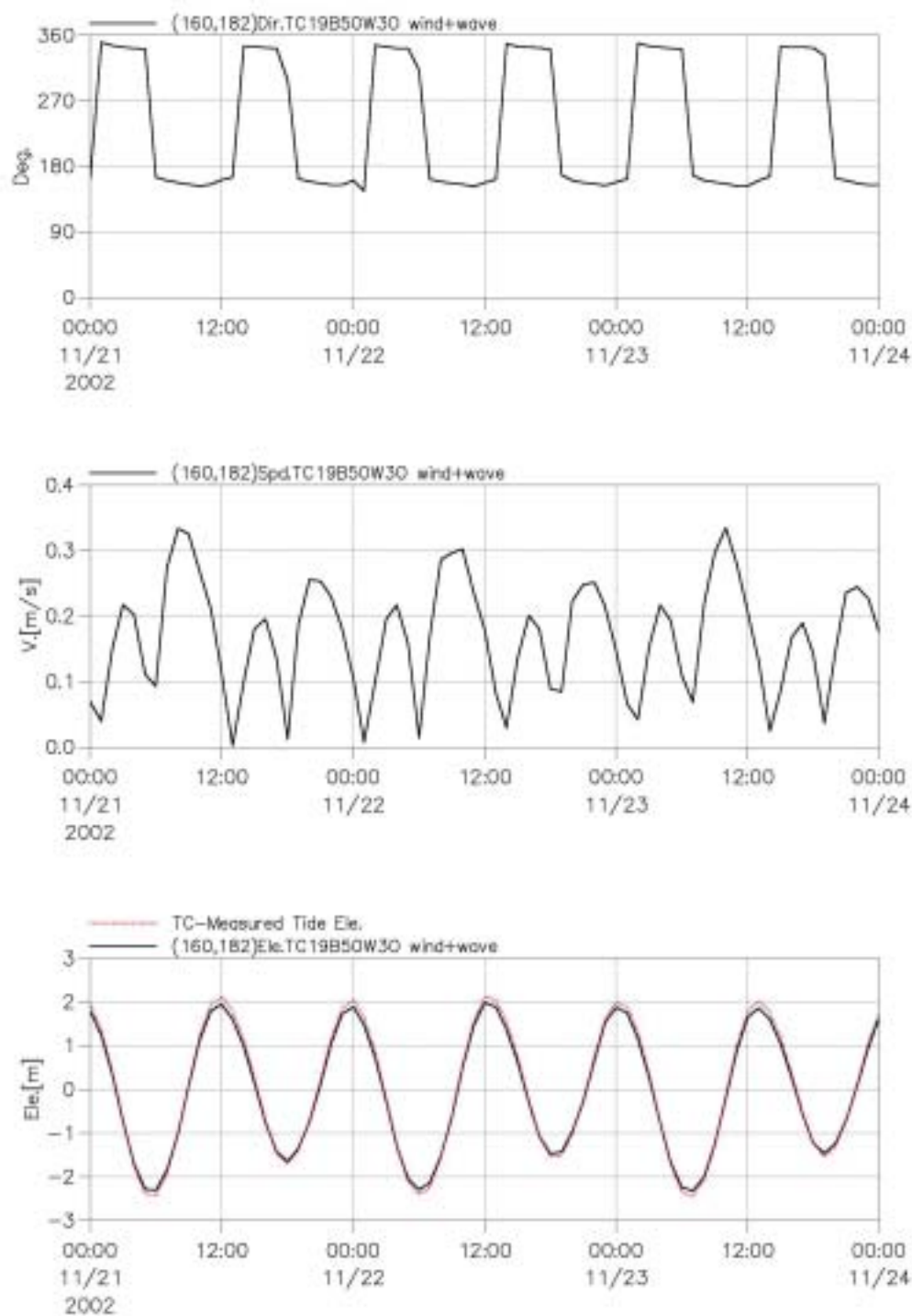


圖 3-43-2 台中港北迴船池中心檢測站 19 大風期間之計算海流
 流向(上)、流速(中)及計算與實測潮位(下)驗證比較
 (計算 - 黑色實線；實測 - 紅色虛線)

第四章 真時操船模擬試驗

雖然在港口第二期擴建規劃時，曾進行操船模擬試驗，以研選較佳之港口佈置方案，並評估其操航安全性。然而該模擬試驗是以港口佈置方案研選為研究目的，所以其操航計畫之操航起始點為錨泊區，終止點為北迴船池，對於船舶於北迴船池轉向向南，經內港航道航行至各碼頭區，並未進行模擬試驗。因此，本計畫有關之真時操船模擬試驗，其目的為藉由真時操船的模擬結果，探討台中港港口第二期擴建工程及航道浚深拓寬工程完工後，在不同環境外力作用下，大型船舶於進出港航行、內港航道航行及靠泊碼頭之操航安全性。並藉由試驗結果，研擬提昇操航安全之相關建議。因受限本所無操船相關設備，故本部分研究工作委託台灣海洋大學合作辦理，研究成果請參照附冊。本章僅就該報告重點內容進行說明。

4.1 研究範圍、方法與條件

4.1.1 研究範圍與方法

本計畫之研究範圍及對象如下：

- 1.探討載重噸 57,000 公噸貨櫃船在滿載情況下，由港外航行進港，分別靠泊 10 號及 33 號碼頭之安全性評估。
- 2.探討載重噸 57,000 公噸貨櫃船在滿載情況下，分別由 10 號及 33 號碼頭離碼頭出港，航行至外堤口之安全性評估。
- 3.探討載重噸 145,000 公噸散裝貨船，在滿載情況下，分別由港外、外堤口、內堤口啟航，靠泊 101 號碼頭之安全性評估。

- 4.探討載重噸 145,000 公噸散裝貨船，在空載情況下，由 101 號及 33 號碼頭離碼頭出港，航行至外堤口之安全性評估。
- 5.探討 125,000m³ 液化瓦斯船，在滿載情況下，由港外航行進港，靠泊西 15 號碼頭之安全性評估。
- 6.探討 125,000m³ 液化瓦斯船，在滿載情況下，由西 15 號碼頭離碼頭出港，航行至外堤口之安全性評估。

依據上述之研究範圍，本計畫之研究內容包括：

1.本船模式之校正

針對載重 57,000 公噸貨櫃船、145,000 公噸散裝貨船與 125,000m³ 液化瓦斯船進行操縱性能的校正工作，使得其操縱性能符合真實。

2.環境模式之建構

建立台中港雷達資料及 3D 影像，藉由模式輸入資料裝置（Model Data Input, MDI）重新配合修改，以建構符合未來擴建完成後之雷達回跡及視覺景觀，並建構符合未來擴建及航道濬深完成後之水流環境，使操船結果能反映真實之水流影響程度。

3.操船模擬與評估

邀請台中港領港根據設定之條件，進行模擬操船試驗進行真時操船模擬試驗並評估其試驗結果。

本研究主要是利用真時（Real-time）操船模擬之結果來評估大型貨櫃船、散裝貨輪及 LNG 船進出台中港在操船上的安全性。故在模擬機系統中，必須先建立模擬操船所用之本船（Own ship）模式，以及航行環境之模式；而操船者則由台中領港及其他有經驗的航海專家擔任之。操船者就台中港海域之各種環境條件操縱本船航行，以便由統計分析得知操

船的困難度，以及影響操船安全之相關因素。針對這些因素，評估研擬改善方式，並再以操船試驗確認改善方式之有效性。因此，本研究計劃之進行步驟如下：

1. 確認各項模擬條件

進行操船試驗之前將由台中港務局、台中港領港、本所與海洋大學共同召開期初工作會議。參考台中港港口二期擴建及其他相關之操船模擬研究成果，就本操船模擬試驗工作之詳細項目、步驟、方法與流程進行溝通與討論。

2. 確認本船模式並校整

選定進行真時操船模擬試驗之上述三種船型（貨櫃船、散裝船及 LNG 船）的詳細尺寸、吃水、操航特性及相關資料。

3. 建立台中港影像資料

依據台中港二期擴建後港口各防波堤及航道配置資料，配合操船模擬機現有的台中港雷達資料及 3D 影像，藉由模式輸入資料裝置（Model Data Input, MDI）重新配合修改，建構符合未來擴建完成後之雷達回跡及視覺影像。

4. 建立台中港水域環境資料

依據台中港二期擴建及航道浚深拓寬後台中港港區海域的流場數值模擬結果資料（如第三章），輸入本校操船模擬機的流水資料庫內，並轉換為操船模擬機可讀取之格式，包括水流之流向及流速。

5. 進行操船模擬試驗

邀請台中港全體領港人員，依據上述所提出之操船條件，進行第一階段操航安全性探討預備試驗及第二階段安全操航方式確認試驗。

6.分析操船模擬試驗資料

操船試驗資料包括：航跡、船速、舵角等，撰寫電腦程式將航跡數位化，再利用統計軟體找出上述操船資料的變化量，包括通過閘線（控制線）時之船速、航向以及通過參考點最近距離的平均值及標準差等，以評估各船型之操航安全性，並探討分析影響操航的各項因素。

7.研擬改善方式及確認

針對各項影響操航之因素，研擬克服之方式，並評估操航之合理步驟。據此，研擬最佳之操航模式，再請兩位資深之台中港領港，就此模式進行第二階段操船試驗，以確認其可行性及有效性。

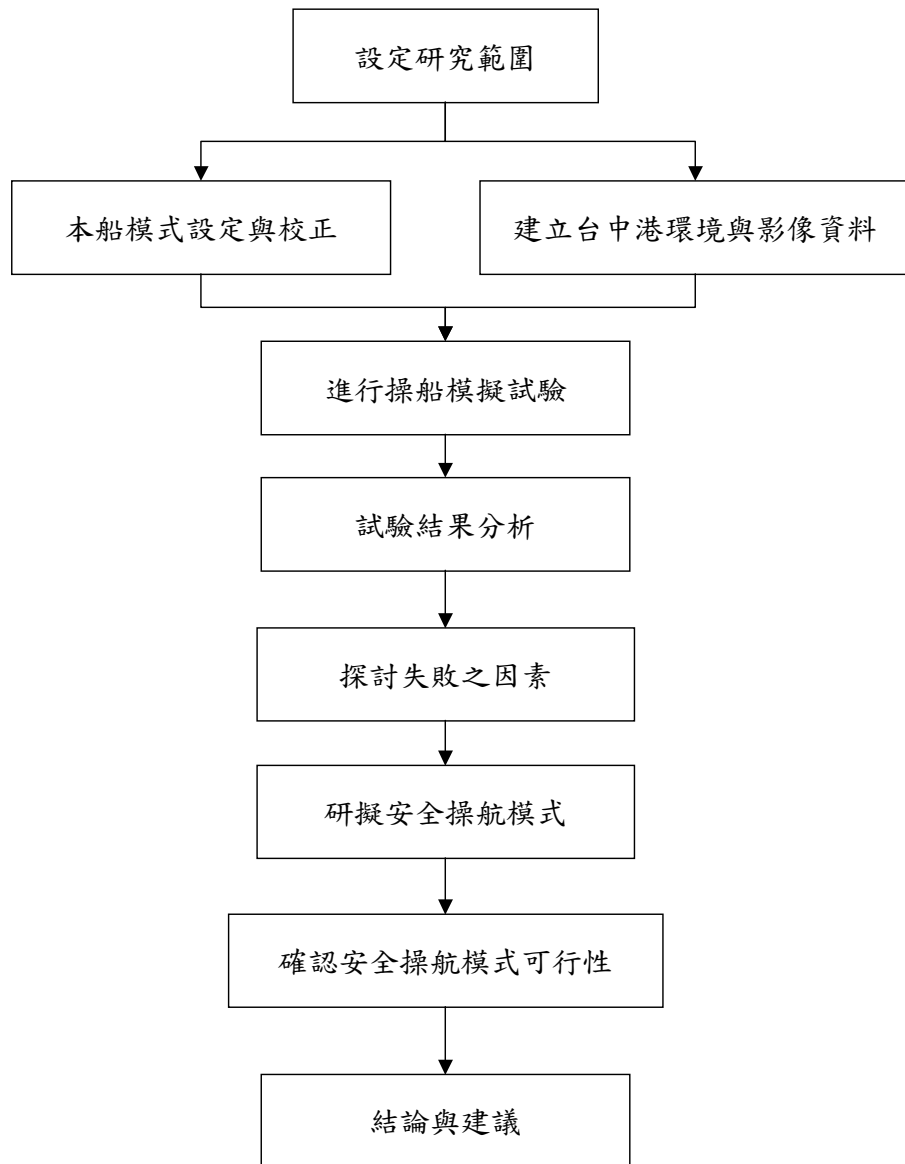


圖 4.1 研究流程圖

4.1.2 本船資料

欲瞭解某一艘船之車、舵性能，通常係由該船之衝止距(stopping distance)、迴轉圈(turning circle)及 z 型運動之航向超射角來判斷。船舶衝止距愈短，該船之倒車效果愈佳，可在短距離內將行進中之船舶停止下來，以避免碰撞前方之物體。迴轉圈愈小，即表示該船轉彎所需的水域範圍愈小，可快速轉向避免碰撞。一般而論，長度超過 250 公尺之大型船舶由於具有較大之慣性，其衝止距比小型船舶為長，迴轉圈也較大，故大型船舶之操縱較為困難。IMO 對於前述之迴轉圈大小，緊急停車衝止距長度及 z 型運動皆有詳細之規定。一般而言，35°迴旋圈直徑應小於 4.5 倍船長，緊急停車之衝止距應小於 15 倍船長，而 20°/20°z 型運動之航向超射角須小於 20°~25°等。

本研究共使用三種船舶，載重噸 57,000 公噸（排水量約為 70,000 公噸）貨櫃船、載重 145,000 公噸散裝船與 125,000m³LNG 船，模擬船外觀類似圖 4.2 至圖 4.4 之真實船舶。因應試驗的需求，貨櫃船又分為滿載與半滿載兩種，散裝船則在建構船舶模式時，考量未來台中港可能營運的船舶為載重噸 160,000 噸之船舶，因此散裝船之設定選擇以載重噸 160,000 噸之散裝船裝重 145,000 公噸的貨物為試驗的對象，一方面符合試驗對象的要求，並配合台中港未來的需求。本研究所使用之三種船舶其船長均超過 250 公尺，屬於大型船舶，其主要尺寸、操縱特性軌跡、資料圖、迴旋圈試驗與緊急倒車等資料分別如附件一、二、三（以下有關各附件請參閱海洋大學辦理之「台中港真時操船模擬試驗」報告）。該附件所附之 Pilot Card 之資料，係依照本船操縱特性調整校正後模擬本船之 Pilot Card。

貨櫃船及 LNG 船均為模擬機內建之船模，均已在海洋大學多次執行之研究計劃中由基隆四位領港及中油三位繫泊船

長反覆操船使用。其中貨櫃船其船模在原廠製造時雖已進行過驗證，並確認其操船特性與真船一樣（如附件四）。然為求慎重本試驗在進行之前，再請基隆港領港測試，對於貨櫃船船模性能之評語為：該船屬於舊型船舶，主機馬力較小，船性較為遲緩，但因目前各港尚有此類貨櫃船進出，利用此船模進行港口安全評估較為適當，如果這種船舶之航行問題得以找出並予以改善，則其餘新式船舶進出將更為安全。本試驗亦曾再請中油繫泊船長以 LNG 船進靠永安港進行測試，並稍作校整，且得到認同。散裝船則係由海洋大學參考台電新建船舶及新興航運公司實船資料建置而成，並請高雄港領港以此船進靠高雄港作測試，經過認同後才正式使用於本試驗。

關於操船模擬機中，船舶運動計算之驗證及有關之數學模式與設定值，則詳列於附件五中。



圖 4.2 貨櫃船實船照片



圖 4.3 散裝船實船照片



圖 4.4 LNG 船（MOSS-Type）實船照片

4.1.3 操船者條件

操船者在本試驗中之條件如下：

1. 台中港全體領港參加第一階段操船試驗，合計試驗次數至少 100 次以上，其餘則由海洋大學資深船長進行。
2. 在第一階段操船試驗時，並沒有設定任何操航計畫，僅以台中港領港個人之操航經驗與專業判斷，以其所認定之航向、航速及拖船配置進行試驗。試驗結束後需填寫操航心得與建議。
3. 為了避免重複試驗，操船者會熟記場景變化而預做反應，使試驗結果失真，因此，每位領港對於相同之環境條件僅操作一次。
4. 領港在進行試驗的期間不得交換試驗的心得，僅以個人觀點進行試驗，以確保試驗之獨立性。
5. 第二階段操船試驗，則由兩位台中港資深領港進行。

4.1.4 環境條件

依據第二章及第三章之分析及計算結果設定環境條件值，經與台中港領港及海洋大學船長討論後，其各項設定如下所示。關於環境條件設定之驗證則請參考附件六。

1. 港區配置與水深：

以台中港港口第二期擴建工程及航道浚深拓寬工程完工後之港口、航道配置與水深為設定條件，如圖 4.5、圖 4.6 與圖 4.8 所示。

2.風力條件：

以 15 m/sec 及 20 m/sec 為風速條件；又因台中港強風之風向主要介於 020-025 狹窄範圍之間，因此僅設定 NNE 為風向條件，此為固定風向與風速並無陣風效果。在 LNG 船的試驗中，因應試驗計畫的變更將原先風速條件改變為 10m/sec，因此 LNG 船之試驗包含三種風速，但以 10m/sec 及 15m/sec 為主。

3.潮位、海流條件：

經與本計畫參與之船長討論後，選擇漲潮後 3 小時及退潮後 3 小時的兩種潮流為漲潮流與退潮流的條件。其中詳細的潮流資料則如圖 4.9 與圖 4.10。對應於風力及潮位條件，共計四種流場如表 4.1

表 4.1 海流、風力條件組合

海流條件	潮位	風速 (m/sec)	風向
條件 一	漲潮後 3 小時	15.0	NNE
條件 二	漲潮後 3 小時	20.0	NNE
條件 三	退潮後 3 小時	15.0	NNE
條件 四	退潮後 3 小時	20.0	NNE

1.波浪條件：

配合風力條件，港外及港內各計兩種波高、週期，如表 4.2。雖然操船模擬機尚無法將波浪的影響加入船舶運動模式中進行詳細的運算，但可將波浪造成船舶搖晃等作用，於模擬試驗中影像視覺上的改變展現出來，讓試驗者具有真實的臨場感。由於本試驗之船舶進港靠泊係從航道口外 1.68 哩處起始，啟航時船舶操縱受風、流、浪等外力之影響，航行至

航道口外約 0.7 哩時，船位已進入北防波堤遮蔽區，風向 NNE 引起之海浪作用已減弱，等到船舶進入主航道後，海浪作用已可忽略。由於試驗用之本船均為大型載重船舶，轉向時機約在航道口外 0.5 處，風力及潮流之影響遠較海浪大。因此，本試驗對於海浪造成操船之作用不加以分析。

表 4.2 波浪條件組合

波浪條件	區域	波高 (m)	週期 (sec)	風速 (m/sec)	風向
條件 一	港外	2.0	7.0	15.0	NNE
	港內	0.3	7.0		
條件 二	港外	3.0	8.0	20.0	NNE
	港內	0.5	8.0		

2. 拖船配置：

本試驗使用之拖船根據台中港未來的發展，於船舶進出港共配置四艘拖船，設定為 2 艘 4,200HP 與 2 艘 3,400HP 之拖船。其中，拖船實際使用艘數、其配置及各出力噸數，乃依操船者的指示操作。在本試驗中拖船的配置位置共有 8 處，如圖 4.7 所示。於模擬試驗進行中拖船使用之艘數、其配置及出力，皆予以紀錄並顯示於附錄中，以供得知操船作業中拖船使用詳細情況。

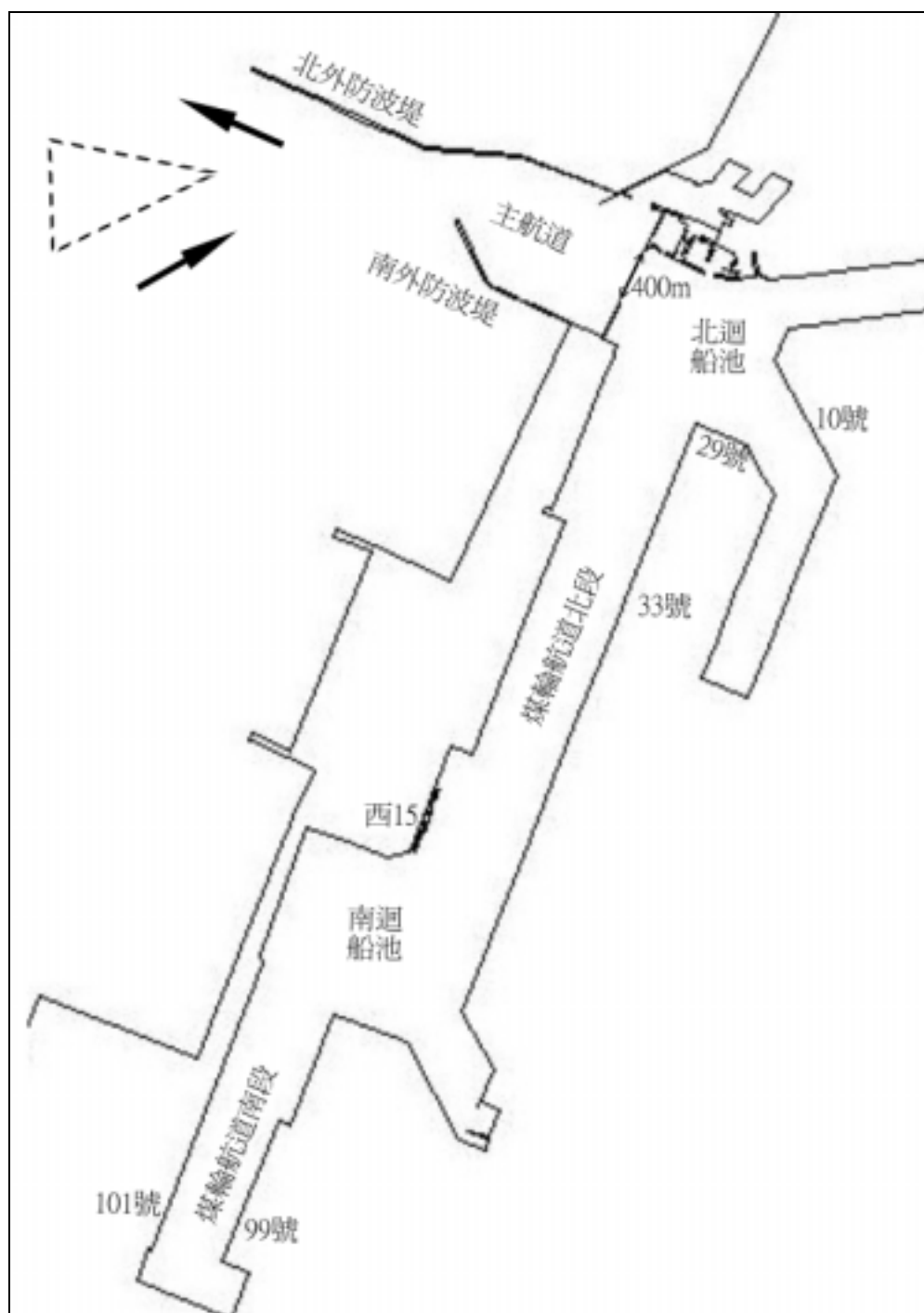


圖 4.5 台中港海域第二期擴建後港區配置圖

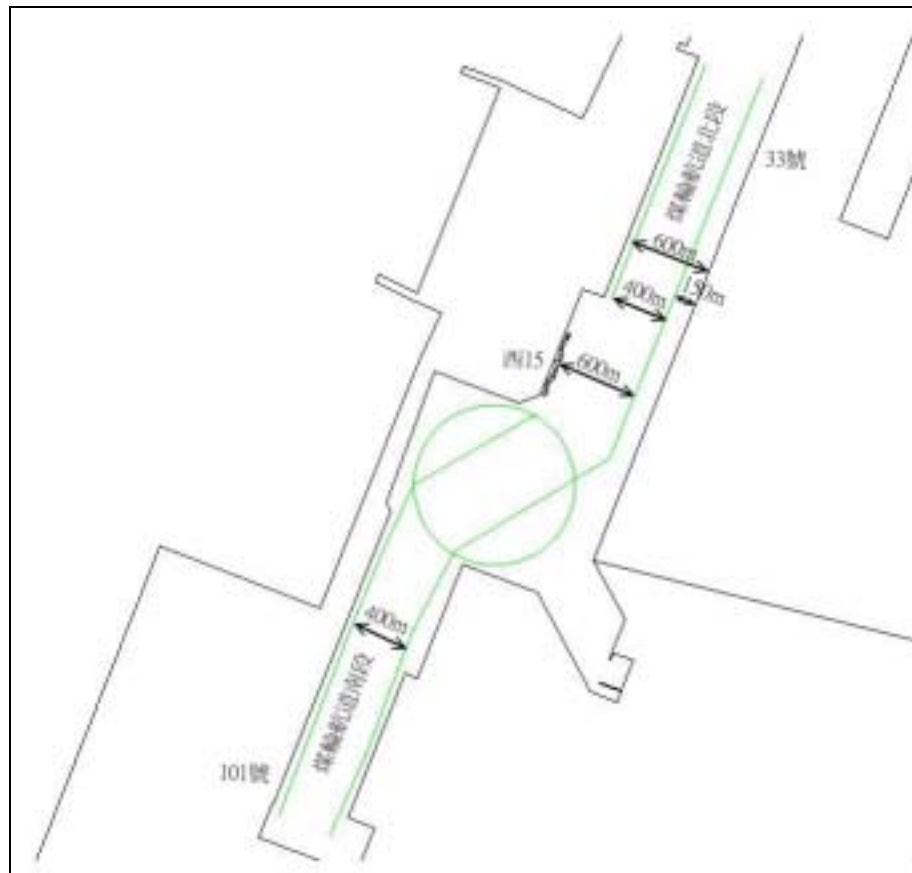


圖 4.6 台中港海域第二期擴建後航道配置圖

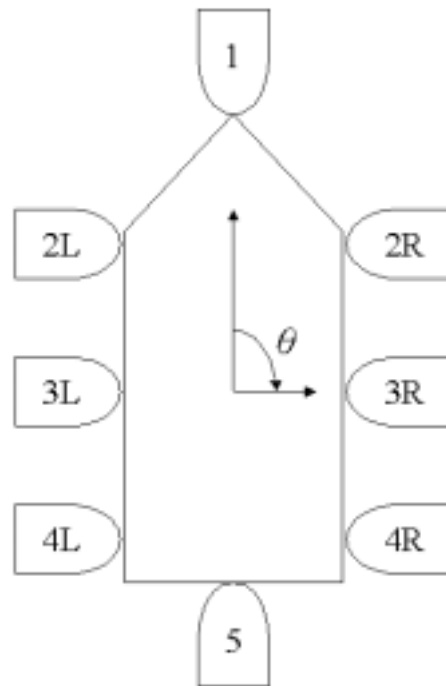


圖 4.7 拖船配置位置示意圖

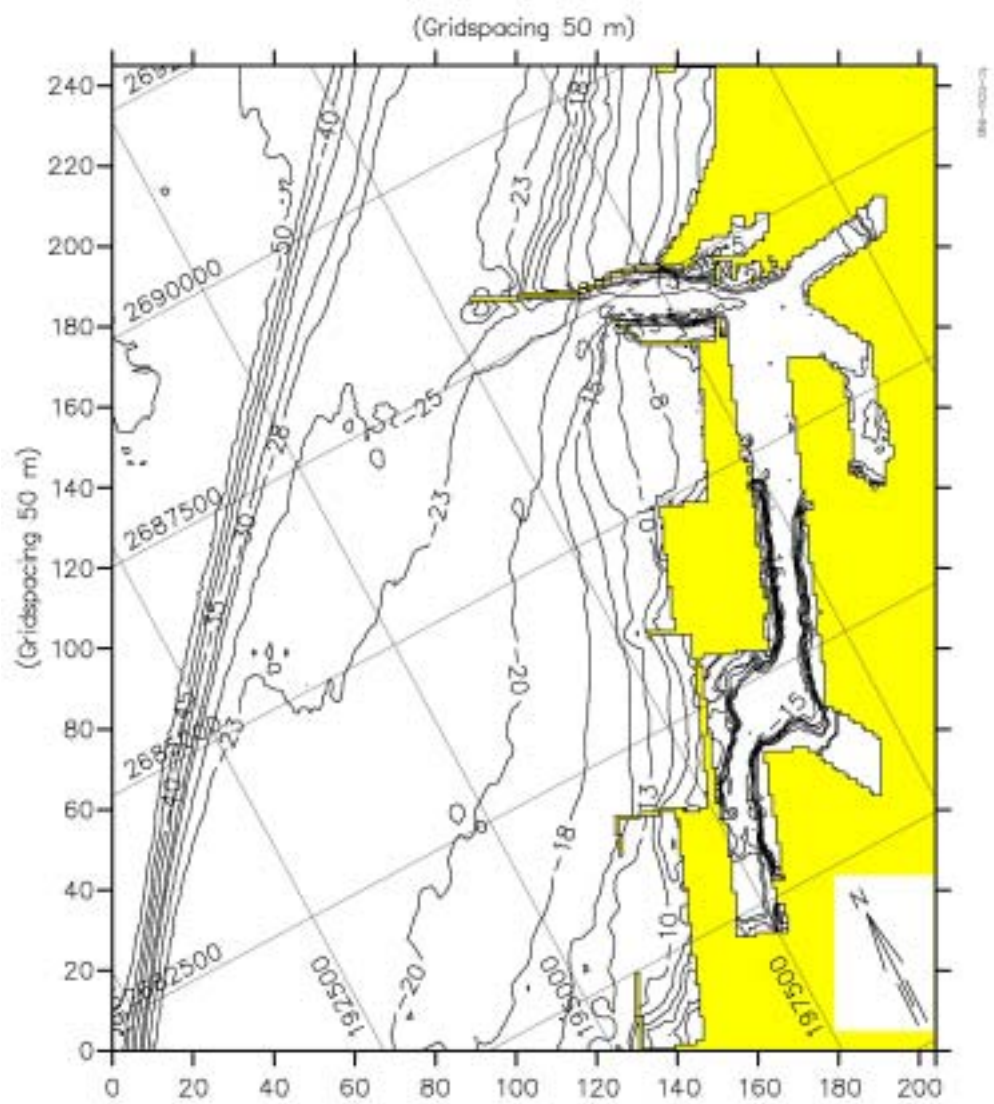


圖 4.8 台中港海域第二期擴建後水深地形

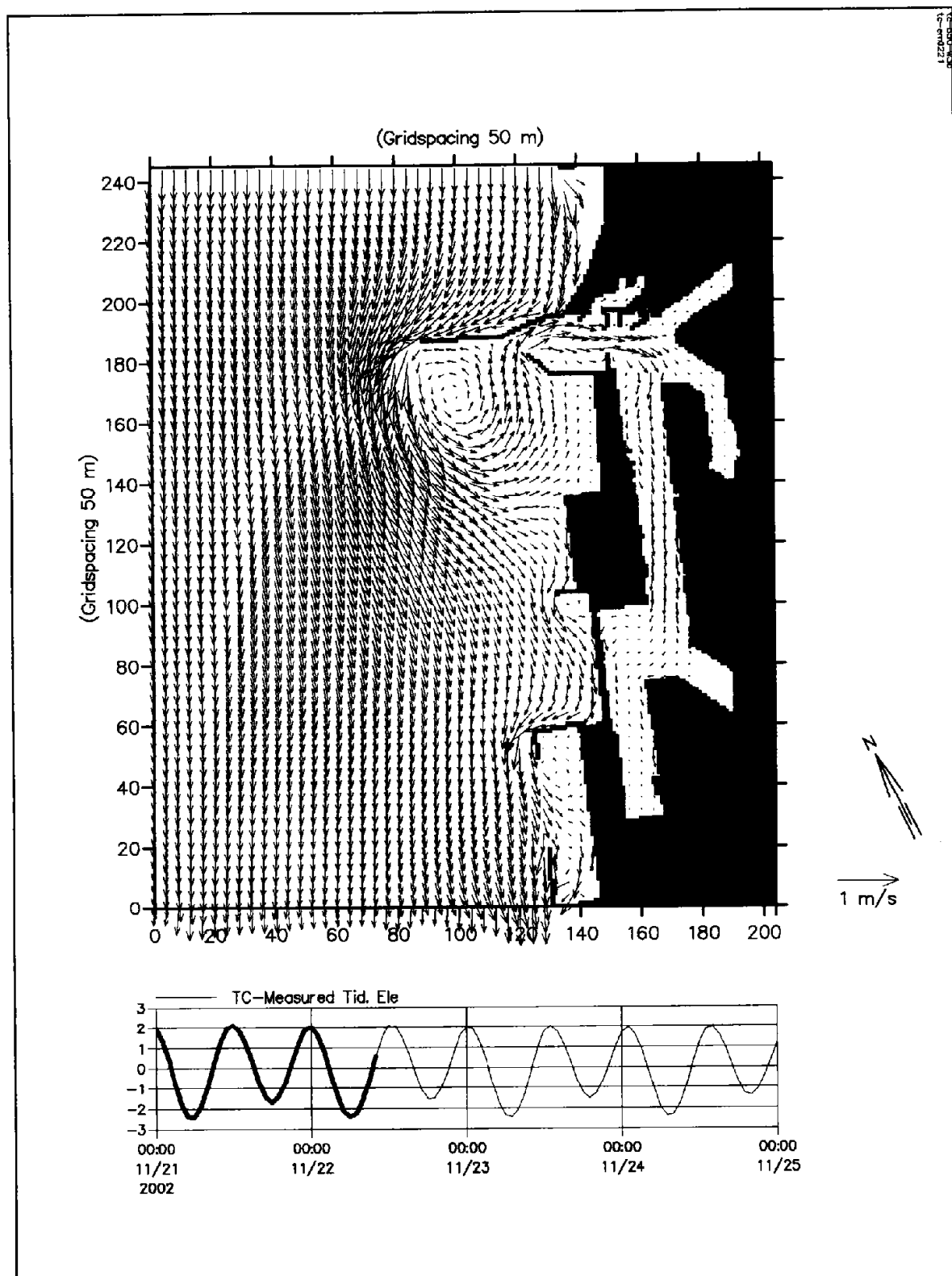


圖 4.9 漲潮流流場示意圖

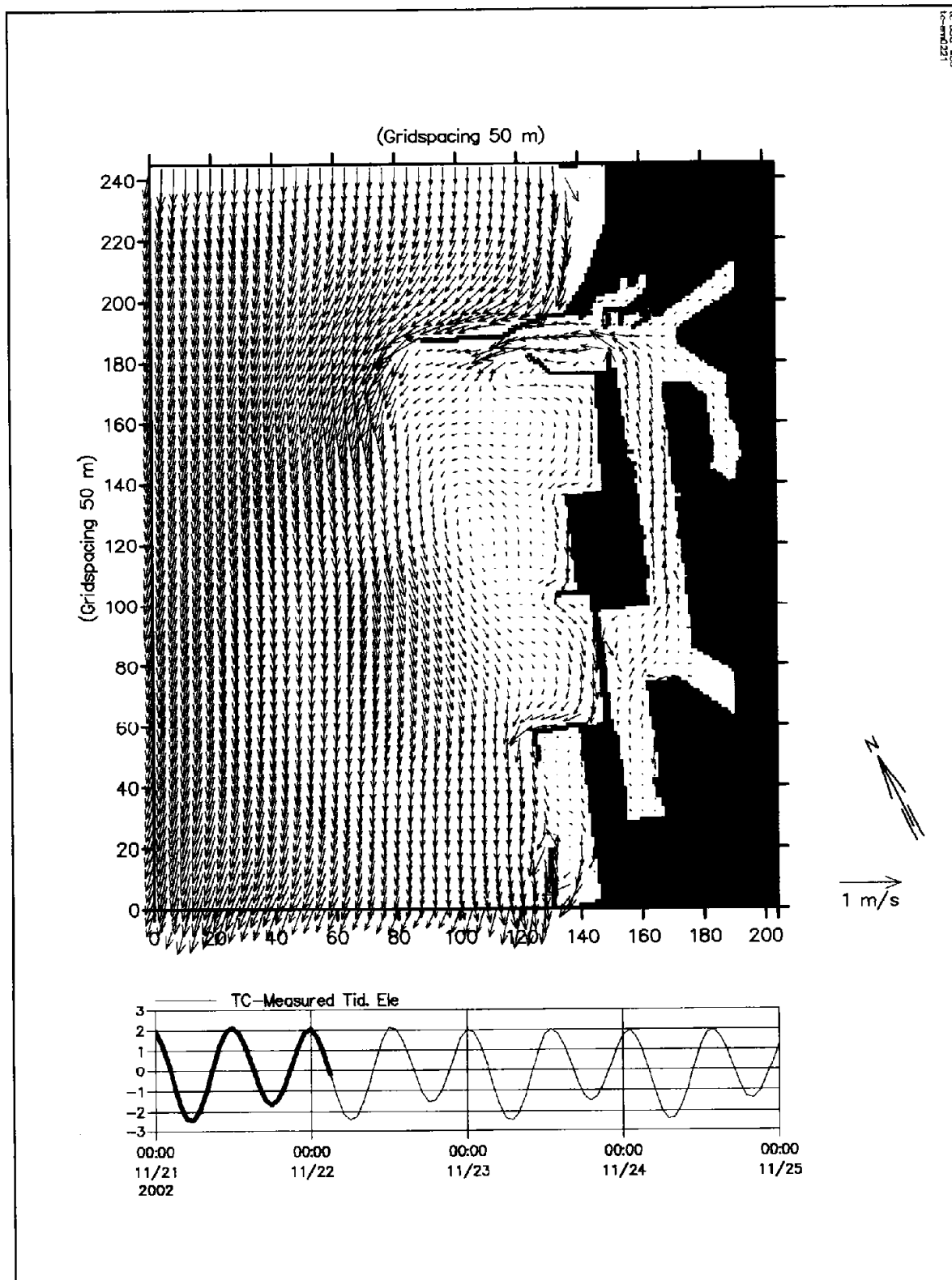


圖 4.10 退潮流流場示意圖

4.2 試驗計畫、過程及紀錄

4.2.1 操船試驗初始計畫

依據設定的條件安排各類船舶配合各種環境條件之操船試驗計畫。各類船舶進出港之操船試驗初始計畫如下：

1. 貨櫃船滿載進港

貨櫃船滿載進港模擬操船，自南外堤外 3 哩處錨地為起始點，航向 065 度，航速為零，逐漸加速進港，最後停靠於 10 號碼頭及 33 號碼頭。配置拖船二艘，拖帶位置由領港決定。此項操船模擬試驗次數最少 28 次，另有 2 次基準航次。風力條件為 15m/sec 及 20m/sec 兩種風速，潮位條件為漲潮後 3 小時及退潮後 3 小時兩種，海流條件對應風力及潮位而定，波浪條件分港外及港內分別設定波高及週期。操船之外在條件及操作次數如下表所示：

表 4.3 貨櫃船進港操船試驗計畫

起始點	停靠碼頭	風向 風速	潮位	波浪			操船次數	備註
				區域	波高(m)	週期(sec)		
港外	10 號	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
港外	10 號	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	4	
				港內	0.5	8.0		
港外	10 號	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		

港外	10 號	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	4	
				港內	0.5	8.0		
港外	10 號	無	無	無	無	無	1	基準 航次
港外	33 號	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
港外	33 號	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	4	
				港內	0.5	8.0		
港外	33 號	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
港外	33 號	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	4	
				港內	0.5	8.0		
港外	33 號	無	無	無	無	無	1	基準 航次

2. 貨櫃船滿載出港

貨櫃船滿載出港模擬操船，船舶由 10 號碼頭及 33 號碼頭駛離，航行至外堤口實驗結束。配置拖船二艘，拖帶位置由領港決定。起始航速為零，逐漸加速出港。此項操船模擬試驗次數最少 16 次，另有 2 次基準航次。風力條件為 15m/sec 及 20m/sec 兩種風速，潮位條件為漲潮後 3 小時及退潮後 3 小時兩種，海流條件對應風力及潮位而定，波浪條件分港外及港內分別設定波高及週期。操船之外在條件及操作次數如下表所示：

表 4.4 貨櫃船出港操船試驗計畫

駛離 碼頭	終止點	風向 風速	潮位	波浪			操船 次數	備註
				區域	波高 (m)	週期(sec)		
10 號	外堤口	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	2	
				港內	0.3	7.0		
10 號	外堤口	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	2	
				港內	0.5	8.0		
10 號	外堤口	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	2	
				港內	0.3	7.0		
10 號	外堤口	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	2	
				港內	0.5	8.0		
10 號	外堤口	無	無	無	無	無	1	基準 航次
33 號	外堤口	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	2	
				港內	0.3	7.0		
33 號	外堤口	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	2	
				港內	0.5	8.0		
33 號	外堤口	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	2	
				港內	0.3	7.0		
33 號	外堤口	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	2	
				港內	0.5	8.0		
33 號	外堤口	無	無	無	無	無	1	基準 航次

3.LNG 船滿載進港

LNG 船滿載進港模擬操船，自南外堤外 3 哩處錨地為起始點，航向 065 度，航速為零，逐漸加速進港，最後停靠於西 15 號碼頭。船舶通過外防波堤後，配置拖船二艘，拖帶位置由領港決定。此項操船模擬試驗次數最少 40 次，另有 1 次基準航次。風力條件為 15m/sec 及 20m/sec 兩種風速，潮位條件為漲潮後 3 小時及退潮後 3 小時兩種，海流條件對應風力及潮位而定，波浪條件分港外及港內分別設定波高及週期。操船之外在條件及操作次數如下表所示：

表 4.5 LNG 液化瓦斯船滿載進港操船試驗計畫

起始點	停靠碼頭	風向 風速	潮位	波浪			操船次數	備註
				區域	波高 (m)	週期(sec)		
港外	西 15 號	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	10	
				港內	0.3	7.0		
港外	西 15 號	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	10	
				港內	0.5	8.0		
港外	西 15 號	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	10	
				港內	0.3	7.0		
港外	西 15 號	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	10	
				港內	0.5	8.0		
港外	西 15 號	無	無	無	無	無	1	基準航次

4.LNG 液化瓦斯船滿載出港

LNG 液化瓦斯船滿載出港模擬操船，船舶由西 15 號碼頭駛離，航行至外堤口實驗結束。配置拖船二艘，拖帶位置由領港決定。起始航速為零，逐漸加速出港。此項操船模擬試驗次數最少 12 次，另有 1 次基準航次。風力條件為 15m/sec 及 20m/sec 兩種風速，潮位條件為漲潮後 3 小時及退潮後 3 小時兩種，海流條件對應風力及潮位而定，波浪條件分港外及港內分別設定波高及週期。操船之外在條件及操作次數如下表所示：

表 4.6 LNG 液化瓦斯船滿載出港操船試驗計畫

駛離 碼頭	終止 點	風向 風速	潮位	波浪			操船 次數	備註
				區域	波高 (m)	週期(sec)		
西 15 號	外堤 口	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
西 15 號	外堤 口	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	3	
				港內	0.5	8.0		
西 15 號	外堤 口	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
西 15 號	外堤 口	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	3	
				港內	0.5	8.0		
西 15 號	外堤 口	無	無	無	無	無	1	基準 航次

5.散裝貨船滿載進港

散裝貨船滿載進港模擬操船，起始點分為三種：自南外堤外 5 哩處啟航，航向 065 度，航速為零，逐漸加速進港；自外堤口啟航，航速為 9 節；自內堤口啟航，航速為 5 節。此項操船之船舶均停靠於 101 號碼頭。船舶配置拖船三艘，拖帶位置由領港決定。此項操船模擬試驗次數最少 44 次，另有 1 次基準航次。風力條件為 15m/sec 及 20m/sec 兩種風速，潮位條件為漲潮後 3 小時及退潮後 3 小時兩種，海流條件對應風力及潮位而定，波浪條件分港外及港內分別設定波高及週期。操船之外在條件及操作次數如下表所示：

表 4.7 散裝貨船滿載進港操船試驗計畫

起始點	停靠碼頭	風向 風速	潮位	波浪			操船 次數	備註
				區域	波高 (m)	週期(sec)		
港外	101 號	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	5	
				港內	0.3	7.0		
港外	101 號	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	6	
				港內	0.5	8.0		
港外	101 號	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	5	
				港內	0.3	7.0		
港外	101 號	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	6	
				港內	0.5	8.0		
港外	101 號	無	無	無	無	無	1	基準 航次

外堤口	101 號	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	2	
				港內	0.3	7.0		
外堤口	101 號	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	3	
				港內	0.5	8.0		
外堤口	101 號	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	2	
				港內	0.3	7.0		
外堤口	101 號	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	3	
				港內	0.5	8.0		
內堤口	101 號	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
內堤口	101 號	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	3	
				港內	0.5	8.0		
內堤口	101 號	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
內堤口	101 號	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	3	
				港內	0.5	8.0		

6. 散裝貨船空載出港

散裝貨船空載出港模擬操船，船舶由 101 號碼頭駛離，航行至外堤口實驗結束。配置拖船三艘，拖帶位置由領港決定。起始航速為零，逐漸加速出港。此項操船模擬試驗次數最少 12 次，另有 1 次基準航次。風力條件為 15m/sec 及 20m/sec 兩種風速，潮位條件為漲潮後 3 小時及退潮後 3 小時兩種，海流條件對應風力及潮位而定，波浪條件分港外及港內分別設定波高及週期。操船之外在條件及操作次數如下表所示：

表 4.8 散裝貨船滿載出港操船試驗計畫

駛離 碼頭	終止點	風向 風速	潮位	波浪			操船 次數	備註
				區域	波高 (m)	週期(sec)		
101 號	外堤口	NNE 15	漲潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
101 號	外堤口	NNE 20	漲潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	3	
				港內	0.5	8.0		
101 號	外堤口	NNE 15	退潮後 3 小時	港外	2.0	7.0	3	
				港內	0.3	7.0		
101 號	外堤口	NNE 20	退潮後 3 小時	港外	3.0	8.0	3	
				港內	0.5	8.0		
101 號	外堤口	無	無	無	無	無	1	基準 航次

4.2.2 操船試驗過程

本研究中首先建立航行環境與本船模式，隨後安排台中港領港擔任操船者進行操船試驗。並紀錄每一次試驗資料以進行統計分析，即可得知操船的困難度，並進而評估其安全性。並在每一次試驗後紀錄操船者之意見以進行相關分析。本研究試驗的過程步驟如下：

1. 建立與設定操船環境條件

根據設定建立地形、風、流之相關模組，建置與驗證本船模式。

2.安排操船試驗計畫時程

根據操船試驗計畫安排台中領港操船試驗日期，且為讓每一個領港具有相當的獨立性，每人僅操船兩工作天，第一個工作天操作貨櫃船及 LNG 船，第二个工作天操作散裝船，每種環境僅操作一次。本研究於八月四日開始真時操船模擬試驗，於九月十日完成所有試驗。

3.進行真時操船試驗

於每日開始操船試驗前，首先介紹領港認識操船模擬機之特性以熟悉其操作環境，並說明本日操船計畫，以及相關配合事項，如拖船之配置等，隨後進行操船試驗。在每一次操船試驗結束後，請領港針對此一試驗過程寫下操船心得以供參考。

4.試驗紀錄之整理與分析

於每一次試驗完成後，除紀錄領港相關意見外，於操船模擬機中並存有每一個試驗過程中本船運動的數據檔案，包括：船位、航向、船速、舵角、迴轉率、車速、拖船施力及方向等。本研究則依據紀錄檔案，利用統計的方法配合相關參考點與閘線，求取相關資料以分析其間之相關性與差異性，藉此找出各種航行問題與改善方案。

4.2.3 操船試驗條件變更

操船過程中因考量台中港天候對船舶航行的影響特性，經與台中領港討論，操船試驗的條件陸續作下列各項的變更：

1. 8 月 8 日將進港操船試驗的起始點，改為北堤指向燈方向 245 度，距離 1.68 浬處。拖船的備便艘數皆為四艘，拖帶位置由領港決定。

2. 8月15日將原先設定之滿載貨櫃船進出港操船試驗改為半載貨櫃船進行。
3. 8月15日將LNG船試驗中原先設定之20m/sec風速，改為10m/sec繼續操演。
4. 8月30日將散裝船進港靠泊試驗中的起航點改變為兩處，一為北堤指向燈方向245度距離1.68浬處，另一個為西15號碼頭旁之航道中央。
5. 8月30日將散裝船進港靠泊操船方式變更為：101號碼頭直靠、南迴旋池掉頭靠泊、101號碼頭旁掉頭靠泊、104號碼頭旁掉頭靠泊等四種，出港也變更為直接出港與101號碼頭旁掉頭出港兩種。

4.2.4 成功與失敗判定標準

關於操船試驗成功或失敗之判定，係以操船模擬機之環境設定值作為基準。船舶進靠台中港時，可能發生之航行危機包括：觸撞防波堤、觸撞碼頭、碰撞碼頭旁靠泊之船舶、船位超出航道擱淺等。由於進港時，航道內已保持淨空，沒有其他船舶在航行或移動，因此不可能發生進港船與航行中之船舶發生碰撞。雖然如此，但為符合實際情況，本試驗在31、34、99等碼頭安置停靠船舶，散裝船操船試驗時，西15號碼頭再安置一艘LNG船。因此，試驗用之本船在進出航行或靠泊時，船體任何部位與港口設施或船舶發生接觸，或因水深不足而觸底，操船模擬機即會自動停止操演，並顯示碰撞或擱淺訊息，操演即算失敗。如果試驗中，操船模擬機沒有上述顯示訊息，船舶接近指定船席約一個船寬，且船舶接近停止狀態，即算進靠成功；或者船舶安全駛出外堤口，即算出港成功。

4.2.5 試驗紀錄

根據排定及修正之操航試驗計劃，本研究共進行 247 次的有效操船試驗，其中，台中港領港操船 198 次，海洋大學具有船長資歷之教師操船 49 次，除去無風無流之基準操船次數 9 次，共計操船 238 次（進港靠泊 195 次、出港 52 次）包括貨櫃船進靠 10 號碼頭 17 次、貨櫃船進靠 33 號碼頭 20 次、貨櫃船自 10 號碼頭出港 8 次、貨櫃船自 33 號碼頭出港 12 次、LNG 船進靠西 15 號碼頭 62 次、LNG 船自西 15 號碼頭出港 14 次、散裝船進靠 101 號碼頭 61 次、散裝船航行至南迴船池 35 次與散裝船自 101 號碼頭出港 18 次，詳細的操演次數統計如表 4.9~表 4.17 所示。

表 4.9 貨櫃船進靠 10 號碼頭試驗次數統計表

進出港	起迄點	風向 風速	潮位	應操船 次數	已操船 次數	成功 次數	成功 比率	失敗編號與結果
進港	港外 10 號	NNE 15	漲潮	3	4	3	75%	003(撞 28 號碼頭)
		NNE 20	漲潮	4	5	4	80%	008(撞 12 號碼頭)
		NNE 15	退潮	3	4	3	75%	010(撞北內堤頭)
		NNE 20	退潮	4	4	3	75%	014(撞北堤)
		無	無	1	1	1	100%	
總計 (不含無風無流次數)				14	17	13	76.47%	

表 4.10 貨櫃船自 10 碼頭出港試驗次數統計表

進 出 港	起迄 點	風向 風速	潮位	應操 船 次數	已操 船 次數	成功 次數	成功 比率	失敗編號與結果
出 港	10 號 外堤 口	NNE 15	漲潮	2	2	2	100%	
		NNE 20	漲潮	2	2	2	100%	
		NNE 15	退潮	2	2	2	100%	
		NNE 20	退潮	2	2	2	100%	
		無	無	1	1	1	100%	
總計 (不含無風無流次數)				8	8	8	100%	

表 4.11 貨櫃船靠 33 碼頭進港試驗次數統計表

進 出 港	起迄 點	風向 風速	潮位	應操 船 次數	已操 船 次數	成功 次數	成功 比率	失敗編號與結果
進 港	港外 33 號	NNE 15	漲潮	3	4	2	50%	019(撞 29 號碼頭) 020(撞 29 號碼頭)
		NNE 20	漲潮	4	7	4	57.1%	023(撞 29 號碼頭) 026(撞 29 號碼頭) 028(撞 29 號碼頭)
		NNE 15	退潮	3	4	4	100%	
		NNE 20	退潮	4	5	4	80%	036(撞 29 號碼頭)
		無	無	1	1	1	100%	
		總計 (不含無風無流次數)				14	20	14

表 4.12 貨櫃船自 33 碼頭出港試驗次數統計表

進 出 港	起迄 點	風向 風速	潮位	應操 船 次數	已操 船 次數	成功 次數	成功 比率	失敗編號與結果
出 港	33 號 外堤 口	NNE 15	漲潮	2	3	3	100%	
		NNE 20	漲潮	2	5	3	60%	053(撞北內堤) 054(撞工作船渠)
		NNE 15	退潮	2	2	2	100%	
		NNE 20	退潮	2	2	2	100%	
		無	無	1	2	1	50%	061(撞北內堤)
總計 (不含無風無流次數)				8	12	10	83.33%	

表 4.13 LNG 液化瓦斯船進港試驗次數統計表

進 出 港	起迄 點	風向 風速	潮位	應操 船 次數	已操 船 次數	成功 次數	成功 比率	失敗編號與結果
進 港	港外 西 15 號	NNE 10	漲潮		11	10	90.9%	066(撞 29 號碼頭)
		NNE 15	漲潮	10	12	9	75%	076(撞 29 號碼頭) 079(撞 29 號碼頭) 083(撞 29 號碼頭)
		NNE 20	漲潮	10	8	5	62.5%	088(撞 29 號碼頭) 091(撞西 5 號碼頭) 093(撞 29 號碼頭)
		NNE 10	退潮		11	9	81.8%	097(撞北外堤) 101(撞北外堤)
		NNE 15	退潮	10	12	10	83.3%	109(撞 35 號碼頭) 112(撞 29 號碼頭)
		NNE 20	退潮	10	8	5	62.5%	117(撞 29 號碼頭) 119(撞漁港堤頭) 123(撞西 5 號碼頭)
		無	無	1	1	1	100%	
		總計 (不含無風無流次數)				40	62	48
總計(不含風速 20m/s)					46	38	82.61%	

表 4.14 LNG 液化瓦斯船出港試驗次數統計表

進 出 港	起迄 點	風向 風速	潮位	應操 船 次數	已操 船 次數	成功 次數	成功 比率	失敗編號與結果
出 港	西 15 號 碼頭 外堤 口	NNE 10	漲潮		2	1	50%	126(撞工作船渠)
		NNE 15	漲潮	3	3	3	100%	
		NNE 20	漲潮	3	2	2	100%	
		NNE 10	退潮		2	1	50%	133(撞工作船渠)
		NNE 15	退潮	3	3	3	100%	
		NNE 20	退潮	3	2	2	100%	
		無	無	1	1	1	100%	
		總計 (不含無風無流次數)				12	14	12

表 4.15 散裝船進港試驗次數統計表

起迄點	風向 風速	潮位	應操船 次數	已操船 次數	成功 次數	成功率	失敗編號與結果
港外 南迴船 池	NNE 15	漲潮	5	9	9	100%	
	NNE 20	漲潮	6	10	10	100%	
	NNE 15	退潮	5	6	6	100%	
	NNE 20	退潮	6	10	8	80%	192(撞北外堤) 195(撞北外堤)
	無	無	1	1	1	100%	
總計 (不含無風無流次數)			22	35	33	94.29%	

表 4.16 散裝船靠泊試驗次數統計表

起迄點	風向 風速	潮位	應 操 船 數	靠泊 方式	已操 船數	成功 次數	成功率	失敗編號與結果
西 15 號 碼頭 101 號 碼頭	NNE 15	漲 潮	5	直靠	3	3	100%	
				101 碼頭掉頭	5	5	100%	
				104 碼頭掉頭	2	2	100%	
				南迴船池掉頭	3	3	100%	
	NNE 20	漲 潮	6	直靠	5	4	80%	157(撞 99 號碼頭 船舶)
				101 碼頭掉頭	5	2	40%	154(撞 99 號碼頭 船舶) 155(撞 99 號碼頭 船舶) 166(撞 99 號碼頭 船舶)
				104 碼頭掉頭	5	4	80%	163(撞 99 號碼頭 船舶)
				南迴船池掉頭	5	5	100%	
	NNE 15	退 潮	5	直靠	2	2	100%	
				101 碼頭掉頭	3	3	100%	
				104 碼頭掉頭	2	2	100%	
				南迴船池掉頭	4	4	100%	
	NNE 20	退 潮	6	直靠	2	1	50%	197(撞 99 號碼頭 船舶)
				101 碼頭掉頭	4	4	100%	
				104 碼頭掉頭	4	2	50%	191(航道外擱淺) 193(撞 98 號碼 頭)
				南迴船池掉頭	7	6	85.7%	187(撞 104 號碼 頭)
總計(不含無風無流次數)					61	52	85.25%	

表 4.17 散裝船出港試驗次數統計表

進 出 港	風向 風 速	潮 位	應操 船 數	離開方式	已操 船數	成功 次數	成功率	失敗編號與 結果
出 港	NNE 15	漲 潮	3	順出港 (至港外)	1	1	100%	
				掉頭出港	5	5	100%	
	NNE 20	漲 潮	3	順出港 (至港外)	1	1	100%	
				掉頭出港	2	2	100%	
	NNE 15	退 潮	3	順出港 (至港外)	1	1	100%	
				掉頭出港	3	3	100%	
	NNE 20	退 潮	3	順出港 (至港外)	2	2	100%	
				掉頭出港 (至南迴船 池或港外)	3	3	100%	
	無	無	1	順出港	1	1	100%	
	總計(不含無風無流次數)				18	18	100%	

由以上各表之統計數據顯示，進港試驗中，貨櫃船靠泊 10 號碼頭之成功率 70.0%最低，其次則為貨櫃船靠泊 33 號碼頭之 76.47%；LNG 船若不計風速 20m/sec 之試驗，成功率為 82.61%，若含風速 20m/sec，則成功率降為 77.24%；散裝船

進港航行之成功率為 94.29%，靠泊 101 碼頭之成功率則為 85.25%。如以失敗之地點來區分，貨櫃船及 LNG 船主要失敗在北迴船池轉入煤輪航道，少部分發生在主航道口至內堤及掉頭靠泊；散裝船則以船舶掉頭靠泊失敗情形最多，少部分發生在主航道口。出港之 LNG 船及散裝船均是發生在北迴船池轉入主航道之前。

表 4.18 試驗失敗之地點及操船次數

船型	靠泊碼頭	失敗地點			
		主航道口	主航道內	轉入煤輪 航道	掉頭靠泊
貨櫃船	10 號碼頭	1	1	0	2
貨櫃船	33 號碼頭	0	0	6	0
LNG	西 15 號碼頭	2	1	10	1
散裝船	101 號碼頭	2	0	0	9

操船試驗之各類型船舶航跡圖、成功操船平均航跡及標準差圖如圖 4.11 至圖 4.26 所示，詳細的各個操船試驗之軌跡、船舶資料與拖船使用資料則請參考附錄。附錄中的船舶航跡，以一分鐘為一個船位紀錄顯示，船舶資料中的各項資料分別為船艏向（Heading）、迴轉率（Rate of Turn 正為向右轉，負為向左轉）、船速（Speed）、舵角（Rudder Angle 正為右舵，負為左舵）與車令轉數（EOT）。拖船資料中，以配置位置為基準進行紀錄，其中，「%Power」：為拖船出力百分比、「Direction」：出力方向（以船首為零度）。

1.貨櫃船進出 10 號碼頭

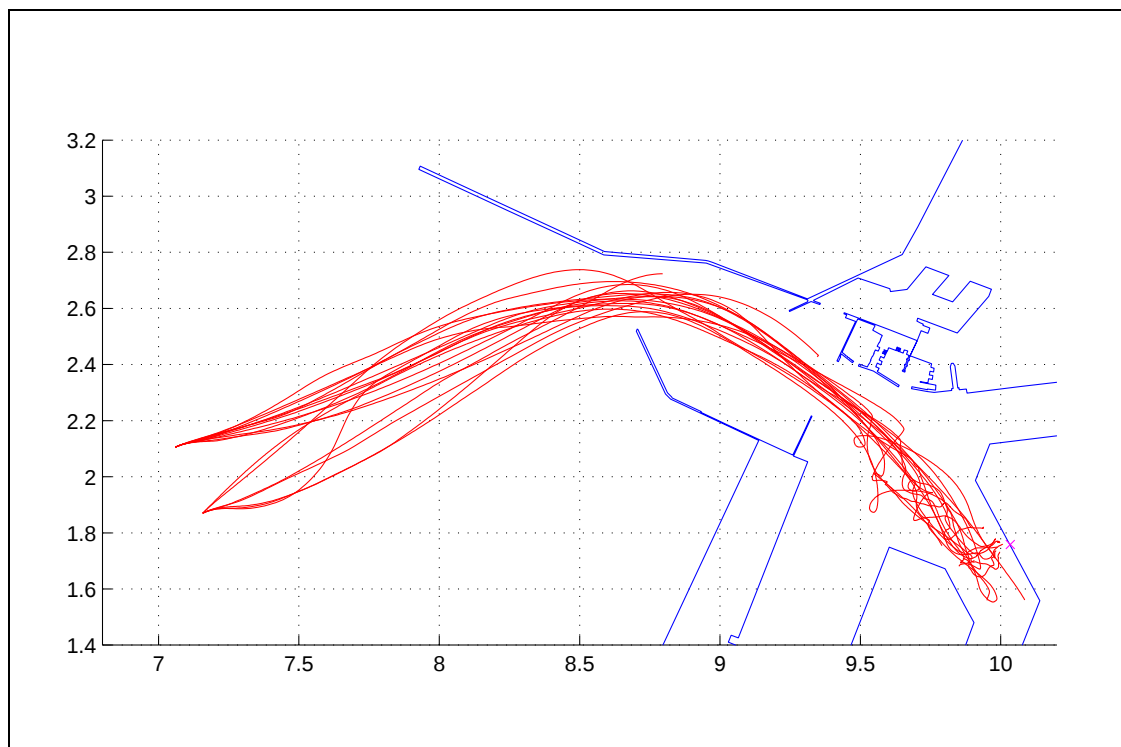


圖 4.11 貨櫃船進港停泊 10 號碼頭之全部航跡圖

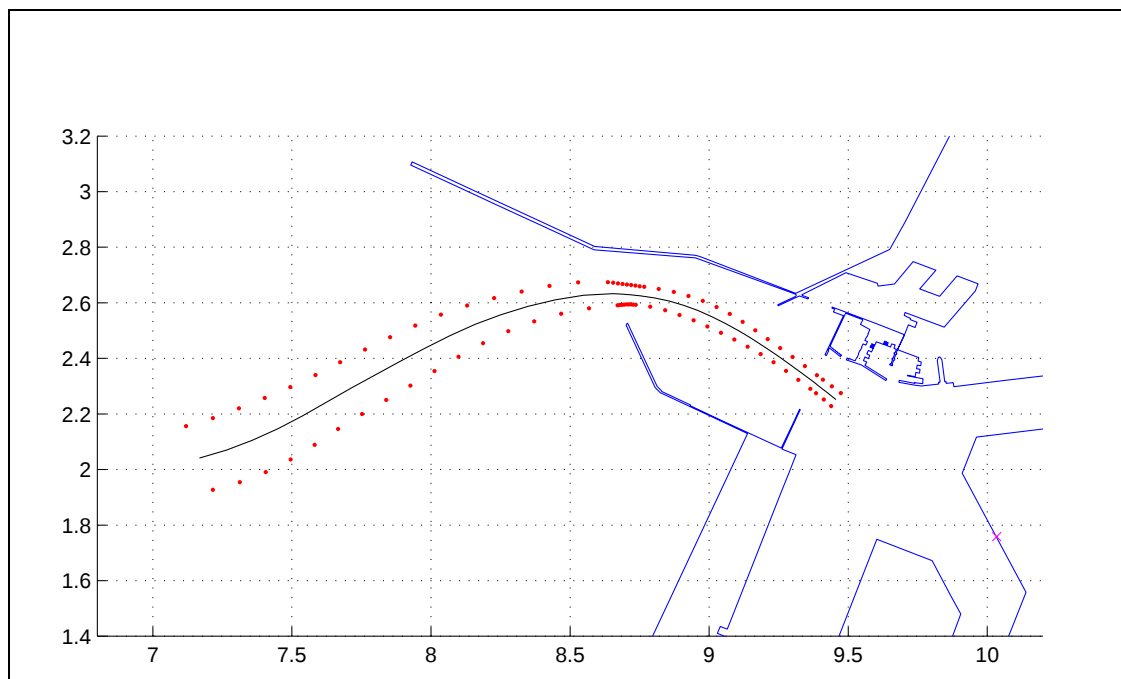


圖 4.12 貨櫃船進港停泊 10 號碼頭之成功案例平均航跡圖

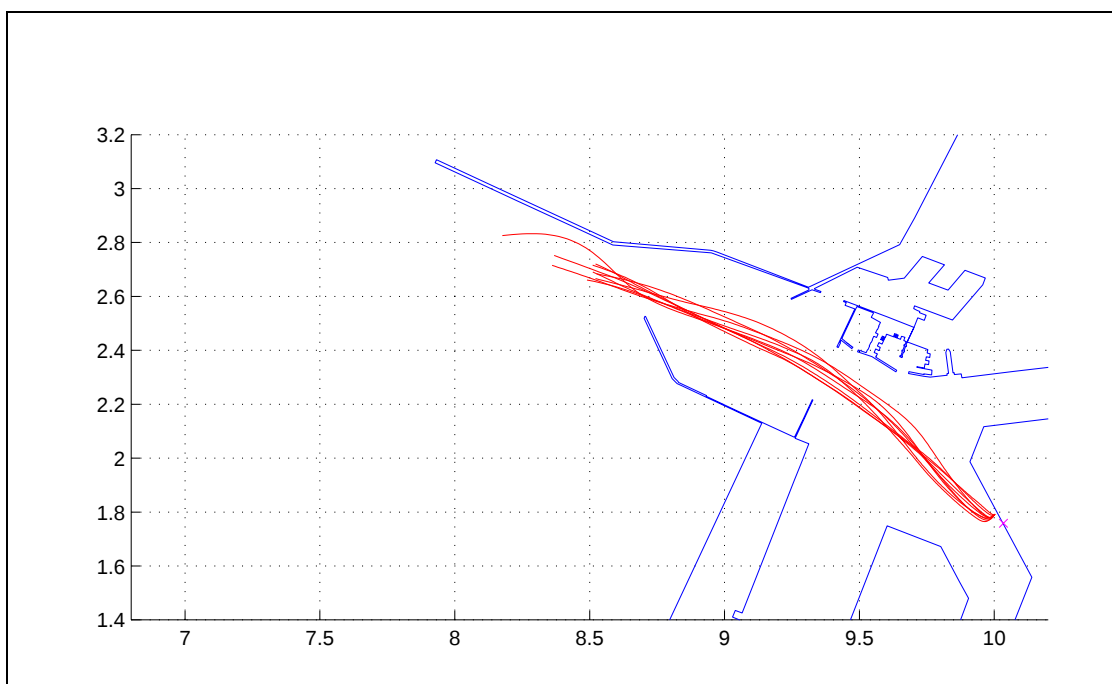


圖 4.13 貨櫃船自 10 號碼頭出港之全部航跡圖

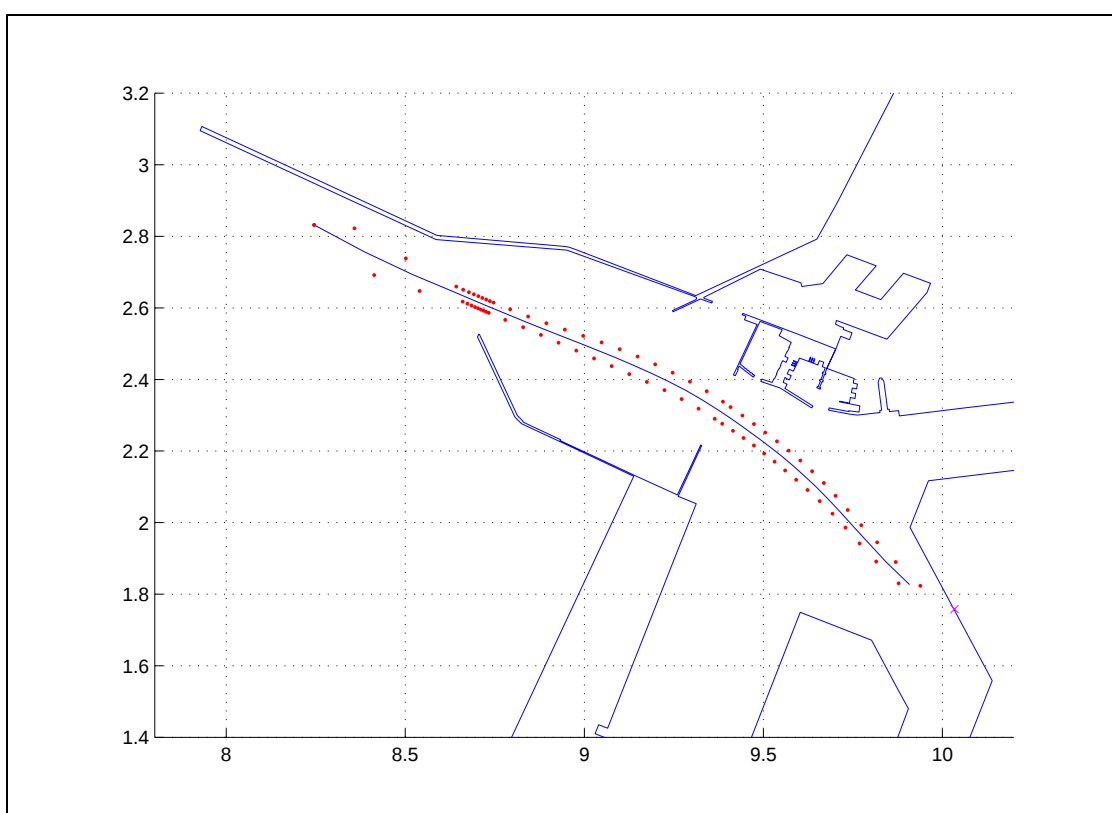


圖 4.14 貨櫃船自 10 號碼頭出港之成功案例平均航跡圖

2. 貨櫃船進出 33 號碼頭

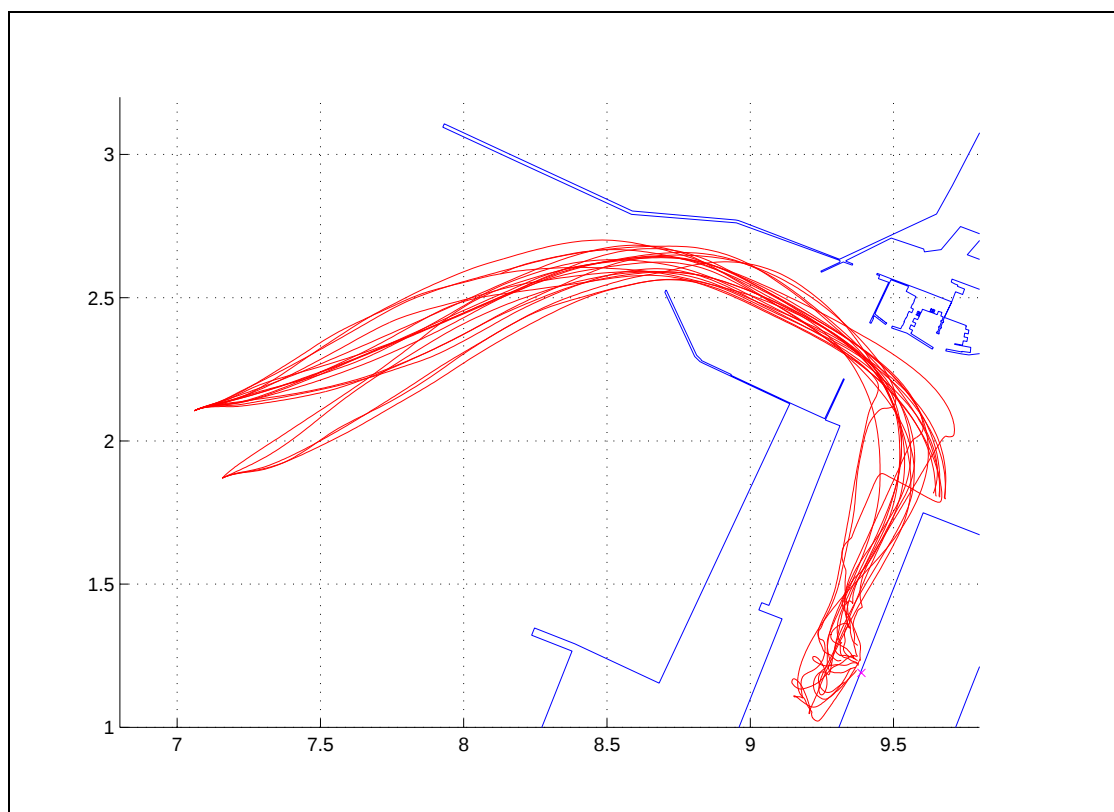


圖 4.15 貨櫃船進港停泊 33 號碼頭之全部航跡圖

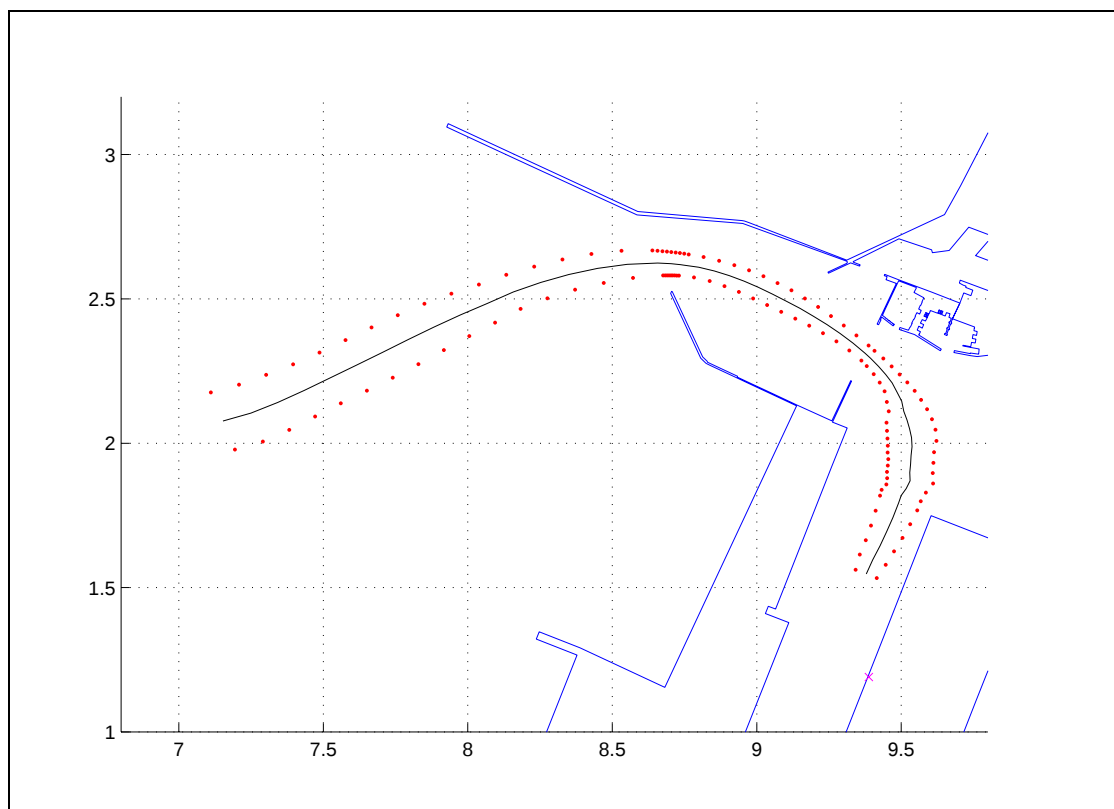


圖 4.16 貨櫃船進港停泊 33 號碼頭之成功案例平均航跡圖

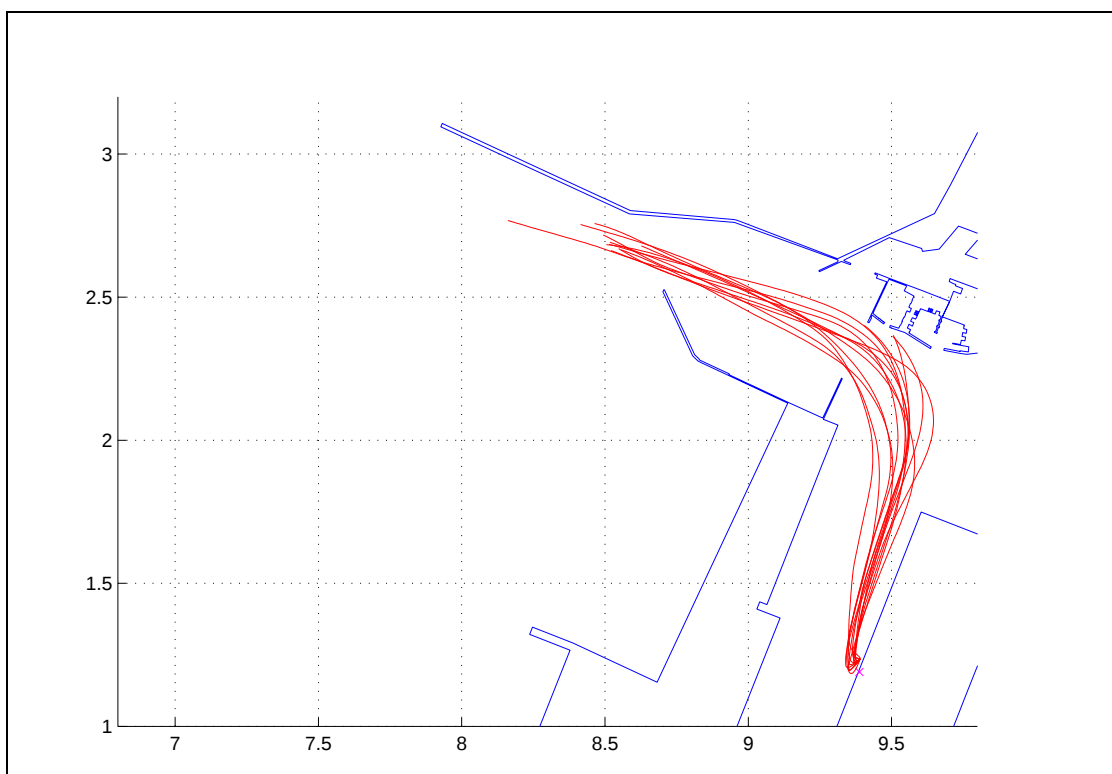


圖 4.17 貨櫃船自 33 號碼頭出港之全部航跡圖

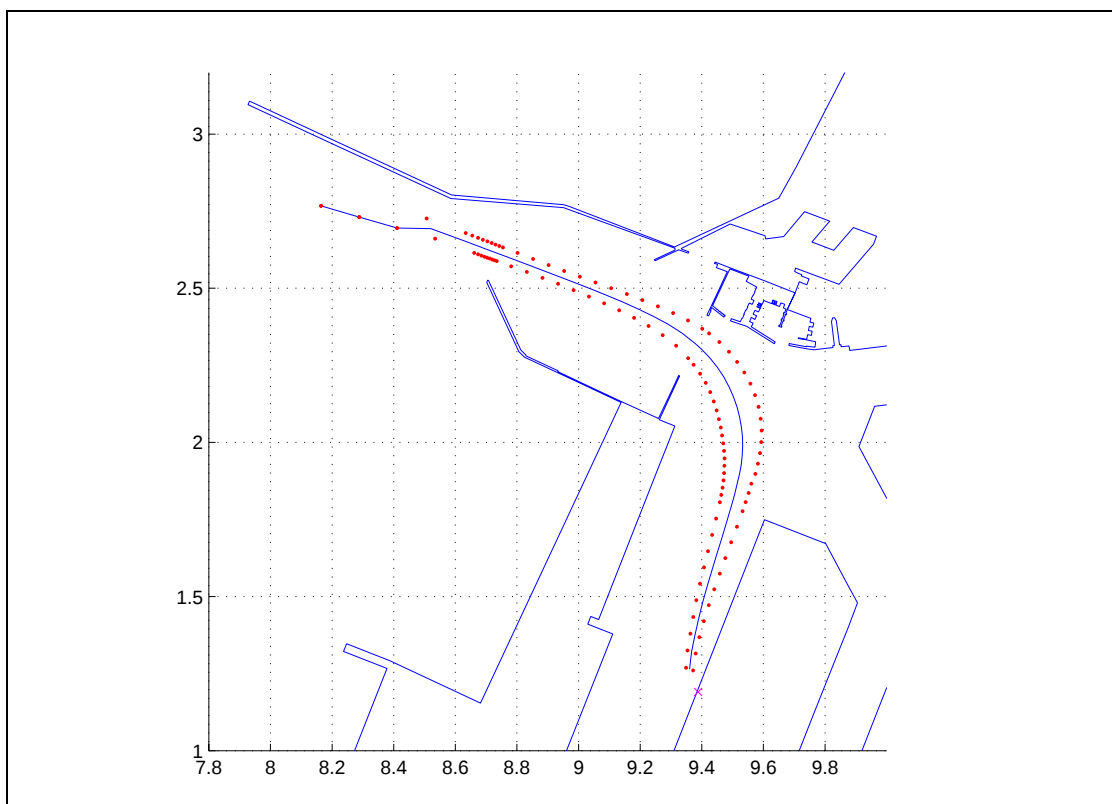


圖 4.18 貨櫃船自 33 號碼頭出港之成功案例平均航跡圖

3.LNG 船進出西 15 號碼頭

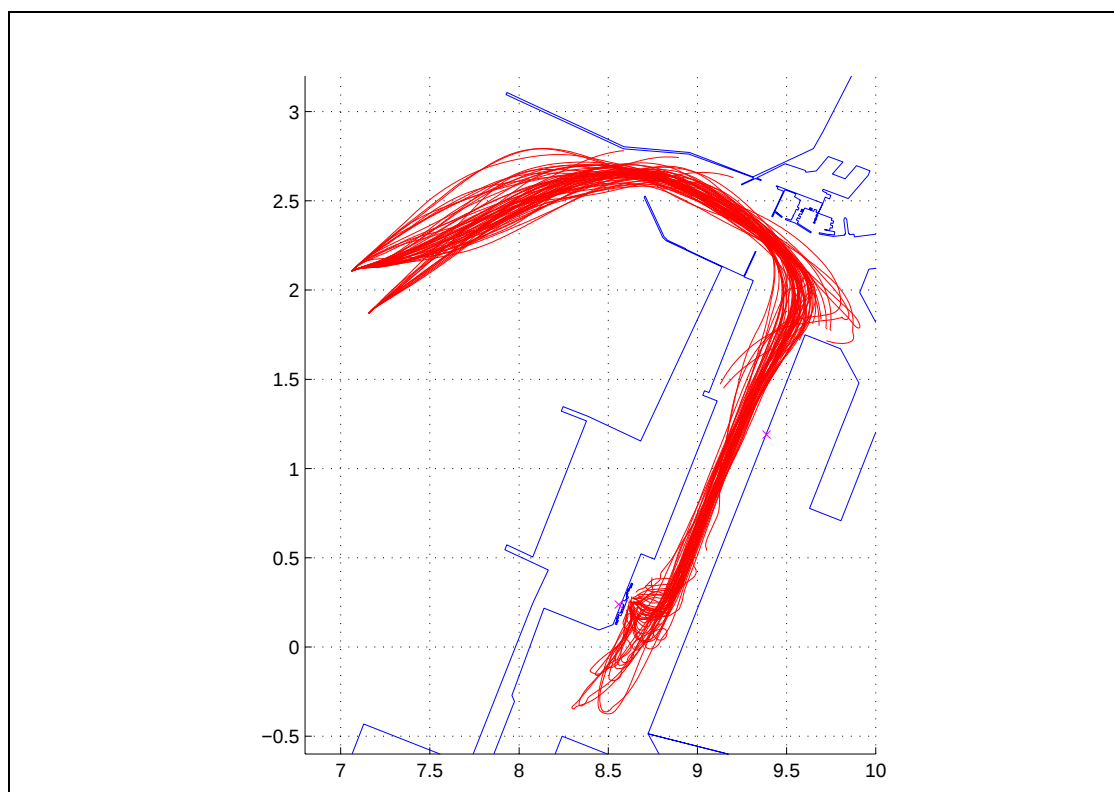


圖 4.19 LNG 船進港停泊西 15 號碼頭之全部航跡圖

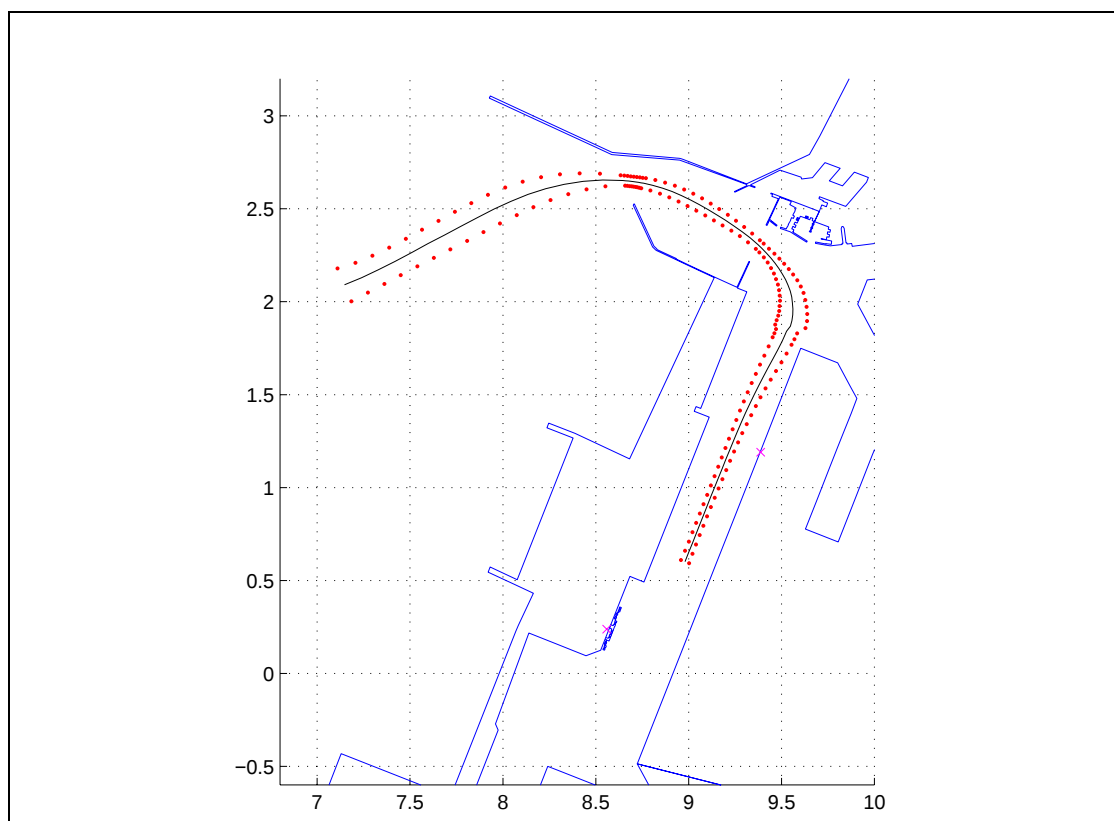


圖 4.20 LNG 船進港停泊西 15 號碼頭之成功案例平均航跡圖

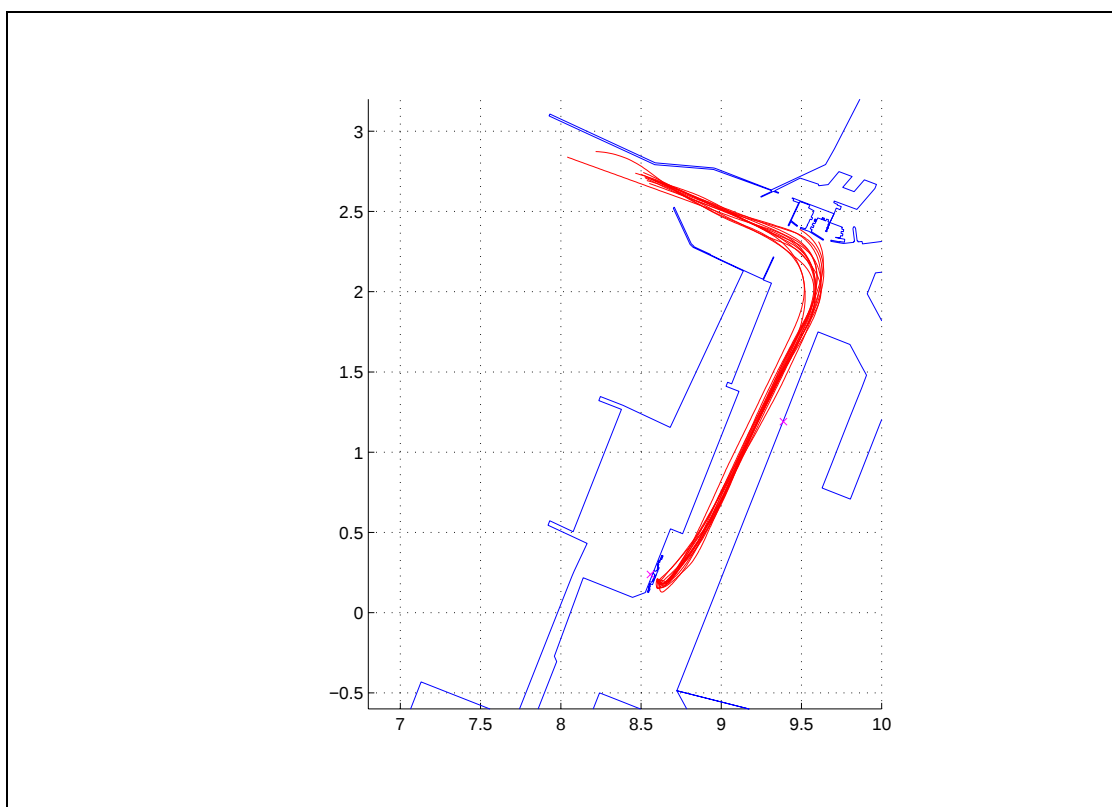


圖 4.21 LNG 船自西 15 號碼頭出港之全部航跡圖

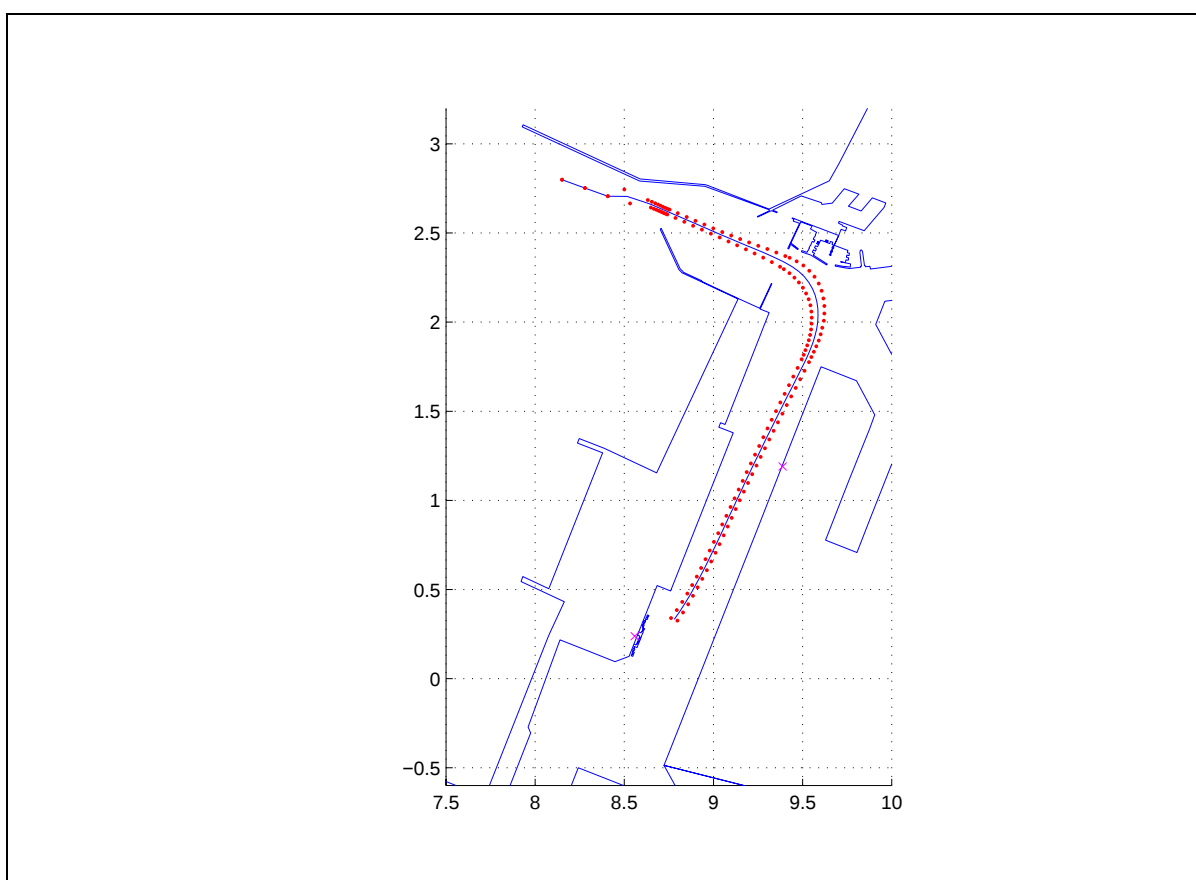


圖 4.22 LNG 船自西 15 號碼頭出港之成功案例平均航跡圖

4.散裝船進出 101 號碼頭

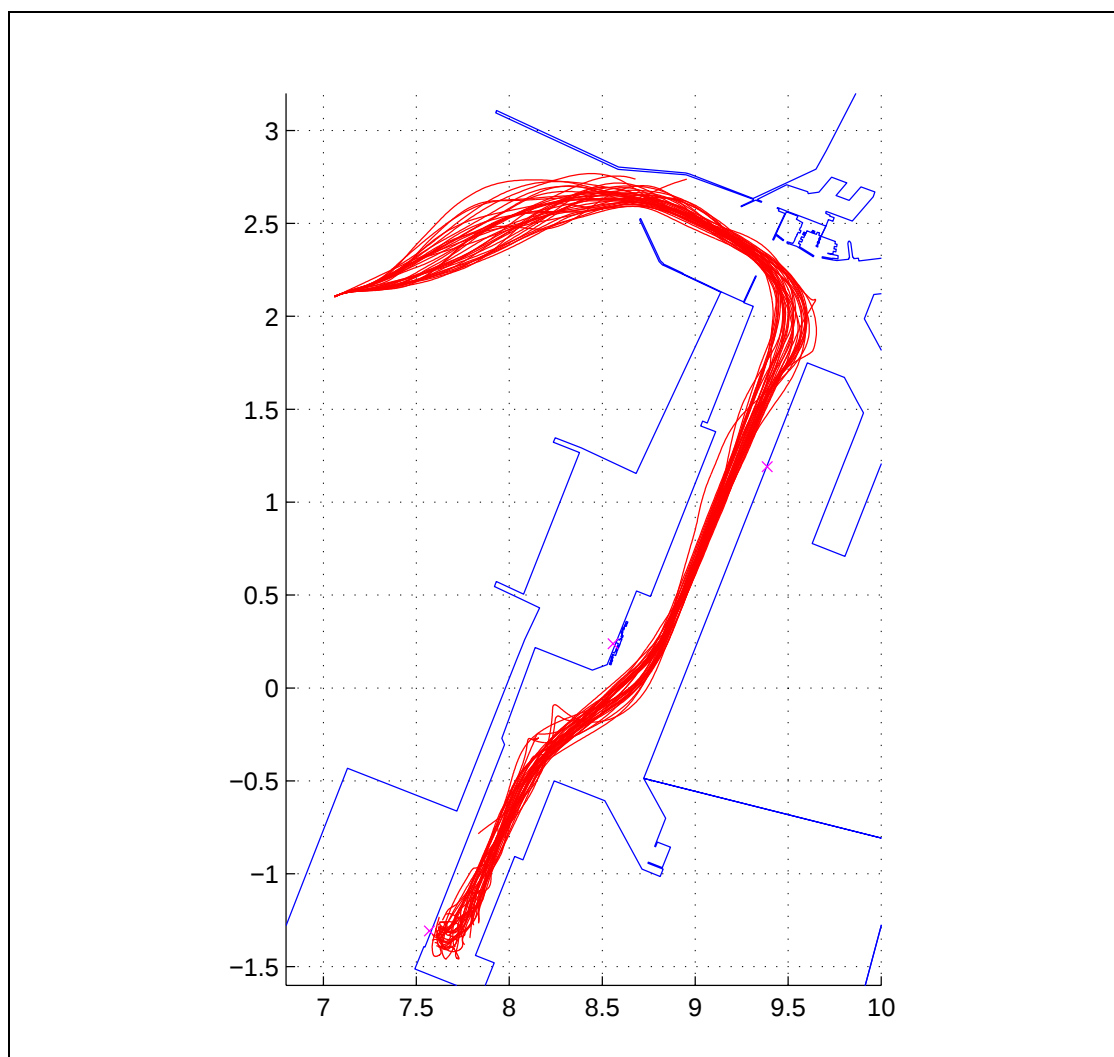


圖 4.23 散裝船進港停泊 101 號碼頭之全部航跡圖

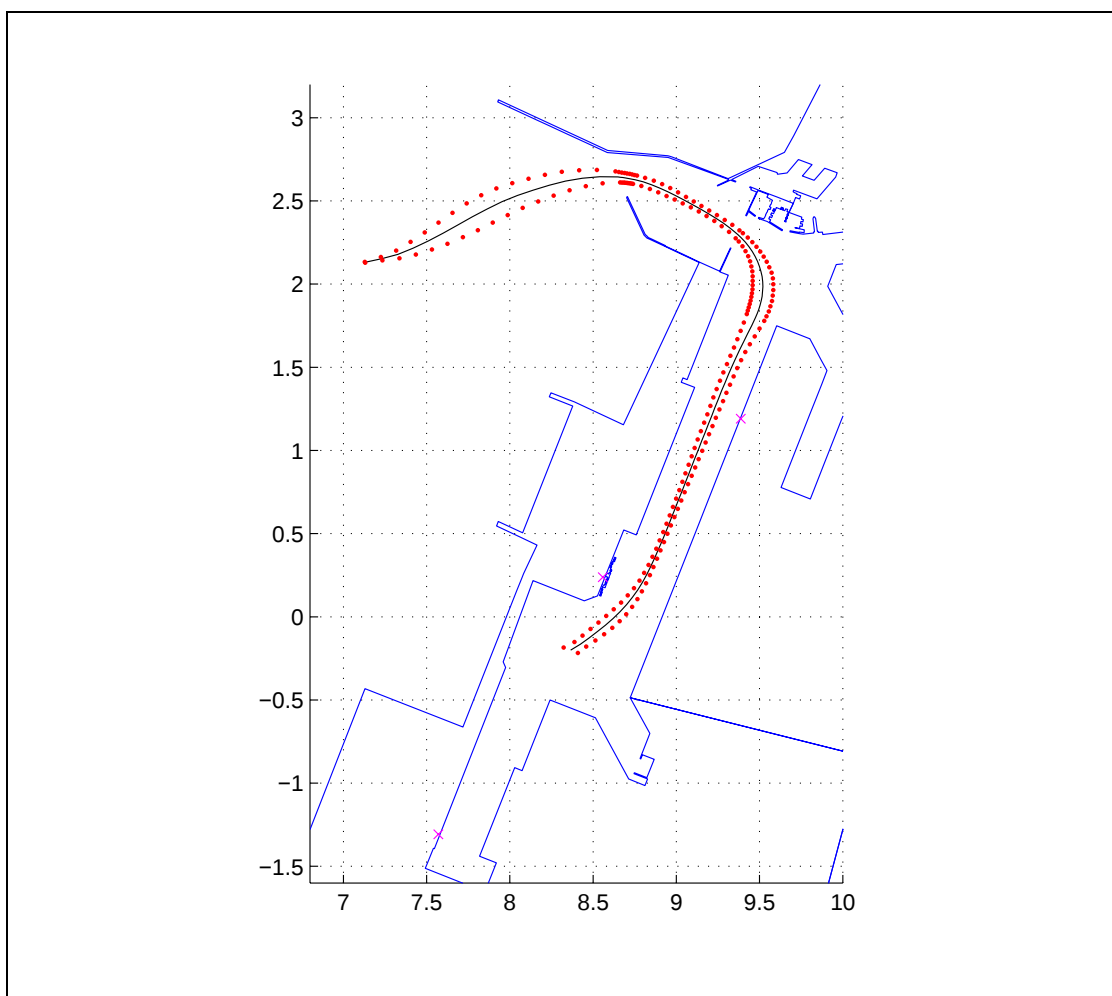


圖 4.24 散裝船進港停泊 101 號碼頭之成功案例平均航跡圖

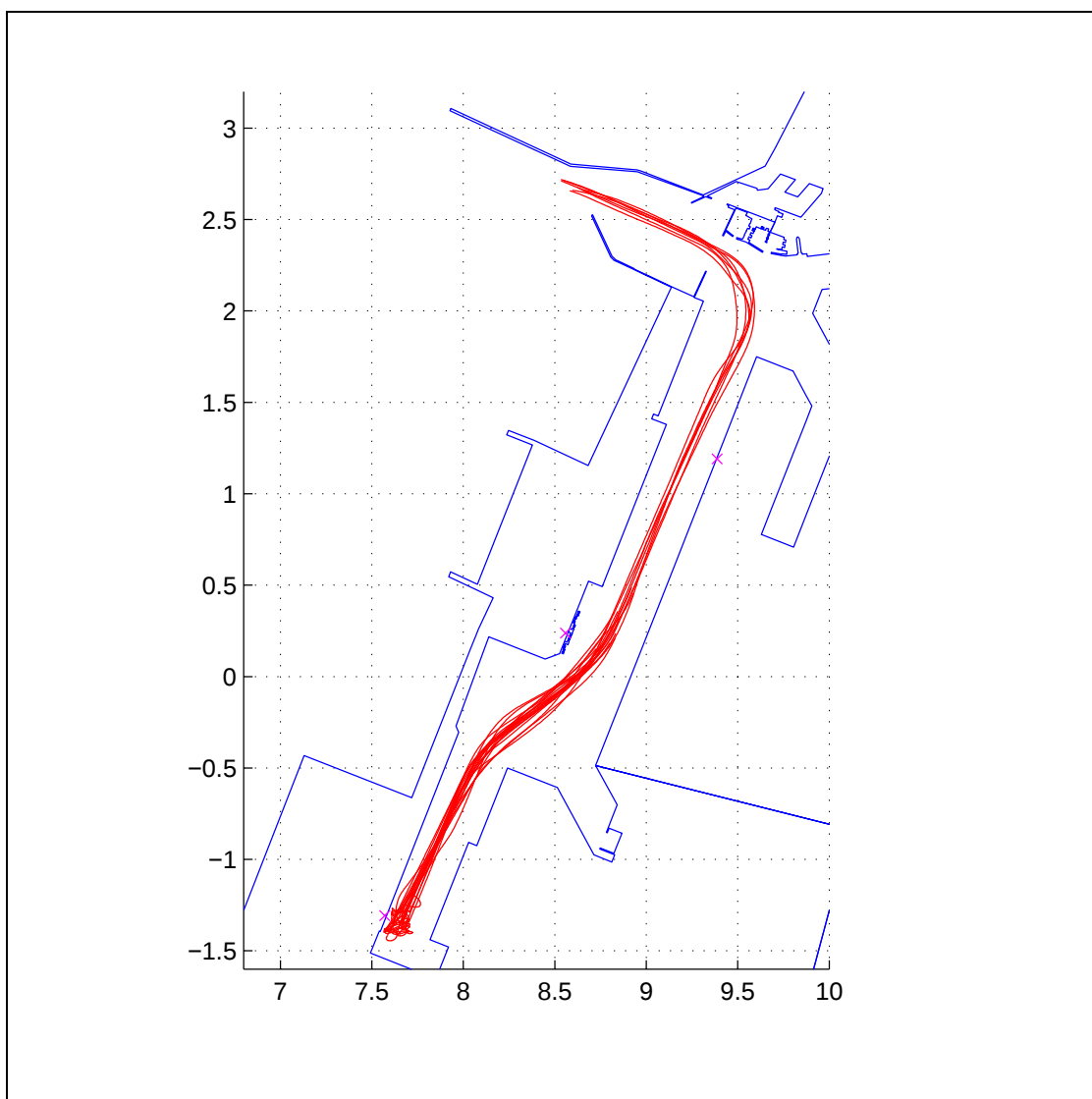


圖 4.25 散裝船自 101 號碼頭出港之全部航跡圖

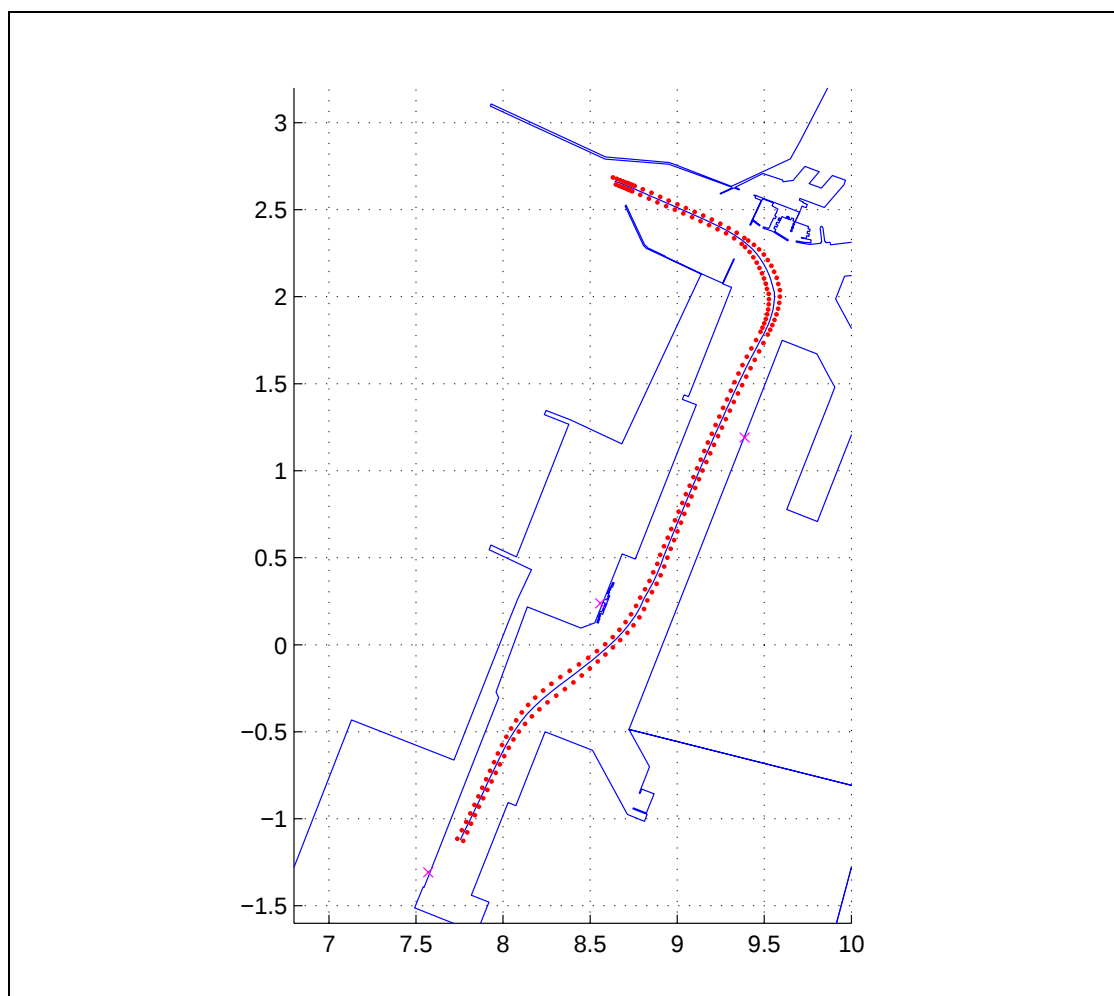


圖 4.26 散裝船自 101 號碼頭出港之成功案例平均航跡圖

4.3 試驗資料分析

模擬試驗之資料分析，依據海域、靠泊碼頭、環境因素及人為因素分為十二項：外海航行、主航道口航行、主航道內航行、貨櫃船靠泊 10 號碼頭、貨櫃船靠泊 33 號碼頭、LNG 船靠泊西 15 碼頭、散裝船港內航行及靠泊 101 碼頭、出港航行、風力影響、潮流影響、拖船作用及操船者行為等。

本研究設定四個參考點四根閘線以便求取相關數據進行統計分析，其位置如圖 4.27 與圖 4.28 所示。參考點分別為南外堤 A 點、南內堤 B 點與 29 號碼頭凸角之 C 點與西 15 號碼頭凸角之 D 點進行最近距離等量測分析，並針對船舶通過閘線 AA'、BB'、CC' 與 DD' 進行船速、艏向的統計分析。

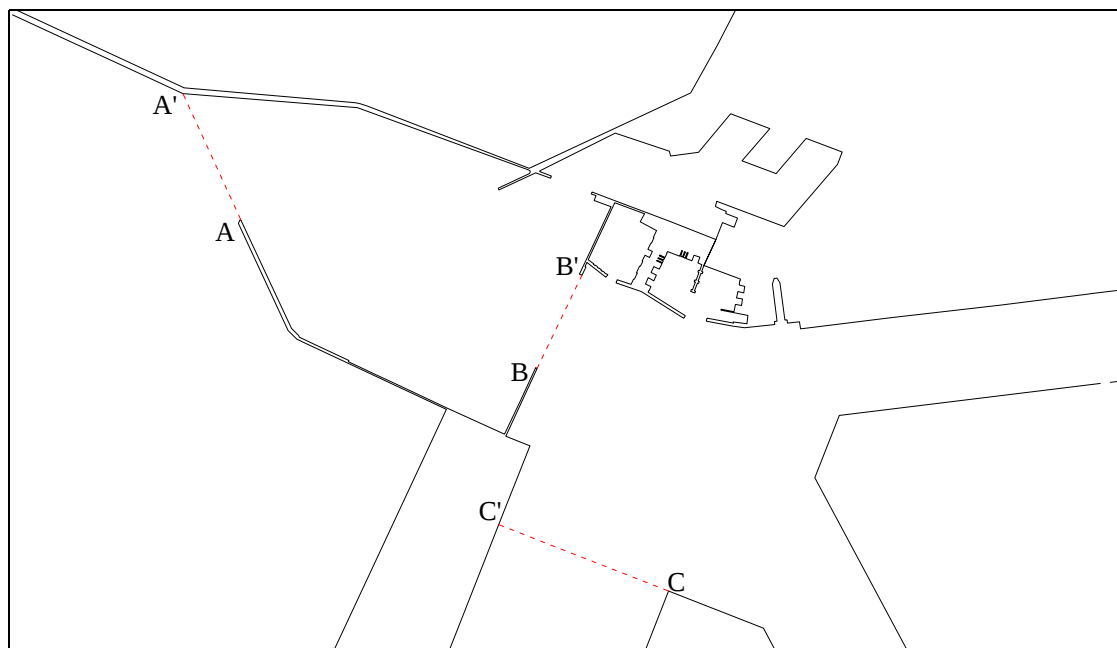


圖 4.27 分析閘線 AA'、BB'、CC' 及位置點 A、B、C

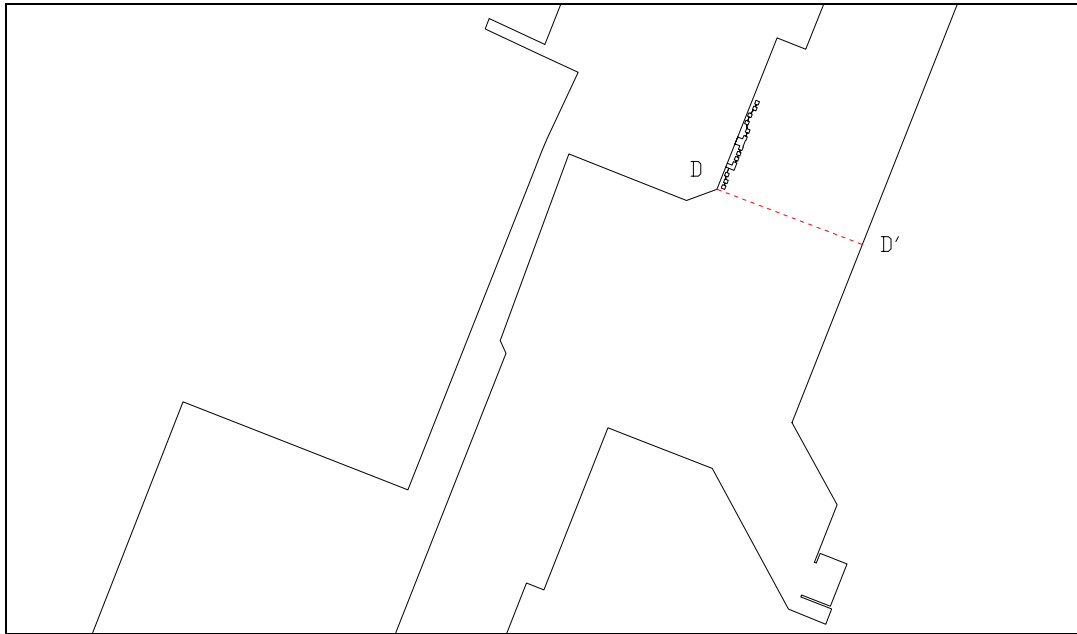


圖 4.28 分析閘線 DD'及位置點 D

4.3.1 船舶港外航行

4.3.1.1 航行方式

船舶在在港外準備進入台中港之前，受到 NNE 風強烈吹襲，必須顧慮接迎引水人所承受外力之影響。引水人登輪時，本船船速必須維持在五節以下之低速，一方面領港船易於靠攏，一方面也是顧慮引水人在登輪時之安全。目前台中港引水人均以 65 度指引船舶接近港口。因此，本操船模擬試驗之起始航向設定為 65 度，起始船速 4 節。

操船模擬試驗分成兩處起始點：第一處以台中港南外堤燈桿為基準，方向 245 度，距離 1.68 浬，位於進港航行巷道內之東側；第二處起始點以台中港北導燈桿為基準，方向 245 度，距離也是 1.68 浬，位於進港航行巷道內之西側，如圖 4.29。起始點即為引水人登輪位置，航道口之前之水域空間，可讓引水人加速並適應船性。

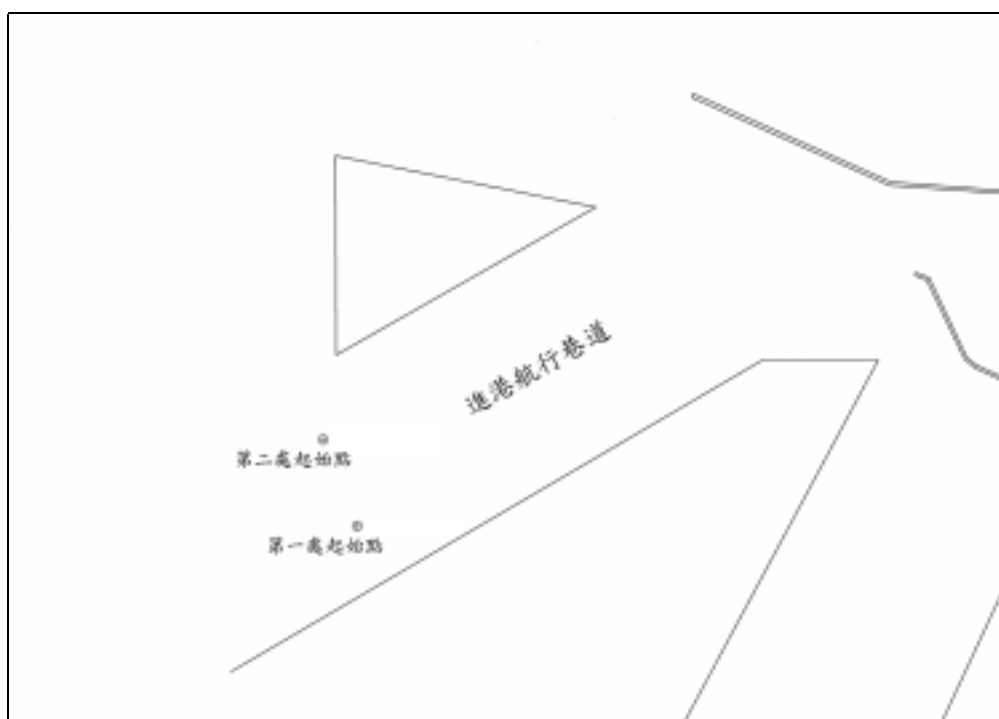


圖 4.29 第一處及第二處起始點位置圖

4.3.1.2 資料分析

試驗啟動後，幾乎所有的操船者即以全速或半速加車前進。貨櫃船及 LNG 船因加速較快，航行至主航道口時，平均船速約為 10 節，海岬型散裝船因噸位重，加速較慢，平均船速約 7 節。

許多操船者會在啟動後先將航向朝左修正至 60 度以下，航行一段距離後，再右轉進港，目的在於向西小幅度調整船位。試驗資料顯示操船者修正最小度數至 45 度，與起始航向相差達 20 度。所有貨櫃船中，有 68% 的操船者向西調整船位，29% 會維持 65 度的船首向，接近航道口再右轉；只有 3%（一位）操船者會在啟動後，即緩慢使用右舵，準備右轉進港（參見圖 4.30、4.31）。如以起始點作劃分，從第一處起始點啟航之操船者中，除上述一位外，其餘均先向西修正船位；第二處起始點啟航者因起始位置已比第一處偏西，因此，上述 29% 之部份均為第二處起始點啟航者。

LNG 船有 80%會向西調整船位，20%維持 65 度的船首向；後者中，只有一位是從第一處起始，其餘第二處起始者均包含在前者之 80%內（參見圖 4.32、4.33）。散裝船均從第二處起始點啟航，向西修正船位則高達 83%。顯示操船者為避免在南外堤附近轉向不易，而將船位先向西調整，加大轉向空間，並有充裕空間提早製造轉向慣性。

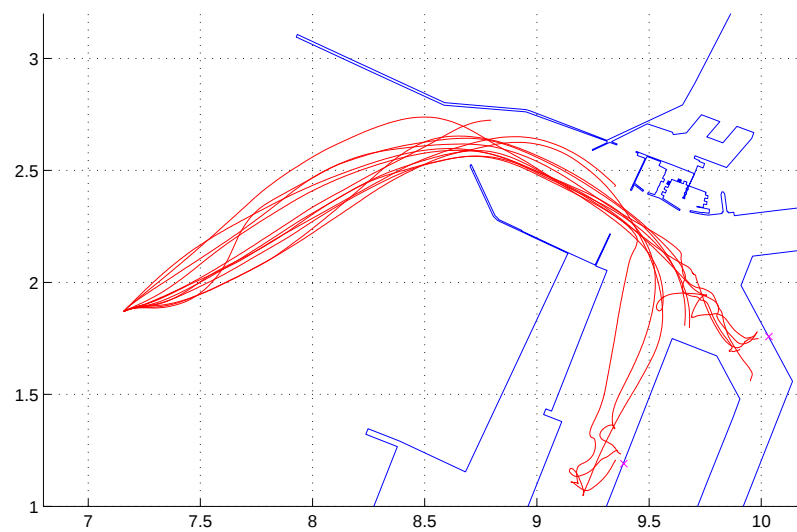


圖 4.30 貨櫃船由第一處起始點之航跡

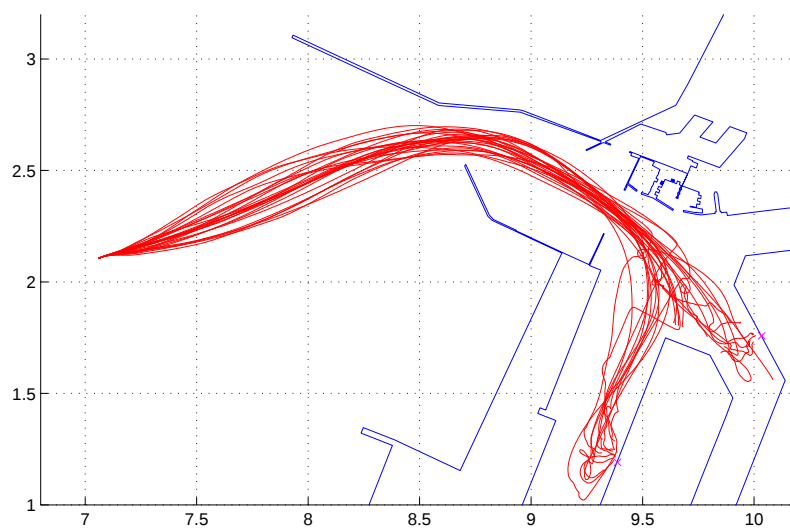


圖 4.31 貨櫃船由第二處起始點之航跡

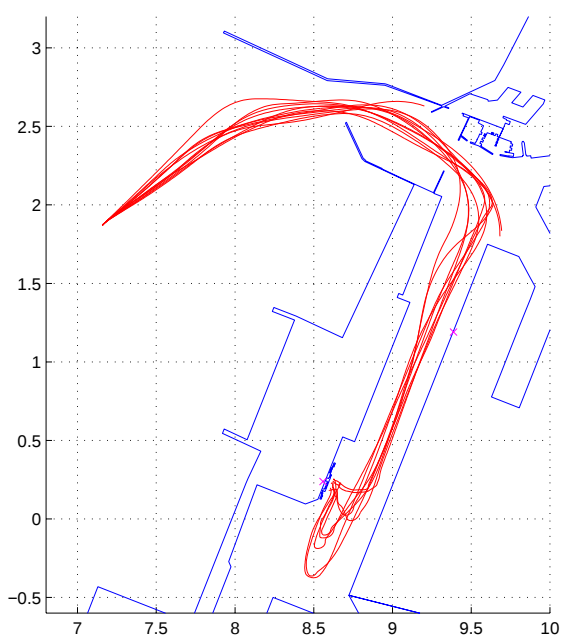


圖 4.32 LNG 船由第一處起始點之航跡

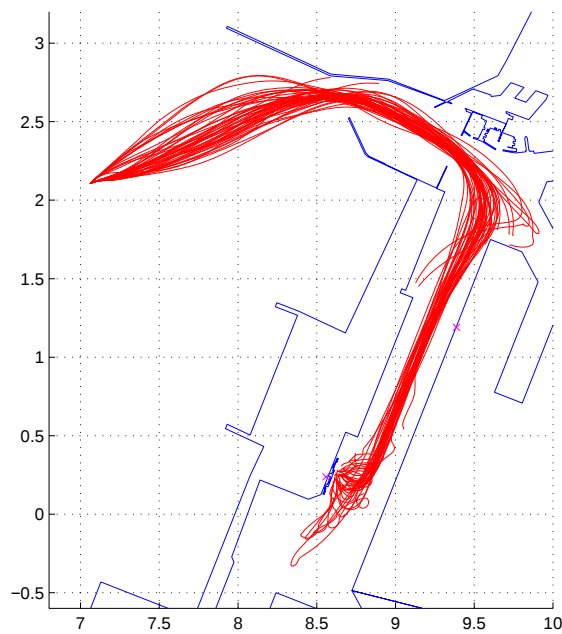


圖 4.33 LNG 船由第二處起始點之航跡

4.3.2 主航道口之航行

4.3.2.1 航行方式

台中港主航道之寬度為 400 公尺，方向為 114 度。船舶從外海駛入主航道，必須將船首向由 65 度逐漸右轉至 114 度，轉向角度達 49 度，如以每分鐘 10 度以上的高迴轉率來算，轉向耗時約需三至五分鐘。

大型船舶進港時，NNE 的風向與主航道方向幾乎垂直，轉向期間，在強風吹襲下，船位向南的偏移量變大。如果依據一般船舶之操船方式提早右轉進港，船位會因風壓而趨近南外堤；如果延後轉向時間，使船位稍微偏北，加大與南外堤之距離後再轉向，以減少風壓影響，但此需顧慮船首向趨向上風，轉向時舵效能否產生足夠迴轉率的問題，一但舵效來的較慢或較小，船位將會超出航道造成擱淺，甚至觸撞北防波堤。由於每艘船舶的船性不盡相同，有的舵效較差，通常操船者發覺舵效不如預期時，常會增加船速，以提高舵效。

4.3.2.2 資料分析

船舶航行至主航道口，安全通過閘線 AA'時之平均船首向，貨櫃船靠泊 10 號碼頭為 87.68 度（標準差為 7.27 度）、靠泊東 33 號碼頭為 89.70 度（標準差為 7.02 度）、LNG 船為 96.22 度（標準差為 8.93 度）、散裝船為 99.53 度（標準差為 8.10 度）。顯示各類型船舶在通過南外堤頭時，平均船首向與航道方向 114 度還相差 20 度左右，通過航道口後，船舶還須再繼續右轉（參見表 4.19）。

船舶通過閘線 AA'時之平均船速，貨櫃船靠泊 10 號碼頭為 9.38 節（標準差為 0.88 節）、靠泊東 33 號碼頭為 9.79 節（標準差為 1.30 節）、LNG 船為 10.39 節（標準差為 1.49 節）、散裝船為 7.41 節（標準差為 1.25 節）。顯示大型船舶之舵效受慣性影響，必須利用高速以增加迴轉率，尤其是受風面積較大之貨櫃船及 LNG 船更為明顯。

最近距離係指船舶通過閘線 AA'時，船舷任意一點與南外堤頭之距離最小者。最近距離之平均值，貨櫃船靠泊 10 號碼頭為 183.18 公尺（標準差為 63.69 公尺）、靠泊東 33 號碼頭為 161.89 公尺（標準差為 73.48 公尺）、LNG 船為 191.69 公尺（標準差為 51.21 公尺）、散裝船為 168.25 公尺（標準差為 41.96 公尺）。顯示各類型船舶一方面受風壓影響，一方面顧慮舵效而與北外堤保持適當距離，因此，平均距離都小於船位在中線之 250 公尺，大部份船位都在中線之南，距離南外堤較近，離北外堤遠。平均距離加上一個標準差之長度，船位才在中線附近。

表 4.19 船舶通過閘線 AA'之相關資料

	與南外堤最近距離(公尺)		過閘線 AA' 船首向(度)		過閘線 AA' 船速(節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 10 號碼頭	183.18	63.69	87.68	7.27	9.38	0.88
貨櫃船進港停泊 33 號碼頭	161.89	73.48	89.70	7.02	9.79	1.30
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	191.69	51.21	96.22	8.93	10.39	1.49
散裝船進港停泊 101 號碼頭	168.25	41.96	99.53	8.10	7.41	1.25

船舶轉向時，船首向之變化、船速、船位三者相互影響，如果船位偏北，就必須增加船首向之迴轉率，快些轉入航道，否則會超出航道；要增加迴轉率可藉由增加速度來達成，可是船速加快後，船舶在主航道口之航行時間縮短，轉向之迴轉率必須加快，否則就轉不過來，也會使船位超出航道，發生觸撞北防波堤之危機。但是加速後，單位時間內之航行距離增加，船首向與航道方向之差角愈大，船位偏離量愈大。以 10 節船速計算，每分鐘船舶前進 308 公尺，如果船首向與航道方向相差 10 度，則一分鐘後船位會偏離中線 54 公尺。一般而言，船速太快對航行安全較為不利，可是船速不快，舵效不佳，強風又會使船位往南偏移。

以試驗成功之平均值及標準差標差估計各類船舶安全通過外堤頭之機率，在不計較拖船所需空間時，貨櫃船停靠 10 號碼頭為 99.80%，貨櫃船停靠 33 號碼頭為 98.62%，LNG 船為 99.99%，散裝船為 100%。如果南、北防波堤旁各保留 50 公尺之空間做為拖船活動水域，則船舶安全通過外堤頭之機

率減小，貨櫃船停靠 10 號碼頭為 98.17%，貨櫃船停靠 33 號碼頭為 93.61%，LNG 船為 99.72%，散裝船為 99.76%。

4.3.3 主航道內之航行

4.3.3.1 航行方式

台中港由南外堤至南內堤之主航道長度約 1,500 公尺，10 節船速估計，航行時間約 6 分鐘。由於通過內堤後，貨櫃船停靠 10 號碼頭必須在北迴船池掉頭，停靠 33 號碼頭的貨櫃船，或者 LNG 船及散裝船都必須在北迴船池右轉進入煤輪航道。受限於港內水域空間有限，船舶進入主航道後必須開始減慢船速。船舶在主航道之前段航行主要是承續未完成之右轉動作，後段航行則準備進入北迴船池掉頭或轉向進入煤輪航道。

雖然船舶通過南外堤時，平均船位偏於中線之南，但是船首向仍在繼續右轉。等到船首向接近 110 度時，船舶已航行到航道中段，且因轉向時之偏離，船位已逐漸北移至中線附近，甚至偏至中線之北。此時，船舶即將進入港區必須開始減速，如果船位接近中線，避免風壓造成船位偏南，操船者會設定 2 至 3 度的風壓差；如果船位已偏北，則以船首向 114 度前進，船位會逐漸趨近中線。有些操船者在通過漁港堤頭後，即開始緩慢用舵，讓船首向逐漸右轉，當船舶通過內堤時，船位會趨近南內堤。

4.3.3.2 資料分析

船舶航行至主航道西端，安全通過閘線 BB'時之平均船首向，貨櫃船靠泊 10 號碼頭為 120.70 度(標準差為 5.82 度)、靠泊東 33 號碼頭為 127.71 度(標準差為 11.09 度)、LNG 船為 133.09 度(標準差為 9.45 度)、散裝船為 136.11 度(標準差為 8.34 度)。顯示除貨櫃船靠泊 10 號碼頭外，其餘類型船舶在通過南內堤頭時，平均船首向都已超過航道方向 114 度

(參見表 4.20)。

船舶通過閘線 BB' 時之平均船速，貨櫃船靠泊 10 號碼頭為 7.75 節（標準差為 0.98 節）、靠泊東 33 號碼頭為 8.54 節（標準差為 1.80 節）、LNG 船為 9.42 節（標準差為 1.87 節）、散裝船為 7.04 節（標準差為 1.30 節）。顯示船舶雖已減速，但為了維持應有的右轉舵效，船速減慢的不明顯。有些進港船因船位一直偏於中線之北，必須不斷利用高速增加舵效，才能維持船首向。

船舶通過閘線 BB' 時距離南內頭頭之平均最近距離，貨櫃船靠泊 10 號碼頭為 172.77 公尺（標準差為 45.17 公尺）、靠泊東 33 號碼頭為 163.00 公尺（標準差為 57.33 公尺）、LNG 船為 153.01 公尺（標準差為 46.43 公尺）、散裝船為 141.40 公尺（標準差為 50.04 公尺）。顯示各類型船舶因受風壓影響而提早轉向。因此，平均距離都小於船位在中線時船舷距離南內堤之 180 公尺，尤以散裝船提早轉向的動作最明顯。

表 4.20 船舶通過閘線 BB' 之相關資料

	與南內堤最近距離(公尺)		過閘線 BB' 船首向(度)		過閘線 BB' 船速(節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 10 號碼頭	172.77	45.17	120.70	5.82	7.75	0.98
貨櫃船進港停泊 33 號碼頭	163.00	57.33	127.71	11.09	8.54	1.80
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	153.01	46.43	133.09	9.45	9.42	1.87
散裝船進港停泊 101 號碼頭	141.40	50.04	136.11	8.34	7.04	1.30

以試驗成功之平均值及標準差標差估計各類船舶安全通過內堤之機率，在不計較拖船所需空間時，貨櫃船停靠 10 號碼頭為 99.99%，貨櫃船停靠 33 號碼頭為 99.76%，LNG 船為 99.95%，散裝船為 99.76%。如果南、北防波堤旁各保留 50 公尺之空間做為拖船活動水域，則船舶安全通過外堤頭之機率減小，貨櫃船停靠 10 號碼頭為 99.60%，貨櫃船停靠 33 號碼頭為 97.20%，LNG 船為 98.62%，散裝船為 96.56%。

4.3.4 貨櫃船靠泊 10 號碼頭

4.3.4.1 航行方式

貨櫃船靠泊 10 號碼頭時，在進港通過主航道及內堤後，必須在北迴船池掉頭，再後退至碼頭附近靠上，或前進至 10 號碼頭旁，再掉頭直接靠碼頭。船舶掉頭之迴轉力量主要是靠舵效及拖船協助。由於北迴船池之直徑僅有 1,000 公尺，在迴船池內掉頭，船速必須減至最低，因此，剛開始掉頭時還可以利用餘速產生的舵效，等到船速降到 3 節以下，就只得完全依賴拖船。

船舶倒車產生的橫向力，增加船首向右偏轉速度，有利於向右迴轉掉頭；相反地，船舶後半部受風面積較大，強風造成的風壓，有利於向左迴轉。橫向力及風壓的作用相反，強風時，風壓大於橫向力，風力較小時，橫向力大於風壓。另一方面，風壓會使船位往南偏移，向左掉頭之船位必須控制在中線偏北，與 29 號碼頭保持足夠空間。向右掉頭則須在船舶通過內堤之前，就使用右舵產生右轉之慣性，倒車的橫向力才有作用。

操船者將船舶掉頭後，使船首朝港外，船身與碼頭平行，再利用本船動力及拖船推頂，一邊後退，一邊靠近碼頭。

在 10 號碼頭旁掉頭，由於航道寬度約 400 公尺，當外力影響不大，且在拖船協助下時，對 300 公尺長之船身勉強可

以掉頭。但是如果遇到強風產生的風壓，會使船舶在掉頭時往南偏移，產生觸撞南邊碼頭之危機。

4.3.4.2 資料分析

操船模擬試驗中，船舶掉頭方式，有 26.7%在北迴船池向右迴轉掉頭，47.7%在北迴船池向左迴轉掉頭，26.7%在 10 號碼頭旁掉頭。

在北迴船池內，不論是向右或向左迴轉掉頭，在拖船協助下，均可安全掉頭，可是在 10 號碼頭旁掉頭就顯得相當的困難，強風造成船位在掉頭時會被往南移，與南側的碼頭不易保持安全距離。

船舶掉頭後，船首向約 332 度，此時風向與船首向之差角約 40 度，往南的風壓相當強，只能依賴拖船推頂才能靠上碼頭。模擬試驗顯示，在 20m/sec 的風速下，必須使用四艘拖船（4,200HP 及 3,400HP 各兩艘）才能勉強把 4,000TEU 貨櫃船推頂靠上碼頭。

4.3.5 貨櫃船靠泊 33 號碼頭

4.3.5.1 航行方式

貨櫃船若在北迴船池內掉頭，以後退方式靠泊 33 號碼頭，因迴船池中心點至 33 號碼頭之距離約 1,400 公尺，後退航行之船位控制困難，尤其強風更使得船首向不易穩住。煤輪航道寬 400 公尺，航道東側至 33 號碼頭邊之水域寬 150 公尺，扣除 30~32 號碼頭靠泊船舶之船寬，可航空間超過 500 公尺，大於一個半船長，碼頭旁之水域足供船舶掉頭，因此，貨櫃船均在北迴船池右轉駛入煤輪航道，再於 33 號碼頭旁掉頭後靠泊。

操船模擬試驗所用 4,000TEU 半載之貨櫃船，在港內淺水區，以 15.7 節全速下向右迴轉之縱距 1,400 公尺，橫距 1,455

公尺。煤輪航道之方向為 201 度，與主航道方向之差角為 87 度。因此，本船若在內堤口以高速向右轉入煤輪航道，所需之水域縱深超過 1,000 公尺，轉至 90 度之寬度至少須 700 公尺。北迴船池之直徑僅 1,000 公尺，而且內堤口中點距離主航道中線與 30 號碼頭邊延長線之交點約 800 公尺，主航道中線與 29 號碼頭邊緣之垂直距離也約 800 公尺。換言之，如果本船在北迴船池內右轉，縱距超過 800 公尺以上，轉向角度就會超過 87 度，所需之橫距也就不只 700 公尺，縱距愈大，轉向角就需愈大，橫距也會愈大。如果在強風下右轉，風壓會使迴轉率減慢，迴轉直徑加大，對水域之需求更大。因此，船舶必須及早減速，不但須以大舵角轉向，一定還須拖船協助轉向，以減少縱距，才能安全轉入煤輪航道，而不致觸撞 29 號碼頭與 30 號碼頭之凸角。

4.3.5.2 資料分析

模擬試驗貨櫃船通過閘線 BB' 時，平均船首向 127.71 度、平均船速 8.54 節、與內南堤平均最近距離為 163 公尺。顯示一半以上的船舶在通過內堤時，已開始右轉。當貨櫃船安全通過閘線 CC'，平均船首向為 199.93 度（標準差為 9.70 度）、平均船速 6.55 節（標準差為 2.36 節）、平均最近 29 號碼頭凸角之距離為 177.41 公尺（標準差為 128.00 公尺），剛好進入煤輪航道的東側邊界（參見表 4.21）。標準差顯示每艘船之間的船位及船速有相當大的差異，有些船舶安全通過之距離超過 200 公尺，也有通過時尚不足一個船寬之距。

船舶通過 29 號碼頭後，繼續前進至 33 號碼頭附近掉頭。航行時，利用該船舵效及拖船協助，船位可以控制在煤輪航道中央。33 號碼頭旁可用水域寬度足供掉頭，78.6% 操船者採取向左轉向，21.4% 則向右轉向，均能安全掉頭後靠泊碼頭。

表 4.21 船舶通過閘線 CC'之相關資料

	與 29 號碼頭凸角 最近距離(公尺)		過閘線 CC' 船首向(度)		過閘線 CC' 船速(節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 33 號碼頭	177.41	128.00	199.93	9.70	6.55	2.36
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	169.51	100.53	208.60	7.84	7.77	1.58
散裝船進港停泊 101 號碼頭	229.47	102.67	204.06	7.52	6.60	1.07

以試驗成功之平均值及標準差標差估計貨櫃船舶安全轉入煤輪航道之機率，可航空間從 30 號碼頭邊至煤輪航道西邊，寬約 600 公尺，在不計較拖船所需空間時，安全進入之機率為 91.60%，如果 30 號碼頭邊保留 50 公尺之空間做為拖船活動水域，則機率降為 83.91%，如再扣除 30 號碼頭之船寬 50 公尺，機率則降至 72.72%。

4.3.6 LNG 船舶靠泊西 15 號碼頭

4.3.6.1 航行方式

LNG 船從主航道右轉進入煤輪航道之航行方式與貨櫃船靠泊 33 號碼頭之航行方式相同，但是所需的迴轉水域空間更大。操船模擬試驗所用 125,000M³ 之 LNG 船，在全速下向右迴轉之縱距 1,550 公尺，橫距 1,590 公尺。比貨櫃船之迴轉圈大 150 公尺，顯示 LNG 船在北迴船池掉頭時，船頭會衝得更遠，可能會超過 30 號碼頭邊之延長線 500 多公尺。迴轉時，如果船位超過 30 號碼頭邊之延長線，船首向必須繼續右轉大

於煤輪航道之 201 度，甚至轉至 250 度，待船位通過 29 號碼頭後，再用左滿舵修正航向，以大角度左轉進入煤輪航道。

船舶在煤輪航道中航行抵達西 15 號碼頭時，因航向與風向平行，風壓對船位影響不大。西 15 號碼頭旁之航道寬 400 公尺，航道西側邊緣距離西岸碼頭延長線寬 50 公尺，再加上 LNG 又內縮 150 公尺，因此，船舶有 600 公尺的空間在西 15 號碼頭前掉頭。另外，也可在南迴船池進行掉頭後，再北行靠泊西 15 號碼頭。

4.3.6.2 資料分析

模擬試驗 LNG 船通過閘線 BB'時，平均船首向 133.09 度、平均船速 9.42 節、與南內堤平均最近距離為 153 公尺(參見表 4.20)。顯示大多數船舶在通過內堤時，已開始右轉，船位也已往南移，但船速高達 9.42 節，船舶迴轉之縱距較大。因此，當 LNG 船通過閘線 CC'時，平均船首向為 208.60 度(標準差為 7.84 度)、平均船速 7.77 節(標準差為 1.58 節)、距 29 號碼頭凸角之平均最近距離為 169.51 公尺(標準差為 100.53 公尺)(參見表 4.21)。此顯示平均船首向比煤輪航道之 201 度還大，因此船舶右轉後，還必須左轉才能以航向 201 度進入煤輪航道，此外，距 29 號碼頭凸角之平均最近距離也比貨櫃船還小。

以試驗成功之平均值及標準差標差估計 LNG 船安全轉入航道之機率，可航空間從 30 號碼頭邊至煤輪航道西邊，寬約 600 公尺，在不計較拖船所需空間時，安全進入之機率為 95.410%，如果 30 號碼頭邊保留 50 公尺之空間做為拖船活動水域，則機率降為 88.27%，如再扣除 30 號碼頭之船寬 50 公尺，機率更降至 75.54%。

依據上述分析，由於北迴船池之縱深有限，南側又有 29 號碼頭突出，強風下 LNG 船要在北迴船池內安全右轉進入煤輪航道，一定要先減速，甚至在迴船池內將船停止，並即時

利用四艘拖船協助轉向。至於掉頭靠泊，最好選在南迴船池北側水域掉頭，而非西 15 號碼頭旁。此處雖會多增加約 800 公尺之航程，但是水域較為寬廣，掉頭操船受風壓影響較小。美國波士頓港對於 LNG 船之航行及靠泊之規定請參見附件七。主要原則如下：

1. 在進港時，前方 2 浬、後方 1 浬、兩側 100 碼應保持淨空。
2. 錨泊時，所有船舶應保持 500 碼以上之安全距離。
3. 航行過程應以 VHF 與港口不斷保持通訊，並保持安全速度。
4. 當能見度低於 3 浬，風速大於 25 節，則禁止進港或航行。
5. 靠在碼頭時，其他船舶必須要有兩艘拖船護航才能通過，同時，也應有一艘拖船協助穩住 LNG 船。

4.3.7 散裝船在煤輪航道內之航行及靠泊 101 碼頭

4.3.7.1 航行方式

散裝船通過內堤後也需要右轉進入煤輪碼頭，所面臨之問題與前兩類船舶相同。本試驗所用之 16 萬噸散裝船，在全速下向右迴轉之縱距 1,403 公尺，橫距 1,468 公尺。轉入煤輪碼頭後，航向 201 度，航行通過西 15 號 LNG 碼頭，再右轉進入南迴船池，航向 231 度，接著左轉進入煤輪航道南段，航向 201 度，航行至最後端，靠泊於 101 碼頭。

煤輪航道與風向平行，風力影響較小，轉入南迴船池時，基準航向為 213 度，受風力影響變大，轉入煤輪航道南段須注意風壓會使船位趨近東岸。船舶不論滿載或空載掉頭，風壓都是重要的考慮因素。

煤輪航道及煤輪航道南段水深 16 公尺，寬度均為 400 公尺。試驗所用之散裝船吃水 14.5 公尺，船位偏出航道即有擱淺危機。101 碼頭水域之水深亦為 16 公尺，因此，在碼頭旁

掉頭，可航空間之寬度為 450 公尺。

由於受限於航道寬度有限，16 萬噸散裝船掉頭之困難度增加，因此本試驗對於船舶靠泊之方式分成以下四種，分別探討其安全性：

1. 在 101 碼頭旁滿載掉頭後靠泊。
2. 在 104 碼頭旁滿載掉頭後退靠泊。
3. 在南迴船池內滿載掉頭後退靠泊。
4. 直接靠泊，然後在 101 碼頭旁以空載掉頭後出港。

4.3.7.2 煤輪航道之航行資料分析

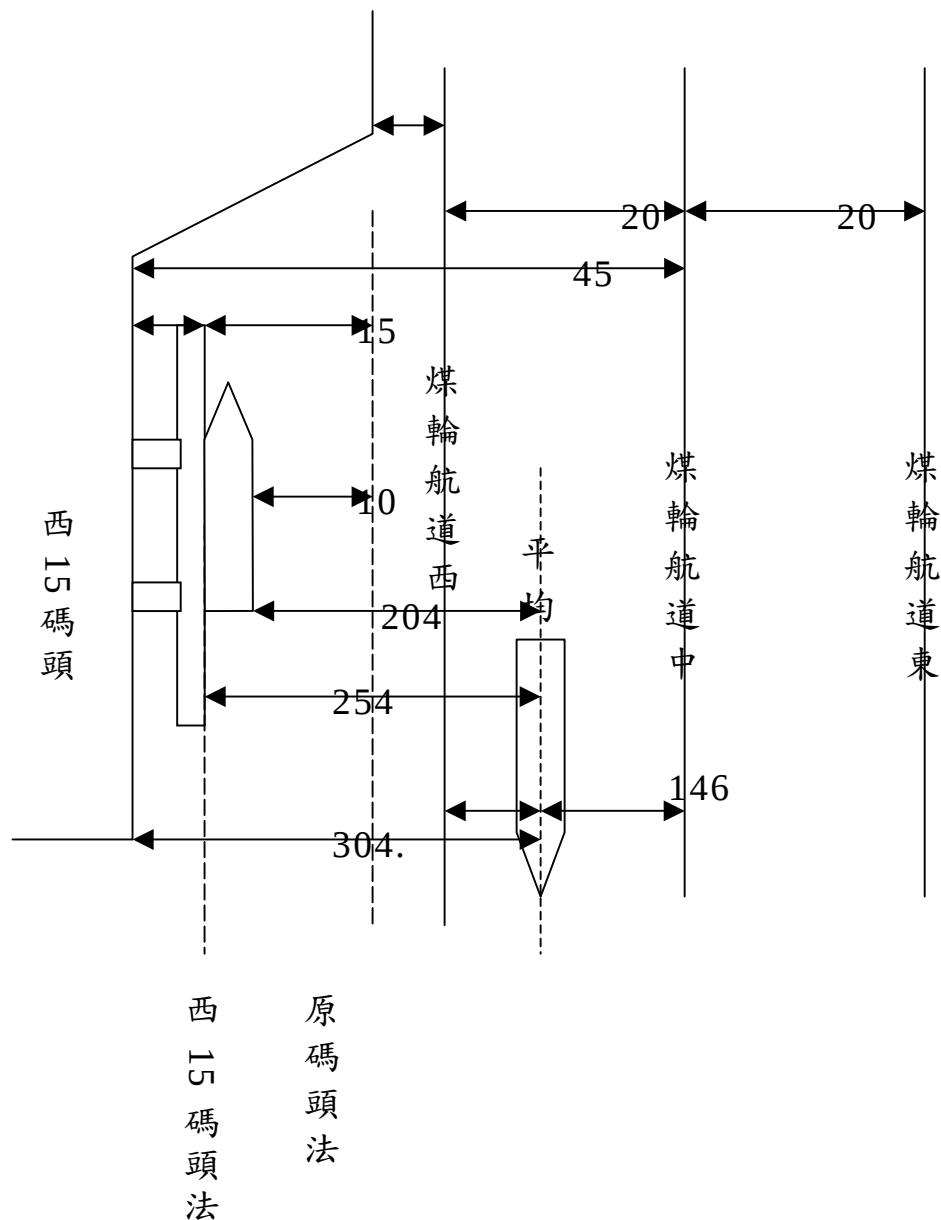
由表 4.20 中得知，散裝船通過閘線 BB' 之船位已偏南，船首向已右轉 22 度，船速約 7 節。因此右轉後，所有操船者均能安全進入煤輪航道。表 4.21 顯示，當散裝船通過閘線 CC' 時，平均船首向為 204.60 度（標準差為 7.52 度）、平均船速 6.60 節（標準差為 1.07 節）、距 29 號碼頭凸角之平均最近距離為 229.47 公尺（標準差為 102.67 公尺），平均船位約在航道中線偏東 120 公尺。因此在煤輪航道內航行時，還需繼續向西修正船位至中線附近。如果以平均值及標準差標差估計散裝船安全轉入煤輪航道之機率，因航道寬度才 400 公尺，安全機率約為 77.69%。因此，在 30 號碼頭附近煤輪航道之濬深範圍必須加寬。

船舶在煤輪航道內之航行，由於較不受風壓影響，船航跡圖可以看出船位幾乎均能維持在航道中線之附近，標準差很小。船舶通過西 15 號 LNG 碼頭後要右轉進入南迴船池時，每位操船者之轉向時機略有不同，航跡線較為分散。船舶通過西 15 號碼頭凸角之平均最近距離為 304.27 公尺（標準差 92.28 公尺），平均船速 7.37 節（標準差 1.97 節）。由於西 15 號 LNG 碼頭凸角距離煤輪航道中線為 450 公尺，因此平均船位已偏於航道中線之西約 146 公尺，距離航道西側邊界

54 公尺，與 LNG 碼頭法線之距離約為 254 公尺，扣除西 15 號碼頭 LNG 船寬，與 LNG 船外舷之距離約為 204 公尺（參見下圖）。

為保持安全，船舶通過繫岸之 LNG 船至少應保持 100 公尺以上之安全距離，並且需要兩艘以上之拖船護航。對西 15 號碼頭 LNG 船而言，通過船舶不得進入原碼頭法線以西之水域，即可與 LNG 船保持 100 公尺以上之距離。

依模擬試驗之結果，船位進入原碼頭法線以西之機率為 12.93%。如果要求船舶進入原碼頭法線以西之機率降為 1% 以下，則平均船位應與原碼頭法線保持約 210 公尺以上距離。可藉由下列兩種作法，以達到此標準：限定平均船位向東移約 100 公尺，或 LNG 碼頭法線向西再移約 100 公尺。



由於模擬試驗時，僅要求船位保持在航道內，大部分操船者認定距離足夠安全，均提早轉向，致使航跡偏西，而且均未使用拖船。如果未來規定船舶通過西 15 號碼頭時，船位需在航道中線附近，並應在船舶通過西 15 號碼頭後才能右轉進入南迴船池，在拖船協助下，船舶可用車及舵有效控制船位，散裝船會進入原碼頭法線以西水域之機率應相當低，故以模擬試驗之碼頭設計，安全距離應已足夠。

4.3.7.3 散裝船 101 碼頭靠泊方式分析

由於 101 碼頭旁之航道不夠寬廣，16 萬噸散裝船掉頭已

屬不易，還要顧慮強風之作用，因此，本試驗乃依前述四種靠泊方式加以探討。分析結果顯示，在 20m/sec 風速下，四種方式在操船上都有其困難度：101 碼頭旁掉頭空間有限，必須注意停船距離及掉頭之船位；104 碼頭旁掉頭之船位及船速不易掌握，還要後退航行；南迴船池後退航行距離太遠，航跡成為曲線；直靠必須注意衝止距，空船掉頭風壓影響增強。

當船舶靠泊有其危險性時，首先應考慮碼頭位置及水域空間是否適當，如果碼頭及水域無法改變，則選擇困難度較低之靠泊方式，但應降低航行標準，提高外力協助。

海岬型散裝船因慣性造成衝止距增加，水域空間必須足夠停俾所需之航行距離。101 碼頭位於航道末端，船舶從南迴船池轉入航道時，因船位還不穩定，不能立即停車，等船位適當時停船，101 碼頭前卻缺少緩衝之空間。因此，以操船之觀點，建議海岬型散裝船碼頭應前移至 103 或 104 碼頭，提供較多的衝止空間。103 及 104 碼頭前航道寬度應加寬至對岸，也就是 98 號碼頭旁及其北方凹處均濬深至 16 公尺，98 號碼頭不停靠船舶，以增加掉頭迴轉之空間。

如果上述建議執行上有困難，船舶必須停靠 101 碼頭，則靠泊方式以直靠及空船掉頭之成功率較高，但是靠泊時之風速應低於 15m/sec，99 號碼頭不停靠船舶，且先以 128,000 噸之小型海岬型散裝船靠泊，等到領港、拖船及碼頭配合均運作熟練後，再考慮增大船舶噸位。船舶掉頭時，拖船出力必須克服風壓，四艘拖船之馬力均應超過 4,200HP。

船舶掉頭需要調整船位至航道中線附近，因此建議在煤輪航道南段之末端增設疊標一組，指引航道中線。

4.3.8 船舶出港之航行

4.3.8.1 航行方式

貨櫃船及 LNG 船在靠泊時均已將船首掉頭，散裝船除直靠外，其他方式也均已掉頭靠泊，因此啟航出港，利用拖船將船舶拖離碼頭後，船舶即可用車用舵前進。離碼頭時之風壓會造成船身偏移，必須及時以拖船或舵效修正。10 碼頭貨櫃船離開碼頭後，約對正內堤口之主航道航行，33 號碼頭貨櫃船、LNG 船、散裝船則從煤輪航道左轉進入主航道。上述船舶轉入主航道時，轉角約 87 度，應顧慮迴轉時風壓使船位趨近南內堤，也應顧慮迴轉水域之縱深不足，除與南內堤保持適當距離外，還要減車降低船速。等船舶安全進入主航道後，就須加車，克服風壓造成之偏移，同時以風壓差修正船首向，駛出外堤口。

4.3.8.2 資料分析

由於船舶前進後，船速逐漸加快，舵效也跟著產生，因此船位比較穩定。從航跡圖及平均航跡可以看出各類型船舶在煤輪航道及主航道內之航行均能保持在中線附近，標準差很小，因此航行安全之問題不大，如表 4.22~表 4.24。唯一顯示航跡較為分散之處，是在北迴船池內，如果提早左轉，船位接近南內堤，轉向較晚，船位又會接近北堤。又有些船舶直接左轉，有些會在煤輪航道北端先將船位向東偏移再左轉，加大左舷至內堤之空間。

表 4.22 船舶出港通過閘線 CC'之相關資料

	與 29 號碼頭凸堤 最近距離(公尺)		過閘線 CC' 船首向(度)		過閘線 CC' 船速(節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 33 號碼頭	187.67	71.38	15.43	6.89	6.89	1.15
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	133.92	39.46	22.98	4.98	8.51	2.05
散裝船進港停泊 101 號碼頭	162.33	41.72	23.61	6.22	6.43	1.01

表 4.23 船舶出港通過閘線 BB'之相關資料

	與南內堤最近距離(公尺)		過閘線 BB' 船首向(度)		過閘線 BB' 船速(節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 10 號碼頭	178.77	47.49	306.53	4.77	8.34	1.22
貨櫃船進港停泊 33 號碼頭	173.44	99.33	309.81	11.98	7.47	1.00
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	216.54	67.13	296.66	6.26	8.26	1.28
散裝船進港停泊 101 號碼頭	190.83	37.36	302.14	5.39	6.49	0.58

表 4.24 船舶出港通過閘線 AA'之相關資料

	與南外堤最近距離(公尺)		過閘線 AA' 船首向(度)		過閘線 AA' 船速(節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 10 號碼頭	122.64	37.49	296.91	8.91	9.42	1.39
貨櫃船進港停泊 33 號碼頭	138.38	46.56	295.50	4.68	10.08	2.09
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	156.89	26.81	295.19	4.51	11.52	1.30
散裝船進港停泊 101 號碼頭	173.77	30.01	290.07	5.02	9.58	0.97

由上述分析得知，出港船舶在航道內航行大致上安全，但是在北迴船池內左轉，如果船速太快，需要較大的迴轉水域時，安全上就要注意。由於一般船舶從煤輪航道左轉進入主航道依賴本船之性能即可達成，可是本試驗之各類船舶，迴轉圈都相當大，操船方式必須有所調整。較安全的操航方式為，船舶進入北迴船池時之船速應在 7 節以下，同時需要拖船協助轉向。如果發覺危機才再使用拖船，時間上會有所延誤，觸撞內堤之機率將相對增加。例如兩次 LNG 船出港，在風速 10m/sec 條件下觸撞工作船渠，均因船速太快，又沒有使用拖船協助所致。

4.3.9 風力影響

大型船舶在低速航行時，風力造成船位之偏移量會特別明顯，尤其是在橫風之情形。如果是在狹窄水域內航行，少量的偏移可能就會造成船舶偏離航道擱淺或觸撞事故。前面各節之分析指出，船舶進入台中港主航道時，風力造成船位朝下風處偏移，同時使船首向趨向上風。操船者必須謹慎判斷，轉向時機不當，就有觸撞防波堤之可能。相同情形也會發生在內堤口及 29 號碼頭附近。

當船舶停車掉頭或靠泊碼頭時，船舶幾乎在停止狀態，如果沒有拖船協助，風力也會將船位向下風處推移。

本次試驗，貨櫃船進港失敗之案例中，風速 15m/sec 佔 40%，20m/sec 佔 60%；出港兩次案例均發生在風速 20m/sec。LNG 船進港失敗案例，風速 10m/sec 為 21.4%，15m/sec 為 35.7%，20m/sec 為 42.9%；出港兩次案例均發生在風速 10m/sec。散裝船進港失敗案例均發生在風速 20m/sec 之條件下。此顯示風速愈大風力影響愈明顯，船舶操航失敗案例所佔比例也愈高。換言之，本試驗之三種船型皆屬大型船舶，因此在操航時受風力的影響不可忽略。

4.3.10 水流影響

依據第三章之數值模擬計算結果顯示，漲潮時，主航道內流速約 1 節，煤輪航道內約為 0.6 節，到 LNG 碼頭之後流速只剩 0.2 節左右。退潮時流水稍強，主航道口流速約 1.5 節，煤輪航道流速減至 0.7 節，LNG 碼頭至 104 碼頭約為 0.4 節。貨櫃碼頭因較接近主航道，水流作用相對較大，LNG 碼頭則還有一些作用，101 散裝碼頭就幾乎不發生作用。台中港之流水方向，不論是漲潮或退潮均順著航道流動，對於在航道中航行之船舶而言，只有順流加速或頂流減速之影響。漲潮時，流向與風向一致，推移量增加；退潮時兩者方向相反，相互減弱。

在船舶掉頭過程中，部分時段由於船身垂直於航道，水流會將船位推往下游。一般而言水流作用並不顯著，尤其在強風作用下，操船者會比較注意風力影響。

本次試驗，貨櫃船進港失敗之案例中，漲潮佔 70%，退潮佔 30%；出港兩次失敗案例均發生在漲潮。LNG 船進港失敗案例，漲潮及退潮各佔 50%，出港也是漲潮及退潮各一次。散裝船進港失敗案例，漲潮佔 55.6%，退潮佔 44.4%，出港兩次失敗案例均發生在漲潮。此顯示除貨櫃船在漲潮時之失敗比率較高外，水流作用與失敗案例所佔比例沒有明顯關聯性。

4.3.11 拖船作用

由操船模擬試驗資料之分析顯示，進港船舶轉入主航道時，船速不能太快，在主航道口（外堤口）又要快速右轉 49 度後穩住船位，強風之下僅賴進港船舶之車效及舵效會有所不足。因此拖船必須在港外防波堤遮蔽處即帶好拖纜，一前一後各一艘 4,200HP 之拖船，除協助轉向外，必要時還須協助減速。如果外海風浪大而不易帶纜時，兩艘拖船可在進港船舶的右船艙及右船尾處，利用大型船舶的遮蔽效果，進行

帶纜。

進入主航道後，為了後續的通過內堤口及北迴船池的減速與轉向，在進港船舶的左船艙及左船尾處，再配置兩艘 3,400HP 拖船，一同協助調整船速、船首向及穩住船位。

由於台中港北迴船池空間有限，而大型船舶迴轉空間之需求較大。因此，進港船舶除了本身倒車減速並以舵效右轉外，四艘拖船二前二後一起協助減速及轉向，以減小衝止距離及迴轉圈半徑。

進入煤輪航道內之航行，進港船舶的車效及舵效即能應付。南迴船池之轉向也須拖船協助，特別是左轉進入煤輪航道南段，必須穩住船位。

船舶掉頭及靠泊因船速已停，幾乎完全依靠拖船為之。尤其是 10 號碼頭貨櫃船及 101 碼頭散裝船靠泊，必須四艘拖船全速合力推頂。試驗中，發生四艘拖船不易將貨櫃船推靠 10 號碼頭及散裝船推靠 101 號碼頭之現象，因此四艘拖船均應至少有 4,200HP 馬力之配置。

依上述分析，大型船舶進港靠泊在某些水域因情況特殊，船舶之車效及舵效不足，必須依賴拖船協助。這些水域包括主航道口之轉向、主航道內之航行、北迴船池內右轉、南迴船池內轉向、船舶掉頭及碼頭靠泊。

出港船舶在離開碼頭時需要拖船外，在北迴船池左轉進入主航道也須拖船協助轉向。

由上述分析顯示拖船是大型船舶能否在強風下安全進出台中港之重要環節。模擬試驗係以兩艘 4,200HP 及兩艘 3,400HP 拖船協助船舶航行及靠離碼頭，在操船模擬機上，不論是何種型式拖船，所顯示的僅是拖船施力方向及大小，模擬機本身無法切換不同型態之拖船，但可藉由調整出力大小及延遲時間，以反應出不同之操縱特性。

拖船在實務運作上，對於領港之要求或改變，例如：出力大小、出力方向、出力位置及出力方式（推頂或拉）等，受到拖船本身之性能限制及當時水域環境，不一定能立即達成，也不一定能完全達成。可是在模擬試驗中，上述各項操作可以迅速完成，而且完全配合。但為配合實務上操作之情形，當領港對拖船有所要求或改變時，試驗人員會視情形延遲拖船之作用。

V.S.型拖船之操縱性明顯較 Z.P.式拖船為佳（尤其單車，無艏側推器者）。因此可依傳統拖船之延遲時間，予以適當之減少。唯延遲時間除了與拖船本身特性有關外，亦與領港和拖船間彼此溝通及拖船操作人員之技術有關。因此為能真確模擬實際情況，應參考領港與拖船之實際互動經驗，進一步調整。在本模擬試驗中，領港下達推頂之口令，拖船出力延遲時間約為 6 秒，下達拖拉的口令時延遲時間約 15 秒。

若以 3000HP 之 Z.P.及 V.S.兩種型式拖船為例，其典型出力（平均值）約如下：

型 式	Ahead Thrust	Astern Thrust	Side Thrust
V.S.	33 tons	27 tons	20 tons
Z.P.	45 tons	20 tons	Very small

兩種型式拖船相較，Z.P.型拖船前推力（Ahead Thrust）較大，但後推力（Astern Thrust）較小，而側推力（Side Thrust）則幾乎沒有。V.S.型後推力優於 Z.P.型，尤其具有側推力。允許操作式性波高（significant wave height），Z.P.型拖船為 1.5~2.0 公尺，V.S.型為 2.0 公尺。

因此，未來大型船舶進出台中港，拖船擔負的角色相當

重要，運作方式及技術必須有所提昇，港外帶纜的動作必須熟練。拖船本身的性能也應提昇，傳統的 Z.P. 型式拖船靈活度較差，操作較費時，建議未來應採用 V.S. 等新式拖船，才能應付惡劣天候下大型船舶之操航需求。

4.3.12 操船者行為

本次試驗與本校以往操船模擬試驗最大的差異在於操船者之條件。以往對於港口航行之模擬操船均是請一至三位該港之資深領港及本校船長執行操船，事前先進行測試操航，使操船者熟悉外在環境及模擬機之性能後，才實際進行試驗，並在試驗中相互討論，分析操航之困難處及改進之道。每位操船者對於相同條件之場景反覆進行多次試驗，才能評估出最安全之操航模式。此種方式試驗，操船者能熟悉模擬機之性能，但因反覆操舵，操船者會有預先反應，故成功率要求較嚴。

本次試驗為求試驗之獨立性，所有台中領港不論年資均需參與操船，對於操船者採開放式之操航模式，每位領港以其個人之認知改變船速及船首向，相互之間不能討論交換心得，對於相同條件之場景僅進行一次，縱使操航後有較佳之看法，也只能在事後之問卷中寫出心得，提供研究人員作為分析之參考。雖然每位台中領港對於台中港之航道及碼頭狀況均已熟知，對於風及流水之作用也有體會，但是對於模擬機在視覺上與實際景觀之差異性卻不熟悉，雖經研究人員事前說明，由於不曾事先操練，無法體會，尤其對於距離之誤判，成為領港認定操航失敗原因之一。例如有位領港第一個操航試驗是在無風無流條件下，貨櫃船由 33 號碼頭出港，結果觸撞北內堤，後續之操航試驗才逐漸適應模擬機與實際環境之差異。顯見領港對於模擬船舶及環境之適應不良，也會造成操船模擬試驗的失敗。

由於目前台中港進出之船舶均屬中小型，最大貨櫃船約

為 3,500TEU，最大散裝船載重約為 70,000 公噸之巴拿馬極限型，部份領港對於大型船舶之特性並不瞭解，尤其是大型船舶之迴轉圈比目前台中港進出之船舶大出許多，如果操船者還是依照目前帶領中小型船舶之操航方式進行本次試驗，則失敗之機率相對提高，從領港操航後之心得可以看出，部份領港對於操船方式均提出改進措施。另外從每位領港之操船次數統計結果如表 4.25，可發現大多數領港的操船次數超過 10 次，少數領港試驗之失敗率超過三成，半數領港的失敗率不大於 0.167。由全體領港失敗率的分佈來看，沒有那一位領港的失敗率特別高，故本次試驗結果沒有受到領港個人心理因素的影響。

表 4.25 台中港領港之操船次數統計

領港編號	貨櫃船		LNG		散裝船		合計		失敗率
	操船次數	失敗次數	操船次數	失敗次數	操船次數	失敗次數	操船次數	失敗次數	
001	3	0	6	2	3	0	12	2	0.167
002	4	1	5	2	5	0	14	3	0.214
003	4	1	5	1	5	1	14	3	0.214
004	3	0	4	0	4	1	11	1	0.091
005	4	3	5	1	4	1	13	5	0.385
006	4	1	5	1	4	1	13	3	0.231
007	4	2	4	2	9	1	17	5	0.294
008	4	0	4	1	6	1	14	2	0.143
009	5	1	5	1	3	0	13	2	0.154
010	0	0	2	0	4	1	6	1	0.167
011	4	1	7	3	4	0	15	4	0.267
012	5	0	5	1	2	0	12	1	0.083
013	3	1	1	0	6	0	10	1	0.100
014	3	0	4	2	0	0	7	2	0.286
015	5	2	5	0	6	3	16	5	0.313
016	3	0	4	0	4	1	11	1	0.091

4.4 安全操航模式

4.4.1 增進操航安全之原則

綜合上一節之第一階段操船試驗結果分析，大型船舶航行進入台中港，操船上主要之困難處如以下幾點：

1. 強風吹襲下，船位控制不易，必須加速才能增加舵效。
2. 船舶從起始點至主航道之轉向度數太大。
3. 主航道之寬度有限。
4. 船速太快將增加迴轉空間，船位會超出北迴船池範圍，而無法順利轉向進入煤輪航道。

面對上述問題，若船速太快則迴轉圈增大，而無法順利轉入主航道及煤輪航道；若減慢船速則舵效不佳，而無法順利控制船位與船向。因此，初步針對第一階段操航試驗結果之失敗案例，經檢討、分析與綜合研判後，基本上認為在強風作用下，大型船舶要增加進港之操航安全，必須達到下列幾項原則：

1. 領港登輪處在港外 1.5 浬，位於進港航道西側，起始航向應小於 060 度。
2. 二艘拖船於防波堤遮蔽水域內且距南外堤 0.5 浬以上處，即應在右船首及右船尾處拖船帶好拖纜，且拖船馬力至少 4200HP。
3. 通過南外堤之船速應低於 9 節。
4. 通過內堤之船速應低於 7 節，拖船應能有效的協助減速及轉向。
5. 二艘拖船於通過南外防波堤進入主航道時，既應在左船首及左船尾處拖船帶好拖纜，且拖船馬力至少 4200HP。

6. 在北迴船池內應能將船速降低至停止，並以拖船協助掉頭或轉向。

依據上述原則，海洋大學船長們進行初步測試，以第二處起始點啟航，貨櫃船及散裝船以 20m/sec 風速，LNG 以 15m/sec 風速，均是漲潮之條件下，進港靠泊 10 號及 33 號碼頭各一次，靠泊西 15 號及 101 號碼頭各兩次，由 103 碼頭掉頭出港兩次。測試結果都能安全進港及出港，顯示操航方式修正後，大型船舶進出台中港之安全性可以提昇。可是操航過程中，船位與預定之航跡還是有差異。分析如下：

1. 船舶啟航後，必須先用全速前進，減少水流往南推移之作用。
2. 等到船速加到 7 節後，再減成半速前進，如果舵效減緩，再加速，如此一來，船舶通過南外堤時之船速可保持在 8-9 節。
3. LNG 船加速性較貨櫃船快，船舶通過南外堤時之船速會超過 9 節。
4. 散裝船啟航後，因加速較慢，可以一直以全速航行。船舶通過南外堤時之船速約為 7-8 節。
5. 各類船舶通過南外堤時之船首向約為 90-100 度，但受風力影響，船位較為趨近南外堤。
6. 在主航道內，如果不用拖船，則船速須維持在 8 節左右才能穩住船位。
7. 通過內堤後，以船舶倒車之力使船在北迴船池內停住，但因減速效果太慢，造成衝止距較長。
8. 在北迴船池內必須以拖船後拉方式協助船舶停止，再協助轉向，轉入煤輪碼頭。

9. 各類船舶在煤輪航道內之航行，依賴本船之車效及舵效即能穩住船位。
10. LNG 船航行至南迴船池掉頭後，再靠泊西 15 號碼頭。
11. 散裝船直靠 103 號碼頭及空船在 103 號碼頭旁掉頭，則須四艘拖船協助。
12. 在防波堤外 0.5 哩處於船首及船尾各帶一艘拖船，有助於船位及船速控制。但是因外海風浪較大，拖船可帶於右船首及右船尾，利用進港船舶之遮蔽效果，於下風處帶纜較為安全。
13. 另兩艘拖船須在主航道內即應帶好拖纜，該處海浪較小，帶纜較為容易。
14. 拖船在主航道內，船舶尚未通過內堤時即可開始後拉協助減速，使本船通過內堤後，船速能快速下降。

至於出港船舶之困難處在於從煤輪航道轉入主航道，可能觸撞北內堤或工作船渠。由操船試驗之資料顯示，均是船速過快或轉向延遲，因此，問題較單純，只要限制大型船舶在煤輪航道內之航行速度低於 5 節，進入北迴船池之前，船首及船尾各帶一艘拖船協助轉向，即可安全出港。由於煤輪航道之長度足供船舶調整船速，且在港內拖船帶纜容易，可行性相當高，不須另作測試。

4.4.2 安全操航模式

經初步測試後，證實本研究先前之模擬試驗分析，各類大型船舶在煤輪航道內之航行較無太大問題，船位均能穩住。除散裝船外，掉頭靠泊也算安全。散裝船靠泊主要依賴四艘大馬力之拖船協助，與航行安全較無直接關連。因此，大型船舶進靠台中港之主要之關鍵是從起始點至煤輪航道之間之航行安全。經比較前述試驗資料，並與台中港領港共同

研究後，研擬出此段航程貨櫃船及 LNG 船之最佳航行模式如下（如圖 4.34 所示）：

1. 貨櫃船及 LNG 船因受風面積大，所需轉向之水域空間較大，因此，起始點再向西北方偏移 0.2 浬，即以北導桿為基準，255 度方向，距離 1.5 浬。
2. 起始航向 060 度，船速 5 節。
3. 領港登輪後，全速前進。
4. 距離北導桿 1.0 浬時，船速約為 7 節，減為半速，船首向轉至 075 度。
5. 距離北導桿 0.6 浬時，右船首及右船尾各帶一艘馬力 4,200HP 之拖船。
6. 距離北導桿 0.5 浬時，船速增加為全速，開始右轉。
7. 通過南外堤時，船位在航道中央，船速約為 9 節，船首向約 100 度，左船首及左船尾準備各帶一艘馬力 4,200HP 拖船。
8. 距離北內堤 0.4 浬時，船位在航道中央偏北 50 公尺，船速減為慢速，船首向 114 度，左船尾及右船尾拖船開始後拉。
9. 通過內堤時，船位在航道中央，船速減至 7 節，全速倒車，船首向約為 120 度。
10. 在北迴船池內使船速減為零，再以拖船協助掉頭，準備靠泊 10 號碼頭，或以拖船協助右轉，船首向轉至 210 度後，以慢速前進，進入煤輪航道。

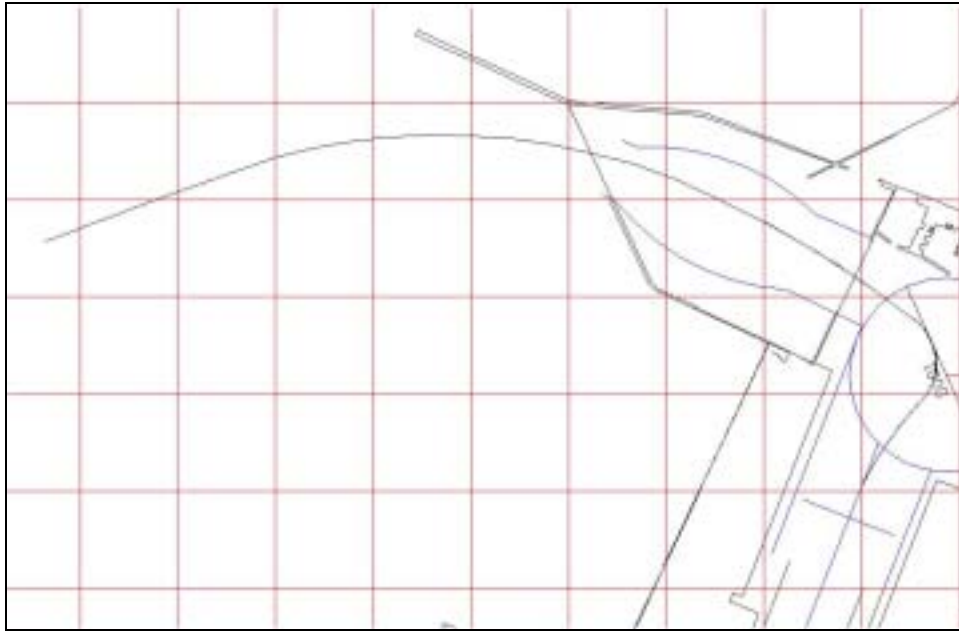


圖 4.34 最佳模式之貨櫃船及 LNG 船預定航跡

散裝船因加速較慢，若由上述起始點啟航後，受外海往南之海流影響太大，因此，起始點還是以原先模擬試驗之第二處起始點為佳，最佳之航行模式如下（如圖 4.35 所示）：

1. 起始點以北導桿為基準，245 度方向，距離 1.5 浬。
2. 起始航向 060 度，船速 5 節。
3. 領港登輪後，全速前進。
4. 距離北導桿 1.0 浬時，船速約為 6 節。
5. 距離北導桿 0.6 浬時，右船首及右船尾各帶一艘馬力 4,200HP 之拖船。
6. 距離北導桿 0.5 浬時，船速約為 7 節，船首向 075 度，開始右轉。

7. 通過南外堤時，船位在航道中央，船速約為 8 節，船首向 100 度，左船首及左船尾準備各帶一艘馬力 4,200HP 拖船。
8. 距離北內堤 0.4 哩時，船位在航道中央偏北 50 公尺，船速減為慢速，船首向 114 度，左船尾及右船尾拖船開始後拉。
9. 通過內堤時，船位在航道中央，船速減至 6 節，全速倒車，船首向 120 度。
10. 在北迴船池中心附近使船速減為零，再以拖船協助右轉，船首向轉至 210 度後，以慢速前進，進入煤輪航道。

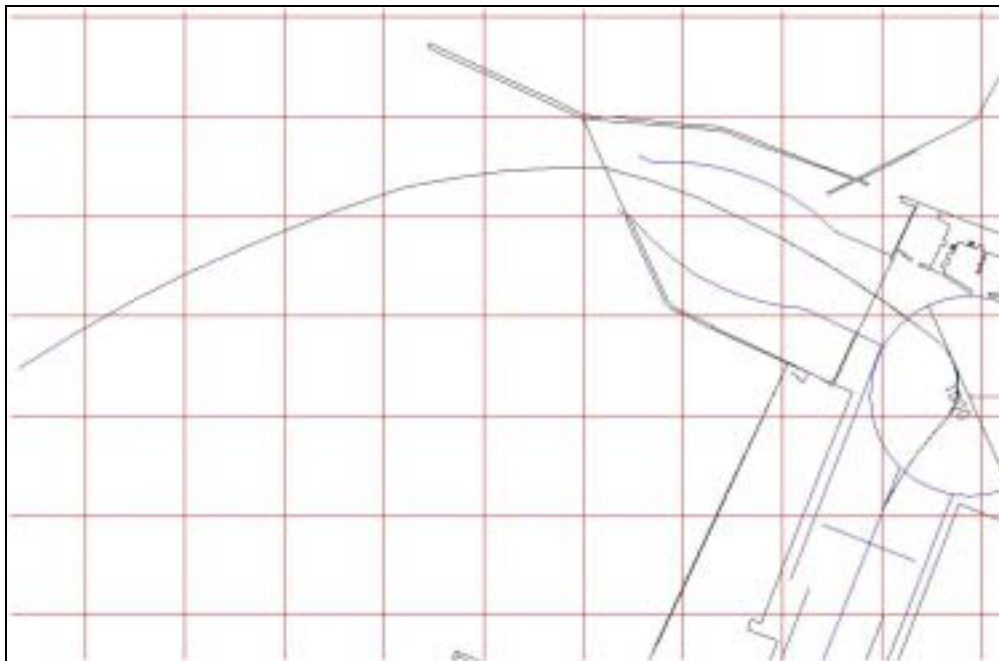


圖 4.35 最佳模式之散裝船預定航跡

4.4.3 安全操航模式試驗

為確認上述操航模式之安全性及可行性，由兩位資深之台中領港以上述模式為原則，進行第二階段模擬操船。貨櫃

船及散裝船以 20m/sec 風速，LNG 船以 15m/sec 風速，均是漲潮之條件下，進港航行至北迴船池或煤輪航道北端。貨櫃船操航 6 次，2 次在北迴船池掉頭，4 次航行至煤輪航道北端；LNG 船操航 7 次，散裝船 6 次，均航行至煤輪航道北端為止。

模擬試驗之結果顯示，所有操航均安全到達煤輪航道，船舶之航跡與最佳模式所預計之航跡大致上吻合（圖 4.36~4.38）。差異比較大之處，是散裝船在外海起始點附近及 LNG 船及散裝船在北迴船池內停止時之船位。散裝船因為加速較慢，受水流作用向南偏移量較明顯，但在接近主航道時，船位已在預定航跡上。在北迴船池內停止時，LNG 船超過預定位置約 100 公尺，散裝船超過約 200 公尺，但是距離各碼頭邊仍在安全範圍內，而且可以安全右轉進入煤輪航道。

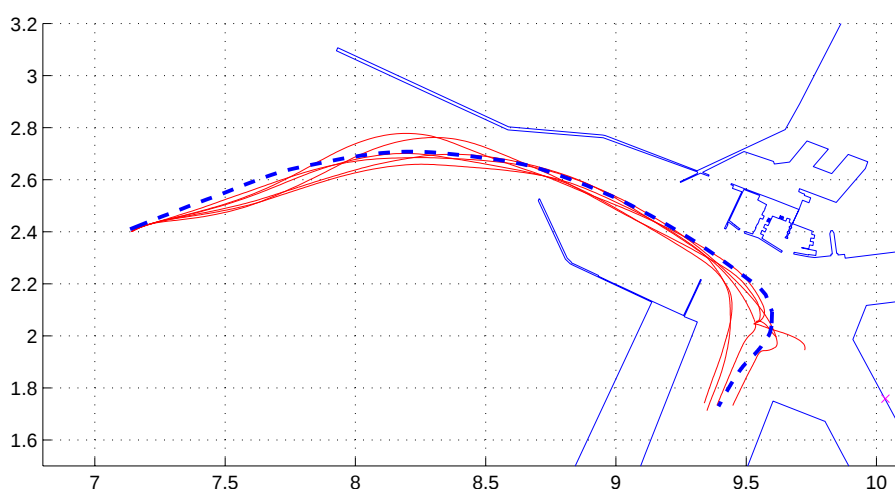


圖 4.36 貨櫃船航跡

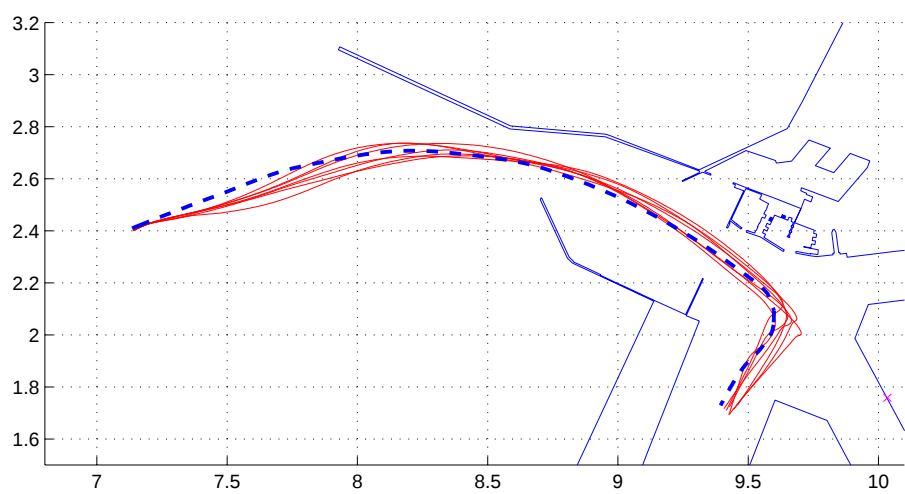


圖 4.37 LNG 船航跡

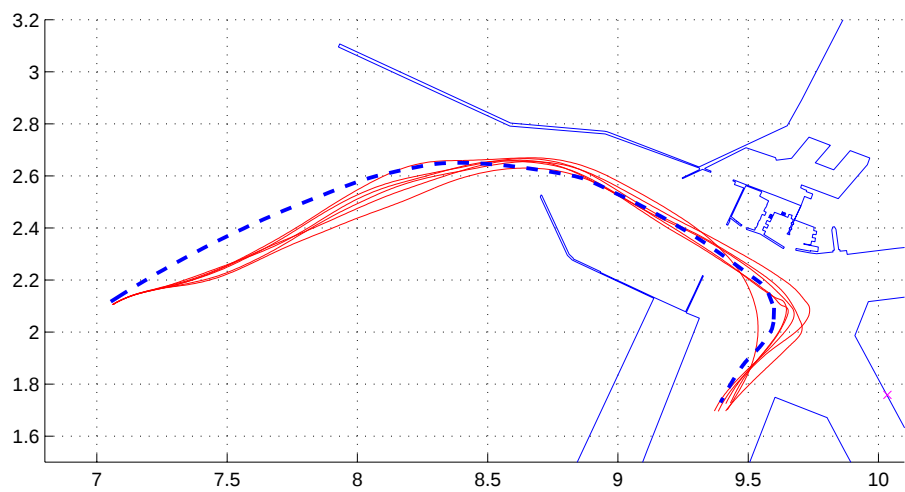


圖 4.38 散裝船航跡

從表 4.26 顯示，各類船舶通過南外堤（閘線 AA'）時，距離南外堤之平均值均與航道中線 250 公尺相差不遠，船首向均接近 100 度，貨櫃船平均船速最大，為 9.47 節，散裝船最小，為 7.38 節，而且各項標準差均小於第四章表 4.19 所列，顯示航跡間差異性不大。大致上均與預期值相當接近，不過貨櫃船及 LNG 船之船速可能會超過 10 節，拖船必須要能穩住船位。

表 4.26 船舶通過閘線 AA' 之相關資料

	與南外堤最近距離 (公尺)		過閘線 AA' 船首向 (度)		過閘線 AA' 船速 (節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 10 號與 33 號碼頭	186.11	27.21	99.20	6.20	9.47	0.48
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	232.13	17.75	96.57	3.63	9.01	1.18
散裝船進港停泊 101 號碼頭	206.40	26.69	96.35	2.04	7.38	0.10

從表 4.27 顯示，除貨櫃船外，其他船舶通過南外堤（閘線 BB'）時，距離南內堤之平均值均接近航道中線之 200 公尺，船首向均接近 120 度，LNG 船平均船速最大，為 7.81 節，必須以拖船全速後拉，散裝船雖然平均船速為 6.5 節，但因笨重，衝止距較長，也必須以拖船全速後拉，才能使船舶北迴船池中心停止。

表 4.27 船舶通過閘線 BB'之相關資料

	與南內堤最近距離 (公尺)		過閘線 BB' 船首向 (度)		過閘線 BB' 船速 (節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 10 號 與 33 號碼頭	141.16	28.75	112.50	5.88	5.73	2.07
LNG 進港停泊西 15 號 碼頭	202.61	49.82	122.40	3.26	7.81	0.64
散裝船進港停泊 101 號 碼頭	191.79	40.44	124.42	7.32	6.50	0.49

各類船舶轉入煤輪航道，船位與 29 號碼頭幾乎都能保持 200 公尺以上之距離（表 4.28），船首向也接近航道方向 210 度，船速保持在 5 節上下。

表 4.28 船舶通過閘線 CC'之相關資料

	與 29 號碼頭凸角最近 距離(公尺)		過閘線 CC' 船首向 (度)		過閘線 CC' 船速 (節)	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 33 號碼頭	349.73	90.40	197.85	6.92	4.93	0.78
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	214.39	42.91	211.14	9.84	5.87	1.14
散裝船進港停泊 101 號碼頭	238.11	33.82	212.93	4.72	5.27	0.19

由以上第二階段操船試驗結果顯示，大型貨櫃船及散裝船在風向 NNE、風速 20m/sec、漲潮，LNG 船在船舶在風向 NNE、風速 15m/sec、漲潮時，領港若能依照本研究所研擬之安全操航模式航行，當能安全進港靠泊，但是拖船必須扮演相當重要之角色。四艘拖船應具備 4,200HP 以上之馬力，船速必須能跟上大船 10 節左右之船速，拖船船員必須能在強風強浪下帶上拖纜，拖船合力後拉必須能使大船快速減慢，拖船駕駛與領港之間必須配合良好。如果拖船不能具備這些條件，則大型船舶進港將面臨觸撞防波堤或 29 號碼頭之危機。

上述試驗中，船舶在防波堤外 0.6 哩處帶拖纜時之船速約為 8 節，雖有防波堤及大船船體之遮蔽效應，但與港內相比，困難度還是相當大，拖船必須跟上大船，在一分鐘內掛上拖纜，船員必須多加訓練。當船舶進入主航道時，船速可能接近 10 節，此時需要另帶兩艘拖船，拖船船速必須能快速靠上大船帶纜，拖船與領港之間必須相互合作。因此，拖船性能及拖船船員之能力必須要能配合，大型船舶才能安全進港。

4.4.4 航行時間

大型船舶進港或出港航行時，港內其他船舶必須在碼頭等候，待其通過後，才能準備出港或進港。進港船通過 29 號碼頭進入煤輪航道後，其他船舶可以開始進港靠泊 29 號以前之碼頭，或這些碼頭之船舶可以開始出港。LNG 船靠上西 15 號碼頭後，散裝船才能航行於煤輪航道。依據操船試驗資料，計算各類船舶由起始點至通過 29 號碼頭、貨櫃船由 29 號碼頭至靠上 33 號碼頭、LNG 由 29 號碼頭至靠上西 15 號碼頭、散裝船由 29 號碼頭至通過西 15 號碼頭所需航行時間如表 4.29 所示。

表 4.29 船舶在各區段所需之航行時間

	起始點至通過 29 號碼頭 所需時間 (分鐘)		29 號碼頭至停泊完成或通 過西 15 號碼頭所需時間 (分鐘)	
	平均值	標準差	平均值	標準差
貨櫃船進港停泊 33 號碼頭	25.00	4.59	25.53	6.39
LNG 進港停泊西 15 號碼頭	23.28	4.34	33.44	8.73
散裝船進港停泊 101 號碼頭	29.84	3.77	17.13	2.79

大致而言，各類船舶從起始點航行通過 29 號碼頭需時約 30 分鐘，貨櫃船從起始點到靠上 33 號碼頭約需一小時，LNG 船從起始點到靠上西 15 號碼頭約需 80 分鐘（表內時間係以 LNG 船在西 15 號碼頭旁掉頭，而本研究則建議在南迴船池掉頭，故將多耗 10 分鐘），散裝船從起始點到通過西 15 號碼頭約需 55 分鐘。

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 操船模擬試驗之結果與所設定之條件有直接關係，各項條件之設定則依據需求從實際環境之相關因素中擇取重要項目作為試驗情境（Scenario），因此，實際環境與所設定之條件有很大的差異時，試驗結果將不適用。
2. 本研究之操船試驗共分兩階段進行。第一階段係由台中港全體領港及海洋大學具有船長資歷之教師執行操船，其中台中港領港操船次數佔 93%。每位操船者最多操船兩天，第一個工作日操縱貨櫃船及 LNG 船，第二個工作日操縱散裝船，相同的環境條件每人僅操作一次，並且相互之間對於操船內容與方式均不討論，僅以個人之觀點進行試驗，因此，試驗資料具有獨立性。第二階段則由兩位台中港資深領港，進行安全操航模式的確認試驗。
3. 第一階段操船模擬試驗共進行 247 次有效操船，若不包括 9 次無風無流之基準操船，則為 238 次。其中，貨櫃船進靠 10 號碼頭 17 次、貨櫃船自 10 號碼頭出港 8 次、貨櫃船進靠 33 號碼頭 20 次、貨櫃船自 33 號碼頭出港 12 次、LNG 液化瓦斯船進靠西 15 號碼頭 62 次、LNG 液化瓦斯船自西 15 號碼頭出港 14 次、散裝船進靠 101 號碼頭 61 次、散裝船航行至南迴船池 35 次與散裝船自 101 號碼頭出港 18 次。
4. 第一階段針對試驗獨立性及探討台中港及領港與港域特性之考量下，不含基準操船，各種試驗之成功率如下：貨櫃船進靠 10 號碼頭 76.47%、貨櫃船自 10 號碼頭出港 100%、貨櫃船進靠 33 號碼頭 70%、貨櫃船自 33 號碼頭出港 83.33%、LNG 液化瓦斯船進靠西 15 號碼頭，不計

風速 20m/sec 為 82.61% , 含風速 20m/sec 則為 77.24%、LNG 液化瓦斯船自西 15 號碼頭出港不計風速 20m/sec 為 80.0% , 含風速 20m/sec 85.71%、散裝船進港航行至南迴船池 94.29%、散裝船進靠 101 號碼頭 85.25%、散裝船自 101 號碼頭出港 100%。請參照下表。

船型		操船次數	成功次數	成功率	備註
貨櫃船靠泊 10 號碼頭	進港	17	13	76.47%	
	出港	8	8	100%	
貨櫃船靠泊 33 號碼頭	進港	20	14	70%	
	出港	12	10	83.33%	
LNG 船靠泊 西 15 號碼頭	進港	46	38	82.61%	不含風速 20m/sec
	出港	10	8	80.0%	不含風速 20m/sec
LNG 船靠泊 西 15 號碼頭	進港	62	48	77.24%	含風速 20m/sec
	出港	14	12	85.71%	含風速 20m/sec
散裝船至南 迴船池	進港	35	33	94.29%	起始點至南迴船池
	出港	5	5	100%	南迴船池至港外
散裝船靠泊 101 號碼頭	進港	61	52	85.25%	西 15 號碼頭至 101 號碼頭
	出港	13	13	100%	101 號碼頭至西 15 號碼頭

5. 第一階段操船失敗之結果：貨櫃船進靠 10 號碼頭時，觸撞 28 號碼頭、12 號碼頭、北堤、北內堤頭各一次；貨櫃船進靠 33 號碼頭，觸撞 29 號碼頭 6 次；貨櫃船自 33 號碼頭出

港，觸撞北內堤頭及工作船渠各一次；LNG 液化瓦斯船進靠西 15 號碼頭，觸撞 29 號碼頭 8 次、北堤 2 次、西 5 號碼頭 2 次、35 號碼頭 1 次、漁港堤頭 1 次；LNG 液化瓦斯船自西 15 號碼頭出港觸撞工作船渠 2 次；散裝船進靠 101 號碼頭觸撞北堤 2 次、碰撞 99 號碼頭船舶 6 次、98 號碼頭及 104 號碼頭各 1 次、擱淺一次。總計觸撞 29 號碼頭次數最高達 14 次；散裝船碰撞 99 號碼頭次數居次為 6 次。

6. 第一階段操航失敗之原因包括：操船者不熟悉模擬機之限制、船性特殊、風速太大、水域不足、操船者操縱不當、船速太快、轉向太慢、拖船使用不當等。在此階段之操航試驗，操船者對於大型船舶如何安全操航進出台中港，有其個人主觀的操航方式及嘗試心理。因此，本階段之操船失敗因素，直接顯示台中港領港操航大型船舶之個人經驗判斷及台中港港型造成之局部海氣象影響船舶運動之特性，此一結果為本試驗研提安全操航模式重要的基石與判斷依據。
7. 大型船舶進港，為避免在南外堤附近轉向時，因強風造成船位逼近南防波堤或觸撞北防波堤之不利影響，大多數操船者從起始點先將船位向西調整，加大轉向空間，此有利於製造轉向慣性。
8. 船舶觸撞北堤及北內堤之主要原因如下：強風下進港，風向與航道方向垂直，貨櫃船及 LNG 船因受風面積大，船首向控制較困難。此外，由於船舶要進入台中港主航道，必須右轉 49 度，故利用較快的船速以增加舵效。但因用舵時機或方式不當，造成迴轉率不足，再加上未使用拖船或拖船太慢使用時，造成高速航行下船位超出航道而觸撞。
9. 貨櫃船靠泊 10 號碼頭在北迴船池內掉頭，雖有強風吹襲，因拖船協助，操船者均能安全掉頭。船舶以後退方

式接近 10 號碼頭，風壓會將船位往南吹，必須四艘拖船合力推頂才能靠上碼頭。如果船舶在 10 號碼頭旁掉頭靠泊，則有觸撞 27 或 28 號碼頭的危險。

10. 貨櫃船觸撞 29 號碼頭之主要原因：船舶迴轉範圍很大，操船者在通過內堤後仍維持快速航行，在北迴船池右轉，雖利用拖船協助轉向，但因船速太快，拖船作用有限，船舶右轉 90 度時，船位已超過 30 號碼頭延長線而觸撞 29 號碼頭。
11. LNG 船之迴轉範圍比貨櫃船還大，觸撞 29 號碼頭之危險性高。強風下，水域空間有限，加上操船者操縱不當、船速太快、轉向太慢，未妥善應用拖船，都是觸撞 29 號碼頭之原因，其中船速太快應為主因。
12. 散裝船進港靠泊之問題：受限於煤輪航道之寬度僅 400 公尺，散裝船在北迴船池右轉，還是有偏出煤輪航道之可能。靠泊碼頭，則須考慮何時、何處掉頭。南迴船池內或 104 號碼頭旁掉頭都因在狹窄航道內後退航行，船位控制非常困難；101 號碼頭旁掉頭則因水域狹窄，有碰撞 99 號碼頭船舶之危險；空船掉頭也受限於南端之岸邊。
13. 各類船舶之出港航行雖受風力影響，但問題並不嚴重。不過船舶在北迴船池轉入主航道時，還是必須拖船協助左轉，不得大意。
14. 針對強風強流所造成船舶進出台中港之危險，可由領港操船方式及拖船使用方式之改變以提昇安全性。本研究依第一階段的操船試驗結果，進行檢討、分析與綜合研判後研擬安全操航模式，該模式的操航方式改變特點包括：領港減緩進港船速，妥善利用拖船做為減速及穩定船位之工具，在船位駛近內堤時，拖船後拉，使船舶通過內堤後船速迅速下降，停止於北迴船池內，再以拖船協助轉向。

15. 以安全操航模式進行第二階段操船模擬試驗，已確定該模式之可行性及有效性。貨櫃船及散裝船以 20m/sec 風速，LNG 船以 15m/sec 風速，均是漲潮之條件下進港。所有操航均能安全進港，實際航跡與預定航跡也相當接近。
16. 強風強流下，大型船舶進出台中港，受到船舶性能之限制，必須藉由拖船協助才能安全進港靠泊，因此，拖船是大型船舶是否能在強風下安全進出台中港之重要因素。從安全操航模式試驗分析中可以得知，安全進港之條件包括：領港必須熟悉船性謹慎操船、減緩船速、四艘拖船應具備 4,200HP 以上之馬力、拖船船速必須能跟上大船 10 節左右之船速，拖船船員必須能在外海強風強浪下帶上拖纜，拖船合力後拉必須能使大船快速減慢，拖船駕駛與領港之間必須配合良好。如果不能具備這些條件，則大型船舶進港將面臨觸撞防波堤或 29 號碼頭之危機。
17. 在拖船協助下，LNG 船在煤輪航道內航行時，可保持在航道中線上，且距貨櫃碼頭及化學碼頭停靠船舶，可符合 150 公尺之安全規定距離。LNG 船卸貨作業時，依規定周圍 150 公尺不得有船舶航行。由於西 15 號碼頭已規劃向西內縮 150 公尺。因此，散裝船航經此處，若船位保持在航道中線，並以 100 公尺標準差為考量，則其與 LNG 船距離可符合 150 公尺之安全規定。
18. 以北防波堤堤根處（即今梧棲漁港後側）之風力觀測資料分析顯示，夏季風速超過 15m/sec 且延時超過 8 小時之發生機率為 0.6%；而冬季也僅 3.5%。若以北防波堤堤頭之風力觀測資料而言，則分別為 2.1%及 9.2%。因此，若以風速 15m/sec 作為大型船舶進出港操航之風力限制條件，對台中港營運作業影響似乎不大。此外，對於較小

型船舶之風力條件若放寬至風速 20m/sec，則對營運作業影響應更小。

19. LNG 船由起始點至西 15 號碼頭靠泊航行時間約 80 分鐘（出港估計小於 80 分鐘），貨櫃船從起始點到靠泊 33 號碼頭約需一小時，散裝船從起始點到通過西 15 號碼頭（非靠泊西 15 號碼頭）則約需 55 分鐘。因此就相同航行距離而言，LNG 船所需航行時間與其他大型船舶相較無明顯差異。

5.2 建議

1. 由於台中港領港對領大型船舶進台中港之經驗略顯不足，海象不佳情況下，拖船操作亦較困難，因此對領港與拖船作業人員之訓練更顯得重要為因應大型船舶和具危險性的 LNG 船靠泊台中港應儘速提出訓練計畫，以提高大型船舶操航靠泊之安全性及增加港埠的營運效率。
2. 領港利用本研究所研擬之安全操航模式，調整起始船位，減緩船速，妥善利用拖船穩定船位及後拉減速，在北迴船池內停止船速再進行轉向，拖船船員技術及馬力強度充分配合，則大型船舶進港之安全性可明顯增加。此項操航模式必須反覆操練，直到確實熟練可行之程度，領港才可實際執行大型船舶進靠台中港之任務。
3. 大型船舶進港時，貨櫃船及 LNG 船之領港登輪位置必須以北導桿方位 075 度，散裝船以北導桿方位 065 度，港外 1.5 浬處登輪，船速 5 節，船首向 060 度。
4. 大型船舶通過南外堤時，船速不宜超過 9 節，因此，啟航後先以全速前進，等到船速超過 7 節，即可改為半速，舵效如果不足，再增為全速，以減緩船速之增加。

5. 船舶進入北防波堤遮蔽區後，約在港外 0.5 哩之前，即應帶好拖船，利用拖船協助調整船位，必要時還須拖船協助減速，並在主航道內協助穩住船位及船首向。為使帶纜快速順利，港外帶纜作業於右船首及右船尾各一艘 4,200HP 拖船。船舶通過南外堤後再於左船首及左船尾各帶一艘 4,200HP 拖船。依據台中港歷年來之相關研究報告及領港多年之實務經驗，當海氣象環境惡劣時，領港登輪及拖船作業可能出現困難。因此在安全考量下，建議初期作業限制示性波高為 1.5 公尺，俟領港登輪及拖船帶纜作業熟練後，再視情況逐步放寬至 2.5 公尺。
6. 強風時，貨櫃船應在通過內堤之前即以拖船後拉，並倒車減速，使船在北迴船池內停止。靠泊 10 號碼頭應在北迴船池內停車掉頭，不能在 10 號碼頭旁掉頭，而且必須四艘拖船協助掉頭，並合力推頂靠泊碼頭。靠泊 33 號碼頭則在停止狀態下，利用四艘拖船二前二後增加轉向速度，等船首向約轉到 210 度並調整船位後，再準備進入煤輪航道。
7. LNG 船因貨物危險性高，不能在進港靠泊時發生事故。但是 LNG 船受風面積大、迴轉直徑也大，在強風下進入台中港靠泊，模擬試驗顯示操船的困難度很高。因此，建議四艘拖船必須具備 4,200HP 以上之馬力，領港必須熟練最佳操船模式，先在良好天氣下以較小型之 LNG 船實際操航，確定拖船之使用與領港配合均完好無慮，才逐漸增大船型並增加風速之條件。
8. 當散裝船舶必須停靠 101 碼頭，則靠泊方式以直靠及空船掉頭之成功率較高，但是靠泊時之風速應低於 15m/sec，99 號碼頭不停靠船舶，且先以 128,000 噸之小型海岬型散裝船靠泊，等領港、拖船及碼頭配合作業均運作熟練後，再考慮增大船舶噸位。船舶掉頭時，拖船出力必須克服風壓，四艘拖船之馬力均應超過 4,200HP。

9. 海岬型散裝船要進靠台中港台碼頭，建議在煤輪航道 30 號碼頭附近必須濬深，該處煤輪航道水深 16 公尺之東側邊界應再向東加寬 100 公尺。
10. 煤輪航道南段末端建議增加導航疊標一組，船舶由南迴船池轉入煤輪航道南段時，以指引領港對於船位偏移觀測。由於 LNG 船舶進出港時與其他船舶、碼頭之距離及船位保持在航道上之要求甚為嚴謹。因此，建議另案辦理現有助導航設施與功能之檢討評估及改善方式，以增進大型船舶進港之操航安全。
11. 建議在台中港 VTS 尚未建置完成前，信號台先設置自動測繪（ARPA）雷達，並於北防波堤頭及信號台裝置可自動紀錄傳輸之風速儀，配合性能良好之 VHF 無線電電話，將港口附近之船舶交通狀況、天氣狀況，即時提供給進出港船舶作為操航的參考。
12. 強風下大型船舶進靠台中港時，必須在防波堤外，右舷即帶好兩艘拖船，在主航道內左舷也應帶好兩艘拖船，強風浪高，船舶行進之船速又快，因此，建議拖船運作方式及技術必須有所提昇，港外帶纜的動作必須熟練。並建議未來購置拖船必須具備 4,200HP 以上之馬力，優先考慮靈活度高之 VS 等新式拖船，才能應付惡劣天候下大型船舶安全之需。

參考文獻

1. 「台中港南填方區間(I)圍堤工程及航道浚深拓寬工程環境監測報告書」，亞太環境科技股份有限公司,九十一年年報, 2003.
2. 「台中港港口第二期擴建工程成效評估」，工業技術研究院能源與資源研究所,期中報告書, 2003.
3. 「台中港簡介 - 興建計畫」，台中港務局全球資訊網，<http://www.tchb.gov.tw/about05.html>, 2003.
4. 莊文傑、江中權，「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」，港灣技術研究所，專刊 148 號, 1997.
5. 莊文傑、江中權，「台中港港口第二期擴建規劃—海流數值模擬計算」，港灣技術研究所，專刊 161-2 號, 1999.
6. 莊文傑、江中權，「臺灣四周海域海流數值模擬研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，年度基本研究報告 MOTC-IOT-IHMT-NA8916, 2000.
7. 「台中港港口擴建計畫評估研究」，中華顧問工程司, 1988.
8. 「台中港進出港指南」，台中港務局，1994.
9. 『台中港第二階段發展計畫評估研究』，中華顧問工程司, 1992.
10. 莊文傑、江中權，「台中港港池水理模式之研究」，港灣技術研究所, 85-研(七)-1,1996.
11. 「**Admiralty Tide Tables and Tidal Stream Tables**」，The hydrographer of the Navy, U.K., Volume 3, 1997.
12. 「**Data Announcement 88-MGG-02, Digital relief of the Surface of the Earth**」，NOAA, National Geophysical Data Center (NGDC), Boulder, Colorado, USA., 1988.

13. 「**MIKE21 Coastal Hydraulics and Oceanography Hydrodynamic Module**」, *User Guide and Reference Manual*, Release 2.7, Danish Hydraulic Institute (DHI), 1998.
14. Committee on Assessment of Shiphandling Simulator, “Ship Handling Simulator Application to waterway Design”, National Academy Press, Washington D.C, 1992.
15. Permanent Technical Committee II, “Capability of Ship maneuvering Simulation Models for Approach Channels and Fairways in Harbours”, International Association of Navigation Congress, Brussels, Belgium, 1992.
16. 郭璧奎、柯永澤、張石煜、林彬、方昭仁, “永安港液化天然氣船進港與靠泊操船安全之模擬機試驗”, 海洋大學操船模擬機室研究報告, 基隆, 1990。
17. 郭璧奎、高聖龍、李信德、吳耿耀, “DGPS 在船舶進出港操船實況調查之應用”, 第十二屆全國技術及職業教育研討會論文, 海事類, pp.41-50, 1997。
18. 曾慶耀、柯永澤、郭璧奎、張石煜、方昭仁、李信德、陳世宗、陳木炎, “北部液化天然氣接收站操船可行性評估”, 海洋大學操船模擬機室研究報告, 基隆, 1993。
19. Edward, V.L, (Editor) “Principles of Naval Architecture Vol. III, Controllability and Motion in Waves”, Society of Naval Architects and Marine Engineers, N.J., USA, 1988.
20. IMO MSC/Circ. 644, “Explanatory Notes to the Interim Standards for Ship Maneuverability”, IMO, London, U.K., 1994.